종합보고서

중부지역 정밀안전진단용역

반심1교
(하행)

2016. 12

광양시 도로관리사업소

유성건설 주식회사

중 부 지 역 정 밀 안 전 진 단 용 역

종 합 보 고 서

(반심1교 하행)

2016. 12.

광양시 도로관리사업소

YUSUNG

유 성 건 설 ㈜

제 출 문

광양시 도로관리 사업소 귀하

귀 소와 계약 체결하여 수행한 **"중부지역 정밀안전진단 용역"** 완료 후, 그 결과를 본 보고서에 수록하여 부속자료와 함께 제출합니다.

2016년 12월

전라남도 무안군 무안읍 승달로 63-2

유 성 건 설 주 식 회 사

대표이사 김 범 중 (인)

참여 기술진 명단

참여구분	성명	자격사항	서명(인)
총괄책임 기 술 자	박 종 태	토목분야 특급기술자	
분 야 별 기 술 자	정 태 훈	토목분야 초급기술자	
참 여 기 술 자	김 원 창	토목분야 특급기술자	
	임 태 곤	토목분야 초급기술자	

시설물 위치도

위 치 : 전라남도 광양시 도이동 111-1

반심1교(하행) 전경

상 부 전 경

측 면 전 경

부위별 전경사진(1)

교량 명판

교면포장

방호벽

배수시설

신축이음

바닥판 하면

부위별 전경사진(2)

바닥판 하면 내부

교량받침

교대

교각

반심1교(하행) 정밀안전진단 결과표

가. 일반현황

용역명	중부지역 정밀안전진단 용역	진단기간	2016.09.23 ~ 2016.12.21		
관리주체명	광양시 도로관리사업소	설계하중	DB-24		
공동수급	독자수행	계약방법	경쟁입찰		
시설물구분	교량	종류	도로교량	종 별	1종
준공일	1998년 12월 30일	진단금액 (천원)	27,088	안전등급	B등급
시설물 규모	L=760m(8@50+1@50+2@45+2@60+2@50) B=11.56m(편도 2차선)				
시설물 위치	전라남도 광양시 도이동				

나. 진단 실시결과 현황

중대결함	•없 음.
안전진단 주요결과	과업대상 교량의 반심1교(하행)에 대한 정밀안전진단 결과, 구조적 안전성 및 설계내하력(DB-24 이상)을 확보한 상태로 분석되었으며, 내구성 조사결과 양호한 상태로 조사되었으나, 외관조사 결과 교면포장 균열 및 포트홀, 방호벽 콘크리트균열 및 철근노출, 배수관 탈락 및 배수구 막힘, 유간토사퇴적 및 후타재 균열, 바닥판하면 균열 및 백태, 거더 내외부 균열 및 백태, 받침장치 도장부식, 교대 보호공 유실 및 교대 교각 균열과 재료분리 등이 조사되었다. 이와 같이 조사된 손상은 구조물의 안전성에 심각한 영향을 미치지는 않으나 내구성 증진 차원에서 결함별 적절한 보수가 필요하다고 판단된다.
주 요 보수·보강	• 표면처리보수, 균열주입보수, 단면보수 등

다. 책임(참여)기술자 현황

구 분	성 명	과업참여기간	기술등급
총괄 책임기술자	박 종 태	2016.09.23. ~ 2016.12.21	토목 특급 기술자
분야별 책임기술자	정 태 훈	2016.09.23. ~ 2016.12.21	토목 초급 기술자
참여기술자	김 원 창	2016.09.23. ~ 2016.12.21	토목 특급 기술자
참여기술자	임 태 곤	2016.09.23. ~ 2016.12.21	토목 초급 기술자

라. 참고사항

-

반심1교(하행) 정밀안전진단 실시결과 요약문

책임기술자 종합의견
과업대상 교량의 반심1교(하행)에 대한 정밀안전진단 결과, 구조적 안전성 및 설계내하력(DB-24 이상)을 확보한 상태로 분석되었으며, 내구성 조사결과 양호한 상태로 조사되었으나, 외관조사 결과 교면포장 균열 및 포트홀, 방호벽 콘크리트균열 및 철근노출, 배수관 탈락 및 배수구 막힘, 유간토사퇴적 및 후타재 균열, 바닥판하면 균열 및 백태, 거더 내외부 균열 및 백태, 받침장치 도장부식, 교대 보호공 유실 및 교대 교각 균열과 재료분리 등이 조사되었다. 이와 같이 조사된 손상은 구조물의 안전성에 심각한 영향을 미치지는 않으나 내구성 증진 차원에서 결함별 적절한 보수가 필요하다고 판단된다. 책임기술자 : 박 종 태 (서명)

가. 안전성평가 결과

구분		설계하중 작용시							등급
		프리스트레스에 의한 단면력 및 부정정력	자중	고정하중	활하중	부등침하	계	안전율	
S8	상연	-4.876	4.243	0.516	1.606	0.129	1.618	9.89	A
	하연	8.410	-7.319	-0.890	-2.770	-0.223	-2.791	1.13	A
P7	상연	4.926	-4.406	-0.535	-1.225	-0.219	-1.459	2.17	A
	하연	-6.504	5.817	0.706	1.618	0.290	1.926	8.31	A
S7	상연	-2.470	1.930	0.238	1.307	0.115	1.120	14.28	A
	하연	4.260	-3.329	-0.411	-2.254	-0.199	-1.933	1.64	A
허용응력		$-3.16 < \sigma < 16.00$							

※ (+) 압축응력, (-)인장응력

나. 내진성능 평가

<표 1> 교각부 평가 결과

구 분		공급역량	소요역량	안전률	비고
변위연성도	교축	1.500	6.582	0.228	N.G
모멘트	교직	40,821	35,169	1.161	O.K

<표 2> 받침부 평가 결과

구 분		공급역량	소요역량	안전률	비고
받침본체	교축	2,020	2,008	1.006	O.K
	교직	1,010	2,716	0.372	N.G
앵커볼트-강재파괴	교축	947	1,004	0.943	N.G
	교직	947	2,716	0.349	N.G
앵커볼트-콘크리트파괴	교축	425	1,004	0.423	N.G
	교직	232	2,716	0.085	N.G
앵커볼트-프라이아웃파괴	교축	379	1,004	0.377	N.G
	교직	379	2,716	0.139	N.G

다. 외관조사결과 요약

구 분		결함 및 손상내용	손상원인	수 량	개선방안
교면 포장		표장균열	공용증대	760.0m	씰링보수
		포장 포트홀	외부충격	1.5㎡	소파보수
방호벽		균열(폭0.2mm이하)	건조수축	80.9m	표면보수
		균열(폭0.3mm이상)	건조수축	73.2m	주입보수
		누수,누수및백태	우수침투	3.0㎡	단면보수
		망상균열	건조수축	7.6㎡	주의관찰
		철근노출	피복부족	2.7㎡	단면보수
		파손	외부충격	1.8㎡	단면보수
배수시설		배수관탈락	외부충격	1ea	점검수리
		배수구 막힘	청소미흡	23ea	주기적 청소
신축이음		균열(0.2mm이하)	건조수축	15.8m	표면보수
		균열(0.3mm이상)	건조수축	7.5m	주입보수
		유간퇴적	배수불량	3.5㎡	주기적 청소
바닥판 하면		균열(폭0.2mm이하)	건조수축	2180.5m	표면보수
		균열(폭0.3mm이상)	건조수축	4.0m	주입보수
		백태	우수침투	8.4㎡	표면보수
		철근노출	피복부족	0.2㎡	단면보수
		파손	외부충격	0.25㎡	주의관찰
거더		균열(폭0.2mm이하)	건조수축	321.2m	표면보수
		균열(폭0.3mm이상)	건조수축	18.0m	주입보수
		백태	우수침투	1.0㎡	표면보수
		망상균열	건조수축	1.0㎡	주의관찰
		재료분리	시공미흡	7.2㎡	단면보수
교량받침		도장부식	공용기간증대	34ea	재도장
하부 구조	교대	균열(폭0.2mm이하)	건조수축	33m	표면보수
		균열(폭0.3mm이상)	건조수축	1m	주입보수
		오염	우수침투	12㎡	주의관찰
		보호공유실	우수침투	1.0㎥	뒷채움보수
	교각	균열(폭0.2mm이하)	건조수축	65.9m	표면보수
		균열(폭0.3mm이상)	건조수축	110.5m	주입보수
		망상균열	건조수축	7.55㎡	주의관찰
		재료분리	시공미흡	2.32㎡	단면보수
		오염	우수침투	43.24㎡	주의관찰
		철근노출	피복부족	0.04㎡	단면보수

라. 현장시험(비파괴 및 추가시험)

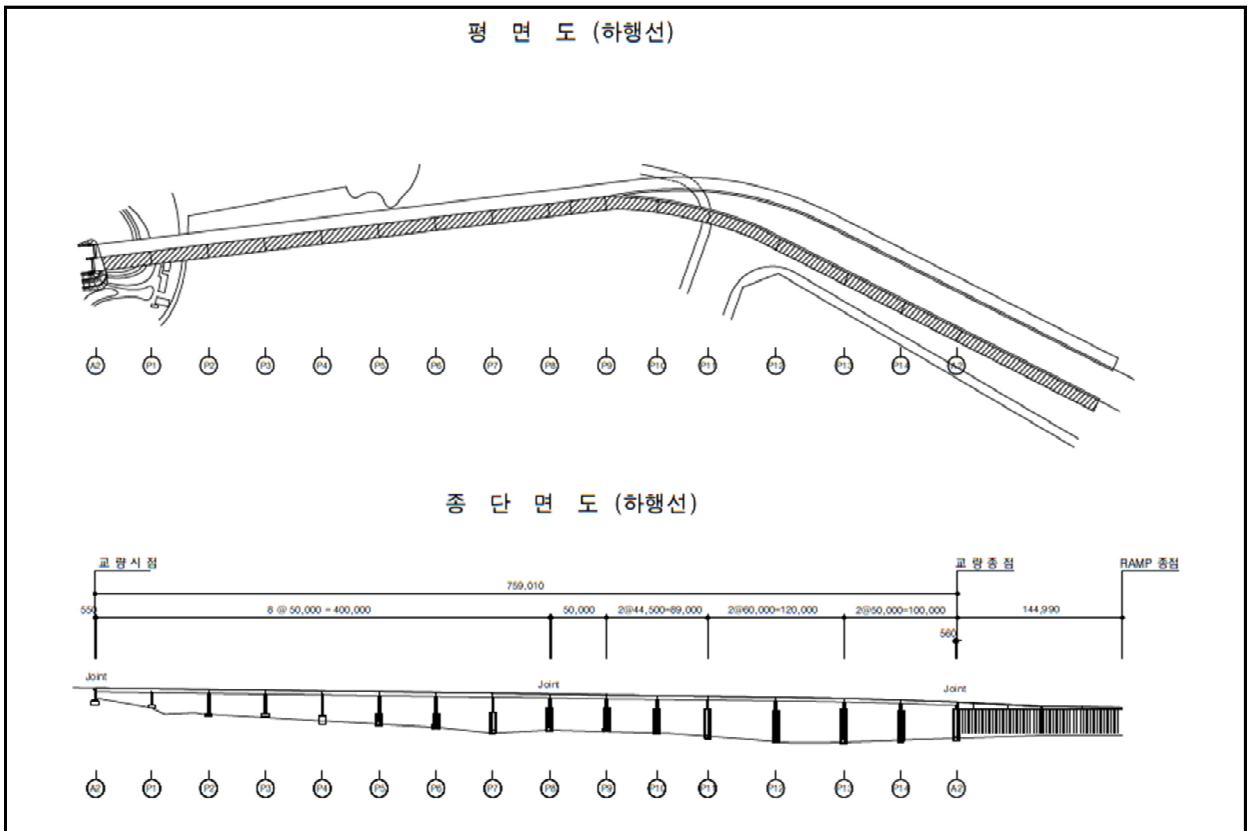
구 분	내구성시험 결과			평가의견
반 발 경 도 시 험 (MPa)	시 험 부 위	시험결과(Mpa)	설계기준강도(Mpa)	● 콘크리트 압축강도측정 결과, 설계기준의 90%이상으로써 콘크리트 압축강도는 양호한 것으로 조사되었다.
	상 부 구 조	31.1~34.4	35.0	
	하 부 구 조	26.8~29.0	24.0	
코 어 채 취 (MPa)	시 험 부 위	시험결과(Mpa)	설계기준강도(Mpa)	● 코어 채취 측정 결과, 설계기준의 90%이상으로써 양호한 상태로 조사됨.
	상 부 구 조	37.2	35.0	
	하 부 구 조	26.2~27.0	24.0	
철 근 배 근 탐 상 (㎜)	시 험 부 위	주철근간격(mm)	피복두께(mm)	● 철근배근탐사 결과, 배근간격은 설계값과 유사하며, 양호한 배근 간격을 갖는 것으로 조사됨.
	상 부 구 조	124~126	50~64	
	하 부 구 조	100	90~105	
철 근 부식도 측 정 (mV)	시 험 부 위	측정치(mV)	허용기준치(mV)	● 철근부식도 조사결과, 90% 이상의 확률로서 철근부식의 영향은 없는 것으로 조사됨.
	교대 A1	186	E > -200	
	교각 P1	180		
탄산화 깊 이 (㎜)	시 험 부 위	탄산화 깊이(mm)	최소피복두께(mm)	● 탄산화 깊이 측정결과, 상·하부구조에서 "a"등급으로 철근부식 우려가 없는 양호한 상태로 조사됨.
	상 부 구 조	5.0~6.5	50.0	
	하 부 구 조	6.8~8.0	90.0	
염화물 함유량 시 험 (kgf/㎥)	시 험 부 위	측정치(kgf/㎥)	허용기준치(kgf/㎥)	● 염화물 함유량 측정 결과, 허용기준치 이내로 측정됨.
	상 부 구 조	0.0127	0.3	
	하 부 구 조	0.0013~0.0135		

반심1교(하행) 현황표

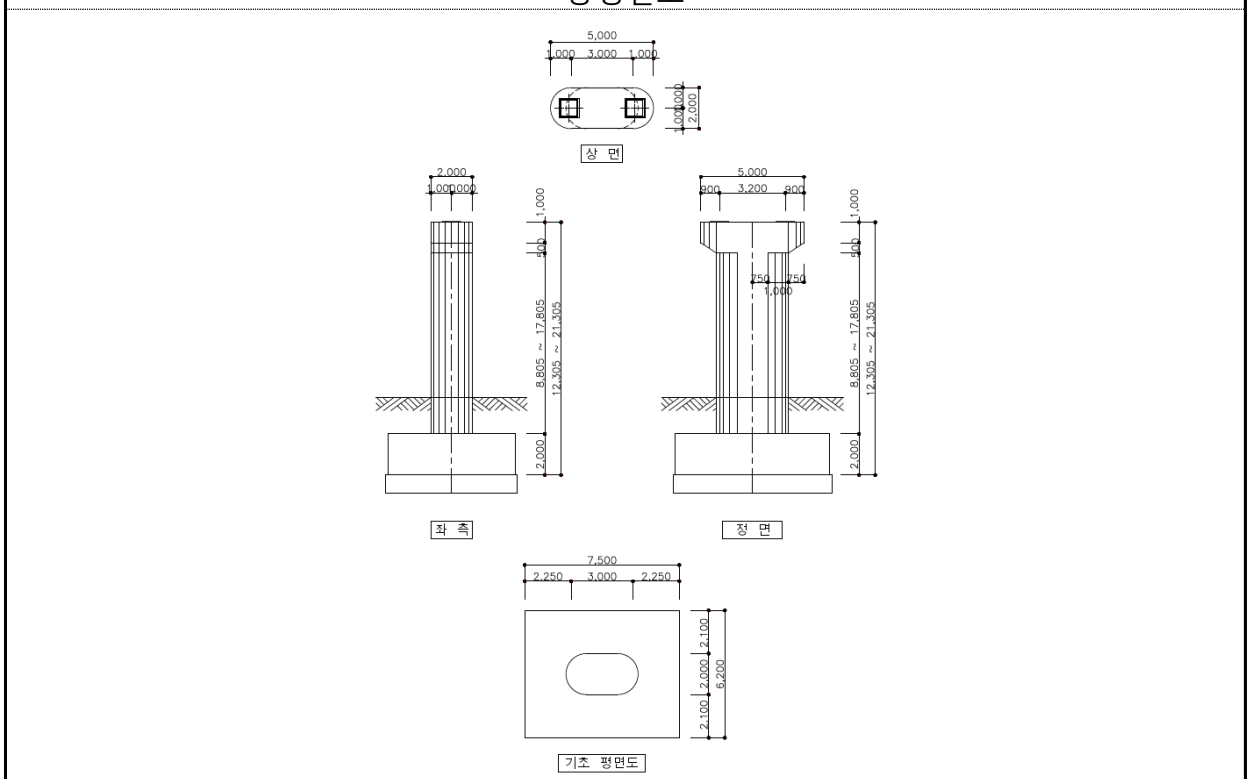
2016년 12월

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th colspan="3">내 용</th><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td colspan="2">교 량 명</td><td colspan="3">광양항반심1교(하)</td><td colspan="2">시설물번호</td><td>BR1998-0000291</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년도</td><td colspan="3">1998년 12월 30일</td><td colspan="2">관리번호</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">관리주체</td><td colspan="3">광양시도로관리사업소</td><td colspan="2">노 선 명</td><td>광로 2-6호</td></tr>
<tr><td colspan="2">소 재 지</td><td colspan="3">전남 광양시 도이동</td><td colspan="2">시 공 자</td><td>현대건설(주)</td></tr>
<tr><td rowspan="5">상부구조</td><td>형 식</td><td colspan="3">PSC Box교</td><td colspan="2">설계속도</td><td>80km/h</td></tr>
<tr><td>총 폭</td><td>11.56m</td><td>유효폭</td><td>8.0m</td><td rowspan="2">선형</td><td>횡단</td><td>-</td></tr>
<tr><td>교 고</td><td colspan="3">· 교대 : 5.0~7.0m
· 교각 : 6.99~40.61m</td><td>종단</td><td>-1.08% ~ 2.80%</td></tr>
<tr><td>차 선 수</td><td colspan="3">편도 2차선</td><td colspan="2">교좌장치</td><td>Pot Bearing</td></tr>
<tr><td>경간구성</td><td colspan="3">15경간 연속
8@50+3@50+2@60+2@50=770m</td><td colspan="2">신축이음장치</td><td>핑거조인트, 레일식</td></tr>
<tr><td rowspan="2">하부구조</td><td>교 대</td><td colspan="3">역 T형</td><td colspan="2">기초형식</td><td>확대기초</td></tr>
<tr><td>교 각</td><td colspan="3">T형</td><td colspan="2">설계도서유무</td><td>유</td></tr>
<tr><td colspan="2">교량 등급</td><td colspan="3">1등교</td><td colspan="2">설계하중</td><td>DB-24</td></tr>
</table>

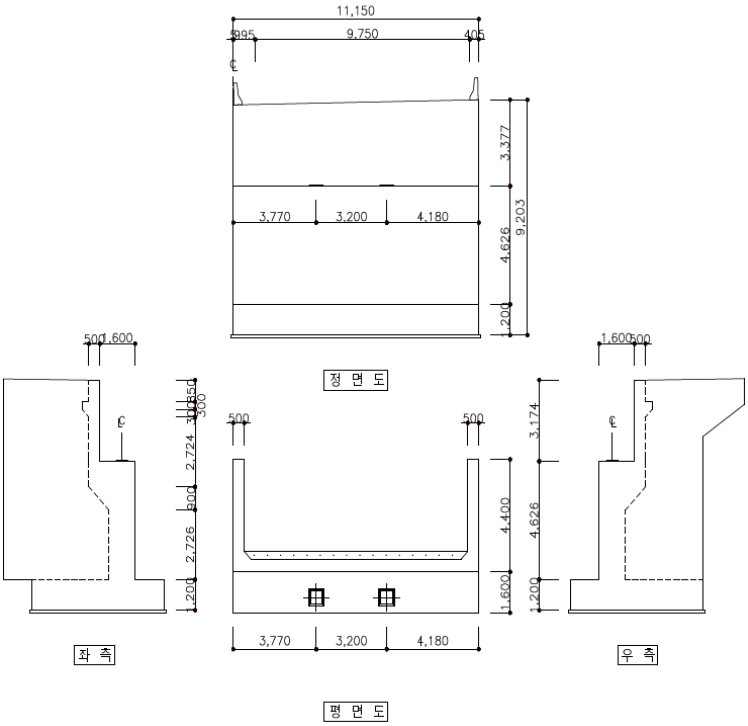
-별지 1-



< 종평면도 >



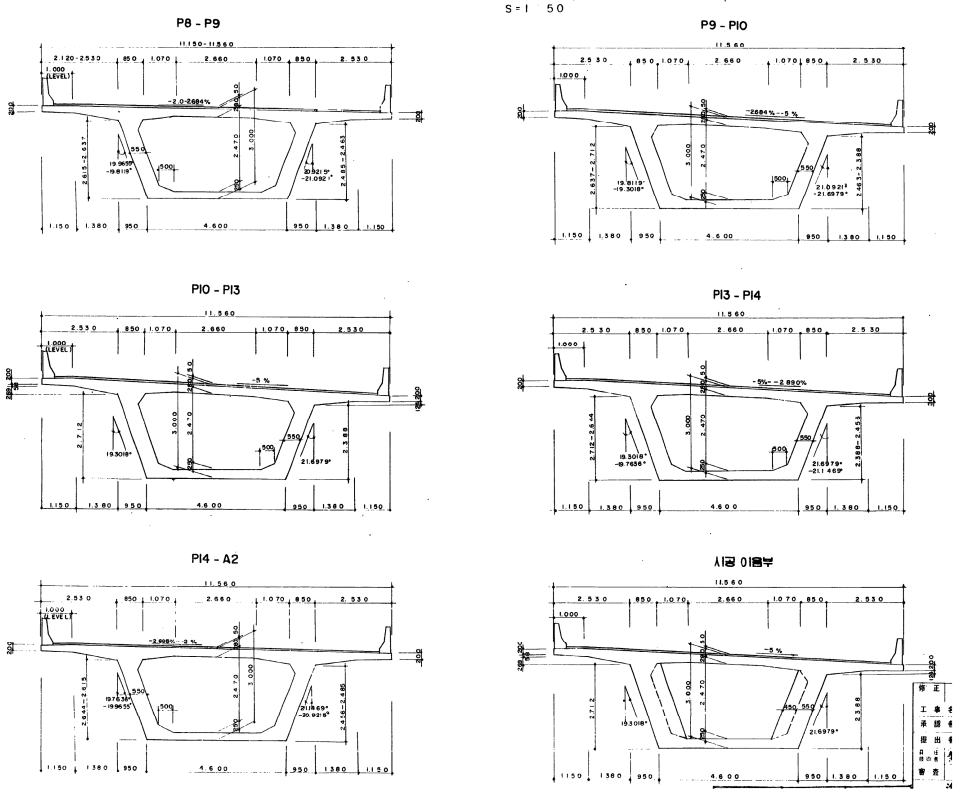
< 교각 일반도 >



< 교대 일반도 >

표 준 단 면 도

S=1 50



<상부구조 표준단면도 >

-별지 2-

구 분	점 검 내 용
교면포장	- 포장면 균열 및 포트홀 손상진행 유무 확인
방호벽	- 가로등 기초의 균열진행여부 - 방호벽 철근노출부 진행여부및부식정도 확인. - 균열/백태부의 진행여부
배수시설	- 상부 배수구 주기적인 청소 및 유지관리. - 배수관 탈락 및 변형 여부확인.
신축이음	- 신축이음 본체 주기적인 청소 및 유지관리. - 후타재 균열 확대 및 진전 유무.
바닥판 하면	- 바닥판 하면 및 캔틸레버 하면 균열 확대 및 진전유무. - 캔틸레버 하면 백태 및 손상유무 확인.
거더	- 거더 내.외부 균열, 긁힘, 백태 등의 진행 및 손상유무
교량받침	- 교량받침 유지관리.
하부구조	- 교대 표면오염 등 기타 손상유무 확인. - 교대 보호공 유실 및 손상유무 확인. - 교각 미세균열 및 망상균열 확대 및 진전 유무. - 교각 백태, 박리박락, 곰보, 박리 및 긁힘 등 기타 손상유무 확인.

- 보고서 목차 -

제1장 서 론

1.1. 과업의 목적 ····· 2
1.2. 대상시설물 개요 ····· 2
1.3. 과업의 범위 및 내용 ····· 3
1.4. 과업수행기간 및 일정 ····· 4
1.5. 과업수행방법 ····· 5
1.6. 사용장비 및 기기 ····· 6
1.7. 기호의 정의 ····· 7

제2장 시설물현황 및 기초자료조사

2.1. 개요 ····· 9
2.2. 대상시설물 현황 ····· 9
2.3. 관련도면 ····· 10
2.4. 관련자료 수집 및 분석현황 ····· 12

제3장 외관조사

3.1. 개요 ····· 16
3.2. 외관조사 결과 ····· 28

제4장 내구성조사

4.1. 개요 ····· 50
4.2. 반발경도 및 초음파 시험 ····· 64
4.3. 코어 압축강도시험 ····· 70
4.4. 철근배근탐사 ····· 73
4.5. 철근 부식도 측정 ····· 77
4.6. 콘크리트 탄산화깊이 조사 ····· 79
4.7. 염화물함유량 측정 ····· 81
4.8. 전차 정밀안전진단 비교·분석 ····· 83

제5장 상태평가

5.1. 개요 ····· 86
5.2. 상태평가 등급 기준 ····· 86
5.3. 부재별 상태평가 기준 ····· 87
5.4. 상태평가 등급산정 절차 ····· 86
5.5. 교량 상태평가 등급의 산정 ····· 96

제6장 재하시험

6.1. 개요 ····· 102
6.2. 정적재하시험 ····· 102
6.3. 동적주행시험 ····· 107

제7장 안전성 평가

7.1. 개요 ····· 113
7.2. 바닥판 검토 ····· 117
7.3 거더 검토 ····· 124
7.4. 재하시험 차량에 대한 응답비 산정 ····· 134
7.5. 고유진동수 검토 ····· 136
7.6. 내하력 평가 ····· 137

제8장 내진성능 상세평가

8.1. 탄성지진력 산정 ····· 141
8.2. 교각의 내진성능 평가 ····· 151
8.3. 교량 받침의 내진성능 평가 ····· 159
8.4. 내진성능 평가 결과 ····· 166
8.5. 결론 ····· 167

제9장 종합평가

9.1. 개요 ····· 169
9.2. 상태평가 등급의 산정 ····· 170
9.3. 안전성평가 등급의 산정 ····· 172
9.4. 종합평가 등급의 산정 ····· 173

제10장 보수·보강 및 유지관리방안

10.1. 보수·보강방안 ····· 175
10.2. 유지관리방안 ····· 185

제11장 종합결론

11.1. 종합결론 ····· 218
11.2. 시설물의 사용제한의 필요성 여부 ····· 226

요 약 문

반심1교(하행) 정밀안전진단 결과표

작성일 : 2016년 12월

1. 시 설 물 명 : 광양항반심1교(하행)
 1.1 주 용 도 : 도로교량
 1.2 종 별 : 1종
 1.3 준공년월 : 1998년 12월 30일 (약18년 경과)
2. 관리주체 : 광양시 도로관리사업소
3. 위 치 : 전라남도 광양시 도이동
4. 진단의 목적

 본 과업은 정기점검 과정을 통하여 쉽게 발견할 수 없는 결함부위를 찾기 위하여 행하여지는 정밀한 육안검사 및 장비에 의한 육안근접점검으로 대상교량의 현장조사, 구성 재료의 강도 및 성능시험 및 정.동적 재하시험 등을 실시하여 교량의 구조거동 및 안전성을 평가하고, 이론적인 해설 결과와 비교.분석함으로서 대상교량의 구조성능, 내하성능, 사용성, 구조적 안전성 및 결함의 원인분석과 교량의 보수 .보강방법 및 향후 유지관리 방안을 제시하여 적절한 교량관리방법을 수립하고자 본 설계도서에 의거 정밀안전진단을 시행하고자 함.

5. 시설물 종합평가등급 : 『**B**』(상태평가등급 :『b』, 안전성평가등급 :『a』)
6. 진단결과 총평 및 건의

 과업대상 교량의 반심1교(상행)에 대한 정밀안전진단 결과, 구조적 안전성 및 설계내하력(DB-24 이상)을 확보한 상태로 분석되었으며, 내구성 조사결과 양호한 상태로 조사되었으나, 외관조사 결과 교면포장 균열 및 포트홀, 방호벽 콘크리트균열 및 철근노출, 배수관탈락 및 배수구 막힘, 유간토사퇴적 및 후타재 균열, 바닥판하면 균열 및 백태, 거더 내외부 균열 및 백태, 받침장치 도장부식, 교대 보호공 유실 및 교대 교각 균열과 재료분리 등이 조사되었다. 이와 같이 조사된 손상은 구조물의 안전성에 심각한 영향을 미치지는 않으나 내구성 증진 차원에서 결함별 적절한 보수가 필요하다고 판단된다.

7. 진 단 기 간 : 2016. 09. 23. ~ 2016. 12. 21.
8. 진 단 기 관 : 유성건설(주)
9. 책임기술자 : 박 종 태 (인)

요 약 문

1. 과업의 목적

본 과업은 정기점검 과정을 통하여 쉽게 발견할 수 없는 결함부위를 찾기 위하여 행하여지는 정밀한 육안검사 및 장비에 의한 육안근접점검으로 대상교량의 현장조사, 구성재료의 강도 및 성능시험 및 정.동적 재하시험 등을 실시하여 교량의 구조거동 및 안전성을 평가하고, 이론적인 해설 결과와 비교.분석함으로서 대상교량의 구조성능, 내하성능, 사용성, 구조적 안전성 및 결함의 원인분석과 교량의 보수 .보강방법 및 향후 유지관리 방안을 제시하여 적절한 교량관리방법을 수립하고자 본 설계도서에 의거 정밀안전진단을 시행하고자 함.

2. 과업의 개요

2.1 과업 세부내용

1) 자료수집 및 분석

2) 현장조사 및 시험

3) 상태평가

4) 안전성평가

5) 보수·보강방법

6) 보고서 작성

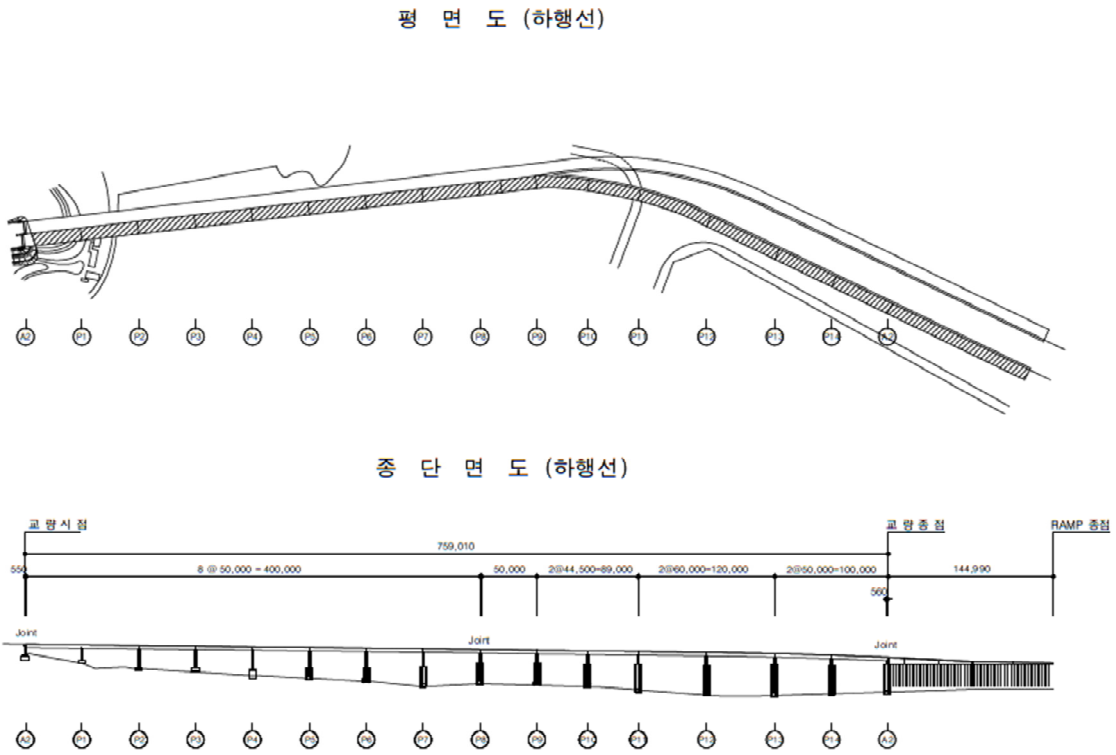
2.2 과업 수행 기간

2016년 09월 23일 ~ 2016년 12월 21일

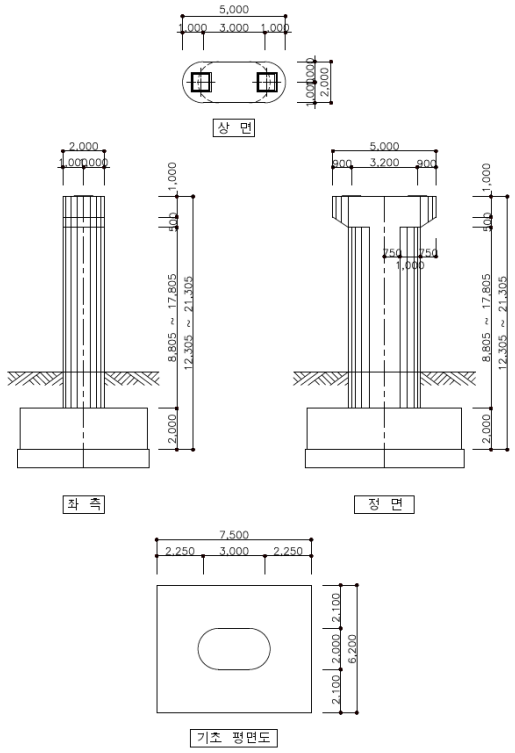
2.3 대상시설물 현황

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th colspan="3">내 용</th><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td colspan="2">교 량 명</td><td colspan="3">광양항반심1교(하)</td><td colspan="2">시설물번호</td><td>BR1998-0000291</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년도</td><td colspan="3">1998년 12월 30일</td><td colspan="2">관리번호</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">관리주체</td><td colspan="3">광양시도로관리사업소</td><td colspan="2">노 선 명</td><td>광로 2-6호선</td></tr>
<tr><td colspan="2">소 재 지</td><td colspan="3">전남 광양시 도이동</td><td colspan="2">시 공 자</td><td>현대건설(주)</td></tr>
<tr><td rowspan="5">상부구조</td><td>형 식</td><td colspan="3">PSC Box교</td><td colspan="2">설계속도</td><td>80km/h</td></tr>
<tr><td>총 폭</td><td>11.56m</td><td>유효폭</td><td>8.0m</td><td rowspan="2">선형</td><td>횡단</td><td>-</td></tr>
<tr><td>교 고</td><td colspan="3">· 교대 : 5.0~7.0m
· 교각 : 6.99~40.61m</td><td>종단</td><td>-1.08% ~ 2.80%</td></tr>
<tr><td>차 선 수</td><td colspan="3">편도 2차선</td><td colspan="2">교좌장치</td><td>Pot Bearing</td></tr>
<tr><td>경간구성</td><td colspan="3">15경간 연속
8@50+1@50+2@45+2@60+2@50
=760m</td><td colspan="2">신축이음장치</td><td>핑거조인트, 레일식</td></tr>
<tr><td rowspan="2">하부구조</td><td>교 대</td><td colspan="3">역 T형</td><td colspan="2">기초형식</td><td>확대기초</td></tr>
<tr><td>교 각</td><td colspan="3">T형</td><td colspan="2">설계도서유무</td><td>유</td></tr>
<tr><td colspan="2">교량 등급</td><td colspan="3">1등교</td><td colspan="2">설계하중</td><td>DB-24</td></tr>
</table>

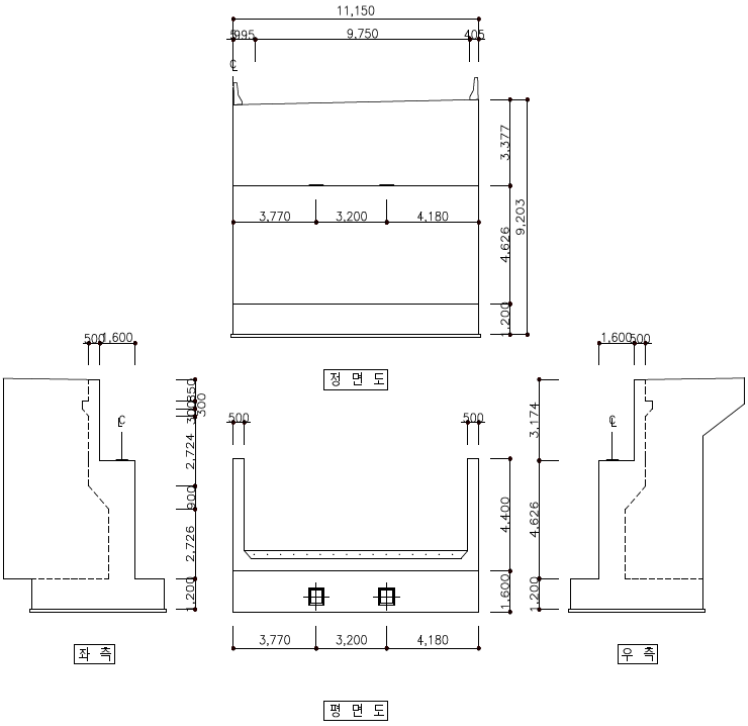
2.4 대상시설물 주요도면



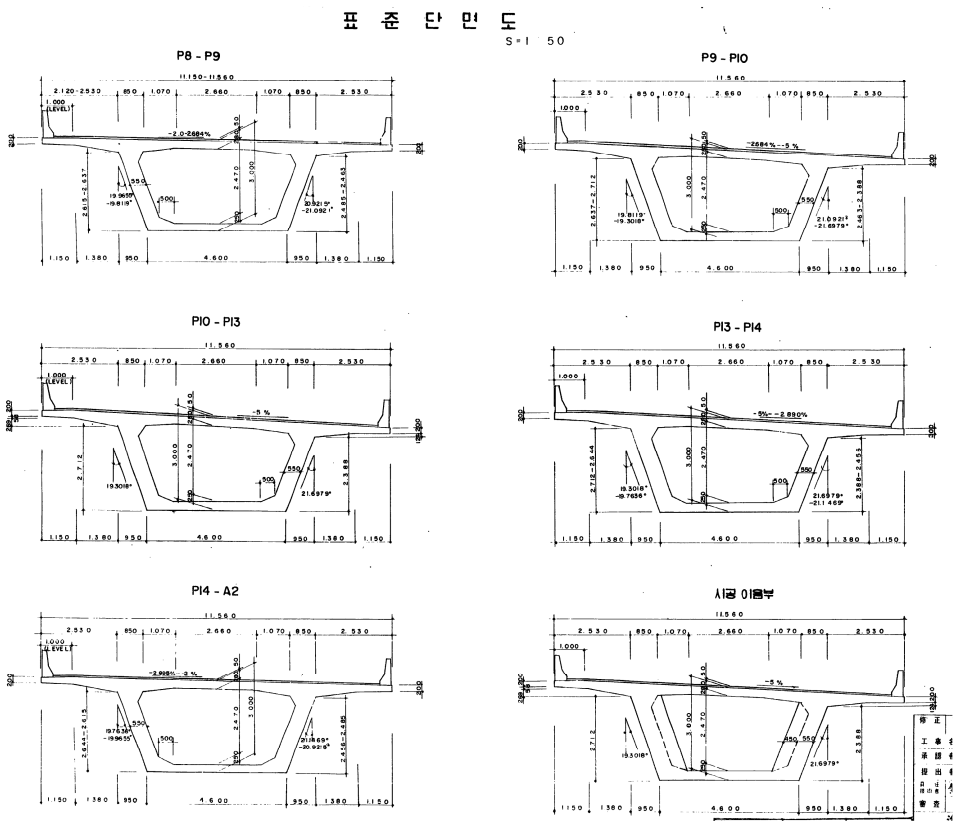
< 종평면도 >



< 교각 일반도 >



< 교대 일반도 >



<상부구조 표준단면도 >

3. 외관조사 결과

구 분		결함 및 손상내용	손상원인	수 량	개선방안
교면 포장		표장균열	공용증대	760.0m	씰링보수
		포장 포트홀	외부충격	1.5㎡	소파보수
방호벽		균열(폭0.2mm이하)	건조수축	80.9m	표면보수
		균열(폭0.3mm이상)	건조수축	73.2m	주입보수
		누수,누수및백태	우수침투	3.0㎡	단면보수
		망상균열	건조수축	7.6㎡	주의관찰
		철근노출	피복부족	2.7㎡	단면보수
		파손	외부충격	*1.8㎡*	단면보수
배수시설		배수관탈락	외부충격	1ea	점검수리
		배수구 막힘	청소미흡	23ea	주기적 청소
신축이음		균열(0.2mm이하)	건조수축	15.8m	표면보수
		균열(0.3mm이상)	건조수축	7.5m	주입보수
		유간퇴적	배수불량	3.5㎡	주기적 청소
바닥판 하면		균열(폭0.2mm이하)	건조수축	2180.5m	표면보수
		균열(폭0.3mm이상)	건조수축	4.0m	주입보수
		백태	우수침투	8.4㎡	표면보수
		철근노출	피복부족	0.2㎡	단면보수
		파손	외부충격	*0.25㎡*	주의관찰
거더		균열(폭0.2mm이하)	건조수축	321.2m	표면보수
		균열(폭0.3mm이상)	건조수축	18.0m	주입보수
		백태	우수침투	1.0㎡	표면보수
		망상균열	건조수축	1.0㎡	주의관찰
		재료분리	시공미흡	7.2㎡	단면보수
교량받침		도장부식	공용기간증대	34ea	재도장
하부 구조	교대	균열(폭0.2mm이하)	건조수축	33m	표면보수
		균열(폭0.3mm이상)	건조수축	1m	주입보수
		오염	우수침투	12㎡	주의관찰
		보호공유실	우수침투	1.0㎥	뒷채움보수
	교각	균열(폭0.2mm이하)	건조수축	65.9m	표면보수
		균열(폭0.3mm이상)	건조수축	110.5m	주입보수
		망상균열	건조수축	7.55㎡	주의관찰
		재료분리	시공미흡	2.32㎡	단면보수
		오염	우수침투	43.24㎡	주의관찰
		철근노출	피복부족	*0.04㎡*	단면보수

4. 내구성조사 결과

구 분	내구성시험 결과			평가의견
반발경도시험 (MPa)	시 험 부 위	시험결과(Mpa)	설계기준강도(Mpa)	● 콘크리트 압축강도측정 결과, 설계기준의 90%이상으로써 콘크리트 압축강도는 양호한 것으로 조사되었다.
	상 부 구 조	31.1~34.4	35.0	
	하 부 구 조	26.8~29.0	24.0	
코어채취 (MPa)	시 험 부 위	시험결과(Mpa)	설계기준강도(Mpa)	● 코어 채취 측정 결과, 설계기준의 90%이상으로써 양호한 상태로 조사됨.
	상 부 구 조	37.2	35.0	
	하 부 구 조	26.2~27.0	24.0	
철근배근탐상 (㎜)	시 험 부 위	주철근간격(mm)	피복두께(mm)	● 철근배근탐사 결과, 배근간격은 설계값과 유사하며, 양호한 배근 간격을 갖는 것으로 조사됨.
	상 부 구 조	124~126	50~64	
	하 부 구 조	100	90~105	
철근부식도측정 (mV)	시 험 부 위	측정치(mV)	허용기준치(mV)	● 철근부식도 조사결과, 90% 이상의 확률로서 철근부식의 영향은 없는 것으로 조사됨.
	교대 A1	186	E > -200	
	교각 P1	180		
탄산화깊이 (㎜)	시 험 부 위	탄산화 깊이(mm)	최소피복두께(mm)	● 탄산화 깊이 측정결과, 상·하부구조에서 "a"등급으로 철근부식 우려가 없는 양호한 상태로 조사됨.
	상 부 구 조	5.0~6.5	50.0	
	하 부 구 조	6.8~8.0	90.0	
염화물함유량시험 (kgf/㎥)	시 험 부 위	측정치(kgf/㎥)	허용기준치(kgf/㎥)	● 염화물 함유량 측정 결과, 허용기준치 이내로 측정됨.
	상 부 구 조	0.0127	0.3	
	하 부 구 조	0.0013~0.0135		

5. 상태평가 결과

부재의 분류		상부구조		2차 부재	기타부재				받침	하부구조		내구성요소			
번호	구조 형식	바닥판	거더	가로보	포장	배수	난간 연석	신축 이음	교량 받침	하부	기초	탄산화 (상)	탄산화 (하)	염화물 (상)	염화물 (하)
1	PSC Box	b	b	N/A	a	b	c	c	b	c	Q	a	a	X	X
2	PSC Box	a	b	N/A	a	b	c	X	b	c	Q	a	a	X	X
3	PSC Box	b	c	N/A	a	b	c	X	b	d	Q	a	a	X	X
4	PSC Box	c	c	N/A	a	a	b	X	b	c	Q	a	a	X	X
5	PSC Box	a	c	N/A	a	b	b	X	b	d	Q	a	a	a	a
6	PSC Box	a	c	N/A	a	b	c	X	b	c	Q	a	a	X	X
7	PSC Box	a	c	N/A	a	a	c	X	b	b	Q	a	a	X	X
8	PSC Box	a	c	N/A	a	a	c	b	b	c	Q	a	a	X	a
9	PSC Box	a	c	N/A	a	b	c	X	b	c	Q	a	a	X	X
10	PSC Box	a	c	N/A	a	b	b	X	b	c	Q	a	a	X	X
11	PSC Box	a	c	N/A	a	a	a	X	b	c	Q	a	a	X	X
12	PSC Box	a	c	N/A	b	b	c	X	b	c	Q	a	a	X	X
13	PSC Box	b	c	N/A	b	b	c	X	b	c	Q	a	a	X	X
14	PSC Box	a	c	N/A	b	b	a	X	b	b	Q	a	a	X	X
15	PSC Box	a	c	N/A	b	b	b	b	b	b	Q	a	a	X	X
16	PSC Box	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	X	b	a	Q	X	X	X	X
평균		0.140	0.373	0.000	0.127	0.173	0.307	0.267	0.200	0.381	0.000	0.100	0.100	0.100	0.100
가중치		23	20	0	7	3	2	9	9	20	0	2	2	2	1
환산점수		0.032	0.075	0.000	0.009	0.005	0.006	0.024	0.018	0.076	0.000	0.002	0.002	0.002	0.001

1.환산결함도점수=	0.252
2.상태평가결과=	B등급

6. 재하시험 결과

정적재하시험결과	각 하중재하별로 횡방향 거동특성 분석결과 주형에 발생되는 변형률의 상태는 LC1방향에서 LC3방향으로 이동함에 따라 LC1방향 주형의 부담률이 크다가 점차적으로 LC3방향 주형의 부담률이 증가되는 것으로 볼 때 대칭성을 유지하는 양호한 상태인 것으로 판단된다. 따라서 하중의 횡방향 분배가 전체 주형에 고르게 일어남을 알 수 있다.
동적재하시험결과	대상 구조물의 실측충격계수는 0.294로 측정되었는데 이는 동적재하시험에서 응답치가 가장 큰 DT2에서 발생한 응답치를 대상으로 평가되었으며, 본 시설물의 응력보정계수 산정시 적용하였다.

7. 구조안전성 평가 결과

7.1 내하력평가 결과

허용응력검토 (MPa)

구분		설계하중 작용시						
		프리스트레스에 의한 단면력 및 부정정력	자중	고정하중	활하중	부등침하	계	안전율
S8	상연	-4.876	4.243	0.516	1.606	0.129	1.618	9.89
	하연	8.410	-7.319	-0.890	-2.770	-0.223	-2.791	1.13
P7	상연	4.926	-4.406	-0.535	-1.225	-0.219	-1.459	2.17
	하연	-6.504	5.817	0.706	1.618	0.290	1.926	8.31
S7	상연	-2.470	1.930	0.238	1.307	0.115	1.120	14.28
	하연	4.260	-3.329	-0.411	-2.254	-0.199	-1.933	1.64
허용응력		-3.16 < σ < 16.00						

내하율(R.F.) 산정

구 분			f_a	f_d	f_p	f_l (1+ i)	내하율(RF)
DB-24 검토시	S8	하연	-3.160	-8.431	8.410	-2.770	1.133
	P7	하연	-3.160	-5.1601	4.926	-1.225	2.388
	S7	하연	-3.160	-3.939	4.260	-2.254	1.545

구 분	극한저항모멘트 (ϕM_n)	고정하중 (M_d)	활하중 ($M_l(1+i)$)	내하율(RF)
켄틸레버부	518.426	37.147	86.812	2.519
중앙부	168.728	18.455	56.16	1.199

공용내하력(P) 산정

구 분			평가방법	내하율 (①)	설계활하중 (②)	응답보정계수 (③)	내하력 (①×②×③)
거더	S8	하연	허용응력설계법	1.133	DB-24	1.205	DB-24 이상
	P7	하연	허용응력설계법	2.388	DB-24		DB-24 이상
	S7	하연	허용응력설계법	1.545	DB-24		DB-24 이상
바닥판	켄틸레버부		강도설계법	2.519	DB-24		DB-24 이상
	중앙부		강도설계법	1.199	DB-24		DB-24 이상

내하력평가 결과 및 의견

상기 결과에서와 같이, 재하시험에 의한 응답보정계수를 고려한 공용내하력이 DB-24 이상이므로 안전성은 확보하고 있는 것으로 판단된다.

7.2 안전등급 평가 결과

구조물의 안전성평가 기준

등급	안전성평가 기준	비 고
A	SF > 1.0	◦ 허용응력설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+l}}$ ◦ 강도설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{설계강도}}{\text{소요강도}} = \frac{\phi Mn}{Mu}$
B	0.9 ≤ SF < 1 이나, 공용내하력이 설계하중보다 크게 평가된 경우	
C	0.9 ≤SF < 1	
D	0.75 ≤ SF < 0.9	
E	SF < 0.75	

안전성평가 결과

구분		설계하중 작용시							등급
		프리스트레스에 의한 단면력 및 부정정력	자중	고정하중	활하중	부등침하	계	안전율	
S8	상연	-4.876	4.243	0.516	1.606	0.129	1.618	9.89	A
	하연	8.410	-7.319	-0.890	-2.770	-0.223	-2.791	1.13	A
P7	상연	4.926	-4.406	-0.535	-1.225	-0.219	-1.459	2.17	A
	하연	-6.504	5.817	0.706	1.618	0.290	1.926	8.31	A
S7	상연	-2.470	1.930	0.238	1.307	0.115	1.120	14.28	A
	하연	4.260	-3.329	-0.411	-2.254	-0.199	-1.933	1.64	A
허용응력		-3.16 < σ < 16.00							

안전성평가 결과 및 의견

상행선 거더중앙부와 지점부를 대상으로 합성단면에 대하여 안전성 검토를 실시한 결과 1.13~14.28로 평가되어 안전성이 확보된 것으로 판단된다.

8. 내진성능평가 평가결과

교각부 평가 결과

구 분		공급역량	소요역량	안전률	비고
변위연성도	교축	1.500	6.582	0.228	N.G
모멘트	교직	40,821	35,169	1.161	O.K

받침부 평가 결과

구 분		공급역량	소요역량	안전률	비고
받침본체	교축	2,020	2,008	1.006	O.K
	교직	1,010	2,716	0.372	N.G
앵커볼트-강재파괴	교축	947	1,004	0.943	N.G
	교직	947	2,716	0.349	N.G
앵커볼트-콘크리트파괴	교축	425	1,004	0.423	N.G
	교직	232	2,716	0.085	N.G
앵커볼트-프라이아웃파괴	교축	379	1,004	0.377	N.G
	교직	379	2,716	0.139	N.G

내진성능평가 결과 및 의견

본 과업은 내진설계가 적용되지 않은 반심1교(상)의 내진성능 상세평가를 실시하여 각 구조부재의 내진성능을 검토하였다. 반심1교는 면진 또는 내진 능력이 없는 포트 받침으로 시공되어 지진시 즉시변형이 발생하며 대부분의 수평력을 고정단 교각에서 순간적으로 저항하는 구조이므로 내진에 취약한 것으로 판단된다.

따라서, 내진성능을 향상시키기 위해서는 면진능력을 수용하고 있는 탄성받침으로 전면 교체를 실시하여 지진에 의한 수평력 발생시 모든 교각과 받침에서 균등하게 수평력을 수용할 수 있는 구조로 교체 시공할 필요가 있다

9. 보수 · 보강 방안 결과

구 분		결함 및 손상내용	개선방안	손상물량	보수물량	단위	단가 (천원)	금액 (천원)	우선 순위
교면 포장		표장균열	씰링보수	760	760	m	30	22,800	②
		포장 포트홀	소파보수	1.5	0.01	㎡	150	2	②
방호벽		균열(폭0.2mm이하)	표면보수	80.9	24.27	㎡	51	1,238	②
		균열(폭0.3mm이상)	주입보수	73.2	87.84	m	32	2,811	①
		누수,누수및백태	단면보수	3	3.6	㎡	230	828	②
		망상균열	주의관찰	7.6	9.12	㎡	-		②
		철근노출	단면보수	2.7	3.24	㎡	230	745	②
		파손	단면보수	1.8	2.16	㎡	230	497	②
배수시설		배수관탈락	점검수리	1	1	ea	500	500	①
		배수구 막힘	주기적 청소	23	*21*	ea	10	210	②
신축이음		균열(0.2mm이하)	표면보수	15.8	4.74	㎡	51	242	*①*
		균열(0.3mm이상)	주입보수	7.5	9	m	32	288	①
		유간퇴적	주기적 청소	3.5	4.2	㎡	10	42	②
바닥판 하면		균열(폭0.2mm이하)	표면보수	2180.5	654.15	㎡	51	33,362	②
		균열(폭0.3mm이상)	주입보수	4	4.8	m	32	154	①
		백태	표면보수	8.4	10.08	㎡	51	514	②
		철근노출	단면보수	0.2	0.24	㎡	230	55	②
		파손	주의관찰	0.25	0.3	㎡	-		②
거더		균열(폭0.2mm이하)	표면보수	321.2	96.36	㎡	51	4,914	②
		균열(폭0.3mm이상)	주입보수	18	21.6	m	32	691	①
		백태	표면보수	1	1.2	㎡	51	61	②
		망상균열	주의관찰	1	1.2	㎡	-		②
		재료분리	단면보수	7.2	8.64	㎡	230	1,987	①
교량받침		도장부식	재도장	34	*34*	ea	30	1,020	②
		받침교체	면진받침	34	*34*	ea	9000	306,000	②
하부구조	교대	균열(폭0.2mm이하)	표면보수	33	9.9	㎡	51	505	②
		균열(폭0.3mm이상)	주입보수	1	1.2	m	32	38	①
		오염	주의관찰	12	14.4	㎡		-	②
		보호공유실	뒷채움보수	1	1	식	5000	5000	①
	교각	균열(폭0.2mm이하)	표면보수	65.9	19.77	㎡	51	1,008	②
		균열(폭0.3mm이상)	주입보수	110.5	132.6	m	32	4,243	①
		망상균열	주의관찰	7.55	9.06	㎡	-		②
		재료분리	단면보수	2.32	2.784	㎡	51	142	①
		오염	주의관찰	43.24	51.888	㎡		-	②
		철근노출	단면보수	0.04	0.048	㎡	230	11	①
부대공(교통통제, 비계설치 및 기타경비)						1식	25,000	25,000	①
직접공사비						414,908		41,107	①
								373,801	②
제경비(직접공사비×40%)						207,454		20,554	①
								186,900	②
총공사비용						622,362		61,661	①
								560,701	②

※ 상기의 공사비는 개략공사비로서 정확한 공사비 산정은 실시설계를 통한 산출이 필요함.

10. 중점 유지관리 사항

구 분	점 검 내 용
교면포장	- 포장면 균열 및 포트홀 손상진행 유무 확인
방호벽	- 가로등 기초의 균열진행여부 - 방호벽 철근노출부 진행여부및부식정도 확인. - 균열/백태부의 진행여부
배수시설	- 상부 배수구 주기적인 청소 및 유지관리. - 배수관 탈락 및 변형 여부확인.
신축이음	- 신축이음 본체 주기적인 청소 및 유지관리. - 후타재 균열 확대 및 진전 유무.
바닥판 하면	- 바닥판 하면 및 캔틸레버 하면 균열 확대 및 진전유무. - 캔틸레버 하면 백태 및 손상유무 확인.
거더	- 거더 내.외부 균열, 긁힘, 백태 등의 진행 및 손상유무
교량받침	- 교량받침 유지관리.
하부구조	- 교대 표면오염 등 기타 손상유무 확인. - 교대 보호공 유실 및 손상유무 확인. - 교각 미세균열 및 망상균열 확대 및 진전 유무. - 교각 백태, 박리박락, 곰보, 박리 및 긁힘 등 기타 손상유무 확인.

제1장 서 론

1.1 과업의 목적

1.2 대상시설물 개요

1.3 과업의 범위 및 내용

1.4 과업수행기간 및 일정

1.5 과업수행방법

1.6 사용장비 및 기기

1.7 기호의 정의

제1장 서 론

1.1 과업의 목적

본 과업은 정기점검 과정을 통하여 쉽게 발견할 수 없는 결함부위를 찾기 위하여 행하여지는 정밀한 육안검사 및 장비에 의한 육안근접점검으로 대상교량의 현장조사, 구성 재료의 강도 및 성능시험 및 정·동적 재하시험 등을 실시하여 교량의 구조거동 및 안전성을 평가하고, 이론적인 해설 결과와 비교.분석함으로서 대상교량의 구조성능, 내하성능, 사용성, 구조적 안전성 및 결함의 원인분석과 교량의 보수 .보강방법 및 향후 유지관리 방안을 제시하여 적절한 교량관리방법을 수립하고자 본 설계도서에 의거 정밀안전진단을 시행하고자 함.

1.2 대상시설물 개요

1.2.1 대상시설물 현황

<표 1.1>대상시설물 현황

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th colspan="3">내 용</th><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td colspan="2">교 량 명</td><td colspan="3">광양항반심1교(하)</td><td colspan="2">시설물번호</td><td>BR1998-0000291</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년도</td><td colspan="3">1998년 12월 30일</td><td colspan="2">관리번호</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">관리주체</td><td colspan="3">광양시도로관리사업소</td><td colspan="2">노 선 명</td><td>광로 2-6호선</td></tr>
<tr><td colspan="2">소 재 지</td><td colspan="3">전남 광양시 도이동</td><td colspan="2">시 공 자</td><td>현대건설(주)</td></tr>
<tr><td rowspan="5">상부구조</td><td>형 식</td><td colspan="3">PSC Box교</td><td colspan="2">설계속도</td><td>80km/h</td></tr>
<tr><td>총 폭</td><td>11.56m</td><td>유효폭</td><td>8.0m</td><td rowspan="2">선형</td><td>횡단</td><td>-</td></tr>
<tr><td>교 고</td><td colspan="3">· 교대 : 5.0~7.0m
· 교각 : 6.99~40.61m</td><td>종단</td><td>-1.08% ~ 2.80%</td></tr>
<tr><td>차 선 수</td><td colspan="3">편도 2차선</td><td colspan="2">교좌장치</td><td>Pot Bearing</td></tr>
<tr><td>경간구성</td><td colspan="3">15경간 연속
8@50+1@50+2@45+2@60+2@50
=760m</td><td colspan="2">신축이음장치</td><td>핑거조인트, 레일식</td></tr>
<tr><td rowspan="2">하부구조</td><td>교 대</td><td colspan="3">역 T형</td><td colspan="2">기초형식</td><td>확대기초</td></tr>
<tr><td>교 각</td><td colspan="3">T형</td><td colspan="2">설계도서유무</td><td>유</td></tr>
<tr><td colspan="2">교량 등급</td><td colspan="3">1등교</td><td colspan="2">설계하중</td><td>DB-24</td></tr>
</table>

1.3 과업의 범위 및 내용

<표 1.2>과업의 범위 및 내용

과업의 범위	과업의 내용
관련자료검토	1) 설계자료 검토(설계도면, 구조 계산서) 2) 대상교량의 보수이력
현 장 조 사	1) 교량의 제원 및 시공 상태 조사 2) 슬래브, 교각의 외관 결함 및 손상 등 외관조사 3) 신축이음, 받침장치 등 기능상태 조사
콘크리트 내구성조사	1) 콘크리트 강도 및 균열조사(초음파, 반발경도, 코아강도 측정) 2) 철근조사(배근 간격, 피복두께, 부식상태) 3) 콘크리트 물성조사(탄산화시험, 염화물 측정)
재하시험 및 평가	1) 재하시험 위치 선정 2) 변형율, 처짐 게이지 부착 3) 정적 재하시험 ·재하 경우별 변형율.처짐측정 4) 동적 재하시험 ·차량 속도별, 변형율.가속도 측정 5) 구조물 거동평가 ·하중의 중첩성, 충격 계수, 응답비 평가
시설물의 안전도 평가	1) 설계하중 및 시험하중에 대한 구조해석 2) 재하시험과 이론 해석 결과에 의한 변형율 처짐 응답 평가 3) 손상 및 결함 부위에 대한 검토 4) 허용응력법 및 하중저항 계수법에 의한 내하력 평가
시설물의 보수.보강 방법제시	1) 결함 및 손상부위에 대한 원인 분석 및 설계 시공 유지관리 요인에 의한 구분 2) 기능 회복 및 향상을 위한 보수.보강 공법 제시 3) 보수.보강 수량 및 개략공사비 산출
유지관리방안 제시	1) 유지 관리상 문제점과 지침 기준 작성 2) 효율적인 유지관리를 위한 방안 제시

1.4 과업수행 기간 및 일정

○ 과업수행 기간 :

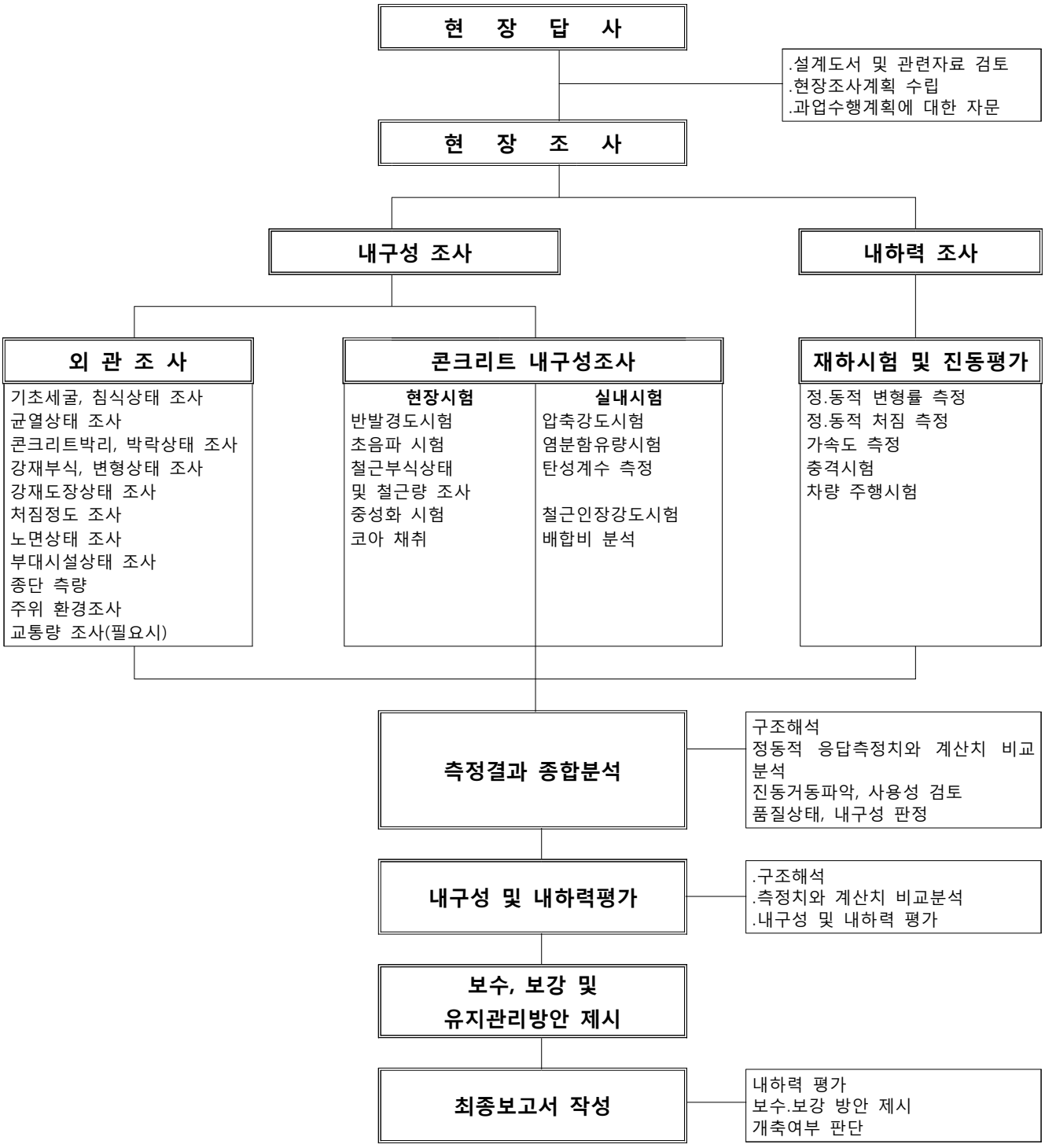
. 수행기간 : 2016년 09월 23일 ~ 2016년 12월 21일(과업기간 : 90일)

○ 과업수행 일정

<표 1.3>과업수행 일정표

공 종 \ 과업기간	착공 30일				착공 60일				착공 90일				비고
	8	16	24	30	36	42	50	60	68	76	82	90	
·과업착수준비													
1. 관련 자료수집 및 답사 ·사례수집 및 분석 ·관계도서 수집 및 분석 ·보수·보강자료 수집 및 분석 ·현장조사 계획수립													20%
2. 시설물의 상태조사, 평가 ·외관조사 ·수중조사 ·조사결과 정리													40%
3. 시설물의 재료시험 및 재하시험 ·반발경도 시험,탄산화시험 ·재하시험 ·조사결과 정리 및 분석													30%
4. 시설물의 상태평가 ,안전성평가 ·상태평가 및 안전성 평가 ·시설물에 대한 등급 평가													
5. 보수보강제시 ·보수·보강방안 제시 ·유지관리방안 제시 ·관리주체 협의													10%
6. 보고서 작성 ·발주처 협의 결과 정리 ·최종보고서 작성 ·용역완료													
공 정 률													100%

1.5 과업수행 방법



<그림 1.1>과업수행 흐름도

1.6 사용장비 및 기기

본 과업을 수행하기 위하여 사용한 주요 점검 장비는 다음과 같다.

<표 1.4>사용장비 및 기기

구 분	측 정 장 비	측 정 분 야	비 고
외관조사	·균열경 ·망원경 ·사진기	·육안조사(균열 및 손상) ·균열폭 측정	
콘크리트강도 초음파 탐상 탄산화 측정 염분농도 측정 철근배근상태	·SCHMIDT HAMMER ·UT-150 ·페놀프탈레인 1%용액 ·AG1001-1G ·RC-RADER	·콘크리트 표면강도 측정 ·콘크리트 강도, 균열 깊이 측정 ·콘크리트 탄산화 측정 ·콘크리트 염분농도측정 ·철근배근간격 측정 ·철근피복두께 측정	
재하시험	·STC-16NB	·교량의 실거동상태 파악 ·실측변형율 및 처짐 측정	
기 타	·교량점검차 ·사다리 ·5m STEEL자. 50m 줄자 ·코아채취기(압축강도) ·기타 소모품등	·점검시 보조장비	

1.7 기호의 정의

본 과업에서 보고서 작성을 효율적이고 간결화하기 위하여 교량구조물에 사용하는 용어를 다음과 같이 적용하기로 한다.

- 경간의 순서는 시점측에서 종점측 방향으로 S1, S2, S3, S4..... 등으로 규정한다.
- 하부구조의 순서는 시점측에서 종점측 방향으로 A1, P1, P2, A2 등으로 규정한다.
- 주형의 기호는 시점측에서 종점방향으로 향했을 때 왼쪽부터 G1, G2로 규정한다.

<표 1.5>부재의 표기 방법

부 재		원용어(영어)	약식기호	표기방법	비 고
경 간		Span	S	S1, S2, S3	
PSC Box Girder	주형	Girder	G	G1, G2	
	상부	Upper-Flange	UF	Uf	
	하부	Lower-Flange	LF	Lf	
	좌측벽	Left-Web	LW	Lw	
	우측벽	Right-Webl	RW	Rw	
가로보		Cross beam	C	C1, C2, C3....등	
격 벽		Diaphram	D	D1, D2, D3....등	
교 대		Abutment	A	A1, A2	
교 각		Pier	P	P1, P2	
신축이음장치		Expansion Joint	Exp.	Exp1, Exp2	
받침장치		Shoe	Sh	Sh1, Sh2, Sh3....등	

제2장 시설물현황 및 기초자료조사

2.1 개요

2.2 대상시설물 현황

2.3 관련도면

2.4 관련자료 수집 및 분석현황

제2장 시설물현황 및 기초자료조사

2.1 개 요

본 과업에 대한 자료조사는 현장을 답사하여, 각각의 특성을 파악하고 과업의 추진방향과 세부수행계획을 수립하였으며, 대상 시설물의 시공과 보수.보강 등에 관련된 설계도서, 관련 서류 및 관계자 청문 등을 통하여 자료를 수집하였다.

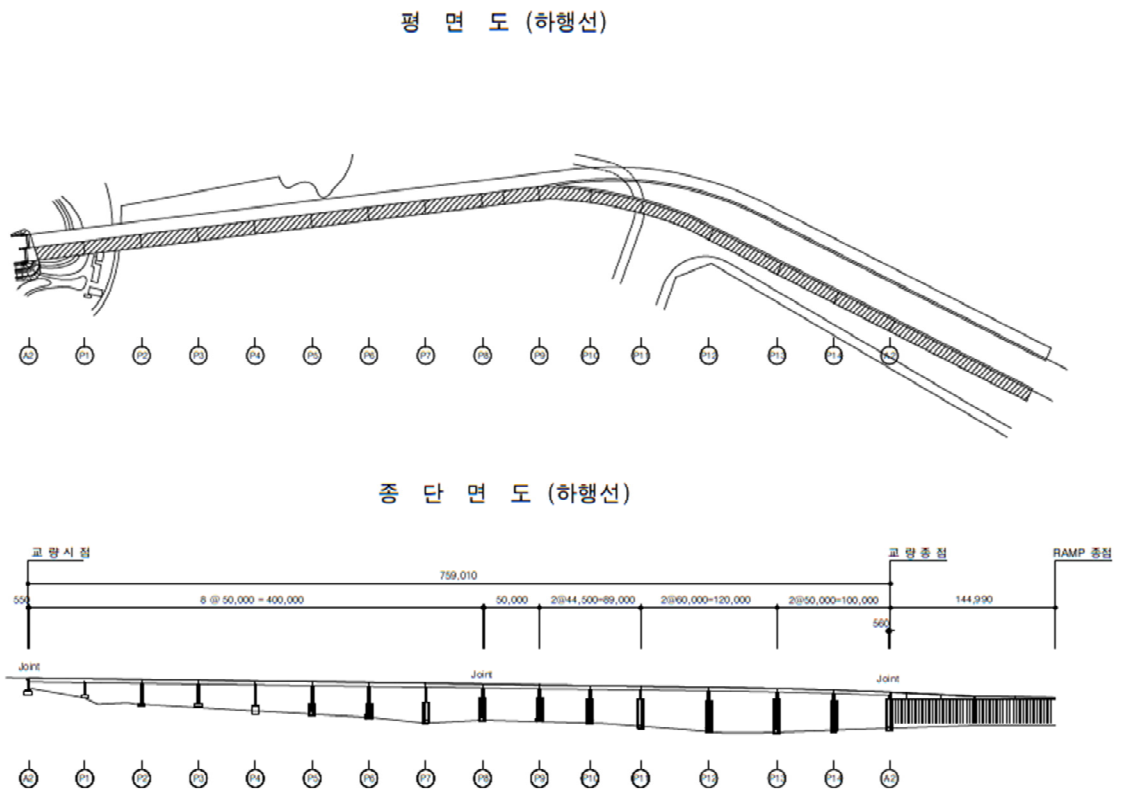
본 과업 대상 교량은 가설시기가 약 18년이 경과된 교량으로서 오랜 시일이 지나 자료의 보존이 여러 이유로 인해 미흡한 실정임에 따라, 본 과업 대상 교량에 대한 이력조사는 발주처에서 제공받은 교량관리대장, 기존 점검보고서 등의 관련 자료를 토대로 조사하였으며, 이력사항에서 나타난 주요결함 및 손상 등을 참조하여 현장조사를 실시하였다.

2.2 대상시설물 현황

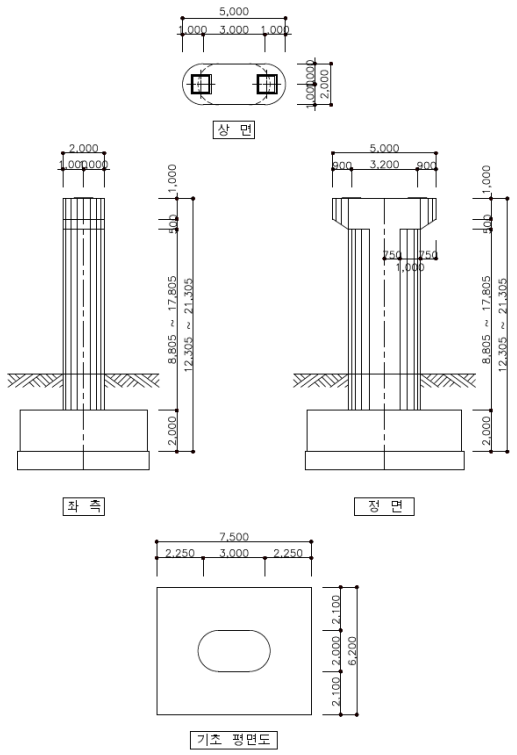
<표 2.1>과업대상 시설물의 일반현황

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th colspan="3">내 용</th><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td colspan="2">교 량 명</td><td colspan="3">광양항반심1교(하)</td><td colspan="2">시설물번호</td><td>BR1998-0000291</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년도</td><td colspan="3">1998년 12월 30일</td><td colspan="2">관리번호</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">관리주체</td><td colspan="3">광양시도로관리사업소</td><td colspan="2">노 선 명</td><td>광로 2-6호선</td></tr>
<tr><td colspan="2">소 재 지</td><td colspan="3">전남 광양시 도이동</td><td colspan="2">시 공 자</td><td>현대건설(주)</td></tr>
<tr><td rowspan="5">상부구조</td><td>형 식</td><td colspan="3">PSC Box교</td><td colspan="2">설계속도</td><td>80km/h</td></tr>
<tr><td>총 폭</td><td>11.56m</td><td>유효폭</td><td>8.0m</td><td rowspan="2">선형</td><td>횡단</td><td>-</td></tr>
<tr><td>교 고</td><td colspan="3">· 교대 : 5.0~7.0m
· 교각 : 6.99~40.61m</td><td>종단</td><td>-1.08% ~ 2.80%</td></tr>
<tr><td>차 선 수</td><td colspan="3">편도 2차선</td><td colspan="2">교좌장치</td><td>Pot Bearing</td></tr>
<tr><td>경간구성</td><td colspan="3">15경간 연속
8@50+1@50+2@45+2@60+2@50
=760m</td><td colspan="2">신축이음장치</td><td>핑거조인트, 레일식</td></tr>
<tr><td rowspan="2">하부구조</td><td>교 대</td><td colspan="3">역 T형</td><td colspan="2">기초형식</td><td>확대기초</td></tr>
<tr><td>교 각</td><td colspan="3">T형</td><td colspan="2">설계도서유무</td><td>유</td></tr>
<tr><td colspan="2">교량 등급</td><td colspan="3">1등교</td><td colspan="2">설계하중</td><td>DB-24</td></tr>
</table>

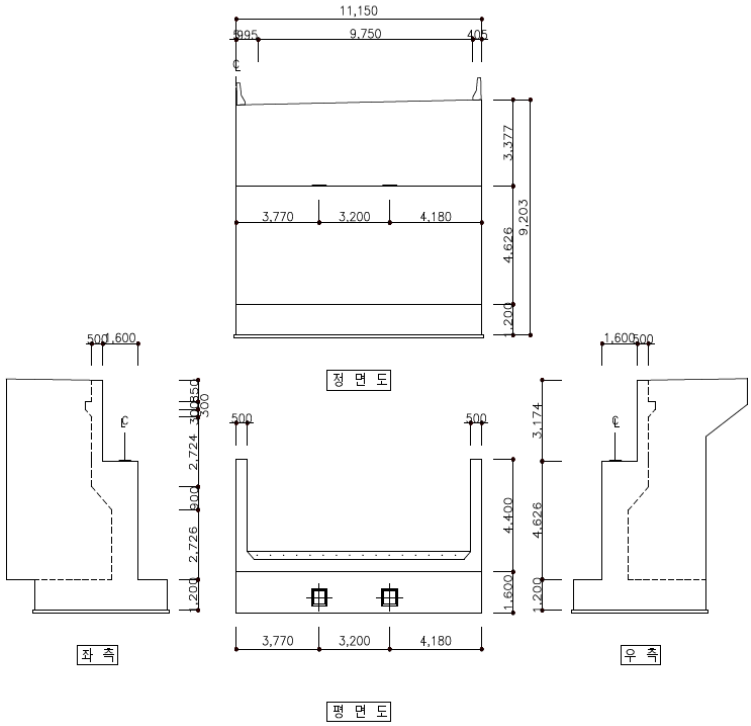
2.3 관련도면



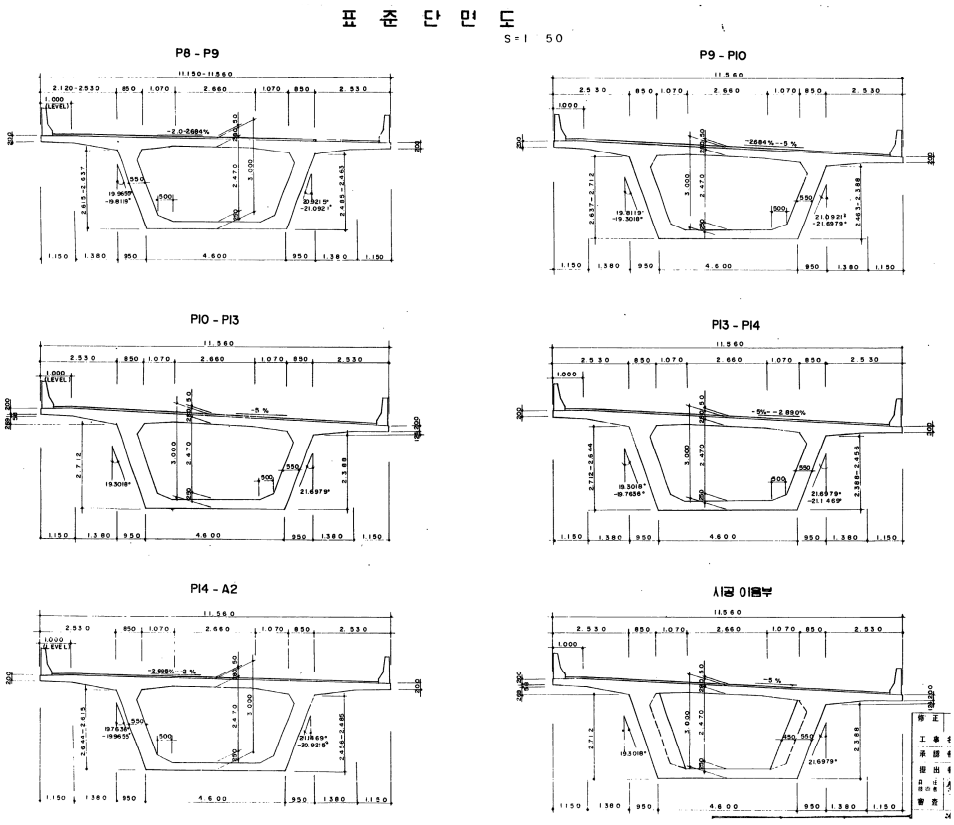
< 종평면도 >



< 교각 일반도 >



< 교대 일반도 >



<상부구조 표준단면도 >

2.4 관련자료 수집 및 분석현황

2.4.1 전차 점검결과 검토

구조물을 효율적으로 유지관리하기 위해서는 설계도면, 준공도면, 구조계산서 등 구조물 시공당시의 모든 설계도서와 구조물 준공 이후의 점검이나 진단보고서 및 이력, 보수·보강공사 이력 및 내역 등 유지관리 자료를 보존하는 것이 중요하다.

본 과업 대상구조물에 대해 발주처인 광양시 도로관리사업소에서 제공받은 자료는 시설물 관리대장(교량)이며, 이를 토대로 <표 2.2>와 같이 조사하였다.

<표 2.2>이력조사 관련자료 현황

구 분	주요이력 및 조사대상	비 고
시설물관리대장	- 있음.	
점검 및 진단이력	· 정밀안전진단(2009. 12. ⇒ 총 1회)에스큐엔지니어링 · 정밀점검 (2001. 08 ~ 2007. 12 ⇒ 총 5회) · 자체정기점검 (2001. 03 ~ 2016. 11 ⇒ 총 27회)	
보수·보강이력	· 폭0.3mm이상 균열보수(L=136.7)-(주)서림<14,005 천원> · 신축이음장치 보수 신축량 350-(주)서림<86,093 천원>	

2.4.2 기존 정밀점검·정밀안전진단 실시결과

과업 대상구조물은 공용기간동안 관리주체에서 유지관리를 위해 시행한 정밀점검, 정밀안전진단 등의 이력사항은 관리주체에서 제공한 교량관리대장을 확인하였다.

그 결과, 정기점검은 매 반기별 자체수행 중에 있으며, 아래의 <표 2.3>과 같이 시행한 것으로 확인되었다.

<표 2.3>기존 정밀점검이력

구 분	점검.진단 시행시기	점검.진단 기 관 명	등 급	주 요 내 용
정밀 안전진단	2009-04-02~ 2009-12-23	에스큐엔지니어링(주)	B	- 반심1교(상행)은 1998년 준공후 11년이 경과된 8,7경간 연속 PC-Box Girder형식의 상부구조로 이루어진 편도2차선 교량으로서 교량 상, 하부의 주요부재 및 보조부재에서 구조적으로 문제가 되는 결함이나 손상이 발생하지 않은 상태로 시설물 대표등급은 B등급으로 판정되었다. - 구조안전성검토 및 내하력 평가 결과 본 교량은 설계하중(DB-24)이상의 단면력 및 공용내하력을 확보하고 있는 것으로 평가되었다. - 향후 금번 진단시 조사된 각 손상별로 제시한 보수,보강공법 및 유지관리방안에 따라 관리주체가 적극적으로 교량을 관리,운영한다면 교량의 안전성과 사용성의 증대를 기대할 수 있을 것이다.
정밀점검	2007-05-22~ 2007-12-26.	에스큐엔지니어링(주)	B	- 균열0.3mm이상,파손,백태,박리,철근노출,받침장치부식,신축이음장치파손 - 주입보수공법,단면보수공법,표면보수공법,철근방청공법,재도장,재설치
	2005-04-12~ 2005-12-07	디지털건설(주)	B	- 주로 포장 및 신축이음부에서 이물질, 균열, 파손이 발생되었으며, 콘크리트 거더/교대 및 교각에 일반적으로 발생된 균열이 조사되었고 전체적으로 사용에는 지장이 없음 - 상부교면은 주기적인 청소가 필요하며, 콘크리트거더/교대/교각부분에 나타난 균열은 내구성 저하요인으로 균열보수가 필요하다.
	2003-05-23.~ 2003-12-29	(재)한국건설품질연구원	B	- 조사결과 양호한 상태로 나타났으며 일부 구조물에 발생된 손상은 보수를 실시하고 지속적인 유지관리가 이루어 진다면 공용기간동안 교량의 사용성 및 안정성에는 문제가 없을것으로 판단됨 - 주입공법, 표면처리공법, 단면보수공법
	2001-08-03~ 2001-12-27	(재)한국건설품질연구원	B	- 상태양호

2.4.3 보수·보강이력사항

<표 2.4>보수·보강이력사항

구분	보수년도	보수공종	보수물량	사업비 (천원)	비 고
보수	2008.12	· 폭0.3mm이상 균열보수(주)서림 · 신축이음장치 보수 (주)서림	L=136.7 신축량 350	14,005 86,093	

2.4.4 시설물의 내진설계 여부 확인

발주처에서 제공한 시설물관리대장을 검토한 결과, 과업 대상구조물의 내진설계는 적용되지 않은 것으로 확인되었다.

2.4.5 시설물 주변 현황조사

과업 대상시설물은 광양 컨테이너 부두로 진출입하는 동측배후도로 노선상에 위치하고 있으며 시점부는 광양 IC 방향, 종점부는 광양컨테이너 부두방향에 위치하고 있고, <사진 2.1>과 같이 일반도로를 횡단하고 있다.

시설물 주변 현황조사

시설물 주변 현황조사

<사진 2.1> 과업 대상시설물의 주변 현황

제3장 외관조사

3.1 개요

3.2 외관조사 결과

제3장 외관조사

3.1 개 요

외관조사는 공용 중 구조물에 악영향을 미치는 과도한 외력이나 열악한 사용 환경 조건하에서 나타나는 열화손상상태를 육안 또는 간단한 기구를 사용하여 조사하는 점검 및 진단에 대한 기본자료 및 안전성, 사용성 평가에 있어 필수적인 중요한 자료를 제공한다.

본 과업은 시설물에 관한 특별법 제 13조 및 같은 법 시행령 제 13조에 따라 고시된『안전점검 및 정밀안전진단의 세부지침』에 의거하여 외관조사를 실시하였으며, 대상교량의 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단함을 목적으로 교량 부재 전체에 대하여 가능한 한 근접한 상태에서 육안조사를 실시함을 원칙으로 하였고 외관조사를 실시하기 이전에 사전답사를 실시하여 대상교량 주변 환경과 교통여건을 파악하여 현장접근에 필요한 교량점검차, 고소작업차 등의 장비동원과 일정계획을 수립하여 현장조사를 실시하였다.

3.1.1 외관조사 점검항목

1) 교면포장

교면포장의 상태는 차량의 주행성과 직접적인 연관이 있으며, 교면포장에 발생된 균열 및 함몰은 교면의 방수층을 파괴하여 상부구조의 누수를 발생시키는 원인이 될 수 있다.

<표 3.1>교면포장의 점검부위 및 손상종류

점 검 부 위		손 상 종 류
▷ 공 통	▷ 아스팔트	·균열, 함몰, 단차 및 요철, 블리딩, 마모
	▷ 콘크리트	·균열, 마모, 박리, 파손
▷ 신축이음 전후, 구조물 경계부		·단차, 파손
▷ 곡선부, 중차량 통행차로		·마모, 바퀴자국
▷ 배수구 주변		·물고임(체수)

2) 난간 및 연석

교량의 난간과 연석은 구조적인 중요도는 낮으나, 파손되거나 재료적으로 열화된 경우 통행인에게 불안감을 느끼게 할 수 있다. 특히 차량충돌 등 외부의 강한 하중에 의한 손상일 경우에는 바닥판에도 손상이 발생할 수 있으므로 주의 깊게 점검한다. 연석은 차량의 시선유도, 차량의 차도이탈방지, 사고시 완충작용 등의 역할을 하는 것으로서 난간 점검시 같이 조사를 한다.

<표 3.2>난간.연석의 점검부위 및 손상종류

점 검 부 위		손 상 종 류
▷ 난간, 연석	▷ 강재, 알루미늄	·강재의 경우 도장손상 및 부식 ·난간과 상판연결부의 결함, 파손 ·전체적인 처짐 및 선형불량
	▷ 철근 콘크리트	·균열, 박리, 파손 ·철근노출 및 부식 ·전체적인 처짐 및 선형불량

3) 배수시설

배수시설은 교면의 빗물을 배수하는 교량의 부속시설물로서 배수시설의 상태가 불량하게 되면 교량을 주행하는 차량의 안전성을 위협하며, 누수로 인하여 구조물의 열화를 발생시키는 주요 원인을 제공한다.

<표 3.3>배수시설의 점검부위 및 손상종류

점 검 부 위	손 상 종 류
▷ 배수구(유입구)-뚜껑(그레이팅)	·뚜껑파손 및 주변파손, 누락 ·오물퇴적, 막힘 ·배수구의 설치높이가 높음 ·배수구 설치위치 불량 ·배수구 설치간격 넓음
▷ 배수관	·관의 연결부 어긋남, 파손 ·이물질에 의한 막힘 ·지지철물의 이완 및 파손 ·배수관 길이부족 ·유출구 위치 부적절(도로구간)

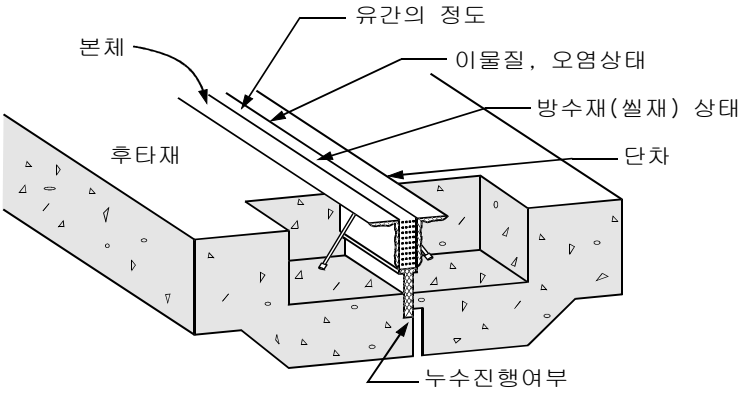
4) 신축이음

교량의 신축이음은 온도변화, 건조수축, 활하중에 따른 상부구조의 신축을 원활하게 수용하고 상부구조의 이음부에서 차량의 주행성을 확보하기 위한 중요한 부속시설이다. 신축이음은 교면에서 차량하중을 직접 받고 외부에 노출되어 있어서 변형 및 파손되기 쉽다.

신축이음 점검에서는 재료적인 열화, 방수재의 기능, 신축유간의 확보, 외부충격에 의한 파손 등을 중점적으로 점검하여야 한다.

<표 3.4>신축이음의 점검부위 및 손상종류

점 검 부 위		손 상 종 류
▷ 본 체	▷ 공 통	·충격음, 본체유동 및 파손 ·누수 ·유간부족 및 유간과다 ·유간 오물퇴적
	▷ 고무재	·고무판 마모, 강판노출 및 부식
	▷ 강 재	·강재연결부 이완 및 파손
▷ 후타재	▷ 철근 콘크리트	·단차(본체, 교면포장, 접속슬래브) ·균열 및 파손



<그림 3.1>신축이음 점검부위

5) 철근콘크리트 바닥판

바닥판은 교면포장으로 부터 전달되는 차량의 윤하중을 거더로 직접 전달하는 역할을 한다. 바닥판은 차량의 윤하중이 직접 작용하므로 교량 구성부재 중 손상이 가장 많이 발생하는 부재로서 한번 손상이 생기면 급속히 악화되므로 조기에 조치를 취하는 것이 중요하다. 조사시에는 가능한 한 바닥면 밑면에 근접하여 점검하여야 하며, 표면에 경미한 손상이 발생한 경우라도 바닥판 내부 혹은 상부에 심각한 손상이 진행될 가능성이 있다는 것을 염두에 두고 점검하여야 한다. 또한 넓은 범위의 단면결손, 누수 또는 콘크리트 탈락이 의심스러운 경우 햄머로 여러 부위를 타격하여 소리를 들으므로서 건전성 여부를 판단하고 원인을 분석하여야 한다.

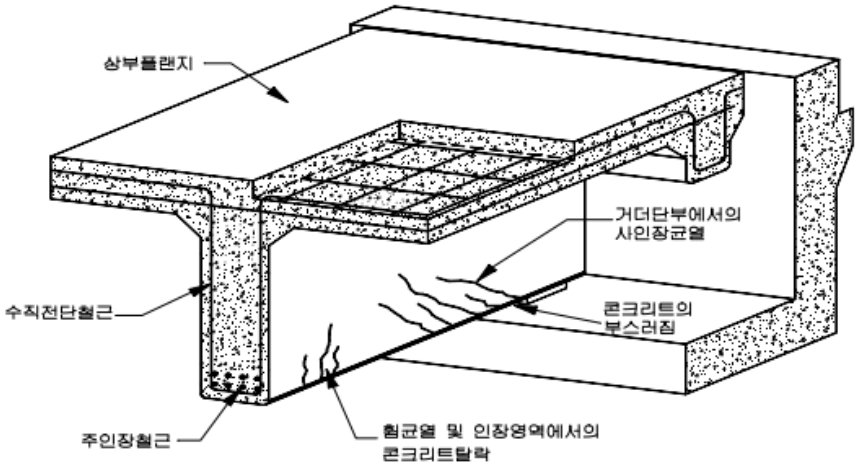
<표 3.5>철근콘크리트 바닥판의 점검부위 및 손상종류

점 검 부 위		손 상 종 류
▷ 공 통		·균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출 ·재료분리(공동, 공극) ·누수 및 백태(유리석회)
▷ 거더교		·종방향 균열, 망상균열
▷ 슬래브, 라멘상부	▷ 받침부(단부)	·부스러짐 ·사인장균열
	▷ 중앙부	·휨균열
▷ 라멘하부	▷ 측 벽	·균열(수직, 수평)

6) 철근콘크리트 거더

<표 3.6>철근콘크리트 거더의 점검부위 및 손상종류

점 검 부 위	손 상 종 류
▷ 공 통	·박리, 박락, 층분리, 파손, 철근노출, 백태(유리석회)
▷ 받침부	·부스러짐 ·복부 사인장 균열 연속교 상단 휨균열 격벽 개구부 모서리 균열
▷ 중앙부	·횡방향 균열, 거더처짐 쉬스관 노출 및 파손 박스내부 플랜지 및 복부의 강선방향 균열 시공이음부 균열 및 누수
▷ 강선정착부	·정착부 균열 및 파손



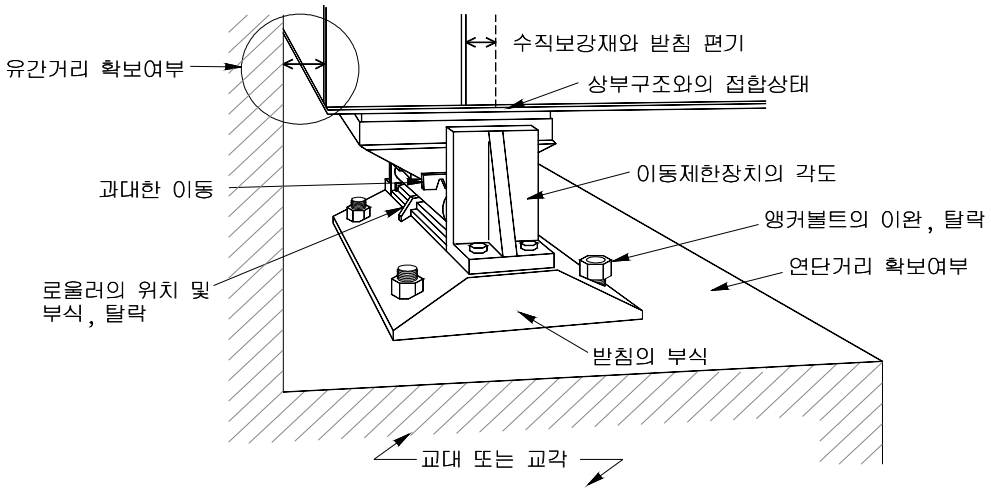
<그림 3.2>철근콘크리트 거더의 점검부위

7) 교량받침

받침은 상,하부구조 접속부에 있는 교량 부속물로서 교량의 구조중 기계적 요소가 가장 강하며, 응력의 전달과 완충의 기능을 갖고 있어 응력전달을 위해 견고하게 연결되어야 한다. 받침을 점검할 때에는 받침이 설계시나 시공시 의도한 대로 작동하고 있는가에 유의하여야 하며, 재료에 따라 손상 특성이 다르므로 강재, 고무재 받침에 대한 특성을 고려하여 점검한다.

<표 3.7>교량받침의 점검부위 및 손상종류

점 검 부 위		손 상 종 류
▷ 본 체	▷ 공 통	·가동받침의 신축유간 부족 ·가동받침의 전, 후방의 가동장애 요소 ·수직보강재와 받침 편기상태 ·받침 물고임 및 부식
	▷ 강재받침	·가동면 부식 ·부속물 파손(부상방지장치 및 이동제한장치)
	▷ 고무받침	·고무재 부풀음 및 갈라짐 ·고무판의 과도한 변형
▷ 받침대		·앵커볼트 파손, 절단 ·콘크리트 파손, 하부 공동 및 침하 ·교각두부 균열



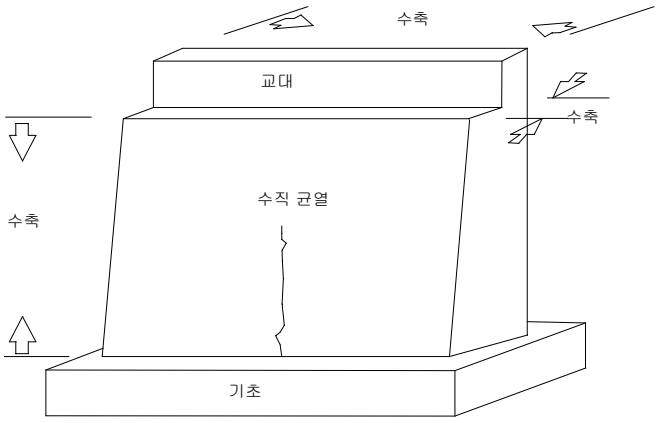
<그림 3.3>교량받침 점검부위

8) 교대 및 교각, 기초

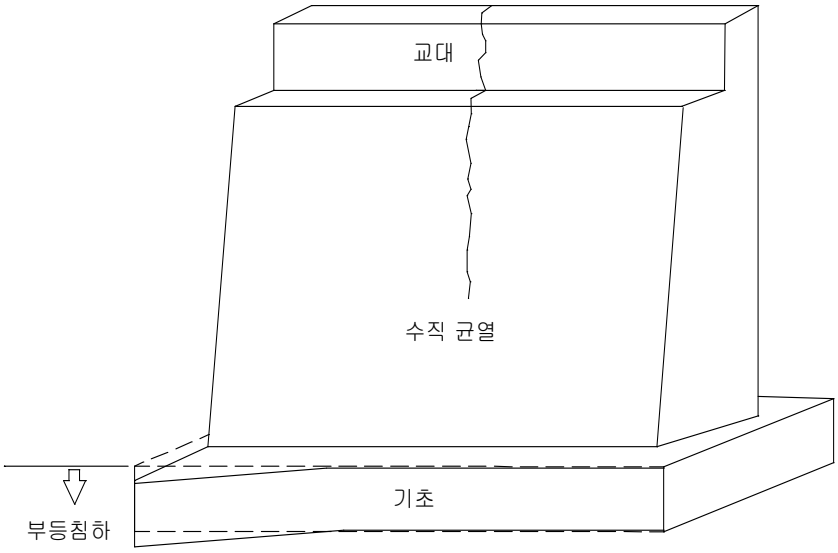
교대 및 교각은 교량 상부구조의 하중을 지반으로 전달하며, 교량 전체 구조의 안전성을 위해 아주 중요한 역할을 수행하는 구조부재이다. 교량 형식에 따라서는 하부구조에 약간의 손상이 발생되더라도 교량 전체의 안전에 중대한 위험이 발생되므로 하부구조의 점검에는 특별한 주의를 필요로 한다.

<표 3.8>교대의 점검부위 및 손상종류

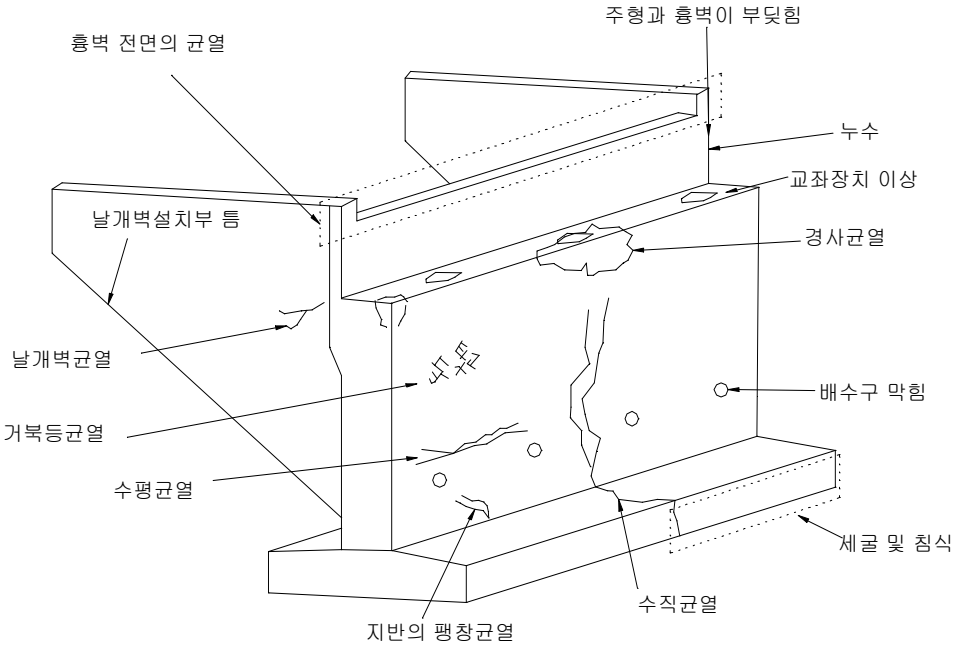
점 검 부 위	손 상 종 류
▷ 공 통	·교대 회전(기울음), 침하(연직이동) ·균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출, 백태(유리석회)
▷ 두부(Coping)	·두부 물고임 ·받침부 균열 및 파손 ·두부와 흉벽 경계부 균열 ·거더와 흉벽 신축유간 부족
▷ 벽 체	·수직균열 및 침하 ·구체와 날개벽 분리 ·구체부 배수구 막힘 ·수면접촉부 침식
▷ 날개벽(옹벽 포함)	·날개벽 이동, 전도 ·석축이 있는 경우 사면붕괴



<그림 3.4>온도응력, 건조수축에 의한 교대의 수직균열



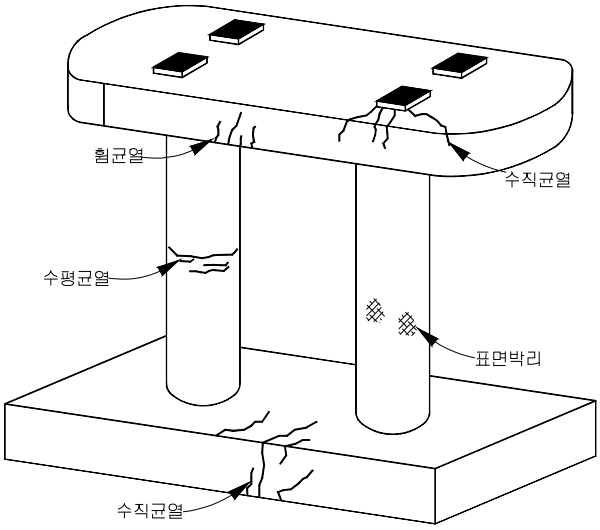
<그림 3.5>부등침하로 인한 교대의 수직균열



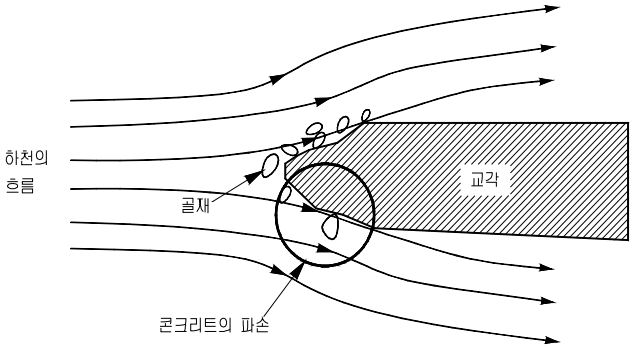
<그림 3.6>교대의 점검부위

<표 3.9>교각의 점검부위 및 손상종류

점 검 부 위	손 상 종 류
▷ 공 통	·균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출, 백태(유리석회), 재료분리
▷ 두부(Coping)	·두부 물고임 ·받침부 하부 균열 및 파손
▷ 구 체	·시공이음부 균열 ·이동 또는 기울음 ·수면접촉부 침식



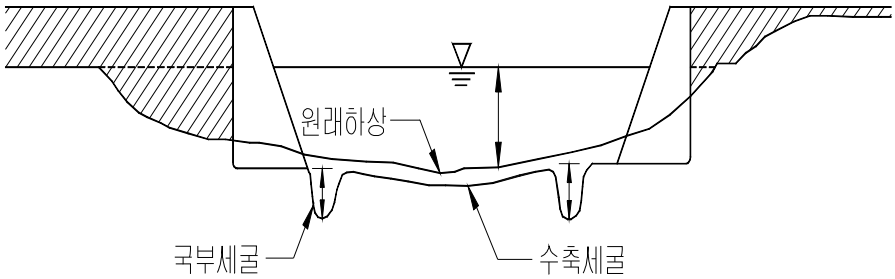
<그림 3.7>교각의 점검부위



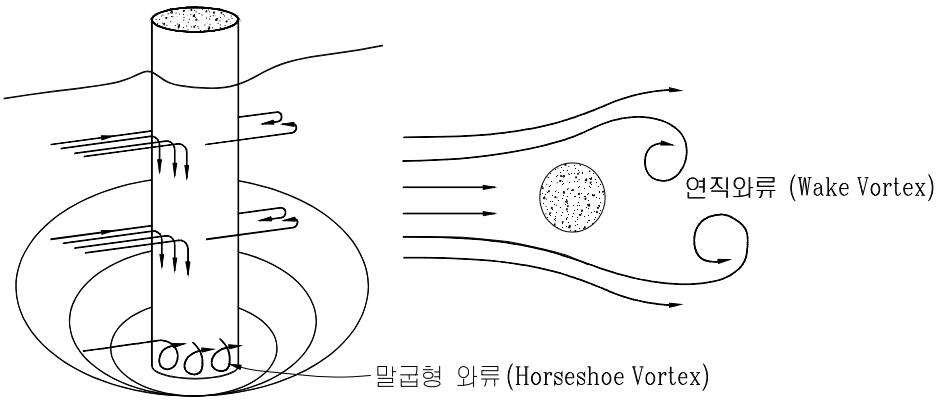
<그림 3.8>유수에 의한 교각의 침식

<표 3.10>기초의 점검부위 및 손상종류

점 검 부 위	손 상 종 류
▷ 공 통	·박리, 박락, 철근노출, 백태 ·침식, 세굴, 이동, 침하
▷ 직접기초	·수직방향 균열
▷ 말뚝기초	·침식 및 말뚝노출
▷ 케이슨기초	·충돌파손



<그림 3.9>수축세굴과 국부세굴



<그림 3.10>원형기초의 국부세굴

3.1.2 부재별 손상내용 및 원인, 조사방향

1) 상부 포장면

내 용	주요 발생원인	조사방향
균열, 망상균열 등	- 아스콘 노후화 및 내구성 저하 - 국부적 응력집중 - 아스콘 혼합물의 품질불량 - 시공이음부	- 규모 - 차량주행성 - 바닥판의 누수, 백태 발생
들뜸	- 아스콘 노후화 및 내구성 저하 - 아스콘혼합물 품질불량 및 전압부족	- 규모 - 바닥판의 누수, 백태 발생
소성변형	- 중차량 통행	- 규모
포트홀	- 아스콘혼합물 품질불량 및 전압부족 - 패칭 보수부위 접착력 부족	- 바닥판의 누수, 백태 발생
체수, 배수시설	- 청소불량(배수공 막힘) - 배수관 유실 및 길이부족	- 체수발생 위치 및 규모
신축이음 누수	- 고무재 유실	- 발생위치 및 규모 - 누수 발생 유무 - 하단 부재 부식 여부
신축이음 후타재 균열, 파손 등	- 중차량 통과 - 노후화 및 시공불량	- 발생위치 및 규모

2) 바닥판하면, 교대, 교각

(1) 균열, 누수, 백태

내 용		주요 발생원인	조사방향
바닥판 하 면	횡방향 균열, 망상균열	- 건조수축에 의한 균열	- 균열폭, 방향 및 연속성 - 균열부 누수, 백태 유무
	종방향 균열	- 구조적 내력 부족에 의한 균열	- 균열폭, 방향 및 연속성 - 균열부 누수, 백태 유무
	누수, 백태	- 아스팔트 노후화 및 내구성 저하로 인한 손상 - 교면방수 미실시	- 구체를 통한 누수 여부 - 코어채취 실시
교대 및 교각	코핑부, 기둥부 균열	- 구조적 내력 부족에 의한 균열 - 건조수축에 의한 균열 - 수화열에 의한 균열 - 시공이음부 균열	- 균열폭, 방향 및 연속성 - 균열의 시.종점

(2) 단면결함 (박리, 박락, 철근노출, 재료분리 등)

내 용	주요 발생원인	조사방향
◦철근 비노출 손상 재료분리, 박리, 박락 들뜸 등	- 다짐불량 - 인위적인 손상 - 탄산화로 인한 내부철근 부식	- 발생 규모 및 위치 - 청음조사
◦철근 노출 손상 재료분리, 파손, 박락 등	- 피복두께 부족 - 내부철근 부식으로 인한 피복박리 - 인위적인 큰 단면 손상	- 발생 규모 및 위치 - 청음조사 - 부식으로 인한 철근단면 감소 여부

3) 주형 (강재)

내 용		주요 발생원인	조사방향
부재	변 형 단면손상	- 기 변형된 부재 사용 - 인위적인 절단, 충격(하중)	- 발생위치 및 규모 - 2차적인 손상발생 유무
용접부	용접누락	- 시공시 누락	- 발생위치 및 규모 - 2차적인 손상발생 유무
	기공발생 언더컷 용접불량	- 용접전류, 용접속도 불량 - 미숙련자의 용접 - 용접자세 불량	
	균 열	- 용접불량 및 응력집중	
연결 볼트	누락, 미조임 체결불량 길이부족 천공불량	- 연결부 제작오차로 인한 단차 발생 - 볼트 구멍 어긋남(불일치) - 다른 규격 볼트 사용 유무	- 발생위치 및 규모 - 2차적인 손상발생 유무
녹 및 부식 도장박리		- 오랜 공용기간으로 인한 도장 열화 - 도막두께 부족 - 신축이음부 누수 및 빗물 유입	- 발생위치 및 규모 - 2차적인 손상발생 유무

4) 받침장치

내 용	주요 발생원인	조사방향
가동 여유량 부족 및 밀착 발생 등	- 온도변화를 정확히 미고려함 - 거더의 제작오차	- 현 가동여유량 조사 - 발생 위치 및 개소 - 2차손상 발생 유무
고정앵커 볼트 미조임 및 길이부족 설치불량 등	- 볼트 나사선 청소불량 - 앵커 볼트 편심 시공 - 제작오차로 인한 조임시 하답과 밀착	- 발생 위치 및 개소
녹 및 부식	- 오랜 공용기간으로 인한 도장열화 - 신축이음부 누수	- 발생 위치 및 개소
무수축 몰탈 균열 및 들뜸	- 시공불량 (신, 구콘크리트 접착력 부족)	- 발생 규모 및 위치 - 청음조사

3.2 외관조사 결과

3.2.1 교면포장

과업 대상교량의 총 폭은 11.56m이며, 편도 2차선으로 구성되어 있고, 아스팔트 포장으로 시공되어 있다. 외관조사 결과, 교면포장은 포장균열, 포장파손, 포트홀, 표면마모, 토사퇴적 등의 손상이 조사되었다.

우수침투, 교통하중의 반복재하, 충격작용 등으로 발생된 포장균열 및 패임등은 씰링보수와 소파보수 등이 필요한 것으로 판단된다.

교면포장 전경

포장 균열

포장 균열

포장 패임(S10)

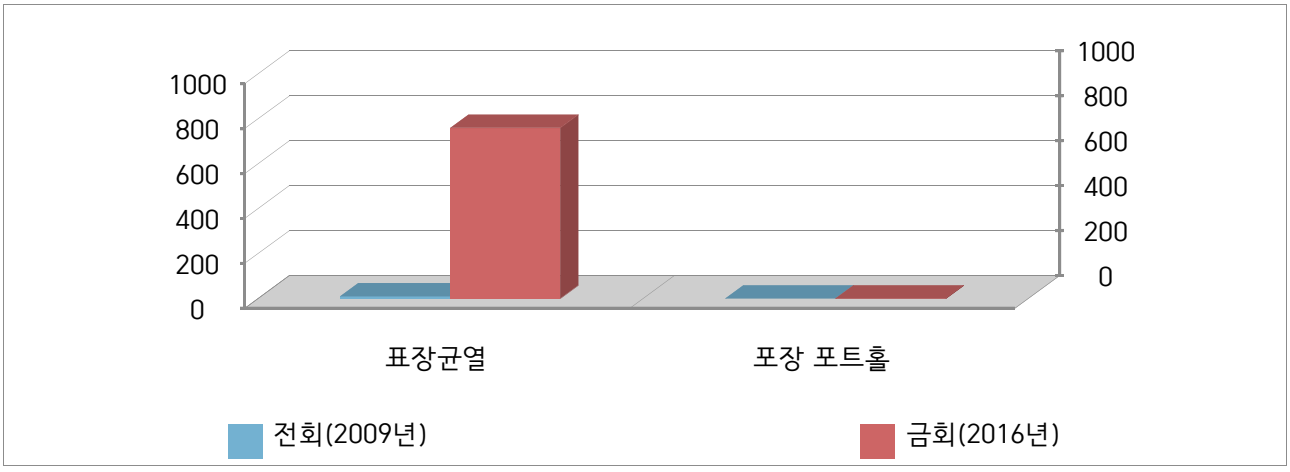
<사진 3.1>교면포장의 결함 및 손상현황

<표 3.11>교면포장의 결함 및 손상현황

구 분	결함 및 손상내용	손상원인	보수방안	손상물량	비고
교면 포장	표장균열	중차량 통행	씰링보수	760m	
	포장 포트홀	외부충격	소파보수	0.01㎡	

<표 3.11>교면포장 기 점검결과 비교

구 분	결함 및 손상내용	전회(2009년)	금회(2016년)	증감	비고
교면 포장	표장균열	10.0	760	750	
	포장 포트홀	0	0.01	0.01	



<그림 3.11> 교면포장 기 점검결과 비교

3.2.2 방호벽

본 교량의 방호벽은 철근콘크리트로 시공되어있으며 각 경간마다 가로등이 설치되어 있다. 외관조사 결과, 콘크리트 균열(폭0.1mm~0.3mm이상), 망상균열, 백태, 재료분리, 철근노출, 파손 , 가로등 기초균열 등의 손상이 조사되었다.

발생된 손상은 시공초기 콘크리트건조수축에 의한 균열과 피복두께 부족, 외부충격 및 공용기간증대에 따른 노후화로 인한 것으로 판단되며 내구성확보를 위해 주입보수, 단면복구 등의 보수가 필요할 것으로 판단된다.

철근노출(S13) | 가로등 기초 균열 (S13)

균열(S11) | 균열/백태(S9)

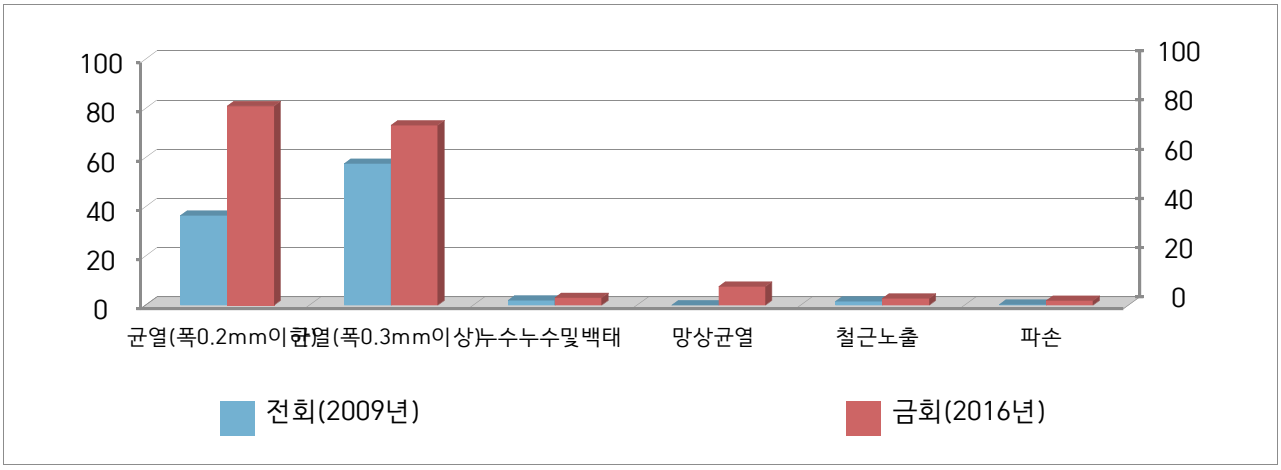
<사진 3.2>방호벽 결함 및 손상현황

<표 3.11>방호벽의 결함 및 손상현황

구 분	결함 및 손상내용	손상원인	보수방안	손상물량	비고
방호벽	균열(폭0.2mm이하)	건조수축	표면보수	80.9m	
	균열(폭0.3mm이상)	건조수축	주입보수	73.2m	
	누수,누수및백태	우수침투	단면보수	3.0㎡	
	망상균열	건조수축	표면보수	7.6㎡	
	철근노출	피복부족	단면복구	2.7㎡	
	파손	외부충격	단면복구	1.8㎡	

<표 3.11>방호벽 기 점검결과 비교

구 분	결함 및 손상내용	전회(2009년)	금회(2016년)	증감	비고
방호벽	균열(폭0.2mm이하)	36.4	80.9	44.5	
	균열(폭0.3mm이상)	57.5	73.2	15.7	
	누수,누수및백태	2.0	3.0	1	
	망상균열	0	7.6	7.6	
	철근노출	1.6	2.7	1.1	
	파손	0.3	1.8	1.5	



<그림 3.12> 방호벽 기 점검결과 비교

3.2.3 배수시설

과업 대상교량의 점검일 현재 배수시설에 대한 외관조사 결과, 배수관 상태는 전반적으로 양호한 상태로 조사되어 지속적인 주의관찰이 요구되나, 일부 배수관 탈락과 상부 배수구에서 일부 청소미흡으로 인한 막힘이 조사되어 배수관 수리 및 주기적인 청소가 요구된다.

배수관 탈락(P6)

배수구 막힘

배수구 막힘

배수구 상태양호

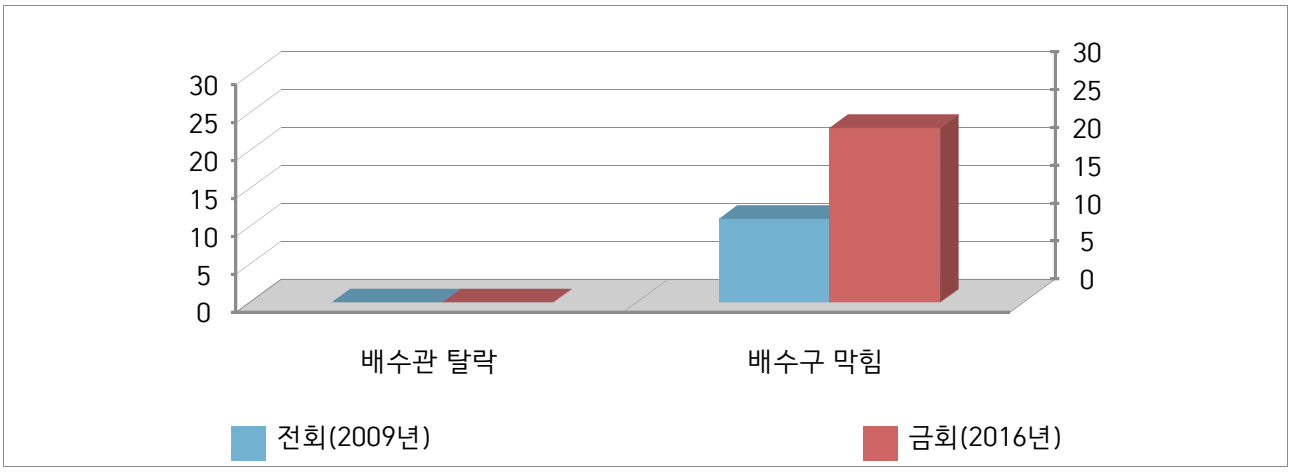
<사진 3.3>배수시설의 결함 및 손상현황

<표 3.11>배수시설의 결함 및 손상현황

구 분	결함 및 손상내용	손상원인	보수방안	손상물량	비고
교면 포장	배수관 탈락	외부충격	점검 수리	1ea	
	배수구 막힘	청소미흡	주기적청소	23ea	

<표 3.11>교면포장 기 점검결과 비교

구 분	결함 및 손상내용	전회(2009년)	금회(2016년)	증감	비고
교면 포장	배수관 탈락	0	0	0	
	배수구 막힘	11	23	12	



<그림 3.13> 배수시설 기 점검결과 비교

3.2.4 신축이음

본 교량의 신축이음은 A1은 finger Joint, P8, A2 구간에 Rail Joint로 시공되어 있으며, 신축이음 본체 상태는 일부 청소미흡으로 인한 유간 토사퇴적이 조사되어 신축이음 유간 청소가 요구되며, 후타재에서 중차량 통행으로 인한 균열이 다수 조사되어 주입보수가 요구된다.

신축이음전경(A1)

후타재 균열(A1)

후타재균열(P8)	유간퇴적(A2)

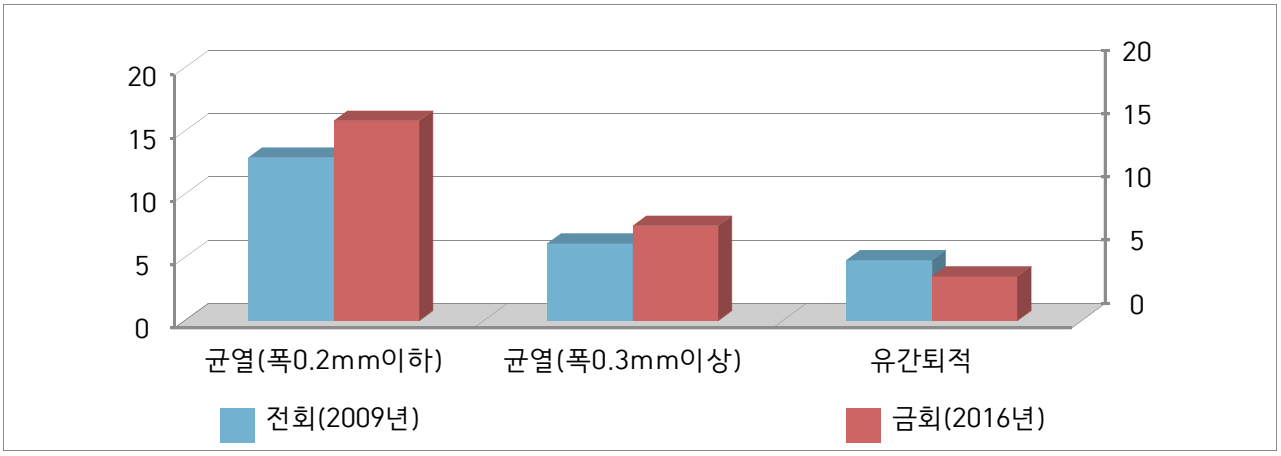
<사진 3.4>신축이음의 결함 및 손상현황

<표 3.14>신축이음의 결함 및 손상현황

구 분	결함 및 손상내용	손상원인	보수방안	손상물량	비고
신축이음	균열(폭0.2mm이하)	건조수축	표면보수	12.5m	
	균열(폭0.3mm이상)	건조수축	주입보수	17.5m	
	유간퇴적	배수불량	청소	3.5㎡	

<표 3.11>신축이음 기 점검결과 비교

구 분	결함 및 손상내용	전회(2009년)	금회(2016년)	증감	비고
신축이음	균열(폭0.2mm이하)	12.9	15.8	2.9	
	균열(폭0.3mm이상)	6.1	7.5	1.4	
	유간퇴적	4.8	3.5	-1.3	



<그림 3.14> 배수시설 기 점검결과 비교

※ 신축량 및 받침장치 가동량 측정

대상 교량 A1, P8, A2 구간의 신축유간을 측정하고 온도변화시 상부구조의 신축량을 산정하고 대상 교량의 신축 여유량을 검토하였다.

가) 신축량의 산정

본 유간거리 계산시에는 온도변화에 의산 신축량, 지점의 회전변위에 의한 신축량, 부가여유량을 고려하여 신축량을 산정하였따.

(1) 온도변화에 의한 신축량

$\Delta lt \Delta T \cdot \alpha \cdot l$

ΔT : 온도변화

α : 선팽창계수

l : 신축들보길이(단위 : m)

교량 형식	온도변화의 범위ΔT		선팽창계수(α)
	보통지방	한냉한 지방	
PC교, RC교	-5℃~+35℃	-154℃~+35℃	1.0 $\times 10^{-5}$
강교(상로교)	-10℃~+40℃	-20℃~+40℃	1.2 $\times 10^{-5}$
강교(하로교 및 강바닥판교	-10℃~+50℃	-20℃~+40℃	1.2 $\times 10^{-5}$

(2) 보의 처짐에 의한 이동량

$\Delta lr = \Sigma(\mathrm{hi} \cdot \theta \mathrm{i})$

여기서, hi : 받침의 회전중심에서 보의 중립축까지의 높이(거더높이의 2/3)

θi : 보의 회전각(콘크리트교 : 1/300, 강교 : 1/150)

※ 단순교에서는 보의 처짐에 의한 이동량을 2배로 계산.

(3) 부가여유량 : ±20mm(도로교설계기준)

(4) 총계산 신축량 = 온도변화에 의한 신축량 + 보의 처짐에 의한 이동량 + 부가여유량

위치	계산 신축량(점검당시 평균온도 22.0℃					계산 신축량 (mm)	실측 유간량 (mm)	평가
	선팽창계수	온도변화(℃)	거더 높이 (m)	신축들보 길이(m)	부가 여유량			
A1	1.0 $\times 10^{-5}$	35-22.0 =13℃	3.0	350	±20.0	72	502	양호
P8				50+50=100		40	122	양호
A2				320		68	323	양호
신축량계산 : 온도변화에 의한 신축량+보의처짐에의한 신출량+부가여유량 A1 : 1.0 $\times 10^{-5}$×(35-22.0)×(350×1,000) + (3.0×1000×2/3)/300 + 20 = 72mm P8 : 1.0 $\times 10^{-5}$×(35-22.0)×(100×1,000) + (3.0×1000×2/3)/300 + 20 = 40mm A2 : 1.0 $\times 10^{-5}$×(35-22.0)×(320×1,000) + (3.0×1000×2/3)/300 + 20 = 68mm								

나) 유간량 검토결과

상부구조는 고정단을 중심으로 계절적 온도변화에 따라 교축방향으로의 신축과 보의 처짐에 의한 신축을 하여 신축이음장치 유간이 부족할 경우 신축이음장치 파손 및 기타 손상이 발생할 수 있으므로 현장조사시 신축이음장치의 유간거리를 측정하여 계산 신축량과 비교, 검토하였다. 반심1교(상행) 신축이음장치의 유간측량결과 계신 신축량 범위 이내로서 신축여유량은 확보된 상태이며 공용기간 중 신축이음장치의 거동에 장애가 되지 않도록 신축이음 유간사이의 이물질퇴적 등은 주기적인 청소 등의 유지관리가 요구된다.

다) 받침장치 가동량 측정

구 분		받침종류	SHOE.1(mm)	SHOE.2(mm)
A1	설치현황	포트받침	일방향(↕)	양방향(✥)
	가동상태		↑(A1) : 0	↑(A1) : 0
P1	설치현황	포트받침	일방향(↕)	양방향(✥)
	가동상태		↑(A1) : 31	↑(A1) : 19
P2	설치현황	포트받침	일방향(↕)	양방향(✥)
	가동상태		↑(A1) : 21	↑(A1) : 20
P3	설치현황	포트받침	일방향(↕)	양방향(✥)
	가동상태		↑(A1) : 36	↑(A1) : 32
P4	설치현황	포트받침	일방향(↕)	양방향(✥)
	가동상태		↑(A1) : 16	↑(A1) : 25
P5	설치현황	포트받침	일방향(↕)	양방향(✥)
	가동상태		↑(A1) : 21	↑(A1) : 18
P6	설치현황	포트받침	일방향(↕)	양방향(✥)
	가동상태		↑(A1) : 32	↑(A1) : 28
P7	설치현황	포트받침	고정단(◉)	양방향(✥)
	가동상태		-	0

구 분			받침종류	SHOE.1(mm)	SHOE.2(mm)
P8	전면 (A1측)	설치현황	포트받침	일방향(↕)	양방향(✥)
		가동상태		↑(A1) : 19	↑(A1) : 17
	배면 (A2측)	설치현황	포트받침	일방향(↕)	양방향(✥)
		가동상태		↑(A1) : 17	↑(A1) : 16
P9		설치현황	포트받침	일방향(↕)	양방향(✥)
		가동상태		↑(A1) : 17	16
P10		설치현황	포트받침	고정단(◉)	일방향(↔)
		가동상태		-	0
P11		설치현황	포트받침	일방향(↕)	양방향(✥)
		가동상태		↑(A1) : 31	↑(A1) : 29
P12		설치현황	포트받침	일방향(↕)	양방향(✥)
		가동상태		↑(A1) : 20	↑(A1) : 15
P13		설치현황	포트받침	일방향(↕)	양방향(✥)
		가동상태		↑(A1) : 128	↑(A1) : 131
P14		설치현황	포트받침	일방향(↕)	양방향(✥)
		가동상태		↑(A1) : 51	52
P14		설치현황	포트받침	일방향(↕)	양방향(✥)
		가동상태		↑(A1) : 90	↑(A1) : 90

신축이음 유간거리 측정(A1)

받침장치 가동량 측정(P7)

<사진 3.5>신축이음 유간거리 및 받침장치 가동량 측정

라) 검토결과

대상교량의 받침장치 가동 여유량을 측정한 결과 받침장치의 가동 여유량은 도로교설계기준에 모두 만족하고 있는 것으로 조사되었다.

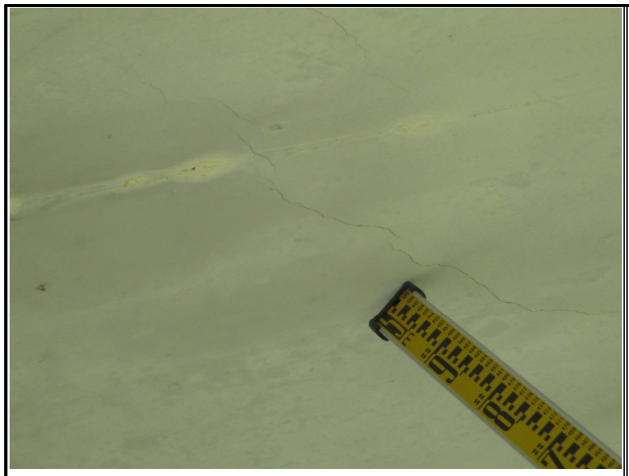
3.2.5 바닥판 하면

본 교량의 바닥판 하면은 PSC Box형교로 구성되어 있으며, 바닥판 하면의 외관조사 결과, 균열(폭:0.2mm~0.3mm) 및 망상균열, 백태, 철근노출, 누수/백태등이 조사되었다.

발생된 균열은 상부슬래브 상면에서 종・횡방향 긴장재의 Prestress힘 또는 횡방향 모멘트에 의한 인장응력, 콘크리트 건조수축의 구속력 등복합적인 원인에 기인하여 발생된 것으로 추정되며 철근노출, 재료분리, 누수/백태는 피복두께부족 및 공용기간 증대에 따른 노후화로 인한 것으로 판단되며 구조물의 내구성확보를 위해 표면보수, 주입보수 및 단면보수가 필요할 것으로 판단된다.

PSC Box 외부 전경

누수/백태(S5)



균열(폭0.3mm이상)-S1

재료분리(S2)

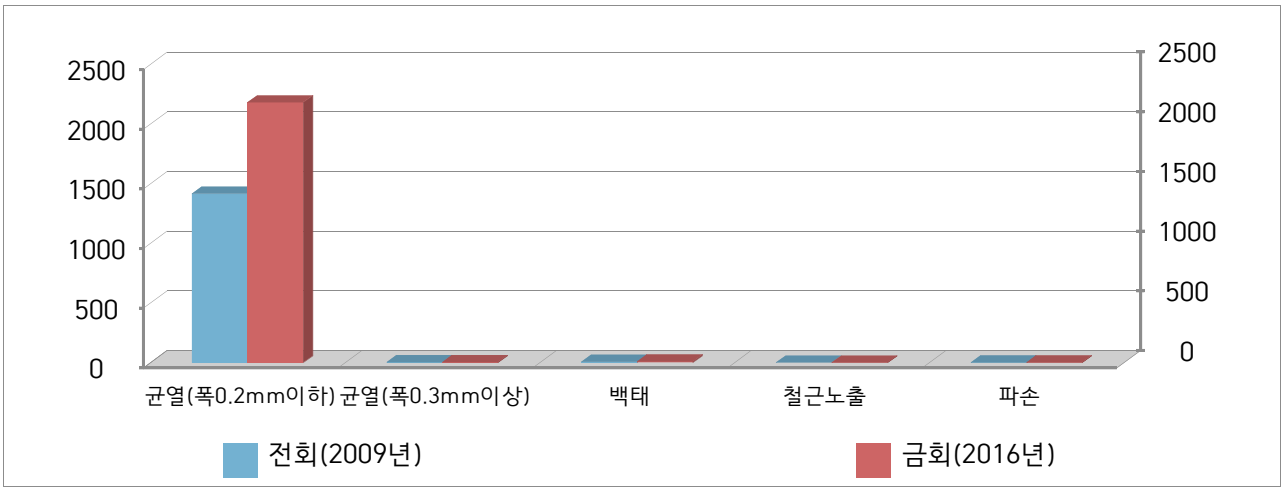
<사진 3.6>바닥판 하면의 결함 및 손상현황

<표 3.17>바닥판 하면의 결함 및 손상현황

구 분	결함 및 손상내용	손상원인	보수방안	손상물량	비고
바닥판하면	균열(폭0.2mm이하)	건조수축	표면보수	2180.5m	
	균열(폭0.3mm이상)	건조수축	주입보수	4.0m	
	백태	우수침투	단면보수	8.4㎡	
	철근노출	피복부족	단면복구	0.2㎡	
	파손	외부충격	주의관찰	0.25㎡	

<표 3.11>바닥판 하면 기 점검결과 비교

구 분	결함 및 손상내용	전회(2009년)	금회(2016년)	증감	비고
바닥판하면	균열(폭0.2mm이하)	1414.7	2180.5	765.8	
	균열(폭0.3mm이상)	3.0	4.0	1	
	백태	7.0	8.4	1.4	
	철근노출	0	0.2	0.2	
	파손	0.25	0.25	0	



<그림 3.15> 바닥판하면 기 점검결과 비교

3.2.6 Box 거더 내부 및 외부

과업 대상교량의 거더는 PSC Box형식으로 외관조사 결과, 거더 내부에서는 균열(폭:0.2mm ~ 0.3mm) 등의 손상이 조사되었으며, 거더 외부에서 균열(폭:0.2mm ~ 0.3mm), 재료분리, 백태 등의 손상이 조사되었다.

발생된 손상은 시공초기 콘크리트 건조수축에 의한 균열과 기간증대에 따른 노후화로 인한 것으로 판단되며 내구성 확보를 위해 표면보수, 주입보수, 단면보수 등의 보수가 필요할 것으로 판단된다.

거더 내부 전경

PSC Box 내부 균열

PSC Box 내부 균열

PSC Box 내부 균열

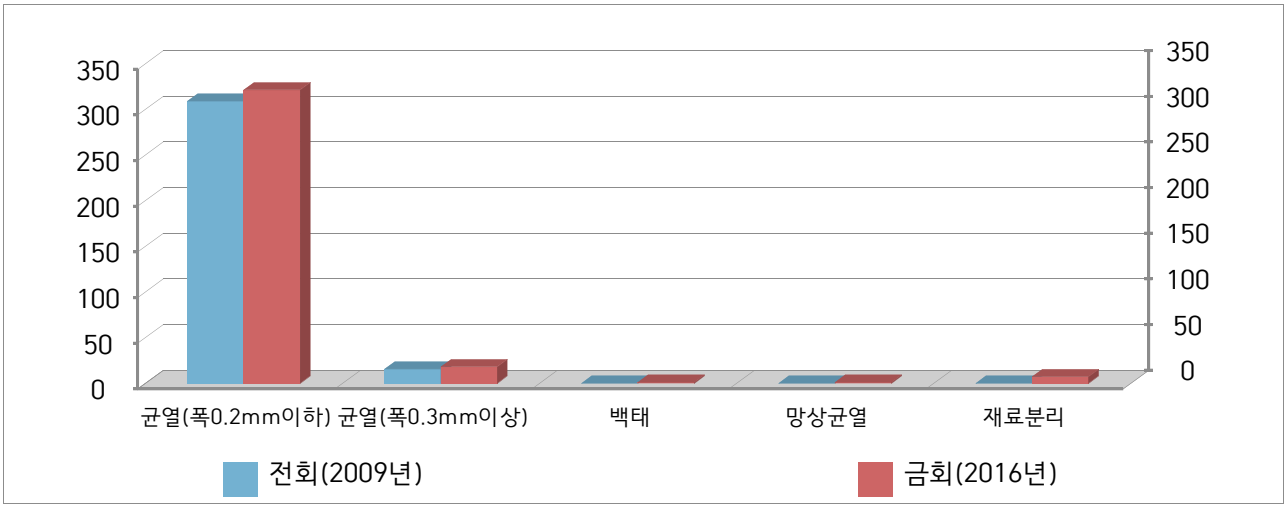
<사진 3.7>거더 내·외부 결함 및 손상현황

<표 3.18>거더 내·외부 결함 및 손상현황

구 분	결함 및 손상내용	손상원인	보수방안	손상물량	비고
거더	균열(폭0.2mm이하)	건조수축	표면보수	121.4m	
	균열(폭0.3mm이상)	건조수축	주입보수	18.0m	
	백태	우수침투	단면보수	1.0㎡	
	망상균열	건조수축	표면보수	1.0㎡	
	재료분리	시공미흡	단면보수	7.2㎡	

<표 3.11>거더 내·외부 기 점검결과 비교

구 분	결함 및 손상내용	전회(2009년)	금회(2016년)	증감	비고
거더	균열(폭0.2mm이하)	309.0	321.2	12.2	
	균열(폭0.3mm이상)	15.5	18.0	2.5	
	백태	0	1.0	1	
	망상균열	0	1.0	1	
	재료분리	0	7.2	7.2	



<그림 3.16> 거더 내외부 기 점검결과 비교

3.2.7 교량받침

과업 대상교량의 교량받침은 포트받침 34개소로 시공되어 있으며, 외관조사 결과, 전반적인 상태는 양호하였으나 공용기간 증대로 인한 도장부식등의 결함이 조사되었다. 발생된 결함은 내구성 향상을 위해 재도장 등의 보수가 필요할 것으로 판단된다.

교량받침(P2) | 교량받침(A2)

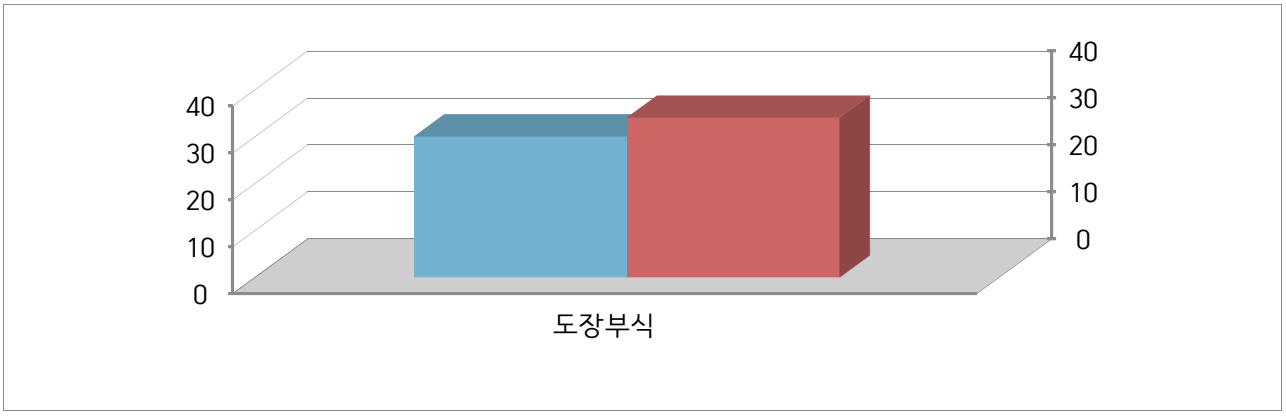
<사진 3.8>교량받침의 결함 및 손상현황

<표 3.19> 교량받침의 결함 및 손상현황

구 분	결함 및 손상내용	손상원인	보수방안	손상물량	비고
교량받침	도장부식	공용기간 증대	재도장	34개소	

<표 3.11> 교량받침 기 점검결과 비교

구 분	결함 및 손상내용	전회(2009년)	금회(2016년)	증감	비고
교량받침	도장부식	4	34	30	

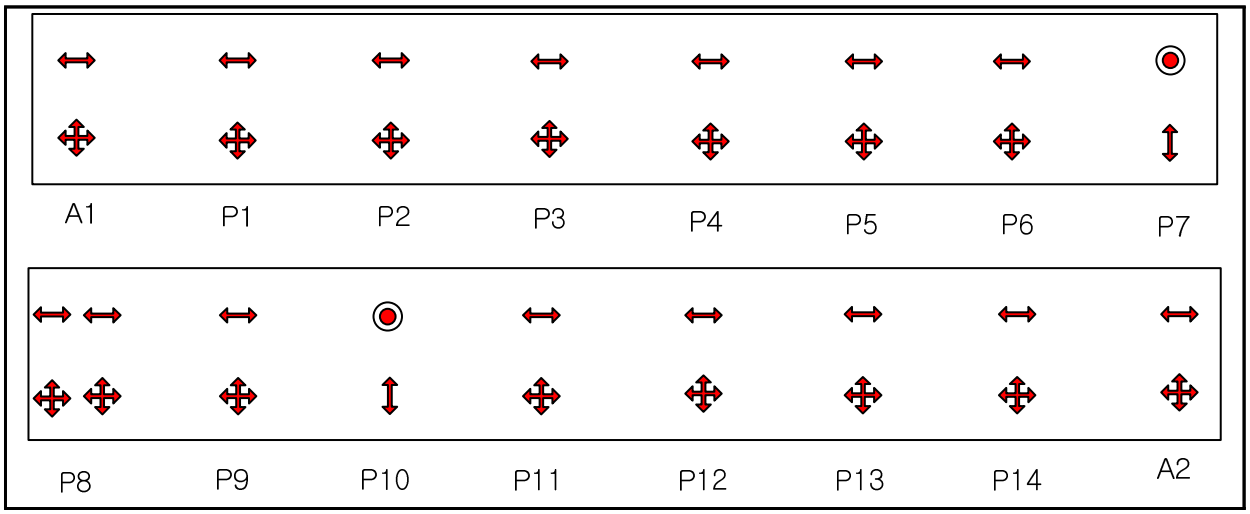


<그림 3.17> 교량받침 기 점검결과 비교

※ 연단거리 측정

대상교량의 받침장치와 하부구조 정부 연단 사이의 거리를 산정하고 각 지점에서 측정된 연단거리를 측정 비교·검토하였다.(도로교설계기준 5.4.2항 참조-2010)

가) 교량받침 배치도



받침 연단거리 측정(A2)	받침 연단거리 측정(P4)

<사진 3.9>연단거리 측정

나) 연단거리 산정

(1) 연단거리 산정기준

- 거더의 경간길이 100m이하 : S=20+(0.5×L)
- 거더의 경간길이 100m이상 : S=30+(0.4×L)

<표 3.20>교량받침 연단거리 검토결과

구분		측정값		시방 기준	평가	구분		측정값		시방 기준	평가
		Sh.1	Sh.2					Sh.1	Sh.2		
A1	배면	39	40	45	양호	A2	전면	49	47	45	양호
P1	전면	69	73	45	양호	P8	전면	33	29	45	양호
	배면	56	52	45	양호		배면	20	18	45	양호
P2	전면	54	63	45	양호	P9	전면	61	58	45	양호
	배면	55	64	45	양호		배면	58	60	42.5	양호
P3	전면	62	60	45	양호	P10	전면	61	62	42.5	양호
	배면	63	67	45	양호		배면	63	62	42.5	양호
P4	전면	59	63	45	양호	P11	전면	53	58	42.5	양호
	배면	67	64	45	양호		배면	55	60	50	양호
P5	전면	63	59	45	양호	P12	전면	53	53	50	양호
	배면	58	64	45	양호		배면	52	54	50	양호
P6	전면	65	65	45	양호	P13	전면	60	56	50	양호
	배면	60	62	45	양호		배면	49	58	45	양호
P7	전면	64	64	45	양호	P14	전면	60	52	45	양호
	배면	62	61	45	양호		배면	56	65	45	양호
※ 각 지점별 받침에 연단거리는 확보됨											

다) 검토결과

하부구조 정부에서는 내진상 충분한 연단거리를 확보하여 상부구조의 낙교시 붕괴되지 않도록 시방에서 최소기준을 두고 있다.

대상교량의 받침연단거리를 측정한 결과, 받침장치의 연단거리가 도로교설계기준에 전반적으로 연단거리를 확보하고 있다.

3.2.8 하부구조

하부구조에 대한 외관상태 조사결과, 교대는 역T형으로 시공되어 있으며 외관조사결과, 일부 균열(폭:0.2~03mm)과 시점부 교대A1 보호공 일부 유실이 조사되었으며, 시공초기 콘크리트건조수축, 공용기간 증대에 따른 노후화 및 우수침투로 인한 결함으로 판단된다.

교각은 T형으로 시공되어 있으며 외관조사결과, 일부 균열(폭:0.2~03mm), 망상균열, 재료분리, 파손 및 표면오염등의 결함이 조사되었다. 발생된 결함은 시공초기 콘크리트건조수축, 시공시 다짐부족, 외부충격과 환경적인 요인 등에 의한 것으로 판단된다.

조사된 결함은 구조물의 내구성확보를 위해 표면보수, 주입보수, 단면보수등의 보수가 필요하며 교대의 유실된 보호공은 즉각적인 뒷채움보수가 필요할 것으로 판단된다.

교대균열및오염(A1)

교대 보호공 일부유실A1)

교각균열(P5)

교각 오염(P4)

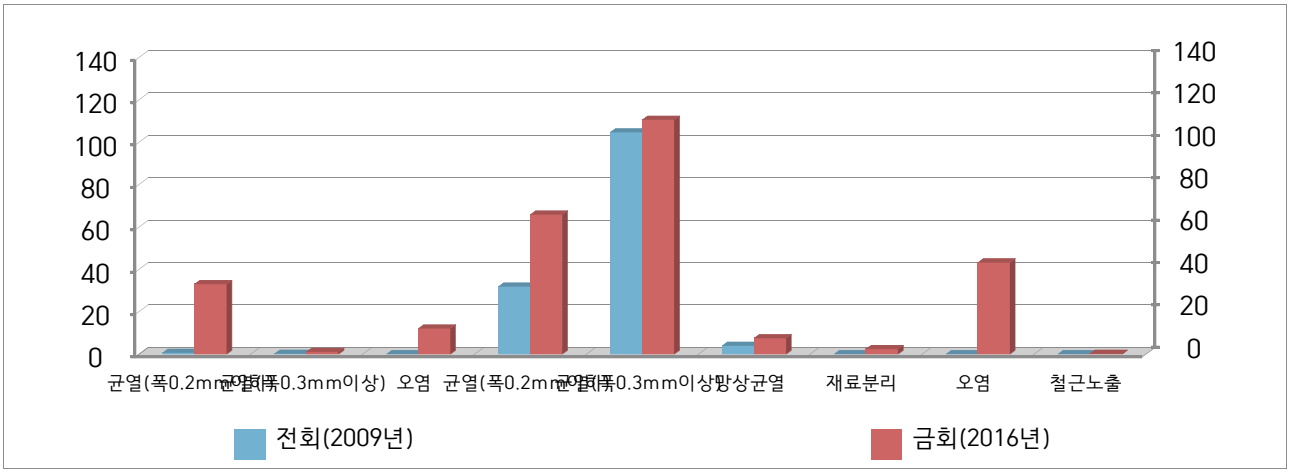
<사진 3.10>하부구조의 결함 및 손상현황

<표 3.23>하부구조의 결함 및 손상현황

구 분		결함 및 손상내용	손상원인	보수방안	손상물량	비고
하부구조	교대	균열(폭0.2mm이하)	건조수축	표면보수	33.0m	
		균열(폭0.3mm이상)	건조수축	표면보수	1.0m	
		오염	우수침투	주의관찰	12.0㎡	
		보호공유실	우수침투	뒷채움보수	1.0㎥	
	교각	균열(폭0.2mm이하)	건조수축	표면보수	65.9m	
		균열(폭0.3mm이상)	건조수축	주입보수	110.5m	
		망상균열	건조수축	표면보수	7.55㎡	
		재료분리	시공미흡	단면보수	2.32㎡	
		오염	우수침투	주위관찰	43.24㎡	
		철근노출	피복부족	단면보수	0.04㎡	

<표 3.11>하부구조 기 점검결과 비교

구 분		결함 및 손상내용	전회(2009년)	금회(2016년)	증감	비고
하부구조	교대	균열(폭0.2mm이하)	0.5	33.0	32.5	
		균열(폭0.3mm이상)	0.1	1.0	0.9	
		오염	0	12.0	12	
		보호공유실	0	1.0	1.0	
	교각	균열(폭0.2mm이하)	31.8	65.9	34.1	
		균열(폭0.3mm이상)	104.6	110.5	5.9	
		망상균열	3.93	7.55	3.62	
		재료분리	0	2.32	2.32	
		오염	0	43.24	43.24	
		철근노출	0	0.04	0.04	



<그림 3.18>하부구조 기 점검결과 비교

3.2.9 외관조사결과 요약

<표 3.24>외관조사결과 요약

구 분		결함 및 손상내용	손상원인	수 량	개선방안
교면 포장		표장균열	공용증대	760.0m	씰링보수
		포장 포트홀	외부충격	1.5㎡	소파보수
방호벽		균열(폭0.2mm이하)	건조수축	80.9m	표면보수
		균열(폭0.3mm이상)	건조수축	73.2m	주입보수
		누수,누수및백태	우수침투	3.0㎡	단면보수
		망상균열	건조수축	7.6㎡	주의관찰
		철근노출	피복부족	2.7㎡	단면보수
		파손	외부충격	1.8㎡	단면보수
배수시설		배수관탈락	외부충격	1ea	점검수리
		배수구 막힘	청소미흡	23ea	주기적 청소
신축이음		균열(0.2mm이하)	건조수축	15.8m	표면보수
		균열(0.3mm이상)	건조수축	7.5m	주입보수
		유간퇴적	배수불량	3.5㎡	주기적 청소
바닥판 하면		균열(폭0.2mm이하)	건조수축	2180.5m	표면보수
		균열(폭0.3mm이상)	건조수축	4.0m	주입보수
		백태	우수침투	8.4㎡	표면보수
		철근노출	피복부족	0.2㎡	단면보수
		파손	외부충격	0.25㎡	주의관찰
거더		균열(폭0.2mm이하)	건조수축	321.2m	표면보수
		균열(폭0.3mm이상)	건조수축	18.0m	주입보수
		백태	우수침투	1.0㎡	표면보수
		망상균열	건조수축	1.0㎡	주의관찰
		재료분리	시공미흡	7.2㎡	단면보수
교량받침		도장부식	공용기간증대	34ea	재도장
하부 구조	교대	균열(폭0.2mm이하)	건조수축	33m	표면보수
		균열(폭0.3mm이상)	건조수축	1m	주입보수
		오염	우수침투	12㎡	주의관찰
		보호공유실	우수침투	1.0㎥	뒷채움보수
	교각	균열(폭0.2mm이하)	건조수축	65.9m	표면보수
		균열(폭0.3mm이상)	건조수축	110.5m	주입보수
		망상균열	건조수축	7.55㎡	주의관찰
		재료분리	시공미흡	2.32㎡	단면보수
		오염	우수침투	43.24㎡	주의관찰
		철근노출	피복부족	0.04㎡	단면보수

3.2.10 전차 정밀점검과의 외관조사결과 비교·분석

<표 3.25>전차 정밀점검과의 외관조사결과 비교·분석

구 분		결함 및 손상내용	전차(2009년)	금회(2016년)	증감	비고
교면 포장		표장균열	10.0	760	750.0	
		포장 포트홀	0	0.01	0.01	
방호벽		균열(폭0.2mm이하)	36.4	80.9	44.5	
		균열(폭0.3mm이상)	57.5	73.2	15.7	
		누수,누수및백태	2.0	3.0	1.0	
		망상균열	0	7.6	7.6	
		철근노출	1.6	2.7	1.1	
		파손	0.3	1.8	1.5	
배수시설		배수관탈락	0	0	0.0	
		배수구 막힘	11	23	12.0	
신축이음		균열(0.2mm이하)	12.9	15.8	2.9	
		균열(0.3mm이상)	6.1	7.5	1.4	
		유간퇴적	4.8	3.5	-1.3	
바닥판 하면		균열(폭0.2mm이하)	1414.7	2180.5	765.8	
		균열(폭0.3mm이상)	3.0	4.0	1.0	
		백태	7.0	8.4	1.4	
		철근노출	0	0.2	0.2	
		파손	0.25	0.25	0.0	
거더		균열(폭0.2mm이하)	309.0	321.2	12.2	
		균열(폭0.3mm이상)	15.5	18.0	2.5	
		백태	0	1.0	1.0	
		망상균열	0	1.0	1.0	
		재료분리	0	7.2	7.2	
교량받침		도장부식	4	34	30.0	
하부 구조	교대	균열(폭0.2mm이하)	0.5	33.0	32.5	
		균열(폭0.3mm이상)	0.1	1.0	0.9	
		오염	0	12.0	12.0	
		보호공유실	0	1.0	1.0	
	교각	균열(폭0.2mm이하)	31.8	65.9	34.1	
		균열(폭0.3mm이상)	104.6	110.5	5.9	
		망상균열	3.93	7.55	3.62	
		재료분리	0	2.32	2.32	
		오염	0	43.24	43.24	
		철근노출	0	0.04	0.04	

제4장 내구성조사

4.1 개요

4.2 반발경도 및 초음파 시험

4.3 코어 압축강도시험

4.4 철근배근탐사

4.5 철근 부식도 측정

4.6 콘크리트 탄산화깊이 조사

4.7 염화물함유량 측정

4.8 전차 정밀점검 비교·분석

제4장 내구성조사

4.1 개 요

4.1.1 내구성 조사 개요

콘크리트 내구성 조사는 콘크리트 구조물에 열화손상이 이미 현저하게 진행되었을 경우는 열화의 정도 및 그 원인 관계를 조사하고 보수.보강 여부의 판정을 하며, 아직 열화손상이 없거나 경미한 구조물은 향후 열화 경향을 예측하는 것을 목적으로 하고 있으며, 조사 시점의 열화 상태뿐만 아니라 구조물의 이력, 주변환경, 열화원인을 같이 조사하여 종합적인 판단을 하기 위한 자료를 제공한다.

4.1.2 시험내용 및 평가기준

본 과업의 내구성 조사를 위하여 콘크리트 강도평가를 위한 시험, 철근상태조사, 염화물 함유량시험, 탄산화시험 등의 시험을 수행하였으며, 각 시험별 평가방법은 다음과 같다.

1) 반발경도시험

콘크리트의 표면 경도를 측정하여 이 측정치로부터 콘크리트의 압축강도를 비파괴로 추정하는 검사방법이다. 반발경도를 구하는 방법으로는 슈미트 해머(Schmidt Hammer)법이 가장 널리 사용된다. 슈미트 해머로 경화된 콘크리트 표면을 타격하여 반발도(R)와 콘크리트의 압축강도(F_c)와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다.

(1) 반발경도(R)

슈미트 해머로 경화된 콘크리트 표면의 타격 시 내부에 중추의 반동 량을 반발도(R)로 표시하며, 이 반발도의 크기에 따라 콘크리트의 압축강도를 추정한다. 외관조사 결과에 의해서 결정된 측정개소에 대해서 표면 평활작업을 하여 타격점 상호간의 간격은 3cm를 표준으로 종으로 5열, 횡으로 4열의 선을 그어 직교되는 20점을 타격하며, 3점 이상을 여분으로 두어

측정하여 반발경도 값의 산술 평균값(R_m)을 구한다. 산술평균값 Rm 에 대해 RILEM Recommendation 에 따라 각 반발경도의 값이 Rm±20% 의 범위를 벗어나는 값들은 제외시키고 나머지 값들을 다시 산술평균하여 반발경도 R 을 결정한다. 제외된 반발치가 4개 이상일 때는 측정지점의 반발경도값(R) 은 버린다. 여기서 측정된 반발치의 값들이 많은 편차를 보이고 있으면 보편적으로 콘크리트의 품질이 불 균질하다고 평가될 수 있을 것이다.

측정기의 기종 선정
↓
점검기에 의한 정도확인
↓
측정장소의 확인, 요철제거
↓
Marker등에 의한 측정점의 표시
↓
측 정
↓
20점 이상의 평균
↓
타격 방향과 습윤의 보정
↓
강도추정식에 의한 압축강도 산출
↓
재령 보정
↓
압축강도의 추정

<그림 4.1>반발경도법에 의한 압축강도 추정도

(2) 보정반발경도(Ro)

보정반발경도 Ro 은 다음 (식 4.1)과 같이 측정경도 R 에 보정값 ΔR1, ΔR2, ΔR3 를 더한 값으로 한다.

$$R_0 = R + \Delta R_1 + \Delta R_2 + \Delta R_3 \quad \cdots\cdots (4.1)$$

여기서, ΔR_1 : 타격방향에 따른 보정값

ΔR_2 : 압축부재의 사하중 응력에 따른 보정값

ΔR_3 : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값

가. 타격 방향에 따른 반발경도의 보정(ΔR_1)

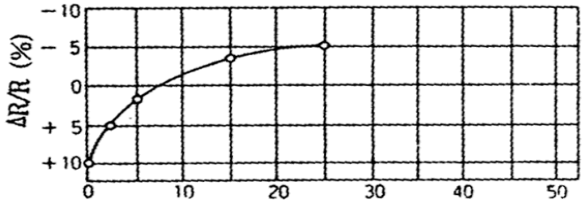
수평방향의 타격에 의한 측정치가 안정된 값을 나타내지만 타격방향이 다른 경우에는 반발치를 보정해 주어야 한다. 하향 타격(-90°)의 경우에는 슈미트햄머 내부의 해머중량에 의해서 실제보다 반동량이 작아지므로 +값으로 수정해 주고, 상향의 타격(+90°)의 경우에는 반대현상에 의해서 -값으로 수정해 주어야 한다.

<표 4.1>반발경도 보정값

반발경도	보 정 값				비 고
	+90°	+45°	-45°	-90°	
10			+2.4	+3.2	
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	+1.5	+2.2	
60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7	

나. 압축응력에 따른 반발경도 보정(ΔR_2)

타격방향과 직각방향으로 압축응력을 받는 부재는 압축응력이 커짐에 따라 반발경도에 의한 압축강도가 실제보다 커진다는 사실이 시험결과 입증되었다. 그 크기는 대략 압축응력이 10㎏f/㎠ 인 경우 ΔR2 = - 0.015R, 25㎏f/㎠ 인 경우 ΔR2 = - 0.05R 이다.



압축응력(kgf/cm^2)

<그림 4.2>압축응력에 따른 반발경도의 보정곡선

다. 콘크리트 습윤상태에 따른 보정(ΔR_3)

콘크리트 표면이 습윤상태에 있으면 기건상태 보다 반발도가 작게 나오게 된다. 따라서, 완전 습윤상태에서는 기건상태를 기준으로 ΔR3 = +5로 보정한다.

(3) 압축강도의 추정

보정반발경도 Ro 로 부터 압축강도(Fc) 의 상관관계를 도출한 제안식 들은 다음과 같다.

- 일본재료학회 (보통콘크리트)

$$F_C = -18.0 + 1.27R_o \quad (4.2)$$

- 일본건축학회 CNDT 소위원회 강도계산식

$$F_C = 7.3R_o + 100 \times 0.098 \quad (4.3)$$

- 동경도 재료검사소

$$F_C = 10R_o - 110 \times 0.098 \quad (4.4)$$

(4) 28일 강도의 추정

시일이 경과할수록 콘크리트 구조물은 표면경도가 높아지므로 (식 3.4)와 같이 재령 28일 강도(F_{28}')로 환산하여 압축강도를 추정한다. 콘크리트의 재령에 따른 압축강도 보정계수 α 는 <표 4.2>와 같으며, 3000일 이상의 재령에 대해서는 0.63을 적용한다.

$$F_{28}' = \alpha \cdot F_c \quad (4.5)$$

<표 4.2>재령계수 α값

재령	4일	5일	6일	7일	8일	9일	10일	11일	12일	13일
α	1.90	1.84	1.75	1.72	1.67	1.61	1.55	1.49	1.45	1.40
재령	**14일**	**15일**	**16일**	**17일**	**18일**	**19일**	**20일**	**21일**	**22일**	**23일**
α	1.36	1.32	1.28	1.25	1.22	1.18	1.15	1.12	1.10	1.08
재령	**24일**	**25일**	**26일**	**27일**	**28일**	**29일**	**30일**	**32일**	**34일**	**36일**
α	1.06	1.04	1.02	1.01	1.00	0.99	0.99	0.98	0.96	0.95
재령	**38일**	**40일**	**42일**	**44일**	**46일**	**48일**	**50일**	**52일**	**54일**	**56일**
α	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.89	0.87	0.87	0.87	0.86
재령	**58일**	**60일**	**62일**	**64일**	**66일**	**68일**	**70일**	**72일**	**74일**	**76일**
α	0.86	0.86	0.85	0.85	0.85	0.84	0.84	0.84	0.83	0.83
재령	**78일**	**80일**	**82일**	**84일**	**86일**	**88일**	**90일**	**100일**	**125일**	**150일**
α	0.82	0.82	0.82	0.81	0.81	0.80	0.80	0.78	0.76	0.74
재령	**175일**	**200일**	**250일**	**300일**	**400일**	**500일**	**750일**	**1000일**	**2000일**	**3000일**
α	0.73	0.72	0.71	0.70	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63

2) 초음파탐상시험

초음파의 투과속도가 콘크리트의 밀도 및 탄성계수에 따라서 변화하는 것을 이용하며, 이 투과속도로부터 콘크리트의 동적 특성, 강도, 균열상태 등을 추정하는 방법이다. 그러나, 강도 추정의 정확도는 높지 않으며, 일반적으로 콘크리트의 강도 및 품질비교 또는 균열깊이를 판정하는 수단으로서 이 방법을 사용하고 있다. 강도 추정에 적용할 경우에는 반발경도법과 초음파법의 조합식을 이용하는 것이 바람직하다.

(1) 초음파법에 의한 압축강도의 추정

초음파 전달속도를 결정하기 위해서는 재료에서 초음파가 전달되는 거리를 미리 측정하고 장비상에 나타난 초음파 전달시간을 측정한 후 (식 4.6)에 의해서 구한다.

$$\text{전달속도(Velocity)} = \frac{\text{전달길이(Path Length)}}{\text{전달시간(Transit Time)}} \quad \cdots\cdots (4.6)$$

측정장소의 선정
↓
측정부위 진동자 배치방법 결정
↓
측정장소의 그라인딩, 요철제거
↓
Marker등에 의한 측정점의 표시
↓
측정기의 영점 조정
↓
진동자와 측정면 사이 공극이 생기지 않도록 그리스로 밀착
↓
진동자 배치방법에 따른 전달속도 측정
↓
전달속도 산출
↓
강도추정식에 의한 압축강도 산출
↓
압축강도의 추정

<그림 4.3>초음파속도법에 의한 압축강도 추정도

초음파탐사를 위한 탐촉자의 배열은 직접법, 반직접법 및 간접법이 있으며, 간접법과 직접법에서 구한 초음파 전달속도는 근사적으로 (식 4.7)과 같은 관계가 있다.

$$V_d \approx 1.05 V_i \quad \cdots\cdots (4.7)$$

여기서, V_d= 직접법(Direct method)에 의한 초음파 속도

V_i= 간접법(Indirect method)에 의한 초음파 속도

또, 간접법을 수행한 동일 조건의 구조물, 동일한 부위에서 채취한 코어의 종파(직접법)속도를 측정하여 현장에서 측정된 표면파(간접법)속도와 상관관계를 통한 초음파 전달속도를 근사적으로 환산하여 이용할 수 있다. 간접법은 일정거리를 등간격으로 떨어진 5점 이상의 측점을 정하고 초음파의 전달거리(X_i)에 따른 전달시간 T_i를 측정한다. 최소자승법에 의해서 회귀직선식을 구하여 그 기울기를 전달속도 V_i로 한다. 회귀직선의 적정성 여부를 판단하기 위해서 회귀직선의 유의성(有意性) 검정에 사용되는 결정계수(Coefficient of determination)를 (식 4.8)에 의해 계산한다.

$$r^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{(\Sigma(X_i - \overline{X})(T_i - \overline{T}))^2}{\Sigma(X_i - \overline{X})^2 \Sigma(T_i - \overline{T})^2} \quad \text{.....} \quad (4.8)$$

여기서, $\overline{X}$, $\overline{T}$는 거리 및 전달시간의 평균값

(2) 비파괴강도의 추정

본 과업에서는 3점 이상의 회귀직선식에서 r^2 값이 99% 이상이 되는 회귀직선식만을 사용하여 전달속도 V_i를 계산한다. 전달속도에 따른 콘크리트 압축강도의 추정을 위하여 초음파속도와 압축강도의 상관관계를 도출한 다음식을 사용한다.

- 일본건축학회 CNDT 소위원회 공동제안식

$$F_c' = 215V_P - 620 \times 0.098 \quad \text{.....} \quad (4.9)$$

- 오창희 외 1인 (대기중 양생)

$$F_c' = 152V_p - 383.9 \times 0.098 \quad \text{.....} \quad (4.10)$$

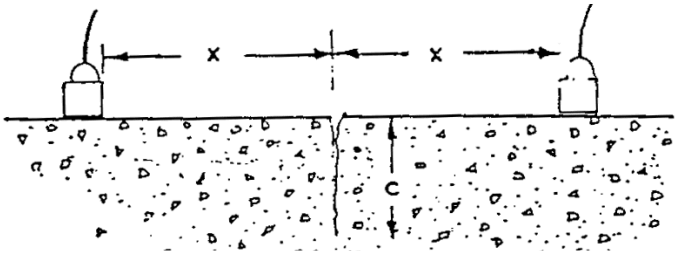
여기서, F_c' : 콘크리트 강도(Mpa)

V_p : $V_p = V_d$ 로서 $V_p \approx 1.05V_i$

(3) 균열깊이의 측정

균열깊이를 측정하기 위한 기본은 초음파의 발.수신자를 균열 부근에 설치하여 검출되는 파의 종류(종파, 횡파, 표면파) 및 검출항목(전파시간, 주파수, 위상 등)에 따라 많은 방법이 제안되고 있으나 일반적으로 Tc-To 법이 많이 이용되며, 본 과업에서도 Tc-To 법을 적용한다. Tc-To 법의 원리는 종파용 발.수신자를 균열 개구부를 중심으로 등간격 L/2(=X) 으로 설치하여 균열선단부를 회절한 초음파의 전파시간 TC 를 구한다. 또한, 부근의 균열이 없는 부분에서 발.수진자를 똑같이 거리 L(=2X) 만큼 설치하여 전파시간 To 를 구하여, 균열깊이를 추정한다. 균열면이 콘크리트의 표면과 직각으로 발생되어 있으며, 균열주위의 콘크리트는 어느 정도 균질한 것이라고 가정하여 유도한 것으로 측정된 Tc-To 로 부터 다음 식을 적용하여 균열의 깊이를 구한다.

$$C = \frac{L}{2}\sqrt{\frac{(T_C^2)}{(T_O^2)} - 1} \quad \text{.....} \quad (4.11)$$



<그림 4.4>Tc-To법에 의한 균열깊이의 측정방법

측정위치는 녹물의 용출, 철근방향의 균열 등 손상이 현저한 경우 그 부분을 조사대상으로 한다. 손상이 현저하지 않은 경우 해당 구조물을 대표하는 위치, 응력상 문제가 되는 위치 등을 조사위치로 한다.

(4) 조합법에 의한 압축강도의 추정

조합법은 반발경도법과 초음파법의 비파괴강도로 부터 보다 합리적으로 콘크리트의 비파괴강도를 추정하기 위해 제안되었다. 본 과업에서는 아래의 추정식을 사용하여 비파괴강도를 추정한다.

가. 릴렘(RILEM)식

$$\log_{10}F_c = 0.3794V_P + 0.01149R_O + 0.4332 \quad \text{.....} \quad (4.12)$$

$$F_c' = 0.85F_c$$

나. 일본건축학회 CNDT 소위원회 공동실험결과

$$F_c' = 8.2(K \times R_O) + 269V_P - 1094 \ (\text{보통콘크리트}) \text{.....} (4.13)$$

여기서, F_c': 콘크리트 강도 (kgf/cm2)

R_O : 슈미트햄머에 의한 보정 반발경도

V_P : 초음파 전달속도 (km/sec)

일본건축학회 CNDT 소위원회에서는 코어시험을 병행 실시하여 강도추정식 정수항 값(C)을 변화시키며, 반발경도에 대해서 안전한 값으로 재령 3개월 이상인 콘크리트에 대해서 K=0.9을 적용한다.

3) 코어 압축강도시험

이 방법은 현장에서 코어를 채취하여 이로부터 콘크리트의 압축강도를 추정하는 국부파괴시험으로 비파괴시험과는 구별되지만 구조물의 실제강도를 추정하는데 신뢰도가 가장 높다. 콘크리트의 각종 물성적, 역학적시험을 실시하며, 통상 비파괴시험에 의한 강도와 비교 분석한다.

(1) 압축강도시험

가. 코어 크기의 영향

콘크리트구조설계기준(한국콘크리트학회.대한건축학회, '99)에 의하면 콘크리트의 압축강도용 공시체는 ϕ150×300mm를 기준으로 하므로 ϕ100×200mm 코어를 채취한 경우에는 강도 보정계수 0.97을 곱하여 보정한다.

나. 높이/직경비의 영향

채취된 코어 공시체로 KS F 2422에 준하여 압축강도시험을 한다. 코어 공시체의 높이/직경비(h/d)가 작아질수록 겉보기 압축강도는 커진다. 공시체 높이가 직경의 2배보다 작을 경우에는 시험으로부터 얻은 압축강도에 높이 보정계수를 곱하여 공시체의 높이가 직경의 2배가 되는 코어 공시체의 압축강도로 환산한다.

<표 4.3>압축강도의 보정계수

높이와 직경의 비(h/d)	보정계수(KS F 2422)	비 고
2.00	1.00	.h/d가 중간값일 경우 직선 보간법을 이용하여 보정계수를 구한다.
1.75	0.98	
1.50	0.96	
1.25	0.93	
1.00	0.89	

다. 매입철근 지름의 영향

코어를 가로지르는 철근이 있는 경우에는 시험결과, 5~10% 정도의 압축강도가 감소된다고 보고되고 있다. 코어 비트에 따라 약간의 차이가 있으나, 철근의 직경이 증가함에 따라 코어강도는 저하된다.

라. 코어 채취위치와 방향의 영향

코어는 일반적으로 구조물의 최상단에서 가장 낮은 강도를 갖고 밑으로 깊이가 커질수록 코어의 강도는 증가하지만 300mm 이상의 두께에서는 더 이상의 강도증가는 없는 것으로 보고되고 있다. 수평방향으로 코어를 채취하면 수직으로 채취한 경우보다 전형적으로 8%가량 강도가 감소한다는 사실이 실험적으로 입증되었다. 따라서, 본 과업에서도 수평방향으로 채취한 코어에 대해서는 8%의 압축강도 감소의 영향을 고려한다.

마. 재령의 영향

실제의 구조물에서는 표준 공시체의 양생조건과 동일한 양생방법을 기대할 수 없기 때문에 콘크리트 구조물이 재령이 경과함에 따라 강도가 증가한다 할지라도, 표준 양생한 공시체의 28일 압축강도보다 항상 크지는 않다. 따라서, 현장 양생한 구조물의 코어강도는 표준 공시체의 28일 압축강도와 같게 보는 것이 일반적이며, 코어강도에 대해서는 재령에 대한 보정은 하지 않는다.

(2) 비파괴강도.압축강도와의 보정계수

각종 비파괴강도를 이용하여 구조물의 전반적인 강도를 추정하는 경우에는 시험위치에서 채취한 코어강도를 이용하여 비파괴강도를 보정하는 것이 원칙이다. 따라서 부재 종류별로 코어 압축강도와 코어 또는 코어채취 위치에서 얻은 비파괴강도(반발경도법, 초음파법, 조합법)간의 상관관계를 구하기 위하여 RILEM Recommendation Part 2 기준에 제시된 (식 4.14)를 사용하여 보정계수 C_t를 구한다.

$$C_t = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\frac{R_{pr}}{R_{st}} \quad \cdots\cdots (4.14)$$

여기서, C_t : 보정계수

R_{pr} : 코어압축강도 (kgf/cm^2)

R_{st} : 비파괴강도 (kgf/cm^2)

각 비파괴강도의 보정계수를 비교하여 가장 1.0에 근접하는 비파괴강도식을 선정하고, 이 식으로 계산한 강도값에 보정계수를 곱한 강도를 구조물의 비파괴강도로 한다.

4) 철근탐사 시험

철근콘크리트 구조물에서 기존 구조물의 구조내력을 검토하기 위하여 구조부재의 배근상태(철근직경, 배근간격, 피복두께 등)를 조사하기 위하여, 구조체를 손상시키지 않고 실시하는 비파괴검사 방법이다.

(1) 전자유도법

전자유도법의 원리는 Probe에서 만들어진 자계가 외부 자성물체인 철근에 의한 전자유도작용에 의해 혼란되는 정도를 검지하는 것이다. 철근이 과밀하게 배근되어 있는 곳이나, 피복두께가 큰 곳은 오차가 크게 발생하는 결점이 있다.

(2) 전자파 레이더법

전자파 레이더의 원리는 현재 널리 사용되고 있는 레이더와 동일하게 콘크리트에 수백 MHz ~수 GHz의 전자파를 안테나로부터 발사시켜 콘크리트 중의 상대 유전율이 다른 물체(철근, 매설물, 공동 등)와의 경계에서 반사파를 일으키는 성질을 이용해서 반사파를 수신안테나로 수신하여 왕복한 시간으로부터 반사 물체까지의 거리를 구하여 반사파의 영상을 해석함으로써 조사를 수행하는 방법이다. 콘크리트 중의 철근을 시각적으로 단시간에 측정할 수 있으며, 취급이 용이하다는 장점도 있어 본 과업에서는 이 방법을 적용하여 배근간격, 피복두께를 측정한다. 콘크리트 중의 전자파 속도는 다음 (식 4.15)과 같다.

$$V = \frac{C}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad \text{(m/sec)} \quad \cdots\cdots (4.15)$$

여기서, C = 진공중에서 전자파의 속도 (3×108 m/sec)

ε_r = 콘크리트의 상대 유전률 (6 ~ 10)

반사물체까지의 거리(D)는 송신 시각으로부터 수신 시각까지의 시간차(T)의 측정치와 콘크리트 내부의 전파속도(V)로부터 구할 수 있다.

$$D = \frac{1}{2} V T \quad \text{(m)} \quad \cdots\cdots (4.16)$$

5) 콘크리트의 화학적.물리적 손상조사

(1) 염화물 함유량 조사

콘크리트가 탄산화되거나 염화물이 침투하게 되면 철근 주위의 산소 차단 역할을 하는 부동태막이 파손되고, 강재 표면이 활성화되면 철근의 부식이 시작된다. 일반적으로 부재의 단면이 작으면서 철근량이 많고 슬럼프가 큰 콘크리트를 사용하는 구조물에서는 염분에 의한 철근 부식이 일어나기 쉽다.

가. 염화물에 의한 성능저하 특성

철근의 녹은 다공질에 흡수성이 있어 녹이 두껍게 형성되어도 부식을 억제하는 효과는 적으며, 녹슨부분은 원래체적의 약 2.5~7배 팽창하기 때문에 피복 부분에 균열을 일으키고, 이에 따라 부식 작용은 더 가속화된다.

① 염화물 함유량이 어느 한계를 넘으면 철근의 부식속도가 가속화된다. 콘크리트가 치밀하고 pH 11 정도 이상의 알카리성을 유지하고 있으면 소량의 염화물이 존재해도 부식은 매우 느리지만, 콘크리트 시방서에 규정된 염화물 이온량 0.3 kgf/m^3, 염화나트륨 함유량 0.04% 정도를 넘으면 철근부식의 가능성이 커진다.

② 철근 부식 속도는 콘크리트의 알카리성, 건습의 정도, 염화물 함유량의 다소에 따라 변화한다.

- 콘크리트가 탄산화되어도 건조한 환경에서는 부식속도는 느리다.
- 탄산화되고 습도가 적당하면 염화물이 침입하지 않아도 철근은 부식한다.
- 염화물 이온량이 어느 정도 이상 존재하면 콘크리트가 알카리성 이어도 철근은 부식한다.
- 탄산화되고 피복두께가 얇으면서 적당히 습해 있으면 부식속도는 매우 빠르다.

③ 철근의 부식 상태를 외부에서 비파괴 시험으로 정확하게 판정하는 것은 어렵다. 자연전위 변화로부터 철근의 부식 정도를 추정하는 방법이 개발되어 있지만 철근량이 많은 실제 구조물의 경우는 측정이 곤란하다.

④ 철근이 상당히 부식되고 나서 콘크리트 표면에 균열이 발생한다. 염화물 이온에 의한 부식은 구조물 준공 후 빠르면 2~3년에 철근위치에 따라 균열이 발생한다.

⑤ 철근의 부식은 pitting상으로 되는 경우가 많다. 염화물에 의한 철근의 부식은 군데군데 pitting상으로 생기며, 철근의 단면결손이 이 pitting상 부식의 부분을 대상으로 한다.

⑥ 염화물 이온을 경화한 콘크리트로부터 제거하는 것은 어렵다. 콘크리트에 존재하는 염화물 이온을 제거하기 위한 방법으로 전기영도법 등을 고려할 수 있으나, 실용화되어 있지 않다.

⑦ 염화물에 의해 철근이 부식되어 콘크리트에 균열이 생긴 후 부식의 진슉의 외부에서 정지시키는 것은 곤란하다. 염화물에 의해 철근이 부식되어 생긴 균열에 에폭시(epoxy)수지를 주입하거나, FRP로 직접 씌우거나 해도 교량의 콘크리트 등에는 외부로부터 물이 침입하거나, 콘크리트 중에 생와 수분이 어느 정도 존재하기 때문에 부식을 정지시키는 것은 불가능하다.

나. 염화물 함유량 기준

철근의 부식방지를 위해서 콘크리트의 염화물이온량은 원칙적으로 0.3kgf/m3 이하로 하여야 한다. 다만 책임기술자의 승인을 받는 경우 0.6kgf/m3까지 허용될 수 있다. 한편, 철근부식을 방지하기 위한 허용 기준은 ACI 기준과 국내 콘크리트 구조설계기준에 의하면 경화된 콘크리트에서 최대로 물에 용해되는 염소이온농도는 다음의 <표 4.4>에 의해 한계값을 검토하도록 규정하고 있다.

<표 4.4>철근 부식방지를 위한 최대 염소이온 비율

부재의 종류	콘크리트 속의 최대 수용성 염소이온(Cl^-), 시멘트의 질량에 대한 백분율 (%)
프리스트레스트 콘크리트	0.06
염화물에 노출된 철근콘크리트	0.15
건조상태이거나, 또는 습기로부터 차단된 철근콘크리트	1.00
기타 철근콘크리트	0.30

※ '99년 콘크리트구조설계기준 4.5.3절 내구성 허용기준

(2) 탄산화 조사

가. 개요

탄산화란 콘크리트가 탄산화(Carbonation)되는 과정에서 나타나는 현상으로 탄산화에 의해서 문제가 발생되는 것은 콘크리트 자체에서 생기는 것이 아니고, 콘크리트 중의 철근에 녹이 발생함으로써 문제를 일으키는 것이다.

$$\underset{\text{수산화칼슘}}{Ca(OH)_2} + \underset{\text{탄산가스}}{CO_2} \rightarrow \underset{\text{탄산칼슘}}{CaCO_3} + \underset{\text{물}}{H_2O} \quad \cdots\cdots (4.17)$$

(pH 12~13)(대기중에 존재)(pH 8.5~10)

탄산화가 일어나는 메카니즘을 보면 (식 3.17) 에서 시멘트의 수화 반응에서 생성되는 수산화칼슘 [Ca(OH)2]은 pH 12~13정도의 강 알카리성을 나타내지만 대기중에 포함되어 있는 약산성의 탄산가스(약 0.03%) 와 접촉하면 탄산칼슘과 물로 변화하고 탄산칼슘으로 변화한 부분의 pH 8.5~10 정도로 낮아지게 된다. 따라서, 콘크리트의 탄산화는 일반 환경 하에서도 확실하게 진행되기 때문에 매입된 철근의 부식에 따른 문제가 가장 기본적이며 중요하다.

콘크리트 내부의 pH 11 이상에서 철근은 표면에 1×10-6 mm 두께의 수산화물(γ-Fe2O3. nH2O) 부동태막을 형성하므로 산소 침입을 막아 철근의 부식을 방지하지만 탄산화에 의하여 pH 11 보다 낮아지면 부동태막이 파괴되면서 철근에 녹이 발생하게 된다. 이러한 녹은 원래 부피의 약 2.5배에서 최대 7배까지 팽창하고 녹의 팽창압력에 의해 콘크리트 내부에는 균열이 발생하게 되며 철근의 부착강도 저하, 피복 콘크리트의 탈락, 철근 단면적의 감소 등 구조물의 내구성 저하를 초래하게 된다. 이러한 원인으로 녹의 진행과 함께 콘크리트 표면에 균열, 박리, 박락 등을 초래하기 때문에 콘크리트 구조물의 내구성면에서 탄산화를 파악하는 것이 중요하다.

나. 탄산화깊이의 측정

본 과업에서는 일반적으로 현장에서 간편하게 이용되는 페놀프탈레인법(페놀프탈레인은 pH 지시약의 일종으로 1% 알칼리용액)을 이용하여 콘크리트의 탄산화 진행 정도를 측정한다. 콘크리트 구조물에서의 탄산화 시험은 구조체에서 채취한 코어 또는 구조체 안전(내하력 등)에 영향을 미치지 않는 부위를 선정 일부분을 파손하여 노출된 대상 측정면에 가능한 한 빨리 분무하여 탄산화 깊이를 측정하며, pH 8.2~10.0 이상의 알칼리측에서 홍색으로 발색하며 중성측에서는 무색으로 나타나게 되는데, 탄산화 진행 깊이의 측정은 콘크리트 표면에서 발색점까지의 깊이를 깊이계, 버어니어캘리퍼스 등으로 측정한다.

4.1.3 시험현황

본 과업에서는 대상 구조물의 구조부재에 대한 재료의 품질상태와 강도 등을 파악하기 위하여 각종 시험을 수행하였다.

콘크리트 비파괴강도를 추정하기 위하여 반발경도시험과 초음파탐사시험을 수행하였으며, 채취한 코어강도와 비교하였다. 또한, 철근 배근 상태조사와 탄산화시험 및 철근 부식도 시험 등의 비파괴시험을 실시하였다.

각 항목별 시험위치 및 측정개소는 외관조사를 실시한 후에 구조부재와 외관상태를 고려하여 선정하였으며, 부재별 콘크리트 비파괴시험 현황은 <표 4.5>와 같다.

초음파탐사시험은 반발경도시험부위에 종·횡 방향으로 2회 실시하였다. 또한, 철근탐사시험도 종·횡 방향으로 2회 실시하여 주철근과 배력철근의 배근상태를 조사하였다.

<표 4.5>비파괴시험 총괄표

시 험 항 목	측 정 부 위		계
	상부구조	하부구조	
반발경도 시험	34	16	50
초음파 시험	34	16	50
코어 압축강도 시험	3	16	19
철근배근탐사	30	16	46
철근 부식도 측정	3	16	19
염화물함유량 측정	1	2	3
탄산화 깊이측정	5	5	10

4.2 반발경도 및 초음파 시험

4.2.1 반발경도 시험

반발경도 측정은 철근탐사 후 철근이 없는 부위를 선정한 후, 콘크리트 표면의 요철, 부착물, 분말 등을 그라인딩으로 제거하고 실시하였으며, 표면에 곰보, 공극, 노출된 자갈 등이 있는 부위들은 측정위치에서 제외했다. 반발경도 값은 각 측정부위에 따라 타격방향, 표면의 건습상태, 재령 등에 의한 보정을 한 후 콘크리트 강도를 산정하였다.

과업대상 시설물의 콘크리트 비파괴 반발경도의 세부 시험결과는 <표 4.6>와 같다.

표면평활작업

반발경도 시험(상부구조)

반발경도 시험(상부구조)

반발경도 시험(하부구조)

<사진 4.1>반발경도 시험 사진

<표 4.6>반발경도 시험결과

시 험 위 치		반발경도법 (MPa)	설계기준 강 도 (MPa)	건 전 도 (측정/설계)	비 고
상부구조	PC BOX(내부) S1 좌측벽체	33.4	35.0	95.43%	건 전
	PC BOX(내부) S1 우측벽체	32.8	35.0	93.71%	건 전
	PC BOX(내부) S2 상부슬래브	32.2	35.0	92.00%	건 전
	PC BOX(내부) S2 우측벽체	32.5	35.0	92.86%	건 전
	PC BOX(내부) S3 좌측벽체	32.4	35.0	92.57%	건 전
	PC BOX(내부) S3 상부슬래브	32.4	35.0	92.57%	건 전
	PC BOX(내부) S4 좌측벽체	32.7	35.0	93.43%	건 전
	PC BOX(내부) S4 우측벽체	32.8	35.0	93.71%	건 전
	PC BOX(내부) S5 좌측벽체	33.0	35.0	94.29%	건 전
	PC BOX(내부) S5 상부슬래브	32.1	35.0	91.71%	건 전
	PC BOX(내부) S6 좌측벽체	32.4	35.0	92.57%	건 전
	PC BOX(내부) S6 우측벽체	33.1	35.0	94.57%	건 전
	PC BOX(내부) S7 상부슬래브	32.4	35.0	92.57%	건 전
	PC BOX(내부) S7 우측벽체	32.1	35.0	91.71%	건 전
	PC BOX(내부) S8 상부슬래브	32.7	35.0	93.43%	건 전
	PC BOX(내부) S8 우측벽체	32.3	35.0	92.29%	건 전
	PC BOX(내부) S9 좌측벽체	32.0	35.0	91.43%	건 전
	PC BOX(내부) S9 우측벽체	32.8	35.0	93.71%	건 전
	PC BOX(내부) S10 상부슬래브	32.2	35.0	92.00%	건 전

시 험 위 치		반발경도법 (MPa)	설계기준 강 도 (MPa)	건 전 도 (측정/설계)	비 고
	PC BOX(내부) S10 우측벽체	32.7	35.0	93.43%	건 전
	PC BOX(내부) S11 좌측벽체	33.3	35.0	95.14%	건 전
	PC BOX(내부) S11 상부슬래브	31.1	35.0	88.86%	건 전
	PC BOX(내부) S12 좌측벽체	33.0	35.0	94.29%	건 전
	PC BOX(내부) S12 우측벽체	32.2	35.0	92.00%	건 전
	PC BOX(내부) S13 좌측벽체	34.4	35.0	98.29%	건 전
	PC BOX(내부) S13 우측벽체	33.0	35.0	94.29%	건 전
	PC BOX(내부) S14 상부슬래브	33.0	35.0	94.29%	건 전
	PC BOX(내부) S14 우측벽체	32.3	35.0	92.29%	건 전
	PC BOX(내부) S15 좌측벽체	33.0	35.0	94.29%	건 전
	PC BOX(내부) S15 상부슬래브	32.2	35.0	92.00%	건 전
	PC BOX(외부) S1 하부플랜지	31.6	35.0	90.29%	건 전
	PC BOX(외부) S6 하부플랜지	32.1	35.0	91.71%	건 전
	PC BOX(외부) S11 하부플랜지	32.9	35.0	94.00%	건 전
	PC BOX(외부) S15 하부플랜지	31.9	35.0	91.14%	건 전

시 험 위 치			반발경도법 (MPa)	설계기준 강 도 (MPa)	건 전 도 (측정/설계)	비 고
하부구조	교대	교대 A1	27.5	24.0	114.58%	건 전
		교대 A2	27.4	24.0	114.17%	건 전
	교각	교각 P1(기둥)	28.1	24.0	117.08%	건 전
		교각 P2(코핑)	27.8	24.0	115.83%	건 전
		교각 P3(기둥)	27.4	24.0	114.17%	건 전
		교각 P4(코핑)	28.5	24.0	118.75%	건 전
		교각 P5(기둥)	28.0	24.0	116.67%	건 전
		교각 P6(코핑)	27.7	24.0	115.42%	건 전
		교각 P7(기둥)	27.0	24.0	112.50%	건 전
		교각 P8(코핑)	28.7	24.0	119.58%	건 전
		교각 P9(기둥)	27.0	24.0	112.50%	건 전
		교각 P10(코핑)	27.2	24.0	113.33%	건 전
		교각 P11(기둥)	28.0	24.0	116.67%	건 전
		교각 P12(코핑)	26.8	24.0	111.67%	건 전
		교각 P13(기둥)	27.4	24.0	114.17%	건 전
		교각 P14(코핑)	29.0	24.0	120.83%	건 전

과업 대상구간에 대한 측정반발경도 분석결과, 평균 상부구조 32.6㎫, 하부구조 27.7㎫로서, 이는 설계기준강도(상부구조 35.0㎫, 하부구조 24.0㎫) 90%이상인 것으로 분석되어 콘크리트 비파괴 강도는 건전한 것으로 평가되었다.

4.2.2 콘크리트 초음파 시험

초음파탐사시험은 반발경도시험을 수행한 동일부위를 선정하여 그라인딩을 실시하고 구리스 도포를 한 후, 발신자와 수신자의 측정거리를 10cm간격으로 증가시키면서 간접법에 의한 초음파 전달속도를 측정하였으며, 이를 직접법 속도로 환산 하였다.

콘크리트 표면 먼지제거

콘크리트 초음파 시험

콘크리트 초음파 시험

콘크리트 초음파 시험

<사진 4.2>콘크리트 초음파 시험 사진

4.2.3 조합법에 의한 콘크리트 압축강도 시험 결과

본 과업에서 대상 구조물의 콘크리트 비파괴강도를 평가하기 위하여 반발경도법, 초음파속도법의 시험 결과를 비교하였고, 각 시험방법에 의한 비파괴강도를 <표4.8>에 나타내었다.

<표 4.7>콘크리트 압축강도 시험 결과

시험위치	반발경도 기준강도 (Ro)	초음파법	조합법			비고	
		직접법Vd (km/sec)	릴렘식	건축학회식	평균	설계 기준 강도	조합법/설계강도(%)
PC BOX(내부) S1 좌측벽체	57.6	4.569	57.3	51.6	54.5	35	156
PC BOX(내부) S1 우측벽체	56.5	4.551	54.8	50.4	52.6	35	150
PC BOX(내부) S2 상부슬래브	52.7	4.572	50.4	48.3	49.4	35	141
PC BOX(내부) S2 우측벽체	56.1	4.549	54.1	50.1	52.1	35	149
PC BOX(내부) S3 좌측벽체	55.9	4.533	53.1	49.6	51.4	35	147
PC BOX(내부) S3 상부슬래브	53.0	4.521	48.6	47.3	48.0	35	137
PC BOX(내부) S4 좌측벽체	56.4	4.514	52.9	49.5	51.2	35	146
PC BOX(내부) S4 우측벽체	56.5	4.542	54.3	50.2	52.3	35	149
PC BOX(내부) S5 좌측벽체	56.9	4.531	54.4	50.3	52.4	35	150
PC BOX(내부) S5 상부슬래브	52.6	4.563	49.9	48	49.0	35	140
PC BOX(내부) S6 좌측벽체	56.0	4.514	52.3	49.3	50.8	35	145
PC BOX(내부) S6 우측벽체	57.0	4.564	56.1	51.1	53.6	35	153
PC BOX(내부) S7 상부슬래브	53.1	4.519	48.7	47.3	48.0	35	137
PC BOX(내부) S7 우측벽체	55.4	4.562	53.7	49.9	51.8	35	148
PC BOX(내부) S8 상부슬래브	53.6	4.595	52.7	49.4	51.1	35	146
PC BOX(내부) S8 우측벽체	55.8	4.530	52.8	49.5	51.2	35	146
PC BOX(내부) S9 좌측벽체	55.3	4.511	51.2	48.7	50.0	35	143
PC BOX(내부) S9 우측벽체	56.7	4.533	54.2	50.2	52.2	35	149
PC BOX(내부) S10 상부슬래브	52.7	4.503	47.5	46.7	47.1	35	135
PC BOX(내부) S10 우측벽체	56.4	4.465	50.7	48.4	49.6	35	142
PC BOX(내부) S11 좌측벽체	57.4	4.532	55.2	50.6	52.9	35	151
PC BOX(내부) S11 상부슬래브	50.9	4.514	45.7	45.7	45.7	35	131
PC BOX(내부) S12 좌측벽체	56.9	4.526	54.1	50.2	52.2	35	149
PC BOX(내부) S12 우측벽체	55.6	4.539	52.9	49.5	51.2	35	146

시험위치	반발경도 기준강도 (Ro)	초음파법	조합법			비고	
		직접법Vd (km/sec)	릴렘식	건축학회식	평균	설계 기준 강도	조합법/설계강도(%)
PC BOX(내부) S13 좌측벽체	59.1	4.570	59.6	52.7	56.2	35	160
PC BOX(내부) S13 우측벽체	56.9	4.553	55.4	50.8	53.1	35	152
PC BOX(내부) S14 상부슬래브	54.2	4.496	49.1	47.6	48.4	35	138
PC BOX(내부) S14 우측벽체	55.7	4.508	51.6	48.9	50.3	35	144
PC BOX(내부) S15 좌측벽체	57.0	4.586	57.2	51.6	54.4	35	155
PC BOX(내부) S15 상부슬래브	52.8	4.513	48	47	47.5	35	136
PC BOX(외부) S1 하부플랜지	54.7	4.545	51.9	49.1	50.5	35	144
PC BOX(외부) S6 하부플랜지	55.4	4.514	51.5	48.8	50.2	35	143
PC BOX(외부) S11 하부플랜지	56.8	4.532	54.3	50.2	52.3	35	149
PC BOX(외부) S15 하부플랜지	55.2	4.498	50.5	48.3	49.4	35	141
교대 A1	48.2	4.221	33	37.1	35.1	24	146
교대 A2	48.0	4.123	30.1	34.7	32.4	24	135
교각 P1(기둥)	49.1	4.125	31	35.6	33.3	24	139
교각 P2(코핑)	48.6	4.155	31.4	35.9	33.7	24	140
교각 P3(기둥)	47.9	4.174	31.4	35.8	33.6	24	140
교각 P4(코핑)	49.8	4.205	33.9	37.9	35.9	24	150
교각 P5(기둥)	48.9	4.117	30.7	35.2	33.0	24	137
교각 P6(코핑)	48.4	4.133	30.7	35.2	33.0	24	137
교각 P7(기둥)	47.4	4.140	30.1	34.7	32.4	24	135
교각 P8(코핑)	50.0	4.138	32.1	36.5	34.3	24	143
교각 P9(기둥)	47.3	4.201	31.6	36	33.8	24	141
교각 P10(코핑)	47.7	4.245	33.2	37.3	35.3	24	147
교각 P11(기둥)	48.9	4.148	31.5	35.9	33.7	24	140
교각 P12(코핑)	47.0	4.118	29.2	33.9	31.6	24	131
교각 P13(기둥)	48.0	4.162	31.1	35.6	33.4	24	139
교각 P14(코핑)	50.5	4.193	34.2	38.1	36.2	24	151

본 교량의 조합법에 의한 콘크리트 부재의 평균 압축강도는 평균 상부구조 51.0㎫, 하부구조 33.8㎫로서, 이는 설계기준강도(상부구조 35.0㎫, 하부구조 24.0㎫) 90%이상인 것으로 분석되어 전반적으로 양호한 상태임을 알 수 있다.

4.3 코어 압축강도시험

4.3.1 개 요

이 방법은 현장에서 코어를 채취하여 이로부터 콘크리트의 압축강도를 추정하는 국부파괴시험으로 비파괴시험과는 구별되지만 구조물의 실제강도를 추정하는데 신뢰도가 가장 높다. 콘크리트의 각종 물성적, 역학적 시험을 실시하며, 통상 비파괴시험에 의한 강도와 비교·분석한다.

4.3.2 코어강도의 보정

- 높이/직경비의 영향 : 코어공시체의 높이/직경비(h/d)가 적어질수록 겉보기 압축강도는 커진다. 공시체 높이가 직경의 2배보다 작을 경우에는 시험으로부터 얻은 압축강도에 높이 보정계수를 곱하여 공시체의 높이가 직경의 2배가 되는 코어 공시체의 압축강도로 환산한다.
- 매입철근 지름의 영향 : 코어에 가로지르는 철근이 있는 경우에는 시험결과 5~10% 정도가 감소된다고 보고되고 있다. 코어 비트에 따라 약간의 차이가 있으나, 철근의 직경이 증가함에 따라 코어강도는 저하된다.
- 코어 채취위치와 방향의 영향 : 코어는 일반적으로 구조물의 최상단에서 가장 낮은 강도를 갖고 밑으로 깊이가 커질수록 코어의 강도는 증가하지만 300㎜이상의 두께에서는 더 이상의 강도증가는 없는 것으로 보고되었고, 수평방향으로 코어를 채취하면 수직으로 채취한 경우보다 전형적으로 8%가량 강도가 감소한다는 사실이 실험적으로 입증되었다.

<표 4.8>Core 길이에 따른 보정계수

높이와 직경비 (h/d)	보 정 계 수	비 고
2.00	1.00	h/d가 중간에 있는 경우에는 보간법을 사용하여 보정계수 산정함
1.75	0.98	
1.50	0.96	
1.25	0.94	
1.10	0.90	
1.00	0.85	
0.75	0.70	
0.50	0.50	

4.3.3 콘크리트 코어의 압축강도 특성

- 코어강도의 보정은 기준강도의 75% 이상, 평균 강도는 85% 이상의 수준을 확보하고 있다면 양호한 것으로 평가하고 있다.

- 실제의 구조물에서는 표준공시체의 양생조건과 동일한 양생방법을 기대할 수 없기 때문에 콘크리트 구조물이 재령이 경과함에 따라 강도가 증가한다 할지라도 표준양생한 공시체의 28일 압축강도보다 항상 크지는 않다.

따라서 현장 양생한 구조물의 Core 강도는 표준공시체의 28일 압축강도와 같게 보는 것이 일반적이며, Core 강도에 대해서는 재령에 대한 보정은 하지 않는다.

4.3.4 콘크리트 코어의 압축강도에 영향을 미치는 인자

- 기존 구조물에서 콘크리트 Core 채취 시 드릴링 작업에 의해서 Core 시료가 어느 정도 교란되기 때문에 Core 공시체의 압축강도는 동일 조건의 표준 공시체의 압축강도보다 항상 작은 값을 나타내며, 드릴링시 토크의 세기가 크면 클수록 Core 강도는 저하되며, 드릴링 속도가 빠르면 또한 Core 강도는 작아지는데 이때 표준 공시체 강도의 약 10%정도가 감소된다.

- 코어는 일반적으로 구조물의 최상단에서 가장 낮은 강도를 갖고 밑으로 깊이가 깊어질수록 코아의 강도는 증가하지만 300㎜ 이상의 두께에서는 더 이상의 강도증가는 없는 것으로 보고되고 있다. 수평방향으로 코아를 채취하면 수직으로 채취한 경우보다 전형적으로 8%가량 강도가 감소한다는 사실이 실험적으로 입증되었다.

- 콘크리트 코아 내부를 가로지르는 철근이 있는 경우에는 시험결과 5~10% 정도가 감소되므로 이에 대한 보정이 필요하다.

코어시편 채취 현황	코어시편 채취 현황

<사진 4.3>코어시편 채취 사진

4.3.5 코어 압축강도 측정

본 과업대상 시설물에 대한 실측 코어강도 측정결과 26.2~37.2MPa로 <표 4.10>와 같이 측정되었다.

<표 4.9>코어 압축강도 측정결과

위 치	시험압축강도	보정계수			보정압축강도 (MPa)	추정설계기준 강도(MPa)	비고
		채취방향	매입철근	코어크기			
상부 S1	35.4	1.00	1.05	1.00	37.2	37.0	100.54%
교대 A2	23.1	1.08	1.05	1.00	26.2	24.0	109.17%
교각 P13	23.8	1.08	1.05	1.00	27.0	24.0	112.46%
평균값	29.3				31.7		

<표 4.10>보정계수 산정결과

구 분	시험위치	시험방법별 측정강도(MPa) 및 보정계수				비고
		보정코어강도	반발경도법	초음파속도법	조합법	
상부구조	상부 S1	37.2	33.4	35.8	52.6	
	보정계수		1.11	1.04	0.71	
하부구조	교대 A2	26.2	27.4	26.7	32.4	
	보정계수		0.96	0.98	0.81	
	교각 P13	27.0	27.4	27.5	33.4	
	보정계수		0.99	0.98	0.81	

일반적으로 기존 구조물에 대한 강도상의 안전성 판단은 평가된 압축강도가 설계기준강도의 90%의 이상을 만족하여 적정한 것으로 판단하며, 조사대상 부재에 대한 압축강도 측정결과 상부구조 37.2㎫, 하부구조 26.2~27.0㎫로 설계기준 강도(상부구조 34.0㎫, 하부구조 24.0㎫)의 90% 이상 상회하고 있어 양호한 것으로 판단된다.

4.4 철근배근탐사

철근의 피복두께가 지나치게 작은 경우에는 콘크리트의 탄산화 등에 따른 열화손상에 대한 저항성이 저하되어 내구성이 감소할 가능성이 있으며, 피복두께가 지나치게 큰 경우에는 강도감소 등을 수반할 우려가 있다. 따라서 철근탐사시험은 철근의 배근상태 및 피복두께를 파악하기 위하여 실시하며, 본 과업에서는 철근탐지기를 사용하여 각 구조부재에 대하여 실시하였다.

철근배근탐사 시험

철근배근탐사 시험

철근배근탐사 시험

철근배근탐사 시험

<사진 4.4>철근배근탐사 시험 사진

<표 4.12>철근배근탐사 시험 결과

구분	시험위치	철근종류	설계값		실측값	
			피복두께	배근간격	피복두께	배근간격
상부 구조	PC BOX(내부) S1-G1 좌측벽체	주철근	50	125	52~62	125
		배력철근		200		200
	PC BOX(내부) S1-G1 우측벽체	주철근	50	125	53~63	125
		배력철근		200		200
	PC BOX(내부) S2-G1 슬래브	주철근	50	125	51~62	125
		배력철근		200		200
	PC BOX(내부) S2-G1 우측벽체	주철근	50	125	52~63	125
		배력철근		200		200
	PC BOX(내부) S3-G1 좌측벽체	주철근	50	125	50~60	125
		배력철근		200		200
	PC BOX(내부) S3-G1 슬래브	주철근	50	125	51~59	125
		배력철근		200		200
	PC BOX(내부) S4-G1 슬래브	주철근	50	125	52~61	125
		배력철근		200		200
	PC BOX(외부) S4-G1 우측벽체	주철근	50	125	53~62	125
		배력철근		200		200
	PC BOX(내부) S5-G1 좌측벽체	주철근	50	125	52~62	125
		배력철근		200		200
	PC BOX(외부) S5-G1 슬래브	주철근	50	125	51~61	125
		배력철근		200		200
	PC BOX(내부) S6-G1 우측벽체	주철근	50	125	55~62	125
		배력철근		200		200
	PC BOX(외부) S2-G1 슬래브	주철근	50	125	52~64	125
		배력철근		200		200
	PC BOX(내부) S7-G1 좌측벽체	주철근	50	125	50~60	124
		배력철근		200		200
	PC BOX(외부) S7-G1 슬래브	주철근	50	125	50~59	125
		배력철근		200		200
	PC BOX(내부) S8-G1 우측벽체	주철근	50	125	50~61	125
		배력철근		200		201
	PC BOX(외부) S8-G1 슬래브	주철근	50	125	54~63	125
		배력철근		200		200

구분	시험위치	철근종류	설계값		실측값	
			피복두께	배근간격	피복두께	배근간격
상부 구조	PC BOX(내부) S9-G1 좌측벽체	주철근	50	125	51~63	125
		배력철근		200		200
	PC BOX(외부) S9-G1 슬래브	주철근	50	125	51~59	125
		배력철근		200		200
	PC BOX(내부) S10-G1 우측벽체	주철근	50	125	51~63	125
		배력철근		200		200
	PC BOX(외부) S10-G1 슬래브	주철근	50	125	53~61	125
		배력철근		200		200
	PC BOX(내부) S11-G1 좌측벽체	주철근	50	125	50~62	125
		배력철근		200		200
	PC BOX(외부) S11-G1 슬래브	주철근	50	125	50~64	125
		배력철근		200		200
	PC BOX(내부) S12-G1 좌측벽체	주철근	50	125	53~64	126
		배력철근		200		200
	PC BOX(외부) S12-G1 슬래브	주철근	50	125	50~61	125
		배력철근		200		200
	PC BOX(내부) S13-G1 좌측벽체	주철근	50	125	50~61	125
		배력철근		200		200
	PC BOX(외부) S13-G1 슬래브	주철근	50	125	52~62	125
		배력철근		200		200
	PC BOX(내부) S14-G1 우측벽체	주철근	50	125	50~61	125
		배력철근		200		200
	PC BOX(외부) S14-G1 슬래브	주철근	50	125	52~62	125
		배력철근		200		200
	PC BOX(내부) S15-G1 좌측벽체	주철근	50	125	53~57	124
		배력철근		200		200
	PC BOX(외부) S15-G1 슬래브	주철근	50	125	52~64	125
		배력철근		200		200

구분	시험위치	철근종류	설계값		실측값	
			피복두께	배근간격	피복두께	배근간격
하부 구조	교대 A1	주철근	100	100	91~103	100
		배력철근		150		150
	교대 A2	주철근	100	100	90~100	100
		배력철근		150		150
	교각 P1[기둥]	주철근	100	100	90~102	100
		배력철근		150		148
	교각 P2[기둥]	주철근	100	100	90~102	100
		배력철근		150		150
	교각 P3[기둥]	주철근	100	100	91~103	100
		배력철근		150		150
	교각 P4[기둥]	주철근	100	100	93~101	100
		배력철근		150		150
	교각 P5[기둥]	주철근	100	100	92~100	100
		배력철근		150		150
	교각 P6[코핑]	주철근	100	100	91~100	100
		배력철근		150		401
	교각 P7[기둥]	주철근	100	100	92~101	100
		배력철근		150		150
	교각 P8[기둥]	주철근	100	100	91~100	100
		배력철근		150		150
	교각 P9[기둥]	주철근	100	100	90~100	99
		배력철근		150		150
	교각 P10[기둥]	주철근	100	100	92~99	100
		배력철근		150		150
	교각 P11[기둥]	주철근	100	100	90~102	100
		배력철근		150		150
	교각 P12[기둥]	주철근	100	100	91~100	100
		배력철근		150		150
	교각 P13[기둥]	주철근	100	100	90~101	100
		배력철근		150		150
	교각 P14[기둥]	주철근	100	100	93~105	100
		배력철근		150		150

철근탐사시험 결과를 설계도면과 비교하여 볼 때 철근의 간격은 대체적으로 설계값과 유사하며, 전반적으로 양호한 배근간격을 갖는 것으로 조사되어 내구성은 확보하고 있는 것으로 판단된다.

4.5 철근 부식도 측정

4.5.1 개요

철근콘크리트에서 철근이 부식되면 부피 팽창으로 인해 콘크리트 피복에 균열을 발생시키고 균열을 통한 수분 및 산소의 공급으로 인해 부식이 더욱 촉진된다. 따라서 철근부식상태 또는 부식도에 대한 조사는 우선 외관조사에서 나타난 열화손상사항을 파악한 후 철근을 일부 노출시켜 철근의 부식상태를 육안으로 확인하고, 노출시킨 철근주변의 일정구간에 대해 자연전극전위법을 이용하여 매입철근의 부식도를 측정하였다.

4.5.2 작동원리

가장 널리 이용되는 콘크리트속의 철근부식진단법의 하나는 자연전위측정이며, 그 원리는 다음과 같다. 정상적인 콘크리트는 강알칼리성을 나타내어 철근은 부동태화하고 있으며 그 전위는 -100~200㎷를 나타내지만, 염화물의 침투와 탄산화로 철근이 활성태로 되어 부식이 진행하면 그 전위는 -(負)방향으로 변화한다. 이러한 철근의 전위는 철근 부식 장소의 검출과 부식상태 진단에 효과적이다.

4.5.3 시험방법

철근의 전위측정방법은 철근과 조합전극을 도선으로 전압계의 단자에 접속하고 콘크리트 표면에 따라 조합전극을 이동시켜 다수의 점에서 철근의 전위를 측정한다.

4.5.4 평가방법

전위차를 이용한 부식평가기준은 아래 <표 4.14>과 같이 3단계로 부식성 평가를 한다.

<표 4.13>철근부식 유무의 판정기준(자연전위 : CSE기준)

부식등급	KS F2712 규격	
	자연전위 E(㎷)	부식확률 P(%)
Ⅰ	E > -200	90% 이상의 확률로 부식 없음
Ⅱ	-200 ≥ E > -350	불명확
Ⅲ	-350 ≥ E	90% 이상의 확률로 부식 있음

철근 부식도 측정	철근 부식도 측정

<사진 4.5>철근 부식도 측정 사진

4.5.5 측정결과

<표 4.14>철근부식도 시험 결과

구분	시험위치	측정치(mV)	허용기준치(mV)
하부 구조	교대 A1	186	E > -200
	교각 P1	180	E > -200

교대 및 교각에 대한 철근부식도 조사결과 각각의 측정개소에서 나타난 전위값이 KS F 2712 에서 규정한 -200mV 미만인 180mV~186mV값을 나타내고 있어 90% 이상의 확률로서 철근부식의 영향은 없는 것으로 표본 조사결과 나타났다.

4.6 콘크리트 탄산화깊이 조사

4.6.1 개 요

본 시설물에서는 측정위치에 드릴링 공구를 이용하여 국부적으로 파손시킨 면에 페놀프탈레인 용액을 지시약으로 사용하여 콘크리트의 탄산화 깊이를 측정하였으며 '안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(교량편, 한국시설안전공단, 2013.04), 탄산화 상태평가 기준'에 준하여 평가하였다.

4.5.2 평가 기준

피복두께와 탄산화 측정깊이를 고려한 철근 콘크리트 구조물에서의 탄산화 진행상태에 대한 상태평가 등급은 다음<표 4.16>과 같다.

<표 4.15>탄산화 깊이 상태평가 기준

기 준	탄산화 잔여 깊이	철근부식의 가능성
a	·30mm 이상	탄산화에 의한 부식발생 우려 없음
b	·10mm이상 ~ 30mm미만	향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음
c	·0mm이상 ~ 10mm미만	탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음
d	·0mm미만	철근부식 발생
e	-	-

콘크리트 탄산화 깊이조사

콘크리트 탄산화 깊이조사

<사진 4.6>콘크리트 탄산화 깊이조사

4.6.3 측정결과

<표 4.16>탄산화 깊이의 측정결과

구 분		탄산화 깊 이 (㎜)	피복두께 (㎜)	탄 산 화 잔여깊이 (㎜)	탄산화 속도계수	상태평가 결 과	비고
거더내부	S1 좌벽체	6.4mm	50.0mm	43.6mm	1.93	a	드릴
	S2 우벽체	5.0mm	50.0mm	45.0mm	1.51	a	드릴
거더외부	S5 슬래브	5.5mm	50.0mm	44.5mm	1.66	a	드릴
	S12 슬래브	5.8mm	50.0mm	44.2mm	1.75	a	드릴
	S15슬래브	6.5mm	50.0mm	43.5mm	1.96	a	드릴
교대및교각	A1 벽체	8.0mm	90.0mm	82.0mm	2.41	a	코어
	P2 교각 기둥	7.1mm	90.0mm	82.9mm	2.14	a	드릴
	P6 교각 코핑	7.9mm	90.0mm	82.1mm	2.38	a	드릴
	P9 교각 기둥	7.5mm	90.0mm	82.5mm	2.26	a	드릴
	P14 교각 기둥	6.8mm	90.0mm	83.2mm	2.05	a	드릴

탄산화깊이 측정시험을 실시한 결과, 상·하부구조에서 측정된 탄산화 깊이는 각각 5.0~6.5㎜, 6.8~8.0㎜의 범위로 진행되었으며, 과업 대상교량의 상부구조 및 하부구조의 탄산화 상태평가결과는 "a"등급으로 철근 부식 우려가 없는 양호한 상태인 것으로 평가되었다.

4.7 염화물함유량 측정

4.7.1 개 요

경화콘크리트 내부의 염소화합물은 콘크리트 타설시 골재, 혼합수, 혼화재 등의 재료에 함유되어, 또는 경화된 표면으로부터 해수, 빗물 등에 의해서 NaCl, KCI, CaCl2, MgCl2, FeCl3, 3CaO.Al2O3.CaCl2.10-12H2O 등의 다양한 형태로 혼입되며, 이들 염소화합물은 염화나트륨, 염화칼슘, 염화칼륨 등과 같이 물에 쉽게 용해되는 염화물 이온 상태로 존재하여 강재의 부식에 직접 관여하는 것과 3CaO.Al2O3.CaCl2.10-12H2O와 같이 시멘트 성분과 결합하여 강재 부식에 직접 관여하기 어려운 형태로 존재하는 것으로 분류된다.

철근의 녹은 다공질에 흡수성이 있어 녹이 두껍게 형성되어도 부식을 억제하는 효과는 적으며, 녹슨 부분은 원래 체적의 약 2.5~7배 팽창하기 때문에 피복부분에 균열을 일으키고, 이에 따라 부식작용은 더욱 가속화 된다.

콘크리트가 탄산화되거나 염화물이 침투하게 되면 철근 주위의 산소 차단역할을 하는 부동태막이 파손되고, 강재표면이 활성화되면 철근의 부식이 시작된다. 일반적으로 부재 단면이 작으면서 철근량이 많고 슬럼프가 큰 콘크리트를 사용하는 구조물에는 염분에 의한 철근 부식이 일어나기 쉽다.

시험 방법은 경화된 콘크리트 염화물 분석시험방법인 KS F 2713(콘크리트 및 콘크리트 재료의 염화물 분석 시험방법)에 의해 시험을 실시하였다.

4.7.2 판정기준

콘크리트의 골재에 함유된 염화물 함유량의 한도는 0.04%로서 0.04%를 초과하고 0.1%이하인 경우에는 물시멘트비를 작게 하거나 방청제의 사용, 철근덮개의 증가, 아연도금 철근의 사용, 수밀성이 높은 표면마감 등 녹이 슬지 않는 조치를 취하여야 한다.

또한 염화물은 골재뿐만 아니라 혼화제 등 다른 요인에 의해 포함될 수 있으므로, 최근에는 콘크리트 1m3중 가용성 염화물이온의 총량으로 규정하는 것을 새롭게 정하고 있는데, 레미콘에 대한 KS F 4009의 시방기준은 0.3kgf/㎥이하를 규정하고 있으며, 본 시험에서 적용한 경화된 콘크리트내 가용성 염화물의 이온농도 측정법은 '콘크리트 내구성 평가절차 지침(건설교통부, 시설안전기술공단, 1999년)에서 규정한 기준치(0.3kgf/㎥)를 따르기로 한다.

경화된 콘크리트의 염화물에 의한 철근부식의 방지 및 염화물 함유량에 대한 염해의 평가를 위한 허용기준은 다음 <표 4.18>, <표 4.19>의 기준 이내가 되도록 규정하고 있다.

<표 4.17>부식방지를 위한 최대 염소이온 비율(콘크리트구조 설계기준)

부재의 종류	콘크리트속의 최대 수용성 염소이온(Cl^-), 시멘트의 질량에 대한 백분율(%)
프리스트레스트 콘크리트	0.06
염화물에 노출된 철근 콘크리트	0.15
건조상태이거나 또는 습기로부터 차단된 철근 콘크리트	1.00
기타 철근 콘크리트	0.30

<표 4.18>결함도의 판정기준에 따른 구조물의 상황

등 급	철근위치의 전염화물
a	. 염화물 < 0.3 kg/㎥
b	. 0.3 kg/㎥ < 염화물 ≤ 1.2 kg/㎥
c	. 1.2 kg/㎥ < 염화물 ≤ 2.5 kg/㎥
d	. 염화물 ≥ 2.5 kg/㎥
e	-

4.7.3 염화물 함유량 측정 시험 결과

<표 4.19>부재별 염화물함유량시험 결과

구 분	염화물함유량 (kgf/㎥)	기준치 (kgf/㎥)	평 가
S5 슬래브 20mm	0.0127	0.3	a
P4 기둥 20mm	0.0013		a
P7 교대 20mm	0.0135		a

4.8 전차 정밀점검 비교·분석

과업 대상 교량의 내구성조사 결과를 전차 정밀안전진단을 실시하지 않은 관계로 정밀점검과의 부재별로 간략히 비교·분석한 결과는 다음과 같다.

<표 4.25>전차 정밀점검 비교·분석표

구 분	전회 정밀안전진단 결과(2009년)			금회 정밀안전진단 결과(2016년)	
반발경도시험 (MPa)	시 험 부 위	시험결과평균(Mpa)	설계기준강도(Mpa)	시험결과(Mpa)	설계기준강도(Mpa)
	상 부 구 조	31.2~35.0	35.0	31.1~34.4	35.0
	하 부 구 조	27.1~29.6	24.0	26.8~29.0	24.0
코어채취 (MPa)	시 험 부 위	시험결과(Mpa)	설계기준강도(Mpa)	시험결과(Mpa)	설계기준강도(Mpa)
	상 부 구 조	-	35.0	37.2	35.0
	하 부 구 조	-	24.0	26.2~27.0	24.0
철근배근탐상 (㎜)	시 험 부 위	주철근간격(mm)	피복두께(mm)	주철근간격(mm)	피복두께(mm)
	상 부 구 조	125	50~64	124~126	50~64
	하 부 구 조	100	90~107	100	90~105
철근부식도측정 (mV)	시 험 부 위	측정치(mV)	허용기준치(mV)	측정치(mV)	허용기준치(mV)
	교대 A1	-	E > -200	186	E > -200
	교각 P1	-		180	
탄산화깊이 (㎜)	시 험 부 위	탄산화 깊이(mm)	최소피복두께(mm)	탄산화 깊이(mm)	최소피복두께(mm)
	상 부 구 조	4.8~5.6	50.0	5.0~6.5	50.0
	하 부 구 조	6.4~7.5	90.0	6.8~8.0	90.0
염화물함유량시험 (kgf/㎥)	시 험 부 위	측정치(kgf/㎥)	허용기준치(kgf/㎥)	측정치(kgf/㎥)	허용기준치(kgf/㎥)
	상 부 구 조	0.0023~0.0091	0.3	0.0127	0.3
	하 부 구 조	0.0023~0.0158		0.0013~0.0135	

제5장 상태평가

5.1 개요

5.2 상태평가 등급 기준

5.3 부재별 상태평가 기준

5.4 상태평가 등급산정 절차

5.5 교량 상태평가 등급의 산정

제5장 상태평가

5.1 개 요

각종 구조물의 건설이 날로 늘어감에 따라 보다 체계적이고 객관적인 교량의 유지관리가 요구되고 있으나 이에 따른 상태평가 기준.기법 등이 정립되어 있지 않은 실정으로 관리자 및 점검자의 수준 및 경험정도에 의해 주관적인 판단이 많이 작용하게 된다.

따라서 본 평가에서는 관련지침에 충실하여 점검자의 주관적인 판단에서 오는 확대해석을 줄이고 상태평가프로그램에 의한 상태평가등급 산정으로 상태평가에 객관성을 확보하여 보다 효율적인 상태평가가 되도록 하였다.

5.2 상태평가 등급 기준

상태평가기준의 구성요소는 시설물의 육안조사에 의한 외관상태 항목과 함께 내구성 요소인 탄산화 및 염화물 항목도 포함하여 상태평가기중이 구성되어 있다.

상태평가등급 기준은 <표 5.1>을 따르는 것을 원칙으로 한다.

<표 5.1>상태평가등급 기준

상태평가등급	상태 및 안전성	비고
A	문제점이 없는 최상의 상태	
B	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진에 일부의 보수가 필요한 상태	
C	주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 부요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태	
D	주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수.보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태	
E	주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태	

5.3 부재별 상태평가 기준

부재별 상태평가기준은 부재 종류별로 10개의 평가항목에 탄산화와 염화물 함량에 대한 평가항목을 포함하여 총 12개 항목으로 구성되어 있다. 각 부재별로는 결함 및 손상 유형에 따라 세부적으로 구분되어 있다. 예를 들어 교면포장의 상태평가기준은 포장불량과 배수성이 같은 그룹으로, 요철, 단차, 함몰, 박리, 파손이 또 하나의 그룹으로 구분되어 있다. 결국 교면포장의 상태평가등급은 해당 그룹의 등급을 각각 평균하여 결정한다.

상태평가기준에 의거 결함 그룹별로 등급을 매길 경우, 등급별로 결함 및 손상에 대한 내용이 2가지 이상으로 구성된 경우 1개 항목이라도 해당되면(OR의 개념) 그 등급으로 정하는 것을 원칙으로 한다.

5.3.1 교면포장

- 경간단위로 평가하며, 균열, 보수흔적 등 전반적인 포장면의 불량정도를 나타내는 항목과 교량에 충격을 유발하는 요철, 단차, 파손 등의 손상항목으로 구분하여 평가 한다.

- 포장 불량율은 균열 발생부, 표면이 노화되어 마모된 부분, 기 보수된 부분 등의 면적을 전부 더한 값을 경간면적으로 나눈 비율이다. 균열율과 균열면적을 계산하는 방법은 아래에 기술하였다.

<표 5.2>교면포장 상태평가 기준

기준	포장불량		배 수
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% 미만	.포장손상으로 인하여 차량의 통행에 영향있음	.배수구배 및 배수시설 불량에 의한 물고임 발생으로 주행성 저하
d	.포장불량 10% 이상	.전반적인 재포장이 필요한 상태	.배수불량에 의한 물고임으로 통행차량의 안전성 저하
e	-	-	

5.3.2 배수시설

- 경간단위로 평가하며, 한 경간에 두 개 이상의 배수시설이 있는 경우 각각의 등급을 평균하여 경간 등급을 정한다.

<표 5.3>배수시설 상태평가 기준

기준	상태기준 설명
a	.양호
b	.다소의 퇴적물이 있으나 배수에는 이상 없음
c	.배수시설의 상태불량, 길이부족 .많은 퇴적물, 누수 .누수로 인하여 구조물 부식발생 .배수관 유출구 위치가 부적절하여 하부통행에 따른 위험 초래
d	.파손이나 노후화로 인하여 재설치가 필요한 상태
e	-

5.3.3 방호벽(난간 및 연석)

<표 5.4>난간.연석 상태평가 기준

기 준	강 재		콘크리트
a	.양호	.양호	.양호
b	.도장불량 10% 미만	.고정장치 및 연결재의 이완이 국부적 발생	.경미한 손상, 0.3㎜이하 균열
c	.도장 불량 10%이상 .부식으로 인한 단면 손상 10% 미만	.파손 및 탈락 10% 미만	.0.3㎜이상 균열 .박리, 파손, 철근노출 10% 미만 .철근부식손상 길이 2% 미만
d	.부식으로 인한 단면 손상 10% 이상	.파손 및 탈락 10%이상 .낙석으로 인한 손상발생 .고정부 열화 및 손상으로 인한 전도의 위험이 있음(방음벽)	.박리, 파손, 철근노출 10% 이상 .철근부식 손상 길이 2% 이상
e	-	-	-

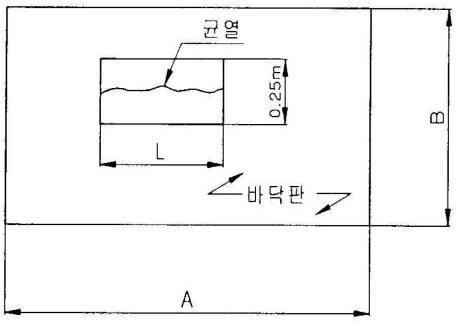
5.3.4 바닥판

<표 5.5>바닥판 상태평가 기준

기 준	균 열		열화 및 손상
	1방향균열	2방향균열	
a	.균열폭 0.1㎜ 미만	.망상균열폭 0.1㎜ 미만	.없음
b	.균열폭 0.1㎜이상~0.3㎜미만 .균열율 2% 미만	.망상균열폭 0.1㎜이상~0.3㎜미만	.표면 손상면적 2% 미만
c	.균열폭 0.3㎜이상~0.5㎜미만 .균열율 2%이상~10% 미만	.망상균열폭 0.3㎜이상	.표면 손상면적 2%이상~10% 미만 .철근부식 손상면적 2%미만 .데크플레이트 박리 및 누수발생
d	.균열폭 0.5㎜이상~1.0㎜미만 .균열율 10%이상~20% 미만	.망상균열의 진전으로 인한 콘크리트 박리 발생	.표면 손상면적 10% 이상 .철근부식 손상면적 2% 이상 .데크플레이트 박리가 심하고 누수로 인한 부식발생
e	.균열폭 1.0㎜이상 .균열율 20%이상	.망상균열에 의한 박리가 심하여 펀칭파괴 발생 가능성 있음.	.부식으로 인한 철근의 단면감소가 심하여 바닥판의 안전성이 저하되는 경우

※ 균열면적 및 균열율 계산

1) 일방향 균열



$$\frac{\text{균열발생면적}}{\text{바닥판(점검단위)면적}} \times 100$$

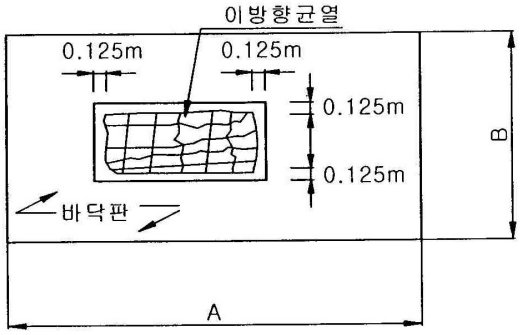
$$= \frac{\text{균열길이(L)}\times 0.25}{A\times B(m)} \times 100 = \quad \%$$

① 일방향 균열의 발생면적은 균열길이당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 한다.

② 일방향 균열의 개수가 2개 이상일 경우는 각 균열길이에 0.25m의 폭을 곱해서 합산하여 균열발생 면적을 구한다.

③ 균열발생 간격이 0.25m 이하로 발생할 경우에도 ②의 기준을 적용한다.

2) 이방향 균열(망상균열)



① 이방향 균열의 발생면적은 균열발생부위를 가로, 세로의 최외측 균열을 경계로 하여 사각형 형태로 구분한 후 균열 발생면적(점선내부면적)은 (가로길이 +0.25m)×(세로길이 +0.25m)로 계산한다.

② 균열발생간격이 0.25m이하로 발생할 경우에도 ①의 기준을 적용한다.

5.3.5 철근콘크리트 거더

<표 5.6>철근콘크리트 거더 상태평가 기준

기준	균열	표면열화
a	. 균열폭 0.1㎜ 미만	.없음
b	. 균열폭 0.1㎜이상~0.3㎜미만	.표면 손상면적 2% 미만
c	. 균열폭 0.3㎜이상~0.5㎜미만	. 표면손상면적 2%이상 ~ 10%$미만 . 철근부식 손상면적 2%미만
d	. 균열폭 0.5㎜이상~1.0㎜미만 . 내하력저하로 인한 휨균열 과다발생	. 표면 손상면적 10%이상 . 철근부식 손상면적 2%이상
e	. 균열폭 1.0㎜이상 . 휨균열 과다발생 및 과대처짐으로 인하여 거더의 안전성 저하	. 지점부 콘크리트 파손으로 인한 거더의 안전성 저하

5.3.6 신축이음

<표 5.7>신축이음 상태평가 기준

기준	본체	후타재
a	.없음	.양호
b	.토사, 이물질 퇴적 .고무판 노화	.미세균열 발생
c	.물받이 미설치 또는 파손으로 인한 누수 .유간사이 이물질로 기능불량, 고무판 마모, 국부적인 부식 등의 열화 .고무판 균열, 볼트 또는 너트의 부분 탈락 .누수로 인하여 신축이음 하부의 받침 및 코핑부에 이물질 퇴적 및 부식발생	.균열이 50㎝이하의 간격으로 발생 .국부적인 박리, 박락, 파손
d	.강판유동 및 연결불량으로 이상음 발생 .신축유간이 밀착으로 인한 거동불량 .신축유간이 넓어 차량통행에 지장 초래 .신축이음 본체 탈락, 파손 및 작동 불능	.신축이음의 심한 파손 및 단차로 인하여 차량통행시 충격발생 .파손 범위가 후타재 폭 이상으로 큼
e	-	-

<해설>

○ 신축이음 본체 하부의 전체적인 부식 및 변형이 발생하는 경우 "d"로 평가하며, 긴급보수.보강을 실시한다.

○ 후타재 균열이 30㎝이하의 간격으로 발생하거나, 전반적인 파손과 단차가 발생하면 평가를 "d"로 한다.

5.3.7 받침장치

<표 5.8>받침장치 상태평가 기준

기준	받침본체		받침콘크리트
	탄성받침	강재받침	
a	.양호	.양호	.양호
b	.미세균열, 갈라짐 등 경미한 균열	.외부 도장탈락 및 부식 .도장탈색, 먼지 쌓임	.부분적 박리, 탈락 등 손상
c	.측면 부풀음 .받침두께의 0.3배 미만의 전단변형	.미끄럼판 부식발생 .부분적 변형, 고정장치 파손 및 이완	.받침 콘크리트에 0.3㎜이상 균열 발생 .박리, 탈락등 손상으로 지지단면 감소, 기능상 장애
d	.고무재 파손 및 단차, 균열 심화 .받침두께의 0.3배 이상의 전단변형 .받침이 밀착되지않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2미만 .받침의 신축기능 불량	.받침 본체 부식으로 인한 받침 신축거동 장애발생 .받침 본체 파손 .받침이 밀착되지않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2 미만	.받침 콘크리트 파손 및 하부공동으로 받침의 탈락 및 침하 발생 가능성 있음
e	.받침 신축기능 불량으로 인하여 받침본체 및 거더(바닥판)의 파손발생 .받침이 밀착되지않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2 이상	.받침 신축기능 불량으로 인하여 거더 등 주부재의 파손 발생 .받침이 밀착되지 않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2 이상 .작동불능 상태	

5.3.8 교대 및 교각, 기초

1) 교대의 상태평가 기준

- 균열폭에 관산 상태평가 기준은 교대 구체에서 발생한 균열에 국한한다.

- 열화 및 손상과 철근부식은 표면손상 면적과 부식으로 인한 철근의 단면손상 발생면적으로 평가한다.

- 상부구조의 침하 및 단차가 발생하거나, 받침 연단부 파손으로 거더의 탈락이 우려되는 경우 "e"로 평가하며, 즉시 보강 또는 개축을 실시한다.

<표 5.9>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 .앵커블록 내부 결로 발생
c	.구체 균열폭 0.3㎜이상~0.5㎜ 미만 .교대와 날개벽 사이에 폭 1.0㎜이상의 균열발생	.표면 손상면적 2%이상~10% 미만 .철근부식 손상면적 2% 미만 .앵커블록 내부 결로에 의한 체수
d	.구체 균열폭 0.5㎜이상~1.0㎜미만 .날개벽 기울음 및 손상심화(배면토유출) .기초의 부등침하로 인한 구체 기울음	.표면 손상면적 10% 이상 .철근부식 손상면적 2% 이상
e	.구체 균열폭 1.0㎜ 이상 .날개벽 전도 위험 있음 .부등침하로 인한 교대 안전성 저하	.코핑부 파손으로 인하여 거더의 탈락 가능성 있음 .심한 철근부식으로 인하여 교대의 안전성이 저하됨.

2) 교각의 상태평가 기준

- 열화 및 손상과 철근부식은 표면손상 면적과 부식으로 인한 철근의 단면손상 발생면적으로 평가한다.

- 코핑부 파손으로 거더의 탈락이 우려되는 경우 "e"로 평가하며 즉시 보강 또는 개축을 실시.

<표 5.10>교각 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
c	.구체 균열폭 0.3㎜이상~0.5㎜ 미만	.표면 손상면적 2%이상~10% 미만 .철근부식 손상면적 2% 미만
d	.구체 균열폭 0.5㎜이상~1.0㎜미만 .기초의 부등침하로 인한 교각 기울음	.표면 손상면적 10% 이상 .철근부식 손상면적 2% 이상
e	.구체 균열폭 1.0㎜ 이상 .부등침하로 인한 교각 안전성 저하	.코핑부 파손으로 인하여 거더의 탈락 가능성 있음 .심한 철근부식으로 인하여 교대의 안전성이 저하됨.

5.3.9 탄산화

탄산화시험은 직접적인 손상항목이 아닌 철근부식을 유발할 수 있는 환경에 관한 항목으로써 상태평가 기준 범위를 "a"~"d"로 한다. 탄산화에 대한 평가는 시험개소별로 실시한다.

<표 5.11>탄산화 상태평가 기준

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

5.3.10 염화물

염화물에 의하여 발생하는 콘크리트의 염해는 강재부식 등 구조물에 심각한 문제를 일으킬 수 있으므로 콘크리트 구조물의 건전성 평가시 염해에 대한 평가가 필요하다. 염화물 함유량 분석은 별도 비파괴시험 기준에 의거 시험을 시행한다. 염화물에 대한 평가는 시험개소별로 실시한다.

<표 5.12>염화물 상태평가 기준

기준	전염화물 이온량	철근부식의 가능성
a	.염화물≤ 0.3 kgf/m^3	.염화물에 의한 부식이 발생할 우려 없음
b	.0.3 kgf/m^3<염화물< 1.2 kgf/m^3	.염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음
c	.1.2 kgf/m^3≤염화물< 2.5 kgf/m^3	.향후 염화물에 의한 부식발생 가능성 높음
d	.염화물≥ 2.5 kgf/m^3	.철근부식 발생
e	-	-

5.4 상태평가 등급산정 절차

상태평가등급 산정과정은 외관조사 결과 부재별로 상태등급을 매긴 후, 부재별 중요도를 고려한 가중치를 고려하여 전체 평가등급을 산정하는 과정으로 되어있다.

이외에 내구성과 관련된 요소로서 탄산화 및 염화물함량에 대한 등급을 구한 후 일반 부재와 같이 가중치를 부여하여 교량 전체의 상태평가항목으로 반영하였다. 등급사용의 혼란을 방지하기 위하여 부재별 등급은 소문자(a-e)로 표시하고 전체 상태평가등급은 대문자(A-E)로 등급을 표기하였다.

5.4.1 경간(지점)별 부재 상태평가 산정

1) 개별부재등급의 산정방안

개별부재에서 발견된 결함 및 손상에 대하여 상태평가기준의 평가항목 별로 평가한 후 각 상태평가 결과중 최저값을 개별부재 상태평가 결과로 산정한다.

2) 경간(지점)별 부재등급의 산정방안

한 경내에서 여러 부재가 있을 경우는 각 부재의 상태평가 기준 중 최저값을 경간(지점)상태평가 결과로 산정한다.

5.4.2 전체 시설물의 상태평가 결과 결정

구조형식이 같은 부재에 대해 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 5.13>의 결함도 점수 범위에 따른 기준을 적용하여 시설물 전체에 대한 상태평가 결과를 구한다.

<표 5.13>결함도 점수 범위에 따른 기준

등급	a	b	c	d	e
결함도지수	0.10	0.20	0.40	0.70	1.00
등급범위	0≤ x <0.13	0.13≤ x <0.26	0.26≤ x <0.49	0.49≤ x <0.79	0.79≤ x

-램프교가 포함된 교량의 경우

본교와 각 램프교에 대해서 각각 상태평가 결과를 산정하며, 길이와 차선에 따른 가중치를 적용하여 종합평가 시 본교와 접속교 및 램프교를 모두 포함하여 최종 상태평가 결과를 산정한다.

또한 경간 및 부재의 상태가 좋지 않은 경우 부가적인 설명을 명시한다.

5.4.3 부재별 가중치

부재별 가중치는 전체 100점을 기준으로 아래 표와 같이 구조형식별로 부재별 중요도를 달리하여 배분하였으며, 외관상태와는 별도로 내구성 요소인 탄산화와 및 염화물 항목도 개별부재로 취급하여 가중치를 적용하였다..

<표 5.14>구조형식에 따른 부재별 가중치

( ): 정밀점검시 적용가중치

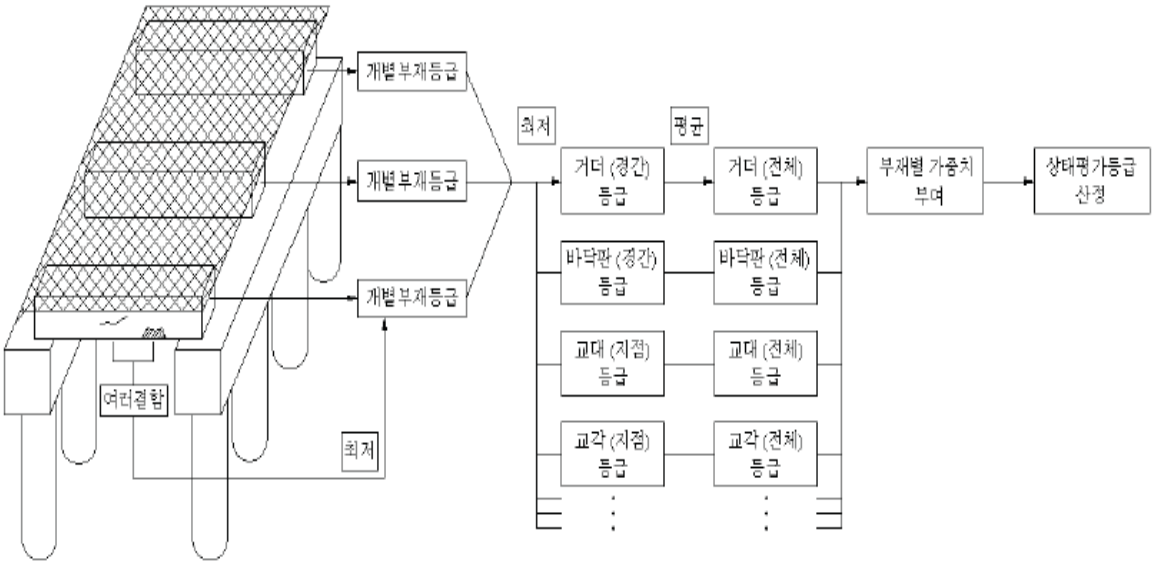
구분	결함도 평가항목	슬래브 교량	거더교량							라멘교		
			일반거더교			바닥판.거더일체형		아치.트러스		거더없음	거더있음 (복개구조물)	
			일반	2차부재 없음	바닥판 없음	강바닥판	psc박스	콘크리트 바닥판	강바닥판			
상부	바닥판	34	18	18	-	20	23	15		34	20	21
	주형	-	20	25	37	18	20	23		-	21	23
	2차부재	-	5	-	11	5	-	5		-	5	-
하부	교대/교각	20	13	13	18	13		13		34	22	24
	기초	7	7	7	7	7		7		7	7	7
받침	교량받침	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
	난간/연석	2	2	2	6	2		2		2	2	2
콘크리트	탄산화	2(4)	2(4)		-	-	2(4)	2(4)	-	4(7)		
		2(3)	2(3)		4(7)	4(7)	2(3)	2(3)	4(7)			
	염화물	2(0)	2(0)		-	-	2(0)	2(0)	-	3(0)		
		1(0)	1(0)		3(0)	3(0)	1(0)	1(0)	3(0)			

- 기초에 대한 평가가 수행되지 않았을 경우, 기초에 할당된 가중치는 교대/교각의 가중치에 포함시킨다.

5.5 교량 상태평가 등급의 산정

본 과업대상 교량에 대한 점검결과, 상태평가 등급산정은 한국시설안전기술공단(2003년 12월)에서 제공한 Bridge Level프로그램을 이용하여 교량의 상태등급을 산정하였다.

상태평가 등급 산정 과정은 외관조사 결과를 부재별로 상태등급을 매긴 후, 부재별 중요도를 고려한 가중치를 고려하여 전체 평가등급을 산정하는 과정으로 되어 있다.



<그림 5.1>전체 교량의 상태평가 결과 산정방법 (예)

5.5.1 구조형식별 결과

<표 5.15> 구조형식별 결과 (PSC Box Girder)

부재의 분류		상부구조		2차 부재	기타부재				받침	하부구조		내구성요소			
번호	구조형식	바닥판	거더	가로보	포장	배수	난간 연석	신축 이음	교량 받침	하부	기초	탄산화 (상)	탄산화 (하)	염화물 (상)	염화물 (하)
1	PSC Box	b	b	N/A	a	b	c	c	b	c	Q	a	a	X	X
2	PSC Box	a	b	N/A	a	b	c	X	b	c	Q	a	a	X	X
3	PSC Box	b	c	N/A	a	b	c	X	b	d	Q	a	a	X	X
4	PSC Box	c	c	N/A	a	a	b	X	b	c	Q	a	a	X	X
5	PSC Box	a	c	N/A	a	b	b	X	b	d	Q	a	a	a	a
6	PSC Box	a	c	N/A	a	b	c	X	b	c	Q	a	a	X	X
7	PSC Box	a	c	N/A	a	a	c	X	b	b	Q	a	a	X	X
8	PSC Box	a	c	N/A	a	a	c	b	b	c	Q	a	a	X	a
9	PSC Box	a	c	N/A	a	b	c	X	b	c	Q	a	a	X	X
10	PSC Box	a	c	N/A	a	b	b	X	b	c	Q	a	a	X	X
11	PSC Box	a	c	N/A	a	a	a	X	b	c	Q	a	a	X	X
12	PSC Box	a	c	N/A	b	b	c	X	b	c	Q	a	a	X	X
13	PSC Box	b	c	N/A	b	b	c	X	b	c	Q	a	a	X	X
14	PSC Box	a	c	N/A	b	b	a	X	b	b	Q	a	a	X	X
15	PSC Box	a	c	N/A	b	b	b	b	b	b	Q	a	a	X	X
16	PSC Box	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	X	b	a	Q	X	X	X	X
평균		0.140	0.373	0.000	0.127	0.173	0.307	0.267	0.200	0.381	0.000	0.100	0.100	0.100	0.100
가중치		23	20	0	7	3	2	9	9	20	0	2	2	2	1
환산점수		0.032	0.075	0.000	0.009	0.005	0.006	0.024	0.018	0.076	0.000	0.002	0.002	0.002	0.001
1.환산결함도점수=															0.252
2.상태평가결과=															B등급

5.5.2 개별교량 결과

<표 5.16> 개별교량 결과

구 분	구조형식	환 산 결함도점수	상태평가 결 과	연장(m)	연장비	환산결함도점수 × 연장비
반심1교 (상행)	PSC Box교	0.252	b	760	1.000	0.252
합계(∑)				760.	1.000	0.252
1. 환산결함도 점수 =						**0.252**
2. 상태평가 결과 =						**b**

5.5.3 전체교량 결과

대상 구조물인 **"반심1교(하행)"**에 대한 상태평가를 수행한 결과, 상태 평가지수가 **0.252**로서 **상태평가 결과**는 "b"에 해당되는 것으로 평가되었다.

(b, 0.13≤F=0.252<0.26)

<표 5.17> 전체교량 결과

교량명	환 산 결함도점수	상태평가 등 급	연장 (m)	차선	길이 × 차선	연장비	환산결함도점수 × 연장비
반심1교 (하행)	0.252	b	760.0	2	1,520	1.000	0.252
합계(∑)			760.0	2	1,520	1.000	0.252
1. 평가지수 =							**0.252**
2. 상태평가 결과 =							**b**

제 6 장 현장재하시험

6.1 개 요

6.2 정적재하시험

6.3 동적주행시험

6.1 개요

재하시험은 축 중량을 측정한 시험차량의 재하에 따른 대상 구조물의 실 거동을 측정함으로써 대상구조물의 정·동적 거동특성을 파악하고 공용 내하력을 평가하기 위하여 실시한다. 따라서 구조형식에 따른 측정항목, 측정부위 및 재하방법의 선택이 중요하다. 일반적으로 재하시험은 하중의 재하방법과 측정 장비의 종류로 인해 정적측정 장비의 장점인 다중채널 측정과 동적측정 장비의 장점인 연속측정을 동시에 만족하면서 경제적인 장비가 개발됨에 따라 동일한 장비로 정·동적 재하시험을 동시에 수행하는 것이 가능해졌다.

정적재하시험은 작용 외력에 대한 대상교량의 정적거동특성을 파악하고 정적변위, 변형률 및 응답비 등 내하력 평가를 위한 제반계수를 산정하기 위하여 실시한다. 또한 동적 주행시험은 기본적으로는 구조물의 동적거동을 측정하기 위한 것으로 대상교량의 실 충격계수와 실 고유진동수 등을 측정·분석하여 교량의 동적 거동특성을 파악하기 위하여 실시한다.

6.2 정적재하시험

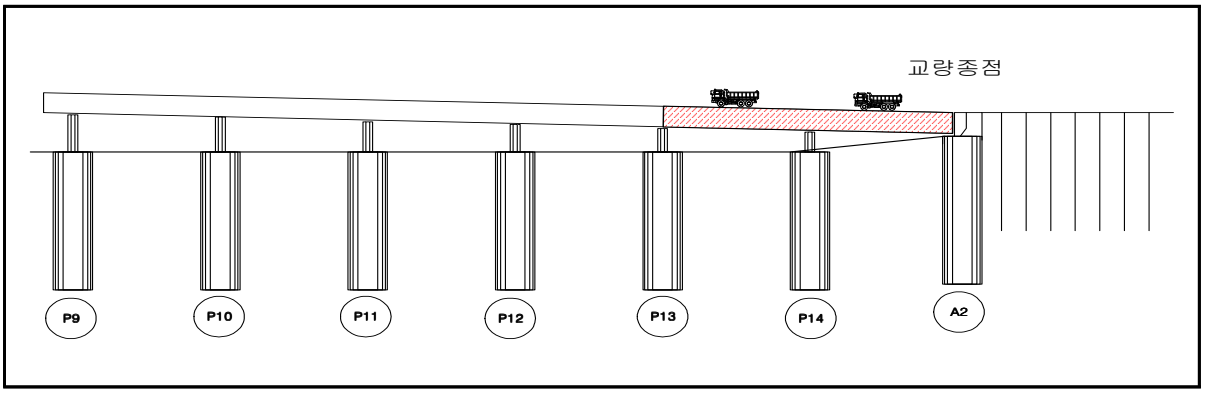
6.2.1 정적재하시험

본 과업의 대상교량인 반심1교(상)는 전남 광양시 골약동에 위치한 15경간 PSC박스교로 구성된 편도 2차선 교량으로 금회 진단 시에는 S14, S15 경간에 재하시험 구간을 선정하였다.

6.2.2 시험경간 및 측정위치

1) 시험경간

본 교량은 1998년에 준공된 PSC박스교로서 총 연장은 8@50+1@50+2@45+2@60+2@50 = 760.0m이다. 재하시험의 시험경간은 경간장과 구조형식 등을 고려하여 14, 15경간을 선정하였으며, 재하시험의 대상 경간은 다음 <그림 6.1>와 같다.

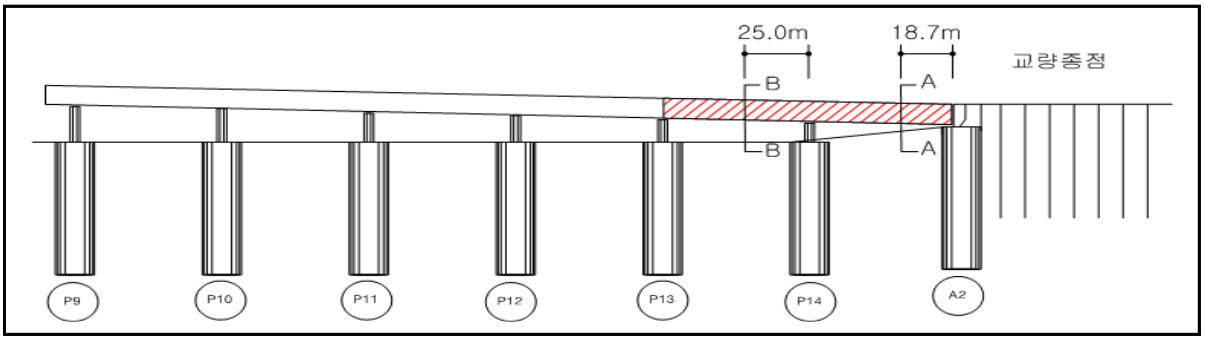


<그림 6.1> 재하시험 대상 경간

2) 측정 및 게이지 부착위치

본 교량에 대한 재하시험의 측정위치는 15경간 PSC Box교임을 고려하여 지점(A-A, B-B단면)을 측정위치로 선정하였으며 측정위치는 <그림 6.2>와 같다. 게이지 부착위치는 14경간, 15경간에는 처짐게이지를 부착하여 측정하였다.

각각의 부착위치는 <그림 6.3>과 같으며 부착한 게이지의 종류와 센서에 대한 표시는 <표 6.1> 및 <표 6.2>와 같다.



<그림 6.2> 재하시험 측정위치

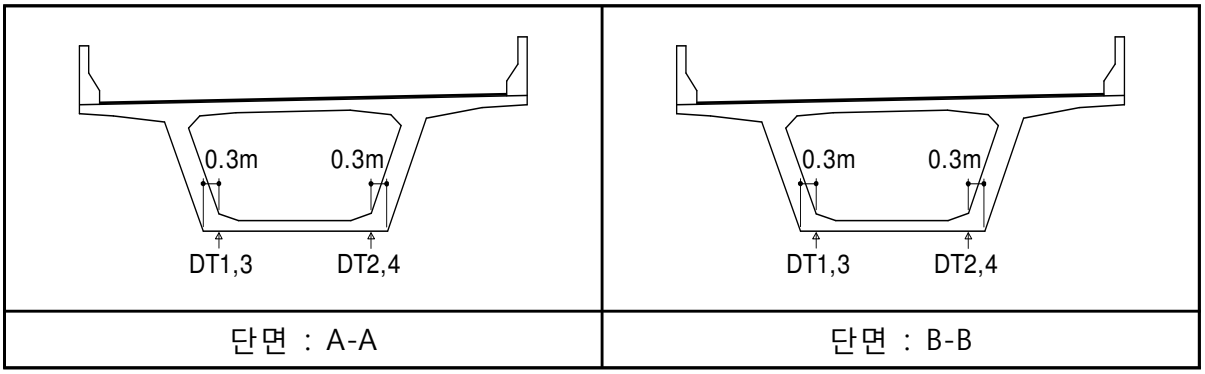
<표 6.1> 정적재하시험 측점현황

단 면	위 치	Gauge의 종류	제조회사
A - A	제15경간 A2→P14 18.7m 위치	Displacement Transducer	동경계측기연구소 TML
B - B	제14경간 P14→P13 25.0m 위치	Displacement Transducer	동경계측기연구소 TML

<표 6.2> 게이지의 종류 및 기호

분류 / 기호	센서의 종류	용 도	수량
↑	처침 측정용 변위계 (Displacement Transducer)	처짐 변위 측정 (D1, D2)	단면 A-A : 2개
φ	변형률계(Strain Gauge)	변형률 측정	단면 A-A : 2개
↑	처침 측정용 변위계 (Displacement Transducer)	처짐 변위 측정 (D3, D4)	단면 B-B : 2개
φ	변형률계(Strain Gauge)	변형률 측정	단면 B-B : 2개
ⓐ	가속도계	가속도(진동) 측정	단면 B-B : 1개

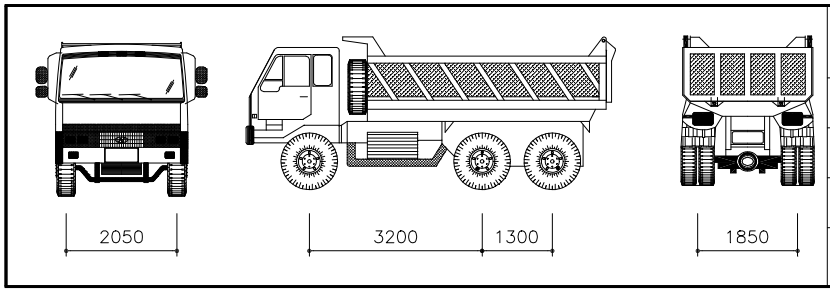
<그림 6.3> 게이지 부착위치



단면 : A-A	단면 : B-B

6.2.3 재하차량 제원

대상교량의 정적재하시험에는 토사를 만재한 15Ton 트럭을 사용하였으며, 재하차량의 제원 및 중량은 <그림 6.4>과 같다.

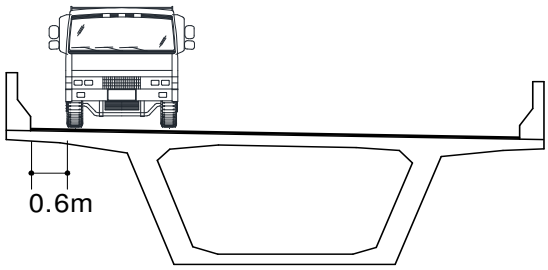
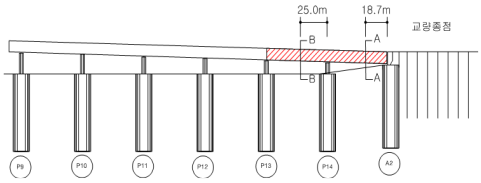
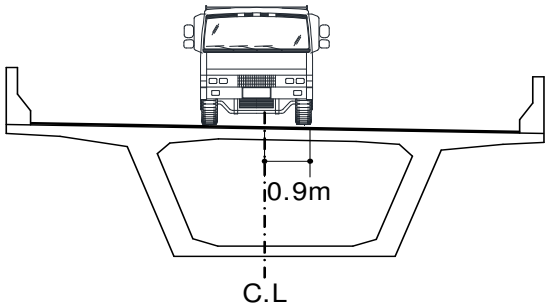
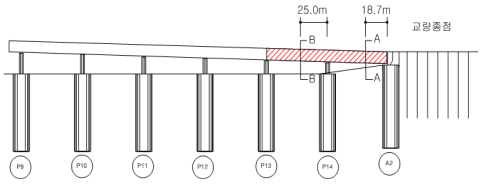
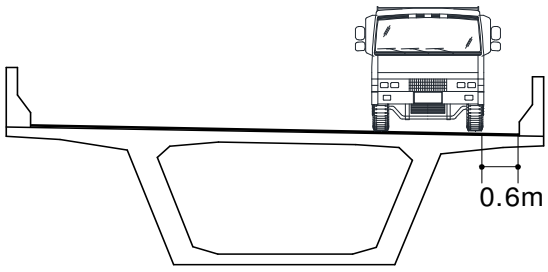


차륜구분	축하중(ton)
전륜	5.24
중륜	1047
후륜	10.47
합계	26.18

<그림 6.4> 재하차량의 제원 및 축하중

6.2.4 Load Case

정적재하시험시 재하차량의 재하위치는 현장여건을 고려하여, 최대응력 및 최대처짐이 발생할 수 있는 위치를 선정하였으며, 측정경간 및 각 Load Case별 재하위치는 <그림 6.5>에 나타내었다.

교 축 방 향	교 축 직 각 방 향
Load Case 1  	 A-A
Load Case 2  	 B-B
Load Case 3  	

<그림 6.5> Load Case별 재하위치

6.2.5 정적재하시험 결과 및 평가

1) 처짐 및 변형률 측정결과

<표 6.3> S14, S15경간 정적처짐 측정 결과 (단위:mm)

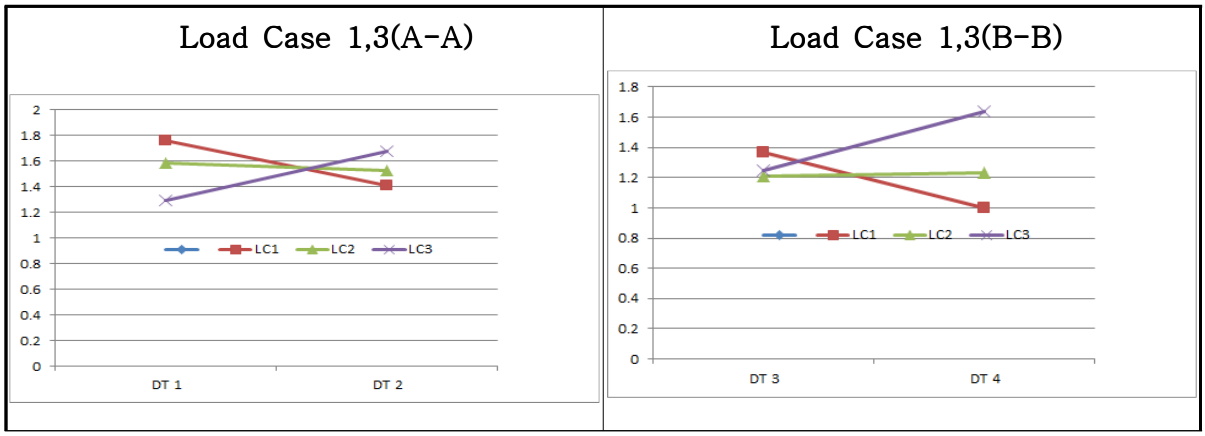
Load Case / Gauge ID	DT 1	DT 2	DT 3	DT 4
LC1	1.146	0.919	0.889	0.651
LC2	1.029	0.990	0.786	0.801
LC3	0.843	1.092	0.808	1.062

<표 6.4> S14, S15경간 정적변형율 측정 결과 (단위:με)

Load Case / Gauge ID	ST 1	ST 2	ST 3	ST 4
LC1	20.524	15.521	15.873	12.899
LC2	17.406	16.749	13.296	13.548
LC3	16.785	21.742	15.200	21.146

2) 정적재하시험 결과 분석 및 평가

재하시험에 의한 하중 횡분배 효과를 검토한 결과 Load Case에 따른 하중 횡분배 효과가 양호한 상태를 보이고 있는 것으로 분석되었으며, <그림 6.6>와 같이 도식되었다.



<그림 6.6> Load Case별 하중 횡분배

6.3 동적주행시험

6.3.1 개 요

본 과업 대상교량에 대한 동적거동을 파악하기 위하여 재하차량의 속도별 통과시의 처짐 및 연직방향 가속도를 측정하고, 충격계수 분석 등을 파악하여 대상교량의 동적특성과 내하력 평가를 위한 기본자료로 활용하고자 동적주행시험을 실시하였다.

6.3.2 시험경간 및 측정위치

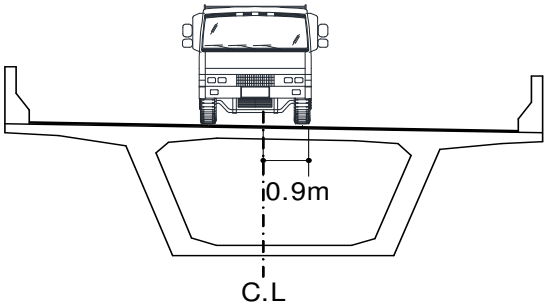
동적주행시험의 시험경간은 정적재하시험에서와 동일한 경간에 대해 실시하였고, 측정위치는 정적재하시험의 측정위치 중 대상교량의 동적특성을 가장 잘 나타낼 수 있는 개소를 선정하였으며, <표 6.5>에는 부착센서의 종류를 나타내었다.

<표 6.5> 동적주행시험 부착센서의 종류

Gauge ID	Gauge 종류	채널수량
D1,D2,D3,D4	Displacement Transducer	4
총 계		4

6.3.3 재하차량 및 주행방법

동적주행시험에는 정적재하시험에 사용된 것과 같은 차량을 사용하였으며, 재하차량을 10km/hr의 속도로부터 현장여건에 따른 최대 주행가능속도(80km/hr)까지 10km/hr씩 증가시키면서 동적주행시험을 실시하였다. 재하차량의 주행위치 및 주행방법은 <그림 6.7> 및 <표 6.6>과 같다.



진 행 방 향 : 부두 (A2) → 동광양IC (A1)

<그림 6.7> 동적주행시험 주행방향

<표 6.6> 재하차량의 주행속도 및 주행방향

주행속도	주행방향	비 고
10 km/hr	동광양IC (A1) → 부두 (A2)	
20 km/hr	동광양IC (A1) → 부두 (A2)	
40 km/hr	동광양IC (A1) → 부두 (A2)	
60 km/hr	동광양IC (A1) → 부두 (A2)	
80 km/hr	동광양IC (A1) → 부두 (A2)	Maximum

6.3.4 동적주행시험 결과 및 평가

1) 처짐 측정 결과

동적주행시험시 측정된 각 속도별 변형률 및 처짐측정 결과는 <표 6.7>에 나타내었다.

<표 6.7> 14경간, 15경간 처짐측정 결과(동광양IC (A1) → 부두 (A2))

Gauge ID / 주행속도	DT1	DT2	DT3	DT4
10 km/hr	1.035	0.972	1.040	1.018
20 km/hr	1.001	1.026	1.023	1.027
40 km/hr	1.172	1.141	0.865	0.861
60 km/hr	0.994	0.961	0.878	0.897
80 km/hr	0.969	0.977	0.777	0.842

2) 충격계수

교량의 노면상태, 차량의 주행속도, 지간장, 사하중과 활하중의 비, 구조적 특성 등의 다양한 인자들에 의하여 정적하중 보다 교량에 더 큰 영향을 줄 수 있는 활하중의 충격영향 정도를 파악하기 위해 정적재하시험시 측정된 처짐결과와 동적주행시험시 측정된 처짐결과를 이용하여 실측충격계수를 구하였다. 실측 충격계수 및 계산 충격계수 산정식은 다음과 같으며, 그 결과는 다음 <표 6.8>와 같다.

① 실측 충격계수

충격계수(i) $= (D-1) / \sqrt{N}$

여기서, $D = (y_{dynamic})max / (y_{static})max$

N = 재하 차량의 댓수

$(y_{dynamic})max$ = 동적 재하시험으로 구한 처짐

$(y_{static})max$ = 의사정적 재하시험으로 구한 처짐

② 계산충격계수 : 도로교시방서기준

충격계수 : $i = \frac{15}{40+L} \leq 0.3$

여기서, L : 부재의 지간길이(m)

<표 6.8> 실측 충격계수 산정

구 분	진행속도 (km/hr)		처짐(mm)			
			DT1	DT2	DT3	DT4
14경간 15경간	10	Ddyn(㎜)	1.035	0.972	1.040	1.018
		Dsta(㎜)	0.954	0.895	0.975	0.958
		증폭계수(D)	1.085	1.086	1.067	1.063
		실측충격계수(i)	0.085	0.086	0.067	0.063
	20	Ddyn(㎜)	1.001	1.026	1.023	1.027
		Dsta(㎜)	0.913	0.925	0.933	0.944
		증폭계수(D)	1.096	1.109	1.096	1.088
		실측충격계수(i)	0.096	0.109	0.096	0.088
	40	Ddyn(㎜)	1.172	1.141	0.865	0.861
		Dsta(㎜)	0.934	0.901	0.728	0.723
		증폭계수(D)	1.255	1.266	1.188	1.191
		실측충격계수(i)	0.255	0.266	0.188	0.191
	60	Ddyn(㎜)	0.994	0.961	0.878	0.897
		Dsta(㎜)	0.834	0.800	0.703	0.715
		증폭계수(D)	1.192	1.201	1.249	1.255
		실측충격계수(i)	0.192	0.201	0.249	0.255
	80	Ddyn(㎜)	0.969	0.977	0.777	0.842
		Dsta(㎜)	0.806	0.755	0.704	0.673
		증폭계수(D)	1.202	1.294	1.104	1.251
		실측충격계수(i)	0.202	0.294	0.104	0.251
실측충격계수 - 0.294						

3) 동적주행시험 결과 평가

최대 동적응답에 따른 처짐에 대한 실측 충격계수를 분석한 결과 대상교량의 실측 최대 충격계수는PSC박스교 0.294로 평가되었으며, 이를 기초로 내하력 평가를 수행하였다.

4) 고유진동수

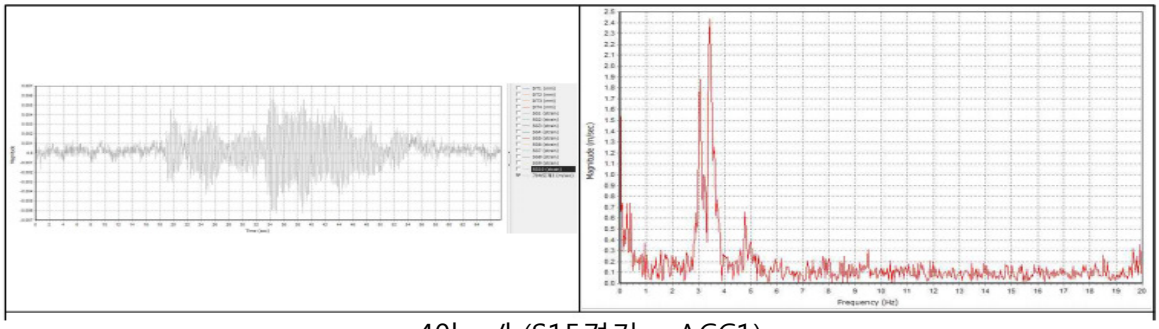
진동테이터의 스팩트럼 해석이란 불규칙한 진동파형을 Fourier 변환하여 시간영역의 데이터를 진동수 영역의 데이터로 바꾸고, 진동파형에 포함되어있는 진동수 성분의 강도(F.F.T)를 구하는 것을 말한다.

Window Function의 Hanning Type을 이용하여 교량에 설치한 가속도계로부터 재하차량이 측정경간을 벗어나 영향을 주지않는 자유진동상태의 가속도 응답곡선을 F.F.T분석을 실시한 후 고유진동수를 구하였다.

<표 6.9>에 속도별 교량의 실측 고유진동수를 나타냈으며, 실측 고유진동수는 3.415Hz로 산출되어 이론치(**2.827H**z)와 비교시 해석모델의 경계조건과 강성(질량)이 교량의 현재 상태를 적절히 표현되는 것으로 검토되었다. <그림 6.8>에는 가속도 응답곡선에 대한 FFT분석의 일례를 나타내었다.

<표 6.9> 고유진동수 해석치와 실측치 비교

주행속도	실측고유진동수(Hz)	비고
10km/h	3.167	이론치 2.827Hz
20km/h	3.112	
40km/h	3.195	
60km/h	3.114	
80km/h	3.157	



40km/h(S15경간 : ACC1)

<그림 6.8> 가속도 응답곡선에 대한 F.F.T 분석

제 7 장 안전성 검토

7.1 개 요

7.2 바닥판 검토

7.3 거더 검토

7.4 재하시험 차량에 대한 응답비 산정

7.5 고유진동수 검토

7.6 내하력 평가

7.1 개요

7.1.1 현황

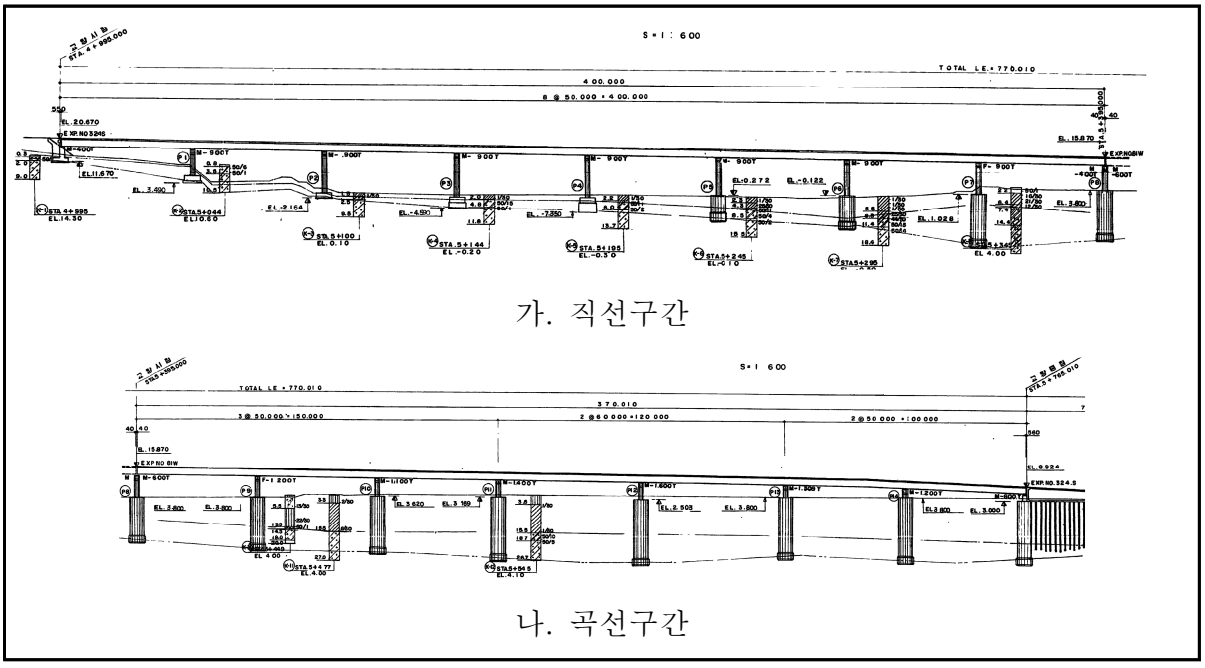
본 검토대상인 반심1교(하행)는 전남 광양시 골약동에 위치한 PSC BOX GIRDER 형식의 교량으로써 8@50+1@50+2@45+2@60+2@50 = 760.0m 15경간으로 구성되어 있다. 편도 2차선으로 상하행 대칭으로서 분리 시공되었다.

교량의 내하력 산정과 안전성 평가를 위하여 상부구조의 단면력 해석을 통한 응력평가를 실시하고, 재하시험과 동일한 위치와 동일한 하중을 적용하여 대상교량에 대한 처짐 해석을 수행하고 이를 바탕으로 교량의 내하력을 평가하였다.

7.1.2 단면 제원

본 교량은 4개의 연속교로 분리 시공되었으며, 본 검토에서는 경간구성이 가장 많은 S1-S8까지 8경간의 시공 단계별 응력검토를 수행하였다.

1) 검토 단면



<그림 7.1> 교량 종단면

7.1.3 교량 현황

① 구조형식 : PSC BOX GIRDER교

② PRESTRESS 도입방법 : Post-Tension Method

③ 교량연장 : 8@50.0 = 400.000 m

④ 폭 원 : 11.150 m

⑤ 교량등급 : 1등급교

⑥ 설계하중 : DB-24, DL-24

⑦ 충격계수 : $i = \frac{15}{40+L}$

7.1.4 사용재료

1) 콘크리트

가. 물리적 상수

① 단위 중량 : $\gamma_c = 24.5\,\mathrm{kN/m^3}$

② 설계기준강도 : $f_{ck} = 40.0\ \mathrm{MPa}$

③ 탄성 계수 : $E_c = 2.86E+04\,\mathrm{MPa}$

④ 전단탄성계수 : $G_c = 1.20E+04\,\mathrm{MPa}$

⑤ 프리스트레스 도입시 콘크리트 압축강도 : $f_{ci} = 28\,\mathrm{MPa}$

나. 허용응력

<표 7.1> 콘크리트의 허용응력

종 류			단위(MPa)
콘크리트 압축강도			40.0
휨 압축응력	프리스트레스 도입직후(손실발생 전)		15.4
	사용하중 작용시(손실발생 후)		16.0
휨 인장응력	프리스트레스 도입직후	부착된 철근이 없는 인장영역	1.3
		보조철근 사용시	2.6
	사용하중 작용시(손실발생 후)		3.2
균열응력			4.0

① 크리프와 건조수축에 의한 손실이 일어나기 전의 허용응력

- 허용 휨 압축응력 : $0.55\,f_{ci} = 15.40\,\mathrm{MPa}$
- 허용 휨 인장응력 : $0.50\sqrt{f_{ci}} = 2.60\,\mathrm{MPa}$(미리 압축력을 가한 일반 구역)
- 허용 휨 인장응력 : $0.25\sqrt{f_{ci}} = 1.30\,\mathrm{MPa}$(그 외 지역)

② 모든 손실이 일어난 후 사용하중 상태에서의 허용응력

- 허용 휨 압축응력 : $0.40\,f_{ck} = 16.00\,\mathrm{MPa}$
- 허용 휨 인장응력 : $0.50\sqrt{f_{ck}} = 3.20\,\mathrm{MPa}$ (부착된 철근을 갖는 부재)
- 허용 휨 인장응력 : $0.25\sqrt{f_{ck}} = 1.60\,\mathrm{MPa}$ (부식환경에 노출된 구역)
- 완공 후 하중 조합경우에 따라 허용응력을 할증한다.(사용하중의 하중조합 참조)

③ 균열 응력

- 허용 휨 균열응력 : $0.63\sqrt{f_{ck}} = 4.00\,\mathrm{MPa}$

④ 정착부의 지압 응력

- 긴장재 정착 직후 : $0.70\,f_{ci}\sqrt{A'/A - 0.2} < 1.10\,f_{ci} = 31.0\,\mathrm{MPa}$
- 프리스트레스 손실 발생 후 : $0.50\,f_{ck}\sqrt{A'/A} < 0.90\,f_{ck} = 36.0\,\mathrm{MPa}$

2) 철근

① 설계 기준 강도 : $f_y = 400\,\mathrm{MPa}$ (SD40)

② 탄성 계수 : $E_s = 2.00E+05\,\mathrm{MPa}$

③ 허용 응력 : $f_{sa} = 180\,\mathrm{MPa}$

- 바닥판, 지간 10m 이하의 슬래브교에서의 인장응력 : $180\,\mathrm{MPa}$
- 일반적인 부재에서의 인장응력 : $180\,\mathrm{MPa}$
- 압축 응력 : $180\,\mathrm{MPa}$

3) PS 강연선

① 사용 기준 : KSD 7002, SWPC 7B

② ϕ 0.5 inch(12.7mm) : $A = 98.71\,\mathrm{mm}^2$(strand 1EA 공칭 단면적)

③ 탄성 계수 : $E_{pa} = 2.00E+05\,\mathrm{MPa}$

④ 극한 응력 : $f_{pu} = 1900\,\mathrm{MPa}$

⑤ 항복 응력 : $f_{py} = 1600\,\mathrm{MPa}$

⑥ 도입 긴장력 : $P_j = 0.75P_u$

⑦ 텐던 사용 단위

<표 7.2> 텐던 사용 단위

텐던 사용 위치	strand (EA)	단면적 (mm²)	Pu(kN)	도입긴장력 0.75Pu(kN)	Duct크기 내/외경(mm)
주거더 하부	19	1875.3	5797.7	4348.3	110/113
주거더 상부	19	1875.3	5797.7	4348.3	110/113

⑧ 덕트의 형태 : 아연도금 금속 쉬스

⑨ 곡률 마찰 계수 : μ(상부텐던) = 0.25 1/rad. μ(하부텐던) = 0.25 1/rad.

⑩ 파상 마찰 계수 : μ(상부텐던) = 0.005 1/m μ(하부텐던) = 0.005 1/m

⑪ relaxation : Low Relax. = 3%이하 (설계 계산에서는 5%를 적용함.)

⑫ 정착 장치의 슬립량 : s = 6.00 mm

⑬ 긴장 작업 중 허용 응력(슬립에 의한 손실을 상쇄하기 위해 추가로 도입을 허용)

- $f_a = 0.9 f_{py} = 1440\,\mathrm{MPa}$

⑭ 정착후 정착부에서의 허용 응력

- $f_a = 0.7 f_u = 1330\,\mathrm{MPa}$

⑮ 손실이 일어난 후 사용하중 상태에서의 허용 응력

- $f_a = 0.8 f_{py} = 1280\,\mathrm{MPa}$

7.1.5 참고문헌

① 도로교 설계기준 : 국토해양부

② 콘크리트 구조설계기준 : 국토해양부

③ 실시설계 계산서

④ 준공도면

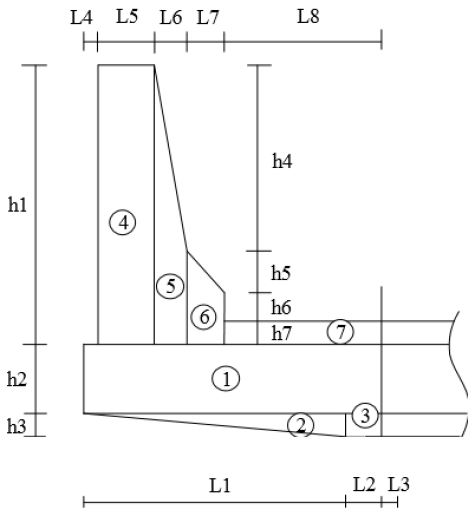
7.2 바닥판 검토

7.2.1 캔틸레버부 검토

1) 고정하중

캔킬레버바닥판의지간 - 고정하중에 의한 지간 : L = 2.088m

- 활 하 중에 의한 지간 : L = 1.788m



h1= 0.910 L1= 2.493
h2= 0.202 L2= 0.000
h3= 0.248 L3= 0.000
h4= 0.490 L4= 0.030
h5= 0.260 L5= 0.150
h6= 0.110 L6= 0.058
h7= 0.050 L7= 0.168
L8= 2.088

<표 7.3> 고정하중 산정

구분	하중			거리	모멘트
①	2.493 × 0.202 × 24.50	=	12.338	1.247	15.385
②	2.493 × 0.248 × 24.50 × ½	=	7.574	0.831	6.294
③	0.000 × 0.248 × 24.50	=	0.000	0.000	0.000
소계			19.912		21.679
④	0.150 × 0.910 × 24.50	=	3.344	2.388	7.985
⑤	0.058 × 1.330 × 24.50 × ½	=	0.937	2.300	2.155
⑥	0.168 × 0.580 × 24.50 × ½	=	1.190	2.233	2.657
소계			5.471	0.154	12.797
⑦	2.088 × 0.050 × 24.50	=	2.558	1.044	2.671
소계			2.558		2.671
총계			27.941		37.147

2) 활하중 : DB-24, Pr = 96.00 KN

충격계수(i) i=15/(40+L) = 15/(40.00+1.788)=0.359 > 0.3 ∴i=0.300

윤하중분포폭(E) E = 0.8 × X + 1.14 = 2.570m

모멘트 M = Pr(1+I)X/E = 96.0 × (1 + 0.300) × 1.788 / 2.570 = 86.812 kN.m

3) 충돌하중

설계기준속도 V = 100km/hr

충돌모멘트 Mco = (V/60)2 × 0.75 + 0.25 = 2.75 kN.m

4) 방호벽에 작용하는 풍하중

거더 높이 h1 = 0.910 m

B/D = 11.150 / 3.070 = 3.632 < 8.0 이므로

w = (4 - 0.2 × 3.632) × 3.070 = 10.05 kN/m > 6kN/m

w = 10.050kN/m

Mw = w/D × H2/2 = 3.274 ×0.9102 / 2 = 1.355 kN.m

5) 극한하중의 산정

Mu = 1.30 × Md + 2.15 × ML+I = 234.937 kN.m(123.959 kN.m)

Mu = 1.30 × Md + 1.30 × Mw = 50.053 kN.m(38.502 kN.m)

Mu = 1.30 × Md + 2.15 × ML+I + 1.300 × MCF = 234.937 kN.m(123.959 kN.m)

Mu = 1.30 × Md + 1.30 × ML+I + 0.650 × Mw = 162.027 kN.m(125.314 kN.m)

Mu = 1.25 × Md + 1.25 × ML+I + 0.625 × Mw = 155.796 kN.m(125.314 kN.m)

Mu = 1.30 × Md + 1.30 × ML+I + 1.300 × Mco = 191.480 kN.m(147.292 kN.m)

Mu = 1.20 × Md + 1.20 × Mw + 1.200 × Mco = 74.202 kN.m(61.835 kN.m)

Mu = 234.937 kN.m(147.292 kN.m), ( ) 은 사용하중 상태에서의 모멘트

6) 단면검토

▷ 검 토 조 건

fck = 40.0 MPa fy = 400.0 MPa

β1 = 0.766 Øf = 0.85 Øv = 0.80

pmin = max(0.25√(fck)/fy,1.4/fy) = 0.00395

계수 모멘트 Mu = 234.937 KN·m

단면의 두께 H = 450.000 mm 단 면 폭 B = 1000.000 mm

유 효 깊 이 D = 400.000 mm 피 복 두 께 Dc = 50.000 mm

▷ 휨모멘트 검토

- 휨강도 검토

사용철근량 = H25 @ 125.00 mm (Dc = 50.00 mm)

= 4053.600 ㎟ ∴ P = As/(B·D) = 0.01013

공칭강도시 등가응력깊이 a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 47.689 mm

최외단 인장철근 변형률 εt = 0.01627 ≥ 0.004 ..... ∴ O.K

...여기서 εt = 0.003·(H - a/β1 - Dc_min) / (a/β1)

0.005 ≤ εt 이므로 인장지배단면, Øf = 0.85를 적용한다.

ØMn = Øf·fy·As·(D - a/2) = 518426300.000 N·mm

= 518.426 KN·m ≥ Mu = 234.937 KN·m ..... ∴ O.K

- 필요철근량 및 철근비 검토

소요등가응력깊이 a = 20.868 mm로 가정

As = Mu /{ Øf·fy·(D-a/2)} = 1773.745 ㎟

a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 20.868 mm ∴ 가정과 비슷함 O.K

Preq = [Mu /{ Øf·fy·(D-a/2)}] / (B·D) = 0.00443 ⇒ 4/3 Preq = 0.00591

∴ 필요철근량 req.As = Preq × (B·D) = 1773.745 ㎟ ≤ 사용철근량...O.K

철근비검토 : Pmin ≤ P ..... ∴ O.K

▷ 사용성 검토 (균열 검토)

Mo = 147.292 KN·m (사용하중 모멘트)

n = Es/Ec = 200000 / {8500 * (Fck + 8)^(1/3)} = 6

p = As/(B·D) = 0.01013

k = -np + √((np)²+ 2np) = 0.293 j = 0.902

x = k·d = 117.272 mm

fc = 2·Mo / (B·x·(D - x/3)) = 6.960 MPa

fs = Mo / (As ·(D - x/3)) = 100.679 MPa

fst = fs·(H - Dc_min - x) / (D - x) = 100.679 MPa

최외단철근 소요중심간격

s = Min [375·(210/fst)-2.5Cc , 300·(210/fst)] = 625.75 mm

...여기서..Cc = dc_min - 주철근 직경/2 = 37.50 mm

최외단철근 평균배근간격 = 125.00 mm ≤ 625.75 mm ..... ∴ O.K

7.2.2 중앙부 검토

바닥판의지간 : L = 4.800m

1) 고정하중

바닥판 : 1.00 × 0.28 × 24.50 = 6.860

포 장 : 1.00 × 0.05 × 23.00 = 1.150

총 계 = 8.010

ML = wL2 /10 = 18.455 kN·m

2) 활하중 : DB-24, Pr = 96.00 kN

- 충격계수 I = 15 / (40+L) = 0.335 > 0.3 ∴ I = 0.3
- 모멘트(ML) = 0.8Pr(1+i)(L+0.6) / 9.6

= (4.800 + 0.600) / 9.6 × 96.0 × (1 + 0.300) × 0.8 = 56.160 kN.m

3) 극한하중의 산정

- Mu = 1.30 × Md + 2.15 ×ML + 1.30 ×MCF = 144.736 kN.m(74.615 kN.m)

∴ Mu = 144.736 kN.m(74.615 kN.m), ( ) 은 사용하중 상태에서의 모멘트

4) 단면검토

▷ 검 토 조 건

fck = 40.0 MPa fy = 400.0 MPa

β1 = 0.766 Øf = 0.85 Øv = 0.80

pmin = max(0.25√(fck)/fy,1.4/fy) = 0.00395

계수 모멘트 Mu = 144.736 KN·m 계수 전단력 Vu = 0.000 KN

단면의 두께 H = 280.000 mm 단 면 폭 B = 1000.000 mm

유 효 깊 이 D = 230.000 mm 피 복 두 께 Dc = 50.000 mm

▷ 휨모멘트 검토

- 휨강도 검토

사용철근량 = H19 @ 125.00 mm (Dc = 50.00 mm)

= 2292.000 ㎟ ∴ P = As/(B·D) = 0.00997

공칭강도시 등가응력깊이 a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 26.965 mm

최외단 인장철근 변형률 εt = 0.01660 ≥ 0.004 ..... ∴ O.K

...여기서 εt = 0.003·(H - a/β1 - Dc_min) / (a/β1)

0.005 ≤ εt 이므로 인장지배단면, Øf = 0.85를 적용한다.

ØMn = Øf·fy·As·(D - a/2) = 168727900.000 N·mm

= 168.728 KN·m ≥ Mu = 144.736 KN·m ..... ∴ O.K

- 필요철근량 및 철근비 검토

소요등가응력깊이 a = 22.916 mm로 가정

As = Mu /{ Øf·fy·(D-a/2)} = 1947.884 ㎟

a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 22.916 mm ∴ 가정과 비슷함 O.K

Preq = [Mu /{ Øf·fy·(D-a/2)}] / (B·D) = 0.00847 ⇒ 4/3 Preq = 0.01129

∴ 필요철근량 req.As = Preq × (B·D) = 1947.884 ㎟ ≤ 사용철근량...O.K

철근비검토 : Pmin ≤ P ..... ∴ O.K

▷ 사용성 검토 (균열 검토)

Mo = 74.615 KN·m (사용하중 모멘트)

n = Es/Ec = 200000 / {8500 * (Fck + 8)^(1/3)} = 6

p = As/(B·D) = 0.00997

k = -np + √((np)²+ 2np) = 0.291 j = 0.903

x = k·d = 66.964 mm

fc = 2·Mo / (B·x·(D - x/3)) = 10.731 MPa

fs = Mo / (As ·(D - x/3)) = 156.754 MPa

fst = fs·(H - Dc_min - x) / (D - x) = 156.754 MPa

최외단철근 소요중심간격

s = Min [375·(210/fst)-2.5Cc , 300·(210/fst)] = 401.13 mm

...여기서..Cc = dc_min - 주철근 직경/2 = 40.50 mm

최외단철근 평균배근간격 = 125.00 mm ≤ 401.13 mm ..... ∴ O.K

7.2.3 바닥판 안전율 검토

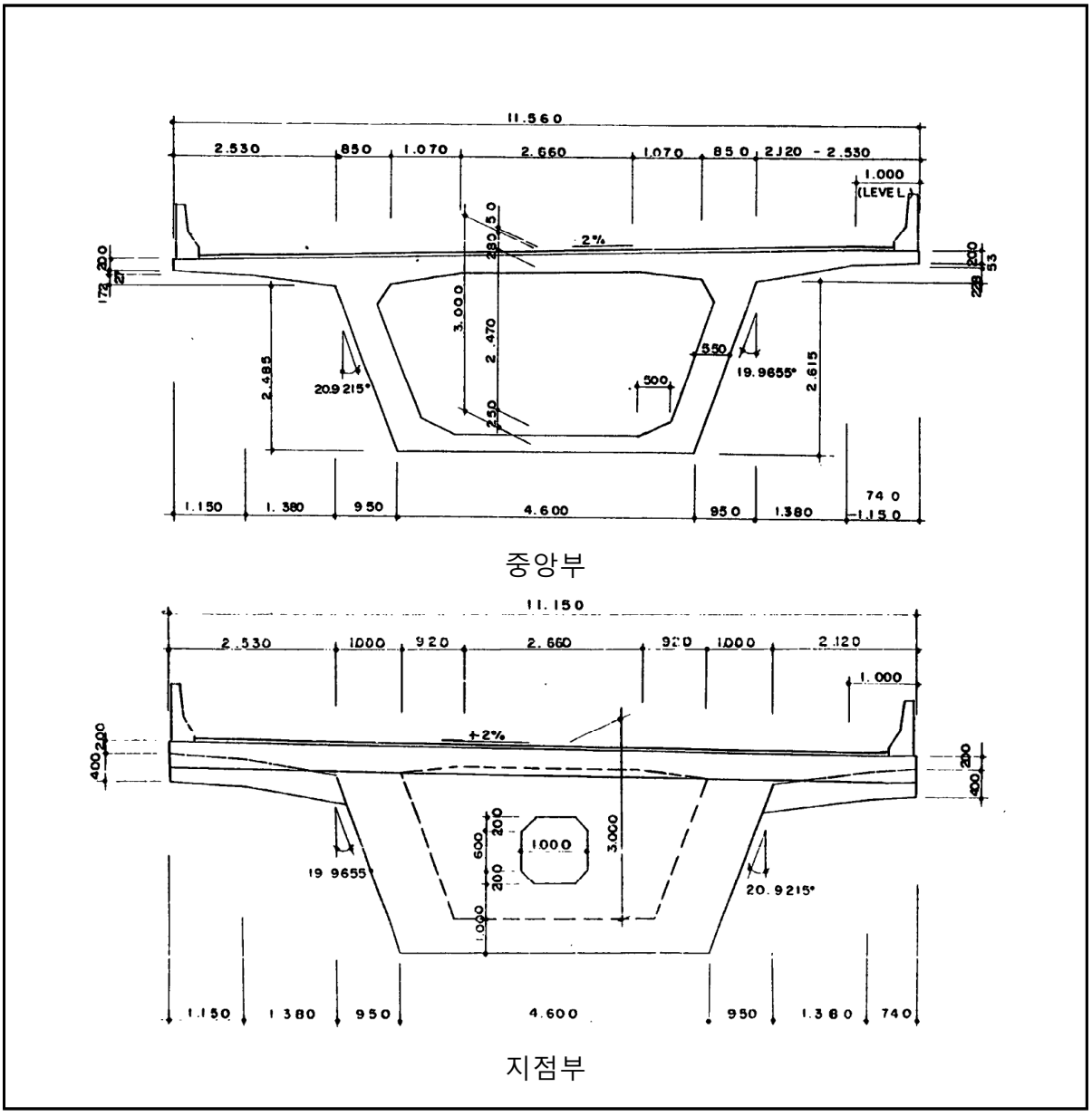
<표 7.4> 바닥판안전율 검토

구 분	ϕM_n (kN.m)	M_u (kN.m)	안전율(S.F)	평 가
켄틸레버부	518.426	234.937	2.20	O.K
중앙부	168.728	144.736	1.16	O.K

7.3 거더 검토

7.3.1 검토 단면

본 검토대상 구조물인 반심1교는 PSC BOX GIRDER 형식의 교량으로 설계도면에 근거하여 단면력 및 응력을 검토하였다.



<그림 7.2> 거더 단면도

7.3.2 구조해석 방법

1) 시공단계 해석

본 교량의 시공 단계별 응력검토는 자중, 프리스트레싱에 의한 영향에 대하여 설계도면 및 구조계산서를 참고 하였으며 시공완료후는 2차사하중, 설계활하중, 온도변화에 의한 영향, 풍하중 및 지점침하 등의 영향을 고려하여 해석을 수행하였다. 그 결과를 토대로 내하력 평가를 수행하였다. P.S.C 구조의 특성상 해석시 프리스트레스의 긴장력이 매우 중요한 부분을 차지하는데 설계상의 긴장력이 시공시에 그대로 도입되었다고 가정하였으며 긴장재의 릴락세이션(5%), 부재의 탄성 수축, 웻지 슬립(6.00mm), 곡률마찰, 파상마찰 및 크리프 & 건조수축에 의한 손실 등 장기 및 단기 손실을 고려하여 구조해석을 수행하였다.

2) 해석 방법

가. 설계하중에 대한 단면력 및 응력검토

실시설계 시 작성한 구조계산서와 준공도면을 근거로 하여 작성하였으며, 내하율 산정을 위해 기초자료로 활용하였다.

나. 해석단면

검토단면은 각 경간 및 처짐별 최대 단면력이 작용하여 안전율이 작은 곳을 선정하여 구조해석을 실시하여, 안전성을 평가하고자 한다.

다. 해석 프로그램

구조안전성 검토는 범용 유한요소해석 프로그램인 MIDAS-CIVIL 2009를 사용하였으며, Frame 요소를 이용하여 모델링 하였다. 또한, 현장에서 계측시 사용한 차량의 제원과 하중 그리고 하중재하 위치를 동일하게 입력하였다.

7.3.3 하중 산정

1) 고정하중

재료별로 단위 중량을 적용하여 고정하중을 계산한다.

① 자 중 - Selfweight 기능 적용

- 철근콘크리트 : Wc = 25.0 kN/㎥

• 강 재(케이블) : Ws = 78.5 kN/㎥

② 격벽 및 정착블럭 자중

• 해당 위치에 집중하중으로 적용

2) 2차 고정하중

<표 7.5> 추가 사하중 산정

위치	산정식	작용하중	단위	비고
포장	10.86 × 0.05 × 23.0	12.49	kN/m	거더 단위 길이당 작용
방호벽	0.511 × 20.0	10.22	kN/m	
합계		22.71	kN/m	

3) 활하중

DB―24 및 DL-24하중을 전산 해석프로그램인 midas/Civil에서 지원하는 Moving Load Analysis Bridges모듈을 이용하여 검토단면별로 최대 부재력이 발생하도록 하중재하

① 적용 활하중

• DB : DB-24, Pr=96.0 kN, Pf =24.0kN

• DL : DL-24, WL=12.7kN/m, Pm=108 kN, Ps=156 kN

② 설계 차로수

• 연석간의 교폭 : 10.25m

• 설계 차로수 = 3차로(9.1<Wc<12.8) : 양방향 3차로

• 설계 차로폭 = 10.25 / 3 = 3.42m < 3.6m : W=3.42m

• 활하중 재하시 3차선 90 % , 4차로 이상 75 % 로 감소시켜 재하함

③ 충격계수

• 지간중앙(L=50.0m)

충격계수 $i = \frac{15}{40+L} = \frac{15}{40+50} = 0.167 < 0.3$

- 지점부(L=(50.0+50.0)/2=50.0m)

충격계수 $i = \frac{15}{40+L} = \frac{15}{40+50} = 0.167 < 0.3$

4) 케이블 장력(Cable Tensioning)

① 사용 기준 : KSD 7002, SWPC 7B

② ϕ 0.5 inch(12.7mm) : $A = 98.71\ mm^2$(strand 1EA 공칭 단면적)

③ 탄성 계수 : $E_{pa} = 2.00E+05\ MPa$

④ 케이블 사용 단위

- 19 strands/cable
- $A = 98.71\ mm^2/strand = 1875.3\ mm^2/cable$
- $P_u = 9751\ kN/cable$

⑤ 사용하중 상태에서의 허용 응력

- $f_s = 0.60 f_{pu} = 1140\ MPa$
- $P_a = 5850\ kN/cable$

⑥ 도입 긴장력

- $P_j = 4600\ kN \sim 4800\ kN$

5) 온도변화

① 콘크리트 선팽장 계수 : $\alpha = 0.00001$

② 온도변화(주형, 주탑, 케이블) : $\Delta T = \pm 15.0$ ℃

③ 온도변화(주형 상하연 온도차) : $\Delta T = \pm 5.0$ ℃

④ 온도변화(케이블-밝은색 계열) : $\Delta T = \pm 8.0$ ℃

6) 지점 침하

① 교대 및 교각의 침하량 : $S = 10.0\ mm$

② 모든 교대, 교각에서 부등침하가 발생하는 경우 중 최대값을 산정하도록 한다.

7) Creep 및 건조 수축

크리프 및 선조수축은 redistribution에 의한 2차 부정정력까지 고려해서 허용응력 및 계수하중 검토를 수행함.

① 콘크리트의 크리프 계수(양생온도가 20℃인 경우)

- $\phi(t,t') = \phi_o \times \beta_c(t-t')$

여기서, $\phi_o = \phi_{RH} \times \beta(f_{cu}) \times \beta(t')$

$\beta(f_{cu}) = 16.8/\sqrt{f_{cu}}$

$\beta(t') = 1/[0.1+(t')^{0.2}]$

$\beta_c(t-t') = [(t-t')/(\beta_H+(t-t')]^{0.3}$

f_{cu} : 28일 평균 압축강도(kgf/cm^2)

② 콘크리트의 건조수축 변형률

- $\epsilon_{sh}(t,t_s) = \epsilon_{sho} \times \beta_s(t,t_s)$

여기서, $\epsilon_{sho} = \epsilon_s(f_{cu}) \times \beta_{RH}$

$\beta_s(t-t_s) = \sqrt{(t-t_s)/(0.035 \times h^2+(t-t_s))}$

$\epsilon_s(f_{cu}) = [160+10 \times \beta_{sc} \times (9-f_{cu}/10)] \times 10^{-6}$

t_s : 수축이 시작될때의 콘크리트 재령(일)

계수 산정시 습도는 기상 관측 자료를 이용하여 과거 10년치의 평균값을 적용한다.

본 지역의 10년치 평균값은 73.5%이다.

7.3.4 하중조합

<표 7.6> 적용 설계하중의 종류

주 하 중	고정하중(D), 활하중(L+I), 프리스트레스(PS1, PS2), 크리프 및 건조수축(CRSH2)
부 하 중	온도변화의영향(T)
주하중 상당 특수하중	지점침하(SD)

PS1은 Primary Prestress에 의한 것, PS2는 Secondary 효과에 의한 것이며 CRSH1, CRSH2 역시 동일함. 케이블의 Pretensioning은 고정하중 D에 포함됨.

1) 허용 응력 설계법

<표 7.7> 허용응력 하중 조합

하 중 조 합		할증계수
COMBO_01	주하중 + 주하중에 해당하는 특수하중	1.00
	D + LI + PS1 + PS2 + CRSH2 + SD	
COMBO_02	주하중 + 주하중에 해당하는 특수하중 + 온도변화	1.15
	D + LI + PS1 + PS2 + CRSH2 + SD + T	
COMBO_03	주하중 + 주하중에 해당하는 특수하중 + 풍하중	1.25
	D + LI + PS1 + PS2 + CRSH2 + SD + W	
COMBO_04	주하중 + 주하중에 해당하는 특수하중 + 온도변화 + 풍하중	1.35
	D + LI + PS1 + PS2 + CRSH2 + SD + T + W	
COMBO_05	활하중 및 충격 이외의 주하중	1.33
	D + PS1 + PS2 + CRSH2	

- 허용 휨 압축응력 : $0.40 f_{ck} = 16.00\ \mathrm{MPa}$
- 허용 휨 인장응력 : $0.50\sqrt{f_{ck}} = 3.20\ \mathrm{MPa}$ (부착된 철근을 갖는 부재)
- 허용 휨 인장응력 : $0.25\sqrt{f_{ck}} = 1.60\ \mathrm{MPa}$ (부식환경에 노출된 구역)
- 완공 후 하중 조합경우에 따라 허용응력을 할증한다.(사용하중의 하중조합 참조)

2) 계수 하중 설계법

<표 7.8> 계수 하중 조합

구 분	D	LI	PS2	CRSH2	W	T	SD	E
COMBO_01	1.30	2.15	1.00	1.30				
COMBO_02	1.30		1.00	1.30	1.30			
COMBO_03	1.30	1.30	1.00	1.30	0.65			
COMBO_04	1.30	1.30	1.00	1.30	0.65	1.30	1.30	
COMBO_05	1.25		1.00	1.25	1.25	1.25	1.25	
COMBO_06	1.25	1.25	1.00	1.25	0.625	1.25	1.25	
COMBO_07	1.00		1.00	1.00				1.00

· PS1은 고려하지 않으며 CRSH2는 부정정력에 의한 값으로 항상 고정하중 factor와 동일한 값으로 조합한다. W는 활하중 비재하시의 풍하중이다.

<표 7.9> 강도 감소 계수

구 분	휨	전 단	비틀림	지 압
강도감소계수	0.85	0.80	0.80	0.70

· 계수하중 설계법은 거더의 완공 후 강도 검토에 적용한다.

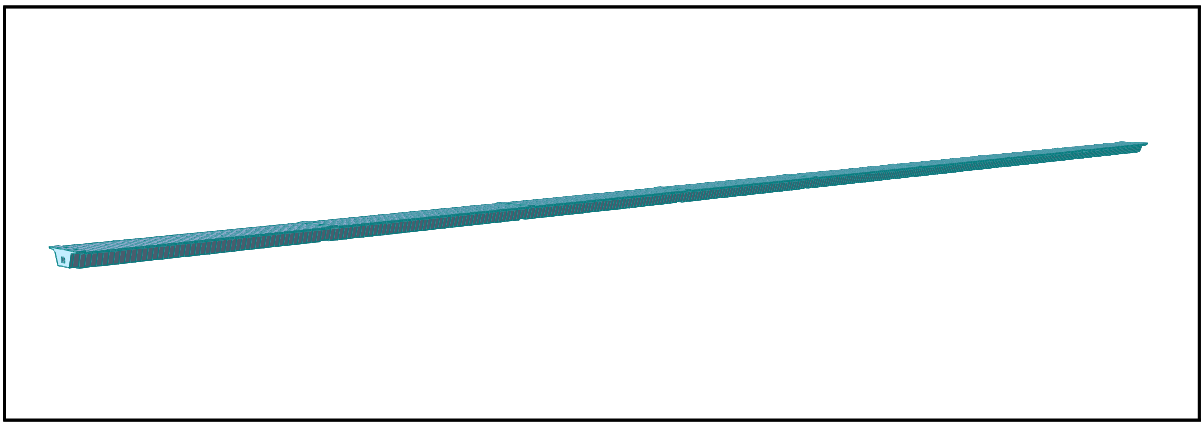
7.3.5 구조해석 모델링

1) 모델링 개요

본 교량과 같이 내부텐던을 가지는 PSC교의 단면력은 시공방법 및 순서에 따라 변화한다. 즉, 시공방법에 따라 단면력 크기 및 분배 양상이 달라지며 그에 따른 크리프의 진행양상이 변하기 때문에 시공단계를 엄밀히 구현하여 해석하는 것이 중요하다.

크리프의 크기는 지속하중에 종속하게 되며 지속하중으로는 부재 자중뿐만 아니라 PS강재 의 긴장력, 포장과 방호벽 등을 포함한 부가고정하중이 있다. 일반 교량의 경우 부가 고정하중에 의한 크리프 효과가 크지 않으므로 무시하나 PSC 교량의 경우, 크리프 영향이 크며 부가 고정하중이 지속하중으로 작용하여 크리프 진행에 영향을 주므로 반드시 지속하중이 재하된 상태에서의 크리프 효과를 산정하여야 한다.

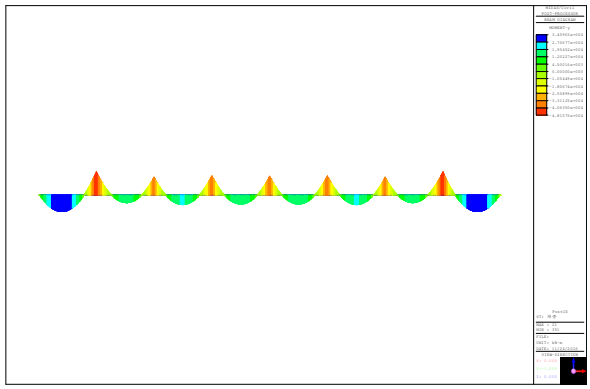
본 검토에서는 최초 시공 시부터 크리프 및 건조수축 완료 후까지 모든 구조계에 대하여 주형의 응력을 검토하여 전 단계에 대한 안전성을 검토하였다. 본 검토시 사용한 "고정하중"은 부가 고정하중을 포함한다.



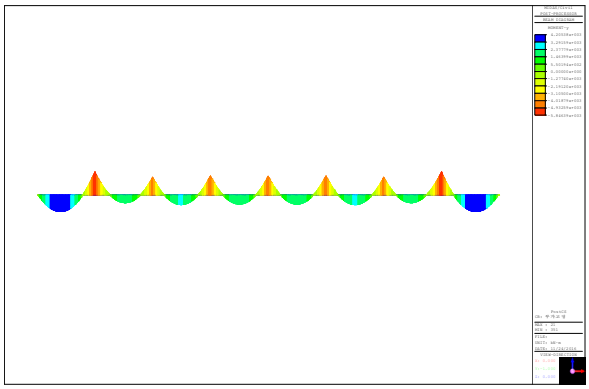
<그림 7.3> 모델링

7.3.6 안전성 검토

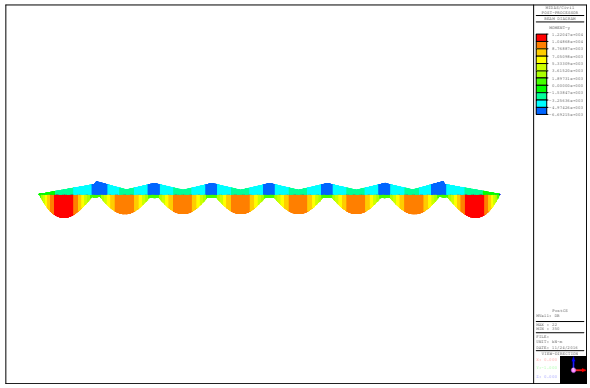
1) 해석 결과



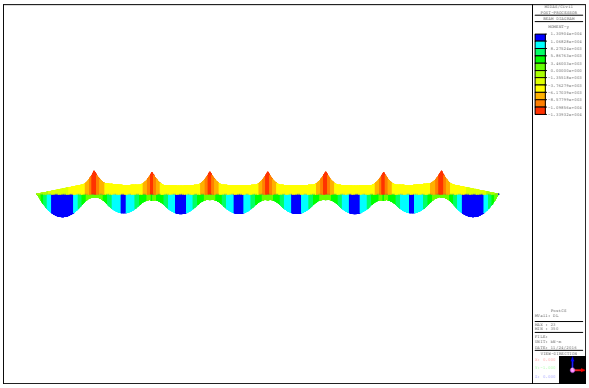
자중에 의한 모멘트



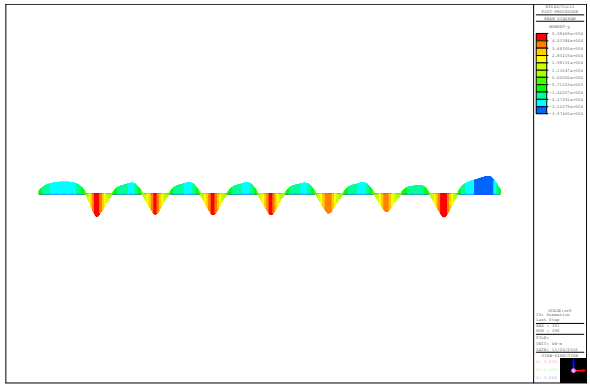
부가고정하중에 의한 모멘트



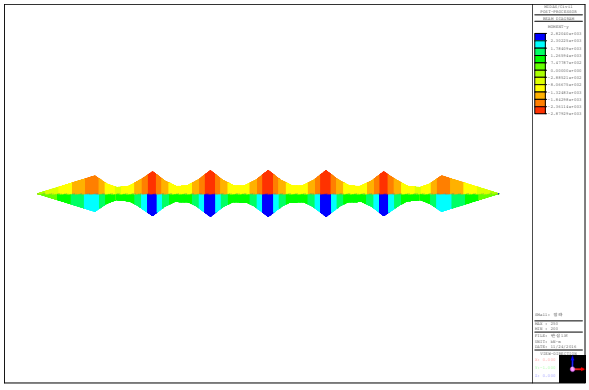
DB 활하중에 의한 모멘트



DL 활하중에 의한 모멘트



프리스트레스에 의한 모멘트



지점침하에 의한 모멘트

<그림 7.4> 단면력도(kN.m)

<표 7.10> 계수 하중 조합(단위:kN.m)

구분	프리스트레스	자중	부가고정하중	활하중	부등침하	합계
S8	-39746.0	34590.3	4205.4	13090.4	1053.0	
P7	53846.9	-48157.5	-5846.4	-13393.2	-2397.8	
S7	-20134.2	15734.2	1940.1	10652.4	941.3	

※ (+) 정모멘트, (-)부모멘트

<표 7.11> 단면상수

구분	단면적 (m^2)	단면2차모멘트 (m^4)	중립축(m)	
			상연	하연
PSC BOX 중앙부	7.607	8.975	1.101	1.899
PSC BOX 지점부	17.369	14.133	1.293	1.707

<표 7.12> 허용응력 검토(단위:MPa)

구분		설계하중 작용시						
		프리스트레스에 의한 단면력 및 부정정력	자중	고정하중	활하중	부등침하	계	안전율
S8	상연	-4.876	4.243	0.516	1.606	0.129	1.618	9.89
	하연	8.410	-7.319	-0.890	-2.770	-0.223	-2.791	1.13
P7	상연	4.926	-4.406	-0.535	-1.225	-0.219	-1.459	2.17
	하연	-6.504	5.817	0.706	1.618	0.290	1.926	8.31
S7	상연	-2.470	1.930	0.238	1.307	0.115	1.120	14.28
	하연	4.260	-3.329	-0.411	-2.254	-0.199	-1.933	1.64
허용응력		$-3.16 < \sigma < 16.00$						

※ (+) 압축응력, (-)인장응력

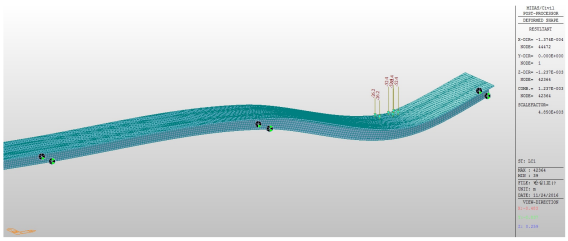
2) 결과분석

본 교량의 상부구조에 대하여 구조검토를 수행한 결과, 작용 고정하중 및 설계활하중에 의한 거더의 상.하연 응력은 허용응력 이내이며, 최소안전율 1.13(S8 중앙부-하연 응력)이상으로 구조적 안전성을 확보하고 있는 것으로 나타났다.

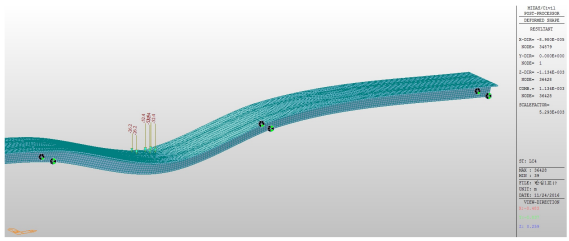
7.4 재하시험 차량에 대한 응답비 산정

(1) 재하시험 모델링

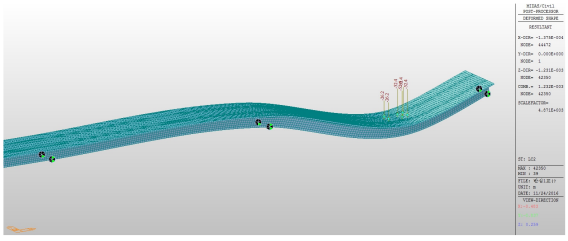
현장에서 수행한 재하차량의 하중 크기와 재하위치가 일치하도록 계근표에 따른 차량하중을 각 LOAD CASE별 재하위치에 재하한 후 전산해석을 수행하였다. 그에 따른 이론적인 처짐 결과는 다음과 같다.



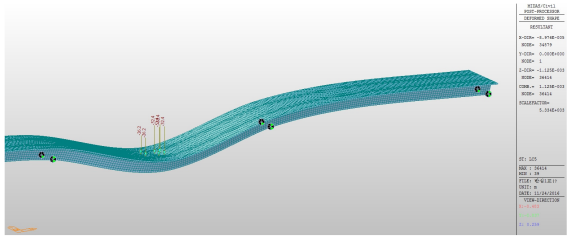
LC1



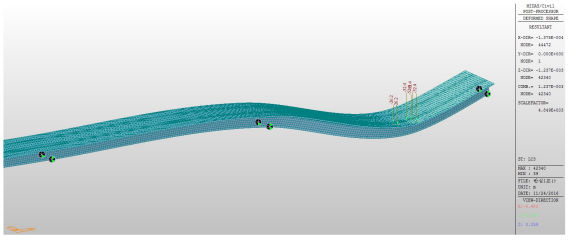
LC4



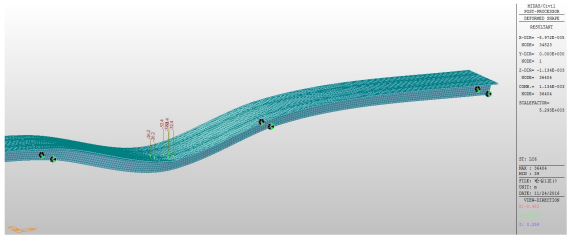
LC2



LC5



LC3



LC6

<그림 7.5> 이론 처짐 결과

<표 7.13> 전산해석에 의한 이론 처짐

구 분		DT 1	DT 2	DT 3	DT 4	비 고
처짐량 (mm)	LC 1	1.207	1.187	-	-	
	LC 2	1.197	1.197	-	-	
	LC 3	1.187	1.208	-	-	
	LC 4	-	-	1.093	1.072	
	LC 5	-	-	1.082	1.082	
	LC 6	-	-	1.093	1.072	

<표 7.14> 재하시험에 의한 실측 처짐

구 분		DT 1	DT 2	DT 3	DT 4	비 고
처짐량 (mm)	LC 1	0.944	0.704	-	-	
	LC 2	0.831	0.847	-	-	
	LC 3	0.782	1.008	-	-	
	LC 4	-	-	0.770	0.568	
	LC 5	-	-	0.625	0.663	
	LC 6	-	-	0.602	0.807	

<표 7.15> 처짐에 의한 응답비 산정

구 분			DT 1	DT 2	DT 3	DT 4	비 고
S8	LC 1	실측치	0.944	0.704			
		이론치	1.207	1.187			
		응답비	1.279	1.686			
	LC 2	실측치	0.831	0.847			
		이론치	1.197	1.197			
		응답비	1.440	1.413			
	LC 3	실측치	0.782	1.008			
		이론치	1.187	1.208			
		응답비	1.518	1.198			
S7	LC 4	실측치			0.770	0.568	
		이론치			1.093	1.072	
		응답비			1.419	1.887	
	LC 5	실측치			0.625	0.663	
		이론치			1.082	1.082	
		응답비			1.731	1.632	
	LC 6	실측치			0.602	0.807	
		이론치			1.093	1.072	
		응답비			1.816	1.328	

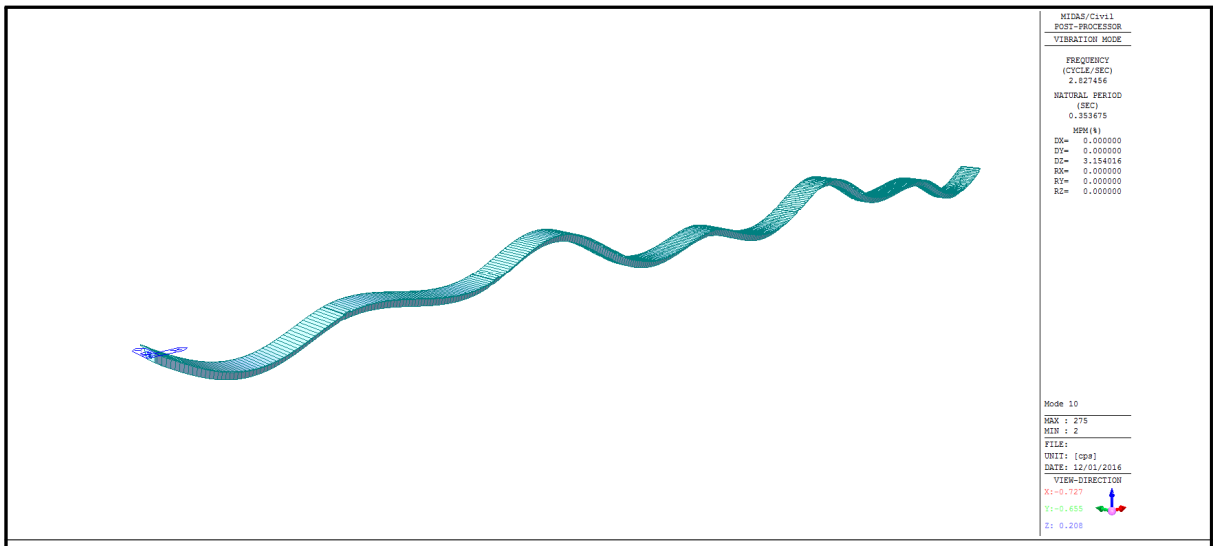
7.5 고유진동수 검토

7.5.1 고유진동수 검토

교량의 이론적인 고유진동수는 구조물의 고유 질량에 대한 진동주기로서 재하 시험에 의한 실측 고유진동수와의 비교를 통하여 교량의 건전성을 평가할 수 있으며 다음은 이론해석결과 진동주기 및 고유진동수를 나타낸 것이다.

<표 7.16> 고유치 해석결과

MODE	Frequency	INDIVIDUAL MODE(%)			CUMULATIVE SUM(%)			비고
	(Cycle/s)	UX	UY	UZ	UX	UY	UZ	
1	0.390882	0	0	71.15	71.15	0	0	
2	1.177833	0	0	7.77	78.91	0	0	
3	1.97837	0	0	2.68	81.59	0	0	
4	2.111689	0	0	0	81.59	0	0	
5	2.203056	71.25	71.25	0	81.59	0	0	
6	2.221038	0	71.25	0	81.59	1.9	1.9	
7	2.469187	0	71.25	0	81.59	0	1.9	
8	2.793442	0	71.25	1.24	82.83	0	1.9	
9	2.826493	0	71.25	8.73	91.57	0	1.9	
10	2.827456	0	71.25	0	91.57	3.15	5.05	



주 지배모드 (제10모드, 2.827Hz)

<그림 7.6> 주요모드 형상

7.6 내하력 평가

교량의 내하력평가는 대상교량 및 부재가 안전하게 지지할 수 있는 활하중 저항능력을 정량적으로 평가하여, 그 결과를 바탕으로 교량의 효율적 유지관리를 위해 사용하는데 그 목적이 있다

7.6.1 내하력 평가방법

1) 허용응력 설계법에 의한 내하율 산정

내하율 $R.F = \dfrac{f_a - f_d}{f_{L+i}}$

여기서, f_a : 허용 휨응력 (MPa)

f_d : 고정하중과 PS강선, Creep, 건조수축 온도 하중에 의한 응력 (MPa)

f_{L+i} : 활하중에 의한 응력(충격포함) (MPa)

2) 강도 설계법에 의한 내하율 산정

내하율 $\dfrac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_L M_{L+i}}$

여기서, ϕM_n : 설계모멘트 (RC.PC구조물의 휨부재 ϕ=0.85)

$\gamma_d M_d$: 고정하중과 PS강선, Creep, 건조수축 온도 하중에 의한 계수 모멘트

$\gamma_L M_{L+i}$: 활하중에 의한 계수 모멘트

3) 공용내하력

공용내하력 $P = K_s \times RF \times P_r$

P_r = 설계 활하중

K_s = 응력보정계수 $(= \dfrac{\epsilon_{계산}}{\epsilon_{실측}} \cdot \dfrac{1+i_{계산}}{1+i_{실측}})$

or 처짐보정계수 $(= \dfrac{\delta_{계산}}{\delta_{실측}} \cdot \dfrac{1+i_{계산}}{1+i_{실측}})$

7.6.2 내하력 평가결과

1) 거더 내하율 산정

<표 7.17> 허용응력법에 의한 내하율 산정 결과(단위 : MPa)

구 분			f_a	f_d	f_p	f_l (1+ i)	내하율(RF)
DB-24 검토시	S8	하연	-3.160	-8.431	8.410	-2.770	1.133
	P7	하연	-3.160	-5.1601	4.926	-1.225	2.388
	S7	하연	-3.160	-3.939	4.260	-2.254	1.545

2) 바닥판 내하율 산정

<표 7.18> 강도설계법에 의한 내하율 산정 결과(단위 : MPa)

구 분	극한저항모멘트 (ϕM_n)	고정하중 (M_d)	활하중 ($M_l(1+i)$)	내하율(RF)
켄틸레버부	518.426	37.147	86.812	2.519
중앙부	168.728	18.455	56.16	1.199

3) 응력보정계수(Ks)

응력보정계수 : Ks = $\frac{\delta_{계산}}{\delta_{실측}} \cdot \frac{1+i_{계산}}{1+i_{실측}} = 1.009 \times \frac{1+0.167}{1+0.294} = 0.902$

4) 거더 공용내하력 검토결과

<표 7.19> 거더 공용내하력 산정 결과

구 분			설계하중(Pr)	내하율(RF)	응답보정계수	공용내하력	비 고
DB-24 검토시	S8	하연	DB-24	1.133	0.910	DB-24.8	
	P7	하연	DB-24	2.388	0.910	DB-52.2	
	S7	하연	DB-24	1.545	0.910	DB-33.7	

5) 바닥판 공용내하력 검토결과

<표 7.20> 바닥판 공용내하력 산정 결과

구 분		설계하중(Pr)	내하율(RF)	응답보정계수	공용내하력	비 고
DB-24 검토시	켄틸레버부	DB-24	2.519	0.910	DB-55.0	
	중앙부	DB-24	1.199	0.910	DB-26.2	

6) 내하력평가 결과

<표 7.21> 공용내하력평가 결과

구 분			평가방법	내하율 (①)	설계활하중 (②)	응답보정계수 (③)	내하력 (①×②×③)	비 고
거더	S8	하연	허용응력설계법	1.133	DB-24	1.205	DB-24 이상	
	P7	하연	허용응력설계법	2.388	DB-24		DB-24 이상	
	S7	하연	허용응력설계법	1.545	DB-24		DB-24 이상	
바닥판	켄틸레버부		강도설계법	2.519	DB-24		DB-24 이상	
	중앙부		강도설계법	1.199	DB-24		DB-24 이상	

반심1교에 대한 허용응력설계법 및 강도설계법으로 공용내하력을 평가한 결과, 거더 및 바닥판 모두 공용내하력은 설계하중인 DB-24이상으로 나타났다.

제 8 장 내진성능 상세평가

8.1 탄성지진력 산정

8.2 교각의 내진성능 평가

8.3 교량 받침의 내진성능 평가

8.4 내진성능 평가 결과

8.5 결론

8.1 탄성지진력 산정

8.1.1 내진해석 상세제원 및 평가항목

1) 내진설계 상수

① 내진등급 : 내진 1등급교

② 지진구역계수 : 0.11

③ 위험도계수 : I = 1.4

④ 가속도계수 : A = 0.154g

⑤ 지반계수 : S = 1.2 (지반종류 Ⅱ)

⑥ 고유치 해석방법 : EigenValue analysis

⑦ MODE 조합방법 : C.Q.C 방법

2) 사용재료 설계 상수

① 콘크리트

· 상부구조 : $f_{ck} = 40\,\mathrm{MPa}$

· 하부구조 : $f_{ck} = 24\,\mathrm{MPa}$

② 탄성계수

· 바닥판 콘크리트 : $E_{cs} = 8500\sqrt[3]{f_{cu}} = 8{,}500 \times \sqrt[3]{40+4} = 30{,}008\,\mathrm{MPa}$

· 하 부 콘크리트 : $E_{cs} = 8500\sqrt[3]{f_{cu}} = 8{,}500 \times \sqrt[3]{24+4} = 26{,}986\,\mathrm{MPa}$

· 철 근 : $E_{sr} = 200{,}000\,\mathrm{MPa}$

④ 단위 중량

· 철근콘크리트 : $\gamma_c = 24.5\,\mathrm{kN/m^3}$

· 아스팔트 : $\gamma_{as} = 23.0\,\mathrm{kN/m^3}$

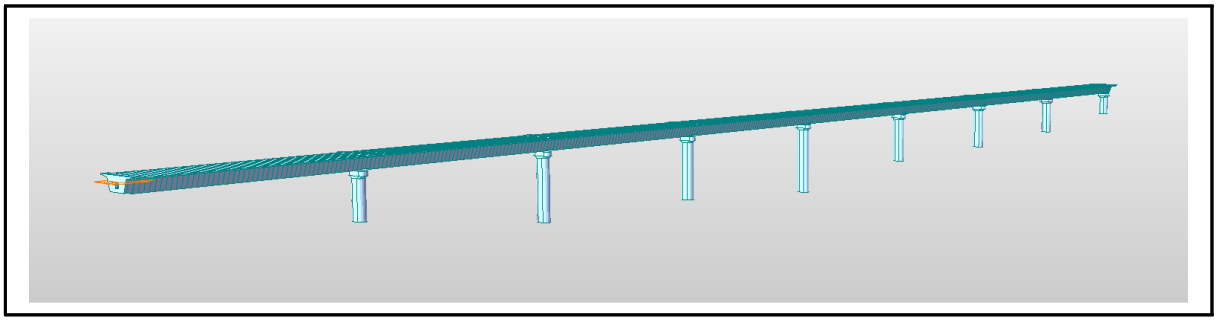
다. 사용프로그램 및 해석모델

<표 8.1> 사용 프로그램 및 해석모델

구 분		적 용 내 용	비 고
교각 단면 강도 산정	해석방법	모멘트-곡률 해석법	
	콘크리트 모델	Mander Unconfined Concrete 모델	
	철근 모델	Menegotto-Pinto 모델	
	모멘트-곡률산정 프로그램	Midas Civil	
탄성 지진력 산정	해석 모델	격자 해석 모델	
	상부와 하부의 연결부 상세	탄성스프링	Elastic Link
	기초와 지반의 연결부 상세	고정점 처리	
	질량산정	상부 고정하중은 분포질량 입력, 하부 고정하중은 단위질량 입력	
	탄성지지력 산정 프로그램	Midas Civil	

8.1.2 모델링

해석대상교량은 Steel Box Girder교로써 범용 유한요소해석 프로그램 Midas Civil을 이용하여 3차원 격자요소로 모델링한 후 모멘트-곡률 해석 및 응답스펙트럼 해석을 수행하였다. 실제 단면의 중심축선과 강역등을 최대한 사실과 가깝게 적용하여 모델링을 수행하였다. 지반의 영향은 입력지진하중에 반영하고, 교각하부는 고정단으로 모델링하였으며 받침은 실제 거동특성과 일치되도록 EL Link를 사용하여 모델링하였다.



<그림 8.1> 모델링

8.1.3 자중 해석에 의한 축력 산정

<표 8.2> 교량 받침부 반력

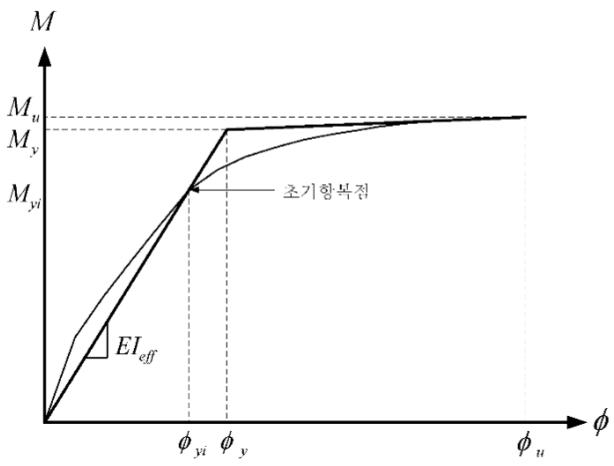
받침번호	받침번호								
	교대1 (자유단)	교각1 (자유단)	교각2 (자유단)	교각3 (자유단)	교각4 (자유단)	교각5 (자유단)	교각6 (자유단)	교각7 (고정단)	교각8 (자유단)
1	2233.97	6101.94	5303.89	5519.76	5441.81	5518.78	5306.38	6099.69	2234.66
2	2233.97	6101.94	5303.89	5519.76	5441.81	5518.78	5306.38	6099.69	2234.66
계	4467.94	12203.88	10607.78	11039.52	10883.62	11037.56	10612.76	12199.38	4469.32

<표 8.3> 교각하부 축력

교각번호	구속조건	기둥번호	축력(kN)	
			교각하부	교각상부
교각-1	자유단	1(역T형)	13846.69	12203.87
교각-2	자유단	1(역T형)	13154.02	10607.77
교각-3	자유단	1(역T형)	13585.76	11039.51
교각-4	자유단	1(역T형)	13881.58	10883.62
교각-5	자유단	1(역T형)	13312.79	11037.57
교각-6	자유단	1(역T형)	12782.58	10612.76
교각-7	고정단	1(역T형)	14098.16	12199.37
교각-8	자유단	1(역T형)	5765.823	4469.32

8.1.4. 모멘트 곡률해석

교각의 단면강도, 수평변위 및 유효강성을 산정하기 위하여 단면해석프로그램을 통해 이전 항에서 산정된 축력의 효과를 고려하여 다음과 같은 모멘트-곡률 관계곡선을 산정한다.



여기서,

M_y : 항복시의 휨강도

M_{yi} : 초기항복시의 휨강도

M_u : 극한시의 휨강도

ϕ_{yi} : 초기항복시 곡률

ϕ_y : 항복시 곡률

ϕ_u : 극한시 곡률

ε_{cu} : 콘크리트 극한 변형률

교각의 모멘트-곡률 관계곡선을 바탕으로 Bilinear의 이상화된 모멘트-곡률 관계곡선을 산정하고 초기 항복시 곡률은 인장철근이 항복하는 점에서, 항복시 곡률은 이상화된 모멘트-곡률 관계곡선의 변곡점에서, 극한시 곡률은 콘크리트 압축연단의 변형율이 $\varepsilon_{cu} = 0.002$(소성힌지부의 주철근 겹이음이 100%인 경우)에 도달할 때의 곡률로 산정하였다. 단면강도를 평가하기 위한 공칭 모멘트는 이상화된 모멘트-곡률 관계곡선의 항복시 및 극한시 곡률에 해당하는 모멘트로 산정하였다.

(1) 콘크리트 및 철근 모델

<표 8.4> Mander Concrete Model

설계기준강도	항목	적용	단위	비고
$f_{ck} = 24\,MPa$	ϵ_{co} : 콘크리트의 최대변형률	0.0020	-	
	ϵ_{cu} : 콘크리트의 극한변형률	0.0020	-	교각하단
	$f'_c = f'_{cc}$: 콘크리트 압축강도	24.0	MPa	f_{ck}

<표 8.5> Parabolic Strain Hardening Model

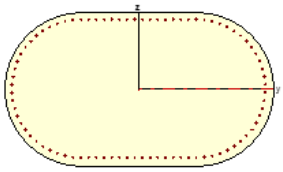
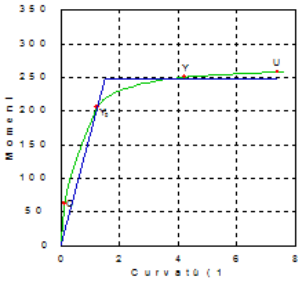
설계기준강도	항목	적용	단위	비고
$f_y = 300\,MPa$	ϵ_y : 철근의 항복 변형률	0.0015	$f_y/E_s = 240/20000$	도로교설계기준
	ϵ_h : 철근의 경화기 변형률	0.00176	D22	Shima
	ϵ_{su} : 철근의 극한시 변형률	0.09	D35이하	CALTRANS
	f_{sy} : 철근의 항복강도	300	f_y (MPa)	도로교설계기준
	f_{su} : 철근의 극한강도	450	SD30 (MPa)	Priestley

8.1.5 모멘트 곡률해석 결과

▸ $M-\phi$ 해석에 의해 구한 항복모멘트(M_y)와 항복곡률(ϕ_y)을 이용하여 유효강성(E_cI_{eff})을 산정하고, 이를 통해 유효단면 2차모멘트(I_{eff})를 산정

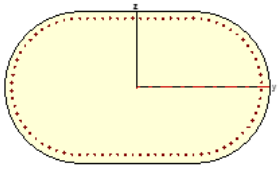
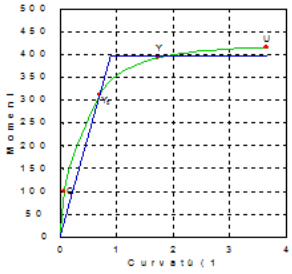
(1) 교축방향 해석

<표 8.6> 교축방향 $M-\phi$ 해석결과

구 분	모멘트(kN.m)	곡률(m-1)	비 고
초기항복시	20507.63	0.001246	M_{yi}^L, ϕ_{yi}^L
항 복 시	24,709.750	0.001501	M_y^L, ϕ_y^L
극 한 시	25,800.930	0.007392	M_u^L, ϕ_u^L
해석 결과	 		
$k^L = E_cI_{eff}/E_cI_g = 0.34167$, $I_{eff}{}^L = k^L \times I_g{}^L = 0.61\ m^4$			

(2) 교축직각방향 해석

<표 8.7> 교축직각 방향 $M-\phi$ 해석결과

구 분	모멘트(kN.m)	곡률(m-1)	비 고
초기항복시	31,127.270	0.000698	M_{yi}^L, ϕ_{yi}^L
항 복 시	39,684.160	0.000891	M_y^L, ϕ_y^L
극 한 시	41,690.060	0.003651	M_u^L, ϕ_u^L
해석 결과	 		
$k^L = E_cI_{eff}/E_cI_g = 0.32667$, $I_{eff}{}^L = k^L \times I_g{}^L = 1.650\ m^4$			

8.1.6 지진해석에 의한 탄성 지진력 산정

이전 절에서 구한 기둥의 유효단면 2차모멘트는 '붕괴방지수준'에 대한 탄성지진력 산정시 적용한다. 교각의 단면해석에서 산정된 유효강성을 구조해석 모델에 다시 적용하여 지진해석을 수행함으로서 탄성지진력을 산정한다.

(1) 입력지진하중(평가응답스펙트럼)

·교량내진등급 : 내진 1등급교(지진격리교량)

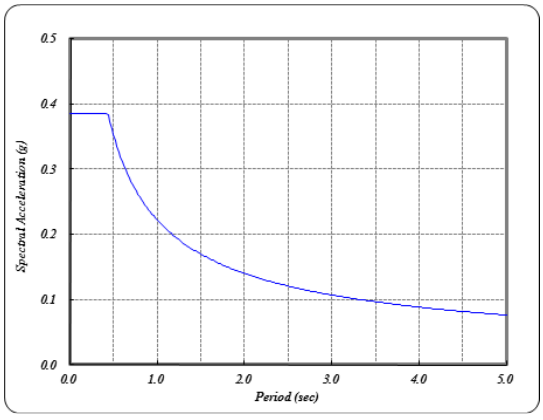
·지진재현주기 : 1000년

·지진구역계수 : 0.11 (지진구역 Ⅰ)

·위험도 계수 I = 1.4

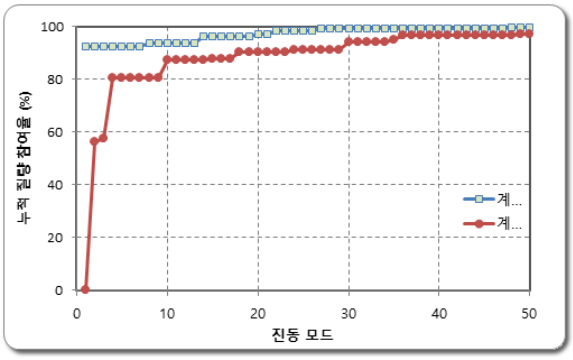
·가속도 계수 A = 0.11 × 1.4 = 0.154g

·지반 계수 S = 1.2 (지반종류 Ⅱ)



<그림 8.2> 평가응답스펙트럼

(2) 고유치 해석 결과

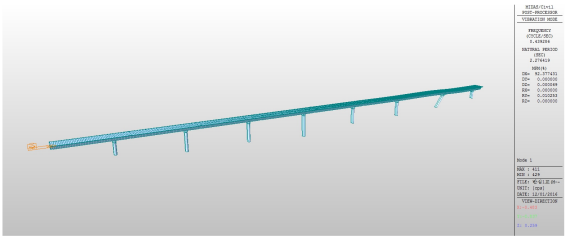
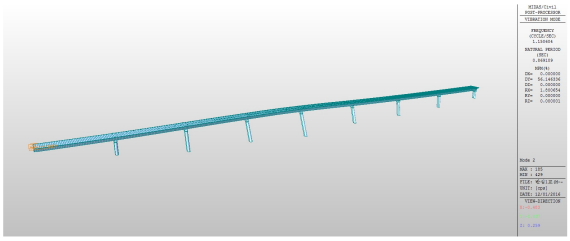


<그림 8.3> 진동모드의 누적 질량 참여율(%)

<표 8.8> 고유치 해석결과

MODE	PERIOD	INDIVIDUAL MODE(%)			CUMULATIVE SUM(%)			비고
	(time)	UX	UY	UZ	UX	UY	UZ	
1	2.276419	92.38	0.00	0.00	92.38	0.00	0.00	
2	0.869109	0.00	56.15	0.00	92.38	56.15	0.00	
3	0.66516	0.00	1.34	0.00	92.38	57.49	0.00	
4	0.561812	0.00	23.17	0.00	92.38	80.67	0.00	
5	0.473394	0.00	0.00	0.00	92.38	80.67	0.00	
6	0.450563	0.01	0.00	1.65	92.39	80.67	1.65	
7	0.441348	0.00	0.00	0.00	92.39	80.67	1.65	
8	0.428921	1.34	0.00	0.00	93.72	80.67	1.65	
9	0.406451	0.00	0.00	0.00	93.73	80.67	1.65	
10	0.363263	0.00	6.59	0.00	93.73	87.26	1.65	
. . .								
46	0.085753	0.00	0.06	0.00	98.98	96.67	66.47	
47	0.083936	0.00	0.09	0.00	98.98	96.76	66.47	
48	0.079627	0.68	0.00	0.00	99.66	96.76	66.47	
49	0.077362	0.00	0.07	0.00	99.66	96.83	66.47	
50	0.07019	0.00	0.17	0.00	99.66	97.00	66.47	

(3) 주요모드 형상(Mode Shape)

교축방향(1모드)	교축직각방향 (2모드)
	

<그림 8.4> 주요모드 형상

(4) 복합모드 해석결과 (D+E)

<표 8.9> 교축방향(X방향) 지진하중 재하시 해석결과

구분	교축방향			교축직각방향		
	교각상단 변위(mm)	교각하단 전단력(kN)	교각하단 모멘트(kN.m)	교각상단 변위(mm)	교각하단 전단력(kN)	교각하단 모멘트(kN-m)
A1	-	-	-	-	-	-
P1	2.03	299.6	2,571.4	-	-	-
P2	11.59	427.5	5,897.5	-	-	-
P3	11.59	427.5	5,897.5	-	-	-
P4	22.18	491.3	8,057.5	-	-	-
P5	7.41	389.2	4,760.5	-	-	-
P6	6.14	374.3	4,350.5	-	-	-
P7	159.25	11,314.0	135,611.1	-	-	-
P8	0.79	250.2	1,648.1	-	-	-

<표 8.10> 교축직각방향(Y방향) 지진하중 재하시 해석결과

구분	교축방향			교축직각방향		
	교각상단 변위(mm)	교각하단 전단력(kN)	교각하단 모멘트(kN.m)	교각상단 변위(mm)	교각하단 전단력(kN)	교각하단 모멘트(kN-m)
A1	-	-	-	0.0	-	-
P1	-	-	-	9.96	2,735.7	30,545.2
P2	-	-	-	29.61	2,231.2	37,880.4
P3	-	-	-	46.59	3,785.3	61,274.1
P4	-	-	-	55.47	2,817.7	52,718.7
P5	-	-	-	30.95	3,199.6	49,552.5
P6	-	-	-	21.10	2,643.4	37,479.7
P7	-	-	-	14.94	2,828.5	34,986.8
P8	-	-	-	3.27	1,072.9	14,415.3

(5) 교각-3(고정단) 복합모드 해석결과

<표 8.11> 복합모드 해석결과

부재력	교축방향 지진하중 재하시		교축직각방향 지진하중 재하시	
	$[F_E^L]_L$	$[F_E^T]_L$	$[F_E^L]_T$	$[F_E^T]_T$
상단축력(kN)	12,199.37		12,199.37	
하단축력(kN)	14,098.16		14,098.16	
상단변위(mm)	159.25	0.00	0.00	14.94
상단전단력(kN)	11,245.33	0.00	0.00	2,715.62
하단전단력(kN)	11,314.02	0.00	0.00	2,828.53
상단모멘트(kN.m)	2.20	0.00	0.00	3,996.29
하단모멘트(kN.m)	135,611.06	0.00	0.00	34,986.80

여기서, $[F_E^L]_L$, $[F_E^T]_L$: 복합모드 해석시 교축방향 지진하중 재하시 교축 및 교축직각방향 응답

$[F_E^L]_T$, $[F_E^T]_T$: 복합모드 해석시 교축직각방향 지진하중 재하시 교축 및 교축직각방향 응답

<표 8.12> 교각3(고정단) 하중경우별 조합지진력(30% 규정 적용)

부재력	하중조합1 (COMB1)		하중조합2 (COMB2)	
	$[F_E^L]_{C1}$	$[F_E^T]_{C1}$	$[F_E^L]_{C2}$	$[F_E^T]_{C2}$
상단축력(kN)	12,199.37		12,199.37	
하단축력(kN)	14,098.16		14,098.16	
상단변위(mm)	159.25	4.48	47.77	14.94
상단전단력(kN)	11,245.33	814.69	3,373.60	2,715.62
하단전단력(kN)	11,314.02	848.56	3,394.21	2,828.53
상단모멘트(kN.m)	2.20	1,198.89	0.66	3,996.29
하단모멘트(kN.m)	135,611.06	10,496.04	40,683.32	34,986.80

여기서, $[F_E^L]_{C1} = 1.0\times[F_E^L]_L + 0.3\times[F_E^L]_T$, $[F_E^L]_{C2} = 0.3\times[F_E^L]_L + 1.0\times[F_E^L]_T$

$[F_E^T]_{C1} = 1.0\times[F_E^T]_L + 0.3\times[F_E^T]_T$, $[F_E^T]_{C2} = 0.3\times[F_E^T]_L + 1.0\times[F_E^T]_T$

단, 상.하단 축력은 조합 지진력을 검토하지 않는다.

<표 8.13> 교각3(고정단) 적용 조합지진력(내진검토시)

구 분	$[F_E^L]_{COMB}$	$[F_E^T]_{COMB}$	비 고
상단축력(kN)	12,199	12,199	P
하단축력(kN)	14,098	14,098	P_{Bot}
상단변위(mm)	159.25	14.94	$[\Delta_E]_{comb,Top}$
상단전단력(kN)	11,245	2,716	$[V_E]_{comb,Top}$
하단전단력(kN)	11,314	2,829	$[V_E]_{comb,Bot}$
상단모멘트(kN.m)	2	3,996	
하단모멘트(kN.m)	135,611	34,987	$[M_E]_{B,comb}$

여기서, 교축방향 조합지진력 $[F_E^L]_{COMB} = MAX\{[F_E^L]_{C1} + 0.3\times[F_E^L]_{C2}\}$

교축직각방향 조합지진력 $[F_E^T]_{COMB} = MAX\{[F_E^T]_{C1} + 0.3\times[F_E^T]_{C2}\}$

8.2 교각의 내진성능 평가

총 8개의 교각 중 7번 교각이 고정단으로서 전체 교량의 수평 관성력이 집중되므로 본 과업에서는 교각7을 내진성능 평가 대상으로 선정하였다.

8.2.1 교각의 형식 특성값

교축직각방향 이중곡률 변형에 따른 모멘트 팔길이(H_e) 산정

<표 8.14> 교각 물성치

구 분	교축방향	교축직각방향	비 고
거동형태	켄틸레버식	켄틸레버식	벽식
교각유효높이(H_e)	12.550m	14.650m	하중작용점 높이
진동주기(T)	0.4393sec	0.869sec	구조해석결과

8.2.2 교각의 휨단면강도 산정

단면강도는 수평하중에 대한 부재의 최대저항능력을 말하며, 이때 하중작용점의 높이는 교축방향에 대해서는 교각의 상단(즉, 교각의 높이)으로, 교축직각방향에 대해서는 상부구조의 질량의 중심 높이로 한다.

(1) 교축방향

$$\cdot F_y^L = \frac{M_y^L}{H_e^L} = \frac{24,710}{12.550} = 1,968.904\ \mathrm{kN}$$

$$\cdot F_i^L = \frac{M_n^L}{H_e^L} = \frac{25,801}{12.550} = 2,055.851\ \mathrm{kN}$$

(2) 교축직각방향

$$\cdot F_y^T = \frac{M_y^T}{H_e^T} = \frac{39,684}{14.650} = 2,708.816\ \mathrm{kN}$$

·$F_i^T = \frac{M_n^T}{H_e^T} = \frac{41,690}{14.650} = 2,845.738\ \mathrm{kN}$

여기서, F_y^L, F_y^T : 교각의 항복시 교축 및 교축직각방향 휨단면강도(kN)

F_f^L, F_f^T : 교각의 극한상태시 교축 및 교축직각방향 휨단면강도(kN)

M_y^L, M_y^T : 교각의 항복시 교축 및 교축직각방향 휨모멘트(kN.m)

M_n^L, M_n^T : 교각의 극한상태시 교축 및 교직방향 공칭휨모멘트(kN.m)

H_e^L, H_e^T : 교각의 교축 및 교축직각방향 유효높이(m)

8.2.3 교각의 공급연성도 산정

교각의 항복 및 극한 시 변위는 비선형해석 또는 단면해석을 통하여 계산하는 것을 원칙으로 한다. 단, Caltrans에서는 하중단계에 따른 곡률분포를 등가소성힌지길이를 중심으로 한 2선형(bi-linear) 직선으로 이상화하여 간략하게 평가할 수 있도록 하였다. 소성변형과 관련 변수들의 기하학적인 특성을 이용하면 다음과 같은 관계를 구할 수 있다.

(1) 교축방향

·항복변위 Δ_y

$$\Delta_y^L = \frac{\phi_y^L \cdot (H_e^L)^2}{3} = \frac{0.00150 \times 12.550^2}{3} = 0.07880\ \mathrm{m}$$

·소성힌지길이 L_p (단, $L_p \geqq 0.044 \cdot f_y d_{bl}$)

$$L_p^L = 0.08 H_e^L + 0.022 f_y d_{bl} = 0.08 \times 12.55 + 0.022 \times 300 \times 0.029 = 1.193\ \mathrm{m}$$

$$\geqq 0.044 \cdot f_y d_{bl} = 0.044 \times 300 \times 0.029 = 0.383$$

여기서, f_y : 축방향철근 항복강도 (MPa)

d_{bl} : 기둥의 축방향철근 직경 (m)

·소성변위 Δ_p

$$\theta_p^L = (\phi_u^L - \phi_y^L) \cdot L_p^L = (0.00739 - 0.00150) \times 1.193 = 0.00703$$

$$\Delta_p^L = \left(\frac{M_u^L}{M_y^L} - 1\right)\Delta_y^L + \theta_p^L\left(H_e^L - \frac{L_p^L}{2}\right) = 0.0875\ \mathrm{m}$$

·극한변위 Δ_u

$$\Delta_u^L = \Delta_y^L + \Delta_p^L = 0.0788 + 0.0875 = 0.1663\ \mathrm{m}$$

·공급변위연성도 μ_{Δ_C} (단, μ_{Δ_C}<1.50)

$$\mu_{\Delta_C}^L = \frac{\Delta_u^L}{\Delta_y^L} = \frac{0.1663}{0.0788} = 2.110 < 1.5 \text{ 제한(축방향철근 겹이음 존재)}$$

$$\therefore\ \mu_{\Delta_C}^L = 1.500$$

(2) 교축직각 방향

·항복변위 Δ_y

$$\Delta_y^T = \frac{\phi_y^T \cdot (H_e^T)^2}{3} = \frac{0.00089 \times 14.650^2}{3} = 0.06374\ \mathrm{m}$$

·소성힌지길이 L_p (단, $L_p \geqq 0.044 \cdot f_y d_{bl}$)

$$L_p^T = 0.08H_e^T + 0.022 f_y d_{bl} = 0.08 \times 14.65 + 0.022 \times 300 \times 0.029 = 1.361\ \mathrm{m}$$

$$\geqq 0.044 \cdot f_y d_{bl} = 0.044 \times 300 \times 0.029 = 0.378$$

·소성변위 Δ_p

$$\theta_p^T = (\phi_u^T - \phi_y^T) \cdot L_p^T = (0.00365 - 0.00089) \times 1.361 = 0.00380$$

$$\Delta_p^T = \left(\frac{M_u^T}{M_y^T} - 1\right)\Delta_y^T + \theta_p^T\left(H_e^T - \frac{L_p^T}{2}\right) = 0.0563\ \mathrm{m}$$

·극한변위 Δ_u

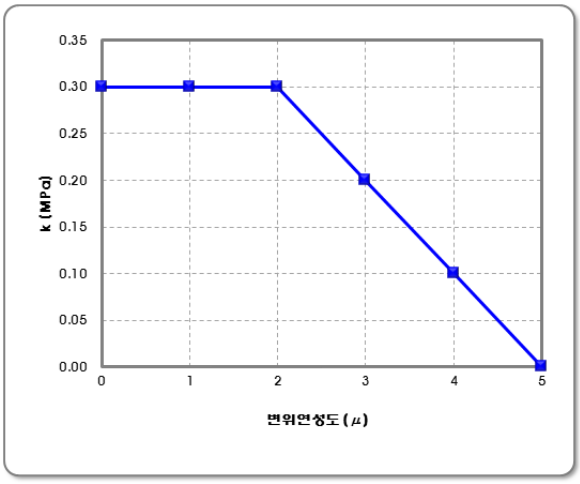
$$\Delta_u^T = \Delta_y^T + \Delta_p^T = 0.0637 + 0.0563 = 0.1200\ \mathrm{m}$$

·공급변위연성도 μ_{Δ_C} (단, μ_{Δ_C}<1.5)

$$\mu_{\Delta_C}^T = \frac{\Delta_u^T}{\Delta_y^T} = \frac{0.120}{0.064} = 1.883 < 1.5 \text{ 제한(축방향철근 겹이음 존재)}$$

$$\therefore\ \mu_{\Delta_C}^T = 1.500$$

8.2.4 교각의 저항 전단강도



<그림 8.5> 공급변위연성도에 따른 콘크리트 전단강도 감소계수 k

(1) 교축방향

·콘크리트가 부담하는 전단강도 V_c

$$V_c^L = k^L\sqrt{f_{ck}}A_e = 0.30\sqrt{24}\times 4.9133 = 7{,}221\ \mathrm{kN}$$

여기서, $k^L = 0.3$ ($k = 0.3 - 0.1(\mu_{\Delta_c} - 2)$ 단, $\mu_{\Delta_c} \leq 2.0$ 이면 $k = 0.3$)

$A_e = 0.8\times A_{gross} = 0.8\times 6.142 = 4.9133\mathrm{m}^2$(유효단면적)

·전단철근이 부담하는 전단강도 V_s

$$V_s^L = \frac{A_v f_y D'}{s} = 253.4\times 300\times\frac{3{,}300}{150} = 1{,}672\ \mathrm{kN}$$

여기서, $A_v = 253.4\mathrm{mm}^2$ (전단력 작용방향 횡철근 1층의 단면적, D13×2ea)

D′ = D(기둥폭) - 2c(피복)

= 3500 - 2×100

= 3,300 mm(횡철근 중심간 거리)

·축력에 의한 전단강도 V_p

$$V_p^L = 0.15\frac{P\times h}{L_s} = 0.15\times\frac{12{,}199\times 3.500}{12.500} = 510\ \mathrm{kN}$$

여기서, $P = 12{,}199\,\mathrm{kN}$ (구조해석에서 얻은 교각의 최소 계수축력)

$h = 3.500\,\mathrm{m}$ (=D), $L_s = 12.550\,\mathrm{m}$ (=H_e)

·전단강도 V_n

$$\therefore\ V_n^L = V_c^L + V_s^L + V_p^L = 7{,}221 + 1{,}672 + 510 = 9{,}404\,\mathrm{kN}$$

(2) 교축직각방향

·콘크리트가 부담하는 전단강도 V_c

$$V_c^T = k^T\sqrt{f_{ck}}A_e = 0.30\sqrt{24}\times 4.9133 = 7{,}221\,\mathrm{kN}$$

여기서, $k^T = 0.3$ ($k = 0.3 - 0.1(\mu_{\Delta_c} - 2)$ 단, $\mu_{\Delta_c} \leqq 2.0$ 이면 $k = 0.3$)

$A_e = 0.8\times A_{gross} = 0.8\times 6.142 = 4.9133\mathrm{m}^2$(유효단면적)

·전단철근이 부담하는 전단강도 V_s

$$V_s^T = \frac{A_v f_y D'}{s} = \frac{253.4\times 300\times 1{,}800}{150} = 912\,\mathrm{kN}$$

여기서, $A_v = 253.4\mathrm{mm}^2$ (전단력 작용방향 횡철근 1층의 단면적, D13×2ea)

D' = D(기둥폭) - 2c(피복)

= 2000 - 2×100

= 1,800 mm(횡철근 중심간 거리)

·축력에 의한 전단강도 V_p

$$V_p^T = 0.15\frac{P\times h}{L_s} = 0.15\times\frac{12{,}199\times 2.000}{14{,}650} = 250\,\mathrm{kN}$$

여기서, $P = 12{,}199\,\mathrm{kN}$ (구조해석에서 얻은 교각의 최소 계수축력)

$h = 2.000\,\mathrm{m}$ (=D), $L_s = 14.650\,\mathrm{m}$ (=H_e)

·전단강도 V_n

$$\therefore\ V_n^T = V_c^T + V_s^T + V_p^T = 7{,}221 + 912 + 250 = 8{,}383\,\mathrm{kN}$$

8.2.5 교각의 파괴모드 결정

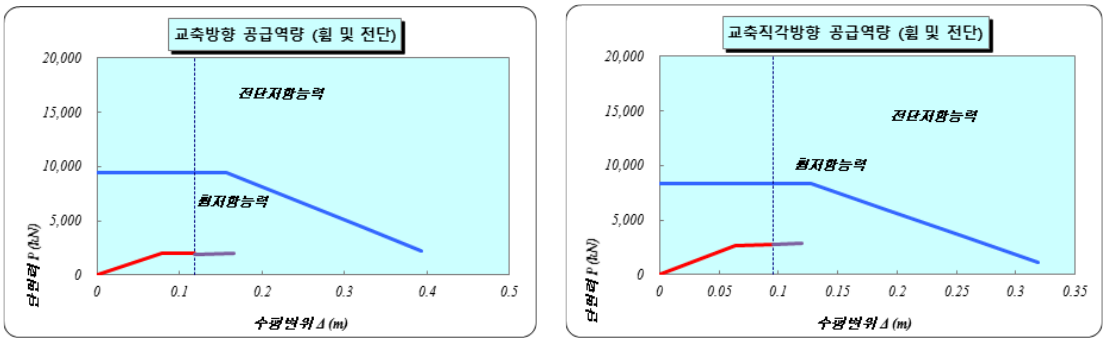
(1) 교각(P7)의 공급역량 (단면강도 및 변위연성도)

<표 8.15> 교각1의 공급역량(단면강도 및 변위연성도)

구 분	교축방향	교직방향	비 고
휨강도 F_n(kN)	2,008.1	2,786.4	
전단강도 V_n(kN)	9,403.8	8,383.1	
항복변위 Δ_y(m)	0.0788	0.0637	
극한변위 Δ_c(m)	0.1182	0.0956	
공급변위연성도 μ_{Δ_c}	1.500	1.500	

·$\Delta_C = \mu_{\Delta_c} \times \Delta_y$: 공급변위연성도 제한에 따른 극한변위 수정

·$P_n = P_y + \frac{P_f - P_y}{\Delta_u - \Delta_y}(\Delta_c - \Delta_y)$: 공급변위연성도 제한에 따른 극한변위 수정



<그림 8.6> 파괴모드 결정

(2) 교각(P7)의 파괴모드

∴교각7은 휨파괴에 이를 때까지 전단파괴가 발생하지 않으므로 해당교각은 '휨파괴 모드'에 의해 지배된다.

가. 교각의 파괴모드 결정

(1) 교축방향

·P－Δ 효과를 고려한 탄성지진모멘트 $M_{E,pd}$

$$M_{E,pd}^{L} = M_{E}^{L} + P \cdot \Delta_{E}^{L} = 135,611 + 12,199 \times 0.15925 = 137,554\ kN$$

여기서, M_{E}^{L} : 교축방향 탄성지진모멘트

P : 교각 상단에 작용하는 축력

Δ_{E}^{L} : 교축방향 탄성지진변위

·단면강도비 R_s

$$R_s^{L} = \frac{M_{E,pd}^{L}}{M_n^{L}} = \frac{137,554}{25,201} = 5.458$$

·소요변위연성도-단면강도비 상관계수 λ_{DR}

$T \geq 1.25\ Ts$ 일 때, $\lambda_{DR} = 1$

$T \leq 1.25\ Ts$ 일 때, $\lambda_{DR} = \left(1 - \frac{1}{R_s}\right)\frac{1.25T_s}{T} + \frac{1}{R_s}$

교각-5의 지반종류는 Ⅱ이고, 주기 T_L = 0.4393sec 이므로

$T^{L} \leq 1.25Ts(0.550sec)$

$\therefore\ \lambda_{DR}^{L} = 1.206$

·소요변위연성도 μ_{Δ_d}

$$\mu_{\Delta_d} = \lambda_{DR}^{L} \times R_s^{L} = 1.206 \times 6.458 = 6.582$$

(2) 교축직각방향

·P－Δ 효과를 고려한 탄성지진모멘트 $M_{E,pd}$

$$M_{E,pd}^{T} = M_{E}^{T} + P \cdot \Delta_{E}^{T} = 34,987 + 12,199 \times 0.01494 = 35,169\ kN$$

여기서, M_{E}^{T} : 교축직각방향 탄성지진모멘트

P : 교각 상단에 작용하는 축력

Δ_E^T : 교축직각방향 탄성지진변위

·단면강도비 R_s

$$R_s^T = \frac{M_{E,pd}^T}{M_n^T} = \frac{35,169}{40,821} = 0.862$$

∴ 탄성영역상에서 거동

나. 교각의 내진성능 평가

1) 공급역량

교축방향(변위연성도) : $\mu_{\Delta_c}^L = 1.500$

교축직각방향(휨모멘트) : $M_{B,c}^T = 40,821\ kN{\cdot}m$

2) 소요역량

교축방향(휨모멘트) : $\mu_{\Delta_d}^L = 6.582$

교축직각방향(휨모멘트) : $M_{B,d}^T = 35,169\ kN{\cdot}m$

3) 평가

교축방향(변위연성도) : $\frac{\mu_{\Delta_c}^L}{\mu_{\Delta_d}^L} = \frac{1.500}{6.582} = 0.228 < 1.0$ ∴ N.G

교축직각방향(하단휨모멘트) : $\frac{M_{B,c}^T}{M_{B,d}^T} = \frac{40,821}{35,169} = 1.161 > 1.0$ ∴ O.K

8.3 교량 받침의 내진성능 평가

·교량받침 종류 : Pot Bearing

수직용량 : 9000kN(교각부), 4000kN(교대부)

·교각의 받침부 평가시 지진하중은 교각의 단면강도와 교각 상단부 발생지진력 중 작은 값으로 한다.

8.3.1 교각 받침평가(최대 지진력 발생 교각부)

(1) 받침 본체

·받침 1기당 횡방향 저항용량 f_B

교축방향 $f_B^L = 1010\,kN$

교축직각방향 $f_B^T = 1010\,kN$

·공급역량 : 횡방향 저항용량 $F_{B,C}$ = 받침 1기당의 횡방향 저항용량(f_B) × 지진방향에 저항하는 받침개수(n_B) × R

교축방향 $F_{B,C}^L = 1010 \times 2 \times 1.0 = 2{,}020\,kN$

교축직각방향 $F_{B,C}^T = 1010 \times 1 \times 1.0 = 1{,}010\,kN$

·소요역량 : 받침부 평가지진력 $F_{B,D}$

교축방향 $F_{B,D}^L = MIN[F_n^L, [V_E^L]_{comb,Top}]$

$= MIN[2{,}008,\ 11.245] = 2{,}008\,kN$

교축직각방향 $F_{B,D}^T = MIN[F_n^T, [V_E^T]_{comb,Top}]$

$= MIN[2{,}786,\ 2{,}716] = 2{,}716\,kN$

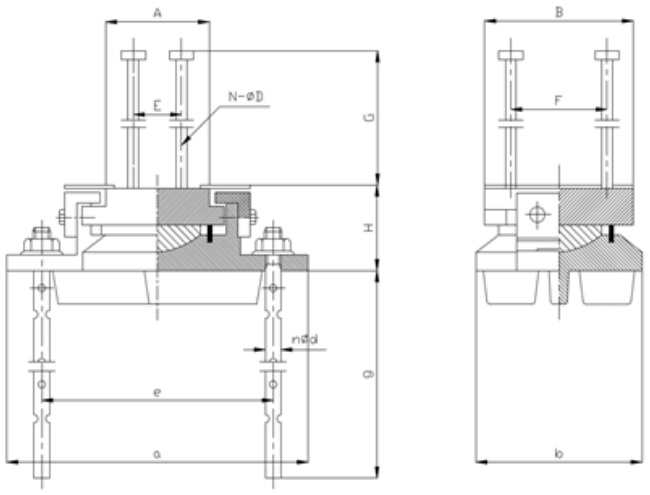
·내진성능 평가

교축방향 $\dfrac{F_{B,C}^L}{F_{B,D}^L} = \dfrac{2{,}020}{2{,}008} = 1.006 > 1.0$ ∴ O.K

교축직각방향 $\frac{F^{T}_{B,C}}{F^{T}_{B,D}} = \frac{1,010}{2,716} = 0.372 < 1.0$ ∴ N.G

(2) 앵커 볼트

·받침 관련 제원 및 재료 특성<카달로그 포트 제원표 참조>



앵커지름
D = 35mm
앵커묻힘길이
L = 110mm
앵커갯수
n = 4

e = 560 mm
g = 110 mm

콘크리트 설계기준강도 $f_{ck} = 24\,\mathrm{MPa}$

앵커의 유효단면적 $A_{se,V} = 962.1\,\mathrm{mm}^2$ (앵커소켓 35mm 적용)

앵커의 인장강도 $f_{uta} = 410\,\mathrm{MPa}$ (단, $f_{uta} \le \mathrm{Min}(1.9 f_{ya}, 860\,\mathrm{MPa})$)

앵커의 유효묻힘길이 $h_{ef} = 140\,\mathrm{mm}$

코핑부의 깊이 $H_1 = 1500\,\mathrm{mm}$ (교각 코핑부 중앙부 최소 깊이)

$H_2 = 1000\,\mathrm{mm}$ (교각 코핑부 단부 최소 깊이)

(3) 앵커볼트 - 강재파괴

·공급역량 : 강재강도 V_{aa}

$V_{aa} = n \cdot 0.6 \cdot A_{se,V} \cdot f_{uta}$ (여기서 n은 받침의 앵커볼트 수)

교축방향 $V^{L}_{sa} = 4 \times 0.6 \times 962.1 \times 410 = 947\,\mathrm{kN}$

교축직각방향 $V^{T}_{sa} = 4 \times 0.6 \times 962.1 \times 410 = 947\,\mathrm{kN}$

·소요역량 : 받침 1기당 평가지진력

교축방향 $F^{L}_{AS,D} = F^{L}_{B,D} = 2{,}008/2 = 1{,}004\ \mathrm{kN}$

교축직각방향 $F^{T}_{AS,D} = F^{T}_{B,D} = 2{,}716/1 = 2{,}716\ \mathrm{kN}$

·평가

교축방향 $\dfrac{V^{L}_{sa}}{F^{L}_{AS,D}} = \dfrac{947}{1{,}004} = 0.943 < 1.0$ ∴ N.G

교축직각방향 $\dfrac{V^{T}_{sa}}{F^{T}_{AS,D}} = \dfrac{947}{2{,}716} = 0.349 < 1.0$ ∴ N.G

(4) 앵커볼트 - 콘크리트파괴

·공급역량 : 콘크리트 파괴강도 V_{cbg} (앵커 그룹)

$$V_{cbg} = \frac{A_{V_c}}{A_{V_{co}}} \cdot \psi_{ed,V} \cdot V_b$$

여기서, A_{V_c} : 단일 앵커 또는 앵커 그룹의 전단력 방향 자유 단면에 형성되는 전단파괴면 투영면적, mm^2

$$A_{V_c} = [c_{a2} + (n-1)S_2 + 1.5\alpha c_{a1}] \times 1.5\alpha\, c_{a1}$$

$$\alpha = \frac{\sin\theta \times \cos(90 - \tan^{-1}(1.5))}{1.5 \times \sin(180 - (\theta + \tan^{-1}(1.5))}$$

$A_{V_{co}}$: 연단거리, 간격 또는 부재두께에 제한을 받지 않는 단일 앵커의 전단력 방향 자유 단면에 형성되는 전단파괴면 투영면적, mm^2

$$A_{V_{co}} = 4.5\, c_{a1}{}^2$$

$\psi_{ed,V}$: 연단거리 영향에 대한 전단강도 수정계수

$c_{a2} \geq 1.5\, c_{a1}$ 인 경우 $\psi_{ed,V} = 1.0$

$c_{a2} < 1.5\, c_{a1}$ 인 경우 $\psi_{ed,V} = 0.7 + 0.3\dfrac{c_{a2}}{1.5 c_{a1}}$

V_b : 전단력을 받는 단일 앵커의 기본 콘크리트 파괴강도, N

$$v_b = 0.6\left[\frac{l_e}{d_0}\right]^{0.2}\sqrt{d_0}\sqrt{f_{ck}}\,c_{a1}{}^{1.5}$$

$$v_b = 0.7\left[\frac{l_e}{d_0}\right]^{0.2}\sqrt{d_0}\sqrt{f_{ck}}\,c_{a1}{}^{1.5}$$ (직경10mm이상 헤드스터드 경우)

c_{a1} : 앵커볼트 중심에서 하중 작용 방향 콘크리트 표면까지 수직거리, mm

c_{a2} : 앵커볼트 중심에서 하중 직각 방향 콘크리트 표면까지 수직거리, mm

s_1 : 하중 작용 직각 방향으로 배열된 앵커볼트 중심간 거리, mm

s_2 : 하중 작용 방향으로 배열된 앵커볼트 중심간 거리, mm

h_a : 앵커가 정착되는 콘크리트 두께, mm

α : 사각에 따른 투영면적 보정계수

·교축방향

$c_{a1} = 1280\text{mm},\ c_{a2} = 1000\text{mm},\ s_1 = 560\text{mm},\ s_2 = 560\text{mm},\ \theta = 90.00°,\ \alpha = 1.000$

$$A_{V_C} = [c_{a2} + (n-1)s_1 + 1.5c_{a1}] \times \min[H, h_a] = 3{,}480{,}000\ \text{mm}^2$$

$$A_{V_{C0}} = 4.5c_{a1}{}^2 = 7{,}372{,}800\ \text{mm}^2$$

$$\therefore A_{V_C} < n \cdot A_{V_{C0}} = 29{,}491{,}200\ \text{mm}^2$$

$$V_{cbg} = \frac{A_{V_C}}{A_{V_{C0}}} \cdot \psi_{ed,V} \cdot V_b = 424.7\ \text{kN}$$

여기서, $\psi_{ed,V} = 0.856$ $\left(c_{a2} < 1.5c_{a1}\text{인 경우}\quad \psi_{ed,V}\,0.7 + 0.3\frac{c_{a2}}{1.5c_{a1}}\right)$

$$V_b = 0.6\left[\frac{L_e}{d_0}\right]^2\sqrt{d_0}\sqrt{f_{ck}}\,c_{a1}{}^{1.5} = 1050.8\ \text{kN}$$

$$l_e = \text{MIN}[h_{ef},\ 8d_0] = [140, 280] = 140 \quad (d_0 = 35)$$

·교축직각방향

$c_{a1} = 4000\text{mm},\ c_{a2} = 720\text{mm},\ s_1 = 560\text{mm},\ s_2 = 560\text{mm},\ h_a = 1920\text{mm}$

$$A_{VC} = [c_{a2} + s_1 + c_{a2}] \times h_a = 2{,}000{,}000\ \text{mm}^2$$

$$A_{V_{C0}} = 4.5c_{a1}{}^2 = 7{,}372{,}800\ \text{mm}^2$$

$\therefore A_{V_c} < n \cdot A_{V_{c0}} = 29,491,200\ mm^2$

$V_{cbg} = \frac{A_{V_c}}{A_{V_{c0}}} \cdot \psi_{ed,V} \cdot V_b = 231.6\ kN$

여기서, $\psi_{ed,V} = 0.813 \left(c_{a2} < 1.5c_{a1} \text{인 경우} \quad \psi_{ed,V}\, 0.7 + 0.3\frac{c_{a2}}{1.5c_{a1}} \right)$

$V_b = 0.6\left[\frac{L_e}{d_0}\right]^2 \sqrt{d_0}\sqrt{f_{ck}}\, c_{a1}{}^{1.5} = 1050.8\ kN$

$l_e = MIN[h_{ef},\ 8d_0] = [140, 280] = 140 \quad (d_0 = 35)$

·소요역량 : 방향별 평가지진력 $F_{AC,D}$

교축방향 $F^L_{AC,D} = F^L_{AS,D} \times n^L_B = 1,004 \times 1 = 1,004\ kN$(저항받침:1)

교축직각방향 $F^T_{AC,D} = F^T_{AS,D} \times n^L_B = 2,716 \times 1 = 2,716\ kN$(저항받침:1)

·평가

교축방향 $\frac{V^L_{cbg}}{F^L_{AC,D}} = \frac{425}{1,004} = 0.423 < 1.0 \quad \therefore$ N.G

교축직각방향 $\frac{V^T_{cbg}}{F^T_{AC,D}} = \frac{232}{2,716} = 0.085 < 1.0 \quad \therefore$ N.G

(6) 앵커볼트 - 콘크리트 프리아웃 파괴

·공급역량 : 콘크리트 프리아웃 강도 V_{cpg} (앵커 그룹)

$V_{cpg} = k_{cp} \cdot Ncbg$

여기서, k_{cp} : 콘크리트 프라이아웃 강도 계수

$h_{ef} < 65mm$인 경우 : $k_{cp} = 1.0$

$h_{ef} \geq 65mm$인 경우 : $k_{cp} = 2.0$

N_{cbg} : 인장을 받는 앵커 그룹의 콘크리트 파괴강도

$N_{cbg} = \frac{A_{N_c}}{A_{N_{co}}} \cdot \psi_{ed,N} \cdot N_b$

여기서, A_{N_c} : 인장강도 산정을 위한 단일 앵커 또는 앵커 그룹의 콘크리트 파괴면 투영면적, mm^2

$A_{N_c} = (2 \times 1.5h_{ef} + s_1) \times (2 \times 1.5f_{ef})$ $(c_{a1}$ and $c_{a2} \geq 1.5h_{ef})$

$A_{N_{co}}$: 연단거리 또는 간격에 제한을 받지 않는 경우에 인장강도 산정을 위한 단일 앵커의 콘크리트 파괴면 투영면적, mm^2

$A_{N_{co}} = 9{h_{ef}}^2$

$\psi_{ed,N}$: 연단거리 영향에 대한 인장강도 수정계수

$c_{a,min} \geq 1.5h_{ef}$ 인 경우 $\psi_{ed,N} = 1.0$

$c_{a,min} < 1.5h_{ef}$ 인 경우 $\psi_{ed,N} = 0.7 + 0.3\dfrac{c_{a,min}}{1.5h_{ef}}$

N_b : 인장력을 받는 단일 앵커의 기본 콘크리트 파괴강도, N

$N_b = 10\sqrt{f_{ck}}{h_{ef}}^{1.5}$

$N_b = 3.9\sqrt{f_{ck}}{h_{ef}}^{5/3}$(280≤$h_{ef}$≤635mm인 헤드스터드헤드볼트)

·교축방향

$c_{a1} = 1280mm > 1.5h_{ef} = 1.5 \times 140 = 210mm$

$c_{a2} = 1000mm > 1.5h_{ef} = 1.5 \times 140 = 210mm$

$A_{N_c} = (1.5h_{ef} + s_1 + 1.5h_{ef}) \times (1.5h_{ef} + 1.5h_{ef}) = 411,600mm^2$

$A_{N_{co}} = 9{h_{ef}}^2 = 176,400mm^2$

$A_{N_c} < n \cdot A_{N_{co}} = 705,600mm^2$

$N_b = 10\sqrt{f_{ck}}{h_{ef}}^{1.5} = 81\ kN$

$N_{cbg} = \dfrac{A_{N_c}}{A_{N_{co}}} \cdot \psi_{ed,N} \cdot N_b = 189kN$

$\psi_{ed,N} = 1.0$ $(c_{a,min} \geq 1.5h_{ef}$ 인 경우)

$V_{cpg} = k_{cp} \cdot N_{cbg} = 2.0 \times 189 = 379kN$

$k_{cp} = 2.0$ $(h_{ef} > 65mm$인 경우)

·교축직각방향

$c_{a1} = 1280\text{mm} > 1.5h_{ef} = 1.5 \times 140 = 210\text{mm}$

$c_{a2} = 720\text{mm} > 1.5h_{ef} = 1.5 \times 140 = 210\text{mm}$

$A_{N_C} = (1.5h_{ef} + s_1 + 1.5h_{ef}) \times (1.5h_{ef} + 1.5h_{ef}) = 176,400\text{mm}^2$

$A_{N_{CO}} = 9{h_{ef}}^2 = 176,400\text{mm}^2$

$A_{N_C} \ < \ n \cdot A_{N_{CO}} = 705.600\text{mm}^2$

$N_b = 10\sqrt{f_{ck}}\,{h_{ef}}^{1.5} = 81\ \text{kN}$

$N_{cbg} = \dfrac{A_{N_C}}{A_{N_{CO}}} \cdot \psi_{ed,N} \cdot N_b = 189\text{kN}$

$\psi_{ed,N} = 1.0$ ($c_{a,min} \geq 1.5h_{ef}$ 인 경우)

$V_{cpg} = k_{cp} \cdot N_{cbg} = 2.0 \times 189 = 379\text{kN}$

$k_{cp} = 2.0$ ($h_{ef} > 65\text{mm}$인 경우)

·소요역량 : 방향별 평가지진력 $F_{AC,D}$

교축방향 $F^L_{AP,D} = F^L_{AS,D} \times n^L_B = 1,004 \times 1 = 1,004\ \text{kN}$(저항받침:1)

교축직각방향 $F^T_{AP,D} = F^T_{AS,D} \times n^L_B = 2,716 \times 1 = 2,716\ \text{kN}$(저항받침:1)

·평가

교축방향 $\dfrac{V^L_{cpg}}{F^L_{AP,D}} = \dfrac{379}{1,004} = 0.377 \leq 1.0 \quad \therefore$ N.G

교축직각방향 $\dfrac{V^T_{cbg}}{F^T_{AC,D}} = \dfrac{379}{2,716} = 0.139 \leq 1.0 \quad \therefore$ N.G

·앵커 볼트 평가 요약

<표 8.1> 앵커볼트 평가요약

구분	교축방향			교축직각방향		
	공급역량	소요역량	판정	공급역량	소요역량	판정
강재파괴	947	1,004	N.G 0.943	947	2,716	N.G 0.349
콘크리트파괴	425	1,004	N.G 0.423	232	2,716	N.G 0.085
프라이아웃파괴	379	1,004	N.G 0.377	379	2,716	N.G 0.139

8.4 내진성능 평가 결과

8.4.1 교각부 평가 결과

구 분		공급역량	소요역량	안전률	비고
변위연성도	교축	1.500	6.582	0.228	N.G
모멘트	교직	40,821	35,169	1.161	O.K

8.4.2 받침부 평가 결과

구 분		공급역량	소요역량	안전률	비고
받침본체	교축	2,020	2,008	1.006	O.K
	교직	1,010	2,716	0.372	N.G
앵커볼트- 강재파괴	교축	947	1,004	0.943	N.G
	교직	947	2,716	0.349	N.G
앵커볼트- 콘크리트파괴	교축	425	1,004	0.423	N.G
	교직	232	2,716	0.085	N.G
앵커볼트- 프라이아웃파괴	교축	379	1,004	0.377	N.G
	교직	379	2,716	0.139	N.G

8.5 결론

본 과업은 내진설계가 적용되지 않은 반심1교(하행)의 내진성능 상세평가를 실시하여 각 구조부재의 내진성능을 검토하였다. 반심1교는 면진 또는 내진 능력이 없는 포트받침으로 시공되어 지진시 즉시변형이 발생하며 대부분의 수평력을 고정단 교각에서 순간적으로 저항하는 구조이므로 내진에 취약한 것으로 판단된다.

따라서, 내진성능을 향상시키기 위해서는 면진능력을 수용하고 있는 탄성받침으로 전면 교체를 실시하여 지진에 의한 수평력 발생시 모든 교각과 받침에서 균등하게 수평력을 수용할 수 있는 구조로 교체 시공할 필요가 있다

제9장 종합평가

9.1 개요

9.2 상태평가 등급의 산정

9.3 안전성평가 등급의 산정

9.4 종합평가 등급의 산정

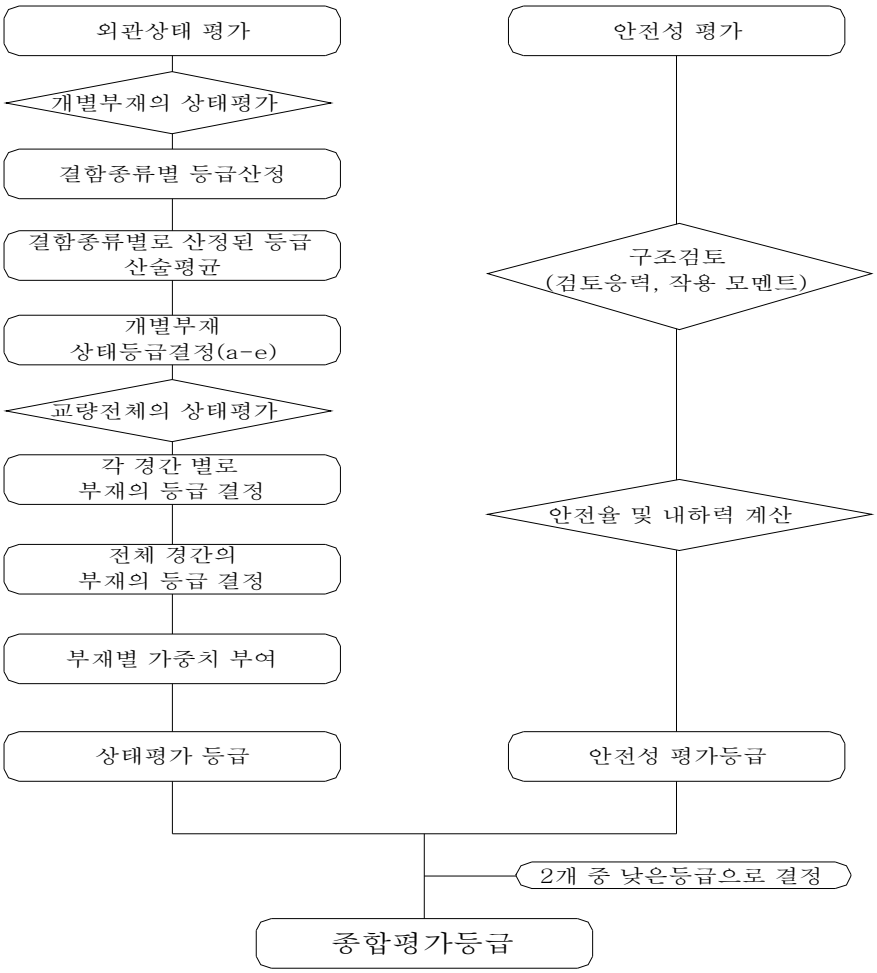
제9장 종합평가

9.1 개 요

9.1.1 종합평가등급 산정절차

외관조사에 따른 상태평가등급과 안전성 검토에 근거한 안전성평가등급 중 낮은등급을 시설물의 종합평가등급으로 결정한다.

종합평가등급 = *MIN*(상태평가등급 , 안전성평가등급)



<그림 9.1>종합평가등급의 산정흐름도

9.2 상태평가 등급의 산정

9.2.1 구조형식별 결과

부재의 분류		상부구조		2차 부재	기타부재				받침	하부구조		내구성요소			
번호	구조형식	바닥판	거더	가로보	포장	배수	난간연석	신축이음	교량받침	하부	기초	탄산화(상)	탄산화(하)	염화물(상)	염화물(하)
1	PSC Box	b	b	N/A	a	b	c	c	b	c	Q	a	a	X	X
2	PSC Box	a	b	N/A	a	b	c	X	b	c	Q	a	a	X	X
3	PSC Box	b	c	N/A	a	b	c	X	b	d	Q	a	a	X	X
4	PSC Box	c	c	N/A	a	a	b	X	b	c	Q	a	a	X	X
5	PSC Box	a	c	N/A	a	b	b	X	b	d	Q	a	a	a	a
6	PSC Box	a	c	N/A	a	b	c	X	b	c	Q	a	a	X	X
7	PSC Box	a	c	N/A	a	a	c	X	b	b	Q	a	a	X	X
8	PSC Box	a	c	N/A	a	a	c	b	b	c	Q	a	a	X	a
9	PSC Box	a	c	N/A	a	b	c	X	b	c	Q	a	a	X	X
10	PSC Box	a	c	N/A	a	b	b	X	b	c	Q	a	a	X	X
11	PSC Box	a	c	N/A	a	a	a	X	b	c	Q	a	a	X	X
12	PSC Box	a	c	N/A	b	b	c	X	b	c	Q	a	a	X	X
13	PSC Box	b	c	N/A	b	b	c	X	b	c	Q	a	a	X	X
14	PSC Box	a	c	N/A	b	b	a	X	b	b	Q	a	a	X	X
15	PSC Box	a	c	N/A	b	b	b	b	b	b	Q	a	a	X	X
16	PSC Box	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	X	b	a	Q	X	X	X	X
평균		0.140	0.373	0.000	0.127	0.173	0.307	0.267	0.200	0.381	0.000	0.100	0.100	0.100	0.100
가중치		23	20	0	7	3	2	9	9	20	0	2	2	2	1
환산점수		0.032	0.075	0.000	0.009	0.005	0.006	0.024	0.018	0.076	0.000	0.002	0.002	0.002	0.001
1.환산결함도점수=														0.252	
2.상태평가결과=														B등급	

9.2.2 개별교량 결과

<표 8.2> 개별교량 결과

구 분	구조형식	환 산 결함도점수	상태평가 결 과	연장(m)	연장비	환산결함도점수 × 연장비
반심1교 (하행)	PSC Box교	0.252	b	760	1.000	0.252
합계(∑)				760.	1.000	0.252
1. 환산결함도 점수 =						**0.252**
2. 상태평가 결과 =						**b**

9.2.3 전체교량 결과

대상 구조물인 **"반심1교(하행)"**에 대한 상태평가를 수행한 결과, 상태 평가지수가 **0.252**로서 **상태평가 결과**는 "b"에 해당되는 것으로 평가되었다.

(b, 0.13≤F=0.252<0.26)

<표 5.17> 전체교량 결과

교량명	환 산 결함도점수	상태평가 등 급	연장 (m)	차선	길이 × 차선	연장비	환산결함도점수 × 연장비
반심1교 (하행)	0.252	b	760.0	2	1,520	1.000	0.252
합계(∑)			760.0	2	1,520	1.000	0.252
1. 평가지수 =							**0.252**
2. 상태평가 결과 =							**b**

9.3 안전성평가 등급의 산정

<표 9.4>구조물의 안전성 평가기준

등 급	안전성평가 기준	비 고
A	SF > 1.0	◦ 허용응력설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+l}}$ ◦ 강도설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{설계강도}}{\text{소요강도}} = \frac{\phi Mn}{M}$
B	0.9 ≤ SF < 1 이나, 공용내하력이 설계하중보다 크게 평가된 경우	
C	0.9 ≤SF < 1	
D	0.75 ≤ SF < 0.9	
E	SF < 0.75	

<표 9.5>안전율(SF) 산정 결과

구분		설계하중 작용시							등급
		프리스트레스에 의한 단면력 및 부정정력	자중	고정하중	활하중	부등침하	계	안전율	
S8	상연	-4.876	4.243	0.516	1.606	0.129	1.618	9.89	A
	하연	8.410	-7.319	-0.890	-2.770	-0.223	-2.791	1.13	A
P7	상연	4.926	-4.406	-0.535	-1.225	-0.219	-1.459	2.17	A
	하연	-6.504	5.817	0.706	1.618	0.290	1.926	8.31	A
S7	상연	-2.470	1.930	0.238	1.307	0.115	1.120	14.28	A
	하연	4.260	-3.329	-0.411	-2.254	-0.199	-1.933	1.64	A
허용응력		-3.16 < σ < 16.00							

※ (+) 압축응력, (-)인장응력

본 교량의 상부구조에 대하여 구조검토를 수행한 결과, 작용 고정하중 및 설계활하중에 의한 거더의 상.하연 응력은 허용응력 이내이며, 최소안전율 1.13(S8 중앙부-하연응력)이상으로 구조적 안전성을 확보하고 있는 것으로 나타났다.

9.4 종합평가등급의 산정

과업 대상구조물인 "반심1교(상행)"에 대한 외관조사 결과 및 내구성조사 결과를 토대로 개별 구조부재의 결함 및 손상 정도에 따른 상태평가결과를 종합적으로 비교.분석하여 종합평가결과를 산정하였다.

종합평가 결과 산정 세부내용은 다음과 같다.

종합평가등급 = MIN (상태평가등급, 안전성평가등급)

= B (상태평가등급=b, 안전성평가등급=a)

<표 9.6>종합평가등급

구조물명	상태평가 등급		안전성평가 등급		종합평가 등 급
	환산결함도 점수	등급	안전율(S.F)	등급	
반심1교 (상행)	**0.252**	b	1.13~14.28	a	**B**

<표 9.7>안전등급지정

안전등급	시설물의 상태	안전등급 지 정
A (우수)	문제점이 없는 최상의 상태	
B (양호)	**보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태**	**B등급**
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	

대상구조물의 안전등급은 "B등급"으로서, 이는 "보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태"를 의미한다.

제10장 보수·보강 및 유지관리방안

10.1 보수·보강방안

10.2 유지관리방안

제10장 보수·보강 및 유지관리방안

10.1 보수·보강방안

10.1.1 개요

구조물의 내력이 직접 강화되지는 않으나, 기능이 개선되는 대책을 보수라 하며, 구조물의 내력을 강화하여 안정성을 높이고, 손상 발생이나 진행을 억제하는 대책을 보강이라 한다.

최근 들어 교통량의 증가와 이용하중의 중량화로 인해 교량에 대한 손상이 가중되고 있으며, 손상이 진행될수록 구조물 보수.보강에 따르는 막대한 시간과 비용이 증가하고 있고 차량의 안전운행에도 직접적인 영향을 끼치는 사례가 빈번히 발생하는 상황에서 구조물을 장기적으로 양호한 상태로 유지.관리하기 위해서는 계속적인 점검과 조사를 실시해야 하고 손상의 정도에 따라 연차적으로 보수·보강을 해야 한다. 따라서 구조물의 보수.보강에 대한 현재의 적용사례 및 장래발전 방향을 구체적으로 조사.연구하는 것이 우선적으로 요구되고 있는 실정이다. 국내 교량 건설의 경향을 볼 때 과거 성장정책의 일환으로 추진되어온 신설의 개념에서 90년대 들어서는 기존 구조물의 확장 개념으로 전환되었으며 이와 더불어 기존 교량을 유지.점검하고 보수·보강하는 서비스 기능이 강화되고 있는 실정이다.

이에 시설물 안전관리에 관한 특별법이 제정되고 정기점검 및 정밀점검을 실시하여 구조물의 손상상태 파악, 비파괴시험에 의한 내구성, 구조해석 및 내하력을 분석.평가하여 종합적인 판정이 이루어진 후 손상정도에 적합한 보수 또는 보강공법이 선정되어야 한다.

1) 보수·보강 수준

보수·보강의 수준은 위험도, 경제성 등을 고려하여 아래의 경우 중에서 결정한다.

- 현상유지
- 실용상 지장이 없는 성능까지 회복
- 초기 수준이상으로 개선
- 개축

2) 보수·보강 우선순위의 결정

각 시설물은 주요부재와 보조부재로 이루어져 있으며, 이들 시설물에서 발생된 각종 결함에 대한 보수·보강 우선순위는 다음과 같이 결정한다.

- 보수보다 보강을, 주부재를 보조부재보다 우선하여 실시한다.
- 시설물 전체에서의 우선순위 결정은 각 부재가 갖는 중요도, 발생한 결함의 심각성 등을 종합 검토하여 결정한다.

<표 10.1>보수·보강 우선 순위 선정기준

순 위	내 용
1순위	.주요부재에 발생된 결함 및 손상이 커 내구성에 영향을 미치는 경우
2순위	.즉각적인 보수는 요구되지 않지만 내구성, 기능성 저하방지를 위한 보수가 필요한 경우
3순위	.기능발휘에는 지장이 없으나, 내구성 증진을 위해 연차보수가 필요한 경우
4순위	.발생된 손상이 경미하여, 유지관리를 통한 점검이 필요한 경우

10.1.2 주요 보수·보강공법

1) 표면처리공법(폭 0.3mm미만 미세균열)

(1) 개 요

이 공법은 비교적 미세한 균열(폭 0.3mm미만 균열)에 대해 직접 그 균열의 표면을 피복하여 방수성, 내구성을 지니도록 하는 것으로 피복의 범위도 전면 혹은 부분적으로 나뉘어진다. 따라서 그 효과는 균열 표면의 보수에 그치므로 활성균열에 대해서는 대처할 수 없는 결점이 있다. 또한, 피복재의 두께가 얇으므로 시간에 따른 열화에 대해서는 주의해야 할 필요가 있다.

(2) 시공방법

가. 그라인더를 와이어 브러쉬 등을 사용하여 콘크리트 불량부위를 개선하고 잔해,불순물을 제거한다.

나. 자연 건조시키고 압축공기로 청소한다.

다. 수지를 흙손으로 콘크리트 표면의 기공 등을 충전한다.

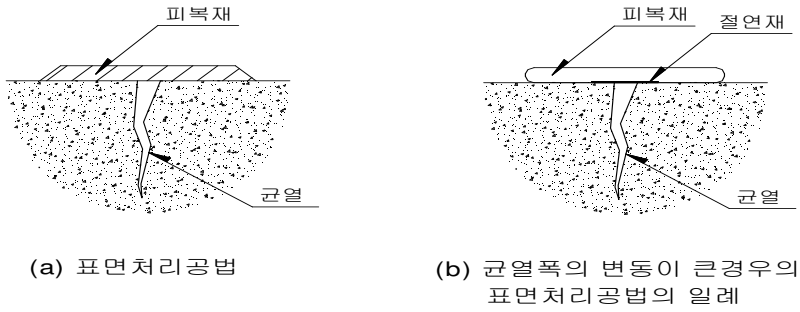
라. 폴리머 시멘트 페이스트, 시멘트 필러, 도막 탄성방수재를 적절하게 선택하여 흙손으로 마무리한다.

마. 양생하고 주위를 정리한다.

(3) 주의사항

- 처리를 행할 범위를 확인하고 마크를 한다.
- 균열부분을 중심으로 폭 50mm 정도를 와이어 브러쉬로 청소한다.
- 시일재를 소정의 배합비에 따라 혼합 교반한다.
- 시일재를 퍼티 주걱 등으로 폭 10mm, 두께 2mm 정도로 도포하고, 그 후에 평활하게 마무리 한다.
- 시일재가 경화할 때까지 양생한다.
- 시일재가 경화 후에 오염 등을 주걱, 신나, 샌더 등으로 제거하고 청소한다.

(4) 개요도



(a) 표면처리공법

(b) 균열폭의 변동이 큰경우의 표면처리공법의 일례

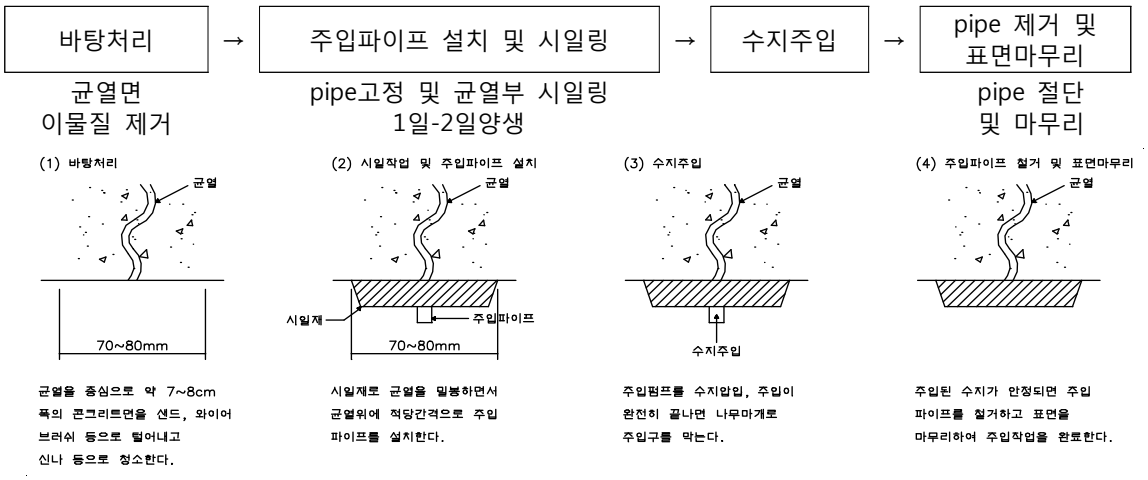
<그림 10.1>미세균열 표면처리공법 개요도

2) 균열주입공법(폭 0.3mm이상 균열)

(1) 개 요

본 공법은 일반적으로 콘크리트 구조물의 응력상 지장이 없는 부분의 균열진행을 방지하고 콘크리트 구조물의 일체화를 도모하기 위하여 균열부에 주로 에폭시계 수지를 채움으로써 수밀성을 크게하고 지수효과 및 콘크리트와 철근의 열화를 방지하는 효과를 얻기 위한 공법이다.

(2) 시공 방법



<그림 10.2>균열주입공법 보수 개요도

(3) 주입용 수지의 재료 성질

- 장시간 보관에도 재료의 성질 변화가 없을 것
- 균열폭의 크기에 따라 점도의 조정이 용이해야 하고 균열세부까지 가능할 것
- 균열의 처리방법, 혼합, 주입 등의 조건변화에 대해 품질의 영향이 적을 것

(4) 유의사항

- 주입압력이 너무 크면 균열이 확대되어 버린다.

평균주입압력	수동식 : 4 kg/cm
	페달식 : 15 kg/cm
	전동식 : 20 kg/cm
	자동식 : 4 kg/cm

- 시공시의 기온은 일반적으로 10~30℃, 콘크리트 표면온도는 10℃를 표준.
- 에폭시계 수지는 항상 냉암소에 밀봉 보관해야 하며, 제조후 6개월이상 경과한 것은 다시 시험하여 품질의 변질 여부 확인.

3) 표면보수공법(백태, 표면오염) : 중성화방지재 도포

(1) 개 요

이 공법은 다공질 콘크리트나 표면열화된 콘크리트에 침투해서 표면을 강하게 고착시킨다. 또한, 표면은 방수도막을 형성하고 강한 접착으로 인해 단면의 접착성을 향상시킨다.

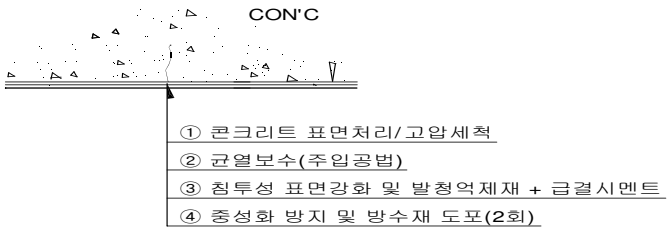
(2) 시공방법

개 시	
콘크리트 표면의 청소	기존 콘크리트의 열화부위, 중성화 부분을 그라인더 등을 이용하여 콘크리트 표면을 완전히 제거한다. 와이어브러쉬나 그라인더를 이용한다.
고압세척	콘크리트 표면철거 후 고압세척기를 이용하여 표면의 이물질을 완전히 제거한다. 세척 후 건조한다. 고압세척기를 이용한다.
균열부위	표면처리 후 균열이 있을 경우 주입공법으로 주입하여 보수한다. 균열 주입공법이 완료된 후 콘크리트를 치핑한다.
표면맛사지	기존 콘크리트의 구체 및 표면강화를 위하여 침투성 표면강화제 및 발청억제재+급결시멘트로 표면을 맛사지 한다. 주걱이나 흙손을 이용한다.
표면방수	콘크리트의 중성화 방지 및 방지를 위하여 중성화 방지 및 방수재를 2회 도포한다. 붓, 롤러, 스프레이를 이용한다.
종 료	

(3) 주의사항

- 콘크리트 표면철거시 파편 및 분진이 발생되므로 보호안경을 착용한다.
- 침투성 표면강화재 및 발청억제재+급결시멘트 사용 시 5℃ 이하에서는 작업을 중지한다.
- 중성화 방지 및 방수재 사용 시는 부드러운 솔로 가로, 세로로 크로스 도포하고 5℃ 이하에서는 작업을 중지한다.

(4) 개요도



<그림 10.3>표면보수공법 개요도

4) 단면보수공법(단면파손, 골재분리 등)

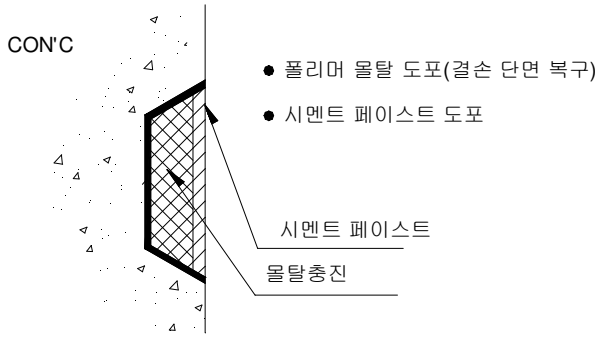
(1) 개 요

이 공법은 열화 된 구체를 강화하고 단면결손부에 대하여 조강 무수축 모르타르로 단면을 수복시키는 일반적인 공법이다.

(2) 시공 방법

손 상 부 표면제거	→	고압세척 및 콘크리트 접착제 도포	→	몰탈충진	→	표면처리
전동공구 등으로 제거		고압수 세정기를 이용하여 이물질을 제거한 후 도포		폴리머시멘트 몰탈로 단면복구		시멘트페이스트 등 도포

(3) 개요도



<그림 10.4>단면보수공법(콘크리트 파손) 개요도

(4) 결손 단면복구용 재료 성질

- 장시간 보관에도 재료의 성질 변화가 없을 것
- 부착력이 높은 재료

(5) 유의사항

- 고압세정기의 용량은 50~150 kg/㎠를 사용
- 폴리머시멘트 몰탈 파우더와 혼화제의 중량비는 1:1/5통 정도의 비율로 혼합
- 1회 도포시 두께는 10mm 정도로 한다.

5) 단면보수공법(철근노출부)

(1) 개 요

이 공법은 콘크리트의 박리, 박락 등에 의하여 철근의 노출 및 부식에 대한 보수공법으로 녹을 제거하고 단면결손부를 회복시키는 공법이다.

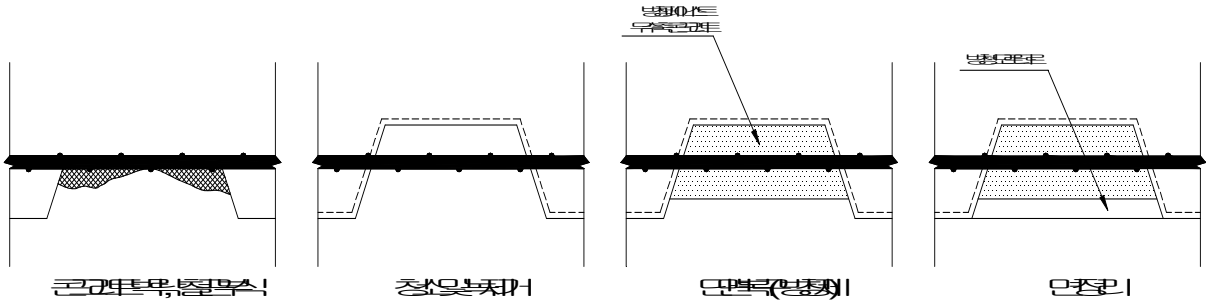
(2) 시공방법

① 청소 및 녹제거

② 단면복구

③ 마감처리

(3) 개요도



<그림 10.5>단면보수공법(철근방청) 개요도

(4) 사용재료

- 녹전환형 방청제, 수지계 방청재, 모르타르, 시멘트, 팽창제

(5) 주의사항

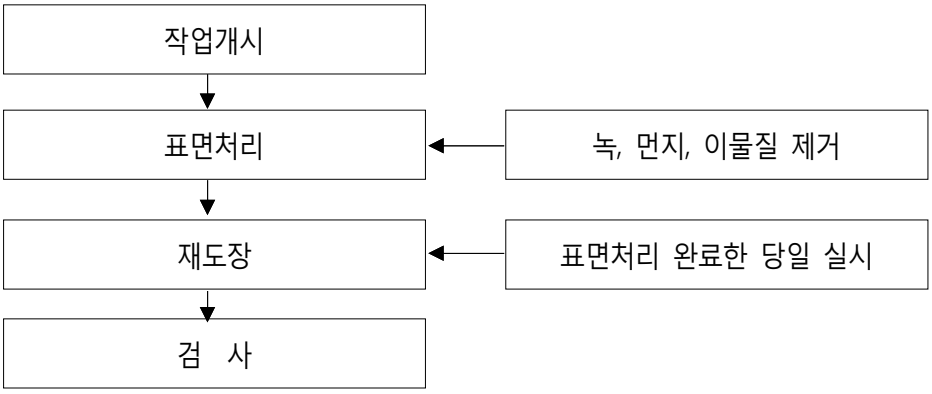
- 신, 구접착에 주의하여 2차 박락을 방지한다.
- 불량면을 확실하게 제거한다.
- 침투제 및 방청제의 도포를 충분히 한다.
- 필요시 형틀을 설치한다.
- 주입 파이프의 간격을 일정하게 한다.

6) 도장보수 공법

(1) 개 요

도장 박리 및 부식에 의한 결함이 발생한 부재에 대해서 부식이 더 이상 진행하지 않도록 녹 및 이물질을 제거한 후 중방식 도장을 실시하는 공법이다. 과업대상의 교량은 주형 내.외부, 체결 볼트와 같은 강재에서 도장 박리 및 부식이 발생되어 내구성 확보를 위한 도장 보수를 필요로 한다.

(2) 시공방법



<그림 9.6>도장보수 공법 순서도

(3) 시공상세 및 유의사항

- 동력공구 및 수공구(와이어브러쉬, 샌드 페이퍼)로 표면처리한다.
- 구 도장계에 대한 확인 및 확실한 표면처리를 실시한다.
- 표면처리 후 분무기 또는 붓을 이용하여 재도장 실시한다.
- 표면처리 후 같은 날 하지도장을 실시한다.(결로 및 이물질 등의 영향)
- 도료의 칠 중복은 충분히 건조한 후에 실시하고 대기온도 및 칠표면의 온도가 5℃ 이상이어야 한다.
- 표면처리 후 당일 도장을 수행하지 못한 부분은 다시 표면처리 후 도장한다.
- 폐쇄된 개소에서의 작업시에는 통풍 및 조명 등의 환경여건과 안전작업에 대한 대책을 수립한 후에 실시한다.

10.1.3 보수·보강 방안

1) 결함 내용별 보수.보강방안

<표 9.2>보수·보강 일람표

구 분		결함 및 손상내용	손상물량	보수물량	단위	개선방안	비고
교면 포장		표장균열	760	760	m	씰링보수	
		포장 포트홀	1.5	0.01	㎡	소파보수	
방호벽		균열(폭0.2mm이하)	80.9	24.27	㎡	표면보수	
		균열(폭0.3mm이상)	73.2	87.84	m	주입보수	
		누수,누수및백태	3	3.6	㎡	단면보수	
		망상균열	7.6	9.12	㎡	주의관찰	
		철근노출	2.7	3.24	㎡	단면보수	
		파손	1.8	2.16	㎡	단면보수	
배수시설		배수관탈락	1	1	ea	점검수리	
		배수구 막힘	23	21	ea	주기적 청소	
신축이음		균열(0.2mm이하)	15.8	4.74	㎡	표면보수	
		균열(0.3mm이상)	7.5	9	m	주입보수	
		유간퇴적	3.5	4.2	㎡	주기적 청소	
바닥판 하면		균열(폭0.2mm이하)	2180.5	654.15	㎡	표면보수	
		균열(폭0.3mm이상)	4	4.8	m	주입보수	
		백태	8.4	10.08	㎡	표면보수	
		철근노출	0.2	0.24	㎡	단면보수	
		파손	0.25	0.3	㎡	주의관찰	
거더		균열(폭0.2mm이하)	321.2	96.36	㎡	표면보수	
		균열(폭0.3mm이상)	18	21.6	m	주입보수	
		백태	1	1.2	㎡	표면보수	
		망상균열	1	1.2	㎡	주의관찰	
		재료분리	7.2	8.64	㎡	단면보수	
교량받침		도장부식	34	34	ea	재도장	
			34	34	ea	받침장치교체	
하부 구조	교대	균열(폭0.2mm이하)	33	9.9	㎡	표면보수	
		균열(폭0.3mm이상)	1	1.2	m	주입보수	
		오염	12	14.4	㎡	주의관찰	
		보호공유실	1.0	1.0	㎥	뒷채움보수	
	교각	균열(폭0.2mm이하)	65.9	19.77	㎡	표면보수	
		균열(폭0.3mm이상)	110.5	132.6	m	주입보수	
		망상균열	7.55	9.06	㎡	주의관찰	
		재료분리	2.32	2.784	㎡	단면보수	
		오염	43.24	51.888	㎡	주의관찰	
		철근노출	0.04	0.048	㎡	단면보수	

※ 균열(0.3mm미만) 보수물량은 보수 단위 폭을(0.25m)을 적용한 물량임(㎡).

2) 보수·보강 개략공사비

<표 10.3>보수·보강 개략공사비 산정

구 분		결함 및 손상내용	개선방안	손상물량	보수물량	단위	단가 (천원)	금액 (천원)	우선 순위
교면 포장		표장균열	씰링보수	760	760	m	30	22,800	②
		포장 포트홀	소파보수	1.5	0.01	㎡	150	2	②
방호벽		균열(폭0.2mm이하)	표면보수	80.9	24.27	㎡	51	1,238	②
		균열(폭0.3mm이상)	주입보수	73.2	87.84	m	32	2,811	①
		누수,누수및백태	단면보수	3	3.6	㎡	230	828	②
		망상균열	주의관찰	7.6	9.12	㎡	-		②
		철근노출	단면보수	2.7	3.24	㎡	230	745	②
		파손	단면보수	1.8	2.16	㎡	230	497	②
배수시설		배수관탈락	점검수리	1	1	ea	500	500	①
		배수구 막힘	주기적 청소	23	21	ea	10	210	②
신축이음		균열(0.2mm이하)	표면보수	15.8	4.74	㎡	51	242	①
		균열(0.3mm이상)	주입보수	7.5	9	m	32	288	①
		유간퇴적	주기적 청소	3.5	4.2	㎡	10	42	②
바닥판 하면		균열(폭0.2mm이하)	표면보수	2180.5	654.15	㎡	51	33,362	②
		균열(폭0.3mm이상)	주입보수	4	4.8	m	32	154	①
		백태	표면보수	8.4	10.08	㎡	51	514	②
		철근노출	단면보수	0.2	0.24	㎡	230	55	②
		파손	주의관찰	0.25	0.3	㎡	-		②
거더		균열(폭0.2mm이하)	표면보수	321.2	96.36	㎡	51	4,914	②
		균열(폭0.3mm이상)	주입보수	18	21.6	m	32	691	①
		백태	표면보수	1	1.2	㎡	51	61	②
		망상균열	주의관찰	1	1.2	㎡	-		②
		재료분리	단면보수	7.2	8.64	㎡	230	1,987	①
교량받침		도장부식	재도장	34	34	ea	30	1,020	②
		받침교체	면진받침	34	34	ea	9000	306,000	②
하부구조	교대	균열(폭0.2mm이하)	표면보수	33	9.9	㎡	51	505	②
		균열(폭0.3mm이상)	주입보수	1	1.2	m	32	38	①
		오염	주의관찰	12	14.4	㎡		-	②
		보호공유실	뒷채움보수	1	1	식	5000	5000	①
	교각	균열(폭0.2mm이하)	표면보수	65.9	19.77	㎡	51	1,008	②
		균열(폭0.3mm이상)	주입보수	110.5	132.6	m	32	4,243	①
		망상균열	주의관찰	7.55	9.06	㎡	-		②
		재료분리	단면보수	2.32	2.784	㎡	51	142	①
		오염	주의관찰	43.24	51.888	㎡		-	②
		철근노출	단면보수	0.04	0.048	㎡	230	11	①
부대공(교통통제, 비계설치 및 기타경비)						1식	25,000	25,000	①
직접공사비						414,908		41,107	①
								373,801	②
제경비(직접공사비×40%)						207,454		20,554	①
								186,900	②
총공사비용						622,362		61,661	①
								560,701	②

※ 상기의 공사비는 개략공사비로서 정확한 공사비 산정은 실시설계를 통한 산출이 필요함.

10.2 유지관리방안

10.2.1 개요

교량의 유지관리는 시설물의 기능성과 안전성을 유지하기 위하여 일상점검 및 정밀점검을 통하여 구조물의 손상여부를 확인할 수 있고 특히, 초기결함을 찾아서 그 결함정도에 따라 적정한 보수공법의 선정, 보수시기 등을 판단하여 신속한 보수가 실시되어야 한다. 초기에 발견된 결함의 보수시기를 놓치면 나중에는 보수하기 어려울 뿐만 아니라 많은 보수비와 보수기간의 장기화로 통행차량의 불편과 동시에 물류비 증액의 원인이 된다. 따라서 유지관리를 통하여 손상된 부분을 원상복구하며, 경과시간에 따라 시설물의 개량, 보수·보강에 필요한 활동을 하는 것으로 교량의 각 부위별로 발생 가능한 손상에 대하여 주의 깊게 점검하여 그 원인을 미리 해소하는 예방활동에 목표를 두어야 한다.

1) 용어의 정의

유지관리와 관련된 용어의 정의는 다음과 같다.

- 유 지 관 리 : 교량의 건설당시의 성능 및 기능을 유지하기 위해 행하는 모든 행위
- 예방유지관리 : 손상발생의 징후 또는 그 원인을 사전에 발견해 조치를 취하는 행위
- 사후유지관리 : 손상 발생 후 조치를 취하는 행위
- 점 검 : 교량전체 또는 부재의 상태를 파악하기 위해 조사하는 행위
- 일 상 조 치 : 손상에 관계없는 주기적으로 행하는 조치
- 보 수 : 손상을 회복시키거나 더 이상 진전되지 않도록 하는 행위
- 보 강 : 교량의 변형과 내력을 개량하기 위하여 조치하는 행위
- 교 체 : 성능 및 기능이 저하된 부재, 부위의 전부 또는 부분을 교체하는 행위
- 상 태 평 가 : 교량의 각 요소.부재의 결함, 노후화 형태.크기.정도, 기능상실 등을 고려하여 준공상태와 비교하여 내리는 평가
- 교량관리체계 : 교량의 계획, 설계, 시공, 안전점검, 유지관리, 기능회복 및 교체 등 종합적인 관리를 위한 조직적.체계적인 최적의 관리 체계

2) 유지관리의 목적

- 교량의 안전성을 확보하고, 설계목적에 부합 되도록 보장한다.
- 손상을 조기에 발견하고, 향후 발생될 손상을 예견한다.
- 교량의 상태를 체계적이고 주기적으로 기록한다.
- 축적된 점검결과의 분석을 통해 향후 설계, 시공될 교량의 개선을 기대할 수 있다.
- 보수, 보강, 개축 등의 의사결정에 필요한 자료를 제공한다.

10.2.2 부재별 점검요령

1) 교면포장

(1) 교면포장의 정의

바닥판 상면에 위치하여 차량으로부터 진동을 흡수.분산시키고 외부의 불리한 환경조건에 대해서 바닥판을 보호하는 역할을 한다. 또한 교면포장은 직접 윤하중과 접촉하는 상태이므로 결함발생 빈도가 높으며 국부적인 포장의 결함이 많이 나타난다.

(2) 교면포장의 일반적 손상유형

- 균열
- 포트홀(Pot hole)
- 소성변형(요철, 단차)
- 마모 - 미끄럼 저항성 상실

(3) 점검요령

1. 급제동 구간이나 커브 구간에서의 포장의 소성변형, 균열, 마모 등의 점검
2. 중차량 통행이 많은 구간의 균열, 소성변형 및 포트홀 결함 점검
3. 신축이음부 전후방 : 후타재 콘크리트 파손과 병행하여 포장의 균열 및 파손점검
4. 물고임 구간 : 포장 배수경사가 불량한 구간에 대하여 비온 직후 물고임 구간을 점검

2) 난간 및 연석

(1) 난간 및 연석의 정의

- 난간 : 보행자, 자전거 및 자동차의 차도이탈 방지, 사고시 완충작용 등의 기능을 하며 차도 및 보도 외측에 설치되는 구조물
- 연석 : 보.차도의 경계부나 교량의 폭 방향 최외측 단부에 자동차의 시선유도 및 자동차의 이탈방지를 위해서 설치하는 구조물

(2) 난간 및 연석의 일반적인 손상유형

- 콘크리트 철근노출
- 난간파손
- 체결 볼트이완 및 누락

(3) 점검요령

1. 난간 및 연석의 종단선형이 급격하게 변화하는 부분이 있는지 확인이 필요하고 이러한 부분이 있다면 상부구조의 처짐을 의심하여야 함
2. 난간의 손상은 구조상으로 큰 중요도를 갖지는 않으나, 손상 발생시 사용자에게 불쾌감이나 위협감을 줄 수 있다. 특히 차량충돌 등 외부의 강한 하중에 의한 손상일 경우에는 바닥판에도 손상이 발생할 수 있으므로 주의 깊게 점검
3. 강재 난간의 경우 도막박리 및 부식발생 여부 점검
4. 연석은 주로 차량의 충격에 의한 국부파손, 균열 등의 손상에 대하여 점검

3) 배수시설

(1) 배수시설의 정의

교면의 물고임에 따른 차량 사고방지 및 물유입에 따른 부식방지를 위해 일정한 곳으로 물을 배출하기 위한 시설로 일반적으로 노견측에 배치함. 배수시설이 불량하여 교면에 물이 고여 있을 경우 주행차량에 큰 지장을 주고 겨울철에는 빙판을 이루어 교통사고의 원인이 될 수 있다.

(2) 배수시설의 기본구성

그레이팅(Grating), 배수구, 배수관

(3) 배수시설의 일반적인 손상유형

- 배수구 그레이팅 파손 및 누락
- 배수구 막힘
- 집수구 설치위치가 포장면 보다 높음
- 배수구 길이가 주형높이 보다 짧게 설치
- 배수관 고정상태 불량
- 집수구 주변 배수경사 불량으로 인한 물고임
- 배수관 유출구 위치확인(도로부 및 지반 밀착)

(4) 점검요령

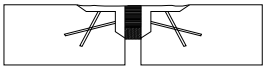
1. 배수관 길이가 주형높이보다 길이가 짧아 주형에 물이 튀길 염려가 있는지 조사
2. 배수관 유출구의 위치가 교각상에 있거나 도로상에 있어 차량통행에 지장 초래여부 조사
3. 배수관 유출구의 지반 밀착으로 배수기능저해 여부 점검
4. 배수관을 지지하는 고정장치 등이 흔들리는지 여부 점검

4) 신축이음장치

(1) 신축이음장치의 정의

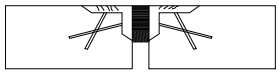
바닥판의 연결부에 설치되며 교량의 온도변화로 인한 신축, 콘크리트의 재령에 따른 크리프와 건조수축, 활하중에 의한 처짐 등 상부구조의 이동과 회전을 원활하게 수용하고 단부의 변위에 대해 주행성에 지장이 없도록 설치한 장치이며, 교면 우수 및 오물의 교량하부 유입방지 기능도 한다.

(2) 신축이음장치의 일반적인 손상유형

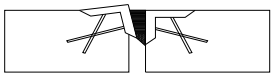


부식

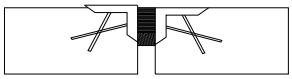
변형



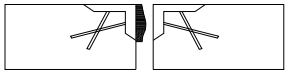
균열



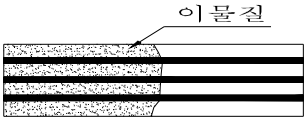
이탈 및 이상음 발생



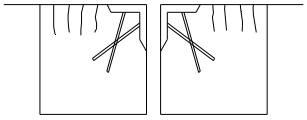
유간사이 단차



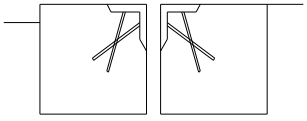
누수(채움재 소실) - 누수로 인한 교량 부재의 오염



신축유간 부적절 및 유간사이의 이물질, 폐쇄



후타재 콘크리트 균열 및 파손



콘크리트 후타재와 포장 또는 접속슬래브와의 단차
(차량하중으로 인한 충격유발)

(3) 점검요령

신축이음은 교량 상부구조의 신축을 수용하여야 하므로 점검자는 신축이음이 제대로 작동하는지를 면밀히 점검.기록하여야 한다. 신축이음의 손상은 구조물의 다른 부분에 이상이 발생한 것을 나타내는 경우도 있기 때문에 철저하게 점검하는 것이 바람직하다.

신축이음의 점검 시기는 일반적으로 신축유간이 많이 벌어져 이물질 유입, 충격 등으로 결함이 많이 발견되는 동절기와 이와 반대로 신축유간이 좁게 되어 신축이음의 충진재 등이 부풀어 오르는 하절기에 점검하는 것이 바람직하다.

1. 외관 및 청소상태
   ☞ 유간의 틈 사이에 오물 등의 퇴적여부 점검
2. 평탄성 확보 및 소음발생여부
   ☞ 차량 통과시 소음발생 및 단차(10mm 이상)발생 여부 육안점검
3. 방수성 확보
   ☞ 교각, 교대 위에서 점검이 가능하며, 또한 교량 상부에서 충진재 노출 및 탈락한 부분이 있는지 점검
4. 정착볼트 파손에 따른 신축이음 유동 여부
   ☞ 차량 통과시 충격음 발생, 신축이음의 움직임 등을 관찰
5. 후타재 콘크리트 및 접속부 포장상태
   ☞ 콘크리트 균열, 박락 징후 등을 점검하여 접속부 포장에 균열이 다수 발견될 경우에는 교면포장 내부의 콘크리트 상태가 불량할 경우가 많으므로 포장제거 후 점검
6. 고무재 표면마모
   ☞ 강재 신축이음장치의 신축작용을 하는 고무재의 마모 상태 점검
7. 설치유간
   ☞ 교량 받침의 신축 유간장 계산과 동일하며 점검당시 온도와 유간장을 측정

※ 교통량의 증가, 소홀한 시공, 미숙한 보수 등으로 신축이음은 교량의 구성요소 중에서 가장 파손이 빈번하다. 또한 신축이음이 파손될 경우 교면수와 오물의 교량하부 유입으로 받침의 부식을 초래하고 승차감 저하 및 교통사고의 원인이 될 수 있으며 또한 잦은 보수로 인하여 교통체증을 유발시키기도 한다. 따라서 결함은 조기에 발견 조치하는 것이 중요하다.

가. 신축이음의 유간 조정

① 신뢰할 만한 자료가 없는 경우, 설치시 온도는 콘크리트 구조물에서는 신축이음 설치 전 48시간 동안의 구조물 아래의 평균 그늘 온도를 취하여야 하고, 주부재가 강재인 구조물에 대해서는 신축이음 설치 전 24시간 동안의 평균 그늘 온도를 취해야 한다.

② 장대 구조물의 경우 설치시 온도의 부정확성과 신축이음 유간 설정 시와 신축이음 설치 완료시간 사이에 발생할 수 있는 상부구조의 이동에 대응하도록 규정된 신축이음 유간에 허용오차를 포함시켜야 한다.

③ 장대 구조물의 신축이음 설계시 최단 시간 내에 신축이음 조정과 설치가 가능한 장치, 세목 및 절차를 우선적으로 고려해야 한다.

④ 주부재에 대한 신축이음 지지부의 연결은 수평, 수직, 회전의 조정이 가능해야 한다.

⑤ 시공 줄눈과 블록아웃은 신축이음의 설치와 조정 전에 뒤채움 및 주요부재요소의 설치가 실질적으로 가능한 곳에 사용해야 한다.

나. 설치시 유간 계산

① 설치시 신축이음의 유간($\triangle lset$)은 다음과 같아야 한다.

$\triangle lset = \alpha \cdot (Tmax - Tset) \cdot L +$ 여유량

여기서 ; $\triangle lset$: 설치시 유간, α: 선팽창계수

Tmax : 최고온도 (℃), Tset: 설치시 온도(℃)

L : 신축길이 (m)

여유량 : 도로교설계기준 2.4.22 설계 신축량의 여유량에 따른다.

② 신축이음의 이동량이 중간값으로 설정되어 현장으로 반입되는 제품은 설치시 유간을 확보하기 위해 다음식 만큼 유간을 조정하여 설치해야 한다.

여기서; $\triangle lcal = \triangle lset - \triangle lm$

$\triangle lcal$: 제품의 유간 조정량

$\triangle lset$: 설치시의 유간

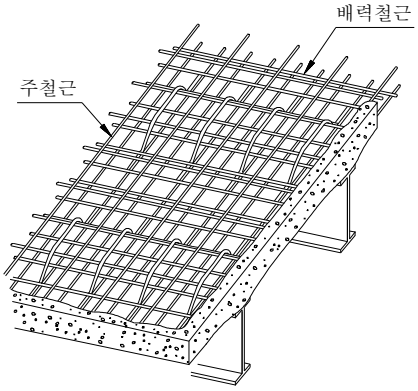
$\triangle lm$: 반입시 제품의 유간

5) 바닥판

(1) 바닥판의 정의

바닥판은 철근 콘크리트 또는 강재로 이루어져 교통하중을 직접 지지하며, 하중을 바닥틀(가로보 및 세로보)이나 주거더에 전달하는 역할

(2) 철근 콘크리트 바닥판



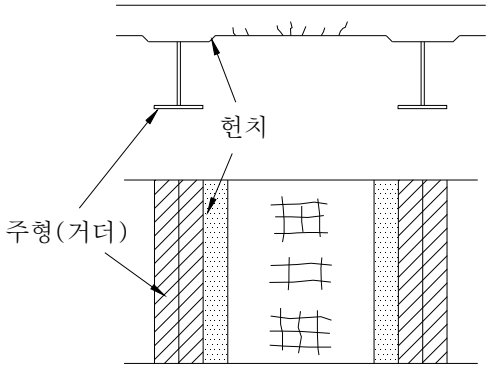
-주철근 : 설계하중에 의하여 단면적이 정해지는 철근

-배력철근 : 응력을 분포시킬 목적으로 정철근 또는 부철근과 직각에 가까운 방향으로 배치한 보조적인 철근

<그림 9.7>슬래브의 철근배근

(3) 일반적인 손상 유형

- 균열
- 누수 및 백태
- 재료분리
- 층분리
- 박락 및 철근노출



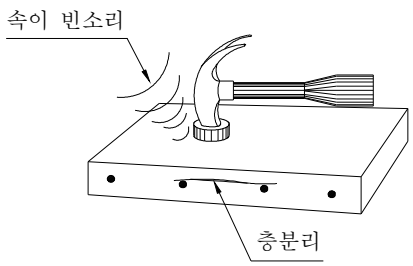
<그림 9.8>일반적인 슬래브의 손상 유형

(4) 점검요령

- 바닥판의 균열, 망상균열, 백태 발생 여부 관찰
- 배수구 및 신축이음장치 주변 누수, 백태 발생여부
- 콘크리트 탈락, 철근노출, 재료분리
- 활하중 통과시 심한 진동 또는 처짐

1. 바닥판의 손상정도를 판단하는데 있어서 균열은 상당한 비중을 차지하므로 점검 시에는 단순히 균열규모와 모양을 관찰하는데 그치지 말고, 여러 상태에 따른 원인을 파악하고 그에 따른 적절한 조치방법을 수립할 수 있도록 주의 깊게 조사한다.
2. 바닥판 균열상황은 정기적인 조사로 진행상황을 파악하도록 한다. 그러기 위해서는 현장에 균열의 시점과 종점을 표시해 두는 것이 필요하며 이후 점검자는 이의 진행여부를 면밀히 관찰하여야 한다.
3. 큰 균열일지라도 상당히 오래전에 발생하여 안정된 것이 있는 반면에 미세균열일지라도 윤하중의 반복재하에 의해 점차 커지는 균열이 있으므로 균열조사시에는 특별히 큰 균열에만 주목하지 말고 미세한 균열에도 주의한다.
4. 균열로부터 녹물 유출 여부를 조사할 것(철근의 부식 예측).
5. 모든 휨모멘트 구간에서 콘크리트 박리, 박락 등을 조사할 것
6. 내부에 공동이나 콘크리트 박리가 존재할 경우 육안으로 점검이 불가능하므로 점검망치를 두드려 소리로서 박리 여부를 판단한다. 특히 콘크리트 내부의 열화상태가 심한 경우에는 외관상 건전한 부위에서도 펀칭전단파괴의 우려가 있으므로 반드시 점검용 망치로 두드려 소리를 확인한다.
7. 누수 및 백태가 발견된 부위는 배수경사 불량 등의 표면 체수의 원인이 아닌 경우 교면포장 하부의 불량, 방수층의 파손, 수포(水泡)대의 형성 등의 체수가 원인일 수 있으므로 포장을 제거하여 조사하는 등 우수유입 경로와 체수 원인을 규명하여 배수가 원활히 되도록 하거나 누수의 원인을 제거하는 등의 조치가 필요함
8. 휨 및 전단부위의 균열 및 철근노출 등의 결함은 콘크리트 덮개측정 및 철근탐상 등의 조사를 수행하여 상세 검토를 실시한다.

※ 점검망치 : 내부의 공동이나 층분리 여부를 소리로 판단. 즉 건전한 부분과 결함이 있는 부분의 충격음은 다르게 소리가 난다.



<그림 10.9>슬래브 점검요령

6) 교량받침

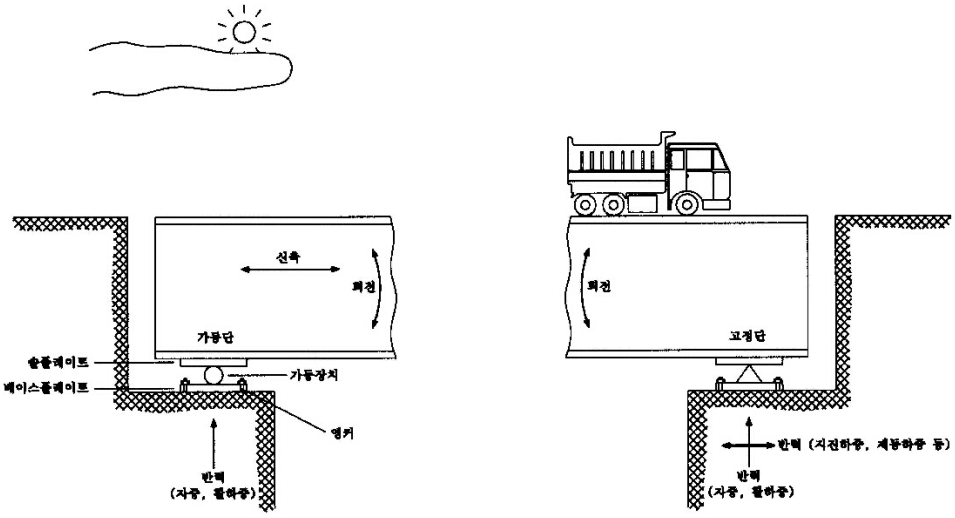
(1) 정의

상부구조에 작용하는 하중을 하부구조에 전달하기 위해 교량의 상.하부구조의 접점에 설치하는 구조부재

(2) 받침의 기본구성

가. 구성요소

- 솔 플레이트(Sole Plate)
- 받침 본체
- 베이스 플레이트(Base Plate)
- 앵커(Anchor)



<그림 9.13>받침의 구성요소

(3) 받침의 기능

가. 가동단 : 상부구조의 하중을 하부구조에 전달, 처짐 등에 따른 회전, 온도신축에 의한 상부구조의 종방향 이동

나. 고정단 : 상부구조의 하중 전달, 처짐 등에 따른 회전, 이동 방지

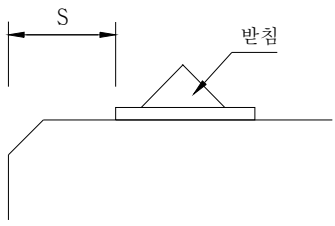
(4) 받침의 일반적 손상유형

- 주거더의 지점부 수직보강재와 받침의 편기
- 받침 연단거리 부족 및 연단부 콘크리트 파손 유무

연단거리 S(cm)

- 지간거리 100m이하 : S=20+0.5L
- 지간거리 100m이상 : S=30+0.4L

여기서, L : 지간거리(m)



- 받침의 침하
  ☞ 특히, 연속교에서 받침의 침하는 불균등 모멘트의 발생으로 인하여 인접지간이나 지점부에 취약부분이 발생함.
- 앵커볼트 변형 및 상부받침의 볼트설치 상태불량
- 가동면의 이물질 부착 및 부속품과 받침 본체 접촉으로 인한 작동장애
- 받침대 콘크리트의 높이 부족, 받침하부 공극 및 파손
- 받침 설치면인 교각 두부의 체수 및 받침부식

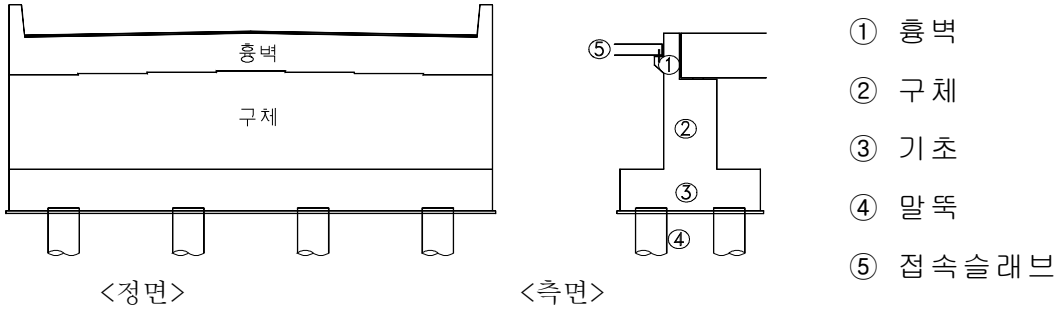
1. 받침장치 주변의 오물퇴적으로 인한 열화 점검
2. 계산 연단거리 확보 여부 조사
3. 체결 앵커볼트의 변형 풀림 등 조사
4. 받침장치 주변 물고임 및 강재 부식점검
   - 받침대 콘크리트의 손상 혹은 설치높이가 낮은 경우 물고임 여부를 확인하여야 하며 특히 신축이음부 하부의 경우 주의깊게 조사하여 부식으로 인한 작동장애가 발생하지 않도록 한다.

7) 교대

(1) 정의

교대는 교량 맨 끝단에 위치하여 상부구조물로부터의 하중을 기초에 전달하는 하부구조로서 단부의 성토부를 보호하는 기능을 가지고 있으며, 날개벽은 교대 양측에 위치하여 지표면과의 높이 차를 조정하는 역할을 한다.

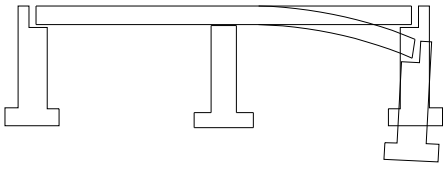
(2) 교대의 기본구성



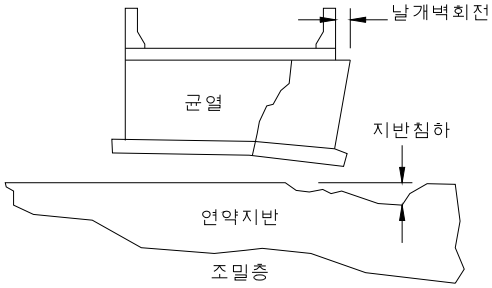
(3) 교대의 일반적인 손상유형

가. 교대의 침하(연직이동)

교대의 수직이동은 균등침하와 부등침하로 나눌 수 있는데 일반적으로 구조물 전체가 균등하게 침하하는 것은 큰 문제가 없으나 부분적으로 불균등하게 침하가 발생하면 경간길이나 교량형태에 따라 구조물에 심각한 문제를 일으킬 수 있다. 부등침하가 발생하면 교대와 날개벽 사이의 신축이음부가 벌어지거나 교대, 옹벽 등이 기울어지거나 균열이 발생하기도 한다. 부등침하가 발생하는 원인은 지반지지력의 약화, 압밀침하, 하상세굴, 재료의 팽창, 기초손상 등이 있다.



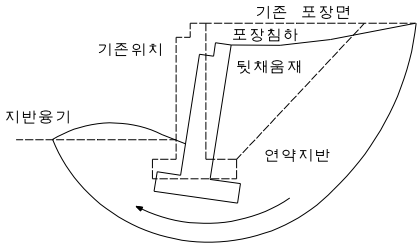
(a) 부등침하



(b) 날개벽 회전

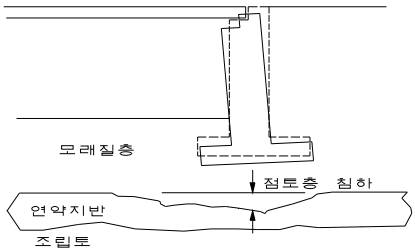
나. 교대의 수평이동(활동)

흙을 수평으로 받치고 있는 교대나 옹벽은 수평으로 이동하거나 슬라이딩이 발생하기 쉽다. 구조물을 제자리에 고정시키는 연직력보다 토압에 의한 수평력이 크게 작용할 때 교대나 옹벽은 수평이동(Sliding)하기 쉽다. 이러한 손상의 주원인은 구조물에 지지되고 있는 흙의 사면활동, 침투수압, 흙의 특성 변화(동결융해) 그리고 시간의 흐름에 따른 기초지반의 압밀 등 그 이유는 다양하다.



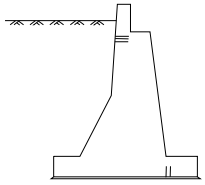
다. 교대의 회전이동

교대의 회전, 즉 기울음은 기초의 수평이동 또는 흙의 불균등 침하로 발생하게 된다. 이러한 손상의 주원인으로는 하상세굴, 교대 배면에서 작용하는 수압, 교대 양면의 뒷채움재 침식, 기초의 침하 또는 부실한 설계를 들 수 있다.

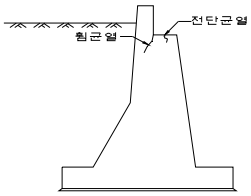


라. 콘크리트 균열

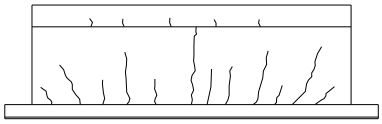
토압의 작용에 의해 교대 콘크리트의 최대 단면력이 작용하는 부분에 발생하는 구조적인 균열로서 육안으로는 관찰되지 않는 위치에 있다.



주거더와 교대 흉벽사이에 신축유간이 부족하거나 받침의 작동기능이 불량할 경우 흉벽과 두부 경계부에 휨형태의 균열 및 전단균열이 발생함



온도변화에 의한 벽체의 체적변화가 기초 콘크리트에 구속되어 발생하는 비구조적인 균열로서 주로 시공초기에 발생한다. 기초침하가 병행될 경우 큰 균열로 발전할 우려가 있으나 일반적인 경우 안전성에는 별문제가 되지않는 균열임



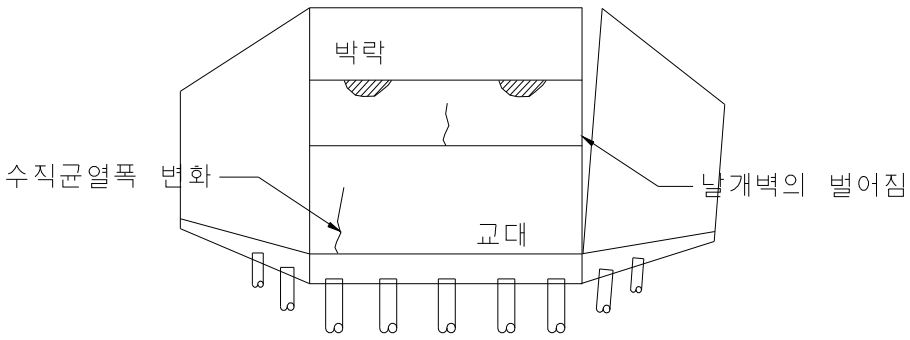
마. 재료분리

바. 누수, 백태

교대 두부 및 측면에 신축이음부로 유입된 물이 고이거나 구체를 타고 내려 균열부에 스며들면 백태현상도 발견됨

사. 콘크리트 박락 및 철근노출

1. 받침 콘크리트 전면 및 흉벽부의 균열 및 박락 조사
2. 구체에 발생한 수직균열의 폭 확대 혹은 길이의 진전여부를 정기적으로 확인
3. 교대와 날개벽 연결부 벌어짐 점검
4. 교대 기초의 이동이나 회전이 의심스러운 경우에는 교대두부나 흉벽에서 실에 추를 매달아 내리거나 측량기로 확인할 수 있다. 또한 신축이음부가 특이하게 닫혀있거나 크게 벌어진 경우에도 교대기초의 유동 등을 의심하여 조사함



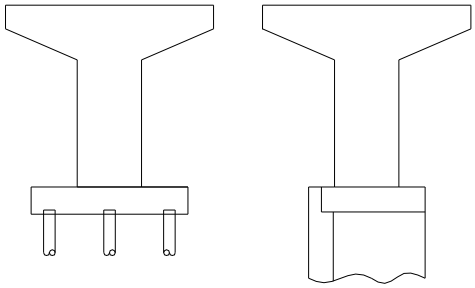
<그림 9.14>교대의 점검 요령

8) 교각 및 기초

(1) 교각의 정의

교량의 시·종점 교대사이에 위치하여 상부구조물을 지지하는 하부구조이다.

(2) 교각의 기본구성



① 교각코핑
② 교각구체
③ 기초
④ 파일
⑤ 우물통

(3) 교각의 일반적인 손상유형

가. 기초세굴

① 세굴의 정의

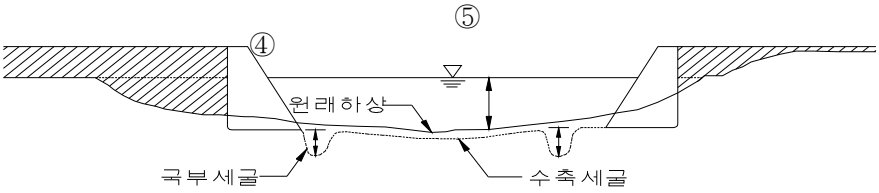
세굴은 유수의 침식작용에 따라 하상이나 성토부의 재료를 제거하는 작용임

② 세굴의 형태

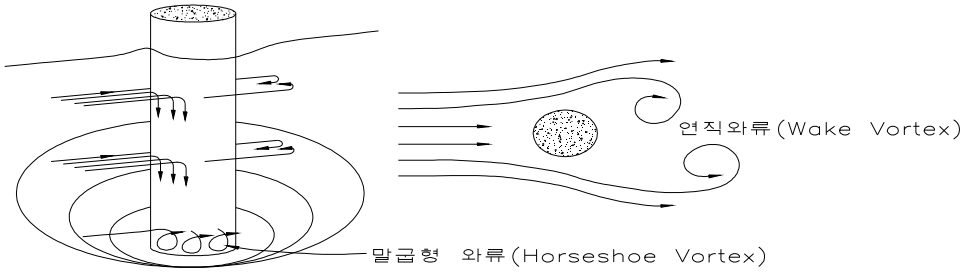
-일반세굴(General Scour) : 하상이 장기적으로 어느 일정한 길이에 걸쳐 침식되는 현상

-수축세굴(Contraction Scour) : 원래 수로단면이 축소되었을 때 평균유속 및 하상 전단응력의 증가에 의해 하상물질이 제거되는 현상

-국부세굴(Local Scour) : 와류(Vortices)의 형성으로 교대 및 교각의 주위가 침식되는 현상으로 하상이 어느 정도 안정된 경우 대부분 국부세굴이 문제가 된다.



(a) 수축세굴과 국부세굴

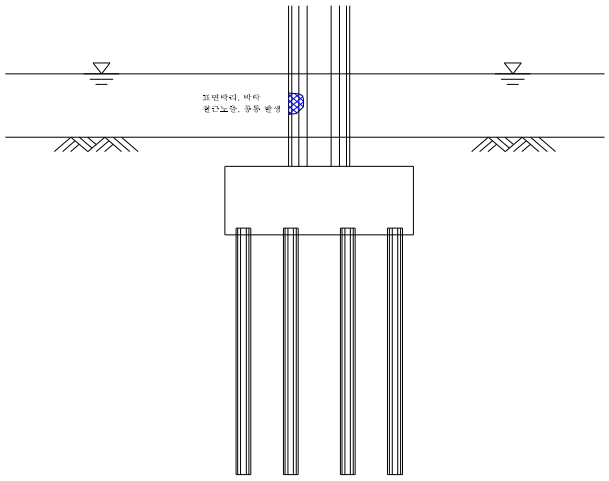


(b) 원형기초의 국부세굴

<그림 9.15>세굴의 형상

나. 교각 콘크리트의 침식

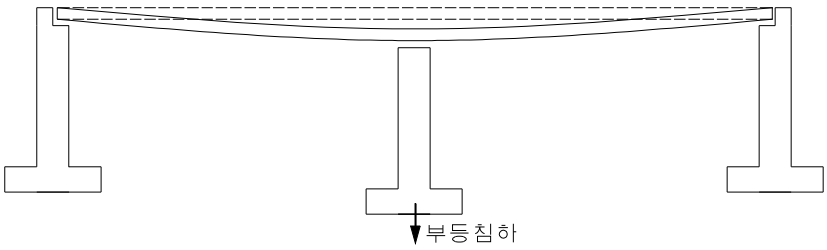
부유물의 충돌, 동결융해, 유수에 의한 장기적인 콘크리트의 마모 등으로 인하여 콘크리트 박락.공동 등의 결함이 발견된다. 수중에서는 콘크리트 표면의 박리 및 박락의 결함이 발생하며 이에 따른 철근노출의 결함도 발생한다.



<그림 9.16>콘크리트 침식의 형상

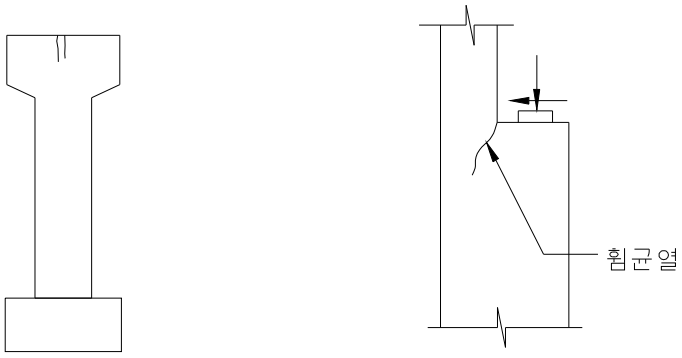
다. 교각의 침하

교각이 부등침하 할 경우에는 심각한 문제들이 발생한다. 이러한 현상이 발생하게 되면 신축이음부가 심하게 벌어지거나 완전히 닫혀버리는 현상이 발생하게 된다. 한편 부분적으로 콘크리트가 떨어져 나가는 현상도 발생하게 된다. 즉, 콘크리트의 박락, 균열, 또는 부재의 좌굴도 발생하게 된다. 이러한 현상은 지반의 지지력 감소, 압밀, 기초세굴, 기초재료의 파손 등에 의해서 발생한다.



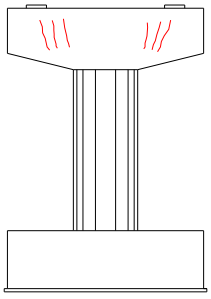
라. 콘크리트 균열

① 휨균열 : 최대모멘트 작용위치에서 일반적으로 부재 높이의 1/2이내 구간까지, 연단부에서 최대, 중립축에서 최소폭의 크기로 발생

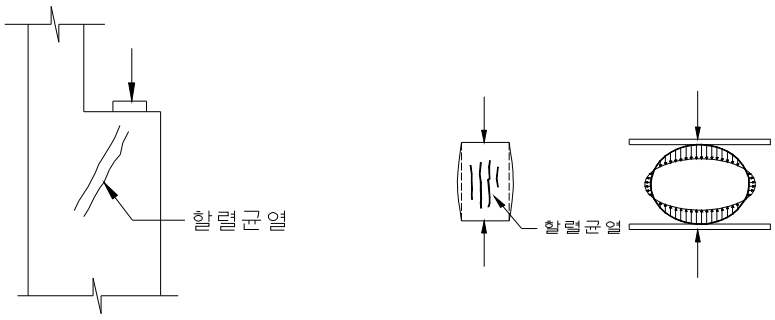


(a) T 형식 (b) 내민식

② 전단균열 : 최대 전단력 위치에서 45°방향으로 발생하며, 전단철근이 부족하게 배치된 경우에 발견됨



③ 할렬균열 : 교량받침 하부의 보강철근이 부족할 경우 주로 발견되며 받침에서 떨어진 위치에서 인장응력에 의해 발생함



④ 교각의 진동 : 점검시 교각이 심하게 흔들릴 경우 교각기초에 세굴이나 지지력이 부족할 경우가 있으므로 정밀한 점검이 필요함

1. 콘크리트의 침식
   - 수중에 위치한 교각 콘크리트의 표면 침식(콘크리트 박락, 철근노출) 점검
2. 교각의 침하
   - 신축이음 양측이 비정상적으로 크게 벌어지거나 또는 붙어있는 경우 점검
   - 침하의 징후가 되는 균열발생여부 점검
   - 상부 구조물의 바닥판 혹은 난간 등의 선형점검 - 필요한 경우 측량기 이용
   - 기초 주변의 하상세굴 점검
3. 회전 및 수평이동
   - 추를 이용하여 수직선형을 점검.
   - 빔과 빔사이의 간격을 점검.
   - 교량받침이 과도하게 이동한 흔적이 있는지 점검
4. 콘크리트 손상
   - 주철근 배근위치의 휨균열(콘크리트 손상유형 참조)
   - 교각 받침부 주변의 휨 및 전단균열을 점검
   - 교각두부 상부의 횡균열
   - 교각의 부등침하에 대한 균열
   - 구체 수직균열
   - 콘크리트 박리, 박락, 공동, 재료분리, 백태, 유리석회, 철근노출
   - 신축이음장치 하부 누수 및 백태 점검

10.2.3 중점 유지관리 사항

본 교량에서 외관조사 결과 조사된 결함에 대해 보수·보강을 실시한 부재나 결함의 진전 여부와 발생유무를 주기적으로 관찰함으로 후에 더 크게 발전할 가능성이 있는 결함부위에 대한 원인을 분석하여 사전에 예방하자는 유지관리차원에서 중점적으로 점검하여야 할 사항들이다.

1) 교면포장

- 포장면 균열 및 포트홀 손상진행 유무 확인

2) 방호벽

- 가로등 기초의 균열진행여부
- 방호벽 철근노출부 진행여부및부식정도 확인.
- 균열//백태부의 진행여부

3) 배수시설

- 상부 배수구 주기적인 청소 및 유지관리.

4) 신축이음장치

- 신축이음 본체 주기적인 청소 및 유지관리.
- 후타재 균열 확대 및 진전 유무.

5) 바닥판 하면

- 바닥판 하면 및 캔틸레버 하면 균열 확대 및 진전유무.
- 캔틸레버 하면 백태 및 손상유무 확인.

6) 거더

- 거더 내.외부 균열, 긁힘, 백태 등의 진행 및 손상유무

7) 교량받침

- 교량받침 유지관리.

8) 하부구조

- 교대 표면오염 등 기타 손상유무 확인.
- 교각 미세균열 및 망상균열 확대 및 진전 유무.
- 교각 백태, 박리박락, 곰보, 박리 및 긁힘 등 기타 손상유무 확인.

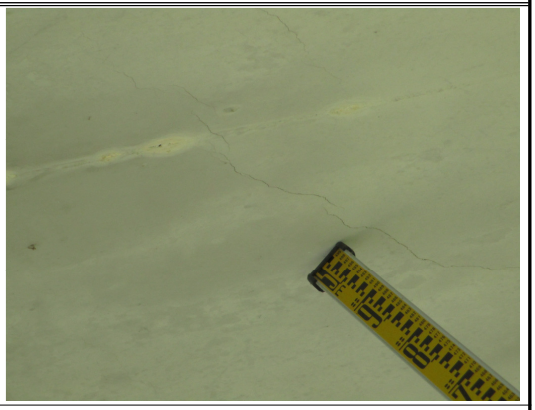
10.2.4 부재별 중점유지관리 사항

구 분	교면포장 중점 점검사항	
현황사진		
손상현황	포장 균열	포장 패임(S10)
점검방법	• 도보를 이용한 근접 육안조사	
점검항목	• 교면포장 균열 및 포트홀	
중 점 점검사항	• 교면포장은 점검일 현재 일부 포장면 균열 및 포트홀이 조사되었으며 구조물의 내구성 향상을 위해 씰링보수, 소파보수등의 보수가 필요할 것으로 판단됨. • 교면포장면에 대한 주기적인 청소가 필요할 것으로 판단됨.	

구 분	난간 및 방호벽 중점 점검사항	
현황사진		
손상현황	철근노출(S13)	가로등 기초 균열 (S13)
점검방법	• 도보를 이용한 근접 육안조사	
점검항목	• 가로등기초의 균열 진행여부. • 방호벽 철근노출부 진행여부및부식정도 확인. • 균열//백태부의 진행여부	
중 점 점검사항	• 가로등 기초 균열부위에 대한 적절한 보수가 요구됨. • 방호벽 철근노출부에 대한 적절한 보수가 요구됨.	

구 분	배수시설 중점 점검사항	
현황사진		
손상현황	배수구 막힘	배수관 탈락(P6)
점검방법	·도보를 이용한 근접 육안조사	
점검항목	·상부 배수구 주기적인 청소 및 유지관리. · 배수구 변형 및 탈락여부 점검.	
중 점 점검사항	·점검일 현재 상부 배수구 막힘과 배수관 탈락이 조사되었으며, 배수구 막힘은 동절기 결빙 등으로 인한 안전사고를 유발할 수 있으므로 배수기능 확보를 위한 점검 수리와 청소 등의 일상적인 유지관리 필요.	

구 분	신축이음 중점 점검사항	
현황사진		
손상현황	유간퇴적(A2)	후타재균열(P8)
점검방법	·도보를 이용한 근접 육안조사, 신축량 측정(줄자)	
점검항목	·신축이음 본체 주기적인 청소 및 유지관리. ·후타재 균열 확대 및 진전 유무.	
중 점 점검사항	·신축이음 장치 상태는 양호한 상태이지만, 유간 토사퇴적이 조사되었으며, 후타재에서 다수 균열에 대해 장기적인 차원으로 볼 때 보수가 필요.	

구 분	바닥판 하면 중점 점검사항	
현황사진		
손상현황	누수/백태(S5)	균열(폭0.3mm이상)-S1
점검방법	• 교량점검차를 이용한 근접 육안조사	
점검항목	• 바닥판 하면 및 캔틸레버 하면 균열 확대 및 진전유무. • 캔틸레버 하면 백태 및 손상유무 확인.	
중 점 점검사항	• 바닥판 하면에서 균열 및 백태 경우 결함의 진전 및 추가발생에 대한 관찰이 필요하며 장기 내구성확보를 위해서는 결함별 적절한 보수가 요구됨.	

구 분	거더 및 가로보 중점 점검사항	
현황사진		
손상현황	PSC Box 내부 균열	PSC Box 내부 균열
점검방법	• 교량점검차 및 점검로를 이용한 근접 육안조사	
점검항목	• 거더 내.외부 균열, 긁힘, 백태 등의 진행 및 손상유무	
중 점 점검사항	• 거더 내 외부에 발생된 균열 및 백태 등의 손상에 대해서 적절한 보수가 필요함.	

구 분	교량받침 중점 점검사항	
현황사진		
손상현황	교량받침(P2) 도장부식	교량받침(A2) 도장부식
점검방법	· 교량점검차 및 점검로를 이용한 근접 육안조사	
점검항목	· 받침장치 가동상태, 여유량 등의 성능확보 상태 확인. · 교량받침 유지관리.	
중 점 점검사항	· 교량받침의 본체 및 받침 콘크리트 상태는 양호하며, 발생된 도장부식에 해서는 적절한 도장보수가 필요.	

구 분	하부구조 중점 점검사항	
현황사진		
손상현황	교대균열및오염(A1)	교각 균열(P2)
점검방법	· 도보 및 교량점검차를 이용한 근접 육안조사	
점검항목	· 교대 표면오염 등 기타 손상유무 확인 및 보호공 유실유무 확인 · 교각 미세균열 및 망상균열 확대 및 진전 유무. · 교각 백태, 박리박락, 곰보, 박리 및 긁힘 등 기타 손상유무 확인.	
중 점 점검사항	· 교대 표면오염, 보호공유실, 교각 미세균열, 망상균열, 백태, 박리박락, 곰보, 박리 및 긁힘에 대한 장기 내구성확보를 위해서는 결함별 적절한 보수가 요구됨.	

10.2.5 유지관리업무

1) 일 반

효과적인 교량관리를 위하여 설계도서를 포함한 필요한 자료를 보관하여야 한다.

(1) 설계도

·시공도서 : 시공도면, 보수.보강도면, 준공내역서, 구조계산서
·제작 및 작업도면 : 붕괴유발부재를 포함한 교량부재의 상세도면
·준공도면 : 최종도면

(2) 시방서

·표준시방서 및 전문시방서(보수.보강공사 포함)

(3) 사 진

·전경, 정면, 측면, 주요 결함부, 주요 공정사진

(4) 재료시험

·시공재료 종류, 등급, 품질을 기록한 공장 재료증명서
·품질관리(선정 및 관리시험)기록
·비파괴 시험자료(재료의 강도 등)

(5) 보수이력

·보수기간, 보수위치.공법.물량 및 손상종류, 시공회사, 공사비, 참여기술자

(6) 사고기록

·사고일시, 경위, 부재의 손상 및 보수.보강현황, 인명이나 장비등 손상정도

(7) 교량관리대장

·교량에 관한 손상과 보수.보강을 포함한 연도별 점검기록이 포함된 교량관리기록으로서 관리항목에는 다음과 관련된 사항이 포함된다.

- 교량구분

교량명, 교량일련번호, 관리주체, 위치, 이정, 교차코드, 확장구분

- 교량형식 및 사용재료

경간수, 상부구조 형식, 하부구조 형식, 부착시설 형식, 중앙.차보도 분리대 형식 및

높이, 난간.조명 형식

- 연령 및 공용성

착·준공 년월일, 상·하행 차선수, 우회로 연장·경로, 일평균 교통량 등 교통관련기록

- 교량제원

교장, 총폭원, 유효폭원, 최대경간장, 교고, 통과높이, 곡선반경, 보도폭, 접속도로 폭.곡선반경

- 교량분류, 내하력 및 통행제한

교량등급, 설계하중, 내하력 평가방법 및 계산기록, 기본내하력, 공용하중, 교량 안전도, 허용통과하중 및 통행제한여부, 붕괴유발부재 표시도면, 재하시험 수행 시 고유진동수, 충격계수

- 교량상태 평가

바닥판, 상부구조, 하부구조, 수로에 관한 관찰 상태, 유지관리활동 또는 제한사항 등을 포함한 교량상태 점검결과

- 기 타

교각보호시설여부, 세굴위험여부, 통행제한사항 (하중,속도), 부대시설물, 기타 구조물에 피해를 주는 환경조건

·교량관리대장의 변경 작성

- 확폭이나 확장의 경우
- 유지보수나 개량작업으로 부재의 강도나 사하중의 변화가 구조물의 상태 또는 내하력을 변화시키는 경우 그에 따른 내하력 계산을 한다.
- 사고일시, 경위(원인 및 대책포함), 부재의 손상 및 보수.보강현황
- 부착시설 현황(상수도관, 가스관, 통신케이블 등)
- 전면 개수시는 기존교량 대장은 보존하고 재작성

2) 점검 및 진단 자료

(1) 점검 및 진단 이력

·점검종류 및 일시, 점검자, 관리주체, 점검결과 등 모든 점검/진단활동 관련사항

(2) 점검시 필요조치사항

·현장점검을 원활히 수행하기위한 각교량의 특성과 부위, 특수장비 목록, 접근방법 등
·점검자나 공공 안전확보를 위한 점검시 교통운용계획을 포함한 특별한 사항
·기 실시한 점검 및 진단보고서
·준공도면등 건설 관련 기록
·보수.보강 기록이나 사고이력

(3) 점검자료의 갱신

·교량관리대장에는 현장조사일시를 명시하며 최종 점검 이후 교량에서 수행된 주요작업에 대하여 기록한다.
·유지관리와 개량작업으로 인하여 구조물의 규격이 변경된 경우에도 변경된 치수를 기록한다.

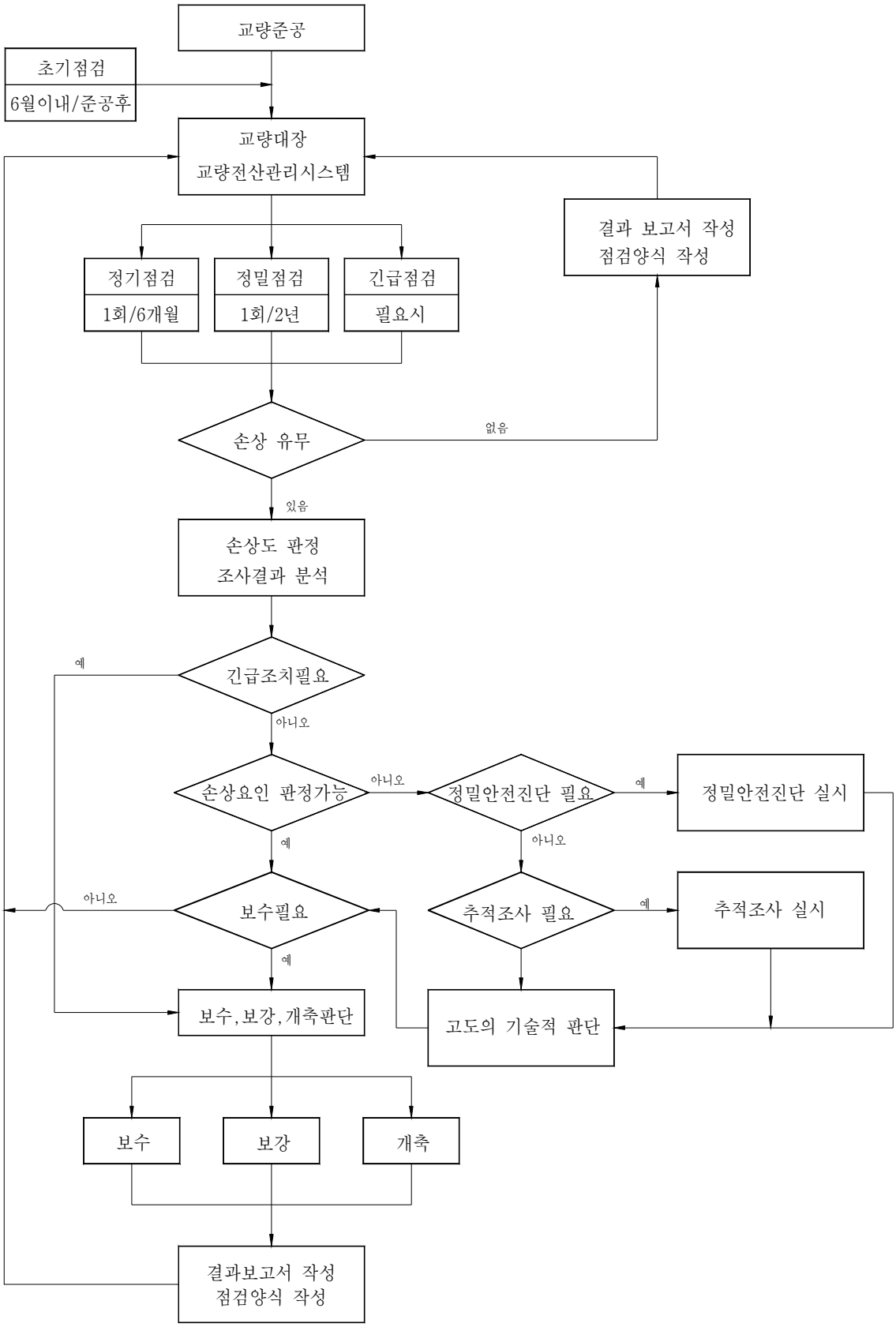
3) 상태 및 안전성 평가 자료

(1) 내하력 평가기록

관리주체는 내하력 평가방법과 종류 및 해석결과, 사용된 계수 등 내하력 결정에 관련된 제반기록을 보관한다.

(2) 계측기록

계측이 필요하다고 판단되는 구간에는 중요한 구조부위를 선정하여 정기적으로 계측을 시행하고 그 기록을 보존한다.



<그림 10.17>유지관리 흐름도

4) 유지관리업무 종류와 방법

안전점검은 정기점검, 정밀점검, 초기점검, 긴급점검이 있다.

(1) 정기점검

손상을 미리 발견하기 위하여 반기별 1회이상 실시하는 순찰과 유사한 성격의 점검으로 도보로 접근이 가능한 부재에 대하여 전반적인 외관상태를 관찰하는 수준으로 실시한다.

(2) 정밀점검

시설물의 수명을 연장하기 위하여 매년 1회 이상 정기적으로 실시하는 점검으로 도보접근이 가능한 부재를 육안이나 간단한 점검장비를 이용하여 실시하되 전반적인 외관상태를 대상으로 한다.

점검은 육안검사와 정기점검에 사용되는 보조기구 외에 카메라, 반발경도 측정기, 균열자, 줄자 등의 간단한 측정기구를 사용하여 영구작업대, 점검통로 또는 점검차를 사용하여 주형 및 바닥판 하부 등 정기점검시 접근이 불가능한 부위까지 점검한다. 손상상태평가는 경간별 지점별로 행하되 문제부위에 대하여는 외관조사망도를 구성하여 등급을 매기는 것으로 한다. 구조 혹은 하중상태가 변화된 경우에는 구조계산을 통한 내하력평가를 시행한다.

(3) 초기점검

공용개시전에 교량전체에 대한 육안검사와 콘크리트 강도조사, 철근 배근상태조사, 재료시험 등의 현장시험을 실시하여 시공상태를 평가하고, 구조물에 손상을 주지 않는 범위내에서 재하시험을 시행, 처짐과 공용내하력의 초기치를 설정하여 향후 교량의 점검 및 진단시에 기초자료로 활용하도록 하기 위한 점검으로서 정밀안전진단 수준으로 실시한다.

구조형태가 변화되었을 때에도 초기치를 결정하기 위하여 초기점검을 실시하고 비파괴현장시험 및 재료시험의 종류는 기존자료 및 교량상태를 고려하여 선정한다. 육안검사시 결함이 있는 경우에는 도면으로 기록하며, 교량전체 부재에 대한 안전성 조사 및 상태평가, 현장시험 등 각종 점검자료를 보존토록 한다.

(4) 긴급점검

① 손상점검

재해가 발생한 경우나 발생우려가 있는 경우, 일상점검에서 이상이 발견된 경우 시설물 안전성을 확보하기 위하여 실시한다.

점검의 범위는 긴급한 사용제한이나 사용금지의 필요성이 있는지의 판단과 보수를 수행하는 데 있어 필요한 작업량의 정도를 결정할 수 있어야 한다. 손상점검은 정밀점검의 보완수단으로 손상의 정도와 보수의 긴급성 그리고 보수작업의 규모를 파악할 수 있어야 하며 시험장비에 의한 현장측정 및 사용제한기간에 대한 판단이 필요하다.

② 특별점검

관리주체가 판단하여 행하는 정밀점검 수준의 점검으로 기초의 침하 또는 세굴, 부재변형 등 결함이 의심되는 경우나, 하중제한중인 시설물의 지속적인 사용여부를 판단하기 위한 점검이다.

5) 정밀안전진단

점검으로는 발견할 수 없는 결함부위를 찾기 위하여 행하여지는 정밀한 육안검사 및 장비에 의한 근접점검이다. 필요한 경우 점검차, 비계, 작업선 등의 특수장비와 잠수부와 같은 특수기술자가 필요하며 결함의 존재 및 범위를 파악하기 위한 내구성측면의 비파괴 현장시험 및 기타 재료시험을 병행한다.

손상상태평가는 전체경간, 전체지점에 대하여 외관조사망도를 구성하여 손상표기 범례에 따라 상세히 작성하고 수중부분은 잠수부를 동원하여 정밀한 점검을 행한다. 외관상태 평가시의 착안사항은 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침에 따른다.

교량의 안전성 평가는 대상교량의 활하중 지지능력을 평가하는 것으로서 교량 구조부재의 저항능력을 정확히 산정하는 것이 중요하다. 진단은 교량에 대한 안전성 평가를 포함하며 내하력 평가시 필요할 경우 재하시험을 실시한다.

교량부재의 저항능력은 정밀 육안검사 및 비파괴시험을 통해 파악된 부재의 상태와 교량의 현상황을 고려한 구조해석 결과와 필요시 재하시험을 실시하여 산정하며, 제반기준은 현행 도로교표준시방서 및 철도건설공사표준시방서의 기준에 의하여 산정한다. 정밀안전진단 결과 보수, 보강이 필요할 경우에는 그 방법을 제시한다.

6) 일상순찰

일반적으로 작업차로 교량을 순찰할 때 발견되는 교량의 바닥판 상면의 노면잡물, 배수구 주변의 오물 퇴적, 연석이나 표지판의 불결함 등 사용자들에게 줄 수 있는 위협감이

나 불쾌감을 해소하기 위하여 일반 작업원들이 실시하는 작업을 말한다.

(1) 바닥판 및 배수구 관리

- 바닥판, 보도부, 표지판 청소, 배수구 청소

(2) 신축이음장치 관리

- 차량 통과시 이상음, 승차감의 이상, 단차 발견시 기술자에게 위치 및 손상보고

7) 교체

난간, 보차도 경계석, 중앙분리대, 조명시설, 교통표지판, 게시물 등 구조부재를 제외한 교량의 부대장치나 시설중에서 교량전체의 사용연한보다 연한이 짧은 것에 대하여 교체, 치환 또는 복원하는 작업을 말한다. 이는 각 대상별로 정해진 주기에 따라 실시하거나 관리책임자의 판단에 따라 필요한 경우 실시한다. 작업중 안전성, 내구성, 사용성에 미치는 영향에 대하여 해당 기술자의 검토가 선행되어야 한다.

8) 보수

교량의 구조에 영향을 주는 부재(교량받침, 신축이음부, 포장, 콘크리트부재, 강재부재, 교각, 교대 등)가 손상되어 안전성, 내구성, 사용성에 장애가 있다고 판단되고 단순한 기능환원공사에 의하여 그 장애가 제거될 수 있는 경우에 실시한다. 보수는 보강과는 달리 기능 및 강도의 강화를 꾀하는 것은 아니며 손상전의 상태로 복원하는 것을 의미한다. 모든 보수공정은 전문기술자가 교량 전체의 안전성, 내구성, 사용성의 영향을 검토하여 계획을 수립하여야 한다.

9) 보강

손상의 정도가 심각하여 보수의 효과가 의심스럽거나 사회, 정책적인 필요에 의해 강도 증진 또는 기능강화가 필요한 경우 실시한다. 이는 원 설계자가 의도한 구조의 변경을 의미하므로 일부부재의 보강이 다른 구조요소에 미치는 영향을 반드시 검토하여야 하며 보강의 효과를 보증할 수 있는 방법으로 설계/시공되어야 한다.

10) 폐쇄

교량의 손상이 극도로 심화되고 교량의 내구연한에 달하여 보수나 보강의 효과가 극히 의심스럽거나 비경제적인 경우, 또는 사회, 정책적인 필요에 의해 더 이상의 교량 사용 요구가 없을 경우 실시한다. 폐쇄는 보수, 보강비용과 폐쇄 후 파급비용을 대비하여 비

용-이득간 분석(cost-benefit analysis)을 행한 후 결정하는 것이 바람직하다. 폐쇄 후 신설을 고려해야 할 경우에는 보수, 보강기술의 발전속도를 고려하여 성급히 결정하기보다는 교량의 등급을 하향 조정하여 사용제한 하거나 시한부 폐쇄 후 가능한 보강방법을 모색할 수도 있다.

11) 점검인원의 구성

정기점검은 교량 담당요원이 수행하는 것으로 보고, 정밀점검은 정기점검팀 혹은 별도의 점검팀을 구성하여 실시하는 것으로 한다. 정기점검은 정기점검 자격을 갖춘 책임기술자 1인을 포함하여 총 2인이 한 조가 되어 도보로 접근 가능한 전체부위를 정해 놓은 일정에 따라서 점검한다.

정밀점검은 정기점검시 근접점검이 어려운 부위를 위주로 시행하며 정밀점검 자격을 갖춘 책임기술자 1인을 포함하여 별도의 점검팀을 구성하여야 한다.

12) 점검장비 운용

점검에 사용하는 점검장비는 일상적 휴대장비, 접근장비, 비파괴 점검장비로 구분되며 다음 표와 같이 분류한다. 각 점검장비에 대한 상세한 사용법은 해당 장비의 사용설명서 등 관련문헌을 참조하여 장비특성 및 시험법을 숙지하여야 한다.

(1) 정기점검

일상적 휴대장비, 간단한 접근장비

(2) 초기점검

일상적 휴대장비, 근접 접근장비, 간단한 비파괴 점검장비, 재하시험장비

(3) 정밀점검

일상적 휴대장비, 근접 접근장비, 간단한 비파괴 점검장비

(4) 긴급점검

정밀점검과 동일한 수준으로 점검목적에 따라 선별, 시험장비에 의한 현장측정

(5) 정밀안전진단

일상적 휴대장비, 근접 접근장비, 비파괴 점검장비, 정.동적 재하시험장비 등

<표 10.5>점검장비 종류

구 분			점 검 장 비
휴대장비			망원경, 확대경, 손전등, 카메라, 필기도구(흑판, 분필, 매직펜), 줄자, 균열경, 교통규제 기구 등
접근장비			사다리, 점검차(고소작업차), 점검보트
시험장비	콘크리트 탐사장비	콘크리트 강도측정	슈미트해머, 테스트 엔빌, 초음파탐사기, 탄성파탐사기
		콘크리트 균열 및 결함탐사	초음파탐사기, 탄성파탐사기(AE법), 레이저탐사기, 적외선카메라, 스틸카메라, 레이다 탐사기
		철근탐지	페코미터, 방사선투과기
		철근부식탐지	레이다탐사기, 부식측정기
		콘크리트열화도 탐사	중성화시험, 알칼리 골재반응시험
		염해 탐사	재료시편에 대한 염해시험

제11장 종합결론

11.1 종합결론

11.2 시설물의 사용제한의 필요성 여부

11.3 유지관리 시 특별한 관리가 요구되는 사항

제11장 종합결론

11.1 종합결론

11.1.1 외관조사 종합결론

<표 11.1>외관조사 결과 내용

구 분		결함 및 손상내용	손상원인	수 량	개선방안
교면 포장		표장균열	공용증대	760.0m	씰링보수
		포장 포트홀	외부충격	1.5㎡	소파보수
방호벽		균열(폭0.2mm이하)	건조수축	80.9m	표면보수
		균열(폭0.3mm이상)	건조수축	73.2m	주입보수
		누수,누수및백태	우수침투	3.0㎡	단면보수
		망상균열	건조수축	7.6㎡	주의관찰
		철근노출	피복부족	2.7㎡	단면보수
		파손	외부충격	1.8㎡	단면보수
배수시설		배수관탈락	외부충격	1ea	점검수리
		배수구 막힘	청소미흡	23ea	주기적 청소
신축이음		균열(0.2mm이하)	건조수축	15.8m	표면보수
		균열(0.3mm이상)	건조수축	7.5m	주입보수
		유간퇴적	배수불량	3.5㎡	주기적 청소
바닥판 하면		균열(폭0.2mm이하)	건조수축	2180.5m	표면보수
		균열(폭0.3mm이상)	건조수축	4.0m	주입보수
		백태	우수침투	8.4㎡	표면보수
		철근노출	피복부족	0.2㎡	단면보수
		파손	외부충격	0.25㎡	주의관찰
거더		균열(폭0.2mm이하)	건조수축	321.2m	표면보수
		균열(폭0.3mm이상)	건조수축	18.0m	주입보수
		백태	우수침투	1.0㎡	표면보수
		망상균열	건조수축	1.0㎡	주의관찰
		재료분리	시공미흡	7.2㎡	단면보수
교량받침		도장부식	공용기간증대	34ea	재도장
하부 구조	교대	균열(폭0.2mm이하)	건조수축	33m	표면보수
		균열(폭0.3mm이상)	건조수축	1m	주입보수
		오염	우수침투	12㎡	주의관찰
		보호공유실	우수침투	1.0㎥	뒷채움보수
	교각	균열(폭0.2mm이하)	건조수축	65.9m	표면보수
		균열(폭0.3mm이상)	건조수축	110.5m	주입보수
		망상균열	건조수축	7.55㎡	주의관찰
		재료분리	시공미흡	2.32㎡	단면보수
		오염	우수침투	43.24㎡	주의관찰
		철근노출	피복부족	0.04㎡	단면보수

11.1.2 내구성조사 종합결론

<표 11.2>내구성조사 결과

구 분	내구성시험 결과			평가의견
반발경도시험 (MPa)	시 험 부 위	시험결과(Mpa)	설계기준강도(Mpa)	● 콘크리트 압축강도측정 결과, 설계기준의 90%이상으로써 콘크리트 압축강도는 양호한 것으로 조사되었다.
	상 부 구 조	31.1~34.4	35.0	
	하 부 구 조	26.8~29.0	24.0	
코어채취 (MPa)	시 험 부 위	시험결과(Mpa)	설계기준강도(Mpa)	● 코어 채취 측정 결과, 설계기준의 90%이상으로써 양호한 상태로 조사됨.
	상 부 구 조	37.2	35.0	
	하 부 구 조	26.2~27.0	24.0	
철근배근탐상 (㎜)	시 험 부 위	주철근간격(mm)	피복두께(mm)	● 철근배근탐사 결과, 배근간격은 설계값과 유사하며, 양호한 배근 간격을 갖는 것으로 조사됨.
	상 부 구 조	124~126	50~64	
	하 부 구 조	100	90~105	
철근부식도측정 (mV)	시 험 부 위	측정치(mV)	허용기준치(mV)	● 철근부식도 조사결과, 90% 이상의 확률로서 철근부식의 영향은 없는 것으로 조사됨.
	교대 A1	186	E > -200	
	교각 P1	180		
탄산화깊이 (㎜)	시 험 부 위	탄산화 깊이(mm)	최소피복두께(mm)	● 탄산화 깊이 측정결과, 상·하부구조에서 "a"등급으로 철근부식 우려가 없는 양호한 상태로 조사됨.
	상 부 구 조	5.0~6.5	50.0	
	하 부 구 조	6.8~8.0	90.0	
염화물함유량시험 (kgf/㎥)	시 험 부 위	측정치(kgf/㎥)	허용기준치(kgf/㎥)	● 염화물 함유량 측정 결과, 허용기준치 이내로 측정됨.
	상 부 구 조	0.0127	0.3	
	하 부 구 조	0.0013~0.0135		

11.1.3 상태평가 종합결론

<표 11.3>구조형식별 결과 (PSC Box Girder)

부재의 분류		상부구조		2차 부재	기타부재				받침	하부구조		내구성요소			
번호	구조형식	바닥판	거더	가로보	포장	배수	난간연석	신축이음	교량받침	하부	기초	탄산화(상)	탄산화(하)	염화물(상)	염화물(하)
1	PSC Box	b	b	N/A	a	b	c	c	b	c	Q	a	a	X	X
2	PSC Box	a	b	N/A	a	b	c	X	b	c	Q	a	a	X	X
3	PSC Box	b	c	N/A	a	b	c	X	b	d	Q	a	a	X	X
4	PSC Box	c	c	N/A	a	a	b	X	b	c	Q	a	a	X	X
5	PSC Box	a	c	N/A	a	b	b	X	b	d	Q	a	a	a	a
6	PSC Box	a	c	N/A	a	b	c	X	b	c	Q	a	a	X	X
7	PSC Box	a	c	N/A	a	a	c	X	b	b	Q	a	a	X	X
8	PSC Box	a	c	N/A	a	a	c	b	b	c	Q	a	a	X	a
9	PSC Box	a	c	N/A	a	b	c	X	b	c	Q	a	a	X	X
10	PSC Box	a	c	N/A	a	b	b	X	b	c	Q	a	a	X	X
11	PSC Box	a	c	N/A	a	a	a	X	b	c	Q	a	a	X	X
12	PSC Box	a	c	N/A	b	b	c	X	b	c	Q	a	a	X	X
13	PSC Box	b	c	N/A	b	b	c	X	b	c	Q	a	a	X	X
14	PSC Box	a	c	N/A	b	b	a	X	b	b	Q	a	a	X	X
15	PSC Box	a	c	N/A	b	b	b	b	b	b	Q	a	a	X	X
16	PSC Box	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	X	b	a	Q	X	X	X	X
평균		0.140	0.373	0.000	0.127	0.173	0.307	0.267	0.200	0.381	0.000	0.100	0.100	0.100	0.100
가중치		23	20	0	7	3	2	9	9	20	0	2	2	2	1
환산점수		0.032	0.075	0.000	0.009	0.005	0.006	0.024	0.018	0.076	0.000	0.002	0.002	0.002	0.001
1.환산결함도점수=															0.252
2.상태평가결과=															B등급

<표 11.4>개별교량 결과

구 분	구조형식	환 산 결함도점수	상태평가 결 과	연장(m)	연장비	환산결함도점수 × 연장비
반심1교 (상행)	PSC Box교	0.252	b	760	1.000	0.252
합계(∑)				760.	1.000	0.252
1. 환산결함도 점수 =						**0.252**
2. 상태평가 결과 =						**b**

<표 11.5>전체교량 결과

교량명	환 산 결함도점수	상태평가 등 급	연장 (m)	차선	길이 × 차선	연장비	환산결함도점수 × 연장비
반심1교 (하행)	0.252	b	760.0	2	1,520	1.000	0.252
합계(∑)			760.0	2	1,520	1.000	0.252
1. 평가지수 =							**0.252**
2. 상태평가 결과 =							**b**

11.1.4 내하력 검토 및 안전성 평가 종합결론

<표 11.6>공용 내하력 평가 결과요약

구 분			평가방법	내하율 (①)	설계활하중 (②)	응답보정계수 (③)	내하력 (①×②×③)	비 고
거더	S8	하연	허용응력설계법	1.133	DB-24	1.205	DB-24 이상	
	P7	하연	허용응력설계법	2.388	DB-24		DB-24 이상	
	S7	하연	허용응력설계법	1.545	DB-24		DB-24 이상	
바닥판	켄틸레버부		강도설계법	2.519	DB-24		DB-24 이상	
	중앙부		강도설계법	1.199	DB-24		DB-24 이상	

<표 11.7>안전성 평가결과

구분		설계하중 작용시							등급
		프리스트레스에 의한 단면력 및 부정정력	자중	고정하중	활하중	부등침하	계	안전율	
S8	상연	-4.876	4.243	0.516	1.606	0.129	1.618	9.89	A
	하연	8.410	-7.319	-0.890	-2.770	-0.223	-2.791	1.13	A
P7	상연	4.926	-4.406	-0.535	-1.225	-0.219	-1.459	2.17	A
	하연	-6.504	5.817	0.706	1.618	0.290	1.926	8.31	A
S7	상연	-2.470	1.930	0.238	1.307	0.115	1.120	14.28	A
	하연	4.260	-3.329	-0.411	-2.254	-0.199	-1.933	1.64	A
허용응력		$-3.16 < \sigma < 16.00$							

※ (+) 압축응력, (-)인장응력

11.1.5 내진성능평가 종합결론

<표 11.8> 교각부 평가 결과

구 분		공급역량	소요역량	안전률	비고
변위연성도	교축	1.500	6.582	0.228	N.G
모멘트	교직	40,821	35,169	1.161	O.K

<표 11.9> 받침부 평가 결과

구 분		공급역량	소요역량	안전률	비고
받침본체	교축	2,020	2,008	1.006	O.K
	교직	1,010	2,716	0.372	N.G
앵커볼트-강재파괴	교축	947	1,004	0.943	N.G
	교직	947	2,716	0.349	N.G
앵커볼트-콘크리트파괴	교축	425	1,004	0.423	N.G
	교직	232	2,716	0.085	N.G
앵커볼트-프라이아웃파괴	교축	379	1,004	0.377	N.G
	교직	379	2,716	0.139	N.G

11.1.5 보수·보강 개략공사비 종합결론

<표 11.10>보수·보강 개략공사비 산정

구 분		결함 및 손상내용	개선방안	손상물량	보수물량	단위	단가 (천원)	금액 (천원)	우선 순위
교면 포장		표장균열	씰링보수	760	760	m	30	22,800	②
		포장 포트홀	소파보수	1.5	0.01	㎡	150	2	②
방호벽		균열(폭0.2mm이하)	표면보수	80.9	24.27	㎡	51	1,238	②
		균열(폭0.3mm이상)	주입보수	73.2	87.84	m	32	2,811	①
		누수,누수및백태	단면보수	3	3.6	㎡	230	828	②
		망상균열	주의관찰	7.6	9.12	㎡	-		②
		철근노출	단면보수	2.7	3.24	㎡	230	745	②
		파손	단면보수	1.8	2.16	㎡	230	497	②
배수시설		배수관탈락	점검수리	1	1	ea	500	500	①
		배수구 막힘	주기적 청소	23	21	ea	10	210	②
신축이음		균열(0.2mm이하)	표면보수	15.8	4.74	㎡	51	242	①
		균열(0.3mm이상)	주입보수	7.5	9	m	32	288	①
		유간퇴적	주기적 청소	3.5	4.2	㎡	10	42	②
바닥판 하면		균열(폭0.2mm이하)	표면보수	2180.5	654.15	㎡	51	33,362	②
		균열(폭0.3mm이상)	주입보수	4	4.8	m	32	154	①
		백태	표면보수	8.4	10.08	㎡	51	514	②
		철근노출	단면보수	0.2	0.24	㎡	230	55	②
		파손	주의관찰	0.25	0.3	㎡	-		②
거더		균열(폭0.2mm이하)	표면보수	321.2	96.36	㎡	51	4,914	②
		균열(폭0.3mm이상)	주입보수	18	21.6	m	32	691	①
		백태	표면보수	1	1.2	㎡	51	61	②
		망상균열	주의관찰	1	1.2	㎡	-		②
		재료분리	단면보수	7.2	8.64	㎡	230	1,987	①
교량받침		도장부식	재도장	34	34	ea	30	1,020	②
		받침교체	면진받침	34	34	ea	9000	306,000	②
하부구조	교대	균열(폭0.2mm이하)	표면보수	33	9.9	㎡	51	505	②
		균열(폭0.3mm이상)	주입보수	1	1.2	m	32	38	①
		오염	주의관찰	12	14.4	㎡		-	②
		보호공유실	뒷채움보수	1	1	식	5000	5000	①
	교각	균열(폭0.2mm이하)	표면보수	65.9	19.77	㎡	51	1,008	②
		균열(폭0.3mm이상)	주입보수	110.5	132.6	m	32	4,243	①
		망상균열	주의관찰	7.55	9.06	㎡	-		②
		재료분리	단면보수	2.32	2.784	㎡	51	142	①
		오염	주의관찰	43.24	51.888	㎡		-	②
		철근노출	단면보수	0.04	0.048	㎡	230	11	①
부대공(교통통제, 비계설치 및 기타경비)						1식	25,000	25,000	①
직접공사비						414,908		41,107	①
								373,801	②
제경비(직접공사비×40%)						207,454		20,554	①
								186,900	②
총공사비용						622,362		61,661	①
								560,701	②

※ 상기의 공사비는 개략공사비로서 정확한 공사비 산정은 실시설계를 통한 산출이 필요함.

11.1.6 유지관리방안 종합결론

<표 11.11>부재별 중점 점검사항

구 분	점 검 내 용
교면포장	- 포장면 균열 및 포트홀 손상진행 유무 확인
방호벽	- 가로등 기초의 균열진행여부 - 방호벽 철근노출부 진행여부및부식정도 확인. - 균열/백태부의 진행여부
배수시설	- 상부 배수구 주기적인 청소 및 유지관리. - 배수관 탈락 및 변형 여부확인.
신축이음	- 신축이음 본체 주기적인 청소 및 유지관리. - 후타재 균열 확대 및 진전 유무.
바닥판 하면	- 바닥판 하면 및 캔틸레버 하면 균열 확대 및 진전유무. - 캔틸레버 하면 백태 및 손상유무 확인.
거더	- 거더 내.외부 균열, 긁힘, 백태 등의 진행 및 손상유무
교량받침	- 교량받침 유지관리.
하부구조	- 교대 표면오염 등 기타 손상유무 확인. - 교대 보호공 유실 및 손상유무 확인. - 교각 미세균열 및 망상균열 확대 및 진전 유무. - 교각 백태, 박리박락, 곰보, 박리 및 긁힘 등 기타 손상유무 확인.

11.2 시설물의 사용제한의 필요성 여부

본 과업 대상시설물인 "반심1교(하행)"에 대한 정밀안전진단 실시결과, 구조물의 내구성 및 안전성 등은 확보된 것으로 판단되며, 사용제한 여부 등의 조치는 필요하지 않을 것으로 판단된다.