# 정밀안전진단 결과 요약문

## 1. 과업의 목적

본 과업은 “시설물의 안전관리에 관한 특별법” (이하 “시특법” 이라 한다.) 제7조 및 동법 시행령 제9조에 의한 정밀안전진단으로서 시설물의 물리적·기능적 결함과 손상을 조사·측정하고 원인을 분석하여 신속하고 적절한 조치를 취하며, 상태 및 구조적 안전성, 사용성을 종합적으로 검토·평가하여 적절한 보수·보강방법 및 유지관리방안을 수립하여, 고속도로 시설물의 재난예방과 안전성 확보를 통해 공공의 안전을 확보하는데 그 목적이 있다.

## 2. 과업의 범위 및 내용

### 2.1 과업의 범위

현장조사시 필요한 경우 교통통제 및 안전조치를 취하여야 하며, 시설물 근접조사를 위한 접근장비 등을 투입하여야 한다. 정밀안전진단에서는 시설물의 결함 정도에 따라 필요한 조사·측정·시험, 구조계산, 수치해석 등을 실시하고 분석·검토하여 안전성평가 결과를 결정하고, 보수·보강이 필요한 경우에는 보수 및 보강방법을 제시한다.

1) 자료수집 및 분석
2) 현장조사 및 시험
3) 상태평가
4) 안전성평가
5) 종합평가 및 안전등급 지정
6) 보수·보강방법 및 유지관리방안 제시
7) 보고서 작성 및 점검결과 전산입력

### 2.1.2 과업기간

2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26. (착수일로부터 190일간)

# 3. 시설물의 개요

## 3.1 시설물 현황

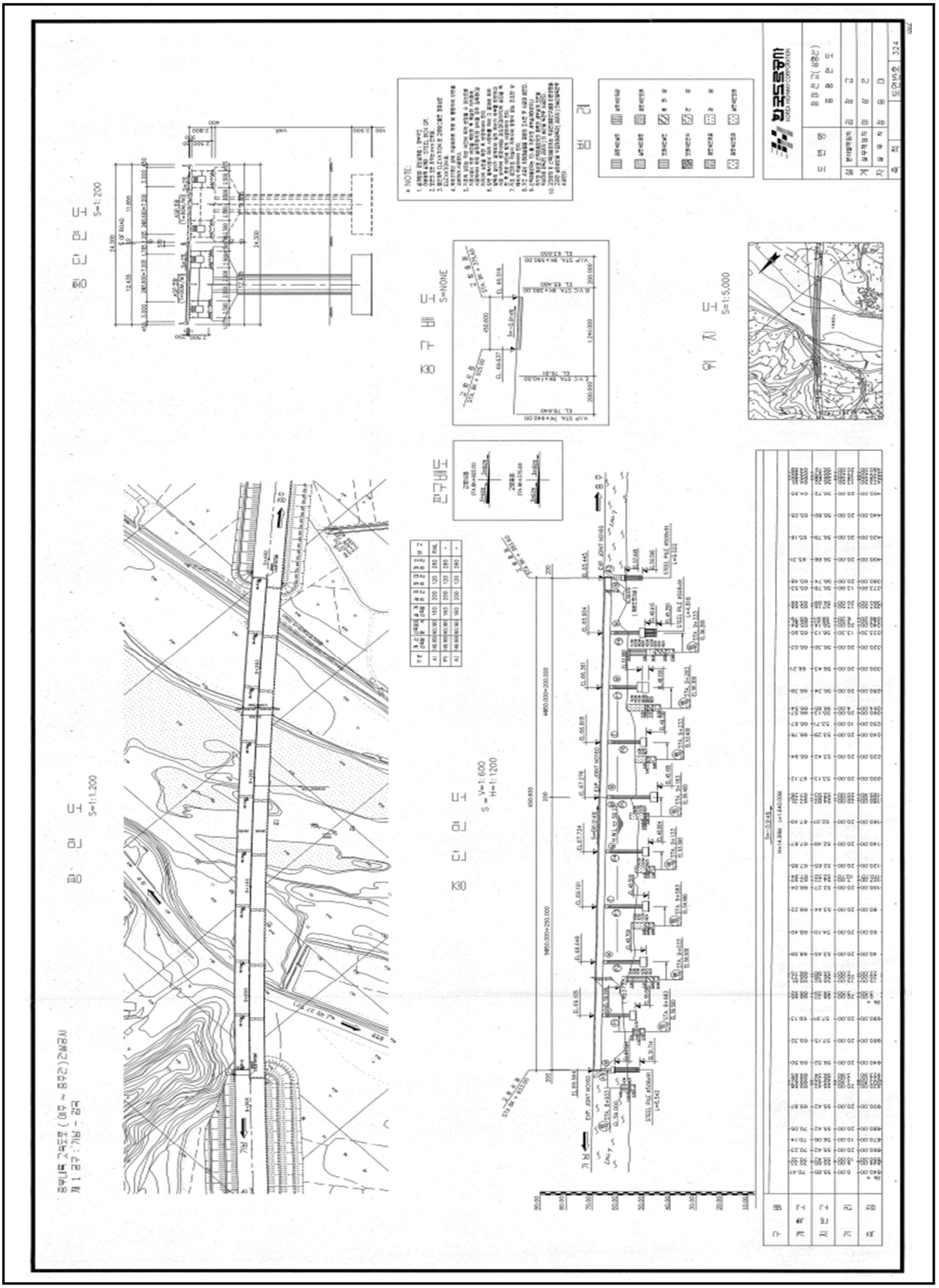
### 3.1.1 양평방향

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td colspan="2">시설물명</td><td>청미천교(양평)</td><td colspan="2">시설물번호</td><td>BR2003-0000272</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년월</td><td>2002년 12월 20일</td><td colspan="2">관리번호</td><td>0450B28251</td></tr>
<tr><td colspan="2">시설물위치</td><td colspan="4">경기도 여주시 점동면 원부리(중부내륙선 256.010㎞)</td></tr>
<tr><td colspan="2">설계하중</td><td>DB-24 / DL-24</td><td colspan="2">노선명(이정)</td><td>고속국도 45호선(256.010㎞)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">제원</td><td>연장</td><td colspan="4">L = 5 @ 50 + 4 @ 50.0 = 450.0m</td></tr>
<tr><td>폭</td><td colspan="4">B = 12.150m (차로수 : 2)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구조<br>형식</td><td>상부</td><td>강박스 거더교(STB)</td><td rowspan="2">기초<br>형식</td><td>교대</td><td>강관 말뚝기초(2기)</td></tr>
<tr><td>하부</td><td>교대 : 역T형(2기)<br>교각 : T형(8기)</td><td>교각</td><td>직접기초(7기)<br>강관 말뚝기초(1기)</td></tr>
<tr><td colspan="2">교량받침</td><td>포트받침</td><td colspan="2">신축이음</td><td>A1, P5, A2 : Finger Joint</td></tr>
<tr><td colspan="2">교차시설물</td><td>교량 시점측 : 국도 37호선(S2)<br>청미천(S4~S6)</td><td colspan="2">통과높이</td><td>6.50m</td></tr>
<tr><td colspan="2">설 계 사</td><td>㈜다산컨설턴트</td><td colspan="2">시 공 사</td><td>진흥기업(주), 금강종건(주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">내진설계유무</td><td>유</td><td colspan="2">관리주체</td><td>한국도로공사 강원본부 충주지사</td></tr>
<tr><td colspan="2">부착시설내용</td><td colspan="4">교각 점검로</td></tr>
<tr><td colspan="2">기 타</td><td colspan="4">• 설계도서 및 구조계산서 유무 : 유<br>• 보수보강여부 : 하자보수, 표면처리 및 주입보수, 면정리,</td></tr>
</table>

## 3.1.2 마산방향

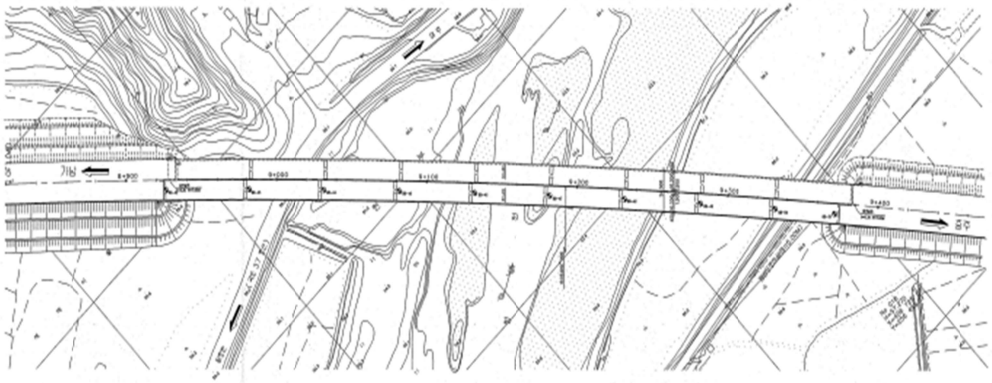
<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td colspan="2">시설물명</td><td>청미천교(마산)</td><td colspan="2">시설물번호</td><td>BR2003-0000271</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년월</td><td>2002년 12월 20일</td><td colspan="2">관리번호</td><td>0450B28252</td></tr>
<tr><td colspan="2">시설물위치</td><td colspan="4">경기도 여주시 점동면 원부리(중부내륙선 256.020㎞)</td></tr>
<tr><td colspan="2">설계하중</td><td>DB-24/DL-24</td><td colspan="2">노선명(이정)</td><td>고속국도 45호선(256.020㎞)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">제원</td><td>연장</td><td colspan="4">L = 5 @ 50 + 4 @ 50.0 = 450.0m</td></tr>
<tr><td>폭</td><td colspan="4">B = 12.150m (차로수 : 2)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구조형식</td><td>상부</td><td>강박스 거더교(STB)</td><td rowspan="2">기초형식</td><td>교대</td><td>강관 말뚝기초(2기)</td></tr>
<tr><td>하부</td><td>교대 : 역T형(2기)<br>교각 : T형(8기)</td><td>교각</td><td>직접기초(7기)<br>강관 말뚝기초(1기)</td></tr>
<tr><td colspan="2">교량받침</td><td>포트받침</td><td colspan="2">신축이음</td><td>A1, A2 : Finger Joint<br>P5 : Rail Joint</td></tr>
<tr><td colspan="2">교차시설물</td><td>교량 시점측 : 국도 37호선(S2)<br>청미천(S4~S6)</td><td colspan="2">통과높이</td><td>6.50m</td></tr>
<tr><td colspan="2">설 계 사</td><td>㈜다산컨설턴트</td><td colspan="2">시 공 사</td><td>진흥기업(주), 금강종건(주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">내진설계유무</td><td>유</td><td colspan="2">관리주체</td><td>한국도로공사 강원본부 충주지사</td></tr>
<tr><td colspan="2">부착시설내용</td><td colspan="4">교대 및 교각 점검로</td></tr>
<tr><td colspan="2">기 타</td><td colspan="4">• 설계도서 및 구조계산서 유무 : 유<br>• 보수보강여부 : 하자보수, 표면처리 및 주입보수, 면정리,</td></tr>
</table>

## 3.2 시설물 주요도면

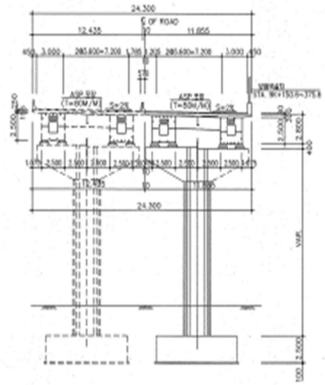


중부내륙 고속도로 ( 여주 ~ 충주간) 건설공사
제 1 공구 : 가남 – 금곡

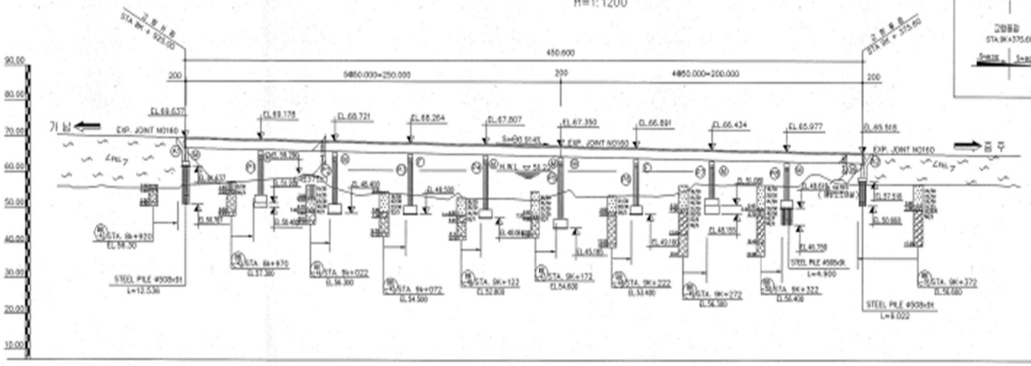
## 평 면 도
S=1:1.200




## 횡 단 면 도
S=1: 200




## 종 단 면 도
S = V=1: 600
H=1:1200




| 구 배 | | |

# 4. 자료수집 및 분석

## 4.1 점검 및 진단 이력

### 4.1.1 양평방향

| 번호 | 구분 | 점검기간 | 점검/<br>진단기관 | 주요점검/진단결과 | 안전등급 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 초기점검 | 2003.03.24 | 자체수행 | ■ 『A』 등급양호 | A |
| 2 | 후반기<br>정밀점검 | 2003.09.26 | 자체수행 | ■ 전반적으로 양호 | A |
| 3 | 전반기<br>정기점검 | 2004.04.27 | 자체수행 | ■ 전반적으로 양호 | 양호 |
| 4 | 후반기<br>정밀점검 | 2004.12.10 | 자체수행 | ■ 양호 | A |
| 5 | 전반기<br>정기점검 | 2005.04.27 | 자체수행 | ■ 양호 | 양호 |
| 6 | 후반기<br>정기점검 | 2005.10.10 | 자체수행 | ■ 양호 | 양호 |
| 7 | 전반기<br>정기점검 | 2006.04.07 | 자체수행 | ■ 양호 | 양호 |
| 8 | 후반기<br>정밀점검 | 2006.10.27 | 자체수행 | ■ 양호 | A |
| 9 | 전반기<br>정기점검 | 2007.06.11 | 자체수행 | ■ 양호 | 양호 |
| 10 | 후반기<br>정기점검 | 2007.11.19 | 자체수행 | ■ 양호 | 양호 |
| 11 | 긴급점검 | 2007.08.06 | 자체수행 | - | 양호 |
| 12 | 전반기<br>정밀점검 | 2008.04.11 | 자체수행 | ■ 교대상면 물고임 | A |
| 13 | 후반기<br>정기점검 | 2008.11.14 | 자체수행 | ■ 양호 | 양호 |
| 14 | 전반기<br>정기점검 | 2009.06.10 | 자체수행 | ■ 교대벽체얼룩(부속시설물 점검 이상무) | 양호 |
| 15 | 후반기<br>정기점검 | 2009.09.30 | 자체수행 | ■ 양호(부속시설물 점검 이상무) | 양호 |
| 16 | 전반기<br>정밀점검 | 2010.07.23 | 자체수행 | ■ 신축 이음덮개 파손, 후타 콘크리트 파손 | A |
| 17 | 후반기<br>정기점검 | 2010.10.21 | 자체수행 | ■ A1교대죠인트청소, 교량부속시설물 이상없음 | 양호 |

| 번호 | 구분 | 점검기간 | 점검/<br>진단기관 | 주요점검/진단결과 | 안전등급 |
|---|---|---|---|---|---|
| 18 | 전반기<br>정기점검 | 2011.04.11 | 자체수행 | ■ 양호 | 양호 |
| 19 | 후반기<br>정기점검 | 2011.07.25 | 자체수행 | ■ 내부침투수 발생 | 양호 |
| 21 | 전반기<br>정기점검 | 2012.04.18 | 자체수행 | ■ 양호 | 양호 |
| 22 | 후반기<br>정기점검 | 2012.09.04 | 자체수행 | ■ 양호 | 양호 |
| 23 | 정밀<br>안전진단 | 2012.04.16.<br>~<br>2012.12.21 | (재)한국<br>건설품질<br>연구원 | ■ 바닥판 하면 균열, 균열 및 백태, 망상균열, 누수흔적, 파손, 녹발생, 고무재 탈락 등<br>■ STB 거더 도장박리 및 부식, 볼트부식, 용접결함, 실링누락, 오물퇴적, 케이블 도난 등<br>■ 교대/교각 균열, 누수흔적 및 체수, 콘크리트 손상, 전단키/점검로 부식 및 볼트부식 등<br>■ 교량받침 소울플레이트 도장박리 및 부식, 몰탈/콘크리트 균열, 잡철노출, 파손, 재료분리 등<br>■ 신축이음장치 본체 이물질 퇴적, 후타재 균열(cw=0.3mm미만), 충격음 및 지지대파손 등<br>■ 유도배수관 설치필요, 배수파이프 길이부족 및 곡관설치 누락 등 | B |
| 24 | 전반기<br>정기점검 | 2013.03.27 | 자체수행 | ■ 교대 열화, 신축이음부 누수 | 양호 |
| 25 | 후반기<br>정기점검 | 2013.09.05 | 자체수행 | ■ 점검결과 거더[도장탈락],교량받침[부식,러버패드이탈],하부구조[열화,망상균열],신축이음[후타균열]이 발견되었음 | 양호 |
| 26 | 전반기<br>정기점검 | 2014.03.28 | 자체수행 | ■ 거더<br>- 도장탈락 : S6G1 (0.025㎡, 1개소)<br>■ 교량받침<br>- 부식 : A1-sh1, A2-sh1,4 (0.20㎡, 3개소)<br>■ 하부구조<br>- 균열(0.3mm 이상) : A1 (0.3mm/2.3m, 3개소)<br>- 열화 : A1 (1.2㎡, 1개소) | 양호 |
| 27 | 후반기<br>정밀점검 | 2014.08.26 | 자체수행 | ■ 양호함 | B |
| 28 | 전반기<br>정기점검 | 2015.04.21 | 자체수행 | ■ 신축이음 - 후타재 균열<br>■ 난간/중분대 - 난간방호벽 박락 | 양호 |
| 28 | 후반기<br>정기점검 | 2015.10.01 | 자체수행 | ■ 거더 - 도장박리<br>■ 교량받침 - 교량받침 부식<br>■ 하부구조 - 열화, 균열(0.3mm이상), 망상균열 | 양호 |
| 29 | 전반기<br>정기점검 | 2016.04.29 | 자체수행 | ■ 거더 : 도장 탈리<br>■ 교량받침 : 부식,들뜸<br>■ 하부구조 : 균열<br>■ 신축이음 : 균열,누수 | 양호 |

### 4.1.2 마산방향

| 번호 | 구분 | 점검기간 | 점검/진단기관 | 주요점검/진단결과 | 안전등급 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 초기점검 | 2003.03.24 | 자체수행 | ■ 『A』 등급양호 | A |
| 2 | 후반기 정밀점검 | 2003.09.26 | 자체수행 | ■ 전반적으로 양호 | A |
| 3 | 전반기 정기점검 | 2004.04.27 | 자체수행 | ■ 전반적으로 양호, 교면포장밀림발생 | 양호 |
| 4 | 후반기 정밀점검 | 2004.12.10 | 자체수행 | ■ 양호 | A |
| 5 | 전반기 정기점검 | 2005.04.27 | 자체수행 | ■ 양호 | 양호 |
| 6 | 후반기 정기점검 | 2005.10.10 | 자체수행 | ■ A2 거푸집 철선자리 녹발생 | 양호 |
| 7 | 전반기 정기점검 | 2006.04.07 | 자체수행 | ■ 양호 | 양호 |
| 8 | 후반기 정밀점검 | 2006.10.27 | 자체수행 | ■ 양호 | A |
| 9 | 전반기 정기점검 | 2007.06.11 | 자체수행 | ■ 양호 | 양호 |
| 10 | 후반기 정기점검 | 2007.11.19 | 자체수행 | ■ 양호 | 양호 |
| 11 | 긴급점검 | 2007.08.06 | 자체수행 | - | 양호 |
| 12 | 전반기 정밀점검 | 2008.04.11 | 자체수행 | ■ 교대상면 물고임, 배수파이프 연결 부족, 코핑 균열 발생, 교각점검로 콘크리트 정리미흡, 캔틸레버 하부 철근노출, 코핑 단부 녹발생, 코핑 전면 셋트앵커 미 제거, 캔틸레버 하부 면끼 제거 | A |
| 13 | 후반기 정기점검 | 2008.11.14 | 자체수행 | ■ 양호 | 양호 |
| 14 | 전반기 정기점검 | 2009.06.10 | 자체수행 | ■ 교대벽체얼룩(부속시설물 점검 이상무) | 양호 |
| 15 | 후반기 정기점검 | 2009.09.30 | 자체수행 | ■ 양호(부속시설물 점검 이상무) | 양호 |
| 16 | 전반기 정밀점검 | 2010.07.23 | 자체수행 | ■ 슈 녹발생 | A |
| 17 | 후반기 정기점검 | 2010.09.08 | 자체수행 | ■ 양호,교량부속시설물 이상없음 | 양호 |
| 18 | 전반기 정기점검 | 2011.04.11 | 자체수행 | ■ 양호 | 양호 |
| 19 | 후반기 정기점검 | 2011.07.25 | 자체수행 | ■ 내부침투수 발생 | 양호 |
| 21 | 전반기 정기점검 | 2012.04.18 | 자체수행 | ■ 양호 | 양호 |
| 22 | 후반기 정기점검 | 2012.09.04 | 자체수행 | ■ 교면포장 파손,바닥판 파손 | 양호 |

| 번호 | 구분 | 점검기간 | 점검/<br>진단기관 | 주요점검/진단결과 | 안전등급 |
|---|---|---|---|---|---|
| 23 | 정밀<br>안전진단 | 2012.04.16.<br>~<br>2012.12.21 | (재)한국<br>건설품질<br>연구원 | ■ 바닥판 하면 균열, 균열 및 백태, 망상균열, 누수흔적, 파손, 녹발생, 고무재 탈락 등<br>■ STB 거더 도장박리 및 부식, 볼트부식, 용접결함, 실링누락, 오물퇴적, 케이블 도난 등<br>■ 교대/교각 균열(cw=0.1~0.3mm), 누수흔적 및 체수, 파손, 열화, 압성토 침하 등<br>■ 교량받침 소울플레이트 도장박리 및 부식, 몰탈/콘크리트 균열, 잡철노출, 재료분리 등<br>■ 신축이음장치 본체 부식, 후타재 균열(cw=0.3mm 미만), 파손, 충격음 등<br>■ 유도배수관 설치필요, 배수파이프 길이부족, 곡관 설치 누락 등 | C |
| 24 | 전반기<br>정밀점검 | 2013.06.28 | 자체수행 | ■ 교량받침:슈녹발생, 하부구조:구체및 구체 하부 열화 2개소 | C |
| 25 | 후반기<br>정기점검 | 2013.10.31 | 자체수행 | ■ 교량받침:슈녹발생, 하부구조:구체및 구체 하부 열화 2개소 | 양호 |
| 26 | 전반기<br>정기점검 | 2014.05.19 | 자체수행 | ■ 받침도장박리,부식:A1-sh4,P2-sh4,P3-sh1(0.21m2,3개소)<br>■ 하부구조<br>-누수흔적 : A1(중분대측, 갓길측)<br>-균열(0.3mm이상):P1(갓길측)코핑(0.3mm/0.6m,1개소)<br>-균열(0.3mm미만) : P2G1 코핑(0.2mm/1.5m, 2개소)<br>-박리 : P3(갓길측) 코핑측면(0.8㎡, 1개소)<br>■ 신축이음<br>-후타재파손:A1(갓길),A2(갓길),P5(2차로,갓길)(0.76m2,3개소) | 양호 |
| 27 | 후반기<br>정기점검 | 2014.09.17 | 자체수행 | ■ 받침도장박리,부식:A1-sh4,P2-sh4,P3-sh1(0.21m2,3개소)<br>■ 하부구조<br>-누수흔적 : A1(중분대측, 갓길측)<br>-균열(0.3mm이상):P1(갓길측)코핑(0.3mm/0.6m,1개소)<br>-균열(0.3mm미만) : P2G1 코핑(0.2mm/1.5m, 2개소)<br>-박리 : P3(갓길측) 코핑측면(0.8㎡, 1개소)<br>■ 신축이음<br>-후타재파손:A1(갓길),A2(갓길),P5(2차로,갓길)(0.76m2,3개소) | 양호 |
| 28 | 전반기<br>정기점검 | 2015.04.21 | 자체수행 | ■ 양호 | 양호 |
| 28 | 후반기<br>정기점검 | 2015.12.17 | 자체수행 | ■ 교량받침 : 교량받침 부식<br>■ 하부구조 : 열화, 파손 | 양호 |
| 29 | 전반기<br>정기점검 | 2016.06.13 | 자체수행 | ■ 교량받침 : 부식, 균열<br>■ 신축이음 : 열화, 누수 | 양호 |

## 4.2 보수·보강 이력

### 4.2.1 양평방향

| 구 분 | 공사기간 | 설계자 | 시공자 | 공사구간 | 보수·보강 공법 | 공사금액 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 보수 | 2006.09.30 | - | - | 교면포장 | 팻칭보수 | 4,300,000 |
| | 2009.12.31 | - | - | 하부구조 | 기타 | 700,000 |
| | 2010.11.25 | - | - | 교면포장 | 절삭후 재포장 | 17,191,111 |
| | 2010.12.31 | - | - | 교면포장 | 기타 | 500,000 |
| | | - | - | 신축이음장치 | 기타 | 1,000,000 |
| | | - | - | 난간연석 | 기타 | 500,000 |
| | 2011.12.31 | - | - | 배수시설 | 배수시설보수 | - |
| | 2013.12.31 | - | - | 배수시설 | 배수시설보수 | 135,000 |
| | 2013.09.30 | - | - | 신축이음장치 | 강핑거 조인트 | 47,477,318 |
| | 2014.12.31 | - | - | 교면포장 | 팻칭보수 | 1,475,000 |
| | 2014.11.13 | - | - | 신축이음장치 | 강핑거 조인트 | 27,535,804 |

### 4.2.2 마산방향

| 구 분 | 공사기간 | 설계자 | 시공자 | 공사구간 | 보수·보강 공법 | 공사금액 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 보수 | 2008.10.16 | - | - | 배수시설 | - | 200,000 |
| | 2009.12.31 | - | - | 하부구조 | 기타 | 700,000 |
| | 2010.12.31 | - | - | 교량받침 | 도장 | 200,000 |
| | 2011.12.31 | - | - | 배수시설 | 배수시설보수 | - |
| | 2014.11.13 | - | - | 신축이음장치 | 강핑거 조인트 | 27,535,804 |
| | 2015.12.30 | - | - | 난간연석 | 난간보수 | 4,100,067 |

## 4.3 자료분석 결과요약

| 구 분 | 수집 자료 | 자료 분석 결과 | 정밀안전진단 과업진행 방향 |
|---|---|---|---|
| 건설 관련 자료 | ◦ 일반보고서<br>◦ 구조 및 수리계산서<br>◦ 준공도면<br>◦ 시공기록보고서 | ◦ 일반보고서 및 준공도면은 설계 당시 기준에 준하여 작성된 것으로 확인됨.<br>◦ 일반보고서, 준공도면, 구조계산서의 구조물 치수는 동일한 것으로 확인됨.<br>◦ 구조검토 시 1996년 설계기준을 적용함 | ◦ 현장조사 시 부재치수를 실측하여 준공도면과 비교, 검토 후 치수가 상이할 경우 안전측으로 구조계산토록 하고 도면을 재작성하며, 실측치와 동일할 경우는 준공도면을 기준으로 과업을 진행토록 함.<br>◦ 현 설계기준을 적용하여 구조검토를 실시함. |
| | ◦ 시공 중 안전점검 | ◦ 시공 중 구조물에 대한 문제점은 없는 것으로 확인됨. | ◦구조물에 대한 문제점은 없는 상태였으나, 사용 중 손상이 발생되거나 조사가 누락된 면이 있을 수 있으니 상세외관조사 시 면밀히 조사함. |
| 유지 관리 자료 | ◦ 점검 및 진단 이력 | ◦ 바닥판 하면 균열, 망상균열, 균열 및 녹발생, 박리, 누수흔적 및 백태<br>◦ STB 거더 도장박리 및 부식, 용접결함, 실링불량<br>◦ 교대/교각의 균열, 망상균열, 누수흔적, 철근노출 및 녹발생, 박리, 파손, 압성토 파손<br>◦ 교량받침 소울플레이트 도장박리 및 부식, 몰탈/콘크리트 균열, 들뜸, 파손, 철근노출 및 녹발생<br>◦ 신축이음장치 본체 부식, 후타재 균열, 후타재 파손, 유간부족<br>◦ 교면포장 아스콘 균열 및 망상균열<br>◦ 내구성조사 결과 설계 값 이상으로 양호한 상태임. | ◦ 점검 시 조사된 손상에 대한 사항을 상세외관조사 시 면밀히 조사하고, 추가 손상 확인, 보수여부 및 대책방안 마련. |
| | ◦ 보수 · 보강 이력 | ◦ 보수 · 보강 이력을 검토한 결과, 본 교량은 지속적인 유지관리가 진행된 것으로 평가됨. | ◦ 보수 · 보강 이력사항에는 보수부에 대한 위치가 제시되어 있지 않으므로 보수된 손상명에 대한 사항을 상세외관조사 시 면밀히 조사함. |
| | ◦ 기술과제 자료 | ◦ 기술자문 검토서를 통해 신축이음장치 유간 부족 및 협착, 바닥판 단부 균열 및 파손, 교대 파라펫부 누수, 신축이음 및 난간 방호벽 단차, 후타재 균열 및 파손에 대한 원인 분석과 대책수립 등이 검토됨. | ◦ 기술자문 검토서를 참고자료로 활용하여 상세외관조사 시 면밀히 조사하고, 추가 손상확인, 보수여부 및 대책방안 마련. |

# 5. 현장조사 및 시험

## 5.1 양평방향

### 5.1.1 외관조사 결과요약

| 구 분 | 주요결함 및 외관조사 결과 | 검토의견 |
|---|---|---|
| 바닥판 하면 | • 바닥판 하면 횡방향 균열(대부분 0.2㎜ 이하) | • 대부분 미세균열(폭 0.2㎜이하)이며. 구조적인 균열이 아닌 Con'c 구조물의 노후화 과정에서 발생되는 부산물이라 할 수 있으며 이러한 균열로 말미암아 구조적 안전성에 문제를 야기할만한 수준은 아닌 것으로 판단되어 지속관찰 실시 |
| | • 내측 캔틸레버 하면 폭 0.3mm 종균열 및 콘크리트 들뜸, 백태 | • 종방향조인트 누수로 인해 비교적 피복두께가 얇게 시공된 바닥판 철근을 부식시켜 균열을 유발시키고, 균열부로의 지속적인 우수 유입과 동절기 살포된 제설제의 영향은 철근 부식과 팽창을 가속시켜 바닥판 콘크리트가 들뜸으로 진행된 것으로 손상 단면 제거 후 표면보수 실시 |
| | • 기타 고무재 탈락, 녹발생 등 | • 시공미흡과 지속적인 우수유입에 의한 것으로 지속관찰 |
| 강박스 거더 | • 도장박리, 부식, 볼트부식, 긁힘<br>• 거더내부 이물질 퇴적<br>• 용접부 Pit, 변형 | • 내구성저하 방지를 위해 재도장 필요<br>• 지속적인 청소관리 필요<br>• 시공초기 결함으로 지속적인 유지관찰 |
| 가로보 및 세로보 | • 구조적인 손상이 없는 상태이며, 국부적으로 도장박리, 부식 발생 | • 내구성저하 방지를 위해 재도장 필요 |
| 하부구조 | • 균열 및 망상균열(대부분 0.2㎜이하), 폭 0.3mm이상의 균열은 교대A2 흉벽과 교각 P1 기둥부 하단에서 1개소씩 조사 | • 대부분 미세균열(폭 0.2㎜이하)이며. 시공초기 건조수축에 의한 것으로 폭 0.2㎜이하 균열은 지속관찰, 폭 0.3㎜이상 균열은 주입보수 실시 |
| | • 교대A1 흉벽 들뜸 | • 시공 초기 다짐불량과 신축이음 커버플레이트의 길이부족으로 인한 지속적인 우수유입에 의한 손상으로 커버플레이트의 재설치를 통한 우수유입방지를 실시한 후 손상부 콘크리트의 제거와 단면보수 실시 |
| | • 일부구간에서 발생한 박락, 박리, 파손, 재료분리 | • 시공미흡에 의한 다짐부족, 외부충격 등에 의한 손상으로써, 장기적인 내구성 및 사용성 확보를 위해 단면보수가 필요 |

| 구 분 | 주요결함 및 외관조사 결과 | 검토의견 |
|---|---|---|
| 하부구조 | • 하부구조의 백태 | • 콘크리트 내부의 백태가 노출된 것으로 내구성 확보 차원의 표면보수가 필요 |
| | • 유심부 교각의 경미한 침식 발생 | • 손상정도가 경미하므로 지속관찰 한다. 다만 하천 상에 위치한 교각은 항시 유수와 유송잡물의 영향을 받고 있는 상태이므로 손상발생 유무에 대해 주기적인 점검과 지속적인 관찰이 필요 |
| | • 누수흔적, 표면오염 | • 신축이음누수, 배수관 길이부족에 의한 것으로 신축이음 교체 및 배수관의 길이연장이 되어 손상의 확대는 없는 것으로 나타나 지속관찰 |
| | • 녹발생, 잡철물부식, 점검로 볼트부식, 이물질퇴적 등 | • 손상정도가 경미하여 지속관찰 실시 |
| 교량받침 | • 가동상태는 전반적으로 양호한 상태이나 A1, A2 신장여유량이 부족 | • 받침장치 설치시 발생한 프리셋팅 오류로 가동흔적 조사결과, 기능상에 문제가 없고 이동여유량 부족으로 인한 이상변위 및 기타손상이 없으며, 현재 교량의 안전성 및 사용성에 문제가 없으므로 지속관찰 실시 |
| | • 받침장치 부식, 낙교방지시설 부식 | • 공용 중 노후화 및 신축이음부를 통한 노면수 유입 및 접촉에 의한 것으로 부식부위 제거 후 재도장 |
| | • 받침몰탈 및 콘크리트 균열 | • 건조수축에 의한 비구조적 균열로 지속관찰 실시 |
| | • 받침몰탈 철근노출, 파손 | • 시공미흡 및 외부충격에 의한 것으로 내구성 확보를 위한 보수 실시 |
| | • 낙교방지시설 고무재 탈락 | • 시공미흡과 경년증가에 따른 노후화로 탈락된 상태로 지속관찰 |
| 신축이음장치 | • 신축이음장치 유간 토사퇴적 | • 본체 파손과 누수유발 등 추가손상 방지를 위한 주기적인 청소와 유지관리 |
| | • 후타재 균열 | • 건조수축, 차량의 반복하중 및 충격에 의한 것으로 표면처리보수 실시 |
| | • 커버플레이트 탈락 | • 차량충격에 의한 파손으로 재설치 필요 |
| 교면포장 | • 마모, 소성변형, 파손, 패임, 포장균열 | • 차량의 반복하중 및 아스콘 노후화 등에 의해 발생한 것이며, 현재 주행차량의 안전성에는 문제가 없으나 구조물의 내구성 차원에서 포장균열은 실링보수, 마모, 파손, 패임은 팻칭보수 함이 바람직하며, 소성변형은 차량의 주행성 확보 차원의 절삭 등의 보수가 필요 |
| 배수시설 | • 배수관 길이부족(S6) | • 마산방향 교각 점검로로 노면수 유입, 배수관 길이연장 필요 |
| | • 바닥판 유공관 유도배수설치 필요 | • 유도배수 설치 |
| | • 배수관 볼트탈락 | • 배수관 볼트 재설치 |

| 구 분 | 주요결함 및 외관조사 결과 | 검토의견 |
|---|---|---|
| 방호벽 | • 균열(최대폭 0.3㎜)과 망상균열, 균열 백태, 백태 | • 건조수축, 우수유입, 콘크리트 타설 미흡 등에 의한 손상, 확대손상 방지와 미관제고를 위해 균열 폭에 따라 0.3㎜ 미만의 균열, 망상균열은 지속관찰, 망상균열, 백태는 표면처리보수, 폭 0.3mm 균열은 주입보수를 실시 |
| | • 파손, 재료분리, 박리 | • 온도에 따른 콘크리트 신축과 다짐불량, 경년열화, 차량충돌 등에 의한 손상으로 손상정도가 경미하여 지속관찰 |
| | • 방호벽 하단의 녹발생 및 잡철물 부식 | • 다짐불량과 콘크리트 내부로의 우수침투에 의한 손상으로 손상정도가 경미하여 지속관찰 |
| | • 방호벽 하단 박락, 철근노출 | • 다짐불량과 동절기 제설재 및 동결융해, 국부적인 피복부족에 의한 것으로 내구성 확보 차원의 단면보수(염해방지)가 필요 |

## 5.1.2 기 점검결과 비교

| 구 분 | | 손상내용 | 단위 | 2012년 전차진단 | | 2016년 금회진단 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 개소 | 수량 | 개소 | 수량 | |
| 바닥판 하면 | | • 균열(0.3mm미만) | m | 563 | 1317.90 | 419 | 946.40 | 일부보수 및 공용증가에 따른 손상이 추가 |
| | | • 균열(0.3mm) | m | 1 | 0.30 | 1 | 3.00 | |
| | | • 들뜸 | ㎡ | – | – | 5 | 1.03 | |
| | | • 백태, 파손, 녹발생 | ㎡ | 35 | 5.43 | 33 | 1.62 | |
| | | • 고무재 탈락 | m | 6 | 16.00 | 8 | 33.50 | |
| 강박스거더 | 내부 | • 도장박리 및 부식 | ㎡ | 970 | 4.81 | 20 | 0.48 | 일부보수 및 공용증가에 따른 손상이 추가됨 |
| | | • 볼트부식 | ㎡ | 8 | 0.08 | 2 | 0.02 | |
| | | • 이물질 퇴적 | ㎡ | 8 | 2.92 | 6 | 12.52 | |
| | | • 씰링재 충진누락 | EA | – | 128 | – | – | 보수완료 |
| | 외부 | • 도장박리 및 부식 | ㎡ | 84 | 1.07 | 221 | 17.69 | 공용증가로 증가 |
| | | • 긁힘 | ㎡ | – | – | 6 | 0.16 | 신규손상 |
| | | • 변형 | m | 1 | 0.30 | 1 | 0.30 | – |
| 가로보 및 세로보 | | • 도장박리 및 부식 | ㎡ | 3 | 0.032 | 4 | 0.10 | 공용증가로 증가 |
| 교대 | | • 균열(0.3mm미만) | m | 72 | 54.20 | 44 | 38.60 | 일부 보수 |
| | | • 균열(0.3mm) | m | 1 | 2.80 | 1 | 2.80 | – |
| | | • 망상균열 | ㎡ | 5 | 9.76 | 7 | 11.20 | 공용증가로 증가 |
| | | • 들뜸 | ㎡ | – | – | 1 | 3.00 | 신규손상 |
| | | • 박락, 박리 | ㎡ | – | – | 13 | 1.63 | |
| | | • 백태 | ㎡ | – | – | 1 | 0.16 | |
| | | • 파손 | ㎡ | 3 | 0.38 | – | – | 보수완료 |
| | | • 누수흔적, 표면오염 | ㎡ | 5 | 4.24 | 6 | 15.53 | 공용증가로 증가 |
| | | • 이물질퇴적 | ㎡ | – | – | 1 | 1.80 | 신규손상 |
| | | • 잡철물 부식 | ㎡ | 39 | 0.17 | 6 | 0.06 | 일부 보수 |

| 구 분 | 손상내용 | 단위 | 2012년 전차진단 | | 2016년 금회진단 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 개소 | 수량 | 개소 | 수량 | |
| 교각 | • 균열(0.3mm미만) | m | 422 | 404.45 | 212 | 197.80 | 일부 보수 |
| | • 균열(0.3mm) | m | - | - | 1 | 0.80 | 신규손상 |
| | • 망상균열 | ㎡ | 43 | 74.46 | 47 | 111.64 | 공용증가로 증가 |
| | • 누수흔적, 백태 | ㎡ | 7 | 1.46 | 3 | 1.22 | 일부 보수 |
| | • 파손, 침식 | ㎡ | 11 | 9.87 | 6 | 14.48 | |
| | • 재료분리, 녹발생 | ㎡ | 17 | 0.34 | 17 | 0.34 | - |
| | • 점검로 볼트부식 | EA | - | 63 | - | 65 | 공용증가로 증가 |
| 받침장치 | • 부식, 도장박리 | ㎡ | 3 | 0.29 | 14 | 2.67 | 공용증가로 증가 |
| | • 낙교방지시설 부식 | ㎡ | 57 | 0.80 | 57 | 0.80 | - |
| | • 낙교방지시설 볼트이완 | EA | - | 1 | - | 1 | - |
| | • 낙교방지시설 고무재 탈락 | m | - | - | 4 | 2.00 | 신규손상 |
| | • 균열(0.3mm미만) | m | 36 | 6.23 | 17 | 3.00 | 일부보수 및 공용증가에 따른 손상이 추가됨 |
| | • 재료분리, 파손 | ㎡ | 3 | 0.08 | 2 | 0.06 | |
| | • 철근노출 | ㎡ | 45 | 0.27 | 6 | 0.07 | |
| 신축이음 | • 유간토사퇴적 | m | - | - | 2 | 12.20 | 신축이음장치 교체로 신규손상 추가 |
| | • 커버플레이트 탈락 | EA | - | - | - | 2 | |
| | • 균열(0.3mm미만) | m | - | - | 31 | 12.60 | |
| 교면포장 | • 균열 | m | 10 | 82.00 | 13 | 209.00 | 중차량 통행 등으로 인하여 손상이 진전됨 |
| | • 소성변형 | ㎡ | 5 | 66.00 | 9 | 208.10 | |
| | • 마모 | ㎡ | 4 | 27.80 | 3 | 19.80 | |
| | • 파손, 패임 | ㎡ | - | - | 8 | 0.93 | 신규손상 |
| 배수시설 | • 이물질 및 토사퇴적 | EA | - | 1 | - | - | 보수완료 |
| | • 배수관 길이부족 | EA | - | 11 | - | 2 | 보수 누락 |
| | • 유도배수관 설치필요 | EA | - | 8 | - | 2 | |
| | • 배수관 곡관 누락 | EA | - | 14 | - | - | 보수완료 |
| | • 배수관 볼트탈락 | EA | - | - | - | 1 | 신규손상 |
| 난간 및 연석 | • 균열(0.3mm미만) | m | 295 | 227.90 | 232 | 158.50 | 일부보수 및 공용증가에 따른 손상이 추가됨 |
| | • 균열(0.3mm) | m | 85 | 68.50 | 43 | 31.30 | |
| | • 백태, 녹발생 | ㎡ | 16 | 0.45 | 19 | 1.45 | |
| | • 파손, 재료분리, 박리 등 | ㎡ | 26 | 3.99 | 23 | 1.42 | |
| | • 망상균열 | ㎡ | 10 | 9.88 | 39 | 90.59 | 공용증가로 증가 |
| | • 박락 | ㎡ | - | - | 7 | 2.60 | 신규손상 |
| | • 철근노출 | ㎡ | - | - | 1 | 0.04 | |
| | • 잡철물부식 | ㎡ | - | - | 3 | 4.61 | |
| 검토의견 | ■ 보수이력 및 현장조사 결과, 전차진단(2012년)시 조사된 상·하부구조의 균열, 표면손상 및 단면손상, 배수시설 등은 일부 보수가 실시된 것으로 확인되었으나 공용증가 및 경미한 손상에 대한 누락, 수량집계의 부분적인 오류 등으로 일부 손상에 대해서는 손상수량이 증가된 것을 조사되었다. | | | | | | |

## 5.1.3 내구성조사 결과요약

<table>
<tr><th colspan="3" rowspan="2">시 험 명</th><th colspan="2" rowspan="2">시험부위</th><th colspan="2">시험 결과</th><th rowspan="2">비 고</th></tr>
<tr><th>2012년<br>전차진단</th><th>2016년<br>금회진단</th></tr>
<tr><td rowspan="12">콘크리트</td><td rowspan="2">비파괴<br>강도시험<br>(㎫)</td><td colspan="2">상부구조</td><td>25.0~33.0</td><td>27.5~31.2</td><td>• 설계기준강도(27㎫)를 상회함.</td></tr>
<tr><td colspan="2">하부구조</td><td>24.0~32.0</td><td>31.9~38.3</td><td>• 설계기준강도(24㎫)를 상회함.</td></tr>
<tr><td rowspan="4">철근탐사<br>시험<br>(㎜)</td><td rowspan="2">상부</td><td>배근간격</td><td>135~157</td><td>112~155</td><td rowspan="4">• 전반적으로 철근배근간격 및 피복두께는 준공도면과 미소하게 차이가 있으나 대체로 일치함.</td></tr>
<tr><td>피복두께</td><td>44.0~70.0</td><td>46.0~68.0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">하부</td><td>배근간격</td><td>95~120</td><td>96~253</td></tr>
<tr><td>피복두께</td><td>77.0~99.0</td><td>41.0~104.0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">품질시험<br>(km/s)</td><td colspan="2">상부구조</td><td>4.130~4.418</td><td>3.857~4.626</td><td rowspan="2">• 품질상태가 양호함</td></tr>
<tr><td colspan="2">하부구조</td><td>3.984~4.270</td><td>3.816~4.491</td></tr>
<tr><td rowspan="2">탄산화<br>잔여깊이<br>(㎜)</td><td colspan="2">상부 구조</td><td>38.0~52.0</td><td>40.4~49.0</td><td rowspan="2">• 상태평가 a</td></tr>
<tr><td colspan="2">하부 구조</td><td>67.0~95.1</td><td>37.0~80.0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">염화물<br>함유량 시험<br>(kg/㎥)</td><td colspan="2">상부 구조</td><td>0.043</td><td>0.160~0.162</td><td>• 상태평가 a</td></tr>
<tr><td colspan="2">하부 구조</td><td>0.172~0.177</td><td>0.133~0.203</td><td>• 상태평가 a</td></tr>
<tr><td>균열깊이<br>(㎝)</td><td colspan="2">하부 구조</td><td>17.11</td><td>47.0</td><td>• 주입보수 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="3">강재</td><td>초음파<br>탐상(UT)</td><td colspan="2">거더 내부<br>(맞대기 용접부)</td><td>합 격</td><td>시험 36개소<br>(36개소 합격)</td><td>• 1급</td></tr>
<tr><td rowspan="2">도막두께<br>($\mu m$)</td><td colspan="2">거더 내부</td><td>161.8~290.3</td><td>177.0~253.0</td><td>• 도막두께(175$\mu m$) 상회</td></tr>
<tr><td colspan="2">거더 외부</td><td>264.0~556.3</td><td>284.0~444.0</td><td>• 도막두께(215$\mu m$) 상회</td></tr>
<tr><td>종합<br>평가</td><td colspan="6">■ 비파괴강도 측정결과, 측정값은 설계기준강도를 상회하는 것으로 조사되었으며, 기 점검과의 비교·분석 결과, 부재별로 측정 위치가 달라 다소 차이가 있지만, 구조물의 강도저하는 없는 것으로 평가됨.<br>■ 콘크리트 품질시험결과, 모든개소에서 양호한 것으로 평가됨.<br>■ 탄산화 깊이측정결과, 전반적으로 양호한 상태인 것으로 조사되어 상태등급 “a” 로 판정됨. 염화물 함유량 시험결과 상부구조는 "a"로 평가되었고, 하부구조는 “a"로 평가됨.<br>■ 하부구조의 탄산화 깊이는 전차진단과 비교할 때, 다소 증가한 사유는 측정위치가 동일하지 않은 결과에 의한 편차로 판단됨.<br>■ 균열깊이 측정결과, 전반적으로 피복두께까지 근접하여 내구성 저하 방지를 위한 주입보수가 요구됨.<br>■ 금회 진단결과, 비파괴 강도, 철근배근상태, 탄산화 깊이 시험결과, 대부분 양호한 수준으로 측정됨.<br>■ 강재에 대한 내구성 조사결과 전 개소에서 합격 판정된 것으로 나타나며, 도막두께 측정치도 측정개소 모두 기준치를 상회하는 양호한 상태인 것으로 측정됨.</td></tr>
</table>

## 5.2 마산방향

### 5.2.1 외관조사 결과요약

| 구 분 | 주요결함 및 외관조사 결과 | 검토의견 |
|---|---|---|
| 바닥판 하면 | • 바닥판 하면 횡방향 균열(폭 0.3㎜이하) 및 망상균열 | • 대부분 미세균열(폭 0.2㎜이하)이며. 구조적인 균열이 아닌 Con'c 구조물의 노후화 과정에서 발생되는 부산물이라 할 수 있으며 이러한 균열로 말미암아 구조적 안전성에 문제를 야기할만한 수준은 아닌 것으로 판단되며 지속관찰 실시하고 폭 0.3mm균열은 주입보수 실시 |
| | • 내측 캔틸레버 하면 폭 0.3mm 종균열 및 콘크리트 들뜸, 백태, 파손 | • 종방향조인트 누수로 인해 비교적 피복두께가 얇게 시공된 바닥판 철근을 부식시켜 균열을 유발시키고, 균열부로의 지속적인 우수 유입과 동절기 살포된 제설제의 영향은 철근 부식과 팽창을 가속시켜 바닥판 콘크리트가 들뜸으로 진행된 것으로 손상 단면 제거 후 표면보수 실시 |
| | • 기타 고무재 탈락, 녹발생 등 | • 시공미흡과 지속적인 우수유입에 의한 것으로 지속관찰 |
| 강박스 거더 | • 도장박리, 부식, 볼트부식<br>• 거더내부 이물질 퇴적<br>• 용접부 Pit, 변형 | • 내구성저하 방지를 위해 재도장 필요<br>• 지속적인 청소관리 필요<br>• 시공초기 결함으로 지속적인 유지관찰 |
| 가로보 및 세로보 | • 구조적인 손상이 없는 상태이며, 국부적으로 도장박리, 부식 발생 | • 내구성저하 방지를 위해 재도장 필요 |
| 하부구조 | • 균열 및 망상균열(대부분 0.2㎜이하) 조사 | • 대부분 미세균열(폭 0.2㎜이하)이며. 시공초기 건조수축에 의한 것으로 지속관찰 실시 |
| | • 일부구간에서 발생한 들뜸, 박락, 박리, 파손, 재료분리 | • 시공미흡에 의한 다짐부족, 외부충격 등에 의한 손상으로써, 장기적인 내구성 및 사용성 확보를 위해 단면보수가 필요 |
| | • P4 코핑부 철근노출, 박락 | • 유공관을 통해서 유입된 우수가 코핑부의 철근노출(피복부족)부에 떨어져 철근부식으로 발생된 손상이며, 철근부식에 의한 박락으로 확대된 것이다. 철근에 대한 방청처리와 단면보수가 필요하며, 손상의 근본적인 원인인 바닥판 유공관 배수관설치가 필요함. |
| | • 하부구조의 백태 | • 콘크리트 내부의 백태가 노출된 것으로 내구성 확보 차원의 표면보수가 필요 |

| 구 분 | 주요결함 및 외관조사 결과 | 검토의견 |
|---|---|---|
| 하부구조 | • 유심부 교각의 경미한 침식 발생 | • 손상정도가 경미하므로 지속관찰 한다. 다만 하천 상에 위치한 교각은 항시 유수와 유송잡물의 영향을 받고 있는 상태이므로 손상발생 유무에 대해 주기적인 점검과 지속적인 관찰이 필요 |
| | • 누수흔적, 표면오염 | • 신축이음누수, 배수관 길이부족에 의한 것으로 신축이음 교체 및 배수관의 길이연장이 되어 손상의 확대는 없는 것으로 나타나 지속관찰 |
| | • 녹발생, 점검로볼트부식 등 | • 손상정도가 경미하여 지속관찰 실시 |
| | • 교대 보호블럭 침하 및 파손 | • 배수관 길이부족에 의한 노면수의 유입으로 나타난 손상이나 배수관길이연장 보수가 실시되어 지속관찰 실시 |
| 교량받침 | • 가동상태는 전반적으로 양호한 상태이나 A1, A2 신장여유량이 부족 | • 받침장치 설치 시 발생한 프리셋팅 오류로 가동흔적 조사결과, 기능상에 문제가 없고 이동여유량 부족으로 인한 이상변위 및 기타손상이 없으며, 현재 교량의 안전성 및 사용성에 문제가 없으므로 지속관찰 실시 |
| | • 받침장치 부식, 낙교방지시설 부식 | • 공용 중 노후화 및 신축이음부를 통한 노면수 유입 및 접촉에 의한 것으로 부식부위 제거 후 재도장 |
| | • 받침몰탈 및 콘크리트 균열 | • 건조수축에 의한 비구조적 균열로 지속관찰 실시 |
| | • 받침몰탈 철근노출, 파손, 재료분리 | • 시공미흡 및 외부충격에 의한 것으로 내구성 확보를 위한 보수 실시 |
| | • 낙교방지시설 고무재 탈락 | • 시공미흡과 경년증가에 따른 노후화로 탈락된 상태로 지속관찰 |
| 신축이음장치 | • P5 신축이음장치 부식 및 변형 | • 공용증가 및 중차량 통행의한 것으로 가동상태와 유간량은 만족하므로 지속관찰 실시 |
| | • 신축이음장치 유간 토사퇴적 | • 본체 파손과 누수유발 등 추가손상 방지를 위한 주기적인 청소와 유지관리 |
| | • 후타재 균열, 파손 | • 건조수축, 차량의 반복하중 및 충격에 의한 것으로 균열은 표면처리보수를 실시하고, 국부적인 파손은 단면을 복구하여 차량의 주행 안전성을 확보 |
| | • 커버플레이트 탈락 | • 차량충격에 의한 파손으로 재설치 필요 |
| 교면포장 | • 포장균열, 망상균열, 파손, 패임, 포트홀, 이물질 용입 | • 차량의 반복하중 및 아스콘 노후화 등에 의해 발생한 것이며, 현재 주행차량의 안전성에는 문제가 없으나 구조물의 내구성 차원에서 포장균열은 실링보수, 마모, 파손, 패임은 팻칭보수 함이 바람직하며, 소성변형은 차량의 주행성 확보 차원의 절삭 등의 보수가 필요 |

| 구 분 | 주요결함 및 외관조사 결과 | 검토의견 |
|---|---|---|
| 배수시설 | • 배수관 길이부족(P2)<br>• 바다판 유공관 유도배수설치 필요<br>• 배수관 탈락 | • 기둥부 표면오염 유발, 길이연장을 하여 추가적인 손상 방지<br>• 유도배수 설치<br>• 배수관 재설치 |
| 방호벽 | • 균열(최대폭 0.3㎜)과 망상균열, 균열 백태, 백태<br>• 파손, 재료분리, 박리, 박락<br>• 방음벽 지주부식, 방음벽 파손 | • 건조수축, 우수유입, 콘크리트 타설 미흡 등에 의한 손상, 확대손상 방지와 미관제고를 위해 균열 폭에 따라 0.3㎜미만의 균열은 지속관찰, 망상균열, 백태는 표면처리보수, 폭 0.3mm 균열은 주입보수를 실시<br>• 온도에 따른 콘크리트 신축과 다짐불량, 경년열화, 차량충돌 등에 의한 손상으로 손상정도가 경미하여 지속관찰<br>• 손상정도가 경미하므로 지속관찰 |

## 5.2.2 기 점검결과 비교

| 구 분 | | 손상내용 | 단위 | 2012년 전차진단 | | 2016년 금회진단 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 개소 | 수량 | 개소 | 수량 | |
| 바닥판 하면 | | • 균열(0.3mm미만) | m | 715 | 1727.60 | 403 | 952.20 | 일부보수 및 공용증가에 따른 손상이 추가 |
| | | • 균열(0.3mm) | m | 29 | 66.90 | 1 | 2.50 | |
| | | • 망상균열 | ㎡ | - | - | 2 | 2.25 | |
| | | • 들뜸 | ㎡ | - | - | 15 | 79.50 | |
| | | • 백태, 파손, 녹발생 | ㎡ | 75 | 6.73 | 79 | 11.97 | |
| | | • 고무재 탈락 | m | 8 | 18.00 | 10 | 31.50 | |
| 강박스거더 | 내부 | • 도장박리 및 부식 | ㎡ | 1,378 | 37.60 | 166 | 46.56 | 일부 보수 |
| | | • 이물질 퇴적 | ㎡ | 9 | 1.95 | 4 | 0.77 | 손상증가 |
| | | • 변형 | ㎡ | - | - | 1 | 0.80 | 신규손상 |
| | | • Pit | EA | - | - | - | 6EA | |
| | | • 씰링재 충진누락 | EA | - | 129 | - | - | 보수완료 |
| | 외부 | • 도장박리 및 부식 | ㎡ | 115 | 1.14 | 413 | 49.50 | 공용증가로 증가 |
| 가로보 및 세로보 | | • 도장박리 및 부식 | ㎡ | 3 | 0.05 | 12 | 0.66 | 공용증가로 증가 |
| 교대 | | • 균열(0.3mm미만) | m | 92 | 62.39 | 72 | 59.30 | 일부 보수 |
| | | • 망상균열 | ㎡ | 6 | 5.48 | 7 | 9.72 | 공용증가로 증가 |
| | | • 누수흔적 및 체수 | ㎡ | 4 | 9.33 | 2 | 1.54 | 일부 보수 |
| | | • 파손, 열화, 잡철근부식 | ㎡ | 12 | 2.29 | 4 | 0.37 | |
| | | • 보호블럭 침하 및 파손 | ㎡ | 25 | 22.39 | 6 | 80.97 | 공용증가로 증가 |
| | | • 백태 | ㎡ | - | - | 8 | 1.46 | 신규손상 |
| | | • 보수부들뜸 | ㎡ | - | - | 1 | 0.50 | |
| 교각 | | • 균열(0.3mm미만) | m | 359 | 306.25 | 213 | 186.70 | 일부 보수 |
| | | • 균열(0.3mm) | m | 4 | 4.30 | - | - | 보수완료 |
| | | • 망상균열 | ㎡ | 30 | 52.04 | 28 | 57.48 | 공용증가로 증가 |
| | | • 들뜸 | ㎡ | - | - | 1 | 1.20 | 신규손상 |
| | | • 누수흔적, 백태, 표면오염 | ㎡ | 5 | 1.34 | 6 | 1.04 | 일부 보수 |
| | | • 철근노출 | ㎡ | 46 | 6.80 | 1 | 0.09 | |
| | | • 박락, 파손, 재료분리 | ㎡ | 15 | 0.79 | 13 | 5.74 | 공용증가로 증가 |
| | | • 침식 | ㎡ | 2 | 5.30 | 2 | 11.70 | |
| | | • 점검로 볼트부식 | EA | - | 64 | - | 89 | |

| 구 분 | 손상내용 | 단위 | 2012년 전차진단 | | 2016년 금회진단 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 개소 | 수량 | 개소 | 수량 | |
| 받침장치 | • 부식, 도장박리 | ㎡ | 10 | 0.90 | 16 | 1.22 | 공용증가로 증가 |
| | • 낙교방지시설 부식 | ㎡ | - | - | 2 | 0.09 | 신규손상 |
| | • 낙교방지시설 볼트길이부족 | EA | - | 68 | - | 68 | - |
| | • 낙교방지시설 고무재 탈락 | m | 2 | - | 3 | 1.50 | - |
| | • 균열(0.3mm미만) | m | 69 | 34.21 | 14 | 3.50 | 일부 보수 |
| | • 균열(0.3mm) | m | - | - | 1 | 1.40 | 신규손상 |
| | • 재료분리, 파손 | ㎡ | 2 | 0.07 | 7 | 0.29 | 공용증가로 증가 |
| | • 철근노출 | ㎡ | 51 | 0.45 | 1 | 0.01 | 일부 보수 |
| 신축이음 | • 상면부식 | m | - | - | 2 | 4.00 | 신축이음장치 교체로 신규손상 추가 |
| | • 유간토사퇴적 | m | - | - | 3 | 16.00 | |
| | • 변형 | m | - | - | 1 | 11.00 | |
| | • 균열(0.3mm미만) | m | - | - | 17 | 6.30 | |
| | • 파손 | ㎡ | - | - | 8 | 1.82 | |
| 교면포장 | • 균열 | m | 11 | 17.60 | 6 | 18.60 | 중차량 통행 등으로 인하여 손상이 진전됨 |
| | • 망상균열 | ㎡ | 3 | 0.93 | 3 | 10.84 | |
| | • 파손, 패임, 포트홀 | ㎡ | 19 | 0.40 | 34 | 1.47 | |
| | • 이물질 용입 | ㎡ | 1 | 0.04 | 1 | 0.04 | - |
| 배수시설 | • 이물질 및 토사퇴적 | EA | - | 2 | - | - | 보수완료 |
| | • 배수관 길이부족 | EA | - | 1 | - | 1 | 보수 누락 |
| | • 유도배수관 설치필요 | EA | - | 9 | - | 2 | |
| | • 배수관 곡관 누락 | EA | - | 2 | - | - | 보수완료 |
| 난간 및 연석 | • 균열(0.3mm미만) | m | 231 | 147.00 | 213 | 245.80 | 일부보수 및 공용증가에 따른 손상이 추가됨 |
| | • 균열(0.3mm) | m | 85 | 66.45 | 4 | 2.00 | |
| | • 망상균열 | ㎡ | 11 | 3.11 | 636 | 185.03 | |
| | • 백태 | ㎡ | 31 | 0.93 | 49 | 4.98 | |
| | • 파손, 재료분리, 박리 등 | ㎡ | 81 | 1.46 | 85 | 1.98 | |
| | • 덮개파손 | ㎡ | 10 | 0.10 | 3 | 0.03 | 일부 보수 |
| | • 방음벽 지주부식 | ㎡ | 4 | 2.40 | 4 | 2.40 | - |
| | • 방음벽 파손 | ㎡ | - | - | 1 | 0.12 | 신규손상 |
| 검토의견 | ■ 보수이력 및 현장조사 결과, 전차진단(2012년)시 조사된 상·하부구조의 균열, 표면손상 및 단면손상, 배수시설 등은 일부 보수가 실시된 것으로 확인되었으나 공용증가 및 경미한 손상에 대한 누락, 수량집계의 부분적인 오류 등으로 일부 손상에 대해서는 손상수량이 증가된 것을 조사되었다. | | | | | | |

## 5.2.3 내구성조사 결과요약

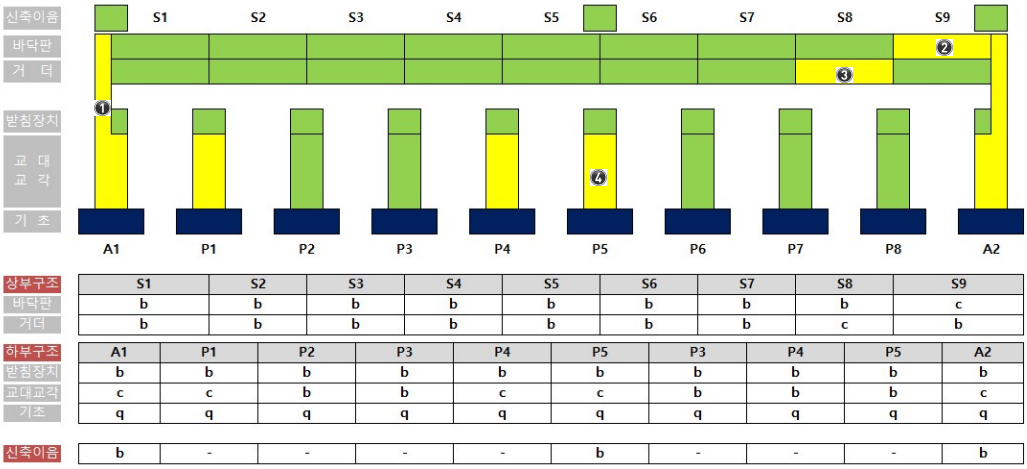
<table>
<tr><th colspan="3" rowspan="2">시 험 명</th><th colspan="2" rowspan="2">시험부위</th><th colspan="2">시험 결과</th><th rowspan="2">비 고</th></tr>
<tr><th>2012년<br>전차진단</th><th>2016년<br>금회진단</th></tr>
<tr><td rowspan="12">콘크리트</td><td rowspan="2">비파괴<br>강도시험<br>(㎫)</td><td colspan="2">상부구조</td><td>25.0~31.0</td><td>28.9~34.6</td><td>• 설계기준강도(27㎫)를 상회함.</td></tr>
<tr><td colspan="2">하부구조</td><td>24.0~34.0</td><td>28.5~36.2</td><td>• 설계기준강도(24㎫)를 상회함.</td></tr>
<tr><td rowspan="4">철근탐사<br>시험<br>(㎜)</td><td rowspan="2">상부</td><td>배근간격</td><td>140~153</td><td>120~295</td><td rowspan="4">• 철근배근간격 및 피복두께는 준공도면과 전반적으로 유사함.</td></tr>
<tr><td>피복두께</td><td>44.0~96.0</td><td>48.0~68.0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">하부</td><td>배근간격</td><td>89~135</td><td>100~303</td></tr>
<tr><td>피복두께</td><td>81.0~106.0</td><td>36.0~114.0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">품질시험<br>(km/s)</td><td colspan="2">상부구조</td><td>4.122~4.311</td><td>3.888~3.995</td><td rowspan="2">• 품질상태가 양호함</td></tr>
<tr><td colspan="2">하부구조</td><td>3.992~4.330</td><td>3.738~4.510</td></tr>
<tr><td rowspan="2">탄산화<br>잔여깊이<br>(㎜)</td><td colspan="2">상부 구조</td><td>38.9~47.9</td><td>42.0~51.0</td><td rowspan="2">• 상태평가 a</td></tr>
<tr><td colspan="2">하부 구조</td><td>71.5~94.7</td><td>32.0~80.0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">염화물<br>함유량 시험<br>(kg/㎥)</td><td colspan="2">상부 구조</td><td>0.038</td><td>0.151~0.282</td><td>• 상태평가 a</td></tr>
<tr><td colspan="2">하부 구조</td><td>0.120~0.292</td><td>0.196~2.301</td><td>• 상태평가 a~c</td></tr>
<tr><td>균열깊이<br>(㎝)</td><td colspan="2">하부 구조</td><td>13.4~16.8</td><td>46.0</td><td>• 주입보수 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="3">강재</td><td>초음파<br>탐상(UT)</td><td colspan="2">거더 내부<br>(맞대기 용접부)</td><td>합 격</td><td>시험 36개소<br>(36개소 합격)</td><td>• 1급</td></tr>
<tr><td rowspan="2">도막두께<br>(㎛)</td><td colspan="2">거더 내부</td><td>236.5~427.5</td><td>178.0~304.0</td><td>• 도막두께(175㎛) 상회</td></tr>
<tr><td colspan="2">거더 외부</td><td>231.3~528.5</td><td>299.0~355.0</td><td>• 도막두께(215㎛) 상회</td></tr>
<tr><td>종합<br>평가</td><td colspan="6">■ 비파괴강도 측정결과, 측정값은 설계기준강도를 상회하는 것으로 조사되었으며, 기 점검과의 비교·분석 결과, 부재별로 측정 위치가 달라 다소 차이가 있지만, 구조물의 강도저하는 없는 것으로 평가됨.<br>■ 탄산화 깊이측정결과, 전반적으로 양호한 상태인 것으로 조사되어 상태등급 “a” 로 판정됨. 염화물 함유량 시험결과 상부구조는 "a"로 평가되었고, 하부구조의 건전부는 “a~b"로 평가되었으나, A2 흉벽 누수부에서 “c” 로 평가됨.<br>■ 하부구조의 탄산화 깊이는 전차진단과 비교할 때, 다소 증가한 사유는 측정위치가 동일하지 않은 결과에 의한 편차로 판단됨.<br>■ 균열깊이 측정결과, 전반적으로 피복두께까지 근접하여 내구성 저하 방지를 위한 주입보수가 요구됨.<br>■ 금회 진단결과, 비파괴 강도, 철근배근상태, 탄산화 깊이 시험결과, 대부분 양호한 수준으로 측정됨.<br>■ 강재에 대한 내구성 조사결과 전 개소에서 합격 판정된 것으로 나타나며, 도막두께 측정치도 측정개소 모두 기준치를 상회하는 양호한 상태인 것으로 측정됨.</td></tr>
</table>

# 6. 시설물의 상태평가

## 6.1 양평방향

| 부재의 분류 | | 상부구조 | | | 하부구조 | | 받침 | 기타부재 | | | | 탄산화 | | 염화물 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 번호 | 형식 | 바닥판 | 거더 | 가로보 | 교대 교각 | 기초 | 교량 받침 | 신축 이음 | 교면 포장 | 배수 시설 | 난간 | 상부 | 하부 | 상부 | 하부 |
| 1 | STB | b | b | b | c | q | b | b | b | a | c | a | a | – | – |
| 2 | STB | b | b | b | c | q | b | – | b | c | c | – | a | – | – |
| 3 | STB | b | b | a | b | q | b | – | c | a | c | – | – | a | – |
| 4 | STB | b | b | a | b | q | b | – | c | a | c | – | – | – | – |
| 5 | STB | b | b | a | c | q | b | – | c | a | c | – | – | – | – |
| 6 | STB | b | b | b | c | q | b | b | c | c | c | – | a | – | – |
| 7 | STB | b | b | b | b | q | b | – | c | a | c | a | – | – | – |
| 8 | STB | b | c | b | b | q | b | – | c | a | c | a | – | – | – |
| 9 | STB | c | b | a | b | q | b | – | c | c | c | a | a | a | a |
| | | | | | c | q | b | b | | | | | a | | a |
| 평균 | | 0.22 | 0.22 | 0.16 | 0.30 | 0.00 | 0.20 | 0.20 | 0.36 | 0.20 | 0.40 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| 가중치 | | 18 | 20 | 5 | 20 | 0 | 9 | 9 | 7 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| (평균×가중치) /가중치 합 | | 0.040 | 0.044 | 0.008 | 0.060 | 0.000 | 0.018 | 0.018 | 0.025 | 0.006 | 0.008 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.001 |

| 결함도 환산점수 | 0.234 |
|---|---|
| 상태평가결과 | B |




| 상부구조 | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 바닥판 | b | b | b | b | b | b | b | b | c |
| 거더 | b | b | b | b | b | b | b | c | b |

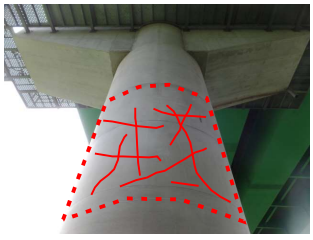
| 하부구조 | A1 | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P3 | P4 | P5 | A2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 받침장치 | b | b | b | b | b | b | b | b | b | b |
| 교대교각 | c | c | b | b | c | c | b | b | b | c |
| 기초 | q | q | q | q | q | q | q | q | q | q |
| 신축이음 | b | - | - | - | - | b | - | - | - | b |

❶ A1 흉벽 들뜸(A=1.5×2.5)

❷ 바닥판하면 S9 균열 (cw=0.3mm ,들뜸)

❸ S8-G1 LF 변형

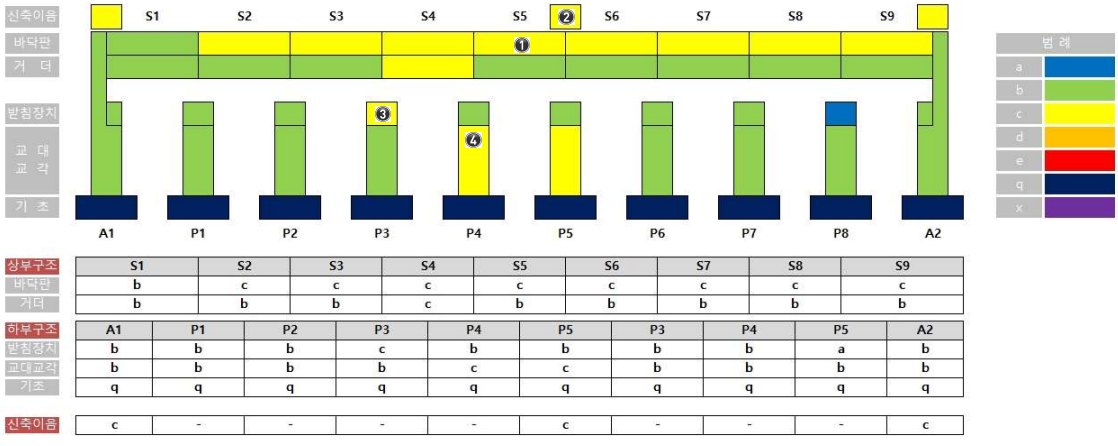
❹ P3 기둥 망상균열(2.5×3.6)



## 6.2 마산방향

| 부재의 분류 | | 상부구조 | | | 하부구조 | | 받침 | 기타부재 | | | | 탄산화 | | 염화물 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 번호 | 형식 | 바닥판 | 거더 | 가로보 | 교대교각 | 기초 | 교량받침 | 신축이음 | 교면포장 | 배수시설 | 난간 | 상부 | 하부 | 상부 | 하부 |
| 1 | STB | b | b | a | b | q | b | c | b | a | c | a | a | – | – |
| 2 | STB | c | b | b | b | q | b | – | b | c | c | – | a | – | – |
| 3 | STB | c | b | b | b | q | b | – | b | a | c | – | – | – | – |
| 4 | STB | c | c | b | b | q | c | – | b | a | c | – | – | a | – |
| 5 | STB | c | b | a | c | q | b | – | a | a | c | – | – | a | – |
| 6 | STB | c | b | b | c | q | b | c | b | a | c | – | a | – | – |
| 7 | STB | c | b | b | b | q | b | – | b | a | c | a | – | – | – |
| 8 | STB | c | b | a | b | q | b | – | b | a | c | a | – | – | – |
| 9 | STB | c | b | b | b | q | a | – | b | a | c | a | a | – | a |
| | | | | | b | q | b | c | | | | | a | | c |
| 평균 | | 0.38 | 0.22 | 0.17 | 0.24 | 0.00 | 0.21 | 0.40 | 0.19 | 0.13 | 0.40 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.25 |
| 가중치 | | 18 | 20 | 5 | 20 | 0 | 9 | 9 | 7 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| (평균×가중치) /가중치 합 | | 0.068 | 0.044 | 0.009 | 0.048 | 0.000 | 0.019 | 0.036 | 0.013 | 0.004 | 0.008 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.003 |

| 결함도 환산점수 | 0.258 |
|---|---|
| 상태평가결과 | B |




❶ S5 바닥판하면 파손(A=0.2×0.2)

❷ P5 신축이음 상면부식(L=2.0)

❸ P3-Sh4 받침콘크리트 균열 (cw=0.3mm)

❹ P4 코핑부 박락, 철근노출

# 7. 시설물의 안전성평가

## 7.1 양평방향

### 7.1.1 상부구조

#### 가. 바닥판 검토결과

- 청미천교의 바닥판에 대한 안전성 검토 결과, 최소 안전율은 1.148로 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

#### 나. 강박스 거더 검토결과

- 청미천교의 허용응력설계법에 의한 강박스 거더의 응력 검토결과, 거더 상·하연에 발생되는 최대응력은 허용응력 범위 이내로서 최소 안전율이 1.017로 검토되어 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.
- 한편, 허용응력법에 의한 강박스 거더의 휨응력과 전단응력에 의한 합성응력 검토결과, 최대부모멘트 및 최대전단력 발생구간인 교각 지점부에서 합성응력이 허용기준치 1.2를 초과하지 않는 것으로 검토되어 안전성을 확보한 것으로 판단된다.

#### 다. 받침용량 검토결과

- 청미천교의 받침용량에 대한 검토결과, 교량받침용량은 최대 발생 반력값 보다 큰 것으로 검토되어 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

### 7.1.2 하부구조

#### 가. 교대 검토결과

- 교대의 안전성 검토결과, 강도설계법에 의한 최소 안전율이1.711로 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

#### 나. 교각 검토결과

- 교각(P6)에 대해서 안전성 검토를 실시한 결과, 최소 안전율은 1.0 이상으로 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

## 7.2 마산방향

### 7.2.1 상부구조

#### 가. 바닥판 검토결과

- 청미천교의 바닥판에 대한 안전성 검토 결과, 최소 안전율은 1.366으로 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

#### 나. 강박스 거더 검토결과

- 청미천교의 허용응력설계법에 의한 강박스 거더의 응력 검토결과, 거더 상·하연에 발생되는 최대응력은 허용응력 범위 이내로서 최소 안전율이 1.088로 검토되어 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.
- 한편, 허용응력법에 의한 강박스 거더의 휨응력과 전단응력에 의한 합성응력 검토결과, 최대부모멘트 및 최대전단력 발생구간인 교각 지점부에서 합성응력이 허용기준치 1.2를 초과하지 않는 것으로 검토되어 안전성을 확보한 것으로 판단된다.

#### 다. 받침용량 검토결과

- 청미천교의 받침용량에 대한 검토결과, 교량받침용량은 최대 발생 반력값 보다 큰 것으로 검토되어 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

### 7.2.2 하부구조

#### 가. 교대 검토결과

- 교대의 안전성 검토결과, 강도설계법에 의한 최소 안전율이 1.711로 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

#### 나. 교각 검토결과

- 교각(P5)에 대해서 안전성 검토를 실시한 결과, 최소 안전율은 1.0 이상으로 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

# 8. 종합평가

## 8.1 종합평가 결과

| 구조물명 | 상태평가 결과 | | 안전성평가 결과 | | 종합평가 결과 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 환산결함도점수 | 기준 | S·F | 기준 | |
| 청미천교(양평) | 0.234 | B | 1.017(거더)<br>1.148(바닥판) | A | B |
| 청미천교(마산) | 0.258 | B | 1.088(거더)<br>1.366(바닥판) | A | B |
| 종합평가 | • 청미천교(양평)의 상태평가 결과는 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능발휘에 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태 “B” 로 평가됨<br>• 청미천교(마산)의 상태평가 결과는 주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태 “B” 로 평가됨<br>•안전성 평가결과 최소 안전율 1.0이상으로 “A” 로 평가됨<br>•상태평가 및 안전성 평가결과를 통한 종합평가 결과 청미천교(양평)은 “B”, 청미천교(마산)은 “B” 로 평가됨 | | | | |

## 8.2 안전등급 지정

청미천교(양평, 마산)에 대한 외관조사 및 구조안전성평가결과 시설물의 상태는『보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태』로 안전등급은 B등급으로 평가되었다.

■ **청미천교(양평) 안전등급 : B등급(양호)**

■ **청미천교(마산) 안전등급 : B등급(양호)**

# 9. 보수·보강 및 유지관리방안

## 9.1 보수·보강 추진방향

### 9.1.1 양평방향

| 현장조사 및 시험 | 안전성평가 결과 |
|---|---|
| ■ 부재별 현장조사 결과<br>– 바닥판 : 균열, 망상균열, 들뜸, 파손, 백태, 고무재 탈락, 녹발생<br>– 강거더 : 도장박리, 부식, 볼트부식, 이물질퇴적, Pit<br>– 가로보 및 세로보 : 도장박리, 부식<br>– 하부구조 : 균열, 망상균열, 들뜸, 박락, 박리, 백태, 보수부 들뜸, 침식, 파손, 녹발생 이물질퇴적, 잡철물 부식, 누수흔적, 표면오염, 점검로 볼트부식 등<br>– 교량받침 : 받침 본체 부식, 낙교방지시설 고무재 탈락, 볼트부식, 볼트이완, 균열, 철근노출, 파손, 여유량부족<br>– 신축이음 : 유간토사퇴적, 커버플레이트 탈락, 균열<br>– 교면포장 : 마모, 소성변형, 파손, 패임, 포장균열<br>– 배수시설 : 배수관 길이부족, 볼트탈락, 유도배수관 설치필요<br>– 방호벽, 중앙분리대 : 균열, 망상균열, 박락, 박리, 백태, 재료분리, 철근노출, 파손, 충돌흔적, 녹발생, 잡철물 부식<br>■ 현장시험 결과 : 양호<br>■ **상태평가 결과 : B(0.234)** | ■ 상부구조 안전성검토<br>– 강거더 : 최소안전율(SF)=1.017<br>– 바닥판 : 최소안전율(SF)=1.148<br>■ 받침용량<br>– 최대반력 < 받침용량<br>■ 하부구조 안전성검토<br>– 강도설계법(A1) : 최소안전율(SF)=1.711<br>– 강도설계법(P1) : 최소안전율(SF)=1.0이상<br>■ **안전성평가 결과 : A** |

| 1순위 | 2순위 | 3순위 |
|---|---|---|
| ■ 균열(Cw=0.3㎜이상)<br>■ 바닥판 들뜸 | ■ 강거더 : 부식, 도장박리<br>■ 교량받침 : 부식, 철근노출<br>■ 단면손상(박락, 파손 등) | ■ 망상균열(Cw=0.3㎜미만)<br>■ 균열백태, 백태<br>■ 이물질 퇴적, 조류배설물(청소)<br>■ 커버플레이트 손상 재설치<br>■ 배수시설 손상<br>■ 방호벽, 중앙분리대 : 단면손상 |

## 9.1.2 마산방향

| 현장조사 및 시험 | 안전성평가 결과 |
|---|---|
| ■ 부재별 현장조사 결과<br>– 바닥판 : 균열, 망상균열, 들뜸, 백태, 파손, 고무재탈락, 녹발생<br>– 강거더 : 도장박리, 부식, 이물질퇴적, Pit, 변형<br>– 가로보 및 세로보 : 도장박리, 부식<br>– 하부구조 : 균열, 망상균열, 철근노출, 들뜸, 박락, 박리, 재료분리, 파손, 누수흔적, 보호블럭 파손 등<br>– 교량받침 : 받침부식, 도장박리, 솔플레이트 부식 낙교방지시설 고무재탈락, 볼트길이부족, 부식, 균열, 철근노출, 파손, 재료분리, 여유량 부족<br>– 신축이음 : 본체부식, 변형, 유간토사퇴적, 커버플레이트 탈락 및 볼트풀림, 균열, 파손<br>– 교면포장 : 포장균열, 망상균열, 파손, 패임, 포트홀, 이물질 용입<br>– 배수시설 : 배수관 길이부족, 유도배수관 설치필요, 배수관 탈락<br>– 방호벽, 중앙분리대 : 균열, 망상균열, 박락, 백태, 재료분리, 파손, 충돌흔적, 방음벽 지주부식, 방음벽 파손 및 부식, 출입문 부식<br>■ 현장시험 결과 : 양호<br>■ **상태평가 결과 : B(0.258)** | ■ 상부구조 안전성검토<br>– 강거더 : 최소안전율(SF)=1.088<br>– 바닥판 : 최소안전율(SF)=1.366<br>■ 받침용량<br>– 최대반력 < 받침용량<br>■ 하부구조 안전성검토<br>– 강도설계법(A1) : 최소안전율(SF)=1.711<br>– 강도설계법(P1) : 최소안전율(SF)=1.0이상<br>■ **안전성평가 결과 : A** |

| 1순위 | 2순위 | 3순위 |
|---|---|---|
| ■ 균열(Cw=0.3㎜이상)<br>■ 바닥판 들뜸 | ■ 신축이음 : 후타재 파손<br>■ 배수시설 손상<br>■ 바닥판하면 : 파손<br>■ 받침장치 : 도장박리, 부식, 콘크리트 단면손상 등<br>■ 하부구조 : 파손, 들뜸, 박락, 박리, 재료분리, 침식, 철근노출 등 | ■ 교면포장 망상균열, 파손, 패임, 포장균열, 포트홀, 이물질용입 등<br>■ 이물질 퇴적, 조류배설물(청소)<br>■ 커버플레이트 손상 재설치<br>■ 배수시설 손상<br>■ 강거더 : 도장박리, 부식 등<br>■ 망상균열, 백태 등 표면처리손상<br>■ 방호벽, 중앙분리대 : 단면손상 |

## 9.2 보수·보강방안 및 개략공사비

### 9.2.1 양평방향

| 구 분 | 손상내용 | 보수공법 | 손상물량 | 보수물량 | 단위 | 단가 (천원) | 공사비 (천원) | 우선 순위 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 바닥판 | •균열(Cw=0.3㎜,들뜸) | 방청 후 면보수 | 3.00 | 1.13 | ㎡ | 87 | 98 | 1 |
| | •들뜸 | 방청 후 면보수 | 1.03 | 1.55 | ㎡ | 87 | 135 | 1 |
| | •백태 | 표면처리보수 | 1.17 | 1.76 | ㎡ | 33 | 59 | 3 |
| | •파손 | 단면보수 | 0.27 | 0.41 | ㎡ | 212 | 87 | 2 |
| Steel Box Girder 내부 | •도장박리 | 도장보수(내부) | 0.36 | 0.54 | ㎡ | 9 | 5 | 2 |
| | •부식 | 도장보수(내부) | 0.12 | 0.18 | ㎡ | 9 | 2 | 2 |
| | •볼트부식 | 도장보수(내부) | 0.02 | 0.02 | ㎡ | 9 | 1 | 2 |
| | •이물질 퇴적 | 청소 및 도장보수(내부) | 12.52 | 18.78 | ㎡ | 20 | 376 | 3 |
| Steel Box Girder 외부 | •도장박리 | 도장보수(외부) | 1.86 | 2.79 | ㎡ | 20 | 56 | 2 |
| | •부식 | 도장보수(외부) | 15.74 | 23.61 | ㎡ | 20 | 475 | 2 |
| | •긁힘 | 도장보수(외부) | 0.16 | 0.24 | ㎡ | 20 | 5 | 2 |
| | •볼트부식 | 도장보수(외부) | 0.09 | 0.14 | ㎡ | 20 | 3 | 2 |
| 가로보 및 세로보 | •도장박리 | 도장보수(외부) | 0.06 | 0.09 | ㎡ | 20 | 2 | 2 |
| | •부식 | 도장보수(외부) | 0.25 | 0.38 | ㎡ | 20 | 8 | 2 |
| 교대 | •균열(Cw=0.3㎜) | 주입보수 | 2.80 | 4.20 | m | 70 | 294 | 1 |
| | •망상균열 | 표면처리보수 | 11.20 | 16.80 | ㎡ | 33 | 560 | 2 |
| | •들뜸 | 단면보수 | 3.00 | 4.50 | ㎡ | 212 | 954 | 3 |
| | •박락 | 단면보수 | 0.13 | 0.20 | ㎡ | 212 | 42 | 2 |
| | •박리 | 단면보수 | 1.50 | 2.25 | ㎡ | 212 | 477 | 2 |
| | •백태 | 표면처리보수 | 0.03 | 0.05 | ㎡ | 33 | 2 | 3 |
| | •보수부들뜸 | 단면보수 | 0.09 | 0.14 | ㎡ | 212 | 30 | 2 |
| | •이물질퇴적 | 청소 | 1.80 | 2.70 | ㎡ | 13 | 36 | 3 |
| 교각 | •균열(Cw=0.3㎜) | 주입보수 | 0.80 | 1.20 | ㎡ | 70 | 84 | 1 |
| | •망상균열 | 표면처리보수 | 111.64 | 167.46 | ㎡ | 33 | 5,587 | 3 |
| | •박락 | 단면보수 | 0.04 | 0.06 | ㎡ | 212 | 13 | 2 |
| | •백태 | 표면처리보수 | 0.02 | 0.03 | ㎡ | 33 | 1 | 3 |
| | •재료분리 | 단면보수 | 0.26 | 0.39 | ㎡ | 212 | 83 | 2 |
| | •침식 | 단면보수 | 14.40 | 21.60 | ㎡ | 212 | 4,581 | 2 |
| | •파손 | 단면보수 | 0.08 | 0.12 | ㎡ | 212 | 25 | 2 |
| 교량 받침 본체 | •부식 | 도장보수(외부) | 0.63 | 0.95 | ㎡ | 57 | 54 | 2 |
| | •솔플레이트 부식 | 도장보수(외부) | 2.04 | 3.06 | ㎡ | 57 | 175 | 2 |
| | •낙교방지시설볼트부식 | 도장보수(외부) | 0.56 | 0.84 | ㎡ | 57 | 48 | 2 |
| | •낙교방지시설 부식 | 도장보수(외부) | 0.24 | 0.36 | ㎡ | 57 | 21 | 2 |

| 구 분 | | 손상내용 | 보수공법 | 손상물량 | 보수물량 | 단위 | 단가 (천원) | 공사비 (천원) | 우선 순위 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 교량 받침 | 받침 몰탈 콘크리트 | •철근노출 | 단면보수(방청) | 0.07 | 0.11 | ㎡ | 241 | 26 | 2 |
| | | •파손 | 단면보수 | 0.06 | 0.09 | ㎡ | 212 | 19 | 2 |
| 신축 이음 | 본체 | •유간토사퇴적 | 청소 | 12.20 | 18.30 | m | 13 | 246 | 3 |
| | | •커버플레이트 탈락 | 재설치 | 2 | 2 | 개소 | 35 | 70 | 3 |
| | 후타재 | •균열(Cw=0.3㎜ 미만) | 표면처리보수 | 12.60 | 18.90 | ㎡ | 33 | 630 | 3 |
| 교면포장 | | •마모 | 팻칭보수 | 19.80 | 29.70 | ㎡ | 6 | 185 | 3 |
| | | •소성변형 | 절삭 후 사토 | 218.00 | 327.00 | ㎡ | 6 | 2,099 | 3 |
| | | •파손 | 팻칭보수 | 0.09 | 0.14 | ㎡ | 34 | 5 | 3 |
| | | •패임 | 팻칭보수 | 0.84 | 1.26 | ㎡ | 34 | 42 | 3 |
| | | •포장균열 | 실링보수 | 209.00 | 313.50 | m | 6 | 1,951 | 3 |
| 배수시설 | | •배수관 길이부족 | 재설치 | 2 | 2 | 개소 | 65 | 131 | 3 |
| | | •배수관 볼트탈락 | 재설치 | 1 | 1 | 개소 | 20 | 20 | 3 |
| | | •유도배수관설치 필요 | 배수홀 파이프설치 | 3 | 3 | 개소 | 9 | 27 | 3 |
| | | •곡관 탈락 | 재설치 | 1 | 1 | 개소 | 65 | 65 | 3 |
| 방호벽, 중앙분리대 | | •균열(Cw=0.3㎜ 미만) | 표면처리보수 | 158.50 | 59.44 | ㎡ | 33 | 1,983 | 3 |
| | | •균열(Cw=0.3㎜) | 주입보수 | 31.30 | 46.95 | ㎡ | 87 | 4,085 | 3 |
| | | •망상균열 | 표면처리보수 | 90.59 | 135.89 | ㎡ | 33 | 4,533 | 3 |
| | | •박락 | 단면보수(염해방지) | 2.60 | 3.90 | ㎡ | 212 | 827 | 3 |
| | | •박리 | 단면보수 | 0.07 | 0.11 | ㎡ | 212 | 23 | 3 |
| | | •백태 | 표면처리보수 | 1.33 | 2.00 | ㎡ | 33 | 67 | 3 |
| | | •재료분리 | 단면보수 | 1.06 | 1.59 | ㎡ | 212 | 337 | 3 |
| | | •철근노출 | 단면보수(방청) | 0.04 | 0.06 | ㎡ | 241 | 14 | 3 |
| | | •파손 | 단면보수 | 0.29 | 0.44 | ㎡ | 212 | 93 | 3 |
| 순공사비 합계(부대공사비 제외) | | | | | | | | | 31,857 |
| 제경비(순공사비×50%) | | | | | | | | | 15,929 |
| 순위별 공사비 (제경비 포함) | | | 1순위 | | | | | | 917 |
| | | | 2순위 | | | | | | 10,197 |
| | | | 3순위 | | | | | | 36,672 |
| 개략공사비(천원) | | | | | | | | | 47,768 |

※ 보수물량은 확실한 보수효과를 얻기 위하여 손상물량의 50%를 할증하였음.

※ 정확한 수량산출이 가능한 공종은 할증 미반영.

※ 일부 손상은 보수물량 산정시 보수단가 및 방법을 고려하여 단위 및 물량 변경.
(용접부부식 : 폭 0.1m 고려, m→㎡, 볼트부식 : 1EA당 0.1㎡, EA→㎡ 등)

※ 상기 개략공사비는 실시설계시 공법선정, 단가변동 및 현장여건상 부대공의 추가 등으로 변동될 수 있음.

## 9.2.2 마산방향

| 구 분 | | 손상내용 | 보수공법 | 손상 물량 | 보수 물량 | 단위 | 단가 (천원) | 공사비 (천원) | 우선 순위 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 바닥판 | | •균열(Cw=0.3㎜,들뜸) | 방청 후 면보수 | 2.50 | 0.94 | ㎡ | 241 | 226 | 1 |
| | | •들뜸 | 방청 후 면보수 | 79.50 | 119.25 | ㎡ | 241 | 28,727 | 1 |
| | | •망상균열 | 표면처리보수 | 2.25 | 3.38 | ㎡ | 33 | 113 | 3 |
| | | •백태 | 표면처리보수 | 10.97 | 16.46 | ㎡ | 33 | 549 | 3 |
| | | •파손 | 단면보수 | 0.49 | 0.74 | ㎡ | 212 | 157 | 2 |
| SteelBox Girder 내부 | | •도장박리 | 도장보수(내부) | 46.00 | 69.00 | ㎡ | 9 | 596 | 3 |
| | | •부식 | 도장보수(내부) | 0.55 | 0.83 | ㎡ | 9 | 7 | 3 |
| | | •이물질 퇴적 | 청소 및 도장보수(내부) | 0.77 | 1.16 | 개소 | 20 | 23 | 3 |
| SteelBox Girder 외부 | | •도장박리 | 도장보수(외부) | 19.84 | 29.76 | ㎡ | 20 | 598 | 3 |
| | | •부식 | 도장보수(외부) | 28.05 | 42.08 | ㎡ | 20 | 846 | 3 |
| | | •볼트부식 | 도장보수(외부) | 0.02 | 0.02 | ㎡ | 20 | 1 | 3 |
| 가로보 및 세로보 | | •도장박리 | 도장보수(외부) | 0.17 | 0.26 | ㎡ | 20 | 5 | 3 |
| | | •부식 | 도장보수(외부) | 0.49 | 0.74 | ㎡ | 20 | 15 | 3 |
| 교대 | | •망상균열 | 표면처리보수 | 9.72 | 14.58 | ㎡ | 33 | 486 | 3 |
| | | •백태 | 표면처리보수 | 1.46 | 2.19 | ㎡ | 33 | 73 | 3 |
| | | •파손 | 단면보수 | 0.37 | 0.56 | ㎡ | 212 | 119 | 2 |
| | | •보수부들뜸 | 단면보수 | 0.50 | 0.75 | ㎡ | 212 | 159 | 2 |
| 교각 | | •들뜸 | 단면보수 | 1.20 | 1.80 | ㎡ | 212 | 382 | 2 |
| | | •망상균열 | 표면처리보수 | 57.48 | 86.22 | ㎡ | 33 | 2,876 | 3 |
| | | •박락 | 단면보수 | 3.00 | 4.50 | ㎡ | 212 | 954 | 2 |
| | | •박리 | 단면보수 | 2.54 | 3.81 | ㎡ | 212 | 808 | 2 |
| | | •백태 | 표면처리보수 | 0.19 | 0.29 | ㎡ | 33 | 10 | 3 |
| | | •재료분리 | 단면보수 | 0.17 | 0.26 | ㎡ | 212 | 55 | 2 |
| | | •철근노출 | 단면보수(방청) | 0.09 | 0.14 | ㎡ | 241 | 34 | 2 |
| | | •침식 | 단면보수 | 11.70 | 17.55 | ㎡ | 212 | 3,722 | 2 |
| | | •파손 | 단면보수 | 0.03 | 0.05 | ㎡ | 212 | 11 | 2 |
| 교량 받침 | 본체 | •도장박리 | 도장보수(외부) | 0.03 | 0.05 | ㎡ | 57 | 3 | 2 |
| | | •부식 | 도장보수(외부) | 0.94 | 1.41 | ㎡ | 57 | 80 | 2 |
| | | •솔플레이트 부식 | 도장보수(외부) | 0.16 | 0.24 | ㎡ | 57 | 14 | 2 |
| | 받침 몰탈 콘크리트 | •낙교방지시설 부식 | 도장보수(외부) | 0.14 | 0.21 | ㎡ | 57 | 12 | 2 |
| | | •균열(cw=0.3mm) | 주입보수 | 1.40 | 2.10 | ㎡ | 70 | 147 | 1 |
| | | •파손 | 단면보수 | 0.22 | 0.33 | ㎡ | 212 | 70 | 2 |
| | | •재료분리 | 단면보수 | 0.07 | 0.11 | ㎡ | 212 | 23 | 2 |
| 신축 이음 | 본체 | •철근노출 | 단면보수(방청) | 0.01 | 0.02 | ㎡ | 241 | 5 | 2 |
| | | •유간토사퇴적 | 청소 | 16.00 | 24.00 | m | 13 | 322 | 3 |
| | | •커버플레이트 볼트탈락 | 재설치 | 19 | 19 | 개소 | 6 | 113 | 3 |
| | 후타재 | •커버플레이트 탈락 | 재설치 | 1 | 1 | 개소 | 35 | 35 | 3 |
| | | •균열(Cw=0.3㎜ 미만) | 표면처리보수 | 6.30 | 9.45 | ㎡ | 33 | 315 | 3 |

| 구 분 | 손상내용 | 보수공법 | 손상 물량 | 보수 물량 | 단위 | 단가 (천원) | 공사비 (천원) | 우선 순위 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 교면포장 | •망상균열 | 팻칭보수 | 10.84 | 16.26 | ㎡ | 34 | 545 | 3 |
| | •파손 | 팻칭보수 | 0.10 | 0.15 | ㎡ | 34 | 5 | 3 |
| | •패임 | 팻칭보수 | 1.07 | 1.61 | ㎡ | 34 | 54 | 3 |
| | •포장균열 | 실링보수 | 18.60 | 27.90 | m | 4 | 111 | 3 |
| | •포트홀 | 팻칭보수 | 0.30 | 0.45 | ㎡ | 34 | 15 | 3 |
| | •이물질 용입 | 팻칭보수 | 0.04 | 0.06 | ㎡ | 34 | 2 | 3 |
| 배수시설 | •유도배수관 탈락 | 재설치 | 2 | 2 | 개소 | 65 | 131 | 2 |
| | •유도배수관설치 필요 | 배수홀 파이프설치 | 1 | 1 | 개소 | 9 | 9 | 2 |
| | •배수관 길이부족 | 재설치 | 1 | 1 | 개소 | 65 | 65 | 2 |
| 방호벽, 중앙분리대 | •균열(Cw=0.3㎜ 미만) | 표면처리보수 | 245.80 | 92.17 | ㎡ | 33 | 3,075 | 3 |
| | •균열(cw=0.3mm) | 주입보수 | 2.00 | 3.00 | ㎡ | 70 | 210 | 3 |
| | •망상균열 | 표면처리보수 | 185.03 | 277.55 | ㎡ | 33 | 9,259 | 3 |
| | •박락 | 단면보수(염해) | 0.18 | 0.27 | ㎡ | 600 | 162 | 3 |
| | •백태 | 표면처리보수 | 4.98 | 7.47 | ㎡ | 33 | 249 | 3 |
| | •재료분리 | 단면보수 | 0.12 | 0.18 | ㎡ | 212 | 38 | 3 |
| | •파손 | 단면보수 | 1.68 | 2.52 | m | 212 | 534 | 3 |
| 순공사비 합계(부대공사비 제외) | | | | | | | | 57,629 |
| 제경비(순공사비×50%) | | | | | | | | 28,815 |
| 순위별 공사비 (제경비 포함) | | 1순위 | | | | | | 43,650 |
| | | 2순위 | | | | | | 11,088 |
| | | 3순위 | | | | | | 31,706 |
| 개략공사비(천원) | | | | | | | | 86,444 |

※ 보수물량은 확실한 보수효과를 얻기 위하여 손상물량의 50%를 할증하였음.

※ 정확한 수량산출이 가능한 공종은 할증 미반영.

※ 일부 손상은 보수물량 산정시 보수단가 및 방법을 고려하여 단위 및 물량 변경.
(용접부부식 : 폭 0.1m 고려, m→㎡, 볼트부식 : 1EA당 0.1㎡, EA→㎡ 등)

※ 상기 개략공사비는 실시설계시 공법선정, 단가변동 및 현장여건상 부대공의 추가 등으로 변동될 수 있음.

## 9.3 유지관리 방안

### 9.3.1 양평방향

#### 가. 진단결과에 따른 중점유지관리 사항

| 항 목 | 위 치 | | 내 용 | 상태평가 | 대 책 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 외관조사 중요결함 | – | – | 해당 사항 없음 | – | – | – |
| 상태평가 | 바닥판하면 | S9 | 균열, 들뜸 | c | 치핑 후 면보수 (우선순위 상향조정) | 보수 후 관찰 |
| | 강거더 | S8 | LF 변형 | c | 지속관찰 | – |
| | 교 대 | A2 | 균열(폭 0.3mm) | c | 주입보수 | 보수 후 관찰 |
| | 교 각 | P1 | 균열(폭 0.3mm) | c | 주입보수 | 보수 후 관찰 |
| | 교량받침 | A1, A2 | 여유량 부족 | b | 지속관찰 | – |
| | 신축이음 | A1~A2 | 유간토사퇴적 | b | 주기적인 청소 | 보수 후 관찰 |
| | 교면포장 | S3~S9 | 소성변형 | c | 절삭 보수 | 보수 후 관찰 |
| | 배수시설 | S2, S6 | 배수관 길이부족 | c | 길이연장 | 보수 후 관찰 |
| | 방호벽, 중앙분리대 | S1~S9 | 균열(폭 0.3mm) | c | 주입보수 | 보수 후 관찰 |
| 안전성평가 | – | – | – | – | – | – |
| 기타 | – | – | – | – | – | – |

① S9 바닥판하면 균열(들뜸)

② S8-G1 변형

③ A2 흉벽 균열(cw=0.3mm)

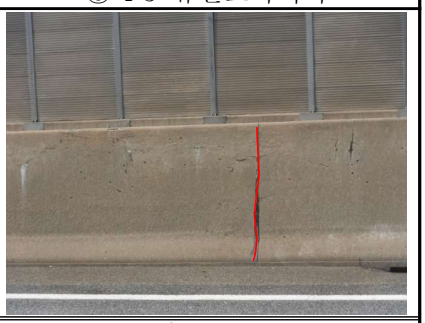
④ P1 기둥부 균열(cw=0.3㎜)

⑤ A2-Sh4 받침 이동위치 측정

⑥ P5 유간토사퇴적

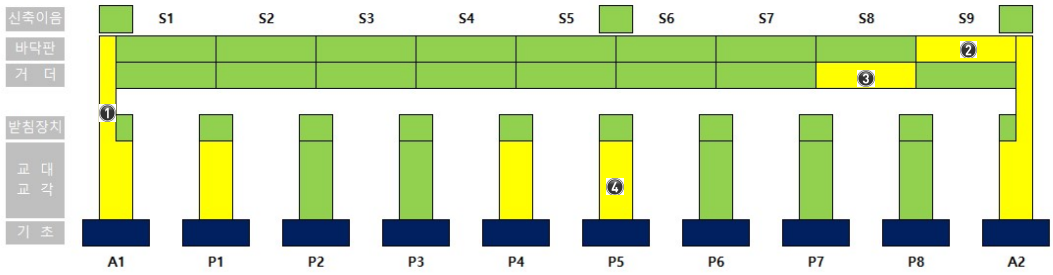
⑦ S2 교면포장 소성변형

⑧ S6 배수관 길이부족



⑨ S6 중앙분리대 균열(cw=0.3mm)

## 나. 상태평가 현황도 및 주요 손상 위치도




| 상부구조 | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 바닥판 | b | b | b | b | b | b | b | b | c |
| 거더 | b | b | b | b | b | b | b | c | b |

| 하부구조 | A1 | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P3 | P4 | P5 | A2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 받침장치 | b | b | b | b | b | b | b | b | b | b |
| 교대교각 | c | c | b | b | c | c | b | b | b | c |
| 기초 | q | q | q | q | q | q | q | q | q | q |

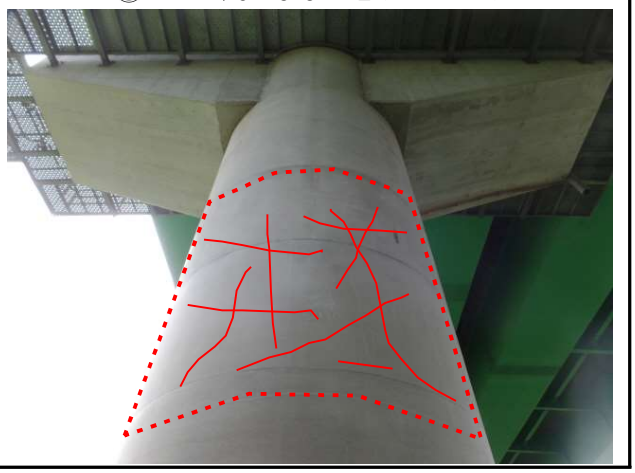
| 신축이음 | b | - | - | - | - | b | - | - | - | b |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

❶ A1 흉벽 들뜸(A=1.5×2.5)

❷ 바닥판하면 S9 균열 (cw=0.3mm ,들뜸)

❸ S8-G1 LF 변형

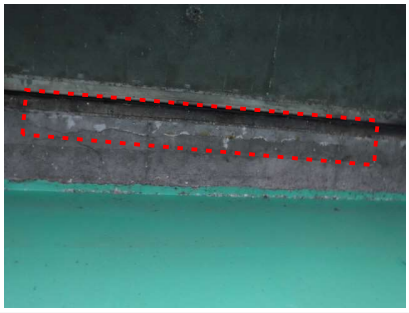
❹ P3 기둥 망상균열(2.5×3.6)



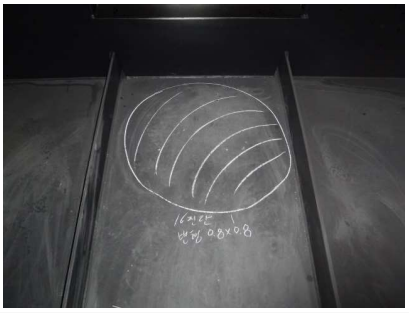
## 9.3.2 마산방향

### 가. 진단결과에 따른 중점유지관리 사항

| 항 목 | 위 치 | | 내 용 | 상태평가 | 대 책 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 외관조사 중요결함 | – | – | 해당 사항 없음 | – | – | – |
| 상태평가 | 바닥판하면 | S2~S9 | 균열, 들뜸 | c | 치핑 후 면보수 (우선순위 상향조정) | 보수 후 관찰 |
| | 강거더 | S4 | LF 변형 | c | 지속관찰 | – |
| | 교 대 | A1, A2 | 균열(폭 0.2mm) | b | 표면처리보수 | 보수 후 관찰 |
| | 교 각 | P4 | 박락, 철근노출 | c | 단면보수 | 보수 후 관찰 |
| | 교량받침 | A1, A2 | 여유량 부족 | b | 지속관찰 | – |
| | 신축이음 | A1~A2 | 부식, 유간토사퇴적 | c | 주기적인 청소 | 보수 후 관찰 |
| | 교면포장 | S1~S9 | 포장균열 및 불량 | b | 팻칭보수 | 보수 후 관찰 |
| | 배수시설 | P2 | 배수관 길이부족 | b | 길이연장 | 보수 후 관찰 |
| | 방호벽 | S1~S9 | 단면손상 | c | 단면보수 | 보수 후 관찰 |
| 안전성평가 | – | – | – | – | – | – |
| 기타 | – | – | – | – | – | – |



① S5 바닥판하면 균열(들뜸)



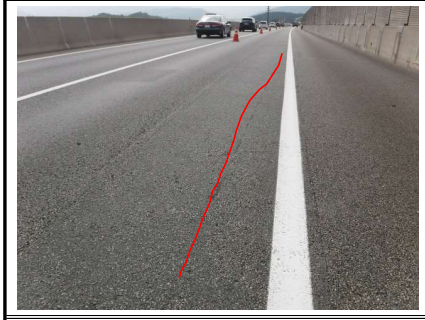
② S4-G1 변형

③ A1 흉벽 파손

④ P4 코핑부 박락, 철근노출

⑤ A1-Sh4 받침 이동위치 측정

⑥ A2 본체 부식, 유간토사퇴적

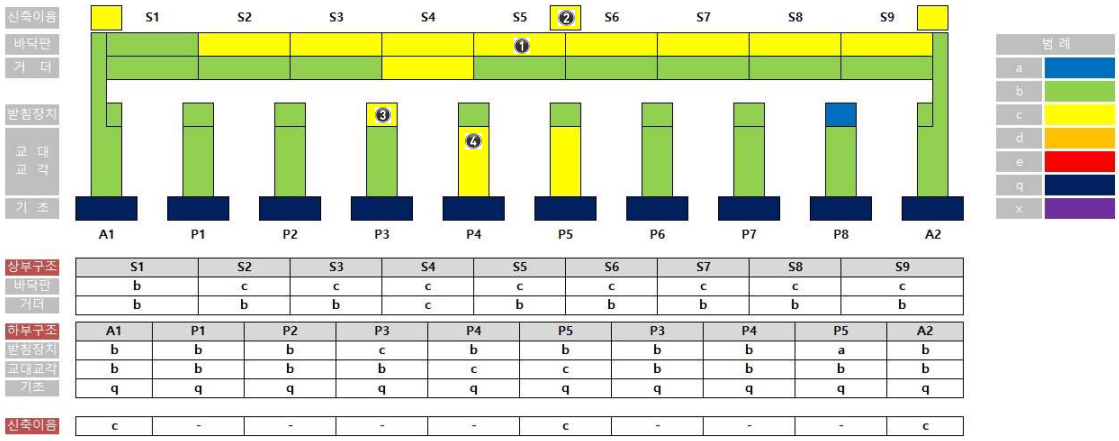


⑦ S3 교면포장 아스콘 균열

⑧ P2 배수관 길이부족

⑨ S3 방호벽 파손

## 나. 상태평가 현황도 및 주요 손상 위치도




| 상부구조 | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 바닥판 | b | c | c | c | c | c | c | c | c |
| 거더 | b | b | b | c | b | b | b | b | b |

| 하부구조 | A1 | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P3 | P4 | P5 | A2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 받침장치 | b | b | b | c | b | b | b | b | a | b |
| 교대교각 | b | b | b | b | c | c | b | b | b | b |
| 기초 | q | q | q | q | q | q | q | q | q | q |

| 신축이음 | c | - | - | - | - | c | - | - | - | c |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

❶ S5 바닥판하면 파손(A=0.2×0.2)

❷ P5 신축이음 상면부식(L=2.0)

❸ P3-Sh4 받침콘크리트균열 (cw=0.3mm)

❹ P4 코핑부 박락, 철근노출

# 10. 종합결론

## 10.1 개 요

본 과업대상 시설물인 청미천교(양평, 마산)는 2002년 12월에 준공되어 14년째 공용 중에 있으며, 경기도 여주시 점동면 원부리에 위치하고 있다. 상부구조 형식은 강박스 거더교(Steel Box)로서 총폭 12.15m, 총연장은 L=450.0m(5@50.0+4@50.0)이다.「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 2010.12」, 과업지시서에 따라 교량의 안전성, 사용성, 내구성을 종합적으로 평가하고, 물리적, 기능적 결함의 원인분석 및 안전성평가를 실시하여 보수·보강 대책을 수립함으로써 시설물의 효율적인 관리 및 재해, 재난을 예방하는데 그 목적을 두고 정밀안전진단을 실시하였으며, 외관조사 및 내구성조사를 통한 시설물의 상태평가, 안전성평가 등 과업의 결과를 종합한 결론은 다음과 같다.

## 10.2 정밀안전진단 실시결과의 종합결론

### 10.2.1 양평방향

#### 가. 외관조사 결과

- 상부구조인 바닥판에 건조수축에 의한 균열, 우수유입에 의한 캔틸레버 하면 폭 0.3mm 종균열 및 콘크리트 들뜸, 백태, 파손, 시공미흡에 의한 고무재탈락, 녹발생 등이 조사되었다. Steel Box Girder와 가로보 및 세로보에서는 부식 및 도장박리, 볼트부식, 긁힘 등이 조사되어 보수가 필요한 상태이며, 거더 내부의 이물질퇴적은 지속적인 청소를 통한 관리가 필요하고 변형, Pit 등의 손상은 지속관찰을 실시한다.
- 교량의 하부구조는 건조수축에 의한 균열 및 망상균열과 시공시 다짐 미흡에 따른 박락, 박리, 재료분리와 외부충격에 의한 파손, 신축이음 누수에 의한 누수흔적, 표면오염, 녹발생, 잡철물부식, 점검로 볼트부식, 유심부 경미한 침식 등이 조사되었다. A2 흉벽과 교각P1 기둥부 하단에서 폭 0.3mm균열이 조사되었으며, 시공 초기 다짐불량과 신축이음 커버플레이트의 길이부족으로 인한 지속적인 우수유입에 의해 교대A1 흉벽 들뜸이 조사되어 단면보수가 필요하다.
- 받침본체의 경우 경년열화 등으로 인해 받침부식 및 솔플레이트부식, 낙교방지시설 고무재 탈락, 볼트부식, 볼트이완, 부식, 받침 몰탈 및 콘크리트의 균열, 철근노출, 파손 등이 조사되어 내구성 저하방지를 위하여 도장보수 및 단면보수가 필요한 상태이며, A1과 A2에서 조사된 여유량 부족은 설치시 발생한 프리셋팅 오류로 가동흔적 조사결과 기능상 문제가 없고 이동여유량 부족으로 인한 이상변위 및 기타손상이 없으므로 지속관찰 실시한다.

- 신축이음 유간에 대하여 계산 신축량과 측정유간을 비교·검토한 결과 여유량을 확보하였으며, 유간토사퇴적, 후타재 균열, 커버플레이트 탈락 등의 손상이 조사되었다.
- 교면포장은 마모, 소성변형, 파손, 패임, 포장균열 등이 조사되어 차량의 주행성을 확보 차원에서 손상부에 대한 팻칭보수, 절삭, 실링보수를 실시하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.
- 배수시설은 S6의 배수관 길이부족으로 마산방향 교각 점검로를 통해 노면수가 유입되어 배수관 길이연장이 필요하며, 바닥판 유공관의 유도배수시설 필요와 배수관 볼트탈락이 조사되었다.
- 방호벽 및 중앙분리대는 줄눈 절단시기 미흡 및 건조수축에 의한 균열, 망상균열과 백태, 파손, 재료분리, 박리, 녹발생 및 잡철물 부식, 방호벽 하단의 박락과 철근노출, 충돌흔적 등이 조사되어 보수가 필요한 상태이다.
- 청미천교(양평)에 발생된 손상들은 구조적으로 문제가 될 만한 손상은 발생되지 않았으나, 기 진단(2012년)시 조사된 상·하부구조의 균열, 표면손상 및 단면손상, 배수시설 등은 일부 보수가 실시된 것으로 확인되었으나 공용증가 및 경미한 손상에 대한 누락, 수량집계의 부분적인 오류 등으로 일부 손상에 대해서는 손상수량이 증가된 것을 조사되었다.

## 나. 내구성조사 결과

- 비파괴시험을 이용한 콘크리트 강도시험 결과, 콘크리트 강도는 설계기준 강도를 만족하고 있으며, 철근의 배근 간격 및 피복두께는 설계도면과 유사한 것으로 조사되었으나, 일부 부재에서 피복두께가 설계 값과 미소하게 차이가 나는 것으로 분석되었고, 준공 이후 공용기간 동안 피복두께로 인한 손상이 없는 점으로 보아, 공용 중 이로 인한 문제는 없을 것으로 판단된다.
- 탄산화 깊이측정결과 “a” 로 분석되었으며 전반적으로 양호한 상태인 것으로 평가되었다. 또한, 염화물 함유량 시험결과 상태평가 등급은 상부구조에서 ‘a’ 등급(0.3kg/$m^3$이하), 하부구조에서 ‘a’ 등급(0.3kg/$m^3$이하)으로 평가되었으며, A2벽체에서 누수부에 추가 확인한 결과 표면측에서 ‘c’ 등급(1.2kg/$m^3$이상~2.5kg/$m^3$미만)으로 나타났으나, 철근깊이에서 ‘a’ 등급(0.3kg/$m^3$이하)으로 분석되어 염화물에 의한 부식발생 가능성은 낮은 상태인 것으로 확인되었다.
- 균열깊이 측정 결과, 측정 철근 피복두께에 근접한 것으로 조사되어, 내구성 및 사용성 확보 차원의 주입보수(Cw=0.3㎜이상)를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

- 강재초음파 탐상 결과는 전 개소에서 합격으로 판정되어, 맞대기 용접부의 이상결함은 없는 것으로 확인되었다.
- 도장도막두께는 기준치를 만족하는 상태이며, 도장박리가 발생된 것은 공용 년 수 증가에 따른 노후화로 인해 발생된 것으로 판단되었다.

### 다. 상태평가 결과

- 외관조사 및 내구성 시험에 의한 상태평가결과, 구조물의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 조사되지 않았으며, 전반적으로 양호한 상태인 “B”(결함지수 X=0.234)로 평가되었다.

### 라. 안전성평가 결과

- 청미천교(양평)에 대하여 허용응력설계법을 이용하여 Steel Box Girder의 안전성을 검토하고, 강도설계법을 이용하여 바닥판 및 하부구조에 대한 안전성을 검토한 결과 안전성을 확보한 것으로 확인되었으며, 설계활하중 DB-24, DL-24에 대해 충분한 내하력을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

### 마. 종합평가 및 안전등급 지정

- 현장조사 및 시험 결과를 바탕으로 상태평가를 실시한 결과는 “B”(F=0.234), 구조해석을 통한 안전성평가를 실시한 결과는 “A”로 평가되어, 청미천교(양평)의 안전등급은 “양호한 상태” B(양호)로 지정하였다.

### 바. 결언

- 청미천교(양평)에 대하여 현장조사, 시험 및 측정, 시설물 평가를 실시한 결과, 바닥판 캔틸레버 하면의 폭 0.3mm균열과 들뜸, A2와 P1 기둥부 폭 0.3mm균열, A1 흉벽 들뜸 등에 대한 적절한 보수와 A1과 A2 교량받침 여유량부족의 주기적인 점검 등을 통한 지속관찰이 필요한 상태이나, 교량의 전체적인 상태는 특별한 문제점이 없는 건전한 상태인 것으로 확인되었다.
- 조사된 결함에 대해서 제안한 공법대로 보수를 실시하고, 보수부 및 중점유지관리가 필요한 부위에 대하여 주기적인 점검 및 유지관리를 실시한다면 구조물의 안전성과 사용성 확보를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

### 10.2.2 마산방향

#### 가. 외관조사 결과

- 상부구조인 바닥판에 건조수축에 의한 균열 및 망상균열, 우수유입에 의한 캔틸레버 하면 폭 0.3mm 종균열 및 콘크리트 들뜸, 백태, 파손, 시공미흡에 의한 고무재탈락, 노치 미제거, 녹발생 등이 조사되었다. Steel Box Girder와 가로보 및 세로보에서는 부식 및 도장박리 등이 조사되어 보수가 필요한 상태이며, 거더 내부의 이물질퇴적은 지속적인 청소를 통한 관리가 필요하며, 변형, Pit 등의 손상은 지속관찰을 실시한다.
- 교량의 하부구조는 건조수축에 의한 균열 및 망상균열과 시공시 다짐 미흡에 따른 들뜸, 박락, 박리, 재료분리와 외부충격에 의한 파손, 신축이음 누수에 의한 누수흔적, 표면오염, 녹발생, 잡철물부식, 유심부 경미한 침식, 교대 보호블럭 침하 및 파손 등이 조사되었다. 특히 P4 코핑부에서 조사된 철근노출 및 박락은 유공관을 통해서 유입된 우수가 코핑부의 철근노출(피복부족)부에 떨어져 철근부식으로 발생된 손상으로 바닥판 유공관의 유도배수 설치와 손상부에 대한 단면보수가 필요하다.
- 받침본체의 경우 경년열화 등으로 인해 받침부식 및 볼트부식, 낙교방지시설 고무재 탈락, 받침 몰탈 및 콘크리트의 균열, 철근노출, 파손, 재료분리 등이 조사되어 내구성 저하방지를 위하여 도장보수 및 단면보수가 필요한 상태이며, A1과 A2에서 조사된 여유량 부족은 설치시 발생한 프리셋팅 오류로 가동흔적 조사결과 기능상 문제가 없고 이동여유량 부족으로 인한 이상변위 및 기타손상이 없으므로 지속관찰 실시한다.
- 신축이음 유간에 대하여 계산 신축량과 측정유간을 비교·검토한 결과 여유량을 확보하였으며, P5 신축이음에서 조사된 본체부식과 변형은 공용증가 및 중차량 통행의한 것으로 가동상태와 유간량은 만족하므로 지속관찰 실시하고, 유간토사퇴적, 후타재 균열, 파손, 커버플레이트 탈락 등의 손상은 청소와 적절한 보수을 통한 유지관리를 실시한다.
- 교면포장은 포장균열, 망상균열, 파손, 패임, 포트홀, 이물질 용입 등이 조사되어 차량의 주행성을 확보차원에서 손상부에 대한 팻칭보수, 실링보수를 실시하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.
- 배수시설은 P2 배수관 길이부족으로 교각 기둥부 표면오염을 유발시키므로 배수관 길이연장이 필요하며, 바닥판 유공관의 유도배수시설 필요와 배수관 탈락이 조사되었다.
- 방호벽 및 중앙분리대는 줄눈 절단시기 미흡 및 건조수축에 의한 균열, 망상균열과 백태, 파손, 재료분리, 박리, 녹발생 및 잡철물 부식, 방음벽 지주부식 및 국부적인 파손 등이 조사되어 적절한 보수와 지속관찰이 필요한 상태이다.

- 청미천교(마산)에 발생된 손상들은 구조적으로 문제가 될 만한 손상은 발생되지 않았으나, 기 진단(2012년)시 조사된 상·하부구조의 균열, 표면손상 및 단면손상, 배수시설 등은 일부 보수가 실시된 것으로 확인되었으나 공용증가 및 경미한 손상에 대한 누락, 수량집계의 부분적인 오류 등으로 일부 손상에 대해서는 손상수량이 증가된 것을 조사되었다.

## 나. 내구성조사 결과

- 비파괴시험을 이용한 콘크리트 강도시험 결과, 콘크리트 강도는 설계기준 강도를 만족하고 있으며, 철근의 배근 간격 및 피복두께는 설계도면과 유사한 것으로 조사되었으나, 일부 부재에서 피복두께가 설계 값과 미소하게 차이가 나는 것으로 분석되었고, 준공 이후 공용기간 동안 피복두께로 인한 손상이 없는 점으로 보아, 공용 중 이로 인한 문제는 없을 것으로 판단된다.
- 탄산화 깊이측정결과 “a”로 분석되었으며 전반적으로 양호한 상태인 것으로 평가되었다. 또한, 염화물 함유량 시험결과 상태평가 등급은 상부구조에서 ‘a’ 등급(0.3kg/$m^3$이하), 하부구조에서 ‘a’ 등급(0.3kg/$m^3$이하)으로 평가되었으며, A2벽체에서 누수부에 추가 확인한 결과 표면측에서 ‘d’ 등급(2.5kg/$m^3$이상), 철근깊이에서 ‘c’ 등급(1.2kg/$m^3$이상 2.5kg/$m^3$미만)으로 분석되어 염화물에 의한 부식발생 가능성이 높은 상태인 것으로 분석되었다. 교대 A2 누수부에 염화물이 진전됨에 따라 보수를 통한 유지관리가 필요하다.
- 균열깊이 측정 결과, 측정 철근피복두께에 근접한 것으로 조사되어, 내구성 및 사용성 확보 차원의 주입보수(Cw=0.3㎜이상)를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 강재초음파 탐상 결과는 전 개소에서 합격으로 판정되어, 맞대기 용접부의 이상결함은 없는 것으로 확인되었다.
- 도장도막두께는 기준치를 만족하는 상태이며, 도장박리가 발생된 것은 공용년수 증가에 따른 노후화로 인해 발생된 것으로 판단되었다.

## 다. 상태평가 결과

- 외관조사 및 내구성 시험에 의한 상태평가결과, 구조물의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 조사되지 않았으며, 양호 상태인 “B”(결함지수 X=0.258)로 평가되었다.

### 라. 안전성평가 결과

- 청미천교(마산)에 대하여 허용응력설계법을 이용하여 Steel Box Girder의 안전성을 검토하고, 강도설계법을 이용하여 바닥판 및 하부구조에 대한 안전성을 검토한 결과 안전성을 확보한 것으로 확인되었으며, 설계활하중 DB-24, DL-24에 대해 충분한 내하력을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

### 마. 종합평가 및 안전등급 지정

- 현장조사 및 시험 결과를 바탕으로 상태평가를 실시한 결과는 “B” (F=0.258), 구조해석을 통한 안전성평가를 실시한 결과는 “A” 로 평가되어, 청미천교(마산)의 안전등급은 “양호 상태” B(양호)로 지정하였다.

### 바. 결언

- 청미천교(마산)에 대하여 현장조사, 시험 및 측정, 시설물 평가를 실시한 결과, 바닥판 캔틸레버 하면의 폭 0.3mm균열과 들뜸, P4 코핑부 철근노출 및 박락 등에 대한 적절한 보수와 A1과 A2 교량받침 여유량부족의 주기적인 점검 등을 통한 지속관찰이 필요한 상태이나, 교량의 전체적인 상태는 특별한 문제점이 없는 건전한 상태인 것으로 확인되었다.
- 조사된 결함에 대해서 제안한 공법대로 보수를 실시하고, 보수부 및 중점유지관리가 필요한 부위에 대하여 주기적인 점검 및 유지관리를 실시한다면 구조물의 안전성과 사용성 확보를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

| 관리번호 |
| --- |
| |

# 여주JCT1교 등 14개소
# 정밀안전진단보고서
## - 청미천교(양평,마산) -

2016. 12

한국도로공사

# 여주JCT1교 등 14개소
# 청미천교 (양평마산)
# 정밀안전진단보고서

2016. 12

한국도로공사

| 관리번호 |
| --- |
| |

# 여주JCT1교 등 14개소
# 정밀안전진단보고서
## - 청미천교(양평,마산) -

**2016. 12**

**한 국 도 로 공 사**


**진단기관 : (주) 장 민 이 엔 씨**
**(주) 다 음 기 술 단**
**(주) 동 우 기 술 단**

# 제 출 문

**한국도로공사 강원본부장 귀하**

귀 본부와 2016년 06월 17일자로 계약을 체결한 **“2016년도 여주JCT1교 등 14개소 정밀안전진단 용역”** 을 성실히 수행하고 **청미천교(양평, 마산)**의 결과를 본 보고서에 수록하여 부속자료와 함께 제출합니다.

2016년 12월 26일


인천광역시 부평구 안남로 447-1(청천동)

**㈜ 장 민 이 엔 씨**

**대표이사 한 영 필 (인)**

경기도 성남시 중원구 사기막골로 124 비즈-616
(상대원동, SKⓝ테크노파크)

**㈜ 다 음 기 술 단**

**대표이사 박 철 (인)**

경기도 안양시 동안구 학의로 268, 711호
(관양동, 메가밸리)

**㈜ 동 우 기 술 단**

**대표이사 고 중 호 (인)**

# 보고서 목차


◉결과표

◉요약문

제1장 정밀안전진단 개요 ····· 1

1.1 과업의 목적 ····· 3
1.2 과업의 범위 및 내용 ····· 3
1.2.1 과업의 범위 ····· 3
1.2.2 과업수행 기간 ····· 3
1.2.3 과업의 내용 ····· 4
1.3 과업수행 일정 ····· 5
1.3.1 과업수행절차 ····· 5
1.3.2 과업수행 일정 ····· 6
1.4 대상시설물 현황 ····· 7
1.4.1 현황 ····· 7
1.4.2 대상시설물 사진 ····· 9
1.4.3 교량 주요도면 ····· 11
1.5 사용장비 및 시험기기 현황 ····· 51
1.6 교량기호의 정의 ····· 52
1.7 참고문헌 ····· 53

제2장 자료수집 및 분석 ····· 55

2.1 자료수집 현황 ····· 57
2.2 건설 관련자료 검토결과 요약 ····· 59
2.2.1 구조 및 수리계산서 검토 ····· 59
2.2.2 설계도면 검토 ····· 68
2.2.3 토질 및 지반조사 자료검토 ····· 69
2.3 기존 정기 및 정밀점검 실시결과 ····· 73
2.3.1 점검 이력 ····· 73
2.3.2 기존 진단 실시결과 ····· 77

2.4 보수·보강 이력 ····83
2.5 시설물의 내진설계 여부 ····84
2.6 자료분석 결과 ····85

제3장 현장조사 및 분석 ····87

3.1 개 요 ····89
3.2 외관조사 결과(앙평방향) ····92
3.2.1 부재제원 확인 ····92
3.2.2 상부구조 ····92
3.2.3 하부구조 ····108
3.2.4 교대 기울기 ····129
3.2.5 신축이음 장치 ····132
3.2.6 교면포장 ····138
3.2.7 기타부재 ····141
3.3 외관조사 결과(마산방향) ····147
3.3.1 부재제원 확인 ····147
3.3.2 상부구조 ····147
3.3.3 하부구조 ····162
3.3.4 교대 기울기 ····183
3.3.5 신축이음 장치 ····186
3.3.6 교면포장 ····193
3.3.7 기타부재 ····195
3.4 내구성조사 결과 ····202
3.4.1 개요 ····202
3.4.2 시험내용 및 평가기준 ····207
3.4.3 현장시험결과 및 분석(양평방향) ····214
3.4.4 현장시험결과 및 분석(마산방향) ····227
3.5 현장조사 및 시험 결과 요약 ····240
3.5.1 외관조사 결과 요약 ····240
3.5.2 기 진단결과 비교 ····245
3.5.3 내구성조사 결과요약 ····249

제4장 시설물의 상태평가 ·····251
4.1 개요 ·····253
4.2 상태평가 항목 및 기준 ·····253
4.2.1 부재별 상태평가 적용 범위 ·····253
4.2.2 부재별 상태평가 기준 ·····254
4.2.3 구조형식에 따른 부재별 가중치 ·····259
4.2.4 경간(지점)별 부재 상태평가 산정 ·····260
4.2.5 전체 시설물의 상태평가 결과 결정 ·····260
4.2.6 상태평가 결과 산정 방법 ·····260
4.3 상태평가 결과 ·····261
4.3.1 각 부재별 상태평가 결과 ·····261
4.3.2 각 부재별 상태평가 결과 분석 ·····273
4.3.3 상태평가 결과 ·····275
4.4 기 진단결과와의 비교 ·····278
4.4.1 양평방향 ·····278
4.4.2 마산방향 ·····279

제5장 시설물의 안전성평가 ·····281
5.1 개 요 ·····283
5.2 상부구조 안전성평가 ·····283
5.2.1 양평방향(S1 ~ S5) ·····283
5.2.2 양평방향(S6 ~ S9) ·····311
5.2.3 마산방향(S1 ~ S5) ·····336
5.2.4 마산방향(S6 ~ S9) ·····363
5.3 내하력평가 ·····387
5.3.1 개 요 ·····387
5.3.2 청미천교-양평방향 ·····388
5.3.3 청미천교-마산방향 ·····389
5.3.4 기본내하율 이전상태 비교 ·····390
5.4 하부구조 안전성 평가 ·····391
5.4.1 청미천교-양평방향 ·····391
5.4.2 청미천교-마산방향 ·····430
5.4.3 내진설계 검토 ·····469

5.5 안전성평가 결과요약 ····471
5.5.1 양평방향 ····471
5.5.2 마산방향 ····472

제6장 종합평가 및 안전등급지정 ····473

6.1 종합평가 ····475
6.1.1 개 요 ····475
6.1.2 종합평가 기준 ····475
6.1.3 종합평가 결과 산정절차 ····476
6.1.4 종합평가 결과 ····477
6.2 안전등급 지정 ····478
6.2.1 안전등급 지정 ····478

제7장 보수 · 보강 및 유지관리 방안 ····479

7.1 개요 ····481
7.2 보수 · 보강 방안 ····482
7.2.1 보수 · 보강 우선순위 결정 ····482
7.2.2 보수 · 보강 우선순위 결정 ····483
7.2.3 결함내용별 보수 · 보강 방안 ····485
7.2.4 주요결함 및 손상에 대한 보수 · 보강 방법 ····490
7.3 보수 · 보강 개략공사비 ····507
7.4 유지관리 방안 ····511
7.4.1 진단결과에 따른 중점 유지관리 사항 ····511
7.4.2 부재별 일반 유지관리 사항 ····519
7.4.3 유지관리 제안사항 ····530

제8장 종합결론 ····537

8.1 개 요 ····539
8.2 정밀안전진단 실시결과의 종합결론 ····539
8.2.1 양평방향 ····539
8.2.2 마산방향 ····542

# 표 목차


제1장 정밀안전진단 개요 ····· 1

【표 1-1】 과업의 내용 ····· 4
【표 1-2】 과업수행 공정표 ····· 6
【표 1-3】 청미천교(양평) 시설물의 현황 ····· 7
【표 1-4】 청미천교(마산) 시설물의 현황 ····· 8
【표 1-5】 사용장비 및 시험기기 ····· 51
【표 1-6】 교량기호의 정의 ····· 52

제2장 자료수집 및 분석 ····· 55

【표 2-1】 자료수집 현황 ····· 57
【표 2-2】 시설물 설계시 적용한 물성치 및 하중조건 ····· 59
【표 2-3】 설계도면 검토 결과 ····· 68
【표 2-4】 본 조사지역 지질계통도 ····· 70
【표 2-5】 본 지역의 지층구성 상태 ····· 71
【표 2-6】 청미천교(양평) 점검 이력 ····· 73
【표 2-7】 청미천교(마산) 점검 이력 ····· 75
【표 2-8】 청미천교(양평) 정밀안전진단 결과분석 ····· 77
【표 2-9】 청미천교(마산) 정밀안전진단 결과분석 ····· 80
【표 2-10】 청미천교(양평) 보수·보강 이력 ····· 83
【표 2-11】 청미천교(마산) 보수·보강 이력 ····· 83
【표 2-12】 내진설계 조건 ····· 84
【표 2-13】 자료분석 결과 ····· 85

제3장 현장조사 및 분석 ····· 87

【표 3-1】 부재별 조사항목 ····· 90
【표 3-2】 현장조사 기간 ····· 90
【표 3-3】 부재제원 확인(양평방향) ····· 92
【표 3-4】 바닥판 외관조사 결과(양평방향) ····· 93
【표 3-5】 바닥판 하면 기 진단 결과 비교(양평방향) ····· 95
【표 3-6】 Steel Box Girder 내부 외관조사 결과(양평방향) ····· 100

【표 3-7】 Steel Box Girder 내부 기 진단 결과 비교(양평방향) ·····102
【표 3-8】 Steel Box Girder 외부 외관조사 결과(양평방향) ·····103
【표 3-9】 Steel Box Girder 외부 기 진단 결과 비교(양평방향) ·····105
【표 3-10】 강 가로보 및 세로보 외관조사 결과(양평방향) ·····106
【표 3-11】 강 가로보 및 세로보 기 진단 결과 비교(양평방향) ·····107
【표 3-12】 교대 외관조사 결과(양평방향) ·····108
【표 3-13】 교대 기 진단 결과 비교(양평방향) ·····110
【표 3-14】 교각 외관조사 결과(양평방향) ·····113
【표 3-15】 교각 기 진단 결과 비교(양평방향) ·····116
【표 3-16】 교량받침 외관조사 결과(양평방향) ·····118
【표 3-17】 교량받침 기 진단 결과 비교(양평방향) ·····120
【표 3-18】 연단거리 측정결과 (단위 : ㎜)(양평방향) ·····122
【표 3-19】 교량받침 가동량 측정방법(양평방향) ·····123
【표 3-20】 교량받침 계산 가동량 산정(측정시 온도 기준)(양평방향) ·····124
【표 3-21】 교량받침 온도차에 따른 가동 여유량과 계산 가동량 비교(단위 : ㎜)(양평방향) ·····125
【표 3-22】 온도차에 따른 이론 수축량과 실제 수축량 가동 여부 비교(단위 : ㎜)(양평방향) ·····128
【표 3-23】 광파기를 이용한 측량 결과(양평방향) ·····129
【표 3-24】 다림추를 이용한 기울기 결과(양평방향) ·····130
【표 3-25】 경사계를 이용한 기울기 결과(양평방향) ·····131
【표 3-26】 교대 직립도(기울기-디지털 카메라) 측정 결과(양평방향) ·····132
【표 3-27】 신축이음장치 외관조사 결과(양평방향) ·····133
【표 3-28】 계산 신축량 산정(양평방향) ·····135
【표 3-29】 신축이음 유간거리 산정(양평방향) ·····136
【표 3-30】 신축이음 유간거리 측정결과(단위 : ㎜)(양평방향) ·····136
【표 3-31】 신축이음 유간거리 검토결과(양평방향) ·····136
【표 3-32】 온도차에 따른 이론 수축량과 실제 수축량 가동 여부 비교(단위 : ㎜)(양평방향) ·····137
【표 3-33】 교면포장 외관조사 결과(양평방향) ·····138
【표 3-34】 교면포장 기 진단 결과 비교(양평방향) ·····140
【표 3-35】 배수시설 외관조사 현황(양평방향) ·····141
【표 3-36】 교면포장 기 진단 결과 비교(양평방향) ·····142
【표 3-37】 방호벽, 중앙분리대 외관조사 결과(양평방향) ·····143
【표 3-38】 방호벽, 중앙분리대 기 진단 결과 비교(양평방향) ·····146
【표 3-39】 부재제원 확인(마산방향) ·····147
【표 3-40】 바닥판 외관조사 결과(마산방향) ·····148
【표 3-41】 바닥판 하면 기 진단 결과 비교(마산방향) ·····150
【표 3-42】 Steel Box Girder 내부 외관조사 결과(마산방향) ·····155
【표 3-43】 Steel Box Girder 내부 기 진단 결과 비교(마산방향) ·····157
【표 3-44】 Steel Box Girder 외부 외관조사 결과(마산방향) ·····158

【표 3-45】 Steel Box Girder 외부 기 진단 결과 비교(마산방향) ·····159
【표 3-46】 강 가로보 및 세로보 외관조사 결과(마산방향) ·····161
【표 3-47】 강 가로보 및 세로보 기 진단 결과 비교(마산방향) ·····161
【표 3-48】 교대 외관조사 결과(마산방향) ·····163
【표 3-49】 교대 기 진단 결과 비교(마산방향) ·····165
【표 3-50】 교각 외관조사 결과(마산방향) ·····166
【표 3-51】 교각 기 진단 결과 비교(마산방향) ·····170
【표 3-52】 교량받침 외관조사 결과(마산방향) ·····172
【표 3-53】 교량받침 기 진단 결과 비교(마산방향) ·····175
【표 3-54】 연단거리 측정결과 (단위 : ㎜)(마산방향) ·····176
【표 3-55】 교량받침 가동량 측정방법(마산방향) ·····177
【표 3-56】 교량받침 계산 가동량 산정(측정시 온도 기준)(마산방향) ·····178
【표 3-57】 교량받침 온도차에 따른 가동 여유량과 계산 가동량 비교(단위 : ㎜)(마산방향) ·····179
【표 3-58】 온도차에 따른 이론 수축량과 실제 수축량 가동 여부 비교(단위 : ㎜)(마산방향) ·····182
【표 3-59】 광파기를 이용한 측량 결과(마산방향) ·····183
【표 3-60】 다림추를 이용한 기울기 결과(마산방향) ·····184
【표 3-61】 경사계를 이용한 기울기 결과(마산방향) ·····185
【표 3-62】 교대 직립도(기울기-디지털 카메라) 측정 결과(마산방향) ·····186
【표 3-63】 신축이음장치 외관조사 결과(마산방향) ·····187
【표 3-64】 신축이음 기 진단 결과 비교(마산방향) ·····188
【표 3-65】 계산 신축량 산정(마산방향) ·····190
【표 3-66】 신축이음 유간거리 산정(마산방향) ·····191
【표 3-67】 신축이음 유간거리 측정결과(단위 : ㎜)(마산방향) ·····191
【표 3-68】 신축이음 유간거리 검토결과(마산방향) ·····191
【표 3-69】 온도차에 따른 이론 수축량과 실제 수축량 가동 여부 비교(단위 : ㎜)(마산방향) ·····192
【표 3-70】 교면포장 외관조사 결과(마산방향) ·····193
【표 3-71】 교면포장 기 진단 결과 비교(마산방향) ·····195
【표 3-72】 배수시설 외관조사 현황(마산방향) ·····196
【표 3-73】 배수시설 기 진단 결과 비교(마산방향) ·····196
【표 3-74】 방호벽, 중앙분리대 외관조사 결과(마산방향) ·····197
【표 3-75】 방호벽, 중앙분리대 기 진단 결과 비교(마산방향) ·····201
【표 3-76】 현장시험 측정일자 및 조사자 ·····202
【표 3-77】 현장시험 항목 ·····202
【표 3-78】 비파괴시험 실시 수량(양평방향) ·····203
【표 3-79】 (마산방향)비파괴시험 실시 수량 ·····205
【표 3-80】 보정계수를 적용한 추정 비파괴 강도(양평방향) ·····214
【표 3-81】 보정계수를 적용한 초음파 속도(양평방향) ·····216
【표 3-82】 탄산화 깊이 측정결과 및 평가(양평방향) ·····218

【표 3-83】 염화물 함유량 시험결과(양평방향) ·····219
【표 3-84】 철근탐사 결과(양평방향) ·····220
【표 3-85】 균열깊이 측정 결과(양평방향) ·····221
【표 3-86】 초음파탐상시험 결과(양평방향) ·····222
【표 3-87】 도막두께 측정 결과(양평방향) ·····226
【표 3-88】 보정계수를 적용한 추정 비파괴 강도(마산방향) ·····227
【표 3-89】 보정계수를 적용한 초음파 속도(마산방향) ·····229
【표 3-90】 탄산화 깊이 측정결과 및 평가(마산방향) ·····231
【표 3-91】 염화물 함유량 시험결과(마산방향) ·····232
【표 3-92】 철근탐사 결과(마산방향) ·····233
【표 3-93】 균열깊이 측정 결과(마산방향) ·····235
【표 3-94】 초음파탐상시험 결과(마산방향) ·····235
【표 3-95】 도막두께 측정 결과(마산방향) ·····239
【표 3-96】 금회 진단 외관조사 결과요약(양평방향) ·····240
【표 3-97】 금회 진단 외관조사 결과요약(마산방향) ·····242
【표 3-98】 기 진단결과 비교표(양평방향) ·····245
【표 3-99】 기 진단결과 비교표(마산방향) ·····247
【표 3-100】 내구성조사 결과 요약(양평방향) ·····249
【표 3-101】 내구성조사 결과 요약(마산방향) ·····250

제4장 시설물의 상태평가 ····· 251

【표 4-1】 부재별 상태평가 적용 범위 ·····253
【표 4-2】 콘크리트 바닥판 상태평가 기준 ·····254
【표 4-3】 철근콘크리트 거더 상태평가 기준 ·····254
【표 4-4】 Steel Box Girder 상태평가 기준 ·····255
【표 4-5】 강 가로보, 세로보 상태평가 기준 ·····255
【표 4-6】 교대 상태평가 기준 ·····256
【표 4-7】 교각 상태평가 기준 ·····256
【표 4-8】 교면포장 상태평가 기준 ·····256
【표 4-9】 교량받침 상태평가 기준 ·····257
【표 4-10】 신축이음 상태평가 기준 ·····257
【표 4-11】 배수시설 상태평가 기준 ·····258
【표 4-12】 방호벽 및 중앙분리대 상태평가 기준 ·····258
【표 4-13】 탄산화 상태평가 기준 ·····258
【표 4-14】 염화물 상태평가 기준 ·····259
【표 4-15】 구조형식에 따른 일반교량의 부재별 가중치 ·····259
【표 4-16】 결함도 점수 범위에 따른 기준 ·····260

【표 4-17】 콘크리트 바닥판 상태평가 결과(양평방향) ····· 261
【표 4-18】 Steel Box Girder 상태평가 결과(양평방향) ····· 261
【표 4-19】 강 가로보 및 세로보 상태평가 결과(양평방향) ····· 262
【표 4-20】 하부구조(교대) 상태평가 결과(양평방향) ····· 262
【표 4-21】 하부구조(교각) 상태평가 결과(양평방향) ····· 263
【표 4-22】 기초 상태평가 결과(양평방향) ····· 263
【표 4-23】 교량받침 상태평가 결과(양평방향) ····· 264
【표 4-24】 신축이음 상태평가 결과(양평방향) ····· 264
【표 4-25】 교면포장 상태평가 결과(양평방향) ····· 264
【표 4-26】 배수시설 상태평가 결과(양평방향) ····· 265
【표 4-27】 방호벽 및 중앙분리대 상태평가 결과(양평방향) ····· 265
【표 4-28】 탄산화 상태평가 결과(양평방향) ····· 266
【표 4-29】 염화물 상태평가 결과(양평방향) ····· 266
【표 4-30】 콘크리트 바닥판 상태평가 결과(마산방향) ····· 267
【표 4-31】 강 거더(Steel Box Girder) 상태평가 결과(마산방향) ····· 267
【표 4-32】 강 가로보 및 세로보 상태평가 결과(마산방향) ····· 268
【표 4-33】 하부구조(교대) 상태평가 결과(마산방향) ····· 268
【표 4-34】 하부구조(교각) 상태평가 결과(마산방향) ····· 269
【표 4-35】 기초 상태평가 결과(마산방향) ····· 269
【표 4-36】 교량받침 상태평가 결과(마산방향) ····· 270
【표 4-37】 신축이음 상태평가 결과(마산방향) ····· 270
【표 4-38】 교면포장 상태평가 결과(마산방향) ····· 270
【표 4-39】 배수시설 상태평가 결과(마산방향) ····· 271
【표 4-40】 방호벽 및 중앙분리대 상태평가 결과(마산방향) ····· 271
【표 4-41】 탄산화 상태평가 결과(마산방향) ····· 272
【표 4-42】 염화물 상태평가 결과(마산방향) ····· 272
【표 4-43】 각 부재별 상태평가 결과 분석(양평방향) ····· 273
【표 4-44】 각 부재별 상태평가 결과 분석(마산방향) ····· 274
【표 4-45】 청미천교(양평) 상태평가 결과 ····· 275
【표 4-46】 청미천교(마산) 상태평가 결과 ····· 276
【표 4-47】 청미천교(양평) 상태평가 결과 비교 · 분석표 ····· 278
【표 4-48】 청미천교(마산) 상태평가 결과 비교 · 분석표 ····· 279

제5장 시설물의 안전성평가 ····· 281

【표 5-1】 바닥판의 단면검토결과 ····· 298
【표 5-2】 바닥판의 사용성(균열) 검토결과 ····· 298
【표 5-3】 플랜지의 유효폭 산정 ····· 302

【표 5-4】 바닥판의 유효폭 산정 ·····302
【표 5-5】 최대정모멘트부 단면력 산정결과 ·····306
【표 5-6】 최대부모멘트부 단면력 산정결과 ·····306
【표 5-7】 최대정모멘트부 휨응력 검토결과 ·····307
【표 5-8】 최대부모멘트부 휨응력 검토결과 ·····308
【표 5-9】 강박스 거더의 휨응력 검토결과 ·····309
【표 5-10】 강박스 거더의 전단응력 검토결과 ·····309
【표 5-11】 교량받침용량 검토 ·····310
【표 5-12】 바닥판의 단면검토결과 ·····323
【표 5-13】 바닥판의 사용성(균열) 검토결과 ·····323
【표 5-14】 플랜지의 유효폭 산정 ·····327
【표 5-15】 바닥판의 유효폭 산정 ·····327
【표 5-16】 최대정모멘트부 단면력 산정결과 ·····331
【표 5-17】 최대부모멘트부 단면력 산정결과 ·····331
【표 5-18】 최대정모멘트부 휨응력 검토결과 ·····332
【표 5-19】 최대부모멘트부 휨응력 검토결과 ·····333
【표 5-20】 강박스 거더의 휨응력 검토결과 ·····334
【표 5-21】 강박스 거더의 전단응력 검토결과 ·····334
【표 5-22】 교량받침용량 검토 ·····335
【표 5-23】 바닥판의 단면검토결과 ·····350
【표 5-24】 바닥판의 사용성(균열) 검토결과 ·····350
【표 5-25】 플랜지의 유효폭 산정 ·····354
【표 5-26】 바닥판의 유효폭 산정 ·····354
【표 5-27】 최대정모멘트부 단면력 산정결과 ·····358
【표 5-28】 최대부모멘트부 단면력 산정결과 ·····358
【표 5-29】 최대정모멘트부 휨응력 검토결과 ·····359
【표 5-30】 최대부모멘트부 휨응력 검토결과 ·····360
【표 5-31】 강박스 거더의 휨응력 검토결과 ·····361
【표 5-32】 강박스 거더의 전단응력 검토결과 ·····361
【표 5-33】 교량받침용량 검토 ·····362
【표 5-34】 바닥판의 단면검토결과 ·····374
【표 5-35】 바닥판의 사용성(균열) 검토결과 ·····374
【표 5-36】 플랜지의 유효폭 산정 ·····378
【표 5-37】 바닥판의 유효폭 산정 ·····378
【표 5-38】 최대정모멘트부 단면력 산정결과 ·····382
【표 5-39】 최대부모멘트부 단면력 산정결과 ·····382
【표 5-40】 최대정모멘트부 휨응력 검토결과 ·····383
【표 5-41】 최대부모멘트부 휨응력 검토결과 ·····384

【표 5-42】 강박스 거더의 휨응력 검토결과 ····385
【표 5-43】 강박스 거더의 전단응력 검토결과 ····385
【표 5-44】 교량받침용량 검토 ····386
【표 5-45】 허용응력법에 의한 강박스 거더의 내하력평가 결과(양평방향) ····388
【표 5-46】 강도설계법에 의한 바닥판 내하력평가 결과(양평방향) ····388
【표 5-47】 허용응력법에 의한 강박스 거더의 내하력평가 결과(양평방향) ····388
【표 5-48】 강도설계법에 의한 바닥판 내하력평가 결과(양평방향) ····388
【표 5-49】 허용응력법에 의한 강박스 거더의 내하력평가 결과(마산방향) ····389
【표 5-50】 강도설계법에 의한 바닥판 내하력평가 결과(마산방향) ····389
【표 5-51】 허용응력법에 의한 강박스 거더의 내하력평가 결과(마산방향) ····389
【표 5-52】 강도설계법에 의한 바닥판 내하력평가 결과(마산방향) ····389
【표 5-53】 기진단과 금회차 내하력평가 비교 ····390

제6장 종합평가 및 안전등급지정 ···· 473

【표 6-1】 청미천교(양평) 종합평가 결과 ····477
【표 6-2】 청미천교(마산) 종합평가 결과 ····477
【표 6-3】 안전등급 기준 ····478

제7장 보수 · 보강 및 유지관리 방안 ···· 479

【표 7-1】 보수 · 보강 방안 수립에 따른 검토사항 ····481
【표 7-2】 보수 · 보강 우선순위 결정 기준 ····482
【표 7-3】 양평방향 - 보수 · 보강 일람표 ····485
【표 7-4】 마산방향 결함내용별 보수·보강 방안 ····487
【표 7-5】 수지주입공법의 종류 ····490
【표 7-6】 균열폭에 알맞은 수지의 점도 ····491
【표 7-7】 균열폭에 따른 주입파이프/패커의 간격 ····491
【표 7-8】 에폭시계 수지의 규격 ····491
【표 7-9】 주입공법 공법비교안 ····493
【표 7-10】 일반적인 단면 복구재의 분류 ····496
【표 7-11】 단면보수 공법비교안 ····497
【표 7-12】 단면복구(염해방지) 공법비교안 ····499
【표 7-13】 강재부식부의 일반적인 도장보수 방법 ····500
【표 7-14】 강재 도장시 고려사항 ····501
【표 7-15】 전면 재도장시 부식환경에서 사용도료 및 건조도막두께 ····502
【표 7-16】 부분 재도장시 사용도료 및 건조도막두께 ····503
【표 7-17】 강재 거더 및 받침장치 발청부 도장보수 공법비교안 ····503
【표 7-18】 양평방향 보수 · 보강 개략공사비 ····507

【표 7-19】 마산방향 보수 · 보강 개략공사비 ·····509
【표 7-20】 양평방향 주요 손상별 중점 유지관리 사항 ·····511
【표 7-21】 마산방향 주요 손상별 중점 유지관리 사항 ·····512
【표 7-22】 바닥판 일반 유지관리 사항 ·····519
【표 7-23】 Steel Box Girder 일반 유지관리 사항 ·····521
【표 7-24】 교대 일반 유지관리 사항 ·····522
【표 7-25】 교각 일반 유지관리 사항 ·····523
【표 7-26】 교량받침 일반 유지관리 사항 ·····524
【표 7-27】 신축이음 일반 유지관리 사항 ·····525
【표 7-28】 교면포장 일반 유지관리 사항 ·····527
【표 7-29】 배수시설 일반 유지관리 사항 ·····528
【표 7-30】 방호벽, 중앙분리대 일반 유지관리 사항 ·····529
【표 7-31】 형하 공간 이용 현황 ·····530
【표 7-32】 교량받침의 이동성에 따른 받침 관리(예시) ·····531
【표 7-33】 양평방향 교량받침 실측 가동 여유량과 계산 가동량 결과(단위 : ㎜) ·····532
【표 7-34】 양평방향 신축이음 유간거리 측정결과(단위 : ㎜) ·····534
【표 7-35】 마산방향 교량받침 실측 가동 여유량과 계산 가동량 결과(단위 : ㎜) ·····535
【표 7-36】 마산방향 신축이음 유간거리 측정결과(단위 : ㎜) ·····537

# 그림 목차


제1장 정밀안전진단 개요 ····· 1

【그림 1-1】 과업수행 흐름도 ····· 5
【그림 1-2】 청미천교(양평) 시설물사진 ····· 9
【그림 1-3】 청미천교(마산) 시설물사진 ····· 10
【그림 1-4】 청미천교(양평) 종·평면도 ····· 11
【그림 1-5】 청미천교(마산) 종·평면도 ····· 13
【그림 1-6】 교량받침 배치도 ····· 15
【그림 1-7】 슬래브 일반도(1) ····· 16
【그림 1-8】 슬래브 일반도(2) ····· 17
【그림 1-9】 슬래브 일반도(3) ····· 18
【그림 1-10】 슬래브 일반도(4) ····· 19
【그림 1-11】 슬래브 일반도(5) ····· 20
【그림 1-12】 슬래브 일반도(6) ····· 21
【그림 1-13】 슬래브 일반도(7) ····· 22
【그림 1-14】 슬래브 일반도(8) ····· 23
【그림 1-15】 슬래브 일반도(9) ····· 24
【그림 1-16】 양평방향 강상형 일반도(1) ····· 25
【그림 1-17】 양평방향 강상형 일반도(2) ····· 26
【그림 1-18】 양평방향 강상형 일반도(3) ····· 27
【그림 1-19】 양평방향 강상형 일반도(4) ····· 28
【그림 1-20】 양평방향 강상형 일반도(5) ····· 29
【그림 1-21】 양평방향 강상형 일반도(6) ····· 30
【그림 1-22】 양평방향 강상형 일반도(7) ····· 31
【그림 1-23】 양평방향 강상형 일반도(8) ····· 32
【그림 1-24】 양평방향 강상형 일반도(9) ····· 33
【그림 1-25】 마산방향 강상형 일반도(1) ····· 34
【그림 1-26】 마산방향 강상형 일반도(2) ····· 35
【그림 1-27】 마산방향 강상형 일반도(3) ····· 36
【그림 1-28】 마산방향 강상형 일반도(4) ····· 37
【그림 1-29】 마산방향 강상형 일반도(5) ····· 38
【그림 1-30】 마산방향 강상형 일반도(6) ····· 39
【그림 1-31】 마산방향 강상형 일반도(7) ····· 40

【그림 1-32】 마산방향 강상형 일반도(8) ····· 41
【그림 1-33】 마산방향 강상형 일반도(9) ····· 42
【그림 1-34】 양평방향 교대(A1) 일반도 ····· 43
【그림 1-35】 양평방향 교대(A2) 일반도 ····· 44
【그림 1-36】 마산방향 교대(A1) 일반도 ····· 45
【그림 1-37】 마산방향 교대(A2) 일반도 ····· 46
【그림 1-38】 교각 일반도(1) ····· 47
【그림 1-39】 교각 일반도(2) ····· 48
【그림 1-40】 교각 일반도(3) ····· 49
【그림 1-41】 교각 일반도(4) ····· 50
【그림 1-42】 교량기호 정의 ····· 53

제2장 자료수집 및 분석 ····· 55

【그림 2-1】 자료수집 및 분석 흐름도 ····· 58
【그림 2-2】 심도에 따른 표준관입시험 N-치 ····· 72

제3장 현장조사 및 분석 ····· 87

【그림 3-1】 구간별 근접장비 활용방법 ····· 91
【그림 3-2】 R.C 바닥판의 균열진전 과정 ····· 96
【그림 3-3】 R.C 바닥판의 피로파괴 과정 ····· 97
【그림 3-4】 청미천교(양평) 교량받침 배치도 ····· 117
【그림 3-5】 청미천교(양평) 신축이음 배치도 ····· 132
【그림 3-6】 배수시설 현황(양평방향) ····· 141
【그림 3-7】 R.C 바닥판의 균열진전 과정 ····· 151
【그림 3-8】 R.C 바닥판의 피로파괴 과정 ····· 152
【그림 3-9】 청미천교(마산) 교량받침 배치도 ····· 172
【그림 3-10】 청미천교(마산) 신축이음 배치도 ····· 186
【그림 3-11】 배수시설 현황(마산방향) ····· 195
【그림 3-12】 Tc - To법에 의한 균열깊이 측정방법 ····· 212
【그림 3-13】 여주JCT1교 등 14개소 균열깊이 측정 결과 ····· 213
【그림 3-14】 반발경도법 시험결과(양평방향) ····· 215
【그림 3-15】 초음파 속도 시험결과(양평방향) ····· 217
【그림 3-16】 탄산화 깊이 측정결과(양평방향) ····· 218
【그림 3-17】 염화물 함유량 시험결과(양평방향) ····· 219
【그림 3-18】 강재 초음파탐상시험 위치도(양평방향) ····· 224
【그림 3-19】 도막두께 측정 결과(양평방향) ····· 226
【그림 3-20】 반발경도법 시험결과(마산방향) ····· 228

【그림 3-21】 초음파 속도 시험결과(마산방향) ·····230
【그림 3-22】 탄산화 깊이 측정결과(마산방향) ·····231
【그림 3-23】 염화물 함유량 시험결과(마산방향) ·····232
【그림 3-24】 강재 초음파탐상시험 위치도(마산방향) ·····237
【그림 3-25】 도막두께 측정 결과(마산방향) ·····239

제4장 시설물의 상태평가 ····· 251

【그림 4-1】 전체 교량의 상태평가 결과 산정 방법 예 ·····260
【그림 4-2】 청미천교(양평) 상태평가 결과 ·····275
【그림 4-3】 청미천교(마산) 상태평가 결과 ·····277

제5장 시설물의 안전성평가 ····· 281

【그림 5-1】 해석단면 ·····299
【그림 5-2】 합성전 바닥판 자중 재하도 ·····299
【그림 5-3】 합성후 고정하중 재하도 ·····300
【그림 5-4】 해석모델링 ·····303
【그림 5-5】 휨모멘트 ·····304
【그림 5-6】 전단력 ·····305
【그림 5-7】 2차 부정정력에 대한 영향 검토 ·····306
【그림 5-8】 해석단면 ·····324
【그림 5-9】 합성전 바닥판 자중 재하도 ·····324
【그림 5-10】 합성후 고정하중 재하도 ·····325
【그림 5-11】 해석모델링 ·····328
【그림 5-12】 휨모멘트 ·····329
【그림 5-13】 전단력 ·····330
【그림 5-14】 2차 부정정력에 대한 영향 검토 ·····331
【그림 5-15】 해석단면 ·····351
【그림 5-16】 합성전 바닥판 자중 재하도 ·····351
【그림 5-17】 합성후 고정하중 재하도 ·····352
【그림 5-18】 해석모델링 ·····355
【그림 5-19】 휨모멘트 ·····356
【그림 5-20】 전단력 ·····357
【그림 5-21】 2차 부정정력에 대한 영향 검토 ·····358
【그림 5-22】 해석단면 ·····375
【그림 5-23】 합성전 바닥판 자중 재하도 ·····375
【그림 5-24】 합성후 고정하중 재하도 ·····376

【그림 5-25】 해석모델링 ·····379
【그림 5-26】 휨모멘트 ·····380
【그림 5-27】 전단력 ·····381
【그림 5-28】 2차 부정정력에 대한 영향 검토 ·····382
【그림 5-29】 해석단면(A1) ·····392
【그림 5-30】 해석단면(A2) ·····402
【그림 5-31】 해석단면(P6) ·····411
【그림 5-32】 해석단면(A1) ·····431
【그림 5-33】 해석단면(A2) ·····441
【그림 5-34】 해석단면(P5) ·····450

제6장 종합평가 및 안전등급지정 ····· 473

【그림 6-1】 종합평가 결과 산정 흐름도 ·····476

제7장 보수 · 보강 및 유지관리 방안 ····· 479

【그림 7-1】 양평방향 보수 · 보강 우선순위 결정 ·····483
【그림 7-2】 마산방향 보수 · 보강 우선순위 결정 ·····484
【그림 7-3】 균열 보수공법 개요도 ·····492
【그림 7-4】 단면복구 상세도 ·····495
【그림 7-5】 단면복구(염해방지) 상세도 ·····498
【그림 7-6】 스플라이스 틈새 실런트 주입 ·····505
【그림 7-7】 양평방향 상태평가 현황도 및 주요 손상 위치도 ·····514
【그림 7-8】 마산방향 상태평가 현황도 및 주요 손상 위치도 ·····515
【그림 7-9】 청미천교 – 중점유지관리대상 및 점검방향 ·····517

◉ 부 록

1. 평가 및 설계심의 결과 조치내용
2. 과업지시서
3. 외관조사망도
4. 상태평가 결과자료
5. 측정, 시험, 계측 성과표
6. 안전성평가 결과자료
7. 현장조사 사진첩
8. 시설물관리대장
9. 사용장비 및 기기의 사진
10. 사전검토보고서 및 과업수행계획서
11. 기타 참고자료

# 청미천교(양평) 정밀안전진단 결과표

## 가. 일반현황

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 용 역 명 | 2016년도 여주JCT1교 등 14개소 정밀안전진단용역 | 진단기간 | 2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26. | | |
| 관 리 주 체 명 | 한국도로공사 강원본부 충주지사 | 대 표 자 | 지사장 장 후 복 | | |
| 공동수급 | ㈜장민이엔씨/㈜다음기술단/㈜동우기술단 | 계약방법 | 일반경쟁 | | |
| 시 설 물 구 분 | 교 량 | 종 류 | 도로교량 | 종 별 | 1종 |
| 준 공 일 | 2002년 12월 20일 | 진단금액 (천원) | 456,900 | 안전등급 | B |
| 시 설 물 위 치 | 경기도 여주군 점동면 원부리 | 시 설 물 규 모 | L=450.0m, B=12.15m(2차로) | | |

## 나. 진단 실시결과 현황

| | |
|---|---|
| 중대결함 | ■ 정밀안전진단 결과 시설물의 중대결함은 없는 상태임 |
| 진 단 주요결과 | ■ 바닥판 : 균열, 들뜸, 백태, 파손, 고무재탈락, 녹발생<br>■ Steel Box Girder : 도장박리, 부식, 볼트부식 긁힘, 이물질퇴적, Pit, 변형<br>■ 가로보 및 세로보 : 도장박리, 부식<br>■ 교대 : 균열, 망상균열, 들뜸, 박락, 박리, 백태, 이물질퇴적, 잡철물부식, 누수흔적<br>■ 교각 : 균열, 망상균열, 박락, 백태, 재료분리, 침식, 파손, 녹발생, 누수흔적, 표면오염<br>■ 교량받침 : 받침부식, 낙교방지시설 고무재탈락, 볼트부식, 볼트이완, 균열, 철근노출, 파손<br>■ 신축이음 : 유간토사퇴적, 커버플레이트 탈락, 후타재 균열<br>■ 교면포장 : 마모, 소성변형, 파손, 패임, 포장균열<br>■ 배수시설 : 배수관 길이부족, 볼트탈락, 유도배수관 설치필요, 곡관탈락<br>■ 방호벽, 중앙분리대 : 균열, 망상균열, 백태, 박락, 박리, 재료분리, 철근노출, 파손, 충돌흔적, 녹발생, 잡철물부식 |
| 주 요 보수·보강 | ■ 주요보수 : 표면처리보수, 주입보수, 치핑 후 면처리, 단면보수(방청), 도장보수, 팻칭보수, 절삭보수 배수홀 파이프 설치<br>■ 주요보강 : 보강부 없음 |

## 다. 책임(참여)기술자 현황

| 구 분 | 성 명 | 과업 참여기간 | 기술등급 |
|---|---|---|---|
| 사업책임 | 서 외 택 | 2016. 06. 20 ~ 2016. 12. 26 | 특급기술자(기술사) |
| 분야별책임(재료시험) | 김 영 환 | 2016. 06. 20 ~ 2016. 12. 26 | 특급기술자(기술사) |
| 분야별책임(자료분석) | 이 영 수 | 2016. 06. 20 ~ 2016. 12. 26 | 특급기술자(기술사) |
| 분야별참여(재료시험) | 조 병 준 | 2016. 06. 20 ~ 2016. 12. 26 | 특급기술자 |
| 분야별참여(자료분석) | 문 정 상 | 2016. 06. 20 ~ 2016. 12. 26 | 특급기술자 |
| 참여기술자 | 설범수 외 15인 | 2016. 06. 20 ~ 2016. 12. 26 | 특급기술자 등 |

## 라. 참고사항

# 청미천교(양평) 정밀안전진단 실시결과 요약표

| 책임기술자 종합의견 |
|---|
| ■ 청미천교(양평)에 대하여 현장조사, 시험 및 측정, 시설물 평가를 실시한 결과, 바닥판 캔틸레버 하면의 폭 0.3mm균열과 들뜸, A2와 P1 기둥부 폭 0.3mm균열, A1 흉벽 들뜸 등에 대한 적절한 보수와 A1과 A2 교량받침 여유량부족은 주기적인 점검 등을 통한 지속관찰이 필요한 상태이며, 교량의 전체적인 상태는 특별한 문제점이 없는 건전한 상태인 것으로 확인되었다.<br>■ 시설물에 대한 평가결과, 상태평가 결과는 “B” (F=0.234), 구조해석을 통한 안전성평가 결과는 “A”로 평가되어, 청미천교(양평)의 안전등급은 “양호한 상태” B(양호)로 지정하였다.<br>■ 긴급을 요하는 문제점은 없는 상태로서, 발생된 손상에 대한 내구성 확보차원의 보수 및 지속적인 주의관찰을 수행하면 구조물의 안전성과 사용성 확보를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.<br>책임기술자 : 서 외 택 (서명) |

## 가. 정밀안전진단 외관조사 결과 기본사항

| 상태평가 결과 및 보수·보강 | | | | 상태평가 결과 : B |
|---|---|---|---|---|
| 결함발생 부재 | | 상태평가 결과 | 결함종류 | 보수·보강(안) |
| 상부구조 | 바닥판 | b~c | ■ 백태<br>■ 균열(Cw=0.3㎜), 들뜸<br>■ 파손<br>■ 균열(Cw=0.3㎜미만), 고무재탈락, 녹발생 | ■ 표면처리보수<br>■ 치핑 후 면보수<br>■ 단면보수<br>■ 지속관찰 |
| | 강박스거더 | b~c | ■ 도장박리, 부식, 볼트부식<br>■ 도장박리, 부식, 긁힘, 볼트부식<br>■ 이물질 퇴적<br>■ Pit, 변형 | ■ 도장보수(내부)<br>■ 도장보수(외부)<br>■ 청소<br>■ 지속관찰 |
| | 가로보 세로보 | a~b | ■ 도장박리, 부식 | ■ 도장보수(외부) |
| 하부구조 | 교대 | c | ■ 망상균열, 백태<br>■ 균열(Cw=0.3㎜)<br>■ 들뜸, 박락, 박리, 보수부들뜸<br>■ 균열(Cw=0.3㎜미만), 누수흔적, 표면오염, 잡철물부식 | ■ 표면처리보수<br>■ 주입보수<br>■ 단면보수<br>■ 지속관찰 |
| | 교각 | b~c | ■ 망상균열, 백태<br>■ 균열(Cw=0.3㎜)<br>■ 박락, 재료분리, 파손, 침식<br>■ 균열(Cw=0.3㎜미만), 누수흔적, 표면오염, 녹발생, 잡철물부식 | ■ 표면처리보수<br>■ 주입보수<br>■ 단면보수<br>■ 지속관찰 |

<계속>

| 상태평가 결과 및 보수·보강 | | | | 상태평가 결과 : B |
|---|---|---|---|---|
| 결함발생 부재 | | 상태평가 결과 | 결함종류 | 보수·보강(안) |
| 교량받침 | | b | ■ 받침부식, 낙교방지시설부식 및 볼트부식<br>■ 파손<br>■ 철근노출<br>■ 균열(Cw=0.3㎜미만), 여유량부족, 낙교방지 고무재탈락, 볼트이완 | ■ 도장보수<br>■ 단면보수<br>■ 단면보수(방청)<br>■ 지속관찰 |
| 신축이음장치 | | b | ■ 균열(Cw=0.3㎜미만)<br>■ 유간토사퇴적<br>■ 커버플레이트 탈락 | ■ 표면처리보수<br>■ 청소<br>■ 재설치 |
| 교면포장 | | b~c | ■ 파손, 패임<br>■ 소성변형<br>■ 포장균열, 마모 | ■ 팻칭보수<br>■ 포장절삭<br>■ 교면 표면처리 |
| 기타부재 | 배수시설 | a~c | ■ 배수관 길이부족, 볼트탈락, 곡관탈락<br>■ 유도배수관 설치 필요 | ■ 재설치<br>■ 배수홀 파이프 설치 |
| | 방호벽, 중앙분리대 | c | ■ 망상균열, 백태, 균열(Cw=0.3㎜미만)<br>■ 균열(Cw=0.3㎜)<br>■ 박리, 파손, 재료분리<br>■ 철근노출, 박락<br>■ 충돌흔적, 녹발생, 잡철물부식 | ■ 표면처리보수<br>■ 주입보수<br>■ 단면보수<br>■ 단면보수(방청, 염해방지)<br>■ 지속관찰 |

## 나. 안전성평가 결과

| 평가 부재 | 해석방법 | 안전성평가 결과 요약 | 안전율 | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|
| 강박스거더교 (STB) | 허용응력법<br>강도설계법 | ■ 시설물의 구조적 안전성을 평가한 결과 검토부재 모두에서 안전율이 1.0 이상으로 계산되어 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가됨 | 1.0이상 | A |
| 교 각 | 강도설계법 | | 1.0이상 | |
| 교 대 | 강도설계법 | | 1.0이상 | |

## 다. 내진성능 검토 수행 여부

| 검토대상 부재 | 설계적용 여부 | 결 과 | 검토결과 요약 |
|---|---|---|---|
| 하부구조 | Y | - | ■ 설계도서 및 시설물관리대장 확인결과, 내진설계가 적용된 것으로 조사됨 |

※ 일반보고서 (5.4 교량공 참고)

## 라. 현장시험(비파괴 및 추가시험)

| 시 험 명 | | 시험 부위 | | 시험 결과 | 책임기술자 의견 |
|---|---|---|---|---|---|
| 콘크리트 | 비파괴강도 (㎫) | 상부구조 | | 27.8~41.5 | • 설계기준강도(27㎫)를 상회함. |
| | | 하부구조 | | 27.4~40.5 | • 설계기준강도(24㎫)를 상회함. |
| | 철근탐사 (㎜) | 상부 | 배근간격 | 112~155 | • 철근배근간격 및 피복두께는 준공도면과 전반적으로 유사함. |
| | | | 피복두께 | 46.0~68.0 | |
| | | 하부 | 배근간격 | 96~253 | |
| | | | 피복두께 | 41.0~104.0 | |
| | 품질시험 (km/s) | 상부구조 | | 3.857~4.626 | • 품질상태가 양호함 |
| | | 하부구조 | | 3.816~4.491 | |
| | 탄산화 잔여깊이 (㎜) | 상부 구조 | | 40.4~49.0 | • 상태평가 a |
| | | 하부 구조 | | 37.0~80.0 | |
| | 염화물함유량 ($kg/m^3$) | 상부 구조 | | 0.160~0.162 | • 상태평가 a |
| | | 하부 구조 | | 0.133~0.203 | • 상태평가 a |
| | 균열깊이 (㎝) | 하부 구조 | | 47.0 | • 주입보수 필요 |
| 강재 | 초음파탐상 (UT) | 거더 내부 (맞대기 용접부) | | 시험 36개소 (36개소 합격) | • 1급 |
| | 강재도막두께 ($\mu m$) | 거더 내부 | | 177.0~253.0 | • 도막두께(175$\mu m$) 상회 |
| | | 거더 외부 | | 284.0~444.0 | • 도막두께(215$\mu m$) 상회 |

# 청미천교(양평) 현황표

작성일 : 2016년 12월 26일

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td colspan="2">시설물명</td><td>청미천교(양평)</td><td colspan="2">시설물번호</td><td>BR2003-0000272</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년월</td><td>2002년 12월 20일</td><td colspan="2">관리번호</td><td>0450B28251</td></tr>
<tr><td colspan="2">시설물위치</td><td colspan="4">경기도 여주시 점동면 원부리(중부내륙선 256.010㎞)</td></tr>
<tr><td colspan="2">설계하중</td><td>DB-24 / DL-24</td><td colspan="2">노선명(이정)</td><td>고속국도 45호선(256.010㎞)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">제원</td><td>연장</td><td colspan="4">L = 5 @ 50 + 4 @ 50.0 = 450.0m</td></tr>
<tr><td>폭</td><td colspan="4">B = 12.150m (차로수 : 2)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구조<br>형식</td><td>상부</td><td>강박스 거더교(STB)</td><td rowspan="2">기초<br>형식</td><td>교대</td><td>강관 말뚝기초(2기)</td></tr>
<tr><td>하부</td><td>교대 : 역T형(2기)<br>교각 : T형(8기)</td><td>교각</td><td>직접기초(7기)<br>강관 말뚝기초(1기)</td></tr>
<tr><td colspan="2">교량받침</td><td>포트받침</td><td colspan="2">신축이음</td><td>A1, P5, A2 : Finger Joint</td></tr>
<tr><td colspan="2">교차시설물</td><td>교량 시점측 : 국도 37호선(S2)<br>청미천(S4~S6)</td><td colspan="2">통과높이</td><td>6.50m</td></tr>
<tr><td colspan="2">설 계 사</td><td>㈜다산컨설턴트</td><td colspan="2">시 공 사</td><td>진흥기업(주), 금강종건(주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">내진설계유무</td><td>유</td><td colspan="2">관리주체</td><td>한국도로공사 강원본부 충주지사</td></tr>
<tr><td colspan="2">부착시설내용</td><td colspan="4">교각 점검로</td></tr>
<tr><td colspan="2">기 타</td><td colspan="4">• 설계도서 및 구조계산서 유무 : 유<br>• 보수보강여부 : 하자보수, 표면처리 및 주입보수, 면정리</td></tr>
</table>

# 청미천교(마산) 정밀안전진단 결과표

## 가. 일반현황

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 용 역 명 | 2016년도 여주JCT1교 등 14개소 정밀안전진단용역 | 진단기간 | 2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26. | | |
| 관 리 주 체 명 | 한국도로공사 강원본부 충주지사 | 대 표 자 | 지사장 장 후 복 | | |
| 공동수급 | ㈜장민이엔씨/㈜다음기술단/㈜동우기술단 | 계약방법 | 일반경쟁 | | |
| 시 설 물 구 분 | 교 량 | 종 류 | 도로교량 | 종 별 | 1종 |
| 준 공 일 | 2002년 12월 20일 | 진단금액 (천원) | 456,900 | 안전등급 | B |
| 시 설 물 위 치 | 경기도 여주군 점동면 원부리 | 시 설 물 규 모 | L=450.0m, B=12.15m(2차로) | | |

## 나. 진단 실시결과 현황

| | |
|---|---|
| 중대결함 | ■ 정밀안전진단 결과 시설물의 중대결함은 없는 상태임 |
| 진 단 주요결과 | ■ 바닥판 : 균열, 망상균열, 들뜸, 백태, 파손, 고무재탈락, 노치미제거, 녹발생<br>■ Steel Box Girder : 도장박리, 부식, 볼트부식, 이물질퇴적, Pit, 변형<br>■ 가로보 및 세로보 : 도장박리, 부식<br>■ 교대 : 균열, 망상균열, 백태, 파손, 보수부들뜸, 누수흔적, 보호블럭 침하 및 파손<br>■ 교각 : 균열, 망상균열, 백태, 들뜸, 박락, 박리, 재료분리, 철근노출, 파손, 침식, 표면오염, 화재흔적, 점검로 볼트부식<br>■ 교량받침 : 받침부식, 낙교방지시설 고무재탈락, 볼트길이부족, 부식, 균열, 철근노출, 파손, 재료분리<br>■ 신축이음 : 본체부식 및 변형, 유간토사퇴적, 커버플레이트 탈락, 후타재 균열, 파손<br>■ 교면포장 : 포장균열, 망상균열, 파손, 패임, 포트홀, 이물질 용입<br>■ 배수시설 : 배수관 탈락, 유도배수관 설치필요, 배수관 길이부족<br>■ 방호벽, 중앙분리대 : 균열, 망상균열, 백태, 박락, 재료분리, 파손, 충돌흔적, 방음벽 지주부식, 덮개파손, 방음판 파손, 출입문 부식 |
| 주 요 보수·보강 | ■ 주요보수 : 표면처리보수, 주입보수, 치핑 후 면처리, 단면보수(방청), 도장보수, 팻칭보수, 실런트충진, 배수홀 파이프 설치, 강교볼트재체결, 덮개설치, 청소<br>■ 주요보강 : 보강부 없음 |

## 다. 책임(참여)기술자 현황

| 구 분 | 성 명 | 과업 참여기간 | 기술등급 |
|---|---|---|---|
| 사업책임 | 서 외 택 | 2016. 06. 20 ~ 2016. 12. 26 | 특급기술자(기술사) |
| 분야별책임(재료시험) | 김 영 환 | 2016. 06. 20 ~ 2016. 12. 26 | 특급기술자(기술사) |
| 분야별책임(자료분석) | 이 영 수 | 2016. 06. 20 ~ 2016. 12. 26 | 특급기술자(기술사) |
| 분야별참여(재료시험) | 조 병 준 | 2016. 06. 20 ~ 2016. 12. 26 | 특급기술자 |
| 분야별참여(자료분석) | 문 정 상 | 2016. 06. 20 ~ 2016. 12. 26 | 특급기술자 |
| 참여기술자 | 설범수 외 15인 | 2016. 06. 20 ~ 2016. 12. 26 | 특급기술자 등 |

## 라. 참고사항

# 청미천교(마산) 정밀안전진단 실시결과 요약표

| 책임기술자 종합의견 |
|---|
| ■ 청미천교(마산)에 대하여 현장조사, 시험 및 측정, 시설물 평가를 실시한 결과, 바닥판 캔틸레버 하면의 폭 0.3mm균열과 들뜸, P4 코핑부 철근노출 및 박락 등에 대한 적절한 보수와 A1과 A2 교량 받침 여유량부족은 주기적인 점검 등을 통한 지속관찰이 필요한 상태이며, 교량의 전체적인 상태는 특별한 문제점이 없는 건전한 상태인 것으로 확인되었다.<br>■ 시설물에 대한 평가결과, 상태평가 결과는 “B”(F=0.258), 구조해석을 통한 안전성평가 결과는 “A”로 평가되어, 청미천교(마산)의 안전등급은 “양호 상태” B(양호)로 지정하였다.<br>■ 긴급을 요하는 문제점은 없는 상태로서, 발생된 손상에 대한 내구성 확보차원의 보수 및 지속적인 주의관찰을 수행하면 구조물의 안전성과 사용성 확보를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.<br>책임기술자 : 서 외 택 |

## 가. 정밀안전진단 외관조사 결과 기본사항

| 상태평가 결과 및 보수·보강 | | | | 상태평가 결과 : B |
|---|---|---|---|---|
| 결함발생 부재 | | 상태평가 결과 | 결함종류 | 보수·보강(안) |
| 상부구조 | 바닥판 | b~c | ■ 망상균열, 백태<br>■ 균열(Cw=0.3㎜), 들뜸<br>■ 파손<br>■ 균열(Cw=0.3㎜미만), 고무재탈락, 노치미제거, 녹발생 | ■ 표면처리보수<br>■ 단면보수(방청)<br>■ 단면보수<br>■ 지속관찰 |
| | 강박스거더 | b~c | ■ 도장박리, 부식<br>■ 도장박리, 부식, 볼트부식<br>■ 이물질 퇴적<br>■ Pit, 변형 | ■ 도장보수(내부)<br>■ 도장보수(외부)<br>■ 청소<br>■ 지속관찰 |
| | 가로보<br>세로보 | a~b | ■ 도장박리, 부식 | ■ 도장보수(외부) |
| 하부구조 | 교대 | b | ■ 망상균열, 백태<br>■ 파손, 보수부들뜸<br>■ 균열(Cw=0.3㎜미만), 누수흔적, 보호블럭 침하 및 파손 | ■ 표면처리보수<br>■ 단면보수<br>■ 지속관찰 |
| | 교각 | b~c | ■ 망상균열, 백태<br>■ 들뜸, 박락, 박리, 재료분리, 파손, 침식<br>■ 철근노출<br>■ 균열(Cw=0.3㎜미만), 표면오염, 화재흔적, 점검로 볼트부식 | ■ 표면처리보수<br>■ 단면보수<br>■ 단면보수(방청)<br>■ 지속관찰 |

<계속>

| 상태평가 결과 및 보수·보강 | | | | 상태평가 결과 : B |
|---|---|---|---|---|
| 결함발생 부재 | | 상태평가 결과 | 결함종류 | 보수·보강(안) |
| 교량받침 | | a~c | ■ 받침부식, 도장박리<br>■ 균열(Cw=0.3㎜)<br>■ 파손, 재료분리<br>■ 철근노출<br>■ 균열(Cw=0.3㎜미만), 여유량부족, 낙교방지 고무재탈락 및 길이부족, 볼트이완 | ■ 도장보수<br>■ 주입보수<br>■ 단면보수<br>■ 단면보수(방청)<br>■ 지속관찰 |
| 신축이음장치 | | c | ■ 본체부식 및 변형<br>■ 균열(Cw=0.3㎜미만)<br>■ 파손<br>■ 유간토사퇴적<br>■ 커버플레이트 탈락, 볼트탈락 | ■ 지속관찰<br>■ 표면처리보수<br>■ 단면보수<br>■ 청소<br>■ 재설치, 강교볼트재체결 |
| 교면포장 | | a~b | ■ 망상균열, 파손, 패임, 포트홀, 이물질 용입<br>■ 포장균열 | ■ 팻칭보수<br>■ 실런트 충진 |
| 기타부재 | 배수시설 | a~c | ■ 유도배수관 탈락, 배수관 길이부족<br>■ 유도배수관 설치 필요 | ■ 재설치<br>■ 배수홀 파이프 설치 |
| | 방호벽, 중앙분리대 | c | ■ 망상균열, 백태, 균열(Cw=0.3㎜미만)<br>■ 균열(Cw=0.3㎜)<br>■ 박락, 재료분리, 파손<br>■ 충돌흔적, 방음벽 부식, 덮개파손, 방음벽 파손, 점검로 출입문 부식 | ■ 표면처리보수<br>■ 주입보수<br>■ 단면보수<br>■ 지속관찰 |

## 나. 안전성평가 결과

| 평가 부재 | 해석방법 | 안전성평가 결과 요약 | 안전율 | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|
| 강박스거더교 (STB) | 허용응력법<br>강도설계법 | ■ 시설물의 구조적 안전성을 평가한 결과 검토부재 모두에서 안전율이 1.0 이상으로 계산되어 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가됨 | 1.0이상 | A |
| 교 각 | 강도설계법 | | 1.0이상 | |
| 교 대 | 강도설계법 | | 1.0이상 | |

## 다. 내진성능 검토 수행 여부

| 검토대상 부재 | 설계적용 여부 | 결 과 | 검토결과 요약 |
|---|---|---|---|
| 하부구조 | Y | - | ■ 설계도서 및 시설물관리대장 확인결과, 내진설계가 적용된 것으로 조사됨 |

※ 일반보고서 (5.4 교량공 참고)

## 라. 현장시험(비파괴 및 추가시험)

| 시 험 명 | | 시험 부위 | | 시험 결과 | 책임기술자 의견 |
|---|---|---|---|---|---|
| 콘크리트 | 비파괴강도 (㎫) | 상부구조 | | 28.9~34.6 | • 설계기준강도(27㎫)를 상회함. |
| | | 하부구조 | | 27.8~37.8 | • 설계기준강도(24㎫)를 상회함. |
| | 철근탐사 (㎜) | 상부 | 배근간격 | 120~295 | • 철근배근간격 및 피복두께는 준공도면과 전반적으로 유사함. |
| | | | 피복두께 | 48.0~68.0 | |
| | | 하부 | 배근간격 | 100~303 | |
| | | | 피복두께 | 36.0~114.0 | |
| | 품질시험 (km/s) | 상부구조 | | 3.888~3.995 | • 품질상태가 양호함 |
| | | 하부구조 | | 3.738~4.510 | |
| | 탄산화 잔여깊이 (㎜) | 상부 구조 | | 42.0~51.0 | • 상태평가 a |
| | | 하부 구조 | | 32.0~80.0 | |
| | 염화물함유량 ($kg/m^3$) | 상부 구조 | | 0.151~0.282 | • 상태평가 a |
| | | 하부 구조 | | 0.196~2.301 | • 상태평가 a~c |
| | 균열깊이 (㎝) | 하부 구조 | | 46.0 | • 주입보수 필요 |
| 강재 | 초음파탐상 (UT) | 거더 내부 (맞대기 용접부) | | 시험 36개소 (36개소 합격) | • 1급 |
| | 강재도막두께 ($\mu m$) | 거더 내부 | | 178.0~304.0 | • 도막두께(175$\mu m$) 상회 |
| | | 거더 외부 | | 299.0~355.0 | • 도막두께(215$\mu m$) 상회 |

# 청미천교(마산) 현황표

작성일 : 2016년 12월 26일

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td colspan="2">시설물명</td><td>청미천교(마산)</td><td colspan="2">시설물번호</td><td>BR2003-0000271</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년월</td><td>2002년 12월 20일</td><td colspan="2">관리번호</td><td>0450B28252</td></tr>
<tr><td colspan="2">시설물위치</td><td colspan="4">경기도 여주시 점동면 원부리(중부내륙선 256.020㎞)</td></tr>
<tr><td colspan="2">설계하중</td><td>DB-24/DL-24</td><td colspan="2">노선명(이정)</td><td>고속국도 45호선(256.020㎞)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">제원</td><td>연장</td><td colspan="4">L = 5 @ 50 + 4 @ 50.0 = 450.0m</td></tr>
<tr><td>폭</td><td colspan="4">B = 12.150m (차로수 : 2)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구조형식</td><td>상부</td><td>강박스 거더교(STB)</td><td rowspan="2">기초형식</td><td>교대</td><td>강관 말뚝기초(2기)</td></tr>
<tr><td>하부</td><td>교대 : 역T형(2기)<br>교각 : T형(8기)</td><td>교각</td><td>직접기초(7기)<br>강관 말뚝기초(1기)</td></tr>
<tr><td colspan="2">교량받침</td><td>포트받침</td><td colspan="2">신축이음</td><td>A1, A2 : Finger Joint<br>P5 : Rail Joint</td></tr>
<tr><td colspan="2">교차시설물</td><td>교량 시점측 : 국도 37호선(S2)<br>청미천(S4~S6)</td><td colspan="2">통과높이</td><td>6.50m</td></tr>
<tr><td colspan="2">설 계 사</td><td>㈜다산컨설턴트</td><td colspan="2">시 공 사</td><td>진흥기업(주), 금강종건(주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">내진설계유무</td><td>유</td><td colspan="2">관리주체</td><td>한국도로공사 강원본부 충주지사</td></tr>
<tr><td colspan="2">부착시설내용</td><td colspan="4">교대 및 교각 점검로</td></tr>
<tr><td colspan="2">기 타</td><td colspan="4">• 설계도서 및 구조계산서 유무 : 유<br>• 보수보강여부 : 하자보수, 표면처리 및 주입보수, 면정리,</td></tr>
</table>

# 정밀안전진단 참여기술진

| 참여구분 | 참여분야 | 소 속 | 직 위 | 성 명 | 참여기간 | 서 명 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 계 | | | | 21명 | 1,024 일 | |
| 책임기술자 | 사업책임 | (주)장민이엔씨 | 원 장 | 서외택 | 2016.06.20.~12.26.<br>(152일) | |
| 분야별<br>책임기술자 | 재료시험 | (주)동우기술단 | 부사장 | 김영환 | 2016.06.20.~12.26.<br>(152일) | |
| | 자료분석 | (주)다음기술단 | 이 사 | 이영수 | 2016.06.20.~12.26.<br>(152일) | |
| 분야별<br>참여기술자 | 재료시험 | (주)장민이엔씨 | 부사장 | 조병준 | 2016.06.20.~12.26.<br>(95일) | |
| | 자료분석 | (주)다음기술단 | 부사장 | 문정상 | 2016.06.20.~12.26.<br>(95일) | |
| 기타<br>참여기술자 | 재료시험 | (주)장민이엔씨 | 부사장 | 설범수 | 2016.06.20.~12.26.<br>(26일) | |
| | | 〃 | 대표이사 | 한영필 | 2016.06.20.~12.26.<br>(26일) | |
| | | 〃 | 상 무 | 박동욱 | 2016.06.20.~12.26.<br>(26일) | |
| | | 〃 | 부 장 | 김태근 | 2016.10.01.~12.26.<br>(21일) | |
| | | 〃 | 차 장 | 이승현 | 2016.06.20.~12.26.<br>(26일) | |
| | | 〃 | 과 장 | 현재웅 | 2016.06.20.~12.26.<br>(25일) | |
| | | 〃 | 대 리 | 장용환 | 2016.06.20.~12.26.<br>(25일) | |
| | | 〃 | 주 임 | 최윤석 | 2016.06.20.~12.26.<br>(25일) | |
| | 자료분석 | (주)다음기술단 | 이 사 | 이종헌 | 2016.06.20.~12.26.<br>(24일) | |
| | | 〃 | 차 장 | 주병철 | 2016.06.20.~12.26.<br>(22일) | |
| | | 〃 | 과 장 | 최경식 | 2016.06.20.~12.26.<br>(22일) | |
| | | 〃 | 대 리 | 박세훈 | 2016.06.20.~12.26.<br>(20일) | |
| | | 〃 | 과 장 | 김영석 | 2016.06.20.~12.26.<br>(20일) | |
| | | 〃 | 대 리 | 임현민 | 2016.06.20.~12.26.<br>(20일) | |
| | | (주)동우기술단 | 차 장 | 유재웅 | 2016.06.20.~12.26.<br>(25일) | |
| | | 〃 | 과 장 | 호 근 | 2016.06.20.~12.26.<br>(25일) | |

# 시설물의 위치도

○ 시설물 위치 : 경기도 여주시 점동면 원부리 (고속국도 45호선 256.010㎞)

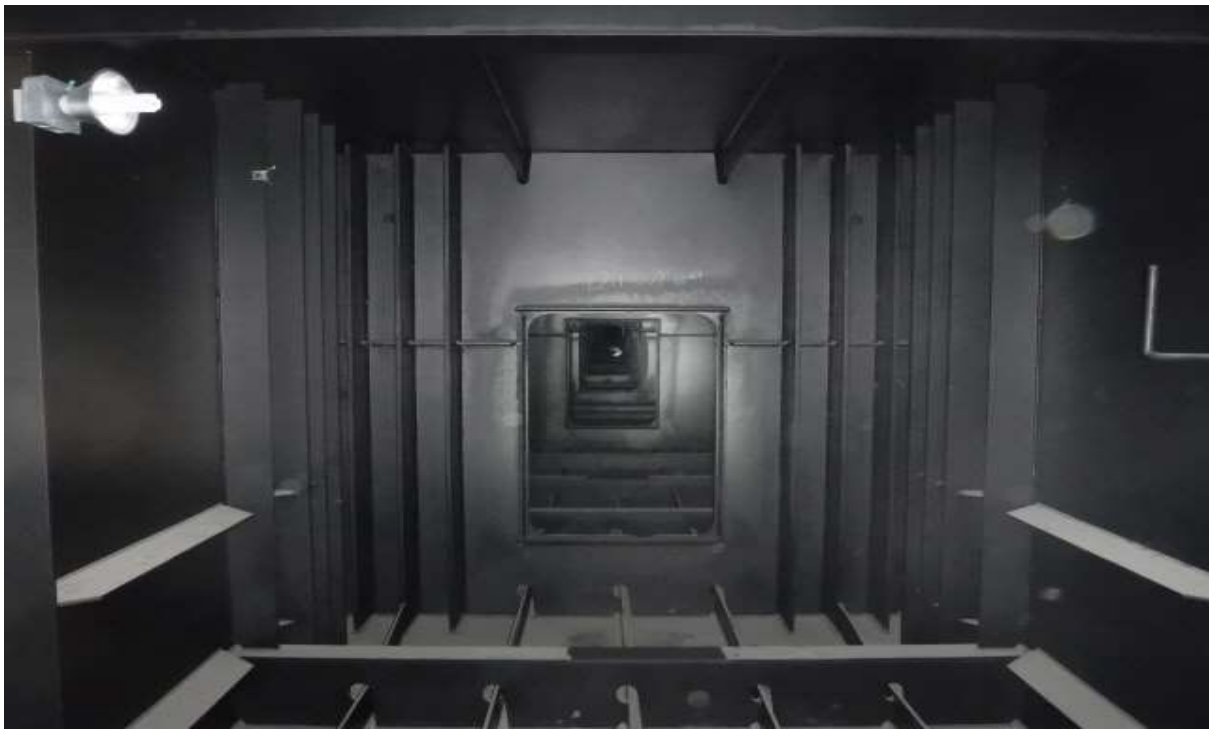
# 시설물의 전경사진(1)

상부전경

측면전경

# 시설물의 전경사진(2)

강박스 외부 전경



강박스 내부 전경

# 시설물의 전경사진(3)

교대 전경

교각 전경

# 시설물의 전경사진(4)

받침전경(마산)

신축이음전경(마산)

방호벽전경(마산)

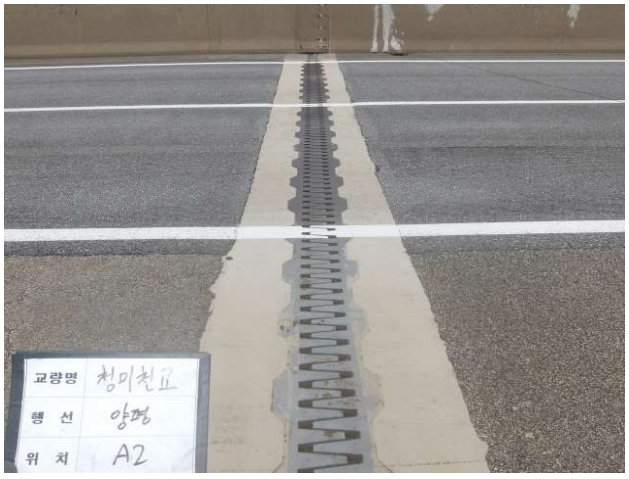
배수관전경(마산)

가로보전경(마산)

세로보전경(마산)

# 시설물의 전경사진(5)

받침전경(양평)




신축이음전경(양평)

방호벽전경(양평)

배수관전경(양평)

가로보전경(양평)

세로보전경(양평)

# 제1장
# 정밀안전진단 개요

1.1 과업의 목적
1.2 과업의 범위 및 내용
1.3 과업수행 일정
1.4 대상시설물 현황
1.5 사용장비 및 시험기기 현황
1.6 교량기호의 정의
1.7 참고문헌

# 제1장 정밀안전진단 개요

## 1.1 과업의 목적

본 과업은 “시설물의 안전관리에 관한 특별법” (이하 ” 시특법 “이라 한다.) 제7조 및 동법 시행령 제9조에 의한 정밀안전진단으로서 시설물의 물리적·기능적 결함과 손상을 조사·측정하고 원인을 분석하여 신속하고 적절한 조치를 취하며, 상태 및 구조적 안전성, 사용성을 종합적으로 검토·평가하여 적절한 보수·보강방법 및 유지관리방안을 수립하여, 고속도로 시설물의 재난예방과 안전성 확보를 통해 공공의 안전을 확보하는데 그 목적이 있다.

## 1.2 과업의 범위 및 내용

### 1.2.1 과업의 범위

현장조사시 필요한 경우 교통통제 및 안전조치를 취하여야 하며, 시설물 근접조사를 위한 접근장비 등을 투입하여야 한다. 정밀안전진단에서는 시설물의 결함 정도에 따라 필요한 조사·측정·시험, 구조계산, 수치해석 등을 실시하고 분석·검토하여 안전성평가 결과를 결정하고, 보수·보강이 필요한 경우에는 보수·보강방법을 제시한다.

1) 자료수집 및 분석
2) 현장조사 및 시험
3) 상태평가
4) 안전성평가
5) 종합평가 및 안전등급 지정
6) 보수・보강 및 유지관리 방안 제시
7) 보고서 작성

### 1.2.2 과업수행 기간

2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26. (착수일로부터 190일)

## 1.2.3 과업의 내용

【표 1-1】 과업의 내용

| 과업항목 | 지침상 기본 과업 | 금회 과업 내용 |
|---|---|---|
| 자료 수집 및 분석 | ■ 설계도서<br>■ 시설물관리대장<br>■ 시공관련자료<br>■ 안전점검·정밀안전진단 실시결과 자료<br>■ 보수·보강이력 검토·분석 | ■ 좌동 |
| 현장조사 및 시험 | ■ 전체부재의 외관조사 및 외관조사망도 작성<br>■ 현장 재료시험 등<br>- 콘크리트 강도<br>·비파괴시험 : 반발경도시험, 초음파전달속도시험, 염화물 함유시험 등<br>·철근탐사(배근상태, 피복두께)<br>·콘크리트 탄산화 깊이 측정<br>·염화물 함유시험<br>·균열깊이 측정(0.3㎜이상 균열, 필요시)<br>- 강재시험<br>·강재 초음파탐상 시험 | ■ 좌동 |
| 상태평가 | ■ 외관조사 결과분석<br>■ 현장시험 및 재료시험 결과 분석<br>■ 콘크리트 및 강재의 등의 내구성 평가<br>■ 부재별 및 시설물 전체 상태평가 결과에 대한 책임기술자의 소견(안전등급 지정) | ■ 좌동 |
| 안전성평가 | ■ 조사 및 시험, 측정결과의 분석<br>■ 기존의 구조계산서 또는 안전성평가 자료 검토, 분석<br>■ 내하력 및 구조 안전성평가<br>■ 시설물의 안전성평가 결과에 대한 소견 | ■ 좌동 |
| 종합평가 | ■ 시설물의 종합평가 결과에 대한 소견<br>■ 안전등급 지정 | ■ 좌동 |
| 보수·보강방안 | ■ 보수·보강 방법 제시 | ■ 좌동 |
| 보고서작성 | ■ CAD 도면 작성 등 보고서 작성 | ■ 좌동 |

주) 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 (한국시설안전공단, 2010.12) 적용

# 1.3 과업수행 일정

## 1.3.1 과업수행절차

【그림 1-1】 과업수행 흐름도

## 1.3.2 과업수행 일정

금회 정밀안전진단 과업의 세부수행일정 및 공정표는 아래표와 같이 나타내었다.

【표 1-2】 과업수행 공정표

| 공 종 | 2016년(착수일로 부터 190일간) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 6월 | | | 7월 | | | | | 8월 | | | | | 9월 | | | | | 10월 | | | | | 11월 | | | | | 12월 | | | | | | | | |
| | 20 | 30 | | 10 | 20 | 31 | | | 10 | 20 | 31 | | | 10 | 20 | 30 | | | 10 | 20 | 31 | | | 10 | 20 | 30 | | | 10 | 20 | 26 | | | | | |
| 1. 사전조사<br>· 착수 및 예비답사<br>· 관계자료 수집 및 분석<br>· 현장조사 계획수립 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | -과업수행계획서: (사전검토보고서포함) 착수일(06.20.)로부터 14일 이내 제출 |
| 2. 현장조사, 상태조사<br>· 외관조사<br>· 비파괴조사 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | -구조물별 상세일정은 첨부된 상세예정공정표 참고<br>-필요시 2차 현장조사 |
| 3. 조사결과 검토 및 분석 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4. 시설물의 상태평가 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | -필요 시 2차 현장조사 |
| 5. 안전성평가 및 종합평가, 안전등급 지정 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | -필요 시 2차 현장조사 |
| 6. 보수·보강 방안 제시<br>· 공법, 우선순위 및 시 기 선정 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7. 유지관리방안 제시 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8. 보고서 작성<br>· 심의용 보고서 작성<br>· 심의의뢰 및 보고서 제출<br>· 심의결과 조치 및 보완 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | -과업성과품은 제출하여 사전검토 후 미비된 사항은 수정하여 최종성과품 작성 |
| 9. 점검결과 전산입력<br>· 최종보고서 작성 및 성과품 제출<br>· FMS / HBMS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | -HBMS 입력 후 감독자 확인<br>※입력시기 상호 협의 |

# 1.4 대상시설물 현황

## 1.4.1 현황

청미천교(양평, 마산)는 경기도 여주시 점동면 원부리에 위치한 연장 450.0m, 폭 12.15m의 교량으로서, 2002년 12월에 준공되어 약 14년 동안 공용중이다. 상부구조는 강박스 거더(STB)이고, 하부구조는 역T형 교대, T형 교각으로 구성되어 있으며, 전반적인 현황은 다음과 같다.

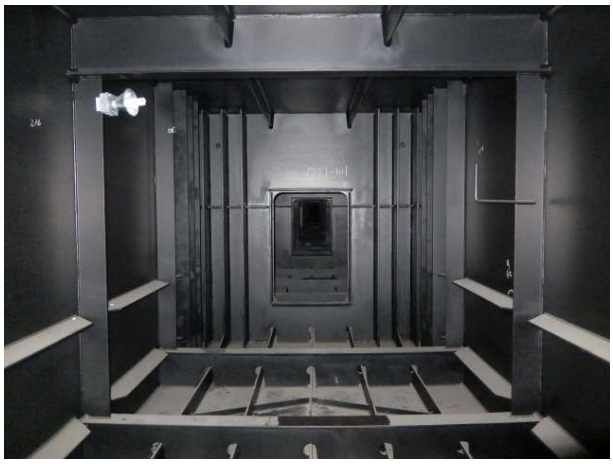
【표 1-3】 청미천교(양평) 시설물의 현황

| 구 분 | 내 용 | 구 분 | | 내 용 |
|---|---|---|---|---|
| 시설물명 | 청미천교(양평) | 관리주체 | | 한국도로공사 강원본부 충주지사 |
| 시설물위치 | 경기도 여주시 점동면 원부리(중부내륙선 256.010㎞) | | | |
| 설계하중 | DB-24/DL-24 | 노선명 | | 고속국도 45호선(256.010㎞) |
| 준공년월 | 2002. 12 | 설계사 | | ㈜다산컨설턴트 |
| 상부형식 | 강박스 거더교(STB) | 시공사 | | 진흥기업(주), 금강종건(주) |
| 교 폭 | B = 12.15m<br>(차로수 : 2) | 감리사 | | - |
| 연 장 | L = 450.0m<br>(5@45+4@50.0) | 교대<br>형식 | 본체 | A1, A2 : 역T형(2기) |
| 경 사 | S(종구배)=-0.914%,<br>S(횡구배)=-2.0% | | 기초 | A1, A2 : 강관 말뚝기초(2기) |
| 평면선형 | 곡선 선형(R=5400.0m) | 교각<br>형식 | 본체 | 교각 : T형(8기) |
| 교면포장 | 아스팔트포장(t=80cm) | | 기초 | P1~P7 : 직접기초(7기)<br>P8 : 강관 말뚝기초(1기) |
| 교량받침 | 포트받침 | 신축이음 | | A1, P2, A2 : Finger Joint |
| 교차시설물 | 교량 시점측 : 국도 37호선(S2)<br>청미천(S4~S6) | | | |

【표 1-4】 청미천교(마산) 시설물의 현황

| 구 분 | 내 용 | 구 분 | | 내 용 |
|---|---|---|---|---|
| 시설물명 | 청미천교(양평) | 관리주체 | | 한국도로공사 강원본부 충주지사 |
| 시설물위치 | 경기도 여주시 점동면 원부리(중부내륙선 256.010㎞) | | | |
| 설계하중 | DB-24/DL-24 | 노선명 | | 고속국도 45호선(256.010㎞) |
| 준공년월 | 2002. 12 | 설계사 | | ㈜다산컨설턴트 |
| 상부형식 | 강박스 거더교(STB) | 시공사 | | 진흥기업(주), 금강종건(주) |
| 교 폭 | B = 12.15m<br>(차로수 : 2) | 감리사 | | - |
| 연 장 | L = 450.0m<br>(5@45+4@50.0) | 교대<br>형식 | 본체 | A1, A2 : 역T형(2기) |
| 경 사 | S(종구배)=-0.914%,<br>S(횡구배)=-2.0% | | 기초 | A1, A2 : 강관 말뚝기초(2기) |
| 평면선형 | 곡선 선형(R=5400.0m) | 교각<br>형식 | 본체 | 교각 : T형(8기) |
| 교면포장 | 아스팔트포장(t=80cm) | | 기초 | P1~P7 : 직접기초(7기)<br>P8 : 강관 말뚝기초(1기) |
| 교량받침 | 포트받침 | 신축이음 | | A1, P2, A2 : Finger Joint |
| 교차시설물 | 교량 시점측 : 국도 37호선(S2)<br>청미천(S4~S6) | | | |

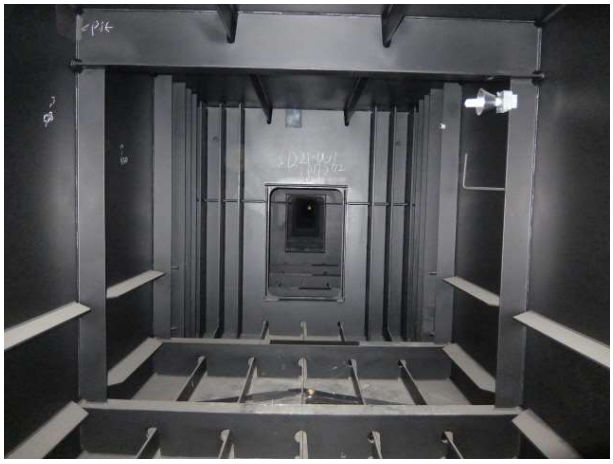
## 1.4.2 대상시설물 사진

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>포장부 전경</td><td>드론 전경</td></tr>
<tr><td>  </td><td> </td></tr>
<tr><td>Steel Box Girder 내부 전경</td><td>Steel Box Girder 외부 전경</td></tr>
<tr><td> </td><td>
</td></tr>
<tr><td>교대 전경</td><td>교각 전경</td></tr>
</table>

【그림 1-2】 청미천교(양평) 시설물사진

포장부 전경

드론 전경



Steel Box Girder 내부 전경

Steel Box Girder 외부 전경

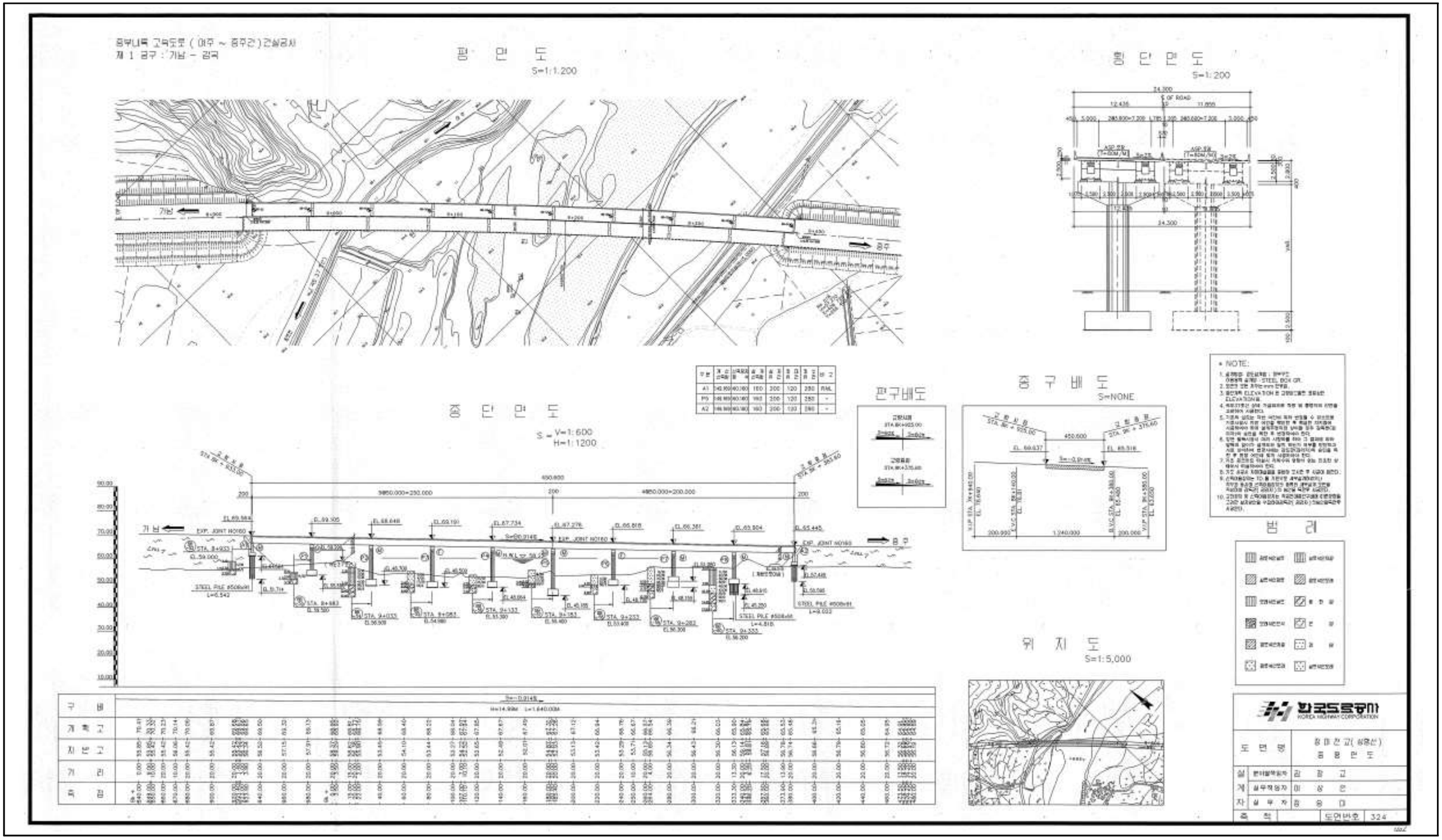
교대 전경

교각 전경

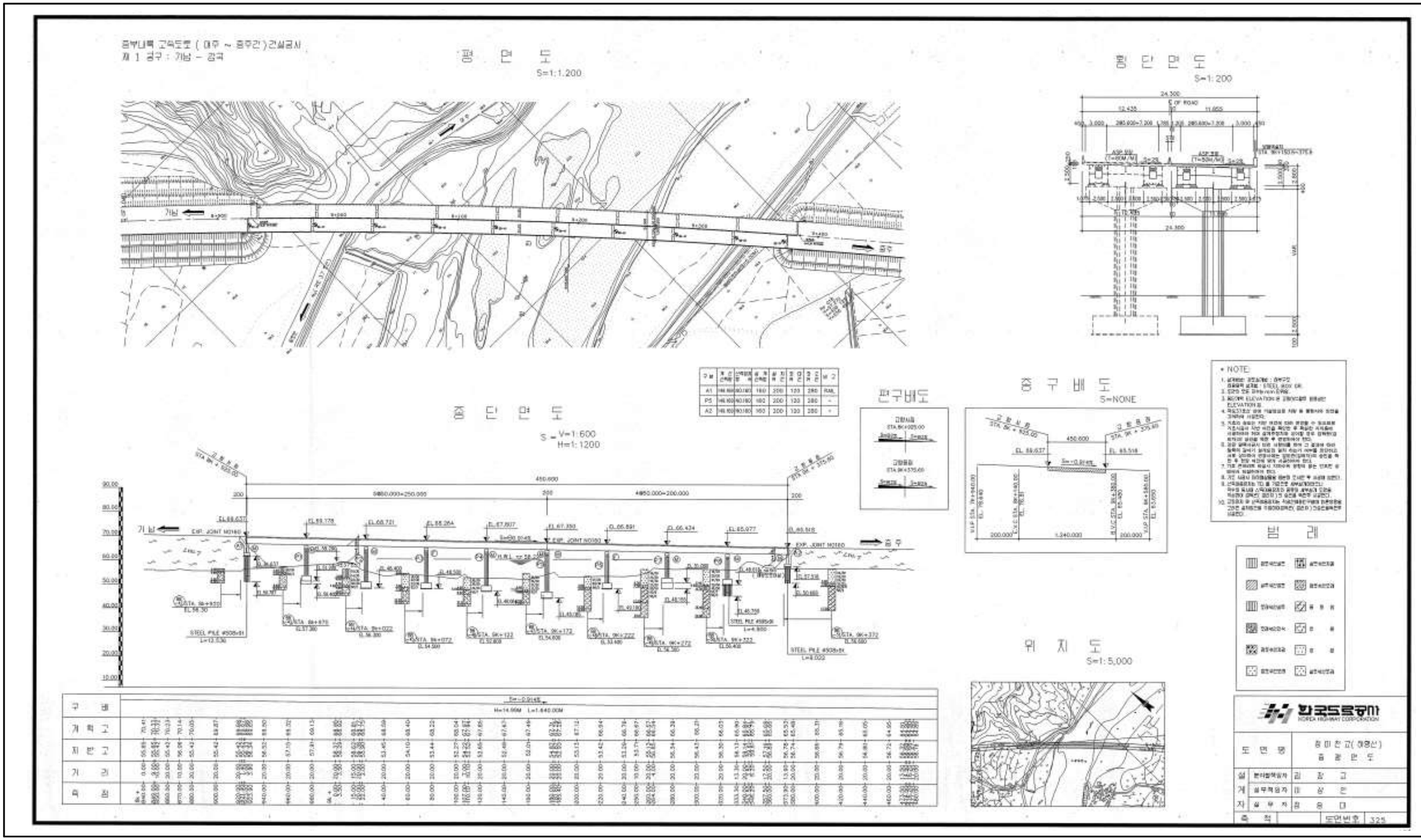
【그림 1-3】 청미천교(마산) 시설물사진

## 1.4.3 교량 주요도면

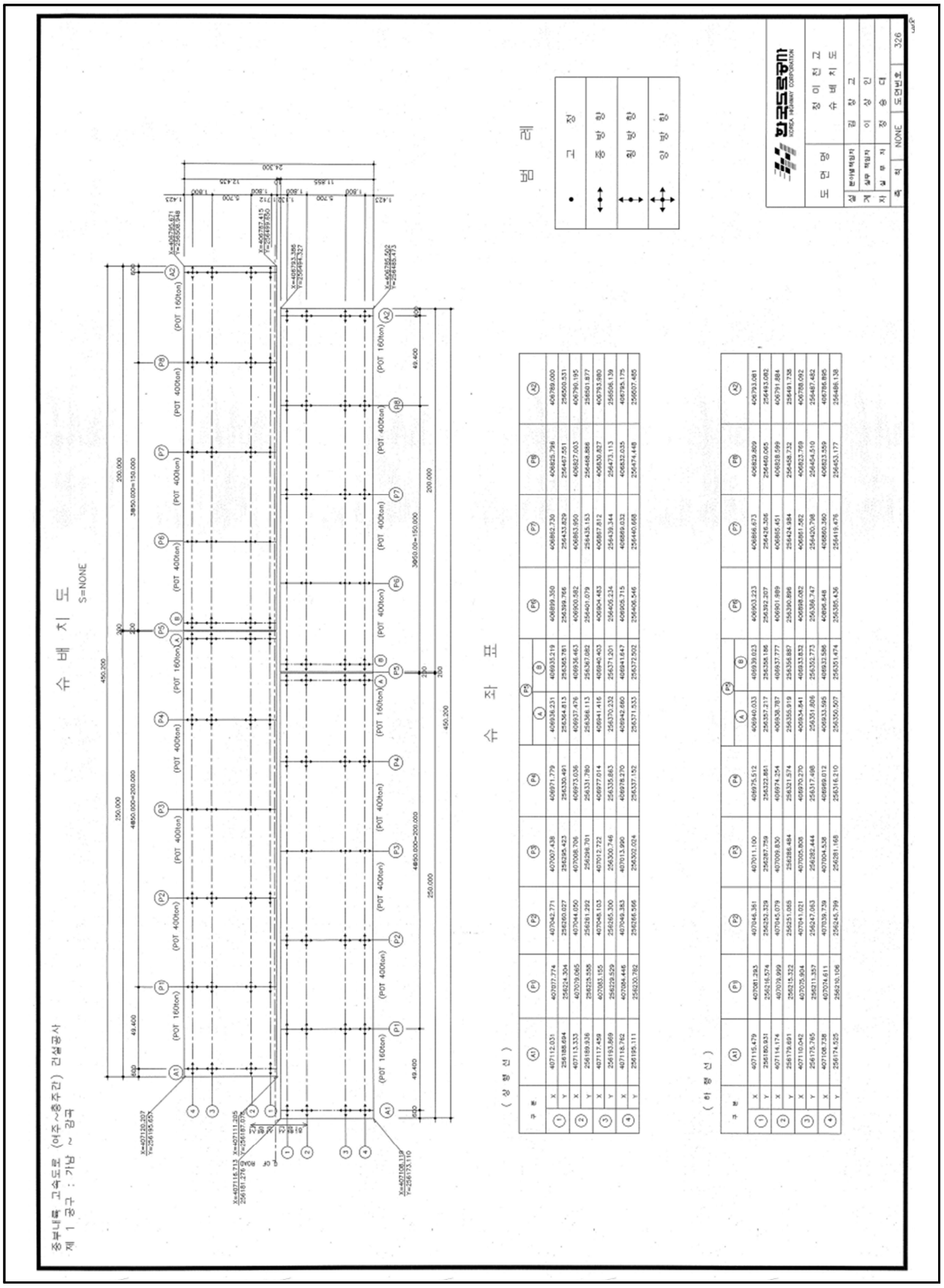
청미천교(양평, 마산)의 종・평면도, 일반도는 【그림 1-4】 ~【그림 1-41】과 같다.



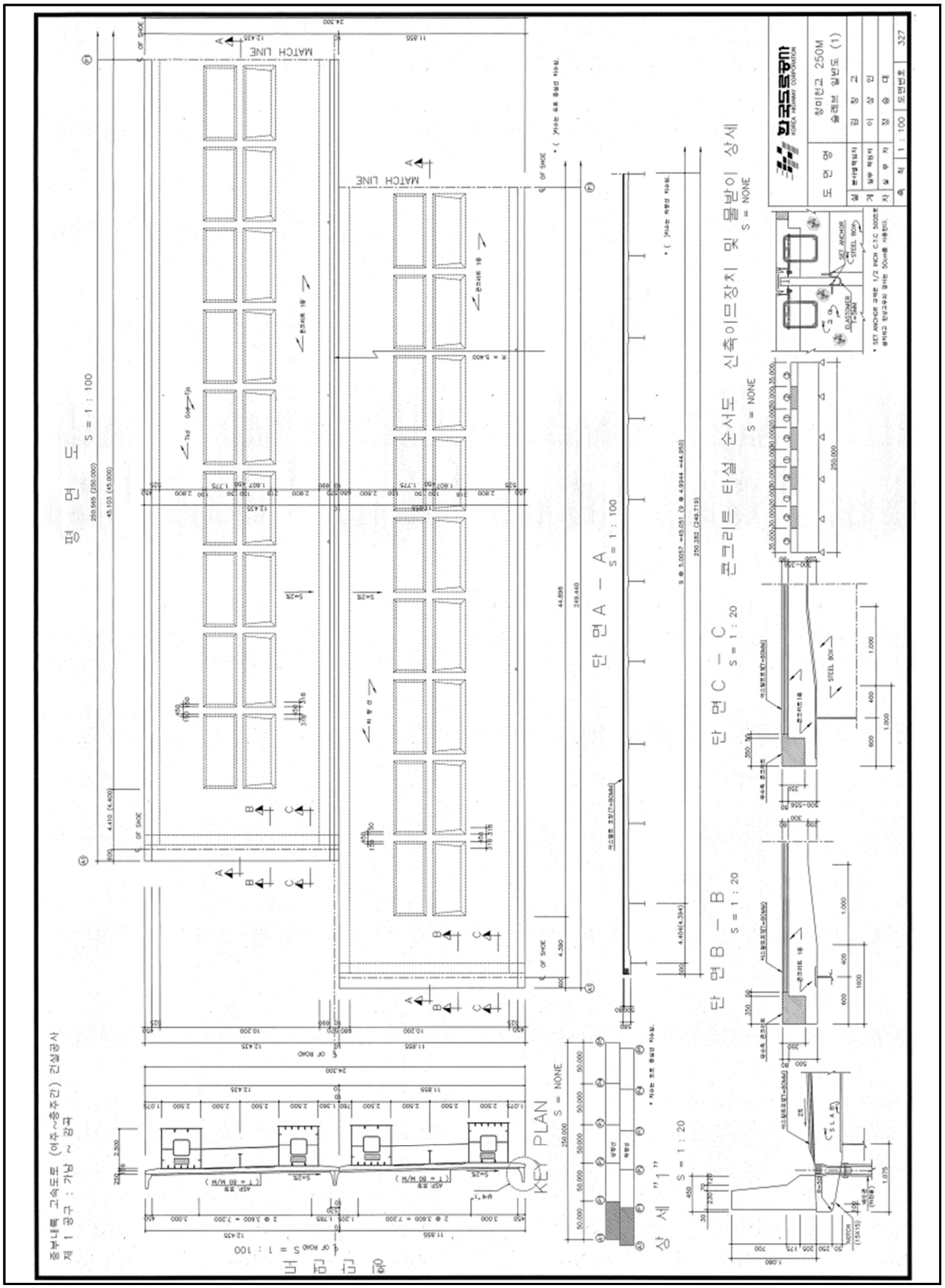

【그림 1-4】 청미천교(양평) 종・평면도



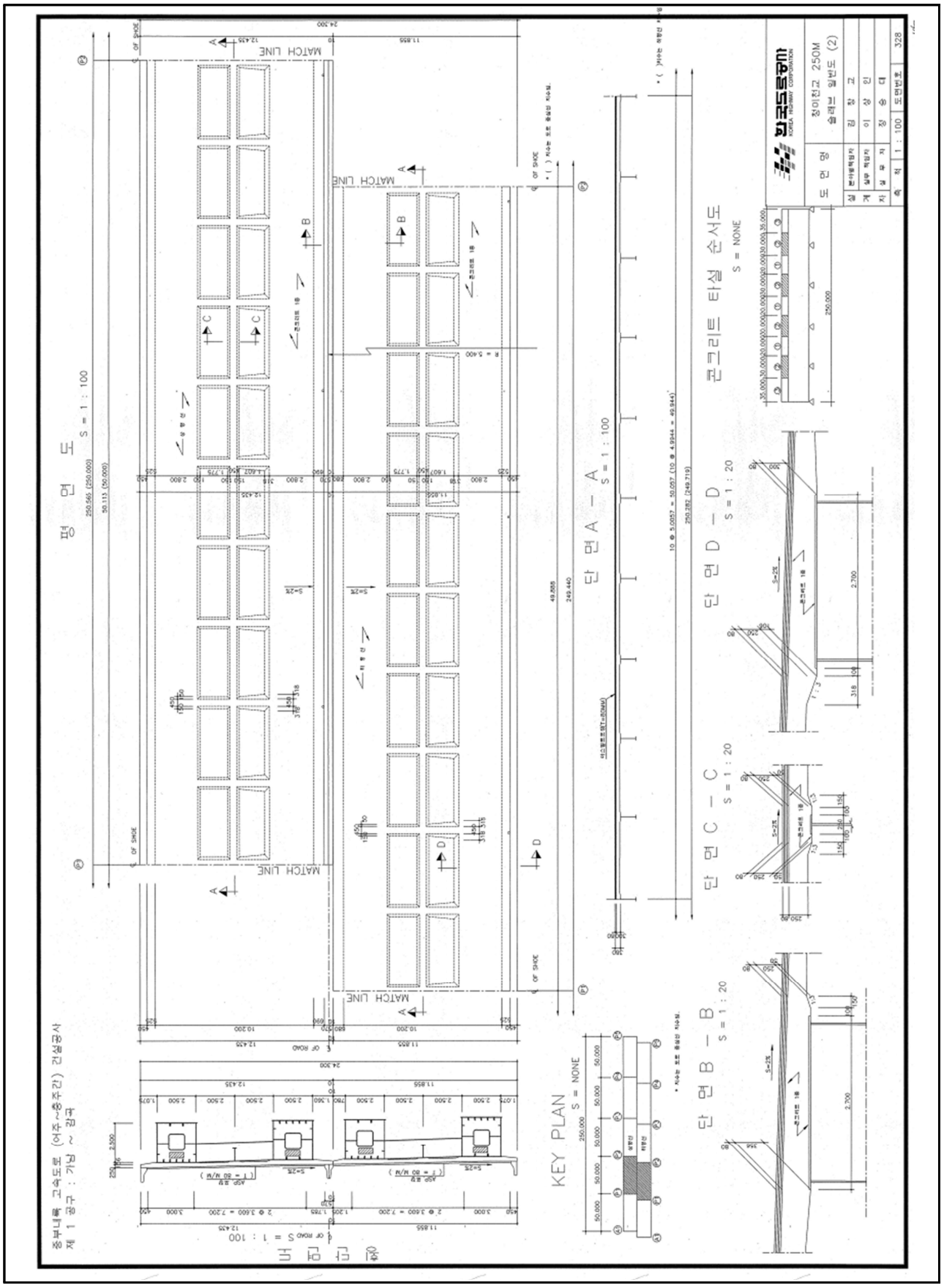

【그림 1-5】 청미천교(마산) 종・평면도



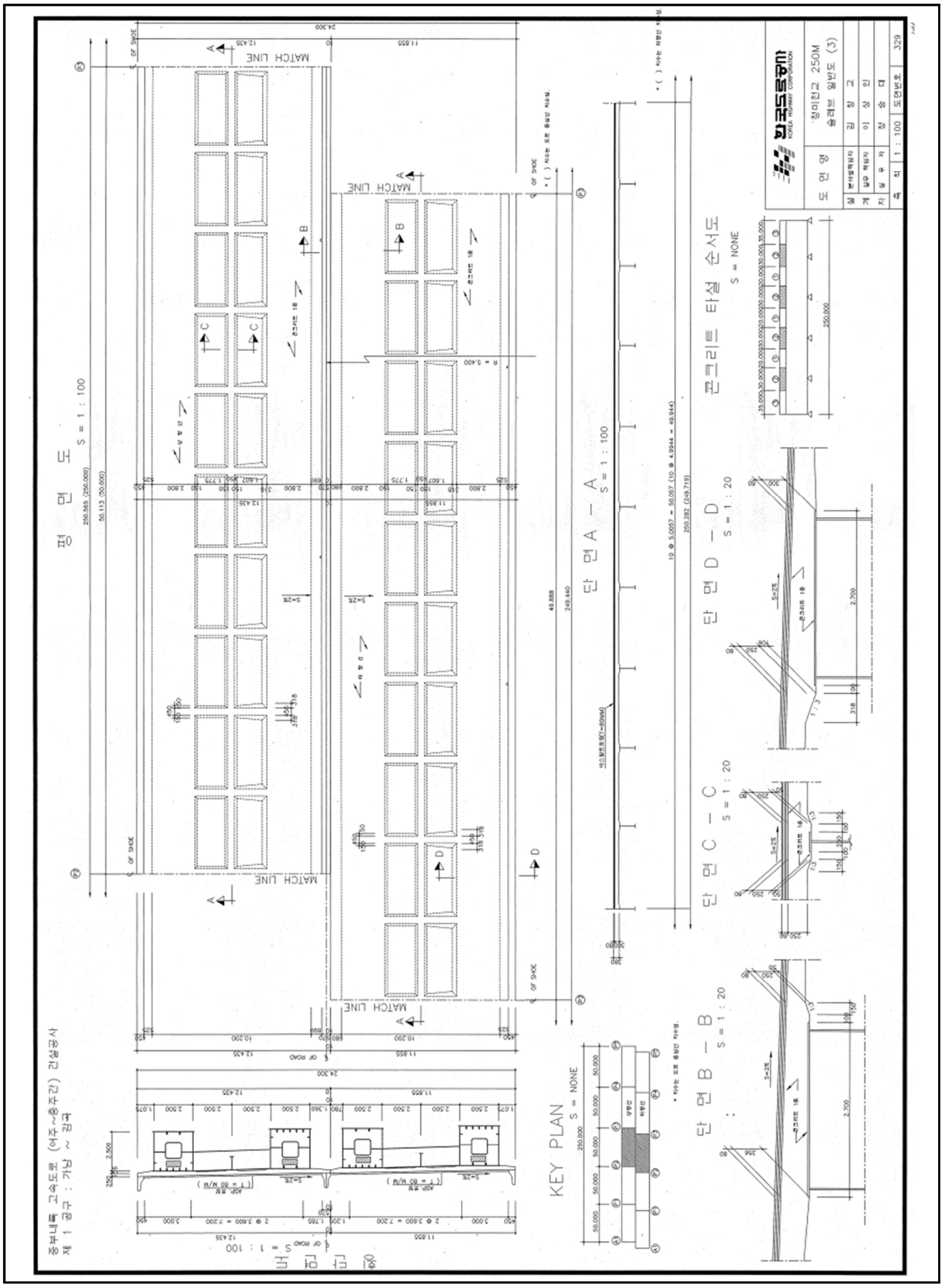

【그림1-6】 교량받침 배치도



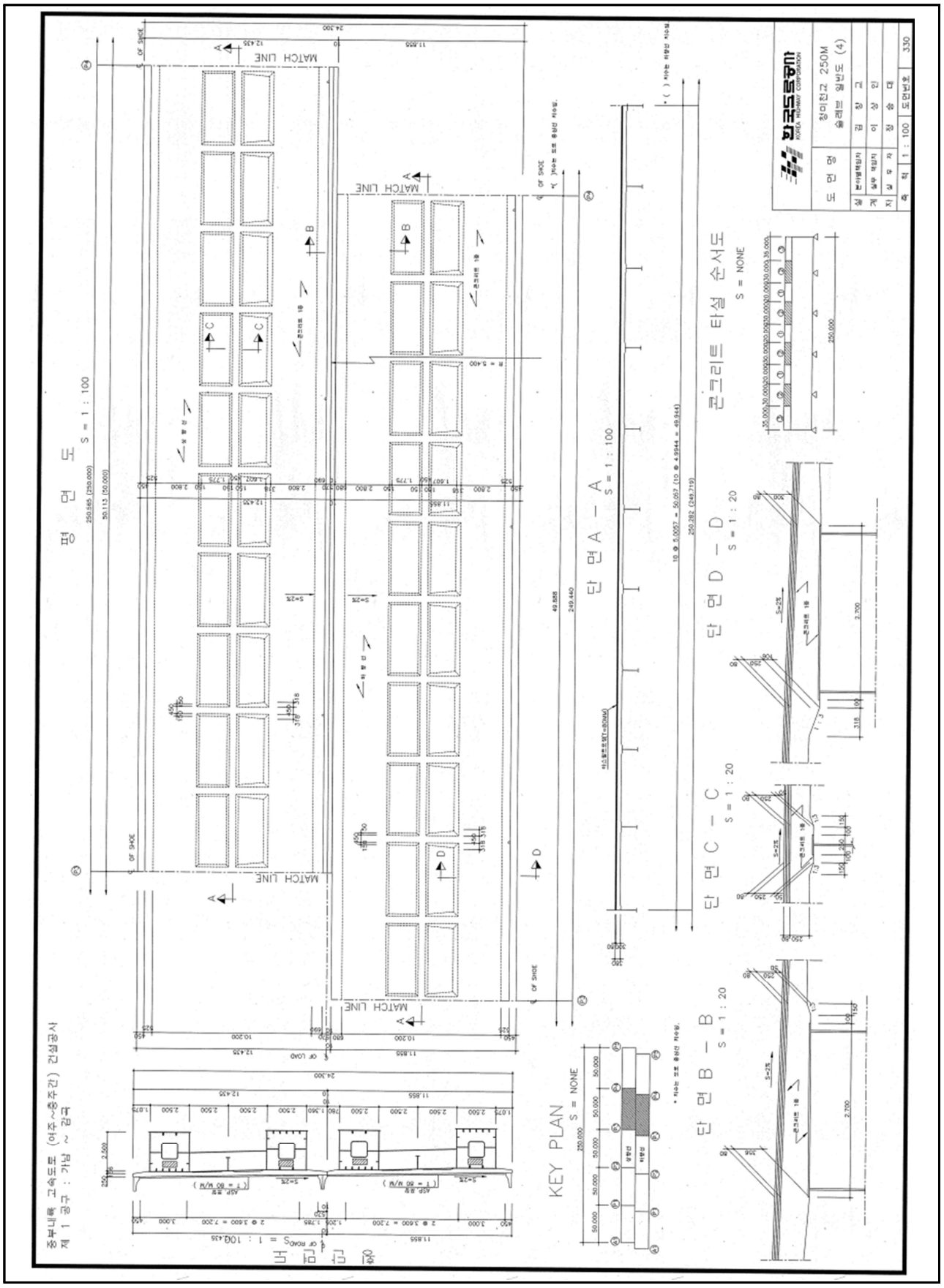

【그림1-7】 슬래브 일반도(1)



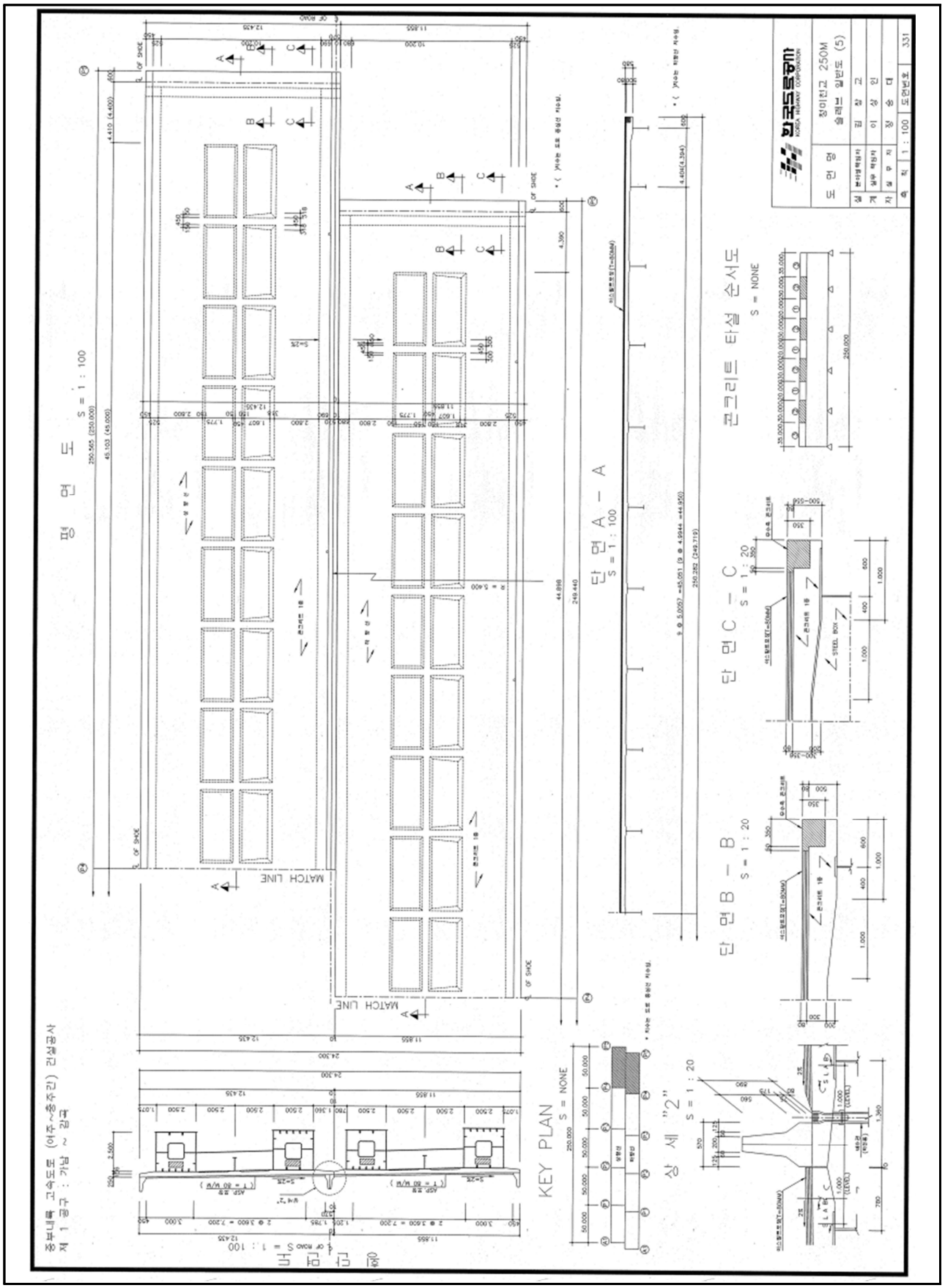

【그림1-8】 슬래브 일반도(2)



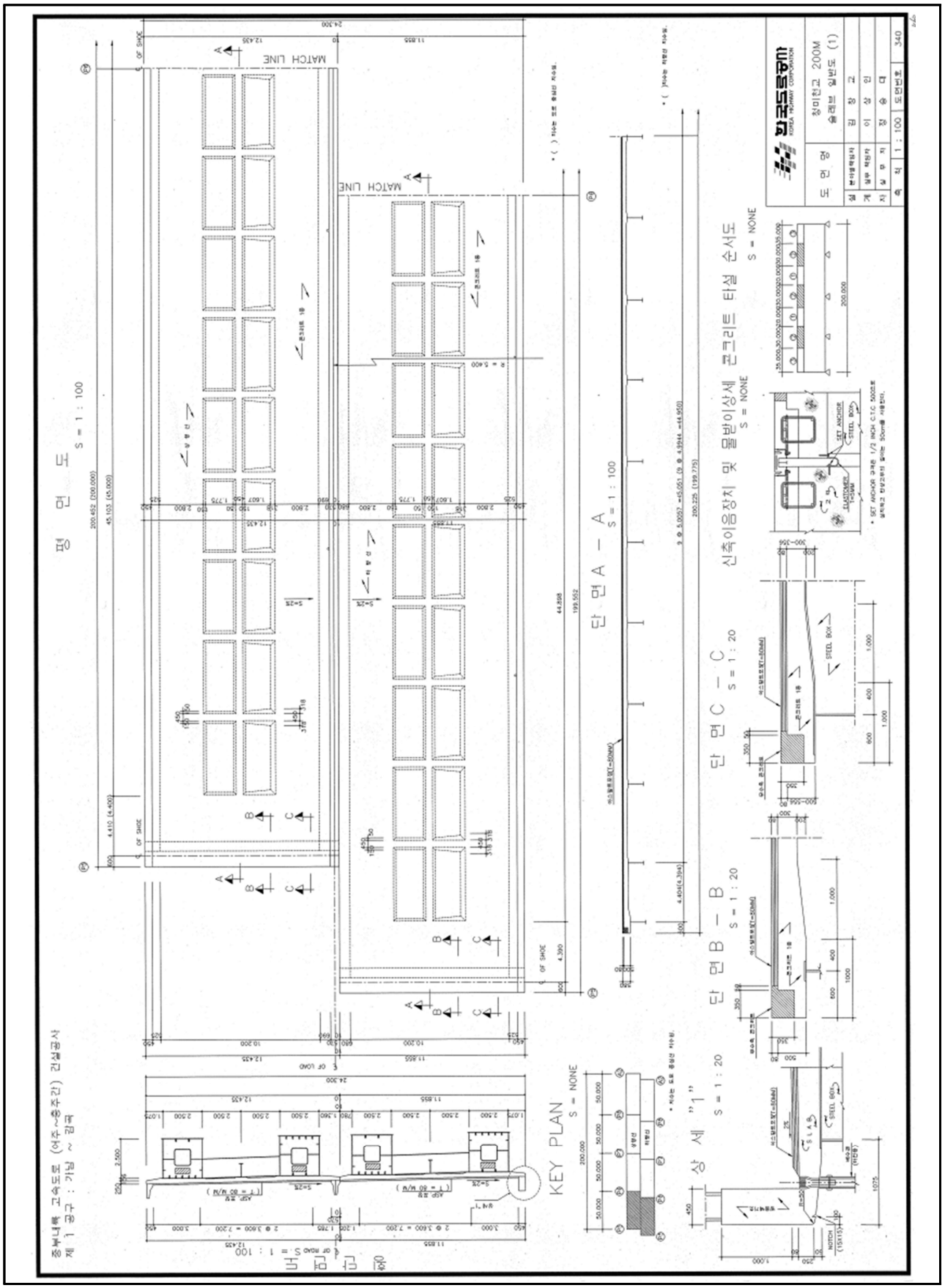

【그림1-9】 슬래브 일반도(3)



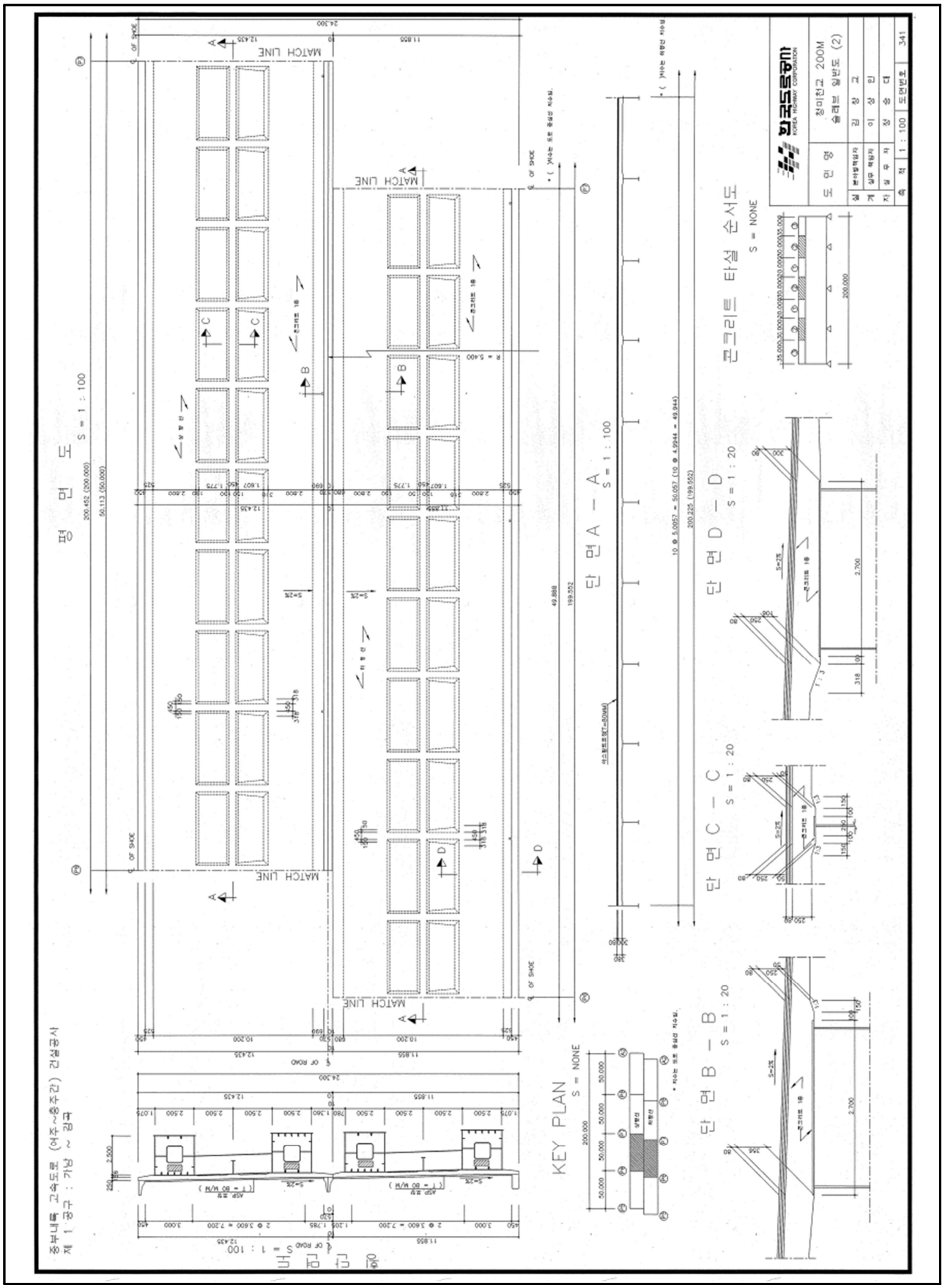

【그림1-10】 슬래브 일반도(4)



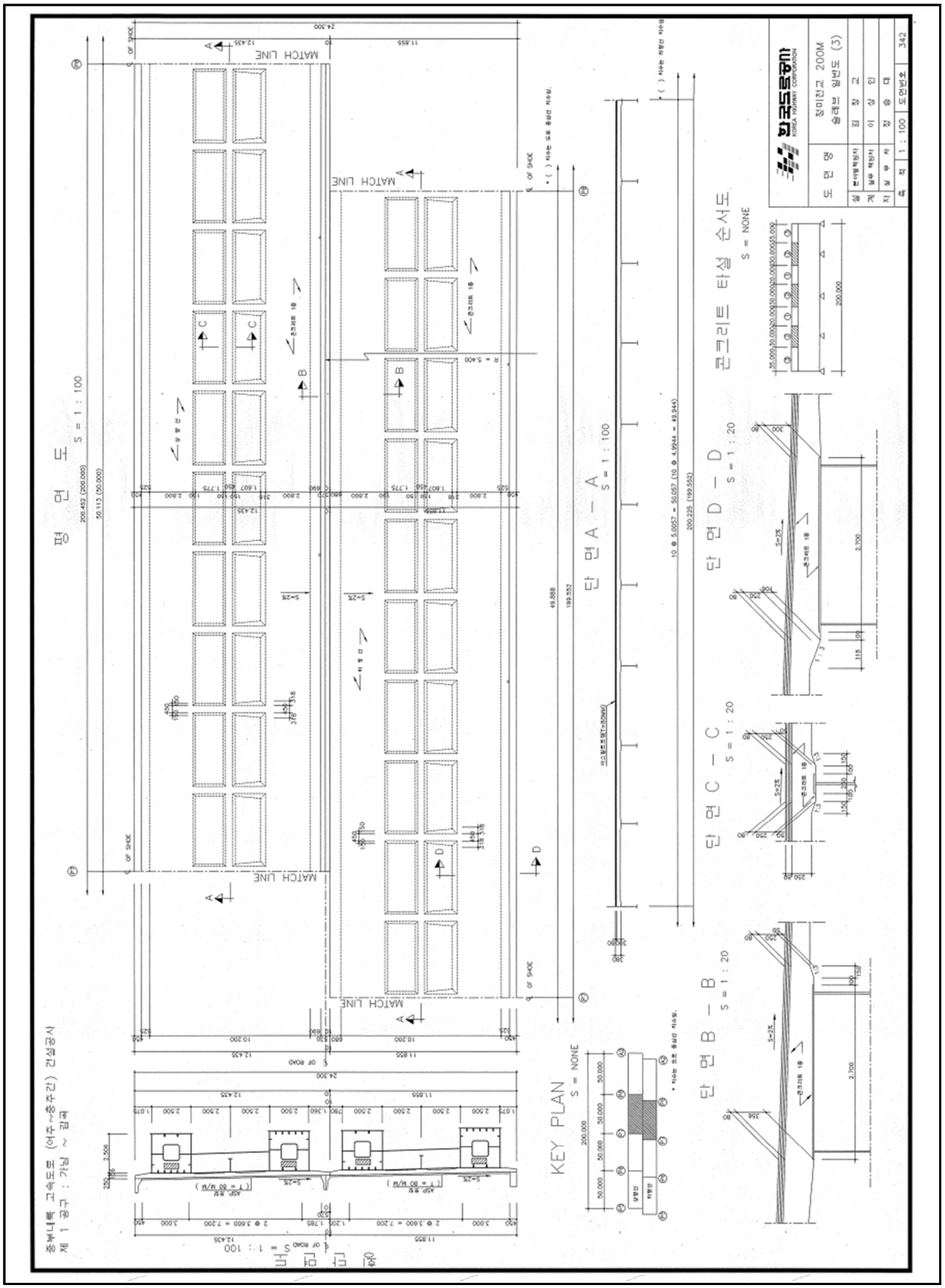

【그림1-11】 슬래브 일반도(5)



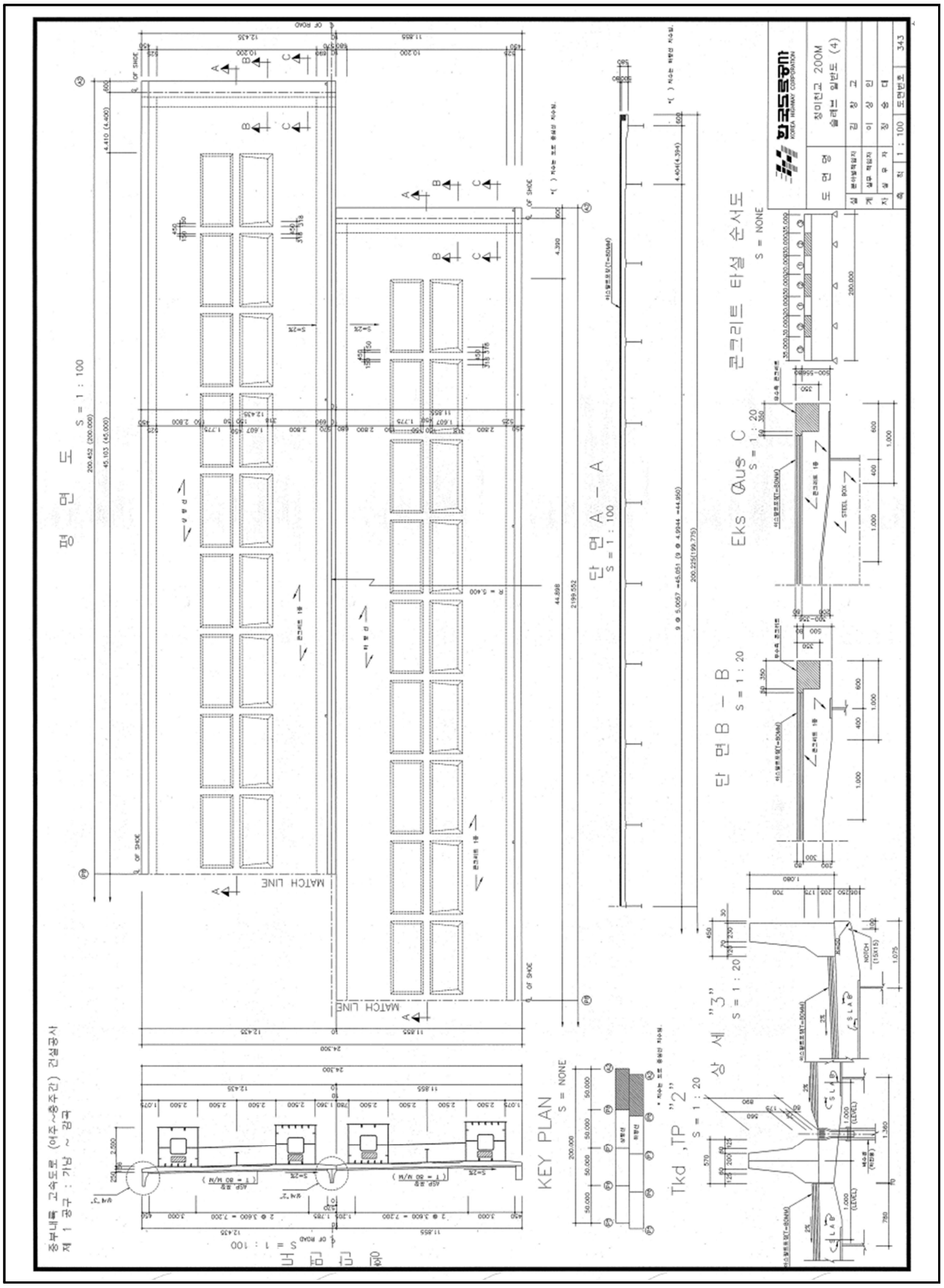

【그림1-12】 슬래브 일반도(6)



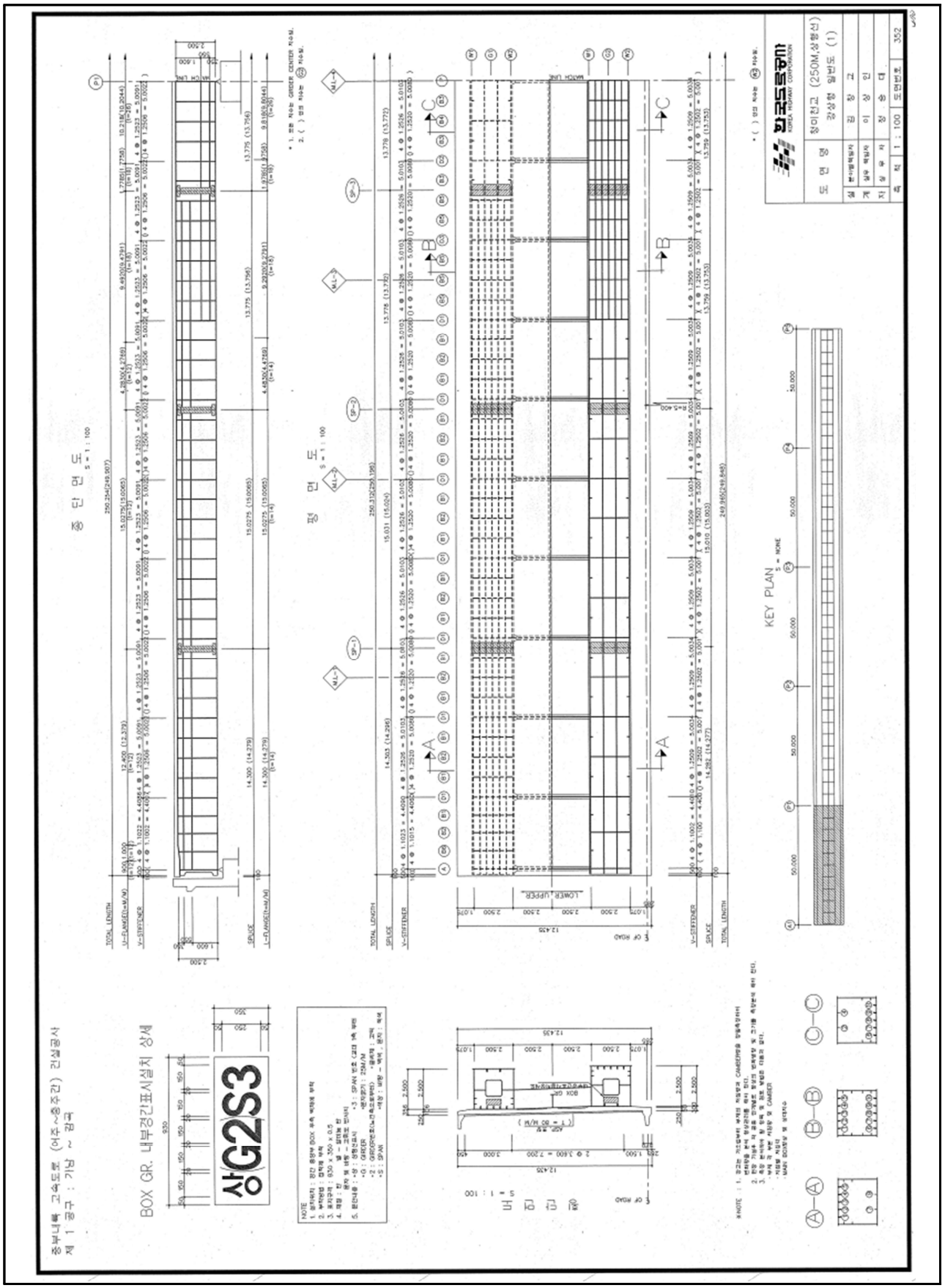

【그림1-13】 슬래브 일반도(7)



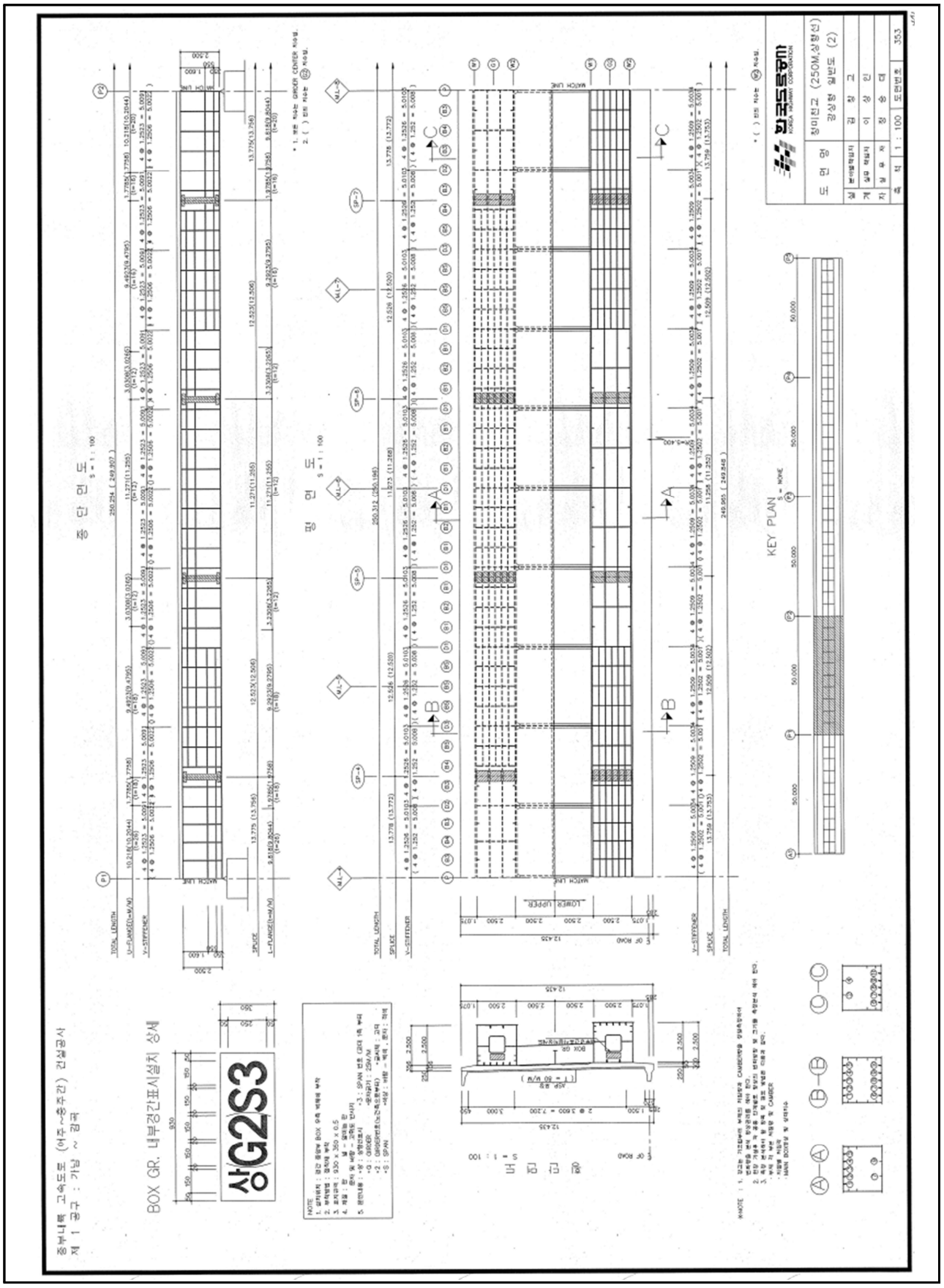

【그림1-14】 슬래브 일반도(8)



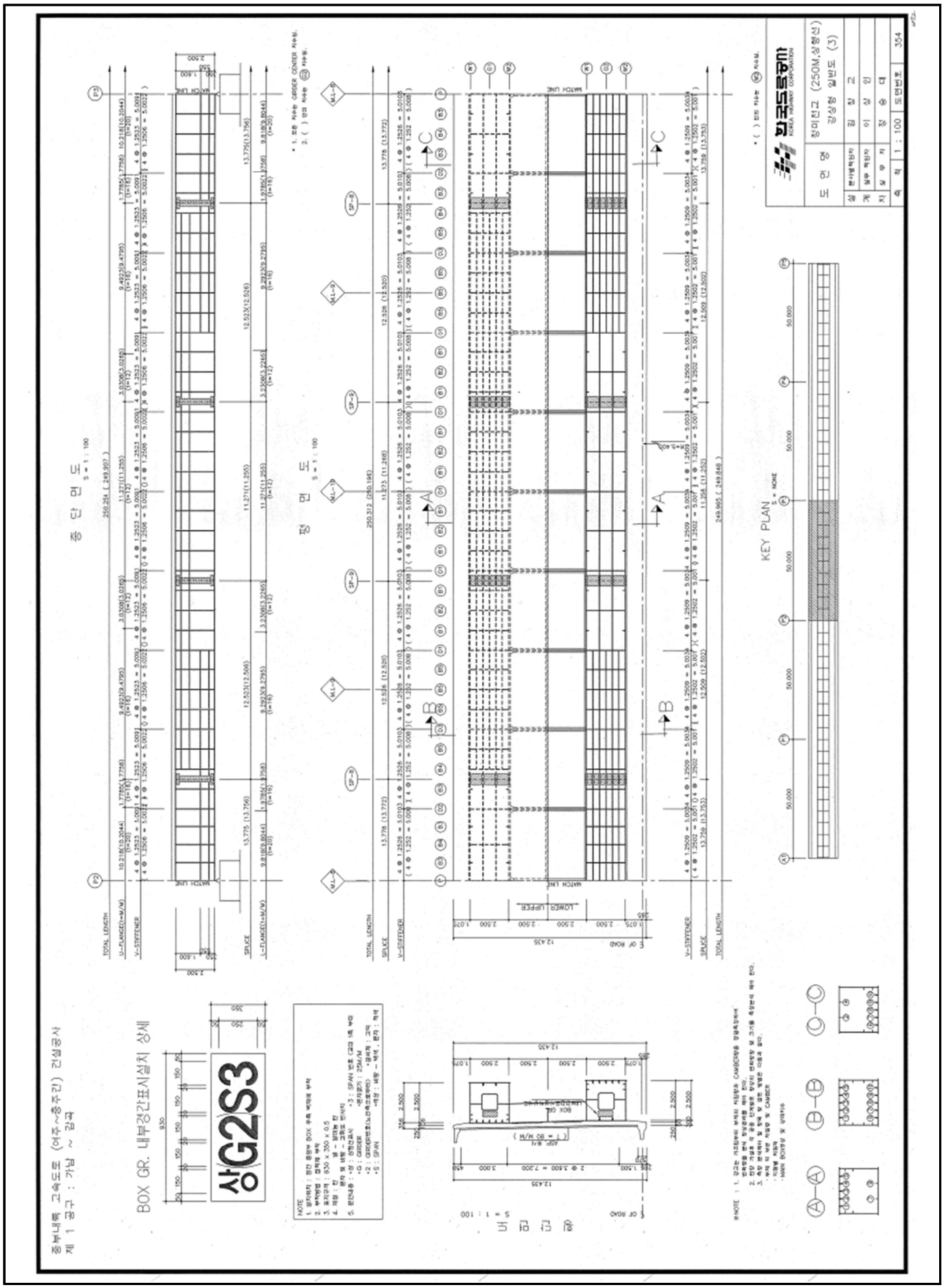

【그림1-15】 슬래브 일반도(9)



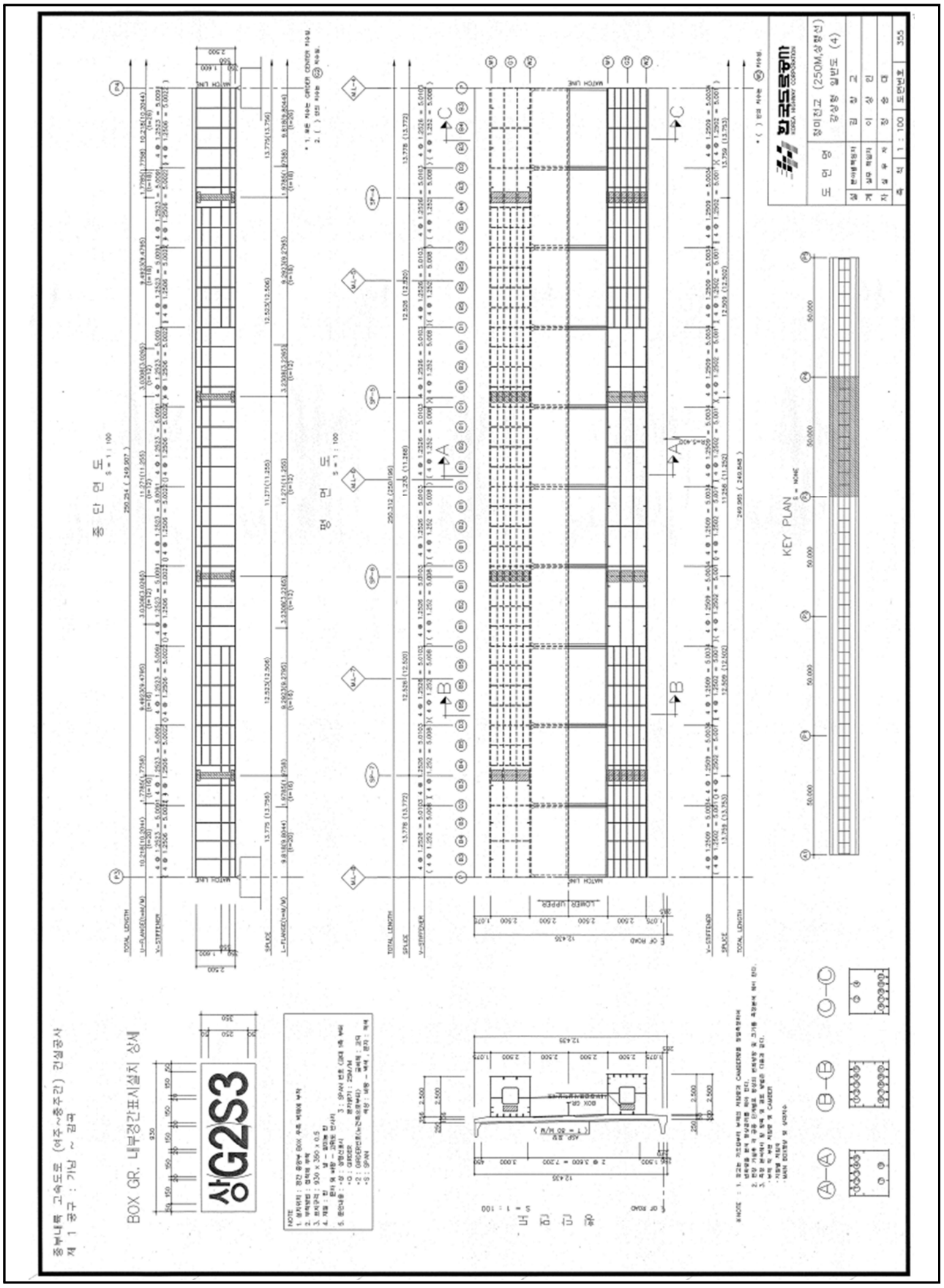

【그림1-16】 양평방향 강상형 일반도(1)



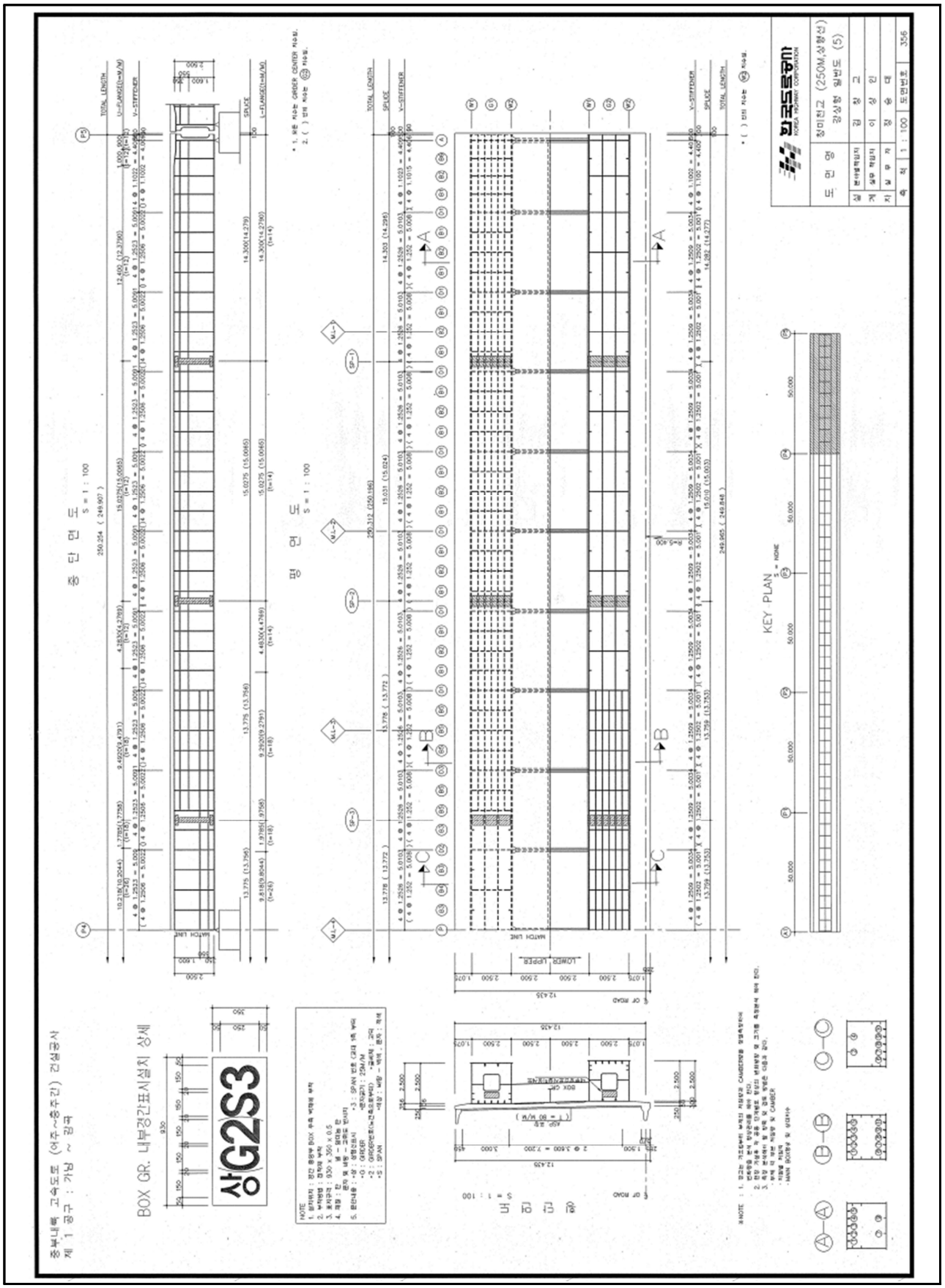

【그림1-17】 양평방향 강상형 일반도(2)



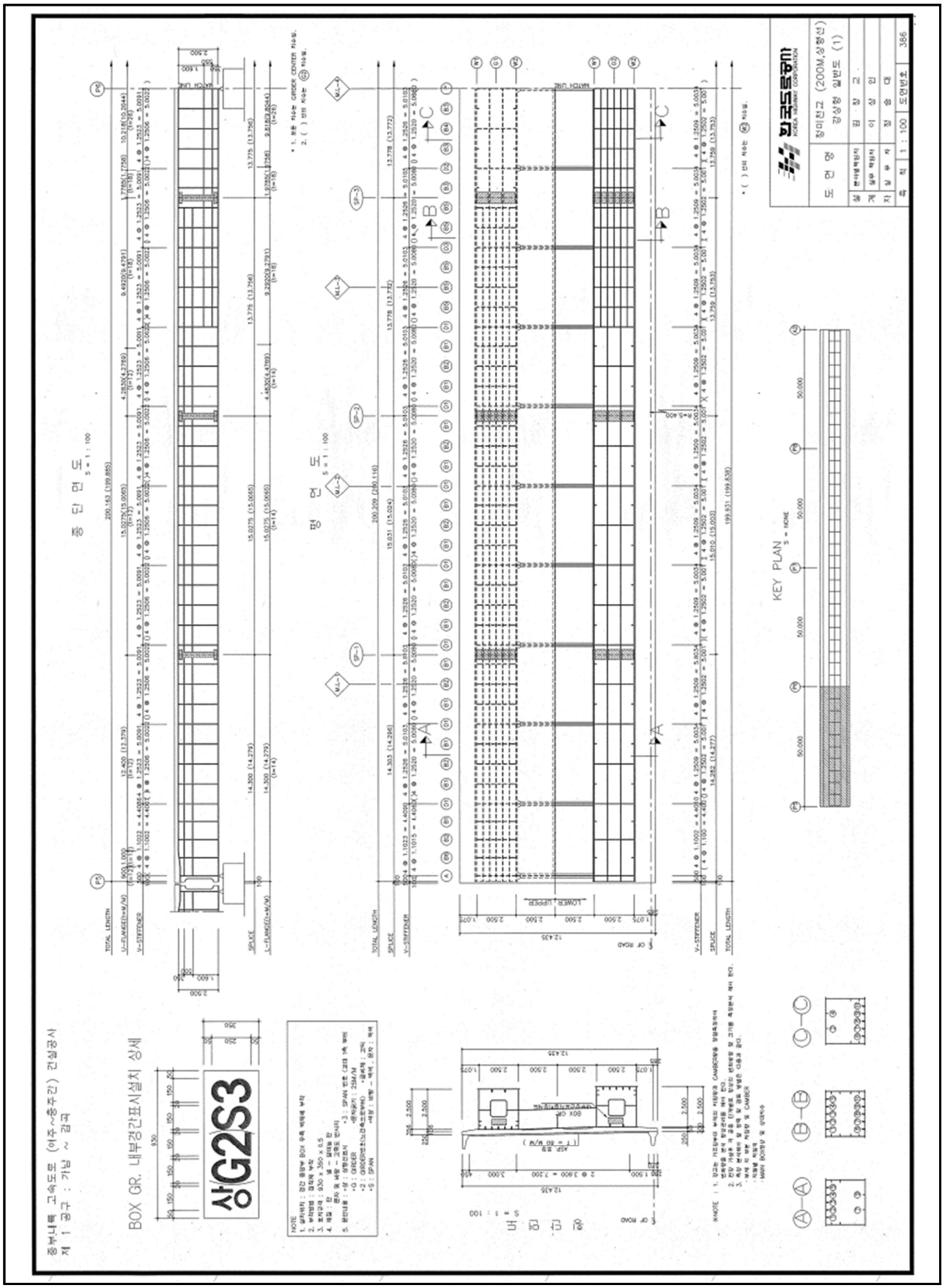

【그림1-18】 양평방향 강상형 일반도(3)



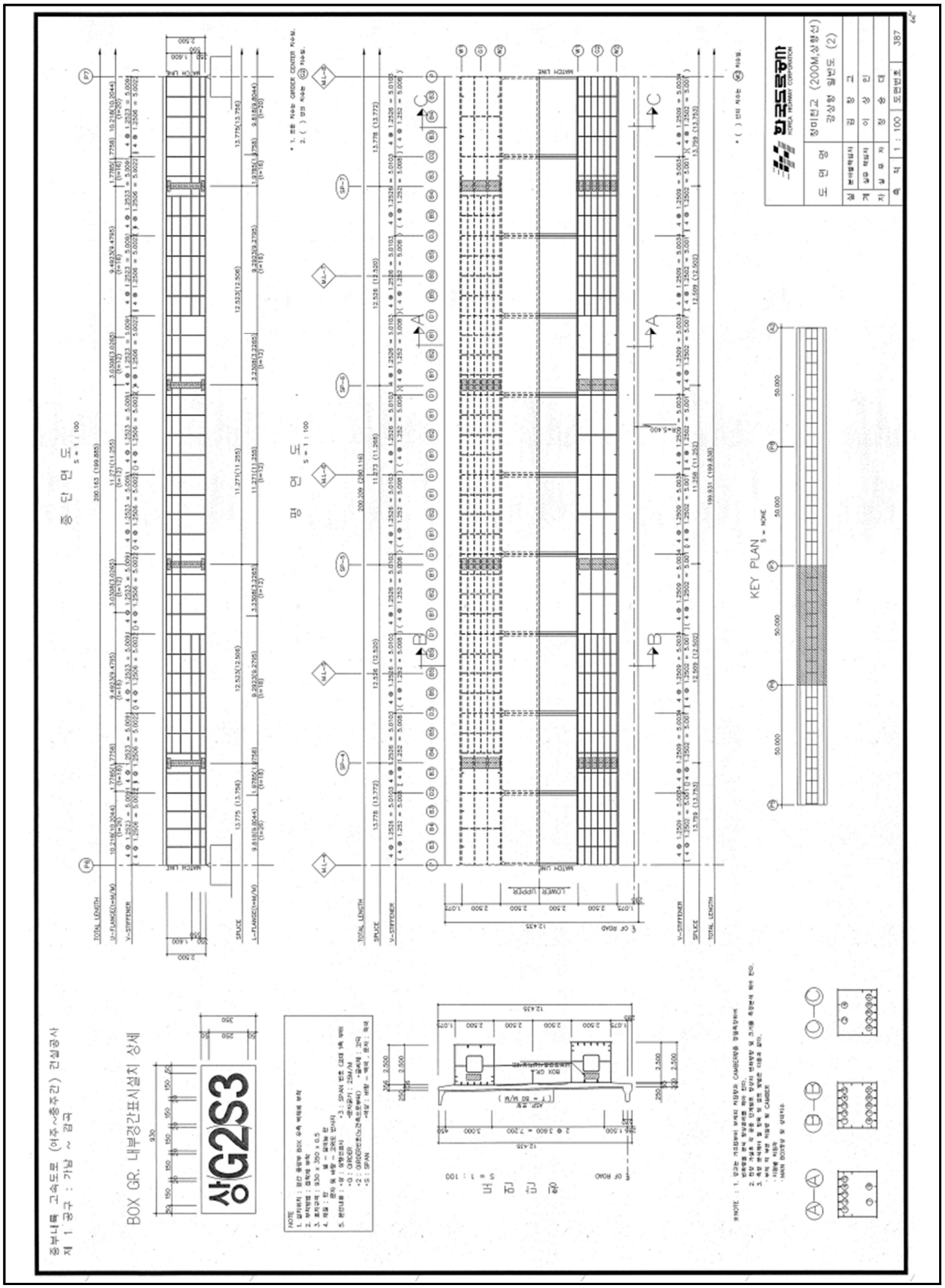

【그림1-19】 양평방향 강상형 일반도(4)



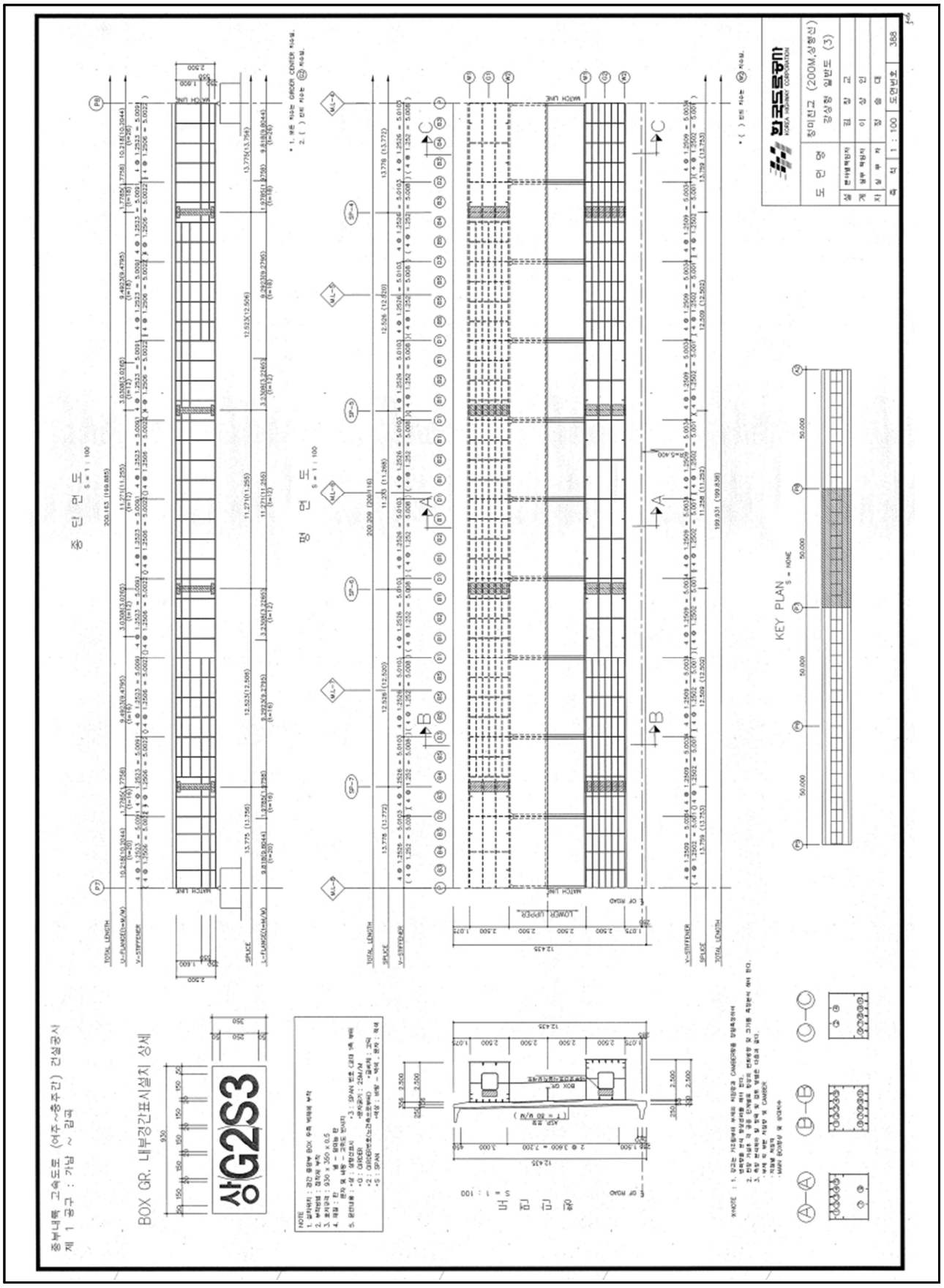

【그림1-20】 양평방향 강상형 일반도(5)



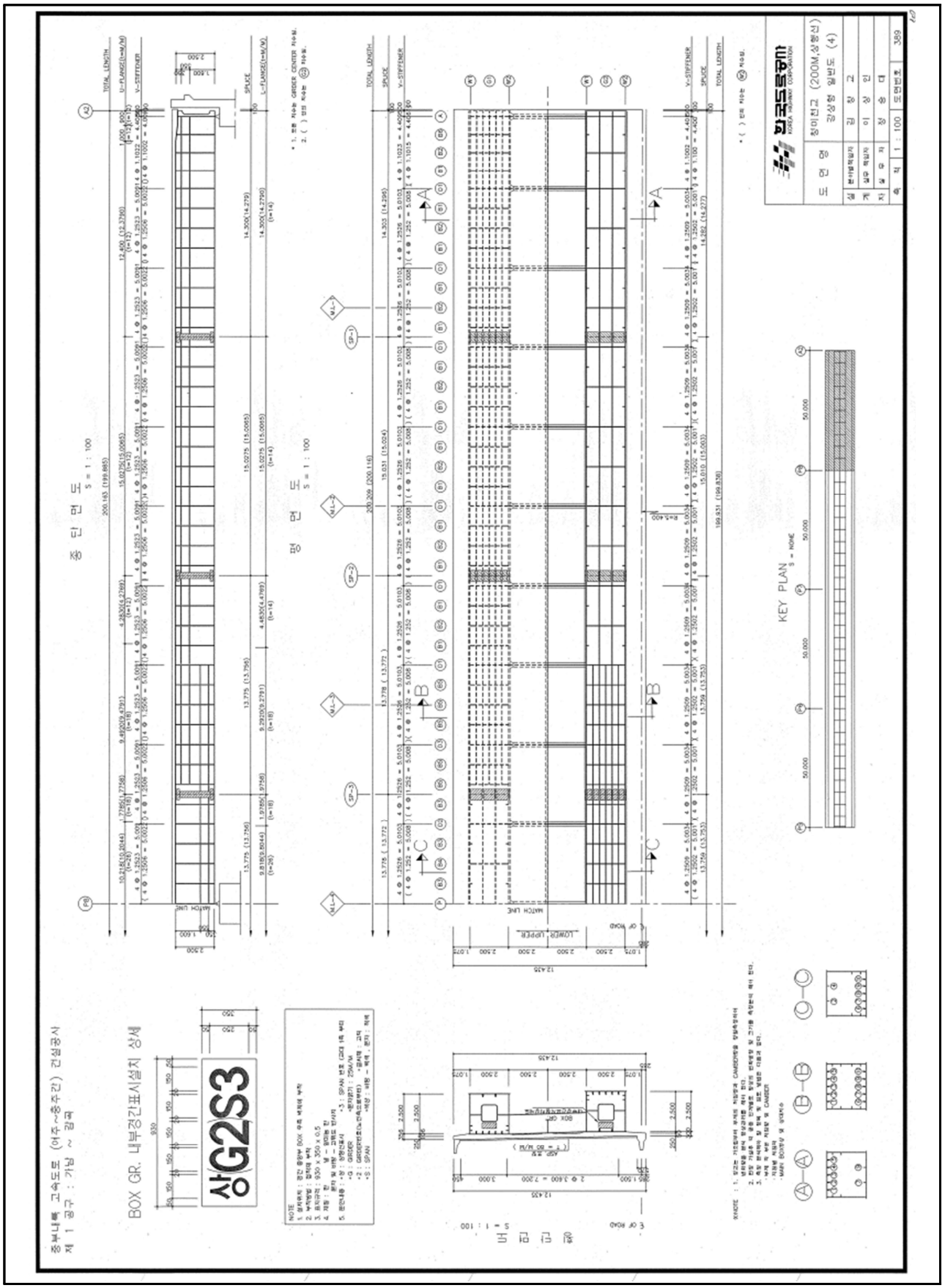

【그림1-21】 양평방향 강상형 일반도(6)



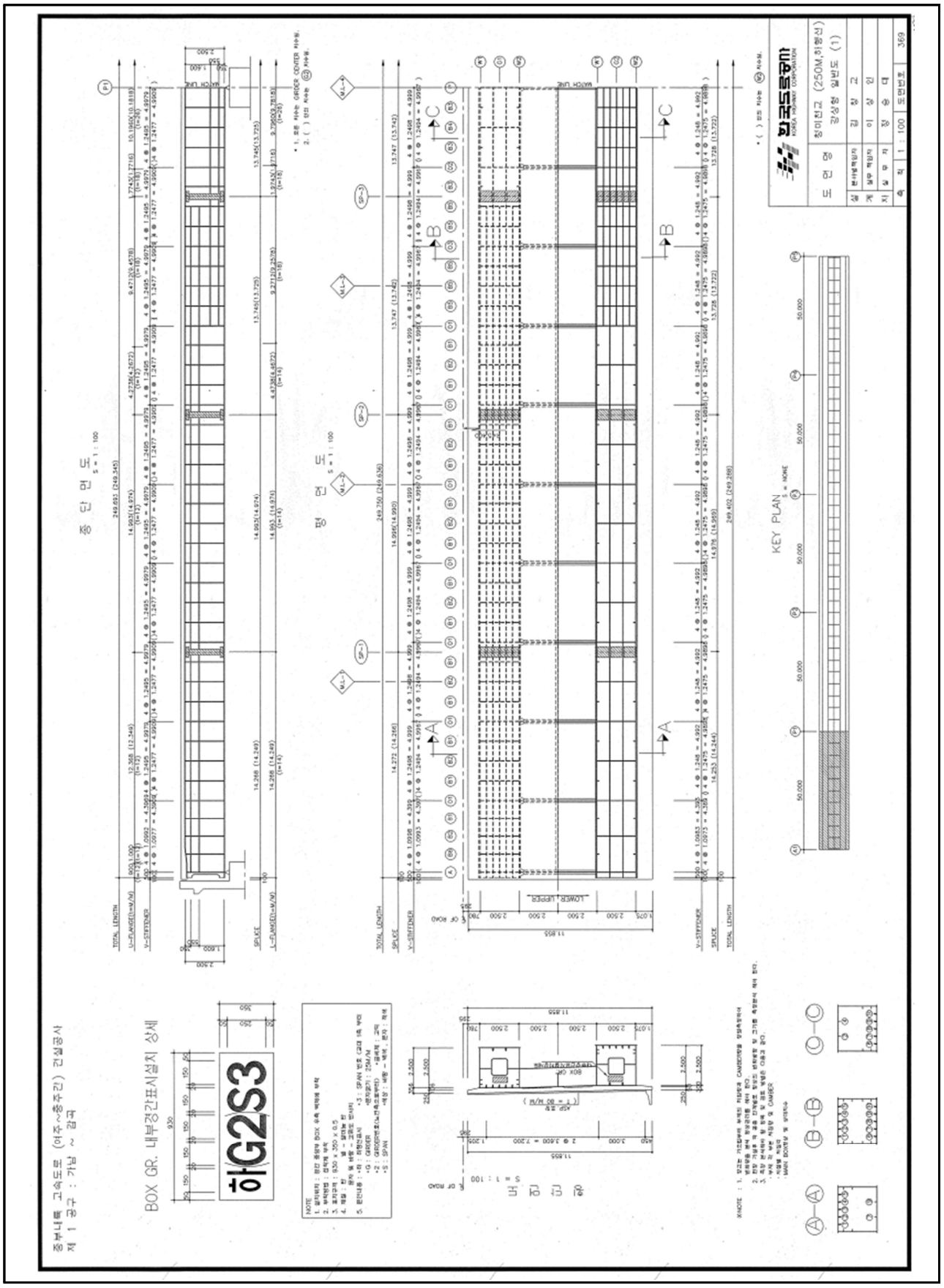

【그림1-22】 양평방향 강상형 일반도(7)



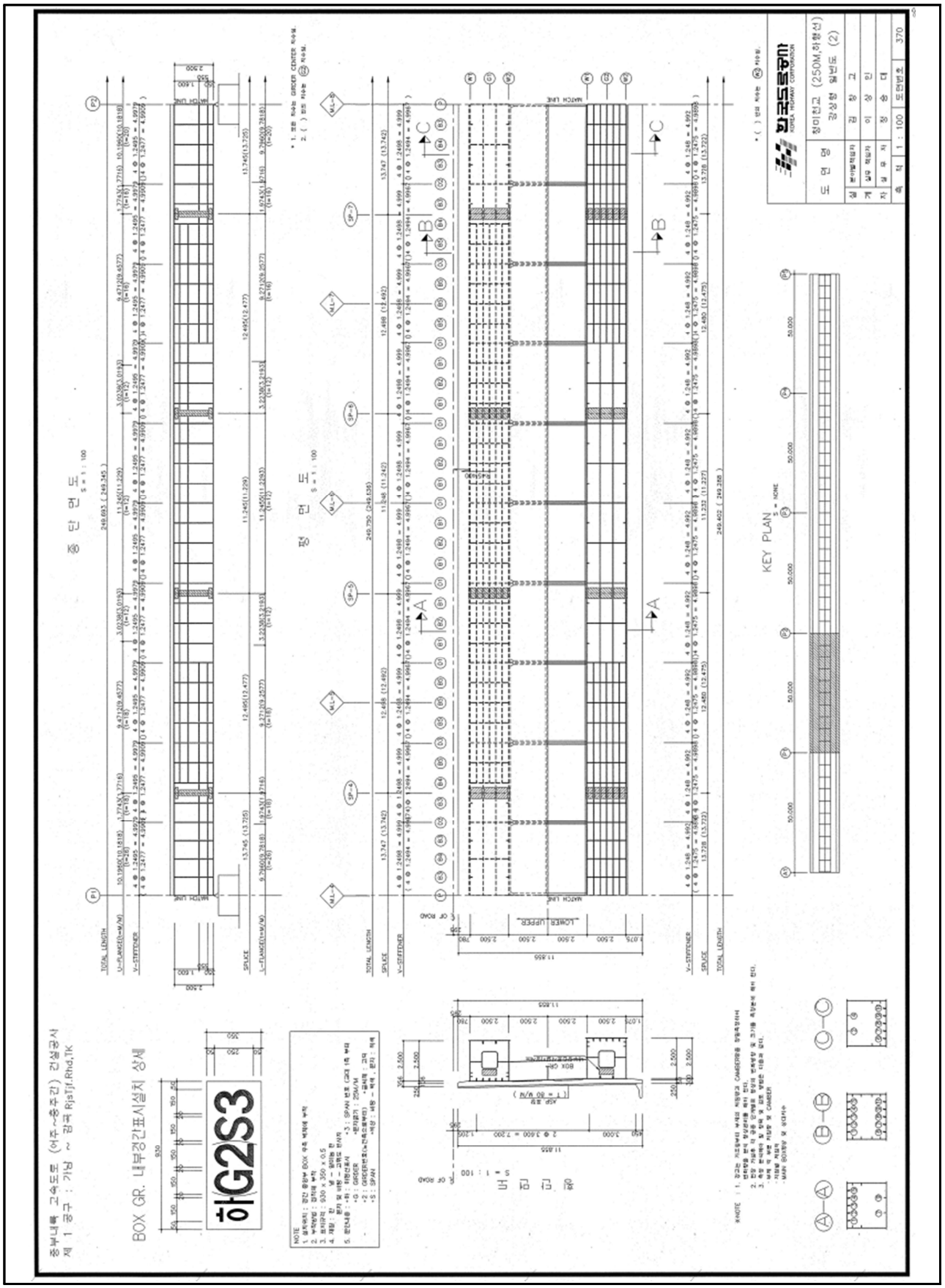

【그림1-23】 양평방향 강상형 일반도(8)



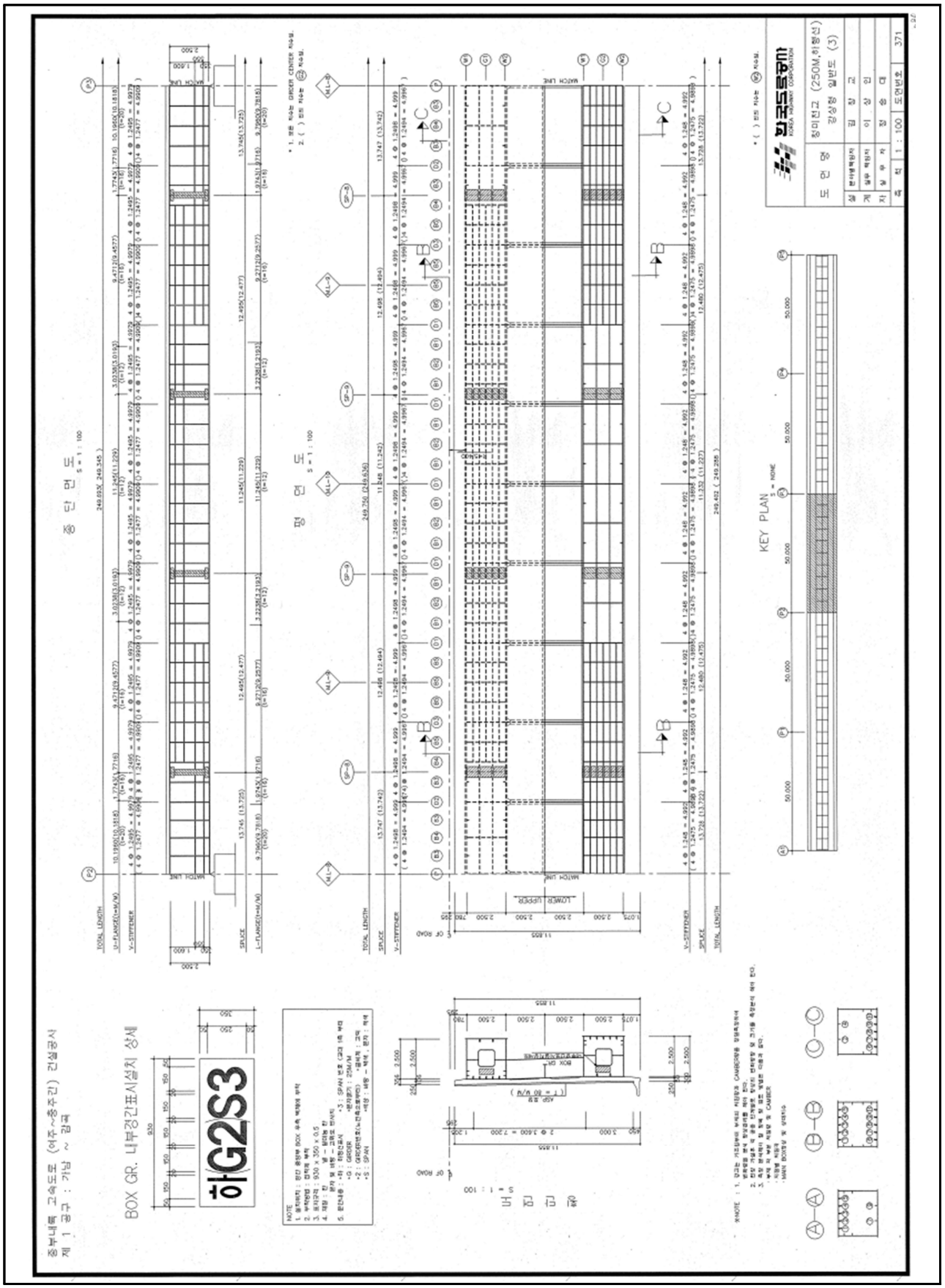

【그림1-24】 양평방향 강상형 일반도(9)



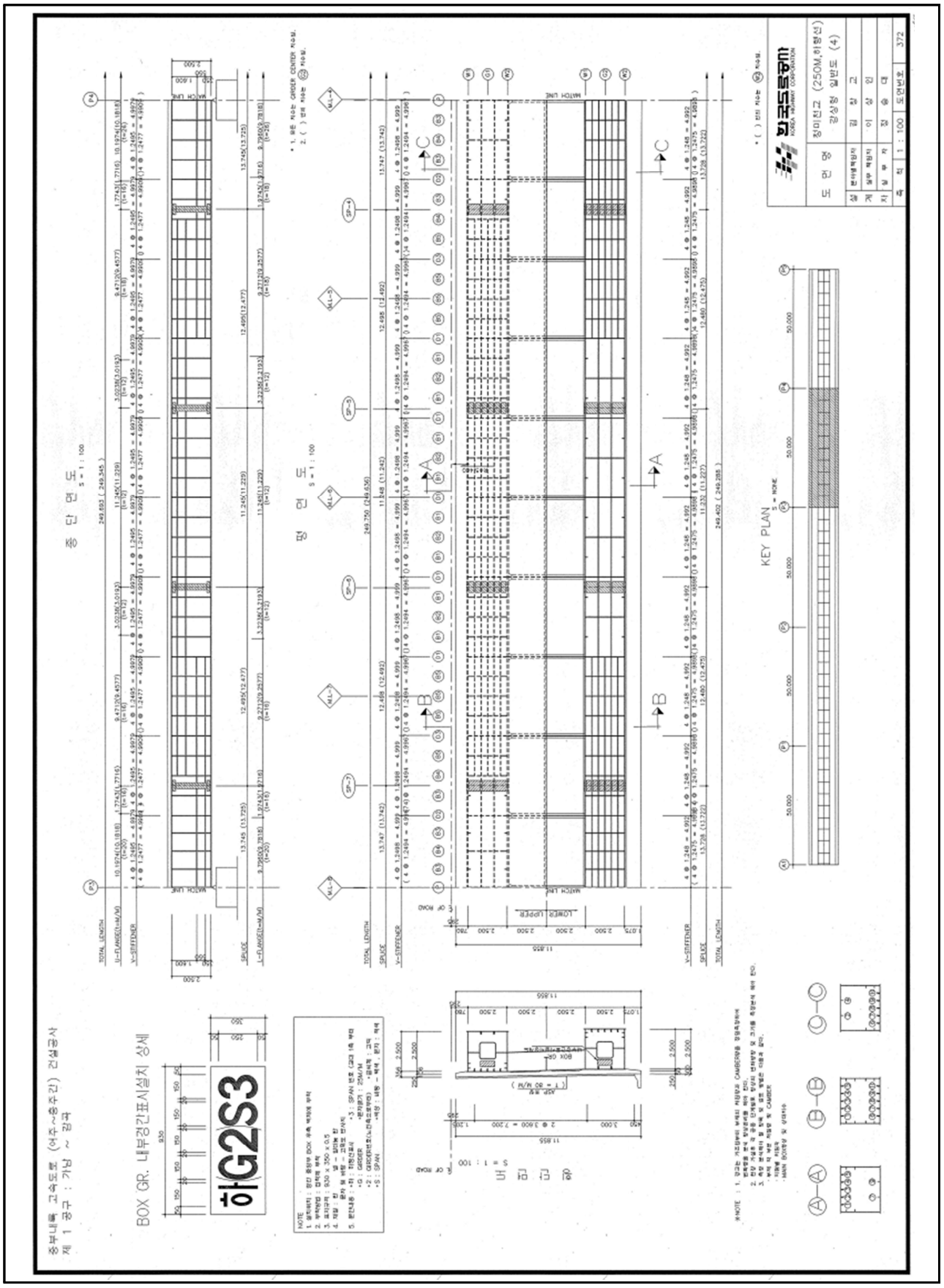

【그림1-25】 마산방향 강상형 일반도(1)



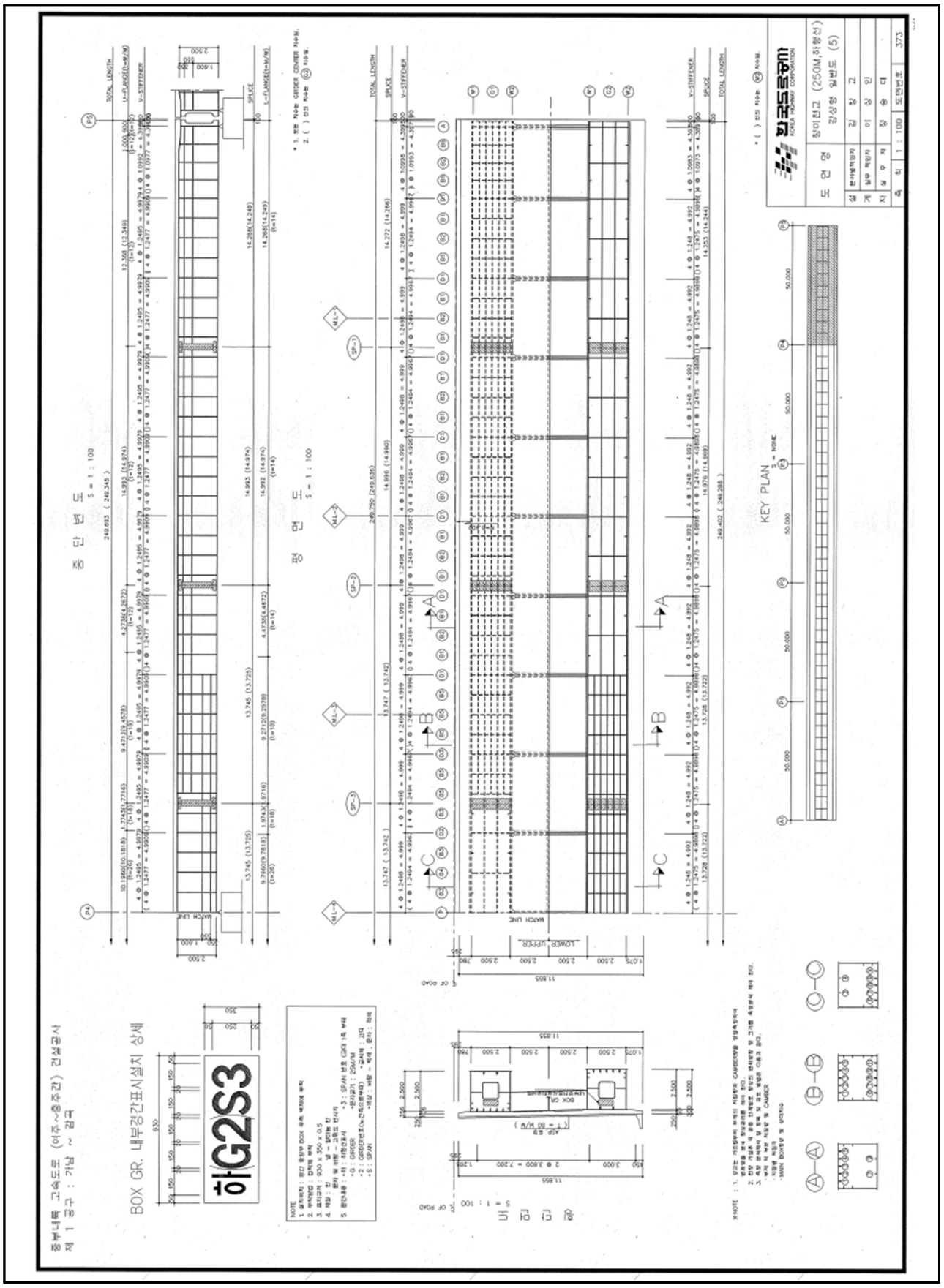

【그림1-26】 마산방향 강상형 일반도(2)



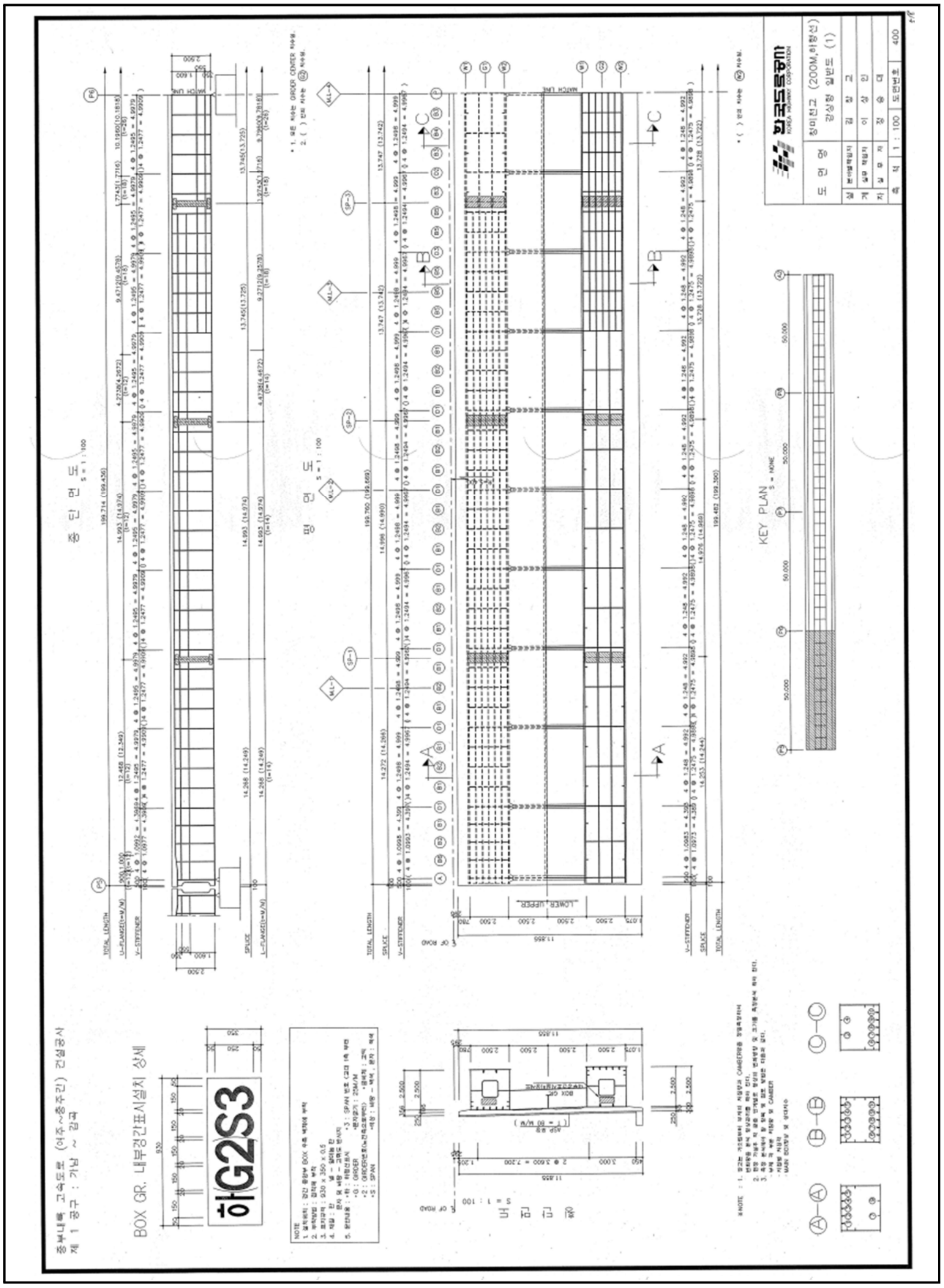

【그림1-27】 마산방향 강상형 일반도(3)



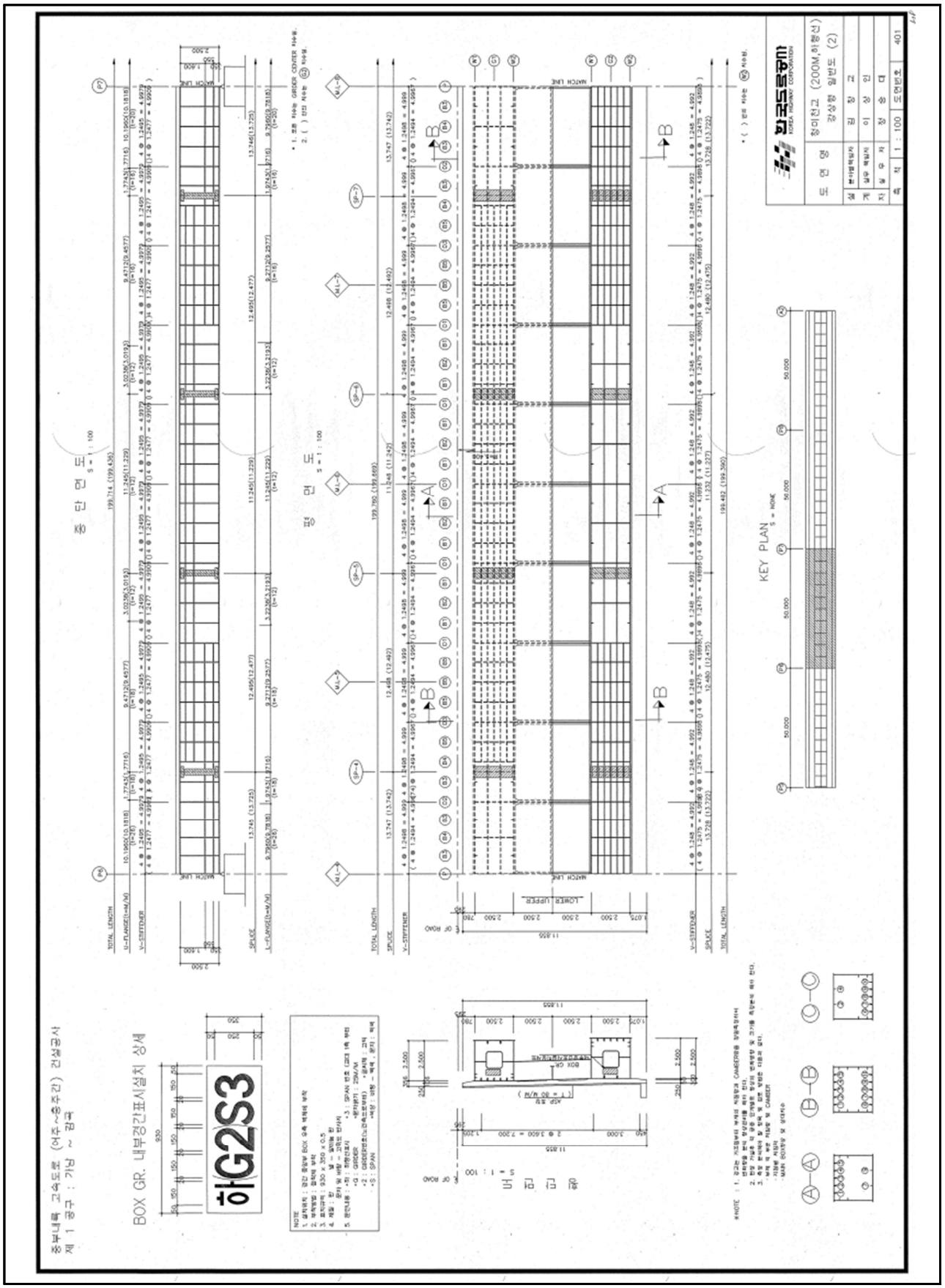

【그림1-28】 마산방향 강상형 일반도(4)



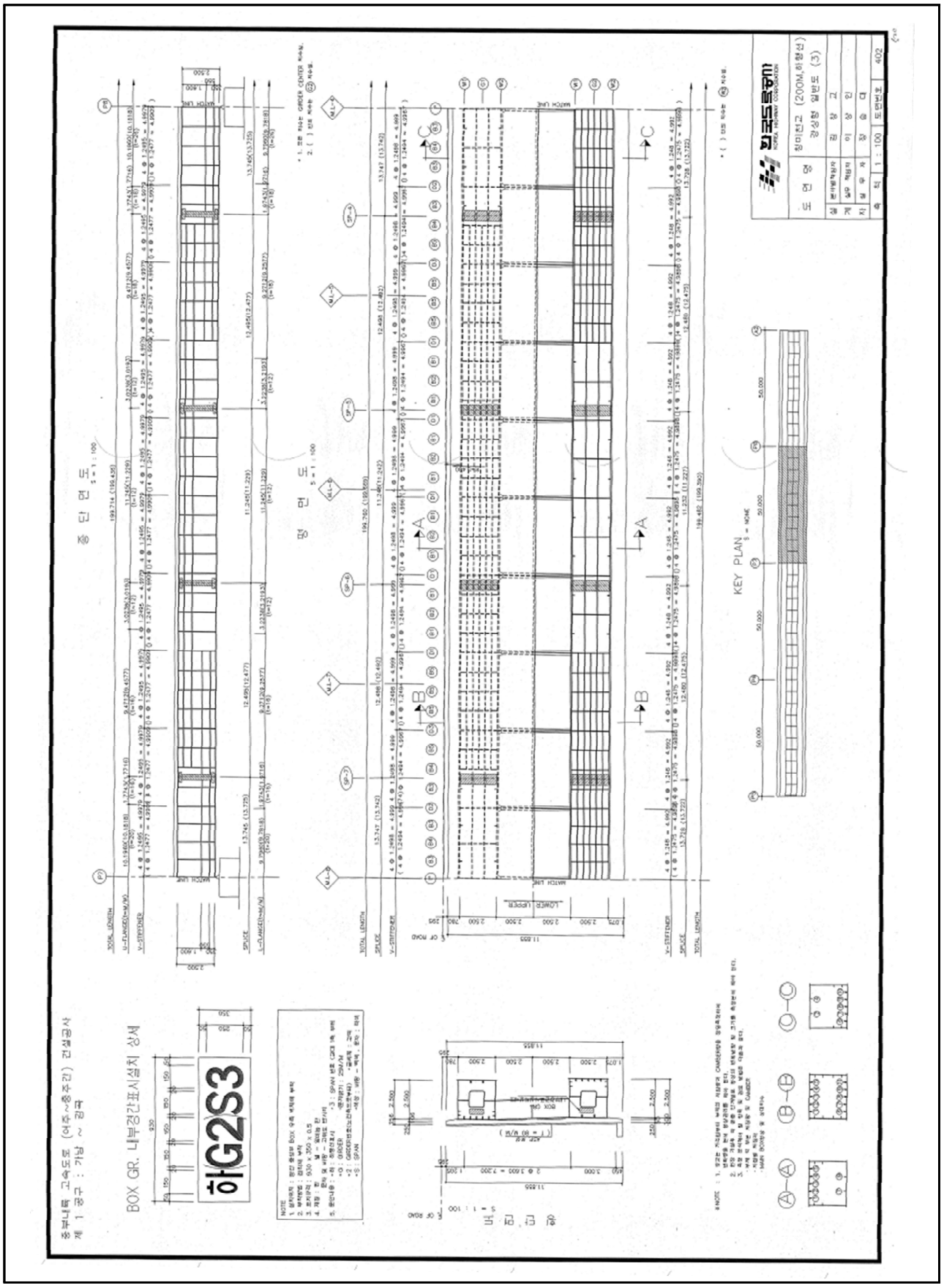

【그림1-29】 마산방향 강상형 일반도(5)



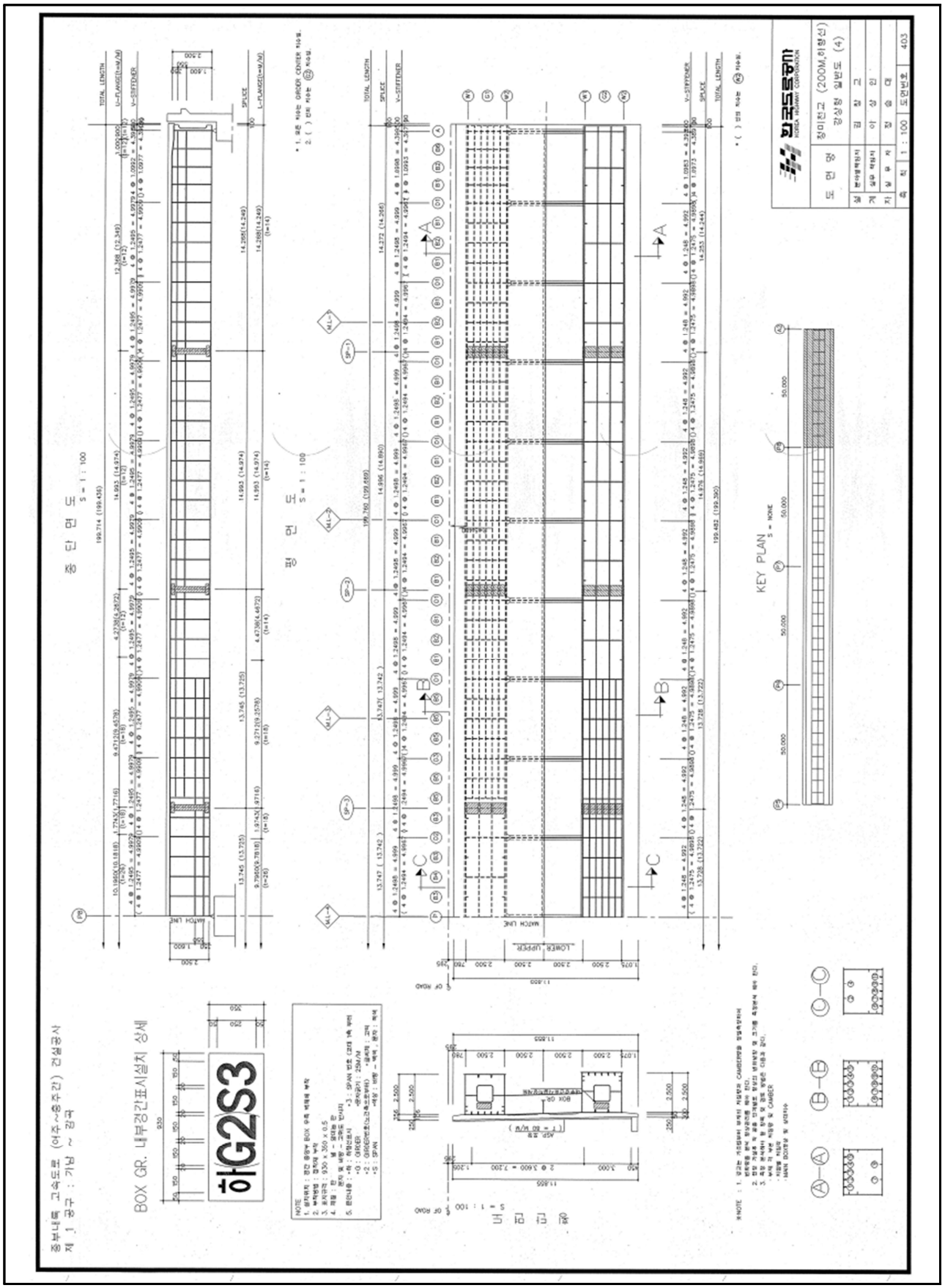

【그림1-30】 마산방향 강상형 일반도(6)



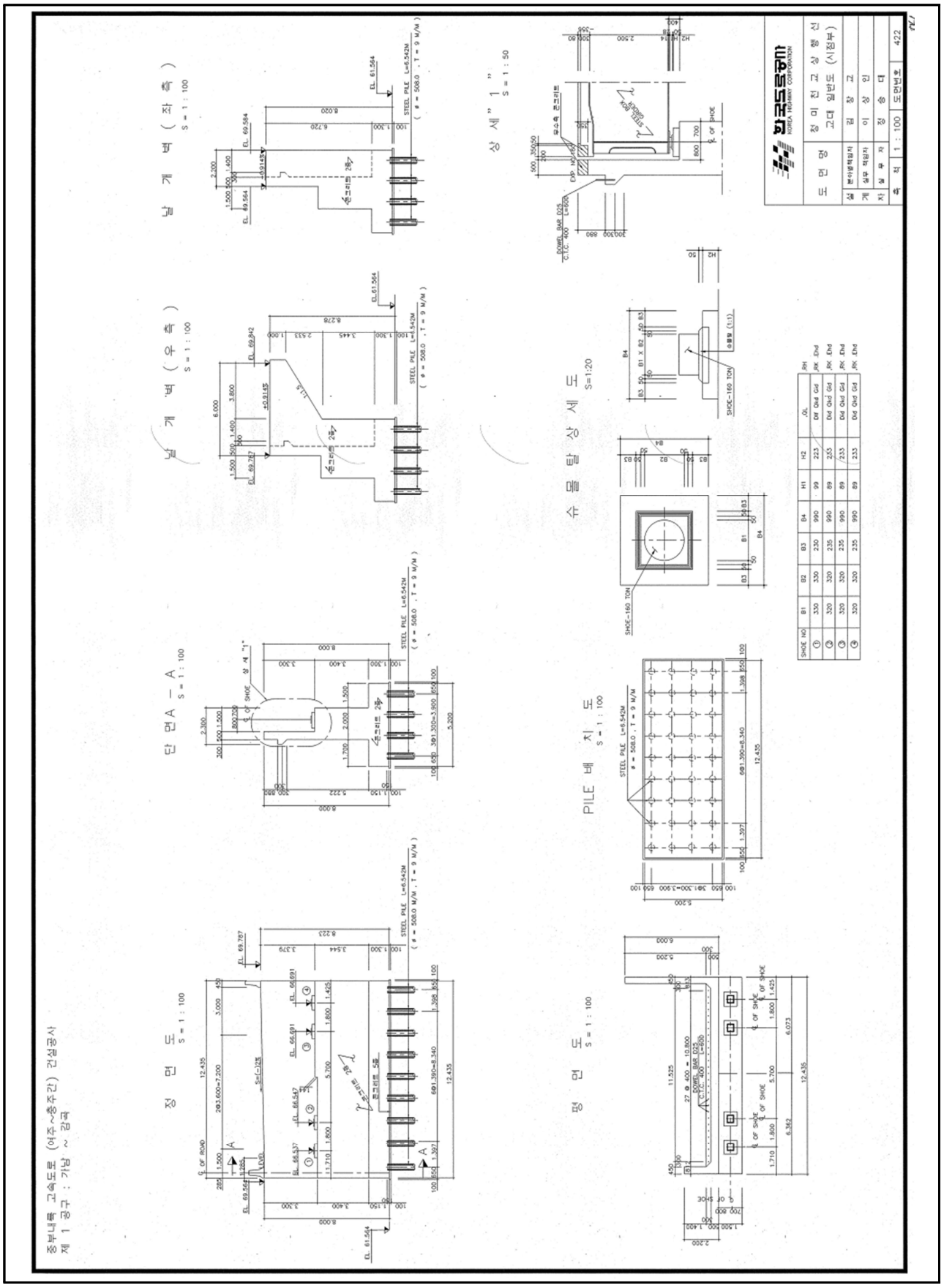

【그림1-31】 마산방향 강상형 일반도(7)



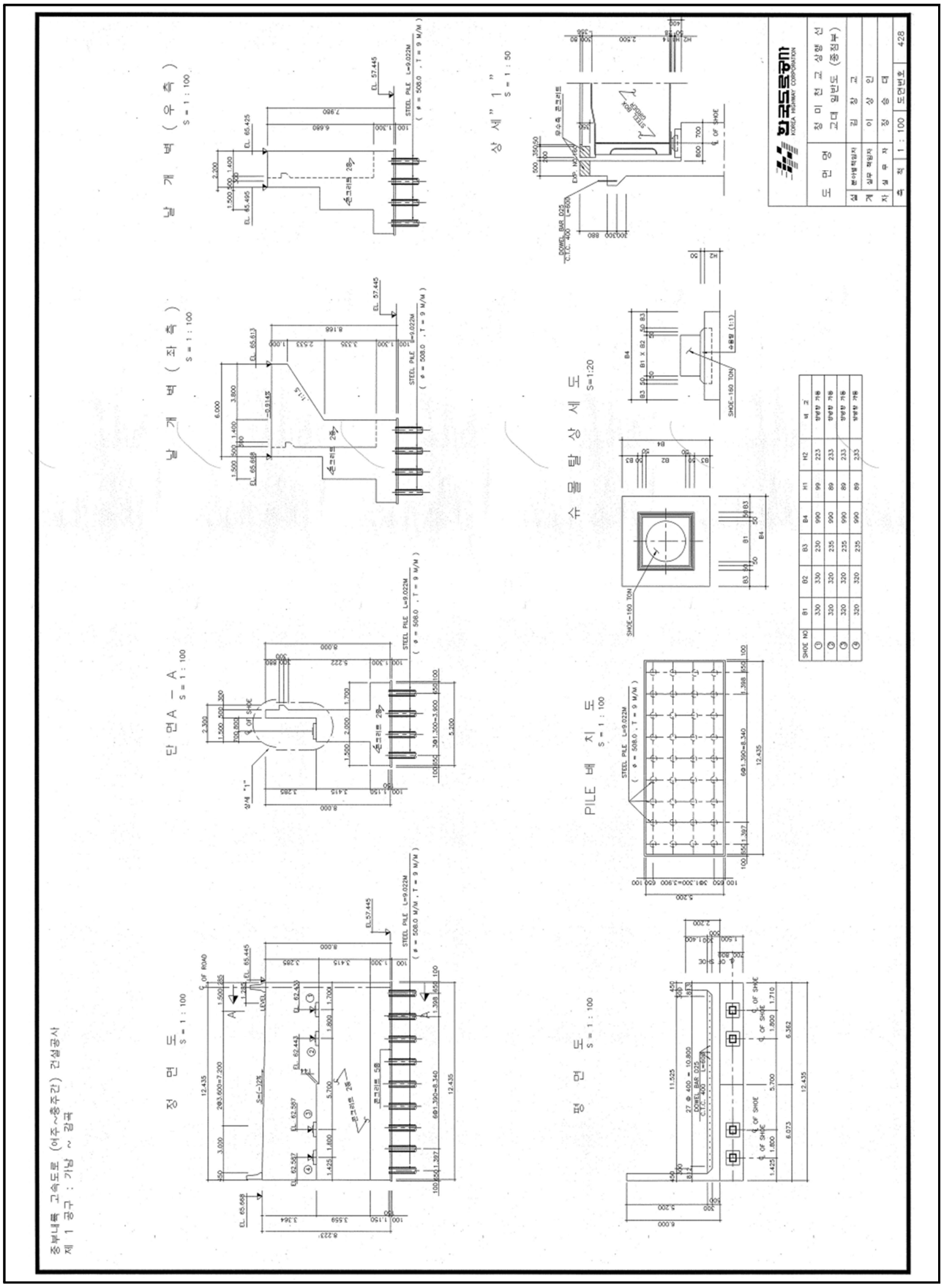

【그림1-32】 마산방향 강상형 일반도(8)



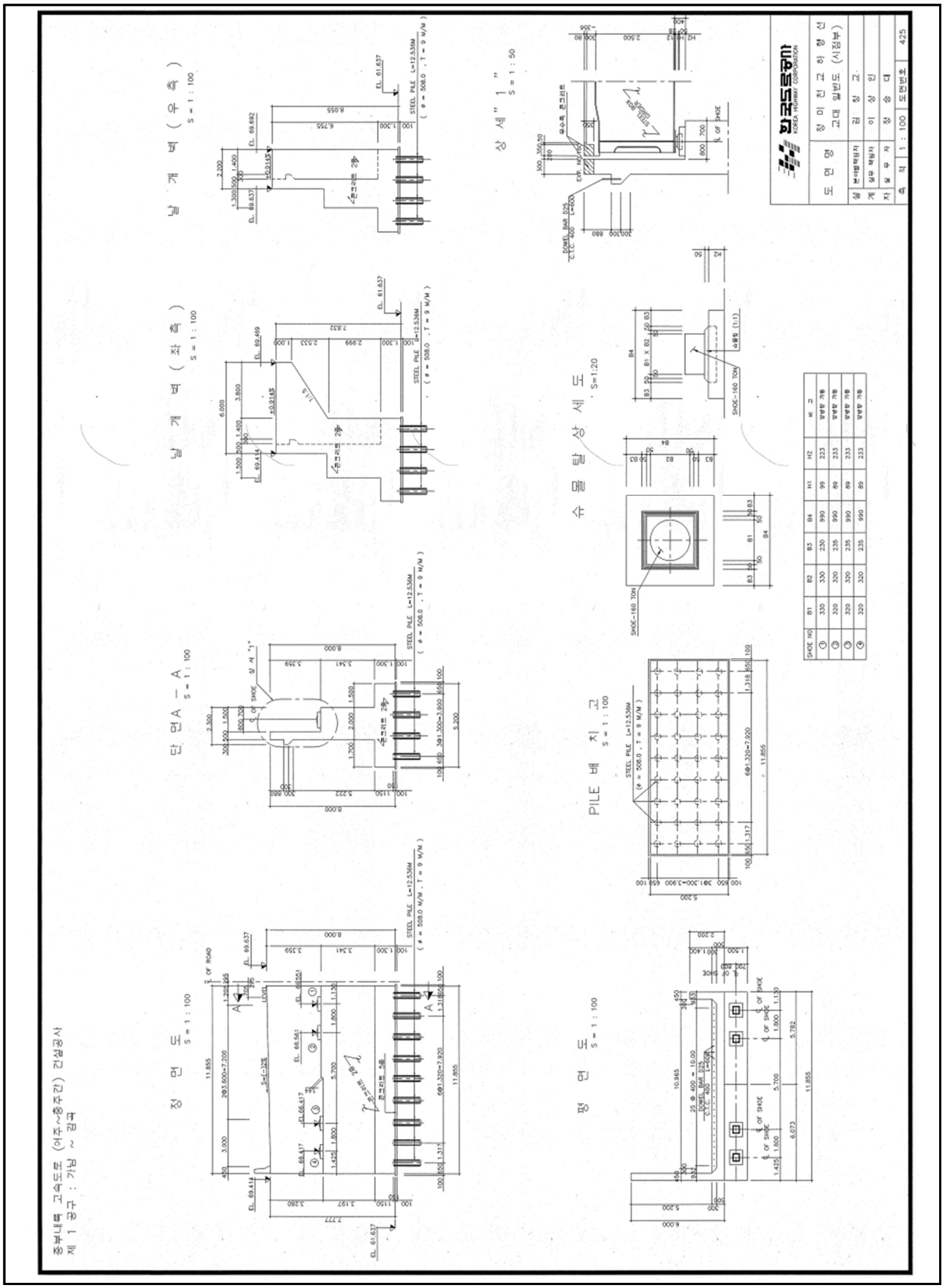

【그림1-33】 마산방향 강상형 일반도(9)



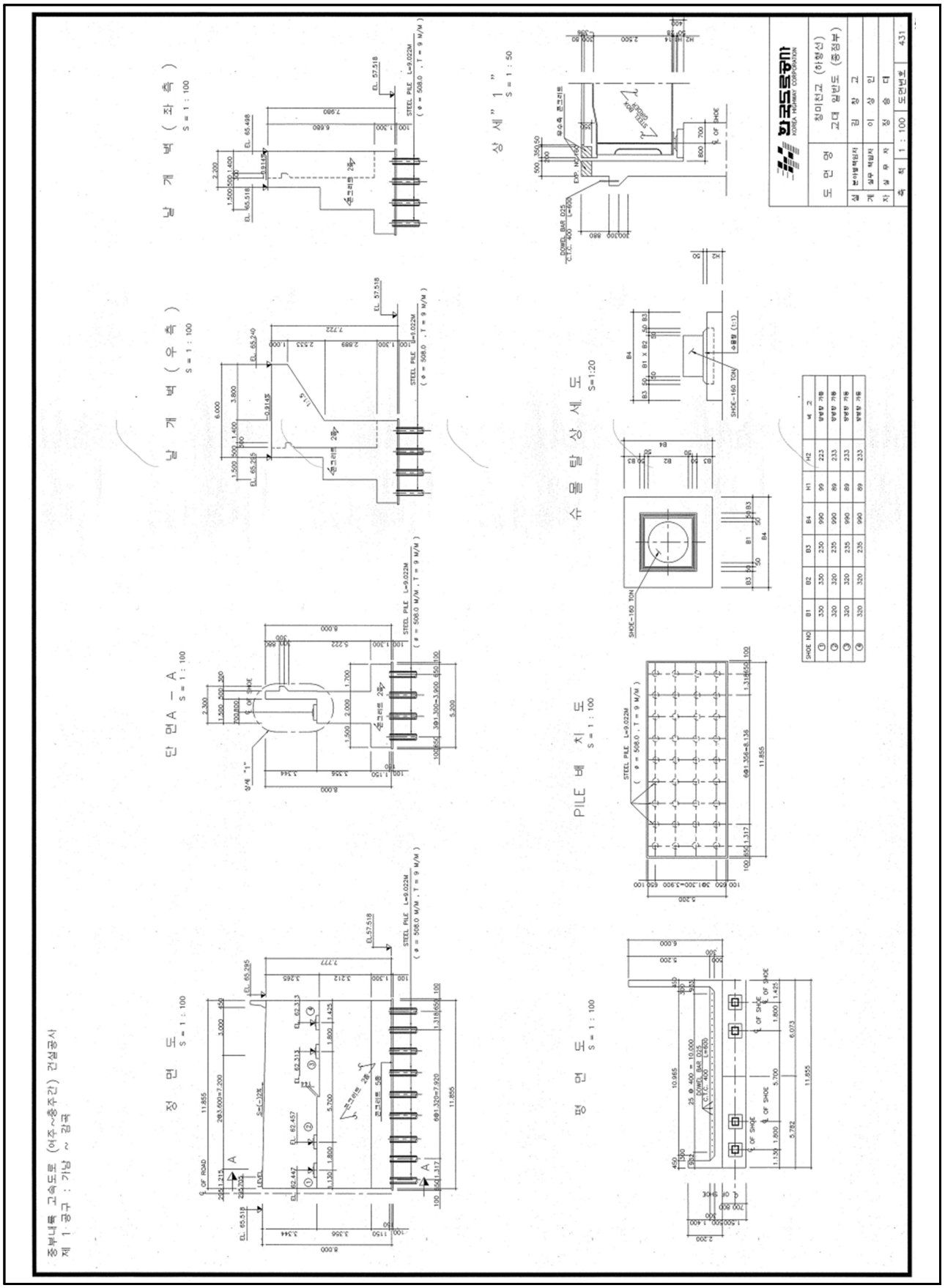

【그림1-34】 양평방향 교대(A1) 일반도



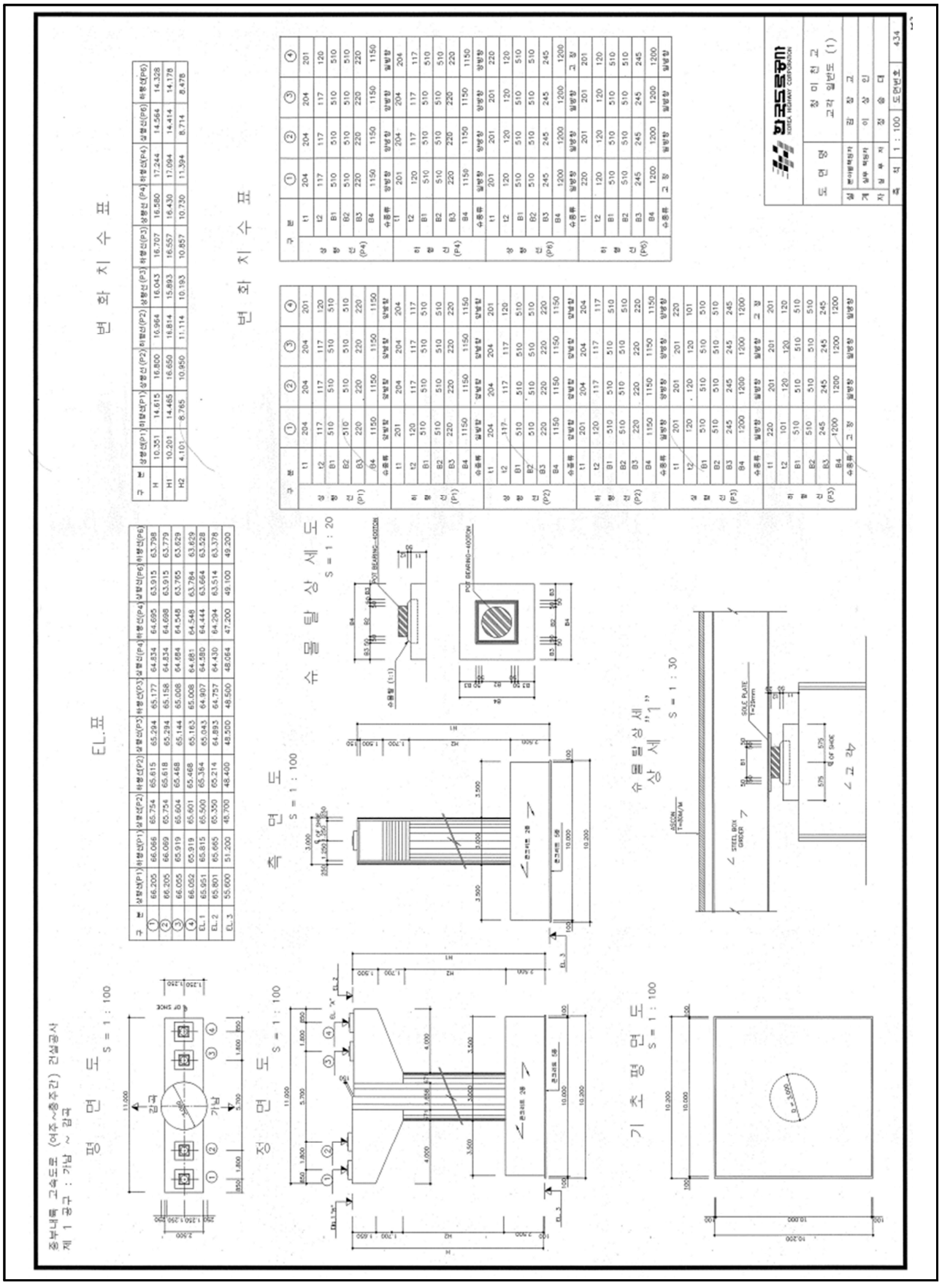

【그림1-35】 양평방향 교대(A2) 일반도



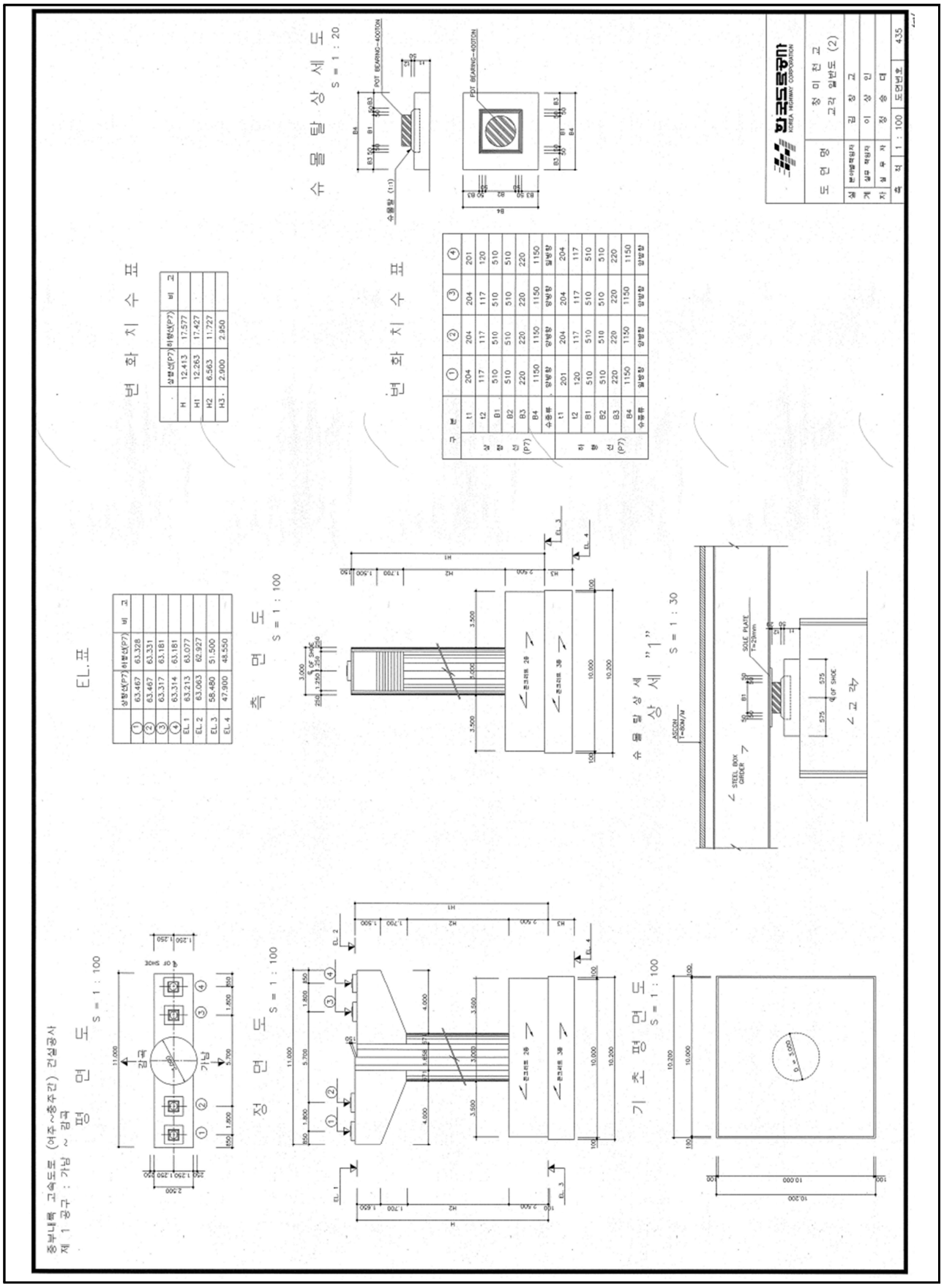

【그림1-36】 마산방향 교대(A1) 일반도



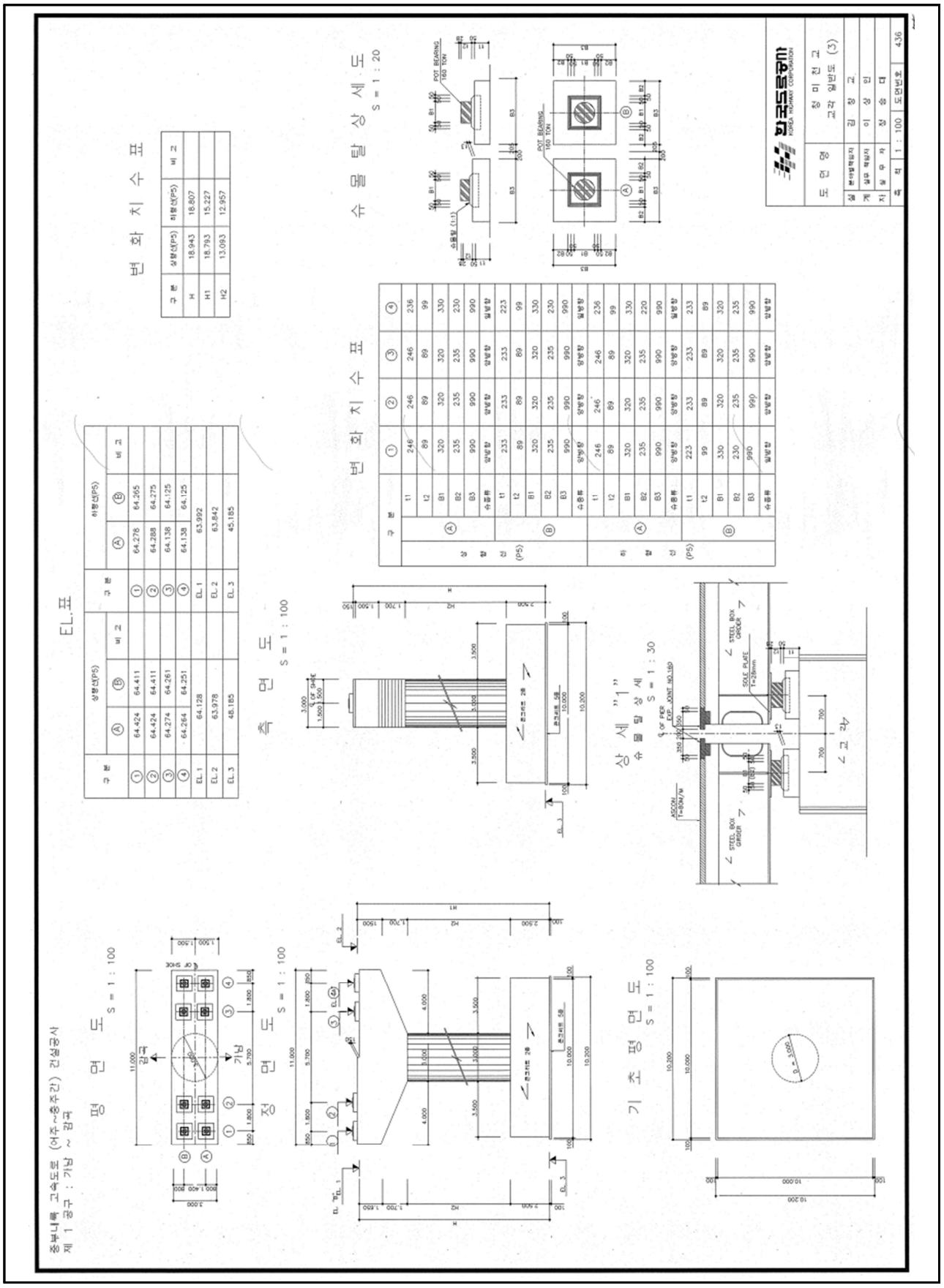

【그림1-37】 마산방향 교대(A2) 일반도



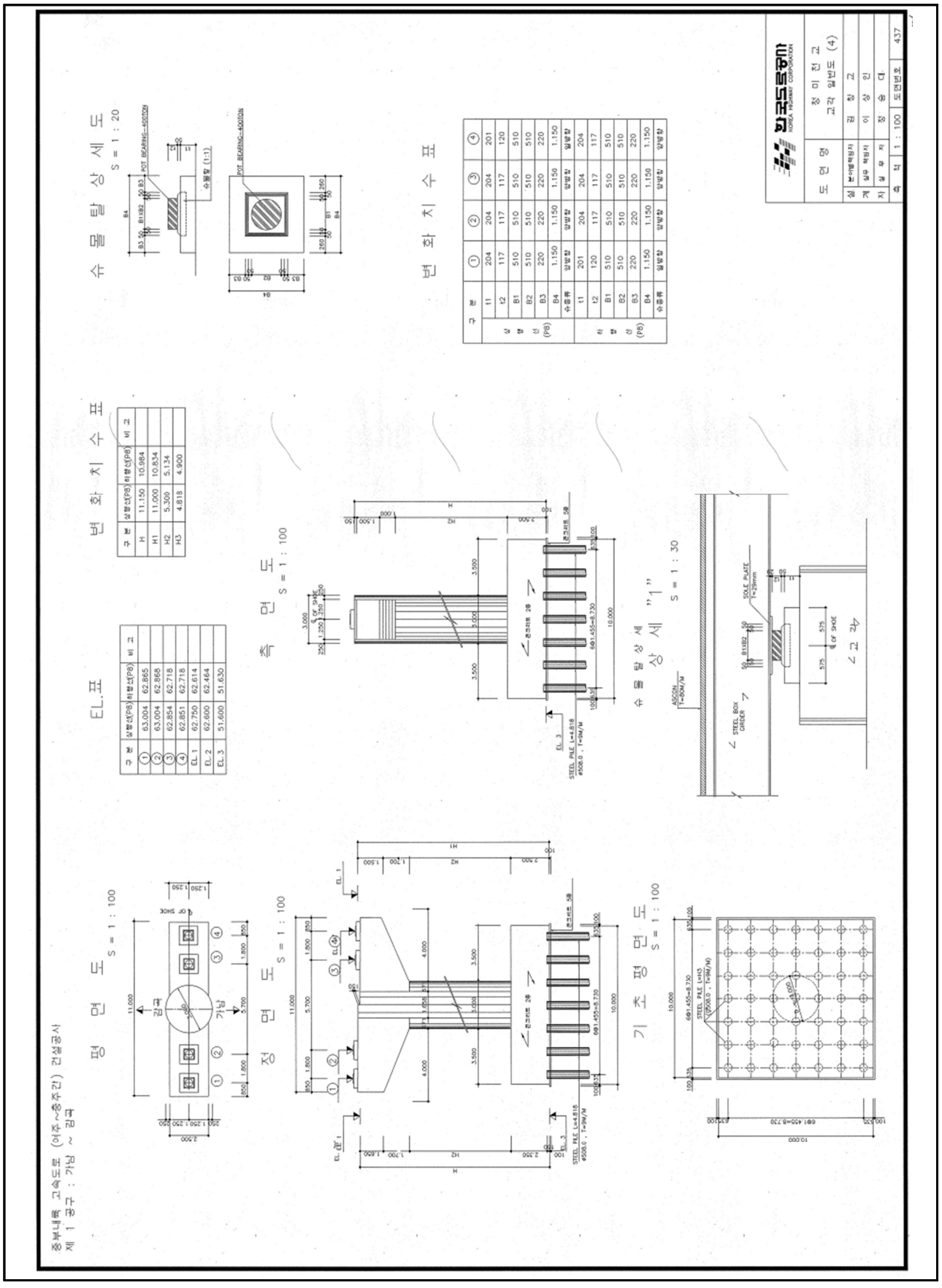

【그림1-38】 교각 일반도(1)




【그림1-39】 교각 일반도(2)




【그림1-40】 교각 일반도(3)




【그림1-41】 교각 일반도(4)

# 1.5 사용장비 및 시험기기 현황

금회 정밀안전진단 과업수행을 위해 사용된 측정 장비는 다음 표와 같다.

【표 1-5】 사용장비 및 시험기기

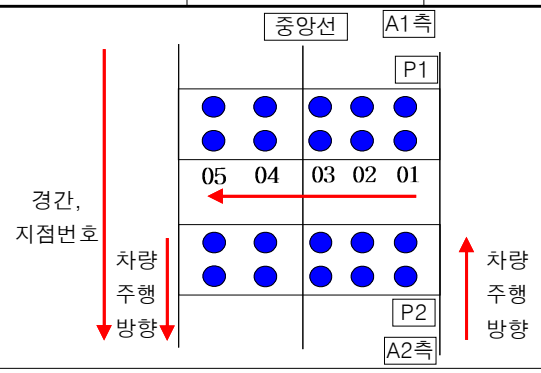
| 장 비 명 | | 규 격 | 용 도 | 활 용 방 법 | 사 진 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 콘크리트 | 균열폭 측정기 | LIGHT SCALE LUPE 10X | 균열폭 측정 | • 균열폭의 크기와 길이를 확대렌즈를 통해 육안으로 확인 | | |
| | 반발경도 측정기 | NR-10 | 콘크리트 강도추정 | • 약 3cm 간격에 20회 정도 타격하여 그 값의 평균치를 구함 | | 검교정 성적서첨부 |
| | 초음파 탐지기 | Pundit Lab | 콘크리트 강도추정 | • 송신자와 수신자를 통해 건전부와 불건전부의 초음파 진행속도의 차이로 측정 | | 검교정 성적서첨부 |
| | 탄산화 시험기 | Conkit | 콘크리트 내부 탄산화 체크 | • 체크하고자 하는 면을 채취하여 페놀프탈레인 용액 1%를 분사하여 대비되는 색깔로 pH양을 측정 | | |
| | 철근탐사기 | RC-Radar | 철근배근상태·피복두께 측정 | • 본체와 연결된 스케너를 통해 한쪽방향으로 이동 하여 철근의 위치를 액정화면을 통해 측정 | | |
| 보조기구 | | 카메라 | Nikon Coolpix | • 현황 촬영 | | |
| | | 무전기 | - | • 교신용 | | |
| | | 드 릴 | Hammer Drill | • 콘크리트 시료 채취 | | |
| | | 드 론 | 4k | • 교량 전경 및 고교각 조사 | | |

# 1.6 교량기호의 정의

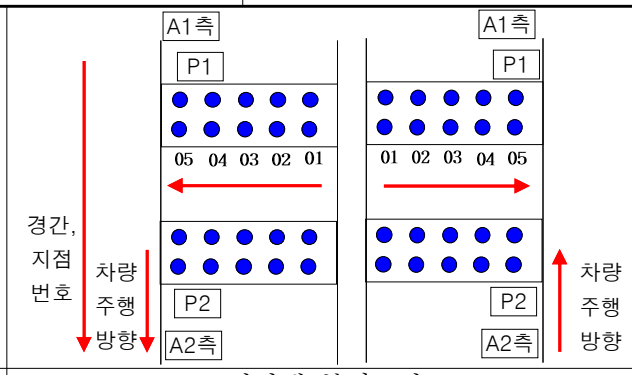
대상 교량의 정밀안전진단을 수행하면서 진단의 효율성과 통일성을 기하기 위하여 각 위치별, 부재별 기호를 부여하였다.

【표 1-6】 교량기호의 정의

| 구 조 구 분 | | 사 용 기 호 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 경 간 | | S | Span |
| 거 더 | | G | Girder |
| 격 벽 | | D | Diaphragm |
| 교 대 | | A | Abutment |
| 교 각 | | P | Pier |
| 받침장치 | | Sh | Shoe |
| 신축이음부 | | Exp | Expansion Joint |
| Steel Box Girder | 상부플랜지 | UF | Upper-Flange |
| | 하부플랜지 | LF | Lower-Flange |
| | 격 벽 | D | Diaphram |
| | 현장이음부 | SP | Splice |
| | 좌측복부 | LW | Left-Web |
| | 우측복부 | RW | Right-Web |




상하행 일치교량




상하행 분리교량

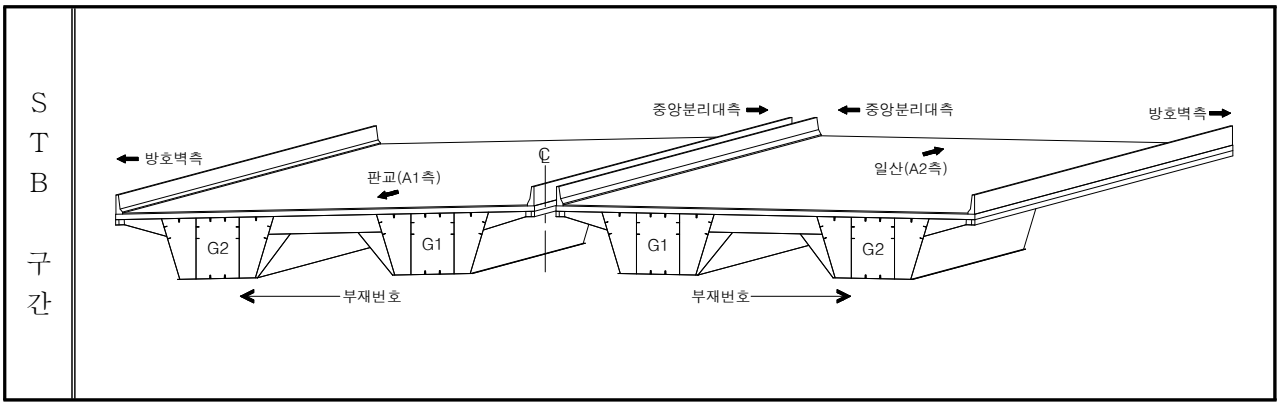
* 일련번호(n)

ex) S1-G2(CB3~4)

가로보 3~4 사이
시점에서 종점으로 보았을 때 좌측에서 2번
1경간

P1-Sh4

시점에서 종점으로 보았을 때 좌측에서 4번째 받침
시점에서 종점을 보았을 때 첫 번째 교각




【그림 1-42】 교량기호 정의

# 1.7 참고문헌

1) 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(한국시설안전공단, 2010.12.)

2) 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(한국시설안전공단, 2012.12.)

3) 콘크리트 구조기준(한국콘크리트학회, 2012.12.)

4) 구조물 기초설계기준(한국지반공학회, 2008.)

5) 도로교설계기준(국토해양부, 2010.09.)

6) 도로설계편람(국토해양부, 2008.)

7) 고속도로공사 전문시방서(한국도로공사, 2012.)

8) 콘크리트 표준시방서(국토해양부, 2009.09.)

9) 교량 유지관리 매뉴얼(한국시설안전공단, 2011.06.)

10) 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12.)

11) 콘크리트 내구성 평가절차 수립(한국시설안전공단, 1999.12.)

12) 진단장비 활용・관리 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12.)

# 제2장
# 자료수집 및 분석

2.1 자료수집 현황
2.2 건설 관련자료 검토결과 요약
2.3 기존 점검 및 진단 실시결과 요약
2.4 보수 · 보강 이력
2.5 시설물의 내진설계 여부
2.6 자료분석 결과 요약

# 제2장 자료수집 및 분석

## 2.1 자료수집 현황

본 과업에 대한 자료조사는 주변현황 자료와 시설물의 설계, 시공 및 유지관리 관련자료로 대별되며, 자료 분석을 통하여 과업 수행의 추진방향과 세부계획을 수립하였다.

또한, 본 과업 대상구조물의 관련자료를 수집·분석하여 구조물의 이력 확인, 결함 및 손상의 원인 분석, 손상의 변화 및 진행성 여부, 보수·보강대책 및 유지관리방안을 수립하기 위한 기초자료로 활용하였다.

본 구조물에 관련된 자료는 주로 설계 및 시공과 관련된 건설당시 자료와 구조물 준공 이후의 유지관리와 관련된 자료 등이며, 관리주체의 유지관리자료 보유 현황은 다음과 같다.

【표 2-1】 자료수집 현황

| 보존대상 목록 | | 관리주체 보유현황 |
|---|---|---|
| 설계도서 | ◦ 공통<br>– 준공내역서 – 공사시방서<br>– 각종계산서 – 토질 및 지반조사 보고서<br>– 기타 특이사항 보고서 | ◦중부내륙고속도로(충주~여주간) 시험주로 건설공사(제1공구:가남~감곡)<br>– 일반보고서(2002.12)<br>– 토질조사보고서(2002.12)<br>– 구조 및 수리계산서(2002.12)<br>– 준공도면(2002.12) |
| | ◦ 설계도면<br>– 교량 위치도, 평면도, 단면도(종·횡), 상부·하부 구조물도, 신축이음·교량받침 상세도 | |
| 시설물 관리대장 | ◦ 기본현황 및 상세제원<br>◦ 점검 및 진단 이력<br>◦ 보수보강 이력 및 유지관리 이력 | ◦ 한국도로공사 시스템 내 관리대장 |
| 시공관련 자료 | ◦ 시공관련 자료<br>◦ 품질관리 관련자료<br>– 재료증명서 – 품질시험기록<br>– 관리 및 선정시험 기록 등 각종 시험기록<br>– 시설물의 주요 구조 부위에 대한 계측 관련자료<br>◦ 사고기록 | ◦중부내륙 고속도로<br>여주~충주간 건설공사(제1공구)<br>시공기록보고서(2002.12)<br>– 시공관련 자료<br>– 품질시험기록<br>– 관리 및 선정시험 기록 등 각종 시험기록 |
| 안전점검 자료 | | ◦중부내륙 고속도로<br>– 여주~충주간 건설공사(제1공구)<br>정기안전점검보고서(2002.12)<br>– 정밀안전진단보고서(2012.12) |

| 설계자료 | 시공자료 | 유지관리자료 |
|---|---|---|
| ■ 구조계산서 | ■ 준공도면 | ■ 정기점검 보고서(FMS) |
| ■ 실시설계보고서 | ■ 감리보고서 | ■ 정밀점검 보고서(FMS) |
| ■ 설계도면 | ■ 재료시험 성적서 및 보고서 | ■ 정밀안전진단 보고서(FMS) |
| ■ 지질조사 보고서 | ■ 설계변경 관련 자료 | ■ 보수・보강이력(HBMS) |
| ■ 토질조사 보고서 | ■ 계측보고서 | ■ 용도변경 이력 |
| ■ 공사 및 특별시방서 | ■ 공사 중 안전점검 보고서 | ■ 시설물관리대장(FMS) |
| ■ 설계당시 설계기준 | ■ 사후 환경용역 준공보고서 | ■ 외관조사망도(HBMS) |

| 자료분석 결과 활용방법 |
|---|
| ■ 시설물 제원 및 설계상태 파악 및 취약부 파악 |
| ■ 구조계산의 적정 여부 분석 |
| ■ 주요부위 시공 상태 파악 |
| ■ 구조물 주변지질의 취약지점 파악 |
| ■ 구조물 주변지질 기초지반 안정성 파악 |
| ■ 설계지침, 구조계산서, 특별시방서, 지질보고서 등과 연계분석 |
| ■ 주요부위 시공 상태 및 주요 손상 정도 파악 |
| ■ 보수형태 외과조사망도 작성 |
| ■ 시공시 사용된 자재의 적정 사용여부 |
| ■ 손상, 열화정도 파악 및 보수작업의 적정여부 |
| ■ 손상 및 보수현황, 보수내용 평가 |
| ■ 안전점검 및 정밀안전진단 자료분석, 시설물 현황파악 |
| ■ 시설물 관리실태 파악 |
| ■ 점검계획수립 |

【그림 2-1】 자료수집 및 분석 흐름도

# 2.2 건설 관련자료 검토결과 요약

## 2.2.1 구조 및 수리계산서 검토

중부내륙고속도로(여주~충주간) 건설공사 1공구 실시설계의 과업기간은 1996년 2월 29일~1997년 4월 1일이며, 설계시 적용한 표준시방서 및 설계기준은 다음과 같다.

- 콘크리트 표준시방서(1996. 건설교통부)
- 철근콘크리트 설계편람(Ⅰ, Ⅱ) (1990. 건설교통부)
- 도로교 표준 시방서 (1996. 건설교통부)
- 도로설계요령 (1992. 한국도로공사)
- 기타 설계 기준 (한국도로공사)

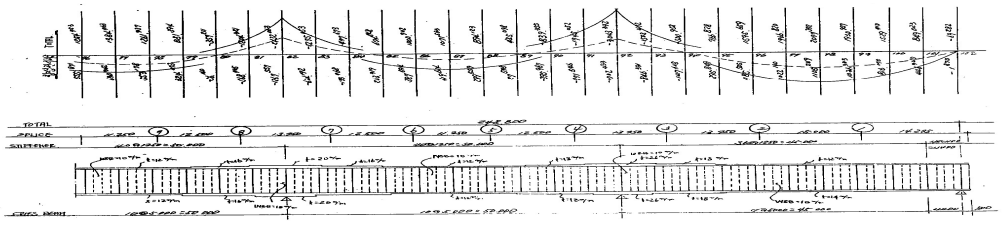
【표 2-2】 시설물 설계시 적용한 물성치 및 하중조건

| 구 분 | | 내 용 |
|---|---|---|
| 설계 방법 | | ◦ 강도설계법<br>– 철근 콘크리트를 탄성체로 보고 재료에 적합한 안전을 고려한 허용응력을 사용하여 설계하는 방법<br>– RC 구조물에 적용<br>◦ 허용응력설계법<br>– 실제 하중이 작용하여 부재가 파괴될 때에 콘크리트의 압축응력분포를 알아내어 이에 맞도록 적합한 하중 (LOAD FACTOR)을 갖고 설계하는 방법<br>– PSC 구조물에 적용 |
| 하중 | 고정하중 | ◦ 철근콘크리트 : $W_c = 2.5t/m^3$<br>◦ 아스팔트 : $W_a = 2.3t/m^3$<br>◦ 강재 : $W_s = 7.85t/m^3$ |
| | 활하중 | ◦ DB-24<br>◦ DL-24 |
| 사용 재료 | | ◦ 콘크리트 : $\sigma_{ck} = 270kg/cm^2$, $\sigma_{ck} = 240kg/cm^2$<br>◦ 철근 : $\sigma_{sa} = 1800kg/cm^2$, $\sigma_{sa} = 1500kg/cm^2$<br>◦ 강재 : SWS490C, SWS400B |

주)중부내륙고속도로(충주~여주간) 건설공사(제1공구) 구조 및 수리계산서(2002. 12 한국도로공사)

## 가. 구조해석 결과 요약

1) 상부구조

| 구 간 | 계 산 내 용 | 비 고 |
|---|---|---|
| 개 요 | • 상부구조형식 : Steel Box Girder교<br>• 교량연장 : L = 5@50.0m+4@50.0m=450.0m<br>• 교량폭원 : B = 12.145m<br>• 설계하중 : 1등급 (DB-24, DL-24) | |
| 재 료 특 성 | • 콘크리트 : $\sigma_{ck}$=270kg/cm$^2$(콘크리트), Ec = 277,000 kg/cm$^2$<br>• 강 재 : 주부재 SWS 490 , 보강재 SWS 400, Es = 2,100,000 kg/cm$^2$<br>• 철 근 : $\sigma_y$=4,000kg/cm$^2$, Es = 2,040,000 kg/cm$^2$ | |
| 바닥판 | • L=250m구간(5@50.0m)<br>① 중앙슬래브 : Mu = 7.742 t · m → H16@125(As=15.888cm$^2$)<br>(배력근 산정 : H16@150, As=13.24cm$^2$ > 10.645cm$^2$)<br>② 캔틸레버부 : Mu = 10.910 t · m → H16@125(As=15.888cm2)<br>(배력근 산정 : H16@150, As=13.24cm$^2$ > 10.645cm$^2$)<br>• L=200m구간(4@50.0m)<br>① 중앙슬래브 : Mu = 7.742 t · m → H16@125(As=15.888cm$^2$)<br>(배력근 산정 : H16@150, As=13.24cm$^2$ > 10.645cm$^2$)<br>② 캔틸레버부 : Mu = 10.910 t · m → H16@125(As=15.888cm2)<br>(배력근 산정 : H16@150, As=13.24cm$^2$ > 10.645cm$^2$) | |
| 거 더 해 석 | • B.M.D<br>  <br>• 합성응력검토<br>① L=250m구간(5@50.0m)<br>- 설계응력검토 : $Max\left[\left(\frac{\sigma}{\sigma_a}\right)^2+\left(\frac{\tau}{\tau_a}\right)^2\right]$=0.871 < 1.2 → O.K<br>- 피로응력검토 : $\Delta\sigma_l$ = 465.821 kg/cm$^2$ < $\Delta\sigma_{st}$ = 1610 kg/cm$^2$ → O.K<br>② L=200m구간(4@50.0m)<br>- 설계응력검토 : $Max\left[\left(\frac{\sigma}{\sigma_a}\right)^2+\left(\frac{\tau}{\tau_a}\right)^2\right]$=0.872 < 1.2 → O.K<br>- 피로응력검토 : $\Delta\sigma_l$ = 481.484 kg/cm$^2$ < $\Delta\sigma_{st}$ = 1610 kg/cm$^2$ → O.K | |

※ 기존 구조계산서 정리시 단위계 및 강재 종류 표기는 원구조계산서와 동일하게 표기하였음.

2) 하부구조

① 교대

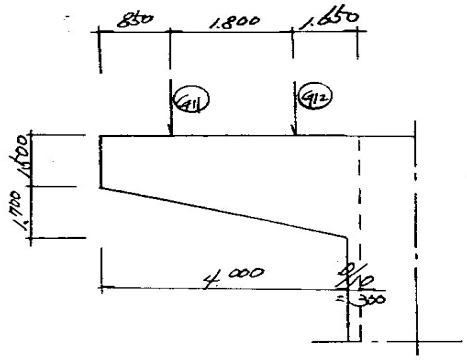
| 구 간 | 계 산 내 용 | 비 고 |
|---|---|---|
| 시점(A1) | • 연직벽의 단면검토<br>Mu=7727657.5 kg · cm < φMn=14997413.0 kg · cm<br>(사용철근량 As = D22 @ 12.5 = 31.00 $cm^2$)<br>• 확대기초 단면검토<br>① 뒷굽판<br>Mu=3960569.8 kg · cm < φMn=9305812.0 kg · cm<br>(사용철근량 As = D22 @ 12.5 = 31.00 $cm^2$)<br>① 앞굽판<br>Mu=5409827.0 kg · cm < φMn=2981812.5 kg · cm<br>(사용철근량 As = D22 @ 12.5 = 31.00 $cm^2$)<br>• 흉벽 단면검토<br>Mu=330881.3 kg · cm < φMn=14997413.0 kg · cm<br>(사용철근량 As = D22 @ 12.5 = 31.00 $cm^2$)<br>• 날개벽 단면검토<br>Mu=2657157.5 kg · cm < φMn=2744662.5 kg · cm<br>(사용철근량 As = D22 @ 12.5 = 31.00 $cm^2$)<br>• 말뚝본체의 응력검토<br>① 평상시<br>$\sigma$ = 902.323 kg/$cm^2$ < $\sigma$a = 1400 $kgcm^2$ → O.K<br>② 지진시<br>$\sigma$ = 1094.894 kg/$cm^2$ < $\sigma$a = 2100 $kgcm^2$ → O.K | |
| 종점(A2) | • 연직벽의 단면검토<br>Mu=7727657.5 kg · cm < φMn=14997413.0 kg · cm<br>(사용철근량 As = D22 @ 12.5 = 31.00 cm2)<br>• 확대기초 단면검토<br>① 뒷굽판<br>Mu=3960569.8 kg · cm < φMn=9305812.0 kg · cm<br>(사용철근량 As = D22 @ 12.5 = 31.00 $cm^2$)<br>① 앞굽판<br>Mu=5409827.0 kg · cm < φMn=2981812.5 kg · cm<br>(사용철근량 As = D22 @ 12.5 = 31.00 $cm^2$)<br>• 흉벽 단면검토<br>Mu=330881.3 kg · cm < φMn=14997413.0 kg · cm<br>(사용철근량 As = D22 @ 12.5 = 31.00 $cm^2$)<br>• 날개벽 단면검토<br>Mu=2657157.5 kg · cm < φMn=2744662.5 kg · cm<br>(사용철근량 As = D22 @ 12.5 = 31.00 $cm^2$)<br>• 말뚝본체의 응력검토<br>① 평상시<br>$\sigma$ = 902.323 kg/$cm^2$ < $\sigma$a = 1400 $kgcm^2$ → O.K<br>② 지진시<br>$\sigma$ = 1094.894 kg/$cm^2$ < $\sigma$a = 2100 $kgcm^2$ → O.K | |

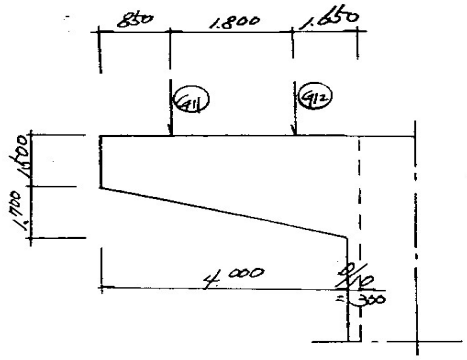
② 교각

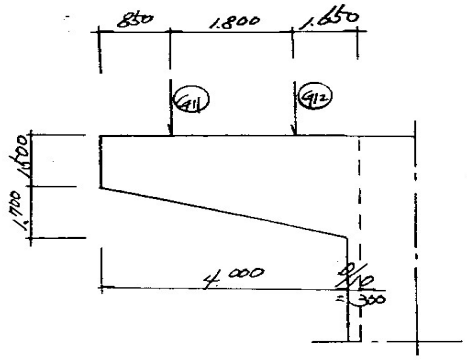
<table>
<tr><th colspan="2">구 간</th><th>계 산 내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td colspan="2">개 요</td><td>• 교각형식 : T형교각<br>• 설계하중 : DB-24, DL-24<br>• 설계방법 : 강도설계법<br>• 재료의 강도<br>$\sigma_{ck}$ = 240kg/cm$^2$(콘크리트) , $\sigma_y$ = 3,000kg/cm$^2$(철근)</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">기둥<br>검토</td><td>P3</td><td>• 작용하중
<table>
<tr><th colspan="3">하중 종류</th><th>하중값</th></tr>
<tr><td colspan="3">사 하 중</td><td>873.882 ton</td></tr>
<tr><td colspan="3">활 하 중</td><td>414.354 ton</td></tr>
<tr><td rowspan="8">풍하중</td><td colspan="2">상부에 작용</td><td>1309.034 kg/m</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Girder 및 방호벽에 작용</td><td>65.450 ton</td></tr>
<tr><td>1010.548 t · m</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">교면상 활하중에 작용</td><td>7.500 ton</td></tr>
<tr><td>135.600 t · m</td></tr>
<tr><td rowspan="4">하부에 작용</td><td rowspan="2">활하중 재하시</td><td>3.038 ton</td></tr>
<tr><td>20.507 t · m</td></tr>
<tr><td rowspan="2">활하중 비재하시</td><td>6.075 ton</td></tr>
<tr><td>41.006 t · m</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">교좌장치 마찰력에 의한 수평력(교축방향)</td><td>43.604 ton</td></tr>
<tr><td>589.869 t · m</td></tr>
<tr><td colspan="3">교각의 자중</td><td>347.127 ton</td></tr>
</table>
• 장주영향 검토<br>k · lu/r = 45.00 > 22 → 장주영향 고려<br><br>• 단면검토<br>① 평상시<br>Use As D32 X 44.000 = 349.448 cm$^2$<br>As D32 X 41.000 = 325.622 cm$^2$ Total As = 675.070 cm$^2$<br>As ‘ D32 X 82.000 = 651.244 cm$^2$<br>Mu=923.252 t · m < φMn=2202.834 t · m → O.K<br>Nu=3504.666 ton < φPn=8361.961 ton → O.K<br><br>② 지진시<br>Use As D32 X 44.000 = 349.448 cm$^2$<br>As D32 X 41.000 = 325.622 cm$^2$ Total As = 675.070 cm$^2$<br>As ‘ D32 X 82.000 = 651.244 cm$^2$<br>Mu=3871.700 t · m < φMn=4231.658 t · m → O.K<br>Nu=1726.767 ton < φPn=1887.307 ton → O.K</td><td></td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구 간</th><th>계 산 내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td rowspan="2">기둥<br>검토</td><td rowspan="2">P5</td><td>
• 작용하중
<table>
<tr><th colspan="3">하중 종류</th><th>하중값</th></tr>
<tr><td colspan="3">사 하 중</td><td>606.604 ton</td></tr>
<tr><td colspan="3">활 하 중</td><td>332.181 ton</td></tr>
<tr><td rowspan="8">풍하중</td><td colspan="2">상부에 작용</td><td>1309.034 kg/m</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Girder 및 방호벽에 작용</td><td>65.450 ton</td></tr>
<tr><td>1082.543 t · m</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">교면상 활하중에 작용</td><td>7.500 ton</td></tr>
<tr><td>143.850 t · m</td></tr>
<tr><td rowspan="4">하부에 작용</td><td rowspan="2">활하중 재하시</td><td>3.285 ton</td></tr>
<tr><td>23.981 t · m</td></tr>
<tr><td rowspan="2">활하중 비재하시</td><td>47.961 ton</td></tr>
<tr><td>41.006 t · m</td></tr>
<tr><td colspan="3">교좌장치 마찰력에 의한 수평력(교축방향)</td><td>30.330 ton</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td>442.821 t · m</td></tr>
<tr><td colspan="3">교각의 자중</td><td>399.589 ton</td></tr>
</table>
• 장주영향 검토<br>
k · lu/r = 48.67 > 22 → 장주영향 고려<br><br>
• 단면검토<br>
① 평상시<br>
Use As D32 X 44.000 = 349.448 $cm^2$<br>
As D32 X 41.000 = 325.622 $cm^2$ Total As = 675.070 $cm^2$<br>
As ‘ D32 X 82.000 = 651.244 $cm^2$<br>
Mu=706.167 t · m < $\varphi$Mn=2095.783 t · m → O.K<br>
Nu=2859.879 ton < $\varphi$Pn=8487.634 ton → O.K<br><br>
② 지진시<br>
Use As D32 X 44.000 = 349.448 $cm^2$<br>
As D32 X 41.000 = 325.622 $cm^2$ Total As = 675.070 $cm^2$<br>
As ‘ D32 X 82.000 = 651.244 $cm^2$<br>
Mu=1724.598 t · m < $\varphi$Mn=4728.969 t · m → O.K<br>
Nu=1327.642 ton < $\varphi$Pn=3682.058 ton → O.K
</td><td></td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구 간</th><th>계 산 내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td rowspan="2">기둥<br>검토</td><td rowspan="2">P8</td><td>
• 작용하중
<table>
<tr><th colspan="3">하중 종류</th><th>하중값</th></tr>
<tr><td colspan="3">사 하 중</td><td>873.882 ton</td></tr>
<tr><td colspan="3">활 하 중</td><td>414.354 ton</td></tr>
<tr><td rowspan="8">풍하중</td><td colspan="2">상부에 작용</td><td>2007.3 kg/m</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Girder 및 방호벽에 작용</td><td>100.350 ton</td></tr>
<tr><td>1458.086 t · m</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">교면상 활하중에 작용</td><td>7.500 ton</td></tr>
<tr><td>99.225 t · m</td></tr>
<tr><td rowspan="4">하부에 작용</td><td rowspan="2">활하중 재하시</td><td>1.946 ton</td></tr>
<tr><td>8.416 t · m</td></tr>
<tr><td rowspan="2">활하중 비재하시</td><td>3.892 ton</td></tr>
<tr><td>16.835 t · m</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">교좌장치 마찰력에 의한 수평력(교축방향)</td><td>43.694 ton</td></tr>
<tr><td>371.399 t · m</td></tr>
<tr><td colspan="3">교각의 자중</td><td>261.420 ton</td></tr>
</table>
• 장주영향 검토<br>
k · lu/r = 28.83 > 22 → 장주영향 고려<br><br>
• 단면검토<br>
① 평상시<br>
Use As D32 X 44.000 = 349.448 $cm^2$<br>
As D32 X 41.000 = 325.622 $cm^2$ Total As = 675.070 $cm^2$<br>
As ‘ D32 X 82.000 = 651.244 $cm^2$<br>
Mu=720.205 t · m < φMn=1879.453 t · m → O.K<br>
Nu=3347.096 ton < φPn=8734.607 ton → O.K<br><br>
② 지진시<br>
Use As D32 X 44.000 = 349.448 $cm^2$<br>
As D32 X 41.000 = 325.622 $cm^2$ Total As = 675.070 $cm^2$<br>
As ‘ D32 X 82.000 = 651.244 $cm^2$<br>
Mu=2155.442 t · m < φMn=4335.374 t · m → O.K<br>
Nu=2624.964 ton < φPn=5279.753 ton → O.K
</td><td></td></tr>
</table>

| 구 간 | | 계 산 내 용 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 코핑부 검토 | P3 |  <br>• 판별식<br>$G_{11} = \frac{a}{b} = 1.150 > 1.0 \rightarrow$ 일반보 검토<br>$G_{12} = \frac{a}{b} = 0.550 < 1.0 \rightarrow$ 브라켓 검토<br><br>• 철근량 검토<br>① 하중 G11<br>Req'd As = 233.738 $cm^2$<br>소요철근량 As = 311.651 $cm^2$<br>② 하중 G12 + 자중<br>Req'd As = 133.316 $cm^2$<br>소요철근량 As = 177.750 $cm^2$<br>Mu=2861.513 t · m < $\varphi$Mn=4129.217 t · m → O.K<br>(Use As = D32 X 72.000 = 571.824 $cm^2$)<br><br>• 전단마찰설계 : Av = 255.931 $cm^2$<br>• 인장철근설계 : An = 255.931 $cm^2$<br>• Use As = D32 3단 24열 = 571.824 $cm^2$<br><br>• Stirrup 검토<br>Mu = M11 + M12 = 2861.513 t · m<br>Su = S11 + S12 = 1144.293 ton<br><br>• 휨검토<br>Mu=2861.513 t · m < $\varphi$Mn=4129.217 t · m → O.K<br><br>• 전단검토<br>Ss=1547.100 ton < $2.1\sqrt{\sigma_{ck}}$ · b · d = 2439.979 ton → O.K | |

| 구 간 | | 계 산 내 용 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 코핑부 검토 | P5 |  <br>• 판별식<br>$G_{11} = \frac{a}{b} = 1.150 > 1.0 \rightarrow$ 일반보 검토<br>$G_{12} = \frac{a}{b} = 0.550 < 1.0 \rightarrow$ 브라켓 검토<br><br>• 철근량 검토<br>① 하중 G11<br>Req'd As = 175.271 $cm^2$<br>소요철근량 As = 233.695 $cm^2$<br>② 하중 G12 + 자중<br>Req'd As = 111.744 $cm^2$<br>소요철근량 As = 148.995 $cm^2$<br>Mu=2861.513 t·m < $\varphi$Mn=4129.217 t·m → O.K<br>(Use As = D32 X 72.000 = 571.824 $cm^2$)<br><br>• 전단마찰설계 : Av = 206.337 $cm^2$<br>• 인장철근설계 : An = 41.267 $cm^2$<br>• Use As = D32 3단 29열 = 190.954 $cm^2$<br><br>• Stirrup 검토<br>Mu = M11 + M12 = 2222.680 t·m<br>Su = S11 + S12 = 889.416 ton<br><br>• 휨검토<br>Mu=2222.680 t·m < $\varphi$Mn=4987.412 t·m → O.K<br><br>• 전단검토<br>Ss=1547.100 ton < $2.1\sqrt{\sigma_{ck}}$ · b · d = 2927.975 ton → O.K | |

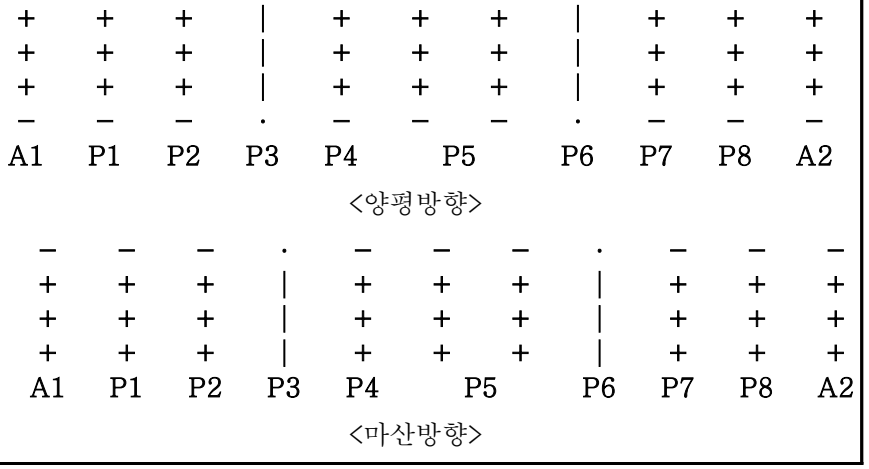
| 구 간 | | 계 산 내 용 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 코핑부 검토 | P8 |  <br>• 판별식<br>$G_{11} = \frac{a}{b} = 1.150 > 1.0 \rightarrow$ 일반보 검토<br>$G_{12} = \frac{a}{b} = 0.550 < 1.0 \rightarrow$ 브라켓 검토<br><br>• 철근량 검토<br>① 하중 G11<br>Req'd As = 233.738 $cm^2$<br>소요철근량 As = 311.651 $cm^2$<br>② 하중 G12 + 자중<br>Req'd As = 133.316 $cm^2$<br>소요철근량 As = 177.750 $cm^2$<br>Mu=2861.513 t · m < $\varphi$Mn=4129.217 t · m → O.K<br>(Use As = D32 X 72.000 = 571.824 $cm^2$)<br><br>• 전단마찰설계 : Av = 255.931 $cm^2$<br>• 인장철근설계 : An = 255.931 $cm^2$<br>• Use As = D32 3단 24열 = 571.824 $cm^2$<br><br>• Stirrup 검토<br>Mu = M11 + M12 = 2861.513 t · m<br>Su = S11 + S12 = 1144.293 ton<br><br>• 휨검토<br>Mu=2861.513 t · m < $\varphi$Mn=4129.217 t · m → O.K<br><br>• 전단검토<br>Ss=1547.100 ton < $2.1\sqrt{\sigma_{ck}}$ · b · d = 2439.979 ton → O.K | |

## 2.2.2 설계도면 검토

본 교량은 총연장 450.0m[5@50.0m + 4@50m] 상부구조는 9경간의 STB형식으로 교각의 주형식은 T형, 기초는 직접기초(P1~P7)와 강관파일기초(P8)로 이루어져 있으며, 교대의 형식은 역T형이고 기초는 강관파일기초로 시공되어 있다.

교량에 대한 현황조사 결과, 주요부재(Steel Box Girder, 강재두께, 폭, 연장 등)는 설계도면과 대부분 일치하는 것으로 확인되었다.

【표 2-3】 설계도면 검토 결과

| 구 분 | | 검토 내용 |
|---|---|---|
| 제 원 | | ◦ 형식 : Steel Box Girder<br>◦ 길이 : 450.0m<br>◦ 폭 : 12.15m |
| 구 배 | 종구배 | -0.914%(A2방향) |
| | 횡구배 | -2.000%(우측방향) |
| 방호벽 | | ◦ H=1.08m<br>◦ B=0.45m/0.23m |
| 중분대 | | ◦ H=0.89m<br>◦ B=0.275m/0.09m |
| 배수구 | 제 원 | ◦ D=0.15m<br>◦ H=Steel Box Girder에서 및으로 0.1m이상, 슈위치는 0.3m이상 |
| 아스팔트 포장두께 | | t=80㎜ |
| 배수구 | 배수구 개소 | ◦ S1 : 3개소, S2 : 4개소, S3 : 3개소, S4 : 4개소, S4 : 3개소 |
| Steel Box Girder | 강재두께 | ◦ 강상형 본체 : 12~22㎜<br>◦ 강상형 리브 : 12~20㎜ |
| 교좌장치 배치 | |  |

## 2.2.3 토질 및 지반조사 자료검토

기 실시된 실시설계 자료 중 지반에 대한 토질조사보고서(2002.12)를 발췌하여 대상시설물에 대한 기초검토 및 유지관리시 참고가 되도록 수록하였다.

### 가. 지형

중부내륙 고속도로(여주-충주간)시험주로 건설공사 과업구간중 제1공구의 시점은 행정구역상 경기도 여주군 가남면 안금리이며, 종점은 경기도 여주군 점동면 원부리까지 약 7.57km정도이다. 본 노선이 통과하는 지역은 경기도 남단의 여주군 일대로서 태백산맥으로부터 남-남-서로 뻗어 내려온 차령산맥의 중앙부에 해당한다.

본 지역의 지형을 지배하고 잇는 방향성은 현저하지 않으나 산계와 수계는 대체로 남-북 방향을 취하고 있다.

- 산계 : 철갑산(225.1m)-연대산(226.8m)-운승리고개(159.2m)-돌마래미고개(215.4m)를 잇는 산계는 화강암이 분포하고 있다. 본역의 대부분을 지배하는 이들 암상은 풍화가 발달하여 지형이 완만하나 구릉성 산지로 나타나며 이들 사이에는 충적평야가 분포하고 있다.
- 수계 : 본 조사지역의 대표적인 수계로는 상부에 북서방향으로 흐르는 남한강과 그 지류인 청미천이 있으며, 북에서 시작하여 남류하는 금당천, 금당천 서남에서 북류하는 양화천 등이 분포한다. 농업용수에 이용되는 인공적인 수로망이 발달되어 있으며, 산계에 의한 소규모 지류들이 수지상으로 발달하고 있다.

위에서 기술한 바와 같이 본 지역의 지형적 상황인 산계와 수계를 종합적으로 판단하여 보면 주로 화강암층이 분포하는 본 조사지역의 산지는 만장년기적 지형발달 단계의 대표적인 형태를 이루고 있다.

### 나. 지질

1) 지질개요

본 노선에 분포되어 있는 지질은 중생대 쥬라기의 화강암층이 분포하고 있으며, 이를 신생대 제 4기의 충적층이 부정합으로 피복하고 있다.

본 노선의 시추조사 결과 및 기 발간된 한국지질도 여주도폭(한국자원연구소,1975년), 장호원도폭(한국자원연구소,1989년)등을 참고하여 지질계통을 살펴보면 본 노선 주변의 지질분포도는 【표 2-4】와 같다.

【표 2-4】 본 조사지역 지질계통도

| 지질시대 | | 지층명 |
|---|---|---|
| 신생대 | 제4기 | 충적층(Alluvium) |
| | | 고기하성층(Old River Deposit) |
| - 부정합 - | | |
| 중생대 | 백악기 | 산성암맥(Acidic Dike rock) |
| | | 거정화강암(Pegmatite) |
| | | 규장암(Felsite) |
| | | 화강반암(Granite Porphyry) |
| | - 관 입 - | |
| | 쥬라기 | 섬장암질화강암(Syenitic Granite) |
| | | 복운모화강암(Two mica Granite) |
| | | 흑운모화강암(Biolite Granite) |
| | | 중립질흑운모화강암(Medium-grained Biolite Granite) |
| 시대미상 | | 섬록암(Diolite) |
| - 관 입 - | | |
| 선캔브리아기 | | 호상편마암(Banded Gneiss) |

2) 지질각론

① 화강암류

중생대 쥬라기에 형성된 화강암층으로서 선캠브리아기의 호상편마암을 관입한 양상으로 나타나며, 공사시점부터 종점에 걸쳐 가장 넓은 분포를 보이고 있다. 구성암석은 편마암질 흑운모화강암, 중립질 흑운모화강암, 복운모화강암, 백운모화강암 등으로 조직과 조암광물의 창이에 따라 크게 4대분 된다.

편마암질 흑운모화강암은 전반적으로 잔상조직을 보여주며 1-2cm정도 크기의 알칼리 장석류로 이루어진 반정을 함유하고 있다. 또한 여러크기의 유색광물로 구성되어 있으며, 다른 종류의 화강암들보다는 전기에 관입한 것으로 보여지나 그 관계는 점이적이다. 중립질 흑운모화강암은 조직에 있어 거의 등립질이며, 유색광물의 양이 편마암질 흑운모화강암보다는 훨씬 적다. 복운모화강암은 중립질 흑운모화강암과 그 조직에 있어 큰 차이가 없으나 백운모의 양이 흑운모에 견줄만큼 많아지므로 그 구별이 가능하다. 백운모화강암은 산출상태에 있어서도 편마암체내에 소규모의 맥상으로 나타나고 흑운모의 함량도 극히 적어지므로 타화강암들과 구분된다.

② 충적층

남한강을 비롯하여 청미천, 양화천, 금당천 등의 하상 주변에 유수의 영향으로 인한 하천 범람시 퇴적된 충적층이 넓게 분포하고 있으며, 대부분이 점토, 실트, 모래, 각력, 역 등으로 구성되어 있다. 식생이 가능한 부분과 특히 저구릉 상이의 작은 하천 주변에 좁은 붙포를 보이는 충적층은 대부분이 경작지로 이용되고 있다.

## 다. 지층상태

본 교량은 국도 37호선 및 청미천을 횡단하는 교량으로 시추조사 결과 전답토층, 매립토층, 퇴적토층, 풍화토층, 풍화암층, 연암 및 경암층의 순으로 지층구성이 이루어져 있다.

【표 2-5】 본 지역의 지층구성 상태

| 지 층 | 통일분류 | 두께(m) | N-치 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 표토층 | CL.SP.SM | 0.3~4.6 | 10~35 | 시추공 BB-44,45,48 |
| 전답토층 | SM | 0.1~0.9 | - | 시추공 BB-42,52,53,60,61 |
| 매립토층 | SM | 2.3~2.6 | 3~9 | 시추공 BB-43,54 |
| 퇴적토층 | CL.ML | 0.5~5.0 | 3~9 | 시추공 BB-44,54 |
| | SM.SP.SW.GP.GM | 2.2~7.7 | $3\sim50^{+}$ | 시추공 BB-42,43 제외한 전지점 |
| 풍화토층 | SM.SP.SW | 0.7~3.2 | 40~49 | 시추공 BB-44,50,60 |
| 풍화암층 | W.R | 0.2~10.0 | $50^{+}$ | 시추공 BB-57 제외한 전지점 |
| 기반암층 | 중생대 쥬라기 화강암(Granite) | | | 시추공 BB-51 제외한 전지점 |

1) 표토층, 전답토층, 매립토층, 퇴적토층

본 지층들은 이 지역의 지표면을 형성하고 있는 지층들로서 교량의 양쪽 Abut부근은 표토층, 전답토층이 분포되어 있고, 제방과 도로부근에는 매립토층이 청미천 하상부에는 퇴적토층이 분포되어 있다. 이 중 표토층, 전답토층 및 매립토층은 대부분 실트질 모래로 구성되어 있으며, 느슨함 내지 보통의 상대밀도를 나타내고 있다. 한편 하천지역 전반에 걸쳐 분포되어 있는 퇴적토층은 회갈색의 실트질 점토(CL), 회색의 모래질 실트(ML)층과 실트질 모래(SM), 자갈을 함유한 세립 내질 중립모래(SW), 실트 및 모래섞인 자갈(GM)층으로 대별할 수 있다. CL, ML로 분류되는 점성토층의 표준관입시험 N치는 3/30~4/30범위로 연약한 경도를 보이며, 사질토 및 사력토층의 표준관입시험 N치는 3/30~50/11 범위로 매우 느슨함 내지 매우 조밀한 상대밀로를 나타낸다.

2) 풍화토층

0.7~3.2m정도의 두께로 분포되어 있는 풍화토층은 실트질 모래(SM), 자갈을 함유한 모

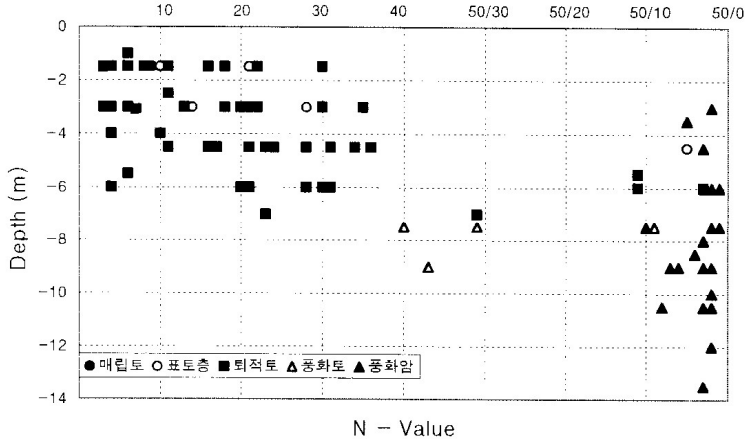
래(SP-SW)로 이루어져 있으며, 표준관입시험치 N=40/30~49/30으로 조밀한 상태이다.

3) 풍화암층

풍화암층의 출현심도는 교량 시점부 Abut지역은 지표하 약 0.9~3.3m지점에 분포되어 있으며, 교량의 각 Pier지점에 해당하는 청미천 하상부근에서는 지표하 4.2~10.2m지점에 분포되어 있다. 대부분이 타격에 의해 암편이 함유된 실트질 모래로 분해되며, 원지반에서는 매우 치밀하고 견고한 지층이다.

4) 기반암층

본 지역에 발달되어 있는 기반암인 연암층 및 경암층은 현 지표하 5.0~14.8m에서 분포되어 있는데, 보통풍화(MW) 내지 약간풍화(SW) 상태를 나타내며 보통강함 내지 강함의 강도를 지니고 있다.




【그림 2-2】 심도에 따른 표준관입시험 N-치

# 2.3 기존 정기 및 정밀점검 실시결과

본 교량은 2003~2016년까지 한국도로공사에서 자체점검을 실시하였고, 2012년 (재)한국건설품질연구원에서 최초 정밀안전진단을 실시하였다. 또한, 시설물정보관리종합시스템(FMS)를 참고하여 정리하였다.

## 2.3.1 점검 이력

【표 2-6】 청미천교(양평) 점검 이력

| 번호 | 구분 | 점검기간 | 점검/진단기관 | 주요점검/진단결과 | 안전등급 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 초기점검 | 2003.03.24 | 자체수행 | ◦ 『A』 등급양호 | A |
| 2 | 후반기 정밀점검 | 2003.09.26 | 자체수행 | ◦ 전반적으로 양호 | A |
| 3 | 전반기 정기점검 | 2004.04.27 | 자체수행 | ◦ 전반적으로 양호 | 양호 |
| 4 | 후반기 정밀점검 | 2004.12.10 | 자체수행 | ◦ 양호 | A |
| 5 | 전반기 정기점검 | 2005.04.27 | 자체수행 | ◦ 양호 | 양호 |
| 6 | 후반기 정기점검 | 2005.10.10 | 자체수행 | ◦ 양호 | 양호 |
| 7 | 전반기 정기점검 | 2006.04.07 | 자체수행 | ◦ 양호 | 양호 |
| 8 | 후반기 정밀점검 | 2006.10.27 | 자체수행 | ◦ 양호 | A |
| 9 | 전반기 정기점검 | 2007.06.11 | 자체수행 | ◦ 양호 | 양호 |
| 10 | 후반기 정기점검 | 2007.11.19 | 자체수행 | ◦ 양호 | 양호 |
| 11 | 긴급점검 | 2007.08.06 | 자체수행 | - | 양호 |
| 12 | 전반기 정밀점검 | 2008.04.11 | 자체수행 | ◦ 교대상면 물고임 | A |
| 13 | 후반기 정기점검 | 2008.11.14 | 자체수행 | ◦ 양호 | 양호 |
| 14 | 전반기 정기점검 | 2009.06.10 | 자체수행 | ◦ 교대벽체얼룩(부속시설물 점검 이상무) | 양호 |
| 15 | 후반기 정기점검 | 2009.09.30 | 자체수행 | ◦ 양호(부속시설물 점검 이상무) | 양호 |
| 16 | 전반기 정밀점검 | 2010.07.23 | 자체수행 | ◦ 신축 이음덮개 파손, 후타 콘크리트 파손 | A |
| 17 | 후반기 정기점검 | 2010.10.21 | 자체수행 | ◦ A1교대죠인트청소, 교량부속시설물 이상없음 | 양호 |

【표 2-6】 청미천교(양평) 점검 이력(계속)

| 번호 | 구분 | 점검기간 | 점검/진단기관 | 주요점검/진단결과 | 안전등급 |
|---|---|---|---|---|---|
| 18 | 전반기 정기점검 | 2011.04.11 | 자체수행 | ◦ 양호 | 양호 |
| 19 | 후반기 정기점검 | 2011.07.25 | 자체수행 | ◦ 내부침투수 발생 | 양호 |
| 21 | 전반기 정기점검 | 2012.04.18 | 자체수행 | ◦ 양호 | 양호 |
| 22 | 후반기 정기점검 | 2012.09.04 | 자체수행 | ◦ 양호 | 양호 |
| 23 | 정밀 안전진단 | 2012.04.16. ~ 2012.12.21 | (재)한국건설품질연구원 | ◦ 바닥판 하면 균열, 균열 및 백태, 망상균열, 누수흔적, 파손, 녹발생, 고무재 탈락 등<br>◦ STB 거더 도장박리 및 부식, 볼트부식, 용접결함, 실링누락, 오물퇴적, 케이블 도난 등<br>◦ 교대/교각 균열, 누수흔적 및 체수, 콘크리트 손상, 전단키/점검로 부식 및 볼트부식 등<br>◦ 교량받침 소울플레이트 도장박리 및 부식, 몰탈/콘크리트 균열, 잡철노출, 파손, 재료분리 등<br>◦ 신축이음장치 본체 이물질 퇴적, 후타재 균열(cw=0.3mm미만), 충격음 및 지지대파손 등<br>◦ 유도배수관 설치필요, 배수파이프 길이부족 및 곡관설치 누락 등 | B |
| 24 | 전반기 정기점검 | 2013.03.27 | 자체수행 | ◦ 교대 열화, 신축이음부 누수 | 양호 |
| 25 | 후반기 정기점검 | 2013.09.05 | 자체수행 | ◦ 점검결과 거더[도장탈락],교량받침[부식,러버패드이탈],하부구조[열화,망상균열],신축이음[후타균열]이 발견되었음 | 양호 |
| 26 | 전반기 정기점검 | 2014.03.28 | 자체수행 | ◦ 거더<br>- 도장탈락 : S6G1 (0.025㎡, 1개소)<br>◦ 교량받침<br>- 부식 : A1-sh1, A2-sh1,4 (0.20㎡, 3개소)<br>◦ 하부구조<br>- 균열(0.3mm 이상) : A1 (0.3mm/2.3m, 3개소)<br>- 열화 : A1 (1.2㎡, 1개소) | 양호 |
| 27 | 후반기 정밀점검 | 2014.08.26 | 자체수행 | ◦ 양호함 | B |
| 28 | 전반기 정기점검 | 2015.04.21 | 자체수행 | ◦ 신축이음 - 후타재 균열<br>◦ 난간/중분대 - 난간방호벽 박락 | 양호 |
| 28 | 후반기 정기점검 | 2015.10.01 | 자체수행 | ◦ 거더 - 도장박리<br>◦ 교량받침 - 교량받침 부식<br>◦ 하부구조 - 열화, 균열(0.3mm이상), 망상균열 | 양호 |
| 29 | 전반기 정기점검 | 2016.04.29 | 자체수행 | ◦ 거더 : 도장 탈리<br>◦ 교량받침 : 부식,들뜸<br>◦ 하부구조 : 균열<br>◦ 신축이음 : 균열,누수 | 양호 |

【표 2-7】 청미천교(마산) 점검 이력

| 번호 | 구분 | 점검기간 | 점검/진단기관 | 주요점검/진단결과 | 안전등급 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 초기점검 | 2003.03.24 | 자체수행 | ◦ 『A』 등급양호 | A |
| 2 | 후반기 정밀점검 | 2003.09.26 | 자체수행 | ◦ 전반적으로 양호 | A |
| 3 | 전반기 정기점검 | 2004.04.27 | 자체수행 | ◦ 전반적으로 양호, 교면포장밀림발생 | 양호 |
| 4 | 후반기 정밀점검 | 2004.12.10 | 자체수행 | ◦ 양호 | A |
| 5 | 전반기 정기점검 | 2005.04.27 | 자체수행 | ◦ 양호 | 양호 |
| 6 | 후반기 정기점검 | 2005.10.10 | 자체수행 | ◦ A2 거푸집 철선자리 녹발생 | 양호 |
| 7 | 전반기 정기점검 | 2006.04.07 | 자체수행 | ◦ 양호 | 양호 |
| 8 | 후반기 정밀점검 | 2006.10.27 | 자체수행 | ◦ 양호 | A |
| 9 | 전반기 정기점검 | 2007.06.11 | 자체수행 | ◦ 양호 | 양호 |
| 10 | 후반기 정기점검 | 2007.11.19 | 자체수행 | ◦ 양호 | 양호 |
| 11 | 긴급점검 | 2007.08.06 | 자체수행 | - | 양호 |
| 12 | 전반기 정밀점검 | 2008.04.11 | 자체수행 | ◦ 교대상면 물고임, 배수파이프 연결 부족, 코핑 균열 발생, 교각점검로 콘크리트 정리미흡, 캔틸레버 하부 철근노출, 코핑 단부 녹발생, 코핑 전면 셋트앵커 미 제거, 캔틸레버 하부 면끼 제거 | A |
| 13 | 후반기 정기점검 | 2008.11.14 | 자체수행 | ◦ 양호 | 양호 |
| 14 | 전반기 정기점검 | 2009.06.10 | 자체수행 | ◦ 교대벽체얼룩(부속시설물 점검 이상무) | 양호 |
| 15 | 후반기 정기점검 | 2009.09.30 | 자체수행 | ◦ 양호(부속시설물 점검 이상무) | 양호 |
| 16 | 전반기 정밀점검 | 2010.07.23 | 자체수행 | ◦ 슈 녹발생 | A |
| 17 | 후반기 정기점검 | 2010.09.08 | 자체수행 | ◦ 양호,교량부속시설물 이상없음 | 양호 |
| 18 | 전반기 정기점검 | 2011.04.11 | 자체수행 | ◦ 양호 | 양호 |
| 19 | 후반기 정기점검 | 2011.07.25 | 자체수행 | ◦ 내부침투수 발생 | 양호 |
| 21 | 전반기 정기점검 | 2012.04.18 | 자체수행 | ◦ 양호 | 양호 |
| 22 | 후반기 정기점검 | 2012.09.04 | 자체수행 | ◦ 교면포장 파손,바닥판 파손 | 양호 |

【표 2-7】 청미천교(마산) 점검 이력(계속)

| 번호 | 구분 | 점검기간 | 점검/진단기관 | 주요점검/진단결과 | 안전등급 |
|---|---|---|---|---|---|
| 23 | 정밀 안전진단 | 2012.04.16. ~ 2012.12.21 | (재)한국건설품질연구원 | ◦ 바닥판 하면 균열, 균열 및 백태, 망상균열, 누수흔적, 파손, 녹발생, 고무재 탈락 등<br>◦ STB 거더 도장박리 및 부식, 볼트부식, 용접결함, 실링누락, 오물퇴적, 케이블 도난 등<br>◦ 교대/교각 균열(cw=0.1~0.3mm), 누수흔적 및 체수, 파손, 열화, 압성토 침하 등<br>◦ 교량받침 소울플레이트 도장박리 및 부식, 몰탈/콘크리트 균열, 잡철노출, 재료분리 등<br>◦ 신축이음장치 본체 부식, 후타재 균열(cw=0.3mm 미만), 파손, 충격음 등<br>◦ 유도배수관 설치필요, 배수파이프 길이부족, 곡관 설치 누락 등 | C |
| 24 | 전반기 정밀점검 | 2013.06.28 | 자체수행 | ◦ 교량받침:슈녹발생, 하부구조:구체및 구체 하부 열화 2개소 | C |
| 25 | 후반기 정기점검 | 2013.10.31 | 자체수행 | ◦ 교량받침:슈녹발생, 하부구조:구체및 구체 하부 열화 2개소 | 양호 |
| 26 | 전반기 정기점검 | 2014.05.19 | 자체수행 | ◦ 받침도장박리,부식:A1-sh4,P2-sh4,P3-sh1(0.21m2,3개소)<br>◦ 하부구조<br>-누수흔적 : A1(중분대측, 갓길측)<br>-균열(0.3mm이상):P1(갓길측)코핑(0.3mm/0.6m,1개소)<br>-균열(0.3mm미만) : P2G1 코핑(0.2mm/1.5m, 2개소)<br>-박리 : P3(갓길측) 코핑측면(0.8㎡, 1개소)<br>◦ 신축이음<br>-후타재파손:A1(갓길),A2(갓길),P5(2차로,갓길)(0.76m2,3개소) | 양호 |
| 27 | 후반기 정기점검 | 2014.09.17 | 자체수행 | ◦ 받침도장박리,부식:A1-sh4,P2-sh4,P3-sh1(0.21m2,3개소)<br>◦ 하부구조<br>-누수흔적 : A1(중분대측, 갓길측)<br>-균열(0.3mm이상):P1(갓길측)코핑(0.3mm/0.6m,1개소)<br>-균열(0.3mm미만) : P2G1 코핑(0.2mm/1.5m, 2개소)<br>-박리 : P3(갓길측) 코핑측면(0.8㎡, 1개소)<br>◦ 신축이음<br>-후타재파손:A1(갓길),A2(갓길),P5(2차로,갓길)(0.76m2,3개소) | 양호 |
| 28 | 전반기 정기점검 | 2015.04.21 | 자체수행 | ◦ 양호 | 양호 |
| 28 | 후반기 정기점검 | 2015.12.17 | 자체수행 | ◦ 교량받침 : 교량받침 부식<br>◦ 하부구조 : 열화, 파손 | 양호 |
| 29 | 전반기 정기점검 | 2016.06.13 | 자체수행 | ◦ 교량받침 : 부식, 균열<br>◦ 신축이음 : 열화, 누수 | 양호 |

## 2.3.2 기존 진단 실시결과

기존 정밀안전진단은 2012년12월 (재)한국건설품질연구원에서 실시하였으며, 정밀안전진단 결과는 아래와 같다.

【표 2-8】 청미천교(양평) 정밀안전진단 결과분석

| 구 분 | | 외관조사 요약 및 검토의견 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 외관조사 결과 | 상부구조 | ◦ 바닥판 하면에 발생된 횡방향균열(cw=미세~0.3mm)과 망상균열(cw=0.1mm)은 시공초기 건조수축으로 인하여 발생된 균열로 판단되며, cw=0.3mm이상 균열은 주입보수를 실시하고, cw=0.3mm미만 균열은 표면보수가 요망된다.<br>◦ 바닥판 하면 지점부와 캔틸레버부에 유공관 및 종조인트부를 통한 우수유입으로 인한 균열 및 백태(cw=0.1~0.2mm), 누수흔적, 백태, 파손, 녹발생이 일부 조사되었으며, 표면보수가 요망된다.<br>◦ 거더 내·외부에 발생된 도장박리 및 부식은 도장 전처리 불량과 우수유입, 작업 간 인위적 충격과 긁힘이 주요 원인으로 판단되며, 녹제거 후 재도장을 실시함이 바람직할 것으로 판단된다.<br>◦ 거더 내부 전반에 걸쳐 Splice부 실링처리가 누락되어 우수유입 방지를 위한 실링처리가 요망된다.<br>◦ 거더 내부에 설치되어 있는 케이블이 망실되어 재설치가 요망된다.<br>◦ S1-G1/2-ST9와 S6-G1/2-ST51 세로보에 시공 중 충격 및 긁힘으로 인한 도장박리 및 부식이 조사되어 녹제거 후 재도장이 요망된다. | |
| | 하부구조 | ◦ 교대 구체 및 흉벽, 날개벽에 건조수축과 단면변화부 응력집중, 시공이음으로 인한 수직·수평균열(cw=0.1~0.3mm) 및 망상균열(cw=미세~0.1mm)이 발생되어, cw=0.3mm이상은 주입보수를 실시하고, cw=0.3mm미만 균열은 표면보수가 요망된다.<br>◦ 교대 흉벽 및 구체에 누수흔적과 체수가 조사되었으며, 이는 신축이음부를 통한 우수유입이 원인으로, A1/A2 교대 상면 유도배수로 설치와 측면 홈통설치가 필요할 것으로 판단된다.<br>◦ 흉벽과 구체에 파손과 철근노출(잡철근), 녹발생이 조사되었으며, 이는 신축이음부 철재 지지대 시공 후 마감불량, 거푸집 제거 시 잡철근 미제거 등으로 인해 발생된 손상으로, 단면보수가 요망된다.<br>◦ 코핑부 및 기둥부에 발생된 수직·수평균열(cw=0.1~0.2mm)과 망상균열(cw=미세~0.2mm)은 건조수축과 단면변화부 응력집중, 시공이음으로 인하여 발생된 손상으로 판단되어 cw=0.3mm이상은 주입보수를 실시하고, cw=0.3mm미만 균열은 표면보수가 요망된다.<br>◦ 교각 상면에서 전단키의 부식과 앵커볼트 부식, 코핑부 안전점검통로 앵커볼트 부식 등이 조사되었으며, 이는 공용 중 수분접촉, 조임불량 등으로 인하여 발생된 손상으로 판단되어 녹제거 후 도장처리가 요망된다. | |
| | 기타부재 | ◦ 소울플레이트에 도장박리 및 부식이 조사되었으며, 이는 신축이음부와 외측면을 통한 우수유입이 가장 주요한 원인으로 판단되어, 녹제거 후 재도장이 요망된다. | |

【표 2-8】 청미천교(양평) 정밀안전진단 결과분석(계속)

| 구 분 | | 외관조사 요약 및 검토의견 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 외관조사 결과 | 기타부재 | ◦ 받침콘크리트에 시공미흡으로 인한 철근노출(잡철노출)이 조사되었으나, 보수의 필요성은 없을 것으로 판단되어 지속관찰 한다.<br>◦ 받침의 가동상태는 교대 A1, A2 받침장치의 가동여유량이 허용변위를 초과한 상태로 조사되었으나, 실측한 서스판여유량이 계산 필요가동량을 만족하고 있는 상태이므로 차후 지속적인 지속관찰이 필요할 것으로 판단되며, 필요 연단거리는 허용기준을 만족하는 것으로 조사되었다.<br>◦ 본 교량은 필요 연단거리를 만족하는 양호한 상태이다.<br>◦ 신축이음장치(J3)에 도로의 구배로 인한 갓길측의 이물질 퇴적이 조사되었으며, 이에 신축이음장치의 주기적인 청소가 필요할 것으로 판단된다.<br>◦ 신축이음장치 유간을 종합적으로 비교·분석한 결과, 모든 측정 부재에서 이론신축 가동량을 확보하고 있는 것으로 조사되었다.<br>◦ 차량 통행 시 신축이음장치 하부에 충격음이 발생되어 상부 육안조사와 하부 내시경 조사를 실시한 결과, 신축이음장치 미소 단차(최대 5mm)와 지지대 하단 탄성받침 균열, 용접부 부식 등이 조사되어 차량통과 시 충격음과 진동이 발생되어 신축이음장치 교체가 요망된다.<br>◦ 포장면의 코어상태조사 결과, 포장부(T=75mm)와 방수층(T=5mm)의 상태는 양호한 것으로 조사되었다.<br>◦ 교면포장 상면에서 대형차교통이 많은 2차로 상에 소성변형이 조사되었으나, 손상정도가 경미하여 보수의 필요성은 없을 것으로 판단되어 지속관찰이 요망된다.<br>◦ 유공관 주변 백태와 우수유입을 통한 거더 외부와 배수파이프, 교각 상면에 2차 손상을 초래할 수 있는 상태로, 유도배수관 설치가 요망된다.<br>◦ 하부 배수파이프 길이가 짧거나 곡관설치가 누락되어 마산방향 교각 코핑부 안전점검통로 오염과 교각 기둥부 하단 오염 및 세굴, 압성토 블럭 파손을 유발시키고 있는 상태이며, A1/A2 교대의 배수파이프 시공 상태는 양호하나 일부 곡관설치가 누락된 것으로 조사되어, 이에 배수파이프 연장 및 곡관 설치가 필요할 것을 판단된다.<br>◦ 방호벽에 발생된 수직 및 수평균열(cw=0.1~0.3mm)과 망상균열(cw=미세~0.2mm)은 건조수축 및 온도변화에 따른 콘크리트 신축으로 인하여 발생된 손상으로 판단되며, cw=0.3mm 이상 균열에 대해 주입보수가 요망된다.<br>◦ 방호벽에서 차량 출동 등으로 인한 덮개탈락이 조사되어, 재설치가 필요할 것으로 판단된다. | |
| 내구성 시험 결과 | 압축강도 조사 | ◦ 반발경도법 및 초음파법에 의한 콘크리트 강도조사 결과는 모두 모두 설계강도의 90%를 상회하는 것으로 조사되었음. | |
| | 철근배근 탐사조사 | ◦ 대부분 설계도와 일치하여 철근배근상태 양호<br>◦ 일부 피복부족 및 배근간격의 차이는 있으나 시공 및 진단장비의 오차에 의하여 국부적으로 발생됨. | |

【표 2-8】 청미천교(양평) 정밀안전진단 결과분석(계속)

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>외관조사 요약 및 검토의견</th><th>비고</th></tr>
<tr><td rowspan="3">내구성<br>시험<br>결과</td><td>탄산화<br>시험</td><td>◦ 탄산화로 인한 콘크리트 내의 철근부식 가능성은 없는 것으로 조사되었다.</td><td></td></tr>
<tr><td>염화물함<br>유량시험</td><td>◦ 염화물에 의한 부식이 발생할 우려 없는 것으로 분석되었다.</td><td></td></tr>
<tr><td>균열깊이<br>조사</td><td>◦ 균열깊이 조사 결과 측정 깊이가 설계 피복두께를 초과하여 균열부에 대한 적절한 보수가 필요한 것으로 판단됨.</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">강재<br>시험<br>결과</td><td>초음파<br>탐상시험</td><td>◦ 구조물의 용접 상태는 양호한 것으로 평가되었다.</td><td></td></tr>
<tr><td>도막 두께<br>측정</td><td>◦ 도막두께 측정값은 모든 위치에서 도로교 표준시방서 기준값을 상회하는 것으로 조사되어 양호한 상태로 평가되었다.</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">상태평가 결과</td><td>◦ B등급(환산점수 : 0.245)</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">안전성평가<br>결과</td><td>
<table>
<tr><th colspan="2">안전성평가<br>수행 부재</th><th>해석방법</th><th>안전성평가 결과 요약</th><th>안전율</th><th>안전성<br>평가결과</th></tr>
<tr><td rowspan="4">상부<br>구조</td><td>바닥판</td><td>강도설계법</td><td>◦ $\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{121.568}{86.100}=1.448$</td><td>1.0이상</td><td rowspan="4">A</td></tr>
<tr><td>거더</td><td>허용응력<br>설계법</td><td>◦ $\frac{f_a}{f}=\frac{190.000}{143.396}=1.325$</td><td>1.0이상</td></tr>
<tr><td rowspan="2">하부<br>구조</td><td>교대</td><td rowspan="2">강도설계법<br>허용응력<br>설계법</td><td>◦ 단면 휨 설계검토 양호<br>◦ 말뚝 및 기초검토 양호</td><td>1.0이상</td></tr>
<tr><td>교각</td><td>◦ 기둥의 단면검토 양호<br>◦ 말뚝 및 기초검토 양호</td><td>1.0이상</td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">보수 · 보강방안</td><td>◦ 내구성 저하방지를 위해 균열보수 및 단면보수, 표면보수 실시<br>◦ 도장박리, 녹발생 등의 손상 발생 부위에 대해 방청 및 도장보수 실시<br>◦ 신축이음장치 교체, 유도배수관 설치 등</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">종합결론</td><td>◦ 청미천교(양평)는 고속국도 45호선(중부내륙선, 이정 256.010㎞)으로 경기도 여주군 점동면 원부리에 위치하며, 2002년 12월 20일에 준공되었으며, 내진 1등급으로 설계된 1종 교량이다.<br>◦ 본 과업은 2002년도 준공 이후 금회 10년이 경과된 구조물에 대하여 최초로 실시하는 정밀안전진단 용역으로써 하자만료전 정밀점검을 겸하고 있으며 외관조사 및 내구성 조사, 구조해석 결과를 토대로 종합적으로 평가해 볼 때, 구조물의 안전성에는 문제가 없는 것으로 평가되었으며, 발생된 손상은 공용중의 안전성은 확보되나 시설물의 사용성 및 내구성 확보를 위한 보수가 필요하다.<br>◦ 본 교량에 대한 정밀안전진단 결과, 현장조사 및 시험을 통한 상태평가 결과는 『B』, 구조해석 및 내하력 평가를 통한 안전성평가 결과는 『A』로 평가되어, 종합평가 결과는 『B』로 산정되었다.<br>◦ 청미천교(양평)에 대한 안전등급은 ‘B등급(양호)’으로 평가되어, 조사된 일부 손상에 대해 앞서 제시한 보수방안과 유지관리방안을 충실히 수행한다면 1등교로서의 기능을 유지하는데 이상이 없을 것으로 판단된다.</td><td></td></tr>
</table>

【표 2-9】 청미천교(마산) 정밀안전진단 결과분석

| 구 분 | | 외관조사 요약 및 검토의견 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 외관조사 결과 | 상부구조 | ◦ 바닥판 하면 좌측 캔틸레버부에 국부적으로 종방향균열(cw=0.5~1.0mm)이 발생되었으며, 이는 시공초기 거푸집 처짐 등으로 인하여 국부적으로 발생된 비구조적 균열로 판단되어 충전보수가 요망된다.<br>◦ 바닥판 하면 지점부와 캔틸레버부에 유공관 및 종죠인트부를 통한 우수유입으로 인한 균열 및 백태(cw=0.1~0.2mm), 누수흔적, 백태, 파손, 녹발생이 일부 조사되어 표면보수가 요망된다.<br>◦ 거더 내·외부에 발생된 도장박리 및 부식은 도장 전처리 불량과 우수유입, 작업 간 인위적 충격과 긁힘이 주요 원인으로 판단되며, 녹제거 후 재도장을 실시함이 바람직할 것으로 판단된다.<br>◦ 거더 내부에 시공 시 임의 충격 등으로 인한 모재변형이 발생하였으나, 손상정도가 경미하여 지속관찰 한다.<br>◦ 거더 내부 전반에 걸쳐 Splice부 실링처리가 누락되어 우수유입 방지를 위한 실링처리가 요망된다.<br>◦ 거더 내부에 설치되어 있는 케이블은 인위적 도난이 발생되어, 재설치가 요망된다.<br>◦ S6-G1/2-CB57 가로보와 S6-G1/2-ST59 세로보에 시공 중 충격 및 긁힘으로 인한 도장박리 및 부식이 조사되어 녹제거 후 재도장이 요망된다. | |
| | 하부구조 | ◦ 교대 구체 및 흉벽, 날개벽에 건조수축과 단면변화부 응력집중, 시공이음으로 인한 수직·수평균열(cw=0.1~0.2mm) 및 망상균열(cw=0.1mm)이 발생되어, 표면보수가 요망된다.<br>◦ 교대 흉벽 및 구체에 누수흔적과 체수가 조사되었으며, 이는 신축이음부를 통한 우수유입이 원인으로, A1/A2 교대 상면 유도배수로 설치와 측면 홈통설치가 필요할 것으로 판단된다.<br>◦ A1/A2 압성토에 대한 외관조사 결과, 압성토 다짐불량과 배수파이프를 통한 우수유입 등으로 인해 A1측 전면 압성토 국부 침하와 A2측 좌측면 압성토 블럭파손이 조사되었으나, 일부 A1측 압성토 물고임 방지를 위하여 되메우기 및 블록교체가 요망된다.<br>◦ 코핑부 및 기둥부에 발생된 수직·수평균열(cw=0.1~0.3mm)과 망상균열(cw=0.1mm)은 건조수축과 단면변화부 응력집중, 시공이음으로 인하여 발생된 손상으로 판단되어 cw=0.3mm이상은 주입보수를 실시하고, cw=0.3mm미만 균열은 표면보수가 요망된다.<br>◦ 교각 코핑부에 설치되어 있는 전단키 몰탈 들뜸 및 파손 등이 조사되었으며, 이는 시공미흡으로 인해 발생된 손상으로 판단되며, 단면보수를 실시한다.<br>◦ P4 코핑부 상면에 철근노출, 파손, 녹발생, 백태가 조사되었으며, 이는 상부 유공관을 통한 우수가 철근노출부에 떨어져 철근부식으로 인해 발생된 손상으로 판단되어, 철근방청 후 단면보수가 요망된다. | |
| | 기타부재 | ◦ 소울플레이트에 도장박리 및 부식이 조사되었으며, 이는 신축이음부와 외측면을 통한 우수유입이 가장 주요한 원인으로 판단되어, 녹제거 후 재도장이 요망된다. | |

【표 2-9】 청미천교(마산) 정밀안전진단 결과분석(계속)

| 구 분 | | 외관조사 요약 및 검토의견 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 외관조사 결과 | 기타부재 | ◦ 받침콘크리트에 시공미흡으로 인한 철근노출(잡철노출)이 조사되었으며, 철근방청 후 단면보수가 요망된다.<br>◦ 받침의 가동상태는 교대 A1, A2 받침장치의 가동여유량이 허용변위를 초과한 상태로 조사되었으나, 실측한 서스판여유량이 계산 필요가동량을 만족하고 있는 상태이므로 차후 지속적인 지속관찰이 필요할 것으로 판단되며, 필요 연단거리는 허용기준을 만족하는 것으로 조사되었다.<br>◦ 본 교량은 필요 연단거리를 만족하는 양호한 상태이다.<br>◦ 신축이음장치에 부식, 후타재 균열(cw=0.1mm) 및 파손 등이 조사되었으나, 보수의 필요성은 없을 것으로 판단되어 지속관찰 한다.<br>◦ 신축이음장치 유간을 종합적으로 비교·분석한 결과, A1(J1),측의 신축유간이 부족한 것으로 측정되었으나, 바닥판 유간이 적정한 것으로 조사되어 프리세팅 오류로 판단된다.<br>◦ 차량 통행 시 신축이음장치 하부에 충격음이 발생되어 상부 육안조사와 하부 내시경 조사를 실시한 결과, 신축이음장치 미소 단차(최대 8mm)와 지지대 하단 탄성받침 균열, 용접부 부식 및 균열 등이 조사되어 차량통과 시 충격음과 진동이 발생되어 신축이음장치 교체가 요망된다.<br>◦ 포장면의 코어채취조사 결과, 공극이나 재료분리 등의 특이사항은 없으며 방수층 또한 공극이 없는 양호한 상태로 조사되었다.<br>◦ 교면포장 상면에서 균열, 망상균열, 포트홀, 아스콘 파손 및 이물질 삽입 등이 조사되었으나, 손상정도가 경미하여 보수의 필요성은 없을 것으로 판단되어 지속관찰이 요망된다.<br>◦ 유공관 주변 누수흔적 및 백태와 우수유입을 통한 교각 상면에 2차 손상을 초래하고 있는 상태로, 유도배수관 설치가 요망된다.<br>◦ 배수파이프 길이부족 구간(P1/P2)에서 배수파이프 길이가 짧거나 곡관 설치가 누락되어 기둥부에 오염을 유발시키고 있는 상태이며, 배수파이프 연장 및 곡관 설치가 요망된다.<br>◦ 방호벽에 발생된 수직 및 수평균열(cw=0.1~0.3mm)과 망상균열(cw=0.1mm)은 건조수축 및 온도변화에 따른 콘크리트 신축으로 인하여 발생된 손상으로 판단되며, 균열 폭 0.3mm 이상 균열에 대해 주입보수가 요망된다.<br>◦ 방호벽에 설치되어 있는 방음벽 기둥부 덮개에 외부 충격 및 온도변화에 따른 콘크리트 신축으로 인한 파손과 볼트 탈락이 발생되어 재설치가 요망된다.<br>◦ 방음벽 형틀 부식이 일부 조사되어 외관을 저해하는 요인이 될 수 있으므로 적절한 보수가 요망된다. | |
| 내구성 시험 결과 | 압축강도 조사 | ◦ 반발경도법 및 초음파법에 의한 콘크리트 강도조사 결과는 모두 모두 설계강도의 90%를 상회하는 것으로 조사되었음. | |
| | 철근배근 탐사조사 | ◦ 대부분 설계도와 일치하여 철근배근상태 양호<br>◦ 일부 피복부족 및 배근간격의 차이는 있으나 시공 및 진단장비의 오차에 의하여 국부적으로 발생됨. | |

【표 2-9】 청미천교(마산) 정밀안전진단 결과분석(계속)

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>외관조사 요약 및 검토의견</th><th>비고</th></tr>
<tr><td rowspan="3">내구성<br>시험<br>결과</td><td>탄산화<br>시험</td><td>◦ 탄산화로 인한 콘크리트 내의 철근부식 가능성은 없는 것으로 조사되었다.</td><td></td></tr>
<tr><td>염화물함<br>유량시험</td><td>◦ 염화물에 의한 부식발생 가능성이 낮은 것으로 분석됨.</td><td></td></tr>
<tr><td>균열깊이<br>조사</td><td>◦ 균열깊이 조사 결과 측정 깊이가 설계 피복두께를 초과하여 균열부에 대한 적절한 보수가 필요한 것으로 판단됨.</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">강재<br>시험<br>결과</td><td>초음파<br>탐상시험</td><td>◦ 구조물의 용접 상태는 양호한 것으로 평가되었다.</td><td></td></tr>
<tr><td>도막 두께<br>측정</td><td>◦ 도막두께 측정값은 모든 위치에서 도로교 표준시방서 기준값을 상회하는 것으로 조사되어 양호한 상태로 평가되었다.</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">상태평가 결과</td><td>◦ C등급(환산점수 : 0.332)</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">안전성평가<br>결과</td><td>
<table>
<tr><th colspan="2">안전성평가<br>수행 부재</th><th>해석방법</th><th>안전성평가 결과 요약</th><th>안전율</th><th>안전성<br>평가결과</th></tr>
<tr><td rowspan="4">상부<br>구조</td><td>바닥판</td><td>강도설계법</td><td>◦ $\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{105.363}{69.592}=1.514$</td><td>1.0이상</td><td rowspan="4">A</td></tr>
<tr><td>거더</td><td>허용응력<br>설계법</td><td>◦ $\frac{f_a}{f}=\frac{190.000}{113.568}=1.673$</td><td>1.0이상</td></tr>
<tr><td rowspan="2">하부<br>구조</td><td>교대</td><td rowspan="2">강도설계법<br>허용응력<br>설계법</td><td>◦ 단면 휨 설계검토 양호<br>◦ 말뚝 및 기초검토 양호</td><td>1.0이상</td></tr>
<tr><td>교각</td><td>◦ 기둥의 단면검토 양호<br>◦ 말뚝 및 기초검토 양호</td><td>1.0이상</td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">보수 · 보강방안</td><td>◦ 내구성 저하방지를 위해 균열보수 및 단면보수, 표면보수 실시<br>◦ 도장박리, 녹발생 등의 손상 발생 부위에 대해 방청 및 도장보수 실시<br>◦ 신축이음장치 교체, 유도배수관 설치 등</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">종합결론</td><td>◦ 청미천교(마산)는 고속국도 45호선(중부내륙선, 이정 256.010㎞)으로 경기도 여주군 점동면 원부리에 위치하며, 2002년 12월 20일에 준공되었으며, 내진 1등급으로 설계된 1종 교량이다.<br>◦ 본 과업은 2002년도 준공 이후 금회 10년이 경과된 구조물에 대하여 최초로 실시하는 정밀안전진단 용역으로써 하자만료전 정밀점검을 겸하고 있으며 외관조사 및 내구성 조사, 구조해석 결과를 토대로 종합적으로 평가해 볼 때, 구조물의 안전성에는 문제가 없는 것으로 평가되었으며, 발생된 손상은 공용중의 안전성은 확보되나 시설물의 사용성 및 내구성 확보를 위한 보수가 필요하다.<br>◦ 본 교량에 대한 정밀안전진단 결과, 현장조사 및 시험을 통한 상태평가 결과는 『C』, 구조해석 및 내하력 평가를 통한 안전성평가 결과는 『A』로 평가되어, 종합평가 결과는 『C』로 산정되었다.<br>◦ 청미천교(마산)에 대한 안전등급은 ‘C등급(보통)’으로 평가되어, 조사된 일부 손상에 대해 앞서 제시한 보수방안과 유지관리방안을 충실히 수행한다면 1등교로서의 기능을 유지하는데 이상이 없을 것으로 판단된다.</td><td></td></tr>
</table>

# 2.4 보수·보강 이력

【표 2-10】 청미천교(양평) 보수·보강 이력

| 구 분 | 공사기간 | 설계자 | 시공자 | 공사구간 | 보수·보강 공법 | 공사금액 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 보수 | 2006.09.30 | - | - | 교면포장 | 팻칭보수 | 4,300,000 |
| | 2009.12.31 | - | - | 하부구조 | 기타 | 700,000 |
| | 2010.11.25 | - | - | 교면포장 | 절삭후 재포장 | 17,191,111 |
| | 2010.12.31 | - | - | 교면포장 | 기타 | 500,000 |
| | | - | - | 신축이음장치 | 기타 | 1,000,000 |
| | | - | - | 난간연석 | 기타 | 500,000 |
| | 2011.12.31 | - | - | 배수시설 | 배수시설보수 | - |
| | 2013.12.31 | - | - | 배수시설 | 배수시설보수 | 135,000 |
| | 2013.09.30 | - | - | 신축이음장치 | 강핑거 조인트 | 47,477,318 |
| | 2014.12.31 | - | - | 교면포장 | 팻칭보수 | 1,475,000 |
| | 2014.11.13 | - | - | 신축이음장치 | 강핑거 조인트 | 27,535,804 |

【표 2-11】 청미천교(마산) 보수·보강 이력

| 구 분 | 공사기간 | 설계자 | 시공자 | 공사구간 | 보수·보강 공법 | 공사금액 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 보수 | 2008.10.16 | - | - | 배수시설 | - | 200,000 |
| | 2009.12.31 | - | - | 하부구조 | 기타 | 700,000 |
| | 2010.12.31 | - | - | 교량받침 | 도장 | 200,000 |
| | 2011.12.31 | - | - | 배수시설 | 배수시설보수 | - |
| | 2014.11.13 | - | - | 신축이음장치 | 강핑거 조인트 | 27,535,804 |
| | 2015.12.30 | - | - | 난간연석 | 난간보수 | 4,100,067 |

# 2.5 시설물의 내진설계 여부

국내에서는 1992년에 도로교에 대해 내진설계 기준을 최초로 도입하였으나 1999년 지진방재종합대책이 수립된 이후 전체 교량에 대해 본격적으로 내진설계를 반영하기 시작하였다.

"중부내륙 고속도로(여주~충주간)건설공사 구조 및 수리계산서 제1공구(2002.12)" 보고서 검토결과 본 과업대상 교량인 청미천교(마산, 양평)는 내진 1등급으로 설계되어 있는 것으로 조사되었다.

【표 2-12】 내진설계 조건

| 구 분 | | 내 용 |
|---|---|---|
| 설계 방법 | | 단일모드 스펙트럼 해석 |
| 지진등급 | | 내진 1 급 |
| 참고문헌 | | ◦ 도로교 표준 시방서<br>◦ 교량의 내진 설계 |
| 설계 조건 | 교대 | ■ 교대 하중조건<br>1) 지진계수<br>Kh = A / 2 = 0.070 (변위를 허용한 독립교대)<br>※도로교시방서 p.805<br>여기서, A : 가속도계수 = 0.14 (내진 1등급교)<br>※도로교시방서 p.766<br>2) 토압계수 (Coulomb의 토압공식 사용)<br>· 평상시<br>※도로교시방서 p.51<br>$K_A = \frac{\cos^2(\phi-\theta)}{\cos^2\theta\cos(\theta+\delta)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\sin(\phi-\alpha)}{\cos(\theta+\delta)\cos(\theta-\alpha)}}\right]^2}$<br>여기서, $\phi$ : 흙의 내부마찰각<br>$\alpha$ : 지표면과 수평면이 이루는 각<br>$\theta$ : 벽배면과 연직면이 이루는 각<br>$\delta$ : 벽배면과 흙 사이의 벽면 마찰각 ※도로교시방서 p.799<br>· 지진시<br>$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi-\theta_0-\theta)}{\cos\theta_0\cos^2\theta\cos(\delta+\theta+\theta_0)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\sin(\phi-\alpha-\theta_0)}{\cos(\theta+\delta+\theta_0)\cos(\theta-\alpha)}}\right]^2}$<br>여기서, $\phi$ : 흙의 내부마찰각<br>$\alpha$ : 지표면과 수평면이 이루는 각<br>$\theta$ : 벽배면과 연직면이 이루는 각<br>$\delta$ : 벽배면과 흙 사이의 벽면 마찰각 ※도로교시방서 p.799<br>$\theta_0$: $\theta_0 = \tan^{-1}(Kh/1-Kv)$ ※연직가속도계수($Kv$)는 고려하지 않음<br>3) 토압계수의 계산: 지진시($\phi$=35.0° ) |

【표 2-12】 내진설계 조건(계속)

| 구 분 | | 내 용 |
|---|---|---|
| 설계 조건 | 교각 | ■ 교각 지진하중 설계조건<br>1) 가속도계수 :A=0.14<br>2) 내 진 등 급 : 내진 1등급<br>3)지반계수 : Ⅱ지역(S=1.20)<br>4)응답수정계수<br>- 교각 : R = 3.0<br>- 기초 : R = 1.0<br>- 상부구조와 교대 : R = 0.8<br>5) 탄성계수 : $E_c$ = 2.35 × $10^6$ t/m2<br>6) 해석방법 : 단일모드 스펙트럼 해석법 |
| | 받침 | ■ 교좌장치 용량 = 수평하중 × 증가계수 1.35 적용 |

## 2.6 자료분석 결과

금회 진단에 필요한 수집 자료를 검토한 결과 향후 정밀안전진단 용역을 진행하면서 과업 방향은 아래와 같이 시행토록 한다.

【표 2-13】 자료분석 결과

| 구 분 | 수집 자료 | 자료 분석 결과 | 정밀안전진단 과업진행 방향 |
|---|---|---|---|
| 건설 관련 자료 | ◦ 일반보고서<br>◦ 구조 및 수리계산서<br>◦ 준공도면<br>◦ 시공기록보고서 | ◦ 일반보고서 및 준공도면은 설계 당시 기준에 준하여 작성된 것으로 확인됨.<br>◦ 일반보고서, 준공도면, 구조계산서의 구조물 치수는 동일한 것으로 확인됨.<br>◦ 구조검토 시 1996년 설계기준을 적용함 | ◦ 현장조사 시 부재치수를 실측하여 준공도면과 비교, 검토 후 치수가 상이할 경우 안전측으로 구조계산토록 하고 도면을 재작성하며, 실측치와 동일할 경우는 준공도면을 기준으로 과업을 진행토록 함.<br>◦ 현 설계기준을 적용하여 구조검토를 실시함. |
| | ◦ 시공 중 안전점검 | ◦ 시공 중 구조물에 대한 문제점은 없는 것으로 확인됨. | ◦구조물에 대한 문제점은 없는 상태였으나, 사용 중 손상이 발생되거나 조사가 누락된 면이 있을 수 있으니 상세외관조사 시 면밀히 조사함. |

【표 2-13】 자료분석 결과(계속)

| 구 분 | 수집 자료 | 자료 분석 결과 | 정밀안전진단 과업진행 방향 |
|---|---|---|---|
| 유지관리자료 | ◦ 점검 및 진단 이력 | ◦ 바닥판 하면 균열, 망상균열, 균열 및 녹발생, 박리, 누수흔적 및 백태<br>◦ STB 거더 도장박리 및 부식, 용접결함, 실링불량<br>◦ 교대/교각의 균열, 망상균열, 누수흔적, 철근노출 및 녹발생, 박리, 파손, 압성토 파손<br>◦ 교량받침 소울플레이트 도장박리 및 부식, 몰탈/콘크리트 균열, 들뜸, 파손, 철근노출 및 녹발생<br>◦ 신축이음장치 본체 부식, 후타재 균열, 후타재 파손, 유간부족<br>◦ 교면포장 아스콘 균열 및 망상균열<br>◦ 내구성조사 결과 설계 값 이상으로 양호한 상태임. | ◦ 점검 시 조사된 손상에 대한 사항을 상세외관조사 시 면밀히 조사하고, 추가 손상 확인, 보수여부 및 대책방안 마련. |
| | ◦ 보수 · 보강 이력 | ◦ 보수 · 보강 이력을 검토한 결과, 본 교량은 지속적인 유지관리가 진행된 것으로 평가됨. | ◦ 보수 · 보강 이력사항에는 보수부에 대한 위치가 제시되어 있지 않으므로 보수된 손상명에 대한 사항을 상세외관조사 시 면밀히 조사함. |
| | ◦ 기술과제 자료 | ◦ 기술자문 검토서를 통해 신축이음장치 유간 부족 및 협착, 바닥판 단부 균열 및 파손, 교대 파라펫부 누수, 신축이음 및 난간 방호벽 단차, 후타재 균열 및 파손에 대한 원인 분석과 대책수립 등이 검토됨. | ◦ 기술자문 검토서를 참고자료로 활용하여 상세외관조사 시 면밀히 조사하고, 추가 손상확인, 보수여부 및 대책방안 마련. |

# 제3장
# 현장조사 및 분석

3.1 개 요
3.2 외관조사 결과(양평방향)
3.3 외관조사 결과(마산방향)
3.4 내구성조사 결과
3.5 현장조사 및 시험 결과 요약

# 제3장 현장조사 및 분석

## 3.1 개 요

청미천교(양평, 마산)는 설계하중 DB-24(DL-24)의 고속국도 교량으로서, 2002년에 준공되어 약 14년 정도 공용 중에 있으며, 경기도 여주시 점동면 원부리 (중부내륙선 256.010km 지점)에 위치하고 있는 방향별 2차로 교량이다.

본 교량은 총폭 12.15m, 총연장 450.0m(5@45+4@50.0)이며, 상부구조는 Steel Box Girder로써, 하부구조는 역T형 교대, T형 교각으로 구성되어 있고 기초 형식은 직접기초와 강관말뚝기초이며, 교량받침은 포트받침, 신축이음 장치는 강핑거조인트(양평방향 A1, P5, A2, 마산방향 A1, A2)와 레일조인트(마산방향 P5)로 시공되었다.

본 시설물에 대한 외관조사는 대상교량의 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단함을 목적으로 교량부재 전체에 대하여 가능한 한 근접한 상태에서 육안조사를 실시함을 원칙으로 하였다. 따라서, 사전 현장답사를 통해 주변 여건을 파악하여 현장 접근에 필요한 접근방법 및 장비 동원과 그에 따른 일정계획을 수립하고, 기초자료의 수집 및 분석을 통한 주요 손상을 파악하는 등의 사전검토를 통하여 주요 손상을 파악한 후 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침_교량편(2010.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』의 실시요령에 따라 시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물의 기능 및 성능 저하, 상태 등을 신속·정확하게 검사·평가하는데 주안점을 두고 외관조사 방향을 결정하였다.

외관조사 범위는 주요 구조부재와 부부재로서 콘크리트바닥판, STB 거더(내・외부), 가로보 및 세로보, 교면포장, 방호벽, 배수시설, 신축이음장치, 하부구조, 교량받침 등의 현 상태를 조사하였고, 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침_교량편(2010.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』평가 기준에 근거하여 구조물에 발생된 손상정도에 따라 등급 a~e의 5단계로 구분하여 판정하였다.

본 장에서는 외관조사 결과 확인된 결함과 손상 상태에 대하여 교량의 구성 부재별로 사진을 첨부하여 설명하고, 발생 원인을 분석하여 보수・보강 및 유지관리 방안을 마련하는 데 참고할 수 있도록 하였으며, 전체 부재에 대한 외관조사망도를 작성하여 향후 교량의 점검 및 유지관리시 효율적으로 활용할 수 있도록 하였다.

【표 3-1】 부재별 조사항목

| 구 분 | | 조 사 항 목 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 상부 구조 | 바닥판 | • 콘크리트 균열, 철근부식, 철근노출, 박락, 파손, 재료분리<br>• 누수, 백태, 표면오염 | |
| | 강재 거더 | • 균열, 파손, 변형 • 연결부 부식, 이완, 이상음, 볼트 파손<br>• 표면상태 오염, 부식, 가로보 연결불량<br>• 강박스 거더 내부로의 우수 유입 | |
| 하부 구조 | 교대 | • 콘크리트 균열, 철근부식, 철근노출, 누수, 백태, 박락, 파손, 재료분리<br>• 교대의 이동 및 회전 유무<br>• 거더 또는 바닥판과 협착 유무 | |
| | 교각 | • 콘크리트 균열, 철근부식, 철근노출, 박락, 파손, 재료분리 | |
| | 기초 | • 세굴, 침하, 파손, 침식 | |
| 교면포장 | | • 균열, 요철, 단차, 포트홀, 물고임(체수) | |
| 배수시설 | | • 파손, 배수관 길이 부족, 배수관 주변 및 연결부 누수, 배수구 위치 불량 | |
| 연석 및 난간 | | • 균열, 철근부식, 철근노출, 박락, 파손, 백태 | |
| 교량 받침 | 강재 받침 | • 균열, 부식, 변형, 파손 | |
| | 기타 | • 유간 부족, 편기, 수평불량, 가동불량, 교량받침 설치오류, 앵커볼트 파손 | |
| 신축이음 | | • 본체의 파손, 부식, 누수, 이상음 및 진동, 유간 부족<br>• 후타재의 균열, 파손, 단차<br>• 후타재와 포장면 사이 이격 | |

금회 정밀안전진단용역 수행 중 청미천교(양평, 마산)의 현장조사 및 시험 일정 및 내용은 다음과 같다.

【표 3-2】 현장조사 기간

| 구 분 | 일 시 | 조사내용 | 수행자 |
|---|---|---|---|
| 사전답사 | 2016.06.20. ~ 06.22. | 현장답사, 구조물 현황조사 | 서외택 외 18명 |
| 1차 현장조사 | 2016.07.11. ~ 08.30. | 외관조사, 비파괴시험 | |
| 2차 현장조사 | 2016.10.10. ~ 10.21. | 추가조사 (이동량 2차 측정 및 균열 진행성 측정 등) | |

청미천교(양평, 마산) 외관조사시 강박스 내부, 교대 및 교각 하부 등 접근이 용이한 부재는 도보 및 점검사다리를 이용하였으며, 강박스 거더 외부 및 바닥판 하면 등 접근이 난해한 부재는 교량 점검차, 고소점검차 등을 이용하여 점검을 실시하였다.

【그림 3-1】 구간별 근접장비 활용방법

교량점검차를 이용한 외관조사

고소점검차를 이용한 외관조사

사다리를 이용한 외관조사

도보를 이용한 외관조사

# 3.2 외관조사 결과(양평방향)

## 3.2.1 부재제원 확인

청미천교(양평)의 부재제원 확인을 위해 각각의 부재별로 실측을 실시하고 이를 준공도와 비교・검토하여 주요 부재의 규격을 확인하였다.

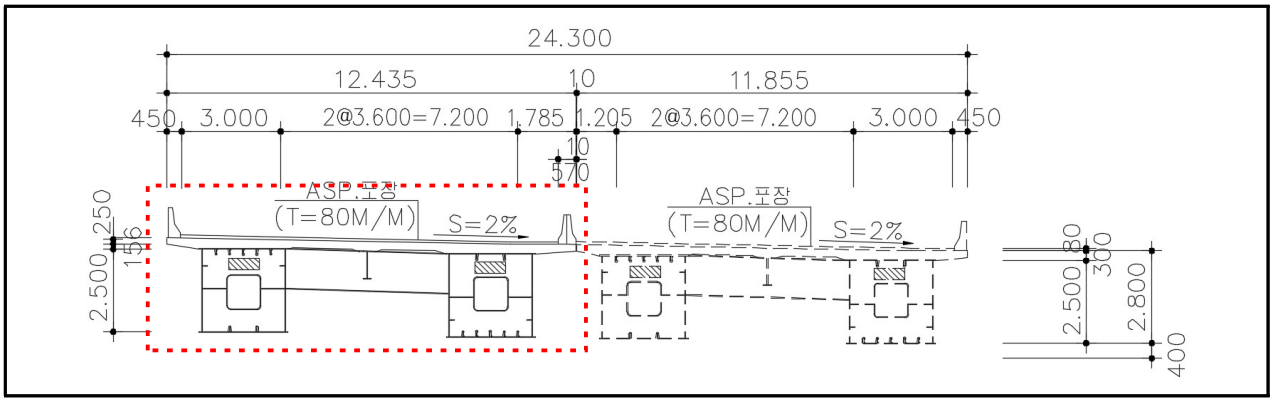
【표 3-3】 부재제원 확인(양평방향)

| 구 분 | | 부재제원 | 실측결과 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 상부구조 | Steel Box Girder | B=2.50m | B=2.50m | |
| | | H=2.50m | H=2.50m | |
| 하부구조 | 교 대(A1) | B=12.435m | B=12.435m | |
| | 교 대(A2) | B=12.435m | B=12.435m | |
| 기타부재 | 방호벽 | H=1.08m | H=1.30m | |
| | 중앙분리대 | H=1.08m | H=1.32m | |
| 측정결과 | ■ 부재제원의 실측결과, 전반적으로 준공도상의 제원과 일치하였으나, 방호벽과 중앙분리대의 제원이 실측결과와 상이하여 구조계산은 실측치를 적용하였다. | | | |

## 3.2.2 상부구조

### 가. 바닥판 하면

상부의 교통하중을 직접 지지하며, 상부하중을 거더로 전달해 주는 바닥판으로 청미천교(양평) 바닥판 하면의 경우, 좌・우 캔틸레버부 하면에는 외부로부터의 우수유입을 방지하기 위해 물끊기 홈이 전 구간에 걸쳐 설치되어 있으며, 거더와 거더 사이의 콘크리트 바닥판이 노출되어있다. 금회 바닥판에 대한 현장조사는 교량 점검차와 고소점검차를 이용하여 근접조사를 실시하였으며, 바닥판 하면에 대한 조사는 1, 2방향 균열 및 백태, 누수, 박락 등의 손상을 중점적으로 조사하였다.



| | |
|---|---|
| | |
| 콘크리트 바닥판 하면 | 캔틸레버부 하면 콘크리트 노출부 |

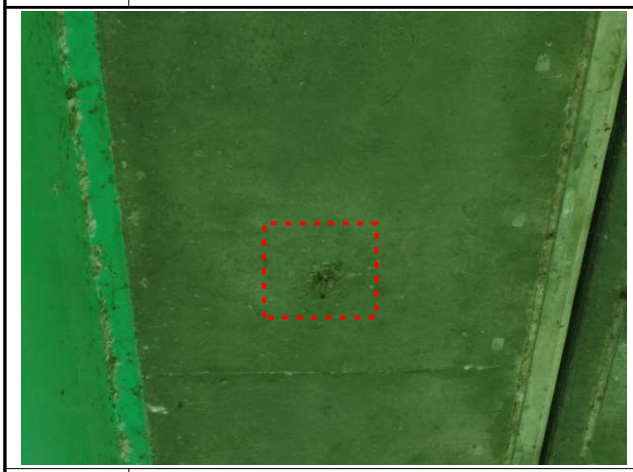
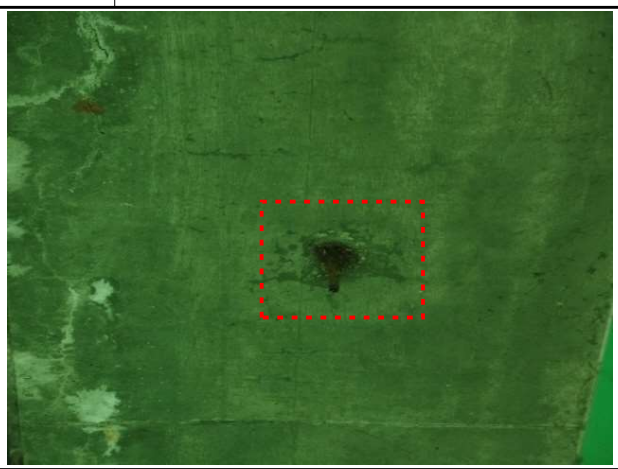
1) 외관조사 결과

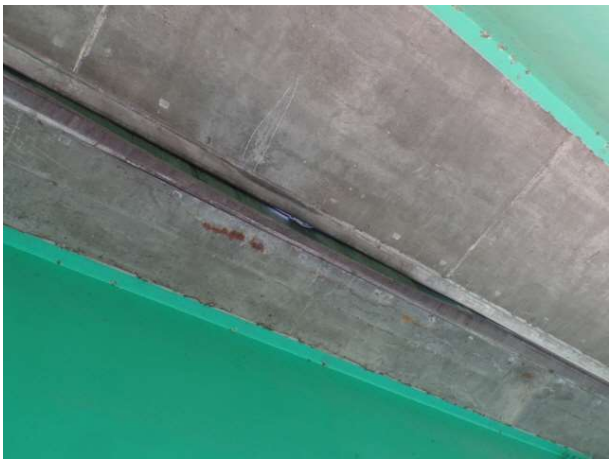
【표 3-4】 바닥판 외관조사 결과(양평방향)

| 구분 | 균열 | | | | | | 열화 손상 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cw=0.1㎜(m) | | Cw=0.2㎜(m) | | Cw=0.3㎜(m) | | 들뜸(㎡) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 |
| S1 | 127.20 | 52 | 15.10 | 7 | - | - | 0.43 | 3 |
| S2 | 163.40 | 76 | - | - | - | - | - | - |
| S3 | 56.30 | 27 | 1.10 | 1 | - | - | - | - |
| S4 | 150.80 | 62 | 9.40 | 6 | - | - | - | - |
| S5 | 195.30 | 89 | 7.50 | 3 | - | - | - | - |
| S6 | 170.50 | 70 | - | - | - | - | - | - |
| S7 | 4.40 | 4 | 27.50 | 11 | - | - | 0.40 | 1 |
| S8 | 4.40 | 4 | - | - | - | - | - | - |
| S9 | 12.20 | 6 | 1.30 | 1 | 3.00 | 1 | 0.20 | 1 |
| 합계 | 884.50 | 390 | 61.90 | 29 | 3.00 | 1 | 1.03 | 5 |

| 구분 | 열화 손상 | | | | 기타 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 백태(㎡) | | 파손(㎡) | | 고무재 탈락(m) | | 녹발생 (㎡) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 |
| S1 | 0.26 | 7 | - | - | - | - | - | - |
| S2 | 0.14 | 5 | - | - | 19.00 | 1 | - | - |
| S3 | 0.08 | 2 | - | - | 5.00 | 1 | - | - |
| S4 | 0.24 | 2 | 0.27 | 3 | 2.50 | 2 | 0.09 | 1 |
| S5 | 0.24 | 6 | - | - | 3.50 | 2 | - | - |
| S6 | 0.20 | 5 | - | - | 3.50 | 2 | - | - |
| S7 | 0.01 | 1 | - | - | - | - | 0.09 | 1 |
| S8 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| S9 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 합계 | 1.17 | 28 | 0.27 | 3 | 33.50 | 8 | 0.18 | 2 |

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S3 균열(cw=0.2mm)</td><td>현 황</td><td>◦S9 균열(cw=0.3mm, 들뜸)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦건조수축</td><td>원 인</td><td>◦건조수축 및 우수유입</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦지속관찰</td><td>대 책</td><td>◦치핑 후 면보수</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S4 바닥판 백태</td><td>현 황</td><td>◦S1 바닥판 박락(들뜸)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦건조수축 및 우수유입</td><td>원 인</td><td>◦건조수축 및 우수유입</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦표면처리보수</td><td>대 책</td><td>◦치핑 후 면보수</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S5 바닥판 백태</td><td>현 황</td><td>◦S4 바닥판 하면 파손</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦시공미흡, 우수유입</td><td>원 인</td><td>◦시공미흡</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦표면처리보수</td><td>대 책</td><td>◦단면보수</td></tr>
</table>

| | | | |
|---|---|---|---|
|  | | | |
| **현 황** | ◦S2 고무재 탈락 | **현 황** | ◦S7 녹발생(누수흔적) |
| **원 인** | ◦시공미흡, 온도에 따른 신축거동 | **원 인** | ◦우수유입 |
| **대 책** | ◦지속관찰 | **대 책** | ◦지속관찰 |

3) 기 진단(2012년)결과와의 비교 · 분석

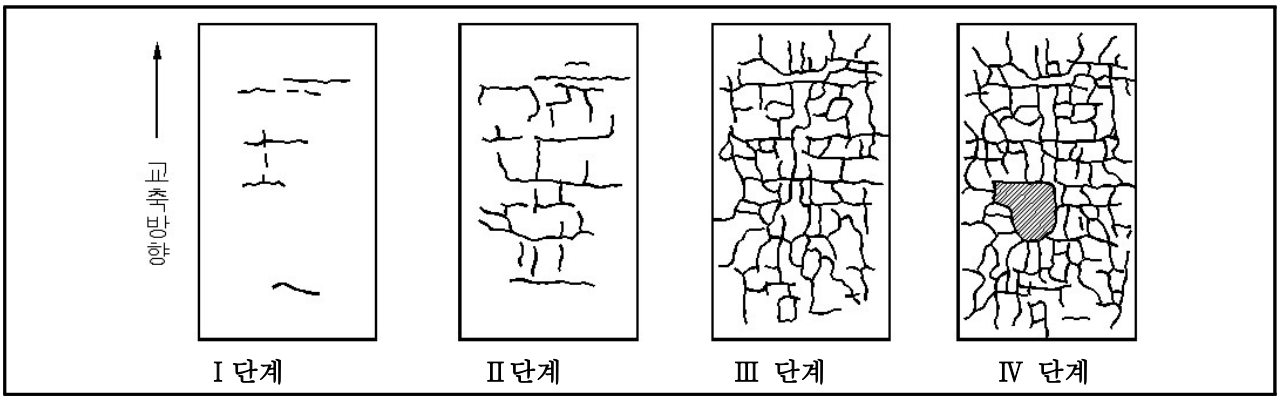
■ 바닥판 하면에서 조사된 손상에 대하여 기 진단 결과를 토대로 손상여부를 검토한 결과, 균열 및 백태에 대한 보수가 이루어져 손상물량이 감소하였으나, 공용증가에 따른 신규 손상이 조사된 것으로 나타났다.

【표 3-5】 바닥판 하면 기 진단 결과 비교(양평방향)

| 결함 및 손상내용 | 2012년 진단 | | 금회 진단 | | 증 감 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | | | |
| 균열(cw=0.3mm미만) | 563 | 1317.90m | 419 | 946.40m | ▼ | 371.5m | |
| 균열(cw=0.3mm이상) | 1 | 0.30m | 1 | 3.00m | ▲ | 2.70m | |
| 들뜸 | - | - | 5 | 1.03㎡ | ▲ | 1.03㎡ | |
| 백태, 파손, 녹발생 | 35 | 5.43㎡ | 33 | 1.62㎡ | ▼ | 3.82㎡ | |
| 고무재 탈락 | 6 | 16.00m | 8 | 33.50m | ▲ | 17.50m | |

4) 검토 의견

■ 본 교량에서 조사된 횡방향 균열은 구조적인 균열이 아닌 Con'c 구조물의 노후화 과정에서 발생되는 부산물이라 할 수 있으며 이러한 균열로 말미암아 구조적 안전성에 문제를 야기할만한 수준은 아닌 것으로 판단된다. 일반적인 Con'c 바닥판의 노후화 과정을 살펴보면 더 쉽게 이해 할 수 있을 것이며 【그림 3-2】은 주철근이 교축직각 방향으로 배치되는 현장타설 R.C 바닥판의 균열 진전과정을 도식화한 것으로 이를 좀 더 세분화하여 나타내면 아래와 같다.




【그림 3-2】 R.C 바닥판의 균열진전 과정

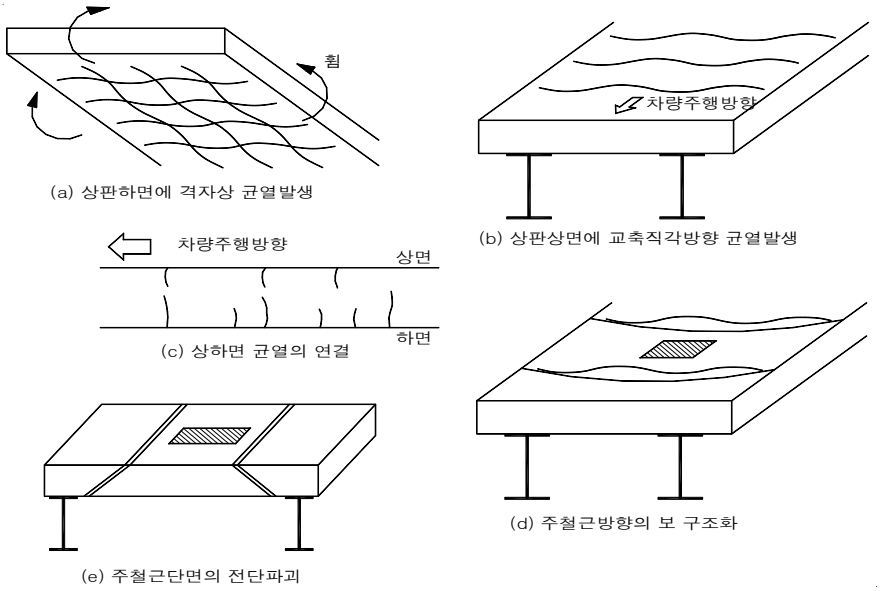
거더에 의하여 지지되는 R.C 바닥판은 거더가 콘크리트의 건조수축 등을 구속하여 교축직각 방향 횡방향 균열이 먼저 발생되고 이에 활하중에 의한 휨모멘트에 의해 변형이 부가되어 양방향으로 균열이 진전된다. 균열이 발생된 바닥판은 전단 및 비틂 강성이 저하되고 균열 폭, 균열 수가 증가함에 따라 조밀한 격자상의 균열 형태를 나타내게 된다. 이러한 손상이 윤하중의 반복에 의하여 관통 균열로 진전되고 균열면의 마찰 및 우수의 침투 등에 의하여 마침내는 함몰 또는 펀칭전단이 발생한다. 이러한 바닥판의 손상은 【그림 3-3】과 같은 피로손상 과정에 의하여 진행된다.

① 제1단계 (교축직각방향에 초기 균열)

본 교량의 경우 R.C 바닥판은 거더와 가로보에 의하여 지지되는데 전단 연결재가 콘크리트를 구속하는 형태를 가지며 콘크리트에 발생되는 온도 및 건조수축 등에 의하여 교축방향으로 인장응력이 발생하고 이에 따라 공용 전 균열이 발생되고 이러한 인장 잔류변형 상태에 윤하중에 의한 휨 변형이 가해지면 바닥판 하면에 교축직각 방향으로 균열이 발생하게 된다.

② 제2단계(상판 하면에 휨 균열망 형성, 상면에도 균열)

활하중이 재하되면 바닥판 하면의 교축방향에서도 균열이 발생되는데 이것은 교축직각방향의 균열에 의해 바닥판은 등방성에서 이방성으로 변화되어 교축방향으로의 하중분배 성능을 저해시켜 주철근 방향에서의 하중 분담률이 증가하기 때문이다 【그림 3-3(a)】. 또한, 바닥판 상면에서도 휨모멘트의 반복작용에 의하여 교축직각방향의 균열이 거더 부근에서 바닥판 중앙으로 진전되고 하면의 균열과 만나 관통균열이 된다 【그림 3-3(b)】.




【그림 3-3】 R.C 바닥판의 피로파괴 과정

③ 제3단계 (빗물의 침투)

R.C 바닥판 상면의 아스팔트 포장은 침수성과 수분 보유성이 높아 약 1시간의 비가 내리면 아스팔트는 포화상태가 되며, 그 후의 증발 속도는 늦고 약 1주 후에도 잔류되는 경우가 많다. 관통균열이 존재하는 바닥판 상면에 이와 같은 수분이 잔류하는 경우 균열에 수분이 침투되어 서서히 하면으로 이동함으로써 유리석회를 하면에 침착시킨다. 일반적으로 선상으로 유리석회가 발생한 경우에는 관통균열에 따른 것으로 판단할 수 있으며, 면상으로 곰팡이처럼 퍼지고 있는 경우는 바닥판 콘크리트가 치밀하지 않은 다짐불량 상태로 추정할 수 있다.

④ 제4단계 (교축직각방향 균열의 균열면 상호 마찰)

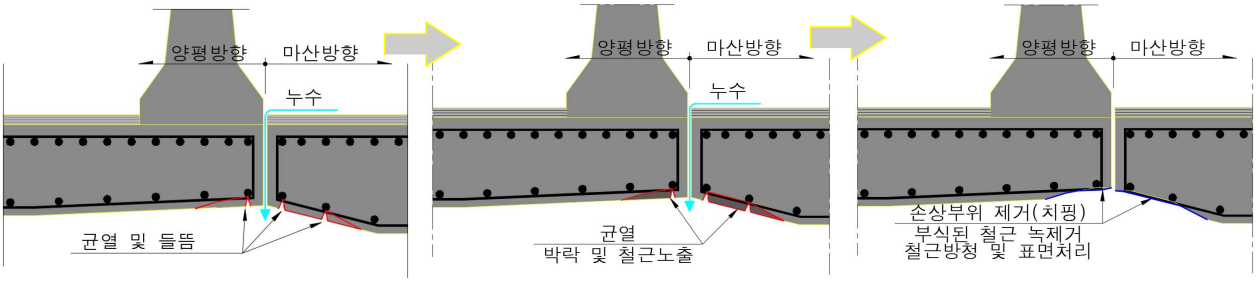
교축직각방향의 관통균열이 형성된 후 차량의 주행이 계속되면 균열면에 작용하는 전단력 및 휨모멘트의 교체 반복에 의하여 균열면 상호에서 상·하 방향 및 수평방향의 마찰의 움직임이 일어나 균열면의 마찰이 진행된다. 그 결과 서서히 균열폭이 커지고 교축방향으로의 하중분배 효과가 떨어져 판구조에서 교축직각방향으로 보를 늘어놓은 상태로 변화한다. 【그림 3-3(d)】 빗물이 침투한 균열에서는 그 마찰속도가 매우 빨라지는데 유리석회에 황색의 침착물이 있는 경우 상호마찰이 진행되고 있는 것으로 판단할 수 있다. 윤하중이 이들의 균열 바로 위로 오면 균열이 닫히고 그 면에서 수직으로 수압이 발생하고 마찰운동과 연동해서 골재를 강제 진동시키기 때문에 골재 주위에서 모르타르와의 부착이 끊겨 콘크리트가 서서히 분쇄되어 골재화 현상이 나타난다.

⑤ 제5단계 (파괴, 함몰)

교축직각방향에서 【그림 3-3(d)】와 같이 보 구조화가 형성되면 그 보 폭에서의 전단강도 부족으로 전단력에 의한 피로현상이 발생하고 내하력을 상실하게 되며 【그림 3-3(e)】 차량의 주행에 의하여 파괴 부위의 콘크리트가 작게 나뉘어져 작은 조각의 낙하가 일어나 결국에는 구멍이 커지게 된다. 물의 침투가 있는 경우 압축측 콘크리트의 골재화가 진행되고 포장이 망 형상으로 파손되거나 포트홀이 형성되어 방치하면 함몰하게 된다. 일반적으로 R.C 바닥판은 최소두께 기준이 적용하는 한 전단력이 문제가 되는 경우는 거의 없다. 실제로 재하시험에 의하여 바닥판을 전단력으로 파괴시키기 위해서는 설계하중의 5~10배의 전단력이 필요한 것으로 보고되고 있다. 다만 바닥판에 건조수축과 온도수축으로 균열이 발생하고 이것과 휨모멘트에 의한 인장균열의 영향에 더하여 전단력은 바닥판의 손상에 더 큰 영향을 주게 된다.

- 현재 본 교량의 바닥판은 균열의 형태 및 경간별 분포상태로 미루어 볼 때, 바닥판 손상은 Ⅰ번째 단계로써, 조사된 횡균열은 대부분 근접한 상태에서 확인 가능한 0.2㎜이하의 미세균열이다. 본 손상은 전 경간에 걸쳐 분포되어 있는 손상으로 균열의 형상이 일방향성 형태의 균열로서, 콘크리트 재료적 특성인 시공초기 양생과정 또는 시공 후 일정기간이 경과한 후에 발생한 건조수축에 의해 발생한 것으로 추정된다. 점검 당시 균열보수가 일부 이루어진 상태이며 보수되지 않은 균열 또한 0.2㎜이하의 미세균열로 내구성 저하에는 크게 영향이 없으므로 지속관찰한다.
- 일부 관찰되는 백태는 건조수축에 의해 발생한 미세균열부로 침투한 공기중 이산화탄소가 수화반응으로 생성된 수산화칼슘이 반응하여 석회석을 생성하면서 수분에 용해되어 바닥판 표면에 퇴적된 침전물로서 기 점검시부터 조사된 손상이다. 내측 바닥판의 균열과 백태는 금회 현장조사 결과 손상의 진행과 확대는 없는 것으로 조사되었으나 내구성 확보 차원의 표면처리 보수와 보수후에도 주기적인 점검으로 재손상 여부를 확인하여야 한다.
- 내측 캔틸레버 하면과 신축이음 단부에 발생한 균열, 백태, 들뜸 등의 손상은 신축이음부 또는 종방향조인트 누수로 인해 비교적 피복두께가 얇게 시공된 바닥판 철근을 부식시켜 균열을 유발시키고, 균열부로의 지속적인 우수 유입과 동절기 살포된 제설제의 영향은 철근 부식과 팽창을 가속시켜 바닥판 콘크리트가 들뜸 및 박락, 철근노출로 진행하게 된다. 내측 캔틸레버 하면과 신축이음 단부에 발생한 균열, 박락, 철근노출은 방치시 확대 가능성이 높은 손상에 해당하므로 내구성 저하 방지를 위해 단면을 복구하여야 하나 보수를 하더라도 지속적인 누수와 구조물의 신축 및 중차량 통과시 충격으로 인해

보수재의 탈락 또는 추가 손상의 가능성이 높다. 또한 본 교량의 하부는 도로(국도37호선), 제방도로 등이 위치하고 있어 보수재료 또는 탈락 된 콘크리트가 낙반으로 이어질 경우 2차 사고의 가능성도 배제할 수 없으므로 단면을 복구하는 방법보다는 손상 단면을 제거한 후 부식된 철근의 방청처리와 표면처리보수로 마감하는 방법이 보다 합리적이라 할 수 있다.

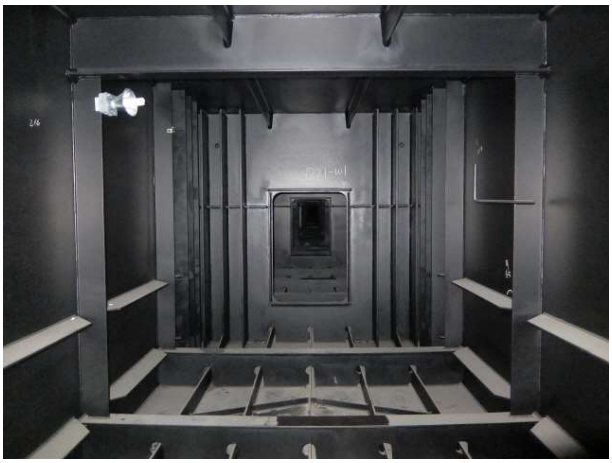



■ 캔틸레버 하면의 들뜸과 같은 단면손상은 기설 콘크리트와 보수재료와의 부착강도 증대를 위해 바닥판의 내하력에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 손상된 부위를 모두 제거(치핑)한다. 손상부위 면정리가 완료되면 부착성과 내구성이 높은 보수재를 손상 제거부위 표면에 도포하여 피막을 형성시킨다. 이때 철근이 노출될 경우 부식된 철근에 대해서 녹제거와 방청을 실시하여야 한다. 또한 보수 후에도 재손상 발생 및 추가손상 여부 확인을 위한 주기적인 점검이 필요하다.

■ 바닥판 하면 내측 캔틸레버부에서 조사된 종조인트 고무재 탈락은 시공미흡, 온도에 따른 신축거동, 차량진동 등이 원인으로 판단되며, 이로 인한 추가 손상발생이 없어 보수의 필요성은 없을 것으로 판단되어 지속관찰이 요망된다.

## 나. Steel Box Girder

본 교량의 주부재인 Steel Box Girder는 2열로 배치되어 있고, 강박스 거더 내·외부에 대한 점검은 붕괴유발부재(F.C.M)에 대한 점검을 중점적으로 시행하였으며, 특히, 피로균열 발생 부재, 부식에 의한 단면감소, 구조적인 변형 여부, 도장손상 등 안전성, 내구성 및 사용성에 영향을 미치는 결함에 대하여 조사를 수행하였다.



Steel Box Girder 내부 전경

Steel Box Girder 외부 전경

1) Steel Box Girder 내부

① 외관조사 결과

【표 3-6】 Steel Box Girder 내부 외관조사 결과(양평방향)

| 구분 | | 표면열화 | | | | | | 기타 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 도장박리(㎡) | | 부식(㎡) | | 볼트부식(㎡) | | Pit | 이물질퇴적(㎡) | |
| | | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 개소 | 물량 | 개소 |
| S1 | G1 | - | - | - | - | 0.02 | 2 | 2 | - | - |
| | G2 | - | - | 0.05 | 1 | - | - | - | 0.18 | 2 |
| S2 | G1 | - | - | - | - | - | - | 3 | - | - |
| | G2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| S3 | G1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | G2 | 0.02 | 1 | - | - | - | - | - | - | - |
| S4 | G1 | - | - | - | - | - | - | 5 | - | - |
| | G2 | - | - | - | - | - | - | 3 | - | - |
| S5 | G1 | - | - | - | - | - | - | 9 | 0.50 | 1 |
| | G2 | - | - | - | - | - | - | 8 | 5.50 | 1 |
| S6 | G1 | - | - | 0.01 | 1 | - | - | 3 | - | - |
| | G2 | - | - | - | - | - | - | 1 | 6.25 | 1 |

【표 3-6】 Steel Box Girder 내부 외관조사 결과(양평방향)(계속)

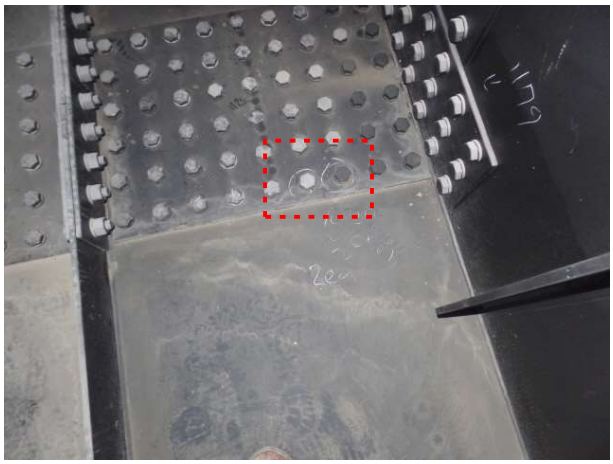
| 구분 | | 표면열화 | | | | | | 기타 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 도장박리(㎡) | | 부식(㎡) | | 볼트부식(㎡) | | Pit | 이물질퇴적(㎡) | |
| | | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 개소 | 물량 | 개소 |
| S7 | G1 | - | - | - | - | - | - | 3 | - | - |
| | G2 | 0.01 | 1 | 0.02 | 1 | - | - | 1 | - | - |
| S8 | G1 | 0.02 | 2 | - | - | - | - | 2 | - | - |
| | G2 | - | - | - | - | - | - | 1 | - | - |
| S9 | G1 | 0.01 | 1 | 0.04 | 4 | - | - | 3 | - | - |
| | G2 | 0.30 | 8 | - | - | - | - | 3 | 0.09 | 1 |
| 합계 | | 0.36 | 13 | 0.12 | 7 | 0.02 | 2 | 47 | 12.52 | 6 |

㉠ 손상별 원인분석

| | |
|---|---|
| 현 황 | ◦S3-G2 도장박리 |
| 원 인 | ◦시공미흡 및 경년열화 |
| 대 책 | ◦재도장 |

| | |
|---|---|
| 현 황 | ◦S9-G2 도장박리 |
| 원 인 | ◦시공미흡 및 경년열화 |
| 대 책 | ◦재도장 |

| | |
|---|---|
| 현 황 | ◦S1-G2 부식 |
| 원 인 | ◦우수유입 |
| 대 책 | ◦재도장 |



| | |
|---|---|
| 현 황 | ◦S1-G1 Sp1 볼트부식 |
| 원 인 | ◦우수유입 |
| 대 책 | ◦재도장 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | |
| **현 황** | ◦S5-G1 Pit | **현 황** | ◦S1-G2 이물질퇴적 |
| **원 인** | ◦시공미흡 | **원 인** | ◦작업자 이물질 적치 |
| **대 책** | ◦지속관찰 | **대 책** | ◦청소 |

② 기 점검결과와의 비교 · 분석

■ Steel Box Girder 내부에서 조사된 손상에 대하여 기 진단 결과를 토대로 손상여부를 검토한 결과, 기 진단 이후 보수가 실시되어 도장박리 및 부식 등 대부분에 손상에 대하여 수량이 감소한 것으로 확인되었으며, 일부 보수누락 및 경년증가에 따른 손상이 일부 조사되었다.

【표 3-7】 Steel Box Girder 내부 기 진단 결과 비교(양평방향)

| 결함 및 손상내용 | 2012년 진단 | | 금회 진단 | | 증 감 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | | | |
| 도장박리 및 부식 | 970 | 4.81㎡ | 20 | 0.48㎡ | ▼ | 4.33㎡ | |
| 볼트부식 | 8 | 0.08㎡ | 2 | 0.02㎡ | ▼ | 0.06㎡ | |
| 이물질 퇴적 | 8 | 2.92㎡ | 6 | 12.52㎡ | ▲ | 12.99㎡ | |
| 씰링재 충진누락 | - | 128ea | - | - | ▼ | 128ea | |

③ 검토 의견

■ Steel Box Girder 내부의 외관조사 실시결과 도장박리, 부식, 볼트부식, Pit, 이물질퇴적 등의 손상이 조사되었다.

■ 도장박리는 시공초기 또는 재도장 보수 당시 먼지, 녹 등 도장 전처리 미흡에 의해 발생된 것이며, 강재의 부식 방지를 위한 도장보수가 요구된다.

■ 강재 부식은 국부적인 도장불량과 경년열화에 의해 발생된 손상이나 부식의 대부분이 거더 입 · 출구부에서 조사된 점을 감안하면 강우 시 신축이음부 누수로 인해 노면수가 스캘럽을 통해 거더 내부로 유입되어 부식성 환경이 조성된 것이 주된 원인이다. 현재

구조물에 발생된 부식의 정도가 강재 거더의 단면결손을 유발할 정도는 아니지만 장기적 내구성 저하 방지를 위해 녹제거 후 재도장 보수가 필요한 상태이다. 다만, 부식의 근본적인 원인인 신축이음부 누수를 차단하는 것이 선행되어야 하나 신축이음부에서 누수가 발생하더라도 거더 내부로 노면수가 유입되지 않도록 누수가 발생하는 위치에서 거더의 스캘럽을 폐쇄시키는 것도 한 방법이라 할 수 있다.

- 피트손상에 대하여「강도로교 시공·검사 실무 요령(前 건설교통부 1995.05)」에서 용접 비드 표면의 필렛용접한 이음에 대해 3개 또는 이음길이 1m에 대해 3개까지 허용(Ø1mm 이하는 3개를 1개로 간주)하는 것으로 명시되어 있어, 청미천교(양평)에 발생된 피트의 경우 해당 기준을 만족하는 것으로 나타나 현 상태로 주의 관찰한다.
- 이물질퇴적은 일부 점검자 또는 보수자의 인식 부족에 의한 용변 처리 미흡으로 발생한 경우도 일부 존재한다. 거더 내부의 이물질퇴적은 강재 부식의 원인이 되므로 청소와 더불어 예방적 유지관리 차원의 재도장 보수가 요구된다.

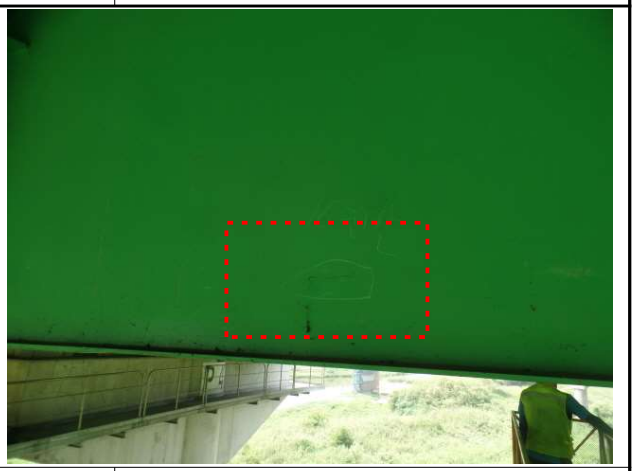
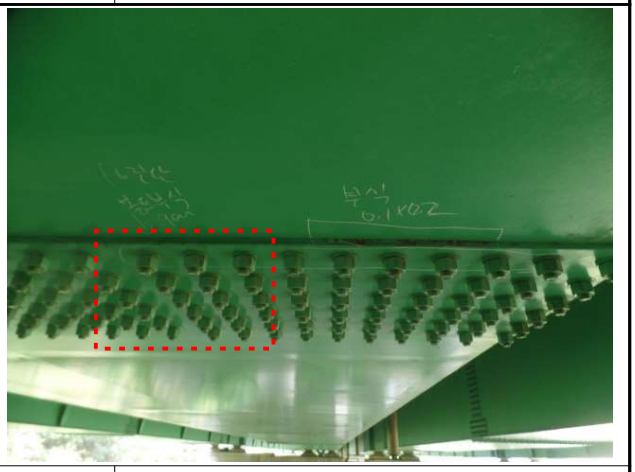
2) Steel Box Girder 외부

㉠ 외관조사 결과

【표 3-8】 Steel Box Girder 외부 외관조사 결과(양평방향)

| 구분 | | 표면열화 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 도장박리(㎡) | | 부식(㎡) | | 긁힘(㎡) | | 변형(m) | | 볼트부식(㎡) | |
| | | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 |
| S1 | G1 | - | - | 4.50 | 21 | - | - | - | - | 0.09 | 9 |
| | G2 | - | - | 0.33 | 9 | - | - | - | - | - | - |
| S2 | G1 | 0.07 | 3 | 0.31 | 10 | - | - | - | - | - | - |
| | G2 | 0.07 | 5 | 0.66 | 12 | - | - | - | - | - | - |
| S3 | G1 | - | - | 4.61 | 8 | - | - | - | - | - | - |
| | G2 | 0.18 | 9 | 0.15 | 8 | - | - | - | - | - | - |
| S4 | G1 | - | - | 0.78 | 6 | 0.02 | 1 | - | - | - | - |
| | G2 | 0.01 | 1 | 0.44 | 14 | 0.05 | 1 | - | - | - | - |
| S5 | G1 | 0.14 | 4 | 0.12 | 1 | - | - | - | - | - | - |
| | G2 | 0.43 | 15 | 0.28 | 10 | 0.04 | 2 | - | - | - | - |
| S6 | G1 | 0.68 | 7 | 0.15 | 8 | 0.02 | 1 | - | - | - | - |
| | G2 | 0.13 | 4 | 0.11 | 7 | 0.03 | 1 | - | - | - | - |
| S7 | G1 | - | - | 0.63 | 5 | - | - | - | - | - | - |
| | G2 | 0.02 | 2 | 1.19 | 14 | - | - | - | - | - | - |
| S8 | G1 | 0.09 | 2 | 0.10 | 1 | - | - | 0.30 | 1 | - | - |
| | G2 | - | - | 0.02 | 1 | - | - | - | - | - | - |
| S9 | G1 | 0.03 | 1 | 0.60 | 12 | - | - | - | - | - | - |
| | G2 | 0.01 | 1 | 0.75 | 10 | - | - | - | - | - | - |
| 합계 | | 1.86 | 54 | 15.74 | 158 | 0.16 | 6 | 0.30 | 1 | 0.09 | 9 |

② 손상별 원인분석

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦S6-G1 도장박리<br>원 인 ◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화<br>대 책 ◦재도장</td><td>현 황 ◦S1-G1 부식<br>원 인 ◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화<br>대 책 ◦재도장</td></tr>
<tr><td> </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦S2-G1 부식<br>원 인 ◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화<br>대 책 ◦재도장</td><td>현 황 ◦S4-G1 긁힘<br>원 인 ◦시공당시 외부충격<br>대 책 ◦재도장</td></tr>
<tr><td> </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦S8-G1 변형<br>원 인 ◦시공당시 외부충격<br>대 책 ◦지속관찰</td><td>현 황 ◦S2 거더외부 볼트부식<br>원 인 ◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화<br>대 책 ◦재도장</td></tr>
</table>

③ 기 점검결과와의 비교 · 분석

■ Steel Box Girder 외부에서 조사된 손상에 대하여 기 진단 결과를 토대로 손상여부를 검토한 결과, 금회 진단에서 도장박리, 부식 등의 손상은 증가한 것으로 확인되었으며, 긁힘 손상이 신규로 조사되었다.

【표 3-9】 Steel Box Girder 외부 기 진단 결과 비교(양평방향)

| 결함 및 손상내용 | 2012년 진단 | | 금회 진단 | | 증 감 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | | | |
| 도장박리 및 부식 | 84 | 1.07㎡ | 221 | 17.69㎡ | ▲ | 16.62㎡ | |
| 긁힘 | - | - | 6 | 0.16㎡ | ▲ | 0.16㎡ | |
| 변형 | 1 | 0.30m | 1 | 0.30m | | - | |

④ 검토 의견

■ Steel Box Girder 외부에는 도방박리, 부식, 긁힘, 변형, 볼트부식이 조사되었다.

■ 거더 외부에 발생한 도장박리는 유분, 이물질 등의 하지(표면)처리 미흡과 공용 년 수 증가에 따른 노후화에 의해 발생된 손상으로, 강재 부식을 방지하기 위한 손상된 부위의 재도장이 필요한 상태이다.

■ 거더 외부 부식은 환경적인 영향, 즉 대기 중의 오염물질, 온도, 습도 등의 영향을 직접적으로 받고 신축이음부 및 종방향조인트 누수에 의해 장기간 직접적인 수분의 접촉, 국부적으로 도장이 불량한 부위에서의 도장면 열화 등이 원인이 되어 발생한 것이며, 특히 돌출된 하부플랜지 모서리 등은 도장이 상대적으로 불량할 뿐만 아니라 시공초기 거더 운반 및 적재, 가설 과정에서 외부 충격과 경년열화에 의해 도장면 손상이 발생할 가능성이 크다. 현재 조사된 부식이 단면결손을 유발할 정도의 단계에 이르지는 않았으나 확대손상 방지 및 내구성 저하 방지를 위해 방청 후 재도장 보수가 요구된다.

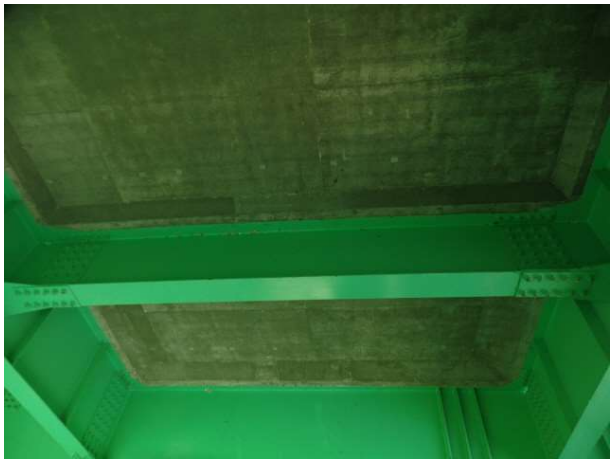
■ 도장 긁힘은 공장 제작된 거더의 운반과 적재, 가설 과정 중에 예기치 못한 충격에 의해 발생된 손상이며, 교량의 안전성에는 영향이 없겠으나 충격으로 발생한 도장 손상은 재도장을 실시하여야 한다.

■ 거더 변형은 시공 중 충격에 의해 하부 플렌지가 변형된 것으로 보수보다는 지속관찰함이 바람직하다.

3) 강 가로보 및 세로보

공용 기간중 거더의 횡변형(좌굴)을 방지해 주며 상부에 작용하는 하중을 횡분배 시켜주는 역할을 하는 가로보 및 세로보는 강재로 시공되어 있다.

강 가로보 전경



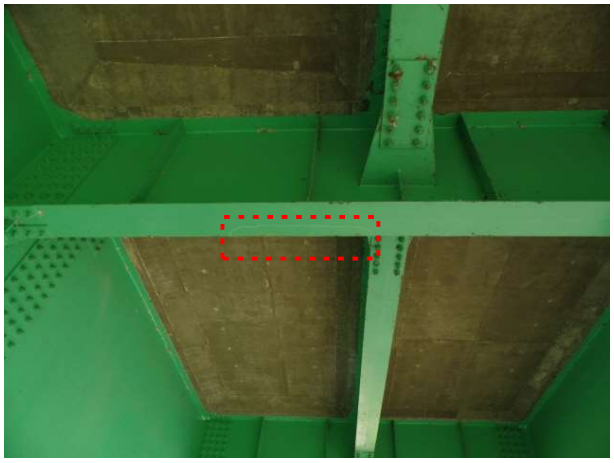
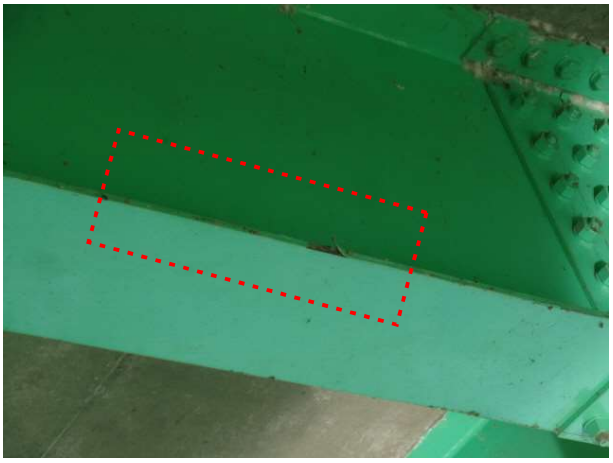
강 세로보 전경

① 외관조사 결과

【표 3-10】 강 가로보 및 세로보 외관조사 결과(양평방향)

| 구분 | 표면열화 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 도장박리(㎡) | | 부식(㎡) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 |
| S1 | - | - | 0.07 | 3 |
| S2 | 0.03 | 2 | - | - |
| S3 | - | - | - | - |
| S4 | - | - | - | - |
| S5 | - | - | - | - |
| S6 | 0.03 | 1 | 0.08 | 1 |
| S7 | - | - | 0.05 | 4 |
| S8 | - | - | 0.05 | 3 |
| S9 | - | - | - | - |
| **합계** | **0.06** | **3** | **0.25** | **11** |

② 손상별 원인분석

| | | | |
|---|---|---|---|
|  | |  | |
| **현 황** | ◦S6-CB5 가로보 하면 부식 | **현 황** | ◦S5-ST1 세로보 도장박리 |
| **원 인** | ◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화 | **원 인** | ◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화 |
| **대 책** | ◦재도장 | **대 책** | ◦재도장 |

③ 기 점검결과와의 비교 · 분석

■ 기 진단 결과를 토대로 손상여부를 검토한 결과, 금회 진단에서 도장박리, 부식 등의 손상은 증가한 것으로 확인되었다.

【표 3-11】 강 가로보 및 세로보 기 진단 결과 비교(양평방향)

| 결함 및 손상내용 | 2012년 진단 | | 금회 진단 | | 증 감 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | | | |
| 도장박리 및 부식 | 3 | 0.032㎡ | 4 | 0.10㎡ | ▲ | 0.10㎡ | |

④ 검토 의견

■ 가로보 및 세로보에서는 도방박리, 부식이 조사되었다.

■ 도장박리는 유분, 이물질 등의 하지(표면)처리 미흡과 공용 년 수 증가에 따른 노후화에 의해 발생된 손상으로, 강재 부식을 방지하기 위한 손상된 부위의 재도장이 필요한 상태이다.

■ 부식은 환경적인 영향, 즉 대기 중의 오염물질, 온도, 습도 등의 영향을 직접적으로 받고 장기간 직접적인 수분의 접촉, 국부적으로 도장이 불량한 부위에서의 도장면 열화 등이 원인이 되어 발생한 것으로 현재 조사된 부식이 단면결손을 유발할 정도의 단계에 이르지는 않았으나 확대손상 방지 및 내구성 저하 방지를 위해 방청 후 재도장 보수가 요구된다.

### 3.2.3 하부구조

#### 가. 교대

교대는 교량 상부구조 하중을 지반으로 전달하며, 교량 전체 구조의 안전성을 위해 중요한 역할을 수행하는 구조부재이다.

청미천교(양평)의 교대형식은 역T형식이고, 기초형식 강관말뚝기초로 시공되어 있으며 금회 현장 조사시 교대의 외관상태, 법면사면(앞성토)를 중점적으로 조사하였다.

교대 전경(A1)

교대 전경(A2)

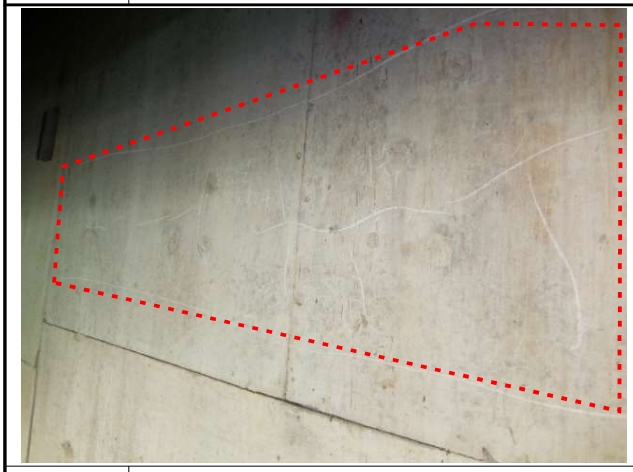
1) 외관조사 결과

【표 3-12】 교대 외관조사 결과(양평방향)

| 구분 | 균열 | | | | | | | | 열화 및 손상 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cw=0.1㎜ (m) | | Cw=0.2㎜ (m) | | Cw=0.3㎜ (m) | | 망상균열(㎡) (Cw=0.1㎜) | | 들뜸(㎡) | | 박락(㎡) | | 박리(㎡) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 |
| A1 | 29.20 | 35 | 1.70 | 2 | - | - | 1.02 | 2 | 3.00 | 1 | - | - | - | - |
| A2 | 5.00 | 5 | 2.70 | 2 | 2.80 | 1 | 10.18 | 5 | - | - | 0.13 | 12 | 1.50 | 1 |
| 합계 | 34.20 | 40 | 4.40 | 4 | 2.80 | 1 | 11.20 | 7 | 3.00 | 1 | 0.13 | 12 | 1.50 | 1 |

| 구분 | 열화 및 손상 | | | | 기타 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 백태(㎡) | | 보수부 들뜸(㎡) | | 이물질퇴적(㎡) | | 잡철물부식(㎡) | | 누수흔적(㎡) | | 표면오염(㎡) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 |
| A1 | 0.03 | 1 | 0.09 | 1 | - | - | - | - | 4.40 | 2 | - | - |
| A2 | - | - | - | - | 1.80 | 1 | 0.06 | 6 | - | - | 11.13 | 4 |
| 합계 | 0.03 | 1 | 0.09 | 1 | 1.80 | 1 | 0.06 | 6 | 4.40 | 2 | 11.13 | 4 |

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td> </td><td>
</td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦A1 벽체 균열(cw=0.2mm)</td><td>현 황</td><td>◦A2 흉벽 균열(cw=0.3mm)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦시공초기 건조수축</td><td>원 인</td><td>◦공용 중 온도변화 및 우수유입</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦지속관찰</td><td>대 책</td><td>◦주입보수</td></tr>
<tr><td>  </td><td> </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦A1 흉벽 망상균열</td><td>현 황</td><td>◦A1 흉벽 들뜸, 누수흔적</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦시공초기 건조수축</td><td>원 인</td><td>◦시공미흡(다짐불량), 우수유입</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦표면처리보수</td><td>대 책</td><td>◦커버플레이트 재설치, 단면보수</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦A2 흉벽 박락</td><td>현 황</td><td>◦A2 코핑면 박리</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦시공미흡</td><td>원 인</td><td>◦시공미흡(다짐불량)</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦단면보수</td><td>대 책</td><td>◦단면보수</td></tr>
</table>

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | |
| **현 황** | ◦A1 벽체 백태 | **현 황** | ◦A1 코핑면 보수부 들뜸 |
| **원 인** | ◦우수유입 | **원 인** | ◦시공미흡 |
| **대 책** | ◦표면처리보수 | **대 책** | ◦단면보수 |
| | | | |
| **현 황** | ◦A2 코핑면 이물질 퇴적 | **현 황** | ◦A2 흉벽 표면오염 |
| **원 인** | ◦우수유입 | **원 인** | ◦우수유입 |
| **대 책** | ◦청소 | **대 책** | ◦지속관찰 |

3) 기 점검결과와의 비교 · 분석

■ 기 진단 결과를 검토한 결과, 기 진단 이후 보수가 실시되어 균열, 파손 등의 손상에 대하여 수량이 감소한 것으로 확인되었으며, 보수누락 및 경년증가에 따른 손상의 증가 또한 조사되었다.

【표 3-13】 교대 기 진단 결과 비교(양평방향)

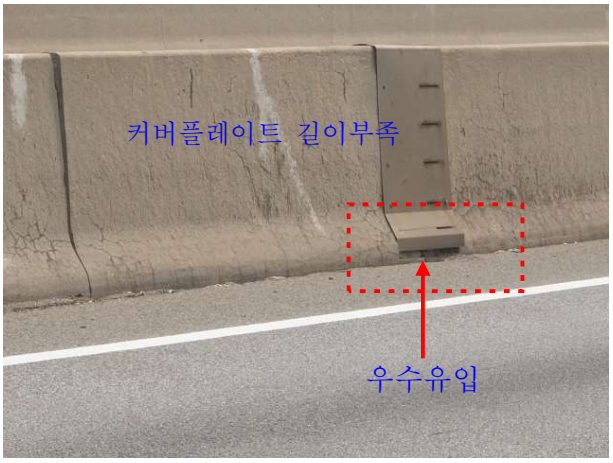
| 결함 및 손상내용 | 2012년 진단 | | 금회 진단 | | 증 감 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | | | |
| 균열(cw=0.3mm미만) | 72 | 54.20m | 44 | 38.60m | ▼ | 15.60m | |
| 균열(cw=0.3mm) | 1 | 2.80m | 1 | 2.80m | - | - | |
| 망상균열 | 5 | 9.76㎡ | 7 | 11.20㎡ | ▲ | 1.44㎡ | |

【표 3-13】 교대 기 진단 결과 비교(양평방향)(계속)

| 결함 및 손상내용 | 2012년 진단 | | 금회 진단 | | 증 감 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | | | |
| 들뜸 | - | - | 1 | 3.00㎡ | ▲ | 3.00㎡ | |
| 박락, 박리 | - | - | 13 | 1.63㎡ | ▲ | 1.63㎡ | |
| 백태 | - | - | 1 | 0.16㎡ | ▲ | 0.16㎡ | |
| 파손 | 3 | 0.38㎡ | - | - | ▼ | 0.38㎡ | |
| 누수흔적, 표면오염 | 5 | 4.24㎡ | 6 | 15.53㎡ | ▲ | 11.29㎡ | |
| 이물질퇴적 | - | - | 1 | 1.80㎡ | ▲ | 1.80㎡ | |
| 잡철물 부식 | 39 | 0.17㎡ | 6 | 0.06㎡ | ▼ | 0.11㎡ | |

4) 검토 의견

- 교대는 균열과 망상균열, 들뜸, 박락, 박리, 백태, 보수부들뜸, 이물질퇴적, 누수흔적, 표면오염, 잡철물 부식 등의 손상이 조사되었다.
- 교대에서 조사된 대부분의 수직균열은 균열의 형상, 방향성, 발생위치 등을 고려해 볼 때 시공초기 건조수축에 의해 발생한 손상으로 대부분 폭 0.2mm이하의 미세균열이며, 0.2㎜이하의 미세균열은 내구성 저하에는 크게 영향이 없으므로 지속관찰 한다. 또한, A2의 흉벽에서 조사된 폭 0.3mm의 균열은 공용 중 온도변화 및 지속적인 우수유입에 의한 열화로 발생한 균열이며, 균열깊이 시험결과(3.4.3 현장시험결과 및 분석, p221) 철근깊이까지 도달한 것으로 나타나 주입보수가 요구된다.
- A1 흉벽에서 조사된 들뜸은 시공 초기 다짐불량과 신축이음 커버플레이트의 길이부족으로 인한 지속적인 우수유입에 의한 손상으로 커버플레이트의 재설치를 통한 우수유입 방지를 실시한 후 손상부 콘크리트의 제거와 단면보수가 이루어져야 할 것으로 판단된다.




A1 커버플레이트 마산측 전경

A1 신축이음 하부 전경

- 누수흔적과 표면오염은 공용 년 수 증가에 의한 신축이음 노후화와 중앙분리대 커버플레이트 길이부족으로 인한 누수가 주원인이며 2013~2014년 신축이음 교체가 완료되어 커버플레이트 탈락 및 설치오류에 의한 캔틸레버측 누수가 일부 조사되었으나 대부분의 손상은 진행되지 않는 상태인 것으로 조사되었다.
- 박락, 박리 등은 시공초기 또는 공용 중 예기치 못한 외부충격, 우수 및 동결융해의 반복 등 장기간 외기에 노출된 콘크리트가 열화되어 발생한 손상이며, 보수부 들뜸은 보수부의 시공미흡에 의한 것으로 이들 손상은 손상의 정도가 교대의 안전성을 저해할 정도는 아닌 것으로 조사되었으나 확대손상 방지와 내구성 확보를 위해 단면을 복구하여야 한다.
- 백태는 콘크리트 내부의 백태가 노출된 것으로 내구성 확보 차원의 표면보수가 필요하고, 기타 손상으로 이물질퇴적, 잡철물부식 등의 조사되었으나 보수의 의미는 없으므로 지속관찰한다.

## 나. 교각

상부구조를 지지하는 구조물인 교각형식은 T형이고, 기초형식은 P1~P7은 직접기초, P8은 강관말뚝기초(φ508)로 시공되어 있다. 청미천교(양평)는 9경간 교량이며 교각이 8개소로 유지관리를 용이하게 하기 위한 출입사다리 및 점검통로가 P1~P6까지 시공되어 있으며, P7과 P8은 설치되어 있지가 않다. 또한 P5는 유심부에 위치하여 수심측정을 실시하였다. 교각에 대한 외관조사는 보도점검 및 사다리, 고소점검차를 이용하여 조사하였다.

교각 전경(P1)

교각 전경(P5)

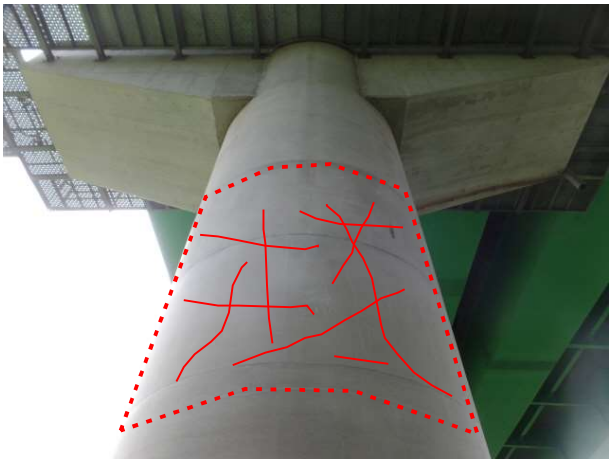
1) 외관조사 결과

【표 3-14】 교각 외관조사 결과(양평방향)

| 구분 | 균열 | | | | | | | | 열화 및 손상 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cw=0.1㎜ (m) | | Cw=0.2㎜ (m) | | Cw=0.3㎜ (m) | | 망상균열(㎡) (Cw=0.1㎜) | | 박락(㎡) | | 백태(㎡) | | 재료분리(㎡) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 |
| P1 | 58.50 | 80 | 6.20 | 4 | 0.80 | 1 | 26.43 | 7 | 0.04 | 2 | - | - | - | - |
| P2 | 13.80 | 20 | 6.10 | 5 | - | - | 6.18 | 2 | - | - | - | - | - | - |
| P3 | 8.90 | 14 | 7.40 | 5 | - | - | 18.40 | 7 | - | - | - | - | - | - |
| P4 | 11.30 | 12 | 7.20 | 4 | - | - | 9.38 | 5 | - | - | - | - | - | - |
| P5 | 16.90 | 21 | 7.80 | 3 | - | - | 33.77 | 12 | - | - | - | - | 0.08 | 2 |
| P6 | 23.90 | 21 | 2.00 | 1 | - | - | 9.38 | 6 | - | - | - | - | 0.18 | 1 |
| P7 | 14.60 | 14 | - | - | - | - | 6.14 | 5 | - | - | 0.02 | 2 | - | - |
| P8 | 8.60 | 4 | 4.60 | 4 | - | - | 1.96 | 3 | - | - | - | - | - | - |
| 합계 | 156.50 | 186 | 41.30 | 26 | 0.80 | 1 | 111.64 | 47 | 0.04 | 2 | 0.02 | 2 | 0.26 | 3 |

| 구분 | 열화 및 손상 | | | | 기타 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 침식(㎡) | | 파손(㎡) | | 녹발생(㎡) | | 누수흔적(㎡) | | 점검로 볼트부식 | 표면오염(㎡) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 개소 | 물량 | 개소 |
| P1 | - | - | 0.04 | 1 | - | - | - | - | 20 | - | - |
| P2 | - | - | - | - | - | - | - | - | 3 | 0.50 | 1 |
| P3 | - | - | - | - | - | - | - | - | 5 | - | - |
| P4 | 5.40 | 1 | 0.01 | 1 | - | - | 1.20 | 1 | 4 | - | - |
| P5 | 9.00 | 1 | 0.02 | 1 | 0.16 | 16 | - | - | 12 | - | - |
| P6 | - | - | 0.01 | 1 | - | - | - | - | 21 | - | - |
| P7 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1.00 | 1 |
| P8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 합계 | 14.40 | 2 | 0.08 | 4 | 0.16 | 16 | 1.20 | 1 | 65 | 1.50 | 2 |

2) 손상별 원인분석

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | |
| **현 황** | ◦P4 기둥부 균열(cw=0.2㎜) | **현 황** | ◦P1 기둥부 균열(cw=0.3㎜) |
| **원 인** | ◦시공초기 건조수축 | **원 인** | ◦공용중 온도변화 및 우수유입 |
| **대 책** | ◦지속관찰 | **대 책** | ◦주입보수 |
|  | | | |
| **현 황** | ◦P3 기둥부 망상균열 | **현 황** | ◦P1 기둥부 박락 |
| **원 인** | ◦시공초기 건조수축 | **원 인** | ◦시공미흡, 우수유입 |
| **대 책** | ◦표면처리보수 | **대 책** | ◦단면보수 |
| | | | |
| **현 황** | ◦P6 코핑부 재료분리 | **현 황** | ◦P4 기둥부 침식 |
| **원 인** | ◦시공미흡 | **원 인** | ◦유수작용, 경년증가 |
| **대 책** | ◦단면보수 | **대 책** | ◦지속관찰 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | |
| **현 황** | ◦P6 기둥부 파손 | **현 황** | ◦P4 코핑부 누수흔적, 표면오염 |
| **원 인** | ◦외부충격 | **원 인** | ◦배수관 길이부족(보수완료) |
| **대 책** | ◦단면보수 | **대 책** | ◦지속관찰 |
| | | | |
| **현 황** | ◦P4 코핑부 점검로 볼트부식 | **현 황** | ◦P5 코핑부 녹발생 |
| **원 인** | ◦경년증가, 시공미흡 | **원 인** | ◦잡철물 미제거, 우수유입 |
| **대 책** | ◦지속관찰 | **대 책** | ◦지속관찰 |

3) 수중 교각 점검

- 청미천교(양평)의 유심부에 위치한 P4와 P5는 수중조사를 실시하였으며 현장조사 결과 수심이 얕고(H=0.6m이내) 도보로 접근이 가능하여 육안조사를 실시하였다.
- 하천 상에 위치한 교각(P5)의 외관 상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었으며, 유수에 의한 기둥부 침식이 일부 관찰되었으나 손상정도가 경미하므로 지속관찰 한다. 다만 하천 상에 위치한 교각은 항시 유수와 유송잡물의 영향을 받고 있는 상태이므로 손상발생 유무에 대해 주기적인 점검과 지속적인 관찰이 필요하다.

| | |
|---|---|
| | |
| 교각 수심측정 | 수중부 경미한 침식(P5) |

4) 기 점검결과와의 비교 · 분석

■ 기 진단 결과를 검토한 결과, 기 진단 이후 보수가 실시되어 균열, 파손에 대하여 수량이 감소한 것으로 확인되었다. 망상균열은 기존 균열의 확대와 경년증가에 따른 노후화로 손상물량이 증가하였으며, 대부분의 손상이 보수누락 및 경년증가에 따른 손상 증가한 것으로 조사되었다.

【표 3-15】 교각 기 진단 결과 비교(양평방향)

| 결함 및 손상내용 | 2012년 진단 | | 금회 진단 | | 증 감 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | | | |
| 균열(cw=0.3mm미만) | 422 | 404.45 | 212 | 197.80m | ▼ | 206.65m | |
| 균열(cw=0.3mm) | - | - | 1 | 0.80m | ▲ | 0.80m | |
| 망상균열 | 43 | 74.46㎡ | 47 | 111.64㎡ | ▲ | 37.18㎡ | |
| 누수흔적, 백태 | 7 | 1.46㎡ | 3 | 1.22㎡ | ▼ | 0.24㎡ | |
| 파손, 침식 | 11 | 9.87㎡ | 6 | 14.48㎡ | ▲ | 4.61㎡ | |
| 재료분리, 녹발생 | 17 | 0.34㎡ | 17 | 0.34㎡ | | - | |
| 점검로 볼트부식 | - | 63EA | - | 65EA | ▲ | 2EA | |

5) 검토 의견

■ 교각은 균열, 망상균열, 박락, 백태, 재료분리, 침식, 파손, 녹발생, 누수흔적, 점검로 볼트부식, 표면오염 등의 손상이 조사되었다.

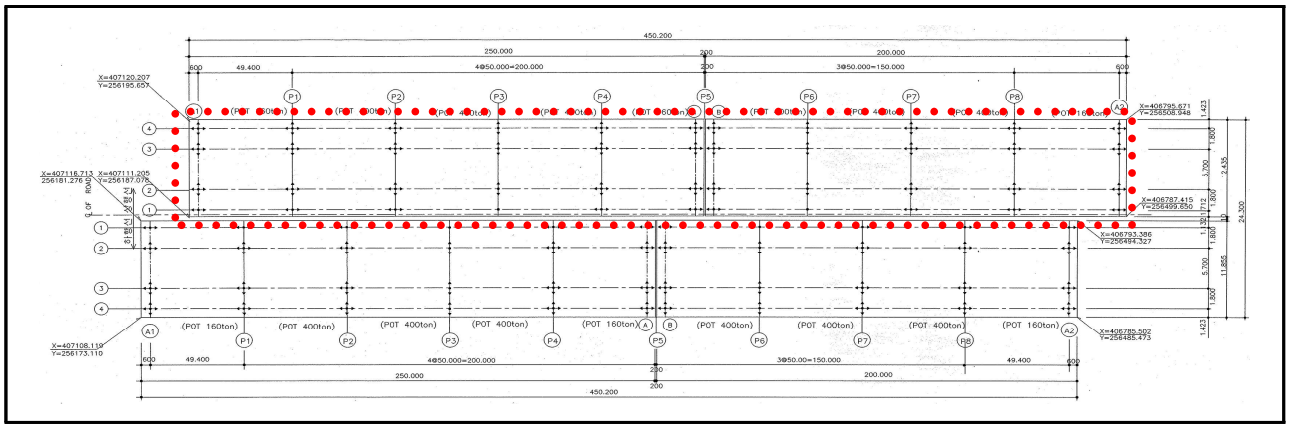
■ 균열, 망상균열 등의 손상에 대하여 균열의 형상, 방향성, 발생위치 등을 고려해 볼 때 시공초기 건조수축에 의해 발생한 손상으로 대부분 폭 0.2mm이하의 미세균열이며, 폭 0.3mm의 균열이 1개소 조사되었다. 균열부로의 우수 유입은 손상을 확대시킬 수도 있

으므로 교량등급 제고와 내구성 저하 방지를 위해 폭 0.3mm이상의 균열은 보수를 실시하고, 0.2㎜이하의 미세균열은 내구성 저하에는 크게 영향이 없으므로 지속관찰 한다.

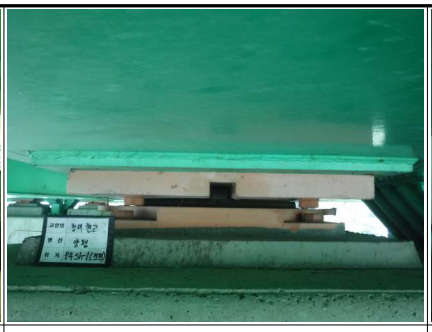
- P1 기둥부 하단에서 조사된 박락은 배수관 길이부족에 따른 우수 및 동결융해의 반복 등 장기간 외기에 노출된 콘크리트가 열화되어 발생한 손상이며, 현재 배수관이 연장된 상태이므로 내구성 확보를 위해 단면보수를 실시한다면 더 이상의 손상확대는 없을 것으로 판단된다.
- 파손, 재료분리 등은 시공초기 또는 공용 중 예기치 못한 외부충격, 우수 및 동결융해의 반복 등 장기간 외기에 노출된 콘크리트가 열화되어 발생한 손상이며, 손상의 정도가 교각의 안전성을 저해할 정도는 아닌 것으로 조사되었으나 확대손상 방지와 내구성 확보를 위해 단면을 복구하여야 한다.
- 기타 손상으로 P4과 P7에서 조사된 누수흔적, 표면오염은 배수관 길이부족에 의한 것으로 배수관의 길이연장이 되어 손상의 확대는 없는 것으로 나타났다. 하지만 P2에서 조사된 누수흔적은 현재 배수관의 길이부족으로 발생한 손상으로 배수관 길이연장이 필요한 상태이다.
- 백태는 콘크리트 내부의 백태가 노출된 것으로 내구성 확보 차원의 표면보수가 필요하다. 녹발생, 점검로 볼트부식 등은 보수의 의미는 없으므로 지속관찰한다.

## 다. 교량받침

청미천교(양평)의 교량받침은 교대(A1, A2)와 교각(P1~P4, P6~P8)에 각 4개씩 36개소와 교각(P5)에 8개소 총 44개 포트받침이 설치된 상태로서, 받침용량 160ton은 교대(A1, A2, P5), 400ton은 교각(P1~P4, P6~P8)에 시공된 것으로 조사되었다. 고정단은 교각 P3-Sh1, P6-Sh1에 설치되어 있으며, 교량받침 배치 현황은 다음과 같다.




【그림 3-4】 청미천교(양평) 교량받침 배치도

| | | |
|---|---|---|
| |  | |
| 교량받침 전경(P3-Sh1, 고정단) | 교량받침 전경(P4-Sh1, 일방향) | 교량받침 전경(A1-Sh3, 양방향) |

1) 외관조사 결과

【표 3-16】 교량받침 외관조사 결과(양평방향)

| 구분 | 받침 본체 | | | | 낙교방지시설 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 부식(㎡) | | 솔플레이트 부식(㎡) | | 볼트부식(㎡) | | 볼트이완(m) | 부식(㎡) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 개소 | 물량 | 개소 |
| A1 | 0.20 | 1 | - | - | - | - | - | - | - |
| A2 | 0.32 | 2 | - | - | - | - | - | - | - |
| P1 | - | - | 1.12 | 4 | - | - | - | - | - |
| P2 | - | - | 0.84 | 3 | - | - | - | - | - |
| P3 | 0.11 | 3 | - | - | - | - | - | 0.24 | 1 |
| P4 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| P5 | - | - | - | - | 0.56 | 56 | 1 | - | - |
| P6 | - | - | 0.08 | 1 | - | - | - | - | - |
| P7 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| P8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 합계 | 0.63 | 6 | 2.04 | 8 | 0.56 | 56 | 1 | 0.24 | 1 |

| 구분 | 낙교방지시설 | | 받침콘크리트, 받침몰탈 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 고무재탈락(m) | | 균열(cw=0.2mm이하) | | 철근노출(㎡) | | 파손(㎡) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 |
| A1 | - | - | - | - | - | - | 0.02 | 1 |
| A2 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| P1 | 1.00 | 2 | 0.20 | 2 | - | - | - | - |
| P2 | 1.00 | 2 | - | - | - | - | - | - |
| P3 | - | - | 0.20 | 2 | 0.02 | 1 | 0.04 | 1 |
| P4 | - | - | - | - | 0.02 | 2 | - | - |
| P5 | - | - | 0.50 | 2 | 0.03 | 3 | - | - |
| P6 | - | - | 0.50 | 2 | - | - | - | - |
| P7 | - | - | 0.60 | 4 | - | - | - | - |
| P8 | - | - | 1.00 | 6 | - | - | - | - |
| 합계 | 2.00 | 4 | 3.00 | 17 | 0.07 | 6 | 0.06 | 2 |

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦A2-Sh4 본체부식<br>원 인 ◦공용증가, 우수유입<br>대 책 ◦재도장</td><td>현 황 ◦P2-Sh4 솔플레이트 부식<br>원 인 ◦공용증가<br>대 책 ◦재도장</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦P5 낙교방지시설 볼트부식<br>원 인 ◦공용증가, 우수유입<br>대 책 ◦재도장</td><td>현 황 ◦P5 낙교방지시설 볼트이완<br>원 인 ◦시공미흡<br>대 책 ◦지속관찰</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦P1 낙교방지시설 고무재 탈락<br>원 인 ◦시공미흡, 경년증가<br>대 책 ◦지속관찰</td><td>현 황 ◦P8-Sh3 받침콘크리트 균열(cw=0.2mm)<br>원 인 ◦건조수축<br>대 책 ◦지속관찰</td></tr>
</table>

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | |
| **현 황** | ◦P5-Sh1(A2) 받침콘크리트 철근노출 | **현 황** | ◦P3-Sh 받침콘크리트 파손 |
| **원 인** | ◦시공미흡, 피복부족 | **원 인** | ◦외부충격 |
| **대 책** | ◦단면보수(방청) | **대 책** | ◦단면보수 |

3) 기 점검결과와의 비교 · 분석

■ 기 진단 결과를 검토한 결과, 기 진단 이후 보수가 실시되어 대부분의 손상에 대하여 수량이 감소한 것으로 확인되었다. 하지만 교량받침과 낙교방지시설의 부식은 경년증가에 따른 손상이 증가한 것으로 조사되었다.

【표 3-17】 교량받침 기 진단 결과 비교(양평방향)

| 결함 및 손상내용 | 2012년 진단 | | 금회 진단 | | 증 감 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | | | |
| 부식, 도장박리 | 3 | 0.29㎡ | 14 | 2.67㎡ | ▲ | 2.38㎡ | |
| 낙교방지시설 부식, 볼트부식 | 57 | 0.80㎡ | 57 | 0.80㎡ | | - | |
| 낙교방지시설 볼트이완 | - | 1EA | - | 1EA | | - | |
| 낙교방지시설 고무재 탈락 | - | - | 4 | 2.00m | ▲ | 2.00m | |
| 균열(cw=0.3mm미만) | 36 | 6.23m | 17 | 3.00m | ▼ | 3.23m | |
| 재료분리, 파손 | 3 | 0.08㎡ | 2 | 0.06㎡ | ▼ | 0.02㎡ | |
| 철근노출 | 45 | 0.27㎡ | 6 | 0.07㎡ | ▼ | 0.20㎡ | |

4) 검토 의견

■ 교량받침 본체 및 솔플레이트, 낙교방지시설 부식, 낙교방지시설 볼트이완, 고무재탈락, 받침몰탈 및 콘크리트 균열, 철근노출, 파손 등의 손상이 조사되었다.

■ 부식 및 볼트부식은 공용 년 수 증가 및 외부 환경적인 요인(강우)에 의해 발생된 것으로 판단되며, 내구성 저하방지를 위해 재도장를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단되며, 볼트이완의 경우 지속관찰 함이 바람직할것으로 판단된다.

■ 받침몰탈 및 콘크리트에 발생한 균열은 건조수축에 의한 비구조적인 손상으로 판단되며, 폭 0.2㎜이하의 미세균열은 내구성 저하에는 크게 영향이 없으므로 지속관찰 한다.

■ 철근노출은 시공미흡, 파손은 외부충격에 의한 것으로 판단되며, 손상정도가 경미하여 보수의 긴급성은 없으나, 내구성 확보를 위한 보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

■ 낙교방지시설 고무재 탈락은 시공미흡과 경년증가에 따른 노후화로 탈락된 상태로 조사되었으며, 보수보다는 유지관리 후 상태가 진전된다면 보수를 실시하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

5) 연단거리 검토

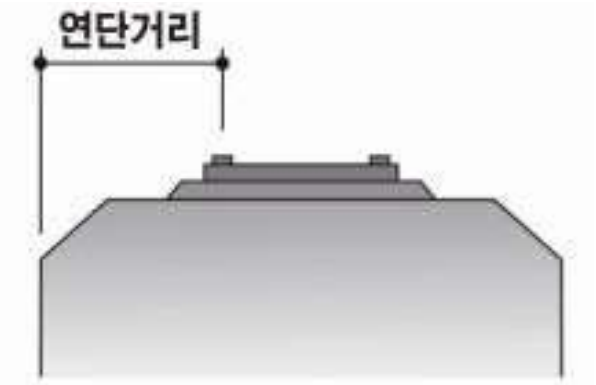
교량받침면은 받침을 통해 상부구조로부터 하중을 받는 곳이고 또한 지진시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 따라서 받침 끝에서 정부 연단까지의 거리가 작으면 고정단에서는 전단면에 연해서 콘크리트 구체 또는 받침이 파손될 수 있고, 가동단에서는 최악의 경우 받침이 벗어나 거더가 낙하할 수도 있다. 따라서 도로교설계기준에서는 상부구조의 길이에 따라 연단거리의 최소값을 정해놓았으며, 본 과업에서는 실제 시공된 연단거리와 설계 연단거리를 비교·검토하였다.

■ 거더의 경간길이 100m이하 : S = 200 + 5.0L

100m이상 : S = 300 + 4.0L (도로교설계기준)

여기서, S : 받침연단거리(㎜), L : 거더의 경간길이(m)

■ 연단거리 산출 -거더 경간길이(L=50.0m) : 200+5×50.0 = 450(㎜)




2010년 도로교설계기준

연단거리 측정 전경

【표 3-18】 연단거리 측정결과 (단위 : ㎜)(양평방향)

| 위치 | | 연단기준 | Sh1 | | Sh2 | | Sh3 | | Sh4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 측정 | 평가 | 측정 | 평가 | 측정 | 평가 | 측정 | 평가 |
| A1 | A1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | A2 | 450 | 570 | O.K | 570 | O.K | 570 | O.K | 570 | O.K |
| P1 | A1 | 450 | 1050 | O.K | 1060 | O.K | 1060 | O.K | 1050 | O.K |
| | A2 | 450 | 1070 | O.K | 1050 | O.K | 1090 | O.K | 1050 | O.K |
| P2 | A1 | 450 | 1080 | O.K | 1080 | O.K | 1080 | O.K | 1110 | O.K |
| | A2 | 450 | 1020 | O.K | 1030 | O.K | 1030 | O.K | 1010 | O.K |
| P3 | A1 | 450 | 1040 | O.K | 1040 | O.K | 1020 | O.K | 1020 | O.K |
| | A2 | 450 | 1040 | O.K | 1020 | O.K | 1030 | O.K | 1020 | O.K |
| P4 | A1 | 450 | 1020 | O.K | 1010 | O.K | 1010 | O.K | 1010 | O.K |
| | A2 | 450 | 1000 | O.K | 1030 | O.K | 1030 | O.K | 1030 | O.K |
| P5 | A1 | 450 | 640 | O.K | 660 | O.K | 650 | O.K | 660 | O.K |
| | A2 | 450 | 640 | O.K | 650 | O.K | 660 | O.K | 660 | O.K |
| P6 | A1 | 450 | 1070 | O.K | 1050 | O.K | 1070 | O.K | 1070 | O.K |
| | A2 | 450 | 1010 | O.K | 1020 | O.K | 1020 | O.K | 1010 | O.K |
| P7 | A1 | 450 | 1110 | O.K | 1110 | O.K | 1060 | O.K | 1060 | O.K |
| | A2 | 450 | 970 | O.K | 960 | O.K | 1040 | O.K | 1030 | O.K |
| P8 | A1 | 450 | 1020 | O.K | 1030 | O.K | 1070 | O.K | 1070 | O.K |
| | A2 | 450 | 1040 | O.K | 1040 | O.K | 1030 | O.K | 1030 | O.K |
| A2 | A1 | 450 | 540 | O.K | 550 | O.K | 550 | O.K | 550 | O.K |
| | A2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

■ 연단거리 측정 결과, 모든 교량받침 실측 연단거리가 계산 연단거리를 상회하고 있는 것으로 측정되어 도로교설계기준을 만족하고 있는 것으로 검토되었다.

6) 교량받침 가동량 측정

【표 3-19】 교량받침 가동량 측정방법(양평방향)

**평가 기준**

▣ 온도에 의한 가동량

$\Delta \ell t = \Delta T \times \alpha \times \ell$ (신축거더 길이)

$\Delta T$ = 온도변화(-20℃~+40℃) → Steel Box Girder교(한랭지방)

$\alpha$ = 선팽창계수($1.2\times10^{-5}$) → Steel Box Girder교

※ 한랭지방 적용근거

| | |
|---|---|
| **도로설계편람 (2000년)** | ■ 온도범위는 교량상부구조의 평균온도이며, 지역구분은 최근 5년간 최저기온 및 최고기온을 참조하여 결정(도로공사 연구보고서. 1993)<br>■ 대전 구미, 대구, 강릉, 논산, 전주, 광주, 순천, 진주, 마산, 창령, 고령, 동서울, 부산 |
| **기상청 통계자료** | ■ 최근 5년간 이천(기)의 일평균 최저 온도 : -14.2℃(2011. 1. 16.)<br>■ 설계편람 발간당시의 이천(기) 5년간 일평균 최저 온도 : -15.8℃(2001. 1. 15.)<br>■ 최근 5년간 평균 최저 온도 < 발간당시의 5년간 평균 최저 온도 |

▣ 활하중에 의한 보의 처짐에 의한 가동량

$\triangle l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$

여기서, $h_i$ : 받침의 회전중심에서 보의 중립축까지의 높이(2h/3)

$\theta_i$ : 보의 회전각(강교 1/150)

▣ 계산 가동량 산정

| | | | |
|---|---|---|---|
| **온도변화 범위** | -20℃ ~ +40℃ | **선팽창 계수($\alpha$)** | $1.2\times10^{-5}$ |
| **점검시 기온(℃)** | 2016. 08. 12.(1차)<br>2016. 10. 11.(2차) | 29.2(1차)<br>13.2(2차) | |
| **온도에 의한 가동량($\Delta \ell t$)** | $\Delta \ell t = \Delta T \times \alpha \times \ell$ | | |
| **보의 중립축까지 높이 2h/3(hi)** | $\frac{2}{3}\times2{,}500$ | | |
| **보의 회전각($\theta i$)** | 1/150(Steel Box Girder교) | | |
| **보의 처짐에 의한 가동량($\Delta \ell r$)** | $\triangle l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$ | | |

| **신축거더길이 (L)** | A1 | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 (시) | P5 (종) | P6 | P7 | P8 | A2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 150 | 100 | 50 | 0 | 50 | 100 | 50 | 0 | 50 | 100 | 150 |

※ 처짐에 의한 가동량은 신축거더 100m이상 교량의 단부에 팽창시만 고려하여 계산

① 교량받침 가동량 측정결과 및 가동 여유량 분석

포트받침으로 시공된 청미천교(양평) 교량받침에 대해 가동 여유량 부족으로 인한 교량받침의 기능저하를 방지하기 위해 가동 여유량을 실측하여 검토하였다.

가동받침 가동량 산정시 고려되는 항목은 활하중에 의한 보의 처짐, 온도변화, 건조수축, 크리프 등을 고려하여야 한다. 그러나 대상 교량은 준공 후 14년이 경과하였기 때문에 건조수축 및 크리프에 의한 변형은 완료된 것으로 판단하였으며, 활하중에 의한 거더의 처짐은 신축거더 길이 100m이상 교량의 단부에 적용 하였다.

【표 3-20】 교량받침 계산 가동량 산정(측정시 온도 기준)(양평방향)

| 구 분 | | 온도변화 (⊿T, ℃) | | 선팽창 계수 (α) | 신축 거더 길이 (L, m) | 온도 변화에 의한 가동량(㎜) | | 활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜) | 최대 받침 가동량(㎜) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 동절기 | 하절기 | | | 동절기 | 하절기 | | 동절기 (최대수축시) | 하절기 (최대신장시) |
| A1 | (1차) | 49.2 | 10.8 | 0.000012 | 150.0 | 88.6 | 19.4 | 11.1 | 88.6 | 30.5 |
| | (2차) | 33.2 | 26.8 | 0.000012 | 150.0 | 59.8 | 48.2 | 11.1 | 59.8 | 59.3 |
| P1 | (1차) | 49.2 | 10.8 | 0.000012 | 100.0 | 59.0 | 13.0 | - | 59.0 | 13.0 |
| | (2차) | 33.2 | 26.8 | 0.000012 | 100.0 | 39.8 | 32.2 | - | 39.8 | 32.2 |
| P2 | (1차) | 49.2 | 10.8 | 0.000012 | 50.0 | 29.5 | 6.5 | - | 29.5 | 6.5 |
| | (2차) | 33.2 | 26.8 | 0.000012 | 50.0 | 19.9 | 16.1 | - | 19.9 | 16.1 |
| P3 | 고정단 | | | | | | | | | |
| P4 | (1차) | 49.2 | 10.8 | 0.000012 | 50.0 | 29.5 | 6.5 | - | 29.5 | 6.5 |
| | (2차) | 33.2 | 26.8 | 0.000012 | 50.0 | 19.9 | 16.1 | - | 19.9 | 16.1 |
| P5 | A1(1차) | 49.2 | 10.8 | 0.000012 | 100.0 | 59.0 | 13.0 | 11.1 | 59.0 | 24.1 |
| | A1(2차) | 33.2 | 26.8 | 0.000012 | 100.0 | 39.8 | 32.2 | 11.1 | 39.8 | 43.3 |
| | A2(1차) | 49.2 | 10.8 | 0.000012 | 50.0 | 29.5 | 6.5 | - | 29.5 | 6.5 |
| | A2(2차) | 33.2 | 26.8 | 0.000012 | 50.0 | 19.9 | 16.1 | - | 19.9 | 16.1 |
| P6 | 고정단 | | | | | | | | | |
| P7 | (1차) | 49.2 | 10.8 | 0.000012 | 50.0 | 29.5 | 6.5 | - | 29.5 | 6.5 |
| | (2차) | 33.2 | 26.8 | 0.000012 | 50.0 | 19.9 | 16.1 | - | 19.9 | 16.1 |
| P8 | (1차) | 49.2 | 10.8 | 0.000012 | 100.0 | 59.0 | 13.0 | - | 59.0 | 13.0 |
| | (2차) | 33.2 | 26.8 | 0.000012 | 100.0 | 39.8 | 32.2 | - | 39.8 | 32.2 |
| A2 | (1차) | 49.2 | 10.8 | 0.000012 | 150.0 | 88.6 | 19.4 | 11.1 | 88.6 | 30.5 |
| | (2차) | 33.2 | 26.8 | 0.000012 | 150.0 | 59.8 | 48.2 | 11.1 | 59.8 | 59.3 |

1) 조사당시 온도 : 1차 29.2℃(조사일 : 2016년 08월 12일), 2차 13.2℃(조사일 : 2016년 10월 11일)
2) 검토온도 : -20℃ ~ 40℃(한랭지방)

금회 교량받침 측정은 눈금을 이용하여 측정하였으며, 가동 실측 여유량 측정결과와 계산 가동량을 비교한 결과는 다음과 같다.

② 교량받침 온도차에 따른 가동 여유량과 계산 가동량 비교

【표 3-21】 교량받침 온도차에 따른 가동 여유량과 계산 가동량 비교(단위 : ㎜)(양평방향)

| 위 치 | | 점검당시 실측이동량 (㎜) | 계산 최대 받침 가동량(㎜) | | 실측 받침 가동여유량(㎜) | | 평 가 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 최대수축 가동량 | 최대신장 가동량 | 수축여유량 | 신장여유량 | |
| A1 (1차) | Sh1 | 60(A1) | 88.6 | 30.5 | 140 | 20 | N.G |
| | Sh2 | 60(A1) | | | 140 | 20 | N.G |
| | Sh3 | 55(A1) | | | 135 | 25 | N.G |
| | Sh4 | 52(A1) | | | 132 | 28 | N.G |
| A1 (2차) | Sh1 | 25(A1) | 59.8 | 48.2 | 105 | 55 | O.K |
| | Sh2 | 23(A1) | | | 103 | 57 | O.K |
| | Sh3 | 33(A1) | | | 113 | 47 | N.G |
| | Sh4 | 32(A1) | | | 112 | 48 | N.G |
| P1 (1차) | Sh1 | 28(A1) | 59.0 | 13.0 | 78 | 22 | O.K |
| | Sh2 | 28(A1) | | | 78 | 22 | O.K |
| | Sh3 | 30(A1) | | | 80 | 20 | O.K |
| | Sh4 | 28(A1) | | | 78 | 22 | O.K |
| P1 (2차) | Sh1 | 5(A1) | 39.8 | 32.2 | 55 | 45 | O.K |
| | Sh2 | 2(A1) | | | 52 | 48 | O.K |
| | Sh3 | 8(A1) | | | 58 | 42 | O.K |
| | Sh4 | 5(A1) | | | 55 | 45 | O.K |
| P2 (1차) | Sh1 | 19(A1) | 29.5 | 6.5 | 99 | 61 | O.K |
| | Sh2 | 20(A1) | | | 100 | 60 | O.K |
| | Sh3 | 16(A1) | | | 96 | 64 | O.K |
| | Sh4 | 17(A1) | | | 97 | 63 | O.K |
| P2 (2차) | Sh1 | 9(A1) | 19.9 | 16.1 | 89 | 71 | O.K |
| | Sh2 | 7(A1) | | | 87 | 73 | O.K |
| | Sh3 | 5(A1) | | | 85 | 75 | O.K |
| | Sh4 | 4(A1) | | | 84 | 76 | O.K |
| P4 (1차) | Sh1 | 14(A2) | 29.5 | 6.5 | 94 | 66 | O.K |
| | Sh2 | 13(A2) | | | 93 | 67 | O.K |
| | Sh3 | 15(A2) | | | 95 | 65 | O.K |
| | Sh4 | 14(A2) | | | 94 | 66 | O.K |
| P4 (2차) | Sh1 | 1(A2) | 19.9 | 16.1 | 81 | 79 | O.K |
| | Sh2 | 0 | | | 80 | 80 | O.K |
| | Sh3 | 0 | | | 80 | 80 | O.K |
| | Sh4 | 0 | | | 80 | 80 | O.K |

【표 3-21】 교량받침 온도차에 따른 가동 여유량과 계산 가동량 비교(단위 : ㎜)(양평방향)(계속)

| 위 치 | | 점검당시 실측이동량 (㎜) | 계산 최대 받침 가동량(㎜) | | 실측 받침 가동여유량(㎜) | | 평 가 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 최대수축 가동량 | 최대신장 가동량 | 수축여유량 | 신장여유량 | |
| P5 A1 (1차) | Sh1 | 36(A2) | 59.0 | 24.1 | 136 | 64 | O.K |
| | Sh2 | 25(A2) | | | 125 | 75 | O.K |
| | Sh3 | 36(A2) | | | 136 | 64 | O.K |
| | Sh4 | 25(A2) | | | 125 | 75 | O.K |
| P5 A1 (2차) | Sh1 | 3(A2) | 39.8 | 43.3 | 103 | 97 | O.K |
| | Sh2 | 1(A2) | | | 101 | 99 | O.K |
| | Sh3 | 0 | | | 100 | 100 | O.K |
| | Sh4 | 2(A2) | | | 102 | 98 | O.K |
| P5 A2 (1차) | Sh1 | 8(A1) | 29.5 | 6.5 | 88 | 72 | O.K |
| | Sh2 | 12(A1) | | | 92 | 68 | O.K |
| | Sh3 | 12(A1) | | | 92 | 68 | O.K |
| | Sh4 | 10(A1) | | | 90 | 70 | O.K |
| P5 A2 (2차) | Sh1 | 3(A1) | 19.9 | 16.1 | 83 | 77 | O.K |
| | Sh2 | 1(A1) | | | 81 | 79 | O.K |
| | Sh3 | 2(A1) | | | 82 | 78 | O.K |
| | Sh4 | 4(A1) | | | 84 | 76 | O.K |
| P7 (1차) | Sh1 | 17(A2) | 29.5 | 6.5 | 97 | 63 | O.K |
| | Sh2 | 13(A2) | | | 93 | 67 | O.K |
| | Sh3 | 15(A2) | | | 95 | 65 | O.K |
| | Sh4 | 16(A2) | | | 96 | 64 | O.K |
| P7 (2차) | Sh1 | 9(A2) | 19.9 | 16.1 | 89 | 71 | O.K |
| | Sh2 | 4(A2) | | | 84 | 76 | O.K |
| | Sh3 | 7(A2) | | | 87 | 73 | O.K |
| | Sh4 | 8(A2) | | | 88 | 72 | O.K |
| P8 (1차) | Sh1 | 23(A2) | 59.0 | 13.0 | 103 | 57 | O.K |
| | Sh2 | 20(A2) | | | 100 | 60 | O.K |
| | Sh3 | 20(A2) | | | 100 | 60 | O.K |
| | Sh4 | 22(A2) | | | 102 | 58 | O.K |
| P8 (2차) | Sh1 | 0 | 39.8 | 32.2 | 80 | 80 | O.K |
| | Sh2 | 0 | | | 80 | 80 | O.K |
| | Sh3 | 0 | | | 80 | 80 | O.K |
| | Sh4 | 0 | | | 80 | 80 | O.K |

【표 3-21】 교량받침 온도차에 따른 가동 여유량과 계산 가동량 비교(단위 : ㎜)(양평방향)(계속)

| 위 치 | | 점검당시 실측이동량 (㎜) | 계산 최대 받침 가동량(㎜) | | 실측 받침 가동여유량(㎜) | | 평 가 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 최대수축 가동량 | 최대신장 가동량 | 수축여유량 | 신장여유량 | |
| A2 (1차) | Sh1 | 50(A2) | 88.6 | 30.5 | 160 | 0 | N.G |
| | Sh2 | 50(A2) | | | 160 | 0 | N.G |
| | Sh3 | 48(A2) | | | 158 | 2 | N.G |
| | Sh4 | 48(A2) | | | 158 | 2 | N.G |
| A2 (2차) | Sh1 | 15(A2) | 59.8 | 48.2 | 125 | 35 | N.G |
| | Sh2 | 18(A2) | | | 128 | 32 | N.G |
| | Sh3 | 18(A2) | | | 128 | 32 | N.G |
| | Sh4 | 18(A2) | | | 128 | 32 | N.G |

- 교량받침의 이동량을 검토한 결과, 대부분 충분한 가동 여유량을 확보하고 있는 것으로 평가되었다. 다만, A1, A2의 받침 이동량은 계산에 의한 최대 받침이동량(신장시)이 받침 이동허용량을 고려한 받침 가동여유량(신장시)을 초과하는 것으로 검토되었다.
- 가동여유량 부족은 1차와 2차 조사결과 정상적인 가동상태를 보이고 있어 받침장치 설치 시 발생한 프리셋팅 오류로 판단된다. 가동흔적 조사결과, 기능상에 문제가 없고 이동여유량 부족으로 인한 이상변위 및 기타손상(받침들뜸 및 파손, 받침장치 주변 부재의 파손 및 변형, 받침편기 등)이 없으며, 현재 교량의 안전성 및 사용성에 문제가 없으므로, 경제성을 고려하여 교체보다는 현상유지가 타당할 것으로 판단된다. 그러나 여유량 부족으로 인한 받침장치 및 거더 등에 손상발생 가능성을 배제할 수 없으므로 중점유지관리 사항으로 선정하여 점검 시 이상유·무를 확인할 수 있도록 중점유지관리가 필요할 것으로 사료된다.

A2-Sh4 받침 이동위치 측정

A2-Sh4 가동흔적

■ 교량받침의 이동위치는 2회(1차:29.2℃(8월12일), 2차:13.2℃(10월11일))에 걸쳐 측정하였으며, 온도 변화에 따른 이동량 측정결과, 계산 이동량과 차이는 있으나, 전반적으로 양호한 거동상태를 보이고 있는 것으로 평가되었다.

③ 온도차에 따른 이론 수축량과 실제 수축량 가동 여부 비교

【표 3-22】 온도차에 따른 이론 수축량과 실제 수축량 가동 여부 비교(단위 : ㎜)(양평방향)

| 위치 | 1차온도 | 2차온도 | 온도차 | 거더길이 | 이론수축량(A) | 실측수축량(B) | 비고 (A/B)×100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A1 | 29.2 | 13.2 | 16.0 | 150.0 | 28.8 | 37.0 | 77.8 |
| P1 | 29.2 | 13.2 | 16.0 | 100.0 | 19.2 | 26.0 | 73.8 |
| P2 | 29.2 | 13.2 | 16.0 | 50.0 | 9.6 | 13.0 | 73.8 |
| P4 | 29.2 | 13.2 | 16.0 | 50.0 | 9.6 | 15.0 | 64.0 |
| P5(A1) | 29.2 | 13.2 | 16.0 | 100.0 | 19.2 | 36.0 | 53.3 |
| P5(A2) | 29.2 | 13.2 | 16.0 | 50.0 | 9.6 | 11.0 | 87.3 |
| P7 | 29.2 | 13.2 | 16.0 | 50.0 | 9.6 | 9.0 | 106.7 |
| P8 | 29.2 | 13.2 | 16.0 | 100.0 | 19.2 | 23.0 | 83.5 |
| A2 | 29.2 | 13.2 | 16.0 | 150.0 | 28.8 | 35.0 | 82.3 |

■ 교량받침에 대한 기온이 10도 이상 차이나는 2일을 산정하여 현장에서 측정한 결과와 이론 수축량 대비 받침 가동상태는 양호한 것으로 분석되었다.

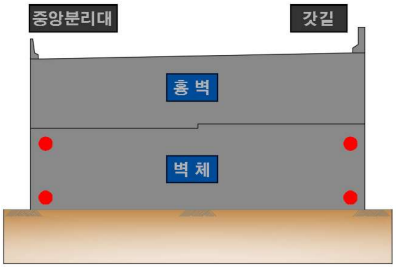
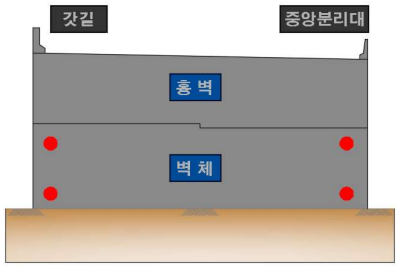
### 3.2.4 교대 기울기

공용중인 교량의 교대 측방유동 및 밀림의 영향으로 교대 기울음이 발생할 수 있다. 따라서 교대 주변의 현상과 장기적인 추적조사를 통하여 교대의 이동 및 회전현상을 파악할 수 있는데 기존 정밀점검 Data와 비교 분석 및 금회 광파기 및 경사계를 이용하여 측정한 자료를 초기 값으로 하여 향후 교대의 기울기 변화를 지속적으로 관찰할 수 있도록 하였다.

#### 가. 광파기를 이용한 측정

교대의 기울기 및 변위를 관찰하고자 교대 A1, A2 흉벽 및 구체에 4개의 측점을 선정하여 설치하고 광기를 이용하여 측정하였다.

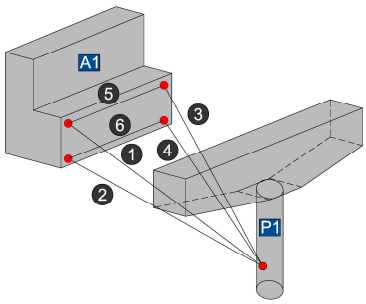
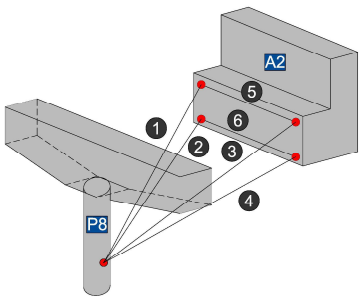
1) 측량 위치 및 측량 전경

| 측정 위치 | | 측정 전경 |
|---|---|---|
| A1 교대 | A2 교대 | |
|  |  | |



2) 측량 결과 및 분석

【표 3-23】 광파기를 이용한 측량 결과(양평방향)

| 좌표 모식도(A1) | 좌표 모식도(A2) | 좌표 전경 |
|---|---|---|
|  |  | |



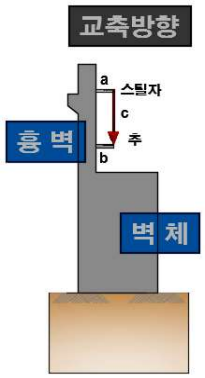
| 측정일자 | 위치 | 측정 결과 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ |
| 2016.10.10 | 교대 A1 | 47.9106 | 47.8089 | 48.0091 | 47.8849 | 12.0649 | 12.0582 |
| | 교대 A2 | 47.8563 | 47.7721 | 47.7891 | 47.6878 | 12.0378 | 12.0937 |

교대 A1, A2에 대한 측정결과를 향후 진단 시 활용할 수 있도록 위 표와 같이 나타내었다.

## 나. 다림추를 이용한 측정

교대의 기울기 및 변위를 관찰하고자 교대 A1, A2 흉벽에 다짐추를 이용하여 측정하였다.

1) 측정 위치 및 측정 전경



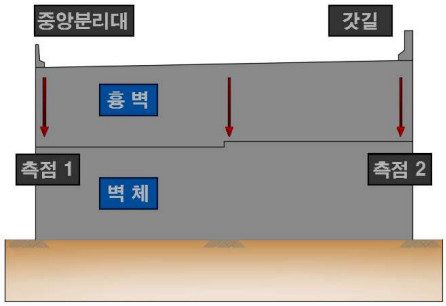
- a : 상단 이격거리(mm), 스틸자 사용
- b : 하단 이격거리(mm), 교대 흉벽에서 추의 거리
- c : 줄의 총 길이(mm)

$$\text{경사}(d) = \frac{(b-a)}{c}(\%)$$

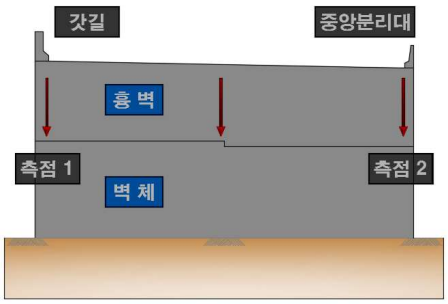
- 경사 부호

: (−)부호일 경우 ◿(교대가 흉벽측으로 기울음)

: (+)부호일 경우 ◹(교대가 교각측으로 기울음)




A1 교대 기울기 측정 위치




A2 교대 기울기 측정 위치

2) 측정 결과 및 분석

【표 3-24】 다림추를 이용한 기울기 결과(양평방향)

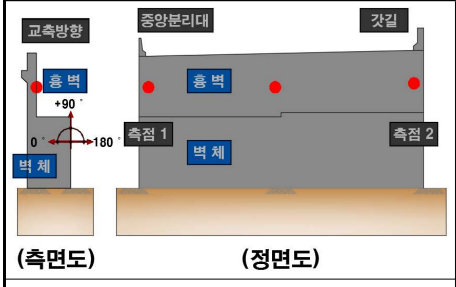
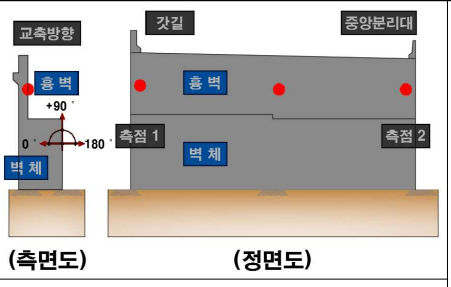
| 구 분 | | 교대 기울기 측정 결과(단위 : mm) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ① | | ② | | ③ | |
| | | 금회 | 전회 | 금회 | 전회 | 금회 | 전회 |
| A1 | 상단 이격거리(a) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | 하단 이격거리(b) | 98 | 106 | 101 | 100 | 99 | 85 |
| | 줄의 총 길이(c) | 1000 | 2300 | 1000 | 2300 | 1000 | 2300 |
| | 경사(d) | −0.20% | 0.26% | 0.10% | 0.00% | 0.10% | −0.65% |
| A2 | 상단 이격거리(a) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | 하단 이격거리(b) | 99 | 96 | 101 | 122 | 100 | 106 |
| | 줄의 총 길이(c) | 1000 | 2300 | 1000 | 2300 | 1000 | 2300 |
| | 경사(d) | −0.10% | −0.17% | 0.10% | 0.96% | 0.00% | 0.26% |

A1 교대는 -0.20~+0.10%의 경사가 측정되었고, A2 교대는 -0.10~+0.10%의 경사가 측정되었다. A1의 기울기는 흉벽측으로 다소 기울어져 있으며, A2는 배면측으로 기울어져 있는 것으로 확인이 되었고 신축이음 유간을 만족하고 흉벽 시공 시 거푸집 변형 및 콘크리트면이 일정하지 않는 오차로서 수평이동에 대한 영향은 미미한 것으로 분석되었다. 또한, 기 점검 결과와 유사한 것으로 분석되었다.

## 다. 경사계 및 디지털 카메라를 이용한 측정

■ 교량의 A1, A2에 대해서는 『디지털 카메라를 이용한 토목구조물 안전진단장치(특허등록번호 : 10-1619407), 디지털 카메라를 이용한 토목구조물 안전진단장치의 운용방법(특허등록번호 : 10-1619412)』을 이용하여 직립도(기울기)를 측정하였고 경사계로 측정된 값과 비교하였다.

1) 측정 위치 및 전경

| 측정 위치 | | 측정전경 |
|---|---|---|
|  |  | |
| A1 교대 | A2 교대 | |

2) 디지털 카메라를 이용한 측정

디지털 카메라 직립도 측정 전경

디지털 카메라 직립도 측정결과

3) 측정결과 및 분석

【표 3-25】 경사계를 이용한 기울기 결과(양평방향)

| 구 분 | | | 설계기울기 (o) | 측정기울기(o) | | | 기울기오차 (o) | 각변위 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 측점 1 | 측점 2 | Max 값 | | |
| A1 | 흉벽 | 교축방향 | 90.00 | -89.80 | -90.00 | -89.80 | 0.20 | 1/286 |
| A2 | 흉벽 | 교축방향 | 90.00 | -90.05 | -89.95 | -89.95 | 0.05 | 1/1146 |

※ 각변위에서 (+)는 교대 전면방향으로 경사 발생, (-)는 교대 배면방향으로 경사 발생.

【표 3-26】 교대 직립도(기울기-디지털 카메라) 측정 결과(양평방향)

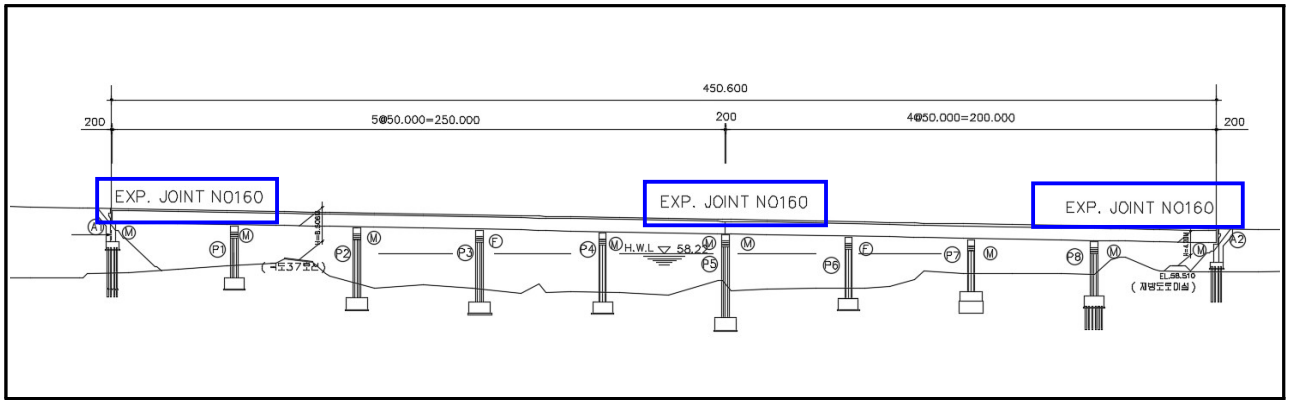
| 구 분 | | | 설계기울기 (o) | 측정기울기(o) | | 기울기오차 (o) | 각변위 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 측점1 | 환산 | | |
| A1 | 흉벽 | 교축방향 | 90.00 | -0.165063 | -89.84 | 0.16 | 1/358 |
| A2 | 흉벽 | 교축방향 | 90.00 | -0.033749 | -89.97 | 0.03 | 1/1910 |

※ 각변위에서 (+)는 교대 전면방향으로 경사 발생, (-)는 교대 배면방향으로 경사 발생.

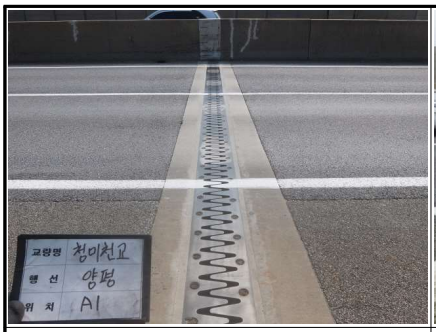
디지털 카메라와 전자경사계를 이용한 기울기 측정결과 교대 구체 A1 및 A2 모두 허용변위 내의 각 변위를 보이고 있어 양호한 상태인 것으로 조사되었다.

## 3.2.5 신축이음 장치

청미천교(양평)의 신축이음장치는 A1, P5, A2에 강핑거 조인트가 설치되어 있으며 신축이음 배치 현황은 다음과 같다.

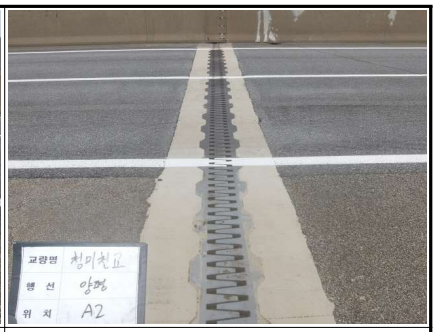



【그림 3-5】 청미천교(양평) 신축이음 배치도




신축이음장치 전경(A1)

신축이음장치 전경(P5)




신축이음장치 전경(A2)

1) 외관조사 결과

【표 3-27】 신축이음장치 외관조사 결과(양평방향)

| 구분 | 본체 | | 커버플레이트 | 후타재 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 유간토사퇴적(m) | | 탈락(개소) | 균열(Cw=0.1㎜)(m) | | 균열(Cw=0.2㎜)(m) | |
| | 물량 | 개소 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 |
| A1 | - | - | 1 | 1.00 | 2 | 2.70 | 9 |
| P5 | 11.00 | 1 | 1 | - | - | - | - |
| A2 | 1.20 | 1 | - | 8.90 | 20 | - | - |
| **합계** | **12.20** | **2** | **2** | **9.90** | **22** | **2.70** | **9** |

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td colspan="2"> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦P5 유간토사퇴적</td><td>현 황</td><td>◦A1 커버플레이트 탈락</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦공용증가</td><td>원 인</td><td>◦외부충격</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦주기적인 청소</td><td>대 책</td><td>◦재설치</td></tr>
<tr><td colspan="2"> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦P5 커버플레이트 탈락</td><td>현 황</td><td>◦A1 후타재 균열(0.2㎜/0.2m)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦외부충격</td><td>원 인</td><td>◦건조수축, 중차량 통과</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦재설치</td><td>대 책</td><td>◦지속관찰</td></tr>
</table>

3) 기 점검결과와의 비교 · 분석

■ 청미천교(양평)의 신축이음은 2013년과 2014년에 모두 교체되어 기 점검 결과비교가 불가한 상태이다.

4) 검토 의견

■ 신축이음 본체는 부식, 유간토사퇴적이 조사되었으며, 후타재의 균열과 커버플레이트 탈락이 조사되었다.

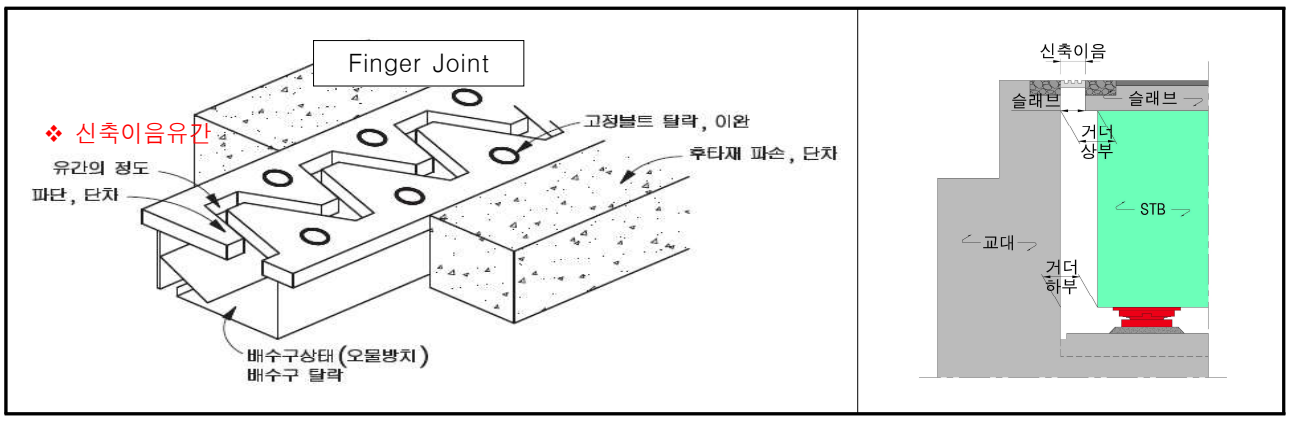
■ 신축이음장치의 본체는 2013년과 2014년 레일조인트에서 강핑거조인트로 교체되어 매우 양호한 상태이며, 가동상태와 유간량은 거더가 최대로 신장할 경우에 만족하는 것으로 분석되었다. 또한 하부 고무재 파손, 단차 등의 손상이 조사되지 않는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.

■ 신축이음 유간 토사퇴적은 주행차량의 충격과 마찰로 인해 신축이음 본체 파손과 누수를 유발시켜 상 · 하부구조의 열화 및 교량받침 부식 등의 손상을 초래하게 되므로 정기적인 청소와 유지관리가 필요하다. 또한 커버플레이트 탈락은 강우시 우수의 하부유입으로 인한 교량받침과 하부구조의 손상이 우려되므로 재설치가 필요하다.

■ 후타재 균열은 시공초기 건조수축, 공용 중 차량의 반복하중에 의한 손상으로 내구성 및 차량의 주행성 확보 차원의 표면처리보수가 요구된다.

5) 신축량 조사 및 평가

① 계산 신축량 산정



| | | |
|---|---|---|
| 신축이음장치 유간 측정 | 슬래브 및 거더 상부 유간 측정 | 거더 하부 유간 측정 |

【표 3-28】 계산 신축량 산정(양평방향)

**평가 기준**

▣ 온도에 의한 가동량

$\Delta \ell t = \Delta T \times \alpha \times \ell$ (신축거더 길이)

$\Delta T$ = 온도변화(-20℃~+40℃) → Steel Box Girder교(한랭지방)

$\alpha$ = 선팽창계수(1.2×10-5) → Steel Box Girder교

※ 한랭지방 적용근거

| | |
|---|---|
| **도로설계편람 (2000년)** | ■ 온도범위는 교량상부구조의 평균온도이며, 지역구분은 최근 5년간 최저기온 및 최고기온을 참조하여 결정(도로공사 연구보고서. 1993)<br>■ 대전 구미, 대구, 강릉, 논산, 전주, 광주, 순천, 진주, 마산, 창령, 고령, 동서울, 부산 |
| **기상청 통계자료** | ■ 최근 5년간 이천(기)의 일평균 최저 온도 : -14.2℃(2011. 1. 16.)<br>■ 설계편람 발간당시의 이천(기) 5년간 일평균 최저 온도 : -15.8℃(2001. 1. 15.)<br>■ 최근 5년간 평균 최저 온도 < 발간당시의 5년간 평균 최저 온도 |

▣ 활하중에 의한 보의 처짐에 의한 가동량

$\triangle l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$

여기서, $h_i$ : 받침의 회전중심에서 보의 중립축까지의 높이(1h/3)

$\theta_i$ : 보의 회전각(강교 1/150)

▣ 계산 가동량 산정

| | | | |
|---|---|---|---|
| **온도변화 범위** | -20℃ ~ +40℃ | **선팽창 계수($\alpha$)** | $1.2\times10^{-5}$ |
| **점검시 기온(℃)** | 2016. 08. 12.(1차)<br>2016. 10. 10.(2차) | 29.2(1차)<br>11.6(2차) | |
| **온도에 의한 가동량($\Delta \ell t$)** | $\Delta \ell t = \Delta T \times \alpha \times \ell$ | | |
| **보의 중립축까지 높이 1h/3(hi)** | $\frac{1}{3}\times2{,}500$ | | |
| **보의 회전각($\theta$i)** | 1/150(Steel Box Girder교) | | |
| **보의 처짐에 의한 가동량($\Delta \ell r$)** | $\triangle l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$ | | |

| **신축거더길이(L)** | A1 | P5 | A2 |
|---|---|---|---|
| | 150.0 | 150.0 | 150.0 |

※ 처짐에 의한 가동량은 신축거더 100m이상 교량의 단부에 수축시만 고려하여 계산

② 신축이음 유간거리 산정

【표 3-29】 신축이음 유간거리 산정(양평방향)

| 위치 | | 측정시 온도 (℃) | 온도변화(⊿T) | | 선팽창 계수 | 신축거더 길이(m) | 거더높이 (m) | 최대 신축량(㎜) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 동절기 (℃) | 하절기 (℃) | | | | 동절기 (최대수축시) | 하절기 (최대팽창시) |
| A1 | 1차 | 29.2 | -49.2 | 10.8 | 0.000012 | 150.0 | 2.50 | 88.6 | 19.4 |
| | 2차 | 11.6 | -31.6 | 28.4 | 0.000012 | 150.0 | 2.50 | 56.9 | 51.1 |
| P2 | 1차 | 29.2 | -49.2 | 10.8 | 0.000012 | 150.0 | 2.50 | 88.6 | 19.4 |
| | 2차 | 11.6 | -31.6 | 28.4 | 0.000012 | 150.0 | 2.50 | 56.9 | 51.1 |
| A2 | 1차 | 29.2 | -49.2 | 10.8 | 0.000012 | 150.0 | 2.50 | 88.6 | 19.4 |
| | 2차 | 11.6 | -31.6 | 28.4 | 0.000012 | 150.0 | 2.50 | 56.9 | 51.1 |

③ 신축이음 유간거리 측정결과

【표 3-30】 신축이음 유간거리 측정결과(단위 : ㎜)(양평방향)

| 부 재 | | 신축이음장치 (A) | 바닥판(B) | Steel Box Girder | | 장치종류 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 상부(C) | 하부(B) | |
| Exp.J1(A1) | 1차 | 67.0 | 125.0 | 250.0 | 225.0 | Finger Joint, NO.160 |
| | 2차 | 91.0 | 155.0 | 275.0 | 250.0 | |
| Exp.J2(P2) | 1차 | 64.0 | 110.0 | 390.0 | 368.0 | Finger Joint, NO.160 |
| | 2차 | 95.0 | 143.0 | 425.0 | 400.0 | |
| Exp.J3(A2) | 1차 | 54.0 | 125.0 | 285.0 | 270.0 | Finger Joint, NO.160 |
| | 2차 | 81.0 | 145.0 | 310.0 | 297.0 | |

【표 3-31】 신축이음 유간거리 검토결과(양평방향)

| 부 재 | | | 측정유간 (㎜) | 계산 신축량(㎜) | | 허용신장량 (㎜) | 신축 여유량(㎜) | | 평가 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 수축 | 팽창 | | 수축 | 팽창 | |
| Exp.J1 (A1) | 1차 | A | 67.0 | 88.6 | 19.4 | 160.0 | 93.0 | 67.0 | O.K |
| | | B | 125.0 | | | | - | 125.0 | |
| | | C | 250.0 | | | | - | 250.0 | |
| | | D | 225.0 | | | | - | 225.0 | |
| | 2차 | A | 91.0 | 56.9 | 51.1 | 160.0 | 69.0 | 91.0 | O.K |
| | | B | 155.0 | | | | - | 155.0 | |
| | | C | 275.0 | | | | - | 275.0 | |
| | | D | 250.0 | | | | - | 250.0 | |

【표 3-31】 신축이음 유간거리 검토결과(양평방향)(계속)

| 부 재 | | | 측정유간 (㎜) | 계산 신축량(㎜) | | 허용신장량 (㎜) | 신축 여유량(㎜) | | 평가 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 수축 | 팽창 | | 수축 | 팽창 | |
| Exp.J2 (P2) | 1차 | A | 64.0 | 88.6 | 19.4 | 160.0 | 96.0 | 64.0 | O.K |
| | | B | 110.0 | | | | - | 110.0 | |
| | | C | 390.0 | | | | - | 390.0 | |
| | | D | 368.0 | | | | - | 368.0 | |
| | 2차 | A | 95.0 | 56.9 | 51.1 | 160.0 | 65.0 | 95.0 | O.K |
| | | B | 143.0 | | | | - | 143.0 | |
| | | C | 425.0 | | | | - | 425.0 | |
| | | D | 400.0 | | | | - | 400.0 | |
| Exp.J2 (A2) | 1차 | A | 54.0 | 88.6 | 19.4 | 160.0 | 106.0 | 54.0 | O.K |
| | | B | 125.0 | | | | - | 125.0 | |
| | | C | 285.0 | | | | - | 285.0 | |
| | | D | 270.0 | | | | - | 270.0 | |
| | 2차 | A | 81.0 | 56.9 | 51.1 | 160.0 | 79.0 | 81.0 | O.K |
| | | B | 145.0 | | | | - | 145.0 | |
| | | C | 310.0 | | | | - | 310.0 | |
| | | D | 297.0 | | | | - | 297.0 | |

※ 신축여유량(팽창)=측정유간-계산신축량(팽창), 신축여유량(수축)=허용신장량-측정유간-계산신축량(수축)
※ 신축여유량 > 0인 경우 양호
※ A : 신축이음장치, B : 바닥판, C : Steel Box 상부, D : Steel Box 하부

④ 기 점검결과와의 비교 · 분석

■ 기 진단(2012년)과 금회 신축이음 여유량 검토 결과 A1~A2 모두 유간은 충분히 만족하는 것으로 평가되었다.

⑤ 온도차에 따른 이론 수축량과 실제 수축량 가동 여부 비교

【표 3-32】 온도차에 따른 이론 수축량과 실제 수축량 가동 여부 비교(단위 : ㎜)(양평방향)

| 위치 | 1차온도 | 2차온도 | 온도차 | 거더길이 | 온도차 이론 수축량(A) | 온도차 실측수축량(B) | 비고 (A/B)×100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A1 | 29.2 | 11.6 | 17.6 | 150.0 | 31.7 | 24.0 | 132.08 |
| P2 | 29.2 | 11.6 | 17.6 | 150.0 | 31.7 | 31.0 | 102.26 |
| A2 | 29.2 | 11.6 | 17.6 | 150.0 | 31.7 | 27.0 | 117.41 |

■ 신축이음장치에 대한 기온이 10도 이상 차이나는 2일을 산정하여 현장에서 측정한 결과와 이론 수축량 대비 신축이음의 가동 상태는 양호한 것으로 분석되었다.

## 3.2.6 교면포장

바닥판 상면에 위치하여 차량에서 발생하는 진동을 흡수·분산시키고, 외부의 불리한 환경조건에 대해서 바닥판을 보호하는 역할을 하는 교면포장은 아스팔트콘크리트 포장으로 시공되어 있다.

교면포장의 상태는 청음조사 확인결과 포장 들뜸이 일부 조사되었다. 코아채취에 의한 아스콘(교면방수) 및 바닥판 콘크리트 상태조사는 S7경간에서 확인하였으며 포장두께는 80.0㎜로 준공도면(t=80㎜)과 동일하며, 바닥판의 재료열화와 같은 손상이 발생되지 않은 양호한 상태이다. 콘크리트 코어시편은 염화물시험을 위한 시료로 활용하였다.

교면포장 전경

교면포장 두께 측정(t=80mm)

1) 외관조사 결과

【표 3-33】 교면포장 외관조사 결과(양평방향)

| 구분 | 포장불량 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 마모(㎡) | | 소성변형(㎡) | | 파손(㎡) | | 패임(㎡) | | 포장균열(m) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 |
| S1 | - | - | 3.50 | 1 | - | - | 0.01 | 1 | 9.50 | 3 |
| S2 | - | - | 14.50 | 1 | - | - | - | - | 29.00 | 1 |
| S3 | 1.00 | 1 | 25.00 | 1 | 0.09 | 1 | - | - | 21.00 | 1 |
| S4 | - | - | 30.00 | 1 | - | - | 0.16 | 3 | 20.00 | 1 |
| S5 | - | - | 25.00 | 1 | - | - | - | - | 1.00 | 1 |
| S6 | 12.80 | 1 | 30.00 | 1 | - | - | - | - | - | - |
| S7 | 6.00 | 1 | 30.00 | 1 | - | - | 0.67 | 3 | 28.50 | 4 |
| S8 | - | - | 30.00 | 1 | - | - | - | - | 50.00 | 1 |
| S9 | - | - | 30.00 | 1 | - | - | - | - | 50.00 | 1 |
| **합계** | **19.80** | **3** | **218.00** | **9** | **0.09** | **1** | **0.84** | **7** | **209.00** | **13** |

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦S3 교면포장 마모<br>원 인 ◦시공미흡(다짐불량), 중차량 통과<br>대 책 ◦팻칭보수</td><td>현 황 ◦S2 교면포장 소성변형<br>원 인 ◦시공미흡(다짐불량), 중차량 통과<br>대 책 ◦절삭 후 사토</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦S3 교면포장 아스콘 파손<br>원 인 ◦시공미흡(다짐불량), 중차량 통과<br>대 책 ◦팻칭보수</td><td>현 황 ◦S4 교면포장 아스콘 패임<br>원 인 ◦차량충돌<br>대 책 ◦팻칭보수</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦S7 교면포장 아스콘 패임<br>원 인 ◦차량충돌<br>대 책 ◦팻칭보수</td><td>현 황 ◦S8 교면포장 아스콘 균열<br>원 인 ◦다짐불량, 중차량 통과<br>대 책 ◦실링보수</td></tr>
</table>

3) 기 점검결과와의 비교 · 분석

■ 기 진단 결과를 검토한 결과, 공용 년 수 증가와 지속적인 차량통행에 의한 노후화로 손상물량이 전반적으로 증가한 상태이며, 파손, 패임이 일부 조사되었다.

【표 3-34】 교면포장 기 진단 결과 비교(양평방향)

| 결함 및 손상내용 | 2012년 진단 | | 금회 진단 | | 증 감 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | | | |
| 균열 | 10 | 82.00m | 13 | 209.00m | ▲ | 127.00m | |
| 소성변형 | 5 | 66.00㎡ | 9 | 218.00㎡ | ▲ | 152.00㎡ | |
| 마모 | 4 | 27.80㎡ | 3 | 19.80㎡ | ▼ | 19.80㎡ | |
| 파손, 패임 | - | - | 8 | 0.93㎡ | ▲ | 0.93㎡ | |

4) 검토 의견

■ 교면포장에는 마모, 소성변형, 파손, 패임, 포장균열 등의 손상이 조사되었다. 이들 손상은 차량의 반복하중 및 아스콘 노후화 등에 의해 발생한 것이며, 현재 주행차량의 안전성에는 문제가 없으나 구조물의 내구성 차원에서 포장균열은 실링보수, 마모, 파손, 패임은 팻칭보수 함이 바람직하며, 소성변형은 차량의 주행성 확보차원의 절삭 등의 보수가 필요하다.

## 3.2.7 기타부재

### 가. 배수시설

배수시설은 우수 유입에 따른 열화방지를 위해 일정한 곳으로 물을 배출하기 위한 시설로서, 청미천교(양평)의 배수시설은 각각의 경간 상부에 설치된 집수구를 통하여 배수관을 따라 하부로 배수되도록 설치되어 있다.

【그림 3-6】 배수시설 현황(양평방향)

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>배수구 전경</td><td>배수관 전경</td></tr>
</table>

1) 외관조사 결과

【표 3-35】 배수시설 외관조사 현황(양평방향)

| 구분 | 배수관 길이부족 | 배수관 볼트탈락 | 유도배수관설치 필요 |
|---|---|---|---|
| | 개소 | 개소 | 개소 |
| S1 | - | - | - |
| S2 | 1 | - | - |
| S3 | - | - | - |
| S4 | - | - | 1 |
| S5 | - | - | - |
| S6 | 1 | - | 1 |
| S7 | - | - | - |
| S8 | - | - | 1 |
| S9 | - | 1 | - |
| **합계** | **2** | **1** | **3** |

2) 손상별 원인분석

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | |
| **현 황** | ◦S6 배수관 길이부족 | **현 황** | ◦S9 배수관 볼트탈락 |
| **원 인** | ◦시공미흡 | **원 인** | ◦시공미흡 |
| **대 책** | ◦배수관 연장 | **대 책** | ◦재설치 |

3) 기 점검결과와의 비교 · 분석

■ 기 진단 결과를 검토한 결과, 지속적인 유지관리가 이루어지고 있는 관계로 배수관 길이연장과 유공관 유도배수관 설치 등의 보수가 이루어져 손상은 감소한 상태이다. 하지만 보수누락, 연장부 볼트탈락 등으로 일부 손상이 남아있는 것으로 파악되었다.

【표 3-36】 교면포장 기 진단 결과 비교(양평방향)

| 결함 및 손상내용 | 2012년 진단 | | 금회 진단 | | 증 감 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | | | |
| 이물질 및 토사퇴적 | - | 1EA | - | - | ▼ | 1EA | |
| 배수관 길이부족 | - | 11EA | - | 2EA | ▼ | 9EA | |
| 유도배수관 설치 필요 | - | 8EA | - | 2EA | ▼ | 6EA | |
| 배수관 곡관 누락 | - | 14EA | - | - | ▼ | 14EA | |
| 배수관 볼트탈락 | - | - | - | 1EA | ▲ | 1EA | |

4) 검토 의견

■ 배수시설은 배수관 길이부족, 유도배수관 설치필요, 배수관 볼트탈락, 배수관 곡관누락 등의 손상이 조사되었다.

■ S6에서 조사된 배수관 길이부족은 마산방향 교각 점검로 상부에 배수관이 설치되어 노면수가 유입됨으로 점검로에 직접적인 손상을 유발하고 있는 상태이며 기 진단에서 조사된 대부분의 배수관 길이부족이 보수가 된 것을 감안하면 배수관 길이연장이 필요한 것으로 사료된다.

■ 바닥판 하면에 설치된 유공관에서 지속적인 우수가 유입되어 바닥판과 교각에 2차 손상을 초래할 수 있는 상태로 배수홀 파이프 설치가 필요하다. 또한 길이가 연장된 배수관의 연결부에서 조사된 볼트탈락은 볼트의 재설치를 통하여 배수관 탈락 등을 방지하여야 한다.

## 나. 방호벽, 중앙분리대

자동차의 차도이탈 방지, 사고시 완충작용 등의 기능을 하는 방호벽과 중앙분리대는 철근콘크리트 구조로 신축이음부에는 덮개판이 설치되어 있다.

방호벽 전경

중앙분리대 전경

1) 외관조사 결과

【표 3-37】 방호벽, 중앙분리대 외관조사 결과(양평방향)

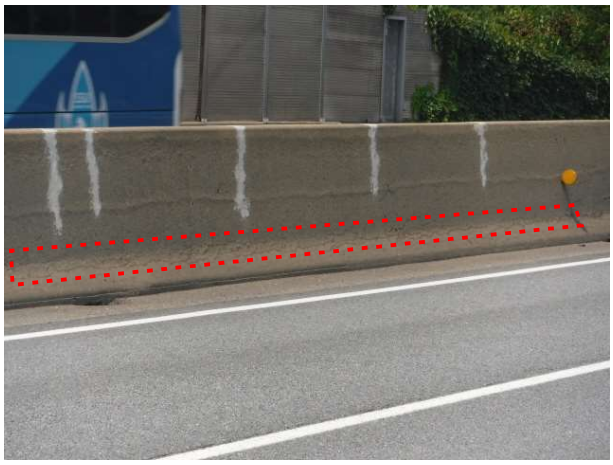
| 구분 | 콘크리트 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 균열(cw=0.1㎜) (m) | | 균열(cw=0.2㎜) (m) | | 균열(cw=0.3㎜) (m) | | 망상균열 (㎡) | | 박락 (㎡) | | 박리 (㎡) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 |
| S1 | 8.00 | 22 | 3.00 | 5 | 0.40 | 1 | 46.25 | 7 | - | - | - | - |
| S2 | 7.10 | 19 | 26.60 | 23 | 0.90 | 2 | 10.50 | 2 | 0.01 | 1 | - | - |
| S3 | 0.20 | 1 | 20.00 | 28 | 0.70 | 1 | 12.53 | 8 | 0.48 | 2 | 0.02 | 1 |
| S4 | 5.10 | 9 | 11.90 | 7 | 0.70 | 1 | 11.71 | 7 | 0.11 | 2 | - | - |
| S5 | 3.60 | 9 | 18.90 | 10 | 0.40 | 1 | 5.52 | 6 | 2.00 | 2 | - | - |
| S6 | 2.80 | 4 | 14.00 | 8 | 8.70 | 12 | - | - | - | - | - | - |
| S7 | 3.90 | 8 | 6.10 | 6 | 6.00 | 7 | 0.66 | 2 | - | - | 0.01 | 1 |
| S8 | 9.80 | 26 | 1.90 | 3 | 2.10 | 4 | 1.64 | 4 | - | - | - | - |
| S9 | 9.30 | 35 | 6.30 | 9 | 11.40 | 14 | 1.78 | 3 | - | - | 0.04 | 4 |
| **합계** | **49.80** | **133** | **108.70** | **99** | **31.30** | **43** | **90.59** | **39** | **2.60** | **7** | **0.07** | **6** |

【표 3-37】 방호벽, 중앙분리대 외관조사 결과(양평방향)(계속)

| 구분 | 콘크리트 | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 백태 (㎡) | | 재료분리 (㎡) | | 철근노출 (㎡) | | 파손 (㎡) | | 충돌흔적 (㎡) | | 녹발생 (㎡) | | 잡철물부식 (㎡) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 |
| S1 | 0.03 | 1 | - | - | - | - | 0.07 | 4 | 2.00 | 1 | 0.12 | 2 | - | - |
| S2 | 0.04 | 2 | - | - | - | - | 0.01 | 1 | 7.50 | 3 | - | - | - | - |
| S3 | 0.03 | 1 | 0.64 | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| S4 | 0.41 | 4 | - | - | - | - | - | - | 4.25 | 3 | - | - | - | - |
| S5 | 0.26 | 1 | 0.01 | 1 | - | - | - | - | 3.00 | 1 | - | - | 4.60 | 2 |
| S6 | 0.04 | 1 | - | - | - | - | 0.11 | 4 | 2.72 | 2 | - | - | 0.01 | 1 |
| S7 | 0.13 | 2 | 0.41 | 2 | - | - | - | - | 2.00 | 1 | - | - | - | - |
| S8 | 0.01 | 1 | - | - | - | - | 0.09 | 2 | 3.00 | 2 | - | - | - | - |
| S9 | 0.38 | 4 | - | - | 0.04 | 1 | 0.01 | 1 | 2.25 | 2 | - | - | - | - |
| **합계** | **1.33** | **17** | **1.06** | **5** | **0.04** | **1** | **0.29** | **12** | **26.72** | **15** | **0.12** | **2** | **4.61** | **3** |

2) 손상별 원인분석

| | |
|---|---|
| **현 황** | ◦S6 중앙분리대 균열(cw=0.3mm) |
| **원 인** | ◦건조수축 및 온도변화 |
| **대 책** | ◦주입보수 |



| | |
|---|---|
| **현 황** | ◦S1 중앙분리대 망상균열 |
| **원 인** | ◦건조수축 및 온도변화 |
| **대 책** | ◦표면처리보수 |

| | |
|---|---|
| **현 황** | ◦S1 방호벽 백태 |
| **원 인** | ◦건조수축, 우수유입 |
| **대 책** | ◦표면처리보수 |

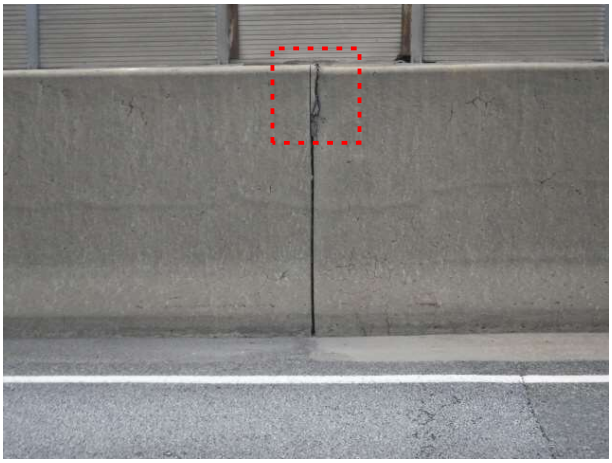
| | |
|---|---|
| **현 황** | ◦S3 방호벽 박락, 망상균열 |
| **원 인** | ◦제설재 및 동결융해, 건조수축 |
| **대 책** | ◦단면보수, 표면처리보수 |

| | |
|---|---|
| **현 황** | ◦S4 방호벽 백태 |
| **원 인** | ◦건조수축, 우수유입 |
| **대 책** | ◦표면처리보수 |

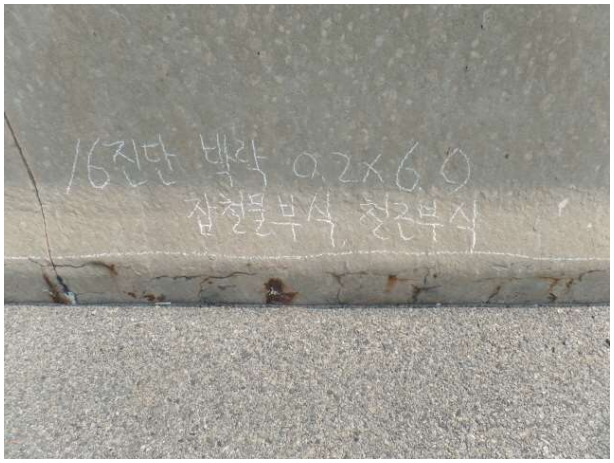
| | |
|---|---|
| **현 황** | ◦S7 방호벽 재료분리 |
| **원 인** | ◦시공미흡(다짐불량) |
| **대 책** | ◦지속관찰 |

| | |
|---|---|
| **현 황** | ◦S9 방호벽 철근노출 |
| **원 인** | ◦시공미흡 |
| **대 책** | ◦단면보수(방청) |

| | |
|---|---|
| **현 황** | ◦S6 방호벽 충돌흔적 및 파손 |
| **원 인** | ◦차량충돌 |
| **대 책** | ◦지속관찰 |



| | |
|---|---|
| **현 황** | ◦S1 중앙분리대 파손 |
| **원 인** | ◦시공미흡, 온도에 따른 신축 |
| **대 책** | ◦지속관찰 |




| | |
|---|---|
| **현 황** | ◦S5 방호벽 잡철물 부식 |
| **원 인** | ◦시공미흡, 우수유입 |
| **대 책** | ◦지속관찰 |

3) 기 점검결과와의 비교 · 분석

■ 기 진단 결과를 검토한 결과, 균열, 균열백태, 백태, 파손, 박리 등에 대한 보수가 이루어져 손상이 감소한 상태이며, 기 점검 시 누락 및 공용 년 수 증가에 의한 노후화로 망상균열 물량이 증가한 상태이다. 또한 신규 손상으로 박락, 백태, 철근노출 등이 조사되었다.

【표 3-38】 방호벽, 중앙분리대 기 진단 결과 비교(양평방향)

| 결함 및 손상내용 | 2012년 진단 | | 금회 진단 | | 증 감 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | | | |
| 균열(cw=0.3mm미만) | 295 | 227.90m | 232 | 158.50m | ▼ | 69.40m | |
| 균열(cw=0.3mm) | 85 | 68.50m | 43 | 31.30m | ▼ | 37.20m | |
| 망상균열 | 10 | 9.88m | 39 | 90.59㎡ | ▲ | 80.71㎡ | |
| 백태, 녹발생 | 16 | 0.45㎡ | 19 | 1.45㎡ | ▲ | 1.00㎡ | |
| 파손, 재료분리, 박리, 긁힘 | 26 | 3.99㎡ | 23 | 1.42㎡ | ▼ | 2.58㎡ | |
| 박락 | - | - | 7 | 2.60㎡ | ▲ | 2.60㎡ | |
| 철근노출 | - | - | 1 | 0.04㎡ | ▲ | 0.04㎡ | |
| 잡철물 부식 | - | - | 3 | 4.61㎡ | ▲ | 4.61㎡ | |

4) 검토 의견

■ 방호벽 및 중앙분리대에는 균열(최대폭 : 0.3㎜), 망상균열, 박리, 박락, 백태, 파손, 철근노출, 재료분리, 충돌흔적, 녹발생, 잡철물부식 등이 조사되었다.

■ 균열(최대폭 0.3㎜)과 망상균열, 백태 등은 건조수축, 우수유입, 콘크리트 타설 미흡 등에 의한 비구조적인 손상이다. 다만, 방호벽과 중앙분리대는 기상조건과 온도변화의 영향을 지속적으로 받는 부재로서 균열 폭 0.2㎜이하의 균열, 망상균열, 백태는 표면처리 보수, 폭 0.3mm 균열은 주입보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

■ 파손, 재료분리, 박리 등의 손상은 온도에 따른 콘크리트 신축과 다짐불량, 경년열화, 차량충돌 등에 의한 손상으로 내구성 확보차원의 보수가 필요하며, 충돌흔적은 차량의 사고로 인한 손상이다. 또한, 방호벽 하단의 녹발생 및 잡철물 부식은 다짐불량과 콘크리트 내부로의 우수침투에 의한 손상이다. 이들 손상은 손상정도가 경미하여 지속관찰하도록 한다.

■ 방호벽 하단에서 주로 조사된 박락은 다짐불량과 동절기 제설제 및 동결융해에 의한 손상이며 철근노출은 국부적인 피복부족에 의한 것으로 손상의 확대 및 내구성 확보 차원의 단면보수가 필요하다. 이때 염화물에 대한 대책으로 무기질계 코팅재 마감처리를 실시하여 제설제에 의한 추가적인 재손상 및 손상확대를 방지하여야 한다.

# 3.3 외관조사 결과(마산방향)

## 3.3.1 부재제원 확인

청미천교(마산)의 부재제원 확인을 위해 각각의 부재별로 실측을 실시하고 이를 준공도와 비교・검토하여 주요 부재의 규격을 확인하였다.

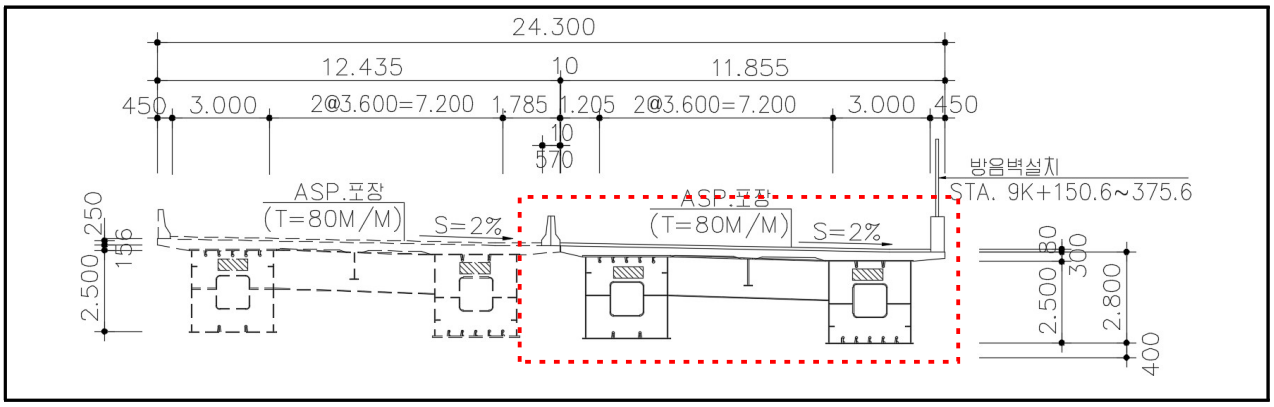
【표 3-39】 부재제원 확인(마산방향)

| 구 분 | | 부재제원 | 실측결과 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 상부구조 | Steel Box Girder | B=2.50m | B=2.50m | |
| | | H=2.50m | H=2.50m | |
| 하부구조 | 교 대(A1) | B=11.855m | B=11.500m | |
| | 교 대(A2) | B=11.855m | B=11.500m | |
| 기타부재 | 방호벽 | H=1.08m | H=1.02m | |
| | 방음벽 | - | H=3.05m | |
| **측정결과** | ■ 부재제원의 실측결과, 전반적으로 준공도상의 제원과 일치하였다. | | | |

## 3.3.2 상부구조

### 가. 바닥판 하면

상부의 교통하중을 직접 지지하며, 상부하중을 거더로 전달해 주는 바닥판으로 청미천교(마산) 바닥판 하면의 경우, 좌・우 캔틸레버부 하면에는 외부로부터의 우수유입을 방지하기 위해 물끊기 홈이 전 구간에 걸쳐 설치되어 있으며, 거더와 거더 사이의 콘크리트 바닥판이 노출되어있다. 금회 바닥판에 대한 현장조사는 교량 점검차와 고소점검차를 이용하여 근접한 후 조사를 실시하였으며, 바닥판 하면에 대한 조사는 1, 2방향 균열 및 백태, 누수, 박락 등의 손상을 중점적으로 조사하였다.



| | |
|---|---|
| | |
| 콘크리트 바닥판 하면 | 캔틸레버부 하면 콘크리트 노출부 |

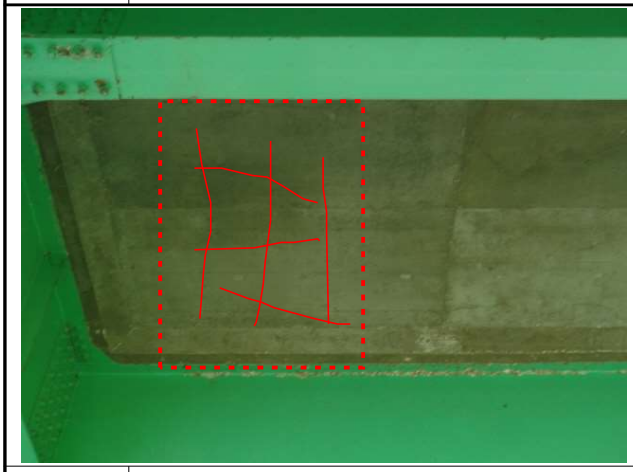
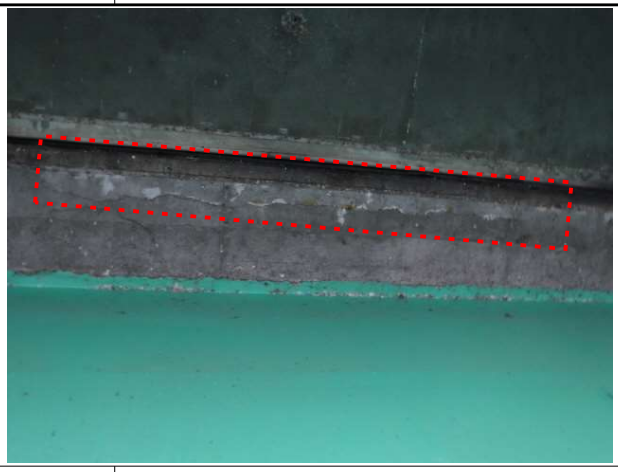
1) 외관조사 결과

【표 3-40】 바닥판 외관조사 결과(마산방향)

| 구분 | 균열 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cw=0.1㎜(m) | | Cw=0.2㎜(m) | | Cw=0.3㎜(m) | | 망상균열(㎡) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 |
| S1 | 62.50 | 25 | - | - | - | - | - | - |
| S2 | 194.80 | 84 | - | - | - | - | - | - |
| S3 | 97.50 | 39 | - | - | - | - | - | - |
| S4 | 111.90 | 47 | 50.00 | 20 | 2.50 | 1 | - | - |
| S5 | 149.10 | 63 | 2.50 | 1 | - | - | - | - |
| S6 | 172.70 | 72 | - | - | - | - | 1.25 | 1 |
| S7 | 67.80 | 29 | 9.90 | 9 | - | - | - | - |
| S8 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| S9 | 1.00 | 1 | 32.50 | 13 | - | - | 1.00 | 1 |
| 합계 | 857.30 | 360 | 94.90 | 43 | 2.50 | 1 | 2.25 | 2 |

| 구분 | 열화 손상 | | | | | | 기타 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 들뜸(㎡) | | 백태(㎡) | | 파손(㎡) | | 고무재 탈락(m) | | 노치 미제거(m) | | 녹발생 (㎡) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 |
| S1 | 3.60 | 2 | 1.45 | 10 | - | - | - | - | - | - | 0.14 | 2 |
| S2 | 10.00 | 1 | 0.14 | 6 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| S3 | 10.00 | 1 | 0.66 | 7 | - | - | 9.00 | 2 | - | - | 0.01 | 1 |
| S4 | 10.00 | 1 | 0.31 | 4 | - | - | 13.00 | 2 | - | - | 0.25 | 1 |
| S5 | 9.00 | 2 | 4.04 | 10 | 0.04 | 1 | 3.00 | 2 | - | - | 0.05 | 2 |
| S6 | 6.90 | 5 | 0.40 | 7 | 0.25 | 2 | 6.50 | 4 | - | - | 0.02 | 2 |
| S7 | 10.00 | 1 | 2.74 | 11 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| S8 | 10.00 | 1 | 1.19 | 10 | - | - | - | - | - | - | 0.04 | 1 |
| S9 | 10.00 | 1 | 0.04 | 1 | 0.20 | 1 | - | - | 2.00 | 2 | - | - |
| 합계 | 79.50 | 15 | 10.97 | 66 | 0.49 | 4 | 31.50 | 10 | 2.00 | 2 | 0.51 | 9 |

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦S1 바닥판 균열(cw=0.1mm)<br>원 인 ◦건조수축<br>대 책 ◦지속관찰</td><td>현 황 ◦S3 캔틸레버 백태<br>원 인 ◦건조수축, 우수유입<br>대 책 ◦표면처리보수</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦S6 바닥판 망상균열<br>원 인 ◦건조수축<br>대 책 ◦표면처리보수</td><td>현 황 ◦S6 바닥판 하면 들뜸<br>원 인 ◦건조수축 및 우수유입<br>대 책 ◦치핑 후 면보수</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦S4 바닥판 백태<br>원 인 ◦시공미흡, 우수유입<br>대 책 ◦표면처리보수</td><td>현 황 ◦S5 바닥판 하면 파손<br>원 인 ◦시공미흡<br>대 책 ◦단면보수</td></tr>
</table>

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | |
| **현 황** | ◦S5 고무재 탈락 | **현 황** | ◦S8 녹발생 |
| **원 인** | ◦시공미흡, 온도에 따른 신축거동 | **원 인** | ◦시공미흡, 우수유입 |
| **대 책** | ◦지속관찰 | **대 책** | ◦지속관찰 |

3) 기 진단(2012년)결과와의 비교 · 분석

■ 바닥판 하면에서 조사된 손상에 대하여 기 진단 결과를 토대로 손상여부를 검토한 결과, 균열백태에 대한 보수가 이루어져 손상물량이 감소하였으나, 내측 캔틸레버의 폭 0.3mm이상의 균열들은 대부분 철근부식을 동반한 들뜸으로 손상이 확대 되었으며, 고무재 탈락, 파손, 백태 등의 손상은 공용증가에 따른 손상물량이 증가한 것으로 나타났다.

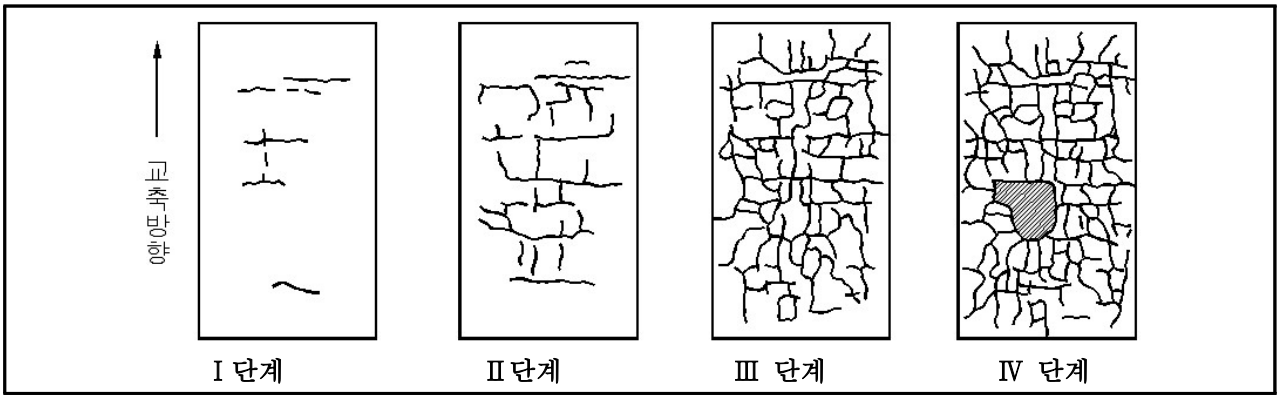
【표 3-41】 바닥판 하면 기 진단 결과 비교(마산방향)

| 결함 및 손상내용 | 2012년 진단 | | 금회 진단 | | 증 감 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | | | |
| 균열(cw=0.3mm미만) | 715 | 1727.60m | 403 | 952.20m | ▼ | 775.40m | |
| 균열(cw=0.3mm이상) | 29 | 66.90m | 1 | 2.50m | ▼ | 64.40m | |
| 망상균열 | - | - | 2 | 2.25㎡ | ▼ | 2.25㎡ | |
| 들뜸 | - | - | 15 | 79.50㎡ | ▲ | 79.50㎡ | |
| 백태, 파손, 녹발생 | 75 | 6.73㎡ | 79 | 11.97㎡ | ▲ | 5.03㎡ | |
| 고무재 탈락 | 8 | 18.00m | 10 | 31.50m | ▲ | 13.50m | |

4) 검토 의견

■ 본 교량에서 조사된 횡방향 균열은 구조적인 균열이 아닌 Con'c 구조물의 노후화 과정에서 발생되는 부산물이라 할 수 있으며 이러한 균열로 말미암아 구조적 안전성에 문제를 야기할만한 수준은 아닌 것으로 판단된다. 일반적인 Con'c 바닥판의 노후화 과정을

살펴보면 더 쉽게 이해 할 수 있을 것이며 【그림 3-7】은 주철근이 교축직각 방향으로 배치되는 현장타설 R.C 바닥판의 균열 진전과정을 도식화한 것으로 이를 좀더 세분화하여 나타내면 아래와 같다.




【그림 3-7】 R.C 바닥판의 균열진전 과정

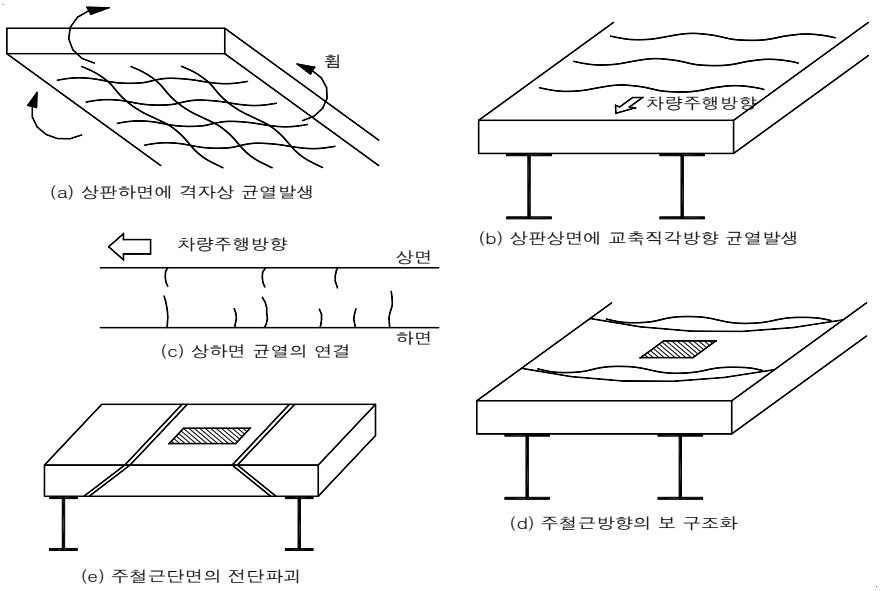
거더에 의하여 지지되는 R.C 바닥판은 거더가 콘크리트의 건조수축 등을 구속하여 교축직각 방향 횡방향 균열이 먼저 발생되고 이에 활하중에 의한 휨모멘트에 의해 변형이 부가되어 양방향으로 균열이 진전된다. 균열이 발생된 바닥판은 전단 및 비틂 강성이 저하되고 균열 폭, 균열 수가 증가함에 따라 조밀한 격자상의 균열 형태를 나타내게 된다. 이러한 손상이 윤하중의 반복에 의하여 관통 균열로 진전되고 균열면의 마찰 및 우수의 침투 등에 의하여 마침내는 함몰 또는 펀칭전단이 발생한다. 이러한 바닥판의 손상은 【그림 3-8】과 같은 피로손상 과정에 의하여 진행된다.

① 제1단계 (교축직각방향에 초기 균열)

본 교량의 경우 R.C 바닥판은 거더와 가로보에 의하여 지지되는데 전단 연결재가 콘크리트를 구속하는 형태를 가지며 콘크리트에 발생되는 온도 및 건조수축 등에 의하여 교축방향으로 인장응력이 발생하고 이에 따라 공용 전 균열이 발생되고 이러한 인장 잔류변형 상태에 윤하중에 의한 휨 변형이 가해지면 바닥판 하면에 교축직각 방향으로 균열이 발생하게 된다.

② 제2단계(상판 하면에 휨 균열망 형성, 상면에도 균열)

활하중이 재하되면 바닥판 하면의 교축방향에서도 균열이 발생되는데 이것은 교축직각방향의 균열에 의해 바닥판은 등방성에서 이방성으로 변화되어 교축방향으로의 하중분배 성능을 저해시켜 주철근 방향에서의 하중 분담률이 증가하기 때문이다 【그림 3-8(a)】. 또한, 바닥판 상면에서도 휨모멘트의 반복작용에 의하여 교축직각방향의 균열이 거더 부근에서 바닥판 중앙으로 진전되고 하면의 균열과 만나 관통균열이 된다 【그림 3-8(b)】.




【그림 3-8】 R.C 바닥판의 피로파괴 과정

③ 제3단계 (빗물의 침투)

R.C 바닥판 상면의 아스팔트 포장은 침수성과 수분 보유성이 높아 약 1시간의 비가 내리면 아스팔트는 포화상태가 되며, 그 후의 증발 속도는 늦고 약 1주 후에도 잔류되는 경우가 많다. 관통균열이 존재하는 바닥판 상면에 이와 같은 수분이 잔류하는 경우 균열에 수분이 침투되어 서서히 하면으로 이동함으로써 유리석회를 하면에 침착시킨다. 일반적으로 선상으로 유리석회가 발생한 경우에는 관통균열에 따른 것으로 판단할 수 있으며, 면상으로 곰팡이처럼 퍼지고 있는 경우는 바닥판 콘크리트가 치밀하지 않은 다짐불량 상태로 추정할 수 있다.

④ 제4단계 (교축직각방향 균열의 균열면 상호 마찰)

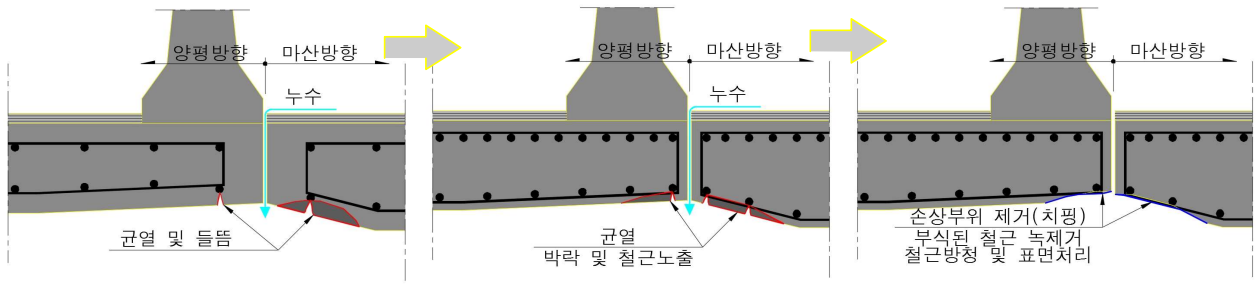
교축직각방향의 관통균열이 형성된 후 차량의 주행이 계속되면 균열면에 작용하는 전단력 및 휨모멘트의 교체 반복에 의하여 균열면 상호에서 상·하 방향 및 수평방향의 마찰의 움직임이 일어나 균열면의 마찰이 진행된다. 그 결과 서서히 균열폭이 커지고 교축방향으로의 하중분배 효과가 떨어져 판구조에서 교축직각방향으로 보를 늘어놓은 상태로 변화한다. 【그림 3-8(d)】 빗물이 침투한 균열에서는 그 마찰속도가 매우 빨라지는데 유리석회에 황색의 침착물이 있는 경우 상호마찰이 진행되고 있는 것으로 판단할 수 있다. 윤하중이 이들의 균열 바로 위로 오면 균열이 닫히고 그 면에서 수직으로 수압이 발생하고 마찰운동과 연동해서 골재를 강제 진동시키기 때문에 골재 주위에서 모르타르와의 부착이 끊겨 콘크리트가 서서히 분쇄되어 골재화 현상이 나타난다.

⑤ 제5단계 (파괴, 함몰)

교축직각방향에서 【그림 3-8(d)】와 같이 보 구조화가 형성되면 그 보 폭에서의 전단강도 부족으로 전단력에 의한 피로현상이 발생하고 내하력을 상실하게 되며 【그림 3-8(e)】 차량의 주행에 의하여 파괴 부위의 콘크리트가 작게 나뉘어져 작은 조각의 낙하가 일어나 결국에는 구멍이 커지게 된다. 물의 침투가 있는 경우 압축측 콘크리트의 골재화가 진행되고 포장이 망 형상으로 파손되거나 포트홀이 형성되어 방치하면 함몰하게 된다. 일반적으로 R.C 바닥판은 최소두께 기준이 적용하는 한 전단력이 문제가 되는 경우는 거의 없다. 실제로 재하시험에 의하여 바닥판을 전단력으로 파괴시키기 위해서는 설계하중의 5~10배의 전단력이 필요한 것으로 보고되고 있다. 다만 바닥판에 건조수축과 온도수축으로 균열이 발생하고 이것과 휨모멘트에 의한 인장균열의 영향에 더하여 전단력은 바닥판의 손상에 더 큰 영향을 주게 된다.

- 현재 본 교량의 바닥판은 균열의 형태 및 경간별 분포상태로 미루어 볼 때, 【그림 3-8】의 바닥판 손상은 Ⅰ번째 단계로써, 조사된 횡균열은 대부분 근접한 상태에서 확인 가능한 0.2㎜이하의 미세균열이다. 본 손상은 전 경간에 걸쳐 분포되어 있는 손상으로 균열의 형상이 일방향성 형태의 균열로서, 콘크리트 재료적 특성인 시공초기 양생과정 또는 시공 후 일정기간이 경과한 후에 발생한 건조수축에 의해 발생한 것으로 추정된다. 점검 당시 균열보수가 일부 이루어진 상태이며 보수되지 않은 균열은 0.2㎜이하의 미세균열로 내구성 저하에는 크게 영향이 없으므로 지속관찰한다. 바닥판 사용성 검토결과(제5장【표 5.6】참조), 발생인장응력이 허용응력 이내로 검토되어 바닥판 사용성에는 문제가 없는 것으로 판단된다.
- 백태는 건조수축에 의해 발생한 미세균열부로 침투한 공기중 이산화탄소가 수화반응으로 생성된 수산화칼슘이 반응하여 석회석을 생성하면서 수분에 용해되어 바닥판 표면에 퇴적된 침전물로서 기 점검시부터 조사된 손상이다. 내측 바닥판의 균열과 균열백태는 금회 현장조사 결과 손상의 진행과 확대는 없는 것으로 조사되었으나 내구성 확보 차원의 표면처리 보수와 보수후에도 주기적인 점검으로 재손상 여부를 확인하여야 한다.
- 내측 캔틸레버 하면과 신축이음 단부에 발생한 균열, 백태, 들뜸 등의 손상은 신축이음부 또는 종방향조인트 누수로 인해 비교적 피복두께가 얇게 시공된 바닥판 철근을 부식시켜 균열을 유발시키고, 균열부로의 지속적인 우수 유입과 동절기 살포된 제설제의 영향은 철근 부식과 팽창을 가속시켜 바닥판 콘크리트가 들뜸 및 박락, 철근노출로 진행하게 된다. 내측 캔틸레버 하면과 신축이음 단부에 발생한 균열, 박락, 철근노출은 방치

시 확대 가능성이 높은 손상에 해당하므로 내구성 저하 방지를 위해 단면을 복구하여야 하나 보수를 하더라도 지속적인 누수와 구조물의 신축 및 중차량 통과시 충격으로 인해 보수재의 탈락 또는 추가 손상의 가능성이 높다. 또한 본 교량의 하부는 도로(국도37호선), 제방도로 등이 위치하고 있어 보수재료 또는 탈락된 콘크리트가 낙반으로 이어질 경우 2차 사고의 가능성도 배제할 수 없으므로 단면을 복구하는 방법보다는 손상 단면을 제거한 후 부식된 철근의 방청처리와 표면처리보수로 마감하는 방법이 보다 합리적이라 할 수 있다.

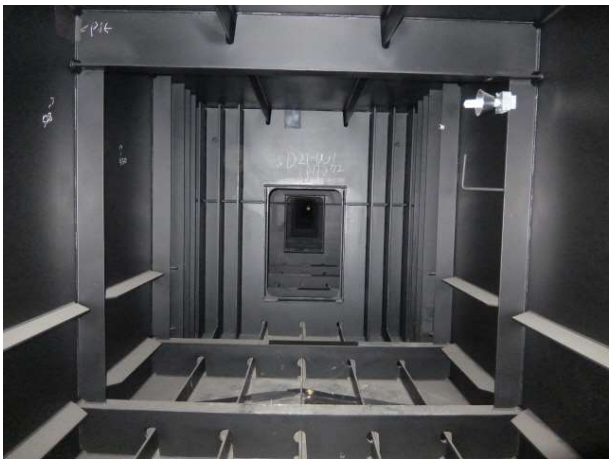



■ 캔틸레버 하면의 들뜸과 같은 단면손상은 기설 콘크리트와 보수재료와의 부착강도 증대를 위해 바닥판의 내하력에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 손상된 부위를 모두 제거(치핑)한다. 손상부위 면정리가 완료되면 부착성과 내구성이 높은 보수재를 손상 제거부위 표면에 도포하여 피막을 형성시킨다. 이때 철근이 노출될 경우 부식된 철근에 대해서 녹제거와 방청을 실시하여야 한다. 또한 보수 후에도 재손상 발생 및 추가손상 여부 확인을 위한 주기적인 점검이 필요하다.

■ 바닥판 하면 내측 캔틸레버부에서 조사된 종조인트 고무재 탈락은 시공미흡, 온도에 따른 신축거동, 차량진동 등이 원인으로 판단되며, 이로 인한 추가 손상발생이 없어 보수의 필요성은 없을 것으로 판단되어 지속관찰이 요망된다.

## 나. Steel Box Girder

본 교량의 주부재인 Steel Box Girder는 2열로 배치되어 있고, 강박스 거더 내·외부에 대한 점검은 붕괴유발부재(F.C.M)에 대한 점검을 중점적으로 시행하였으며, 특히, 피로균열 발생 부재, 부식에 의한 단면감소, 구조적인 변형 여부, 도장손상 등 안전성, 내구성 및 사용성에 영향을 미치는 결함에 대하여 조사를 수행하였다.



Steel Box Girder 내부 전경

Steel Box Girder 외부 전경

1) Steel Box Girder 내부

① 외관조사 결과

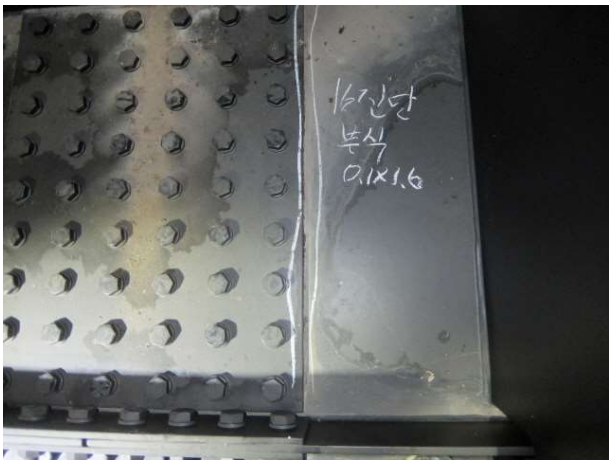
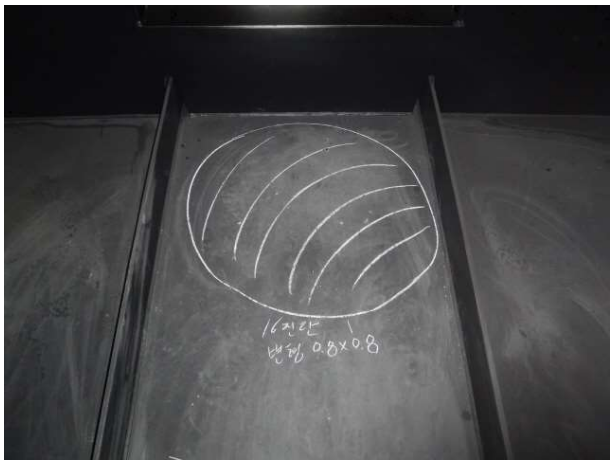
【표 3-42】 Steel Box Girder 내부 외관조사 결과(마산방향)

| 구분 | | 표면열화 | | | | 기타 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 도장박리(㎡) | | 부식(㎡) | | 변형(m) | | Pit | 이물질퇴적(㎡) | |
| | | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 개소 | 물량 | 개소 |
| S1 | G1 | - | - | - | - | - | - | - | 0.09 | 1 |
| | G2 | 0.07 | 7 | - | - | - | - | - | - | - |
| S2 | G1 | 0.04 | 4 | - | - | - | - | 1 | - | - |
| | G2 | - | - | 0.34 | 2 | - | - | - | - | - |
| S3 | G1 | 0.60 | 10 | - | - | - | - | - | - | - |
| | G2 | - | - | - | - | - | - | 1 | - | - |
| S4 | G1 | - | - | - | - | 0.80 | 1 | 2 | - | - |
| | G2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| S5 | G1 | - | - | - | - | - | - | - | 0.50 | 1 |
| | G2 | 0.01 | 1 | - | - | - | - | - | - | - |
| S6 | G1 | 0.12 | 3 | - | - | - | - | - | 0.18 | 2 |
| | G2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

【표 3-42】 Steel Box Girder 내부 외관조사 결과(마산방향)(계속)

| 구분 | | 표면열화 | | | | 기타 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 도장박리(㎡) | | 부식(㎡) | | 변형(m) | | Pit | 이물질퇴적(㎡) | |
| | | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 개소 | 물량 | 개소 |
| S7 | G1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | G2 | - | - | - | - | - | - | 1 | - | - |
| S8 | G1 | - | - | 0.21 | 5 | - | - | - | - | - |
| | G2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| S9 | G1 | 16.98 | 117 | - | - | - | - | - | - | - |
| | G2 | 28.19 | 16 | - | - | - | - | 1 | - | - |
| 합계 | | 46.01 | 159 | 0.55 | 7 | 0.80 | 1 | 6 | 0.77 | 4 |

㉠ 손상별 원인분석

<table>
<tr><td colspan="2"> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S1-G2 도장박리</td><td>현 황</td><td>◦S9-G1 도장박리</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦시공미흡 및 경년열화</td><td>원 인</td><td>◦시공미흡 및 경년열화</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦재도장</td><td>대 책</td><td>◦재도장</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S2-G2 부식</td><td>현 황</td><td>◦S4-G1 변형</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦시공미흡 및 경년열화</td><td>원 인</td><td>◦시공미흡</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦재도장</td><td>대 책</td><td>◦지속관찰</td></tr>
</table>

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | |
| **현 황** | ◦S4-G1 Pit | **현 황** | ◦S5-G1 이물질퇴적 |
| **원 인** | ◦시공미흡 | **원 인** | ◦작업자 이물질 적치 |
| **대 책** | ◦지속관찰 | **대 책** | ◦청소 |

② 기 점검결과와의 비교 · 분석

■ Steel Box Girder 내부에서 조사된 손상에 대하여 기 진단 결과를 토대로 손상여부를 검토한 결과, 기 진단 이후 도장박리 및 부식 등의 손상에 대하여 보수가 실시되었으나 보수누락, 재손상 및 경년증가에 등의 이유로 손상이 증가된 것으로 조사되었다.

【표 3-43】 Steel Box Girder 내부 기 진단 결과 비교(마산방향)

| 결함 및 손상내용 | 2012년 진단 | | 금회 진단 | | 증 감 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | | | |
| 도장박리 및 부식 | 1,378 | 37.60㎡ | 166 | 46.56㎡ | ▲ | 7.96㎡ | |
| 변형 | - | - | 1 | 0.80㎡ | ▲ | 0.79㎡ | |
| 이물질 퇴적 | 9 | 1.95㎡ | 4 | 0.77㎡ | ▼ | 1.18㎡ | |
| Pit | - | - | - | 6EA | ▲ | 6EA | |
| 씰링재 충진누락 | - | 129ea | - | - | ▼ | 129ea | |

③ 검토 의견

■ Steel Box Girder 내부의 외관조사 실시결과 도장박리, 부식, 변형, Pit, 이물질퇴적 등의 손상이 조사되었다.

■ 도장박리는 시공초기 또는 재도장 보수 당시 먼지, 녹 등 도장 전처리 미흡에 의해 발생된 것이며, 강재의 부식 방지를 위한 도장보수가 요구된다.

■ 강재 부식은 국부적인 도장불량과 경년열화에 의해 발생된 손상이나 부식의 대부분이 거더 입 · 출구부에서 조사된 점을 감안하면 강우 시 신축이음부 누수로 인해 노면수가 스캘럽을 통해 거더 내부로 유입되어 부식성 환경이 조성된 것이 주된 원인이다. 현재 구조물에 발생된 부식의 정도가 강재 거더의 단면결손을 유발할 정도는 아니지만 장기적 내구성 저하 방지를 위해 녹제거 후 재도장 보수가 필요한 상태이다. 다만, 부식의

근본적인 원인인 신축이음부 누수를 차단하는 것이 선행되어야 하나 신축이음부에서 누수가 발생하더라도 거더 내부로 노면수가 유입되지 않도록 누수가 발생하는 위치에서 거더의 스캘럽을 폐쇄시키는 것도 한 방법이라 할 수 있다.

- 국부적인 강재변형은 공장 제작된 거더의 운반과 적재, 가설 과정 중에 예기치 못한 충격에 의해 발생된 손상이며 손상부 주위 종리브 및 다이아프램에 추가적인 손상이 조사되지 않아 교량의 안전성에 미치는 영향이 적으므로 지속관찰 한다.
- 피트손상에 대하여「강도로교 시공·검사 실무 요령(前 건설교통부 1995.05)」에서 용접 비드 표면의 필렛용접한 이음에 대해 3개 또는 이음길이 1m에 대해 3개까지 허용(Φ1mm 이하는 3개를 1개로 간주)하는 것으로 명시되어 있어, 청미천교(양평)에 발생된 피트의 경우 해당 기준을 만족하는 것으로 나타나 현 상태로 주의 관찰한다.
- 이물질퇴적은 일부 점검자 또는 보수자의 인식 부족에 의한 용변 처리 미흡으로 발생한 경우도 일부 존재한다. 거더 내부의 이물질퇴적은 강재 부식의 원인이 되므로 청소와 더불어 예방적 유지관리 차원의 재도장 보수가 요구된다.

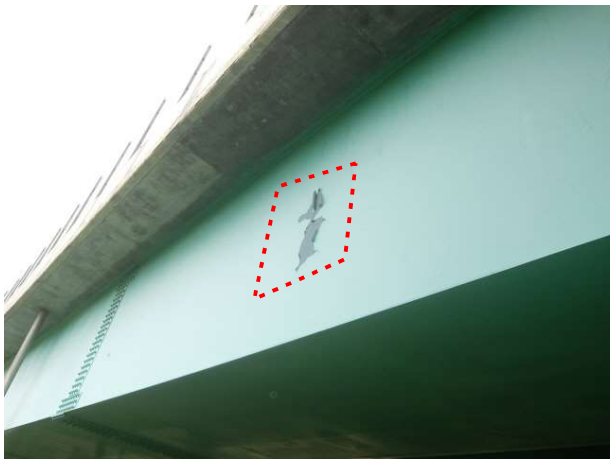
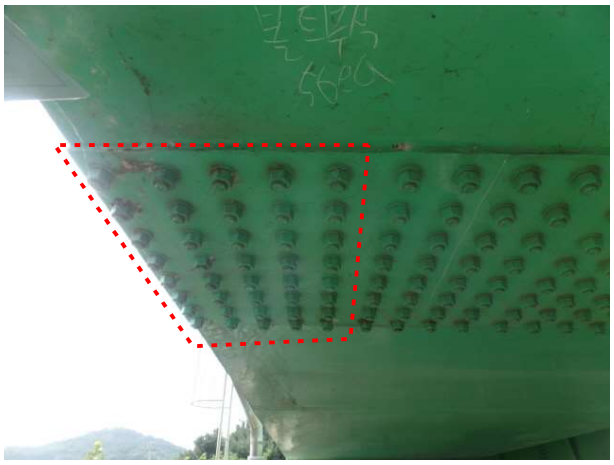
2) Steel Box Girder 외부

㉠ 외관조사 결과

【표 3-44】Steel Box Girder 외부 외관조사 결과(마산방향)

| 구분 | | 표면열화 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 도장박리(㎡) | | 부식(㎡) | | 볼트부식(㎡) | |
| | | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 |
| S1 | G1 | 0.05 | 4 | 1.67 | 10 | 0.68 | 68 |
| | G2 | 0.18 | 7 | 0.50 | 14 | 0.03 | 3 |
| S2 | G1 | 0.01 | 1 | 0.66 | 15 | - | - |
| | G2 | - | - | 1.12 | 8 | 0.81 | 81 |
| S3 | G1 | 0.01 | 1 | 4.83 | 10 | - | - |
| | G2 | - | - | 0.16 | 13 | - | - |
| S4 | G1 | 0.21 | 3 | 0.91 | 7 | 0.05 | 5 |
| | G2 | 0.02 | 2 | 1.14 | 5 | - | - |
| S5 | G1 | 0.08 | 7 | 2.61 | 15 | - | - |
| | G2 | 0.07 | 4 | 0.89 | 21 | - | - |
| S6 | G1 | 0.01 | 1 | 5.13 | 14 | - | - |
| | G2 | 0.03 | 1 | 0.33 | 12 | - | - |
| S7 | G1 | - | - | 6.54 | 11 | - | - |
| | G2 | 0.11 | 2 | 0.15 | 12 | - | - |
| S8 | G1 | 1.87 | 2 | 0.49 | 12 | - | - |
| | G2 | 5.92 | 4 | 0.11 | 10 | - | - |
| S9 | G1 | - | - | 0.27 | 6 | 0.04 | 4 |
| | G2 | 11.36 | 8 | 0.63 | 10 | - | - |
| 합계 | | 19.84 | 47 | 28.05 | 205 | 1.61 | 161 |

② 손상별 원인분석

<table>
<tr><td colspan="2"> </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S8-G1 도장박리</td><td>현 황</td><td>◦S9-G2 도장박리</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화</td><td>원 인</td><td>◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦재도장</td><td>대 책</td><td>◦재도장</td></tr>
<tr><td colspan="2"> </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S3-G1 부식</td><td>현 황</td><td>◦S2-G2 거더외부 볼트부식</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화</td><td>원 인</td><td>◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦재도장</td><td>대 책</td><td>◦재도장</td></tr>
</table>

③ 기 점검결과와의 비교 · 분석

■ Steel Box Girder 외부에서 조사된 손상에 대하여 기 진단 결과를 토대로 손상여부를 검토한 결과, 금회 진단에서 도장박리, 부식 등의 손상은 증가한 것으로 확인되었다.

【표 3-45】 Steel Box Girder 외부 기 진단 결과 비교(마산방향)

| 결함 및 손상내용 | 2012년 진단 | | 금회 진단 | | 증 감 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | | | |
| 도장박리 및 부식 | 115 | 1.14㎡ | 413 | 49.50㎡ | ▲ | 48.36㎡ | |

④ 검토 의견

- Steel Box Girder 외부에는 도방박리, 부식, 긁힘, 볼트부식이 조사되었다.
- 거더 외부에 발생한 도장박리는 유분, 이물질 등의 하지(표면)처리 미흡과 공용 년 수 증가에 따른 노후화에 의해 발생된 손상으로, 강재 부식을 방지하기 위한 손상된 부위의 재도장이 필요한 상태이다.
- 거더 외부 부식은 환경적인 영향, 즉 대기 중의 오염물질, 온도, 습도 등의 영향을 직접적으로 받고 신축이음부 및 종방향조인트 누수에 의해 장기간 직접적인 수분의 접촉, 국부적으로 도장이 불량한 부위에서의 도장면 열화 등이 원인이 되어 발생한 것이며, 특히 돌출된 하부플랜지 모서리 등은 도장이 상대적으로 불량할 뿐만 아니라 시공초기 거더 운반 및 적재, 가설 과정에서 외부 충격과 경년열화에 의해 도장면 손상이 발생할 가능성이 크다. 현재 조사된 부식이 단면결손을 유발할 정도의 단계에 이르지는 않았으나 확대손상 방지 및 내구성 저하 방지를 위해 방청 후 재도장 보수가 요구된다.

3) 강 가로보 및 세로보

공용 기간중 거더의 횡변형(좌굴)을 방지해 주며 상부에 작용하는 하중을 횡분배 시켜주는 역할을 하는 가로보 및 세로보는 강재로 시공되어 있다.

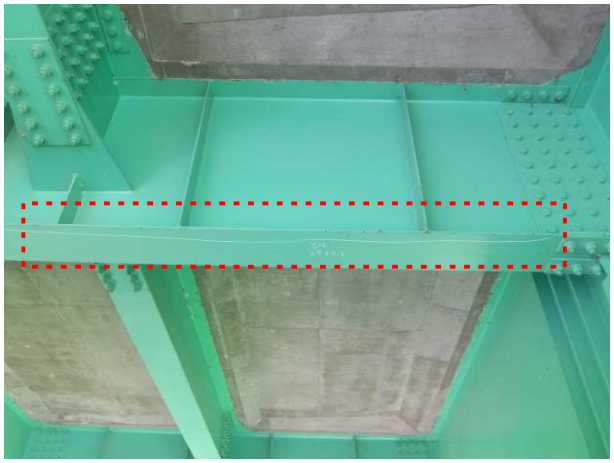
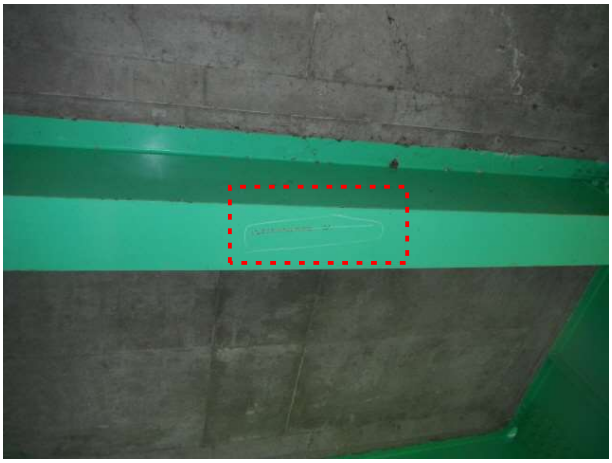
| | |
|---|---|
| 강 가로보 전경 | 강 세로보 전경 |

① 외관조사 결과

【표 3-46】 강 가로보 및 세로보 외관조사 결과(마산방향)

| 구분 | 표면열화 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 도장박리(㎡) | | 부식(㎡) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 |
| S1 | - | - | - | - |
| S2 | 0.05 | 1 | - | - |
| S3 | - | - | 0.02 | 1 |
| S4 | - | - | 0.06 | 2 |
| S5 | - | - | - | - |
| S6 | 0.03 | 2 | 0.36 | 2 |
| S7 | - | - | 0.05 | 3 |
| S8 | - | - | - | - |
| S9 | 0.09 | 1 | - | - |
| **합계** | **0.17** | **4** | **0.49** | **8** |

② 손상별 원인분석

<table>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S7-CB62 가로보 하면 부식</td><td>현 황</td><td>◦S2-ST1 세로보 도장박리</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화</td><td>원 인</td><td>◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦재도장</td><td>대 책</td><td>◦재도장</td></tr>
</table>

③ 기 점검결과와의 비교 · 분석

■ 기 진단 결과를 토대로 손상여부를 검토한 결과, 금회 진단에서 도장박리, 부식 등의 손상은 증가한 것으로 확인되었다.

【표 3-47】 강 가로보 및 세로보 기 진단 결과 비교(마산방향)

| 결함 및 손상내용 | 2012년 진단 | | 금회 진단 | | 증 감 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | | | |
| 도장박리 및 부식 | 3 | 0.05㎡ | 12 | 0.66㎡ | ▲ | 0.10㎡ | |

④ 검토 의견

- 가로보 및 세로보에서는 도방박리, 부식이 조사되었다.
- 거더 외부에 발생한 도장박리는 유분, 이물질 등의 하지(표면)처리 미흡과 공용 년 수 증가에 따른 노후화에 의해 발생된 손상으로, 강재 부식을 방지하기 위한 손상된 부위의 재도장이 필요한 상태이다.
- 거더 외부 부식은 환경적인 영향, 즉 대기 중의 오염물질, 온도, 습도 등의 영향을 직접적으로 받고 신축이음부 및 종방향조인트 누수에 의해 장기간 직접적인 수분의 접촉, 국부적으로 도장이 불량한 부위에서의 도장면 열화 등이 원인이 되어 발생한 것이며, 특히 돌출된 하부플랜지 모서리 등은 도장이 상대적으로 불량할 뿐만 아니라 시공초기 거더 운반 및 적재, 가설 과정에서 외부 충격과 경년열화에 의해 도장면 손상이 발생할 가능성이 크다. 현재 조사된 부식이 단면결손을 유발할 정도의 단계에 이르지는 않았으나 확대손상 방지 및 내구성 저하 방지를 위해 방청 후 재도장 보수가 요구된다.

## 3.3.3 하부구조

### 가. 교대

교대는 교량 상부구조 하중을 지반으로 전달하며, 교량 전체 구조의 안전성을 위해 중요한 역할을 수행하는 구조부재이다.

청미천교(마산)의 교대형식은 역T형식이고, 기초형식 강관말뚝기초로 시공되어 있으며 금회 현장 조사시 교대의 외관상태, 법면사면(앞성토)를 중점적으로 조사하였다.

| | |
|---|---|
| | |
| 교대 전경(A1) | 교대 전경(A2) |

1) 외관조사 결과

【표 3-48】 교대 외관조사 결과(마산방향)

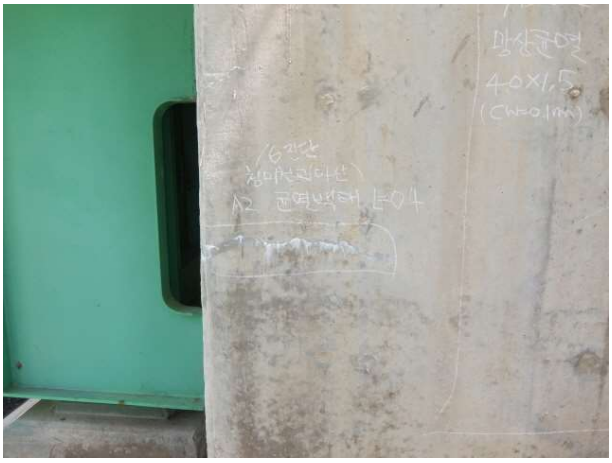
| 구분 | 균열 | | | | | | 열화 및 손상 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cw=0.1㎜ (m) | | Cw=0.2㎜ (m) | | 망상균열(㎡) (Cw=0.1㎜) | | 백태(㎡) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 |
| A1 | 40.40 | 56 | 4.10 | 3 | 1.00 | 3 | 0.66 | 5 |
| A2 | 9.80 | 9 | 5.00 | 4 | 8.72 | 4 | 0.80 | 3 |
| **합계** | **50.20** | **65** | **9.10** | **7** | **9.72** | **7** | **1.46** | **8** |

| 구분 | 열화 및 손상 | | 기타 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 파손(㎡) | | 누수흔적(㎡) | | 보수부들뜸(㎡) | | 보호블럭 침하(㎡) | | 보호블럭 파손(㎡) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 |
| A1 | 0.12 | 1 | 1.54 | 2 | - | - | 71.20 | 4 | - | - |
| A2 | 0.25 | 3 | - | - | 0.50 | 1 | 0.77 | 1 | 9.00 | 1 |
| **합계** | **0.37** | **4** | **1.54** | **2** | **0.50** | **1** | **71.97** | **5** | **9.00** | **1** |

2) 손상별 원인분석

| | |
|---|---|
| **현 황** | ◦A2 교좌면 균열(0.3㎜/1.0m) |
| **원 인** | ◦건조수축 및 온도변화 |
| **대 책** | ◦주입보수-보수완료 |

| | |
|---|---|
| **현 황** | ◦A2 날개벽 망상균열 |
| **원 인** | ◦건조수축 및 온도변화 |
| **대 책** | ◦표면처리보수 |

<table>
<tr><td>  </td><td> </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦A2 흉벽 백태<br>원 인 ◦건조수축, 우수유입<br>대 책 ◦표면처리보수</td><td>현 황 ◦A2 흉벽 백태<br>원 인 ◦건조수축, 우수유입<br>대 책 ◦표면처리보수</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦A1 흉벽 파손<br>원 인 ◦온도에 의한 신축, 외부충격<br>대 책 ◦단면보수</td><td>현 황 ◦A1 흉벽 누수흔적<br>원 인 ◦커버플레이트 탈락, 우수유입<br>대 책 ◦커버플레이트 설치, 지속관찰</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦A2 교좌면 보수부 들뜸<br>원 인 ◦우수유입<br>대 책 ◦표면처리보수</td><td>현 황 ◦A2 법면 보호블럭 침하, 파손<br>원 인 ◦배수관 길이부족(보수), 우수유입<br>대 책 ◦지속관찰</td></tr>
</table>

3) 기 점검결과와의 비교 · 분석

■ 기 진단 결과를 검토한 결과, 기 진단 이후 보수가 실시되어 균열, 파손 등의 손상에 대하여 수량이 감소한 것으로 확인되었으며, 보수누락 및 경년증가에 따른 손상의 증가 또한 조사되었다.

【표 3-49】 교대 기 진단 결과 비교(마산방향)

| 결함 및 손상내용 | 2012년 진단 | | 금회 진단 | | 증 감 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | | | |
| 균열(cw=0.3mm미만) | 92 | 62.39m | 72 | 59.30m | ▼ | 2.09m | |
| 망상균열 | 6 | 5.48㎡ | 7 | 9.72㎡ | ▲ | 4.24㎡ | |
| 누수흔적 및 체수 | 4 | 9.33㎡ | 2 | 1.54㎡ | ▼ | 7.79㎡ | |
| 파손, 열화, 잡철근부식 | 12 | 2.29㎡ | 4 | 0.37㎡ | ▼ | 1.92㎡ | |
| 보호블럭 침하 및 파손 | 25 | 22.39㎡ | 6 | 80.97㎡ | ▲ | 58.58㎡ | |
| 백태 | - | - | 8 | 1.46㎡ | ▲ | 1.46㎡ | |
| 보수부들뜸 | - | - | 1 | 0.50㎡ | ▲ | 0.50㎡ | |

4) 검토 의견

■ 교대는 균열과 망상균열, 백태, 파손, 누수흔적, 보수부들뜸, 보호블럭 침하 및 파손 등의 손상이 조사되었다.

■ 교대에서 조사된 수직균열은 균열의 형상, 방향성, 발생위치 등을 고려해 볼 때 기존 점검 시 누락되었던 시공초기 건조수축에 의해 발생한 손상이며, 대부분 폭 0.2mm이하의 미세균열이다. 교좌면에서 조사된 폭 0.3mm의 균열은 과업기간중 보수가 실시되어 현재는 양호한 상태인 것으로 조사되어 지속관찰을 실시한다.

■ 백태는 콘크리트 내부에 존재하는 석회화합물이 용해되어 구체 표면에 퇴적되는 현상이며, 노후화나 누수를 동반한 백태는 품질저하가 확연하지만 본 구조물에서는 이러한 특징을 나타내지 않는다. 다만, 장기적인 내구성 저하 방지를 위해 보수가 필요하다.

■ 파손, 보수부들뜸 등은 시공초기 또는 공용중 예기치 못한 외부충격, 우수 및 동결융해의 반복 등 장기간 외기에 노출된 콘크리트가 열화되어 발생한 손상이며, 손상의 정도가 교대의 안전성을 저해할 정도는 아닌 것으로 조사되었으나 확대손상 방지와 내구성 확보를 위해 단면을 복구하여야 한다.

■ 누수흔적은 공용 년 수 증가에 의한 신축이음 노후화와 중앙분리대 신축이음 미설치 구간으로의 누수가 주원인이며 2013~2014년 신축이음 교체가 완료되어 커버플레이트 탈락 및 설치오류에 의한 캔틸레버측 누수가 일부 조사되었으나 대부분의 손상은 진행되지 않는 상태인 것으로 조사되었다.

■ 보호블럭 침하 및 파손은 배수관 길이부족에 의한 노면수의 유입으로 나타난 손상이다. 하지만 기 진단 이후 배수관길이연장 보수가 실시되어 손상의 확대 우려는 없는 것으로 나타나 지속관찰을 실시한다.

## 나. 교각

상부구조를 지지하는 구조물인 교각형식은 T형이고, 기초형식은 P1~P7은 직접기초, P8은 강관말뚝기초(φ508)로 시공되어 있다. 청미천교(마산)는 9경간 교량이며 교각이 8개소로 유지관리를 용이하게 하기 위한 출입사다리 및 점검통로가 P1~P6까지 시공되어 있으며, P7과 P8은 설치되어 있지가 않다. 또한 P5는 유심부에 위치하여 수심측정을 실시하였다. 교각에 대한 외관조사는 보도점검 및 사다리, 고소점검차를 이용하여 조사하였다.

교각 전경(P3)

교각 전경(P8)

1) 외관조사 결과

【표 3-50】 교각 외관조사 결과(마산방향)

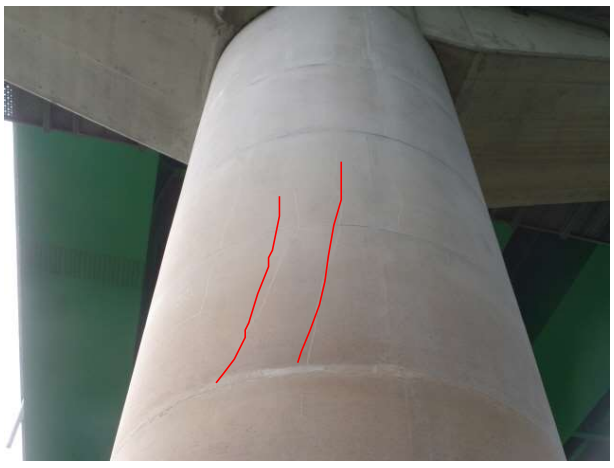
| 구분 | 균열 | | | | | | 열화 및 손상 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cw=0.1㎜ (m) | | Cw=0.2㎜ (m) | | 망상균열(㎡) (Cw=0.1㎜) | | 들뜸(㎡) | | 박락(㎡) | | 박리(㎡) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 |
| P1 | 59.40 | 71 | 1.50 | 1 | 2.00 | 1 | - | - | - | - | - | - |
| P2 | 11.40 | 17 | 6.20 | 4 | - | - | 1.20 | 1 | - | - | 0.04 | 1 |
| P3 | 11.40 | 19 | 8.10 | 11 | 26.84 | 11 | - | - | - | - | 1.00 | 2 |
| P4 | 11.20 | 16 | 9.40 | 6 | 7.22 | 6 | - | - | 3.00 | 2 | - | - |
| P5 | 7.60 | 10 | 1.50 | 2 | 1.20 | 1 | - | - | - | - | - | - |
| P6 | 15.10 | 21 | 0.60 | 2 | 7.36 | 2 | - | - | - | - | 1.50 | 2 |
| P7 | 15.70 | 15 | 2.00 | 2 | 12.86 | 7 | - | - | - | - | - | - |
| P8 | 20.90 | 11 | 4.90 | 5 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 합계 | 152.50 | 180 | 34.20 | 33 | 57.48 | 28 | 1.20 | 1 | 3.00 | 2 | 2.54 | 5 |

【표 3-50】 교각 외관조사 결과(마산방향)(계속)

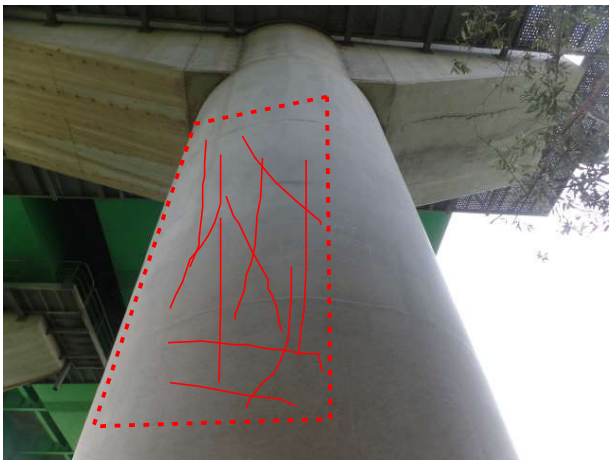
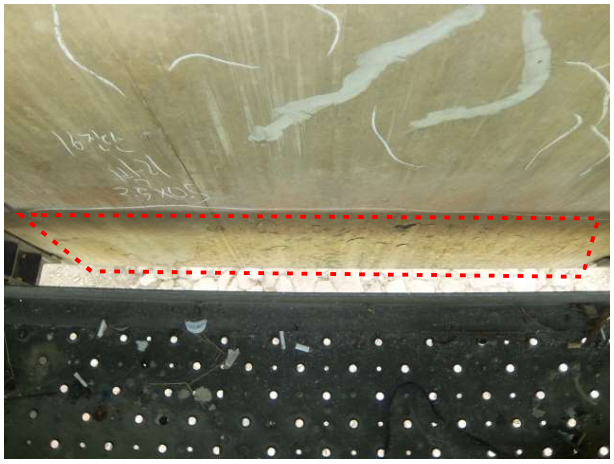
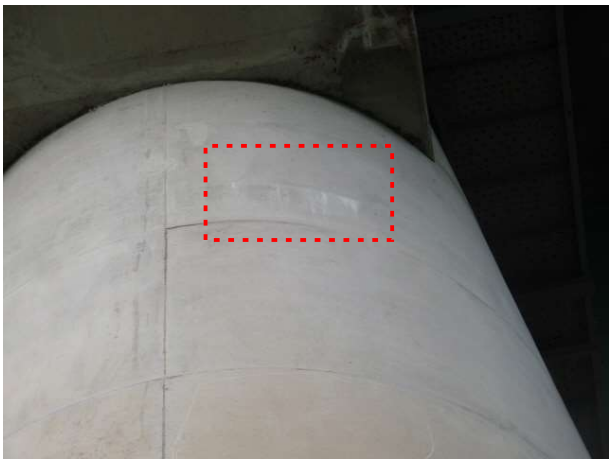
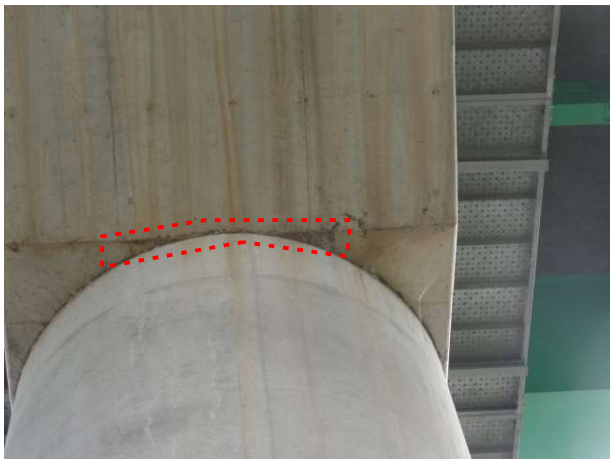
| 구분 | 열화 및 손상 | | | | | | | | | | 기타 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 백태(㎡) | | 재료분리(㎡) | | 철근노출(㎡) | | 침식(㎡) | | 파손(㎡) | | 표면오염(㎡) | | 볼트부식 | 화재흔적(㎡) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 개소 | 물량 | 개소 |
| P1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| P2 | 0.04 | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.35 | 1 | - | - | - |
| P3 | 0.10 | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| P4 | 0.05 | 1 | - | - | 0.09 | 1 | 4.50 | 1 | - | - | - | - | - | - | - |
| P5 | - | - | 0.16 | 2 | - | - | 7.20 | 1 | - | - | - | - | - | - | - |
| P6 | - | - | 0.01 | 1 | - | - | - | - | 0.01 | 1 | - | - | 89 | - | - |
| P7 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.50 | 1 |
| P8 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.02 | 2 | - | - | - | - | - |
| **합계** | **0.19** | **4** | **0.17** | **3** | **0.09** | **1** | **11.70** | **2** | **0.03** | **3** | **0.35** | **1** | **89** | **0.50** | **1** |

2) 손상별 원인분석

| | |
|---|---|
| **현 황** | ◦P8 코핑부 균열(cw=0.3㎜) |
| **원 인** | ◦건조수축 및 온도변화 |
| **대 책** | ◦주입보수-보수완료 |



| | |
|---|---|
| **현 황** | ◦P4 기둥부 균열(cw=0.2㎜) |
| **원 인** | ◦건조수축 및 온도변화 |
| **대 책** | ◦지속관찰 |

| | | | |
|---|---|---|---|
|  | | | |
| **현 황** | ◦P3 기둥부 망상균열 | **현 황** | ◦P2 코핑부 들뜸 |
| **원 인** | ◦건조수축 및 온도변화 | **원 인** | ◦시공미흡, 우수유입 |
| **대 책** | ◦표면처리보수 | **대 책** | ◦단면보수 |
| | |  | |
| **현 황** | ◦P4 코핑부 박락, 철근노출 | **현 황** | ◦P6 코핑부 박리 |
| **원 인** | ◦시공미흡(다짐불량), 우수유입 | **원 인** | ◦시공미흡(다짐불량) |
| **대 책** | ◦단면보수(방청) | **대 책** | ◦단면보수 |
|  | |  | |
| **현 황** | ◦P4 기둥부 백태 | **현 황** | ◦P5 코핑부 재료분리 |
| **원 인** | ◦건조수출, 우수유입 | **원 인** | ◦시공미흡(다짐불량) |
| **대 책** | ◦표면처리보수 | **대 책** | ◦단면보수 |

<table>
<tr><td colspan="2"> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦P5 기둥부 침식</td><td>현 황</td><td>◦P8 기둥부 파손</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦유수작용, 경년증가</td><td>원 인</td><td>◦외부충격</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦지속관찰</td><td>대 책</td><td>◦단면보수</td></tr>
<tr><td colspan="2"> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦P2 기둥부 표면오염</td><td>현 황</td><td>◦P6 코핑부 점검로 볼트부식</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦배수관 길이부족</td><td>원 인</td><td>◦경년증가, 시공미흡</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦배수관 길이연장, 지속관찰</td><td>대 책</td><td>◦지속관찰</td></tr>
</table>

3) 수중 교각 점검

- 청미천교(마산)의 유심부에 위치한 P4와 P5는 수중조사를 실시하여야 한다. 하지만 현장조사 결과 수심이 얕고(H=0.6m이내) 도보로 접근이 가능하여 육안조사를 실시하였다.
- 하천 상에 위치한 교각(P5)의 외관 상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었으며, 유수에 의한 기둥부 침식이 일부 관찰되었으나 손상정도가 경미하므로 지속관찰 한다. 다만 하천 상에 위치한 교각은 항시 유수와 유송잡물의 영향을 받고 있는 상태이므로 손상발생 유무에 대해 주기적인 점검과 지속적인 관찰이 필요하다.

| | |
|---|---|
| | |
| 교각 수심측정 | 수중부 경미한 침식(P5) |

4) 기 점검결과와의 비교 · 분석

■ 기 진단 결과를 검토한 결과, 기 진단 이후 보수가 실시되어 균열, 파손에 대하여 수량이 감소한 것으로 확인되었다. 망상균열은 기존 균열의 확대와 경년증가에 따른 노후화로 손상물량이 증가하였으며, 대부분의 손상이 보수누락 및 경년증가에 따른 손상 증가한 것으로 조사되었다.

【표 3-51】 교각 기 진단 결과 비교(마산방향)

| 결함 및 손상내용 | 2012년 진단 | | 금회 진단 | | 증 감 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | | | |
| 균열(cw=0.3mm미만) | 359 | 306.25m | 213 | 186.70m | ▼ | 119.55m | |
| 균열(cw=0.3mm) | 4 | 4.30m | - | - | ▼ | 4.30m | |
| 망상균열 | 30 | 52.04㎡ | 28 | 57.48㎡ | ▲ | 5.44㎡ | |
| 들뜸 | - | - | 1 | 1.20㎡ | ▲ | 1.20㎡ | |
| 누수흔적, 백태, 표면오염 | 5 | 1.34㎡ | 6 | 1.04㎡ | ▼ | 0.30㎡ | |
| 철근노출 | 46 | 6.80㎡ | 1 | 0.09㎡ | ▼ | 6.71㎡ | |
| 박락, 파손, 재료분리 | 15 | 0.79㎡ | 13 | 5.74㎡ | ▲ | 4.95㎡ | |
| 침식 | 2 | 5.30㎡ | 2 | 11.70㎡ | ▲ | 6.40㎡ | |
| 점검로 볼트부식 | - | 64EA | - | 89EA | ▲ | 25EA | |

5) 검토 의견

■ 교각은 균열, 망상균열, 들뜸, 박락, 박리, 백태, 재료분리, 파손, 철근노출, 침식, 표면오염, 화재흔적, 점검로 볼트부식 등의 손상이 조사되었다.

■ 균열, 망상균열 등의 손상에 대하여 균열의 형상, 방향성, 발생위치 등을 고려해 볼 때 시공초기 건조수축에 의해 발생한 손상으로 대부분 폭 0.2mm이하의 미세균열이며, 폭

0.3mm의 균열이 코핑면에서 2개소 조사되었으나, 과업기간중 보수가 실시되어 현재 양호한 상태이다. 폭 0.2mm이하의 균열은 손상정도가 경미하여 보수의 긴급성은 없으며 내구성 저하에는 크게 영향이 없으므로 지속관찰한다.

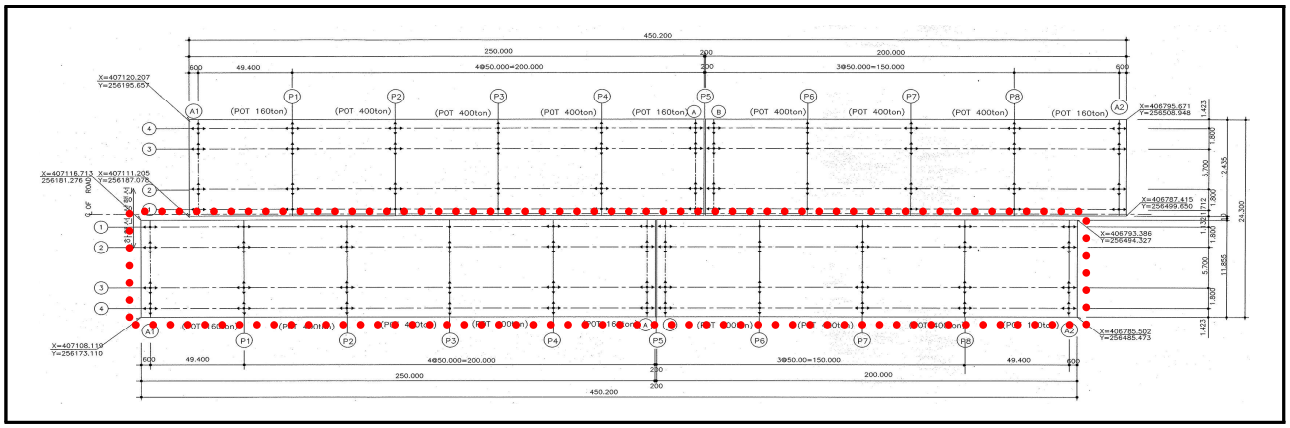
- P4에서 조사된 철근노출, 박락은 바닥판 하면의 유공관을 통해서 유입된 우수가 코핑부의 철근노출(피복부족)부에 떨어져 철근부식으로 발생된 손상이며, 철근부식에 의한 박락으로 확대된 것이다. 기 진단 이후 박락에 대한 보수가 실시되었으나 손상의 근본적인 원인인 유공관의 배수시설이 설치되지 않아 재손상이 일어났으며 코핑면 하단까지 손상이 확대된 것이 확인 되었다. 손상부에 대한 보수방안으로 부식된 철근에 대한 방청처리와 단면보수가 필요하며, 손상의 근본적인 원인인 바닥판 유공관에 대해서는 배수관설치가 필요할 것으로 판단된다.

| | | |
|---|---|---|
| | | |
| S4 바닥판 유공관 | P4 코핑면 박락(재손상) | 유도배수관 설치 예(S2) |

- 박리, 파손, 들뜸, 재료분리 등은 시공초기 또는 공용중 예기치 못한 외부충격, 우수 및 동결융해의 반복 등 장기간 외기에 노출된 콘크리트가 열화되어 발생한 손상이며, 손상의 정도가 교각의 안전성을 저해할 정도는 아닌 것으로 조사되었으나 확대손상 방지와 내구성 확보를 위해 단면을 복구하여야 한다.
- 백태는 콘크리트 내부에 존재하는 석회화합물이 용해되어 구체 표면에 퇴적되는 현상이며, 노후화나 누수를 동반한 백태는 품질저하가 확연하지만 본 구조물에서는 이러한 특징을 나타내지 않는다. 다만, 장기적인 내구성 저하 방지를 위해 보수가 필요하다.
- P2에서 조사된 누수흔적은 현재 배수관의 길이부족으로 발생한 손상으로 배수관 길이 연장이 필요한 상태이다. 점검로 볼트부식은 우수유입 및 경년증가에 의한 손상이고 화재흔적의 경우 보행자의 화재로 인하여 발생되었으나, 구조물에 영향을 미치지 않는 표면에 약간의 그을음만 발생한 상태로 지속관찰함이 바람직하다.

## 다. 교량받침

청미천교(마산)의 교량받침은 교대(A1, A2)와 교각(P1~P4, P6~P8)에 각 4개씩 36개소와 교각(P5)에 8개소 총 44개 포트받침이 설치된 상태로서, 받침용량 160ton은 교대(A1, A2, P5), 400ton은 교각(P1~P4, P6~P8)에 시공된 것으로 조사되었다. 고정단은 교각 P3-Sh1, P6-Sh1에 설치되어 있으며, 교량받침 배치 현황은 다음과 같다.




【그림 3-9】 청미천교(마산) 교량받침 배치도

교량받침 전경(P3-Sh1, 고정단)

교량받침 전경(P2-Sh1, 일방향)

교량받침 전경(A1-Sh3, 양방향)

1) 외관조사 결과

【표 3-52】 교량받침 외관조사 결과(마산방향)

| 구분 | 받침 본체 | | | | | | 낙교방지시설 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 도장박리(㎡) | | 부식(㎡) | | 솔플레이트 부식(㎡) | | 볼트길이 부족 | 부식(㎡) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 개소 | 물량 | 개소 |
| A1 | - | - | 0.17 | 4 | - | - | - | - | - |
| A2 | 0.03 | 1 | 0.36 | 3 | - | - | - | - | - |
| P1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| P2 | - | - | 0.21 | 1 | - | - | - | - | - |
| P3 | - | - | 0.20 | 2 | - | - | 42 | 0.05 | 1 |
| P4 | - | - | - | - | - | - | 26 | 0.09 | 2 |
| P5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| P6 | - | - | - | - | 0.08 | 1 | - | - | - |

【표 3-52】 교량받침 외관조사 결과(마산방향)(계속)

| 구분 | 받침 본체 | | | | | | 낙교방지시설 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 도장박리(㎡) | | 부식(㎡) | | 솔플레이트 부식(㎡) | | 볼트길이 부족 | 부식(㎡) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 개소 | 물량 | 개소 |
| P7 | - | - | - | - | 0.08 | 1 | - | - | - |
| P8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 합계 | 0.03 | 1 | 0.94 | 10 | 0.16 | 2 | 68 | 0.14 | 3 |

| 구분 | 낙교방지시설 | | 받침콘크리트, 받침몰탈 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 고무재탈락(m) | | 균열(cw=0.1mm) | | 균열(cw=0.3mm) | | 파손(㎡) | | 재료분리(㎡) | | 철근노출(㎡) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 |
| A1 | 0.50 | 1 | 0.20 | 2 | - | - | 0.06 | 1 | - | - | - | - |
| A2 | - | - | 1.00 | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| P1 | 0.50 | 1 | - | - | - | - | - | - | 0.04 | 1 | - | - |
| P2 | - | - | - | - | - | - | 0.04 | 1 | - | - | - | - |
| P3 | - | - | 0.10 | 1 | 1.40 | 1 | 0.07 | 2 | - | - | - | - |
| P4 | 0.50 | 1 | 0.30 | 1 | - | - | 0.05 | 1 | - | - | - | - |
| P5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.01 | 1 |
| P6 | - | - | 0.30 | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| P7 | - | - | 1.60 | 6 | - | - | - | - | 0.03 | 1 | - | - |
| P8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 합계 | 1.50 | 3 | 3.50 | 14 | 1.40 | 1 | 0.22 | 5 | 0.07 | 2 | 0.01 | 1 |

2) 손상별 원인분석

| 현 황 | ◦A2-Sh1 본체부식 |
|---|---|
| 원 인 | ◦공용증가 |
| 대 책 | ◦재도장 |

| 현 황 | ◦P7-Sh1 솔플레이트 부식 |
|---|---|
| 원 인 | ◦공용증가 |
| 대 책 | ◦재도장 |

| 현 황 | ◦P3 낙교방지시설 볼트길이부족, 부식 |
|---|---|
| 원 인 | ◦시공미흡, 공용증가 |
| 대 책 | ◦지속관찰, 재도장 |

| 현 황 | ◦P4 낙교방지시설 고무재 탈락 |
|---|---|
| 원 인 | ◦시공미흡, 온도에 의한 신축 |
| 대 책 | ◦지속관찰 |

| 현 황 | ◦P3-Sh4 받침콘크리트 균열(cw=0.3mm) |
|---|---|
| 원 인 | ◦건조수축 |
| 대 책 | ◦주입보수 |

| 현 황 | ◦A1-Sh1 받침몰탈 파손 |
|---|---|
| 원 인 | ◦외부충격 |
| 대 책 | ◦단면보수 |

| 현 황 | ◦P1-Sh1 받침콘크리트 재료분리 |
|---|---|
| 원 인 | ◦시공미흡(다짐불량) |
| 대 책 | ◦단면보수 |

| 현 황 | ◦P5-Sh4(A1) 받침콘크리트 철근노출 |
|---|---|
| 원 인 | ◦시공미흡, 피복부족 |
| 대 책 | ◦단면보수(방청) |

3) 기 점검결과와의 비교 · 분석

■ 기 진단 결과를 검토한 결과, 기 진단 이후 보수가 실시되어 대부분의 손상에 대하여 수량이 감소한 것으로 확인되었다. 하지만 교량받침과 낙교방지시설의 부식, 재료분리, 파손 등의 손상은 보수누락, 경년증가에 따른 손상이 증가한 것으로 조사되었다.

【표 3-53】 교량받침 기 진단 결과 비교(마산방향)

| 결함 및 손상내용 | 2012년 진단 | | 금회 진단 | | 증 감 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | | | |
| 부식, 도장박리 | 10 | 0.90㎡ | 16 | 1.22㎡ | ▲ | 0.32㎡ | |
| 낙교방지시설 부식 | - | - | 2 | 0.09㎡ | ▲ | 0.09㎡ | |
| 낙교방지시설 볼트길이부족 | - | 68EA | - | 68EA | | - | |
| 낙교방지시설 고무재 탈락 | - | 2EA | 3 | 1.50m | ▲ | 1.50m | |
| 균열(cw=0.3mm미만) | 69 | 34.21m | 14 | 3.50m | ▼ | 30.71m | |
| 균열(cw=0.3mm) | - | - | 1 | 1.40m | ▲ | 1.40m | |
| 재료분리, 파손 | 2 | 0.07㎡ | 7 | 0.29㎡ | ▲ | 0.22㎡ | |
| 철근노출 | 51 | 0.45㎡ | 1 | 0.01㎡ | ▼ | 0.44㎡ | |

4) 검토 의견

■ 교량받침 본체 및 솔플레이트, 낙교방지시설 부식, 낙교방지시설 볼트이완, 고무재탈락, 받침몰탈 및 콘크리트 균열, 철근노출, 파손 등의 손상이 조사되었다.

■ 부식 및 볼트부식은 공용년수 증가 및 외부 환경적인 요인(강우)에 의해 발생된 것으로 판단되며, 내구성 저하방지를 위해 재도장를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

■ 받침몰탈 및 콘크리트에 발생한 균열은 건조수축에 의한 비구조적인 손상으로 판단되며, 폭 0.2mm이하의 균열은 손상정도가 경미하여 보수의 긴급성은 없으며 내구성 저하에는 크게 영향이 없으므로 지속관찰하고, 폭 0.3mm 균열은 내구성 확보 차원에서 주입보수를 실시한다.

■ 철근노출과 재료분리는 시공미흡, 파손은 외부충격에 의한 것으로 판단된다. 이들 손상은 손상정도가 경미하여 보수의 긴급성은 없으나, 내구성 확보를 위한 보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

■ 낙교방지시설 고무재 탈락은 시공미흡과 경년증가에 따른 노후화로 탈락된 상태로 조사되었으며, 보수보다는 유지관리 후 상태가 진전된다면 보수를 실시하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

5) 연단거리 검토

교좌면은 받침을 통해 상부구조로부터 하중을 받는 곳이고 또한 지진시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 따라서 받침 끝에서 정부 연단까지의 거리가 작으면 고정단에서는 전단면에 연해서 콘크리트 구체 또는 받침이 파손될 수 있고, 가동단에서는 최악의 경우 받침이 벗어나 거더가 낙하할 수도 있다. 따라서 도로교설계기준에서는 상부구조의 길이에 따라 연단

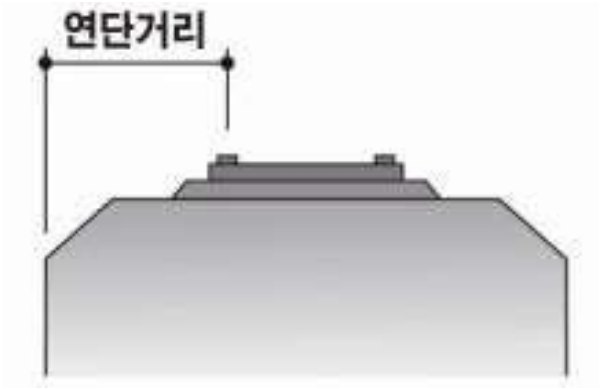
거리의 최소값을 정해놓았으며, 본 과업에서는 실제 시공된 연단거리와 설계 연단거리를 비교·검토하였다.

■ 거더의 경간길이 100m이하 : S = 200 + 5.0L

100m이상 : S = 300 + 4.0L (도로교설계기준)

여기서, S : 받침연단거리(㎜), L : 거더의 경간길이(m)

■ 연단거리 산출 -거더 경간길이(L=50.0m) : 200+5×50.0 = 450(㎜)




2010년 도로교설계기준

연단거리 측정 전경

【표 3-54】 연단거리 측정결과 (단위 : ㎜)(마산방향)

| 위치 | | 연단기준 | Sh1 | | Sh2 | | Sh3 | | Sh4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 측정 | 평가 | 측정 | 평가 | 측정 | 평가 | 측정 | 평가 |
| A1 | A1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | A2 | 450 | 600 | O.K | 600 | O.K | 600 | O.K | 600 | O.K |
| P1 | A1 | 450 | 1070 | O.K | 1070 | O.K | 1080 | O.K | 1080 | O.K |
| | A2 | 450 | 1050 | O.K | 1050 | O.K | 1010 | O.K | 1010 | O.K |
| P2 | A1 | 450 | 1070 | O.K | 1070 | O.K | 1070 | O.K | 1070 | O.K |
| | A2 | 450 | 1080 | O.K | 1080 | O.K | 1080 | O.K | 1080 | O.K |
| P3 | A1 | 450 | 990 | O.K | 990 | O.K | 990 | O.K | 990 | O.K |
| | A2 | 450 | 1150 | O.K | 1120 | O.K | 1120 | O.K | 1120 | O.K |
| P4 | A1 | 450 | 1070 | O.K | 1070 | O.K | 1080 | O.K | 1080 | O.K |
| | A2 | 450 | 1020 | O.K | 1020 | O.K | 1030 | O.K | 1030 | O.K |
| P5 | A1 | 450 | 660 | O.K | 650 | O.K | 670 | O.K | 670 | O.K |
| | A2 | 450 | 660 | O.K | 650 | O.K | 650 | O.K | 650 | O.K |
| P6 | A1 | 450 | 1070 | O.K | 1100 | O.K | 1100 | O.K | 1100 | O.K |
| | A2 | 450 | 1050 | O.K | 1040 | O.K | 1050 | O.K | 1060 | O.K |
| P7 | A1 | 450 | 1060 | O.K | 1060 | O.K | 1050 | O.K | 1050 | O.K |
| | A2 | 450 | 1020 | O.K | 1030 | O.K | 1050 | O.K | 1060 | O.K |
| P8 | A1 | 450 | 1080 | O.K | 1080 | O.K | 1040 | O.K | 1040 | O.K |
| | A2 | 450 | 1000 | O.K | 1010 | O.K | 1040 | O.K | 1040 | O.K |
| A2 | A1 | 450 | 540 | O.K | 540 | O.K | 520 | O.K | 530 | O.K |
| | A2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

■ 연단거리 측정 결과, 모든 교량받침 실측 연단거리가 계산 연단거리를 상회하고 있는 것으로 측정되어 도로교설계기준을 만족하고 있는 것으로 검토되었다.

6) 교량받침 가동량 측정

【표 3-55】 교량받침 가동량 측정방법(마산방향)

**평가 기준**

▣ 온도에 의한 가동량

$\Delta \ell t = \Delta T \times \alpha \times \ell$ (신축거더 길이)

$\Delta T$ = 온도변화(-20℃~+40℃) → Steel Box Girder교(한랭지방)

$\alpha$ = 선팽창계수($1.2\times10^{-5}$) → Steel Box Girder교

※ 한랭지방 적용근거

| | |
|---|---|
| **도로설계편람 (2000년)** | ■ 온도범위는 교량상부구조의 평균온도이며, 지역구분은 최근 5년간 최저기온 및 최고기온을 참조하여 결정(도로공사 연구보고서. 1993)<br>■ 대전 구미, 대구, 강릉, 논산, 전주, 광주, 순천, 진주, 마산, 창령, 고령, 동서울, 부산 |
| **기상청 통계자료** | ■ 최근 5년간 이천(기)의 일평균 최저 온도 : -14.2℃(2011. 1. 16.)<br>■ 설계편람 발간당시의 이천(기) 5년간 일평균 최저 온도 : -15.8℃(2001. 1. 15.)<br>■ 최근 5년간 평균 최저 온도 < 발간당시의 5년간 평균 최저 온도 |

▣ 활하중에 의한 보의 처짐에 의한 가동량

$\triangle l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$

여기서, $h_i$ : 받침의 회전중심에서 보의 중립축까지의 높이(2h/3)

$\theta_i$ : 보의 회전각(강교 1/150)

▣ 계산 가동량 산정

| | | | |
|---|---|---|---|
| **온도변화 범위** | -20℃ ~ +40℃ | **선팽창 계수($\alpha$)** | $1.2\times10^{-5}$ |
| **점검시 기온(℃)** | 2016. 08. 12.(1차)<br>2016. 10. 11.(2차) | 29.2(1차)<br>13.2(2차) | |
| **온도에 의한 가동량($\Delta \ell t$)** | $\Delta \ell t = \Delta T \times \alpha \times \ell$ | | |
| **보의 중립축까지 높이 2h/3(hi)** | $\frac{2}{3}\times2{,}500$ | | |
| **보의 회전각($\theta i$)** | 1/150(Steel Box Girder교) | | |
| **보의 처짐에 의한 가동량($\Delta \ell r$)** | $\triangle l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$ | | |

| **신축거더길이 (L)** | A1 | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 (시) | P5 (종) | P6 | P7 | P8 | A2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 150 | 100 | 50 | 0 | 50 | 100 | 50 | 0 | 50 | 100 | 150 |

※ 처짐에 의한 가동량은 신축거더 100m이상 교량의 단부에 팽창시만 고려하여 계산

① 교량받침 가동량 측정결과 및 가동 여유량 분석

포트받침으로 시공된 청미천교(마산) 교량받침에 대해 가동 여유량 부족으로 인한 교량받침의 기능저하를 방지하기 위해 가동 여유량을 실측하여 검토하였다.

가동받침 가동량 산정시 고려되는 항목은 활하중에 의한 보의 처짐, 온도변화, 건조수축,

크리프 등을 고려하여야 한다. 그러나 대상 교량은 준공후 10년이 경과하였기 때문에 건조수축 및 크리프에 의한 변형은 완료된 것으로 판단하여 온도변화 및 활하중에 의한 처짐만을 검토하는 것으로 하였다.

【표 3-56】 교량받침 계산 가동량 산정(측정시 온도 기준)(마산방향)

| 구 분 | | 온도변화 (⊿T, ℃) | | 선팽창계수 (α) | 신축거더 길이 (L, m) | 온도 변화에 의한 가동량(㎜) | | 활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜) | 최대 받침 가동량(㎜) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 동절기 | 하절기 | | | 동절기 | 하절기 | | 동절기 (최대수축시) | 하절기 (최대신장시) |
| A1 | (1차) | 49.2 | 10.8 | 0.000012 | 150.0 | 88.6 | 19.4 | 11.1 | 88.6 | 30.5 |
| | (2차) | 33.2 | 26.8 | 0.000012 | 150.0 | 59.8 | 48.2 | 11.1 | 59.8 | 59.3 |
| P1 | (1차) | 49.2 | 10.8 | 0.000012 | 100.0 | 59.0 | 13.0 | - | 59.0 | 13.0 |
| | (2차) | 33.2 | 26.8 | 0.000012 | 100.0 | 39.8 | 32.2 | - | 39.8 | 32.2 |
| P2 | (1차) | 49.2 | 10.8 | 0.000012 | 50.0 | 29.5 | 6.5 | - | 29.5 | 6.5 |
| | (2차) | 33.2 | 26.8 | 0.000012 | 50.0 | 19.9 | 16.1 | - | 19.9 | 16.1 |
| P3 | 고정단 | | | | | | | | | |
| P4 | (1차) | 49.2 | 10.8 | 0.000012 | 50.0 | 29.5 | 6.5 | - | 29.5 | 6.5 |
| | (2차) | 33.2 | 26.8 | 0.000012 | 50.0 | 19.9 | 16.1 | - | 19.9 | 16.1 |
| P5 | A1(1차) | 49.2 | 10.8 | 0.000012 | 100.0 | 59.0 | 13.0 | 11.1 | 59.0 | 24.1 |
| | A1(2차) | 33.2 | 26.8 | 0.000012 | 100.0 | 39.8 | 32.2 | 11.1 | 39.8 | 43.3 |
| | A2(1차) | 49.2 | 10.8 | 0.000012 | 50.0 | 29.5 | 6.5 | - | 29.5 | 6.5 |
| | A2(2차) | 33.2 | 26.8 | 0.000012 | 50.0 | 19.9 | 16.1 | - | 19.9 | 16.1 |
| P6 | 고정단 | | | | | | | | | |
| P7 | (1차) | 49.2 | 10.8 | 0.000012 | 50.0 | 29.5 | 6.5 | - | 29.5 | 6.5 |
| | (2차) | 33.2 | 26.8 | 0.000012 | 50.0 | 19.9 | 16.1 | - | 19.9 | 16.1 |
| P8 | (1차) | 49.2 | 10.8 | 0.000012 | 100.0 | 59.0 | 13.0 | - | 59.0 | 13.0 |
| | (2차) | 33.2 | 26.8 | 0.000012 | 100.0 | 39.8 | 32.2 | - | 39.8 | 32.2 |
| A2 | (1차) | 49.2 | 10.8 | 0.000012 | 150.0 | 88.6 | 19.4 | 11.1 | 88.6 | 30.5 |
| | (2차) | 33.2 | 26.8 | 0.000012 | 150.0 | 59.8 | 48.2 | 11.1 | 59.8 | 59.3 |

1) 조사당시 온도 : 1차 29.2℃(조사일 : 2016년 08월 12일), 2차 13.2℃(조사일 : 2016년 10월 11일)
2) 검토온도 : -20℃ ~ 40℃(한랭지방)

금회 교량받침 측정은 눈금을 이용하여 측정하였으며, 가동 실측 여유량 측정결과와 계산 가동량을 비교한 결과는 다음과 같다.

② 교량받침 온도차에 따른 가동 여유량과 계산 가동량 비교

【표 3-57】 교량받침 온도차에 따른 가동 여유량과 계산 가동량 비교(단위 : ㎜)(마산방향)

| 위 치 | | 점검당시 실측이동량 (㎜) | 계산 최대 받침 가동량(㎜) | | 실측 받침 가동여유량(㎜) | | 평 가 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 최대수축 가동량 | 최대신장 가동량 | 수축여유량 | 신장여유량 | |
| A1 | Sh1 | 65(A1) | 88.6 | 30.5 | 145 | 15 | N.G |
| | Sh2 | 63(A1) | | | 143 | 17 | N.G |
| | Sh3 | 60(A1) | | | 140 | 20 | N.G |
| | Sh4 | 60(A1) | | | 140 | 20 | N.G |
| A1 (2차) | Sh1 | 30(A1) | 59.8 | 48.2 | 110 | 50 | O.K |
| | Sh2 | 35(A1) | | | 115 | 45 | N.G |
| | Sh3 | 40(A1) | | | 120 | 40 | N.G |
| | Sh4 | 40(A1) | | | 120 | 40 | N.G |
| P1 (1차) | Sh1 | 37(A1) | 59.0 | 13.0 | 87 | 13 | O.K |
| | Sh2 | 37(A1) | | | 87 | 13 | O.K |
| | Sh3 | 25(A1) | | | 75 | 25 | O.K |
| | Sh4 | 25(A1) | | | 75 | 25 | O.K |
| P1 (2차) | Sh1 | 5(A1) | 39.8 | 32.2 | 55 | 45 | O.K |
| | Sh2 | 5(A1) | | | 55 | 45 | O.K |
| | Sh3 | 3(A1) | | | 53 | 47 | O.K |
| | Sh4 | 2(A1) | | | 52 | 48 | O.K |
| P2 (1차) | Sh1 | 20(A1) | 29.5 | 6.5 | 100 | 60 | O.K |
| | Sh2 | 19(A1) | | | 99 | 61 | O.K |
| | Sh3 | 15(A1) | | | 95 | 65 | O.K |
| | Sh4 | 15(A1) | | | 95 | 65 | O.K |
| P2 (2차) | Sh1 | 10(A1) | 19.9 | 16.1 | 90 | 70 | O.K |
| | Sh2 | 7(A1) | | | 87 | 73 | O.K |
| | Sh3 | 6(A1) | | | 86 | 74 | O.K |
| | Sh4 | 4(A1) | | | 84 | 76 | O.K |
| P4 (1차) | Sh1 | 15(A2) | 29.5 | 6.5 | 95 | 65 | O.K |
| | Sh2 | 14(A2) | | | 94 | 66 | O.K |
| | Sh3 | 17(A2) | | | 97 | 63 | O.K |
| | Sh4 | 17(A2) | | | 97 | 63 | O.K |
| P4 (2차) | Sh1 | 2(A2) | 19.9 | 16.1 | 82 | 78 | O.K |
| | Sh2 | 1(A2) | | | 81 | 79 | O.K |
| | Sh3 | 4(A2) | | | 84 | 76 | O.K |
| | Sh4 | 0(A2) | | | 80 | 80 | O.K |

【표 3-57】 교량받침 온도차에 따른 가동 여유량과 계산 가동량 비교(단위 : ㎜)(마산방향)(계속)

| 위 치 | | 점검당시 실측이동량 (㎜) | 계산 최대 받침 가동량(㎜) | | 실측 받침 가동여유량(㎜) | | 평 가 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 최대수축 가동량 | 최대신장 가동량 | 수축여유량 | 신장여유량 | |
| P5 A1 (1차) | Sh1 | 18(A2) | 59.0 | 24.1 | 118 | 82 | O.K |
| | Sh2 | 17(A2) | | | 117 | 83 | O.K |
| | Sh3 | 20(A2) | | | 120 | 80 | O.K |
| | Sh4 | 20(A2) | | | 120 | 80 | O.K |
| P5 A1 (2차) | Sh1 | 8(A1) | 39.8 | 43.3 | 108 | 92 | O.K |
| | Sh2 | 6(A1) | | | 106 | 94 | O.K |
| | Sh3 | 5(A1) | | | 105 | 95 | O.K |
| | Sh4 | 3(A1) | | | 103 | 97 | O.K |
| P5 A2 (1차) | Sh1 | 7(A1) | 29.5 | 6.5 | 87 | 73 | O.K |
| | Sh2 | 10(A1) | | | 90 | 70 | O.K |
| | Sh3 | 12(A1) | | | 92 | 68 | O.K |
| | Sh4 | 13(A1) | | | 93 | 67 | O.K |
| P5 A2 (2차) | Sh1 | 6(A2) | 19.9 | 16.1 | 86 | 74 | O.K |
| | Sh2 | 5(A2) | | | 85 | 75 | O.K |
| | Sh3 | 2(A2) | | | 82 | 78 | O.K |
| | Sh4 | 4(A2) | | | 84 | 76 | O.K |
| P7 (1차) | Sh1 | 0(A2) | 29.5 | 6.5 | 80 | 80 | O.K |
| | Sh2 | 12(A2) | | | 92 | 68 | O.K |
| | Sh3 | 10(A2) | | | 90 | 70 | O.K |
| | Sh4 | 10(A2) | | | 90 | 70 | O.K |
| P7 (2차) | Sh1 | 10(A2) | 19.9 | 16.1 | 90 | 70 | O.K |
| | Sh2 | 0(A2) | | | 80 | 80 | O.K |
| | Sh3 | 0(A2) | | | 80 | 80 | O.K |
| | Sh4 | 0(A2) | | | 80 | 80 | O.K |
| P8 (1차) | Sh1 | 20(A2) | 59.0 | 13.0 | 100 | 60 | O.K |
| | Sh2 | 21(A2) | | | 101 | 59 | O.K |
| | Sh3 | 20(A2) | | | 100 | 60 | O.K |
| | Sh4 | 22(A2) | | | 102 | 58 | O.K |
| P8 (2차) | Sh1 | 0(A2) | 39.8 | 32.2 | 80 | 80 | O.K |
| | Sh2 | 0(A2) | | | 80 | 80 | O.K |
| | Sh3 | 0(A2) | | | 80 | 80 | O.K |
| | Sh4 | 0(A2) | | | 80 | 80 | O.K |

【표 3-57】 교량받침 온도차에 따른 가동 여유량과 계산 가동량 비교(단위 : ㎜)(마산방향)(계속)

| 위 치 | | 점검당시 실측이동량 (㎜) | 계산 최대 받침 가동량(㎜) | | 실측 받침 가동여유량(㎜) | | 평 가 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 최대수축 가동량 | 최대신장 가동량 | 수축여유량 | 신장여유량 | |
| A2 (1차) | Sh1 | 45(A2) | 88.6 | 30.5 | 155 | 5 | N.G |
| | Sh2 | 45(A2) | | | 155 | 5 | N.G |
| | Sh3 | 45(A2) | | | 155 | 5 | N.G |
| | Sh4 | 45(A2) | | | 155 | 5 | N.G |
| A2 (2차) | Sh1 | 10(A2) | 59.8 | 48.2 | 120 | 40 | N.G |
| | Sh2 | 15(A2) | | | 125 | 35 | N.G |
| | Sh3 | 13(A2) | | | 123 | 37 | N.G |
| | Sh4 | 10(A2) | | | 120 | 40 | N.G |

■ 교량받침의 이동량을 검토한 결과, 대부분 충분한 가동 여유량을 확보하고 있는 것으로 평가되었다. 다만, A1, A2의 받침 이동량은 계산에 의한 최대 받침이동량(신장시)이 받침이동허용량을 고려한 받침 가동여유량(신장시)을 초과하는 것으로 검토되었다.

■ 가동여유량 부족은 1차와 2차 조사결과 정상적인 가동상태를 보이고 있어 받침장치 설치 시 발생한 프리셋팅 오류로 판단된다. 가동흔적 조사결과, 기능상에 문제가 없고 이동여유량 부족으로 인한 이상변위 및 기타손상(받침들뜸 및 파손, 받침장치 주변 부재의 파손 및 변형, 받침편기 등)이 없으며, 현재 교량의 안전성 및 사용성에 문제가 없으므로, 경제성을 고려하여 교체보다는 현상유지가 타당할 것으로 판단된다. 그러나 여유량 부족으로 인한 받침장치 및 거더 등에 손상발생 가능성을 배제할 수 없으므로 중점유지관리 사항으로 선정하여 점검 시 이상유·무를 확인할 수 있도록 중점유지관리가 필요할 것으로 사료된다.

A1-Sh4 받침 이동위치 측정

A1-Sh4 가동흔적

■ 교량받침의 이동위치는 2회(1차:29.2℃(8월12일), 2차:13.2℃(10월11일))에 걸쳐 측정하였으며, 온도 변화에 따른 이동량 측정결과, 계산 이동량과 차이는 있으나, 전반적으로 양호한 거동상태를 보이고 있는 것으로 평가되었다.

③ 온도차에 따른 이론 수축량과 실제 수축량 가동 여부 비교

【표 3-58】 온도차에 따른 이론 수축량과 실제 수축량 가동 여부 비교(단위 : ㎜)(마산방향)

| 위치 | 1차온도 | 2차온도 | 온도차 | 거더길이 | 이론수축량(A) | 실측수축량(B) | 비고 (A/B)×100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A1 | 29.2 | 13.2 | 16.0 | 150.0 | 28.8 | 35.0 | 82.3 |
| P1 | 29.2 | 13.2 | 16.0 | 100.0 | 19.2 | 32.0 | 60.0 |
| P2 | 29.2 | 13.2 | 16.0 | 50.0 | 9.6 | 12.0 | 80.0 |
| P4 | 29.2 | 13.2 | 16.0 | 50.0 | 9.6 | 17.0 | 56.5 |
| P5(A1) | 29.2 | 13.2 | 16.0 | 100.0 | 19.2 | 17.0 | 112.9 |
| P5(A2) | 29.2 | 13.2 | 16.0 | 50.0 | 9.6 | 10.0 | 96.0 |
| P7 | 29.2 | 13.2 | 16.0 | 50.0 | 9.6 | 12.0 | 80.0 |
| P8 | 29.2 | 13.2 | 16.0 | 100.0 | 19.2 | 22.0 | 87.3 |
| A2 | 29.2 | 13.2 | 16.0 | 150.0 | 28.8 | 35.0 | 82.3 |

■ 교량받침에 대한 기온이 10도 이상 차이나는 2일을 산정하여 현장에서 측정한 결과와 이론 수축량 대비 56.5%~12.9%까지 받침 수축량 변동하는 것으로 받침 가동상태는 양호한 것으로 분석되었다.

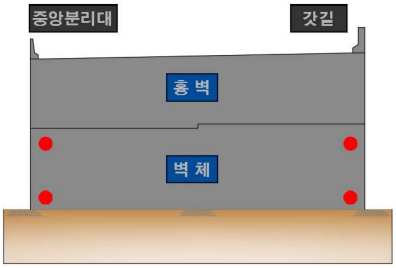
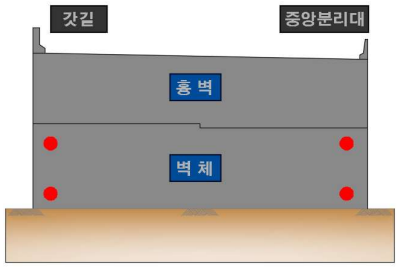
## 3.3.4 교대 기울기

공용중인 교량의 교대 측방유동 및 밀림의 영향으로 교대 기울음이 발생할 수 있다. 따라서 교대 주변의 현상과 장기적인 추적조사를 통하여 교대의 이동 및 회전현상을 파악할 수 있는데 기존 정밀점검 Data와 비교 분석 및 금회 광파기 및 경사계를 이용하여 측정한 자료를 초기 값으로 하여 향후 교대의 기울기 변화를 지속적으로 관찰할 수 있도록 하였다.

### 가. 광파기를 이용한 측정

교대의 기울기 및 변위를 관찰하고자 교대 A1, A2 흉벽 및 구체에 4개의 측점을 선정하여 설치하고 광기를 이용하여 측정하였다.

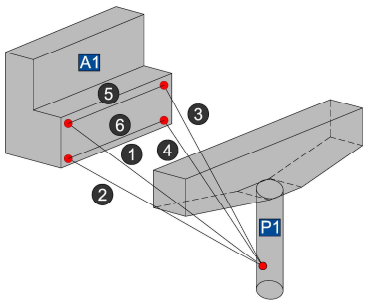
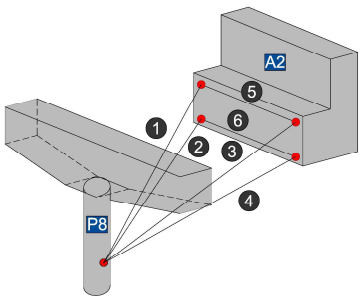
1) 측량 위치 및 측량 전경

| 측정 위치 | | 측정 전경 |
|---|---|---|
| A1 교대 | A2 교대 | |
|  |  | |



2) 측량 결과 및 분석

【표 3-59】 광파기를 이용한 측량 결과(마산방향)

| 좌표 모식도(A1) | 좌표 모식도(A2) | 좌표 전경 |
|---|---|---|
|  |  | |



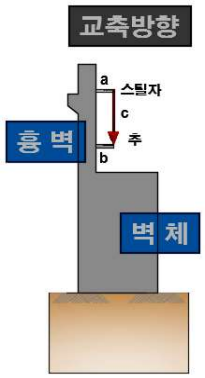
| 측정일자 | 위치 | 측정 결과 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ |
| 2016.10.10 | 교대 A1 | 58.2374 | 58.1592 | 55.8848 | 55.7970 | 11.1989 | 11.2215 |
| | 교대 A2 | 47.6755 | 67.6133 | 67.6465 | 67.5926 | 11.4803 | 11.4898 |

교대 A1, A2에 대한 측정결과를 향후 진단 시 활용할 수 있도록 위 표와 같이 나타내었다.

## 나. 다림추를 이용한 측정

교대의 기울기 및 변위를 관찰하고자 교대 A1, A2 흉벽에 다짐추를 이용하여 측정하였다.

1) 측정 위치 및 측정 전경



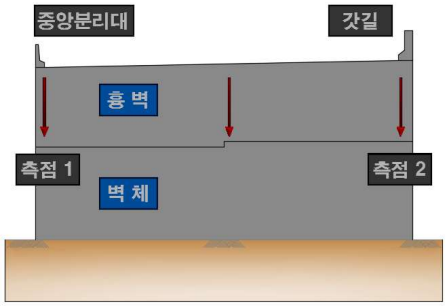
- a : 상단 이격거리(mm), 스틸자 사용
- b : 하단 이격거리(mm), 교대 흉벽에서 추의 거리
- c : 줄의 총 길이(mm)

$$\text{경사}(d) = \frac{(b-a)}{c}(\%)$$

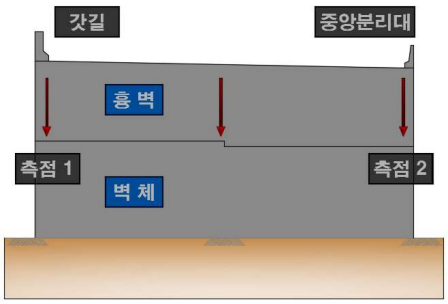
- 경사 부호

: (−)부호일 경우 ◿(교대가 흉벽측으로 기울음)

: (+)부호일 경우 ◹(교대가 교각측으로 기울음)




A1 교대 기울기 측정 위치




A2 교대 기울기 측정 위치

2) 측정 결과 및 분석

【표 3-60】 다림추를 이용한 기울기 결과(마산방향)

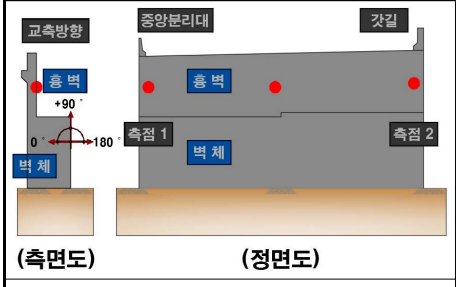
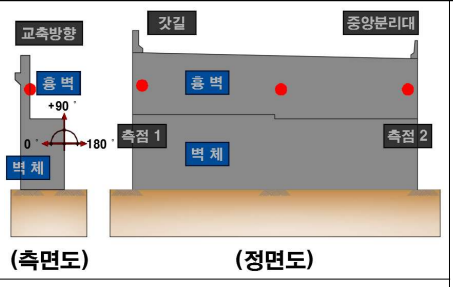
| 구 분 | | 교대 기울기 측정 결과(단위 : mm) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ① | | ② | | ③ | |
| | | 금회 | 전회 | 금회 | 전회 | 금회 | 전회 |
| A1 | 상단 이격거리(a) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | 하단 이격거리(b) | 96.5 | 90 | 97 | 102 | 98 | 98 |
| | 줄의 총 길이(c) | 1000 | 2300 | 1000 | 2300 | 1000 | 2300 |
| | 경사(d) | −0.35% | −0.43% | −0.30% | 0.09% | −0.20% | −0.09% |
| A2 | 상단 이격거리(a) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | 하단 이격거리(b) | 99 | 106 | 101 | 115 | 101 | 89 |
| | 줄의 총 길이(c) | 1000 | 2300 | 1000 | 2300 | 1000 | 2300 |
| | 경사(d) | −0.10% | 0.26% | 0.10% | 0.65% | 0.10% | −0.48% |

A1 교대는 -0.35~-0.20%의 경사가 측정되었고, A2 교대는 -0.10~+10%의 경사가 측정되었다. A1의 기울기는 흉벽측으로 다소 기울어져 있으며, A2는 교각측으로 기울어진 것으로 확인이 되었고 신축이음 유간을 만족하고, 흉벽 시공 시 거푸집 변형 및 콘크리트면이 일정하지 않는 오차로서 수평이동에 대한 영향은 미미한 것으로 분석되었다. 또한, 기 점검 결과와 유사한 것으로 분석되었다.

## 다. 경사계 및 디지털 카메라를 이용한 측정

■ 교량의 A1, A2에 대해서는 『디지털 카메라를 이용한 토목구조물 안전진단장치(특허등록번호 : 10-1619407), 디지털 카메라를 이용한 토목구조물 안전진단장치의 운용방법(특허등록번호 : 10-1619412)』을 이용하여 직립도(기울기)를 측정하였고 경사계로 측정된 값과 비교하였다.

1) 측정 위치 및 전경

| 측정 위치 | | 측정전경 |
|---|---|---|
|  |  | |
| A1 교대 | A2 교대 | |

2) 디지털 카메라를 이용한 측정

디지털 카메라 직립도 측정 전경

디지털 카메라 직립도 측정결과

3) 측정결과 및 분석

【표 3-61】 경사계를 이용한 기울기 결과(마산방향)

| 구 분 | | | 설계기울기 (o) | 측정기울기(o) | | | 기울기오차 (o) | 각변위 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 측점 1 | 측점 2 | Max 값 | | |
| A1 | 흉벽 | 교축방향 | 90.00 | -89.90 | -89.85 | -89.50 | 0.15 | 1/382 |
| A2 | 흉벽 | 교축방향 | 90.00 | -89.95 | -90.00 | -89.95 | 0.05 | 1/1146 |

※ 각변위에서 (+)는 교대 전면방향으로 경사 발생, (-)는 교대 배면방향으로 경사 발생.

【표 3-62】 교대 직립도(기울기-디지털 카메라) 측정 결과(마산방향)

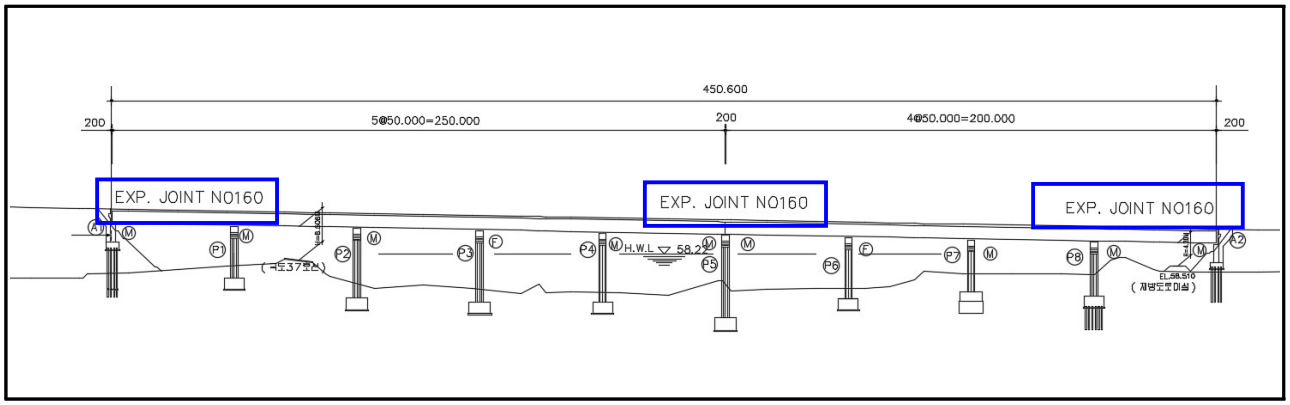
| 구 분 | | | 설계기울기 (o) | 측정기울기(o) | | 기울기오차 (o) | 각변위 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 측점1 | 환산 | | |
| A1 | 흉벽 | 교축방향 | 90.00 | -0.149996 | -89.85 | 0.15 | 1/382 |
| A2 | 흉벽 | 교축방향 | 90.00 | -0.047832 | -89.95 | 0.05 | 1/1146 |

※ 각변위에서 (+)는 교대 전면방향으로 경사 발생, (-)는 교대 배면방향으로 경사 발생.

디지털 카메라와 전자경사계를 이용한 기울기 측정결과 교대 구체 A1 및 A2 모두 허용변위 내의 각 변위를 보이고 있어 양호한 상태인 것으로 조사되었다.

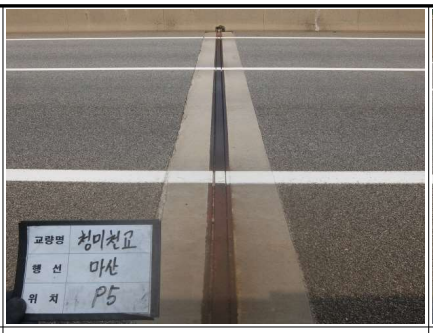
## 3.3.5 신축이음 장치

청미천교(마산)의 신축이음장치는 A1, A2에 강핑거 조인트, P5에는 레일 조인트가 설치되어 있으며, 신축이음 배치 현황은 다음과 같다.

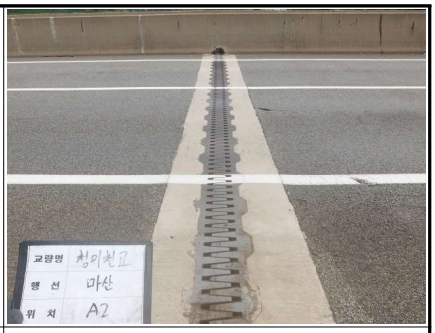



【그림 3-10】 청미천교(마산) 신축이음 배치도

신축이음장치 전경(A1)




신축이음장치 전경(P5)



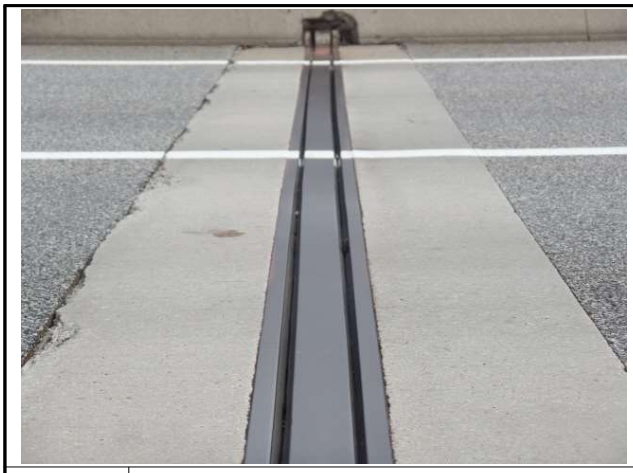

신축이음장치 전경(A2)

1) 외관조사 결과

【표 3-63】 신축이음장치 외관조사 결과(마산방향)

| 구분 | 본체 | | | | | | 커버플레이트 | | 후타재 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 변형(m) | | 부식(m) | | 유간토사퇴적(m) | | 볼트풀림 | 탈락 | 균열(Cw=0.1㎜) | | 균열(Cw=0.2㎜) | | 파손(㎡) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 개소 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 |
| A1 | - | - | 2.00 | 1 | 2.00 | 1 | 7 | - | 1.20 | 4 | - | - | 0.08 | 3 |
| P5 | 11.00 | 1 | 2.00 | 1 | 2.00 | 1 | 1 | 1 | 3.60 | 9 | - | - | 1.10 | 1 |
| A2 | - | - | - | - | 12.00 | 1 | 7 | - | 0.30 | 1 | 1.20 | 3 | 0.64 | 4 |
| **합계** | **11.00** | **1** | **4.00** | **2** | **16.00** | **3** | **15** | **1** | **5.10** | **14** | **1.20** | **3** | **1.82** | **8** |

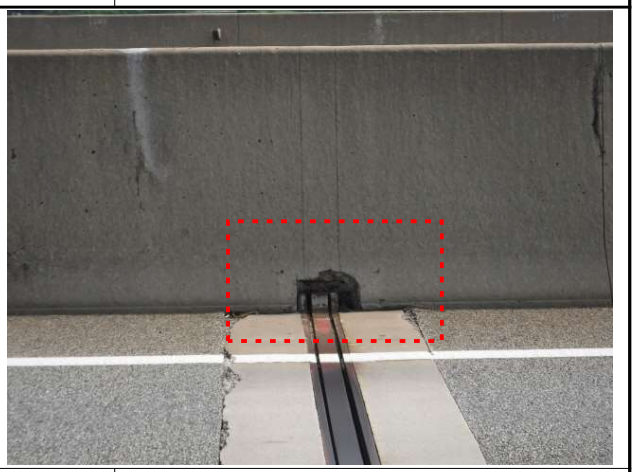
2) 손상별 원인분석



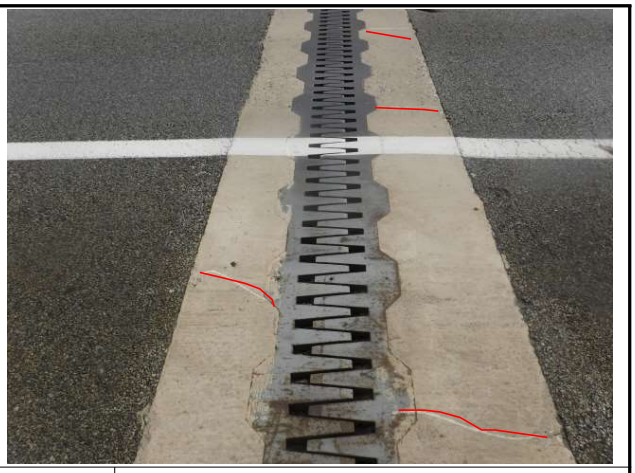
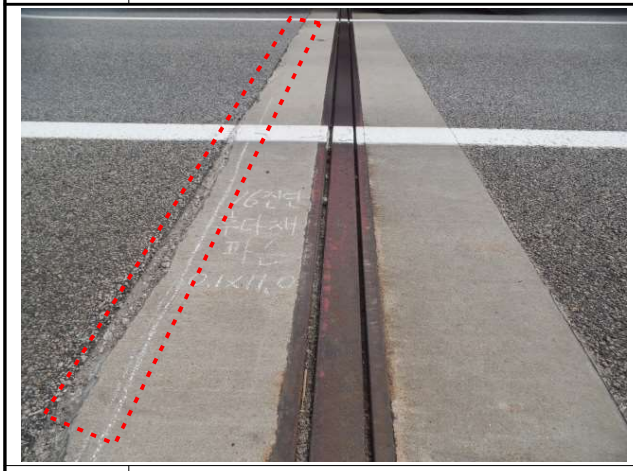
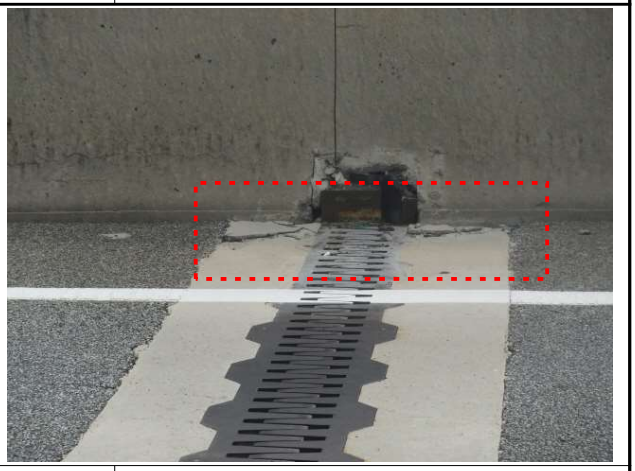
| | |
|---|---|
| **현 황** | ◦P5 본체 변형 |
| **원 인** | ◦공용증가, 중차량 통행 |
| **대 책** | ◦지속관찰 |

| | |
|---|---|
| **현 황** | ◦P5 본체부식 |
| **원 인** | ◦우수 및 제설제 노출 |
| **대 책** | ◦지속관찰 |

| | |
|---|---|
| **현 황** | ◦A2 본체 부식, 유간토사퇴적 |
| **원 인** | ◦공용증가 |
| **대 책** | ◦지속관찰, 주기적인 청소 |



| | |
|---|---|
| **현 황** | ◦P5 커버플레이트 탈락 |
| **원 인** | ◦외부충격 |
| **대 책** | ◦재설치 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | |  | |
| **현 황** | ◦P5 커버플레이트 볼트탈락 | **현 황** | ◦A1 후타재 균열(0.2㎜/0.4m) |
| **원 인** | ◦외부충격 | **원 인** | ◦건조수축, 중차량 통과 |
| **대 책** | ◦재설치 | **대 책** | ◦지속관찰 |
|  | |  | |
| **현 황** | ◦P5 후타재 파손 | **현 황** | ◦A2 후타재 파손 |
| **원 인** | ◦시공미흡, 중차량에 의한 파손 | **원 인** | ◦시공미흡, 중차량에 의한 파손 |
| **대 책** | ◦단면보수 | **대 책** | ◦단면보수 |

3) 기 점검결과와의 비교 · 분석

■ 청미천교(마산)의 A1, A2 신축이음은 2013년과 2014년에 교체되어 비교가 불가한 상태였으며, P5 신축이음은 기 진단에서 상태가 양호한 것으로 조사되어 금회 조사결과 공용증가에 따른 손상의 증가가 나타났다.

【표 3-64】 신축이음 기 진단 결과 비교(마산방향)

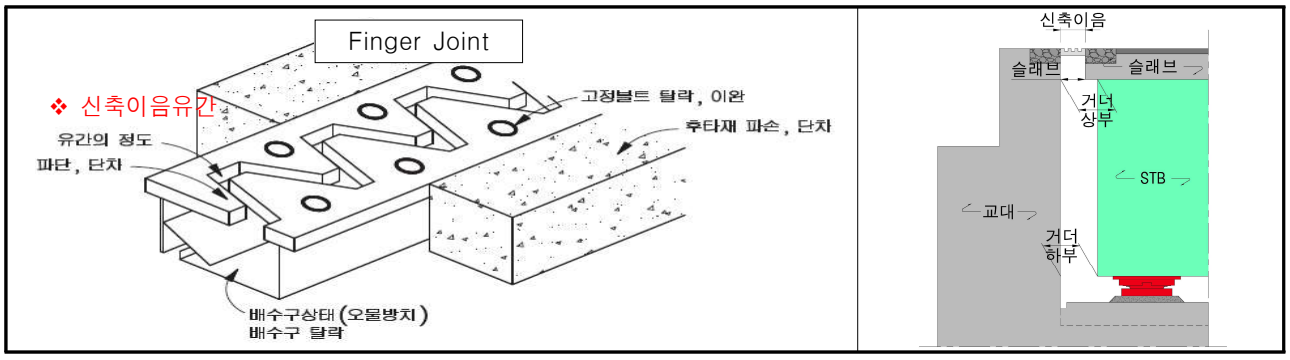
| 결함 및 손상내용 | 2012년 진단 | | 금회 진단 | | 증 감 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | | | |
| 상면부식 | - | - | 2 | 4.00m | ▲ | 4.00m | |
| 유간토사퇴적 | - | - | 3 | 16.00m | ▲ | 16.00m | |
| 변형 | - | - | 1 | 11.00m | ▲ | 11.00m | |
| 균열(cw=0.3mm미만) | - | - | 17 | 6.30m | ▲ | 6.30m | |
| 파손 | - | - | 8 | 1.82㎡ | ▲ | 1.82㎡ | |

4) 검토 의견

- 신축이음 본체는 부식, 유간토사퇴적, P5 신축이음의 본체 변형이 조사되었으며, 후타재 균열 및 파손과 커버플레이트 탈락, 볼트탈락 등의 손상이 조사되었다.
- A1, A2 신축이음장치의 본체는 2013년과 2014년 레일조인트에서 강핑거조인트로 교체되어 매우 양호한 상태이며, 가동상태와 유간량은 거더가 최대로 신장할 경우에 만족하는 것으로 분석되었다. 또한 하부 고무재 파손, 단차 등의 손상이 조사되지 않는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.
- P5 신축이음장치의 본체는 지속적인 우수의 유입과 동절기 제설제의 영향으로 일부 부식이 발생한 상태이며, 공용증가 및 중차량 통행으로 변형이 발생하였다. 현재 신축이음장치의 가동상태와 유간량은 거더가 최대로 신장할 경우에 만족하는 것으로 분석되었고, 하부 고무재 파손, 단차 등의 손상이 조사되지 않은 것으로 나타나 현재 상태에서는 지속관찰하고 향후 점검결과에 따라 신축이음 교체를 단계적으로 실시하는 것을 검토하여야 한다.
- 후타재 균열과 파손은 시공초기 건조수축, 공용 중 차량의 반복하중 및 충격에 의한 손상으로 내구성 및 차량의 주행성 확보 차원의 표면처리보수 및 단면보수를 실시하여야 한다.
- 신축이음 유간 토사퇴적은 주행차량의 충격과 마찰로 인해 신축이음 본체 파손과 누수를 유발시켜 상·하부구조의 열화 및 교량받침 부식 등의 손상을 초래하게 되므로 정기적인 청소와 유지관리가 필요하다. 또한 커버플레이트 볼트탈락은 현재 보수의 의미가 없으므로 향후 추가 손상이 발생할 경우 차수덮개 전체를 교체함이 바람직하며, 커버플레이트 탈락은 강우시 우수의 하부유입으로 인한 교량받침과 하부구조의 손상이 우려되므로 재설치가 필요하다.

5) 신축량 조사 및 평가

① 계산 신축량 산정



| | | |
|---|---|---|
| 신축이음장치 유간 측정 | 슬래브 및 거더 상부 유간 측정 | 거더 하부 유간 측정 |

【표 3-65】 계산 신축량 산정(마산방향)

**평가 기준**

▣ 온도에 의한 가동량

$\Delta \ell t = \Delta T \times \alpha \times \ell$ (신축거더 길이)

$\Delta T$ = 온도변화(−20℃~+40℃) → Steel Box Girder교(한랭지방)

$\alpha$ = 선팽창계수(1.2×10−5) → Steel Box Girder교

※ 한랭지방 적용근거

| | |
|---|---|
| **도로설계편람 (2000년)** | ■ 온도범위는 교량상부구조의 평균온도이며, 지역구분은 최근 5년간 최저기온 및 최고기온을 참조하여 결정(도로공사 연구보고서. 1993)<br>■ 대전 구미, 대구, 강릉, 논산, 전주, 광주, 순천, 진주, 마산, 창령, 고령, 동서울, 부산 |
| **기상청 통계자료** | ■ 최근 5년간 이천(기)의 일평균 최저 온도 : -14.2℃(2011. 1. 16.)<br>■ 설계편람 발간당시의 이천(기) 5년간 일평균 최저 온도 : -15.8℃(2001. 1. 15.)<br>■ 최근 5년간 평균 최저 온도 < 발간당시의 5년간 평균 최저 온도 |

▣ 활하중에 의한 보의 처짐에 의한 가동량

$\triangle l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$

여기서, $h_i$ : 받침의 회전중심에서 보의 중립축까지의 높이(1h/3)

$\theta_i$ : 보의 회전각(강교 1/150)

▣ 계산 가동량 산정

| | | | |
|---|---|---|---|
| **온도변화 범위** | −20℃ ~ +40℃ | **선팽창 계수($\alpha$)** | $1.2\times10^{-5}$ |
| **점검시 기온(℃)** | 2016. 08. 12.(1차)<br>2016. 10. 10.(2차) | 29.2(1차)<br>11.6(2차) | |
| **온도에 의한 가동량($\Delta \ell t$)** | $\Delta \ell t = \Delta T \times \alpha \times \ell$ | | |
| **보의 중립축까지 높이 1h/3(hi)** | $\frac{1}{3}\times 2{,}500$ | | |
| **보의 회전각($\theta$i)** | 1/150(Steel Box Girder교) | | |
| **보의 처짐에 의한 가동량($\Delta \ell r$)** | $\triangle l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$ | | |

| **신축거더길이(L)** | A1 | P5 | A2 |
|---|---|---|---|
| | 150.0 | 150.0 | 150.0 |

※ 처짐에 의한 가동량은 신축거더 100m이상 교량의 단부에 수축시만 고려하여 계산

② 신축이음 유간거리 산정

【표 3-66】 신축이음 유간거리 산정(마산방향)

| 위치 | | 측정시 온도 (℃) | 온도변화(⊿T) | | 선팽창 계수 | 신축거더 길이(m) | 거더높이 (m) | 최대 신축량(㎜) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 동절기 (℃) | 하절기 (℃) | | | | 동절기 (최대수축시) | 하절기 (최대팽창시) |
| A1 | 1차 | 29.2 | -49.2 | 10.8 | 0.000012 | 150.0 | 2.50 | 88.6 | 19.4 |
| | 2차 | 11.6 | -31.6 | 28.4 | 0.000012 | 150.0 | 2.50 | 56.9 | 51.1 |
| P2 | 1차 | 29.2 | -49.2 | 10.8 | 0.000012 | 150.0 | 2.50 | 88.6 | 19.4 |
| | 2차 | 11.6 | -31.6 | 28.4 | 0.000012 | 150.0 | 2.50 | 56.9 | 51.1 |
| A2 | 1차 | 29.2 | -49.2 | 10.8 | 0.000012 | 150.0 | 2.50 | 88.6 | 19.4 |
| | 2차 | 11.6 | -31.6 | 28.4 | 0.000012 | 150.0 | 2.50 | 56.9 | 51.1 |

③ 신축이음 유간거리 측정결과

【표 3-67】 신축이음 유간거리 측정결과(단위 : ㎜)(마산방향)

| 부 재 | | 신축이음장치 (A) | 바닥판(B) | Steel Box Girder | | 장치종류 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 상부(C) | 하부(B) | |
| Exp.J1(A1) | 1차 | 50.0 | 160.0 | 210.0 | 190.0 | Finger Joint, NO.160 |
| | 2차 | 75.0 | 200.0 | 230.0 | 212.0 | |
| Exp.J2(P2) | 1차 | 27.0 | 120.0 | 375.0 | 350.0 | Rail Joint, NO.160 |
| | 2차 | 50.0 | 140.0 | 405.0 | 375.0 | |
| Exp.J3(A2) | 1차 | 50.0 | 150.0 | 300.0 | 280.0 | Finger Joint, NO.160 |
| | 2차 | 70.0 | 180.0 | 325.0 | 305.0 | |

【표 3-68】 신축이음 유간거리 검토결과(마산방향)

| 부 재 | | | 측정유간 (㎜) | 계산 신축량(㎜) | | 허용신장량 (㎜) | 신축 여유량(㎜) | | 평가 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 수축 | 팽창 | | 수축 | 팽창 | |
| Exp.J1 (A1) | 1차 | A | 50.0 | 88.6 | 19.4 | 160.0 | 110.0 | 50.0 | O.K |
| | | B | 160.0 | | | | - | 160.0 | |
| | | C | 210.0 | | | | - | 210.0 | |
| | | D | 190.0 | | | | - | 190.0 | |
| | 2차 | A | 75.0 | 56.9 | 51.1 | 160.0 | 85.0 | 75.0 | O.K |
| | | B | 200.0 | | | | - | 200.0 | |
| | | C | 230.0 | | | | - | 230.0 | |
| | | D | 212.0 | | | | - | 212.0 | |

【표 3-68】 신축이음 유간거리 검토결과(계속)(마산방향)

| 부 재 | | | 측정유간 (㎜) | 계산 신축량(㎜) | | 허용신장량 (㎜) | 신축 여유량(㎜) | | 평가 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 수축 | 팽창 | | 수축 | 팽창 | |
| Exp.J2 (P2) | 1차 | A | 27.0 | 88.6 | 19.4 | 160.0 | 133.0 | 27.0 | O.K |
| | | B | 120.0 | | | | - | 120.0 | |
| | | C | 375.0 | | | | - | 375.0 | |
| | | D | 350.0 | | | | - | 350.0 | |
| | 2차 | A | 53.0 | 56.9 | 51.1 | 160.0 | 107.0 | 53.0 | O.K |
| | | B | 140.0 | | | | - | 140.0 | |
| | | C | 405.0 | | | | - | 405.0 | |
| | | D | 375.0 | | | | - | 375.0 | |
| Exp.J2 (A2) | 1차 | A | 50.0 | 88.6 | 19.4 | 160.0 | 110.0 | 50.0 | O.K |
| | | B | 150.0 | | | | - | 150.0 | |
| | | C | 300.0 | | | | - | 300.0 | |
| | | D | 280.0 | | | | - | 280.0 | |
| | 2차 | A | 70.0 | 56.9 | 51.1 | 160.0 | 90.0 | 70.0 | O.K |
| | | B | 180.0 | | | | - | 180.0 | |
| | | C | 325.0 | | | | - | 325.0 | |
| | | D | 305.0 | | | | - | 305.0 | |

※ 신축여유량(팽창)=측정유간-계산신축량(팽창), 신축여유량(수축)=허용신장량-측정유간-계산신축량(수축)
※ 신축여유량 > 0인 경우 양호
※ A : 신축이음장치, B : 바닥판, C : Steel Box 상부, D : Steel Box 하부

④ 기 점검결과와의 비교 · 분석

■ 기 진단(2012년)결과 A1신축이음의 여유량이 부족한 것으로 조사되었으나 2014년 신축이음 교체가 이루어져 금회 신축이음 여유량 검토 결과 A1~A2 모두 유간은 충분히 만족하는 것으로 평가되었다.

⑤ 온도차에 따른 이론 수축량과 실제 수축량 가동 여부 비교

【표 3-69】 온도차에 따른 이론 수축량과 실제 수축량 가동 여부 비교(단위 : ㎜)(마산방향)

| 위치 | 1차온도 | 2차온도 | 온도차 | 거더길이 | 온도차 이론 수축량(A) | 온도차 실측수축량(B) | 비고 (A/B)×100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A1 | 29.2 | 11.6 | 17.6 | 150.0 | 31.7 | 25 | 126.80 |
| P2 | 29.2 | 11.6 | 17.6 | 150.0 | 31.7 | 26 | 121.92 |
| A2 | 29.2 | 11.6 | 17.6 | 150.0 | 31.7 | 20 | 158.50 |

■ 신축이음장치에 대한 기온이 10도 이상 차이나는 2일을 산정하여 현장에서 측정한 결과와 이론 수축량 대비 신축이음의 가동 상태는 양호한 것으로 분석되었다.

### 3.3.6 교면포장

바닥판 상면에 위치하여 차량에서 발생하는 진동을 흡수·분산시키고, 외부의 불리한 환경조건에 대해서 바닥판을 보호하는 역할을 하는 교면포장은 아스팔트콘크리트 포장으로 시공되어 있다.

교면포장의 상태는 청음조사 확인결과 포장 들뜸이 일부 조사되었다. 코아채취에 의한 아스콘(교면방수) 및 바닥판 콘크리트 상태조사는 S5경간에서 확인하였으며 포장두께는 70.0㎜로 준공도면(t=80㎜)과 차이가 있으며, 바닥판의 재료열화와 같은 손상이 발생되지 않은 양호한 상태이다. 콘크리트 코어시편은 염화물시험을 위한 시료로 활용하였다.

교면포장 전경

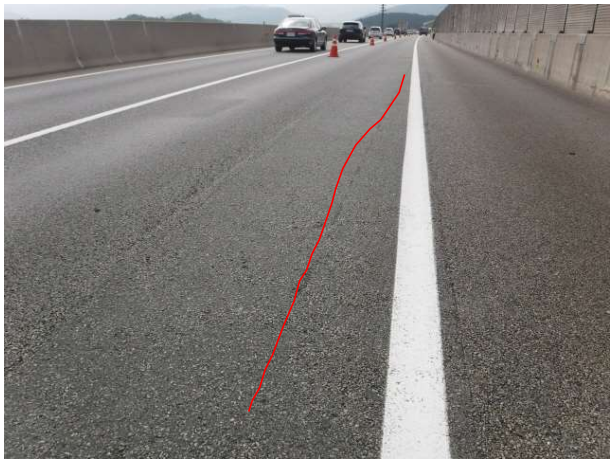
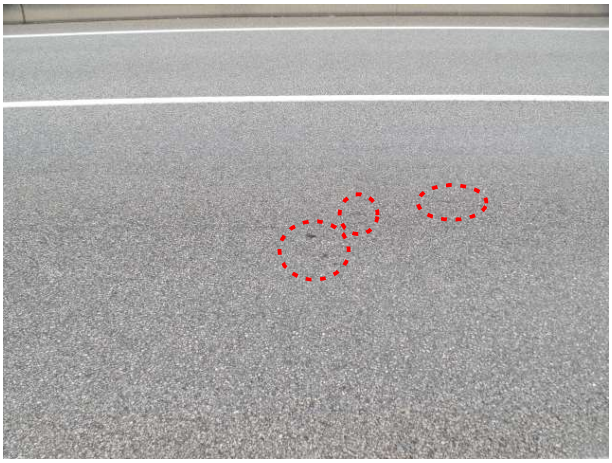
교면포장 두께 측정(t=80mm)

1) 외관조사 결과

【표 3-70】 교면포장 외관조사 결과(마산방향)

| 구분 | 포장불량 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 망상균열(㎡) | | 파손(㎡) | | 패임(㎡) | | 포장균열(m) | | 포트홀(㎡) | | 이물질용입(㎡) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 |
| S1 | - | - | 0.09 | 1 | 0.02 | 2 | 2.50 | 2 | 0.25 | 1 | 0.04 | 1 |
| S2 | - | - | - | - | 0.04 | 4 | - | - | - | - | - | - |
| S3 | - | - | - | - | - | - | 15.00 | 1 | - | - | - | - |
| S4 | - | - | - | - | 0.14 | 2 | - | - | - | - | - | - |
| S5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| S6 | 0.04 | 1 | 0.01 | 1 | - | - | 1.10 | 3 | 0.05 | 5 | - | - |
| S7 | 0.80 | 1 | - | - | 0.13 | 7 | - | - | - | - | - | - |
| S8 | - | - | - | - | 0.01 | 1 | - | - | - | - | - | - |
| S9 | 10.00 | 1 | - | - | 0.73 | 10 | - | - | - | - | - | - |
| **합계** | **10.84** | **3** | **0.10** | **2** | **1.07** | **26** | **18.60** | **6** | **0.30** | **6** | **0.04** | **1** |

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦S9 교면포장 아스콘 망상균열<br>원 인 ◦시공미흡(다짐불량), 중차량 통과<br>대 책 ◦팻칭보수</td><td>현 황 ◦S1 교면포장 아스콘 파손<br>원 인 ◦시공미흡(다짐불량), 중차량 통과<br>대 책 ◦팻칭보수</td></tr>
<tr><td> </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦S4 교면포장 아스콘 패임<br>원 인 ◦차량충돌<br>대 책 ◦팻칭보수</td><td>현 황 ◦S3 교면포장 아스콘 균열<br>원 인 ◦다짐불량, 중차량 통과<br>대 책 ◦실링보수</td></tr>
<tr><td>  </td><td> </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦S6 교면포장 포트홀<br>원 인 ◦다짐불량, 중차량 통과<br>대 책 ◦팻칭보수</td><td>현 황 ◦S1 교면포장 이물질 용입<br>원 인 ◦시공미흡<br>대 책 ◦팻칭보수</td></tr>
</table>

3) 기 점검결과와의 비교 · 분석

■ 기 진단 결과를 검토한 결과, 공용 년 수 증가와 지속적인 차량통행에 의한 노후화로 손상물량이 전반적으로 증가한 상태이며, 신규손상으로 포트홀, 이물질 용입이 일부 조사되었다.

【표 3-71】 교면포장 기 진단 결과 비교(마산방향)

| 결함 및 손상내용 | 2012년 진단 | | 금회 진단 | | 증 감 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | | | |
| 아스콘 균열 | 11 | 17.60m | 6 | 18.60m | ▲ | 1.00m | |
| 아스콘 망상균열 | 3 | 0.93㎡ | 3 | 10.84㎡ | ▲ | 9.91㎡ | |
| 파손, 패임, 포트홀 | 19 | 0.40㎡ | 34 | 1.47㎡ | ▲ | 1.072㎡ | |
| 이물질 용입 | 1 | 0.04㎡ | 1 | 0.04㎡ | | - | |

4) 검토 의견

■ 교면포장에는 균열, 망상균열 파손, 패임, 포트홀, 이물질 용입 등의 손상이 조사되었다. 이들 손상은 차량의 반복하중 및 아스콘 노후화 등에 의해 발생한 것이며, 현재 주행차량의 안전성에는 문제가 없으나 구조물의 내구성 차원에서 포장균열은 실링보수, 망상균열과 파손, 패임, 포트홀, 이물질용입은 팻칭보수 함이 바람직하다.

## 3.3.7 기타부재

### 가. 배수시설

배수시설은 우수 유입에 따른 열화방지를 위해 일정한 곳으로 물을 배출하기 위한 시설로서, 청미천교(마산)의 배수시설은 각각의 경간 상부에 설치된 집수구를 통하여 배수관을 따라 하부로 배수되도록 설치되어 있다.

【그림 3-11】 배수시설 현황(마산방향)

배수구 전경

배수관 전경

1) 외관조사 결과

【표 3-72】 배수시설 외관조사 현황(마산방향)

| 구분 | 배수관 탈락 | 유도배수관설치 필요 | 배수관 길이부족 |
|---|---|---|---|
| | 개소 | 개소 | 개소 |
| S1 | 1 | - | - |
| S2 | - | - | 1 |
| S3 | - | - | - |
| S4 | - | 1 | - |
| S5 | 1 | - | - |
| S6 | - | - | - |
| S7 | - | - | - |
| S8 | - | - | - |
| S9 | - | - | - |
| **합계** | 2 | 1 | 1 |

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td colspan="2"> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S1 유도배수관 탈락</td><td>현 황</td><td>◦P2 배수관 길이부족</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦공용증가, 외부충격</td><td>원 인</td><td>◦시공미흡</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦재설치</td><td>대 책</td><td>◦배수관 길이연장</td></tr>
</table>

3) 기 점검결과와의 비교 · 분석

■ 기 진단 결과를 검토한 결과, 지속적인 유지관리가 이루어지고 있는 관계로 배수관 길이연장과 배수홀 파이프 설치 등의 보수가 이루어져 손상은 감소한 상태이다. 하지만 보수누락 및 재손상으로 일부 손상이 남아있는 것으로 파악되었다.

【표 3-73】 배수시설 기 진단 결과 비교(마산방향)

| 결함 및 손상내용 | 2012년 진단 | | 금회 진단 | | 증 감 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | | | |
| 이물질 및 토사퇴적 | - | 2EA | - | - | ▼ | 2EA | |
| 배수관 길이부족 | - | 1EA | - | 1EA | | - | |
| 유도배수관 설치 필요 | - | 9EA | - | 2EA | ▼ | 7EA | |
| 배수관 곡관 누락 | - | 2EA | - | - | ▼ | 2EA | |

4) 검토 의견

■ 배수시설은 유도배수관탈락, 유도배수관 설치필요, 배수관 길이부족 손상이 조사되었다.

■ 바닥판 하면에 설치된 유공관에서 지속적인 우수가 유입되어 바닥판과 교각에 2차 손상을 초래할 수 있는 상태로 배수홀 파이프 설치가 필요하다. 또한 P2 기둥부의 배수관 길이가 짧아 기둥부에 오염을 유발시키고 있는 상태로 길이연장을 실시하여 추가적인 손상을 미연에 방지해야 할 것으로 판단된다.

## 나. 방호벽(방음벽), 중앙분리대

자동차의 차도이탈 방지, 사고시 완충작용 등의 기능을 하는 방호벽과 중앙분리대는 철근콘크리트 구조로 신축이음부에는 덮개판이 설치되어 있다.

방호벽 및 방음벽 전경

중앙분리대 전경

1) 외관조사 결과

【표 3-74】 방호벽, 중앙분리대 외관조사 결과(마산방향)

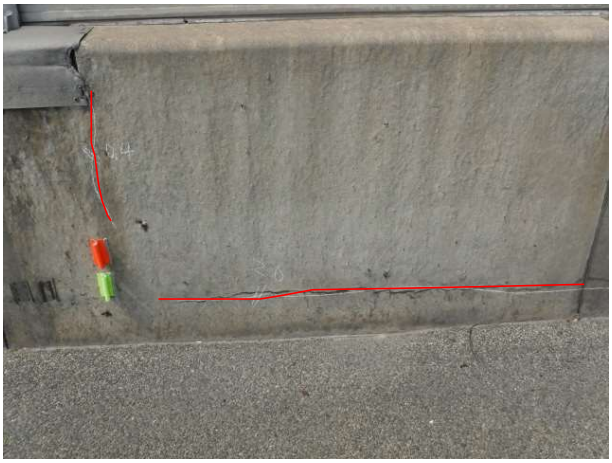
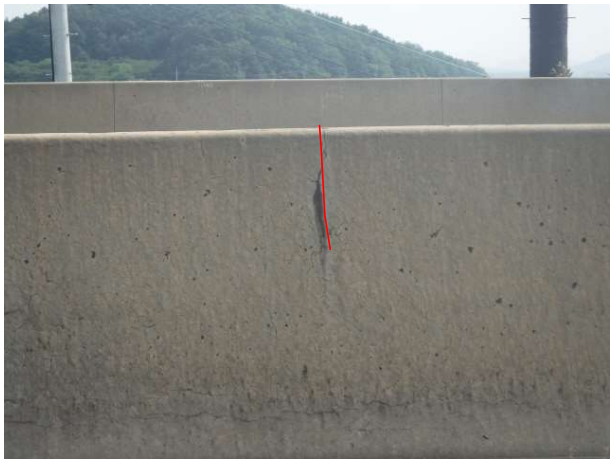
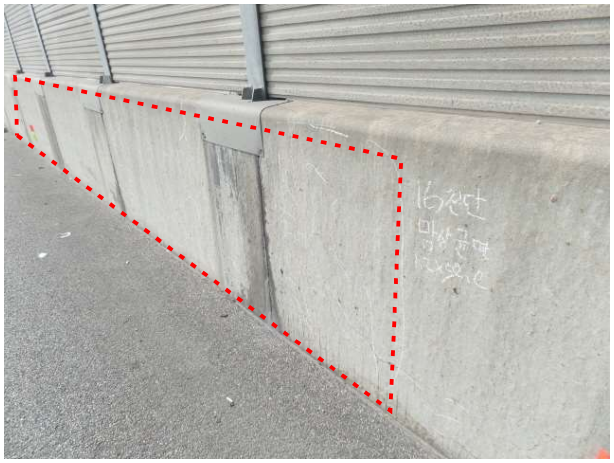
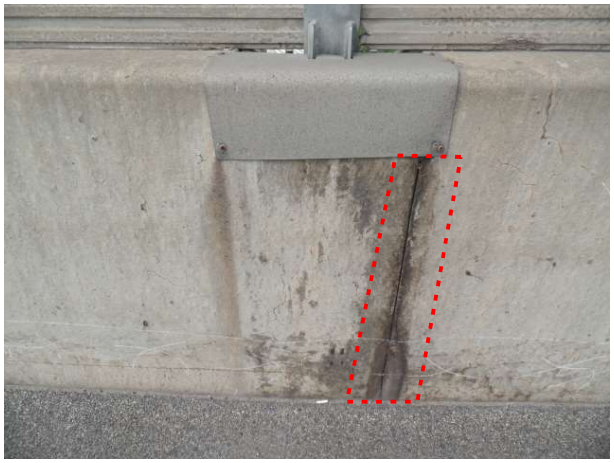
| 구분 | 콘크리트 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 균열 (Cw=0.1㎜) (m) | | 균열 (Cw=0.2㎜) (m) | | 균열 (Cw=0.3㎜) (m) | | 망상균열(㎡) | | 박락(㎡) | | 백태(㎡) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 |
| S1 | 1.00 | 4 | 2.50 | 6 | - | - | 50.24 | 8 | - | - | 0.11 | 3 |
| S2 | 1.60 | 2 | 10.40 | 8 | - | - | 73.10 | 3 | - | - | 0.35 | 11 |
| S3 | 14.10 | 32 | 9.20 | 10 | - | - | 3.55 | 5 | - | - | 0.10 | 1 |
| S4 | 3.30 | 10 | 14.10 | 5 | - | - | 25.00 | 1 | - | - | 0.19 | 10 |

【표 3-74】 방호벽, 중앙분리대 외관조사 결과(계속)(마산방향)

| 구분 | 콘크리트 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 균열 (Cw=0.1㎜) (m) | | 균열 (Cw=0.2㎜) (m) | | 균열 (Cw=0.3㎜) (m) | | 망상균열(㎡) | | 박락(㎡) | | 백태(㎡) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 |
| S5 | 16.30 | 22 | 46.00 | 30 | - | - | 1.41 | 7 | 0.18 | 1 | 0.33 | 4 |
| S6 | 4.60 | 15 | 3.10 | 7 | - | - | 2.25 | 6 | - | - | 0.01 | 1 |
| S7 | 5.40 | 16 | 8.70 | 13 | - | - | 2.53 | 10 | - | - | 0.44 | 6 |
| S8 | 11.40 | 8 | 54.40 | 13 | - | - | 6.50 | 13 | - | - | 0.25 | 6 |
| S9 | 1.80 | 4 | 39.10 | 9 | 2.00 | 4 | 20.45 | 10 | - | - | 3.20 | 7 |
| 합계 | 59.50 | 113 | 186.30 | 100 | 2.00 | 4 | 185.03 | 63 | 0.18 | 1 | 4.98 | 49 |

| 구분 | 콘크리트 | | | | | | 방음벽 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 재료분리 (㎡) | | 충돌흔적 (㎡) | | 파손 (㎡) | | 지주덮개 파손(㎡) | | 방음벽 부식 (㎡) | | 방음벽 파손 (㎡) | | 출입문 부식 (㎡) | |
| | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 |
| S1 | 0.02 | 2 | - | - | 0.43 | 14 | - | - | 1.20 | 2 | 0.12 | 1 | - | - |
| S2 | 0.05 | 3 | - | - | 0.14 | 13 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| S3 | 0.02 | 2 | 6.00 | 1 | 0.22 | 17 | 0.01 | 1 | - | - | - | - | - | - |
| S4 | 0.01 | 1 | - | - | 0.15 | 10 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| S5 | - | - | 2.00 | 1 | - | - | 0.01 | 1 | - | - | - | - | - | - |
| S6 | 0.02 | 2 | - | - | 0.19 | 10 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| S7 | - | - | - | - | 0.03 | 1 | - | - | - | - | - | - | 0.10 | 1 |
| S8 | - | - | - | - | 0.22 | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| S9 | - | - | - | - | 0.30 | 6 | 0.01 | 1 | 1.20 | 2 | - | - | - | - |
| 합계 | 0.12 | 10 | 8.00 | 2 | 1.68 | 74 | 0.03 | 3 | 2.40 | 4 | 0.12 | 1 | 0.10 | 1 |

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦S7 방호벽 균열(cw=0.2mm)<br>원 인 ◦건조수축, 우수유입<br>대 책 ◦지속관찰</td><td>현 황 ◦S9 중앙분리대 균열(cw=0.3mm)<br>원 인 ◦건조수축 및 온도변화<br>대 책 ◦주입보수</td></tr>
<tr><td> </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦S9 방호벽 백태<br>원 인 ◦건조수축, 우수유입<br>대 책 ◦표면처리보수</td><td>현 황 ◦S3 방호벽 망상균열<br>원 인 ◦건조수축 및 온도변화<br>대 책 ◦표면처리보수</td></tr>
<tr><td> </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦S5 방호벽 박락<br>원 인 ◦시공미흡<br>대 책 ◦단면보수</td><td>현 황 ◦S1 방호벽 박리<br>원 인 ◦시공미흡<br>대 책 ◦단면보수</td></tr>
</table>

| | |
|---|---|
| **현 황** | ◦S2 방호벽 재료분리 |
| **원 인** | ◦시공미흡(다짐불량) |
| **대 책** | ◦지속관찰 |

| | |
|---|---|
| **현 황** | ◦S3 방호벽 파손 |
| **원 인** | ◦시공미흡, 외부충격 |
| **대 책** | ◦단면보수 |

| | |
|---|---|
| **현 황** | ◦S3 방호벽 충돌흔적 |
| **원 인** | ◦차량충돌 |
| **대 책** | ◦지속관찰 |

| | |
|---|---|
| **현 황** | ◦S3 방호벽 플레이트 파손 |
| **원 인** | ◦외부충격 |
| **대 책** | ◦지속관찰 |

| | |
|---|---|
| **현 황** | ◦S1 방음벽 지주부식 |
| **원 인** | ◦경년증가 |
| **대 책** | ◦지속관찰 |

| | |
|---|---|
| **현 황** | ◦S1 방음벽 파손 |
| **원 인** | ◦외부충격 |
| **대 책** | ◦지속관찰 |

3) 기 점검결과와의 비교 · 분석

■ 기 진단 결과를 검토한 결과, 균열, 균열백태, 백태, 파손, 박리 등에 대한 보수가 이루어진 상태이나, 기 점검 시 누락 및 공용 년 수 증가에 의한 노후화로 폭 0.2mm이하 균열과 망상균열 물량이 증가한 상태이다. 또한 신규 손상으로 박락, 백태, 철근노출 등이 조사되었다.

【표 3-75】 방호벽, 중앙분리대 기 진단 결과 비교(마산방향)

| 결함 및 손상내용 | 2012년 진단 | | 금회 진단 | | 증 감 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 개소 | 물량 | 개소 | 물량 | | | |
| 균열(cw=0.3mm미만) | 231 | 147.00m | 213 | 245.80m | ▲ | 98.80m | |
| 균열(cw=0.3mm) | 85 | 66.45m | 4 | 2.00m | ▼ | 64.45m | |
| 망상균열 | 11 | 3.11㎡ | 636 | 185.03㎡ | ▲ | 181.92㎡ | |
| 백태 | 31 | 0.93㎡ | 49 | 4.98㎡ | ▲ | 4.05㎡ | |
| 파손, 재료분리, 박리, 박락 | 81 | 1.46㎡ | 85 | 1.98㎡ | ▲ | 0.52㎡ | |
| 덮개파손 | 10 | 0.10㎡ | 3 | 0.03㎡ | ▼ | 0.07㎡ | |
| 방음벽 지주부식 | 4 | 2.40㎡ | 4 | 2.40㎡ | | - | |
| 방음벽 파손 | - | - | 1 | 0.12㎡ | ▲ | 0.12㎡ | |

4) 검토 의견

■ 방호벽 및 중앙분리대에는 균열(최대폭 : 0.3㎜), 망상균열, 박리, 박락, 백태, 파손, 재료분리, 충돌흔적, 덮개파손, 방음벽부식, 방음벽파손, 점검로 출입문 부식 등이 조사되었다.

■ 균열(최대폭 0.3㎜)과 망상균열, 백태 등은 건조수축, 우수유입, 콘크리트 타설 미흡 등에 의한 비구조적인 손상이다. 다만, 방호벽과 중앙분리대는 기상조건과 온도변화의 영향을 지속적으로 받는 부재로서 균열 폭 0.2㎜이하의 균열, 망상균열, 백태는 표면처리 보수, 폭 0.3mm 균열은 주입보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

■ 파손, 재료분리, 박리, 박락 등의 손상은 온도에 따른 콘크리트 신축과 다짐불량, 경년열화, 차량충돌 등에 의한 손상으로 단면보수가 필요하다.

■ 방음벽 지주부식과 지주덮개 파손, 방음벽의 국부적인 파손, 출입문 부식이 조사되었으나 손상정도가 경미하므로 지속관찰 하도록 한다.

# 3.4 내구성조사 결과

## 3.4.1 개요

본 구조물은 공용기간이 증가함에 따라 주변 환경과 지하수위의 변동 및 상용여건의 영향으로 강도, 내구성, 사용성 등이 저하되고 이에 따라 균열, 누수, 백태, 표면 노후화, 철근노출 등이 발생한다.

본 과업에서는 현장조사 결과를 기초로 각종 검사기구 및 시험 장비를 사용하여 비파괴강도, 탄산화 깊이, 균열깊이 등을 탐사하고 구조물의 구성재료인 콘크리트의 역학적 · 화학적 특성을 체계적으로 규명하여 대상구조물의 내구성과 구조안전성 평가의 기초자료로 활용하였다.

### 가. 시험 측정일자 및 조사자

【표 3-76】 현장시험 측정일자 및 조사자

| 구분 | 일자 | 조사자 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 현장시험 | 2016.07.11. ~ 08.30. | 서외택 외 18명 | 도보, 사다리,<br>고소점검차 등 사용 |

### 나. 조사항목 및 조사수량

본 과업에서 내구성조사를 위해 실시한 비파괴시험은 “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(교량편 한국시설안전공단, 2010.12)” 및 현장조사 여건에 따라 조사 위치와 수량을 결정하였다.

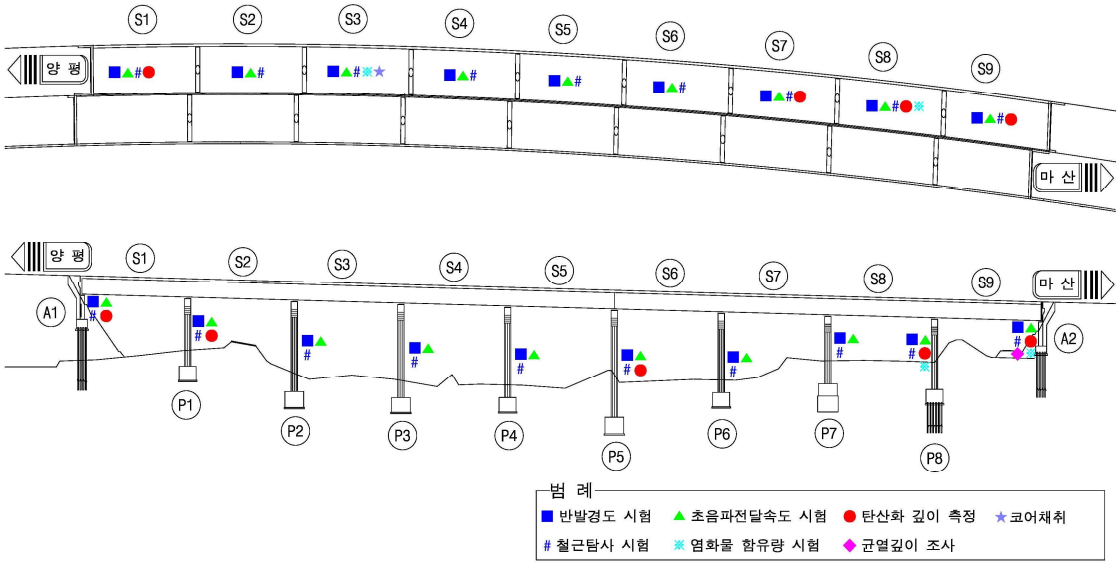
【표 3-77】 현장시험 항목

| 구 분 | 조 사 내 용 |
|---|---|
| 반발경도시험 | ■ 반발경도시험을 통하여 구조물의 압축강도를 비파괴로 추정하여 결과 도출 |
| 초음파<br>전달속도시험 | ■ 콘크리트 초음파 전달속도 시험은 콘크리트의 구성 성분, 다짐 정도, 숙성도 등을 파악하여 콘크리트의 품질 평가 및 분석 |
| 철근탐사시험 | ■ 철근탐사시험은 철근의 간격 및 피복두께를 측정하여 설계도면에 부합되는지 분석함. |
| 탄산화 깊이 측정 | ■ 콘크리트 내에 매입된 철근을 부식시킬 수 있는 탄산화의 영향을 파악하기 위하여 페놀프탈레인용액의 분무에 의한 탄산화 깊이를 측정함 |
| 염화물함유량 시험 | ■ 주변한경(해안) 및 시공시 해사 사용에 따른 염화물함유량 검토 |
| 균열깊이 조사 | ■ 균열 관통여부 및 철근까지 도달하는지 여부 조사 |
| 코어 채취 | ■ 포장 상태 확인 및 염화물함유량 검토 |

【표 3-78】 비파괴시험 실시 수량(양평방향)

| 구 분 | 세부지침 기준 | | 기준수량 | | 금회 시험 수량 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 상부구조 | 하부구조 | 상부 구조 | 하부 구조 | 상부 구조 | 하부 구조 |
| 반발경도시험 | ■ 철근콘크리트 : 2개소/50m<br>■ 강합성교 : 1개소/50m | ■ 1개소/연장 50m<br>■ 교대, 교각 개소수 ( 경간장 50m이상) | 8개소 | 8개소 | 9개소 | 10개소 |
| 초음파 전달속도시험 | ■ 철근콘크리트 : 2개소/50m<br>■ 강합성교 : 1개소/50m | ■ 1개소/연장 50m<br>■ 교대, 교각 개소수 ( 경간장 50m이상) | 8개소 | 8개소 | 9개소 | 10개소 |
| 철근탐사시험 | ■ 철근콘크리트 : 2개소/50m<br>■ 강합성교 : 1개소/50m | ■ 1개소/연장 50m<br>■ 교대, 교각 개소수 ( 경간장 50m이상) | 8개소 | 8개소 | 9개소 | 10개소 |
| 탄산화 깊이 측정 | ■ 5경간 이내 4~6개소<br>(*상부구조에서 최소 2개소 이상)<br>■ 5경간 이상 6~9개소<br>(*상부구조에서 최소 3개소 이상) | | 6개소~9개소 | | 4개소 | 5개소 |
| 염화물함유량 시험 | ■ 3개소 이상<br>(*상부구조에서 최소 1개소 이상) | | 3개소 | | 2개소 | 3개소 |
| 균열깊이 조사 | ■ 부재의 중요도를 고려 책임기술자의 판단에 따라 수량 결정 | | - | | - | 1개소 |
| 강재용접부 초음파탐상 시험 | ■ 플레이트거더교 : 1개소/경간별 거더<br>■ 박스거더교 : 2개소/경간별 거더 | | 36개소 | | 36개소 | |
| 도막 두께 측정 | ■ 별도 기준 없음 | | - | | 18개소 | |
| 코어 채취 | ■ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정 | | - | | 1개소 | - |

## 다. 비파괴 위치도(양평방향)



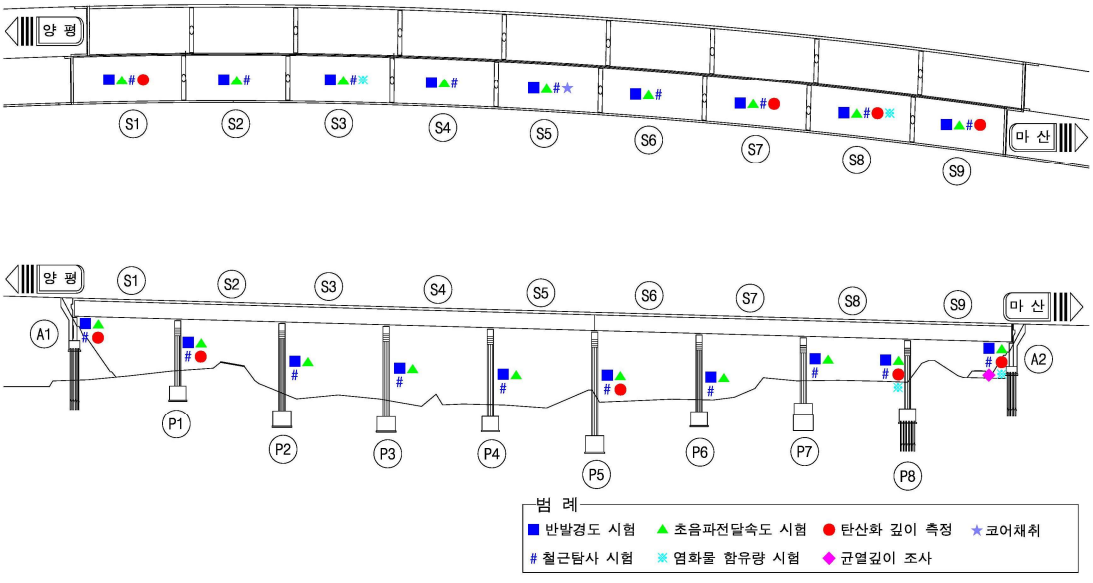
## 라. 비파괴 시험 전경(양평방향)

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>반발경도법 시험</td><td>초음파 전달속도시험</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>철근탐사시험</td><td>탄산화 깊이 측정</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>균열깊이측정</td><td>도막두께 측정</td></tr>
</table>

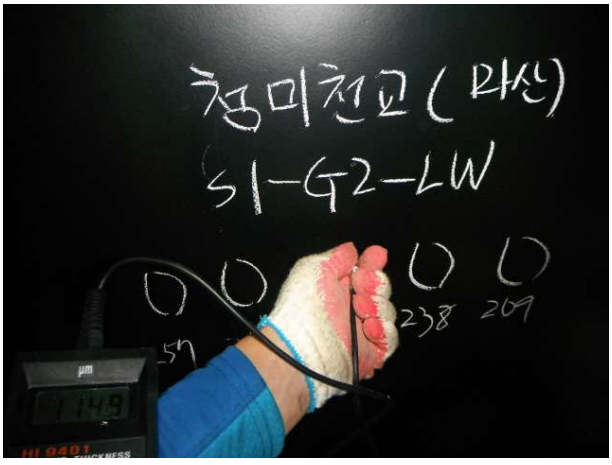
【표 3-79】(마산방향)비파괴시험 실시 수량

| 구 분 | 세부지침 기준 | | 기준수량 | | 금회 시험 수량 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 상부구조 | 하부구조 | 상부 구조 | 하부 구조 | 상부 구조 | 하부 구조 |
| 반발경도시험 | ■ 철근콘크리트 : 2개소/50m<br>■ 강합성교 : 1개소/50m | ■ 1개소/연장 50m<br>■ 교대, 교각 개소수 ( 경간장 50m이상) | 8개소 | 8개소 | 9개소 | 10개소 |
| 초음파 전달속도시험 | ■ 철근콘크리트 : 2개소/50m<br>■ 강합성교 : 1개소/50m | ■ 1개소/연장 50m<br>■ 교대, 교각 개소수 ( 경간장 50m이상) | 8개소 | 8개소 | 9개소 | 10개소 |
| 철근탐사시험 | ■ 철근콘크리트 : 2개소/50m<br>■ 강합성교 : 1개소/50m | ■ 1개소/연장 50m<br>■ 교대, 교각 개소수 ( 경간장 50m이상) | 8개소 | 8개소 | 9개소 | 10개소 |
| 탄산화 깊이 측정 | ■ 5경간 이내 4~6개소<br>(*상부구조에서 최소 2개소 이상)<br>■ 5경간 이상 6~9개소<br>(*상부구조에서 최소 3개소 이상) | | 6개소~9개소 | | 4개소 | 5개소 |
| 염화물함유량 시험 | ■ 3개소 이상<br>(*상부구조에서 최소 1개소 이상) | | 3개소 | | 2개소 | 3개소 |
| 균열깊이 조사 | ■ 부재의 중요도를 고려 책임기술자의 판단에 따라 수량 결정 | | - | | - | 1개소 |
| 강재용접부 초음파탐상 시험 | ■ 플레이트거더교 : 1개소/경간별 거더<br>■ 박스거더교 : 2개소/경간별 거더 | | 36개소 | | 36개소 | |
| 도막 두께 측정 | ■ 별도 기준 없음 | | - | | 18개소 | |
| 코어 채취 | ■ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정 | | - | | 1개소 | - |

## 마. 비파괴 위치도(마산방향)



## 바. 비파괴 시험 전경(마산방향)

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>반발경도법 시험</td><td>초음파 전달속도시험</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>철근탐사시험</td><td>탄산화 깊이 측정</td></tr>
<tr><td> </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>균열깊이측정</td><td>도막두께 측정</td></tr>
</table>

## 3.4.2 시험내용 및 평가기준

### 가. 콘크리트 압축강도 조사

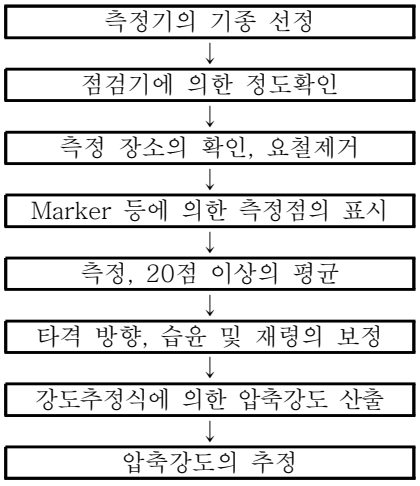
1) 반발경도시험

**개 요**

■ 콘크리트 표면의 반발경도를 측정하여, 콘크리트의 압축강도를 추정하는 검사방법임
■ 슈미트해머는 경화된 콘크리트 표면을 타격시, 반발도(R)와 콘크리트의 압축강도($f_c'$)와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 적용함

**시험 방법**

■ 반발경도 측정은 선정된 부위에 그라인딩 작업으로 표면 정리를 한 다음 타격점 상호간의 종·횡 간격을 30㎜기준으로 그어 직교되는 부위에 20점 이상을 타격하여 반발경도 값의 산술 평균값을 구하고, 각 반발경도 값이 평균값의 ±20%범위를 벗어나는 값들은 제외시키고 나머지 값들을 다시 산술평균하여 반발경도를 결정
■ 측정점간의 최소간격은 보, 기둥 등 모서리로부터 30~60㎜ 이상 떨어진 장소에서 측정 하고, 측정부재의 최소두께는 반발도의 영향을 고려하여 100㎜이상을 원칙으로 함
■ 측정치는 원칙적으로 정수값을 읽고, 표면 건조상태의 부위를 선정, 측정하여 건습에 따른 보정, 압축응력에 따른 반발도의 보정과 타격 방향에 대한 보정 및 재령에 따른 보정을 적용함



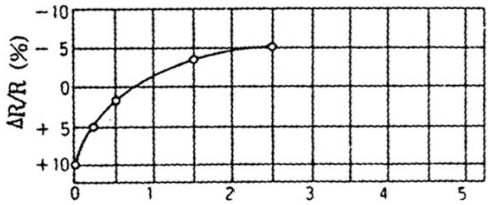
**<반발경도법에 의한 강도추정 흐름도>**

**보정 방법**

■ 타격방향에 따른 보정($\Delta R_1$)

| 반발경도 (R) | 수평과 이루는 각도 +90° | +45° | −45° | −90° | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | − | − | +2.4 | +3.2 | 상향수직 : +90° 하향수직 : −90° |
| 20 | −5.4 | −3.5 | +2.5 | +3.4 | |
| 30 | −4.7 | −3.1 | +2.3 | +3.1 | |
| 40 | −3.9 | −2.6 | +2.0 | +2.7 | |
| 50 | −3.1 | −2.1 | +1.6 | +2.2 | |
| 60 | −2.3 | −1.6 | +1.3 | +1.7 | |

■ 압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정($\Delta R_2$)
압축응력 1.0kgf/㎠ 인 경우 $\Delta R_2 = -0.015R$,
2.5kgf/㎠ 인 경우 $\Delta R_2 = -0.05R$ 정도임



**<압축응력에 따른 반발경도 보정곡선>**

■ 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정($\Delta R_3$)
기건상태 : $\Delta R_3 = 0$, 습윤상태 $\Delta R_3 = +5$
■ 콘크리트 재령에 따른 보정($\alpha$)

| 구분 | 7일 | 14일 | 21일 | 28일 | 100일 | 500일 | 750일 | 1000일 | 2000일 | 3000일 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 재령($\alpha$) | 1.72 | 1.36 | 1.12 | 1.00 | 0.78 | 0.67 | 0.66 | 0.65 | 0.64 | 0.63 |

■ $Ro = R + \Delta R$ ($\Rightarrow \Delta R = \Delta R_1 + \Delta R_2 + \Delta R_3$)
여기서, $\Delta R_1$ : 타격방향에 따른 보정값
$\Delta R_2$ : 압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정값
$\Delta R_3$ : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값

**압축 강도 추정식**

■ 일반 콘크리트
− 방법 1 : $Fc = -18.0 + 1.27 \times R_o$ (MPa) ⇒ 일본 재료학회 강도 추정식
− 방법 2 : $Fc = (7.3R_o + 100) \times 0.098$ (MPa) ⇒ 일본 건축학회 강도 추정식
■ 고강도 콘크리트(40MPa이상)
− 방법 1 : $Fc = (15.2R_o - 112.8) \times 0.098 \times \alpha$ (MPa) ⇒ 과학기술부 추정식
− 방법 2 : $Fc = (2.304 \times R_o - 38.80)$ (MPa) ⇒ 권영웅외 3인식

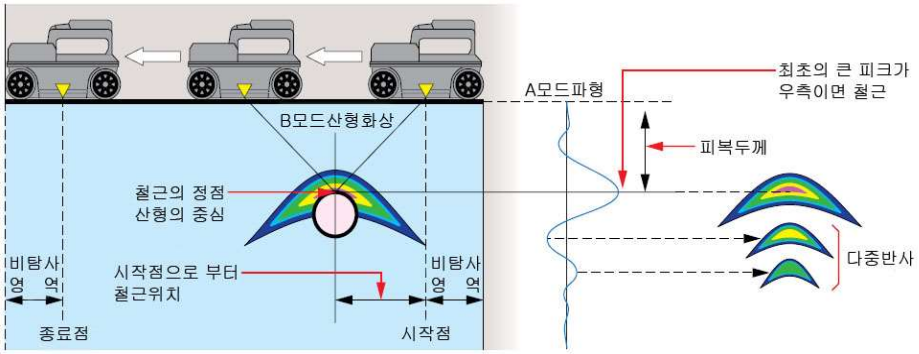
※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※콘크리트 내구성 평가절차 수립(한국시설안전공단, 1999.12) 참조
※안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(한국시설안전공단, 2010.12) 참조

2) 초음파 전달속도시험

<table>
<tr><td>개 요</td><td>■ 초음파법은 초음파 (주파수 50~100 kHz 정도 )의 투과속도가 콘크리트의 밀도 및 탄성계수에 따라서 변화한다는 것을 이용하여 이 투과속도로부터 콘크리트의 강도, 균열상태, 내부결함 등을 조사하는 방법이다.<br>■ 그러나 발·수진자의 배치, 콘크리트의 배합비 및 함수율, 내부 철근의 유무 등에 따라 영향을 많이 받기 때문에 강도 추정의 정확도는 높지 않으므로 이 방법을 단독으로 사용하지 않고 반발경도법과 조합법으로 이용하는 것이 일반적이다.</td></tr>
<tr><td>시험<br>방법</td><td>■ 초음파속도를 측정하기 위한 탐촉자의 배열은 직접법, 반직접법 및 간접법이 있음<br>■ 직접법에서 구한 초음파 전달속도(종파)를 강도 추정에 이용하나 보통 현장에서 직접법으로 적용할 수 없는 측정부분들에 대해서는 간접법(표면법)으로 초음파속도를 측정함<br>■ 타격법과 동일부재 동일위치에서 측정하는 것을 원칙으로 하여 초음파속도를 측정<br>■ 간접법을 직접법으로 환산<br>Vd ≈ 1.05 Vi<br>여기서, Vd : 직접법에 의한 초음파속도<br>Vi : 간접법에 의한 초음파속도<br> <br>측정 장소의 선정<br>↓<br>측정 장소의 확인, 요철제거<br>↓<br>Marker 등에 의한 측정점의 표시<br>↓<br>측정기의영점 조정<br>↓<br>진동자와 측정면 사이 공극이 생기지 않도록 그리스로 밀착<br>↓<br>전달속도 측정 및 산출<br>↓<br>압축강도의 추정 또는 품질평가<br><초음파법에 의한 강도추정 흐름도></td></tr>
<tr><td>초음파<br>전달속도</td><td>■ 전달속도( Velocity, mm/μsec) = $\frac{\text{전달길이}(PathLength,\ L:\ mm)}{\text{전달시간}(TransitTime,\ T:\ \mu\text{sec})}$</td></tr>
<tr><td>압축강도<br>추정식</td><td>■ 방법 3 : Fc = (102Vd - 117) × 0.098 (MPa) ⇒ 일본재료학회 강도 추정식<br>■ 방법 4 : Fc = (21.5Vd - 62.0) × 0.098 (MPa) ⇒ 일본건축학회 강도 추정식</td></tr>
</table>

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※콘크리트 내구성 평가절차 수립(한국시설안전공단, 1999.12) 참조
※안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(한국시설안전공단, 2010.12) 참조

## 나. 철근탐사시험

<table>
<tr><td>개 요</td><td>■ 본 탐사는 시공 상태평가를 위하여 설계도서에 기록된 배근간격과의 동일 시공여부를 비교하여 구조체 배근상태의 적정성을 판단하며, 철근피복두께를 조사하여 탄산화로 인한 구조물의 내구성 평가와 장기적인 내구성 확보를 위한 대책마련을 위해 실시한다.</td></tr>
<tr><td>탐사<br>조건</td><td>■ 적용 가능한 조건<br>◦탐사심도 200㎜ 이내<br>◦탐사대상 철근지름이 6㎜ 이상<br>◦콘크리트의 질이 균일한 곳<br>◦철근이 안테나 진행 방향에 직교한 곳<br><br>■ 적용 곤란한 조건<br>◦표면에 금속 등 전파를 반사하는 것이 있고, 그 밑에 철근이 위치한 경우<br>◦100㎜ 이하의 피치에서 배근된 경우<br>◦철근이 안테나 진행 방향과 평행한 경우</td></tr>
<tr><td>측정<br>방법</td><td>■ 철근탐사장비 RC-Radar의 측정원리는 전자파를 콘크리트의 표면에서 내부로 방사하여 콘크리트와 전기적 성질이 다른 철근이나 공동 등의 대상물로부터 반사되는 전파를 다시 안테나에서 수신하여 철근의 배근상태나 공동 등의 위치 및 깊이를 화상으로 기록하는 장비로 레이다 방식(화면 모니터 방식)이며, 측정가능심도는 5~200㎜이다.<br> 

<RC-Radar 측정원리></td></tr>
<tr><td>평가<br>기준</td><td>■ 철근의 피복두께는 콘크리트 표면에서 철근 최외측면까지의 거리로 함<br>■ 철근의 피복두께 및 배근상태를 준공도면과 비교하여 적정성 여부를 판단<br>■ 실측된 철근배근 간격과 피복두께는 평균적인 개념으로 판단함이 바람직함<br><철근의 피복두께 기준>
<table>
<tr><th>구 분</th><th>조 건</th><th>부재종류</th><th>철근직경/구분</th><th>피복두께(㎜)</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td rowspan="8">현장<br>타설<br>콘크리트</td><td rowspan="5">옥외 공기나 흙에 직접 접하지 않는 부위</td><td rowspan="2">슬래브<br>벽체, 장선</td><td>D35 초과</td><td>40</td><td></td></tr>
<tr><td>D35 이하</td><td>20</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">보<br>기둥</td><td>fck ≥ 40MPa</td><td>30</td><td>규정값에서 10㎜ 저감 가능</td></tr>
<tr><td>fck < 40MPa</td><td>40</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">쉘, 절판 부재</td><td>20</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">수중에서 타설 되는 콘크리트</td><td>100</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">흙에 영구히 묻혀 있는 콘크리트</td><td>80</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">흙에 접하거나<br>옥외공기에 직접<br>노출되는 콘크리트</td><td>D29 이상 철근</td><td>60</td><td></td></tr>
<tr><td>D25 이하 철근</td><td>50</td><td></td></tr>
<tr><td>D16 이하의 철근</td><td>40</td><td></td></tr>
</table>
※콘크리트 구조기준(한국콘크리트학회, 2012) 참조
<table>
<tr><th>유효깊이(d)</th><th>유효깊이의 허용오차</th><th>피복두께의 허용오차</th></tr>
<tr><td>d ≤ 200㎜</td><td>±10㎜</td><td>-10㎜</td></tr>
<tr><td>d > 200㎜</td><td>±13㎜</td><td>-13㎜</td></tr>
</table>
※피복두께의 허용오차는 도면 또는 설계기준에서 요구하는 최소 피복두께의 -1/3로 하여야 함</td></tr>
</table>

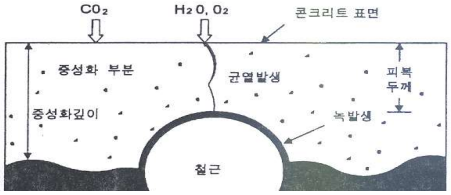
※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※진단장비 활용·관리 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(한국시설안전공단, 2010.12) 참조

## 다. 탄산화 깊이 측정

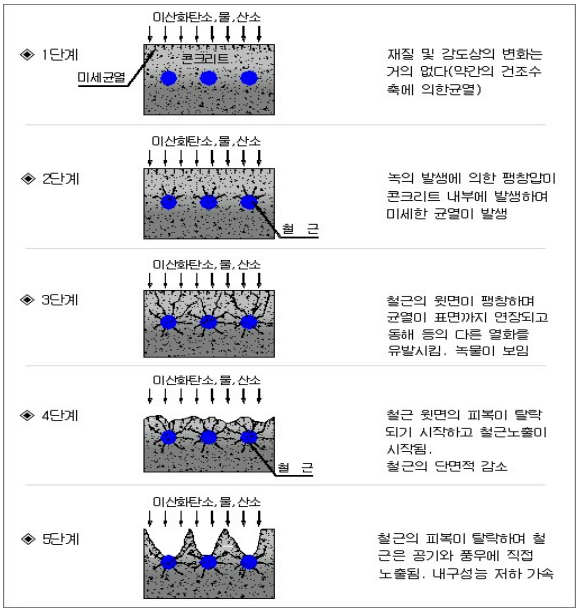
**개 요**

■ 경화콘크리트는 표면에서 서서히 탄산화 하여 pH값은 12~13에서 8~10 이하로 감소한다. 이 과정을 콘크리트의 탄산화라고 한다.

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$
$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$




■ 콘크리트는 탄산화에 의해 직접적으로 성능이 저하되는 것은 아니며, 단지 탄산화가 문제가 되는 이유는 탄산화가 피복두께를 넘어서 철근의 표면에 도달하게 되면 철근표면을 감싸고 있던 부동태 피막이 파괴되면서 철근표면에 부식이 시작되기 때문이다.




**<탄산화에 의한 콘크리트 성능저하 과정>**

**측정위치 및 방법**

① 코어 공시체 표면 또는 햄머드릴을 이용하여 직경 1~2㎝정도의 구멍을 뚫고 청소 후에 페놀프탈레인 용액을 분무하여 탄산화 깊이를 측정 또는 채취된 코어에 시험
② 페놀프탈레인 1% 용액 : 페놀프탈레인 1g + 에탄올 90cc(순도 95%) + 증류수 = 100ml로 제조

**시험 순서**

① 햄머드릴을 이용 콘크리트 구조체의 철근의 위치까지 콘크리트를 긁어냄
② 콘크리트를 긁어낸 면을 붓, 솔 등으로 깨끗이 청소
③ 페놀프탈레인 1% 용액을 콘크리트를 벗겨낸 면에 분무기로 분무
④ 탄산화되지 않은 부분은 자주색으로 변하며, 탄산화된 부분은 착색되지 않음
⑤ 콘크리트 표면으로부터 색이 변화되지 않은 깊이(㎜)를 측정, 평균값 산정

**평가 기준**

**<탄산화 상태평가 기준>**

| 구분 | a | b | c | d | e |
|---|---|---|---|---|---|
| 탄산화 잔여 깊이 | 30㎜ 이상 | 10 ㎜ 이상 ~ 30㎜ 미만 | 0 ㎜ 이상 ~ 10㎜ 미만 | 0㎜ 미만 | - |
| 철근부식의 가능성 | 탄산화에 의한 부식발생 우려 없음 | 향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음 | 탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음 | 철근부식 발생 | - |

**내구 수명 평가**

■ $t_1$ : 탄산화가 철근표면에 도달하는 시점
$t_2$ : 철근 부식, 콘크리트 균열 발생 시점
$t_3$ : 부재내력이 한계에 달하는 시점

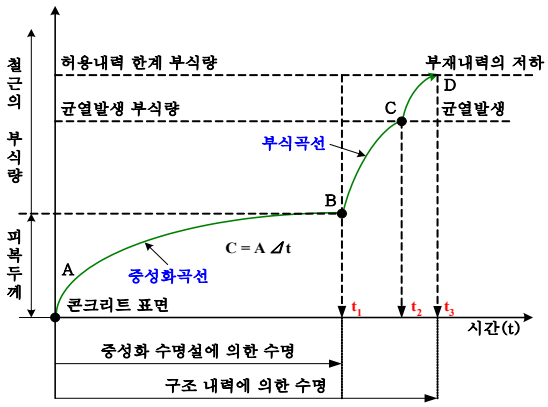
■ 탄산화속도 식 : $C = A\sqrt{t}$

여기서, $C$ : 탄산화깊이(㎜)
: 경과년수(년)
: 탄산화 속도계수(㎜/ )

■ 탄산화가 철근에 도달하는 시간( $t_d$) :

$$t_d = \frac{D_c^2}{A^2} - t_0$$

여기서, $D_c$ : 철근까지의 피복두께(㎜)
$t_0$ : 현재의 구조물 경과시간(년)




**<콘크리트 내부에서 철근부식의 개념>**

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(한국시설안전공단, 2010.12) 참조

## 라. 염화물 함유량 시험

**개 요**

■ 콘크리트가 탄산화되거나 염화물이 침투하게 되면 철근주위의 산소차단 역할을 하는 부동태막이 파손되고, 강재표면이 활성화되면 철근의 부식이 시작되어 철근의 부식방지를 위해서 염화물 이온량을 원칙적으로 제한할 필요가 있다.

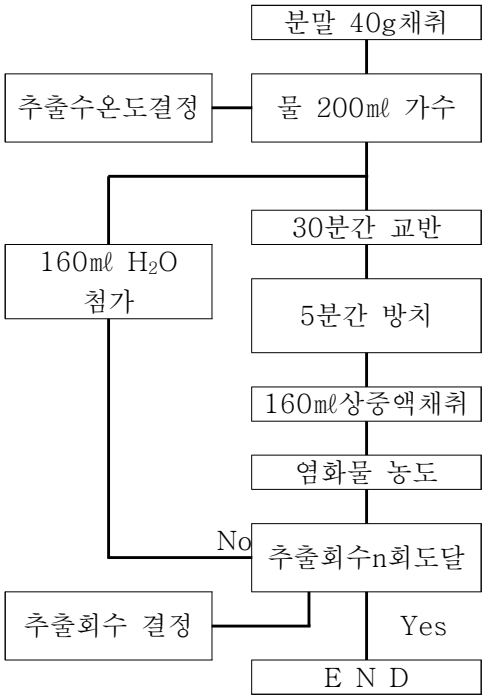
■ 굳지 않은 콘크리트의 총 염화물 이온량은 국내의 경우 0.30kg/㎥이하로 제한하고 있으며, 책임기술자의 승인을 받는 경우 0.60kg/㎥ 까지 허용될 수 있다.

**시험 방법**

■ 본 진단 대상구조물의 콘크리트 재료 중에 함유된 염화물함유량 정도를 추정하기 위하여 현장에서 채취한 분말시료를 이용하여 실내시험을 실시하였다.

■ 경화콘크리트는 염분을 증류수로 용출하여 시험을 하며, 경화콘크리트에 대한 염분함량 측정은 일본 "건설성 토목연구소"에서 규정한 [콘크리트 중에 포함되어 있는 염화물의 정량 방법에 관한 사안]에 따라 가용성 염분량의 분석을 실시하였다.

■ 그러나 이미 굳은 콘크리트의 총 염화물 이온량에 대한 검토가 염소이온 농도에 의해 이루어질 경우, 재령 29일 이후의 콘크리트에서 최대 수용성 염화물 이온농도 시험은 KS F 2713(콘크리트 및 콘크리트의 재료의 염화물 분석 시험 방법) 또는 KS F 2715(모르타르 및 콘크리트의 수용성 염화물 시험 방법)에 따라 시행하고 콘크리트 구조기준(2012년)에 준하여 철근부식방지를 위한 최대 수용성 염소이온 비율 값으로 검토할 수 있다.




**<염화물함유량 시험방법>**

**평가 기준**

**<염화물 상태평가 기준>**

| 구 분 | a | b | c | d | e |
|---|---|---|---|---|---|
| 전염화물 이온량(kg/㎥) | 염화물≤0.3 | 0.3<염화물<1.2 | 1.2≤염화물<2.5 | 염화물≥2.5 | - |
| 철근부식의 가능성 | 염화물에 의한 부식발생 우려 없음 | 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음 | 향후 염화물에 의한 부식발생 가능성 높음 | 철근부식 발생 | - |

**<철근부식 방지를 위한 최대 수용성 염소이온 비율>**

| 부재의 종류 | 콘크리트 속의 최대 수용성 염소이온(Cl-), 시멘트의 중량에 대한 비(%) |
|---|---|
| 프리스트레스트 콘크리트 | 0.06 |
| 염화물에 노출된 철근 콘크리트 | 0.15 |
| 건조상태이거나 또는 습기로부터 차단된 철근 콘크리트 | 1.00 |
| 기타 철근 콘크리트 | 0.30 |

※콘크리트 내구성 평가절차 수립(한국시설안전공단, 1999.12) 참조
※안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(한국시설안전공단, 2010.12) 참조

## 마. 균열깊이 측정

1) 개 요

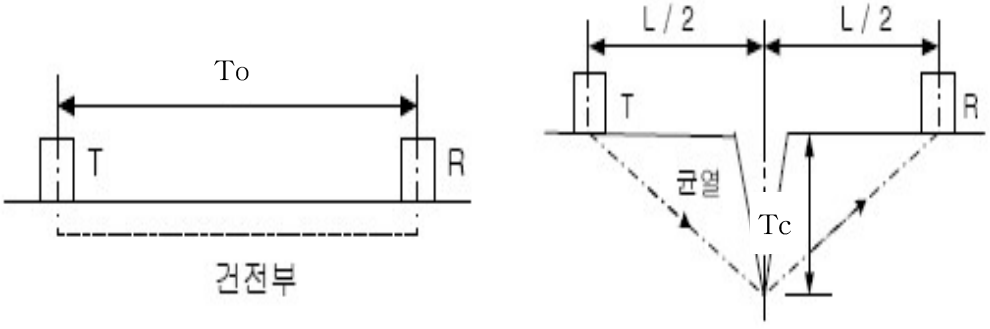
본 시험은 콘크리트에 발생된 균열 부위에서 건전부와 균열부의 측정된 초음파 전달시간의 차이를 이용하여 균열깊이를 평가하여 부재의 관통균열 여부 확인 및 철근의 부식조건 등에 대해 평가한다.

2) 시험방법

콘크리트 표면의 균열깊이는 일반적으로 Tc-To법으로 구한다. 이 방법은 종파용 발·수신자를 균열 개구부를 중심으로 등간격 L/2(=X)로 설치하여 균열선단부를 회절한 초음파의 전파시간 Tc를 구한다. 또한 부근의 균열이 없는 부분에서 발·수진자를 동일한 거리 L(=2X)만큼 떨어진 곳에 설치하여 전파시간 To를 구한다. 측정된 Tc-To로 부터 다음과 같은 식을 적용하여 균열의 깊이를 구한다. 본 시험에서는 X=150㎜를 적용하였다.

$$C = \frac{L}{2}\sqrt{\frac{(T_C^2)}{(T_O^2)} - 1}$$

위 식은 균열면이 콘크리트의 표면과 직각으로 발생되어 있으며, 균열주위의 콘크리트는 어느 정도 균질한 것이라고 가정하여 유도한 것이다.

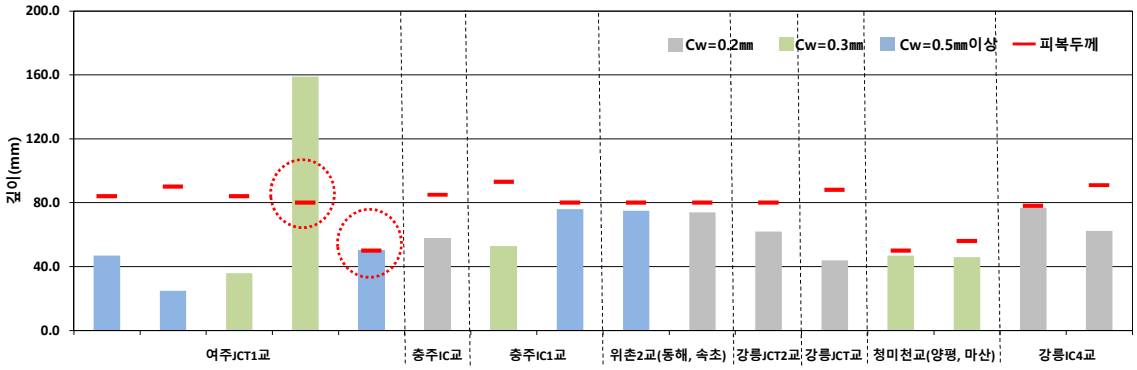



【그림 3-12】 Tc - To법에 의한 균열깊이 측정방법

3) 금회 정밀안전진단 여주JCT1교 등 14개소 균열 깊이 패턴 분석

금회 정밀안전진단 시 조사된 균열 중 「시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토해양부-2010.12)」에 따라 초음파속도를 통한 균열깊이를 측정하였다. 균열깊이를 통한 균열의 관통 및 철근까지 도달 여부를 파악하는데 목적이 있으나 초음파 속도에 의한 균열 깊이 값이 철근, 균열 불연속성, 공극 등에 의해 오차가 발생된다. 따라서 금회 진행된 교량에 대해 균열깊이의 패턴을 분석하였고 그 결과를 아래와 같이 나타내었다.

| 교량명 | 측정 방법 | 시험위치 | | 손상 크기 (㎜/m) | 초음파전달시간 | | 피복 두께 (㎜) | 균열 깊이 (㎜) | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 위치 | 세부 위치 | | To | Tc | | | |
| 여주JCT1교 | 초음파 | A1 흉벽부 | 우측 | 0.5/1.5 | 60.3 | 71.3 | 84.0 | 47.0 | 보수 |
| | 건 코어 | A1 흉벽부 | 우측 | 0.5/1.5 | – | – | 90.0 | 25.0 | 보수 |
| | 초음파 | A1 흉벽부 | 우측 | 0.3/1.0 | 67.3 | 74.8 | 84.0 | 36.0 | 보수 |
| | | A1 흉벽부 | 좌측 | 0.3/2.0 | 43.3 | 101.6 | 80.0 | 159.0 | 보수 |
| | 건 코어 | P2 코핑부 | 하면 | 1.5/4.0 | – | – | 50.0 | 50.0 | 보수 |
| 충주IC교 | 초음파 | P2 기둥부 | 배면 | 0.2/1.7 | 42.4 | 53.5 | 85.0 | 58.0 | – |
| 충주IC1교 | 초음파 | A1 전면부 | 우측 | 0.3/0.7 | 48.2 | 59.2 | 93.0 | 53.0 | 보수 |
| | | A2 흉벽부 | 우측 | 1.0/2.2 | 44.8 | 63.8 | 80.0 | 76.0 | 보수 |
| 위촌2교(동해) | 초음파 | A1 흉벽부 | – | 1.0/1.5 | 51.8 | 73.3 | 80.0 | 75.0 | – |
| 위촌2교(속초) | 초음파 | A1 흉벽부 | – | 0.2/1.5 | 51.3 | 72 | 80.0 | 74.0 | – |
| 강릉JCT2교 | 초음파 | A2 전면부 | – | 0.2/0.7 | 54.8 | 71.3 | 80.0 | 62.0 | – |
| 강릉JCT교 | 초음파 | P1 기둥부 | 후면 | 0.2/7.5 | 40.8 | 47.2 | 88.0 | 44.0 | – |
| 청미천교(양평) | 초음파 | A2 흉벽부 | – | 0.3/2.8 | 30.6 | 36.1 | 50.0 | 47.0 | – |
| 청미천교(마산) | 초음파 | P8 기둥부 | – | 0.3/2.0 | 51.5 | 60.3 | 56.0 | 46.0 | 보수 |
| 강릉IC4교 | 초음파 | P2 기둥부 | – | 0.2/1.6 | 28.5 | 40.8 | 78.0 | 76.8 | – |
| | | A2 흉벽부 | – | 0.2/1.3 | 38.5 | 50.1 | 91.0 | 62.5 | – |




【그림 3-13】 여주JCT1교 등 14개소 균열깊이 측정 결과

4) 여주JCT1교 등 14개소에 대한 균열 깊이 측정은 총 16개소를 실시하였으며, 각 교량마다 대표적인 균열에 대해 실시하였다. 균열 깊이의 패턴을 검토한 결과 철근피복두께까지 진행된 균열은 2개소, 철근까지 도달하지 않은 균열은 14개소로 분석되었고, 균열 중 철근까지 도달한 균열 및 일부 0.3㎜이상의 균열 보수가 완료되었다. 철근까지 도달하지 않은 균열 중 0.3㎜이상의 균열은 주입보수를 실시하고, 0.2㎜이하의 균열은 부재별로 표면처리보수 및 지속관찰로 방안을 제시하였으며, 균열 폭이 0.5㎜이상의 균열은 충전공법을 실시하여 구조물의 내구성을 확보하여야한다.

## 3.4.3 현장시험결과 및 분석(양평방향)

### 가. 비파괴 강도

1) 반발경도법 시험개요

반발경도 측정은 콘크리트 표면의 요철, 부착물, 분말 등을 그라인딩으로 제거하고 실시하였으며 표면에 곰보, 공극, 노출된 자갈 등이 있는 부위들은 측정위치에서 제외했다. 또한, 반발경도 값은 각 측정부재에 따라 타격방향, 재령 등에 의한 보정을 한 후 바닥판과 하부구조의 경우, 일본재료학회와 일본 건축학회 CDNT 소위원회 강도 계산식을 사용하여 압축강도를 산정하였으며, 본 과업에서의 반발경도법 시험은 상부 9개소 하부 10개소 총 19개소에서 수행하였다.

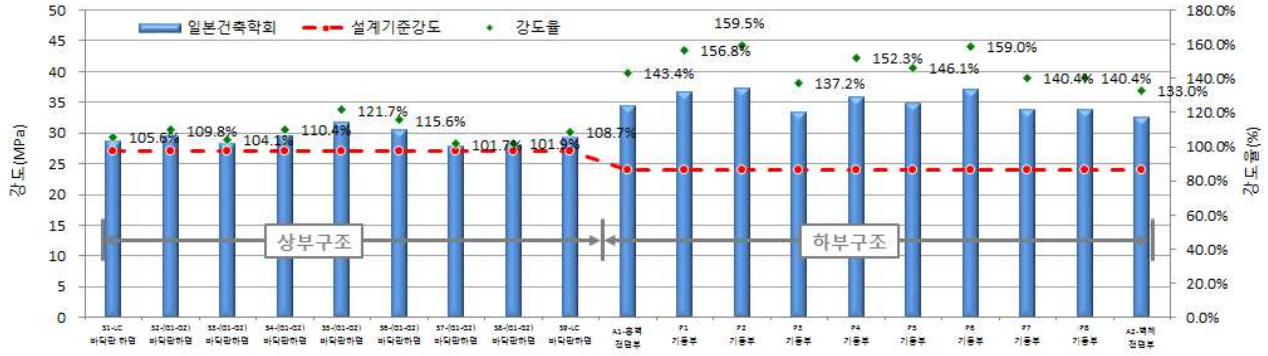
2) 반발경도법 시험결과

【표 3-80】 보정계수를 적용한 추정 비파괴 강도(양평방향)

| 시험위치 | | Ro | 반발경도법에 의한 추정비파괴강도 | | | 설계기준 강도(B) | 강도율(%) (A/B×100) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 구분 | 위치 | | 일본건축학회 | 일본재료학회 | 평균추정강도 (A) | | |
| 상부 구조 | S1-LC 바닥판하면 | 49.7 | 28.6 | 28.4 | 28.5 | 27㎫ | 105.6% |
| | S2-(G1-G2) 바닥판하면 | 51.5 | 29.4 | 29.9 | 29.7 | | 109.8% |
| | S3-(G1-G2) 바닥판하면 | 49.0 | 28.3 | 27.9 | 28.1 | | 104.1% |
| | S4-(G1-G2) 바닥판하면 | 51.8 | 29.5 | 30.1 | 29.8 | | 110.4% |
| | S5-(G1-G2) 바닥판하면 | 56.7 | 31.7 | 34.0 | 32.9 | | 121.7% |
| | S6-(G1-G2) 바닥판하면 | 54.0 | 30.5 | 31.9 | 31.2 | | 115.6% |
| | S7-(G1-G2) 바닥판하면 | 48.0 | 27.8 | 27.1 | 27.5 | | 101.7% |
| | S8-(G1-G2) 바닥판하면 | 48.1 | 27.9 | 27.1 | 27.5 | | 101.9% |
| | S9-LC 바닥판하면 | 51.1 | 29.2 | 29.5 | 29.4 | | 108.7% |
| 하부 구조 | A1-흉벽 전면부 | 50.5 | 34.3 | 34.5 | 34.4 | 24㎫ | 143.4% |
| | P1 기둥부 | 54.8 | 36.7 | 38.6 | 37.6 | | 156.8% |
| | P2 기둥부 | 55.7 | 37.1 | 39.4 | 38.3 | | 159.5% |
| | P3 기둥부 | 48.5 | 33.2 | 32.6 | 32.9 | | 137.2% |

【표 3-80】 보정계수를 적용한 추정 비파괴 강도(양평방향)(계속)

| 시험위치 | | Ro | 반발경도법에 의한 추정비파괴강도 | | | 설계기준강도(B) | 강도율(%) (A/B×100) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 구분 | 위치 | | 일본건축학회 | 일본재료학회 | 평균추정강도 (A) | | |
| 하부구조 | P4 기둥부 | 53.4 | 35.8 | 37.3 | 36.6 | 24㎫ | 152.3% |
| | P5 기둥부 | 51.4 | 34.8 | 35.4 | 35.1 | | 146.1% |
| | P6 기둥부 | 55.5 | 37.0 | 39.3 | 38.2 | | 159.0% |
| | P7 기둥부 | 49.6 | 33.8 | 33.6 | 33.7 | | 140.4% |
| | P8 기둥부 | 49.6 | 33.8 | 33.6 | 33.7 | | 140.4% |
| | A2-벽체 전면부 | 47.2 | 32.5 | 31.3 | 31.9 | | 133.0% |




【그림 3-14】 반발경도법 시험결과(양평방향)

3) 반발경도법 시험결과 분석

반발경도법을 사용하여 압축강도를 추정한 결과, 상부구조는 27.5~32.9㎫로 설계기준강도 27㎫의 101.7~121.7%로 설계기준강도를 상회하는 것으로 측정되었으며, 하부구조 또한 31.9~38.3㎫로 설계기준강도 24㎫의 133.0~159.5%로 설계기준강도를 상회하는 것으로 분석되었다.

금회 진단은 준공 후, 최초로 실시하는 정밀안전진단으로 향후 금회 시험 결과를 초기값으로 적용하여 점검, 진단 시 강도변화를 관찰하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

## 나. 콘크리트 품질시험

1) 초음파 전달속도 시험

초음파 전달속도 시험은 반발경도시험을 수행한 동일부위를 선정하여 그라인딩을 실시하고 그리스 도포를 한 후, 발신자와 수신자의 측정거리를 10cm간격으로 증가시키면서 표면법에

의한 초음파 전달속도를 측정하였으며, 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010.12)-초음파 전달속도의 관계」를 통해 보정계수를 적용하여 직접법 속도로 환산하였다. 본 과업에서 대상 구조물의 콘크리트 품질평가를 위하여 초음파 속도법의 시험 결과를 나타내었으며, 초음파 전달속도 시험은 반발경도법 시험을 실시한 동일 위치에서 상부 9개소 하부 10개소 총 19개소에서 수행하였다.

① 초음파 전달속도 시험결과

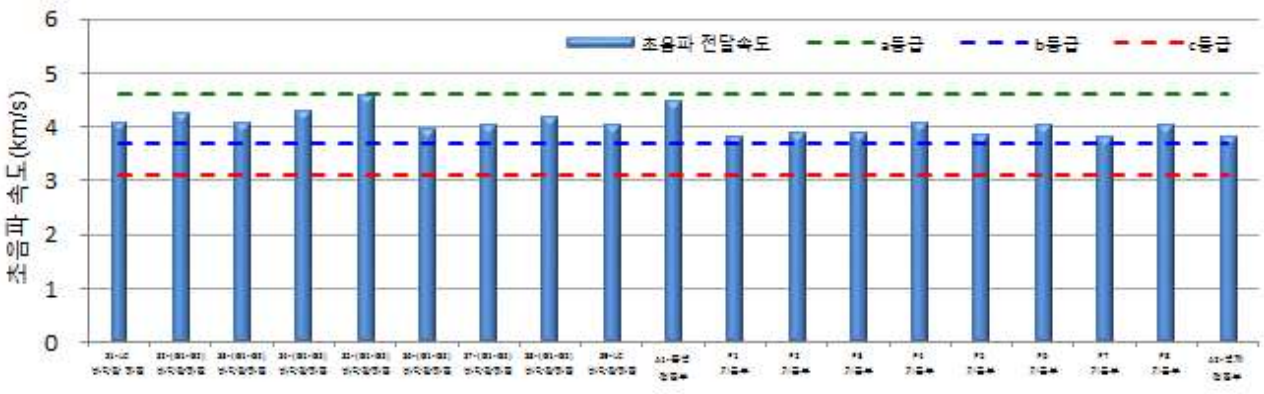
【표 3-81】 보정계수를 적용한 초음파 속도(양평방향)

| 시 험 위 치 | | 초음파 전달속도(km/sec) | | | 상 태 등 급 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 구분 | 위치 | 표 면 법 | 보 정 계 수 | 직 접 법 | | |
| 상부 구조 | S1-LC 바닥판하면 | 3.886 | 1.05 | 4.080 | b | |
| | S2-(G1-G2) 바닥판하면 | 4.083 | | 4.287 | b | |
| | S3-(G1-G2) 바닥판하면 | 3.913 | | 4.109 | b | |
| | S4-(G1-G2) 바닥판하면 | 4.108 | | 4.313 | b | |
| | S5-(G1-G2) 바닥판하면 | 4.406 | | 4.626 | a | |
| | S6-(G1-G2) 바닥판하면 | 3.804 | | 3.994 | b | |
| | S7-(G1-G2) 바닥판하면 | 3.877 | | 4.071 | b | |
| | S8-(G1-G2) 바닥판하면 | 4.001 | | 4.201 | b | |
| | S9-LC 바닥판하면 | 3.860 | | 4.053 | b | |
| 하부 구조 | A1-흉벽 전면부 | 4.277 | | 4.491 | b | |
| | P1 기둥부 | 4.022 | | 4.223 | b | |
| | P2 기둥부 | 3.860 | | 4.053 | b | |
| | P3 기둥부 | 3.816 | | 4.007 | b | |
| | P4 기둥부 | 3.634 | | 3.816 | b | |
| | P5 기둥부 | 3.647 | | 3.829 | b | |
| | P6 기둥부 | 3.859 | | 4.052 | b | |

【표 3-81】 보정계수를 적용한 초음파 속도(양평방향)(계속)

| 시 험 위 치 | | 초음파 전달속도(km/sec) | | | 상 태 등 급 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 구분 | 위치 | 표 면 법 | 보 정 계 수 | 직 접 법 | | |
| 하부 구조 | P7 기둥부 | 3.702 | 1.05 | 3.887 | b | |
| | P8 기둥부 | 3.859 | | 4.052 | b | |
| | A2-벽체 전면부 | 3.657 | | 3.840 | b | |

주) 보정계수는 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010.12)-초음파 전달속도의 관계」로 산정




【그림 3-15】 초음파 속도 시험결과(양평방향)

② 초음파 전달속도 시험결과 분석

초음파 전단속도시험에 의한 콘크리트 품질평가 결과 초음파 속도 범위는 상부구조 3.857~4.626km/s, 하부구조 3.816~4.491km/s로 분석되었다. 초음파 속도 등급분포는 "a" 등급이 1개소 “b” 등급이 18개소 조사되었으며, 대부분 개소의 콘크리트 품질상태는 양호한 것으로 판단되었다.

2) 탄산화 깊이 측정

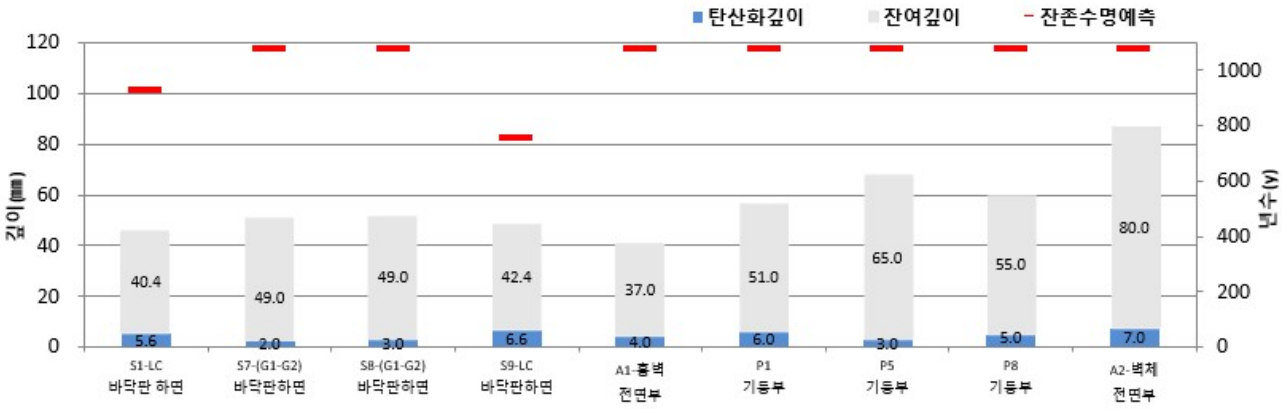
구조물의 탄산화 진행 정도는 지시약을 분무하면 알카리성 콘크리트의 탄산화가 진행된 면에서는 색의 변화가 나타나지 않고 그 변화가 없는 정도를 곧 탄산화 진행 깊이로 판단하게 되며 드릴링을 실시하여 탄산화깊이를 측정하였다. 본 과업에서의 탄산화 깊이 측정은 상부 4개소 하부 5개소 총 9개소에서 수행하였다.

① 탄산화 깊이 측정결과

【표 3-82】 탄산화 깊이 측정결과 및 평가(양평방향)

| 시험 위치 | | 탄산화 깊이(㎜) | 최소피복 두께(㎜) | 탄산화 속도계수 (A) | 잔존수명 예측(년) | 잔여깊이 (㎜) | 평가 결과 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 상부 구조 | S1-LC 바닥판하면 | 5.6 | 46 | 1.497 | 931 | 40.4 | a | |
| | S7-(G1-G2) 바닥판하면 | 2.0 | 51 | 0.535 | 1000 | 49.0 | a | |
| | S8-(G1-G2) 바닥판하면 | 3.0 | 52 | 0.802 | 1000 | 49.0 | a | |
| | S9-LC 바닥판하면 | 6.6 | 49 | 1.764 | 758 | 42.4 | a | |
| 하부 구조 | A1-흉벽 전면부 | 4.0 | 41 | 1.069 | 1000 | 37.0 | a | |
| | P1 기둥부 | 6.0 | 57 | 1.604 | 1000 | 51.0 | a | |
| | P5 기둥부 | 3.0 | 68 | 0.802 | 1000 | 65.0 | a | |
| | P8 기둥부 | 5.0 | 60 | 1.336 | 100 | 55.0 | a | |
| | A2-벽체 전면부 | 7.0 | 87 | 1.871 | 100 | 80.0 | a | |

주) 청미천교 재령 : 14년으로 산정
주) 탄산화 속도계수(A) = 탄산화깊이 / $\sqrt{재령(년)}$
주) 수명예측(년) = (철근피복 / 탄산화속도계수)$^2$
주) 잔여년수 = 수명예측년수 - 구조물 경과년수
주) 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12)참조
주) 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 (국토해양부, 한국시설안전공단, 2010.12)참조




주) 잔존수명의 1000년은 1000년 이상을 나타냄.

【그림 3-16】 탄산화 깊이 측정결과(양평방향)

② 탄산화 깊이 측정결과 분석

탄산화 깊이 측정결과, 탄산화 잔여깊이가 상부구조에서 40.4~49.0㎜, 하부구조에서 37.0~80.0㎜로 나타나 대부분 측정위치에서의 철근피복두께를 고려할 때 "a" 의 상태로 평가되어 탄산화에 의한 철근의 부식 발생 가능성은 없는 것으로 분석되었다.

3) 염화물함유량 시험

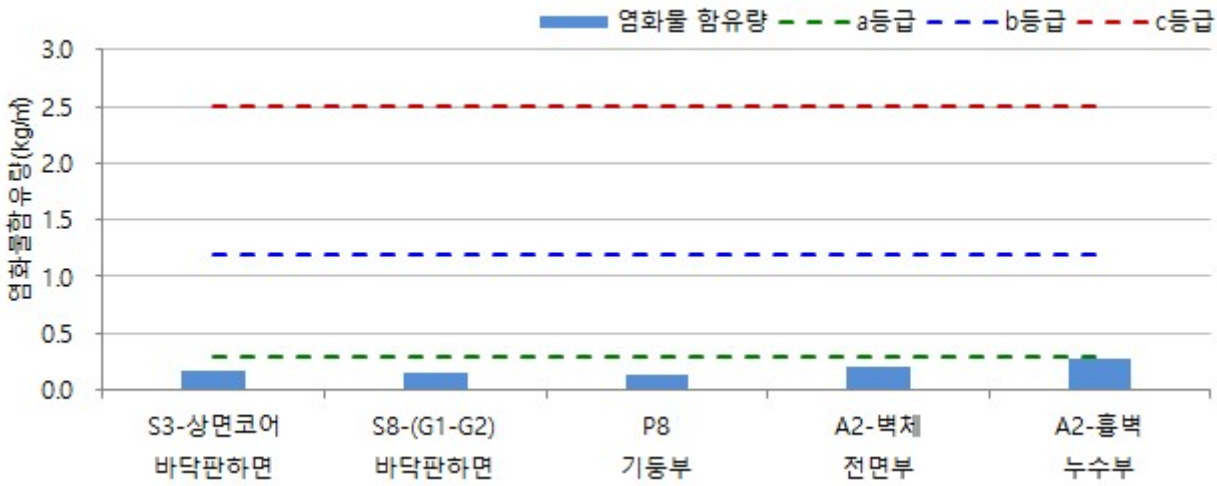
구조물에 염화물이 침투하게 되면 철근주위의 산소차단 역할을 하는 부동태막이 파손되고, 강재표면이 활성화되면 철근의 부식이 일어날 수 있으므로 철근콘크리트 구조물의 염해에 대한 평가는 매우 중요하다. 금회 염화물함유량 시험은 상부구조 2개소, 하부구조 3개소에서 실시하였으며, 하부구조 A2에서 건전부와 누수부로 측정하였다.

① 염화물함유량 시험결과

【표 3-83】 염화물 함유량 시험결과(양평방향)

| 시험 위치 | | | 염화물 함유량 (kg/㎥) | 등급 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 상부구조 | S3-상면코어 바닥판상면 | 0-20mm | 0.393 | b | |
| | | 20-40(철근)mm | 0.162 | a | |
| | S8-(G1-G2) 바닥판하면 | 0-20mm | 0.285 | a | |
| | | 30-50(철근)mm | 0.160 | a | |
| 하부구조 | P8 기둥부 | 0-20mm | 0.194 | a | |
| | | 40-60(철근)mm | 0.133 | a | |
| | A2-벽체 전면부 | 0-20mm | 0.260 | a | |
| | | 70-90(철근)mm | 0.203 | a | |
| | A2-흉벽 누수부 | 0-20mm | 1.640 | c | |
| | | 70-90(철근)mm | 0.276 | a | |

주) 환산염화물 산출시 콘크리트의 단위중량은 2,263kg/㎥ 적용: KS F 2714-02




【그림 3-17】 염화물 함유량 시험결과(양평방향)

② 염화물함유량 시험결과 분석

염화물함유량 시험은 콘크리트 표면과 철근위치까지의 깊이별 시험을 실시하였다.

시험결과, 상태평가 등급은 상부구조에서 'a' 등급(0.3kg/m$^3$이하), 하부구조에서 'a' 등급(0.3kg/m$^3$이하)으로 평가되었으며, A2벽체에서 누수부에 추가 확인한 결과 표면측에서

'c' 등급(1.2kg/m$^3$이상~2.5kg/m$^3$미만)으로 나타났으나, 철근깊이에서 'a' 등급(0.3kg/m$^3$ 이하)으로 분석되어 염화물에 의한 부식발생 가능성은 낮은 상태인 것으로 확인되었다. 이에 추가 손상은 조사되지 않았으나 누수부에 따른 보수를 실시함이 바람직할것으로 판단된다.

## 다. 철근탐사시험

1) 철근탐사 시험개요

철근의 피복두께가 부족할 경우에는 콘크리트의 탄산화 등에 따른 열화손상에 대한 저항성이 저하되어 내구성이 감소할 가능성이 있으며, 피복두께가 지나치게 큰 경우에는 강도감소 등을 수반할 우려가 있다. 또한 철근의 배근 간격이 설계도서와 다를 경우 구조물의 안전성에 직접적인 영향을 미치므로 내하력 저하의 원인이 된다. 철근탐사는 RC-Radar를 이용하여 수행하였으며, 현장에서 조사된 철근의 배근간격과 피복두께 탐사결과는 부재별 시공상태의 평가, 구조해석을 위한 단면특성 파악 및 내구수명 도출에 적용하였다. 본 과업에서의 철근탐사시험은 반발경도법 및 초음파 전달속도 시험을 실시한 동일 위치에서 상부 9개소 하부 10개소 총 19개소에서 수행하였다.

2) 철근탐사 시험결과

【표 3-84】 철근탐사 결과(양평방향)

| 구 분 | | 교축방향철근(수직철근) | | | | 교축직각방향철근(수평철근) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 철근간격(㎜) | | 피복두께(㎜) | | 철근간격(㎜) | | 피복두께(㎜) | |
| | | 평균 | 설계 | 최소 | 설계 | 평균 | 설계 | 최소 | 설계 |
| 상부 구조 | S1-LC 바닥판하면 | 143 | 150 | 68 | 68 | 115 | 125 | 46 | 52 |
| | S2-(G1-G2) 바닥판하면 | 150 | 150 | 67 | 68 | 112 | 125 | 52 | 52 |
| | S3-(G1-G2) 바닥판하면 | 147 | 150 | 64 | 68 | 125 | 125 | 51 | 52 |
| | S4-(G1-G2) 바닥판하면 | 132 | 150 | 49 | 68 | 128 | 125 | 49 | 52 |
| | S5-(G1-G2) 바닥판하면 | 147 | 150 | 64 | 68 | 125 | 125 | 55 | 52 |
| | S6-(G1-G2) 바닥판하면 | 142 | 150 | 63 | 68 | 123 | 125 | 52 | 52 |
| | S7-(G1-G2) 바닥판하면 | 145 | 150 | 63 | 68 | 120 | 125 | 51 | 52 |
| | S8-(G1-G2) 바닥판하면 | 149 | 150 | 63 | 68 | 126 | 125 | 52 | 52 |
| | S9-LC 바닥판하면 | 155 | 150 | 62 | 68 | 135 | 125 | 49 | 52 |

【표 3-84】 철근탐사 결과(양평방향)(계속)

| 구 분 | | 교축방향철근(수직철근) | | | | 교축직각방향철근(수평철근) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 철근간격(㎜) | | 피복두께(㎜) | | 철근간격(㎜) | | 피복두께(㎜) | |
| | | 평균 | 설계 | 최소 | 설계 | 평균 | 설계 | 최소 | 설계 |
| 하부 구조 | A1-흉벽 전면부 | 128 | 125 | 41 | 39 | 147 | 150 | 60 | 61 |
| | P1 기둥부 | 108 | 107 | 87 | 85.5 | 99 | 100 | 57 | 60.5 |
| | P2 기둥부 | 111 | 107 | 102 | 85.5 | 200 | 100 | 65 | 60.5 |
| | P3 기둥부 | 110 | 107 | 86 | 84 | 200 | 200 | 60 | 59 |
| | P4 기둥부 | 106 | 107 | 85 | 85.5 | 101 | 100 | 64 | 60.5 |
| | P5 기둥부 | 100 | 107 | 83 | 85.5 | 96 | 100 | 68 | 60.5 |
| | P6 기둥부 | 102 | 107 | 85 | 84 | 110 | 100 | 71 | 59 |
| | P7 기둥부 | 108 | 107 | 84 | 85.5 | 93 | 100 | 60 | 60.5 |
| | P8 기둥부 | 108 | 107 | 83 | 85.5 | 99 | 100 | 60 | 60.5 |
| | A2-벽체 전면부 | 253 | 250 | 87 | 89 | 137 | 150 | 104 | 111 |

3) 철근탐사 시험결과 분석

철근탐사시험 결과 철근의 배근 간격 및 피복두께는 설계도면과 유사한 것으로 조사되었으나, 일부 부재에서 피복두께가 설계 값과 미소하게 차이가 있으나 대체로 일치하는 것으로 분석되었다. 이는 콘크리트 타설시 철근의 유동 등에 의한 것으로 판단되며, 준공 이후 공용기간 동안 피복두께로 인한 손상이 없는 점으로 보아, 콘크리트 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

## 라. 균열깊이 측정

1) 균열깊이 측정개요

균열깊이 측정은 책임기술자의 판단에 따라 철근까지의 진행여부를 판단하기 위해 교각에 발생된 망상균열 및 폭 0.3㎜ 이상의 균열 중 대표 개소를 선정하여 시험을 실시하였다. 측정 시 발·수신자의 거리를 150㎜로 하였으며, 측정된 속도는 동일 위치에서 3회를 측정한 후 그 평균값을 적용하였다.

2) 균열깊이 측정결과

【표 3-85】 균열깊이 측정 결과(양평방향)

| 시험 위치 | 균열폭/길이 (㎜/m) | 발·수신자 거리 2L (㎜) | 초음파 전달시간 (×10-6sec) | | 균열깊이 (㎜) | 철근피복 (㎜) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 건전부(To) | 균열부(Tc) | | |
| A2 흉벽 | 0.3㎜/2.8m | 150 | 30.6 | 36.1 | 47.0 | 50.0 |

※ 피복두께는 철근탐사를 통한 실측 피복두께임

3) 균열깊이 측정결과 분석

본 구조물에 대하여 1개소에서 균열깊이 측정결과, 균열깊이는 47.0㎜로 조사되었으며 균열은 측정 실측 피복두께를 초과하지 않는 것으로 나타났다. 발생한 균열은 발생 위치 및 형태 등을 고려할 때 건조수축 및 온도변화 등에 의한 비구조적인 균열로 보이며, 내구성 및 사용성 저하 방지를 위해 주입보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

## 마. 강재비파괴 시험

1) 초음파탐상시험(UT : Ultrasonic Testing)

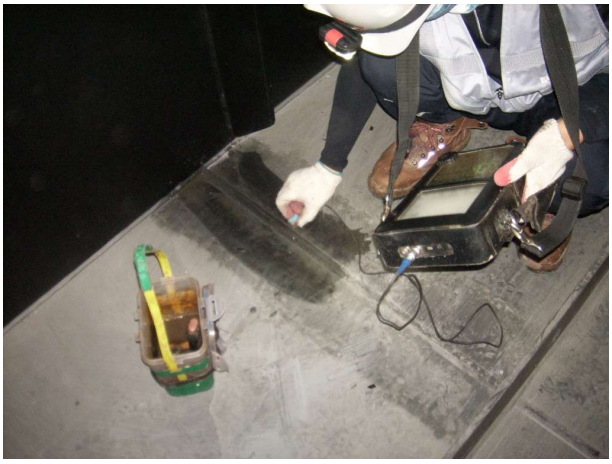
① 초음파탐상 시험결과

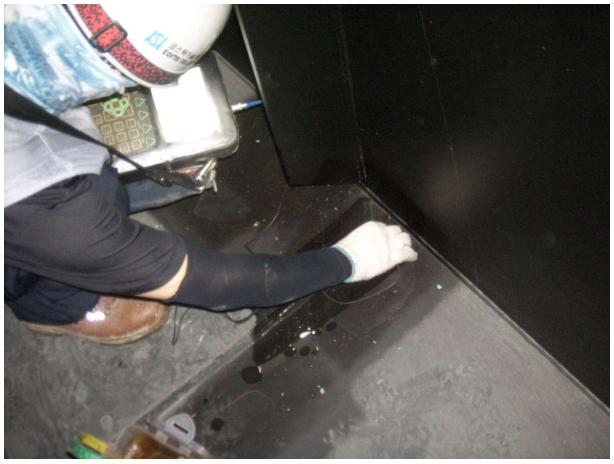
【표 3-86】초음파탐상시험 결과(양평방향)

| 시험 위치 | | | 결과치 | | 평가 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 합격 | 불합격 | | |
| S1-G1 | LF | U01-L | O | | 양호 | |
| | | U02-R | O | | 양호 | |
| S1-G2 | LF | U01-L | O | | 양호 | |
| | | U02-R | O | | 양호 | |
| S2-G1 | LF | U01-L | O | | 양호 | |
| | | U02-R | O | | 양호 | |
| S2-G2 | LF | U01-L | O | | 양호 | |
| | | U02-R | O | | 양호 | |
| S3-G1 | LF | U01-L | O | | 양호 | |
| | | U02-R | O | | 양호 | |
| S3-G2 | LF | U01-R | O | | 양호 | |
| | | U02-L | O | | 양호 | |
| S4-G1 | LF | U01-L | O | | 양호 | |
| | | U02-R | O | | 양호 | |
| S4-G2 | LF | U01-R | O | | 양호 | |
| | | U02-L | O | | 양호 | |
| S5-G1 | LF | U01-L | O | | 양호 | |
| | | U02-R | O | | 양호 | |
| S5-G2 | LF | U01-R | O | | 양호 | |
| | | U02-L | O | | 양호 | |

【표 3-86】 초음파탐상시험 결과(양평방향)(계속)

| 시험 위치 | | | 결과치 | | 평가 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 합격 | 불합격 | | |
| S6-G1 | LF | U01-L | O | | 양호 | |
| | | U02-R | O | | 양호 | |
| S6-G2 | LF | U01-R | O | | 양호 | |
| | | U02-L | O | | 양호 | |
| S7-G1 | LF | U01-L | O | | 양호 | |
| | | U02-R | O | | 양호 | |
| S7-G2 | LF | U01-R | O | | 양호 | |
| | | U02-L | O | | 양호 | |
| S8-G1 | LF | U01-L | O | | 양호 | |
| | | U02-R | O | | 양호 | |
| S8-G2 | LF | U01-R | O | | 양호 | |
| | | U02-L | O | | 양호 | |
| S9-G1 | LF | U01-L | O | | 양호 | |
| | | U02-R | O | | 양호 | |
| S9-G2 | LF | U01-R | O | | 양호 | |
| | | U02-L | O | | 양호 | |

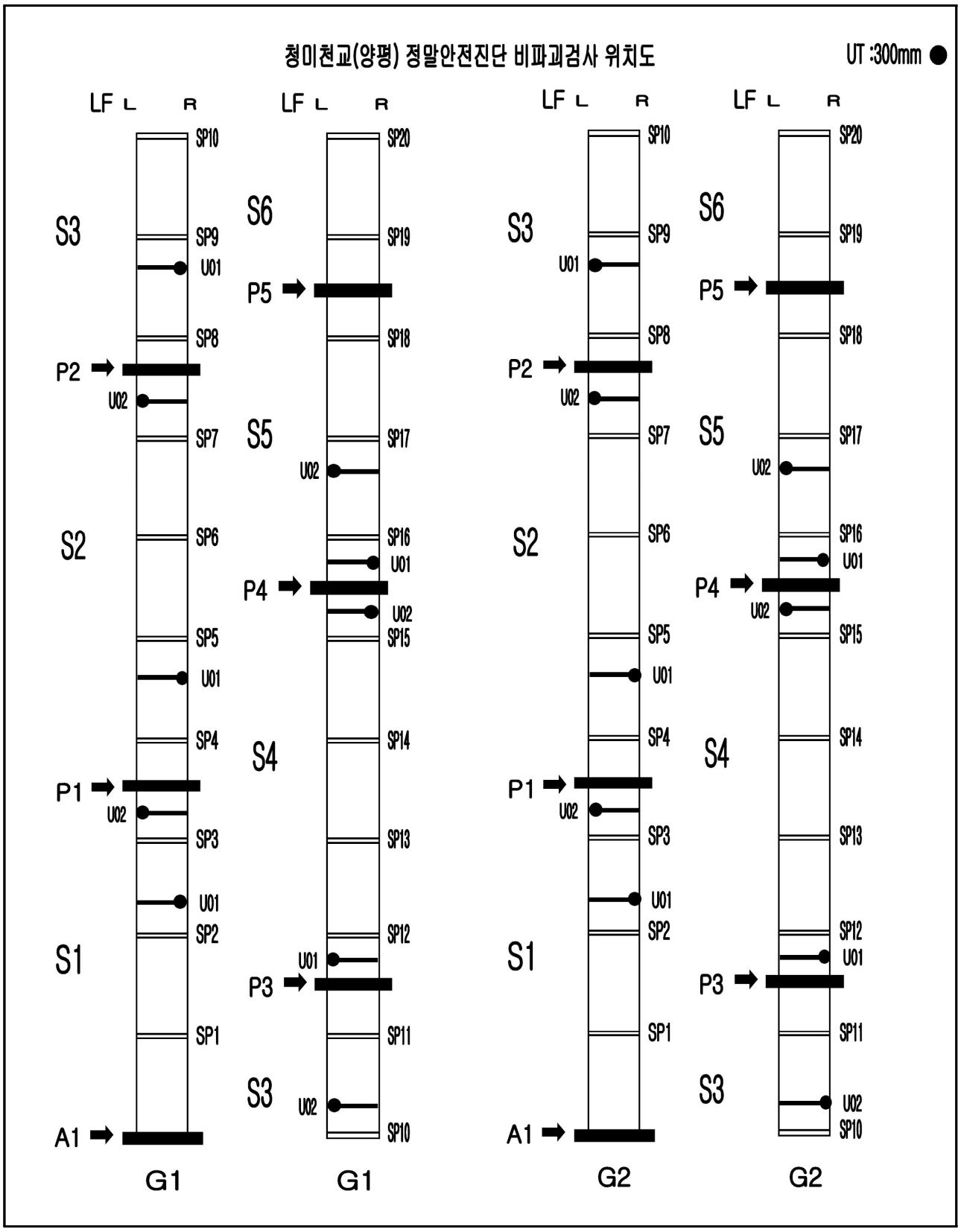




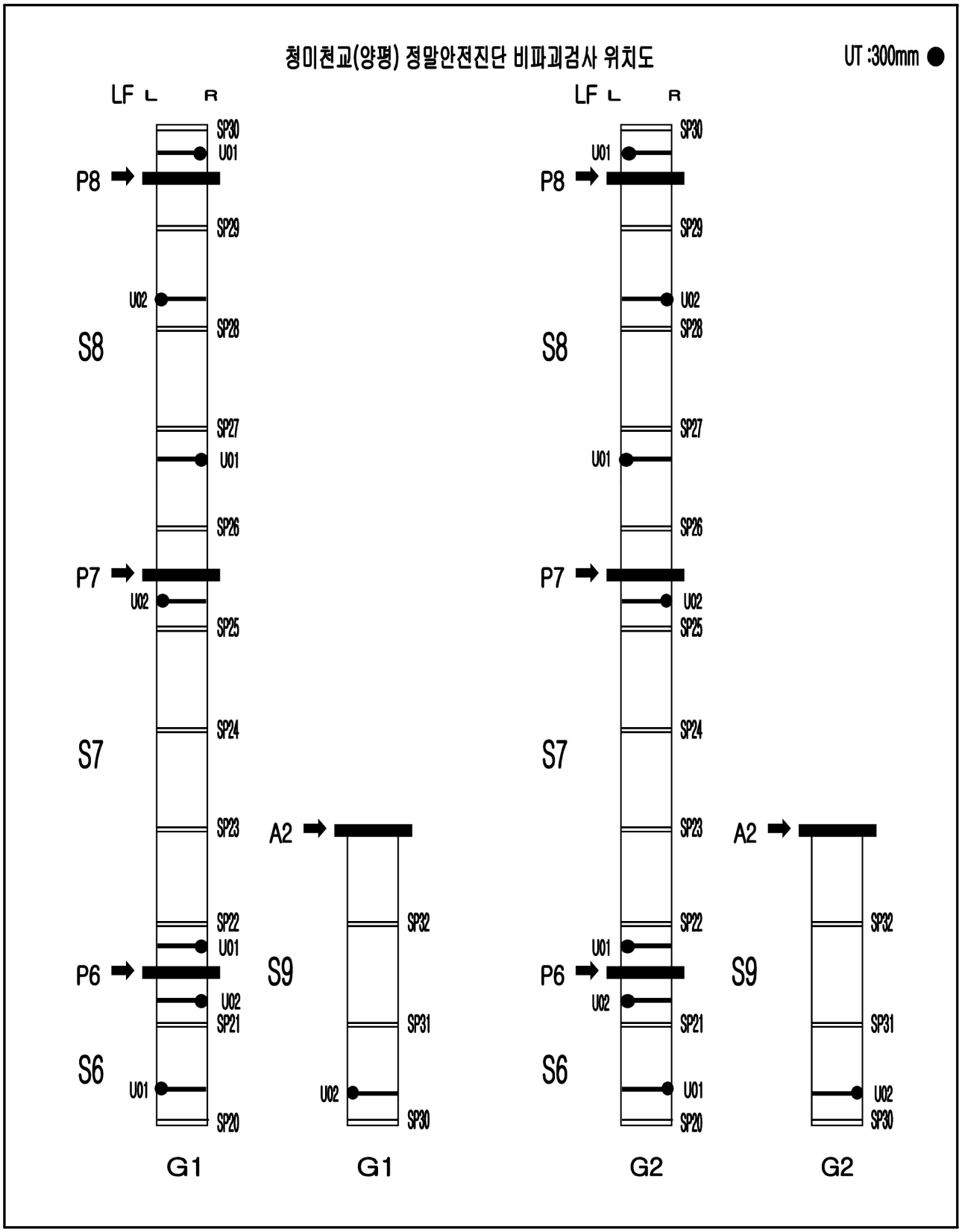
② 초음파탐상 시험결과 분석

Steel Box Girder의 용접상태를 검사하기 위해 맞대기 용접부에 대해 경간별, 거더별로 2개소씩 총 36개소에 대해 검사를 실시하였으며, 검사결과 총 36개소 모두 합격 판정되어 맞대기이음부의 용접상태는 양호한 것으로 나타났다.

2) 강재 초음파탐상시험 위치도




【그림 3-18】 강재 초음파탐상시험 위치도(양평방향)



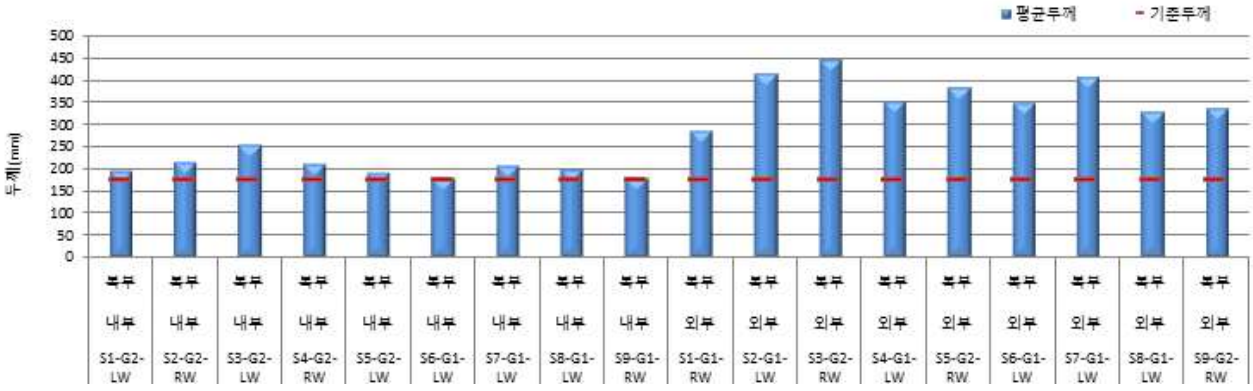

【그림 3-18】 강재 초음파탐상시험 위치도(양평방향)(계속)

3) 도막두께측정

① 도막두께 측정결과

【표 3-87】 도막두께 측정 결과(양평방향)

| 측 정 위 치 | | | 측정두께 (㎛) | | | | | | 기준 두께 (㎛) | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 측정No. | | | | | 평균 | | |
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | |
| S1-G2-LW | 내부 | 복부플랜지 | 207 | 194 | 188 | 196 | 180 | 193 | 175 | 양호 |
| S2-G2-RW | | 복부플랜지 | 221 | 200 | 233 | 202 | 209 | 213 | 175 | 양호 |
| S3-G2-LW | | 복부플랜지 | 234 | 270 | 257 | 271 | 235 | 253 | 175 | 양호 |
| S4-G2-RW | | 복부플랜지 | 216 | 217 | 206 | 220 | 193 | 210 | 175 | 양호 |
| S5-G2-LW | | 복부플랜지 | 206 | 224 | 186 | 174 | 157 | 189 | 175 | 양호 |
| S6-G1-LW | | 복부플랜지 | 178 | 160 | 195 | 188 | 165 | 177 | 175 | 양호 |
| S7-G1-LW | | 복부플랜지 | 218 | 232 | 224 | 184 | 175 | 207 | 175 | 양호 |
| S8-G1-LW | | 복부플랜지 | 185 | 198 | 205 | 192 | 201 | 196 | 175 | 양호 |
| S9-G1-RW | | 복부플랜지 | 174 | 179 | 172 | 180 | 183 | 178 | 175 | 양호 |
| S1-G1-RW | 외부 | 복부플랜지 | 265 | 280 | 272 | 273 | 329 | 284 | 175 | 양호 |
| S2-G1-LW | | 복부플랜지 | 383 | 389 | 385 | 441 | 470 | 414 | 175 | 양호 |
| S3-G2-RW | | 복부플랜지 | 437 | 429 | 441 | 447 | 466 | 444 | 175 | 양호 |
| S4-G1-LW | | 복부플랜지 | 372 | 351 | 340 | 356 | 330 | 350 | 175 | 양호 |
| S5-G2-RW | | 복부플랜지 | 398 | 384 | 382 | 371 | 361 | 379 | 175 | 양호 |
| S6-G1-LW | | 복부플랜지 | 369 | 342 | 353 | 341 | 323 | 346 | 175 | 양호 |
| S7-G1-LW | | 복부플랜지 | 440 | 417 | 437 | 404 | 331 | 406 | 175 | 양호 |
| S8-G1-LW | | 복부플랜지 | 318 | 323 | 331 | 328 | 326 | 325 | 175 | 양호 |
| S9-G2-RW | | 복부플랜지 | 329 | 367 | 364 | 328 | 281 | 334 | 175 | 양호 |




【그림 3-19】 도막두께 측정 결과(양평방향)

② 도막두께 측정결과 분석

Steel Box Girder 외부의 실측 도막 두께가 콘크리트 및 강재비파괴 시험 매뉴얼의 도장 기준 하한 판정값 (175㎛(교량내부), 215㎛(교량외부)-일반환경용 중방식 도장 기준)을 모두 상회하는 것으로 조사되어 양호한 상태로 판단된다.

## 3.4.4 현장시험결과 및 분석(마산방향)

### 가. 비파괴 강도

1) 반발경도법 시험개요

반발경도 측정은 콘크리트 표면의 요철, 부착물, 분말 등을 그라인딩으로 제거하고 실시하였으며 표면에 곰보, 공극, 노출된 자갈 등이 있는 부위들은 측정위치에서 제외했다. 또한, 반발경도 값은 각 측정부재에 따라 타격방향, 재령 등에 의한 보정을 한 후 바닥판과 하부구조의 경우, 일본재료학회와 일본 건축학회 CDNT 소위원회 강도 계산식을 사용하여 압축강도를 산정하였으며, 본 과업에서의 반발경도법 시험은 상부 9개소 하부 10개소 총 19개소에서 수행하였다.

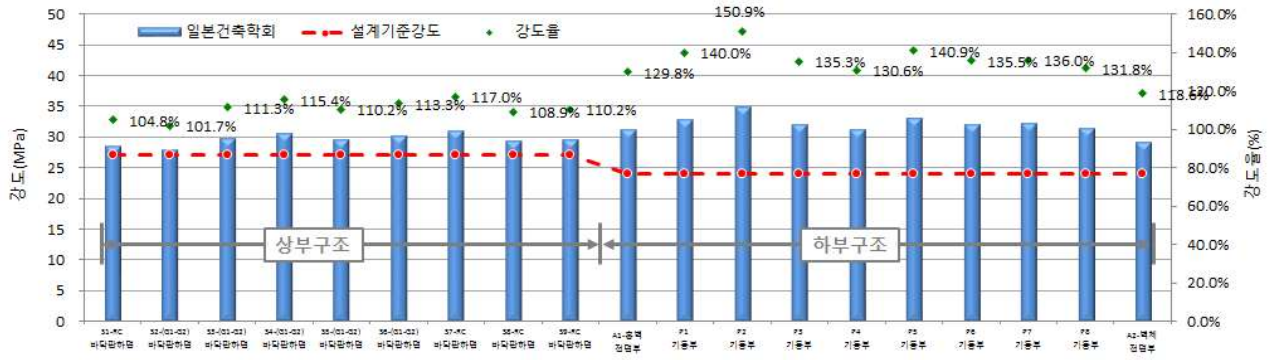
2) 반발경도법 시험결과

【표 3-88】 보정계수를 적용한 추정 비파괴 강도(마산방향)

| 시험위치 | | Ro | 반발경도법에 의한 추정비파괴강도 | | | 설계기준 강도(B) | 강도율(%) (A/B×100) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 구분 | 위치 | | 일본건축학회 | 일본재료학회 | 평균추정강도 (A) | | |
| 상부 구조 | S1-RC 바닥판하면 | 49.4 | 28.4 | 28.2 | 28.3 | 27㎫ | 104.8% |
| | S2-(G1-G2) 바닥판하면 | 48.0 | 27.8 | 27.1 | 27.5 | | 101.7% |
| | S3-(G1-G2) 바닥판하면 | 52.2 | 29.7 | 30.4 | 30.1 | | 111.3% |
| | S4-(G1-G2) 바닥판하면 | 53.9 | 30.5 | 31.8 | 31.2 | | 115.4% |
| | S5-(G1-G2) 바닥판하면 | 51.7 | 29.5 | 30.0 | 29.8 | | 110.2% |
| | S6-(G1-G2) 바닥판하면 | 53.0 | 30.1 | 31.1 | 30.6 | | 113.3% |
| | S7-RC 바닥판하면 | 54.7 | 30.8 | 32.4 | 31.6 | | 117.0% |
| | S8-RC 바닥판하면 | 51.2 | 29.2 | 29.6 | 29.4 | | 108.9% |
| | S9-RC 바닥판하면 | 51.7 | 29.5 | 30.0 | 29.8 | | 110.2% |
| 하부 구조 | A1-흉벽 전면부 | 50.8 | 31.0 | 31.2 | 31.1 | 24㎫ | 129.8% |
| | P1 기둥부 | 54.5 | 32.7 | 34.4 | 33.6 | | 140.0% |
| | P2 기둥부 | 58.4 | 34.7 | 37.8 | 36.2 | | 150.9% |
| | P3 기둥부 | 52.8 | 32.0 | 33.0 | 32.5 | | 135.3% |

【표 3-88】 보정계수를 적용한 추정 비파괴 강도(마산방향)(계속)

| 시험위치 | | Ro | 반발경도법에 의한 추정비파괴강도 | | | 설계기준강도(B) | 강도율(%) (A/B×100) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 구분 | 위치 | | 일본건축학회 | 일본재료학회 | 평균추정강도(A) | | |
| 하부구조 | P4 기둥부 | 51.2 | 31.1 | 31.6 | 31.4 | 24MPa | 130.6% |
| | P5 기둥부 | 54.8 | 33.0 | 34.7 | 33.8 | | 140.9% |
| | P6 기둥부 | 52.9 | 32.0 | 33.1 | 32.5 | | 135.5% |
| | P7 기둥부 | 53.0 | 32.1 | 33.2 | 32.6 | | 136.0% |
| | P8 기둥부 | 51.5 | 31.4 | 31.9 | 31.6 | | 131.8% |
| | A2-벽체 전면부 | 46.8 | 29.1 | 27.8 | 28.5 | | 118.6% |




【그림 3-20】 반발경도법 시험결과(마산방향)

3) 반발경도법 시험결과 분석

반발경도법을 사용하여 압축강도를 추정한 결과, 상부구조는 27.5~31.6MPa로 설계기준강도 27MPa의 101.7~117.0%로 설계기준강도를 상회하는 것으로 측정되었으며, 하부구조 또한 28.5~36.2MPa로 설계기준강도 24MPa의 118.6~150.9%로 설계기준강도를 상회하는 것으로 분석되었다.

## 나. 콘크리트 품질시험

1) 초음파 전달속도 시험

초음파 전달속도 시험은 반발경도시험을 수행한 동일부위를 선정하여 그라인딩을 실시하고 그리스 도포를 한 후, 발신자와 수신자의 측정거리를 10cm간격으로 증가시키면서 표면법에 의한 초음파 전달속도를 측정하였으며, 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010.12)-초음파 전달속도의 관계」를 통해 보정계수를 적용하여 직접법 속도로 환산하였다. 본 과업에서 대상 구조물의 콘크리트 품질평가를 위하여 초음파 속도법의 시험 결과를 나타내었으며,

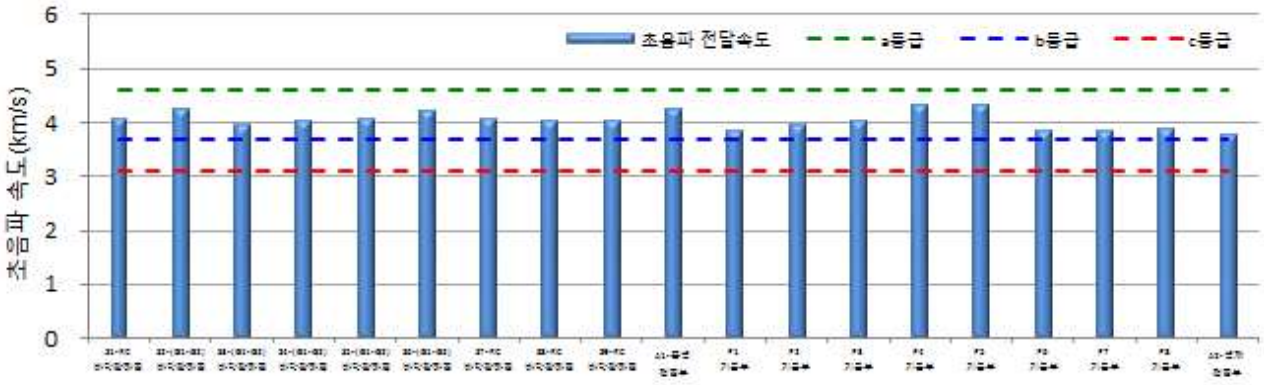
초음파 전달속도 시험은 반발경도법 시험을 실시한 동일 위치에서 상부 9개소 하부 10개소 총 19개소에서 수행하였다.

① 초음파 전달속도 시험결과

【표 3-89】 보정계수를 적용한 초음파 속도(마산방향)

| 시 험 위 치 | | 초음파 전달속도(km/sec) | | | 상 태 등 급 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 구분 | 위치 | 표 면 법 | 보 정 계 수 | 직 접 법 | | |
| 상부 구조 | S1-RC 바닥판하면 | 3.805 | 1.05 | 3.995 | b | |
| | S2-(G1-G2) 바닥판하면 | 3.749 | | 3.936 | b | |
| | S3-(G1-G2) 바닥판하면 | 3.770 | | 3.959 | b | |
| | S4-(G1-G2) 바닥판하면 | 3.805 | | 3.995 | b | |
| | S5-(G1-G2) 바닥판하면 | 3.786 | | 3.975 | b | |
| | S6-(G1-G2) 바닥판하면 | 3.703 | | 3.888 | b | |
| | S7-RC 바닥판하면 | 3.714 | | 3.900 | b | |
| | S8-RC 바닥판하면 | 3.776 | | 3.965 | b | |
| | S9-RC 바닥판하면 | 3.724 | | 3.910 | b | |
| 하부 구조 | A1-흉벽 전면부 | 3.851 | | 4.044 | b | |
| | P1 기둥부 | 3.761 | | 3.949 | b | |
| | P2 기둥부 | 3.806 | | 3.996 | b | |
| | P3 기둥부 | 3.701 | | 3.886 | b | |
| | P4 기둥부 | 4.295 | | 4.510 | b | |
| | P5 기둥부 | 4.117 | | 4.323 | b | |
| | P6 기둥부 | 4.085 | | 4.289 | b | |
| | P7 기둥부 | 3.726 | | 3.912 | b | |
| | P8 기둥부 | 3.560 | | 3.738 | b | |
| | A2-벽체 전면부 | 3.576 | | 3.755 | b | |

주) 보정계수는 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010.12)-초음파 전달속도의 관계」로 산정




【그림 3-21】초음파 속도 시험결과(마산방향)

② 초음파 전달속도 시험결과 분석

초음파 전단속도시험에 의한 콘크리트 품질평가 결과 초음파 속도 범위는 상부구조 3.888~3.995km/s, 하부구조 3.738~4.510km/s로 분석되었다. 초음파 속도 등급분포는 "b" 등급이 19개소 조사되었으며, 대부분 개소의 콘크리트 품질상태는 양호한 것으로 판단되었다.

2) 탄산화 깊이 측정

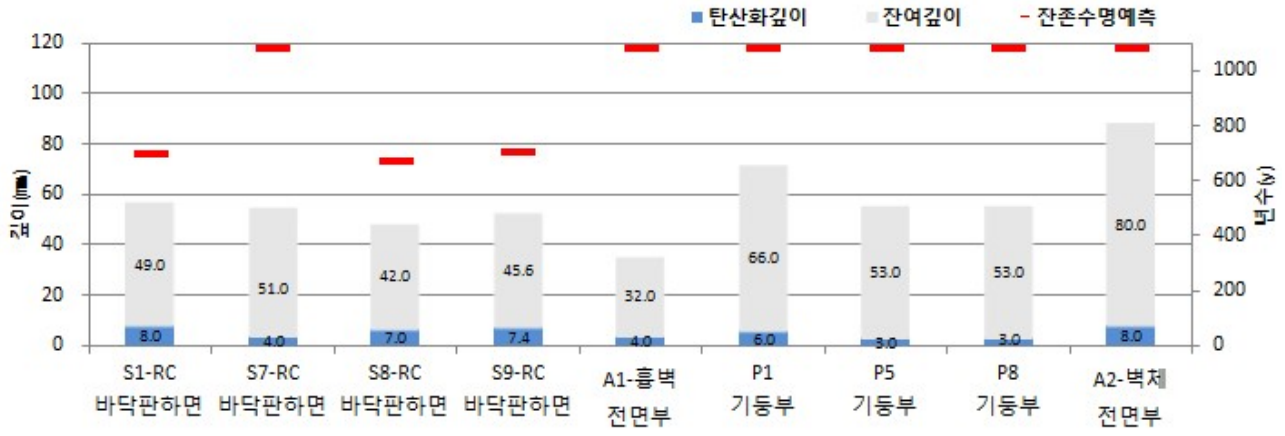
구조물의 탄산화 진행 정도는 지시약을 분무하면 알카리성 콘크리트의 탄산화가 진행된 면에서는 색의 변화가 나타나지 않고 그 변화가 없는 정도를 곧 탄산화 진행 깊이로 판단하게 되며 드릴링을 실시하여 탄산화깊이를 측정하였다. 본 과업에서의 탄산화 깊이 측정은 상부 4개소 하부 5개소 총 9개소에서 수행하였다.

① 탄산화 깊이 측정결과

【표 3-90】 탄산화 깊이 측정결과 및 평가(마산방향)

| 시험 위치 | | 탄산화 깊이(㎜) | 최소피복 두께(㎜) | 탄산화 속도계수 (A) | 잔존수명 예측(년) | 잔여깊이 (㎜) | 평가 결과 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 상부 구조 | S1-RC 바닥판하면 | 8.0 | 57.0 | 2.138 | 697 | 49.0 | a | |
| | S7-RC 바닥판하면 | 4.0 | 55.0 | 1.069 | 1000 | 51.0 | a | |
| | S8-RC 바닥판하면 | 7.0 | 49.0 | 1.871 | 672 | 42.0 | a | |
| | S9-RC 바닥판하면 | 7.4 | 53.0 | 1.978 | 704 | 45.6 | a | |
| 하부 구조 | A1-흉벽 전면부 | 4.0 | 36.0 | 1.069 | 1000 | 32.0 | a | |
| | P1 기둥부 | 6.0 | 72.0 | 1.604 | 1000 | 66.0 | a | |
| | P5 기둥부 | 3.0 | 56.0 | 0.802 | 1000 | 53.0 | a | |
| | P8 기둥부 | 3.0 | 56.0 | 0.802 | 1000 | 53.0 | a | |
| | A2-벽체 전면부 | 8.0 | 88.0 | 2.138 | 1000 | 80.0 | a | |

주) 청미천교 재령 : 14년으로 산정
주) 탄산화 속도계수(A) = 탄산화깊이 / $\sqrt{\text{재령(년)}}$
주) 수명예측(년) = (철근피복 / 탄산화속도계수)²
주) 잔여년수 = 수명예측년수 - 구조물 경과년수
주) 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12)참조
주) 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 (국토해양부, 한국시설안전공단, 2010.12)참조




주) 잔존수명의 1000년은 1000년 이상을 나타냄.

【그림 3-22】 탄산화 깊이 측정결과(마산방향)

② 탄산화 깊이 측정결과 분석

탄산화 깊이 측정결과, 탄산화 잔여깊이가 상부구조에서 42.0~51.0㎜, 하부구조에서

32.0~80.0㎜로 측정위치에서의 철근피복두께를 고려할 때, “a” 의 상태로 평가되어 탄산화에 의한 철근의 부식 발생 가능성은 없는것으로 분석되었다.

따라서, 전체 구간에서 철근에 도달하는 최소시간인 내구수명도 100년 이상을 나타나 탄산화에 의한 철근부식영향 및 콘크리트 내구성 저하의 영향은 작을 것으로 판단된다.

3) 염화물함유량 시험

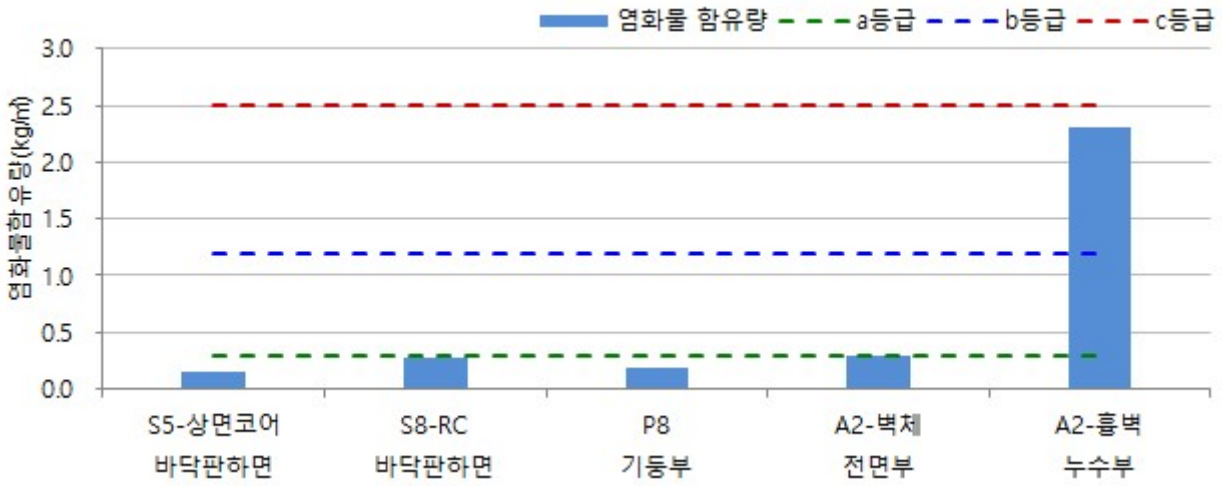
구조물에 염화물이 침투하게 되면 철근주위의 산소차단 역할을 하는 부동태막이 파손되고, 강재표면이 활성화되면 철근의 부식이 일어날 수 있으므로 철근콘크리트 구조물의 염해에 대한 평가는 매우 중요하다. 금회 염화물함유량 시험은 상부구조 2개소, 하부구조 3개소에서 실시하였으며, 하부구조 A2에서 건전부와 누수부로 측정하였다.

① 염화물함유량 시험결과

【표 3-91】 염화물 함유량 시험결과(마산방향)

| 시험 위치 | | | 염화물 함유량 (kg/㎥) | 등급 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 상부구조 | S5-상면코어 바닥판상면 | 0-20mm | 0.214 | a | |
| | | 30-50(철근)mm | 0.151 | a | |
| | S8-RC 바닥판하면 | 0-20mm | 0.386 | b | |
| | | 30-50(철근)mm | 0.282 | a | |
| 하부구조 | P8 기둥부 | 0-20mm | 0.289 | a | |
| | | 40-60(철근)mm | 0.196 | a | |
| | A2-벽체 전면부 | 0-20mm | 0.432 | b | |
| | | 70-90(철근)mm | 0.300 | b | |
| | A2-흉벽 누수부 | 0-20mm | 4.410 | d | |
| | | 70-90(철근)mm | 2.301 | c | |

주) 환산염화물 산출시 콘크리트의 단위중량은 2,263kg/㎥ 적용: KS F 2714-02




【그림 3-23】 염화물 함유량 시험결과(마산방향)

② 염화물함유량 시험결과 분석

염화물함유량 시험은 콘크리트 표면과 철근위치까지의 깊이별 시험을 실시하였다.

시험결과, 상태평가 등급은 상부구조에서 'a' 등급(0.3kg/m$^3$이하), 하부구조에서 'a' 등급(0.3kg/m$^3$이하)으로 평가되었으며, A2벽체에서 누수부에 추가 확인한 결과 표면측에서 'd' 등급(2.5kg/m$^3$이상), 철근깊이에서 'c' 등급(1.2kg/m$^3$이상 2.5kg/m$^3$미만)으로 분석되어 염화물에 의한 부식발생 가능성이 높은 상태인 것으로 분석되었다. 교대 A2 누수부에 염화물이 진전됨에 따라 보수를 통한 유지관리가 필요하다.

## 다. 철근탐사시험

1) 철근탐사 시험개요

철근의 피복두께가 부족할 경우에는 콘크리트의 탄산화 등에 따른 열화손상에 대한 저항성이 저하되어 내구성이 감소할 가능성이 있으며, 피복두께가 지나치게 큰 경우에는 강도감소 등을 수반할 우려가 있다. 또한 철근의 배근 간격이 설계도서와 다를 경우 구조물의 안전성에 직접적인 영향을 미치므로 내하력 저하의 원인이 된다. 철근탐사는 RC-Radar를 이용하여 수행하였으며, 현장에서 조사된 철근의 배근간격과 피복두께 탐사결과는 부재별 시공상태의 평가, 구조해석을 위한 단면특성 파악 및 내구수명 도출에 적용하였다. 본 과업에서의 철근탐사시험은 반발경도법 및 초음파 전달속도 시험을 실시한 동일 위치에서 상부 9개소 하부 10개소 총 19개소에서 수행하였다.

2) 철근탐사 시험결과

【표 3-92】 철근탐사 결과(마산방향)

| 구 분 | | 교축방향철근(수직철근) | | | | 교축직각방향철근(수평철근) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 철근간격(㎜) | | 피복두께(㎜) | | 철근간격(㎜) | | 피복두께(㎜) | |
| | | 평균 | 설계 | 최소 | 설계 | 평균 | 설계 | 최소 | 설계 |
| 상부 구조 | S1-RC 바닥판하면 | 141 | 150 | 65 | 68 | 120 | 125 | 57 | 52 |
| | S2-(G1-G2) 바닥판하면 | 148 | 150 | 64 | 68 | 125 | 125 | 48 | 52 |
| | S3-(G1-G2) 바닥판하면 | 158 | 150 | 64 | 68 | 124 | 125 | 49 | 52 |
| | S4-(G1-G2) 바닥판하면 | 150 | 150 | 62 | 68 | 123 | 125 | 49 | 52 |
| | S5-(G1-G2) 바닥판하면 | 143 | 150 | 68 | 68 | 127 | 125 | 55 | 52 |
| | S6-(G1-G2) 바닥판하면 | 150 | 150 | 56 | 68 | 127 | 125 | 55 | 52 |
| | S7-RC 바닥판하면 | 170 | 150 | 65 | 68 | 245 | 250 | 55 | 52 |

【표 3-92】 철근탐사 결과(마산방향)(계속)

| 구 분 | | 교축방향철근(수직철근) | | | | 교축직각방향철근(수평철근) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 철근간격(㎜) | | 피복두께(㎜) | | 철근간격(㎜) | | 피복두께(㎜) | |
| | | 평균 | 설계 | 최소 | 설계 | 평균 | 설계 | 최소 | 설계 |
| 상부 구조 | S8-RC 바닥판하면 | 295 | 300 | 59 | 68 | 245 | 250 | 49 | 52 |
| | S9-RC 바닥판하면 | 144 | 150 | 65 | 68 | 110 | 125 | 53 | 52 |
| 하부 구조 | A1-흉벽 전면부 | 123 | 125 | 36 | 39 | 155 | 150 | 54 | 61 |
| | P1 기둥부 | 120 | 107 | 91 | 85.5 | 303 | 300 | 72 | 60.5 |
| | P2 기둥부 | 113 | 107 | 83 | 85.5 | 193 | 200 | 57 | 60.5 |
| | P3 기둥부 | 120 | 107 | 83 | 84 | 192 | 200 | 61 | 59 |
| | P4 기둥부 | 115 | 107 | 86 | 85.5 | 100 | 100 | 60 | 60.5 |
| | P5 기둥부 | 102 | 107 | 93 | 85.5 | 101 | 100 | 56 | 60.5 |
| | P6 기둥부 | 118 | 107 | 83 | 84 | 101 | 100 | 57 | 59 |
| | P7 기둥부 | 109 | 107 | 86 | 85.5 | 201 | 200 | 60 | 60.5 |
| | P8 기둥부 | 112 | 107 | 78 | 85.5 | 100 | 100 | 56 | 60.5 |
| | A2-벽체 전면부 | 240 | 250 | 88 | 89 | 144 | 150 | 114 | 111 |

3) 철근탐사 시험결과 분석

철근탐사시험 결과 철근의 배근 간격 및 피복두께는 설계도면과 유사한 것으로 조사되었으나, 일부 부재에서 피복두께가 설계 값과 미소하게 차이가 있으나 대체로 일치하는 것으로 분석되었다. 이는 콘크리트 타설시 철근의 유동 등에 의한 것으로 판단되며, 준공 이후 공용기간 동안 피복두께로 인한 손상이 없는 점으로 보아, 콘크리트 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

## 라. 균열깊이 측정

1) 균열깊이 측정개요

균열깊이 측정은 책임기술자의 판단에 따라 철근까지의 진행여부를 판단하기 위해 교각에 발생된 망상균열 및 폭 0.3㎜ 이상의 균열 중 대표 개소를 선정하여 시험을 실시하였다. 측정 시 발·수신자의 거리를 150㎜로 하였으며, 측정된 속도는 동일 위치에서 3회를 측정한 후 그 평균값을 적용하였다.

2) 균열깊이 측정결과

【표 3-93】 균열깊이 측정 결과(마산방향)

| 시험 위치 | 균열폭/길이 (㎜/m) | 발·수신자 거리 2L (㎜) | 초음파 전달시간 (×10-6sec) | | 균열깊이 (㎜) | 철근피복 (㎜) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 건전부(To) | 균열부(Tc) | | |
| P8 기둥부 | 0.3㎜/2.0m | 150 | 51.5 | 60.3 | 46.0 | 56.0 |

※ 피복두께는 철근탐사를 통한 실측 피복두께임

3) 균열깊이 측정결과 분석

본 구조물에 대하여 1개소에서 균열깊이 측정결과, 균열깊이는 46.0㎜로 조사되었으며 균열은 측정 실측 피복두께를 초과하지 않는 것으로 나타났다. 발생한 균열은 발생 위치 및 형태 등을 고려할 때 건조수축 및 온도변화 등에 의한 비구조적인 균열로 보이며, 내구성 및 사용성 저하 방지를 위해 주입보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

## 마. 강재비파괴 시험

1) 초음파탐상시험(UT : Ultrasonic Testing)

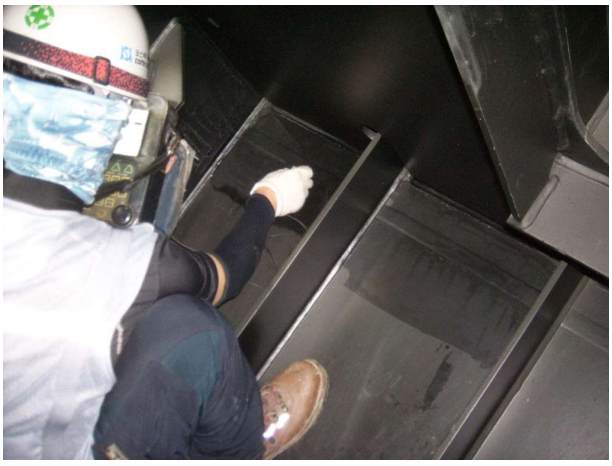
① 초음파탐상 시험결과

【표 3-94】 초음파탐상시험 결과(마산방향)

| 시험 위치 | | | 결과치 | | 평가 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 합격 | 불합격 | | |
| S1-G1 | LF | U01-L | O | | 양호 | |
| | | U02-R | O | | 양호 | |
| S1-G2 | LF | U01-L | O | | 양호 | |
| | | U02-R | O | | 양호 | |
| S2-G1 | LF | U01-L | O | | 양호 | |
| | | U02-R | O | | 양호 | |
| S2-G2 | LF | U01-L | O | | 양호 | |
| | | U02-R | O | | 양호 | |
| S3-G1 | LF | U01-L | O | | 양호 | |
| | | U02-R | O | | 양호 | |
| S3-G2 | LF | U01-L | O | | 양호 | |
| | | U02-R | O | | 양호 | |
| S4-G1 | LF | U01-L | O | | 양호 | |
| | | U02-R | O | | 양호 | |
| S4-G2 | LF | U01-L | O | | 양호 | |
| | | U02-R | O | | 양호 | |

【표 3-94】 초음파탐상시험 결과(마산방향)(계속)

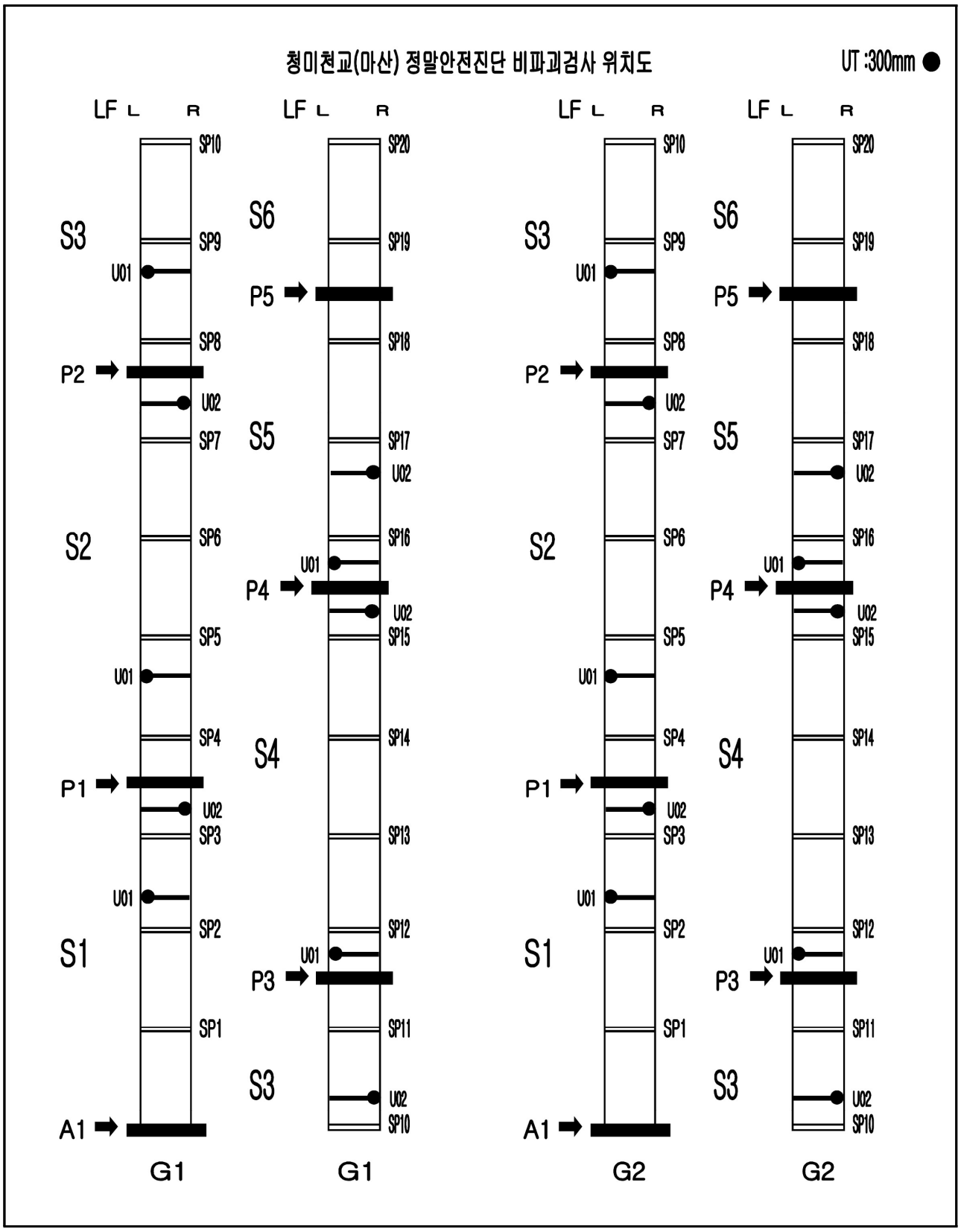
| 시험 위치 | | | 결과치 | | 평가 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 합격 | 불합격 | | |
| S5-G1 | LF | U01-L | O | | 양호 | |
| | | U02-R | O | | 양호 | |
| S5-G2 | LF | U01-L | O | | 양호 | |
| | | U02-R | O | | 양호 | |
| S6-G1 | LF | U01-L | O | | 양호 | |
| | | U02-R | O | | 양호 | |
| S6-G2 | LF | U01-R | O | | 양호 | |
| | | U02-L | O | | 양호 | |
| S7-G1 | LF | U01-R | O | | 양호 | |
| | | U02-L | O | | 양호 | |
| S7-G2 | LF | U01-R | O | | 양호 | |
| | | U02-L | O | | 양호 | |
| S8-G1 | LF | U01-R | O | | 양호 | |
| | | U02-L | O | | 양호 | |
| S8-G2 | LF | U01-R | O | | 양호 | |
| | | U02-L | O | | 양호 | |
| S9-G1 | LF | U01-R | O | | 양호 | |
| | | U02-L | O | | 양호 | |
| S9-G2 | LF | U01-R | O | | 양호 | |
| | | U02-L | O | | 양호 | |



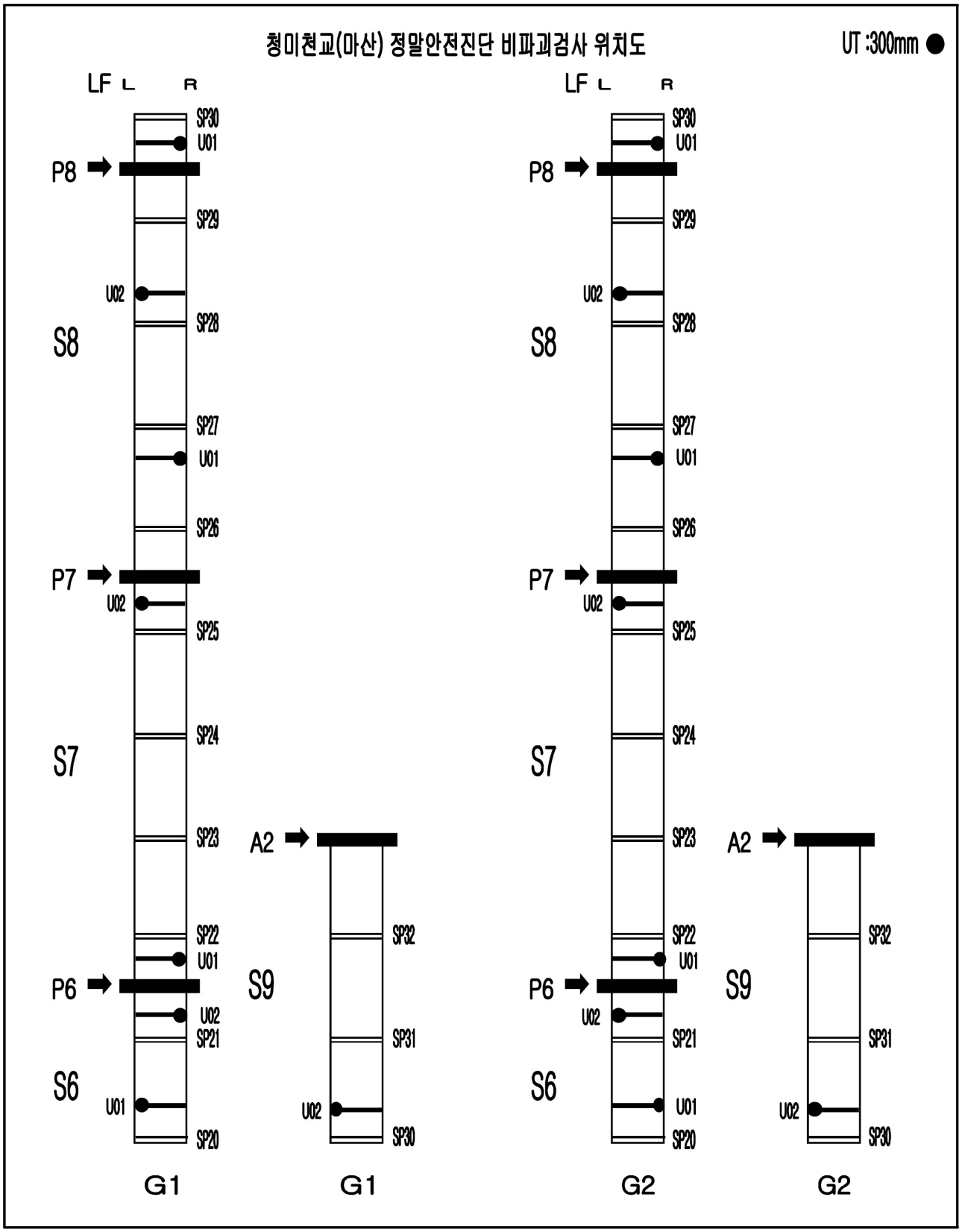
② 초음파탐상 시험결과 분석

Steel Box Girder의 용접상태를 검사하기 위해 맞대기 용접부에 대해 경간별, 거더별로 2개소씩 총 36개소에 대해 검사를 실시하였으며, 검사결과 총 36개소 모두 합격 판정되어 맞대기이음부의 용접상태는 양호한 것으로 나타났다.

2) 강재 초음파탐상시험 위치도




【그림 3-24】 강재 초음파탐상시험 위치도(마산방향)



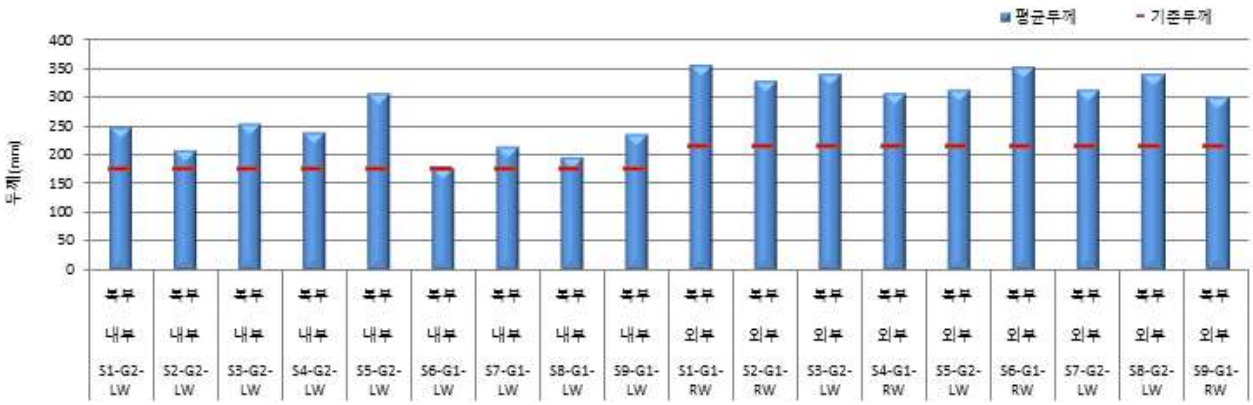

【그림 3-24】 강재 초음파탐상시험 위치도(마산방향)(계속)

3) 도막두께측정

① 도막두께 측정결과

【표 3-95】 도막두께 측정 결과(마산방향)

| 측 정 위 치 | | | 측정두께 (㎛) | | | | | | 기준 두께 (㎛) | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 측정No. | | | | | 평균 | | |
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | |
| S1-G2-LW | 내부 | 복부플랜지 | 257 | 275 | 249 | 238 | 209 | 246 | 175 | 양호 |
| S2-G2-LW | | 복부플랜지 | 184 | 183 | 220 | 226 | 220 | 207 | 175 | 양호 |
| S3-G2-LW | | 복부플랜지 | 273 | 267 | 247 | 257 | 218 | 252 | 175 | 양호 |
| S4-G2-LW | | 복부플랜지 | 240 | 228 | 250 | 234 | 241 | 239 | 175 | 양호 |
| S5-G2-LW | | 복부플랜지 | 287 | 333 | 316 | 287 | 298 | 304 | 175 | 양호 |
| S6-G1-LW | | 복부플랜지 | 181 | 173 | 193 | 170 | 171 | 178 | 175 | 양호 |
| S7-G1-LW | | 복부플랜지 | 229 | 223 | 210 | 207 | 204 | 215 | 175 | 양호 |
| S8-G1-LW | | 복부플랜지 | 190 | 200 | 201 | 187 | 199 | 195 | 175 | 양호 |
| S9-G1-LW | | 복부플랜지 | 263 | 237 | 228 | 230 | 210 | 234 | 175 | 양호 |
| S1-G1-RW | 외부 | 복부플랜지 | 365 | 338 | 354 | 366 | 350 | 355 | 215 | 양호 |
| S2-G1-RW | | 복부플랜지 | 342 | 307 | 344 | 307 | 333 | 327 | 215 | 양호 |
| S3-G2-LW | | 복부플랜지 | 354 | 355 | 309 | 317 | 358 | 339 | 215 | 양호 |
| S4-G1-RW | | 복부플랜지 | 313 | 331 | 303 | 310 | 274 | 306 | 215 | 양호 |
| S5-G2-LW | | 복부플랜지 | 314 | 284 | 296 | 303 | 357 | 311 | 215 | 양호 |
| S6-G1-RW | | 복부플랜지 | 337 | 365 | 347 | 325 | 382 | 351 | 215 | 양호 |
| S7-G2-LW | | 복부플랜지 | 317 | 320 | 336 | 281 | 305 | 312 | 215 | 양호 |
| S8-G2-LW | | 복부플랜지 | 344 | 325 | 330 | 341 | 345 | 337 | 215 | 양호 |
| S9-G1-RW | | 복부플랜지 | 326 | 330 | 295 | 272 | 274 | 299 | 215 | 양호 |




【그림 3-25】 도막두께 측정 결과(마산방향)

② 도막두께 측정결과 분석

Steel Box Girder 외부의 실측 도막 두께가 콘크리트 및 강재비파괴 시험 매뉴얼의 도장 기준 하한 판정값 (175㎛(교량내부), 215㎛(교량외부)-일반환경용 중방식 도장 기준)을 모두 상회하는 것으로 조사되어 양호한 상태로 판단된다.

# 3.5 현장조사 및 시험 결과 요약

## 3.5.1 외관조사 결과 요약

### 가. 양평방향

【표 3-96】 금회 진단 외관조사 결과요약(양평방향)

| 구 분 | 주요결함 및 외관조사 결과 | 검토의견 |
|---|---|---|
| 바닥판 하면 | • 바닥판 하면 횡방향 균열(0.3㎜이하) | • 대부분 미세균열(폭 0.2㎜이하)이며. 구조적인 균열이 아닌 Con'c 구조물의 노후화 과정에서 발생되는 부산물이라 할 수 있으며 이러한 균열로 말미암아 구조적 안전성에 문제를 야기할만한 수준은 아닌 것으로 판단되어 지속관찰 실시 |
| | • 내측 캔틸레버 하면 콘크리트 들뜸, 백태 | • 종방향조인트 누수로 인해 비교적 피복두께가 얇게 시공된 바닥판 철근을 부식시켜 균열을 유발시키고, 균열부로의 지속적인 우수 유입과 동절기 살포된 제설제의 영향은 철근 부식과 팽창을 가속시켜 바닥판 콘크리트가 들뜸으로 진행된 것으로 손상 단면 제거 후 표면보수 실시 |
| | • 기타 고무재 탈락, 녹발생 등 | • 시공미흡과 지속적인 우수유입에 의한 것으로 지속관찰 |
| 강박스 거더 | • 도장박리, 부식, 볼트부식, 긁힘<br>• 거더내부 이물질 퇴적<br>• 용접부 Pit, 변형 | • 내구성저하 방지를 위해 재도장 필요<br>• 지속적인 청소관리 필요<br>• 시공초기 결함으로 지속적인 유지관찰 |
| 가로보 및 세로보 | • 구조적인 손상이 없는 상태이며, 국부적으로 도장박리, 부식 발생 | • 내구성저하 방지를 위해 재도장 필요 |
| 하부구조 | • 균열 및 망상균열(대부분 0.2㎜이하), 폭 0.3mm이상의 균열은 교대A2 흉벽과 교각P1 기둥부 하단에서 1개소씩 조사 | • 대부분 미세균열(폭 0.2㎜이하)이며. 시공초기 건조수축에 의한 것으로 폭 0.2㎜이하 균열은 지속관찰, 폭 0.3㎜이상 균열은 주입보수 실시 |
| | • 교대A1 흉벽 들뜸 | • 시공 초기 다짐불량과 신축이음 커버플레이트의 길이부족으로 인한 지속적인 우수유입에 의한 손상으로 커버플레이트의 재설치를 통한 우수유입방지를 실시한 후 손상부 콘크리트의 제거와 단면보수 실시 |
| | • 일부구간에서 발생한 박락, 박리, 파손, 재료분리 | • 시공미흡에 의한 다짐부족, 외부충격 등에 의한 손상으로써, 장기적인 내구성 및 사용성 확보를 위해 단면보수가 필요 |

【표 3-96】 금회 진단 외관조사 결과요약(양평방향)(계속)

| 구 분 | 주요결함 및 외관조사 결과 | 검토의견 |
|---|---|---|
| 하부구조 | • 하부구조의 백태 | • 콘크리트 내부의 백태가 노출된 것으로 내구성 확보 차원의 표면보수가 필요 |
| | • 유심부 교각의 경미한 침식 발생 | • 손상정도가 경미하므로 지속관찰 한다. 다만 하천 상에 위치한 교각은 항시 유수와 유송잡물의 영향을 받고 있는 상태이므로 손상발생 유무에 대해 주기적인 점검과 지속적인 관찰이 필요 |
| | • 누수흔적, 표면오염 | • 신축이음누수, 배수관 길이부족에 의한 것으로 신축이음 교체 및 배수관의 길이연장이 되어 손상의 확대는 없는 것으로 나타나 지속관찰 |
| | • 녹발생, 잡철물부식, 점검로 볼트부식, 이물질퇴적 등 | • 손상정도가 경미하여 지속관찰 실시 |
| 교량받침 | • 가동상태는 전반적으로 양호한 상태이나 A1, A2 신장여유량이 부족 | • 받침장치 설치시 발생한 프리셋팅 오류로 가동흔적 조사결과, 기능상에 문제가 없고 이동여유량 부족으로 인한 이상변위 및 기타손상이 없으며, 현재 교량의 안전성 및 사용성에 문제가 없으므로 지속관찰 실시 |
| | • 받침장치 부식, 낙교방지시설 부식 | • 공용 중 노후화 및 신축이음부를 통한 노면수 유입 및 접촉에 의한 것으로 부식부위 제거 후 재도장 |
| | • 받침몰탈 및 콘크리트 균열 | • 건조수축에 의한 비구조적 균열로 지속관찰 실시 |
| | • 받침몰탈 철근노출, 파손 | • 시공미흡 및 외부충격에 의한 것으로 내구성 확보를 위한 보수 실시 |
| | • 낙교방지시설 고무재 탈락 | • 시공미흡과 경년증가에 따른 노후화로 탈락된 상태로 지속관찰 |
| 신축이음장치 | • 신축이음장치 유간 토사퇴적 | • 본체 파손과 누수유발 등 추가손상 방지를 위한 주기적인 청소와 유지관리 |
| | • 후타재 균열 | • 건조수축, 차량의 반복하중 및 충격에 의한 것으로 표면처리보수 실시 |
| | • 커버플레이트 탈락 | • 차량충격에 의한 파손으로 재설치 필요 |
| 교면포장 | • 마모, 소성변형, 파손, 패임, 포장균열 | • 차량의 반복하중 및 아스콘 노후화 등에 의해 발생한 것이며, 현재 주행차량의 안전성에는 문제가 없으나 구조물의 내구성 차원에서 포장균열은 실링보수, 마모, 파손, 패임은 팻칭보수 함이 바람직하며, 소성변형은 차량의 주행성 확보 차원의 절삭 등의 보수가 필요 |
| 배수시설 | • 배수관 길이부족(S6) | • 마산방향 교각 점검로로 노면수 유입, 배수관 길이연장 필요 |
| | • 바닥판 유공관 유도배수설치 필요 | • 유도배수 설치 |
| | • 배수관 볼트탈락 | • 배수관 볼트 재설치 |

【표 3-96】 금회 진단 외관조사 결과요약(양평방향)(계속)

| 구 분 | 주요결함 및 외관조사 결과 | 검토의견 |
|---|---|---|
| 방호벽 | • 균열(최대폭 0.3㎜)과 망상균열, 균열 백태, 백태 | • 건조수축, 우수유입, 콘크리트 타설 미흡 등에 의한 손상, 확대손상 방지와 미관제고를 위해 균열 폭에 따라 0.3㎜ 미만의 균열, 망상균열은 지속관찰, 망상균열, 백태는 표면처리보수, 폭 0.3mm 균열은 주입보수를 실시 |
| | • 파손, 재료분리, 박리 | • 온도에 따른 콘크리트 신축과 다짐불량, 경년열화, 차량충돌 등에 의한 손상으로 손상정도가 경미하여 지속관찰 |
| | • 방호벽 하단의 녹발생 및 잡철물 부식 | • 다짐불량과 콘크리트 내부로의 우수침투에 의한 손상으로 손상정도가 경미하여 지속관찰 |
| | • 방호벽 하단 박락, 철근노출 | • 다짐불량과 동절기 제설재 및 동결융해, 국부적인 피복부족에 의한 것으로 내구성 확보 차원의 단면보수(염해방지)가 필요 |

## 나. 마산방향

【표 3-97】 금회 진단 외관조사 결과요약(마산방향)

| 구 분 | 주요결함 및 외관조사 결과 | 검토의견 |
|---|---|---|
| 바닥판 하면 | • 바닥판 하면 횡방향 균열(폭 0.3㎜이하) 및 망상균열 | • 대부분 미세균열(폭 0.2㎜이하)이며. 구조적인 균열이 아닌 Con'c 구조물의 노후화 과정에서 발생되는 부산물이라 할 수 있으며 이러한 균열로 말미암아 구조적 안전성에 문제를 야기할만한 수준은 아닌 것으로 판단되며 지속관찰 실시하고 폭 0.3mm균열은 주입보수 실시 |
| | • 내측 캔틸레버 하면 폭 0.3mm 종균열 및 콘크리트 들뜸, 백태, 파손 | • 종방향조인트 누수로 인해 비교적 피복두께가 얇게 시공된 바닥판 철근을 부식시켜 균열을 유발시키고, 균열부로의 지속적인 우수 유입과 동절기 살포된 제설제의 영향은 철근 부식과 팽창을 가속시켜 바닥판 콘크리트가 들뜸으로 진행된 것으로 손상 단면 제거 후 표면보수 실시 |
| | • 기타 고무재 탈락, 녹발생 등 | • 시공미흡과 지속적인 우수유입에 의한 것으로 지속관찰 |
| 강박스 거더 | • 도장박리, 부식, 볼트부식<br>• 거더내부 이물질 퇴적<br>• 용접부 Pit, 변형 | • 내구성저하 방지를 위해 재도장 필요<br>• 지속적인 청소관리 필요<br>• 시공초기 결함으로 지속적인 유지관찰 |
| 가로보 및 세로보 | • 구조적인 손상이 없는 상태이며, 국부적으로 도장박리, 부식 발생 | • 내구성저하 방지를 위해 재도장 필요 |

【표 3-97】 금회 진단 외관조사 결과요약(마산방향)(계속)

| 구 분 | 주요결함 및 외관조사 결과 | 검토의견 |
|---|---|---|
| 하부구조 | • 균열 및 망상균열(대부분 0.2㎜이하) 조사 | • 대부분 미세균열(폭 0.2㎜이하)이며. 시공초기 건조수축에 의한 것으로 지속관찰 실시 |
| | • 일부구간에서 발생한 들뜸, 박락, 박리, 파손, 재료분리 | • 시공미흡에 의한 다짐부족, 외부충격 등에 의한 손상으로써, 장기적인 내구성 및 사용성 확보를 위해 단면보수가 필요 |
| | • P4 코핑부 철근노출, 박락 | • 유공관을 통해서 유입된 우수가 코핑부의 철근노출(피복부족)부에 떨어져 철근부식으로 발생된 손상이며, 철근부식에 의한 박락으로 확대된 것이다. 철근에 대한 방청처리와 단면보수가 필요하며, 손상의 근본적인 원인인 바닥판 유공관 배수관설치가 필요함. |
| | • 하부구조의 백태 | • 콘크리트 내부의 백태가 노출된 것으로 내구성 확보 차원의 표면보수가 필요 |
| | • 유심부 교각의 경미한 침식 발생 | • 손상정도가 경미하므로 지속관찰 한다. 다만 하천 상에 위치한 교각은 항시 유수와 유송잡물의 영향을 받고 있는 상태이므로 손상발생 유무에 대해 주기적인 점검과 지속적인 관찰이 필요 |
| | • 누수흔적, 표면오염 | • 신축이음누수, 배수관 길이부족에 의한 것으로 신축이음 교체 및 배수관의 길이연장이 되어 손상의 확대는 없는 것으로 나타나 지속관찰 |
| | • 녹발생, 점검로볼트부식 등 | • 손상정도가 경미하여 지속관찰 실시 |
| | • 교대 보호블럭 침하 및 파손 | • 배수관 길이부족에 의한 노면수의 유입으로 나타난 손상이나 배수관길이연장 보수가 실시되어 지속관찰 실시 |
| 교량받침 | • 가동상태는 전반적으로 양호한 상태이나 A1, A2 신장여유량이 부족 | • 받침장치 설치 시 발생한 프리셋팅 오류로 가동흔적 조사결과, 기능상에 문제가 없고 이동여유량 부족으로 인한 이상변위 및 기타손상이 없으며, 현재 교량의 안전성 및 사용성에 문제가 없으므로 지속관찰 실시 |
| | • 받침장치 부식, 낙교방지시설 부식 | • 공용 중 노후화 및 신축이음부를 통한 노면수 유입 및 접촉에 의한 것으로 부식부위 제거 후 재도장 |
| | • 받침몰탈 및 콘크리트 균열 | • 건조수축에 의한 비구조적 균열로 지속관찰 실시 |
| | • 받침몰탈 철근노출, 파손, 재료분리 | • 시공미흡 및 외부충격에 의한 것으로 내구성 확보를 위한 보수 실시 |
| | • 낙교방지시설 고무재 탈락 | • 시공미흡과 경년증가에 따른 노후화로 탈락된 상태로 지속관찰 |

【표 3-97】 금회 진단 외관조사 결과요약(마산방향)(계속)

| 구 분 | 주요결함 및 외관조사 결과 | 검토의견 |
|---|---|---|
| 신축이음장치 | • P5 신축이음장치 부식 및 변형<br>• 신축이음장치 유간 토사퇴적<br>• 후타재 균열, 파손<br>• 커버플레이트 탈락 | • 공용증가 및 중차량 통행의한 것으로 가동상태와 유간량은 만족하므로 지속관찰 실시<br>• 본체 파손과 누수유발 등 추가손상 방지를 위한 주기적인 청소와 유지관리<br>• 건조수축, 차량의 반복하중 및 충격에 의한 것으로 균열은 표면처리보수를 실시하고, 국부적인 파손은 단면을 복구하여 차량의 주행 안전성을 확보<br>• 차량충격에 의한 파손으로 재설치 필요 |
| 교면포장 | • 포장균열, 망상균열, 파손, 패임, 포트홀, 이물질 용입 | • 차량의 반복하중 및 아스콘 노후화 등에 의해 발생한 것이며, 현재 주행차량의 안전성에는 문제가 없으나 구조물의 내구성 차원에서 포장균열은 실링보수, 마모, 파손, 패임은 팻칭보수 함이 바람직하며, 소성변형은 차량의 주행성 확보 차원의 절삭 등의 보수가 필요 |
| 배수시설 | • 배수관 길이부족(P2)<br>• 바다판 유공관 유도배수설치 필요<br>• 배수관 탈락 | • 기둥부 표면오염 유발, 길이연장을 하여 추가적인 손상 방지<br>• 유도배수 설치<br>• 배수관 재설치 |
| 방호벽 | • 균열(최대폭 0.3㎜)과 망상균열, 균열백태, 백태<br>• 파손, 재료분리, 박리, 박락<br>• 방음벽 지주부식, 방음벽 파손 | • 건조수축, 우수유입, 콘크리트 타설 미흡 등에 의한 손상, 확대손상 방지와 미관제고를 위해 균열 폭에 따라 0.3㎜ 미만의 균열은 지속관찰, 망상균열, 백태는 표면처리보수, 폭 0.3mm 균열은 주입보수를 실시<br>• 온도에 따른 콘크리트 신축과 다짐불량, 경년열화, 차량충돌 등에 의한 손상으로 손상정도가 경미하여 지속관찰<br>• 손상정도가 경미하므로 지속관찰 |

## 3.5.2 기 진단결과 비교

### 가. 양평방향

【표 3-98】 기 진단결과 비교표(양평방향)

| 구 분 | | 손상내용 | 단위 | 2012년 전차진단 | | 2016년 금회진단 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 개소 | 수량 | 개소 | 수량 | |
| 바닥판 하면 | | • 균열(0.3mm미만) | m | 563 | 1317.90 | 419 | 946.40 | 일부보수 및 공용증가에 따른 손상이 추가 |
| | | • 균열(0.3mm) | m | 1 | 0.30 | 1 | 3.00 | |
| | | • 들뜸 | ㎡ | - | - | 5 | 1.03 | |
| | | • 백태, 파손, 녹발생 | ㎡ | 35 | 5.43 | 33 | 1.62 | |
| | | • 고무재 탈락 | m | 6 | 16.00 | 8 | 33.50 | |
| 강박스거더 | 내부 | • 도장박리 및 부식 | ㎡ | 970 | 4.81 | 20 | 0.48 | 일부보수 및 공용증가에 따른 손상이 추가됨 |
| | | • 볼트부식 | ㎡ | 8 | 0.08 | 2 | 0.02 | |
| | | • 이물질 퇴적 | ㎡ | 8 | 2.92 | 6 | 12.52 | |
| | | • 씰링재 충진누락 | EA | - | 128 | - | - | 보수완료 |
| | 외부 | • 도장박리 및 부식 | ㎡ | 84 | 1.07 | 221 | 17.69 | 공용증가로 증가 |
| | | • 긁힘 | ㎡ | - | - | 6 | 0.16 | 신규손상 |
| | | • 변형 | m | 1 | 0.30 | 1 | 0.30 | - |
| 가로보 및 세로보 | | • 도장박리 및 부식 | ㎡ | 3 | 0.032 | 4 | 0.10 | 공용증가로 증가 |
| 교대 | | • 균열(0.3mm미만) | m | 72 | 54.20 | 44 | 38.60 | 일부 보수 |
| | | • 균열(0.3mm) | m | 1 | 2.80 | 1 | 2.80 | - |
| | | • 망상균열 | ㎡ | 5 | 9.76 | 7 | 11.20 | 공용증가로 증가 |
| | | • 들뜸 | ㎡ | - | - | 1 | 3.00 | 신규손상 |
| | | • 박락, 박리 | ㎡ | - | - | 13 | 1.63 | |
| | | • 백태 | ㎡ | - | - | 1 | 0.16 | |
| | | • 파손 | ㎡ | 3 | 0.38 | - | - | 보수완료 |
| | | • 누수흔적, 표면오염 | ㎡ | 5 | 4.24 | 6 | 15.53 | 공용증가로 증가 |
| | | • 이물질퇴적 | ㎡ | - | - | 1 | 1.80 | 신규손상 |
| | | • 잡철물 부식 | ㎡ | 39 | 0.17 | 6 | 0.06 | 일부 보수 |
| 교각 | | • 균열(0.3mm미만) | m | 422 | 404.45 | 212 | 197.80 | 일부 보수 |
| | | • 균열(0.3mm) | m | - | - | 1 | 0.80 | 신규손상 |
| | | • 망상균열 | ㎡ | 43 | 74.46 | 47 | 111.64 | 공용증가로 증가 |
| | | • 누수흔적, 백태 | ㎡ | 7 | 1.46 | 3 | 1.22 | 일부 보수 |
| | | • 파손, 침식 | ㎡ | 11 | 9.87 | 6 | 14.48 | |
| | | • 재료분리, 녹발생 | ㎡ | 17 | 0.34 | 17 | 0.34 | - |
| | | • 점검로 볼트부식 | EA | - | 63 | - | 65 | 공용증가로 증가 |

【표 3-98】 기 진단결과 비교표(양평방향)(계속)

| 구 분 | 손상내용 | 단위 | 2012년 전차진단 | | 2016년 금회진단 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 개소 | 수량 | 개소 | 수량 | |
| 받침장치 | • 부식, 도장박리 | ㎡ | 3 | 0.29 | 14 | 2.67 | 공용증가로 증가 |
| | • 낙교방지시설 부식 | ㎡ | 57 | 0.80 | 57 | 0.80 | - |
| | • 낙교방지시설 볼트이완 | EA | - | 1 | - | 1 | - |
| | • 낙교방지시설 고무재 탈락 | m | - | - | 4 | 2.00 | 신규손상 |
| | • 균열(0.3mm미만) | m | 36 | 6.23 | 17 | 3.00 | 일부보수 및 공용증가에 따른 손상이 추가됨 |
| | • 재료분리, 파손 | ㎡ | 3 | 0.08 | 2 | 0.06 | |
| | • 철근노출 | ㎡ | 45 | 0.27 | 6 | 0.07 | |
| 신축이음 | • 유간토사퇴적 | m | - | - | 2 | 12.20 | 신축이음장치 교체로 신규손상 추가 |
| | • 커버플레이트 탈락 | EA | - | - | - | 2 | |
| | • 균열(0.3mm미만) | m | - | - | 31 | 12.60 | |
| 교면포장 | • 균열 | m | 10 | 82.00 | 13 | 209.00 | 중차량 통행 등으로 인하여 손상이 진전됨 |
| | • 소성변형 | ㎡ | 5 | 66.00 | 9 | 208.10 | |
| | • 마모 | ㎡ | 4 | 27.80 | 3 | 19.80 | |
| | • 파손, 패임 | ㎡ | - | - | 8 | 0.93 | 신규손상 |
| 배수시설 | • 이물질 및 토사퇴적 | EA | - | 1 | - | - | 보수완료 |
| | • 배수관 길이부족 | EA | - | 11 | - | 2 | 보수 누락 |
| | • 유도배수관 설치필요 | EA | - | 8 | - | 2 | |
| | • 배수관 곡관 누락 | EA | - | 14 | - | - | 보수완료 |
| | • 배수관 볼트탈락 | EA | - | - | - | 1 | 신규손상 |
| 난간 및 연석 | • 균열(0.3mm미만) | m | 295 | 227.90 | 232 | 158.50 | 일부보수 및 공용증가에 따른 손상이 추가됨 |
| | • 균열(0.3mm) | m | 85 | 68.50 | 43 | 31.30 | |
| | • 백태, 녹발생 | ㎡ | 16 | 0.45 | 19 | 1.45 | |
| | • 파손, 재료분리, 박리 등 | ㎡ | 26 | 3.99 | 23 | 1.42 | |
| | • 망상균열 | ㎡ | 10 | 9.88 | 39 | 90.59 | 공용증가로 증가 |
| | • 박락 | ㎡ | - | - | 7 | 2.60 | 신규손상 |
| | • 철근노출 | ㎡ | - | - | 1 | 0.04 | |
| | • 잡철물부식 | ㎡ | - | - | 3 | 4.61 | |
| 검토의견 | ■ 보수이력 및 현장조사 결과, 전차진단(2012년)시 조사된 상·하부구조의 균열, 표면손상 및 단면손상, 배수시설 등은 일부 보수가 실시된 것으로 확인되었으나 공용증가 및 경미한 손상에 대한 누락, 수량집계의 부분적인 오류 등으로 일부 손상에 대해서는 손상수량이 증가된 것을 조사되었다. | | | | | | |

## 나. 마산방향

【표 3-99】기 진단결과 비교표(마산방향)

| 구 분 | | 손상내용 | 단위 | 2012년 전차진단 | | 2016년 금회진단 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 개소 | 수량 | 개소 | 수량 | |
| 바닥판 하면 | | • 균열(0.3mm미만) | m | 715 | 1727.60 | 403 | 950.20 | 일부보수 및 공용증가에 따른 손상이 추가 |
| | | • 균열(0.3mm) | m | 29 | 66.90 | 1 | 2.50 | |
| | | • 들뜸 | ㎡ | - | - | 15 | 79.50 | |
| | | • 백태, 파손, 녹발생 | ㎡ | 75 | 6.73 | 79 | 11.97 | |
| | | • 고무재 탈락 | m | 8 | 18.00 | 10 | 31.50 | |
| 강박스거더 | 내부 | • 도장박리 및 부식 | ㎡ | 1,378 | 37.60 | 166 | 46.56 | 일부 보수 |
| | | • 이물질 퇴적 | ㎡ | 9 | 1.95 | 4 | 0.77 | 손상증가 |
| | | • 변형 | ㎡ | - | - | 1 | 0.80 | 신규손상 |
| | | • Pit | EA | - | - | - | 6EA | |
| | | • 씰링재 충진누락 | EA | - | 129 | - | - | 보수완료 |
| | 외부 | • 도장박리 및 부식 | ㎡ | 115 | 1.14 | 413 | 49.50 | 공용증가로 증가 |
| 가로보 및 세로보 | | • 도장박리 및 부식 | ㎡ | 3 | 0.05 | 12 | 0.66 | 공용증가로 증가 |
| 교대 | | • 균열(0.3mm미만) | m | 92 | 62.39 | 72 | 59.30 | 일부 보수 |
| | | • 망상균열 | ㎡ | 6 | 5.48 | 7 | 9.72 | 공용증가로 증가 |
| | | • 누수흔적 및 체수 | ㎡ | 4 | 9.33 | 2 | 1.54 | 일부 보수 |
| | | • 파손, 열화, 잡철근부식 | ㎡ | 12 | 2.29 | 4 | 0.37 | |
| | | • 보호블럭 침하 및 파손 | ㎡ | 25 | 22.39 | 6 | 80.97 | 공용증가로 증가 |
| | | • 백태 | ㎡ | - | - | 8 | 1.46 | 신규손상 |
| | | • 보수부들뜸 | ㎡ | - | - | 1 | 0.50 | |
| 교각 | | • 균열(0.3mm미만) | m | 359 | 306.25 | 213 | 186.70 | 일부 보수 |
| | | • 균열(0.3mm) | m | 4 | 4.30 | - | - | 보수완료 |
| | | • 망상균열 | ㎡ | 30 | 52.04 | 28 | 57.48 | 공용증가로 증가 |
| | | • 들뜸 | ㎡ | - | - | 1 | 1.20 | 신규손상 |
| | | • 누수흔적, 백태, 표면오염 | ㎡ | 5 | 1.34 | 6 | 1.04 | 일부 보수 |
| | | • 철근노출 | ㎡ | 46 | 6.80 | 1 | 0.09 | |
| | | • 박락, 파손, 재료분리 | ㎡ | 15 | 0.79 | 13 | 5.74 | 공용증가로 증가 |
| | | • 침식 | ㎡ | 2 | 5.30 | 2 | 11.70 | |
| | | • 점검로 볼트부식 | EA | - | 64 | - | 89 | |

【표 3-99】 기 진단결과 비교표(마산방향)(계속)

| 구 분 | 손상내용 | 단위 | 2012년 전차진단 | | 2016년 금회진단 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 개소 | 수량 | 개소 | 수량 | |
| 받침장치 | • 부식, 도장박리 | ㎡ | 10 | 0.90 | 16 | 1.22 | 공용증가로 증가 |
| | • 낙교방지시설 부식 | ㎡ | - | - | 2 | 0.09 | 신규손상 |
| | • 낙교방지시설 볼트길이부족 | EA | - | 68 | - | 68 | - |
| | • 낙교방지시설 고무재 탈락 | m | 2 | - | 3 | 1.50 | - |
| | • 균열(0.3mm미만) | m | 69 | 34.21 | 14 | 3.50 | 일부 보수 |
| | • 균열(0.3mm) | m | - | - | 1 | 1.40 | 신규손상 |
| | • 재료분리, 파손 | ㎡ | 2 | 0.07 | 7 | 0.29 | 공용증가로 증가 |
| | • 철근노출 | ㎡ | 51 | 0.45 | 1 | 0.01 | 일부 보수 |
| 신축이음 | • 상면부식 | m | - | - | 2 | 4.00 | 신축이음장치 교체로 신규손상 추가 |
| | • 유간토사퇴적 | m | - | - | 3 | 16.00 | |
| | • 변형 | m | - | - | 1 | 11.00 | |
| | • 균열(0.3mm미만) | m | - | - | 17 | 6.30 | |
| | • 파손 | ㎡ | - | - | 8 | 1.82 | |
| 교면포장 | • 균열 | m | 11 | 17.60 | 6 | 18.60 | 중차량 통행 등으로 인하여 손상이 진전됨 |
| | • 망상균열 | ㎡ | 3 | 0.93 | 3 | 10.84 | |
| | • 파손, 패임, 포트홀 | ㎡ | 19 | 0.40 | 34 | 1.47 | |
| | • 이물질 용입 | ㎡ | 1 | 0.04 | 1 | 0.04 | - |
| 배수시설 | • 이물질 및 토사퇴적 | EA | - | 2 | - | - | 보수완료 |
| | • 배수관 길이부족 | EA | - | 1 | - | 1 | 보수 누락 |
| | • 유도배수관 설치필요 | EA | - | 9 | - | 2 | |
| | • 배수관 곡관 누락 | EA | - | 2 | - | - | 보수완료 |
| 난간 및 연석 | • 균열(0.3mm미만) | m | 231 | 147.00 | 213 | 245.80 | 일부보수 및 공용증가에 따른 손상이 추가됨 |
| | • 균열(0.3mm) | m | 85 | 66.45 | 4 | 2.00 | |
| | • 망상균열 | ㎡ | 11 | 3.11 | 636 | 185.03 | |
| | • 백태 | ㎡ | 31 | 0.93 | 49 | 4.98 | |
| | • 파손, 재료분리, 박리 등 | ㎡ | 81 | 1.46 | 85 | 1.98 | |
| | • 덮개파손 | ㎡ | 10 | 0.10 | 3 | 0.03 | 일부 보수 |
| | • 방음벽 지주부식 | ㎡ | 4 | 2.40 | 4 | 2.40 | - |
| | • 방음벽 파손 | ㎡ | - | - | 1 | 0.12 | 신규손상 |
| 검토의견 | ■ 보수이력 및 현장조사 결과, 전차진단(2012년)시 조사된 상·하부구조의 균열, 표면손상 및 단면손상, 배수시설 등은 일부 보수가 실시된 것으로 확인되었으나 공용증가 및 경미한 손상에 대한 누락, 수량집계의 부분적인 오류 등으로 일부 손상에 대해서는 손상수량이 증가된 것을 조사되었다. | | | | | | |

## 3.5.3 내구성조사 결과요약

### 가. 양평방향

【표 3-100】 내구성조사 결과 요약(양평방향)

| 시 험 명 | | 시험부위 | | 시험 결과 2012년 전차진단 | 시험 결과 2016년 금회진단 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 콘크리트 | 비파괴 강도시험 (MPa) | 상부구조 | | 25.0~33.0 | 27.5~31.2 | • 설계기준강도(27MPa)를 상회함. |
| | | 하부구조 | | 24.0~32.0 | 31.9~38.3 | • 설계기준강도(24MPa)를 상회함. |
| | 철근탐사 시험 (mm) | 상부 | 배근간격 | 135~157 | 112~155 | • 철근배근간격 및 피복두께는 준공도면과 전반적으로 유사함. |
| | | | 피복두께 | 44.0~70.0 | 46.0~68.0 | |
| | | 하부 | 배근간격 | 95~120 | 96~253 | |
| | | | 피복두께 | 77.0~99.0 | 41.0~104.0 | |
| | 품질시험 (km/s) | 상부구조 | | 4.130~4.418 | 3.857~4.626 | • 품질상태가 양호함 |
| | | 하부구조 | | 3.984~4.270 | 3.816~4.491 | |
| | 탄산화 잔여깊이 (mm) | 상부 구조 | | 38.0~52.0 | 40.4~49.0 | • 상태평가 a |
| | | 하부 구조 | | 67.0~95.1 | 37.0~80.0 | |
| | 염화물 함유량 시험 ($kg/m^3$) | 상부 구조 | | 0.043 | 0.160~0.162 | • 상태평가 a |
| | | 하부 구조 | | 0.172~0.177 | 0.133~0.203 | • 상태평가 a |
| | 균열깊이 (cm) | 하부 구조 | | 17.11 | 47.0 | • 주입보수 필요 |
| 강재 | 초음파 탐상(UT) | 거더 내부 (맞대기 용접부) | | 합 격 | 시험 36개소 (36개소 합격) | • 1급 |
| | 도막두께 ($\mu m$) | 거더 내부 | | 161.8~290.3 | 177.0~253.0 | • 도막두께(175$\mu m$) 상회 |
| | | 거더 외부 | | 264.0~556.3 | 284.0~444.0 | • 도막두께(215$\mu m$) 상회 |
| 종합 평가 | ■ 비파괴강도 측정결과, 측정값은 설계기준강도를 상회하는 것으로 조사되었으며, 기 점검과의 비교·분석 결과, 부재별로 측정 위치가 달라 다소 차이가 있지만, 구조물의 강도저하는 없는 것으로 평가됨.<br>■ 콘크리트 품질시험결과, 모든개소에서 양호한 것으로 평가됨.<br>■ 탄산화 깊이측정결과, 전반적으로 양호한 상태인 것으로 조사되어 상태등급 “a” 로 판정됨. 염화물 함유량 시험결과 상부구조는 "a"로 평가되었고, 하부구조는 “a"로 평가됨.<br>■ 하부구조의 탄산화 깊이는 전차진단과 비교할 때, 다소 증가한 사유는 측정위치가 동일하지 않은 결과에 의한 편차로 판단됨.<br>■ 균열깊이 측정결과, 전반적으로 피복두께까지 근접하여 내구성 저하 방지를 위한 주입보수가 요구됨.<br>■ 금회 진단결과, 비파괴 강도, 철근배근상태, 탄산화 깊이 시험결과, 대부분 양호한 수준으로 측정됨.<br>■ 강재에 대한 내구성 조사결과 전 개소에서 합격 판정된 것으로 나타나며, 도막두께 측정치도 측정개소 모두 기준치를 상회하는 양호한 상태인 것으로 측정됨. | | | | | |

## 나. 마산방향

【표 3-101】 내구성조사 결과 요약(마산방향)

| 시 험 명 | | 시험부위 | | 시험 결과 2012년 전차진단 | 시험 결과 2016년 금회진단 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 콘크리트 | 비파괴 강도시험 (㎫) | 상부구조 | | 25.0~31.0 | 28.9~34.6 | • 설계기준강도(27㎫)를 상회함. |
| | | 하부구조 | | 24.0~34.0 | 28.5~36.2 | • 설계기준강도(24㎫)를 상회함. |
| | 철근탐사 시험 (㎜) | 상부 | 배근간격 | 140~153 | 120~295 | • 철근배근간격 및 피복두께는 준공도면과 전반적으로 유사함. |
| | | | 피복두께 | 44.0~96.0 | 48.0~68.0 | |
| | | 하부 | 배근간격 | 89~135 | 100~303 | |
| | | | 피복두께 | 81.0~106.0 | 36.0~114.0 | |
| | 품질시험 (km/s) | 상부구조 | | 4.122~4.311 | 3.888~3.995 | • 품질상태가 양호함 |
| | | 하부구조 | | 3.992~4.330 | 3.738~4.510 | |
| | 탄산화 잔여깊이 (㎜) | 상부 구조 | | 38.9~47.9 | 42.0~51.0 | • 상태평가 a |
| | | 하부 구조 | | 71.5~94.7 | 32.0~80.0 | |
| | 염화물 함유량 시험 (kg/㎥) | 상부 구조 | | 0.038 | 0.151~0.282 | • 상태평가 a |
| | | 하부 구조 | | 0.120~0.292 | 0.196~2.301 | • 상태평가 a~c |
| | 균열깊이 (㎝) | 하부 구조 | | 13.4~16.8 | 46.0 | • 주입보수 필요 |
| 강재 | 초음파 탐상(UT) | 거더 내부 (맞대기 용접부) | | 합 격 | 시험 36개소 (36개소 합격) | • 1급 |
| | 도막두께 ($\mu m$) | 거더 내부 | | 236.5~427.5 | 178.0~304.0 | • 도막두께(175$\mu m$) 상회 |
| | | 거더 외부 | | 231.3~528.5 | 299.0~355.0 | • 도막두께(215$\mu m$) 상회 |
| 종합 평가 | ■ 비파괴강도 측정결과, 측정값은 설계기준강도를 상회하는 것으로 조사되었으며, 기 점검과의 비교·분석 결과, 부재별로 측정 위치가 달라 다소 차이가 있지만, 구조물의 강도저하는 없는 것으로 평가됨.<br>■ 탄산화 깊이측정결과, 전반적으로 양호한 상태인 것으로 조사되어 상태등급 “a” 로 판정됨. 염화물 함유량 시험결과 상부구조는 "a"로 평가되었고, 하부구조의 건전부는 “a~b"로 평가되었으나, A2 흉벽 누수부에서 “c” 로 평가됨.<br>■ 하부구조의 탄산화 깊이는 전차진단과 비교할 때, 다소 증가한 사유는 측정위치가 동일하지 않은 결과에 의한 편차로 판단됨.<br>■ 균열깊이 측정결과, 전반적으로 피복두께까지 근접하여 내구성 저하 방지를 위한 주입보수가 요구됨.<br>■ 금회 진단결과, 비파괴 강도, 철근배근상태, 탄산화 깊이 시험결과, 대부분 양호한 수준으로 측정됨.<br>■ 강재에 대한 내구성 조사결과 전 개소에서 합격 판정된 것으로 나타나며, 도막두께 측정치도 측정개소 모두 기준치를 상회하는 양호한 상태인 것으로 측정됨. | | | | | |

# 제4장
# 시설물의 상태평가

4.1 개 요
4.2 상태평가 항목 및 기준
4.3 상태평가 결과
4.4 기 진단결과와의 비교

# 제4장 시설물의 상태평가

## 4.1 개요

시설물의 상태평가는 재료시험 및 외관조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 발견된 상태변화(결함, 손상, 열화)를 근거로 하여 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 2010. 12」의 상태평가 기준에 따라 실시한다.

정밀안전진단의 상태평가 기준은 시설물의 전체 부재에 대하여 외관조사망도를 작성하여 부재별로 상세히 상태평가를 실시하며, 책임기술자가 시설물 전체에 대한 상태평가 결과를 결정하게 된다.

## 4.2 상태평가 항목 및 기준

### 4.2.1 부재별 상태평가 적용 범위

부재별 상태평가 기준은 교량의 거더와 가로보를 분리하고, 콘크리트의 탄산화와 염화물에 대한 평가항목을 포함하여 세분화하였으며, 아래의 표와 같이 부재별 상태평가 기준을 부재의 중요도를 감안하여 차등화 함으로써 가능한 한 전체 상태평가 기준과 부합하도록 조정 하였다.

교량의 안전에 직접적인 영향을 미치는 바닥판, 거더, 하부구조 및 교량받침은 평가기준을 a~e로 범위를 적용하고, 내구성에 영향을 미치는 신축이음, 배수시설, 교면포장과 2차부재인 가로보와 세로보는 a~d로 범위를 조정하였다.

【표 4-1】 부재별 상태평가 적용 범위

| 부재의 분류 | | 차등 적용범위 |
|---|---|---|
| 상부구조 | 바닥판, Steel Box Girder | a, b, c, d, e |
| | 2차부재 (가로보 및 세로보) | a, b, c, d |
| 하부구조 | 교대 및 교각, 기초 | a, b, c, d, e |
| 받침 | 교량받침 | a, b, c, d, e |
| 기타부재 | 신축이음, 방호벽 및 중앙분리대, 배수시설, 교면포장 | a, b, c, d |
| 콘크리트 재료 | 탄산화, 염화물 | a, b, c, d |

부재별 상태평가는 전체 수량에 대한 손상 수량의 비율에 의해 평가하는 정량적 평가와 시설물의 상태에 대한 점검자의 주관적인 의견에 의한 정성적 평가를 동시에 수행하며, 정성적

평가시 점검자에 의한 편차를 줄이기 위해 손상수량 및 손상현황에 대한 정도를 정확히 파악하여야 한다. 또한, 구조물 형식별 및 연장비를 고려하여 상태평가를 실시하므로 구조물의 부재에 대한 정확한 상태평가 될 수 있다.

### 4.2.2 부재별 상태평가 기준

#### 가. 콘크리트 바닥판

【표 4-2】 콘크리트 바닥판 상태평가 기준

| 기준 | 균 열 | | 열화 및 손상 |
|---|---|---|---|
| | 1방향 균열 | 2방향 균열 | |
| a | ■ 균열폭 0.1㎜미만 | ■ 망상균열폭 0.1㎜미만 | ■ 없음 |
| b | ■ 균열폭 0.1㎜이상 ~ 0.3㎜미만<br>■ 균열율 2%미만 | ■ 망상균열폭<br>0.1㎜ ~ 0.3㎜미만 | ■ 표면 손상면적 2%미만 |
| c | ■ 균열폭 0.3㎜이상 ~ 0.5㎜미만<br>■ 균열율 2%이상 ~ 10%미만 | ■ 망상균열폭 0.3㎜이상 | ■ 표면 손상면적<br>2%이상 ~ 10%미만<br>■ 철근부식 손상면적 2%미만<br>■ 데크플레이트 박리 및 누수 발생 |
| d | ■ 균열폭 0.5㎜이상 ~ 1.0㎜미만<br>■ 균열율 10%이상 ~ 20%미만 | ■ 망상균열의 진전으로 인한 콘크리트 박리 발생 | ■ 표면 손상면적 10%이상<br>■ 철근부식 손상면적 2%이상<br>■ 데크플레이트 박리가 심하고 누수로 인한 부식 발생 |
| e | ■ 균열폭 1.0㎜이상<br>■ 균열율 20%이상 | ■ 망상균열에 의한 박리가 심하여 편칭파괴 발생 가능성이 있음 | ■ 부식으로 인한 철근의 단면감소가 심하여 바닥판의 안전성이 저하되는 경우 |

#### 나. 철근콘크리트 거더

【표 4-3】 철근콘크리트 거더 상태평가 기준

| 기준 | 균 열 | 열화 및 손상 |
|---|---|---|
| a | ■ 균열폭 0.1mm미만 | ■ 없음 |
| b | ■ 균열폭 0.1mm이상 ~ 0.3mm미만 | ■ 표면 손상면적 2%미만 |
| c | ■ 균열폭 0.3mm이상 ~ 0.5mm미만 | ■ 표면 손상면적 2%이상 ~ 10%미만<br>■ 철근부식 손상면적 2%미만 |
| d | ■ 균열폭 0.5mm이상 ~ 1.0mm미만<br>■ 내하력저하로 인한 휨균열 과다발생 | ■ 표면 손상면적 10%이상<br>■ 철근부식 손상면적 2%이상 |
| e | ■ 균열폭 1.0mm이상<br>■ 휨균열 과다발생 및 과대처짐으로 인하여 거더의 안전성 저하 | ■ 지점부 콘크리트 파손으로 인한 거더의 안전성 저하 |

## 다. 강거더(Steel Box Girder)

【표 4-4】 Steel Box Girder 상태평가 기준

| 기준 | 모재 및 연결부 손상 | | | | 표면열화 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 부재 균열 | 변형, 파단 | 연결 볼트 이완, 탈락 | 용접연결부 결함 | |
| a | ■ 없음 | ■ 없음 | ■ 없음 | ■ 없음 | ■ 없음 |
| b | ■ 보조부재의 국부적 균열 | ■ 보조부재의 국부적 변형 | ■ 보조부재 2%미만 | ■ 부분적 용접불 (기공, 슬래그, 언더컷) | ■ 도장탈락 면적 10%미만<br>■ 부식발생 면적 2%미만 |
| c | ■ 보조부재의 전반적 균열<br>■ 주부재의 국부적 균열 | ■ 보조부재의 전반적 변형 및 파단<br>■ 주부재의 국부적 변형 | ■ 보조부재 2%이상~10%미만<br>■ 주부재 2% 미만 | ■ 주부재의 심한 용접불량 (기공, 슬래그, 언더컷)<br>■ 부분적 용입부족, 용접누락 | ■ 도장탈락 면적 10%이상<br>■ 부식발생 면적 2%이상~10%미만 |
| d | ■ 주부재의 전반적 균열 | ■ 주부재의 전반적 변형 및 파단<br>■ 좌굴에 의한 주부재 변형<br>■ 주탑하단부 연결볼트 파단 | ■ 보조부재 10%이상<br>■ 주부재 2%이상~10%미만 | ■ 인장플랜지 용접 연결부 용입부족 및 용접누락으로 인한 안전성저하 | ■ 부식발생 면적 10%이상<br>■ 부식에 의한 단면 손상 면적 10%미만 |
| e | ■ 균열이 주부재 단면의 20% 이상 진전 | ■ 좌굴에 의한 과대변형 및 파단으로 주부재의 안전성 저하 | ■ 주부재 10%이상 | ■ 인장플랜지 용접 연결부 균열진전으로 인해 연결 기능 상실 | ■ 부식에 의한 단면 손상 면적 10%이상 |

## 라. 강 가로보, 세로보

【표 4-5】 강 가로보, 세로보 상태평가 기준

| 기준 | 모재 및 연결부 손상 | | | | 표면열화 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 부재 균열 | 변형, 파단 | 연결 볼트 이완, 탈락 | 용접연결부 결함 | |
| a | ■ 없음 | ■ 없음 | ■ 없음 | ■ 없음 | ■ 없음 |
| b | ■ 보조부재의 국부적 균열 | ■ 보조부재의 국부적 변형 | ■ 보조부재 2%미만 | ■ 부분적 용접불 (기공, 슬래그, 언더컷) | ■ 도장탈락 면적 10%미만<br>■ 부식발생 면적 2%미만 |
| c | ■ 보조부재의 전반적 균열<br>■ 주부재의 국부적 균열 | ■ 보조부재의 전반적 변형 및 파단<br>■ 주부재의 국부적 변형 | ■ 보조부재 2%이상~10%미만<br>■ 주부재 2%미만 | ■ 주부재의 심한 용접불량 (기공, 슬래그, 언더컷)<br>■ 부분적 용입부족, 용접누락 | ■ 도장탈락 면적 10%이상<br>■ 부식발생 면적 2%이상~10%미만 |
| d | ■ 주부재의 전반적 균열 | ■ 주부재의 전반적 변형 및 파단<br>■ 좌굴에 의한 주부재 변형<br>■ 주탑하단부 연결볼트 파단 | ■ 보조부재10% 이상<br>■ 주부재 2%이상~10%미만 | ■ 인장플랜지 용접 연결부 용입부족 및 용접누락으로 인한 안전성저하 | ■ 부식발생 면적 10%이상<br>■ 부식에 의한 단면 손상 면적 10%미만 |
| e | ■ 균열이 주부재 단면의 20%이상 진전 | ■ 좌굴에 의한 과대변형 및 파단으로 주부재의 안전성 저하 | ■ 주부재 10%이상 | ■ 인장플랜지 용접 연결부 균열 진전으로 인해 연결 기능 상실 | ■ 부식에 의한 단면 손상 면적 10%이상 |

## 마. 교대

【표 4-6】 교대 상태평가 기준

| 기준 | 균열, 변위 | 열화 및 손상 |
|---|---|---|
| a | ■ 구체 균열폭 0.1㎜미만 | ■ 없음 |
| b | ■ 구체 균열폭 0.1㎜이상 ~ 0.3㎜미만 | ■ 표면 손상면적 2%미만<br>■ 앵커블록 내부 결로 발생 |
| c | ■ 구체 균열폭 0.3㎜이상 ~ 0.5㎜미만<br>■ 교대와 날개벽사이에 폭 1.0㎜이상의 균열발생 | ■ 표면 손상면적 2%이상 ~ 10%미만<br>■ 철근부식 손상면적 2%미만<br>■ 앵커블록 내부 결로에 의한 체수 |
| d | ■ 구체 균열폭 0.5㎜이상 ~ 1.0㎜미만<br>■ 날개벽 기울음 및 손상 심화 (배면토 유출)<br>■ 기초의 부등침하로 인한 구체 기울음 | ■ 표면 손상면적 10%이상<br>■ 철근부식 손상면적 2%이상 |
| e | ■ 구체 균열폭 1.0㎜이상<br>■ 날개벽 전도 위험 있음<br>■ 부등침하로 인한 교대 안전성 저하 | ■ 코핑부 파손으로 인하여 거더의 탈락 가능성이 있음<br>■ 심한 철근부식으로 인하여 교대의 안전성이 저하됨 |

## 바. 교각

【표 4-7】 교각 상태평가 기준

| 기준 | 균열, 변위 | 열화 및 손상 |
|---|---|---|
| a | ■ 균열폭 0.1㎜미만 | ■ 없음 |
| b | ■ 균열폭 0.1㎜이상 ~ 0.3㎜미만 | ■ 표면 손상면적 2%미만<br>■ 앵커블록 내부 결로 발생 |
| c | ■ 균열폭 0.3㎜이상 ~ 0.5㎜미만 | ■ 표면 손상면적 2%이상 ~ 10%미만<br>■ 철근부식 손상면적 2%미만 |
| d | ■ 구체 균열폭 0.5㎜이상 ~ 1.0㎜미만<br>■ 기초의 부등침하로 인한 구체 기울음 | ■ 표면 손상면적 10%이상<br>■ 철근부식 손상면적 2%이상 |
| e | ■ 구체 균열폭 1.0㎜이상<br>■ 부등침하로 인한 교대 안전성 저하 | ■ 코핑부 파손으로 인하여 거더의 탈락 가능성이 있음<br>■ 심한 철근부식으로 인하여 교대의 안전성이 저하됨 |

## 사. 교면포장

【표 4-8】 교면포장 상태평가 기준

| 기준 | 포장불량 | | 배수 |
|---|---|---|---|
| a | ■ 미세균열 | ■ 없음 | ■ 없음 |
| b | ■ 포장불량 2%미만 | ■ 포장손상이 미미하여 주행에 영향 없음 | ■ 배수구배 및 배수시설 불량에 의한 부분적 물고임 |
| c | ■ 포장불량 2%이상~10%이상 | ■ 포장손상으로 인하여 차량의 통행에 영향 있음 | ■ 배수구배 및 배수시설 불량에 의한 물고임 발생으로 주행성 저하 |
| d | ■ 포장불량 10%이상 | ■ 전반적인 재포장이 필요한 상태 | ■ 배수불량에 의한 물고임으로 통행차량의 안전성 저하 |
| e | - | - | - |

## 아. 교량받침

【표 4-9】 교량받침 상태평가 기준

| 기준 | 받침본체 | | 받침 콘크리트 |
|---|---|---|---|
| | 탄성받침 | 강재받침 | |
| a | ■ 양호 | ■ 양호 | ■ 양호 |
| b | ■ 미세균열, 갈라짐 등 경미한 열화 | ■ 외부 도장탈락 및 부식<br>■ 도장도색, 먼지 쌓임 | ■ 부분적 박리, 탈락 등 손상 |
| c | ■ 측면 부풀음<br>■ 받침두께의 0.3배 미만의 전단변형 | ■ 미끄럼판 부식 발생<br>■ 부분적 변형, 고정장치 파손 및 이완 | ■ 받침 콘크리트에 0.3mm이상 균열 발생<br>■ 박리, 탈락 등 손상으로 지지단면 감소, 기능상 장애 |
| d | ■ 고무재 파손 및 단차, 균열 심화<br>■ 받침두께의 0.3배 이상의 전단변형<br>■ 받침이 밀착되지 않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2 미만<br>■ 받침의 신축기능 불량 | ■ 받침 본체 부식으로 인한 받침 신축거동 장애발생<br>■ 받침 본체 파손<br>■ 받침이 밀착되지 않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2 미만 | ■ 받침 콘크리트 파손 및 하부공동으로 받침의 탈락 및 침하 발생 가능성 있음 |
| e | ■ 받침 신축기능 불량으로 인하여 받침 본체 및 거더(바닥판)의 파손 발생<br>■ 받침이 밀착되지 않고떠있는 부분이 전체면적의 1/2 이상 | ■ 받침 신축기능 불량 인하여 거더 등 주부재의 파손 발생<br>■ 받침이 밀착되지 않고떠있는 부분이 전체면적의 1/2 이상<br>■ 작동불능 상태 | - |

## 자. 신축이음

【표 4-10】 신축이음 상태평가 기준

| 기준 | 본 체 | 후타재 |
|---|---|---|
| a | ■ 없음 | ■ 양호 |
| b | ■ 토사, 이물질 퇴적<br>■ 고무판 노후화 | ■ 미세균열이 발생 |
| c | ■ 물받이 미설치 또는 파손으로 부분적으로 누수<br>■ 유간사이 이물질로 기능 불량, 고무판 마모, 국부적인 부식 등의 열화<br>■ 고무판 균열, 볼트 또는 너트의 부분 탈락<br>■ 누수로 인하여 신축이음 하부의 받침 및 코핑부에 이물질 퇴적 및 부식발생 | ■ 균열이 50㎝이하의 간격으로 발생<br>■ 국부적인 박리, 박락, 파손 |
| d | ■ 강판유동 및 연결불량으로 이상음 발생<br>■ 신축유간 밀착으로 인한 거동 불량<br>■ 신축유간이 넓어 차량통행에 지장 초래<br>■ 신축이음 본체 탈락, 파손 및 작동 불능 | ■ 신축이음의 심한 파손 및 단차로 인하여 차량통행시 충격발생<br>■ 파손 범위가 후타재 폭 이상으로 큼 |
| e | - | - |

## 차. 배수시설

【표 4-11】 배수시설 상태평가 기준

| 기준 | 상태기준 설명 |
|---|---|
| a | ■ 양호 |
| b | ■ 다소의 퇴적물이 있으나 배수에는 이상 없음 |
| c | ■ 배수시설의 상태불량, 길이부족<br>■ 많은 퇴적물, 누수<br>■ 누수로 인하여 구조물 부식 발생<br>■ 배수관 유출구 위치가 부적절하여 하부통행에 따른 위험 초래 |
| d | ■ 파손이나 노후화로 인하여 재설치가 필요한 상태 |
| e | - |

## 카. 방호벽 및 중앙분리대

【표 4-12】 방호벽 및 중앙분리대 상태평가 기준

| 기준 | 강재 | | 콘크리트 |
|---|---|---|---|
| a | ■ 양호 | ■ 양호 | ■ 양호 |
| b | ■ 도장 불량 10%미만 | ■ 고정장치 및 연결재의 이완이 국부적으로 발생 | ■ 경미한 손상, 0.3㎜이하 균열 |
| c | ■ 도장불량 10%이상<br>■ 부식으로 인한 단면손상 10%미만 | ■ 파손 및 탈락 10%미만 | ■ 0.3㎜이상 균열<br>■ 박리, 파손, 철근노출, 10%미만<br>■ 철근부식손상 길이 2%미만 |
| d | ■ 부식으로 인한 단면손상 10%이상 | ■ 파손 및 탈락 10%이상<br>■ 낙석으로 인한 손상발생<br>■ 고정부 열화 및 손상으로 인한 전도의 위험이 있음(방음벽) | ■ 박리, 파손, 철근노출, 10%이상<br>■ 철근부식손상 길이 2%이상 |
| e | - | - | - |

## 타. 탄산화

【표 4-13】 탄산화 상태평가 기준

| 기준 | 탄산화 잔여 깊이 | 철근부식의 가능성 |
|---|---|---|
| a | ■ 30㎜이상 | ■ 탄산화에 의한 부식발생 우려 없음 |
| b | ■ 10㎜이상 ~ 30㎜미만 | ■ 향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음 |
| c | ■ 0㎜이상 ~ 10㎜미만 | ■ 탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음 |
| d | ■ 0㎜미만 | ■ 철근부식 발생 |
| e | - | - |

### 파. 염화물

【표 4-14】 염화물 상태평가 기준

| 기준 | 전염화물 이온량 | 철근부식의 가능성 |
|---|---|---|
| a | ■ 염화물 ≤ 0.3kg/㎥ | ■ 염화물에 의한 부식발생 우려 없음 |
| b | ■ 0.3kg/㎥ < 염화물 < 1.2kg/㎥ | ■ 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음 |
| c | ■ 1.2kg/㎥ ≤ 염화물 < 2.5kg/㎥ | ■ 향후 염화물에 의한 부식발생 가능성 높음 |
| d | ■ 염화물 ≥ 2.5kg/㎥ | ■ 철근부식 발생 |
| e | - | - |

## 4.2.3 구조형식에 따른 부재별 가중치

【표 4-15】 구조형식에 따른 일반교량의 부재별 가중치

| 구분 | 결함도 평가항목 | | 슬래브 교량 | 거더교량 | | | | | | | 라멘교 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 일반거더교 | | | 바닥판·거더 일체형 | | 아치,트러스 | | 거더 없음 | 거더있음 (복개구조물) | |
| | | | | 일반 | 2차부재 없음 | 바닥판 없음 | 강 바닥판 | PSC 박스 | 콘크리트 바닥판 | 강 바닥판 | | | |
| 상부 | 바닥판 | | 34 | 18 | 18 | - | 20 | 20 | 15 | | 34 | 20 | 21 |
| | 주 형 | | - | 20 | 25 | 37 | 18 | 20 | 23 | | - | 21 | 23 |
| | 2차부재 | | - | 5 | - | 11 | 5 | 3 | 5 | | - | 5 | - |
| 하부 | 교대/교각 | | 20 | 13 | 13 | 18 | 13 | | 13 | | 34 | 22 | 24 |
| | 기초 | | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | | 7 | | 7 | 7 | 7 |
| 받침 | 교량받침 | | 10 | 9 | 9 | 14 | 9 | | 9 | | 3 | 3 | 3 |
| 기타 | 신축이음 | | 10 | 9 | 9 | - | 9 | | 9 | | 3 | 3 | 3 |
| | 교면포장 | | 7 | 7 | 7 | - | 7 | | 7 | | 7 | 7 | 7 |
| | 배수시설 | | 3 | 3 | 3 | - | 3 | | 3 | | 3 | 3 | 3 |
| | 방호벽/중분대 | | 2 | 2 | 2 | 6 | 2 | | 2 | | 2 | 2 | 2 |
| 콘크리트 | 탄산화 | 상부 | 2(4) | 2(4) | | - | - | 2(4) | 2(4) | - | 4(7) | | |
| | | 하부 | 2(3) | 2(3) | | 4(7) | 4(7) | 2(3) | 2(3) | 4(7) | | | |
| | 염화물 | 상부 | 2(0) | 2(0) | | - | - | 2(0) | 2(0) | - | 3(0) | | |
| | | 하부 | 1(0) | 1(0) | | 3(0) | 3(0) | 1(0) | 1(0) | 3(0) | | | |

주) 탄산화 및 염화물 ()은 정밀점검 가중치임.

### 4.2.4 경간(지점)별 부재 상태평가 산정

- 개별부재에서 발견된 결함 및 손상에 대하여 평가한 후 각 상태평가 결과 중 최젓값을 개별부재 상태평가 결과로 산정한다.
- 한 경간 내에서 여러 부재가 있을 경우는 각 부재의 상태평가 기준 중 최젓값을 경간(지점) 상태평가 결과로 산정한다.

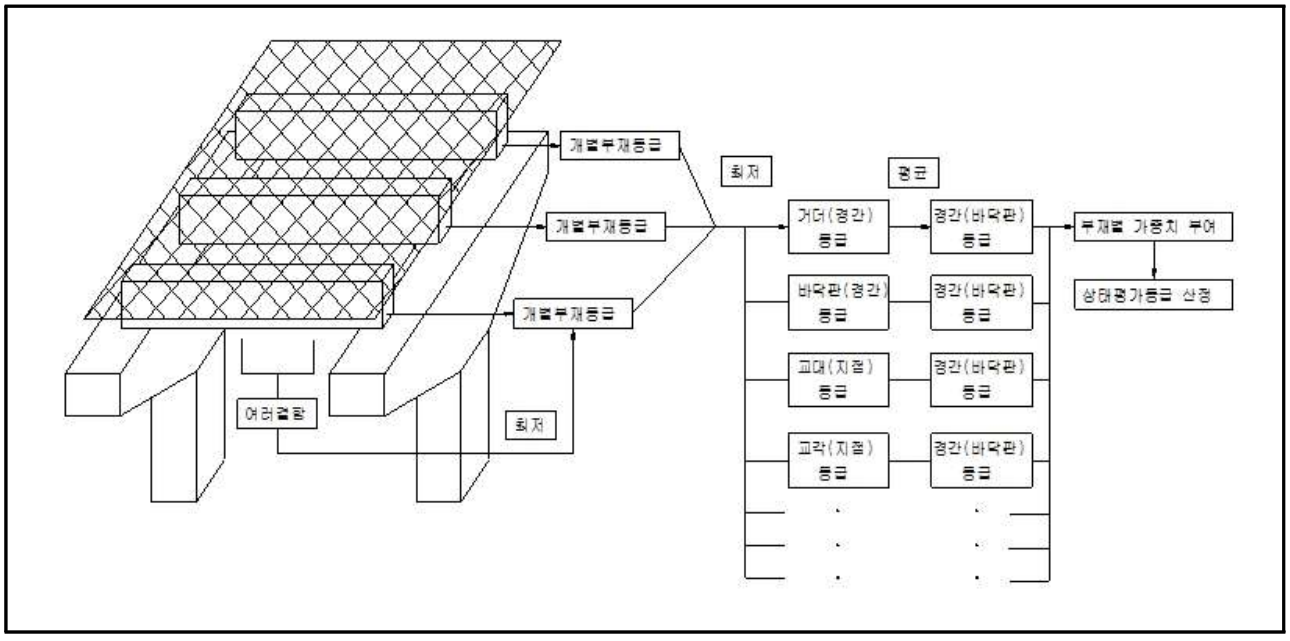
### 4.2.5 전체 시설물의 상태평가 결과 결정

구조형식이 같은 부재별로 평균하여 부재 상태평가를 결정한 후 구조형식에 따른 부재별 가중치를 적용하여 환산 결함도 점수를 구한다. 환산 결함도 점수는 시설물 전체의 상태평가 결과를 산정하기 위한 기준값이며, 【표 4-16】의 결함도 점수 범위에 따른 기준을 적용하여 시설물 전체에 대한 상태평가 결과를 구한다.

【표 4-16】 결함도 점수 범위에 따른 기준

| 기 준 | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| 결함도 지수 | 0.10 | 0.20 | 0.40 | 0.70 | 1.00 |
| 결함도 범위 | $0 \leq X < 0.13$ | $0.13 \leq X < 0.26$ | $0.26 \leq X < 0.49$ | $0.49 \leq X < 0.79$ | $0.79 \leq X$ |

### 4.2.6 상태평가 결과 산정 방법




【그림 4-1】 전체 교량의 상태평가 결과 산정 방법 예

# 4.3 상태평가 결과

## 4.3.1 각 부재별 상태평가 결과

### 가. 양평방향

1) 콘크리트 바닥판

【표 4-17】 콘크리트 바닥판 상태평가 결과(양평방향)

| 구분 | 부재면적 (㎡) | 1방향 균열 | | | | 2방향 균열 | | | | 열화 및 손상 | | | | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 균열폭 (㎜) | | 균열율 (%) | | 균열폭 (㎜) | | 균열율 (%) | | 표면손상면적 (%) | | 철근부식 손상면적 (%) | | |
| S1 | 374.3 | 0.2 | b | 1.01 | b | - | a | - | a | 0.17 | b | - | a | b |
| S2 | 374.3 | 0.1 | b | - | a | - | a | - | a | 0.04 | b | - | a | b |
| S3 | 374.3 | 0.2 | b | 0.07 | b | - | a | - | a | 0.02 | b | - | a | b |
| S4 | 374.3 | 0.2 | b | 0.63 | b | - | a | - | a | 0.08 | b | - | a | b |
| S5 | 374.3 | 0.2 | b | 0.50 | b | - | a | - | a | 0.06 | b | - | a | b |
| S6 | 374.3 | 0.1 | b | - | a | - | a | - | a | 0.05 | b | - | a | b |
| S7 | 374.3 | 0.2 | b | 1.84 | b | - | a | - | a | 0.11 | b | - | a | b |
| S8 | 374.3 | 0.1 | b | - | a | - | a | - | a | - | a | - | a | b |
| S9 | 374.3 | 0.3 | c | 0.29 | b | - | a | - | a | 0.05 | b | - | a | c |

2) 강 거더(Steel Box Girder)

【표 4-18】 Steel Box Girder 상태평가 결과(양평방향)

| 구분 | 부재면적 (㎡) | 모재 및 연결부 손상 | | | | | | | | 표면열화 | | | | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 부재균열 | | 변형, 파단 | | 연결 볼트 이완, 탈락 | | 용접연결부 결함 | | 도장탈락 면적 (%) | | 부식발생 면적 (%) | | |
| S1 | 1,750.0 | - | a | - | a | - | a | - | a | - | a | 0.285 | b | b |
| S2 | 1,750.0 | - | a | - | a | - | a | - | a | 0.007 | b | 0.056 | b | b |
| S3 | 1,750.0 | - | a | - | a | - | a | - | a | 0.011 | b | 0.272 | b | b |
| S4 | 1,750.0 | - | a | - | a | - | a | - | a | 0.005 | b | 0.070 | b | b |
| S5 | 1,750.0 | - | a | - | a | - | a | - | a | 0.035 | b | 0.023 | b | b |
| S6 | 1,750.0 | - | a | - | a | - | a | - | a | 0.049 | b | 0.015 | b | b |

【표 4-18】 강 거더(Steel Box Girder) 상태평가 결과(양평방향)(계속)

| 구분 | 부재면적 (㎡) | 모재 및 연결부 손상 | | | | | | | | 표면열화 | | | | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 부재균열 | | 변형, 파단 | | 연결 볼트 이완, 탈락 | | 용접연결부 결함 | | 도장탈락 면적 (%) | | 부식발생 면적 (%) | | |
| S7 | 1,750.0 | - | a | - | a | - | a | - | a | 0.002 | b | 0.105 | b | b |
| S8 | 1,750.0 | - | a | LF 변형 | c | - | a | - | a | 0.006 | b | 0.007 | b | c |
| S9 | 1,750.0 | - | a | - | a | - | a | - | a | 0.020 | b | 0.079 | b | b |

3) 강 가로보 및 세로보

【표 4-19】 강 가로보 및 세로보 상태평가 결과(양평방향)

| 구분 | 부재면적 (㎡) | 모재 및 연결부 손상 | | | | | | | | 표면열화 | | | | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 부재균열 | | 변형, 파단 | | 연결 볼트 이완, 탈락(%) | | 용접연결부 결함 | | 도장손상 면적(%) | | 부식발생 면적(%) | | |
| S1 | 204.6 | - | a | - | a | - | a | - | a | - | a | 0.034 | b | b |
| S2 | 204.6 | - | a | - | a | - | a | - | a | 0.015 | b | - | a | b |
| S3 | 204.6 | - | a | - | a | - | a | - | a | - | a | - | a | a |
| S4 | 204.6 | - | a | - | a | - | a | - | a | - | a | - | a | a |
| S5 | 204.6 | - | a | - | a | - | a | - | a | - | a | - | a | a |
| S6 | 204.6 | - | a | - | a | - | a | - | a | 0.015 | b | 0.039 | b | b |
| S7 | 204.6 | - | a | - | a | - | a | - | a | - | a | 0.024 | b | b |
| S8 | 204.6 | - | a | - | a | - | a | - | a | - | a | 0.039 | b | b |
| S9 | 204.6 | - | a | - | a | - | a | - | a | - | a | - | a | a |

4) 하부구조(교대)

【표 4-20】 하부구조(교대) 상태평가 결과(양평방향)

| 구분 | 부재면적 (㎡) | 균열, 변위 | | | | 열화 및 손상 | | | | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 균열폭(㎜) | | 변위 | | 표면손상 면적(%) | | 철근부식 손상면적(%) | | |
| A1 | 92.2 | 0.2 | b | - | a | 3.287 | c | - | a | c |
| A2 | 92.2 | 0.3 | c | - | a | 1.768 | b | - | a | c |

5) 하부구조(교각)

【표 4-21】 하부구조(교각) 상태평가 결과(양평방향)

| 구분 | 부재면적 (㎡) | 균열, 변위 | | | | 열화 및 손상 | | | | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 균열폭(㎜) | | 변위 | | 표면손상 면적(%) | | 철근부식 손상면적(%) | | |
| P1 | 132.0 | 0.3 | c | - | a | 0.061 | b | - | a | c |
| P2 | 140.4 | 0.2 | b | - | a | - | a | - | a | b |
| P3 | 165.6 | 0.2 | b | - | a | - | a | - | a | b |
| P4 | 165.6 | 0.2 | b | - | a | 3.260 | c | - | a | c |
| P5 | 165.6 | 0.2 | b | - | a | 5.433 | c | - | a | c |
| P6 | 165.6 | 0.2 | b | - | a | 0.115 | b | - | a | b |
| P7 | 132.0 | 0.1 | b | - | a | 0.015 | b | - | a | b |
| P8 | 127.8 | 0.2 | b | - | a | - | a | - | a | b |

6) 기 초

【표 4-22】 기초 상태평가 결과(양평방향)

| 구분 | 기초(직접, 말뚝, 케이슨) 손상 | | | | 지반의 안정성 | | | | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 균열폭(㎜) | | 단면손상 (파손, 철근노출 등) | | 세굴여부 | | 침하(㎜) | | |
| A1 | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | q |
| P1 | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | q |
| P2 | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | q |
| P3 | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | q |
| P4 | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | q |
| P5 | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | q |
| P6 | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | q |
| P7 | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | q |
| P8 | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | q |
| A2 | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | q |

7) 교량받침

【표 4-23】 교량받침 상태평가 결과(양평방향)

| 구분 | 받침 본체 | | 받침 콘크리트 | | | | 평가결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 강재받침 | | 균열폭(㎜) | | 박리, 탈락, 파손 등 | | |
| A1 | 부식 | b | - | a | 파손 | b | b |
| P1 | 부식 | b | 0.1 | b | - | a | b |
| P2 | 부식 | b | - | a | - | a | b |
| P3 | 부식 | b | 0.1 | b | 파손 | b | b |
| P4 | - | a | - | a | 철근노출 | b | b |
| P5 | - | a | 0.1 | b | 철근노출 | b | b |
| P6 | 부식 | b | 0.1 | b | - | a | b |
| P7 | - | a | 0.1 | b | - | a | b |
| P8 | - | a | 0.1 | b | - | a | b |
| A2 | 부식 | b | - | a | - | a | b |

8) 신축이음

【표 4-24】 신축이음 상태평가 결과(양평방향)

| 구분 | 본 체 | | 후타재 | | | | 평가결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 균열 | | 박리, 박락, 파손 등 | | |
| A1 | - | a | 0.2 | b | - | a | b |
| P5 | 유간토사퇴적 | b | - | a | - | a | b |
| A2 | 유간토사퇴적 | b | 0.1 | b | - | a | b |

9) 교면포장

【표 4-25】 교면포장 상태평가 결과(양평방향)

| 구분 | 부재면적(㎡) | 포장불량 | | | | 배 수 | | 평가결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 포장불량 면적(%) | | 포장손상에 따른 주행성 및 통행성 | | | | |
| S1 | 599.3 | 0.982 | b | 양호 | a | 양호 | a | b |
| S2 | 599.3 | 1.977 | b | 양호 | a | 양호 | a | b |
| S3 | 599.3 | 5.230 | c | 양호 | a | 양호 | a | c |
| S4 | 599.3 | 5.867 | c | 양호 | a | 양호 | a | c |
| S5 | 599.3 | 4.214 | c | 양호 | a | 양호 | a | c |
| S6 | 599.3 | 7.142 | c | 양호 | a | 양호 | a | c |

【표 4-25】 교면포장 상태평가 결과(양평방향)(계속)

| 구분 | 부재면적 (㎡) | 포장불량 | | | | 배 수 | | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 포장불량 면적 (%) | | 포장손상에 따른 주행성 및 통행성 | | | | |
| S7 | 599.3 | 7.308 | c | 양호 | a | 양호 | a | c |
| S8 | 599.3 | 7.092 | c | 양호 | a | 양호 | a | c |
| S9 | 599.3 | 7.092 | c | 양호 | a | 양호 | a | c |

10) 배수시설

【표 4-26】 배수시설 상태평가 결과(양평방향)

| 구분 | 평가내용 | 평가결과 |
|---|---|---|
| S1 | - | a |
| S2 | 배수관 길이부족 | c |
| S3 | - | a |
| S4 | - | a |
| S5 | - | a |
| S6 | 배수관 길이부족 | c |
| S7 | - | a |
| S8 | - | a |
| S9 | 곡관탈락 | c |

11) 방호벽 및 중앙분리대

【표 4-27】 방호벽 및 중앙분리대 상태평가 결과(양평방향)

| 구분 | 부재면적 (㎡) | 콘크리트 | | | | | | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 균열폭(㎜) | | 박리, 파손, 철근노출(%) | | 철근부식 손상면적(%) | | |
| S1 | 192.0 | 0.3 | c | 1.078 | c | - | a | c |
| S2 | 192.0 | 0.3 | c | 3.917 | c | - | a | c |
| S3 | 192.0 | 0.3 | c | 0.594 | c | - | a | c |
| S4 | 192.0 | 0.3 | c | 2.354 | c | - | a | c |
| S5 | 192.0 | 0.3 | c | 2.609 | c | - | a | c |
| S6 | 192.0 | 0.3 | c | 1.495 | c | - | a | c |
| S7 | 192.0 | 0.3 | c | 1.276 | c | - | a | c |

【표 4-27】 방호벽 및 중앙분리대 상태평가 결과(양평방향)(계속)

| 구분 | 부재면적 (㎡) | 콘크리트 | | | | | | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 균열폭(㎜) | | 박리, 파손, 철근노출(%) | | 철근부식 손상면적(%) | | |
| S8 | 192.0 | 0.3 | c | 3.100 | c | - | a | c |
| S9 | 192.0 | 0.3 | c | 0.026 | c | 0.021 | c | c |

12) 탄산화

【표 4-28】 탄산화 상태평가 결과(양평방향)

| 구분 | | 탄산화 잔여 깊이 | 평가기준 | 평가결과 |
|---|---|---|---|---|
| 상부 구조 | S1 | 40.0 | < 탄산화 잔여깊이 ><br>· a : 30㎜이상<br>· b : 10㎜이상~30㎜미만<br>· c : 0㎜이상~10㎜미만<br>· d : 0㎜미만 | a |
| | S7 | 49.0 | | a |
| | S8 | 49.0 | | a |
| | S9 | 42.0 | | a |
| 하부 구조 | A1 | 37.0 | | a |
| | P1 | 51.0 | | a |
| | P5 | 65.0 | | a |
| | P8 | 55.0 | | a |
| | A2 | 80.0 | | a |

13) 염화물

【표 4-29】 염화물 상태평가 결과(양평방향)

| 구분 | | 전염화물 함유량(kg/㎥) | 평가기준 | 평가결과 |
|---|---|---|---|---|
| 상부 구조 | S3 | 0.162 | < 전염화물 이온량 ><br>· a : 염화물 ≤ 0.3kg/㎥<br>· b : 0.3kg/㎥ < 염화물 < 1.2kg/㎥<br>· c : 1.2kg/㎥ ≤ 염화물 ≤ 2.5kg/㎥<br>· d : 염화물 ≥ 2.5kg/㎥ | a |
| | S8 | 0.160 | | a |
| 하부 구조 | P8 | 0.133 | | a |
| | A2 | 0.203 | | a |

※ 염화물 함유량에 대한 상태평가는 철근 위치에서는 전염화물 이온량을 기준으로 실시함

## 나. 마산방향

1) 콘크리트 바닥판

【표 4-30】 콘크리트 바닥판 상태평가 결과(마산방향)

| 구분 | 부재면적 (㎡) | 1방향 균열 | | | | 2방향 균열 | | | | 열화 및 손상 | | | | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 균열폭 (㎜) | | 균열율 (%) | | 균열폭 (㎜) | | 균열율 (%) | | 표면손상면적 (%) | | 철근부식 손상면적 (%) | | |
| S1 | 361.3 | 0.1 | b | - | a | - | a | - | a | 1.40 | b | - | a | b |
| S2 | 361.3 | 0.1 | b | - | a | - | a | - | a | 2.80 | c | - | a | c |
| S3 | 361.3 | 0.1 | b | - | a | - | a | - | a | 2.91 | c | - | a | c |
| S4 | 361.3 | 0.3 | c | 3.63 | c | - | a | - | a | 2.84 | c | - | a | c |
| S5 | 361.3 | 0.2 | b | 0.17 | b | - | a | - | a | 3.62 | c | - | a | c |
| S6 | 361.3 | 0.1 | b | - | a | 0.1 | b | 0.35 | b | 2.09 | c | - | a | c |
| S7 | 361.3 | 0.2 | b | 0.69 | b | - | a | - | a | 3.53 | c | - | a | c |
| S8 | 361.3 | - | a | - | a | - | a | - | a | 3.10 | c | - | a | c |
| S9 | 361.3 | 0.2 | b | 2.25 | c | 0.1 | b | 0.28 | b | 2.83 | c | - | a | c |

2) 강 거더(Steel Box Girder)

【표 4-31】 강 거더(Steel Box Girder) 상태평가 결과(마산방향)

| 구분 | 부재면적 (㎡) | 모재 및 연결부 손상 | | | | | | | | 표면열화 | | | | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 부재균열 | | 변형, 파단 | | 연결 볼트 이완, 탈락 | | 용접연결부 결함 | | 도장탈락 면적 (%) | | 부식발생 면적 (%) | | |
| S1 | 1,750.0 | - | a | - | a | - | a | - | a | 0.030 | b | 0.165 | b | b |
| S2 | 1,750.0 | - | a | - | a | - | a | - | a | 0.003 | b | 0.167 | b | b |
| S3 | 1,750.0 | - | a | - | a | - | a | - | a | 0.035 | b | 0.285 | b | b |
| S4 | 1,750.0 | - | a | LF 변형 | c | - | a | - | a | 0.013 | b | 0.117 | b | c |
| S5 | 1,750.0 | - | a | - | a | - | a | - | a | 0.009 | b | 0.200 | b | b |
| S6 | 1,750.0 | - | a | - | a | - | a | - | a | 0.009 | b | 0.312 | b | b |
| S7 | 1,750.0 | - | a | - | a | - | a | - | a | 0.006 | b | 0.382 | b | b |
| S8 | 1,750.0 | - | a | - | a | - | a | - | a | 0.445 | b | 0.046 | b | b |
| S9 | 1,750.0 | - | a | - | a | - | a | - | a | 2.569 | b | 0.051 | b | b |

3) 강 가로보 및 세로보

【표 4-32】 강 가로보 및 세로보 상태평가 결과(마산방향)

| 구분 | 부재면적 (㎡) | 모재 및 연결부 손상 | | | | | | | | 표면열화 | | | | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 부재균열 | | 변형, 파단 | | 연결 볼트 이완, 탈락(%) | | 용접연결부 결함 | | 도장손상 면적(%) | | 부식발생 면적(%) | | |
| S1 | 204.6 | - | a | - | a | - | a | - | a | - | a | - | a | a |
| S2 | 204.6 | - | a | - | a | - | a | - | a | 0.024 | b | - | a | b |
| S3 | 204.6 | - | a | - | a | - | a | - | a | - | a | 0.010 | b | b |
| S4 | 204.6 | - | a | - | a | - | a | - | a | - | a | 0.029 | b | b |
| S5 | 204.6 | - | a | - | a | - | a | - | a | - | a | - | a | a |
| S6 | 204.6 | - | a | - | a | - | a | - | a | 0.015 | b | 0.176 | b | b |
| S7 | 204.6 | - | a | - | a | - | a | - | a | - | a | 0.024 | b | b |
| S8 | 204.6 | - | a | - | a | - | a | - | a | - | a | - | a | a |
| S9 | 204.6 | - | a | - | a | - | a | - | a | 0.044 | b | - | a | b |

4) 하부구조(교대)

【표 4-33】 하부구조(교대) 상태평가 결과(마산방향)

| 구분 | 부재면적 (㎡) | 균열, 변위 | | | | 열화 및 손상 | | | | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 균열폭(㎜) | | 변위 | | 표면손상 면적(%) | | 철근부식 손상면적(%) | | |
| A1 | 88.9 | 0.2 | b | - | a | 0.878 | b | - | a | b |
| A2 | 88.9 | 0.2 | b | - | a | 1.136 | b | - | a | b |

5) 하부구조(교각)

【표 4-34】 하부구조(교각) 상태평가 결과(마산방향)

| 구분 | 부재면적 (㎡) | 균열, 변위 | | | | 열화 및 손상 | | | | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 균열폭(㎜) | | 변위 | | 표면손상 면적(%) | | 철근부식 손상면적(%) | | |
| P1 | 132.0 | 0.2 | b | - | a | - | a | - | a | b |
| P2 | 140.4 | 0.2 | b | - | a | 0.911 | b | - | a | b |
| P3 | 165.6 | 0.2 | b | - | a | 0.664 | b | - | a | b |
| P4 | 165.6 | 0.2 | b | - | a | 4.558 | c | 0.109 | c | c |
| P5 | 165.6 | 0.2 | b | - | a | 4.443 | c | - | a | c |
| P6 | 165.6 | 0.2 | b | - | a | 0.918 | b | - | a | b |
| P7 | 132.0 | 0.2 | b | - | a | - | a | - | a | b |
| P8 | 127.8 | 0.2 | b | - | a | 0.016 | b | - | a | b |

6) 기 초

【표 4-35】 기초 상태평가 결과(마산방향)

| 구분 | 기초(직접, 말뚝, 케이슨) 손상 | | | | 지반의 안정성 | | | | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 균열폭(㎜) | | 단면손상 (파손, 철근노출 등) | | 세굴여부 | | 침하(㎜) | | |
| A1 | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | q |
| P1 | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | q |
| P2 | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | q |
| P3 | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | q |
| P4 | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | q |
| P5 | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | q |
| P6 | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | q |
| P7 | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | q |
| P8 | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | q |
| A2 | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | 비노출 | q | q |

7) 교량받침

【표 4-36】 교량받침 상태평가 결과(마산방향)

| 구분 | 받침 본체 | | 받침 콘크리트 | | | | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 강재받침 | | 균열폭(㎜) | | 박리, 탈락, 파손 등 | | |
| A1 | 부식 | b | - | a | 파손 | b | b |
| P1 | - | - | - | a | 재료분리 | b | b |
| P2 | 부식 | b | - | a | 파손 | b | b |
| P3 | 부식 | b | 0.3 | c | 파손 | b | c |
| P4 | 부식 | b | 0.1 | b | 파손 | b | b |
| P5 | - | a | - | a | 철근노출 | b | b |
| P6 | 부식 | b | 0.1 | b | - | a | b |
| P7 | 부식 | b | 0.1 | b | 재료분리 | b | b |
| P8 | - | - | - | a | - | a | a |
| A2 | 부식 | b | 0.1 | b | - | a | b |

8) 신축이음

【표 4-37】 신축이음 상태평가 결과(마산방향)

| 구분 | 본 체 | | 후타재 | | | | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 균열 | | 박리, 박락, 파손 등 | | |
| A1 | 상면부식 | c | 0.1 | b | 파손 | c | c |
| P5 | 상면부식 | c | 0.1 | b | 파손 | c | c |
| A2 | 유간토사퇴적 | b | 0.2 | b | 파손 | c | c |

9) 교면포장

【표 4-38】 교면포장 상태평가 결과(마산방향)

| 구분 | 부재면적 (㎡) | 포장불량 | | | | 배 수 | | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 포장불량 면적 (%) | | 포장손상에 따른 주행성 및 통행성 | | | | |
| S1 | 570.3 | 0.180 | b | 양호 | a | 양호 | a | b |
| S2 | 570.3 | 0.007 | b | 양호 | a | 양호 | a | b |
| S3 | 570.3 | 0.658 | b | 양호 | a | 양호 | a | b |
| S4 | 570.3 | 0.025 | b | 양호 | a | 양호 | a | b |
| S5 | 570.3 | - | a | 양호 | a | 양호 | a | a |
| S6 | 570.3 | 0.023 | b | 양호 | a | 양호 | a | b |

【표 4-38】 교면포장 상태평가 결과(마산방향)(계속)

| 구분 | 부재면적 (㎡) | 포장불량 | | | | 배 수 | | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 포장불량 면적 (%) | | 포장손상에 따른 주행성 및 통행성 | | | | |
| S7 | 570.3 | 0.163 | b | 양호 | a | 양호 | a | b |
| S8 | 570.3 | 0.002 | b | 양호 | a | 양호 | a | b |
| S9 | 570.3 | 0.128 | b | 양호 | a | 양호 | a | b |

10) 배수시설

【표 4-39】 배수시설 상태평가 결과(마산방향)

| 구분 | 평가내용 | 평가결과 |
|---|---|---|
| S1 | - | a |
| S2 | 배수관 길이부족 | c |
| S3 | - | a |
| S4 | - | a |
| S5 | - | a |
| S6 | - | a |
| S7 | - | a |
| S8 | - | a |
| S9 | - | a |

11) 방호벽 및 중앙분리대

【표 4-40】 방호벽 및 중앙분리대 상태평가 결과(마산방향)

| 구분 | 부재면적 (㎡) | 콘크리트 | | | | | | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 균열폭(㎜) | | 박리, 파손, 철근노출(%) | | 철근부식 손상면적(%) | | |
| S1 | 192.0 | 0.2 | b | 0.292 | c | - | a | c |
| S2 | 192.0 | 0.2 | b | 0.281 | c | - | a | c |
| S3 | 192.0 | 0.2 | b | 3.250 | c | - | a | c |
| S4 | 192.0 | 0.2 | b | 0.141 | c | - | a | c |
| S5 | 192.0 | 0.2 | b | 1.182 | c | - | a | c |
| S6 | 192.0 | 0.2 | b | 0.109 | c | - | a | c |
| S7 | 192.0 | 0.2 | b | 0.151 | c | - | a | c |

【표 4-40】 방호벽 및 중앙분리대 상태평가 결과(마산방향)(계속)

| 구분 | 부재면적 (㎡) | 콘크리트 | | | | | | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 균열폭(㎜) | | 박리, 파손, 철근노출(%) | | 철근부식 손상면적(%) | | |
| S8 | 192.0 | 0.2 | b | 0.250 | c | - | a | c |
| S9 | 192.0 | 0.3 | c | 0.156 | c | - | a | c |

12) 탄산화

【표 4-41】 탄산화 상태평가 결과(마산방향)

| 구분 | | 탄산화 잔여 깊이 | 평가기준 | 평가결과 |
|---|---|---|---|---|
| 상부 구조 | S1 | 49.0 | < 탄산화 잔여깊이 ><br>· a : 30㎜이상<br>· b : 10㎜이상~30㎜미만<br>· c : 0㎜이상~10㎜미만<br>· d : 0㎜미만 | a |
| | S7 | 51.0 | | a |
| | S8 | 42.0 | | a |
| | S9 | 46.0 | | a |
| 하부 구조 | A1 | 32.0 | | a |
| | P1 | 66.0 | | a |
| | P5 | 53.0 | | a |
| | P8 | 53.0 | | a |
| | A2 | 80.0 | | a |

13) 염화물

【표 4-42】 염화물 상태평가 결과(마산방향)

| 구분 | | 전염화물 함유량(kg/㎥) | 평가기준 | 평가결과 |
|---|---|---|---|---|
| 상부 구조 | S4 | 0.282 | < 전염화물 이온량 ><br>· a : 염화물 ≤ 0.3kg/㎥<br>· b : 0.3kg/㎥ < 염화물 < 1.2kg/㎥<br>· c : 1.2kg/㎥ ≤ 염화물 ≤ 2.5kg/㎥<br>· d : 염화물 ≥ 2.5kg/㎥ | a |
| | S5 | 0.151 | | a |
| 하부 구조 | P8 | 0.196 | | a |
| | A2 | 2.301 | | c |

※ 염화물 함유량에 대한 상태평가는 철근 위치에서는 전염화물 이온량을 기준으로 실시함

## 4.3.2 각 부재별 상태평가 결과 분석

상태평가는 세부지침에 의거 부재별로 평가하였으며, 산정시 도출방법은 다음과 같이 실시하였다.

### 가. 양평방향

【표 4-43】 각 부재별 상태평가 결과 분석(양평방향)

| 구 분 | 손상항목 및 도출방법 | 평가 사유 | 평가 결과 | 결함도 점수 |
|---|---|---|---|---|
| 바닥판 | ■ 1방향 균열율, 1방향 균열폭, 2방향 균열율 2방향 균열폭, 열화 및 손상 면적비, 철근부식손상 면적비 등에 대한 평가결과 중 최젓값 | ■ 폭 0.3mm균열 (S9) | b | 0.22 |
| Steel Box Girder | ■ 모재 및 연결부 손상, 표면열화 등에 대한 평가결과 중 최젓값 | ■ LF 변형(S8) | b | 0.22 |
| 가로보 및 세로보 | ■ 모재 및 연결부 손상, 표면열화 등에 대한 평가결과 중 최젓값 | ■ 상태양호 | b | 0.16 |
| 교대 및 교각 | ■ 균열폭, 변위, 표면손상 면적비, 철근부식손상 면적비 등에 대한 평가결과 중 최젓값 | ■ 폭 0.3㎜ 균열(P1, A2)<br>■ 망상균열 | c | 0.30 |
| 교량받침 | ■ 받침본체, 받침콘크리트 등에 대한 평가결과 중 최젓값 | ■ 받침 부식<br>■ 받침콘크리트 철근노출, 파손 | b | 0.20 |
| 신축이음 | ■ 신축이음 본체, 후타재 등에 대한 평가결과 중 최젓값 | ■ 유간토사퇴적 | b | 0.20 |
| 교면포장 | ■ 포장불량 면적비, 포장상태, 배수 등에 대한 평가결과 중 최젓값 | ■ 균열 및 포장불량 (소성변형) | c | 0.36 |
| 배수시설 | ■ 배수시설 손상에 대한 평가결과 | ■ 배수관 길이부족(S2, S6) | b | 0.20 |
| 방호벽 및 중앙분리대 | ■ 균열폭, 표면 손산율, 철근부식 손상율 등에 대한 평가결과 중 최젓값 | ■ 폭 0.3mm 균열 | c | 0.40 |
| 탄산화 | ■ 탄산화 잔여 깊이, 철근부식의 가능성 등에 대한 평가결과 중 최젓값 | ■ 상태양호 | a | 상부 0.10<br>하부 0.10 |
| 염화물 | ■ 전염화물 이온량, 철근부식의 가능성 등에 대한 평가결과 중 최젓값 | ■ 상태양호 | a | 상부 0.10<br>하부 0.10 |
| **평가자 소견** | ■ 부재별 평가 결과가 a~c로 나타났고, 부재별 결함도 점수 범위가 0.10~0.40으로 나타남<br>■ 부재별 상태평가 결과, 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태임. | | | |

## 나. 마산방향

【표 4-44】 각 부재별 상태평가 결과 분석(마산방향)

| 구 분 | 손상항목 및 도출방법 | 평가 사유 | 평가 결과 | 결함도 점수 |
|---|---|---|---|---|
| 바닥판 | ■ 1방향 균열율, 1방향 균열폭, 2방향 균열율 2방향 균열폭, 열화 및 손상 면적비, 철근부식손상 면적비 등에 대한 평가결과 중 최젓값 | ■ 바닥판 들뜸 및 박락 | c | 0.38 |
| Steel Box Girder | ■ 모재 및 연결부 손상, 표면열화 등에 대한 평가결과 중 최젓값 | ■ LF 변형 (S4) | b | 0.22 |
| 가로보 및 세로보 | ■ 모재 및 연결부 손상, 표면열화 등에 대한 평가결과 중 최젓값 | ■ 도장탈락 및 부식 | b | 0.17 |
| 교대 및 교각 | ■ 균열폭, 변위, 표면손상 면적비, 철근부식손상 면적비 등에 대한 평가결과 중 최젓값 | ■ 균열(cw=0.1~0.2mm)<br>■ 파손, 들뜸, 철근노출 | b | 0.24 |
| 교량받침 | ■ 받침본체, 받침콘크리트 등에 대한 평가결과 중 최젓값 | ■ 받침 부식<br>■ 받침콘크리트 철근노출, 파손 | b | 0.21 |
| 신축이음 | ■ 신축이음 본체, 후타재 등에 대한 평가결과 중 최젓값 | ■ 상면부식<br>■ 후타재 국부적 파손 | c | 0.40 |
| 교면포장 | ■ 포장불량 면적비, 포장상태, 배수 등에 대한 평가결과 중 최젓값 | ■ 균열 및 포장불량 | b | 0.19 |
| 배수시설 | ■ 배수시설 손상에 대한 평가결과 | ■ 배수관 길이부족 (S2) | b | 0.13 |
| 방호벽 및 중앙분리대 | ■ 균열폭, 표면 손산율, 철근부식 손상율 등에 대한 평가결과 중 최젓값 | ■ 파손, 철근노출 | c | 0.40 |
| 탄산화 | ■ 탄산화 잔여 깊이, 철근부식의 가능성 등에 대한 평가결과 중 최젓값 | ■ 상태양호 | b | 상부 0.10<br>하부 0.10 |
| 염화물 | ■ 전염화물 이온량, 철근부식의 가능성 등에 대한 평가결과 중 최젓값 | ■ c등급(A2) | c | 상부 0.10<br>하부 0.25 |
| **평가자 소견** | ■ 부재별 평가 결과가 a~c로 나타났고, 부재별 결함도 점수 범위가 0.10~0.40으로 나타남<br>■ 부재별 상태평가 결과, 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태임. | | | |

## 4.3.3 상태평가 결과

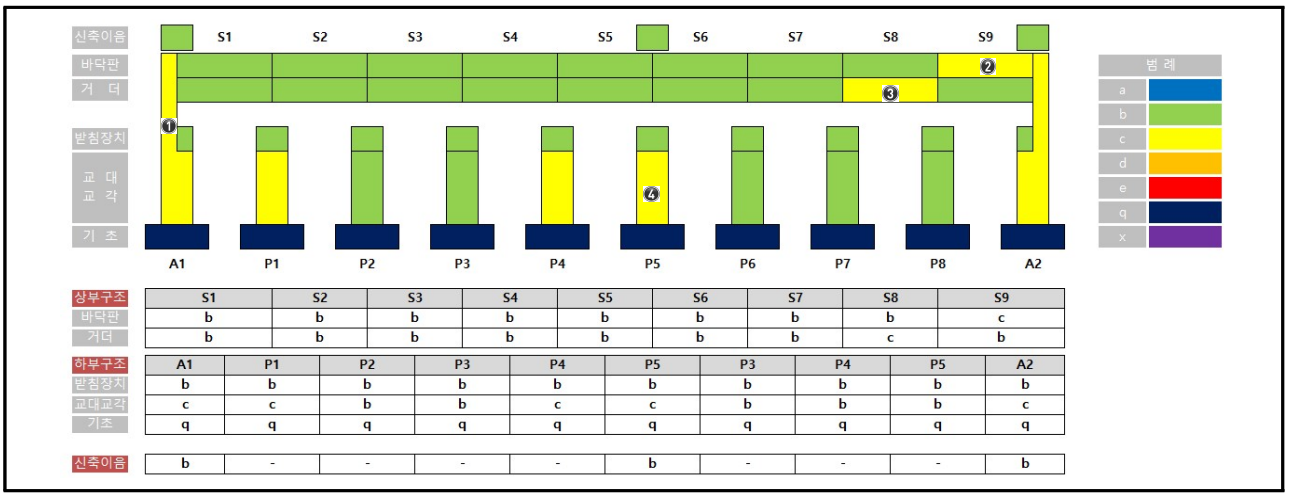
### 가. 양평방향

【표 4-45】 청미천교(양평) 상태평가 결과

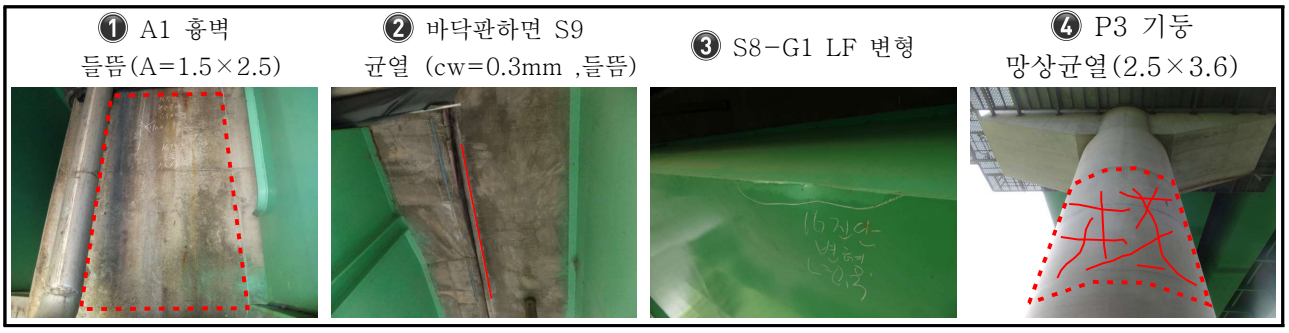
| 부재의 분류 | | 상부구조 | | | 하부구조 | | 받침 | 기타부재 | | | | 탄산화 | | 염화물 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 번호 | 형식 | 바닥판 | 거더 | 가로보 | 교대 교각 | 기초 | 교량 받침 | 신축 이음 | 교면 포장 | 배수 시설 | 난간 | 상부 | 하부 | 상부 | 하부 |
| 1 | STB | b | b | b | c | q | b | b | b | a | c | a | a | – | – |
| 2 | STB | b | b | b | c | q | b | – | b | c | c | – | a | – | – |
| 3 | STB | b | b | a | b | q | b | – | c | a | c | – | – | a | – |
| 4 | STB | b | b | a | b | q | b | – | c | a | c | – | – | – | – |
| 5 | STB | b | b | a | c | q | b | – | c | a | c | – | – | – | – |
| 6 | STB | b | b | b | c | q | b | b | c | c | c | – | a | – | – |
| 7 | STB | b | b | b | b | q | b | – | c | a | c | a | – | – | – |
| 8 | STB | b | c | b | b | q | b | – | c | a | c | a | – | – | – |
| 9 | STB | c | b | a | b | q | b | – | c | c | c | a | a | a | a |
| | | | | | c | q | b | b | – | – | – | – | a | – | a |
| 평균 | | 0.22 | 0.22 | 0.16 | 0.30 | 0.00 | 0.20 | 0.20 | 0.36 | 0.20 | 0.40 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| 가중치 | | 18 | 20 | 5 | 20 | 0 | 9 | 9 | 7 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| (평균×가중치) /가중치 합 | | 0.040 | 0.044 | 0.008 | 0.060 | 0.000 | 0.018 | 0.018 | 0.025 | 0.006 | 0.008 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.001 |

| 결함도 환산점수 | 0.234 |
|---|---|
| 상태평가결과 | B |

※청미천교(양평)는 기초가 매립된 상태로 해당 가중치는 교대, 교각의 가중치에 포함시켜 평가함




【그림 4-2】 청미천교(양평) 상태평가 결과




【그림 4-2】 청미천교(양평) 상태평가 결과(계속)

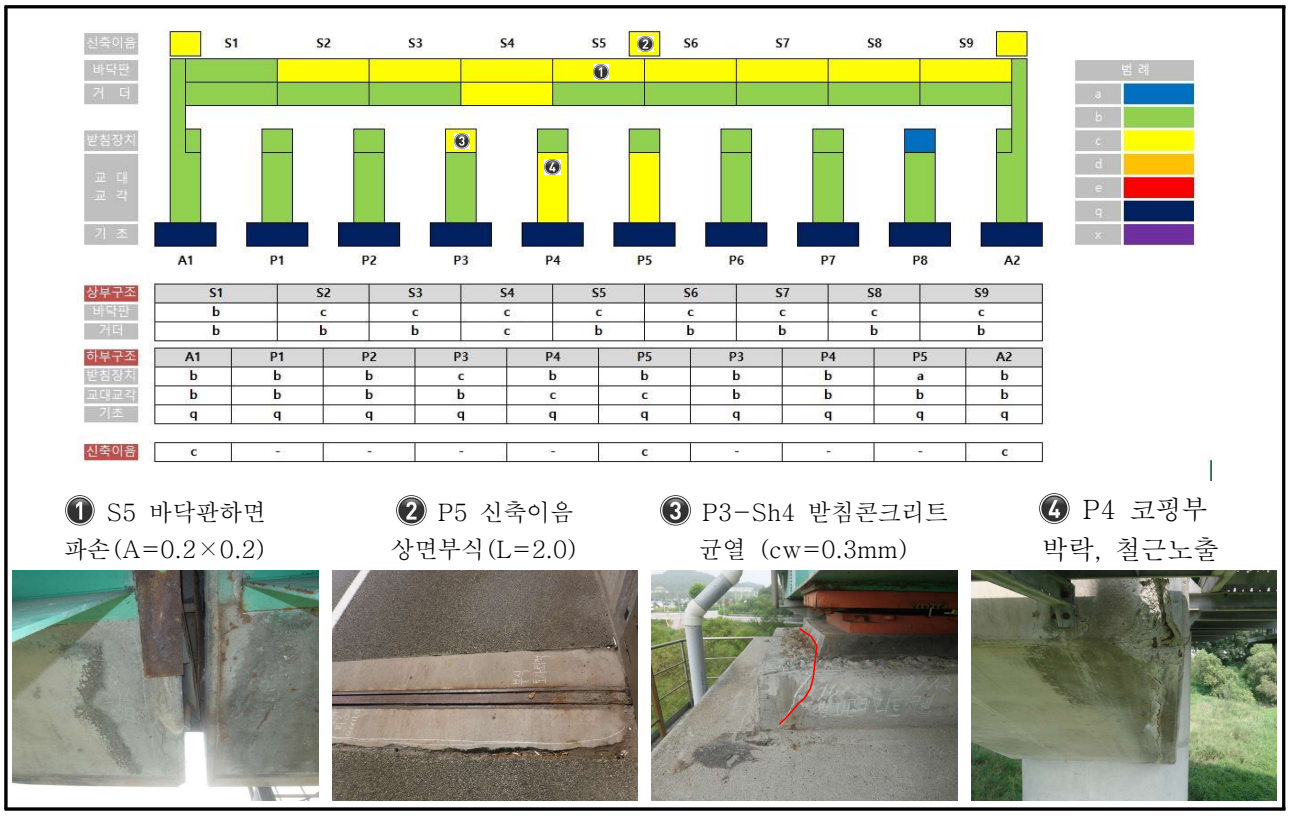
## 나. 마산방향

【표 4-46】 청미천교(마산) 상태평가 결과

| 부재의 분류 | | 상부구조 | | | 하부구조 | | 받침 | 기타부재 | | | | 탄산화 | | 염화물 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 번호 | 형식 | 바닥판 | 거더 | 가로보 | 교대 교각 | 기초 | 교량 받침 | 신축 이음 | 교면 포장 | 배수 시설 | 난간 | 상부 | 하부 | 상부 | 하부 |
| 1 | STB | b | b | a | b | q | b | c | b | a | c | a | a | - | - |
| 2 | STB | c | b | b | b | q | b | - | b | c | c | - | a | - | - |
| 3 | STB | c | b | b | b | q | b | - | b | a | c | - | - | - | - |
| 4 | STB | c | c | b | b | q | c | - | b | a | c | - | - | a | - |
| 5 | STB | c | b | a | c | q | b | - | a | a | c | - | - | a | - |
| 6 | STB | c | b | b | c | q | b | c | b | a | c | - | a | - | - |
| 7 | STB | c | b | b | b | q | b | - | b | a | c | a | - | - | - |
| 8 | STB | c | b | a | b | q | b | - | b | a | c | a | - | - | - |
| 9 | STB | c | b | b | b | q | a | - | b | a | c | a | a | - | a |
| | | | | | b | q | b | c | - | - | - | - | a | - | c |
| 평균 | | 0.38 | 0.22 | 0.17 | 0.24 | 0.00 | 0.21 | 0.40 | 0.19 | 0.13 | 0.40 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.25 |
| 가중치 | | 18 | 20 | 5 | 20 | 0 | 9 | 9 | 7 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| (평균×가중치) /가중치 합 | | 0.068 | 0.044 | 0.009 | 0.048 | 0.000 | 0.019 | 0.036 | 0.013 | 0.004 | 0.008 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.003 |

| 결함도 환산점수 | 0.258 |
|---|---|
| 상태평가결과 | B |

※청미천교(마산)는 기초가 매립된 상태로 해당 가중치는 교대, 교각의 가중치에 포함시켜 평가함




| 상부구조 | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 바닥판 | b | c | c | c | c | c | c | c | c |
| 거더 | b | b | b | c | b | b | b | b | b |

| 하부구조 | A1 | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P3 | P4 | P5 | A2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 받침장치 | b | b | b | c | b | b | b | b | a | b |
| 교대교각 | b | b | b | b | c | c | b | b | b | b |
| 기초 | q | q | q | q | q | q | q | q | q | q |

| 신축이음 | c | - | - | - | - | c | - | - | - | c |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

❶ S5 바닥판하면 파손(A=0.2×0.2)



❷ P5 신축이음 상면부식(L=2.0)



❸ P3-Sh4 받침콘크리트 균열 (cw=0.3mm)



❹ P4 코핑부 박락, 철근노출



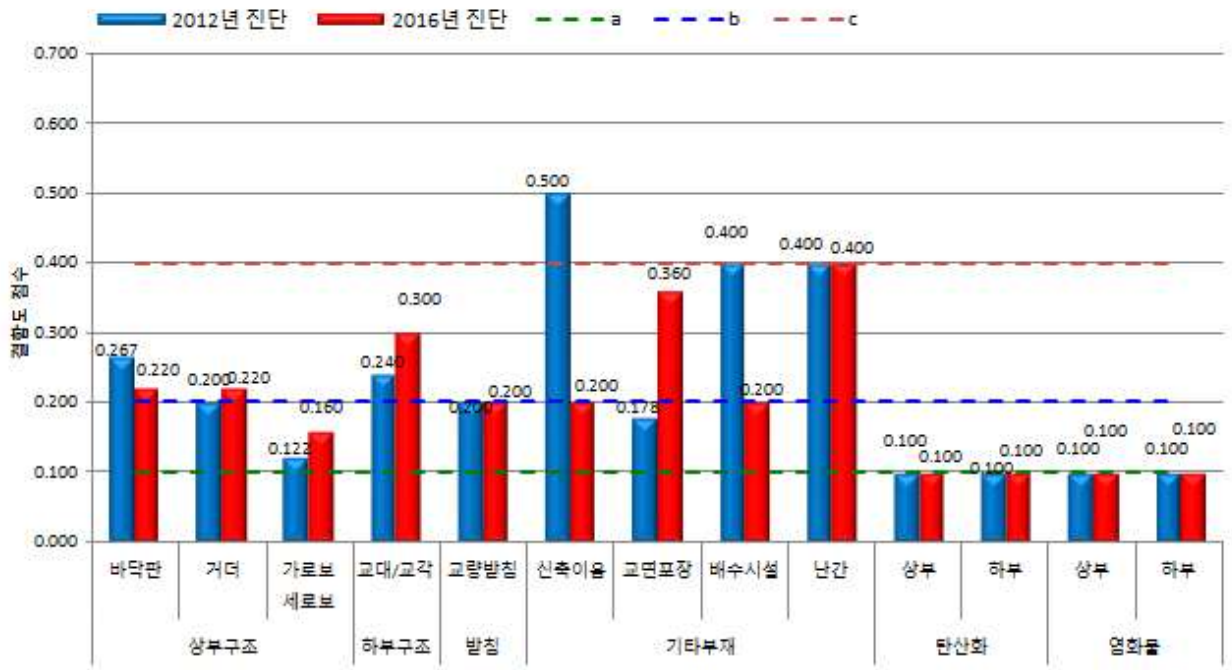
【그림 4-3】 청미천교(마산) 상태평가 결과

# 4.4 기 진단결과와의 비교

## 4.4.1 양평방향

【표 4-47】 청미천교(양평) 상태평가 결과 비교·분석표

| 구 분 | '12년 정밀안전진단 | 금회 정밀안전진단 |
|---|---|---|
| 상태평가 결과 | B(0.245) | B(0.234) |



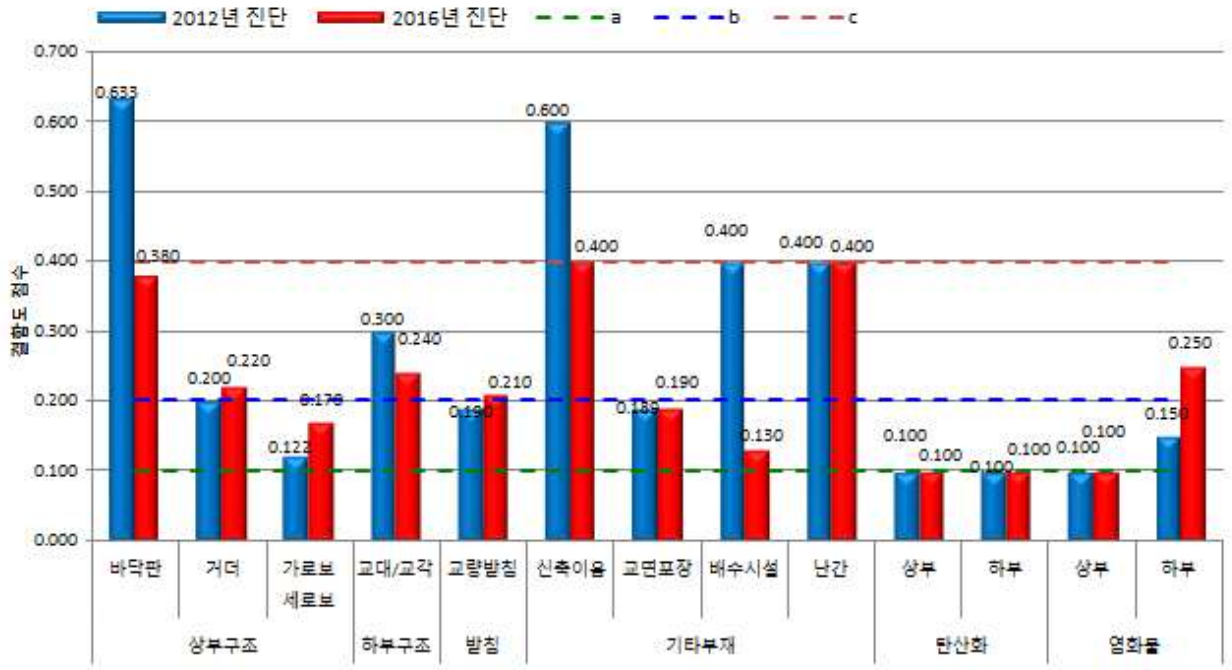

<부재별 상태평가 결과 비교>

| | |
|---|---|
| 총 평 | ■ 금회 정밀안전진단 결과, 본 교량의 상태평가 결과는 "B"로 산정되었다.<br>■ 전차 정밀안전진단(2012.12)과 비교시 환산결함도가 다소 감소한 이유는 다음과 같다.<br>① 바닥판 하면 균열보수<br>② 신축이음 교체<br>③ 배수시설 보수 |

## 4.4.2 마산방향

【표 4-48】 청미천교(마산) 상태평가 결과 비교·분석표

| 구 분 | '12년 정밀안전진단 | 금회 정밀안전진단 |
|---|---|---|
| 상태평가 결과 | C(0.332) | B(0.258) |




<부재별 상태평가 결과 비교>

| 총 평 | ■ 금회 정밀안전진단 결과, 본 교량의 상태평가 결과는 "B"로 산정되었다.<br>■ 전차 정밀안전진단(2012.12)과 비교시 환산결함도가 다소 감소한 이유는 다음과 같다.<br>① 바닥판 하면 균열보수<br>② 신축이음 교체<br>③ 배수시설 보수<br>④ 교대 누수부 염화물 함유량 증가 |
|---|---|

# 제5장 시설물의 안전성평가

5.1 개요
5.2 상부구조 안전성평가
5.3 내하력평가
5.4 하부구조 안전성평가
5.5 안전성평가 결과요약

# 제5장 시설물의 안전성평가

## 5.1 개 요

청미천교는 총연장 450.600m, 폭 12.435m(양평방향), 11.855m(마산방향)의 4차로 교량으로서, 상부구조형식은 5경간 연속 강박스 거더교(5@50m = 250.0m)와 4경간 연속 강박스 거더교(4@50m = 200.0m)으로 구성되어 있다. 신축이음부를 경계로 S1~S5경간, S6~S9경간으로 각각 나누어 평가하였다.

하부구조는 상부에서 발생하는 하중과 하부 자체의 하중까지 버틸 수 있는 구조물로, 교대(역T형) 4기와 교각(π형) 16기로 구성되어 있다.

본 교량에 대한 구조해석 및 내하력 평가는 설계자료(구조계산서, 준공도면 등)에서 제시한 바와 같이 이루어졌다는 가정과 설계변경사항, 기존 점검 및 진단보고서, 현장조사자료(실측제원, 외관조사 및 내구성조사 등), 시공단계 등을 고려하였으며, 현 설계기준을 적용하였다.

## 5.2 상부구조 안전성평가

### 5.2.1 양평방향(S1 ~ S5)

#### 가. 검토조건

1) 교량 제원

① 교량형식 : 5경간 연속 강박스 거더교

② 교량연장 : L = 5@50m =250.0m

③ 교량폭원 : 12.435m

④ 사　　각 : 90.0°

⑤ 거더제원 : B = 2.5m , H = 2.5m

⑥ 교량등급 : 1등급(DB-24 및 DL-24 적용)

2) 사용재료

① 콘크리트

㉠ 설계기준강도 : $f_{ck}$ = 27.0MPa

㉡ 탄성계수 : $E_c$= 27,804MPa

㉢ 전단탄성계수 : $G_c$ = 11,781MPa

㉣ 허용압축응력 : $f_{ca}$ = 10.8MPa

② 철근(SD400)

㉠ 항복강도 : $f_y$ = 400.0MPa

㉡ 탄성계수 : $E_s$ = 200,000MPa

㉢ 허용압축응력 : $f_{ca}$ = 180.0MPa

㉣ 허용인장응력 : $f_{ta}$ = 160.0MPa

③ 강재

㉠ 주부재 : SM490(준공당시 기호 : SWS490)

㉡ 부부재 : SM400(준공당시 기호 : SWS400)

㉢ 탄성계수 : $E_{st}$ = 205,000MPa

㉣ 전단탄성계수 : $G_{st}$ = 79,000MPa

㉤ 허용축방향인장응력 및 허용휨인장응력(MPa)

| 강종 / 판두께(mm) | SS400<br>SM400<br>SMA400 | SM490 | SM490Y<br>SM520<br>SMA490 | SM570<br>SMA570 |
|---|---|---|---|---|
| 40이하 | 140 | 190 | 215 | 270 |
| 40초과 75이하 | 130 | 175 | 200 | 260 |
| 75초과 100이하 | | | 195 | 250 |

㉥ 허용축방향압축응력(MPa)

| 강종 / 판두께(mm) | SS400<br>SM400<br>SMA400 | SM490 | SM490Y<br>SM520<br>SMA490 | SM 570<br>SMA 570 |
|---|---|---|---|---|
| 40이하 | $140 : \ell/r \le 18.6$<br>$140-0.82(\ell/r-18.6) : 18.6 < \ell/r \le 92.8$<br>$\frac{1,200,000}{6,700+(\ell/r)^2} : 92.8 < \ell/r$ | $190 : \ell/r \le 16.0$<br>$190-1.29(\ell/r-16.0) : 16.0 < \ell/r \le 80.1$<br>$\frac{1,200,000}{5,000+(\ell/r)^2} : 80.1 < \ell/r$ | $215 : \ell/r \le 15.1$<br>$215-1.55(\ell/r-15.1) : 15.1 < \ell/r \le 75.5$<br>$\frac{1,200,000}{4,400+(\ell/r)^2} : 75.5 < \ell/r$ | $270 : \ell/r \le 13.4$<br>$270-2.19(\ell/r-13.4) : 13.4 < \ell/r \le 67.1$<br>$\frac{1,200,000}{3,500+(\ell/r)^2} : 67.1 < \ell/r$ |

| 강종 / 판두께(mm) | SS400<br>SM400<br>SMA400 | SM490 | SM490Y<br>SM520<br>SMA490 | SM 570<br>SMA 570 |
|---|---|---|---|---|
| 40초과 75이하 | 130 : $\ell/r \leq 19.4$<br>$130-0.73(\ell/r-19.4)$ : $19.4 < \ell/r \leq 97.0$<br>$\frac{1,200,000}{7,300+(\ell/r)^2}$ : $97.0 < \ell/r$ | 175 : $\ell/r \leq 16.6$<br>$175-1.15(\ell/r-16.6)$ : $16.6 < \ell/r \leq 82.8$<br>$\frac{1,200,000}{5,300+(\ell/r)^2}$ : $82.8 < \ell/r$ | 200 : $\ell/r \leq 15.5$<br>$200-1.40(\ell/r-15.5)$ : $15.5 < \ell/r \leq 77.7$<br>$\frac{1,200,000}{4,700+(\ell/r)^2}$ : $77.7 < \ell/r$ | 260 : $\ell/r \leq 13.7$<br>$260-2.07(\ell/r-13.7)$ : $13.7 < \ell/r \leq 68.6$<br>$\frac{1,200,000}{3,600+(\ell/r)^2}$ : $68.6 < \ell/r$ |
| 75초과 100이하 | 195 : $\ell/r \leq 15.8$<br>$195-1.35(\ell/r-15.8)$ : $15.8 < \ell/r \leq 78.9$<br>$\frac{1,200,000}{4,800+(\ell/r)^2}$ : $78.9 < \ell/r$ | 250 : $\ell/r \leq 13.9$<br>$250-1.96(\ell/r-13.9)$ : $13.9 < \ell/r \leq 69.4$<br>$\frac{1,200,000}{3,700+(\ell/r)^2}$ : $69.4 < \ell/r$ | | |

여기서, $\ell$ : 부재의 유효좌굴길이(mm)

r : 부재 총단면의 단면회전반경(mm)

㉦ 허용휨압축응력(MPa)

■ 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 직접 고정되어 있는 경우, 상자형 단면, $\pi$형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우

| 강종 / 판두께(mm) | SS400<br>SM400<br>SMA400 | SM490 | SM490Y<br>SM520<br>SMA490 | SM570<br>SMA570 |
|---|---|---|---|---|
| 40이하 | 140 | 190 | 215 | 270 |
| 40초과 75이하 | 130 | 175 | 200 | 260 |
| 75초과 100이하 | | | 195 | 250 |

| 강종 / 판두께(mm) | | SS400<br>SM400<br>SMA400 | SM490 | SM490Y<br>SM520<br>SMA490 | SM570<br>SMA570 |
|---|---|---|---|---|---|
| $\frac{A_w}{A_c} \leq 2$ | 40이하 | 140 : ℓ/b ≤ 4.6<br>140−2.49(ℓ/b−4.6) :<br>4.6 < ℓ/b ≤ 30 | 190 : ℓ/b ≤ 4.0<br>190−3.91(ℓ/b−4.0) :<br>4.0 < ℓ/b ≤ 30 | 215 : ℓ/b ≤ 3.8<br>215−4.69(ℓ/b−3.8):<br>3.8 < ℓ/b ≤ 27 | 270 : ℓ/b ≤ 3.4<br>270−6.64(ℓ/b−3.4):<br>3.4 < ℓ/b ≤ 25 |
| | 40초과<br>75이하 | 130 : ℓ/b ≤ 4.9 | 175 : ℓ/b ≤ 4.1 | 200 : ℓ/b ≤ 3.9<br>200−4.24(ℓ/b−3.9):<br>3.9 < ℓ/b ≤ 27 | 260 : ℓ/b ≤ 3.4<br>260−6.25(ℓ/b−3.4):<br>3.4 < ℓ/b ≤ 25 |
| | 75초과<br>100이하 | 130−2.21(ℓ/b−4.9):<br>4.9 < ℓ/b ≤ 30 | 175−3.48(ℓ/b−4.1):<br>4.1 < ℓ/b ≤ 30 | 195 : ℓ/b ≤ 3.9<br>195−4.07(ℓ/b−3.9):<br>3.9 < ℓ/b ≤ 27 | 250 : ℓ/b ≤ 3.5<br>250−5.94(ℓ/b−3.5):<br>3.5 < ℓ/b ≤ 25 |
| $\frac{A_w}{A_c} > 2$ | 40이하 | 140 : ℓ/b ≤ 9.3/K<br>140−1.24(Kℓ/b−9.3):<br>9.3/K < ℓ/b ≤ 30 | 190 : ℓ/b ≤ 8.0/K<br>190−1.95(Kℓ/b−8.0):<br>8.0/K < ℓ/b ≤ 30 | 215 : ℓ/b ≤ 7.5/K<br>215−2.35(Kℓ/b−7.5):<br>7.5/K< ℓ/b ≤ 27 | 270 : ℓ/b ≤ 6.7/K<br>270−3.32(Kℓ/b−6.7):<br>6.7/K < ℓ/b ≤ 25 |
| | 40초과<br>75이하 | 130 : ℓ/b ≤ 9.7/K | 175 : ℓ/b ≤ 8.3/K | 200 : ℓ/b ≤ 7.8/K<br>200−2.12(Kℓ/b−7.8):<br>7.8/K< ℓ/b ≤ 27 | 260 : ℓ/b ≤ 6.9/K<br>260−3.12(Kℓ/b−6.9):<br>6.9/K< ℓ/b ≤ 25 |
| | 75초과<br>100이하 | 130−1.10(Kℓ/b−9.7):<br>9.7/K < ℓ/b ≤ 30 | 175−1.74(Kℓ/b−8.3):<br>8.3/K < ℓ/b ≤ 30 | 195 : ℓ/b ≤ 7.9/K<br>195−2.04(Kℓ/b−7.9):<br>7.9/K< ℓ/b ≤ 27 | 250 : ℓ/b ≤ 6.9/K<br>250−2.97(Kℓ/b−6.9):<br>6.9/K< ℓ/b ≤ 25 |
| 비 고 | | $A_w$ : 복부판의 총 단면적(㎟)<br>$A_c$ : 압축플랜지의 총 단면적(㎟)<br>ℓ : 압축플랜지의 고정점간의 거리(㎜)<br>b : 압축플랜지의 폭(㎜) | | K : $\sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$ | |

◎ 허용전단응력(MPa)

| 강종 / 판두께(mm) | SS400<br>SM400<br>SMA400 | SM490 | SM490Y<br>SM520<br>SMA490 | SM570<br>SMA570 |
|---|---|---|---|---|
| 40이하 | 80 | 110 | 125 | 155 |
| 40초과 75이하 | 75 | 100 | 115 | 150 |
| 75초과 100이하 | | | 115 | 145 |

㉦ 항복응력(MPa)

| 강종 / 판두께(mm) | SS400<br>SM400<br>SMA400 | SM490 | SM490Y<br>SM520<br>SMA490 | SM570<br>SMA570 |
|---|---|---|---|---|
| 40이하 | 235 | 315 | 355 | 450 |
| 40초과 75이하 | 215 | 295 | 335 | 430 |
| 75초과 100이하 | | | 325 | 420 |

㉧ 강재 주거더의 허용응력 증가율

| 하중의 조합 | | | 증가율(%) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 정의 휨모멘트를 받는 부분 | 부의 휨모멘트를 받는 부분 |
| 1 | 크리프의 영향과 건조수축의영향을 제외한 주하중 | | 0 | 0 |
| 2 | 주하중 | 압축연 | 15 | 0 |
| | | 인장연 | 0 | 0 |
| 3 | 주하중+바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차 | 압축연 | 30 | 15 |
| | | 인장연 | 15 | 15 |
| 4 | 가설시 하중 | 압축연 | 25 | 25 |
| | | 인장연 | 25 | 25 |

3) 사용 전산프로그램 : 안전성평가를 위한 구조해석은 3차원 해석과 활하중의 이동재하가 가능한 범용구조해석 프로그램인 MIDAS CIVIL을 이용하였으며, 구조물의 기하학적 특성을 Frame Element로 모델링하였다.

4) 설계방법

① 바닥판 : 강도설계법

② 강박스 거더 : 허용응력설계법

5) 적용하중

① 고정하중

고정하중은 합성전 고정하중과 합성후 고정하중으로 구분하여 모델링하였다. 합성전 고정하중은 강재 및 바닥판 자중을 고려하였으며 합성후 고정하중은 방호벽 및 중앙분리대, 포장 등을 고려하여 계산하였다.

② 활하중

본 교량은 1등급 교량으로서 DB-24 및 DL-24 하중을 적용한다.

③ 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차

㉠ 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차( $\Delta T$ ) : $\pm 10^{\circ}C$

㉡ 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수($\alpha$) : $12\times10^{-6}$

④ 바닥판 콘크리트의 크리프

㉠ 크리프 계수($\phi_1$) : 2

㉡ 크리프 계산을 위한 탄성계수비 : $n_1 = n\ (1 + \phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2/2) = 14$

⑤ 바닥판 콘크리트의 건조수축

㉠ 최종수축율( $\varepsilon_s$ ) : $27\times10^{-5}$

㉡ 건조수축 계산을 위한 크리프 계수($\phi_2$) : $\phi_2 = 2\ \phi_1 = 2 \times 2 = 4$

㉢ 건조수축 계산을 위한 탄성계수비 : $n_2 = n\ (1 + \phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4/2) = 21$

⑥ 하중조합

㉠ LCB1 : 합성전 고정하중

㉡ LCB2 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중

㉢ LCB3 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프

㉣ LCB4 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축

㉤ LCB5 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축+온도차

㉥ LCB6 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축-온도차

6) 참고문헌

① 도로교 설계기준(2010)

② 콘크리트 구조설계기준(2012)

③ 도로설계편람(2008)

④ 도로설계요령(2009)

⑤ 강도로교 상세부 설계지침(2006)

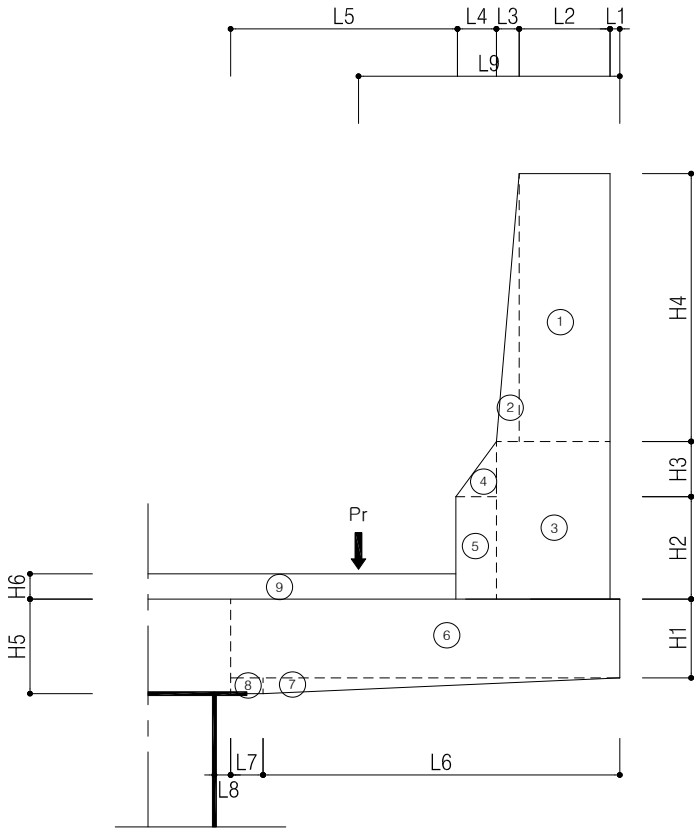
## 나. 바닥판 구조검토

합성형교에서 바닥판으로서 작용할 경우(교축직각방향)에 대하여 도로교설계기준(2010년) 등의 적용기준에 따라 구조검토를 수행하였다.

1) 캔틸레버부(방호벽)

① 고정하중

| NO. | 작용하중(kN) | | | 작용거리 (m) | 모멘트 (kN·m) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ① | 0.280×0.850×25 | = | 5.950 | 5.950 | 5.087 | |
| ② | ½×0.070×0.850×25 | = | 0.744 | 0.744 | 0.515 | |
| ③ | 0.350×0.500×25 | = | 1.313 | 4.375 | 3.588 | |
| ④ | ½×0.120×0.175×25 | = | 0.263 | 0.263 | 0.159 | |
| ⑤ | 0.120×0.325×25 | = | 2.153 | 0.975 | 0.570 | |
| ⑥ | 1.025×0.25×25 | = | 6.406 | 6.406 | 3.283 | |
| ⑦ | ½×0.925×0.05×25 | = | 0.578 | 0.578 | 0.236 | |
| ⑧ | 0.100×0.050×25 | = | 0.125 | 0.125 | 0.006 | |
| ⑨ | 0.525×0.080×23 | = | 0.633 | 0.966 | 0.254 | 포장 |
| 계 | | | 20.382 | | 13.698 | |




| | | |
|---|---|---|
| H1 = | 0.250 | m |
| H2 = | 0.325 | m |
| H3 = | 0.175 | m |
| H4 = | 0.850 | m |
| H5 = | 0.300 | m |
| H6 = | 0.080 | m |
| L1 = | 0.030 | m |
| L2 = | 0.280 | m |
| L3 = | 0.070 | m |
| L4 = | 0.120 | m |
| L5 = | 0.525 | m |
| L6 = | 0.925 | m |
| L7 = | 0.100 | m |
| L8 = | 0.050 | m |

콘크리트 단위중량 = 25.0kN/㎥
아스팔트포장 단위중량 = 23.0kN/㎥
트럭의 후륜하중($P_r$) = 96.0kN
곡선반경(R) = ∞
설계속도 = 100km/hr

② 활하중(DB-24 : $P_r$ = 96 kN)

윤하중 분포폭

E = 0.8X + 1.14 = 0.8 × 0.225 + 1.14 = 1.320m

여기서, X = 0.225m

③ 충격계수

$$i = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 0.225} = 0.373 > 0.300 \quad \therefore i = 0.300 \text{ 적용}$$

④ 활하중

$$M_{\ell+i} = \frac{P_r \cdot X \cdot (1+i)}{E} = \frac{96 \times 0.225 \times (1+0.300)}{1.360} = 21.273\text{kN·m/m}$$

⑤ 차량 충돌하중

H = ( V / 60 )² × 7500 + 2500 = (100 / 60)² × 7500 + 2500

= 23.333kN/m

$M_{co}$ = H × h = 23.333 × 1.230 = 28.700kN·m/m

⑥ 원심하중

$$CF = 0.79\left(\frac{V^2}{R}\right)(\%) = 0.79 \times \left(\frac{100^2}{5400}\right)(\%) = 1.463(\%)$$

$$P_{cf} = \frac{P_r}{E} \times \frac{1.463}{100} = 1.064 \text{ kN/m}$$

$M_{cf}$ = 1.064 × 1.8 = 1.915 kN・m/m

⑦ 풍하중

$P_w$ = 3.0kN/㎡ × 1.270m = 3.810kN/m

$M_w$ = 3.810 × 0.715 = 2.724kN·m/m

⑧ 하중조합

㉠ 계수모멘트

- $M_{u1} = 1.3\,M_d + 2.15\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} = 66.034\,kN\cdot m/m$
- $M_{u2} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} + 1.3\,M_{co} = 85.262\,kN\cdot m/m$
- $M_{u3} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} + 0.65\,M_w = 49.723\,kN\cdot m/m$
- $M_{u4} = 1.2\,M_d + 1.2\,M_w + 1.2\,M_{co} = 54.147\,kN\cdot m/m$

㉡ 사용모멘트

- $M = 1.0\,M_d + 1.0\,M_{(\ell+i)} + 1.0\,M_{cf} = 36.886\,kN\cdot m/m$

⑨ 바닥판의 최소두께( X > 0.25인 경우)

$h_{min} = (80 \cdot X + 230) = (80 \times 0.225 + 230) = 248mm > 220.0mm \quad \therefore h_{req} = 300.0mm$

$h_{use} = 300.0mm > h_{req} = 248.0mm \quad \therefore O.K$

⑩ 단면검토

㉠ 검토조건

설계기준강도($f_{ck}$) = 27.0MPa , 인장철근 항복강도($f_y$) = 400.0MPa

단면폭(b) = 1000mm , 단면높이(h) = 300mm

철근 피복두께($d_c$) = 60mm , 유효깊이(d) = 240mm

사용철근량($A_s$) = H16@125 = 1588.8㎟

⑪ 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_{ck} \cdot b} = \frac{1588.8 \times 400.0}{0.85 \times 27.0 \times 1000.0} = 27.692mm$$

$$\Phi Mn = \Phi\left\{As \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)\right\}$$

$$= 0.85 \times 1588.8 \times 400.0 \times \left(240.0 - \frac{27.692}{2}\right) = 122.167kN\cdot m$$

㉠ 휨모멘트 검토

$\Phi Mn = 122.167kN\cdot m > Mu = 85.262kN\cdot m \quad \therefore O.K$

⑫ 사용성(균열) 검토

㉠ 탄성계수비(n) = $E_s / E_c = 8$

㉡ 중립축 거리($\chi$) = $-nAs/b + nAs/b\sqrt{[1+2bd/(nAs)]} = 66.400$

㉢ 철근응력($f_s$) = $M/[A_s \times (d-\chi/3)] = 36.886 \times 10^6/[1588 \times (240-66.400/3)] = 106.615\,MPa$

㉣ 최소 두께($c_c$) = $60.0 - 16.0/2 = 52.0\,mm$

㉤ 인장연단 폭($s_1$) = $375 \times (210/f_s) - 2.5c_c$

$= 375 \times (210/106.615) - 2.5 \times 52.0 = 609\,mm$

㉥ 인장연단 폭($s_2$) = $300 \times (210/f_s)$

$= 300 \times (210/106.615) = 591\,mm$

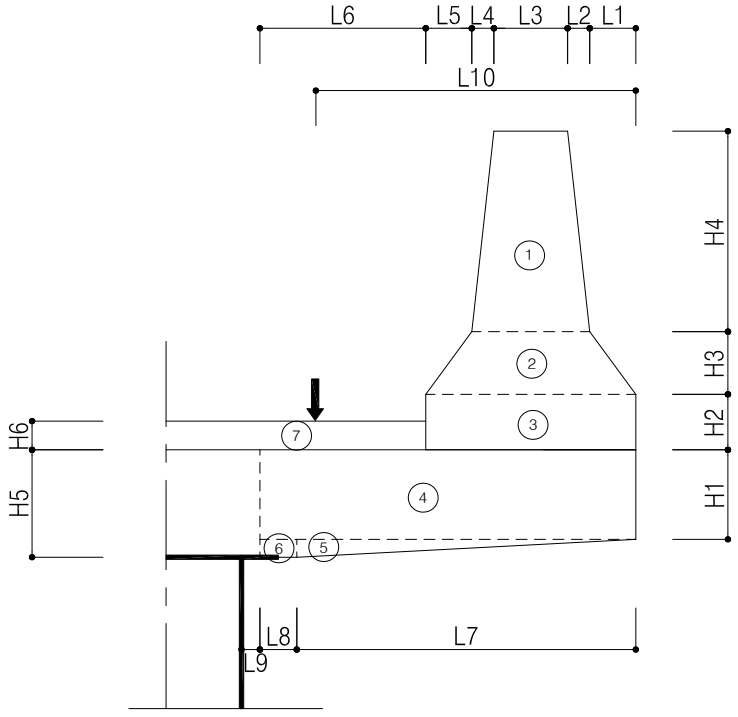
㉦ 철근 소요중심간격($s_a$) = $Min(s_1, s_2) = 591\,mm$

㉧ 철근 평균간격 $s = 125.0\,mm \leq s_a = 591\,mm$이므로, ∴ O.K

2) 캔틸레버부(중분대)

① 고정하중

| NO. | 작용하중(kN) | | | 작용거리 (m) | 모멘트 (kN·m) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ① | 1/2×(0.360+0.15)×1.020×25 | = | 6.503 | 1.005 | 6.536 | |
| ② | 1/2×(0.360+0.61)×0.175×25 | = | 2.122 | 1.005 | 2.133 | |
| ③ | 0.610×0.155×25 | = | 2.364 | 1.005 | 2.376 | |
| ④ | 1.310×0.250×25 | = | 8.188 | 0.655 | 5.363 | |
| ⑤ | 1/2×1.210×0.050×25 | = | 0.756 | 0.503 | 0.381 | |
| ⑥ | 0.100×0.050×25 | = | 0.125 | 0.050 | 0.006 | |
| ⑦ | 0.700×0.080×23 | = | 1.288 | 0.350 | 0.451 | 포장 |
| 계 | | | 21.346 | | 17.246 | |




| | | |
|---|---|---|
| H1 = | 0.250 | m |
| H2 = | 0.125 | m |
| H3 = | 0.175 | m |
| H4 = | 1.020 | m |
| H5 = | 0.300 | m |
| H6 = | 0.080 | m |
| L1 = | 0.125 | m |
| L2 = | 0.105 | m |
| L3 = | 0.150 | m |
| L4 = | 0.105 | m |
| L5 = | 0.125 | m |
| L6 = | 0.700 | m |
| L7 = | 1.210 | m |
| L8 = | 0.100 | m |
| L9 = | 0.050 | m |
| L10 = | 0.910 | m |

콘크리트 단위중량 = 25.0kN/㎥
아스팔트포장 단위중량 = 23.0kN/㎥
트럭의 후륜하중($P_r$) = 96.0kN
곡선반경(R) = ∞
설계속도 = 100km/hr

② 활하중(DB-24 : $P_r$ = 96 kN)

윤하중 분포폭

E = 0.8X + 1.14 = 0.8 × 0.400 + 1.14 = 1.460m

여기서, X = 0.400m

③ 충격계수

$$i = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 0.400} = 0.371 > 0.300 \quad \therefore i = 0.300 \text{ 적용}$$

④ 활하중

$$M_{\ell+i} = \frac{P_r \cdot X \cdot (1+i)}{E} = \frac{96 \times 0.400 \times (1+0.300)}{1.460} = 34.192\text{kN·m/m}$$

⑤ 차량 충돌하중

H = ( V / 60 )² × 7500 + 2500 = (100 / 60)² × 7500 + 2500

= 23.333kN/m

$M_{co}$ = H × h = 23.333 × 1.230 = 28.700kN·m/m

⑥ 원심하중

$$CF = 0.79\left(\frac{V^2}{R}\right)(\%) = 0.79 \times \left(\frac{100^2}{5400}\right)(\%) = 1.463(\%)$$

$$P_{cf} = \frac{P_r}{E} \times \frac{1.463}{100} = 0.962 \text{ kN/m}$$

$M_{cf}$ = 0.962 × 1.8 = 1.732 kN・m/m

⑦ 풍하중

$P_w$ = 3.0kN/㎡ × 1.270m = 3.810kN/m

$M_w$ = 3.720 × 0.715 = 2.724kN·m/m

⑧ 하중조합

㉠ 계수모멘트

- $M_{u1} = 1.3\,M_d + 2.15\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} = 98.184\,kN\cdot m/m$
- $M_{u2} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} + 1.3\,M_{co} = 106.430\,kN\cdot m/m$
- $M_{u3} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} + 0.65\,M_w = 70.891\,kN\cdot m/m$
- $M_{u4} = 1.2\,M_d + 1.2\,M_w + 1.2\,M_{co} = 58.404\,kN\cdot m/m$

㉡ 사용모멘트

- $M = 1.0\,M_d + 1.0\,M_{(\ell+i)} + 1.0\,M_{cf} = 53.170\,kN\cdot m/m$

⑨ 바닥판의 최소두께( X > 0.25인 경우)

$h_{min} = (80 \cdot X + 230) = (80 \times 0.400 + 230) = 262.0mm > 220.0mm \quad \therefore h_{req} = 262.0mm$

$h_{use} = 300.0mm > h_{req} = 262.0mm \quad \therefore O.K$

⑩ 단면검토

㉠ 검토조건

설계기준강도($f_{ck}$) = 27.0MPa , 인장철근 항복강도($f_y$) = 400.0MPa

단면폭(b) = 1000mm , 단면높이(h) = 300mm

철근 피복두께($d_c$) = 60mm , 유효깊이(d) = 240mm

사용철근량($A_s$) = H16@125 = 1588.8㎟

⑪ 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_{ck} \cdot b} = \frac{1588.8 \times 400.0}{0.85 \times 27.0 \times 1000.0} = 27.692mm$$

$$\Phi Mn = \Phi\left\{As \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)\right\}$$

$$= 0.85 \times 1588.8 \times 400.0 \times \left(240.0 - \frac{27.692}{2}\right) = 122.167kN\cdot m$$

㉠ 휨모멘트 검토

$\Phi Mn = 122.167kN\cdot m > Mu = 106.430kN\cdot m \quad \therefore O.K$

⑫ 사용성(균열) 검토

㉠ 탄성계수비(n) = $E_s / E_c = 8$

㉡ 중립축 거리($\chi$) = $-nAs/b + nAs/b\sqrt{[1+2bd/(nAs)]} = 66.400$

㉢ 철근응력($f_s$) = $M/[A_s \times (d-\chi/3)] = 53.170 \times 10^6/[1588 \times (240-66.400/3)] = 153.623\,MPa$

㉣ 최소 두께($c_c$) = $60.0 - 16.0/2 = 52.0\,mm$

㉤ 인장연단 폭($s_1$) = $375 \times (210/f_s) - 2.5c_c$

$= 375 \times (210/153.623) - 2.5 \times 52.0 = 383mm$

㉥ 인장연단 폭($s_2$) = $300 \times (210/f_s)$

$= 300 \times (210/153.623) = 410mm$

㉦ 철근 소요중심간격($s_a$) = $Min(s_1, s_2) = 383mm$

㉧ 철근 평균간격 $s = 125.0mm \leq s_a = 383mm$이므로, ∴ O.K

3) 중앙부

① 고정하중

철근콘크리트 : $0.250m \times 25.0kN/m^3 = 6.250kN/m^2$

아스팔트포장 : $0.080m \times 23.0kN/m^3 = 1.840kN/m^2$

$\Sigma w_d = 8.090kN/m^2$

$$M_d = \frac{\Sigma w_d L^2}{16} = \frac{8.550 \times 2.500^2}{16} = 5.056kN{\cdot}m/m$$

여기서, 계산지간(L) = 2.500m

② 활하중(DB-24 : $P_r = 96\,kN$)

㉠ 충격계수

$$i = \frac{15}{40+L} = \frac{15}{40+2.500} = 0.353 > 0.300 \quad \therefore i = 0.300 \text{ 적용}$$

㉡ 활하중

$$M_{\ell+i} = \frac{(L+0.6)P_r}{9.6}(1+i) = \frac{(2.500+0.6)\times 96}{9.6} \times (1+0.300) = 40.300kN{\cdot}m/m$$

연속 바닥판이므로, $M_{\ell+i} = 0.8 \times 40.300 = 32.240kN{\cdot}m/m$

③ 하중조합

㉠ 계수모멘트

■ $M_{u1} = 1.3\,M_d + 2.15\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} = 77.587\,kN\cdot m/m$

㉡ 사용모멘트

■ $M = 1.0\,M_d + 1.0\,M_{(\ell+i)} + 1.0\,M_{cf} = 38.602\,kN\cdot m/m$

④ 바닥판의 최소두께

$h_{min} = (30\cdot L + 130) = (30\times 2.50 + 130) = 205\,mm < 220.0\,mm \quad \therefore h_{req} = 220.0\,mm$

$h_{use} = 250.0\,mm > h_{req} = 220.0\,mm \quad \therefore O.K$

⑤ 단면검토

㉠ 검토조건

설계기준강도($f_{ck}$) = 27.0MPa , 인장철근 항복강도($f_y$) = 400.0MPa

단면폭(b) = 1000mm , 단면높이(h) = 250mm

철근 피복두께($d_c$) = 40mm , 유효깊이(d) = 210mm

사용철근량($A_s$) = H16@125 = 1588.8㎟

㉡ 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s\cdot f_y}{0.85\cdot f_{ck}\cdot b} = \frac{1588.8\times 400.0}{0.85\times 27.0\times 1000.0} = 27.692mm$$

$$\Phi Mn = \Phi\left\{As\cdot f_y\cdot\left(d-\frac{a}{2}\right)\right\}$$

$$= 0.85\times 1588.8\times 400.0\times\left(210.0-\frac{27.692}{2}\right) = 105.961kN\cdot m$$

㉢ 휨모멘트 검토

$\Phi Mn = 105.961kN\cdot m \geq Mu = 77.587kN\cdot m \quad \therefore O.K$

⑥ 사용성(균열) 검토

㉠ 탄성계수비(n) = $E_s / E_c = 8$

㉡ 중립축 거리($\chi$) = $-nAs/b + nAs/b\sqrt{[1+2bd/(nAs)]} = 61.5mm$

㉢ 철근응력($f_s$) = $M/[A_s\times(d-x/3)] = 38.602\times 10^6/[1588\times(210.0-61.5/3)] = 128.213\,MPa$

㉣ 최소 두께($c_c$) = $40.0 - 16/2 = 32.0\,mm$

㉤ 인장연단 폭($s_1$) = $375 \times (210/f_s) - 2.5c_c$

$= 375 \times (210/128.213) - 2.5 \times 32.00 = 534\,mm$

㉥ 인장연단 폭($s_2$) = $300 \times (210/f_s)$

$= 300 \times (210/128.213) = 491\,mm$

㉦ 철근 소요중심간격($s_a$) = $Min(s_1, s_2) = 491\,mm$

㉧ 철근 평균간격 $s = 125.0\,mm \leq s_a = 491\,mm$이므로, ∴ O.K

4) 바닥판의 구조검토 결과

강도설계법에 의한 바닥판의 단면검토 결과, 휨강도에 대한 계수모멘트의 최소 안전율이 1.148로 산정되어 바닥판은 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

【표 5-1】 바닥판의 단면검토결과

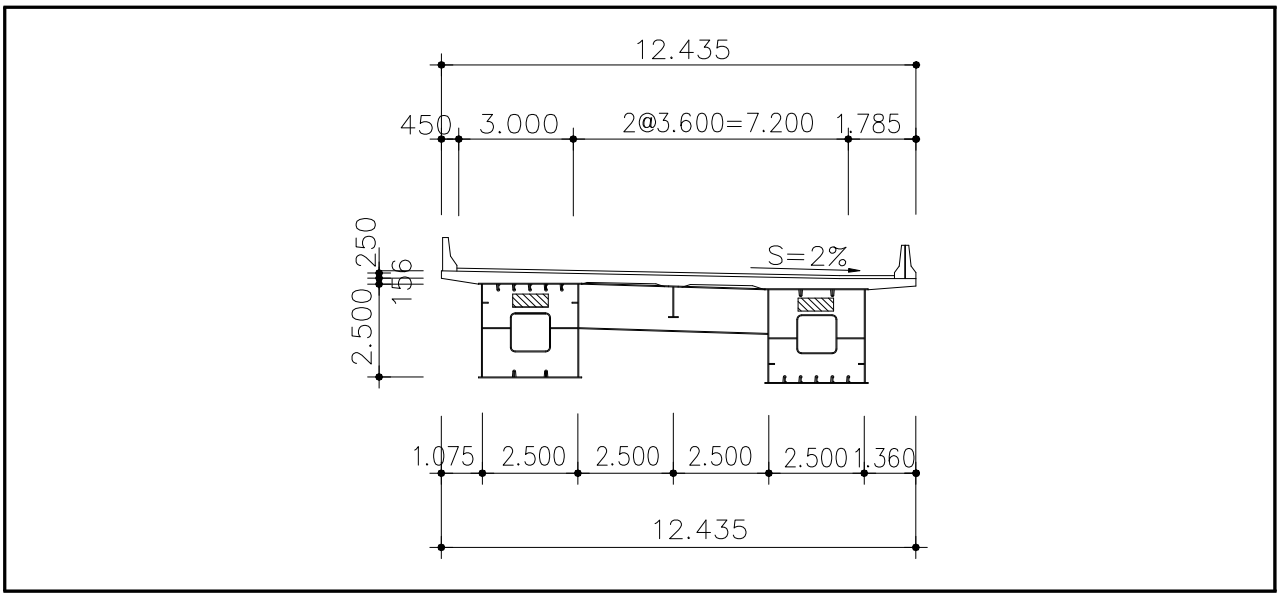
| 구 분 | $M_u$ (kN·m) | $\Phi M_n$ (kN·m) | 안전율($\Phi$Mn/Mu) | 검토결과 |
|---|---|---|---|---|
| 캔틸레버부(방호벽측) | 85.262 | 122.167 | 1.433 | O.K |
| 캔틸레버부(중분대측) | 106.430 | 122.167 | 1.148 | O.K |
| 중앙부 | 77.587 | 105.961 | 1.366 | O.K |

【표 5-2】 바닥판의 사용성(균열) 검토결과

| 구 분 | $M_o$ (kN·m) | 인장응력($f_s$) (MPa) | 허용응력($f_{sa}$) (MPa) | 철근 평균간격(s) (mm) | 철근 소요중심간격($s_a$) (mm) | 검토결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 캔틸레버부(방호벽측) | 36.886 | 106.615 | 240.000 | 125.000 | 590.911 | O.K |
| 캔틸레버부(중분대측) | 53.170 | 153.623 | 240.000 | 125.000 | 382.619 | O.K |
| 중앙부 | 38.602 | 128.213 | 240.000 | 125.000 | 491.370 | O.K |

## 다. 강박스 거더 구조검토

1) 해석단면




【그림 5-1】 해석단면

2) 하중 산정

① 1블럭(S1~S5)

㉠ 합성전 고정하중

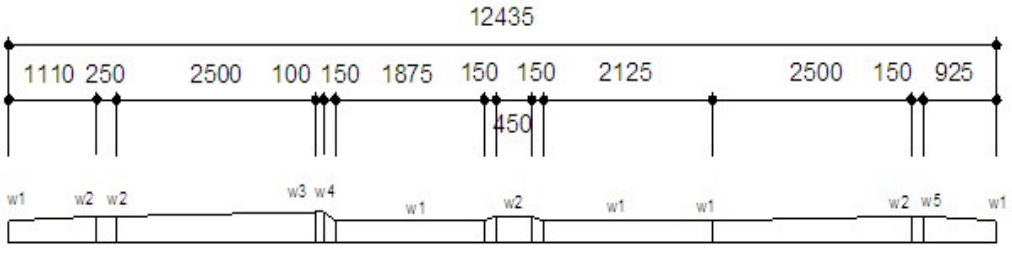
■ 강재 자중 : 프로그램 내에서 자동 고려

◦각종 보강재 및 현장이음재 등의 부부재 하중으로 주부재 자중을 31.0% 할증 적용

◦총 강재중량 / 모델링 강재중량 = 1.310

■ 바닥판 자중

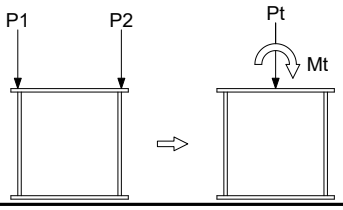
◦횡방향 하중분배




| | | | |
|---|---|---|---|
| W1 | 0.250 × 25 = 6.250 kN/m | W4 | 0.325 × 25 = 8.125 kN/m |
| W2 | 0.300 × 25 = 7.500 kN/m | W5 | 0.303 × 25 = 7.575 kN/m |
| W3 | 0.350 × 25 = 8.750 kN/m | | |

【그림 5-2】 합성전 바닥판 자중 재하도

◦거더별 작용하중

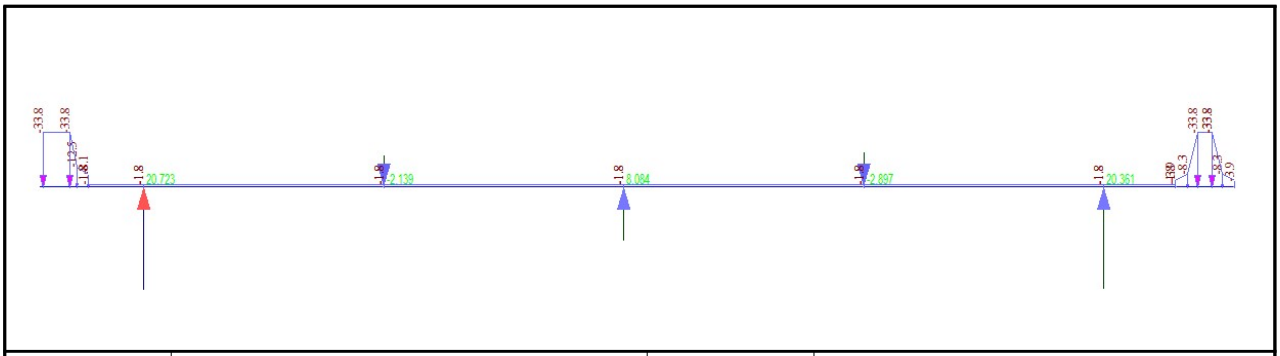
| 구분 | 거더 폭 (m) | 바닥판 자중 | | | | 기호의 정의 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | P1 (kN/m) | P2 (kN/m) | Pt (kN/m) | Mt (kN・m) | |
| G1 | 2.500 | 16.429 | 16.102 | 32.531 | −0.409 |  |
| ST | | 16.365 | − | 16.365 | − | |
| G2 | 2.500 | 18.642 | 19.352 | 37.994 | 0.888 | |



㉡ 합성후 고정하중

합성후 고정하중은 콘크리트 바닥판에 의한 횡분배 효과를 반영하기 위하여 2차원 프레임 모델을 사용하여 반력을 산출한 후 그 반력을 3차원 격자모델에 재하하였다.

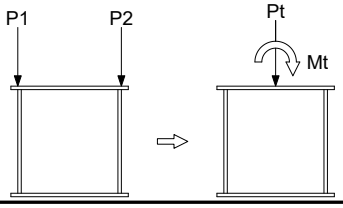
■ 횡방향 하중분배



| | | | |
|---|---|---|---|
| 포장 | 0.080 × 23 = 1.840 kN/m | 방호벽측 | 20.382kN, 작용점 : 0.192m |
| 중분대측 | 20.888kN, 작용점 : 0.305m | | |

【그림 5-3】 합성후 고정하중 재하도

■ 거더별 작용하중

| 구분 | 거더폭 (m) | 바닥판 자중 | | | | 기호의 정의 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | P1(kN/m) | P2(kN/m) | Pt(kN/m) | Mt(kN・m) | |
| G1 | 2.500 | 20.723 | −2.139 | 18.584 | −28.578 |  |
| ST | | | − | 8.084 | − | |
| G2 | 2.500 | −2.897 | 20.361 | 17.464 | 29.073 | |

■ 활하중

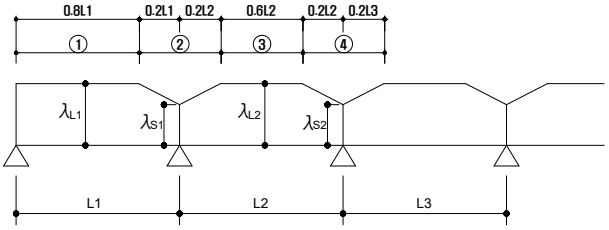
<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="5">활하중</th></tr>
<tr><td>• 교 폭</td><td colspan="5">• 12.435m</td></tr>
<tr><td>• 지간장(L)</td><td colspan="5">• 5@50.0m = 250m</td></tr>
<tr><td>• 연석간 교폭($W_c$)</td><td colspan="5">• 11.375m</td></tr>
<tr><td>• 설계 차로수(N)</td><td colspan="5">• 9.1m ≤ $W_c$ < 12.8m ∴ 3차로 재하</td></tr>
<tr><td>• 설계 차로폭(W)</td><td colspan="5">• 11.375m / 3 = 3.792m > 3.600m 이므로, ∴ W = 3.600m</td></tr>
<tr><td rowspan="2">• 충격계수(i)</td><td colspan="5">• 제1~5지간 : 15 / (40+50.0)=0.167 < 0.3 ∴ i = 0.167 적용</td></tr>
<tr><td colspan="5">• 제1~4내부지점 : 15 / (40+50.0) = 0.167 < 0.3 ∴ i = 0.167 적용</td></tr>
<tr><td rowspan="4">• 활하중 크기</td><td colspan="2">표준차로하중(DL-24)</td><td colspan="3">표준트럭하중(DB-24)</td></tr>
<tr><td>$P_m$</td><td>108kN</td><td>$P_f$</td><td colspan="2">24 kN</td></tr>
<tr><td>$P_s$</td><td>156kN</td><td>$P_r$</td><td colspan="2">96 kN</td></tr>
<tr><td>$W_\ell$</td><td>12.7kN/m</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>• 재하방법</td><td colspan="5">• 해석프로그램의 이동하중해석 기능을 사용<br>• DB-24, DL-24 재하<br>• DB-24 또는 DL-24하중에 대하여 독립적으로 1~3개 차로에 경간별로 가장 불리한 부재력이 산출되도록 재하<br>• 최대 부재력이 3차로 이상의 활하중 동시 재하로 발생하는 경우에는 도로교설계기준(2010년)에 따라 백분율로 감소<br>- 3차로 동시 재하 : 90%<br>- 4차로 이상 동시 재하 : 75%<br>• 각 CASE별 하중재하도 및 각 거더별 작용하중은 부록 참조.</td></tr>
</table>

3) 플랜지 및 바닥판의 유효폭 계산

전단지연(Shear Lag) 현상의 영향으로 인한 플랜지 및 바닥판의 유효폭은 다음과 같으며, 단면응력 검토 시 적용하였다.(상세한 계산과정은 부록 참조)

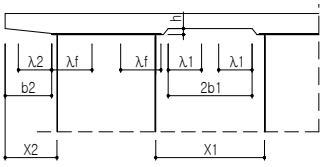
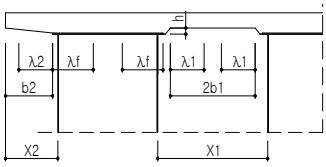
① 플랜지 유효폭

【표 5-3】 플랜지의 유효폭 산정

| 구 분 | 플랜지(m) | | 비 고 |
|---|---|---|---|
| | G1 | G2 | |
| 제1~5지간 중앙부 | 2.700 | 2.700 |  |
| 제1~4중간 지점부 | 2.394 | 2.394 | 상부 : 복부간격 2b = 2.500m , 플랜지돌출폭 be = 0.100m<br>하부 : 복부간격 2b = 2.500m , 플랜지돌출폭 be = 0.100m<br>L1~L5 = 5@50.00m |

② 바닥판 유효폭

【표 5-4】 바닥판의 유효폭 산정

| 구 분 | 바닥판(m) | |
|---|---|---|
| | G1 | G2 |
| 개 요 |  <br>$X_1$=5.000m, $X_2$=1.360m<br>h=0.05m, $b_e$=0.100m |  <br>$X_1$=5.000m, $X_2$=1.075m<br>h=0.05m, $b_e$=0.100m |
| 제1, 5지간 중앙부 | 6.319 | 6.034 |
| 제2~4지간 중앙부 | 6.227 | 5.942 |
| 제1~4중간 지점부 | 5.301 | 5.089 |

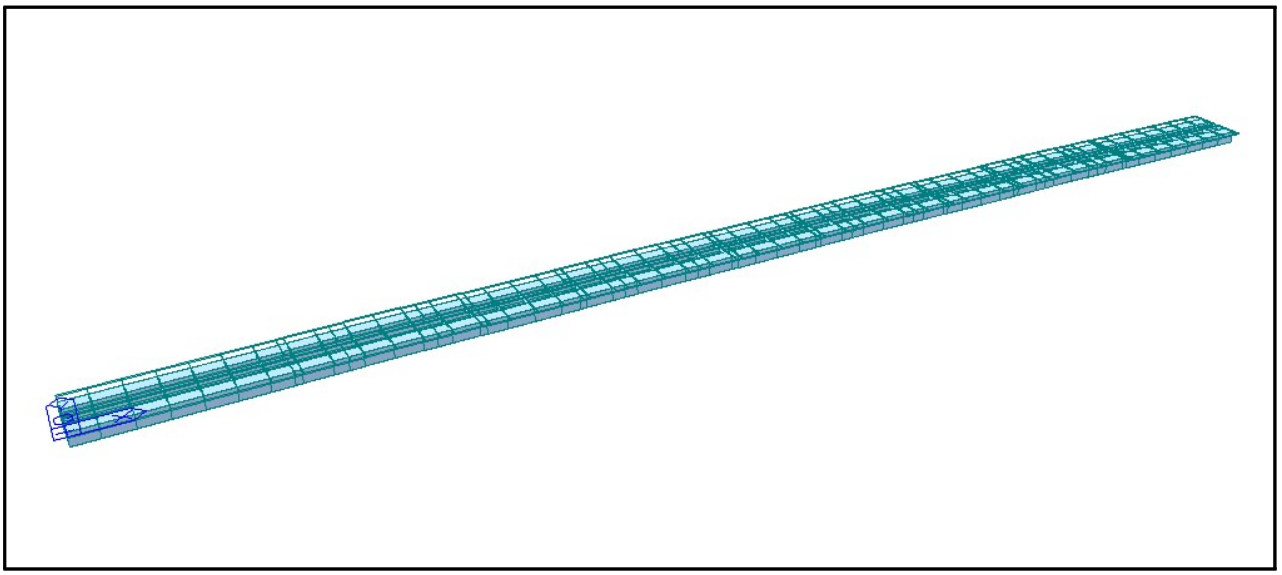
4) 모델링 및 단면 제정수

① 모델링

해석모델은 3차원 격자모델을 적용하였으며, 보요소로 이상화된 각 구조요소의 연결은 부재편심(Offset)이 반영되도록 하였다. 또한 시공단계별로 대상교량의 실제 강성과 최대한 근접할 수 있도록 모델링하였으며, 기타 세부내용은 다음과 같다.

㉠ 합성전 모델링시 바닥판은 단면의 강성에 기여하는 바 없이 고정하중만을 추가시키는 역할만을 함으로 바닥판에 의한 횡분배 효과는 고려하지 않는 것으로 하였다. 활하중은 해석프로그램 내의 이동하중해석 기능을 사용하였으며 도로교 설계기준을 참조하여 가장 불리한 하중조합이 되도록 설정하였다.

㉡ 경계조건은 현장조사시 확인된 각 지점의 가동, 고정상태를 고려하여 설정하였다.

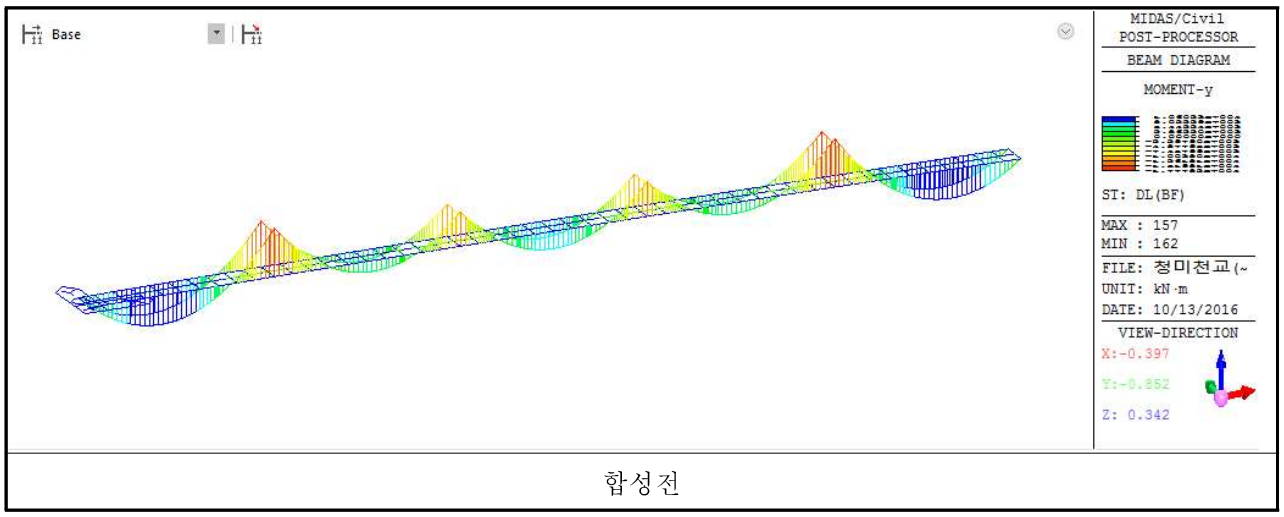


【그림 5-4】 해석모델링

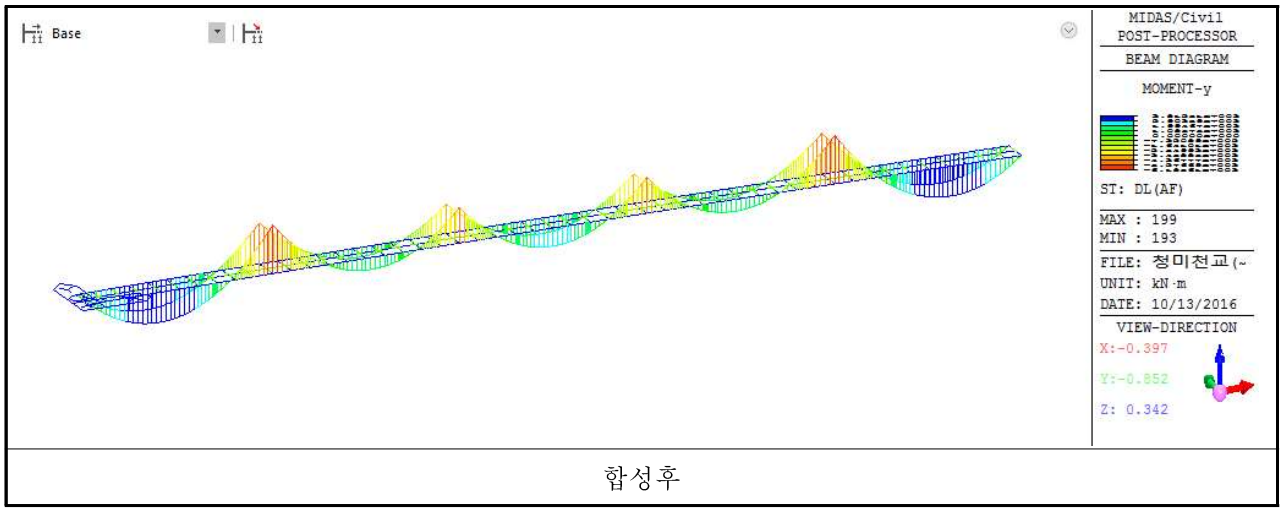
5) 구조해석 결과

① 단면력도

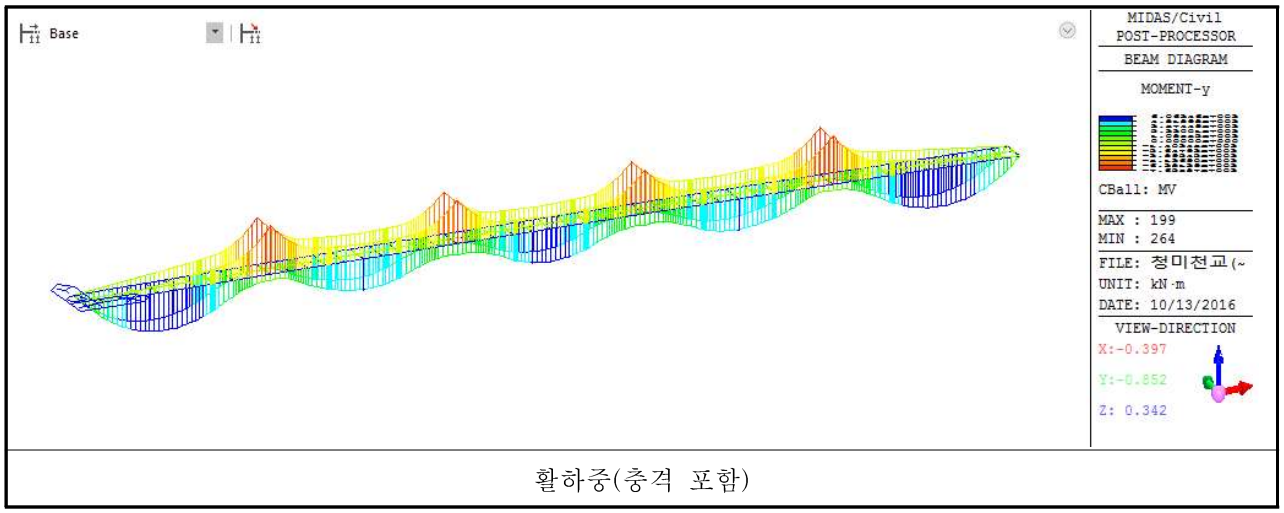
■ 휨모멘트




합성전



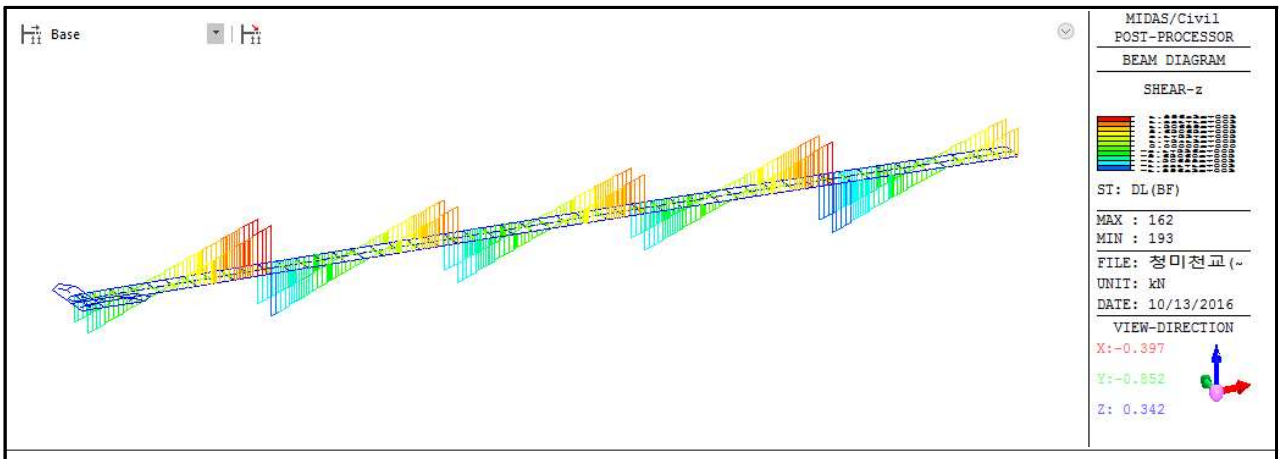

합성후



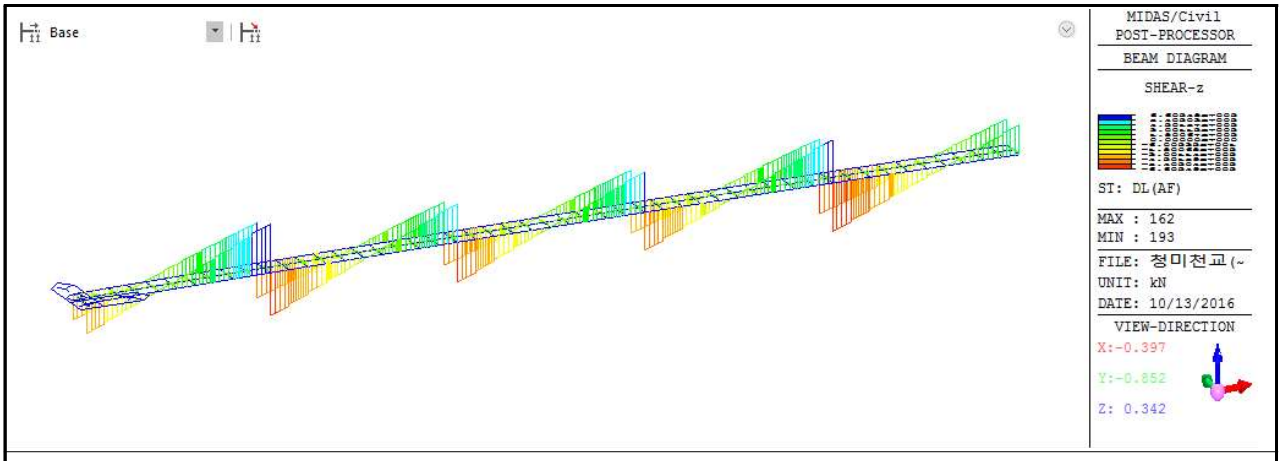

활하중(충격 포함)

【그림 5-5】 휨모멘트

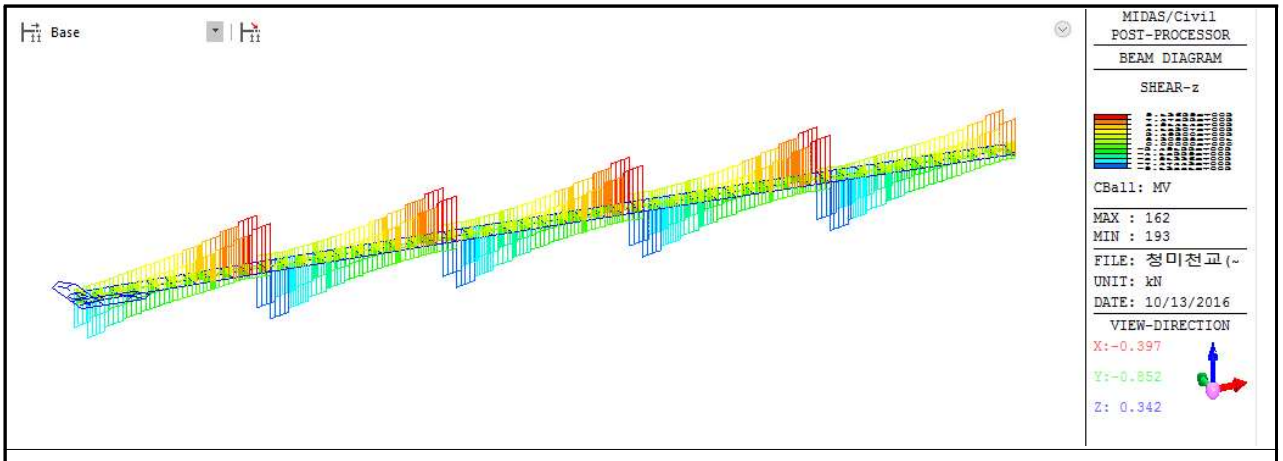
■ 전단력




합성전 전단력




합성후



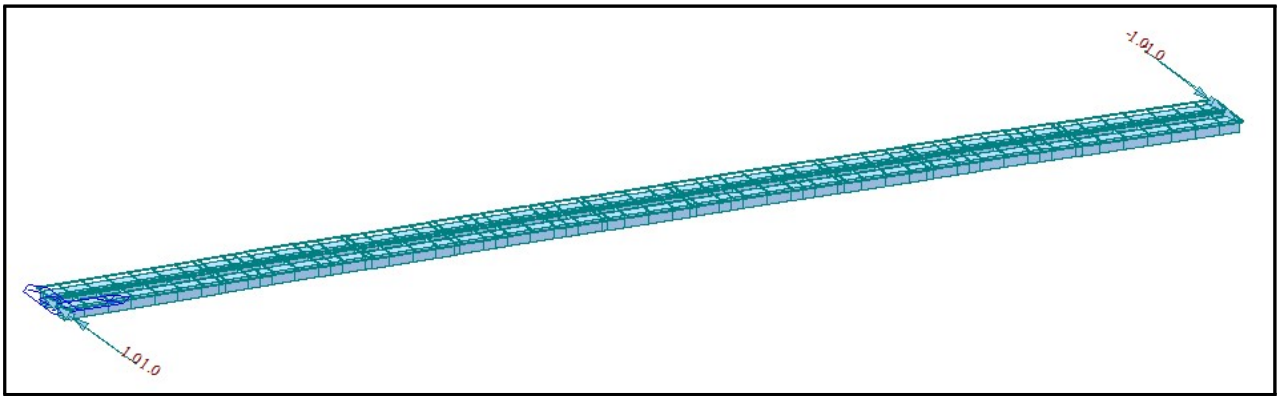

활하중(충격 포함)

【그림 5-6】 전단력

② 2차 부정정력에 대한 영향 검토

콘크리트-강재 합성형 교량에서는 고정하중과 활하중에 의한 응력 이외에 건조수축, 크리프, 강재-콘크리트 온도차에 의한 응력이 발생한다. 특히, 강합성형교가 2경간 이상의 연속교일 경우에는 건조수축, 크리프, 온도차에 의해 부정정력이 추가로 발생되며 이와 같은 하중을 2차 모멘트라고 한다.

부정정계에서 2차 모멘트를 구하기 위하여 해석모델 교량의 양단에 단위 모멘트를 작용시켜 각 절점에서의 모멘트(이 값을 영향계수 k라 함)를 구하여 이를 단면의 응력 검토시에 이용하였다.




【그림 5-7】 2차 부정정력에 대한 영향 검토

③ 단면력 산정결과

㉠ 최대정모멘트부

【표 5-5】 최대정모멘트부 단면력 산정결과

| 구 분 | | 합 성 전<br>고정하중 | 합 성 후<br>고정하중 | 활하중<br>(충격포함) | 합 계 |
|---|---|---|---|---|---|
| S1 | 휨모멘트(kN・m) | 10763.770 | 3941.848 | 6020.110 | 20,725.728 |
| | 전단력(kN) | 6.240 | -2.369 | -4.741 | -0.870 |
| | 비틀림모멘트(kN・m) | 143.420 | -35.890 | 453.930 | 561.460 |

㉡ 최대부모멘트부

【표 5-6】 최대부모멘트부 단면력 산정결과

| 구 분 | | 합 성 전<br>고정하중 | 합 성 후<br>고정하중 | 활하중<br>(충격포함) | 합 계 |
|---|---|---|---|---|---|
| P1 | 휨모멘트(kN・m) | -18520.690 | -6153.818 | -7334.550 | -32,009.058 |
| | 전단력(kN) | -1737.300 | 649.310 | -872.780 | -1,960.770 |
| | 비틀림모멘트(kN・m) | 37.870 | -119.196 | -448.050 | -529.376 |

6) 강박스 거더의 응력 검토

강박스 거더에 대한 응력검토는 내·외측경간 최대 정모멘트부 및 내·외측 지점부 최대 부모멘트부 단면에 대하여 실시하였으며, 이에 대한 상세 검토결과는 부록에 첨부하였다.

| 하중종류1 | 합성전 고정하중 | 하중종류4 | 크리프 |
|---|---|---|---|
| 하중종류2 | 합성후 고정하중 | 하중종류5 | 건조수축 |
| 하중종류3 | 활하중 | 하중종류6 | 온도차 |

① 최대정모멘트부

㉠ S1-G1(단면-1)

■ 휨응력

【표 5-7】 최대정모멘트부 휨응력 검토결과

| 하중조합 | 휨 응 력 | | | | 안전율 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 작용응력(MPa) | | 허용응력(MPa) | | | |
| | 상 연 | 하 연 | 상 연 | 하 연 | 상 연 | 하 연 |
| 1 | 88.286 | -87.926 | 190.000 | 190.000 | 2.152 | 2.161 |
| 1+2+3 | 103.253 | -164.849 | 190.000 | 190.000 | 1.840 | 1.153 |
| 1+2+3+4 | 110.739 | -162.755 | 218.500 | 190.000 | 1.973 | 1.167 |
| 1+2+3+4+5 | 135.304 | -156.607 | 218.500 | 190.000 | 1.615 | 1.213 |
| 1+2+3+4+5+6 | 152.224 | -151.062 | 247.000 | 218.500 | 1.623 | 1.446 |
| 1+2+3+4+5-6 | 118.385 | -162.151 | 247.000 | 218.500 | 2.086 | 1.348 |

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

◦전단 및 비틀림

$$\nu = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2Ft_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2F_v t_w)$$

$$= 12.120\,\mathrm{MPa} \quad < \quad \nu_a = 110.000\,\mathrm{MPa} \quad \therefore \text{ O.K}$$

◦합성응력의 검토

-상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{135.304}{218.500}\right)^2 + \left(\frac{12.120}{110.000}\right)^2 = 0.383 + 0.012 = 0.396 \quad < \quad 1.2 \quad \therefore \text{ O.K}$$

-하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{-164.849}{-190.000}\right)^2 + \left(\frac{12.120}{110.000}\right)^2 = 0.753 + 0.012 = 0.765 \quad < \quad 1.2 \quad \therefore \text{ O.K}$$

② 최대부모멘트부

㉠ P1-G1(단면-5)

■ 휨응력

【표 5-8】 최대부모멘트부 휨응력 검토결과

| 하중조합 | 휨 응 력 | | | | 안전율 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 작용응력(㎫) | | 허용응력(㎫) | | | |
| | 상 연 | 하 연 | 상 연 | 하 연 | 상 연 | 하 연 |
| 1 | -100.321 | 95.127 | 190.00 | 190.00 | 1.894 | 1.997 |
| 1+2+3 | -176.375 | 176.412 | 190.00 | 190.00 | 1.077 | 1.077 |
| 1+2+3+4 | -183.021 | 164.231 | 190.00 | 190.00 | 1.038 | 1.157 |
| 1+2+3+4+5 | -172.232 | 185.511 | 190.00 | 190.00 | 1.103 | 1.024 |
| 1+2+3+4+5+6 | -155.730 | 211.621 | 218.50 | 218.50 | 1.403 | 1.033 |
| 1+2+3+4+5-6 | -188.734 | 159.400 | 218.50 | 218.50 | 1.158 | 1.371 |

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

◦전단 및 비틀림

$$\nu = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2Ft_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2F_v t_w)$$

$$= 18.414\,\mathrm{MPa} \quad < \quad \nu_a = 110.000\,\mathrm{MPa} \quad \therefore \text{ O.K}$$

◦합성응력의 검토

-상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{-183.201}{190.000}\right)^2 + \left(\frac{18.414}{110.000}\right)^2 = 0.928 + 0.028 = 0.956 \quad < \quad 1.2 \quad \therefore \text{ O.K}$$

-하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{185.511}{190.000}\right)^2 + \left(\frac{18.414}{110.000}\right)^2 = 0.953 + 0.028 = 0.981 \quad < \quad 1.2 \quad \therefore \text{ O.K}$$

7) 강박스 거더의 응력 검토

① 휨응력

【표 5-9】 강박스 거더의 휨응력 검토결과

| 구 분 | | 휨 응 력 | | | | 안전율 | | 검토결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 작용응력(㎫) | | 허용응력(㎫) | | | | |
| | | 상 연 | 하 연 | 상 연 | 하 연 | 상 연 | 하 연 | |
| 정모멘트부 | S1-G1 | 103.253 | -164.849 | 190.000 | 190.000 | 1.840 | 1.153 | O.K |
| 부모멘트부 | P1-G1 | -172.232 | 185.511 | 190.00 | 190.00 | 1.103 | 1.024 | O.K |

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

② 전단응력

【표 5-10】 강박스 거더의 전단응력 검토결과

| 구 분 | | 전 단 응 력 | | 안전율 | 검토결과 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 작용응력(㎫) | 허용응력(㎫) | | |
| 정모멘트부 | S1-G1 | 12.120 | 110.000 | 9.076 | O.K |
| 부모멘트부 | P1-G1 | 18.414 | 110.000 | 5.974 | O.K |

허용응력법에 의한 강박스 거더의 응력 검토결과, 거더 상·하연에 발생되는 최대응력은 허용응력 이내(휨응력 : 1.024, 전단응력 : 5.974)로 검토되어 구조 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

③ 합성응력

허용응력법에 의한 강박스 거더의 휨응력과 전단응력에 의한 합성응력 검토결과, 최대부모멘트 및 최대전단력 발생구간인 교각 지점부에서 합성응력이 0.956~0.981 사이로 허용기준치 1.2를 넘지 않은 것으로 검토되었다.

## 라. 교량받침용량 검토

【표 5-11】 교량받침용량 검토

| 구 분 | | | 합성전고정하중 (kN) | | 합성후 고정하중 (kN) | 활하중(kN) | 합 계(kN) | 받침용량 (kN) | 검토 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Steel | Concrete | | | | | |
| A1 | G1 | Sh01 | 133.811 | 381.114 | 262.859 | 355.685 | 1133.469 | 1600 | O.K |
| | | Sh02 | 165.067 | 483.705 | 69.030 | 439.456 | 1157.258 | 1600 | O.K |
| | G2 | Sh03 | 164.734 | 470.794 | 73.878 | 437.321 | 1146.727 | 1600 | O.K |
| | | Sh04 | 137.212 | 303.063 | 278.340 | 335.762 | 1054.377 | 1600 | O.K |
| P1 | G1 | Sh01 | 488.145 | 1240.334 | 628.434 | 761.056 | 3117.969 | 4000 | O.K |
| | | Sh02 | 526.97 | 1391.190 | 372.710 | 886.778 | 3177.648 | 4000 | O.K |
| | G2 | Sh03 | 525.937 | 1283.524 | 392.751 | 871.614 | 3073.826 | 4000 | O.K |
| | | Sh04 | 489.013 | 1062.782 | 663.137 | 723.08 | 2938.012 | 4000 | O.K |
| P2 | G1 | Sh01 | 393.558 | 1039.413 | 560.211 | 721.356 | 2714.538 | 4000 | O.K |
| | | Sh02 | 430.717 | 1194.218 | 290.217 | 851.857 | 2767.009 | 4000 | O.K |
| | G2 | Sh03 | 430.607 | 1094.914 | 312.564 | 837.574 | 2675.659 | 4000 | O.K |
| | | Sh04 | 393.545 | 875.687 | 585.353 | 685.059 | 2539.644 | 4000 | O.K |
| P3 | G1 | Sh01 | 393.557 | 1039.406 | 560.210 | 721.483 | 2714.656 | 4000 | O.K |
| | | Sh02 | 430.717 | 1194.221 | 290.220 | 851.924 | 2767.082 | 4000 | O.K |
| | G2 | Sh03 | 430.607 | 1094.915 | 312.564 | 837.611 | 2675.697 | 4000 | O.K |
| | | Sh04 | 393.546 | 875.689 | 585.350 | 685.192 | 2539.777 | 4000 | O.K |
| P4 | G1 | Sh01 | 488.144 | 1240.328 | 628.435 | 760.901 | 3117.808 | 4000 | O.K |
| | | Sh02 | 526.97 | 1391.192 | 372.712 | 886.729 | 3177.603 | 4000 | O.K |
| | G2 | Sh03 | 525.937 | 1283.525 | 392.750 | 871.564 | 3073.776 | 4000 | O.K |
| | | Sh04 | 489.014 | 1062.784 | 663.135 | 722.944 | 2937.877 | 4000 | O.K |
| P5 | G1 | Sh01 | 133.809 | 381.108 | 262.866 | 356.174 | 1133.957 | 1600 | O.K |
| | | Sh02 | 165.069 | 483.71 | 69.024 | 439.215 | 1157.018 | 1600 | O.K |
| | G2 | Sh03 | 164.735 | 470.794 | 73.877 | 437.356 | 1146.762 | 1600 | O.K |
| | | Sh04 | 137.212 | 303.063 | 278.340 | 335.753 | 1054.368 | 1600 | O.K |

받침용량에 대한 검토결과 교량받침은 용량이 최대 발생 반력값 보다 큰 것으로 검토되어 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

## 5.2.2 양평방향(S6 ~ S9)

### 가. 검토조건

1) 교량 제원

① 교량형식 : 4경간 연속 강박스 거더교

② 교량연장 : L = 4@50m =200.0m

③ 교량폭원 : 12.435m

④ 사　　각 : 90.0°

⑤ 거더제원 : B = 2.5m , H = 2.5m

⑥ 교량등급 : 1등급(DB-24 및 DL-24 적용)

2) 사용재료

① 콘크리트

㉠ 설계기준강도 : $f_{ck}$ = 27.0MPa

㉡ 탄성계수 : $E_c$= 27,804MPa

㉢ 전단탄성계수 : $G_c$ = 11,781MPa

㉣ 허용압축응력 : $f_{ca}$ = 10.8MPa

② 철근(SD400)

㉠ 항복강도 : $f_y$ = 400.0MPa

㉡ 탄성계수 : $E_s$ = 200,000MPa

㉢ 허용압축응력 : $f_{ca}$ = 180.0MPa

㉣ 허용인장응력 : $f_{ta}$ = 160.0MPa

③ 강재

㉠ 주부재 : SM490(준공당시 기호 : SWS490)

㉡ 부부재 : SM400(준공당시 기호 : SWS400)

㉢ 탄성계수 : $E_{st}$ = 205,000MPa

㉣ 전단탄성계수 : $G_{st}$ = 79,000MPa

㉤ 허용축방향인장응력 및 허용휨인장응력(MPa) : (S1~S5)참조

3) 사용 전산프로그램 : 안전성평가를 위한 구조해석은 3차원 해석과 활하중의 이동재하가 가능한 범용구조해석 프로그램인 MIDAS CIVIL을 이용하였으며, 구조물의 기하학적 특성을 Frame Element로 모델링하였다.

4) 설계방법

① 바닥판 : 강도설계법

② 강박스 거더 : 허용응력설계법

5) 적용하중

① 고정하중

고정하중은 합성전 고정하중과 합성후 고정하중으로 구분하여 모델링하였다. 합성전 고정하중은 강재 및 바닥판 자중을 고려하였으며 합성후 고정하중은 방호벽 및 중앙분리대, 포장 등을 고려하여 계산하였다.

② 활하중

본 교량은 1등급 교량으로서 DB-24 및 DL-24 하중을 적용한다.

③ 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차

㉠ 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차( $\Delta T$ ) : $\pm 10^{\circ}C$

㉡ 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수($\alpha$) : $12\times10^{-6}$

④ 바닥판 콘크리트의 크리프

㉠ 크리프 계수($\phi_1$) : 2

㉡ 크리프 계산을 위한 탄성계수비 : $n_1 = n\ (1 + \phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2/2) = 14$

⑤ 바닥판 콘크리트의 건조수축

㉠ 최종수축율( $\varepsilon_s$ ) : $27\times10^{-5}$

㉡ 건조수축 계산을 위한 크리프 계수($\phi_2$) : $\phi_2 = 2\ \phi_1 = 2 \times 2 = 4$

㉢ 건조수축 계산을 위한 탄성계수비 : $n_2 = n\ (1 + \phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4/2) = 21$

⑥ 하중조합

㉠ LCB1 : 합성전 고정하중

㉡ LCB2 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중

㉢ LCB3 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프

㉣ LCB4 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축

㉤ LCB5 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축+온도차

㉥ LCB6 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축-온도차

6) 참고문헌

① 도로교 설계기준(2010)

② 콘크리트 구조설계기준(2012)

③ 도로설계편람(2008)

④ 도로설계요령(2009)

⑤ 강도로교 상세부 설계지침(2006)

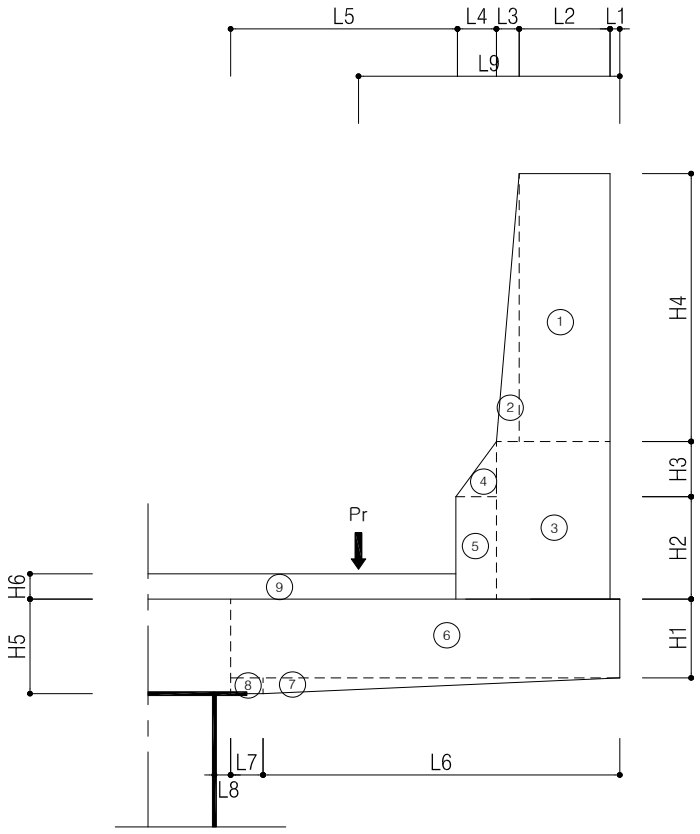
## 나. 바닥판 구조검토

합성형교에서 바닥판으로서 작용할 경우(교축직각방향)에 대하여 도로교설계기준(2010년) 등의 적용기준에 따라 구조검토를 수행하였다.

1) 캔틸레버부(방호벽)

① 고정하중

| NO. | 작용하중(kN) | | | 작용거리 (m) | 모멘트 (kN·m) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ① | 0.280×0.850×25 | = | 5.950 | 5.950 | 5.087 | |
| ② | ½×0.070×0.850×25 | = | 0.744 | 0.744 | 0.515 | |
| ③ | 0.350×0.500×25 | = | 1.313 | 4.375 | 3.588 | |
| ④ | ½×0.120×0.175×25 | = | 0.263 | 0.263 | 0.159 | |
| ⑤ | 0.120×0.325×25 | = | 2.153 | 0.975 | 0.570 | |
| ⑥ | 1.025×0.25×25 | = | 6.406 | 6.406 | 3.283 | |
| ⑦ | ½×0.925×0.05×25 | = | 0.578 | 0.578 | 0.236 | |
| ⑧ | 0.100×0.050×25 | = | 0.125 | 0.125 | 0.006 | |
| ⑨ | 0.525×0.080×23 | = | 0.633 | 0.966 | 0.254 | 포장 |
| 계 | | | 20.382 | | 13.698 | |




| | | |
|---|---|---|
| H1 = | 0.250 | m |
| H2 = | 0.325 | m |
| H3 = | 0.175 | m |
| H4 = | 0.850 | m |
| H5 = | 0.300 | m |
| H6 = | 0.080 | m |
| L1 = | 0.030 | m |
| L2 = | 0.280 | m |
| L3 = | 0.070 | m |
| L4 = | 0.120 | m |
| L5 = | 0.525 | m |
| L6 = | 0.925 | m |
| L7 = | 0.100 | m |
| L8 = | 0.050 | m |

콘크리트 단위중량 = 25.0kN/㎥
아스팔트포장 단위중량 = 23.0kN/㎥
트럭의 후륜하중($P_r$) = 96.0kN
곡선반경(R) = ∞
설계속도 = 100km/hr

② 활하중(DB-24 : $P_r$ = 96 kN)

윤하중 분포폭

E = 0.8X + 1.14 = 0.8 × 0.225 + 1.14 = 1.320m

여기서, X = 0.225m

③ 충격계수

$$i = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 0.225} = 0.373 > 0.300 \quad \therefore i = 0.300 \text{ 적용}$$

④ 활하중

$$M_{\ell+i} = \frac{P_r \cdot X \cdot (1+i)}{E} = \frac{96 \times 0.225 \times (1+0.300)}{1.360} = 21.273\text{kN·m/m}$$

⑤ 차량 충돌하중

H = ( V / 60 )² × 7500 + 2500 = (100 / 60)² × 7500 + 2500

= 23.333kN/m

$M_{co}$ = H × h = 23.333 × 1.230 = 28.700kN·m/m

⑥ 원심하중

$$CF = 0.79\left(\frac{V^2}{R}\right)(\%) = 0.79 \times \left(\frac{100^2}{5400}\right)(\%) = 1.463(\%)$$

$$P_{cf} = \frac{P_r}{E} \times \frac{1.463}{100} = 1.064 \text{ kN/m}$$

$M_{cf}$ = 1.064 × 1.8 = 1.915 kN・m/m

⑦ 풍하중

$P_w$ = 3.0kN/㎡ × 1.270m = 3.810kN/m

$M_w$ = 3.810 × 0.715 = 2.724kN·m/m

⑧ 하중조합

㉠ 계수모멘트

- $M_{u1} = 1.3\,M_d + 2.15\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} = 66.034\,kN\cdot m/m$
- $M_{u2} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} + 1.3\,M_{co} = 85.262\,kN\cdot m/m$
- $M_{u3} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} + 0.65\,M_w = 49.723\,kN\cdot m/m$
- $M_{u4} = 1.2\,M_d + 1.2\,M_w + 1.2\,M_{co} = 54.147\,kN\cdot m/m$

㉡ 사용모멘트

- $M = 1.0\,M_d + 1.0\,M_{(\ell+i)} + 1.0\,M_{cf} = 36.886\,kN\cdot m/m$

⑨ 바닥판의 최소두께( X > 0.25인 경우)

$h_{min} = (80 \cdot X + 230) = (80 \times 0.225 + 230) = 248mm > 220.0mm \quad \therefore h_{req} = 300.0mm$

$h_{use} = 300.0mm > h_{req} = 248.0mm \quad \therefore O.K$

⑩ 단면검토

㉠ 검토조건

설계기준강도($f_{ck}$) = 27.0MPa , 인장철근 항복강도($f_y$) = 400.0MPa

단면폭(b) = 1000mm , 단면높이(h) = 300mm

철근 피복두께($d_c$) = 60mm , 유효깊이(d) = 240mm

사용철근량($A_s$) = H16@125 = 1588.8㎟

⑪ 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_{ck} \cdot b} = \frac{1588.8 \times 400.0}{0.85 \times 27.0 \times 1000.0} = 27.692mm$$

$$\Phi Mn = \Phi\left\{As \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)\right\}$$

$$= 0.85 \times 1588.8 \times 400.0 \times \left(240.0 - \frac{27.692}{2}\right) = 122.167kN\cdot m$$

㉠ 휨모멘트 검토

$\Phi Mn = 122.167kN\cdot m > Mu = 85.262kN\cdot m \quad \therefore O.K$

⑫ 사용성(균열) 검토

㉠ 탄성계수비(n) = $E_s / E_c = 8$

㉡ 중립축 거리($\chi$) = $-nAs/b + nAs/b\sqrt{[1+2bd/(nAs)]} = 66.400$

㉢ 철근응력($f_s$) = $M/[A_s \times (d-\chi/3)] = 36.886 \times 10^6/[1588 \times (240-66.400/3)] = 106.615\,MPa$

㉣ 최소 두께($c_c$) = $60.0 - 16.0/2 = 52.0\,mm$

㉤ 인장연단 폭($s_1$) = $375 \times (210/f_s) - 2.5c_c$

$= 375 \times (210/106.615) - 2.5 \times 52.0 = 609\,mm$

㉥ 인장연단 폭($s_2$) = $300 \times (210/f_s)$

$= 300 \times (210/106.615) = 591\,mm$

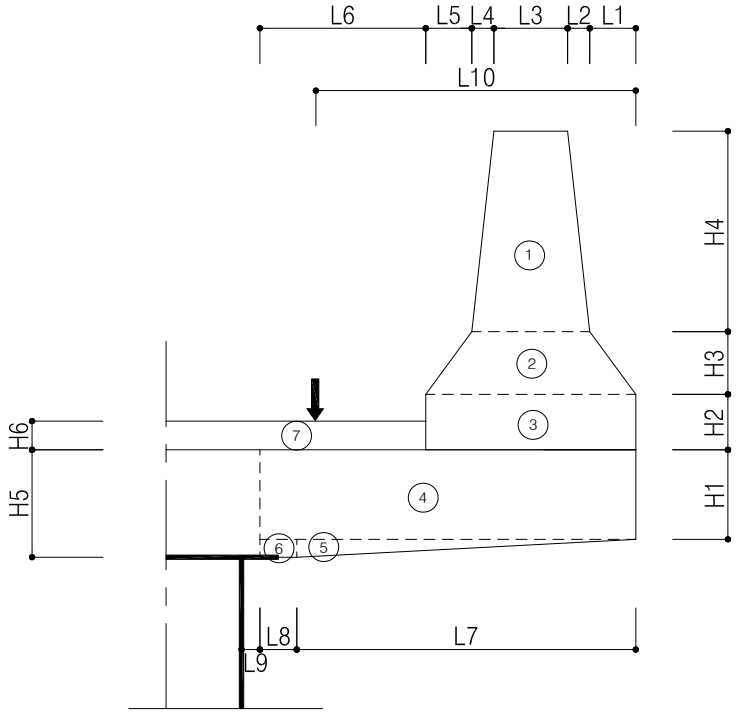
㉦ 철근 소요중심간격($s_a$) = $Min(s_1, s_2) = 591\,mm$

㉧ 철근 평균간격 $s = 125.0\,mm \leq s_a = 591\,mm$이므로, ∴ O.K

2) 캔틸레버부(중분대)

① 고정하중

| NO. | 작용하중(kN) | | | 작용거리 (m) | 모멘트 (kN·m) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ① | 1/2×(0.360+0.15)×1.020×25 | = | 6.503 | 1.005 | 6.536 | |
| ② | 1/2×(0.360+0.61)×0.175×25 | = | 2.122 | 1.005 | 2.133 | |
| ③ | 0.610×0.155×25 | = | 2.364 | 1.005 | 2.376 | |
| ④ | 1.310×0.250×25 | = | 8.188 | 0.655 | 5.363 | |
| ⑤ | 1/2×1.210×0.050×25 | = | 0.756 | 0.503 | 0.381 | |
| ⑥ | 0.100×0.050×25 | = | 0.125 | 0.050 | 0.006 | |
| ⑦ | 0.700×0.080×23 | = | 1.288 | 0.350 | 0.451 | 포장 |
| 계 | | | 21.346 | | 17.246 | |




| | | |
|---|---|---|
| H1 = | 0.250 | m |
| H2 = | 0.155 | m |
| H3 = | 0.175 | m |
| H4 = | 1.020 | m |
| H5 = | 0.300 | m |
| H6 = | 0.080 | m |
| L1 = | 0.125 | m |
| L2 = | 0.105 | m |
| L3 = | 0.150 | m |
| L4 = | 0.105 | m |
| L5 = | 0.125 | m |
| L6 = | 0.700 | m |
| L7 = | 1.210 | m |
| L8 = | 0.100 | m |
| L9 = | 0.050 | m |
| L10 = | 0.910 | m |

콘크리트 단위중량 = 25.0kN/㎥
아스팔트포장 단위중량 = 23.0kN/㎥
트럭의 후륜하중($P_r$) = 96.0kN
곡선반경(R) = ∞
설계속도 = 100km/hr

② 활하중(DB-24 : $P_r$ = 96 kN)

윤하중 분포폭

E = 0.8X + 1.14 = 0.8 × 0.400 + 1.14 = 1.460m

여기서, X = 0.400m

③ 충격계수

$$i = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 0.400} = 0.371 > 0.300 \qquad \therefore\ i = 0.300 \text{ 적용}$$

④ 활하중

$$M_{\ell+i} = \frac{P_r \cdot X \cdot (1+i)}{E} = \frac{96 \times 0.400 \times (1+0.300)}{1.460} = 34.192\text{kN·m/m}$$

⑤ 차량 충돌하중

H = ( V / 60 )² × 7500 + 2500 = (100 / 60)² × 7500 + 2500

= 23.333kN/m

$M_{co}$ = H × h = 23.333 × 1.230 = 28.700kN·m/m

⑥ 원심하중

$$CF = 0.79\left(\frac{V^2}{R}\right)(\%) = 0.79 \times \left(\frac{100^2}{5400}\right)(\%) = 1.463(\%)$$

$$P_{cf} = \frac{P_r}{E} \times \frac{1.463}{100} = 0.962\ \text{kN/m}$$

$$M_{cf} = 0.962 \times 1.8 = 1.732\ \text{kN} \cdot \text{m/m}$$

⑦ 풍하중

$P_w$ = 3.0kN/㎡ × 1.270m = 3.810kN/m

$M_w$ = 3.720 × 0.715 = 2.724kN·m/m

⑧ 하중조합

㉠ 계수모멘트

- $M_{u1} = 1.3\,M_d + 2.15\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} = 98.184\,kN\cdot m/m$
- $M_{u2} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} + 1.3\,M_{co} = 106.430\,kN\cdot m/m$
- $M_{u3} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} + 0.65\,M_w = 70.891\,kN\cdot m/m$
- $M_{u4} = 1.2\,M_d + 1.2\,M_w + 1.2\,M_{co} = 58.404\,kN\cdot m/m$

㉡ 사용모멘트

- $M = 1.0\,M_d + 1.0\,M_{(\ell+i)} + 1.0\,M_{cf} = 53.170\,kN\cdot m/m$

⑨ 바닥판의 최소두께( X > 0.25인 경우)

$h_{min} = (80 \cdot X + 230) = (80 \times 0.400 + 230) = 262.0\,mm > 220.0\,mm \quad \therefore h_{req} = 262.0\,mm$

$h_{use} = 300.0\,mm > h_{req} = 262.0\,mm \quad \therefore O.K$

⑩ 단면검토

㉠ 검토조건

설계기준강도($f_{ck}$) = 27.0MPa , 인장철근 항복강도($f_y$) = 400.0MPa

단면폭(b) = 1000mm , 단면높이(h) = 300mm

철근 피복두께($d_c$) = 60mm , 유효깊이(d) = 240mm

사용철근량($A_s$) = H16@125 = 1588.8㎟

⑪ 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_{ck} \cdot b} = \frac{1588.8 \times 400.0}{0.85 \times 27.0 \times 1000.0} = 27.692mm$$

$$\Phi Mn = \Phi\left\{As \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)\right\}$$

$$= 0.85 \times 1588.8 \times 400.0 \times \left(240.0 - \frac{27.692}{2}\right) = 122.167kN\cdot m$$

㉠ 휨모멘트 검토

$\Phi Mn = 122.167kN\cdot m > Mu = 106.430kN\cdot m \quad \therefore O.K$

⑫ 사용성(균열) 검토

㉠ 탄성계수비(n) = $E_s / E_c = 8$

㉡ 중립축 거리($\chi$) = $-nAs/b + nAs/b\sqrt{[1+2bd/(nAs)]} = 66.400$

㉢ 철근응력($f_s$) = $M/[A_s \times (d-\chi/3)] = 53.170 \times 10^6/[1588 \times (240-66.400/3)] = 153.623\,MPa$

㉣ 최소 두께($c_c$) = $60.0 - 16.0/2 = 52.0\,mm$

㉤ 인장연단 폭($s_1$) = $375 \times (210/f_s) - 2.5c_c$

$= 375 \times (210/153.623) - 2.5 \times 52.0 = 383mm$

㉥ 인장연단 폭($s_2$) = $300 \times (210/f_s)$

$= 300 \times (210/153.623) = 410mm$

㉦ 철근 소요중심간격($s_a$) = $Min(s_1, s_2) = 383mm$

㉧ 철근 평균간격 $s = 125.0mm \leq s_a = 383mm$이므로, ∴ O.K

3) 중앙부

① 고정하중

철근콘크리트 : $0.250m \times 25.0kN/m^3 = 6.250kN/m^2$

아스팔트포장 : $0.080m \times 23.0kN/m^3 = 1.840kN/m^2$

$\Sigma w_d = 8.090kN/m^2$

$$M_d = \frac{\Sigma w_d L^2}{16} = \frac{8.550 \times 2.500^2}{16} = 5.056kN\cdot m/m$$

여기서, 계산지간(L) = 2.500m

② 활하중(DB-24 : $P_r = 96\,kN$)

㉠ 충격계수

$$i = \frac{15}{40+L} = \frac{15}{40+2.500} = 0.353 > 0.300 \quad \therefore i = 0.300 \text{ 적용}$$

㉡ 활하중

$$M_{\ell+i} = \frac{(L+0.6)P_r}{9.6}(1+i) = \frac{(2.500+0.6)\times 96}{9.6} \times (1+0.300) = 40.300kN\cdot m/m$$

연속 바닥판이므로, $M_{\ell+i} = 0.8 \times 40.300 = 32.240kN\cdot m/m$

③ 하중조합

㉠ 계수모멘트

■ $M_{u1} = 1.3\,M_d + 2.15\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} = 77.587\,kN\cdot m/m$

㉡ 사용모멘트

■ $M = 1.0\,M_d + 1.0\,M_{(\ell+i)} + 1.0\,M_{cf} = 38.602\,kN\cdot m/m$

④ 바닥판의 최소두께

$h_{min} = (30\cdot L + 130) = (30\times 2.50 + 130) = 205\,mm < 220.0\,mm \quad \therefore h_{req} = 220.0\,mm$

$h_{use} = 250.0\,mm > h_{req} = 220.0\,mm \quad \therefore O.K$

⑤ 단면검토

㉠ 검토조건

설계기준강도($f_{ck}$) = 27.0MPa , 인장철근 항복강도($f_y$) = 400.0MPa

단면폭(b) = 1000mm , 단면높이(h) = 250mm

철근 피복두께($d_c$) = 40mm , 유효깊이(d) = 210mm

사용철근량($A_s$) = H16@125 = 1588.8㎟

㉡ 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s\cdot f_y}{0.85\cdot f_{ck}\cdot b} = \frac{1588.8\times 400.0}{0.85\times 27.0\times 1000.0} = 27.692mm$$

$$\Phi Mn = \Phi\left\{As\cdot f_y\cdot\left(d-\frac{a}{2}\right)\right\}$$

$$= 0.85\times 1588.8\times 400.0\times\left(210.0-\frac{27.692}{2}\right) = 105.961kN\cdot m$$

㉢ 휨모멘트 검토

$\Phi Mn = 105.961kN\cdot m \geq Mu = 77.587kN\cdot m \quad \therefore O.K$

⑥ 사용성(균열) 검토

㉠ 탄성계수비(n) = $E_s / E_c = 8$

㉡ 중립축 거리($\chi$) = $-nAs/b + nAs/b\sqrt{[1+2bd/(nAs)]} = 61.5mm$

㉢ 철근응력($f_s$) = $M/[A_s\times(d-x/3)] = 38.602\times 10^6/[1588\times(210.0-61.5/3)] = 128.213\,MPa$

㉣ 최소 두께($c_c$) = $40.0 - 16/2 = 32.0\,mm$

㉤ 인장연단 폭($s_1$) = $375 \times (210/f_s) - 2.5c_c$

$= 375 \times (210/128.213) - 2.5 \times 32.00 = 534\,mm$

㉥ 인장연단 폭($s_2$) = $300 \times (210/f_s)$

$= 300 \times (210/128.213) = 491\,mm$

㉦ 철근 소요중심간격($s_a$) = $Min(s_1, s_2) = 491\,mm$

㉧ 철근 평균간격 $s = 125.0\,mm \leq s_a = 491\,mm$이므로, ∴ O.K

4) 바닥판의 구조검토 결과

강도설계법에 의한 바닥판의 단면검토 결과, 휨강도에 대한 계수모멘트의 최소 안전율이 1.148로 산정되어 바닥판은 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

【표 5-12】 바닥판의 단면검토결과

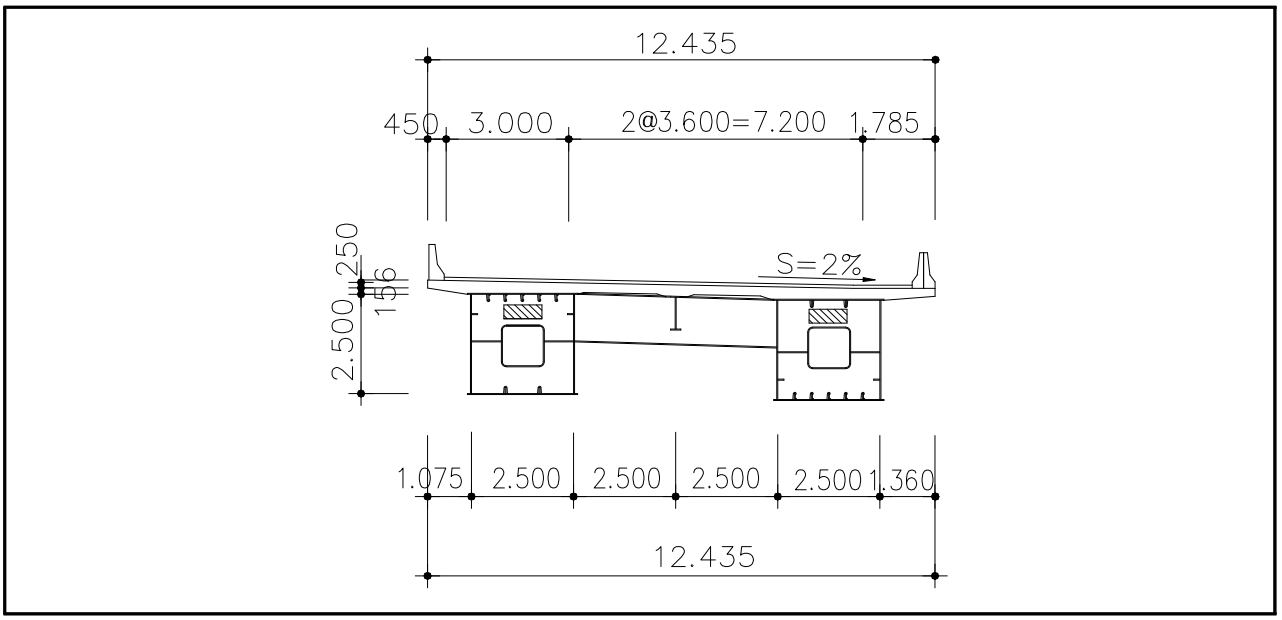
| 구 분 | $M_u$ (kN·m) | $\Phi M_n$ (kN·m) | 안전율($\Phi$Mn/Mu) | 검토결과 |
|---|---|---|---|---|
| 캔틸레버부(방호벽측) | 85.262 | 122.167 | 1.433 | O.K |
| 캔틸레버부(중분대측) | 106.430 | 122.167 | 1.148 | O.K |
| 중앙부 | 77.587 | 105.961 | 1.366 | O.K |

【표 5-13】 바닥판의 사용성(균열) 검토결과

| 구 분 | $M_o$ (kN·m) | 인장응력($f_s$) (MPa) | 허용응력($f_{sa}$) (MPa) | 철근 평균간격(s) (mm) | 철근 소요중심간격($s_a$) (mm) | 검토결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 캔틸레버부(방호벽측) | 36.886 | 106.615 | 240.000 | 125.000 | 590.911 | O.K |
| 캔틸레버부(중분대측) | 53.170 | 153.623 | 240.000 | 125.000 | 382.619 | O.K |
| 중앙부 | 38.602 | 128.213 | 240.000 | 125.000 | 491.370 | O.K |

## 다. 강박스 거더 구조검토

1) 해석단면




【그림 5-8】 해석단면

2) 하중 산정

① 2블럭(S6~S9)

㉠ 합성전 고정하중

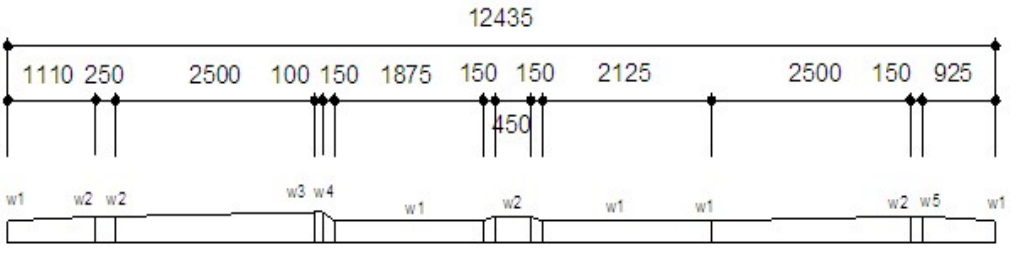
■ 강재 자중 : 프로그램 내에서 자동 고려

◦각종 보강재 및 현장이음재 등의 부부재 하중으로 주부재 자중을 31.0% 할증 적용

◦총 강재중량 / 모델링 강재중량 = 1.310

■ 바닥판 자중

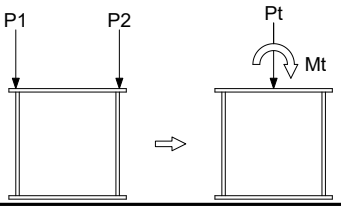
◦횡방향 하중분배




| | | | |
|---|---|---|---|
| W1 | 0.250 × 25 = 6.250 kN/m | W4 | 0.325 × 25 = 8.125 kN/m |
| W2 | 0.300 × 25 = 7.500 kN/m | W5 | 0.303 × 25 = 7.575 kN/m |
| W3 | 0.350 × 25 = 8.750 kN/m | | |

【그림 5-9】 합성전 바닥판 자중 재하도

◦거더별 작용하중

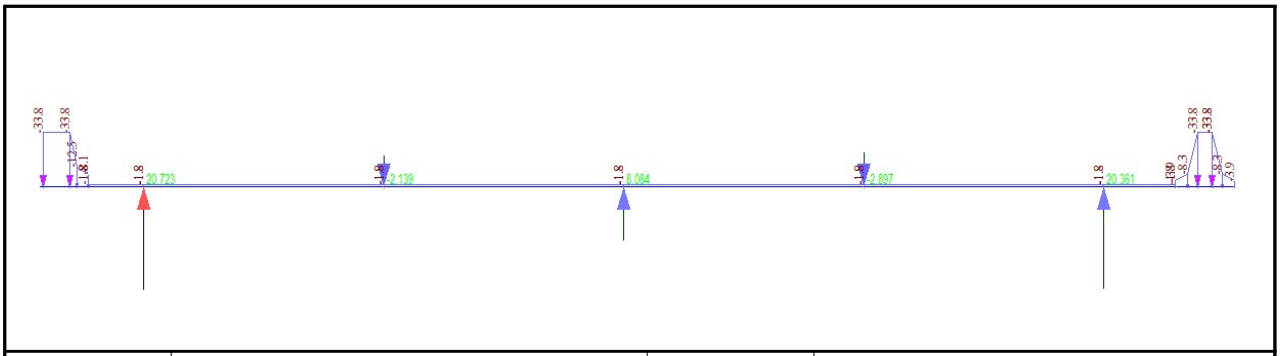
| 구분 | 거더 폭 (m) | 바닥판 자중 | | | | 기호의 정의 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | P1 (kN/m) | P2 (kN/m) | Pt (kN/m) | Mt (kN・m) | |
| G1 | 2.500 | 16.429 | 16.102 | 32.531 | −0.409 |  |
| ST | | 16.365 | − | 16.365 | − | |
| G2 | 2.500 | 18.642 | 19.352 | 37.994 | 0.888 | |



㉡ 합성후 고정하중

합성후 고정하중은 콘크리트 바닥판에 의한 횡분배 효과를 반영하기 위하여 2차원 프레임 모델을 사용하여 반력을 산출한 후 그 반력을 3차원 격자모델에 재하하였다.

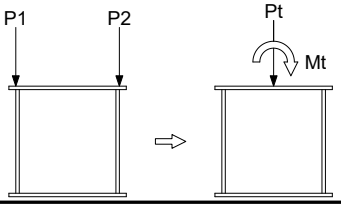
■ 횡방향 하중분배



| | | | |
|---|---|---|---|
| 포장 | 0.080 × 23 = 1.840 kN/m | 방호벽측 | 20.382kN, 작용점 : 0.192m |
| 중분대측 | 20.888kN, 작용점 : 0.305m | | |

【그림 5−10】 합성후 고정하중 재하도

■ 거더별 작용하중

| 구분 | 거더폭 (m) | 바닥판 자중 | | | | 기호의 정의 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | P1(kN/m) | P2(kN/m) | Pt(kN/m) | Mt(kN・m) | |
| G1 | 2.500 | 20.723 | −2.139 | 18.584 | −28.578 |  |
| ST | | | − | 8.084 | − | |
| G2 | 2.500 | −2.897 | 20.361 | 17.464 | 29.073 | |

■ 활하중

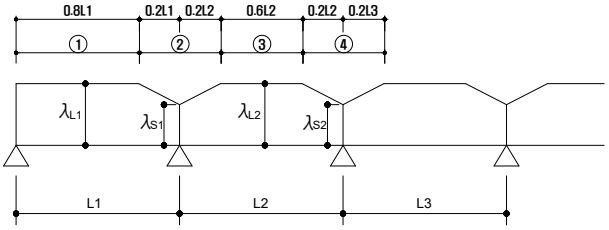
<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="4">활하중</th></tr>
<tr><td>• 교 폭</td><td colspan="4">• 12.435m</td></tr>
<tr><td>• 지간장(L)</td><td colspan="4">• 5@50.0m = 250m</td></tr>
<tr><td>• 연석간 교폭($W_c$)</td><td colspan="4">• 11.375m</td></tr>
<tr><td>• 설계 차로수(N)</td><td colspan="4">• 9.1m ≤ $W_c$ < 12.8m ∴ 3차로 재하</td></tr>
<tr><td>• 설계 차로폭(W)</td><td colspan="4">• 11.375m / 3 = 3.792m > 3.600m 이므로, ∴ W = 3.600m</td></tr>
<tr><td rowspan="2">• 충격계수(i)</td><td colspan="4">• 제1~5지간 : 15 / (40+50.0)=0.167 < 0.3 ∴ i = 0.167 적용</td></tr>
<tr><td colspan="4">• 제1~4내부지점 : 15 / (40+50.0) = 0.167 < 0.3 ∴ i = 0.167 적용</td></tr>
<tr><td rowspan="4">• 활하중 크기</td><td colspan="2">표준차로하중(DL-24)</td><td colspan="2">표준트럭하중(DB-24)</td></tr>
<tr><td>$P_m$</td><td>108kN</td><td>$P_f$</td><td>24 kN</td></tr>
<tr><td>$P_s$</td><td>156kN</td><td>$P_r$</td><td>96 kN</td></tr>
<tr><td>$W_\ell$</td><td>12.7kN/m</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>• 재하방법</td><td colspan="4">• 해석프로그램의 이동하중해석 기능을 사용<br>• DB-24, DL-24 재하<br>• DB-24 또는 DL-24하중에 대하여 독립적으로 1~3개 차로에 경간별로 가장 불리한 부재력이 산출되도록 재하<br>• 최대 부재력이 3차로 이상의 활하중 동시 재하로 발생하는 경우에는 도로교설계기준(2010년)에 따라 백분율로 감소<br>- 3차로 동시 재하 : 90%<br>- 4차로 이상 동시 재하 : 75%<br>• 각 CASE별 하중재하도 및 각 거더별 작용하중은 부록 참조.</td></tr>
</table>

3) 플랜지 및 바닥판의 유효폭 계산

전단지연(Shear Lag) 현상의 영향으로 인한 플랜지 및 바닥판의 유효폭은 다음과 같으며, 단면응력 검토 시 적용하였다.(상세한 계산과정은 부록 참조)

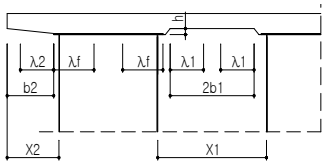
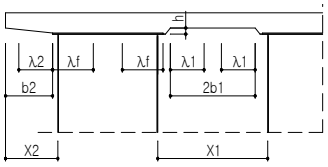
① 플랜지 유효폭

【표 5-14】 플랜지의 유효폭 산정

| 구 분 | 플랜지(m) | | 비 고 |
|---|---|---|---|
| | G1 | G2 | |
| 제6~9지간 중앙부 | 2.700 | 2.700 |  |
| 제6~8중간 지점부 | 2.394 | 2.394 | 상부 : 복부간격 2b = 2.500m , 플랜지돌출폭 be = 0.100m<br>하부 : 복부간격 2b = 2.500m , 플랜지돌출폭 be = 0.100m<br>L6~L9 = 4@50.00m |

② 바닥판 유효폭

【표 5-15】 바닥판의 유효폭 산정

| 구 분 | 바닥판(m) | |
|---|---|---|
| | G1 | G2 |
| 개 요 |  <br>$X_1$=5.000m, $X_2$=1.360m<br>h=0.05m, $b_e$=0.100m |  <br>$X_1$=5.000m, $X_2$=1.075m<br>h=0.05m, $b_e$=0.100m |
| 제6, 9지간 중앙부 | 6.319 | 6.034 |
| 제6~8지간 중앙부 | 6.227 | 5.942 |
| 제5~8중간 지점부 | 5.301 | 5.089 |

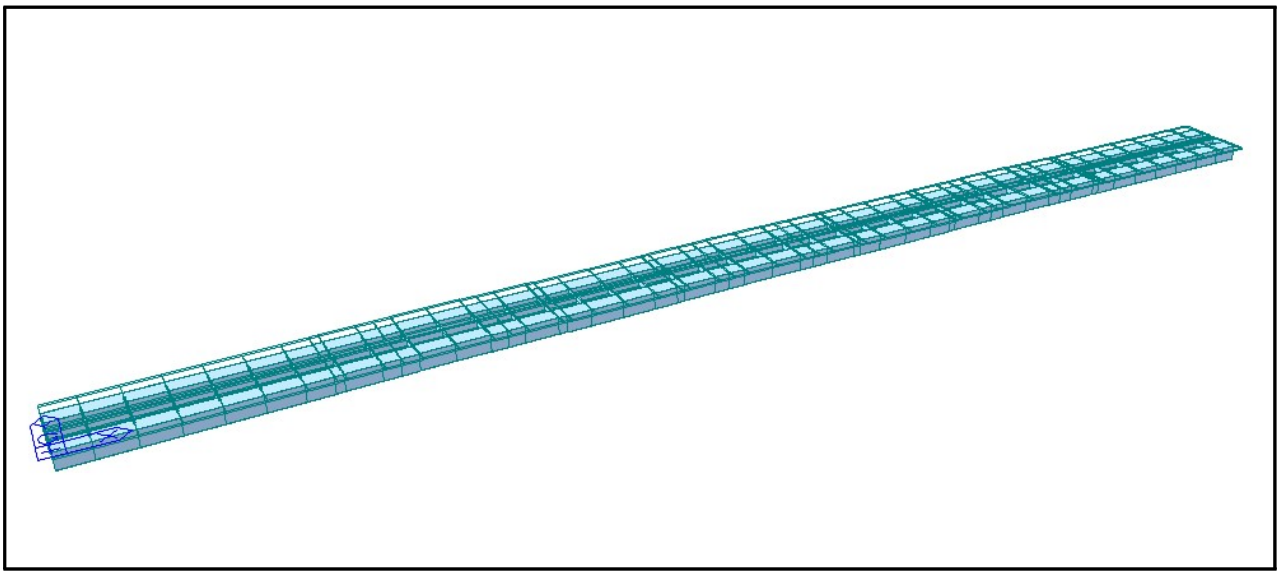
4) 모델링 및 단면 제정수

① 모델링

해석모델은 3차원 격자모델을 적용하였으며, 보요소로 이상화된 각 구조요소의 연결은 부재편심(Offset)이 반영되도록 하였다. 또한 시공단계별로 대상교량의 실제 강성과 최대한 근접할 수 있도록 모델링하였으며, 기타 세부내용은 다음과 같다.

㉠ 합성전 모델링시 바닥판은 단면의 강성에 기여하는 바 없이 고정하중만을 추가시키는 역할만을 함으로 바닥판에 의한 횡분배 효과는 고려하지 않는 것으로 하였다. 활하중은 해석프로그램 내의 이동하중해석 기능을 사용하였으며 도로교 설계기준을 참조하여 가장 불리한 하중조합이 되도록 설정하였다.

㉡ 경계조건은 현장조사시 확인된 각 지점의 가동, 고정상태를 고려하여 설정하였다.

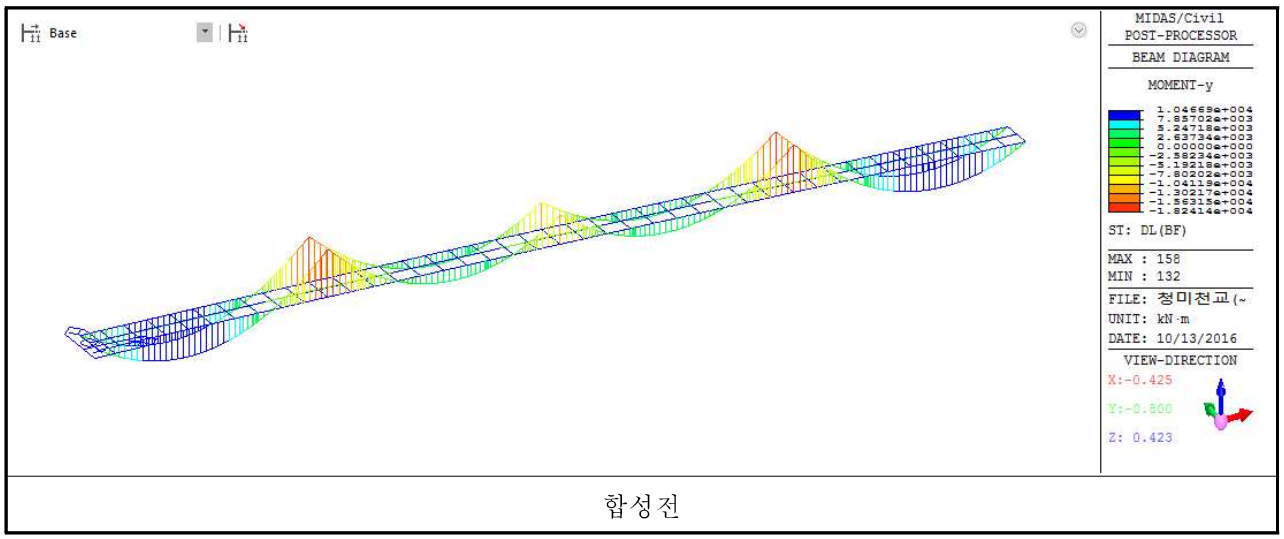


【그림 5-11】 해석모델링

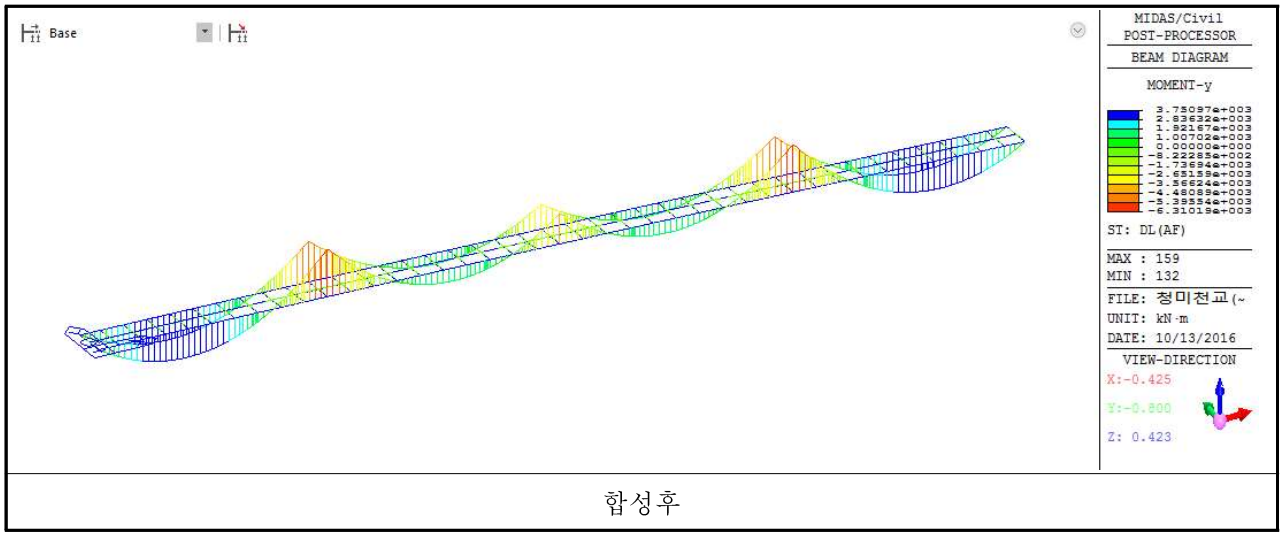
5) 구조해석 결과

① 단면력도

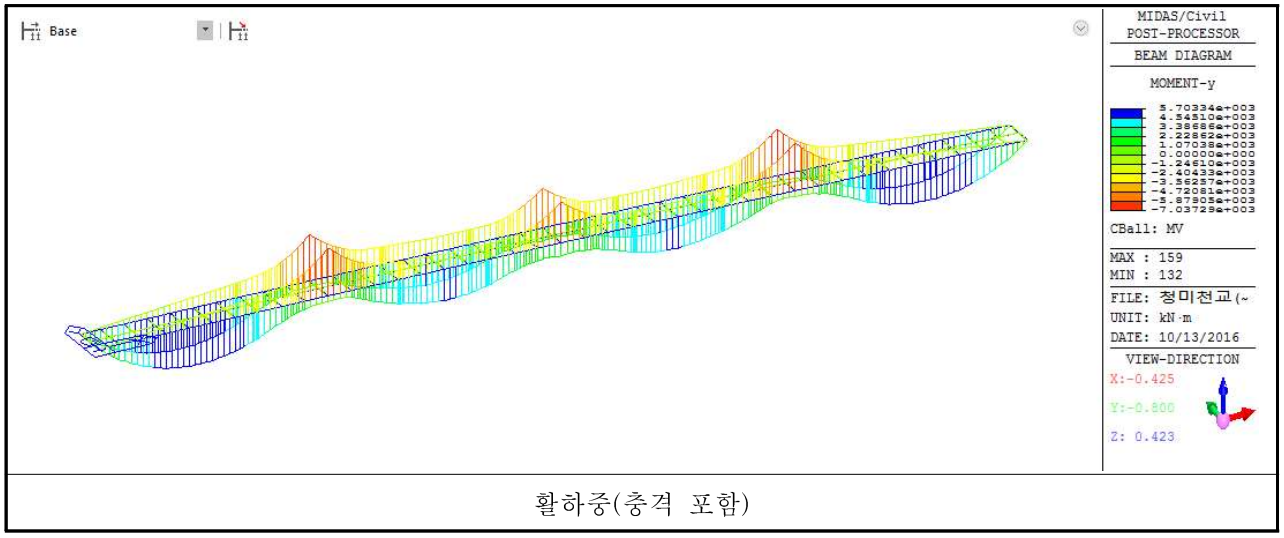
■ 휨모멘트




합성전



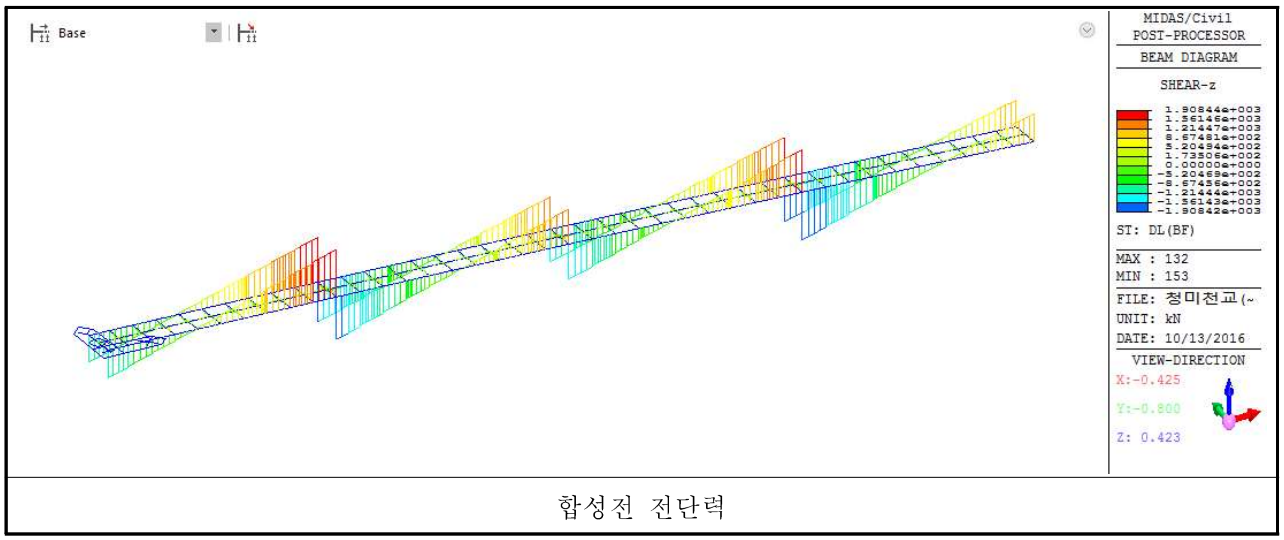

합성후



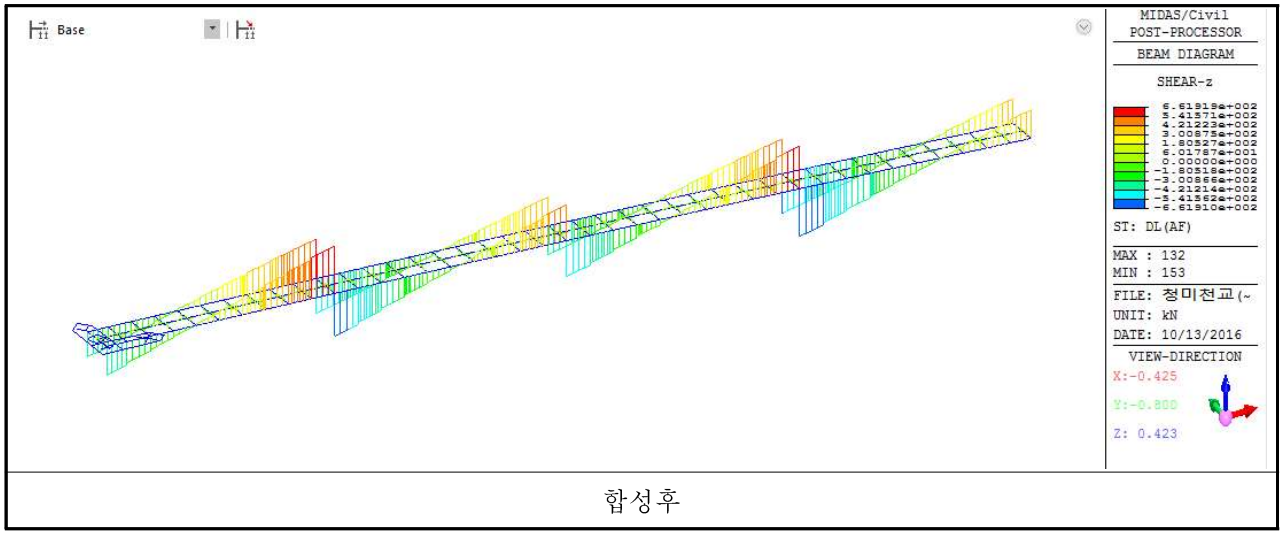

활하중(충격 포함)

【그림 5-12】 휨모멘트

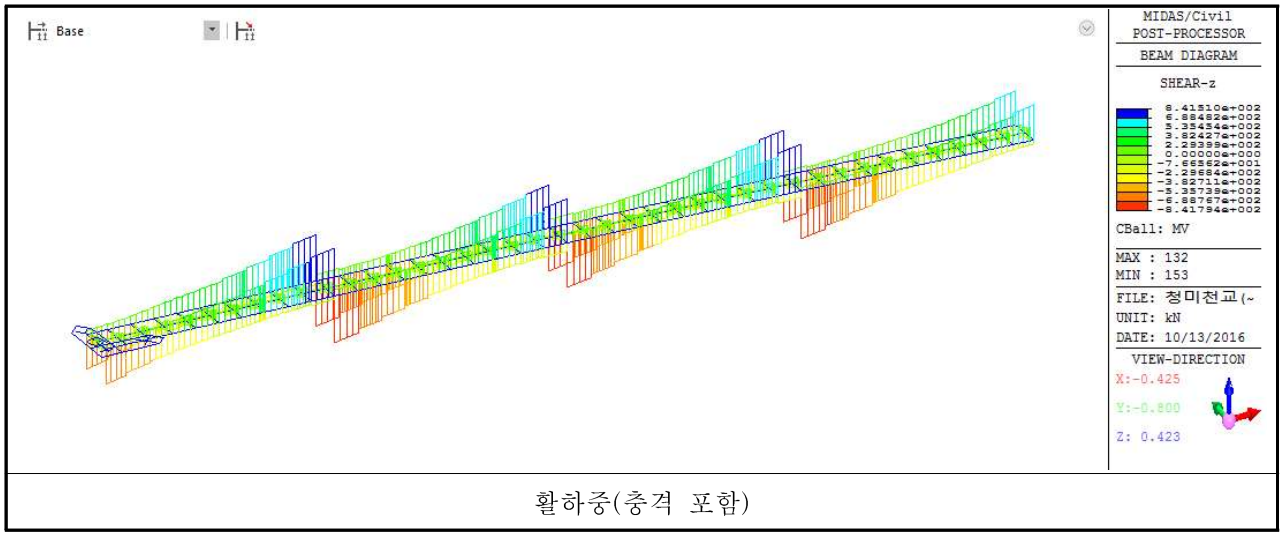
■ 전단력




합성전 전단력




합성후



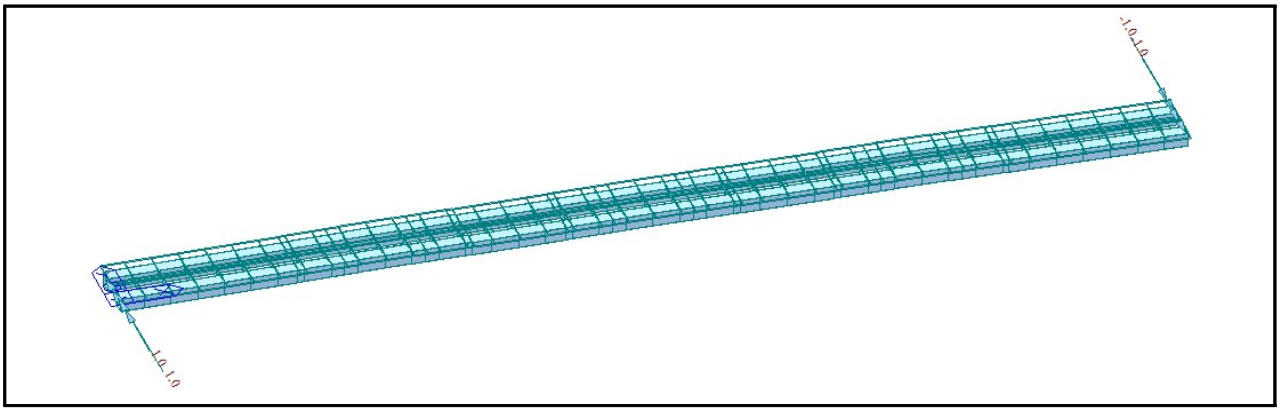

활하중(충격 포함)

【그림 5-13】 전단력

② 2차 부정정력에 대한 영향 검토

콘크리트-강재 합성형 교량에서는 고정하중과 활하중에 의한 응력 이외에 건조수축, 크리프, 강재-콘크리트 온도차에 의한 응력이 발생한다. 특히, 강합성형교가 2경간 이상의 연속교일 경우에는 건조수축, 크리프, 온도차에 의해 부정정력이 추가로 발생되며 이와 같은 하중을 2차 모멘트라고 한다.

부정정계에서 2차 모멘트를 구하기 위하여 해석모델 교량의 양단에 단위 모멘트를 작용시켜 각 절점에서의 모멘트(이 값을 영향계수 k라 함)를 구하여 이를 단면의 응력 검토시에 이용하였다.



【그림 5-14】 2차 부정정력에 대한 영향 검토

③ 단면력 산정결과

㉠ 최대정모멘트부

【표 5-16】 최대정모멘트부 단면력 산정결과

| 구 분 | | 합 성 전<br>고정하중 | 합 성 후<br>고정하중 | 활하중<br>(충격포함) | 합 계 |
|---|---|---|---|---|---|
| S6 | 휨모멘트(kN・m) | 10480.510 | 3875.674 | 6049.490 | 20,405.674 |
| | 전단력(kN) | 59.200 | 0.727 | 291.420 | 351.347 |
| | 비틀림모멘트(kN・m) | -29.860 | -33.027 | 370.410 | 307.523 |

㉡ 최대부모멘트부

【표 5-17】 최대부모멘트부 단면력 산정결과

| 구 분 | | 합 성 전<br>고정하중 | 합 성 후<br>고정하중 | 활하중<br>(충격포함) | 합 계 |
|---|---|---|---|---|---|
| P6 | 휨모멘트(kN・m) | -18266.160 | -6292.952 | -7676.770 | -32,235.882 |
| | 전단력(kN) | -1709.820 | 651.544 | -895.980 | -1,954.256 |
| | 비틀림모멘트(kN・m) | -40.820 | -128.472 | -695.510 | -864.802 |

6) 강박스 거더의 응력 검토

강박스 거더에 대한 응력검토는 내·외측경간 최대 정모멘트부 및 내·외측 지점부 최대 부모멘트부 단면에 대하여 실시하였으며, 이에 대한 상세 검토결과는 부록에 첨부하였다.

| 하중종류1 | 합성전 고정하중 | 하중종류4 | 크리프 |
|---|---|---|---|
| 하중종류2 | 합성후 고정하중 | 하중종류5 | 건조수축 |
| 하중종류3 | 활하중 | 하중종류6 | 온도차 |

① 최대정모멘트부

㉠ S6-G1(단면-1)

■ 휨응력

【표 5-18】 최대정모멘트부 휨응력 검토결과

| 하중조합 | 휨 응 력 | | | | 안전율 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 작용응력(MPa) | | 허용응력(MPa) | | | |
| | 상 연 | 하 연 | 상 연 | 하 연 | 상 연 | 하 연 |
| 1 | 85.963 | -85.612 | 190.000 | 190.000 | 2.210 | 2.219 |
| 1+2+3 | 100.874 | -162.250 | 190.000 | 190.000 | 1.884 | 1.171 |
| 1+2+3+4 | 108.179 | -160.034 | 218.500 | 190.000 | 2.020 | 1.187 |
| 1+2+3+4+5 | 132.514 | -153.380 | 218.500 | 190.000 | 1.649 | 1.239 |
| 1+2+3+4+5+6 | 149.360 | -147.455 | 247.000 | 218.500 | 1.654 | 1.482 |
| 1+2+3+4+5-6 | 115.668 | -159.306 | 247.000 | 218.500 | 2.135 | 1.372 |

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

◦전단 및 비틀림

$$\nu = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2\,F\,t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2\,F_v\,t_w)$$

$$= 11.502\,\mathrm{MPa} \quad < \quad \nu_a = 110.000\,\mathrm{MPa} \quad \therefore \ O.K$$

◦합성응력의 검토

-상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{132.514}{218.500}\right)^2 + \left(\frac{11.502}{110.000}\right)^2 = 0.368 + 0.011 = 0.379 \ < \ 1.2 \quad \therefore \ O.K$$

-하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{-162.250}{-190.000}\right)^2 + \left(\frac{11.502}{110.000}\right)^2 = 0.729 + 0.011 = 0.740 \ < \ 1.2 \quad \therefore \ O.K$$

② 최대부모멘트부

㉠ P6-G1(단면-5)

■ 휨응력

【표 5-19】 최대부모멘트부 휨응력 검토결과

| 하중조합 | 휨 응 력 | | | | 안전율 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 작용응력(㎫) | | 허용응력(㎫) | | | |
| | 상 연 | 하 연 | 상 연 | 하 연 | 상 연 | 하 연 |
| 1 | -98.943 | 93.819 | 190.00 | 190.00 | 1.920 | 2.025 |
| 1+2+3 | -177.408 | 177.683 | 190.00 | 190.00 | 1.071 | 1.069 |
| 1+2+3+4 | -183.931 | 164.934 | 190.00 | 190.00 | 1.033 | 1.152 |
| 1+2+3+4+5 | -173.649 | 186.755 | 190.00 | 190.00 | 1.094 | 1.017 |
| 1+2+3+4+5+6 | -157.611 | 213.362 | 218.50 | 218.50 | 1.386 | 1.024 |
| 1+2+3+4+5-6 | -189.686 | 160.149 | 218.50 | 218.50 | 1.152 | 1.364 |

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

◦전단 및 비틀림

$$\nu = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2\,F\,t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2\,F_v\,t_w)$$

$$= 22.289\,\mathrm{MPa} \quad < \quad \nu_a = 110.000\,\mathrm{MPa} \quad \therefore \ \mathrm{O.K}$$

◦합성응력의 검토

-상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{-184.029}{190.000}\right)^2 + \left(\frac{22.544}{110.000}\right)^2 = 0.937 + 0.041 = 0.978 \ < \ 1.2 \quad \therefore \ \mathrm{O.K}$$

-하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{186.807}{190.000}\right)^2 + \left(\frac{22.544}{110.000}\right)^2 = 0.966 + 0.041 = 1.007 \ < \ 1.2 \quad \therefore \ \mathrm{O.K}$$

7) 강박스 거더의 응력 검토

① 휨응력

【표 5-20】 강박스 거더의 휨응력 검토결과

| 구 분 | | 휨 응 력 | | | | 안전율 | | 검토결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 작용응력(MPa) | | 허용응력(MPa) | | | | |
| | | 상 연 | 하 연 | 상 연 | 하 연 | 상 연 | 하 연 | |
| 정모멘트부 | S6-G1 | 100.874 | -162.250 | 190.000 | 190.000 | 1.884 | 1.171 | O.K |
| 부모멘트부 | P6-G1 | -173.649 | 186.755 | 190.00 | 190.00 | 1.094 | 1.017 | O.K |

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

② 전단응력

【표 5-21】 강박스 거더의 전단응력 검토결과

| 구 분 | | 전 단 응 력 | | 안전율 | 검토결과 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 작용응력(MPa) | 허용응력(MPa) | | |
| 정모멘트부 | S6-G1 | 11.502 | 110.000 | 9.564 | O.K |
| 부모멘트부 | P6-G1 | 22.289 | 110.000 | 4.935 | O.K |

허용응력법에 의한 강박스 거더의 응력 검토결과, 거더 상·하연에 발생되는 최대응력은 허용응력 이내(휨응력 : 1.017, 전단응력 : 4.935)로 검토되어 구조 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

③ 합성응력

허용응력법에 의한 강박스 거더의 휨응력과 전단응력에 의한 합성응력 검토결과, 최대부모멘트 및 최대전단력 발생구간인 교각 지점부에서 합성응력이 0.978~1.007 사이로 허용기준치 1.2를 넘지 않은 것으로 검토되었다.

## 라. 교량받침용량 검토

【표 5-22】 교량받침용량 검토

| 구 분 | | | 합성전고정하중 (kN) | | 합성후 고정하중 (kN) | 활하중(kN) | 합 계(kN) | 받침용량 (kN) | 검토 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Steel | Concrete | | | | | |
| P5 | G1 | Sh01 | 133.000 | 372.690 | 269.720 | 329.387 | 1104.797 | 1600 | O.K |
| | | Sh02 | 171.721 | 485.194 | 135.547 | 403.543 | 1196.005 | 1600 | O.K |
| | G2 | Sh03 | 170.925 | 477.160 | 138.599 | 400.442 | 1187.126 | 1600 | O.K |
| | | Sh04 | 136.847 | 291.375 | 287.686 | 310.332 | 1026.240 | 1600 | O.K |
| P6 | G1 | Sh01 | 502.106 | 1246.856 | 716.566 | 716.769 | 3182.297 | 4000 | O.K |
| | | Sh02 | 550.401 | 1417.514 | 532.473 | 801.487 | 3301.875 | 4000 | O.K |
| | G2 | Sh03 | 549.458 | 1315.853 | 552.543 | 783.590 | 3201.444 | 4000 | O.K |
| | | Sh04 | 502.561 | 1065.617 | 749.646 | 679.462 | 2997.286 | 4000 | O.K |
| P7 | G1 | Sh01 | 377.411 | 964.472 | 590.573 | 666.805 | 2599.261 | 4000 | O.K |
| | | Sh02 | 424.574 | 1138.957 | 394.934 | 753.287 | 2711.752 | 4000 | O.K |
| | G2 | Sh03 | 424.532 | 1045.530 | 416.899 | 737.304 | 2624.265 | 4000 | O.K |
| | | Sh04 | 377.633 | 798.798 | 615.428 | 630.195 | 2422.054 | 4000 | O.K |
| P8 | G1 | Sh01 | 502.106 | 1246.854 | 716.568 | 716.767 | 3182.295 | 4000 | O.K |
| | | Sh02 | 550.400 | 1417.517 | 532.470 | 801.481 | 3301.868 | 4000 | O.K |
| | G2 | Sh03 | 549.458 | 1315.854 | 552.541 | 783.594 | 3201.447 | 4000 | O.K |
| | | Sh04 | 502.561 | 1065.614 | 749.649 | 679.467 | 2997.291 | 4000 | O.K |
| A2 | G1 | Sh01 | 132.998 | 372.714 | 269.692 | 329.547 | 1104.951 | 1600 | O.K |
| | | Sh02 | 171.722 | 485.176 | 135.568 | 403.557 | 1196.023 | 1600 | O.K |
| | G2 | Sh03 | 170.925 | 477.158 | 138.602 | 400.436 | 1187.121 | 1600 | O.K |
| | | Sh04 | 136.847 | 291.369 | 287.691 | 310.439 | 1026.346 | 1600 | O.K |

받침용량에 대한 검토결과 교량받침은 용량이 최대 발생 반력값 보다 큰 것으로 검토되어 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

## 5.2.3 마산방향(S1 ~ S5)

### 가. 검토조건

1) 교량 제원

① 교량형식 : 5경간 연속 강박스 거더교

② 교량연장 : L = 5@50m =250.0m

③ 교량폭원 : 11.855m

④ 사　　각 : 90.0°

⑤ 거더제원 : B = 2.5m , H = 2.5m

⑥ 교량등급 : 1등급(DB-24 및 DL-24 적용)

2) 사용재료

① 콘크리트

㉠ 설계기준강도 : $f_{ck}$ = 27.0MPa

㉡ 탄성계수 : $E_c$= 27,804MPa

㉢ 전단탄성계수 : $G_c$ = 11,781MPa

㉣ 허용압축응력 : $f_{ca}$ = 10.8MPa

② 철근(SD400)

㉠ 항복강도 : $f_y$ = 400.0MPa

㉡ 탄성계수 : $E_s$ = 200,000MPa

㉢ 허용압축응력 : $f_{ca}$ = 180.0MPa

㉣ 허용인장응력 : $f_{ta}$ = 160.0MPa

③ 강재

㉠ 주부재 : SM490(준공당시 기호 : SWS490)

㉡ 부부재 : SM400(준공당시 기호 : SWS400)

㉢ 탄성계수 : $E_{st}$ = 205,000MPa

㉣ 전단탄성계수 : $G_{st}$ = 79,000MPa

㉤ 허용축방향인장응력 및 허용휨인장응력(MPa)

| 강종 / 판두께(mm) | SS400<br>SM400<br>SMA400 | SM490 | SM490Y<br>SM520<br>SMA490 | SM570<br>SMA570 |
|---|---|---|---|---|
| 40이하 | 140 | 190 | 215 | 270 |
| 40초과 75이하 | 130 | 175 | 200 | 260 |
| 75초과 100이하 | | | 195 | 250 |

ⓗ 허용축방향압축응력(MPa)

| 강종 / 판두께(mm) | SS400<br>SM400<br>SMA400 | SM490 | SM490Y<br>SM520<br>SMA490 | SM 570<br>SMA 570 |
|---|---|---|---|---|
| 40이하 | $140 : \ell/r \leq 18.6$<br>$140-0.82(\ell/r-18.6) : 18.6 < \ell/r \leq 92.8$<br>$\frac{1,200,000}{6,700+(\ell/r)^2} : 92.8 < \ell/r$ | $190 : \ell/r \leq 16.0$<br>$190-1.29(\ell/r-16.0) : 16.0 < \ell/r \leq 80.1$<br>$\frac{1,200,000}{5,000+(\ell/r)^2} : 80.1 < \ell/r$ | $215 : \ell/r \leq 15.1$<br>$215-1.55(\ell/r-15.1) : 15.1 < \ell/r \leq 75.5$<br>$\frac{1,200,000}{4,400+(\ell/r)^2} : 75.5 < \ell/r$ | $270 : \ell/r \leq 13.4$<br>$270-2.19(\ell/r-13.4) : 13.4 < \ell/r \leq 67.1$<br>$\frac{1,200,000}{3,500+(\ell/r)^2} : 67.1 < \ell/r$ |

| 강종 / 판두께(mm) | SS400<br>SM400<br>SMA400 | SM490 | SM490Y<br>SM520<br>SMA490 | SM 570<br>SMA 570 |
|---|---|---|---|---|
| 40초과 75이하 | 130 : $\ell/r \leq 19.4$<br>$130-0.73(\ell/r-19.4)$ : $19.4 < \ell/r \leq 97.0$<br>$\frac{1,200,000}{7,300+(\ell/r)^2}$ : $97.0 < \ell/r$ | 175 : $\ell/r \leq 16.6$<br>$175-1.15(\ell/r-16.6)$ : $16.6 < \ell/r \leq 82.8$<br>$\frac{1,200,000}{5,300+(\ell/r)^2}$ : $82.8 < \ell/r$ | 200 : $\ell/r \leq 15.5$<br>$200-1.40(\ell/r-15.5)$ : $15.5 < \ell/r \leq 77.7$<br>$\frac{1,200,000}{4,700+(\ell/r)^2}$ : $77.7 < \ell/r$ | 260 : $\ell/r \leq 13.7$<br>$260-2.07(\ell/r-13.7)$ : $13.7 < \ell/r \leq 68.6$<br>$\frac{1,200,000}{3,600+(\ell/r)^2}$ : $68.6 < \ell/r$ |
| 75초과 100이하 | 195 : $\ell/r \leq 15.8$<br>$195-1.35(\ell/r-15.8)$ : $15.8 < \ell/r \leq 78.9$<br>$\frac{1,200,000}{4,800+(\ell/r)^2}$ : $78.9 < \ell/r$ | 250 : $\ell/r \leq 13.9$<br>$250-1.96(\ell/r-13.9)$ : $13.9 < \ell/r \leq 69.4$<br>$\frac{1,200,000}{3,700+(\ell/r)^2}$ : $69.4 < \ell/r$ | | |

여기서, $\ell$ : 부재의 유효좌굴길이(mm)

r : 부재 총단면의 단면회전반경(mm)

㉥ 허용휨압축응력(MPa)

■ 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 직접 고정되어 있는 경우, 상자형 단면, $\pi$형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우

| 강종 / 판두께(mm) | SS400<br>SM400<br>SMA400 | SM490 | SM490Y<br>SM520<br>SMA490 | SM570<br>SMA570 |
|---|---|---|---|---|
| 40이하 | 140 | 190 | 215 | 270 |
| 40초과 75이하 | 130 | 175 | 200 | 260 |
| 75초과 100이하 | | | 195 | 250 |

| 강종 / 판두께(mm) | | SS400<br>SM400<br>SMA400 | SM490 | SM490Y<br>SM520<br>SMA490 | SM570<br>SMA570 |
|---|---|---|---|---|---|
| $\frac{A_w}{A_c} \leq 2$ | 40이하 | 140 : ℓ/b ≤ 4.6<br>140−2.49(ℓ/b−4.6) :<br>4.6 < ℓ/b ≤ 30 | 190 : ℓ/b ≤ 4.0<br>190−3.91(ℓ/b−4.0) :<br>4.0 < ℓ/b ≤ 30 | 215 : ℓ/b ≤ 3.8<br>215−4.69(ℓ/b−3.8):<br>3.8 < ℓ/b ≤ 27 | 270 : ℓ/b ≤ 3.4<br>270−6.64(ℓ/b−3.4):<br>3.4 < ℓ/b ≤ 25 |
| | 40초과<br>75이하 | 130 : ℓ/b ≤ 4.9 | 175 : ℓ/b ≤ 4.1 | 200 : ℓ/b ≤ 3.9<br>200−4.24(ℓ/b−3.9):<br>3.9 < ℓ/b ≤ 27 | 260 : ℓ/b ≤ 3.4<br>260−6.25(ℓ/b−3.4):<br>3.4 < ℓ/b ≤ 25 |
| | 75초과<br>100이하 | 130−2.21(ℓ/b−4.9):<br>4.9 < ℓ/b ≤ 30 | 175−3.48(ℓ/b−4.1):<br>4.1 < ℓ/b ≤ 30 | 195 : ℓ/b ≤ 3.9<br>195−4.07(ℓ/b−3.9):<br>3.9 < ℓ/b ≤ 27 | 250 : ℓ/b ≤ 3.5<br>250−5.94(ℓ/b−3.5):<br>3.5 < ℓ/b ≤ 25 |
| $\frac{A_w}{A_c} > 2$ | 40이하 | 140 : ℓ/b ≤ 9.3/K<br>140−1.24(Kℓ/b−9.3):<br>9.3/K < ℓ/b ≤ 30 | 190 : ℓ/b ≤ 8.0/K<br>190−1.95(Kℓ/b−8.0):<br>8.0/K < ℓ/b ≤ 30 | 215 : ℓ/b ≤ 7.5/K<br>215−2.35(Kℓ/b−7.5):<br>7.5/K< ℓ/b ≤ 27 | 270 : ℓ/b ≤ 6.7/K<br>270−3.32(Kℓ/b−6.7):<br>6.7/K < ℓ/b ≤ 25 |
| | 40초과<br>75이하 | 130 : ℓ/b ≤ 9.7/K | 175 : ℓ/b ≤ 8.3/K | 200 : ℓ/b ≤ 7.8/K<br>200−2.12(Kℓ/b−7.8):<br>7.8/K< ℓ/b ≤ 27 | 260 : ℓ/b ≤ 6.9/K<br>260−3.12(Kℓ/b−6.9):<br>6.9/K< ℓ/b ≤ 25 |
| | 75초과<br>100이하 | 130−1.10(Kℓ/b−9.7):<br>9.7/K < ℓ/b ≤ 30 | 175−1.74(Kℓ/b−8.3):<br>8.3/K < ℓ/b ≤ 30 | 195 : ℓ/b ≤ 7.9/K<br>195−2.04(Kℓ/b−7.9):<br>7.9/K< ℓ/b ≤ 27 | 250 : ℓ/b ≤ 6.9/K<br>250−2.97(Kℓ/b−6.9):<br>6.9/K< ℓ/b ≤ 25 |
| 비 고 | | $A_w$ : 복부판의 총 단면적(㎟)<br>$A_c$ : 압축플랜지의 총 단면적(㎟)<br>ℓ : 압축플랜지의 고정점간의 거리(㎜)<br>b : 압축플랜지의 폭(㎜) | | K : $\sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$ | |

◎ 허용전단응력(MPa)

| 강종 / 판두께(mm) | SS400<br>SM400<br>SMA400 | SM490 | SM490Y<br>SM520<br>SMA490 | SM570<br>SMA570 |
|---|---|---|---|---|
| 40이하 | 80 | 110 | 125 | 155 |
| 40초과 75이하 | 75 | 100 | 115 | 150 |
| 75초과 100이하 | | | 115 | 145 |

㉦ 항복응력(MPa)

| 강종 / 판두께(mm) | SS400<br>SM400<br>SMA400 | SM490 | SM490Y<br>SM520<br>SMA490 | SM570<br>SMA570 |
|---|---|---|---|---|
| 40이하 | 235 | 315 | 355 | 450 |
| 40초과 75이하 | 215 | 295 | 335 | 430 |
| 75초과 100이하 | | | 325 | 420 |

㉧ 강재 주거더의 허용응력 증가율

| 하중의 조합 | | | 증가율(%) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 정의 휨모멘트를 받는 부분 | 부의 휨모멘트를 받는 부분 |
| 1 | 크리프의 영향과 건조수축의영향을 제외한 주하중 | | 0 | 0 |
| 2 | 주하중 | 압축연 | 15 | 0 |
| | | 인장연 | 0 | 0 |
| 3 | 주하중+바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차 | 압축연 | 30 | 15 |
| | | 인장연 | 15 | 15 |
| 4 | 가설시 하중 | 압축연 | 25 | 25 |
| | | 인장연 | 25 | 25 |

3) 사용 전산프로그램 : 안전성평가를 위한 구조해석은 3차원 해석과 활하중의 이동재하가 가능한 범용구조해석 프로그램인 MIDAS CIVIL을 이용하였으며, 구조물의 기하학적 특성을 Frame Element로 모델링하였다.

4) 설계방법

① 바닥판 : 강도설계법

② 강박스 거더 : 허용응력설계법

5) 적용하중

① 고정하중

고정하중은 합성전 고정하중과 합성후 고정하중으로 구분하여 모델링하였다. 합성전 고정하중은 강재 및 바닥판 자중을 고려하였으며 합성후 고정하중은 방호벽 및 중앙분리대, 포장 등을 고려하여 계산하였다.

② 활하중

본 교량은 1등급 교량으로서 DB-24 및 DL-24 하중을 적용한다.

③ 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차

㉠ 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차( $\Delta T$ ) : $\pm 10^{\circ}$ C

㉡ 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수($\alpha$) : $12\times10^{-6}$

④ 바닥판 콘크리트의 크리프

㉠ 크리프 계수($\phi_1$) : 2

㉡ 크리프 계산을 위한 탄성계수비 : $n_1 = n\ (1 + \phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2/2) = 14$

⑤ 바닥판 콘크리트의 건조수축

㉠ 최종수축율( $\varepsilon_s$ ) : $27\times10^{-5}$

㉡ 건조수축 계산을 위한 크리프 계수($\phi_2$) : $\phi_2 = 2\ \phi_1 = 2 \times 2 = 4$

㉢ 건조수축 계산을 위한 탄성계수비 : $n_2 = n\ (1 + \phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4/2) = 21$

⑥ 하중조합

㉠ LCB1 : 합성전 고정하중

㉡ LCB2 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중

㉢ LCB3 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프

㉣ LCB4 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축

㉤ LCB5 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축+온도차

㉥ LCB6 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축-온도차

6) 참고문헌

① 도로교 설계기준(2010)

② 콘크리트 구조설계기준(2012)

③ 도로설계편람(2008)

④ 도로설계요령(2009)

⑤ 강도로교 상세부 설계지침(2006)

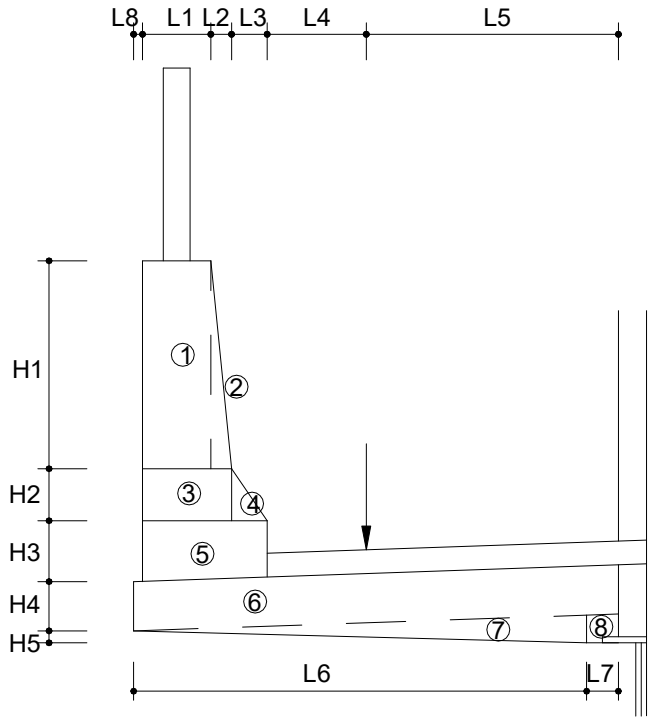
## 나. 바닥판 구조검토

합성형교에서 바닥판으로서 작용할 경우(교축직각방향)에 대하여 도로교설계기준(2010년) 등의 적용기준에 따라 구조검토를 수행하였다.

1) 캔틸레버부(방호벽)-마산방향

① 고정하중

| NO. | 작용하중(kN) | | | 작용거리 (m) | 모멘트 (kN·m) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ① | 0.700 × 0.230 × 25 | = | 1.330 | 0.880 | 3.542 | |
| ② | 1/2 × 0.070 × 0.700 × 25 | = | 0.420 | 0.742 | 0.454 | |
| ③ | 0.175 × 0.300 × 25 | = | 0.678 | 0.875 | 1.148 | |
| ④ | 1/2 × 0.175 × 0.120 × 25 | = | 0.273 | 0.655 | 0.172 | |
| ⑤ | 0.205 × 0.420 × 25 | = | 1.085 | 0.785 | 1.690 | |
| ⑥ | 0.250 × 1.025 × 25 | = | 6.375 | 0.513 | 3.283 | |
| ⑦ | 1/2 × 0.050 × 0.925 × 25 | = | 1.150 | 0.408 | 0.236 | |
| ⑧ | 0.050 × 0.100 × 25 | = | 0.250 | 0.050 | 0.006 | |
| ⑨ | 0.080 × 0.275 × 23 | = | 1.012 | 0.288 | 0.145 | 포장 |
| ⑩ | 방음벽하중 | = | 2.382 | 0.880 | 2.096 | 방음벽 |
| 계 | | | 18.362 | | 12.774 | |




| | | |
|---|---|---|
| H1 = | 0.700 | m |
| H2 = | 0.175 | m |
| H3 = | 0.205 | m |
| H4 = | 0.250 | m |
| H5 = | 0.050 | m |
| L1 = | 0.230 | m |
| L2 = | 0.070 | m |
| L3 = | 0.120 | m |
| L4 = | 0.300 | m |
| L5 = | 0.305 | m |
| L6 = | 0.925 | m |
| L7 = | 0.100 | m |

콘크리트 단위중량 = 25.0kN/㎥
아스팔트포장 단위중량 = 23.0kN/㎥
트럭의 후륜하중($P_r$) = 96.0kN
곡선반경(R) = ∞
설계속도 = 100km/hr

② 활하중(DB-24 : $P_r$ = 96 kN)

윤하중 분포폭

E = 0.8X + 1.14 = 0.8 × 0.275 + 1.14 = 1.360m

여기서, X = 0.275m

③ 충격계수

$$i = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 0.275} = 0.372 > 0.300 \quad \therefore i = 0.300 \text{ 적용}$$

④ 활하중

$$M_{\ell+i} = \frac{P_r \cdot X \cdot (1+i)}{E} = \frac{96 \times 0.275 \times (1+0.300)}{1.360} = 25.235\text{kN·m/m}$$

⑤ 차량 충돌하중

H = ( V / 60 )² × 7500 + 2500 = (100 / 60)² × 7500 + 2500

= 23.333kN/m

$M_{co}$ = H × h = 23.333 × 1.230 = 28.700kN·m/m

⑥ 원심하중

$$CF = 0.79\left(\frac{V^2}{R}\right)(\%) = 0.79 \times \left(\frac{100^2}{5400}\right)(\%) = 1.463(\%)$$

$$P_{cf} = \frac{P_r}{E} \times \frac{1.463}{100} = 1.033 \text{ kN/m}$$

$M_{cf}$ = 1.033 × 1.8 = 1.859 kN · m/m

⑦ 풍하중

$P_w$ = 3.0kN/㎡ × 4.000m =12.000kN/m

$M_w$ = 12.000 × 2.080 = 24.960kN·m/m

⑧ 하중조합

㉠ 계수모멘트

- $M_{u1} = 1.3\,M_d + 2.15\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} = 73.278\,kN\cdot m/m$
- $M_{u2} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} + 1.3\,M_{co} = 89.138\,kN\cdot m/m$
- $M_{u3} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} + 0.65\,M_w = 68.052\,kN\cdot m/m$
- $M_{u4} = 1.2\,M_d + 1.2\,M_w + 1.2\,M_{co} = 79.721\,kN\cdot m/m$

㉡ 사용모멘트

- $M = 1.0\,M_d + 1.0\,M_{(\ell+i)} + 1.0\,M_{cf} = 39.868\,kN\cdot m/m$

⑨ 바닥판의 최소두께( X > 0.25인 경우)

$h_{min} = (80\cdot X + 230) = (80\times 0.275 + 230) = 252mm > 220.0mm \quad \therefore h_{req} = 265.2mm$

$h_{use} = 300.0mm > h_{req} = 252mm \quad \therefore O.K$

⑩ 단면검토

㉠ 검토조건

설계기준강도($f_{ck}$) = 27.0MPa , 인장철근 항복강도($f_y$) = 400.0MPa

단면폭(b) = 1000mm , 단면높이(h) = 300mm

철근 피복두께($d_c$) = 60mm , 유효깊이(d) = 240mm

사용철근량($A_s$) = H16@125 = 1588.8㎟

⑪ 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s\cdot f_y}{0.85\cdot f_{ck}\cdot b} = \frac{1588.8\times 400.0}{0.85\times 27.0\times 1000.0} = 27.692mm$$

$$\Phi Mn = \Phi\left\{As\cdot f_y\cdot\left(d - \frac{a}{2}\right)\right\}$$

$$= 0.85\times 1588.8\times 400.0\times\left(240.0 - \frac{27.692}{2}\right) = 122.167kN\cdot m$$

㉠ 휨모멘트 검토

$\Phi Mn = 122.167kN\cdot m > Mu = 89.138kN\cdot m \quad \therefore O.K$

⑫ 사용성(균열) 검토

㉠ 탄성계수비(n) = $E_s / E_c = 8$

㉡ 중립축 거리($\chi$) = $-nAs/b + nAs/b\sqrt{[1+2bd/(nAs)]} = 66.400$

㉢ 철근응력($f_s$) = $M/[A_s \times (d-\chi/3)] = 39.868 \times 10^6/[1588 \times (240-66.400/3)] = 115.180\,MPa$

㉣ 최소 두께($c_c$) = $60.0 - 16.0/2 = 52.0\,mm$

㉤ 인장연단 폭($s_1$) = $375 \times (210/f_s) - 2.5c_c$

$= 375 \times (210/115.180) - 2.5 \times 52.0 = 554mm$

㉥ 인장연단 폭($s_2$) = $300 \times (210/f_s)$

$= 300 \times (210/115.180) = 547mm$

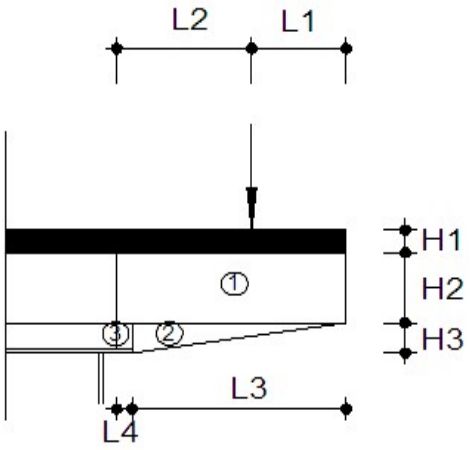
㉦ 철근 소요중심간격($s_a$) = $Min(s_1, s_2) = 547mm$

㉧ 철근 평균간격 $s = 125.0mm \leq s_a = 547mm$이므로, ∴ O.K

2) 캔틸레버부(중분대)

① 고정하중

| NO. | 작용하중(kN) | | | 작용거리 (m) | 모멘트 (kN·m) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ① | 0.250 × 0.730 × 25 | = | 4.563 | 0.365 | 1.665 | |
| ② | 1/2 × 0.050 × 0.68 × 25 | = | 0.425 | 0.277 | 0.118 | |
| ③ | 0.050 × 0.050 × 25 | = | 0.063 | 0.025 | 0.002 | |
| ④ | 0.080 × 0.730 × 23 | = | 1.343 | 0.365 | 0.490 | |
| 계 | | | 6.393 | | 2.275 | |




| | | |
|---|---|---|
| H1 = | 0.080 | m |
| H2 = | 0.250 | m |
| H3 = | 0.050 | m |
| L1 = | 0.300 | m |
| L2 = | 0.430 | m |
| L3 = | 0.680 | m |
| L4 = | 0.050 | m |

콘크리트 단위중량 = 25.0kN/㎥
아스팔트포장 단위중량 = 23.0kN/㎥
트럭의 후륜하중($P_r$) = 96.0kN
곡선반경(R) = ∞
설계속도 = 100km/hr

② 활하중(DB-24 : $P_r$ = 96 kN)

윤하중 분포폭

E = 0.8X + 1.14 = 0.8 × 0.430 + 1.14 = 1.484m

여기서, X = 0.430m

③ 충격계수

$$i = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 0.400} = 0.371 > 0.300 \qquad \therefore\ i = 0.300 \text{ 적용}$$

④ 활하중

$$M_{\ell+i} = \frac{P_r \cdot X \cdot (1+i)}{E} = \frac{96 \times 0.430 \times (1+0.300)}{1.460} = 36.162 \text{kN·m/m}$$

⑤ 원심하중

$$CF = 0.79\left(\frac{V^2}{R}\right)(\%) = 0.79 \times \left(\frac{100^2}{5400}\right)(\%) = 1.463(\%)$$

$$P_{cf} = \frac{P_r}{E} \times \frac{1.463}{100} = 0.941\ kN/m$$

$$M_{cf} = 0.966 \times 1.8 = 1.703\ kN \cdot m/m$$

⑥ 하중조합

㉠ 계수모멘트

- $M_{u1} = 1.3\,M_d + 2.15\,M_{(\ell+i)} = 80.706\ kN \cdot m/m$
- $M_{u2} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} = 82.919\ kN \cdot m/m$

㉡ 사용모멘트

- $M = 1.0\,M_d + 1.0\,M_{(\ell+i)} + 1.0\,M_{cf} = 40.140\ kN \cdot m/m$

⑦ 바닥판의 최소두께( X > 0.25인 경우)

$h_{min} = (80 \cdot X + 230) = (80 \times 0.430 + 230) = 264.4mm > 220.0mm \quad \therefore h_{req} = 264.4mm$

$h_{use} = 300.0mm > h_{req} = 264.4mm \quad \therefore O.K$

⑧ 단면검토

㉠ 검토조건

설계기준강도($f_{ck}$) = 27.0MPa , 인장철근 항복강도($f_y$) = 400.0MPa

단면폭(b) = 1000mm , 단면높이(h) = 300mm

철근 피복두께($d_c$) = 60mm , 유효깊이(d) = 240mm

사용철근량($A_s$) = H16@125 = 1588.8㎟

⑨ 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_{ck} \cdot b} = \frac{1588.8 \times 400.0}{0.85 \times 27.0 \times 1000.0} = 27.692mm$$

$$\Phi Mn = \Phi\left\{As \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)\right\}$$

$$= 0.85 \times 1588.8 \times 400.0 \times \left(240.0 - \frac{27.692}{2}\right) = 122.167kN \cdot m$$

㉠ 휨모멘트 검토

$\phi Mn = 122.167kN{\cdot}m > Mu = 82.919kN{\cdot}m \quad \therefore O.K$

⑩ 사용성(균열) 검토

㉠ 탄성계수비(n) $= E_s / E_c = 8$

㉡ 중립축 거리($\chi$) $= -nAs/b + nAs/b\sqrt{[1+2bd/(nAs)]} = 66.400$

㉢ 철근응력($f_s$) $= M/[A_s \times (d-\chi/3)] = 40.140 \times 10^6/[1588 \times (240-66.400/3)] = 115.962\,MPa$

㉣ 최소 두께($c_c$) $= 60.0 - 16.0/2 = 52.0\,mm$

㉤ 인장연단 폭($s_1$) $= 375 \times (210/f_s) - 2.5c_c$

$= 375 \times (210/115.962) - 2.5 \times 52.0 = 549mm$

㉥ 인장연단 폭($s_2$) $= 300 \times (210/f_s)$

$= 300 \times (210/115.962) = 543mm$

㉦ 철근 소요중심간격($s_a$) $= Min(s_1, s_2) = 543mm$

㉧ 철근 평균간격 $s = 125.0mm \leq s_a = 387mm$이므로, $\therefore$ O.K

3) 중앙부

① 고정하중

철근콘크리트 : $0.250m \times 25.0kN/m^3 = 6.250kN/m^2$

아스팔트포장 : $0.080m \times 23.0kN/m^3 = 1.840kN/m^2$

$\Sigma w_d = 8.090kN/m^2$

$$M_d = \frac{\Sigma w_d L^2}{16} = \frac{8.550 \times 2.500^2}{16} = 5.056kN{\cdot}m/m$$

여기서, 계산지간(L) = 2.500m

② 활하중(DB-24 : $P_r = 96\,kN$)

㉠ 충격계수

$$i = \frac{15}{40+L} = \frac{15}{40+2.500} = 0.353 > 0.300 \qquad \therefore i = 0.300 \text{ 적용}$$

㉡ 활하중

$$M_{\ell+i} = \frac{(L+0.6)P_r}{9.6}(1+i) = \frac{(2.500+0.6) \times 96}{9.6} \times (1+0.300) = 40.300kN{\cdot}m/m$$

연속 바닥판이므로, $M_{\ell+i} = 0.8 \times 40.300 = 32.240kN{\cdot}m/m$

③ 하중조합

㉠ 계수모멘트

■ $M_{u1} = 1.3\,M_d + 2.15\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} = 77.587\,kN\cdot m/m$

㉡ 사용모멘트

■ $M = 1.0\,M_d + 1.0\,M_{(\ell+i)} + 1.0\,M_{cf} = 38.602\,kN\cdot m/m$

④ 바닥판의 최소두께

$h_{min} = (30\cdot L + 130) = (30\times 2.50 + 130) = 205\,mm < 220.0\,mm \quad \therefore h_{req} = 220.0\,mm$

$h_{use} = 250.0\,mm > h_{req} = 220.0\,mm \quad \therefore O.K$

⑤ 단면검토

㉠ 검토조건

설계기준강도($f_{ck}$) = 27.0MPa , 인장철근 항복강도($f_y$) = 400.0MPa

단면폭(b) = 1000mm , 단면높이(h) = 250mm

철근 피복두께($d_c$) = 40mm , 유효깊이(d) = 210mm

사용철근량($A_s$) = H16@125 = 1588.8㎟

㉡ 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s\cdot f_y}{0.85\cdot f_{ck}\cdot b} = \frac{1588.8\times 400.0}{0.85\times 27.0\times 1000.0} = 27.692mm$$

$$\Phi Mn = \Phi\left\{As\cdot f_y\cdot\left(d-\frac{a}{2}\right)\right\}$$

$$= 0.85\times 1588.8\times 400.0\times\left(210.0-\frac{27.692}{2}\right) = 105.961kN\cdot m$$

㉢ 휨모멘트 검토

$\Phi Mn = 105.961kN\cdot m \geq Mu = 77.587kN\cdot m \quad \therefore O.K$

⑥ 사용성(균열) 검토

㉠ 탄성계수비(n) = $E_s / E_c = 8$

㉡ 중립축 거리($\chi$) = $-nAs/b + nAs/b\sqrt{[1+2bd/(nAs)]} = 61.5mm$

㉢ 철근응력($f_s$) = $M/[A_s\times(d-x/3)] = 38.602\times 10^6/[1588\times(210.0-61.5/3)] = 128.213\,MPa$

㉣ 최소 두께($c_c$) = $40.0 - 16/2 = 32.0\,mm$

㉰ 인장연단 폭($s_1$) = $375 \times (210/f_s) - 2.5c_c$

$= 375 \times (210/128.213) - 2.5 \times 32.00 = 534\,mm$

㉱ 인장연단 폭($s_2$) = $300 \times (210/f_s)$

$= 300 \times (210/128.213) = 491\,mm$

㉲ 철근 소요중심간격($s_a$) = $Min(s_1, s_2) = 491\,mm$

㉳ 철근 평균간격 $s = 125.0\,mm \leq s_a = 491\,mm$이므로, ∴ O.K

4) 바닥판의 구조검토 결과

강도설계법에 의한 바닥판의 단면검토 결과, 휨강도에 대한 계수모멘트의 최소 안전율이 1.154로 산정되어 바닥판은 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

【표 5-23】 바닥판의 단면검토결과

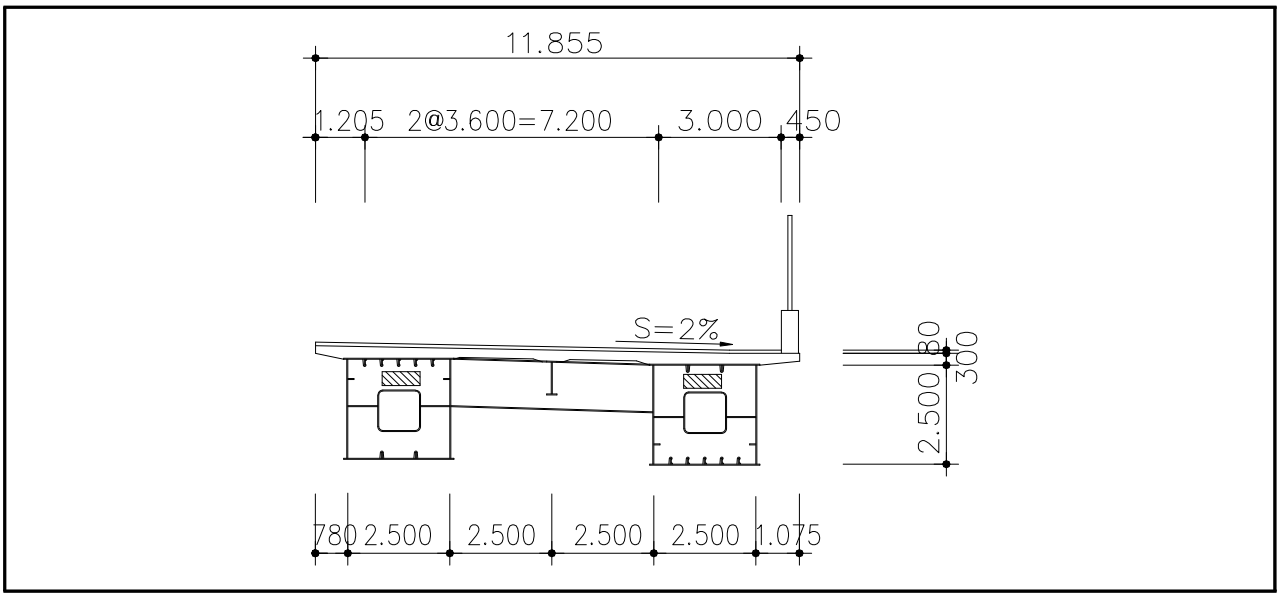
| 구 분 | $M_u$ (kN·m) | $\Phi M_n$ (kN·m) | 안전율($\Phi$Mn/Mu) | 검토결과 |
|---|---|---|---|---|
| 캔틸레버부(방호벽측) | 89.138 | 122.167 | 1.371 | O.K |
| 캔틸레버부(중분대측) | 82.919 | 122.167 | 1.473 | O.K |
| 중앙부 | 77.587 | 105.961 | 1.366 | O.K |

【표 5-24】 바닥판의 사용성(균열) 검토결과

| 구 분 | $M_o$ (kN·m) | 인장응력($f_s$) (MPa) | 허용응력($f_{sa}$) (MPa) | 철근 평균간격(s) (mm) | 철근 소요중심간격($s_a$) (mm) | 검토결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 캔틸레버부(방호벽측) | 39.868 | 115.180 | 240.000 | 125.000 | 547.000 | O.K |
| 캔틸레버부(중분대측) | 40.140 | 115.962 | 240.000 | 125.000 | 543.000 | O.K |
| 중앙부 | 38.602 | 128.213 | 240.000 | 125.000 | 491.000 | O.K |

## 다. 강박스 거더 구조검토

1) 해석단면




【그림 5-15】 해석단면

2) 하중 산정

① 2블럭(S9~S9)

㉠ 합성전 고정하중

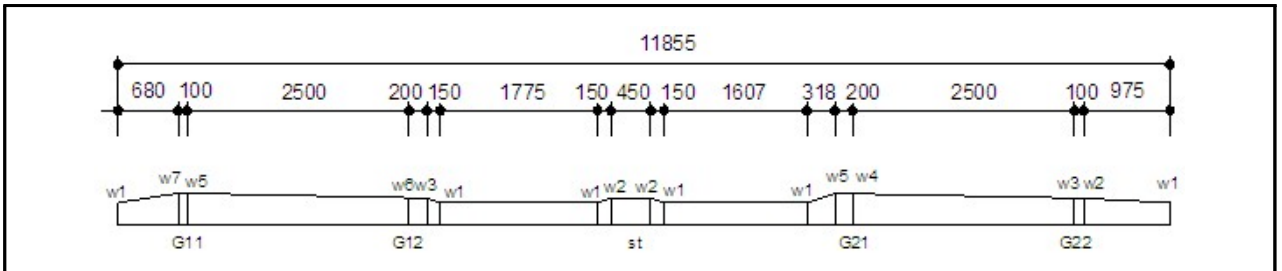
■ 강재 자중 : 프로그램 내에서 자동 고려

◦각종 보강재 및 현장이음재 등의 부부재 하중으로 주부재 자중을 31.0% 할증 적용

◦총 강재중량 / 모델링 강재중량 = 1.310

■ 바닥판 자중

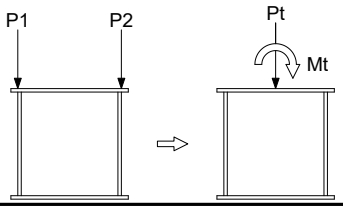
◦횡방향 하중분배




| | | | |
|---|---|---|---|
| W1 | 0.250 × 25 = 6.250 kN/m | W5 | 0.356 × 25 = 8.900 kN/m |
| W2 | 0.300 × 25 = 7.500 kN/m | W6 | 0.306 × 25 = 7.650 kN/m |
| W3 | 0.302 × 25 = 7.550 kN/m | W7 | 0.358 × 25 = 8.938 kN/m |
| W4 | 0.352 × 25 = 8.800 kN/m | | |

【그림 5-16】 합성전 바닥판 자중 재하도

◦거더별 작용하중

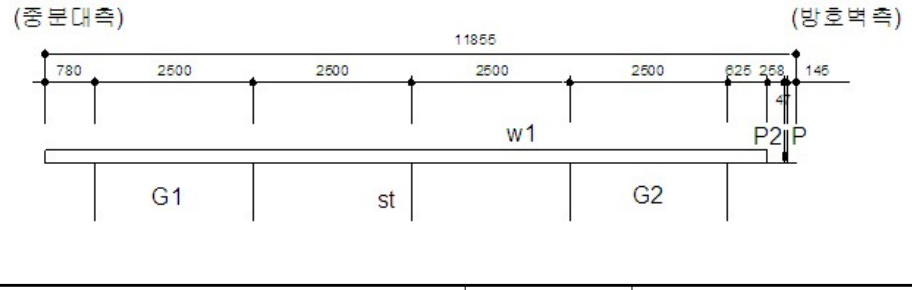
| 구분 | 거더 폭 (m) | 바닥판 자중 | | | | 기호의 정의 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | P1 (kN/m) | P2 (kN/m) | Pt (kN/m) | Mt (kN・m) | |
| G1 | 2.500 | 16.710 | 18.214 | 34.924 | 1.880 |  |
| ST | | | - | 16.391 | - | |
| G2 | 2.500 | 19.269 | 17.367 | 36.636 | -2.377 | |



㉡ 합성후 고정하중

합성후 고정하중은 콘크리트 바닥판에 의한 횡분배 효과를 반영하기 위하여 2차원 프레임 모델을 사용하여 반력을 산출한 후 그 반력을 3차원 격자모델에 재하하였다.

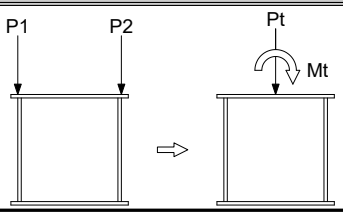
■ 횡방향 하중분배




| 포장 | 0.080 × 23 = 1.840 kN/m | 방호벽측 | 18.362kN |
|---|---|---|---|

【그림 5-17】 합성후 고정하중 재하도

■ 거더별 작용하중

| 구분 | 거더폭 (m) | 바닥판 자중 | | | | 기호의 정의 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | P1(kN/m) | P2(kN/m) | Pt(kN/m) | Mt(kN・m) | |
| G1 | 2.500 | 3.735 | 4.600 | 8.335 | 1.081 |  |
| ST | | | - | 4.600 | - | |
| G2 | 2.500 | 4.600 | 14.197 | 18.797 | 11.996 | |

■ 활하중

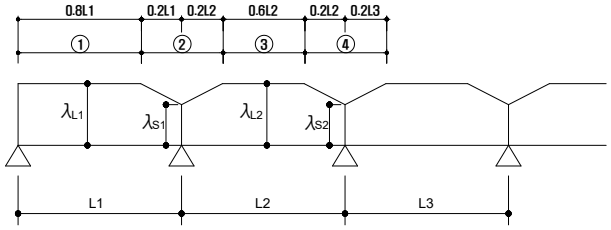
<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="4">활하중</th></tr>
<tr><td>• 교 폭</td><td colspan="4">• 11.855m</td></tr>
<tr><td>• 지간장(L)</td><td colspan="4">• 4@50.0m = 200m</td></tr>
<tr><td>• 연석간 교폭($W_c$)</td><td colspan="4">• 11.405m</td></tr>
<tr><td>• 설계 차로수(N)</td><td colspan="4">• 9.1m ≤ $W_c$ < 12.8m ∴ 3차로 재하</td></tr>
<tr><td>• 설계 차로폭(W)</td><td colspan="4">• 11.405m / 3 = 3.802m > 3.600m 이므로, ∴ W = 3.600m</td></tr>
<tr><td rowspan="2">• 충격계수(i)</td><td colspan="4">• 제6~9지간 : 15 / (40+50.0)=0.167 < 0.3 ∴ i = 0.167 적용</td></tr>
<tr><td colspan="4">• 제6~8내부지점 : 15 / (40+50.0) = 0.167 < 0.3 ∴ i = 0.167 적용</td></tr>
<tr><td rowspan="4">• 활하중 크기</td><td colspan="2">표준차로하중(DL-24)</td><td colspan="2">표준트럭하중(DB-24)</td></tr>
<tr><td>$P_m$</td><td>108kN</td><td>$P_f$</td><td>24 kN</td></tr>
<tr><td>$P_s$</td><td>156kN</td><td>$P_r$</td><td>96 kN</td></tr>
<tr><td>$W_\ell$</td><td>12.7kN/m</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>• 재하방법</td><td colspan="4">• 해석프로그램의 이동하중해석 기능을 사용<br>• DB-24, DL-24 재하<br>• DB-24 또는 DL-24하중에 대하여 독립적으로 1~3개 차로에 경간별로 가장 불리한 부재력이 산출되도록 재하<br>• 최대 부재력이 3차로 이상의 활하중 동시 재하로 발생하는 경우에는 도로교설계기준(2010년)에 따라 백분율로 감소<br>- 3차로 동시 재하 : 90%<br>- 4차로 이상 동시 재하 : 75%<br>• 각 CASE별 하중재하도 및 각 거더별 작용하중은 부록 참조.</td></tr>
</table>

3) 플랜지 및 바닥판의 유효폭 계산

전단지연(Shear Lag) 현상의 영향으로 인한 플랜지 및 바닥판의 유효폭은 다음과 같으며, 단면응력 검토 시 적용하였다.(상세한 계산과정은 부록 참조)

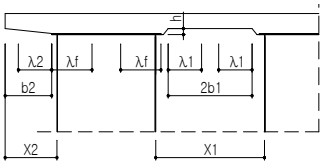
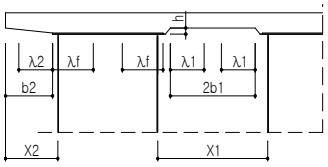
① 플랜지 유효폭

【표 5-25】 플랜지의 유효폭 산정

| 구 분 | 플랜지(m) | | 비 고 |
|---|---|---|---|
| | G1 | G2 | |
| 제6~5지간 중앙부 | 2.700 | 2.700 |  |
| 제1~4중간 지점부 | 2.394 | 2.394 | 상부 : 복부간격 2b = 2.500m , 플랜지돌출폭 be = 0.100m<br>하부 : 복부간격 2b = 2.500m , 플랜지돌출폭 be = 0.100m<br>L1~L5 = 5@50.00m |

② 바닥판 유효폭

【표 5-26】 바닥판의 유효폭 산정

| 구 분 | 바닥판(m) | |
|---|---|---|
| | G1 | G2 |
| 개 요 |  <br>$X_1$=5.000m, $X_2$=1.360m<br>h=0.05m, $b_e$=0.100m |  <br>$X_1$=5.000m, $X_2$=1.075m<br>h=0.05m, $b_e$=0.100m |
| 제1, 5지간 중앙부 | 5.739 | 6.034 |
| 제2~4지간 중앙부 | 5.647 | 5.942 |
| 제1~4중간 지점부 | 4.847 | 5.089 |

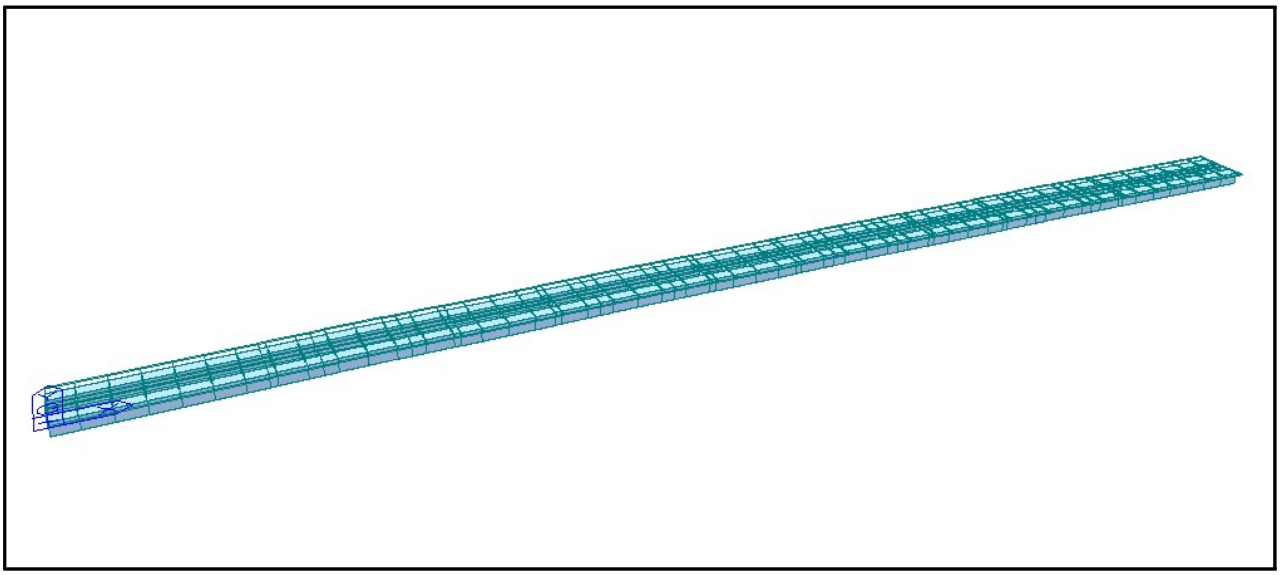
4) 모델링 및 단면 제정수

① 모델링

해석모델은 3차원 격자모델을 적용하였으며, 보요소로 이상화된 각 구조요소의 연결은 부재편심(Offset)이 반영되도록 하였다. 또한 시공단계별로 대상교량의 실제 강성과 최대한 근접할 수 있도록 모델링하였으며, 기타 세부내용은 다음과 같다.

㉠ 합성전 모델링시 바닥판은 단면의 강성에 기여하는 바 없이 고정하중만을 추가시키는 역할만을 함으로 바닥판에 의한 횡분배 효과는 고려하지 않는 것으로 하였다. 활하중은 해석프로그램 내의 이동하중해석 기능을 사용하였으며 도로교 설계기준을 참조하여 가장 불리한 하중조합이 되도록 설정하였다.

㉡ 경계조건은 현장조사시 확인된 각 지점의 가동, 고정상태를 고려하여 설정하였다.

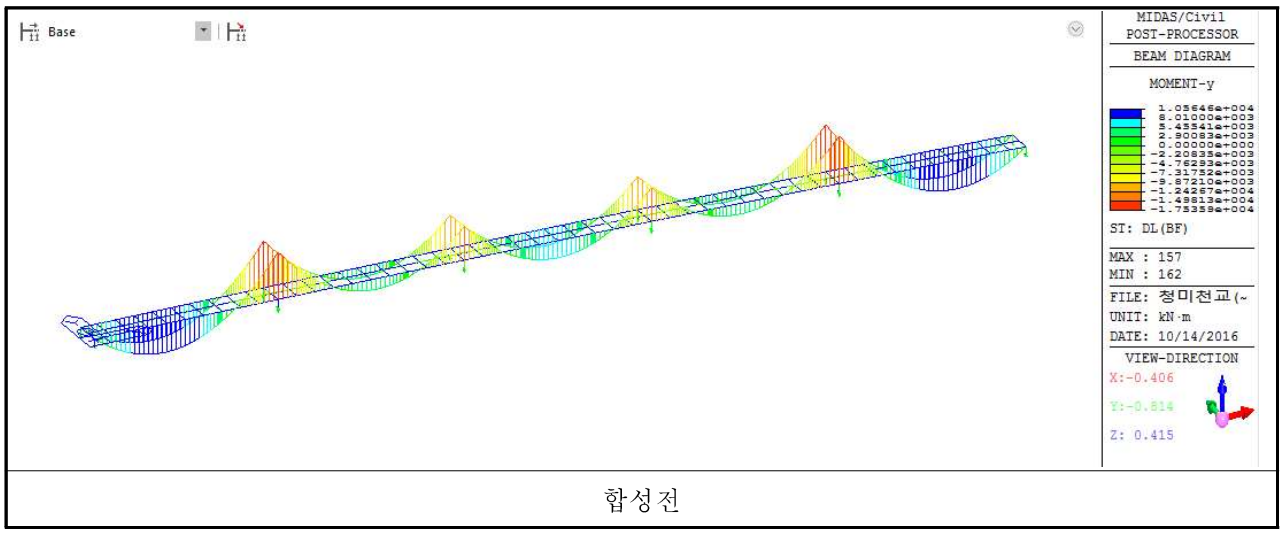


【그림 5-18】 해석모델링

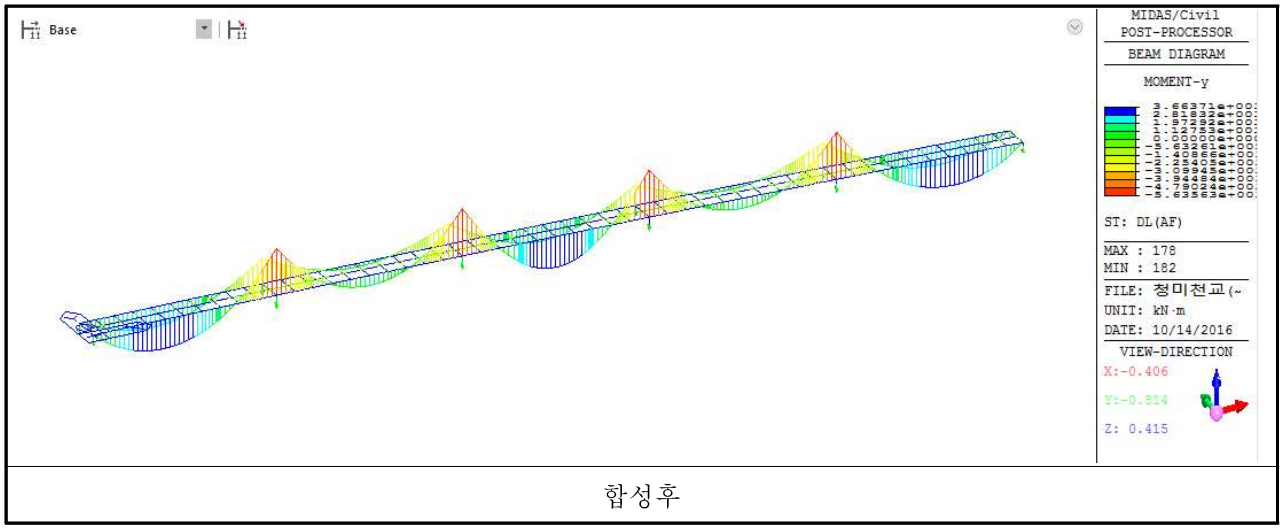
5) 구조해석 결과

① 단면력도

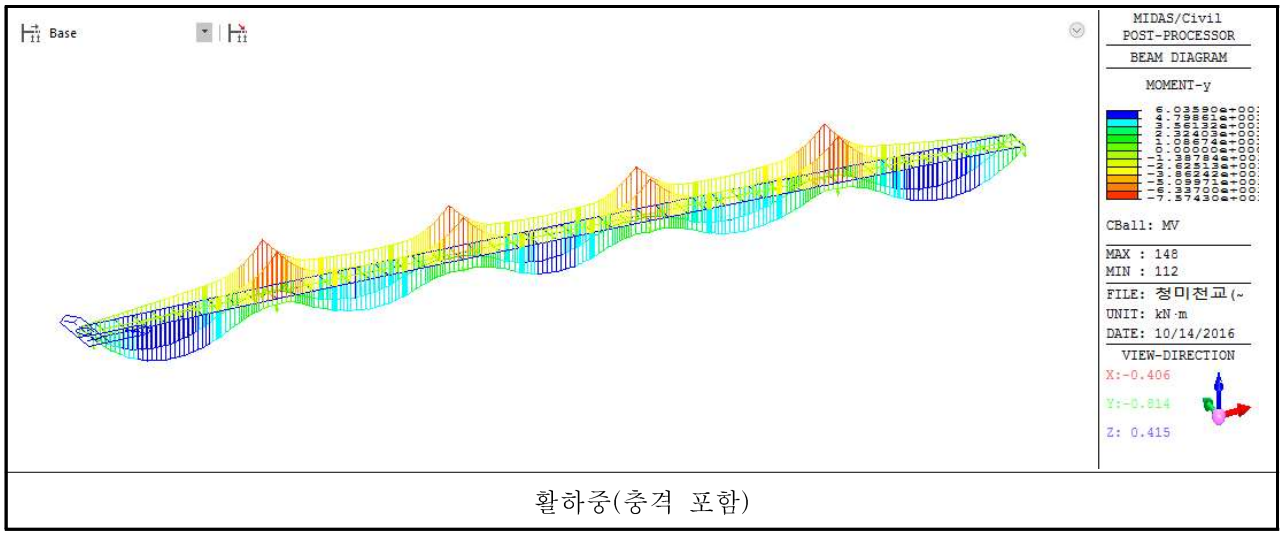
■ 휨모멘트




합성전



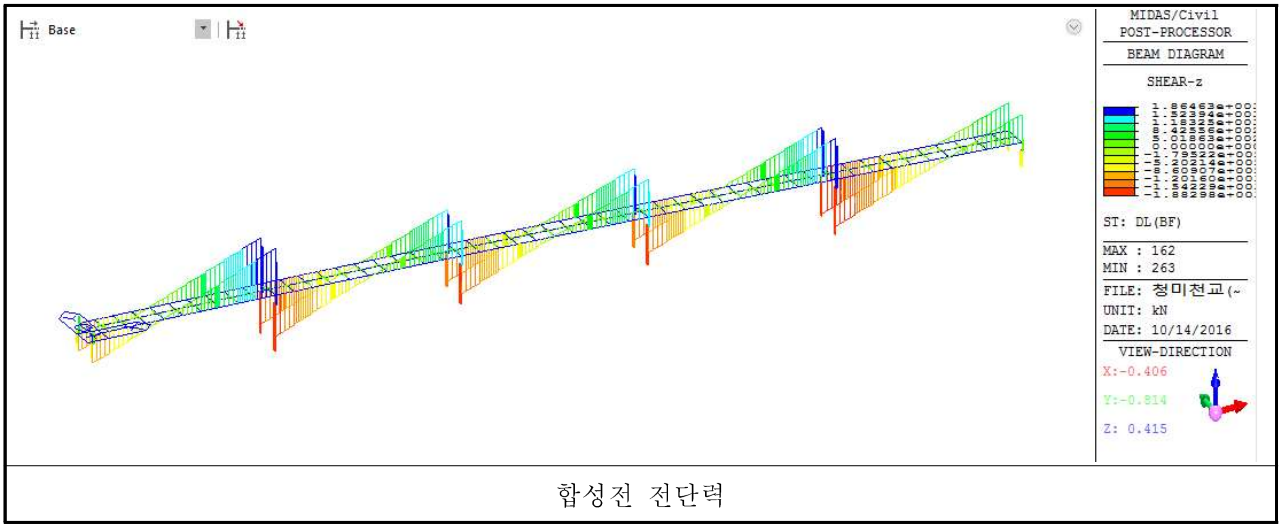

합성후



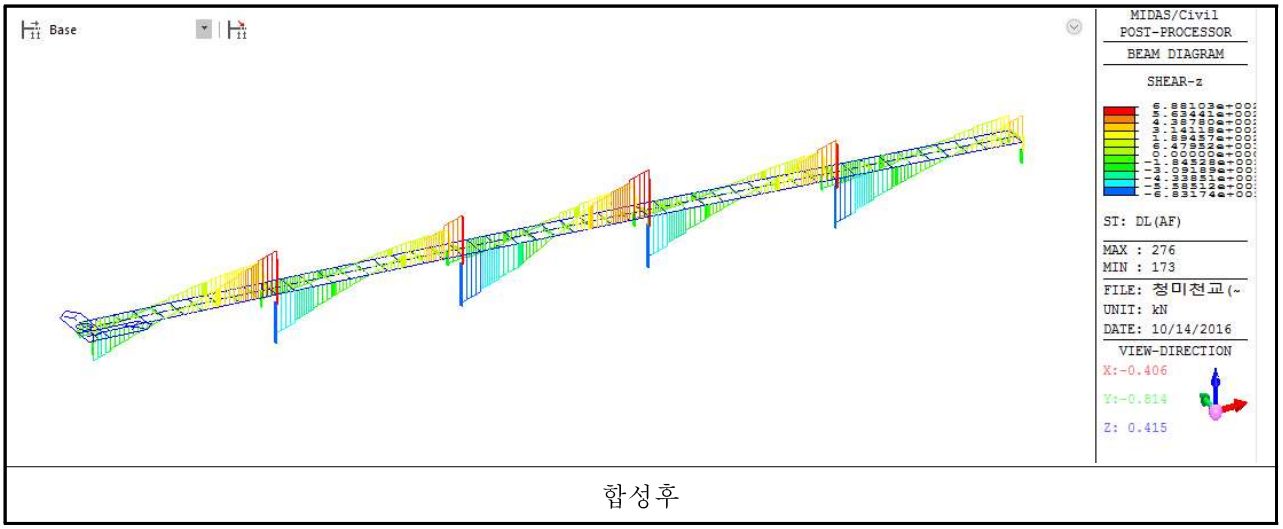

활하중(충격 포함)

【그림 5-19】 휨모멘트

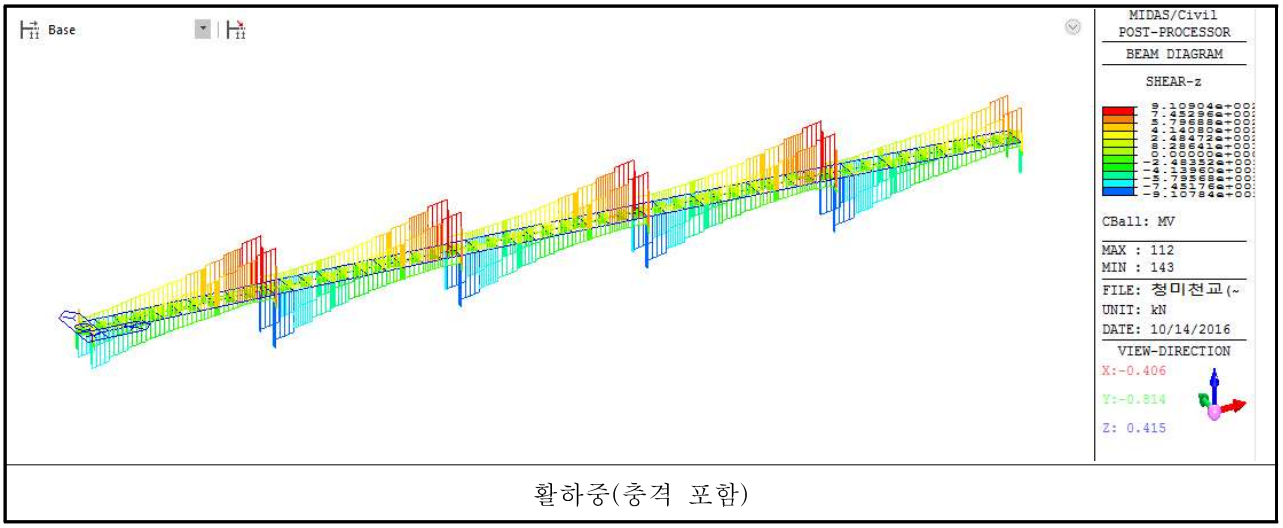
■ 전단력




합성전 전단력




합성후



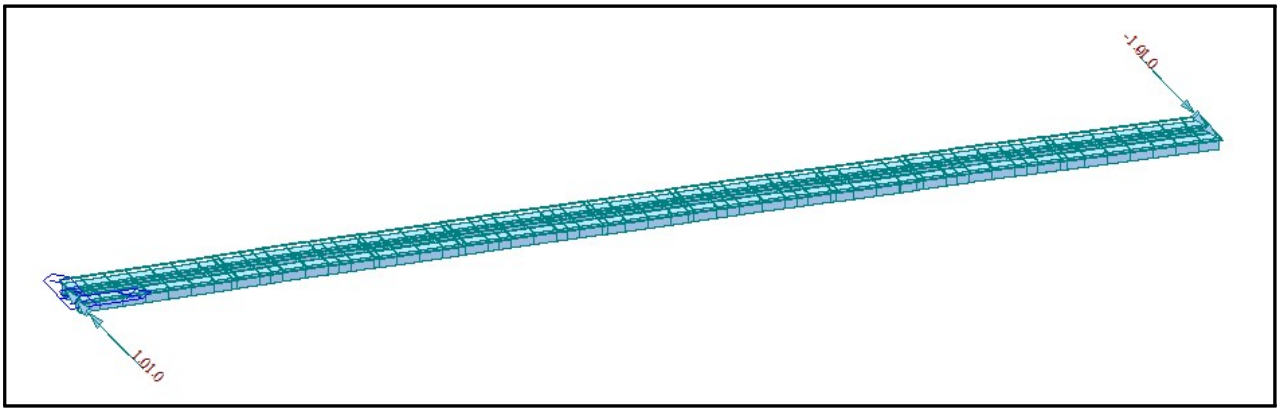

활하중(충격 포함)

【그림 5-20】 전단력

② 2차 부정정력에 대한 영향 검토

콘크리트-강재 합성형 교량에서는 고정하중과 활하중에 의한 응력 이외에 건조수축, 크리프, 강재-콘크리트 온도차에 의한 응력이 발생한다. 특히, 강합성형교가 2경간 이상의 연속교일 경우에는 건조수축, 크리프, 온도차에 의해 부정정력이 추가로 발생되며 이와 같은 하중을 2차 모멘트라고 한다.

부정정계에서 2차 모멘트를 구하기 위하여 해석모델 교량의 양단에 단위 모멘트를 작용시켜 각 절점에서의 모멘트(이 값을 영향계수 k라 함)를 구하여 이를 단면의 응력 검토시에 이용하였다.




【그림 5-21】 2차 부정정력에 대한 영향 검토

③ 단면력 산정결과

㉠ 최대정모멘트부

【표 5-27】 최대정모멘트부 단면력 산정결과

| 구 분 | | 합 성 전<br>고정하중 | 합 성 후<br>고정하중 | 활하중<br>(충격포함) | 합 계 |
|---|---|---|---|---|---|
| S1 | 휨모멘트(kN・m) | 10,528.070 | 2,411.470 | 6,035.830 | 18,975.370 |
| | 전단력(kN) | 57.370 | 11.700 | 289.450 | 358.520 |
| | 비틀림모멘트(kN・m) | 44.650 | -3.250 | 386.630 | 428.030 |

㉡ 최대부모멘트부

【표 5-28】 최대부모멘트부 단면력 산정결과

| 구 분 | | 합 성 전<br>고정하중 | 합 성 후<br>고정하중 | 활하중<br>(충격포함) | 합 계 |
|---|---|---|---|---|---|
| P1 | 휨모멘트(kN・m) | -17,302.160 | -2,922.780 | -7,574.020 | -27,798.960 |
| | 전단력(kN) | -1,595.820 | -230.280 | -888.780 | -2,714.880 |
| | 비틀림모멘트(kN・m) | 79.530 | 13.090 | -655.670 | -563.050 |

6) 강박스 거더의 응력 검토

강박스 거더에 대한 응력검토는 내·외측경간 최대 정모멘트부 및 내·외측 지점부 최대 부모멘트부 단면에 대하여 실시하였으며, 이에 대한 상세 검토결과는 부록에 첨부하였다.

| 하중종류1 | 합성전 고정하중 | 하중종류4 | 크리프 |
|---|---|---|---|
| 하중종류2 | 합성후 고정하중 | 하중종류5 | 건조수축 |
| 하중종류3 | 활하중 | 하중종류6 | 온도차 |

① 최대정모멘트부

㉠ S1-G2(단면-1)

■ 휨응력

【표 5-29】 최대정모멘트부 휨응력 검토결과

| 하중조합 | 휨 응 력 | | | | 안전율 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 작용응력(MPa) | | 허용응력(MPa) | | | |
| | 상 연 | 하 연 | 상 연 | 하 연 | 상 연 | 하 연 |
| 1 | 86.353 | -86.001 | 190.000 | 190.000 | 2.200 | 2.209 |
| 1+2+3 | 100.694 | -153.107 | 190.000 | 190.000 | 1.887 | 1.241 |
| 1+2+3+4 | 105.417 | -151.764 | 218.500 | 190.000 | 2.073 | 1.252 |
| 1+2+3+4+5 | 128.652 | -145.840 | 218.500 | 190.000 | 1.698 | 1.303 |
| 1+2+3+4+5+6 | 145.056 | -140.370 | 247.000 | 218.500 | 1.703 | 1.557 |
| 1+2+3+4+5-6 | 112.248 | -151.310 | 247.000 | 218.500 | 2.200 | 1.444 |

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

◦전단 및 비틀림

$$\nu = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2Ft_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2F_v t_w)$$

$$= 12.946\,\mathrm{MPa} \quad < \quad \nu_a = 110.000\,\mathrm{MPa} \quad \therefore \text{ O.K}$$

◦합성응력의 검토

-상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{218.652}{218.500}\right)^2 + \left(\frac{12.946}{110.000}\right)^2 = 0.347 + 0.014 = 0.361 \quad < \quad 1.2 \quad \therefore \text{ O.K}$$

-하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{-153.107}{-190.000}\right)^2 + \left(\frac{12.946}{110.000}\right)^2 = 0.649 + 0.014 = 0.663 \quad < \quad 1.2 \quad \therefore \text{ O.K}$$

② 최대부모멘트부

㉠ P1-G2(단면-5)

■ 휨응력

【표 5-30】 최대부모멘트부 휨응력 검토결과

| 하중조합 | 휨 응 력 | | | | 안전율 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 작용응력(㎫) | | 허용응력(㎫) | | | |
| | 상 연 | 하 연 | 상 연 | 하 연 | 상 연 | 하 연 |
| 1 | -93.721 | 88.868 | 190.00 | 190.00 | 2.027 | 2.138 |
| 1+2+3 | -156.363 | 155.241 | 190.00 | 190.00 | 1.215 | 1.224 |
| 1+2+3+4 | -159.407 | 149.554 | 190.00 | 190.00 | 1.192 | 1.270 |
| 1+2+3+4+5 | -149.622 | 169.180 | 190.00 | 190.00 | 1.270 | 1.123 |
| 1+2+3+4+5+6 | -134.675 | 193.334 | 218.50 | 218.50 | 1.622 | 1.130 |
| 1+2+3+4+5-6 | -164.569 | 145.026 | 218.50 | 218.50 | 1.328 | 1.507 |

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

◦전단 및 비틀림

$$\nu = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2\,F\,t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2\,F_v\,t_w)$$

$$= 26.180\,\mathrm{MPa} \quad < \quad \nu_a = 110.000\,\mathrm{MPa} \quad \therefore \ \mathrm{O.K}$$

◦합성응력의 검토

-상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{-159.407}{190.000}\right)^2 + \left(\frac{26.180}{110.000}\right)^2 = 0.740 + 0.057 = 0.761 \ < \ 1.2 \quad \therefore \ \mathrm{O.K}$$

-하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{169.180}{190.000}\right)^2 + \left(\frac{26.180}{110.000}\right)^2 = 0.793 + 0.057 = 0.849 \ < \ 1.2 \quad \therefore \ \mathrm{O.K}$$

7) 강박스 거더의 응력 검토

① 휨응력

【표 5-31】 강박스 거더의 휨응력 검토결과

| 구 분 | | 휨 응 력 | | | | 안전율 | | 검토결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 작용응력(㎫) | | 허용응력(㎫) | | | | |
| | | 상 연 | 하 연 | 상 연 | 하 연 | 상 연 | 하 연 | |
| 정모멘트부 | S1-G2 | 100.694 | -153.107 | 190.000 | 190.000 | 1.887 | 1.241 | O.K |
| 부모멘트부 | P1-G2 | -149.622 | 169.180 | 190.00 | 190.00 | 1.270 | 1.123 | O.K |

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

② 전단응력

【표 5-32】 강박스 거더의 전단응력 검토결과

| 구 분 | | 전 단 응 력 | | 안전율 | 검토결과 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 작용응력(㎫) | 허용응력(㎫) | | |
| 정모멘트부 | S1-G1 | 12.946 | 110.000 | 8.497 | O.K |
| 부모멘트부 | P1-G1 | 26.180 | 110.000 | 4.202 | O.K |

허용응력법에 의한 강박스 거더의 응력 검토결과, 거더 상·하연에 발생되는 최대응력은 허용응력 이내(휨응력 : 1.123, 전단응력 : 4.202)로 검토되어 구조 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

③ 합성응력

허용응력법에 의한 강박스 거더의 휨응력과 전단응력에 의한 합성응력 검토결과, 최대부모멘트 및 최대전단력 발생구간인 교각 지점부에서 합성응력이 0.761~0.849 사이로 허용기준치 1.2를 넘지 않은 것으로 검토되었다.

## 라. 교량받침용량 검토

【표 5-33】 교량받침용량 검토

| 구 분 | | | 합성전고정하중 (kN) | | 합성후 고정하중 (kN) | 활하중(kN) | 합 계(kN) | 받침용량 (kN) | 검토 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Steel | Concrete | | | | | |
| A1 | G1 | Sh01 | 135.817 | 356.464 | 242.891 | 334.650 | 1069.822 | 1600 | O.K |
| | | Sh02 | 162.483 | 481.124 | 186.940 | 427.121 | 1257.668 | 1600 | O.K |
| | G2 | Sh03 | 163.040 | 475.753 | 119.361 | 431.925 | 1190.079 | 1600 | O.K |
| | | Sh04 | 138.324 | 341.618 | 60.392 | 355.210 | 895.544 | 1600 | O.K |
| P1 | G1 | Sh01 | 491.105 | 1195.306 | 645.270 | 732.129 | 3063.810 | 4000 | O.K |
| | | Sh02 | 521.652 | 1359.435 | 596.316 | 858.355 | 3335.758 | 4000 | O.K |
| | G2 | Sh03 | 519.790 | 1325.463 | 285.566 | 865.987 | 2996.806 | 4000 | O.K |
| | | Sh04 | 493.179 | 1147.218 | 231.153 | 768.922 | 2640.472 | 4000 | O.K |
| P2 | G1 | Sh01 | 395.938 | 997.307 | 688.021 | 694.109 | 2775.375 | 4000 | O.K |
| | | Sh02 | 426.750 | 1163.673 | 625.060 | 823.640 | 3039.123 | 4000 | O.K |
| | G2 | Sh03 | 427.111 | 1132.911 | 256.239 | 830.799 | 2647.060 | 4000 | O.K |
| | | Sh04 | 395.290 | 952.316 | 192.514 | 733.648 | 2273.768 | 4000 | O.K |
| P3 | G1 | Sh01 | 395.938 | 997.304 | 688.103 | 694.289 | 2775.634 | 4000 | O.K |
| | | Sh02 | 426.749 | 1163.670 | 625.151 | 823.707 | 3039.277 | 4000 | O.K |
| | G2 | Sh03 | 427.111 | 1132.902 | 256.196 | 830.890 | 2647.099 | 4000 | O.K |
| | | Sh04 | 395.292 | 952.330 | 192.385 | 733.762 | 2273.769 | 4000 | O.K |
| P4 | G1 | Sh01 | 491.104 | 1195.303 | 645.378 | 731.948 | 3063.733 | 4000 | O.K |
| | | Sh02 | 521.652 | 1359.432 | 596.390 | 858.281 | 3335.755 | 4000 | O.K |
| | G2 | Sh03 | 519.790 | 1325.459 | 285.510 | 865.914 | 2996.673 | 4000 | O.K |
| | | Sh04 | 493.180 | 1147.229 | 231.027 | 768.794 | 2640.230 | 4000 | O.K |
| P5 | G1 | Sh01 | 135.817 | 356.464 | 242.891 | 334.652 | 1069.824 | 1600 | O.K |
| | | Sh02 | 162.483 | 481.123 | 186.986 | 427.167 | 1257.759 | 1600 | O.K |
| | G2 | Sh03 | 163.038 | 475.744 | 119.665 | 431.560 | 1190.007 | 1600 | O.K |
| | | Sh04 | 138.327 | 341.628 | 60.042 | 355.875 | 895.872 | 1600 | O.K |

받침용량에 대한 검토결과 교량받침은 용량이 최대 발생 반력값 보다 큰 것으로 검토되어 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

## 5.2.4 마산방향(S6 ~ S9)

### 가. 검토조건

1) 교량 제원

① 교량형식 : 4경간 연속 강박스 거더교

② 교량연장 : L = 4@50m =200.0m

③ 교량폭원 : 11.855m

④ 사　　각 : 90.0°

⑤ 거더제원 : B = 2.5m , H = 2.5m

⑥ 교량등급 : 1등급(DB-24 및 DL-24 적용)

2) 사용재료

① 콘크리트

㉠ 설계기준강도 : $f_{ck}$ = 27.0MPa

㉡ 탄성계수 : $E_c$= 27,804MPa

㉢ 전단탄성계수 : $G_c$ = 11,781MPa

㉣ 허용압축응력 : $f_{ca}$ = 10.8MPa

② 철근(SD400)

㉠ 항복강도 : $f_y$ = 400.0MPa

㉡ 탄성계수 : $E_s$ = 200,000MPa

㉢ 허용압축응력 : $f_{ca}$ = 180.0MPa

㉣ 허용인장응력 : $f_{ta}$ = 160.0MPa

③ 강재

㉠ 주부재 : SM490(준공당시 기호 : SWS490)

㉡ 부부재 : SM400(준공당시 기호 : SWS400)

㉢ 탄성계수 : $E_{st}$ = 205,000MPa

㉣ 전단탄성계수 : $G_{st}$ = 79,000MPa

㉤ 허용축방향인장응력 및 허용휨인장응력(MPa) : (S1~S5)참조

3) 사용 전산프로그램 : 안전성평가를 위한 구조해석은 3차원 해석과 활하중의 이동재하가 가능한 범용구조해석 프로그램인 MIDAS CIVIL을 이용하였으며, 구조물의 기하학적 특성을 Frame Element로 모델링하였다.

4) 설계방법

① 바닥판 : 강도설계법

② 강박스 거더 : 허용응력설계법

5) 적용하중

① 고정하중

고정하중은 합성전 고정하중과 합성후 고정하중으로 구분하여 모델링하였다. 합성전 고정하중은 강재 및 바닥판 자중을 고려하였으며 합성후 고정하중은 방호벽 및 중앙분리대, 포장 등을 고려하여 계산하였다.

② 활하중

본 교량은 1등급 교량으로서 DB-24 및 DL-24 하중을 적용한다.

③ 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차

㉠ 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차( $\Delta T$ ) : $\pm 10^{\circ}C$

㉡ 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수($\alpha$) : $12\times10^{-6}$

④ 바닥판 콘크리트의 크리프

㉠ 크리프 계수($\phi_1$) : 2

㉡ 크리프 계산을 위한 탄성계수비 : $n_1 = n\ (1 + \phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2/2) = 14$

⑤ 바닥판 콘크리트의 건조수축

㉠ 최종수축율( $\varepsilon_s$ ) : $27\times10^{-5}$

㉡ 건조수축 계산을 위한 크리프 계수($\phi_2$) : $\phi_2 = 2\ \phi_1 = 2 \times 2 = 4$

㉢ 건조수축 계산을 위한 탄성계수비 : $n_2 = n\ (1 + \phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4/2) = 21$

⑥ 하중조합

㉠ LCB1 : 합성전 고정하중

㉡ LCB2 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중

㉢ LCB3 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프

㉣ LCB4 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축

㉤ LCB5 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축+온도차

㉥ LCB6 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축-온도차

6) 참고문헌

① 도로교 설계기준(2010)

② 콘크리트 구조설계기준(2012)

③ 도로설계편람(2008)

④ 도로설계요령(2009)

⑤ 강도로교 상세부 설계지침(2006)

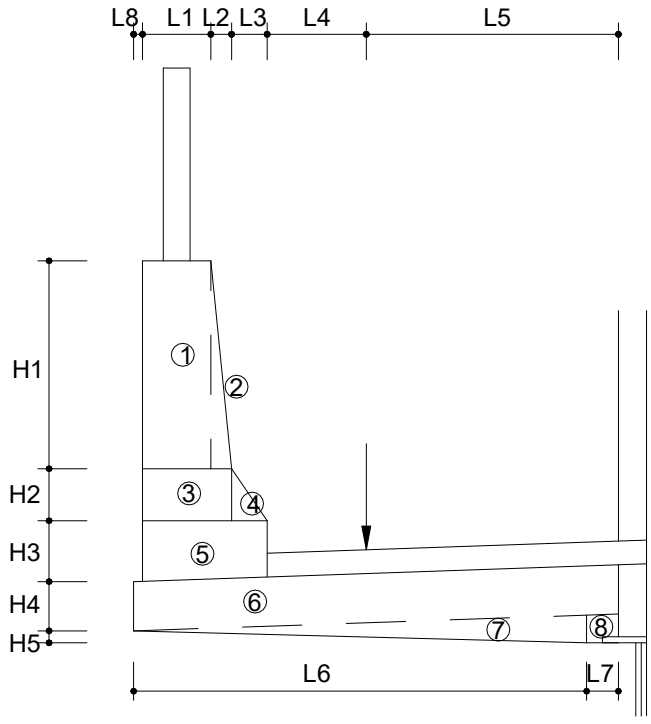
## 나. 바닥판 구조검토

합성형교에서 바닥판으로서 작용할 경우(교축직각방향)에 대하여 도로교설계기준(2010년) 등의 적용기준에 따라 구조검토를 수행하였다.

1) 캔틸레버부(방호벽)-마산방향

① 고정하중

| NO. | 작용하중(kN) | | | 작용거리 (m) | 모멘트 (kN·m) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ① | 0.700 × 0.230 × 25 | = | 1.330 | 0.880 | 3.542 | |
| ② | 1/2 × 0.070 × 0.700 × 25 | = | 0.420 | 0.742 | 0.454 | |
| ③ | 0.175 × 0.300 × 25 | = | 0.678 | 0.875 | 1.148 | |
| ④ | 1/2 × 0.175 × 0.120 × 25 | = | 0.273 | 0.655 | 0.172 | |
| ⑤ | 0.205 × 0.420 × 25 | = | 1.085 | 0.785 | 1.690 | |
| ⑥ | 0.250 × 1.025 × 25 | = | 6.375 | 0.513 | 3.283 | |
| ⑦ | 1/2 × 0.050 × 0.925 × 25 | = | 1.150 | 0.408 | 0.236 | |
| ⑧ | 0.050 × 0.100 × 25 | = | 0.250 | 0.050 | 0.006 | |
| ⑨ | 0.080 × 0.275 × 23 | = | 1.012 | 0.288 | 0.145 | 포장 |
| ⑩ | 방음벽하중 | = | 2.382 | 0.880 | 2.096 | 방음벽 |
| 계 | | | 18.362 | | 12.774 | |




| | | |
|---|---|---|
| H1 = | 0.700 | m |
| H2 = | 0.175 | m |
| H3 = | 0.205 | m |
| H4 = | 0.250 | m |
| H5 = | 0.050 | m |
| L1 = | 0.230 | m |
| L2 = | 0.070 | m |
| L3 = | 0.120 | m |
| L4 = | 0.300 | m |
| L5 = | 0.305 | m |
| L6 = | 0.925 | m |
| L7 = | 0.100 | m |

콘크리트 단위중량 = 25.0kN/㎥
아스팔트포장 단위중량 = 23.0kN/㎥
트럭의 후륜하중($P_r$) = 96.0kN
곡선반경(R) = ∞
설계속도 = 100km/hr

② 활하중(DB-24 : $P_r$ = 96 kN)

윤하중 분포폭

E = 0.8X + 1.14 = 0.8 × 0.275 + 1.14 = 1.360m

여기서, X = 0.275m

③ 충격계수

$$i = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 0.275} = 0.372 > 0.300 \quad \therefore i = 0.300 \text{ 적용}$$

④ 활하중

$$M_{\ell+i} = \frac{P_r \cdot X \cdot (1+i)}{E} = \frac{96 \times 0.275 \times (1+0.300)}{1.360} = 25.235\text{kN·m/m}$$

⑤ 차량 충돌하중

H = ( V / 60 )² × 7500 + 2500 = (100 / 60)² × 7500 + 2500

= 23.333kN/m

$M_{co}$ = H × h = 23.333 × 1.230 = 28.700kN·m/m

⑥ 원심하중

$$CF = 0.79\left(\frac{V^2}{R}\right)(\%) = 0.79 \times \left(\frac{100^2}{5400}\right)(\%) = 1.463(\%)$$

$$P_{cf} = \frac{P_r}{E} \times \frac{1.463}{100} = 1.033 \text{ kN/m}$$

$M_{cf}$ = 1.033 × 1.8 = 1.859 kN · m/m

⑦ 풍하중

$P_w$ = 3.0kN/㎡ × 4.000m =12.000kN/m

$M_w$ = 12.000 × 2.080 = 24.960kN·m/m

⑧ 하중조합

㉠ 계수모멘트

- $M_{u1} = 1.3\,M_d + 2.15\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} = 73.278\,kN\cdot m/m$
- $M_{u2} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} + 1.3\,M_{co} = 89.138\,kN\cdot m/m$
- $M_{u3} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} + 0.65\,M_w = 68.052\,kN\cdot m/m$
- $M_{u4} = 1.2\,M_d + 1.2\,M_w + 1.2\,M_{co} = 79.721\,kN\cdot m/m$

㉡ 사용모멘트

- $M = 1.0\,M_d + 1.0\,M_{(\ell+i)} + 1.0\,M_{cf} = 39.868\,kN\cdot m/m$

⑨ 바닥판의 최소두께( X > 0.25인 경우)

$h_{min} = (80\cdot X + 230) = (80\times 0.275 + 230) = 252mm > 220.0mm \quad \therefore h_{req} = 265.2mm$

$h_{use} = 300.0mm > h_{req} = 252mm \quad \therefore O.K$

⑩ 단면검토

㉠ 검토조건

설계기준강도($f_{ck}$) = 27.0MPa , 인장철근 항복강도($f_y$) = 400.0MPa

단면폭(b) = 1000mm , 단면높이(h) = 300mm

철근 피복두께($d_c$) = 60mm , 유효깊이(d) = 240mm

사용철근량($A_s$) = H16@125 = 1588.8㎟

⑪ 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s\cdot f_y}{0.85\cdot f_{ck}\cdot b} = \frac{1588.8\times 400.0}{0.85\times 27.0\times 1000.0} = 27.692mm$$

$$\Phi Mn = \Phi\left\{As\cdot f_y\cdot\left(d - \frac{a}{2}\right)\right\}$$

$$= 0.85\times 1588.8\times 400.0\times\left(240.0 - \frac{27.692}{2}\right) = 122.167kN\cdot m$$

㉠ 휨모멘트 검토

$\Phi Mn = 122.167kN\cdot m > Mu = 89.138kN\cdot m \quad \therefore O.K$

⑫ 사용성(균열) 검토

㉠ 탄성계수비(n) = $E_s / E_c = 8$

㉡ 중립축 거리($\chi$) = $-nAs/b + nAs/b\sqrt{[1+2bd/(nAs)]} = 66.400$

㉢ 철근응력($f_s$) = $M/[A_s \times (d-\chi/3)] = 39.868 \times 10^6/[1588 \times (240-66.400/3)] = 115.180\,MPa$

㉣ 최소 두께($c_c$) = $60.0 - 16.0/2 = 52.0\,mm$

㉤ 인장연단 폭($s_1$) = $375 \times (210/f_s) - 2.5c_c$

$= 375 \times (210/115.180) - 2.5 \times 52.0 = 554mm$

㉥ 인장연단 폭($s_2$) = $300 \times (210/f_s)$

$= 300 \times (210/115.180) = 547mm$

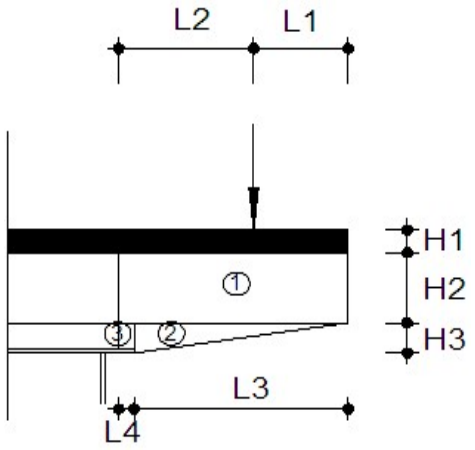
㉦ 철근 소요중심간격($s_a$) = $Min(s_1, s_2) = 547mm$

㉧ 철근 평균간격 $s = 125.0mm \leq s_a = 547mm$이므로, ∴ O.K

2) 캔틸레버부(중분대)

① 고정하중

| NO. | 작용하중(kN) | 작용거리 (m) | 모멘트 (kN·m) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| ① | 0.250 × 0.730 × 25 = 4.563 | 0.365 | 1.665 | |
| ② | 1/2 × 0.050 × 0.68 × 25 = 0.425 | 0.277 | 0.118 | |
| ③ | 0.050 × 0.050 × 25 = 0.063 | 0.025 | 0.002 | |
| ④ | 0.080 × 0.730 × 23 = 1.343 | 0.365 | 0.490 | |
| 계 | 6.393 | | 2.275 | |




| | | |
|---|---|---|
| H1 = | 0.080 | m |
| H2 = | 0.250 | m |
| H3 = | 0.050 | m |
| L1 = | 0.300 | m |
| L2 = | 0.430 | m |
| L3 = | 0.680 | m |
| L4 = | 0.050 | m |

콘크리트 단위중량 = 25.0kN/㎥
아스팔트포장 단위중량 = 23.0kN/㎥
트럭의 후륜하중($P_r$) = 96.0kN
곡선반경(R) = ∞
설계속도 = 100km/hr

② 활하중(DB-24 : $P_r$ = 96 kN)

윤하중 분포폭

E = 0.8X + 1.14 = 0.8 × 0.430 + 1.14 = 1.484m

여기서, X = 0.430m

③ 충격계수

$$i = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 0.400} = 0.371 > 0.300 \qquad \therefore\ i = 0.300 \text{ 적용}$$

④ 활하중

$$M_{\ell+i} = \frac{P_r \cdot X \cdot (1+i)}{E} = \frac{96 \times 0.430 \times (1+0.300)}{1.460} = 36.162 \text{kN·m/m}$$

⑤ 원심하중

$$CF = 0.79\left(\frac{V^2}{R}\right)(\%) = 0.79 \times \left(\frac{100^2}{5400}\right)(\%) = 1.463(\%)$$

$$P_{cf} = \frac{P_r}{E} \times \frac{1.463}{100} = 0.941\ \text{kN/m}$$

$$M_{cf} = 0.966 \times 1.8 = 1.703\ \text{kN} \cdot \text{m/m}$$

⑥ 하중조합

㉠ 계수모멘트

- $M_{u1} = 1.3\,M_d + 2.15\,M_{(\ell+i)} = 80.706\ \text{kN·m/m}$
- $M_{u2} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} = 82.919\ \text{kN·m/m}$

㉡ 사용모멘트

- $M = 1.0\,M_d + 1.0\,M_{(\ell+i)} + 1.0\,M_{cf} = 40.140\ \text{kN·m/m}$

⑦ 바닥판의 최소두께( X > 0.25인 경우)

$h_{min} = (80 \cdot X + 230) = (80 \times 0.430 + 230) = 264.4\text{mm} > 220.0\text{mm} \quad \therefore h_{req} = 264.4\text{mm}$

$h_{use} = 300.0\text{mm} > h_{req} = 264.4\text{mm} \quad \therefore$ O.K

⑧ 단면검토

㉠ 검토조건

설계기준강도($f_{ck}$) = 27.0MPa , 인장철근 항복강도($f_y$) = 400.0MPa

단면폭(b) = 1000mm , 단면높이(h) = 300mm

철근 피복두께($d_c$) = 60mm , 유효깊이(d) = 240mm

사용철근량($A_s$) = H16@125 = 1588.8㎟

⑨ 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_{ck} \cdot b} = \frac{1588.8 \times 400.0}{0.85 \times 27.0 \times 1000.0} = 27.692\text{mm}$$

$$\Phi Mn = \Phi\left\{As \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)\right\}$$

$$= 0.85 \times 1588.8 \times 400.0 \times \left(240.0 - \frac{27.692}{2}\right) = 122.167\text{kN·m}$$

㉠ 휨모멘트 검토

$\phi Mn = 122.167kN{\cdot}m > Mu = 82.919kN{\cdot}m \quad \therefore O.K$

⑩ 사용성(균열) 검토

㉠ 탄성계수비(n) $= E_s / E_c = 8$

㉡ 중립축 거리($\chi$) $= -nAs/b + nAs/b\sqrt{[1+2bd/(nAs)]} = 66.400$

㉢ 철근응력($f_s$) $= M/[A_s \times (d-\chi/3)] = 40.140 \times 10^6/[1588 \times (240-66.400/3)] = 115.962\,MPa$

㉣ 최소 두께($c_c$) $= 60.0 - 16.0/2 = 52.0\,mm$

㉤ 인장연단 폭($s_1$) $= 375 \times (210/f_s) - 2.5c_c$

$= 375 \times (210/115.962) - 2.5 \times 52.0 = 549mm$

㉥ 인장연단 폭($s_2$) $= 300 \times (210/f_s)$

$= 300 \times (210/115.962) = 543mm$

㉦ 철근 소요중심간격($s_a$) $= Min(s_1, s_2) = 543mm$

㉧ 철근 평균간격 $s = 125.0mm \leq s_a = 387mm$이므로, $\therefore O.K$

3) 중앙부

① 고정하중

철근콘크리트 : $0.250m \times 25.0kN/m^3 = 6.250kN/m^2$

아스팔트포장 : $0.080m \times 23.0kN/m^3 = 1.840kN/m^2$

$\Sigma w_d = 8.090kN/m^2$

$$M_d = \frac{\Sigma w_d L^2}{16} = \frac{8.550 \times 2.500^2}{16} = 5.056kN{\cdot}m/m$$

여기서, 계산지간(L) = 2.500m

② 활하중(DB-24 : $P_r = 96\,kN$)

㉠ 충격계수

$$i = \frac{15}{40+L} = \frac{15}{40+2.500} = 0.353 > 0.300 \qquad \therefore i = 0.300 \text{ 적용}$$

㉡ 활하중

$$M_{\ell+i} = \frac{(L+0.6)P_r}{9.6}(1+i) = \frac{(2.500+0.6) \times 96}{9.6} \times (1+0.300) = 40.300kN{\cdot}m/m$$

연속 바닥판이므로, $M_{\ell+i} = 0.8 \times 40.300 = 32.240kN{\cdot}m/m$

③ 하중조합

㉠ 계수모멘트

■ $M_{u1} = 1.3\,M_d + 2.15\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} = 77.587\,kN\cdot m/m$

㉡ 사용모멘트

■ $M = 1.0\,M_d + 1.0\,M_{(\ell+i)} + 1.0\,M_{cf} = 38.602\,kN\cdot m/m$

④ 바닥판의 최소두께

$h_{min} = (30\cdot L + 130) = (30\times 2.50 + 130) = 205\,mm < 220.0\,mm \quad \therefore h_{req} = 220.0\,mm$

$h_{use} = 250.0\,mm > h_{req} = 220.0\,mm \quad \therefore O.K$

⑤ 단면검토

㉠ 검토조건

설계기준강도($f_{ck}$) = 27.0MPa , 인장철근 항복강도($f_y$) = 400.0MPa

단면폭(b) = 1000mm , 단면높이(h) = 250mm

철근 피복두께($d_c$) = 40mm , 유효깊이(d) = 210mm

사용철근량($A_s$) = H16@125 = 1588.8㎟

㉡ 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s\cdot f_y}{0.85\cdot f_{ck}\cdot b} = \frac{1588.8\times 400.0}{0.85\times 27.0\times 1000.0} = 27.692mm$$

$$\Phi Mn = \Phi\left\{As\cdot f_y\cdot\left(d-\frac{a}{2}\right)\right\}$$

$$= 0.85\times 1588.8\times 400.0\times\left(210.0-\frac{27.692}{2}\right) = 105.961kN\cdot m$$

㉢ 휨모멘트 검토

$\Phi Mn = 105.961kN\cdot m \geq Mu = 77.587kN\cdot m \quad \therefore O.K$

⑥ 사용성(균열) 검토

㉠ 탄성계수비(n) = $E_s / E_c = 8$

㉡ 중립축 거리($\chi$) = $-nAs/b + nAs/b\sqrt{[1+2bd/(nAs)]} = 61.5mm$

㉢ 철근응력($f_s$) = $M/[A_s\times(d-x/3)] = 38.602\times 10^6/[1588\times(210.0-61.5/3)] = 128.213\,MPa$

㉣ 최소 두께($c_c$) = $40.0 - 16/2 = 32.0\,mm$

㉤ 인장연단 폭($s_1$) = $375 \times (210/f_s) - 2.5c_c$

$= 375 \times (210/128.213) - 2.5 \times 32.00 = 534\,mm$

㉥ 인장연단 폭($s_2$) = $300 \times (210/f_s)$

$= 300 \times (210/128.213) = 491\,mm$

㉦ 철근 소요중심간격($s_a$) = $Min(s_1, s_2) = 491\,mm$

㉧ 철근 평균간격 $s = 125.0\,mm \leq s_a = 491\,mm$이므로, ∴ O.K

4) 바닥판의 구조검토 결과

강도설계법에 의한 바닥판의 단면검토 결과, 휨강도에 대한 계수모멘트의 최소 안전율이 1.154로 산정되어 바닥판은 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

【표 5-34】 바닥판의 단면검토결과

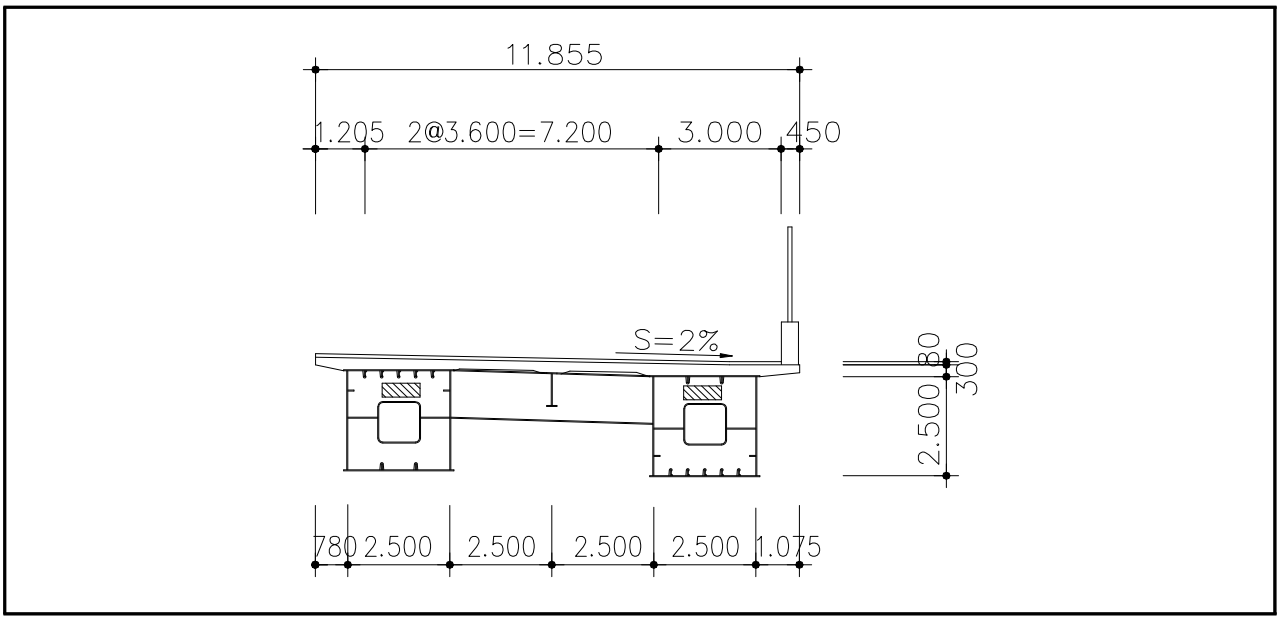
| 구 분 | $M_u$ (kN·m) | $\Phi M_n$ (kN·m) | 안전율($\Phi$Mn/Mu) | 검토결과 |
|---|---|---|---|---|
| 캔틸레버부(방호벽측) | 89.138 | 122.167 | 1.371 | O.K |
| 캔틸레버부(중분대측) | 82.919 | 122.167 | 1.473 | O.K |
| 중앙부 | 77.587 | 105.961 | 1.366 | O.K |

【표 5-35】 바닥판의 사용성(균열) 검토결과

| 구 분 | $M_o$ (kN·m) | 인장응력($f_s$) (MPa) | 허용응력($f_{sa}$) (MPa) | 철근 평균간격(s) (mm) | 철근 소요중심간격($s_a$) (mm) | 검토결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 캔틸레버부(방호벽측) | 39.868 | 115.180 | 240.000 | 125.000 | 547.000 | O.K |
| 캔틸레버부(중분대측) | 40.140 | 115.962 | 240.000 | 125.000 | 543.000 | O.K |
| 중앙부 | 38.602 | 128.213 | 240.000 | 125.000 | 491.000 | O.K |

## 다. 강박스 거더 구조검토

1) 해석단면




【그림 5-22】 해석단면

2) 하중 산정

① 2블럭(S6~S9)

㉠ 합성전 고정하중

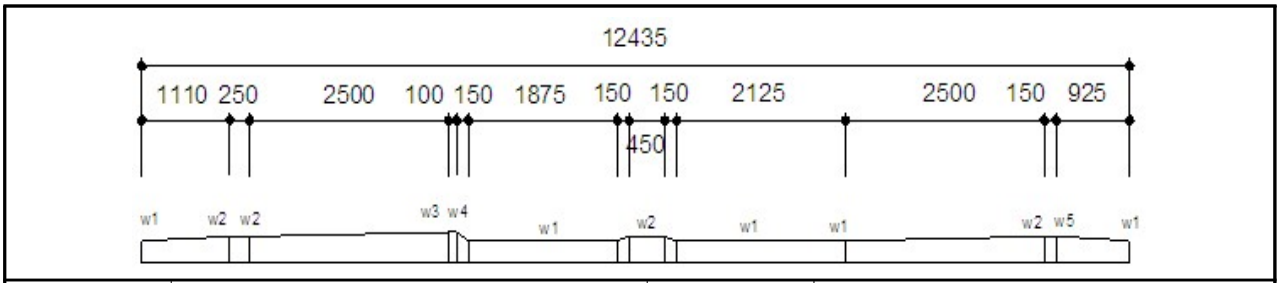
■ 강재 자중 : 프로그램 내에서 자동 고려

◦각종 보강재 및 현장이음재 등의 부부재 하중으로 주부재 자중을 31.0% 할증 적용

◦총 강재중량 / 모델링 강재중량 = 1.310

■ 바닥판 자중

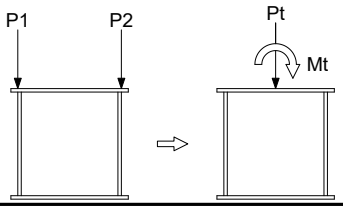
◦횡방향 하중분배




| | | | |
|---|---|---|---|
| W1 | 0.250 × 25 = 6.250 kN/m | W4 | 0.325 × 25 = 8.125 kN/m |
| W2 | 0.300 × 25 = 7.500 kN/m | W5 | 0.303 × 25 = 7.575 kN/m |
| W3 | 0.350 × 25 = 8.750 kN/m | | |

【그림 5-23】 합성전 바닥판 자중 재하도

◦거더별 작용하중

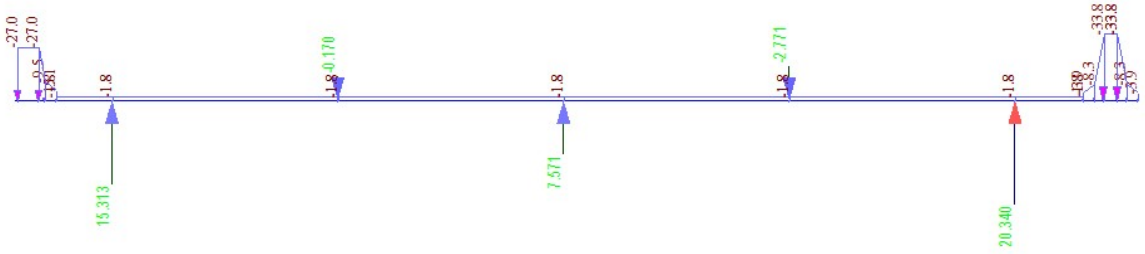
| 구분 | 거더 폭 (m) | 바닥판 자중 | | | | 기호의 정의 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | P1 (kN/m) | P2 (kN/m) | Pt (kN/m) | Mt (kN・m) | |
| G1 | 2.500 | 16.429 | 16.102 | 32.531 | −0.409 |  |
| ST | | 16.365 | − | 16.365 | − | |
| G2 | 2.500 | 18.642 | 19.352 | 37.994 | 0.888 | |



㉡ 합성후 고정하중

합성후 고정하중은 콘크리트 바닥판에 의한 횡분배 효과를 반영하기 위하여 2차원 프레임 모델을 사용하여 반력을 산출한 후 그 반력을 3차원 격자모델에 재하하였다.

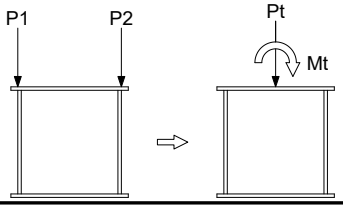
■ 횡방향 하중분배




| | | | |
|---|---|---|---|
| 포장 | 0.080 × 23 = 1.840 kN/m | 방호벽측 | 16.107kN, 작용점 : 0.192m |
| 중분대측 | 20.888kN, 작용점 : 0.305m | | |

【그림 5−24】 합성후 고정하중 재하도

■ 거더별 작용하중

| 구분 | 거더폭 (m) | 바닥판 자중 | | | | 기호의 정의 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | P1(kN/m) | P2(kN/m) | Pt(kN/m) | Mt(kN・m) | |
| G1 | 2.500 | 15.313 | −0.170 | 15.143 | −19.354 |  |
| ST | | | − | 7.571 | − | |
| G2 | 2.500 | −2.771 | 20.340 | 17.569 | 28.889 | |

■ 활하중

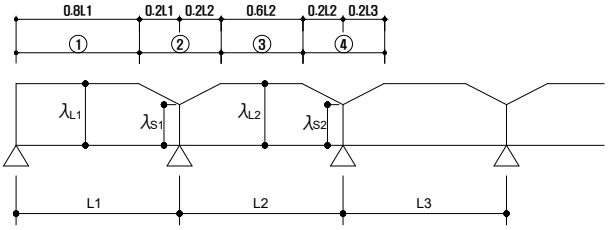
<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="4">활하중</th></tr>
<tr><td>• 교 폭</td><td colspan="4">• 12.435m</td></tr>
<tr><td>• 지간장(L)</td><td colspan="4">• 5@50.0m = 250m</td></tr>
<tr><td>• 연석간 교폭($W_c$)</td><td colspan="4">• 11.375m</td></tr>
<tr><td>• 설계 차로수(N)</td><td colspan="4">• 9.1m ≤ $W_c$ < 12.8m ∴ 3차로 재하</td></tr>
<tr><td>• 설계 차로폭(W)</td><td colspan="4">• 11.375m / 3 = 3.792m > 3.600m 이므로, ∴ W = 3.600m</td></tr>
<tr><td rowspan="2">• 충격계수(i)</td><td colspan="4">• 제1~5지간 : 15 / (40+50.0)=0.167 < 0.3 ∴ i = 0.167 적용</td></tr>
<tr><td colspan="4">• 제1~4내부지점 : 15 / (40+50.0) = 0.167 < 0.3 ∴ i = 0.167 적용</td></tr>
<tr><td rowspan="4">• 활하중 크기</td><td colspan="2">표준차로하중(DL-24)</td><td colspan="2">표준트럭하중(DB-24)</td></tr>
<tr><td>$P_m$</td><td>108kN</td><td>$P_f$</td><td>24 kN</td></tr>
<tr><td>$P_s$</td><td>156kN</td><td>$P_r$</td><td>96 kN</td></tr>
<tr><td>$W_\ell$</td><td>12.7kN/m</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>• 재하방법</td><td colspan="4">• 해석프로그램의 이동하중해석 기능을 사용<br>• DB-24, DL-24 재하<br>• DB-24 또는 DL-24하중에 대하여 독립적으로 1~3개 차로에 경간별로 가장 불리한 부재력이 산출되도록 재하<br>• 최대 부재력이 3차로 이상의 활하중 동시 재하로 발생하는 경우에는 도로교설계기준(2010년)에 따라 백분율로 감소<br>- 3차로 동시 재하 : 90%<br>- 4차로 이상 동시 재하 : 75%<br>• 각 CASE별 하중재하도 및 각 거더별 작용하중은 부록 참조.</td></tr>
</table>

3) 플랜지 및 바닥판의 유효폭 계산

전단지연(Shear Lag) 현상의 영향으로 인한 플랜지 및 바닥판의 유효폭은 다음과 같으며, 단면응력 검토 시 적용하였다.(상세한 계산과정은 부록 참조)

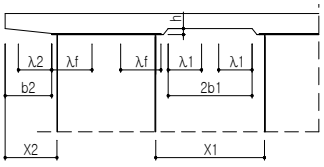
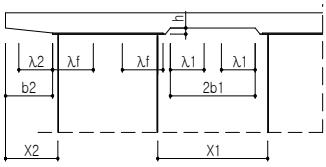
① 플랜지 유효폭

【표 5-36】 플랜지의 유효폭 산정

| 구 분 | 플랜지(m) | | 비 고 |
|---|---|---|---|
| | G1 | G2 | |
| 제6~5지간 중앙부 | 2.700 | 2.700 |  |
| 제1~4중간 지점부 | 2.394 | 2.394 | 상부 : 복부간격 2b = 2.500m , 플랜지돌출폭 be = 0.100m<br>하부 : 복부간격 2b = 2.500m , 플랜지돌출폭 be = 0.100m<br>L1~L5 = 5@50.00m |

② 바닥판 유효폭

【표 5-37】 바닥판의 유효폭 산정

| 구 분 | 바닥판(m) | |
|---|---|---|
| | G1 | G2 |
| 개 요 |  <br>$X_1$=5.000m, $X_2$=1.360m<br>h=0.05m, $b_e$=0.100m |  <br>$X_1$=5.000m, $X_2$=1.075m<br>h=0.05m, $b_e$=0.100m |
| 제1, 5지간 중앙부 | 5.739 | 6.034 |
| 제2~4지간 중앙부 | 5.647 | 5.942 |
| 제1~4중간 지점부 | 4.847 | 5.089 |

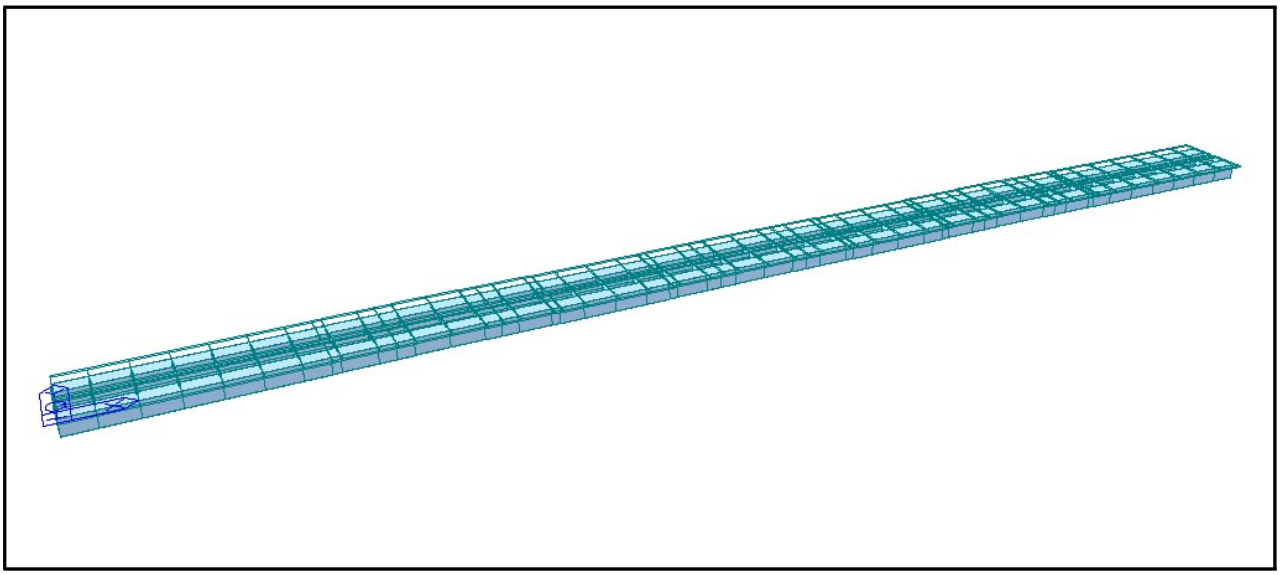
4) 모델링 및 단면 제정수

① 모델링

해석모델은 3차원 격자모델을 적용하였으며, 보요소로 이상화된 각 구조요소의 연결은 부재편심(Offset)이 반영되도록 하였다. 또한 시공단계별로 대상교량의 실제 강성과 최대한 근접할 수 있도록 모델링하였으며, 기타 세부내용은 다음과 같다.

㉠ 합성전 모델링시 바닥판은 단면의 강성에 기여하는 바 없이 고정하중만을 추가시키는 역할만을 함으로 바닥판에 의한 횡분배 효과는 고려하지 않는 것으로 하였다. 활하중은 해석프로그램 내의 이동하중해석 기능을 사용하였으며 도로교 설계기준을 참조하여 가장 불리한 하중조합이 되도록 설정하였다.

㉡ 경계조건은 현장조사시 확인된 각 지점의 가동, 고정상태를 고려하여 설정하였다.

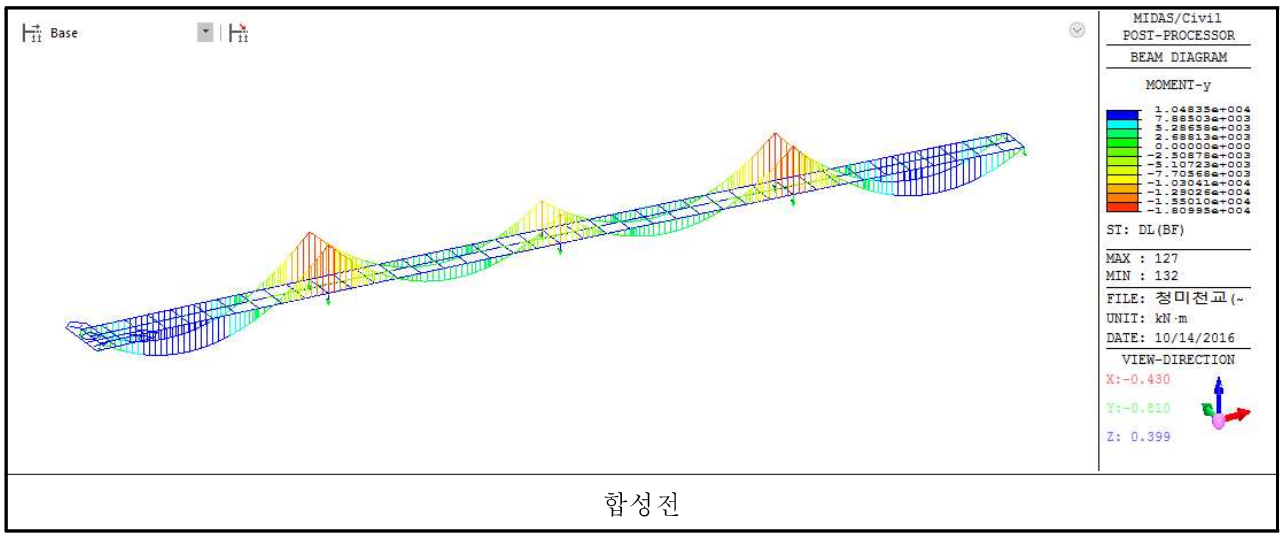


【그림 5-25】 해석모델링

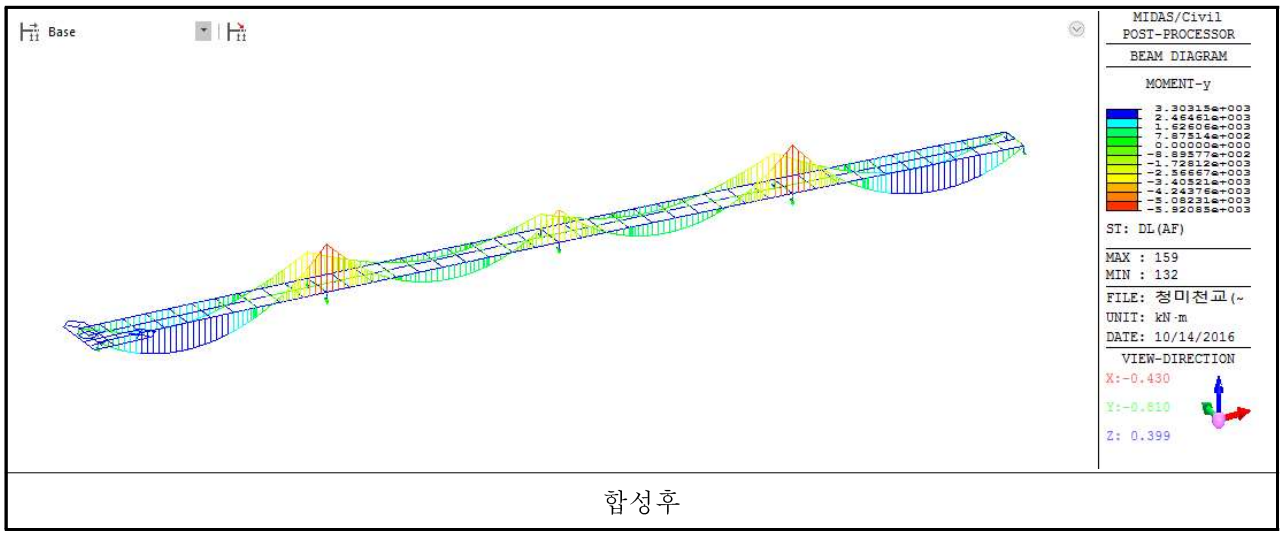
5) 구조해석 결과

① 단면력도

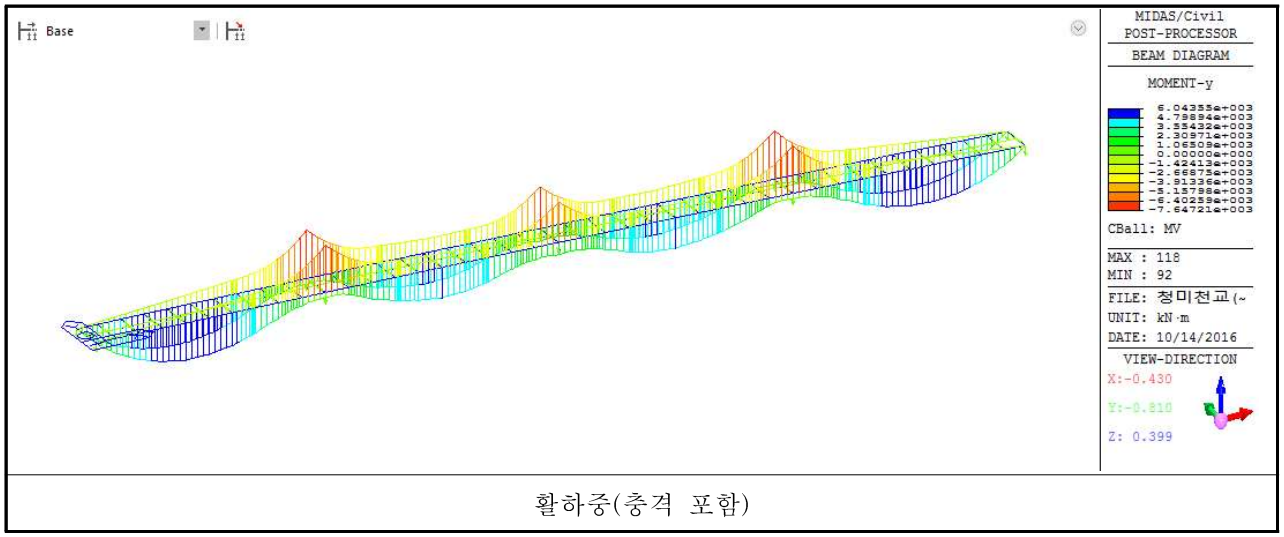
■ 휨모멘트




합성전



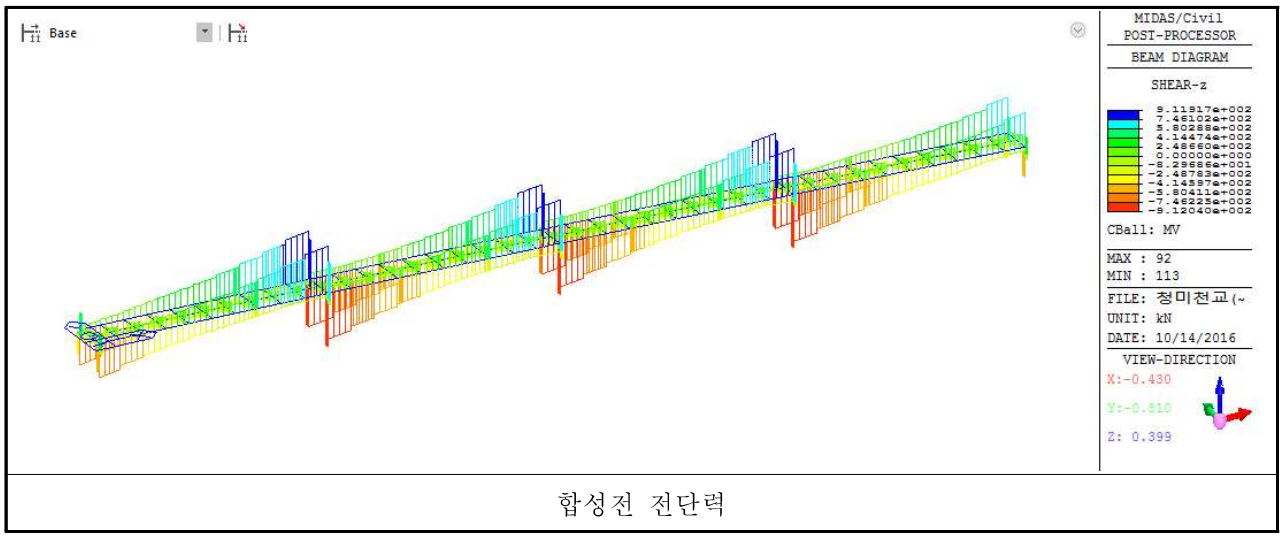

합성후



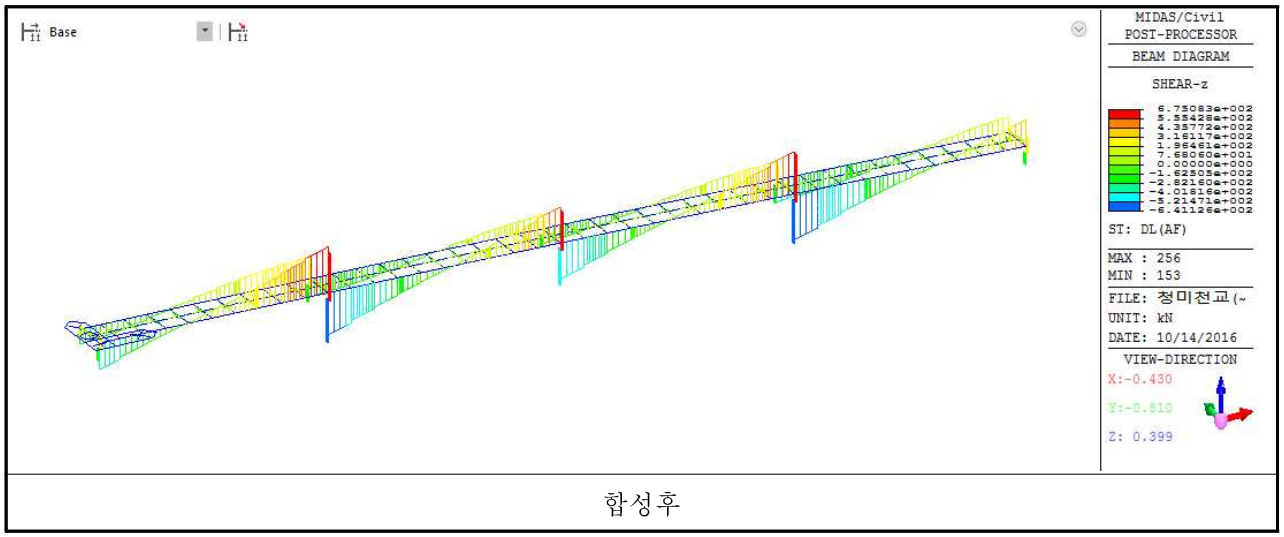

활하중(충격 포함)

【그림 5-26】 휨모멘트

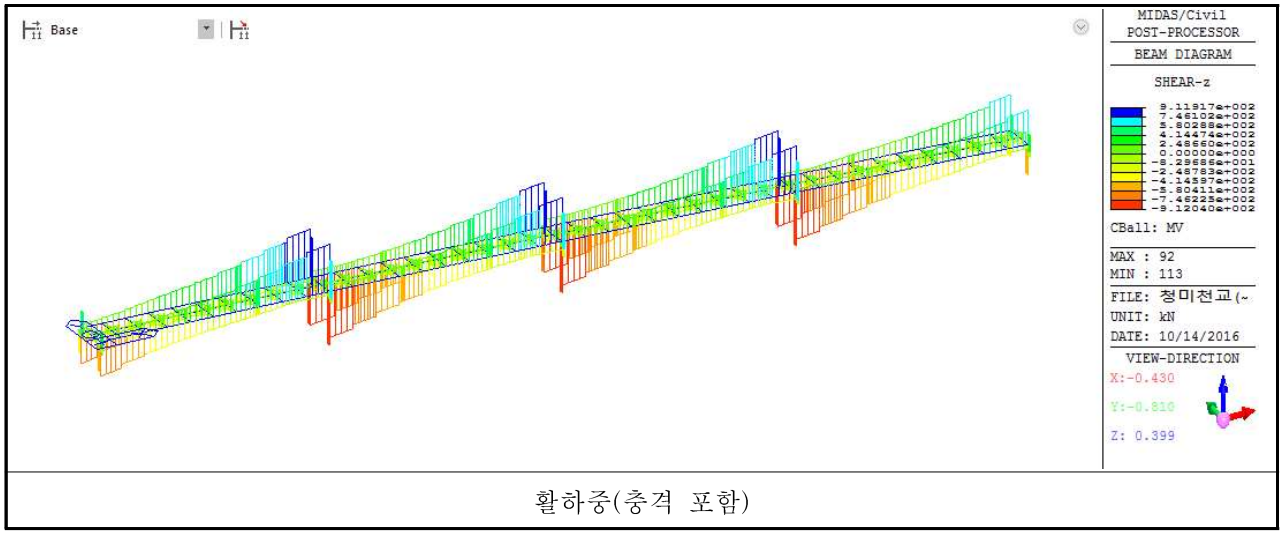
■ 전단력




합성전 전단력




합성후



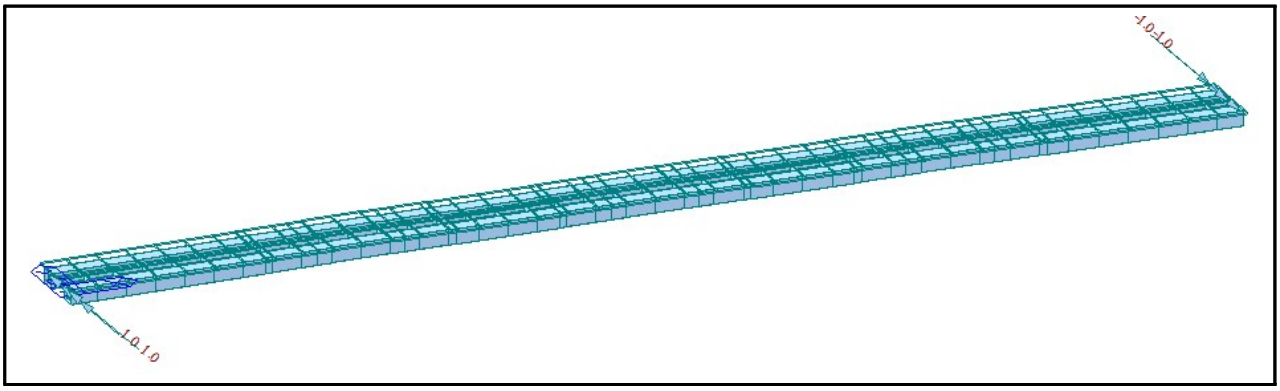

활하중(충격 포함)

【그림 5-27】 전단력

② 2차 부정정력에 대한 영향 검토

콘크리트-강재 합성형 교량에서는 고정하중과 활하중에 의한 응력 이외에 건조수축, 크리프, 강재-콘크리트 온도차에 의한 응력이 발생한다. 특히, 강합성형교가 2경간 이상의 연속교일 경우에는 건조수축, 크리프, 온도차에 의해 부정정력이 추가로 발생되며 이와 같은 하중을 2차 모멘트라고 한다.

부정정계에서 2차 모멘트를 구하기 위하여 해석모델 교량의 양단에 단위 모멘트를 작용시켜 각 절점에서의 모멘트(이 값을 영향계수 k라 함)를 구하여 이를 단면의 응력 검토시에 이용하였다.




【그림 5-28】 2차 부정정력에 대한 영향 검토

③ 단면력 산정결과

㉠ 최대정모멘트부

【표 5-38】 최대정모멘트부 단면력 산정결과

| 구 분 | | 합 성 전<br>고정하중 | 합 성 후<br>고정하중 | 활하중<br>(충격포함) | 합 계 |
|---|---|---|---|---|---|
| S6 | 휨모멘트(kN・m) | 10,447.200 | 2,306.840 | 6,043.310 | 18,797.350 |
| | 전단력(kN) | 11.640 | -11.130 | 266.980 | 267.490 |
| | 비틀림모멘트(kN・m) | 70.330 | 90.910 | 343.490 | 504.730 |

㉡ 최대부모멘트부

【표 5-39】 최대부모멘트부 단면력 산정결과

| 구 분 | | 합 성 전<br>고정하중 | 합 성 후<br>고정하중 | 활하중<br>(충격포함) | 합 계 |
|---|---|---|---|---|---|
| P6 | 휨모멘트(kN・m) | -17,870.970 | -3,239.430 | -7,643.600 | -28,754 |
| | 전단력(kN) | -1,648.500 | -259.780 | -892.840 | -2,801.12 |
| | 비틀림모멘트(kN・m) | 108.260 | 37.090 | -638.760 | -493.41 |

6) 강박스 거더의 응력 검토

강박스 거더에 대한 응력검토는 내·외측경간 최대 정모멘트부 및 내·외측 지점부 최대 부모멘트부 단면에 대하여 실시하였으며, 이에 대한 상세 검토결과는 부록에 첨부하였다.

| 하중종류1 | 합성전 고정하중 | 하중종류4 | 크리프 |
|---|---|---|---|
| 하중종류2 | 합성후 고정하중 | 하중종류5 | 건조수축 |
| 하중종류3 | 활하중 | 하중종류6 | 온도차 |

① 최대정모멘트부

㉠ S6-G2(단면-1)

■ 휨응력

【표 5-40】 최대정모멘트부 휨응력 검토결과

| 하중조합 | 휨 응 력 | | | | 안전율 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 작용응력(MPa) | | 허용응력(MPa) | | | |
| | 상 연 | 하 연 | 상 연 | 하 연 | 상 연 | 하 연 |
| 1 | 85.689 | -85.340 | 190.000 | 190.000 | 2.217 | 2.226 |
| 1+2+3 | 99.194 | -151.658 | 190.000 | 190.000 | 1.915 | 1.253 |
| 1+2+3+4 | 103.616 | -150.332 | 218.500 | 190.000 | 2.109 | 1.264 |
| 1+2+3+4+5 | 127.367 | -143.917 | 218.500 | 190.000 | 1.716 | 1.320 |
| 1+2+3+4+5+6 | 143.984 | -138.121 | 247.000 | 218.500 | 1.715 | 1.582 |
| 1+2+3+4+5-6 | 110.749 | -149.712 | 247.000 | 218.500 | 2.230 | 1.459 |

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

◦전단 및 비틀림

$$\nu = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2 F t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2 F_v t_w)$$

$$= 11.093\,\mathrm{MPa} \quad < \quad \nu_a = 110.000\,\mathrm{MPa} \quad \therefore \text{ O.K}$$

◦합성응력의 검토

-상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{143.984}{247.000}\right)^2 + \left(\frac{11.093}{110.000}\right)^2 = 0.340 + 0.010 = 0.350 \quad < \quad 1.2 \quad \therefore \text{ O.K}$$

-하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{-151.658}{-190.000}\right)^2 + \left(\frac{11.093}{110.000}\right)^2 = 0.637 + 0.010 = 0.647 \quad < \quad 1.2 \quad \therefore \text{ O.K}$$

② 최대부모멘트부

㉠ P6-G2(단면-5)

■ 휨응력

【표 5-41】 최대부모멘트부 휨응력 검토결과

| 하중조합 | 휨 응 력 | | | | 안전율 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 작용응력(㎫) | | 허용응력(㎫) | | | |
| | 상 연 | 하 연 | 상 연 | 하 연 | 상 연 | 하 연 |
| 1 | -96.802 | 91.790 | 190.00 | 190.00 | 1.963 | 2.070 |
| 1+2+3 | -161.204 | 160.171 | 190.00 | 190.00 | 1.179 | 1.186 |
| 1+2+3+4 | -164.552 | 153.700 | 190.00 | 190.00 | 1.155 | 1.236 |
| 1+2+3+4+5 | -154.562 | 174.580 | 190.00 | 190.00 | 1.229 | 1.088 |
| 1+2+3+4+5+6 | -139.084 | 200.128 | 218.50 | 218.50 | 1.571 | 1.092 |
| 1+2+3+4+5-6 | -170.039 | 149.031 | 218.50 | 218.50 | 1.285 | 1.466 |

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

◦전단 및 비틀림

$$\nu = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2\,F\,t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2\,F_v\,t_w)$$

$$= 22.782\,\mathrm{MPa} \quad < \quad \nu_a = 110.000\,\mathrm{MPa} \quad \therefore \ \mathrm{O.K}$$

◦합성응력의 검토

-상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{-164.552}{190.000}\right)^2 + \left(\frac{22.782}{110.000}\right)^2 = 0.750 + 0.043 = 0.793 \ < \ 1.2 \quad \therefore \ \mathrm{O.K}$$

-하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{174.580}{190.000}\right)^2 + \left(\frac{22.782}{110.000}\right)^2 = 0.844 + 0.043 = 0.887 \ < \ 1.2 \quad \therefore \ \mathrm{O.K}$$

7) 강박스 거더의 응력 검토

① 휨응력

【표 5-42】 강박스 거더의 휨응력 검토결과

| 구 분 | | 휨 응 력 | | | | 안전율 | | 검토결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 작용응력(㎫) | | 허용응력(㎫) | | | | |
| | | 상 연 | 하 연 | 상 연 | 하 연 | 상 연 | 하 연 | |
| 정모멘트부 | S6-G2 | 99.194 | -151.658 | 190.000 | 190.000 | 1.915 | 1.253 | O.K |
| 부모멘트부 | P6-G2 | -154.562 | 174.580 | 190.00 | 190.00 | 1.229 | 1.088 | O.K |

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

② 전단응력

【표 5-43】 강박스 거더의 전단응력 검토결과

| 구 분 | | 전 단 응 력 | | 안전율 | 검토결과 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 작용응력(㎫) | 허용응력(㎫) | | |
| 정모멘트부 | S6-G2 | 11.093 | 110.000 | 9.916 | O.K |
| 부모멘트부 | P6-G2 | 22.782 | 110.000 | 4.828 | O.K |

허용응력법에 의한 강박스 거더의 응력 검토결과, 거더 상·하연에 발생되는 최대응력은 허용응력 이내(휨응력 : 1.088, 전단응력 : 4.828)로 검토되어 구조 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

③ 합성응력

허용응력법에 의한 강박스 거더의 휨응력과 전단응력에 의한 합성응력 검토결과, 최대부모멘트 및 최대전단력 발생구간인 교각 지점부에서 합성응력이 0.793~0.887 사이로 허용기준치 1.2를 넘지 않은 것으로 검토되었다.

## 라. 교량받침용량 검토

【표 5-44】 교량받침용량 검토

| 구 분 | | | 합성전고정하중 (kN) | | 합성후 고정하중 (kN) | 활하중(kN) | 합 계(kN) | 받침용량 (kN) | 검토 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Steel | Concrete | | | | | |
| P5 | G1 | Sh01 | 135.519 | 334.075 | 249.026 | 334.209 | 1052.829 | 1600 | O.K |
| | | Sh02 | 169.710 | 496.759 | 169.113 | 442.363 | 1277.945 | 1600 | O.K |
| | G2 | Sh03 | 171.037 | 493.404 | 131.861 | 444.733 | 1241.035 | 1600 | O.K |
| | | Sh04 | 137.394 | 317.988 | 46.599 | 357.393 | 859.374 | 1600 | O.K |
| P6 | G1 | Sh01 | 506.508 | 1181.495 | 675.083 | 726.824 | 3089.910 | 4000 | O.K |
| | | Sh02 | 548.116 | 1406.793 | 601.099 | 883.905 | 3439.913 | 4000 | O.K |
| | G2 | Sh03 | 549.439 | 1377.287 | 315.769 | 895.629 | 3138.124 | 4000 | O.K |
| | | Sh04 | 506.986 | 1130.654 | 237.528 | 758.150 | 2633.318 | 4000 | O.K |
| P7 | G1 | Sh01 | 381.247 | 901.113 | 556.819 | 675.137 | 2514.316 | 4000 | O.K |
| | | Sh02 | 423.321 | 1128.877 | 492.668 | 833.826 | 2878.692 | 4000 | O.K |
| | G2 | Sh03 | 424.919 | 1102.026 | 235.340 | 844.270 | 2606.555 | 4000 | O.K |
| | | Sh04 | 379.023 | 854.471 | 162.738 | 705.566 | 2101.798 | 4000 | O.K |
| P8 | G1 | Sh01 | 506.508 | 1181.494 | 675.079 | 726.814 | 3089.895 | 4000 | O.K |
| | | Sh02 | 548.116 | 1406.794 | 601.107 | 883.908 | 3439.925 | 4000 | O.K |
| | G2 | Sh03 | 549.439 | 1377.287 | 315.774 | 895.626 | 3138.126 | 4000 | O.K |
| | | Sh04 | 506.986 | 1130.654 | 237.519 | 758.167 | 2633.326 | 4000 | O.K |
| A2 | G1 | Sh01 | 135.518 | 334.077 | 249.040 | 334.330 | 1052.965 | 1600 | O.K |
| | | Sh02 | 169.709 | 496.758 | 169.119 | 442.362 | 1277.948 | 1600 | O.K |
| | G2 | Sh03 | 171.036 | 493.403 | 131.911 | 444.709 | 1241.059 | 1600 | O.K |
| | | Sh04 | 137.396 | 317.988 | 46.529 | 357.582 | 859.495 | 1600 | O.K |

받침용량에 대한 검토결과 교량받침은 용량이 최대 발생 반력값 보다 큰 것으로 검토되어 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

# 5.3 내하력평가

## 5.3.1 개 요

본 교량의 내하력평가는 주요 구조부재의 정밀 외관조사, 비파괴 현장시험 및 재료시험 결과를 토대로 횡방향 해석에 의한 바닥판슬래브는 강도설계법에 의하여 내하력을 평가하며, 종방향 해석에 의한 강박스 거더의 경우에는 허용응력법과 강도설계법, 두가지 방법에 대해서 기본 내하력을 평가하였다.

1) 허용응력법에 의한 내하력평가

㉠ 내하율(RF) $= \dfrac{f_a - (f_d + f_{ps} + f_{cs})}{f_\ell\ (1+i)}$

㉡ 기본 내하력(P) $= RF \times P_r$

여기서, $f_a$ : 실측 허용응력 $f_{ps}$ : 프리스트레스에 의한 응력

$f_d$ : 실측 고정하중에 의한 응력 $f_{cs}$ : 크리프/건조수축에 의한 응력

$f_\ell$ : 설계 활하중에 의한 응력 $P_r$ : 설계 활하중(DB, DL하중)

$i$ : 이론 충격계수 P : 기본 내하력

2) 강도설계법에 의한 내하력평가

㉠ 내하율(RF) $= \dfrac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_\ell\ M_\ell\ (1+i)}$

㉡ 기본 내하력(P) $= RF \times P_r$

여기서, $\phi$ : 실측 허용응력 $\gamma_d$ : 고정하중 계수(1.30)

$M_n$ : 극한 저항모멘트 $\gamma_\ell$ : 활하중 계수(2.15)

$M_d$ : 실측 고정하중에 의한 모멘트 $P_r$ : 설계 활하중(DB, DL하중)

$M_\ell$ : 설계 활하중에 의한 모멘트 P : 기본 내하력

$i$ : 이론 충격계수

## 5.3.2 청미천교-양평방향

### 가. 1블럭(S1~S5)

【표 5-45】 허용응력법에 의한 강박스 거더의 내하력평가 결과(양평방향)

| 구 분 | | 응력(MPa) | | | 기본내하율 (RF) | 기본내하력 (P) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 고정하중 | 활하중 | 허용응력 | | |
| S1- G1 정모멘트 최대 | 상연 | 93.396 | 9.857 | 190.000 | 9.801 | DB-24이상 |
| | 하연 | -114.190 | -50.659 | -190.000 | 1.496 | 〃 |
| P1-G1 부모멘트 최대 | 상연 | -129.221 | -47.154 | -190.000 | 1.289 | 〃 |
| | 하연 | 126.014 | 50.398 | 190.000 | 1.270 | 〃 |

【표 5-46】 강도설계법에 의한 바닥판 내하력평가 결과(양평방향)

| 구 분 | 설계강도 (kN · m) | 고정하중 계수 | 고정하중 모멘트 (kN · m) | 활하중 계수 | 활하중모멘트 (충격포함) (kN · m) | 기본내하율(RF) | 기본내하력 (P) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 캔틸레버부 (방호벽) | 122.167 | 1.3 | 13.698 | 2.15 | 25.235 | 1.923 | DB-24 이상 |
| 캔틸레버부 (중분대) | 122.167 | 1.3 | 17.246 | 2.15 | 34.192 | 1.357 | 〃 |
| 중앙부 바닥판 | 105.961 | 1.3 | 5.056 | 2.15 | 32.240 | 1.434 | 〃 |

### 나. 2블럭(S6~S9)

【표 5-47】 허용응력법에 의한 강박스 거더의 내하력평가 결과(양평방향)

| 구 분 | | 응력(MPa) | | | 기본내하율 (RF) | 기본내하력 (P) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 고정하중 | 활하중 | 허용응력 | | |
| S6-G1 정모멘트 최대 | 상연 | 90.987 | 9.887 | 190.000 | 10.014 | DB-24이상 |
| | 하연 | -111.435 | -50.815 | -190.000 | 1.546 | 〃 |
| P6-G1 부모멘트 최대 | 상연 | -128.495 | -48.912 | -190.000 | 1.257 | 〃 |
| | 하연 | 125.405 | 52.278 | 190.000 | 1.236 | 〃 |

【표 5-48】 강도설계법에 의한 바닥판 내하력평가 결과(양평방향)

| 구 분 | 설계강도 (kN · m) | 고정하중 계수 | 고정하중 모멘트 (kN · m) | 활하중 계수 | 활하중모멘트 (충격포함) (kN · m) | 기본내하율(RF) | 기본내하력 (P) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 캔틸레버부 (방호벽) | 122.167 | 1.3 | 13.698 | 2.15 | 25.235 | 1.923 | DB-24 이상 |
| 캔틸레버부 (중분대) | 122.167 | 1.3 | 17.246 | 2.15 | 34.192 | 1.357 | 〃 |
| 중앙부 바닥판 | 105.961 | 1.3 | 5.056 | 2.15 | 32.240 | 1.434 | 〃 |

## 5.3.3 청미천교-마산방향

### 가. 1블럭(S1~S5)

【표 5-49】 허용응력법에 의한 강박스 거더의 내하력평가 결과(마산방향)

| 구 분 | | 응력(MPa) | | | 기본내하율 (RF) | 기본내하력 (P) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 고정하중 | 활하중 | 허용응력 | | |
| S1- G2 정모멘트 최대 | 상연 | 89.802 | 10.892 | 190.000 | 9.199 | DB-24이상 |
| | 하연 | -102.141 | -50.965 | -190.000 | 1.724 | 〃 |
| P1-G2 부모멘트 최대 | 상연 | -107.588 | -48.775 | -190.000 | 1.690 | 〃 |
| | 하연 | 103.560 | 51.680 | 190.000 | 1.673 | 〃 |

【표 5-50】 강도설계법에 의한 바닥판 내하력평가 결과(마산방향)

| 구 분 | 설계강도 (kN · m) | 고정하중 계수 | 고정하중 모멘트 (kN · m) | 활하중 계수 | 활하중모멘트 (충격포함) (kN · m) | 기본내하율(RF) | 기본내하력 (P) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 캔틸레버부 (방호벽) | 122.167 | 1.3 | 12.774 | 2.15 | 25.235 | 1.946 | DB-24 이상 |
| 캔틸레버부 (중분대) | 122.167 | 1.3 | 2.275 | 2.15 | 36.162 | 1.533 | 〃 |
| 중앙부 바닥판 | 105.961 | 1.3 | 5.056 | 2.15 | 32.240 | 1.434 | 〃 |

### 나. 2블럭(S6~S9)

【표 5-51】 허용응력법에 의한 강박스 거더의 내하력평가 결과(마산방향)

| 구 분 | | 응력(MPa) | | | 기본내하율 (RF) | 기본내하력 (P) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 고정하중 | 활하중 | 허용응력 | | |
| S6- G2 정모멘트 최대 | 상연 | 88.826 | 10.368 | 190.000 | 9.758 | DB-24이상 |
| | 하연 | -100.743 | -50.915 | -190.000 | 1.753 | 〃 |
| P6-G2 부모멘트 최대 | 상연 | -112.134 | -49.070 | -190.000 | 1.587 | 〃 |
| | 하연 | 108.068 | 52.103 | 190.000 | 1.573 | 〃 |

【표 5-52】 강도설계법에 의한 바닥판 내하력평가 결과(마산방향)

| 구 분 | 설계강도 (kN · m) | 고정하중 계수 | 고정하중 모멘트 (kN · m) | 활하중 계수 | 활하중모멘트 (충격포함) (kN · m) | 기본내하율(RF) | 기본내하력 (P) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 캔틸레버부 (방호벽) | 122.167 | 1.3 | 12.774 | 2.15 | 25.235 | 1.946 | DB-24 이상 |
| 캔틸레버부 (중분대) | 122.167 | 1.3 | 2.275 | 2.15 | 36.162 | 1.533 | 〃 |
| 중앙부 바닥판 | 105.961 | 1.3 | 5.056 | 2.15 | 32.240 | 1.434 | 〃 |

## 5.3.4 기본내하율 이전상태 비교

기진단과 금회차 정밀안전진단 기본내하율 평가결과 본 교량의 기본내하력은 설계활하중 DB-24이상으로 평가되었다. 금회 진단 시 방호울타리 및 중앙분리대 제원 실측결과 양평방향의 방호울타리 높이1.08에서 1.35m로 중앙분리대 높이0.89m에서 1.35m로 증설된 것으로 확인되었으며 실측값 적용결과 합성후 고정하중이 일부 증가하여 양평방향 거더 내하율이 다소 낮게 산정되었다.

【표 5-53】 기진단과 금회차 내하력평가 비교

| 구 분 | | | | 2012년 정밀안전진단 기본내하율 | 금회 정밀안전진단 기본내하율 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 양평 방향 | 1블럭 | 바닥판 | 캔틸레버부 | 1.456 | 1.357 | |
| | | | 중앙부 | 1.523 | 1.434 | |
| | | 거더 | 정모멘트부 | 1.576 | 1.496 | |
| | | | 부모멘트부 | 1.360 | 1.270 | |
| | 2블럭 | 바닥판 | 캔틸레버부 | 1.448 | 1.357 | |
| | | | 중앙부 | 1.514 | 1.434 | |
| | | 거더 | 정모멘트부 | 1.624 | 1.546 | |
| | | | 부모멘트부 | 1.325 | 1.236 | |
| 마산 방향 | 1블럭 | 바닥판 | 캔틸레버부 | 1.526 | 1.533 | |
| | | | 중앙부 | 1.514 | 1.434 | |
| | | 거더 | 정모멘트부 | 1.724 | 1.724 | |
| | | | 부모멘트부 | 1.673 | 1.673 | |
| | 2블럭 | 바닥판 | 캔틸레버부 | 1.526 | 1.533 | |
| | | | 중앙부 | 1.514 | 1.434 | |
| | | 거더 | 정모멘트부 | 1.724 | 1.753 | |
| | | | 부모멘트부 | 1.673 | 1.573 | |

# 5.4 하부구조 안전성 평가

외관 및 내구성조사 결과, 지금까지 공용기간 중 하부구조에 구조적인 손상이나 부등침하, 전도 및 활동 등의 이상 징후는 없는 상태이며 상기 조사결과와 구체 및 기초형식, 제원, 상부하중, 발생한 손상 등을 감안하여 교대, 교각에 대해서 도로교 설계기준(2010)에 따라 하부구조 안전성 검토를 실시하였다.(자세한 계산과정은 부록 참조)

## 5.4.1 청미천교-양평방향

### 가. 교대(A1) 구조검토

1) 검토조건

㉠ 일반조건

㉡ 하부구조형식 : 역T형 교대

㉢ 상부구조형식 : 강박스 거더교

㉣ 교량등급 : 1등교(DB-24, DL-24)

㉤ 교대총폭 : B=12.435m

㉥ 교대총높이 : H=8.000~8.223m

㉦ 기초형식 : 말뚝기초

㉧ SKEW : 90.000°

② 하중

㉠ 철근콘크리트의 단위중량 : $\gamma c$ = 25.000kN/㎥

㉡ 뒷채움재의 단위중량 : $\gamma s1$ = 20.000kN/㎥(토사)

㉢ 기초지반의 단위중량 : $\gamma s2$ = 19.000kN/㎥

㉣ 과재하중 : q1 = 10.000kN/m

㉤ 상부 고정하중 반력 : Rd = 237.915kN/m

㉥ 상부 활하중 반력 : R1 = 143.493kN/m

㉦ 교량받침 마찰계수 : fs = 0.050

③ 지반조건

㉠ 뒷채움재의 내부마찰각 : $\Phi 1$ = 35.0°

㉡ 기초지반의 N치 : N = 50.0

㉢ 기초지반의 내부마찰각 : $\Phi 2$ = 45.000° ($\Phi_2 = 15 + \sqrt{15N}$)

㉣ 기초지반의 점착력 : C = 0.000kN/㎡

㉤ 기초지반의 마찰계수 : $\mu$=0.327(tan(2/3$\Phi_2$) : 흙과 콘크리트)

④ 사용재료

㉠ 콘크리트

■ 설계기준강도($f_{ck}$) : 24 MPa

■ 탄성계수($E_c$) : 26,986

㉡ 철근(SD30)

■ 항복강도($f_y$) : 300 MPa

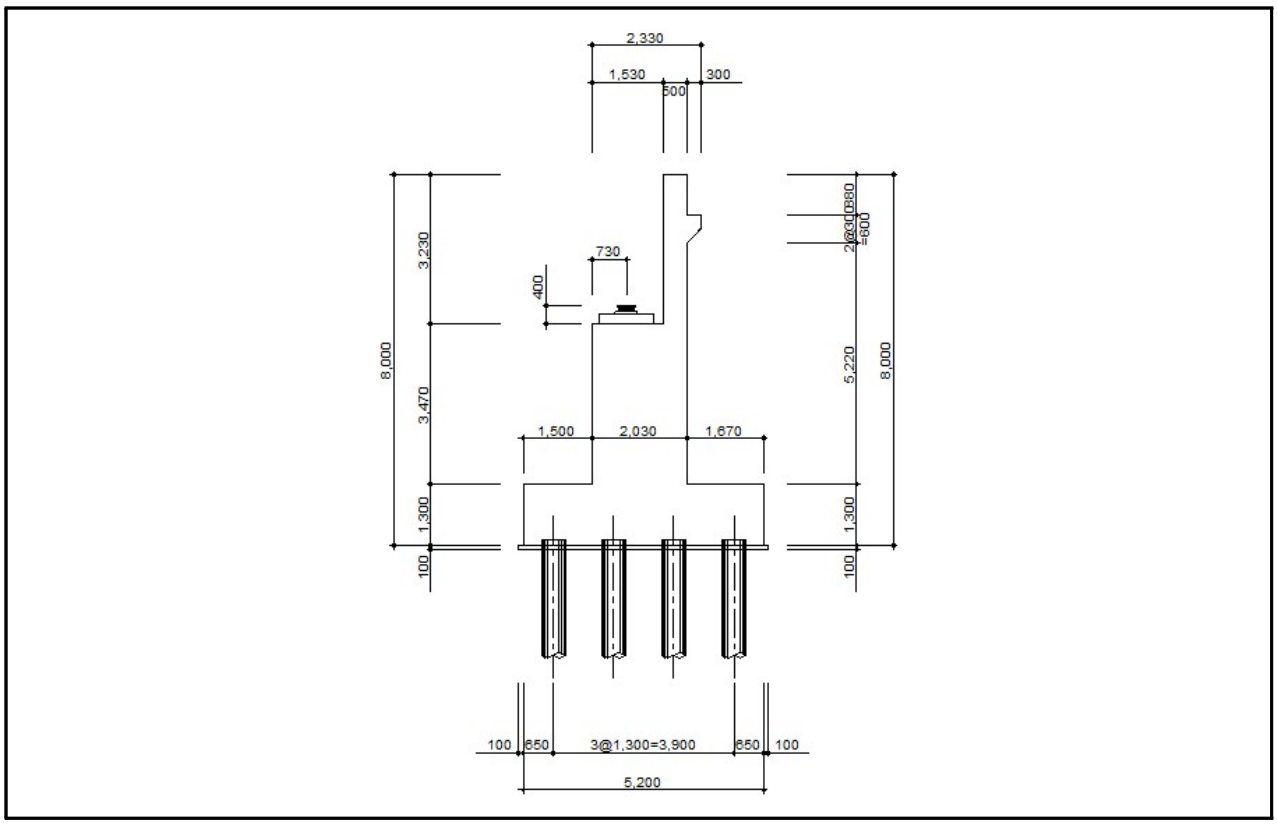
■ 탄성계수($E_s$) : 200,000 MPa

⑤ 설계방법

㉠ 안전성검토 : 허용응력설계법

㉡ 단면검토 : 강도설계법

2) 해석단면




【그림 5-29】 해석단면(A1)

3) 하중산정

① 자중(원점 0을 기준으로)

㉠ 교대구체

Wc = 15.55m$^2$ × 25.0 = 388.853kN/m

㉡ 뒷채움채

Wc = 11.05m$^2$ × 20.0 = 221.080kN/m

② 토압

㉠ 토압계수 산정

■ 평상시 주동토압계수(Rankine) : 안정검토시 적용(상시)

$$K_a = \cos\alpha \times \frac{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}$$

■ 평상시 주동토압계수(Coulomb) : 단면검토시 적용(상시)

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \beta)}{\cos^2\beta * \cos(\beta + \delta)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) * \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\beta + \delta) * \cos(\beta - \alpha)}}\right]^2}$$

$\Phi$ = 뒷채움 흙의 내부마찰각(도)

$\alpha$ = 지표면과 수평면이 이루는 각(도)

$\beta$ = 벽배면과 연직면이 이루는 각(도)

$\delta$ = 벽배면과 뒷채움흙 사이의 벽면마찰각(도)

| 구 분 | 안정검토 | 벽체검토 |
|---|---|---|
| $\Phi$ | 35.000 | 35.000 |
| $\alpha$ | 0.000 | 0.000 |
| $\beta$ | 0.000 | 0.000 |
| $\delta$ | 0.000 | 11.667 |
| Ka | 0.271 | 0.251 |

③ 토압에 의한 하중집계

| 구 분 | | 하중산식 | P (kN/m) | x(m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 상 시 | 수평토압 | 1/2×0.271×20×8.000$^2$×cos0.000 | 173.434 | 2.667 | 462.490 |
| | 배면활하중 토압 | 0.271×10.000×8.000×cos 0.000 | 21.679 | 4.000 | 86.717 |

④ 상부구조물 하중

㉠ 상부구조물 하중 집계

| 구 분 | | 하중산식 | P (kN/m) | x(m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 연직하중 | 고정하중 | 2958.470 / 12.435 | 237.915 | 2.230 | 530.550 |
| | 활하중 | 1784.340 / 12.435 | 143.493 | 2.230 | 319.990 |
| | 배면활하중 | 10.000×1.670 | 16.700 | 4.365 | 72.896 |
| 수평하중 | 온도하중 | 237.915×0.050000 | 11.896 | 5.170 | 61.501 |

⑤ 하중요약

| 구 분 | V(kN/m) | H(kN/m) | 팔길이(m) | | Moment(kN/m・m) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | x | y | Mx | My |
| 교대본체자중 | 388.853 | - | 2.641 | - | 1027.092 | - |
| 뒷굽상부토자중 | 221.080 | - | 4.374 | - | 966.909 | - |
| 상부고정하중 | 237.915 | - | 2.230 | - | 530.550 | - |
| 상부활하중 | 143.493 | - | 2.230 | - | 319.990 | - |
| 수평토압 | - | 173.434 | - | 2.667 | - | 462.490 |
| 배면활하중 | 16.700 | 21.679 | 4.365 | 4.000 | 72.896 | 86.717 |
| 온도하중 | - | 11.896 | - | 5.170 | - | 61.501 |

⑥ 하중조합

㉠ 사용하중 조합

| 구 분 | D | Rd | RI | LU | H | G | Q | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LCBS1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| LCBS2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| LCBS3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| LCBS4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | |

㉡ 계수하중 조합

| 구 분 | D | Rd | RI | LU | H | G | Q | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LCBF1 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 1.7 | 0 | 0 | |
| LCBF2 | 1.3 | 1.3 | 0 | 0 | 1.7 | 0 | 0 | |
| LCBF3 | 1.3 | 1.3 | 2.15 | 2.15 | 1.7 | 0 | 0 | |
| LCBF4 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 0 | |

D : 자중(구체자중, 뒷굽배면토사) 또는 이에 따른 단면력
Rd : 상부고정하중 또는 이에 따른 단면력
Rl : 상부활하중 또는 이에 따른 단면력
LU : 배면활하중(연직하중) 또는 이에 따른 단면력
H : 수평토압(배면활하중 토압 포함) 또는 이에 따른 단면력
G : 온도변화 등으로 인한 팽창 또는 수축변형으로 유발된 변형력 또는 이에 따른 단면력
Q : 부력 또는 양압력, 수압, 파압 등의 하중 또는 이에 따른 단면력
E : 지진의 영향 또는 이에 따른 단면력

⑦ 하중조합 결과

| 하 중 조 합 | | V(kN/m) | H(kN/m) | Mr (kN/m・m) | Mo (kN/m・m) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 사용하중 | LCBS1 | 609.933 | 173.434 | 1994.000 | 462.490 | |
| | LCBS2 | 847.847 | 173.434 | 2524.550 | 462.490 | |
| | LCBS3 | 1008.041 | 195.113 | 2917.436 | 549.207 | |
| | LCBS4 | 847.847 | 247.804 | 2524.550 | 743.980 | |
| 계수하중 | LCBF1 | 792.912 | 294.837 | 2592.200 | 786.232 | |
| | LCBF2 | 1102.201 | 294.837 | 3281.915 | 786.232 | |
| | LCBF3 | 1446.617 | 331.692 | 4126.619 | 933.651 | |
| | LCBF4 | 1310.453 | 347.156 | 3792.667 | 1013.602 | |

4) 말뚝 검토

① 검토조건

㉠ 말뚝의 제원

| 말뚝 종류 | 직경(mm) | 두께(mm) | 부식두께(mm) | 길이(m) |
|---|---|---|---|---|
| 강관말뚝 | 508 | 12 | 2 | 6.542 |

※ 말뚝길이는 기초평면에 묻힌 100mm는 제외한 길이임.

· 말뚝의 탄성계수 : E = 205,000MPa

· 말뚝의 단면2차 모멘트 : $I = \pi/64 \times (0.504^4 - 0.486^4) = 0.0004736m^4$

② 단위길이당 작용하는 하중

| 구 분 | | V(kN/m) | H(kN/m) | e(m) | Mc (kN/m · m) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 사용하중 | LCBS1 | 609.933 | 173.434 | 1994.000 | 462.490 | |
| | LCBS2 | 847.847 | 173.434 | 2524.550 | 462.490 | |
| | LCBS3 | 1008.041 | 195.113 | 2917.436 | 549.207 | |
| | LCBS4 | 847.847 | 247.804 | 2524.550 | 743.980 | |
| 계수하중 | LCBF1 | 792.912 | 294.837 | 2592.200 | 786.232 | |
| | LCBF2 | 1102.201 | 294.837 | 3281.915 | 786.232 | |
| | LCBF3 | 1446.617 | 331.692 | 4126.619 | 933.651 | |
| | LCBF4 | 1310.453 | 347.156 | 3792.667 | 1013.602 | |

③ Pile 본체 검토

㉠ 휨응력 검토(사용하중)

| 구 분 | | V(kN/m) | M (kN/m · m) | f(MPa) | fsa(MPa) | 안전율 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| LCBS1 | FIX | 284.189 | 60.873 | 50.701 | 140.000 | OK(2.761) |
| | HINGE | 227.999 | 41.596 | 36.824 | 140.000 | OK(3.802) |
| LCBS2 | FIX | 393.210 | 59.544 | 57.019 | 140.000 | OK(2.455) |
| | HINGE | 338.246 | 41.596 | 43.928 | 140.000 | OK(3.187) |
| LCBS3 | FIX | 489.304 | 65.591 | 66.428 | 140.000 | OK(2.108) |
| | HINGE | 428.759 | 46.796 | 52.526 | 140.000 | OK(2.665) |
| LCBS4 | FIX | 487.506 | 64.467 | 65.715 | 210.000 | OK(3.196) |
| | HINGE | 427.998 | 49.089 | 53.698 | 210.000 | OK(3.911) |

㉡ 전단응력 검토(사용하중)

| 구 분 | | H(kN/m) | $\tau$ | $\tau_{sa}$ | 안전율 |
|---|---|---|---|---|---|
| MAX | 평상시 | 67.395 | 8.682 | 80.000 | O.K.(9.214) |

④ 말뚝의 지지력 검토

| 구 분 | | 압축력(kN) | | 인발력(kN) | | 안전율 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 반력 | 허용 | 반력 | 허용 | |
| 상 시 | LCBS1 | 284.189 | 3325.000 | 0.000 | 0.000 | O.K.(11.700) |
| 상 시 | LCBS2 | 393.210 | 3325.000 | 0.000 | 0.000 | O.K.(8.456) |
| 상 시 | LCBS3 | 489.304 | 3325.000 | 0.000 | 0.000 | O.K.(6.795) |
| 상 시 | LCBS4 | 487.506 | 4987.500 | 0.000 | 75.156 | O.K.(10.231) |

5) 교대 단면력에 대한 검토

① 연직벽

㉠ 단면력 산정

| 구 분 | | 하중산식 | P (kN/m) | x(m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 상 시 | 수평토압 | 1/2×0.2508×20 ×6.700$^2$×cos11.667 | 110.280 | 2.233 | 246.291 |
| | 배면활하중 토압 | 0.2508×10.000 ×6.700 ×cos 11.667 | 16.460 | 3.350 | 55.140 |
| | 온도하중 | 237.915×0.050000 | 11.896 | 3.870 | 46.037 |

㉡ 하중조합

| 구 분 | | D | H | Rd | Rl | LU | G | V(kN/m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 사용 하중 | LCBS1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 110.280 | 246.291 |
| | LCBS2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 110.280 | 246.291 |
| | LCBS3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 126.739 | 301.431 |
| | LCBS4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 157.798 | 410.050 |
| | Max | | | | | | | 157.798 | 410.050 |
| 계수 하중 | LCBF1 | 1.3 | 1.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 187.475 | 418.695 |
| | LCBF2 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 187.475 | 418.695 |
| | LCBF3 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 2.15 | 2.15 | 0 | 215.457 | 512.433 |
| | LCBF4 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 230.921 | 572.280 |
| | Max | | | | | | | 230.921 | 572.280 |

② 흉벽

㉠ 단면력 산정

| 구 분 | 하중산식 | P (kN/m) | x(m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|
| 수평토압 | $1/2\times0.2508\times20\times3.230^2\times\cos11.667$ | 25.630 | 1.077 | 27.595 |
| 윤하중 | $11.46\times0.2508$ | 28.747 | 2.870 | 82.505 |

㉡ 하중조합

| 구 분 | | D | H | Rd | Rl | LU | G | V(kN/m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 사용 하중 | LCBS1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25.630 | 27.595 |
| | LCBS2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 25.630 | 27.595 |
| | LCBS3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 54.377 | 110.100 |
| | LCBS4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 36.108 | 46.944 |
| | Max | | | | | | | 54.377 | 110.100 |
| 계수 하중 | LCBF1 | 1.3 | 1.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 43.571 | 46.912 |
| | LCBF2 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 43.571 | 46.912 |
| | LCBF3 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 2.15 | 2.15 | 0 | 92.442 | 187.170 |
| | LCBF4 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 92.442 | 187.170 |
| | Max | | | | | | | 92.442 | 187.170 |

③ 압굽

㉠ 단면력 산정

| 구 분 | | 말뚝머리 고정 | | 말뚝머리 힌지 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | V (kN/m) | M (kN・m/m) | V (kN/m) | M (kN・m/m) | |
| 사용하중 | LCBS1 | 0.000 | 174.833 | 0.000 | 140.265 | |
| | LCBS2 | 0.000 | 241.902 | 0.000 | 208.089 | |
| | LCBS3 | 0.000 | 301.019 | 0.000 | 263.772 | |
| | LCBS4 | 0.000 | 299.913 | 0.000 | 263.304 | |
| 계수하중 | LCBF1 | 0.000 | 275.998 | 0.000 | 218.632 | |
| | LCBF2 | 0.000 | 363.189 | 0.000 | 306.803 | |
| | LCBF3 | 0.000 | 481.000 | 0.000 | 418.868 | |
| | LCBF4 | 0.000 | 466.420 | 0.000 | 401.678 | |

㉡ 하중조합

| 구 분 | | D | H | Rd | Rl | LU | G | V(kN/m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 사용 하중 | LCBS1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11.375 | 138.270 |
| | LCBS2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 11.375 | 205.340 |
| | LCBS3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 11.375 | 264.457 |
| | LCBS4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 11.375 | 263.351 |
| | Max | | | | | | | 11.375 | 264.457 |
| 계수 하중 | LCBF1 | 1.3 | 1.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14.788 | 228.467 |
| | LCBF2 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 14.788 | 315.657 |
| | LCBF3 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 2.15 | 2.15 | 0 | 14.788 | 433.468 |
| | LCBF4 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 14.788 | 418.889 |
| | Max | | | | | | | 14.788 | 433.468 |

④ 뒷굽

㉠ 단면력 산정

| 구 분 | | 말뚝머리 고정 | | 말뚝머리 힌지 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | V (kN/m) | M (kN・m/m) | V (kN/m) | M (kN・m/m) | |
| 사용하중 | LCBS1 | 99.281 | 101.266 | 139.949 | 142.748 | |
| | LCBS2 | 139.333 | 142.119 | 179.114 | 182.696 | |
| | LCBS3 | 149.880 | 152.878 | 193.700 | 197.574 | |
| | LCBS4 | 71.084 | 72.506 | 114.154 | 116.437 | |
| 계수하중 | LCBF1 | 71.753 | 73.188 | 139.243 | 142.027 | |
| | LCBF2 | 123.820 | 126.297 | 190.156 | 193.959 | |
| | LCBF3 | 157.427 | 160.575 | 230.523 | 235.133 | |
| | LCBF4 | 106.496 | 108.626 | 182.664 | 186.317 | |

㉡ 하중조합

| 구 분 | | D | H | Rd | Rl | LU | G | V(kN/m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 사용 하중 | LCBS1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 176.074 | 130.550 |
| | LCBS2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 136.022 | 89.696 |
| | LCBS3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 142.175 | 92.883 |
| | LCBS4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 220.971 | 173.254 |
| | Max | | | | | | | 220.971 | 173.254 |
| 계수 하중 | LCBF1 | 1.3 | 1.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 286.209 | 228.173 |
| | LCBF2 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 234.141 | 175.064 |
| | LCBF3 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 2.15 | 2.15 | 0 | 236.440 | 170.766 |
| | LCBF4 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 273.175 | 210.862 |
| | Max | | | | | | | 286.209 | 228.173 |

⑤ 각 부재별 단면검토

| 구 분 | d(mm) | 사용철근량(㎟) | $M_u$(kN · m) | $\phi M_n$(kN · m) | $\phi M_n$ / $M_u$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 연직벽체 | 1930 | D22-20EA=4645.2 | 572.280 | 1519.438 | O.K.(2.655) |
| 흉벽 | 420 | D22-16EA=6193.6 | 187.170 | 320.216 | O.K.(1.711) |
| 압굽 | 1150 | D22-20EA=4645.2 | 433.468 | 903.492 | O.K.(2.084) |
| 뒷굽 | 1200 | D22-20EA=4645.2 | 228.173 | 966.376 | O.K.(4.235) |

6) 검토결과

각 부재별 단면검토 결과 최소안전율 1.711로 나와 구조적인 안전성을 확보한 것으로 판단된다.

말뚝기초에 대한 검토 결과 최소 안전율 2.108로 나와 안전한 것으로 판단된다.

## 나. 교대(A2) 구조검토

1) 검토조건

① 일반조건

㉠ 하부구조형식 : 역T형 교대

㉡ 상부구조형식 : 강박스 거더교

㉢ 교량등급 : 1등교(DB-24, DL-24)

㉣ 교대총폭 : B=12.435m

㉤ 교대총높이 : H=8.000m

㉥ 기초형식 : 말뚝기초

㉦ SKEW : 90.000°

② 하중

㉠ 철근콘크리트의 단위중량 : $\gamma c$ = 25.000kN/㎥

㉡ 뒷채움재의 단위중량 : $\gamma s1$ = 20.000kN/㎥(토사)

㉢ 기초지반의 단위중량 : $\gamma s2$ = 19.000kN/㎥

㉣ 과재하중 : q1 = 10.000kN/m

㉤ 상부 고정하중 반력 : Rd = 235.474kN/m

㉥ 상부 활하중 반력 : R1 = 148.165kN/m

㉦ 교량받침 마찰계수 : fs = 0.050

③ 지반조건

㉠ 뒷채움재의 내부마찰각 : $\Phi 1 = 35.0^{\circ}$

㉡ 기초지반의 N치 : N = 50.0

㉢ 기초지반의 내부마찰각 : $\Phi 2 = 27.200^{\circ}$ ($\Phi_2 = 15 + \sqrt{15N}$)

㉣ 기초지반의 점착력 : C = 0.000kN/㎡

㉤ 기초지반의 마찰계수 : $\mu$=0.327($\tan(2/3\Phi_2)$ : 흙과 콘크리트)

④ 사용재료

㉠ 콘크리트

- 설계기준강도($f_{ck}$) : 24 MPa
- 탄성계수($E_c$) : 26,986

㉡ 철근(SD30)

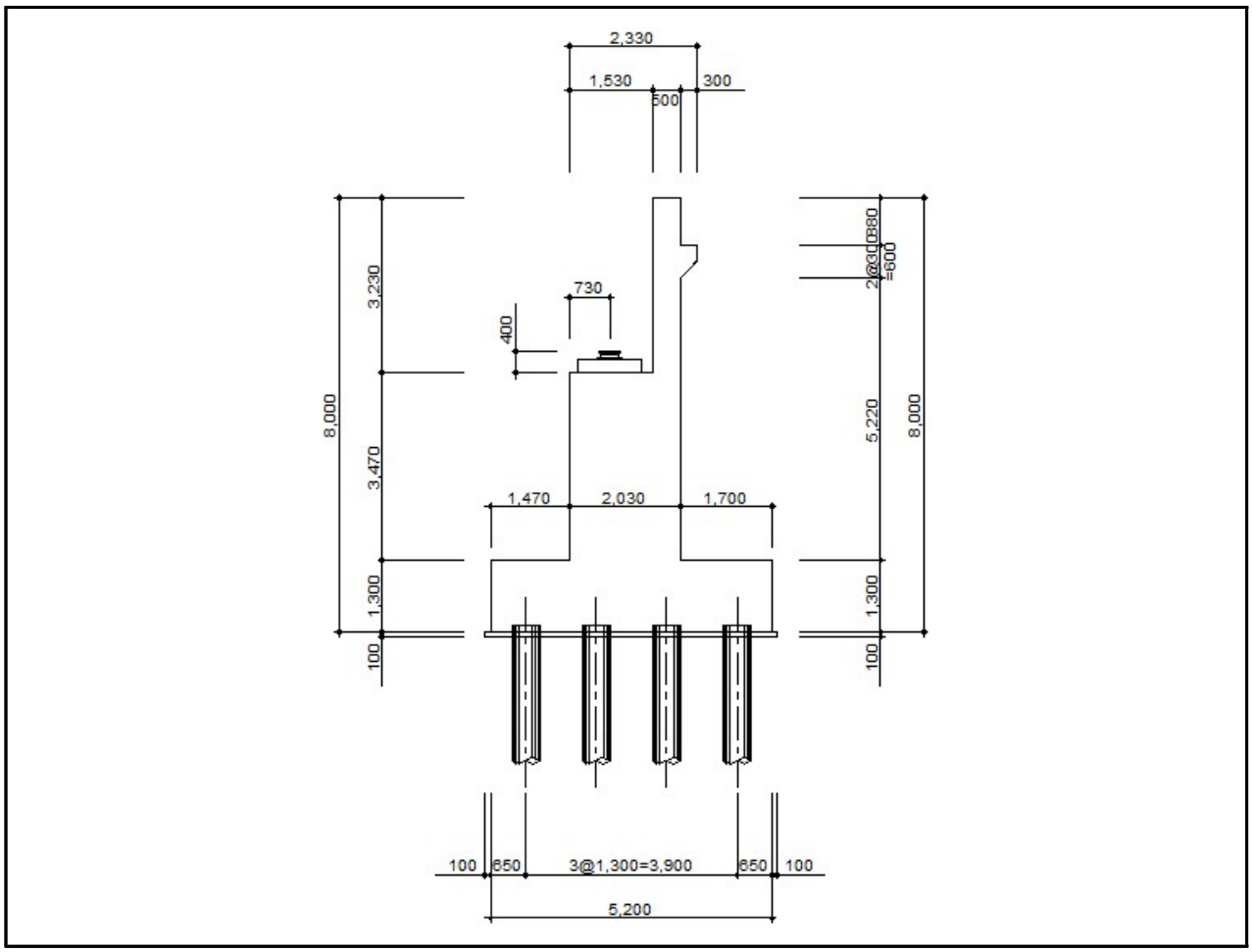
- 항복강도($f_y$) : 300 MPa
- 탄성계수($E_s$) : 200,000 MPa

⑤ 설계방법

㉠ 안전성검토 : 허용응력설계법

㉡ 단면검토 : 강도설계법

2) 해석단면




【그림 5-30】 해석단면(A2)

3) 하중산정

① 자중(원점 0을 기준으로)

㉠ 교대구체

Wc = 15.55m$^2$ × 25.0 = 388.853kN/m

㉡ 뒷채움채

Wc = 11.26m$^2$ × 20.0 = 225.100kN/m

② 토압

㉠ 토압계수 산정

■ 평상시 주동토압계수(Rankine) : 안정검토시 적용(상시)

$$K_a = \cos\alpha \times \frac{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}$$

■ 평상시 주동토압계수(Coulomb) : 단면검토시 적용(상시)

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi-\beta)}{\cos^2\beta * \cos(\beta+\delta)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)*\sin(\phi-\alpha)}{\cos(\beta+\delta)*\cos(\beta-\alpha)}}\right]^2}$$

$\Phi$ = 뒷채움 흙의 내부마찰각(도)

$\alpha$ = 지표면과 수평면이 이루는 각(도)

$\beta$ = 벽배면과 연직면이 이루는 각(도)

$\delta$ = 벽배면과 뒷채움흙 사이의 벽면마찰각(도)

| 구 분 | 안정검토 | 벽체검토 |
|---|---|---|
| $\Phi$ | 35.000 | 35.000 |
| $\alpha$ | 0.000 | 0.000 |
| $\beta$ | 0.000 | 0.000 |
| $\delta$ | 0.000 | 11.667 |
| Ka | 0.271 | 0.251 |

③ 토압에 의한 하중집계

| 구 분 | | 하중산식 | P (kN/m) | x(m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 상 시 | 수평토압 | 1/2×0.2710 ×20 ×8.000$^2$×cos0.000 | 173.434 | 2.667 | 462.490 |
| | 배면활하중 토압 | 0.2710 ×10.000 ×8.000 ×cos 0.000 | 21.679 | 4.000 | 86.717 |

④ 상부구조물 하중

㉠ 상부구조물 하중 집계

| 구 분 | | 하중산식 | P (kN/m) | x(m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 연직하중 | 고정하중 | 2928.120 / 12.435 | 235.474 | 2.230 | 525.107 |
| | 활하중 | 1842.430 / 12.435 | 148.165 | 2.230 | 330.408 |
| | 배면활하중 | 10.000×1.700 | 17.000 | 4.350 | 73.950 |
| 수평하중 | 온도하중 | 235.474×0.050000 | 11.774 | 5.170 | 60.870 |

⑤ 하중요약

| 구 분 | V(kN/m) | H(kN/m) | 팔길이(m) | | Moment(kN/m・m) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | x | y | Mx | My |
| 교대본체자중 | 388.853 | - | 2.624 | - | 1020.496 | - |
| 뒷굽상부토자중 | 225.100 | - | 4.359 | - | 981.120 | - |
| 상부고정하중 | 235.474 | - | 2.230 | - | 525.107 | - |
| 상부활하중 | 148.165 | - | 2.230 | - | 330.408 | - |
| 수평토압 | - | 173.434 | - | 2.667 | - | 462.490 |
| 배면활하중 | 17.000 | 21.679 | 4.350 | 4.000 | 73.950 | 86.717 |
| 온도하중 | - | 11.774 | - | 5.170 | - | 60.870 |

⑥ 하중조합

㉠ 사용하중 조합

| 구 분 | D | Rd | RI | LU | H | G | Q | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LCBS1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| LCBS2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| LCBS3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| LCBS4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | |

㉡ 계수하중 조합

| 구 분 | D | Rd | RI | LU | H | G | Q | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LCBF1 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 1.7 | 0 | 0 | |
| LCBF2 | 1.3 | 1.3 | 0 | 0 | 1.7 | 0 | 0 | |
| LCBF3 | 1.3 | 1.3 | 2.15 | 2.15 | 1.7 | 0 | 0 | |
| LCBF4 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 0 | |

D : 자중(구체자중, 뒷굽배면토사) 또는 이에 따른 단면력
Rd : 상부고정하중 또는 이에 따른 단면력
Rl : 상부활하중 또는 이에 따른 단면력
LU : 배면활하중(연직하중) 또는 이에 따른 단면력
H : 수평토압(배면활하중 토압 포함) 또는 이에 따른 단면력
G : 온도변화 등으로 인한 팽창 또는 수축변형으로 유발된 변형력 또는 이에 따른 단면력
Q : 부력 또는 양압력, 수압, 파압 등의 하중 또는 이에 따른 단면력
E : 지진의 영향 또는 이에 따른 단면력

⑦ 하중조합 결과

| 하 중 조 합 | | V(kN/m) | H(kN/m) | Mr (kN/m・m) | Mo (kN/m・m) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 사용하중 | LCBS1 | 613.953 | 173.434 | 2001.616 | 462.490 | |
| | LCBS2 | 849.427 | 173.434 | 2526.723 | 462.490 | |
| | LCBS3 | 1014.591 | 195.113 | 2931.081 | 549.207 | |
| | LCBS4 | 1014.591 | 206.887 | 2931.081 | 610.077 | |
| 계수하중 | LCBF1 | 798.138 | 294.837 | 2602.101 | 786.232 | |
| | LCBF2 | 1104.255 | 294.837 | 3284.740 | 786.232 | |
| | LCBF3 | 1459.359 | 331.692 | 4154.109 | 933.651 | |
| | LCBF4 | 1318.969 | 346.998 | 3810.405 | 1012.782 | |

4) 말뚝 검토

① 검토조건

㉠ 말뚝의 제원

| 말뚝 종류 | 직경(mm) | 두께(mm) | 부식두께(mm) | 길이(m) |
|---|---|---|---|---|
| 강관말뚝 | 508 | 12 | 2 | 9.022 |

※ 말뚝길이는 기초평면에 묻힌 100mm는 제외한 길이임.

· 말뚝의 탄성계수 : E = 205,000MPa

· 말뚝의 단면2차 모멘트 : $I = \pi/64 \times (0.504^4 - 0.486^4) = 0.0004736m^4$

② 단위길이당 작용하는 하중

| 구 분 | | V(kN/m) | H(kN/m) | e(m) | Mc (kN/m・m) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 사용하중 | LCBS1 | 613.953 | 173.434 | 2001.616 | 462.490 | |
| | LCBS2 | 849.427 | 173.434 | 2526.723 | 462.490 | |
| | LCBS3 | 1014.591 | 195.113 | 2931.081 | 549.207 | |
| | LCBS4 | 1014.591 | 206.887 | 2931.081 | 610.077 | |
| 계수하중 | LCBF1 | 798.138 | 294.837 | 2602.101 | 786.232 | |
| | LCBF2 | 1104.255 | 294.837 | 3284.740 | 786.232 | |
| | LCBF3 | 1459.359 | 331.692 | 4154.109 | 933.651 | |
| | LCBF4 | 1318.969 | 346.998 | 3810.405 | 1012.782 | |

③ Pile 본체 검토

㉠ 휨응력 검토(사용하중)

| 구 분 | | V(kN/m) | M (kN/m・m) | f(MPa) | fsa(MPa) | 안전율 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| LCBS1 | FIX | 272.543 | 45.773 | 41.916 | 140.000 | O.K.(3.340) |
| | HINGE | 230.292 | 32.677 | 32.226 | 140.000 | O.K.(4.344) |
| LCBS2 | FIX | 379.724 | 43.676 | 47.707 | 140.000 | O.K.(2.935) |
| | HINGE | 339.408 | 32.677 | 39.257 | 140.000 | O.K.(3.566) |
| LCBS3 | FIX | 475.376 | 46.880 | 55.575 | 140.000 | O.K.(2.519) |
| | HINGE | 432.102 | 36.761 | 47.403 | 140.000 | O.K.(2.953) |
| LCBS4 | FIX | 496.386 | 48.616 | 57.853 | 140.000 | O.K.(2.420) |
| | HINGE | 451.510 | 38.980 | 49.834 | 140.000 | O.K.(2.809) |

㉡ 전단응력 검토(사용하중)

| 구 분 | | H(kN/m) | $\tau$ | $\tau_{sa}$ | 안전율 |
|---|---|---|---|---|---|
| MAX | 평상시 | 71.462 | 9.206 | 80.000 | O.K.(8.690) |

5) 교대 단면력에 대한 검토

① 연직벽

㉠ 단면력 산정

| 구 분 | | 하중산식 | P (kN/m) | x(m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 상 시 | 수평토압 | $1/2\times0.2508\times20\times6.700^2\times\cos11.667$ | 110.280 | 2.233 | 246.291 |
| | 배면활하중 토압 | $0.2508\times10.000\times6.700\times\cos 11.667$ | 16.460 | 3.350 | 55.140 |
| | 온도하중 | $235.474\times0.05$ | 11.774 | 3.870 | 45.564 |

㉡ 단면력 산정

| 구 분 | | D | H | Rd | Rl | LU | G | V(kN/m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 사용 하중 | LCBS1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 110.280 | 246.291 |
| | LCBS2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 110.280 | 246.291 |
| | LCBS3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 126.739 | 301.431 |
| | LCBS4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 138.513 | 346.995 |
| | Max | | | | | | | 138.513 | 346.995 |
| 계수 하중 | LCBF1 | 1.3 | 1.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 187.475 | 418.695 |
| | LCBF2 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 187.475 | 418.695 |
| | LCBF3 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 2.15 | 2.15 | 0 | 215.457 | 512.433 |
| | LCBF4 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 230.763 | 571.666 |
| | Max | | | | | | | 230.763 | 571.666 |

② 흉벽

㉠ 단면력 산정

| 구 분 | 하중산식 | P (kN/m) | x(m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|
| 수평토압 | $1/2\times0.2508\times20\times3.230^2\times\cos11.667$ | 25.630 | 1.077 | 27.595 |
| 윤하중 | $11.46\times0.2508$ | 32.740 | 1.264 | 41.373 |

㉡ 단면력 산정

| 구 분 | | D | H | Rd | Rl | LU | G | V(kN/m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 사용 하중 | LCBS1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25.630 | 27.595 |
| | LCBS2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 25.630 | 27.595 |
| | LCBS3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 54.377 | 110.100 |
| | LCBS4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 54.377 | 110.100 |
| | Max | | | | | | | 54.377 | 110.100 |
| 계수 하중 | LCBF1 | 1.3 | 1.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 43.571 | 46.912 |
| | LCBF2 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 43.571 | 46.912 |
| | LCBF3 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 2.15 | 2.15 | 0 | 92.442 | 187.170 |
| | LCBF4 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 92.442 | 187.170 |
| | Max | | | | | | | 92.442 | 187.170 |

③ 압굽

㉠ 단면력 산정

| 구 분 | | 말뚝머리 고정 | | 말뚝머리 힌지 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | V (kN/m) | M (kN・m/m) | V (kN/m) | M (kN・m/m) | |
| 사용하중 | LCBS1 | 0.000 | 167.668 | 0.000 | 141.675 | |
| | LCBS2 | 0.000 | 233.606 | 0.000 | 208.803 | |
| | LCBS3 | 0.000 | 292.451 | 0.000 | 265.829 | |
| | LCBS4 | 0.000 | 305.376 | 0.000 | 277.768 | |
| 계수하중 | LCBF1 | 0.000 | 262.438 | 0.000 | 220.465 | |
| | LCBF2 | 0.000 | 348.157 | 0.000 | 307.732 | |
| | LCBF3 | 0.000 | 466.046 | 0.000 | 422.682 | |
| | LCBF4 | 0.000 | 449.127 | 0.000 | 404.191 | |

㉡ 단면력 산정

| 구 분 | | D | H | Rd | Rl | LU | G | V(kN/m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 사용 하중 | LCBS1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11.375 | 131.106 |
| | LCBS2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 11.375 | 197.044 |
| | LCBS3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 11.375 | 255.888 |
| | LCBS4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 11.375 | 268.814 |
| | Max | | | | | | | 11.375 | 268.814 |
| 계수 하중 | LCBF1 | 1.3 | 1.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14.788 | 214.907 |
| | LCBF2 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 14.788 | 300.626 |
| | LCBF3 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 2.15 | 2.15 | 0 | 14.788 | 418.515 |
| | LCBF4 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 14.788 | 401.596 |
| | Max | | | | | | | 14.788 | 418.515 |

④ 뒷굽

㉠ 단면력 산정

| 구 분 | | 말뚝머리 고정 | | 말뚝머리 힌지 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | V (kN/m) | M (kN・m/m) | V (kN/m) | M (kN・m/m) | |
| 사용하중 | LCBS1 | 110.813 | 115.205 | 141.474 | 147.315 | |
| | LCBS2 | 151.391 | 157.377 | 180.647 | 188.015 | |
| | LCBS3 | 164.996 | 171.398 | 196.398 | 204.284 | |
| | LCBS4 | 149.749 | 155.431 | 182.315 | 189.535 | |
| 계수하중 | LCBF1 | 91.603 | 94.834 | 141.112 | 146.683 | |
| | LCBF2 | 144.353 | 149.657 | 192.038 | 199.594 | |
| | LCBF3 | 183.782 | 190.460 | 234.932 | 244.027 | |
| | LCBF4 | 133.174 | 137.654 | 186.180 | 193.164 | |

㉡ 단면력 산정

| 구 분 | | D | H | Rd | Rl | LU | G | V(kN/m) | M (kN·m/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 사용 하중 | LCBS1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 169.537 | 125.027 |
| | LCBS2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 128.959 | 82.856 |
| | LCBS3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 132.354 | 83.284 |
| | LCBS4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 147.601 | 99.252 |
| | Max | | | | | | | 169.537 | 125.027 |
| 계수 하중 | LCBF1 | 1.3 | 1.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 272.852 | 217.468 |
| | LCBF2 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 220.102 | 162.646 |
| | LCBF3 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 2.15 | 2.15 | 0 | 217.223 | 152.910 |
| | LCBF4 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 253.381 | 193.433 |
| | Max | | | | | | | 272.852 | 217.468 |

⑤ 각 부재별 단면검토

| 구 분 | d(mm) | 사용철근량(㎟) | $M_u$(kN · m) | $\phi M_n$(kN · m) | $\phi M_n$ / $M_u$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 연직벽체 | 1900 | D22-8EA=3096.8 | 571.666 | 1484.813 | O.K.(2.597) |
| 흉벽 | 420 | D22-8EA=3096.8 | 187.170 | 320.216 | O.K.(1.711) |
| 압굽 | 1150 | D22-8EA=3096.8 | 418.515 | 903.492 | O.K.(2.159) |
| 뒷굽 | 1200 | D22-8EA=3096.8 | 217.468 | 966.376 | O.K.(4.444) |

⑥ 검토결과

각 부재별 단면검토 결과 최소안전율 1.711로 나와 구조적인 안전성을 확보한 것으로 판단된다.

말뚝기초에 대한 검토 결과 최소 안전율 2.420으로 나와 안전한 것으로 판단된다.

## 다. 교각(P6) 구조검토

1) 검토조건

① 일반사항

㉠ 하부구조형식 : T형 교각

㉡ 상부구조형식 : 강박스 거더교

㉢ 교량등급 : 1등교(DB-24, DL-24)

㉣ 기초형식 : 직접기초

② 하중

㉠ 철근콘크리트의 단위중량 : $\gamma_c$ = 25.0 kN/㎥

㉡ 기초지반의 단위중량 : $\gamma_{s2}$ = 20.0 kN/㎥

㉢ 교량받침 마찰계수 : fs = 0.050

③ 지반조건

㉠ 기초지반의 N치 : N = 50

㉡ 기초지반의 내부마찰각 : $\Phi_2$ = 42.400° ($\Phi_2 = 15 + \sqrt{15N}$)

㉢ 기초지반의 점착력 : C = 0.0 kN/㎡

㉣ 기초지반의 마찰계수 : $\mu$ = 0.6 ( $\tan\Phi_b$ = 0.60, Cb = 0:암과 콘크리트)

㉤ 기초지반의 최대 허용지지력 : Qa = 700 kN/㎡

④ 사용재료

㉠ 콘크리트

- 설계기준강도($f_{ck}$) : 24 MPa(기둥, 기초)
- 탄성계수($E_c$) : 26,986MPa(기둥, 기초)

㉡ 철근(SD30)

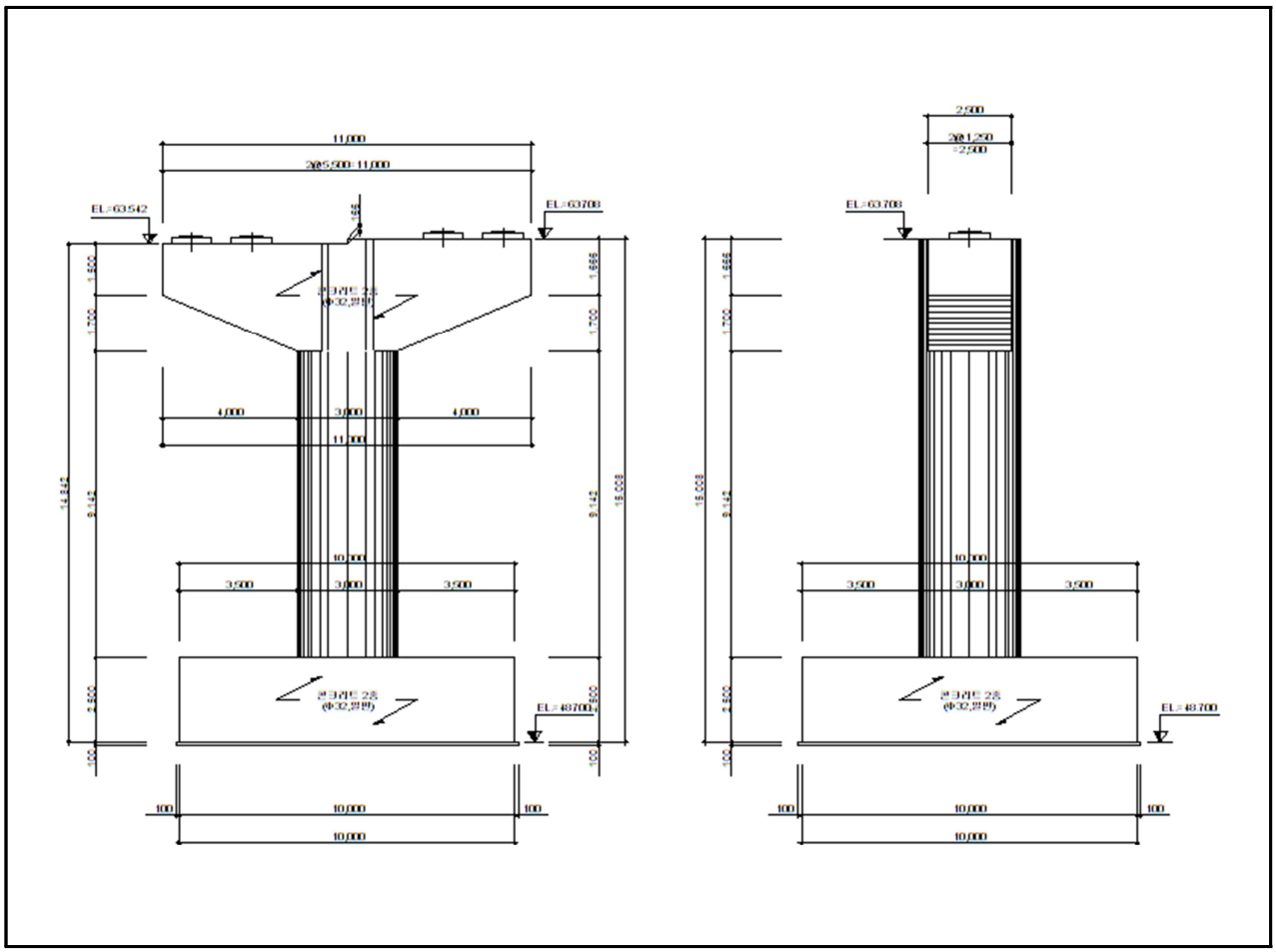
- 항복강도($f_y$) : 300 MPa(기둥, 기초)
- 탄성계수($E_s$) : 200,000 MPa

⑤ 설계방법

㉠ 안정성검토 : 허용응력설계법

㉡ 단면검토 : 강도설계법

2) 해석단면



【그림 5-31】 해석단면(P6)

3) 하중산정

① 상부반력 및 교각자중

| 교좌번호 | 고정하중(kN) | 활하중(kN) | 합 계 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2,296.630 | 887.600 | 3,184.230 | |
| 2 | 249.590 | 1,049.190 | 1,298.780 | |
| 3 | 2,383.960 | 1,031.390 | 3,415.350 | |
| 4 | 2,127.620 | 842.790 | 2,970.410 | |
| 계 | 7,057.800 | 3,810.970 | 10,868.770 | |

※ 교각자중은 25.0 $kN/m^3$의 값을 프로그램에서 자동재하

② 풍하중

㉠ 상부풍하중

B/D = 12.435 / 3.880 = 3.205 [ 1 ≤ B/D < 8 ]

Pw=10.426×(50.000+50.000)/2=521.320kN

작용위치 h = 0.400 + 3.880 / 2 = 2.340m

작용모멘트 Mx=Pw×h=521.320×2.340=1219.889kN・m

㉡ 활하중에 작용하는 풍하중

Pwl=1.500×(50.000+50.000)/2.0=75.000kN

작용위치 h = 0.400 + 2.830 + 1.5 = 4.730m

작용모멘트 My=Pwl×h=75.500×4.730=354.750kN・m

㉢ 하부구조에 작용하는 풍하중

■ 교축방향

◦Wcoping=3.000×2.582=7.745kN/m

◦Wcolumn=1.500×3.000=4.500kN/m

■ 교축직각방향

◦Wcoping=3.000×2.500=7.500kN/m

◦Wcolumn=1.500×3.000=4.500kN/m(풍상측)

③ 온도하중

㉠ 교축직각방향

연평균 온도변화차 ⊿T = ±10 ℃ 적용

㉡ 교축방향

■ 상부구조 신축에 의한 수평력

$P_{T1}$=3EI δ/H3=3×23080000.000×3.976×1EA×0.015/$12.342^3$=2196.578kN

δ = α× ⊿T× L = 1.2E-05× 25× 50.000 = 0.015m : 온도에 의한 신축량

H = 12.342m

I = 3.976$m^4$

■ 교좌장치 마찰에 의한 수평력

PT2= $\mu$ ×Wd=0.050×7057.800=352.890kN

Wd=7057.800kN:전체상부고정하중

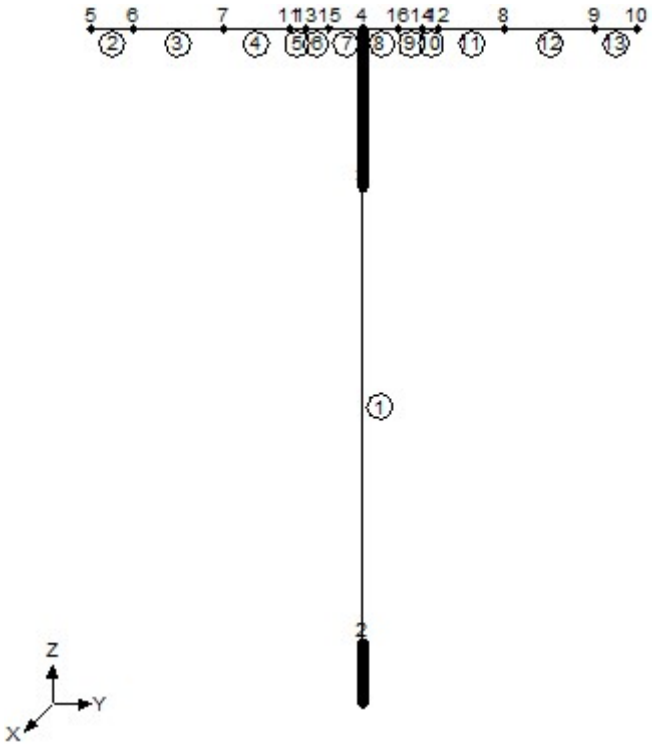
$\mu$ = 0.050 : Bearing 마찰계수

∴ PT=min[$P_{T1}$,$P_{T2}$]=352.890kN

※ 베어링 개수로 나누어 각 베어링에 재하한다.

4) 모델링

① 구조해석 모델



② 절점정보

| Node ID | Y(m) | Z(m) | Node ID | Y(m) | Z(m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.000 | −1.250 | 2 | 0.000 | 0.000 |
| 3 | 0.000 | 9.142 | 4 | 0.000 | 12.342 |
| 5 | −5.500 | 12.342 | 6 | −4.650 | 12.342 |
| 7 | −2.850 | 12.342 | 8 | 2.850 | 12.342 |
| 9 | 4.650 | 12.342 | 10 | 5.500 | 12.342 |
| 11 | −1.500 | 12.342 | 12 | 1.500 | 12.342 |
| 13 | −1.200 | 12.342 | 14 | 1.200 | 12.342 |
| 15 | −0.700 | 12.342 | 16 | 0.700 | 12.342 |

③ 단면정보

| SectionID | Y(m) | | | Node ID | | | Element No |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A ($m^2$) | Iyy ($m^4$) | Izz ($m^4$) | A ($m^2$) | Iyy ($m^4$) | Izz ($m^4$) | |
| 1 | 7.069 | 3.976 | 3.976 | 7.069 | 3.976 | 3.976 | 1 |
| 2 | 3.750 | 0.703 | 1.953 | 4.653 | 1.343 | 2.424 | 2 |
| 3 | 4.653 | 1.343 | 2.424 | 6.566 | 3.774 | 3.420 | 3 |
| 4 | 6.566 | 3.774 | 3.420 | 8.000 | 6.827 | 4.167 | 4 |
| 5 | 8.000 | 6.827 | 4.167 | 8.000 | 6.827 | 4.167 | 5,6,9,10 |
| 6 | 8.000 | 682.667 | 4.167 | 8.000 | 682.667 | 4.167 | 7,8 |
| 7 | 8.000 | 6.827 | 4.167 | 6.566 | 3.774 | 3.420 | 11 |
| 8 | 6.566 | 3.774 | 3.420 | 4.653 | 1.343 | 2.424 | 12 |
| 9 | 4.653 | 1.343 | 2.424 | 3.750 | 0.703 | 1.953 | 13 |

④ 하중 조건별 단면력 산출

㉠ 코핑부

| 위 치 | | 좌측부 | | | | 우측부 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 내민보 | | 내민보 종방향 | | 내민보 | | 내민보 종방향 | |
| 구 분 | | 모멘트 (kN·m) | 전단 (kN) | 모멘트 (kN·m) | 전단 (kN) | 모멘트 (kN·m) | 전단 (kN) | 모멘트 (kN·m) | 전단 (kN) |
| 고정하중(D) | | -9553.780 | 3193.720 | 0.000 | 0.000 | -12492.406 | -5159.080 | 0.000 | 0.000 |
| 활하중 | 만재하시 | -4798.383 | 1996.790 | 0.000 | 0.000 | -4609.419 | -1874.180 | 0.000 | 0.000 |
| 풍하중 | W | 880.848 | -153.793 | -71.607 | -33.305 | -842.448 | -153.793 | -71.607 | 33.305 |
| | WL | 183.706 | -44.724 | 0.000 | 0.000 | -183.706 | -44.724 | 0.000 | 0.000 |
| 온도하중(GT) | | 0.000 | 0.000 | -449.935 | -176.445 | 0.000 | 0.000 | -449.935 | 176.445 |
| 건조수축하중(GSH) | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 충돌하중(CO) | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 원심하중(CF) | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 유수압(Q) | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

㉡ 기둥

■ 기둥1 상단

| 구 분 | | 축력 (kN) | 교축직각 휨 (kN·m) | 교축 휨 (kN·m) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 고정하중(D) | | -8832.800 | 5297.058 | 0.000 | |
| 활하중 | 만재하시 | -3810.970 | -259.096 | 0.000 | |
| 풍하중 | W | 0.000 | 2964.913 | -162.655 | |
| | WL | 0.000 | 594.750 | 0.000 | |
| 온도하중(GT) | | 0.000 | 0.000 | -1129.248 | |
| 건조수축하중(GSH) | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 충돌하중(CO) | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 원심하중(CF) | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 유수압(Q) | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |

■ 기둥1 하단

| 구 분 | | 축력 (kN) | 교축직각 휨 (kN・m) | 교축 휨 (kN・m) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 고정하중(D) | | −10448.325 | 5297.058 | 0.000 | |
| 활하중 | 만재하시 | −3810.970 | −259.096 | 0.000 | |
| 풍하중 | W | 0.000 | 8027.394 | −1018.718 | |
| | WL | 0.000 | 1280.400 | 0.000 | |
| 온도하중(GT) | | 0.000 | 0.000 | −4355.368 | |
| 건조수축하중(GSH) | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 충돌하중(CO) | | 0.000 | 105.300 | 0.000 | |
| 원심하중(CF) | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 유수압(Q) | | 0.000 | 150.546 | 0.000 | |

㉢ 기초

■ 기초(기둥1)

| 구 분 | | 축력 (kN) | 교축직각 휨 (kN・m) | 교축 휨 (kN・m) | 교축전단 (kN) | 교축직각 전단 (kN) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 고정하중(D) | | −10448.325 | 5297.058 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 활하중 | 만재하시 | −3810.970 | −259.096 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 풍하중 | W | 0.000 | 8027.394 | −1018.718 | −94.749 | −554.869 |
| | WL | 0.000 | 1280.400 | 0.000 | 0.000 | −75.000 |
| 온도하중(GT) | | 0.000 | 0.000 | −4355.368 | −352.890 | 0.000 |
| 건조수축하중(GSH) | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 충돌하중(CO) | | 0.000 | 105.300 | 0.000 | 0.000 | −15.000 |
| 원심하중(CF) | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 유수압(Q) | | 0.000 | 150.546 | 0.000 | 0.000 | −52.056 |

5) 하중조합

① 사용하중 검토시

| 구 분 | D | L+I | W | Q | CF | G | CO | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LS1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| LS2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| LS3 | 1 | 1 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| LS4 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| LS5 | 1 | 1 | 0.5 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| LS6 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| LS7 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| LS8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

② 계수하중 검토시

| 구 분 | D | L+I | W | Q | CF | G | CO | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LF1 | 1.3 | 2.15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| LF2 | 1.3 | 0 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| LF3 | 1.3 | 1.3 | 0.65 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| LF4 | 1.3 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 1.3 | 0 | |
| LF5 | 1.25 | 0 | 1.25 | 0 | 0 | 1.25 | 0 | |
| LF6 | 1.25 | 1.25 | 0.625 | 0 | 0 | 1.25 | 0 | |
| LF7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| LF8 | 1.3 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.3 | |
| LF9 | 1.2 | 0 | 1.2 | 0 | 0 | 0 | 1.2 | |
| LF10 | 1 | 2.15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| LF11 | 1 | 0 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| LF12 | 1 | 1.3 | 0.65 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| LF13 | 1 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 1.3 | 0 | |
| LF14 | 1 | 0 | 1.25 | 0 | 0 | 1.25 | 0 | |
| LF15 | 1 | 1.25 | 0.625 | 0 | 0 | 1.25 | 0 | |
| LF16 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| LF17 | 1 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.3 | |
| LF18 | 1 | 0 | 1.2 | 0 | 0 | 0 | 1.2 | |

D : 고정하중 또는 이에 따른 단면력
L : 활하중 또는 이에 따른 단면력
W : 풍하중 또는 이에 따른 단면력
Q : 부력 또는 양압력, 수압, 파압 등의 하중 또는 이에 따른 단면력
E : 지진의 영향 또는 이에 따른 단면력
G : 온도변화 등으로 인한 팽창 또는 수축변형으로 유발된 변형력 또는 이에 따른 단면력
CO : 충돌하중 또는 이에 따른 단면력
CF : 원심하중 또는 이에 따른 단면력

6) 위치별 단면력 정리

① 코핑하중조합

㉠ 사용하중

| 위 치 | 좌측부 | | | | 우측부 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 내민보 | | 내민보 종방향 | | 내민보 | | 내민보 종방향 | |
| 구 분 | 모멘트 (kN·m) | 전단 (kN) | 모멘트 (kN·m) | 전단 (kN) | 모멘트 (kN·m) | 전단 (kN) | 모멘트 (kN·m) | 전단 (kN) |
| LCBS1 | -14347.164 | 5130.510 | 0.000 | 0.000 | -17101.825 | -7033.260 | 0.000 | 0.000 |
| LCBS2 | -14347.164 | 5130.510 | -449.935 | -176.445 | -17101.825 | -7033.260 | -449.935 | 176.445 |
| LCBS3 | -14347.164 | 5130.510 | 449.935 | 176.445 | -17101.825 | -7033.260 | 449.935 | -176.445 |
| LCBS4 | -13723.033 | 5008.889 | -35.803 | -16.653 | -17706.756 | -7154.881 | -35.803 | 16.653 |
| LCBS5 | -14971.294 | 5252.131 | 35.803 | 16.653 | -16496.895 | -6911.639 | 35.803 | -16.653 |
| LCBS6 | -8672.932 | 3039.927 | -71.607 | -33.305 | -13334.855 | -5312.873 | -71.607 | 33.305 |
| LCBS7 | -10434.629 | 3347.513 | 71.607 | 33.305 | -11649.958 | -5005.287 | 71.607 | -33.305 |
| LCBS8 | -13723.033 | 5008.889 | -485.738 | -193.098 | -17706.756 | -7154.881 | -485.738 | 193.098 |
| LCBS9 | -13723.033 | 5008.889 | 414.131 | 159.792 | -17706.756 | -7154.881 | 414.131 | -159.792 |
| LCBS10 | -14971.294 | 5252.131 | -414.131 | -159.792 | -16496.895 | -6911.639 | -414.131 | 159.792 |
| LCBS11 | -14971.294 | 5252.131 | 485.738 | 193.098 | -16496.895 | -6911.639 | 485.738 | -193.098 |
| LCBS12 | -8672.932 | 3039.927 | -521.541 | -209.750 | -13334.855 | -5312.873 | -521.541 | 209.750 |
| LCBS13 | -8672.932 | 3039.927 | 378.328 | 143.140 | -13334.855 | -5312.873 | 378.328 | -143.140 |
| LCBS14 | -10434.629 | 3347.513 | -378.328 | -143.140 | -11649.958 | -5005.287 | -378.328 | 143.140 |
| LCBS15 | -10434.629 | 3347.513 | 521.541 | 209.750 | -11649.958 | -5005.287 | 521.541 | -209.750 |
| LCBS16 | -14347.164 | 5130.510 | 0.000 | 0.000 | -17101.825 | -7033.260 | 0.000 | 0.000 |
| LCBS17 | -9553.780 | 3193.720 | 0.000 | 0.000 | -12492.406 | -5159.080 | 0.000 | 0.000 |
| MAX | 14971.294 | 5252.131 | 521.541 | 209.750 | 17706.756 | 7154.881 | 521.541 | 209.750 |
| MIN | 8672.932 | 3039.927 | 0.000 | 0.000 | 11649.958 | 5005.287 | 0.000 | 0.000 |

㉡ 계수하중

| 위 치 | 좌측부 | | | | 우측부 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 내민보 | | 내민보 종방향 | | 내민보 | | 내민보 종방향 | |
| 구 분 | 모멘트 (kN·m) | 전단 (kN) | 모멘트 (kN·m) | 전단 (kN) | 모멘트 (kN·m) | 전단 (kN) | 모멘트 (kN·m) | 전단 (kN) |
| LCBF1 | -22725.689 | 8315.934 | 0.000 | 0.000 | -26150.379 | -10736.291 | 0.000 | 0.000 |
| LCBF2 | -11274.812 | 3951.905 | -93.089 | -43.297 | -17335.311 | -6906.735 | -93.089 | 43.297 |
| LCBF3 | -13565.017 | 4351.767 | 93.089 | 43.297 | -15144.945 | -6506.873 | 93.089 | -43.297 |
| LCBF4 | -17839.943 | 6511.556 | -46.544 | -21.649 | -23018.783 | -9301.345 | -46.544 | 21.649 |
| LCBF5 | -19462.683 | 6827.770 | 46.544 | 21.649 | -21445.963 | -8985.131 | 46.544 | -21.649 |
| LCBF6 | -18651.313 | 6669.663 | -584.915 | -229.378 | -22232.373 | -9143.238 | -584.915 | 229.379 |
| LCBF7 | -18651.313 | 6669.663 | 584.915 | 229.378 | -22232.373 | -9143.238 | 584.915 | -229.379 |
| LCBF8 | -10841.165 | 3799.908 | -651.927 | -262.188 | -16668.568 | -6641.092 | -651.927 | 262.188 |
| LCBF9 | -10841.165 | 3799.908 | 472.910 | 178.924 | -16668.568 | -6641.092 | 472.910 | -178.924 |
| LCBF10 | -13043.286 | 4184.392 | -472.910 | -178.924 | -14562.447 | -6256.608 | -472.910 | 178.924 |
| LCBF11 | -13043.286 | 4184.392 | 651.927 | 262.188 | -14562.447 | -6256.608 | 651.927 | -262.188 |
| LCBF12 | -17153.792 | 6261.112 | -607.173 | -241.372 | -22133.445 | -8943.601 | -607.173 | 241.372 |
| LCBF13 | -17153.792 | 6261.112 | 517.664 | 199.740 | -22133.445 | -8943.601 | 517.664 | -199.740 |
| LCBF14 | -18714.118 | 6565.163 | -517.664 | -199.740 | -20621.119 | -8639.549 | -517.664 | 199.740 |
| LCBF15 | -18714.118 | 6565.163 | 607.173 | 241.372 | -20621.119 | -8639.549 | 607.173 | -241.372 |
| LCBF16 | -9553.780 | 3193.720 | 0.000 | 0.000 | -12492.406 | -5159.080 | 0.000 | 0.000 |
| LCBF17 | -18651.313 | 6669.663 | 0.000 | 0.000 | -22232.373 | -9143.238 | 0.000 | 0.000 |
| LCBF18 | -10407.518 | 3647.912 | -85.928 | -39.967 | -16001.826 | -6375.448 | -85.928 | 39.967 |
| LCBF19 | -12521.554 | 4017.016 | 85.928 | 39.967 | -13979.950 | -6006.344 | 85.928 | -39.967 |
| MAX | 22725.689 | 8315.934 | 651.927 | 262.188 | 26150.379 | 10736.291 | 651.927 | 262.188 |
| MIN | 9553.780 | 3193.720 | 0.000 | 0.000 | 12492.406 | 5159.080 | 0.000 | 0.000 |

㉢ 기둥

■ 기둥1 상단(계수하중조합)

| 구 분 | 축력 (kN) | 교축직각 휨 (kN·m) | 교축 휨 (kN·m) | 교축전단 (kN) | 교축직각전단 (kN) |
|---|---|---|---|---|---|
| LCBF1 | -19676.226 | 6329.118 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| LCBF2 | -11482.640 | 10740.562 | -211.451 | -110.760 | -708.916 |
| LCBF3 | -11482.640 | 3031.789 | 211.451 | 110.760 | 708.916 |
| LCBF4 | -16436.901 | 9249.718 | -105.725 | -55.380 | -451.958 |
| LCBF5 | -16436.901 | 3848.982 | 105.725 | 55.380 | 451.958 |
| LCBF6 | -16436.901 | 6549.350 | -1468.022 | -458.757 | 0.000 |
| LCBF7 | -16436.901 | 6549.350 | 1468.022 | 458.757 | 0.000 |
| LCBF8 | -11041.000 | 10327.463 | -1614.878 | -547.613 | -681.650 |
| LCBF9 | -11041.000 | 10327.463 | 1208.242 | 334.613 | -681.650 |
| LCBF10 | -11041.000 | 2915.182 | -1208.242 | -334.613 | 681.650 |
| LCBF11 | -11041.000 | 2915.182 | 1614.878 | 547.613 | 681.650 |
| LCBF12 | -15804.713 | 8893.960 | -1513.219 | -494.363 | -434.575 |
| LCBF13 | -15804.712 | 8893.960 | 1309.901 | 387.863 | -434.575 |
| LCBF14 | -15804.713 | 3700.944 | -1309.901 | -387.863 | 434.575 |
| LCBF15 | -15804.712 | 3700.944 | 1513.219 | 494.363 | 434.575 |
| LCBF16 | -8832.800 | 5297.058 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| LCBF17 | -16436.901 | 6549.350 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| LCBF18 | -10599.360 | 9914.365 | -195.185 | -102.240 | -654.384 |
| LCBF19 | -10599.360 | 2798.574 | 195.185 | 102.240 | 654.384 |
| LCBF20 | -17026.386 | 4740.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| LCBF21 | -8832.800 | 9151.445 | -211.451 | -110.760 | -708.916 |
| LCBF22 | -8832.800 | 1442.671 | 211.451 | 110.760 | 708.916 |
| LCBF23 | -13787.061 | 7660.601 | -105.725 | -55.380 | -451.958 |
| LCBF24 | -13787.061 | 2259.864 | 105.725 | 55.380 | 451.958 |
| LCBF25 | -13787.061 | 4960.233 | -1468.022 | -458.757 | 0.000 |
| LCBF26 | -13787.061 | 4960.233 | 1468.022 | 458.757 | 0.000 |
| LCBF27 | -8391.160 | 8738.346 | -1614.878 | -547.613 | -681.650 |
| LCBF28 | -8391.160 | 8738.346 | 1208.242 | 334.613 | -681.650 |
| LCBF29 | -8391.160 | 1326.064 | -1208.242 | -334.613 | 681.650 |
| LCBF30 | -8391.160 | 1326.064 | 1614.878 | 547.613 | 681.650 |
| LCBF31 | -13154.873 | 7304.842 | -1513.219 | -494.363 | -434.575 |
| LCBF32 | -13154.872 | 7304.842 | 1309.901 | 387.863 | -434.575 |
| LCBF33 | -13154.873 | 2111.826 | -1309.901 | -387.863 | 434.575 |
| LCBF34 | -13154.872 | 2111.826 | 1513.219 | 494.363 | 434.575 |
| LCBF35 | -8832.800 | 5297.058 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| LCBF36 | -13787.061 | 4960.233 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| LCBF37 | -7949.520 | 8325.248 | -195.185 | -102.240 | -654.384 |
| LCBF38 | -7949.520 | 1209.457 | 195.185 | 102.240 | 654.384 |

■ 기둥1 하단(계수하중조합)

| 구 분 | | 축력 (kN) | 교축직각 휨 (kN・m) | 교축 휨 (kN・m) | 교축전단 (kN) | 교축직각전단 (kN) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| LCBF1 | | -21776.408 | 6524.828 | 0.000 | 0.000 | -67.673 |
| LCBF2 | | -13582.822 | 17517.497 | -1324.334 | -123.174 | -789.003 |
| LCBF3 | | -13582.822 | -3353.727 | 1324.334 | 123.174 | 653.657 |
| LCBF4 | | -18537.083 | 13627.386 | -662.167 | -61.587 | -525.838 |
| LCBF5 | | -18537.083 | -137.266 | 662.167 | 61.587 | 390.492 |
| LCBF6 | | -18537.083 | 6745.060 | -5661.979 | -458.757 | -67.673 |
| LCBF7 | | -18537.083 | 6745.060 | 5661.979 | 458.757 | -67.673 |
| LCBF8 | | -13060.406 | 16843.747 | -6717.608 | -559.549 | -758.656 |
| LCBF9 | | -13060.406 | 16843.747 | 4170.812 | 322.676 | -758.656 |
| LCBF10 | | -13060.406 | -3224.737 | -4170.812 | -322.676 | 628.516 |
| LCBF11 | | -13060.406 | -3224.737 | 6717.608 | 559.549 | 628.516 |
| LCBF12 | | -17824.118 | 13103.255 | -6080.909 | -500.331 | -505.613 |
| LCBF13 | | -17824.118 | 13103.255 | 4807.511 | 381.894 | -505.613 |
| LCBF14 | | -17824.118 | -131.987 | -4807.511 | -381.894 | 375.473 |
| LCBF15 | | -17824.118 | -131.987 | 6080.909 | 500.331 | 375.473 |
| LCBF16 | | -10448.325 | 5447.604 | 0.000 | 0.000 | -52.056 |
| LCBF17 | | -18537.083 | 6881.950 | 0.000 | 0.000 | -87.173 |
| LCBF18 | | -12537.990 | 16296.357 | -1222.462 | -113.699 | -746.310 |
| LCBF19 | | -12537.990 | -2969.388 | 1222.462 | 113.699 | 585.376 |
| LCBF20 | | -18641.910 | 4935.710 | 0.000 | 0.000 | -67.673 |
| LCBF21 | | -10448.325 | 15928.380 | -1324.334 | -123.174 | -789.003 |
| LCBF22 | | -10448.325 | -4942.844 | 1324.334 | 123.174 | 653.657 |
| LCBF23 | | -15402.586 | 12038.268 | -662.167 | -61.587 | -525.838 |
| LCBF24 | | -15402.586 | -1726.384 | 662.167 | 61.587 | 390.492 |
| LCBF25 | | -15402.586 | 5155.942 | -5661.979 | -458.757 | -67.673 |
| LCBF26 | | -15402.586 | 5155.942 | 5661.979 | 458.757 | -67.673 |
| LCBF27 | | -9925.909 | 15254.630 | -6717.608 | -559.549 | -758.656 |
| LCBF28 | | -9925.909 | 15254.630 | 4170.812 | 322.676 | -758.656 |
| LCBF29 | | -9925.909 | -4813.855 | -4170.812 | -322.676 | 628.516 |
| LCBF30 | | -9925.909 | -4813.855 | 6717.608 | 559.549 | 628.516 |
| LCBF31 | | -14689.621 | 11514.138 | -6080.909 | -500.331 | -505.613 |
| LCBF32 | | -14689.621 | 11514.138 | 4807.511 | 381.894 | -505.613 |
| LCBF33 | | -14689.621 | -1721.104 | -4807.511 | -381.894 | 375.473 |
| LCBF34 | | -14689.621 | -1721.104 | 6080.909 | 500.331 | 375.473 |
| LCBF35 | | -10448.325 | 5447.604 | 0.000 | 0.000 | -52.056 |
| LCBF36 | | -15402.586 | 5292.832 | 0.000 | 0.000 | -87.173 |
| LCBF37 | | -9403.492 | 14707.240 | -1222.462 | -113.699 | -746.310 |
| LCBF38 | | -9403.492 | -4558.505 | 1222.462 | 113.699 | 585.376 |
| 일반 축하중 조합 | P 최대 | 21776.408 | 6524.828 | 0.000 | 0.000 | 67.673 |
| | My 최대 | 13060.406 | 16843.747 | -6717.608 | 559.549 | 758.656 |
| | Mx 최대 | 13582.822 | 17517.497 | -1324.334 | 123.174 | 789.003 |
| 최소 축하중 조합 | P 최소 | 9403.492 | 14707.240 | -1222.462 | 113.699 | 746.310 |
| | My 최대 | 9925.909 | 15254.630 | -6717.608 | 559.549 | 758.656 |
| | Mx 최대 | 10448.325 | 15928.380 | -1324.334 | 123.174 | 789.003 |

㉣ 기둥하중조합 : 기초

■ 기둥1 기초(사용하중조합)

| 구 분 | 축력 (kN) | 교축직각 휨 (kN·m) | 교축 휨 (kN·m) | 교축전단 (kN) | 교축직각전단 (kN) |
|---|---|---|---|---|---|
| LCBS1 | -14259.295 | 5188.507 | 0.000 | 0.000 | -52.056 |
| LCBS2 | -14259.295 | 5188.507 | -4355.368 | -352.890 | -52.056 |
| LCBS3 | -14259.295 | 5188.507 | 4355.368 | 352.890 | -52.056 |
| LCBS4 | -14259.295 | 10482.604 | -509.359 | -47.375 | -404.491 |
| LCBS5 | -14259.295 | -105.589 | 509.359 | 47.375 | 300.378 |
| LCBS6 | -10448.325 | 13474.998 | -1018.718 | -94.749 | -606.925 |
| LCBS7 | -10448.325 | -2579.790 | 1018.718 | 94.749 | 502.813 |
| LCBS8 | -14259.295 | 10482.604 | -4864.728 | -400.265 | -404.491 |
| LCBS9 | -14259.295 | 10482.604 | 3846.009 | 305.516 | -404.491 |
| LCBS10 | -14259.295 | -105.589 | -3846.009 | -305.516 | 300.378 |
| LCBS11 | -14259.295 | -105.589 | 4864.728 | 400.265 | 300.378 |
| LCBS12 | -10448.325 | 13474.998 | -5374.087 | -447.639 | -606.925 |
| LCBS13 | -10448.325 | 13474.998 | 3336.650 | 258.141 | -606.925 |
| LCBS14 | -10448.325 | -2579.790 | -3336.650 | -258.141 | 502.813 |
| LCBS15 | -10448.325 | -2579.790 | 5374.087 | 447.639 | 502.813 |
| LCBS16 | -14259.295 | 5293.807 | 0.000 | 0.000 | -67.056 |
| LCBS17 | -10448.325 | 5447.604 | 0.000 | 0.000 | -52.056 |
| P 최대 | 14259.295 | -105.589 | -3846.009 | 310.290 | 347.660 |
| My 최대 | 10448.325 | 13474.998 | -5374.087 | 447.639 | 606.925 |
| Mx 최대 | 10448.325 | 13474.998 | -5374.087 | 447.639 | 606.925 |
| Vx 최대 | 10448.325 | 13474.998 | -5374.087 | 447.639 | 606.925 |
| Vy 최대 | 10448.325 | 13474.998 | -5374.087 | 447.639 | 606.925 |

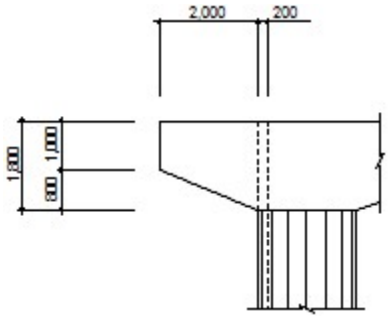
■ 기둥1 기초(계수하중조합)

| 구 분 | 축력 (kN) | 교축직각 휨 (kN·m) | 교축 휨 (kN·m) | 교축전단 (kN) | 교축직각전단 (kN) |
|---|---|---|---|---|---|
| LCBF1 | -21776.408 | 6524.828 | 0.000 | 0.000 | -67.673 |
| LCBF2 | -13582.822 | 17517.497 | -1324.334 | -123.174 | -789.003 |
| LCBF3 | -13582.822 | -3353.727 | 1324.334 | 123.174 | 653.657 |
| LCBF4 | -18537.083 | 13627.386 | -662.167 | -61.587 | -525.838 |
| LCBF5 | -18537.083 | -137.266 | 662.167 | 61.587 | 390.492 |
| LCBF6 | -18537.083 | 6745.060 | -5661.979 | -458.757 | -67.673 |
| LCBF7 | -18537.083 | 6745.060 | 5661.979 | 458.757 | -67.673 |
| LCBF8 | -13060.406 | 16843.747 | -6717.608 | -559.549 | -758.656 |
| LCBF9 | -13060.406 | 16843.747 | 4170.812 | 322.676 | -758.656 |
| LCBF10 | -13060.406 | -3224.737 | -4170.812 | -322.676 | 628.516 |
| LCBF11 | -13060.406 | -3224.737 | 6717.608 | 559.549 | 628.516 |
| LCBF12 | -17824.118 | 13103.255 | -6080.909 | -500.331 | -505.613 |
| LCBF13 | -17824.118 | 13103.255 | 4807.511 | 381.894 | -505.613 |
| LCBF14 | -17824.118 | -131.987 | -4807.511 | -381.894 | 375.473 |
| LCBF15 | -17824.118 | -131.987 | 6080.909 | 500.331 | 375.473 |
| LCBF16 | -10448.325 | 5447.604 | 0.000 | 0.000 | -52.056 |
| LCBF17 | -18537.083 | 6881.950 | 0.000 | 0.000 | -87.173 |
| LCBF18 | -12537.990 | 16296.357 | -1222.462 | -113.699 | -746.310 |
| LCBF19 | -12537.990 | -2969.388 | 1222.462 | 113.699 | 585.376 |
| P 최대 | 21776.408 | 6524.828 | 0.000 | 0.000 | 67.673 |
| My 최대 | 13060.406 | 16843.747 | -6717.608 | 559.549 | 758.656 |
| Mx 최대 | 13582.822 | 17517.497 | -1324.334 | 123.174 | 789.003 |
| Vx 최대 | 13060.406 | 16843.747 | -6717.608 | 559.549 | 758.656 |
| Vy 최대 | 13582.822 | 17517.497 | -1324.334 | 123.174 | 789.003 |

7) 부재별 검토

① 코핑설계

㉠ 부재력 요약




lc=w1+0.1・D = 4.300m

w1:코핑연단에서 기둥 전면까지의 거리

D:기둥직경

lc:코핑 유효 내민 길이

㉡ 내민보 설계

■ 깊은 보 검토

$L_n/d$=4.871/3.100=1.571< 5.0 ☞ Deep Beam 검토 필요.

㉢ 깊은 보 설계

| 구 분 | d(mm) | 사용철근량(㎟) | $M_u$(kN · m) | $\phi M_n$(kN · m) | 안전율 |
|---|---|---|---|---|---|
| 깊은 보 휨 검토 | 2950 | D32-10EA=19060.8<br>D32-10EA=19060.8<br>D32-10EA=19060.8<br>D32-10EA=19060.8<br>= 76243.2 | 26150.379 | 54336.126 | O.K.(2.078) |

㉣ 브라켓 검토

■ 좌측 내민보

a / d = 2.733 / 2.950 = 0.926 < 1.0 ☞ 브라켓 검토 필요.

a = M / V = 22725.689 / 8315.934 = 2.733m

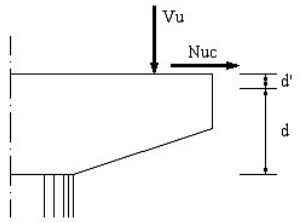
■ 우측 내민보

a / d = 2.436 / 2.950 = 0.826 < 1.0 ☞ 브라켓 검토 필요.

a = M / V = 26150.379 / 10736.291 = 2.436m

㉤ 브라켓 검토

■ 좌측




b = 2500.00mm

d = 2950.00mm : 브라켓 유효길이

d' = 250.00mm : 피복 두께

fck=24MPa

fy=300MPa

$\varphi$f=0.800:강도감소계수 (휨)

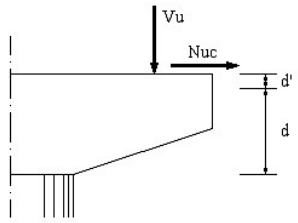
$\varphi$s=0.800:강도감소계수 (전단)

$\mu$ = 1.400 : 전단마찰계수

■ 단면검토

| 구 분 | | 단 위 | 관 계 식 | 결과 |
|---|---|---|---|---|
| 브라켓 검토 | Vu | kN | 코핑하중조합 참고 | 8315.934 |
| | Mu | kN・m | 코핑하중조합 참고 | 22725.689 |
| | a | mm | Mu/Vu | 2732.79 |
| | a/d | - | a/d | 0.926 |
| 단면력 | Nuc | kN | 0.2・Vu | 1663.187 |
| | Mu | kN・m | Vu・a + Nuc・d' | 23141.486 |
| 단면검토 | Vn | kN | 0.2・fck・b・d/1000 | 35400.000 |
| | | kN | 5.6・b・d/1000 | 41300.000 |
| 전단마찰철근량 | Avf | $mm^2$ | Vu/($\varphi$s・fy・$\mu$) | 24749.81 |
| 인장철근량 | An | $mm^2$ | Nuc/($\varphi$s・fy) | 6929.95 |
| 휨철근량 | Af | $mm^2$ | {($\varphi$f・fy2)/(1.7・fck・b)}・Af2 -($\varphi$f・d・fy)・Af+Mu=0 | 33826.53 |
| 주철근량 | As1 | $mm^2$ | Af+An | 40756.47 |
| | As2 | $mm^2$ | 2/3・Avf+An | 23429.82 |
| | Asmin | $mm^2$ | 0.04・fck/fy・b・d | 23600.00 |
| | As | $mm^2$ | max(As1,As2,Asmin) | 40756.47 |
| 필요철근량 | reqAs | $mm^2$ | max(적용 Af,As) | 40756.47 |
| 사용철근량 | useAs | $mm^2$ | 1 단 : D32@100 = 19060.80$mm^2$<br>2 단 : D32@100 = 19060.80$mm^2$<br>3 단 : D32@100 = 19060.80$mm^2$<br>4 단 : D32@100 = 19060.80$mm^2$ | 76243.20 |
| 필요수평철근량 | reqAh | $mm^2$ | 0.5・(As-An) | 16913.26 |
| 사용수평철근량 | useAh | $mm^2$ | D22-6열-5단 | 13935.60 |

■ 우측




b = 2500.00mm

d = 2950.00mm : 브라켓 유효길이

d' = 250.00mm : 피복 두께

fck=24MPa

fy=300MPa

$\varphi$f=0.800:강도감소계수 (휨)

$\varphi$s=0.800:강도감소계수 (전단)

$\mu$ = 1.400 : 전단마찰계수

■ 단면검토

| 구 분 | | 단 위 | 관 계 식 | 결과 |
|---|---|---|---|---|
| 브라켓 검토 | Vu | kN | 코핑하중조합 참고 | 10736.291 |
| | Mu | kN・m | 코핑하중조합 참고 | 26150.379 |
| | a | mm | Mu/Vu | 2435.70 |
| | a/d | - | a/d | 0.826 |
| 단면력 | Nuc | kN | 0.2・Vu | 2147.258 |
| | Mu | kN・m | Vu・a + Nuc・d' | 26687.194 |
| 단면검토 | Vn | kN | 0.2・fck・b・d/1000 | 35400.000 |
| | | kN | 5.6・b・d/1000 | 41300.000 |
| 전단마찰철근량 | Avf | $mm^2$ | Vu/($\varphi$s・fy・$\mu$) | 31953.25 |
| 인장철근량 | An | $mm^2$ | Nuc/($\varphi$s・fy) | 8946.91 |
| 휨철근량 | Af | $mm^2$ | {($\varphi$f・fy2)/(1.7・fck・b)}・Af2 -($\varphi$f・d・fy)・Af+Mu=0 | 39228.01 |
| 주철근량 | As1 | $mm^2$ | Af+An | 48174.92 |
| | As2 | $mm^2$ | 2/3・Avf+An | 30249.07 |
| | Asmin | $mm^2$ | 0.04・fck/fy・b・d | 23600.00 |
| | As | $mm^2$ | max(As1,As2,Asmin) | 48174.92 |
| 필요철근량 | reqAs | $mm^2$ | max(적용 Af,As) | 48174.92 |
| 사용철근량 | useAs | $mm^2$ | 1 단 : D32@100 = 19060.80$mm^2$<br>2 단 : D32@100 = 19060.80$mm^2$<br>3 단 : D32@100 = 19060.80$mm^2$<br>4 단 : D32@100 = 19060.80$mm^2$ | 76243.20 |
| 필요수평철근량 | reqAh | $mm^2$ | 0.5・(As-An) | 19614.01 |
| 사용수평철근량 | useAh | $mm^2$ | D22-6열-5단 | 13935.60 |

ⓗ 외측지점부 보 설계

| 구 분 | d(mm) | 사용철근량(㎟) | $M_u$(kN · m) | $\phi M_n$(kN · m) | 안전율 |
|---|---|---|---|---|---|
| 보 | 2376.25 | D32-10EA=19060.8<br>D32-10EA=19060.8<br>D32-10EA=19060.8<br>D32-10EA=19060.8<br>= 76243.2 | 8775.264 | 45781.552 | O.K.(5.217) |

ⓘ 캔틸레버부 종방향 검토

| 구 분 | d(mm) | 사용철근량(㎟) | $M_u$(kN · m) | $\phi M_n$(kN · m) | 안전율 |
|---|---|---|---|---|---|
| 보 | 1869.03 | D22-33EA+D32-60EA<br>=60426.30 | 651.927 | 26659.822 | O.K.(40.894) |

② 기둥검토

㉠ 부재력 요약

■ 기둥 1

| 구 분 | | | 축력(kN) | | 모멘트(kN・m) | | | | V(kN) | δ (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 장기지속축력 | 전체축력 | Top | | Bottom | | | |
| | | | | | Sway | Non Swat | Sway | Non Swat | | |
| 일반 | Pmax | 교축 | 13582.822 | 21776.408 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.00 |
| | | 직각 | | | 0.000 | 6329.118 | 195.710 | 6329.118 | 67.673 | 2.91 |
| | Mymax | 교축 | 13060.406 | 13060.406 | -1614.878 | 0.000 | -6717.608 | 0.000 | 559.549 | 2.36 |
| | | 직각 | | | 3706.141 | 6621.322 | 10222.425 | 6621.322 | 758.656 | 6.75 |
| | Mxmax | 교축 | 13582.822 | 13582.822 | -211.451 | 0.000 | -1324.334 | 0.000 | 123.174 | 0.45 |
| | | 직각 | | | 3854.387 | 6886.175 | 10631.322 | 6886.175 | 789.003 | 7.02 |
| 최소 | Pmin | 교축 | 9403.492 | 9403.492 | -195.185 | 0.000 | -1222.462 | 0.000 | 113.699 | 0.42 |
| | | 직각 | | | 3557.895 | 4767.352 | 9939.888 | 4767.352 | 746.310 | 5.79 |
| | Mymax | 교축 | 9925.909 | 9925.909 | -1614.878 | 0.000 | -6717.608 | 0.000 | 559.549 | 2.36 |
| | | 직각 | | | 3706.141 | 5032.205 | 10222.425 | 5032.205 | 758.656 | 6.03 |
| | Mxmax | 교축 | 10448.325 | 10448.325 | -211.451 | 0.000 | -1324.334 | 0.000 | 123.174 | 0.45 |
| | | 직각 | | | 3854.387 | 5297.058 | 10631.322 | 5297.058 | 789.003 | 6.30 |

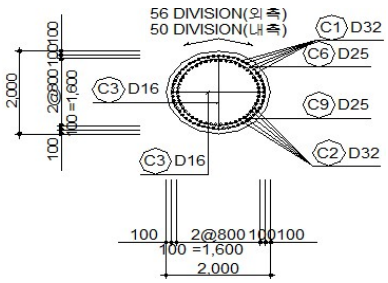
■ 설계요약

◦기둥 1

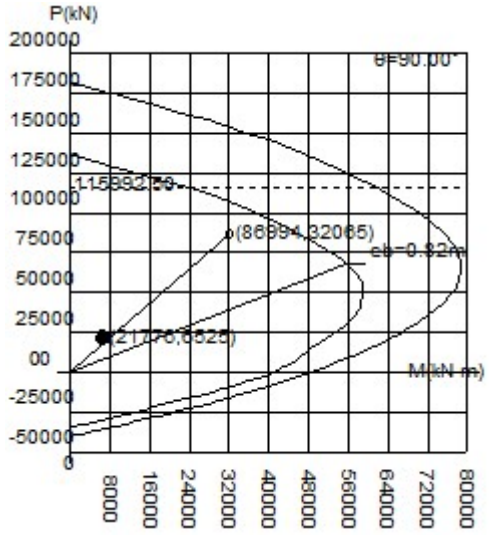
| 구 분 | | Pu | δMy | δMx | δMu | CASE |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 일반조합 | Pmax | 21776.408 | 6524.828 | 0.000 | 6524.828 | LCBF1 |
| | Mymax | 13060.406 | 16843.747 | 6717.608 | 18133.893 | LCBF8 |
| | Mxmax | 13582.822 | 17517.497 | 1324.334 | 17567.486 | LCBF2 |
| 최소 축력조합 | Pmin | 9403.492 | 14707.240 | 1222.462 | 14757.958 | LCBF37 |
| | Mymax | 9925.909 | 15254.630 | 6717.608 | 16668.233 | LCBF27 |
| | Mxmax | 10448.325 | 15928.380 | 1324.334 | 15983.339 | LCBF21 |

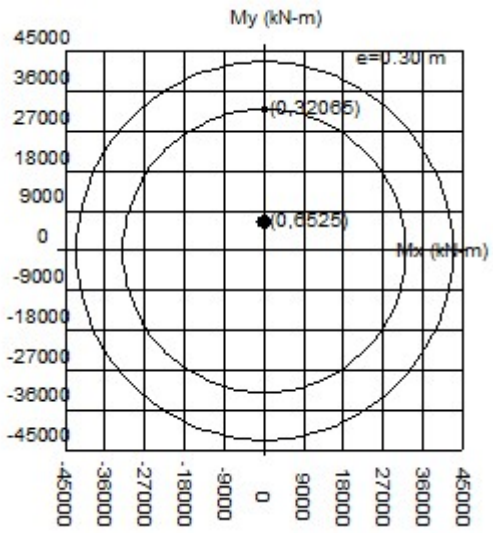
■ 기둥 주철근량 검토

◦기둥 1

| 구 분 | 사 용 철 근 | 조립도 |
|---|---|---|
| 1 단 | D32× 88EA |  |
| 2 단 | D32× 82EA | |
| 계 | 135014.00mm² - 1.910% | |
| 유효단면적 $A_{eff}$=3534291.74 mm² | $A_{eff}$=Pu/{φ・0.80・(0.85fck+0.01fy)} (단, $A_{eff}$>1/2・Ag) | |






Pu=21776.408kN ≤ φPn=86994.374kN ····· OK

δMux=0.000kN・m ≤ φMnx=0.001kN・m ····· OK

δMuy=6524.828kN・m ≤ φMny=32065.122kN・m ····· OK

δMu=6524.828kN・m ≤ φMn=32065.122kN・m ····· OK

③ 기초설계

㉠ 직접기초 안정검토

| 구분 | 전도에 대한 검토 | | | 활동에 대한 검토 | | | 지지력에 대한 검토 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 편심 (m) | 허용편심 (m) | 안전율 | 마찰력/ 수평력 | 허용 안전율 | 안전율 | 작용 지지력 | 허용 지지력 | 안전율 |
| 교축 | 0.346 | 1.667 | O.K (4.818) | 25.122 | 1.500 | 1.5이상 | 253.197 | 600.000 | O.K (2.370) |
| 교축지각 | 0.800 | 1.667 | O.K (2.084) | 18.529 | 1.500 | 1.5이상 | 277.382 | 600.000 | O.K (2.163) |

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

㉡ 기초단면력 검토

| 위 치 | Mu (kN・m) | φMn (kN・m) | Mu/ φMn | reqAs ($mm^2$) | useAs ($mm^2$) | | w (mm) | wa (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 캔틸레버 (교축) | 2204.960 | 3853.445 | 57.2% | 4858.06 | D29@100 | 6424.00 | 0.13 | 0.43 |
| 캔틸레버 (교축직각) | 2482.552 | 3853.445 | 64.4% | 5477.55 | D29@100 | 6424.00 | 0.14 | 0.43 |

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

④ 검토 결과

교각 구조물에 대한 안정성 검토 결과 최소 안전율 1.0이상으로 나와 구조적인 안전성을 확보한 것으로 판단된다.

## 5.4.2 청미천교-마산방향

### 가. 교대(A1) 구조검토

1) 검토조건

㉠ 일반조건

㉡ 하부구조형식 : 역T형 교대

㉢ 상부구조형식 : 강박스 거더교

㉣ 교량등급 : 1등교(DB-24, DL-24)

㉤ 교대총폭 : B=11.855m

㉥ 교대총높이 : H=8.000m

㉦ 기초형식 : 말뚝기초

㉧ SKEW : 90.000°

② 하중

㉠ 철근콘크리트의 단위중량 : $\gamma c$ = 25.000kN/㎥

㉡ 뒷채움재의 단위중량 : $\gamma s1$ = 20.000kN/㎥(토사)

㉢ 기초지반의 단위중량 : $\gamma s2$ = 19.000kN/㎥

㉣ 과재하중 : q1 = 10.000kN/m

㉤ 상부 고정하중 반력 : Rd = 241.281kN/m

㉥ 상부 활하중 반력 : R1 = 152.522kN/m

㉦ 교량받침 마찰계수 : fs = 0.050

③ 지반조건

㉠ 뒷채움재의 내부마찰각 : $\Phi 1$ = 35.0°

㉡ 기초지반의 N치 : N = 50.0

㉢ 기초지반의 내부마찰각 : $\Phi 2$ = 45.000° ($\Phi_2 = 15 + \sqrt{15N}$)

㉣ 기초지반의 점착력 : C = 0.000kN/㎡

㉤ 기초지반의 마찰계수 : $\mu$=0.327($\tan(2/3\Phi_2)$ : 흙과 콘크리트)

④ 사용재료

㉠ 콘크리트

■ 설계기준강도($f_{ck}$) : 24 MPa

■ 탄성계수($E_c$) : 26,986

㉡ 철근(SD30)

■ 항복강도($f_y$) : 300 MPa

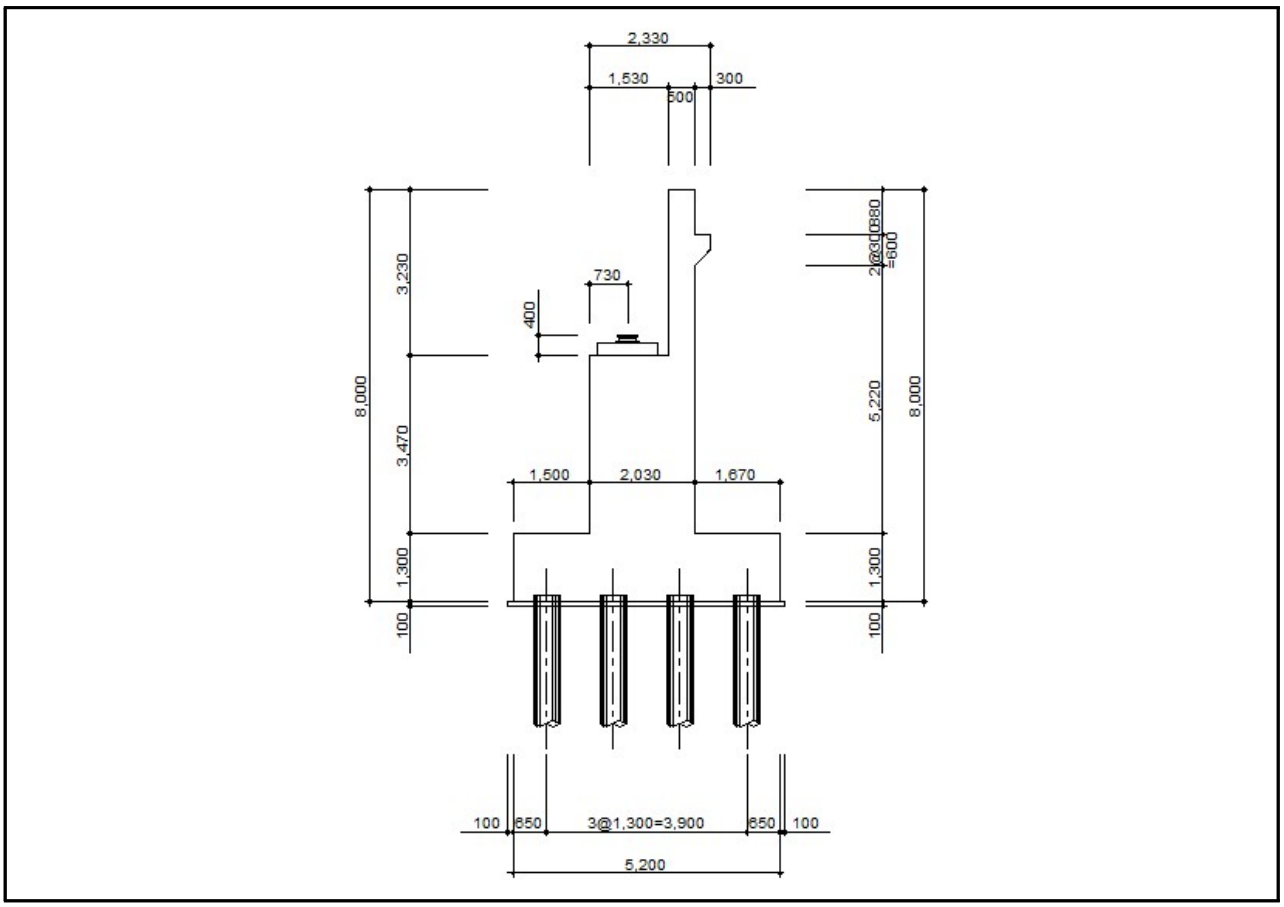
■ 탄성계수($E_s$) : 200,000 MPa

⑤ 설계방법

㉠ 안전성검토 : 허용응력설계법

㉡ 단면검토 : 강도설계법

2) 해석단면




【그림 5-32】 해석단면(A1)

3) 하중산정

① 자중(원점 0을 기준으로)

㉠ 교대구체

Wc = 15.55m$^2$ × 25.0 = 388.853kN/m

㉡ 뒷채움채

Wc = 11.05m$^2$ × 20.0 = 221.080kN/m

② 토압

㉠ 토압계수 산정

■ 평상시 주동토압계수(Rankine) : 안정검토시 적용(상시)

$$K_a = \cos\alpha \times \frac{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}$$

■ 평상시 주동토압계수(Coulomb) : 단면검토시 적용(상시)

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \beta)}{\cos^2\beta * \cos(\beta + \delta)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) * \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\beta + \delta) * \cos(\beta - \alpha)}}\right]^2}$$

$\Phi$ = 뒷채움 흙의 내부마찰각(도)

$\alpha$ = 지표면과 수평면이 이루는 각(도)

$\beta$ = 벽배면과 연직면이 이루는 각(도)

$\delta$ = 벽배면과 뒷채움흙 사이의 벽면마찰각(도)

| 구 분 | 안정검토 | 벽체검토 |
|---|---|---|
| $\Phi$ | 35.000 | 35.000 |
| $\alpha$ | 0.000 | 0.000 |
| $\beta$ | 0.000 | 0.000 |
| $\delta$ | 0.000 | 11.667 |
| Ka | 0.271 | 0.251 |

③ 토압에 의한 하중집계

| 구 분 | | 하중산식 | P (kN/m) | x(m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 상 시 | 수평토압 | 1/2×0.271×20×8.000$^2$×cos0.000 | 173.434 | 2.667 | 462.490 |
| | 배면활하중 토압 | 0.271×10.000×8.000×cos 0.000 | 21.679 | 4.000 | 86.717 |

④ 상부구조물 하중

㉠ 상부구조물 하중 집계

| 구 분 | | 하중산식 | P (kN/m) | x(m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 연직하중 | 고정하중 | 2860.390 / 11.855 | 241.281 | 2.230 | 538.057 |
| | 활하중 | 1808.150 / 11.855 | 152.522 | 2.230 | 340.124 |
| | 배면활하중 | 10.000×1.670 | 16.700 | 4.365 | 72.896 |
| 수평하중 | 온도하중 | 241.281×0.050000 | 12.064 | 5.170 | 62.371 |

⑤ 하중요약

| 구 분 | V(kN/m) | H(kN/m) | 팔길이(m) | | Moment(kN/m・m) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | x | y | Mx | My |
| 교대본체자중 | 388.853 | - | 2.641 | - | 1027.092 | - |
| 뒷굽상부토자중 | 221.080 | - | 4.374 | - | 966.909 | - |
| 상부고정하중 | 241.281 | - | 2.230 | - | 538.057 | - |
| 상부활하중 | 152.522 | - | 2.230 | - | 340.124 | - |
| 수평토압 | - | 173.434 | - | 2.667 | - | 462.490 |
| 배면활하중 | 16.700 | 21.679 | 4.365 | 4.000 | 72.896 | 86.717 |
| 온도하중 | - | 12.064 | - | 5.170 | - | 62.371 |

⑥ 하중조합

㉠ 사용하중 조합

| 구 분 | D | Rd | RI | LU | H | G | Q | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LCBS1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| LCBS2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| LCBS3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| LCBS4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | |

㉡ 계수하중 조합

| 구 분 | D | Rd | RI | LU | H | G | Q | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LCBF1 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 1.7 | 0 | 0 | |
| LCBF2 | 1.3 | 1.3 | 0 | 0 | 1.7 | 0 | 0 | |
| LCBF3 | 1.3 | 1.3 | 2.15 | 2.15 | 1.7 | 0 | 0 | |
| LCBF4 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 0 | |

D : 자중(구체자중, 뒷굽배면토사) 또는 이에 따른 단면력
Rd : 상부고정하중 또는 이에 따른 단면력
Rl : 상부활하중 또는 이에 따른 단면력
LU : 배면활하중(연직하중) 또는 이에 따른 단면력
H : 수평토압(배면활하중 토압 포함) 또는 이에 따른 단면력
G : 온도변화 등으로 인한 팽창 또는 수축변형으로 유발된 변형력 또는 이에 따른 단면력
Q : 부력 또는 양압력, 수압, 파압 등의 하중 또는 이에 따른 단면력
E : 지진의 영향 또는 이에 따른 단면력

⑦ 하중조합 결과

| 하 중 조 합 | | V(kN/m) | H(kN/m) | Mr (kN/m・m) | Mo (kN/m・m) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 사용하중 | LCBS1 | 609.933 | 173.434 | 1994.000 | 462.490 | |
| | LCBS2 | 851.214 | 173.434 | 2532.058 | 462.490 | |
| | LCBS3 | 1020.436 | 195.113 | 2945.077 | 549.207 | |
| | LCBS4 | 1020.436 | 207.177 | 2945.077 | 611.578 | |
| 계수하중 | LCBF1 | 792.912 | 294.837 | 2592.200 | 786.232 | |
| | LCBF2 | 1106.578 | 294.837 | 3291.675 | 786.232 | |
| | LCBF3 | 1470.406 | 331.692 | 4179.668 | 933.651 | |
| | LCBF4 | 1326.567 | 347.375 | 3828.601 | 1014.734 | |

4) 말뚝 검토

① 검토조건

㉠ 말뚝의 제원

| 말뚝 종류 | 직경(mm) | 두께(mm) | 부식두께(mm) | 길이(m) |
|---|---|---|---|---|
| 강관말뚝 | 508 | 12 | 2 | 12.536 |

※ 말뚝길이는 기초평면에 묻힌 100mm는 제외한 길이임.
· 말뚝의 탄성계수 : E = 205,000MPa
· 말뚝의 단면2차 모멘트 : I = $\pi/64 \times (0.504^4 - 0.486^4) = 0.0004736m^4$

② 단위길이당 작용하는 하중

| 구 분 | | V(kN/m) | H(kN/m) | e(m) | Mc (kN/m · m) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 사용하중 | LCBS1 | 609.933 | 173.434 | 1994.000 | 462.490 | |
| | LCBS2 | 851.214 | 173.434 | 2532.058 | 462.490 | |
| | LCBS3 | 1020.436 | 195.113 | 2945.077 | 549.207 | |
| | LCBS4 | 1020.436 | 207.177 | 2945.077 | 611.578 | |
| 계수하중 | LCBF1 | 792.912 | 294.837 | 2592.200 | 786.232 | |
| | LCBF2 | 1106.578 | 294.837 | 3291.675 | 786.232 | |
| | LCBF3 | 1470.406 | 331.692 | 4179.668 | 933.651 | |
| | LCBF4 | 1326.567 | 347.375 | 3828.601 | 1014.734 | |

③ Pile 본체 검토

㉠ 휨응력 검토(사용하중)

| 구 분 | | V(kN/m) | M (kN/m · m) | f(MPa) | fsa(MPa) | 안전율 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| LCBS1 | FIX | 269.042 | 55.984 | 47.124 | 140.000 | OK(2.971) |
| | HINGE | 217.364 | 39.656 | 35.106 | 140.000 | OK(3.988) |
| LCBS2 | FIX | 373.748 | 53.941 | 52.784 | 140.000 | OK(2.652) |
| | HINGE | 323.957 | 39.656 | 41.975 | 140.000 | OK(3.335) |
| LCBS3 | FIX | 468.230 | 58.493 | 61.294 | 140.000 | OK(2.284) |
| | HINGE | 414.236 | 44.613 | 50.429 | 140.000 | OK(2.776) |
| LCBS4 | FIX | 489.546 | 61.046 | 64.026 | 140.000 | OK(2.187) |
| | HINGE | 433.196 | 47.372 | 53.119 | 140.000 | OK(2.636) |

㉡ 전단응력 검토(사용하중)

| 구 분 | | H(kN/m) | $\tau$ | $\tau_{sa}$ | 안전율 |
|---|---|---|---|---|---|
| MAX | 평상시 | 68.225 | 8.789 | 80.000 | O.K.(9.102) |

④ 말뚝의 지지력 검토

| 구 분 | | 압축력(kN) | | 인발력(kN) | | 안전율 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 반력 | 허용 | 반력 | 허용 | |
| 상 시 | LCBS1 | 269.042 | 5295.063 | 0.000 | 0.000 | O.K.(19.681) |
| 상 시 | LCBS2 | 373.748 | 5295.063 | 0.000 | 0.000 | O.K.(14.167) |
| 상 시 | LCBS3 | 468.230 | 5295.063 | 0.000 | 0.000 | O.K.(11.309) |
| 상 시 | LCBS4 | 489.546 | 5295.063 | 0.000 | 0.000 | O.K.(10.816) |

5) 교대 단면력에 대한 검토

① 연직벽

㉠ 단면력 산정

| 구 분 | | 하중산식 | P (kN/m) | x(m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 상 시 | 수평토압 | 1/2×0.2508×20 ×6.700$^2$×cos11.667 | 110.280 | 2.233 | 246.291 |
| | 배면활하중 토압 | 0.2508×10.000 ×6.700 ×cos 11.667 | 16.460 | 3.350 | 55.140 |
| | 온도하중 | 241.281×0.05 | 12.064 | 3.870 | 46.688 |

㉡ 하중조합

| 구 분 | | D | H | Rd | Rl | LU | G | V(kN/m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 사용 하중 | LCBS1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 110.280 | 246.291 |
| | LCBS2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 110.280 | 246.291 |
| | LCBS3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 126.739 | 301.431 |
| | LCBS4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 138.803 | 348.119 |
| | Max | | | | | | | 138.803 | 348.119 |
| 계수 하중 | LCBF1 | 1.3 | 1.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 187.475 | 418.695 |
| | LCBF2 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 187.475 | 418.695 |
| | LCBF3 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 2.15 | 2.15 | 0 | 215.457 | 512.433 |
| | LCBF4 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 231.140 | 573.127 |
| | Max | | | | | | | 231.140 | 573.127 |

② 흉벽

㉠ 단면력 산정

| 구 분 | 하중산식 | P (kN/m) | x(m) | M (kN·m/m) |
|---|---|---|---|---|
| 수평토압 | $1/2\times0.2508\times20\times3.230^2\times\cos11.667$ | 25.630 | 1.077 | 27.595 |
| 윤하중 | $11.46\times0.2508$ | 28.747 | 2.870 | 82.505 |

㉡ 하중조합

| 구 분 | | D | H | Rd | Rl | LU | G | V(kN/m) | M (kN·m/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 사용 하중 | LCBS1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25.630 | 27.595 |
| | LCBS2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 25.630 | 27.595 |
| | LCBS3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 54.377 | 110.100 |
| | LCBS4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 36.108 | 46.944 |
| | Max | | | | | | | 54.377 | 110.100 |
| 계수 하중 | LCBF1 | 1.3 | 1.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 43.571 | 46.912 |
| | LCBF2 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 43.571 | 46.912 |
| | LCBF3 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 2.15 | 2.15 | 0 | 92.442 | 187.170 |
| | LCBF4 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 92.442 | 187.170 |
| | Max | | | | | | | 92.442 | 187.170 |

③ 압굽

㉠ 단면력 산정

| 구 분 | | 말뚝머리 고정 | | 말뚝머리 힌지 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | V (kN/m) | M (kN·m/m) | V (kN/m) | M (kN·m/m) | |
| 사용하중 | LCBS1 | 0.000 | 173.612 | 0.000 | 140.265 | |
| | LCBS2 | 0.000 | 241.179 | 0.000 | 209.048 | |
| | LCBS3 | 0.000 | 302.148 | 0.000 | 267.306 | |
| | LCBS4 | 0.000 | 315.903 | 0.000 | 279.540 | |
| 계수하중 | LCBF1 | 0.000 | 273.097 | 0.000 | 218.632 | |
| | LCBF2 | 0.000 | 360.933 | 0.000 | 308.050 | |
| | LCBF3 | 0.000 | 482.976 | 0.000 | 425.649 | |
| | LCBF4 | 0.000 | 466.110 | 0.000 | 406.494 | |

㉡ 하중조합

| 구 분 | | D | H | Rd | Rl | LU | G | V(kN/m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 사용 하중 | LCBS1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11.375 | 137.050 |
| | LCBS2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 11.375 | 204.616 |
| | LCBS3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 11.375 | 265.585 |
| | LCBS4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 11.375 | 279.340 |
| | Max | | | | | | | 11.375 | 279.340 |
| 계수 하중 | LCBF1 | 1.3 | 1.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14.788 | 225.565 |
| | LCBF2 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 14.788 | 313.402 |
| | LCBF3 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 2.15 | 2.15 | 0 | 14.788 | 435.445 |
| | LCBF4 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 14.788 | 418.579 |
| | Max | | | | | | | 14.788 | 435.445 |

④ 뒷굽

㉠ 단면력 산정

| 구 분 | | 말뚝머리 고정 | | 말뚝머리 힌지 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | V (kN/m) | M (kN・m/m) | V (kN/m) | M (kN・m/m) | |
| 사용하중 | LCBS1 | 100.717 | 102.731 | 139.949 | 142.748 | |
| | LCBS2 | 141.867 | 144.704 | 179.668 | 183.261 | |
| | LCBS3 | 154.750 | 157.845 | 195.741 | 199.656 | |
| | LCBS4 | 138.568 | 141.339 | 181.347 | 184.974 | |
| 계수하중 | LCBF1 | 75.166 | 76.669 | 139.243 | 142.027 | |
| | LCBF2 | 128.661 | 131.235 | 190.877 | 194.694 | |
| | LCBF3 | 166.995 | 170.335 | 234.439 | 239.128 | |
| | LCBF4 | 114.919 | 117.217 | 185.056 | 188.757 | |

㉡ 하중조합

| 구 분 | | D | H | Rd | Rl | LU | G | V(kN/m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 사용 하중 | LCBS1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 174.638 | 129.085 |
| | LCBS2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 133.488 | 87.112 |
| | LCBS3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 137.305 | 87.915 |
| | LCBS4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 153.487 | 104.421 |
| | Max | | | | | | | 174.638 | 129.085 |
| 계수 하중 | LCBF1 | 1.3 | 1.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 282.796 | 224.692 |
| | LCBF2 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 229.300 | 170.126 |
| | LCBF3 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 2.15 | 2.15 | 0 | 226.871 | 161.006 |
| | LCBF4 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 264.753 | 202.271 |
| | Max | | | | | | | 282.796 | 224.692 |

⑤ 각 부재별 단면검토

| 구 분 | d(mm) | 사용철근량(㎟) | $M_u$(kN · m) | $\phi M_n$(kN · m) | $\phi M_n$ / $M_u$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 연직벽체 | 1930 | D22-8EA=3096.8 | 573.127 | 1519.438 | O.K.(2.651) |
| 흉벽 | 420 | D22-8EA=3096.8 | 187.170 | 320.216 | O.K.(1.711) |
| 압굽 | 1150 | D22-8EA=3096.8 | 435.445 | 903.492 | O.K.(2.075) |
| 뒷굽 | 1200 | D22-8EA=3096.8 | 224.692 | 966.376 | O.K.(4.301) |

6) 검토결과

각 부재별 단면검토 결과 최소안전율 1.711로 나와 구조적인 안전성을 확보한 것으로 판단된다.

말뚝기초에 대한 검토 결과 최소 안전율 2.187로 나와 안전한 것으로 판단된다.

## 나. 교대(A2) 구조검토

1) 검토조건

① 일반조건

㉠ 하부구조형식 : 역T형 교대

㉡ 상부구조형식 : 강박스 거더교

㉢ 교량등급 : 1등교(DB-24, DL-24)

㉣ 교대총폭 : B=11.855m

㉤ 교대총높이 : H=8.000m

㉥ 기초형식 : 말뚝기초

㉦ SKEW : 90.000°

② 하중

㉠ 철근콘크리트의 단위중량 : $\gamma c$ = 25.000kN/㎥

㉡ 뒷채움재의 단위중량 : $\gamma s1$ = 20.000kN/㎥(토사)

㉢ 기초지반의 단위중량 : $\gamma s2$ = 19.000kN/㎥

㉣ 과재하중 : q1 = 10.000kN/m

㉤ 상부 고정하중 반력 : Rd = 240.266kN/m

㉥ 상부 활하중 반력 : R1 = 155.436kN/m

㉦ 교량받침 마찰계수 : fs = 0.050

③ 지반조건

㉠ 뒷채움재의 내부마찰각 : $\Phi 1 = 35.0^{\circ}$

㉡ 기초지반의 N치 : N = 50.0

㉢ 기초지반의 내부마찰각 : $\Phi 2 = 27.200^{\circ}$ ($\Phi_2 = 15 + \sqrt{15N}$)

㉣ 기초지반의 점착력 : C = 0.000kN/㎡

㉤ 기초지반의 마찰계수 : $\mu$=0.327($\tan(2/3\Phi_2)$ : 흙과 콘크리트)

④ 사용재료

㉠ 콘크리트

- 설계기준강도($f_{ck}$) : 24 MPa
- 탄성계수($E_c$) : 26,986

㉡ 철근(SD30)

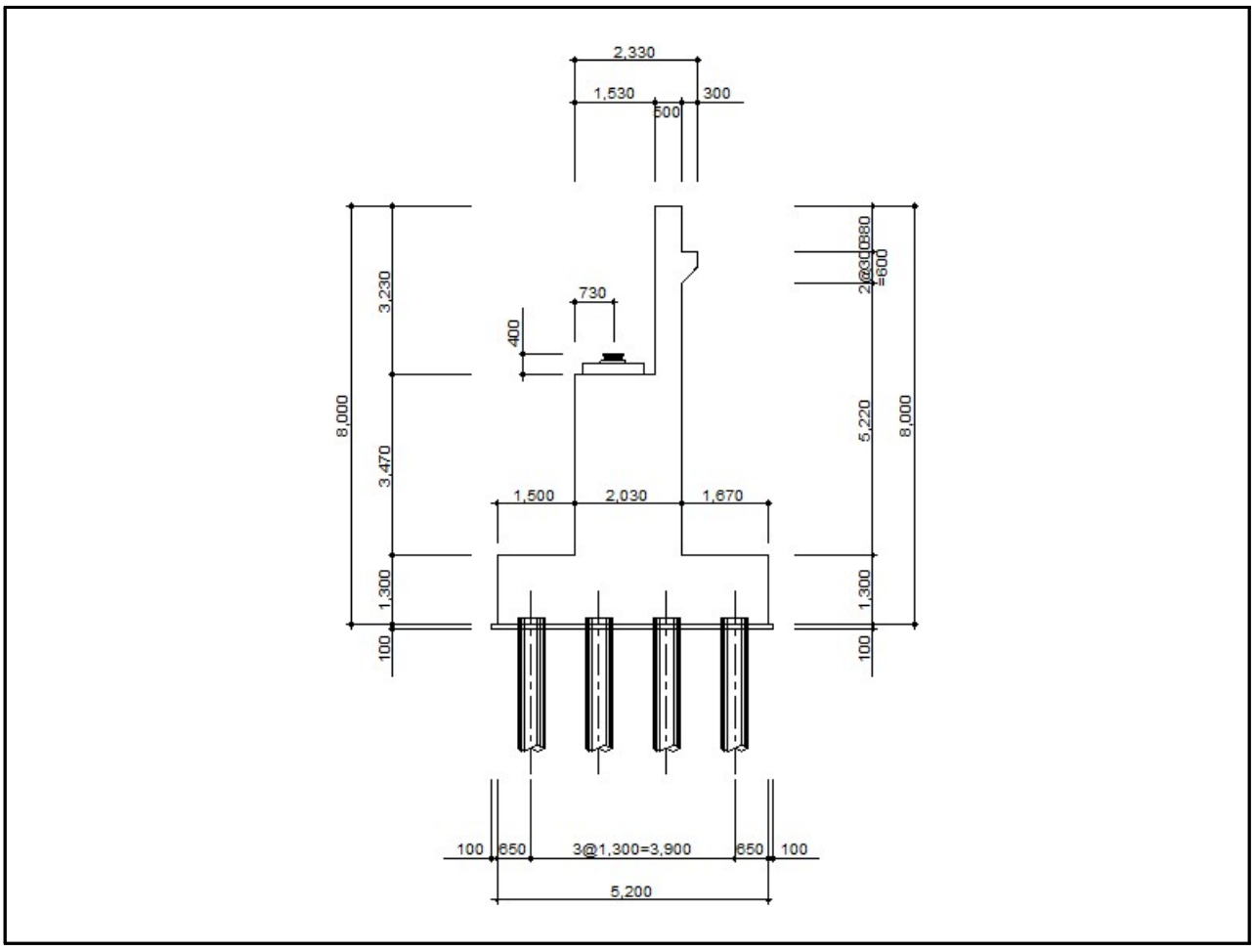
- 항복강도($f_y$) : 300 MPa
- 탄성계수($E_s$) : 200,000 MPa

⑤ 설계방법

㉠ 안전성검토 : 허용응력설계법

㉡ 단면검토 : 강도설계법

2) 해석단면




【그림 5-33】 해석단면(A2)

3) 하중산정

① 자중(원점 0을 기준으로)

㉠ 교대구체

Wc = 15.55m$^2$ × 25.0 = 388.853kN/m

㉡ 뒷채움채

Wc = 11.05m$^2$ × 20.0 = 221.080kN/m

② 토압

㉠ 토압계수 산정

■ 평상시 주동토압계수(Rankine) : 안정검토시 적용(상시)

$$K_a = \cos\alpha \times \frac{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}$$

■ 평상시 주동토압계수(Coulomb) : 단면검토시 적용(상시)

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi-\beta)}{\cos^2\beta * \cos(\beta+\delta)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)*\sin(\phi-\alpha)}{\cos(\beta+\delta)*\cos(\beta-\alpha)}}\right]^2}$$

$\Phi$ = 뒷채움 흙의 내부마찰각(도)

$\alpha$ = 지표면과 수평면이 이루는 각(도)

$\beta$ = 벽배면과 연직면이 이루는 각(도)

$\delta$ = 벽배면과 뒷채움흙 사이의 벽면마찰각(도)

| 구 분 | 안정검토 | 벽체검토 |
|---|---|---|
| $\Phi$ | 35.000 | 35.000 |
| $\alpha$ | 0.000 | 0.000 |
| $\beta$ | 0.000 | 0.000 |
| $\delta$ | 0.000 | 11.667 |
| Ka | 0.271 | 0.251 |

③ 토압에 의한 하중집계

| 구 분 | | 하중산식 | P (kN/m) | x(m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 상 시 | 수평토압 | 1/2×0.2710 ×20 ×8.000$^2$×cos0.000 | 173.434 | 2.667 | 462.490 |
| | 배면활하중 토압 | 0.2710 ×10.000 ×8.000 ×cos 0.000 | 21.679 | 4.000 | 86.717 |

④ 상부구조물 하중

㉠ 상부구조물 하중 집계

| 구 분 | | 하중산식 | P (kN/m) | x(m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 연직하중 | 고정하중 | 2848.350 / 11.855 | 240.266 | 2.230 | 535.793 |
| | 활하중 | 1842.690 / 11.855 | 155.436 | 2.230 | 346.622 |
| | 배면활하중 | 10.000×1.670 | 16.700 | 4.365 | 72.896 |
| 수평하중 | 온도하중 | 240.266×0.050 | 12.013 | 5.170 | 62.109 |

⑤ 하중요약

| 구 분 | V(kN/m) | H(kN/m) | 팔길이(m) | | Moment(kN/m・m) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | x | y | Mx | My |
| 교대본체자중 | 388.853 | - | 2.641 | - | 1027.092 | - |
| 뒷굽상부토자중 | 221.080 | - | 4.374 | - | 966.909 | - |
| 상부고정하중 | 240.266 | - | 2.230 | - | 535.793 | - |
| 상부활하중 | 155.436 | - | 2.230 | - | 346.622 | - |
| 수평토압 | - | 173.434 | - | 2.667 | - | 462.490 |
| 배면활하중 | 16.700 | 21.679 | 4.365 | 4.000 | 72.896 | 86.717 |
| 온도하중 | - | 12.013 | - | 5.170 | - | 62.109 |

⑥ 하중조합

㉠ 사용하중 조합

| 구 분 | D | Rd | RI | LU | H | G | Q | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LCBS1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| LCBS2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| LCBS3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| LCBS4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | |

㉡ 계수하중 조합

| 구 분 | D | Rd | RI | LU | H | G | Q | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LCBF1 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 1.7 | 0 | 0 | |
| LCBF2 | 1.3 | 1.3 | 0 | 0 | 1.7 | 0 | 0 | |
| LCBF3 | 1.3 | 1.3 | 2.15 | 2.15 | 1.7 | 0 | 0 | |
| LCBF4 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 0 | |

D : 자중(구체자중, 뒷굽배면토사) 또는 이에 따른 단면력
Rd : 상부고정하중 또는 이에 따른 단면력
Rl : 상부활하중 또는 이에 따른 단면력
LU : 배면활하중(연직하중) 또는 이에 따른 단면력
H : 수평토압(배면활하중 토압 포함) 또는 이에 따른 단면력
G : 온도변화 등으로 인한 팽창 또는 수축변형으로 유발된 변형력 또는 이에 따른 단면력
Q : 부력 또는 양압력, 수압, 파압 등의 하중 또는 이에 따른 단면력
E : 지진의 영향 또는 이에 따른 단면력

⑦ 하중조합 결과

| 하 중 조 합 | | V(kN/m) | H(kN/m) | Mr (kN/m・m) | Mo (kN/m・m) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 사용하중 | LCBS1 | 609.933 | 173.434 | 1994.000 | 462.490 | |
| | LCBS2 | 850.198 | 173.434 | 2529.793 | 462.490 | |
| | LCBS3 | 1022.334 | 195.113 | 2949.310 | 549.207 | |
| | LCBS4 | 1022.334 | 207.126 | 2949.310 | 611.315 | |
| 계수하중 | LCBF1 | 792.912 | 294.837 | 2592.200 | 786.232 | |
| | LCBF2 | 1105.258 | 294.837 | 3288.731 | 786.232 | |
| | LCBF3 | 1475.349 | 331.692 | 4190.692 | 933.651 | |
| | LCBF4 | 1329.034 | 347.309 | 3834.103 | 1014.392 | |

4) 말뚝 검토

① 검토조건

㉠ 말뚝의 제원

| 말뚝 종류 | 직경(mm) | 두께(mm) | 부식두께(mm) | 길이(m) |
|---|---|---|---|---|
| 강관말뚝 | 508 | 12 | 2 | 9.022 |

※ 말뚝길이는 기초평면에 묻힌 100mm는 제외한 길이임.

· 말뚝의 탄성계수 : E = 205,000MPa

· 말뚝의 단면2차 모멘트 : $I = \pi/64 \times (0.504^4 - 0.486^4) = 0.0004736m^4$

② 단위길이당 작용하는 하중

| 구 분 | | V(kN/m) | H(kN/m) | e(m) | Mc (kN/m・m) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 사용하중 | LCBS1 | 609.933 | 173.434 | 1994.000 | 462.490 | |
| | LCBS2 | 850.198 | 173.434 | 2529.793 | 462.490 | |
| | LCBS3 | 1022.334 | 195.113 | 2949.310 | 549.207 | |
| | LCBS4 | 1022.334 | 207.126 | 2949.310 | 611.315 | |
| 계수하중 | LCBF1 | 792.912 | 294.837 | 2592.200 | 786.232 | |
| | LCBF2 | 1105.258 | 294.837 | 3288.731 | 786.232 | |
| | LCBF3 | 1475.349 | 331.692 | 4190.692 | 933.651 | |
| | LCBF4 | 1329.034 | 347.309 | 3834.103 | 1014.392 | |

③ Pile 본체 검토

㉠ 휨응력 검토(사용하중)

| 구 분 | | V(kN/m) | M (kN/m · m) | f(MPa) | fsa(MPa) | 안전율 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| LCBS1 | FIX | 259.480 | 45.625 | 40.996 | 140.000 | O.K.(3.415) |
| | HINGE | 217.364 | 32.370 | 31.229 | 140.000 | O.K.(4.483) |
| LCBS2 | FIX | 363.807 | 43.658 | 46.672 | 140.000 | O.K.(3.000) |
| | HINGE | 323.508 | 32.370 | 38.069 | 140.000 | O.K.(3.678) |
| LCBS3 | FIX | 458.433 | 46.971 | 54.532 | 140.000 | O.K.(2.567) |
| | HINGE | 415.075 | 36.416 | 46.122 | 140.000 | O.K.(3.035) |
| LCBS4 | FIX | 479.038 | 48.840 | 56.854 | 140.000 | O.K.(2.462) |
| | HINGE | 433.954 | 38.658 | 48.531 | 140.000 | O.K.(2.885) |

㉡ 전단응력 검토(사용하중)

| 구 분 | | H(kN/m) | $\tau$ | $\tau_{sa}$ | 안전율 |
|---|---|---|---|---|---|
| MAX | 평상시 | 68.208 | 8.787 | 80.000 | O.K.(9.104) |

5) 교대 단면력에 대한 검토

① 연직벽

㉠ 단면력 산정

| 구 분 | | 하중산식 | P (kN/m) | x(m) | M (kN · m/m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 상 시 | 수평토압 | 1/2×0.2508×20 ×6.700$^2$×cos11.667 | 110.280 | 2.233 | 246.291 |
| | 배면활하중 토압 | 0.2508×10.000 ×6.700 ×cos 11.667 | 16.460 | 3.350 | 55.140 |
| | 온도하중 | 240.266×0.050 | 12.013 | 3.870 | 46.491 |

㉡ 단면력 산정

| 구 분 | | D | H | Rd | Rl | LU | G | V(kN/m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 사용 하중 | LCBS1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 110.280 | 246.291 |
| | LCBS2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 110.280 | 246.291 |
| | LCBS3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 126.739 | 301.431 |
| | LCBS4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 138.753 | 347.922 |
| | Max | | | | | | | 138.753 | 347.922 |
| 계수 하중 | LCBF1 | 1.3 | 1.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 187.475 | 418.695 |
| | LCBF2 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 187.475 | 418.695 |
| | LCBF3 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 2.15 | 2.15 | 0 | 215.457 | 512.433 |
| | LCBF4 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 231.074 | 572.872 |
| | Max | | | | | | | 231.074 | 572.872 |

② 흉벽

㉠ 단면력 산정

| 구 분 | 하중산식 | P (kN/m) | x(m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|
| 수평토압 | $1/2\times0.2508\times20\ \times3.230^2\times\cos11.667$ | 25.630 | 1.077 | 27.595 |
| 윤하중 | $11.46\times0.2508$ | 28.747 | 2.870 | 82.505 |

㉡ 단면력 산정

| 구 분 | | D | H | Rd | Rl | LU | G | V(kN/m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 사용 하중 | LCBS1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25.630 | 27.595 |
| | LCBS2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 25.630 | 27.595 |
| | LCBS3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 54.377 | 110.100 |
| | LCBS4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 54.377 | 110.100 |
| | Max | | | | | | | 54.377 | 110.100 |
| 계수 하중 | LCBF1 | 1.3 | 1.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 43.571 | 46.912 |
| | LCBF2 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 43.571 | 46.912 |
| | LCBF3 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 2.15 | 2.15 | 0 | 92.442 | 187.170 |
| | LCBF4 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 92.442 | 187.170 |
| | Max | | | | | | | 92.442 | 187.170 |

③ 압굽

㉠ 단면력 산정

| 구 분 | | 말뚝머리 고정 | | 말뚝머리 힌지 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | V (kN/m) | M (kN・m/m) | V (kN/m) | M (kN・m/m) | |
| 사용하중 | LCBS1 | 0.000 | 167.442 | 0.000 | 140.265 | |
| | LCBS2 | 0.000 | 234.764 | 0.000 | 208.759 | |
| | LCBS3 | 0.000 | 295.826 | 0.000 | 267.847 | |
| | LCBS4 | 0.000 | 309.122 | 0.000 | 280.030 | |
| 계수하중 | LCBF1 | 0.000 | 262.680 | 0.000 | 218.632 | |
| | LCBF2 | 0.000 | 350.199 | 0.000 | 307.674 | |
| | LCBF3 | 0.000 | 472.773 | 0.000 | 427.059 | |
| | LCBF4 | 0.000 | 454.605 | 0.000 | 407.130 | |

㉡ 단면력 산정

| 구 분 | | D | H | Rd | Rl | LU | G | V(kN/m) | M (kN・m/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 사용 하중 | LCBS1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11.375 | 130.879 |
| | LCBS2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 11.375 | 198.201 |
| | LCBS3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 11.375 | 259.263 |
| | LCBS4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 11.375 | 272.559 |
| | Max | | | | | | | 11.375 | 272.559 |
| 계수 하중 | LCBF1 | 1.3 | 1.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14.788 | 215.149 |
| | LCBF2 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 14.788 | 302.668 |
| | LCBF3 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 2.15 | 2.15 | 0 | 14.788 | 425.241 |
| | LCBF4 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 14.788 | 407.074 |
| | Max | | | | | | | 14.788 | 425.241 |

④ 뒷굽

㉠ 단면력 산정

| 구 분 | | 말뚝머리 고정 | | 말뚝머리 힌지 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | V (kN/m) | M (kN・m/m) | V (kN/m) | M (kN・m/m) | |
| 사용하중 | LCBS1 | 107.976 | 110.135 | 139.949 | 142.748 | |
| | LCBS2 | 148.906 | 151.884 | 179.501 | 183.091 | |
| | LCBS3 | 163.137 | 166.400 | 196.053 | 199.974 | |
| | LCBS4 | 147.494 | 150.444 | 181.720 | 185.355 | |
| 계수하중 | LCBF1 | 87.421 | 89.169 | 139.243 | 142.027 | |
| | LCBF2 | 140.630 | 143.443 | 190.659 | 194.473 | |
| | LCBF3 | 181.471 | 185.101 | 235.253 | 239.958 | |
| | LCBF4 | 129.687 | 132.281 | 185.540 | 189.251 | |

㉡ 단면력 산정

| 구 분 | | D | H | Rd | Rl | LU | G | V(kN/m) | M (kN·m/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 사용 하중 | LCBS1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 167.379 | 121.680 |
| | LCBS2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 126.449 | 79.932 |
| | LCBS3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 128.918 | 79.361 |
| | LCBS4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 144.561 | 95.316 |
| | Max | | | | | | | 167.379 | 121.680 |
| 계수 하중 | LCBF1 | 1.3 | 1.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 270.541 | 212.192 |
| | LCBF2 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 217.331 | 157.918 |
| | LCBF3 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 2.15 | 2.15 | 0 | 212.395 | 146.240 |
| | LCBF4 | 1.3 | 1.7 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 249.984 | 187.208 |
| | maxilla | | | | | | | 270.541 | 212.192 |

⑤ 각 부재별 단면검토

| 구 분 | d(mm) | 사용철근량(㎟) | $M_u$(kN · m) | $\phi M_n$(kN · m) | $\phi M_n$ / $M_u$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 연직벽체 | 1930 | D22-8EA=3096.8 | 572.872 | 1519.438 | O.K.(2.652) |
| 흉벽 | 420 | D22-8EA=3096.8 | 187.170 | 320.216 | O.K.(1.711) |
| 압굽 | 1150 | D22-8EA=3096.8 | 425.241 | 903.492 | O.K.(2.125) |
| 뒷굽 | 1200 | D22-8EA=3096.8 | 212.192 | 966.376 | O.K.(4.554) |

⑥ 검토결과

각 부재별 단면검토 결과 최소안전율 1.711로 나와 구조적인 안전성을 확보한 것으로 판단된다.

말뚝기초에 대한 검토 결과 최소 안전율 2.462로 나와 안전한 것으로 판단된다.

## 다. 교각(P5) 구조검토

1) 검토조건

① 일반사항

㉠ 하부구조형식 : T형 교각

㉡ 상부구조형식 : 강박스 거더교

㉢ 교량등급 : 1등교(DB-24, DL-24)

㉣ 기초형식 : 직접기초

② 하중

㉠ 철근콘크리트의 단위중량 : $\gamma_c$ = 25.0 kN/㎥

㉡ 기초지반의 단위중량 : $\gamma_{s2}$ = 20.0 kN/㎥

㉢ 교량받침 마찰계수 : fs = 0.050

③ 지반조건

㉠ 기초지반의 N치 : N = 50

㉡ 기초지반의 내부마찰각 : $\Phi_2$ = 42.400° ($\Phi_2 = 15 + \sqrt{15N}$)

㉢ 기초지반의 점착력 : C = 0.0 kN/㎡

㉣ 기초지반의 마찰계수 : $\mu$ = 0.6 ( $\tan\Phi_b$ = 0.60, Cb = 0:암과 콘크리트)

㉤ 기초지반의 최대 허용지지력 : Qa = 700 kN/㎡

④ 사용재료

㉠ 콘크리트

- 설계기준강도($f_{ck}$) : 24 MPa(기둥, 기초)
- 탄성계수($E_c$) : 26,986MPa(기둥, 기초)

㉡ 철근(SD30)

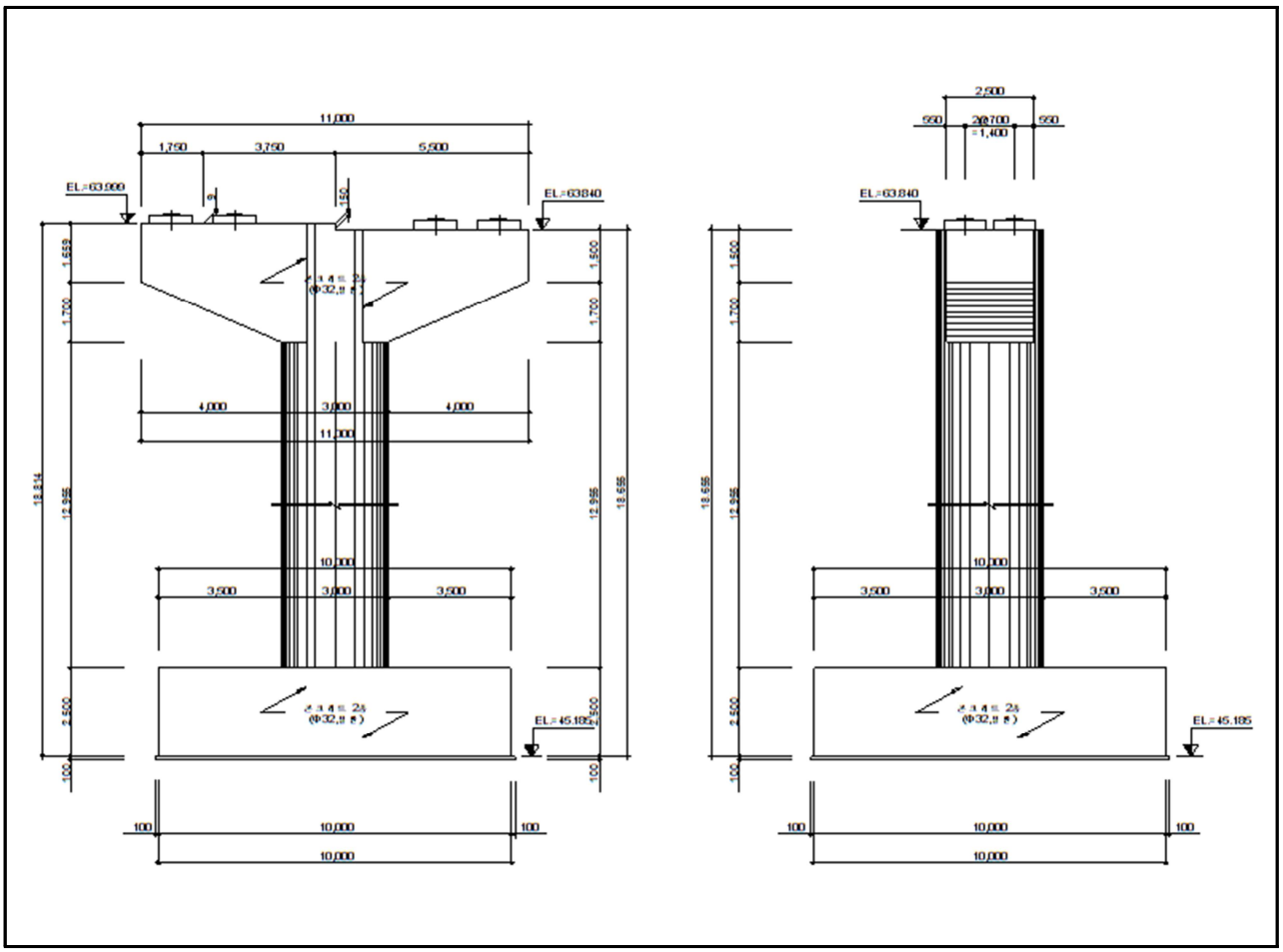
- 항복강도($f_y$) : 300 MPa(기둥, 기초)
- 탄성계수($E_s$) : 200,000 MPa

⑤ 설계방법

㉠ 안정성검토 : 허용응력설계법

㉡ 단면검토 : 강도설계법

2) 해석단면



【그림 5-34】 해석단면(P5)

3) 하중산정

① 상부반력 및 교각자중

| 교좌번호 | | 고정하중(kN) | 활하중(kN) | 합 계 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 종점측 | 1 | 501.810 | 417.080 | 918.890 | |
| | 2 | 794.270 | 519.000 | 1,313.270 | |
| | 3 | 835.260 | 516.960 | 1,352.220 | |
| | 4 | 717.010 | 390.020 | 1,107.030 | |
| 시점측 | 1 | 539.540 | 415.910 | 955.450 | |
| | 2 | 757.010 | 503.630 | 1,260.640 | |
| | 3 | 829.410 | 498.520 | 1,327.930 | |
| | 4 | 734.430 | 390.540 | 1,124.970 | |
| 계 | | 2,848.350 | 1,843.060 | 4,691.410 | |

※ 교각자중은 25.0 $kN/m^3$의 값을 프로그램에서 자동재하

② 풍하중

㉠ 상부풍하중

B/D = 11.855 / 6.880 = 1.723 [ 1 ≤ B/D < 8 ]

Pw=20.119×50.000/2=502.980kN

작용위치 h = 0.400 + 6.880 / 2 = 3.840m

작용모멘트 Mx=Pw×h=502.980×3.840=1931.443kN・m

㉡ 활하중에 작용하는 풍하중

Pwl=1.500×50.000/2.0=37.500kN

작용위치 h = 0.400 + 2.830 + 1.5 = 4.730m

작용모멘트 My=Pwl×h=37.500×4.730=177.375kN・m

㉢ 하부구조에 작용하는 풍하중

■ 교축방향

◦Wcoping=3.000×2.582=7.745kN/m

◦Wcolumn=1.500×3.000=4.500kN/m

■ 교축직각방향

◦Wcoping=3.000×2.500=7.500kN/m

◦Wcolumn=1.500×3.000=4.500kN/m(풍상측)

③ 온도하중

㉠ 교축직각방향

연평균 온도변화차 ΔT = ±10 ℃ 적용

㉡ 교축방향

■ 상부구조 신축에 의한 수평력

$P_{T1}=3EI\delta/H^3=3\times23080000.000\times3.976\times1EA\times0.015/16.155^3=979.450kN$

$\delta = \alpha \times \Delta T \times L = 1.2E-05 \times 25 \times 50.000 = 0.015m$ : 온도에 의한 신축량

H = 16.155m

$I = 3.976m^4$

■ 교좌장치 마찰에 의한 수평력

PT2= $\mu$ ×Wd=0.050×2848.350=142.418kN

Wd=2848.350kN:전체상부고정하중

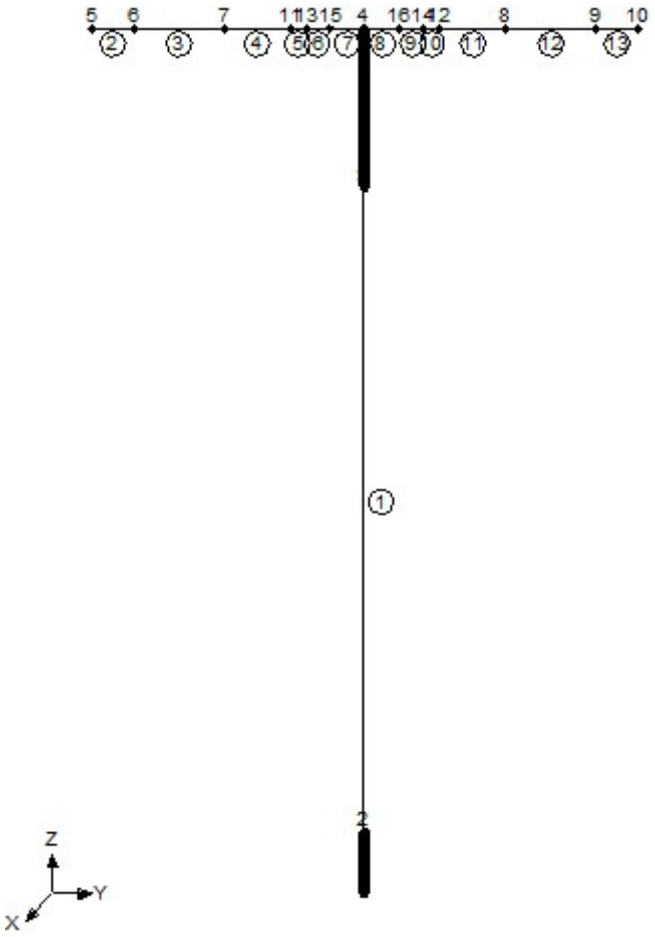
$\mu$ = 0.050 : Bearing 마찰계수

∴ PT=min[$P_{T1}$,$P_{T2}$]=142.418kN

※ 베어링 개수로 나누어 각 베어링에 재하한다.

4) 모델링

① 구조해석 모델



② 절점정보

| Node ID | Y(m) | Z(m) | Node ID | Y(m) | Z(m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.000 | -1.250 | 2 | 0.000 | 0.000 |
| 3 | 0.000 | 12.955 | 4 | 0.000 | 16.155 |
| 5 | -5.500 | 16.155 | 6 | -4.650 | 16.155 |
| 7 | -2.850 | 16.155 | 8 | 2.850 | 16.155 |
| 9 | 4.650 | 16.155 | 10 | 5.500 | 16.155 |
| 11 | -1.500 | 16.155 | 12 | 1.500 | 16.155 |
| 13 | -1.200 | 16.155 | 14 | 1.200 | 16.155 |
| 15 | -0.700 | 16.155 | 16 | 0.700 | 16.155 |

③ 단면정보

| SectionID | Y(m) | | | Node ID | | | Element No |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A ($m^2$) | Iyy ($m^4$) | Izz ($m^4$) | A ($m^2$) | Iyy ($m^4$) | Izz ($m^4$) | |
| 1 | 7.069 | 3.976 | 3.976 | 7.069 | 3.976 | 3.976 | 1 |
| 2 | 3.750 | 0.703 | 1.953 | 4.653 | 1.343 | 2.424 | 2 |
| 3 | 4.653 | 1.343 | 2.424 | 6.566 | 3.774 | 3.420 | 3 |
| 4 | 6.566 | 3.774 | 3.420 | 8.000 | 6.827 | 4.167 | 4 |
| 5 | 8.000 | 6.827 | 4.167 | 8.000 | 6.827 | 4.167 | 5,6,9,10 |
| 6 | 8.000 | 682.667 | 4.167 | 8.000 | 682.667 | 4.167 | 7,8 |
| 7 | 8.000 | 6.827 | 4.167 | 6.566 | 3.774 | 3.420 | 11 |
| 8 | 6.566 | 3.774 | 3.420 | 4.653 | 1.343 | 2.424 | 12 |
| 9 | 4.653 | 1.343 | 2.424 | 3.750 | 0.703 | 1.953 | 13 |

④ 하중 조건별 단면력 산출

㉠ 코핑부

| 위 치 | | 좌측부 | | | | 우측부 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 내민보 | | 내민보 종방향 | | 내민보 | | 내민보 종방향 | |
| 구 분 | | 모멘트 (kN·m) | 전단 (kN) | 모멘트 (kN·m) | 전단 (kN) | 모멘트 (kN·m) | 전단 (kN) | 모멘트 (kN·m) | 전단 (kN) |
| 고정하중(D) | | -7370.853 | 3240.130 | 0.000 | 0.000 | -8972.757 | -3763.610 | 0.000 | 0.000 |
| 활하중 | 만재하시 | -4561.155 | 1855.620 | 0.000 | 0.000 | -4368.474 | -1796.040 | 0.000 | 0.000 |
| 풍하중 | W | 2190.211 | -487.000 | -71.607 | -33.305 | -2151.811 | -487.000 | -71.607 | 33.305 |
| | WL | 183.706 | -44.724 | 0.000 | 0.000 | -183.706 | -44.724 | 0.000 | 0.000 |
| 온도하중(GT) | | 0.000 | 0.000 | -0.768 | -0.301 | 0.000 | 0.000 | -0.768 | 0.301 |
| 건조수축하중(GSH) | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 충돌하중(CO) | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 원심하중(CF) | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 유수압(Q) | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

㉡ 기둥

■ 기둥1 상단

| 구 분 | | 축력 (kN) | 교축직각 휨 (kN·m) | 교축 휨 (kN·m) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 고정하중(D) | | -7483.740 | 2230.080 | 0.000 | |
| 활하중 | 만재하시 | -3651.660 | -264.177 | 0.000 | |
| 풍하중 | W | 0.000 | 7158.758 | -162.655 | |
| | WL | 0.000 | 594.750 | 0.000 | |
| 온도하중(GT) | | 0.000 | 0.000 | -1.926 | |
| 건조수축하중(GSH) | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 충돌하중(CO) | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 원심하중(CF) | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 유수압(Q) | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |

■ 기둥1 하단

| 구 분 | | 축력 (kN) | 교축직각 휨 (kN・m) | 교축 휨 (kN・m) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 고정하중(D) | | -9773.077 | 2230.080 | 0.000 | |
| 활하중 | 만재하시 | -3651.660 | -264.177 | 0.000 | |
| 풍하중 | W | 0.000 | 20629.793 | -1394.324 | |
| | WL | 0.000 | 1566.375 | 0.000 | |
| 온도하중(GT) | | 0.000 | 0.000 | -9.725 | |
| 건조수축하중(GSH) | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 충돌하중(CO) | | 0.000 | 158.025 | 0.000 | |
| 원심하중(CF) | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| 유수압(Q) | | 0.000 | 84.917 | 0.000 | |

㉢ 기초

■ 기초(기둥1)

| 구 분 | | 축력 (kN) | 교축직각 휨 (kN・m) | 교축 휨 (kN・m) | 교축전단 (kN) | 교축직각 전단 (kN) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 고정하중(D) | | -9773.077 | 2230.080 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 활하중 | 만재하시 | -3651.660 | -264.177 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 풍하중 | W | 0.000 | 20629.793 | -1394.324 | -96.090 | -1040.850 |
| | WL | 0.000 | 1566.375 | 0.000 | 0.000 | -75.000 |
| 온도하중(GT) | | 0.000 | 0.000 | -9.725 | -0.602 | 0.000 |
| 건조수축하중(GSH) | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 충돌하중(CO) | | 0.000 | 158.025 | 0.000 | 0.000 | -15.000 |
| 원심하중(CF) | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 유수압(Q) | | 0.000 | 84.917 | 0.000 | 0.000 | -39.096 |

5) 하중조합

① 사용하중 검토시

| 구 분 | D | L+I | W | Q | CF | G | CO | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LS1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| LS2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| LS3 | 1 | 1 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| LS4 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| LS5 | 1 | 1 | 0.5 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| LS6 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| LS7 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| LS8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

② 계수하중 검토시

| 구 분 | D | L+I | W | Q | CF | G | CO | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LF1 | 1.3 | 2.15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| LF2 | 1.3 | 0 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| LF3 | 1.3 | 1.3 | 0.65 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| LF4 | 1.3 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 1.3 | 0 | |
| LF5 | 1.25 | 0 | 1.25 | 0 | 0 | 1.25 | 0 | |
| LF6 | 1.25 | 1.25 | 0.625 | 0 | 0 | 1.25 | 0 | |
| LF7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| LF8 | 1.3 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.3 | |
| LF9 | 1.2 | 0 | 1.2 | 0 | 0 | 0 | 1.2 | |
| LF10 | 1 | 2.15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| LF11 | 1 | 0 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| LF12 | 1 | 1.3 | 0.65 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| LF13 | 1 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 1.3 | 0 | |
| LF14 | 1 | 0 | 1.25 | 0 | 0 | 1.25 | 0 | |
| LF15 | 1 | 1.25 | 0.625 | 0 | 0 | 1.25 | 0 | |
| LF16 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| LF17 | 1 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.3 | |
| LF18 | 1 | 0 | 1.2 | 0 | 0 | 0 | 1.2 | |

D : 고정하중 또는 이에 따른 단면력
L : 활하중 또는 이에 따른 단면력
W : 풍하중 또는 이에 따른 단면력
Q : 부력 또는 양압력, 수압, 파압 등의 하중 또는 이에 따른 단면력
E : 지진의 영향 또는 이에 따른 단면력
G : 온도변화 등으로 인한 팽창 또는 수축변형으로 유발된 변형력 또는 이에 따른 단면력
CO : 충돌하중 또는 이에 따른 단면력
CF : 원심하중 또는 이에 따른 단면력

6) 위치별 단면력 정리

① 코핑하중조합

㉠ 사용하중

| 위 치 | 좌측부 | | | | 우측부 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 내민보 | | 내민보 종방향 | | 내민보 | | 내민보 종방향 | |
| 구 분 | 모멘트 (kN·m) | 전단 (kN) | 모멘트 (kN·m) | 전단 (kN) | 모멘트 (kN·m) | 전단 (kN) | 모멘트 (kN·m) | 전단 (kN) |
| LCBS1 | -11932.008 | 5095.750 | 0.000 | 0.000 | -13341.231 | -5559.650 | 0.000 | 0.000 |
| LCBS2 | -11932.008 | 5095.750 | -0.768 | -0.301 | -13341.231 | -5559.650 | -0.768 | 0.301 |
| LCBS3 | -11932.008 | 5095.750 | 0.768 | 0.301 | -13341.231 | -5559.650 | 0.768 | -0.301 |
| LCBS4 | -10653.196 | 4807.526 | -35.803 | -16.653 | -14600.843 | -5847.874 | -35.803 | 16.653 |
| LCBS5 | -13210.820 | 5383.974 | 35.803 | 16.653 | -12081.619 | -5271.426 | 35.803 | -16.653 |
| LCBS6 | -5180.642 | 2753.130 | -71.607 | -33.305 | -11124.568 | -4250.610 | -71.607 | 33.305 |
| LCBS7 | -9561.064 | 3727.130 | 71.607 | 33.305 | -6820.946 | -3276.610 | 71.607 | -33.305 |
| LCBS8 | -10653.196 | 4807.526 | -36.571 | -16.954 | -14600.843 | -5847.874 | -36.571 | 16.954 |
| LCBS9 | -10653.196 | 4807.526 | -35.036 | -16.352 | -14600.843 | -5847.874 | -35.036 | 16.352 |
| LCBS10 | -13210.820 | 5383.974 | 35.036 | 16.352 | -12081.619 | -5271.426 | 35.036 | -16.352 |
| LCBS11 | -13210.820 | 5383.974 | 36.571 | 16.954 | -12081.619 | -5271.426 | 36.571 | -16.954 |
| LCBS12 | -5180.642 | 2753.130 | -72.374 | -33.606 | -11124.568 | -4250.610 | -72.374 | 33.606 |
| LCBS13 | -5180.642 | 2753.130 | -70.839 | -33.004 | -11124.568 | -4250.610 | -70.839 | 33.004 |
| LCBS14 | -9561.064 | 3727.130 | 70.839 | 33.004 | -6820.946 | -3276.610 | 70.839 | -33.004 |
| LCBS15 | -9561.064 | 3727.130 | 72.374 | 33.606 | -6820.946 | -3276.610 | 72.374 | -33.606 |
| LCBS16 | -11932.008 | 5095.750 | 0.000 | 0.000 | -13341.231 | -5559.650 | 0.000 | 0.000 |
| LCBS17 | -7370.853 | 3240.130 | 0.000 | 0.000 | -8972.757 | -3763.610 | 0.000 | 0.000 |
| MAX | 13210.820 | 5383.974 | 72.374 | 33.606 | 14600.843 | 5847.874 | 72.374 | 33.606 |
| MIN | 5180.642 | 2753.130 | 0.000 | 0.000 | 6820.946 | 3276.610 | 0.000 | 0.000 |

㉡ 계수하중

| 위 치 | 좌측부 | | | | 우측부 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 내민보 | | 내민보 종방향 | | 내민보 | | 내민보 종방향 | |
| 구 분 | 모멘트 (kN · m) | 전단 (kN) | 모멘트 (kN · m) | 전단 (kN) | 모멘트 (kN · m) | 전단 (kN) | 모멘트 (kN · m) | 전단 (kN) |
| LCBF1 | -19388.592 | 8201.752 | 0.000 | 0.000 | -21056.803 | -8754.179 | 0.000 | 0.000 |
| LCBF2 | -6734.835 | 3579.069 | -93.089 | -43.297 | -14461.938 | -5525.793 | -93.089 | 43.297 |
| LCBF3 | -12429.383 | 4845.269 | 93.089 | 43.297 | -8867.230 | -4259.593 | 93.089 | -43.297 |
| LCBF4 | -13849.155 | 6249.784 | -46.544 | -21.649 | -18981.095 | -7602.236 | -46.544 | 21.649 |
| LCBF5 | -17174.065 | 6999.166 | 46.544 | 21.649 | -15706.105 | -6852.854 | 46.544 | -21.649 |
| LCBF6 | -15511.610 | 6624.475 | -0.998 | -0.391 | -17343.600 | -7227.545 | -0.998 | 0.391 |
| LCBF7 | -15511.610 | 6624.475 | 0.998 | 0.391 | -17343.600 | -7227.545 | 0.998 | -0.391 |
| LCBF8 | -6475.802 | 3441.412 | -90.468 | -42.008 | -13905.710 | -5313.263 | -90.468 | 42.008 |
| LCBF9 | -6475.802 | 3441.412 | -88.549 | -41.256 | -13905.710 | -5313.263 | -88.549 | 41.256 |
| LCBF10 | -11951.330 | 4658.913 | 88.549 | 41.256 | -8526.182 | -4095.762 | 88.549 | -41.256 |
| LCBF11 | -11951.330 | 4658.913 | 90.468 | 42.008 | -8526.182 | -4095.762 | 90.468 | -42.008 |
| LCBF12 | -13316.495 | 6009.407 | -45.714 | -21.192 | -18251.053 | -7309.843 | -45.714 | 21.192 |
| LCBF13 | -13316.495 | 6009.407 | -43.795 | -20.440 | -18251.053 | -7309.843 | -43.795 | 20.440 |
| LCBF14 | -16513.524 | 6729.968 | 43.795 | 20.440 | -15102.024 | -6589.282 | 43.795 | -20.440 |
| LCBF15 | -16513.524 | 6729.968 | 45.714 | 21.192 | -15102.024 | -6589.282 | 45.714 | -21.192 |
| LCBF16 | -7370.853 | 3240.130 | 0.000 | 0.000 | -8972.757 | -3763.610 | 0.000 | 0.000 |
| LCBF17 | -15511.610 | 6624.475 | 0.000 | 0.000 | -17343.600 | -7227.545 | 0.000 | 0.000 |
| LCBF18 | -6216.770 | 3303.756 | -85.928 | -39.967 | -13349.481 | -5100.732 | -85.928 | 39.967 |
| LCBF19 | -11473.276 | 4472.556 | 85.928 | 39.967 | -8185.135 | -3931.932 | 85.928 | -39.967 |
| MAX | 19388.592 | 8201.752 | 93.089 | 43.297 | 21056.803 | 8754.179 | 93.089 | 43.297 |
| MIN | 6216.770 | 3240.130 | 0.000 | 0.000 | 8185.135 | 3763.610 | 0.000 | 0.000 |

㉢ 기둥

■ 기둥1 상단(계수하중조합)

| 구 분 | 축력 (kN) | 교축직각 휨 (kN·m) | 교축 휨 (kN·m) | 교축전단 (kN) | 교축직각전단 (kN) |
|---|---|---|---|---|---|
| LCBF1 | -17579.931 | 2331.123 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| LCBF2 | -9728.862 | 12205.490 | -211.451 | -110.760 | -1338.948 |
| LCBF3 | -9728.862 | -6407.282 | 211.451 | 110.760 | 1338.948 |
| LCBF4 | -14476.020 | 7982.042 | -105.725 | -55.380 | -766.974 |
| LCBF5 | -14476.020 | -2870.694 | 105.725 | 55.380 | 766.974 |
| LCBF6 | -14476.020 | 2555.674 | -2.504 | -0.783 | 0.000 |
| LCBF7 | -14476.020 | 2555.674 | 2.504 | 0.783 | 0.000 |
| LCBF8 | -9354.675 | 11736.048 | -205.726 | -107.253 | -1287.450 |
| LCBF9 | -9354.675 | 11736.048 | -200.910 | -105.748 | -1287.450 |
| LCBF10 | -9354.675 | -6160.848 | 200.910 | 105.748 | 1287.450 |
| LCBF11 | -9354.675 | -6160.848 | 205.726 | 107.253 | 1287.450 |
| LCBF12 | -13919.250 | 7675.040 | -104.067 | -54.003 | -737.475 |
| LCBF13 | -13919.250 | 7675.040 | -99.251 | -52.498 | -737.475 |
| LCBF14 | -13919.250 | -2760.283 | 99.251 | 52.498 | 737.475 |
| LCBF15 | -13919.250 | -2760.283 | 104.067 | 54.003 | 737.475 |
| LCBF16 | -7483.740 | 2230.080 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| LCBF17 | -14476.020 | 2555.674 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| LCBF18 | -8980.488 | 11266.606 | -195.185 | -102.240 | -1235.952 |
| LCBF19 | -8980.488 | -5914.414 | 195.185 | 102.240 | 1235.952 |
| LCBF20 | -15334.809 | 1662.099 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| LCBF21 | -7483.740 | 11536.466 | -211.451 | -110.760 | -1338.948 |
| LCBF22 | -7483.740 | -7076.306 | 211.451 | 110.760 | 1338.948 |
| LCBF23 | -12230.898 | 7313.018 | -105.725 | -55.380 | -766.974 |
| LCBF24 | -12230.898 | -3539.718 | 105.725 | 55.380 | 766.974 |
| LCBF25 | -12230.898 | 1886.650 | -2.504 | -0.783 | 0.000 |
| LCBF26 | -12230.898 | 1886.650 | 2.504 | 0.783 | 0.000 |
| LCBF27 | -7109.553 | 11067.024 | -205.726 | -107.253 | -1287.450 |
| LCBF28 | -7109.553 | 11067.024 | -200.910 | -105.748 | -1287.450 |
| LCBF29 | -7109.553 | -6829.872 | 200.910 | 105.748 | 1287.450 |
| LCBF30 | -7109.553 | -6829.872 | 205.726 | 107.253 | 1287.450 |
| LCBF31 | -11674.128 | 7006.016 | -104.067 | -54.003 | -737.475 |
| LCBF32 | -11674.128 | 7006.016 | -99.251 | -52.498 | -737.475 |
| LCBF33 | -11674.128 | -3429.307 | 99.251 | 52.498 | 737.475 |
| LCBF34 | -11674.128 | -3429.307 | 104.067 | 54.003 | 737.475 |
| LCBF35 | -7483.740 | 2230.080 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| LCBF36 | -12230.898 | 1886.650 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| LCBF37 | -6735.366 | 10597.582 | -195.185 | -102.240 | -1235.952 |
| LCBF38 | -6735.366 | -6583.438 | 195.185 | 102.240 | 1235.952 |

■ 기둥1 하단(계수하중조합)

| 구 분 | | 축력 (kN) | 교축직각 휨 (kN・m) | 교축 휨 (kN・m) | 교축전단 (kN) | 교축직각전단 (kN) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| LCBF1 | | -20556.070 | 2441.515 | 0.000 | 0.000 | -50.825 |
| LCBF2 | | -12705.001 | 29828.227 | -1812.621 | -124.917 | -1403.930 |
| LCBF3 | | -12705.001 | -23809.236 | 1812.621 | 124.917 | 1302.280 |
| LCBF4 | | -17452.159 | 18111.718 | -906.310 | -62.459 | -824.877 |
| LCBF5 | | -17452.159 | -12779.588 | 906.310 | 62.459 | 723.228 |
| LCBF6 | | -17452.159 | 2666.065 | -12.643 | -0.783 | -50.825 |
| LCBF7 | | -17452.159 | 2666.065 | 12.643 | 0.783 | -50.825 |
| LCBF8 | | -12216.347 | 28680.987 | -1755.061 | -120.865 | -1349.932 |
| LCBF9 | | -12216.347 | 28680.987 | -1730.748 | -119.360 | -1349.932 |
| LCBF10 | | -12216.347 | -22893.496 | 1730.748 | 119.360 | 1252.192 |
| LCBF11 | | -12216.347 | -22893.496 | 1755.061 | 120.865 | 1252.192 |
| LCBF12 | | -16780.922 | 17415.114 | -883.609 | -60.809 | -793.151 |
| LCBF13 | | -16780.922 | 17415.114 | -859.296 | -59.304 | -793.151 |
| LCBF14 | | -16780.922 | -12288.065 | 859.296 | 59.304 | 695.411 |
| LCBF15 | | -16780.922 | -12288.065 | 883.609 | 60.809 | 695.411 |
| LCBF16 | | -9773.077 | 2314.997 | 0.000 | 0.000 | -39.096 |
| LCBF17 | | -17452.159 | 2871.498 | 0.000 | 0.000 | -70.325 |
| LCBF18 | | -11727.693 | 27723.378 | -1673.188 | -115.308 | -1313.935 |
| LCBF19 | | -11727.693 | -21788.126 | 1673.188 | 115.308 | 1184.105 |
| LCBF20 | | -17624.146 | 1772.491 | 0.000 | 0.000 | -50.825 |
| LCBF21 | | -9773.077 | 29159.203 | -1812.621 | -124.917 | -1403.930 |
| LCBF22 | | -9773.077 | -24478.260 | 1812.621 | 124.917 | 1302.280 |
| LCBF23 | | -14520.235 | 17442.694 | -906.310 | -62.459 | -824.877 |
| LCBF24 | | -14520.235 | -13448.612 | 906.310 | 62.459 | 723.228 |
| LCBF25 | | -14520.235 | 1997.041 | -12.643 | -0.783 | -50.825 |
| LCBF26 | | -14520.235 | 1997.041 | 12.643 | 0.783 | -50.825 |
| LCBF27 | | -9284.424 | 28011.963 | -1755.061 | -120.865 | -1349.932 |
| LCBF28 | | -9284.424 | 28011.963 | -1730.748 | -119.360 | -1349.932 |
| LCBF29 | | -9284.424 | -23562.520 | 1730.748 | 119.360 | 1252.192 |
| LCBF30 | | -9284.424 | -23562.520 | 1755.061 | 120.865 | 1252.192 |
| LCBF31 | | -13848.999 | 16746.090 | -883.609 | -60.809 | -793.151 |
| LCBF32 | | -13848.999 | 16746.090 | -859.296 | -59.304 | -793.151 |
| LCBF33 | | -13848.999 | -12957.089 | 859.296 | 59.304 | 695.411 |
| LCBF34 | | -13848.999 | -12957.089 | 883.609 | 60.809 | 695.411 |
| LCBF35 | | -9773.077 | 2314.997 | 0.000 | 0.000 | -39.096 |
| LCBF36 | | -14520.235 | 2202.474 | 0.000 | 0.000 | -70.325 |
| LCBF37 | | -8795.770 | 27054.354 | -1673.188 | -115.308 | -1313.935 |
| LCBF38 | | -8795.770 | -22457.150 | 1673.188 | 115.308 | 1184.105 |
| 일반 축하중 조합 | P 최대 | 20556.070 | 2441.515 | 0.000 | 0.000 | 50.825 |
| | My 최대 | 12705.001 | -23809.236 | 1812.621 | 124.917 | 1338.948 |
| | Mx 최대 | 12705.001 | 29828.227 | -1812.621 | 124.917 | 1403.930 |
| 최소 축하중 조합 | P 최소 | 8795.770 | 27054.354 | -1673.188 | 115.308 | 1313.935 |
| | My 최대 | 9773.077 | -24478.260 | 1812.621 | 124.917 | 1338.948 |
| | Mx 최대 | 9773.077 | 29159.203 | -1812.621 | 124.917 | 1403.930 |

㉣ 기둥하중조합 : 기초

■ 기둥1 기초(사용하중조합)

| 구 분 | 축력 (kN) | 교축직각 휨 (kN·m) | 교축 휨 (kN·m) | 교축전단 (kN) | 교축직각전단 (kN) |
|---|---|---|---|---|---|
| LCBS1 | -13424.737 | 2050.820 | 0.000 | 0.000 | -39.096 |
| LCBS2 | -13424.737 | 2050.820 | -9.725 | -0.602 | -39.096 |
| LCBS3 | -13424.737 | 2050.820 | 9.725 | 0.602 | -39.096 |
| LCBS4 | -13424.737 | 13932.091 | -697.162 | -48.045 | -634.521 |
| LCBS5 | -13424.737 | -9830.452 | 697.162 | 48.045 | 556.329 |
| LCBS6 | -9773.077 | 22944.790 | -1394.324 | -96.090 | -1079.946 |
| LCBS7 | -9773.077 | -18314.797 | 1394.324 | 96.090 | 1001.754 |
| LCBS8 | -13424.737 | 13932.091 | -706.887 | -48.647 | -634.521 |
| LCBS9 | -13424.737 | 13932.091 | -687.436 | -47.443 | -634.521 |
| LCBS10 | -13424.737 | -9830.452 | 687.436 | 47.443 | 556.329 |
| LCBS11 | -13424.737 | -9830.452 | 706.887 | 48.647 | 556.329 |
| LCBS12 | -9773.077 | 22944.790 | -1404.049 | -96.692 | -1079.946 |
| LCBS13 | -9773.077 | 22944.790 | -1384.598 | -95.488 | -1079.946 |
| LCBS14 | -9773.077 | -18314.797 | 1384.598 | 95.488 | 1001.754 |
| LCBS15 | -9773.077 | -18314.797 | 1404.049 | 96.692 | 1001.754 |
| LCBS16 | -13424.737 | 2208.845 | 0.000 | 0.000 | -54.096 |
| LCBS17 | -9773.077 | 2314.997 | 0.000 | 0.000 | -39.096 |
| P 최대 | 13424.737 | -9830.452 | 687.436 | 47.443 | 589.980 |
| My 최대 | 9773.077 | 22944.790 | -1404.049 | 96.692 | 1079.946 |
| Mx 최대 | 9773.077 | 22944.790 | -1404.049 | 96.692 | 1079.946 |
| Vx 최대 | 9773.077 | 22944.790 | -1404.049 | 96.692 | 1079.946 |
| Vy 최대 | 9773.077 | 22944.790 | -1384.598 | 95.488 | 1079.946 |

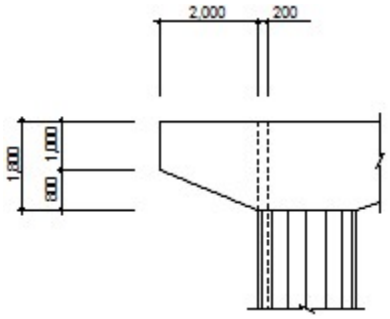
■ 기둥1 기초(계수하중조합)

| 구 분 | 축력 (kN) | 교축직각 휨 (kN・m) | 교축 휨 (kN・m) | 교축전단 (kN) | 교축직각전단 (kN) |
|---|---|---|---|---|---|
| LCBF1 | -20556.070 | 2441.515 | 0.000 | 0.000 | -50.825 |
| LCBF2 | -12705.001 | 29828.227 | -1812.621 | -124.917 | -1403.930 |
| LCBF3 | -12705.001 | -23809.236 | 1812.621 | 124.917 | 1302.280 |
| LCBF4 | -17452.159 | 18111.718 | -906.310 | -62.459 | -824.877 |
| LCBF5 | -17452.159 | -12779.588 | 906.310 | 62.459 | 723.228 |
| LCBF6 | -17452.159 | 2666.065 | -12.643 | -0.783 | -50.825 |
| LCBF7 | -17452.159 | 2666.065 | 12.643 | 0.783 | -50.825 |
| LCBF8 | -12216.347 | 28680.987 | -1755.061 | -120.865 | -1349.932 |
| LCBF9 | -12216.347 | 28680.987 | -1730.748 | -119.360 | -1349.932 |
| LCBF10 | -12216.347 | -22893.496 | 1730.748 | 119.360 | 1252.192 |
| LCBF11 | -12216.347 | -22893.496 | 1755.061 | 120.865 | 1252.192 |
| LCBF12 | -16780.922 | 17415.114 | -883.609 | -60.809 | -793.151 |
| LCBF13 | -16780.922 | 17415.114 | -859.296 | -59.304 | -793.151 |
| LCBF14 | -16780.922 | -12288.065 | 859.296 | 59.304 | 695.411 |
| LCBF15 | -16780.922 | -12288.065 | 883.609 | 60.809 | 695.411 |
| LCBF16 | -9773.077 | 2314.997 | 0.000 | 0.000 | -39.096 |
| LCBF17 | -17452.159 | 2871.498 | 0.000 | 0.000 | -70.325 |
| LCBF18 | -11727.693 | 27723.378 | -1673.188 | -115.308 | -1313.935 |
| LCBF19 | -11727.693 | -21788.126 | 1673.188 | 115.308 | 1184.105 |
| P 최대 | 20556.070 | 2441.515 | 0.000 | 0.000 | 50.825 |
| My 최대 | 12705.001 | -23809.236 | 1812.621 | 124.917 | 1338.948 |
| Mx 최대 | 12705.001 | 29828.227 | -1812.621 | 124.917 | 1403.930 |
| Vx 최대 | 12705.001 | 29828.227 | -1812.621 | 124.917 | 1403.930 |
| Vy 최대 | 12705.001 | 29828.227 | -1812.621 | 124.917 | 1403.930 |

7) 부재별 검토

① 코핑설계

㉠ 부재력 요약




lc=w1+0.1・D = 4.300m

w1:코핑연단에서 기둥 전면까지의 거리

D:기둥직경

lc:코핑 유효 내민 길이

㉡ 내민보 설계

■ 깊은 보 검토

$L_n/d$=4.728/3.100=1.525< 5.0 ☞ Deep Beam 검토 필요.

㉢ 깊은 보 설계

| 구 분 | d(mm) | 사용철근량(㎟) | $M_u$(kN · m) | $\phi M_n$(kN · m) | 안전율 |
|---|---|---|---|---|---|
| 깊은 보 휨 검토 | 2950 | D32-10EA=19060.8<br>D32-10EA=19060.8<br>D32-10EA=19060.8<br>D32-10EA=19060.8<br>= 76243.2 | 21056.803 | 54336.126 | O.K.(2.580) |

㉣ 브라켓 검토

■ 좌측 내민보

a / d = 2.364 / 2.950 = 0.801 < 1.0 ☞ 브라켓 검토 필요.

a = M / V = 19388.592 / 8201.752 = 2.364m

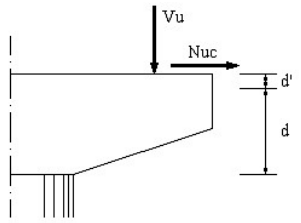
■ 우측 내민보

a / d = 2.405 / 2.950 = 0.815 < 1.0 ☞ 브라켓 검토 필요.

a = M / V = 21056.803 / 8754.179 = 2.405m

㉤ 브라켓 검토

■ 좌측




b = 2500.00mm

d = 2950.00mm : 브라켓 유효길이

d' = 250.00mm : 피복 두께

fck=24MPa

fy=300MPa

$\varphi$f=0.800:강도감소계수 (휨)

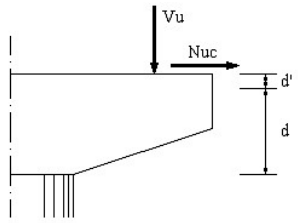
$\varphi$s=0.800:강도감소계수 (전단)

$\mu$ = 1.400 : 전단마찰계수

■ 단면검토

| 구 분 | | 단 위 | 관 계 식 | 결과 |
|---|---|---|---|---|
| 브라켓 검토 | Vu | kN | 코핑하중조합 참고 | 8201.752 |
| | Mu | kN・m | 코핑하중조합 참고 | 19388.592 |
| | a | mm | Mu/Vu | 2363.96 |
| | a/d | - | a/d | 0.801 |
| 단면력 | Nuc | kN | 0.2・Vu | 1640.350 |
| | Mu | kN・m | Vu・a + Nuc・d' | 19798.680 |
| 단면검토 | Vn | kN | 0.2・fck・b・d/1000 | 35400.000 |
| | | kN | 5.6・b・d/1000 | 41300.000 |
| 전단마찰철근량 | Avf | $mm^2$ | Vu/($\varphi$s・fy・$\mu$) | 24409.98 |
| 인장철근량 | An | $mm^2$ | Nuc/($\varphi$s・fy) | 6834.79 |
| 휨철근량 | Af | $mm^2$ | {($\varphi$f・fy2)/(1.7・fck・b)}・Af2 -($\varphi$f・d・fy)・Af+Mu=0 | 28790.66 |
| 주철근량 | As1 | $mm^2$ | Af+An | 35625.45 |
| | As2 | $mm^2$ | 2/3・Avf+An | 23108.11 |
| | Asmin | $mm^2$ | 0.04・fck/fy・b・d | 23600.00 |
| | As | $mm^2$ | max(As1,As2,Asmin) | 35625.45 |
| 필요철근량 | reqAs | $mm^2$ | max(적용 Af,As) | 35625.45 |
| 사용철근량 | useAs | $mm^2$ | 1 단 : D32@100 = 19060.80$mm^2$<br>2 단 : D32@100 = 19060.80$mm^2$<br>3 단 : D32@100 = 19060.80$mm^2$<br>4 단 : D32@100 = 19060.80$mm^2$ | 76243.20 |
| 필요수평철근량 | reqAh | $mm^2$ | 0.5・(As-An) | 14395.33 |
| 사용수평철근량 | useAh | $mm^2$ | D22-6열-5단 | 11613.00 |

■ 우측




b = 2500.00mm

d = 2950.00mm : 브라켓 유효길이

d' = 250.00mm : 피복 두께

fck=24MPa

fy=300MPa

$\varphi$f=0.800:강도감소계수 (휨)

$\varphi$s=0.800:강도감소계수 (전단)

$\mu$ = 1.400 : 전단마찰계수

■ 단면검토

| 구 분 | | 단 위 | 관 계 식 | 결과 |
|---|---|---|---|---|
| 브라켓 검토 | Vu | kN | 코핑하중조합 참고 | 8754.179 |
| | Mu | kN・m | 코핑하중조합 참고 | 21056.803 |
| | a | mm | Mu/Vu | 2405.34 |
| | a/d | - | a/d | 0.815 |
| 단면력 | Nuc | kN | 0.2・Vu | 1750.836 |
| | Mu | kN・m | Vu・a + Nuc・d' | 21494.512 |
| 단면검토 | Vn | kN | 0.2・fck・b・d/1000 | 35400.000 |
| | | kN | 5.6・b・d/1000 | 41300.000 |
| 전단마찰철근량 | Avf | $mm^2$ | Vu/($\varphi$s・fy・$\mu$) | 26054.10 |
| 인장철근량 | An | $mm^2$ | Nuc/($\varphi$s・fy) | 7295.15 |
| 휨철근량 | Af | $mm^2$ | {($\varphi$f・fy2)/(1.7・fck・b)}・Af2 -($\varphi$f・d・fy)・Af+Mu=0 | 31338.65 |
| 주철근량 | As1 | $mm^2$ | Af+An | 38633.80 |
| | As2 | $mm^2$ | 2/3・Avf+An | 24664.55 |
| | Asmin | $mm^2$ | 0.04・fck/fy・b・d | 23600.00 |
| | As | $mm^2$ | max(As1,As2,Asmin) | 38633.80 |
| 필요철근량 | reqAs | $mm^2$ | max(적용 Af,As) | 38633.80 |
| 사용철근량 | useAs | $mm^2$ | 1 단 : D32@100 = 19060.80$mm^2$<br>2 단 : D32@100 = 19060.80$mm^2$<br>3 단 : D32@100 = 19060.80$mm^2$<br>4 단 : D32@100 = 19060.80$mm^2$ | 76243.20 |
| 필요수평철근량 | reqAh | $mm^2$ | 0.5・(As-An) | 15669.33 |
| 사용수평철근량 | useAh | $mm^2$ | D22-6열-5단 | 11613.00 |

ⓑ 외측지점부 보 설계

| 구 분 | d(mm) | 사용철근량(㎟) | $M_u$(kN · m) | $\phi M_n$(kN · m) | 안전율 |
|---|---|---|---|---|---|
| 보 | 2376.25 | D32-10EA=19060.8<br>D32-10EA=19060.8<br>D32-10EA=19060.8<br>D32-10EA=19060.8<br>= 76243.2 | 6952.173 | 45781.552 | O.K.(6.585) |

ⓐ 캔틸레버부 종방향 검토

| 구 분 | d(mm) | 사용철근량(㎟) | $M_u$(kN · m) | $\phi M_n$(kN · m) | 안전율 |
|---|---|---|---|---|---|
| 보 | 1869.03 | D22-24EA+D32-60EA<br>=56942.4 | 93.089 | 25175.926 | O.K.(270.45) |

② 기둥검토

㉠ 부재력 요약

■ 기둥 1

| 구 분 | | | 축력(kN) | | 모멘트(kN・m) | | | | V(kN) | δ (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 장기지속축력 | 전체축력 | Top | | Bottom | | | |
| | | | | | Sway | Non Swat | Sway | Non Swat | | |
| 일반 | Pmax | 교축 | 12705.001 | 20556.070 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.00 |
| | | 직각 | | | 0.000 | 2331.123 | 110.391 | 2331.123 | 50.825 | 2.15 |
| | Mymax | 교축 | 12705.001 | 12705.001 | 211.451 | 0.000 | 1812.621 | 0.000 | 124.917 | -1.19 |
| | | 직각 | | | -9306.386 | 2899.104 | -26708.340 | 2899.104 | 1338.948 | -16.79 |
| | Mxmax | 교축 | 12705.001 | 12705.001 | -211.451 | 0.000 | -1812.621 | 0.000 | 124.917 | 1.19 |
| | | 직각 | | | 9306.386 | 2899.104 | 26929.123 | 2899.104 | 1403.930 | 22.13 |
| 최소 | Pmin | 교축 | 8795.770 | 8795.770 | -195.185 | 0.000 | -1673.188 | 0.000 | 115.308 | 1.10 |
| | | 직각 | | | 8590.510 | 2007.072 | 25047.282 | 2007.072 | 1313.935 | 19.92 |
| | Mymax | 교축 | 9773.077 | 9773.077 | 211.451 | 0.000 | 1812.621 | 0.000 | 124.917 | -1.19 |
| | | 직각 | | | -9306.386 | 2230.080 | -26708.340 | 2230.080 | 1338.948 | -17.40 |
| | Mxmax | 교축 | 9773.077 | 9773.077 | -211.451 | 0.000 | -1812.621 | 0.000 | 124.917 | 1.19 |
| | | 직각 | | | 9306.386 | 2230.080 | 26929.123 | 2230.080 | 1403.930 | 21.52 |

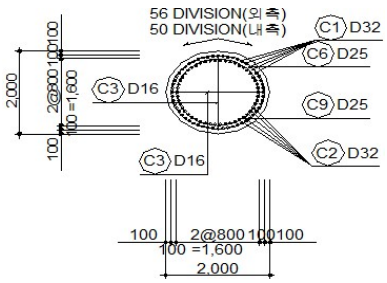
■ 설계요약

◦기둥 1

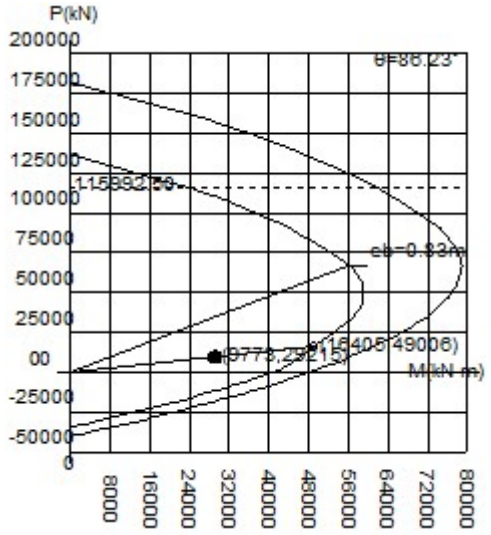
| 구 분 | | Pu | δMy | δMx | δMu | CASE |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 일반조합 | Pmax | 20556.070 | 2441.515 | 0.000 | 2441.515 | LCBF1 |
| | Mymax | 12705.001 | 23809.236 | 1812.621 | 23878.134 | LCBF3 |
| | Mxmax | 12705.001 | 29828.227 | 1812.621 | 29883.251 | LCBF2 |
| 최소 축력조합 | Pmin | 8795.770 | 27054.354 | 1673.188 | 27106.044 | LCBF37 |
| | Mymax | 9773.077 | 24478.260 | 1812.621 | 24545.280 | LCBF22 |
| | Mxmax | 9773.077 | 29159.203 | 1812.621 | 29215.487 | LCBF21 |

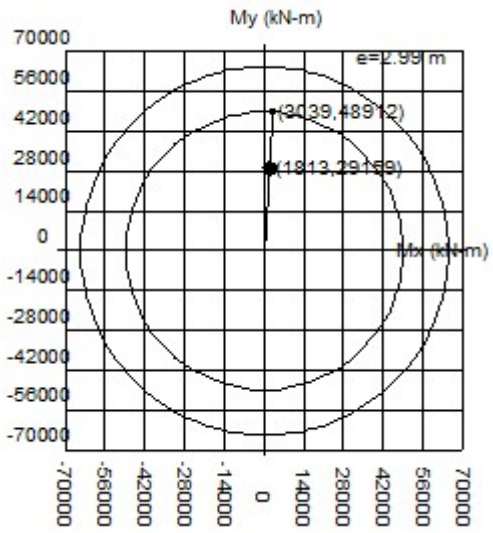
■ 기둥 주철근량 검토

◦기둥 1

| 구 분 | 사 용 철 근 | 조립도 |
|---|---|---|
| 1 단 | D32× 88EA |  |
| 2 단 | D32× 82EA | |
| 계 | 135014.00mm² - 1.910% | |
| 유효단면적 $A_{eff}$=3534291.74 mm² | $A_{eff}$=Pu/{φ・0.80・(0.85fck+0.01fy)} (단, $A_{eff}$>1/2・Ag) | |






Pu=21776.408kN ≤ φPn=86994.374kN ····· OK

δMux=0.000kN・m ≤ φMnx=0.001kN・m ····· OK

δMuy=6524.828kN・m ≤ φMny=32065.122kN・m ····· OK

δMu=6524.828kN・m ≤ φMn=32065.122kN・m ····· OK

③ 기초설계

㉠ 직접기초 안정검토

| 구분 | 전도에 대한 검토 | | | 활동에 대한 검토 | | | 지지력에 대한 검토 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 편심 (m) | 허용편심 (m) | 안전율 | 마찰력/ 수평력 | 허용 안전율 | 안전율 | 작용 지지력 | 허용 지지력 | 안전율 |
| 교축 | 0.073 | 1.667 | O.K. (22.836) | 179.785 | 1.500 | 1.5이상 | 265.846 | 700.000 | O.K. (2.633) |
| 교축지각 | 1.142 | 1.667 | O.K. (1.460) | 16.096 | 1.500 | 1.5이상 | 378.361 | 700.000 | O.K. (1.850) |

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

㉡ 기초단면력 검토

| 위 치 | Mu (kN・m) | φMn (kN・m) | Mu/ φMn | reqAs ($mm^2$ ) | useAs($mm^2$ ) | | w (mm) | wa (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 캔틸레버 (교축) | 2497.590 | 3853.445 | 64.8% | 5511.16 | D29@100 | 6424.00 | 0.14 | 0.43 |
| 캔틸레버 (교축직각) | 3153.349 | 3853.445 | 81.8% | 6982.06 | D29@100 | 6424.00 | 0.20 | 0.43 |

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

④ 검토 결과

교각 구조물에 대한 안정성 검토 결과 최소 안전율 1.0이상으로 나와 구조적인 안전성을 확보한 것으로 판단된다.

## 5.4.3 내진설계 검토

1) 교대

① 내진등급 :내진1등급(가설위치 : 경기도)

② 가속도 계수 : A = 0.14

③ 지반계수 : S = 1.2(지반 Ⅱ)

④ 지진시 안정계산 검토

| 구 분 | 연직력(kN) | 수평력(kN) | M(저항) | M(전도) |
|---|---|---|---|---|
| 하중 | 857.12[주1)] | 346.90 | 2544.97 (kN・m) | 1095.56 (kN・m) |

주1) 기존계산서 3. 작용하중계산 및 안정검토 중 CASE-4 참조

㉠ 전도에 대한 검토

■ Fs = 2544.98 / 1095.57 = 2.32 > 1.2 안정

㉡ 활동에 대한 검토

■ Fs = 285.89 / 346.91 = 0.82 < 1.2 불안정

㉢ 말뚝검토(ϕ508)( '말뚝지지력 산정' 부분 참조)

■ 지진시 지지력 = 1197.02 kN

■ Fs = 1197.02 / 601.32 = 1.991 안정

2) 교각

① 교각형식 : T형 교각

② 상부형식 : 5경간 STEEL BOX교

③ 기초형식 : 직접기초

④ 내진조건

㉠ 가속도 계수 : A = 0.14

㉡ 내진등급 : 내진1등급

㉢ 지반계수 : S = 1.2(지반 Ⅱ)

㉣ 응답수정계수(R)

■ 하부구조

◦ 교각 = 3.0

■ 연결부분

◦ 기초 = 1.5

◦ 상부구조와 교대 = 1.0

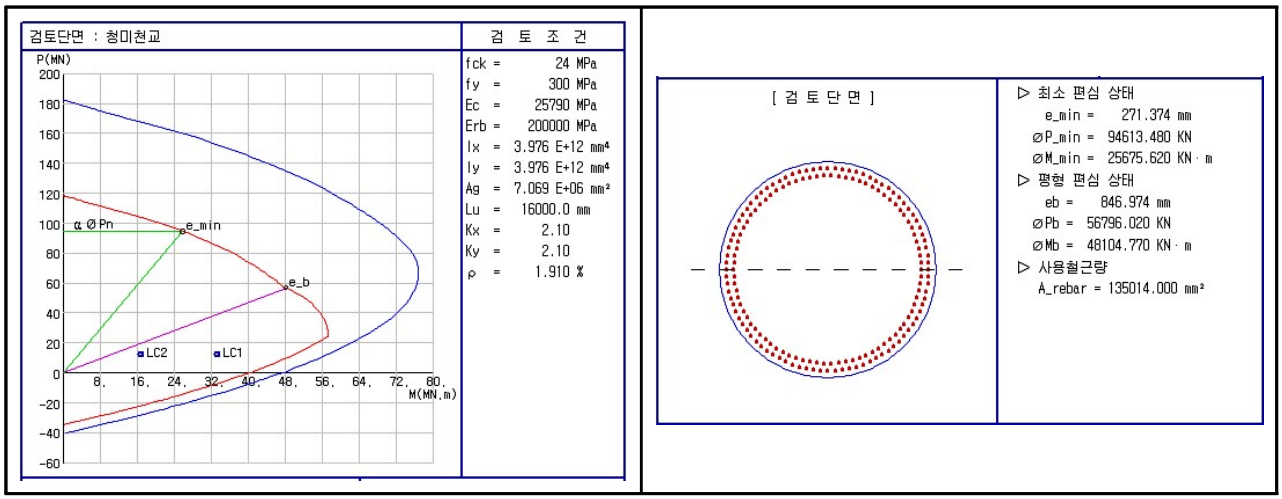
ⓑ 해석방법 : 단일모드 스펙트럼 해석법

⑤ 단면력 정리 및 검토

| 구 분 | | $P_u$(kN) | $\phi P_N$ (kN) | $P_u$ / $P_N$ | $M_u$ (kN·m) | $\phi M_n$ (kN·m) | $M_u$ / $\phi M_n$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CASE(4) | 교축방향 | 12210.09주2) | 20299.78주3) | O.K. (1.663) | 33059.0주2) | 54961.95주3) | O.K. (1.663) |
| | 교축 직각방향 | | 40797.34주3) | O.K. (3.341) | 16567.0주2) | 55354.99주3) | O.K. (3.341) |

주2) 기존계산서 '4)교각의 설계' 중 5)하중계산 참조
주3) 구조계산 프로그램(RC Mania)을 이용하여 나온 결과 값

⑥ P-M 상관도




3) 하부구조 내진설계 검토결과

교대부 검토결과 내진시 말뚝에 대한 지지력은 확보되어 있다.(안전율 Fs =1.991)

교각부 검토결과 내진시 단면력 검토결과 안전율 1.663으로 구조적으로 안전성을 확보하고 있다.

# 5.5 안전성평가 결과요약

## 5.5.1 양평방향

### 가. 상부구조

1) 바닥판 검토결과

청미천교의 바닥판에 대한 안전성 검토 결과, 최소 안전율은 1.148로 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

2) 강박스 거더 검토결과

청미천교의 허용응력설계법에 의한 강박스 거더의 응력 검토결과, 거더 상·하연에 발생되는 최대응력은 허용응력 범위 이내로서 최소 안전율이 1.017로 검토되어 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

한편, 허용응력법에 의한 강박스 거더의 휨응력과 전단응력에 의한 합성응력 검토결과, 최대 부모멘트 및 최대전단력 발생구간인 교각 지점부에서 합성응력이 허용기준치 1.2를 초과하지 않는 것으로 검토되어 안전성을 확보한 것으로 판단된다.

3) 받침용량 검토결과

청미천교의 받침용량에 대한 검토결과, 교량받침용량은 최대 발생 반력값 보다 큰 것으로 검토되어 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

### 나. 하부구조

1) 교대 검토결과

교대의 안전성 검토결과, 강도설계법에 의한 최소 안전율이1.711로 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

2) 교각 검토결과

교각(P6)에 대해서 안전성 검토를 실시한 결과, 최소 안전율은 1.0 이상으로 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

## 5.5.2 마산방향

### 가. 상부구조

1) 바닥판 검토결과

청미천교의 바닥판에 대한 안전성 검토 결과, 최소 안전율은 1.366으로 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

2) 강박스 거더 검토결과

청미천교의 허용응력설계법에 의한 강박스 거더의 응력 검토결과, 거더 상·하연에 발생되는 최대응력은 허용응력 범위 이내로서 최소 안전율이 1.088로 검토되어 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

한편, 허용응력법에 의한 강박스 거더의 휨응력과 전단응력에 의한 합성응력 검토결과, 최대 부모멘트 및 최대전단력 발생구간인 교각 지점부에서 합성응력이 허용기준치 1.2를 초과하지 않는 것으로 검토되어 안전성을 확보한 것으로 판단된다.

3) 받침용량 검토결과

청미천교의 받침용량에 대한 검토결과, 교량받침용량은 최대 발생 반력값 보다 큰 것으로 검토되어 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

### 나. 하부구조

1) 교대 검토결과

교대의 안전성 검토결과, 강도설계법에 의한 최소 안전율이1.711로 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

2) 교각 검토결과

교각(P5)에 대해서 안전성 검토를 실시한 결과, 최소 안전율은 1.0 이상으로 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

# 제6장 종합평가 및 안전등급지정

## 6.1 종합평가

## 6.2 안전등급 지정

# 제6장 종합평가 및 안전등급지정

## 6.1 종합평가

### 6.1.1 개 요

시설물의 종합평가는 구조물 부재의 결함 및 손상에 대하여 평가기준 및 상태평가기법에 따라 수행한 상태평가 결과와 시설물의 안전성평가 결과를 고려하여 개별시설물의 종합평가 결과를 결정한다.

교량 등 각 시설물에 대한 종합평가는 상태평가만 실시하거나 또는 상태평가와 안전성평가를 각각 실시한 후 이들 결과를 기초로 종합하여 이루어진다.

즉, 상태평가만 실시하는 경우에는 상태평가 결과를 종합평가 결과로 갈음하여 상태평가 결과가 종합평가 결과로 결정되지만 상태평가와 안전성평가가 동시에 실시한 경우에는 상태평가 결과와 안전성평가 결과를 비교·검토하여 최종적인 종합평가 결과를 부여하게 된다.

따라서 본 장에서는 상태평가와 안전성평가가 동시에 실시되는 경우에 대하여 상태평가 결과와 안전성평가 결과를 객관적이고 정량적이며, 통일성 있는 종합평가가 이루어지고 합리적인 종합평가 결과가 결정될 수 있도록 종합평가 기준을 설정하고 그 평가방법 및 절차를 수립한다.

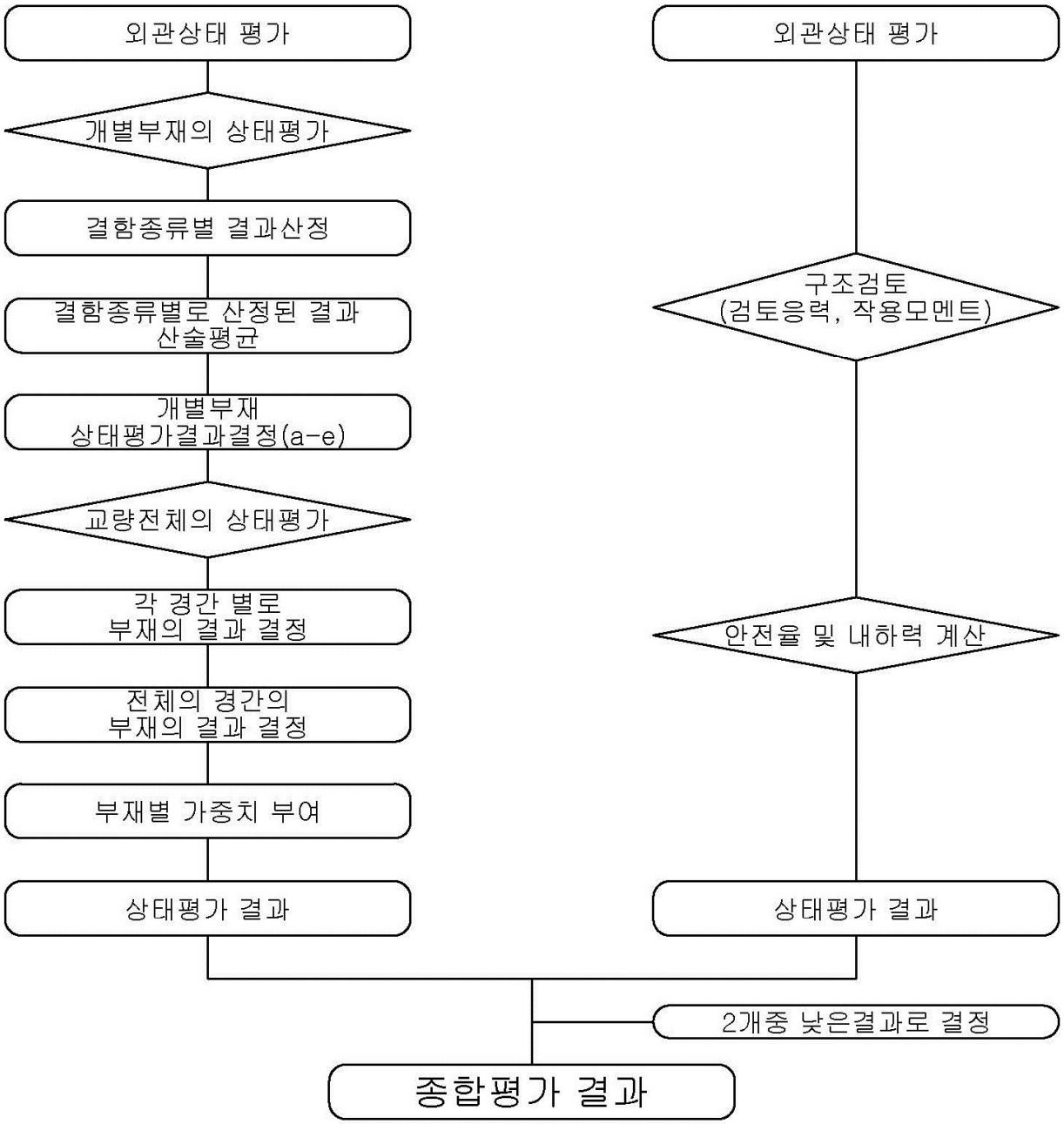
### 6.1.2 종합평가 기준

시설물의 상태평가와 안전성평가를 실시한 경우에는 각각의 결과로 부여된 상태평가 결과와 안전성평가 결과를 종합적으로 비교・검토하여 그 시설물에 대한 종합평가를 결정한다.

### 6.1.3 종합평가 결과 산정절차

외관조사에 따른 상태평가 결과와 안전성 검토에 근거한 안전성평가 결과 중 낮은 결과를 시설물의 종합평가 결과로 결정한다.

종합평가 결과의 산정절차는【그림 6-1】에 나타내었다.




【그림 6-1】종합평가 결과 산정 흐름도

## 6.1.4 종합평가 결과

대상 구조물의 종합평가는『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토해양부, 2010.12.)』에 의거 상태평가 결과와 안전성평가 결과를 비교하여 낮은 결과를 시설물의 종합평가 결과로 결정하였다.

### 가. 양평방향

청미천교(양평)의 상태평가 결과는 “B”, 안전성평가 결과는 “A”로 평가되어 본 시설물의 종합평가 결과는 이중 낮은 결과인 “B”로 평가되었다.

【표 6-1】청미천교(양평) 종합평가 결과

| 구조물명 | 상태평가 결과 | | 안전성평가 결과 | | 종합평가 결과 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 환산결함도점수 | 기준 | S·F | 기준 | |
| 청미천교(양평) | 0.234 | B | 1.017(거더)<br>1.148(바닥판) | A | B |
| 종합평가 | •외관조사 및 내구성조사에 의한 상태평가 결과는 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능발휘에 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태 “B”로 평가됨<br>•안전성 평가결과 최소 안전율 1.0이상으로 “A”로 평가됨<br>•상태평가 및 안전성 평가결과를 통한 종합평가 결과 청미천교(양평)은 “B”로 평가됨 | | | | |

### 나. 마산방향

청미천교(마산)의 상태평가 결과는 “B”, 안전성평가 결과는 “A”로 평가되어 본 시설물의 종합평가 결과는 이중 낮은 결과인 “B”로 평가되었다.

【표 6-2】청미천교(마산) 종합평가 결과

| 구조물명 | 상태평가 결과 | | 안전성평가 결과 | | 종합평가 결과 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 환산결함도점수 | 기준 | S·F | 기준 | |
| 청미천교(마산) | 0.258 | B | 1.088(거더)<br>1.366(바닥판) | A | B |
| 종합평가 | •외관조사 및 내구성조사에 의한 상태평가 결과는 주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태 “B”로 평가됨<br>•안전성 평가결과 최소 안전율 1.0이상으로 “A”로 평가됨<br>•상태평가 및 안전성 평가결과를 통한 종합평가 결과 청미천교(마산)은 “B”로 평가됨 | | | | |

# 6.2 안전등급 지정

정밀안전진단을 실시하는 사람은 상태평가 및 안전성평가 등을 종합적으로 평가하여 「법」 제10조의2 및「영」제11조의5에 따라서 당해 시설물의 안전등급을 지정하여야 하며, 정밀안전진단을 실시한 책임기술자는 당해 시설물에 대한 종합적으로 평가한 결과로부터 안전등급을 지정한다. 다만, 정밀안전진단 실시결과 기존의 안전등급보다 상향하여 조정할 경우에는 해당 시설물에 대한 보수·보강 조치 등 그 사유가 분명하여야 한다.

【표 6-3】 안전등급 기준

| 안전등급 | 시설물의 상태 | 비 고 |
|---|---|---|
| A(우수) | ■ 문제점이 없는 최상의 상태 | |
| B(양호) | ■ 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능발휘에 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태 | |
| C(보통) | ■ 주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태 | |
| D(미흡) | ■ 주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태 | |
| E(불량) | ■ 주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태 | |

## 6.2.1 안전등급 지정

청미천교(양평, 마산)에 대한 외관조사 및 구조안전성평가결과 시설물의 상태는『보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태』로 안전등급은 B등급으로 평가되었다.

■ **청미천교(양평) 안전등급 : B등급(양호)**

■ **청미천교(마산) 안전등급 : B등급(양호)**

# 제7장 보수 · 보강 및 유지관리 방안

7.1 개 요
7.2 보수 · 보강 방안
7.3 보수 · 보강 개략공사비
7.4 유지관리 방안

# 제7장 보수·보강 및 유지관리 방안

## 7.1 개요

청미천교(양평, 마산)는 설계하중 DB-24(DL-24)의 고속국도 교량으로서, 2002년에 준공되어 약 15년 정도 공용 중에 있으며, 경기도 여주시 점동면 원부리 (중부내륙선 256.010km 지점)에 위치하고 있는 방향별 2차로 교량이다.

본 교량은 총폭 12.15m, 총연장 450.0m(5@45+4@50.0)이며, 상부구조는 Steel Box Girder로써, 하부구조는 역T형 교대, T형 교각으로 구성되어 있고 기초 형식은 직접기초와 강관말뚝기초이며, 교량받침은 포트받침, 신축이음 장치는 강핑거조인트(양평방향 A1, P5, A2, 마산방향 A1, A2)와 레일조인트(마산방향 P5)로 시공되었다.

본 장에서는 정밀안전진단 결과에 의한 결함 및 손상에 대한 원인을 검토하고 그 결과를 토대로 교량의 안전성과 건전성을 유지하기 위한 보수·보강방법을 제안하고자 한다. 이러한 보수·보강방법의 기본방향은 장기적으로 설계 내하력을 유지시키고 내구성 저하를 방지하는데 그 목적이 있다. 본 교량의 보수·보강방안에 대한 검토사항은 기존자료의 검토를 통한 보수·보강 이력을 조사하고 진단 결과에 따른 보수·보강 범위를 선정하며, 이에 따른 공법선정, 재료의 선정 등을 검토하여 보수·보강 긴급우선순위에 따른 보수시기를 결정하여야 한다.【표 7-1】은 시설물의 보수·보강방안 수립에 따른 일반적인 검토사항을 언급하였다.

【표 7-1】보수·보강 방안 수립에 따른 검토사항

| 검 토 순 서 | 내 용 |
|---|---|
| 기존자료분석 | 기존 점검 및 진단자료 분석, 설계도서 조사 |
| 보수·보강 이력검토 | 사용기간중 시설물의 보수·보강이력검토 |
| 보수·보강의 범위 선정 | 손상규모에 따른 보수여부 결정<br>구조물의 사용년한을 고려한 보수·보강 범위 산정 |
| 공법의 선정 | 구조물의 기능에 따른 공법선정<br>구조물의 주변환경 및 형식을 고려하여 공법선정<br>공법의 시공성 및 경제성 고려하여 결정 |
| 보수재료의 선정 | 기존의 재료와 물성이 같은 보수재 선택<br>구조물의 종류 및 환경조건 고려<br>구조물의 사용년한을 고려한 보수재 선택 |
| 보수시기 결정 | 구조적인 안전성, 내구성, 사용성, 결함, 열화의 중요도에 따라<br>우선순위 부여 |

# 7.2 보수・보강 방안

## 7.2.1 보수・보강 우선순위 결정

본 교량에 대한 정밀안전진단을 수행한 결과, 본 구조물은 시공시 시공 정밀도의 저하로 인하여 발생된 구조물의 결함(Defect)과 공용 중 시간의 경과와 주변의 환경인자에 의한 재료의 열화에 의한 손상(Damage)이 발생하고 있는 것으로 조사되었다.

진단시 조사된 유간부족, 균열, 단면결손 등의 손상 및 결함에 대해서는 가능한 한 조속한 보수를 실시하는 것이 원칙이나, 경제적이고 효율적인 보수·보강 작업을 위해 손상 및 결함이 구조물의 안전성에 미치는 영향을 고려하여 다음과 같이 우선순위를 부여하였다.

【표 7-2】 보수・보강 우선순위 결정 기준

| 구 분 | 순 위 | 내 용 |
|---|---|---|
| 단 기 | 1순위 | • 구조물의 거동에 지장을 초래하여 구조적인 문제를 유발시킬 수 있는 손상<br>• 하부 차량과 통행인의 안전에 유해를 일으킬 수 있는 손상<br>• 『시설물의 안전관리에 관한 특별법』 제12조(중대한 결함)의 “대통령이 정하는 중대한 결함”에 포함되는 손상<br>- 교각의 부등침하<br>- 교량받침의 파손<br>- 철근콘크리트 시설물의 염해 또는 중성화에 따른 내력손실<br>- 구조적 결함<br>• 초기수준이상으로 개선할 필요가 있는 손상<br>• 방치시 교량의 안전성에 영향을 미치는 손상 |
| 중 기 | 2순위 | • 철근부식에 의한 내하력 저하가 우려되거나 철근부식 가능성이 있는 손상<br>• 실용상 지장이 없는 성능까지 회복하여야 할 손상 |
| 장 기 | 3순위 | • 즉각적인 보수는 요구되지 않지만 내구성, 기능성, 사용성 저하방지를 위한 보수가 필요한 경우<br>• 현상유지(진행억제)를 위해 필요로 하는 대책 |
| | 지속 관찰 | • 발생된 손상이 경미하여, 지속관찰을 통한 점검이 필요한 경우<br>• 부분적 보수보다는 향후 전체적인 보수 및 개량이 필요한 경우 (교면포장, 거더 내·외부, 신축이음장치) |

## 7.2.2 보수・보강 우선순위 결정

보수・보강 우선순위 선정기준 및 판단근거, 보수・보강방법에 대한 공법 비교검토, 시공 시 유의사항 등은 공통편에 수록하였다.

### 가. 양평방향

| 현장조사 및 시험 | 안전성평가 결과 |
|---|---|
| ■부재별 현장조사 결과<br>– 바닥판 : 균열, 망상균열, 들뜸, 파손, 백태, 고무재 탈락, 녹발생<br>– 강거더 : 도장박리, 부식, 볼트부식, 이물질퇴적, Pit<br>– 가로보 및 세로보 : 도장박리, 부식<br>– 하부구조 : 균열, 망상균열, 들뜸, 박락, 박리, 백태, 보수부 들뜸, 침식, 파손, 녹발생 이물질퇴적, 잡철물 부식, 누수흔적, 표면오염, 점검로 볼트부식 등<br>– 교량받침 : 받침 본체 부식, 낙교방지시설 고무재탈락, 볼트부식, 볼트이완, 균열, 철근노출, 파손, 여유량부족<br>– 신축이음 : 유간토사퇴적, 커버플레이트 탈락, 균열<br>– 교면포장 : 마모, 소성변형, 파손, 패임, 포장균열<br>– 배수시설 : 배수관 길이부족, 볼트탈락, 유도배수관 설치필요<br>– 방호벽, 중앙분리대 : 균열, 망상균열, 박락, 박리, 백태, 재료분리, 철근노출, 파손, 충돌흔적, 녹발생, 잡철물 부식<br>■현장시험 결과 : 양호<br>■**상태평가 결과 : B(0.234)** | ■상부구조 안전성검토<br>– 강거더 : 최소안전율(SF)=1.017<br>– 바닥판 : 최소안전율(SF)=1.148<br>■받침용량<br>– 최대반력 < 받침용량<br>■하부구조 안전성검토<br>– 강도설계법(A1) : 최소안전율(SF)=1.711<br>– 강도설계법(P1) : 최소안전율(SF)=1.0이상<br>■**안전성평가 결과 : A** |

| 1순위 | 2순위 | 3순위 |
|---|---|---|
| ■균열(Cw=0.3㎜이상)<br>■바닥판 들뜸 | ■강거더 : 부식, 도장박리<br>■교량받침 : 부식, 철근노출<br>■단면손상(박락, 파손 등) | ■망상균열(Cw=0.3㎜미만)<br>■균열백태, 백태<br>■이물질 퇴적, 조류배설물(청소)<br>■커버플레이트 손상 재설치<br>■배수시설 손상<br>■방호벽, 중앙분리대 : 단면손상 |

【그림 7-1】양평방향 보수・보강 우선순위 결정

## 나. 마산방향

| 현장조사 및 시험 | 안전성평가 결과 |
|---|---|
| ■ 부재별 현장조사 결과<br>– 바닥판 : 균열, 망상균열, 들뜸, 백태, 파손, 고무재탈락, 녹발생<br>– 강거더 : 도장박리, 부식, 이물질퇴적, Pit, 변형<br>– 가로보 및 세로보 : 도장박리, 부식<br>– 하부구조 : 균열, 망상균열, 철근노출, 들뜸, 박락, 박리, 재료분리, 파손, 누수흔적, 보호블럭 파손 등<br>– 교량받침 : 받침부식, 도장박리, 솔플레이트부식 낙교방지시설 고무재탈락, 볼트길이부족, 부식, 균열, 철근노출, 파손, 재료분리, 여유량 부족<br>– 신축이음 : 본체부식, 변형, 유간토사퇴적, 커버플레이트 탈락 및 볼트풀림, 균열, 파손<br>– 교면포장 : 포장균열, 망상균열, 파손, 패임, 포트홀, 이물질 용입<br>– 배수시설 : 배수관 길이부족, 유도배수관 설치필요, 배수관 탈락<br>– 방호벽, 중앙분리대 : 균열, 망상균열, 박락, 백태, 재료분리, 파손, 충돌흔적, 방음벽 지주부식, 방음벽 파손 및 부식, 출입문 부식<br>■ 현장시험 결과 : 양호<br>■ **상태평가 결과 : B(0.258)** | ■ 상부구조 안전성검토<br>– 강거더 : 최소안전율(SF)=1.088<br>– 바닥판 : 최소안전율(SF)=1.366<br>■ 받침용량<br>– 최대반력 < 받침용량<br>■ 하부구조 안전성검토<br>– 강도설계법(A1) : 최소안전율(SF)=1.711<br>– 강도설계법(P1) : 최소안전율(SF)=1.0이상<br>■ **안전성평가 결과 : A** |

| 1순위 | 2순위 | 3순위 |
|---|---|---|
| ■ 균열(Cw=0.3㎜이상)<br>■ 바닥판 들뜸 | ■ 신축이음 : 후타재 파손<br>■ 배수시설 손상<br>■ 바닥판하면 : 파손<br>■ 받침장치 : 도장박리, 부식, 콘크리트 단면손상 등<br>■ 하부구조 : 파손, 들뜸, 박락, 박리, 재료분리, 침식, 철근노출 등 | ■ 교면포장 망상균열, 파손, 패임, 포장균열, 포트홀, 이물질 용입 등<br>■ 이물질 퇴적, 조류배설물(청소)<br>■ 커버플레이트 손상 재설치<br>■ 배수시설 손상<br>■ 강거더 : 도장박리, 부식 등<br>■ 망상균열, 백태 등 표면처리손상<br>■ 방호벽, 중앙분리대 : 단면손상 |

【그림 7-2】 마산방향 보수·보강 우선순위 결정

## 7.2.3 결함내용별 보수·보강 방안

### 가. 양평방향

【표 7-3】 양평방향 - 보수·보강 일람표

| 구 분 | 손상내용 | 단위 | 개소 | 물량 | 보수·보강방안 | 우선순위 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 바닥판 | •균열(Cw=0.3㎜미만) | m | 419 | 946.40 | 지속관찰 | - |
| | •균열(Cw=0.3㎜,들뜸) | m | 1 | 3.00 | 방청 후 면보수 | 1 |
| | •들뜸 | ㎡ | 5 | 1.03 | 방청 후 면보수 | 1 |
| | •백태 | ㎡ | 28 | 1.17 | 표면처리보수 | 3 |
| | •파손 | ㎡ | 3 | 0.27 | 단면보수 | 2 |
| | •고무재 탈락 | m | 8 | 33.50 | 지속관찰 | - |
| | •녹발생 | ㎡ | 2 | 0.18 | 지속관찰 | - |
| Steel Box 거더 내부 | •도장박리 | ㎡ | 13 | 0.36 | 도장보수(내부) | 2 |
| | •부식 | ㎡ | 7 | 0.12 | 도장보수(내부) | 2 |
| | •볼트부식 | ㎡ | 2 | 0.02 | 도장보수(내부) | 2 |
| | •Pit | 개소 | - | 47 | 지속관찰 | - |
| | •이물질 퇴적 | ㎡ | 6 | 12.52 | 청소 및 도장보수(내부) | 3 |
| Steel Box 거더 외부 | •도장박리 | ㎡ | 54 | 1.86 | 도장보수(외부) | 2 |
| | •부식 | ㎡ | 158 | 15.74 | 도장보수(외부) | 2 |
| | •긁힘 | ㎡ | 6 | 0.16 | 도장보수(외부) | 2 |
| | •변형 | m | 1 | 0.30 | 지속관찰 | - |
| | •볼트부식 | ㎡ | 9 | 0.09 | 도장보수(외부) | 2 |
| 가로보 및 세로보 | •도장박리 | ㎡ | 3 | 0.06 | 도장보수(외부) | 2 |
| | •부식 | ㎡ | 11 | 0.25 | 도장보수(외부) | 2 |
| 교대 | •균열(Cw=0.3㎜미만) | m | 44 | 38.60 | 지속관찰 | - |
| | •균열(Cw=0.3㎜) | m | 1 | 2.80 | 주입보수 | 1 |
| | •망상균열 | ㎡ | 1 | 11.20 | 표면처리보수 | 2 |
| | •들뜸 | ㎡ | 7 | 3.00 | 단면보수 | 3 |
| | •박락 | ㎡ | 12 | 0.13 | 단면보수 | 2 |
| | •박리 | ㎡ | 1 | 1.50 | 단면보수 | 2 |
| | •백태 | ㎡ | 1 | 0.03 | 표면처리보수 | 3 |
| | •보수부들뜸 | ㎡ | 1 | 0.09 | 단면보수 | 2 |
| | •이물질퇴적 | ㎡ | 1 | 1.80 | 청소 | 3 |
| | •잡철물부식 | ㎡ | 6 | 0.06 | 지속관찰 | - |
| | •누수흔적 | ㎡ | 2 | 4.40 | 지속관찰 | - |
| | •표면오염 | ㎡ | 4 | 11.13 | 지속관찰 | - |

【표 7-3】 양평방향 결함내용별 보수·보강 방안(계속)

| 구 분 | | 손상내용 | 단위 | 개소 | 물량 | 보수・보강방안 | 우선순위 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 교각 | | •균열(Cw=0.3㎜미만) | m | 212 | 197.80 | 지속관찰 | - |
| | | •균열(Cw=0.3㎜) | m | 1 | 0.80 | 주입보수 | 1 |
| | | •망상균열 | ㎡ | 47 | 111.64 | 표면처리보수 | 3 |
| | | •박락 | ㎡ | 2 | 0.04 | 단면보수 | 2 |
| | | •백태 | ㎡ | 2 | 0.02 | 표면처리보수 | 3 |
| | | •재료분리 | ㎡ | 3 | 0.26 | 단면보수 | 2 |
| | | •침식 | ㎡ | 2 | 14.40 | 단면보수 | 2 |
| | | •파손 | ㎡ | 4 | 0.08 | 단면보수 | 2 |
| | | •녹발생 | ㎡ | 16 | 0.16 | 지속관찰 | - |
| | | •누수흔적 | ㎡ | 1 | 1.20 | 지속관찰 | - |
| | | •점검로 볼트부식 | 개소 | 65 | 65 | 지속관찰 | - |
| | | •표면오염 | ㎡ | 2 | 1.50 | 지속관찰 | - |
| 교량받침 | 본체 | •부식 | ㎡ | 6 | 0.63 | 도장보수(외부) | 2 |
| | | •솔플레이트 부식 | ㎡ | 8 | 2.04 | 도장보수(외부) | 2 |
| | | •낙교방지시설 고무재탈락 | m | 4 | 2.00 | 지속관찰 | - |
| | | •낙교방지시설 볼트부식 | ㎡ | 56 | 0.56 | 도장보수(외부) | 2 |
| | | •낙교방지시설 볼트이완 | 개소 | 1 | 1 | 지속관찰 | - |
| | | •낙교방지시설 부식 | ㎡ | 1 | 0.24 | 도장보수(외부) | 2 |
| | 받침몰탈콘크리트 | •균열(Cw=0.3㎜미만) | m | 17 | 3.00 | 지속관찰 | 4 |
| | | •철근노출 | ㎡ | 6 | 0.07 | 단면보수(방청) | 2 |
| | | •파손 | ㎡ | 2 | 0.06 | 단면보수 | 2 |
| 신축이음 | 본체 | •유간토사퇴적 | m | 2 | 12.20 | 청소 | 3 |
| | | •커버플레이트 탈락 | 개소 | - | 2 | 재설치 | 3 |
| | 후타재 | •균열(Cw=0.3㎜미만) | m | 31 | 12.60 | 표면처리보수 | 3 |
| 교면포장 | | •마모 | ㎡ | 3 | 19.80 | 팻칭보수 | 3 |
| | | •소성변형 | ㎡ | 9 | 218.00 | 포장절삭 | 3 |
| | | •파손 | ㎡ | 1 | 0.09 | 팻칭보수 | 3 |
| | | •패임 | ㎡ | 7 | 0.84 | 팻칭보수 | 3 |
| | | •포장균열 | m | 13 | 209.00 | 실링보수 | 3 |
| 배수시설 | | •배수관 길이부족 | 개소 | - | 2 | 재설치 | 3 |
| | | •배수관 볼트탈락 | 개소 | - | 1 | 재설치 | 3 |
| | | •유도배수관설치 필요 | 개소 | - | 3 | 배수홀 파이프설치 | 3 |
| | | •곡관 탈락 | 개소 | - | 1 | 재설치 | 3 |
| 방호벽, 중앙분리대 | | •균열(Cw=0.3㎜미만) | m | 232 | 158.50 | 표면처리보수 | 3 |
| | | •균열(Cw=0.3㎜) | m | 43 | 31.30 | 주입보수 | 3 |
| | | •망상균열 | ㎡ | 39 | 90.59 | 표면처리보수 | 3 |
| | | •박락 | ㎡ | 7 | 2.60 | 단면보수(염해방지) | 3 |

【표 7-3】 양평방향 결함내용별 보수·보강 방안(계속)

| 구 분 | 손상내용 | 단위 | 개소 | 물량 | 보수·보강방안 | 우선순위 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 방호벽, 중앙분리대 | •박리 | ㎡ | 6 | 0.07 | 단면보수 | 3 |
| | •백태 | ㎡ | 17 | 1.33 | 표면처리보수 | 3 |
| | •재료분리 | ㎡ | 5 | 1.06 | 단면보수 | 3 |
| | •철근노출 | ㎡ | 1 | 0.04 | 단면보수(방청) | 3 |
| | •파손 | ㎡ | 12 | 0.29 | 단면보수 | 3 |
| | •충돌흔적 | m | 15 | 26.72 | 지속관찰 | - |
| | •녹발생 | ㎡ | 2 | 0.12 | 지속관찰 | - |
| | •잡철물부식 | ㎡ | 3 | 4.61 | 지속관찰 | - |

※ 바닥판 균열(폭 0.3mm)은 타격조사 결과 들뜸이 확인되어 방청 후 면보수를 실시하도록 한다.

## 나. 마산방향

【표 7-4】 마산방향 결함내용별 보수·보강 방안

| 구 분 | | 손상내용 | 단위 | 개소 | 물량 | 보수·보강방안 | 우선순위 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 바닥판 | | •균열(Cw=0.3㎜미만) | m | 403 | 952.20 | 지속관찰 | - |
| | | •균열(Cw=0.3㎜,들뜸) | m | 1 | 2.50 | 방청 후 면보수 | 1 |
| | | •들뜸 | ㎡ | 15 | 79.50 | 방청 후 면보수 | 1 |
| | | •망상균열 | ㎡ | 2 | 2.25 | 표면처리보수 | 3 |
| | | •백태 | ㎡ | 66 | 10.97 | 표면처리보수 | 3 |
| | | •파손 | ㎡ | 4 | 0.49 | 단면보수 | 2 |
| | | •고무재 탈락 | m | 10 | 31.50 | 지속관찰 | - |
| | | •노치 미제거 | m | 2 | 2.00 | 지속관찰 | - |
| | | •녹발생 | ㎡ | 9 | 0.51 | 지속관찰 | - |
| 강거더 | 내부 | •도장박리 | ㎡ | 159 | 46.00 | 도장보수(내부) | 3 |
| | | •부식 | ㎡ | 7 | 0.55 | 도장보수(내부) | 3 |
| | | •변형 | m | 1 | 0.80 | 지속관찰 | - |
| | | •Pit | 개소 | 6 | 6 | 지속관찰 | - |
| | | •이물질퇴적 | 개소 | 4 | 0.77 | 청소 및 도장보수(내부) | 3 |
| | 외부 | •도장박리 | ㎡ | 47 | 19.84 | 도장보수(외부) | 3 |
| | | •부식 | ㎡ | 205 | 28.05 | 도장보수(외부) | 3 |
| | | •볼트부식 | ㎡ | 161 | 0.02 | 도장보수(외부) | 3 |
| 가로보 및 세로보 | | •도장박리 | ㎡ | 4 | 0.17 | 도장보수(외부) | 3 |
| | | •부식 | ㎡ | 8 | 0.49 | 도장보수(외부) | 3 |
| 교대 | | •균열(Cw=0.3㎜미만) | m | 72 | 59.30 | 지속관찰 | - |
| | | •망상균열 | ㎡ | 7 | 9.72 | 표면처리보수 | 3 |
| | | •백태 | ㎡ | 8 | 1.46 | 표면처리보수 | 3 |

【표 7-4】 마산방향 결함내용별 보수·보강 방안(계속)

| 구 분 | | 손상내용 | 단위 | 개소 | 물량 | 보수・보강방안 | 우선순위 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 교대 | | •파손 | ㎡ | 4 | 0.37 | 단면보수 | 2 |
| | | •누수흔적 | ㎡ | 2 | 1.54 | 지속관찰 | - |
| | | •보수부들뜸 | ㎡ | 1 | 0.50 | 단면보수 | 2 |
| | | •보호블럭 침하 | ㎡ | 5 | 71.97 | 지속관찰 | - |
| | | •보호블럭 파손 | ㎡ | 1 | 9.00 | 지속관찰 | - |
| 교각 | | •균열(Cw=0.3㎜미만) | m | 213 | 186.70 | 지속관찰 | - |
| | | •들뜸 | ㎡ | 1 | 1.20 | 단면보수 | 2 |
| | | •망상균열 | ㎡ | 28 | 57.48 | 표면처리보수 | 3 |
| | | •박락 | ㎡ | 2 | 3.00 | 단면보수 | 2 |
| | | •박리 | ㎡ | 5 | 2.54 | 단면보수 | 2 |
| | | •백태 | ㎡ | 4 | 0.19 | 표면처리보수 | 3 |
| | | •재료분리 | ㎡ | 3 | 0.17 | 단면보수 | 2 |
| | | •철근노출 | ㎡ | 1 | 0.09 | 단면보수(방청) | 2 |
| | | •침식 | ㎡ | 2 | 11.70 | 단면보수 | 2 |
| | | •파손 | ㎡ | 3 | 0.03 | 단면보수 | 2 |
| | | •표면오염 | ㎡ | 1 | 0.35 | 지속관찰 | - |
| | | •점검로 볼트부식 | 개소 | - | 89 | 지속관찰 | - |
| | | •화재흔적 | ㎡ | 1 | 0.50 | 지속관찰 | - |
| 교량받침 | 본체 | •도장박리 | ㎡ | 1 | 0.03 | 도장보수(외부) | 2 |
| | | •부식 | ㎡ | 10 | 0.94 | 도장보수(외부) | 2 |
| | | •솔플레이트 부식 | ㎡ | 2 | 0.16 | 도장보수(외부) | 2 |
| | | •낙교방지시설 고무재탈락 | m | 3 | 1.50 | 지속관찰 | - |
| | | •낙교방지시설 볼트길이부족 | 개소 | - | 68 | 지속관찰 | - |
| | | •낙교방지시설 부식 | ㎡ | 3 | 0.09 | 도장보수(외부) | 2 |
| | 받침몰탈콘크리트 | •균열(Cw=0.3㎜미만) | m | 15 | 3.50 | 지속관찰 | - |
| | | •균열(cw=0.3mm) | m | 1 | 1.40 | 주입보수 | 1 |
| | | •파손 | ㎡ | 5 | 0.22 | 단면보수 | 2 |
| | | •재료분리 | ㎡ | 2 | 0.07 | 단면보수 | 2 |
| | | •철근노출 | ㎡ | 1 | 0.01 | 단면보수(방청) | 2 |
| 신축이음 | 본체 | •변형 | m | 1 | 11.00 | 지속관찰 | - |
| | | •상면부식 | m | 2 | 4.00 | 지속관찰 | - |
| | | •유간토사퇴적 | m | 3 | 16.00 | 청소 | 3 |
| | | •커버플레이트 볼트탈락 | 개소 | - | 19 | 재설치 | 3 |
| | | •커버플레이트 탈락 | 개소 | - | 1 | 재설치 | 3 |
| | 후타재 | •균열(Cw=0.3㎜미만) | m | 17 | 6.30 | 표면처리보수 | 3 |
| | | •파손 | ㎡ | 8 | 1.82 | 단면보수 | 2 |

【표 7-4】 마산방향 결함내용별 보수·보강 방안(계속)

| 구 분 | 손상내용 | 단위 | 개소 | 물량 | 보수・보강방안 | 우선순위 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 교면포장 | •망상균열 | ㎡ | 3 | 10.84 | 팻칭보수 | 3 |
| | •파손 | ㎡ | 2 | 0.10 | 팻칭보수 | 3 |
| | •패임 | ㎡ | 26 | 1.07 | 팻칭보수 | 3 |
| | •포장균열 | m | 6 | 18.60 | 실링보수 | 3 |
| | •포트홀 | ㎡ | 6 | 0.30 | 팻칭보수 | 3 |
| | •이물질 용입 | ㎡ | 1 | 0.04 | 팻칭보수 | 3 |
| 배수시설 | •유도배수관 탈락 | 개소 | - | 2 | 재설치 | 2 |
| | •유도배수관설치 필요 | 개소 | - | 1 | 배수홀 파이프설치 | 2 |
| | •배수관 길이부족 | 개소 | - | 1 | 재설치 | 2 |
| 방호벽, 중앙분리대 | •균열(Cw=0.3㎜미만) | m | 213 | 245.80 | 표면처리보수 | 3 |
| | •균열(cw=0.3mm) | m | 4 | 2.00 | 주입보수 | 3 |
| | •망상균열 | ㎡ | 63 | 185.03 | 표면처리보수 | 3 |
| | •박락 | ㎡ | 1 | 0.18 | 단면보수 | 3 |
| | •백태 | ㎡ | 49 | 4.98 | 표면처리보수 | 3 |
| | •재료분리 | ㎡ | 10 | 0.12 | 단면보수 | 3 |
| | •충돌흔적 | ㎡ | 2 | 8.00 | 지속관찰 | - |
| | •파손 | m | 74 | 1.68 | 단면보수 | 3 |
| | •지주 덮개파손 | ㎡ | 3 | 0.03 | 지속관찰 | - |
| | •방음벽 부식 | ㎡ | 4 | 2.40 | 지속관찰 | - |
| | •방음벽 파손 | m | 1 | 0.12 | 지속관찰 | - |
| | •점검로 출입문 부식 | 개소 | 1 | 0.10 | 지속관찰 | - |

## 7.2.4 주요결함 및 손상에 대한 보수·보강 방법

### 가. 콘크리트 균열보수 방안

1) 진단 현황

본 교량의 바닥판하면 및 하부구조에 발생된 균열은 대부분 폭 0.2㎜이하의 미세균열로 조사되었고, 받침몰탈에서 0.3㎜이상의 균열이 조사되었다. 또한, 방호벽, 받침몰탈 및 콘크리트에서 폭 0.3㎜미만의 균열이 일부구간 확인되었다.

상부구조에 발생된 백태 등은 부재의 중요도를 고려하여 내구성확보를 위해 표면보수가 필요하고, 받침몰탈에서 조사된 폭 0.3㎜이상 균열은 내구성 확보차원에서 주입보수가 필요한 것으로 판단된다. 또한 상부·하부구조 등에 조사된 미세균열은 비구조적인 균열이나 내구성 확보를 위하여 표면처리보수가 필요할 것으로 판단된다.

2) 주입보수 개요

균열(0.3㎜이상)부에 수지를 주입하면 콘크리트와 일체를 이루어 콘크리트의 방수성을 향상시켜서 내부 철근의 부식방지 및 콘크리트의 열화방지에 효과적이다.

균열보수는 균열 폭 및 균열깊이, 균열의 형태, 구조적 안전성 여부 등을 종합적으로 판단하여 보수 목적에 따라 가장 유리한 보수 대책을 선정하여야 한다. 또한, 균열보수는 균열폭과 균열깊이를 고려하여 이에 적합한 주입속도, 점도 및 양생 속도를 갖는 수지재료를 사용하여야 한다.

3) 수지주입공법의 종류

균열 주입공법에는 압입식과 흡입식이 있다. 압입식 주입공법에는 수동식, 기계식, 저압·저속식 주입 및 자동주입식 기계주입공법이 있으며, 이 중 저압·저속식 주입은 주입량 파악이 쉽고 균열 구석까지 주입할 수 있는 특징이 있어 유리하다.

【표 7-5】 수지주입공법의 종류

| 압입식 공법 | 흡입식 공법 |
|---|---|
| · 수동식 주입 : 인력<br>· 기계식 주입 : 공기압식, 유압식, 기어식<br>· 저압·저속식 주입 : 고무, 용수철, 공기 등의 압력<br>· 자동주입식 기계주입 : 자동주입기 | · 균열의 양단에 흡기구와 충전재 주입구를 설치하여, 흡입펌프로 충전재를 흡입주입 |

【표 7-6】 균열폭에 알맞은 수지의 점도

| 형 상 | | 점도(20℃, cp) | 주입 가능한 균열 폭 |
|---|---|---|---|
| 액 상 | 저점도 | 500±200 | 0.1㎜ 전후 |
| | 고점도 | 1,500±500 | 0.2㎜ 전후 |
| Gel 상태 | | 6,000±1,000 | 0.5~5.0㎜ 전후 |

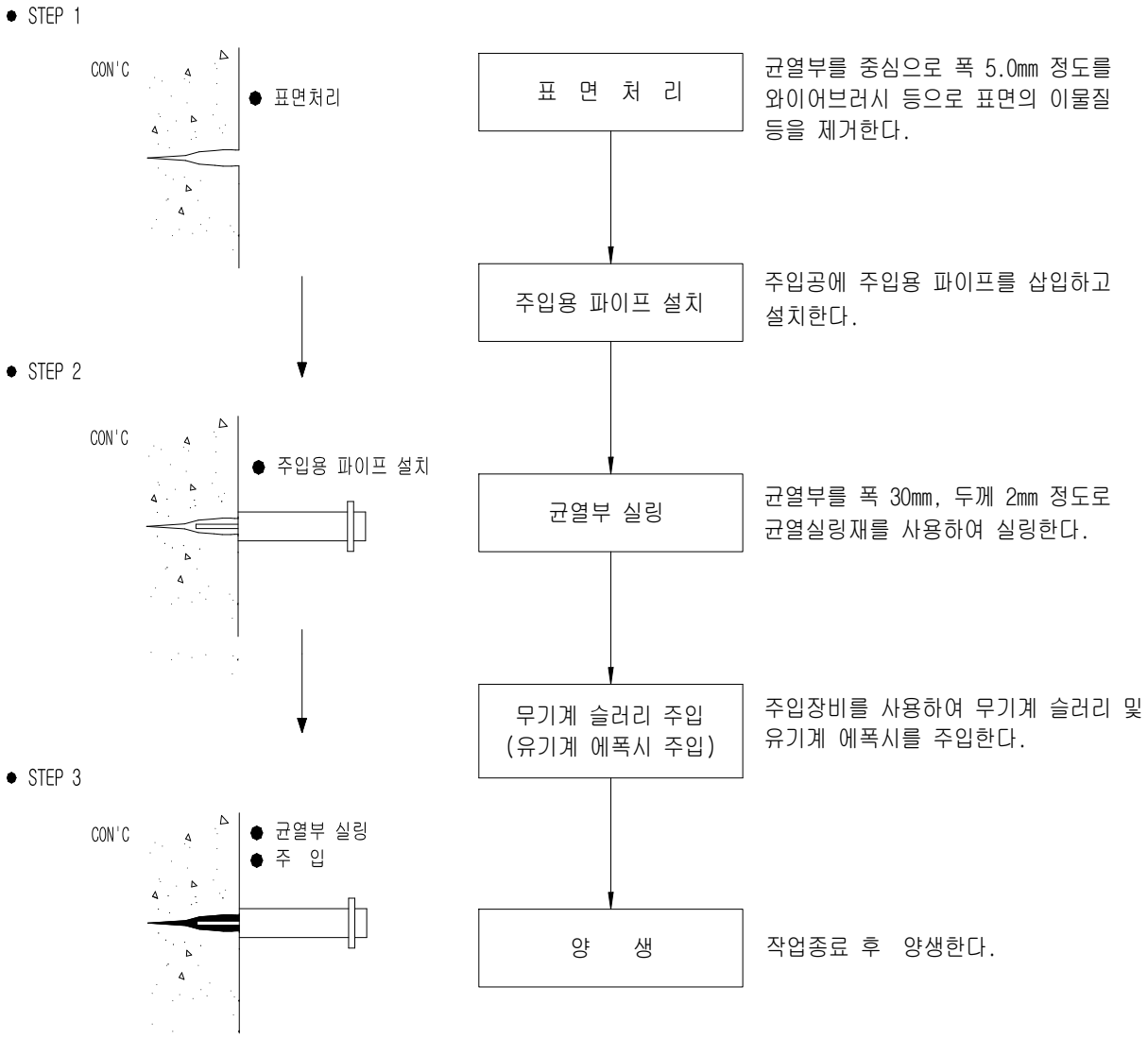
【표 7-7】 균열폭에 따른 주입파이프/패커의 간격

| 균열 폭(㎜) | 주입파이프/패커간격(㎜) | 비고 |
|---|---|---|
| 0.3이하 | 50~100 | |
| 0.3~0.5 | 100~200 | |
| 0.5~1.0 | 150~250 | |
| 1.0이상 | 200~300 | |

【표 7-8】 에폭시계 수지의 규격

| 시험항목 | 시험방법 | 시험조건 | 실링 및 퍼티용 규격치 | 주입용 규격치 |
|---|---|---|---|---|
| 비 중 | KS M 3015 | 20℃ 7일간 | 1.7±0.2 | 1.2±0.2 |
| 사용가능시간 | 온도상승법 | 20℃ | 60이상 | 30이상 |
| 점 도 | JIS K 6838 | 〃 | - | 5,000이하 |
| 압축항복강도 | KS M 3015 | 20℃ 7일간 | 6.0이상 | 6.0이상 |
| 휨강도 | 〃 | 〃 | 3.5이상 | 4.0이상 |
| 인장강도 | 〃 | 〃 | 2.0이상 | 2.0이상 |
| 압축탄성계수 | ASTM D 695 | 〃 | 0.1~0.6 | 0.1~0.6 |
| 인장전단강도 | KS M 3722 | 〃 | 100이상 | 100이상 |
| 충격강도 | KS M 3015 | 〃 | 0.15이상 | 0.3이상 |
| 경 도 | ASTM D 2240 | 〃 | 80이상 | 80이상 |

4) 시공방법




【그림 7-3】 균열 보수공법 개요도

5) 시공시 주의사항

① 대기온도가 10~30℃일 때 시공 가능하며, 우천시는 중지한다.

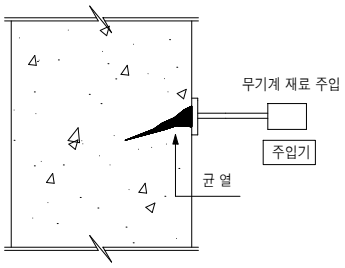
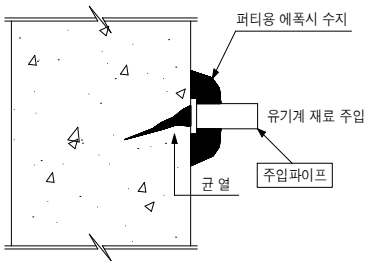
② 에폭시계 수지는 사용에 앞서 현장에서 시공시의 기온에 대응하는 경화시간을 설정하여 균열 주입 효과를 높이도록 한다.

③ 사용하는 에폭시계 수지는 적당한 루트마다 시험을 실시하여 품질을 확보한다.

④ 씰링 및 표면 마감면은 주입압에 견디도록 충분히 양생한다.

⑤ 주입된 에폭시계 수지가 경화한 후에는 주입 파이프를 절단하고 씰링재와 함께 그라인더로 갈아 평탄하게 표면처리 한다.

【표 7-9】 주입공법 공법비교안

| 구 분 | 폴리머 슬러리시멘트 주입공법 | 에폭시 주입공법 |
|---|---|---|
| 개요도 |  |  |
| 공법 개요 | 균열부위를 컷팅하고 균열부를 씰링한 후에 무기계 재료인 폴리머 슬러리시멘트를 주입기를 통하여 주입하는 공법 | 균열부위를 컷팅하고 균열부를 씰링한 후에 유기계 재료인 에폭시를 주입기를 통하여 주입하는 공법 |
| 시공 방법 | 표면처리→U.V컷팅→주입기설치→<br>균열부 씰링→폴리머슬러리<br>시멘트주입→단면복구 | 표면처리→U.V컷팅→주입기설치→<br>균열부 씰링→에폭시주입→단면복구 |
| 특징 | · 품질관리가 용이하고 재균열 발생우려 없음<br>· 균열보수의 일괄적인 공정에 대한 재료 및 시방확보<br>· 콘크리트 모체와 동등한 탄성계수, 열팽창 계수, 투수성 확보<br>· 수용성인 무기계 재료의 사용으로 습윤지역 시공이 가능함<br>· 보통형식의 것은 경화시간이 늦고 공기가 길어짐<br>· 공정이 다소 복잡하여 시공전문가필요<br>· 유기계에 비해 접착강도 떨어짐 | · 인장, 휨강도가 우수함<br>· 건조한 환경에 유리함<br>· 경화시간이 빠름<br>· 시공실적 다수<br>· 습기가 있는 부분에서는 접착력이 떨어지며 품질관리가 어려움<br>· 주입압력이 크면 균열이 확대되므로 주의<br>· 탄성계수, 열팽창계수가 콘크리트와 다름 |

## 나. 콘크리트 단면보수 방안

1) 진단 현황

본 교량의 단면손상(철근노출, 재료분리, 박리, 박락, 파손) 및 표면손상, 기타 후타재 파손, 방호벽 파손 등은 교량의 장기적인 내구성 및 사용성 확보를 위해 우선순위에 따라 보수가 필요하다.

2) 단면보수공법 개요

콘크리트 단면 결손부중 박락(파손) 및 철근 노출부는 내구성 저하방지를 위하여 단면보수공법을 사용하여 보수를 실시하는데, 콘크리트 표면을 피복하여 철근부식 등의 내구성 저하의 원인이 되는 물질의 침투를 억제함으로서 구조물의 내구성 저하를 방지하는 공법으로서 침투막제, 접착제, 단면 보수재, 철근방청재의 조합에 의한 공법으로 본 교량에서는 상기한 결함 중 콘크리트 파손부 및 철근노출, 부식부에 대한 보수방법으로 사용한다.

3) 단면복구시 털어내기 작업

단면복구시 털어내기 작업은 콘크리트 표면의 상황을 봐서 판단하는 것이 아니고 다음의 항목 및 【그림 7.4】을 참고하여 털어내기 범위나 형상을 결정하는 것이 좋다.

① 열화부분을 고려한 털어내기 범위

보수 개소의 콘크리트를 털어낼 때에 탄산화 등에 의한 취약한 부분을 남기면, 기설 콘크리트와 복구재료와의 충분한 부착강도를 얻을 수 없을 뿐 아니라, 균열이나 철근부식 재발의 원인이 된다. 따라서, 부재 내력에 영향을 미칠 수 없는 범위에서 열화부분을 모두 제거 할 필요가 있다. 열화부분을 효과적으로 확인하기 위해서는 탄산화깊이나 알칼리 반응성 생성물의 측정 등 열화요인과 관련된 시험을 실시하는 것이 바람직하다.

② 철근의 녹을 고려한 털어내기 범위

콘크리트의 열화부분을 충분하게 제거하여도 철근의 부식범위는 이 부위보다 넓은 경우가 대부분이다. 이 경우는 박락되어 노출된 부분의 철근 청소를 실시하여도 그 전후는 녹이 잔존한 채 남아있게 된다. 이 상태에서 단면복구를 실시하면 보수된 범위는 마이너스(−), 그 전후는 플러스(+)의 macro cell 부식이 생겨서 철근부식이 주위로 확산되어 보수효과가 적어지는 결과를 나타내는 경우가 많다.

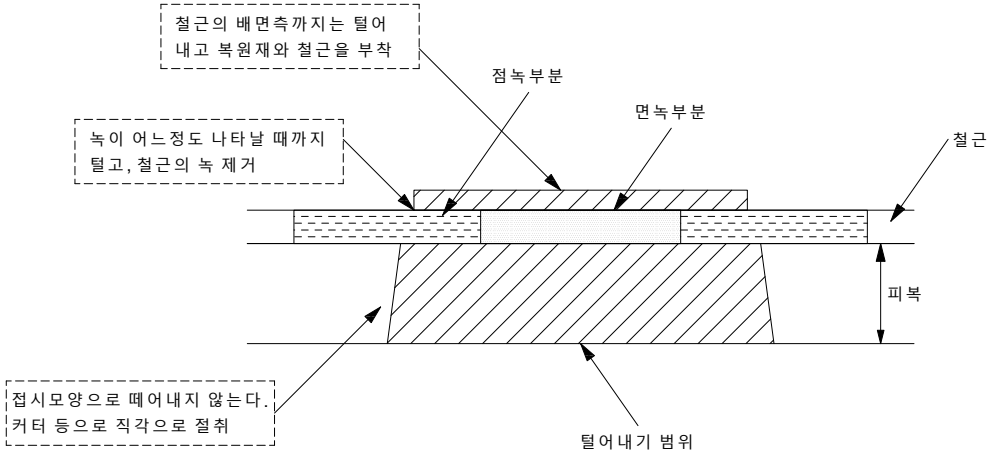
따라서, 녹제거를 확실하게 할 수 있도록 철근표면의 전면에 녹이 나오고 있는 부분(면 녹의 부분)뿐만 아니라, 이것과 인접하면서 녹이 점상으로 나타나는 비교적 건전한 부분(점 녹의 부분)이 드러나는 범위까지 털어낼 필요가 있다. 한편, 털어내기 전에 면 녹의 범위를 파

악하기 위해서는 자연전위 보정법에 근거하고 보정자연전위에서 −350mV보다 낮은 전위를 가리키는 부분이 이것에 해당한다.

또한 같은 이유로 녹의 제거는 철근의 전 주변에 대하여 실시하여야 하고, 철근은 박락된 부분(면)에서부터 뒷부분까지 파취할 필요가 있다. 이것은 단면복구재가 철근을 둘러싸는 것에 의한 부착성 향상에도 유효하다.

③ 털어내기 형상

콘크리트와 단면복구재와는 일반적으로 열팽창율이 다르기 때문에 복구재의 단부가 접시형상으로 되어 있으면, 온도신축에 의해 그 부분으로부터 박리현상을 보이는 우려가 있다. 이것을 방지하기 위해 털어내기시 단부가 접시형상으로 되는 것을 피하고, 될 수 있는 한 수직에 가까운 각도로 깊이 털어내는 것이 중요하다.




【그림 7-4】 단면복구 상세도

4) 철근의 방청 처리

털어내기에 의해 노출된 철근의 녹 제거는 특히 정성껏 실시할 필요가 있다. 일반적으로 와이어 브러시를 이용할 수 있는 것이 많지만, 보다 확실한 녹제거 방법은 샌드 블라스트, 워트제트 등을 쓰는 것이 좋다.

녹을 제거한 후는 철근에 방청재를 도포한다. 방청재에는 녹방지 도료, 아질산염계 방청재, 염분흡착제를 사용한 시멘트계 방청형 보수재가 있다. 일반적으로 철근부식의 억제는 철근부식효과가 있는 아질산염 이온이 함유된 것이 효과적이다.

액산의 아질산칼륨이나 아질산리튬을 철근이나 박락면에 직접 도포하여 아질산염이온을 같이 배합한 아질산염계 방청재가 있다. 염화물에 의한 부식의 경우 유효한 도포량은 아질산이온량과 염화물량의 비율을 관리하여야 하며 많은 양의 충전이 필요한 경우 Paste나 모르터 등을 혼합하여 사용하는 등의 검토가 필요하다. 또한 최근 개발된 염분흡착재를 이용한

방청재는 해수성분을 함유한 수분이 있는 개소의 철근부식에 대응하여 아질산 이온을 도입 또는 함유한 염화물량의 저감효과가 있다.

염분흡착재는 콘크리트 제체중의 유해한 염화물이 흡착되어 저감되어지는 동시에 염분흡착제 자신이 기다리고 있는 아질산 이온을 방출하는 것에 의해 높은 방식재 효과를 얻을 수 있다.

5) 단면복구 재료

복구재의 선정은 열화의 요인, 손상 상황, 누수 상황 등을 감안하고, 기설의 철근이나 콘크리트와의 부착성, 시공성, 재료특성 등을 평가하고 시공개소에 적합한 것을 채용 할 필요가 있다. 특히 사용실적이나 적절한 시험방법 등에 의해 품질, 성능을 확인할 수 있는 복구재를 사용하는 것이 바람직하다. 단면복구재는 저수축성이 요구되며, 복구재 충전 후 경화전에 우려할만한 차량진동을 받는 부위는 조강형을 사용하고, 아치부나 슬래브 하면 등 시공성을 중시할 경우는 경량형을 사용하고, 거푸집을 설치해서 충전할 경우는 고유동형을 사용하는 방안을 검토하여야 한다.

일반적으로 단면복구재를 충전하기 전에 프라이머를 도포하는 경우가 많다. 프라이머는 기설 콘크리트와 복구재의 부착성 향상을 목적으로 한 에폭시 수지계, 복구재의 수분이 기설 콘크리트에 흡수되어 경화에 필요한 수분이 결핍하는 「드라이 아웃」방지를 목적으로 한 수성 에멀션을 주재로 하는 재료 등이 있다.

【표 7-10】 일반적인 단면 복구재의 분류

| 구 분 | | 개 요 |
|---|---|---|
| 유기계 | 수지모르터<br>(에폭시수지 등) | 에폭시 등의 수지와 잔골재를 이용한 모르터로 고강도, 수밀, 경량,<br>접착성이 뛰어나고 섞어쓰기 용이하나 고가임 |
| 무기계 | 폴리머 시멘트<br>모르터 | 시멘트에 SBR, 포키시 등의 수지를 첨가한 모르터로 고강도, 수밀성 양호 |
| | 무수축 모르터 | 팽창재가 함유된 건조수축을 보상하는 것에 의해 억제하는 모르터 |

6) 단면복구시 유의 사항

① Lath 철망이나 Wire Mesh를 끼울 경우는 박리현상이 발생되지 않게 충분히 고정한 뒤 단면복구재를 충전한다.

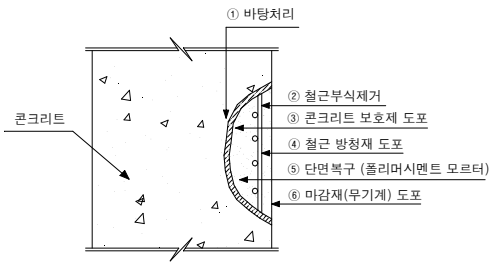
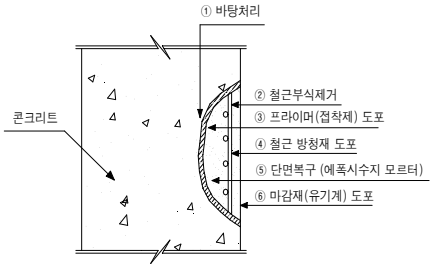
② 철근방청재, 프라이머, 단면복구재는 동일 제작사의 제품을 사용하거나 서로 양호한 조합의 물건을 이용한다.

③ 보수 깊이가 깊은 개소의 충전은 여러층으로 시공할 경우 경계부위가 부착상의 약점이 되기 쉬우므로 정확한 작업이 요구된다.

④ 보수한 단면복구재가 낙하할 가능성이 있는 부위는 중점적으로 검사 및 점검을 실시한다.

⑤ 털어내기 작업시 콘크리트 분진으로 인한 대기오염을 방지하기 위해 집진시설이나 물분사 등을 실시하여 도로주변의 환경오염에 주의하여야 한다.

【표 7-11】 단면보수 공법비교안

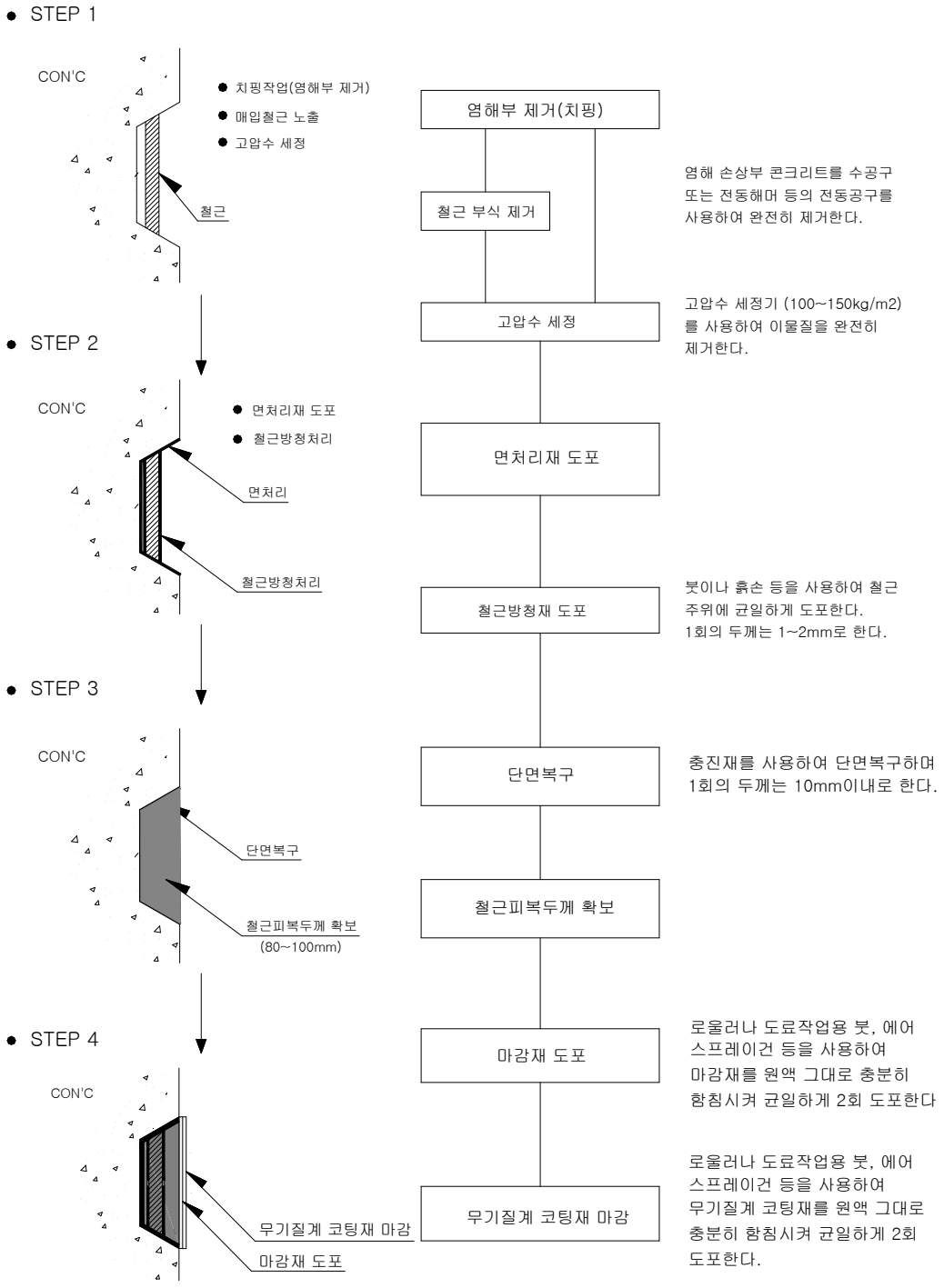
| 구 분 | 폴리머시멘트 모르터 공법 | 에폭시수지 모르터 공법 |
|---|---|---|
| 개 요 도 |  |  |
| 공법개요 | · 콘크리트 손상부위 및 철근의 부식을 제거하고 콘크리트 보호제를 도포한 후 철근을 방청하고 무기계인 폴리머시멘트 모르터로 단면을 복구한 후 무기계 마감재로 마감하는 공법 | · 콘크리트 손상부위 및 철근의 부식을 제거하고 접착제를 도포한 후 철근을 방청하고 유기계인 에폭시수지 모르터로 단면을 복구한 후 유기계 마감재로 마감하는 공법 |
| 시공방법 | · 치핑/고압수 세척 → 철근 부식제거 → 콘크리트 보호재(침투성) 도포 → 철근 방청제 도포 → 폴리머시멘트 모르터로 단면복구 → 마감재(무기계)도포 | · 치핑/고압수 세척 → 철근 부식제거 → 프라이머(접착제) 도포 → 에폭시수지 모르터로 단면복구 → 마감재(유기계) 도포 |
| 특 징 | · 철근의 방청효과가 우수하고 재부식 확률이 없음<br>· 철근 노출부 보수의 일괄적인 공정에 대한 재료 및 시방확보<br>· 폴리머시멘트의 사용으로 콘크리트 탄산화 방지 효과가 우수함<br>· 수용성인 무기계 재료의 사용으로 습윤지역 시공이 가능함<br>· 일반적으로 한번의 시공두께가 얇기 때문에 목표두께가 두꺼울 경우 공정이 증가함<br>· 보통 형식의 것은 경화시간의 늦고 공기가 길어짐 | · 인장, 휨강도가 콘크리트보다 우수함<br>· 재료 자체의 접착성 및 내마모성이 우수함<br>· 재료비가 폴리머 시멘트에 비해 저가임<br>· 경화시간이 빠름<br>· 방청효과가 확실하지 않음<br>· 유기계 재료로서 통기성이 없으므로 재부식 발생 우려<br>· 습기가 있는 부분에서는 접착력이 떨어지며 품질관리가 어려움 |

## 다. 콘크리트 단면보수(염해방지)

1) 개 요

방호벽 하단부 박락 등의 제설제 및 동결융해에 의한 염해손상에 적용하는 공법

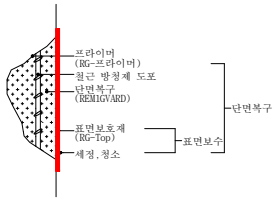
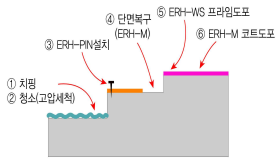
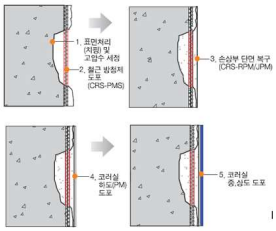
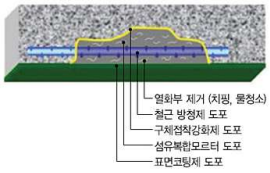
2) 시공방법




【그림 7-5】 단면복구(염해방지) 상세도

3) 공법비교

【표 7-12】 단면복구(염해방지) 공법비교안

| 구 분 | 레미가드 | 에코플래시 | 코러씰 | 섬유복합 스프레이 |
|---|---|---|---|---|
| 개요도 |  |  |  |  |
| 장점 | · 시멘트 회사로서 품질 확보 및 신뢰도 우수<br>· 바탕콘크리트와의 일체화에 의한 장기 부착성능 향상<br>· 물리화학적 복합장벽을 형성함으로써 구조물의 장기 내구성·내화학성 향상<br>· 시스템의 자동화, 기계화에 의한 인력 및 공사비 절감<br>· 섬유질 혼입으로 균열 억제력을 가진다.<br>· 습윤면 시공가능<br>· 시공장소에 제약을 받지 않음 (시공가능 호스길이 L=150m) | · 우수한 부착강도와 압축강도<br>· 화학적 결합재인 코팅재료의 사용으로 열, 산에 매우 강하므로 구조물 장기보호와 친환경 섬유인 Cellulose 사용으로 휨, 연성에 탁월<br>· 내화학성, 내구성이 우수<br>· 낮은 수축성, 균열이 없다. | · 특수폴리머 및 파이버를 함유하여 크랙이 없고 작업성이 뛰어남<br>· 부착력 및 내화학성, 탄산화 방지기능이 우수하여 기존구조물과의 일체성이 뛰어나 내구성이 우수함<br>· 국내 및 해외 적용 실적 다수 | · 우수한 휨 강성과 연성으로 보강성능 발휘<br>· 건조수축 및 진동에 의한 균열에 강력한 저항성, 내충격성, 부착성이 우수<br>· 구체와 역학적 거동이 동일하여 박리, 박락 없음<br>· 내구성 우수, 구조물 Life Cycle을 연장<br>· 탄산화 저항성, 내화학성, 내화성이 우수 |
| 단점 | · 시공전 장비설치 필요<br>· 국소면적 시공시 비용 증가 | · 숙련된 기능공에 의한 정밀시공 요함<br>· 낮은온도 사용 곤란 | · 시공전 장비설치 필요<br>· 국소면적 시공시 비용 증가 | · 숙련된 기능공에 의한 정밀시공 요함<br>· 최신기술로 시공실적이 적다 |
| 공사비 | 550,000/$m^2$ | 600,000/$m^2$ | 560,000/$m^2$ | 630,000/$m^2$ |
| 검토의견 | · 단면복구의 재료는 콘크리트와 성질이 유사한 무기질재료로 압축강도, 휨강도, 부착성, 경제성, 시공성 등을 고려하여 우수한 공법으로 선정함이 바람직하다.<br>· 또한, 재료적인 내구성능이 우수하고, 경제적인 공법을 채택하는 것이 적합할 것으로 판단됨 | | | |

## 라. 강재 거더 및 받침장치 부식부 도장보수

1) 현황

강재 거더의 일부구간 도장박리 및 부식, 볼트부식, 받침장치 부식이 일부구간 조사되어, 내구성 확보를 위한 재도장이 필요하다.

2) 강재부식부 도장 보수공법

① 도장재료의 선정

다음은 크게 강재시설물(강교)에 대해 쉽게 발생되는 방식재의 손상으로 인한 구조물 상태와 이에 대한 일반적인 보수방법이다.

방식설계는 향후 관리비용과 직결되므로 LCC(Life Cycle Cost)개념인

LCC = I + M + R ( I : 초기비용, M : 보수비용, R : 교체비용)

공식에 의해 내구성 있는 방식재를 선정하여 보수비용(M)과 교체비용(R)의 요인을 절감하는 것이 중요하다.

본 교량에 적용할 도장재료 및 색상의 선택은 재료의 장단점과 경제성 및 주변환경을 감안하여 결정하는 것이 바람직하다.

【표 7-13】 강재부식부의 일반적인 도장보수 방법

| 구 분 | 원 인 | 발생 현상 | 일반 보수방법 | 문 제 점 |
|---|---|---|---|---|
| 각종 부식 발생 | ◦염분피해<br>◦도장박락<br>◦동결융해<br>◦건습반복 | ◦코팅제의 박락 및 변형으로 모체면에 생기는 각종부식현상<br>◦코팅제의 자외선 노출로 인한 변색 및 변형<br>◦변형으로 인한 부분박리, 박락 발생 | ◦표면처리 (blast)<br>◦발청부위보수<br>◦재도장 | 기존의 중방식 도료들의 내구년한이 3~5년 정도로 대체적으로 짧은 편으로 재도장시 경제적으로 부담이 크게 발생되고, 표면처리시 각종 공해발생 가능성 내포, 보수 후 재도장 가능성 유포 (동일방법) |

② 표면처리

· 기 도장된 표면에 부착된 염분량을 측정하여 염분 부착량이 150㎎/㎡ 이상인 경우에는 강재 표면의 염분과 이물질을 깨끗한 물로 씻어낸다. 이때 분사압력은 2㎫로 하며, 강재면과의 거리는 30~45㎝ 정도 유지한다.

· 강재표면이 건조해질 때까지 기다린 후, 동력공구세정방법(power tool cleaning)을 선정하여 강재표면의 녹을 제거한다. 이때 재도장 실시는 녹 제거(블라스팅) 상태를 감독관 및 감리의 확인과 승인 후 실시한다.

· 블라스팅시 표면조도가 15~35㎛가 되도록 한다. 기존의 무기질아연 도장면 위에

재도장을 실시한다.

· 블라스팅과 하부도장은 같은 날 실시한다. 블라스팅 후 재도장까지 1일 이상 지체되면 밤에 응결된 수분에 의해 발청이 될 수도 있다.

· 하부도장을 실시한 후 상부도장까지는 5일이 경과하지 않도록 한다. 만약 5일 이상 경과하면, 상부도장 이전에 깨끗한 물로 세척한 후 도장하도록 한다.

③ 강재 도장시 고려사항

강재부식부에는 재 도장을 실시하여 부식을 방지하는 것이 원칙이며, 본 교량의 경우에도 기존의 발청부위의 부식을 제거하고, 재 도장으로 방식처리를 하는 것이 필요하다.

재도장시에는 다음의 사항을 고려하여 시행하는 것이 바람직하다.

【표 7-14】 강재 도장시 고려사항

| | |
|---|---|
| ◦도장대상면 물청소 | 현재 도장면에는 공기중의 이물질이 고형화하여 부착되어 있다. 재도장을 위한 표면처리시 이러한 이물질을 제거하지 않으면 블라스팅할 때 이물질이 강재에 부착되어 도장하부 부식의 원인이 되므로 먼저 기존의 도장면을 깨끗이 물청소한다. |
| ◦가벼운 블라스팅 | 부식이 심한 부위는 동력공구와 수동공구를 이용하여 부식을 제거하고, 발청부위는 가볍게 블라스팅한다. 화이트 블라스팅은 비용과다 및 환경오염을 가중시킬 우려가 있으므로, 기존의 부식부위를 가볍게 블라스팅하여 기존의 녹을 제거한다. |
| ◦도장보수 작업 | 도장 대상면의 표면처리 후에 재도장을 실시하며, 시공때와 같이 강재면 위에 도장을 하는 것이 아니라 기존의 도장면 위에 도장작업을 수행하므로, 도장작업시 이러한 특성을 고려하여 선택하도록 한다.<br>도장작업시 주의해야 할 사항을 아래에 정리하였다. |
| -도막두께 불량 (Thickness) | 얇은 도막은 점녹의 발생원인이 될 수가 있고, 도막이 두꺼우면 내부 용융상태에서 표면이 경화함으로 인해 균열이 발생할 수 있다. |
| -핀홀 (Pinholes) | 기존 도장면의 핀홀 위에 스프레이 도장을 할 경우에는 도장 후 핀홀내부의 공기가 빠져나오면서 구멍이 발생한다(gassing 효과). 따라서, 도장작업시 핀홀이 발생하면 이를 먼저 제거하는 것이 바람직하다. |
| -건조스프레이 (Dry spray) | 건조스프레이는 용제의 빠른 증발로 인하여 페인트 입자가 건조한 상태로 분사되는 것을 말하며, 이러한 현상이 발견되면 즉시 제거한 후 재도장한다. |

【표 7-14】 강재 도장시 고려사항(계속)

| | |
|---|---|
| -불연속 | 부분적으로 도장이 누락되거나, 오버랩이 되지 않아 도막두께가 얇은 것을 불연속(discontinuities) 또는 휴일(holiday)이라고 한다. |
| -분화구 (Cratering) | 도장 후에 부분적으로 분화구 모양의 구멍이 형성되는 경우가 있는데, 이를 분화구(Cratering) 또는 어안(Fisheyes)라고 한다. 이것은 도장면 또는 페인트 분무공기에 함유되어 있던 기름에 의한 것으로, 이러한 현상이 발생하면 표면을 거칠게 한 후 브러쉬로 재도장한다. |
| -점토상 균열 (Mud Cracking) | 점토상 균열은 두터운 도장면(특히 아연이 많은 도장)에서 발생하며, 두터운 수용성 도장면에서 용제나 수분이 빠르게 증발할 때 발생한다. 따라서, 빠른 건조가 예상되는 곳에서는 고비율 수용성 도장재료의 적용을 가능하면 피하는 것이 바람직하다. |
| -점녹 (Pin Point Rusting) | 점녹은 도막두께가 적절하지 않을 경우 방식효과가 감소함으로써 발생한다. 이러한 결함을 방지하기 위해서는 적절한 함량의 도장재료를 사용하고, 도막두께가 충분해야 한다. |

【표 7-15】 전면 재도장시 부식환경에서 사용도료 및 건조도막두께

| 도장부위 | | 바탕처리정도 | 도장층별 | 도료 종류 | 건조도막두께(㎛) |
|---|---|---|---|---|---|
| 외부 | 1안 | 거의 완전한 블라스트 (Sa 2 1/2) | 하 도<br>중 도<br>상 도 | 무기질징크계<br>에폭시계<br>우레탄계 | 55<br>100<br>80 |
| | 2안 | 거의 완전한 블라스트 (Sa 2 1/2) | 하 도<br>중 도<br>상 도 | 에폭시(알미늄)<br>에폭시계<br>우레탄계 | 100<br>100<br>80 |
| 내부 | 1안 | 거의 완전한 블라스트 (Sa 2 1/2) | 하 도<br>상 도 | 무기질징크계<br>타르에폭시계 | 55<br>100 |
| | 2안 | 거의 완전한 블라스트 (Sa 2 1/2) | 하 도<br>상 도 | 무기질징크계<br>에폭시계 | 55<br>100 |
| | 3안 | 거의 완전한 블라스트 (Sa 2 1/2) | 하 도<br>상 도 | 에폭시계 | 100<br>100 |

【표 7-16】 부분 재도장시 사용도료 및 건조도막두께

| 기존의 도장 부위 | | 바탕처리정도 | 도장층별 | 도료 종류 | 건조도막두께(㎛) |
|---|---|---|---|---|---|
| 외부 | 염화고무계, 알키드 조합페인트 | ·거의 완전한 블라스트 (Sa 2 1/2) ·동력공구시공 (St 3) | T/U<br>하 도<br>상 도 | 에폭시계(알미늄)<br>에폭시계(마스틱)<br>우레탄계 | (80)<br>100<br>50 |
| | 우 레 탄 계 | | T/U<br>하 도<br>상 도 | 에폭시계(알미늄)<br>에폭시계(마스틱)<br>우레탄계 | (80)<br>80<br>50 |
| 내부 | 역 청 질 계 | | T/U<br>상 도 | 에폭시계(알미늄)<br>역청질계 | (80)<br>55 |
| | 광명단 페인트, 에 폭 시 계 | | T/U<br>상 도 | 에폭시계(알미늄)<br>에폭시계(마스틱) | (80)<br>100 |

【표 7-17】 강재 거더 및 받침장치 발청부 도장보수 공법비교안

| 공 법 | 중방식 금속혼합물 (알루늄계)피막 | 염화고무계도료 (일반중방식) | 세라믹계 도료 |
|---|---|---|---|
| 시공 순서 | ◦표면처리<br>◦1차피막 (하도)<br>◦2차피막 (중도)<br>◦3,4차피막 (상도) | ◦표면처리<br>◦무기질징크 하도<br>◦염화고무도료 중, 상도 | ◦세라믹코팅 바탕 만들기<br>◦무기아연말계<br>◦무기세라믹계<br>◦우레탄세라믹 |
| 장 점 | ◦내열성, 내후성, 방청력, 부착력, 신율<br>◦내마모성<br>◦강인한 도막, 미관성<br>◦내약품성, 내충격성<br>◦희생양극방식 기능<br>◦내염성, 내구성<br>◦Re-Coating이 용이<br>◦음용수 기준에도 적합한 친환경적 소재 | ◦일반적인 시공성<br>◦국내적용 실적이 많음.<br>◦건조가 빠름. | ◦내약품성<br>◦강인한 도막, 미관성<br>◦내구성 |
| 단 점 | ◦일반적 도료에 비해 비교적 고가<br>◦작업시 접착제와 금속혼합물이 잘 혼합되도록 전동 믹서기를 이용하여 혼합하여야 함<br>◦작업 전 시공교육 필요 | ◦내약품성이 나쁨.<br>◦내구성이 짧음 ◦내열성이 나쁨.<br>◦초기접착력은 우수하나, 접착력 저하(계면탈락)<br>◦저온시 증점 (점도상승, 유동성감소) 및 겔화 현상발생 | ◦공사비 고가<br>◦수축팽창에 대한 유연성(신율) 부족<br>◦다른 재질이므로 층간 분리현상이 나타날 수 있음. |
| 내구성 | 20년 | 3 ~ 4년 | 10년 |

## 마. 아스팔트 팻칭

1) 개요

① 팻칭공법은 포트홀, 단차, 부분적인 균열 등 적은 면적의 손상된 곳을 긴급을 필요로 하는 경우에는 직접 채우는 임시적인 방법이 쓰이고, 그 외의 경우에는 불량 부분을 약간 크게 절취하여 수리하는 방법이 있다.

2) 주의사항

① 사용하는 재료로는 기존 포장과 같은 재료를 사용하는 것이 바람직하나 긴급히 대응하여야 하는 것과 기설 포장과 같은 재료를 얻기 어려울 경우에는 쉽게 구할 수 있는 재료를 사용해도 무방하다.

② 팻칭재료는 일반적으로 가열 아스팔트 혼합물이 사용되며, 긴급을 요할때는 상온 아스팔트 혼합물의 사용도 가능하다.

③ 마무리 면은 주위의 포장표면과 같은 높이가 되도록 시공한다.

3) 시공방법

① 파손부 주위의 불량부분을 브레이커나 콘크리트 커팅기로 장방형이나 수직으로 절취한다.

② 내측과 주위에 있는 먼지와 부스러기를 깨끗이 청소한다.

③ 젖어있는 경우에는 가열 건조시킨다.

④ 택코우트를 실시한다.

⑤ 가열 혼합물을 투입하여 고르게 편다.(가열 혼합식 공법의 경우)

⑥ 상온 혼합물을 투입하여 고르게 편다.(상온 혼합식 공법의 경우)

⑦ 전압기계를 사용하여 다진다. 이때 상온 혼합물이 안정되기 위해서는 수분의 증발, 용제의 휘발이 필요하며, 이들의 작용을 촉진하기 위해서는 혼합물을 포설한 후에 공기에 노출시킨다든지 다짐작업에 충분한 시간을 주도록 하는 것이 좋다.

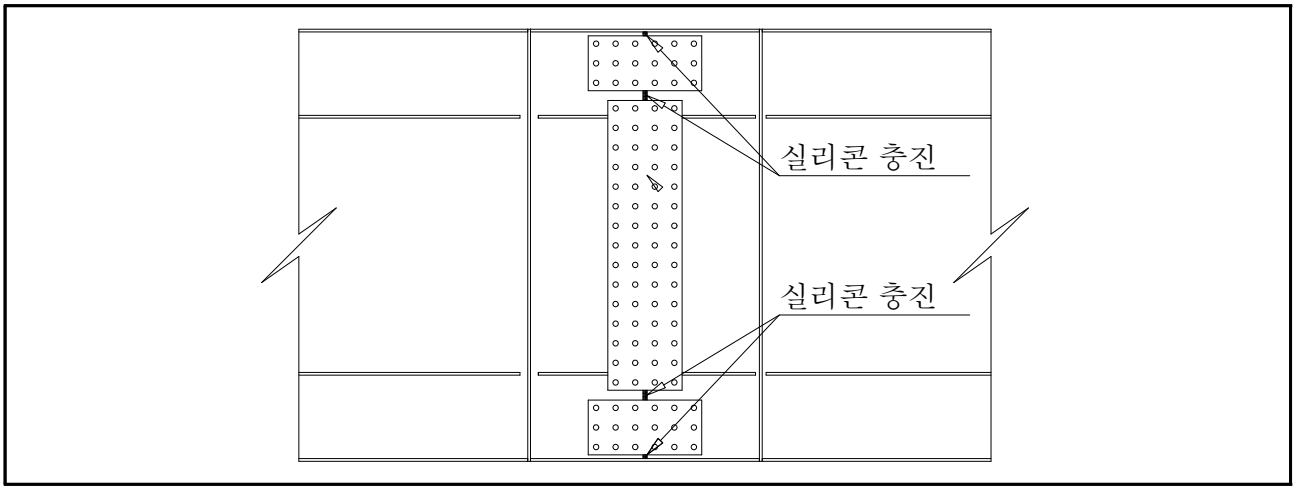
⑧ 표면온도가 손으로 댈 수 있을 정도가 되면 석분이나 가는 모래를 얇게 살포하고 교통을 개방한다.

## 바. Steel Box Girder 스플라이스 틈새 실런트 주입

1) 개 요

거더내부에 Scallop 및 Splice 틈으로 우수가 유입하며 하부플랜지에 누수흔적, 강재 및 볼트 부식이 발생  할 수 있으므로 유지관리 시 활용하도록 수록하였다.

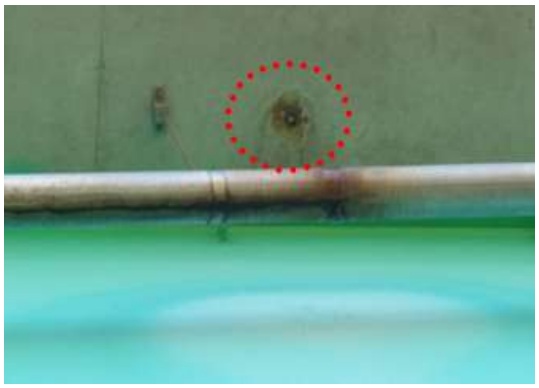
2) 보수 개요도



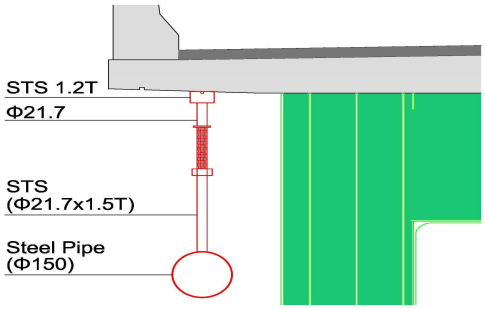
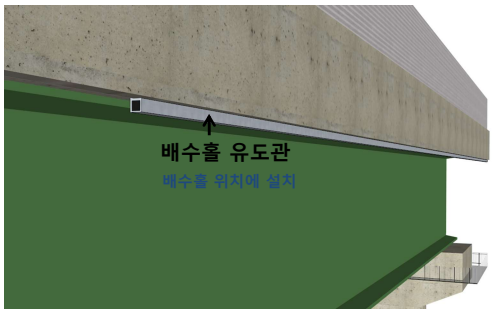

【그림 7-6】 스플라이스 틈새 실런트 주입

## 사. 배수홀 유도관 설치

상부 배수홀에 유입되는 우수에 의해 코핑부 표면 오염, 받침부식 및 전단키부식, 거더 도장 박리 등의 손상을 유발하므로 우수 유도 배수관설치방안을 제시하였다.

| 손상사진 | 배수홀 사진 |
|---|---|
| |  |

① 개략도

| 구분 | 1안 : 배수홀 파이프 설치 | | 2안 : 배수홀 유도관 설치 | |
|---|---|---|---|---|
| 구조도 |  | |  | |
| 시공 순서 | ■ 보수범위 확인 및 청소<br>■ 막힘 천공 및 연결부 설치<br>■ 파이프 연결 | | ■ 보수범위 확인 및 청소<br>■ 막힘 천공 및 알괄 배수관 설치<br>■ 파이프 연결 또는 낙하 배수관 설치 | |
| 장·단점 | ■ 배수홀 막힘 시 부분적 보수 가능<br>■ 배수관 미설치 구간은 자유낙하 | | ■ 배수홀 막힘 시 부분적 보수 어려움 | |
| 설치 예시 | | | | |
| 단가 | 9,000원/개 | 총 36,000원 | 21,000원/m | 총 84,000원 |

주) 교량굴절차 및 교통 통제비 미포함(부대공사비 제외)

# 7.3 보수 · 보강 개략공사비

## 가. 양평방향

【표 7-18】 양평방향 보수 · 보강 개략공사비

| 구 분 | 손상내용 | 보수공법 | 손상물량 | 보수물량 | 단위 | 단가 (천원) | 공사비 (천원) | 우선 순위 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 바닥판 | •균열(Cw=0.3㎜,들뜸) | 방청 후 면보수 | 3.00 | 1.13 | ㎡ | 87 | 98 | 1 |
| | •들뜸 | 방청 후 면보수 | 1.03 | 1.55 | ㎡ | 87 | 135 | 1 |
| | •백태 | 표면처리보수 | 1.17 | 1.76 | ㎡ | 33 | 59 | 3 |
| | •파손 | 단면보수 | 0.27 | 0.41 | ㎡ | 212 | 87 | 2 |
| Steel Box Girder 내부 | •도장박리 | 도장보수(내부) | 0.36 | 0.54 | ㎡ | 9 | 5 | 2 |
| | •부식 | 도장보수(내부) | 0.12 | 0.18 | ㎡ | 9 | 2 | 2 |
| | •볼트부식 | 도장보수(내부) | 0.02 | 0.02 | ㎡ | 9 | 1 | 2 |
| | •이물질 퇴적 | 청소 및 도장보수(내부) | 12.52 | 18.78 | ㎡ | 20 | 376 | 3 |
| Steel Box Girder 외부 | •도장박리 | 도장보수(외부) | 1.86 | 2.79 | ㎡ | 20 | 56 | 2 |
| | •부식 | 도장보수(외부) | 15.74 | 23.61 | ㎡ | 20 | 475 | 2 |
| | •긁힘 | 도장보수(외부) | 0.16 | 0.24 | ㎡ | 20 | 5 | 2 |
| | •볼트부식 | 도장보수(외부) | 0.09 | 0.14 | ㎡ | 20 | 3 | 2 |
| 가로보 및 세로보 | •도장박리 | 도장보수(외부) | 0.06 | 0.09 | ㎡ | 20 | 2 | 2 |
| | •부식 | 도장보수(외부) | 0.25 | 0.38 | ㎡ | 20 | 8 | 2 |
| 교대 | •균열(Cw=0.3㎜) | 주입보수 | 2.80 | 4.20 | m | 70 | 294 | 1 |
| | •망상균열 | 표면처리보수 | 11.20 | 16.80 | ㎡ | 33 | 560 | 2 |
| | •들뜸 | 단면보수 | 3.00 | 4.50 | ㎡ | 212 | 954 | 3 |
| | •박락 | 단면보수 | 0.13 | 0.20 | ㎡ | 212 | 42 | 2 |
| | •박리 | 단면보수 | 1.50 | 2.25 | ㎡ | 212 | 477 | 2 |
| | •백태 | 표면처리보수 | 0.03 | 0.05 | ㎡ | 33 | 2 | 3 |
| | •보수부들뜸 | 단면보수 | 0.09 | 0.14 | ㎡ | 212 | 30 | 2 |
| | •이물질퇴적 | 청소 | 1.80 | 2.70 | ㎡ | 13 | 36 | 3 |
| 교각 | •균열(Cw=0.3㎜) | 주입보수 | 0.80 | 1.20 | ㎡ | 70 | 84 | 1 |
| | •망상균열 | 표면처리보수 | 111.64 | 167.46 | ㎡ | 33 | 5,587 | 3 |
| | •박락 | 단면보수 | 0.04 | 0.06 | ㎡ | 212 | 13 | 2 |
| | •백태 | 표면처리보수 | 0.02 | 0.03 | ㎡ | 33 | 1 | 3 |
| | •재료분리 | 단면보수 | 0.26 | 0.39 | ㎡ | 212 | 83 | 2 |
| | •침식 | 단면보수 | 14.40 | 21.60 | ㎡ | 212 | 4,581 | 2 |
| | •파손 | 단면보수 | 0.08 | 0.12 | ㎡ | 212 | 25 | 2 |
| 교량받침 본체 | •부식 | 도장보수(외부) | 0.63 | 0.95 | ㎡ | 57 | 54 | 2 |
| | •솔플레이트 부식 | 도장보수(외부) | 2.04 | 3.06 | ㎡ | 57 | 175 | 2 |
| | •낙교방지시설볼트부식 | 도장보수(외부) | 0.56 | 0.84 | ㎡ | 57 | 48 | 2 |
| | •낙교방지시설 부식 | 도장보수(외부) | 0.24 | 0.36 | ㎡ | 57 | 21 | 2 |

【표 7-18】 양평방향 보수·보강 개략공사비(계속)

| 구 분 | | 손상내용 | 보수공법 | 손상물량 | 보수물량 | 단위 | 단가 (천원) | 공사비 (천원) | 우선 순위 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 교량 받침 | 받침 몰탈 콘크리트 | •철근노출 | 단면보수(방청) | 0.07 | 0.11 | ㎡ | 241 | 26 | 2 |
| | | •파손 | 단면보수 | 0.06 | 0.09 | ㎡ | 212 | 19 | 2 |
| 신축 이음 | 본체 | •유간토사퇴적 | 청소 | 12.20 | 18.30 | m | 13 | 246 | 3 |
| | | •커버플레이트 탈락 | 재설치 | 2 | 2 | 개소 | 35 | 70 | 3 |
| | 후타재 | •균열(Cw=0.3㎜ 미만) | 표면처리보수 | 12.60 | 18.90 | ㎡ | 33 | 630 | 3 |
| 교면포장 | | •마모 | 팻칭보수 | 19.80 | 29.70 | ㎡ | 6 | 185 | 3 |
| | | •소성변형 | 절삭 후 사토 | 218.00 | 327.00 | ㎡ | 6 | 2,099 | 3 |
| | | •파손 | 팻칭보수 | 0.09 | 0.14 | ㎡ | 34 | 5 | 3 |
| | | •패임 | 팻칭보수 | 0.84 | 1.26 | ㎡ | 34 | 42 | 3 |
| | | •포장균열 | 실링보수 | 209.00 | 313.50 | m | 6 | 1,951 | 3 |
| 배수시설 | | •배수관 길이부족 | 재설치 | 2 | 2 | 개소 | 65 | 131 | 3 |
| | | •배수관 볼트탈락 | 재설치 | 1 | 1 | 개소 | 20 | 20 | 3 |
| | | •유도배수관설치 필요 | 배수홀 파이프설치 | 3 | 3 | 개소 | 9 | 27 | 3 |
| | | •곡관 탈락 | 재설치 | 1 | 1 | 개소 | 65 | 65 | 3 |
| 방호벽, 중앙분리대 | | •균열(Cw=0.3㎜ 미만) | 표면처리보수 | 158.50 | 59.44 | ㎡ | 33 | 1,983 | 3 |
| | | •균열(Cw=0.3㎜) | 주입보수 | 31.30 | 46.95 | ㎡ | 87 | 4,085 | 3 |
| | | •망상균열 | 표면처리보수 | 90.59 | 135.89 | ㎡ | 33 | 4,533 | 3 |
| | | •박락 | 단면보수(염해방지) | 2.60 | 3.90 | ㎡ | 212 | 827 | 3 |
| | | •박리 | 단면보수 | 0.07 | 0.11 | ㎡ | 212 | 23 | 3 |
| | | •백태 | 표면처리보수 | 1.33 | 2.00 | ㎡ | 33 | 67 | 3 |
| | | •재료분리 | 단면보수 | 1.06 | 1.59 | ㎡ | 212 | 337 | 3 |
| | | •철근노출 | 단면보수(방청) | 0.04 | 0.06 | ㎡ | 241 | 14 | 3 |
| | | •파손 | 단면보수 | 0.29 | 0.44 | ㎡ | 212 | 93 | 3 |
| 순공사비 합계(부대공사비 제외) | | | | | | | | 31,857 | |
| 제경비(순공사비×50%) | | | | | | | | 15,929 | |
| 순위별 공사비 (제경비 포함) | | | 1순위 | | | | | 917 | |
| | | | 2순위 | | | | | 10,197 | |
| | | | 3순위 | | | | | 36,672 | |
| 개략공사비(천원) | | | | | | | | 47,768 | |

※ 보수물량은 확실한 보수효과를 얻기 위하여 손상물량의 50%를 할증하였음.

※ 정확한 수량산출이 가능한 공종은 할증 미반영.

※ 일부 손상은 보수물량 산정시 보수단가 및 방법을 고려하여 단위 및 물량 변경.
(용접부부식 : 폭 0.1m 고려, m→㎡, 볼트부식 : 1EA당 0.1㎡, EA→㎡ 등)

※ 상기 개략공사비는 실시설계시 공법선정, 단가변동 및 현장여건상 부대공의 추가 등으로 변동될 수 있음.

## 나. 마산방향

【표 7-19】 마산방향 보수·보강 개략공사비

| 구 분 | | 손상내용 | 보수공법 | 손상 물량 | 보수 물량 | 단위 | 단가 (천원) | 공사비 (천원) | 우선 순위 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 바닥판 | | •균열(Cw=0.3㎜,들뜸) | 방청 후 면보수 | 2.50 | 0.94 | ㎡ | 241 | 226 | 1 |
| | | •들뜸 | 방청 후 면보수 | 79.50 | 119.25 | ㎡ | 241 | 28,727 | 1 |
| | | •망상균열 | 표면처리보수 | 2.25 | 3.38 | ㎡ | 33 | 113 | 3 |
| | | •백태 | 표면처리보수 | 10.97 | 16.46 | ㎡ | 33 | 549 | 3 |
| | | •파손 | 단면보수 | 0.49 | 0.74 | ㎡ | 212 | 157 | 2 |
| SteelBox Girder 내부 | | •도장박리 | 도장보수(내부) | 46.00 | 69.00 | ㎡ | 9 | 596 | 3 |
| | | •부식 | 도장보수(내부) | 0.55 | 0.83 | ㎡ | 9 | 7 | 3 |
| | | •이물질 퇴적 | 청소 및 도장보수(내부) | 0.77 | 1.16 | 개소 | 20 | 23 | 3 |
| SteelBox Girder 외부 | | •도장박리 | 도장보수(외부) | 19.84 | 29.76 | ㎡ | 20 | 598 | 3 |
| | | •부식 | 도장보수(외부) | 28.05 | 42.08 | ㎡ | 20 | 846 | 3 |
| | | •볼트부식 | 도장보수(외부) | 0.02 | 0.02 | ㎡ | 20 | 1 | 3 |
| 가로보 및 세로보 | | •도장박리 | 도장보수(외부) | 0.17 | 0.26 | ㎡ | 20 | 5 | 3 |
| | | •부식 | 도장보수(외부) | 0.49 | 0.74 | ㎡ | 20 | 15 | 3 |
| 교대 | | •망상균열 | 표면처리보수 | 9.72 | 14.58 | ㎡ | 33 | 486 | 3 |
| | | •백태 | 표면처리보수 | 1.46 | 2.19 | ㎡ | 33 | 73 | 3 |
| | | •파손 | 단면보수 | 0.37 | 0.56 | ㎡ | 212 | 119 | 2 |
| | | •보수부들뜸 | 단면보수 | 0.50 | 0.75 | ㎡ | 212 | 159 | 2 |
| 교각 | | •들뜸 | 단면보수 | 1.20 | 1.80 | ㎡ | 212 | 382 | 2 |
| | | •망상균열 | 표면처리보수 | 57.48 | 86.22 | ㎡ | 33 | 2,876 | 3 |
| | | •박락 | 단면보수 | 3.00 | 4.50 | ㎡ | 212 | 954 | 2 |
| | | •박리 | 단면보수 | 2.54 | 3.81 | ㎡ | 212 | 808 | 2 |
| | | •백태 | 표면처리보수 | 0.19 | 0.29 | ㎡ | 33 | 10 | 3 |
| | | •재료분리 | 단면보수 | 0.17 | 0.26 | ㎡ | 212 | 55 | 2 |
| | | •철근노출 | 단면보수(방청) | 0.09 | 0.14 | ㎡ | 241 | 34 | 2 |
| | | •침식 | 단면보수 | 11.70 | 17.55 | ㎡ | 212 | 3,722 | 2 |
| | | •파손 | 단면보수 | 0.03 | 0.05 | ㎡ | 212 | 11 | 2 |
| 교량 받침 | 본체 | •도장박리 | 도장보수(외부) | 0.03 | 0.05 | ㎡ | 57 | 3 | 2 |
| | | •부식 | 도장보수(외부) | 0.94 | 1.41 | ㎡ | 57 | 80 | 2 |
| | | •솔플레이트 부식 | 도장보수(외부) | 0.16 | 0.24 | ㎡ | 57 | 14 | 2 |
| | | •낙교방지시설 부식 | 도장보수(외부) | 0.14 | 0.21 | ㎡ | 57 | 12 | 2 |
| | 받침 몰탈 콘크리트 | •균열(cw=0.3mm) | 주입보수 | 1.40 | 2.10 | ㎡ | 70 | 147 | 1 |
| | | •파손 | 단면보수 | 0.22 | 0.33 | ㎡ | 212 | 70 | 2 |
| | | •재료분리 | 단면보수 | 0.07 | 0.11 | ㎡ | 212 | 23 | 2 |
| | | •철근노출 | 단면보수(방청) | 0.01 | 0.02 | ㎡ | 241 | 5 | 2 |
| 신축 이음 | 본체 | •유간토사퇴적 | 청소 | 16.00 | 24.00 | m | 13 | 322 | 3 |
| | | •커버플레이트 볼트탈락 | 재설치 | 19 | 19 | 개소 | 6 | 113 | 3 |
| | | •커버플레이트 탈락 | 재설치 | 1 | 1 | 개소 | 35 | 35 | 3 |
| | 후타재 | •균열(Cw=0.3㎜ 미만) | 표면처리보수 | 6.30 | 9.45 | ㎡ | 33 | 315 | 3 |
| | | •파손 | 단면보수 | 1.82 | 2.73 | ㎡ | 212 | 579 | 2 |

【표 7-19】 마산방향 보수·보강 개략공사비(계속)

| 구 분 | 손상내용 | 보수공법 | 손상 물량 | 보수 물량 | 단위 | 단가 (천원) | 공사비 (천원) | 우선 순위 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 교면포장 | •망상균열 | 팻칭보수 | 10.84 | 16.26 | ㎡ | 34 | 545 | 3 |
| | •파손 | 팻칭보수 | 0.10 | 0.15 | ㎡ | 34 | 5 | 3 |
| | •패임 | 팻칭보수 | 1.07 | 1.61 | ㎡ | 34 | 54 | 3 |
| | •포장균열 | 실링보수 | 18.60 | 27.90 | m | 4 | 111 | 3 |
| | •포트홀 | 팻칭보수 | 0.30 | 0.45 | ㎡ | 34 | 15 | 3 |
| | •이물질 용입 | 팻칭보수 | 0.04 | 0.06 | ㎡ | 34 | 2 | 3 |
| 배수시설 | •유도배수관 탈락 | 재설치 | 2 | 2 | 개소 | 65 | 131 | 2 |
| | •유도배수관설치 필요 | 배수홀 파이프설치 | 1 | 1 | 개소 | 9 | 9 | 2 |
| | •배수관 길이부족 | 재설치 | 1 | 1 | 개소 | 65 | 65 | 2 |
| 방호벽, 중앙분리대 | •균열(Cw=0.3㎜ 미만) | 표면처리보수 | 245.80 | 92.17 | ㎡ | 33 | 3,075 | 3 |
| | •균열(cw=0.3mm) | 주입보수 | 2.00 | 3.00 | ㎡ | 70 | 210 | 3 |
| | •망상균열 | 표면처리보수 | 185.03 | 277.55 | ㎡ | 33 | 9,259 | 3 |
| | •박락 | 단면보수(염해) | 0.18 | 0.27 | ㎡ | 600 | 162 | 3 |
| | •백태 | 표면처리보수 | 4.98 | 7.47 | ㎡ | 33 | 249 | 3 |
| | •재료분리 | 단면보수 | 0.12 | 0.18 | ㎡ | 212 | 38 | 3 |
| | •파손 | 단면보수 | 1.68 | 2.52 | m | 212 | 534 | 3 |
| 순공사비 합계(부대공사비 제외) | | | | | | | | 57,629 |
| 제경비(순공사비×50%) | | | | | | | | 28,815 |
| 순위별 공사비 (제경비 포함) | | 1순위 | | | | | | 43,650 |
| | | 2순위 | | | | | | 11,088 |
| | | 3순위 | | | | | | 31,706 |
| 개략공사비(천원) | | | | | | | | 86,444 |

※ 보수물량은 확실한 보수효과를 얻기 위하여 손상물량의 50%를 할증하였음.

※ 정확한 수량산출이 가능한 공종은 할증 미반영.

※ 일부 손상은 보수물량 산정시 보수단가 및 방법을 고려하여 단위 및 물량 변경.
(용접부부식 : 폭 0.1m 고려, m→㎡, 볼트부식 : 1EA당 0.1㎡, EA→㎡ 등)

※ 상기 개략공사비는 실시설계시 공법선정, 단가변동 및 현장여건상 부대공의 추가 등으로 변동될 수 있음.

# 7.4 유지관리 방안

## 7.4.1 진단결과에 따른 중점 유지관리 사항

교량의 유지관리는 교량의 공용수명 동안 교량의 안전성과 기능성을 유지하기 위하여 행하는 행위로써 손상발생의 징후 또는 그 원인을 사전에 발견해 조치를 취하는 예방 유지관리와 손상발생 후 조치를 취하는 사후 유지관리로 나눌 수 있으나 유지관리의 주안점은 구조적 특성이나 손상유형을 고려하여 사전에 각 부위별로 발생 가능한 손상에 대하여 주의 깊게 점검하며 그 원인을 미리 해소하는 예방 활동에 목표를 두어야 한다.

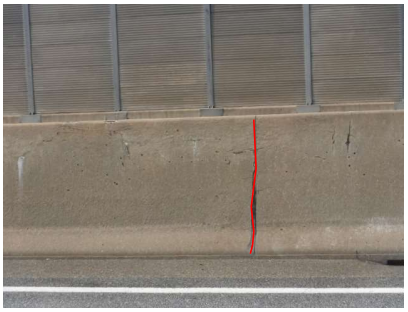
### 가. 주요 손상별 중점 유지관리 사항

1) 양평방향

향후 청미천교(양평) 공용년수 증가시 내구성 및 사용성을 저하시킬 수 있는 손상들에 대해서는 결함의 진전여부 및 재발생 여부를 주기적으로 관찰하는 등 중점유지관리 항목으로 선정하여 구조물의 유지관리를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

【표 7-20】 양평방향 주요 손상별 중점 유지관리 사항

| 항 목 | 위 치 | | 내 용 | 상태평가 | 대 책 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 외관조사 중요결함 | - | - | 해당 사항 없음 | - | - | - |
| 상태평가 | 바닥판하면 | S9 | 균열, 들뜸 | c | 치핑 후 면보수 (우선순위 상향조정) | 보수 후 관찰 |
| | 강거더 | S8 | LF 변형 | c | 지속관찰 | - |
| | 교 대 | A2 | 균열(폭 0.3mm) | c | 주입보수 | 보수 후 관찰 |
| | 교 각 | P1 | 균열(폭 0.3mm) | c | 주입보수 | 보수 후 관찰 |
| | 교량받침 | A1, A2 | 여유량 부족 | b | 지속관찰 | - |
| | 신축이음 | A1~A2 | 유간토사퇴적 | b | 주기적인 청소 | 보수 후 관찰 |
| | 교면포장 | S3~S9 | 소성변형 | c | 절삭 보수 | 보수 후 관찰 |
| | 배수시설 | S2, S6 | 배수관 길이부족 | c | 길이연장 | 보수 후 관찰 |
| | 방호벽, 중앙분리대 | S1~S9 | 균열(폭 0.3mm) | c | 주입보수 | 보수 후 관찰 |
| 안전성 평가 | - | - | - | - | - | - |
| 기타 | - | - | - | - | - | - |

| | | |
|---|---|---|
| | | |
| ① S9 바닥판하면 균열(들뜸) | ② S8-G1 변형 | ③ A2 흉벽 균열(cw=0.3mm) |
| | | |
| ④ P1 기둥부 균열(cw=0.3㎜) | ⑤ A2-Sh4 받침 이동위치 측정 | ⑥ P5 유간토사퇴적 |
| | |  |
| ⑦ S2 교면포장 소성변형 | ⑧ S6 배수관 길이부족 | ⑨ S6 중앙분리대<br>균열(cw=0.3mm) |

2) 마산방향

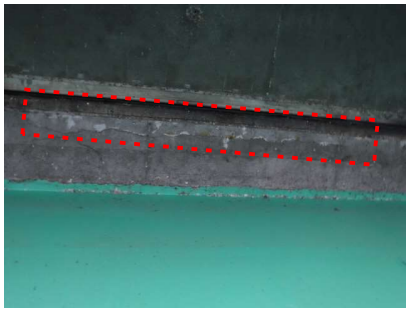
향후 청미천교(마산) 공용년수 증가시 내구성 및 사용성을 저하시킬 수 있는 손상들에 대해서는 결함의 진전여부 및 재발생 여부를 주기적으로 관찰하는 등 중점유지관리 항목으로 선정하여 구조물의 유지관리를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

【표 7-21】마산방향 주요 손상별 중점 유지관리 사항

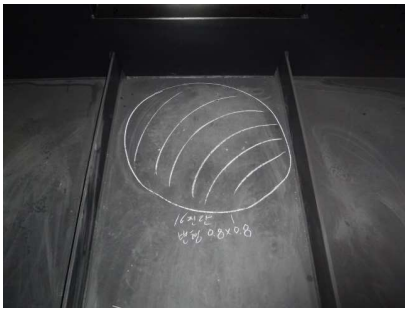
| 항 목 | 위 치 | | 내 용 | 상태평가 | 대 책 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 외관조사 중요결함 | - | - | 해당 사항 없음 | - | - | - |
| 상태평가 | 바닥판하면 | S2~S9 | 균열, 들뜸 | c | 치핑 후 면보수<br>(우선순위 상향조정) | 보수 후 관찰 |
| | 강거더 | S4 | LF 변형 | c | 지속관찰 | - |

【표 7-21】 마산방향 주요 손상별 중점 유지관리 사항(계속)

| 항 목 | 위 치 | | 내 용 | 상태평가 | 대 책 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 상태평가 | 교 대 | A1, A2 | 균열(폭 0.2mm) | b | 표면처리보수 | 보수 후 관찰 |
| | 교 각 | P4 | 박락, 철근노출 | c | 단면보수 | 보수 후 관찰 |
| | 교량받침 | A1, A2 | 여유량 부족 | b | 지속관찰 | - |
| | 신축이음 | A1~A2 | 부식, 유간토사퇴적 | c | 주기적인 청소 | 보수 후 관찰 |
| | 교면포장 | S1~S9 | 포장균열 및 불량 | b | 팻칭보수 | 보수 후 관찰 |
| | 배수시설 | P2 | 배수관 길이부족 | b | 길이연장 | 보수 후 관찰 |
| | 방호벽 | S1~S9 | 단면손상 | c | 단면보수 | 보수 후 관찰 |
| 안전성 평가 | - | - | - | - | - | - |
| 기타 | - | - | - | - | - | - |



① S5 바닥판하면 균열(들뜸)



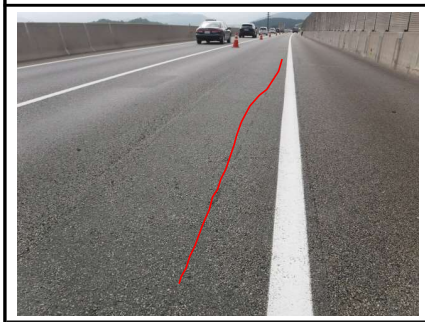
② S4-G1 변형

③ A1 흉벽 파손

④ P4 코핑부 박락, 철근노출

⑤ A1-Sh4 받침 이동위치 측정

⑥ A2 본체 부식, 유간토사퇴적



⑦ S3 교면포장 아스콘 균열

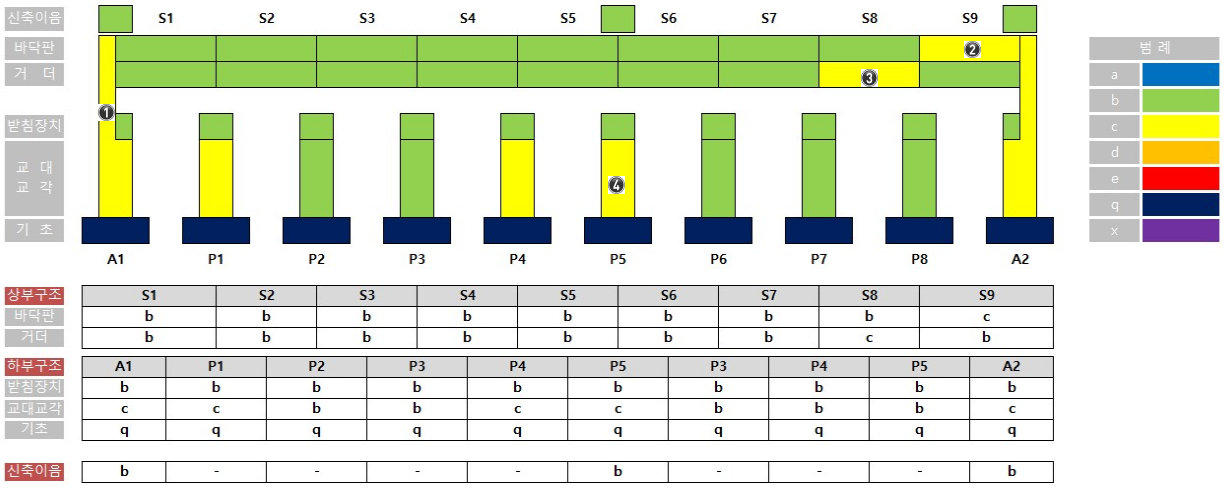
⑧ P2 배수관 길이부족

⑨ S3 방호벽 파손

## 나. 상태평가 현황도 및 주요 손상 위치도

청미천교(양평, 마산)의 효율적인 유지관리를 위해 각 부재별 상태평가 기준을 이용하여 다음과 같은 현황도를 작성하였으며, 향후 주기적인 관찰을 통한 유지관리가 필요할 것으로 판단된다.

1) 양평방향




| 상부구조 | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 바닥판 | b | b | b | b | b | b | b | b | c |
| 거더 | b | b | b | b | b | b | b | c | b |

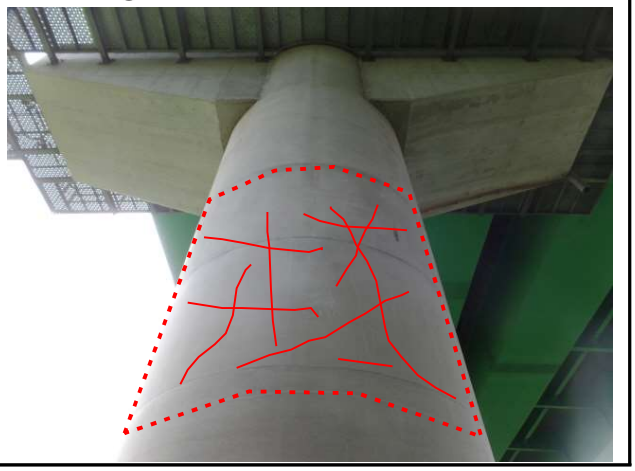
| 하부구조 | A1 | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P3 | P4 | P5 | A2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 받침장치 | b | b | b | b | b | b | b | b | b | b |
| 교대교각 | c | c | b | b | c | c | b | b | b | c |
| 기초 | q | q | q | q | q | q | q | q | q | q |
| 신축이음 | b | - | - | - | - | b | - | - | - | b |

❶ A1 흉벽 들뜸(A=1.5×2.5)

❷ 바닥판하면 S9 균열 (cw=0.3mm ,들뜸)

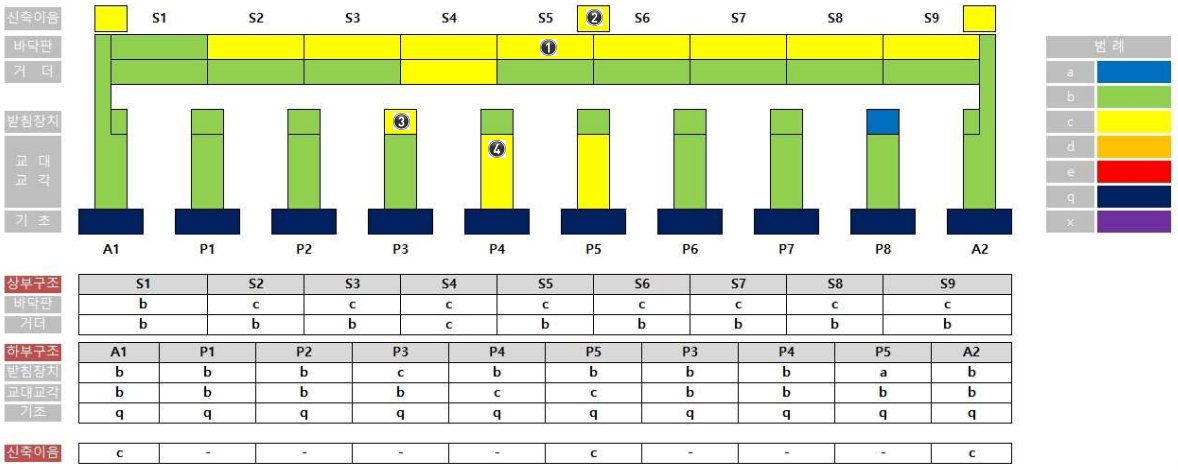
❸ S8-G1 LF 변형

❹ P3 기둥 망상균열(2.5×3.6)



【그림 7-7】 양평방향 상태평가 현황도 및 주요 손상 위치도

2) 마산방향




| 상부구조 | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 바닥판 | b | c | c | c | c | c | c | c | c |
| 거더 | b | b | b | c | b | b | b | b | b |

| 하부구조 | A1 | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P3 | P4 | P5 | A2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 받침장치 | b | b | b | c | b | b | b | b | a | b |
| 교대교각 | b | b | b | b | c | c | b | b | b | b |
| 기초 | q | q | q | q | q | q | q | q | q | q |

| 신축이음 | c | - | - | - | - | c | - | - | - | c |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

❶ S5 바닥판하면 파손(A=0.2×0.2)

❷ P5 신축이음 상면부식(L=2.0)

❸ P3-Sh4 받침콘크리트균열 (cw=0.3mm)

❹ P4 코핑부 박락, 철근노출

【그림 7-8】 마산방향 상태평가 현황도 및 주요 손상 위치도

# 청미천교(양평, 마산) 중점유지관리대상 및 점검방향

## 중 점 유 지 관 리 대 상

❶ 양평, 마산방향 바닥판 하면 균열(폭 0.3mm, 들뜸) 및 박락
- -종조인트 누수와 일부구간 피복부족
- -지속적인 우수유입과 동절기 제설제 영향
- -손상 단면 제거 후 부식된 철근의 방청처리와 표면처리 보수로 마감
- -추가적인 손상 확인

❷ 마산방향 P4 코핑부 박락, 철근노출
- -12년 진단 이후 보수실시 => 재손상 발생
- -캔틸레버 하면 유공관으로 우수유입에 따른 코핑부 박락 및 철근노출
- -캔킬레버 하면 유도배수관 설치와 단면보수
- -주기적인 점검을 통한 재손상 여부 확인

❸ 양평방향 A1 교대 흉벽 들뜸
- -신축이음덮개 하단으로 지속적인 우수유입
- -우수유입 방지를 위한 신축이음 덮개 설치 후 단면보수 실시
- -주기적인 점검을 통한 재손상 여부 확인

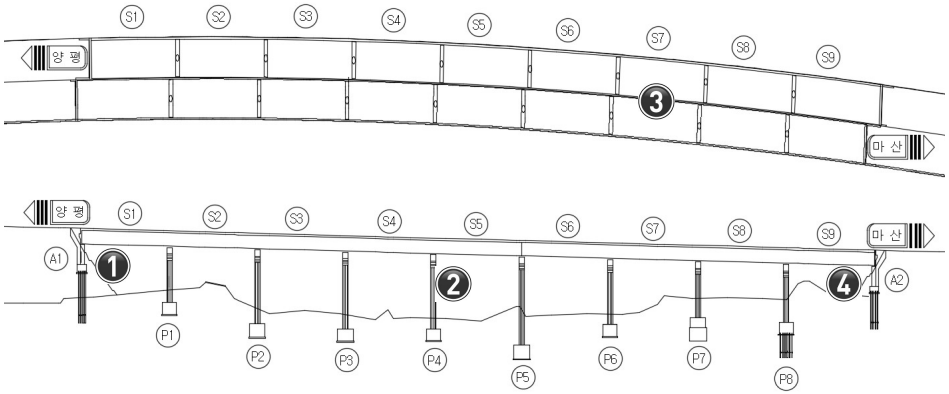
❹ 양평, 마산방향 교대 교량받침 가동여유량 부족
- -미끄럼판 가동흔적 확인결과 여유량 확보
- -주기적인 점검을 통한 받침 거동상태 확인

❶ 양평방향 A1 교대 흉벽 들뜸

❷ 마산방향 P4 코핑부 박락, 철근 노출

❸ 양평, 마산방향 바닥판 하면 균열(폭 0.3mm, 들뜸) 및 박락

❹ 양평, 마산방향 교대측 교량받침 가동 여유량 부족




### ▣ 주변현황 전경

### ▣ 장비투입 현황

### ▣ 장비투입 계획

| 구 분 | 상부구조 | | 하부구조 |
|---|---|---|---|
| | 교량점검차 | 고소작업차 | 사다리 |
| 조사구간 | S1, S3~S6<br>(양평, 마산) | S2, S7~S8<br>(양평, 마산) | P1~P8<br>(양평, 마산) |
| 소요일수 | 양평방향 : 1<br>마산방향 : 1 | 양평방향 : 1<br>마산방향 : 1 | 양평방향 : 1<br>마산방향 : 1 |
| 현 황 | * 교량하부 : 국도37호선, 청미천, 제방도로 횡단 | | |

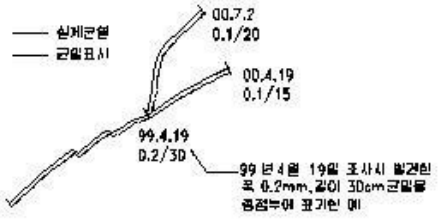
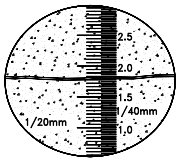
【그림 7-9】 청미천교 - 중점유지관리대상 및 점검방향

## 7.4.2 부재별 일반 유지관리 사항

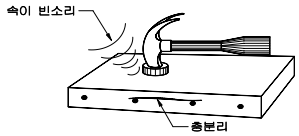
교량의 안전성과 기능성, 사용성 및 노후화 정도 등을 파악하여 재해를 사전에 예방하기 위해서 주기적이고 체계적인 정기점검, 정밀점검, 정밀안전진단 등을 통한 유지관리가 무엇보다도 중요하다. 따라서, 정밀안전진단 결과를 바탕으로 부재별 결함부위에 대한 원인분석과 사전에 예방하자는 유지관리차원에서 중점적으로 점검해야 하는 사항을 제시하고 필요한 점검항목 및 점검요령을 기술하였다.

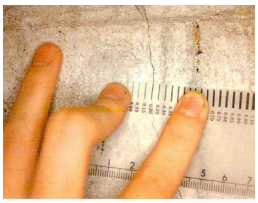
### 가. 바닥판

【표 7-22】 바닥판 일반 유지관리 사항

<table>
<tr><th colspan="2">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 공통</td><td>■ 박리, 박락, 층분리, 철근노출(피복두께 부족), 파손<br>■ 백태(유리석회), 오염<br>■ 재료분리</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 거더교</td><td>■ 균열(거더사이, 헌치부 종방향 균열)<br>■ 망상균열</td></tr>
<tr><td rowspan="2">▷ 슬래브 상부</td><td>- 단부</td><td>■ 부스러짐<br>■ 사인장균열</td></tr>
<tr><td>- 중앙부</td><td>■ 횡균열</td></tr>
<tr><td>주 요<br>부 위</td><td colspan="2"> <br><콘크리트 바닥판 하면></td></tr>
<tr><td>점<br>검<br>요<br>령</td><td colspan="2">○ 점검방법<br>-도보접근이 불가능한 구간은 점검장비를 이용 근접 점검<br>-슬래브의 중앙부 횡방향 균열과 받침부 사인장균열은 단면부족 등과 같은 구조적 균열의 형태로써 균열폭, 진전사항 등을 파악하기 위하여 균열의 시·종점을 표시하여 정기적으로 진전여부 관찰<br>   <br>(a) 균열표시 예 (b) 균열경 조사 예</td></tr>
</table>

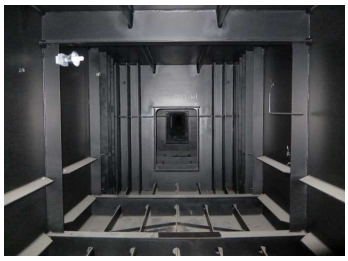
【표 7-22】 바닥판 일반 유지관리 사항(계속)

<table>
<tr>
<td>점검요령</td>
<td>
-부모멘트가 발생하는 연속 받침부는 상부에서 하부로, 정모멘트가 발생하는 중앙부 구간은 하부에서 상부 순서로 점검을 진행<br>
-균열로부터 녹물 유출 여부 조사(철근 부식)<br>
-망상균열, 층분리, 누수나 백태흔적이 발견될 경우 점검용 망치를 두드려 나는 소리로서 내부결함의 존재 여부를 추정한다. 내부에 결함 존재 시 외관상 건전한 부위에서도 펀칭 전단파괴의 우려가 있다.<br>
※ 점검용 망치 : 내부의 공동이나 층분리 여부를 소리로 판단. 즉 건전한 부분을 두들기면 “핑”하는 맑은 소리가 나지만 내부결함이 있는 부분은 “퍽”하는 소리가 난다.<br>


<br>
※펀칭전단파괴(Punching Shear Failure) : 국부적으로 바닥판에 구멍이 뚫리는 현상<br><br>
○점검시 유의사항<br>
-균열은 발생위치, 균열폭, 진전길이, 반복성(공통성) 등을 종합적으로 고려하여 발생원인을 규명하고 보수·보강 등 조치방법을 수립할 수 있도록 주변여건을 주의깊게 조사<br>
-큰 균열일지라도 상당히 오래전에 발생하여 안정된 것이 있는 반면에 미세균열일지라도 윤하중의 반복재하에 의해 점차 커지는 균열이 있으므로 균열 조사 시에는 특별히 큰 균열에만 주목하지 말고 미세한 균열에도 주의<br>
 <br>
<예시><br>
-누수 및 백태가 발견된 부위는 교면포장 상태가 비교적 양호할 경우 포장하부의 콘크리트 상태불량, 방수층의 파손이 원인일 수 있으므로 포장을 제거하여 조사하는 등의 원인분석 행위가 필요<br>
-환경적 요인에 의하여 열화가 심한 부분은 철근의 부식환경을 확인하기 위하여 탄산화시험을 실시<br><br>
※탄산화시험 : 철근콘크리트의 부식, 내구성, 잔존수명을 파악하기 위하여 콘크리트 절단면 또는 절취된 콘크리트의 코어에 페놀프탈레인 용액을 사용하여 탄산화의 깊이 측정
</td>
</tr>
<tr>
<td>점검도구</td>
<td>
■사진기<br>■균열자<br>■균열경<br>■줄자<br>■필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)<br>■점검야장<br>■필요시 반발경도 및 탄산화 시험기기
</td>
</tr>
</table>

## 나. Steel Box Girder

【표 7-23】 Steel Box Girder 일반 유지관리 사항

<table>
<tr><th colspan="2">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td colspan="2">▷공통</td><td>■ 변형, 균열, 파손<br>■ 표면(도장)상태 오염, 부식<br>■ 이상처짐<br>■ 연결부 볼트 이완, 파손, 이상음</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷받침부</td><td>■ 복부판 부식 및 국부좌굴<br>■ 박스내부 출입구 개폐<br>■ 거더와 받침연결부 부식</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷중앙부</td><td>■ 맞대기 용접부 균열<br>■ 플랜지 변형 및 처짐<br>■ 다이아프램 연결부 균열</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷2차부재</td><td>■ 거더와의 연결부 균열</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷보수부위</td><td>■ 용접부 및 용접부 주변 균열</td></tr>
<tr><td>주요<br>부위</td><td colspan="2"> <br><거더 외부><br>  <br><거더 내부></td></tr>
<tr><td>점<br>검<br>요<br>령</td><td colspan="2">○ 점검방법<br>–점검로에서 육안점검 혹은 교량하부에서 육안 또는 망원경으로 점검<br>–중앙부 처짐은 점검로에서 하부플랜지 정도로 눈높이를 낮추어 점검하거나 교대 옆 혹은 교량에서 조금 떨어진 거리에서 하부플랜지의 전체적인 선형 점검<br>–누수에 취약한 신축이음 하부, 배수구 주변 혹은 외측거더의 도장손상 및 녹발생 조사<br>–차량통과시 삐걱거리는 소리 등 이상음이 들리면 소음발생 부위를 추정하여 기록 유지<br>○ 손상발생시 조치<br>–눈에 띌 정도의 처짐이나 충돌에 의한 손상으로 추가손상이 우려되거나 주행안전성에 지장을 초래할 경우 즉시 보고하여 대책을 수립<br>○ 점검시 유의사항<br>–박스내부 출입구 잠금장치가 망가져 있는 경우 부랑인들이 거주하고 있는 경우가 있으므로 2인 이상이 1조가 되어 내부점검<br>–박스내부에 환기부족으로 유해가스가 있을 수 있으므로 환기를 시킨후 점검하고 인화성 물질을 휴대하지 않도록 하며 특히 흡연은 삼가하여야 함</td></tr>
<tr><td>점검<br>도구</td><td colspan="2">■ 사진기(망원렌즈)<br>■ 줄자(5m자)<br>■ 점검야장<br>■ 점검용 망치<br>■ 손전등(박스내부)<br>■ 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)</td></tr>
</table>

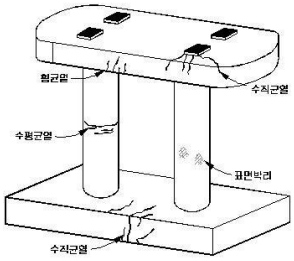
## 다. 교대

【표 7-24】 교대 일반 유지관리 사항

<table>
<tr><th colspan="2">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 공통</td><td>■ 균열(시공이음부 횡방향 균열)<br>■ 박리, 박락, 층분리, 백태(유리석회), 파손, 철근노출<br>■ 교대 회전(기울음), 침하(연직이동)</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 두부</td><td>■ 두부 물고임<br>■ 두부와 흉벽 경계부 균열(후면으로 기울음)<br>■ 거더와 흉벽 신축유간 부족</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 벽체</td><td>■ 균열(수직균열)<br>■ 벽체와 날개벽 분리(이동)</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 날개벽</td><td>■ 날개벽 이동, 전도</td></tr>
<tr><td>주요부위</td><td colspan="2"> <br><교 대></td></tr>
<tr><td>점검요령</td><td colspan="2">○ 점검방법<br>–접근 장비에 의해 근접 육안점검<br>–교대 입지조건이 성토부 혹은 연약지반에 위치한 경우 전후방으로 교대 벽체가 기울었는지 확인하고 의심스러울 경우 실을 매단 점검추를 늘어뜨리거나 측량기로 확인(날개벽, 옹벽 포함)<br>–신축이음 하면에 위치하므로 누수 및 화학물질 등에 대한 열화 취약부위이므로 탄산화 시험에 의한 탄산화 깊이 확인<br>○ 점검시 유의사항<br>–신축이음 유간이 벌어져 충격음이 발생하거나 닫혀 있을 경우 거더 상·하부와 흉벽 사이 간격이 서로 차이가 나는지 점검하고 교대 전도 여부도 확인<br>–연약지반상의 교대는 뒷채움부의 침하로 인하여 접속슬래브 하부에 공동이 발생하여 흉벽이 교대 뒤쪽으로 전도되어 균열이 발생하기도 함<br>–교대 뒷면과 날개벽 사이에 공동이 발생했거나 흙이 침하된 경우 날개벽의 전도를 의심하여점검<br>–벽체에 수직으로 발생하는 균열은 대체적으로 건조수축에 의한 비구조적 균열이므로 우려할 바는 아니지만 폭이 넓은 교대에서 균열폭이 큰 경우 교대기초의 부등침하도 의심하여야 함</td></tr>
<tr><td>점검도구</td><td colspan="2">■ 사진기<br>■ 균열자<br>■ 줄자(5m자)<br>■ 점검용 망치<br>■ 점검추 – 기울음 측정<br>■ 탄산화 시험기<br>■ 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)<br>■ 점검야장</td></tr>
</table>

## 라. 교각

【표 7-25】 교각 일반 유지관리 사항

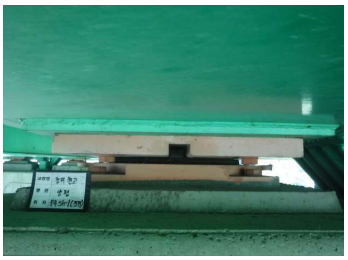
<table>
<tr><th colspan="2">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 공통</td><td>■ 균열, 박리, 철근노출, 파손<br>■ 침하</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 두부</td><td>■ 두부 물고임<br>■ 받침 하부 균열 및 파손(박리, 박락)</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 구체</td><td>■ 수직균열<br>■ 이동 또는 기울음</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 수면접촉부</td><td>■ 수중구간의 경우 침식</td></tr>
<tr><td>주<br>요<br>부<br>위</td><td colspan="2"> <br><교 각></td></tr>
<tr><td>점<br>검<br>요<br>령</td><td colspan="2">  <br>○ 점검방법<br>–접근장비 및 점검로에서 점검<br>–신축이음의 유간이 비정상적(크게 벌어짐 또는 닫힘)이거나 방호울타리 상단선형이 불량한 경우에는 교각 침하가 의심스러우므로 교각 구체 상부와 하부를 측량기기로 측정하여 교각의 전도 여부를 확인하고 구체에 기준점을 표시하여 침하여부를 주기적으로 확인<br><br>○ 손상발생시 조치<br>–교각두부 받침하부에 폭 0.3㎜이상 균열이 단부까지 진행된 경우에는 교량 안전과 직접적으로 관련이 있으므로 즉시 보고 및 대책수립<br><br>○ 점검시 유의사항<br>–신축이음 유간이 크게 벌어지거나 닫힘, 방호울타리 선형불량은 교각 침하의 징후로 볼 수 있으므로 교각 점검 시 참고해야 할 항목임</td></tr>
<tr><td>점<br>검<br>도<br>구</td><td colspan="2">■ 사진기 ■ 점검추 – 기울음 측정<br>■ 균열자 ■ 탄산화 시험기<br>■ 줄자(5m자) ■ 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)<br>■ 점검용 망치 ■ 점검야장</td></tr>
</table>

## 마. 교량받침

【표 7-26】 교량받침 일반 유지관리 사항

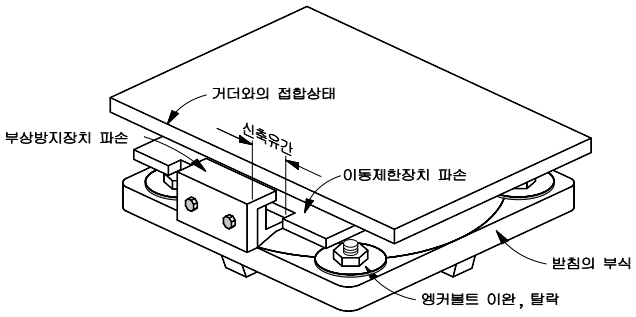
| 점 검 부 위 | | 점 검 항 목 |
|---|---|---|
| ▷ 본체 | - 공통 | ■ 부식(오물퇴적), 변형<br>■ 균열, 파손(균열발생으로 파손진행)<br>■ 가동받침의 유간부족 및 가동 장애요소<br>■ 받침과 거더의 밀착상태(분리)<br>■ 앵커볼트 파손(절단)<br>■ 가동방향 오류, 편기설치 |
| | - 강재받침 | ■ 가동면 부식<br>■ 부속물 파손 |
| | - 고무받침 | ■ 고무재 부풀음 및 갈라짐<br>■ 고무판의 과도한 변형 |
| ▷ 받침대 | | ■ 균열, 파손(하부공동)<br>■ 부분 침하 |
| ▷ 이동제한장치 | | ■ 용접부 균열<br>■ 파손 |

주요부위



<교량받침>

주요내용




○ 점검방법

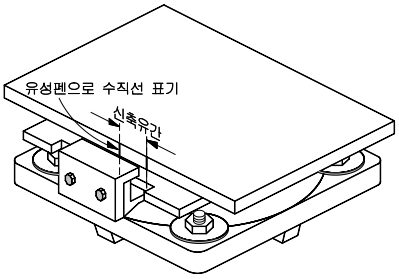
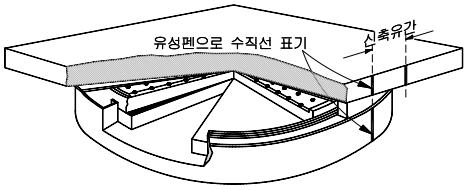
-도보접근이 불가능한 부분은 접근장비를 이용하여 근접점검

-가동받침의 가동여부는 가동면의 윤활재가 밀린 흔적이나 먼지 부착정도로 확인 가능함

-눈금자가 설치되지 않은 받침은 측면을 깨끗한 헝겊으로 잘 닦고 유성펜으로 상부받침과 이동제한장치 끝부분에 수직으로 선을 그어 놓으면 다음 점검시 온도차에 따른 가동량을 측정할 수 있음

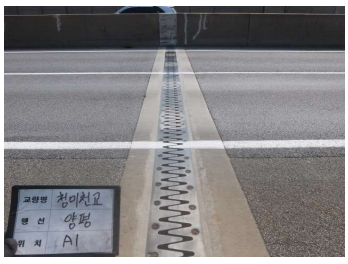
-곡선교 내측단부 혹은 사교의 예각단부의 부반력으로 인한 받침과 거더의 들뜸 상태 점검

【표 7-26】 교량받침 일반 유지관리 사항(계속)

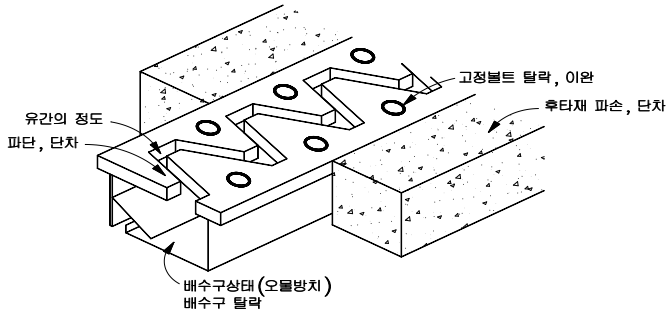
| | |
|---|---|
| 주요내용 |   <br>-경사교에서 받침 경사설치로 인한 상부가동받침과 하부받침 접촉 및 받침 부속품과의 접촉으로 인한 가동장애요소 점검<br>-수직보강재와 받침이 10㎝ 이상 편기시 하부플랜지의 국부변형이나 거더 복부판의 좌굴 여부 확인<br>-받침하부에 공동이 의심되면 긴드라이버 혹은 철사로 찔러서 확인하고, 침하흔적은 앵커볼트의 체결상태 및 인접받침의 상태를 참고하여 확인<br>-받침부의 물고임 부분은 누수부위 확인 및 물고임 원인분석<br><br>○손상발생시 조치<br>-받침하부 교각 두부에 0.3㎜ 이상의 균열이 단부까지 진행된 경우 즉시 보고하고, 안전성 검토 및 대책 수립 필요 |
| 점검도구 | ■사진기 ■줄자 ■균열자 ■온도계 ■유성펜(매직) 및 청소용 걸레 ■점검용 망치 ■드라이버(driver) ■필기도구(소형 보드판, 매직, 분필) ■점검야장 |

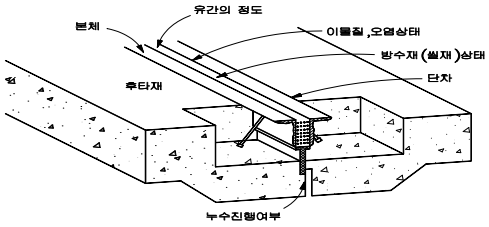
## 바. 신축이음

【표 7-27】 신축이음 일반 유지관리 사항

| 점 검 부 위 | | 점 검 항 목 |
|---|---|---|
| ▷ 본체 | - 공통 | ■누수, 오염(배수시설 누락, 유간의 오물퇴적)<br>■유간(부족 및 과다)<br>■이상진동(충격음)<br>■본체 유동 및 파손(충격음, 흔들림) |
| | - 고무재 | ■고무판 마모, 강판노출 및 부식 |
| | - 강재 | ■방수재(씰재) 파손 - 노면수 유입 |
| ▷ 후타재 | | ■균열, 파손(패임 및 요철) |
| 주요부위 |  <br><신축이음> | |

【표 7-27】 신축이음 일반 유지관리 사항(계속)

<table>
<tr>
<td>주<br>요<br>내<br>용</td>
<td>




<br>○ 점검방법<br>
-보도에서 점검<br>
-신축이음 본체의 유동, 단차, 파손으로 인한 충격음 발생 여부 점검<br>
-고무재의 마모, 파손, 충진 씰재 노출로 방수기능 저하상태를 점검하며 교각, 교대 위에서 신축이음 하부의 방수성 및 단부보강 바닥판 상태 점검<br>
<br>
<예시><br>
-방호울타리부 신축이음의 방수기능 점검<br>
-점검기간 내 온도차이가 큰 아침과 한낮에 신축 이동량을 조사하고 적정유간을 확보하고 있는지 확인 점검<br>
<br>○ 손상발생시 조치<br>
-신축이음 본체의 유동, 단차, 파손으로 인한 충격으로 타부재에 추가손상이 우려되거나 주행안전성에 지장을 초래할 경우 즉시 보고하여 대책을 수립<br>
<br>○ 점검시 유의사항<br>
-차량 진행방향과 반대방향으로 점검을 진행하며 2인 1조로 점검수행<br>
-신축유간 점검시 차량에 유의</td>
</tr>
<tr>
<td>점검<br>도구</td>
<td>■ 사진기<br>■ 줄자<br>■ 점검용 망치<br>■ 드라이버(driver) - 유간오물 확인<br>■ 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)<br>■ 점검야장</td>
</tr>
</table>

## 사. 교면포장

【표 7-28】 교면포장 일반 유지관리 사항

| 점 검 부 위 | | 점 검 항 목 |
|---|---|---|
| ▷ 공통 | | ■ 균열(미세, 선상, 격자형)<br>■ 소성변형(요철, 바퀴자국, 단차)<br>■ 포트홀(패임)<br>■ 노면잡물(구배불량) |
| ▷ 신축이음 전후, 구조물 경계부 | | ■ 단차, 침하 |
| ▷ 미끄럼 방지포장 | | ■ 마모 |
| ▷ 배수구 주변 | | ■ 물고임(배수구 간격, 유출구 위치) |
| 주요부위 | | <br><교면포장> |
| 점검요령 | | ○ 점검방법<br>-보도 혹은 방호울타리 양측 갓길에서 상세점검<br>-중차량 통행이 많은 차선, 곡선부 외측, 급정지 구간 주변의 손상 점검<br>-신축이음 전후 및 경계부의 단차 점검<br>-배수구 주변 물고임 점검(가급적 비온 직후 교면 위 물고임 및 포트홀 점검) 및 부유물 퇴적 흔적에 의한 물고임 부위 확인<br>○ 손상발생시 조치<br>-교면포장의 균열 및 보수면적, 단차 등 각 손상에 대하여 점검야장에 경간별로 기록 후 사진 촬영<br>○ 점검시 유의사항<br>-노견에서 점검시 교통사고의 위험이 높으므로 2인 1조로 하여 차량 진행방향과 반대방향으로 걸어가면서 점검 진행<br>-상세조사를 실시할 경우 신호봉 등을 사용하여 차량 유도후 안전하게 점검 |
| 점검도구 | | ■ 사진기<br>■ 줄자(5m, 50m)<br>■ 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)<br>■ 점검야장<br>■ 신호봉 또는 수기 |

## 아. 배수시설

【표 7-29】 배수시설 일반 유지관리 사항

| 점 검 부 위 | | 점 검 항 목 |
|---|---|---|
| ▷ 배수구 | - 격자판(grating)<br>- 유입구 | ■ 파손, 누락<br>■ 누수, 체수(막힘)<br>■ 오염(오물퇴적 |
| ▷ 배수관 | | ■ 파손(연결 고정부 탈락)<br>■ 배수관 길이 부족(거더에 물 떨어짐)<br>■ 유출구 위치 부적절<br>(도로상이나 구조물 위에 위치) |
| 주요부위 | <br><배수시설> | |
| 점검요령 | ○ 점검방법<br>■ 배수관<br>-교량하부 및 측면에서 점검하며, 접근이 어려운 부분은 접근장비를 이용<br>-교량이 도로 위를 통과할 경우 배수관에서 유출된 물이 통행인이나 통행차량 위로 떨어지지 않는지 점검<br>-배수관의 물이 구조물의 부식을 유발할 수 있는 위치로 배수되는지 점검<br>-경사가 완만한 배수관은 점검용 망치로 두들겨 내부에 쓰레기로 막혀있는지 점검<br>-배수관 지지장치 및 연결부 상태는 흔들어 보거나 망치로 두들겨서 점검<br><br>○ 손상발생시 조치<br>-배수구에 휴지나 나뭇잎 등으로 막혀있는 경우는 드라이버를 사용하여 제거<br><br>○ 점검시 유의사항<br>-보도가 없는 갓길에서 점검시 2인 1조로 하여 차량 진행 방향과 반대방향으로 걸어가면서 점검하며 차량에 주의<br>-접근장비 사용시 교통소통 및 안전에 유의 | |
| 점검도구 | ■ 사진기<br>■ 드라이버(driver)<br>■ 점검용 망치 | ■ 줄자<br>■ 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)<br>■ 점검야장 |

## 자. 방호벽, 중앙분리대

【표 7-30】 방호벽, 중앙분리대 일반 유지관리 사항

<table>
<tr><th colspan="3">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 난간, 방음벽</td><td>- 강재, 알루미늄</td><td>■ 변형<br>■ 파손</td></tr>
<tr><td colspan="3">▷ 보도</td><td>■ 신축이음 접촉부 부스러짐(파손)<br>■ 표면 부스러짐(동결융해)</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 연석</td><td>- 철근콘크리트</td><td>■ 박리, 박락, 부스러짐, 파손</td></tr>
<tr><td>주<br>요<br>부<br>위</td><td colspan="3"> <br><방호벽><br> <br><중앙분리대></td></tr>
<tr><td>점<br>검<br>요<br>령</td><td colspan="3">○ 점검방법<br>-교량 한쪽에서 눈을 난간높이 정도로 낮추어 난간의 전체 선형에 급격한 변화 부분이 있는지 점검<br>-안전난간 및 방음벽의 경우 기둥과 바닥판 접촉면의 부식 혹은 볼트 손상에 의해 전도 우려가 있는지 힘을 주어 밀거나 당겨서 흔들림 정도를 확인<br>-연속 받침부 연석 및 자갈막이 콘크리트의 경우 부모멘트에 의한 균열(일반적으로 0.3㎜이상)을 점검<br><br>○ 손상발생시 조치<br>-난간의 전체 선형에 급격한 변화부분이 있는 경우 받침이나 하부구조의 침하가 있을 수 있으므로 해당부재 점검시 참고할 수 있도록 기록 유지<br>-외부의 강한 하중에 의한 손상일 경우 바닥판에도 영향을 줄 수 있으므로 바닥판 점검시 고려<br>-난간의 큰 변형이나 파손된 부분으로 통행인 추락 위험이 있을 시 즉시 연락하여 추락 방지시설 등의 응급조치 필요</td></tr>
<tr><td>점검<br>도구</td><td colspan="3">■ 사진기<br>■ 솔(브러쉬)<br>■ 강재 부식부위 등 상세확인<br>■ 줄자<br>■ 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)<br>■ 점검야장</td></tr>
</table>

## 7.4.3 유지관리 제안사항

### 가. 형하공간 이용 현황 및 점검방법

청미천교(양평, 마산)의 하부는 국도37호선, 청미천, 제방도로 등이 교차하고 있는 상태로 향후 유지관리시 효율적인 점검 활동을 위해 형하 공간의 이용 현황 및 점검방법을 기술하였다.

【표 7-31】 형하 공간 이용 현황

<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="4">세 부 내 용</th></tr>
<tr><td>위치도</td><td colspan="4">
</td></tr>
<tr><td rowspan="4">형하공간<br>이용현황</td><td>구분</td><td>S2</td><td>S3~S8</td><td>S9</td></tr>
<tr><td>이용현황</td><td>국도 37호선</td><td>청미천</td><td>제방도로</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>국도37호선</td><td colspan="2">청미천</td><td>제방도로</td></tr>
<tr><td>조사결과</td><td colspan="4">■ 상부구조<br>– S1, S3~S6 : 교량 점검차<br>– S2, S7~S8 : 고소 점검차<br>■ 하부구조<br>– A1, P1~ P8, A2 : 고소 점검차, 사다리, 도보점검<br>■ 위험물 적재나 교량관리에 방해가 되는 적치물 등은 조사되지 않음</td></tr>
<tr><td></td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td></td><td>교량 점검차</td><td>고소 점검차</td><td>사다리</td><td>도보이용 점검</td></tr>
</table>

## 나. 교량받침 이동방향 표시판 설치

효율적인 유지관리 차원에서 받침 이동방향별 유지관리 방안을 제안하는 바이다.

【표 7-32】 교량받침의 이동성에 따른 받침 관리(예시)

**교량받침의 이동성에 따른 받침 관리(예시)**

■ 받침의 도장 색상에 따른 분류

-고정단 : 파란색

-양방향 가동단 : 적색 또는 주황색

-일방향 가동단 (교축방향 또는 교축 직각방향) : 노란색 또는 황색

■ 받침의 이동방향 표시판 설치

-고정단 : ●

-일방향 가동단 : ↕

-양방향 가동단 : ✥

고정단

일방향 가동단

양방향 가동단

교량받침의 이동방향 표시판 설치의 예

## 다. 받침장치 가동량 측정결과 및 유간측정 결과

효율적인 유지관리를 위해 금회 받침장치 가동량 측정결과 및 신축이음장치 유간측정 결과를 향후 점검 및 진단시 참고할 수 있도록 수록하였다.

1) 양평방향

① 교량받침 가동량 및 가동 여유량 측정 결과

【표 7-33】 양평방향 교량받침 실측 가동 여유량과 계산 가동량 결과(단위 : ㎜)

| 위 치 | | 점검당시 실측이동량 (㎜) | 계산 최대 받침 가동량(㎜) | | 실측 받침 가동여유량(㎜) | | 평 가 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 최대수축 가동량 | 최대신장 가동량 | 수축여유량 | 신장여유량 | |
| A1 | Sh1 | 60(A1) | 88.6 | 30.5 | 140 | 20 | N.G |
| | Sh2 | 60(A1) | | | 140 | 20 | N.G |
| | Sh3 | 55(A1) | | | 135 | 25 | N.G |
| | Sh4 | 52(A1) | | | 132 | 28 | N.G |
| A1 (2차) | Sh1 | 25(A1) | 59.8 | 48.2 | 105 | 55 | N.G |
| | Sh2 | 23(A1) | | | 103 | 57 | N.G |
| | Sh3 | 33(A1) | | | 113 | 47 | N.G |
| | Sh4 | 32(A1) | | | 112 | 48 | N.G |
| P1 (1차) | Sh1 | 28(A1) | 59.0 | 13.0 | 78 | 22 | O.K |
| | Sh2 | 28(A1) | | | 78 | 22 | O.K |
| | Sh3 | 30(A1) | | | 80 | 20 | O.K |
| | Sh4 | 28(A1) | | | 78 | 22 | O.K |
| P1 (2차) | Sh1 | 5(A1) | 39.8 | 32.2 | 55 | 45 | O.K |
| | Sh2 | 2(A1) | | | 52 | 48 | O.K |
| | Sh3 | 8(A1) | | | 58 | 42 | O.K |
| | Sh4 | 5(A1) | | | 55 | 45 | O.K |
| P2 (1차) | Sh1 | 19(A1) | 29.5 | 6.5 | 99 | 61 | O.K |
| | Sh2 | 20(A1) | | | 100 | 60 | O.K |
| | Sh3 | 16(A1) | | | 96 | 64 | O.K |
| | Sh4 | 17(A1) | | | 97 | 63 | O.K |
| P2 (2차) | Sh1 | 9(A1) | 19.9 | 16.1 | 89 | 71 | O.K |
| | Sh2 | 7(A1) | | | 87 | 73 | O.K |
| | Sh3 | 5(A1) | | | 85 | 75 | O.K |
| | Sh4 | 4(A1) | | | 84 | 76 | O.K |
| P4 (1차) | Sh1 | 14(A2) | 29.5 | 6.5 | 94 | 66 | O.K |
| | Sh2 | 13(A2) | | | 93 | 67 | O.K |
| | Sh3 | 15(A2) | | | 95 | 65 | O.K |
| | Sh4 | 14(A2) | | | 94 | 66 | O.K |
| P4 (2차) | Sh1 | 1(A2) | 19.9 | 16.1 | 81 | 79 | O.K |
| | Sh2 | 0 | | | 80 | 80 | O.K |
| | Sh3 | 0 | | | 80 | 80 | O.K |
| | Sh4 | 0 | | | 80 | 80 | O.K |

【표 7-33】 양평방향 교량받침 실측 가동 여유량과 계산 가동량 결과(단위 : ㎜)(계속)

| 위 치 | | 점검당시 실측이동량 (㎜) | 계산 최대 받침 가동량(㎜) | | 실측 받침 가동여유량(㎜) | | 평 가 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 최대수축 가동량 | 최대신장 가동량 | 수축여유량 | 신장여유량 | |
| P5 A1 (1차) | Sh1 | 36(A2) | 59.0 | 24.1 | 136 | 64 | O.K |
| | Sh2 | 25(A2) | | | 125 | 75 | O.K |
| | Sh3 | 36(A2) | | | 136 | 64 | O.K |
| | Sh4 | 25(A2) | | | 125 | 75 | O.K |
| P5 A1 (2차) | Sh1 | 3(A2) | 39.8 | 43.3 | 103 | 97 | O.K |
| | Sh2 | 1(A2) | | | 101 | 99 | O.K |
| | Sh3 | 0 | | | 100 | 100 | O.K |
| | Sh4 | 2(A2) | | | 102 | 98 | O.K |
| P5 A2 (1차) | Sh1 | 8(A1) | 29.5 | 6.5 | 88 | 72 | O.K |
| | Sh2 | 12(A1) | | | 92 | 68 | O.K |
| | Sh3 | 12(A1) | | | 92 | 68 | O.K |
| | Sh4 | 10(A1) | | | 90 | 70 | O.K |
| P5 A2 (2차) | Sh1 | 3(A1) | 19.9 | 16.1 | 83 | 77 | O.K |
| | Sh2 | 1(A1) | | | 81 | 79 | O.K |
| | Sh3 | 2(A1) | | | 82 | 78 | O.K |
| | Sh4 | 4(A1) | | | 84 | 76 | O.K |
| P7 (1차) | Sh1 | 17(A2) | 29.5 | 6.5 | 97 | 63 | O.K |
| | Sh2 | 13(A2) | | | 93 | 67 | O.K |
| | Sh3 | 15(A2) | | | 95 | 65 | O.K |
| | Sh4 | 16(A2) | | | 96 | 64 | O.K |
| P7 (2차) | Sh1 | 9(A2) | 19.9 | 16.1 | 89 | 71 | O.K |
| | Sh2 | 4(A2) | | | 84 | 76 | O.K |
| | Sh3 | 7(A2) | | | 87 | 73 | O.K |
| | Sh4 | 8(A2) | | | 88 | 72 | O.K |
| P8 (1차) | Sh1 | 23(A2) | 59.0 | 13.0 | 103 | 57 | O.K |
| | Sh2 | 20(A2) | | | 100 | 60 | O.K |
| | Sh3 | 20(A2) | | | 100 | 60 | O.K |
| | Sh4 | 22(A2) | | | 102 | 58 | O.K |
| P8 (2차) | Sh1 | 0 | 39.8 | 32.2 | 80 | 80 | O.K |
| | Sh2 | 0 | | | 80 | 80 | O.K |
| | Sh3 | 0 | | | 80 | 80 | O.K |
| | Sh4 | 0 | | | 80 | 80 | O.K |

【표 7-33】 양평방향 교량받침 실측 가동 여유량과 계산 가동량 결과(단위 : ㎜)(계속)

| 위 치 | | 점검당시 실측이동량 (㎜) | 계산 최대 받침 가동량(㎜) | | 실측 받침 가동여유량(㎜) | | 평 가 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 최대수축 가동량 | 최대신장 가동량 | 수축여유량 | 신장여유량 | |
| A2 (1차) | Sh1 | 50(A2) | 88.6 | 30.5 | 100 | 0 | N.G |
| | Sh2 | 50(A2) | | | 100 | 0 | N.G |
| | Sh3 | 48(A2) | | | 98 | 2 | N.G |
| | Sh4 | 48(A2) | | | 98 | 2 | N.G |
| A2 (2차) | Sh1 | 15(A2) | 59.8 | 48.2 | 65 | 35 | N.G |
| | Sh2 | 18(A2) | | | 68 | 32 | N.G |
| | Sh3 | 18(A2) | | | 68 | 32 | N.G |
| | Sh4 | 18(A2) | | | 68 | 32 | N.G |

② 신축이음 유간거리 측정결과

【표 7-34】 양평방향 신축이음 유간거리 측정결과(단위 : ㎜)

| 부 재 | | | 측정유간 (㎜) | 계산 신축량(㎜) | | 허용신장량 (㎜) | 신축 여유량(㎜) | | 평가 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 수축 | 팽창 | | 수축 | 팽창 | |
| Exp.J1 (A1) | 1차 | A | 67.0 | 88.6 | 19.4 | 160.0 | 93.0 | 67.0 | O.K |
| | | B | 125.0 | | | | - | 125.0 | |
| | | C | 250.0 | | | | - | 250.0 | |
| | | D | 225.0 | | | | - | 225.0 | |
| | 2차 | A | 91.0 | 56.9 | 51.1 | 160.0 | 69.0 | 91.0 | O.K |
| | | B | 155.0 | | | | - | 155.0 | |
| | | C | 275.0 | | | | - | 275.0 | |
| | | D | 250.0 | | | | - | 250.0 | |
| Exp.J2 (P2) | 1차 | A | 64.0 | 88.6 | 19.4 | 160.0 | 96.0 | 64.0 | O.K |
| | | B | 110.0 | | | | - | 110.0 | |
| | | C | 390.0 | | | | - | 390.0 | |
| | | D | 368.0 | | | | - | 368.0 | |
| | 2차 | A | 95.0 | 56.9 | 51.1 | 160.0 | 65.0 | 95.0 | O.K |
| | | B | 143.0 | | | | - | 143.0 | |
| | | C | 425.0 | | | | - | 425.0 | |
| | | D | 400.0 | | | | - | 400.0 | |
| Exp.J2 (A2) | 1차 | A | 54.0 | 88.6 | 19.4 | 160.0 | 106.0 | 54.0 | O.K |
| | | B | 125.0 | | | | - | 125.0 | |
| | | C | 285.0 | | | | - | 285.0 | |
| | | D | 270.0 | | | | - | 270.0 | |
| | 2차 | A | 81.0 | 56.9 | 51.1 | 160.0 | 79.0 | 81.0 | O.K |
| | | B | 145.0 | | | | - | 145.0 | |
| | | C | 310.0 | | | | - | 310.0 | |
| | | D | 297.0 | | | | - | 297.0 | |

※ 신축여유량(팽창)=측정유간-계산신축량(팽창), 신축여유량(수축)=허용신장량-측정유간-계산신축량(수축)
※ 신축여유량 > 0인 경우 양호
※ A : 신축이음장치, B : 바닥판, C : Steel Box 상부, D : Steel Box 하부

2) 마산방향

① 교량받침 가동량 및 가동 여유량 측정 결과

【표 7-35】 마산방향 교량받침 실측 가동 여유량과 계산 가동량 결과(단위 : ㎜)

| 위 치 | | 점검당시 실측이동량 (㎜) | 계산 최대 받침 가동량(㎜) | | 실측 받침 가동여유량(㎜) | | 평 가 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 최대수축 가동량 | 최대신장 가동량 | 수축여유량 | 신장여유량 | |
| A1 | Sh1 | 65(A1) | 88.6 | 30.5 | 145 | 15 | N.G |
| | Sh2 | 63(A1) | | | 143 | 17 | N.G |
| | Sh3 | 60(A1) | | | 140 | 20 | N.G |
| | Sh4 | 60(A1) | | | 140 | 20 | N.G |
| A1 (2차) | Sh1 | 30(A1) | 59.8 | 48.2 | 110 | 50 | N.G |
| | Sh2 | 35(A1) | | | 115 | 45 | N.G |
| | Sh3 | 40(A1) | | | 120 | 40 | N.G |
| | Sh4 | 40(A1) | | | 120 | 40 | N.G |
| P1 (1차) | Sh1 | 37(A1) | 59.0 | 13.0 | 87 | 13 | O.K |
| | Sh2 | 37(A1) | | | 87 | 13 | O.K |
| | Sh3 | 25(A1) | | | 75 | 25 | O.K |
| | Sh4 | 25(A1) | | | 75 | 25 | O.K |
| P1 (2차) | Sh1 | 5(A1) | 39.8 | 32.2 | 55 | 45 | O.K |
| | Sh2 | 5(A1) | | | 55 | 45 | O.K |
| | Sh3 | 3(A1) | | | 53 | 47 | O.K |
| | Sh4 | 2(A1) | | | 52 | 48 | O.K |
| P2 (1차) | Sh1 | 20(A1) | 29.5 | 6.5 | 100 | 60 | O.K |
| | Sh2 | 19(A1) | | | 99 | 61 | O.K |
| | Sh3 | 15(A1) | | | 95 | 65 | O.K |
| | Sh4 | 15(A1) | | | 95 | 65 | O.K |
| P2 (2차) | Sh1 | 10(A1) | 19.9 | 16.1 | 90 | 70 | O.K |
| | Sh2 | 7(A1) | | | 87 | 73 | O.K |
| | Sh3 | 6(A1) | | | 86 | 74 | O.K |
| | Sh4 | 4(A1) | | | 84 | 76 | O.K |
| P4 (1차) | Sh1 | 15(A2) | 29.5 | 6.5 | 95 | 65 | O.K |
| | Sh2 | 14(A2) | | | 94 | 66 | O.K |
| | Sh3 | 17(A2) | | | 97 | 63 | O.K |
| | Sh4 | 17(A2) | | | 97 | 63 | O.K |
| P4 (2차) | Sh1 | 2(A2) | 19.9 | 16.1 | 82 | 78 | O.K |
| | Sh2 | 1(A2) | | | 81 | 79 | O.K |
| | Sh3 | 4(A2) | | | 84 | 76 | O.K |
| | Sh4 | 0(A2) | | | 80 | 80 | O.K |

【표 7-35】 마산방향 교량받침 실측 가동 여유량과 계산 가동량 결과(단위 : ㎜)(계속)

| 위 치 | | 점검당시 실측이동량 (㎜) | 계산 최대 받침 가동량(㎜) | | 실측 받침 가동여유량(㎜) | | 평 가 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 최대수축 가동량 | 최대신장 가동량 | 수축여유량 | 신장여유량 | |
| P5 A1 (1차) | Sh1 | 18(A2) | 59.0 | 24.1 | 118 | 82 | O.K |
| | Sh2 | 17(A2) | | | 117 | 83 | O.K |
| | Sh3 | 20(A2) | | | 120 | 80 | O.K |
| | Sh4 | 20(A2) | | | 120 | 80 | O.K |
| P5 A1 (2차) | Sh1 | 8(A1) | 39.8 | 43.3 | 108 | 92 | O.K |
| | Sh2 | 6(A1) | | | 106 | 94 | O.K |
| | Sh3 | 5(A1) | | | 105 | 95 | O.K |
| | Sh4 | 3(A1) | | | 103 | 97 | O.K |
| P5 A2 (1차) | Sh1 | 7(A1) | 29.5 | 6.5 | 87 | 73 | O.K |
| | Sh2 | 10(A1) | | | 90 | 70 | O.K |
| | Sh3 | 12(A1) | | | 92 | 68 | O.K |
| | Sh4 | 13(A1) | | | 93 | 67 | O.K |
| P5 A2 (2차) | Sh1 | 6(A2) | 19.9 | 16.1 | 86 | 74 | O.K |
| | Sh2 | 5(A2) | | | 85 | 75 | O.K |
| | Sh3 | 2(A2) | | | 82 | 78 | O.K |
| | Sh4 | 4(A2) | | | 84 | 76 | O.K |
| P7 (1차) | Sh1 | 0(A2) | 29.5 | 6.5 | 80 | 80 | O.K |
| | Sh2 | 12(A2) | | | 92 | 68 | O.K |
| | Sh3 | 10(A2) | | | 90 | 70 | O.K |
| | Sh4 | 10(A2) | | | 90 | 70 | O.K |
| P7 (2차) | Sh1 | 10(A2) | 19.9 | 16.1 | 90 | 70 | O.K |
| | Sh2 | 0(A2) | | | 80 | 80 | O.K |
| | Sh3 | 0(A2) | | | 80 | 80 | O.K |
| | Sh4 | 0(A2) | | | 80 | 80 | O.K |
| P8 (1차) | Sh1 | 20(A2) | 59.0 | 13.0 | 100 | 60 | O.K |
| | Sh2 | 21(A2) | | | 101 | 59 | O.K |
| | Sh3 | 20(A2) | | | 100 | 60 | O.K |
| | Sh4 | 22(A2) | | | 102 | 58 | O.K |
| P8 (2차) | Sh1 | 0(A2) | 39.8 | 32.2 | 80 | 80 | O.K |
| | Sh2 | 0(A2) | | | 80 | 80 | O.K |
| | Sh3 | 0(A2) | | | 80 | 80 | O.K |
| | Sh4 | 0(A2) | | | 80 | 80 | O.K |

【표 7-35】 마산방향 교량받침 실측 가동 여유량과 계산 가동량 결과(단위 : ㎜)(계속)

| 위 치 | | 점검당시 실측이동량 (㎜) | 계산 최대 받침 가동량(㎜) | | 실측 받침 가동여유량(㎜) | | 평 가 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 최대수축 가동량 | 최대신장 가동량 | 수축여유량 | 신장여유량 | |
| A2 (1차) | Sh1 | 45(A2) | 88.6 | 30.5 | 95 | 5 | N.G |
| | Sh2 | 45(A2) | | | 95 | 5 | N.G |
| | Sh3 | 45(A2) | | | 95 | 5 | N.G |
| | Sh4 | 45(A2) | | | 95 | 5 | N.G |
| A2 (2차) | Sh1 | 10(A2) | 59.8 | 48.2 | 60 | 40 | N.G |
| | Sh2 | 15(A2) | | | 65 | 35 | N.G |
| | Sh3 | 13(A2) | | | 63 | 37 | N.G |
| | Sh4 | 10(A2) | | | 60 | 40 | N.G |

② 신축이음 유간거리 측정결과

【표 7-36】 마산방향 신축이음 유간거리 측정결과(단위 : ㎜)

| 부 재 | | | 측정유간 (㎜) | 계산 신축량(㎜) | | 허용신장량 (㎜) | 신축 여유량(㎜) | | 평가 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 수축 | 팽창 | | 수축 | 팽창 | |
| Exp.J1 (A1) | 1차 | A | 50.0 | 88.6 | 19.4 | 160.0 | 110.0 | 50.0 | O.K |
| | | B | 160.0 | | | | - | 160.0 | |
| | | C | 210.0 | | | | - | 210.0 | |
| | | D | 190.0 | | | | - | 190.0 | |
| | 2차 | A | 75.0 | 56.9 | 51.1 | 160.0 | 85.0 | 75.0 | O.K |
| | | B | 200.0 | | | | - | 200.0 | |
| | | C | 230.0 | | | | - | 230.0 | |
| | | D | 212.0 | | | | - | 212.0 | |
| Exp.J2 (P2) | 1차 | A | 27.0 | 88.6 | 19.4 | 160.0 | 133.0 | 27.0 | O.K |
| | | B | 120.0 | | | | - | 120.0 | |
| | | C | 375.0 | | | | - | 375.0 | |
| | | D | 350.0 | | | | - | 350.0 | |
| | 2차 | A | 53.0 | 56.9 | 51.1 | 160.0 | 107.0 | 53.0 | O.K |
| | | B | 140.0 | | | | - | 140.0 | |
| | | C | 405.0 | | | | - | 405.0 | |
| | | D | 375.0 | | | | - | 375.0 | |
| Exp.J2 (A2) | 1차 | A | 50.0 | 88.6 | 19.4 | 160.0 | 110.0 | 50.0 | O.K |
| | | B | 150.0 | | | | - | 150.0 | |
| | | C | 300.0 | | | | - | 300.0 | |
| | | D | 280.0 | | | | - | 280.0 | |
| | 2차 | A | 70.0 | 56.9 | 51.1 | 160.0 | 90.0 | 70.0 | O.K |
| | | B | 180.0 | | | | - | 180.0 | |
| | | C | 325.0 | | | | - | 325.0 | |
| | | D | 305.0 | | | | - | 305.0 | |

※ 신축여유량(팽창)=측정유간-계산신축량(팽창), 신축여유량(수축)=허용신장량-측정유간-계산신축량(수축)
※ 신축여유량 > 0인 경우 양호
※ A : 신축이음장치, B : 바닥판, C : Steel Box 상부, D : Steel Box 하부

# 제8장
# 종합결론

8.1 개 요

8.2 정밀안전진단 실시결과의 종합결론

# 제8장 종합결론

## 8.1 개 요

본 과업대상 시설물인 청미천교(양평, 마산)는 2002년 12월에 준공되어 14년째 공용 중에 있으며, 경기도 여주시 점동면 원부리에 위치하고 있다. 상부구조 형식은 강박스 거더교(Steel Box)로서 총폭 12.15m, 총연장은 L=450.0m(5@50.0+4@50.0)이다.「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 2010.12」, 과업지시서에 따라 교량의 안전성, 사용성, 내구성을 종합적으로 평가하고, 물리적, 기능적 결함의 원인분석 및 안전성평가를 실시하여 보수·보강대책을 수립함으로써 시설물의 효율적인 관리 및 재해, 재난을 예방하는데 그 목적을 두고 정밀안전진단을 실시하였으며, 외관조사 및 내구성조사를 통한 시설물의 상태평가, 안전성평가 등 과업의 결과를 종합한 결론은 다음과 같다.

## 8.2 정밀안전진단 실시결과의 종합결론

### 8.2.1 양평방향

#### 가. 외관조사 결과

- 상부구조인 바닥판에 건조수축에 의한 균열, 우수유입에 의한 캔틸레버 하면 폭 0.3mm 종균열 및 콘크리트 들뜸, 백태, 파손, 시공미흡에 의한 고무재탈락, 녹발생 등이 조사되었다. Steel Box Girder와 가로보 및 세로보에서는 부식 및 도장박리, 볼트부식, 긁힘 등이 조사되어 보수가 필요한 상태이며, 거더 내부의 이물질퇴적은 지속적인 청소를 통한 관리가 필요하고 변형, Pit 등의 손상은 지속관찰을 실시한다.
- 교량의 하부구조는 건조수축에 의한 균열 및 망상균열과 시공시 다짐 미흡에 따른 박락, 박리, 재료분리와 외부충격에 의한 파손, 신축이음 누수에 의한 누수흔적, 표면오염, 녹발생, 잡철물부식, 점검로 볼트부식 유심부 경미한 침식 등이 조사되었다. A2 흉벽과 교각P1 기둥부 하단에서 폭 0.3mm균열이 조사되어 보수가 필요하며, 시공 초기 다짐 불량과 신축이음 커버플레이트의 길이부족으로 인한 지속적인 우수유입에 의해 교대A1 흉벽 들뜸이 조사되어 단면보수가 필요하다.
- 받침본체의 경우 경년열화 등으로 인해 받침부식 및 솔플레이트부식, 낙교방지시설 고무재 탈락, 볼트부식, 볼트이완, 부식, 받침 몰탈 및 콘크리트의 균열, 철근노출, 파손 등이 조사되어 내구성 저하방지를 위하여 도장보수 및 단면보수가 필요한 상태이며, A1과 A2에서 조사된 여유량 부족은 설치시 발생한 프리셋팅 오류로 가동흔적 조사결과 기능상 문제가 없고 이동여유량 부족으로 인한 이상변위 및 기타손상이 없으므로 지속관찰 실시한다.
- 신축이음 유간에 대하여 계산 신축량과 측정유간을 비교·검토한 결과 여유량을 확보하였으며, 유간토사퇴적, 후타재 균열, 커버플레이트 탈락 등의 손상이 조사되었다.
- 교면포장은 마모, 소성변형, 파손, 패임, 포장균열 등이 조사되어 차량의 주행성을 확보차원에서 손상부에 대한 팻칭보수, 절삭, 실링보수를 실시하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.
- 배수시설은 S6의 배수관 길이부족으로 마산방향 교각 점검로를 통해 노면수가 유입되어 배수관 길이연장이 필요하며, 바닥판 유공관의 유도배수시설 필요와 배수관 볼트탈락이 조사되었다.
- 방호벽 및 중앙분리대는 줄눈 절단시기 미흡 및 건조수축에 의한 균열, 망상균열과 백태, 파손, 재료분리, 박리, 녹발생 및 잡철물 부식, 방호벽 하단의 박락과 철근노출, 충돌흔적 등이 조사되어 보수가 필요한 상태이다.
- 청미천교(양평)에 발생된 손상들은 구조적으로 문제가 될 만한 손상은 발생되지 않았으나, 기 진단(2012년)시 조사된 상·하부구조의 균열, 표면손상 및 단면손상, 배수시설 등은 일부 보수가 실시된 것으로 확인되었으나 공용증가 및 경미한 손상에 대한 누락, 수량집계의 부분적인 오류 등으로 일부 손상에 대해서는 손상수량이 증가된 것을 조사되었다.

#### 나. 내구성조사 결과

- 비파괴시험을 이용한 콘크리트 강도시험 결과, 콘크리트 강도는 설계기준 강도를 만족하고 있으며, 철근의 배근 간격 및 피복두께는 설계도면과 유사한 것으로 조사되었으나, 일부 부재에서 피복두께가 설계 값과 미소하게 차이가 나는 것으로 분석되었고, 준공 이후 공용기간 동안 피복두께로 인한 손상이 없는 점으로 보아, 공용 중 이로 인한 문제는 없을 것으로 판단된다.
- 탄산화 깊이측정결과 “a” 로 분석되었으며 전반적으로 양호한 상태인 것으로 평가되었다. 또한, 염화물 함유량 시험결과 상태평가 등급은 상부구조에서 ‘a’ 등급(0.3kg/$m^3$이하), 하부구조에서 ‘a’ 등급(0.3kg/$m^3$이하)으로 평가되었으며, A2벽체에서 누수부에 추가 확인한 결과 표면측에서 ‘c’ 등급(1.2kg/$m^3$이상~2.5kg/$m^3$미만)으로 나타났으나, 철근깊이에서 ‘a’ 등급(0.3kg/$m^3$이하)으로 분석되어 염화물에 의한 부식발생 가능성은 낮은 상태인 것으로 확인되었다.

- 균열깊이 측정 결과, 측정 철근 피복두께에 근접한 것으로 조사되어, 내구성 및 사용성 확보 차원의 주입보수(Cw=0.3㎜이상)를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 강재초음파 탐상 결과는 전 개소에서 합격으로 판정되어, 맞대기 용접부의 이상결함은 없는 것으로 확인되었다.
- 도장도막두께는 기준치를 만족하는 상태이며, 도장박리가 발생된 것은 공용 년 수 증가에 따른 노후화로 인해 발생된 것으로 판단되었다.

### 다. 상태평가 결과

- 외관조사 및 내구성 시험에 의한 상태평가결과, 구조물의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 조사되지 않았으며, 전반적으로 양호한 상태인 “B”(결함지수 X=0.234)로 평가되었다.

### 라. 안전성평가 결과

- 청미천교(양평)에 대하여 허용응력설계법을 이용하여 Steel Box Girder의 안전성을 검토하고, 강도설계법을 이용하여 바닥판 및 하부구조에 대한 안전성을 검토한 결과 안전성을 확보한 것으로 확인되었으며, 설계활하중 DB-24, DL-24에 대해 충분한 내하력을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

### 마. 종합평가 및 안전등급 지정

- 현장조사 및 시험 결과를 바탕으로 상태평가를 실시한 결과는 “B”(F=0.234), 구조해석을 통한 안전성평가를 실시한 결과는 “A”로 평가되어, 청미천교(양평)의 안전등급은 “양호한 상태” B(양호)로 지정하였다.

### 바. 결언

- 청미천교(양평)에 대하여 현장조사, 시험 및 측정, 시설물 평가를 실시한 결과, 바닥판 캔틸레버 하면의 폭 0.3mm균열과 들뜸, A2와 P1 기둥부 폭 0.3mm균열, A1 흉벽 들뜸 등에 대한 적절한 보수와 A1과 A2 교량받침 여유량부족의 주기적인 점검 등을 통한 지속관찰이 필요한 상태이나, 교량의 전체적인 상태는 특별한 문제점이 없는 건전한 상태인 것으로 확인되었다.
- 조사된 결함에 대해서 제안한 공법대로 보수를 실시하고, 보수부 및 중점유지관리가 필요한 부위에 대하여 주기적인 점검 및 유지관리를 실시한다면 구조물의 안전성과 사용성 확보를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.





## 8.2.2 마산방향

### 가. 외관조사 결과

- 상부구조인 바닥판에 건조수축에 의한 균열 및 망상균열, 우수유입에 의한 캔틸레버 하면 폭 0.3mm 종균열 및 콘크리트 들뜸, 백태, 파손, 시공미흡에 의한 고무재탈락, 노치 미제거, 녹발생 등이 조사되었다. Steel Box Girder와 가로보 및 세로보에서는 부식 및 도장박리 등이 조사되어 보수가 필요한 상태이며, 거더 내부의 이물질퇴적은 지속적인 청소를 통한 관리가 필요하며, 변형, Pit 등의 손상은 지속관찰을 실시한다.
- 교량의 하부구조는 건조수축에 의한 균열 및 망상균열과 시공시 다짐 미흡에 따른 들뜸, 박락, 박리, 재료분리와 외부충격에 의한 파손, 신축이음 누수에 의한 누수흔적, 표면오염, 녹발생, 잡철물부식, 유심부 경미한 침식, 교대 보호블럭 침하 및 파손 등이 조사되었다. 특히 P4 코핑부에서 조사된 철근노출 및 박락은 유공관을 통해서 유입된 우수가 코핑부의 철근노출(피복부족)부에 떨어져 철근부식으로 발생된 손상으로 바닥판 유공관의 유도배수 설치와 손상부에 대한 단면보수가 필요하다.
- 받침본체의 경우 경년열화 등으로 인해 받침부식 및 볼트부식, 낙교방지시설 고무재 탈락, 받침 몰탈 및 콘크리트의 균열, 철근노출, 파손, 재료분리 등이 조사되어 내구성 저하방지를 위하여 도장보수 및 단면보수가 필요한 상태이며, A1과 A2에서 조사된 여유량 부족은 설치시 발생한 프리셋팅 오류로 가동흔적 조사결과 기능상 문제가 없고 이동여유량 부족으로 인한 이상변위 및 기타손상이 없으므로 지속관찰 실시한다.
- 신축이음 유간에 대하여 계산 신축량과 측정유간을 비교·검토한 결과 여유량을 확보하였으며, P5 신축이음에서 조사된 본체부식과 변형은 공용증가 및 중차량 통행의한 것으로 가동상태와 유간량은 만족하므로 지속관찰 실시하고, 유간토사퇴적, 후타재 균열, 파손, 커버플레이트 탈락 등의 손상은 청소와 적절한 보수을 통한 유지관리를 실시한다.
- 교면포장은 포장균열, 망상균열, 파손, 패임, 포트홀, 이물질 용입 등이 조사되어 차량의 주행성을 확보차원에서 손상부에 대한 팻칭보수, 실링보수를 실시하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.
- 배수시설은 P2 배수관 길이부족으로 교각 기둥부 표면오염을 유발시키므로 배수관 길이연장이 필요하며, 바닥판 유공관의 유도배수시설 필요와 배수관 탈락이 조사되었다.
- 방호벽 및 중앙분리대는 줄눈 절단시기 미흡 및 건조수축에 의한 균열, 망상균열과 백태, 파손, 재료분리, 박리, 녹발생 및 잡철물 부식, 방음벽 지주부식 및 국부적인 파손 등이 조사되어 적절한 보수와 지속관찰이 필요한 상태이다.

• 청미천교(마산)에 발생된 손상들은 구조적으로 문제가 될 만한 손상은 발생되지 않았으나, 기 진단(2012년)시 조사된 상·하부구조의 균열, 표면손상 및 단면손상, 배수시설 등은 일부 보수가 실시된 것으로 확인되었으나 공용증가 및 경미한 손상에 대한 누락, 수량집계의 부분적인 오류 등으로 일부 손상에 대해서는 손상수량이 증가된 것을 조사되었다.

## 나. 내구성조사 결과

• 비파괴시험을 이용한 콘크리트 강도시험 결과, 콘크리트 강도는 설계기준 강도를 만족하고 있으며, 철근의 배근 간격 및 피복두께는 설계도면과 유사한 것으로 조사되었으나, 일부 부재에서 피복두께가 설계 값과 미소하게 차이가 나는 것으로 분석되었고, 준공 이후 공용기간 동안 피복두께로 인한 손상이 없는 점으로 보아, 공용 중 이로 인한 문제는 없을 것으로 판단된다.

• 탄산화 깊이측정결과 “a”로 분석되었으며 전반적으로 양호한 상태인 것으로 평가되었다. 또한, 염화물 함유량 시험결과 상태평가 등급은 상부구조에서 ‘a’ 등급(0.3kg/$m^3$이하), 하부구조에서 ‘a’ 등급(0.3kg/$m^3$이하)으로 평가되었으며, A2벽체에서 누수부에 추가 확인한 결과 표면측에서 ‘d’ 등급(2.5kg/$m^3$이상), 철근깊이에서 ‘c’ 등급(1.2kg/$m^3$이상 2.5kg/$m^3$미만)으로 분석되어 염화물에 의한 부식발생 가능성이 높은 상태인 것으로 분석되었다. 교대 A2 누수부에 염화물이 진전됨에 따라 보수를 통한 유지관리가 필요하다.

• 균열깊이 측정 결과, 측정 철근피복두께에 근접한 것으로 조사되어, 내구성 및 사용성 확보 차원의 주입보수(Cw=0.3㎜이상)를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

• 강재초음파 탐상 결과는 전 개소에서 합격으로 판정되어, 맞대기 용접부의 이상결함은 없는 것으로 확인되었다.

• 도장도막두께는 기준치를 만족하는 상태이며, 도장박리가 발생된 것은 공용년수 증가에 따른 노후화로 인해 발생된 것으로 판단되었다.

## 다. 상태평가 결과

• 외관조사 및 내구성 시험에 의한 상태평가결과, 구조물의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 조사되지 않았으며, 양호 상태인 “B”(결함지수 X=0.258)로 평가되었다.





## 라. 안전성평가 결과

• 청미천교(마산)에 대하여 허용응력설계법을 이용하여 Steel Box Girder의 안전성을 검토하고, 강도설계법을 이용하여 바닥판 및 하부구조에 대한 안전성을 검토한 결과 안전성을 확보한 것으로 확인되었으며, 설계활하중 DB-24, DL-24에 대해 충분한 내하력을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

## 마. 종합평가 및 안전등급 지정

• 현장조사 및 시험 결과를 바탕으로 상태평가를 실시한 결과는 “B”(F=0.258), 구조해석을 통한 안전성평가를 실시한 결과는 “A”로 평가되어, 청미천교(마산)의 안전등급은 “양호 상태” B(양호)로 지정하였다.

## 바. 결언

• 청미천교(마산)에 대하여 현장조사, 시험 및 측정, 시설물 평가를 실시한 결과, 바닥판 캔틸레버 하면의 폭 0.3mm균열과 들뜸, A2와 P2, P8 기둥부 폭 0.3mm균열, P4 코핑부 철근노출 및 박락 등에 대한 적절한 보수와 A1과 A2 교량받침 여유량부족의 주기적인 점검 등을 통한 지속관찰이 필요한 상태이나, 교량의 전체적인 상태는 특별한 문제점이 없는 건전한 상태인 것으로 확인되었다.

• 조사된 결함에 대해서 제안한 공법대로 보수를 실시하고, 보수부 및 중점유지관리가 필요한 부위에 대하여 주기적인 점검 및 유지관리를 실시한다면 구조물의 안전성과 사용성 확보를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.