관리번호

여주JCT1교 등 14개소
정밀안전진단보고서
- 감곡IC교(마산,양평) -

2016. 12

한국도로공사

여주JCT1교 등 14개소
감곡IC교 (마산,양평)

정밀안전진단보고서

2016. 12

한국도로공사

관리번호

여주JCT1교 등 14개소
정밀안전진단보고서
- 감곡IC교(마산,양평) -

2016. 12

한 국 도 로 공 사

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

제 출 문

한국도로공사 강원본부장 귀하

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

2016년 12월 26일

인천광역시 부평구 안남로 447-1(청천동)

㈜ 장 민 이 엔 씨

대표이사 한 영 필 (인)

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

㈜ 다 음 기 술 단

대표이사 박 철 (인)

경기도 안양시 동안구 학의로 268, 711호
(관양동, 메가밸리)

㈜ 동 우 기 술 단

대표이사 고 중 호 (인)

감곡IC교(마산) 정밀안전진단 결과표

가. 일반현황

용 역 명	2016년도 여주JCT1교 등 14개소 정밀안전진단 용역	진단기간	2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26.		
관 리 주 체 명	한국도로공사 강원본부 충주지사	대 표 자	지사장 장 후 복		
공동수급	㈜장민이엔씨/㈜다음기술단/㈜동우기술단	계약방법	일반경쟁		
시 설 물 구 분	교 량	종 류	도로교량	종 별	1종
준 공 일	2002년 12월 20일	진단금액 (천원)	13,773	안전등급	B
시 설 물 위 치	경기도 음성군 감곡면 상우리	시 설 물 규 모	L=110.0m, B=11.0m(2차로)		

나. 진단 실시결과 현황

중대결함	■ 정밀안전진단 결과 시설물의 중대결함은 없는 상태임
진 단 주요결과	■ 바닥판 : 균열, 백태, 단부 박락, 박락/녹발생 ■ Steel Box Girder : 용접불량, 도장박리, 부식(볼트부식), 모재변형, 실링누락, 인분 ■ 가로보 및 세로보 : 손상이 없는 양호한 상태 ■ 교대 : 균열, 망상균열, 누수흔적, 백태, 박리 ■ 교각 : 균열, 망상균열 ■ 교량받침 : 받침부식, 볼트부식, 몰탈/콘크리트 균열, 콘크리트 파손 ■ 신축이음 : 본체 부식, 후타재 균열, 덮개 볼트탈락, 유간협착 ■ 교면포장 : 소성변형, 포트홀 ■ 배수시설 : 손상이 없는 양호한 상태 ■ 방호벽, 중앙분리대 : 균열, 망상균열, 박락, 재료분리, 철근노출, 파손, 녹발생 ■ 점검시설 : 점검시설 시건장치 누락
주 요 보수·보강	■ 주요보수 : 표면처리보수, 주입보수, 단면보수(방청), 교량받침 도장보수, 청소 ■ 주요보강 : 보강부 없음

다. 책임(참여)기술자 현황

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

라. 참고사항

감곡IC교(마산) 정밀안전진단 실시결과 요약표

책임기술자 종합의견
■ 정밀안전진단 결과, 구조적 안전성을 저해할 만한 심각한 결함이나 손상 및 열화는 발생하지 않았으나, 바닥판과 하부구조에 균열 및 망상균열, Steel Box Girder 도장박리 및 부식, 받침콘크리트 균열, 철근노출, 재료분리 등의 손상이 조사되어 부분적인 보수가 필요한 상태이다. ■ 시설물에 대한 평가결과, 상태평가 결과 “B”, 안전성평가 결과 “A”로 평가되어 안전등급은 “B(양호)”로 지정하였다. ■ 긴급을 요하는 문제점은 없는 상태로서, 발생된 손상에 대한 내구성 확보차원의 보수 및 지속적인 관찰을 수행하면 구조물의 안전성과 사용성 확보를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 책임기술자 : 서 외 택

가. 정밀안전진단 외관조사 결과 기본사항

상태평가 결과 및 보수·보강				상태평가 결과 : B
결함발생 부재		상태평가 결과	결함종류	보수·보강(안)
상부구조	바닥판	b	■ 균열(Cw=0.3㎜미만) ■ 백태 ■ 박락(바닥판하면) ■ 박락(일반) ■ 녹발생	■ 지속관찰 ■ 표면처리보수 ■ 단면복구(1안),영구앵커공법, 신축이음장치교체+바닥판하면절취) ■ 단면복구 ■ 방청 후 단면복구
	강박스 거더	b	■ Pit ■ 비드불량 ■ 변형 ■ 도장박리 ■ 부식 ■ 실링누락 ■ 인분배설 ■ 오염	■ 지속관찰 ■ 지속관찰 ■ 지속관찰 ■ 재도장 ■ 녹제거 후 재도장 ■ 실링재 시공 ■ 청소 ■ 재도장
	가로보 세로보	a	■ 상태양호	■ 상태양호
하부구조	교대 및 교각	a~b	■ 균열(Cw=0.3㎜미만) ■ 누수흔적 ■ 백태 ■ 박리	■ 지속관찰 ■ 표면처리보수 ■ 표면처리보수 ■ 표면처리보수

<계속>

상태평가 결과 및 보수·보강				상태평가 결과 : B
결함발생 부재		상태평가 결과	결함종류	보수·보강(안)
교량받침		a~c	■ 볼트부식 ■ 도장박리 ■ 균열(Cw=0.3㎜미만) ■ 균열(Cw=0.3㎜이상) ■ 파손	■ 녹제거 후 재도장 ■ 재도장 ■ 지속관찰 ■ 주입보수 ■ 방청 후 단면복구
신축이음장치		d	■ 부식 ■ 균열(Cw=0.3㎜미만) ■ 덮개볼트 탈락	■ 지속관찰 ■ 표면처리보수 ■ 볼트 재체결
교면포장		c~d	■ 소성변형 ■ 포트홀	■ 지속관찰 ■ 지속관찰
기타부재	배수시설	a	■ 상태양호	■ 상태양호
	방호벽, 중앙분리대	c	■ 균열(Cw=0.3㎜미만) ■ 균열(Cw=0.3㎜이상) ■ 망상균열(Cw=0.3㎜미만) ■ 박락 ■ 재료분리 ■ 철근노출 ■ 파손 ■ 녹발생	■ 표면처리보수 ■ 주입보수 ■ 표면처리보수 ■ 단면복구 ■ 단면복구 ■ 방청 후 단면복구 ■ 단면복구 ■ 방청 후 단면복구

나. 안전성평가 결과

평가 부재	해석방법	안전성평가 결과 요약	안전율	평가 결과
강박스 거더 (STB)	허용응력설계법 강도설계법	■ 시설물의 구조적 안전성을 평가한 결과 검토부재 모두에서 안전율이 1.0 이상으로 계산되어 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가됨	1.0이상	A
교 각	강도설계법		1.0이상	
교 대	강도설계법		1.0이상	

다. 내진성능 검토 수행 여부

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

※ 중부내륙 고속도로 충주~여주간 건설공사(제1공구) - 구조 및 수리계산서 참고.

라. 현장시험(비파괴 및 추가시험)

시 험 명		시험부위	시험 결과 2016년 금회진단	비 고
콘크리트	비파괴 강도시험 (㎫)	상부구조	28.3~30.6	• 설계기준강도(27㎫)를 상회함.
		하부구조	27.0~32.1	• 설계기준강도(24㎫)를 상회함.
	철근탐사 시험	상·하부구조	-	• 전반적으로 철근배근간격 및 피복두께는 준공도면과 거의 일치함.
	품질시험 (km/s)	상부구조	4.007~4.305	• 콘크리트 품질이 양호한 상태인 것으로 판단됨.
		하부구조	3.892~4.677	
	탄산화 깊이 (㎜)	상부 구조	4.7~7.8	• 상태평가 a (잔여깊이 30㎜ 이상)
		하부 구조	5.0~8.4	
	염화물 함유량 시험 (kg/㎥)	상부 구조	0.158	• 상태평가 a
		하부 구조	0.258~0.780	• 상태평가 a~b
강재	초음파 탐상(UT)	거더 내부 (맞대기 용접부)	시험 8개소 (8개소 합격)	• 1급
	도막두께 (μm)	거더 내부	351	• 도막두께(170μm) 상회
		거더 외부	316~411	• 도막두께(215μm) 상회
	강재두께 (㎜)	거더	14.5~16.1 (+0.1~0.6)	• 설계두께의 ±0.80

감곡IC교(마산) 현황표

작성일 : 2016년 12월 26일

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td colspan="2">시설물명</td><td>감곡IC교(마산)</td><td colspan="2">시설물번호</td><td>BR2003-0000245</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년월</td><td>2002년 12월 20일</td><td colspan="2">관리번호</td><td>0450B2788201(7)</td></tr>
<tr><td colspan="2">시설물위치</td><td colspan="4">충청북도 음성군 감곡면 상우리</td></tr>
<tr><td colspan="2">설계하중</td><td>DB-24 / DL-24</td><td colspan="2">노선명(이정)</td><td>중부내륙선(251.02km)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">제원</td><td>연장</td><td colspan="4">L = 2@55.0 = 110.0m</td></tr>
<tr><td>폭</td><td colspan="4">B = 11.00m (2차로)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구조형식</td><td>상부</td><td>강박스 거더교(STB)</td><td rowspan="2">기초형식</td><td>교대</td><td>강관 말뚝기초(2기)</td></tr>
<tr><td>하부</td><td>교대 : 역T형(2기)
교각 : π형식(1기)</td><td>교각</td><td>강관 말뚝기초(1기)</td></tr>
<tr><td colspan="2">교량받침</td><td>포트받침</td><td colspan="2">신축이음</td><td>강핑거조인트
모노쉘조인트</td></tr>
<tr><td colspan="2">교차시설물</td><td>-</td><td colspan="2">통과높이</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">설 계 사</td><td>(주)다산컨설턴트</td><td colspan="2">시 공 사</td><td>진흥기업(주), 금강종건(주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">내진설계유무</td><td>유</td><td colspan="2">관리주체</td><td>한국도로공사
강원본부 충주지사</td></tr>
<tr><td colspan="2">부착시설내용</td><td colspan="4">교각 점검로</td></tr>
<tr><td colspan="2">기 타</td><td colspan="4">• 설계도서 및 구조계산서 유무 : 유
• 보수보강여부 : 교량받침(도장)
신축이음장치(후타콘크리트, 모노쉘, 강핑거 조인트)
하부구조</td></tr>
</table>

감곡IC교(양평) 정밀안전진단 결과표

가. 일반현황

용 역 명	2016년도 여주JCT1교 등 14개소 정밀안전진단 용역	진단기간	2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26.		
관 리 주 체 명	한국도로공사 강원본부 충주지사	대 표 자	지사장 장 후 복		
공동수급	㈜장민이엔씨/㈜다음기술단/㈜동우기술단	계약방법	일반경쟁		
시 설 물 구 분	교 량	종 류	도로교량	종 별	1종
준 공 일	2002년 12월 20일	진단금액 (천원)	13,773	안전등급	B
시 설 물 위 치	경기도 음성군 감곡면 상우리	시 설 물 규 모	L=110.0m, B=28.0m(3차로)		

나. 진단 실시결과 현황

중대결함	■ 정밀안전진단 결과 시설물의 중대결함은 없는 상태임
진 단 주요결과	■ 바닥판 : 균열, 망상균열, 백태, 재료분리, 단부 박락, 박락/녹발생 ■ Steel Box Girder : 용접불량, 도장박리, 부식, 실링누락, 오염 ■ 가로보 및 세로보 : 브라켓 일부 국부 부식 ■ 교대 : 균열, 망상균열, 누수흔적, 백태, 박리, 박락, 재료분리, 파손, 이물질퇴적, 실링재 열화 ■ 교각 : 균열, 망상균열, 녹발생 ■ 교량받침 : 받침부식, 도장박락, 몰탈/콘크리트 균열, 콘크리트 박락, 받침이동량 초과 ■ 신축이음 : 단차, 후타재 균열 및 파손, 덮개 볼트탈락, 유간부족 ■ 교면포장 : 균열, 망상균열, 포트홀 ■ 배수시설 : 손상이 없는 양호한 상태 ■ 방호벽, 중앙분리대 : 균열, 망상균열, 철근노출, 파손, 단차 ■ 점검시설 : 점검시설 시건장치 누락
주 요 보수·보강	■ 주요보수 : 표면처리보수, 주입보수, 단면보수(방청), 교량받침 도장보수, 청소 ■ 주요보강 : 보강부 없음

다. 책임(참여)기술자 현황

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

라. 참고사항

감곡IC교(양평) 정밀안전진단 실시결과 요약표

책임기술자 종합의견
■ 정밀안전진단 결과, 구조적 안전성을 저해할 만한 심각한 결함이나 손상 및 열화는 발생하지 않았으나, 바닥판과 하부구조에 균열 및 망상균열, Steel Box Girder 도장박리 및 부식, 받침콘크리트 균열, 철근노출, 재료분리 등의 손상이 조사되어 부분적인 보수가 필요한 상태이다. ■ 시설물에 대한 평가결과, 상태평가 결과 “B”, 안전성평가 결과 “A”로 평가되어 안전등급은 “B(양호)”로 지정하였다. ■ 긴급을 요하는 문제점은 없는 상태로서, 발생된 손상에 대한 내구성 확보차원의 보수 및 지속적인 관찰을 수행하면 구조물의 안전성과 사용성 확보를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 책임기술자 : 서 외 택

가. 정밀안전진단 외관조사 결과 기본사항

상태평가 결과 및 보수·보강				상태평가 결과 : B
결함발생 부재		상태평가 결과	결함종류	보수·보강(안)
상부구조	바닥판	b	■ 균열(Cw=0.3㎜미만) ■ 망상균열(Cw=0.3㎜미만) ■ 백태 ■ 박락(바닥판하면) ■ 박락/녹발생 ■ 재료분리	■ 지속관찰 ■ 지속관찰 ■ 표면처리보수 ■ 단면복구(1안),영구앵커공법, 신축이음장치교체+바닥판하면절취) ■ 단면복구 ■ 단면복구
	강박스 거더	b	■ Pit ■ 도장박리 ■ 부식 ■ 실링누락 ■ 소변배설 ■ 오염	■ 지속관찰 ■ 재도장 ■ 녹제거 후 재도장 ■ 실링재 시공 ■ 청소 ■ 재도장
	가로보 세로보	a	■ 부식	■ 녹제거 후 재도장
하부구조	교대 및 교각	b~c	■ 균열(Cw=0.3㎜미만) ■ 망상균열(Cw=0.3㎜미만) ■ 누수흔적 ■ 백태 ■ 박리 ■ 재료분리 ■ 녹발생 ■ 파손 ■ 체수흔적 ■ 이물질퇴적 ■ 실링재열화	■ 지속관찰 ■ 지속관찰 ■ 표면처리보수 ■ 표면처리보수 ■ 표면처리보수 ■ 단면복구 ■ 방청 후 단면복구 ■ 단면복구 ■ 지속관찰 ■ 청소 ■ 실링재 시공

<계속>

상태평가 결과 및 보수·보강				상태평가 결과 : B
결함발생 부재		상태평가 결과	결함종류	보수·보강(안)
교량받침		b	■ 부식 ■ 도장박리 ■ 균열(Cw=0.3㎜미만) ■ 박락	■ 녹제거 후 재도장 ■ 재도장 ■ 지속관찰 ■ 방청 후 단면복구
신축이음장치		d	■ 단차 ■ 들림 ■ 균열(Cw=0.3㎜미만) ■ 파손 ■ 덮개볼트 탈락	■ 지속관찰 ■ 지속관찰 ■ 표면처리보수 ■ 단면복구 ■ 볼트 재체결
교면포장		b	■ 균열 ■ 망상균열 ■ 포트홀	■ 지속관찰 ■ 지속관찰 ■ 지속관찰
기타부재	배수시설	a	■ 상태양호	■ 상태양호
	방호벽, 중앙분리대	c	■ 균열(Cw=0.3㎜미만) ■ 균열(Cw=0.3㎜이상) ■ 망상균열(Cw=0.3㎜미만) ■ 철근노출 ■ 파손 ■ 단차	■ 표면처리보수 ■ 주입보수 ■ 표면처리보수 ■ 방청 후 단면복구 ■ 단면복구 ■ 지속관찰

나. 안전성평가 결과

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

다. 내진성능 검토 수행 여부

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

※ 중부내륙 고속도로 충주~여주간 건설공사(제4공구) - 구조 및 수리계산서 참고.

라. 현장시험(비파괴 및 추가시험)

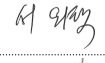
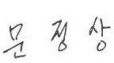
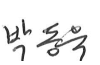
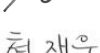
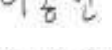
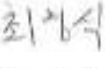
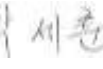
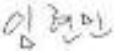
시 험 명		시험부위	시험 결과	비 고
콘크리트	비파괴 강도시험 (㎫)	상부구조	28.6~31.2	• 설계기준강도(27㎫)를 상회함.
		하부구조	28.2~32.2	• 설계기준강도(24㎫)를 상회함.
	철근탐사 시험	상·하부구조	-	• 전반적으로 철근배근간격 및 피복두께는 준공도면과 거의 일치함.
	품질시험 (km/s)	상부구조	3.715~4.646	• 콘크리트 품질이 양호한 상태인 것으로 판단됨.
		하부구조	4.284~4.650	
	탄산화 깊이 (㎜)	상부 구조	3.2~6.4	• 상태평가 a (잔여깊이 30㎜ 이상)
		하부 구조	3.5~4.8	
	염화물 함유량 시험 (kg/m^3)	상부 구조	0.177~0.468	• 상태평가 a
		하부 구조	0.153~0.219	• 상태평가 a~b
강재	초음파 탐상(UT)	거더 내부 (맞대기 용접부)	시험 8개소 (8개소 합격)	• 1급
	도막두께 (μm)	거더 외부	371~417	• 도막두께(215μm) 상회
	강재두께 (㎜)	거더	12.6~14.6 (+0.5~0.6)	• 설계두께의 ±0.80

감곡IC교(양평) 현황표

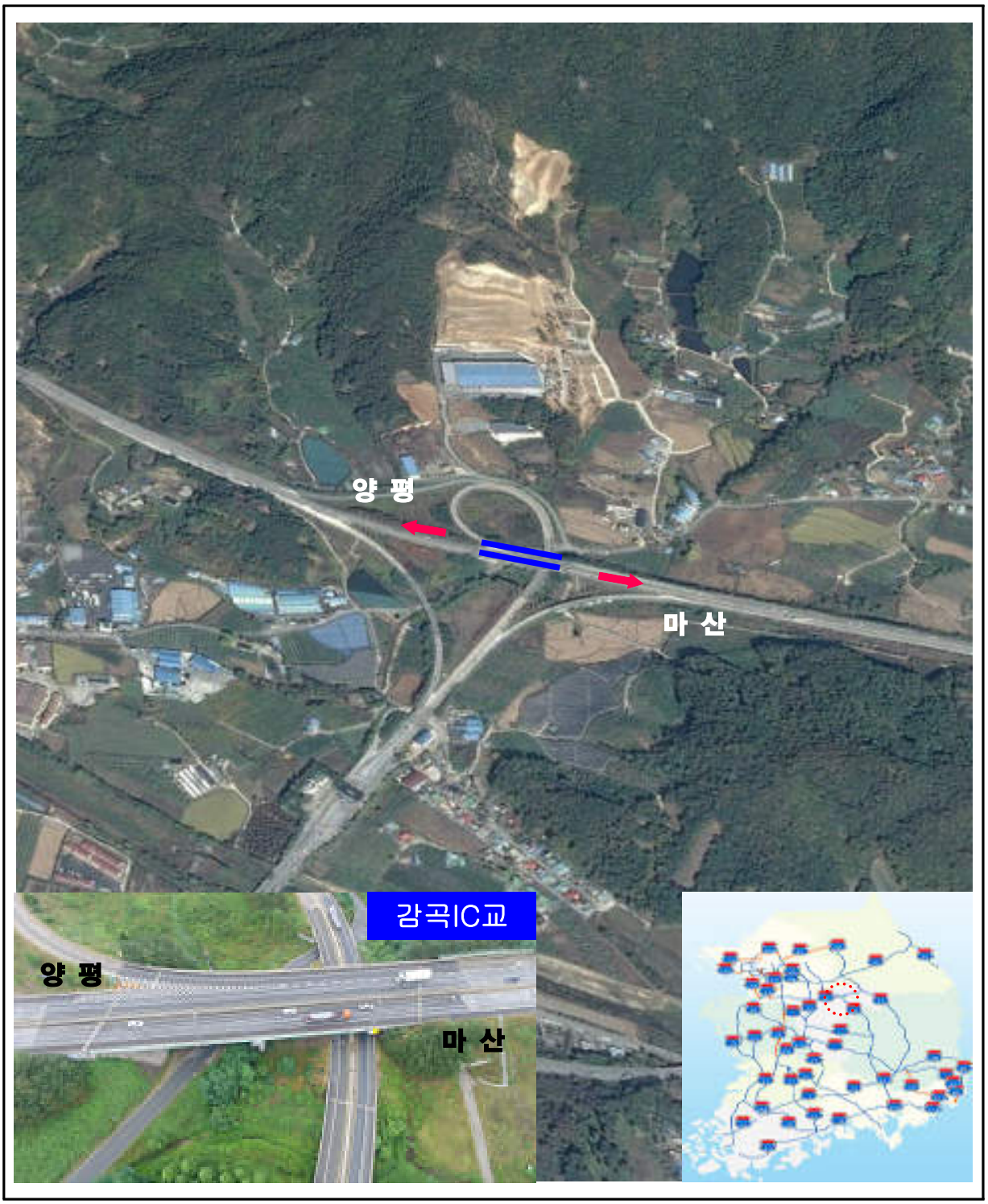
작성일 : 2016년 12월 26일

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td colspan="2">시설물명</td><td>감곡IC교(양평)</td><td colspan="2">시설물번호</td><td>BR2003-0000270</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년월</td><td>2002년 12월 20일</td><td colspan="2">관리번호</td><td>0450B2788101(8)</td></tr>
<tr><td colspan="2">시설물위치</td><td colspan="4">충청북도 음성군 감곡면 상우리</td></tr>
<tr><td colspan="2">설계하중</td><td>DB-24 / DL-24</td><td colspan="2">노선명(이정)</td><td>중부내륙선(251.02km)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">제원</td><td>연장</td><td colspan="4">L = 2@55.0 = 110.0m</td></tr>
<tr><td>폭</td><td colspan="4">B = 28.0m (3차로)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구조
형식</td><td>상부</td><td>강박스 거더교(STB)</td><td rowspan="2">기초
형식</td><td>교대</td><td>강관 말뚝기초(2기)</td></tr>
<tr><td>하부</td><td>교대 : 역T형(2기)
교각 : π형식(1기)</td><td>교각</td><td>강관 말뚝기초(1기)</td></tr>
<tr><td colspan="2">교량받침</td><td>포트받침</td><td colspan="2">신축이음</td><td>레일조인트
모노쉘조인트</td></tr>
<tr><td colspan="2">교차시설물</td><td>-</td><td colspan="2">통과높이</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">설 계 사</td><td>(주)다산컨설턴트</td><td colspan="2">시 공 사</td><td>진흥기업(주), 금강종건(주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">내진설계유무</td><td>유</td><td colspan="2">관리주체</td><td>한국도로공사
강원본부 충주지사</td></tr>
<tr><td colspan="2">부착시설내용</td><td colspan="4">교각 점검로</td></tr>
<tr><td colspan="2">기 타</td><td colspan="4">• 설계도서 및 구조계산서 유무 : 유
• 보수보강여부 : 신축이음장치(모노쉘, 후타콘크리트)
하부구조</td></tr>
</table>

정밀안전진단 참여기술진

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

시설물의 위치도



○ 시설물 위치 : 충청북도 음성군 감곡면 상우리 (중부내륙선 251.02km)

시설물의 전경사진(1)



상부 전경

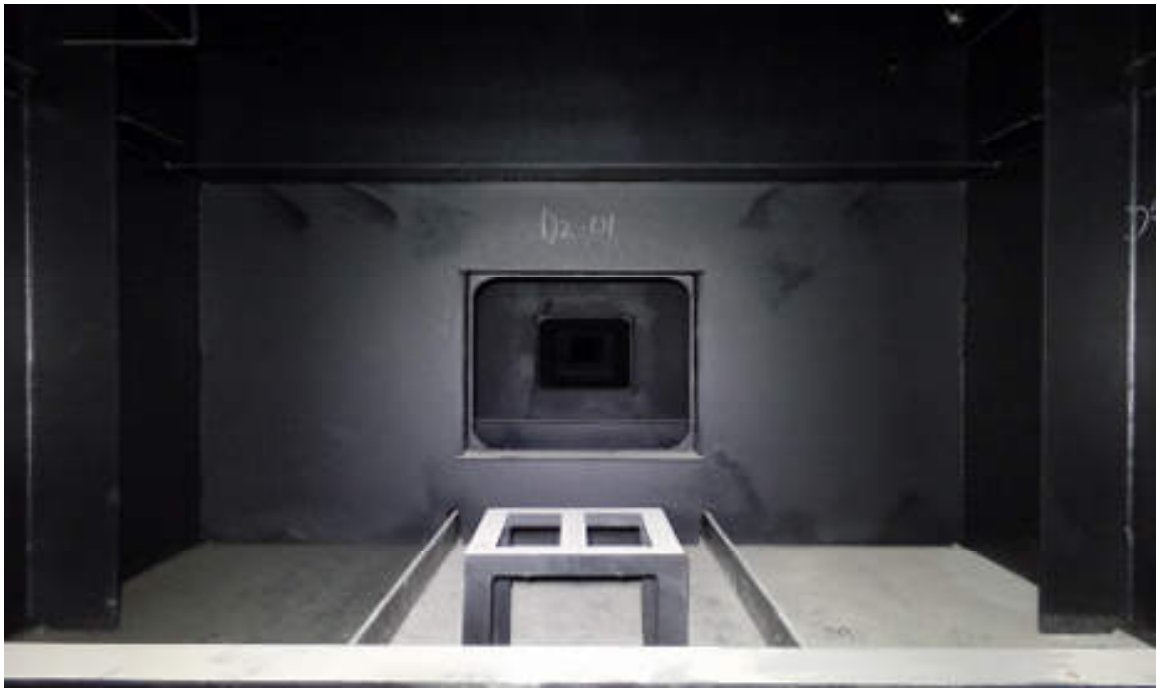


측면 전경

시설물의 전경사진(2)

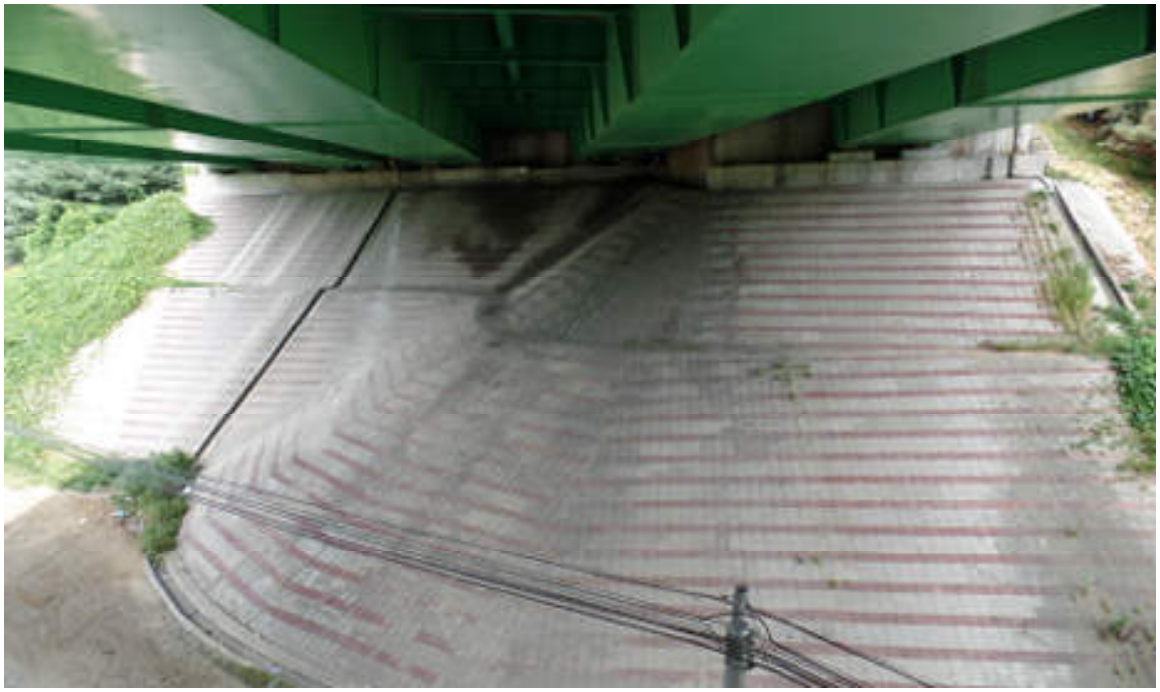


강박스 외부 전경



강박스 내부 전경

시설물의 전경사진(3)



교대 전경



교각 전경

시설물의 전경사진(4)



받침 전경(마산)



받침 전경(마산)



신축이음 전경(마산)



신축이음 전경(마산)



방호벽 전경(마산)



배수시설 전경(마산)

시설물의 전경사진(5)



받침 전경(양평)



받침 전경(양평)



신축이음 전경(양평)



신축이음 전경(양평)



방호벽 전경(양평)



배수시설 전경(양평)

정밀안전진단 결과 요약문

1. 과업의 목적

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

2. 과업의 범위 및 내용

2.1 과업의 범위

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

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

2.2 과업기간

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

3. 시설물의 개요

3.1 시설물 현황

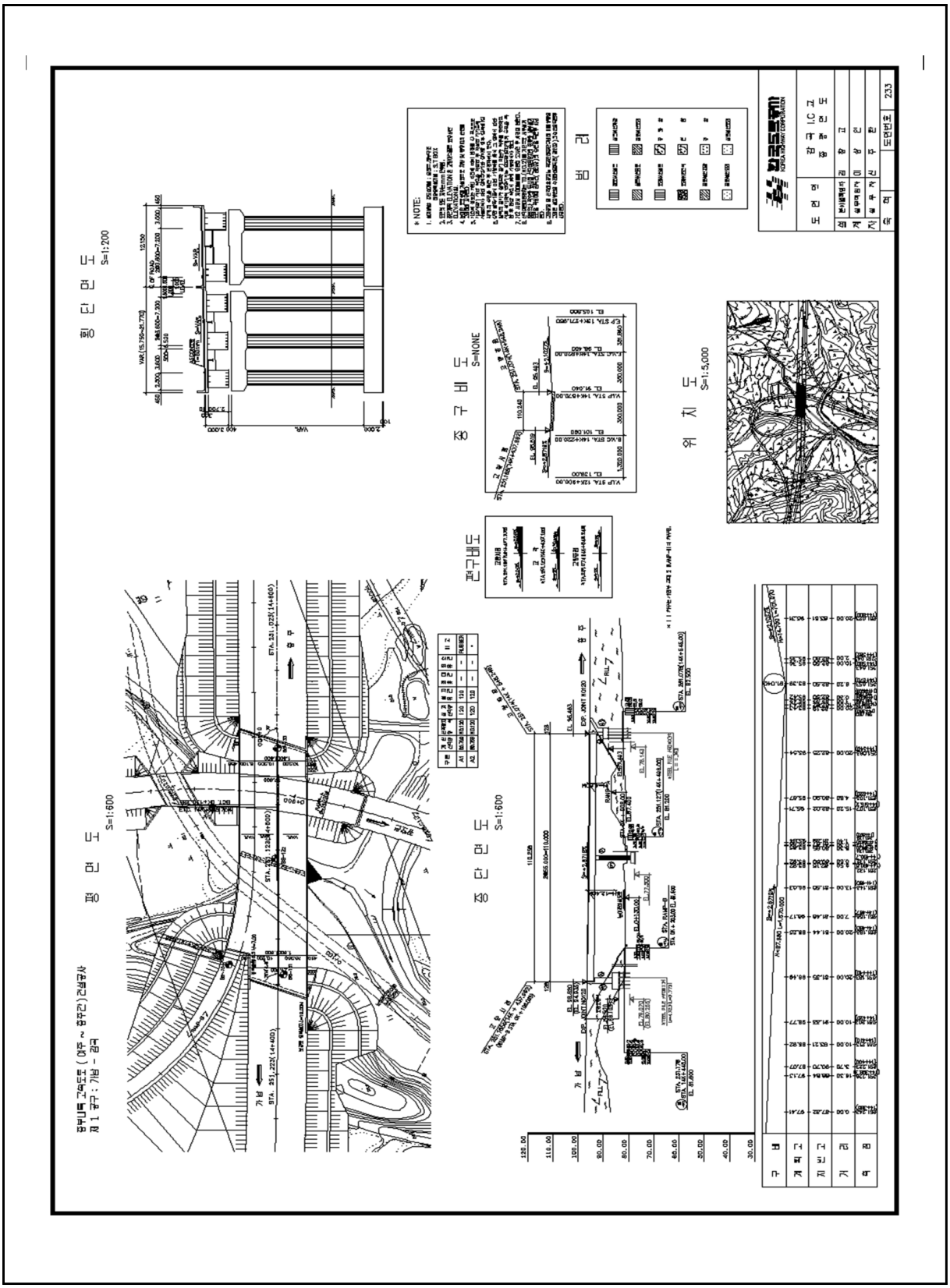
가. 마산방향

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td colspan="2">시설물명</td><td>감곡IC교(마산)</td><td colspan="2">시설물번호</td><td>BR2003-0000245</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년월</td><td>2002년 12월 20일</td><td colspan="2">관리번호</td><td>0450B2788201</td></tr>
<tr><td colspan="2">시설물위치</td><td colspan="4">충청북도 음성군 감곡면 상우리</td></tr>
<tr><td colspan="2">설계하중</td><td>DB-24 / DL-24</td><td colspan="2">노선명(이정)</td><td>중부내륙선(251.02km)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">제원</td><td>연장</td><td colspan="4">L = 2@55.0 = 110.0m</td></tr>
<tr><td>폭</td><td colspan="4">B = 11.0m (2차로)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구조형식</td><td>상부</td><td>강박스 거더교(STB)</td><td rowspan="2">기초형식</td><td>교대</td><td>강관 말뚝기초(2기)</td></tr>
<tr><td>하부</td><td>교대 : 역T형(2기)
교각 : π형식(1기)</td><td>교각</td><td>강관 말뚝기초(1기)</td></tr>
<tr><td colspan="2">교량받침</td><td>포트받침</td><td colspan="2">신축이음</td><td>강핑거조인트
모노쉘조인트</td></tr>
<tr><td colspan="2">교차시설물</td><td>-</td><td colspan="2">통과높이</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">설 계 사</td><td>(주)다산컨설턴트</td><td colspan="2">시 공 사</td><td>진흥기업(주), 금강종건(주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">내진설계유무</td><td>유</td><td colspan="2">관리주체</td><td>한국도로공사
강원본부 충주지사</td></tr>
<tr><td colspan="2">부착시설내용</td><td colspan="4">교각 점검로</td></tr>
<tr><td colspan="2">기 타</td><td colspan="4">• 설계도서 및 구조계산서 유무 : 유
• 보수보강여부 : 교량받침(도장)
신축이음장치(후타콘크리트, 모노쉘, 강핑거 조인트)
하부구조</td></tr>
</table>

나. 양평방향

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td colspan="2">시설물명</td><td>감곡IC교(양평)</td><td colspan="2">시설물번호</td><td>BR2003-0000270</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년월</td><td>2002년 12월 20일</td><td colspan="2">관리번호</td><td>0450B2788101</td></tr>
<tr><td colspan="2">시설물위치</td><td colspan="4">충청북도 음성군 감곡면 상우리</td></tr>
<tr><td colspan="2">설계하중</td><td>DB-24 / DL-24</td><td colspan="2">노선명(이정)</td><td>중부내륙선(251.02km)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">제원</td><td>연장</td><td colspan="4">L = 2@55.0 = 110.0m</td></tr>
<tr><td>폭</td><td colspan="4">B = 28.0m (3차로)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구조형식</td><td>상부</td><td>강박스 거더교(STB)</td><td rowspan="2">기초형식</td><td>교대</td><td>강관 말뚝기초(2기)</td></tr>
<tr><td>하부</td><td>교대 : 역T형(2기)
교각 : π형식(1기)</td><td>교각</td><td>강관 말뚝기초(1기)</td></tr>
<tr><td colspan="2">교량받침</td><td>포트받침</td><td colspan="2">신축이음</td><td>레일조인트
모노쉘조인트</td></tr>
<tr><td colspan="2">교차시설물</td><td>-</td><td colspan="2">통과높이</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">설 계 사</td><td>(주)다산컨설턴트</td><td colspan="2">시 공 사</td><td>진흥기업(주), 금강종건(주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">내진설계유무</td><td>유</td><td colspan="2">관리주체</td><td>한국도로공사
강원본부 충주지사</td></tr>
<tr><td colspan="2">부착시설내용</td><td colspan="4">교각 점검로</td></tr>
<tr><td colspan="2">기 타</td><td colspan="4">• 설계도서 및 구조계산서 유무 : 유
• 보수보강여부 : 신축이음장치(모노쉘, 후타콘크리트)
하부구조</td></tr>
</table>

3.2 시설물 주요도면


횡 단 면 도
S=1:200
종 단 면 도
S=1:600
평 면 도
S=1:600
교 대 배 도
S=NONE
위 치 도
S=1:5,000
범 례
* NOTE:
도 면 명
함 국 I.C 교
공 동 구
도면번호
233

4. 자료수집 및 분석

4.1 점검 및 진단 이력

가. 마산방향

구분	점 검 기 간	점 검 자	상태등급	점검결과 및 보수보강(안)
정기	■ 2003.03.21.	자체수행	양호	◦ 구조물 전반, 교좌장치, 슬라브, 주형, 교면포장, 교대, 교각, 신축이음장치, 교대A1 슈블럭 콘크리트 파손, 강교 시건장치 미설치 ◦ 균열 주의관찰, 추후 하자통보, 하자보수 시행, 시건장치 설치
정기	■ 2003.09.25.	자체수행	양호	◦ 구조물 전반
정기	■ 2004.04.12.	자체수행	양호	◦ 교면포장등 전반적 점검결과 양호
정밀	■ 2004.12.08.	자체수행	A등급	◦ 교좌장치, 주형등 전반적으로 양호
정기	■ 2005.05.09.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2005.10.10.	자체수행	양호	◦ A2 거푸집 철선 미제거 녹발생 ◦ 녹제거 필요
정기	■ 2006.04.07.	자체수행	양호	◦ 양호
정밀	■ 2006.10.04.	자체수행	A등급	◦ 양호
정기	■ 2007.06.11.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2007.11.19.	자체수행	양호	◦ 양호
정밀	■ 2008.04.10.	자체수행	A등급	◦ P1(1개소) 받침콘크리트파손 ◦ 면 보수
정기	■ 2008.08.20.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2009.05.12.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2009.09.15.	자체수행	양호	◦ 양호
정밀	■ 2010.07.06.	자체수행	A등급	◦ 양호
정기	■ 2010.09.01.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2011.05.30.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2011.11.30.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2012.05.25.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2012.08.16.	자체수행	보통	◦ 교대 보호블럭 파손, 후타콘크리트 파손, 신축이음장치 파손 ◦ 교대보호블럭 보수, 후타콘크리트 보수, 신축이음장치 교체

구분	점 검 기 간	점 검 자	상태등급	점검결과 및 보수보강(안)
정밀 안전 진단	■ 2012.12.21.	(재)한국건설품질연구원	B등급	◦ 바닥판// 하면 균열(cw=0.3mm미만), 누수흔적 및 백태(녹물포함), 단부파손 등 ◦ STB 거더// 도장박리 및 부식, 모재변형, 용접결함, 실링누락, 인분배설 등 ◦ 교대/교각// 균열손상, 누수흔적/체수, 파손, 재료분리, 실링재 탈락, 표면오염, 압성토 손상 등 ◦ 교량받침// 소울플레이트 도장박리 및 부식, 몰탈/콘크리트 균열, 파손, 들뜸 등 ◦ 신축이음장치// 후타재 균열(cw=0.3mm미만), 파손, 유간부족(교대이동) 등 ◦ 배수구// 이물질 퇴적, 유도배수관 설치필요, 배수파이프 길이부족, 곡관이탈 등
				◦ 내구성 저하방지를 위해 균열보수 및 단면보수 실시 / 도장박리, 녹발생 등의 손상 발생 부위에 대해 방청 및 도장보수 실시 / 신축이음장치 교체, 영구앵커공법, 유도배수관 설치, 배수파이프 길이연장 등
정밀	■ 2013.06.28.	자체수행	B등급	◦ A1 신축이음 본체 단차
				◦ A1 신축이음 교체
정밀	■ 2013.10.31.	자체수행	A등급	◦ 교량받침// 무수축몰탈 파손 1개소, 하부구조// 구체상면 열화 1개소, 신축이음// 본체 단차 발생 1개소
				◦ 교량받침// 단면보수 1개소, 하부구조// 주의관찰, 신축이음// 신축이음 교체
정기	■ 2014.06.23.	자체수행	양호	◦ 거더부식 : S1(G1,G2)(A1), S2G2(A2) 단부(0.11m2,3개소) / 바닥판균열 : S2A2(중분대측) 단부(0.2mm/0.5m, 1개소) / 받침도장박리 : A1-sh1(0.001m^2, 1개소), 부식 : A1-sh6(0.1m^2, 1개소) / 신축이음 .누수 : A1, A2 .협착 : A1,A2 .후타재파손 : A1(1,2차로)(3.9m^2, 1개소) .후타재 균열 : A2(전차로) (0.2mm/다수)
				◦ 거더 재도장 : S1(G1, G2) (A1), S2 G2(A2) 단부(0.11m^2, 3개소) / 받침 재도장 : A1-sh6(0.1m^2, 1개소) / 신축이음단면보수 : A1(1, 2차로)(3.9m^2, 1개소)

구분	점 검 기 간	점 검 자	상태등급	점검결과 및 보수보강(안)
정기	■ 2014.09.11.	자체수행	양호	◦ 거더// 부식 : S1G1, S1G2, S2G2(0.11㎡, 3개소) ◦ 바닥판// 균열(0.3mm미만) : S2(0.2mm, 0.5m, 1개소) ◦ 교량받침// 부식 : A2.sh6(0.1㎡, 2개소) ◦ 하부구조// 열화 : A1(1㎡, 1개소) ◦ 신축이음// 누수 및 협착 : A1, A2, .후타재 파손 : A1(3.9㎡, 1개소) ◦ 거더// 재도장 : S1G1, S1G2, S2G2(0.11㎡, 3개소) ◦ 교량받침// 재도장 : A2.sh6(0.1㎡, 2개소) ◦ 신축이음// 단면보수 : A1(3.9㎡, 1개소)
정기	■ 2015.04.13.	자체수행	양호	◦ 거더// 거더외부 부식 ◦ 바닥판// 단부측 균열 ◦ 거더// 거더외부 부식 : 재도장 ◦ 바닥판// 단부측 균열 : 주입보수
정기	■ 2015.09.03.	자체수행	양호	◦ 거더// 도장부식 ◦ 바닥판// 파손 ◦ 교량받침// 슈부식, 균열 ◦ 신축이음// 균열, 하부 협착 ◦ 난간/중분대// 균열 ◦ 거더// 도장부식 : 재도장 ◦ 바닥판// 파손 : 단면보수 ◦ 교량받침// 슈부식 : 재도장, 균열 : 표면보수 ◦ 신축이음// 균열 : 표면보수, 하부협착 : 주의관찰 ◦ 난간/중분대// 균열 : 표면보수
정기	■ 2016.05.23.	자체수행	양호	◦ 거더 : 부식 ◦ 바닥판 : 협착, 파손, 백태 ◦ 교량받침 : 강재부식 ◦ 신축이음 : 누수 ◦ 거더 : 재도장 ◦ 바닥판 : 단면보수, 표면처리 ◦ 교량받침 : 재도장 ◦ 신축이음 : 누수방지 시설설치

나. 양평방향

구분	점 검 기 간	점 검 자	상태등급	점검결과 및 보수보강(안)
정기	■ 2003.03.21.	자체수행	양호	◦ 구조물 전반, 교좌장치, 슬라브, 주형, 교면포장, 교대, 교각, 신축이음장치 , A1측 교면배수구 2개 미설치, 강교 시건장치 미설치 ◦ 균열주의관찰, 추후하자통보, 하자보수시행, 시건 장치설치
정기	■ 2003.09.25.	자체수행	양호	◦ 구조물 전반
정기	■ 2004.04.12.	자체수행	양호	◦ 교면 포장등 전반적 점검결과 양호
정밀	■ 2004.12.08.	자체수행	A등급	◦ A2교대 코핑부 물고임으로 인한 열화발생 ◦ 열화발생부위 보수 및 침투수 배수관 연장
정기	■ 2005.05.09.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2005.10.10.	자체수행	양호	◦ A2 교대코핑부 물고임, 백태, 거푸집철선 미제거로 녹발생 ◦ A2 물고임부 구배 조정, 백태 표면처리, 녹제거
정기	■ 2006.04.07.	자체수행	양호	◦ 양호
정밀	■ 2006.10.04.	자체수행	A등급	◦ 양호
정기	■ 2007.06.11.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2007.11.19.	자체수행	양호	◦ 양호
정밀	■ 2008.04.10.	자체수행	A등급	◦ A1 교대상면 물고임 ◦ 물고임제거후 유도배수
정기	■ 2008.08.20.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2009.05.12.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2009.09.15.	자체수행	양호	◦ 양호
정밀	■ 2010.07.23.	자체수행	A등급	◦ 도수로 파손, 교대 실런트 파손 ◦ 도수로 파손보수, 교대 실런트 파손 보수
정기	■ 2010.09.01.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2011.05.30.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2011.11.30.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2012.05.25.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2012.08.16.	자체수행	양호	◦ 후타콘크리트 균열,신축이음장치 파손 ◦ 후타콘크리트 보수,신축이음장치 교체

구분	점 검 기 간	점 검 자	상태등급	점검결과 및 보수보강(안)
정밀 안전 진단	■ 2012.12.21.	(재)한국건설품질연구원	B등급	◦ 바닥판// 하면 균열, 망상균열, 균열 및 백태, 박락, 녹발생, 단부 파손 등 ◦ STB 거더// 도장박리 및 부식, 오염, 볼트부식, 용접결함, 실링누락, 소변배설, 모재긁힘 등 ◦ 교대/교각// 균열손상, 누수흔적, 체수, 철근노출 및 녹발생, 점검로 부식 및 백태 등 ◦ 교량받침// 소울플레이트 도장박리 및 부식, 몰탈/콘크리트 균열, 파손, 박락 등 ◦ 신축이음장치// 본체 이물질퇴적, 후타재 균열 및 파손, 유간부족(교대 이동) 등 ◦ 배수구 이물질퇴적, 배수관 탈락, 배수파이프 길이부족 등
				◦ 내구성 저하방지를 위해 균열보수 및 단면보수 실시 ◦ 도장박리, 녹발생 등의 손상 발생 부위에 대해 방청 및 도장보수 실시 ◦ 신축이음장치 교체, 교대 영구 앵커공법, 배수파이프 재설치 및 길이연장 등
정밀	■ 2013.06.28.	자체수행	B등급	◦ 신축이음 : 협착 및 열화파손
				◦ 신축이음 : 신축이음 교체
정밀	■ 2013.10.31.	자체수행	A등급	◦ 교량받침 : 슈부식 1개소, 하부구조 : 열화 1개소, 신축이음 : 협착 및 열화파손
				◦ 교량받침 : 재도장 1개소, 하부구조 : 단면보수 1개소, 신축이음 : 신축이음 교체
정기	■ 2014.06.23.	자체수행	양호	◦ 거더부식 : S1(G2.G3), S2G3(0.15m^2, 3개소) ◦ 바닥판// 백태 : S1(G1.G2) 지점부(A1)(0.8m^2, 2개소), 열화 : S1(G2.G3) 지점부(A1)(0.1m^2, 1개소) ◦ 받침// 부식 : A1.sh2, sh5, sh6, A2.sh1, sh3(0.27m^2, 5개소) ◦ 하부구조// 부분 점 녹 : P1(0.05m^2, 1개소) ◦ 신축이음// 누수 : A1, A2, 협착 및 유간 부족 : A1, A2, 후타재 파손 : A1, A2(0.49m^2, 8개소) ◦ 후타재 균열 : A1, A2(0.1mm/다수)
				◦ 거더 재도장 : S1(G2.G3), S2G3(0.15m^2, 3개소) ◦ 바닥판 단면보수 : S1(G2.G3) 지점부(A1)(0.1m^2, 1개소) ◦ 받침 재도장 : A1.sh2, sh5, sh6, A2.sh1, sh3(0.27m^2, 5개소) ◦ 신축이음 단면보수 : A1, A2(0.49m^2, 8개소)

구분	점 검 기 간	점 검 자	상태등급	점검결과 및 보수보강(안)
정기	■ 2014.09.11.	자체수행	양호	◦ 거더// 부식 : S1G2, S1G3, S2G3(0.15㎡, 3개소) ◦ 바닥판// 열화 : S1(0.1㎡, 1개소) ◦ 교량받침// 부식 : A1.sh2, 4, 5, P1.sh6, A2.sh1, 3(0.37㎡, 6개소) ◦ 신축이음// 누수 및 협착 : A1, A2, 후타재 파손 : A1, A2(0.49㎡, 8개소)
				◦ 거더// 재도장 : S1G2, S1G3, S2G3(0.15㎡, 3개소) ◦ 바닥판// 단면보수 : S1(0.1㎡, 1개소) ◦ 교량받침// 부식 : A1.sh2, 4, 5, P1.sh6, A2.sh1, 3(0.37㎡, 6개소) ◦ 신축이음// 단면보수 : A1, A2(0.49㎡, 8개소)
정기	■ 2015.04.13.	자체수행	양호	◦ 신축이음// A1 신축이음(램프측)협착, 후타재 파손, 후타재 균열, 누수, A2 신축이음 협착, A2 후타재 균열, 누수
				◦ 신축이음// A1 신축이음(램프측)협착 : 주의관찰, 후타재 파손 : 단면보수, 후타재 균열 : 주의관찰, 누수 : 주의관찰, A2 신축이음 협착 : 주의관찰, A2 후타재 균열 : 주의관찰, 누수 : 주의관찰
정기	■ 2015.09.03.	자체수행	양호	◦ 거더// 외부 부식 .바닥판// 파손, 백태 .교량받침// 슈부식 .하부구조// 균열, 백태, 보호블럭 세굴 .신축이음// 후타재 파손, 후타재 균열 .난간/중분대// 균열
				◦ 거더// 외부 부식 : 재도장 .바닥판// 파손 : 단면보수, 백태 : 표면보수 .교량받침// 슈부식 : 재도장 .하부구조// 균열 : 표면보수, 백태 : 표면보수, 보호블럭 세굴 : 단면보수 .신축이음// 후타재 파손 : 단면보수, 후타재 균열 : 주입보수 .난간/중분대// 균열 : 표면보수
정기	■ 2016.05.23.	자체수행	양호	◦ 거더 : 부식 .바닥판 : 백태,균열,협착 및 파손 .교량받침 : 부식 .하부구조 : 세굴, 백태 .신축이음 : 균열, 파손, 누수 .난간/중분대 : 균열 .배수시설 : 집수구 막힘
				◦ 거더 : 재도장 .바닥판 : 표면처리, 주입보수, 지속관찰 .교량받침 : 재도장 .하부구조 : 단면보수, 표면처리 .신축이음 : 주입보수, 단면보수 .난간/중분대 : 표면처리 .배수시설 : 청소

4.2 보수·보강 이력

4.2.1 마산방향

구 분	공사기간	설계자	시공자	공사구간	보수·보강 공법	공사금액 (천원)	비고
보수	2010.12.31.	-	-	교량받침(P1)	도장	-	
	2010.12.31.	-	-	신축이음장치(A1)	후타콘크리트	397	
	2012.12.31.	-	-	신축이음장치(A2)	모노쉘 교체	15,430	
	2013.05.31	장세민	진흥기업	바닥판 외 3종	균열보수공법 외 3종	-	FMS
	2014.12.31.	-	-	하부구조(A1)	-	540	
	2015.03.18.	-	-	신축이음장치(A1)	후타콘크리트	1,550	
	2015.09.18.	-	-	신축이음장치(A1)	강핑거 조인트	48,000	

※ 비고란의 FMS표기된 부분 외의 이력사항은 지사에서 별도 관리하는 이력임.

4.2.2 양평방향

구 분	공사기간	설계자	시공자	공사구간	보수·보강 공법	공사금액 (천원)	비고
보수	2010.12.31.	-	-	하부구조(A1, A2)	기타	1,000	
	2012.12.31.	-	-	신축이음장치(A1)	모노쉘	16,778	
	2013.05.31	장세민	진흥기업	바닥판 외 3종	균열보수공법 외 3종	-	FMS
	2014.05.30.	-	-	신축이음장치, 배수시설	청소	-	
	2015.03.18.	-	-	신축이음장치	후타콘크리트	1,200	
	2015.09.18.	-	-	신축이음장치(A1)	모노쉘	17,000	

※ 비고란의 FMS표기된 부분 외의 이력사항은 지사에서 별도 관리하는 이력임.

4.3 자료분석 결과요약

구 분	수집 자료	자료 분석 결과	정밀안전진단 과업진행 방향
건설 관련 자료	◦일반보고서 ◦구조 및 수리계산서 ◦준공도면 ◦시공기록보고서	◦ 일반보고서 및 준공도면은 설계 당시 기준에 준하여 작성된 것으로 확인됨. ◦ 일반보고서, 준공도면, 구조계산서의 구조물 치수는 동일한 것으로 확인됨.	◦ 현장조사 시 부재치수를 실측하여 준공도면과 비교, 검토 후 치수가 상이할 경우 안전측으로 구조계산토록 하고 도면을 재작성하며, 실측치와 동일할 경우는 준공도면을 기준으로 과업을 진행토록 함. ◦ 신축이음장치의 형식을 확인하여 관리대장상과 일치하는지 확인하도록 함. ◦ 현 설계기준을 적용하여 구조검토를 실시함.
	◦시공 중 안전점검	◦ 시공 중 구조물에 대한 문제점은 없는 것으로 확인됨.	◦ 구조물에 대한 문제점은 없는 상태였으나, 사용 중 손상이 발생되거나 조사가 누락된 면이 있을 수 있으니 상세외관조사 시 면밀히 조사함.
유지 관리 자료	◦점검 및 진단 이력	◦ 점검 및 진단 이력을 검토한 결과, 자체수행을 통하여 교대상면 물고임으로 인한 열화, 백태, 거푸집 철선 미제거로 인한 녹발생, 경미한 누수, 슈 녹발생, 배수파이프 연결부족, 교대 도수로 및 실런트 파손, 배수구 세굴 등이 조사됨.	◦ 점검 시 조사된 손상에 대한 사항을 상세외관조사 시 면밀히 조사하고, 추가 손상 확인, 보수여부 및 대책방안 마련. ◦ 금회 정밀안전진단이 초기자료이므로, 차후 비교, 검토 자료로 활용하여 안전성 변화 여부 확인.
	◦보수 · 보강 이력	◦ 보수 · 보강 이력을 검토한 결과, 배수시설 및 하부구조 보수 등이 수행되어, 본 교량은 지속적인 유지관리가 진행된 것으로 평가됨.	◦ 보수 · 보강 이력사항에는 보수부에 대한 위치가 제시되어 있지 않으므로 보수된 손상명에 대한 사항을 상세외관조사 시 면밀히 조사함.
	◦기술과제 자료	◦ 자체 점검은 점검계획에 따라 적정하게 시행된 것으로 확인되며, 구조적 결함은 없는 것으로 확인되었고, 일부 경미한 결함에 대한 지속적인 관리 및 하자보수가 시행된 것으로 판단됨.	◦ 기술자문 검토서를 참고자료로 활용하여 상세외관조사 시 면밀히 조사하고, 추가 손상확인, 보수여부 및 대책방안 마련.

5. 현장조사 및 시험

5.1 마산방향

가. 외관조사 결과요약(마산)

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
바닥판 하면	• 균열(Cw=0.3㎜미만), 백태 • 단부 박락, 녹발생	• 시공초기 콘크리트 내·외부의 온도차이로 인한 부등건조수축 등이 주원인으로 일부균열은 균열부를 통한 내부수 유출이 발생하였으며, 0.3㎜미만 균열은 지속관찰 후 균열 진전시 보수를 실시하고, 백태 발생부는 내구성확보를 위하여 표면처리보수가 필요. • 바닥판 단부면과 흉벽의 협착이 주원인이며, 단면보수1안), 영구앵커공법2안), 신축이음장치교체 및 바닥판하면 절취3안) 병행 시공이 필요함.
Steel Box Girder 내부	• 용접결함(Pit, 비드불량) • 모재변형 • 도장박리, 부식 • 실링누락 • 인분배설	• 용접시공시 용접전류 및 용접속도 불량, 용접작업실수 등이 원인으로 판단되며, 지속관찰이 적절할 것으로 판단됨. • 시공 중 인위적 충격이 원인이며, 지속관찰이 필요 • 도장 전처리 불량과 Splice부를 통한 우수유입이 주원인으로 판단되며, 재도장이 필요. • 시공미흡이 원인으로 발생하였으며, 실링재 시공이 필요. • 위생 및 외관을 위하여 청소가 필요
Steel Box Girder 격벽	• 용접결함(Pit, 비드불량) • 도장박리	• 용접시공시 용접전류 및 용접속도 불량, 용접작업실수 등이 원인으로 판단되며, 지속관찰이 적절할 것으로 판단됨(거더내부와 동일함). • 시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화가 주원인으로 판단되며, 재도장이 필요.
Steel Box Girder 외부	• 도장박리, 부식 및 볼트부식 • 오염	• 공용기간 증대로 인한 교량의 노후화 및 태양광에 의한 열화, 도장전 바탕처리불량이 원인으로 판단되며, 재도장이 필요. • 바닥판하면 캔틸레버부의 유공관으로 떨어지는 우수로 인하여 발생된 것으로 오염부 재도장이 필요.
강 가로보 및 세로보	• 구조적 손상이 없는 양호한 상태	• 도장손상이나, 부식, 각종변형 및 균열, 이상음 발생 등의 손상이 없는 상태임.

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
교대	• 균열(Cw=0.3㎜미만) • 누수흔적, 백태 및 박리	• 시공초기 콘크리트 내·외부의 온도차이로 인한 부등건조수축 등이 주원인으로 현시점의 보수보다는 지속관찰 후 균열 진전시 보수 필요 • 상부 신축이음부에서 유입된 우수로 인하여 발생하였으며, 표면처리보수가 필요.
교각	• 균열(Cw=0.3㎜미만) 및 망상균열	• 시공초기 콘크리트 내·외부의 온도차이로 인한 부등건조수축 등이 주원인으로 현시점의 보수보다는 지속관찰 후 균열 진전시 보수 필요
교량받침	• 받침장치 본체 부식, 볼트부식 • 받침 몰탈/콘크리트 균열 • 받침 콘크리트 파손	• 외측면을 통한 우수유입이 주원인이며, 녹 제거후 재도장이 필요. • 건조수축 및 양생불량 등에 의한 비구조적인 손상으로 손상정도는 경미하여, 지속관찰 후 균열 진전시 보수 필요. • 외부 우수유입에 따른 동결융해로 인해 내부 철근부식 등이 원인으로 판단되며, 내부 철근 방청 후 단면보수가 필요.
신축이음장치	• 신축이음장치 본체 부식(갓길) • 후타재 균열(Cw=0.3㎜미만) • 신축이음덮개(A1) 볼트탈락 • A1, A2 신축이음장치 유간 협착	• 공용 중 우수에 의한 부식이 주원인이며, 손상정도가 미미하고 주행성에 영향을 미치지 않으므로 지속관찰이 필요. • 시공시 건조수축 및 공용 중 중차량 통행 등의 요인이 원인이며, 후타재 균열부를 통한 우수 유입으로 인한 신축이음 하부 누수 등 추가적인 손상의 우려가 있으므로 표면처리보수를 실시하며, 후타재 파손은 단면보수가 필요. • 볼트 재체결 • 신장시 신축이음장치 협착이 발생하였으나, 지속관찰을 통하여 바닥판 단부 박락 등의 2차 손상이 증가시, 바닥판 유간확보를 위한 보수·보강 필요
교면포장	• 소성변형, 포트홀	• 시공불량, 혼합물 품질불량, 대형차량 통행 등이 원인이며, 손상에 의한 차량 주행성 저하는 미미하므로 지속관찰을 통하여 향후 손상 증가시 부분보수가 필요.
배수시설	• 손상이 없는 양호한 상태	• 배수시설 상태가 양호함
방호벽 및 중앙분리대	• 균열(폭 0.3㎜미만/0.3㎜이상), 망상균열 • 박락, 재료분리, 철근노출, 파손, 녹발생	• 구조물에 미치는 영향이 미미하나 균열부 우수침투로 인한 백태발생 등의 우려가 있으므로 0.3㎜미만은 표면처리를 실시하며 0.3㎜이상은 주입보수 필요. • 단면보수 및 단면보수(방청) 필요함
점검시설	• 점검시설 시건장치 누락	• 시건장치 재설치

나. 기 진단결과 비교(마산)

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
바닥판	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	350	687.50	13	18.90	▽
	•백태	㎡	8	0.83	2	0.05	▽
	•녹발생	㎡	-	-	2	0.40	△
	•박락	㎡	3	0.10	7	1.64	△
Steel Box Girder 내부	•Pit	개소	361	361	46	46	▽
	•비드불량	m	22	2.61	4	0.50	▽
	•변형	m	1	0.20	1	0.20	-
	•도장박리, 부식	㎡	111	1.00	26	1.55	△
	•실링누락	개소	32	32	7	7	▽
	•인분배설	개소	1	0.25	1	1	△
Steel Box Girder 외부	•도장박리, 부식	㎡	14	0.12	13	0.30	△
	•오염	㎡	-	-	2	0.72	△
교대	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	96	53.80	1	1.40	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	3	1.18	-	-	▽
	•누수흔적	㎡	9	13.68	8	4.64	▽
	•백태	㎡	-	-	3	0.68	△
	•박리	㎡	-	-	2	1.28	△
	•파손, 재료분리	㎡	2	0.24	-	-	▽
	•실링재탈락	m	1	1.10	-	-	▽
	•압성토 공동, 블럭이격	㎡	2	1.18	-	-	▽
교각	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	104	53.60	10	8.60	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	31	26.21	8	32.75	△
	•이음부 이물질미제거	m	1	1.60	-	-	▽
	•표면오염	㎡	1	0.40	-	-	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
교량받침	•볼트부식	개소	-	-	1	1	△
	•도장박리	개소	4	0.07	1	1	△
	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	25	6.00	3	0.70	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	-	-	1	0.30	△
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	2	0.21	-	-	▽
	•파손	㎡	1	0.01	1	0.20	△
	•들뜸	m	1	0.08	-	-	▽
신축이음	•부식	m	-	-	1	2.00	△
	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	19	7.70	21	8.20	△
	•후타재 파손	㎡	1	0.05	-	-	▽
	•덮개볼트 탈락	개소	4	4	4	4	-
교면포장	•소성변형	㎡	4	171.0	4	157.50	▽
	•포트홀	㎡	6	0.19	4	0.13	▽
배수시설	•배수구 이물질 퇴적	개소	2	2	-	-	▽
	•유도배수관 설치(유공관)	개소	2	2	-	-	▽
	•배수파이프 길이부족	개소	1	1	-	-	▽
	•곡관이탈	개소	1	1	-	-	▽
방호벽	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	56	55.15	83	79.00	△
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	35	51.30	37	54.70	△
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	1	5.00	1	6.94	△
	•박락	㎡	-	-	2	0.08	△
	•재료분리	㎡	1	0.06	1	0.06	-
	•철근노출, 녹발생	㎡	8	0.04	16	1.12	△
	•파손	㎡	2	0.02	3	0.03	△
기타	•유간협착	㎡	-	-	2	0.23	△
검토의견	■ 보수이력 및 현장조사 결과, 기 진단 이후 바닥판 하면 균열보수, 하부구조 균열보수 및 단면보수, 받침콘크리트 균열보수, 신축이음장치 보수 등이 실시된 것으로 확인됨. ■ 전차진단(2012년)에서 조사된 상·하부구조의 손상은 대부분 보수된 상태이며, 금회 조사된 신규손상 및 기존손상의 증가는 공용년수 증가에 따른 노후화(거더 내부 도장박리 및 부식, 교량받침 도장박리, 신축이음 부식 등), 조사장비(교량점검차, 고소점검차)를 운용한 근접조사 실시(거더외부 도장박리 및 부식 등), 기 용역 시 누락된 손상 추가조사 등에 따른 것으로 판단됨.						

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

다. 내구성조사 결과요약(마산)

시 험 명		시험부위	시험 결과		비 고
			2012년 전차진단	2016년 금회진단	
콘크리트	비파괴 강도시험 (㎫)	상부구조	27.5~29.5	28.3~30.6	• 설계기준강도(27㎫)를 상회함.
		하부구조	26.5~32.0	27.0~32.1	• 설계기준강도(24㎫)를 상회함.
	철근탐사 시험	상·하부구조	-		• 전반적으로 철근배근간격 및 피복두께는 준공도면과 거의 일치함.
	품질시험 (km/s)	상부구조	-	4.007~4.305	• 콘크리트 품질이 양호한 상태인 것으로 판단됨.
		하부구조	-	3.892~4.677	
	탄산화 깊이 (㎜)	상부구조	2.8~7.5	4.7~7.8	• 상태평가 a (잔여깊이 30㎜이상)
		하부구조	2.4~5.0	5.0~8.4	
	염화물 함유량 시험 (kg/㎥)	상부구조	0.05	0.158	• 상태평가 a (염화물 ≤ 0.3kg/m³)
		하부구조	0.539~4.085	0.258~0.780	• 상태평가 a~b (염화물 < 1.2kg/m³)
강재	초음파 탐상 (UT)	거더 내부 (맞대기 용접부)	합 격	시험 8개소 (8개소 합격)	• 1급
	도막두께 (μm)	거더 내부	-	351	• 기준두께(170μm) 상회
		거더 외부	-	316~411	• 기준두께(215μm) 상회
	강재두께 (㎜)	거더	-	14.5~16.1 (+0.1~0.6)	• 설계두께의 ±0.80
평 종 가 합	■ 비파괴강도 측정결과, 전 개소에서 설계기준 강도를 상회하는 것으로 조사되었으며, 기 진단과의 비교·분석 결과, 부재별로 측정 위치가 달라 다소 차이가 있지만, 구조물의 강도저하는 없는 것으로 평가됨. ■ 콘크리트 품질시험결과, 양호한 상태인 것으로 평가됨. ■ 탄산화 깊이측정결과, 전반적으로 양호한 상태인 것으로 조사되어 상태등급 "a" 로 판정되며 기진단과의 비교·분석 결과, 탄산화 깊이가 다소 진행되었으나, 철근부식에 영향이 없는 것으로 평가됨. ■ 염화물 함유량 시험결과 "a~b" 로 평가되며, 철근부식에 영향이 없는 것으로 평가됨. ■ 금회 진단결과, 비파괴 강도, 철근배근상태, 콘크리트 품질, 탄산화 깊이 시험결과, 대부분 양호한 수준으로 측정됨. ■ 강재에 대한 내구성 조사결과 전 개소에서 합격 판정된 것으로 나타나며, 도막두께 및 강재두께 측정치도 측정개소 모두 기준치를 상회하는 양호한 상태인 것으로 측정됨.				

5.2 양평방향

가. 외관조사 결과요약(양평)

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
바닥판 하면	• 균열(Cw=0.3㎜이하), 망상균열, 백태	• 시공초기 콘크리트 내·외부의 온도차이로 인한 부등건조수축 등이 주원인으로 일부균열은 균열부를 통한 내부수유출이 발생하였으며, 0.3㎜미만 균열은 지속관찰 후 균열 진전시 보수를 실시하고, 백태 발생부는 내구성확보를 위하여 표면처리보수가 필요.
	• 재료분리	• 시공시 다짐미흡이 주원인으로 단면보수가 필요
	• 단부 박락, 박락/녹발생	• 바닥판 단부면이 흉벽과의 협착이 주원인이며, 단면보수 및 방청후 단면보수가 필요.
Steel Box Girder 내부	• 용접결함(Pit)	• 용접시공시 용접전류 및 용접속도 불량, 용접작업실수 등이 원인으로 판단되며, 지속관찰이 적절할 것으로 판단됨.
	• 도장박리, 부식	• 도장 전처리 불량과 Splice부를 통한 우수유입이 주원인으로 판단되며, 재도장이 필요.
	• 실링누락	• 시공미흡이 원인으로 발생하였으며, 실링재 시공이 필요.
	• 소변배설	• 위생 및 외관을 위하여 청소가 필요
Steel Box Girder 격벽	• 용접결함(Pit)	• 용접시공시 용접전류 및 용접속도 불량, 용접작업실수 등이 원인으로 판단되며, 지속관찰이 적절할 것으로 판단됨(거더내부와 동일함).
	• 도장박리, 부식	• 도장 전처리 불량과 Splice부를 통한 우수유입이 주원인으로 판단되며, 재도장이 필요.
Steel Box Girder 외부	• 도장박리, 부식	• 공용기간 증대로 인한 교량의 노후화 및 태양광에 의한 열화, 도장전 바탕처리불량이 원인으로 판단되며, 재도장이 필요.
	• 오염	• 바닥판하면 캔틸레버부의 유공관으로 떨어지는 우수로 인하여 발생된 것으로 오염부 재도장이 필요.
강 가로보 및 세로보, 브라켓	• 브라켓 일부 국부 부식	• 재도장

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
교대	• 균열(Cw=0.3㎜미만) 및 망상균열	• 시공초기 콘크리트 내·외부의 온도차이로 인한 부등건조수축 등이 주원인으로 현시점의 보수보다는 지속관찰 후 균열 진전시 보수 필요.
	• 누수흔적, 백태, 박리	• 상부 신축이음부에서 유입된 우수로 인하여 발생하였으며, 표면처리보수가 필요.
	• 박락, 재료분리, 파손	• 외부충격, 시공 다짐미흡 등이 원인이며 단면보수가 필요.
	• 이물질퇴적, 실링재열화	• 이물질 청소 및 실링재 재시공 필요
교각	• 균열(Cw=0.3㎜이하) 및 망상균열	• 시공초기 콘크리트 내·외부의 온도차이로 인한 부등건조수축 등이 주원인으로 현시점의 보수보다는 지속관찰 후 균열 진전시 보수 필요
	• 녹발생	• 상부구조 유공관에서 떨어지는 우수와 코핑부 잡철근 미제거로인해 발생된 것으로 방청후 단면복구가 필요.
교량받침	• 받침장치 본체 부식, 도장박리	• 외측면을 통한 우수유입이 주원인이며, 부식은 녹 제거후 재도장, 도장박리는 재도장이 필요.
	• 받침 몰탈/콘크리트 균열	• 건조수축 및 양생불량 등에 의한 비구조적인 손상으로 손상정도는 경미하여, 지속관찰 후 균열 진전시 보수 필요.
	• 받침 콘크리트 박락	• 외부 우수유입에 따른 동결융해가 원인으로 판단되며, 내부 방청후 단면보수가 필요.
	• 받침이동량 초과(A1-Sh1)	• 프리셋팅 오류로 판단되며, 기능상에 문제가 없으므로, 지속관찰을 통한 중점유지관리가 필요.
신축이음장치	• 신축이음장치 본체 단차(A2), 들림(A1)	• A2 신축이음장치 단차는 유간협착으로 인한 2차손상이며, A1 들림은 신축이음장치 교체 시공시 발생한 것으로 판단되며, 지속관찰을 통하여 향후 손상증가시 적절한 보수·보강이 필요함.
	• 후타재 균열(Cw=0.3㎜미만) 및 파손	• 시공시 건조수축 및 공용 중 중차량 통행 등의 요인이 원인이며, 후타재 균열부를 통한 우수 유입으로 인한 신축이음 하부 누수 등 추가적인 손상의 우려가 있으므로 표면처리보수를 실시하며, 후타재 파손은 단면보수가 필요.
	• A1 신축이음장치 덮개 볼트탈락	• 볼트 재체결
	• A1(J1) 바닥판유간부족, A2(J2) 신축유간부족	• 2차 손상(단부박락 등)이 일부조사되었으나, 중점유지관찰을 통하여 향후 손상 증대시 적절한 보수·보강이 필요함.

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
교면포장	• 종방향 균열 및 망상균열 • 포트홀(S1) • 교면포장 코어분석	• 건조수축, 온도변화 및 시공초기 다짐 미흡(온도관리, 다짐초기 균열 등의 복합적인 원인에 의한 것으로 부분적으로 발생하고 차량 주행성 저하에 미치는 영향이 미미함으로 지속관찰 후 향후 부분 보수가 필요. • 시공불량, 중차량 통행 등에 의해 발생한 것으로 판단되나, 손상정도가 경미하여 보수의 필요성은 없을 것으로 판단되어 지속관찰이 필요 • 설계치보다 실제코어포장두께가 작아 구조해석시 적용
배수시설	• 손상이 없는 양호한 상태	• 배수시설 상태가 양호함
방호벽 및 중앙분리대	• 균열(폭 0.3㎜미만/0.3㎜이상), 망상균열 • 철근노출, 파손 • 방호벽단차(A2)	• 구조물에 미치는 영향이 미미하므로 0.3㎜미만은 표면처리를 실시하며 0.3㎜이상은 주입보수 필요. • 단면보수 및 단면보수(방청) 필요함 • 접속슬래브측 지반침하가 원인으로 지속관찰이 필요
점검시설	• 점검시설 시건장치 누락	• 시건장치 재설치

나. 기 진단결과 비교(양평)

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
바닥판	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	525	858.40	3	4.90	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	1	10.00	3	10.12	△
	•백태	㎡	6	2.10	1	0.10	▽
	•박락/녹발생	㎡	4	0.83	12	3.34	△
	•재료분리	㎡	-	-	1	0.08	△
	•배수관 탈락	개소	2	2	-	-	▽
Steel Box Girder 내부	•Pit	개소	492	492	56	56	▽
	•비드면 불량	m	57	8.01	-	-	▽
	•도장박리, 부식	㎡	207	3.33	20	0.42	▽
	•실링누락	개소	45	45	4	4	▽
	•소변배설	개소	1	1	1	1	-
	•모재긁힘	㎡	2	0.03	-	-	▽
Steel Box Girder 외부	•도장박리, 부식	㎡	42	0.37	28	1.63	△
	•오염	㎡	2	2.00	6	16.50	△
가로보 및 세로보	•부식	㎡	2	0.06	1	0.01	▽
교대	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	79	37.94	2	1.80	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	2	0.92	1	0.40	▽
	•누수흔적, 백태, 체수흔적	㎡	15	14.67	18	15.08	△
	•박리, 재료분리, 파손	㎡	14	7.53	6	5.76	▽
	•녹발생	㎡	54	1.00	13	0.47	▽
	•이물질퇴적	㎡	-	-	1	2.52	△
	•실링재열화	m	3	2.15	1	0.25	▽
교각	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	78	59.40	11	9.20	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	2	2.40	-	-	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	16	56.06	11	28.76	▽
	•파손, 재료분리	㎡	8	0.76	-	-	▽
	•부식 및 백태	㎡	1	0.20	-	-	▽
	•볼트부식	개소	18	18	-	-	▽
	•오염	㎡	1	0.70	-	-	▽
	•녹발생	㎡	28	1.02	11	0.11	▽

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
교량받침	•부식	㎡	6	0.18	8	3.22	△
	•도장박리	㎡	2	0.08	2	0.12	△
	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	48	11.1	8	1.40	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	1	0.30	-	-	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	1	0.18	-	-	▽
	•박락	㎡	1	0.08	1	0.06	▽
신축이음	•이물질 퇴적	m	1	2.00	-	-	▽
	•단차	㎜	-	-	2	8.00	△
	•들림	개소	-	-	1	1	△
	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	21	8.52	16	6.32	▽
	•파손	㎡	19	1.28	8	4.50	△
	•덮개볼트 탈락	개소	-	-	3	3	△
교면포장	•균열	m	7	94.20	8	100.30	△
	•망상균열	m	3	4.29	1	2.10	△
	•포트홀	㎡	2	0.10	1	0.01	▽
	•식생	㎡	1	3.50	-	-	▽
배수시설	•배수구 이물질 퇴적	개소	1	1	-	-	▽
	•유도배수관 설치	개소	1	1	-	-	▽
	•배수파이프 길이부족	개소	1	1	-	-	▽
방호벽	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	47	20.25	69	43.70	△
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	37	44.40	38	78.80	△
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	2	2.72	5	4.06	△
	•철근노출	㎡	-	-	1	0.01	△
	•파손	㎡	11	0.41	4	0.24	▽
	•단차	m	-	-	1	0.06	△
	•실링재 탈락, 표면오염	㎡	2	0.92	-	-	▽
기타	•유간협착	㎡	-	-	2	0.56	△
검토의견	■ 보수이력 및 현장조사 결과, 기 진단 이후 바닥판 하면 균열보수, 하부구조 균열보수 및 단면보수, 받침콘크리트 균열보수, 신축이음장치 보수 등이 실시된 것으로 확인됨. ■ 전차진단(2012년)에서 조사된 상·하부구조의 손상은 대부분 보수된 상태이며, 금회 조사된 신규손상 및 기존손상의 증가는 공용년수 증가에 따른 노후화(거더 외부 도장박리 및 부식, 교량받침 도장박리 등), 조사장비(교량점검차, 고소점검차)를 운용한 근접조사 실시(바닥판 망상균열(Cw=0.3㎜미만), 거더외부 도장박리 및 부식 등), 기 용역 시 누락된 손상 추가조사 등에 따른 것으로 판단됨.						

다. 내구성조사 결과요약(양평)

시 험 명		시험부위	시험 결과		비 고
			2012년 전차진단	2016년 금회진단	
콘크리트	비파괴 강도시험 (㎫)	상부구조	26.0~28.5	28.6~31.2	• 설계기준강도(27㎫)를 상회함.
		하부구조	26.5~30.0	28.2~32.2	• 설계기준강도(24㎫)를 상회함.
	철근탐사 시험	상 · 하부구조	-		• 전반적으로 철근배근간격 및 피복두께는 준공도면과 거의 일치함.
	품질시험 (km/s)	상부구조	-	3.715~4.646	• 콘크리트 품질이 양호한 상태인 것으로 판단됨.
		하부구조	-	4.284~4.650	
	탄산화 깊이 (㎜)	상부구조	3.8~10.0	3.2~6.4	• 상태평가 a (잔여깊이 30㎜이상)
		하부구조	1.3~11.0	3.5~4.8	
	염화물 함유량 시험 (kg/㎥)	상부구조	0.152	0.177~0.468	• 상태평가 a (염화물 ≤ 0.3kg/m³)
		하부구조	0.050~0.312	0.153~0.219	• 상태평가 a~b (염화물 < 1.2kg/m³)
강재	초음파 탐상 (UT)	거더 내부 (맞대기 용접부)	합 격	시험 8개소 (8개소 합격)	• 1급
	도막두께 (μm)	거더 외부	-	371~417	• 기준두께(215μm) 상회
	강재두께 (㎜)	거더	-	12.6~14.6 (+0.5~0.6)	• 설계두께의 ±0.80
종합평가	■ 비파괴강도 측정결과, 전 개소에서 설계기준 강도를 상회하는 것으로 조사되었으며, 기 진단과의 비교 · 분석 결과, 부재별로 측정 위치가 달라 다소 차이가 있지만, 구조물의 강도저하는 없는 것으로 평가됨. ■ 콘크리트 품질시험결과, 양호한 상태인 것으로 평가됨. ■ 탄산화 깊이측정결과, 전반적으로 양호한 상태인 것으로 조사되어 상태등급 “a” 로 판정되며 기진단과의 비교 · 분석 결과, 탄산화 깊이가 다소 진행되었으나, 철근부식에 영향이 없는 것으로 평가됨. ■ 염화물 함유량 시험결과 “a~b” 로 평가되며, 철근부식에 영향이 없는 것으로 평가되며 기진단과의 비교 · 분석 결과, 염화물 함유량이 다소 증가 하였으나, 철근부식에 영향이 없는 것으로 평가됨. ■ 금회 진단결과, 비파괴 강도, 철근배근상태, 콘크리트 품질, 탄산화 깊이 시험결과, 대부분 양호한 수준으로 측정됨. ■ 강재에 대한 내구성 조사결과 전 개소에서 합격 판정된 것으로 나타나며, 도막두께 및 강재두께 측정치도 측정개소 모두 기준치를 상회하는 양호한 상태인 것으로 측정됨.				

6. 시설물의 상태평가

6.1 마산방향

부재의 분류		상부구조			하부구조		받침	기타부재				탄산화		염화물	
번호	형식	바닥판	거더	가로보/세로보	교대 교각	기초	교량 받침	신축 이음	교면 포장	배수 시설	난간	상부	하부	상부	하부
1	강박스	b	b	a	a	q	b	d	c	a	c	a	a	a	c
2	강박스	b	b	a	b	q	a	–	d	a	c	a	a	–	–
					b	q	c	d		a			a		a
평균		0.20	0.20	0.10	0.17	0.00	0.23	0.70	0.55	0.10	0.40	0.10	0.10	0.10	0.25
가중치		18	20	5	20	0	9	9	7	3	2	2	2	2	1
(평균X가중치 /가중치합)		0.036	0.040	0.005	0.034	0.000	0.021	0.063	0.039	0.003	0.008	0.002	0.002	0.002	0.003

결함도 환산점수	0.257
상태평가 결과	B

6.2 양평방향

부재의 분류		상부구조			하부구조		받침	기타부재				탄산화		염화물	
번호	형식	바닥판	거더	가로보/세로보	교대 교각	기초	교량 받침	신축 이음	교면 포장	배수 시설	난간	상부	하부	상부	하부
1	강박스	b	b	a	c	q	b	d	b	a	c	a	a	b	a
2	강박스	b	b	a	b	q	b	–	b	a	c	a	a	–	–
					b	q	b	d		a			a		a
평균		0.20	0.20	0.10	0.27	0.00	0.20	0.70	0.20	0.10	0.40	0.10	0.10	0.20	0.10
가중치		18	20	5	20	0	9	9	7	3	2	2	2	2	1
(평균X가중치 /가중치합)		0.036	0.040	0.005	0.054	0.000	0.018	0.063	0.014	0.003	0.008	0.002	0.002	0.004	0.001

결함도 환산점수	0.250
상태평가 결과	B

7. 시설물의 안전성평가

7.1 안전성평가 결과

가. 상부구조

1) 바닥판

① 마산방향

구 분	M_u (kN·m)	ΦM_n (kN·m)	안전율(ΦMn/Mu)	검토결과
캔틸레버부(방호벽측)	80.049	122.167	1.526	O.K
캔틸레버부(중분대측)	91.090	122.167	1.341	O.K
중앙부	63.436	105.961	1.670	O.K

② 양평방향

구 분	M_u (kN·m)	ΦM_n (kN·m)	안전율(ΦMn/Mu)	검토결과
캔틸레버부(방호벽측)	80.049	122.167	1.526	O.K
캔틸레버부(중분대측)	91.165	121.568	1.333	O.K
중앙부	63.436	105.961	1.670	O.K

강도설계법에 의한 바닥판의 단면검토 결과, 휨강도에 대한 계수모멘트의 최소 안전율이 1.333로 산정되어 바닥판은 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

2) 강박스 거더

① 마산방향

구 분		휨 응 력				안전율		검토결과
		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)				
		상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	
정모멘트부	S1-G2	115.699	-124.127	247.00	-190.00	2.135	1.531	O.K
	S2-G2	115.473	-124.753	247.00	-190.00	2.139	1.523	O.K
부모멘트부	P1	-166.304	170.305	190.00	190.00	1.142	1.116	O.K

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

구 분		전 단 응 력		안전율	검토결과
		작용응력(MPa)	허용응력(MPa)		
정모멘트부	S1-G2	6.542	110.000	16.814	O.K
	S2-G2	7.013	110.000	15.685	O.K
부모멘트부	P1	24.895	110.000	4.419	O.K

② 양평방향

구 분		휨 응 력				안전율		검토결과
		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)				
		상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	
정모멘트부	S1-G1	116.652	-118.613	247.00	-190.00	2.117	1.602	O.K
	S2-G1	115.869	-116.512	247.00	-190.00	2.132	1.631	O.K
부모멘트부	P1	-165.255	168.817	190.00	190.00	1.150	1.125	O.K

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

구 분		전 단 응 력		안전율	검토결과
		작용응력(MPa)	허용응력(MPa)		
정모멘트부	S1-G2	5.686	110.000	19.346	O.K
	S2-G2	7.131	110.000	15.426	O.K
부모멘트부	P1	22.961	110.000	4.791	O.K

허용응력법에 의한 강박스 거더의 응력 검토결과, 거더 상·하연에 발생되는 최대응력은 허용응력 이내(휨응력 : 1.116, 전단응력 : 4.419)로 검토되어 구조 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

3) 교량받침용량 검토

① 마산방향

구 분			합성전고정하중(kN)		합성후 고정하중 (kN)	활하중(kN)	합 계(kN)	받침용량 (kN)	검토 결과
			Steel	Concrete					
A1	G1	Sh01	253.531	431.102	173.390	482.585	1340.608	2500	O.K
		Sh02	252.366	396.305	180.269	445.410	1274.350	2500	O.K
	G2	Sh03	205.477	349.608	200.716	395.309	1151.110	2500	O.K
		Sh04	178.214	334.233	209.358	365.187	1086.992	2500	O.K
P1	G1	Sh01	962.929	1274.044	569.296	999.149	3805.418	6000	O.K
		Sh02	977.978	1294.852	582.079	985.392	3840.301	6000	O.K
	G2	Sh03	981.006	1400.683	772.138	965.224	4119.051	6000	O.K
		Sh04	966.519	1385.473	770.933	967.158	4090.083	6000	O.K

구 분			합성전고정하중(kN)		합성후 고정하중 (kN)	활하중(kN)	합 계(kN)	받침용량 (kN)	검토 결과
			Steel	Concrete					
A2	G1	Sh01	177.079	285.525	141.956	369.925	974.485	2500	O.K
		Sh02	207.991	334.489	155.496	420.016	1117.992	2500	O.K
	G2	Sh03	258.193	427.823	223.234	461.979	1371.229	2500	O.K
		Sh04	257.985	460.713	247.360	447.466	1413.524	2500	O.K

② 양평방향

구 분			합성전고정하중 (kN)		합성후 고정하중 (kN)	활하중(kN)	합 계(kN)	받침용량 (kN)	검토 결과
			Steel	Concrete					
A1	G1	Sh01	42.005	184.502	162.254	379.220	767.981	2500	O.K
		Sh02	449.339	967.020	172.488	418.645	2007.492	2500	O.K
	G2	Sh03	98.779	217.478	164.125	422.799	903.181	2500	O.K
		Sh04	259.678	536.436	97.963	280.061	1174.138	2500	O.K
	G3	Sh05	235.732	489.882	287.687	683.314	1696.615	2500	O.K
		Sh06	198.736	368.638	165.629	438.326	1171.329	2500	O.K
P1	G1	Sh01	826.200	1222.536	568.347	959.191	3576.274	6000	O.K
		Sh02	850.478	1260.488	565.168	946.614	3622.748	6000	O.K
	G2	Sh03	982.390	1477.856	475.849	780.638	3716.733	6000	O.K
		Sh04	988.535	1491.797	477.382	774.345	3732.059	6000	O.K
	G3	Sh05	1010.923	1629.888	629.650	667.653	3938.114	6000	O.K
		Sh06	994.498	1610.279	635.291	669.465	3909.533	6000	O.K
A2	G1	Sh01	156.324	273.135	181.262	492.856	1103.577	2500	O.K
		Sh02	231.307	395.403	135.938	332.932	1095.58	2500	O.K
	G2	Sh03	227.536	376.990	127.429	378.084	1110.039	2500	O.K
		Sh04	258.472	473.535	132.035	351.928	1215.97	2500	O.K
	G3	Sh05	216.399	393.421	148.486	300.838	1059.144	2500	O.K
		Sh06	274.456	517.308	209.098	193.386	1194.248	2500	O.K

나. 하부구조

1) 교대 단면검토

① 마산방향

구 분		d(mm)	사용철근량(㎟)	M_u(kN · m)	ϕM_n(kN · m)	ϕM_n / M_u
A1	연직벽체	1780	D32-10EA=7942.0	1611.884	3489.078	O.K.(2.165)
	흉벽	420	D22-10EA=3871.0	208.174	388.888	O.K.(1.868)
	압굽	2100	D29-10EA=6424.8	1424.570	3361.999	O.K.(2.360)
	뒷굽	2100	D29-10EA=6424.8	835.752	3361.689	O.K.(4.022)
A2	연직벽체	1780	D22-8EA=3096.8	567.251	1400.990	O.K.(2.470)
	흉벽	420	D22-8EA=3096.8	208.174	320.216	O.K.(1.538)
	압굽	1200	D22-8EA=3096.8	427.215	942.976	O.K.(2.207)
	뒷굽	1200	D22-8EA=3096.8	271.472	946.538	O.K.(3.487)

※ f_{ck} = 24MPa, f_y = 300MPa, k_1 = 0.85, Φ_f = 0.85, Φ_v = 0.75

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

각 부재별 단면검토 결과 최소안전율 1.868(A1), 1.538(A2)로 나와 구조적인 안전성을 확보한 것으로 판단된다.

② 양평방향

구 분		d(mm)	사용철근량(㎟)	M_u(kN · m)	ϕM_n(kN · m)	ϕM_n / M_u
A1	연직벽체	1780	D32-10EA=7942.0	1510.790	3489.078	O.K.(2.309)
	흉벽	420	D22-10EA=3871.0	208.174	388.888	O.K.(1.868)
	압굽	2100	D29-10EA=6424.8	1325.876	3361.999	O.K.(2.536)
	뒷굽	2100	D29-10EA=6424.8	852.374	3361.689	O.K.(3.944)
A2	연직벽체	1780	D22-8EA=3096.8	512.433	1400.990	O.K.(2.734)
	흉벽	420	D22-8EA=3096.8	208.174	320.216	O.K.(1.538)
	압굽	1200	D22-8EA=3096.8	434.551	942.976	O.K.(2.170)
	뒷굽	1200	D22-8EA=3096.8	266.082	946.538	O.K.(3.557)

※ f_{ck} = 24MPa, f_y = 300MPa, k_1 = 0.85, Φ_f = 0.85, Φ_v = 0.75

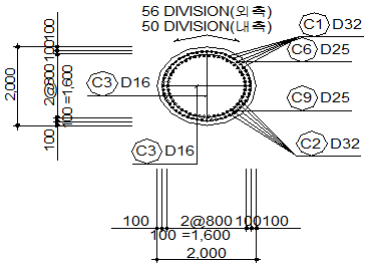
※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

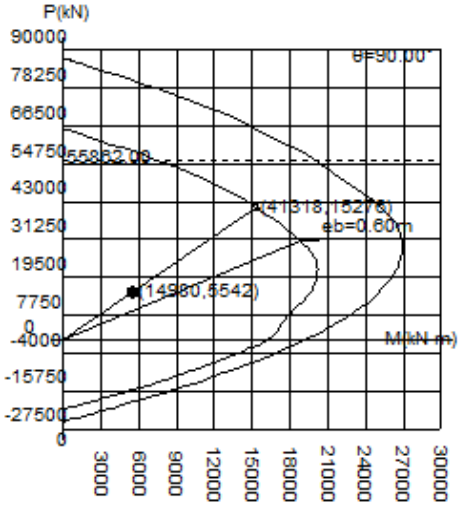
각 부재별 단면검토 결과 최소안전율 1.868(A1), 1.538(A2)로 나와 구조적인 안전성을 확보한 것으로 판단된다.

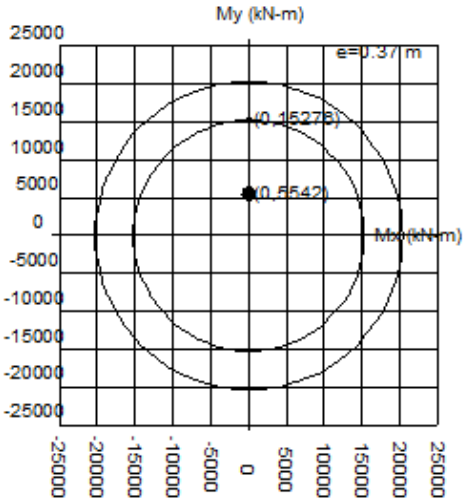
2) 교각(P1) 단면검토

① 마산방향

㉠ 기둥해석 결과

구 분	사 용 철 근	조립도
1 단	D32× 56EA	
2 단	D32× 50EA	
계	84185.20mm² - 2.680%	
유효단면적 A_{eff}=1570796.33 mm²	Aeff=Pu/{φ・0.80・(0.85fck+0.01fy)}(단, Aeff>1/2・Ag)	





Pu=14979.589kN ≤ φPn=41317.540kN ····· O.K (S.F. 2.758)

δMux=0.000kN・m ≤ φMnx=0.000kN・m ····· O.K

δMuy=5542.469kN・m ≤ φMny=15275.719kN・m ····· O.K (S.F. 2.756)

δMu=5542.469kN・m ≤ φMn=15275.719kN・m ····· O.K (S.F. 2.756)

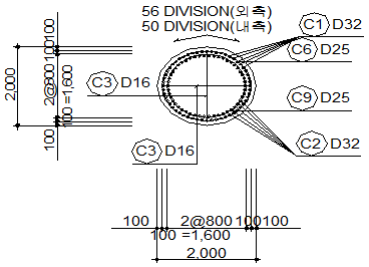
㉡ 코핑단면 검토

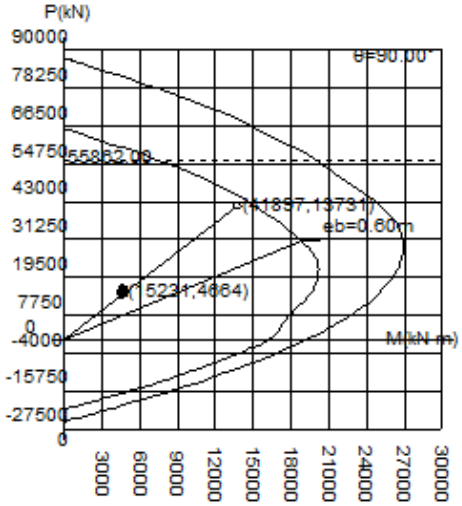
구 분	d(mm)	사용철근량(mm²)	M_u(kN · m)	ϕM_n(kN · m)	안전율
깊은 보 휨 검토	1650	D32-10EA=19060.8 D32-10EA=19060.8 = 38121.6	8978.840	15167.830	O.K.(1.689)

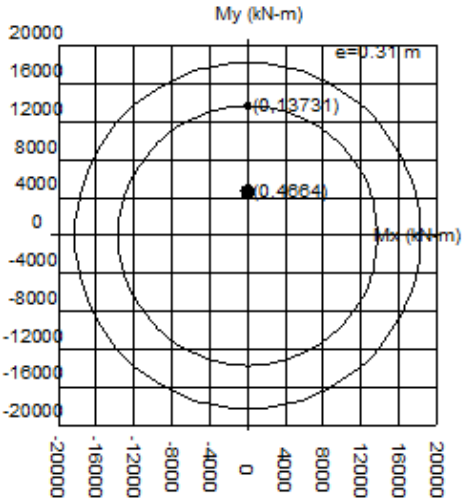
교각 구조물에 대한 안정성 검토 결과 최소 안전율 1.0이상으로 나와 구조적인 안전성을 확보한 것으로 판단된다.

② 양평방향

㉠ 기둥해석 결과

구 분	사 용 철 근	조립도
1 단	D32× 56EA	
2 단	D32× 50EA	
계	84185.20mm² - 2.680%	
유효단면적 A_{eff}=1570796.33 mm²	A_{eff}=Pu/{φ・0.80・(0.85fck+0.01fy)} (단, A_{eff}>1/2・Ag)	





Pu=15230.506kN ≤ φPn=41896.503kN ····· O.K (S.F. 2.751)

δMux=0.000kN・m ≤ φMnx=0.000kN・m ····· O.K

δMuy=4663.695kN・m ≤ φMny=13731.359kN・m ····· O.K (S.F. 2.994)

δMu=4663.695kN・m ≤ φMn=13731.359kN・m ····· O.K (S.F. 2.994)

㉡ 코핑단면 검토

구 분	d(mm)	사용철근량(mm²)	M_u(kN・m)	ØMn(kN・m)	안전율
깊은 보 휨 검토	1650	D32-10EA=19060.8 D32-10EA=19060.8 = 38121.6	8378.202	15122.269	O.K.(1.805)

교각 구조물에 대한 안정성 검토 결과 최소 안전율 1.0이상으로 나와 구조적인 안전성을 확보한 것으로 판단된다.

7.2 내하력 평가결과

가. 강박스 거더

1) 마산방향

구 분		응력(MPa)			기본내하율 (RF)	기본내하력
		고정하중	활하중	허용응력		
S1- G2 정모멘트 최대	상연	66.225	11.166	190.000	11.085	DB-24이상
	하연	-82.518	-41.609	-190.000	2.583	〃
S2-G2 정모멘트 최대	상연	66.714	10.781	190.000	11.435	〃
	하연	-83.213	-41.540	-190.000	2.571	〃
S1-G2 부모멘트 최대	상연	-121.551	-42.180	-190.000	1.623	〃
	하연	118.315	43.894	190.000	1.633	〃

2) 양평방향

구 분		응력(MPa)			기본내하율 (RF)	기본내하력
		고정하중	활하중	허용응력		
S1- G2 정모멘트 최대	상연	70.501	8.847	190.000	13.507	DB-24이상
	하연	-86.118	-32.495	-190.000	3.197	〃
S2-G2 정모멘트 최대	상연	71.173	8.921	190.000	13.319	〃
	하연	-85.418	-31.095	-190.000	3.363	〃
S1-G2 부모멘트 최대	상연	-127.946	-34.957	-190.000	1.775	〃
	하연	124.150	36.260	190.000	1.816	〃

나. 바닥판

1) 마산방향

구 분	설계강도 (kN · m)	고정하중 계수	고정하중 모멘트 (kN · m)	활하중 계수	활하중모멘트 (충격포함) (kN · m)	기본내하율 (RF)	기본내하력 (P)
캔틸레버부	122.167	1.3	10.674	2.15	25.235	1.996	DB-24 이상
캔틸레버부	122.167	1.3	7.598	2.15	36.804	1.419	〃
중앙부 바닥판	105.961	1.3	2.357	2.15	28.080	1.704	〃

2) 양평방향

구 분	설계강도 (kN · m)	고정하중 계수	고정하중 모멘트 (kN · m)	활하중 계수	활하중모멘트 (충격포함) (kN · m)	기본내하율(RF)	기본내하력 (P)
캔틸레버부	121.568	1.3	10.674	2.15	25.235	1.985	DB-24 이상
캔틸레버부	121.568	1.3	7.656	2.15	36.804	1.411	〃
중앙부 바닥판	105.363	1.3	2.357	2.15	28.080	1.694	〃

강박스거더와 바닥판 내하력평가 결과 기본내하력(P)는 DB-24이상을 확보하였다.

8. 종합평가

8.1 종합평가 결과

가. 마산방향

구조물명	상태평가 결과		안전성평가 결과		종합평가결과
	환산결함도점수	기준	S · F	기준	
감곡IC교 (마산)	0.257	B	1.116(거더) 1.341(바닥판)	A	B
종합평가	•외관조사 및 내구성조사에 의한 상태평가 결과는 내구성확보를 위해 일부 보수가 필요한 “B”로 평가됨 •안전성 평가결과 최소 안전율 1.0이상으로 “A”로 평가됨 •상태평가 및 안전성 평가결과를 통한 종합평가 결과 감곡IC교(마산)은 “C”로 평가됨				

나. 양평방향

구조물명	상태평가 결과		안전성평가 결과		종합평가 결과
	환산결함도점수	기준	S · F	기준	
감곡IC교 (양평)	0.250	B	1.125(거더) 1.333(바닥판)	A	B
종합평가	•외관조사 및 내구성조사에 의한 상태평가 결과는 내구성확보를 위해 일부 보수가 필요한 “B”로 평가됨 •안전성 평가결과 최소 안전율 1.0이상으로 “A”로 평가됨 •상태평가 및 안전성 평가결과를 통한 종합평가 결과 감곡IC교(양평)은 “B”로 평가됨				

8.2 안전등급 지정

가. 마산방향

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

안전등급	구조물명	안전등급
	감곡IC교(마산)	B등급(양호)

나. 양평방향

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

안전등급	구조물명	안전등급
	감곡IC교(양평)	B등급(양호)

9. 보수·보강 및 유지관리방안

9.1 보수·보강 추진방향

가. 마산방향

감곡IC교(마산) 정밀안전진단 결과

상태평가 결과

- 상태평가결과 → “B”(0.257)
- 바닥판 : 미세균열, 백태, 재료분리, 박락 등
- STB 거더 : 용접결함, 도장박리, 부식 등
- 하부구조 : 균열(폭 0.3㎜이하) 및 망상균열, 백태, 박리, 재료분리, 파손 등
- 받침 : 부식, 균열, 박락, 이동량 초과 등
- 신축이음 : 단차, 후타재 균열 및 파손, 유간부족 등
- 교면포장 : 종방향 균열 및 망상균열, 포트홀 등
- 배수시설 : 손상이 없는 양호한 상태
- 방호벽 : 균열 및 망상균열, 철근노출, 파손 등

안전성평가 결과

- 안전성평가 결과 → “A”
- Steel Box Girder 구간 (최소 안전율)
  -거더 정모멘트부 : SF = 1.116
  -바닥판 : SF = 1.341
- 하부구조 안전성검토
  - 단면검토 및 안전성 양호 : SF = 1.0이상

보수·보강 방향

1 순위	2 순위	3 순위
•주요부재에 발생된 결함 및 손상이 커 내구성에 영향을 미치는 경우	•보조부재에 발생된 결함 및 손상이 커 내구성에 영향을 미치는 경우	•발생된 손상이 경미하여, 유지관리를 통한 점검이 필요한 경우
• 받침콘크리트 파손	• Steel Box 부식, 도장박리 등 표면손상 • 받침장치 균열(Cw=0.3㎜이상) • 방호벽 철근노출 • 받침장치 부식부 재도장 • 기타 보조부재의 내구성에 영향을 미치는 손상 등 • 녹발생	• 상부·하부 미세균열(0.3㎜미만) • 백태, 박리 등 표면열화 • 박락, 파손 등 단면열화부 • 신축이음 덮개볼트 탈락 • 기타 즉각적인 보수가 필요하지 않은 손상 등

나. 양평방향

감곡IC교(양평) 정밀안전진단 결과

상태평가 결과

- 상태평가결과 → “B”(0.250)
- 바닥판 : 균열(0.3㎜이하), 망상균열, 백태, 재료분리, 박락/녹발생 등
- STB 거더 : 용접결함(Pit), 도장박리, 부식, 오염, 실링누락 등
- 하부구조 : 균열(폭 0.3㎜미만, 0.3㎜이상) 및 망상균열, 백태, 박리, 박락, 재료분리, 파손, 녹발생 등
- 받침 : 본체부식, 도장박리, 받침 몰탈/콘크리트 균열, 받침이동량 초과 등
- 신축이음 : 단차, 후타재균열(0.3㎜미만) 및 파손, 덮개 파손, 신축유간부족 등
- 교면포장 : 종방향 균열 및 망상균열, 포트홀 등
- 배수시설 : 손상이 없는 양호한 상태
- 방호벽 : 균열 및 망상균열, 철근노출, 파손, 방호벽 단차 등

안전성평가 결과

- 안전성평가 결과 → “A”
- Steel Box Girder 구간 (최소 안전율)
  -거더 정모멘트부 : SF = 1.125
  -바닥판 : SF = 1.333
- 하부구조 안전성검토
  - 단면검토 및 안전성 양호 : SF = 1.0이상

보수·보강 방향

1 순위	2 순위	3 순위
•주요부재에 발생된 결함 및 손상이 커 내구성에 영향을 미치는 경우	•보조부재에 발생된 결함 및 손상이 커 내구성에 영향을 미치는 경우	•발생된 손상이 경미하여, 유지관리를 통한 점검이 필요한 경우
• 받침콘크리트 박락	• Steel Box 부식, 도장박리 등 표면손상 • 하부구조 균열(Cw=0.3㎜이상) • 하부구조 녹발생 • 받침장치 부식 및 도장박리 재도장 • 기타 보조부재의 내구성에 영향을 미치는 손상 등	• 상부·하부 미세균열(0.3㎜미만) • 백태, 박리 등 표면열화 • 박락, 파손 등 단면열화부 • 기타 즉각적인 보수가 필요하지 않은 손상 등

9.2 보수·보강방안 및 개략공사비

가. 마산방향

구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위
바닥판	•백태	표면처리보수	0.05	0.08	㎡	33	3	3
	•박락	단면복구 1안)	1.64	2.46	㎡	212	522	3
	•녹발생	방청 후 단면복구	0.40	0.60	㎡	241	145	2
Steel Box Girder 내부	•도장박리	재도장	1.06	1.59	㎡	32	52	2
	•부식	녹제거 후 재도장	0.29	0.44	㎡	32	15	2
	•실링누락	실링재 시공	7.00	7.00	EA	4	28	3
	•인분배설	청소	1.00	1.00	EA	13	14	3
격벽	•도장박리	재도장	0.20	0.30	㎡	32	10	2
Steel Box Girder 외부	•도장박리	재도장	0.02	0.03	㎡	32	1	2
	•부식	녹제거 후 재도장	0.28	0.42	㎡	32	14	2
	•오염	재도장	0.72	1.08	㎡	32	35	2
교대	•누수흔적	표면처리보수	4.64	6.96	㎡	33	233	3
	•백태	표면처리보수	0.68	1.02	㎡	33	35	3
	•박리	표면처리보수	1.58	2.37	㎡	33	80	3
교량 받침	•볼트부식	녹제거 후 재도장	1.00	1.00	EA	57	58	2
	•도장박리	재도장	1.00	1.00	EA	57	58	2
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	주입보수	0.30	0.45	m	70	32	2
	•파손	방청 후 단면복구	0.20	0.30	㎡	241	73	1

구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위
신축이음	•덮개볼트 탈락	볼트 재체결	0.04	0.04	EA	6	1	3
	•균열(Cw=0.3㎜미만)	표면처리보수	8.20	3.08	m	33	103	3
방호벽	•균열(Cw=0.3㎜미만)	표면처리보수	79.00	29.63	m	33	959	3
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	주입보수	54.70	82.05	m	70	5,739	2
	•망상균열 (Cw=0.3㎜미만)	표면처리보수	6.94	10.41	㎡	33	348	3
	•박락	단면복구	0.08	0.12	㎡	212	26	3
	•재료분리	단면복구	0.06	0.09	㎡	212	20	3
	•철근노출	방청 후 단면복구	1.01	1.52	㎡	241	365	2
	•파손	단면복구	0.03	0.05	㎡	212	10	3
	•녹발생	방청 후 단면복구	0.11	0.17	㎡	241	40	2
순공사비 합계(천원)								9,049
제경비(순공사비×50%)								4,525
순위별 공사비 (제경비 포함)		1순위						110
		2순위						9,846
		3순위						3,618
개략공사비(천원)								13,574

※ 손상물량의 할증(50%)은 보수공사 및 재료에 대한 손실과『토목표준품셈 제1장 적용기준 중 "1-16 품의 할증 - 14.기타할증(작업능력 저하가 현저할 때-위험, 소음, 협소)』을 적용하였음.

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

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

1) 교대제어 보수보강 개략공사비

구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)
바닥판	•협착 및 파손	영구앵커공법	11	11	공	4000	44000
		신축이음장치 +바닥판하면 절취	22.0	m	m	2300	50600
			2	2	식	1500	3000

주) 지반 보강 그라우팅은 보수보강 공사시 별도 공사비 적용하여 산출함.

나. 양평방향

구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위
바닥판	•백태	표면처리보수	0.10	0.15	㎡	33	6	3
	•박락	단면복구 1안)	3.19	4.79	㎡	212	1,015	3
	•박락/녹발생	단면복구	0.15	0.23	㎡	241	55	2
	•재료분리	단면복구	0.08	0.12	㎡	212	26	3
Steel Box Girder 내부	•도장박리	재도장	0.01	0.02	㎡	32	1	2
	•부식	녹제거 후 재도장	0.32	0.48	㎡	241	116	2
	•실링누락	실링재 시공	4.00	4.00	EA	4	16	3
	•소변배설	청소	1.00	1.00	EA	13	14	3
격벽	•도장박리	재도장	0.08	0.12	㎡	32	4	2
	•부식	녹제거 후 재도장	0.01	0.02	㎡	32	1	2
Steel Box Girder 외부	•도장박리	재도장	1.01	1.52	㎡	32	49	2
	•부식	녹제거 후 재도장	0.62	0.93	㎡	32	31	2
	•오염	재도장	16.50	24.75	㎡	32	801	2
가로보 및 세로보	•부식	녹제거 후 재도장	0.01	0.02	㎡	32	1	2
교대	•누수흔적	표면처리보수	3.44	5.16	㎡	33	173	3
	•백태	표면처리보수	0.84	1.26	㎡	33	43	3
	•박리	표면처리보수	5.22	7.83	㎡	33	262	3
	•재료분리	단면복구	0.52	0.78	㎡	212	166	3
	•녹발생	방청 후 단면복구	0.47	0.71	㎡	241	170	2
	•파손	단면복구	0.02	0.03	㎡	212	7	3
	•이물질퇴적	청소	2.52	3.78	㎡	13	51	3
	•실링재열화	실링재 시공	0.25	0.38	m	4	2	3

구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위
교각	•녹발생	방청 후 단면복구	0.11	0.17	㎡	241	40	2
교량받침	•부식	녹제거 후 재도장	3.22	4.83	㎡	57	276	2
	•도장박리	재도장	0.12	0.18	㎡	57	11	2
	•박락	방청 후 단면복구	0.06	0.09	㎡	241	22	1
신축이음	•균열(Cw=0.3㎜미만)	표면처리보수	6.32	2.37	m/㎡	33	80	3
	•파손	단면복구	4.50	6.75	㎡	212	1,432	3
	•덮개볼트 탈락	볼트 재체결	3.00	3.00	EA	6	18	3
방호벽	•균열(Cw=0.3㎜미만)	표면처리보수	43.70	16.39	m/㎡	33	547	3
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	주입보수	78.80	118.20	m	70	8,267	2
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	표면처리보수	4.06	6.09	㎡	33	204	3
	•철근노출	방청 후 단면복구	0.01	0.02	㎡	241	4	2
	•파손	단면복구	0.24	0.36	㎡	212	77	3
순공사비 합계(천원)								13,988
제경비(순공사비×50%)								6,994
순위별 공사비 (제경비 포함)		1순위						33
		2순위						14,741
		3순위						6,209
개략공사비(천원)								20,982

※ 손상물량의 할증(50%)은 보수공사 및 재료에 대한 손실과『토목표준품셈 제1장 적용기준 중 "1-16 품의 할증 - 14.기타할증(작업능력 저하가 현저할 때-위험, 소음, 협소)』을 적용하였음.

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

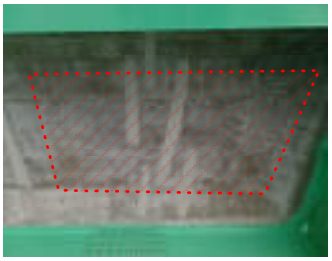
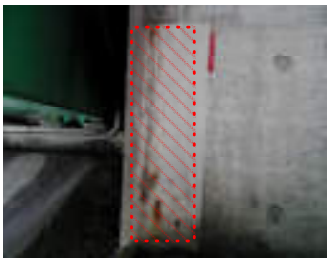
※ 상기 개략공사비는 실시설계시 공법선정, 단가변동 및 현장여건상 부대공의 추가 등으로 변동될 수 있음.

1) 교대 제어 보수보강 개략공사비

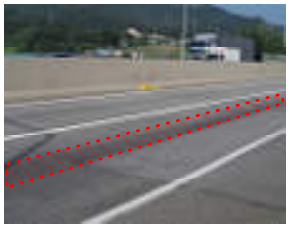
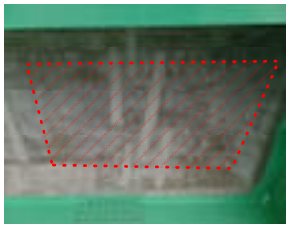
구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)
바닥판	•협착 및 파손	영구앵커공법	47	47	공	4000	188000
		신축이음장치 +바닥판하면 절취	30	m	m	2300	69000
			2	2	식	1500	3000

9.3 유지관리 방안

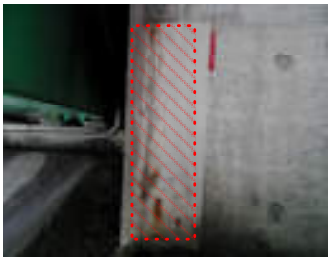
가. 진단결과에 따른 중점유지관리 사항

구 분	중 점 점 검 내 용
상부구조	• 균열발생부의 손상진전 여부 • 캔틸레버부측 누수여부(배수구 주변, 신축이음부) • 바닥판(상부플랜지) 하면 콘크리트 열화(파손 및 철근노출 등) 발생여부  <마산방향-S1 균열(0.2㎜)>  <양평방향-S2 망상균열>
하부구조	• 교대의 수직균열 • 수직균열의 진전여부 • 점검계단의 침하진전 여부  <교대(A1) 흉벽 망상균열(0.1㎜)>  <양평방향-교각(P1) 교각부 균열>
신축 이음	• 방수기능저하로 인한 누수 • 신축이음 표면마모, 부식 • 유간부족 및 과다, 파손, 단차, 볼트탈락으로 인한 충격음 발생 및 본체 유동 • 유간부족 및 과다로 인한 본체 및 기타부재 파손 • 구조물 경계부 포장침하로 인한 단차 • 콘크리트 품질불량, 열화에 의한 균열, 파손  <마산방향-A1 신축이음장치 부식>  <양평방향-A2 후타재 파손>

나. 유지관리를 위한 부재별 중점유지관리 사항

부재구분	중 점 점 검 내 용
교면포장	◦주요점검 대상 · 균열 및 마모발생 여부 확인 · 포트홀 및 포장파손 진전여부 · 접속부 단차로 인한 2차손상여부  <마산방향-교면포장 소성변형>  <양평방향-교면포장 균열>
배수시설	◦주요점검 대상 · 배수관 막힘  <배수구 이물질 퇴적>  <배수측구 파손>
방호벽	◦주요점검 대상 · 콘크리트 파손/박락, 철근노출 · 방호벽 균열 손상진전여부  <방호벽 박락>  <방호벽 균열>
바닥판	◦주요점검 대상 · 균열발생부의 손상진전 여부 · 캔틸레버부측 누수여부(배수구 주변, 신축이음부) · 바닥판(상부플랜지) 하면 콘크리트 열화(파손 및 철근노출 등) 발생여부  <양평방향-S2 망상균열>  <양평방향-S1 박락>

부재구분	중 점 점 검 내 용
강박스 거더	◦ 도장박리 및 부식부의 추가손상 및 심화여부 ◦ 용접부 및 볼트부식부 손상 심화여부 ◦ 도장박리 추가손상 및 심화여부 ◦ 현장이음부 갭으로 우수유입 및 우수유입에 의한 강재거더 부식여부  <마산방향 S1-G1(내부) 부식>  <양평방향 S1-G3(내부) 도장박리>
교량받침	◦신축이음부 누수여부(받침 도장박리, 부식, 몰탈/콘크리트 열화) ◦받침 몰탈/콘크리트 균열의 발생과 진전여부 ◦가동받침의 이동량 점검  <받침콘크리트 파손>  <받침 부식>
신축이음 장치	◦주요점검 대상 · 방수기능저하로 인한 누수 · 신축이음 표면마모, 부식 · 유간부족 및 과다, 파손, 단차, 볼트탈락으로 인한 충격음 발생 및 본체 유동 · 유간부족 및 과다로 인한 본체 및 기타부재 파손 · 구조물 경계부 포장침하로 인한 단차 · 콘크리트 품질불량, 열화에 의한 균열, 파손  <후타재 균열>  <후타재 파손>

부재구분	중 점 점 검 내 용
하부구조	◦교대의 수직균열 · 수직균열의 진전여부 ◦점검계단의 침하진전 여부 ◦흉벽 백태, 철근노출 ◦ 단면손상(철근노출, 박리, 파손)의 진전여부 ◦ 보수부 재손상 발생여부  <교대 망상균열>  <교각 녹발생>

10. 종합결론

감곡IC교(마산, 양평)는 2002년 12월 준공되어 2016년 현재 공용년수가 14년 정도 경과한 교량으로, 설계하중은 DB-24로 1등급교량에 해당하고, 상부구조의 주형식은 Steel Box Girder로써, 경간 구성은 2경간[STB : 55.0m + 55.0m]으로 이루어져 있다. 본 과업은 준공(2002년) 이후 2회차로 시행하는 정밀안전진단으로, 시공자료 분석을 포함하여, 현장조사, 각종시험 및 구조안전성평가 등을 통한 종합결론을 요약하면 다음과 같다.

10.1 마산방향

가. 외관조사 결과

- 각 부재별 외관조사 결과, 주요 손상으로는 바닥판하면의 미세균열(0.2㎜이하, 횡방향 균열), 균열부 백태, 강박스 거더의 내·외부 도장박리 및 부식, Splice 볼트부식, 하부구조의 미세균열, 받침장치의 이동량 초과, 표면부식, 받침몰탈 및 콘크리트 균열, 파손, 신축이음장치의 본체부식 및 후타재 균열, 유간협착, 교면포장의 소성변형 및 포트홀, 방호벽의 균열 및 박락, 철근노출 등이 조사되었다.
- 바닥판하면의 미세균열은 구조적 균열이 아닌 시공상 또는 콘크리트의 재료적인 특성상 발생한 균열(콘크리트 부등건조수축 및 콘크리트 내·외부 온도차 등)로 판단된다. 전차진단 시 조사된 균열은 대부분 보수가 완료된 상태로서, 금회 조사시 조사된 균열은 대부분 신규손상이며 내구성확보를 위하여 표면처리보수가 필요하다.

- Steel Box Girder 내·외부, 격벽에서 조사된 용접결함 및 표면열화 손상은 시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화로 인한 손상으로 판단되며, 용접결함은 지속 관찰하는 것이 적절하며, 표면열화 손상은 내구성 확보를 위해 재도장이 필요하다.
- 하부구조에서 조사된 0.3㎜미만의 균열은 대부분 Massive한 기둥부에서 시공초기 수화열에 의한 내외부 온도차 및 건조수축균열로 판단되며, 내구성 확보를 위해 표면처리보수가 필요하다.
- 신축이음장치(A1, A2)은 신장시 A1(J1), A2(J2)의 바닥판 유간이 부족한 것으로 측정되었으며, 외관조사 결과 바닥판 단부 박락 등이 일부 조사되었다. 바닥판 하면 단부에서 발생된 박락은 보수보강 및 유지관리방안편에 보수보강 공법을 비교하여 수록하였다.
- 신축이음장치 본체 부식, 후타재 균열 및 파손, 포장의 균열 및 소성변형 등의 손상은 공용년수의 증가, 중차량 통행 등이 원인으로 지속적인 관찰을 통하여 손상진전여부검토가 필요하다.
- 기타, 소규모로 발생된 단면손상 및 표면손상은 외부충격 및 다짐부족, 피복부족 등에 의한 손상으로써, 시설물의 내구성 확보를 위해 단면보수가 필요하다.

나. 내구성조사 결과

- 비파괴시험을 통한 콘크리트 강도시험 결과, 콘크리트 강도는 설계기준 강도를 만족하고 있으며, 철근배근 상태는 준공도면과 거의 일치하는 것으로 측정되었다.
- 탄산화 깊이측정결과, 전반적으로 양호한 상태인 것으로 조사되어 상태등급 “a” 로 판정되었고, 염화물 함유량 시험결과 상부구조는 “a” , 하부구조는 “a~b” 로 평가되었다.
- 강재초음파 탐사 결과는 전 개소에서 합격으로 판정되어, 맞대기 용접부의 이상결함은 없는 것으로 확인되었다.

다. 상태평가 결과

- 외관조사 및 내구성 시험에 의한 상태평가결과, 구조물의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 조사되지 않았으며, 전반적으로 양호한 상태인 “B” (결함지수 X=0.257)로 평가되었다.

라. 안전성평가 결과

- 구조검토를 통한 안전성 검토결과, 상부구조인 Steel Box Girder의 최소안전율이 1.0 이상으로 나타나 안전성을 확보하고 있고, 강박스 거더 및 바닥판 또한 최소안전율이 1.0이상으로 나타나 안전성을 확보하고 있으며, 기본내하율도 1.0이상 설계하중 DB(DL)-24이상의 내하력을 보유하고 있는 상태로 평가되었다. 또한, 하부구조의 안전성 검토결과, 구조안전성을 확보(교대 벽체 및 흉벽, 기둥의 최소안전율이 1.0이상)하고 있는 것으로 평가되었다.

마. 종합평가 및 안전등급 지정

- 상태평가 및 안전성 평가결과를 통한 종합평가 결과, 감곡IC교(마산방향)는 “B” 로 평가되었고, 안전등급은『보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태』인 B등급으로 평가되었다.

바. 결언

- 감곡IC교(마산방향)는 DB-24의 1등교로서 정밀안전진단 결과, 상태평가(B)와 안전성 평가(A)에 의거 안전등급은『B등급』으로 평가되었으며, 기본내하력은 설계내하력(DB-24 / DL-24) 이상으로 평가되었다.
- 본 교량은 2002년 준공되어 약14년 정도 경과한 교량으로, 전차점검 및 진단결과에 따른 주요손상에 대해 유지보수가 지속적으로 실시되고 있는 것으로 확인되었으며, 공용년수(14년)가 증가함에 따라 손상의 급격한 진전은 없는 상태이며, 상부구조 및 하부구조 안전성 검토 결과는 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.
- 그밖에 조사된 일부부재에 발생한 손상(바닥판하면의 미세균열(0.2㎜이하, 횡방향 균열), 균열부 백태, 강박스 거더의 내·외부 도장박리 및 부식, Splice 볼트부식, 하부구조의 미세균열, 받침장치의 이동량 초과, 표면부식, 받침몰탈 및 콘크리트 균열, 파손, 신축이음장치의 본체부식 및 후타재 균열, 유간협착, 교면포장의 소성변형 및 포트홀, 방호벽의 균열 및 박락, 철근노출 등)에 대해서는 보고서에서 제시한 “보수·보강 및 유지관리 방안”에 따라 보수를 실시하고, 진단결과에 따른 중점유지관리방안에서 제시한대로 보수부 및 중점유지관리가 필요한 부위에 대하여 효율적인 유지관리를 실시한다면 구조물의 안전성과 사용성 확보를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

10.2 양평방향

가. 외관조사 결과

- 각 부재별 외관조사 결과, 주요 손상으로는 바닥판하면의 미세균열(0.2㎜이하, 횡방향 균열), 균열부 백태, 강박스 거더의 내·외부 도장박리 및 부식, Splice 볼트부식, 하부구조의 미세균열, 받침장치의 이동량 초과, 표면부식, 받침몰탈 및 콘크리트 균열, 박락, 신축이음장치의 본체단차 및 들림(A1), 후타재 균열 및 파손, 바닥판 및 신축이음 유간 협착(A2), 교면포장의 아스콘 균열 및 포트홀, 방호벽의 균열 및 단차 등이 조사되었다.
- 바닥판하면의 미세균열은 구조적 균열이 아닌 시공상 또는 콘크리트의 재료적인 특성상 발생한 균열(콘크리트 부등건조수축 및 콘크리트 내·외부 온도차 등)로 판단된다. 전차진단 시 조사된 균열은 대부분 보수가 완료된 상태로서, 금회 조사시 조사된 균열은 대부분 신규손상이며 내구성확보를 위하여 표면처리보수가 필요하다.
- Steel Box Girder 내·외부, 격벽에서 조사된 용접결함 및 표면열화 손상은 시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화로 인한 손상으로 판단되며, 용접결함은 지속 관찰하는 것이 적절하며, 표면열화 손상은 내구성 확보를 위해 재도장이 필요하다.
- 하부구조에서 조사된 0.3㎜미만의 균열은 대부분 Massive한 기둥부에서 시공초기 수화열에 의한 내외부 온도차 및 건조수축균열로 판된되며, 내구성 확보를 위해 표면처리보수가 필요하다.
- 받침이동량 초과 구간은 받침주변에 이상변위가 없는 상태이고, 기능상에 문제가 없는 상태로 보수의 필요성은 적은 상태이나, 향후 점검시 받침장치의 이상거동 상태 등에 대해서 중점관리가 필요하다.
- 신축이음장치(A2) 본체에서 발생한 단차는 유간 협착으로 인해 주원인으로 판단되며 중점유지관찰을 통하여 손상 발생유무를 파악하고 향후 손상 진행시 신축이음장치 교체 및 바닥판하면 단부 절취 보수와 같이 진행되어야 할 것이며, 보수보강·방안은「제7장 보수·보강 및 유지관리방안」에 수록하였다.
- 신축이음장치의 본체단차 및 들림, 후타재 균열 및 파손, 포장의 균열 및 포트홀 등의 손상은 공용년수의 증가, 중차량 통행 등이 원인으로 지속적인 관찰을 통하여 손상진전 여부검토가 필요하다.
- 기타, 소규모로 발생된 단면손상 및 표면손상은 외부충격 및 다짐부족, 피복부족 등에 의한 손상으로써, 시설물의 내구성 확보를 위해 단면보수가 필요하다.

나. 내구성조사 결과

- 비파괴시험을 통한 콘크리트 강도시험 결과, 콘크리트 강도는 설계기준 강도를 만족하고 있으며, 철근배근 상태는 준공도면과 거의 일치하는 것으로 측정되었다.
- 탄산화 깊이측정결과, 전반적으로 양호한 상태인 것으로 조사되어 상태등급 “a” 로 판정되었고, 염화물 함유량 시험결과 상부구조는 “a” , 하부구조는 “a~b” 로 평가되었다.
- 강재초음파 탐사 결과는 전 개소에서 합격으로 판정되어, 맞대기 용접부의 이상결함은 없는 것으로 확인되었다.

다. 상태평가 결과

- 외관조사 및 내구성 시험에 의한 상태평가결과, 구조물의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 조사되지 않았으며, 전반적으로 양호한 상태인 “B”(결함지수 X=0.250)로 평가되었다.

라. 안전성평가 결과

- 구조검토를 통한 안전성 검토결과, 상부구조인 Steel Box Girder의 최소안전율이 1.0 이상으로 나타나 안전성을 확보하고 있고, 강박스 거더 및 바닥판 또한 최소안전율이 1.0이상으로 나타나 안전성을 확보하고 있으며, 기본내하율도 1.0이상 설계하중 DB(DL)-24이상의 내하력을 보유하고 있는 상태로 평가되었다. 또한, 하부구조의 안전성 검토결과, 구조안전성을 확보(교대 벽체 및 흉벽, 기둥의 최소안전율이 1.0이상)하고 있는 것으로 평가되었다.

마. 종합평가 및 안전등급 지정

- 상태평가 및 안전성 평가결과를 통한 종합평가 결과, 감곡IC교(양평방향)는 “B” 로 평가되었고, 안전등급은 『보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태』인 B등급으로 평가되었다.

바. 결언

- 감곡IC교(양평방향)는 DB-24의 1등교로서 정밀안전진단 결과, 상태평가(B)와 안전성 평가(A)에 의거 안전등급은『B등급』으로 평가되었으며, 기본내하력은 설계내하력(DB-24 / DL-24) 이상으로 평가되었다.

- 본 교량은 2002년 준공되어 약14년 정도 경과한 교량으로, 전차점검 및 진단결과에 따른 주요손상에 대해 유지보수가 지속적으로 실시되고 있는 것으로 확인되었으며, 공용년수(14년)가 증가함에 따라 손상의 급격한 진전은 없는 상태이며, 상부구조 및 하부구조 안전성 검토 결과는 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.
- 그밖에 조사된 일부부재에 발생한 손상(바닥판하면의 미세균열(0.2㎜이하, 횡방향 균열), 균열부 백태, 강박스 거더의 내·외부 도장박리 및 부식, Splice 볼트부식, 하부구조의 미세균열, 받침장치의 이동량 초과, 표면부식, 받침몰탈 및 콘크리트 균열, 박락, 신축이음장치의 본체단차 및 들림, 후타재 균열 및 파손, 바닥판 및 신축이음 유간협착, 교면포장의 아스콘 균열 및 포트홀, 방호벽의 균열 및 단차 등)에 대해서는 보고서에서 제시한 “보수·보강 및 유지관리 방안”에 따라 보수를 실시하고, 진단결과에 따른 중점유지관리방안에서 제시한대로 보수부 및 중점유지관리가 필요한 부위에 대하여 효율적인 유지관리를 실시한다면 구조물의 안전성과 사용성 확보를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

보고서 목차

◉ 정밀안전진단 결과표

◉ 정밀안전진단 요약문

제1장 정밀안전진단 개요 ····· 3

1.1 과업의 목적 ····· 3
1.2 과업의 범위 및 내용 ····· 3
1.2.1 과업의 범위 ····· 3
1.2.2 과업수행 기간 ····· 3
1.2.3 과업의 내용 ····· 4
1.3 과업수행 절차 및 일정 ····· 5
1.3.1 과업수행 절차 ····· 5
1.3.2 과업수행 일정 ····· 6
1.4 대상 교량의 현황 ····· 7
1.4.1 교량 현황 ····· 7
1.4.2 교량의 주요도면 ····· 10
1.5 사용장비 및 시험기기의 현황 ····· 26
1.6 교량 기호의 정의 ····· 27

제2장 자료수집 및 분석 ····· 31

2.1 자료수집 현황 ····· 31
2.2 건설 관련자료 검토결과 요약 ····· 33
2.2.1 구조 및 수리계산서 검토 ····· 33
2.2.2 설계도면 검토 ····· 40
2.2.3 토질 및 지반조사 자료검토 ····· 41
2.3 기존 점검 및 진단 실시결과 요약 ····· 43
2.3.1 점검 및 진단이력 ····· 44
2.3.2 기존 진단 실시결과 ····· 50
2.4 보수 · 보강 이력 ····· 56
2.5 시설물의 내진설계 여부 ····· 56
2.5.1 내진설계 조건 및 검토 ····· 57
2.6 자료분석 결과 ····· 59

제3장 현장조사 및 시험 ····· 63
3.1 개 요 ····· 63
3.2 외관조사(마산방향) ····· 66
3.2.1 상부구조 ····· 66
3.2.2 하부구조 ····· 78
3.2.3 교대 기울기 측정 ····· 90
3.2.4 신축이음장치 ····· 96
3.2.5 교면포장 ····· 101
3.2.6 기타부재 ····· 104
3.3 외관조사(양평방향) ····· 110
3.3.1 상부구조 ····· 110
3.3.2 하부구조 ····· 123
3.3.3 교대 기울기 측정 ····· 136
3.3.4 신축이음장치 ····· 142
3.3.5 교면포장 ····· 148
3.3.6 기타부재 ····· 151
3.4 콘크리트 내구성조사 ····· 157
3.4.1 개 요 ····· 157
3.4.2 시험내용 및 평가기준 ····· 161
3.4.3 시험결과 및 분석(마산방향) ····· 172
3.4.4 시험결과 및 분석(양평방향) ····· 179
3.5 강재 내구성조사 ····· 185
3.5.1 개 요 ····· 185
3.5.2 시험내용 및 평가기준 ····· 190
3.5.3 시험결과 및 분석(마산방향) ····· 195
3.5.4 시험결과 및 분석(양평방향) ····· 197
3.6 현장조사 결과요약 ····· 200
3.6.1 외관조사 결과요약 ····· 200
3.6.2 내구성조사 결과요약 ····· 209

제4장 시설물의 상태평가 ····· 213

4.1 상태평가 기준 ····· 213
4.1.1 부재별 상태평가 적용 범위 ····· 213
4.1.2 부재별 상태평가 기준 ····· 214
4.1.3 구조형식에 따른 부재별 가중치 ····· 219
4.2 상태평가 결과 산정방법 ····· 220
4.2.1 경간(지점)별 부재 상태평가 산정 ····· 220
4.2.2 전체 시설물의 상태평가 결과 결정 ····· 220
4.2.3 상태평가 결과 산정 방법 ····· 220
4.3 상태평가 결과 ····· 221
4.3.1 마산방향 ····· 221
4.3.2 양평방향 ····· 227

제5장 시설물의 안전성평가 ····· 233

5.1 개 요 ····· 235
5.2 상부구조 안전성평가 ····· 235
5.2.1 S1 ~ S2 경간 ····· 235
5.3 내하력평가 ····· 282
5.3.1 개 요 ····· 282
5.4 하부구조 안전성평가 ····· 288
5.4.1 감곡IC교-마산방향 ····· 288
5.4.2 감곡IC교-양평방향 ····· 337
5.5 안전성평가 결과요약 ····· 401
5.5.1 상부구조 ····· 401
5.5.2 하부구조 ····· 402

제6장 종합평가 및 안전등급의 지정 ····· 405

6.1 종합평가 ····· 405
6.1.1 종합평가 결과 산정방법 ····· 405
6.1.2 종합평가 결과 ····· 406
6.2 안전등급 ····· 407
6.2.1 안전등급 기준 ····· 407
6.2.2 안전등급 지정 ····· 407

제7장 보수·보강 및 유지관리방안 ····· 411
7.1 개 요 ····· 411
7.2 보수 · 보강 방안 ····· 412
7.2.1 보수 · 보강 추진방향 및 우선순위의 선정 ····· 412
7.2.2 결함내용별 보수 · 보강방안 ····· 413
7.2.3 주요결함 및 손상에 대한 보수 · 보강 방법 ····· 417
7.3 보수 · 보강 개략공사비 ····· 445
7.4 유지관리 방안 ····· 449
7.4.1 진단결과에 따른 중점유지관리 사항 ····· 449
7.4.2 유지관리시 점검요령 ····· 453
7.4.3 붕괴유발부재 현황 및 관리요령 ····· 466
제8장 종합결론 ····· 471
8.1 마산방향 ····· 471
8.2 양평방향 ····· 474

표 목차

제1장 정밀안전진단 개요 ····· 3

【표 1-1】 과업의 내용 ····· 4
【표 1-2】 과업수행 공정표 ····· 6
【표 1-3】 마산방향 - 시설물현황 ····· 7
【표 1-4】 양평방향 - 시설물현황 ····· 8
【표 1-5】 사용장비 및 시험기기 ····· 26
【표 1-6】 교량 기호 정의 ····· 27

제2장 자료수집 및 분석 ····· 31

【표 2-1】 자료수집 현황 ····· 31
【표 2-2】 시설물 설계시 적용한 물성치 및 하중조건 ····· 33
【표 2-3】 설계도면 검토 결과 ····· 40
【표 2-4】 지층구성 상태 ····· 43
【표 2-5】 마산방향 - 점검 이력 사항 ····· 44
【표 2-6】 양평방향 - 점검 이력 사항 ····· 47
【표 2-7】 마산방향 - 전차 정밀안전진단 결과분석 ····· 50
【표 2-8】 양평방향 - 전차 정밀안전진단 결과분석 ····· 52
【표 2-9】 적용 물성치 ····· 55
【표 2-10】 마산방향 - 보수·보강 이력사항 ····· 56
【표 2-11】 양평방향 - 보수·보강 이력사항 ····· 56
【표 2-12】 내진설계 조건 ····· 57
【표 2-13】 자료분석 결과 ····· 59

제3장 현장조사 및 시험 ····· 63

【표 3-1】 부재별 조사항목 ····· 64
【표 3-2】 현장조사 기간 ····· 64
【표 3-3】 감곡IC교(마산, 양평)의 일반현황, 하부 주변현황 및 접근장비 ····· 65
【표 3-4】 마산방향 - 바닥판하면 외관조사 결과 ····· 66
【표 3-5】 마산방향-바닥판 기 진단결과 비교 ····· 68
【표 3-6】 마산방향 - Steel Box Girder 내부 외관조사 결과 ····· 70
【표 3-7】 마산방향-Steel Box Girder 내부 기 진단결과 비교 ····· 72
【표 3-8】 마산방향 - Steel Box Girder 격벽 외관조사 결과 ····· 74

【표 3-9】 마산방향 - Steel Box Girder 외부 외관조사 결과 ····· 75
【표 3-10】 마산방향-Steel Box Girder 외부 기 진단결과 비교 ····· 76
【표 3-11】 마산방향 - 교대 외관조사 결과 ····· 78
【표 3-12】 마산방향-교대 기 진단결과 비교 ····· 80
【표 3-13】 마산방향 - 교각 외관조사 결과 ····· 81
【표 3-14】 마산방향-교각 기 진단결과 비교 ····· 82
【표 3-15】 마산방향 - 교량받침 외관조사 결과 ····· 83
【표 3-16】 마산방향-교량받침 기 진단결과 비교 ····· 85
【표 3-17】 마산방향 - 연단거리 측정결과 ····· 86
【표 3-18】 교량받침 가동량 산정 ····· 87
【표 3-19】 마산방향 - 교량받침 이동량 산정 ····· 88
【표 3-20】 마산방향 - 교량받침 가동여유량 검토결과 ····· 88
【표 3-21】 마산방향 - 교량받침 가동상태 검토결과 ····· 89
【표 3-22】 마산방향 - 광파기를 이용한 측량 결과 ····· 91
【표 3-23】 마산방향 - 다림추를 이용한 기울기 결과 ····· 92
【표 3-24】 마산방향 - 경사계를 이용한 기울기 결과 ····· 93
【표 3-25】 사면활동에 대한 기준안전율 ····· 94
【표 3-26】 설계지진 가속도 ····· 94
【표 3-27】 적용 물성치 ····· 95
【표 3-28】 마산방향 - 신축이음장치 외관조사 결과 ····· 96
【표 3-29】 마산방향-신축이음장치 기 진단결과 비교 ····· 97
【표 3-30】 계산 신축량 산정 ····· 98
【표 3-31】 마산방향 - 신축이음 유간 측정결과 ····· 99
【표 3-32】 마산방향 - 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동상태 검토결과 ····· 99
【표 3-33】 마산방향 - 신축이음 신축이동량 산정 ····· 100
【표 3-34】 마산방향 - 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량 검토결과 ····· 100
【표 3-35】 마산방향 - 교면포장 외관조사 결과 ····· 101
【표 3-36】 마산방향-교면포장 기 진단결과 비교 ····· 102
【표 3-37】 마산방향-배수시설 기 진단결과 비교 ····· 105
【표 3-38】 마산방향 - 방호벽 및 중앙분리대 외관조사 결과 ····· 106
【표 3-39】 마산방향-방호벽 및 중앙분리대 기 진단결과 비교 ····· 108
【표 3-40】 양평방향 - 바닥판하면 외관조사 결과 ····· 110
【표 3-41】 양평방향 - 바닥판 기 진단결과 비교 ····· 112
【표 3-42】 양평방향 - Steel Box Girder 내부 외관조사 결과 ····· 114
【표 3-43】 양평방향 - Steel Box Girder 내부 기 진단결과 비교 ····· 116
【표 3-44】 양평방향 - Steel Box Girder 격벽 외관조사 결과 ····· 118
【표 3-45】 양평방향 - Steel Box Girder 외부 외관조사 결과 ····· 120
【표 3-46】 양평방향 - Steel Box Girder 외부 기 진단결과 비교 ····· 121

【표 3-47】 양평방향 - 강 가로보 및 세로보, 브라켓 외관조사 결과 ····· 122
【표 3-48】 양평방향 - 강 가로보 및 세로보, 브라켓 기 진단결과 비교 ····· 122
【표 3-49】 양평방향 - 교대 외관조사 결과 ····· 123
【표 3-50】 양평방향-교대 기 진단결과 비교 ····· 126
【표 3-51】 양평방향 - 교각 외관조사 결과 ····· 127
【표 3-52】 양평방향 - 교각 기 진단결과 비교 ····· 128
【표 3-53】 양평방향 - 교량받침 외관조사 결과 ····· 130
【표 3-54】 양평방향 - 교량받침 기 진단결과 비교 ····· 131
【표 3-55】 양평방향 - 연단거리 측정결과 ····· 132
【표 3-56】 교량받침 가동량 산정 ····· 133
【표 3-57】 양평방향 - 교량받침 이동량 산정 ····· 134
【표 3-58】 양평방향 - 교량받침 가동여유량 검토결과 ····· 134
【표 3-59】 양평방향 - 교량받침 가동상태 검토결과 ····· 135
【표 3-60】 양평방향 - 광파기를 이용한 측량 결과 ····· 137
【표 3-61】 양평방향 - 다림추를 이용한 기울기 결과 ····· 138
【표 3-62】 양평방향 - 경사계를 이용한 기울기 결과 ····· 139
【표 3-63】 사면활동에 대한 기준안전율 ····· 140
【표 3-64】 설계지진 가속도 ····· 140
【표 3-65】 적용 물성치 ····· 141
【표 3-66】 양평방향 - 신축이음장치 외관조사 결과 ····· 142
【표 3-67】 양평방향-신축이음장치 기 진단결과 비교 ····· 144
【표 3-68】 계산 신축량 산정 ····· 145
【표 3-69】 양평방향 - 신축이음 유간 측정결과 ····· 146
【표 3-70】 양평방향 - 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동상태 검토결과 ····· 146
【표 3-71】 양평방향 - 신축이음 신축이동량 산정 ····· 147
【표 3-72】 양평방향 - 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량 검토결과 ····· 147
【표 3-73】 양평방향 - 교면포장 외관조사 결과 ····· 148
【표 3-74】 양평방향 - 교면포장 기 진단결과 비교 ····· 149
【표 3-75】 양평방향 - 배수시설 기 진단결과 비교 ····· 152
【표 3-76】 양평방향 - 방호벽 및 중앙분리대 외관조사 결과 ····· 153
【표 3-77】 양평방향 - 방호벽 및 중앙분리대 기 진단결과 비교 ····· 155
【표 3-78】 현장시험 항목 ····· 157
【표 3-79】 마산방향 - 비파괴시험 실시 수량 ····· 158
【표 3-80】 양평방향 - 비파괴시험 실시 수량 ····· 158
【표 3-81】 보정반발경도(R0) ····· 162
【표 3-82】 기존의 비파괴강도 추정 제안식(반발경도시험) ····· 163
【표 3-83】 재령계수 α 값 ····· 163
【표 3-84】 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인 ····· 168

【표 3-85】탄산화 상태평가 기준 ····· 170
【표 3-86】염화물 평가기준(콘크리트구조기준, 2012) ····· 171
【표 3-87】염화물 상태평가 기준(안전진단 및 정밀안전진단 세부지침, 2010.12) ····· 171
【표 3-88】마산방향 - 콘크리트 비파괴 강도시험 결과 ····· 172
【표 3-89】마산방향 - 기진단 결과와 비교 ····· 173
【표 3-90】마산방향 - 철근탐사 결과 ····· 174
【표 3-91】마산방향 - 보정계수를 적용한 초음파 속도 ····· 175
【표 3-92】마산방향 - 탄산화 깊이 측정결과 및 평가 ····· 176
【표 3-93】마산방향 - 기진단 결과와 비교(탄산화 깊이 측정 결과, 단위 : ㎜) ····· 176
【표 3-94】마산방향 - 염화물 함유량 시험결과 ····· 177
【표 3-95】마산방향 - 기진단 결과와 비교(염화물 함유량, 단위 : kg/㎥) ····· 178
【표 3-96】양평방향 - 콘크리트 비파괴 강도시험 결과 ····· 179
【표 3-97】양평방향 - 기진단 결과와 비교 ····· 180
【표 3-98】양평방향 - 철근탐사 결과 ····· 181
【표 3-99】양평방향 - 보정계수를 적용한 초음파 속도 ····· 182
【표 3-100】양평방향 - 탄산화 깊이 측정결과 및 평가 ····· 183
【표 3-101】양평방향 - 기진단 결과와 비교(탄산화 깊이 측정 결과, 단위 : ㎜) ····· 183
【표 3-102】양평방향 - 염화물 함유량과 시험결과 ····· 184
【표 3-103】양평방향 - 기진단 결과와 비교(염화물 함유량, 단위 : kg/㎥) ····· 185
【표 3-104】마산방향 - 강재 비파괴시험 현황 ····· 186
【표 3-105】양평방향 - 강재 비파괴시험 현황 ····· 186
【표 3-106】결함의 등급 분류 ····· 191
【표 3-107】용접부 결함의 합·부 판정기준 ····· 191
【표 3-108】일반환경용 중방식 도장(도로교표준시방서(1999, 한국도로교통협회)) ····· 193
【표 3-109】강재두께의 허용오차 ····· 195
【표 3-110】마산방향 - 초음파탐상(UT) 시험결과 ····· 195
【표 3-111】마산방향 - 도막두께 측정결과 ····· 196
【표 3-112】마산방향 - 강재두께 측정결과 ····· 196
【표 3-113】양평방향 - 초음파탐상(UT) 시험결과 ····· 197
【표 3-114】양평방향 - 도막두께 측정결과 ····· 198
【표 3-115】양평방향 - 강재두께 측정결과 ····· 199
【표 3-116】마산방향 - 금회 진단 외관조사 결과요약 ····· 200
【표 3-117】양평방향 - 금회 진단 외관조사 결과요약 ····· 202
【표 3-118】마산방향-기 진단결과 비교표 ····· 205
【표 3-119】양평방향-기 진단결과 비교표 ····· 207
【표 3-120】마산방향 - 내구성조사 결과 요약 ····· 209
【표 3-121】양평방향 - 내구성조사 결과 요약 ····· 210

제4장 시설물의 상태평가 ····· 213

【표 4-1】 부재별 상태평가 적용 범위 ····· 213
【표 4-2】 콘크리트 바닥판 상태평가 기준 ····· 214
【표 4-3】 강 거더 상태평가 기준 ····· 214
【표 4-4】 강 가로보와 세로보의 상태평가 기준 ····· 215
【표 4-5】 교대 상태평가 기준 ····· 215
【표 4-6】 콘크리트 교각 상태평가 기준 ····· 216
【표 4-7】 기초 상태평가 기준 ····· 216
【표 4-8】 교량받침 상태평가 기준 ····· 217
【표 4-9】 신축이음 상태평가 기준 ····· 217
【표 4-10】 교면포장 상태평가 기준 ····· 218
【표 4-11】 배수시설 상태평가 기준 ····· 218
【표 4-12】 방호벽 및 중앙분리대 상태평가 기준 ····· 218
【표 4-13】 탄산화 상태평가 기준 ····· 219
【표 4-14】 염화물 상태평가 기준 ····· 219
【표 4-15】 구조형식에 따른 일반교량의 부재별 가중치 ····· 219
【표 4-16】 결함도 점수 범위에 따른 기준 ····· 220
【표 4-17】 콘크리트 바닥판 평가결과 ····· 221
【표 4-18】 강 거더 평가결과 ····· 221
【표 4-19】 강 가로보와 세로보 평가결과 ····· 221
【표 4-20】 하부구조 평가결과 ····· 222
【표 4-21】 기초 평가결과 ····· 222
【표 4-22】 교량받침 평가결과 ····· 222
【표 4-23】 신축이음 평가결과 ····· 222
【표 4-24】 교면포장 평가결과 ····· 223
【표 4-25】 배수시설 평가결과 ····· 223
【표 4-26】 방호벽 및 중앙분리대 평가결과 ····· 223
【표 4-27】 탄산화 평가결과 ····· 223
【표 4-28】 염화물 평가결과 ····· 224
【표 4-29】 각 부재별 상태평가 결과 분석 ····· 224
【표 4-30】 마산방향 – 상태평가 결과 ····· 225
【표 4-31】 마산방향 – 상태평가 결과 분석 ····· 226
【표 4-32】 콘크리트 바닥판 평가결과 ····· 227
【표 4-33】 강 거더 평가결과 ····· 227
【표 4-34】 강 가로보와 세로보 평가결과 ····· 227

【표 4-35】 하부구조 평가결과 ····· 228
【표 4-36】 기초 평가결과 ····· 228
【표 4-37】 교량받침 평가결과 ····· 228
【표 4-38】 신축이음 평가결과 ····· 228
【표 4-39】 교면포장 평가결과 ····· 229
【표 4-40】 배수시설 평가결과 ····· 229
【표 4-41】 방호벽 및 중앙분리대 평가결과 ····· 229
【표 4-42】 탄산화 평가결과 ····· 229
【표 4-43】 염화물 평가결과 ····· 230
【표 4-44】 각 부재별 상태평가 결과 분석 ····· 230
【표 4-45】 양평방향 - 상태평가 결과 ····· 231
【표 4-46】 양평방향 - 상태평가 결과 분석 ····· 232

제5장 시설물의 안전성평가 ····· 233

【표 5-1】 바닥판의 단면검토결과 ····· 254
【표 5-2】 바닥판의 사용성(균열) 검토결과 ····· 254
【표 5-3】 플랜지의 유효폭 산정 ····· 265
【표 5-4】 바닥판의 유효폭 산정(마산방향) ····· 265
【표 5-5】 바닥판의 유효폭 산정(양평방향) ····· 266
【표 5-6】 경간(S1~S2) 정모멘트부 단면력 산정결과(마산방향) ····· 272
【표 5-7】 지점부(P1) 부모멘트부 단면력 산정결과 ····· 272
【표 5-8】 경간(S1~S2) 정모멘트부 단면력 산정결과(마산방향) ····· 272
【표 5-9】 지점부(P1) 부모멘트부 단면력 산정결과 ····· 273
【표 5-10】 경간(S1) 정모멘트부 휨응력 검토결과 ····· 273
【표 5-11】 경간(S2) 정모멘트부 휨응력 검토결과 ····· 274
【표 5-12】 지점(P1) 부모멘트부 휨응력 검토결과 ····· 275
【표 5-13】 경간(S1) 정모멘트부 휨응력 검토결과 ····· 276
【표 5-14】 경간(S2) 정모멘트부 휨응력 검토결과 ····· 277
【표 5-15】 지점(P1) 부모멘트부 휨응력 검토결과 ····· 278
【표 5-16】 강박스 거더의 휨응력 검토결과 ····· 279
【표 5-17】 강박스 거더의 휨응력 검토결과 ····· 279
【표 5-18】 강박스 거더의 전단응력 검토결과 ····· 279
【표 5-19】 강박스 거더의 전단응력 검토결과 ····· 279
【표 5-20】 교량받침용량 검토(마산방향) ····· 280
【표 5-21】 교량받침용량 검토(양평방향) ····· 281
【표 5-22】 허용응력법에 의한 강박스 거더의 내하력평가 결과 ····· 283

【표 5-23】 강도설계법에 의한 바닥판 내하력평가 결과 ····· 283
【표 5-24】 허용응력법에 의한 강박스 거더의 내하력평가 결과 ····· 283
【표 5-25】 강도설계법에 의한 바닥판 내하력평가 결과 ····· 284
【표 5-26】 2012년 강박스 거더의 내하력평가 결과 ····· 284
【표 5-27】 금회 강박스 거더의 내하력평가 결과 ····· 285
【표 5-28】 2012년 바닥판 내하력평가 결과 ····· 285
【표 5-29】 금회 바닥판 내하력평가 결과 ····· 285
【표 5-30】 2012년 강박스 거더의 내하력평가 결과 ····· 286
【표 5-31】 금회 강박스 거더의 내하력평가 결과 ····· 286
【표 5-32】 2012년 바닥판 내하력평가 결과 ····· 287
【표 5-33】 금회 바닥판 내하력평가 결과 ····· 287

제6장 종합평가 및 안전등급의 지정 ····· 405

【표 6-1】 마산방향 - 종합평가 결과 ····· 406
【표 6-2】 양평방향 - 종합평가 결과 ····· 406
【표 6-3】 시설물의 안전등급 ····· 407

제7장 보수·보강 및 유지관리방안 ····· 411

【표 7-1】 시설물의 보수·보강방안 수립에 따른 검토사항 ····· 411
【표 7-2】 보수·보강 우선순위 결정 기준 ····· 412
【표 7-3】 마산방향 - 보수·보강 일람표 ····· 413
【표 7-4】 양평방향 - 보수·보강 일람표 ····· 415
【표 7-5】 수지주입공법의 종류 ····· 417
【표 7-6】 균열폭에 알맞은 수지의 점도 ····· 418
【표 7-7】 균열폭에 따른 주입파이프/패커의 간격 ····· 418
【표 7-8】 에폭시계 수지의 규격 ····· 418
【표 7-9】 주입공법 공법비교안 ····· 420
【표 7-10】 일반적인 단면 복구재의 분류 ····· 423
【표 7-11】 단면보수 공법비교안 ····· 424
【표 7-12】 강재부식부의 일반적인 도장보수 방법 ····· 425
【표 7-13】 강재 도장시 고려사항 ····· 426
【표 7-14】 전면 재도장시 부식환경에서 사용도료 및 건조도막두께 ····· 427
【표 7-15】 부분 재도장시 사용도료 및 건조도막두께 ····· 428
【표 7-16】 강재 거더 및 받침장치 발청부 도장보수 공법비교안 ····· 428
【표 7-17】 교량상부 교면방수공법 비교 ····· 433
【표 7-18】 유간확보를 위한 바닥판 하면 절취 비교표 ····· 440
【표 7-19】 신축이음장치 시공 순서도 ····· 441
【표 7-20】 신축이음장치 비교표 ····· 442

【표 7-21】 마산방향 - 보수·보강 개략공사비 ····· 445
【표 7-22】 양평방향 - 보수·보강 개략공사비 ····· 447
【표 7-23】 마산방향-주요 손상별 중점 유지관리 사항 ····· 449
【표 7-24】 양평방향-주요 손상별 중점 유지관리 사항 ····· 450
【표 7-25】 부재별 유지관리 중점사항 ····· 452

제8장 종합결론 ····· 471

그림 목차

제1장 정밀안전진단 개요 ····· 3

【그림 1-1】 과업수행 흐름도 ····· 5
【그림 1-2】 시설물사진 ····· 9
【그림 1-3】 마산방향 - 종·평면도 ····· 10
【그림 1-4】 마산방향 - 교대 일반도 ····· 11
【그림 1-5】 마산방향 - 교각 일반도 ····· 12
【그림 1-6】 마산방향 - 슬래브 일반도(1) ····· 13
【그림 1-7】 마산방향 - 슬래브 일반도(2) ····· 14
【그림 1-8】 마산방향 - 강상형 일반도(1) ····· 15
【그림 1-9】 마산방향 - 강상형 일반도(2) ····· 16
【그림 1-10】 양평방향 - 종·평면도 ····· 17
【그림 1-11】 양평방향 - 교대 일반도 ····· 18
【그림 1-12】 양평방향 - 교각 일반도 ····· 19
【그림 1-13】 양평방향 - 받침장치 배치도 ····· 20
【그림 1-14】 양평방향 - 슬래브 일반도(1) ····· 21
【그림 1-15】 양평방향 - 슬래브 일반도(2) ····· 22
【그림 1-16】 양평방향 - 강상형 일반도(1) ····· 23
【그림 1-17】 양평방향 - 강상형 일반도(2) ····· 24
【그림 1-18】 양평방향 - 강상형 일반도(3) ····· 25

제2장 자료수집 및 분석 ····· 31

【그림 2-1】 자료수집 및 분석 흐름도 ····· 32
【그림 2-2】 한계평형법에 의한 측방유동의 안정성(A1, A2 교대) ····· 55

제3장 현장조사 및 시험 ····· 63

【그림 3-1】 구간별 근접장비 활용방법 ····· 65
【그림 3-2】 마산방향 - 교량받침 배치도 ····· 83
【그림 3-3】 마산방향 - 연단거리 측정방법 ····· 86
【그림 3-4】 대표단면 선정 ····· 94
【그림 3-5】 원호활동에 의한 방법(A1 교대) ····· 95
【그림 3-6】 원호활동에 의한 방법(A2 교대) ····· 95
【그림 3-7】 마산방향 - 신축이음 배치도 ····· 96

【그림 3-8】 마산방향 - 신축이음 유간 측정방법 ····· 98
【그림 3-9】 마산방향 – 교면포장 전경 ····· 101
【그림 3-10】 마산방향 – 배수시설 현황 ····· 104
【그림 3-11】 마산방향 – 배수시설 전경 ····· 104
【그림 3-12】 양평방향 – 교량받침 배치도 ····· 129
【그림 3-13】 양평방향 – 연단거리 측정방법 ····· 132
【그림 3-14】 대표단면 선정 ····· 140
【그림 3-15】 원호활동에 의한 방법(A1 교대) ····· 141
【그림 3-16】 원호활동에 의한 방법(A2 교대) ····· 141
【그림 3-17】 양평방향 – 신축이음 배치도 ····· 142
【그림 3-18】 양평방향 – 신축이음 유간 측정방법 ····· 145
【그림 3-19】 양평방향 – 배수시설 현황 ····· 151
【그림 3-20】 양평방향 – 배수시설 전경 ····· 152
【그림 3-21】 양평방향 – 방호벽 및 중앙분리대 전경 및 단면도 ····· 153
【그림 3-22】 마산방향 – 콘크리트 내구성조사 위치도 ····· 159
【그림 3-23】 양평방향 – 콘크리트 내구성조사 위치도 ····· 159
【그림 3-24】 반발경도시험 및 측정기 진단 등의 절차 ····· 161
【그림 3-25】 철근탐사 측정원리 ····· 164
【그림 3-26】 철근탐사시험 및 장비 진단 등의 절차 ····· 165
【그림 3-27】 탄산화에 의한 콘크리트 성능저하 ····· 168
【그림 3-28】 마산방향 – 측정강도와 설계기준강도 비교 ····· 173
【그림 3-29】 마산방향 - 초음파 전달속도를 이용한 콘크리트 품질측정 ····· 175
【그림 3-30】 마산방향 - 탄산화 깊이 측정결과 ····· 176
【그림 3-31】 마산방향 - 염화물 함유량 시험결과 ····· 178
【그림 3-32】 양평방향 – 측정강도와 설계기준강도 비교 ····· 180
【그림 3-33】 양평방향 - 초음파 전달속도를 이용한 콘크리트 품질측정 ····· 182
【그림 3-34】 양평방향 - 탄산화 깊이 측정결과 ····· 183
【그림 3-35】 양평방향 - 염화물 함유량 시험결과 ····· 184
【그림 3-36】 마산방향 - 초음파탐상시험 위치도 ····· 188
【그림 3-37】 양평방향 - 초음파탐상시험 위치도 ····· 189
【그림 3-38】 초음파탐상(사각법)시험 개요도 ····· 190
【그림 3-39】 Gauge 영점조정 ····· 192
【그림 3-40】 Gauge 초기화(Calibration) ····· 192
【그림 3-41】 초음파를 이용한 강재 두께의 측정방법 ····· 194
【그림 3-42】 마산방향 – 도막두께 측정결과 ····· 196
【그림 3-43】 마산방향 – 강재두께 측정결과 ····· 197
【그림 3-44】 양평방향 – 도막두께 측정결과 ····· 198
【그림 3-45】 양평방향 – 강재두께 측정결과 ····· 199

제4장 시설물의 상태평가 ····· 213

【그림 4-1】 전체 교량의 상태평가 결과 산정 방법 예 ····· 220
【그림 4-2】 마산방향 - 전체시설물 상태평가 결과 ····· 225
【그림 4-3】 양평방향 - 전체시설물 상태평가 결과 ····· 231

제5장 시설물의 안전성평가 ····· 235

【그림 5-1】 해석단면 ····· 254
【그림 5-2】 합성전 바닥판 자중 재하도 ····· 255
【그림 5-3】 합성후 고정하중 재하도 ····· 256
【그림 5-4】 합성전 바닥판 자중 재하도(단면A-A) ····· 257
【그림 5-5】 합성전 바닥판 자중 재하도(단면B-B) ····· 258
【그림 5-6】 합성전 바닥판 자중 재하도(단면C-C) ····· 258
【그림 5-7】 합성전 바닥판 자중 재하도(단면D-D) ····· 259
【그림 5-8】 합성전 바닥판 자중 재하도(단면E-E) ····· 260
【그림 5-9】 합성후 고정하중 재하도(단면A-A) ····· 260
【그림 5-10】 합성후 고정하중 재하도(단면B-B) ····· 261
【그림 5-11】 합성후 고정하중 재하도(단면C-C) ····· 262
【그림 5-12】 합성후 고정하중 재하도(단면D-D) ····· 262
【그림 5-13】 합성후 고정하중 재하도(단면E-E) ····· 263
【그림 5-14】 해석모델링(마산방향) ····· 266
【그림 5-15】 해석모델링(양평방향) ····· 267
【그림 5-16】 휨모멘트(마산방향) ····· 268
【그림 5-17】 전단력(마산방향) ····· 269
【그림 5-18】 휨모멘트(양평방향) ····· 270
【그림 5-19】 전단력(양평방향) ····· 271
【그림 5-20】 2차 부정정력에 대한 영향 검토(마산방향) ····· 271
【그림 5-21】 2차 부정정력에 대한 영향 검토(양평방향) ····· 271
【그림 5-22】 해석단면(A1) ····· 289
【그림 5-23】 해석단면(A2) ····· 298
【그림 5-24】 해석단면(P1) ····· 307
【그림 5-25】 해석단면(A2) ····· 339
【그림 5-26】 해석단면(A2) ····· 348
【그림 5-27】 해석단면(P1) ····· 358

제6장 종합평가 및 안전등급의 지정 ····· 405

【그림 6-1】 종합평가 결과 산정절차 ····· 405

제7장 보수·보강 및 유지관리방안 ····· 411

【그림 7-1】 균열 보수공법 개요도 ····· 419
【그림 7-2】 단면복구 상세도 ····· 422
【그림 7-3】 상판열화부 보수 순서 ····· 430
【그림 7-4】 상면 교면방수 및 재포장 ····· 430
【그림 7-5】 상면 교면방수 및 재포장 순서 ····· 431
【그림 7-6】 유도배수로 설치 개요도 ····· 443
【그림 7-7】 스플라이스 틈새 실런트 주입 ····· 444

제8장 종합결론 ····· 471

◉ 부 록

1. 심의 지적사항 및 조치결과
2. 과업지시서
3. 외관조사망도
4. 측정, 시험, 계측 성과표
5. 상태평가 결과자료
6. 안전성평가 결과자료
7. 시설물관리대장 사본
8. 현장조사 및 외관조사 사진첩
9. 사용장비 및 기기의 사진
10. 사전조사 자료 일체

제1장
정밀안전진단 개요

1.1 과업의 목적
1.2 과업의 범위 및 내용
1.3 과업수행 절차 및 일정
1.4 대상 교량의 현황
1.5 사용장비 및 시험기기의 현황
1.6 교량 기호의 정의

제1장 정밀안전진단 개요

1.1 과업의 목적

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

1.2 과업의 범위 및 내용

1.2.1 과업의 범위

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

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

1.2.2 과업수행 기간

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

1.2.3 과업의 내용

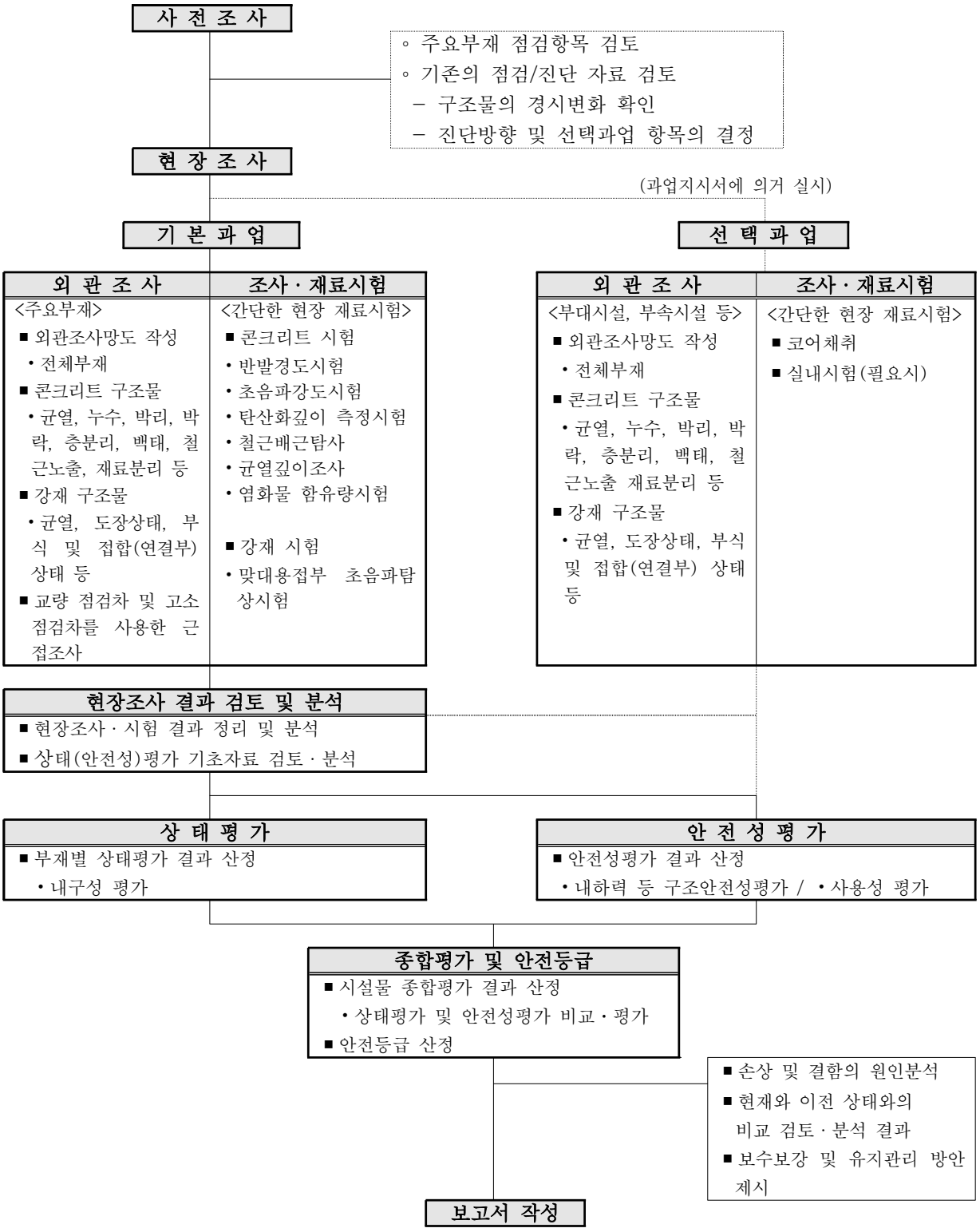
【표 1-1】 과업의 내용

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

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

1.3 과업수행 절차 및 일정

1.3.1 과업수행 절차



【그림 1-1】 과업수행 흐름도

1.3.2 과업수행 일정

【표 1-2】 과업수행 공정표

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

1.4 대상 교량의 현황

1.4.1 교량 현황

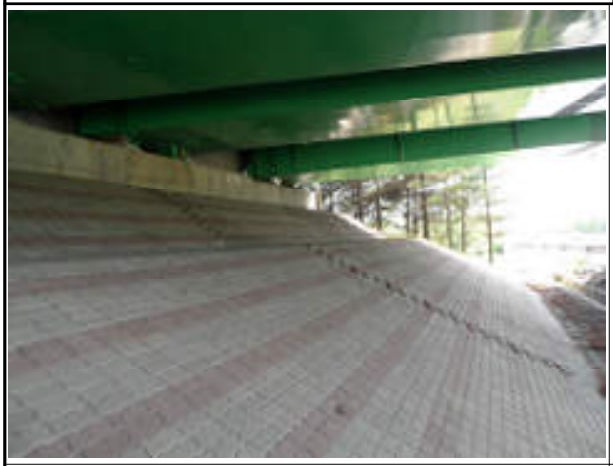
감곡IC교(마산, 양평)는 고속국도 45호선(중부 내륙선 251.02km)으로 충청북도 음성군 감곡면 상우리에 위치하고 있으며, 편도 2차로의 2경간 연속으로 총 연장 110.0m(2@55.0)인 Steel Box Girder 교량이다. 하부구조는 역T형(강관 말뚝기초)교대와 π형(깅관 말뚝기초)교각, 교량은 포트받침으로 시공되었다.

【표 1-3】 마산방향 - 시설물현황

구 분	내 용	구 분		내 용
시설물명	감곡IC교(마산)	관리주체		한국도로공사 충주지사
시설물위치	충청북도 음성군 감곡면 상우리			
설계하중	DB-24	노선명		중부내륙선
준공년월	2002년 12월 20일	설계사		(주)다산컨설턴트
상부형식	Steel Box Girder	시공사		진흥기업(주), 금강종건(주)
교 폭	11.00m	감리사		한국도로공사
연 장	110.0m(2@55.0)	교대 형식	본체	역T형식
평면선형	곡선반경 0m		기초	강관말뚝형식
교면포장	아스팔트 콘크리트	교각 형식	본체	π형식
난 간	콘크리트(방호벽)		기초	강관말뚝현식
배수구	강관파이프	신축이음		강핑거조인트(A1), 모노셀조인트(A2)
교량받침	포트받침	설계도서		유
교차시설물	지방도 201호선 교차			

【표 1-4】 양평방향 - 시설물현황

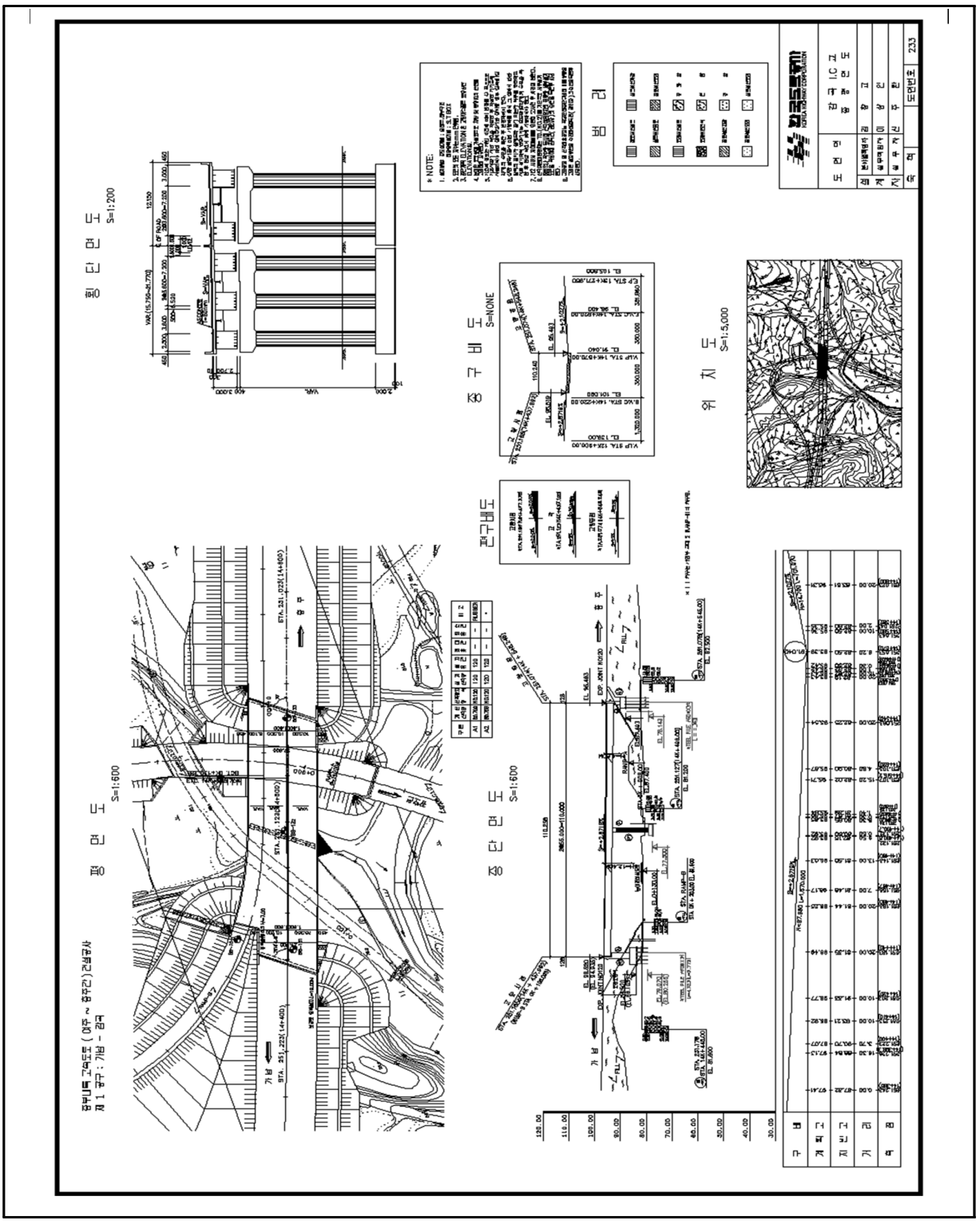
구 분	내 용	구 분		내 용
시설물명	감곡IC교(양평)	관리주체		한국도로공사 충주지사
시설물위치	충청북도 음성군 감곡면 상우리			
설계하중	DB-24	노선명		중부내륙선
준공년월	2002년 12월 20일	설계사		(주)다산컨설턴트
상부형식	Steel Box Girder	시공사		진흥기업(주), 금강종건(주)
교 폭	28.00m	감리사		한국도로공사
연 장	110.0m(2@55.0)	교대형식	본체	역T형식
평면선형	곡선반경 0m		기초	강관말뚝형식
교면포장	아스팔트 콘크리트	교각형식	본체	π형식
난 간	콘크리트(방호벽)		기초	강관말뚝형식
배수구	강관파이프	난간		콘크리트(방호벽)
교량받침	포트받침	신축이음		모노셀조인트(A1), 레일조인트(A2)
교차시설물	지방도 201호선 교차			

<table>
<tr><td>  </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>포장부 전경(마산)</td><td>측면 전경(드론사진)</td></tr>
<tr><td>  </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>Steel Box Girder 내부 전경(마산)</td><td>Steel Box Girder 외부 전경</td></tr>
<tr><td>  </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>교대 전경(양평)</td><td>교각 전경</td></tr>
</table>

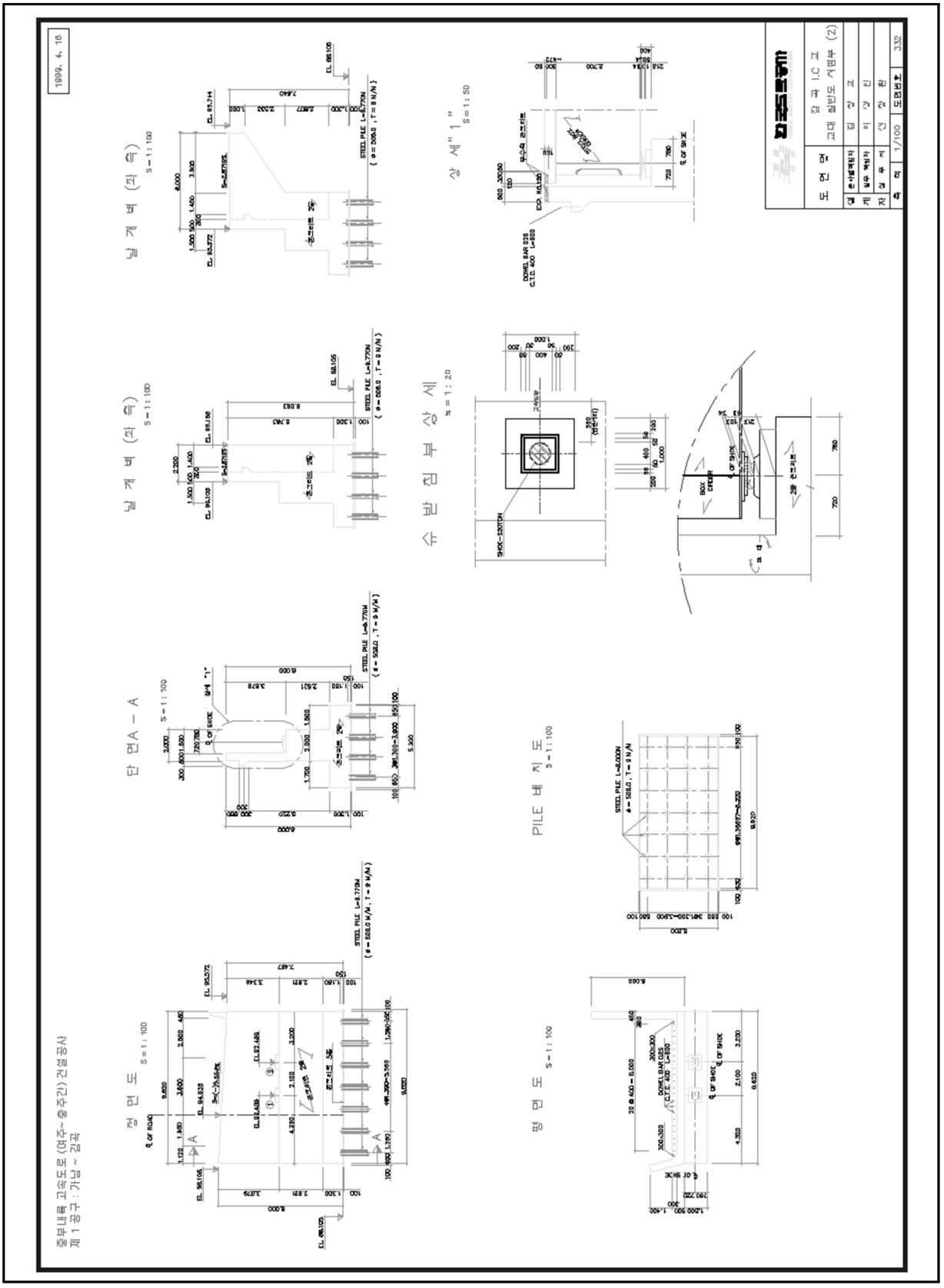
【그림 1-2】 시설물사진

1.4.2 교량의 주요도면

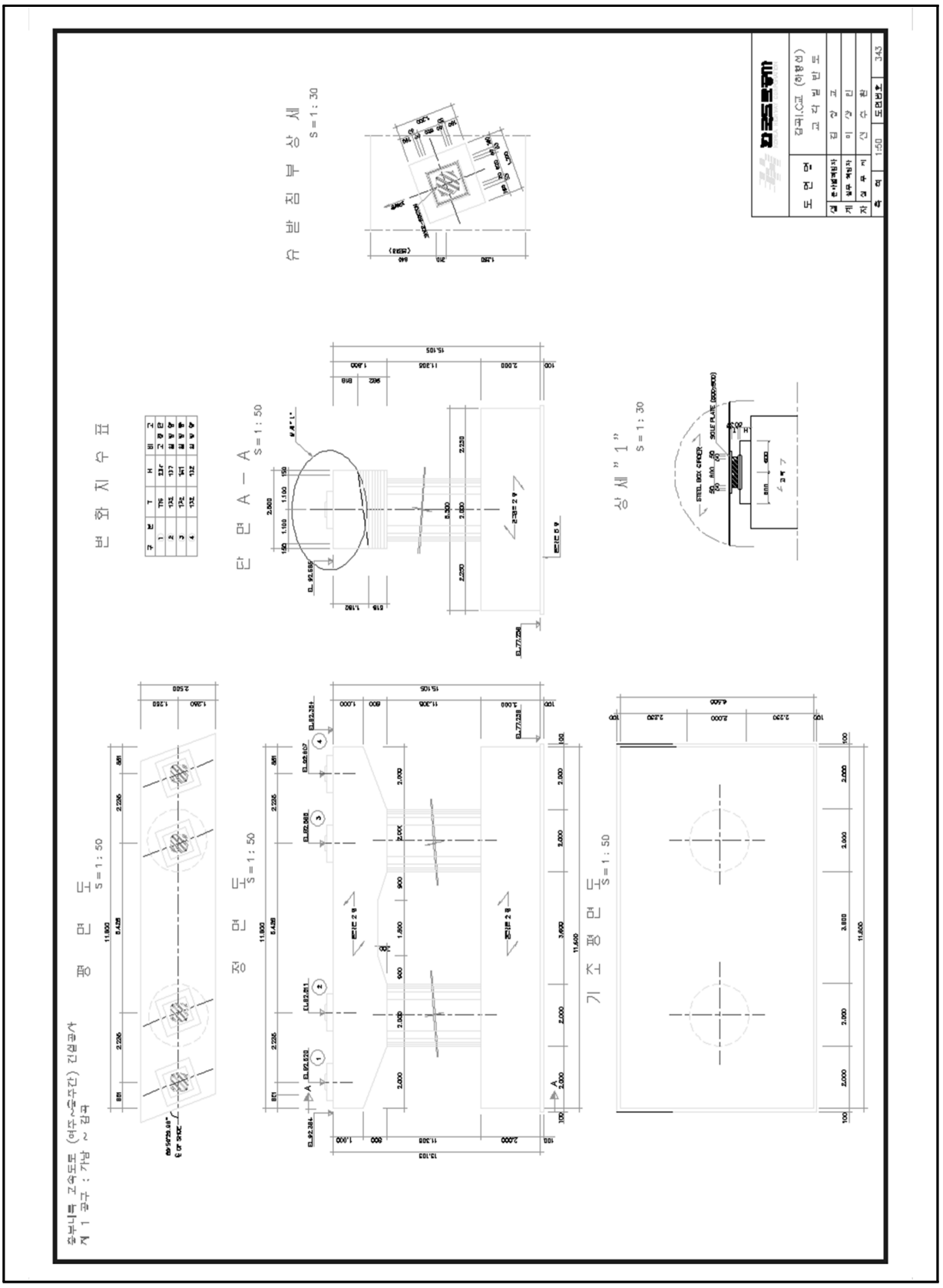
가. 마산방향



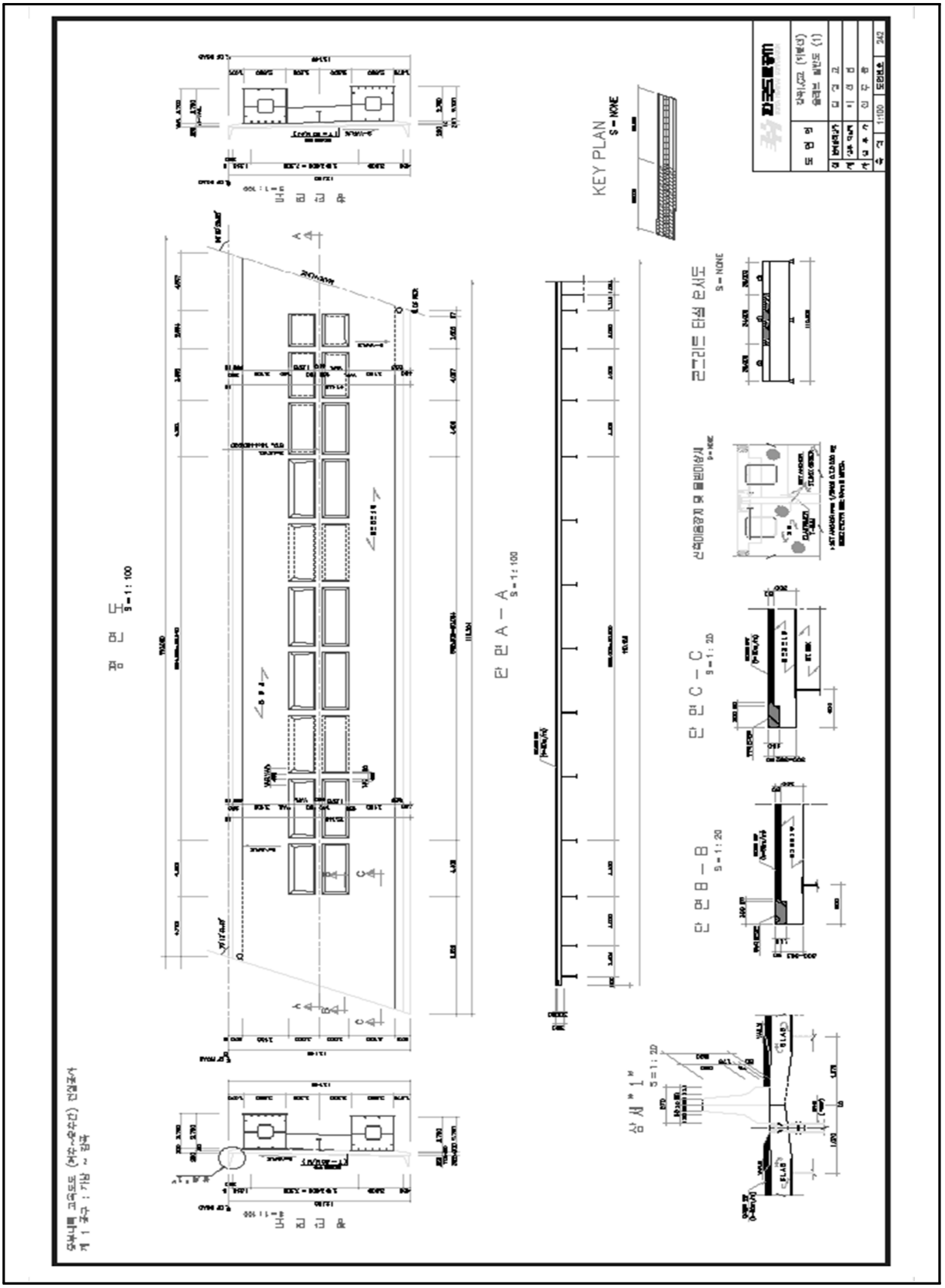
【그림 1-3】 마산방향 - 종·평면도



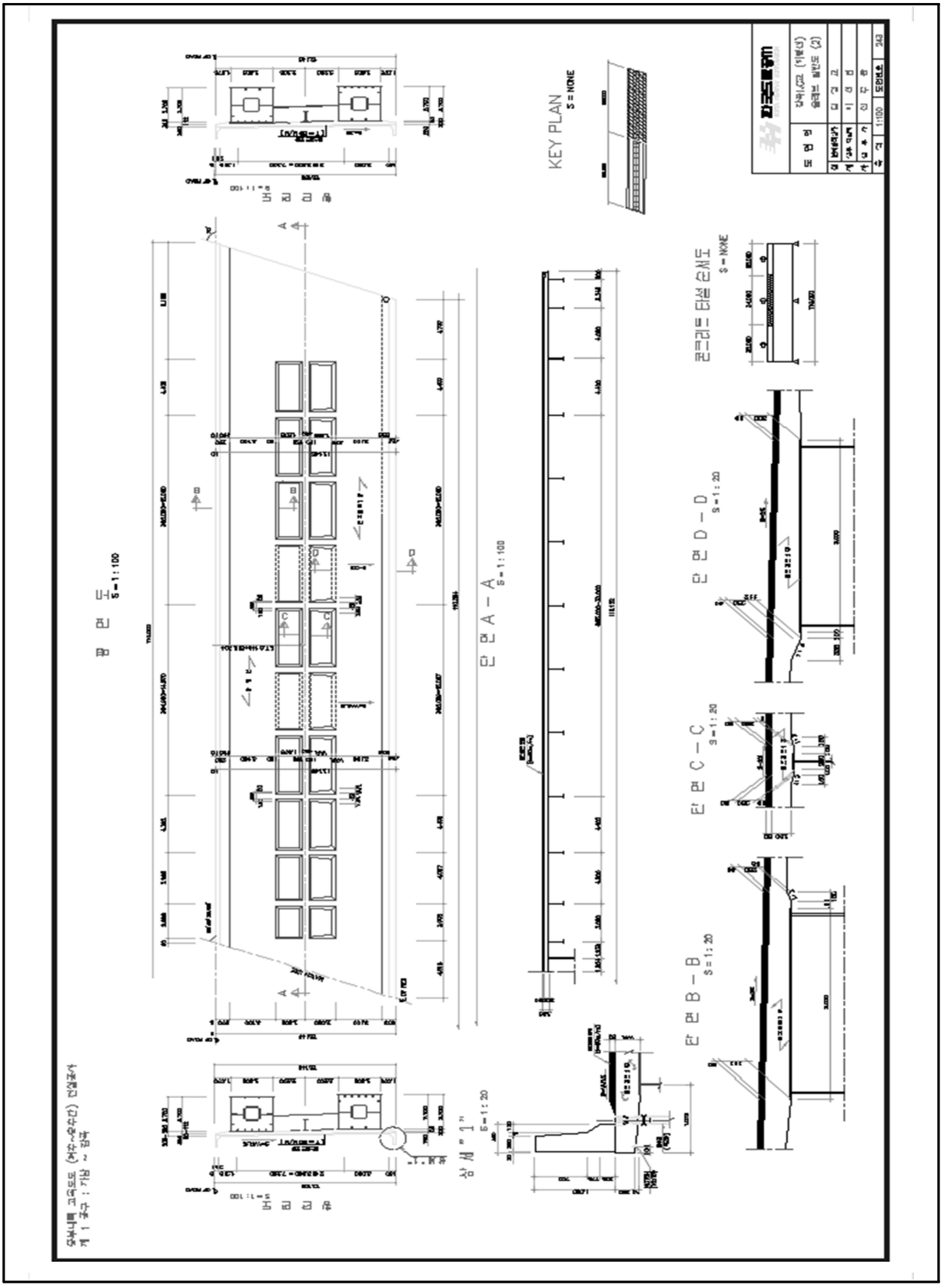
【그림 1-4】 마산방향 - 교대 일반도



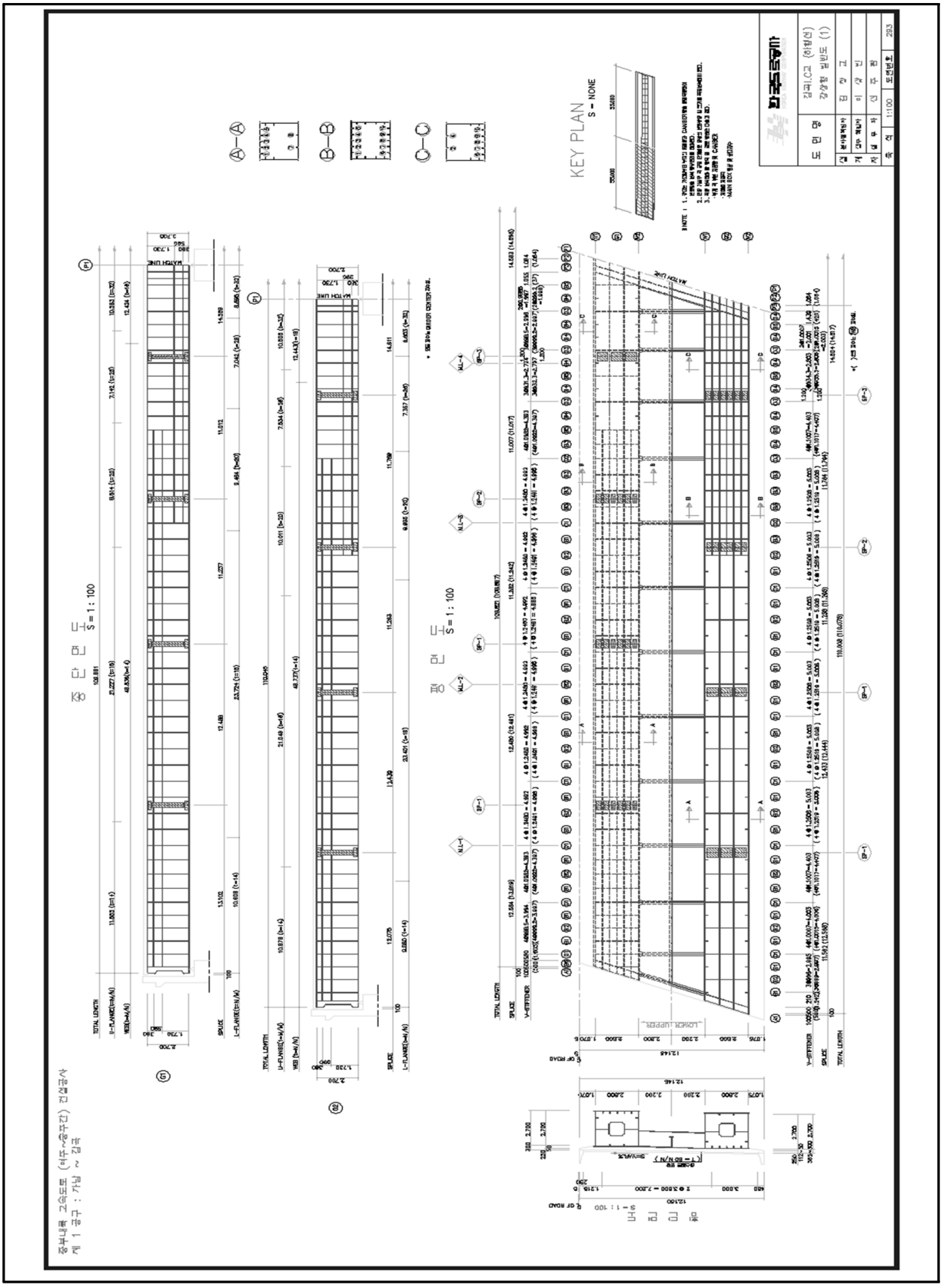
【그림 1-5】 마산방향 – 교각 일반도



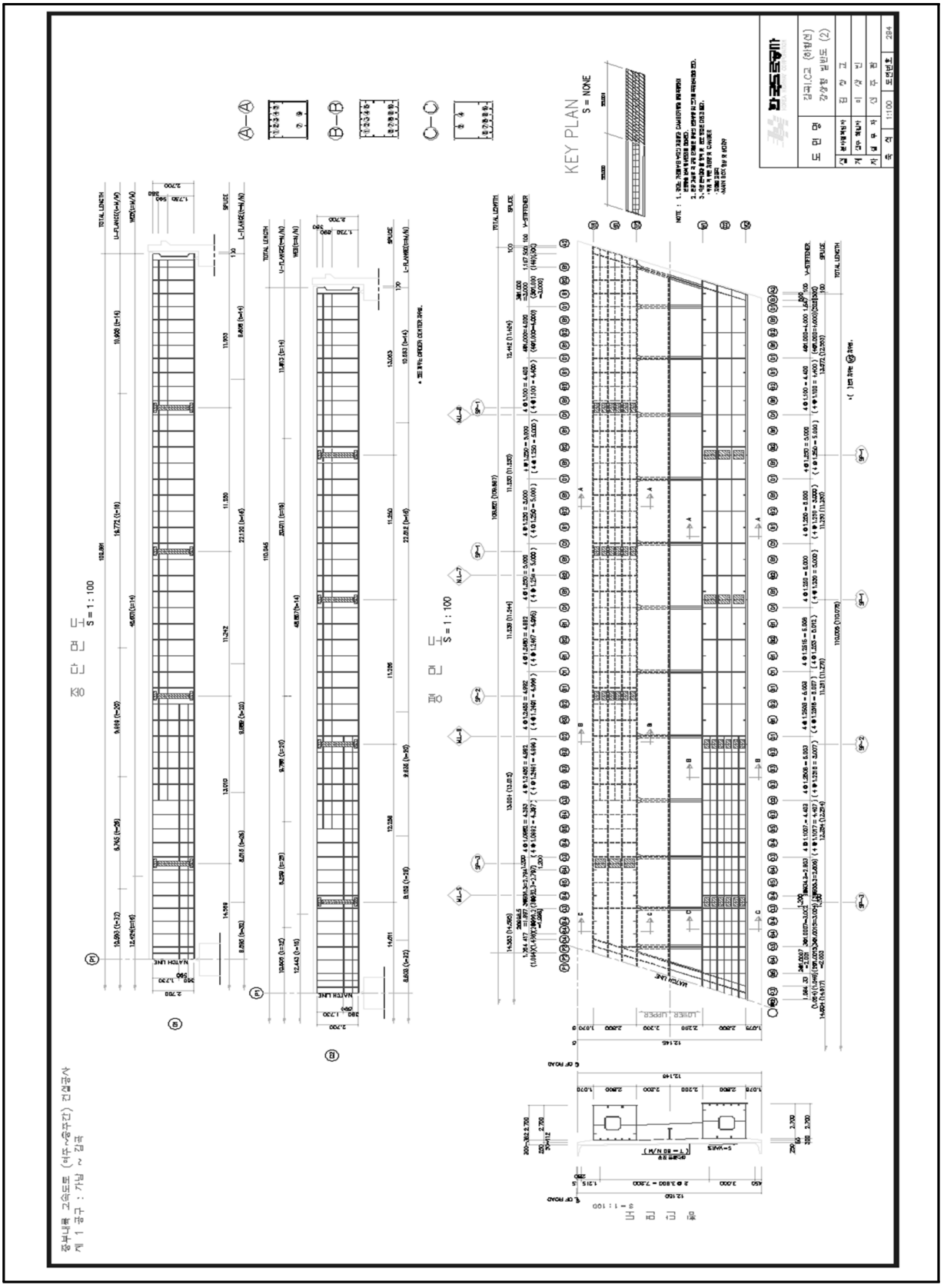
【그림 1-6】 마산방향 - 슬래브 일반도(1)



【그림 1-7】 마산방향 - 슬래브 일반도(2)

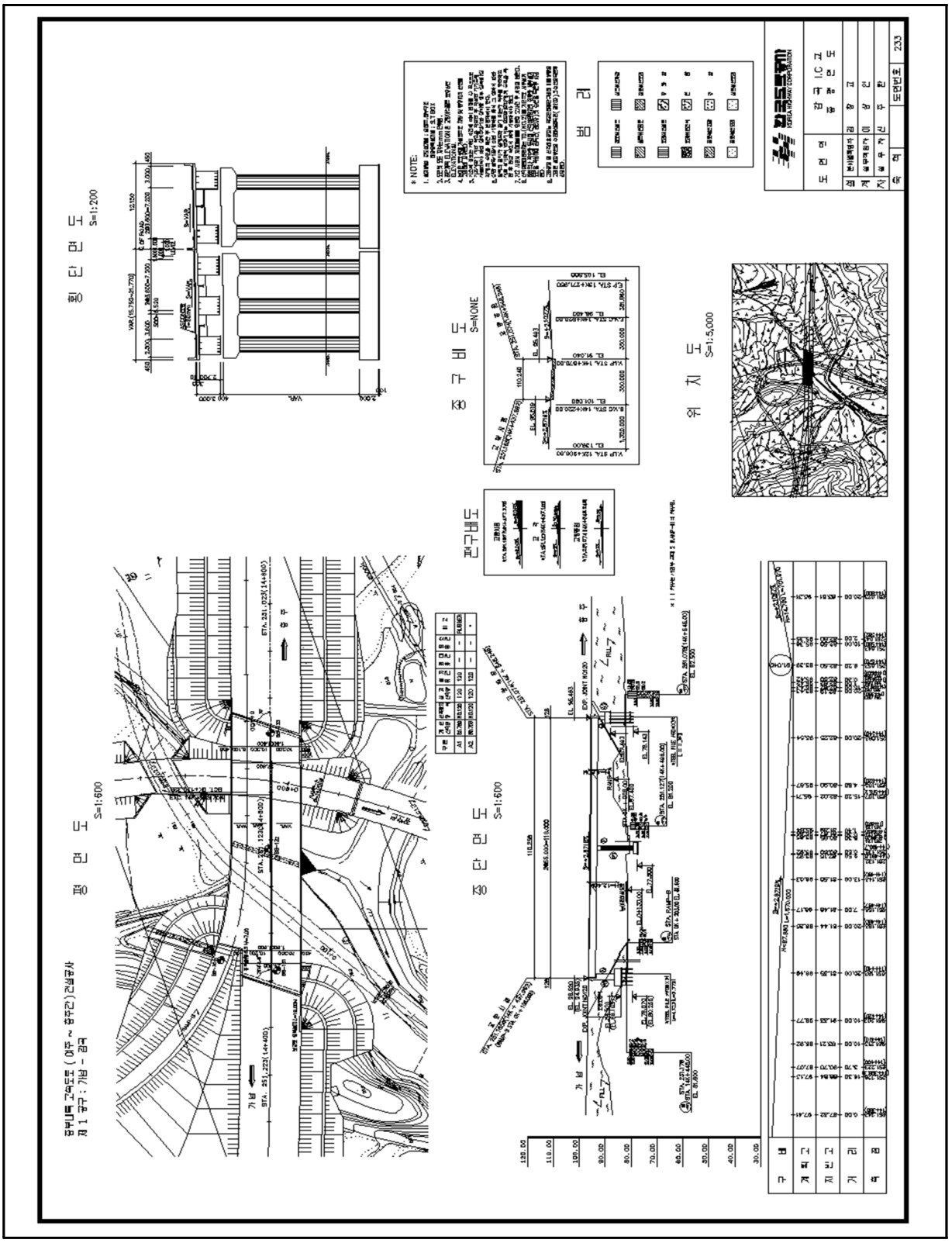


【그림 1-8】 마산방향 - 강상형 일반도(1)

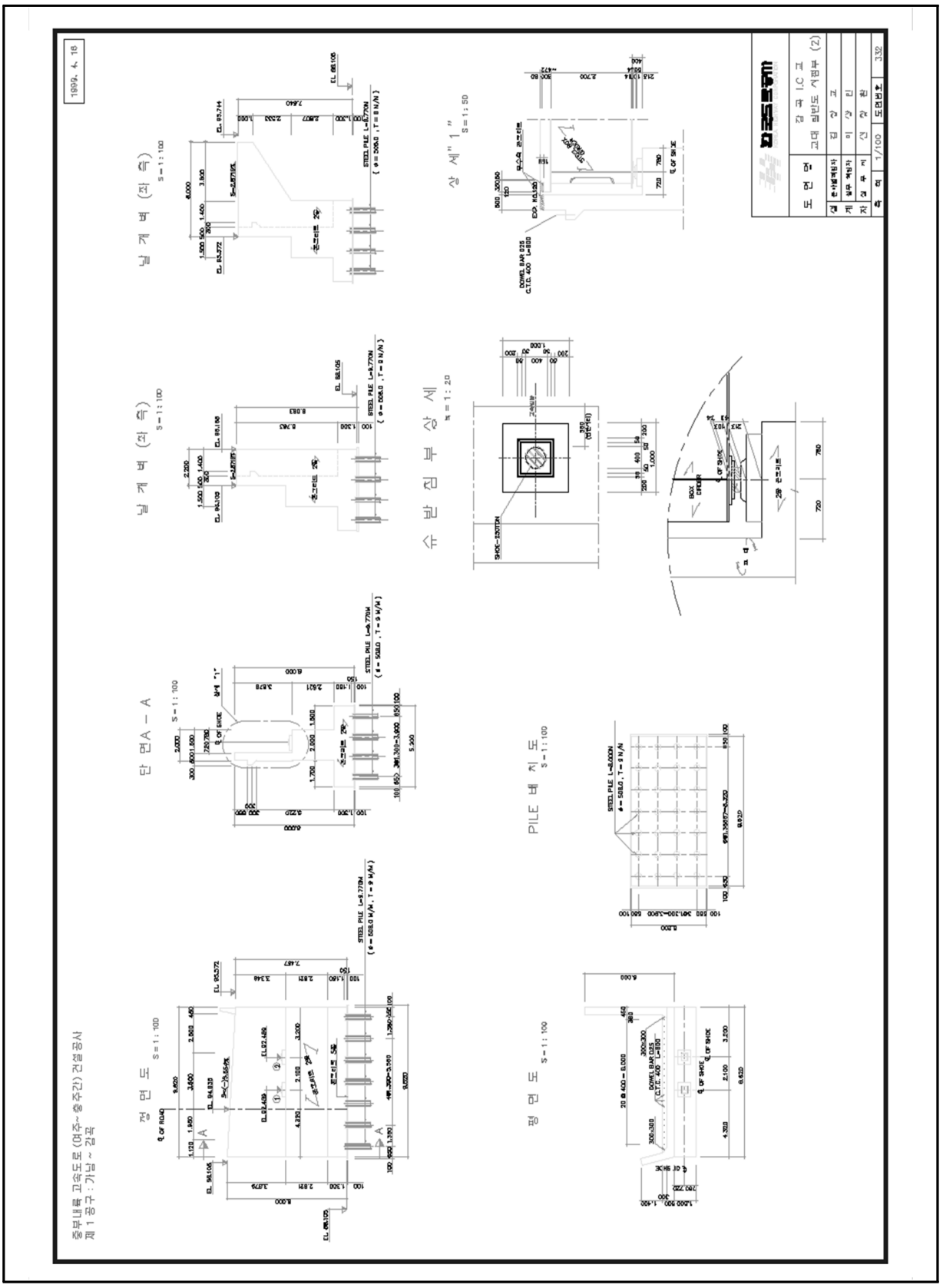


【그림 1-9】 마산방향 - 강상형 일반도(2)

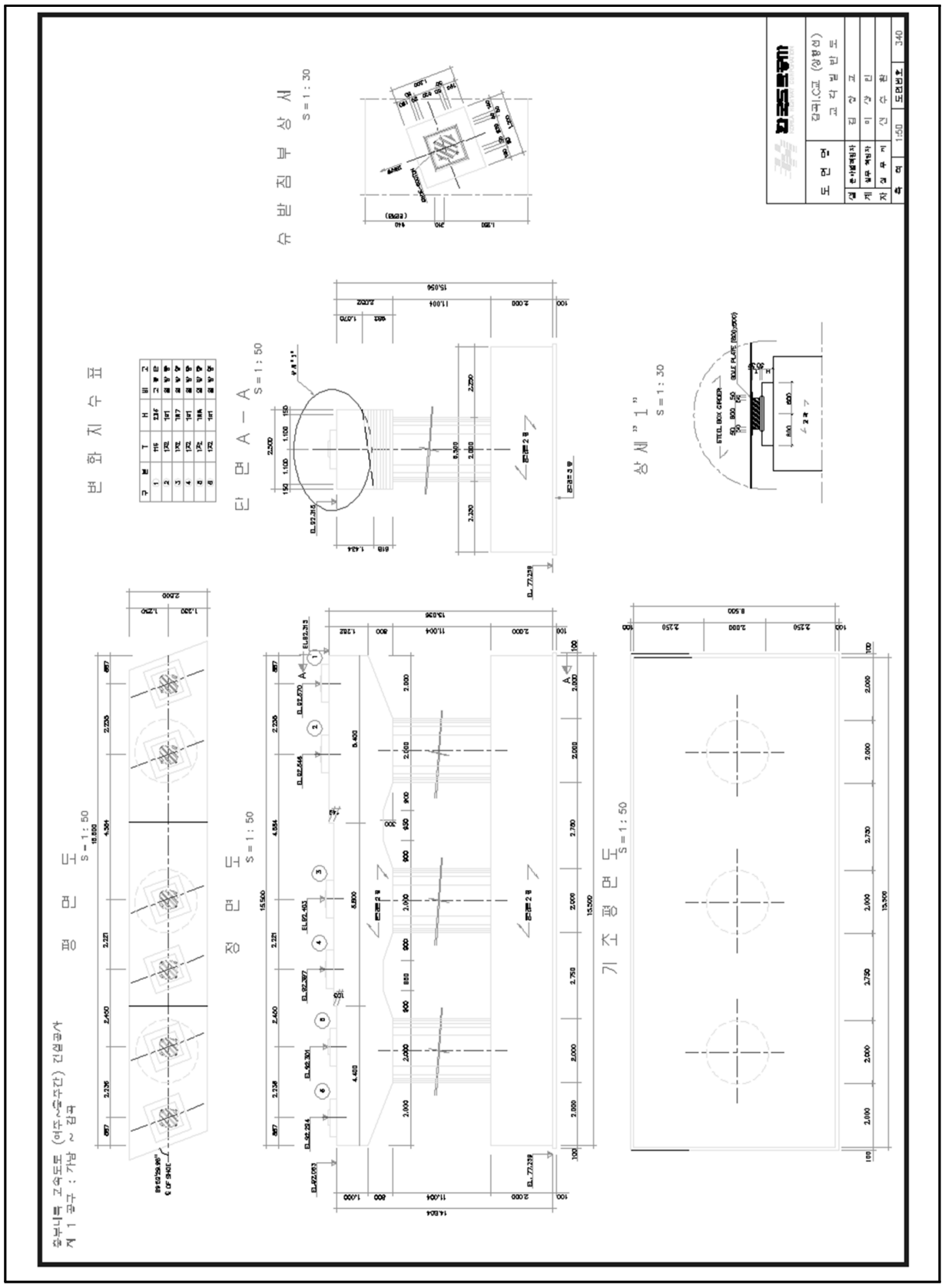
나. 양평방향



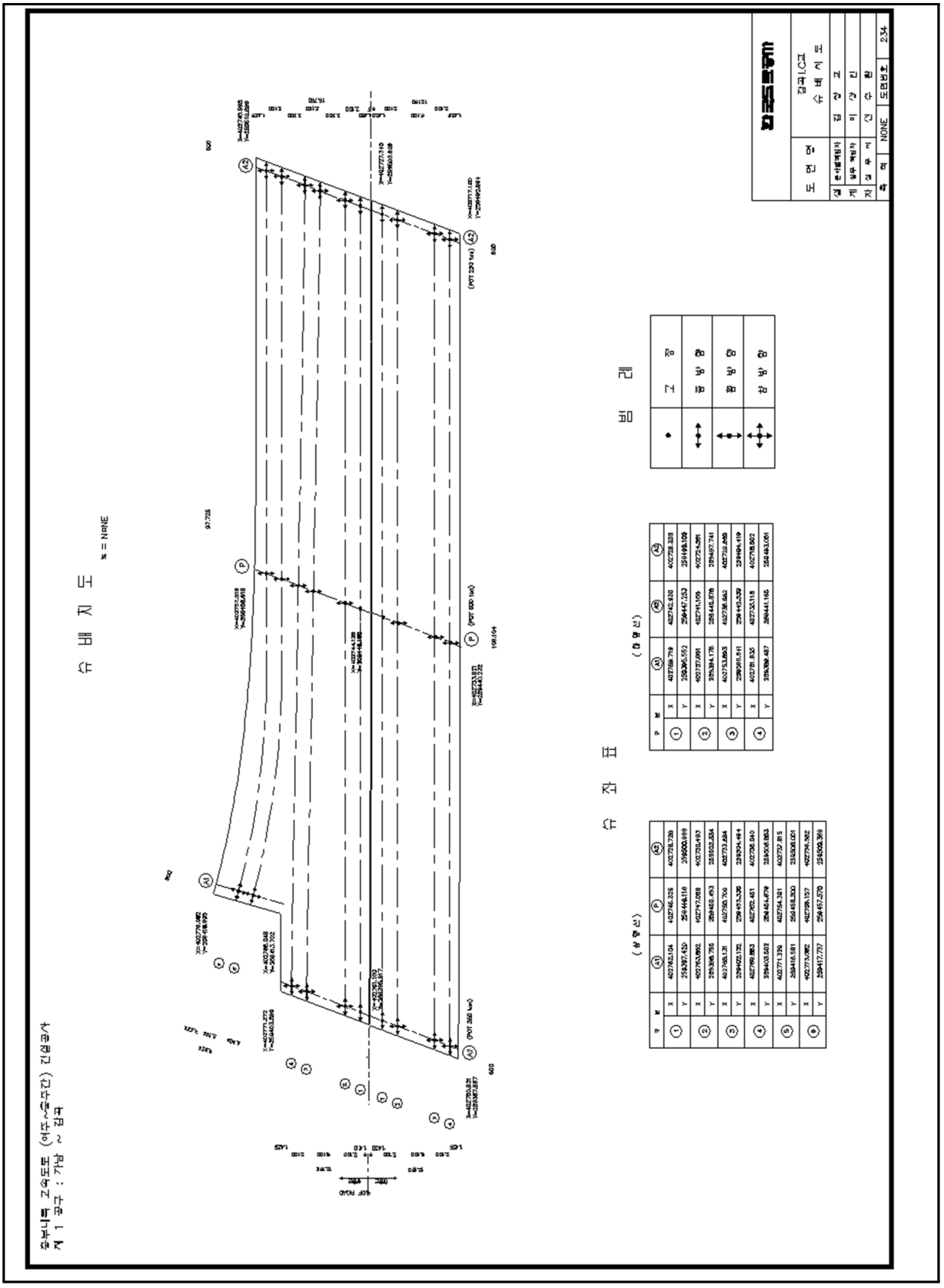
【그림 1-10】 양평방향 - 종·평면도



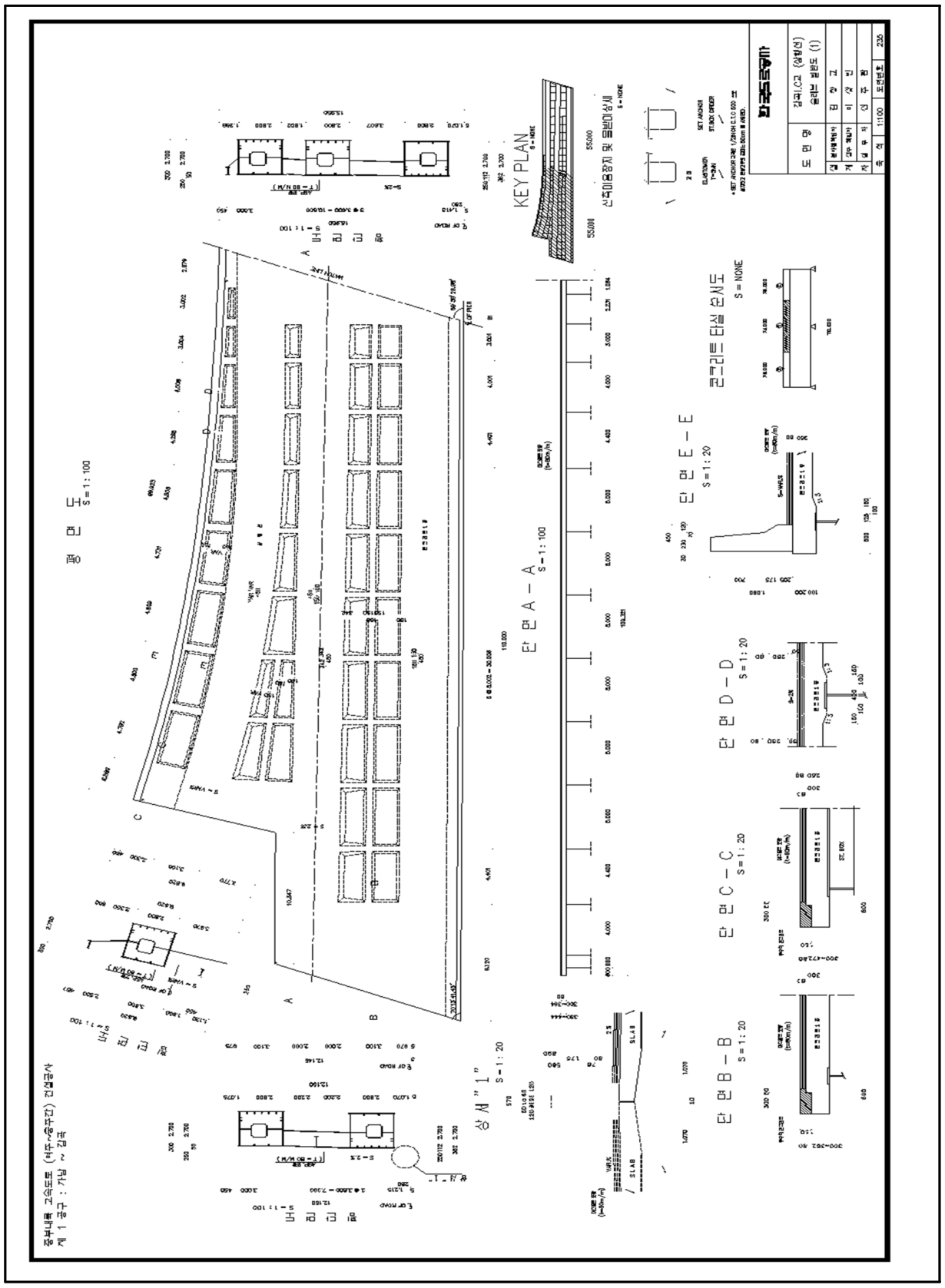
【그림 1-11】 양평방향 - 교대 일반도



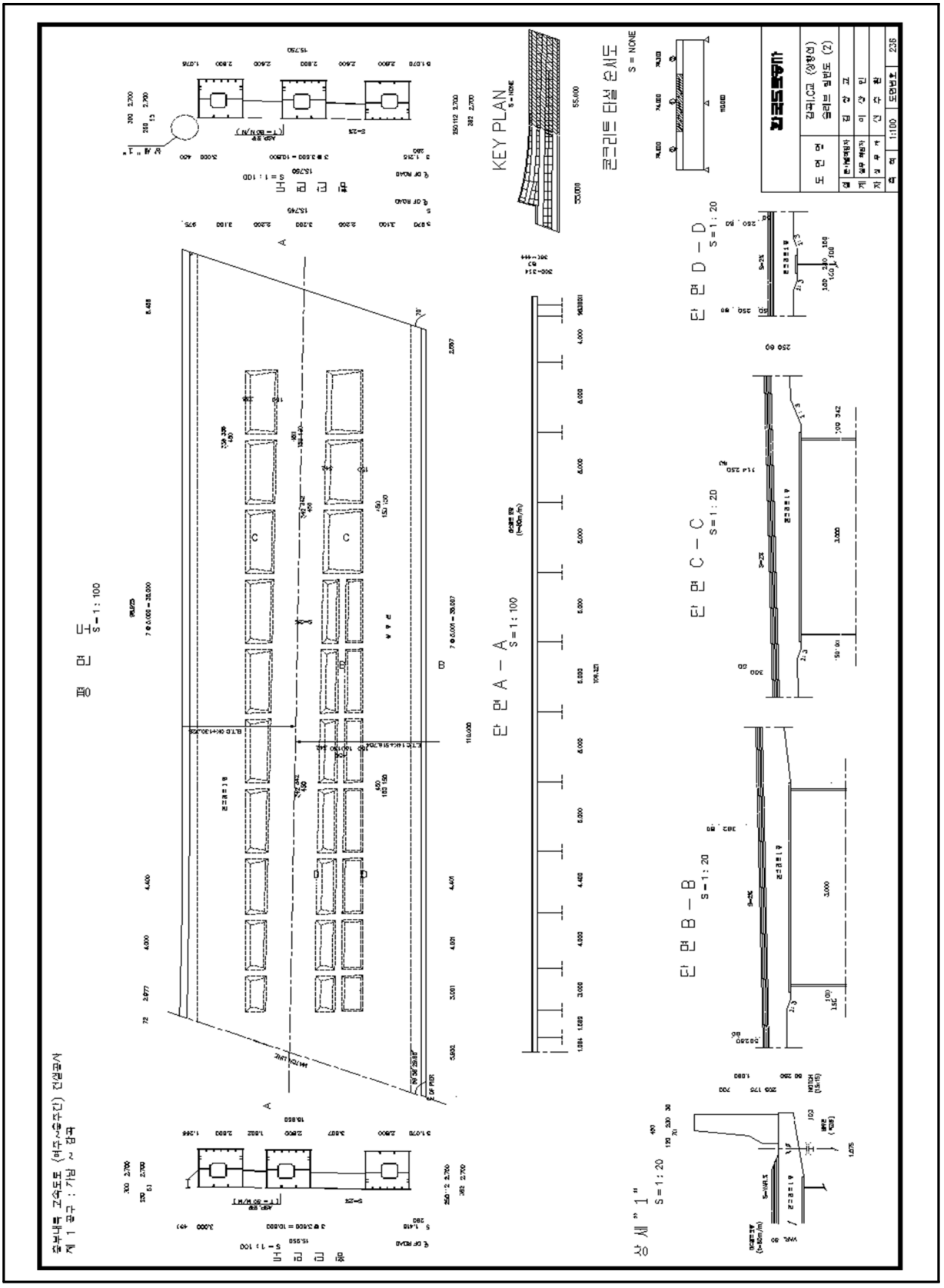
【그림 1-12】 양평방향 - 교각 일반도



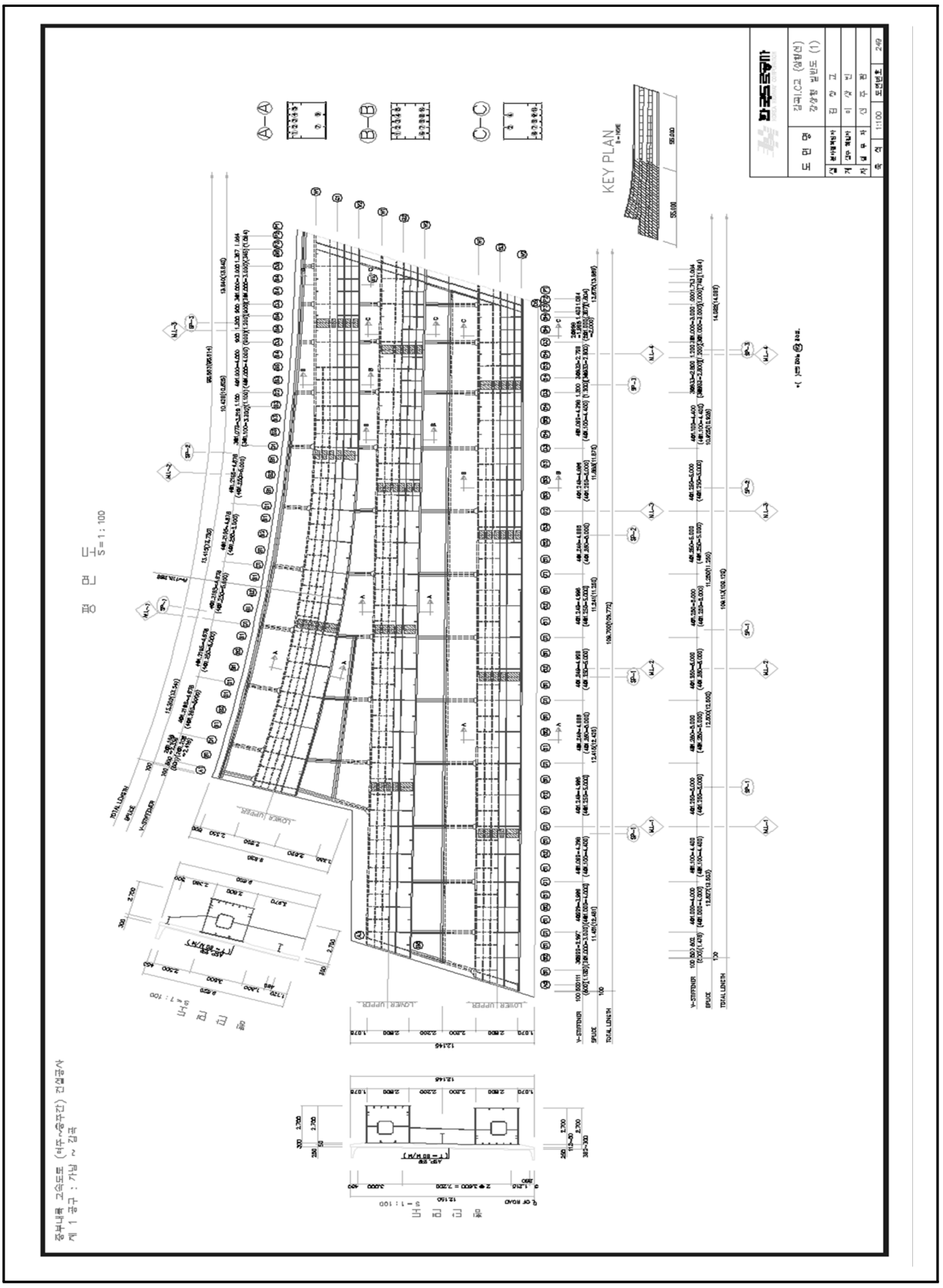
【그림 1-13】 양평방향 - 받침장치 배치도



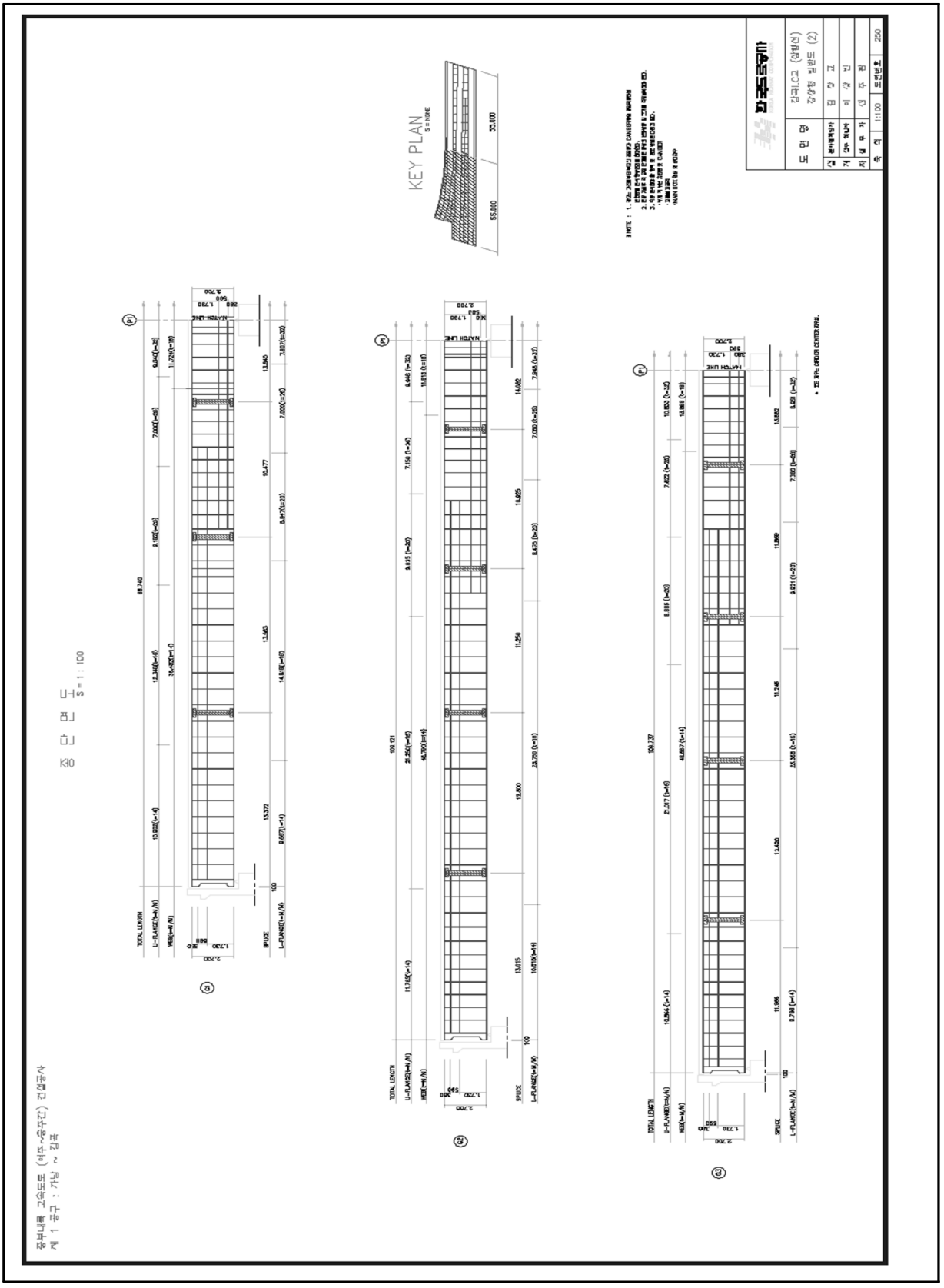
【그림 1-14】 양평방향 - 슬래브 일반도(1)



【그림 1-15】 양평방향 - 슬래브 일반도(2)

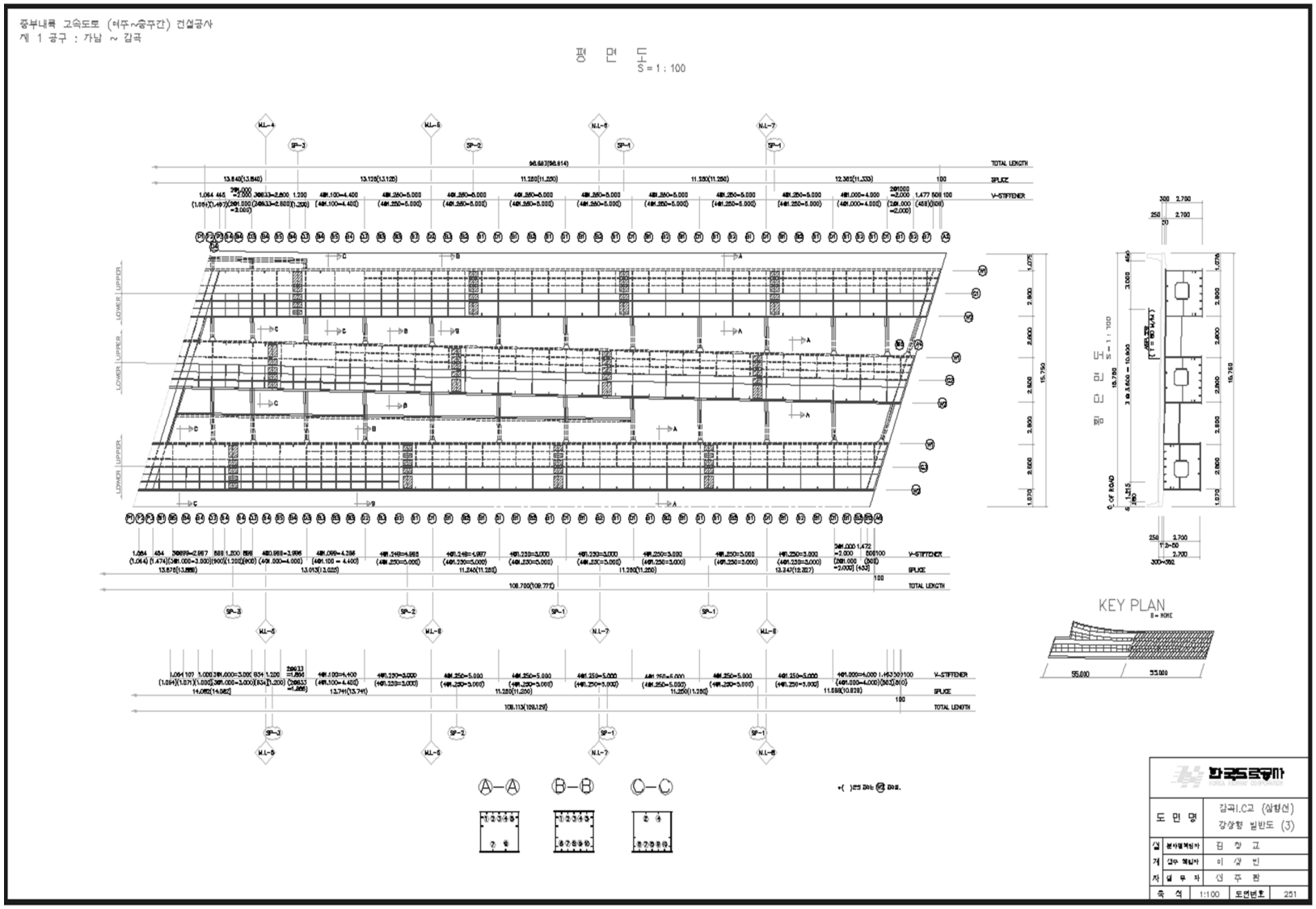


【그림 1-16】 양평방향 - 강상형 일반도(1)



【그림 1-17】 양평방향 - 강상형 일반도(2)

【그림 1-18】 상부바닥판 – 강상형 일반도(3)



1.5 사용장비 및 시험기기의 현황

【표 1-5】사용장비 및 시험기기

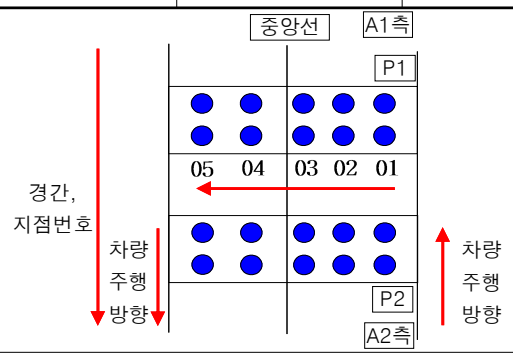
장 비 명		규 격	용 도	활 용 방 법	사 진	비고
콘크리트	균열폭 측정기	LIGHT SCALE LUPE 10X	균열폭 측정	• 균열폭의 크기와 길이를 확대렌즈를 통해 육안으로 확인		
	반발경도 측정기	NR-10	콘크리트 강도추정	• 약 3cm 간격에 20회 정도 타격하여 그 값의 평균치를 구함		
	초음파 탐지기	Pundit Lab	콘크리트 강도추정	• 송신자와 수신자를 통해 건전부와 불건전부의 초음파 진행속도의 차이로 측정		
	탄산화 시험기	Conkit	콘크리트 내부 탄산화 체크	• 체크하고자 하는 면을 채취하여 페놀프탈레인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

1.6 교량 기호의 정의

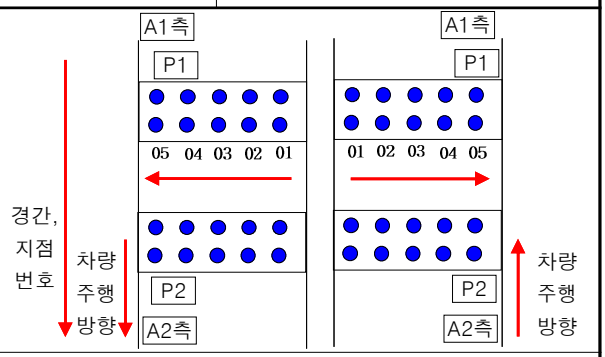
대상 교량의 정밀안전진단을 수행하면서 진단의 효율성과 통일성을 기하기 위하여 각 위치별, 부재별 기호를 부여하였다.

【표 1-6】 교량 기호 정의

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



상하행 일치교량



상하행 분리교량

* 일련번호(n)

ex) S1-G2(CB3~4)

가로보 3~4 사이
시점에서 종점으로 보았을 때 좌측에
1경간

P1-Sh4

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

제2장
자료수집 및 분석

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

제2장 자료수집 및 분석

2.1 자료수집 현황

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

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

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

【표 2-1】 자료수집 현황

보존대상 목록		관리주체 보유현황
설계도서	◦ 공통 – 준공내역서 – 공사시방서 – 각종계산서 – 토질 및 지반조사 보고서 – 기타 특이사항 보고서	◦ 중부내륙 고속도로 (충주~여주간) 건설공사 제1공구 – 일반보고서(2002.12.) – 토질조사보고서(2002.12.) – 준공도면(2002.12.) – 구조 및 수리계산서(2002.12.) – 준공내역서(2002)
	◦ 설계도면 – 교량 위치도, 평면도, 단면도(종·횡), 상부·하부 구조물도, 신축이음·교량받침 상세도	
시설물 관리대장	◦ 기본현황 및 상세제원 ◦ 점검 및 진단 이력 ◦ 보수보강 이력 및 유지관리 이력	◦ 한국도로공사 시스템 내 관리대장
시공관련 자료	◦ 시공관련 자료 ◦ 품질관리 관련자료 – 재료증명서 – 품질시험기록 – 관리 및 선정시험 기록 등 각종 시험 기록 – 시설물의 주요 구조 부위에 대한 계측 관련자료 ◦ 사고기록	◦ 중부내륙 고속도로 (충주~여주간) 건설공사 제1공구 – 시공기록보고서(2002.12.) – 시공관련 자료 – 품질시험기록 – 관리 및 선정시험 기록 등 각종 시험 기록
안전점검 자료		◦ 중부내륙 고속도로 (충주~여주간) 건설공사 제1공구 – 정기안전점검보고서(2002.12.) – 정밀안전진단 보고서(2012.12.)

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

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

【그림 2-1】 자료수집 및 분석 흐름도

2.2 건설 관련자료 검토결과 요약

2.2.1 구조 및 수리계산서 검토

중부내륙고속도로(충주~여주간) 건설공사 1공구 실시설계는 2002년 12월에 준공된 상태이며 설계시 적용한 표준시방서 및 설계기준은 다음과 같다.

- 콘크리트 표준시방서(1996. 건설교통부)
- 철근콘크리트 설계편람(Ⅰ, Ⅱ) (1990. 건설교통부)
- 도로교 표준 시방서 (1996. 건설교통부)
- 도로의 구조, 시설 기준에 관한 규정 (건설교통부)
- 도로설계요령 (1992. 한국도로공사)
- 기타 설계 기준 (한국도로공사)

【표 2-2】 시설물 설계시 적용한 물성치 및 하중조건

구 분		내 용
설계 방법		◦ 강도설계법 – 철근 콘크리트를 탄성체로 보고 재료에 적합한 안전을 고려한 허용응력을 사용하여 설계하는 방법 – RC 구조물에 적용 ◦ 허용응력설계법 – 실제 하중이 작용하여 부재가 파괴될 때에 콘크리트의 압축응력분포를 알아내어 이에 맞도록 적합한 하중 (LOAD FACTOR)을 갖고 설계하는 방법 – PSC 구조물에 적용
하중	고정하중	◦ 철근콘크리트 : $W_c = 2.5t/m^3$ ◦ 아스팔트 : $W_a = 2.3t/m^3$ ◦ 강재 : $W_s = 7.85t/m^3$
	활하중	◦ DB-24 ◦ DL-24
사용 재료		◦ 콘크리트 : $\sigma_{ck} = 270kg/cm^2$, $\sigma_{ck} = 240kg/cm^2$ ◦ 철근 : $\sigma_y = 4000kg/cm^2$, $\sigma_y = 3000kg/cm^2$ ◦ 강재 : SWS490, SWS400

주)중부내륙 고속도로 충주~여주간 건설공사 제1공구 – 구조 및 수리계산서(2002. 12 한국도로공사)

가. 구조해석 결과 요약

1) 상부구조

구 분		내 용
바닥판 설계 (마산방향)	개 요	◦ Steel Box Girder교(2경간연속) ◦ 경간 : 55.0m, L=110.0m ◦ 교폭 : 12.145m
	BOX 상단	◦ 단면검토 – 설계모멘트 : $M_u = 8.619t \cdot m$ – 소요철근량 $\Phi M_n = 12.217t \cdot m > M_u$ O.K 소요철근 $A_s = 11.00cm^2$, 사용철근 $A_s = 15.888cm^2$ – 전단검토 $S_u = 0 < \frac{1}{2}\Phi S_c = 6.901$ 전단보강 불필요
	CROSS BEAM 상단	◦ 단면검토 – 설계모멘트 : $M_u = 6.770t \cdot m$ – 소요철근량 $\Phi M_n = 9.516t \cdot m > M_u$ O.K 소요철근 $A_s = 11.04cm^2$, 사용철근 $A_s = 15.888cm^2$ – 전단검토 $S_u = 0 < \frac{1}{2}\Phi S_c = 5.464$ 전단보강 불필요
	켄틸레버 (방호벽)	◦ 단면검토 – 설계모멘트 : $M_u = 8.908t \cdot m$ – 모멘트 소요철근량 $\Phi M_n = 11.136t \cdot m > M_u$ O.K 소요철근 $A_s = 12.53cm^2$, 사용철근 $A_s = 15.888cm^2$ – 전단검토 $S_u = 0 < \frac{1}{2}\Phi S_c = 6.326$ 전단보강 불필요
	켄틸레버 (중분대)	◦ 단면검토 – 설계모멘트 : $M_u = 9.955t \cdot m$ – 모멘트 소요철근량 $\Phi M_n = 11.136t \cdot m > M_u$ O.K 소요철근 $A_s = 14.10cm^2$, 사용철근 $A_s = 15.888cm^2$ – 전단검토 $S_u = 0 < \frac{1}{2}\Phi S_c = 6.326$ 전단보강 불필요

구 분		내 용
바닥판 설계 (양평방향)	개 요	◦ Steel Box Girder교(2경간연속) ◦ 경간 : 55.0m, L=110.0m ◦ 교폭 : 15.745~21.765m
	BOX 상단	◦ 단면검토 – 설계모멘트 : $M_u = 8.619t \cdot m$ – 소요철근량 $\Phi M_n = 12.217t \cdot m > M_u$ O.K 소요철근 $A_s = 11.00cm^2$, 사용철근 $A_s = 15.888cm^2$ – 전단검토 $S_u = 0 < \frac{1}{2}\Phi S_c = 8.619$ 전단보강 불필요
	CROSS BEAM 상단	◦ 단면검토 – 설계모멘트 : $M_u = 7.866t \cdot m$ – 소요철근량 $\Phi M_n = 9.516t \cdot m > M_u$ O.K 소요철근 $A_s = 12.95cm^2$, 사용철근 $A_s = 15.888cm^2$ – 전단검토 $S_u = 0 < \frac{1}{2}\Phi S_c = 5.464$ 전단보강 불필요
	BRACKET 상단	◦ 단면검토 – 설계모멘트 : $M_u = 9.107t \cdot m$ – 모멘트 소요철근량 $\Phi M_n = 12.225t \cdot m > M_u$ O.K 소요철근 $A_s = 11.82cm^2$, 사용철근 $A_s = 15.888cm^2$ – 전단검토 $S_u = 0 < \frac{1}{2}\Phi S_c = 5.464$ 전단보강 불필요
	켄틸레버 (방호벽)	◦ 단면검토 – 설계모멘트 : $M_u = 8.908t \cdot m$ – 모멘트 소요철근량 $\Phi M_n = 11.136t \cdot m > M_u$ O.K 소요철근 $A_s = 12.53cm^2$, 사용철근 $A_s = 15.888cm^2$ – 전단검토 $S_u = 0 < \frac{1}{2}\Phi S_c = 6.326$ 전단보강 불필요

구 분		내 용
바닥판 설계 (양평방향)	켄틸레버 (중분대)	◦ 단면검토 – 설계모멘트 : $M_u = 9.955t \bullet m$ – 모멘트 소요철근량 $\Phi M_n = 13.837t \bullet m > M_u$ O.K 소요철근 $A_s = 11.25cm^2$, 사용철근 $A_s = 15.888cm^2$ – 전단검토 $S_u = 0 < \frac{1}{2}\Phi S_c = 7.764$ 전단보강 불필요
거더 설계	개 요	◦ Steel Box Girder교(2경간연속) ◦ 하중반복횟수 – 특럭하중 : 200 만회 이상 – 차선 하중 50 만회 이상
	사용성 검토	◦ 응력검토 – 최대 정모멘트 $\Delta\delta_u = 124.009kgf/cm^2 < 1610kgf/cm^2$ $\Delta\delta_t = 473.616kgf/cm^2 < 1610kgf/cm^2$ O.K – 최대 부모멘트 $\Delta\delta_u = -242.341kgf/cm^2 < 1610kgf/cm^2$ $\Delta\delta_t = -335.910kgf/cm^2 < 1610kgf/cm^2$ O.K

2) 하부구조

구 분		내 용
교 대	개 요	◦ 교대형식 – 역T형 교대 – 강관파일기초 ◦ 제원(시점부) – H=12.0m – B=6.5m – L=12.906m ◦ 제원(종점부) – H=8.0m – B=5.2 – L=16.756m
	A1 (강관파일) 안정 검토	◦ 전도 – 지진시 : $F_s = 2.15 > 2.0$ O.K – 상시 : $F_s = 3.48 > 2.0$ O.K ◦ 활동 – 지진시 : $F_s = 1.03 < 1.2$ N.G – 상시 : $F_s = 1.67 > 1.5$ O.K – 말뚝 기초 설계

구 분		내 용
교 대	A1 안정 검토	◦ 벽체 단면검토 – 설계모멘트 : $M_u = 232.309t \cdot m$ – 철근량 산정 $\Phi M_n = 372.872t \cdot m > M_u$ O.K 소요철근 $A_s = 65.164cm^2$, 사용철근 $A_s = 79.40cm^2$ – 전단력 검토 $\Phi S_c = 109.202t > S_u = 64.167t$ 전단보강 불필요 ◦ 뒷굽판 단면검토 – 설계모멘트 : $M_u = 102.150t \cdot m$ – 철근량 산정 $\Phi M_n = 286.949t \cdot m > M_u$ O.K 소요철근 $A_s = 29.948cm^2$, 사용철근 $A_s = 64.20cm^2$ – 전단력 검토 $\Phi S_c = 103.455t > S_u = 78.466t$ 전단보강 불필요 ◦ 앞굽판 단면검토 – 설계모멘트 : $M_u = 169.314t \cdot m$ – 철근량 산정 $\Phi M_n = 286.949t \cdot m > M_u$ O.K 소요철근 $A_s = 49.948cm^2$, 사용철근 $A_s = 64.20cm^2$ – 전단력 검토 $\Phi S_c = 103.455t < S_u = 152.083t$ 전단보강 소요철근 $A_v = 5.146cm^2$, 사용철근 $A_v = 5.958cm^2$ ◦ 흉벽 단면검토 – 설계모멘트 : $M_u = 26.289t \cdot m$ – 철근량 산정 $\Phi M_n = 38.640t \cdot m > M_u$ O.K 소요철근 $A_s = 25.703cm^2$, 사용철근 $A_s = 38.70cm^2$ – 전단력 검토 $\Phi S_c = 24.139t > S_u = 11.533t$ 전단보강 불필요
	A2 안정 검토	◦ 전도 – 지진시 : $F_s = 3.25 > 2.0$ O.K – 가설전 : $F_s = 3.59 > 2.0$ O.K ◦ 활동 – 지진시 : $F_s = 1.37 > 1.2$ O.K – 가설전 : $F_s = 1.38 < 1.5$ N.G – 말뚝 기초 설계

구 분		내 용
교 대	A2 안정 검토	◦ 벽체 단면검토 – 설계모멘트 : $M_u = 76.704t \cdot m$ – 철근량 산정 $\Phi M_n = 148.393t \cdot m > M_u$ O.K 소요철근 $A_s = 21.240cm^2$, 사용철근 $A_s = 31.000cm^2$ – 전단력 검토 $\Phi S_c = 10.920t > S_u = 32.167t$ 전단보강 불필요 ◦ 뒷굽판 단면검토 – 설계모멘트 : $M_u = 27.768t \cdot m$ – 철근량 산정 $\Phi M_n = 85.153t \cdot m > M_u$ O.K 소요철근 $A_s = 13.288cm^2$, 사용철근 $A_s = 31.000cm^2$ – 전단력 검토 $\Phi S_c = 63.223t > S_u = 33.454t$ 전단보강 불필요 ◦ 앞굽판 단면검토 – 설계모멘트 : $M_u = 47.120t \cdot m$ – 철근량 산정 $\Phi M_n = 85.153t \cdot m > M_u$ O.K 소요철근 $A_s = 22.656cm^2$, 사용철근 $A_s = 31.000cm^2$ – 전단력 검토 $\Phi S_c = 63.223t < S_u = 55.436t$ 전단보강 불필요 ◦ 흉벽 단면검토 – 설계모멘트 : $M_u = 26.013t \cdot m$ – 철근량 산정 $\Phi M_n = 31.399t \cdot m > M_u$ O.K 소요철근 $A_s = 24.425cm^2$, 사용철근 $A_s = 31.000cm^2$ – 전단력 검토 $\Phi S_c = 24.139t > S_u = 11.461t$ 전단보강 불필요
교 각 (마산방향)	개 요	◦ 교각형식 – π형 교각 – 강관말뚝형식 ◦ 제원 – H=15.1m(기초 : 2.1m, 코핑 : 1.8m) – 기둥 φ=2.0m – B=11.5(기초)

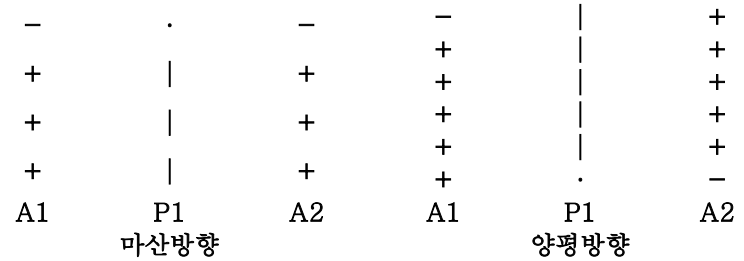
구 분		내 용
교 각 (마산방향)	안전성 검토	◦ 기둥 단면검토(교축방향) – 설계모멘트 : $M_u = 692.495t \cdot m$ – 철근량 산정 $\Phi M_n = 1293.482t \cdot m > M_u$ O.K 사용철근 $A_s = 382.976cm^2$ – 전단력 검토 $\frac{1}{2}\Phi S_c = 212.823t > S_u = 0.0t$ 전단보강 불필요 ◦ 기둥 단면검토(교축직각방향) – 설계모멘트 : $M_u = 1088.022t \cdot m$ – 철근량 산정 $\Phi M_n = 1468.852t \cdot m > M_u$ O.K 사용철근 $A_s = 382.946cm^2$ – 전단력 검토 $\frac{1}{2}\Phi S_c = 72.750t > S_u = 0.0t$ 전단보강 불필요
교 각 (양평방향)	개 요	◦ 교각형식 – π형 교각 – 강관말뚝형식 ◦ 제원 – H=15.05m(기초 : 2.1m, 코핑 : 2.05m) – 기둥 φ=2m – B=15.5(기초)
	안전성 검토	◦ 기둥 단면검토(교축방향) – 설계모멘트 : $M_u = 636.355t \cdot m$ – 철근량 산정 $\Phi M_n = 1194.170t \cdot m > M_u$ O.K 사용철근 $A_s = 382.976cm^2$ – 전단력 검토 $\frac{1}{2}\Phi S_c = 218.367t > S_u = 0.0t$ 전단보강 불필요 ◦ 기둥 단면검토(교축직각방향) – 설계모멘트 : $M_u = 556.998t \cdot m$ – 철근량 산정 $\Phi M_n = 1437.190t \cdot m > M_u$ O.K 사용철근 $A_s = 382.976cm^2$ – 전단력 검토 $\frac{1}{2}\Phi S_c = 186.873t > S_u = 0.0t$ 전단보강 불필요

2.2.2 설계도면 검토

본 교량은 총연장 110.0m(2@55m)이며, 상부구조는 2경간의 Steel Box Girder 형식으로, 교각의 주형식은 π형이고 기초는 직접기초로 이루어져 있으며, 교대의 형식은 역T형이고 기초는 강관파일기초로 시공되어 있다.

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

【표 2-3】 설계도면 검토 결과

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>마산방향</th><th>양평방향</th></tr>
<tr><td colspan="2">제 원</td><td colspan="2">◦ 형식 : Steel Box Girder
◦ 길이 : 110.0m
◦ 폭 : 12.145m(마산) / 15.745~21.765m(양평)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구 배</td><td>종구배</td><td colspan="2">2.8719%(A2방향)</td></tr>
<tr><td>횡구배</td><td>◦ 시점부 : 2.041%(우측)
◦ 중앙부 : 2.000%(우측)
◦ 종점부 : 2.000%(우측)</td><td>◦ 시점부 : 2.041%(우측)
◦ 중앙부 : 0.656%(좌측)
◦ 종점부 : 2.000%(좌측)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">방호벽</td><td>외측방호벽</td><td colspan="2">◦ 높이 : 1.080m
◦ 폭 : 0.450m</td></tr>
<tr><td>중분대</td><td colspan="2">◦ 높이 : 0.890m
◦ 폭 : 0.275m</td></tr>
<tr><td colspan="2">아스팔트 포장두께</td><td colspan="2">t=80㎜</td></tr>
<tr><td rowspan="2">강박스
두께</td><td>본체</td><td colspan="2">14~32㎜</td></tr>
<tr><td>리브</td><td colspan="2">12~18㎜</td></tr>
<tr><td colspan="2">교좌장치 배치</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="3">연단거리</td><td>A1</td><td colspan="2">580㎜</td></tr>
<tr><td>A2</td><td colspan="2">615㎜</td></tr>
<tr><td>P1</td><td colspan="2">940㎜</td></tr>
</table>

2.2.3 토질 및 지반조사 자료검토

기 실시된 실시설계 자료 중 지반에 대한 토질조사 자료(2002년도)를 발췌하여 대상시설물에 대한 기초검토 및 유지관리시 참고가 되도록 수록하였다.

가. 지형

중부내륙선 고속도로(충주~여주간) 건설공사 과업구간중 제1공구의 시점은 행정구역상 경기도 여주군 가남면 본두리이며, 종점은 충청북도 음석군 감곡면 오궁리까지 약15.2km 정도이다. 본 노선이 통과하는 지역은 경기도 남단의 여주군과 충청북도 북단의 음성군 일대로서 태백산맥으로부터 남-남-서로 뻗어 내려온 차령산맥의 중앙부에 해당된다.

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

1) 산계

철갑산(225.1m) - 연대산(226.8m) - 원승리고개(159.2m) - 돌마리고개(215.4m)를 잇는 산계는 화강암, 단평리 - 상우리 일대에서는 편마암이 분포하고 있다. 본역의 대부분을 지배하는 이들 암상은 풍화가 발달하여 지형이 완만한 구릉성 산지로 나타나며 이들 사이에는 충적평야가 넓게 분포하고 있다.

2) 수계

본 조사지역의 대표적인 수계로는 상부에 북서방향으로 흐르는 남한강과 그 지류인 청미천이 있으며, 북에서 시작하여 남류하는 금당천, 금당천 서남에서 북류하는 양화천 등이 분포한다. 하천상류에는 곳곳에 저수지가 만들어져 농업용수에 이용되는 인공적인 수로망이 발달되어 있으며 산계에 의한 소규모의 지류들이 수지상으로 발달하고 있다.

위에서 기술한 바와 같이 본 지역의 지형적인 상황인 산계와 수계를 종합적으로 판단하여 보면 화강암층과 편마암층이 분포하는 산지는 만장년기적 지형발달 단계에 있으며 기타 지역은 대체로 노년기적 지형의 대표적인 형태를 이루고 있다.

나. 지질

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

1) 호상편마암류

설계종점부의 북동방향에 걸쳐 분포하고 있는 호상편마암류는 선캠브리아기에 형성된 것으로 본 암류의 대부분을 차지하는 암종은 호상편마암으로서 1㎝내외의 두께를 갖는 무색광물

및 유생광물의 얇은층이 호층을 이루는 편마구조가 잘 발달한 암석이다, 본 암석은 노선중 상우리 일대에 분포하고 있으며, 주향N11~64E, 경사 40~47SE의 편마구조를 보여주며 화강암류의 관입 경계부에서는 심하게 교란을 받아 구조의 변하가 심하다.

2) 화강암류

중생대 쥬라기에 형성된 화강암층으로서 선캠브리아기의 호상편마암을 관입한 양상으로 나타나며 공사시점부터 종점에 걸쳐 가장 넓은 분포를 보이고 있다. 구성암석은 천마암질 혹운모화강암, 백운모화강암 등으로 조직과 조암광물의 차이에 따라 크게 4개로 구분 된다.

편마암질 혹운모화강암은 전반적으로 반상조직을 보여주며 1~2㎝정도 크기의 알칼리 장석류로 이루어진 반정을 함유하고 있다. 또한 여러크기의 유색광물로 구성되어 있으며, 다른 종류의 화강암들보다는 전기에 관입한 것으로 보여지나 그 관계는 점이적이다, 중립질 혹운모화강암은 조직에 있어 거의 등립질이며 유색광물의 양이 편마암질 혹운모 화강암보다는 훨씬 적다. 복운모화강암은 중립질 혹운모화강암과 그 조직에 있어 큰 차이가 없으나 백운모의 양이 혹운모에 견줄만큼 많아지므로 그 구별이 가능하다. 백운모화강암은 산출상태에 있어서도 편마암체내에 쇼규모의 맥상으로 나타나고 혹운모의 함량도 극히 적어지므로 타화강암으로 구분된다.

3) 충적층

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

다. 지층상태

본 교량은 과업종점부의 IC부에 농어촌도로 및 Ramp를 횡단하기 위해 설치하는 구조물로서 이 지역에서 실시한 4공의 시추조사 결과는 아래와 같다.

1) 전답토층, 매립토층

본 지역의 최상부를 형성하고 있는 지층으로 0.3~1.5m 두께로 이루어져 있다. 구성토질은 모래질 실트(ML), 실트 및 자갈섞인 모래(SM)이며, 시추공 BB-132 지역의 매Ⅱ립토층에서는 소량의 자갈코아(φ 2-6㎝)가 회수되었다.

2) 퇴적토층

시추공 BB-132 지역을 제외한 전지역에 분포되어 있는 퇴적토층은 0.6~1.0m 두께로갈색 내지 황갈색을 띤 자갈썩인 실트질 모래(SM), 자갈섞인 모래(SP)로 이루어져 있다. 본

층에서 실시한 표준관입시험 결과 N=12/30~25/30으로 보통의 상대밀도를 나타낸다.

3) 풍화토층

풍화토층은 액 2.0m 미만의 두께로 갈색의 실트질 세립 내지 조립모래(SM), 실트섞인 모래질 자갈(GM-GP)로 구성되어 있으며, 느슨 내지 매우 조밀한 상대밀도를 보이고 있다.

4) 풍화암층

풍화암층은 편마암의 풍화점이대로 타격에 의해 갈색 내지 회갈색의 암편을 함유한 실트질 모래로 분해되며, 지표로부터 약 0.9~3.5m 하부지점에 분포되어 있다.

5) 기반암층

본 지역의 기반암은 편마암의 연암층으로 지표하 약 3.0~10.0m 지점에 분포되어 있으며, 국부적으로 소폭의 풍화대가 형성되어 있고 보통풍화 상태와 보통강함의 강도를 지니고 있다.

【표 2-4】 지층구성 상태

지 층	통일분류	두 께(m)	N-치	비 고
전답토층	ML	0.3	-	
	SM	0.5	-	
매립토층	SM	1.5	3	
퇴적토층	SM, SP	0.6~1.0	12~25	
풍화토층	SM. GM-GP	1.7~2.0	5~50	
풍화암층	W.R	1.8~6.5	50	
연암층	편마암			

2.3 기존 점검 및 진단 실시결과 요약

본 시설물의 기 정기점검 및 정밀점검에 대한 자세한 사항은 현재 관리시스템에 누락되어 있어 유지관리에 대한 자료조사는「중부내륙 고속도로(충주~여주간)건설공사 설계도서(2002. 12 한국도로공사)」와 시설물관리대장, 기술과제 자료에 있는 내용을 정리하여 간략하게 수록하였다.

2.3.1 점검 및 진단이력

본 교량은 2003년 3월 실시한 정기점검을 시작으로 2016년 5월 정기점검까지 공용기간 중 정기점검 21회, 정밀점검 6회, 정밀안전진단 1회 등을 실시하였으며, 주요 점검이력은 다음 표와 같다.

【표 2-5】 마산방향 – 점검 이력 사항

구분	점 검 기 간	점 검 자	상태등급	점검결과 및 보수보강(안)
정기	■ 2003.03.21.	자체수행	양호	◦ 구조물 전반, 교좌장치, 슬라브, 주형, 교면포장, 교대, 교각, 신축이음장치, 교대A1 슈블럭 콘크리트 파손, 강교 시건장치 미설치 ◦ 균열 주의관찰, 추후 하자통보, 하자보수 시행, 시건장치 설치
정기	■ 2003.09.25.	자체수행	양호	◦ 구조물 전반
정기	■ 2004.04.12.	자체수행	양호	◦ 교면포장등 전반적 점검결과 양호
정밀	■ 2004.12.08.	자체수행	A등급	◦ 교좌장치, 주형등 전반적으로 양호
정기	■ 2005.05.09.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2005.10.10.	자체수행	양호	◦ A2 거푸집 철선 미제거 녹발생 ◦ 녹제거 필요
정기	■ 2006.04.07.	자체수행	양호	◦ 양호
정밀	■ 2006.10.04.	자체수행	A등급	◦ 양호
정기	■ 2007.06.11.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2007.11.19.	자체수행	양호	◦ 양호
정밀	■ 2008.04.10.	자체수행	A등급	◦ P1(1개소) 받침콘크리트파손 ◦ 면 보수
정기	■ 2008.08.20.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2009.05.12.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2009.09.15.	자체수행	양호	◦ 양호
정밀	■ 2010.07.06.	자체수행	A등급	◦ 양호
정기	■ 2010.09.01.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2011.05.30.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2011.11.30.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2012.05.25.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2012.08.16.	자체수행	보통	◦ 교대 보호블럭 파손, 후타콘크리트 파손, 신축이음장치 파손 ◦ 교대보호블럭 보수, 후타콘크리트 보수, 신축이음장치 교체

【표 2-5】 마산방향 - 점검 이력 사항(계속)

구분	점 검 기 간	점 검 자	상태등급	점검결과 및 보수보강(안)
정밀 안전 진단	■ 2012.12.21.	(재)한국건설품질연구원	B등급	◦ 바닥판// 하면 균열(cw=0.3mm미만), 누수흔적 및 백태(녹물포함), 단부파손 등 ◦ STB 거더// 도장박리 및 부식, 모재변형, 용접결함, 실링누락, 인분배설 등 ◦ 교대/교각// 균열손상, 누수흔적/체수, 파손, 재료분리, 실링재 탈락, 표면오염, 압성토 손상 등 ◦ 교량받침// 소울플레이트 도장박리 및 부식, 몰탈/콘크리트 균열, 파손, 들뜸 등 ◦ 신축이음장치// 후타재 균열(cw=0.3mm미만), 파손, 유간부족(교대이동) 등 ◦ 배수구// 이물질 퇴적, 유도배수관 설치필요, 배수파이프 길이부족, 곡관이탈 등
				◦ 내구성 저하방지를 위해 균열보수 및 단면보수 실시 / 도장박리, 녹발생 등의 손상 발생 부위에 대해 방청 및 도장보수 실시 / 신축이음장치 교체, 영구앵커공법, 유도배수관 설치, 배수파이프 길이연장 등
정밀	■ 2013.06.28.	자체수행	B등급	◦ A1 신축이음 본체 단차
				◦ A1 신축이음 교체
정밀	■ 2013.10.31.	자체수행	A등급	◦ 교량받침// 무수축몰탈 파손 1개소, 하부구조// 구체상면 열화 1개소, 신축이음// 본체 단차 발생 1개소
				◦ 교량받침// 단면보수 1개소, 하부구조// 주의관찰, 신축이음// 신축이음 교체
정기	■ 2014.06.23.	자체수행	양호	◦ 거더부식 : S1(G1,G2)(A1), S2G2(A2) 단부(0.11m2,3개소) / 바닥판균열 : S2A2(중분대측) 단부(0.2mm/0.5m, 1개소) / 받침도장박리 : A1-sh1(0.001m^2, 1개소), 부식 : A1-sh6(0.1m^2, 1개소) / 신축이음 .누수 : A1, A2 .협착 : A1,A2 .후타재파손 : A1(1,2차로)(3.9m^2, 1개소) .후타재균열 : A2(전차로) (0.2mm/다수)
				◦ 거더 재도장 : S1(G1, G2) (A1), S2 G2(A2) 단부(0.11m^2, 3개소) / 받침 재도장 : A1-sh6(0.1m^2, 1개소) / 신축이음단면보수 : A1(1, 2차로)(3.9m^2, 1개소)

【표 2-5】 마산방향 - 점검 이력 사항(계속)

구분	점 검 기 간	점 검 자	상태등급	점검결과 및 보수보강(안)
정기	■ 2014.09.11.	자체수행	양호	◦ 거더// 부식 : S1G1, S1G2, S2G2(0.11㎡, 3개소) ◦ 바닥판// 균열(0.3mm미만) : S2(0.2mm, 0.5m, 1개소) ◦ 교량받침// 부식 : A2.sh6(0.1㎡, 2개소) ◦ 하부구조// 열화 : A1(1㎡, 1개소) ◦ 신축이음// 누수 및 협착 : A1, A2, .후타재 파손 : A1(3.9㎡, 1개소) ◦ 거더// 재도장 : S1G1, S1G2, S2G2(0.11㎡, 3개소) ◦ 교량받침// 재도장 : A2.sh6(0.1㎡, 2개소) ◦ 신축이음// 단면보수 : A1(3.9㎡, 1개소)
정기	■ 2015.04.13.	자체수행	양호	◦ 거더// 거더외부 부식 ◦ 바닥판// 단부측 균열 ◦ 거더// 거더외부 부식 : 재도장 ◦ 바닥판// 단부측 균열 : 주입보수
정기	■ 2015.09.03.	자체수행	양호	◦ 거더// 도장부식 ◦ 바닥판// 파손 ◦ 교량받침// 슈부식, 균열 ◦ 신축이음// 균열, 하부 협착 ◦ 난간/중분대// 균열 ◦ 거더// 도장부식 : 재도장 ◦ 바닥판// 파손 : 단면보수 ◦ 교량받침// 슈부식 : 재도장, 균열 : 표면보수 ◦ 신축이음// 균열 : 표면보수, 하부협착 : 주의관찰 ◦ 난간/중분대// 균열 : 표면보수
정기	■ 2016.05.23.	자체수행	양호	◦ 거더 : 부식 ◦ 바닥판 : 협착, 파손, 백태 ◦ 교량받침 : 강재부식 ◦ 신축이음 : 누수 ◦ 거더 : 재도장 ◦ 바닥판 : 단면보수, 표면처리 ◦ 교량받침 : 재도장 ◦ 신축이음 : 누수방지 시설설치

【표 2-6】 양평방향 - 점검 이력 사항

구분	점 검 기 간	점 검 자	상태등급	점검결과 및 보수보강(안)
정기	■ 2003.03.21.	자체수행	양호	◦ 구조물 전반, 교좌장치, 슬라브, 주형, 교면포장, 교대, 교각, 신축이음장치 , A1측 교면배수구 2개 미설치, 강교 시건장치 미설치 ◦ 균열주의관찰, 추후하자통보, 하자보수시행, 시건 장치설치
정기	■ 2003.09.25.	자체수행	양호	◦ 구조물 전반
정기	■ 2004.04.12.	자체수행	양호	◦ 교면 포장등 전반적 점검결과 양호
정밀	■ 2004.12.08.	자체수행	A등급	◦ A2교대 코핑부 물고임으로 인한 열화발생 ◦ 열화발생부위 보수 및 침투수 배수관 연장
정기	■ 2005.05.09.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2005.10.10.	자체수행	양호	◦ A2 교대코핑부 물고임, 백태, 거푸집철선 미제거로 녹발생 ◦ A2 물고임부 구배 조정, 백태 표면처리, 녹제거
정기	■ 2006.04.07.	자체수행	양호	◦ 양호
정밀	■ 2006.10.04.	자체수행	A등급	◦ 양호
정기	■ 2007.06.11.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2007.11.19.	자체수행	양호	◦ 양호
정밀	■ 2008.04.10.	자체수행	A등급	◦ A1 교대상면 물고임 ◦ 물고임제거후 유도배수
정기	■ 2008.08.20.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2009.05.12.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2009.09.15.	자체수행	양호	◦ 양호
정밀	■ 2010.07.23.	자체수행	A등급	◦ 도수로 파손, 교대 실런트 파손 ◦ 도수로 파손보수, 교대 실런트 파손 보수
정기	■ 2010.09.01.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2011.05.30.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2011.11.30.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2012.05.25.	자체수행	양호	◦ 양호
정기	■ 2012.08.16.	자체수행	양호	◦ 후타콘크리트 균열,신축이음장치 파손 ◦ 후타콘크리트 보수,신축이음장치 교체

【표 2-6】 양평방향 - 점검 이력 사항(계속)

구분	점 검 기 간	점 검 자	상태등급	점검결과 및 보수보강(안)
정밀 안전 진단	■ 2012.12.21.	(재)한국건설품질 연구원	B등급	◦ 바닥판// 하면 균열, 망상균열, 균열 및 백태, 박락, 녹발생, 단부 파손 등 ◦ STB 거더// 도장박리 및 부식, 오염, 볼트부식, 용접결함, 실링누락, 소변배설, 모재긁힘 등 ◦ 교대/교각// 균열손상, 누수흔적, 체수, 철근노출 및 녹발생, 점검로 부식 및 백태 등 ◦ 교량받침// 소울플레이트 도장박리 및 부식, 몰탈/콘크리트 균열, 파손, 박락 등 ◦ 신축이음장치// 본체 이물질퇴적, 후타재 균열 및 파손, 유간부족(교대 이동) 등 ◦ 배수구 이물질퇴적, 배수관 탈락, 배수파이프 길이부족 등
				◦ 내구성 저하방지를 위해 균열보수 및 단면보수 실시 ◦ 도장박리, 녹발생 등의 손상 발생 부위에 대해 방청 및 도장보수 실시 ◦ 신축이음장치 교체, 교대 영구 앵커공법, 배수파이프 재설치 및 길이연장 등
정밀	■ 2013.06.28.	자체수행	B등급	◦ 신축이음 : 협착 및 열화파손
				◦ 신축이음 : 신축이음 교체
정밀	■ 2013.10.31.	자체수행	A등급	◦ 교량받침 : 슈부식 1개소, 하부구조 : 열화 1개소, 신축이음 : 협착 및 열화파손
				◦ 교량받침 : 재도장 1개소, 하부구조 : 단면보수 1개소, 신축이음 : 신축이음 교체
정기	■ 2014.06.23.	자체수행	양호	◦ 거더부식 : S1(G2.G3), S2G3(0.15m^2, 3개소) ◦ 바닥판// 백태 : S1(G1.G2) 지점부(A1)(0.8m^2, 2개소), 열화 : S1(G2.G3) 지점부(A1)(0.1m^2, 1개소) ◦ 받침// 부식 : A1.sh2, sh5, sh6, A2.sh1, sh3(0.27m^2, 5개소) ◦ 하부구조// 부분 점 녹 : P1(0.05m^2, 1개소) ◦ 신축이음// 누수 : A1, A2, 협착 및 유간 부족 : A1, A2, 후타재 파손 : A1, A2(0.49m^2, 8개소) ◦ 후타재 균열 : A1, A2(0.1mm/다수)
				◦ 거더 재도장 : S1(G2.G3), S2G3(0.15m^2, 3개소) ◦ 바닥판 단면보수 : S1(G2.G3) 지점부(A1)(0.1m^2, 1개소) ◦ 받침 재도장 : A1.sh2, sh5, sh6, A2.sh1, sh3(0.27m^2, 5개소) ◦ 신축이음 단면보수 : A1, A2(0.49m^2, 8개소)

【표 2-6】 양평방향 - 점검 이력 사항(계속)

구분	점 검 기 간	점 검 자	상태등급	점검결과 및 보수보강(안)
정기	■ 2014.09.11.	자체수행	양호	◦ 거더// 부식 : S1G2, S1G3, S2G3(0.15㎡, 3개소) ◦ 바닥판// 열화 : S1(0.1㎡, 1개소) ◦ 교량받침// 부식 : A1.sh2, 4, 5, P1.sh6, A2.sh1, 3(0.37㎡, 6개소) ◦ 신축이음// 누수 및 협착 : A1, A2, 후타재 파손 : A1, A2(0.49㎡, 8개소)
				◦ 거더// 재도장 : S1G2, S1G3, S2G3(0.15㎡, 3개소) ◦ 바닥판// 단면보수 : S1(0.1㎡, 1개소) ◦ 교량받침// 부식 : A1.sh2, 4, 5, P1.sh6, A2.sh1, 3(0.37㎡, 6개소) ◦ 신축이음// 단면보수 : A1, A2(0.49㎡, 8개소)
정기	■ 2015.04.13.	자체수행	양호	◦ 신축이음// A1 신축이음(램프측)협착, 후타재 파손, 후타재 균열, 누수, A2 신축이음 협착, A2 후타재 균열, 누수
				◦ 신축이음// A1 신축이음(램프측)협착 : 주의관찰, 후타재 파손 : 단면보수, 후타재 균열 : 주의관찰, 누수 : 주의관찰, A2 신축이음 협착 : 주의관찰, A2 후타재 균열 : 주의관찰, 누수 : 주의관찰
정기	■ 2015.09.03.	자체수행	양호	◦ 거더// 외부 부식 .바닥판// 파손, 백태 .교량받침// 슈부식 .하부구조// 균열, 백태, 보호블럭 세굴 .신축이음// 후타재 파손, 후타재 균열 .난간/중분대// 균열
				◦ 거더// 외부 부식 : 재도장 .바닥판// 파손 : 단면보수, 백태 : 표면보수 .교량받침// 슈부식 : 재도장 .하부구조// 균열 : 표면보수, 백태 : 표면보수, 보호블럭 세굴 : 단면보수 .신축이음// 후타재 파손 : 단면보수, 후타재 균열 : 주입보수 .난간/중분대// 균열 : 표면보수
정기	■ 2016.05.23.	자체수행	양호	◦ 거더 : 부식 .바닥판 : 백태,균열,협착 및 파손 .교량받침 : 부식 .하부구조 : 세굴, 백태 .신축이음 : 균열, 파손, 누수 .난간/중분대 : 균열 .배수시설 : 집수구 막힘
				◦ 거더 : 재도장 .바닥판 : 표면처리, 주입보수, 지속관찰 .교량받침 : 재도장 .하부구조 : 단면보수, 표면처리 .신축이음 : 주입보수, 단면보수 .난간/중분대 : 표면처리 .배수시설 : 청소

2.3.2 기존 진단 실시결과

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

【표 2-7】 마산방향 - 전차 정밀안전진단 결과분석

구 분		외관조사 요약 및 검토의견	비고
외관조사 결과	바닥판	◦ 바닥판 하면 지점부(A2측)에 국부적으로 발생된 파손은 교대협착으로 인해 국부적으로 발생된 손상으로 추정되며, 이에 신축이음장치 교체와 함께 바닥판 절단을 통한 유간 확보가 필요할 것으로 판단된다. ◦ 캔틸레버부 유공관과 배수관 주변 백태 및 누수흔적은 우수유입으로 인해 발생된 손상으로, 누수로 인해 바닥판 하면 캔틸레버부에 대한 1차 손상(열화)과 하부 구조에 대한 2차 손상의 원인이 되므로, 유공관 배출수 유도와 배수관주변 코킹처리 등 표면보수가 필요하다.	
	거 더 (STB)	◦ 거더 내부 상부플랜지 종리브에 국부적인 변형(1개소)이 조사되었으며, 이는 시공 중 인위적 충격으로 인한 모재 변형으로 판단되나 손상정도가 경미하여 주의관찰 한다. ◦ 거더 내부 전반에 걸쳐 Splice부 실링누락이 조사되었으며, Splice부를 통한 우수유입 흔적이 일부 발견되어, 거더 내부 하부플랜지 부식 방지를 위해 실링처리가 요구된다. ◦ 거더 외부에 발생된 도장박리 및 부식은 대부분 지점부(A1/A2측)에서 조사되었으며, 이는 신축이음부를 통한 우수유입과 점검자 및 작업자의 이동이 있는 거더 단부측에 인위적 충격 등으로 인해 발생된 손상으로 판단되어, 적절한 보수가 요구된다.	
	교 대	◦ 교대 흉벽과 교대 상면에 누수흔적 및 체수가 조사되었으며, 이는 신축이음부를 통한 우수유입이 원인으로, 신축이음부 보수가 선행된 후 누수흔적 및 체수손상에 대한 주의관찰이 요망된다. ◦ 압성토에 대한 외관조사 결과, A1 좌측과 전면 압성토 공동과 블록이격이 조사되었다. 이는 압성토 다짐불량과 우수유입 등으로 인한 국부침하 및 유실이 발생된 것으로 추정되나, 보수의 필요성은 없을 것으로 판단되어 주의관찰 한다. ◦ 교대이동 분석결과, 복합적인 작용에 의해 이동이 발생한 것으로 판단되나, 진행성 여부를 단기간 판단하기 어려우므로 교대기울기를 초기치로 하여 향후 지속적인 관측이 요구되고, 향후 발생 가능성이 있어 적절한 조치가 필요할 것으로 판단된다.	
	교 각	◦ 코핑부 및 기둥부에 발생된 수직균열(cw=0.1~0.2mm)과 망상균열(cw=0.1mm)은 연속성이 없고 대부분 cw=0.1mm의 균열로 건조수축과 단면변화부 응력집중으로 인해 발생된 손상으로 판단되며, 시공이음균열(cw=0.2mm)이 국부 발생되어 cw=0.2mm균열에 대해 표면보수가 요망된다. ◦ P1 기둥부 좌측면에 거푸집 이음부 이물질 미제거와 배수구 하단 기둥부에 표면오염이 조사되었으며, 이는 마감불량과 배수구 길이부족 등으로 인해 발생된 손상으로 이물질 미제거는 주의관찰하고, 오염은 표면보수가 요망된다.	

【표 2-7】 마산방향 - 전차 정밀안전진단 결과분석(계속)

구 분		외관조사 요약 및 검토의견	비고
외관조사결과	받침장치	◦ A2-Sh4 상답플레이트에 도장박리 및 부식이 조사되었으며, 이는 신축이음부와 외측면을 통한 우수유입이 가장 주요한 원인으로 판단되어, 녹제거 후 재도장이 요망된다. ◦ 받침의 가동상태는 가동여유량 및 실측한 서스판여유량이 계산 필요가동량을 만족하고 있는 상태이므로 차후 지속적인 주의관찰이 필요할 것으로 판단된다. ◦ 본 교량은 필요 연단거리를 만족하는 양호한 상태이다.	
	신축이음	◦ 신축이음장치 유간을 종합적으로 비교·분석한 결과, A1(J1)측은 신축이음장치 유간이 부족하고, A2(J2)측은 신축이음장치 교체로 인하여 신축이음장치의 유간은 확보되었으나 바닥판은 기존 유간을 유지(부족)하고 있어, 차후 혹서기에 바닥판 유간부족이 발생될 것으로 판단된다. 이는 교대의 이동으로 인한 유간감소로 추정되며, 이로 인해 혹서기 바닥판 협착과 추가 손상을 방지하기 위하여 A2측 바닥판 절단, J1 신축이음장치 교체와 A1/A2측 상부포장 팽창줄눈 설치가 필요할 것으로 판단된다.	
	교면포장	◦ 코어상태조사 결과, 상층포장(T=50mm)부에서 골재분리가 나타나 코어형성이 불량하였으나, 하층포장(T=42mm)과 방수층(T=8mm)의 상태는 양호한 것으로 조사되었다. 상층포장부 골재분리는 시공불량(다짐불량), 혼합물 품질불량 등으로 인해 역청재료와의 부착성이 떨어져 발생된 것으로 판단되어, 교면포장에 발생된 손상과 연계하여 적절한 조치가 요망된다.	
	배수시설	◦ 유공관 주변 백태와 우수유입을 통해 교각 상면과 안전점검통로에 2차 손상을 초래하고 있는 상태로, 적절한 보수가 요망된다. ◦ 배수파이프 길이부족 구간(P1)에서 배수파이프 길이가 짧아 기둥부에 오염을 유발시키고 있는 상태이며, 교대 및 교각의 배수파이프 끝단에는 곡관이 설치되어 있으나 곡관 이탈(A2측, 1개소)이 일부 조사되어 적절한 조치가 요망된다.	
	방호벽	◦ S2 우측 방호벽에 국부 파손과 S1 시점부 우측 방호벽 덮개 볼트파손이 조사되었으며, 이는 온도변화에 따른 콘크리트 신축 간 발생된 손상으로 판단되어 국부파손은 손상면적이 미소하여 주의관찰 하고, 덮개 볼트파손은 재시공이 요망된다.	
내구성조사결과	반발강도 조사	◦ 반발경도 및 초음파법에 의한 콘크리트 강도조사 결과는 모두 설계강도를 상회하는 것으로 조사되었다.	
	철근배근 조사	◦ 철근간격은 준공도면과 일치하는 것으로 조사되었으나, 일부 하부구조에서 피복두께부족부가 조사되어 주의관찰 요한다.	
	탄산화 시험	◦ 탄산화로 인한 콘크리트 내의 철근부식 가능성은 없는 것으로 조사되었다.	
	염화물 함유량시험	◦ 상부구조는 염화물에 의한 부식발생 우려가 없는 'a' 이나, 하부구조는 제설제로 인한 영향이 높으므로 주의관찰 요망된다.	
	균열깊이 조사	◦ 균열깊이 조사 결과 균열심도가 피복두께를 초과하여 균열부에 대한 적절한 보수가 필요한 것으로 판단된다.	

【표 2-7】 마산방향 - 전차 정밀안전진단 결과분석(계속)

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>외관조사 요약 및 검토의견</th><th>비고</th></tr>
<tr><td rowspan="2">강재 시험 결과</td><td>초음파탐상 시험</td><td>◦ 구조물의 용접 상태는 양호한 것으로 평가되었다.</td><td></td></tr>
<tr><td>도막두께 측정결과</td><td>◦ 도막두께 측정값은 모든 위치에서 도로교 표준시방서 기준 값을 상회하는 것으로 조사되어 양호한 상태로 평가되었다.</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">상태평가 결과</td><td>◦ B등급(환산점수 : 0.231)</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">안전성평가 결과</td><td>
<table>
<tr><th colspan="2">부재</th><th>해석방법</th><th>안전성평가 결과 요약</th><th>안전율</th><th>안전성평가 결과</th></tr>
<tr><td rowspan="2">상부구조</td><td>바닥판</td><td>강도설계법</td><td>◦ $\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{122.167}{91.090}=1.341$</td><td>1.0이상</td><td rowspan="4">A</td></tr>
<tr><td>거더</td><td>허용응력설계법</td><td>◦ $\frac{f_a}{f}=\frac{190}{170.305}=1.116$</td><td>1.0이상</td></tr>
<tr><td rowspan="2">하부구조</td><td>교대</td><td rowspan="2">강도설계법
허용응력설계법</td><td>◦ 단면 휨 설계검토 양호
◦ 말뚝 및 기초검토 양호</td><td>1.0이상</td></tr>
<tr><td>교각</td><td>◦ 기둥의 단면검토 양호
◦ 직접기초의 안정성 양호</td><td>1.0이상</td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">보수 · 보강방안</td><td>◦ 내구성 저하방지를 위해 균열보수 및 단면보수 실시
◦ 도장박리, 녹발생 등의 손상 발생 부위에 대해 방청 및 도장보수 실시
◦ 신축이음장치 교체, 교대 영구 앵커공법, 배수파이프 재설치 및 길이연장</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">종합결론</td><td>◦ 10년이 경과된 구조물에 대하여 최초로 실시하는 정밀안전진단 용역으로써 하자만료전 정밀점검을 겸하고 있으며 외관조사 및 내구성조사, 구조해석 결과를 토대로 종합적으로 평가해 볼 때, 구조물의 안전성에 문제가 없는 것으로 평가되었으며, 발생된 손상은 공용중의 안전성은 확보되나 시설물의 사용성 및 내구성 확보를 위한 보수가 필요하다.</td><td></td></tr>
</table>

【표 2-8】 양평방향 - 전차 정밀안전진단 결과분석

구 분		외관조사 요약 및 검토의견	비고
외관조사 결과	바닥판	◦ 바닥판 하면에 국부적으로 발생된 균열 및 백태(cw=0.2mm)는 시공초기 건조수축으로 인해 발생된 균열부를 통해 콘크리트 내부 백태가 노출된 것으로 판단되어, 표면보수 후 주의관찰이 요망된다. ◦ A1측 지점부에서 보수흔적(면보수)이 조사되었으며, 일부 보수불량(파손)이 조사되었다. 국부 파손은 바닥판 단부면이 불량하여 흉벽과의 협착으로 인해 발생된 손상으로 판단되며, 박락 및 녹발생은 우수유입으로 인한 내부 철근부식으로 발생된 손상으로 판단되어 단면보수(박락손상은 철근방청 후 단면보수)가 요망된다.	

【표 2-8】 양평방향 - 전차 정밀안전진단 결과분석(계속)

구 분		외관조사 요약 및 검토의견	비고
외관조사 결과	거 더 (STB)	◦ 거더 내부 하부 플랜지(LF)에 발생된 도장박리 및 부식, 국부 볼트 부식은 거더 지점부와 Splice부를 통한 우수유입이 주요 원인이며, 하부 플랜지 횡리브와 격벽에 다수 발생된 도장박리는 작업 간 발생된 인위적 충격과 긁힘 등으로 인해 발생된 것으로 판단된다. 또한 S1-G3-D7/9 하부 플랜지에 집중되어 있는 도장박리는 도장 전처리 불량으로 인해 발생된 손상으로 판단되어, 녹제거 후 재도장이 요망된다. ◦ 감곡IC교 거더 내부 전반에 걸쳐 Splice부 실링누락이 조사되었으며, Splice부를 통한 우수유입 흔적(누수흔적)이 일부 발견되어, 거더 내부 하부플랜지 부식 방지를 위해 실링처리가 요구된다. ◦ 거더 내부 S2-G3-D18/19-LF지점에 소변이 배설되어 있어, 강재 도장부식 유발과 위생 및 외관상 혐오감을 주므로 청소가 요망된다.	
	가로보 세로보	◦ 가로보와 세로보에 발생된 도장박리 및 부식은 지점부(A1측) 바닥판 하면과 측면을 통한 우수유입이 주요 원인으로 판단되어, 녹제거 후 재도장이 요망된다.	
	교 대	◦ 진단과업 수행 중 교대 A1측 신축이음장치(모노셀 조인트) 교체를 실시하였으나, 흉벽과 교대 상면의 누수흔적 및 백태, 체수에 대한 보수는 이루어지지 않은 상태로, 백태손상에 대한 표면보수가 요망된다. ◦ 교대이동 분석결과, 복합적인 작용에 의해 이동이 발생한 것으로 판단되나, 진행성 여부를 단기간 판단하기 어려우므로 교대기울기를 초기치로 하여 향후 지속적인 관측이 요구되고, 향후 발생 가능성이 있어 적절한 조치가 필요할 것으로 판단된다.	
	교 각	◦ 상부구조 유공관에서 떨어지는 우수로 인하여 P1 코핑부 좌측면과 하면에 누수흔적 및 녹발생이 조사되었으며, 코핑부에 잡철근 미제거로 인한 녹발생이 조사되어 표면보수가 요망된다. ◦ 코핑부에 설치되어 있는 안전점검통로에 부식 및 백태, 앵커볼트 부식 등이 발생되었으며, 이는 배수파이프에서 떨어지는 우수유입, 공용 중 수분접촉 등으로 인해 발생된 손상으로 판단되어 녹 및 백태 제거 후 도장처리가 요망된다.	
	받침장치	◦ 받침장치 소울플레이트에 도장박리 및 부식이 일부 조사되었으며, 이는 신축이음부와 외측면을 통한 우수유입이 주요 원인으로 판단되어, 녹제거 후 재도장이 요망된다. ◦ 받침의 가동상태는 A1-Sh1의 가동여유량이 부족한 상태로 조사되었으나, 실측 서스판여유량이 계산 필요가동량을 만족하고 있는 상태로 주의관찰이 요망된다. ◦ 본 교량은 필요 연단거리를 만족하는 양호한 상태이다.	
	신축이음	◦ J2 신축이음 주변 퇴적물로 인한 본체 내부 이물질 퇴적이 조사되어 주기적인 청소가 요망된다. ◦ 신축이음장치 유간을 검토한 결과, 신축이음 교체가 이루어진 A1(J1)측은 필요유간을 확보하고 있으나, A2(J2)측에서 신축이음장치와 바닥판 유간이 부족한 것으로 조사되었다. 이는 교대의 이동으로 인한 유간감소로 추정되며, 유간부족으로 인해 발생될 수 있는 추가 손상을 방지하기 위하여 A2측 바닥판 절단 후 J2 신축이음장치 교체, J1/J2 팽창줄눈 설치가 필요할 것으로 판단된다.	

【표 2-8】 양평방향 - 전차 정밀안전진단 결과분석(계속)

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>외관조사 요약 및 검토의견</th><th>비고</th></tr>
<tr><td rowspan="3">외관조사결과</td><td>교면포장</td><td>◦ 코어상태조사 결과, 포장부(T=92mm)와 방수층(T=8mm)의 상태는 양호한 것으로 조사되었다.
◦ 교면포장 상면에서 국부적으로 포트홀과 식생이 조사되었으며, 포트홀은 손상정도가 경미하여 유지관리 하되, 차후 손상진전 및 규모 확대 시 보수할 수 있도록 주기적인 관찰이 요망되며, 식생은 제거하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.</td><td></td></tr>
<tr><td>배수시설</td><td>◦ 유공관 주변 백태와 우수유입을 통해 교각 상면과 안전점검통로에 2차 손상을 초래하고 있는 상태로, 적절한 보수가 요망된다.</td><td></td></tr>
<tr><td>방호벽</td><td>◦ 방호벽에 발생된 수직 및 수평균열(cw=0.1~0.3mm), 망상균열(cw=0.1mm)은 건조수축 및 온도변화에 따른 콘크리트 신축으로 인하여 발생된 손상으로 판단되며, 국부적으로 발생된 균열 및 백태(3개소, cw=4.3mm)는 균열부 우수침투를 통해 콘크리트 내부 백태가 외부로 노출된 것으로 판단되어, 균열폭에 따라 적절한 보수가 요망된다.
◦ A2측 접속슬래브 좌측 방호벽에서 온도변화에 따른 콘크리트 신축으로 인한 국부 실링재 탈락이 발생되었으며, S1 우측 방호벽에서 상단에 설치되어 있는 앵글 절단부로 물 혹은 기름이 흘러 표면오염이 발생되었다. 이에 보수의 필요성은 없을 것으로 판단되어 주의관찰 한다.</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="5">내구성조사결과</td><td>반발강도조사</td><td>◦ 반발경도 및 초음파법에 의한 콘크리트 강도조사 결과는 모두 설계기준강도를 상회하는 것으로 조사되었다.</td><td></td></tr>
<tr><td>철근배근조사</td><td>◦ 철근간격은 준공도면과 일치하는 것으로 조사되었으나, 일부 하부구조에서 피복두께부족부가 조사되어 주의관찰을 요한다.</td><td></td></tr>
<tr><td>탄산화시험</td><td>◦ 탄산화로 인한 콘크리트 내의 철근부식 가능성은 없는 것으로 조사되었다.</td><td></td></tr>
<tr><td>염화물함유량시험</td><td>◦ 염화물에 의한 부식발생 가능성이 낮은 것으로 분석된다.</td><td></td></tr>
<tr><td>균열깊이조사</td><td>◦ 균열깊이 조사 결과 균열심도가 피복두께를 초과하여 균열부에 대한 적절한 보수가 필요한 것으로 판단된다.</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">강재시험결과</td><td>초음파탐상시험</td><td>◦ 구조물의 용접 상태는 양호한 것으로 평가되었다.</td><td></td></tr>
<tr><td>도막두께 측정결과</td><td>◦ 도막두께 측정값은 모든 위치에서 도로교 표준시방서 기준 값을 상회하는 것으로 조사되어 양호한 상태로 평가되었다.</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">상태평가 결과</td><td>◦ B등급(환산점수 : 0.252)</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">안전성평가 결과</td><td colspan="2">
<table>
<tr><th colspan="2">부재</th><th>해석방법</th><th>안전성평가 결과 요약</th><th>안전율</th><th>안전성평가 결과</th></tr>
<tr><td rowspan="2">상부구조</td><td>바닥판</td><td>강도설계법</td><td>◦ $\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{121.568}{91.165}=1.333$</td><td>1.0이상</td><td rowspan="4">A</td></tr>
<tr><td>거더</td><td>허용응력설계법</td><td>◦ $\frac{f_a}{f}=\frac{190}{168.817}=1.125$</td><td>1.0이상</td></tr>
<tr><td rowspan="2">하부구조</td><td>교대</td><td rowspan="2">강도설계법
허용응력설계법</td><td>◦ 단면 휨 설계검토 양호
◦ 말뚝 및 기초검토 양호</td><td>1.0이상</td></tr>
<tr><td>교각</td><td>◦ 기둥의 단면검토 양호
◦ 직접기초의 안정성 양호</td><td>1.0이상</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

【표 2-8】 양평방향 - 전차 정밀안전진단 결과분석(계속)

구 분	외관조사 요약 및 검토의견	비고
보수 · 보강방안	◦ 내구성 저하방지를 위해 균열보수 및 단면보수 실시 ◦ 도장박리, 녹발생 등의 손상 발생 부위에 대해 방청 및 도장보수 실시 ◦ 신축이음장치교체, 교대 영구 앵커공법, 배수파이프 재설치 및 길이연장	
종합결론	◦ 10년이 경과된 구조물에 대하여 최초로 실시하는 정밀안전진단 용역으로써 하자만료전 정밀점검을 겸하고 있으며 외관조사 및 내구성조사, 구조해석 결과를 토대로 종합적으로 평가해 볼 때, 구조물의 안전성에 문제가 없는 것으로 평가되었으며, 발생된 손상은 공용중의 안전성은 확보되나 시설물의 사용성 및 내구성 확보를 위한 보수가 필요하다.	

가. 기 진단(2012년)시 측방유동 검토 결과

감곡IC교(마산, 양평) 교대의 측방유동에 대한 안정성 판정은 신축이음 장치의 협착과 관련하여 비탈면 안정해석에 의한 측방유동을 검토하였다. 지반의 특성과 기하적인 요소는 설계도서를 참고하여 결정하였고, 원호활동에 대한 안정성 검토는 Soilwork를 이용하여 수행하였다.

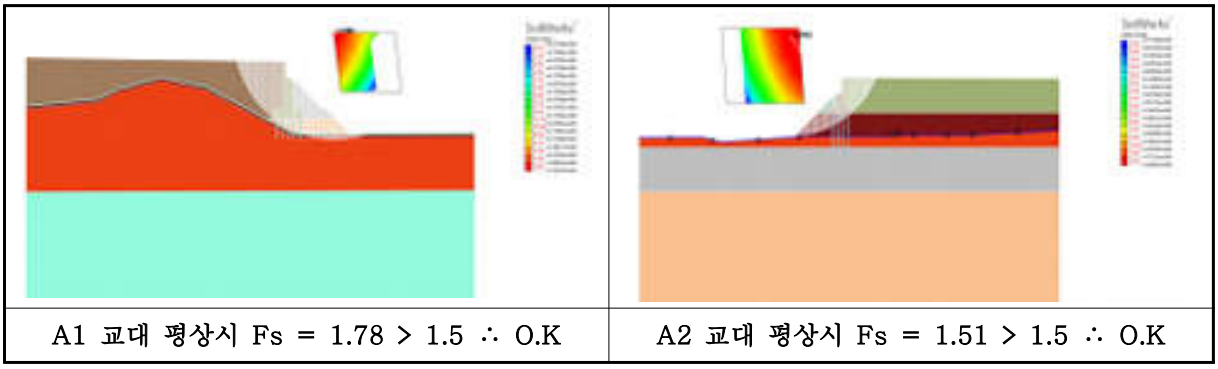
1) 적용 물성치

적용 물성치는 설계도서를 참고하여 다음과 같이 결정하였다.

【표 2-9】 적용 물성치

구 분	습윤단위중량(kN/㎥)	포화단위중량(kN/㎥)	점착력(kN/㎡)	내부마찰각
전답토층(ML)	17.0	18.0	20	20
퇴적토층(SM)	19.0	20.0	20	30
풍화암	20.0	21.0	30	30
연암	23.0	24.0	30	30
성토층	19.5	20.5	15	25

2) 검토 결과



A1 교대 평상시 Fs = 1.78 > 1.5 ∴ O.K　　A2 교대 평상시 Fs = 1.51 > 1.5 ∴ O.K

【그림 2-2】 한계평형법에 의한 측방유동의 안정성(A1, A2 교대)

파괴원호에 따른 최소안전율은 교대 A1에서 Fs = 1.78, A2에서 Fs = 1.51로 나타났으며, 허용치인 1.5를 상회하므로 교대는 측방유동의 가능성은 없는 것으로 판단된다.

2.4 보수·보강 이력

【표 2-10】 마산방향 - 보수·보강 이력사항

구 분	공사기간	설계자	시공자	공사구간	보수·보강 공법	공사금액 (천원)	비고
보수	2010.12.31.	-	-	교량받침(P1)	도장	-	
	2010.12.31.	-	-	신축이음장치(A1)	후타콘크리트	397	
	2012.12.31.	-	-	신축이음장치(A2)	모노쉘 교체	15,430	
	2013.05.31	장세민	진흥기업	바닥판 외 3종	균열보수공법 외 3종	-	FMS
	2014.12.31.	-	-	하부구조(A1)	-	540	
	2015.03.18.	-	-	신축이음장치(A1)	후타콘크리트	1,550	
	2015.09.18.	-	-	신축이음장치(A1)	강핑거 조인트	48,000	

※ 비고란의 FMS표기된 부분 외의 이력사항은 지사에서 별도 관리하는 이력임.

【표 2-11】 양평방향 - 보수·보강 이력사항

구 분	공사기간	설계자	시공자	공사구간	보수·보강 공법	공사금액 (천원)	비고
보수	2010.12.31.	-	-	하부구조(A1, A2)	기타	1,000	
	2012.12.31.	-	-	신축이음장치(A1)	모노쉘	16,778	
	2013.05.31	장세민	진흥기업	바닥판 외 3종	균열보수공법 외 3종	-	FMS
	2014.05.30.	-	-	신축이음장치, 배수시설	청소	-	
	2015.03.18.	-	-	신축이음장치(A2)	후타콘크리트	1,200	
	2015.09.18.	-	-	신축이음장치(A1)	모노쉘	17,000	

※ 비고란의 FMS표기된 부분 외의 이력사항은 지사에서 별도 관리하는 이력임.

2.5 시설물의 내진설계 여부

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

"중부내륙 고속도로(충주~여주간)건설공사 구조 및 수리계산서 제1공구 : 가남~감곡(2002.12)" 보고서 검토결과 본 과업대상 교량인 감곡C1교는 내진 1등급으로 설계되어 있는 것으로 조사되었다.

2.5.1 내진설계 조건 및 검토

【표 2-12】 내진설계 조건

구 분		내 용
설계 방법		단일모드 스펙트럼 해석
지진등급		내진 1 급
참고문헌		◦ 도로교 표준 시방서 ◦ 교량의 내진 설계
설계 조건	교대	■ 교대 하중조건 1) 지진계수 Kh = A / 2 = 0.070 (변위를 허용한 독립교대) ※도로교시방서 p.805 여기서, A : 가속도계수 = 0.14 (내진 1등급교) ※도로교시방서 p.766 2) 토압계수 (Coulomb의 토압공식 사용) · 평상시 ※도로교시방서 p.51 $K_A = \frac{\cos^2(\phi-\theta)}{\cos^2\theta\cos(\theta+\delta)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\sin(\phi-\alpha)}{\cos(\theta+\delta)\cos(\theta-\alpha)}}\right]^2}$ 여기서, ϕ : 흙의 내부마찰각 α : 지표면과 수평면이 이루는 각 θ : 벽배면과 연직면이 이루는 각 δ : 벽배면과 흙 사이의 벽면 마찰각 ※도로교시방서 p.799 · 지진시 $K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi-\theta_0-\theta)}{\cos\theta_0\cos^2\theta\cos(\delta+\theta+\theta_0)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\sin(\phi-\alpha-\theta_0)}{\cos(\theta+\delta+\theta_0)\cos(\theta-\alpha)}}\right]^2}$ 여기서, ϕ : 흙의 내부마찰각 α : 지표면과 수평면이 이루는 각 θ : 벽배면과 연직면이 이루는 각 δ : 벽배면과 흙 사이의 벽면 마찰각 ※도로교시방서 p.799 θ_0: $\theta_0 = \tan^{-1}(Kh/1-Kv)$ ※연직가속도계수(Kv)는 고려하지 않음 3) 토압계수의 계산: 지진시(ϕ=35.0°)
	교각	■ 교각 지진하중 설계조건 1) 가속도계수 :A=0.14 2) 내 진 등 급 : 내진 1등급 3)지반계수 : Ⅱ지역(S=1.20) 4)응답수정계수 - 교각 : R = 3.0 - 기초 : R = 1.0 - 상부구조와 교대 : R = 0.8 5) 탄성계수 : E_c = 2.35 × 10^6 t/m2 6) 해석방법 : 단일모드 스펙트럼 해석법
	받침	■ 교좌장치 용량 = 수평하중 × 증가계수 1.35 적용

가. 하부구조 내진설계 검토

1) 교대

① 지진시 안정계산 검토[주1)]

구 분	연직력(kN)	수평력(kN)	M(저항)	M(전도)
하중	1395.35	604.33	5497.92 (kN·m)	2559.58 (kN·m)

주1) 기존계산서 3. 작용하중계산 및 안정검토 중 CASE-4 참조

㉠ 전도에 대한 검토

- 말뚝기초이므로 불필요.(※말뚝검토 참조)

㉡ 활동에 대한 검토

- 말뚝기초이므로 불필요.(※말뚝검토 참조)

㉢ 말뚝검토(ϕ508)('말뚝지지력 산정' 부분 참조)

- 지진시 허용지지력 = 1496.859kN/m^2
- Fs = 1496.859 / 588.77 = 2.542 안정

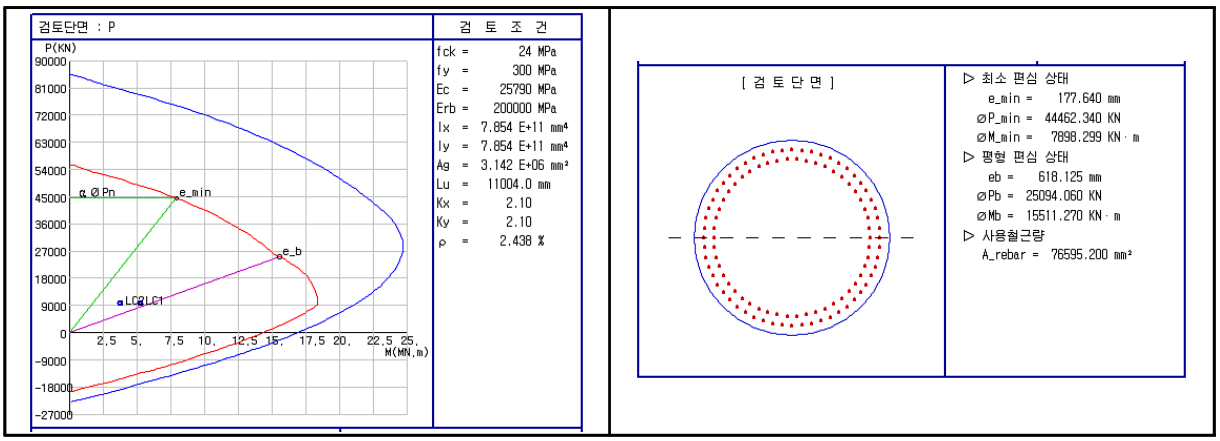
2) 교각

① 단면력 정리 및 검토

구 분		P_u(kN)	P_N(kN)	P_u / P_N	M_u (kN·m)	ϕM_n (kN·m)	M_u / ϕM_n	비고
CASE(6)	교축방향	9831.63[주2)]	27755.981	O.K. (2.823)	5189.059[주3)]	14649.391	O.K. (2.823)	
	교축 직각방향		33757.548	O.K. (3.434)	3721.127[주3)]	12776.738	O.K. (3.434)	

주2) 기존계산서 '6.기둥의 설계' 중 CASE(6) 참조
주3) 구조계산 프로그램(RC Mania)을 이용하여 나온 결과 값

② P-M 상관도



2.6 자료분석 결과

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

【표 2-13】 자료분석 결과

구 분	수집 자료	자료 분석 결과	정밀안전진단 과업진행 방향
건설 관련 자료	◦일반보고서 ◦구조 및 수리계산서 ◦준공도면 ◦시공기록보고서	◦ 일반보고서 및 준공도면은 설계 당시 기준에 준하여 작성된 것으로 확인됨. ◦ 일반보고서, 준공도면, 구조계산서의 구조물 치수는 동일한 것으로 확인됨.	◦ 현장조사 시 부재치수를 실측하여 준공도면과 비교, 검토 후 치수가 상이할 경우 안전측으로 구조계산토록 하고 도면을 재작성하며, 실측치와 동일할 경우는 준공도면을 기준으로 과업을 진행토록 함. ◦ 신축이음장치의 형식을 확인하여 관리대장상과 일치하는지 확인하도록 함. ◦ 현 설계기준을 적용하여 구조검토를 실시함.
	◦시공 중 안전점검	◦ 시공 중 구조물에 대한 문제점은 없는 것으로 확인됨.	◦ 구조물에 대한 문제점은 없는 상태였으나, 사용 중 손상이 발생되거나 조사가 누락된 면이 있을 수 있으니 상세외관조사 시 면밀히 조사함.
유지 관리 자료	◦점검 및 진단 이력	◦ 점검 및 진단 이력을 검토한 결과, 자체수행을 통하여 교대상면 물고임으로 인한 열화, 백태, 거푸집 철선 미제거로 인한 녹발생, 경미한 누수, 슈 녹발생, 배수파이프 연결부족, 교대 도수로 및 실런트 파손, 배수구 세굴 등이 조사됨.	◦ 점검 시 조사된 손상에 대한 사항을 상세외관조사 시 면밀히 조사하고, 추가 손상 확인, 보수여부 및 대책방안 마련. ◦ 금회 정밀안전진단이 초기자료이므로, 차후 비교, 검토 자료로 활용하여 안전성 변화 여부 확인.
	◦보수 · 보강 이력	◦ 보수 · 보강 이력을 검토한 결과, 배수시설 및 하부구조 보수 등이 수행되어, 본 교량은 지속적인 유지관리가 진행된 것으로 평가됨.	◦ 보수 · 보강 이력사항에는 보수부에 대한 위치가 제시되어 있지 않으므로 보수된 손상명에 대한 사항을 상세외관조사 시 면밀히 조사함.
	◦기술과제 자료	◦ 자체 점검은 점검계획에 따라 적정하게 시행된 것으로 확인되며, 구조적 결함은 없는 것으로 확인되었고, 일부 경미한 결함에 대한 지속적인 관리 및 하자보수가 시행된 것으로 판단됨.	◦ 기술자문 검토서를 참고자료로 활용하여 상세외관조사 시 면밀히 조사하고, 추가 손상확인, 보수여부 및 대책방안 마련.

제3장
현장조사 및 시험

3.1 개 요
3.2 외관조사(마산방향)
3.3 외관조사(양평방향)
3.4 콘크리트 내구성조사
3.5 강재 내구성조사
3.6 현장조사 결과요약

제3장 현장조사 및 시험

3.1 개 요

감곡IC교(마산, 양평)는 설계하중 DB-24(DL-24)의 고속국도 교량으로서, 2002년에 준공되어 약 14년 정도 공용 중에 있으며, 충청북도 음성군 감곡면 상우리(중부내륙선, 이정 251.02㎞)에 위치하고 있는 편도 2(마산)~3차로(양평) 교량이다.

본 교량은 총폭 11.0(마산)~28.0m(양평), 총연장 110.0m (55.0m + 55.0m)이며, 상부구조는 2경간의 Steel Box Girder 형식으로써, 교각의 형식은 다주형이고 기초는 확대기초(P1)로 이루어져 있으며, 교대의 형식은 역T형이고 기초는 강관말뚝기초로 시공되어 있다.

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

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

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

【표 3-1】 부재별 조사항목

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

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

【표 3-2】 현장조사 기간

구 분	일 시	조사내용	수행자
사전답사	2016.06.20. ~ 06.22.	현장답사, 구조물 현황조사	서외택 외 20명
1차 현장조사	2016.07.11. ~ 08.30.	외관조사, 비파괴시험	
2차 현장조사	2016.10.10. ~ 10.25.	추가조사 (받침이동량및 균열 진행성 2차 측정 등)	

【표 3-3】 감곡IC교(마산, 양평)의 일반현황, 하부 주변현황 및 접근장비

일반현황				주변현황 (교차시설물 등)	조사방법
시설물명	형식	연장 (m)	경간구성		
감곡IC교 (마산, 양평)	STB	110.0	2@55.0 (S1~S2)	중부내륙선, 상우길	고소점검차

감곡IC교 하부는 리도, 중부내륙선을 횡단하며, 접근이 용이한 부재의 외관조사는 도보로 실시하였고, Steel Box Girder 외부, 외측 바닥판 하면 등 접근이 난이한 부재는 고소점검차, 사다리, 헬리곱터 드론(4k) 등을 이용하여 실시하였다.



【그림 3-1】 구간별 근접장비 활용방법



도보를 이용한 외관조사



고소점검차를 이용한 외관조사

3.2 외관조사(마산방향)

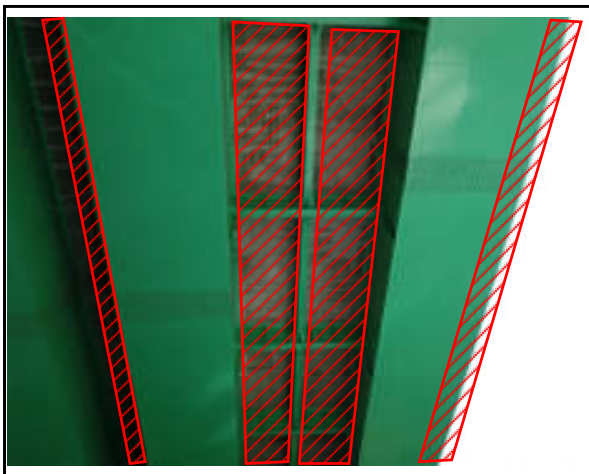
3.2.1 상부구조

가. 바닥판

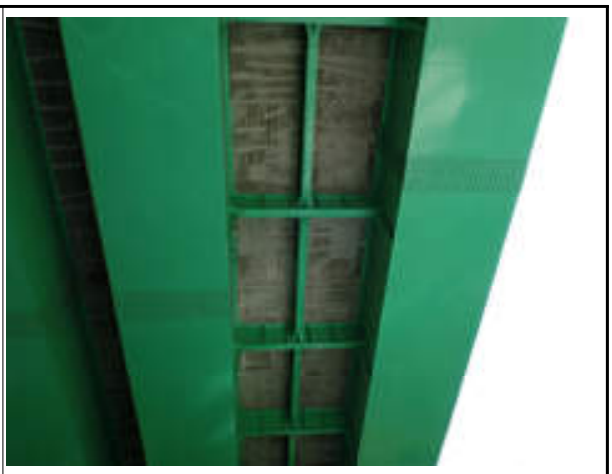
감곡IC교(마산)는 총 2경간(2@55.0m=110.0m)으로 구성되어 있으며, 상부구조는 강박스거더(Steel Box Girder)로 시공되어있다. 따라서, 감곡IC교(마산)의 바닥판하면의 경우 거더와 거더 사이와 좌·우측 캔틸레버부는 콘크리트가 노출되어 시공되었다.

외관조사는 고소점검차를 이용하여 근접한 후 시공초기 및 공용 중 발생할 수 있는 손상(균열 및 백태, 누수, 협착에 의한 파손 등)을 중점적으로 조사하였다.

바닥판하면과 교대 흉벽의 맞붙음(협착)에 대해 기 점검 및 진단 결과를 비교·분석하고 금회 조사 시 손상의 진행성 중점적으로 조사하여 원인 및 보수방안을 제시하였다.



콘크리트 바닥판하면 조사범위



콘크리트 바닥판하면 전경

1) 외관조사 결과

【표 3-4】 마산방향 - 바닥판하면 외관조사 결과

구 분	균열		열화 손상					
	Cw=0.3㎜미만(m)		백태(㎡)		박락(㎡)		녹발생(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	18.90	13	0.04	1	0.32	2	0.30	1
S2	-	-	0.01	1	1.32	5	0.10	1
합계	**18.90**	**13**	**0.05**	**2**	**1.64**	**7**	**0.40**	**2**

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S1 바닥판 하면 균열(0.2㎜/2.2m)</td><td>현 황</td><td>◦S2 바닥판 하면 박락(A=0.80㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦건조수축 및 온도변화</td><td>원 인</td><td>◦유간부족에 따른 단부박락(우수유입)</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦지속관찰</td><td>대 책</td><td>◦단면보수(1안)</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S1 바닥판 하면 박락(A=0.40㎡)</td><td>현 황</td><td>◦S2 바닥판 하면 박락(A=0.50㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦유간부족에 따른 단부박락(우수유입)</td><td>원 인</td><td>◦유간부족에 따른 단부박락</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦단면보수(1안)</td><td>대 책</td><td>◦단면보수(1안)</td></tr>
</table>

① 바닥판하면 협착(박락, 파손)

- 감곡IC교(마산)은 바닥판하면 단부와 흉벽 간의 유간을 충분히 확보하지 못하고 시공되어진 상태에서 공용중 흉벽의 뒷채움에 의한 토압에 의한 교대 전방 이동, 상부하중에 의한 박스 자체의 회전 이동량 및 온도 팽창량 등을 흡수할 정도의 충분한 유간을 확보하지 못하여 맞붙은 것으로 사료된다. 바닥판하면 협착에 의한 박락은 단부에서 떨어져 나간 상태와 상부 신축이음장치에서 바닥판하면의 균열부 등으로 우수가 유입하여 동결융해에 의한 박락이 발생되었다.

3) 기 진단결과와의 비교・분석

■ 기존 진단결과 조사된 손상은 균열, 누수흔적/백태, 유공관/배수관 주변 누수흔적 및 백태, 파손(박락) 등으로 조사되었으나, 금회 진단 결과 대부분 보수로 인해 손상물량은 크게 감소한 상태이다. 그러나 일부 손상의 경우 기존과 동일하게 나타난 상태이다.

【표 3-5】 마산방향-바닥판 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증・감
			개소	수량	개소	수량	
바닥판	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	350	687.50	13	18.90	▽
	•백태	㎡	8	0.83	2	0.05	▽
	•녹발생	㎡	-	-	2	0.40	△
	•박락	㎡	3	0.10	7	1.64	△

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

■ 금회 정밀안전진단 시 바닥판 하면 손상으로는 균열, 백태, 박락, 녹발생 등의 손상이 발생되었다.

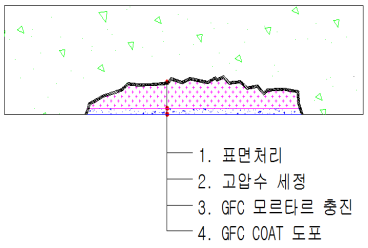
■ 바닥판에 발생한 균열 및 망상균열은 거더교 바닥판 하면에 일반적으로 나타나는 균열로써 콘크리트가 타설되는 표면적이 큰 바닥판의 습윤 감소로 인한 콘크리트 체적변화에 따른 건조수축, 수화열에 따른 외부(거더)구속응력 등이 복합적으로 작용한 것으로 시공초기 균열로 판단되며, 일부 균열은 바닥판 양생시 균열부를 통한 내부수 유출로 백태가 발생한 상태이다. 따라서 미세균열은 현시점의 보수보다는 지속관찰 후 균열 진전시 보수를 실시하며, 백태부의 경우 내구성 확보를 위하여 표면처리보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

■ 캔틸레버 바닥판 유공관 및 배수관 누수흔적 및 백태는 유공관 시공 후 마감불량으로 인해 노면수가 유입되어 누수흔적이 발생된 것으로 판단되며, 유공관 주변으로 방수 몰탈 등으로 마감을 실시하고 손상부위에 대하여 표면처리보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

■ 바닥판 하면 단부 협착에 의한 박락 손상은 2012년 정밀안전진단부터 조사되어 금회까지 발생되었고 일부 증가되었다. 현재 교량의 받침 및 신축이음장치 융기 등이 발생되지 않은 점으로 보아 수평변위는 공용기간이 지남에 따라 수렴된 것으로 판단되며, 또한, 교대의 기울기 조사와 측방유동검토에 대한 결과 기울림 및 수평변위는 없는 것으로 분석되었다. 다만, 공용중인 교량으로써 협착된 거더단부와 흉벽에 차량의 윤하중으로 진동 및 충격에 의해 파손 및 박락 등은 계속적으로 발생 할 수 있으므로 적절한

보수방안이 필요한 것으로 판단되어 금회 정밀안전진진단시 보수보강방안을 제시하였다.

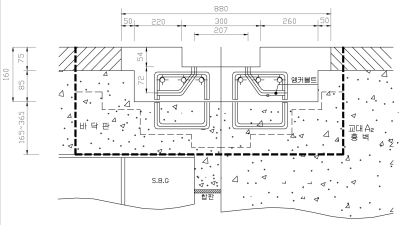
- 교대 이동은 유간이 폐쇄된 현 상태에서 단기간에 진행성 여부를 판단하기 어렵기 때문에 1차적으로 1안)으로 내구성 확보를 위해 단면보수를 실시하고, 2안)으로 교대의 지반보강 그라우팅(A1)과 영구앵커공법(A2)을 이용한 보강을 실시하고 추가적인 손상여부를 관찰한 후 손상이 진행되거나 추가적으로 발생된다면 3안)으로 바닥판하면 단부를 절취하는 보수방법이 있으나 이는 신축이음장치를 지지하는 단부로서 신축이음장치와 함께 교체가 진행되어야하는 이점이 있다. 따라서 경제성을 비교 검토 후 적절한 보수보강을 실시하여 바닥판하면 단부와 교대 흉벽의 유간을 확보하여야 한다.



1안) 단면보수



2안) 교대 영구앵커 공법



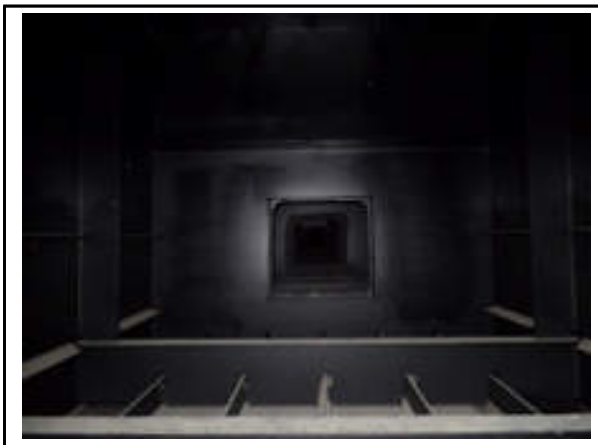
3안) 바닥판하면 단부 절단

나. Steel Box Girder

바닥판으로부터 전달되는 하중을 지지하고 교량받침을 통하여 하부구조로 하중을 전달해 주는 역할을 하는 거더는 휨과 전단 및 비틀림에 대한 저항력이 큰 Steel Box Girder 형식으로 시공되었다.

1) Steel Box Girder 내부

- Steel Box Girder 내부 조사 시 주요 용접 결함 조사, 리브 변형, 체수현상, 볼트 부식 등을 중점적으로 조사하였다.





Steel Box Girder 내부 전경

① 외관조사 결과

【표 3-6】 마산방향 - Steel Box Girder 내부 외관조사 결과

구 분		모재 및 연결부 손상				
		용접불량(PIT)	비드불량(m)		변형(m)	
		개소	물량	개소	물량	개소
S1	G1	8	-	-	0.2	1
	G2	26	-	-	-	-
S2	G1	2	0.3	2	-	-
	G2	3	-	-	-	-
합계		39	0.30	2	0.2	1

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

구 분		표면열화					
		도장박리(㎡)		부식(㎡)		실링누락	인분배설
		물량	개소	물량	개소	개소	개소
S1	G1	1.05	4	0.29	2	-	-
	G2	0.01	1	-	-	2	-
S2	G1	-	-	-	-	3	-
	G2	-	-	-	-	2	1
합계		1.06	5	0.29	2	7	1

② 손상별 원인분석



현 황	◦S1-G2 용접불량(PIT-3EA)
원 인	◦용접작업 자세 불안정
대 책	◦지속관찰



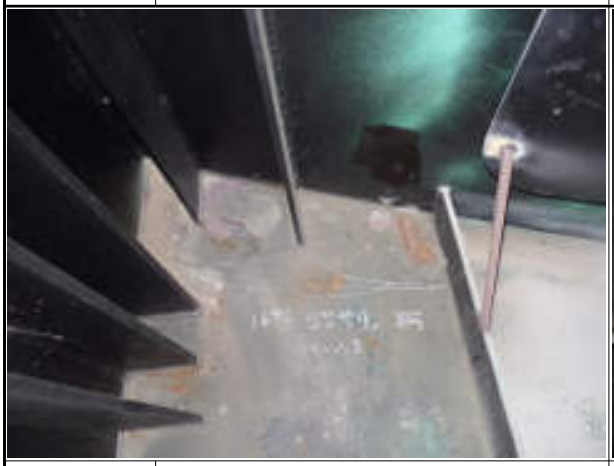
현 황	◦S2-G1 용접불량(PIT)
원 인	◦용접작업 자세 불안정
대 책	◦지속관찰



현 황	◦S3-G1 비드불량(L=0.20m)
원 인	◦용접불량
대 책	◦지속관찰



현 황	◦S1-G1 변형(L=0.20m)
원 인	◦시공 중 인위적 충격
대 책	◦지속관찰



현 황	◦S1-G1 도장박리(A=0.50㎡)
원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화
대 책	◦재도장



현 황	◦S1-G1 부식(A=0.09㎡)
원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화
대 책	◦녹제거 후 재도장



현 황	◦S2-G1 실링재 누락
원 인	◦시공미흡
대 책	◦실링재 시공



현 황	◦S2-G2 배설물(1ea)
원 인	◦배설물
대 책	◦청소

③ 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단결과 조사된 손상은 도장박리/부식, 변형, 용접결함(Pit, 비드면 불량), 실링누락, 인분배설 등으로 조사되었으며, 금회 정밀안전진단 결과와 대체적으로 동일한 것으로 나타났다. 용접불량(Pit, 비드불량)에 대한 보수가 실시되어 기 진단대비 금회 손상물량이 감소한 것으로 조사되었다.



Pit 및 비드면 불량 보수 현황

【표 3-7】 마산방향-Steel Box Girder 내부 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증・감
			개소	수량	개소	수량	
Steel Box Girder 내부	•Pit	개소	361	361	46	46	▽
	•비드불량	m	22	2.61	4	0.50	▽
	•변형	m	1	0.20	1	0.20	-
	•도장박리, 부식	㎡	111	1.00	26	1.55	△
	•실링누락	개소	32	32	7	7	▽
	•인분배설	개소	1	0.25	1	1	△

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄
주)거더 내부 물량 비교는 격벽을 포함한 물량을 비교하였음.

④ 검토의견

- Steel Box Girder 내부는 전반적으로 양호한 상태로 조사되었으나, 일부 개소에서 피트(Pit), 비드불량, 변형, 도장박리, 부식, 실링누락, 인분배설 등의 손상이 조사되었다.
- 거더 내부에 국부적으로 발생된 도장박리 및 부식은 도장 전처리 불량과 Splice부를 통한 우수유입이 주요 원인으로 판단되며, 재도장이 적절할 것으로 판단된다.
- 거더 내부 주부재 및 보조부재의 용접면에서 피트(Pit), 비드불량 용접결함이 조사되었으며, 이는 용접 시공시 용접전류 및 용접속도 불량, 용접작업 실수 등으로 인하여 발생된 것으로 판단된다.
- 용접비드 표면 피트는 구멍 직경이 작고 산재된 경우에는 강도에 큰 영향이 없지만, 집중적으로 발생한 경우는 응력집중의 원인이 되는 바, 용접불량 부위를 가우징으로 완전히 제거한 후 다시 용접을 실시하는 것이 원칙이다. 그러나 본 교량은 용접보수 시 주

변 건전부위에 추가 손상이 발생할 가능성이 높고, 용접작업의 불안정성 등으로 현실적으로는 적용이 어려울 것으로 판단되며, 용접결함 범위가 작고 기준(한 이음에 대해 3개 또는 1m에 대해 3개 허용(단, Φ1㎜ 이하의 피트는 3개를 1개로 간주))이내로서 현재까지 피로균열과 변형 등의 주요 손상이 발생하지 않는바 현재 용접결함의 정도가 구조물의 안전성에 미치는 영향은 경미한 것으로 판단된다. 따라서, 재용접 등 보수보다는 지속적인 관찰을 실시하고, 피로균열의 발생시 보수·보강 대책을 수립하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

- 금회 거더 내부에서 조사된 비드불량(외관불량)은 용접작업공의 숙련도와 용접전류의 영향 등으로 인해 비드면의 형상과 외관이 불량하게 나타난 것으로 판단되며, 응력집중으로 인한 균열발생 유무에 대해 주기적인 관찰이 필요할 것으로 판단된다.
- S1-G1 내부 상부플랜지 종리브에 국부적인 변형(1EA)이 조사되었으며, 이는 시공 중 인위적 충격으로 인한 모재 변형으로 판단되며, 그 손상정도가 경미하여 지속적인 관찰을 통하여 향후 변형정도가 증가시 적절한 보수·보강방안이 필요할 것으로 판단된다.
- 거더 내부에 Splice부 실링누락이 조사되었으며, 실링재 시공을 시행하여 Splice부를 통한 우수유입을 막아야 할 것으로 판단된다. 또한 인분배설 및 이물질은 위생 및 미관을 위하여 청소가 이루어져야 할 것으로 판단된다.
- 거더 내부에 설치되어 있는 점검 등 케이블은 현재 전 구간에 절단되어 있는 상태이다.
- 결과적으로, Steel Box Girder 내부는 구조적 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다. 다만, 적절한 보수 및 지속적인 관찰을 통하여 향후 유지관리를 해야 할 것으로 판단된다.

2) 격벽

격벽은 Steel Box 단면이 뒤틀림에 의한 응력을 억제하기 위해 설치한 구조물로서 Steel Box Girder 내부와 동일한 방법으로 근접하여 외관조사를 실시하였다.



Steel Box Girder 내부 격벽 전경

① 외관조사 결과

【표 3-8】 마산방향 - Steel Box Girder 격벽 외관조사 결과

구 분		모재 및 연결부 손상			표면열화	
		용접불량(PIT)	비드불량(m)		도장박리(㎡)	
		개소	물량	개소	물량	개소
S1	G1	-	-	-	0.02	1
	G2	6	0.10	1	-	-
S2	G1	1	0.10	1	0.02	2
	G2	-	-	-	0.16	16
합계		7	0.20	2	0.20	19

② 손상별 원인분석





현 황	◦S2-G1 용접불량(PIT)	현 황	◦S1-G1 도장박리(A=0.02㎡)
원 인	◦용접작업 자세 불안정	원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화
대 책	◦지속관찰	대 책	◦재도장

③ 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단결과 조사된 손상은 도장박리, 용접결함(Pit, 비드면불량) 등으로 조사되었으며, 금회 정밀안전진단에 따른 손상과 동일한 것으로 나타났다. 그러나 손상물량의 경우 적절한 보수를 실시함으로써 대체적으로 감소하거나, 기 진단 결과와 비교해 비슷한 수준으로 나타났다.

④ 검토의견

- Steel Box Girder 내부의 격벽은 전반적으로 양호한 상태로 조사되었으나, 일부 개소에서 피트(Pit), 비드불량, 도장박리 등의 손상이 조사되었다.
- 격벽 용접면에서 피트(Pit), 비드불량 등의 용접결함이 조사되었으며, 이는 거더 내부와 마찬가지로 용접 시공시 용접전류 및 용접속도 불량, 용접작업 실수 등에 의해 발생된

것으로 판단되며, 현재까지 피로균열과 변형 등의 주요 손상이 발생하지 않았으며, 또한 현재 용접결함의 정도가 구조물의 안전성에 미치는 영향은 경미한 것으로 판단된다. 따라서, 재용접 등 보수보다는 지속적인 관찰을 실시하고, 피로균열의 발생시 보수·보강 대책을 수립하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

- 도장박리 역시 거더 내부와 유사한 형태로 시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화 등에 의한 것으로 판단되며, 내구성 저하방지를 위해 재도장을 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 결과적으로, Steel Box Girder 격벽은 구조적 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었으며, 다만, 적절한 보수 및 지속적인 관찰을 통하여 향후 유지관리 해야 할 것으로 판단된다.

3) Steel Box Girder 외부

Steel Box Girder 외부에 대해서는 고소점검차를 이용하여 근접 조사를 실시하였으며, Steel Box Girder 주요 조사 내용은 Splice부 볼트부식, 부식, 도장박리 등을 중점적으로 조사하였다.



Steel Box Girder 외부 전경

① 외관조사 결과

【표 3-9】 마산방향 - Steel Box Girder 외부 외관조사 결과

구 분		표면열화					
		도장박리(㎡)		부식(㎡)		오염(㎡)	
		물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	G1	0.01	1	0.07	4	-	-
	G2	-	-	-	-	-	-
S2	G1	0.01	1	-	-	-	-
	G2	-	-	0.21	7	0.72	2
합계		0.02	2	0.28	11	0.72	2

② 손상별 원인분석

			
현 황	◦S2-G2 거더외부 부식(A=0.03㎡)	**현 황**	◦S2-G2 거더외부 오염(녹)(A=0.36㎡)
원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화	**원 인**	◦상부 우수유입에 따른 노후화
대 책	◦녹제거 후 재도장	**대 책**	◦재도장

③ 기 진단결과와의 비교 · 분석

- 기 진단결과 조사된 손상은 도장박리 및 부식 등이 조사되었으며, 금회 정밀안전진단시 조사된 손상과 대체로 동일한 것으로 나타났다. 그러나 각각의 손상물량은 증가하였으며, 이는 공용년수 증가에 따른 노후화로 인해 일부 손상물량은 증가한 것으로 조사되었다.

【표 3-10】 마산방향-Steel Box Girder 외부 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증 · 감
			개소	수량	개소	수량	
Steel Box Girder 외부	•도장박리, 부식	㎡	14	0.12	13	0.30	△
	•오염	㎡	-	-	2	0.72	△

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

④ 검토의견

- Steel Box Girder 외부에 대한 외관조사결과, 구조적인 손상은 없으나 도장박리, 부식, 오염 등이 조사되어 내구성 확보를 위해 보수가 필요한 상태이다.
- 도장박리, 부식은 공용기간 증가로 인한 교량의 노후화 및 태양광에 의한 열화, 도장전 바탕 처리 불량 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 구조물의 내구성 확보를 위해 도장박리는 재도장을 실시하고, 부식, 볼트부식은 녹제거 후 재도장을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

- 거더 외부에서 조사된 오염은 바닥판 하면 캔틸레버부의 유공관으로부터 떨어지는 우수로 인하여 발생된 것으로 판단되며, 재도장을 통하여 내구성을 향상하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- Steel Box Girder 외부는 구조적 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었으며, 적절한 보수 및 지속적인 관찰을 통하여 향후 유지관리를 해야 할 것으로 판단된다.

4) 강 가로보 및 세로보

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



강 가로보 및 세로보 전경

① 외관조사 결과

- 강 가로보 및 세로보에 대한 외관조사결과, 특이 손상이 없는 대체적으로 양호한 상태인 것으로 조사되었다.

② 기 진단결과와의 비교 · 분석

- 기 진단결과 가로보 외관 조사결과는 도장손상이나 부식, 각종 변형 및 균열, 이상음 발생 등의 손상이 없는 대체적 양호한 상태인 것으로 조사되었으며, 금회 정밀안전진단 역시 양호한 상태로 조사되었다.

③ 검토의견

- 금회 가로보의 외관조사 결과, 특이 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다.

3.2.2 하부구조

가. 교대

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

감곡IC교(마산)의 교대형식은 역T형식이고, 기초형식 A1, A2는 강관말뚝기초로 시공되어 있으며, 금회 현장 조사시 교대 구체 및 흉벽, 날개벽, 흉벽 유도배수관 배출경로, 교대주변 측벽계단, 배수측구, 법면사면(압성토)를 중점적으로 조사하였다.

교대의 기초는 상시 매설된 상태로 육안조사가 불가하나, 주변지반 침하 및 구조적 결함이 조사되지 않아 기초 상태는 큰 문제점이 없을 것으로 판단된다.



교대(A1) 전경



교대(A2) 전경

1) 외관조사 결과

【표 3-11】 마산방향 - 교대 외관조사 결과

구 분	균열		표면열화					
	Cw=0.3㎜미만(m)		누수흔적(㎡)		백태(㎡)		박리(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
A1	-	-	4.20	2	-	-	-	-
A2	1.40	1	0.44	6	0.68	3	1.58	2
합계	**1.40**	**1**	**4.64**	**8**	**0.68**	**3**	**1.58**	**2**

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦A2 흉벽 균열(0.1㎜/1.4m)
원 인 ◦건조수축 및 온도변화
대 책 ◦지속관찰</td><td>현 황 ◦A2 흉벽 누수흔적(A=0.04㎡)
원 인 ◦신축이음부를 통한 우수유입
대 책 ◦신축이음부 선행보수 후 표면보수</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦A2 흉벽 백태(A=0.6㎡)
원 인 ◦신축이음부를 통한 우수유입
대 책 ◦신축이음부 선행 보수후 표면처리</td><td>현 황 ◦A2 구체부 박리(A=0.08㎡)
원 인 ◦신축이음부를 통한 우수유입
대 책 ◦신축이음부 선행 보수후 표면처리</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="2">현 황 ◦A2 구체부(상면) 박리(A=12.75㎡) – 금회 진단 기간 중 보수 사진</td></tr>
</table>

3) 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단시 외관조사 결과, 구체 및 흉벽에서 건조수축과 단면변화 응력집중으로 인한 균열(Cw=0.1~0.2㎜) 및 망상균열, 신축이음부 우수유입으로 인한 흉벽 누수흔적 및 체수, 압성토 공동, 블럭이격 등이 조사되었으나, 금회 진단시에는 균열, 누수흔적, 백태, 박리 등의 손상이 조사되었다.
- 기 진단시 조사된 손상은 대부분 보수되었으며, 금회 발생한 손상은 추가로 조사된 것으로 판단된다. 교대 A1, A2 보호 블록(압성토) 사면은 파손, 슬라이딩에 의한 사면 침하 등은 조사되지 않았다.

【표 3-12】 마산방향-교대 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증・감
			개소	수량	개소	수량	
교대	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	96	53.80	1	1.40	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	3	1.18	-	-	▽
	•누수흔적	㎡	9	13.68	8	4.64	▽
	•백태	㎡	-	-	3	0.68	△
	•박리	㎡	-	-	2	1.58	△
	•파손, 재료분리	㎡	2	0.24	-	-	▽
	•실링재탈락	m	1	1.10	-	-	▽
	•압성토 공동, 블럭이격	㎡	2	1.18	-	-	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

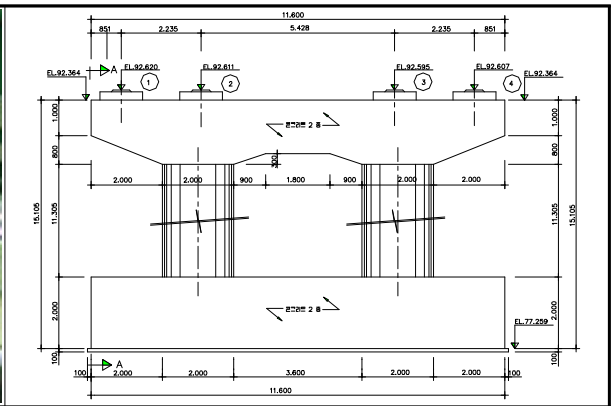
- 교대는 균열(Cw=0.3㎜미만), 누수흔적, 백태, 박리 등의 손상이 조사되었다.
- 교대에 발생한 균열의 형상 및 발생 위치 등을 검토한 결과, 건조수축 및 온도변화에 의해 발생된 비구조적인 균열로 판단되며, 손상정도가 경미하여 보수의 긴급성은 없으므로, 지속관찰을 통해 균열 진전시 보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 교대에서 발생한 누수흔적, 백태, 박리는 상부 신축이음부에서 유입된 우수로 인하여 발생된 것으로 판단되며, 내구성 확보를 위하여 표면처리보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 금회 A2 구체부 상면에 발생한 박리(A=12.75㎡)는 상부 신축이음부를 통한 우수유입이 주요 원인으로 판단되며, 금회 진단기간 중 내구성 확보를 위하여 표면처리보수(2016.11.)가 이루어진 상태이다.

나. 교각

상부구조를 지지하는 구조물인 교각형식은 Ⅱ형 교각식이고, 기초형식(P1)은 확대전면기초로 시공되어 있다. 감곡IC교는 2경간 교량으로 교각이 1개소로 유지관리를 용이하게 하기 위한 출입사다리 및 점검통로가 시공되어 있어 도보점검 및 고소점검차를 이용하여 조사하였다.



교각(P1) 전경



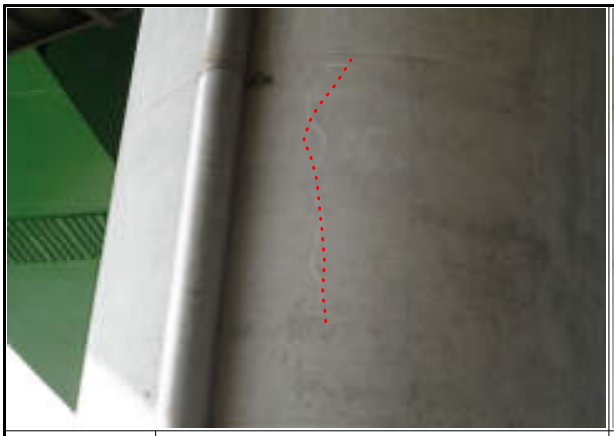
교각(P1) 제원(준공도)

1) 외관조사 결과

【표 3-13】 마산방향 - 교각 외관조사 결과

구 분	균열			
	균열 Cw=0.3㎜미만(m)		망상균열 Cw=0.3㎜미만(㎡)	
	물량	개소	물량	개소
P1	8.60	10	32.75	8
합계	**8.60**	**10**	**32.75**	**8**

2) 손상별 원인분석



현 황	◦P1 교각부 균열(0.2㎜/1.3m)
원 인	◦건조수축 및 온도변화
대 책	◦지속관찰



현 황	◦P1 교각부 망상균열(A=4.5㎡)
원 인	◦건조수축 및 온도변화
대 책	◦지속관찰

3) 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단 결과, 균열 및 망상균열, 이음부 이물질 미제거, 표면오염 등이 발생하였으나, 금회 진단시 확인한 결과 전반적인 보수를 실시한 상태이다. 그러나 공용년수의 증가로 인해 균열 및 망상균열(Cw=0.3㎜미만) 등의 손상이 추가 조사되었다.

【표 3-14】 마산방향-교각 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증・감
			개소	수량	개소	수량	
교각	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	104	53.60	10	8.60	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	31	26.21	8	32.75	△
	•이음부 이물질미제거	m	1	1.60	-	-	▽
	•표면오염	㎡	1	0.40	-	-	▽

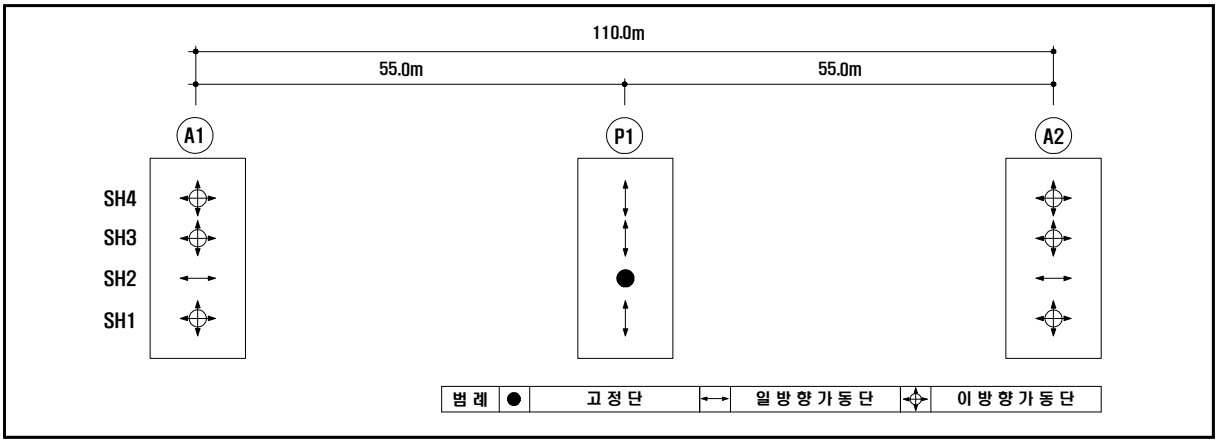
주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 교각은 전반적인 보수를 실시한 상태이나 균열, 망상균열 등의 손상이 조사되었다.
- 균열 및 망상균열(최대폭 : 0.2㎜)은 균열의 형상 및 발생 위치 등을 검토한 결과, 건조수축 및 온도변화에 의해 발생된 비구조적인 균열로 판단되며, 손상정도가 경미하여 보수의 긴급성은 없으므로, 지속관찰을 통해 균열 진전시 보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 망상균열(Cw=0.2㎜)은 재령초기 표면 건조수축으로 인해 발생된 것으로 판단되며, 『건조수축은 콘크리트가 수화반응을 하는데 필요한 수량은 시멘트량의 40%이하로 알려져 있다. 그러나, 일반적으로 사용되는 콘크리트의 물/시멘트비는 45~60% 정도가 가장 많은 실정이다. 따라서, 워커빌리티에 기여한 잉여수가 건조하면서 콘크리트는 수축을 하게 되므로 콘크리트의 건조수축에 의한 체적변화는 보통 다른 구조체에 의해 저지되기 때문에, 이러한 제약으로 인하여 인장응력이 발생하면서 콘크리트에 균열을 일으키게 된다. 건조수축 균열은 기본적으로 두꺼운 부재와 얇은 부재의 건조속도 차이로 발생하는 인장력과 건물 전체의 수축으로 발생하는 인장력의 작용으로 발생하는 경우가 많다.』(“콘크리트 균열의 원인”, 한국콘크리트학회 학회지 제6권4호, 1994.8)
- 금회 조사결과, 교각은 양호한 상태로 판단되며 각 손상에 맞는 적절한 보수를 실행하고 향후 유지관리가 필요할 것으로 판단된다.

다. 교량받침

본 교량의 받침장치은 Pot Bearing받침으로 총 12개소가 시공되었으며, 전차 점검에서 확인된 손상에 대하여 전반적인 보수가 완료된 상태이며, 금회 추가 손상으로 받침몰탈, 받침 콘크리트 균열, 파손과 볼트부식 및 도장박리가 일부 조사되었다. 교량받침 배치현황은 다음 그림과 같다.



【그림 3-2】 마산방향 - 교량받침 배치도



교량받침 전경(A1-Sh1, 양방향)



교량받침 전경(P1-Sh2, 고정단)



교량받침 전경(A1-Sh2, 일방향)

1) 외관조사 결과

【표 3-15】 마산방향 - 교량받침 외관조사 결과

구 분	받침본체		받침콘크리트, 받침몰탈					
	볼트부식	도장박리	균열 Cw=0.3㎜미만(m)		균열 Cw=0.3㎜이상(m)		파손(㎡)	
	개소	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
A1	1	1	0.10	1	-	-	-	-
P1	-	-	-	-	-	-	-	-
A2	-	-	0.60	2	0.30	1	0.20	1
합계	**1**	**1**	**0.70**	**3**	**0.30**	**1**	**0.20**	**1**

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>

현 황	◦A1-Sh2 볼트부식
원 인	◦상부 우수유입
대 책	◦녹제거 후 재도장

</td><td>

현 황	◦A1-Sh2 도장박리(1ea)
원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화
대 책	◦재도장

</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>

현 황	◦A1-Sh2 받침콘크리트 균열(0.3㎜/0.3m)
원 인	◦건조수축 및 온도변화
대 책	◦주입보수

</td><td>

현 황	◦A2-Sh2 받침콘크리트 파손(A=0.13㎡)
원 인	◦우수유입으로 인한 철근부식
대 책	◦철근 방청 후 단면복구

</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="2">◦ A2-Sh2 받침콘크리트 파손 원인 분석을 위해 받침콘크리트 일부를 파치 하였으며, 그 결과 받침 콘크리트와 코핑부 시공 접합 불량에 의한 우수침투로 인해 철근부식 팽창이 발생 후 받침 콘크리트 파손이 발생한 것으로 조사되었다.</td></tr>
</table>

3) 기 점점결과와의 비교・분석

- 기 진단시 일부 받침장치 도장박리 및 부식, 받침몰탈 및 받침 콘크리트 균열, 들뜸, 파손 등의 손상이 조사되었으며, 금회 진단 결과 대체로 동일한 손상이 발생되었으나 대부분의 개소는 보수된 상태로 확인되었다.
- 각각의 손상물량은 감소하였으며, 이는 기 진단 결과에 따른 보수를 실시하여 대부분의 손상물량이 감소한 것으로 판단된다.

【표 3-16】 마산방향-교량받침 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증・감
			개소	수량	개소	수량	
교량받침	•볼트부식	개소	-	-	1	1	△
	•도장박리	개소	4	0.07	1	1	△
	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	25	6.00	3	0.70	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	-	-	1	0.30	△
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	2	0.21	-	-	▽
	•파손	㎡	1	0.01	1	0.20	△
	•들뜸	m	1	0.08	-	-	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 금회 교량받침 조사결과, 받침볼트 부식 및 도장박리, 받침콘크리트 및 몰탈 균열, 받침콘크리트 파손 등의 손상이 조사되었다.
- 교량 받침장치 볼트부에 부식이 국부 조사되었으며, 이는 신축이음부와 외측면을 통한 우수유입이 가장 주요한 원인으로 판단되며, 내구성 확보를 위하여 녹 제거 후 재도장이 필요할 것으로 판단된다.
- 받침콘크리트, 받침 몰탈에 발생한 균열은 건조수축에 의한 비구조적인 손상으로 판단되며, 손상정도가 경미한 상태이며 보수의 긴급성은 없으나, 손상정도가 경미한 0.3㎜ 미만의 균열은 지속관찰을 통해 균열 진전시 보수를 실시하고, 균열폭 0.3㎜이상은 주입보수를 실시하는 것이 필요할 것으로 판단된다.
- 받침 콘크리트에 발생한 파손은 우수유입에 따른 동결융해 및 내부 철근부식 팽창에 의한 것으로 조사되었으며, 근본적인 해결을 위해 신축이음장치 하부 유도배수로 설치 후 파손부에 대해 내구성 확보를 위한 철근 방청 후 단면보수가 필요할 것으로 판단된다.

5) 연단거리 검토

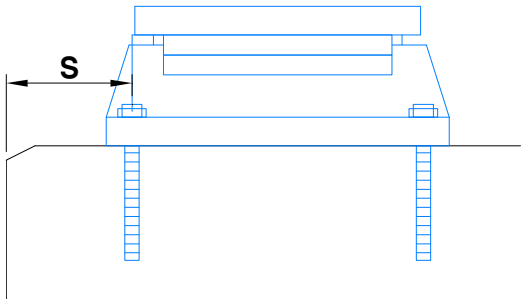
교좌면은 받침을 통해 상부구조로부터 하중을 받는 곳이고 또한 지진시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 따라서 받침 끝에서 정부 연단까지의 거리가 작으면 고정단에서는 전단면에 연해서 콘크리트 구체 또는 받침이 파손될 수 있고, 가동단에서는 최악의 경우 받침이 벗어나 거더가 낙하할 수도 있다. 따라서 도로교 설계기준에서는 상부구조의 길이에 따라 연단거리의 최솟값을 정해놓았으며, 본 과업에서는 실제 시공된 연단거리와 설계 연단거리를 비교・검토하였다.

■ 거더의 경간길이 100m이하 : S = 200 + 5.0L

100m이상 : S = 300 + 4.0L (도로교 설계기준)

여기서, S : 받침연단거리(㎜), L : 거더의 경간길이(m)

■ 연단거리 : 콘크리트면의 가장자리로부터 가장 가까운 앵커 중심까지의 거리



< 포트받침 >

연단거리 측정 개요도



연단거리 실측 전경

【그림 3-3】 마산방향 - 연단거리 측정방법

【표 3-17】 마산방향 - 연단거리 측정결과

구 분		경간장 (m)	계산 연단거리 (㎜)	실측 연단거리(㎜)				검토 결과
				G1		G2		
				Sh1	Sh2	Sh3	Sh4	
A1	종점측	55.00	475	700	680	620	640	O.K
P1	시점측	55.00	475	990	860	980	960	O.K
	종점측	55.00	475	980	860	980	970	O.K
A2	시점측	55.00	475	650	620	620	600	O.K

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

6) 교량받침 가동량 검토



A2 Sh1 받침 이동량 측정(25mm / 29.6℃일 때)

【표 3-18】 교량받침 가동량 산정

▣ 온도에 의한 가동량

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

ΔT = 온도변화(−20℃ ~ +40℃) → Steel Box Girder교(한랭지방)

α = 선팽창계수(1.2×10^{-5}) → Steel Box Girder교

도로설계편람 (2000년)	■ 온도범위는 교량 상부구조의 평균 온도이며, 지역구분은 최근 5년간 최저기온 및 최고기온을 참조하여 결정(도로공사 연구보고서. 1993) [보통지방] : 대전 구미, 대구, 강릉, 논산, 전주, 광주, 순천, 진주, 마산, 창령, 고령, 동서울, 부산 [한랭지방] : 인천, 수원, 천안, 영동, 이천, 원주, 대관령, 정안, 진천
기상청 통계자료	■ 최근 5년간 이천(기)의 일평균 최저 온도 : -14.2℃ (2011/01/16) ■ 설계편람 발간 당시 이천(기) 5년간 일평균 최저 온도 : -15.8℃ (2001/01/15) ■ 최근 5년간 일평균 최저 온도 < 설계편람 발간당시의 5년간 일평균 최저 온도

▣ 활하중에 의한 보의 처짐에 의한 가동량

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

여기서, h_i : 받침의 회전중심에서 보의 중립축 까지의 높이 (거더 높이의 2/3)

θ_i : 보의 회전각 (강교 1/150, 콘크리트교 1/300)

▣ 계산 가동량 산정

온도변화 범위	−20℃ ~ +40℃	**선팽창 계수(α)**	1.2×10^{-5}
점검시 기온(℃)	2016. 08. 08. (1차) 2016. 10. 19. (2차)	29.6 (1차) 14.4 (2차)	
온도에 의한 가동량($\Delta \ell t$)	$\Delta \ell t = \Delta T \times \alpha \times \ell$		
보의 중립축까지 높이(hi)	$\frac{2}{3}\times 2{,}700$		
보의 회전각(θi)	1/150 (Steel Box Girder교)		
보의 처짐에 의한 가동량($\Delta \ell r$)	$\triangle l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$		
신축거더길이 (L, m)	A1	P1	A2
	55.0	0	55.0

※ 처짐에 의한 가동량은 팽창시만 고려하여 계산

① 교량받침 가동량 측정결과 및 가동 여유량 분석

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

가동받침 가동량 산정시 고려되는 항목은 활하중에 의한 보의 처짐, 온도변화, 건조수축, 크리프 등을 고려하여야 한다. 그러나 대상 교량은 준공 후 10년이 경과하였기 때문에 건조수축 및 크리프에 의한 변형은 완료된 것으로 판단하여 온도변화 및 활하중에 의한 처짐만을 검토하는 것으로 하였다.

【표 3-19】 마산방향 - 교량받침 이동량 산정

구 분	온도변화 (⊿T, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더 길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜)	최대 받침 가동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
A1	49.6	10.4	0.000012	55	32.7	6.9	12.0	32.7	6.9
P1	고정단								
A2	49.6	10.4	0.000012	55	32.7	6.9	12.0	32.7	6.9
1) 조사당시 온도 : 29.6℃ (조사일 : 2016년 08월 08일, 전일 평균온도) 2) 검토온도 : -20℃ ~ +40℃ (한랭지방)									

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

② 교량받침 온도차에 따른 가동 여유량과 계산 가동량 비교

【표 3-20】 마산방향 - 교량받침 가동여유량 검토결과

구 분		점검당시 실측이동량 (㎜)	최대 받침 이동량(㎜)		실측 받침 가동여유량(㎜)		받침이동 허용량 (㎜)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
A1	Sh1	+20 (A1)	32.7	6.9	70.0	30.0	± 050	O.K
	Sh2	+30 (A1)			80.0	20.0		O.K
	Sh3	+30 (A1)			80.0	20.0		O.K
	Sh4	+20 (A1)			70.0	30.0		O.K
P1	고정단							-
A2	Sh1	+25 (A2)	32.7	6.9	75.0	25.0	± 050	O.K
	Sh2	+25 (A2)			75.0	25.0		O.K
	Sh3	+25 (A2)			75.0	25.0		O.K
	Sh4	+28 (A2)			78.0	22.0		O.K
주) 판정 : 최대 받침 이동량 ≤ 실측 받침 가동여유량 ⇒ O.K								

■ 교량받침의 이동량을 검토한 결과, 가동여유량 및 실측 서스판여유량이 계산 필요 가동량을을 만족하므로 전 개소 충분한 가동 여유량을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

③ 온도차에 따른 이론 수축량과 실제 수축량 가동 여부 비교

【표 3-21】 마산방향 - 교량받침 가동상태 검토결과

구 분		실측이동량(㎜)		변동량(㎜)		비 고
		1차	2차	실측치	이론치	
A1	Sh1	+20 (A1)	+12 (A1)	8.0	10.0	1차:29.6℃ 2차:14.4℃ 온도차:15.2℃
	Sh2	+30 (A1)	+18 (A1)	12.0		
	Sh3	+30 (A1)	+17 (A1)	13.0		
	Sh4	+20 (A1)	+18 (A1)	2.0		
P1	고정단					-
A2	Sh1	+25 (A2)	+22 (A2)	3.0	10.0	
	Sh2	+25 (A2)	+20 (A2)	5.0		
	Sh3	+25 (A2)	+20 (A2)	5.0		
	Sh4	+28 (A2)	+19 (A2)	9.0		

※ 1차 측정 : 2016년 08월 08일(29.6℃) / 2차 측정 : 2016년 10월 19일(14.4℃)
※ 받침 위치 조사시 기준점은 고정단을 기준으로 +: 신장, -:수축으로 표시함.

■ 교량받침의 이동위치는 2회(1차:29.6℃(8월), 2차:14.4℃(10월))에 걸쳐 측정하였으며, 온도 변화에 따른 이동량 측정결과, 계산 이동량과 차이는 있으나, 이는 점검자의 측정오차, 2차손상 발생유무, 받침의 상태 등을 고려할 때 전반적으로 양호한 거동상태를 보이고 있는 것으로 평가되었다.

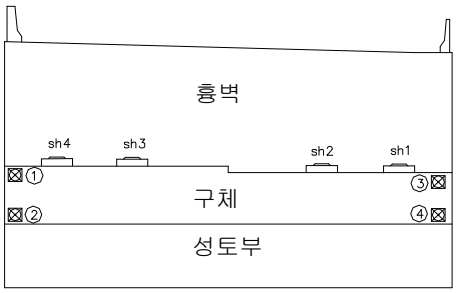
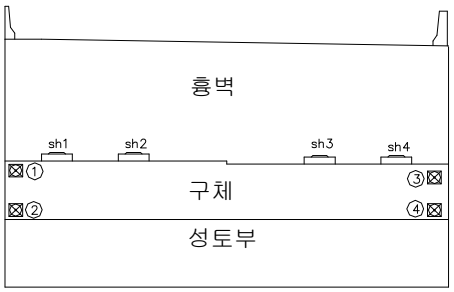
3.2.3 교대 기울기 측정

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

가. 광파기를 이용한 측정

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

1) 측량 위치 및 측량 전경

<table>
<tr><th colspan="3">측정 위치</th></tr>
<tr><th>A1 교대</th><th colspan="2">A2 교대</th></tr>
<tr><td> 
</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>측정 결과</td><td>측점 전경(A1)</td><td>측점 전경(A2)</td></tr>
</table>

2) 측량 결과 좌표

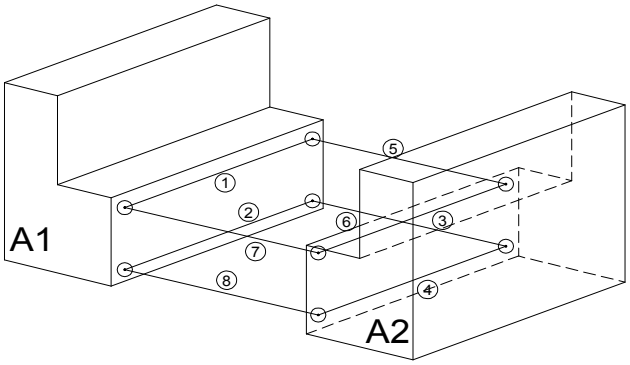
위치	①			②			③			④		
	N축	E축	Z축	N축	E축	Z축	N축	E축	Z축	N축	E축	Z축
교대 A1	80.998	13.665	4.784	80.999	13.665	3.702	73.735	23.437	4.514	73.734	23.449	3.631
교대 A2	-29.156	-6.570	3.478	-29.135	-6.594	2.631	-21.671	-16.703	3.371	-21.674	-16.703	2.646

주) N:North(수직), E:East(수평), Z:Elevation(고저차)

3) 측량 결과 및 분석

교대 구체에 대한 수평변위 여부를 파악하기 위해 측정한 결과를 아래 표와 같이 나타내었으며, 향후 진단 및 점검시 활용하도록 하였다.

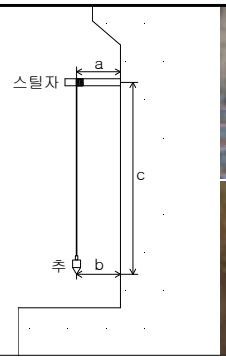
【표 3-22】 마산방향 - 광파기를 이용한 측량 결과

측점 모식도(A1, A2)									
									
측정일자	위치	측정 결과							
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
2016.07.26	교대 A1, A2	12.176	12.1186	12.598	12.564	107.177	107.166	107.066	107.070

나. 다림추를 이용한 측정

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

1) 측정 위치 및 측정 전경





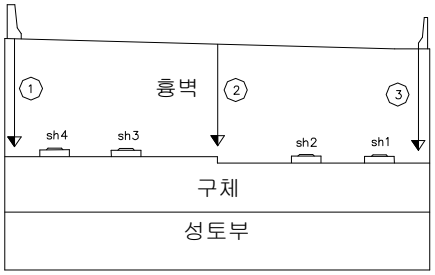
- a : 상단 이격거리(mm), 스틸자 사용
- b : 하단 이격거리(mm), 교대 흉벽에서 추의 거리
- c : 줄의 총 길이(mm)

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

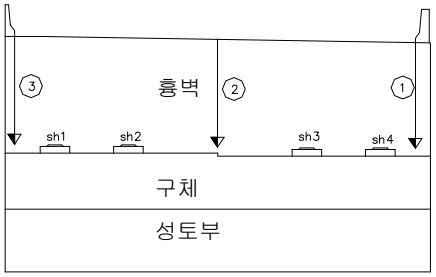
- 경사 부호

: (-)부호일 경우 ◿(교대가 흉벽측으로 기울음)

: (+)부호일 경우 ◹(교대가 교각측으로 기울음)



A1 교대 기울기 측정 위치



A2 교대 기울기 측정 위치

2) 측정 결과 및 분석

【표 3-23】 마산방향 - 다림추를 이용한 기울기 결과

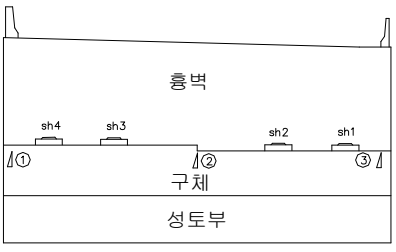
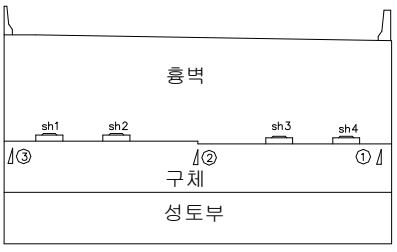
구 분		교대 기울기 측정 결과(단위 : mm)					
		①		②		③	
		금회	전회	금회	전회	금회	전회
A1	상단 이격거리(a)	100	100	100	100	100	100
	하단 이격거리(b)	114	123	123	124	125	123
	줄의 총 길이(c)	2000	2800	2000	2800	2000	2800
	경사(d)	0.70%	0.82%	1.15%	0.86%	1.25%	0.82%
A2	상단 이격거리(a)	80	100	80	100	80	100
	하단 이격거리(b)	101	140	124	153	113	130
	줄의 총 길이(c)	2000	2800	2000	2800	2000	2800
	경사(d)	1.05%	1.43%	2.20%	1.89%	1.65%	1.07%

A1 교대는 0.70~1.25%의 경사가 측정되었고, A2 교대는 1.05~1.89%의 경사가 측정되었다. A1, A2 교대의 기울기는 모두 교각측으로 기울어진 상태이며, 기 점점 결과와 비교 유사한 것으로 분석되었다. 감곡IC교 마산방향의 교대 흉벽과 바닥판이 협착되어 신축이음유간이 없는 상태로서 시공이후 교대의 수평이동이 일부 있었던 것으로 분석되었다.

다. 경사계를 이용한 측정

교대의 기울기 및 변위를 관찰하고자 교대 A1, A2 구체에 경사계를 이용하여 측정하였다.

1) 측정 위치 및 측정 전경

측정 위치		측정 전경
		
A1 교대	A2 교대	

2) 측정 결과 및 분석

경사계를 이용한 기울기 측정결과 교대 구체의 A1, A2은 전면(교각)측으로 기울어진 상태이며 A2 코핑부 상면에 체수는 조사되지 않았으나 일부구간 콘크리트 박리가 조사되었다.

【표 3-24】 마산방향 - 경사계를 이용한 기울기 결과

측정일자	위치	측정 결과			기호정의
		①	②	③	
2016.08.30	교대 A1	1.1˚	1.0˚	0.2˚	전면/배면:(-), 전면\배면:(+)
	교대 A2	0.2˚	0.1˚	1.0˚	

라. 교대 측방유동 검토

연약지반 위에 축조되는 교대는 배면성토에 의한 지반의 압밀침하와 동시에 상시 재하하고 있는 편하중에 의해서 연약지반이 측방향 이동을 일으켜 교대에 기능상 좋지 않은 회전이나 수평변위 등의 변형(측방유동)이 생길 수 있다. 또한 교량을 지지하는 교대는 수평토압으로 인한 전도(Overturning), 활동(Sliding) 및 지지력(Bearing Capacity)에 안전하도록 설계되어야 하나 도로의 선형계획에 따라 연약지반상의 교대 설치시 배면 성토에 의한 편재하중으로 지반의 측방유동이 발생하게 된다. 측방유동은 교대의 지지구조가 상이한 교량과 토공의 경계에 위치하기 때문에 발생하는 것으로 압밀침하에 의한 교대배면의 단차, 교대의 수평이동과 경사, 신축이음부의 기능저하, Beam의 지지점 및 교좌의 파손 말뚝에 휨모멘트가 발생하여 두부파손 등이 발생한다.

따라서 감곡 IC교 교대(A1, A2)를 대표단면으로 선정하여 측방유동 검토를 실시하였다.

1) 측방유동 판정방법

현재 국·내외에서 사용하고 있는 측방유동을 판정하는 방법은 배면 쌓기 하중과 원지반 전단강도를 고려한 측방유동지수(F)에 의한 방법과 측방유동지수(I)에 의한 방법, 비탈면 안전율과 관련된 원호활동에 의한 방법으로 구분된다. 본 검토에서는 시추주상도 검토결과 교대 A1, A2의 지층은 N치 12/30~50/2의 실트질 모래(SM)로 이루어진 풍화토층으로 연약지반으로 분류하기 어려우므로 원호활동에 의한 측방유동 안정성을 검토하였다.

2) 원호활동에 의한 판정

활동에 대한 안전율(Fs) 개념으로 한계평형해석을 실시하여 기준안전율과 비교하는 방법으로 한계평형해석시 기준이 되는 기준안전율은 외국의 경우 Marche가 제안한 Fs=1.4, 일본수도고속도로 공단의 Fs=1.6 등이 있으며, 국내의 경우 홍원표 등(1994)이 국내에서 발생된 6개 현장 12개 교대의 측방유동 사례에 대한 연구결과를 토대로 말뚝 효과를 고려하지 않을 때 Fs=1.5, 말뚝효과를 고려할 때 Fs=1.8을 기준으로 제시하였으며, 본 검토에서는 다음과 같이 기준안전율을 산정하였다. 또한 지진시의 경우 『건설공사 비탈면 설계기준(2011)』 쌓기비탈면의 허용 기준인 Fs=1.1을 적용하였다.

【표 3-25】 사면활동에 대한 기준안전율

구 분	사면활동에 대한 기준안전율				적 용
	Marce 제안	수도고속도로공단 (일본)	Hong (1994)	비탈면 설계기준 (2011)	
말뚝효과 고려시	-	-	1.8	-	1.8
말뚝효과 미고려시	1.4	1.6	1.5	-	1.5
지진시	-	-	-	1.1	1.1

3) 설계지진 가속도

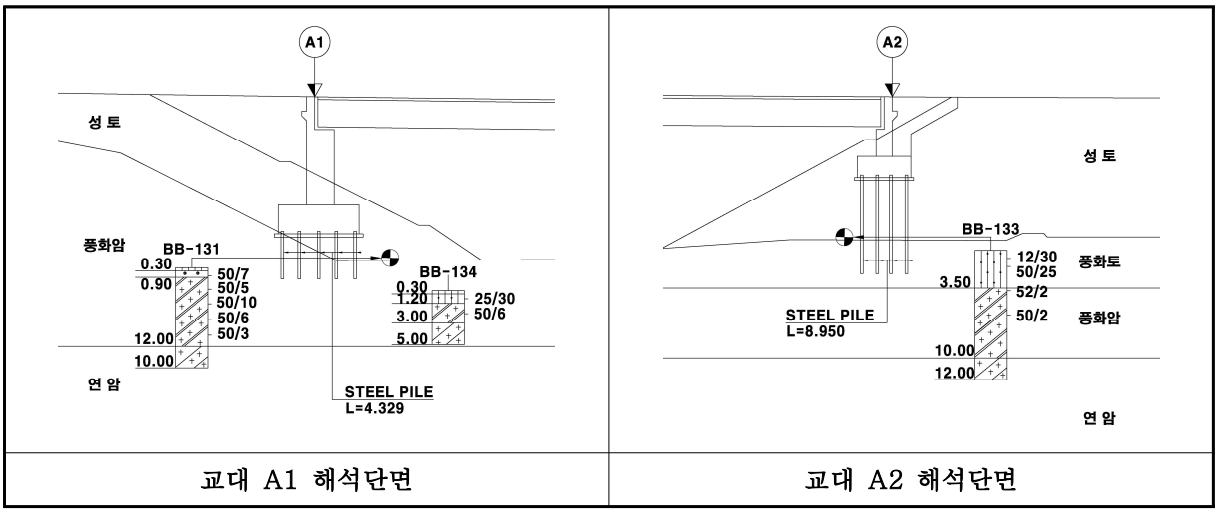
지진시의 경우 내진Ⅰ등급(재현주기 1,000년), 지진구역계수(0.11g), 위험도 계수(1.4)를 반영하여 0.154g 설계지진 가속도를 적용하였다.

【표 3-26】 설계지진 가속도

구 분	내진성능목표	지진구역계수	위험도 계수	설계지진 가속도
내진Ⅰ등급	1,000년	0.11g(음성군)	1.4	0.154g

4) 대표단면 선정

감곡IC교의 교대(A1, A2)를 대표단면으로 선정하여 다음과 같이 측방유동 검토하였다.



교대 A1 해석단면 | 교대 A2 해석단면

【그림 3-4】 대표단면 선정

5) 적용 물성치

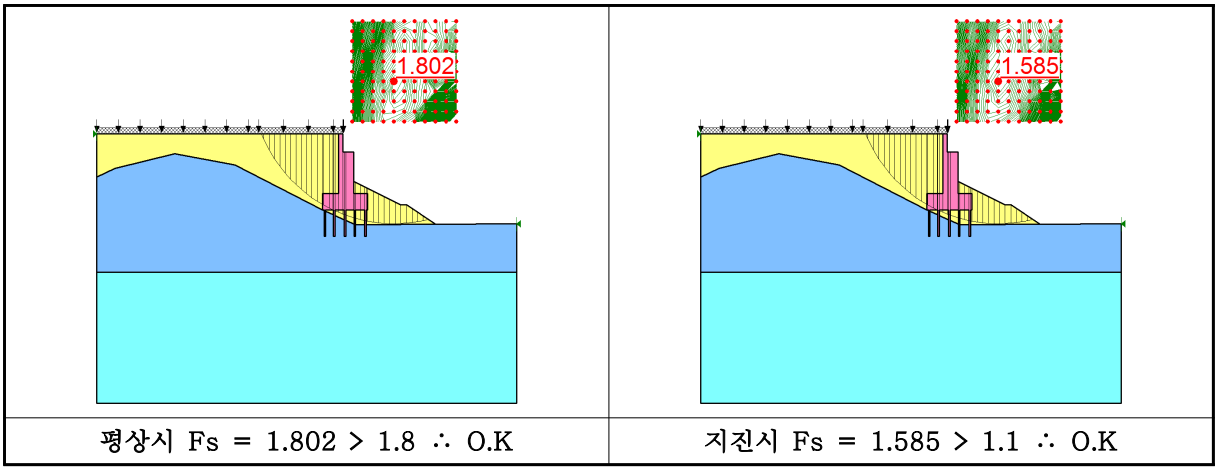
금회 측방유동 검토시 적용한 지반 물성치는 중부내륙 고속도로(충주~여주간) 건설공사 토질조사보고서 제1공구(가남~감곡) 준공도서 및 기 진단보고서(2012)를 참조하여 다음과 같이 결정하였다.

【표 3-27】 적용 물성치

구 분	단위중량(kN/㎥)	점착력(kN/㎡)	내부마찰각
성토층	19.5	15	25
풍화토	19	20	30
풍화암	20	30	30
연 암	23	30	30

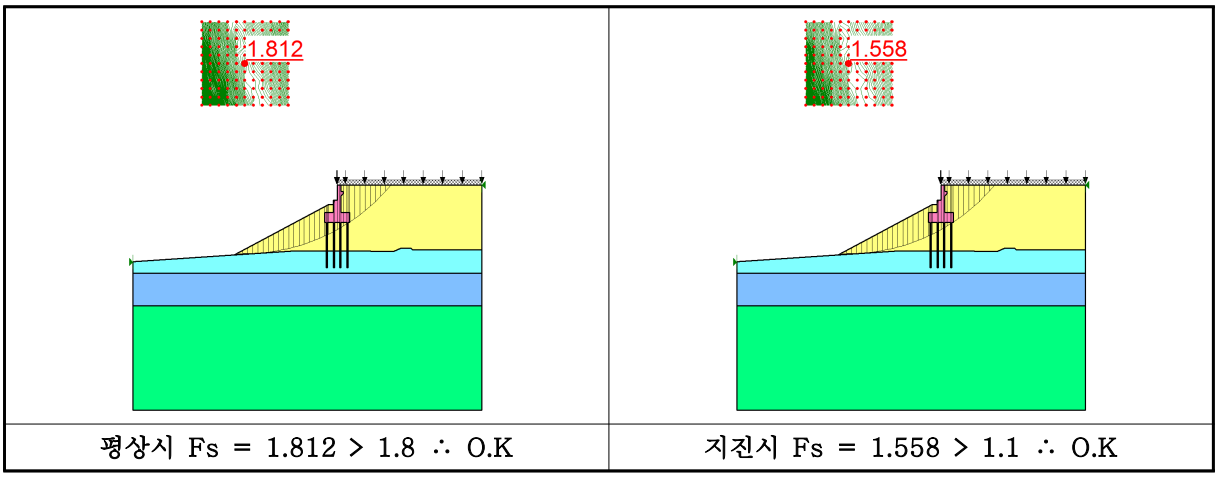
6) 검토결과

① A1 교대



【그림 3-5】 원호활동에 의한 방법(A1 교대)

② A2 교대



【그림 3-6】 원호활동에 의한 방법(A2 교대)

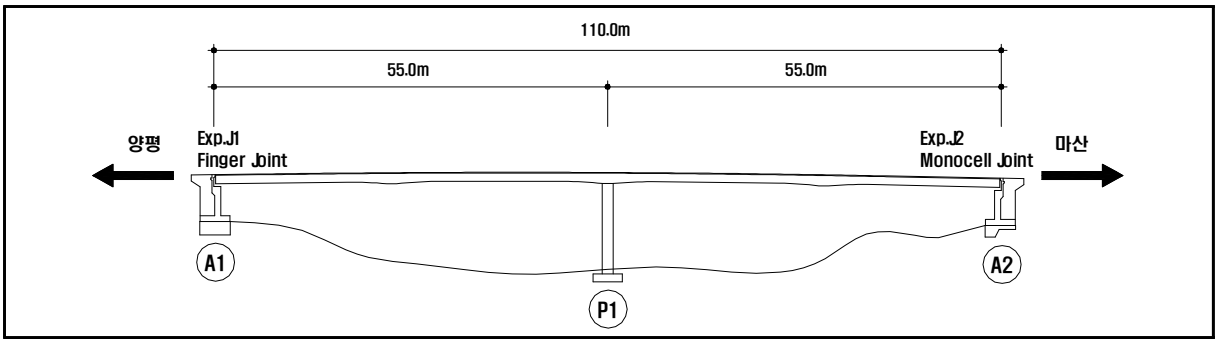
7) 결론

원호활동에 의한 측방유동 검토 결과 기준 안전율을 상회하는 것으로 분석되어 측방유동의 가능성은 없는 것으로 판단된다.

3.2.4 신축이음장치

신축이음 장치는 온도변화에 의한 신축거동, 교면수의 하부유입을 막는 차수기능을 하는 부재로써 현장 조사시에 이러한 기능성 저하여부, 내구성 측면, 차량 주행 안전성 등에 대해 중점적으로 조사하였다.

감곡IC교(마산)의 신축이음장치는 A1은 핑거조인트, A2는 모노셀로 설치되어 있으며, 신축이음 배치 현황은 다음과 같다.



【그림 3-7】 마산방향 - 신축이음 배치도



신축이음장치 전경(A1)	신축이음장치 전경(A2)

1) 외관조사 결과

【표 3-28】 마산방향 - 신축이음장치 외관조사 결과

구 분	신축이음장치본체		후타재		기타	
	부식(m)		균열 Cw=0.3㎜미만(m)		덮개 볼트탈락(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소
A1	-	-	3.90	9	0.04	4
A2	2.00	1	4.30	12	-	-
합계	**2.00**	**1**	**8.20**	**21**	**0.04**	**4**

2) 손상별 원인분석

			
현 황	◦A2 신축이음장치 부식(L=2.0m)	**현 황**	◦A2 후타재 균열(0.1㎜/0.4m, 7EA)
원 인	◦공용 중 우수에 의한 부식	**원 인**	◦건조수축, 중차량 통과
대 책	◦지속관찰	**대 책**	◦표면처리보수

3) 기 점검결과와의 비교 · 분석

- 기 진단 외관조사 결과, 후타재 균열 및 파손이 조사되었으며, 금회 정밀안전진단 시 신축이음장치 부식 및 후타재 균열, 신축이음 덮개 볼트탈락 등이 조사되었다.
- 기 진단 실시에 따른 신축이음장치의 교체로 손상의 증가는 미미한 것으로 분석되었고, 신축이음장치 A1, A2에 대한 바닥판하면 단부와 흉벽의 협착이 조사되어 공용중 차량의 윤하중 및 충격에 의한 손상이 발생된 것으로 판단되며, 바닥판하면 유간 확보를 위한 보수·보강 및 유지관리방안편에 보수방법을 작성하여 제시하였다.

【표 3-29】 마산방향-신축이음장치 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증 · 감
			개소	수량	개소	수량	
신축이음	•부식	m	-	-	1	2.00	△
	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	19	7.70	21	8.20	△
	•후타재 파손	㎡	1	0.05	-	-	▽
	•덮개볼트 탈락	개소	4	4	4	4	-

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

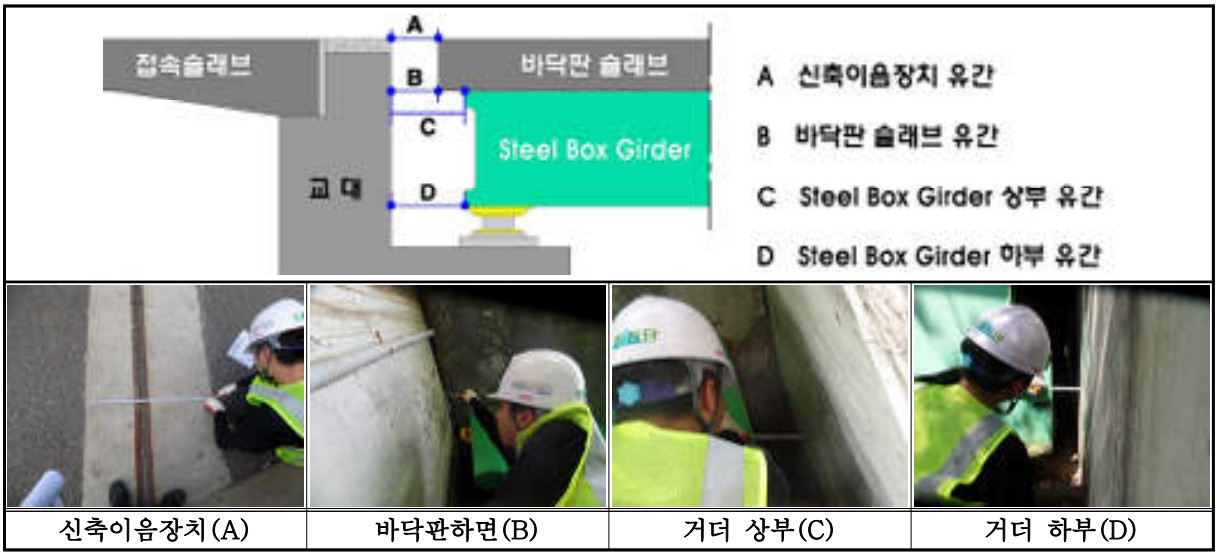
4) 검토의견

- 신축이음장치 본체에서 발생한 갓길 측 부식은 공용 중 우수에 의한 부식으로 판단되며, 그 손상정도가 미미하며, 주행성에 영향을 미치지 않을 것으로 판단되어 보수의 필요성이 없을 것으로 판단된다.

- 금회 신축이음장치 조사 시 건조수축, 중차량 통행 등의 요인으로 인해 후타재 균열(Cw=0.3㎜미만)은 손상의 정도가 경미하나 균열부를 통한 우수 침투로 인해 신축이음 하부 누수 등 추가적인 손상의 우려가 있으므로 표면처리보수를 실시하며, 후타재 파손부에 대해서는 단면보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 방호벽 측 신축이음 덮개부에서 조사된 볼트탈락은 공용년수의 증가로 인해 발생된 것으로 판단되며, 볼트 재체결을 시행하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

5) 신축이음 신축거동상태 검토

본 교량의 신축거동상태를 확인하기 위해 신축이음장치, 바닥판 및 거더 상·하부에 대한 유간을 측정하였고, 이론 변동량과의 비교를 통해 신축거동상태를 검토하였다. 또한, 측정된 유간으로부터 최대 온도 상승시 신장량과 최저 온도 하강시 수축량을 계산하여 유간확보 여부를 검토하였다.



【그림 3-8】 마산방향 - 신축이음 유간 측정방법

① 계산 신축량 산정

【표 3-30】 계산 신축량 산정

▣ 온도에 의한 가동량

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

ΔT = 온도변화(-20℃ ~ +40℃) → Steel Box Girder교(한랭지방)

α = 선팽창계수(1.2×10^{-5}) → Steel Box Girder교

도로설계편람 (2000년)	■ 온도범위는 교량 상부구조의 평균 온도이며, 지역구분은 최근 5년간 최저기온 및 최고기온을 참조하여 결정(도로공사 연구보고서. 1993) [보통지방] : 대전 구미, 대구, 강릉, 논산, 전주, 광주, 순천, 진주, 마산, 창령, 고령, 동서울, 부산 [한랭지방] : 인천, 수원, 천안, 영동, 이천, 원주, 대관령, 정안, 진천
기상청 통계자료	■ 최근 5년간 이천(기)의 일평균 최저 온도 : -14.2℃ (2011/01/16) ■ 설계편람 발간 당시 이천(기) 5년간 일평균 최저 온도 : -15.8℃ (2001/01/15) ■ 최근 5년간 일평균 최저 온도 < 설계편람 발간당시의 5년간 일평균 최저 온도

【표 3-30】 계산 신축량 산정(계속)

▣ 활하중에 의한 보의 처짐에 의한 가동량

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

여기서, h_i : 받침의 회전중심에서 보의 중립축 까지의 높이 (거더 높이의 2/3)

θ_i : 보의 회전각 (강교 1/150, 콘크리트교 1/300)

▣ 계산 가동량 산정

온도변화 범위	-20℃ ~ +40℃	선팽창 계수(α)	1.2×10^{-5}
점검시 기온(℃)	2016. 08. 11. (1차) 2016. 10. 19. (2차)	28.9 (1차) 14.4 (2차)	
온도에 의한 가동량($\Delta \ell t$)	$\Delta \ell t = \Delta T \times \alpha \times \ell$		
보의 중립축까지 높이(hi)	$\frac{2}{3} \times 2{,}700$		
보의 회전각(θi)	1/150 (Steel Box Girder교)		
보의 처짐에 의한 가동량($\Delta \ell r$)	$\triangle l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$		
신축거더길이 (L, m)	A1	A2	
	55.0	55.0	

※ 처짐에 의한 가동량은 팽창시만 고려하여 계산

② 신축이음 유간 측정결과

【표 3-31】 마산방향 - 신축이음 유간 측정결과

구 분	측 정 값(㎜)								비 고
	신축이음장치(A)		바닥판(B)		거더 상부(C)		거더 하부(D)		
	1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차	
Exp.J1(A1)	27.0	37.0	0.0	10.0	125.0	138.0	138.0	150.0	Finger Joint
Exp.J2(A2)	25.0	32.0	0.0	0.0	166.0	170.0	170.0	180.0	Monocell

③ 신축이음 가동상태 검토결과

【표 3-32】 마산방향 - 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동상태 검토결과

구 분		측정유간(㎜)		변동량(㎜)		비 고
		1차	2차	실측치	이론치	
Exp.J1(A1)	신축이음장치	27.0	37.0	-10.0	9.6	1차:28.9℃ 2차:14.4℃
	바닥판	0.0	10.0	-10.0		
	거더 상부	125.0	138.0	-13.0		
	거더 하부	138.0	150.0	-12.0		
Exp.J2(A2)	신축이음장치	25.0	32.0	-7.0	9.6	온도차 14.5℃
	바닥판	0.0	0.0	0.0		
	거더 상부	166.0	170.0	-4.0		
	거더 하부	170.0	180.0	-10.0		

■ 8월(28.9℃)과 10월(14.4℃)의 온도 변화에 따른 변동량 측정결과, 이론 변동량과 차이는 있으며, A1(J1)의 경우 최대 신장시 바닥판하면의 협착이 발생하였고 A2(J2)의 경우 2차 측정시에도 바닥판의 협착이 발생하였다.

④ 신축이음 신축이동량 산정

【표 3-33】 마산방향 - 신축이음 신축이동량 산정

구 분	온도변화 (⊿T,℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더 길이 (L, m)	온도변화에 의한 이동량		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량(㎜)	계산 이동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 팽창시)
Exp.J1 (A1)	49.6	10.4	0.000012	55	32.7	6.9	12.0	32.7	6.9
Exp.J2 (A2)	49.6	10.4	0.000012	55	32.7	6.9	12.0	32.7	6.9

⑤ 신축이음 가동여유량 검토결과

【표 3-34】 마산방향 - 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량 검토결과

구 분		계산이동량(㎜)		점검당시 실측유간 (㎜) ③	허용량(㎜) ④	신축 여유량(㎜)		검토 결과
		최대 수축시 ①	최대 신장시 ②			최대 수축시 ④ - (①+③)	최대 신장시 ③ - ②	
Exp.J1 (A1)	신축이음장치	32.7	6.9	27.0	240	180.3	20.1	O.K
	바닥판 단부			0.0	-	-	(6.9)	N.G
Exp.J2 (A2)	신축이음장치	32.7	6.9	25.0	160	102.3	18.1	O.K
	바닥판 단부			0.0	-	-	(6.9)	N.G
주) 판정 : 0.0㎜ ≤ 신축여유량 ≤ 허용량 ⇒ O.K								

■ 신축이음장치 유간 검토를 위해 신축유간, 바닥판 유간, 거더상단 및 하단 유간을 측정하여 계산 유간과 비교·분석한 결과, 최대 신장시 A1(J1), A2(J2)의 바닥판유간이 부족한 것으로 측정되었으며, 외관조사 결과 바닥판 단부 박락 등이 일부 조사되었다. 바닥판 하면 단부에서 발생된 박락은 보수보강 및 유지관리방안편에 보수보강공법을 비교하여 수록하였다.

3.2.5 교면포장

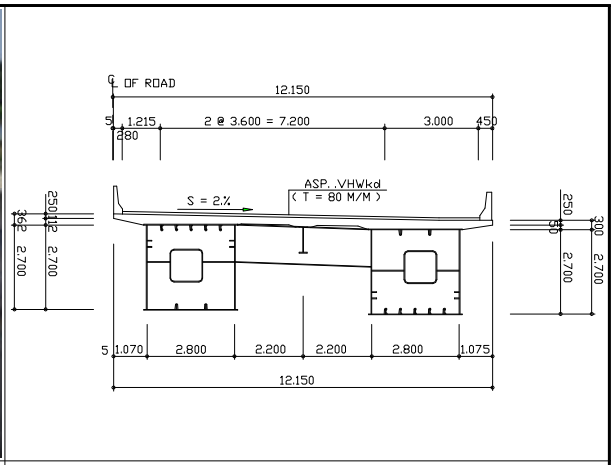
바닥판 상면에 위치하여 차량에서 발생하는 진동을 흡수·분산시키고, 외부의 불리한 환경조건에 대해서 바닥판을 보호하는 역할을 하는 교면포장은 아스팔트 포장으로 시공되어 있다. ASP 포장은 연성포장으로서 승차감 및 진동소음에 좋으나, 유지 관리 시 손상에 따라 보수보강 비용이 증가되는 단점을 가지고 있으며, 상부의 하중을 표층 기층 보조기층에 전달하여 포장이며, ASP 포장의 두께는 100mm 시공되었다.

ASP포장은 소성변형, 포트홀, 망상균열, 균열이 발생될 경우 우수 등이 침투하여 바닥판 하면에 누수, 백태 등의 손상이 조사된 경우에 한해 코어 채취를 실시하는 것이 인위적인 손상의 발생을 예방할 수 있는 것으로 판단된다.

금회 교면포장과 바닥판 하면의 현장조사 결과를 비교·평가한 결과, 교면포장 손상으로 인한 바닥판 하면에 누수 등의 열화 징후 등이 없는 것으로 조사되었으나, 포장부 상태 확인 및 포장두께 확인을 위하여 포장부 코어채취를 실시하였다.



교면포장 전경(A1 측)



교면포장 단면도(준공도)

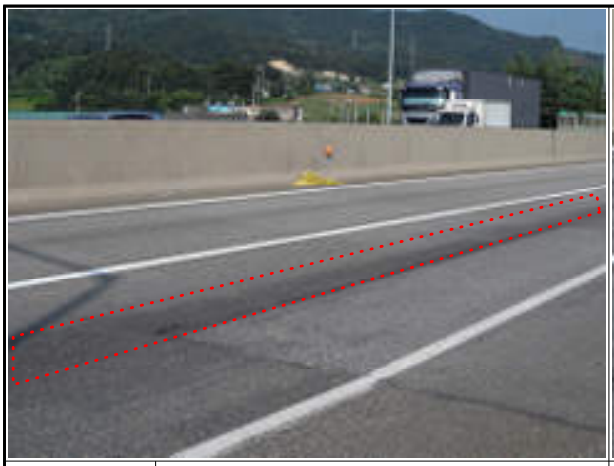
【그림 3-9】 마산방향 – 교면포장 전경

1) 외관조사 결과

【표 3-35】 마산방향 – 교면포장 외관조사 결과

구 분	포장불량			
	소성변형(㎡)		포트홀(㎡)	
	물량	개소	물량	개소
S1 접속슬래브	–	–	–	–
S1	56.50	2	0.13	4
S2	101.00	2		
S2 접속슬래브	–	–	–	–
합계	157.50	4	0.13	4

2) 손상별 원인분석

			
현 황	◦S2 교면포장 소성변형(A=55.0㎡)	**현 황**	◦S1 교면포장 포트홀(A=0.04㎡)
원 인	◦시공불량, 혼합물 품질불량, 대형차량통행	**원 인**	◦시공불량, 혼합물 품질불량, 대형차량통행
대 책	◦지속관찰	**대 책**	◦지속관찰

3) 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단시 외관조사 결과, 포트홀, 소성변형이 조사되었으며, 금회 진단 결과 동일한 손상이 조사되었으며, 손상정도는 기 진단과 비슷한 것으로 나타났다.

【표 3-36】 마산방향-교면포장 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증・감
			개소	수량	개소	수량	
교면포장	•소성변형	㎡	4	171.0	4	157.50	▽
	•포트홀	㎡	6	0.19	4	0.13	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 교면포장 외관조사 결과 소성변형, 포트홀이 조사되었다.
- 교면포장 상면에서 대형차 교통이 많은 2차로 상에 포트홀 및 소성변형이 일부 조사되었으며, 이는 시공불량(다짐불량), 혼합물 품질불량, 과다한 대형차량교통 등으로 인하여 발생된 것으로 판단되며, 위 손상에 따른 차량주행성에 미치는 영향은 미미한 상태이므로 지속관찰 하여 향후 손상 증대시 적절한 보수・보강방안을 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

5) 코어채취 분석

감곡IC교(마산) 교면포장의 아스콘 상태, 두께, 방수층, 바닥판상면에 대한 손상 및 열화를 확인하기 위해 코어 채취를 실시하였다.

① 코어채취 위치도

금회 ● 전회 ●

구 분	S1	S2	비고
1차선			
2차선			
갓길	●	●	

코어채취 위치도

② 코어채취 결과

㉠ 교면포장 S2(갓길)

		포장 두께	■ 금회결과 : 100㎜ ■ 준공도면 : 80㎜
		포장 현황	■ 포 장 상 태 : 보통(골재분리) ■ 방수층 상태 : 양호 ■ 바닥판 상면 : 양호

③ 기 진단결과 비교 검토

구 분	위치	포장두께	진행성 여부	비고
기 진단(2012년)	S1(갓길)	100㎜	상태보통	골재분리
금 회(2016년)	S2(갓길)	100㎜	상태보통	골재분리

④ 결과분석

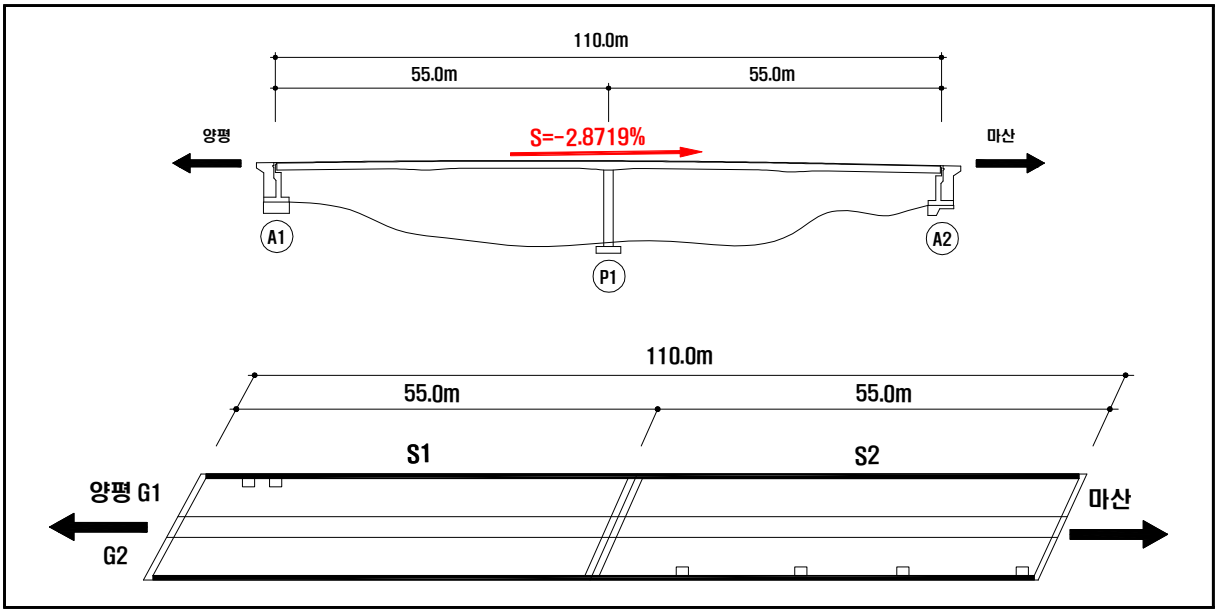
■ 감곡IC교(마산)의 교면포장 상태 결과 아스콘의 공극, 으스러짐 등은 발생되지 않았으나, 골재분리 현상이 발생되었으며 이는 시공중 다짐불량 및 혼합물 미흡 등으로 인해 역청재료와 부착성이 떨어져 발생된 것으로 나타났다. 다만, 준공도면과 포장두께의 차이가 있어 구조해석 시 포장두께를 반영하여 평가하였다.

3.2.6 기타부재

가. 배수시설

배수시설은 우수 유입에 따른 열화방지를 위해 일정한 곳으로 물을 배출하기 위한 시설로서, 감곡IC교(마산)의 배수시설은 각각의 경간 상부에 설치된 집수구를 통하여 STEEL Pipe φ 150㎜ 배수관을 따라 하부로 배수되도록 설치되어 있다.

감곡IC교(마산)는 교면 횡구배(0.656~2.041%)의 영향으로 좌측 12개소, 우측에 4개소가 설치되어 있으며, 하부 배수파이프 사이에 유공관이 우측 7개소의 배수시설이 설치되어 있다.



【그림 3-10】 마산방향 - 배수시설 현황



배수구 전경	배수관 전경

【그림 3-11】 마산방향 - 배수시설 전경

1) 외관조사 결과

■ 금회 배수시설 외관조사 결과 본 교량의 배수현황은 양호한 상태로 조사되었다.

2) 기 진단결과와의 비교·분석

■ 기 진단시 외관조사 결과, 배수구 이물질 퇴적, 유공관 설치, 배수관 길이부족, 곡관이탈 등의 손상이 조사되었으나, 금회 진단결과 배수시설은 양호한 상태로 조사되었다.

【표 3-37】 마산방향-배수시설 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
배수시설	•배수구 이물질 퇴적	개소	2	2	-	-	▽
	•유도배수관 설치(유공관)	개소	2	2	-	-	▽
	•배수파이프 길이부족	개소	1	1	-	-	▽
	•곡관이탈	개소	1	1	-	-	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

3) 검토의견

■ 금회 배수시설은 양호한 것으로 조사되었으며, 향후 지속 관찰을 통하여 문제발생시 적절한 보수·보강을 통하여 유지관리 하여야 할 것으로 판단된다.

나. 방호벽 및 중앙분리대

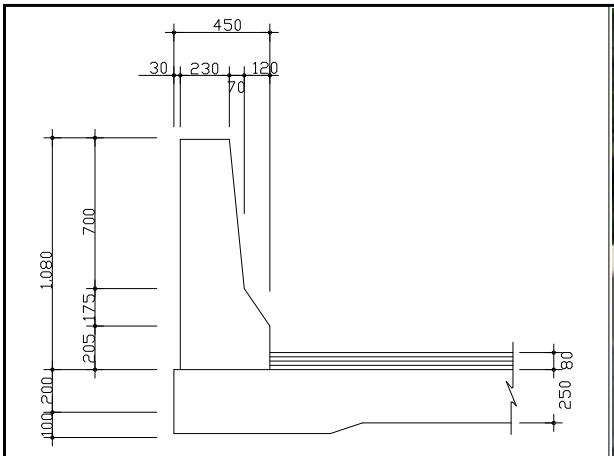
자동차의 차도이탈 방지, 사고시 완충작용 등의 기능을 하는 방호벽 및 중앙분리대는 철근콘크리트 구조로 신축이음부에는 덮개판이 설치되어 있다.



방호벽 전경



중앙분리대 전경



방호벽 단면도(준공도)



방호벽 실측 측정

1) 외관조사 결과

【표 3-38】 마산방향 - 방호벽 및 중앙분리대 외관조사 결과

구 분	콘크리트							
	균열 Cw=0.3㎜미만(m)		균열 Cw=0.3㎜이상(m)		망상균열 Cw=0.3㎜미만(㎡)		박락(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	47.60	51	21.90	15	6.10	3	0.04	1
S2	31.40	32	32.80	22	0.84	1	0.04	1
합계	**79.00**	**83**	**54.70**	**37**	**6.94**	**1**	**0.08**	**2**

【표 3-38】 마산방향 - 방호벽 및 중앙분리대 외관조사 결과(계속)

구 분	콘크리트							
	재료분리(㎡)		철근노출(㎡)		파손(㎡)		녹발생(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	0.06	1	1.00	10	0.02	2	0.08	2
S2	-	-	0.01	1	0.01	1	0.03	3
합계	**0.06**	**1**	**1.01**	**11**	**0.03**	**3**	**0.11**	**5**

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S2 중분대 균열(0.2㎜/0.6m)</td><td>현 황</td><td>◦S2 중분대 균열(0.3㎜/1.5m)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦건조수축 및 줄눈 절단 시기 미흡</td><td>원 인</td><td>◦건조수축 및 줄눈 절단 시기 미흡</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦표면처리</td><td>대 책</td><td>◦주입보수</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S2 중분대 망상균열(A=0.84㎡, Cw=0.2㎜)</td><td>현 황</td><td>◦S3 방호벽 박락(A=0.04㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦건조수축 및 온도변화</td><td>원 인</td><td>◦상부 우수로 인한 열화부 박락</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦표면처리</td><td>대 책</td><td>◦단면복구</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S1 방호벽 재료분리(A=0.06㎡)</td><td>현 황</td><td>◦S2 방호벽 철근노출(L=0.10m)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦시공시 다짐불량</td><td>원 인</td><td>◦피복두께 부족</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦단면보수</td><td>대 책</td><td>◦방청 후 단면복구</td></tr>
</table>

			
현 황	◦S1 방호벽 재료분리(A=0.06㎡)	**현 황**	◦S2 방호벽 철근노출(L=0.10m)
원 인	◦시공시 다짐불량	**원 인**	◦피복두께 부족
대 책	◦단면보수	**대 책**	◦방청 후 단면복구

3) 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단시 외관조사 결과, 건조수축과 온도 변화에 따른 신축으로 인한 수직 및 수평균열, 균열/백태, 망상균열, 재료분리, 철근노출 및 녹발생, 파손 등이 조사되었으며 금회 진단 결과 기 진단시와 유사하게 조사되었으나, 조사물량의 경우 공용년수의 증가로 인해 대체로 증가 발생한 것으로 조사되었다.

【표 3-39】 마산방향-방호벽 및 중앙분리대 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증・감
			개소	수량	개소	수량	
방호벽	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	56	55.15	83	79.00	△
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	35	51.30	37	54.70	△
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	1	5.00	1	6.94	△
	•박락	㎡	-	-	2	0.08	△
	•재료분리	㎡	1	0.06	1	0.06	-
	•철근노출, 녹발생	㎡	8	0.04	16	1.12	△
	•파손	㎡	2	0.02	3	0.03	△

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 감곡IC교(마산)의 방호벽 높이는 노면에서 1.10m정도로 '교량방호울타리 성능 개선방안(한국도로공사 구조물처 2009.11.13.)' 에 따른 1.00~1.27m의 기준을 만족하는 것으로 조사되었다.

- 방호벽 및 중앙분리대 외관조사 결과, 균열, 망상균열, 박락, 재료분리, 철근노출, 파손, 녹발생 등의 손상이 조사되었다.
- 방호벽에 발생된 균열과 망상균열(Cw=0.1㎜)은 대부분 주철근과 평행한 방향이고, 불규칙한 망상균열 형태로써, 시공초기 건조수축에 의해 발생된 것으로 보이며, 방호벽에 발생한 균열은 방치시 균열폭 증가 및 우수침투로 인한 백태 발생 우려가 있으므로, 내구성확보를 위하여 표면처리보수를 실시하며, 균열폭 0.3㎜이상은 주입보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 철근노출 및 녹발생은 시공불량(피복부족)과 치밀성 부족부를 통한 우수유입이 주요 원인으로 판단된다. 따라서, 내구성확보를 위하여 방청 후 단면보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 박락, 재료분리, 파손 등 기타 손상은 온도변화에 따른 콘크리트 신축, 시공불량, 다짐불량, 표면열화 국부적인 외력의 작용으로 인하여 발생된 손상으로 판단되며, 내구성확보를 위한 단면보수가 적절할 것으로 판단된다.

다. 점검시설

본 교량의 점검시설은 교각 코핑부 및 교량받침 외관조사를 위한 점검시설(P1)이 설치되어 있다. 점검시설은 점검사다리 및 발판 등 전반적인 양호한 상태로 조사되었다.

박스내부 출입구의 시건장치 상태는 대부분의 열쇠체결은 되어 있으나 자물쇠 고리가 절단되거나 시건장치가 불량하여 점검시 열쇠 없이 출입이 가능한 상태이므로 관계자외 출입방지 및 원활한 구조물 관리를 위한 시건장치의 재설치가 필요할 것으로 판단된다.



교각 점검시설 전경

3.3 외관조사(양평방향)

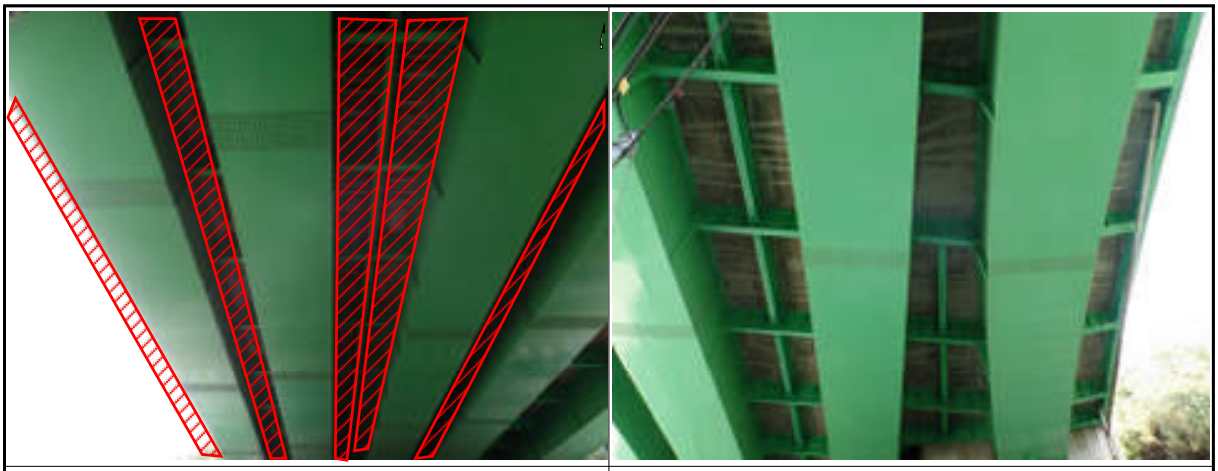
3.3.1 상부구조

가. 바닥판

감곡IC교(양평)는 총 2경간(2@55.0m=110.0m)으로 구성되어 있으며, 상부구조는 강박스거더(Steel Box Girder)로 시공되어있다. 따라서, 감곡IC교(양평)의 바닥판하면의 경우 거더와 거더 사이와 좌·우측 캔틸레버부는 콘크리트가 노출되어 시공되었다.

외관조사는 고소점검차를 이용하여 근접한 후 시공초기 및 공용 중 발생할 수 있는 손상(균열 및 백태, 누수 등)을 중점적으로 조사하였다.

바닥판하면과 교대 흉벽의 맞붙음(협착)에 대해 기 점검 및 진단 결과를 비교·분석하고 금회 조사 시 손상의 진행성 중점적으로 조사하여 원인 및 보수방안을 제시하였다.



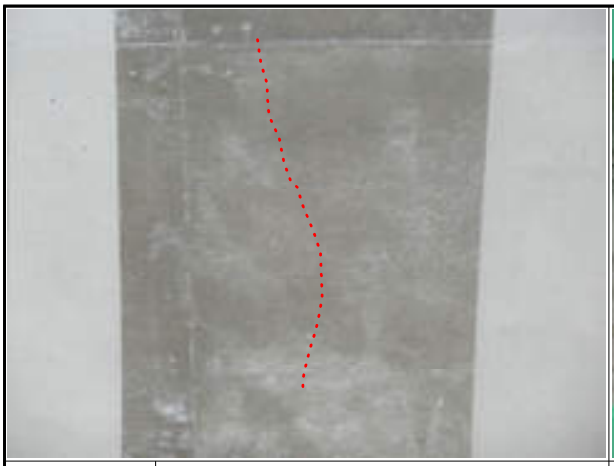
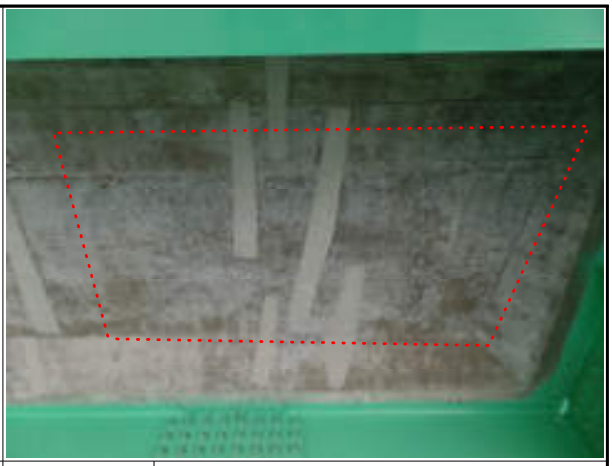
콘크리트 바닥판하면 조사범위 | 콘크리트 바닥판하면 전경

1) 외관조사 결과

【표 3-40】 양평방향 – 바닥판하면 외관조사 결과

구 분	균열				열화 손상							
	균열 Cw=0.3㎜미만 (m)		망상균열 Cw=0.3㎜미만 (㎡)		백태(㎡)		박락(㎡)		박락/녹발생(㎡)		재료분리(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	4.9	3	10.12	3	–	–	2.63	9	0.15	1	0.08	1
S2	–	–	–	–	0.1	1	0.56	2	–	–	–	–
합계	**4.9**	**3**	**10.12**	**3**	**0.1**	**1**	**3.19**	**11**	**0.15**	**1**	**0.08**	**1**

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S1 바닥판 하면 균열(0.2㎜/0.5m)</td><td>현 황</td><td>◦S2 바닥판 하면 망상균열(A=6.6㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦건조수축 및 온도변화</td><td>원 인</td><td>◦건조수축 및 온도변화</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦지속관찰</td><td>대 책</td><td>◦지속관찰</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S2 바닥판 하면 백태(A=0.10㎡)</td><td>현 황</td><td>◦S1 바닥판 하면 박락(A=0.12㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦신축이음부 우수 유입</td><td>원 인</td><td>◦유간부족에 따른 단부박락</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦표면처리보수</td><td>대 책</td><td>◦단면보수(1안)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S1 캔틸레버 박락/녹발생(A=0.15㎡)</td><td>현 황</td><td>◦S1 캔틸레버 재료분리(A=0.08㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦박락부 우수유입에 따른 녹발생</td><td>원 인</td><td>◦시공시 다짐불량</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦방청 후 단면복구</td><td>대 책</td><td>◦단면보수</td></tr>
</table>

① 바닥판하면 협착(박락, 파손)

- 감곡IC교(양평)은 바닥판하면 단부와 흉벽 간의 유간을 충분히 확보하지 못하고 시공되어진 상태에서 공용중 흉벽의 뒷채움에 의한 토압에 의한 교대 전방 이동, 상부하중에 의한 박스 자체의 회전 이동량 및 온도 팽창량 등을 흡수할 정도의 충분한 유간을 확보하지 못하여 맞붙은 것으로 사료된다. 바닥판하면 협착에 의한 박락은 단부에서 떨어져 나간 상태와 상부 신축이음장치에서 바닥판하면의 균열부 등으로 우수가 유입하여 동결융해에 의한 박락이 발생되었다.

3) 기 진단결과와의 비교・분석

- 기존 진단결과 조사된 손상은 균열, 망상균열, 균열/백태, 백태, 배수관탈락, 파손, 박락 등으로 조사되었으나, 금회 정밀안전진단결과 대부분 보수로 인해 손상물량은 대체로 감소한 상태이다. 그러나 바닥판 하면 단부 협착으로 인해 바닥판 단부 박락부의 손상은 증가한 것으로 나타났다.

【표 3-41】 양평방향 - 바닥판 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증・감
			개소	수량	개소	수량	
바닥판	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	525	858.40	3	4.90	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	1	10.00	3	10.12	△
	•백태	㎡	6	2.10	1	0.10	▽
	•박락/녹발생	㎡	4	0.83	12	3.34	△
	•재료분리	㎡	-	-	1	0.08	△
	•배수관 탈락	개소	2	2	-	-	▽

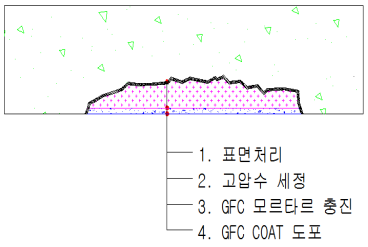
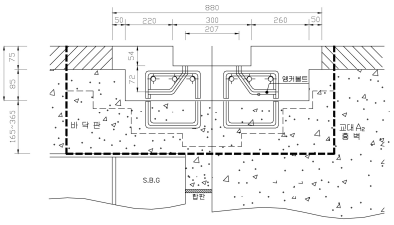
주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 금회 정밀 안전진단시 바닥판 하면 손상으로는 균열, 망상균열, 백태, 박락, 박락/녹발생, 재료분리 등의 손상이 발생되었다.
- 바닥판에 발생한 균열(Cw=0.3㎜미만) 및 망상균열은 거더교 바닥판 하면에 일반적으로 나타나는 균열로써 콘크리트가 타설되는 표면적이 큰 바닥판의 습윤 감소로 인한 콘크리트 체적변화에 따른 건조수축, 수화열에 따른 외부(거더)구속응력 등이 복합적으로 작용한 것으로 시공초기 균열로 판단되며, 일부 균열은 바닥판 양생시 균열부를 통

한 내부수 유출로 백태가 발생한 상태이다. 따라서 미세균열은 현시점의 보수보다는 지속관찰 후 균열 진전시 보수를 실시하며, 백태부의 경우 내구성 확보를 위하여 표면처리보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

- 바닥판 하면 단부 협착에 의한 박락 손상은 2012년 정밀안전진단부터 조사되어 금회까지 발생되었고 일부 증가되었다. 현재 교량의 받침 및 신축이음장치 융기 등이 발생되지 않은 점으로 보아 수평변위는 공용기간이 지남에 따라 수렴된 것으로 판단되며, 또한, 교대의 기울기 조사와 측방유동검토에 대한 결과 기울림 및 수평변위는 없는 것으로 분석되었다. 다만, 공용중인 교량으로써 협착된 거더단부와 흉벽에 차량의 윤하중으로 진동 및 충격에 의해 파손 및 박락 등은 계속적으로 발생 할 수 있으므로 적절한 보수방안이 필요한 것으로 판단되어 금회 정밀안전진진단시 보수보강방안제시 하였다.
- 시공시 다짐미흡으로 인해 일부 재료분리가 발생한 상태이며, 단면복구를 통하여 내구성을 확보하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 교대 이동은 유간이 폐쇄된 현 상태에서 단기간에 진행성 여부를 판단하기 어렵기 때문에 1차적으로 1안)으로 내구성 확보를 위해 단면보수를 실시하고, 2안)으로 교대의 지반보강 그라우팅(A1)과 영구앵커공법(A2)을 이용한 보강을 실시하고 추가적인 손상여부를 관찰한 후 손상이 진행되거나 추가적으로 발생된다면 3안)으로 바닥판하면 단부를 절단하는 보수방법이 있으나 이는 신축이음장치를 지지하는 단부로서 신축이음장치와 함께 교체가 진행되어야하는 이점이 있다. 따라서 경제성을 비교 검토 후 적절한 보수보강을 실시하여 바닥판하면 단부와 교대 흉벽의 유간을 확보하여야 한다.

		
1안) 단면보수	2안) 교대 영구앵커 공법	3안) 바닥판하면 단부 절단

나. Steel Box Girder

바닥판으로부터 전달되는 하중을 지지하고 교량받침을 통하여 하부구조로 하중을 전달해 주는 역할을 하는 거더는 휨과 전단 및 비틀림에 대한 저항력이 큰 Steel Box Girder 형식으로 시공되었다.

1) Steel Box Girder 내부

Steel Box Girder 내부에 대해서는 헤드랜턴 등을 이용하여 도보로 외관조사를 실시하였다. Steel Box Girder 내부 조사 시 주요 용접 결함 조사, 리브 변형, 체수현상, 볼트 부식 등을 중점적으로 조사하였다.



Steel Box Girder 내부 전경

① 외관조사 결과

【표 3-42】 양평방향 - Steel Box Girder 내부 외관조사 결과

구 분		모재 및 연결부 손상	표면열화					
		용접불량(PIT)	도장박리(㎡)		부식(㎡)		실링누락	소변배설
		개소	물량	개소	물량	개소	개소	개소
S1	G1	-	-	-	-	-	-	-
	G2	-	-	-	0.28	6	2	-
	G3	5	0.01	1	0.02	2	-	-
S2	G1	21	-	-	0.02	2	1	-
	G2	8	-	-	-	-	1	-
	G3	1	-	-	-	-	-	1
합계		35	0.01	1	0.32	10	4	1

② 손상별 원인분석

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S1-G3 용접불량(PIT-5EA)</td><td>현 황</td><td>◦S1-G3 도장박리(A=0.01㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦용접작업 자세 불안정</td><td>원 인</td><td>◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦지속관찰</td><td>대 책</td><td>◦재도장</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S1-G2 부식(A=0.08㎡)</td><td>현 황</td><td>◦S1-G2 실링누락</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦거더 지점부와 Splice부를 통한 우수유입</td><td>원 인</td><td>◦시공미흡(실링처리 누락)</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦재도장</td><td>대 책</td><td>◦실링 시공</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S2-G3 소변배설</td><td>현 황</td><td>◦S2-G1 전선절단(전구간)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦소변배설</td><td>원 인</td><td>◦전선 제거 및 도난</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦청소</td><td>대 책</td><td>◦지속관찰</td></tr>
</table>

③ 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단결과 조사된 손상은 도장박리/부식, 볼트부식, 용접결함(Pit, 비드면 불량), 누수흔적 및 실링누락, 소변배설, 모재긁힘 등으로 조사되었으며, 금회 정밀안전진단 결과 손상은 대체적으로 유사한 것으로 나타났다. 기 진단 대비 손상 물량이 감소하였으며, 그 원인은 손상부에 대한 재도장 및 용접불량(Pit, 비드불량)에 대한 보수가 실시되어 기 진단대비 금회 손상물량이 감소한 것으로 조사되었다.



Pit 및 비드면 불량 보수 현황

【표 3-43】 양평방향 - Steel Box Girder 내부 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증・감
			개소	수량	개소	수량	
Steel Box Girder 내부	•Pit	개소	492	492	56	56	▽
	•비드면 불량	m	57	8.01	-	-	▽
	•도장박리, 부식	㎡	207	3.33	20	0.42	▽
	•실링누락	개소	45	45	4	4	▽
	•소변배설	개소	1	1	1	1	-
	•모재긁힘	㎡	2	0.03	-	-	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄
주)거더 내부 물량 비교는 격벽을 포함한 물량을 비교하였음.

④ 검토의견

- Steel Box Girder 내부는 전반적으로 양호한 상태로 조사되었으나, 일부 개소에서 피트(Pit), 도장박리, 부식, 실링누락, 소변배설 등의 손상이 조사되었다.
- 거더 내부에 국부적으로 발생된 도장박리 및 부식은 도장 전처리 불량과 Splice부를 통한 우수유입이 주요 원인으로 판단되며, 하부플랜지 횡리브에 다수 발생된 도장박리는 작업 간 발생된 인위적 충격과 긁힘 등으로 인해 발생된 것으로 판단된다. 따라서 보수방안으로 재도장하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 거더 내부 주부재 및 보조부재의 용접면에서 피트(Pit) 등의 용접결함이 조사되었으며, 이는 용접 시공시 용접전류 및 용접속도 불량, 용접작업 실수 등으로 인하여 발생된 것

으로 판단된다.

- 용접비드 표면 피트는 구멍 직경이 작고 산재된 경우에는 강도에 큰 영향이 없지만, 집중적으로 발생한 경우는 응력집중의 원인이 되는 바, 용접불량 부위를 가우징으로 완전히 제거한 후 다시 용접을 실시하는 것이 원칙이다. 그러나 본 교량은 용접보수 시 주변 건전부위에 추가 손상이 발생할 가능성이 높고, 용접작업의 불안정성 등으로 현실적으로는 적용이 어려울 것으로 판단되며, 용접결함 범위가 작고 기준(한 이음에 대해 3개 또는 1m에 대해 3개 허용(단, Ø1㎜ 이하의 피트는 3개를 1개로 간주))이내로서 현재까지 피로균열과 변형 등의 주요 손상이 발생하지 않는바 현재 용접결함의 정도가 구조물의 안전성에 미치는 영향은 경미한 것으로 판단된다. 따라서, 재용접 등 보수보다는 지속적인 관찰을 실시하고, 피로균열의 발생시 보수·보강 대책을 수립하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 일부 Splice부 실링누락이 조사되었으며, 실링재 시공이 필요할 것으로 판단된다.
- 거더내부에 일부 소변이 배설되어 있어, 강재 도장부식 유발과 위생에 문제가 있을 것으로 판단되며, 위생 및 미관을 위하여 청소가 적절할 것으로 판단된다.
- 거더내부에 설치되어 있는 점검등 케이블은 현재 전 구간에 절단되어 있는 상태이다.
- 결과적으로, Steel Box Girder 내부는 구조적 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다. 다만, 내구성 측면에서 적절한 보수 및 지속적인 관찰을 통하여 향후 유지관리 해야 할 것으로 판단된다.

2) 격벽

격벽은 Steel Box 단면이 뒤틀림에 의한 응력을 억제하기 위해 설치한 구조물로서 Steel Box Girder 내부와 동일한 방법으로 근접하여 외관조사를 실시하였다.



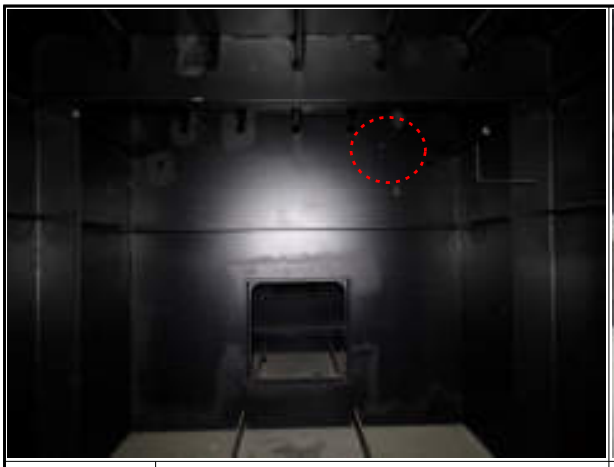
Steel Box Girder 내부 격벽 전경

① 외관조사 결과

【표 3-44】 양평방향 - Steel Box Girder 격벽 외관조사 결과

구 분		모재 및 연결부 손상	표면열화			
		용접불량(PIT)	도장박리(㎡)		부식(㎡)	
		개소	물량	개소	물량	개소
S1	G1	6	-	-	-	-
	G2	-	-	-	-	-
	G3	-	0.03	3	-	-
S2	G1	1	0.01	1	0.01	1
	G2	7	0.03	3	-	-
	G3	7	0.01	1	-	-
합계		21	0.08	8	0.01	1

② 손상별 원인분석





현 황	◦S2-G1 용접불량(PIT)	현 황	◦S2-G1 부식(A=0.01㎡)
원 인	◦용접작업 자세 불안정	원 인	◦거더 지점부와 Splice부를 통한 우수유입
대 책	◦지속관찰	대 책	◦녹제거 후 재도장

③ 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단결과 조사된 손상은 도장박리, 부식, 모재 긁힘, 용접결함(Pit, 비드면 불량, 언더컷) 등으로 조사되었으며, 금회 정밀안전진단 결과에 따른 손상과 대체적으로 동일한 것으로 나타났다. 그러나 손상물량의 경우 적절한 보수를 실시함으로써 대체적으로 감소한 것으로 나타났다.

④ 검토의견

- Steel Box Girder 내부의 격벽은 전반적으로 양호한 상태로 조사되었으나, 일부 개소에서 피트(Pit), 도장박리, 부식 등의 손상이 조사되었다.
- 격벽 용접면에서 피트(Pit) 등의 용접결함이 조사되었으며, 이는 거더 내부와 마찬가지로 용접 시공시 용접전류 및 용접속도 불량, 용접작업 실수 등에 의해 발생된 것으로 판단되며, 현재까지 피로균열과 변형 등의 주요 손상이 발생하지 않았으며, 또한 현재 용접결함의 정도가 구조물의 안전성에 미치는 영향은 경미한 것으로 판단된다. 따라서 재용접 등 보수보다는 지속적인 관찰을 실시하고, 피로균열의 발생시 보수·보강 대책을 수립하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 도장박리, 부식 역시 거더 내부와 유사한 형태로 시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화 등에 의한 판단되며, 내구성 저하방지를 위해 재도장을 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 결과적으로, Steel Box Girder 격벽은 구조적 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었으며, 다만, 적절한 보수 및 지속적인 관찰을 통하여 향후 유지관리 해야 할 것으로 판단된다.

3) Steel Box Girder 외부

Steel Box Girder 외부에 대해서는 고소점검차를 이용하여 근접 조사하였으며, Steel Box Girder 주요 조사 내용은 Splice부 볼트부식, 부식, 도장박리 등을 중점적으로 조사하였다.



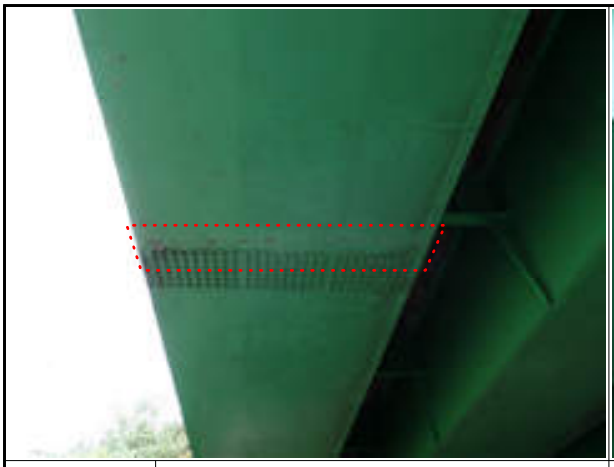
Steel Box Girder 외부 전경

① 외관조사 결과

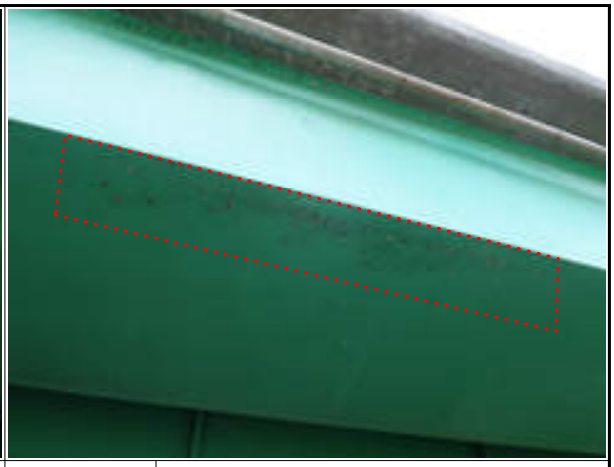
【표 3-45】 양평방향 - Steel Box Girder 외부 외관조사 결과

구 분		표면열화					
		도장박리(㎡)		부식(㎡)		오염(㎡)	
		물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	G1	0.01	1	0.02	2	-	-
	G2	-	-	0.03	3	-	-
	G3	-	-	0.11	7	-	-
S2	G1	-	-	-	-	-	-
	G2	-	-	-	-	-	-
	G3	1.00	1	0.46	14	16.5	6
합계		1.01	2	0.62	26	16.5	6

② 손상별 원인분석



현 황	◦S2-G3 거더외부 도장박리(A=1.00㎡)
원 인	◦외부 작용에 의한 긁힘
대 책	◦재도장



현 황	◦S2-G3 거더외부 오염(이물질)(A=7.00㎡)
원 인	◦상부 우수유입
대 책	◦재도장

③ 기 진단결과와의 비교 · 분석

■ 기 진단결과 조사된 손상은 도장박리 및 부식, 오염 등으로 조사되었으며, 금회 정밀안전진단시 조사된 손상과 대체로 비슷한 것으로 나타났다. 그러나 각각의 손상물량은 증감하였으며, 이는 기 진단 결과에 따른 보수로 인해 대체적으로 감소하기도 하였으나, 공용년수 증가에 따른 노후화로 인해 일부 손상물량은 증가한 것으로 조사되었다.

【표 3-46】 양평방향 - Steel Box Girder 외부 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
Steel Box Girder 외부	•도장박리, 부식	㎡	42	0.37	28	1.63	△
	•오염	㎡	2	2.00	6	16.50	△

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

④ 검토의견

- Steel Box Girder 외부에 대한 외관조사결과, 구조적인 손상은 없으나 도장박리, 부식, 오염 등이 조사되어 내구성 확보를 위해 보수가 필요한 상태이다.
- 도장박리, 부식은 공용기간 중대로 인한 교량의 노후화 및 태양광에 의한 열화, 도장전 바탕 처리불량 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 구조물의 내구성 확보를 위해 재도장을 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 거더 외부에서 조사된 오염은 바닥판 하면 캔틸레버부의 유공관으로부터 떨어지는 우수로 인하여 발생된 것으로 판단되며, 열화 발생부에 대하여 재도장을 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 금회 조사시, 거더 외부 전체적으로 태양광에 의한 열화로 인하여 안료가 전체적으로 묻어나는 상태이나, 지속적인 관찰을 하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- Steel Box Girder 외부는 구조적 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었으며, 적절한 보수 및 지속적인 관찰을 통하여 향후 유지관리 해야 할 것으로 판단된다.

4) 강 가로보 및 세로보, 브라켓

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



강 가로보 및 세로보 전경



브라켓 전경

① 외관조사 결과

【표 3-47】 양평방향 - 강 가로보 및 세로보, 브라켓 외관조사 결과

구 분		표면열화	
		부식(㎡)	
		물량	개소
S1	G1~G2	-	-
	G2~G3	-	-
	Bracket	0.01	1
S2	G1~G2	-	-
	G2~G3	-	-
	Bracket	-	-
합계		0.01	1

② 기 진단결과와의 비교 · 분석

- 기 진단 가로보 및 세로보, 브라켓 외관 조사결과는 도장박리 및 부식이 조사되었으며, 금회 정밀안전진단에는 브라켓에서 부식이 일부 조사되었으며 양호한 상태이다.

【표 3-48】 양평방향 - 강 가로보 및 세로보, 브라켓 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증 · 감
			개소	수량	개소	수량	
가로보 및 세로보	•부식	㎡	2	0.06	1	0.01	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

③ 검토의견

- 강 가로보 및 세로보, 브라켓에 대한 외관조사결과, 대체적으로 양호한 것으로 조사되었으나, 국부 부식이 일부 조사된 상태이다.
- 강 가로보 및 세로보, 브라켓에서 조사된 부식은 공용년수의 증가에 따른 구조물 노후화로 인한 것으로 판단되며, 향후 내구성 확보를 위하여 녹제거 후 재도장을 통한 보수가 적절할 것으로 판단된다.

3.3.2 하부구조

가. 교대

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

감곡IC교(양평)의 교대형식은 역T형식이고, 기초형식 A1, A2는 강관말뚝기초로 시공되어 있으며, 금회 현장 조사시 교대 구체 및 흉벽, 날개벽, 흉벽 유도배수관 배출경로, 교대주변 측벽계단, 배수측구, 법면사면(압성토)를 중점적으로 조사하였다.

교대의 기초는 상시 매설된 상태로 육안조사가 불가하나, 주변지반 침하 및 구조적 결함이 조사되지 않아 기초 상태는 큰 문제점이 없을 것으로 판단된다.



교대(A1) 전경



교대(A2) 전경

1) 외관조사 결과

【표 3-49】 양평방향 - 교대 외관조사 결과

구 분	균열				표면열화							
	Cw=0.3㎜ 미만(m)		망상균열 Cw=0.3㎜ 미만(m)		누수흔적 (㎡)		백태 (㎡)		박리 (㎡)		재료분리 (㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
A1	0.30	1	0.40	1	2.64	5	0.64	3	5.22	2	0.52	3
A2	1.50	1	-	-	0.80	4	0.20	1	-	-	-	-
합계	**1.80**	**2**	**0.4**	**1**	**3.44**	**9**	**0.84**	**4**	**5.22**	**2**	**0.52**	**3**

【표 3-49】 양평방향 - 교대 외관조사 결과(계속)

구 분	표면열화									
	녹발생(㎡)		파손(㎡)		체수흔적(㎡)		이물질퇴적(㎡)		실링재열화(m)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
A1	0.37	3	-	-	10.71	4	2.52	1	0.25	1
A2	0.10	10	0.02	1	0.09	1	-	-	-	-
합계	**0.47**	**13**	**0.02**	**1**	**10.8**	**5**	**2.52**	**1**	**0.25**	**1**

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td>  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦A1 구체부 균열(0.1㎜/0.3m)</td><td>현 황</td><td>◦A1 흉벽 망상균열(A=0.40㎡/cw=0.1㎜)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦건조수축 및 온도변화</td><td>원 인</td><td>◦건조수축 및 온도변화</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦지속관찰</td><td>대 책</td><td>◦지속관찰</td></tr>
<tr><td>  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦A1 흉벽 누수흔적(A=0.14㎡)</td><td>현 황</td><td>◦A1 흉벽 백태(A=0.30㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦신축이음부를 통한 우수유입</td><td>원 인</td><td>◦신축이음부를 통한 우수유입</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦신축이음부 선행보수 후 표면보수</td><td>대 책</td><td>◦신축이음부 선행보수 후 표면보수</td></tr>
</table>

			
현 황	◦A1 구체 박리(A=1.32㎡)	**현 황**	◦A2 흉벽 녹발생(A=0.01㎡/10EA)
원 인	◦신축이음부를 통한 우수유입	**원 인**	◦균열부 우수유입에 따른 녹발생
대 책	◦신축이음부 선행 보수후 표면처리	**대 책**	◦방청 후 단면보수
			
현 황	◦A2 구체 파손(A=0.02㎡)	**현 황**	◦A1 구체 체수흔적/이물질퇴적(A=1.36㎡)
원 인	◦외부 충격	**원 인**	◦신축이음부 유도배수 누수
대 책	◦단면보수	**대 책**	◦신축이음부 유도배수관 보수

3) 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단시 외관조사 결과, 구체 및 흉벽에서 건조수축과 단면변화 응력집중으로 인한 균열(Cw=0.1~0.2㎜), 망상균열, 신축이음부 우수유입으로 인한 흉벽 누수흔적, 국부 백태, 체수, 공용년수 증가로 인한 철근노출 및 녹발생, 파손, 재료분리, 박리, 실링재 열화 및 탈락 등이 조사되었으며, 금회 진단 결과 대체적으로 동일한 손상이 조사되었으며, 손상물량의 증감이 발생하였다.
- 손상의 증감은 기 진단시 조사된 손상의 보수로 인한 것으로 판단되며, 공용년수의 증가로 인해 일부 물량의 증가가 발생한 것으로 판단된다. 교대 A1, A2 보호 블록(압성토) 사면은 파손, 슬라이딩에 의한 사면 침하 등은 조사되지 않았다.

【표 3-50】 양평방향-교대 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
교대	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	79	37.94	2	1.80	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	2	0.92	1	0.40	▽
	•누수흔적, 백태, 체수흔적	㎡	15	14.67	18	15.08	△
	•박리, 재료분리, 파손	㎡	14	7.53	6	5.76	▽
	•녹발생	㎡	54	1.00	13	0.47	▽
	•이물질퇴적	㎡	-	-	1	2.52	△
	•실링재열화	m	3	2.15	1	0.25	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

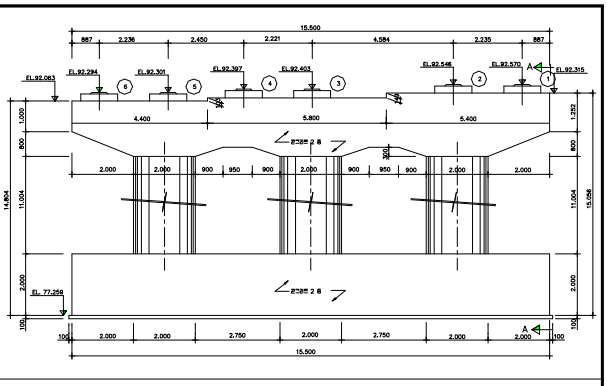
- 교대는 균열, 망상균열, 누수흔적, 백태, 박리, 재료분리, 녹발생, 파손, 체수흔적, 이물질퇴적, 실링재 열화 등의 손상이 조사되었다.
- 교대에 발생한 균열의 형상 및 발생 위치 등을 검토한 결과, 건조수축 및 온도변화에 의해 발생된 비구조적인 균열로 판단되며, 손상정도가 경미하여 보수의 긴급성은 없으므로, 지속관찰을 통해 균열 진전시 보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 교대 흉벽과 구체에 누수흔적 및 백태, 박리, 체수흔적이 조사되었으며, 이는 신축이음부를 통한 우수유입이 주요 원인으로 판단되며, 신축이음부 보수가 선행 된 후 표면처리보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 교대 흉벽과 구체에 발생한 재료분리는 시공시 다짐불량에 의한 것으로 판단되며, 파손은 인위적 충격에 의한 것으로 판단되며, 단면보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 교대 흉벽에 잡철근 노출 및 부식으로 인하여 녹발생이 조사되었으며, 보수방안으로 방청 후 단면보수를 수행하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 교대에 발생한 이물질퇴적 및 실링재 열화는 신축이음부에서 발생한 누수로 인해 이물질퇴적이 발생하였으며, 공용년수의 증가로 인하여 실링재 열화가 발생한 것으로 판단되며, 청소를 통하여 이물질을 제거하고 실링재 주입보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

나. 교각

상부구조를 지지하는 구조물인 교각형식은 Ⅱ형 교각식이고, 기초형식(P1)은 확대 전면기초로 시공되어 있다. 감곡IC교(양평)은 2경간, 교각이 1개소로 유지관리를 용이하게 하기 위한 출입사다리 및 점검통로가 시공되어 있으며, 도보점검 및 고소점검차를 이용하여 조사하였다.



교각(P1) 전경



교각(P1) 단면도

1) 외관조사 결과

【표 3-51】양평방향 - 교각 외관조사 결과

구 분	균열				표면열화	
	균열 Cw=0.3㎜미만(m)		망상균열 Cw=0.3㎜미만(㎡)		녹발생(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소
P1	9.20	11	28.76	11	0.11	11
합계	**9.20**	**11**	**28.76**	**11**	**0.11**	**11**

2) 손상별 원인분석





현 황	◦P1 교각부 균열(0.2㎜/0.6m)	**현 황**	◦P1 코핑부 녹발생(A=0.01㎡/11EA)
원 인	◦건조수축 및 온도변화	**원 인**	◦균열부 우수유입에 따른 녹발생
대 책	◦지속관찰	**대 책**	◦방청 후 단면복구

3) 기 진단결과와의 비교・분석

■ 기 진단 결과, 균열 및 망상균열, 누수흔적 및 녹발생, 파손, 백태, 오염 등이 발생하였으나, 금회 진단시 확인한 결과 전반적인 보수를 실시하여 대부분의 손상이 감소한 상태이다. 그러나 공용년수의 증가로 인해 일반적 손상인 미세균열과 잡철근에 따른 녹발생이 발생한 상태이다.

【표 3-52】 양평방향 - 교각 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증・감
			개소	수량	개소	수량	
교각	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	78	59.40	11	9.20	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	2	2.40	-	-	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	16	56.06	11	28.76	▽
	•파손, 재료분리	㎡	8	0.76	-	-	▽
	•부식 및 백태	㎡	1	0.20	-	-	▽
	•볼트부식	개소	18	18	-	-	▽
	•오염	㎡	1	0.70	-	-	▽
	•녹발생	㎡	28	1.02	11	0.11	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

■ 교각은 전반적인 보수를 실시한 상태이나 균열, 망상균열, 녹발생 등의 손상이 조사되었다.

■ 균열(최대폭 : 0.2㎜), 망상균열은 균열의 형상 및 발생 위치 등을 검토한 결과, 건조수축 및 온도변화에 의해 발생된 비구조적인 균열로 판단되며, 손상정도가 경미하여 보수의 긴급성은 없으므로, 지속관찰을 통해 균열 진전시 보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

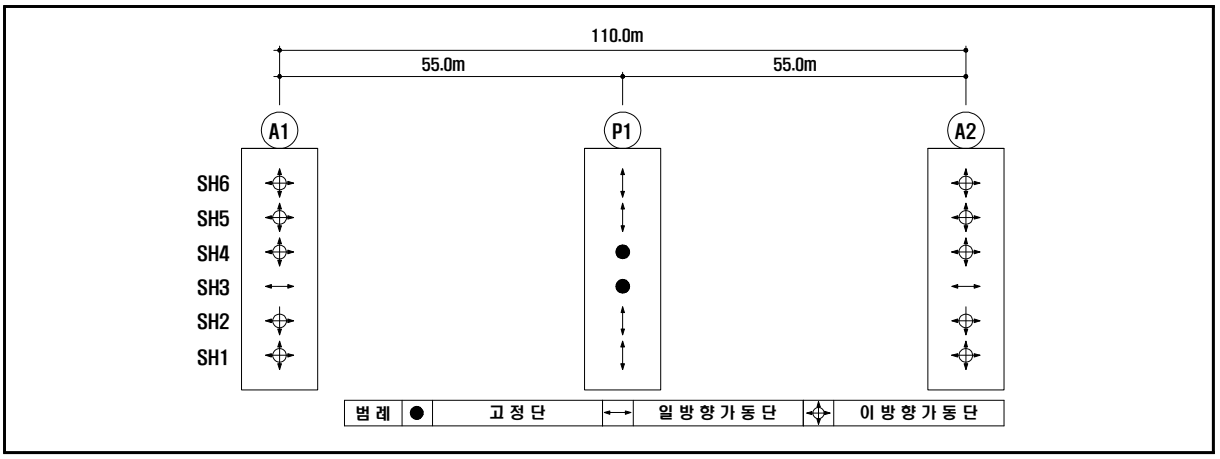
■ 망상균열(Cw=0.1㎜)은 재령초기 표면 건조수축으로 인해 발생된 것으로 판단되며, 『건조수축은 콘크리트가 수화반응을 하는데 필요한 수량은 시멘트량의 40%이하로 알려져 있다. 그러나, 일반적으로 사용되는 콘크리트의 물/시멘트비는 45~60% 정도가 가장 많은 실정이다. 따라서, 워커빌리티에 기여한 잉여수가 건조하면서 콘크리트는 수축을 하게 되므로 콘크리트의 건조수축에 의한 체적변화는 보통 다른 구조체에 의해 저지되기 때문에, 이러한 제약으로 인하여 인장응력이 발생하면서 콘크리트에 균열을 일으키게 된다. 건조수축 균열은 기본적으로 두꺼운 부재와 얇은 부재의 건조속도 차이

로 발생하는 인장력과 건물 전체의 수축으로 발생하는 인장력의 작용으로 발생하는 경우가 많다.』(“콘크리트 균열의 원인”, 한국콘크리트학회 학회지 제6권4호, 1994.8)

- P1에서 조사된 녹발생은 상부구조 유공관에서 떨어지는 우수와 코핑부 잡철근 미제거로 인하여 발생한 것으로 판단되며, 내구성 확보를 위하여 방청 후 단면보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

다. 교량받침

본 교량의 받침장치은 Pot Bearing받침으로 총 18개소가 시공되었으며, 전차 점검에서 확인된 손상에 대하여 전반적인 보수가 완료된 상태이며, 금회 추가 손상으로 받침몰탈, 받침 콘크리트 균열 및 박락과 상부플레이트 부식 및 도장박리가 일부 조사되었다. 교량받침 배치현황은 다음 그림과 같다.



【그림 3-12】 양평방향 - 교량받침 배치도



교량받침 전경(A1-Sh1, 양방향)



교량받침 전경(P1-Sh3, 고정단)



교량받침 전경(A1-Sh3, 일방향)

1) 외관조사 결과

【표 3-53】 양평방향 - 교량받침 외관조사 결과

구 분	받침본체				받침콘크리트, 받침몰탈			
	부식(㎡)		도장박리(㎡)		균열 Cw=0.3㎜미만(m)		박락(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
A1	2.14	6	-	-	0.20	1	-	-
P1	1.00	1	0.06	1	1.20	7	0.06	1
A2	0.08	1	0.06	1	-	-	-	-
합계	**3.22**	**8**	**0.12**	**2**	**1.40**	**8**	**0.06**	**1**

2) 손상별 원인분석



현 황	◦A1-Sh5 받침부식(A=0.02㎡)
원 인	◦상부 우수유입
대 책	◦녹제거 후 재도장



현 황	◦A1-Sh3 받침부식
원 인	◦상부 우수유입
대 책	◦녹제거 후 재도장



현 황	◦A2-Sh5 받침 도장박리(A=0.06㎡)
원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화
대 책	◦재도장



현 황	◦P1-Sh6 받침몰탈균열(0.1㎜/0.2m)
원 인	◦건조수축 및 온도변화
대 책	◦지속관찰

3) 기 점점결과와의 비교・분석

- 기 진단시 일부 도장박리 및 부식, 도장불량, 몰탈균열, 몰탈파손, 받침콘크리트 균열, 망상균열, 박락 등의 손상이 조사되었으며, 금회 진단 결과 대부분 보수를 통해 손상물량은 대체로 감소하였으나, 받침 본체의 손상은 공용년수의 증가함에 따라 증가한 것으로 조사되었다.

【표 3-54】 양평방향 - 교량받침 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증・감
			개소	수량	개소	수량	
교량받침	•부식	㎡	6	0.18	8	3.22	△
	•도장박리	㎡	2	0.08	2	0.12	△
	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	48	11.1	8	1.40	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	1	0.30	-	-	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	1	0.18	-	-	▽
	•박락	㎡	1	0.08	1	0.06	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 금회 교량받침 조사결과, 받침본체 부식, 도장박리, 받침콘크리트 및 몰탈 균열, 받침콘크리트 박락 등의 손상이 조사되었다.
- 교량 받침 소울플레이트에 부식이 국부 조사되었으며, 이는 신축이음부와 외측면을 통한 우수유입이 가장 주요한 원인으로 판단되며, 내구성 확보를 위하여 녹 제거 후 재도장이 적절한 것으로 판단된다.
- 받침콘크리트, 받침 몰탈에 발생한 0.3㎜미만의 균열은 건조수축에 의한 비구조적인 손상으로 판단되며, 손상정도가 경미하여 보수의 긴급성은 없으므로, 지속관찰을 통해 균열 진전시 보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 받침 콘크리트에 발생한 박락은 우수유입에 따른 동결융해 및 내부 철근부식 팽창에 의한 것으로 판단되며, 내구성 확보를 위하여 방청 후 단면보수가 필요할 것으로 판단된다.

5) 연단거리 검토

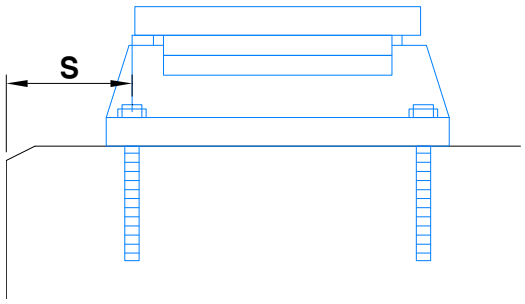
교좌면은 받침을 통해 상부구조로부터 하중을 받는 곳이고 또한 지진시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 따라서 받침 끝에서 정부 연단까지의 거리가 작으면 고정단에서는 전단면에 연해서 콘크리트 구체 또는 받침이 파손될 수 있고, 가동단에서는 최악의 경우 받침이 벗어나 거더가 낙하할 수도 있다. 따라서 도로교 설계기준에서는 상부구조의 길이에 따라 연단거리의 최솟값을 정해놓았으며, 본 과업에서는 실제 시공된 연단거리와 설계 연단거리를 비교・검토하였다.

■ 거더의 경간길이 100m이하 : S = 200 + 5.0L

100m이상 : S = 300 + 4.0L (도로교 설계기준)

여기서, S : 받침연단거리(㎜), L : 거더의 경간길이(m)

■ 연단거리 : 콘크리트면의 가장자리로부터 가장 가까운 앵커 중심까지의 거리



< 포트받침 >

연단거리 측정 개요도



연단거리 실측 전경

【그림 3-13】 양평방향 - 연단거리 측정방법

【표 3-55】 양평방향 - 연단거리 측정결과

구 분		경간장 (m)	계산 연단거리 (㎜)	실측 연단거리(㎜)						검토 결과
				G1		G2		G3		
				Sh1	Sh2	Sh3	Sh4	Sh5	Sh6	
A1	종점측	55.00	475	590	600	580	580	590	590	O.K
P1	시점측	55.00	475	950	960	900	930	880	950	O.K
	종점측	55.00	475	950	950	900	940	890	950	O.K
A2	시점측	55.00	475	590	590	590	590	590	590	O.K

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

6) 교량받침 가동량 측정



A1 Sh3 받침 이동위치 측정(38mm / 29.6℃일 때)

【표 3-56】 교량받침 가동량 산정

▣ 온도에 의한 가동량

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

ΔT = 온도변화(−20℃ ~ +40℃) → Steel Box Girder교(한랭지방)

α = 선팽창계수(1.2×10^{-5}) → Steel Box Girder교

도로설계편람 (2000년)	■ 온도범위는 교량 상부구조의 평균 온도이며, 지역구분은 최근 5년간 최저기온 및 최고기온을 참조하여 결정(도로공사 연구보고서. 1993) [보통지방] : 대전 구미, 대구, 강릉, 논산, 전주, 광주, 순천, 진주, 마산, 창령, 고령, 동서울, 부산 [한랭지방] : 인천, 수원, 천안, 영동, 이천, 원주, 대관령, 정안, 진천
기상청 통계자료	■ 최근 5년간 이천(기)의 일평균 최저 온도 : -14.2℃ (2011/01/16) ■ 설계편람 발간 당시 이천(기) 5년간 일평균 최저 온도 : -15.8℃ (2001/01/15) ■ 최근 5년간 일평균 최저 온도 < 설계편람 발간당시의 5년간 일평균 최저 온도

▣ 활하중에 의한 보의 처짐에 의한 가동량

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

여기서, h_i : 받침의 회전중심에서 보의 중립축 까지의 높이 (거더 높이의 2/3)

θ_i : 보의 회전각 (강교 1/150, 콘크리트교 1/300)

▣ 계산 가동량 산정

온도변화 범위	−20℃ ~ +40℃	선팽창 계수(α)	1.2×10^{-5}
점검시 기온(℃)	2016. 08. 08. (1차) 2016. 10. 19. (2차)	29.6 (1차) 14.4 (2차)	
온도에 의한 가동량($\Delta \ell t$)	$\Delta \ell t = \Delta T \times \alpha \times \ell$		
보의 중립축까지 높이(hi)	$\frac{2}{3}\times 2{,}700$		
보의 회전각(θi)	1/150 (Steel Box Girder교)		
보의 처짐에 의한 가동량($\Delta \ell r$)	$\triangle l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$		
신축거더길이 (L, m)	A1	P1	A2
	55.0	0	55.0

※ 처짐에 의한 가동량은 팽창시만 고려하여 계산

① 교량받침 가동량 측정결과 및 가동 여유량 분석

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

가동받침 가동량 산정시 고려되는 항목은 활하중에 의한 보의 처짐, 온도변화, 건조수축, 크리프 등을 고려하여야 한다. 그러나 대상 교량은 준공 후 10년이 경과하였기 때문에 건조수축 및 크리프에 의한 변형은 완료된 것으로 판단하여 온도변화 및 활하중에 의한 처짐만을 검토하는 것으로 하였다.

【표 3-57】 양평방향 - 교량받침 이동량 산정

구 분	온도변화 (⊿T, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더 길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜)	최대 받침 가동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
A1	49.6	10.4	0.000012	55	32.7	6.9	12.0	32.7	6.9
P1	고정단								
A2	49.6	10.4	0.000012	55	32.7	6.9	12.0	32.7	6.9
1) 조사당시 온도 : 29.6℃ (조사일 : 2016년 08월 08일, 전일 평균온도) 2) 검토온도 : -20℃ ~ +40℃ (한랭지방)									

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

② 교량받침 온도차에 따른 가동 여유량과 계산 가동량 비교

【표 3-58】 양평방향 - 교량받침 가동여유량 검토결과

구 분		점검당시 실측이동량 (㎜)	최대 받침 이동량(㎜)		실측 받침 가동여유량(㎜)		받침이동 허용량 (㎜)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
A1	Sh1	+60 (A1)	32.7	6.9	110.0	(10.0)	±50	N.G
	Sh2	+33 (A1)			83.0	17.0		O.K
	Sh3	+38 (A1)			88.0	12.0		O.K
	Sh4	+33 (A1)			83.0	17.0		O.K
	Sh5	+43 (A1)			93.0	7.0		O.K
	Sh6	+48 (A1)			98.0	2.0		O.K
P1	고정단							-
A2	Sh1	+20 (A2)	32.7	6.9	70.0	30.0	±50	O.K
	Sh2	+15 (A2)			65.0	35.0		O.K
	Sh3	+20 (A2)			70.0	30.0		O.K
	Sh4	+20 (A2)			70.0	30.0		O.K
	Sh5	+28 (A2)			78.0	22.0		O.K
	Sh6	+30 (A2)			80.0	20.0		O.K
주) 판정 : 최대 받침 이동량 ≤ 실측 받침 가동여유량 ⇒ O.K								

- 교량받침의 이동량을 검토한 결과, 대부분 충분한 가동 여유량을 확보하고 있는 것으로 평가되었다. 다만, A1-Sh1의 받침 이동량은 계산에 의한 최대 받침이동량(신장시)이 받침 이동허용량을 고려한 받침 가동여유량(신장시)을 초과하는 것으로 검토되었다.
- 신장 가동여유량 부족은 받침장치 설치시 장기 변형량(크리프 및 건조수축)을 예상하지 못해 발생한 프리셋팅 오류로 판단된다. 가동흔적 조사결과, 기능상에 문제가 없고 이동여유량 부족으로 인한 이상변위 및 기타손상(받침들뜸 및 파손, 받침장치 주변 부재의 파손 및 변형, 받침편기, 복부 거더의 경사균열 등)이 없으며, 현재 교량의 안전성 및 사용성에 문제가 없으므로, 경제성을 고려하여 교체보다는 현상유지가 타당할 것으로 판단된다. 그러나 여유량 부족으로 인한 받침장치 및 거더 등에 손상발생 가능성을 배제할 수 없으므로 중점유지관리 사항으로 선정하여 점검 시 이상유·무를 확인할 수 있도록 중점유지관리가 필요할 것으로 사료된다.

③ 온도차에 따른 이론 수축량과 실제 수축량 가동 여부 비교

【표 3-59】 양평방향 - 교량받침 가동상태 검토결과

구 분		실측이동량(㎜)		변동량(㎜)		비 고
		1차	2차	실측치	이론치	
A1	Sh1	+60 (A1)	+45 (A1)	15.0	10.0	1차:29.6℃ 2차:14.4℃ 온도차:15.2℃
	Sh2	+33 (A1)	+25 (A1)	8.0		
	Sh3	+38 (A1)	+25 (A1)	13.0		
	Sh4	+33 (A1)	+22 (A1)	11.0		
	Sh5	+43 (A1)	+30 (A1)	13.0		
	Sh6	+48 (A1)	+35 (A1)	13.0		
P1	고정단					
A2	Sh1	+20 (A2)	+15 (A2)	5.0	10.0	
	Sh2	+15 (A2)	+10 (A2)	5.0		
	Sh3	+20 (A2)	+15 (A2)	5.0		
	Sh4	+20 (A2)	+15 (A2)	5.0		
	Sh5	+28 (A2)	+20 (A2)	8.0		
	Sh6	+30 (A2)	+25 (A2)	5.0		
※ 1차 측정 : 2016년 08월 08일(29.6℃) / 2차 측정 : 2016년 10월 19일(14.4℃) ※ 받침 위치 조사시 기준점은 고정단을 기준으로 +: 신장, -:수축으로 표시함.						

- 교량받침의 이동위치는 2회(1차:29.6℃(8월), 2차:14.4℃(10월))에 걸쳐 측정하였으며, 온도 변화에 따른 이동량 측정결과, 계산 이동량과 차이는 있으나, 전반적으로 양호한 거동상태를 보이고 있는 것으로 평가되었다.

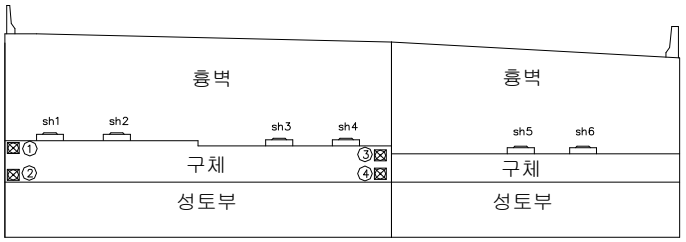
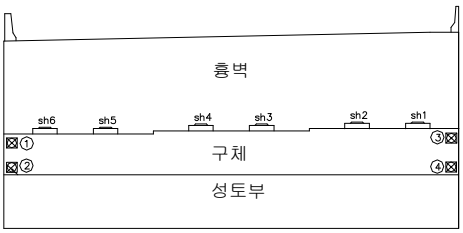
3.3.3 교대 기울기 측정

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

가. 광파기를 이용한 측정

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

1) 측량 위치 및 측량 전경

<table>
<tr><th colspan="3">측정 위치</th></tr>
<tr><th>A1 교대</th><th colspan="2">A2 교대</th></tr>
<tr>
<td> 
</td>
<td colspan="2"> 
</td>
</tr>
<tr>
<td>  </td>
<td>  </td>
<td>  </td>
</tr>
<tr>
<td>측정 결과</td>
<td>측점 전경(A1)</td>
<td>측점 전경(A2)</td>
</tr>
</table>

2) 측량 결과 좌표

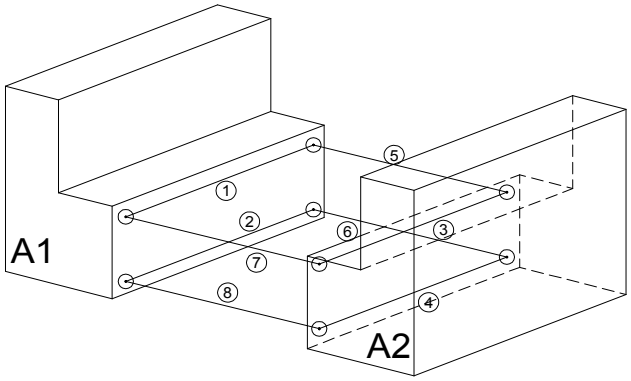
위치	①			②			③			④		
	N축	E축	Z축	N축	E축	Z축	N축	E축	Z축	N축	E축	Z축
교대 A1	73.025	24.143	4.469	73.171	24.192	3.568	66.178	33.540	3.706	66.182	33.549	3.706
교대 A2	-35.873	2.562	3.355	-35.883	2.579	2.529	-29.399	-6.232	3.462	-29.388	-6.237	2.676

주) N:North(수직), E:East(수평), Z:Elevation(고저차)

3) 측량 결과 및 분석

교대 구체에 대한 수평변위 여부를 파악하기 위해 측정한 결과를 아래 표와 같이 나타내었으며, 향후 진단 및 점검시 활용하도록 하였다.

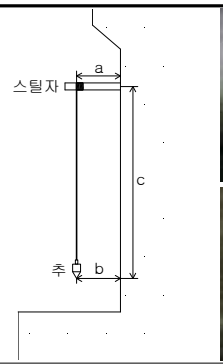
【표 3-60】 양평방향 - 광파기를 이용한 측량 결과

측점 모식도(A1, A2)									
									
측정일자	위치	측정 결과							
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
2016.07.26	교대 A1, A2	11.734	11.679	10.920	10.950	103.522	103.521	111.192	111.175

나. 다림추를 이용한 측정

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

1) 측정 위치 및 측정 전경







■ a : 상단 이격거리(mm), 스틸자 사용

■ b : 하단 이격거리(mm), 교대 흉벽에서 추의 거리

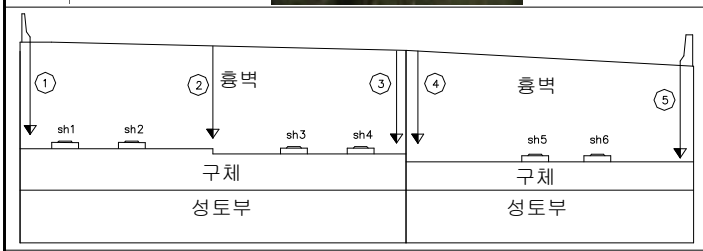
■ c : 줄의 총 길이(mm)

$$경사(d) = \frac{(b-a)}{c}(\%)$$

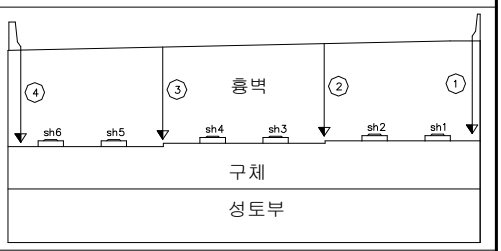
■ 경사 부호

: (-)부호일 경우 ◿(교대가 흉벽측으로 기울음)

: (+)부호일 경우 ◹(교대가 교각측으로 기울음)



A1 교대 기울기 측정 위치



A2 교대 기울기 측정 위치

2) 측정 결과 및 분석

【표 3-61】 양평방향 - 다림추를 이용한 기울기 결과

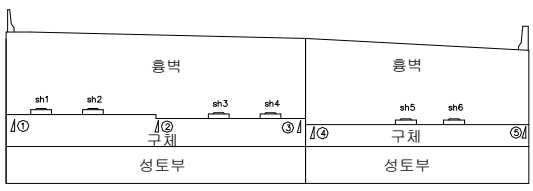
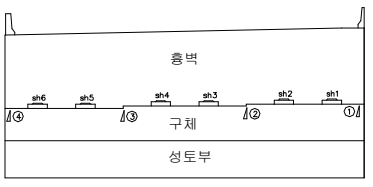
구 분		교대 기울기 측정 결과(단위 : mm)									
		①		②		③		④		⑤	
		금회	전회	금회	전회	금회	전회	금회	전회	금회	전회
A1	상단 이격거리(a)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	하단 이격거리(b)	119	125	136	133	112	131	117	124	113	121
	줄의 총 길이(c)	2000	2800	2000	2800	2000	2800	2000	3100	2000	2900
	경사(d)	0.95%	0.89%	1.80%	1.18%	0.60%	1.11%	0.85%	0.77%	0.65%	0.72%
A2	상단 이격거리(a)	80	100	80	100	80	100	80	100	-	-
	하단 이격거리(b)	134	125	118	155	113	166	98	142	-	-
	줄의 총 길이(c)	2000	2800	2000	2800	2000	2800	2000	2800	-	-
	경사(d)	2.70%	0.89%	1.90%	1.96%	1.65%	2.36%	0.90%	1.50%	-	-

A1 교대는 0.60~1.80%의 경사가 측정되었고, A2 교대는 0.89~2.70%의 경사가 측정되었다. A1, A2 교대의 기울기는 모두 교각측으로 기울어진 상태이며, 기 점점 결과와 비교 유사한 것으로 분석되었다. 감곡IC교 양평방향의 교대 흉벽과 바닥판상단의 신축이음유간이 부족한 상태로서 시공이후 교대의 수평이동이 일부 있었던 것으로 분석되었다. 신축이음 유간 부족에 대해서는 현시점의 보수보다는 지속관찰을 통해 추가적인 손상 발생시 바닥판 하면 절단을 통한 유간 확보가 필요할 것으로 판단되며, 이에 대한 방법을 본 보고서「제7장 보수·보강 및 유지관리방안」에 수록하였다.

다. 경사계를 이용한 측정

교대의 기울기 및 변위를 관찰하고자 교대 A1, A2 구체에 경사계를 이용하여 측정하였다.

1) 측정 위치 및 측정 전경

측정 위치		측정 전경
		
A1 교대	A2 교대	

2) 측정 결과 및 분석

【표 3-62】 양평방향 - 경사계를 이용한 기울기 결과

측정일자	위치	측정 결과					기호정의
		①	②	③	④	⑤	
2016.08.30	교대 A1	0.6˚	0.3˚	0.7˚	0.5˚	0.6˚	전면/배면:(-), 전면\배면:(+)
	교대 A2	1.2˚	0.8˚	0.2˚	0.1˚	-	

경사계를 이용한 기울기 측정결과 교대 구체의 A1, A2은 전면(교각)측으로 기울어진 상태이며 코핑부 상면에 체수는 없으나 진단 이전에 발생된 체수에 의한 흔적이 조사되었다.

라. 교대 측방유동 검토

연약지반 위에 축조되는 교대는 배면성토에 의한 지반의 압밀침하와 동시에 상시 재하하고 있는 편하중에 의해서 연약지반이 측방향 이동을 일으켜 교대에 기능상 좋지 않은 회전이나 수평변위 등의 변형(측방유동)이 생길 수 있다. 또한 교량을 지지하는 교대는 수평토압으로 인한 전도(Overturning), 활동(Sliding) 및 지지력(Bearing Capacity)에 안전하도록 설계되어야 하나 도로의 선형계획에 따라 연약지반상의 교대 설치시 배면 성토에 의한 편재하중으로 지반의 측방유동이 발생하게 된다. 측방유동은 교대의 지지구조가 상이한 교량과 토공의 경계에 위치하기 때문에 발생하는 것으로 압밀침하에 의한 교대배면의 단차, 교대의 수평이동과 경사, 신축이음부의 기능저하, Beam의 지지점 및 교좌의 파손 말뚝에 휨모멘트가 발생하여 두부파손 등이 발생한다.

따라서 감곡 IC교 교대(A1, A2)를 대표단면으로 선정하여 측방유동 검토를 실시하였다.

1) 측방유동 판정방법

현재 국·내외에서 사용하고 있는 측방유동을 판정하는 방법은 배면 쌓기 하중과 원지반 전단강도를 고려한 측방유동지수(F)에 의한 방법과 측방유동지수(I)에 의한 방법, 비탈면 안전율과 관련된 원호활동에 의한 방법으로 구분된다. 본 검토에서는 시추주상도 검토결과 교대 A1, A2의 지층은 N치 12/30~50/2의 실트질 모래(SM)로 이루어진 풍화토층으로 연약지반으로 분류하기 어려우므로 원호활동에 의한 측방유동 안정성을 검토하였다.

2) 원호활동에 의한 판정

활동에 대한 안전율(Fs) 개념으로 한계평형해석을 실시하여 기준안전율과 비교하는 방법으로 한계평형해석시 기준이 되는 기준안전율은 외국의 경우 Marche가 제안한 Fs=1.4, 일본수도고속도로 공단의 Fs=1.6 등이 있으며, 국내의 경우 홍원표 등(1994)이 국내에서 발

생된 6개 현장 12개 교대의 측방유동 사례에 대한 연구결과를 토대로 말뚝 효과를 고려하지 않을 때 Fs=1.5, 말뚝효과를 고려할 때 Fs=1.8을 기준으로 제시하였으며, 본 검토에서는 다음과 같이 기준안전율을 산정하였다. 또한 지진시의 경우 『건설공사 비탈면 설계기준(2011)』 쌓기비탈면의 허용 기준인 Fs=1.1을 적용하였다.

【표 3-63】 사면활동에 대한 기준안전율

구 분	사면활동에 대한 기준안전율				적 용
	Marce 제안	수도고속도로공단 (일본)	Hong (1994)	비탈면 설계기준 (2011)	
말뚝효과 고려시	-	-	1.8	-	1.8
말뚝효과 미고려시	1.4	1.6	1.5	-	1.5
지진시	-	-	-	1.1	1.1

3) 설계지진 가속도

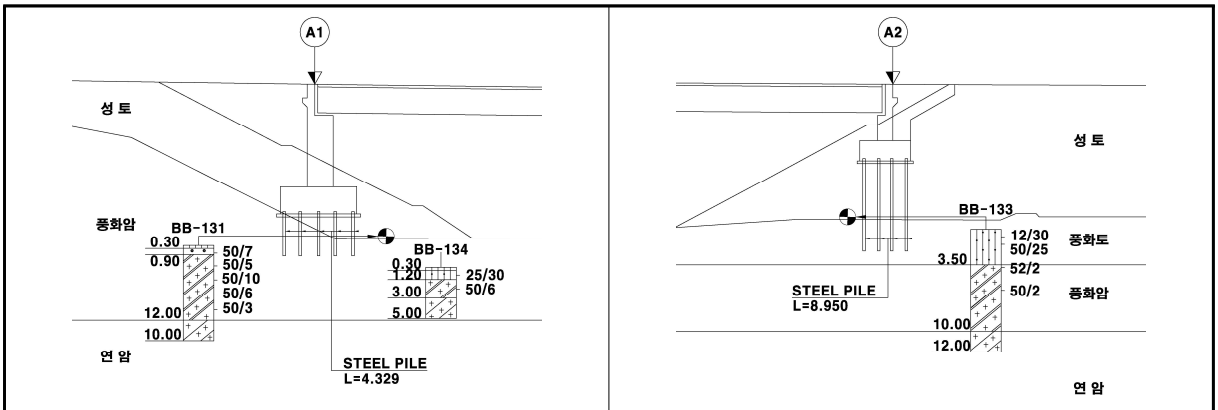
지진시의 경우 내진 I 등급(재현주기 1,000년), 지진구역계수(0.11g), 위험도 계수(1.4)를 반영하여 0.154g 설계지진 가속도를 적용하였다.

【표 3-64】 설계지진 가속도

구 분	내진성능목표	지진구역계수	위험도 계수	설계지진 가속도
내진 I 등급	1,000년	0.11g(음성군)	1.4	0.154g

4) 대표단면 선정

감곡IC교의 교대(A1, A2)를 대표단면으로 선정하여 다음과 같이 측방유동 검토하였다.



교대 A1 해석단면 | 교대 A2 해석단면

【그림 3-14】 대표단면 선정

5) 적용 물성치

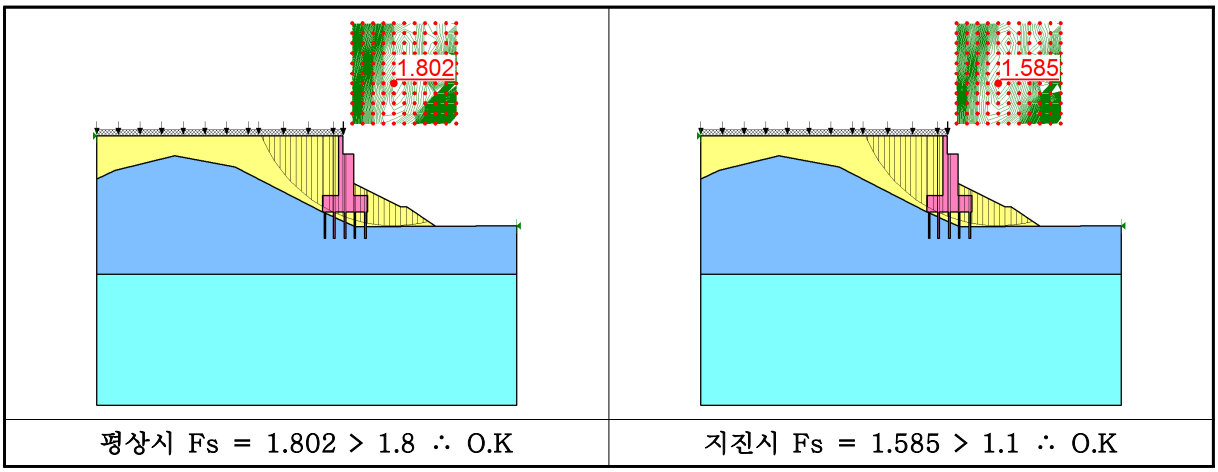
금회 측방유동 검토시 적용한 지반 물성치는 중부내륙 고속도로(충주~여주간) 건설공사 토질조사보고서 제1공구(가남~감곡) 준공도서 및 기 진단보고서(2012)를 참조하여 다음과 같이 결정하였다.

【표 3-65】 적용 물성치

구 분	단위중량(kN/㎥)	점착력(kN/㎡)	내부마찰각
성토층	19.5	15	25
풍화토	19	20	30
풍화암	20	30	30
연 암	23	30	30

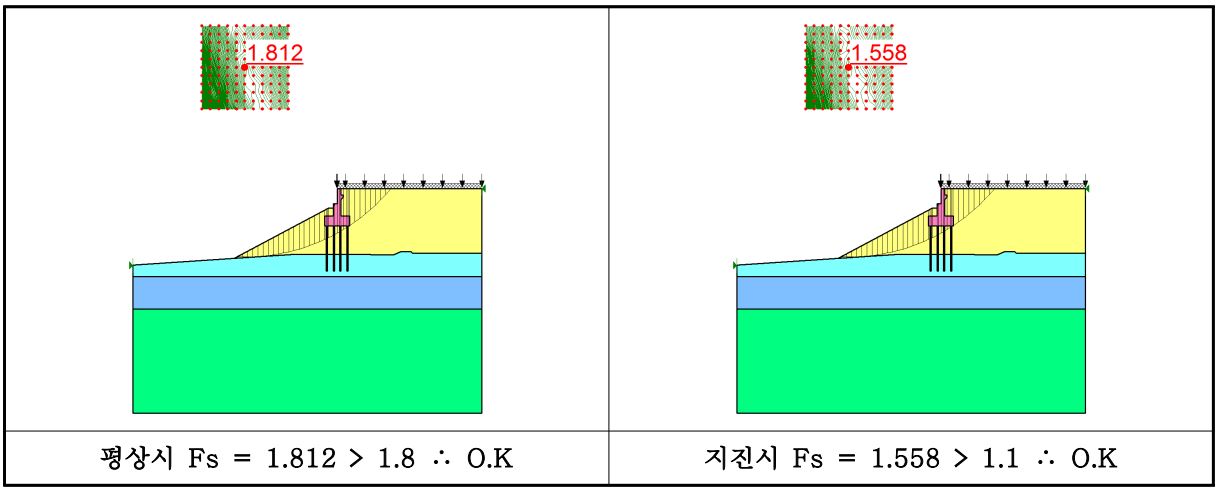
6) 검토결과

① A1 교대



【그림 3-15】 원호활동에 의한 방법(A1 교대)

② A2 교대



【그림 3-16】 원호활동에 의한 방법(A2 교대)

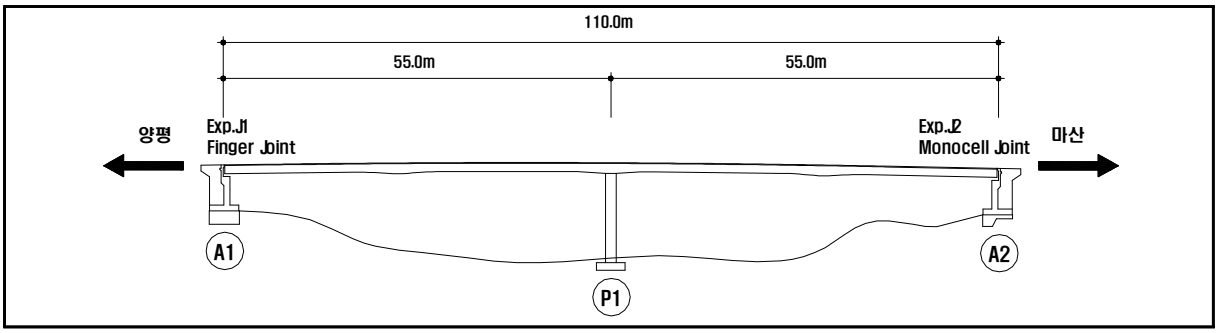
7) 결론

원호활동에 의한 측방유동 검토 결과 기준 안전율을 상회하는 것으로 분석되어 측방유동의 가능성은 없는 것으로 판단된다.

3.3.4 신축이음장치

신축이음 장치는 온도변화에 의한 신축거동, 교면수의 하부유입을 막는 차수기능을 하는 부재로써 현장 조사시에 이러한 기능성 저하여부, 내구성 측면, 차량 주행 안전성 등에 대해 중점적으로 조사하였다.

감곡IC교(양평)의 신축이음장치는 A1은 레일조인트로 초기에 시공되었으나, 2012년 7월 모노셀로 교체 하였으며, A2에 레일 조인트로 설치되어 있다. 신축이음 현황은 다음과 같다.



【그림 3-17】양평방향 - 신축이음 배치도



신축이음장치 전경(A1)



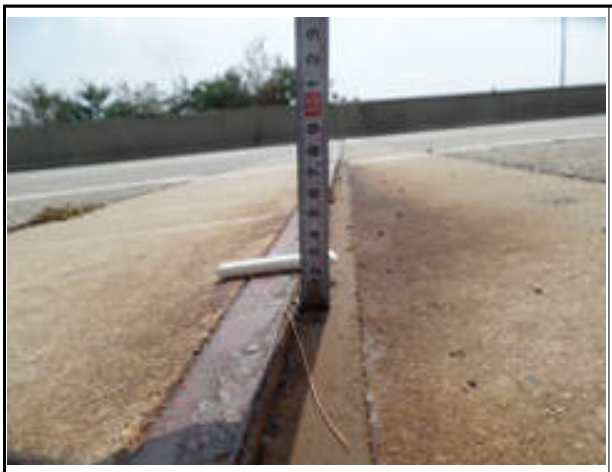
신축이음장치 전경(A2)

1) 외관조사 결과

【표 3-66】양평방향 - 신축이음장치 외관조사 결과

구 분	신축이음장치본체			후타재				기타
	단차(㎜)		들림	균열 Cw=0.3㎜미만(m)		파손(㎡)		덮개 볼트탈락
	물량	개소	개소	물량	개소	물량	개소	개소
A1	-	-	1	2.20	5	4.32	3	3
A2	28.00	1	-	4.12	11	0.18	5	-
합계	**28.00**	**1**	**1**	**6.32**	**16**	**4.50**	**8**	**3**

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>

현 황	◦A2 신축이음장치 단차(H=28.0㎜)
원 인	◦유간협착
대 책	◦지속관찰

</td><td>

현 황	◦A1 신축이음장치 들림(L=2.0m)
원 인	◦신축이음장치 교체시 시공중 발생
대 책	◦지속관찰

</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>

현 황	◦A2 후타재 균열(Cw=0.1㎜)
원 인	◦건조수축, 중차량 통과
대 책	◦표면처리

</td><td>

현 황	◦A2 후타재 파손(A=0.10㎡)
원 인	◦중차량 통과
대 책	◦단면보수

</td></tr>
</table>

3) 기 점점결과와의 비교・분석

- 기 진단 외관조사 결과, 본체 이물질퇴적, 후타재 균열 및 파손이 조사되었으며, 금회 진단 결과 신축이음장치 단차, 들림 등의 손상이 추가적으로 조사되었다.
- 기 진단 실시에 따른 신축이음장치의 교체로 손상의 증가는 미미한 것으로 분석되었고, 신축이음장치 A1, A2에 대한 바닥판하면 단부와 흉벽의 협착이 조사되어 공용중 차량의 윤하중 및 충격에 의한 손상이 발생된 것으로 판단되며, 바닥판하면 유간 확보를 위한 보수·보강 및 유지관리방안편에 보수방법을 작성하여 제시하였다.

【표 3-67】 양평방향-신축이음장치 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
신축이음	•이물질 퇴적	m	1	2.00	-	-	▽
	•단차	㎜	-	-	2	8.00	△
	•들림	개소	-	-	1	1	△
	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	21	8.52	16	6.32	▽
	•파손	㎡	19	1.28	8	4.50	△
	•덮개볼트 탈락	개소	-	-	3	3	△

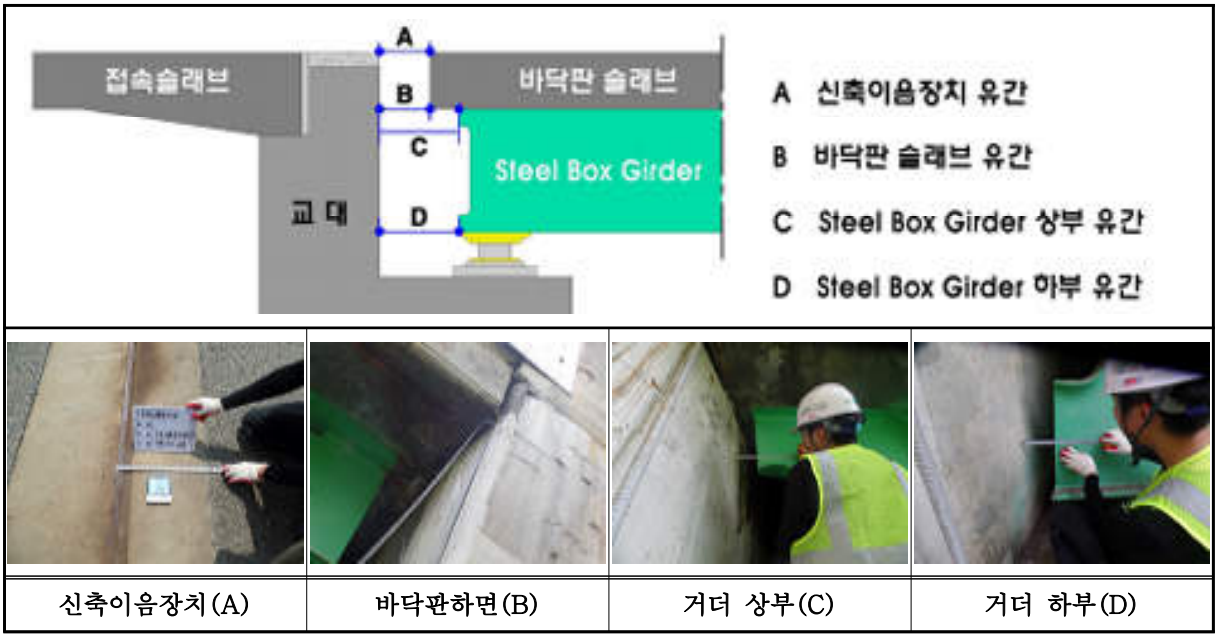
주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 신축이음장치(A2) 본체에서 발생한 단차는 유간 협착으로 인해 주원인으로 판단되며 중점유지관찰을 통하여 손상 발생유무를 파악하고 향후 손상 진행시 신축이음장치 교체 및 바닥판하면 단부 절단 보수와 같이 진행되어야 할 것이며, 보수보강·방안은「제7장 보수·보강 및 유지관리방안」에 수록하였다.
- A1측 종방향으로 위치한 신축이음부에서 들림이 발생한 상태로 이는 신축이음장치 교체 시공시 발생한 것으로 판단되며, 지속 관찰하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 금회 신축이음장치 조사 시 후타재 균열은 건조수축, 중차량 통행 등에 의한 손상으로 판단되며, 손상정도가 경미하고 내구성 및 사용성에 문제가 없으므로 현 상태에서 지속적인 관찰이 요구된다.
- 금회 신축이음장치 조사 시 건조수축, 중차량 통행 등의 요인으로 인해 후타재 균열(Cw=0.3㎜미만)은 손상의 정도가 경미하나 균열부를 통한 우수 침투로 인해 신축이음 하부 누수 등 추가적인 손상의 우려가 있으므로 표면처리보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 방호벽 측 신축이음 덮개부에서는 공용년수의 증가로 인해 볼트탈락이 발생하였으며, 볼트 재체결을 실행하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

5) 신축이음 신축거동상태 검토

본 교량의 신축거동상태를 확인하기 위해 신축이음장치, 바닥판 및 거더 상·하부에 대한 유간을 측정하였고, 이론 변동량과의 비교를 통해 신축거동상태를 검토하였다. 또한, 측정된 유간으로부터 최대 온도 상승시 신장량과 최저 온도 하강시 수축량을 계산하여 유간확보 여부를 검토하였다.



신축이음장치(A)

바닥판하면(B)

거더 상부(C)

거더 하부(D)

【그림 3-18】 양평방향 - 신축이음 유간 측정방법

① 계산 신축량 산정

【표 3-68】 계산 신축량 산정

▣ 온도에 의한 가동량

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

ΔT = 온도변화(-20℃ ~ +40℃) → Steel Box Girder교(한랭지방)

α = 선팽창계수(1.2×10^{-5}) → Steel Box Girder교

도로설계편람 (2000년)	■ 온도범위는 교량 상부구조의 평균 온도이며, 지역구분은 최근 5년간 최저기온 및 최고기온을 참조하여 결정(도로공사 연구보고서. 1993) [보통지방] : 대전 구미, 대구, 강릉, 논산, 전주, 광주, 순천, 진주, 마산, 창령, 고령, 동서울, 부산 [한랭지방] : 인천, 수원, 천안, 영동, 이천, 원주, 대관령, 정안, 진천
기상청 통계자료	■ 최근 5년간 이천(기)의 일평균 최저 온도 : -14.2℃ (2011/01/16) ■ 설계편람 발간 당시 이천(기) 5년간 일평균 최저 온도 : -15.8℃ (2001/01/15) ■ 최근 5년간 일평균 최저 온도 < 설계편람 발간당시의 5년간 일평균 최저 온도

▣ 활하중에 의한 보의 처짐에 의한 가동량

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

여기서, h_i : 받침의 회전중심에서 보의 중립축 까지의 높이 (거더 높이의 2/3)

θ_i : 보의 회전각 (강교 1/150, 콘크리트교 1/300)

【표 3-68】 계산 신축량 산정(계속)

▣ 계산 가동량 산정

온도변화 범위	-20℃ ~ +40℃	선팽창 계수(α)	1.2 × 10^{-5}
점검시 기온(℃)	2016. 08. 11. (1차) 2016. 10. 19. (2차)	28.9 (1차) 14.4 (2차)	
온도에 의한 가동량(⊿ℓt)	⊿ℓt = ⊿T × α × ℓ		
보의 중립축까지 높이(hi)	$\frac{2}{3}$×2,700		
보의 회전각(θi)	1/150 (Steel Box Girder교)		
보의 처짐에 의한 가동량(⊿ℓr)	$\triangle l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$		
신축거더길이 (L, m)	A1	A2	
	55.0	55.0	

※ 처짐에 의한 가동량은 팽창시만 고려하여 계산

② 신축이음 유간 측정결과

【표 3-69】 양평방향 - 신축이음 유간 측정결과

구 분	측 정 값(㎜)								비 고
	신축이음장치(A)		바닥판(B)		거더 상부(C)		거더 하부(D)		
	1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차	
Exp.J1(A1)	24.0	36.0	0.0	48.0	118.0	160.0	140.0	170.0	Rail Joint
Exp.J2(A2)	0.0	10.0	22.0	30.0	134.0	138.0	149.0	150.0	monocell

③ 신축이음 가동상태 검토결과

【표 3-70】 양평방향 - 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동상태 검토결과

구 분		측정유간(㎜)		변동량(㎜)		비 고
		1차	2차	실측치	이론치	
Exp.J1(A1)	신축이음장치	24.0	36.0	-12.0	9.6	1차:28.9℃ 2차:14.4℃
	바닥판	0.0	48.0	-48.0		
	거더 상부	118.0	160.0	-42.0		
	거더 하부	140.0	170.0	-30.0		
Exp.J2(A2)	신축이음장치	0.0	10.0	-10.0	9.6	온도차 14.5℃
	바닥판	22.0	30.0	-8.0		
	거더 상부	134.0	138.0	-4.0		
	거더 하부	149.0	150.0	-1.0		

■ 8월(28.9℃)과 10월(14.4℃)의 온도 변화에 따른 변동량 측정결과, 이론 변동량과 차이는 있으며, A1(J1)의 경우 최대 신장시 바닥판하면의 협착이 발생하였고, A2(J2)의 경우 최대 신장시 신축이음장치의 협착이 발생하였다.

④ 신축이음 신축이동량 산정

【표 3-71】 양평방향 - 신축이음 신축이동량 산정

구 분	온도변화 (⊿T,℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더 길이 (L, m)	온도변화에 의한 이동량)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량(㎜)	계산 이동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 팽창시)
Exp.J1 (A1)	49.6	10.4	0.000012	55	32.7	6.9	12.0	32.7	6.9
Exp.J2 (A2)	49.6	10.4	0.000012	55	32.7	6.9	12.0	32.7	6.9

⑤ 신축이음 가동여유량 검토결과

【표 3-72】 양평방향 - 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량 검토결과

구 분		계산이동량(㎜)		점검당시 실측유간 (㎜) ③	허용량(㎜) ④	신축 여유량(㎜)		검토 결과
		최대 수축시 ①	최대 신장시 ②			최대 수축시 ④ - (①+③)	최대 신장시 ③ - ②	
Exp.J1 (A1)	신축이음장치	32.7	6.9	24.0	240	183.3	17.1	O.K
	바닥판 단부			0.0	-	-	-6.9	N.G
Exp.J2 (A2)	신축이음장치	32.7	6.9	0.0	160	127.3	-6.9	N.G
	바닥판 단부			22.0	-	-	15.1	O.K
주) 판정 : 0.0㎜ ≤ 신축여유량 ≤ 허용량 ⇒ O.K								

■ 신축이음장치 유간 검토를 위해 신축유간, 바닥판 유간, 거더상단 및 하단 유간을 측정하여 계산 유간과 비교·분석한 결과, 최대 신장시 A1(J1)의 바닥판유간이 부족하며, 수축시 A2(J2)의 신축유간이 부족한 것으로 측정되었다. 또한, 바닥판 유간 맞붙음(협착), 신축이음 장치 단차 및 노후화(양평 A2), 교대 이동 제어대책으로 현재 교대 이동은 유간이 폐쇄된 현 상태에서 단기간에 진행성 여부를 판단하기 어렵다. 따라서 1차적(단기)으로 내구성 확보를 위해 단면보수, 2차적(중기)으로 교대 이동을 완전하게 수렴하도록 영구앵커공법, 3차(장기)으로 신축이음장치 교체 및 바닥판하면 절취가 병행한 공법으로 적정유간을 확보하여야 한다.

3.3.5 교면포장

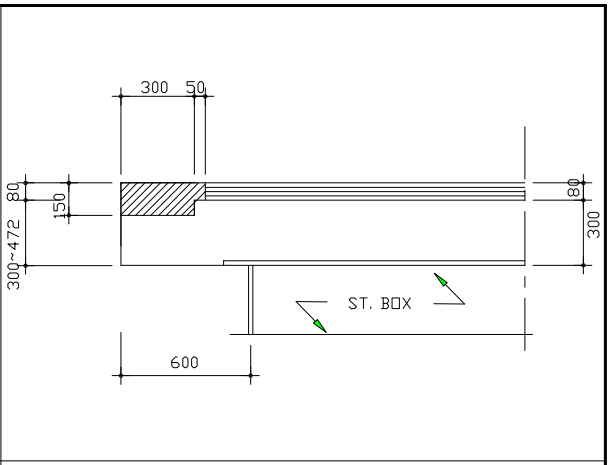
바닥판 상면에 위치하여 차량에서 발생하는 진동을 흡수·분산시키고, 외부의 불리한 환경조건에 대해서 바닥판을 보호하는 역할을 하는 교면포장은 아스팔트 포장으로 시공되어 있다. ASP 포장은 연성포장으로서 승차감 및 진동소음에 좋으나, 유지 관리 시 손상에 따라 보수보강 비용이 증가되는 단점을 가지고 있으며, 상부의 하중을 표층 기층 보조기층에 전달하여 포장이며, ASP 포장의 두께는 70mm 시공되었다.

ASP포장은 소성변형, 포트홀, 망상균열, 균열이 발생될 경우 우수 등이 침투하여 바닥판 하면에 누수, 백태 등의 손상이 조사된 경우에 한해 코어 채취를 실시하는 것이 인위적인 손상의 발생을 예방할 수 있는 것으로 판단된다.

금회 교면포장과 바닥판 하면의 현장조사 결과를 비교·평가한 결과, 교면포장 손상으로 인한 바닥판 하면에 누수 등의 열화 징후 등이 없는 것으로 조사되었으나, 포장부 상태 확인 및 포장두께 확인을 위하여 포장부 코어채취를 실시하였다.



교면포장 전경(A2 측)



교면포장 단면도(기존 설계시)

1) 외관조사 결과

【표 3-73】 양평방향 - 교면포장 외관조사 결과

구 분	균열				포장불량	
	균열(m)		망상균열(㎡)		포트홀(㎡)	
	물량	-	-	-	-	-
S1 접속슬래브	-	-	-	-	-	-
S1	60.00	3	-	-	0.01	1
S2	40.30	5	2.10	1	-	-
S2 접속슬래브	-	-	-	-	-	-
합계	**100.30**	**8**	**2.10**	**1**	**0.01**	**1**

2) 손상별 원인분석

			
현 황	◦S1 교면포장 균열(A=55.0㎡)	**현 황**	◦S1 교면포장 망상균열(A=2.10㎡)
원 인	◦다짐미흡(온도관리), 반복하는 윤하중	**원 인**	◦다짐미흡(온도관리), 반복하는 윤하중
대 책	◦지속관찰	**대 책**	◦지속관찰

3) 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단시 외관조사 결과, 균열, 망상균열, 포트홀, 식생이 조사되었으며, 금회 진단시에도 대체적으로 동일한 손상이 조사되었다.
- 손상물량은 망상균열 및 포트홀은 감소하였으나, 포장균열의 경우 공용년수의 증가로 인해 증가한 것으로 나타났다.

【표 3-74】 양평방향 – 교면포장 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증・감
			개소	수량	개소	수량	
교면포장	•균열	m	7	94.20	8	100.30	△
	•망상균열	m	3	4.29	1	2.10	△
	•포트홀	㎡	2	0.10	1	0.01	▽
	•식생	㎡	1	3.50	–	–	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 교면포장 외관조사 결과, 종방향 균열, 망상균열, 포트홀이 조사되었다.
- 포장부의 균열은 다짐미흡(온도관리) 및 반복하는 윤하중 등의 복합적인 원인, 계획이상의 교통량 통과 등에 의해 발생된 것으로 판단되며, 특히 2차선과 갓길측 경계에 발생된 균열은 시공이음균열로 판단되고, 보수의 긴급성은 요구되지 않으므로, 지속관찰하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

■ 교면포장 상면에서 포트홀이 일부 조사되었으며, 이는 시공불량(다짐불량), 혼합물 품질불량, 과다한 대형차량교통 등으로 인하여 발생된 것으로 판단되며, 손상정도가 경미하여 지속관찰하여 유지관리 하되, 차후 손상진전 및 규모 확대 시 보수해야 할 것으로 판단된다.

5) 코어채취 분석

감곡IC교(양평) 교면포장의 아스콘 상태, 두께, 방수층, 바닥판상면에 대한 손상 및 열화를 확인하기 위해 코어 채취를 실시하였다.

① 코어채취 위치도

금회 ● 전회 ●

구 분	S1	S2	비고
1차선			
2차선			
갓길	●	●	

코어채취 위치도

② 코어채취 결과

㉠ 교면포장 S1(갓길)

		포장 두께	■ 금회결과 : 70㎜ ■ 준공도면 : 80㎜
		포장 현황	■ 포 장 상 태 : 보통(으스러짐) ■ 방수층 상태 : 보통(노후화) ■ 바닥판 상면 : 양호

③ 기 진단결과 비교 검토

구 분	위치	포장두께	진행성 여부	비고
기 진단(2012년)	S2(갓길)	100㎜	상태양호	
금 회(2016년)	S1(갓길)	70㎜	상태보통	으스러짐

④ 결과분석

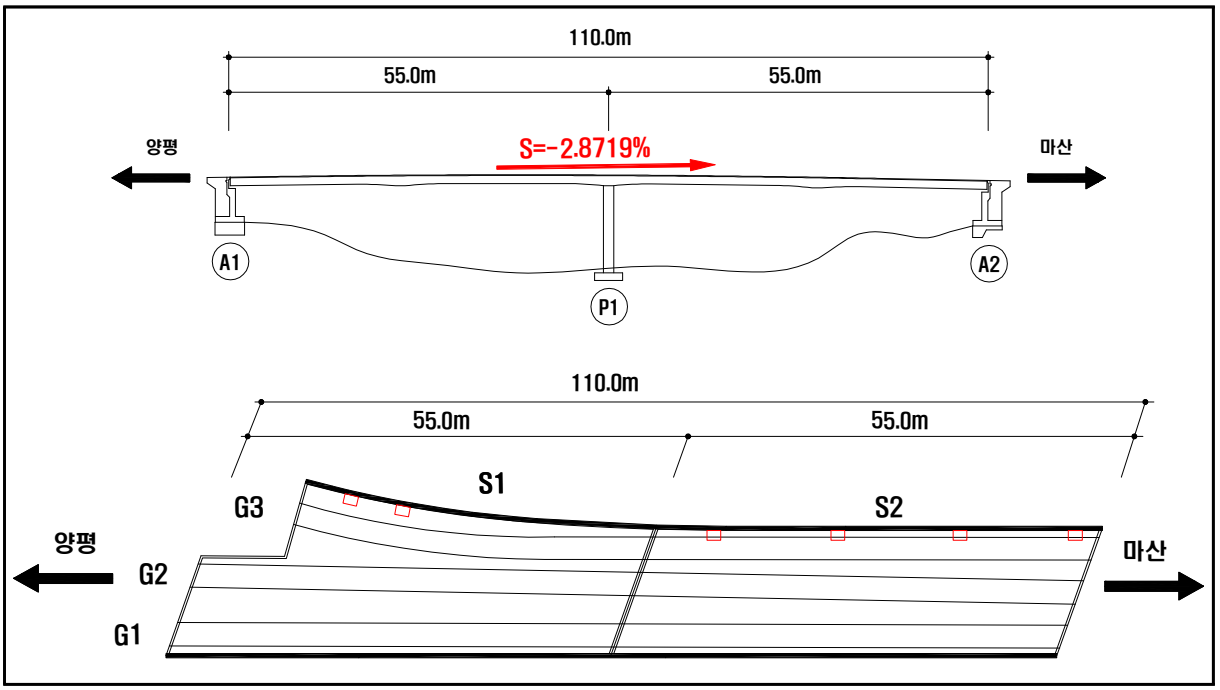
- 감곡IC교(양평)의 교면포장 상태 결과 아스콘의 공극, 으스러짐 등은 발생되지 않았으나, 골재분리 현상이 발생되었으며 이는 시공중 다짐불량 및 혼합물 미흡 등으로 인해 역청재료와 부착성이 떨어져 발생된 것으로 분석되었다. 또한, 준공도면과 포장두께의 차이가 있지만 설계도서 두께보다 작아 구조해석 시 설계도의 포장두께를 반영하여 평가하였다.

3.3.6 기타부재

가. 배수시설

배수시설은 우수 유입에 따른 열화방지를 위해 일정한 곳으로 물을 배출하기 위한 시설로서, 감곡IC교(양평)의 배수시설은 각각의 경간 상부에 설치된 집수구를 통하여 STEEL Pipe φ 150㎜ 배수관을 따라 하부로 배수되도록 설치되어 있다.

감곡IC교(양평)은 교면 횡구배(2.000~2.041%)의 영향으로 좌측에 8개소가 설치되어 있으며, 하부 배수파이프 사이에 유공관이 설치되어 있다.



【그림 3-19】 양평방향 - 배수시설 현황



배수구 전경



배수관 전경

【그림 3-20】 양평방향 - 배수시설 전경

1) 외관조사 결과

■ 금회 배수시설 외관조사 결과 본 교량의 배수현황은 양호한 상태로 조사되었다.

2) 기 진단결과와의 비교·분석

■ 기 진단시 외관조사 결과, 배수구 이물질 퇴적, 유공관 설치, 배수파이프 길이부족 등의 손상이 조사되었으나, 금회 진단결과 배수시설은 양호한 상태로 조사되었다.

【표 3-75】 양평방향 - 배수시설 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
배수시설	•배수구 이물질 퇴적	개소	1	1	-	-	▽
	•유도배수관 설치	개소	1	1	-	-	▽
	•배수파이프 길이부족	개소	1	1	-	-	▽

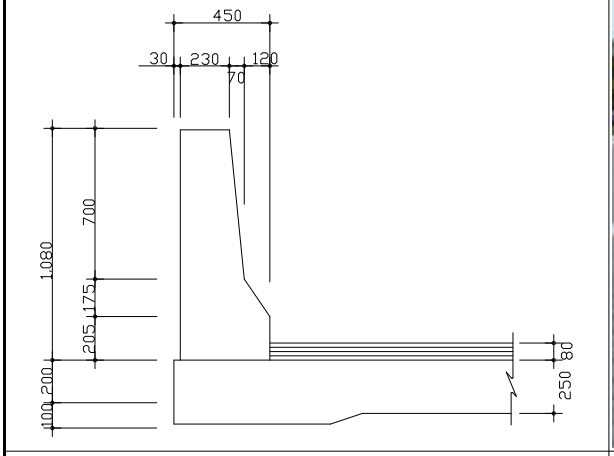
주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

3) 검토의견

■ 금회 배수시설은 양호한 것으로 조사되었으며, 향후 지속 관찰을 통하여 문제발생시 적절한 보수·보강을 통하여 유지관리 하여야 할 것으로 판단된다.

나. 방호벽 및 중앙분리대

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

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>방호벽 전경</td><td>중앙분리대 전경</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>  </td></tr>
<tr><td>방호벽 단면도(준공도)</td><td>방호벽 단면도(실측치)</td></tr>
</table>

【그림 3-21】 양평방향 - 방호벽 및 중앙분리대 전경 및 단면도

1) 외관조사 결과

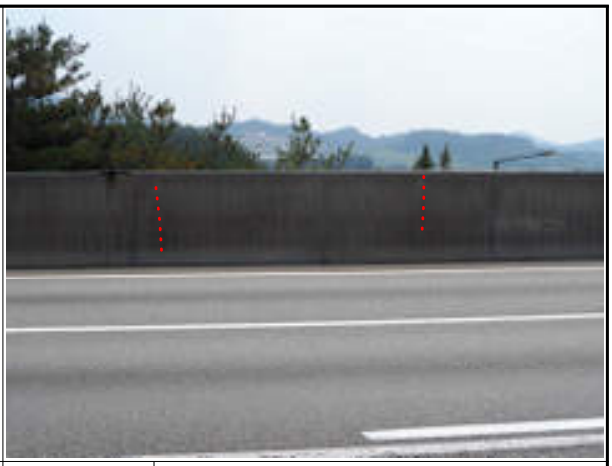
【표 3-76】 양평방향 - 방호벽 및 중앙분리대 외관조사 결과

구 분	콘크리트					
	균열 Cw=0.3㎜미만(m)		균열 Cw=0.3㎜이상(m)		망상균열 Cw=0.3㎜미만(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	12.9	23	53.50	20	1.80	1
S2	30.8	46	25.30	18	2.26	4
합계	**43.70**	**69**	**78.80**	**38**	**4.06**	**5**

【표 3-76】 양평방향 - 방호벽 및 중앙분리대 외관조사 결과(계속)

구 분	콘크리트					
	철근노출(㎡)		파손(㎡)		방호벽 단차(m)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	0.01	1	0.16	1	-	-
S2	-	-	0.08	3	0.06	1
합계	**0.01**	**1**	**0.24**	**4**	**0.06**	**1**

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S1 방호벽 균열(백태)(0.2㎜/2.3m)</td><td>현 황</td><td>◦S2 중분대 균열(0.3㎜/1.5m)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦건조수축 및 줄눈 절단 시기 미흡</td><td>원 인</td><td>◦건조수축 및 줄눈 절단 시기 미흡</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦표면처리</td><td>대 책</td><td>◦주입보수</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S1 방호벽 망상균열(A=1.80㎡, Cw=0.1㎜)</td><td>현 황</td><td>◦S2 방호벽 단차(H=0.60m)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦건조수축 및 온도변화</td><td>원 인</td><td>◦접속슬래브측 지반 침하</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦표면처리보수</td><td>대 책</td><td>◦지속관찰</td></tr>
</table>

3) 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단시 외관조사 결과, 건조수축과 온도 변화에 따른 신축으로 인한 수직 및 수평균열, 균열/백태, 망상균열, 재료분리, 실링재탈락, 표면오염 등이 조사되었으며 금회 진단결과 기 진단시와 유사하게 조사되었으나, 조사물량의 경우 공용년수의 증가로 인해 다소 증가한 것으로 조사되었다.
- 방호벽 단차의 경우 기 진단결과와 비교결과 단차정도는 유사한 것으로 판단된다.

【표 3-77】 양평방향 - 방호벽 및 중앙분리대 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증・감
			개소	수량	개소	수량	
방호벽	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	47	20.25	69	43.70	△
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	37	44.40	38	78.80	△
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	2	2.72	5	4.06	△
	•철근노출	㎡	-	-	1	0.01	△
	•파손	㎡	11	0.41	4	0.24	▽
	•단차	m	-	-	1	0.06	△
	•실링재 탈락, 표면오염	㎡	2	0.92	-	-	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 감곡IC교(양평)의 방호벽 높이는 노면에서 1.10m정도로 '교량방호울타리 성능 개선방안(한국도로공사 구조물처 2009.11.13.)' 에 따른 1.00~1.27m의 기준을 만족하는 것으로 조사되었다.
- 방호벽 및 중앙분리대 외관조사 결과, 균열, 망상균열, 철근노출, 파손, 단차 등의 손상이 조사되었다.
- 방호벽 및 중앙분리대에 발생한 균열은 대부분 주철근과 평행한 방향이고, 불규칙한 망상균열 형태로써, 시공초기 건조수축에 의해 발생된 것으로 보이며, 방호벽에 발생한 균열은 방치시 균열폭 증가 및 우수침투로 인한 백태 발생 우려가 있으므로, 미세균열은 표면처리보수를 실시하며, 균열폭 0.3㎜이상은 주입보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 철근노출은 시공불량(피복부족)과 치밀성 부족부를 통한 우수유입이 주요 원인으로 판단되며, 손상정도가 경미한 상태이나 내구성 확보를 위해 방청후 단면보수가 필요할 것으로 판단된다.

- 파손 등 기타 손상은 온도변화에 따른 콘크리트 신축, 시공불량, 다짐불량, 표면열화 국부적인 외력의 작용으로 인하여 발생된 손상으로 판단되며, 단면보수가 적절할 것으로 판단된다.
- A2측 방호벽에서 발생한 단차는 조사당시 6.0㎝로 조사되었다. 이는 접속 슬래브측 지반침하에 의한 것으로 사료되며, 손상정도가 기 진단과 유사하므로 향후 지속관찰을 수행하고 손상이 진행될 경우 적절한 보수·보강방안이 필요할 것으로 사료된다.

다. 점검시설

본 교량의 점검시설은 교각 코핑부 및 교량받침 외관조사를 위한 점검시설(P1)이 설치되어 있다. 점검시설은 점검사다리 및 발판 등 전반적인 양호한 상태로 조사되었다.

박스내부 출입구의 시건장치 상태는 대부분의 열쇠체결은 되어 있으나 자물쇠 고리가 절단되거나 시건 장치가 불량하여 점검시 열쇠 없이 출입이 가능한 상태이므로 관계자 외 출입방지 및 원활한 구조물 관리를 위한 시건장치의 재설치가 필요할 것으로 판단된다.



교각 점검시설 전경

3.4 콘크리트 내구성조사

3.4.1 개 요

콘크리트 내구성조사는 구조물에 열화손상이 이미 현저하게 진행되었을 경우 열화의 정도 및 그 원인 관계를 조사하고 보수·보강 여부를 판정하며, 아직 열화손상이 없거나 경미한 구조물은 내구성조사에 의해서 향후 열화 경향을 예측하고 예방보전을 검토하기 위한 자료를 수집하는 것을 목적으로 한다.

본 과업의 내구성조사는 『안전진단 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12, 국토교통부/한국시설안전공단)』에 근거하여 시험방법, 시험빈도 및 평가방법 등을 실시하였다.

가. 현장시험 항목 및 실시수량

본 구조물에 대한 현장시험은 “안전진단 및 정밀안전진단 세부지침(교량편 한국시설안전공단, 2010.12)” 에 근거하여 조사 위치 및 수량을 결정하였다.

【표 3-78】 현장시험 항목

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

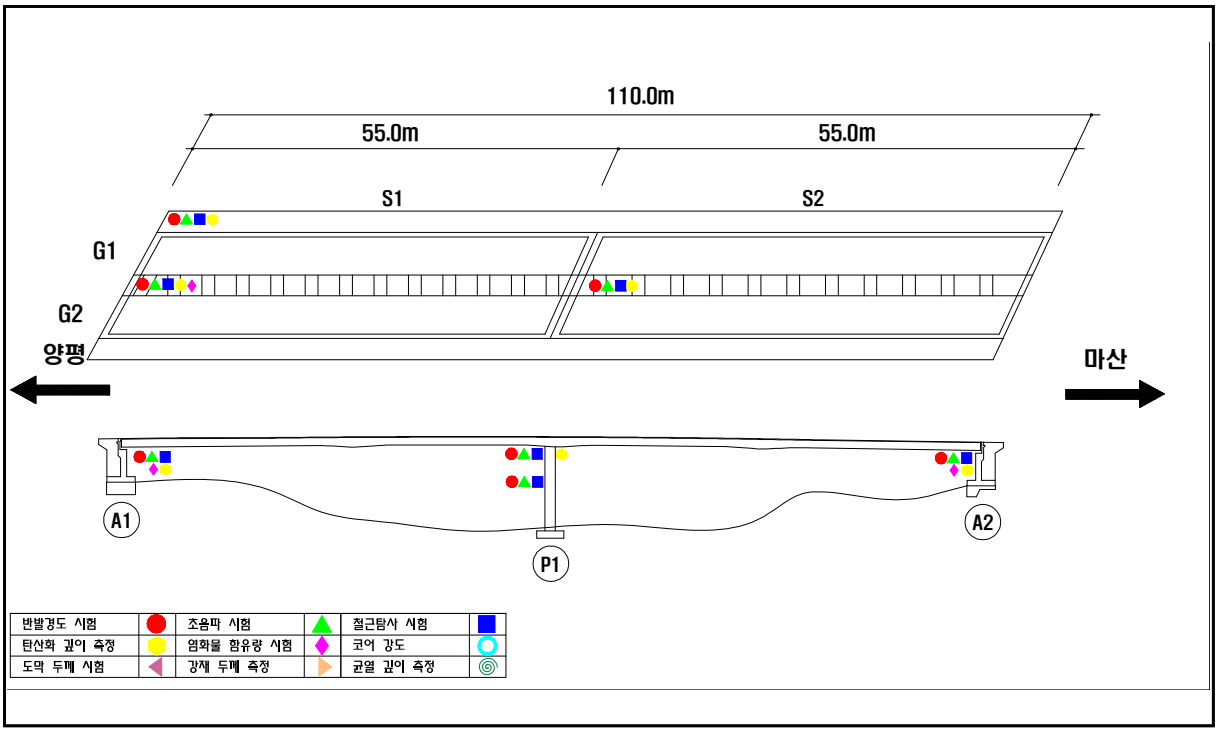
【표 3-79】 마산방향 - 비파괴시험 실시 수량

구 분	세부지침 기준		기준수량		금회 시험수량	
	상부구조	하부구조	상부 구조	하부 구조	상부 구조	하부 구조
반발경도시험	■ 철근콘크리트 : 2개소/50m	■ 1개소/연장50m ■ 교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	3개소	3개소	3개소	4개소
초음파 전달속도시험			3개소	3개소	3개소	4개소
철근탐사시험			3개소	3개소	3개소	4개소
탄산화 깊이 측정	■ 5경간 이내 4~6개소(상부구조에서 최소 2개소 이상 실시)		2개소	2개소	3개소	3개소
염화물함유량 시험	■ 3개소 이상(상부구조에서 최소 1개소 이상 실시)		1개소	2개소	1개소	2개소
강재초음파탐상	■ Steel Box Girder : 2개소/경간별 거더		8개소	-	8개소	-
강재 및 도막두께 측정	-		-	-	3개소	-

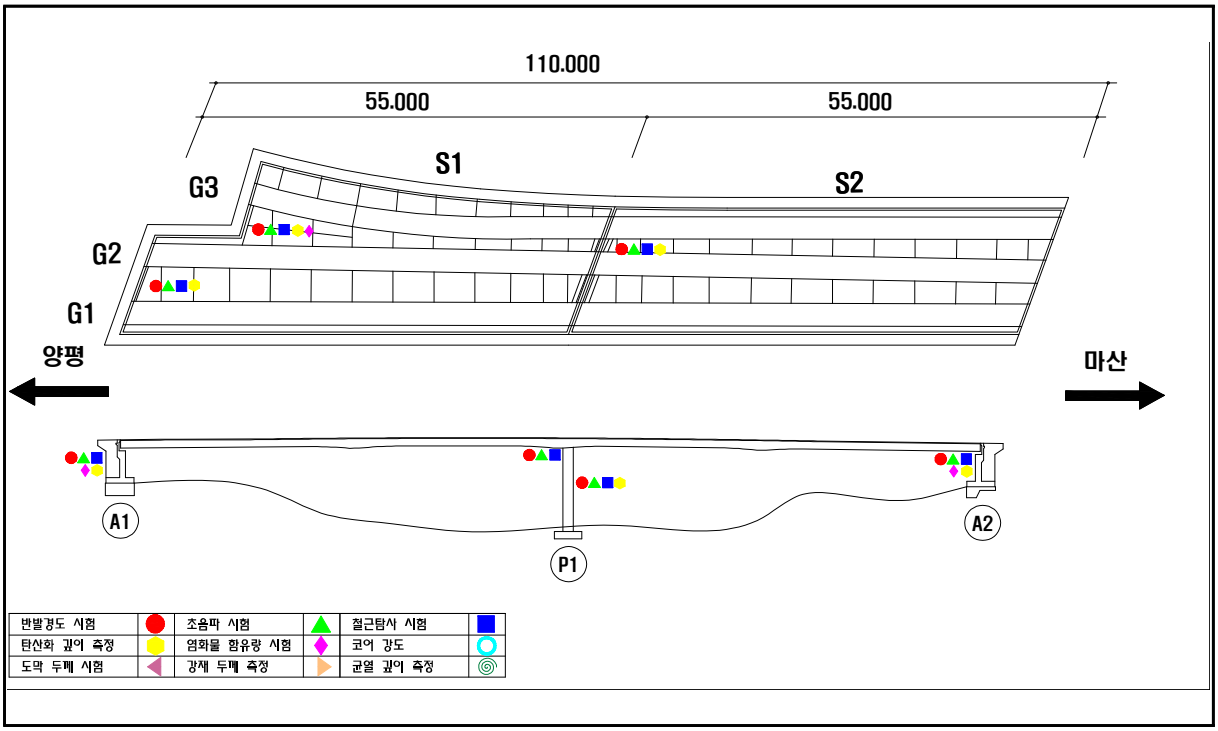
【표 3-80】 양평방향 - 비파괴시험 실시 수량

구 분	세부지침 기준		기준수량		금회 시험수량	
	상부구조	하부구조	상부 구조	하부 구조	상부 구조	하부 구조
반발경도시험	■ 철근콘크리트 : 2개소/50m	■ 1개소/연장50m ■ 교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	3개소	3개소	3개소	4개소
초음파 전달속도시험			3개소	3개소	3개소	4개소
철근탐사시험			3개소	3개소	3개소	4개소
탄산화 깊이 측정	■ 5경간 이내 4~6개소(상부구조에서 최소 2개소 이상 실시)		2개소	2개소	3개소	3개소
염화물함유량 시험	■ 3개소 이상(상부구조에서 최소 1개소 이상 실시)		1개소	2개소	1개소	2개소
강재초음파탐상	■ Steel Box Girder : 2개소/경간별 거더		12개소	-	12개소	-
강재 및 도막두께 측정	-		-	-	3개소	-

나. 콘크리트 내구성조사 위치도



【그림 3-22】 마산방향 - 콘크리트 내구성조사 위치도



【그림 3-23】 양평방향 - 콘크리트 내구성조사 위치도

다. 콘크리트 내구성조사 전경

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>반발경도 시험</td><td>초음파 전달속도 시험</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>철근탐사 시험</td><td>탄산화 깊이 측정</td></tr>
<tr><td>  </td><td></td></tr>
<tr><td>염화물 함유량 시험</td><td></td></tr>
</table>

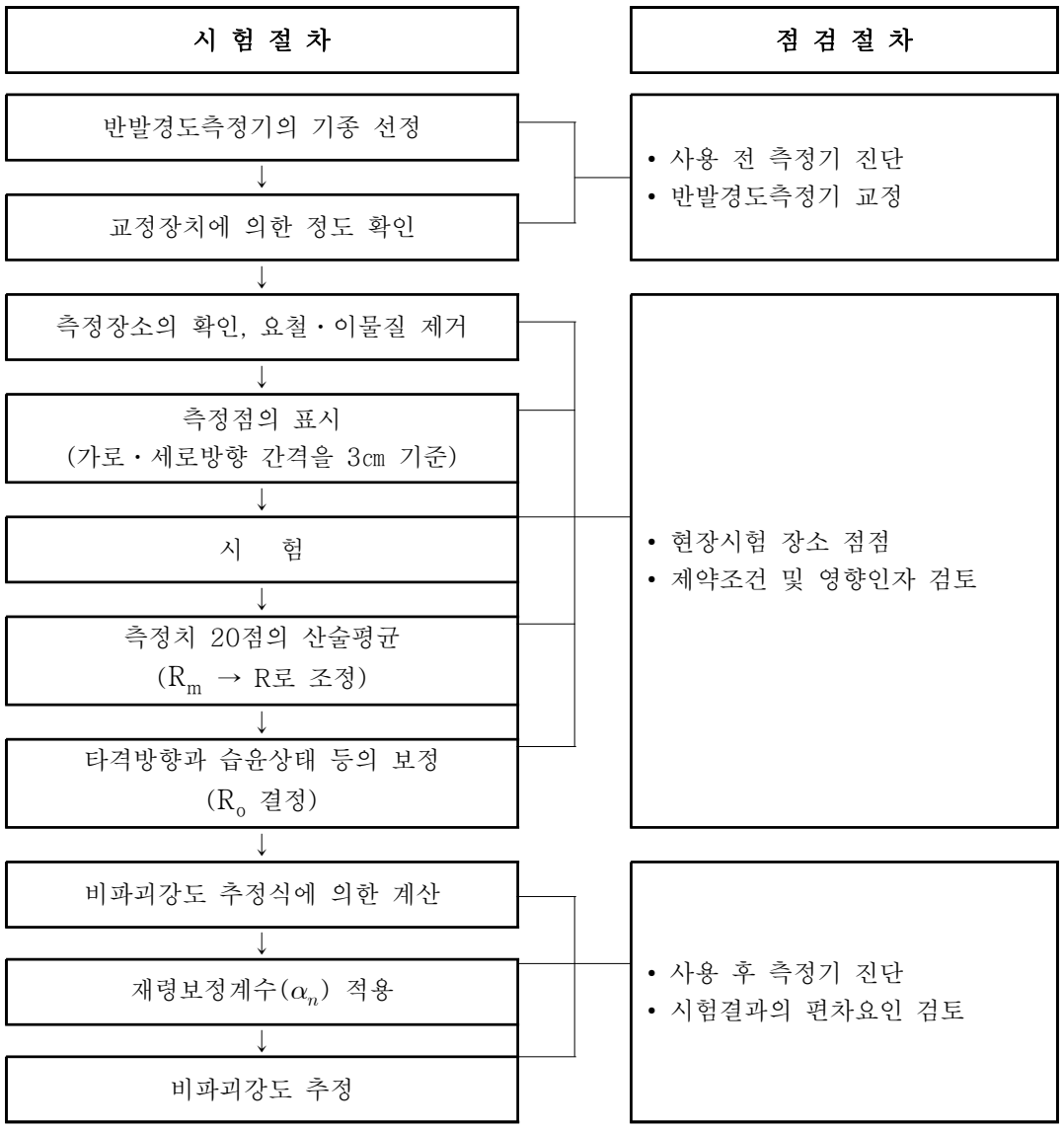
3.4.2 시험내용 및 평가기준

가. 콘크리트 강도시험

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 타격시, 반발경도(R)와 콘크리트의 압축강도(F_c)와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다.

① 반발경도시험 및 측정기 진단 등의 절차



【그림 3-24】 반발경도시험 및 측정기 진단 등의 절차

외관조사 결과에 의해 결정된 측정개소에 대해서 타격점 상호간의 간격은 3㎝를 표준으로 종으로 5열, 횡으로 4열의 선을 그어 직교되는 20점을 타격하여 반발경도 값의 산술평균값(R_m)을 구한다. 산술평균값(R_m)에 대해서는 릴렘(RILEM) 규정에 따라 각 반발경도의 값이 $R_m \pm 20\%$의 범위를 벗어나는 값들은 제외시키고 나머지 값들을 다시 산술평균하여 반발경도 R을 결정한다.

② 보정반발경도(R_0)

【표 3-81】 보정반발경도(R_0)

◈ 보정반발경도 : $R_0 = R + \Delta R_1 + \Delta R_2$

여기서, R : 반발경도

ΔR_1 : 타격방향에 따른 보정값

ΔR_2 : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값

㉠ 타격방향에 따른 보정값(ΔR_1)

- 수평방향의 타격에 의한 측정치가 안정된 값을 나타내지만 타격방향이 다른 경우에는 반발치를 보정해 주어야 함
  ⇒ 하향 타격(−90°)의 경우 : (+)값으로 보정
  상향 타격(+90°)의 경우 : (−)값으로 보정

α / R	보 정 값			
	+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	−2.2	−1.6	+1.3	+1.7

㉡ 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값(ΔR_2)

- 콘크리트는 함수율이 증가함에 따라 반발경도가 저하됨
  ⇒ 측정위치가 습하고 타격의 흔적이 보이는 경우 : ΔR_2 = +3으로 보정
  측정위치가 완전히 젖어 있는 경우 : ΔR_2 = +5로 보정

③ 압축강도의 추정

보정반발경도(R_0)로부터 압축강도(F_c)의 상관관계를 도출한 제안식들은 다음과 같으며, 제안식의 적용은 시험방법 및 조건에 맞는 제안식을 선정하는 것이 중요하다.

【표 3-82】 기존의 비파괴강도 추정 제안식(반발경도시험)

구 분		추 정 식(MPa)	비 고
보통 콘크리트	일본재료학회	$F_c = -18.0 + 1.27R_o$	금회적용
	동경 건축재료 검사소	$F_c = (10R_o - 110) \times 0.098$	-
	일본건축학회	$F_c = (7.3R_o + 100) \times 0.098$	금회적용
	U.S Army	$F_c = (-120.6 + 8.0R_o + 0.0932R_o^2) \times 0.098$	-
고강도 콘크리트	한국시설안전공단	$F_c = (17.2R_o - 214) \times 0.098$	-
	과학기술부	$F_c = (15.2R_o - 112.8) \times 0.098$	

※ 안전진단 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12, 국토교통부/한국시설안전공단)

④ 28일 강도의 추정

시일이 경과할수록 콘크리트 구조물은 표면경도가 높아지므로 아래 식과 같이 재령 28일 강도(F_{28}')로 환산하여 압축강도를 추정한다. 콘크리트의 재령에 따른 압축강도 보정계수 α는 아래【표 3-83】 과 같으며, 3000일 이상의 재령에 대해서는 0.63을 적용한다.

$$F_{28}' = \alpha \cdot F_c$$

【표 3-83】 재령계수 α값

재령(일)	10	20	28	50	100	150	200	300	500	1000	3000
α	1.55	1.12	1.00	0.87	0.78	0.74	0.72	0.70	0.67	0.65	0.63

단, 과학기술부 Ro = R ×a (a=6.36/t+0.7, t:28일보다 큰 재령일수)

나. 철근탐사시험

1) 개 요

본 시험은 전자파레이더를 이용한 철근탐사 시험기(RC Radar)를 활용하여 철근콘크리트 구조물에 배근된 철근간격, 콘크리트 피복을 측정하기 위해 실시한다.

2) 철근콘크리트 구조물의 부재 내부에 배근되어 있는 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 있으므로 철근탐사는 설계 당시와 같이 콘크리트 내에 배근되어 있는 철근의 배근상태 및 피복두께를 파악하기 위하여 실시한다.

3) 측정원리

전자파레이더의 원리는 현재 널리 사용되고 있는 레이더와 동일하다. 즉, 콘크리트용 전자파레이더는 임펄스 상의 전자파를 송신안테나로부터 콘크리트 내로 방사하면 그 전자파가 콘크리트와 전기적 성질(비유전율, 도전율)이 다른 물체(철근, 매설관, 공동 등)와의 경계에서 반사한다. 이를 수신안테나로 수신하고, 그에 소요되는 왕복전파시간으로부터 반사물체까지의 거리를 계산하면 그 위치를 구할 수 있다. 원리를 아래【그림 3-25】에 나타내었고, 콘크리트 중의 전자파 속도는 다음 식과 같다.

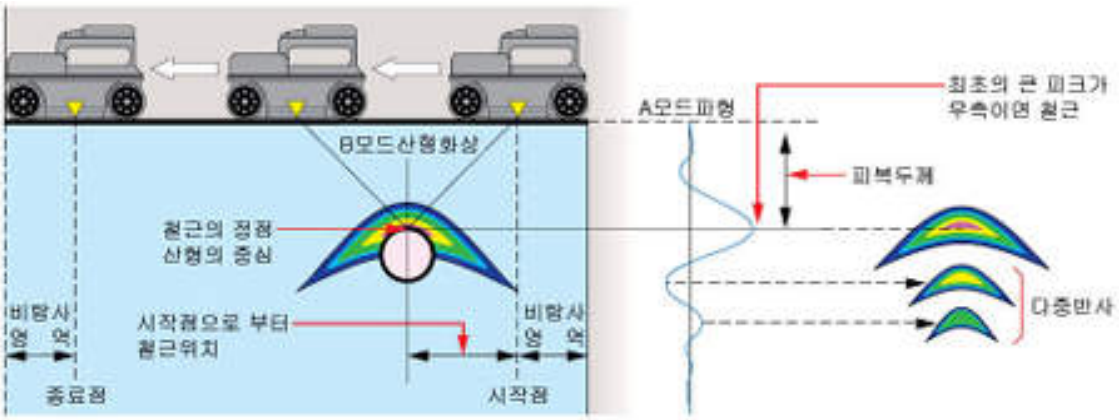
$$V = \frac{C}{\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (m/sec)$$

여기서, C : 진공 중에서 전자파의 속도(3×10^8 m/sec)

ε_r : 콘크리트의 상대유전율(6~10)

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

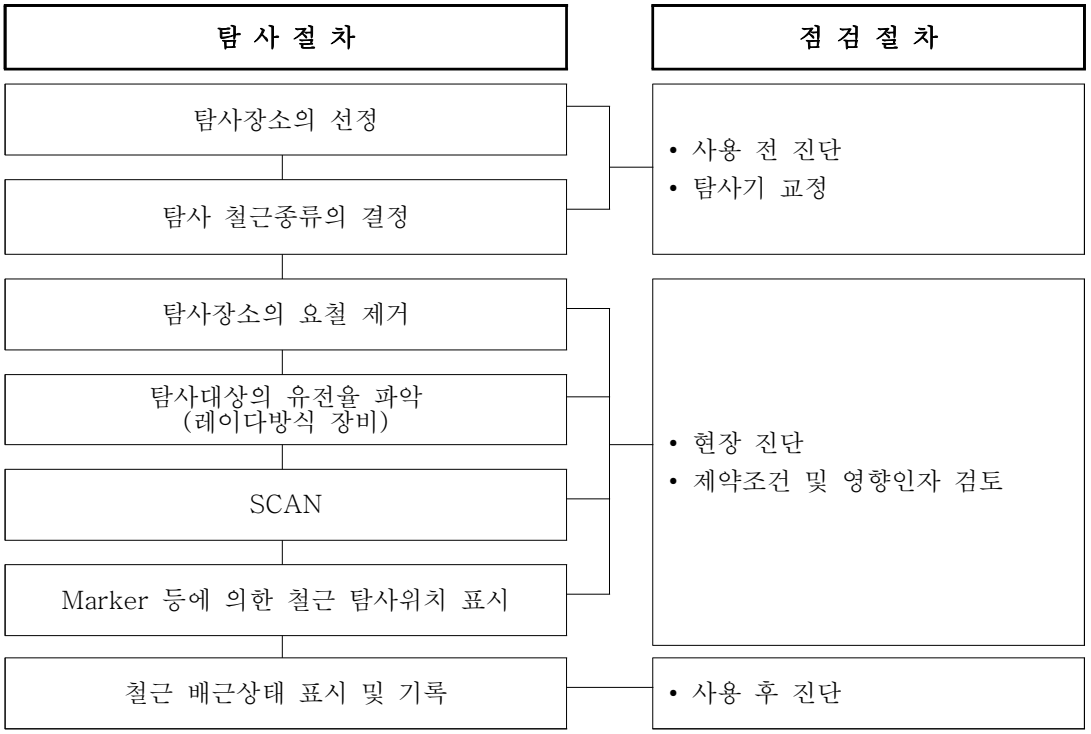
$$D = \frac{1}{2} V T \quad (m)$$



【그림 3-25】 철근탐사 측정원리

4) 철근탐사시험 및 장비 진단 등의 절차

철근탐사시험 방법에 대한 절차는 KS F 2734 및 KS F 2735의 규정에 준한다.



【그림 3-26】 철근탐사시험 및 장비 진단 등의 절차

5) 탐사조건 및 적용한계(RC Radar의 경우)

① 탐사조건

- 적용 가능한 조건
  - 탐사심도 200㎜이내
  - 탐사대상 철근지름이 ∅6㎜이상
  - 콘크리트의 질이 균일한 곳
  - 철근이 안테나 진행방향과 직교인 경우
- 적용 곤란한 조건
  - 표면에 금속 등 전파를 반사하는 것이 있고, 그 밑의 철근 등을 탐사하는 경우
  - 100㎜이하의 피치로 배근되어 있는 경우
  - 철근이 안테나의 진행방향과 평행인 경우

② 적용한계

- 탐사대상 물체의 표면에 금속 등 전파를 반사하는 것이 있고, 그 밑의 철근 등을 탐사하는 경우

- 철근이 안테나의 진행방향과 평행인 경우
- 비유전율에 따라 피복두께 차이가 있으므로 탐사 대상물의 비유전율을 추정하기 어려움
- 철근직경과 복철근 및 경사철근의 판독 불가능
- 탐사대상 표면에 요철이 많은 장소는 탐사결과의 신뢰성 저하
- 안테나의 사용으로 좁고, 짧은 위치의 탐사 불편

다. 콘크리트 품질시험

1) 개 요

초음파법은 초음파 (주파수 50~100 kHz 정도)의 투과속도가 콘크리트의 밀도 및 탄성계수에 따라서 변화한다는 것을 이용하여 이 투과속도로부터 콘크리트의 강도, 균열상태, 내부결함 등을 조사하는 방법이다.

2) 측정방법

초음파속도를 측정하기 위한 탐촉자의 배열은 직접법, 반직접법 및 간접법이 있음.

직접법에서 구한 초음파 전달속도(종파)를 강도 추정에 이용하나 보통 현장에서 직접법으로 적용할 수 없는 측정부분들에 대해서는 간접법(표면법)으로 초음파속도를 측정함.

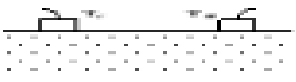
타격법과 동일부재 동일위치에서 측정하는 것을 원칙으로 하여 초음파속도를 측정.

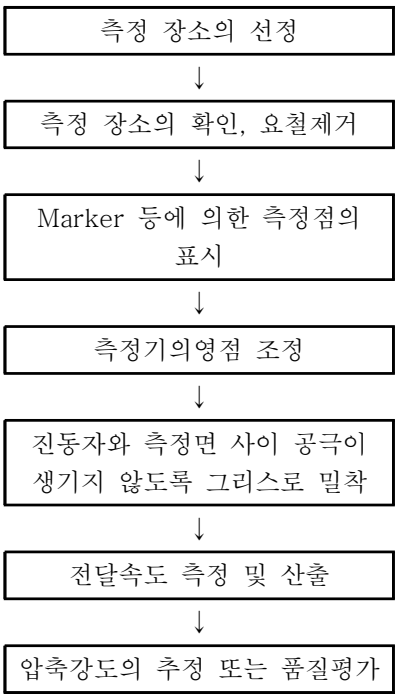
간접법을 직접법으로 환산

$$Vd \approx 1.05\ Vi$$

여기서, Vd : 직접법에 의한 초음파속도

Vi : 간접법에 의한 초음파속도





<초음파법에 의한 강도추정 흐름도>

$$\text{전달속도}(Velocity,\ mm/\mu\text{sec}) = \frac{\text{전달길이}(Path\,Length,\ L\ :\ mm)}{\text{전달시간}(Transit\,Time,\ T:\ \mu\text{sec})}$$

3) 평가기준

콘크리트 품질평가를 위해 「콘크리트 비파괴 검사기술(한국전력공사 기술연구원)」의 기준을 적용하였으며, “a, b, c, d, e” 로 평가

초음파속도(km/s)	등 급	품 질	평 가	비 고
4.575 이상	a	대단히 좋다	-	-
3.660 ~ 4.575	b	좋 다	정기적인 관찰	-
3.050 ~ 3.660	c	검사를 요함	지속적인 관찰	-
2.135 ~ 3.050	d	나쁘다	보강 또는 보수	부분적 내부결함
2.135 미만	e	대단히 나쁨	교체 또는 보강	내부결함 다수

라. 탄산화깊이 측정

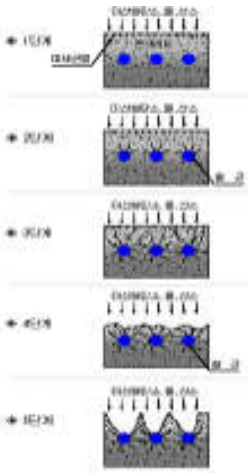
1) 개 요

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

$$\underset{\text{수산화칼슘}}{Ca(OH)_2} + \underset{\text{탄산가스}}{CO_2} \rightarrow \underset{\text{탄산칼슘}}{CaCo_3} + \underset{\text{물}}{H_2O}$$

(pH 12~13) (대기 중에 존재) (pH 8.5~10)

탄산화가 일어나는 메카니즘을 보면 시멘트의 수화반응에서 생성되는 수산화칼슘($Ca(OH)_2$)은 pH 12~13정도의 강알칼리성을 나타내지만 대기 중에 포함되어 있는 약산성의 탄산가스(약 0.03%)와 접촉하면 탄산칼슘과 물로 변화하고 탄산칼슘으로 변화한 부분의 pH가 8.5~10 정도로 낮아지게 된다. 따라서, 콘크리트의 탄산화는 일반환경 하에서도 확실하게 진행되기 때문에 매입된 철근의 부식에 따른 문제가 가장 기본적이며 중요하다. 콘크리트 내부의 pH가 11이상에서 철근은 표면에 1×10^{-6}㎜ 두께의 수산화물($\gamma-Fe_2O_3\cdot nH_2O$) 부동태막을 형성하므로 산소 침입을 막아 철근의 부식을 방지하지만 탄산화에 의하여 pH가 11보다 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 구조물의 내구성면에서 탄산화를 파악하는 것이 중요하다.

	STEP 1 • 정상, 재료 및 강도상의 변화는 거의 없음 (약간의 건조수축에 의한 균열)
	STEP 2 • 녹의 발생에 의한 팽창압이 콘크리트 내부에 발생하여 미세한 균열이 발생
	STEP 3 • 철근의 윗면이 팽창함 • 균열이 표면까지 연장되어 공기와 수분의 침입이 격화되어 동해 등의 다른 열화도 유발시키며 녹물이 보임
	STEP 4 • 철근 윗면의 피복이 떨어지고, 철근의 노출이 시작됨 • 철근단면적이 감소함
	STEP 5 • 철근 윗면이 거의 없어지고 철근은 공기 중에 직접 노출됨 • 내구성능은 없음

【그림 3-27】 탄산화에 의한 콘크리트 성능저하

2) 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

탄산화 속도에 영향을 미치는 요인으로는 환경조건(대기 중의 탄산가스 농도, 온도, 습도, 마감재 등)을 주원인으로 하는 외적요인 및 콘크리트 자체의 성능·품질(함수율, 강도, 시멘트의 종류, 배합조건, 시공조건 등)을 주원인으로 하는 내적요인에 의해 복합적인 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 대표적인 원인을 정리하면 다음과 같다.

【표 3-84】 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

구 분	영향인자	탄산화 속도
내적 요인	시멘트의 종류	• 수화반응이 느릴수록 탄산화 속도가 빠름 • 조강 포틀랜드시멘트 < 보통 포틀랜드시멘트 < 중용열 포틀랜드시멘트
	골재의 종류	• 투기성이 큰 골재일수록 탄산화 속도가 빠름
	계면활성제 종류	• 동일 물-시멘트비, 동일 슬럼프라면 탄산화 속도와 무관함
	압축강도	• 압축강도가 낮을수록 탄산화 속도가 빠름
	물-시멘트비	• 물-시멘트비가 증가하면 탄산화 속도가 빠름
	시공 정밀도	• 다짐이 불충분할수록 탄산화 속도가 빠름
	콘크리트 결함부	• 균열부위, 이음부, 손상부위 등에서 탄산화 속도가 빠름

【표 3-84】 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인(계속)

구 분	영향인자	탄산화 속도
외적 요인	온도	• 온도 상승시 탄산화 속도가 빠름 • 20~50°C 사이에서는 영향이 크지 않음
	이산화탄소 농도	• 농도가 클수록 탄산화 속도가 빠름 • 탄산가스 농도 3~10% 사이에서 상승비율이 큼
	습도	• 상대습도 50~70% 에서 탄산화 속도가 최대
	실내, 실외	• 실내의 탄산화 속도가 빠름

3) 탄산화깊이의 측정

본 과업에서는 일반적으로 현장에서 간편하게 이용되는 페놀프탈레인법(페놀프탈레인은 pH 지시약의 일종으로 1% 알칼리용액)을 이용하여 콘크리트의 탄산화 진행 정도를 측정한다.

콘크리트 파단면에 1% 페놀프탈레인 용액을 도포한 후 색의 변화를 관찰하는 방법으로 강알칼리성일수록 짙은 보라색을 띠며 pH 9이하에서는 무색을 나타낸다. 탄산화 진행 깊이의 측정은 콘크리트 표면에서 발색점까지의 깊이를 버니어캘리퍼스 등으로 측정한다.

4) 탄산화를 고려한 잔존수명 예측

탄산화 속도는 경과시간(t)의 평방근에 비례하여 진행한다고 하는 $\sqrt{t}$법으로 표현된다. 탄산화(C)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C = A \times \sqrt{t}$$

여기서, C : 탄산화깊이(㎜)

A : 탄산화 속도계수(㎜/ $\sqrt{년}$)

t : 재령(년)

여기서 구해진 탄산화 속도계수(A)를 실제 탄산화깊이와 경과년수를 이용하여 역추적으로 구한 후 탄산화가 철근에 도달하는 시간을 계산하면 콘크리트의 탄산화에 의한 잔존수명을 예측할 수 있다.

5) 평가기준

탄산화 상태평가 기준은 다음과 같다.

【표 3-85】 탄산화 상태평가 기준

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

마. 염화물함유량 시험

1) 콘크리트 속의 염분에 대한 일반적 사항

염화물의 콘크리트 침투를 구분해 보면 일반적으로 두가지로 크게 구분할 수 있다.

하나는 이미 건립된 구조물에 해풍, 해수 및 염화물을 함유한 외부 환경조건에 의해 염화물이 침투 축적되는 경우이고, 다른 하나는 방동대책으로서 염화칼슘($CaCl_2$)과 염화나트륨(NaCl)의 살포에 의해 염화물이 침투하는 경우이다.

다음은 콘크리트 제조시에 배합재료로부터 직접 콘크리트에 침투하는 경우, 특히 아직 굳지 않은 프레쉬 상태일 때 혼입하는 경우인데 이의 예로서는 ① 깨끗이 세척하지 않은 바다모래의 사용, ② 경화 촉진제로서 염화칼슘($CaCl_2$)의 사용, ③ 염화칼슘($CaCl_2$)을 주체로 한 조강형 AE제의 사용, ④ 혼화수로서 해수의 사용 등을 들 수 있다. 이 중 미세정 바다모래에 의한 염분(염화나트륨(NaCl)을 주로 함유한 것)의 혼입에 의한 것이 염해 원인의 대부분을 차지하고 있다.

콘크리트 중에 함유하는 염화물은 ① 가용성 염화물(수용성 염화물), ② 전 염화물(산 용해성 염화물)의 2종류로 분류할 수 있다. ①의 가용성 염화물로는 콘크리트에서 물에 의해 유출되는 염화물이고, ②의 전 염화물은 콘크리트를 강한 산으로 용해함으로써 유출되는 염화물이다. 가용성 염화물의 측정은 콘크리트의 세공용액 속에 용해되어 있는 유리 염화물의 양을 구하는 경우로 측정할 수 있고 유출온도 등 시험방법의 자세한 내용은 제안되고 있는 각 방법에 따라 약간 차이가 있다. 일본 콘크리트공학협회(JCI)에서는 가용성 염화물을 「경화 콘크리트 중에 함유된 50℃의 온수에 녹는 염화물」이라 정의하여 측정방법을 정하고 있다.

전 염화물량과 가용성 염화물량과의 차이는 시멘트 수화물에 고정되어 있는 염화물로써 판정되어진다.

강재 위치에 대한 염화물 이온의 강재 부식발생 한계농도는 콘크리트 단위용적당 양으로서 0.3~1.2kg/m³ 정도이고 이 값은 구조물의 설치 환경조건이나 강재부식 허용량 등의 조건에

따라서 다르다. 예를 들면, 미리 염화물을 혼입한 공시체에 의한 촉진시험 등에서는 0.3~0.6kg/m³ 정도이고 실제 환경의 노출실험에서는 1.2~2.4kg/m³ 정도로 되어 있다. 촉진시험과 실제 환경에서 얻어지는 한계농도의 차이는 시험 공시체와 실제 구조물의 덮개나물-시멘트비의 차이 그리고 촉진시험시 설정되는 고온환경 등 온도의 영향이라고 생각된다.

안전진단 및 정밀안전진단 세부지침(2010.12) 및 콘크리트 표준시방서 내구성조사편에서는 경화콘크리트의 경우 전염화물 기준으로 실제 환경의 노출실험 결과 하한치인 1.2kg/m³ 을 강재 부식발생 한계농도로서 정하고 있다. 비록, 부식환경에 따른 전염화물량이 1.2kg/m³ 를 넘더라도 부식이 발생하지 않을 가능성이 있지만 잠재적으로 부식 가능성이 높을 것으로 평가되므로 부식방지를 위한 조치가 검토되어야 할 것이다.

2) 평가기준

① 국내 콘크리트 표준시방서 기준

굳지않은 콘크리트의 경우는 철근의 부식을 방지하기 위하여 0.3kg/㎥이하로 규정하며, 책임기술자의 승인이 있는 경우 0.6kg/㎥까지 허용

② 콘크리트구조기준(2012)

【표 3-86】 염화물 평가기준(콘크리트구조기준, 2012)

부재의 종류	최대 수용성 염소이온(Cl^-), 시멘트의 중량에 대한 비(%)
프리스트레스트 콘크리트	0.06
염화물에 노출된 철근콘크리트	0.15
건조상태 또는 습기로부터 차단된 철근콘크리트	1.00
기타 철근콘크리트	0.30

③ 안전진단 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12)

【표 3-87】 염화물 상태평가 기준(안전진단 및 정밀안전진단 세부지침, 2010.12)

기 준	전염화물 이온량(kg/m³)	철근부식의 가능성
a	• 염화물 ≤ 0.3kg/m³	• 염화물에 의한 부식이 발생할 우려 없음
b	• 0.3kg/m³ < 염화물 < 1.2kg/m³	• 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음
c	• 1.2kg/m³ ≤ 염화물 < 2.5kg/m³	• 향후 염화물에 의한 부식발생 가능성 높음
d	• 염화물 ≥ 2.5kg/m³	• 철근 부식발생
e	-	-

3.4.3 시험결과 및 분석(마산방향)

가. 콘크리트 비파괴 강도시험 결과

반발경도법은 콘크리트 표면을 슈미트 햄머(Schmidt Hammer)로 타격하여 얻은 측정경도값으로부터 콘크리트의 압축강도를 추정하는 시험방법으로 슈미트 햄머의 반발경도값(R)과 콘크리트 강도 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다. 일반적으로 타격시 반발경도는 타격에너지, 피 타격체의 형상 및 크기, 재료의 물리적 특성과 관계되는 물리량에 따라 다르다. 특히 콘크리트와 같은 불균질한 재료에서는 슈미트 햄머로 표면을 국부적으로 타격하는 경우 반발도는 타격면에 존재하는 골재의 유무, 습윤상태, 콘크리트의 재령 등에 따라 차이가 난다. 따라서 강도 추정의 유일한 방법을 사용할 경우에는 문제가 있으나, 사용이 간편하고 짧은 시간에 강도추정이 가능하다는 우수한 사용성과 콘크리트 구조물 전체에 대한 강도 추정이 가능하다는 점에서 유효한 시험법이라 할 수 있다.

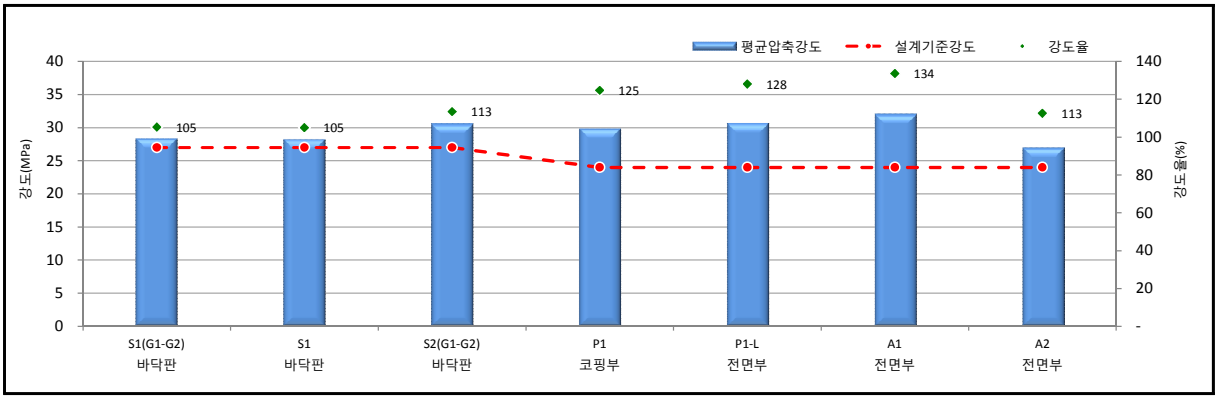
반발경도 측정은 콘크리트 표면의 요철, 부착물, 분말 등을 그라인딩으로 제거하고 실시하였으며 표면에 곰보, 공극, 노출된 자갈 등이 있는 부위들은 측정위치에서 제외했다. 또한, 반발경도 값은 각 측정부재에 따라 타격방향, 표면의 건습상태, 재령 등에 의한 보정을 한 후 콘크리트 강도를 추정하였으며, 반발경도에 의한 압축강도 추정은 일본재료학회와 일본 건축학회 CDNT 소위원회 강도 계산식을 사용하여 압축강도를 산출하였다.

본 과업에서의 반발경도법 시험은 상부 6개소, 하부 7개소 총 13개소에서 수행하였다.

1) 측정결과

【표 3-88】 마산방향 - 콘크리트 비파괴 강도시험 결과

시험위치		반발경도 (R_o)	반발경도법 측정강도(MPa)			설계기준강도 (MPa)	강도비(%) (평균강도/설계기준강도)
			일본 건축학회	일본 재료학회	평균강도		
상부 구조	S1(G1-G2) 바닥판	49.5	28.5	28.3	28.4	27.0	105
	S1 바닥판	49.4	28.4	28.2	28.3	27.0	105
	S2(G1-G2) 바닥판	53.0	30.1	31.1	30.6	27.0	113
하부 구조	P1 코핑부	51.9	29.6	30.2	29.9	24.0	125
	P1-L 전면부	53.2	30.2	31.2	30.7	24.0	128
	A1 전면부	55.4	31.1	33.0	32.1	24.0	134
	A2 전면부	47.3	27.5	26.5	27.0	24.0	113



【그림 3-28】 마산방향 - 측정강도와 설계기준강도 비교

2) 기진단 결과와 비교

【표 3-89】 마산방향 - 기진단 결과와 비교

구 분	2012년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단 (2016년)
상부구조	27.5~29.5MPa	28.3~30.6MPa
하부구조	26.5~32.0MPa	27.0~32.1MPa

3) 측정결과 분석

본 교량의 콘크리트 반발경도시험은 총 7개소(상부구조 3개소, 하부구조 4개소)에서 실시하였으며 검토결과, 상부구조는 28.3~30.6㎫로 설계기준강도(27㎫)의 105~113%, 하부구조는 27.0~32.1㎫로 설계기준강도(24㎫)의 113~134%로 나타나 허용기준치(JICE, 설계기준강도의 90% 이상)를 만족하는 양호한 상태로 조사되었다.

기 진단 결과와 비교하여 분석한 결과, 금회 진단 시 반발경도 추정강도가 기 진단에 비하여 다소 크게 분석되었다. 이는 시험 위치 및 시험장비가 상이하여 측정 결과 값이 다소 차이가 나타난 것으로 분석되나, 모든 개소에서 설계기준 강도를 상회하는 양호한 상태로 문제가 없는 것으로 판단된다.

나. 철근탐사시험

철근의 피복두께가 부족할 경우에는 콘크리트의 탄산화 등에 따른 열화손상에 대한 저항성이 저하되어 내구성이 감소할 가능성이 있으며, 피복두께가 지나치게 큰 경우에는 강도감소 등을 수반할 우려가 있다. 또한 철근의 배근간격이 설계도서와 다를 경우 구조물의 안전성에 직접적인 영향을 미치므로 내하력 저하의 원인이 된다. 철근탐사는 RC-Radar를 이용하여 수행하였으며, 현장에서 조사된 철근의 배근간격과 피복두께 탐사결과는 부재별 시공상태의 평가, 구조해석을 위한 단면특성 파악 및 내구수명 도출에 적용하였다. 본 과업에서의 철근탐사

시험은 반발경도법 및 초음파 전달속도 시험을 실시한 동일 위치에서 상부 3개소 하부 4개소 총 7개소에서 수행하였다.

1) 측정결과

【표 3-90】 마산방향 - 철근탐사 결과

시험위치		배근종류	설계값(㎜)		실측값(㎜)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
상부 구조	S1(G1-G2) 바닥판	수직철근	150	60	142	81	
		수평철근	125	44	124	61	
	S1 바닥판	수직철근	150	60	151	87	
		수평철근	125	44	117	56	
	S2(G1-G2) 바닥판	수직철근	150	60	147	81	
		수평철근	125	44	124	61	
하부 구조	P1 코핑부	수직철근	300	100	298	67	
		수평철근	150	78	133	114	
	P1-L 전면부	수직철근	100	100	123	123	
		수평철근	100	75	252	71	
	A1 전면부	수직철근	200	100	162	102	
		수평철근	150	78	149	84	
	A2 전면부	수직철근	250	100	251	97	
		수평철근	150	75	144	85	

2) 측정결과 분석

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

다. 콘크리트 품질시험

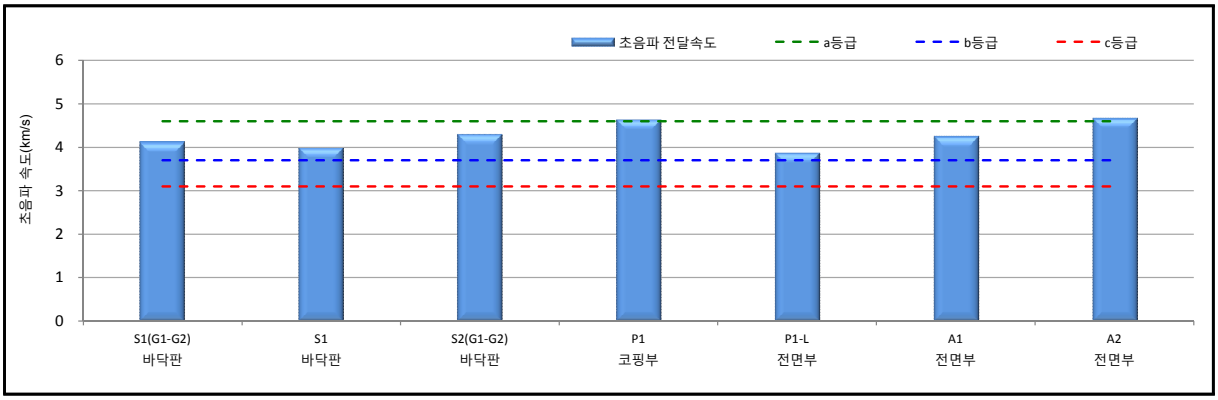
초음파 전달속도 시험은 반발경도시험을 수행한 동일부위를 선정하여 그라인딩을 실시하고 그리스 도포를 한 후, 발신자와 수신자의 측정거리를 10cm간격으로 증가시키면서 표면 법에 의한 초음파 전달속도를 측정하였으며, 「안전진단 및 정밀안전진단 세부지침(2010.12)-초음파 전달속도의 관계」를 통해 보정계수를 적용하여 직접법 속도로 환산하였다. 본 과업에서 대상 구조물의 콘크리트 품질평가를 위하여 초음파 속도법의 시험 결과를 나타내었으며, 초음파

전달속도 시험은 반발 경도법 시험을 실시한 동일 위치에서 상부 3개소 하부 4개소 총 7개소에서 수행하였다.

1) 측정결과

【표 3-91】 마산방향 - 보정계수를 적용한 초음파 속도

시험위치		초음파 전달속도(km/sec)			상태등급
		표면법	보정계수	직접법	
상부 구조	S1(G1-G2) 바닥판	3.932	1.05	4.129	b
	S1 바닥판	3.816		4.007	b
	S2(G1-G2) 바닥판	4.100		4.305	b
하부 구조	P1 코핑부	4.424		4.645	a
	P1-L 전면부	3.707		3.892	b
	A1 전면부	4.051		4.254	b
	A2 전면부	4.454		4.677	a



【그림 3-29】 마산방향 - 초음파 전달속도를 이용한 콘크리트 품질측정

2) 측정결과 분석

초음파 전단속도시험에 의한 콘크리트 품질평가 결과 초음파 속도 범위는 상부구조 4.007~4.305km/s, 하부구조 3.892~4.677km/s로 분석되었다. 초음파 속도 등급분포는 "a" 등급이 2개소 "b" 등급이 5개소 조사되었으며, 대부분 개소의 콘크리트 품질상태는 양호한 것으로 판단된다.

라. 탄산화깊이 측정

구조물의 탄산화 진행 정도는 드릴링에 의해 발생되는 콘크리트 가루가 페놀프탈레인용액을 적신 시험지에 떨어져 변색되는 시점의 깊이를 측정하였다. 지시약을 분무하면 알카리성 콘크리트 탄산화가 진행된 면에서는 색의 변화가 나타나지 않고 그 변화가 없는 정도를 곧 탄산화

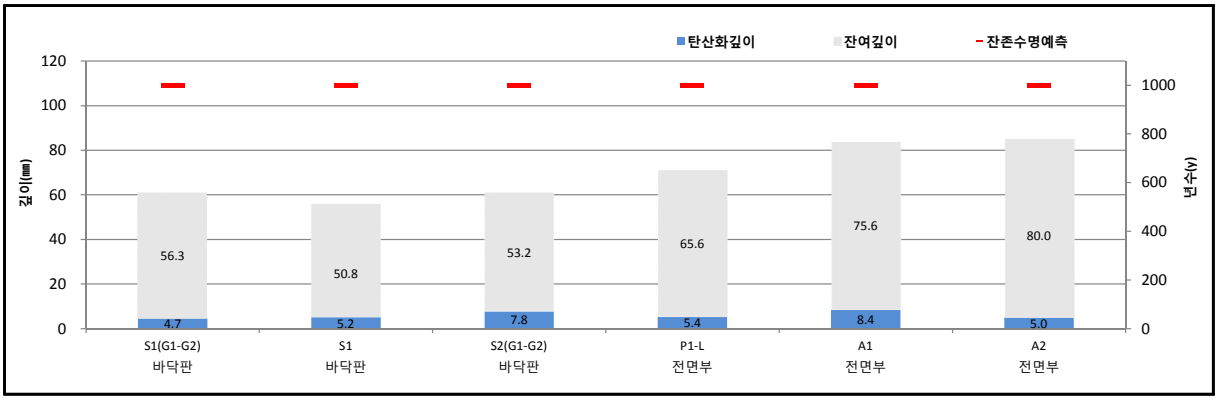
진행 깊이로 판단하게 된다. 본 과업에서의 탄산화 깊이 측정은 상부 3개소 하부 3개소 총 6개소에서 수행하였다.

1) 측정결과

【표 3-92】 마산방향 - 탄산화 깊이 측정결과 및 평가

시험위치		실측 피복두께 (㎜)	탄산화 깊이 (㎜)	탄산화 잔여깊이 (㎜)	탄산화 속도계수 (A)	상태 평가	잔존수명
상부 구조	S1(G1-G2) 바닥판	61	4.7	56.3	1.26	a	100년이상
	S1 바닥판	56	5.2	50.8	1.39	a	100년이상
	S2(G1-G2) 바닥판	61	7.8	53.2	2.08	a	100년이상
하부 구조	P1-L 전면부	71	5.4	65.6	1.44	a	100년이상
	A1 전면부	84	8.4	75.6	2.24	a	100년이상
	A2 전면부	85	5.0	80.0	1.34	a	100년이상

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



【그림 3-30】 마산방향 - 탄산화 깊이 측정결과

2) 기진단 결과와 비교

【표 3-93】 마산방향 - 기진단 결과와 비교(탄산화 깊이 측정 결과, 단위 : ㎜)

구 분	2012년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단 (2016년)
상부구조	2.8~7.5㎜	4.7~7.8㎜
하부구조	2.4~5.0㎜	5.0~8.4㎜

3) 측정결과 분석

탄산화 깊이 측정은 상부구조 3개소, 하부구조 3개소에서 실시하였으며, 측정위치에서 철근의 피복두께 측정을 실시하였다.

측정 결과, 탄산화 깊이가 상부구조에서 4.2~7.8㎜, 하부구조에서 5.0~8.4㎜로 나타나 측정위치에서의 철근피복두께를 고려할 때, “a” 로 평가되어 탄산화에 의한 철근의 부식 발생 우려는 없는 것으로 분석되었으며, 전 구간에서 탄산화가 철근에 도달하는 최소시간인 계산 내구수명에서도 100년 이상으로 나타나 전 구간에서 탄산화에 의한 철근부식영향 및 콘크리트 내구성 저하의 영향은 작을 것으로 판단된다.

기 진단 결과와 비교하여 분석한 결과, 탄산화가 다소 진행된 것으로 나타났다. 이는 구조물이 외부에 직접적으로 노출되어 있어 온도·습도 등 다양한 환경으로부터 높은 영향을 받아 탄산화가 다소 진행된 것으로 분석된다.

모든 개소에서 철근부식에 영향이 없는 양호한 상태며, 탄산화는 급속한 속도로 증대하는 경우는 거의 없으므로 장기적으로 문제가 없을 것으로 판단된다.

마. 염화물함유량 시험

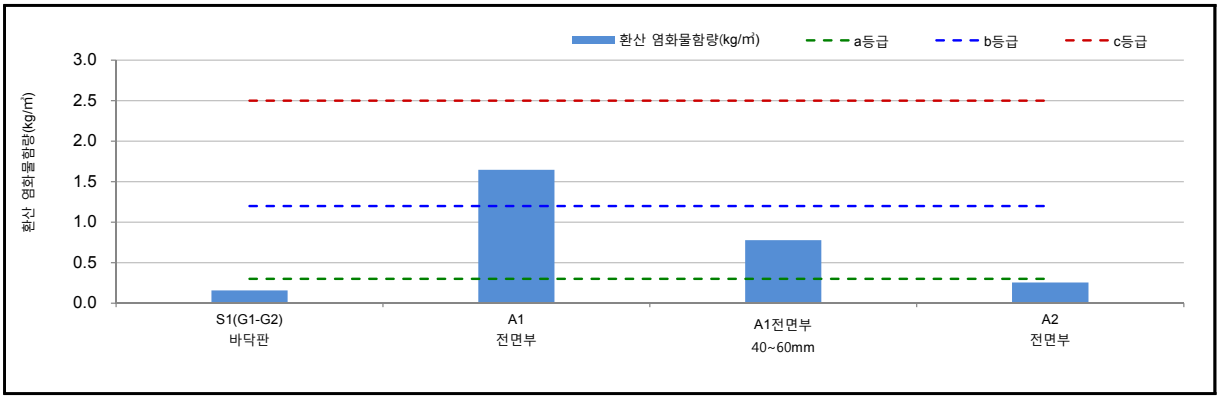
구조물에 염화물이 침투하게 되면 철근주위의 산소차단 역할을 하는 부동태막이 파손되고, 강재표면이 활성화되면 철근의 부식이 일어날 수 있으므로 철근콘크리트 구조물의 염해에 대한 평가는 매우 중요하다. 본 과업에서의 염화물 함유량시험은 상부 1개소 하부 2개소 총 3개소에서 수행하였다.

1) 시험결과

【표 3-94】 마산방향 – 염화물 함유량 시험결과

시험위치			실측 피복두께 (㎜)	전염화물 함유량 (%)	환산 염화물 함유량 (kg/㎥)	결과
상부 구조	S1(G1-G2) 바닥판	20~40㎜	61	0.007	0.158	a
하부 구조	A1 전면부	20~40㎜	84	0.0728	1.647	c
		40~60㎜	84	0.0345	0.780	b
	A2 전면부	20~40㎜	85	0.0114	0.258	a

주) 콘크리트 중의 환산 염화물 산출시 콘크리트의 단위중량은 2,263㎏/㎥을 적용(KS F 2714)
철근부식 방지를 위한 최대 수용성 염소이온 비율(기타철근콘크리트) 0.3%을 적용



【그림 3-31】 마산방향 - 염화물 함유량 시험결과

2) 기진단 결과와 비교

【표 3-95】 마산방향 – 기진단 결과와 비교(염화물 함유량, 단위 : kg/㎥)

구 분	2012년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단 (2016년)
상부구조	0.050	0.158
하부구조	0.539~4.085	0.258~1.647

기 진단결과와 비교 분석 결과, 금회 일부 하부구조에서 감소한 것으로 나타났다. 이는 정밀안전진단을 수행하는 기관에 따라 분석하는 차이가 있으며, 기진단의 경우 동일 부위에 대하여 깊이 단계별 측정 결과 값을 표기함에 따라 최저와 최고값을 수록한 것으로 금회 시행한 정밀안전진단 결과값과의 편차가 큰 것으로 판단된다.

3) 시험결과 분석

염화물함유량 시험은 상부 1개소, 하부 2개소에서 측정을 실시하였으며, 콘크리트 분말을 채취하여 전염화물 이온함유량을 조사하였다. 그 결과 모든 개소에서 0.158~0.780kg/㎥로 나타나, 염화물에 의한 철근부식이 발생할 가능성이 낮은 “b” 로 나타났다.

3.4.4 시험결과 및 분석(양평방향)

가. 콘크리트 비파괴 강도시험 결과

반발경도법은 콘크리트 표면을 슈미트 햄머(Schmidt Hammer)로 타격하여 얻은 측정경도값으로부터 콘크리트의 압축강도를 추정하는 시험방법으로 슈미트 햄머의 반발경도값(R)과 콘크리트 강도 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다. 일반적으로 타격시 반발경도는 타격에너지, 피 타격체의 형상 및 크기, 재료의 물리적 특성과 관계되는 물리량에 따라 다르다. 특히 콘크리트와 같은 불균질한 재료에서는 슈미트 햄머로 표면을 국부적으로 타격하는 경우 반발도는 타격면에 존재하는 골재의 유무, 습윤상태, 콘크리트의 재령 등에 따라 차이가 난다. 따라서 강도 추정의 유일한 방법을 사용할 경우에는 문제가 있으나, 사용이 간편하고 짧은 시간에 강도추정이 가능하다는 우수한 사용성과 콘크리트 구조물 전체에 대한 강도 추정이 가능하다는 점에서 유효한 시험법이라 할 수 있다.

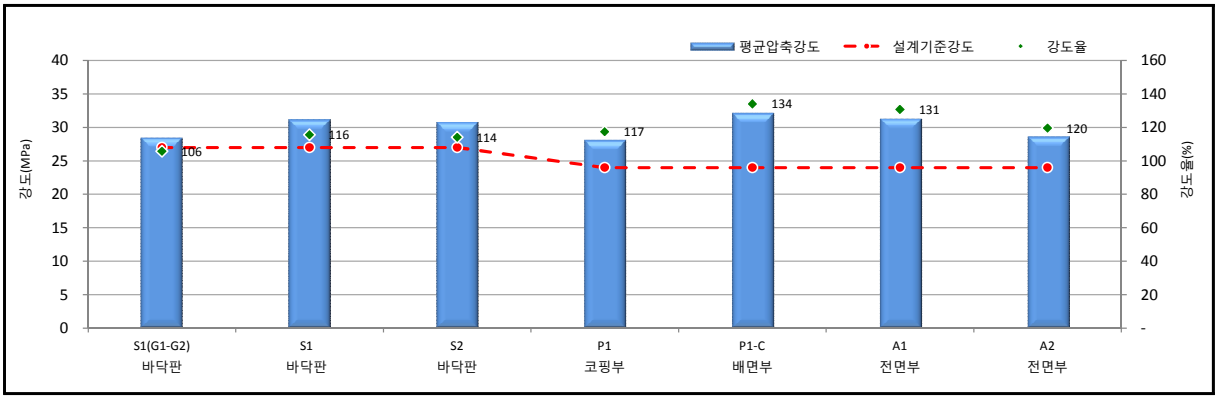
반발경도 측정은 콘크리트 표면의 요철, 부착물, 분말 등을 그라인딩으로 제거하고 실시하였으며 표면에 곰보, 공극, 노출된 자갈 등이 있는 부위들은 측정위치에서 제외했다. 또한, 반발경도 값은 각 측정부재에 따라 타격방향, 표면의 건습상태, 재령 등에 의한 보정을 한 후 콘크리트 강도를 추정하였으며, 반발경도에 의한 압축강도 추정은 일본재료학회와 일본 건축학회 CDNT 소위원회 강도 계산식을 사용하여 압축강도를 산출하였다.

본 과업에서의 반발경도법 시험은 상부 3개소, 하부 4개소 총 7개소에서 수행하였다.

1) 측정결과

【표 3-96】 양평방향 - 콘크리트 비파괴 강도시험 결과

시험위치		반발경도 (R_o)	반발경도법 측정강도(MPa)			설계기준강도 (MPa)	강도비(%) (평균강도/설계기준강도)
			일본 건축학회	일본 재료학회	평균강도		
상부 구조	S1(G1-G2) 바닥판	49.8	28.6	28.5	28.6	27.0	106
	S1 바닥판	54.0	30.5	31.9	31.2	27.0	116
	S2 바닥판	53.4	30.2	31.4	30.8	27.0	114
하부 구조	P1 코핑부	49.2	28.3	28.0	28.2	24.0	117
	P1-C 배면부	55.6	31.2	33.1	32.2	24.0	134
	A1 전면부	54.3	30.6	32.1	31.4	24.0	131
	A2 전면부	50.0	28.7	28.7	28.7	24.0	120



【그림 3-32】 양평방향 - 측정강도와 설계기준강도 비교

2) 기진단 결과와 비교

【표 3-97】 양평방향 - 기진단 결과와 비교

구 분	2012년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단 (2016년)
상부구조	26.0~28.5MPa	28.6~31.2MPa
하부구조	26.5~30.0MPa	28.2~32.2MPa

3) 측정결과 분석

본 교량의 콘크리트 반발경도시험은 총 7개소(상부구조 3개소, 하부구조 4개소)에서 실시하였으며 검토결과, 상부구조는 28.6~31.2㎫로 설계기준강도(27㎫)의 106~116%, 하부구조는 28.2~32.2㎫로 설계기준강도(24㎫)의 117~134%로 나타나 허용기준치(JICE, 설계기준강도의 90% 이상)를 만족하는 양호한 상태로 조사되었다.

기 진단 결과와 비교하여 분석한 결과, 금회 진단 시 반발경도 추정강도가 기 진단에 비하여 다소 크게 분석되었다. 이는 시험 위치 및 시험장비가 상이하여 측정 결과 값이 다소 차이가 나타난 것으로 분석되나, 모든 개소에서 설계기준 강도를 상회하는 양호한 상태로 문제가 없는 것으로 판단된다.

나. 철근탐사시험

철근의 피복두께가 부족할 경우에는 콘크리트의 탄산화 등에 따른 열화손상에 대한 저항성이 저하되어 내구성이 감소할 가능성이 있으며, 피복두께가 지나치게 큰 경우에는 강도감소 등을 수반할 우려가 있다. 또한 철근의 배근간격이 설계도서와 다를 경우 구조물의 안전성에 직접적인 영향을 미치므로 내하력 저하의 원인이 된다. 철근탐사는 RC-Radar를 이용하여 수행하였으며, 현장에서 조사된 철근의 배근간격과 피복두께 탐사결과는 부재별 시공상태의 평가, 구조해석을 위한 단면특성 파악 및 내구수명 도출에 적용하였다. 본 과업에서의 철근탐사

시험은 반발경도법 및 초음파 전달속도 시험을 실시한 동일 위치에서 상부 3개소 하부 4개소 총 7개소에서 수행하였다.

1) 측정결과

【표 3-98】 양평방향 - 철근탐사 결과

시험위치		배근종류	설계값(㎜)		실측값(㎜)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
상부 구조	S1(G1-G2) 바닥판	수직철근	150	60	147	69	
		수평철근	250	44	254	55	
	S1 바닥판	수직철근	150	60	144	71	
		수평철근	120	44	122	51	
	S2 바닥판	수직철근	150	60	159	82	
		수평철근	125	44	127	46	
하부 구조	P1 코핑부	수직철근	150	100	136	108	
		수평철근	125	78	203	87	
	P1-C 배면부	수직철근	200	100	204	110	
		수평철근	250	75	247	78	
	A1 전면부	수직철근	250	100	243	99	
		수평철근	150	75	147	84	
	A2 전면부	수직철근	250	100	232	105	
		수평철근	150	75	158	87	

2) 측정결과 분석

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

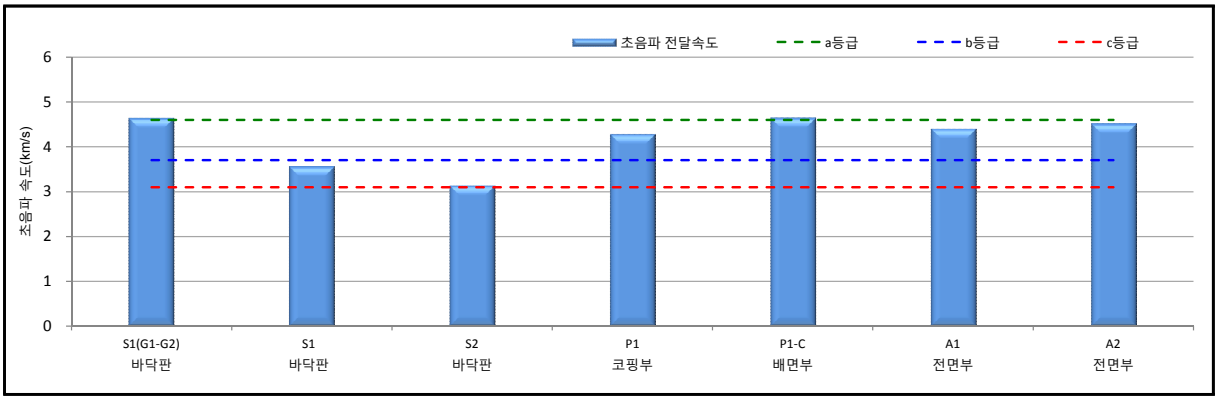
다. 콘크리트 품질시험

초음파 전달속도 시험은 반발경도시험을 수행한 동일부위를 선정하여 그라인딩을 실시하고 그리스 도포를 한 후, 발신자와 수신자의 측정거리를 10cm간격으로 증가시키면서 표면 법에 의한 초음파 전달속도를 측정하였으며, 「안전진단 및 정밀안전진단 세부지침(2010.12)-초음파 전달속도의 관계」를 통해 보정계수를 적용하여 직접법 속도로 환산하였다. 본 과업에서 대상 구조물의 콘크리트 품질평가를 위하여 초음파 속도법의 시험 결과를 나타내었으며, 초음파 전달속도 시험은 반발 경도법 시험을 실시한 동일 위치에서 상부 3개소 하부 4개소 총 7개소에서 수행하였다.

1) 측정결과

【표 3-99】 양평방향 - 보정계수를 적용한 초음파 속도

시험위치		초음파 전달속도(km/sec)			상태등급
		표면법	보정계수	직접법	
상부 구조	S1(G1-G2) 바닥판	4.425	1.05	4.646	a
	S1 바닥판	3.538		3.715	b
	S2 바닥판	3.840		4.032	b
하부 구조	P1 코핑부	4.080		4.284	b
	P1-C 배면부	4.429		4.650	a
	A1 전면부	4.194		4.404	b
	A2 전면부	4.304		4.519	b



【그림 3-33】 양평방향 - 초음파 전달속도를 이용한 콘크리트 품질측정

2) 측정결과 분석

초음파 전단속도시험에 의한 콘크리트 품질평가 결과 초음파 속도 범위는 상부구조 3.715~4.646km/s, 하부구조 4.284~4.650km/s로 분석되었다. 초음파 속도 등급분포는 "a" 등급이 2개소 "b" 등급이 5개소 조사되었으며, 대부분 개소의 콘크리트 품질상태는 양호한 것으로 판단된다.

라. 탄산화깊이 측정

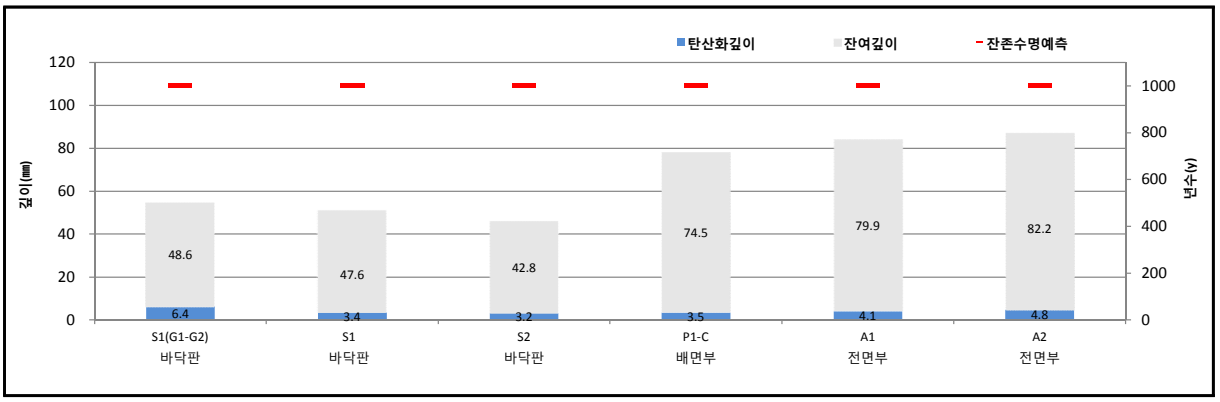
구조물의 탄산화 진행 정도는 드릴링에 의해 발생되는 콘크리트 가루가 페놀프탈레인용액을 적신 시험지에 떨어져 변색되는 시점의 깊이를 측정하였다. 지시약을 분무하면 알카리성 콘크리트 탄산화가 진행된 면에서는 색의 변화가 나타나지 않고 그 변화가 없는 정도를 곧 탄산화 진행 깊이로 판단하게 된다. 본 과업에서의 탄산화 깊이 측정은 상부 3개소 하부 3개소 총 7개소에서 수행하였다.

1) 측정결과

【표 3-100】 양평방향 - 탄산화 깊이 측정결과 및 평가

시험위치		실측 피복두께 (㎜)	탄산화 깊이 (㎜)	탄산화 잔여깊이 (㎜)	탄산화 속도계수 (A)	상태 평가	잔존수명
상부 구조	S1(G1-G2) 바닥판	55	6.4	48.6	1.71	a	100년이상
	S1 바닥판	51	3.4	47.6	0.91	a	100년이상
	S2 바닥판	46	3.2	42.8	0.86	a	100년이상
하부 구조	P1-C 배면부	78	3.5	74.5	0.94	a	100년이상
	A1 전면부	84	4.1	79.9	1.10	a	100년이상
	A2 전면부	87	4.8	82.2	1.28	a	100년이상

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



【그림 3-34】 양평방향 - 탄산화 깊이 측정결과

2) 기진단 결과와 비교

【표 3-101】 양평방향 - 기진단 결과와 비교(탄산화 깊이 측정 결과, 단위 : ㎜)

구 분	2012년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단 (2016년)
상부구조	3.8~10.0㎜	3.2~6.4㎜
하부구조	1.3~11.0㎜	3.5~4.8㎜

3) 측정결과 분석

탄산화 깊이 측정은 상부구조 3개소, 하부구조 3개소에서 실시하였으며, 측정위치에서 철근의 피복두께 측정을 실시하였다.

측정 결과, 탄산화 깊이가 상부구조에서 3.2~6.4㎜ 하부구조에서 3.5~4.8㎜로 나타나 측

정위치에서의 철근피복두께를 고려할 때, “a” 로 평가되어 탄산화에 의한 철근의 부식 발생 우려는 없는 것으로 분석되었으며, 전 구간에서 탄산화가 철근에 도달하는 최소시간인 계산 내구수명에서도 100년 이상으로 나타나 전 구간에서 탄산화에 의한 철근부식영향 및 콘크리트 내구성 저하의 영향은 작을 것으로 판단된다.

기 진단 결과와 비교하여 분석한 결과, 탄산화가 다소 진행된 것으로 나타났으며, 이는 공용년수 증가에 따른 것으로 분석된다.

마. 염화물함유량 시험

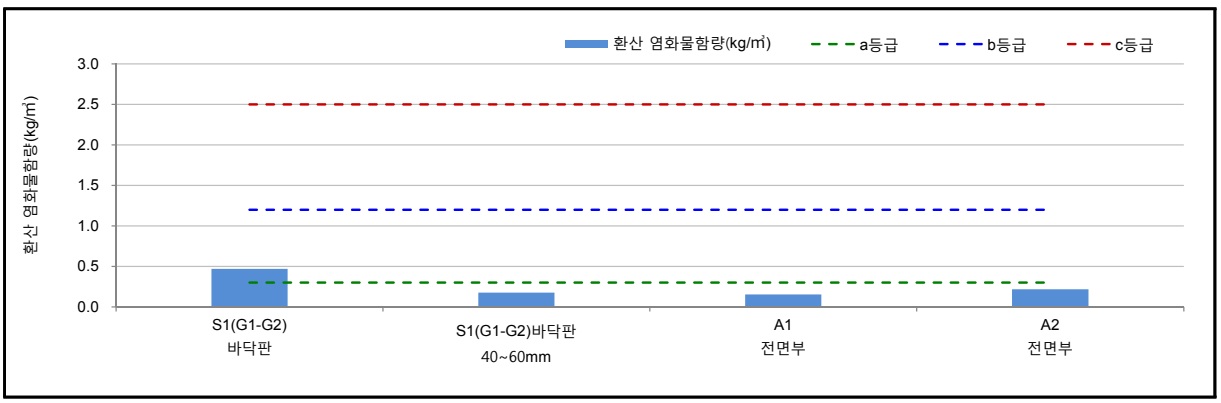
구조물에 염화물이 침투하게 되면 철근주위의 산소차단 역할을 하는 부동태막이 파손되고, 강재표면이 활성화되면 철근의 부식이 일어날 수 있으므로 철근콘크리트 구조물의 염해에 대한 평가는 매우 중요하다. 본 과업에서의 염화물 함유량시험은 상부 2개소 하부 2개소 총 2개소에서 수행하였다.

1) 시험결과

【표 3-102】 양평방향 - 염화물 함유량과 시험결과

시험위치			실측 피복두께 (㎜)	전염화물 함유량 (%)	환산 염화물 함유량 (kg/㎥)	결과
상부 구조	S1(G1-G2)바닥판	20~40㎜	55	0.0207	0.468	b
	S1(G1-G2)바닥판	40~60㎜	55	0.0078	0.177	a
하부 구조	A1 전면부	20~40㎜	84	0.0068	0.153	a
	A2 전면부	20~40㎜	87	0.0097	0.219	a

주) 콘크리트 중의 환산 염화물 산출시 콘크리트의 단위중량은 2,263㎏/㎥을 적용(KS F 2714)
철근부식 방지를 위한 최대 수용성 염소이온 비율(기타철근콘크리트) 0.3%을 적용



【그림 3-35】 양평방향 - 염화물 함유량 시험결과

2) 기진단 결과와 비교

【표 3-103】 양평방향 - 기진단 결과와 비교(염화물 함유량, 단위 : kg/㎥)

구 분	2012년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단 (2016년)
상부구조	0.152	0.177~0.468
하부구조	0.050~0.312	0.153~0.219

3) 시험결과 분석

염화물함유량 시험은 상부 2개소, 하부 2개소에서 측정을 실시하였으며, 콘크리트 분말을 채취하여 전염화물 이온 함유량을 조사하였다. 그 결과 상부구조는 모든 개소에서 0.177~0.468kg/㎥로 나타나, 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음 “b” 로 나타났으며, 하부구조는 0.153~0.219kg/㎥로 나타나, 염화물에 의한 철근부식이 발생할 가능성이 없는 “a” 로 나타나 상·하부 구조 모두 양호한 상태로 판단된다.

기 진단 결과와 비교 분석한 결과, 염화물 함유량이 증가한 것으로 나타났다. 이는 동절기 제설제 살포시 제설제 잔여물이 교면포장의 균열을 통해 바닥판으로 침투하거나, 시간이 경과함에 따라 차로에서 도로 가장자리로 흩어진 제설제 분말이 흘러 내려 하부구조에 영향을 주어 기 진단에 비해 다소 높은 염화물 함유량을 보인 것으로 분석되나, 철근의 부식 가능성은 없는 “a” 등급(안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 참조)으로 판정되어 양호한 것으로 판단된다.

3.5 강재 내구성조사

3.5.1 개 요

공용 중 교량에 있어서 강재 비파괴조사는 강구조의 주요 부재에 대한 제작상태 및 결함의 분포 현황을 조사하고, 그 결과를 분석하여 교량 전체의 내구성평가에 요구되는 기초자료를 제공하기 위하여 실시한다.

가. 시험현황

1) 시험현황 및 선정사유

본 과업에서 강재 비파괴조사를 위해 초음파탐상시험(UT), 도막두께 측정을 실시하였다. 본 교량의 초음파탐상시험은 강재 비파괴시험에 앞서 강재 용접부에 대한 외관조사 결과를 토대로 용접결함 및 결함 의심부위가 없는 경우 타부위에 비해 구조적 취약부위인 맞대기용접부에 대해서 시험을 실시하도록 되어 있다.(과업지시서와 『안전진단 및 정밀안전진단 세부

지침_교량편(2010.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』 참조)

감곡IC교 는 약 14년 정도의 공용기간이 경과한 상태로 각 부재별 강재 비파괴시험 현황은 다음과 같다.

【표 3-104】 마산방향 - 강재 비파괴시험 현황

시험위치		초음파탐상 시험	강재 및 도막두께 측정	비 고
S1	G1	2	1	
	G2	2	1	
S2	G1	2	1	
	G2	2	-	
합 계		8	3	
세부지침 상 기준수량		8	-	

주) 안전진단 및 정밀안전진단 세부지침 상 기준수량(강재 초음파탐상시험)
: 2개소/경간별 거더(맞대기 용접부)

【표 3-105】 양평방향 - 강재 비파괴시험 현황

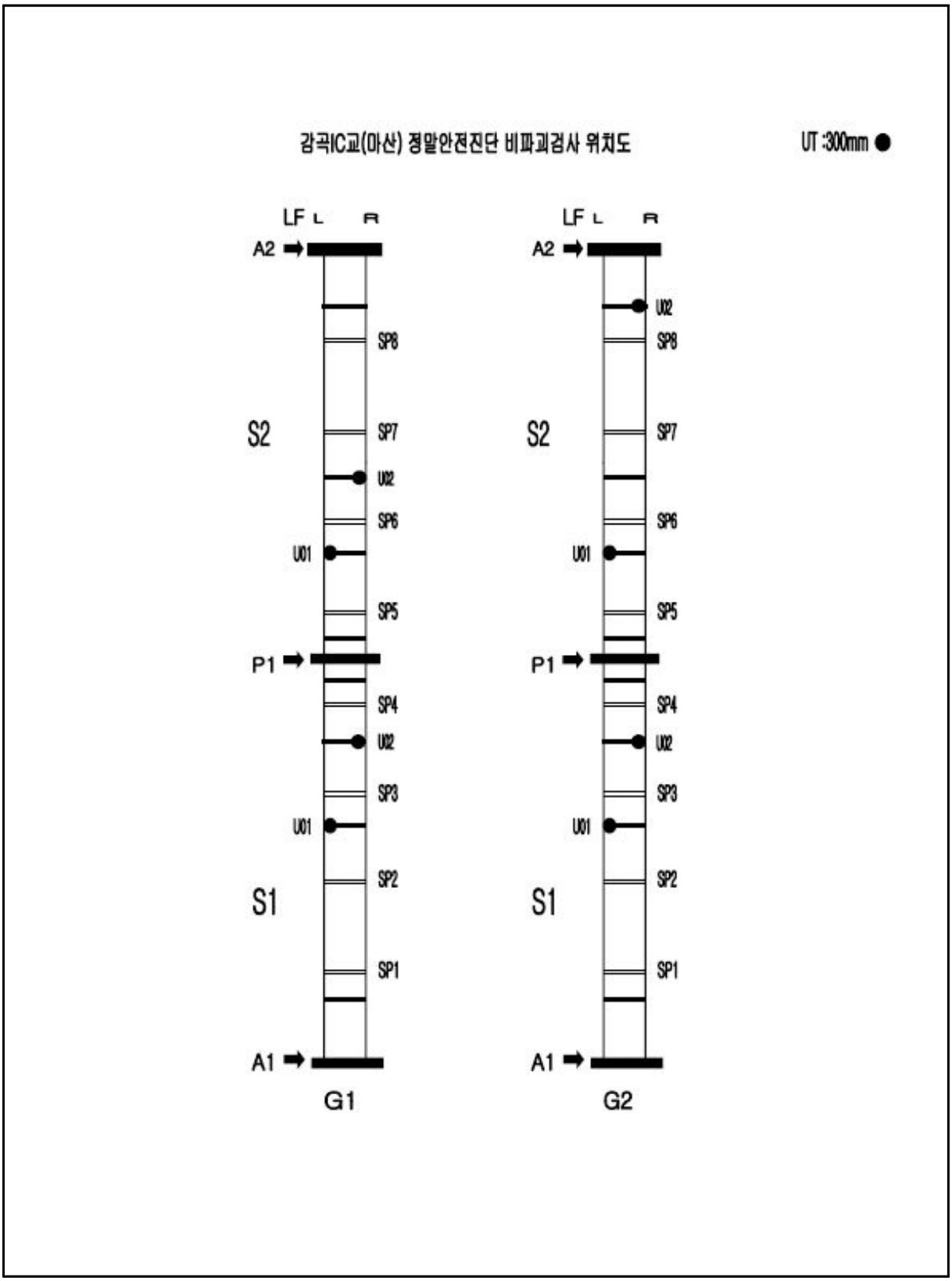
시험위치		초음파탐상 시험	강재 및 도막두께 측정	비 고
S1	G1	2	-	
	G2	2	1	
	G3	2	-	
S2	G1	2	1	
	G2	2	1	
	G3	2	-	
합 계		12	3	
세부지침 상 기준수량		12	-	

주) 안전진단 및 정밀안전진단 세부지침 상 기준수량(강재 초음파탐상시험)
: 2개소/경간별 거더(맞대기 용접부)

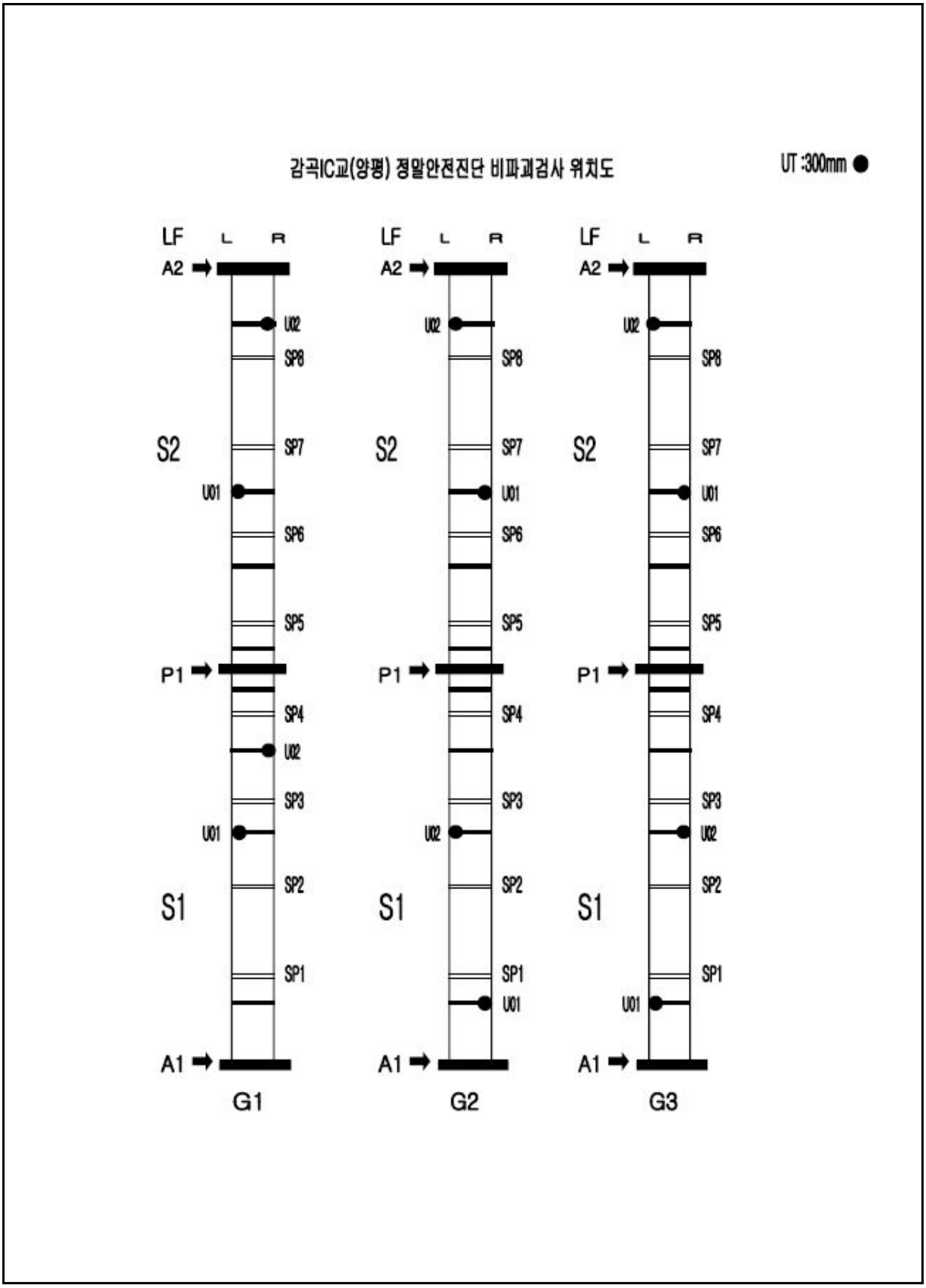
2) 조사사진

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>초음파탐상시험 (1)</td><td>초음파탐상시험 (2)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>초음파탐상시험 (3)</td><td>초음파탐상시험 (4)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>강재두께 측정</td><td>도막두께 측정</td></tr>
</table>

3) 강재 비파괴시험 위치도



【그림 3-36】 마산방향 - 초음파탐상시험 위치도



【그림 3-37】 양평방향 - 초음파탐상시험 위치도

3.5.2 시험내용 및 평가기준

가. 초음파탐상시험 (UT : Ultrasonic Testing)

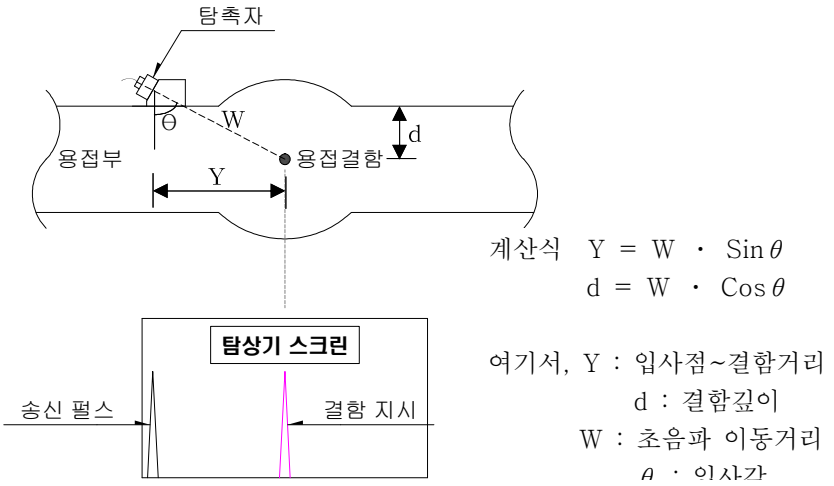
1) 개 요

가청 주파수 이상의 주파수를 갖는 초음파(20,000㎐이상)를 시험체 내에 전달하여 초음파 진행경로 상에 존재하는 결함부로부터 반사하는 초음파 신호를 수신하여 탐상기 CRT 스크린 상에서 에코파형을 확인함으로써 결함의 존재 여부 및 결함 정보를 알아내는 검사방법이다.

초음파의 종류는 크게 수직법과 사각법으로 대별되며, 수직법은 탐촉자를 시험체에 접촉하여 시험체에 수직으로 초음파를 전파시켜 검사하는 방법으로 통상적으로 판재 및 봉재, 주·단강품 결함 검사와 부재의 부식두께 측정 등에 이용되며, 사각법은 시험체에 임의의 일정각으로 초음파를 전파시켜 검사하는 방법으로 주로 강구조물 용접부 검사에 적용된다.

2) 방법(사각법)

일반적으로 강교 용접부의 사각탐상에서는 주로 용접부 내부에 존재하는 기공, 슬래그, 융합불량, 용입부족 등의 결함과 균열에 대한 조사가 실시되고 있으며, 각각의 결함부로부터 반사한 에코파형의 펄스형태(펄스폭&높이), 반사체(결함)까지의 진행거리, 초음파 입사각도, 에코의 반사패턴 등을 종합적으로 분석하여 결함의 입체적인 위치를 산출하고 결함종류 및 길이 등을 측정한다.



【그림 3-38】 초음파탐상(사각법)시험 개요도

3) 특 성

① 시험체가 두꺼워도 검사가 가능하다.

② 불연속의 위치를 정확히 알 수 있다.

③ 검사 결과를 바로 알 수 있다.

④ 균열 등의 면상 결함의 검출에는 방사선투과검사보다 유리하다.

⑤ 시험체 한면에서의 탐상이 가능하다.

⑥ 결함의 종류 및 형상, 크기를 식별하기 어렵다.

⑦ 금속 조직의 영향을 많이 받는다.

⑧ 검사자의 기량에 의해 검사 결과가 영향을 받는다.

⑨ 검사 결과의 기록 보존이 어렵다.

4) 평가기준

초음파탐상검사 방법 및 결함지시에 대한 등급 분류는 아래 표와 같다.

【표 3-106】 결함의 등급 분류

영 역	M검출 레벨은 Ⅲ L검출 레벨은 Ⅱ와 Ⅲ			Ⅳ		
판두께(㎜) 등급	18 이하	18 초과 ~ 60 이하	60 초과	18 이하	18 초과 ~ 60 이하	60 초과
1급	6㎜ 이하	t/3 이하	20㎜ 이하	4㎜ 이하	t/4 이하	15㎜ 이하
2급	9㎜ 이하	t/2 이하	30㎜ 이하	6㎜ 이하	t/3 이하	20㎜ 이하
3급	18㎜ 이하	t 이하	60㎜ 이하	9㎜ 이하	t/2 이하	30㎜ 이하
4급	3급을 초과하는 것					

※ 강도로교 용접 및 도장요령(1998, 국토교통부) 참조

※ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(2006. 12, 한국시설안전공단) 참조

5) 합·부 판정기준

강도로교 용접 및 도장요령(1998, 국토교통부)에 의거하여 합·부를 판정하였다.

【표 3-107】 용접부 결함의 합·부 판정기준

검 사 부 위	합 격 기 준	비 고
인장 및 교번하중이 작용하는 부재의 용접부	2급 이상	KS-B-0896
압축 및 전단응력이 작용하는 부재의 용접부	3급 이상	

나. 도막두께 측정(Dry Film Thickness Measurement)

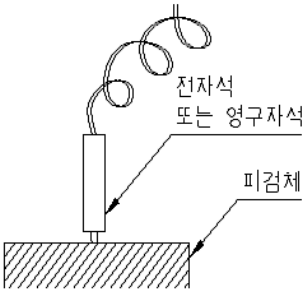
1) 개 요

강재에 있어서 도장의 상태 및 도막의 두께는 구조물의 내구성능을 판단하는 기준이 된다. 도막두께의 부족은 강재의 부식을 촉진시키고 결과적으로 내구성능을 저하시키는 요인으로 작용한다. 본 측정은 강재 거더의 도막두께를 측정하여 현재의 도장상태을 확인하고 내구성능의 저하 여부를 판단하고자 실시하였다.

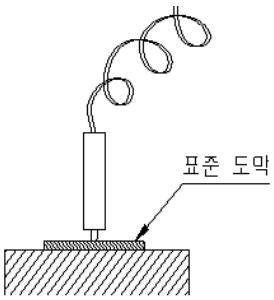
측정은 강박스 거더의 내부와 외부로 구분하였으며, 한 개소당 5회씩 측정하여 평균값을 도막두께로 취하였다.

2) 측정원리

도막두께 측정은 전자석 또는 영구자석을 이용하여 피검체(자성체)에 도포된 도막의 두께를 측정하는 검사 방법으로 페인트 도막 및 기타 코팅에 적용된다. 도막두께의 측정 원리는 다음과 같다.



【그림 3-39】 Gauge 영점조정



【그림 3-40】 Gauge 초기화(Calibration)

【그림 3-39】와 같이 도막이 도포되지 않은 피검체(자성체)에 전자석 또는 영구자석을 접촉시켜 지시계의 눈금을 영점(Zero) 조정한다. 영점 조정한 후【그림 3-40】과 같이 확인하고자 하는 두께와 유사한 표준도막을 이용하여 각 도막의 두께에 따른 자력차를 이용하여 검사하는 방법이다.

도막두께를 교정한 후 측정 부위에 접촉시켜 전자석 또는 영구자석의 자력차를 수치로 나타내어 측정 부위의 도막두께를 확인한다.

3) 평가기준

일반적으로 강교에 사용되는 도장계열은 일반환경과 특수환경에 따라 다르게 시공되고 있다. 일반환경용 도장은 재래식 도장과 중방식 도장으로 구분되고, 특수환경용 도장도 중방식 도장(우레탄계 마감), 중방식 도장(자연건조형 불소수지 마감), 내부도장(콜탈에폭시 마감), 내부도장(에폭시 마감), 내부도장(후막형 콜탈 에폭시 마감) 등 다양한 재료를 이용한 도장이 실시되고 있다.

대상구조물의 주요 구조부재인 거더는 일반환경용 중방식 도장으로 추정되며, 이에 대한 도장시방으로 시공당시 『도로교표준시방서(2013, 한국도로교통협회)』의 일반환경용 중방식 도장을 평가기준으로 정하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

【표 3-108】 일반환경용 중방식 도장(도로교표준시방서(1999, 한국도로교통협회))

구 분	도장 계열	공 정		도료명칭 또는 방법	도막두께 (㎛)	도장 횟수	비 고
교 량 외 부	GEB	1차 표면처리		SSPC - SP10			
		샵 프라이머		무기질 아연말 샵프라이머	20	1	
		2차 표면처리		SSPC - SP10			
		공장 도장	제1층	무기질 아연말도료	75	1	
			제2층	미스트 코트	60	1	
			제3층	염화고무계도료		1	
		공장/ 현장도장	제4층	염화고무계도료	60	1	
		계			215		
교 량 내 부	GIB	1차 표면처리		SSPC - SP10			
		샵 프라이머		무기질 아연말 샵프라이머	20	1	
		2차 표면처리		SSPC - SP10			
		공장 도장	제1층	무기질 아연말도료	75	1	
			제2층	미스트 코트	75	1	
			제3층	역청질계도료		1	
		계			170		

다. 강재 두께 측정

1) 개 요

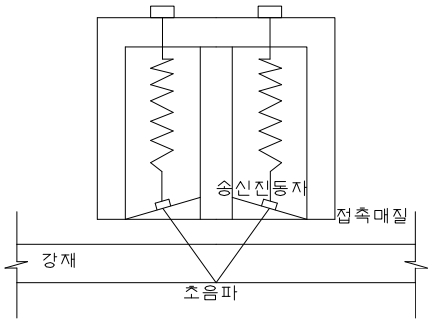
강재 부식이란 금속이 액체용액에 의해 퇴보되는 현상이며 이는 주위환경과의 전기 화학적 또는 화학적 반응에 의하여 그들의 본래 상태인 산화물로 되돌아가려는 본질적인 성질 또는 자연적인 경향이다. 구조물에서의 강재의 부식은 두께의 감소를 가져오게 되며 구조물의 강도를 저하시켜 안전성에 중요한 영향을 미치게 된다. 본 과업에서는 강구조물의 부식정도 및 설계상의 규정된 부재 사용 여부를 초음파 두께 측정기를 사용하여 조사하였다.

2) 측정방법

측정하고자 하는 부식단면 부재의 위치를 결정하고, 두께 측정개소를 결정한다. 측정은 30 ㎜ 간격을 표준으로 하고, 1단면당 10개소 이상의 측정점을 설정한다. 측정방범은 측정기를 이용하여 부식에 의한 판두께 변화를 측정단면의 평균 판두께를 산출한다.

부식단면의 측정은 주로 초음파 두께 측정기를 이용하여 실시한다. 초음파 두께 측정기의 원리는【그림 3-41】과 같은 분할형 탐측자의 송신형 진동자로부터 펄스를 보내고, 수신형 진동자가 시험체 저면에서 반사되는 에코를 받는데 이 저면 에코가 나타나는 시간을 측정하여 이것을 전압 또는 전류로 변환하여 두께를 미터 또는 디지털로 나타내는 것이다.

디지털 방식은, 반응속도가 빠르지만 최후의 지표가 불안정하게 되는 경우가 많고, 미터방식은 지표의 관성으로 지표가 안정되어 있는 것처럼 보이지만 반응이 둔감한 평균치를 나타내기 쉽다. 따라서 측정시간이 단시간(2~3초)의 접축중에 측정해야 하는 경우는 디지털이 유리하다.



【그림 3-41】초음파를 이용한 강재 두께의 측정방법

3) 측정위치

① 부식에 의하여 단면 감소가 발생된 곳
② 누수가 발생되어 녹물이 유출되는 곳
③ 지점부
④ 박스 내부의 체수가 발생되는 곳

4) 평가기준

【표 3-109】 강재두께의 허용오차

나 비(㎜) / 두 께(㎜)	1,600 이상 2,000 미만	2,000 이상 2,500 미만	2,500 이상 3,150 미만	3,150 이상 4,000 미만
6이상 ~ 10미만	±0.65	±0.65	±0.80	±0.80
10이상 ~ 16미만	±0.65	±0.65	±0.80	±0.80
16이상 ~ 25미만	±0.75	±0.75	±0.95	±0.95
25이상 ~ 40미만	±0.80	±0.80	±1.00	±1.00

※도로교표준시방서(국토교통부, 한국도로교통협회, 2013) 참조
※국가기술표준원, 규격번호 KS D 3500 참조

3.5.3 시험결과 및 분석(마산방향)

가. 초음파탐상 시험결과

UT 시험은 전회 조사위치를 피하여 인장응력과 교번응력이 발생하는 위치 위주로 실시하였으며, 부재의 구조적인 안전성과 구조부재의 외관상태를 고려하여 선정하였다. 초음파탐상시험으로 강박스 거더의 맞대기 용접부에 대해 용접상태를 검사한 결과, 전 개소에서 균열, 기공, 슬래그 및 용입부족 등의 내부결함이 없는 1급(합격)으로 조사되었다.

【표 3-110】 마산방향 - 초음파탐상(UT) 시험결과

시험위치		시험개소	결함등급	합격 여부	결함발생 현황	비 고
S1-G1	U01-L(LF)	1	1급	합격	결함사항없음	
	U02-R(LF)	1	1급	합격		
S1-G1	U01-L(LF)	1	1급	합격		
	U02-R(LF)	1	1급	합격		
S2-G1	U01-L(LF)	1	1급	합격		
	U02-R(LF)	1	1급	합격		
S2-G2	U01-L(LF)	1	1급	합격		
	U02-R(LF)	1	1급	합격		

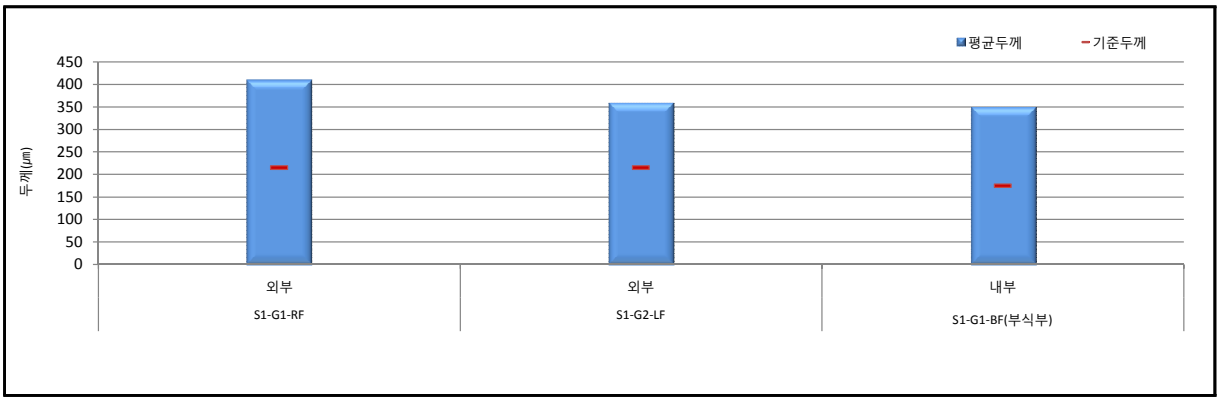
주) 합격기준 : 2급 이상

나. 도막두께 측정결과

시공당시 도장시방으로 『도로교 표준시방서(1999, 한국도로교통협회)』의 일반환경용 중방식 도장을 평가기준으로 정하였으며, 도막두께 측정결과, 전 개소의 실측도막두께가 기준치(외부 215㎛, 내부 170㎛)를 모두 상회하는 것으로 조사되어 양호한 상태로 판단된다.

【표 3-111】 마산방향 - 도막두께 측정결과

시험위치		실측 도막두께(㎛)			평균두께	기준두께(㎛)	평가
		1회	2회	3회			
S1-G1-RF	외부	410	411	411	411	215	양호
S1-G2-LF	외부	355	349	379	361	215	양호
S1-G1-BF (부식부)	내부	356	377	321	351	170	양호



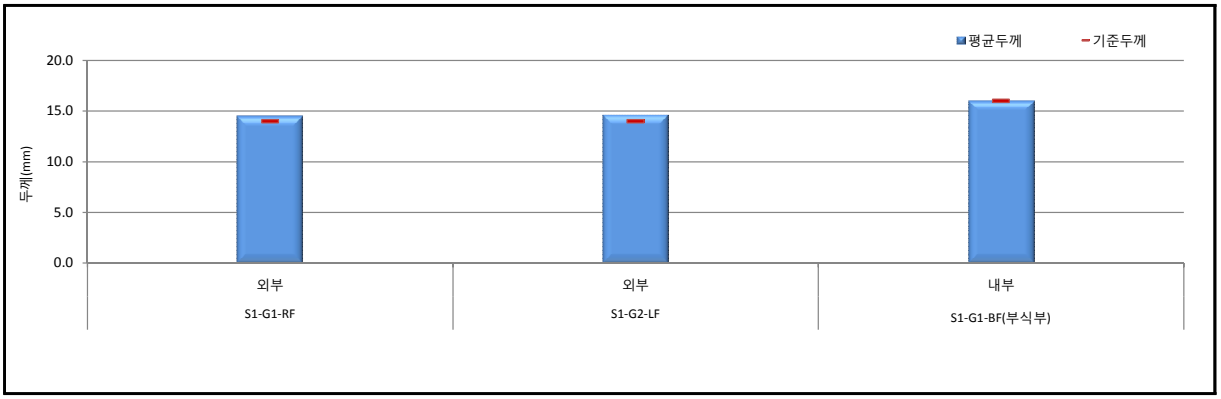
【그림 3-42】 마산방향 - 도막두께 측정결과

다. 강재두께 측정결과

강재두께 측정결과 전 개소에서 평균 측정값이 설계도면의 +0.1~0.6㎜로 거의 일치하는 양호한 상태로 조사되었다.

【표 3-112】 마산방향 - 강재두께 측정결과

시험위치		실측 강재두께(㎜)			평균두께	기준두께(㎜)	평가
		1회	2회	3회			
S1-G1-RF	외부	14.2	14.3	15.0	14.5	14.0	양호
S1-G2-LF	외부	14.5	15.6	13.8	14.6	14.0	양호
S1-G1-BF (부식부)	내부	16.6	15.6	16.0	16.1	16.0	양호



【그림 3-43】 마산방향 - 강재두께 측정결과

3.5.4 시험결과 및 분석(양평방향)

가. 초음파탐상 시험결과

UT 시험은 전회 조사위치를 피하여 인장응력과 교번응력이 발생하는 위치 위주로 실시하였으며, 부재의 구조적인 안전성과 구조부재의 외관상태를 고려하여 선정하였다. 초음파탐상시험으로 강박스 거더의 맞대기 용접부에 대해 용접상태를 검사한 결과, 전 개소에서 균열, 기공, 슬래그 및 용입부족 등의 내부결함이 없는 1급(합격)으로 조사되었다.

【표 3-113】 양평방향 - 초음파탐상(UT) 시험결과

시험위치		시험개소	결함등급	합격 여부	결함발생 현황	비 고
S1-G1	U01-L(LF)	1	1급	합격	결함사항 없음	
	U02-R(LF)	1	1급	합격		
S1-G2	U01-L(LF)	1	1급	합격		
	U02-R(LF)	1	1급	합격		
S1-G3	U01-L(LF)	1	1급	합격		
	U02-R(LF)	1	1급	합격		
S2-G1	U01-L(LF)	1	1급	합격		
	U02-R(LF)	1	1급	합격		
S2-G2	U01-L(LF)	1	1급	합격		
	U02-R(LF)	1	1급	합격		
S2-G3	U01-L(LF)	1	1급	합격		
	U02-R(LF)	1	1급	합격		

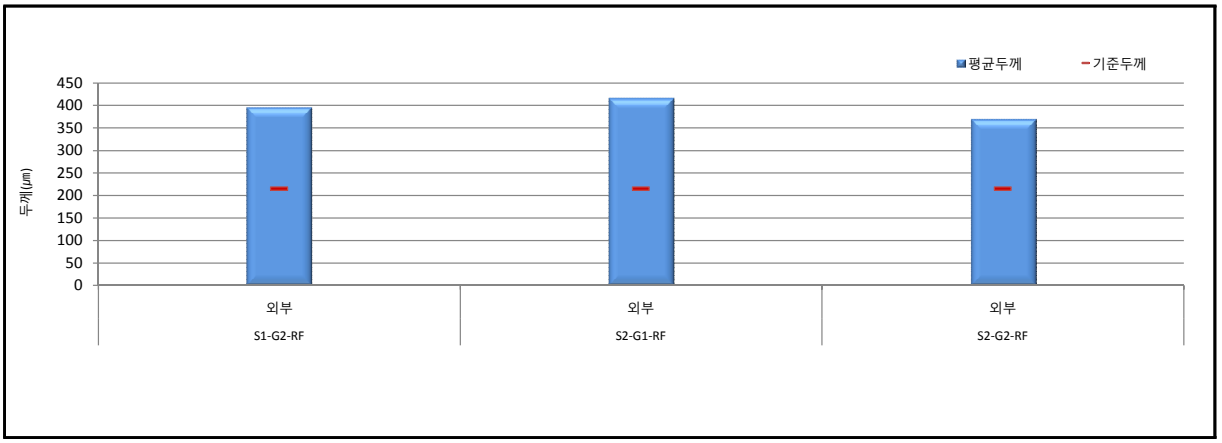
주) 합격기준 : 2급 이상

나. 도막두께 측정결과

시공당시 도장시방으로 『도로교 표준시방서(1999, 한국도로교통협회)』의 일반환경용 중방식 도장을 평가기준으로 정하였으며, 도막두께 측정결과, 전 개소의 실측도막두께가 기준치(외부 215㎛, 내부 150㎛)를 모두 상회하는 것으로 조사되어 양호한 상태로 판단된다.

【표 3-114】 양평방향 - 도막두께 측정결과

시험위치		실측 도막두께(㎛)			평균두께	기준두께(㎛)	평가
		1회	2회	3회			
S1-G2 D1~D2	외부	396	395	399	397	215	양호
S2-G1 D1~D2	외부	419	417	415	417	215	양호
S2-G2 D1~D2	외부	430	304	379	371	215	양호



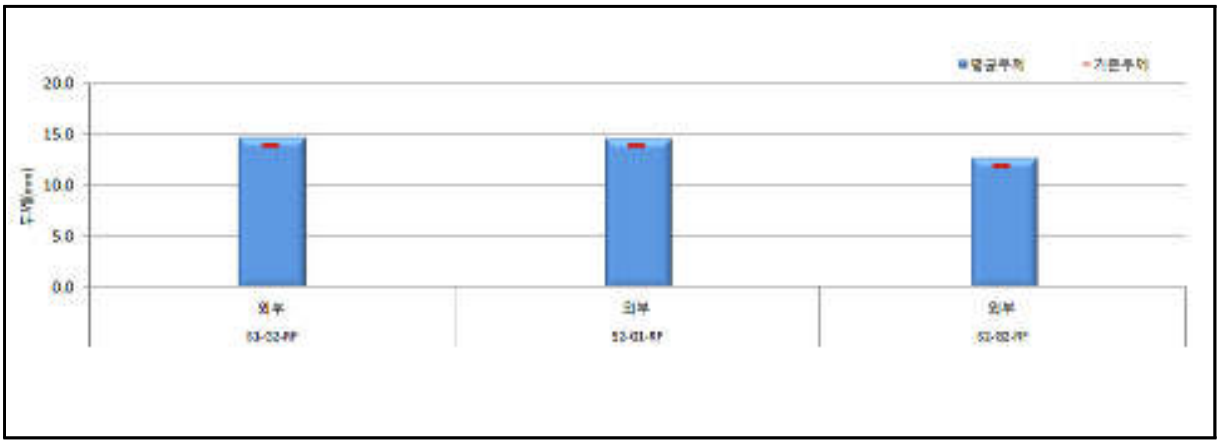
【그림 3-44】 양평방향 - 도막두께 측정결과

다. 강재두께 측정결과

강재두께 측정결과 전 개소에서 평균 측정값이 설계도면의 +0.5~0.6㎜로 거의 일치하는 양호한 상태로 조사되었다.

【표 3-115】 양평방향 - 강재두께 측정결과

시험위치		실측 강재두께(㎜)			평균두께	기준두께(㎜)	평가
		1회	2회	3회			
S1-G2 D1~D2	외부	14.3	14.8	14.6	14.6	14.0	양호
S2-G1 D1~D2	외부	15.0	14.3	14.3	14.5	14.0	양호
S2-G2 D1~D2	외부	12.7	12.5	12.5	12.6	12.0	양호



【그림 3-45】 양평방향 - 강재두께 측정결과

3.6 현장조사 결과요약

3.6.1 외관조사 결과요약

가. 마산방향

【표 3-116】 마산방향 - 금회 진단 외관조사 결과요약

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
바닥판 하면	• 균열(Cw=0.3㎜미만), 백태	• 시공초기 콘크리트 내·외부의 온도차이로 인한 부등건조수축 등이 주원인으로 일부균열은 균열부를 통한 내부수 유출이 발생하였으며, 0.3㎜미만 균열은 지속관찰 후 균열 진전시 보수를 실시하고, 백태 발생부는 내구성확보를 위하여 표면처리보수가 필요.
	• 단부 박락, 녹발생	• 바닥판 단부면과 흉벽의 협착이 주원인이며, 단면보수1안), 영구앵커공법2안), 신축이음장치교체 및 바닥판하면 절취3안) 병행 시공이 필요함.
Steel Box Girder 내부	• 용접결함(Pit, 비드불량)	• 용접시공시 용접전류 및 용접속도 불량, 용접작업실수 등이 원인으로 판단되며, 지속관찰이 적절할 것으로 판단됨.
	• 모재변형	• 시공 중 인위적 충격이 원인이며, 지속관찰이 필요
	• 도장박리, 부식	• 도장 전처리 불량과 Splice부를 통한 우수유입이 주원인으로 판단되며, 재도장이 필요.
	• 실링누락	• 시공미흡이 원인으로 발생하였으며, 실링재 시공이 필요.
	• 인분배설	• 위생 및 외관을 위하여 청소가 필요
Steel Box Girder 격벽	• 용접결함(Pit, 비드불량)	• 용접시공시 용접전류 및 용접속도 불량, 용접작업실수 등이 원인으로 판단되며, 지속관찰이 적절할 것으로 판단됨(거더내부와 동일함).
	• 도장박리	• 시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화가 주원인으로 판단되며, 재도장이 필요.
Steel Box Girder 외부	• 도장박리, 부식 및 볼트부식	• 공용기간 증대로 인한 교량의 노후화 및 태양광에 의한 열화, 도장전 바탕처리불량이 원인으로 판단되며, 재도장이 필요.
	• 오염	• 바닥판하면 캔틸레버부의 유공관으로 떨어지는 우수로 인하여 발생된 것으로 오염부 재도장이 필요.
강 가로보 및 세로보	• 구조적 손상이 없는 양호한 상태	• 도장손상이나, 부식, 각종변형 및 균열, 이상음 발생 등의 손상이 없는 상태임.

【표 3-116】 마산방향 - 금회 진단 외관조사 결과요약(계속)

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
교대	• 균열(Cw=0.3㎜미만) • 누수흔적, 백태 및 박리	• 시공초기 콘크리트 내·외부의 온도차이로 인한 부등건조수축 등이 주원인으로 현시점의 보수보다는 지속관찰 후 균열 진전시 보수 필요 • 상부 신축이음부에서 유입된 우수로 인하여 발생하였으며, 표면처리보수가 필요.
교각	• 균열(Cw=0.3㎜미만) 및 망상균열	• 시공초기 콘크리트 내·외부의 온도차이로 인한 부등건조수축 등이 주원인으로 현시점의 보수보다는 지속관찰 후 균열 진전시 보수 필요
교량받침	• 받침장치 본체 부식, 볼트부식 • 받침 몰탈/콘크리트 균열 • 받침 콘크리트 파손	• 외측면을 통한 우수유입이 주원인이며, 녹 제거후 재도장이 필요. • 건조수축 및 양생불량 등에 의한 비구조적인 손상으로 손상정도는 경미하여, 지속관찰 후 균열 진전시 보수 필요. • 외부 우수유입에 따른 동결융해로 인해 내부 철근부식 등이 원인으로 판단되며, 내부 철근 방청 후 단면보수가 필요.
신축이음장치	• 신축이음장치 본체 부식(갓길) • 후타재 균열(Cw=0.3㎜미만) • 신축이음덮개(A1) 볼트탈락 • A1, A2 신축이음장치 유간 협착	• 공용 중 우수에 의한 부식이 주원인이며, 손상정도가 미미하고 주행성에 영향을 미치지 않으므로 지속관찰이 필요. • 시공시 건조수축 및 공용 중 중차량 통행 등의 요인이 원인이며, 후타재 균열부를 통한 우수 유입으로 인한 신축이음 하부 누수 등 추가적인 손상의 우려가 있으므로 표면처리보수를 실시하며, 후타재 파손은 단면보수가 필요. • 볼트 재체결 • 신장시 신축이음장치 협착이 발생하였으나, 지속관찰을 통하여 바닥판 단부 박락 등의 2차 손상이 증가시, 바닥판 유간확보를 위한 보수·보강 필요
교면포장	• 소성변형, 포트홀	• 시공불량, 혼합물 품질불량, 대형차량 통행 등이 원인이며, 손상에 의한 차량 주행성 저하는 미미하므로 지속관찰을 통하여 향후 손상 증가시 부분보수가 필요.
배수시설	• 손상이 없는 양호한 상태	• 배수시설 상태가 양호함

【표 3-116】 마산방향 - 금회 진단 외관조사 결과요약(계속)

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
방호벽 및 중앙분리대	• 균열(폭 0.3㎜미만/0.3㎜이상), 망상균열	• 구조물에 미치는 영향이 미미하나 균열부 우수침투로 인한 백태발생 등의 우려가 있으므로 0.3㎜미만은 표면처리를 실시하며 0.3㎜이상은 주입보수 필요.
	• 박락, 재료분리, 철근노출, 파손, 녹발생	• 단면보수 및 단면보수(방청) 필요함
점검시설	• 점검시설 시건장치 누락	• 시건장치 재설치

나. 양평방향

【표 3-117】 양평방향 - 금회 진단 외관조사 결과요약

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
바닥판 하면	• 균열(Cw=0.3㎜이하), 망상균열, 백태	• 시공초기 콘크리트 내·외부의 온도차이로 인한 부등건조수축 등이 주원인으로 일부균열은 균열부를 통한 내부수 유출이 발생하였으며, 0.3㎜미만 균열은 지속관찰 후 균열 진전시 보수를 실시하고, 백태 발생부는 내구성확보를 위하여 표면처리보수가 필요.
	• 재료분리	• 시공시 다짐미흡이 주원인으로 단면보수가 필요
	• 단부 박락, 박락/녹발생	• 바닥판 단부면이 흉벽과의 협착이 주원인이며, 단면보수 및 방청후 단면보수가 필요.
Steel Box Girder 내부	• 용접결함(Pit)	• 용접시공시 용접전류 및 용접속도 불량, 용접작업실수 등이 원인으로 판단되며, 지속관찰이 적절할 것으로 판단됨.
	• 도장박리, 부식	• 도장 전처리 불량과 Splice부를 통한 우수유입이 주원인으로 판단되며, 재도장이 필요.
	• 실링누락	• 시공미흡이 원인으로 발생하였으며, 실링재 시공이 필요.
	• 소변배설	• 위생 및 외관을 위하여 청소가 필요
Steel Box Girder 격벽	• 용접결함(Pit)	• 용접시공시 용접전류 및 용접속도 불량, 용접작업실수 등이 원인으로 판단되며, 지속관찰이 적절할 것으로 판단됨(거더내부와 동일함).
	• 도장박리, 부식	• 도장 전처리 불량과 Splice부를 통한 우수유입이 주원인으로 판단되며, 재도장이 필요.

【표 3-117】 양평방향 - 금회 진단 외관조사 결과요약(계속)

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
Steel Box Girder 외부	• 도장박리, 부식 • 오염	• 공용기간 증대로 인한 교량의 노후화 및 태양광에 의한 열화, 도장전 바탕처리불량이 원인으로 판단되며, 재도장이 필요. • 바닥판하면 캔틸레버부의 유공관으로 떨어지는 우수로 인하여 발생된 것으로 오염부 재도장이 필요.
강 가로보 및 세로보, 브라켓	• 브라켓 일부 국부 부식	• 재도장
교대	• 균열(Cw=0.3㎜미만) 및 망상균열 • 누수흔적, 백태, 박리 • 박락, 재료분리, 파손 • 이물질퇴적, 실링재열화	• 시공초기 콘크리트 내·외부의 온도차이로 인한 부등건조수축 등이 주원인으로 현시점의 보수보다는 지속관찰 후 균열 진전시 보수 필요. • 상부 신축이음부에서 유입된 우수로 인하여 발생하였으며, 표면처리보수가 필요. • 외부충격, 시공 다짐미흡 등이 원인이며 단면보수가 필요. • 이물질 청소 및 실링재 재시공 필요
교각	• 균열(Cw=0.3㎜이하) 및 망상균열 • 녹발생	• 시공초기 콘크리트 내·외부의 온도차이로 인한 부등건조수축 등이 주원인으로 현시점의 보수보다는 지속관찰 후 균열 진전시 보수 필요 • 상부구조 유공관에서 떨어지는 우수와 코핑부 잡철근 미제거로인해 발생된 것으로 방청후 단면복구가 필요.
교량받침	• 받침장치 본체 부식, 도장박리 • 받침 몰탈/콘크리트 균열 • 받침 콘크리트 박락 • 받침이동량 초과(A1-Sh1)	• 외측면을 통한 우수유입이 주원인이며, 부식은 녹 제거후 재도장, 도장박리는 재도장이 필요. • 건조수축 및 양생불량 등에 의한 비구조적인 손상으로 손상정도는 경미하여, 지속관찰 후 균열 진전시 보수 필요. • 외부 우수유입에 따른 동결융해가 원인으로 판단되며, 내부 방청후 단면보수가 필요. • 프리셋팅 오류로 판단되며, 기능상에 문제가 없으므로, 지속관찰을 통한 중점유지관리가 필요.

【표 3-117】 양평방향 - 금회 진단 외관조사 결과요약(계속)

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
신축이음장치	• 신축이음장치 본체 단차(A2), 들림(A1)	• A2 신축이음장치 단차는 유간협착으로 인한 2차손상이며, A1 들림은 신축이음장치 교체 시공시 발생한 것으로 판단되며, 지속관찰을 통하여 향후 손상증가시 적절한 보수·보강이 필요함.
	• 후타재 균열(Cw=0.3㎜미만) 및 파손	• 시공시 건조수축 및 공용 중 중차량 통행 등의 요인이 원인이며, 후타재 균열부를 통한 우수 유입으로 인한 신축이음 하부 누수 등 추가적인 손상의 우려가 있으므로 표면처리보수를 실시하며, 후타재 파손은 단면보수가 필요.
	• A1 신축이음장치 덮개 볼트탈락	• 볼트 재체결
	• A1(J1) 바닥판유간부족, A2(J2) 신축유간부족	• 2차 손상(단부박락 등)이 일부조사되었으나, 중점유지관찰을 통하여 향후 손상 증대시 적절한 보수·보강이 필요함.
교면포장	• 종방향 균열 및 망상균열	• 건조수축, 온도변화 및 시공초기 다짐미흡(온도관리, 다짐초기 균열 등의 복합적인 원인에 의한 것으로 부분적으로 발생하고 차량 주행성 저하에 미치는 영향이 미미함으로 지속관찰 후 향후 부분 보수가 필요.
	• 포트홀(S1)	• 시공불량, 중차량 통행 등에 의해 발생한 것으로 판단되나, 손상정도가 경미하여 보수의 필요성은 없을 것으로 판단되어 지속관찰이 필요
	• 교면포장 코어분석	• 설계치보다 실제코어포장두께가 작아 구조해석시 적용
배수시설	• 손상이 없는 양호한 상태	• 배수시설 상태가 양호함
방호벽 및 중앙분리대	• 균열(폭 0.3㎜미만/0.3㎜이상), 망상균열	• 구조물에 미치는 영향이 미미하므로 0.3㎜미만은 표면처리를 실시하며 0.3㎜이상은 주입보수 필요.
	• 철근노출, 파손	• 단면보수 및 단면보수(방청) 필요함
	• 방호벽단차(A2)	• 접속슬래브측 지반침하가 원인으로 지속관찰이 필요
점검시설	• 점검시설 시건장치 누락	• 시건장치 재설치

다. 기 진단결과 비교

1) 마산방향

【표 3-118】 마산방향-기 진단결과 비교표

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
바닥판	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	350	687.50	13	18.90	▽
	•백태	㎡	8	0.83	2	0.05	▽
	•녹발생	㎡	-	-	2	0.40	△
	•박락	㎡	-	-	7	1.64	△
	•파손	㎡	3	0.10	-	-	▽
Steel Box Girder 내부	•Pit	개소	361	361	46	46	▽
	•비드불량	m	22	2.61	4	0.50	▽
	•변형	m	1	0.20	1	0.20	-
	•도장박리, 부식	㎡	111	1.00	26	1.55	△
	•실링누락	개소	32	32	7	7	▽
	•인분배설	개소	1	0.25	1	1	△
Steel Box Girder 외부	•도장박리, 부식	㎡	14	0.12	13	0.30	△
	•오염	㎡	-	-	2	0.72	△
교대	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	96	53.80	1	1.40	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	3	1.18	-	-	▽
	•누수흔적	㎡	9	13.68	8	4.64	▽
	•백태	㎡	-	-	3	0.68	△
	•박리	㎡	-	-	2	1.28	△
	•파손, 재료분리	㎡	2	0.24	-	-	▽
	•실링재탈락	m	1	1.10	-	-	▽
	•압성토 공동, 블럭이격	㎡	2	1.18	-	-	▽
교각	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	104	53.60	10	8.60	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	31	26.21	8	32.75	△
	•이음부 이물질미제거	m	1	1.60	-	-	▽
	•표면오염	㎡	1	0.40	-	-	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

【표 3-118】 마산방향-기 진단결과 비교표(계속)

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
교량받침	•볼트부식	개소	-	-	1	1	△
	•도장박리	개소	4	0.07	1	1	△
	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	25	6.00	3	0.70	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	-	-	1	0.30	△
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	2	0.21	-	-	▽
	•파손	㎡	1	0.01	1	0.20	△
	•들뜸	m	1	0.08	-	-	▽
신축이음	•부식	m	-	-	1	2.00	△
	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	19	7.70	21	8.20	△
	•후타재 파손	㎡	1	0.05	-	-	▽
	•덮개볼트 탈락	개소	4	4	4	4	-
교면포장	•소성변형	㎡	4	171.0	4	157.50	▽
	•포트홀	㎡	6	0.19	4	0.13	▽
배수시설	•배수구 이물질 퇴적	개소	2	2	-	-	▽
	•유도배수관 설치(유공관)	개소	2	2	-	-	▽
	•배수파이프 길이부족	개소	1	1	-	-	▽
	•곡관이탈	개소	1	1	-	-	▽
방호벽	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	56	55.15	83	79.00	△
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	35	51.30	37	54.70	△
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	1	5.00	1	6.94	△
	•박락	㎡	-	-	2	0.08	△
	•재료분리	㎡	1	0.06	1	0.06	-
	•철근노출, 녹발생	㎡	8	0.04	16	1.12	△
	•파손	㎡	2	0.02	3	0.03	△
기타	•유간협착	㎡	-	-	2	0.23	△
검토의견	■ 보수이력 및 현장조사 결과, 기 진단 이후 바닥판 하면 균열보수, 하부구조 균열보수 및 단면보수, 받침콘크리트 균열보수, 신축이음장치 보수 등이 실시된 것으로 확인됨. ■ 전차진단(2012년)에서 조사된 상·하부구조의 손상은 대부분 보수된 상태이며, 금회 조사된 신규손상 및 기존손상의 증가는 공용년수 증가에 따른 노후화(거더 내부 도장박리 및 부식, 교량받침 도장박리, 신축이음 부식 등), 조사장비(교량점검차, 고소점검차)를 운용한 근접조사 실시(거더외부 도장박리 및 부식 등), 기 용역 시 누락된 손상 추가조사 등에 따른 것으로 판단됨.						

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

2) 양평방향

【표 3-119】 양평방향-기 진단결과 비교표

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
바닥판	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	525	858.40	3	4.90	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	1	10.00	3	10.12	△
	•백태	㎡	6	2.10	1	0.10	▽
	•박락/녹발생	㎡	4	0.83	12	3.34	△
	•재료분리	㎡	-	-	1	0.08	△
	•배수관 탈락	개소	2	2	-	-	▽
Steel Box Girder 내부	•Pit	개소	492	492	56	56	▽
	•비드면 불량	m	57	8.01	-	-	▽
	•도장박리, 부식	㎡	207	3.33	20	0.42	▽
	•실링누락	개소	45	45	4	4	▽
	•소변배설	개소	1	1	1	1	-
	•모재긁힘	㎡	2	0.03	-	-	▽
Steel Box Girder 외부	•도장박리, 부식	㎡	42	0.37	28	1.63	△
	•오염	㎡	2	2.00	6	16.50	△
가로보 및 세로보	•부식	㎡	2	0.06	1	0.01	▽
교대	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	79	37.94	2	1.80	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	2	0.92	1	0.40	▽
	•누수흔적, 백태, 체수흔적	㎡	15	14.67	18	15.08	△
	•박리, 재료분리, 파손	㎡	14	7.53	6	5.76	▽
	•녹발생	㎡	54	1.00	13	0.47	▽
	•이물질퇴적	㎡	-	-	1	2.52	△
	•실링재열화	m	3	2.15	1	0.25	▽
교각	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	78	59.40	11	9.20	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	2	2.40	-	-	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	16	56.06	11	28.76	▽
	•파손, 재료분리	㎡	8	0.76	-	-	▽
	•부식 및 백태	㎡	1	0.20	-	-	▽
	•볼트부식	개소	18	18	-	-	▽
	•오염	㎡	1	0.70	-	-	▽
	•녹발생	㎡	28	1.02	11	0.11	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

【표 3-119】 양평방향-기 진단결과 비교표(계속)

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
교량받침	•부식	㎡	6	0.18	8	3.22	△
	•도장박리	㎡	2	0.08	2	0.12	△
	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	48	11.1	8	1.40	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	1	0.30	-	-	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	1	0.18	-	-	▽
	•박락	㎡	1	0.08	1	0.06	▽
신축이음	•이물질 퇴적	m	1	2.00	-	-	▽
	•단차	㎜	-	-	2	8.00	△
	•들림	개소	-	-	1	1	△
	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	21	8.52	16	6.32	▽
	•파손	㎡	19	1.28	8	4.50	△
	•덮개볼트 탈락	개소	-	-	3	3	△
교면포장	•균열	m	7	94.20	8	100.30	△
	•망상균열	m	3	4.29	1	2.10	△
	•포트홀	㎡	2	0.10	1	0.01	▽
	•식생	㎡	1	3.50	-	-	▽
배수시설	•배수구 이물질 퇴적	개소	1	1	-	-	▽
	•유도배수관 설치	개소	1	1	-	-	▽
	•배수파이프 길이부족	개소	1	1	-	-	▽
방호벽	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	47	20.25	69	43.70	△
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	37	44.40	38	78.80	△
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	2	2.72	5	4.06	△
	•철근노출	㎡	-	-	1	0.01	△
	•파손	㎡	11	0.41	4	0.24	▽
	•단차	m	-	-	1	0.06	△
	•실링재 탈락, 표면오염	㎡	2	0.92	-	-	▽
기타	•유간협착	㎡	-	-	2	0.56	△
검토의견	■ 보수이력 및 현장조사 결과, 기 진단 이후 바닥판 하면 균열보수, 하부구조 균열보수 및 단면보수, 받침콘크리트 균열보수, 신축이음장치 보수 등이 실시된 것으로 확인됨. ■ 전차진단(2012년)에서 조사된 상·하부구조의 손상은 대부분 보수된 상태이며, 금회 조사된 신규손상 및 기존손상의 증가는 공용년수 증가에 따른 노후화(거더 외부 도장박리 및 부식, 교량받침 도장박리 등), 조사장비(교량점검차, 고소점검차)를 운용한 근접조사 실시(바닥판 망상균열(Cw=0.3㎜미만), 거더외부 도장박리 및 부식 등), 기 용역 시 누락된 손상 추가조사 등에 따른 것으로 판단됨.						

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

3.6.2 내구성조사 결과요약

가. 마산방향

【표 3-120】 마산방향 - 내구성조사 결과 요약

시 험 명		시험부위	시험 결과		비 고
			2012년 전차진단	2016년 금회진단	
콘크리트	비파괴 강도시험 (㎫)	상부구조	27.5~29.5	28.3~30.6	• 설계기준강도(27㎫)를 상회함.
		하부구조	26.5~32.0	27.0~32.1	• 설계기준강도(24㎫)를 상회함.
	철근탐사 시험	상·하부구조	-		• 전반적으로 철근배근간격 및 피복두께는 준공도면과 거의 일치함.
	품질시험 (km/s)	상부구조	-	4.007~4.305	• 콘크리트 품질이 양호한 상태인 것으로 판단됨.
		하부구조	-	3.892~4.677	
	탄산화 깊이 (㎜)	상부구조	2.8~7.5	4.7~7.8	• 상태평가 a (잔여깊이 30㎜이상)
		하부구조	2.4~5.0	5.0~8.4	
	염화물 함유량 시험 (kg/㎥)	상부구조	0.05	0.158	• 상태평가 a (염화물 ≤ 0.3kg/m³)
		하부구조	0.539~4.085	0.258~0.780	• 상태평가 a~b (염화물 < 1.2kg/m³)
강재	초음파 탐상 (UT)	거더 내부 (맞대기 용접부)	합 격	시험 8개소 (8개소 합격)	• 1급
	도막두께 (μm)	거더 내부	-	351	• 기준두께(170μm) 상회
		거더 외부	-	316~411	• 기준두께(215μm) 상회
	강재두께 (㎜)	거더	-	14.5~16.1 (+0.1~0.6)	• 설계두께의 ±0.80
평 종 가 합	■ 비파괴강도 측정결과, 전 개소에서 설계기준 강도를 상회하는 것으로 조사되었으며, 기 진단과의 비교·분석 결과, 부재별로 측정 위치가 달라 다소 차이가 있지만, 구조물의 강도저하는 없는 것으로 평가됨. ■ 콘크리트 품질시험결과, 양호한 상태인 것으로 평가됨. ■ 탄산화 깊이측정결과, 전반적으로 양호한 상태인 것으로 조사되어 상태등급 "a" 로 판정되며 기진단과의 비교·분석 결과, 탄산화 깊이가 다소 진행되었으나, 철근부식에 영향이 없는 것으로 평가됨. ■ 염화물 함유량 시험결과 "a~b" 로 평가되며, 철근부식에 영향이 없는 것으로 평가됨. ■ 금회 진단결과, 비파괴 강도, 철근배근상태, 콘크리트 품질, 탄산화 깊이 시험결과, 대부분 양호한 수준으로 측정됨. ■ 강재에 대한 내구성 조사결과 전 개소에서 합격 판정된 것으로 나타나며, 도막두께 및 강재두께 측정치도 측정개소 모두 기준치를 상회하는 양호한 상태인 것으로 측정됨.				

나. 양평방향

【표 3-121】 양평방향 - 내구성조사 결과 요약

시 험 명		시험부위	시험 결과		비 고
			2012년 전차진단	2016년 금회진단	
콘크리트	비파괴 강도시험 (㎫)	상부구조	26.0~28.5	28.6~31.2	• 설계기준강도(27㎫)를 상회함.
		하부구조	26.5~30.0	28.2~32.2	• 설계기준강도(24㎫)를 상회함.
	철근탐사 시험	상·하부구조	-		• 전반적으로 철근배근간격 및 피복두께는 준공도면과 거의 일치함.
	품질시험 (km/s)	상부구조	-	3.715~4.646	• 콘크리트 품질이 양호한 상태인 것으로 판단됨.
		하부구조	-	4.284~4.650	
	탄산화 깊이 (㎜)	상부구조	3.8~10.0	3.2~6.4	• 상태평가 a (잔여깊이 30㎜이상)
		하부구조	1.3~11.0	3.5~4.8	
	염화물 함유량 시험 (kg/㎥)	상부구조	0.152	0.177~0.468	• 상태평가 a (염화물 ≤ 0.3kg/m³)
		하부구조	0.050~0.312	0.153~0.219	• 상태평가 a~b (염화물 < 1.2kg/m³)
강재	초음파 탐상 (UT)	거더 내부 (맞대기 용접부)	합 격	시험 8개소 (8개소 합격)	• 1급
	도막두께 (μm)	거더 외부	-	371~417	• 기준두께(215μm) 상회
	강재두께 (㎜)	거더	-	12.6~14.6 (+0.5~0.6)	• 설계두께의 ±0.80
종합평가	■ 비파괴강도 측정결과, 전 개소에서 설계기준 강도를 상회하는 것으로 조사되었으며, 기 진단과의 비교·분석 결과, 부재별로 측정 위치가 달라 다소 차이가 있지만, 구조물의 강도저하는 없는 것으로 평가됨. ■ 콘크리트 품질시험결과, 양호한 상태인 것으로 평가됨. ■ 탄산화 깊이측정결과, 전반적으로 양호한 상태인 것으로 조사되어 상태등급 “a” 로 판정되며 기진단과의 비교·분석 결과, 탄산화 깊이가 다소 진행되었으나, 철근부식에 영향이 없는 것으로 평가됨. ■ 염화물 함유량 시험결과 “a~b” 로 평가되며, 철근부식에 영향이 없는 것으로 평가되며 기진단과의 비교·분석 결과, 염화물 함유량이 다소 증가 하였으나, 철근부식에 영향이 없는 것으로 평가됨. ■ 금회 진단결과, 비파괴 강도, 철근배근상태, 콘크리트 품질, 탄산화 깊이 시험결과, 대부분 양호한 수준으로 측정됨. ■ 강재에 대한 내구성 조사결과 전 개소에서 합격 판정된 것으로 나타나며, 도막두께 및 강재두께 측정치도 측정개소 모두 기준치를 상회하는 양호한 상태인 것으로 측정됨.				

제4장
시설물의 상태평가

4.1 상태평가 기준
4.2 상태평가 결과 산정방법
4.3 상태평가 결과

제4장 시설물의 상태평가

4.1 상태평가 기준

시설물의 상태평가는 재료시험 및 외관조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 발견된 상태변화(결함, 손상, 열화)를 근거로 하여『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 (2012.12)』의 상태평가 기준에 따라 실시한다.

4.1.1 부재별 상태평가 적용 범위

부재별 상태평가 기준은 교량의 거더와 가로보를 분리하고, 콘크리트의 탄산화와 염화물에 대한 평가항목을 포함하여 세분화하였으며, 아래의 표와 같이 부재별 상태평가 기준을 부재의 중요도를 감안하여 차등화 함으로써 가능한 한 전체 상태평가 기준과 부합하도록 조정 하였다. 교량의 안전에 직접적인 영향을 미치는 바닥판, 거더, 하부구조 및 받침은 평가기준을 a~e로 범위를 적용하고, 내구성에 영향을 미치는 신축이음, 배수시설, 교면포장과 2차부재인 가로보와 세로보는 a~d로 범위를 조정하였다.

【표 4-1】 부재별 상태평가 적용 범위

부재의 분류		차등 적용범위
상부구조	바닥판, 거더	a, b, c, d, e
	2차부재 (가로보 및 세로보)	a, b, c, d
하부구조	교대 및 교각, 기초	a, b, c, d, e
받침	교량받침	a, b, c, d, e
기타부재	신축이음, 난간 및 연석, 배수시설, 교면포장	a, b, c, d
콘크리트 재료	탄산화, 염화물	a, b, c, d

부재별 상태평가는 전체 수량에 대한 손상 수량의 비율에 의해 평가하는 정량적 평가와 시설물의 상태에 대한 점검자의 주관적인 의견에 의한 정성적 평가를 동시에 수행하며 정성적 평가시 점검자에 의한 편차를 줄이기 위해 손상수량 및 손상현황에 대한 정도를 정확히 파악하여야 한다.

4.1.2 부재별 상태평가 기준

가. 콘크리트 바닥판

【표 4-2】 콘크리트 바닥판 상태평가 기준

기준	균 열		열화 및 손상
	1방향 균열	2방향 균열	
a	■ 균열폭 0.1㎜미만	■ 망상균열폭 0.1㎜미만	■ 없음
b	■ 균열폭 0.1㎜이상 ~ 0.3㎜미만 ■ 균열율 2%미만	■ 망상균열폭 0.1㎜ ~ 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 누수 발생
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 부식 발생
e	■ 균열폭 1.0㎜이상 ■ 균열율 20%이상	■ 망상균열에 의한 박리가 심하여 펀칭파괴 발생 가능성이 있음	■ 부식으로 인한 철근의 단면감소가 심하여 바닥판의 안전성이 저하되는 경우

나. 강 거더

【표 4-3】 강 거더 상태평가 기준

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

다. 강 가로보와 세로보

【표 4-4】 강 가로보와 세로보의 상태평가 기준

기준	모재 및 연결부 손상				표면열화
	부재의 균열	변형, 파단	연결 볼트 이완, 탈락	용접연결부 결함	
a	■ 없음	■ 없음	■ 없음	■ 없음	■ 없음
b	■ 보조부재의 국부적 균열	■ 보조부재의 국부적 변형	■ 보조부재 2%미만	■ 부분적 용접불 (기공, 슬래그, 언더컷)	■ 도장탈락 면적 10%미만 ■ 부식발생 면적 2%미만
c	■ 보조부재의 전반적 균열 ■ 주부재의 국부적 균열	■ 주부재의 국부적 변형 ■ 변형 및 충격에 의한 손상발생	■ 보조부재 2%이상~ 10%미만 ■ 주부재 2% 미만	■ 주부재의 심한 용접불량 (기공, 슬래그, 언더컷) ■ 부분적 용입부족, 용접누락	■ 도장탈락 면적 10%이상 ■ 부식발생 면적 2%이상~10%미만 ■ 부식에 의한 단면 손상 면적 2%미만
d	■ 주부재의 전반적 균열	■ 압축부 좌굴에 의한 변형 ■ 부재의 파단 발생	■ 보조부재 10%이상 ■ 주부재 2%이상	■ 인장플랜지 용접 연결부 용입부족및 용접누락으로인한 안전성저하	■ 부식발생 면적 10%이상 ■ 부식에 의한 단면 손상 면적 2%이상
e	-	-	-	-	-

라. 교대

【표 4-5】 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 날개벽사이에 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 손상 심화 (배면토 유출) ■ 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 가능성이 있음 ■ 심한 철근부식으로 인하여 교대의 안전성이 저하됨

마. 콘크리트 교각

【표 4-6】 콘크리트 교각 상태평가 기준

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

바. 기초

【표 4-7】 기초 상태평가 기준

기준	균열, 변위	열화 및 손상
a	■ 없음	■ 없음
b	■ 직접기초(확대기초)에 폭 0.3㎜미만의 균열 발생	■ 매립된 직접기초(확대기초)의 상부가 세굴등에 의해 노출됨
c	■ 직접기초(확대기초)에 폭 0.3㎜이상의 균열 및 단면손상 발생 ■ 침식, 충돌 등에 의한 말뚝 및 케이슨 기초의 다면손상 발생	■ 침하가 20㎜미만 발생 ■ 세굴이 직접기초(확대기초)의 하단까지 진행되어 말뚝 및 케이슨기초가 부분적으로 노출됨
d	■ 직접기초(확대기초)의 파손으로 인한 철근노출 발생 ■ 침식, 충돌 등에 의한 말뚝 및 케이슨 기초의 다면손상 발생	■ 침하가 20㎜이상 발생 ■ 세굴에 의해 말뚝 및 케이슨기초가 전반적으로 노출됨 ■ 기초의 부등침하 및 측방유동에 의해 교대/교각이 기울음
e	■ 기초의 파손 및 침식으로 인한 하부구조물의 안전성 저하	■ 기초의 부등침하 및 측방유동에 의한 교대/교각의 기울음으로 인해 상부구조의 단차 및 파손 발생

사. 교량받침

【표 4-8】 교량받침 상태평가 기준

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

아. 신축이음

【표 4-9】 신축이음 상태평가 기준

기준	본 체	후타재
a	■ 없음	■ 양호
b	■ 토사, 이물질 퇴적 ■ 고무판 노후화	■ 미세균열이 발생
c	■ 물받이 미설치 또는 파손으로 부분적으로 누수 ■ 유간사이 이물질로 기능 불량, 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 500㎜이하의 간격으로 발생 ■ 국부적인 박리, 박락, 파손
d	■ 강판유동 및 연결불량으로 이상음 발생 ■ 신축유간 밀착으로 인한 거동 불량 ■ 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	-	-

자. 교면포장

【표 4-10】 교면포장 상태평가 기준

기준	포장불량		배수
a	■ 미세균열	■ 없음	■ 없음
b	■ 포장불량 2%미만	■ 포장손상이 미미하여 주행에 영향 없음	■ 배수경사 및 배수시설 불량에 의한 부분적 물고임
c	■ 포장불량 2% ~ 10%미만	■ 포장손상으로 인하여 차량의 통행에 영향 있음	■ 배수경사 및 배수시설 불량에 의한 물고임 발생으로 주행성 저하
d	■ 포장불량 10%이상	■ 전반적인 재포장이 필요한 상태	■ 배수불량에 의한 물고임으로 통행차량의 안전성 저하
e	-	-	-

차. 배수시설

【표 4-11】 배수시설 상태평가 기준

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

카. 방호벽 및 중앙분리대

【표 4-12】 방호벽 및 중앙분리대 상태평가 기준

기준	강재		콘크리트
a	■ 양호	■ 양호	■ 양호
b	■ 도장 불량 10%미만	■ 고정장치 및 연결재의 이완이 국부적으로 발생	■ 경미한 손상, 0.3㎜이하 균열
c	■ 도장불량 10%이상 ■ 부식으로 인한 단면손상 10%미만	■ 파손 및 탈락 10%미만	■ 0.3㎜이상 균열 ■ 박리, 파손, 철근노출, 10%미만 ■ 철근부식손상 길이 2%미만
d	■ 부식으로 인한 단면손상 10%이상	■ 파손 및 탈락 10%이상 ■ 낙석으로 인한 손상발생 ■ 고정부 열화 및 손상으로 인한 전도의 위험이 있음(방음벽)	■ 박리, 파손, 철근노출, 10%이상 ■ 철근부식손상 길이 2%이상
e	-	-	-

타. 탄산화

【표 4-13】 탄산화 상태평가 기준

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

파. 염화물

【표 4-14】 염화물 상태평가 기준

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

4.1.3 구조형식에 따른 부재별 가중치

【표 4-15】 구조형식에 따른 일반교량의 부재별 가중치

구분	결함도 평가항목		슬래브 교량	거더교량							라멘교		
				일반거더교			바닥판·거더 일체형		아치,트러스		거더 없음	거더있음 (복개구조물)	
				일반	2차부재 없음	바닥판 없음	강 바닥판	PSC 박스	콘크리트 바닥판	강 바닥판			
상부	바닥판		34	18	18	-	20	20	15		34	20	21
	주 형		-	20	25	37	18	20	23		-	21	23
	2차부재		-	5	-	11	5	3	5		-	5	-
하부	교대/교각		20	13	13	18	13		13		34	22	24
	기초		7	7	7	7	7		7		7	7	7
받침	교량받침		10	9	9	14	9		9		3	3	3
기타	신축이음		10	9	9	-	9		9		3	3	3
	교면포장		7	7	7	-	7		7		7	7	7
	배수시설		3	3	3	-	3		3		3	3	3
	난간/연석		2	2	2	6	2		2		2	2	2
콘크리트	탄산화	상부	2(4)	2(4)		-	-	2(4)	2(4)	-	4(7)		
		하부	2(3)	2(3)		4(7)	4(7)	2(3)	2(3)	4(7)			
	염화물	상부	2(0)	2(0)		-	-	2(0)	2(0)	-	3(0)		
		하부	1(0)	1(0)		3(0)	3(0)	1(0)	1(0)	3(0)			

4.2 상태평가 결과 산정방법

4.2.1 경간(지점)별 부재 상태평가 산정

- 개별부재에서 발견된 결함 및 손상에 대하여 평가한 후 각 상태평가 결과 중 최젓값을 개별부재 상태평가 결과로 산정한다.
- 한 경간 내에서 여러 부재가 있을 경우는 각 부재의 상태평가 기준 중 최젓값을 경간(지점) 상태평가 결과로 산정한다.
- 복개구조물은 바닥판의 장변방향으로 경간을 구분하고, 1경간의 길이는 약 50m 범위 또는 신축이음부를 경계로 경간을 구분하는 것으로 한다.

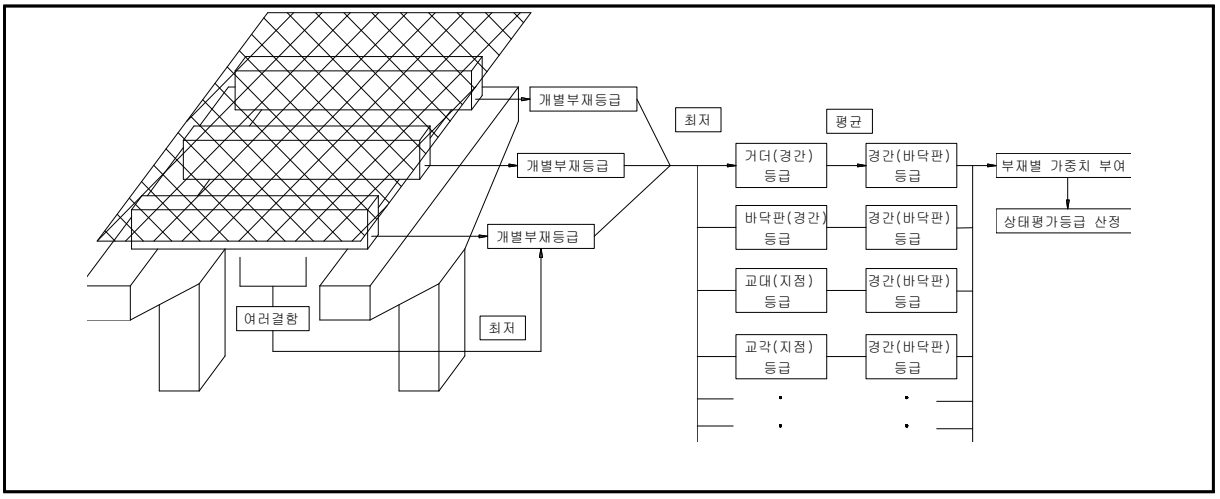
4.2.2 전체 시설물의 상태평가 결과 결정

구조형식이 같은 부재별로 평균하여 부재 상태평가를 결정한 후 구조형식에 따른 부재별 가중치를 적용하여 환산 결함도 점수를 구한다. 환산 결함도 점수는 시설물 전체의 상태평가 결과를 산정하기 위한 기준값이며, 【표 4-16】의 결함도 점수 범위에 따른 기준을 적용하여 시설물 전체에 대한 상태평가 결과를 구한다.

【표 4-16】 결함도 점수 범위에 따른 기준

기준	A	B	C	D	E
결함도 지수	0.10	0.20	0.40	0.70	1.00
결함도 범위	$0 \leq X < 0.13$	$0.13 \leq X < 0.26$	$0.26 \leq X < 0.49$	$0.49 \leq X < 0.79$	$0.79 \leq X$

4.2.3 상태평가 결과 산정 방법



【그림 4-1】 전체 교량의 상태평가 결과 산정 방법 예

4.3 상태평가 결과

4.3.1 마산방향

가. 각 부재별 상태평가 결과

1) 콘크리트 바닥판

【표 4-17】 콘크리트 바닥판 평가결과

구분	부재면적 (㎡)	1방향 균열				2방향 균열				열화 및 손상				평가결과
		균열폭 (㎜)		균열율 (%)		균열폭 (㎜)		균열율 (%)		표면손상면적 (%)		철근부식 손상면적 (%)		
S1	360.0	0.2	b	1.31	b	-	a	-	a	0.18	b	-	a	b
S2	360.0	-	a	-	a	-	a	-	a	0.40	b	-	a	b

2) 강 거더

【표 4-18】 강 거더 평가결과

구분	부재면적 (㎡)	모재 및 연결부 손상								표면열화				평가결과
		부재균열		변형, 파단		연결 볼트 이완, 탈락		용접연결부 결함		도장탈락 면적(%)		부식발생 면적(%)		
S1	2,312.7	-	a	보조부재의 국부적인 변형	b	-	a	부분적 용접불량	b	0.05	b	0.02	b	b
S2	2,298.8	-	a	-	a	-	a	부분적 용접불량	b	0.01	b	0.01	b	b

3) 강 가로보와 세로보

【표 4-19】 강 가로보와 세로보 평가결과

구분	부재면적 (㎡)	모재 및 연결부 손상								표면열화				평가결과
		부재균열		변형, 파단		연결 볼트 이완, 탈락(%)		용접연결부 결함		도장손상 면적(%)		부식발생 면적(%)		
S1	269.0	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	a
S2	269.0	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	a

4) 하부구조(교대 및 교각)

【표 4-20】 하부구조 평가결과

구분	부재면적 (㎡)	균열, 변위				열화 및 손상				평가 결과
		균열폭(㎜)		변위		표면손상 면적(%)		철근부식 손상면적(%)		
A1	116.0	-	a	-	a	-	a	-	a	a
P1	301.3	0.2	b	-	a	-	a	-	a	b
A2	88.3	0.1	b	-	a	1.79	b	-	a	b

5) 기초

【표 4-21】 기초 평가결과

구분	기초(직접, 말뚝, 케이슨) 손상				지반의 안정성				평가 결과
	균열폭(㎜)		단면손상 (파손, 철근노출 등)		세굴여부		침하(㎜)		
A1	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q
P1	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q
A2	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q

6) 교량받침

【표 4-22】 교량받침 평가결과

구분	받침 본체		받침 콘크리트				평가 결과
	강재받침		균열폭(㎜)		박리, 탈락, 파손 등		
A1	도장박리	b	-	a	-	a	b
P1	-	a	-	a	-	a	a
A2	-	a	-	a	파손	c	c

7) 신축이음

【표 4-23】 신축이음 평가결과

구분	본 체		후타재				평가 결과
			균열		박리, 박락, 파손 등		
A1	신축유간 밀착으로 거동불량	d	0.2	b	-	a	d
A2	신축유간 밀착으로 거동불량	d	0.2	b	-	a	d

8) 교면포장

【표 4-24】 교면포장 평가결과

구분	부재면적(㎡)	포장불량				배 수		평가결과
		포장불량 면적(%)		포장손상에 따른 주행성 및 통행성				
S1	628.1	9.016	c	주행 영향 없음	a	양호	a	c
S2	628.1	16.080	d	주행 영향 없음	a	양호	a	d

주)교면포장에 대한 평가결과, 일부 경간에서 정량적으로 평가하는 포장불량의 면적비가 d로 평가되었으나, 발생한 손상 대부분이 소성변형에 의한 손상으로 변형량이 적어 차량 주행성의 영향이 미미한 것으로 판단되어, 정성적으로 평가하는 포장상태는 "주행 영향 없음"으로 평가함

9) 배수시설

【표 4-25】 배수시설 평가결과

구분	평가내용	평가결과
S1, A1	-	a
S2, P1	-	a
A2	-	a

10) 방호벽 및 중앙분리대

【표 4-26】 방호벽 및 중앙분리대 평가결과

구분	콘크리트 부재면적(㎡)	콘크리트						평가결과
		균열폭(㎜)		표면손상율(%)		철근부식 손상면적(%)		
S1	194.7	0.3	c	0.06	c	0.55	c	c
S2	194.7	0.3	c	0.03	c	-	a	c

11) 탄산화

【표 4-27】 탄산화 평가결과

구분		탄산화 잔여 깊이(㎜)	평가기준	평가결과
상부구조	S1	56.3	< 탄산화 잔여깊이 > · a : 30㎜이상 · b : 10㎜이상~30㎜미만 · c : 0㎜이상~10㎜미만 · d : 0㎜미만	a
	S1	51.8		a
	S2	56.2		a
하부구조	A1	75.6		a
	P1	65.6		a
	A2	80.0		a

12) 염화물

【표 4-28】 염화물 평가결과

구분		염화물 함유량(kg/㎥)	평가기준	평가결과
상부 구조	S1	0.158	< 전염화물 이온량 > · a : 염화물 ≤ 0.3kg/㎥ · b : 0.3kg/㎥ < 염화물 < 1.2kg/㎥ · c : 1.2kg/㎥ ≤ 염화물 < 2.5kg/㎥ · d : 염화물 ≥ 2.5kg/㎥	a
하부 구조	A1	1.647		c
	A2	0.280		a

※ 염화물 함유량에 대한 상태평가는 철근 위치에서는 전염화물 이온량을 기준으로 실시함.

나. 각 부재별 상태평가 결과 분석

상태평가는 세부지침에 의거 부재별로 평가하였으며, 산정시 도출방법은 다음과 같이 실시하였다.

【표 4-29】 각 부재별 상태평가 결과 분석

구 분	손상항목 및 도출방법	평가결과	결함도 점수
바닥판	■ 1방향 균열율, 1방향 균열폭, 열화 및 손상 면적비, 철근부식손상 면적비 등에 대한 평가결과 중 최젓값	c	0.40
Steel Box Girder	■ 모재 및 연결부 손상, 표면열화 등에 대한 평가결과 중 최젓값	b	0.20
가로보 및 세로보	■ 모재 및 연결부 손상, 표면열화 등에 대한 평가결과 중 최젓값	a	0.10
교대 및 교각	■ 균열폭, 변위, 표면손상 면적비, 철근부식손상 면적비 등에 대한 평가결과 중 최젓값	a~b	0.17
교량받침	■ 받침본체, 받침콘크리트 등에 대한 평가결과 중 최젓값	a~c	0.30
신축이음	■ 신축이음 본체, 후타재 등에 대한 평가결과 중 최젓값	d	0.70
교면포장	■ 포장불량 면적비, 포장상태, 배수 등에 대한 평가결과 중 최젓값	c~d	0.55
배수시설	■ 배수시설 손상에 대한 평가결과	a	0.10
난간	■ 균열폭, 표면 손상율, 철근부식 손상율 등에 대한 평가결과 중 최젓값	c	0.40
탄산화	■ 탄산화 잔여 깊이, 철근부식의 가능성 등에 대한 평가결과 중 최젓값	a	0.10
염화물	■ 전염화물 이온량, 철근부식의 가능성 등에 대한 평가결과 중 최젓값	a~c	0.10~0.25
평가자 소견	■ 부재별 평가 결과가 a~d로 나타났고, 부재별 결함도 점수 범위가 0.10~0.70으로 나타남. ■ 부재별 상태평가 결과, 일부 부재에 손상 및 결함이 발생한 상태로서 발생된 손상은 별도의 보강은 필요치 않으나, 내구성, 기능성 저하방지를 위해 일부부재에 대한 보수가 필요한 상태로 판단됨.		

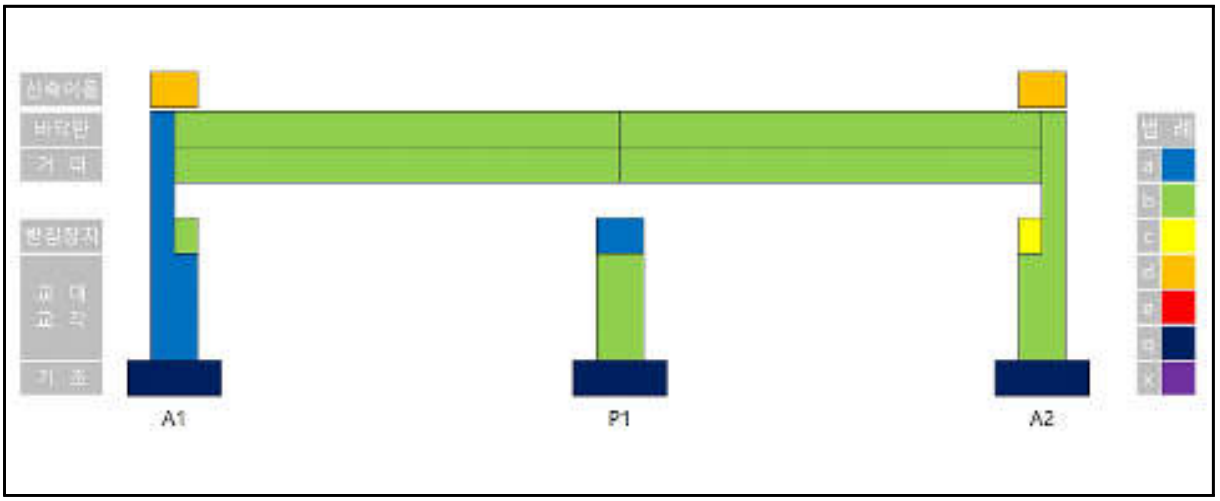
다. 전체 시설물 상태평가 결과

【표 4-30】 마산방향 - 상태평가 결과

부재의 분류		상부구조			하부구조		받침	기타부재				탄산화		염화물	
번호	형식	바닥판	거더	가로보/세로보	교대 교각	기초	교량 받침	신축 이음	교면 포장	배수 시설	난간	상부	하부	상부	하부
1	강박스	b	b	a	a	q	b	d	c	a	c	a	a	a	c
2	강박스	b	b	a	b	q	a	-	d	a	c	a	a	-	-
					b	q	c	d		a			a		a
평균		0.20	0.20	0.10	0.17	0.00	0.23	0.70	0.55	0.10	0.40	0.10	0.10	0.10	0.25
가중치		18	20	5	20	0	9	9	7	3	2	2	2	2	1
(평균X가중치 /가중치합)		0.036	0.040	0.005	0.034	0.000	0.021	0.063	0.039	0.003	0.008	0.002	0.002	0.002	0.003

결함도 환산점수	0.257
상태평가 결과	B

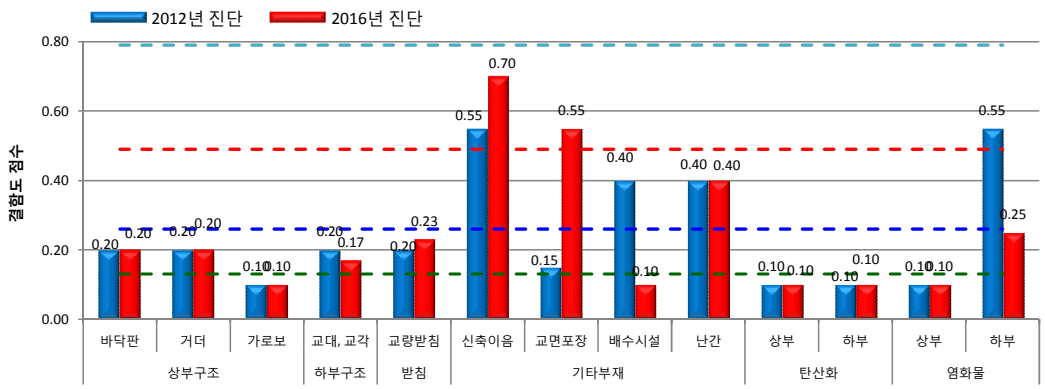
주)감곡IC교(마산)은 기초가 매립된 상태로 해당 가중치는 교대, 교각의 가중치에 포함시켜 평가함



【그림 4-2】 마산방향 - 전체시설물 상태평가 결과

라. 상태평가 결과 분석

【표 4-31】 마산방향 - 상태평가 결과 분석

<table>
<tr><th>구 분</th><th>상태평가 결과 분석</th></tr>
<tr><td>외관조사
결과분석</td><td>■ 금회 상태평가 결과에 영향을 미친 손상은 신축이음 협착(d)으로 나타남</td></tr>
<tr><td>시험 및
측정
결과분석</td><td>■ 상부구조 3개소, 하부구조 3개소에서 탄산화 잔여깊이 측정을 실시한 결과, 잔여피복 깊이가 51.8~80.0㎜로 나타나, “a” 로 평가됨
■ 상부구조 1개소, 하부구조 2개소에서 염화물함유량 시험을 실시한 결과, 철근배근 깊이에서 염화물 함유량이 0.158~1.647kg/㎥로 나타나, “a~c” 로 평가됨</td></tr>
<tr><td>기진단
비교</td><td>
<table>
<tr><th colspan="2">2012년 정밀안전진단</th></tr>
<tr><td>결 함 도
점 수</td><td>0.231</td></tr>
<tr><td>상태평가
결 과</td><td>B</td></tr>
</table>
<table>
<tr><th colspan="2">2016년 정밀안전진단</th></tr>
<tr><td>결 함 도
점 수</td><td>0.257</td></tr>
<tr><td>상태평가
결 과</td><td>B</td></tr>
</table>
<table>
<tr><th>기준</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th></tr>
<tr><th>결함도
범위</th><td>0 ≤ X < 0.13</td><td>0.13 ≤ X < 0.26</td><td>0.26 ≤ X < 0.49</td><td>0.49 ≤ X < 0.79</td><td>0.79 ≤ X</td></tr>
</table>


<기진단(12)과 금회진단 부재별 결함도 점수 결과 비교>
■ 기진단(2012) 및 금회진단은 정량적 평가를 실시하여 결함도 점수를 산정하였으며, 환산결함도 점수를 비교한 결과 0.231에서 0.257로 금회 0.026 증가되었으며 평가등급은 B등급으로 기진단(2012)와 동일한 것으로 분석됨

■ 기진단에 비해 결함도 점수가 다소 증가된 사유는 다음과 같음
- 공용년수 증가에 따른 노후화
⇨ 하부구조 받침 도장박리, 신축이음 누수, 교면포장 소성변형 등
- 조사용 접근장비(교량점검차, 고소점검차)를 운용한 근접조사
⇨ 바닥판 균열, Steel Box 거더 외부 부식 및 도장박리
- 기 용역 시 누락된 손상 추가 조사</td></tr>
</table>

4.3.2 양평방향

가. 각 부재별 상태평가 결과

1) 콘크리트 바닥판

【표 4-32】 콘크리트 바닥판 평가결과

구분	부재면적 (㎡)	1방향 균열				2방향 균열				열화 및 손상				평가결과
		균열폭 (㎜)		균열율 (%)		균열폭 (㎜)		균열율 (%)		표면손상면적 (%)		철근부식 손상면적 (%)		
S1	545.6	0.2	b	0.22	b	0.1	b	1.85	b	0.52	b	-	a	b
S2	409.2	-	a	-	a	-	a	-	a	0.16	b	-	a	b

2) 강 거더

【표 4-33】 강 거더 평가결과

구분	부재면적 (㎡)	모재 및 연결부 손상								표면열화				평가결과
		부재균열		변형, 파단		연결 볼트 이완, 탈락		용접연결부 결함		도장탈락 면적(%)		부식발생 면적(%)		
S1	3,424.0	-	a	-	a	-	a	부분적용 접불량	b	0.001	b	0.013	b	b
S2	3,430.9	-	a	-	a	-	a	부분적용 접불량	b	0.031	b	0.014	b	b

3) 강 가로보와 세로보

【표 4-34】 강 가로보와 세로보 평가결과

구분	부재면적 (㎡)	모재 및 연결부 손상								표면열화				평가결과
		부재균열		변형, 파단		연결 볼트 이완, 탈락(%)		용접연결부 결함		도장손상 면적(%)		부식발생 면적(%)		
S1	443.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	a
S2	615.0	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	a

4) 하부구조(교대 및 교각)

【표 4-35】 하부구조 평가결과

구분	부재면적 (㎡)	균열, 변위				열화 및 손상				평가 결과
		균열폭(㎜)		변위		표면손상 면적(%)		철근부식 손상면적(%)		
A1	196.6	0.1	b	-	a	3.11	c	-	a	c
P1	382.0	0.2	b	-	a	0.03	b	-	a	b
A2	115.7	0.2	b	-	a	0.28	b	-	a	b

5) 기초

【표 4-36】 기초 평가결과

구분	기초(직접, 말뚝, 케이슨) 손상				지반의 안정성				평가 결과
	균열폭(㎜)		단면손상 (파손, 철근노출 등)		세굴여부		침하(㎜)		
A1	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q
P1	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q
A2	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q

6) 교량받침

【표 4-37】 교량받침 평가결과

구분	받침 본체		받침 콘크리트				평가 결과
	강재받침		균열폭(㎜)		박리, 탈락, 파손 등		
A1	부식	b	0.1	b	-	a	b
P1	부식	b	0.1	b	박락	b	b
A2	부식	b	-	a	-	a	b

7) 신축이음

【표 4-38】 신축이음 평가결과

구분	본 체		후타재				평가 결과
			균열		박리, 박락, 파손 등		
A1	신축유간 밀착으로 거동불량	d	0.2	b	파손	c	d
A2	신축유간 밀착으로 거동불량	d	0.2	b	파손	c	d

8) 교면포장

【표 4-39】 교면포장 평가결과

구분	부재면적(㎡)	포장불량				배 수		평가결과
		포장불량 면적(%)		포장손상에 따른 주행성 및 통행성				
S1	943.3	1.59	b	양호	a	양호	a	b
S2	877.3	1.39	b	양호	a	양호	a	b

9) 배수시설

【표 4-40】 배수시설 평가결과

구분	평가내용	평가결과
S1, A1	-	a
S2, P1	-	a
A2	-	a

10) 방호벽 및 중앙분리대

【표 4-41】 방호벽 및 중앙분리대 평가결과

구분	콘크리트 부재면적(㎡)	콘크리트						평가결과
		균열폭(㎜)		표면손상율(%)		철근부식 손상면적(%)		
S1	180.0	0.3	c	0.089	c	0.006	c	c
S2	194.7	0.3	c	0.041	c	-	a	c

11) 탄산화

【표 4-42】 탄산화 평가결과

구분		탄산화 잔여 깊이(㎜)	평가기준	평가결과
상부 구조	S1	48.6	< 탄산화 잔여깊이 > · a : 30㎜이상 · b : 10㎜이상~30㎜미만 · c : 0㎜이상~10㎜미만 · d : 0㎜미만	a
	S1	47.6		a
	S2	42.8		a
하부 구조	A1	79.9		a
	P1	74.5		a
	A2	82.2		a

12) 염화물

【표 4-43】 염화물 평가결과

구분		염화물 함유량(kg/㎥)	평가기준	평가결과
상부 구조	S1	0.468	< 전염화물 이온량 > · a : 염화물 ≤ 0.3kg/㎥ · b : 0.3kg/㎥ < 염화물 < 1.2kg/㎥ · c : 1.2kg/㎥ ≤ 염화물 < 2.5kg/㎥ · d : 염화물 ≥ 2.5kg/㎥	b
하부 구조	A1	0.153		a
	A2	0.219		a

※ 염화물 함유량에 대한 상태평가는 철근 위치에서는 전염화물 이온량을 기준으로 실시함.

나. 각 부재별 상태평가 결과 분석

상태평가는 세부지침에 의거 부재별로 평가하였으며, 산정시 도출방법은 다음과 같이 실시하였다.

【표 4-44】 각 부재별 상태평가 결과 분석

구 분	손상항목 및 도출방법	평가 결과	결함도 점수
바닥판	■ 1방향 균열율, 1방향 균열폭, 열화 및 손상 면적비, 철근부식손상 면적비 등에 대한 평가결과 중 최젓값	b	0.20
Steel Box Girder	■ 모재 및 연결부 손상, 표면열화 등에 대한 평가결과 중 최젓값	b	0.20
가로보 및 세로보	■ 모재 및 연결부 손상, 표면열화 등에 대한 평가결과 중 최젓값	a	0.10
교대 및 교각	■ 균열폭, 변위, 표면손상 면적비, 철근부식손상 면적비 등에 대한 평가결과 중 최젓값	b~c	0.27
교량받침	■ 받침본체, 받침콘크리트 등에 대한 평가결과 중 최젓값	b	0.20
신축이음	■ 신축이음 본체, 후타재 등에 대한 평가결과 중 최젓값	d	0.70
교면포장	■ 포장불량 면적비, 포장상태, 배수 등에 대한 평가결과 중 최젓값	b	0.20
배수시설	■ 배수시설 손상에 대한 평가결과	a	0.10
난간	■ 균열폭, 표면 손상율, 철근부식 손상율 등에 대한 평가결과 중 최젓값	c	0.40
탄산화	■ 탄산화 잔여 깊이, 철근부식의 가능성 등에 대한 평가결과 중 최젓값	a	0.10
염화물	■ 전염화물 이온량, 철근부식의 가능성 등에 대한 평가결과 중 최젓값	a~b	0.10~0.20
평가자 소견	■ 부재별 평가 결과가 a~d로 나타났고, 부재별 결함도 점수 범위가 0.10~0.70으로 나타남. ■ 부재별 상태평가 결과, 일부 부재에 손상 및 결함이 발생한 상태로서 발생된 손상은 별도의 보강은 필요치 않으나, 내구성, 기능성 저하방지를 위해 일부부재에 대한 보수가 필요한 상태로 판단됨.		

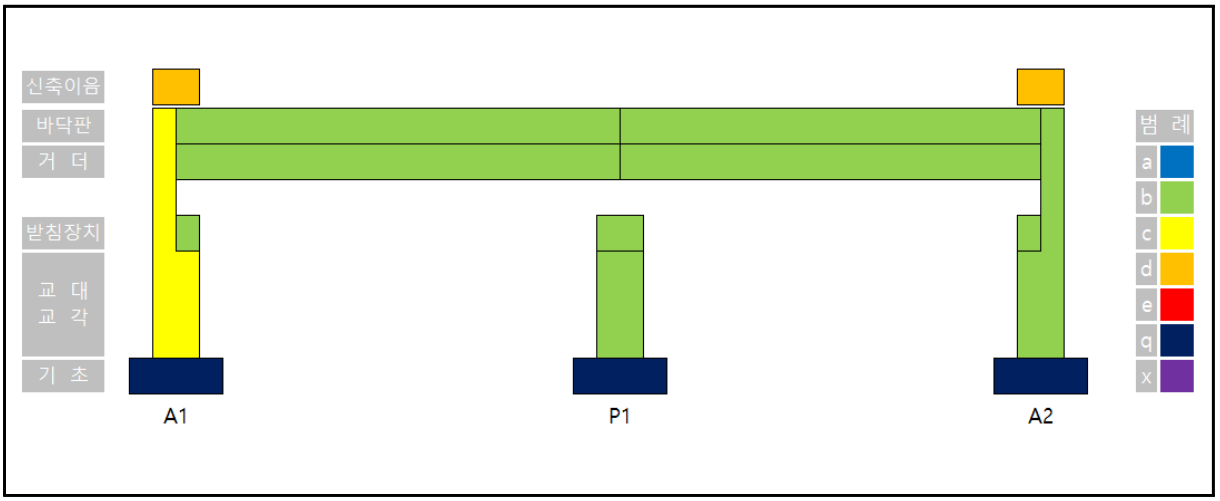
다. 전체 시설물 상태평가 결과

【표 4-45】 양평방향 - 상태평가 결과

부재의 분류		상부구조			하부구조		받침	기타부재				탄산화		염화물	
번호	형식	바닥판	거더	가로보/세로보	교대 교각	기초	교량 받침	신축 이음	교면 포장	배수 시설	난간	상부	하부	상부	하부
1	강박스	b	b	a	c	q	b	d	b	a	c	a	a	b	a
2	강박스	b	b	a	b	q	b	-	b	a	c	a	a	-	-
					b	q	b	d		a			a		a
평균		0.20	0.20	0.10	0.27	0.00	0.20	0.70	0.20	0.10	0.40	0.10	0.10	0.20	0.10
가중치		18	20	5	20	0	9	9	7	3	2	2	2	2	1
(평균X가중치/가중치합)		0.036	0.040	0.005	0.054	0.000	0.018	0.063	0.014	0.003	0.008	0.002	0.002	0.004	0.001

결함도 환산점수	0.250
상태평가 결과	B

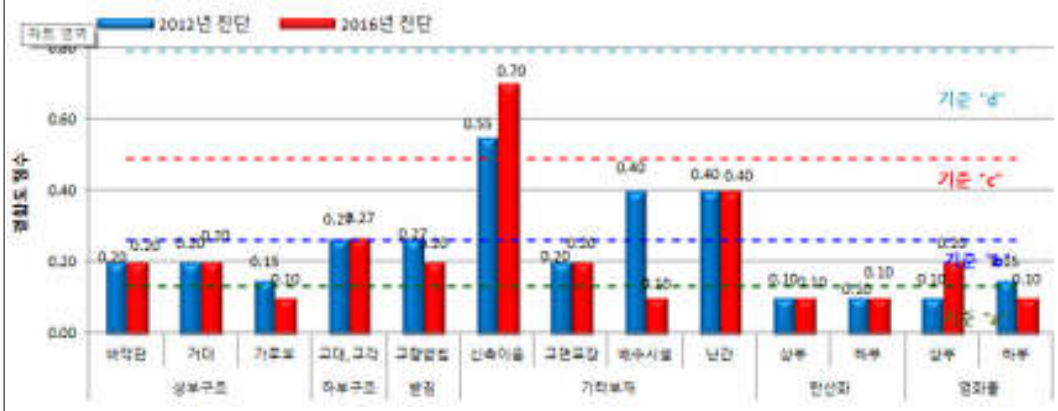
주)감곡IC교(양평)은 기초가 매립된 상태로 해당 가중치는 교대, 교각의 가중치에 포함시켜 평가함



【그림 4-3】 양평방향 - 전체시설물 상태평가 결과

라. 상태평가 결과 분석

【표 4-46】 양평방향 - 상태평가 결과 분석

<table>
<tr><th>구 분</th><th>상태평가 결과 분석</th></tr>
<tr><td>외관조사
결과분석</td><td>▪금회 상태평가 결과에 영향을 미친 손상은 강거더 도장박리 및 부식(b), 하부구조 표면손상(b), 신축이음 협착(d) 등으로 나타남</td></tr>
<tr><td>시험 및
측정
결과분석</td><td>▪상부구조 3개소, 하부구조 3개소에서 탄산화 잔여깊이 측정을 실시한 결과, 잔여피복 깊이가 42.8~82.2㎜로 나타나, “a” 로 평가됨
▪상부구조 1개소, 하부구조 2개소에서 염화물함유량 시험을 실시한 결과, 철근배근 깊이에서 염화물 함유량이 0.153~0.468kg/㎥로 나타나, “a~b” 로 평가됨</td></tr>
<tr><td>기진단
비교</td><td>
<table>
<tr><th colspan="2">2012년 정밀안전진단</th></tr>
<tr><td>결 함 도
점 수</td><td>0.252</td></tr>
<tr><td>상태평가
결 과</td><td>B</td></tr>
</table>
<table>
<tr><th colspan="2">2016년 정밀안전진단</th></tr>
<tr><td>결 함 도
점 수</td><td>0.250</td></tr>
<tr><td>상태평가
결 과</td><td>B</td></tr>
</table>
<table>
<tr><th>기준</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th></tr>
<tr><td>결함도
범위</td><td>0 ≤ X < 0.13</td><td>0.13 ≤ X < 0.26</td><td>0.26 ≤ X < 0.49</td><td>0.49 ≤ X < 0.79</td><td>0.79 ≤ X</td></tr>
</table>


<기진단(12)과 금회진단 부재별 결함도 점수 결과 비교>

▪기진단(2012) 및 금회진단은 정량적 평가를 실시하여 결함도 점수를 산정하였으며, 환산결함도 점수를 비교한 결과 0.252에서 0.250으로 금회 0.002 미미하게 감소되었으며 평가등급은 B등급으로 기진단 등급과 동일한 것으로 분석됨

▪기진단에 비해 결함도 점수가 다소 증가된 사유는 다음과 같음
- 공용년수 증가에 따른 노후화
⇨ 하부구조 박리, 신축이음 누수 등
- 조사용 접근장비(교량점검차, 고소점검차)를 운용한 근접조사
⇨ 바닥판 균열, Steel Box 거더 외부 부식 및 도장박리
- 기 용역 시 누락된 손상 추가 조사</td></tr>
</table>

제5장
시설물의 안전성평가

5.1 개 요
5.2 상부구조 안전성평가
5.3 내하력평가
5.4 하부구조 안전성평가
5.5 안전성평가 결과요약

제5장 시설물의 안전성평가

5.1 개 요

감곡IC교는 총연장 110.256m, 폭(15.750~21.770m)의 3차로 교량으로서, 상부구조형식은 2경간 연속 강박스 거더교(2@55m = 110.0m)으로 구성되어 있다.

하부구조는 상부에서 발생하는 하중과 하부 자체의 하중까지 버틸 수 있는 구조물로, 교대(역T형) 4기와 교각(π형) 2기로 구성되어 있다.

본 교량에 대한 구조해석 및 내하력 평가는 설계자료(구조계산서, 준공도면 등)에서 제시한 바와 같이 이루어졌다는 가정과 설계변경사항, 기존 점검 및 진단보고서, 현장조사자료(실측제원, 외관조사 및 내구성조사 등), 시공단계 등을 고려하였으며, 현 설계기준을 적용하였다.

5.2 상부구조 안전성평가

5.2.1 S1 ~ S2 경간

가. 검토조건

1) 교량 제원

① 교량형식 : 2경간 연속 강박스 거더교

② 교량연장 : L = 2@55m =110.0m

③ 교량폭원 : 12.150m(마산방향), 15.750~21.770m(양평방향)

④ 사　　각 : 20.0°

⑤ 거더제원 : B = 2.8m , H = 2.7m

⑥ 교량등급 : 1등급(DB-24 및 DL-24 적용)

2) 사용재료

① 콘크리트

㉠ 설계기준강도 : f_{ck} = 27.0MPa

㉡ 탄성계수 : E_c= 27,804MPa

㉢ 전단탄성계수 : G_c = 11,781MPa

㉣ 허용압축응력 : f_{ca} = 10.8MPa

② 철근(SD400)

㉠ 항복강도 : f_y = 400.0MPa

㉡ 탄성계수 : E_s = 200,000MPa

㉢ 허용압축응력 : f_{ca} = 180.0MPa

㉣ 허용인장응력 : f_{ta} = 160.0MPa

③ 강재

㉠ 주부재 : SM490(준공당시 기호 : SWS490)

㉡ 부부재 : SM400(준공당시 기호 : SWS400)

㉢ 탄성계수 : E_{st} = 205,000MPa

㉣ 전단탄성계수 : G_{st} = 79,000MPa

㉤ 허용축방향인장응력 및 허용휨인장응력(MPa)

강종 / 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
40이하	140	190	215	270
40초과 75이하	130	175	200	260
75초과 100이하			195	250

㉥ 허용축방향압축응력(MPa)

강종 / 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM 570 SMA 570
40이하	140 : $\ell/r \leq 18.6$ $140-0.82(\ell/r-18.6)$: $18.6 < \ell/r \leq 92.8$ $\frac{1,200,000}{6,700+(\ell/r)^2}$: $92.8 < \ell/r$	190 : $\ell/r \leq 16.0$ $190-1.29(\ell/r-16.0)$: $16.0 < \ell/r \leq 80.1$ $\frac{1,200,000}{5,000+(\ell/r)^2}$: $80.1 < \ell/r$	215 : $\ell/r \leq 15.1$ $215-1.55(\ell/r-15.1)$: $15.1 < \ell/r \leq 75.5$ $\frac{1,200,000}{4,400+(\ell/r)^2}$: $75.5 < \ell/r$	270 : $\ell/r \leq 13.4$ $270-2.19(\ell/r-13.4)$: $13.4 < \ell/r \leq 67.1$ $\frac{1,200,000}{3,500+(\ell/r)^2}$: $67.1 < \ell/r$

강종 / 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM 570 SMA 570
40초과 75이하	130 : $\ell/r \leq 19.4$ $130-0.73(\ell/r-19.4)$: $19.4 < \ell/r \leq 97.0$ $\frac{1,200,000}{7,300+(\ell/r)^2}$: $97.0 < \ell/r$	175 : $\ell/r \leq 16.6$ $175-1.15(\ell/r-16.6)$: $16.6 < \ell/r \leq 82.8$ $\frac{1,200,000}{5,300+(\ell/r)^2}$: $82.8 < \ell/r$	200 : $\ell/r \leq 15.5$ $200-1.40(\ell/r-15.5)$: $15.5 < \ell/r \leq 77.7$ $\frac{1,200,000}{4,700+(\ell/r)^2}$: $77.7 < \ell/r$	260 : $\ell/r \leq 13.7$ $260-2.07(\ell/r-13.7)$: $13.7 < \ell/r \leq 68.6$ $\frac{1,200,000}{3,600+(\ell/r)^2}$: $68.6 < \ell/r$
75초과 100이하	195 : $\ell/r \leq 15.8$ $195-1.35(\ell/r-15.8)$: $15.8 < \ell/r \leq 78.9$ $\frac{1,200,000}{4,800+(\ell/r)^2}$: $78.9 < \ell/r$	250 : $\ell/r \leq 13.9$ $250-1.96(\ell/r-13.9)$: $13.9 < \ell/r \leq 69.4$ $\frac{1,200,000}{3,700+(\ell/r)^2}$: $69.4 < \ell/r$		

여기서, ℓ : 부재의 유효좌굴길이(mm)

r : 부재 총단면의 단면회전반경(mm)

㉦ 허용휨압축응력(MPa)

■ 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 직접 고정되어 있는 경우, 상자형 단면, π형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우

강종 / 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
40이하	140	190	215	270
40초과 75이하	130	175	200	260
75초과 100이하			195	250

강종 / 판두께(mm)		SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
$\frac{A_w}{A_c} \leq 2$	40이하	140 : ℓ/b ≤ 4.6 140−2.49(ℓ/b−4.6) : 4.6 < ℓ/b ≤ 30	190 : ℓ/b ≤ 4.0 190−3.91(ℓ/b−4.0) : 4.0 < ℓ/b ≤ 30	215 : ℓ/b ≤ 3.8 215−4.69(ℓ/b−3.8): 3.8 < ℓ/b ≤ 27	270 : ℓ/b ≤ 3.4 270−6.64(ℓ/b−3.4): 3.4 < ℓ/b ≤ 25
	40초과 75이하	130 : ℓ/b ≤ 4.9	175 : ℓ/b ≤ 4.1	200 : ℓ/b ≤ 3.9 200−4.24(ℓ/b−3.9): 3.9 < ℓ/b ≤ 27	260 : ℓ/b ≤ 3.4 260−6.25(ℓ/b−3.4): 3.4 < ℓ/b ≤ 25
	75초과 100이하	130−2.21(ℓ/b−4.9): 4.9 < ℓ/b ≤ 30	175−3.48(ℓ/b−4.1): 4.1 < ℓ/b ≤ 30	195 : ℓ/b ≤ 3.9 195−4.07(ℓ/b−3.9): 3.9 < ℓ/b ≤ 27	250 : ℓ/b ≤ 3.5 250−5.94(ℓ/b−3.5): 3.5 < ℓ/b ≤ 25
$\frac{A_w}{A_c} > 2$	40이하	140 : ℓ/b ≤ 9.3/K 140−1.24(Kℓ/b−9.3): 9.3/K < ℓ/b ≤ 30	190 : ℓ/b ≤ 8.0/K 190−1.95(Kℓ/b−8.0): 8.0/K < ℓ/b ≤ 30	215 : ℓ/b ≤ 7.5/K 215−2.35(Kℓ/b−7.5): 7.5/K< ℓ/b ≤ 27	270 : ℓ/b ≤ 6.7/K 270−3.32(Kℓ/b−6.7): 6.7/K < ℓ/b ≤ 25
	40초과 75이하	130 : ℓ/b ≤ 9.7/K	175 : ℓ/b ≤ 8.3/K	200 : ℓ/b ≤ 7.8/K 200−2.12(Kℓ/b−7.8): 7.8/K< ℓ/b ≤ 27	260 : ℓ/b ≤ 6.9/K 260−3.12(Kℓ/b−6.9): 6.9/K< ℓ/b ≤ 25
	75초과 100이하	130−1.10(Kℓ/b−9.7): 9.7/K < ℓ/b ≤ 30	175−1.74(Kℓ/b−8.3): 8.3/K < ℓ/b ≤ 30	195 : ℓ/b ≤ 7.9/K 195−2.04(Kℓ/b−7.9): 7.9/K< ℓ/b ≤ 27	250 : ℓ/b ≤ 6.9/K 250−2.97(Kℓ/b−6.9): 6.9/K< ℓ/b ≤ 25
비 고		A_w : 복부판의 총 단면적(㎟) A_c : 압축플랜지의 총 단면적(㎟) ℓ : 압축플랜지의 고정점간의 거리(㎜) b : 압축플랜지의 폭(㎜)		K : $\sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$	

◎ 허용전단응력(MPa)

강종 / 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
40이하	80	110	125	155
40초과 75이하	75	100	115	150
75초과 100이하			115	145

㉦ 항복응력(MPa)

강종 / 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
40이하	235	315	355	450
40초과 75이하	215	295	335	430
75초과 100이하			325	420

㉧ 강재 주거더의 허용응력 증가율

하중의 조합			증가율(%)	
			정의 휨모멘트를 받는 부분	부의 휨모멘트를 받는 부분
1	크리프의 영향과 건조수축의영향을 제외한 주하중		0	0
2	주하중	압축연	15	0
		인장연	0	0
3	주하중+바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차	압축연	30	15
		인장연	15	15
4	가설시 하중	압축연	25	25
		인장연	25	25

3) 사용 전산프로그램 : 안전성평가를 위한 구조해석은 3차원 해석과 활하중의 이동재하가 가능한 범용구조해석 프로그램인 MIDAS CIVIL을 이용하였으며, 구조물의 기하학적 특성을 Frame Element로 모델링하였다.

4) 설계방법

① 바닥판 : 강도설계법

② 강박스 거더 : 허용응력설계법

5) 적용하중

① 고정하중

고정하중은 합성전 고정하중과 합성후 고정하중으로 구분하여 모델링하였다. 합성전 고정하중은 강재 및 바닥판 자중을 고려하였으며 합성후 고정하중은 방호벽 및 중앙분리대, 포장 등을 고려하여 계산하였다.

② 활하중

본 교량은 1등급 교량으로서 DB-24 및 DL-24 하중을 적용한다.

③ 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차

㉠ 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차(ΔT) : $\pm 10^{\circ}C$

㉡ 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수(α) : 12×10^{-6}

④ 바닥판 콘크리트의 크리프

㉠ 크리프 계수(ϕ_1) : 2

㉡ 크리프 계산을 위한 탄성계수비 : $n_1 = n\ (1 + \phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2/2) = 14$

⑤ 바닥판 콘크리트의 건조수축

㉠ 최종수축율(ε_s) : 27×10^{-5}

㉡ 건조수축 계산을 위한 크리프 계수(ϕ_2) : $\phi_2 = 2\,\phi_1 = 2 \times 2 = 4$

㉢ 건조수축 계산을 위한 탄성계수비 : $n_2 = n\ (1 + \phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4/2) = 21$

⑥ 하중조합

㉠ LCB1 : 합성전 고정하중

㉡ LCB2 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중

㉢ LCB3 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프

㉣ LCB4 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축

㉤ LCB5 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축+온도차

㉥ LCB6 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축-온도차

6) 참고문헌

① 도로교 설계기준(2010)

② 콘크리트 구조설계기준(2012)

③ 도로설계편람(2008)

④ 도로설계요령(2009)

⑤ 강도로교 상세부 설계지침(2006)

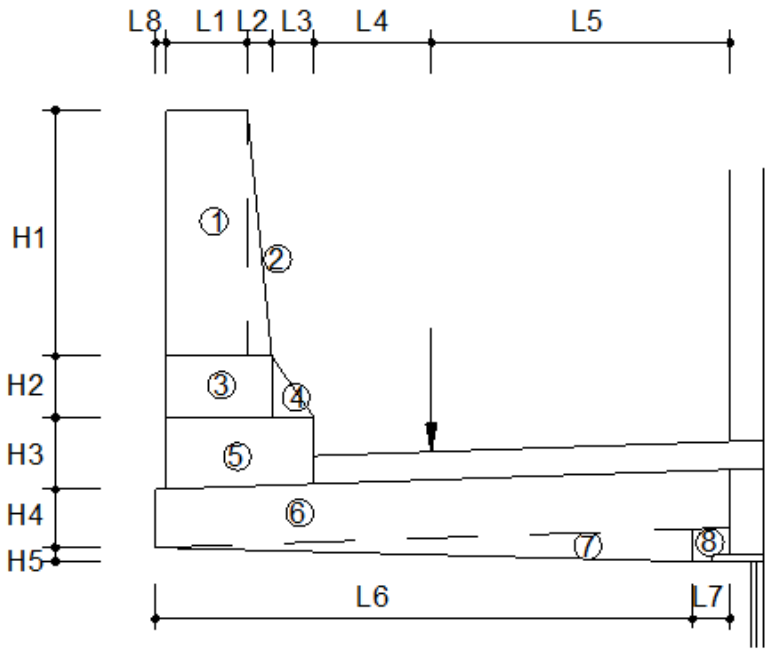
나. 바닥판 구조검토

합성형교에서 바닥판으로서 작용할 경우(교축직각방향)에 대하여 도로교설계기준(2010년) 등의 적용기준에 따라 구조검토를 수행하였다.

1) 캔틸레버부(방호벽)

① 고정하중

NO.	작용하중(kN)			작용거리 (m)	모멘트 (kN·m)	비 고
①	0.700 × 0.230 × 25	=	4.025	0.880	3.542	
②	1/2 × 0.070 × 0.700 × 25	=	0.613	0.742	0.454	
③	0.175×0.300× 25	=	1.313	0.845	1.109	
④	½×0.175×0.12× 25	=	0.263	0.655	0.172	
⑤	0.205×0.42× 25	=	2.153	0.785	1.690	
⑥	0.250 × 1.025 × 25	=	6.406	0.513	3.283	
⑦	½ × 0.050 × 0.925 × 25	=	0.578	0.408	0.236	
⑧	0.050 × 0.100 × 25	=	0.125	0.050	0.006	
⑨	0.100 × 0.275 × 23	=	0.633	0.288	0.182	포장
⑩	방음벽하중	=	0.000	0.880	0.000	방음벽
계			16.107		10.674	



H1 =	0.700	m
H2 =	0.175	m
H3 =	0.205	m
H4 =	0.250	m
H5 =	0.050	m
H =	0.100	m
L1 =	0.230	m
L2 =	0.070	m
L3 =	0.120	m
L4 =	0.300	m
L5 =	0.275	m
L6 =	0.925	m
L7 =	0.100	m
L8 =	0.030	m
L =	0.275	m

콘크리트 단위중량 = 25.0kN/㎥
아스팔트포장 단위중량 = 23.0kN/㎥
트럭의 후륜하중(P_r) = 96.0kN
곡선반경(R) = ∞
설계속도 = 100km/hr

② 활하중(DB-24 : P_r = 96 kN)

윤하중 분포폭

E = 0.8X + 1.14 = 0.8 × 0.275 + 1.14 = 1.360m

여기서, X = 0.275m

③ 충격계수

$$i = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 0.275} = 0.372 > 0.300 \quad \therefore i = 0.300 \text{ 적용}$$

④ 활하중

$$M_{\ell+i} = \frac{P_r \cdot X \cdot (1+i)}{E} = \frac{96 \times 0.275 \times (1+0.300)}{1.360} = 25.235 \text{kN·m/m}$$

⑤ 차량 충돌하중

H = (V / 60)² × 7500 + 2500 = (100 / 60)² × 7500 + 2500

= 23.333kN/m

M_{co} = H × h = 23.333 × 1.100 = 25.667kN·m/m

⑥ 풍하중

P_w = 3.0kN/㎡ × 0.980m = 2.940kN/m

M_w = 2.940 × 0.590 = 1.735kN·m/m

⑦ 하중조합

㉠ 계수모멘트

- $M_{u1} = 1.3\,M_d + 2.15\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{ct} = 68.132$ kN·m/m
- $M_{u2} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_w + 1.3\,M_{ct} + 1.3\,M_{co} = 80.049$ kN·m/m
- $M_{u3} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{ct} = 47.810$ kN·m/m
- $M_{u4} = 1.2\,M_d + 1.2\,M_w + 1.2\,M_{co} = 45.691$ kN·m/m
- $M_{u5} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_w = 16.132$ kN·m/m

㉡ 사용모멘트

- $M = 1.0\,M_d + 1.0\,M_{(\ell+i)} + 1.0\,M_{cf} = 35.450$ kN·m/m

⑧ 바닥판의 최소두께(X > 0.25인 경우)

$h_{min} = (80 \cdot X + 230) = (80 \times 0.275 + 230) = 252\,mm > 220.0\,mm \quad \therefore h_{req} = 300.0\,mm$

$h_{use} = 300.0\,mm > h_{req} = 252\,mm \quad \therefore$ O.K

⑨ 단면검토

㉠ 검토조건

설계기준강도(f_{ck}) = 27.0MPa , 인장철근 항복강도(f_y) = 400.0MPa

단면폭(b) = 1000mm , 단면높이(h) = 300mm

철근 피복두께(d_c) = 60mm , 유효깊이(d) = 240mm

사용철근량(A_s) = H16@125 = 1588.8㎟

⑩ 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_{ck} \cdot b} = \frac{1588.8 \times 400.0}{0.85 \times 27.0 \times 1000.0} = 27.692mm$$

$$\Phi Mn = \Phi\left\{As \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)\right\}$$

$$= 0.85 \times 1588.8 \times 400.0 \times \left(240.0 - \frac{27.692}{2}\right) = 122.167kN \cdot m$$

㉠ 휨모멘트 검토

ΦMn = 122.167kN·m > Mu = 80.049kN·m ∴ O.K

⑪ 사용성(균열) 검토

㉠ 탄성계수비(n) = E_s / E_c = 7.193

㉡ 중립축 거리(χ) = $-nAs/b + nAs/b\sqrt{[1 + 2bd/(nAs)]}$ = 66.400

㉢ 철근응력(f_s) = $M/[A_s \times (d - \chi/3)] = 35.909/[1588.8 \times (240 - 66.400/3)] = 103.744\,MPa$

㉣ 최소 두께(c_c) = 60.0 − 16.0/2 = 52.0 mm

㉤ 인장연단 폭(s_1) = $375 \times (210/f_s) - 2.5c_c$

$= 375 \times (210/103.744) - 2.5 \times 52.0 = 629mm$

㉥ 인장연단 폭(s_2) = $300 \times (210/f_s)$

$= 300 \times (210/103.744) = 607mm$

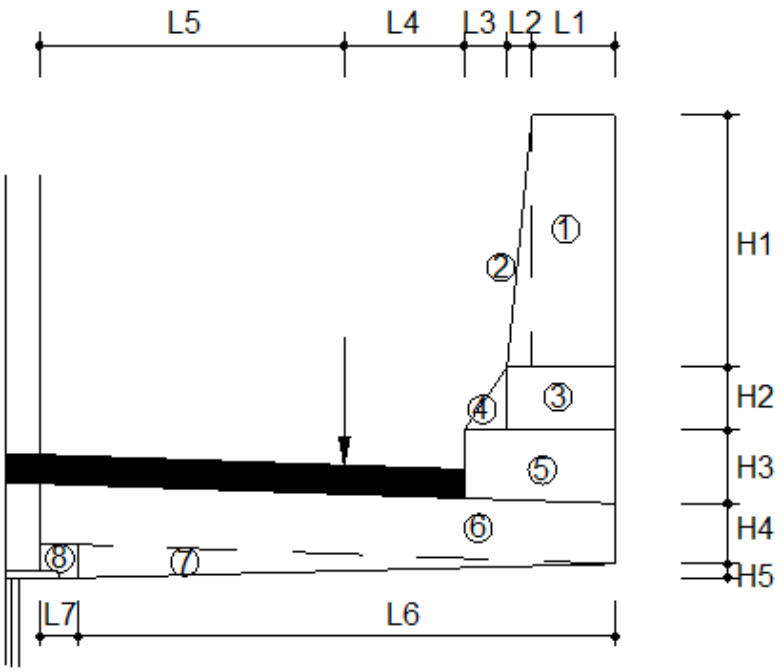
㉦ 철근 소요중심간격(s_a) = $Min(s_1, s_2) = 607mm$

㉧ 철근 평균간격 s = 125.0mm ≤ s_a = 607mm이므로, ∴ O.K

2) 캔틸레버부(중분대)-마산방향

① 고정하중

NO.	작용하중(kN)			작용거리 (m)	모멘트 (kN·m)	비 고
①	0.560 × 0.095 × 25	=	1.330	0.973	1.293	
②	1/2 × 0.060 × 0.560 × 25	=	0.420	0.905	0.380	
③	0.175×0.155× 25	=	0.678	0.943	0.639	
④	½×0.175×0.125× 25	=	0.273	0.823	0.225	
⑤	0.155×0.28× 25	=	1.085	0.880	0.955	
⑥	0.250 × 1.020 × 25	=	6.375	0.510	3.251	
⑦	½ × 0.100 × 0.920 × 25	=	1.150	0.407	0.468	
⑧	0.100 × 0.100 × 25	=	0.250	0.050	0.013	
⑨	0.100 × 0.440 × 23	=	1.012	0.370	0.374	포장
⑩	방음벽하중	=	0.000	0.973	0.000	방음벽
계			12.574		7.598	



H1 =	0.560	m
H2 =	0.175	m
H3 =	0.155	m
H4 =	0.250	m
H5 =	0.100	m
H =	0.100	m
L1 =	0.095	m
L2 =	0.060	m
L3 =	0.125	m
L4 =	0.300	m
L5 =	0.440	m
L6 =	0.920	m
L7 =	0.100	m
L =	0.440	m

콘크리트 단위중량 = 25.0kN/㎥
아스팔트포장 단위중량 = 23.0kN/㎥
트럭의 후륜하중(P_r) = 96.0kN
곡선반경(R) = ∞
설계속도 = 100km/hr

② 활하중(DB-24 : P_r = 96 kN)

윤하중 분포폭

$E = 0.8X + 1.14 = 0.8 \times 0.440 + 1.14 = 1.492m$

여기서, $X = 0.440m$

③ 충격계수

$$i = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 0.440} = 0.371 > 0.300 \quad \therefore i = 0.300 \text{ 적용}$$

④ 활하중

$$M_{\ell+i} = \frac{P_r \cdot X \cdot (1+i)}{E} = \frac{96 \times 0.440 \times (1+0.300)}{1.492} = 36.804 kN \cdot m/m$$

⑤ 차량 충돌하중

$H = (V / 60)^2 \times 7500 + 2500 = (100 / 60)^2 \times 7500 + 2500$

$= 23.333 kN/m$

$M_{co} = H \times h = 23.333 \times 1.100 = 25.667 kN{\cdot}m/m$

⑥ 풍하중

$P_w = 3.0 kN/m^2 \times 0.790m = 2.370 kN/m$

$M_w = 2.940 \times 0.495 = 1.173 kN{\cdot}m/m$

⑦ 하중조합

㉠ 계수모멘트

- $M_{u1} = 1.3 M_d + 2.15 M_{(\ell + i)} + 1.3 M_{ct} = 89.007 kN{\cdot}m/m$
- $M_{u2} = 1.3 M_d + 1.3 M_w + 1.3 M_{ct} + 1.3 M_{co} = 91.090 kN{\cdot}m/m$
- $M_{u3} = 1.3 M_d + 1.3 M_{(\ell + i)} + 1.3 M_{ct} = 58.486 kN{\cdot}m/m$
- $M_{u4} = 1.2 M_d + 1.2 M_w + 1.2 M_{co} = 41.326 kN{\cdot}m/m$
- $M_{u5} = 1.3 M_d + 1.3 M_w = 11.403 kN{\cdot}m/m$

㉡ 사용모멘트

- $M = 1.0 M_d + 1.0 M_{(\ell + i)} + 1.0 M_{cf} = 44.402 kN{\cdot}m/m$

⑧ 바닥판의 최소두께(X > 0.25인 경우)

$h_{min} = (80 \cdot X + 230) = (80 \times 0.440 + 230) = 265.2\,mm > 220.0\,mm \quad \therefore h_{req} = 265.2\,mm$

$h_{use} = 300.0\,mm > h_{req} = 265.2\,mm \quad \therefore$ O.K

⑨ 단면검토

㉠ 검토조건

설계기준강도(f_{ck}) = 27.0MPa , 인장철근 항복강도(f_y) = 400.0MPa

단면폭(b) = 1000mm , 단면높이(h) = 300mm

철근 피복두께(d_c) = 60mm , 유효깊이(d) = 240mm

사용철근량(A_s) = H16@125 = 1588.8㎟

⑩ 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_{ck} \cdot b} = \frac{1588.8 \times 400.0}{0.85 \times 27.0 \times 1000.0} = 27.692mm$$

$$\Phi Mn = \Phi\left\{As \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)\right\}$$

$$= 0.85 \times 1588.8 \times 400.0 \times \left(240.0 - \frac{27.692}{2}\right) = 122.167kN \cdot m$$

㉠ 휨모멘트 검토

$\Phi Mn = 122.167kN \cdot m > Mu = 91.090kN \cdot m \quad \therefore$ O.K

⑪ 사용성(균열) 검토

㉠ 탄성계수비(n) = $E_s / E_c = 7.193$

㉡ 중립축 거리(χ) = $-nAs/b + nAs/b\sqrt{[1 + 2bd/(nAs)]} = 66.400$

㉢ 철근응력(f_s) = $M/[A_s \times (d - \chi/3)] = 44.402/[1588.8 \times (240 - 66.400/3)] = 128.282\,MPa$

㉣ 최소 두께(c_c) = $60.0 - 16.0/2 = 52.0\,mm$

㉤ 인장연단 폭(s_1) = $375 \times (210/f_s) - 2.5c_c$

$= 375 \times (210/128.282) - 2.5 \times 52.0 = 484mm$

㉥ 인장연단 폭(s_2) = $300 \times (210/f_s)$

$= 300 \times (210/128.282) = 491mm$

㉦ 철근 소요중심간격(s_a) = $Min(s_1, s_2) = 484mm$

㉧ 철근 평균간격 s = 125.0mm ≤ s_a = 484mm이므로, ∴ O.K

3) 중앙부

① 고정하중

철근콘크리트 : 0.250m × 25.0kN/m³ = 6.250kN/m²

아스팔트포장 : 0.100m × 23.0kN/m³ = 2.300kN/m²

$\Sigma w_d = 8.550 kN/m^2$

$$M_d = \frac{\Sigma w_d L^2}{16} = \frac{8.550 \times 2.100^2}{16} = 2.357 kN \cdot m/m$$

여기서, 계산지간(L) = 2.100m

② 활하중(DB-24 : P_r = 96 kN)

㉠ 충격계수

$$i = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 2.100} = 0.356 > 0.300 \quad \therefore i = 0.300 \text{ 적용}$$

㉡ 활하중

$$M_{\ell+i} = \frac{(L + 0.6) P_r}{9.6} (1 + i) = \frac{(2.100 + 0.6) \times 96}{9.6} \times (1 + 0.300) = 35.100 kN \cdot m/m$$

연속 바닥판이므로, $M_{\ell+i} = 0.8 \times 35.100 = 28.080 kN \cdot m/m$

③ 하중조합

㉠ 계수모멘트

- $M_{u1} = 1.3 M_d + 2.15 M_{(\ell+i)} + 1.3 M_{cf} = 63.436 kN \cdot m/m$

㉡ 사용모멘트

- $M = 1.0 M_d + 1.0 M_{(\ell+i)} + 1.0 M_{cf} = 30.437 kN \cdot m/m$

④ 바닥판의 최소두께

$h_{min} = (30 \cdot L + 130) = (30 \times 2.10 + 130) = 193 mm < 220.0 mm \quad \therefore h_{req} = 220.0 mm$

$h_{use} = 250.0 mm > h_{req} = 220.0 mm \quad \therefore O.K$

⑤ 단면검토

㉠ 검토조건

설계기준강도(f_{ck}) = 27.0MPa , 인장철근 항복강도(f_y) = 400.0MPa

단면폭(b) = 1000mm , 단면높이(h) = 250mm

철근 피복두께(d_c) = 40mm , 유효깊이(d) = 210mm

사용철근량(A_s) = H16@125 = 1588.8㎟

㉡ 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_{ck} \cdot b} = \frac{1588.8 \times 400.0}{0.85 \times 27.0 \times 1000.0} = 27.692\text{mm}$$

$$\Phi Mn = \Phi\left\{As \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)\right\}$$

$$= 0.85 \times 1588.8 \times 400.0 \times \left(210.0 - \frac{27.692}{2}\right) = 105.961\text{kN·m}$$

㉢ 휨모멘트 검토

ΦMn = 105.961kN·m ≥ Mu = 63.436kN·m ∴ O.K

⑥ 사용성(균열) 검토

㉠ 탄성계수비(n) = E_s / E_c = 7.193

㉡ 중립축 거리(χ) = $-nAs/b + nAs/b\sqrt{[1 + 2bd/(nAs)]}$ = 61.5mm

㉢ 철근응력(f_s) = $M/[A_s \times (d - x/3)] = 30.437/[1588.8 \times (210.0 - 61.5/3)] = 101.085$ MPa

㉣ 최소 두께(c_c) = $40.0 - 16/2 = 32.0$ mm

㉤ 인장연단 폭(s_1) = $375 \times (210/f_s) - 2.5c_c$

$= 375 \times (210/101.085) - 2.5 \times 32.00 = 699$mm

㉥ 인장연단 폭(s_2) = $300 \times (210/f_s)$

$= 300 \times (210/101.085) = 623$mm

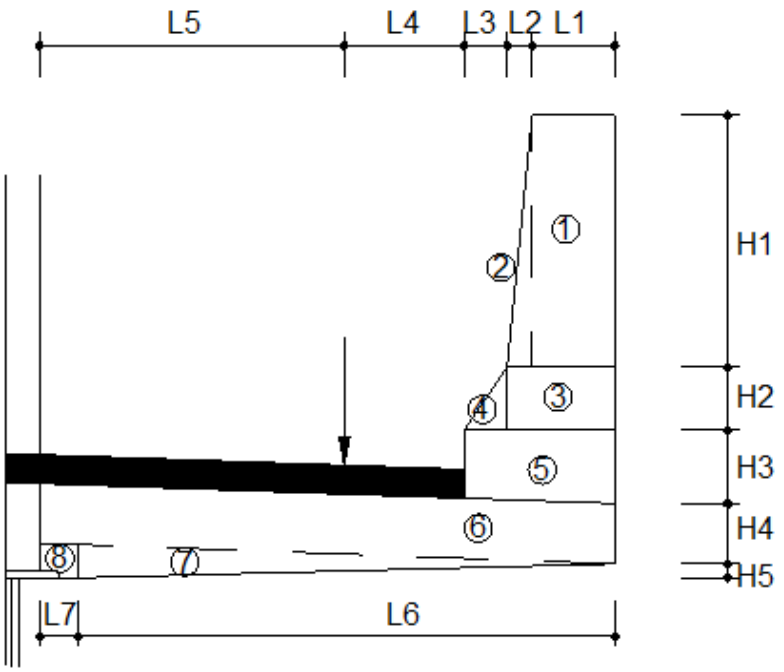
㉦ 철근 소요중심간격(s_a) = Min(s_1, s_2) = 623mm

㉧ 철근 평균간격 s = 125.0mm ≤ s_a = 623mm이므로, ∴ O.K

4) 캔틸레버부(중분대)-양평방향

① 고정하중

NO.	작용하중(kN)			작용거리 (m)	모멘트 (kN·m)	비 고
①	0.560 × 0.095 × 25	=	1.330	0.973	1.293	
②	1/2 × 0.060 × 0.560 × 25	=	0.420	0.905	0.380	
③	0.175×0.155× 25	=	0.678	0.943	0.639	
④	½×0.175×0.125× 25	=	0.273	0.823	0.225	
⑤	0.155×0.28× 25	=	1.085	0.880	0.955	
⑥	0.250 × 1.020 × 25	=	6.375	0.510	3.251	
⑦	½ × 0.112 × 0.920 × 25	=	1.288	0.407	0.524	
⑧	0.112 × 0.100 × 25	=	0.280	0.050	0.014	
⑨	0.100 × 0.440 × 23	=	1.012	0.370	0.374	포장
⑩	방음벽하중	=	0.000	0.973	0.000	방음벽
계			12.742		7.656	



H1 =	0.560	m
H2 =	0.175	m
H3 =	0.155	m
H4 =	0.250	m
H5 =	0.112	m
H =	0.100	m
L1 =	0.095	m
L2 =	0.060	m
L3 =	0.125	m
L4 =	0.300	m
L5 =	0.440	m
L6 =	0.920	m
L7 =	0.100	m
L =	0.440	m

콘크리트 단위중량 = 25.0kN/㎥
아스팔트포장 단위중량 = 23.0kN/㎥
트럭의 후륜하중(P_r) = 96.0kN
곡선반경(R) = ∞
설계속도 = 100km/hr

② 활하중(DB-24 : P_r = 96 kN)

윤하중 분포폭

E = 0.8X + 1.14 = 0.8 × 0.440 + 1.14 = 1.492m

여기서, X = 0.440m

③ 충격계수

$$i = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 0.440} = 0.371 > 0.300 \quad \therefore i = 0.300 \text{ 적용}$$

④ 활하중

$$M_{\ell+i} = \frac{P_r \cdot X \cdot (1+i)}{E} = \frac{96 \times 0.440 \times (1+0.300)}{1.492} = 36.804 \text{kN} \cdot \text{m/m}$$

⑤ 차량 충돌하중

H = (V / 60)² × 7500 + 2500 = (100 / 60)² × 7500 + 2500

= 23.333kN/m

M_{co} = H × h = 23.333 × 1.100 = 25.667kN·m/m

⑥ 풍하중

P_w = 3.0kN/㎡ × 0.790m =2.370kN/m

M_w = 2.370 × 0.495 = 1.173kN·m/m

⑦ 하중조합

㉠ 계수모멘트

- $M_{u1} = 1.3\,M_d + 2.15\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{ct}$ = 89.081 kN·m/m
- $M_{u2} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_w + 1.3\,M_{ct} + 1.3\,M_{co}$ = 91.165 kN·m/m
- $M_{u3} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{ct}$ = 58.561 kN·m/m
- $M_{u4} = 1.2\,M_d + 1.2\,M_w + 1.2\,M_{co}$ = 41.395 kN·m/m
- $M_{u5} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_w$ = 11.478 kN·m/m

㉡ 사용모멘트

- $M = 1.0\,M_d + 1.0\,M_{(\ell+i)} + 1.0\,M_{cf}$ = 44.460 kN·m/m

⑧ 바닥판의 최소두께(X > 0.25인 경우)

$h_{min} = (80 \cdot X + 230) = (80 \times 0.440 + 230) = 265.2\,mm > 220.0\,mm \quad \therefore h_{req} = 265.2\,mm$

$h_{use} = 300.0\,mm > h_{req} = 265.2\,mm \quad \therefore$ O.K

⑨ 단면검토

㉠ 검토조건

설계기준강도(f_{ck}) = 25.0MPa , 인장철근 항복강도(f_y) = 400.0MPa

단면폭(b) = 1000mm , 단면높이(h) = 300mm

철근 피복두께(d_c) = 60mm , 유효깊이(d) = 240mm

사용철근량(A_s) = H16@125 = 1588.8㎟

⑩ 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_{ck} \cdot b} = \frac{1588.8 \times 400.0}{0.85 \times 25.0 \times 1000.0} = 29.907\,mm$$

$$\Phi Mn = \Phi\left\{As \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)\right\}$$

$$= 0.85 \times 1588.8 \times 400.0 \times \left(240.0 - \frac{29.907}{2}\right) = 121.568\,kN\cdot m$$

㉠ 휨모멘트 검토

$\Phi Mn = 121.568\,kN\cdot m > Mu = 91.165\,kN\cdot m \quad \therefore$ O.K

⑪ 사용성(균열) 검토

㉠ 탄성계수비(n) = $E_s / E_c = 7.193$

㉡ 중립축 거리(χ) = $-nAs/b + nAs/b\sqrt{[1 + 2bd/(nAs)]} = 66.400$

㉢ 철근응력(f_s) = $M/[A_s \times (d - \chi/3)] = 35.909/[1588.8 \times (240 - 66.400/3)] = 103.744\,MPa$

㉣ 최소 두께(c_c) = $60.0 - 16.0/2 = 52.0\,mm$

㉤ 인장연단 폭(s_1) = $375 \times (210/f_s) - 2.5c_c$

$= 375 \times (210/103.744) - 2.5 \times 52.0 = 629\,mm$

㉥ 인장연단 폭(s_2) = $300 \times (210/f_s)$

$= 300 \times (210/103.744) = 607\,mm$

㉦ 철근 소요중심간격(s_a) = $Min(s_1, s_2) = 607\,mm$

㉧ 철근 평균간격 s = 125.0mm ≤ s_a = 607mm이므로, $\therefore$ O.K

5) 중앙부

① 고정하중

철근콘크리트 : $0.250m \times 25.0kN/m^3 = 6.250kN/m^2$

아스팔트포장 : $0.100m \times 23.0kN/m^3 = 2.300kN/m^2$

$\Sigma w_d = 8.550kN/m^2$

$$M_d = \frac{\Sigma w_d L^2}{16} = \frac{8.550 \times 2.100^2}{16} = 2.357kN\cdot m/m$$

여기서, 계산지간(L) = 2.100m

② 활하중(DB-24 : $P_r = 96\,kN$)

㉠ 충격계수

$$i = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 2.100} = 0.356 > 0.300 \quad \therefore i = 0.300 \text{ 적용}$$

㉡ 활하중

$$M_{\ell+i} = \frac{(L+0.6)P_r}{9.6}(1+i) = \frac{(2.100+0.6)\times 96}{9.6} \times (1 + 0.300) = 35.100kN\cdot m/m$$

연속 바닥판이므로, $M_{\ell+i} = 0.8 \times 35.100 = 28.080kN\cdot m/m$

③ 하중조합

㉠ 계수모멘트

- $M_{u1} = 1.3\,M_d + 2.15\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} = 63.436\,kN\cdot m/m$

㉡ 사용모멘트

- $M = 1.0\,M_d + 1.0\,M_{(\ell+i)} + 1.0\,M_{cf} = 30.437\,kN\cdot m/m$

④ 바닥판의 최소두께

$h_{min} = (30 \cdot L + 130) = (30 \times 2.10 + 130) = 193\,mm < 220.0mm \quad \therefore h_{req} = 220.0mm$

$h_{use} = 250.0mm > h_{req} = 220.0mm \quad \therefore O.K$

⑤ 단면검토

㉠ 검토조건

설계기준강도(f_{ck}) = 25.0MPa , 인장철근 항복강도(f_y) = 400.0MPa

단면폭(b) = 1000mm , 단면높이(h) = 250mm

철근 피복두께(d_c) = 40mm , 유효깊이(d) = 210mm

사용철근량(A_s) = H16@125 = 1588.8㎟

㉡ 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_{ck} \cdot b} = \frac{1588.8 \times 400.0}{0.85 \times 25.0 \times 1000.0} = 29.907\text{mm}$$

$$\Phi Mn = \Phi\left\{As \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)\right\}$$

$$= 0.85 \times 1588.8 \times 400.0 \times \left(210.0 - \frac{29.907}{2}\right) = 105.363\text{kN·m}$$

㉢ 휨모멘트 검토

ΦMn = 105.363kN·m ≥ Mu = 63.436kN·m ∴ O.K

⑥ 사용성(균열) 검토

㉠ 탄성계수비(n) = E_s / E_c = 7.193

㉡ 중립축 거리(χ) = $-nAs/b + nAs/b\sqrt{[1 + 2bd/(nAs)]}$ = 61.5mm

㉢ 철근응력(f_s) = $M/[A_s \times (d - x/3)] = 30.437/[1588.8 \times (210.0 - 61.5/3)] = 101.085$ MPa

㉣ 최소 두께(c_c) = $40.0 - 16/2 = 32.0$ mm

㉤ 인장연단 폭(s_1) = $375 \times (210/f_s) - 2.5c_c$

$= 375 \times (210/101.085) - 2.5 \times 32.00 = 699$mm

㉥ 인장연단 폭(s_2) = $300 \times (210/f_s)$

$= 300 \times (210/101.085) = 623$mm

㉦ 철근 소요중심간격(s_a) = Min(s_1, s_2) = 623mm

㉧ 철근 평균간격 s = 125.0mm ≤ s_a = 623mm이므로, ∴ O.K

6) 바닥판의 구조검토 결과

강도설계법에 의한 바닥판의 단면검토 결과, 휨강도에 대한 계수모멘트의 최소 안전율이 1.333로 산정되어 바닥판은 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

【표 5-1】 바닥판의 단면검토결과

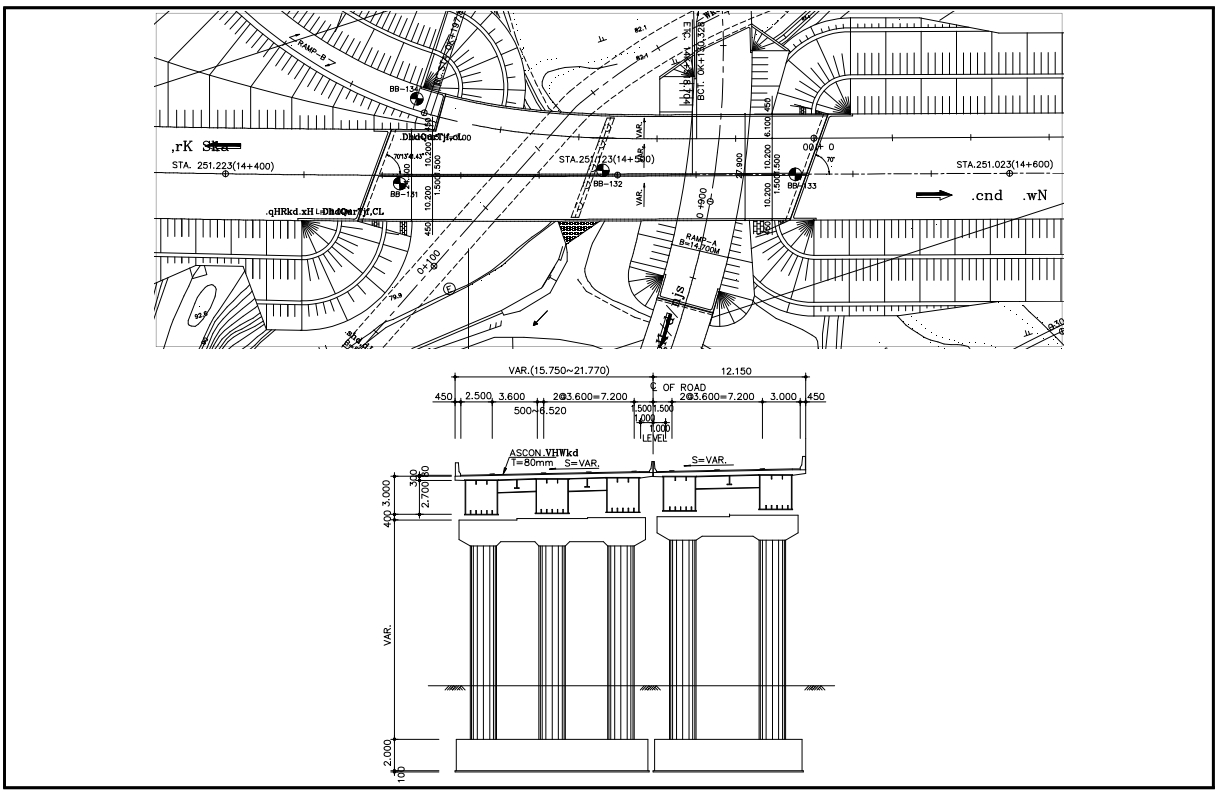
구 분	M_u (kN·m)	ΦM_n (kN·m)	안전율(ΦMn/Mu)	검토결과
캔틸레버부(방호벽측)	80.049	122.167	1.526	O.K
캔틸레버부(중분대측) -마산방향	91.090	122.167	1.341	O.K
캔틸레버부(중분대측) -양평방향	91.165	121.568	1.333	O.K
중앙부	63.436	105.363	1.661	O.K

【표 5-2】 바닥판의 사용성(균열) 검토결과

구 분	M_o (kN·m)	인장응력(f_s) (MPa)	허용응력(f_{sa}) (MPa)	철근 평균간격(s) (mm)	철근 소요중심간격(s_a) (mm)	검토결과
캔틸레버부(방호벽측)	35.909	103.744	240.000	125.000	607.000	O.K
캔틸레버부(중분대측) -마산방향	44.402	128.282	240.000	125.000	484.000	O.K
캔틸레버부(중분대측) -양평방향	44.460	128.448	240.000	125.000	483.000	O.K
중앙부	30.437	101.085	240.000	125.000	623.000	O.K

다. 강박스 거더 구조검토

1) 해석단면



【그림 5-1】 해석단면

2) 하중 산정

① 감곡IC교-마산방향

㉠ 합성전 고정하중

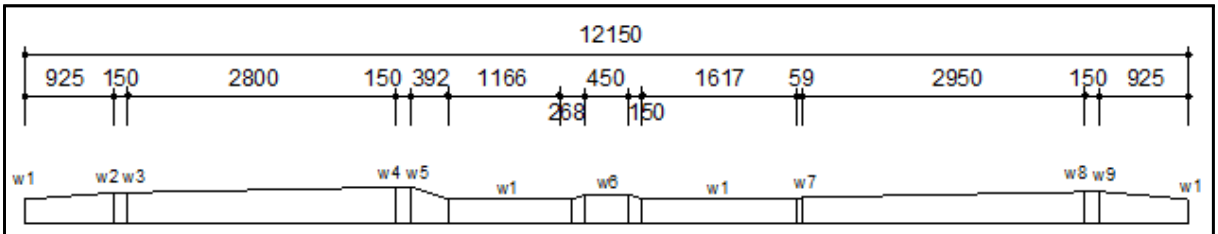
■ 강재 자중 : 프로그램 내에서 자동 고려

◦ 각종 보강재 및 현장이음재 등의 부부재 하중으로 주부재 자중을 41.4% 할증 적용

◦ 총 강재중량 / 모델링 강재중량 = 1.414

■ 바닥판 자중

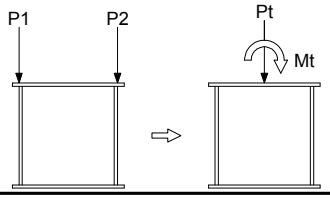
◦ 횡방향 하중분배



W1	0.250 × 25 = 6.250 kN/m	W6	0.300 × 25 = 7.500 kN/m
W2	0.319 × 25 = 7.963 kN/m	W7	0.270 × 25 = 6.738 kN/m
W3	0.322 × 25 = 8.038 kN/m	W8	0.273 × 25 = 6.813 kN/m
W4	0.3378× 25 = 9.438 kN/m	W9	0.329 × 25 = 8.213 kN/m
W5	0.381 × 25 = 9.513 kN/m	W10	0.332 × 25 = 8.288 kN/m

【그림 5-2】 합성전 바닥판 자중 재하도

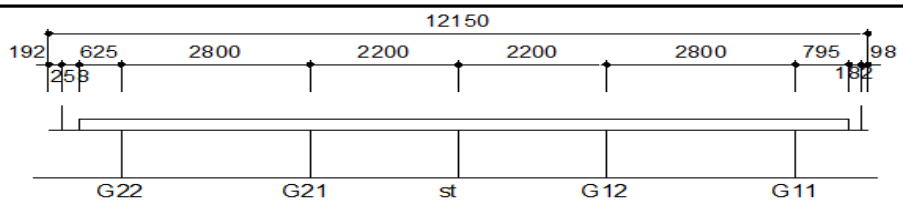
◦ 거더별 작용하중

구 분	거더 폭 (m)	바닥판 자중				기호의 정의
		P1 (kN/m)	P2 (kN/m)	Pt (kN/m)	Mt (kN・m)	
G1	2.800	18.835	17.104	35.939	-2.423	
ST		14.521	-	14.521	-	
G2	2.800	20.579	19.617	40.196	-1.347	

㉡ 합성후 고정하중

합성후 고정하중은 콘크리트 바닥판에 의한 횡분배 효과를 반영하기 위하여 2차원 프레임 모델을 사용하여 반력을 산출한 후 그 반력을 3차원 격자모델에 재하하였다.

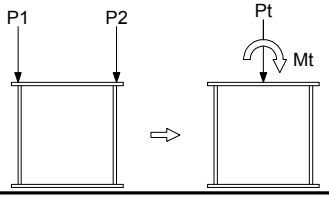
■ 횡방향 하중분배



포장	0.100 × 23 = 2.300 kN/m	방호벽측	8.367kN, 작용점 : 0.192m
중분대측	3.786kN, 작용점 : 0.098m		

【그림 5-3】 합성후 고정하중 재하도

■ 거더별 작용하중

구분	거더폭 (m)	바닥판 자중				기호의 정의
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN·m)	
G1	2.800	8.832	5.750	14.582	-4.319	
ST		5.060	-	5.060	-	
G2	2.800	5.750	13.025	18.775	10.185	

■ 활하중

구 분	활하중			
• 교 폭	• 12.150m			
• 지간장(L)	• 40m + 2@50.0m + 40m = 180m			
• 연석간 교폭(W_c)	• 11.250m			
• 설계 차로수(N)	• 9.1m ≤ W_c < 12.8m ∴ 3차로 재하			
• 설계 차로폭(W)	• 11.250m / 3 = 3.750m > 3.600m 이므로, ∴ W = 3.600m			
• 충격계수(i)	• 제1, 2지간 : 15 / (40+55.0)=0.158 < 0.3 ∴ i = 0.158 적용			
	• 제1 내부지점 : 15 / (40+55.0) = 0.158 < 0.3 ∴ i = 0.158 적용			
• 활하중 크기	표준차로하중(DL-24)		표준트럭하중(DB-24)	
	P_m	108kN	P_f	24 kN
	P_s	156kN	P_r	96 kN
	W_ℓ	12.7kN/m		
• 재하방법	• 해석프로그램의 이동하중해석 기능을 사용 • DB-24, DL-24 재하 • DB-24 또는 DL-24하중에 대하여 독립적으로 1~3개 차로에 경간별로 가장 불리한 부재력이 산출되도록 재하 • 최대 부재력이 3차로 이상의 활하중 동시 재하로 발생하는 경우에는 도로교설계기준(2010년)에 따라 백분율로 감소 - 3차로 동시 재하 : 90% - 4차로 이상 동시 재하 : 75% • 각 CASE별 하중재하도 및 각 거더별 작용하중은 부록 참조.			

② 감곡IC교-양평방향

㉠ 합성전 고정하중

■ 강재 자중 : 프로그램 내에서 자동 고려

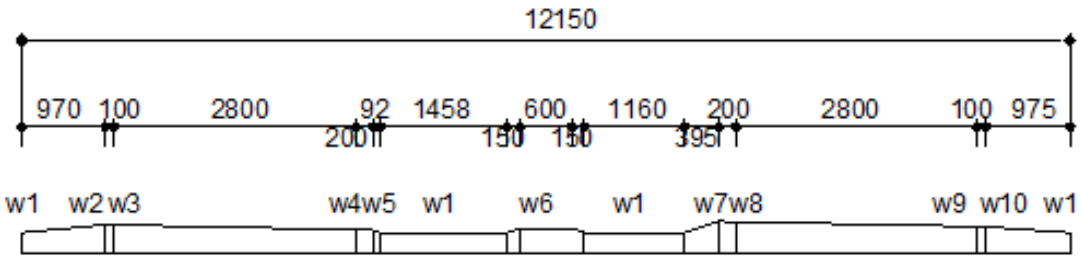
◦ 각종 보강재 및 현장이음재 등의 부부재 하중으로 주부재 자중을 44.1% 할증 적용

◦ 총 강재중량 / 모델링 강재중량 = 1.441

■ 바닥판 자중

◦ 단면 A-A

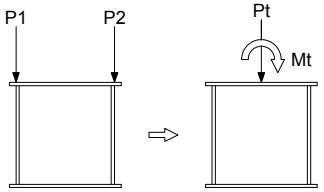
-횡방향 하중분배



W1	0.250	×	25	=	6.250	W6	0.300	×	25	=	7.500
W2	0.343	×	25	=	8.575	W7	0.382	×	25	=	9.538
W3	0.341	×	25	=	8.525	W8	0.378	×	25	=	9.438
W4	0.285	×	25	=	7.115	W9	0.322	×	25	=	8.038
W5	0.281	×	25	=	7.015	W10	0.320	×	25	=	7.988

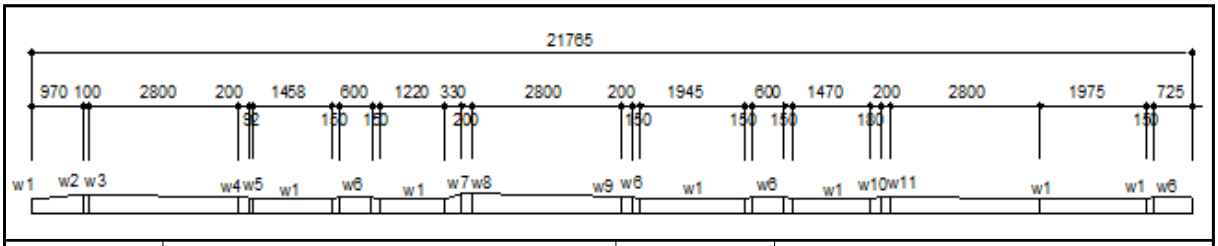
【그림 5-4】 합성전 바닥판 자중 재하도(단면A-A)

-거더별 작용하중

구 분	거더폭 (m)	바닥판 자중				기호의 정의
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN·m)	
G1	2.800	17.640	19.386	37.026	2.444	
ST		14.729	-	14.729	-	
G2	2.800	19.586	20.774	40.360	1.663	

◦ 단면 B-B

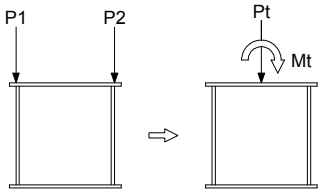
-횡방향 하중분배



W1	0.250	×	25	=	6.250	W7	0.364	×	25	=	9.100
W2	0.343	×	25	=	8.575	W8	0.360	×	25	=	9.000
W3	0.341	×	25	=	8.525	W9	0.304	×	25	=	7.600
W4	0.285	×	25	=	7.115	W10	0.310	×	25	=	7.750
W5	0.281	×	25	=	7.015	W11	0.306	×	25	=	7.650
W6	0.300	×	25	=	7.500						

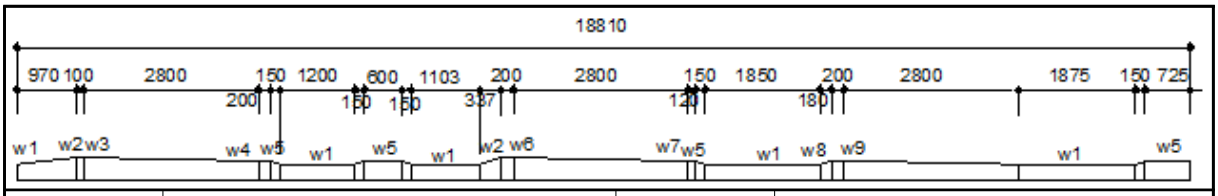
【그림 5-5】 합성전 바닥판 자중 재하도(단면B-B)

-거더별 작용하중

구 분	거더 폭 (m)	바닥판 자중				기호의 정의
		P1 (kN/m)	P2 (kN/m)	Pt (kN/m)	Mt (kN · m)	
G1	2.800	17.640	19.386	37.026	2.444	
ST1	-	14.696	-	14.696	-	
G2	2.800	20.210	19.895	40.105	-0.441	
ST2	-	16.693	-	16.693	-	
G3	2.800	28.153	17.738	45.891	-14.581	

◦ 단면 C-C

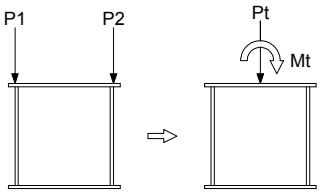
-횡방향 하중분배



W1	0.250	×	25	=	6.250	W6	0.358	×	25	=	8.960
W2	0.362	×	25	=	8.575	W7	0.302	×	25	=	7.560
W3	0.360	×	25	=	8.525	W8	0.310	×	25	=	7.750
W4	0.304	×	25	=	7.115	W9	0.306	×	25	=	7.650
W5	0.300	×	25	=	7.015						

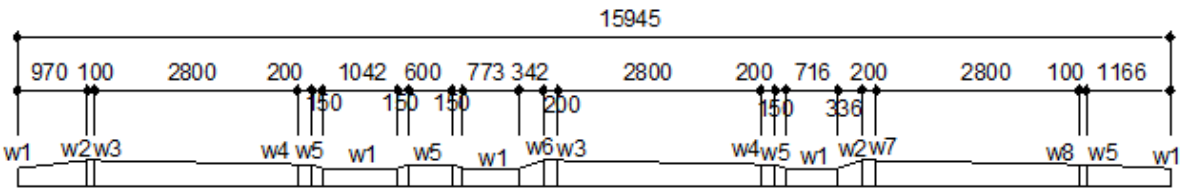
【그림 5-6】 합성전 바닥판 자중 재하도(단면C-C)

-거더별 작용하중

구 분	거더 폭 (m)	바닥판 자중				기호의 정의
		P1 (kN/m)	P2 (kN/m)	Pt (kN/m)	Mt (kN・m)	
G1	2.800	17.843	20.333	38.176	3.486	
ST1	-	13.731	-	13.731	-	
G2	2.800	19.239	19.486	38.725	0.346	
G3	2.800	27.528	18.353	45.881	-12.845	

◦ 단면 D-D

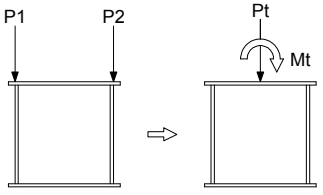
-횡방향 하중분배



W1	0.250	×	25	=	6.250	W6	0.300	×	25	=	7.500
W2	0.362	×	25	=	9.050	W7	0.364	×	25	=	9.100
W3	0.360	×	25	=	9.000	W8	0.358	×	25	=	8.950
W4	0.304	×	25	=	7.600	W9	0.302	×	25	=	7.550

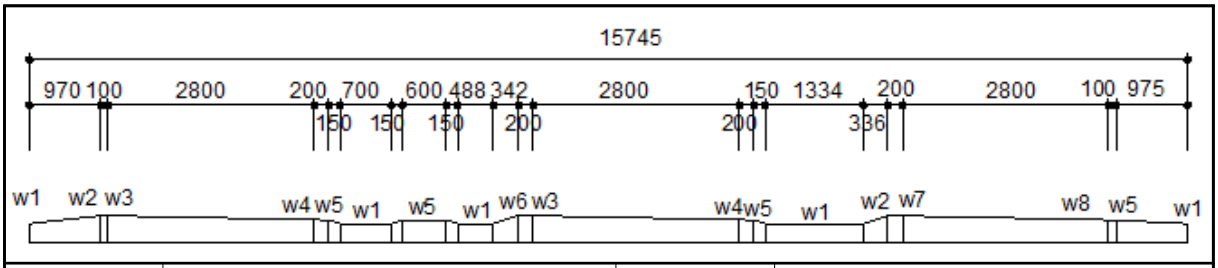
【그림 5-7】 합성전 바닥판 자중 재하도(단면D-D)

-거더별 작용하중

구 분	거더 폭 (m)	바닥판 자중				기호의 정의
		P1 (kN/m)	P2 (kN/m)	Pt (kN/m)	Mt (kN・m)	
G1	2.800	17.351	20.333	37.684	4.175	
ST1	-	12.231	-	12.231	-	
G2	2.800	16.641	18.540	35.181	2.659	
G3	2.800	19.929	17.915	37.844	-2.820	

◦ 단면 E-E

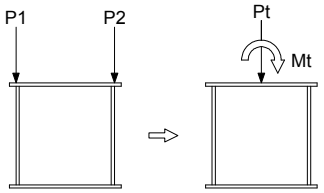
-횡방향 하중분배



W1	0.250	×	25	=	6.250	W6	0.300	×	25	=	7.500
W2	0.362	×	25	=	9.050	W7	0.364	×	25	=	9.100
W3	0.360	×	25	=	9.000	W8	0.358	×	25	=	8.950
W4	0.304	×	25	=	7.600	W9	0.302	×	25	=	7.550

【그림 5-8】 합성전 바닥판 자중 재하도(단면E-E)

-거더별 작용하중

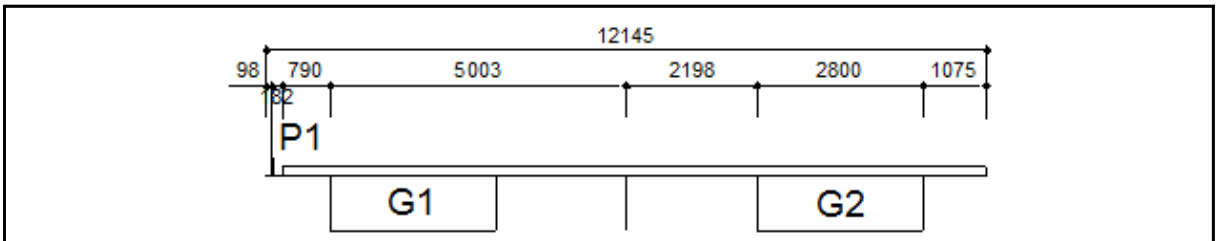
구 분	거더 폭 (m)	바닥판 자중				기호의 정의
		P1 (kN/m)	P2 (kN/m)	Pt (kN/m)	Mt (kN · m)	
G1	2.800	21.834	19.838	41.672	-2.794	
G2	2.800	17.696	23.465	41.161	8.077	
G3	2.800	18.490	20.249	38.739	2.463	

㉡ 합성후 고정하중

합성후 고정하중은 콘크리트 바닥판에 의한 횡분배 효과를 반영하기 위하여 2차원 프레임 모델을 사용하여 반력을 산출한 후 그 반력을 3차원 격자모델에 재하하였다.

◦ 단면 A-A

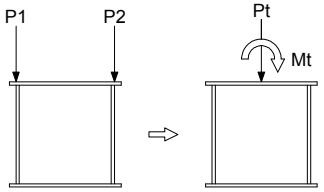
-횡방향 하중분배



포장	0.100 × 23 = 2.300 kN/m	중분대측	3.787kN, 작용점 : 0.098m

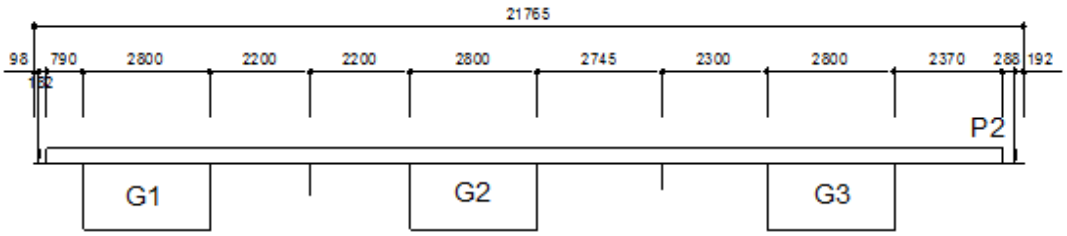
【그림 5-9】 합성후 고정하중 재하도(단면A-A)

-거더별 작용하중

구 분	거더폭 (m)	바닥판 자중				기호의 정의
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN·m)	
G1	2.800	8.824	5.750	14.574	-4.304	
ST	-	5.060	-	5.060	-	
G2	2.800	5.750	5.693	11.443	-0.080	

◦ 단면 B-B

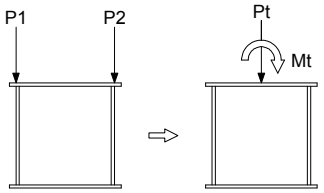
-횡방향 하중분배



포장	0.100 × 23 = 2.300 kN/m	방호벽	8.365kN, 작용점 : 0.192m
중분대측	3.787kN, 작용점 : 0.098m		

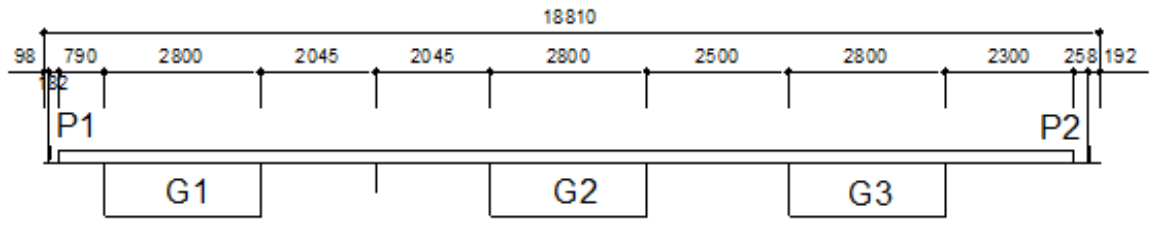
【그림 5-10】 합성후 고정하중 재하도(단면B-B)

-거더별 작용하중

구 분	거더폭 (m)	바닥판 자중				기호의 정의
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN·m)	
G1	2.800	8.824	5.750	14.574	-4.304	
ST1		5.060	-	5.060	-	
G2	2.800	5.750	5.693	11.443	-0.080	
ST2		5.802	-	5.802	-	
G3	2.800	5.865	17.036	22.901	15.639	

◦ 단면 C-C

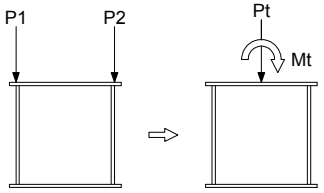
-횡방향 하중분배



포장	0.100 × 23 = 2.300 kN/m	방호벽	8.365kN, 작용점 : 0.192m
중분대측	3.787kN, 작용점 : 0.098m		

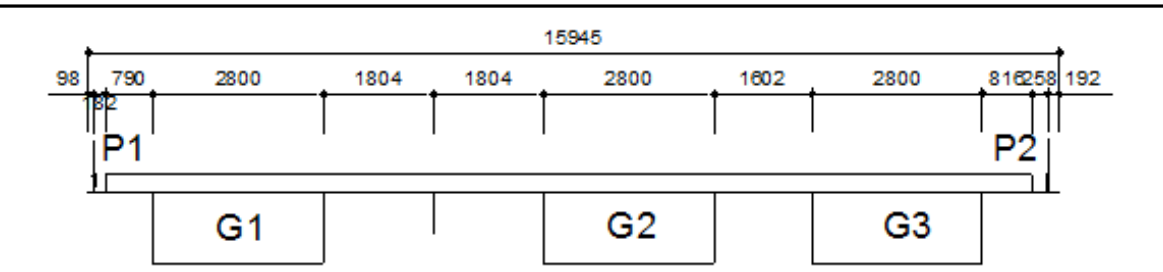
【그림 5-11】 합성후 고정하중 재하도(단면C-C)

-거더별 작용하중

구 분	거더폭 (m)	바닥판 자중				기호의 정의
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN·m)	
G1	2.800	8.824	5.750	14.574	-4.304	
ST1		5.060	-	5.060	-	
G2	2.800	5.572	6.095	11.667	0.732	
G3	2.800	6.095	16.875	22.970	15.092	

◦ 단면 D-D

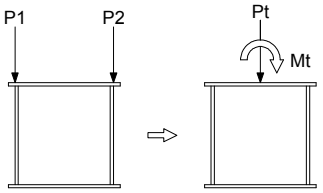
-횡방향 하중분배



포장	0.100 × 23 = 2.300 kN/m	방호벽	8.365kN, 작용점 : 0.192m
중분대측	3.787kN, 작용점 : 0.098m		

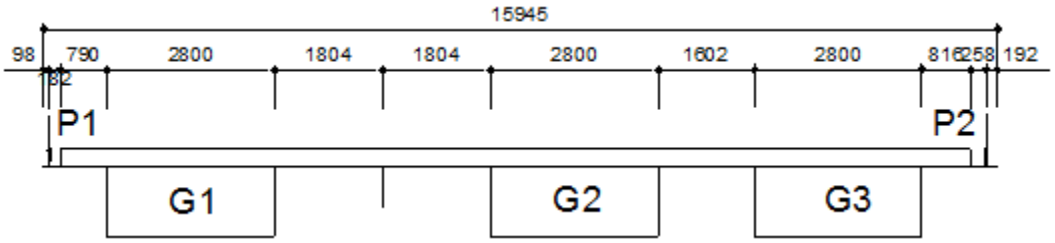
【그림 5-12】 합성후 고정하중 재하도(단면D-D)

-거더별 작용하중

구 분	거더폭 (m)	바닥판 자중				기호의 정의
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN·m)	
G1	2.800	8.824	5.295	14.119	-4.941	
ST1	-	4.149	-	4.149	-	
G2	2.800	5.295	5.062	10.357	-0.326	
G3	2.800	5.062	13.462	18.524	11.760	

◦ 단면 E-E

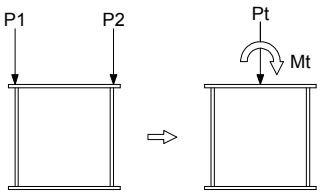
-횡방향 하중분배



포장	0.100 × 23 = 2.300 kN/m	방호벽	8.365kN, 작용점 : 0.192m
중분대측	3.787kN, 작용점 : 0.098m		

【그림 5-13】 합성후 고정하중 재하도(단면E-E)

-거더별 작용하중

구 분	거더폭 (m)	바닥판 자중				기호의 정의
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN·m)	
G1	2.800	8.824	6.647	15.471	-3.048	
G2	2.800	6.647	5.773	12.420	-1.224	
G3	2.800	5.773	13.022	18.795	10.149	

■ 활하중

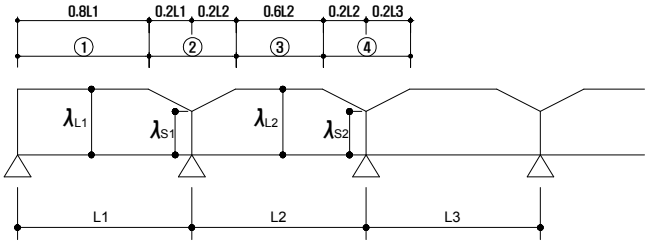
<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="4">활하중</th></tr>
<tr><td>• 교 폭</td><td colspan="4">• 15.750~21.770m</td></tr>
<tr><td>• 지간장(L)</td><td colspan="4">• 40m + 2@50.0m + 40m = 180m</td></tr>
<tr><td>• 연석간 교폭(W_c)</td><td colspan="4">• 11.865m ~ 21.035m</td></tr>
<tr><td>• 설계 차로수(N)</td><td colspan="4">• 9.1m ≤ W_c < 12.8m ∴ 3차로 재하
• 20.1m ≤ W_c < 23.8m ∴ 6차로 재하</td></tr>
<tr><td>• 설계 차로폭(W)</td><td colspan="4">• 11.865m / 2 = 3.955m > 3.600m 이므로, ∴ W = 3.600m
• 21.035m / 6 = 3.506m < 3.600m 이므로, ∴ W = 3.506m</td></tr>
<tr><td rowspan="2">• 충격계수(i)</td><td colspan="4">• 제1, 2지간 : 15 / (40+55.0)=0.158 < 0.3 ∴ i = 0.158 적용</td></tr>
<tr><td colspan="4">• 제1 내부지점 : 15 / (40+55.0) = 0.158 < 0.3 ∴ i = 0.158 적용</td></tr>
<tr><td rowspan="4">• 활하중 크기</td><td colspan="2">표준차로하중(DL-24)</td><td colspan="2">표준트럭하중(DB-24)</td></tr>
<tr><td>P_m</td><td>108kN</td><td>P_f</td><td>24 kN</td></tr>
<tr><td>P_s</td><td>156kN</td><td>P_r</td><td>96 kN</td></tr>
<tr><td>W_ℓ</td><td>12.7kN/m</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>• 재하방법</td><td colspan="4">• 해석프로그램의 이동하중해석 기능을 사용
• DB-24, DL-24 재하
• DB-24 또는 DL-24하중에 대하여 독립적으로 1~3개 차로에 경간별로 가장 불리한 부재력이 산출되도록 재하
• 최대 부재력이 3차로 이상의 활하중 동시 재하로 발생하는 경우에는 도로교설계기준(2010년)에 따라 백분율로 감소
- 3차로 동시 재하 : 90%
- 4차로 이상 동시 재하 : 75%
• 각 CASE별 하중재하도 및 각 거더별 작용하중은 부록 참조.</td></tr>
</table>

3) 플랜지 및 바닥판의 유효폭 계산

전단지연(Shear Lag) 현상의 영향으로 인한 플랜지 및 바닥판의 유효폭은 다음과 같으며, 단면응력 검토 시 적용하였다.(상세한 계산과정은 부록 참조)

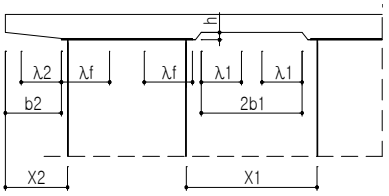
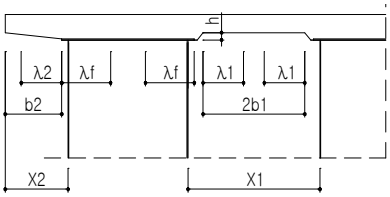
① 플랜지 유효폭

【표 5-3】 플랜지의 유효폭 산정

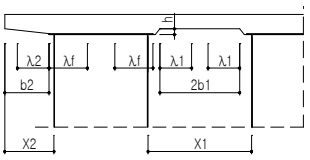
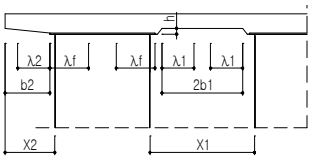
구 분	플랜지(m)		비 고
	G1	G2	
제1, 2지간 중앙부	3.000	3.000	
제1지간 지점부	2.649	2.649	상부 : 복부간격 2b = 2.800m , 플랜지돌출폭 be = 0.100m 하부 : 복부간격 2b = 2.800m , 플랜지돌출폭 be = 0.100m L1 = 55.00m, L2 = 55.00m

② 바닥판 유효폭

【표 5-4】 바닥판의 유효폭 산정(마산방향)

구 분	바닥판(m)	
	G1	G2
개 요	 X_1=4.400m, X_2=1.075m h=0.05m, b_e=0.100m	 X_1=4.400m, X_2=1.075m h=0.05m, b_e=0.100m
제1, 2지간 중앙부	6.025	6.025
제1지간 지점부	5.204	5.204

【표 5-5】 바닥판의 유효폭 산정(양평방향)

구 분	바닥판(m)	
	G1	G2
개 요	 X_1=4.195m, X_2=1.070m h=0.05m, b_e=0.100m	 X_1=4.195m, X_2=1.070m h=0.05m, b_e=0.100m
제1지간 중앙부	5.918	5.918
제1지간 지점부	4.956	4.956
제2지간 중앙부	5.332	5.332

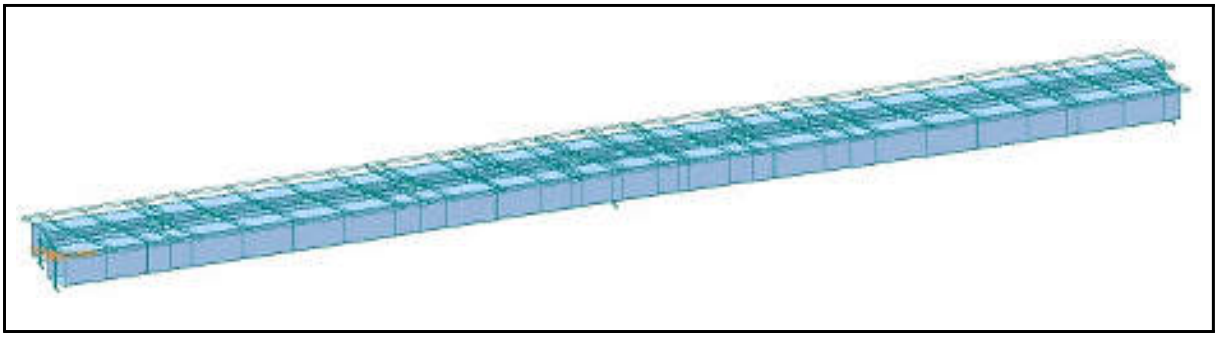
4) 모델링 및 단면 제정수

① 모델링

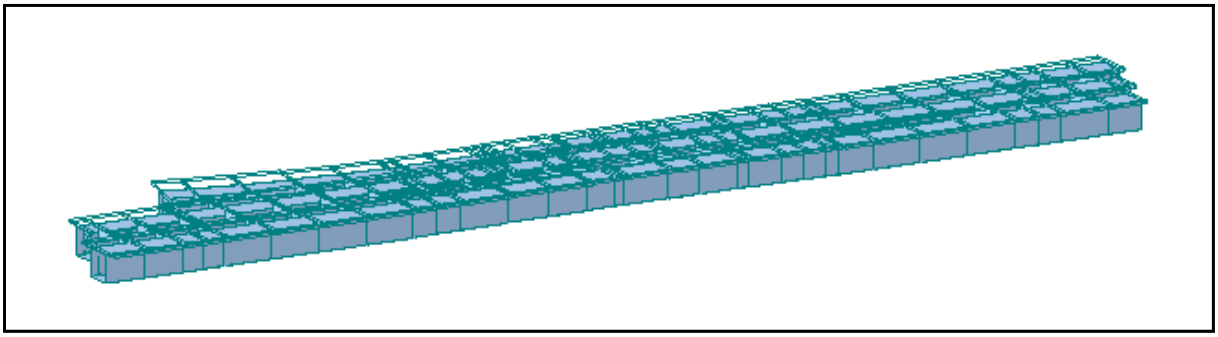
해석모델은 3차원 격자모델을 적용하였으며, 보요소로 이상화된 각 구조요소의 연결은 부재편심(Offset)이 반영되도록 하였다. 또한 시공단계별로 대상교량의 실제 강성과 최대한 근접할 수 있도록 모델링하였으며, 기타 세부내용은 다음과 같다.

㉠ 합성전 모델링시 바닥판은 단면의 강성에 기여하는 바 없이 고정하중만을 추가시키는 역할만을 함으로 바닥판에 의한 횡분배 효과는 고려하지 않는 것으로 하였다. 활하중은 해석프로그램 내의 이동하중해석 기능을 사용하였으며 도로교 설계기준을 참조하여 가장 불리한 하중조합이 되도록 설정하였다.

㉡ 경계조건은 현장조사시 확인된 각 지점의 가동, 고정상태를 고려하여 설정하였다.



【그림 5-14】 해석모델링(마산방향)



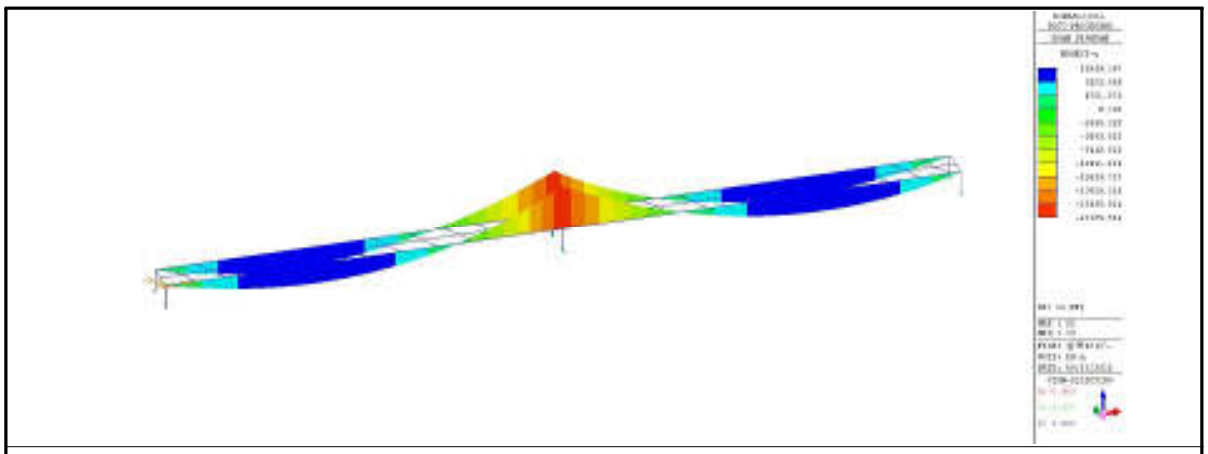
【그림 5-15】 해석모델링(양평방향)

5) 구조해석 결과

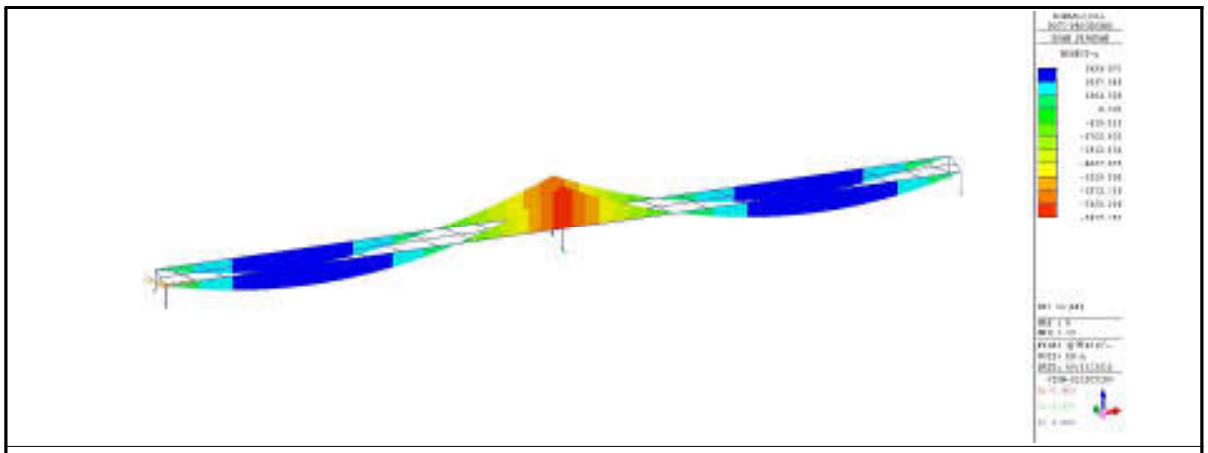
① 단면력도

㉠ 마산방향

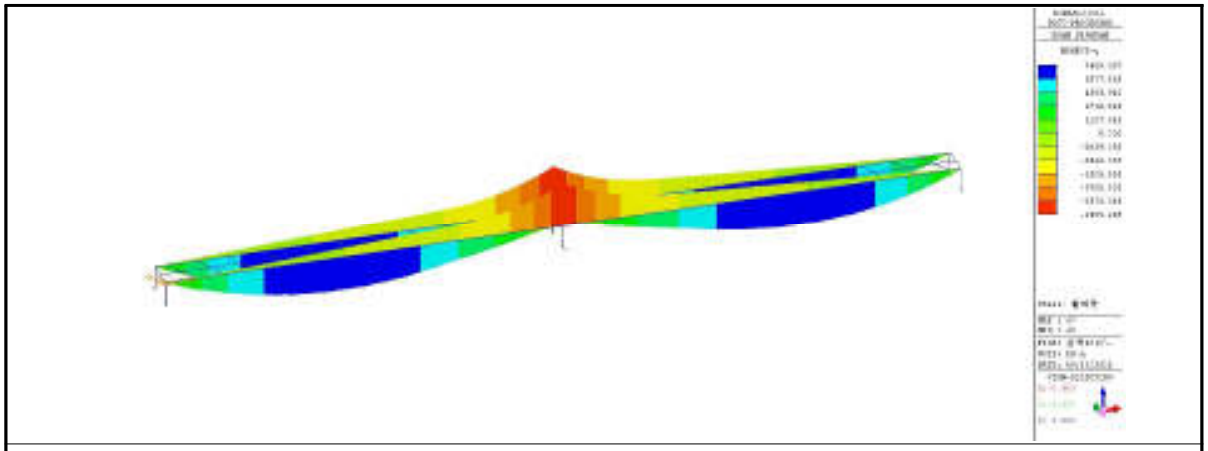
■ 휨모멘트



합성전



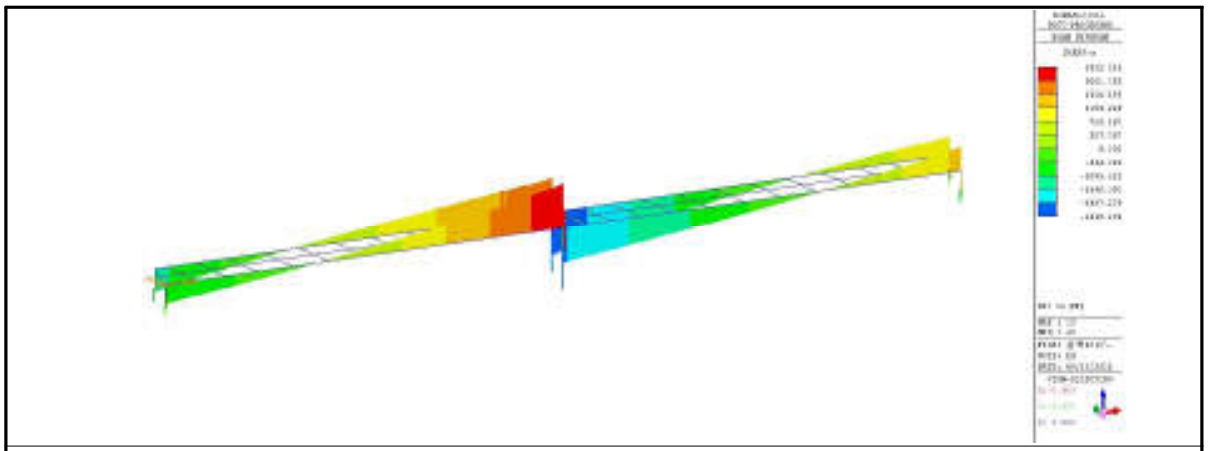
합성후



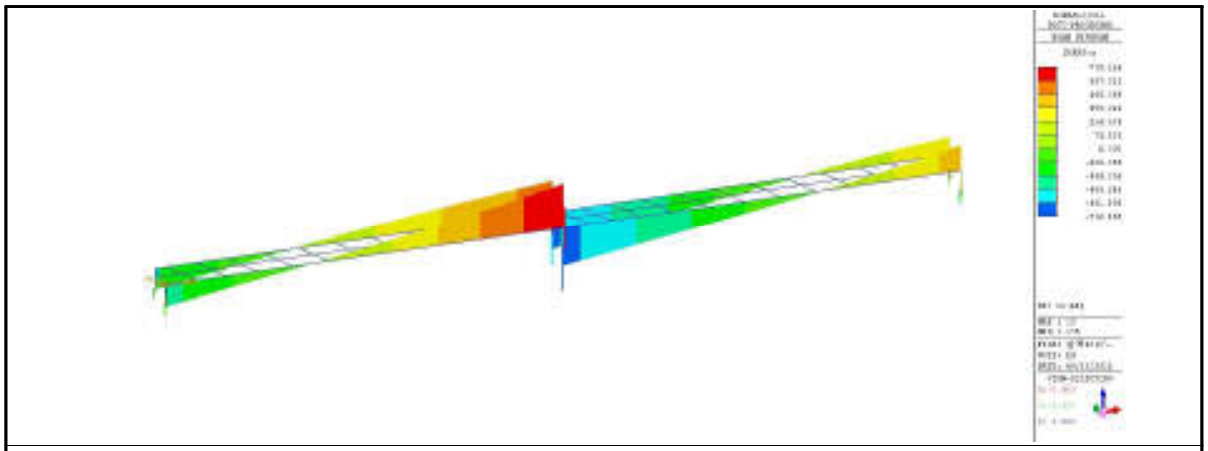
활하중(충격 포함)

【그림 5-16】 휨모멘트(마산방향)

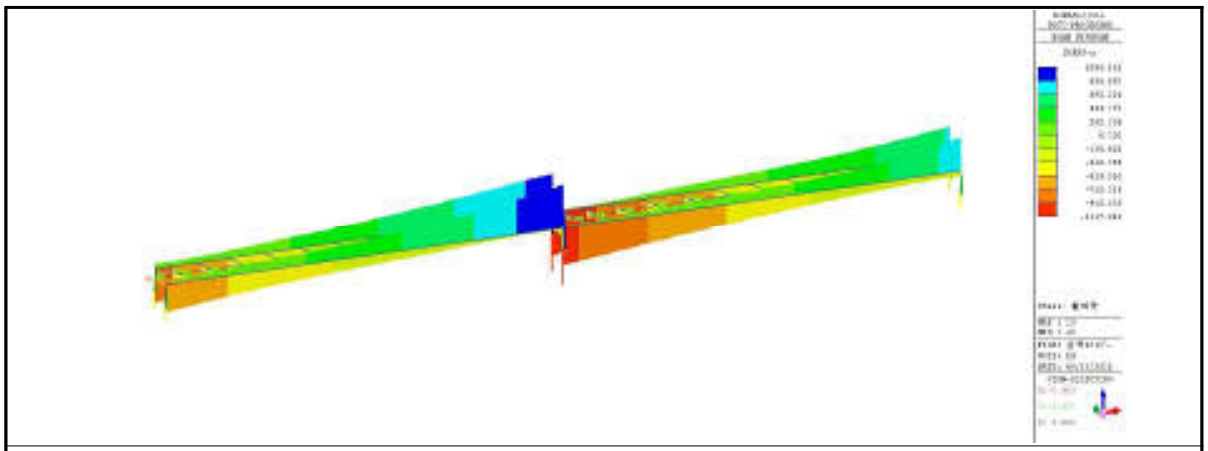
■ 전단력



합성전 전단력



합성후

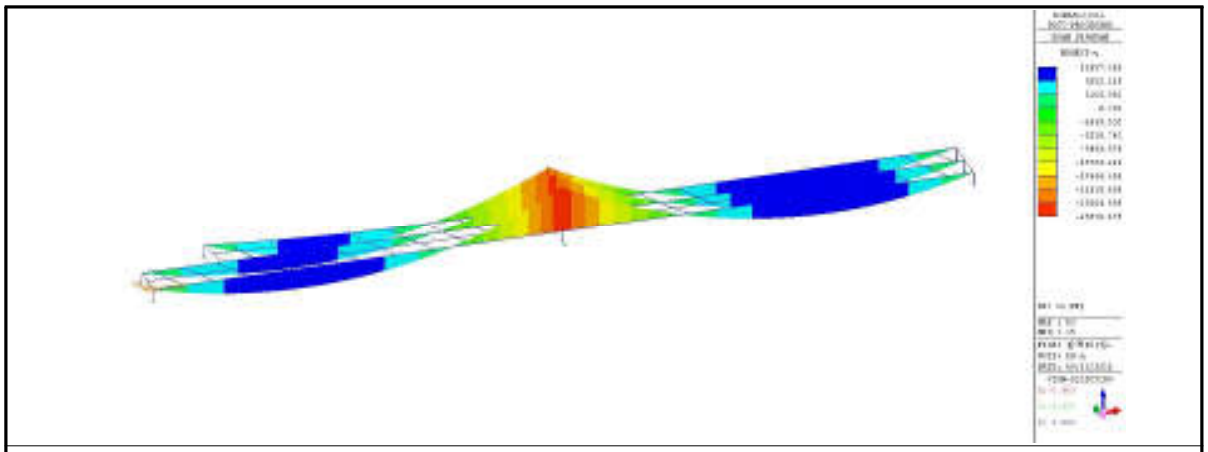


활하중(충격 포함)

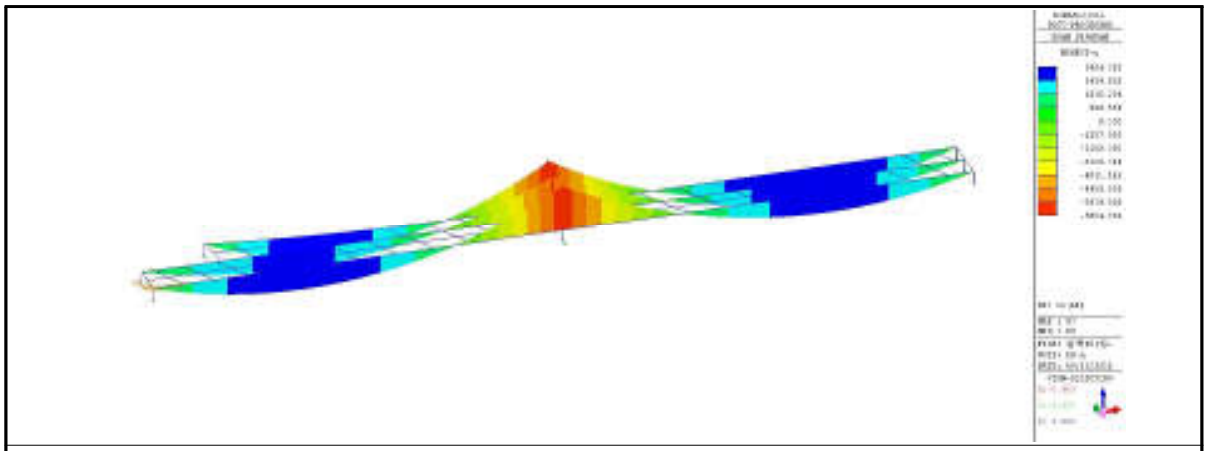
【그림 5-17】 전단력(마산방향)

㉡ 양평방향

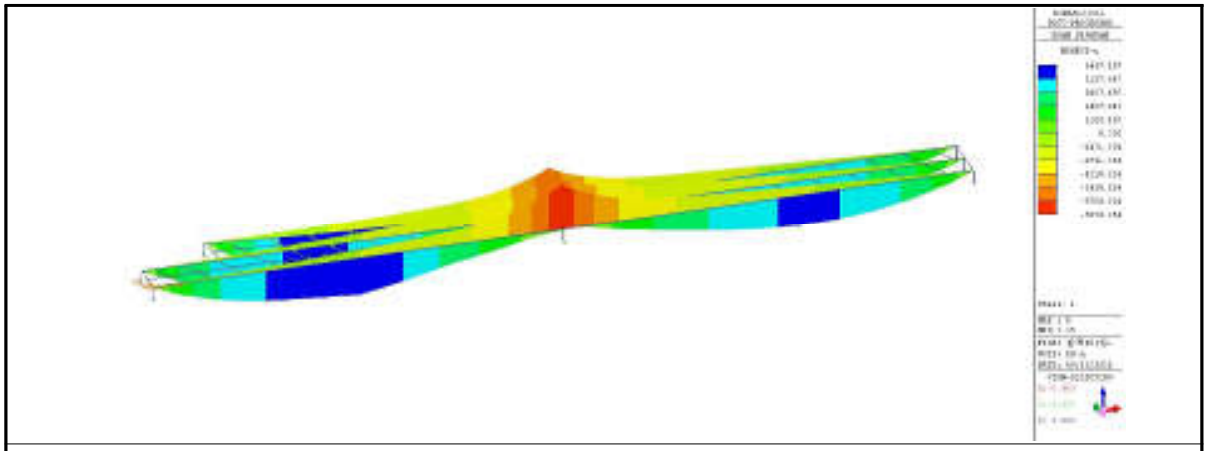
■ 휨모멘트



합성전



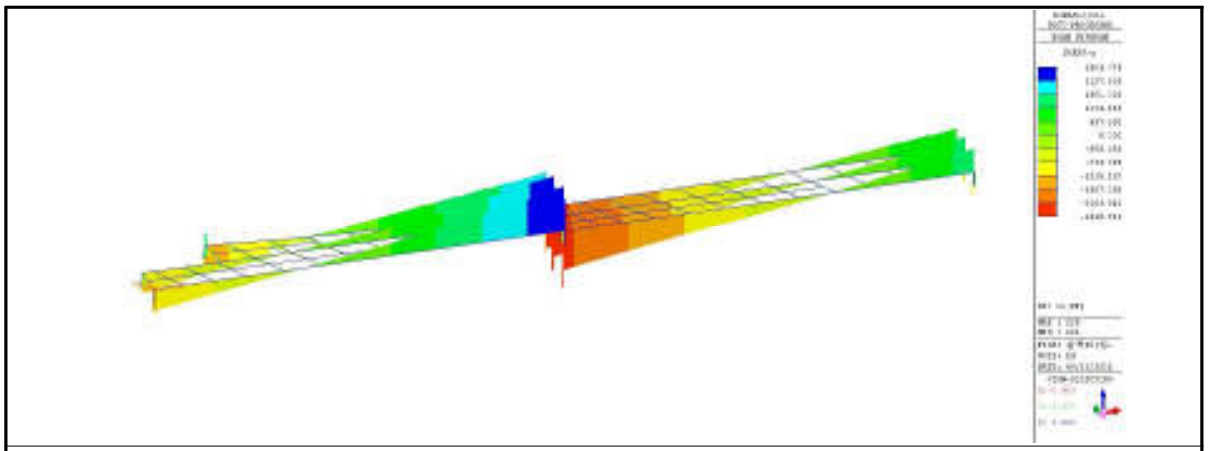
합성후



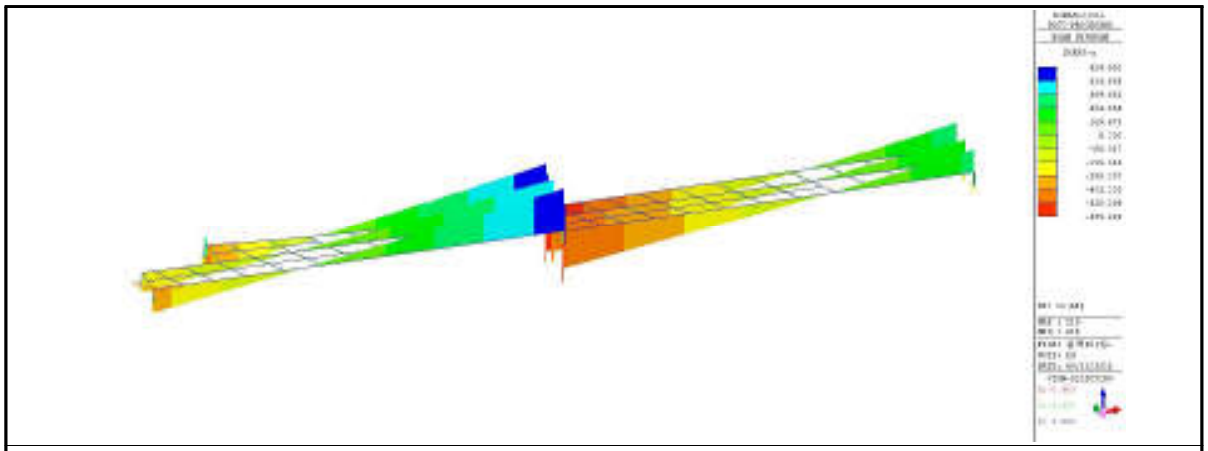
활하중(충격 포함)

【그림 5-18】 휨모멘트(양평방향)

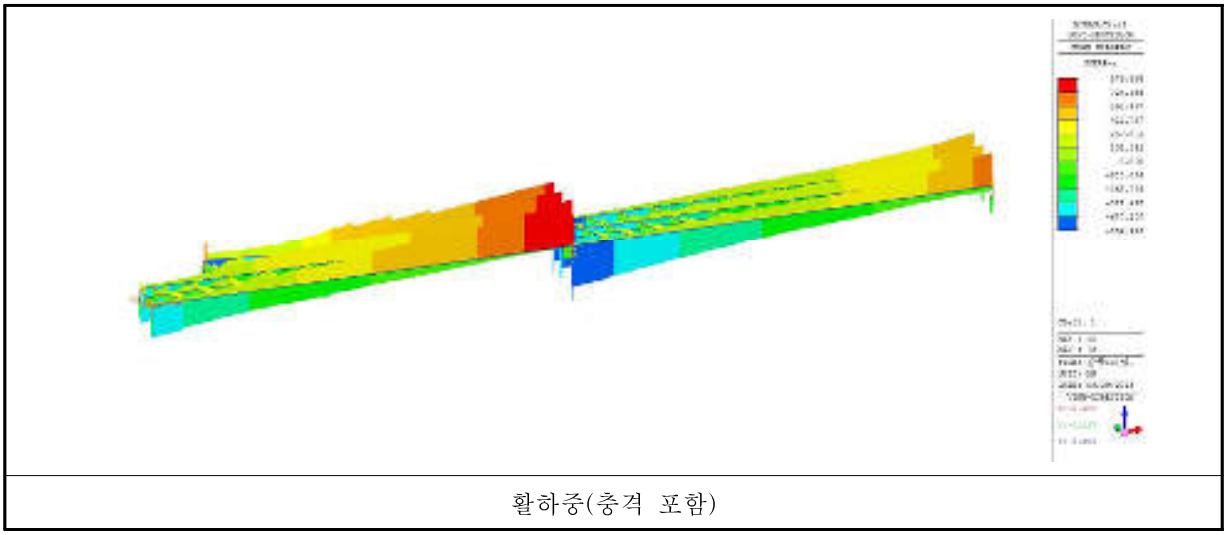
■ 전단력



합성전 전단력



합성후



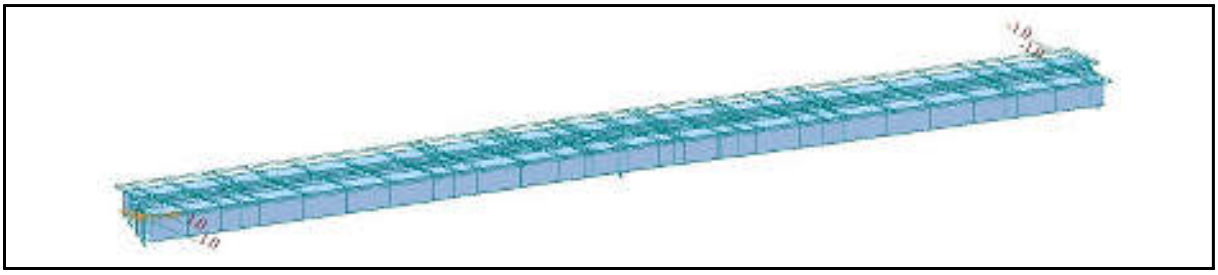
활하중(충격 포함)

【그림 5-19】 전단력(양평방향)

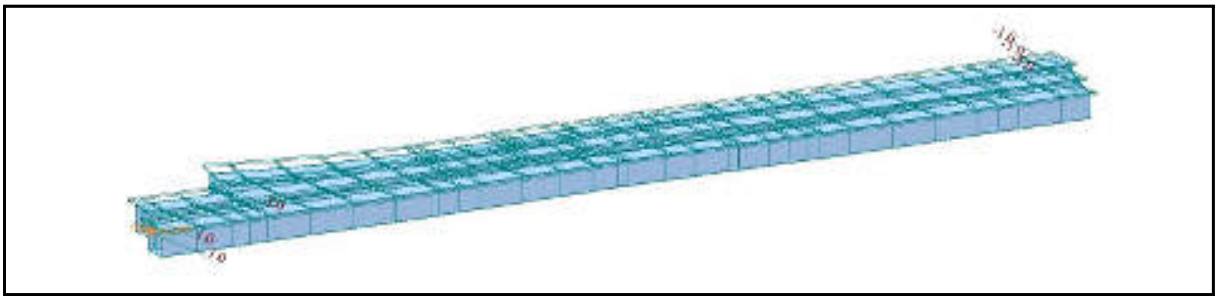
② 2차 부정정력에 대한 영향 검토

콘크리트-강재 합성형 교량에서는 고정하중과 활하중에 의한 응력 이외에 건조수축, 크리프, 강재-콘크리트 온도차에 의한 응력이 발생한다. 특히, 강합성형교가 2경간 이상의 연속교일 경우에는 건조수축, 크리프, 온도차에 의해 부정정력이 추가로 발생되며 이와 같은 하중을 2차 모멘트라고 한다.

부정정계에서 2차 모멘트를 구하기 위하여 해석모델 교량의 양단에 단위 모멘트를 작용시켜 각 절점에서의 모멘트(이 값을 영향계수 k라 함)를 구하여 이를 단면의 응력 검토시에 이용하였다.



【그림 5-20】 2차 부정정력에 대한 영향 검토(마산방향)



【그림 5-21】 2차 부정정력에 대한 영향 검토(양평방향)

③ 단면력 산정결과

㉠ 마산방향

■ 경간(S1~S2) 정모멘트부

【표 5-6】 경간(S1~S2) 정모멘트부 단면력 산정결과(마산방향)

구 분		합 성 전 고정하중	합 성 후 고정하중	활하중 (충격포함)	합 계
S1	휨모멘트(kN・m)	11503.690	3528.010	7179.590	22211.290
	전단력(kN)	-5.820	-10.880	278.430	261.730
	비틀림모멘트(kN・m)	-819.400	-115.510	340.050	-594.860
S2	휨모멘트(kN・m)	11621.320	3573.390	7264.420	22459.130
	전단력(kN)	-12.610	-0.290	304.140	291.240
	비틀림모멘트(kN・m)	-858.970	-200.200	452.960	-606.210

■ 지점부(P1) 부모멘트부

【표 5-7】 지점부(P1) 부모멘트부 단면력 산정결과

구 분		합 성 전 고정하중	합 성 후 고정하중	활하중 (충격포함)	합 계
P1	휨모멘트(kN・m)	-26461.630	-7462.480	-9955.190	-43879.300
	전단력(kN)	-2448.210	-657.270	-1117.760	-4223.240
	비틀림모멘트(kN・m)	291.050	173.440	-1108.940	-644.450

㉡ 양평방향

■ 경간(S1~S2) 정모멘트부

【표 5-8】 경간(S1~S2) 정모멘트부 단면력 산정결과(마산방향)

구 분		합 성 전 고정하중	합 성 후 고정하중	활하중 (충격포함)	합 계
S1	휨모멘트(kN・m)	12351.430	3262.950	5612.670	21227.050
	전단력(kN)	-11.220	-2.460	252.350	238.670
	비틀림모멘트(kN・m)	-570.470	-82.560	259.230	-393.800
S2	휨모멘트(kN・m)	12524.840	2922.230	5239.970	20687.040
	전단력(kN)	20.900	9.890	247.650	278.440
	비틀림모멘트(kN・m)	-774.310	-98.910	239.360	-633.860

■ 지점부(P1) 부모멘트부

【표 5-9】 지점부(P1) 부모멘트부 단면력 산정결과

구 분		합 성 전 고정하중	합 성 후 고정하중	활하중 (충격포함)	합 계
P1	휨모멘트(kN · m)	-28870.180	-6703.400	-8071.050	-43644.630
	전단력(kN)	2579.610	590.510	-17.380	3152.740
	비틀림모멘트(kN · m)	-350.830	-108.890	-979.870	-1439.590

6) 강박스 거더의 응력 검토

강박스 거더에 대한 응력검토는 내·외측경간 최대 정모멘트부 및 내·외측 지점부 최대 부모멘트부 단면에 대하여 실시하였으며, 이에 대한 상세 검토결과는 부록에 첨부하였다.

하중종류1	합성전 고정하중	**하중종류5**	건조수축
하중종류2	합성후 고정하중	**하중종류6**	온도차
하중종류3	활하중	**하중종류7**	풍하중
하중종류4	크리프		

① 마산방향

㉠ 경간(S1~S2) 정모멘트부

■ S1-G1(단면-31)

◦ 휨응력

【표 5-10】 경간(S1) 정모멘트부 휨응력 검토결과

하중조합	휨 응 력				안전율	
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)			
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	61.725	-65.748	190.000	190.000	3.078	2.890
1+2+3	77.391	-124.127	190.000	190.000	2.455	1.531
1+2+3+4	82.225	-122.543	218.500	190.000	2.657	1.550
1+2+3+4+5	101.115	-116.895	218.500	190.000	2.161	1.625
1+2+3+4+5+6	115.699	-111.375	247.000	218.500	2.135	1.962
1+2+3+4+5-6	86.530	-122.414	247.000	218.500	2.855	1.785
1+2+3+4+5+7	101.284	-117.526	237.500	237.500	2.345	2.021
1+2+3+4+5+6+7	115.869	-112.006	256.500	256.500	2.214	2.290
1+2+3+4+5-6+7	86.699	-123.045	256.500	256.500	2.958	2.085

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

◦ 전단 및 비틀림

$$\nu = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2Ft_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2F_v t_w)$$

$$= 6.542\,\mathrm{MPa} \quad < \quad \nu_a = 110.000\,\mathrm{MPa} \quad \therefore \text{ O.K}$$

◦ 합성응력의 검토

-상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{115.699}{247.000}\right)^2 + \left(\frac{6.542}{110.000}\right)^2 = 0.219 + 0.004 = 0.223 \quad < \quad 1.2 \quad \therefore \text{ O.K}$$

-하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{-124.127}{-190.000}\right)^2 + \left(\frac{6.542}{110.000}\right)^2 = 0.427 + 0.004 = 0.430 \quad < \quad 1.2 \quad \therefore \text{ O.K}$$

■ S2-G1(단면-48)

◦ 휨응력

【표 5-11】 경간(S2) 정모멘트부 휨응력 검토결과

하중조합	휨 응 력				안전율	
	작용응력(㎫)		허용응력(㎫)			
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	62.356	-66.421	190.000	190.000	3.047	2.861
1+2+3	77.495	-124.753	190.000	190.000	2.452	1.523
1+2+3+4	82.347	-123.063	218.500	190.000	2.653	1.544
1+2+3+4+5	101.023	-117.114	218.500	190.000	2.163	1.622
1+2+3+4+5+6	115.473	-111.322	247.000	218.500	2.139	1.963
1+2+3+4+5-6	86.572	-122.907	247.000	218.500	2.853	1.778
1+2+3+4+5+7	101.206	-117.821	237.500	237.500	2.347	2.016
1+2+3+4+5+6+7	115.657	-112.028	256.500	256.500	2.218	2.290
1+2+3+4+5-6+7	86.756	-123.613	256.500	256.500	2.957	2.075

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

◦ 전단 및 비틀림

$$\nu = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2Ft_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2F_v t_w)$$

$$= 7.013\,\mathrm{MPa} \quad < \quad \nu_a = 110.000\,\mathrm{MPa} \quad \therefore \text{ O.K}$$

◦ 합성응력의 검토

-상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2+\left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2=\left(\frac{115.473}{247.000}\right)^2+\left(\frac{7.013}{110.000}\right)^2=0.219+0.004=0.223\ <\ 1.2\quad\therefore\ O.K$$

-하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2+\left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2=\left(\frac{-124.753}{-190.000}\right)^2+\left(\frac{7.013}{110.000}\right)^2=0.431+0.004=0.435\ <\ 1.2\quad\therefore\ O.K$$

㉡ 지점부 부모멘트부

■ P1-G1(단면-68)

◦ 휨응력

【표 5-12】 지점(P1) 부모멘트부 휨응력 검토결과

하중조합	휨 응 력				안전율	
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)			
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-96.874	92.635	190.00	190.00	1.961	2.051
1+2+3	-163.731	162.209	190.00	190.00	1.160	1.171
1+2+3+4	-166.304	150.870	190.00	190.00	1.142	1.259
1+2+3+4+5	-162.654	170.305	190.00	190.00	1.168	1.116
1+2+3+4+5+6	-155.140	193.464	218.50	218.50	1.408	1.129
1+2+3+4+5-6	-170.168	147.146	218.50	218.50	1.284	1.485
1+2+3+4+5+7	-164.253	171.969	256.50	256.50	1.562	1.492
1+2+3+4+5+6+7	-156.739	195.129	256.50	256.50	1.636	1.315
1+2+3+4+5-6+7	-171.767	148.810	256.50	256.50	1.493	1.724

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

◦ 전단 및 비틀림

$$\nu=(V_s+V_{sc}+V_v)/A_w+M_{st}/(2Ft_w)+(M_{sct}+M_{vt})/(2F_vt_w)$$

$$=24.895\,MPa\ <\ \nu_a=110.000\,MPa\quad\therefore\ O.K$$

◦ 합성응력의 검토

-상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2+\left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2=\left(\frac{-166.304}{190.000}\right)^2+\left(\frac{24.895}{110.000}\right)^2=0.766+0.051=0.817\ <\ 1.2\quad\therefore\ O.K$$

-하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2+\left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2=\left(\frac{170.305}{190.000}\right)^2+\left(\frac{24.895}{110.000}\right)^2=0.803+0.051=0.855\ <\ 1.2\quad\therefore\ O.K$$

② 양평방향

㉠ 경간(S1) 정모멘트부

■ S1-G1(단면-7)

◦ 휨응력

【표 5-13】 경간(S1) 정모멘트부 휨응력 검토결과

하중조합	휨 응 력				안전율	
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)			
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	66.273	-70.594	190.000	190.000	2.867	2.691
1+2+3	79.348	-118.613	190.000	190.000	2.395	1.602
1+2+3+4	83.792	-117.051	218.500	190.000	2.608	1.623
1+2+3+4+5	102.258	-111.091	218.500	190.000	2.137	1.710
1+2+3+4+5+6	116.652	-105.298	247.000	218.500	2.117	2.075
1+2+3+4+5-6	87.863	-116.884	247.000	218.500	2.811	1.869
1+2+3+4+5+7	102.330	-111.354	237.500	237.500	2.321	2.133
1+2+3+4+5+6+7	116.724	-105.561	256.500	256.500	2.197	2.430
1+2+3+4+5-6+7	87.935	-117.147	256.500	256.500	2.917	2.190

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

◦ 전단 및 비틀림

$$\nu = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2\,F\,t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2\,F_v\,t_w)$$

$$= 5.686\,\mathrm{MPa} \quad < \quad \nu_a = 110.000\,\mathrm{MPa} \quad \therefore \ \mathrm{O.K}$$

◦ 합성응력의 검토

-상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{116.652}{247.000}\right)^2 + \left(\frac{5.686}{110.000}\right)^2 = 0.223 + 0.003 = 0.226 \ < \ 1.2 \quad \therefore \ \mathrm{O.K}$$

-하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{-1118.613}{-190.000}\right)^2 + \left(\frac{5.686}{110.000}\right)^2 = 0.390 + 0.003 = 0.392 \ < \ 1.2 \quad \therefore \ \mathrm{O.K}$$

■ S2-G1(단면-23)

◦ 휨응력

【표 5-14】 경간(S2) 정모멘트부 휨응력 검토결과

하중조합	휨 응 력				안전율	
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)			
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	67.204	-71.585	190.000	190.000	2.827	2.654
1+2+3	80.094	-116.512	190.000	190.000	2.372	1.631
1+2+3+4	84.229	-115.317	218.500	190.000	2.594	1.648
1+2+3+4+5	101.923	-110.707	218.500	190.000	2.144	1.716
1+2+3+4+5+6	115.869	-105.948	247.000	218.500	2.132	2.062
1+2+3+4+5-6	87.977	-115.466	247.000	218.500	2.808	1.892
1+2+3+4+5+7	102.018	-111.037	237.500	237.500	2.328	2.139
1+2+3+4+5+6+7	115.964	-106.278	256.500	256.500	2.212	2.413
1+2+3+4+5-6+7	88.072	-115.796	256.500	256.500	2.912	2.215

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

◦ 전단 및 비틀림

$$\nu = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2\,F\,t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2\,F_v\,t_w)$$

$$= 7.131\,\mathrm{MPa} \quad < \quad \nu_a = 110.000\,\mathrm{MPa} \quad \therefore \ \mathrm{O.K}$$

◦ 합성응력의 검토

-상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{115.869}{247.000}\right)^2 + \left(\frac{7.131}{110.000}\right)^2 = 0.220 + 0.004 = 0.224 \ < \ 1.2 \quad \therefore \ \mathrm{O.K}$$

-하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{-116.512}{-190.000}\right)^2 + \left(\frac{7.131}{110.000}\right)^2 = 0.376 + 0.004 = 0.380 \ < \ 1.2 \quad \therefore \ \mathrm{O.K}$$

㉡ 지점부 부모멘트부

■ P1-G1(단면-14)

◦ 휨응력

【표 5-15】 지점(P1) 부모멘트부 휨응력 검토결과

하중조합	휨 응 력				안전율	
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)			
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-105.691	101.066	190.00	190.00	1.798	1.880
1+2+3	-162.903	160.410	190.00	190.00	1.166	1.184
1+2+3+4	-165.255	150.490	190.00	190.00	1.150	1.263
1+2+3+4+5	-161.596	168.817	190.00	190.00	1.176	1.125
1+2+3+4+5+6	-154.327	190.774	218.50	218.50	1.416	1.145
1+2+3+4+5-6	-168.865	146.860	218.50	218.50	1.294	1.488
1+2+3+4+5+7	-162.114	169.355	256.50	256.50	1.582	1.515
1+2+3+4+5+6+7	-154.845	191.312	256.50	256.50	1.656	1.341
1+2+3+4+5-6+7	-169.383	147.398	256.50	256.50	1.514	1.740

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

◦ 전단 및 비틀림

$$\nu = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2Ft_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2F_v t_w)$$

$$= 22.961\,\mathrm{MPa} \quad < \quad \nu_a = 110.000\,\mathrm{MPa} \quad \therefore \text{ O.K}$$

◦ 합성응력의 검토

-상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{-165.255}{190.000}\right)^2 + \left(\frac{22.961}{110.000}\right)^2 = 0.756 + 0.044 = 0.800 \quad < \quad 1.2 \quad \therefore \text{ O.K}$$

-하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{168.817}{190.000}\right)^2 + \left(\frac{22.961}{110.000}\right)^2 = 0.789 + 0.044 = 0.833 \quad < \quad 1.2 \quad \therefore \text{ O.K}$$

7) 강박스 거더의 응력 검토

① 휨응력

㉠ 마산방향

【표 5-16】 강박스 거더의 휨응력 검토결과

구 분		휨 응 력				안전율		검토결과
		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)				
		상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	
정모멘트부	S1-G2	115.699	-124.127	247.00	-190.00	2.135	1.531	O.K
	S2-G2	115.473	-124.753	247.00	-190.00	2.139	1.523	O.K
부모멘트부	P1	-166.304	170.305	190.00	190.00	1.142	1.116	O.K

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

㉡ 양평방향

【표 5-17】 강박스 거더의 휨응력 검토결과

구 분		휨 응 력				안전율		검토결과
		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)				
		상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	
정모멘트부	S1-G1	116.652	-118.613	247.00	-190.00	2.117	1.602	O.K
	S2-G1	115.869	-116.512	247.00	-190.00	2.132	1.631	O.K
부모멘트부	P1	-165.255	168.817	190.00	190.00	1.150	1.125	O.K

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

② 전단응력

㉠ 마산방향

【표 5-18】 강박스 거더의 전단응력 검토결과

구 분		전 단 응 력		안전율	검토결과
		작용응력(MPa)	허용응력(MPa)		
정모멘트부	S1-G2	6.542	110.000	16.814	O.K
	S2-G2	7.013	110.000	15.685	O.K
부모멘트부	P1	24.895	110.000	4.419	O.K

㉡ 양평방향

【표 5-19】 강박스 거더의 전단응력 검토결과

구 분		전 단 응 력		안전율	검토결과
		작용응력(MPa)	허용응력(MPa)		
정모멘트부	S1-G2	5.686	110.000	19.346	O.K
	S2-G2	7.131	110.000	15.426	O.K
부모멘트부	P1	22.961	110.000	4.791	O.K

허용응력법에 의한 강박스 거더의 응력 검토결과, 거더 상·하연에 발생되는 최대응력은 허용응력 이내(휨응력 : 1.116, 전단응력 : 4.419)로 검토되어 구조 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

③ 합성응력

허용응력법에 의한 강박스 거더의 휨응력과 전단응력에 의한 합성응력 검토결과, 최대부모멘트 및 최대전단력 발생구간인 교각 지점부에서 합성응력이 0.223~0.855 사이로 허용기준치 1.2를 넘지 않은 것으로 검토되었다. 실제 교량의 현장여건을 고려한 공용차로(1차로~3차로 재하)에 의한 합성응력을 검토한 결과 하용기준치인 1.2에 만족하는 것으로 분석되었으며, 현장조사를 통한 비파괴시험 및 외관조사결과 지점부 강박스 거더의 특이손상은 발생되지 않은 양호한 상태로 판단된다.

라. 교량받침용량 검토

【표 5-20】 교량받침용량 검토(마산방향)

구 분			합성전고정하중 (kN)		합성후 고정하중 (kN)	활하중(kN)	합 계(kN)	받침용량 (kN)	검토 결과
			Steel	Concrete					
A1	G1	Sh01	253.531	431.102	173.390	482.585	1340.608	2500	O.K
		Sh02	252.366	396.305	180.269	445.410	1274.350	2500	O.K
	G2	Sh03	205.477	349.608	200.716	395.309	1151.110	2500	O.K
		Sh04	178.214	334.233	209.358	365.187	1086.992	2500	O.K
P1	G1	Sh01	962.929	1274.044	569.296	999.149	3805.418	6000	O.K
		Sh02	977.978	1294.852	582.079	985.392	3840.301	6000	O.K
	G2	Sh03	981.006	1400.683	772.138	965.224	4119.051	6000	O.K
		Sh04	966.519	1385.473	770.933	967.158	4090.083	6000	O.K
A2	G1	Sh01	177.079	285.525	141.956	369.925	974.485	2500	O.K
		Sh02	207.991	334.489	155.496	420.016	1117.992	2500	O.K
	G2	Sh03	258.193	427.823	223.234	461.979	1371.229	2500	O.K
		Sh04	257.985	460.713	247.360	447.466	1413.524	2500	O.K

【표 5-21】 교량받침용량 검토(양평방향)

구 분			합성전고정하중 (kN)		합성후 고정하중 (kN)	활하중(kN)	합 계(kN)	받침용량 (kN)	검토 결과
			Steel	Concrete					
A1	G1	Sh01	42.005	184.502	162.254	379.220	767.981	2500	O.K
		Sh02	449.339	967.020	172.488	418.645	2007.492	2500	O.K
	G2	Sh03	98.779	217.478	164.125	422.799	903.181	2500	O.K
		Sh04	259.678	536.436	97.963	280.061	1174.138	2500	O.K
	G3	Sh05	235.732	489.882	287.687	683.314	1696.615	2500	O.K
		Sh06	198.736	368.638	165.629	438.326	1171.329	2500	O.K
P1	G1	Sh01	826.200	1222.536	568.347	959.191	3576.274	6000	O.K
		Sh02	850.478	1260.488	565.168	946.614	3622.748	6000	O.K
	G2	Sh03	982.390	1477.856	475.849	780.638	3716.733	6000	O.K
		Sh04	988.535	1491.797	477.382	774.345	3732.059	6000	O.K
	G3	Sh05	1010.923	1629.888	629.650	667.653	3938.114	6000	O.K
		Sh06	994.498	1610.279	635.291	669.465	3909.533	6000	O.K
A2	G1	Sh01	156.324	273.135	181.262	492.856	1103.577	2500	O.K
		Sh02	231.307	395.403	135.938	332.932	1095.58	2500	O.K
	G2	Sh03	227.536	376.990	127.429	378.084	1110.039	2500	O.K
		Sh04	258.472	473.535	132.035	351.928	1215.97	2500	O.K
	G3	Sh05	216.399	393.421	148.486	300.838	1059.144	2500	O.K
		Sh06	274.456	517.308	209.098	193.386	1194.248	2500	O.K

주) 반력 발생방향이 하향을 정(+), 상향을 부(-)로 표기함.

받침용량에 대한 검토결과 교량받침은 용량이 최대 발생 반력값 보다 큰 것으로 검토되어 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

5.3 내하력평가

5.3.1 개 요

본 교량의 내하력평가는 주요 구조부재의 정밀 외관조사, 비파괴 현장시험 및 재료시험 결과를 토대로 횡방향 해석에 의한 바닥판슬래브는 강도설계법에 의하여 내하력을 평가하며, 종방향 해석에 의한 강박스 거더의 경우에는 허용응력법과 강도설계법, 두가지 방법에 대해서 기본 내하력을 평가하였다.

가. 허용응력법에 의한 내하력평가

㉠ 내하율(RF) $= \dfrac{f_a - (f_d + f_{ps} + f_{cs})}{f_\ell\ (1+i)}$

㉡ 기본 내하력(P) $= RF \times P_r$

여기서, f_a : 실측 허용응력 f_{ps} : 프리스트레스에 의한 응력

f_d : 실측 고정하중에 의한 응력 f_{cs} : 크리프/건조수축에 의한 응력

f_ℓ : 설계 활하중에 의한 응력 P_r : 설계 활하중(DB, DL하중)

i : 이론 충격계수 P : 기본 내하력

나. 강도설계법에 의한 내하력평가

㉠ 내하율(RF) $= \dfrac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_\ell\ M_\ell\ (1+i)}$

㉡ 기본 내하력(P) $= RF \times P_r$

여기서, ϕ : 실측 허용응력 γ_d : 고정하중 계수(1.30)

M_n : 극한 저항모멘트 γ_ℓ : 활하중 계수(2.15)

M_d : 실측 고정하중에 의한 모멘트 P_r : 설계 활하중(DB, DL하중)

M_ℓ : 설계 활하중에 의한 모멘트 P : 기본 내하력

i : 이론 충격계수

다. 내하력평가 결과

1) 마산방향

【표 5-22】 허용응력법에 의한 강박스 거더의 내하력평가 결과

구 분		응력(MPa)			기본내하율 (RF)	기본내하력
		고정하중	활하중	허용응력		
S1- G2 정모멘트 최대	상연	66.225	11.166	190.000	11.085	DB-24이상
	하연	-82.518	-41.609	-190.000	2.583	〃
S2-G2 정모멘트 최대	상연	66.714	10.781	190.000	11.435	〃
	하연	-83.213	-41.540	-190.000	2.571	〃
S1-G2 부모멘트 최대	상연	-121.551	-42.180	-190.000	1.623	〃
	하연	118.315	43.894	190.000	1.633	〃

【표 5-23】 강도설계법에 의한 바닥판 내하력평가 결과

구 분	설계강도 (kN · m)	고정하중 계수	고정하중 모멘트 (kN · m)	활하중 계수	활하중모멘트 (충격포함) (kN · m)	기본내하율(RF)	기본내하력 (P)
캔틸레버부	122.167	1.3	10.674	2.15	25.235	1.996	DB-24 이상
캔틸레버부	122.167	1.3	7.598	2.15	36.804	1.419	〃
중앙부 바닥판	105.961	1.3	2.357	2.15	28.080	1.704	〃

2) 양평방향

【표 5-24】 허용응력법에 의한 강박스 거더의 내하력평가 결과

구 분		응력(MPa)			기본내하율 (RF)	기본내하력
		고정하중	활하중	허용응력		
S1- G2 정모멘트 최대	상연	70.501	8.847	190.000	13.507	DB-24이상
	하연	-86.118	-32.495	-190.000	3.197	〃
S2-G2 정모멘트 최대	상연	71.173	8.921	190.000	13.319	〃
	하연	-85.418	-31.095	-190.000	3.363	〃
S1-G2 부모멘트 최대	상연	-127.946	-34.957	-190.000	1.775	〃
	하연	124.150	36.260	190.000	1.816	〃

【표 5-25】 강도설계법에 의한 바닥판 내하력평가 결과

구 분	설계강도 (kN · m)	고정하중 계수	고정하중 모멘트 (kN · m)	활하중 계수	활하중모멘트 (충격포함) (kN · m)	기본내하율(RF)	기본내하력 (P)
캔틸레버부	121.568	1.3	10.674	2.15	25.235	1.985	DB-24 이상
캔틸레버부	121.568	1.3	7.656	2.15	36.804	1.411	〃
중앙부 바닥판	105.363	1.3	2.357	2.15	28.080	1.694	〃

라. 검토결과

강박스거더와 바닥판 내하력평가 결과 기본내하력(P)는 DB-24 이상을 확보하였다.

마. 기 진단결과와의 비교 · 분석

1) 마산방향

① 강박스 거더 내하력평가 결과

금회 강박스 거더는 허용응력법에 의해 내하력을 평가하였으며 2012년 정밀안전진단 결과와 금회 내하력평가 결과를 비교하여 수록하였다.

㉠ 2012년 정밀안전진단 결과

【표 5-26】 2012년 강박스 거더의 내하력평가 결과

구 분			응력(MPa)			기본내하율 (RF)	기본내하력
			고정하중	활하중	허용응력		
거더 G1	제1지간 중앙부	상연	66.225	11.166	190.000	11.085	DB-24이상
		하연	-82.518	-41.609	-190.000	2.583	〃
	제2지간 중앙부	상연	66.714	10.781	190.000	11.435	〃
		하연	-83.213	-41.540	-190.000	2.571	〃
	제1지간 지점부	상연	-121.551	-42.180	-190.000	1.623	〃
		하연	118.315	43.894	190.000	1.633	〃

㉡ 금회 정밀안전진단 결과

【표 5-27】 금회 강박스 거더의 내하력평가 결과

구 분		응력(MPa)			기본내하율 (RF)	기본내하력
		고정하중	활하중	허용응력		
S1- G2 정모멘트 최대	상연	66.225	11.166	190.000	11.085	DB-24이상
	하연	-82.518	-41.609	-190.000	2.583	〃
S2-G2 정모멘트 최대	상연	66.714	10.781	190.000	11.435	〃
	하연	-83.213	-41.540	-190.000	2.571	〃
S1-G2 부모멘트 최대	상연	-121.551	-42.180	-190.000	1.623	〃
	하연	118.315	43.894	190.000	1.633	〃

② 바닥판 내하력평가 결과

금회 바닥판은 강도설계법에 의해 내하력을 평가하였으며 2012년 정밀안전진단 결과와 금회 내하력평가 결과를 비교하여 수록하였다.

㉠ 2012년 정밀안전진단 결과

【표 5-28】 2012년 바닥판 내하력평가 결과

구 분	설계강도 (kN · m)	고정하중 계수	고정하중 모멘트 (kN · m)	활하중 계수	활하중모멘트 (충격포함) (kN · m)	기본내하율(RF)	기본내하력 (P)
캔틸레버부 (갓길측)	122.167	1.3	10.674	2.15	25.235	1.996	DB-24 이상
캔틸레버부 (중앙분리대측)	122.167	1.3	7.598	2.15	36.804	1.419	〃
중앙부 바닥판	105.961	1.3	2.357	2.15	28.080	1.704	〃

㉡ 금회 정밀안전진단 결과

【표 5-29】 금회 바닥판 내하력평가 결과

구 분	설계강도 (kN · m)	고정하중 계수	고정하중 모멘트 (kN · m)	활하중 계수	활하중모멘트 (충격포함) (kN · m)	기본내하율(RF)	기본내하력 (P)
캔틸레버부	122.167	1.3	10.674	2.15	25.235	1.996	DB-24 이상
캔틸레버부	122.167	1.3	7.598	2.15	36.804	1.419	〃
중앙부 바닥판	105.961	1.3	2.357	2.15	28.080	1.704	〃

2) 양평방향

① 강박스 거더 내하력평가 결과

금회 강박스 거더는 허용응력법에 의해 내하력을 평가하였으며 2012년 정밀안전진단 결과와 금회 내하력평가 결과를 비교하여 수록하였다.

㉠ 2012년 정밀안전진단 결과

【표 5-30】 2012년 강박스 거더의 내하력평가 결과

구 분			응력(MPa)			기본내하율 (RF)	기본내하력
			고정하중	활하중	허용응력		
거더 G1	제1지간 중앙부	상연	70.501	8.847	190.000	13.507	DB-24이상
		하연	-86.118	-32.495	-190.000	3.197	〃
	제2지간 중앙부	상연	71.173	8.921	190.000	13.319	〃
		하연	-85.418	-31.095	-190.000	3.363	〃
	제1지간 지점부	상연	-127.946	-34.957	-190.000	1.775	〃
		하연	124.150	36.260	190.000	1.816	〃

㉡ 금회 정밀안전진단 결과

【표 5-31】 금회 강박스 거더의 내하력평가 결과

구 분		응력(MPa)			기본내하율 (RF)	기본내하력
		고정하중	활하중	허용응력		
S1- G2 정모멘트 최대	상연	70.501	8.847	190.000	13.507	DB-24이상
	하연	-86.118	-32.495	-190.000	3.197	〃
S2-G2 정모멘트 최대	상연	71.173	8.921	190.000	13.319	〃
	하연	-85.418	-31.095	-190.000	3.363	〃
S1-G2 부모멘트 최대	상연	-127.946	-34.957	-190.000	1.775	〃
	하연	124.150	36.260	190.000	1.816	〃

② 바닥판 내하력평가 결과

금회 바닥판은 강도설계법에 의해 내하력을 평가하였으며 2012년 정밀안전진단 결과와 금회 내하력평가 결과를 비교하여 수록하였다.

㉠ 2012년 정밀안전진단 결과

【표 5-32】 2012년 바닥판 내하력평가 결과

구 분	설계강도 (kN · m)	고정하중 계수	고정하중 모멘트 (kN · m)	활하중 계수	활하중모멘트 (충격포함) (kN · m)	기본내하율(RF)	기본내하력 (P)
캔틸레버부 (갓길측)	121.568	1.3	10.674	2.15	25.235	1.985	DB-24 이상
캔틸레버부 (중앙분리대측)	121.568	1.3	7.656	2.15	36.804	1.411	〃
중앙부 바닥판	105.363	1.3	2.357	2.15	28.080	1.694	〃

㉡ 금회 정밀안전진단 결과

【표 5-33】 금회 바닥판 내하력평가 결과

구 분	설계강도 (kN · m)	고정하중 계수	고정하중 모멘트 (kN · m)	활하중 계수	활하중모멘트 (충격포함) (kN · m)	기본내하율(RF)	기본내하력 (P)
캔틸레버부	121.568	1.3	10.674	2.15	25.235	1.985	DB-24 이상
캔틸레버부	121.568	1.3	7.656	2.15	36.804	1.411	〃
중앙부 바닥판	105.363	1.3	2.357	2.15	28.080	1.694	〃

5.4 하부구조 안전성평가

외관 및 내구성조사 결과, 지금까지 공용기간 중 하부구조에 구조적인 손상이나 부등침하, 전도 및 활동 등의 이상 징후는 없는 상태이며 상기 조사결과와 구체 및 기초형식, 제원, 상부하중, 발생한 손상 등을 감안하여 교대, 교각에 대해서 도로교 설계기준(2010)에 따라 하부구조 안전성 검토를 실시하였다.(자세한 계산과정은 부록 참조)

5.4.1 감곡IC교-마산방향

가. 교대(A1) 구조검토

1) 검토조건

㉠ 일반조건

㉡ 하부구조형식 : 역T형 교대

㉢ 상부구조형식 : 강박스 거더교

㉣ 교량등급 : 1등교(DB-24, DL-24)

㉤ 교대총폭 : B=12.906m

㉥ 교대총높이 : H=12.000m

㉦ 기초형식 : 말뚝기초

㉧ SKEW : 20.000°

② 하중

㉠ 철근콘크리트의 단위중량 : γc = 25.000kN/㎥

㉡ 뒷채움재의 단위중량 : $\gamma s1$ = 10.000kN/㎥(토사)

㉢ 기초지반의 단위중량 : $\gamma s2$ = 20.000kN/㎥

㉣ 과재하중 : q1 = 10.000kN/m

㉤ 상부 고정하중 반력 : Rd = 230.414kN/m

㉥ 상부 활하중 반력 : R1 = 185.832kN/m

㉦ 교량받침 마찰계수 : fs = 0.050

③ 지반조건

㉠ 뒷채움재의 내부마찰각 : $\Phi 1$ = 35.0°

㉡ 기초지반의 N치 : N = 50.0

㉢ 기초지반의 내부마찰각 : $\Phi 2$ = 42.386° ($\Phi_2 = 15 + \sqrt{15N}$)

㉣ 기초지반의 점착력 : C = 0.000kN/㎡

㉤ 기초지반의 마찰계수 : μ=0.327(tan(2/3Φ_2) : 흙과 콘크리트)

④ 사용재료

㉠ 콘크리트

■ 설계기준강도(f_{ck}) : 24 MPa

■ 탄성계수(E_c) : 26,986

㉡ 철근(SD30)

■ 항복강도(f_y) : 300 MPa

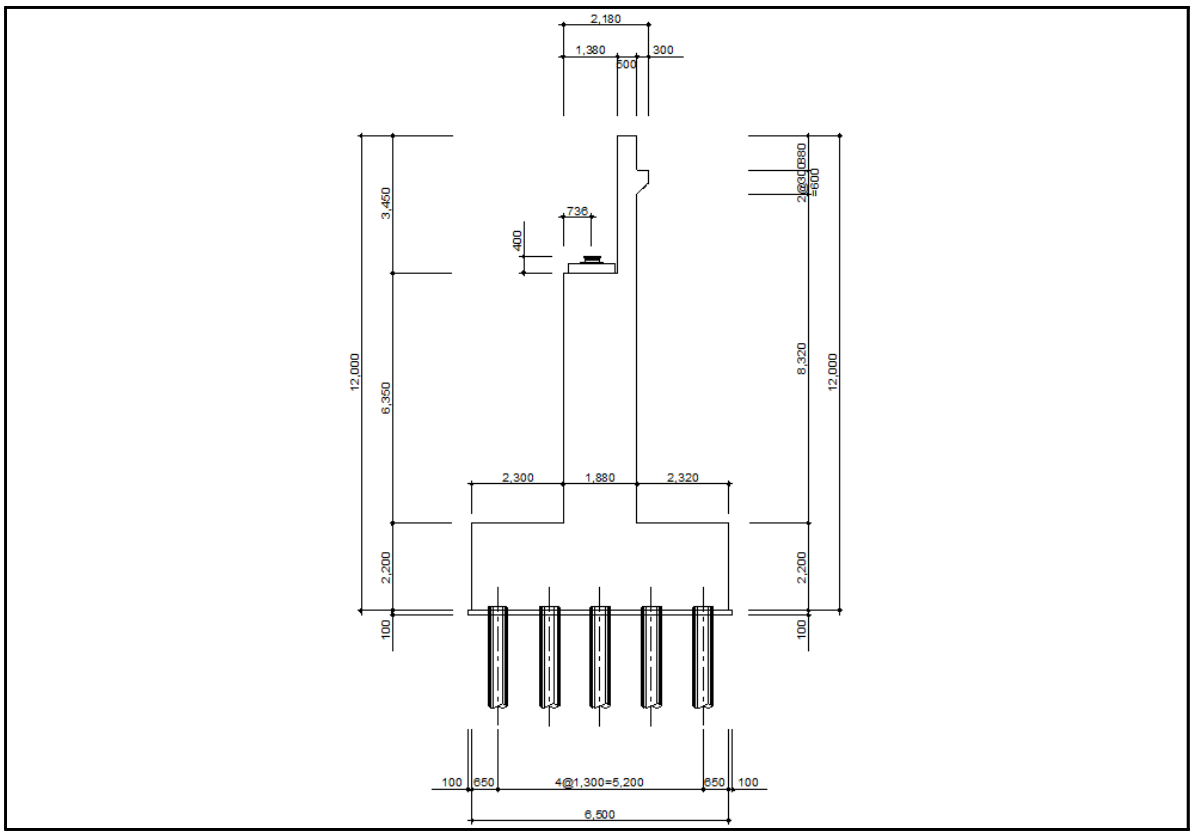
■ 탄성계수(E_s) : 200,000 MPa

⑤ 설계방법

㉠ 안전성검토 : 허용응력설계법

㉡ 단면검토 : 강도설계법

2) 해석단면



【그림 5-22】 해석단면(A1)

3) 하중산정

① 자중(원점 0을 기준으로)

㉠ 교대구체

Wc = 28.10m^2 × 25.0 = 702.450kN/m

㉡ 뒷채움채

Wc = 22.60m^2 × 20.0 = 452.020kN/m

② 토압

㉠ 토압계수 산정

■ 평상시 주동토압계수(Rankine) : 안정검토시 적용(상시)

$$K_a = \cos\alpha \times \frac{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}$$

■ 평상시 주동토압계수(Coulomb) : 단면검토시 적용(상시)

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \beta)}{\cos^2\beta * \cos(\beta + \delta)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) * \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\beta + \delta) * \cos(\beta - \alpha)}}\right]^2}$$

Φ = 뒷채움 흙의 내부마찰각(도)

α = 지표면과 수평면이 이루는 각(도)

β = 벽배면과 연직면이 이루는 각(도)

δ = 벽배면과 뒷채움흙 사이의 벽면마찰각(도)

구 분	안정검토	벽체검토
Φ	35.000	35.000
α	0.000	0.000
β	0.000	0.000
δ	0.000	11.667
Ka	0.271	0.251

③ 토압에 의한 하중집계

구 분		하중산식	P (kN/m)	x(m)	M (kN・m/m)
상 시	수평토압	1/2×0.271×20×12.000^2×cos0.000	390.226	4.000	1560.903
	배면활하중 토압	0.271×10.000×12.000×cos 0.000	32.519	6.000	195.113

④ 상부구조물 하중

㉠ 상부구조물 하중 집계

구 분		하중산식	P (kN/m)	x(m)	M (kN・m/m)
연직하중	고정하중	3164.570 / 13.734	230.414	3.036	699.608
	활하중	2552.270 / 13.734	185.832	3.036	564.244
	배면활하중	10.000×2.320	23.200	5.340	123.888
수평하중	온도하중	230.414×0.050000	11.521	8.950	103.110

⑤ 하중요약

구 분	V(kN/m)	H(kN/m)	팔길이(m)		Moment(kN/m・m)	
			x	y	Mx	My
교대본체자중	702.450	-	3.293	-	2312.892	-
뒷굽상부토자중	452.020	-	5.346	-	2416.559	-
상부고정하중	230.414	-	3.036	-	699.608	-
상부활하중	185.832	-	3.036	-	564.244	-
수평토압	-	390.226	-	4.000	-	1560.903
배면활하중	23.200	32.519	5.340	6.000	123.888	195.113
온도하중	-	11.521	-	8.950	-	103.110

⑥ 하중조합

㉠ 사용하중 조합

구 분	D	Rd	RI	LU	H	G	Q	비고
LCBS1	1	0	0	0	1	0	0	
LCBS2	1	1	0	0	1	0	0	
LCBS3	1	1	1	1	1	0	0	
LCBS4	1	1	1	1	1	1	0	

㉡ 계수하중 조합

구 분	D	Rd	RI	LU	H	G	Q	비고
LCBF1	1.3	0	0	0	1.7	0	0	
LCBF2	1.3	1.3	0	0	1.7	0	0	
LCBF3	1.3	1.3	2.15	2.15	1.7	0	0	
LCBF4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.7	1.3	0	

D : 자중(구체자중, 뒷굽배면토사) 또는 이에 따른 단면력
Rd : 상부고정하중 또는 이에 따른 단면력
Rl : 상부활하중 또는 이에 따른 단면력
LU : 배면활하중(연직하중) 또는 이에 따른 단면력
H : 수평토압(배면활하중 토압 포함) 또는 이에 따른 단면력
G : 온도변화 등으로 인한 팽창 또는 수축변형으로 유발된 변형력 또는 이에 따른 단면력
Q : 부력 또는 양압력, 수압, 파압 등의 하중 또는 이에 따른 단면력
E : 지진의 영향 또는 이에 따른 단면력

⑦ 하중조합 결과

하 중 조 합		V(kN/m)	H(kN/m)	Mr (kN/m · m)	Mo (kN/m · m)	비 고
사용하중	LCBS1	1154.470	390.226	4729.451	1560.903	
	LCBS2	1384.884	390.226	5429.059	1560.903	
	LCBS3	1593.916	422.744	6117.191	1756.016	
	LCBS4	1593.916	434.265	6117.191	1859.126	
계수하중	LCBF1	1500.811	663.384	6148.286	2653.535	
	LCBF2	1800.349	663.384	7057.777	2653.535	
	LCBF3	2249.768	718.666	8537.261	2985.226	
	LCBF4	2072.091	733.643	7952.348	3119.270	

4) 말뚝 검토

① 검토조건

㉠ 말뚝의 제원

말뚝 종류	직경(mm)	두께(mm)	부식두께(mm)	길이(m)
강관말뚝	508	12	2	4.329

※ 말뚝길이는 기초평면에 묻힌 100mm는 제외한 길이임.
· 말뚝의 탄성계수 : E = 205,000MPa
· 말뚝의 단면2차 모멘트 : $I = \pi/64 \times (0.504^4 - 0.486^4) = 0.0004288m^4$

② 단위길이당 작용하는 하중

구 분		V(kN/m)	H(kN/m)	e(m)	Mc(kN/m・m)	비 고
사용하중	LCBS1	15855.812	5359.468	0.505	8013.672	
	LCBS2	19020.382	5359.468	0.457	8689.907	
	LCBS3	21891.288	5806.090	0.514	11249.087	
	LCBS4	21891.288	5964.319	0.579	12665.232	
계수하중	LCBF1	20612.556	9111.096	0.921	18992.923	
	LCBF2	24726.497	9111.096	0.804	19872.028	
	LCBF3	30898.943	9870.354	0.782	24168.384	
	LCBF4	28458.674	10076.051	0.918	26111.844	

③ Pile 본체 검토

㉠ 휨응력 검토(사용하중)

구 분		V(kN/m)	M(kN/m・m)	f(MPa)	fsa(MPa)	안전율
LCBS1	FIX	481.062	106.421	87.622	140.000	OK(1.598)
	HINGE	402.188	60.211	57.952	140.000	OK(2.416)
LCBS2	FIX	548.052	106.256	91.851	140.000	OK(1.524)
	HINGE	469.300	60.211	62.277	140.000	OK(2.248)
LCBS3	FIX	642.745	114.455	102.315	140.000	OK(1.368)
	HINGE	557.917	65.229	70.657	140.000	OK(1.981)
LCBS4	FIX	664.919	117.139	105.172	140.000	OK(1.331)
	HINGE	578.101	67.006	72.903	140.000	OK(1.920)

㉡ 전단응력 검토(사용하중)

구 분		H(kN/m)	τ	τ_{sa}	안전율
MAX	평상시	114.698	14.775	80.000	O.K.(5.415)

④ 말뚝의 지지력 검토

구 분		압축력(kN)		인발력(kN)		안전율
		반력	허용	반력	허용	
상 시	LCBS1	481.062	997.900	0.000	0.000	O.K.(2.074)
상 시	LCBS2	548.052	997.900	0.000	0.000	O.K.(1.821)
상 시	LCBS3	642.745	997.900	0.000	0.000	O.K.(1.553)
상 시	LCBS4	664.919	997.900	0.000	0.000	O.K.(1.501)

5) 교대 단면력에 대한 검토

① 연직벽

㉠ 단면력 산정

구 분		하중산식	P (kN/m)	x(m)	M (kN・m/m)
상 시	수평토압	1/2×0.2508×20 ×9.8002×cos11.667	235.938	3.267	770.731
	배면활하중 토압	0.2508×10.000 ×9.800 ×cos 11.667	24.075	4.900	117.969
	온도하중	230.414×0.050000	11.521	6.750	77.765

㉡ 하중조합

구 분		D	H	Rd	Rl	LU	G	V(kN/m)	M (kN・m/m)
사용하중	LCBS1	1	1	0	0	0	0	235.938	770.731
	LCBS2	1	1	1	0	1	0	235.938	770.731
	LCBS3	1	1	1	1	1	0	260.013	888.700
	LCBS4	1	1	1	1	1	1	271.534	966.465
	Max							271.534	966.465
계수하중	LCBF1	1.3	1.7	0	0	0	0	401.095	1310.242
	LCBF2	1.3	1.7	1.3	0	0	0	401.095	1310.242
	LCBF3	1.3	1.7	1.3	2.15	2.15	0	442.023	1510.790
	LCBF4	1.3	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	457.000	1611.884
	Max							457.000	1611.884

② 흉벽

㉠ 단면력 산정

구 분	하중산식	P (kN/m)	x(m)	M (kN・m/m)
수평토압	1/2×0.2508×20 ×3.4502×cos11.667	29.240	1.150	33.627
윤하중	11.46×0.2508	28.747	3.090	88.829

㉡ 하중조합

구 분		D	H	Rd	Rl	LU	G	V(kN/m)	M (kN・m/m)
사용하중	LCBS1	1	1	0	0	0	0	29.240	33.627
	LCBS2	1	1	1	0	1	0	29.240	33.627
	LCBS3	1	1	1	1	1	0	57.988	122.456
	LCBS4	1	1	1	1	1	1	57.988	122.456
	Max							57.988	122.456
계수하중	LCBF1	1.3	1.7	0	0	0	0	49.709	57.165
	LCBF2	1.3	1.7	1.3	0	0	0	49.709	57.165
	LCBF3	1.3	1.7	1.3	2.15	2.15	0	98.579	208.174
	LCBF4	1.3	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	98.579	208.174
	Max							98.579	208.174

③ 압굽

㉠ 단면력 산정

구 분		말뚝머리 고정		말뚝머리 힌지		비 고
		V (kN/m)	M (kN・m/m)	V (kN/m)	M (kN・m/m)	
사용하중	LCBS1	0.000	745.158	0.000	630.199	
	LCBS2	0.000	851.580	0.000	736.799	
	LCBS3	0.000	997.564	0.000	873.927	
	LCBS4	0.000	1029.882	0.000	903.345	
계수하중	LCBF1	0.000	1190.447	0.000	997.396	
	LCBF2	0.000	1328.795	0.000	1135.976	
	LCBF3	0.000	1613.687	0.000	1405.749	
	LCBF4	0.000	1586.344	0.000	1374.753	

㉡ 하중조합

구 분		D	H	Rd	Rl	LU	G	V(kN/m)	M (kN・m/m)
사용하중	LCBS1	1	1	0	0	0	0	11.000	599.683
	LCBS2	1	1	1	0	1	0	11.000	706.105
	LCBS3	1	1	1	1	1	0	11.000	852.089
	LCBS4	1	1	1	1	1	1	11.000	884.407
	Max							11.000	884.407
계수하중	LCBF1	1.3	1.7	0	0	0	0	14.300	1001.330
	LCBF2	1.3	1.7	1.3	0	0	0	14.300	1139.678
	LCBF3	1.3	1.7	1.3	2.15	2.15	0	14.300	1424.570
	LCBF4	1.3	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	14.300	1397.227
	Max							14.300	1424.570

④ 뒷굽

㉠ 단면력 산정

구 분		말뚝머리 고정		말뚝머리 힌지		비 고
		V (kN/m)	M \(kN・m/m)	V (kN/m)	M \(kN・m/m)	
사용하중	LCBS1	238.319	200.166	330.432	313.340	
	LCBS2	319.777	281.759	411.747	394.757	
	LCBS3	354.063	307.110	453.130	428.828	
	LCBS4	328.168	275.294	429.558	399.866	
계수하중	LCBF1	132.141	41.918	286.826	231.971	
	LCBF2	238.037	147.989	392.536	337.814	
	LCBF3	334.968	231.018	501.581	435.727	
	LCBF4	228.307	114.229	397.848	322.534	

㉡ 하중조합

구 분		D	H	Rd	Rl	LU	G	V(kN/m)	M (kN・m/m)
사용하중	LCBS1	1	1	0	0	0	0	341.301	474.965
	LCBS2	1	1	1	0	1	0	259.843	393.372
	LCBS3	1	1	1	1	1	0	248.757	394.933
	LCBS4	1	1	1	1	1	1	274.652	426.749
	Max							341.301	474.965
계수하중	LCBF1	1.3	1.7	0	0	0	0	621.365	835.752
	LCBF2	1.3	1.7	1.3	0	0	0	515.469	729.681
	LCBF3	1.3	1.7	1.3	2.15	2.15	0	468.418	704.513
	LCBF4	1.3	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	555.359	798.427
	Max							621.365	835.752

⑤ 각 부재별 단면검토

구 분	d(mm)	사용철근량(㎟)	M_u(kN · m)	ϕM_n(kN · m)	ϕM_n / M_u
연직벽체	1780	D32-10EA=7942.0	1611.884	3489.078	O.K.(2.165)
흉벽	420	D22-10EA=3871.0	208.174	388.888	O.K.(1.868)
압굽	2100	D29-10EA=6424.8	1424.570	3361.999	O.K.(2.360)
뒷굽	2100	D29-10EA=6424.8	835.752	3361.689	O.K.(4.022)

6) 검토결과

각 부재별 단면검토 결과 최소안전율 1.868로 나와 구조적인 안전성을 확보한 것으로 판단된다.

말뚝기초에 대한 검토 결과 최소 안전율 1.331로 나와 안전한 것으로 판단된다.

나. 교대(A2) 구조검토

1) 검토조건

① 일반조건

㉠ 하부구조형식 : 역T형 교대

㉡ 상부구조형식 : 강박스 거더교

㉢ 교량등급 : 1등교(DB-24, DL-24)

㉣ 교대총폭 : B=12.924m

㉤ 교대총높이 : H=8.000m

㉥ 기초형식 : 말뚝기초

㉦ SKEW : 20.000°

② 하중

㉠ 철근콘크리트의 단위중량 : γc = 25.000kN/㎥

㉡ 뒷채움재의 단위중량 : $\gamma s1$ = 10.000kN/㎥(토사)

㉢ 기초지반의 단위중량 : $\gamma s2$ = 20.000kN/㎥

㉣ 과재하중 : q1 = 10.000kN/m

㉤ 상부 고정하중 반력 : Rd = 230.414kN/m

㉥ 상부 활하중 반력 : R1 = 185.832kN/m

㉦ 교량받침 마찰계수 : fs = 0.050

③ 지반조건

㉠ 뒷채움재의 내부마찰각 : $\Phi 1$ = 35.0°

㉡ 기초지반의 N치 : N = 50.0

㉢ 기초지반의 내부마찰각 : $\Phi 2$ = 42.386° ($\Phi_2 = 15 + \sqrt{15N}$)

㉣ 기초지반의 점착력 : C = 0.000kN/㎡

㉤ 기초지반의 마찰계수 : μ=0.327($\tan(2/3\Phi_2)$: 흙과 콘크리트)

④ 사용재료

㉠ 콘크리트

- 설계기준강도(f_{ck}) : 24 MPa
- 탄성계수(E_c) : 26,986

㉡ 철근(SD30)

■ 항복강도(f_y) : 300 MPa

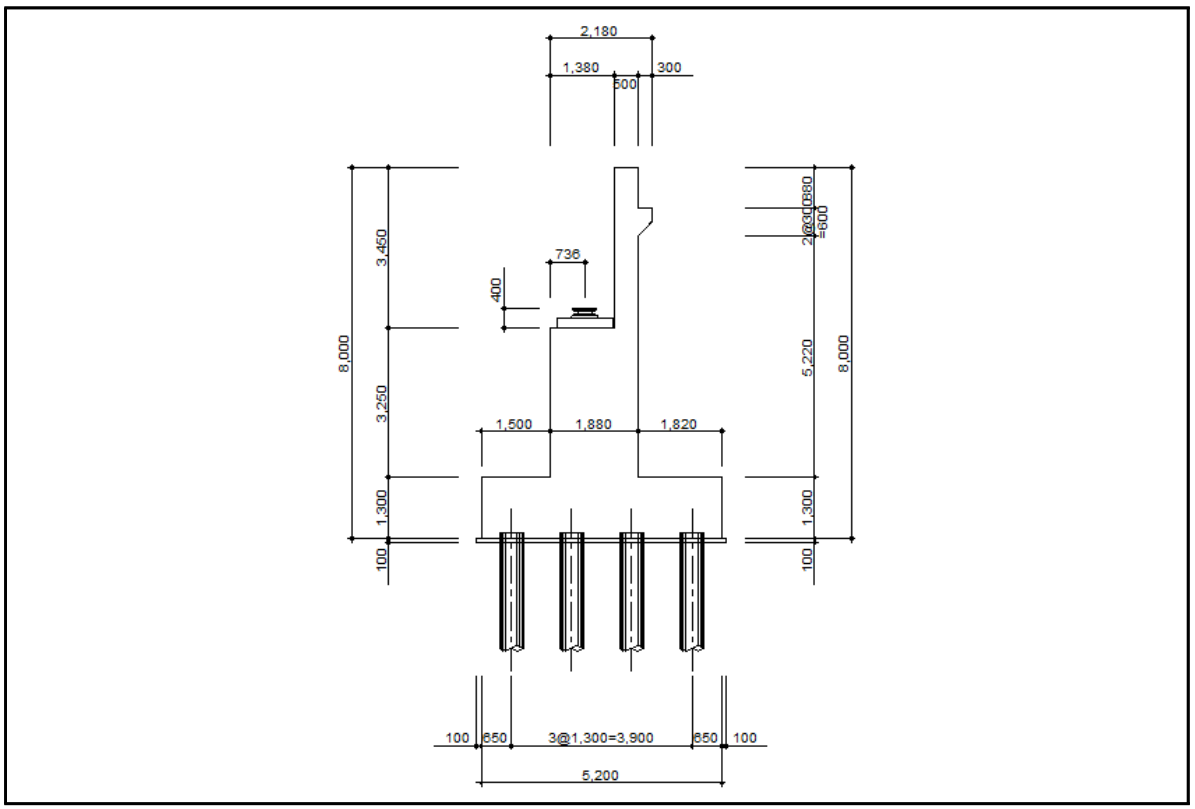
■ 탄성계수(E_s) : 200,000 MPa

⑤ 설계방법

㉠ 안전성검토 : 허용응력설계법

㉡ 단면검토 : 강도설계법

2) 해석단면



【그림 5-23】 해석단면(A2)

3) 하중산정

① 자중(원점 0을 기준으로)

㉠ 교대구체

Wc = 14.73m2 × 25.0 = 368.250kN/m

㉡ 뒷채움채

Wc = 12.06m2 × 20.0 = 241.180kN/m

② 토압

㉠ 토압계수 산정

■ 평상시 주동토압계수(Rankine) : 안정검토시 적용(상시)

$$K_a = \cos\alpha \times \frac{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}$$

■ 평상시 주동토압계수(Coulomb) : 단면검토시 적용(상시)

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \beta)}{\cos^2\beta * \cos(\beta + \delta)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) * \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\beta + \delta) * \cos(\beta - \alpha)}}\right]^2}$$

Φ = 뒷채움 흙의 내부마찰각(도)

α = 지표면과 수평면이 이루는 각(도)

β = 벽배면과 연직면이 이루는 각(도)

δ = 벽배면과 뒷채움흙 사이의 벽면마찰각(도)

구 분	안정검토	벽체검토
Φ	35.000	35.000
α	0.000	0.000
β	0.000	0.000
δ	0.000	11.667
Ka	0.271	0.251

③ 토압에 의한 하중집계

구 분		하중산식	P (kN/m)	x(m)	M (kN・m/m)
상 시	수평토압	1/2×0.2710 ×20 ×8.000^2×cos0.000	173.434	2.667	462.490
	배면활하중 토압	0.2710 ×10.000 ×8.000 ×cos 0.000	21.679	4.000	86.717

④ 상부구조물 하중

㉠ 상부구조물 하중 집계

구 분		하중산식	P(kN/m)	x(m)	M(kN・m/m)
연직하중	고정하중	3177.820 / 13.753	231.056	2.236	516.714
	활하중	1967.820 / 13.753	143.078	2.236	319.968
	배면활하중	10.000×1.820	18.200	4.290	78.078
수평하중	온도하중	231.056×0.05	11.553	4.950	57.186

⑤ 하중요약

구 분	V(kN/m)	H(kN/m)	팔길이(m)		Moment(kN/m・m)	
			x	y	Mx	My
교대본체자중	368.250	-	2.604	-	958.949	-
뒷굽상부토자중	241.180	-	4.299	-	1036.759	-
상부고정하중	231.056	-	2.236	-	516.714	-
상부활하중	143.078	-	2.236	-	319.968	-
수평토압	-	173.434	-	2.667	-	462.490
배면활하중	18.200	21.679	4.290	4.000	78.078	86.717
온도하중	-	11.553	-	4.950	-	57.186

⑥ 하중조합

㉠ 사용하중 조합

구 분	D	Rd	RI	LU	H	G	Q	비고
LCBS1	1	0	0	0	1	0	0	
LCBS2	1	1	0	0	1	0	0	
LCBS3	1	1	1	1	1	0	0	
LCBS4	1	1	1	1	1	1	0	

㉡ 계수하중 조합

구 분	D	Rd	RI	LU	H	G	Q	비고
LCBF1	1.3	0	0	0	1.7	0	0	
LCBF2	1.3	1.3	0	0	1.7	0	0	
LCBF3	1.3	1.3	2.15	2.15	1.7	0	0	
LCBF4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.7	1.3	0	

D : 자중(구체자중, 뒷굽배면토사) 또는 이에 따른 단면력
Rd : 상부고정하중 또는 이에 따른 단면력
Rl : 상부활하중 또는 이에 따른 단면력
LU : 배면활하중(연직하중) 또는 이에 따른 단면력
H : 수평토압(배면활하중 토압 포함) 또는 이에 따른 단면력
G : 온도변화 등으로 인한 팽창 또는 수축변형으로 유발된 변형력 또는 이에 따른 단면력
Q : 부력 또는 양압력, 수압, 파압 등의 하중 또는 이에 따른 단면력
E : 지진의 영향 또는 이에 따른 단면력

⑦ 하중조합 결과

하 중 조 합		V(kN/m)	H(kN/m)	Mr (kN/m・m)	Mo (kN/m・m)	비 고
사용하중	LCBS1	609.430	173.434	1995.708	462.490	
	LCBS2	840.486	173.434	2512.422	462.490	
	LCBS3	1001.765	195.113	2910.468	549.207	
	LCBS4	1001.765	206.666	2910.468	606.393	
계수하중	LCBF1	792.259	294.837	2594.420	786.232	
	LCBF2	1092.632	294.837	3266.149	786.232	
	LCBF3	1439.381	331.692	4121.947	933.651	
	LCBF4	1302.294	346.710	3783.608	1007.993	

4) 말뚝 검토

① 검토조건

㉠ 말뚝의 제원

말뚝 종류	직경(mm)	두께(mm)	부식두께(mm)	길이(m)
강관말뚝	508	12	2	4.329

※ 말뚝길이는 기초평면에 묻힌 100mm는 제외한 길이임.

・말뚝의 탄성계수 : E = 205,000MPa

・말뚝의 단면2차 모멘트 : $I = \pi/64 \times (0.504^4 - 0.486^4) = 0.0004288m^4$

② 단위길이당 작용하는 하중

구 분		V(kN/m)	H(kN/m)	e(m)	Mc (kN/m・m)	비 고
사용하중	LCBS1	8381.755	2385.308	0.084	705.548	
	LCBS2	11559.575	2385.308	0.161	1861.287	
	LCBS3	13777.707	2683.471	0.243	3346.588	
	LCBS4	13777.707	2842.362	0.300	4133.099	
계수하중	LCBF1	10896.281	4055.024	0.318	3461.540	
	LCBF2	15027.447	4055.024	0.330	4964.002	
	LCBF3	19796.432	4561.901	0.385	7620.705	
	LCBF4	17911.020	4768.460	0.469	8394.419	

③ Pile 본체 검토

㉠ 휨응력 검토(사용하중)

구 분		V(kN/m)	M (kN/m・m)	f(MPa)	fsa(MPa)	안전율
LCBS1	FIX	312.143	66.327	55.405	140.000	O.K.(2.527)
	HINGE	250.917	46.007	40.647	140.000	O.K.(3.444)
LCBS2	FIX	428.413	64.554	61.953	140.000	O.K.(2.260)
	HINGE	368.825	46.007	48.245	140.000	O.K.(2.902)
LCBS3	FIX	533.787	70.702	72.014	140.000	O.K.(1.944)
	HINGE	468.524	51.757	57.729	140.000	O.K.(2.425)
LCBS4	FIX	556.985	73.985	75.256	140.000	O.K.(1.860)
	HINGE	488.691	54.822	60.659	140.000	O.K.(2.308)

㉡ 전단응력 검토(사용하중)

구 분		H(kN/m)	τ	τ_{sa}	안전율
MAX	평상시	78.955	10.171	80.000	O.K.(7.865)

④ 말뚝의 지지력 검토

구 분		압축력(kN)		인발력(kN)		안전율
		반력	허용	반력	허용	
상 시	LCBS1	312.143	997.900	0.000	0.000	O.K.(3.197)
상 시	LCBS2	428.413	997.900	0.000	0.000	O.K.(2.329)
상 시	LCBS3	533.787	997.900	0.000	0.000	O.K.(1.869)
상 시	LCBS4	556.985	997.900	0.000	0.000	O.K.(1.792)

5) 교대 단면력에 대한 검토

① 연직벽

㉠ 단면력 산정

구 분		하중산식	P (kN/m)	x(m)	M (kN・m/m)
상 시	수평토압	1/2×0.2508×20 ×6.7002×cos11.667	110.280	2.233	246.291
	배면활하중 토압	0.2508×10.000 ×6.700 ×cos 11.667	16.460	3.350	55.140
	온도하중	231.056×0.050000	11.553	3.65	42.168

㉡ 단면력 산정

구 분		D	H	Rd	Rl	LU	G	V(kN/m)	M (kN・m/m)
사용하중	LCBS1	1	1	0	0	0	0	110.280	246.291
	LCBS2	1	1	1	0	1	0	110.280	246.291
	LCBS3	1	1	1	1	1	0	126.739	301.431
	LCBS4	1	1	1	1	1	1	138.292	343.599
	Max							138.292	343.599
계수하중	LCBF1	1.3	1.7	0	0	0	0	187.475	418.695
	LCBF2	1.3	1.7	1.3	0	0	0	187.475	418.695
	LCBF3	1.3	1.7	1.3	2.15	2.15	0	215.457	512.433
	LCBF4	1.3	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	230.475	567.251
	Max							230.475	567.251

② 흉벽

㉠ 단면력 산정

구 분	하중산식	P (kN/m)	x(m)	M (kN・m/m)
수평토압	1/2×0.2508×20 ×3.4502×cos11.667	29.240	1.150	33.627
윤하중	11.46×0.2508	28.747	3.090	88.829

㉡ 단면력 산정

구 분		D	H	Rd	Rl	LU	G	V(kN/m)	M (kN・m/m)
사용하중	LCBS1	1	1	0	0	0	0	29.240	33.627
	LCBS2	1	1	1	0	1	0	29.240	33.627
	LCBS3	1	1	1	1	1	0	57.988	122.456
	LCBS4	1	1	1	1	1	1	57.988	122.456
	Max							57.988	122.456
계수하중	LCBF1	1.3	1.7	0	0	0	0	49.709	57.165
	LCBF2	1.3	1.7	1.3	0	0	0	49.709	57.165
	LCBF3	1.3	1.7	1.3	2.15	2.15	0	98.579	208.174
	LCBF4	1.3	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	98.579	208.174
	Max							98.579	208.174

③ 압굽

㉠ 단면력 산정

구 분		말뚝머리 고정		말뚝머리 힌지		비 고
		V (kN/m)	M (kN・m/m)	V (kN/m)	M (kN・m/m)	
사용하중	LCBS1	0.000	173.622	0.000	139.567	
	LCBS2	0.000	238.294	0.000	205.149	
	LCBS3	0.000	296.906	0.000	260.605	
	LCBS4	0.000	309.809	0.000	271.822	
계수하중	LCBF1	0.000	273.836	0.000	217.724	
	LCBF2	0.000	357.910	0.000	302.982	
	LCBF3	0.000	474.746	0.000	414.556	
	LCBF4	0.000	459.038	0.000	396.460	

㉡ 단면력 산정

구 분		D	H	Rd	Rl	LU	G	V(kN/m)	M (kN・m/m)
사용하중	LCBS1	1	1	0	0	0	0	9.750	137.059
	LCBS2	1	1	1	0	1	0	9.750	201.731
	LCBS3	1	1	1	1	1	0	9.750	260.343
	LCBS4	1	1	1	1	1	1	9.750	273.246
	Max							9.750	273.246
계수하중	LCBF1	1.3	1.7	0	0	0	0	12.675	226.304
	LCBF2	1.3	1.7	1.3	0	0	0	12.675	310.379
	LCBF3	1.3	1.7	1.3	2.15	2.15	0	12.675	427.215
	LCBF4	1.3	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	12.675	411.507
	Max							12.675	427.215

④ 뒷굽

㉠ 단면력 산정

구 분		말뚝머리 고정		말뚝머리 힌지		비 고
		V (kN/m)	M (kN・m/m)	V (kN/m)	M (kN・m/m)	
사용하중	LCBS1	133.421	117.532	176.745	164.407	
	LCBS2	185.473	163.680	227.639	209.303	
	LCBS3	204.669	177.351	250.851	227.318	
	LCBS4	188.254	159.590	236.581	211.877	
계수하중	LCBF1	112.219	86.545	183.604	163.781	
	LCBF2	179.887	146.538	249.766	222.144	
	LCBF3	232.836	188.564	309.410	271.413	
	LCBF4	173.123	129.990	252.734	216.126	

㉡ 단면력 산정

구 분		D	H	Rd	Rl	LU	G	V(kN/m)	M (kN·m/m)
사용하중	LCBS1	1	1	0	0	0	0	166.909	157.866
	LCBS2	1	1	1	0	1	0	114.857	111.717
	LCBS3	1	1	1	1	1	0	113.861	114.609
	LCBS4	1	1	1	1	1	1	130.276	132.370
	Max							166.909	157.866
계수하중	LCBF1	1.3	1.7	0	0	0	0	278.210	271.472
	LCBF2	1.3	1.7	1.3	0	0	0	210.542	211.479
	LCBF3	1.3	1.7	1.3	2.15	2.15	0	196.723	205.061
	LCBF4	1.3	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	240.966	249.557
	Max							278.210	271.472

⑤ 각 부재별 단면검토

구 분	d(mm)	사용철근량(㎟)	M_u(kN · m)	ϕM_n(kN · m)	ϕM_n / M_u
연직벽체	1780	D22-8EA=3096.8	567.251	1400.990	O.K.(2.470)
흉벽	420	D22-8EA=3096.8	208.174	320.216	O.K.(1.538)
압굽	1200	D22-8EA=3096.8	427.215	942.976	O.K.(2.207)
뒷굽	1200	D22-8EA=3096.8	271.472	946.538	O.K.(3.487)

⑥ 검토결과

각 부재별 단면검토 결과 최소안전율 1.538로 나와 구조적인 안전성을 확보한 것으로 판단된다.

말뚝기초에 대한 검토 결과 최소 안전율 1.792로 나와 안전한 것으로 판단된다.

다. 교각(P1) 구조검토

1) 검토조건

① 일반사항

㉠ 하부구조형식 : π형 교각

㉡ 상부구조형식 : 강박스 거더교

㉢ 교량등급 : 1등교(DB-24, DL-24)

㉣ 기초형식 : 직접기초

② 하중

㉠ 철근콘크리트의 단위중량 : γ_c = 25.0 kN/㎥

㉡ 기초지반의 단위중량 : γ_{s2} = 20.0 kN/㎥

㉢ 교량받침 마찰계수 : fs = 0.050

③ 지반조건

㉠ 기초지반의 N치 : N = 50

㉡ 기초지반의 내부마찰각 : Φ_2 = 42.386° ($\Phi_2 = 15 + \sqrt{15N}$)

㉢ 기초지반의 점착력 : C = 0.0 kN/㎡

㉣ 기초지반의 마찰계수 : μ = 0.6 ($\tan\Phi_b$ = 0.60, Cb = 0:암과 콘크리트)

㉤ 기초지반의 최대 허용지지력 : Qa = 700 kN/㎡

④ 사용재료

㉠ 콘크리트

- 설계기준강도(f_{ck}) : 24 MPa(기둥, 기초)
- 탄성계수(E_c) : 26,986MPa(기둥, 기초)

㉡ 철근(SD30)

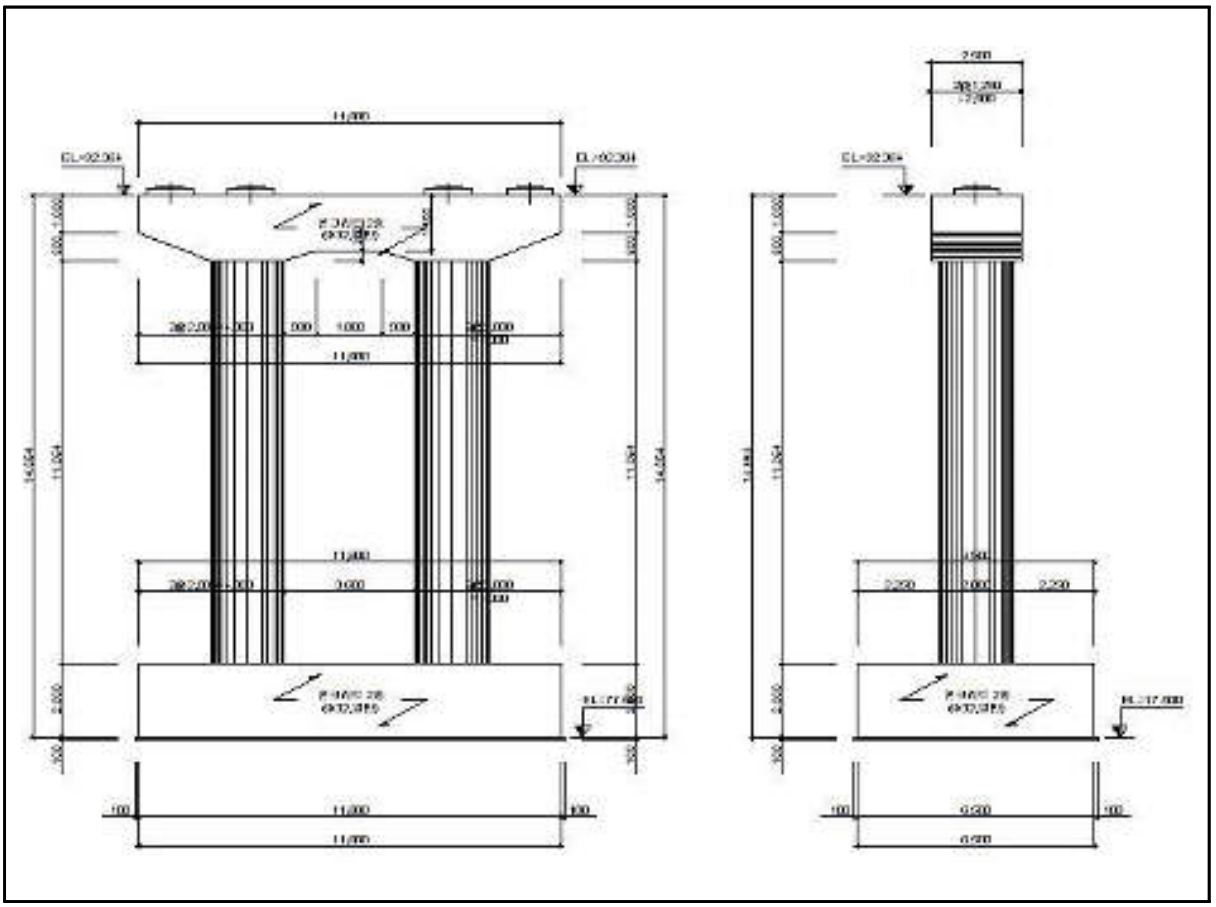
- 항복강도(f_y) : 300 MPa(기둥, 기초)
- 탄성계수(E_s) : 200,000 MPa

⑤ 설계방법

㉠ 안정성검토 : 허용응력설계법

㉡ 단면검토 : 강도설계법

2) 해석단면



【그림 5-24】 해석단면(P1)

3) 하중산정

① 상부반력 및 교각자중

교좌번호	고정하중(kN)	활하중(kN)	합 계	비 고
1	2086.270	1557.010	3643.280	
2	2854.910	1151.080	4005.990	
3	3153.830	1117.600	4271.430	
4	3122.930	1119.830	4242.760	
계	11217.940	4945.520	16163.460	

※ 교각자중은 25.0 kN/m^3의 값을 프로그램에서 자동재하

② 풍하중

㉠ 상부풍하중

B/D = 12.145 / 4.080 = 2.977 [1 ≤ B/D < 8]

P = 4.0 − 0.2 × (B/D) × D

= 13.891 kN/m > 6 kN/m ∴ P = 11.113 kN/m

Pw=11.113×(55.000+55.000)/2=611.204kN

작용위치 h = 0.400 + 4.080 / 2 = 2.440m

작용모멘트 Mx=Pw×h=611.204×2.440=1491.338kN・m

㉡ 활하중에 작용하는 풍하중

Pwl=1.500×(55.000+55.000)/2.0=82.500kN

작용위치 h = 0.400 + 3.030 + 1.5 = 4.930m

작용모멘트 My=Pwl×h=82.500×4.930=406.725kN・m

㉢ 하부구조에 작용하는 풍하중

■ 교축방향

◦ Wcoping=3.000×1.592=4.777kN/m

◦ Wcolumn=1.500×2.000=3.000kN/m

■ 교축직각방향

◦ Wcoping=3.000×2.500=7.500kN/m

◦ Wcolumn=1.500×2.000=3.000kN/m(풍상측)

◦ Wcolumn=1.500×2.000=3.000kN/m(풍하측)

③ 온도하중

㉠ 교축직각방향

연평균 온도변화차 ⊿T = ±10 ℃ 적용

㉡ 교축방향

■ 상부구조 신축에 의한 수평력

PT1=3EI δ/H3=3×23080000.000×0.785×2EA×0.017/12.8643=843.010kN

δ = α × ⊿T× L = 1.2E−05× 25× 55.000 = 0.017m : 온도에 의한 신축량

H = 12.864m

I = 0.785m⁴

■ 교좌장치 마찰에 의한 수평력

PT2= μ ×Wd=0.050×11217.940=560.897kN

Wd=11217.940kN:전체상부고정하중

μ = 0.050 : Bearing 마찰계수

∴ PT=min[PT1,PT2]=560.897kN

※ 베어링 개수로 나누어 각 베어링에 재하한다.

④ 차량 충돌하중

㉠ 교축방향

POL=500.0kN:노면위 1.8m 에서 수평으로 작용

h = 원지반 EL. + 1.800 − 기초상면 EL. = 81.200 + 1.800 − 79.500

= 3.500m : 기초상면에서 충돌하중위치까지 높이

㉡ 교축직각방향

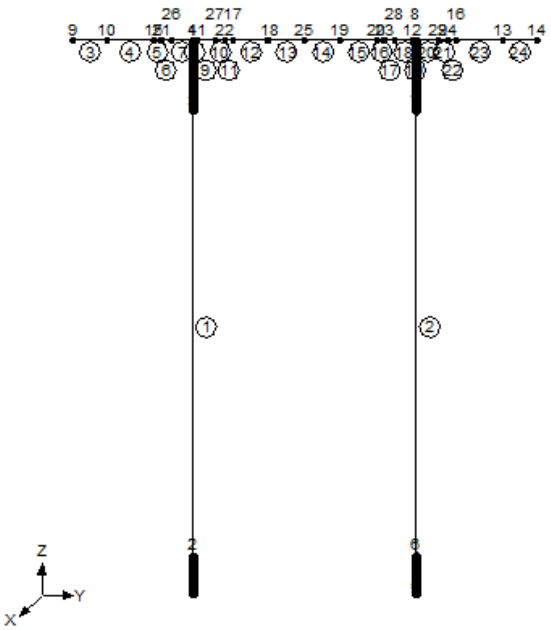
POT=1000.0kN:노면위 1.8m 에서 수평으로 작용

h = 원지반 EL. + 1.800 − 기초상면 EL. = 81.200 + 1.800 − 79.500

= 3.500m : 기초상면에서 충돌하중위치까지 높이

4) 모델링

① 구조해석 모델



② 절점정보

Node ID	Y(m)	Z(m)	Node ID	Y(m)	Z(m)
1	0.000	−1.000	2	0.000	0.000
3	0.000	11.064	4	0.000	12.864
5	5.600	−1.000	6	5.600	0.000
7	5.600	11.064	8	5.600	12.864
9	−3.000	12.864	10	−2.149	12.864
11	0.086	12.864	12	5.514	12.864
13	7.749	12.864	14	8.600	12.864
15	−1.000	12.864	16	6.600	12.864
17	1.000	12.864	18	1.900	12.864
19	3.700	12.864	20	4.600	12.864
21	−0.800	12.864	22	0.800	12.864
23	4.800	12.864	24	6.400	12.864
25	2.800	12.864	26	−0.550	12.864
27	0.550	12.864	28	5.050	12.864
29	6.150	12.864			

③ 단면정보

SectionID	Y(m)			Node ID			Element No
	A (m^2)	Iyy (m^4)	Izz (m^4)	A (m^2)	Iyy (m^4)	Izz (m^4)	
2	3.142	0.785	0.785	3.142	0.785	0.785	1
3	3.142	0.785	0.785	3.142	0.785	0.785	2
4	2.500	0.208	1.302	3.351	0.502	1.745	3
5	3.351	0.502	1.745	4.500	1.215	2.344	4
6	4.500	1.215	2.344	4.500	1.215	2.344	5,6,10,11,16,17,21,22
7	4.500	121.500	2.344	4.500	121.500	2.344	7,8,9,18,19,20
8	4.500	1.215	2.344	3.750	0.703	1.953	12
9	3.750	0.703	1.953	4.500	1.215	2.344	15
10	3.750	0.703	1.953	3.750	0.703	1.953	13,14
11	4.500	1.215	2.344	3.351	0.502	1.745	23

④ 하중 조건별 단면력 산출

㉠ 코핑부

구 분		좌측부				우측부			
		내민보		내민보 종방향		내민보		내민보 종방향	
		모멘트 (kN·m)	전단 (kN)	모멘트 (kN·m)	전단 (kN)	모멘트 (kN·m)	전단 (kN)	모멘트 (kN·m)	전단 (kN)
고정하중(D)		-3009.96	2283.77	0.000	0.000	-4408.42	-3320.43	0.000	0.000
활하중	만재하시	-2100.41	1557.01	0.000	0.000	-1510.65	-1119.83	0.000	0.000
풍하중	W	305.93	-115.84	-11.56	-10.51	-293.78	-115.84	-11.56	10.509
	WL	61.179	-31.591	0.000	0.000	-61.18	-31.59	0.000	0.000
온도하중(GT)		0.000	0.000	-189.16	-140.22	0.000	0.000	-189.16	140.22
건조수축하중(GSH)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
충돌하중(CO)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
원심하중(CF)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
유수압(Q)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

구 분		내측부 (지간 1)				
		좌측부		중앙부	우측부	
		모멘트 (kN·m)	전단 (kN)	모멘트 (kN·m)	전단 (kN)	모멘트 (kN·m)
고정하중(D)		-2282.322	143.891	-2729.921	-3656.637	543.266
활하중	만재하시	-1756.283	-147.592	-1436.697	-1165.914	-147.592
풍하중	W	1705.349	850.860	2.571	-1698.093	850.860
	WL	240.525	120.263	0.000	-240.525	120.263
온도하중(GT)		-140.413	0.000	-144.315	-140.413	0.000
건조수축하중(GSH)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
충돌하중(CO)		-72.654	91.338	-268.900	-438.008	91.338
원심하중(CF)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
유수압(Q)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

㉡ 기둥

■ 기둥1 상단

구 분		축력 (kN)	교축직각 휨 (kN・m)	교축 휨 (kN・m)	비 고
고정하중(D)		-5174.789	-2139.454	0.000	
활하중	만재하시	-2855.682	-1226.260	0.000	
풍하중	W	1030.218	-1574.528	-27.796	
	WL	169.178	-196.086	0.000	
온도하중(GT)		0.000	-117.005	-503.707	
건조수축하중(GSH)		0.000	0.000	0.000	
충돌하중(CO)		91.338	-81.832	0.000	
원심하중(CF)		0.000	0.000	0.000	
유수압(Q)		0.000	0.000	0.000	

■ 기둥1 하단

구 분		축력 (kN)	교축직각 휨 (kN・m)	교축 휨 (kN・m)	비 고
고정하중(D)		-6043.753	1361.590	0.000	
활하중	만재하시	-2855.682	573.548	0.000	
풍하중	W	1030.218	2057.345	-513.629	
	WL	169.178	260.304	0.000	
온도하중(GT)		0.000	170.764	-3608.021	
건조수축하중(GSH)		0.000	0.000	0.000	
충돌하중(CO)		91.338	2417.304	-1750.000	
원심하중(CF)		0.000	0.000	0.000	
유수압(Q)		0.000	0.000	0.000	

■ 기둥2 상단

구 분		축력 (kN)	교축직각 휨 (kN・m)	교축 휨 (kN・m)	비 고
고정하중(D)		−7197.526	2417.488	0.000	
활하중	만재하시	−2089.838	1116.156	0.000	
풍하중	W	−1030.218	−1578.890	−27.829	
	WL	−169.178	−196.086	0.000	
온도하중(GT)		0.000	117.005	−505.907	
건조수축하중(GSH)		0.000	0.000	0.000	
충돌하중(CO)		−91.338	−429.664	0.000	
원심하중(CF)		0.000	0.000	0.000	
유수압(Q)		0.000	0.000	0.000	

■ 기둥2 하단

구 분		축력 (kN)	교축직각 휨 (kN・m)	교축 휨 (kN・m)	비 고
고정하중(D)		−8066.491	−1083.556	0.000	
활하중	만재하시	−2089.838	−683.653	0.000	
풍하중	W	−1030.218	2059.528	−513.619	
	WL	−169.178	260.304	0.000	
온도하중(GT)		0.000	−170.764	−3607.358	
건조수축하중(GSH)		0.000	0.000	0.000	
충돌하중(CO)		−91.338	571.200	−1750.000	
원심하중(CF)		0.000	0.000	0.000	
유수압(Q)		0.000	0.000	0.000	

㉢ 기초

■ 기초(기둥1)

구 분		축력 (kN)	교축직각 휨 (kN・m)	교축 휨 (kN・m)	교축전단 (kN)	교축직각 전단 (kN)
고정하중(D)		-6043.753	1361.590	0.000	0.000	-316.436
활하중	만재하시	-2855.682	573.548	0.000	0.000	-162.672
풍하중	W	1030.218	2057.345	-513.629	-55.799	-340.148
	WL	169.178	260.304	0.000	0.000	-41.250
온도하중(GT)		0.000	170.764	-3608.021	-280.578	-26.010
건조수축하중(GSH)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
충돌하중(CO)		91.338	2417.304	-1750.000	-500.000	-909.539
원심하중(CF)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
유수압(Q)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

■ 기초(기둥2)

구 분		축력 (kN)	교축직각 휨 (kN・m)	교축 휨 (kN・m)	교축전단 (kN)	교축직각 전단 (kN)
고정하중(D)		-8066.491	-1083.556	0.000	0.000	316.436
활하중	만재하시	-2089.838	-683.653	0.000	0.000	162.672
풍하중	W	-1030.218	2059.528	-513.619	-55.795	-340.740
	WL	-169.178	260.304	0.000	0.000	-41.250
온도하중(GT)		0.000	-170.764	-3607.358	-280.319	26.010
건조수축하중(GSH)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
충돌하중(CO)		-91.338	571.200	-1750.000	-500.000	-90.461
원심하중(CF)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
유수압(Q)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

5) 하중조합

① 사용하중 검토시

구 분	D	L+I	W	Q	CF	G	CO	비 고
LS1	1	1	0	0	0	0	0	
LS2	1	1	0	0	0	1	0	
LS3	1	1	0.5	0	0	0	0	
LS4	1	0	1	0	0	0	0	
LS5	1	1	0.5	0	0	1	0	
LS6	1	0	1	0	0	1	0	
LS7	1	1	0	0	0	0	1	
LS8	1	0	0	0	0	0	0	

② 계수하중 검토시

구 분	D	L+I	W	Q	CF	G	CO	비 고
LF1	1.3	2.15	0	0	0	0	0	
LF2	1.3	0	1.3	0	0	0	0	
LF3	1.3	1.3	0.65	0	0	0	0	
LF4	1.3	1.3	0	0	0	1.3	0	
LF5	1.25	0	1.25	0	0	1.25	0	
LF6	1.25	1.25	0.625	0	0	1.25	0	
LF7	1	0	0	0	0	0	0	
LF8	1.3	1.3	0	0	0	0	1.3	
LF9	1.2	0	1.2	0	0	0	1.2	
LF10	1	2.15	0	0	0	0	0	
LF11	1	0	1.3	0	0	0	0	
LF12	1	1.3	0.65	0	0	0	0	
LF13	1	1.3	0	0	0	1.3	0	
LF14	1	0	1.25	0	0	1.25	0	
LF15	1	1.25	0.625	0	0	1.25	0	
LF16	1	0	0	0	0	0	0	
LF17	1	1.3	0	0	0	0	1.3	
LF18	1	0	1.2	0	0	0	1.2	

D : 고정하중 또는 이에 따른 단면력
L : 활하중 또는 이에 따른 단면력
W : 풍하중 또는 이에 따른 단면력
Q : 부력 또는 양압력, 수압, 파압 등의 하중 또는 이에 따른 단면력
E : 지진의 영향 또는 이에 따른 단면력
G : 온도변화 등으로 인한 팽창 또는 수축변형으로 유발된 변형력 또는 이에 따른 단면력
CO : 충돌하중 또는 이에 따른 단면력
CF : 원심하중 또는 이에 따른 단면력

6) 위치별 단면력 정리

① 코핑하중조합

㉠ 사용하중

위 치	좌측부				우측부			
	내민보		내민보 종방향		내민보		내민보 종방향	
구 분	모멘트 (kN·m)	전단 (kN)	모멘트 (kN·m)	전단 (kN)	모멘트 (kN·m)	전단 (kN)	모멘트 (kN·m)	전단 (kN)
LCBS1	-5110.368	3840.780	0.000	0.000	-5919.067	-4440.260	0.000	0.000
LCBS2	-5110.368	3840.780	-189.163	-140.224	-5919.067	-4440.260	-189.163	140.224
LCBS3	-5110.368	3840.780	189.163	140.224	-5919.067	-4440.260	189.163	-140.224
LCBS4	-4896.223	3751.271	-5.780	-5.254	-6127.137	-4529.769	-5.780	5.254
LCBS5	-5324.513	3930.289	5.780	5.254	-5710.997	-4350.751	5.780	-5.254
LCBS6	-2704.029	2167.935	-11.560	-10.509	-4702.198	-3436.265	-11.560	10.509
LCBS7	-3315.894	2399.605	11.560	10.509	-4114.634	-3204.595	11.560	-10.509
LCBS8	-4896.223	3751.271	-194.942	-145.479	-6127.137	-4529.769	-194.942	145.479
LCBS9	-4896.223	3751.271	183.383	134.970	-6127.137	-4529.769	183.383	-134.970
LCBS10	-5324.513	3930.289	-183.383	-134.970	-5710.997	-4350.751	-183.383	134.970
LCBS11	-5324.513	3930.289	194.942	145.479	-5710.997	-4350.751	194.942	-145.479
LCBS12	-2704.029	2167.935	-200.722	-150.733	-4702.198	-3436.265	-200.722	150.733
LCBS13	-2704.029	2167.935	177.603	129.715	-4702.198	-3436.265	177.603	-129.715
LCBS14	-3315.894	2399.605	-177.603	-129.715	-4114.634	-3204.595	-177.603	129.715
LCBS15	-3315.894	2399.605	200.722	150.733	-4114.634	-3204.595	200.722	-150.733
LCBS16	-5110.368	3840.780	0.000	0.000	-5919.067	-4440.260	0.000	0.000
LCBS17	-3009.962	2283.770	0.000	0.000	-4408.416	-3320.430	0.000	0.000
MAX	5324.513	3930.289	200.722	150.733	6127.137	4529.769	200.722	150.733
MIN	2704.029	2167.935	0.000	0.000	4114.634	3204.595	0.000	0.000

구 분	내측부 (지간 1)				
	좌측부		중앙부	우측부	
	모멘트 (kN · m)	전단 (kN)	모멘트 (kN · m)	전단 (kN)	모멘트 (kN · m)
LCBS1	−4038.605	−3.701	−4166.618	−4822.551	395.674
LCBS2	−4179.018	−3.701	−4310.933	−4962.965	395.674
LCBS3	−3898.192	−3.701	−4022.303	−4682.138	395.674
LCBS4	−2945.405	541.992	−4165.333	−5912.123	941.367
LCBS5	−5131.804	−549.394	−4167.904	−3732.980	−150.019
LCBS6	−576.974	994.752	−2727.350	−5354.730	1394.127
LCBS7	−3987.671	−706.969	−2732.492	−1958.544	−307.594
LCBS8	−3085.819	541.992	−4309.647	−6052.536	941.367
LCBS9	−2804.992	541.992	−4021.018	−5771.710	941.367
LCBS10	−5272.218	−549.394	−4312.218	−3873.393	−150.019
LCBS11	−4991.391	−549.394	−4023.589	−3592.566	−150.019
LCBS12	−717.387	994.752	−2871.664	−5495.144	1394.127
LCBS13	−436.560	994.752	−2583.035	−5214.317	1394.127
LCBS14	−4128.084	−706.969	−2876.806	−2098.958	−307.594
LCBS15	−3847.258	−706.969	−2588.177	−1818.131	−307.594
LCBS16	−4111.259	87.638	−4435.519	−5260.559	487.013
LCBS17	−2282.322	143.891	−2729.921	−3656.637	543.266
MAX	5272.218	994.752	−2583.035	6052.536	1394.127
MIN	436.560	3.701	−4435.519	1818.131	150.019

㉡ 계수하중

구 분	좌측부				우측부			
	내민보		내민보 종방향		내민보		내민보 종방향	
	모멘트 (kN · m)	전단 (kN)	모멘트 (kN · m)	전단 (kN)	모멘트 (kN · m)	전단 (kN)	모멘트 (kN · m)	전단 (kN)
LCBF1	-8428.824	6316.472	0.000	0.000	-8978.840	-6724.194	0.000	0.000
LCBF2	-3515.238	2818.316	-15.028	-13.661	-6112.858	-4467.144	-15.028	13.661
LCBF3	-4310.662	3119.486	15.028	13.661	-5349.024	-4165.974	15.028	-13.661
LCBF4	-6365.090	4876.653	-7.514	-6.831	-7965.278	-5888.699	-7.514	6.831
LCBF5	-6921.867	5109.375	7.514	6.831	-7424.296	-5655.977	7.514	-6.831
LCBF6	-6643.478	4993.014	-245.911	-182.292	-7694.787	-5772.338	-245.911	182.292
LCBF7	-6643.478	4993.014	245.911	182.292	-7694.787	-5772.338	245.911	-182.292
LCBF8	-3380.037	2709.919	-250.903	-188.416	-5877.748	-4295.331	-250.903	188.416
LCBF9	-3380.037	2709.919	222.004	162.144	-5877.748	-4295.331	222.004	-162.144
LCBF10	-4144.867	2999.506	-222.004	-162.144	-5143.292	-4005.744	-222.004	162.144
LCBF11	-4144.867	2999.506	250.903	188.416	-5143.292	-4005.744	250.903	-188.416
LCBF12	-6120.279	4689.089	-243.678	-181.848	-7658.921	-5662.211	-243.678	181.848
LCBF13	-6120.279	4689.089	229.228	168.712	-7658.921	-5662.211	229.228	-168.712
LCBF14	-6655.641	4912.861	-229.228	-168.712	-7138.746	-5438.439	-229.228	168.712
LCBF15	-6655.641	4912.861	243.678	181.848	-7138.746	-5438.439	243.678	-181.848
LCBF16	-3009.962	2283.770	0.000	0.000	-4408.416	-3320.430	0.000	0.000
LCBF17	-6643.478	4993.014	0.000	0.000	-7694.787	-5772.338	0.000	0.000
LCBF18	-3244.835	2601.522	-13.872	-12.611	-5642.638	-4123.518	-13.872	12.611
LCBF19	-3979.073	2879.526	13.872	12.611	-4937.560	-3845.514	13.872	-12.611
MAX	8428.824	6316.472	250.903	188.416	8978.840	6724.194	250.903	188.416
MIN	3009.962	2283.770	0.000	0.000	4408.416	3320.430	0.000	0.000

구 분	내측부 (지간 1)				
	좌측부		중앙부	우측부	
	모멘트 (kN · m)	전단 (kN)	모멘트 (kN · m)	전단 (kN)	모멘트 (kN · m)
LCBF1	−6743.027	−130.265	−6637.796	−7260.343	388.923
LCBF2	−750.066	1293.177	−3545.555	−6961.150	1812.365
LCBF3	−5183.972	−919.060	−3552.239	−2546.108	−399.872
LCBF4	−3829.027	704.589	−5414.932	−7685.760	1223.777
LCBF5	−6671.346	−714.212	−5418.275	−4852.873	−195.024
LCBF6	−5432.723	−4.811	−5604.213	−6451.854	514.376
LCBF7	−5067.649	−4.811	−5228.994	−6086.779	514.376
LCBF8	−896.733	1243.440	−3589.580	−6868.930	1742.658
LCBF9	−545.700	1243.440	−3228.794	−6517.896	1742.658
LCBF10	−5160.105	−883.711	−3596.008	−2623.697	−384.493
LCBF11	−4809.072	−883.711	−3235.221	−2272.664	−384.493
LCBF12	−3857.273	677.490	−5387.059	−7565.670	1176.709
LCBF13	−3506.240	677.490	−5026.272	−7214.637	1176.709
LCBF14	−6590.272	−686.742	−5390.273	−4841.741	−187.523
LCBF15	−6239.239	−686.742	−5029.486	−4490.708	−187.523
LCBF16	−2282.322	143.891	−2729.921	−3656.637	543.266
LCBF17	−5344.637	113.929	−5766.174	−6838.727	633.116
LCBF18	−779.553	1303.308	−3595.500	−6951.286	1782.558
LCBF19	−4872.390	−738.757	−3601.671	−2875.863	−259.507
MAX	6743.027	1303.308	−2729.921	7685.760	1812.365
MIN	545.700	4.811	−6637.796	2272.664	187.523

㉢ 기둥

■ 기둥1 상단(계수하중조합)

구 분	축력 (kN)	교축직각 휨 (kN·m)	교축 휨 (kN·m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBF1	-12866.942	-5417.749	0.000	0.000	-761.112
LCBF2	-5387.941	-4828.177	-36.135	-36.019	-817.039
LCBF3	-8066.509	-734.403	36.135	36.019	-5.693
LCBF4	-9550.039	-5653.783	-18.067	-18.010	-879.302
LCBF5	-11329.186	-3097.073	18.067	18.010	-366.379
LCBF6	-10439.612	-4527.534	-654.820	-364.751	-656.653
LCBF7	-10439.612	-4223.322	654.820	364.751	-589.028
LCBF8	-5180.713	-4788.734	-664.379	-385.356	-818.127
LCBF9	-5180.713	-4496.222	594.890	316.089	-753.103
LCBF10	-7756.259	-852.413	-594.890	-316.089	-37.986
LCBF11	-7756.259	-559.901	664.379	385.356	27.038
LCBF12	-9182.730	-5582.586	-647.007	-368.039	-877.995
LCBF13	-9182.730	-5290.074	612.262	333.405	-812.971
LCBF14	-10893.448	-3124.211	-612.262	-333.405	-384.799
LCBF15	-10893.448	-2831.699	647.007	368.039	-319.776
LCBF16	-5174.789	-2139.454	0.000	0.000	-316.436
LCBF17	-10320.872	-4481.809	0.000	0.000	-505.241
LCBF18	-4863.878	-4554.977	-33.355	-33.248	-645.637
LCBF19	-7336.403	-776.109	33.355	33.248	103.298
LCBF20	-11314.505	-4775.913	0.000	0.000	-666.181
LCBF21	-3835.505	-4186.341	-36.135	-36.019	-722.109
LCBF22	-6514.073	-92.567	36.135	36.019	89.237
LCBF23	-7997.602	-5011.947	-18.067	-18.010	-784.371
LCBF24	-9776.749	-2455.237	18.067	18.010	-271.448
LCBF25	-8887.176	-3885.698	-654.820	-364.751	-561.722
LCBF26	-8887.176	-3581.486	654.820	364.751	-494.098
LCBF27	-3887.016	-4253.870	-664.379	-385.356	-739.018
LCBF28	-3887.016	-3961.359	594.890	316.089	-673.994
LCBF29	-6462.562	-317.549	-594.890	-316.089	41.123
LCBF30	-6462.562	-25.038	664.379	385.356	106.147
LCBF31	-7889.032	-5047.723	-647.007	-368.039	-798.886
LCBF32	-7889.032	-4755.211	612.262	333.405	-733.862
LCBF33	-9599.751	-2589.347	-612.262	-333.405	-305.690
LCBF34	-9599.751	-2296.836	647.007	368.039	-240.667
LCBF35	-5174.789	-2139.454	0.000	0.000	-316.436
LCBF36	-8768.436	-3839.973	0.000	0.000	-410.310
LCBF37	-3828.920	-4127.086	-33.355	-33.248	-582.350
LCBF38	-6301.445	-348.218	33.355	33.248	166.585

■ 기둥1 하단(계수하중조합)

구 분		축력 (kN)	교축직각 휨 (kN·m)	교축 휨 (kN·m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBF1		-13996.596	3003.196	0.000	0.000	-761.112
LCBF2		-6517.595	4444.616	-667.717	-72.539	-853.559
LCBF3		-9196.163	-904.481	667.717	72.539	30.826
LCBF4		-10679.693	4191.350	-333.859	-36.269	-897.562
LCBF5		-12458.839	840.010	333.859	36.269	-348.119
LCBF6		-11569.266	2737.674	-4690.427	-364.751	-656.653
LCBF7		-11569.266	2293.686	4690.427	364.751	-589.028
LCBF8		-6266.918	4487.125	-5152.062	-420.471	-853.242
LCBF9		-6266.918	4060.214	3867.990	280.974	-788.218
LCBF10		-8842.465	-656.238	-3867.990	-280.974	-2.871
LCBF11		-8842.465	-1083.149	5152.062	420.471	62.153
LCBF12		-10268.935	4243.599	-4831.044	-385.597	-895.552
LCBF13		-10268.935	3816.688	4189.008	315.848	-830.528
LCBF14		-11979.653	1021.158	-4189.008	-315.848	-367.242
LCBF15		-11979.653	594.247	4831.044	385.597	-302.218
LCBF16		-6043.753	1361.590	0.000	0.000	-316.436
LCBF17		-11450.526	5658.176	-2275.000	-650.000	-1805.241
LCBF18		-5906.636	7003.488	-2716.355	-666.959	-1879.347
LCBF19		-8379.160	2065.859	-1483.645	-533.041	-1062.991
LCBF20		-12183.470	2594.719	0.000	0.000	-666.181
LCBF21		-4704.469	4036.139	-667.717	-72.539	-758.628
LCBF22		-7383.037	-1312.959	667.717	72.539	125.757
LCBF23		-8866.567	3782.872	-333.859	-36.269	-802.631
LCBF24		-10645.714	431.533	333.859	36.269	-253.189
LCBF25		-9756.140	2329.197	-4690.427	-364.751	-561.722
LCBF26		-9756.140	1885.209	4690.427	364.751	-494.098
LCBF27		-4755.980	4146.727	-5152.062	-420.471	-774.133
LCBF28		-4755.980	3719.816	3867.990	280.974	-709.109
LCBF29		-7331.526	-996.636	-3867.990	-280.974	76.238
LCBF30		-7331.526	-1423.547	5152.062	420.471	141.262
LCBF31		-8757.997	3903.202	-4831.044	-385.597	-816.443
LCBF32		-8757.997	3476.291	4189.008	315.848	-751.420
LCBF33		-10468.715	680.760	-4189.008	-315.848	-288.133
LCBF34		-10468.715	253.849	4831.044	385.597	-223.109
LCBF35		-6043.753	1361.590	0.000	0.000	-316.436
LCBF36		-9637.400	5249.699	-2275.000	-650.000	-1710.310
LCBF37		-4697.885	6731.170	-2716.355	-666.959	-1816.060
LCBF38		-7170.409	1793.541	-1483.645	-533.041	-999.704
일반 축하중 조합	P 최대	13996.596	3003.196	0.000	0.000	761.112
	My 최대	8842.465	-1083.149	5152.062	420.471	62.153
	Mx 최대	5906.636	7003.488	-2716.355	666.959	1879.347
최소 축하중 조합	P 최소	4697.885	6731.170	-2716.355	666.959	1816.060
	My 최대	7331.526	-1423.547	5152.062	420.471	141.262
	Mx 최대	4697.885	6731.170	-2716.355	666.959	1816.060

■ 기둥2 상단(계수하중조합)

구 분	축력 (kN)	교축직각 휨 (kN・m)	교축 휨 (kN・m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBF1	-13849.935	5542.469	0.000	0.000	761.112
LCBF2	-10696.068	1090.177	-36.178	-36.014	4.924
LCBF3	-8017.500	5195.292	36.178	36.014	817.808
LCBF4	-12963.147	3312.546	-18.089	-18.007	365.995
LCBF5	-11184.000	5874.927	18.089	18.007	879.687
LCBF6	-12073.573	4745.843	-657.679	-364.415	656.653
LCBF7	-12073.573	4441.631	657.679	364.415	589.028
LCBF8	-10284.681	1194.503	-667.170	-385.028	37.247
LCBF9	-10284.681	901.991	597.598	315.770	-27.777
LCBF10	-7709.135	5141.729	-597.598	-315.770	818.866
LCBF11	-7709.135	4849.217	667.170	385.028	753.842
LCBF12	-12464.564	3331.397	-649.777	-367.713	384.430
LCBF13	-12464.564	3038.885	614.991	333.085	319.406
LCBF14	-10753.846	5795.224	-614.991	-333.085	878.364
LCBF15	-10753.846	5502.713	649.777	367.713	813.341
LCBF16	-7197.526	2417.488	0.000	0.000	316.436
LCBF17	-12192.313	4035.174	0.000	0.000	505.241
LCBF18	-9982.900	490.721	-33.395	-33.244	-104.008
LCBF19	-7510.375	4280.058	33.395	33.244	646.347
LCBF20	-11690.678	4817.223	0.000	0.000	666.181
LCBF21	-8536.810	364.931	-36.178	-36.014	-90.006
LCBF22	-5858.242	4470.045	36.178	36.014	722.878
LCBF23	-10803.889	2587.300	-18.089	-18.007	271.064
LCBF24	-9024.742	5149.681	18.089	18.007	784.756
LCBF25	-9914.315	4020.596	-657.679	-364.415	561.722
LCBF26	-9914.315	3716.384	657.679	364.415	494.098
LCBF27	-8485.299	590.131	-667.170	-385.028	-41.862
LCBF28	-8485.299	297.619	597.598	315.770	-106.886
LCBF29	-5909.753	4537.357	-597.598	-315.770	739.757
LCBF30	-5909.753	4244.845	667.170	385.028	674.733
LCBF31	-10665.183	2727.025	-649.777	-367.713	305.321
LCBF32	-10665.183	2434.513	614.991	333.085	240.297
LCBF33	-8954.464	5190.852	-614.991	-333.085	799.255
LCBF34	-8954.464	4898.341	649.777	367.713	734.232
LCBF35	-7197.526	2417.488	0.000	0.000	316.436
LCBF36	-10033.055	3309.928	0.000	0.000	410.310
LCBF37	-8543.395	7.223	-33.395	-33.244	-167.295
LCBF38	-6070.870	3796.560	33.395	33.244	583.059

■ 기둥2 하단(계수하중조합)

구 분		축력 (kN)	교축직각 휨 (kN·m)	교축 휨 (kN·m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBF1		-14979.589	-2878.476	0.000	0.000	761.112
LCBF2		-11825.722	1268.763	-667.704	-72.534	-31.595
LCBF3		-9147.154	-4086.009	667.704	72.534	854.328
LCBF4		-14092.801	-620.283	-333.852	-36.267	347.735
LCBF5		-12313.654	-3974.460	333.852	36.267	897.946
LCBF6		-13203.227	-2519.365	-4689.566	-364.415	656.653
LCBF7		-13203.227	-2075.378	4689.566	364.415	589.028
LCBF8		-11370.887	1006.509	-5151.221	-420.143	2.132
LCBF9		-11370.887	1433.420	3867.175	280.655	-62.892
LCBF10		-8795.340	-4142.310	-3867.175	-280.655	853.981
LCBF11		-8795.340	-3715.399	5151.221	420.143	788.957
LCBF12		-13550.770	-809.882	-4830.210	-385.271	366.872
LCBF13		-13550.770	-382.971	4188.186	315.527	301.848
LCBF14		-11840.052	-4035.051	-4188.186	-315.527	895.922
LCBF15		-11840.052	-3608.140	4830.210	385.271	830.898
LCBF16		-8066.491	-1083.556	0.000	0.000	316.436
LCBF17		-13321.967	-1554.811	-2275.000	-650.000	505.241
LCBF18		-11025.657	1856.606	-2716.342	-666.954	-137.718
LCBF19		-8553.133	-3086.260	-1483.658	-533.046	680.057
LCBF20		-12559.642	-2553.409	0.000	0.000	666.181
LCBF21		-9405.775	1593.830	-667.704	-72.534	-126.526
LCBF22		-6727.207	-3760.942	667.704	72.534	759.397
LCBF23		-11672.853	-295.216	-333.852	-36.267	252.804
LCBF24		-9893.707	-3649.393	333.852	36.267	803.016
LCBF25		-10783.280	-2194.298	-4689.566	-364.415	561.722
LCBF26		-10783.280	-1750.311	4689.566	364.415	494.098
LCBF27		-9354.264	1277.398	-5151.221	-420.143	-76.977
LCBF28		-9354.264	1704.309	3867.175	280.655	-142.001
LCBF29		-6778.718	-3871.421	-3867.175	-280.655	774.872
LCBF30		-6778.718	-3444.510	5151.221	420.143	709.848
LCBF31		-11534.147	-538.993	-4830.210	-385.271	287.763
LCBF32		-11534.147	-112.081	4188.186	315.527	222.740
LCBF33		-9823.429	-3764.162	-4188.186	-315.527	816.813
LCBF34		-9823.429	-3337.251	4830.210	385.271	751.789
LCBF35		-8066.491	-1083.556	0.000	0.000	316.436
LCBF36		-10902.020	-1229.744	-2275.000	-650.000	410.310
LCBF37		-9412.359	2073.317	-2716.342	-666.954	-201.006
LCBF38		-6939.835	-2869.549	-1483.658	-533.046	616.770
일반 축하중 조합	P 최대	14979.589	-2878.476	0.000	0.000	761.112
	My 최대	11370.887	1006.509	-5151.221	420.143	37.247
	Mx 최대	8795.340	-4142.310	-3867.175	315.770	853.981
최소 축하중 조합	P 최소	6727.207	-3760.942	667.704	72.534	759.397
	My 최대	9354.264	1277.398	-5151.221	420.143	76.977
	Mx 최대	6778.718	-3871.421	-3867.175	315.770	774.872

㉣ 기둥하중조합 : 기초

■ 기둥1 기초(사용하중조합)

구 분	축력 (kN)	교축직각 휨 (kN·m)	교축 휨 (kN·m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBS1	-8899.435	1935.138	0.000	0.000	-479.108
LCBS2	-8899.435	2105.903	-3608.021	-280.578	-505.118
LCBS3	-8899.435	1764.374	3608.021	280.578	-453.099
LCBS4	-8215.148	3224.115	-256.814	-27.899	-690.432
LCBS5	-9583.723	646.162	256.814	27.899	-267.784
LCBS6	-5013.535	3418.935	-513.629	-55.799	-656.584
LCBS7	-7073.972	-695.755	513.629	55.799	23.713
LCBS8	-8215.148	3394.879	-3864.835	-308.477	-716.442
LCBS9	-8215.148	3053.351	3351.206	252.678	-664.423
LCBS10	-9583.723	816.926	-3351.206	-252.678	-293.794
LCBS11	-9583.723	475.397	3864.835	308.477	-241.775
LCBS12	-5013.535	3589.700	-4121.649	-336.377	-682.593
LCBS13	-5013.535	3248.171	3094.392	224.779	-630.574
LCBS14	-7073.972	-524.991	-3094.392	-224.779	-2.297
LCBS15	-7073.972	-866.519	4121.649	336.377	49.722
LCBS16	-8808.097	4352.443	-1750.000	-500.000	-1388.647
LCBS17	-6043.753	1361.590	0.000	0.000	-316.436
P 최대	9583.723	816.926	-3351.206	266.724	307.840
My 최대	7073.972	-866.519	4121.649	336.377	49.722
Mx 최대	8808.097	4352.443	-1750.000	500.000	1388.647
Vx 최대	8808.097	4352.443	-1750.000	500.000	1388.647
Vy 최대	8808.097	4352.443	-1750.000	500.000	1388.647

■ 기둥1 기초(계수하중조합)

구 분	축력 (kN)	교축직각 휨 (kN·m)	교축 휨 (kN·m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBF1	-13996.596	3003.196	0.000	0.000	-761.112
LCBF2	-6517.595	4444.616	-667.717	-72.539	-853.559
LCBF3	-9196.163	-904.481	667.717	72.539	30.826
LCBF4	-10679.693	4191.350	-333.859	-36.269	-897.562
LCBF5	-12458.839	840.010	333.859	36.269	-348.119
LCBF6	-11569.266	2737.674	-4690.427	-364.751	-656.653
LCBF7	-11569.266	2293.686	4690.427	364.751	-589.028
LCBF8	-6266.918	4487.125	-5152.062	-420.471	-853.242
LCBF9	-6266.918	4060.214	3867.990	280.974	-788.218
LCBF10	-8842.465	-656.238	-3867.990	-280.974	-2.871
LCBF11	-8842.465	-1083.149	5152.062	420.471	62.153
LCBF12	-10268.935	4243.599	-4831.044	-385.597	-895.552
LCBF13	-10268.935	3816.688	4189.008	315.848	-830.528
LCBF14	-11979.653	1021.158	-4189.008	-315.848	-367.242
LCBF15	-11979.653	594.247	4831.044	385.597	-302.218
LCBF16	-6043.753	1361.590	0.000	0.000	-316.436
LCBF17	-11450.526	5658.176	-2275.000	-650.000	-1805.241
LCBF18	-5906.636	7003.488	-2716.355	-666.959	-1879.347
LCBF19	-8379.160	2065.859	-1483.645	-533.041	-1062.991
P 최대	13996.596	3003.196	0.000	0.000	761.112
My 최대	8842.465	-1083.149	5152.062	420.471	62.153
Mx 최대	5906.636	7003.488	-2716.355	666.959	1879.347
Vx 최대	5906.636	7003.488	-2716.355	666.959	1879.347
Vy 최대	5906.636	7003.488	-2716.355	666.959	1879.347

■ 기둥2 기초(사용하중조합)

구 분	축력 (kN)	교축직각 휨 (kN・m)	교축 휨 (kN・m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBS1	-10156.329	-1767.209	0.000	0.000	479.108
LCBS2	-10156.329	-1937.973	-3607.358	-280.319	505.118
LCBS3	-10156.329	-1596.444	3607.358	280.319	453.099
LCBS4	-10840.616	-477.141	-256.809	-27.898	267.488
LCBS5	-9472.041	-3057.277	256.809	27.898	690.728
LCBS6	-9096.709	975.971	-513.619	-55.795	-24.304
LCBS7	-7036.272	-3143.084	513.619	55.795	657.175
LCBS8	-10840.616	-647.905	-3864.168	-308.217	293.498
LCBS9	-10840.616	-306.376	3350.549	252.422	241.479
LCBS10	-9472.041	-3228.041	-3350.549	-252.422	716.738
LCBS11	-9472.041	-2886.512	3864.168	308.217	664.719
LCBS12	-9096.709	805.207	-4120.977	-336.114	1.705
LCBS13	-9096.709	1146.736	3093.740	224.524	-50.314
LCBS14	-7036.272	-3313.848	-3093.740	-224.524	683.185
LCBS15	-7036.272	-2972.319	4120.977	336.114	631.166
LCBS16	-10247.667	-1196.008	-1750.000	-500.000	388.647
LCBS17	-8066.491	-1083.556	0.000	0.000	316.436
P 최대	10840.616	-647.905	-3864.168	308.217	307.544
My 최대	9096.709	805.207	-4120.977	336.114	29.797
Mx 최대	7036.272	-3313.848	-3093.740	252.616	683.185
Vx 최대	10247.667	-1196.008	-1750.000	500.000	388.647
Vy 최대	9472.041	-3228.041	-3350.549	266.468	716.738

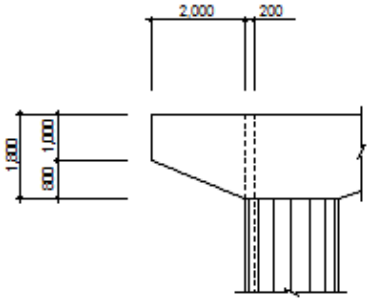
■ 기둥2 기초(계수하중조합)

구 분	축력 (kN)	교축직각 휨 (kN·m)	교축 휨 (kN·m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBF1	-14979.589	-2878.476	0.000	0.000	761.112
LCBF2	-11825.722	1268.763	-667.704	-72.534	-31.595
LCBF3	-9147.154	-4086.009	667.704	72.534	854.328
LCBF4	-14092.801	-620.283	-333.852	-36.267	347.735
LCBF5	-12313.654	-3974.460	333.852	36.267	897.946
LCBF6	-13203.227	-2519.365	-4689.566	-364.415	656.653
LCBF7	-13203.227	-2075.378	4689.566	364.415	589.028
LCBF8	-11370.887	1006.509	-5151.221	-420.143	2.132
LCBF9	-11370.887	1433.420	3867.175	280.655	-62.892
LCBF10	-8795.340	-4142.310	-3867.175	-280.655	853.981
LCBF11	-8795.340	-3715.399	5151.221	420.143	788.957
LCBF12	-13550.770	-809.882	-4830.210	-385.271	366.872
LCBF13	-13550.770	-382.971	4188.186	315.527	301.848
LCBF14	-11840.052	-4035.051	-4188.186	-315.527	895.922
LCBF15	-11840.052	-3608.140	4830.210	385.271	830.898
LCBF16	-8066.491	-1083.556	0.000	0.000	316.436
LCBF17	-13321.967	-1554.811	-2275.000	-650.000	505.241
LCBF18	-11025.657	1856.606	-2716.342	-666.954	-137.718
LCBF19	-8553.133	-3086.260	-1483.658	-533.046	680.057
P 최대	14979.589	-2878.476	0.000	0.000	761.112
My 최대	11370.887	1006.509	-5151.221	420.143	37.247
Mx 최대	8795.340	-4142.310	-3867.175	315.770	853.981
Vx 최대	11025.657	1856.606	-2716.342	666.954	137.718
Vy 최대	12313.654	-3974.460	333.852	36.267	897.946

7) 부재별 검토

① 코핑설계

㉠ 부재력 요약



lc=w1+0.1・D = 2.200m

w1:코핑연단에서 기둥 전면까지의 거리

D:기둥직경

lc:코핑 유효 내민 길이

㉡ 내민보 설계

■ 깊은 보 검토

Ln/d=2.669/1.700=1.570< 5.0 ☞ Deep Beam 검토 필요.

㉢ 깊은 보 설계

구 분	d(mm)	사용철근량(㎟)	M_u(kN · m)	ϕM_n(kN · m)	안전율
깊은 보 휨 검토	1650	D32-10EA=19060.8 D32-10EA=19060.8 = 38121.6	8978.840	15167.830	O.K.(1.689)

㉣ 브라켓 검토

■ 좌측 내민보

a / d = 1.334 / 1.650 = 0.809 < 1.0 ☞ 브라켓 검토 필요.

a = M / V = 8428.824 / 6316.472 = 1.334m

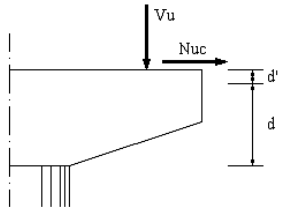
■ 우측 내민보

a / d = 1.335 / 1.650 = 0.809 < 1.0 ☞ 브라켓 검토 필요.

a = M / V = 8978.840 / 6724.194 = 1.335m

㉤ 브라켓 검토

■ 좌측



b = 2500.00mm

d = 1650.00mm : 브라켓 유효길이

d' = 150.00mm : 피복 두께

fck=24MPa

fy=300MPa

φf=0.800:강도감소계수 (휨)

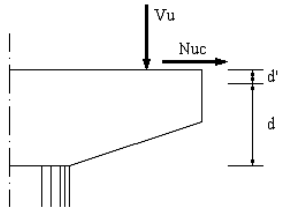
φs=0.800:강도감소계수 (전단)

μ = 1.400 : 전단마찰계수

■ 단면검토

구 분		단 위	관 계 식	결과
브라켓 검토	Vu	kN	코핑하중조합 참고	6316.472
	Mu	kN・m	코핑하중조합 참고	8428.824
	a	mm	Mu/Vu	1334.42
	a/d	-	a/d	0.809
단면력	Nuc	kN	0.2・Vu	1263.294
	Mu	kN・m	Vu・a + Nuc・d'	8618.318
단면검토	Vn	kN	0.2・fck・b・d/1000	19800.000
		kN	5.6・b・d/1000	23100.000
전단마찰철근량	Avf	mm^2	Vu/(φs・fy・μ)	18799.03
인장철근량	An	mm^2	Nuc/(φs・fy)	5263.73
휨철근량	Af	mm^2	{(φf・fy2)/(1.7・fck・b)}・Af2 -(φf・d・fy)・Af+Mu=0	22680.36
주철근량	As1	mm^2	Af+An	27944.09
	As2	mm^2	2/3・Avf+An	17796.41
	Asmin	mm^2	0.04・fck/fy・b・d	13200.00
	As	mm^2	max(As1,As2,Asmin)	27944.09
필요철근량	reqAs	mm^2	max(적용 Af,As)	27944.09
사용철근량	useAs	mm^2	1 단 : D32@100 = 19060.80mm^2 2 단 : D32@100 = 19060.80mm^2	38121.60
필요수평철근량	reqAh	mm^2	0.5・(As-An)	11340.18
사용수평철근량	useAh	mm^2	D22-6열-5단	11613.00

■ 우측



b = 2500.00mm

d = 1650.00mm : 브라켓 유효길이

d' = 150.00mm : 피복 두께

fck=24MPa

fy=300MPa

φf=0.800:강도감소계수 (휨)

φs=0.800:강도감소계수 (전단)

μ = 1.400 : 전단마찰계수

■ 단면검토

구 분		단 위	관 계 식	결과
브라켓 검토	Vu	kN	코핑하중조합 참고	6724.194
	Mu	kN・m	코핑하중조합 참고	8978.840
	a	mm	Mu/Vu	1335.30
	a/d	-	a/d	0.809
단면력	Nuc	kN	0.2・Vu	1344.839
	Mu	kN・m	Vu・a + Nuc・d'	9180.565
단면검토	Vn	kN	0.2・fck・b・d/1000	19800.000
		kN	5.6・b・d/1000	23100.000
전단마찰철근량	Avf	mm^2	Vu/(φs・fy・μ)	20012.48
인장철근량	An	mm^2	Nuc/(φs・fy)	5603.49
휨철근량	Af	mm^2	{(φf・fy2)/(1.7・fck・b)}・Af2 -(φf・d・fy)・Af+Mu=0	24229.73
주철근량	As1	mm^2	Af+An	29833.23
	As2	mm^2	2/3・Avf+An	18945.15
	Asmin	mm^2	0.04・fck/fy・b・d	13200.00
	As	mm^2	max(As1,As2,Asmin)	29833.23
필요철근량	reqAs	mm^2	max(적용 Af,As)	29833.23
사용철근량	useAs	mm^2	1 단 : D32@100 = 19060.80mm^2 2 단 : D32@100 = 19060.80mm^2	38121.60
필요수평철근량	reqAh	mm^2	0.5・(As-An)	12114.87
사용수평철근량	useAh	mm^2	D22-6열-5단	11613.00

ⓗ 외측지점부 보 설계

구 분	d(mm)	사용철근량(㎟)	M_u(kN · m)	ϕM_n(kN · m)	안전율
보	1400	D32-10EA=19060.8 D32-10EA=19060.8 = 38121.6	7685.760	15167.830	O.K.(1.973)

ⓢ 캔틸레버부 종방향 검토

구 분	d(mm)	사용철근량(㎟)	M_u(kN · m)	ϕM_n(kN · m)	안전율
보	1875.34	D22-36EA+D32-24EA =32996.4	250.903	14645.139	O.K.(58.370)

ⓞ 내측지간부 보 설계

구 분	d(mm)	사용철근량(㎟)	M_u(kN · m)	ϕM_n(kN · m)	안전율
보	1875.34	D32-10EA=19060.8 D32-10EA=19060.8 = 38121.6	0.000	2980.225	O.K.

② 기둥검토

㉠ 부재력 요약

■ 기둥 1

구 분			축력(kN)		모멘트(kN・m)				V(kN)	δ (mm)
			장기지속축력	전체축력	Top		Bottom			
					Sway	Non Swat	Sway	Non Swat		
일반	Pmax	교축	7856.879	13996.596	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
		직각			0.000	-5417.749	0.000	3003.196	761.112	0.96
	Mymax	교축	7554.692	8842.465	664.379	0.000	5152.062	0.000	420.471	-12.39
		직각			2114.416	-2674.318	-2785.137	1701.988	62.153	-2.64
	Mxmax	교축	7252.504	5906.636	-33.355	0.000	-2716.355	0.000	666.959	3.41
		직각			-1987.632	-2567.345	5369.579	1633.908	1879.347	5.50
최소	Pmin	교축	6043.753	4697.885	-33.355	0.000	-2716.355	0.000	666.959	3.41
		직각			-1987.632	-2139.454	5369.579	1361.590	1816.060	5.34
	Mymax	교축	6043.753	7331.526	664.379	0.000	5152.062	0.000	420.471	-12.39
		직각			2114.416	-2139.454	-2785.137	1361.590	141.262	-2.84
	Mxmax	교축	6043.753	4697.885	-33.355	0.000	-2716.355	0.000	666.959	3.41
		직각			-1987.6	-2139.454	5369.579	1361.590	1816.060	5.34

■ 기둥 2

구 분			축력(kN)		모멘트(kN・m)				V(kN)	δ (mm)
			장기지속축력	전체축력	Top		Bottom			
					Sway	Non Sway	Sway	Non Sway		
일반	Pmax	교축	10486.438	14979.589	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
		직각			0.000	5542.469	0.000	-2878.47	761.112	-0.54
	Mymax	교축	10083.114	11370.887	-667.170	0.000	-5151.22	0.000	420.143	12.39
		직각			-1827.35	3021.860	2360.954	-1354.44	37.247	3.81
	Mxmax	교축	10083.114	8795.340	-597.598	0.000	-3867.17	0.000	315.770	9.61
		직각			2119.869	3021.860	-2787.86	-1354.44	853.981	-3.42
최소	Pmin	교축	8066.491	6727.207	36.178	0.000	667.704	0.000	72.534	-1.44
		직각			2052.557	2417.488	-2677.38	-1083.55	759.397	-3.61
	Mymax	교축	8066.491	9354.264	-667.170	0.000	-5151.22	0.000	420.143	12.39
		직각			-1827.35	2417.488	2360.954	-1083.55	76.977	3.77
	Mxmax	교축	8066.491	6778.718	-597.598	0.000	-3867.17	0.000	315.770	9.61
		직각			2119.869	2417.488	-2787.86	-1083.55	774.872	-3.46

■ 설계요약

◦ 기둥 1

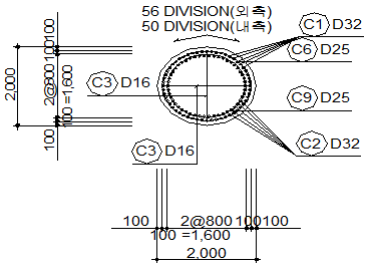
구 분		Pu	δMy	δMx	δMu	CASE
일반조합	Pmax	13996.596	5417.749	0.000	5417.749	LCBF1
	Mymax	8842.465	1083.149	5152.062	5264.689	LCBF11
	Mxmax	5906.636	7003.488	2716.355	7511.819	LCBF18
최소 축력조합	Pmin	4697.885	6731.170	-2865.288	7315.635	LCBF37
	Mymax	7331.526	1423.547	5152.062	5345.112	LCBF30
	Mxmax	4697.885	6731.170	2716.355	7258.597	LCBF37

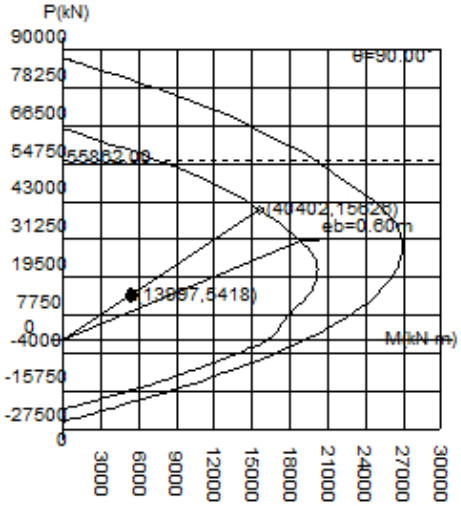
◦ 기둥 2

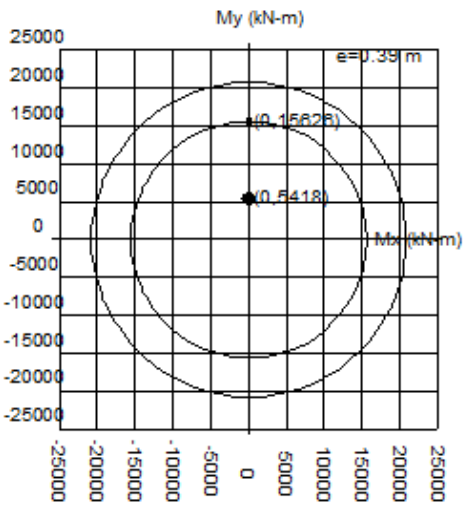
구 분		Pu	δMy	δMx	δMu	CASE
일반조합	Pmax	14979.589	5542.469	0.000	5542.469	LCBF1
	Mymax	11370.887	1194.503	5151.221	5287.903	LCBF8
	Mxmax	8795.340	5141.729	3867.175	6433.694	LCBF10
최소 축력조합	Pmin	6727.207	4470.045	667.704	4519.639	LCBF22
	Mymax	9354.264	1277.398	5151.221	5307.243	LCBF27
	Mxmax	6778.718	4537.357	3867.175	5961.765	LCBF29

■ 기둥 주철근량 검토

◦ 기둥 1

구 분	사 용 철 근	조립도
1 단	D32× 56EA	
2 단	D32× 50EA	
계	84185.20mm² - 2.680%	
유효단면적 A_{eff}=1570796.33 mm²	A_{eff}=Pu/{φ・0.80・(0.85fck+0.01fy)} (단, A_{eff}>1/2・Ag)	





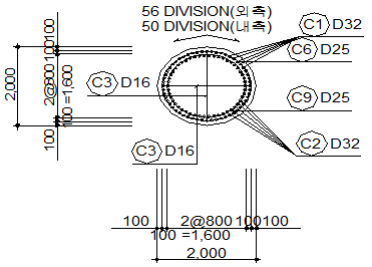
Pu=13996.596kN ≤ φPn=40402.170kN ····· O.K (S.F. 2.887)

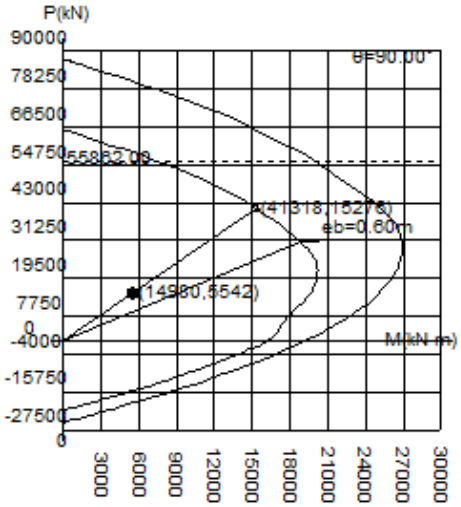
δMux=0.000kN・m ≤ φMnx=0.000kN・m

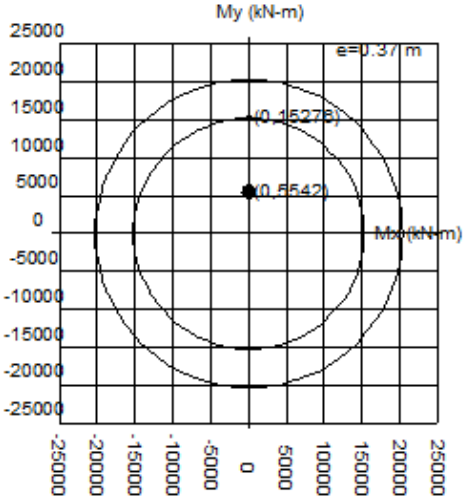
δMuy=5417.749kN・m ≤ φMny=15626.329kN・m ····· O.K (S.F. 2.884)

δMu=5417.749kN・m ≤ φMn=15626.329kN・m ····· O.K (S.F. 2.884)

◦ 기둥 2

구 분	사 용 철 근	조립도
1 단	D32× 56EA	
2 단	D32× 50EA	
계	84185.20mm² - 2.680%	
유효단면적 A_{eff}=1570796.33 mm²	Aeff=Pu/{φ・0.80・(0.85fck+0.01fy)}(단, Aeff>1/2・Ag)	





Pu=14979.589kN ≤ φPn=41317.540kN ····· O.K (S.F. 2.758)

δMux=0.000kN・m ≤ φMnx=0.000kN・m ····· O.K

δMuy=5542.469kN・m ≤ φMny=15275.719kN・m ····· O.K (S.F. 2.756)

δMu=5542.469kN・m ≤ φMn=15275.719kN・m ····· O.K (S.F. 2.756)

③ 기초설계

㉠ 직접기초 안정검토

구분	전도에 대한 검토			활동에 대한 검토			지지력에 대한 검토		
	편심 (m)	허용편심 (m)	안전율	마찰력/ 수평력	허용 안전율	안전율	작용 지지력	허용 지지력	안전율
교축	0.477	1.083	O.K.(2.270)	17.431	1.500	1.5이상	426.750	600.000	O.K.(1.406)
교축지각	0.282	1.933	O.K.(6.855)	17.431	1.500	1.5이상	352.535	600.000	O.K.(1.702)

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

㉡ 기초단면력 검토

위 치	Mu (kN・m)	φMn (kN・m)	Mu/ φMn	reqAs (mm^2)	useAs(mm^2)		w (mm)	wa (mm)
캔틸레버 (교축)	1242.241	3001.980	41.4%	3453.23	D32@125	6353.60	0.15	0.42
캔틸레버 (교축직각)	1165.253	3002.228	38.8%	3237.17	D32@125	6353.60	0.10	0.42
내측지간부 (교축직각)	177.378	788.734	22.5%	488.83	D22@250	1548.40	0.11	0.44

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

④ 검토 결과

교각 구조물에 대한 안정성 검토 결과 최소 안전율 1.0이상으로 나와 구조적인 안전성을 확보한 것으로 판단된다.

라. 내진설계 검토

1) 교대

① 내진등급 :내진1등급(가설위치 : 충청북도)

② 가속도 계수 : A = 0.14

③ 지반계수 : S = 1.2(지반 Ⅱ)

④ 지진시 안정계산 검토[주1)]

구 분	연직력(kN)	수평력(kN)	M(저항)	M(전도)
하중	1395.35	604.33	5497.92 (kN・m)	2559.58 (kN・m)

주1) 기존계산서 3. 작용하중계산 및 안정검토 중 CASE-4 참조

㉠ 전도에 대한 검토

■ 말뚝기초이므로 불필요.(※말뚝검토 참조)

㉡ 활동에 대한 검토

■ 말뚝기초이므로 불필요.(※말뚝검토 참조)

㉢ 말뚝검토(ϕ508)('말뚝지지력 산정' 부분 참조)

■ 지진시 허용지지력 = 1496.859kN/m^2

■ Fs = 1496.859 / 588.77 = 2.542 안정

2) 교각

① 교각형식 : 다주식 π형 교각

② 상부형식 : 2경간 STEEL BOX교

③ 기초형식 : 직접기초

④ 내진조건

㉠ 가속도 계수 : A = 0.14

㉡ 내진등급 : 내진2등급

㉢ 지반계수 : S = 1.2(지반 Ⅱ)

㉣ 응답수정계수(R)

■ 하부구조

◦ 교각 = 5.0

■ 연결부분

◦ 기초 = 1.0

◦ 상부구조와 교대 = 0.8

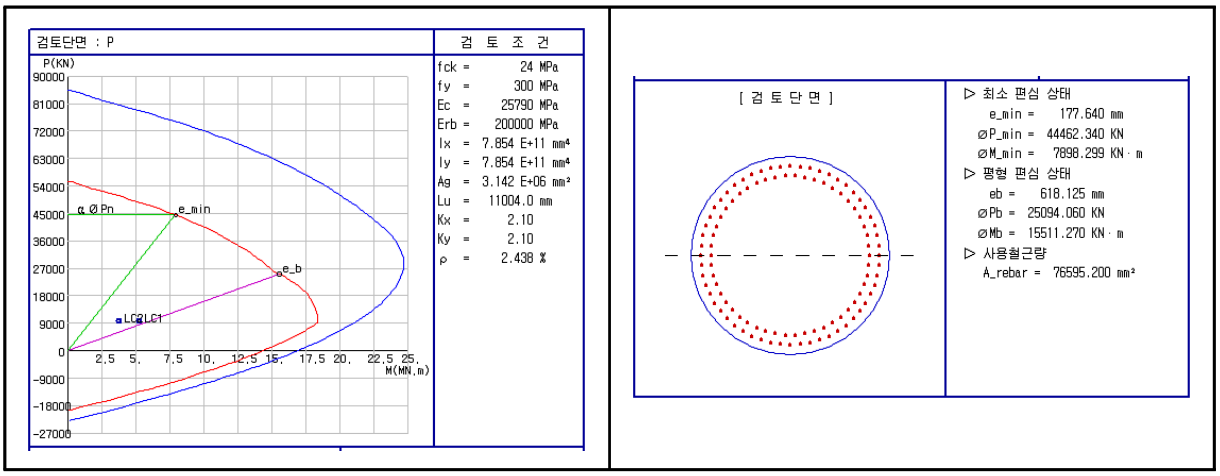
㉤ 해석방법 : 단일모드 스펙트럼 해석법

⑤ 단면력 정리 및 검토

구 분		P_u(kN) 주2)	ϕP_N (kN)	P_u / ϕP_N	M_u 주3) (kN·m)	ϕM_n (kN·m)	M_u / ϕM_n	비고
CASE(6)	교축방향	9831.63	27755.981	O.K. (2.823)	5189.059	14649.391	O.K. (2.823)	
	교축 직각방향		33757.548	O.K. (3.434)	3721.127	12776.738	O.K. (3.434)	

주2) 기존계산서 '6.기둥의 설계' 중 CASE(6) 참조
주3) 구조계산 프로그램(RC Mania)을 이용하여 나온 결과 값

⑥ P-M 상관도



3) 하부구조 내진설계 검토결과

교대부 검토결과 내진시 말뚝에 대한 지지력은 확보되어 있다.(안전율 Fs =2.542)

교각부 검토결과 내진시 단면력 검토결과 안전율 2.823로 구조적으로 안전성을 확보하고 있다.

5.4.2 감곡IC교-양평방향

가. 교대(A1) 구조검토

1) 검토조건

㉠ 일반조건

㉡ 하부구조형식 : 역T형 교대

㉢ 상부구조형식 : 강박스 거더교

㉣ 교량등급 : 1등교(DB-24, DL-24)

㉤ 교대총폭 : B=12.906m

㉥ 교대총높이 : H=12.000m

㉦ 기초형식 : 말뚝기초

㉧ SKEW : 20.000°

② 하중

㉠ 철근콘크리트의 단위중량 : γc = 25.000kN/㎥

㉡ 뒷채움재의 단위중량 : $\gamma s1$ = 10.000kN/㎥(토사)

㉢ 기초지반의 단위중량 : $\gamma s2$ = 20.000kN/㎥

㉣ 과재하중 : q1 = 10.000kN/m

㉤ 상부 고정하중 반력 : Rd = 265.182kN/m

㉥ 상부 활하중 반력 : R1 = 114.968kN/m

㉦ 교량받침 마찰계수 : fs = 0.050

③ 지반조건

㉠ 뒷채움재의 내부마찰각 : $\Phi 1$ = 35.0°

㉡ 기초지반의 N치 : N = 50.0

㉢ 기초지반의 내부마찰각 : $\Phi 2$ = 42.386° ($\Phi_2 = 15 + \sqrt{15N}$)

㉣ 기초지반의 점착력 : C = 0.000kN/㎡

㉤ 기초지반의 마찰계수 : μ=0.327($\tan(2/3\Phi_2)$: 흙과 콘크리트)

㉥

④ 사용재료

㉠ 콘크리트

■ 설계기준강도(f_{ck}) : 24 MPa

■ 탄성계수(E_c) : 26,986

㉡ 철근(SD30)

■ 항복강도(f_y) : 300 MPa

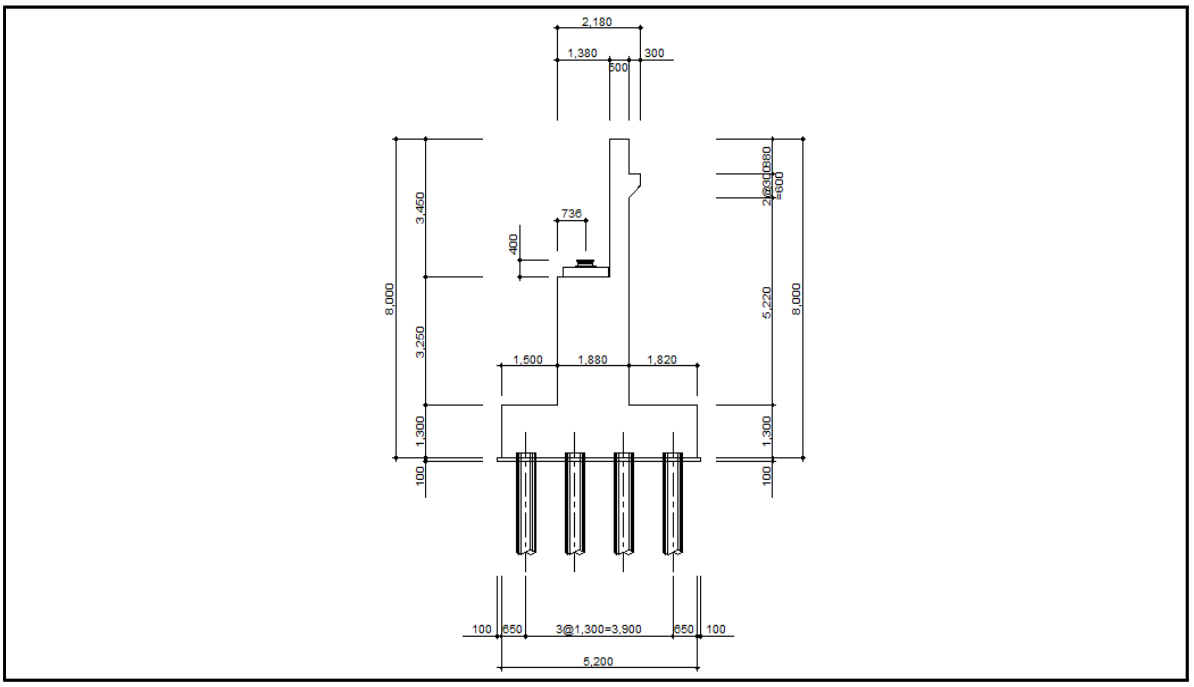
■ 탄성계수(E_s) : 200,000 MPa

⑤ 설계방법

㉠ 안전성검토 : 허용응력설계법

㉡ 단면검토 : 강도설계법

2) 해석단면



【그림 5-25】 해석단면(A2)

3) 하중산정

① 자중(원점 0을 기준으로)

㉠ 교대구체

Wc = 28.10m^2 × 25.0 = 702.450kN/m

㉡ 뒷채움채

Wc = 22.60m^2 × 20.0 = 452.020kN/m

② 토압

㉠ 토압계수 산정

■ 평상시 주동토압계수(Rankine) : 안정검토시 적용(상시)

$$K_a = \cos\alpha \times \frac{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}$$

■ 평상시 주동토압계수(Coulomb) : 단면검토시 적용(상시)

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \beta)}{\cos^2\beta * \cos(\beta + \delta)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) * \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\beta + \delta) * \cos(\beta - \alpha)}}\right]^2}$$

Φ = 뒷채움 흙의 내부마찰각(도)

α = 지표면과 수평면이 이루는 각(도)

β = 벽배면과 연직면이 이루는 각(도)

δ = 벽배면과 뒷채움흙 사이의 벽면마찰각(도)

구 분	안정검토	벽체검토
Φ	35.000	35.000
α	0.000	0.000
β	0.000	0.000
δ	0.000	11.667
Ka	0.271	0.251

③ 토압에 의한 하중집계

구 분		하중산식	P (kN/m)	x(m)	M (kN・m/m)
상 시	수평토압	$1/2\times0.271\times20\times12.000^2\times\cos0.000$	390.226	4.000	1560.903
	배면활하중 토압	$0.271\times10.000\times12.000\times\cos\ 0.000$	32.519	6.000	195.113

④ 상부구조물 하중

㉠ 상부구조물 하중 집계

구 분		하중산식	P (kN/m)	x(m)	M (kN・m/m)
연직하중	고정하중	3002.190 / 13.734	218.591	3.036	663.710
	활하중	1500.720 / 13.734	109.268	3.036	331.772
	배면활하중	10.000×2.320	23.200	5.340	123.888
수평하중	온도하중	218.591×0.050000	10.930	8.950	97.819

⑤ 하중요약

구 분	V(kN/m)	H(kN/m)	팔길이(m)		Moment(kN/m・m)	
			x	y	Mx	My
교대본체자중	702.450	-	3.293	-	2312.892	-
뒷굽상부토자중	452.020	-	5.346	-	2416.559	-
상부고정하중	218.591	-	3.036	-	663.710	-
상부활하중	109.268	-	3.036	-	331.772	-
수평토압	-	390.226	-	4.000	-	1560.903
배면활하중	23.200	32.519	5.340	6.000	123.888	195.113
온도하중	-	10.930	-	8.950	-	97.819

⑥ 하중조합

㉠ 사용하중 조합

구 분	D	Rd	RI	LU	H	G	Q	비고
LCBS1	1	0	0	0	1	0	0	
LCBS2	1	1	0	0	1	0	0	
LCBS3	1	1	1	1	1	0	0	
LCBS4	1	1	1	1	1	1	0	

㉡ 계수하중 조합

구 분	D	Rd	RI	LU	H	G	Q	비고
LCBF1	1.3	0	0	0	1.7	0	0	
LCBF2	1.3	1.3	0	0	1.7	0	0	
LCBF3	1.3	1.3	2.15	2.15	1.7	0	0	
LCBF4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.7	1.3	0	

D : 자중(구체자중, 뒷굽배면토사) 또는 이에 따른 단면력
Rd : 상부고정하중 또는 이에 따른 단면력
Rl : 상부활하중 또는 이에 따른 단면력
LU : 배면활하중(연직하중) 또는 이에 따른 단면력
H : 수평토압(배면활하중 토압 포함) 또는 이에 따른 단면력
G : 온도변화 등으로 인한 팽창 또는 수축변형으로 유발된 변형력 또는 이에 따른 단면력
Q : 부력 또는 양압력, 수압, 파압 등의 하중 또는 이에 따른 단면력
E : 지진의 영향 또는 이에 따른 단면력

⑦ 하중조합 결과

하 중 조 합		V(kN/m)	H(kN/m)	Mr (kN/m・m)	Mo (kN/m・m)	비 고
사용하중	LCBS1	1154.470	390.226	4729.451	1560.903	
	LCBS2	1373.061	390.226	5393.161	1560.903	
	LCBS3	1505.529	422.744	5848.821	1756.016	
	LCBS4	1505.529	433.674	5848.821	1853.835	
계수하중	LCBF1	1500.811	663.384	6148.286	2653.535	
	LCBF2	1784.979	663.384	7011.109	2653.535	
	LCBF3	2069.786	718.666	7990.778	2985.226	
	LCBF4	1957.188	563.776	7603.467	2409.986	

4) 말뚝 검토

① 검토조건

㉠ 말뚝의 제원

말뚝 종류	직경(mm)	두께(mm)	부식두께(mm)	길이(m)
강관말뚝	508	12	2	4.329

※ 말뚝길이는 기초평면에 묻힌 100mm는 제외한 길이임.

· 말뚝의 탄성계수 : E = 205,000MPa

· 말뚝의 단면2차 모멘트 : $I = \pi/64 \times (0.504^4 - 0.486^4) = 0.0004288m^4$

② 단위길이당 작용하는 하중

구 분		V(kN/m)	H(kN/m)	e(m)	Mc (kN/m · m)	비 고
사용하중	LCBS1	15855.812	5359.468	0.505	8013.672	
	LCBS2	18858.002	5359.468	0.459	8655.208	
	LCBS3	20677.358	5806.090	0.531	10989.683	
	LCBS4	20677.358	5956.200	0.596	12333.163	
계수하중	LCBF1	20612.556	9111.096	0.921	18992.923	
	LCBF2	24515.403	9111.096	0.809	19826.920	
	LCBF3	28427.017	9870.354	0.832	23640.159	
	LCBF4	26880.565	7743.060	0.596	16033.112	

③ Pile 본체 검토

㉠ 휨응력 검토(사용하중)

구 분		V(kN/m)	M (kN/m · m)	f(MPa)	fsa(MPa)	안전율
LCBS1	FIX	525.149	110.170	92.458	140.000	O.K.(1.514)
	HINGE	440.404	62.620	61.696	140.000	O.K.(2.269)
LCBS2	FIX	594.868	109.916	96.815	140.000	O.K.(1.446)
	HINGE	510.317	62.620	66.201	140.000	O.K.(2.115)
LCBS3	FIX	673.726	118.439	106.431	140.000	O.K.(1.315)
	HINGE	582.619	67.838	73.637	140.000	O.K.(1.901)
LCBS4	FIX	696.429	121.083	109.301	140.000	O.K.(1.281)
	HINGE	603.288	69.592	75.902	140.000	O.K.(1.844)

㉡ 전단응력 검토(사용하중)

구 분		H(kN/m)	τ	τ_{sa}	안전율
MAX	평상시	119.124	15.346	80.000	O.K.(5.213)

④ 말뚝의 지지력 검토

구 분		압축력(kN)		인발력(kN)		안전율
		반력	허용	반력	허용	
상 시	LCBS1	525.149	997.900	0.000	0.000	O.K.(1.900)
상 시	LCBS2	594.868	997.900	0.000	0.000	O.K.(1.678)
상 시	LCBS3	673.726	997.900	0.000	0.000	O.K.(1.481)
상 시	LCBS4	696.429	997.900	0.000	0.000	O.K.(1.433)

5) 교대 단면력에 대한 검토

① 연직벽

㉠ 단면력 산정

구 분		하중산식	P (kN/m)	x(m)	M (kN·m/m)
상 시	수평토압	1/2×0.2508×20 ×9.8002×cos11.667	235.938	3.267	770.731
	배면활하중 토압	0.2508×10.000 ×9.800 ×cos 11.667	24.075	4.900	117.969
	온도하중	218.591×0.050000	10.930	6.750	73.774

㉡ 하중조합

구 분		D	H	Rd	Rl	LU	G	V(kN/m)	M (kN·m/m)
사용하중	LCBS1	1	1	0	0	0	0	235.938	770.731
	LCBS2	1	1	1	0	1	0	235.938	770.731
	LCBS3	1	1	1	1	1	0	260.013	888.700
	LCBS4	1	1	1	1	1	1	270.943	962.474
	Max							270.943	962.474
계수하중	LCBF1	1.3	1.7	0	0	0	0	401.095	1310.242
	LCBF2	1.3	1.7	1.3	0	0	0	401.095	1310.242
	LCBF3	1.3	1.7	1.3	2.15	2.15	0	442.023	1510.790
	LCBF4	1.3	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	352.226	1251.217
	Max							442.023	1510.790

② 흉벽

㉠ 단면력 산정

구 분	하중산식	P (kN/m)	x(m)	M (kN・m/m)
수평토압	1/2×0.2508×20 ×3.4502×cos11.667	29.240	1.150	33.627
윤하중	11.46×0.2508	28.747	3.090	88.829

㉡ 하중조합

구 분		D	H	Rd	Rl	LU	G	V(kN/m)	M (kN・m/m)
사용하중	LCBS1	1	1	0	0	0	0	29.240	33.627
	LCBS2	1	1	1	0	1	0	29.240	33.627
	LCBS3	1	1	1	1	1	0	57.988	122.456
	LCBS4	1	1	1	1	1	1	57.988	122.456
	Max							57.988	122.456
계수하중	LCBF1	1.3	1.7	0	0	0	0	49.709	57.165
	LCBF2	1.3	1.7	1.3	0	0	0	49.709	57.165
	LCBF3	1.3	1.7	1.3	2.15	2.15	0	98.579	208.174
	LCBF4	1.3	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	75.384	159.192
	Max							98.579	208.174

③ 압굽

㉠ 단면력 산정

구 분		말뚝머리 고정		말뚝머리 힌지		비 고
		V (kN/m)	M (kN・m/m)	V (kN/m)	M (kN・m/m)	
사용하중	LCBS1	0.000	738.221	0.000	625.611	
	LCBS2	0.000	838.513	0.000	726.162	
	LCBS3	0.000	947.935	0.000	826.873	
	LCBS4	0.000	978.102	0.000	854.338	
계수하중	LCBF1	0.000	1177.865	0.000	988.596	
	LCBF2	0.000	1308.245	0.000	1119.313	
	LCBF3	0.000	1514.993	0.000	1311.189	
	LCBF4	0.000	1271.533	0.000	1110.639	

㉡ 하중조합

구 분		D	H	Rd	Rl	LU	G	V(kN/m)	M (kN・m/m)
사용하중	LCBS1	1	1	0	0	0	0	11.000	592.746
	LCBS2	1	1	1	0	1	0	11.000	693.038
	LCBS3	1	1	1	1	1	0	11.000	802.460
	LCBS4	1	1	1	1	1	1	11.000	832.627
	Max							11.000	832.627
계수하중	LCBF1	1.3	1.7	0	0	0	0	14.300	988.747
	LCBF2	1.3	1.7	1.3	0	0	0	14.300	1119.127
	LCBF3	1.3	1.7	1.3	2.15	2.15	0	14.300	1325.876
	LCBF4	1.3	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	14.300	1082.415
	Max							14.300	1325.876

④ 뒷굽

㉠ 단면력 산정

구 분		말뚝머리 고정		말뚝머리 힌지		비 고
		V (kN/m)	M (kN・m/m)	V (kN/m)	M (kN・m/m)	
사용하중	LCBS1	234.583	190.047	327.139	304.508	
	LCBS2	311.453	266.165	403.796	380.362	
	LCBS3	318.055	262.849	417.558	385.901	
	LCBS4	293.261	232.186	394.985	357.985	
계수하중	LCBF1	125.634	25.297	281.197	217.677	
	LCBF2	225.565	124.250	380.851	316.288	
	LCBF3	263.192	146.099	430.702	353.254	
	LCBF4	381.239	301.842	513.480	465.381	

㉡ 하중조합

구 분		D	H	Rd	Rl	LU	G	V(kN/m)	M (kN・m/m)
사용하중	LCBS1	1	1	0	0	0	0	345.037	485.084
	LCBS2	1	1	1	0	1	0	268.167	408.966
	LCBS3	1	1	1	1	1	0	284.765	439.194
	LCBS4	1	1	1	1	1	1	309.559	469.857
	Max							345.037	485.084
계수하중	LCBF1	1.3	1.7	0	0	0	0	627.872	852.374
	LCBF2	1.3	1.7	1.3	0	0	0	527.941	753.421
	LCBF3	1.3	1.7	1.3	2.15	2.15	0	540.194	789.432
	LCBF4	1.3	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	402.427	610.814
	Max							627.872	852.374

⑤ 각 부재별 단면검토

구 분	d(mm)	사용철근량(㎟)	M_u(kN · m)	ϕM_n(kN · m)	ϕM_n / M_u
연직벽체	1780	D32-10EA=7942.0	1510.790	3489.078	O.K.(2.309)
흉벽	420	D22-10EA=3871.0	208.174	388.888	O.K.(1.868)
압굽	2100	D29-10EA=6424.8	1325.876	3361.999	O.K.(2.536)
뒷굽	2100	D29-10EA=6424.8	852.374	3361.689	O.K.(3.944)

6) 검토결과

각 부재별 단면검토 결과 최소안전율 1.868로 나와 구조적인 안전성을 확보한 것으로 판단된다.

말뚝기초에 대한 검토 결과 최소 안전율 1.281로 나와 안전한 것으로 판단된다.

나. 교대(A2) 구조검토

1) 검토조건

① 일반조건

㉠ 하부구조형식 : 역T형 교대

㉡ 상부구조형식 : 강박스 거더교

㉢ 교량등급 : 1등교(DB-24, DL-24)

㉣ 교대총폭 : B=15.756m

㉤ 교대총높이 : H=8.000m

㉥ 기초형식 : 말뚝기초

㉦ SKEW : 20.000°

② 하중

㉠ 철근콘크리트의 단위중량 : γc = 25.000kN/㎥

㉡ 뒷채움재의 단위중량 : $\gamma s1$ = 10.000kN/㎥(토사)

㉢ 기초지반의 단위중량 : $\gamma s2$ = 20.000kN/㎥

㉣ 과재하중 : q1 = 10.000kN/m

㉤ 상부 고정하중 반력 : Rd = 230.414kN/m

㉥ 상부 활하중 반력 : R1 = 185.832kN/m

㉦ 교량받침 마찰계수 : fs = 0.050

③ 지반조건

㉠ 뒷채움재의 내부마찰각 : $\Phi 1$ = 35.0°

㉡ 기초지반의 N치 : N = 50.0

㉢ 기초지반의 내부마찰각 : $\Phi 2$ = 42.386° ($\Phi_2 = 15 + \sqrt{15N}$)

㉣ 기초지반의 점착력 : C = 0.000kN/㎡

㉤ 기초지반의 마찰계수 : μ=0.327($\tan(2/3\Phi_2)$: 흙과 콘크리트)

④ 사용재료

㉠ 콘크리트

■ 설계기준강도(f_{ck}) : 24 MPa

■ 탄성계수(E_c) : 26,986

㉡ 철근(SD30)

■ 항복강도(f_y) : 300 MPa

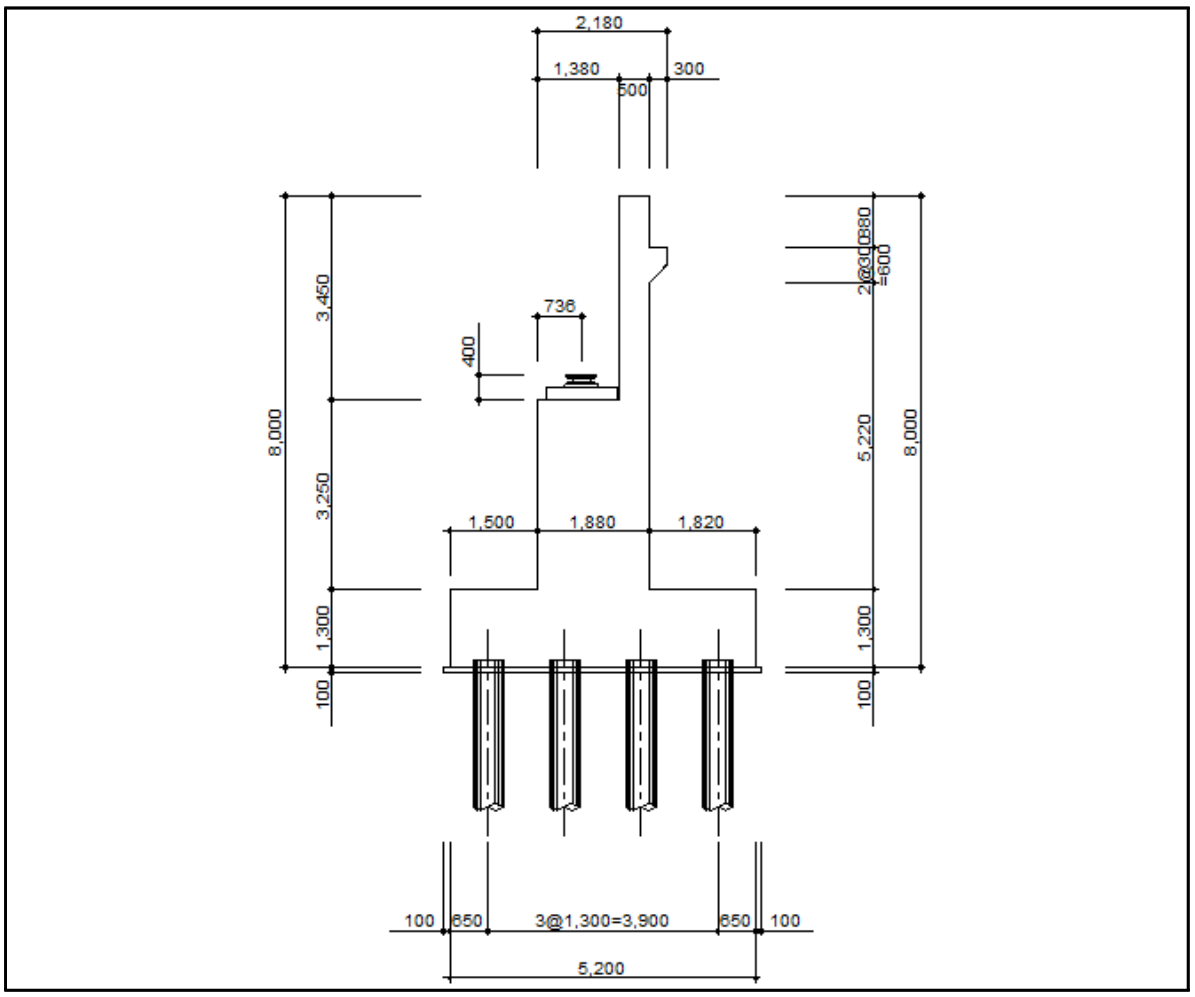
■ 탄성계수(E_s) : 200,000 MPa

⑤ 설계방법

㉠ 안전성검토 : 허용응력설계법

㉡ 단면검토 : 강도설계법

2) 해석단면



【그림 5-26】 해석단면(A2)

3) 하중산정

① 자중(원점 0을 기준으로)

㉠ 교대구체

Wc = 14.73m^2 × 25.0 = 368.250kN/m

㉡ 뒷채움채

Wc = 12.06m^2 × 20.0 = 241.180kN/m

② 토압

㉠ 토압계수 산정

■ 평상시 주동토압계수(Rankine) : 안정검토시 적용(상시)

$$K_a = \cos\alpha \times \frac{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}$$

■ 평상시 주동토압계수(Coulomb) : 단면검토시 적용(상시)

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \beta)}{\cos^2\beta * \cos(\beta + \delta)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) * \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\beta + \delta) * \cos(\beta - \alpha)}}\right]^2}$$

Φ = 뒷채움 흙의 내부마찰각(도)

α = 지표면과 수평면이 이루는 각(도)

β = 벽배면과 연직면이 이루는 각(도)

δ = 벽배면과 뒷채움흙 사이의 벽면마찰각(도)

구 분	안정검토	벽체검토
Φ	35.000	35.000
α	0.000	0.000
β	0.000	0.000
δ	0.000	11.667
Ka	0.271	0.251

③ 토압에 의한 하중집계

구 분		하중산식	P (kN/m)	x(m)	M (kN・m/m)
상 시	수평토압	1/2×0.2710 ×20 ×8.000^2×cos0.000	173.434	2.667	462.490
	배면활하중 토압	0.2710 ×10.000 ×8.000 ×cos 0.000	21.679	4.000	86.717

④ 상부구조물 하중

㉠ 상부구조물 하중 집계

구 분		하중산식	P (kN/m)	x(m)	M (kN・m/m)
연직하중	고정하중	4728.550 / 17.831	265.182	2.236	593.028
	활하중	2050.030 / 17.831	114.968	2.236	257.103
	배면활하중	10.000×1.820	18.200	4.290	78.078
수평하중	온도하중	265.182×0.050000	13.259	4.950	65.632

⑤ 하중요약

구 분	V(kN/m)	H(kN/m)	팔길이(m)		Moment(kN/m・m)	
			x	y	Mx	My
교대본체자중	368.250	-	2.604	-	958.949	-
뒷굽상부토자중	241.180	-	4.299	-	1036.759	-
상부고정하중	265.182	-	2.236	-	593.028	-
상부활하중	114.968	-	2.236	-	257.103	-
수평토압	-	173.434	-	2.667	-	462.490
배면활하중	18.200	21.679	4.290	4.000	78.078	86.717
온도하중	-	13.259	-	4.950	-	65.632

⑥ 하중조합

㉠ 사용하중 조합

구 분	D	Rd	RI	LU	H	G	Q	비고
LCBS1	1	0	0	0	1	0	0	
LCBS2	1	1	0	0	1	0	0	
LCBS3	1	1	1	1	1	0	0	
LCBS4	1	1	1	1	1	1	0	

㉡ 계수하중 조합

구 분	D	Rd	RI	LU	H	G	Q	비고
LCBF1	1.3	0	0	0	1.7	0	0	
LCBF2	1.3	1.3	0	0	1.7	0	0	
LCBF3	1.3	1.3	2.15	2.15	1.7	0	0	
LCBF4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.7	1.3	0	

D : 자중(구체자중, 뒷굽배면토사) 또는 이에 따른 단면력
Rd : 상부고정하중 또는 이에 따른 단면력
Rl : 상부활하중 또는 이에 따른 단면력
LU : 배면활하중(연직하중) 또는 이에 따른 단면력
H : 수평토압(배면활하중 토압 포함) 또는 이에 따른 단면력
G : 온도변화 등으로 인한 팽창 또는 수축변형으로 유발된 변형력 또는 이에 따른 단면력
Q : 부력 또는 양압력, 수압, 파압 등의 하중 또는 이에 따른 단면력
E : 지진의 영향 또는 이에 따른 단면력

⑦ 하중조합 결과

하 중 조 합		V(kN/m)	H(kN/m)	Mr (kN/m・m)	Mo (kN/m・m)	비 고
사용하중	LCBS1	609.430	173.434	1995.708	462.490	
	LCBS2	874.612	173.434	2588.736	462.490	
	LCBS3	1007.779	195.113	2923.918	549.207	
	LCBS4	1007.779	208.372	2923.918	614.839	
계수하중	LCBF1	792.259	294.837	2594.420	786.232	
	LCBF2	1136.995	294.837	3365.357	786.232	
	LCBF3	1423.306	331.692	4085.997	933.651	
	LCBF4	1310.113	270.883	3801.093	799.291	

4) 말뚝 검토

① 검토조건

㉠ 말뚝의 제원

말뚝 종류	직경(mm)	두께(mm)	부식두께(mm)	길이(m)
강관말뚝	508	12	2	9.000

※ 말뚝길이는 기초평면에 묻힌 100mm는 제외한 길이임.

· 말뚝의 탄성계수 : E = 205,000MPa

· 말뚝의 단면2차 모멘트 : $I = \pi/64 \times (0.504^4 - 0.486^4) = 0.0004288m^4$

② 단위길이당 작용하는 하중

구 분		V(kN/m)	H(kN/m)	e(m)	Mc (kN/m · m)	비 고
사용하중	LCBS1	10866.967	3092.558	0.084	914.744	
	LCBS2	15595.517	3092.558	0.169	2634.468	
	LCBS3	17970.078	3479.128	0.244	4377.864	
	LCBS4	17970.078	3715.555	0.309	5548.180	
계수하중	LCBF1	14127.058	5257.349	0.318	4487.896	
	LCBF2	20274.173	5257.349	0.332	6723.537	
	LCBF3	25379.478	5914.517	0.385	9776.013	
	LCBF4	23361.102	4830.222	0.309	7212.635	

③ Pile 본체 검토

㉠ 휨응력 검토(사용하중)

구 분		V(kN/m)	M (kN/m · m)	f(MPa)	fsa(MPa)	안전율
LCBS1	FIX	287.265	63.712	52.410	140.000	O.K.(2.671)
	HINGE	230.538	43.823	38.172	140.000	O.K.(3.668)
LCBS2	FIX	410.075	62.004	59.414	140.000	O.K.(2.356)
	HINGE	354.869	43.823	46.183	140.000	O.K.(3.031)
LCBS3	FIX	494.010	68.196	68.118	140.000	O.K.(2.055)
	HINGE	433.291	49.301	54.151	140.000	O.K.(2.585)
LCBS4	FIX	518.487	71.802	71.614	140.000	O.K.(1.955)
	HINGE	454.557	52.651	57.304	140.000	O.K.(2.443)

㉡ 전단응력 검토(사용하중)

구 분		H(kN/m)	τ	τ_{sa}	안전율
MAX	평상시	75.828	9.768	80.000	O.K.(8.190)

④ 말뚝의 지지력 검토

구 분		압축력(kN)		인발력(kN)		안전율
		반력	허용	반력	허용	
상 시	LCBS1	287.265	997.900	0.000	0.000	O.K.(3.474)
상 시	LCBS2	410.075	997.900	0.000	0.000	O.K.(2.433)
상 시	LCBS3	494.010	997.900	0.000	0.000	O.K.(2.020)
상 시	LCBS4	518.487	997.900	0.000	0.000	O.K.(1.925)

5) 교대 단면력에 대한 검토

① 연직벽

㉠ 단면력 산정

구 분		하중산식	P (kN/m)	x(m)	M (kN·m/m)
상 시	수평토압	1/2×0.2508×20 ×6.7002×cos11.667	110.280	2.233	246.291
	배면활하중 토압	0.2508×10.000 ×6.700 ×cos 11.667	16.460	3.350	55.140
	온도하중	265.182×0.050000	13.259	4.950	65.632

㉡ 단면력 산정

구 분		D	H	Rd	Rl	LU	G	V(kN/m)	M (kN·m/m)
사용하중	LCBS1	1	1	0	0	0	0	110.280	246.291
	LCBS2	1	1	1	0	1	0	110.280	246.291
	LCBS3	1	1	1	1	1	0	126.739	301.431
	LCBS4	1	1	1	1	1	1	139.998	349.827
	Max							139.998	349.827
계수하중	LCBF1	1.3	1.7	0	0	0	0	187.475	418.695
	LCBF2	1.3	1.7	1.3	0	0	0	187.475	418.695
	LCBF3	1.3	1.7	1.3	2.15	2.15	0	215.457	512.433
	LCBF4	1.3	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	181.998	454.775
	Max							215.457	512.433

② 흉벽

㉠ 단면력 산정

구 분	하중산식	P (kN/m)	x(m)	M (kN・m/m)
수평토압	1/2×0.2508×20 ×3.4502×cos11.667	29.240	1.150	33.627
윤하중	11.46×0.2508	28.747	3.090	88.829

㉡ 단면력 산정

구 분		D	H	Rd	Rl	LU	G	V(kN/m)	M (kN・m/m)
사용하중	LCBS1	1	1	0	0	0	0	29.240	33.627
	LCBS2	1	1	1	0	1	0	29.240	33.627
	LCBS3	1	1	1	1	1	0	57.988	122.456
	LCBS4	1	1	1	1	1	1	57.988	122.456
	Max							57.988	122.456
계수하중	LCBF1	1.3	1.7	0	0	0	0	49.709	57.165
	LCBF2	1.3	1.7	1.3	0	0	0	49.709	57.165
	LCBF3	1.3	1.7	1.3	2.15	2.15	0	98.579	208.174
	LCBF4	1.3	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	75.384	159.192
	Max							98.579	208.174

③ 압굽

㉠ 단면력 산정

구 분		말뚝머리 고정		말뚝머리 힌지		비 고
		V (kN/m)	M (kN・m/m)	V (kN/m)	M (kN・m/m)	
사용하중	LCBS1	0.000	178.017	0.000	142.863	
	LCBS2	0.000	254.121	0.000	219.910	
	LCBS3	0.000	306.136	0.000	268.508	
	LCBS4	0.000	321.304	0.000	281.686	
계수하중	LCBF1	0.000	280.717	0.000	222.867	
	LCBF2	0.000	379.653	0.000	323.028	
	LCBF3	0.000	482.082	0.000	419.678	
	LCBF4	0.000	417.695	0.000	366.192	

㉡ 단면력 산정

구 분		D	H	Rd	Rl	LU	G	V(kN/m)	M (kN・m/m)
사용하중	LCBS1	1	1	0	0	0	0	9.750	141.454
	LCBS2	1	1	1	0	1	0	9.750	217.559
	LCBS3	1	1	1	1	1	0	9.750	269.573
	LCBS4	1	1	1	1	1	1	9.750	284.741
	Max							9.750	284.741
계수하중	LCBF1	1.3	1.7	0	0	0	0	12.675	233.186
	LCBF2	1.3	1.7	1.3	0	0	0	12.675	332.121
	LCBF3	1.3	1.7	1.3	2.15	2.15	0	12.675	434.551
	LCBF4	1.3	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	12.675	370.164
	Max							12.675	434.551

④ 뒷굽

㉠ 단면력 산정

구 분		말뚝머리 고정		말뚝머리 힌지		비 고
		V (kN/m)	M (kN・m/m)	V (kN/m)	M (kN・m/m)	
사용하중	LCBS1	135.884	120.906	179.016	167.433	
	LCBS2	196.676	175.311	238.651	220.590	
	LCBS3	210.276	184.371	256.443	234.172	
	LCBS4	191.665	164.296	240.274	216.731	
계수하중	LCBF1	116.167	91.935	187.146	168.500	
	LCBF2	195.196	162.661	264.671	237.605	
	LCBF3	235.971	194.583	312.538	277.177	
	LCBF4	249.165	213.585	312.356	281.750	

㉡ 단면력 산정

구 분		D	H	Rd	Rl	LU	G	V(kN/m)	M (kN・m/m)
사용하중	LCBS1	1	1	0	0	0	0	164.446	154.491
	LCBS2	1	1	1	0	1	0	103.654	100.086
	LCBS3	1	1	1	1	1	0	108.254	107.588
	LCBS4	1	1	1	1	1	1	126.865	127.663
	Max							164.446	154.491
계수하중	LCBF1	1.3	1.7	0	0	0	0	274.262	266.082
	LCBF2	1.3	1.7	1.3	0	0	0	195.233	195.356
	LCBF3	1.3	1.7	1.3	2.15	2.15	0	193.588	199.041
	LCBF4	1.3	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	164.924	165.963
	Max							274.262	266.082

⑤ 각 부재별 단면검토

구 분	d(mm)	사용철근량(㎟)	M_u(kN · m)	ϕM_n(kN · m)	ϕM_n / M_u
연직벽체	1780	D22-8EA=3096.8	512.433	1400.990	O.K.(2.734)
흉벽	420	D22-8EA=3096.8	208.174	320.216	O.K.(1.538)
압굽	1200	D22-8EA=3096.8	434.551	942.976	O.K.(2.170)
뒷굽	1200	D22-8EA=3096.8	266.082	946.538	O.K.(3.557)

⑥ 검토결과

각 부재별 단면검토 결과 최소안전율 1.538로 나와 구조적인 안전성을 확보한 것으로 판단된다.

말뚝기초에 대한 검토 결과 최소 안전율 1.925로 나와 안전한 것으로 판단된다.

다. 교각(P1) 구조검토

1) 검토조건

① 일반사항

㉠ 하부구조형식 : π형 교각

㉡ 상부구조형식 : 강박스 거더교

㉢ 교량등급 : 1등교(DB-24, DL-24)

㉣ 기초형식 : 직접기초

② 하중

㉠ 철근콘크리트의 단위중량 : γ_c = 25.0 kN/㎥

㉡ 기초지반의 단위중량 : γ_{s2} = 20.0 kN/㎥

㉢ 교량받침 마찰계수 : fs = 0.050

③ 지반조건

㉠ 기초지반의 N치 : N = 50

㉡ 기초지반의 내부마찰각 : Φ_2 = 42.386° ($\Phi_2 = 15 + \sqrt{15N}$)

㉢ 기초지반의 점착력 : C = 0.0 kN/㎡

㉣ 기초지반의 마찰계수 : μ = 0.6 ($\tan\Phi_b$ = 0.60, Cb = 0:암과 콘크리트)

㉤ 기초지반의 최대 허용지지력 : Qa = 700 kN/㎡

④ 사용재료

㉠ 콘크리트

- 설계기준강도(f_{ck}) : 24 MPa(기둥, 기초)
- 탄성계수(E_c) : 26,986MPa(기둥, 기초)

㉡ 철근(SD30)

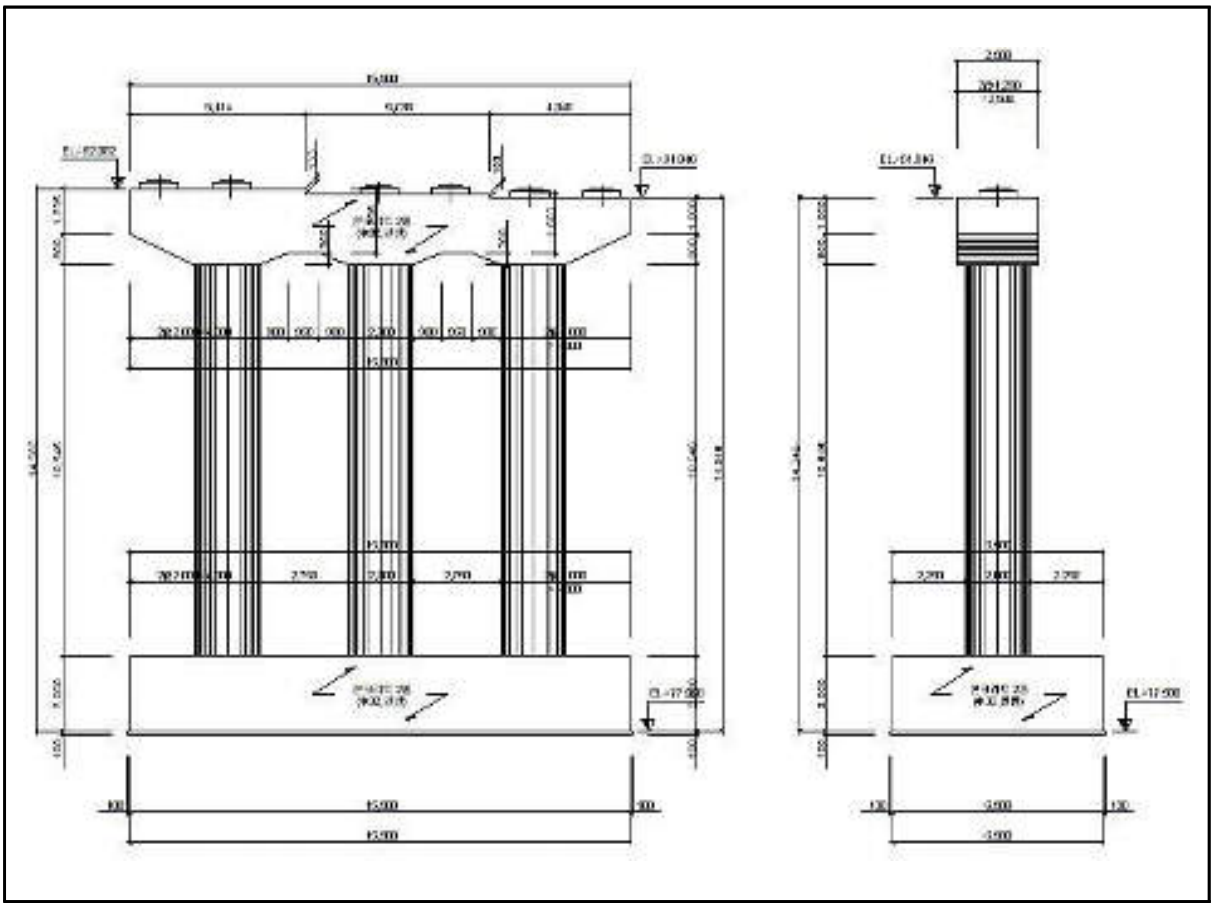
- 항복강도(f_y) : 300 MPa(기둥, 기초)
- 탄성계수(E_s) : 200,000 MPa

⑤ 설계방법

㉠ 안정성검토 : 허용응력설계법

㉡ 단면검토 : 강도설계법

2) 해석단면



【그림 5-27】 해석단면(P1)

3) 하중산정

① 상부반력 및 교각자중

교좌번호	고정하중(kN)	활하중(kN)	합 계	비 고
1	3173.12	959.19	4132.31	
2	3205.98	946.61	4152.59	
3	2956.18	780.64	3736.82	
4	2937.63	774.35	3711.98	
계	2740.62	667.65	3408.27	

※ 교각자중은 25.0 kN/m^3의 값을 프로그램에서 자동재하

② 풍하중

㉠ 상부풍하중

B/D = 12.145 / 4.080 = 2.977 [1 ≤ B/D < 8]

P = 4.0 − 0.2 × (B/D) × D

= 13.891 kN/m > 6 kN/m ∴ P = 11.113 kN/m

Pw=13.891× (55.000 + 55.000) / 2 = 764.005kN

작용위치 h = 0.400 + 4.080 / 2 = 2.440m

작용모멘트 Mx=Pw×h=764.005×2.440=1864.172kN・m

㉡ 활하중에 작용하는 풍하중

Pwl=1.500×(55.000+55.000)/2.0=82.500kN

작용위치 h = 0.400 + 3.000 + 1.5 = 4.900m

작용모멘트 My=Pwl×h=82.500×4.900=404.250kN・m

㉢ 하부구조에 작용하는 풍하중

■ 교축방향

◦ Wcoping=3.000×1.625=4.875kN/m

◦ Wcolumn=1.500×2.000=3.000kN/m

■ 교축직각방향

◦ Wcoping=3.000×2.500=7.500kN/m

◦ Wcolumn=1.500×2.000=3.000kN/m(풍상측)

◦ Wcolumn=1.500×2.000=3.000kN/m(풍하측)

◦ Wcolumn=1.500×2.000=3.000kN/m(풍하측)

③ 온도하중

㉠ 교축직각방향

연평균 온도변화차 ⊿T = ±10 ℃ 적용

㉡ 교축방향

■ 상부구조 신축에 의한 수평력

PT1=3EI δ/H3=3×23080000.000×0.785×3EA×0.017/12.3463=1430.452kN

δ = α× ⊿T× L = 1.2E−05× 25× 55.000 = 0.017m : 온도에 의한 신축량

H = 12.346m

I = 0.785m⁴

■ 교좌장치 마찰에 의한 수평력

PT2= μ ×Wd=0.050×17697.560=884.878kN

Wd=17697.560kN:전체상부고정하중

μ = 0.050 : Bearing 마찰계수

∴ PT=min[PT1,PT2]=884.878kN

※ 베어링 개수로 나누어 각 베어링에 재하한다.

④ 차량 충돌하중

㉠ 교축방향

POL=500.0kN:노면위 1.8m 에서 수평으로 작용

h = 원지반 EL. + 1.800 - 기초상면 EL. = 81.200 + 1.800 - 79.500

= 3.500m : 기초상면에서 충돌하중위치까지 높이

㉡ 교축직각방향

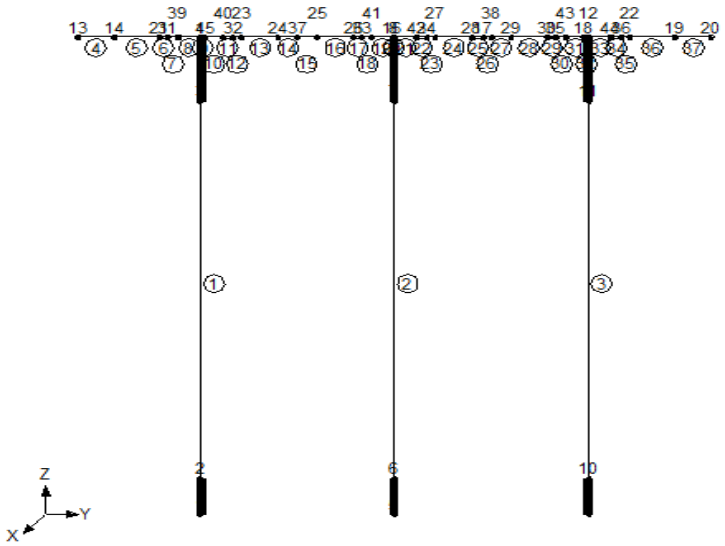
POT=1000.0kN:노면위 1.8m 에서 수평으로 작용

h = 원지반 EL. + 1.800 - 기초상면 EL. = 81.200 + 1.800 - 79.500

= 3.500m : 기초상면에서 충돌하중위치까지 높이

4) 모델링

① 구조해석 모델



② 절점정보

Node ID	Y(m)	Z(m)	Node ID	Y(m)	Z(m)
1	0.000	−1.000	2	0.000	0.000
3	0.000	10.546	4	0.000	12.346
5	4.750	−1.000	6	4.750	0.000
7	4.750	10.546	8	4.750	12.346
9	9.500	−1.000	10	9.500	0.000
11	9.500	10.546	12	9.500	12.346
13	−3.000	12.346	14	−2.113	12.346
15	0.122	12.346	16	4.706	12.346
17	6.927	12.346	18	9.377	12.346
19	11.613	12.346	20	12.500	12.346
21	−1.000	12.346	22	10.500	12.346
23	1.000	12.346	24	1.900	12.346
25	2.850	12.346	26	3.750	12.346
27	5.750	12.346	28	6.650	12.346
29	7.600	12.346	30	8.500	12.346
31	−0.800	12.346	32	0.800	12.346
33	3.950	12.346	34	5.550	12.346
35	8.700	12.346	36	10.300	12.346
37	2.375	12.346	38	7.125	12.346
39	−0.550	12.346	40	0.550	12.346
41	4.200	12.346	42	5.300	12.346
43	8.950	12.346	44	10.050	12.346

③ 단면정보

SectionID	Y(m)			Node ID			Element No
	A (m^2)	Iyy (m^4)	Izz (m^4)	A (m^2)	Iyy (m^4)	Izz (m^4)	
1	3.142	0.785	0.785	3.142	0.785	0.785	1
2	3.142	0.785	0.785	3.142	0.785	0.785	2
3	3.142	0.785	0.785	3.142	0.785	0.785	3
4	2.500	0.208	1.302	3.387	0.518	1.764	4
5	3.387	0.518	1.764	4.500	1.215	2.344	5
6	4.500	1.215	2.344	4.500	1.215	2.344	6,7,11,12,17,18,22,23,29,30,34,35
7	4.500	121.500	2.344	4.500	121.500	2.344	8,9,10,19,20,21,31,32,33
8	4.500	1.215	2.344	3.750	0.703	1.953	13
9	3.750	0.703	1.953	4.500	1.215	2.344	16
10	4.500	1.215	2.344	3.750	0.703	1.953	24
11	3.750	0.703	1.953	4.500	1.215	2.344	28
12	3.750	0.703	1.953	3.750	0.703	1.953	14,15,25,26,27
13	4.500	1.215	2.344	3.387	0.518	1.764	36

④ 하중 조건별 단면력 산출

㉠ 코핑부

구 분		좌측부				우측부			
		내민보		내민보 종방향		내민보		내민보 종방향	
		모멘트 (kN·m)	전단 (kN)	모멘트 (kN·m)	전단 (kN)	모멘트 (kN·m)	전단 (kN)	모멘트 (kN·m)	전단 (kN)
고정하중(D)		-4361.890	3370.620	0.000	0.000	-3719.715	-2881.530	0.000	0.000
활하중	만재하시	-1259.416	959.190	0.000	0.000	-879.014	-669.470	0.000	0.000
풍하중	W	245.240	-90.243	-11.799	-10.726	-233.090	-90.243	-11.799	10.726
	WL	38.070	-19.569	0.000	0.000	-38.070	-19.569	0.000	0.000
온도하중(GT)		0.000	0.000	-193.641	-147.480	0.000	0.000	-193.641	147.480
건조수축하중(GSH)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
충돌하중(CO)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
원심하중(CF)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
유수압(Q)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

구 분		내측부 (지간 1)				
		좌측부		중앙부	우측부	
		모멘트 (kN · m)	전단 (kN)	모멘트 (kN · m)	전단 (kN)	모멘트 (kN · m)
고정하중(D)		−3372.157	−697.162	−2353.093	−1679.603	−377.475
활하중	만재하시	−984.300	−170.409	−701.188	−447.512	−170.409
풍하중	W	1300.726	591.066	364.873	−561.131	591.066
	WL	145.853	64.637	43.618	−57.754	64.637
온도하중(GT)		−247.209	−75.849	−136.209	−8.284	−75.849
건조수축하중(GSH)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
충돌하중(CO)		−237.577	−18.109	−230.383	−180.535	−18.109
원심하중(CF)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
유수압(Q)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

구 분		내측부 (지간 2)				
		좌측부		중앙부	우측부	
		모멘트 (kN · m)	전단 (kN)	모멘트 (kN · m)	전단 (kN)	모멘트 (kN · m)
고정하중(D)		−1218.305	−1417.778	336.816	−2464.230	1839.540
활하중	만재하시	−314.537	−360.447	109.041	−552.052	413.903
풍하중	W	505.101	586.592	−307.148	−1278.819	615.218
	WL	51.069	62.506	−35.838	−144.456	68.714
온도하중(GT)		−8.284	−75.849	136.209	−247.209	75.849
건조수축하중(GSH)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
충돌하중(CO)		171.874	137.084	−53.934	−259.941	137.084
원심하중(CF)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
유수압(Q)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

㉡ 기둥

■ 기둥1 상단

구 분		축력 (kN)	교축직각 휨 (kN·m)	교축 휨 (kN·m)	비 고
고정하중(D)		-7453.762	-2425.884	0.000	
활하중	만재하시	-2076.209	-702.347	0.000	
풍하중	W	742.164	-1137.167	-24.334	
	WL	97.403	-110.915	0.000	
온도하중(GT)		-75.849	-257.112	-568.679	
건조수축하중(GSH)		0.000	0.000	0.000	
충돌하중(CO)		-18.109	124.105	0.000	
원심하중(CF)		0.000	0.000	0.000	
유수압(Q)		0.000	0.000	0.000	

■ 기둥1 하단

구 분		축력 (kN)	교축직각 휨 (kN·m)	교축 휨 (kN·m)	비 고
고정하중(D)		-8282.043	1224.031	0.000	
활하중	만재하시	-2076.209	332.427	0.000	
풍하중	W	742.164	1507.162	-453.736	
	WL	97.403	148.727	0.000	
온도하중(GT)		-75.849	337.875	-3547.333	
건조수축하중(GSH)		0.000	0.000	0.000	
충돌하중(CO)		-18.109	2124.707	-1750.000	
원심하중(CF)		0.000	0.000	0.000	
유수압(Q)		0.000	0.000	0.000	

■ 기둥2 상단

구 분		축력 (kN)	교축직각 휨 (kN・m)	교축 휨 (kN・m)	비 고
고정하중(D)		-4176.483	741.262	0.000	
활하중	만재하시	-970.678	224.227	0.000	
풍하중	W	-3.895	-1618.771	-25.843	
	WL	-2.005	-168.452	0.000	
온도하중(GT)		-151.698	0.000	-544.376	
건조수축하중(GSH)		0.000	0.000	0.000	
충돌하중(CO)		155.193	-379.032	0.000	
원심하중(CF)		0.000	0.000	0.000	
유수압(Q)		0.000	0.000	0.000	

■ 기둥2 하단

구 분		축력 (kN)	교축직각 휨 (kN・m)	교축 휨 (kN・m)	비 고
고정하중(D)		-5004.764	-472.344	0.000	
활하중	만재하시	-970.678	-164.046	0.000	
풍하중	W	-3.895	1765.646	-451.597	
	WL	-2.005	179.630	0.000	
온도하중(GT)		-151.698	0.000	-3613.522	
건조수축하중(GSH)		0.000	0.000	0.000	
충돌하중(CO)		155.193	424.308	-1750.000	
원심하중(CF)		0.000	0.000	0.000	
유수압(Q)		0.000	0.000	0.000	

■ 기둥3 상단

구 분		축력 (kN)	교축직각 휨 (kN・m)	교축 휨 (kN・m)	비 고
고정하중(D)		-7641.690	1544.065	0.000	
활하중	만재하시	-1751.023	394.122	0.000	
풍하중	W	-766.303	-1145.598	-24.442	
	WL	-101.477	-112.563	0.000	
온도하중(GT)		-75.849	257.112	-479.726	
건조수축하중(GSH)		0.000	0.000	0.000	
충돌하중(CO)		-137.084	-310.207	0.000	
원심하중(CF)		0.000	0.000	0.000	
유수압(Q)		0.000	0.000	0.000	

■ 기둥3 하단

구 분		축력 (kN)	교축직각 휨 (kN・m)	교축 휨 (kN・m)	비 고
고정하중(D)		-8469.970	-892.243	0.000	
활하중	만재하시	-1751.023	-252.379	0.000	
풍하중	W	-766.303	1512.700	-453.724	
	WL	-101.477	149.758	0.000	
온도하중(GT)		-75.849	-337.875	-3763.848	
건조수축하중(GSH)		0.000	0.000	0.000	
충돌하중(CO)		-137.084	385.851	-1750.000	
원심하중(CF)		0.000	0.000	0.000	
유수압(Q)		0.000	0.000	0.000	

㉢ 기초

■ 기초(기둥1)

구 분		축력 (kN)	교축직각 휨 (kN·m)	교축 휨 (kN·m)	교축전단 (kN)	교축직각 전단 (kN)
고정하중(D)		-8282.043	1224.031	0.000	0.000	-346.095
활하중	만재하시	-2076.209	332.427	0.000	0.000	-98.120
풍하중	W	742.164	1507.162	-453.736	-51.847	-261.872
	WL	97.403	148.727	0.000	0.000	-24.620
온도하중(GT)		-75.849	337.875	-3547.333	-282.444	-56.418
건조수축하중(GSH)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
충돌하중(CO)		-18.109	2124.707	-1750.000	-500.000	-857.823
원심하중(CF)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
유수압(Q)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

■ 기초(기둥2)

구 분		축력 (kN)	교축직각 휨 (kN·m)	교축 휨 (kN·m)	교축전단 (kN)	교축직각 전단 (kN)
고정하중(D)		-5004.764	-472.344	0.000	0.000	115.077
활하중	만재하시	-970.678	-164.046	0.000	0.000	36.817
풍하중	W	-3.895	1765.646	-451.597	-51.501	-332.050
	WL	-2.005	179.630	0.000	0.000	-33.006
온도하중(GT)		-151.698	0.000	-3613.522	-291.025	0.000
건조수축하중(GSH)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
충돌하중(CO)		155.193	424.308	-1750.000	-500.000	-76.175
원심하중(CF)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
유수압(Q)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

■ 기초(기둥3)

구 분		축력 (kN)	교축직각 휨 (kN・m)	교축 휨 (kN・m)	교축전단 (kN)	교축직각 전단 (kN)
고정하중(D)		-8469.970	-892.243	0.000	0.000	231.017
활하중	만재하시	-1751.023	-252.379	0.000	0.000	61.303
풍하중	W	-766.303	1512.700	-453.724	-51.836	-263.197
	WL	-101.477	149.758	0.000	0.000	-24.874
온도하중(GT)		-75.849	-337.875	-3763.848	-311.409	56.418
건조수축하중(GSH)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
충돌하중(CO)		-137.084	385.851	-1750.000	-500.000	-66.002
원심하중(CF)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
유수압(Q)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

5) 하중조합

① 사용하중 검토시

구 분	D	L+I	W	Q	CF	G	CO	비 고
LS1	1	1	0	0	0	0	0	
LS2	1	1	0	0	0	1	0	
LS3	1	1	0.5	0	0	0	0	
LS4	1	0	1	0	0	0	0	
LS5	1	1	0.5	0	0	1	0	
LS6	1	0	1	0	0	1	0	
LS7	1	1	0	0	0	0	1	
LS8	1	0	0	0	0	0	0	

② 계수하중 검토시

구 분	D	L+I	W	Q	CF	G	CO	비 고
LF1	1.3	2.15	0	0	0	0	0	
LF2	1.3	0	1.3	0	0	0	0	
LF3	1.3	1.3	0.65	0	0	0	0	
LF4	1.3	1.3	0	0	0	1.3	0	
LF5	1.25	0	1.25	0	0	1.25	0	
LF6	1.25	1.25	0.625	0	0	1.25	0	
LF7	1	0	0	0	0	0	0	
LF8	1.3	1.3	0	0	0	0	1.3	
LF9	1.2	0	1.2	0	0	0	1.2	
LF10	1	2.15	0	0	0	0	0	
LF11	1	0	1.3	0	0	0	0	
LF12	1	1.3	0.65	0	0	0	0	
LF13	1	1.3	0	0	0	1.3	0	
LF14	1	0	1.25	0	0	1.25	0	
LF15	1	1.25	0.625	0	0	1.25	0	
LF16	1	0	0	0	0	0	0	
LF17	1	1.3	0	0	0	0	1.3	
LF18	1	0	1.2	0	0	0	1.2	

D : 고정하중 또는 이에 따른 단면력
L : 활하중 또는 이에 따른 단면력
W : 풍하중 또는 이에 따른 단면력
Q : 부력 또는 양압력, 수압, 파압 등의 하중 또는 이에 따른 단면력
E : 지진의 영향 또는 이에 따른 단면력
G : 온도변화 등으로 인한 팽창 또는 수축변형으로 유발된 변형력 또는 이에 따른 단면력
CO : 충돌하중 또는 이에 따른 단면력
CF : 원심하중 또는 이에 따른 단면력

6) 위치별 단면력 정리

① 코핑 하중조합

㉠ 사용하중

구 분	좌측부				우측부			
	내민보		내민보 종방향		내민보		내민보 종방향	
	모멘트 (kN·m)	전단 (kN)	모멘트 (kN·m)	전단 (kN)	모멘트 (kN·m)	전단 (kN)	모멘트 (kN·m)	전단 (kN)
LCBS1	-5621.306	4329.810	0.000	0.000	-4598.729	-3551.000	0.000	0.000
LCBS2	-5621.306	4329.810	-193.641	-147.480	-4598.729	-3551.000	-193.641	147.480
LCBS3	-5621.306	4329.810	193.641	147.480	-4598.729	-3551.000	193.641	-147.480
LCBS4	-5460.617	4265.119	-5.899	-5.363	-4753.344	-3615.691	-5.899	5.363
LCBS5	-5781.996	4394.501	5.899	5.363	-4444.114	-3486.309	5.899	-5.363
LCBS6	-4116.650	3280.377	-11.799	-10.726	-3952.805	-2971.773	-11.799	10.726
LCBS7	-4607.130	3460.863	11.799	10.726	-3486.625	-2791.287	11.799	-10.726
LCBS8	-5460.617	4265.119	-199.540	-152.843	-4753.344	-3615.691	-199.540	152.843
LCBS9	-5460.617	4265.119	187.741	142.117	-4753.344	-3615.691	187.741	-142.117
LCBS10	-5781.996	4394.501	-187.741	-142.117	-4444.114	-3486.309	-187.741	142.117
LCBS11	-5781.996	4394.501	199.540	152.843	-4444.114	-3486.309	199.540	-152.843
LCBS12	-4116.650	3280.377	-205.439	-158.206	-3952.805	-2971.773	-205.439	158.206
LCBS13	-4116.650	3280.377	181.842	136.754	-3952.805	-2971.773	181.842	-136.754
LCBS14	-4607.130	3460.863	-181.842	-136.754	-3486.625	-2791.287	-181.842	136.754
LCBS15	-4607.130	3460.863	205.439	158.206	-3486.625	-2791.287	205.439	-158.206
LCBS16	-5621.306	4329.810	0.000	0.000	-4598.729	-3551.000	0.000	0.000
LCBS17	-4361.890	3370.620	0.000	0.000	-3719.715	-2881.530	0.000	0.000
MAX	5781.996	4394.501	205.439	158.206	4753.344	3615.691	205.439	158.206
MIN	4116.650	3280.377	0.000	0.000	3486.625	2791.287	0.000	0.000

구 분	내측부 (지간 1)				
	좌측부		중앙부	우측부	
	모멘트 (kN · m)	전단 (kN)	모멘트 (kN · m)	전단 (kN)	모멘트 (kN · m)
LCBS1	−4356.457	−867.571	−3054.280	−2127.115	−547.884
LCBS2	−4603.665	−943.421	−3190.489	−2135.398	−623.733
LCBS3	−4109.248	−791.722	−2918.072	−2118.831	−472.035
LCBS4	−3560.240	−507.402	−2828.226	−2465.433	−187.714
LCBS5	−5152.673	−1227.741	−3280.335	−1788.796	−908.054
LCBS6	−2071.431	−106.097	−1988.220	−2240.734	213.591
LCBS7	−4672.883	−1288.228	−2717.965	−1118.473	−968.541
LCBS8	−3807.449	−583.251	−2964.435	−2473.717	−263.563
LCBS9	−3313.032	−431.552	−2692.017	−2457.150	−111.865
LCBS10	−5399.882	−1303.591	−3416.543	−1797.079	−983.903
LCBS11	−4905.465	−1151.892	−3144.126	−1780.512	−832.205
LCBS12	−2318.639	−181.946	−2124.429	−2249.017	137.742
LCBS13	−1824.222	−30.248	−1852.011	−2232.450	289.440
LCBS14	−4920.092	−1364.077	−2854.174	−1126.756	−1044.390
LCBS15	−4425.674	−1212.379	−2581.757	−1110.189	−892.691
LCBS16	−4594.034	−885.680	−3284.663	−2307.650	−565.992
LCBS17	−3372.157	−697.162	−2353.093	−1679.603	−377.475
MAX	5399.882	1364.077	−1852.011	2473.717	1044.390
MIN	1824.222	30.248	−3416.543	1110.189	111.865

구 분	내측부 (지간 2)				
	좌측부		중앙부	우측부	
	모멘트 (kN · m)	전단 (kN)	모멘트 (kN · m)	전단 (kN)	모멘트 (kN · m)
LCBS1	−1532.842	−1778.225	445.857	−3016.282	2253.443
LCBS2	−1541.125	−1854.074	582.066	−3263.491	2329.292
LCBS3	−1524.558	−1702.376	309.649	−2769.073	2177.594
LCBS4	−1229.222	−1422.422	256.445	−3800.148	2629.766
LCBS5	−1836.461	−2134.027	635.270	−2232.416	1877.120
LCBS6	−713.204	−831.185	29.668	−3743.049	2454.758
LCBS7	−1723.405	−2004.370	643.965	−1185.411	1224.321
LCBS8	−1237.505	−1498.271	392.654	−4047.356	2705.615
LCBS9	−1220.938	−1346.573	120.236	−3552.939	2553.917
LCBS10	−1844.745	−2209.877	771.479	−2479.625	1952.969
LCBS11	−1828.178	−2058.178	499.061	−1985.208	1801.270
LCBS12	−721.488	−907.035	165.877	−3990.257	2530.607
LCBS13	−704.921	−755.336	−106.541	−3495.840	2378.909
LCBS14	−1731.689	−2080.220	780.174	−1432.620	1300.170
LCBS15	−1715.122	−1928.521	507.756	−938.203	1148.472
LCBS16	−1360.968	−1641.141	391.923	−3276.223	2390.527
LCBS17	−1218.305	−1417.778	336.816	−2464.230	1839.540
MAX	1844.745	2209.877	780.174	4047.356	2705.615
MIN	704.921	755.336	−106.541	938.203	1148.472

㉡ 계수하중

구 분	좌측부				우측부			
	내민보		내민보 종방향		내민보		내민보 종방향	
	모멘트 (kN·m)	전단 (kN)	모멘트 (kN·m)	전단 (kN)	모멘트 (kN·m)	전단 (kN)	모멘트 (kN·m)	전단 (kN)
LCBF1	-8378.202	6444.064	0.000	0.000	-6725.509	-5185.350	0.000	0.000
LCBF2	-5351.645	4264.490	-15.338	-13.944	-5138.646	-3863.305	-15.338	13.944
LCBF3	-5989.269	4499.122	15.338	13.944	-4532.612	-3628.673	15.338	-13.944
LCBF4	-7098.802	5544.655	-7.669	-6.972	-6179.347	-4700.398	-7.669	6.972
LCBF5	-7516.595	5712.851	7.669	6.972	-5777.348	-4532.202	7.669	-6.972
LCBF6	-7307.698	5628.753	-251.733	-191.724	-5978.347	-4616.300	-251.733	191.724
LCBF7	-7307.698	5628.753	251.733	191.724	-5978.347	-4616.300	251.733	-191.724
LCBF8	-5145.812	4100.471	-256.799	-197.757	-4941.006	-3714.717	-256.799	197.757
LCBF9	-5145.812	4100.471	227.303	170.942	-4941.006	-3714.717	227.303	-170.942
LCBF10	-5758.913	4326.079	-227.303	-170.942	-4358.281	-3489.108	-227.303	170.942
LCBF11	-5758.913	4326.079	256.799	197.757	-4358.281	-3489.108	256.799	-197.757
LCBF12	-6825.771	5331.399	-249.425	-191.053	-5941.679	-4519.614	-249.425	191.053
LCBF13	-6825.771	5331.399	234.677	177.646	-5941.679	-4519.614	234.677	-177.646
LCBF14	-7227.495	5493.126	-234.677	-177.646	-5555.143	-4357.886	-234.677	177.646
LCBF15	-7227.495	5493.126	249.425	191.053	-5555.143	-4357.886	249.425	-191.053
LCBF16	-4361.890	3370.620	0.000	0.000	-3719.715	-2881.530	0.000	0.000
LCBF17	-7307.698	5628.753	0.000	0.000	-5978.347	-4616.300	0.000	0.000
LCBF18	-4939.980	3936.452	-14.158	-12.871	-4743.366	-3566.128	-14.158	12.871
LCBF19	-5528.556	4153.036	14.158	12.871	-4183.950	-3349.544	14.158	-12.871
MAX	8378.202	6444.064	256.799	197.757	6725.509	5185.350	256.799	197.757
MIN	4361.890	3370.620	0.000	0.000	3719.715	2881.530	0.000	0.000

구 분	내측부 (지간 1)				
	좌측부		중앙부	우측부	
	모멘트 (kN · m)	전단 (kN)	모멘트 (kN · m)	전단 (kN)	모멘트 (kN · m)
LCBF1	-6500.049	-1272.691	-4566.574	-3145.634	-857.097
LCBF2	-2692.860	-137.926	-2584.686	-2912.954	277.668
LCBF3	-6074.748	-1674.696	-3533.355	-1454.014	-1259.103
LCBF4	-4628.312	-659.622	-3676.694	-3205.063	-244.028
LCBF5	-6698.475	-1596.064	-4264.435	-2325.435	-1180.470
LCBF6	-5984.765	-1226.447	-4147.636	-2776.018	-810.853
LCBF7	-5342.023	-1029.239	-3793.493	-2754.480	-613.645
LCBF8	-2898.299	-227.432	-2655.536	-2811.271	172.177
LCBF9	-2280.277	-37.809	-2315.014	-2790.563	361.800
LCBF10	-6150.114	-1705.097	-3567.718	-1408.445	-1305.487
LCBF11	-5532.093	-1515.474	-3227.196	-1387.736	-1115.864
LCBF12	-4759.311	-729.063	-3705.544	-3092.146	-329.454
LCBF13	-4141.290	-539.440	-3365.022	-3071.437	-139.831
LCBF14	-6749.852	-1629.488	-4270.679	-2246.349	-1229.879
LCBF15	-6131.831	-1439.865	-3930.157	-2225.640	-1040.256
LCBF16	-3372.157	-697.162	-2353.093	-1679.603	-377.475
LCBF17	-5972.244	-1151.384	-4270.062	-2999.945	-735.790
LCBF18	-2770.810	-149.046	-2662.323	-2905.523	234.579
LCBF19	-5892.553	-1567.604	-3538.018	-1558.810	-1183.979
MAX	6749.852	1705.097	-2315.014	3205.063	1305.487
MIN	2280.277	37.809	-4566.574	1387.736	139.831

구 분	내측부 (지간 2)				
	좌측부		중앙부	우측부	
	모멘트 (kN · m)	전단 (kN)	모멘트 (kN · m)	전단 (kN)	모멘트 (kN · m)
LCBF1	-2260.051	-2618.072	672.300	-4390.411	3281.293
LCBF2	-927.165	-1080.541	38.568	-4865.964	3191.185
LCBF3	-2240.427	-2605.682	837.154	-1541.035	1591.618
LCBF4	-1597.989	-1849.149	333.379	-4940.192	3418.696
LCBF5	-2387.400	-2774.236	825.851	-2902.141	2440.256
LCBF6	-2003.463	-2410.296	756.686	-4242.538	3028.080
LCBF7	-1981.926	-2213.088	402.543	-3599.796	2830.872
LCBF8	-901.860	-1133.793	207.346	-4987.822	3163.259
LCBF9	-881.151	-944.170	-133.176	-4369.800	2973.636
LCBF10	-2164.611	-2600.275	975.217	-1790.775	1625.213
LCBF11	-2143.902	-2410.651	634.695	-1172.754	1435.590
LCBF12	-1546.882	-1872.839	490.817	-5059.195	3382.019
LCBF13	-1526.173	-1683.216	150.295	-4441.174	3192.396
LCBF14	-2305.931	-2762.346	964.348	-3099.531	2441.211
LCBF15	-2285.222	-2572.723	623.826	-2481.510	2251.588
LCBF16	-1218.305	-1417.778	336.816	-2464.230	1839.540
LCBF17	-1769.258	-2133.483	509.500	-4259.090	3107.685
LCBF18	-649.596	-832.921	-29.119	-4803.588	3110.211
LCBF19	-1861.838	-2240.743	708.037	-1734.423	1633.686
MAX	2387.400	2774.236	975.217	5059.195	3418.696
MIN	649.596	832.921	-133.176	1172.754	1435.590

㉢ 기둥

■ 기둥1 상단(계수하중조합)

구 분	축력 (kN)	교축직각 휨 (kN·m)	교축 휨 (kN·m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBF1	-14153.741	-4663.695	0.000	0.000	-660.881
LCBF2	-8725.078	-4631.966	-31.634	-32.902	-755.858
LCBF3	-10654.704	-1675.333	31.634	32.902	-143.988
LCBF4	-11779.933	-4950.048	-15.817	-16.451	-762.452
LCBF5	-12997.993	-3183.353	15.817	16.451	-392.506
LCBF6	-12487.567	-4400.946	-739.283	-367.177	-650.823
LCBF7	-12290.359	-3732.456	739.283	367.177	-504.135
LCBF8	-8484.310	-4775.203	-741.266	-384.691	-797.309
LCBF9	-8294.687	-4132.424	680.432	321.419	-656.264
LCBF10	-10339.719	-1932.287	-680.432	-321.419	-208.973
LCBF11	-10150.096	-1289.508	741.266	384.691	-67.928
LCBF12	-11421.670	-5081.051	-726.058	-368.873	-803.650
LCBF13	-11232.047	-4438.272	695.640	337.237	-662.605
LCBF14	-12592.882	-3382.306	-695.640	-337.237	-447.932
LCBF15	-12403.259	-2739.527	726.058	368.873	-306.887
LCBF16	-7453.762	-2425.884	0.000	0.000	-346.095
LCBF17	-12412.504	-3905.364	0.000	0.000	-392.649
LCBF18	-8075.649	-4126.735	-29.201	-30.371	-527.103
LCBF19	-9856.841	-1397.535	29.201	30.371	37.700
LCBF20	-11917.612	-3935.930	0.000	0.000	-557.053
LCBF21	-6488.950	-3904.201	-31.634	-32.902	-652.029
LCBF22	-8418.575	-947.568	31.634	32.902	-40.160
LCBF23	-9543.804	-4222.283	-15.817	-16.451	-658.624
LCBF24	-10761.864	-2455.588	15.817	16.451	-288.678
LCBF25	-10251.438	-3673.180	-739.283	-367.177	-546.994
LCBF26	-10054.230	-3004.690	739.283	367.177	-400.307
LCBF27	-6620.869	-4168.732	-741.266	-384.691	-710.786
LCBF28	-6431.246	-3525.953	680.432	321.419	-569.740
LCBF29	-8476.278	-1325.816	-680.432	-321.419	-122.450
LCBF30	-8286.655	-683.037	741.266	384.691	18.596
LCBF31	-9558.229	-4474.580	-726.058	-368.873	-717.126
LCBF32	-9368.606	-3831.801	695.640	337.237	-576.081
LCBF33	-10729.441	-2775.835	-695.640	-337.237	-361.409
LCBF34	-10539.818	-2133.056	726.058	368.873	-220.363
LCBF35	-7453.762	-2425.884	0.000	0.000	-346.095
LCBF36	-10176.375	-3177.599	0.000	0.000	-288.821
LCBF37	-6584.896	-3641.558	-29.201	-30.371	-457.884
LCBF38	-8366.089	-912.358	29.201	30.371	106.919

■ 기둥1 하단(계수하중조합)

구 분	축력 (kN)	교축직각 휨 (kN·m)	교축 휨 (kN·m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBF1	-15230.506	2305.958	0.000	0.000	-660.881
LCBF2	-9801.844	3550.551	-589.857	-67.401	-790.357
LCBF3	-11731.469	-368.071	589.857	67.401	-109.489
LCBF4	-12856.698	3196.396	-294.928	-33.701	-779.702
LCBF5	-14074.758	850.395	294.928	33.701	-375.256
LCBF6	-13564.332	2462.633	-4611.533	-367.177	-650.823
LCBF7	-13367.124	1584.157	4611.533	367.177	-504.135
LCBF8	-9519.661	3836.335	-5001.336	-417.864	-830.482
LCBF9	-9330.038	2991.647	3866.997	288.246	-689.436
LCBF10	-11375.070	68.429	-3866.997	-288.246	-175.801
LCBF11	-11185.447	-776.259	5001.336	417.864	-34.755
LCBF12	-12457.021	3495.801	-4717.752	-385.459	-820.236
LCBF13	-12267.398	2651.113	4150.582	320.651	-679.191
LCBF14	-13628.233	1240.031	-4150.582	-320.651	-431.346
LCBF15	-13438.610	395.343	4717.752	385.459	-290.301
LCBF16	-8282.043	1224.031	0.000	0.000	-346.095
LCBF17	-13489.269	4785.515	-2275.000	-650.000	-1692.649
LCBF18	-9069.586	5827.080	-2644.483	-662.217	-1758.948
LCBF19	-10850.779	2209.891	-1555.517	-537.783	-1130.454
LCBF20	-12745.893	1938.749	0.000	0.000	-557.053
LCBF21	-7317.231	3183.341	-589.857	-67.401	-686.529
LCBF22	-9246.856	-735.280	589.857	67.401	-5.661
LCBF23	-10372.085	2829.186	-294.928	-33.701	-675.874
LCBF24	-11590.145	483.185	294.928	33.701	-271.428
LCBF25	-11079.719	2095.424	-4611.533	-367.177	-546.994
LCBF26	-10882.511	1216.948	4611.533	367.177	-400.307
LCBF27	-7449.150	3530.327	-5001.336	-417.864	-743.958
LCBF28	-7259.527	2685.639	3866.997	288.246	-602.912
LCBF29	-9304.559	-237.578	-3866.997	-288.246	-89.277
LCBF30	-9114.936	-1082.266	5001.336	417.864	51.769

구 분		축력 (kN)	교축직각 휨 (kN·m)	교축 휨 (kN·m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBF31		-10386.510	3189.794	-4717.752	-385.459	-733.713
LCBF32		-10196.887	2345.106	4150.582	320.651	-592.667
LCBF33		-11557.722	934.024	-4150.582	-320.651	-344.822
LCBF34		-11368.099	89.335	4717.752	385.459	-203.777
LCBF35		-8282.043	1224.031	0.000	0.000	-346.095
LCBF36		-11004.656	4418.305	-2275.000	-650.000	-1588.821
LCBF37		-7413.177	5582.274	-2644.483	-662.217	-1689.729
LCBF38		-9194.370	1965.085	-1555.517	-537.783	-1061.236
일반 축하중 조합	P 최대	15230.506	2305.958	0.000	0.000	660.881
	My 최대	11185.447	-776.259	5001.336	417.864	67.928
	Mx 최대	9069.586	5827.080	-2644.483	662.217	1758.948
최소 축하중 조합	P 최소	7259.527	2685.639	3866.997	321.419	602.912
	My 최대	9114.936	-1082.266	5001.336	417.864	51.769
	Mx 최대	7413.177	5582.274	-2644.483	662.217	1689.729

■ 기둥2 상단(계수하중조합)

구 분	축력 (kN)	교축직각 휨 (kN·m)	교축 휨 (kN·m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBF1	-7516.385	1445.728	0.000	0.000	228.757
LCBF2	-5434.491	-1140.761	-33.596	-32.452	-247.564
LCBF3	-5424.365	3068.043	33.596	32.452	546.766
LCBF4	-6696.448	-16.053	-16.798	-16.226	-44.027
LCBF5	-6686.171	2526.324	16.798	16.226	438.953
LCBF6	-6888.517	1255.136	-707.688	-378.332	197.463
LCBF7	-6494.101	1255.136	707.688	378.332	197.463
LCBF8	-5415.095	-1096.886	-712.773	-394.985	-238.043
LCBF9	-5035.849	-1096.886	648.166	332.577	-238.043
LCBF10	-5405.359	2950.042	-648.166	-332.577	525.736
LCBF11	-5026.112	2950.042	712.773	394.985	525.736
LCBF12	-6628.515	-15.435	-696.621	-379.383	-42.334
LCBF13	-6249.269	-15.435	664.317	348.179	-42.334
LCBF14	-6618.633	2429.158	-664.317	-348.179	422.070
LCBF15	-6239.387	2429.158	696.621	379.383	422.070

구 분	축력 (kN)	교축직각 휨 (kN·m)	교축 휨 (kN·m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBF16	-4176.483	741.262	0.000	0.000	115.077
LCBF17	-6489.559	762.393	0.000	0.000	98.436
LCBF18	-4830.222	-1507.849	-31.012	-29.956	-319.931
LCBF19	-4820.875	2377.201	31.012	29.956	413.297
LCBF20	-6263.440	1223.350	0.000	0.000	194.234
LCBF21	-4181.546	-1363.140	-33.596	-32.452	-282.088
LCBF22	-4171.420	2845.665	33.596	32.452	512.242
LCBF23	-5443.503	-238.431	-16.798	-16.226	-78.551
LCBF24	-5433.226	2303.945	16.798	16.226	404.430
LCBF25	-5635.572	1032.757	-707.688	-378.332	162.940
LCBF26	-5241.156	1032.757	707.688	378.332	162.940
LCBF27	-4370.974	-1282.201	-712.773	-394.985	-266.812
LCBF28	-3991.728	-1282.201	648.166	332.577	-266.812
LCBF29	-4361.238	2764.726	-648.166	-332.577	496.967
LCBF30	-3981.992	2764.726	712.773	394.985	496.967
LCBF31	-5584.394	-200.751	-696.621	-379.383	-71.103
LCBF32	-5205.148	-200.751	664.317	348.179	-71.103
LCBF33	-5574.513	2243.842	-664.317	-348.179	393.301
LCBF34	-5195.266	2243.842	696.621	379.383	393.301
LCBF35	-4176.483	741.262	0.000	0.000	115.077
LCBF36	-5236.614	540.015	0.000	0.000	63.912
LCBF37	-3994.925	-1656.102	-31.012	-29.956	-342.946
LCBF38	-3985.578	2228.949	31.012	29.956	390.281

■ 기둥2 하단(계수하중조합)

구 분	축력 (kN)	교축직각 휨 (kN・m)	교축 휨 (kN・m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBF1	-8593.150	-966.747	0.000	0.000	228.757
LCBF2	-6511.256	1681.292	-587.077	-66.952	-282.064
LCBF3	-6501.130	-2909.387	587.077	66.952	581.265
LCBF4	-7773.213	553.881	-293.538	-33.476	-61.277
LCBF5	-7762.936	-2208.496	293.538	33.476	456.203
LCBF6	-7965.282	-827.308	-4697.579	-378.332	197.463
LCBF7	-7570.866	-827.308	4697.579	378.332	197.463
LCBF8	-6450.446	1616.627	-5081.399	-428.157	-271.215
LCBF9	-6071.200	1616.627	3952.406	299.404	-271.215
LCBF10	-6440.710	-2797.487	-3952.406	-299.404	558.909
LCBF11	-6061.464	-2797.487	5081.399	428.157	558.909
LCBF12	-7663.866	532.578	-4799.151	-395.969	-58.920
LCBF13	-7284.620	532.578	4234.654	331.593	-58.920
LCBF14	-7653.984	-2123.554	-4234.654	-331.593	438.657
LCBF15	-7274.738	-2123.554	4799.151	395.969	438.657
LCBF16	-5004.764	-472.344	0.000	0.000	115.077
LCBF17	-7566.324	-275.708	-2275.000	-650.000	98.436
LCBF18	-5824.159	2061.131	-2641.917	-661.801	-351.776
LCBF19	-5814.812	-2176.419	-1558.083	-538.199	445.143
LCBF20	-7091.721	-825.044	0.000	0.000	194.234
LCBF21	-5009.827	1822.996	-587.077	-66.952	-316.587
LCBF22	-4999.701	-2767.684	587.077	66.952	546.742
LCBF23	-6271.784	695.584	-293.538	-33.476	-95.800
LCBF24	-6261.507	-2066.793	293.538	33.476	421.680
LCBF25	-6463.853	-685.604	-4697.579	-378.332	162.940
LCBF26	-6069.437	-685.604	4697.579	378.332	162.940
LCBF27	-5199.255	1734.713	-5081.399	-428.157	-299.985
LCBF28	-4820.009	1734.713	3952.406	299.404	-299.985
LCBF29	-5189.519	-2679.401	-3952.406	-299.404	530.139
LCBF30	-4810.273	-2679.401	5081.399	428.157	530.139

구 분		축력 (kN)	교축직각 휨 (kN·m)	교축 휨 (kN·m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBF31		-6412.675	650.664	-4799.151	-395.969	-87.690
LCBF32		-6033.429	650.664	4234.654	331.593	-87.690
LCBF33		-6402.793	-2005.468	-4234.654	-331.593	409.887
LCBF34		-6023.547	-2005.468	4799.151	395.969	409.887
LCBF35		-5004.764	-472.344	0.000	0.000	115.077
LCBF36		-6064.895	-134.004	-2275.000	-650.000	63.912
LCBF37		-4823.206	2155.600	-2641.917	-661.801	-374.792
LCBF38		-4813.859	-2081.950	-1558.083	-538.199	422.127
일반 축하중 조합	P 최대	8593.150	-966.747	0.000	0.000	228.757
	My 최대	6450.446	1616.627	-5081.399	428.157	271.215
	Mx 최대	6501.130	-2909.387	587.077	66.952	581.265
최소 축하중 조합	P 최소	4810.273	-2679.401	5081.399	428.157	530.139
	My 최대	5199.255	1734.713	-5081.399	428.157	299.985
	Mx 최대	4999.701	-2767.684	587.077	66.952	546.742

■ 기둥3 하단(계수하중조합)

구 분	축력 (kN)	교축직각 휨 (kN·m)	교축 휨 (kN·m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBF1	-13698.896	2854.647	0.000	0.000	432.124
LCBF2	-10930.391	518.007	-31.775	-32.887	-7.334
LCBF3	-8938.002	3496.562	31.775	32.887	607.979
LCBF4	-12840.544	1628.672	-15.887	-16.443	193.852
LCBF5	-11580.509	3410.615	15.887	16.443	566.181
LCBF6	-12309.131	2853.888	-623.643	-404.832	453.360
LCBF7	-12111.923	2185.398	623.643	404.832	306.673
LCBF8	-10604.802	819.473	-630.210	-420.884	63.471
LCBF9	-10415.179	176.694	569.104	357.640	-77.575
LCBF10	-8689.045	3683.469	-569.104	-357.640	655.118

구 분	축력 (kN)	교축직각 휨 (kN・m)	교축 휨 (kN・m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBF11	-8499.422	3040.690	630.210	420.884	514.073
LCBF12	-12441.488	1887.420	-614.934	-405.073	256.919
LCBF13	-12251.865	1244.641	584.381	373.451	115.873
LCBF14	-11229.917	3600.827	-584.381	-373.451	614.928
LCBF15	-11040.294	2958.048	614.934	405.073	473.882
LCBF16	-7641.690	1544.065	0.000	0.000	231.017
LCBF17	-12388.736	2116.374	0.000	0.000	294.214
LCBF18	-10254.092	105.912	-29.331	-30.357	-85.973
LCBF19	-8414.965	2855.348	29.331	30.357	482.009
LCBF20	-11406.389	2391.428	0.000	0.000	362.819
LCBF21	-8637.884	54.787	-31.775	-32.887	-76.639
LCBF22	-6645.495	3033.343	31.775	32.887	538.674
LCBF23	-10548.037	1165.452	-15.887	-16.443	124.547
LCBF24	-9288.003	2947.395	15.887	16.443	496.876
LCBF25	-10016.624	2390.669	-623.643	-404.832	384.055
LCBF26	-9819.416	1722.179	623.643	404.832	237.367
LCBF27	-8694.380	433.457	-630.210	-420.884	5.716
LCBF28	-8504.757	-209.322	569.104	357.640	-135.329
LCBF29	-6778.622	3297.452	-569.104	-357.640	597.364
LCBF30	-6588.999	2654.674	630.210	420.884	456.318
LCBF31	-10531.066	1501.404	-614.934	-405.073	199.164
LCBF32	-10341.443	858.625	584.381	373.451	58.119
LCBF33	-9319.494	3214.810	-584.381	-373.451	557.173
LCBF34	-9129.871	2572.032	614.934	405.073	416.128
LCBF35	-7641.690	1544.065	0.000	0.000	231.017
LCBF36	-10096.229	1653.155	0.000	0.000	224.908
LCBF37	-8725.754	-202.901	-29.331	-30.357	-132.176
LCBF38	-6886.627	2546.535	29.331	30.357	435.806

■ 기둥3 하단(계수하중조합)

구 분	축력 (kN)	교축직각 휨 (kN·m)	교축 휨 (kN·m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBF1	-14775.661	-1702.531	0.000	0.000	432.124
LCBF2	-12007.156	806.594	-589.841	-67.386	-41.834
LCBF3	-10014.768	-3126.427	589.841	67.386	642.479
LCBF4	-13917.309	-310.068	-294.921	-33.693	176.602
LCBF5	-12657.275	-2665.950	294.921	33.693	583.431
LCBF6	-13385.896	-1927.247	-4893.003	-404.832	453.360
LCBF7	-13188.688	-1048.771	4893.003	404.832	306.673
LCBF8	-11640.154	353.227	-5271.965	-454.056	30.298
LCBF9	-11450.531	1197.915	4137.655	324.467	-110.747
LCBF10	-9724.396	-3428.524	-4137.655	-324.467	688.291
LCBF11	-9534.773	-2583.836	5271.965	454.056	547.245
LCBF12	-13476.839	-720.486	-4988.388	-421.659	240.332
LCBF13	-13287.216	124.202	4421.233	356.864	99.287
LCBF14	-12265.268	-2985.758	-4421.233	-356.864	631.514
LCBF15	-12075.645	-2141.069	4988.388	421.659	490.468
LCBF16	-8469.970	-892.243	0.000	0.000	231.017
LCBF17	-13465.501	-986.403	-2275.000	-650.000	294.214
LCBF18	-11248.029	1207.569	-2644.469	-662.203	-117.818
LCBF19	-9408.902	-2422.912	-1555.531	-537.797	513.855
LCBF20	-12234.670	-1434.858	0.000	0.000	362.819
LCBF21	-9466.165	1074.267	-589.841	-67.386	-111.139
LCBF22	-7473.776	-2858.754	589.841	67.386	573.173
LCBF23	-11376.318	-42.395	-294.921	-33.693	107.297
LCBF24	-10116.283	-2398.277	294.921	33.693	514.126
LCBF25	-10844.905	-1659.574	-4893.003	-404.832	384.055
LCBF26	-10647.697	-781.098	4893.003	404.832	237.367
LCBF27	-9522.661	576.288	-5271.965	-454.056	-27.456
LCBF28	-9333.038	1420.976	4137.655	324.467	-168.502
LCBF29	-7606.903	-3205.463	-4137.655	-324.467	630.536
LCBF30	-7417.280	-2360.775	5271.965	454.056	489.491

구 분		축력 (kN)	교축직각 휨 (kN·m)	교축 휨 (kN·m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBF31		-11359.347	-497.426	-4988.388	-421.659	182.578
LCBF32		-11169.724	347.262	4421.233	356.864	41.532
LCBF33		-10147.775	-2762.697	-4421.233	-356.864	573.760
LCBF34		-9958.152	-1918.009	4988.388	421.659	432.714
LCBF35		-8469.970	-892.243	0.000	0.000	231.017
LCBF36		-10924.510	-718.730	-2275.000	-650.000	224.908
LCBF37		-9554.035	1386.018	-2644.469	-662.203	-164.022
LCBF38		-7714.908	-2244.463	-1555.531	-537.797	467.651
일반 축하중 조합	P 최대	14775.661	-1702.531	0.000	0.000	432.124
	My 최대	11640.154	353.227	-5271.965	454.056	63.471
	Mx 최대	9724.396	-3428.524	-4137.655	357.640	688.291
최소 축하중 조합	P 최소	7417.280	-2360.775	5271.965	454.056	489.491
	My 최대	9522.661	576.288	-5271.965	454.056	27.456
	Mx 최대	7606.903	-3205.463	-4137.655	357.640	630.536

㉣ 기둥하중조합 : 기초

■ 기둥1 기초(사용하중조합)

구 분	축력 (kN)	교축직각 휨 (kN·m)	교축 휨 (kN·m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBS1	-10358.252	1556.458	0.000	0.000	-444.215
LCBS2	-10434.102	1894.333	-3547.333	-282.444	-500.633
LCBS3	-10282.403	1218.583	3547.333	282.444	-387.797
LCBS4	-9889.768	2458.766	-226.868	-25.924	-599.771
LCBS5	-10826.737	654.150	226.868	25.924	-288.659
LCBS6	-7539.880	2731.193	-453.736	-51.847	-607.967
LCBS7	-9024.207	-283.132	453.736	51.847	-84.222
LCBS8	-9965.617	2796.641	-3774.201	-308.368	-656.189
LCBS9	-9813.918	2120.891	3320.465	256.520	-543.353
LCBS10	-10902.586	992.025	-3320.465	-256.520	-345.077
LCBS11	-10750.888	316.274	3774.201	308.368	-232.240
LCBS12	-7615.729	3069.068	-4001.069	-334.291	-664.385
LCBS13	-7464.031	2393.318	3093.598	230.597	-551.549
LCBS14	-9100.056	54.744	-3093.598	-230.597	-140.641
LCBS15	-8948.358	-621.007	4001.069	334.291	-27.804
LCBS16	-10376.361	3681.165	-1750.000	-500.000	-1302.038
LCBS17	-8282.043	1224.031	0.000	0.000	-346.095
P 최대	10902.586	992.025	-3320.465	269.789	358.346
My 최대	8948.358	-621.007	4001.069	334.291	54.342
Mx 최대	10376.361	3681.165	-1750.000	500.000	1302.038
Vx 최대	10376.361	3681.165	-1750.000	500.000	1302.038
Vy 최대	10376.361	3681.165	-1750.000	500.000	1302.038

■ 기둥1 기초(계수하중조합)

구 분	축력 (kN)	교축직각 휨 (kN·m)	교축 휨 (kN·m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBF1	-15230.506	2305.958	0.000	0.000	-660.881
LCBF2	-9801.844	3550.551	-589.857	-67.401	-790.357
LCBF3	-11731.469	-368.071	589.857	67.401	-109.489
LCBF4	-12856.698	3196.396	-294.928	-33.701	-779.702
LCBF5	-14074.758	850.395	294.928	33.701	-375.256
LCBF6	-13564.332	2462.633	-4611.533	-367.177	-650.823
LCBF7	-13367.124	1584.157	4611.533	367.177	-504.135
LCBF8	-9519.661	3836.335	-5001.336	-417.864	-830.482
LCBF9	-9330.038	2991.647	3866.997	288.246	-689.436
LCBF10	-11375.070	68.429	-3866.997	-288.246	-175.801
LCBF11	-11185.447	-776.259	5001.336	417.864	-34.755
LCBF12	-12457.021	3495.801	-4717.752	-385.459	-820.236
LCBF13	-12267.398	2651.113	4150.582	320.651	-679.191
LCBF14	-13628.233	1240.031	-4150.582	-320.651	-431.346
LCBF15	-13438.610	395.343	4717.752	385.459	-290.301
LCBF16	-8282.043	1224.031	0.000	0.000	-346.095
LCBF17	-13489.269	4785.515	-2275.000	-650.000	-1692.649
LCBF18	-9069.586	5827.080	-2644.483	-662.217	-1758.948
LCBF19	-10850.779	2209.891	-1555.517	-537.783	-1130.454
P 최대	15230.506	2305.958	0.000	0.000	660.881
My 최대	11185.447	-776.259	5001.336	417.864	67.928
Mx 최대	9069.586	5827.080	-2644.483	662.217	1758.948
Vx 최대	9069.586	5827.080	-2644.483	662.217	1758.948
Vy 최대	9069.586	5827.080	-2644.483	662.217	1758.948

■ 기둥2 기초(사용하중조합)

구 분	축력 (kN)	교축직각 휨 (kN・m)	교축 휨 (kN・m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBS1	-5975.442	-636.390	0.000	0.000	151.894
LCBS2	-6127.140	-636.390	-3613.522	-291.025	151.894
LCBS3	-5823.743	-636.390	3613.522	291.025	151.894
LCBS4	-5979.394	426.062	-225.799	-25.751	-47.136
LCBS5	-5971.489	-1698.843	225.799	25.751	350.925
LCBS6	-5008.659	1293.302	-451.597	-51.501	-216.972
LCBS7	-5000.869	-2237.990	451.597	51.501	447.127
LCBS8	-6131.093	426.062	-3839.321	-316.775	-47.136
LCBS9	-5827.696	426.062	3387.724	265.274	-47.136
LCBS10	-6123.188	-1698.843	-3387.724	-265.274	350.925
LCBS11	-5819.791	-1698.843	3839.321	316.775	350.925
LCBS12	-5160.357	1293.302	-4065.120	-342.526	-216.972
LCBS13	-4856.960	1293.302	3161.925	239.524	-216.972
LCBS14	-5152.568	-2237.990	-3161.925	-239.524	447.127
LCBS15	-4849.171	-2237.990	4065.120	342.526	447.127
LCBS16	-5820.249	-212.083	-1750.000	-500.000	75.720
LCBS17	-5004.764	-472.344	0.000	0.000	115.077
P 최대	6131.093	426.062	-3839.321	316.775	47.136
My 최대	5160.357	1293.302	-4065.120	342.526	216.972
Mx 최대	5152.568	-2237.990	-3161.925	266.062	447.127
Vx 최대	5820.249	-212.083	-1750.000	500.000	75.720
Vy 최대	5152.568	-2237.990	-3161.925	266.062	447.127

■ 기둥2 기초(계수하중조합)

구 분	축력 (kN)	교축직각 휨 (kN·m)	교축 휨 (kN·m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBF1	-8593.150	-966.747	0.000	0.000	228.757
LCBF2	-6511.256	1681.292	-587.077	-66.952	-282.064
LCBF3	-6501.130	-2909.387	587.077	66.952	581.265
LCBF4	-7773.213	553.881	-293.538	-33.476	-61.277
LCBF5	-7762.936	-2208.496	293.538	33.476	456.203
LCBF6	-7965.282	-827.308	-4697.579	-378.332	197.463
LCBF7	-7570.866	-827.308	4697.579	378.332	197.463
LCBF8	-6450.446	1616.627	-5081.399	-428.157	-271.215
LCBF9	-6071.200	1616.627	3952.406	299.404	-271.215
LCBF10	-6440.710	-2797.487	-3952.406	-299.404	558.909
LCBF11	-6061.464	-2797.487	5081.399	428.157	558.909
LCBF12	-7663.866	532.578	-4799.151	-395.969	-58.920
LCBF13	-7284.620	532.578	4234.654	331.593	-58.920
LCBF14	-7653.984	-2123.554	-4234.654	-331.593	438.657
LCBF15	-7274.738	-2123.554	4799.151	395.969	438.657
LCBF16	-5004.764	-472.344	0.000	0.000	115.077
LCBF17	-7566.324	-275.708	-2275.000	-650.000	98.436
LCBF18	-5824.159	2061.131	-2641.917	-661.801	-351.776
LCBF19	-5814.812	-2176.419	-1558.083	-538.199	445.143
P 최대	8593.150	-966.747	0.000	0.000	228.757
My 최대	6450.446	1616.627	-5081.399	428.157	271.215
Mx 최대	6501.130	-2909.387	587.077	66.952	581.265
Vx 최대	5824.159	2061.131	-2641.917	661.801	351.776
Vy 최대	6501.130	-2909.387	587.077	66.952	581.265

■ 기둥3 기초(사용하중조합)

구 분	축력 (kN)	교축직각 휨 (kN·m)	교축 휨 (kN·m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBS1	-10220.994	-1144.622	0.000	0.000	292.320
LCBS2	-10296.843	-1482.498	-3763.848	-311.409	348.739
LCBS3	-10145.144	-806.747	3763.848	311.409	235.902
LCBS4	-10705.622	-238.514	-226.862	-25.918	135.848
LCBS5	-9736.365	-2050.731	226.862	25.918	448.793
LCBS6	-9236.274	620.457	-453.724	-51.836	-32.180
LCBS7	-7703.667	-2404.944	453.724	51.836	494.214
LCBS8	-10781.471	-576.389	-3990.710	-337.327	192.266
LCBS9	-10629.773	99.361	3536.986	285.491	79.429
LCBS10	-9812.214	-2388.606	-3536.986	-285.491	505.211
LCBS11	-9660.516	-1712.856	3990.710	337.327	392.375
LCBS12	-9312.123	282.582	-4217.572	-363.245	24.238
LCBS13	-9160.424	958.332	3310.124	259.574	-88.598
LCBS14	-7779.517	-2742.819	-3310.124	-259.574	550.633
LCBS15	-7627.818	-2067.069	4217.572	363.245	437.796
LCBS16	-10358.078	-758.772	-1750.000	-500.000	226.318
LCBS17	-8469.970	-892.243	0.000	0.000	231.017
P 최대	10781.471	-576.389	-3990.710	337.327	205.535
My 최대	9312.123	282.582	-4217.572	363.245	50.776
Mx 최대	7779.517	-2742.819	-3310.124	286.112	550.633
Vx 최대	10358.078	-758.772	-1750.000	500.000	226.318
Vy 최대	7779.517	-2742.819	-3310.124	286.112	550.633

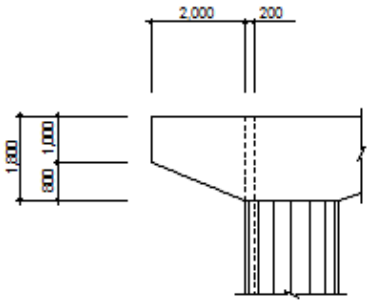
■ 기둥3 기초(계수하중조합)

구 분	축력 (kN)	교축직각 휨 (kN·m)	교축 휨 (kN·m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBF1	-14775.661	-1702.531	0.000	0.000	432.124
LCBF2	-12007.156	806.594	-589.841	-67.386	-41.834
LCBF3	-10014.768	-3126.427	589.841	67.386	642.479
LCBF4	-13917.309	-310.068	-294.921	-33.693	176.602
LCBF5	-12657.275	-2665.950	294.921	33.693	583.431
LCBF6	-13385.896	-1927.247	-4893.003	-404.832	453.360
LCBF7	-13188.688	-1048.771	4893.003	404.832	306.673
LCBF8	-11640.154	353.227	-5271.965	-454.056	30.298
LCBF9	-11450.531	1197.915	4137.655	324.467	-110.747
LCBF10	-9724.396	-3428.524	-4137.655	-324.467	688.291
LCBF11	-9534.773	-2583.836	5271.965	454.056	547.245
LCBF12	-13476.839	-720.486	-4988.388	-421.659	240.332
LCBF13	-13287.216	124.202	4421.233	356.864	99.287
LCBF14	-12265.268	-2985.758	-4421.233	-356.864	631.514
LCBF15	-12075.645	-2141.069	4988.388	421.659	490.468
LCBF16	-8469.970	-892.243	0.000	0.000	231.017
LCBF17	-13465.501	-986.403	-2275.000	-650.000	294.214
LCBF18	-11248.029	1207.569	-2644.469	-662.203	-117.818
LCBF19	-9408.902	-2422.912	-1555.531	-537.797	513.855
P 최대	14775.661	-1702.531	0.000	0.000	432.124
My 최대	11640.154	353.227	-5271.965	454.056	63.471
Mx 최대	9724.396	-3428.524	-4137.655	357.640	688.291
Vx 최대	11248.029	1207.569	-2644.469	662.203	117.818
Vy 최대	9724.396	-3428.524	-4137.655	357.640	688.291

7) 부재별 검토

① 코핑설계

㉠ 부재력 요약



lc=w1+0.1・D = 2.200m

w1:코핑연단에서 기둥 전면까지의 거리

D:기둥직경

lc:코핑 유효 내민 길이

㉡ 내민보 설계

■ 깊은 보 검토

Ln/d=2.669/1.700=1.570< 5.0 ☞ Deep Beam 검토 필요.

㉢ 깊은 보 설계

구 분	d(mm)	사용철근량(㎟)	M_u(kN · m)	ϕM_n(kN · m)	안전율
깊은 보 휨 검토	1650	D32-10EA=19060.8 D32-10EA=19060.8 = 38121.6	8378.202	15122.269	O.K.(1.805)

㉣ 브라켓 검토

■ 좌측 내민보

a / d = 1.300 / 1.650 = 0.788 < 1.0 ☞ 브라켓 검토 필요.

a = M / V = 8378.202 / 6444.064 = 1.300m

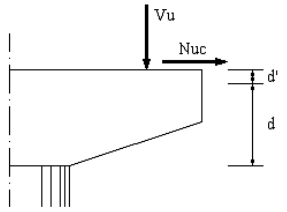
■ 우측 내민보

a / d = 1.297 / 1.650 = 0.786 < 1.0 ☞ 브라켓 검토 필요.

a = M / V = 6725.509 / 5185.350 = 1.297m

㉤ 브라켓 검토

■ 좌측



b = 2500.00mm

d = 1650.00mm : 브라켓 유효길이

d' = 150.00mm : 피복 두께

fck=24MPa

fy=300MPa

φf=0.800:강도감소계수 (휨)

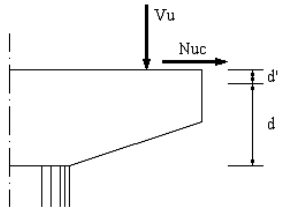
φs=0.800:강도감소계수 (전단)

μ = 1.400 : 전단마찰계수

■ 단면검토

구 분		단 위	관 계 식	결과
브라켓 검토	Vu	kN	코핑하중조합 참고	6444.064
	Mu	kN・m	코핑하중조합 참고	8378.202
	a	mm	Mu/Vu	1300.14
	a/d	-	a/d	0.788
단면력	Nuc	kN	0.2・Vu	1288.813
	Mu	kN・m	Vu・a + Nuc・d'	8571.524
단면검토	Vn	kN	0.2・fck・b・d/1000	19800.000
		kN	5.6・b・d/1000	23100.000
전단마찰철근량	Avf	mm^2	Vu/(φs・fy・μ)	19178.76
인장철근량	An	mm^2	Nuc/(φs・fy)	5370.05
휨철근량	Af	mm^2	{(φf・fy2)/(1.7・fck・b)}・Af2 -(φf・d・fy)・Af+Mu=0	22551.83
주철근량	As1	mm^2	Af+An	27921.89
	As2	mm^2	2/3・Avf+An	18155.90
	Asmin	mm^2	0.04・fck/fy・b・d	13200.00
	As	mm^2	max(As1,As2,Asmin)	27921.89
필요철근량	reqAs	mm^2	max(적용 Af,As)	27921.89
사용철근량	useAs	mm^2	1 단 : D32@100 = 19060.80mm^2 2 단 : D32@100 = 19060.80mm^2	38121.60
필요수평철근량	reqAh	mm^2	0.5・(As-An)	11275.92
사용수평철근량	useAh	mm^2	D22-6열-5단	12160.80

■ 우측



b = 2500.00mm

d = 1650.00mm : 브라켓 유효길이

d' = 150.00mm : 피복 두께

fck=24MPa

fy=300MPa

φf=0.800:강도감소계수 (휨)

φs=0.800:강도감소계수 (전단)

μ = 1.400 : 전단마찰계수

■ 단면검토

구 분		단 위	관 계 식	결과
브라켓 검토	Vu	kN	코핑하중조합 참고	5185.350
	Mu	kN・m	코핑하중조합 참고	6725.509
	a	mm	Mu/Vu	1297.02
	a/d	-	a/d	0.786
단면력	Nuc	kN	0.2・Vu	1037.070
	Mu	kN・m	Vu・a + Nuc・d'	6881.070
단면검토	Vn	kN	0.2・fck・b・d/1000	19800.000
		kN	5.6・b・d/1000	23100.000
전단마찰철근량	Avf	mm^2	Vu/(φs・fy・μ)	15432.59
인장철근량	An	mm^2	Nuc/(φs・fy)	4321.12
휨철근량	Af	mm^2	{(φf・fy2)/(1.7・fck・b)}・Af2 -(φf・d・fy)・Af+Mu=0	17950.83
주철근량	As1	mm^2	Af+An	22271.95
	As2	mm^2	2/3・Avf+An	14609.52
	Asmin	mm^2	0.04・fck/fy・b・d	13200.00
	As	mm^2	max(As1,As2,Asmin)	22271.95
필요철근량	reqAs	mm^2	max(적용 Af,As)	22271.95
사용철근량	useAs	mm^2	1 단 : D32@100 = 19060.80mm^2 2 단 : D32@100 = 19060.80mm^2	38121.60
필요수평철근량	reqAh	mm^2	0.5・(As-An)	8975.41
사용수평철근량	useAh	mm^2	D22-6열-5단	12160.80

ⓗ 외측지점부 보 설계

구 분	d(mm)	사용철근량(㎟)	M_u(kN · m)	ϕM_n(kN · m)	안전율
보	1400	D32-10EA=19060.8 D32-10EA=19060.8 = 38121.6	6749.852	15122.269	O.K.(2.240)

ⓐ 캔틸레버부 종방향 검토

구 분	d(mm)	사용철근량(㎟)	M_u(kN · m)	ϕM_n(kN · m)	안전율
보	1875.96	D19-12EA+D25-18EA+ D32-24EA=31619.4	256.799	14084.325	O.K.(54.846)

ⓞ 내측지간부 보 설계

구 분	d(mm)	사용철근량(㎟)	M_u(kN · m)	ϕM_n(kN · m)	안전율
보	1400	D19-10EA=6876.0	975.219	2980.225	O.K.(3.056)
보	1650	D32-10EA=19060.8 D32-10EA=19060.8 = 38121.6	3205.063	15122.269	O.K.(4.718)

② 기둥검토

㉠ 부재력 요약

■ 기둥 1

구 분			축력(kN)		모멘트(kN・m)				V(kN)	δ (mm)
			장기지속축력	전체축력	Top		Bottom			
					Sway	Non Swat	Sway	Non Swat		
일반	Pmax	교축	10766.656	15230.506	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
		직각			0.000	-4663.695	0.000	2305.958	660.881	0.20
	Mymax	교축	10352.554	11185.447	741.266	0.000	5001.336	0.000	417.864	-11.04
		직각			1742.848	-3082.355	-2306.297	1530.038	67.928	-2.23
	Mxmax	교축	9938.452	9069.586	-29.201	0.000	-2644.483	0.000	662.217	3.05
		직각			-1215.674	-2911.061	4358.243	1468.837	1758.948	3.17
최소	Pmin	교축	8282.043	7259.527	680.432	0.000	3866.997	0.000	321.419	-8.82
		직각			-1100.089	-2425.884	1461.609	1224.031	602.912	2.57
	Mymax	교축	8282.043	9114.936	741.266	0.000	5001.336	0.000	417.864	-11.04
		직각			1742.848	-2425.884	-2306.297	1224.031	51.769	-2.27
	Mxmax	교축	8282.043	7413.177	-29.201	0.000	-2644.483	0.000	662.217	3.05
		직각			-1215.674	-2425.884	4358.243	1224.031	1689.729	3.14

■ 기둥 2

구 분			축력(kN)		모멘트(kN・m)				V(kN)	δ (mm)
			장기지속축력	전체축력	Top		Bottom			
					Sway	Non Sway	Sway	Non Sway		
일반	Pmax	교축	6506.193	8598.150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
		직각			0.000	1445.728	0.000	-966.747	228.757	-0.59
	Mymax	교축	6255.955	6450.446	-712.773	0.000	-5081.399	0.000	428.157	11.18
		직각			-2023.464	926.578	2207.057	-590.430	271.215	2.18
	Mxmax	교축	6506.193	6501.130	33.596	0.000	587.077	0.000	66.952	-1.15
		직각			2104.402	963.641	-2295.340	-614.047	581.265	-2.93
최소	Pmin	교축	5004.764	4810.273	712.773	0.000	5081.399	0.000	428.157	-11.18
		직각			2023.464	741.262	-2207.057	-472.344	530.139	-2.75
	Mymax	교축	5004.764	5199.255	-712.773	0.000	-5081.399	0.000	428.157	11.18
		직각			-2023.464	741.262	2207.057	-472.344	299.985	2.25
	Mxmax	교축	5004.764	4999.701	33.596	0.000	587.077	0.000	66.952	-1.15
		직각			2104.402	741.262	-2295.340	-472.344	546.742	-2.85

■ 기둥 3

구 분			축력(kN)		모멘트(kN・m)				V(kN)	δ (mm)
			장기지속축력	전체축력	Top		Bottom			
					Sway	Non Sway	Sway	Non Sway		
일반	Pmax	교축	11010.962	14775.661	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
		직각			0.000	2854.647	0.000	-1702.531	432.124	-0.73
	Mymax	교축	10587.463	11640.154	-630.210	0.000	-5271.965	0.000	454.056	11.50
		직각			-1110.608	1930.081	1468.531	-1115.304	63.471	2.01
	Mxmax	교축	10587.463	9724.396	-569.104	0.000	-4137.655	0.000	357.640	9.27
		직각			1753.387	1930.081	-2313.219	-1115.304	688.291	-2.84
최소	Pmin	교축	8469.970	7417.280	630.210	0.000	5271.965	0.000	454.056	-11.50
		직각			1110.608	1544.065	-1468.531	-892.243	489.491	-2.76
	Mymax	교축	8469.970	9522.661	-630.210	0.000	-5271.965	0.000	454.056	11.50
		직각			-1110.608	1544.065	1468.531	-892.243	27.456	2.09
	Mxmax	교축	8469.970	7606.903	-569.104	0.000	-4137.655	0.000	357.640	9.27
		직각			1753.387	1544.065	-2313.219	-892.243	630.536	-2.76

■ 설계요약

◦ 기둥 1

구 분		Pu	δ My	δ Mx	δ Mu	CASE
일반조합	Pmax	15230.506	4663.695	0.000	4663.695	LCBF1
	Mymax	11185.447	1289.508	5001.336	5164.900	LCBF11
	Mxmax	9069.586	5827.080	2644.483	6399.074	LCBF18
최소 축력조합	Pmin	7259.527	3525.953	3866.997	5233.165	LCBF28
	Mymax	9114.936	1082.266	5001.336	5117.096	LCBF30
	Mxmax	7413.177	5582.274	2644.483	6176.979	LCBF37

◦ 기둥 2

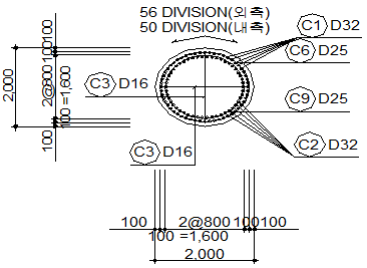
구 분		Pu	δ My	δ Mx	δ Mu	CASE
일반조합	Pmax	8593.150	1445.728	0.000	1445.728	LCBF1
	Mymax	6450.446	1616.627	5081.399	5332.364	LCBF8
	Mxmax	6501.130	3068.043	587.077	3123.708	LCBF3
최소 축력조합	Pmin	4810.273	2764.726	5081.399	5784.836	LCBF30
	Mymax	5199.255	1734.713	5081.399	5369.344	LCBF27
	Mxmax	4999.701	2845.665	587.077	2905.592	LCBF22

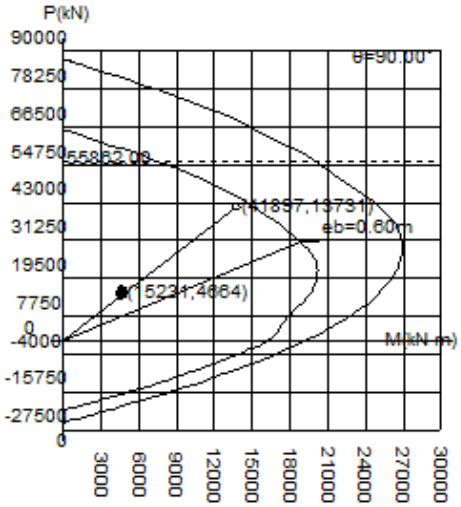
◦ 기둥 3

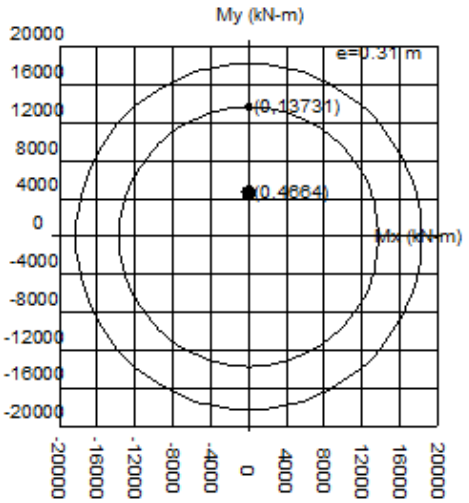
구 분		Pu	δMy	δMx	δMu	CASE
일반조합	Pmax	14775.661	2854.647	0.000	2854.647	LCBF1
	Mymax	11640.154	819.473	5271.965	5335.274	LCBF8
	Mxmax	9724.396	3683.469	4137.655	5539.687	LCBF10
최소 축력조합	Pmin	7417.280	2654.674	5271.965	5902.619	LCBF30
	Mymax	9522.661	576.288	5271.965	5303.369	LCBF27
	Mxmax	7606.903	3297.452	4137.655	5290.877	LCBF29

■ 기둥 주철근량 검토

◦ 기둥 1

구 분	사 용 철 근	조립도
1 단	D32× 56EA	
2 단	D32× 50EA	
계	84185.20mm² - 2.680%	
유효단면적 A_{eff}=1570796.33 mm²	A_{eff}=Pu/{φ・0.80・(0.85fck+0.01fy)} (단, A_{eff}>1/2・Ag)	





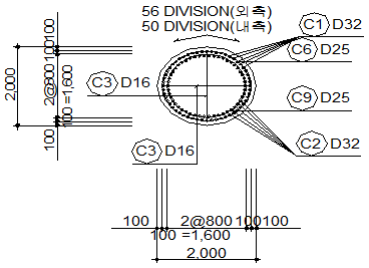
Pu=15230.506kN ≤ φPn=41896.503kN ····· O.K (S.F. 2.751)

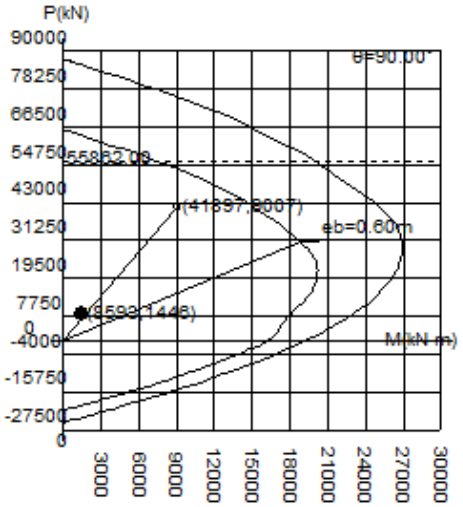
δMux=0.000kN・m ≤ φMnx=0.000kN・m ····· O.K

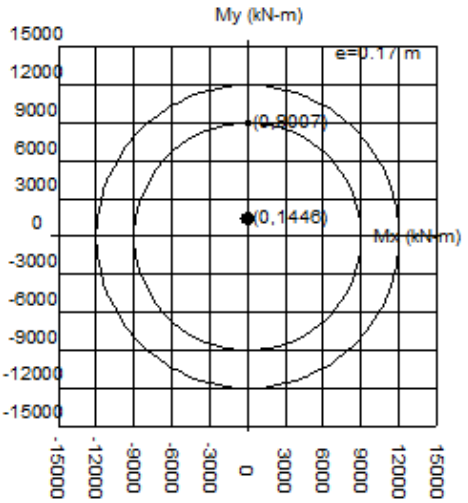
δMuy=4663.695kN・m ≤ φMny=13731.359kN・m ····· O.K (S.F. 2.994)

δMu=4663.695kN・m ≤ φMn=13731.359kN・m ····· O.K (S.F. 2.994)

◦ 기둥 2

구 분	사 용 철 근	조립도
1 단	D32× 56EA	
2 단	D32× 50EA	
계	84185.20mm² - 2.680%	
유효단면적 A_{eff}=1570796.33 mm²	Aeff=Pu/{φ・0.80・(0.85fck+0.01fy)}(단, Aeff>1/2・Ag)	





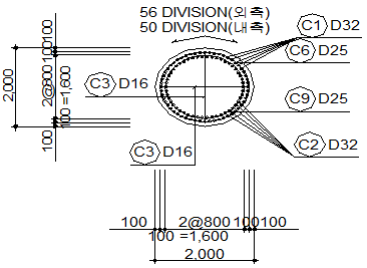
Pu=8593.150kN ≤ φPn=41896.503kN ····· O.K (S.F. 4.876)

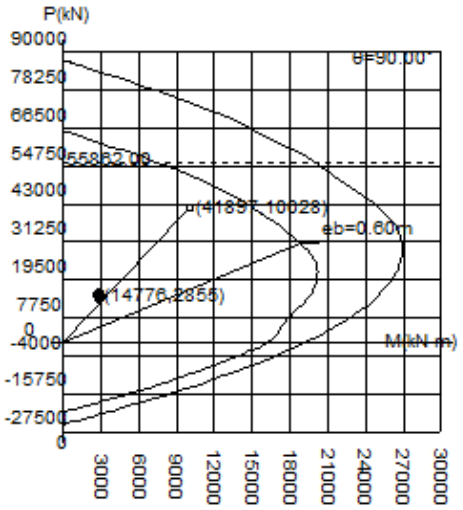
δMux=0.000kN・m ≤ φMnx=0.001kN・m ····· O.K

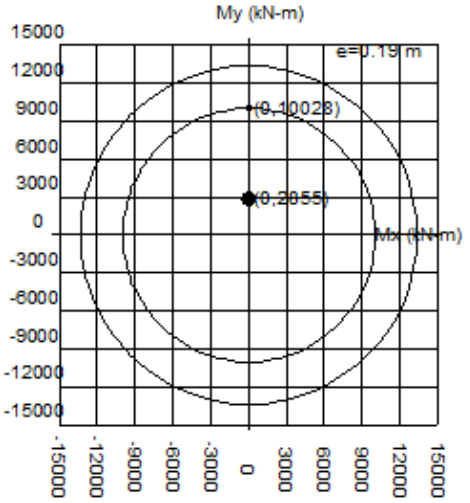
δMuy=1445.728kN・m ≤ φMny=9006.962kN・m ····· O.K (S.F. 6.230)

δMu=1445.728kN・m ≤ φMn=9006.962kN・m ····· O.K (S.F. 6.230)

◦ 기둥 3

구 분	사 용 철 근	조립도
1 단	D32× 56EA	
2 단	D32× 50EA	
계	84185.20mm² – 2.680%	
유효단면적 A_{eff}=1570796.33 mm²	Aeff=Pu/{φ・0.80・(0.85fck+0.01fy)}(단, Aeff>1/2・Ag)	





Pu=14775.661kN	≤	φPn=41896.503kN	·····	O.K (S.F. 2.836)
δMux=0.000kN・m	≤	φMnx=0.000kN・m	·····	O.K
δMuy=2854.647kN・m	≤	φMny=10028.158kN・m	·····	O.K (S.F. 3.513)
δMu=2854.647kN・m	≤	φMn=10028.158kN・m	·····	O.K (S.F. 3.513)

③ 기초설계

㉠ 직접기초 안정검토

구분	전도에 대한 검토			활동에 대한 검토			지지력에 대한 검토		
	편심 (m)	허용편심 (m)	안전율	마찰력/ 수평력	허용 안전율	안전율	작용 지지력	허용 지지력	안전율
교축	0.478	1.083	O.K(2.266)	15.941	1.5	1.5이상	470.014	600.000	O.K(1.277)
교축지각	0.139	2.583	O.K(18.583)	23.912	1.5	1.5이상	361.28	600.000	O.K(1.661)

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

㉡ 기초단면력 검토

위 치	Mu (kN・m)	φMn (kN・m)	Mu/ φMn	reqAs (mm^2)	useAs(mm^2)		w (mm)	wa (mm)
캔틸레버 (교축)	1280.010	3002.228	42.6%	3559.33	D32@125	6353.60	0.16	0.42
캔틸레버 (교축직각)	1135.407	3002.228	37.8%	3153.48	D32@125	6353.60	0.10	0.42
내측지간부 (교축직각)	57.834	788.734	7.3%	159.23	D22@250	1548.40	0.03	0.44
내측지점부 (교축직각)	13.022	771.704	1.7%	35.84	D22@250	1548.40	0.01	0.44

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

④ 검토 결과

교각 구조물에 대한 안정성 검토 결과 최소 안전율 1.0이상으로 나와 구조적인 안전성을 확보한 것으로 판단된다.

라. 내진설계 검토

1) 교대

① 내진등급 :내진 1 등급(가설위치 : 충청북도)

② 가속도 계수 : A = 0.14

③ 지반계수 : S = 1.2(지반 Ⅱ)

④ 지진시 안정계산 검토[주1)]

구 분	연직력(kN)	수평력(kN)	M(저항)	M(전도)
하중	1395.35	604.33	5497.92 (kN・m)	2559.58 (kN・m)

주1) 기존계산서 3. 작용하중계산 및 안정검토 중 CASE-4 참조

㉠ 전도에 대한 검토

■ 말뚝기초이므로 불필요.(※말뚝검토 참조)

㉡ 활동에 대한 검토

■ 말뚝기초이므로 불필요.(※말뚝검토 참조)

㉢ 말뚝검토(ϕ508)('말뚝지지력 산정' 부분 참조)

■ 지진시 허용지지력 = 1496.859kN/m^2

■ Fs = 1496.859 / 588.77 = 2.542 안정

2) 교각

① 교각형식 : 다주식 π형 교각

② 상부형식 : 2경간 STEEL BOX교

③ 기초형식 : 직접기초

④ 내진조건

㉠ 가속도 계수 : A = 0.14

㉡ 내진등급 : 내진2등급

㉢ 지반계수 : S = 1.2(지반 Ⅱ)

㉣ 응답수정계수(R)

■ 하부구조

◦ 교각 = 5.0

■ 연결부분

◦ 기초 = 1.0

◦ 상부구조와 교대 = 0.8

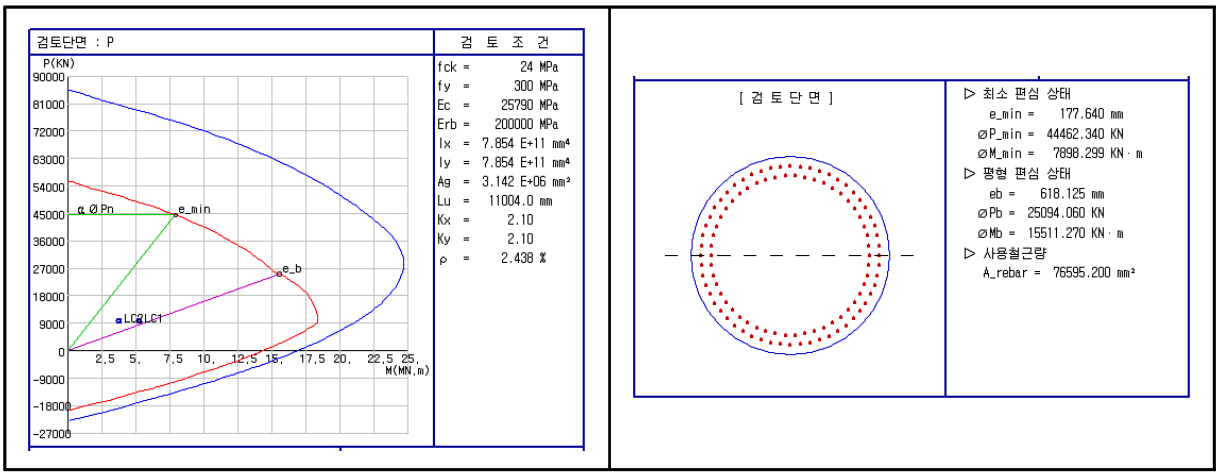
㉤ 해석방법 : 단일모드 스펙트럼 해석법

⑤ 단면력 정리 및 검토

구 분		P_u(kN) 주2)	ϕP_N (kN)	P_u / ϕP_N	M_u 주3) (kN·m)	ϕM_n (kN·m)	M_u / ϕM_n	비고
CASE(6)	교축방향	9831.63	27755.981	O.K. (2.823)	5189.059	14649.391	O.K. (2.823)	
	교축 직각방향		33757.548	O.K. (3.434)	3721.127	12776.738	O.K. (3.434)	

주2) 기존계산서 '6.기둥의 설계' 중 CASE(6) 참조
주3) 구조계산 프로그램(RC Mania)을 이용하여 나온 결과 값

⑥ + P-M 상관도



3) 하부구조 내진설계 검토결과

교대부 검토결과 내진시 말뚝에 대한 지지력은 확보되어 있다.(안전율 Fs =2.542)

교각부 검토결과 내진시 단면력 검토결과 안전율 2.823로 구조적으로 안전성을 확보하고 있다.

5.5 안전성평가 결과요약

5.5.1 상부구조

가. 바닥판 검토결과

감곡IC교(마산, 양평)의 바닥판에 대한 안전성 검토 결과, S1~S2경간의 최소 안전율은 마산방향 1.341, 양평방향 1.333으로 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

나. 강박스 거더 검토결과

감곡IC교(마산, 양평)의 허용응력설계법에 의한 강박스 거더의 응력 검토결과, 거더 상·하연에 발생되는 최대응력은 허용응력 범위 이내로서 S1~S2경간의 최소 안전율은 마산방향 1.116, 양평방향 1.125로 검토되어 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

한편, 허용응력법에 의한 강박스 거더의 휨응력과 전단응력에 의한 합성응력 검토결과, 최대부모멘트 및 최대전단력 발생구간인 교각 지점부에서 합성응력이 허용기준치 1.2를 초과하지 않는 것으로 검토되어 안전성을 확보한 것으로 판단된다. 그러나 공용후 14년이 경과된 구조물이기 때문에 지속적인 관찰을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

다. 받침용량 검토결과

감곡IC교(마산, 양평)의 받침용량에 대한 검토결과, 교량받침용량은 최대 발생 반력값 보다 큰 것으로 검토되어 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다. 그러나 공용후 14년이 경과된 구조물이기 때문에 지속적인 관찰을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

5.5.2 하부구조

가. 교대 검토결과

감곡IC교(마산, 양평)의 교대의 안전성 검토결과, 강도설계법에 의한 최소 안전율이 마산방향 1.538, 양평방향 1.538으로 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

나. 교각 검토결과

감곡IC교(마산, 양평)의 교각(P1)에 대해서 안전성 검토를 실시한 결과, 최소 안전율은 마산, 양평방향 모두 1.0 이상으로 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다. 그러나 공용후 14년이 경과된 구조물이기 때문에 지속적인 관찰을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

제6장
종합평가 및 안전등급의 지정

6.1 종합평가
6.2 안전등급

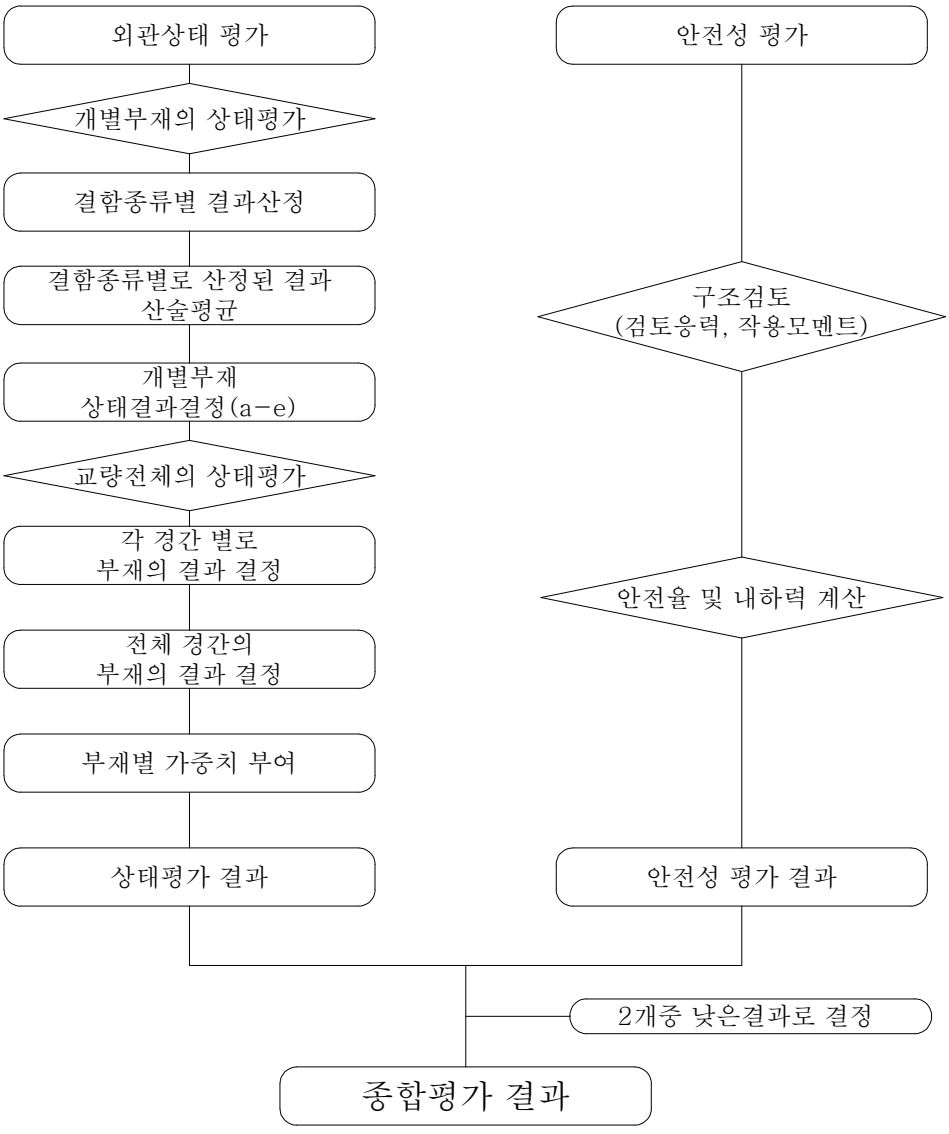
제6장 종합평가 및 안전등급의 지정

6.1 종합평가

6.1.1 종합평가 결과 산정방법

외관조사에 따른 상태평가 등급과 안전성 검토에 근거한 안전성평가 등급 중 낮은 등급을 시설물의 종합평가 등급으로 결정한다.

■ **종합평가 등급 = MIN(상태평가 결과, 안전성평가 결과)**



【그림 6-1】 종합평가 결과 산정절차

6.1.2 종합평가 결과

가. 마산방향

외관조사 및 시험에 의한 상태평가 결과와 구조 검토에 의한 안전성평가 결과를 종합하여 검토한 결과, 감곡IC교(마산)의 종합평가 결과는 “B”로 평가되었다.

【표 6-1】 마산방향 – 종합평가 결과

구조물명	상태평가 결과		안전성평가 결과		종합평가 결과
	환산결함도점수	기준	S·F	기준	
감곡IC교 (마산)	0.257	B	1.116(거더) 1.341(바닥판)	A	B
종합평가	•외관조사 및 내구성조사에 의한 상태평가 결과는 내구성확보를 위해 일부 보수가 필요한 “B”로 평가됨 •안전성 평가결과 최소 안전율 1.0이상으로 “A”로 평가됨 •상태평가 및 안전성 평가결과를 통한 종합평가 결과 감곡IC교(마산)은 “B”로 평가됨				

주) 종합평가 : Min (상태평가, 안전성평가)

나. 양평방향

외관조사 및 시험에 의한 상태평가 결과와 구조 검토에 의한 안전성평가 결과를 종합하여 검토한 결과, 감곡IC교(양평)의 종합평가 결과는 “B”로 평가되었다.

【표 6-2】 양평방향 – 종합평가 결과

구조물명	상태평가 결과		안전성평가 결과		종합평가 결과
	환산결함도점수	기준	S·F	기준	
감곡IC교 (양평)	0.250	B	1.125(거더) 1.333(바닥판)	A	B
종합평가	•외관조사 및 내구성조사에 의한 상태평가 결과는 내구성확보를 위해 일부 보수가 필요한 “B”로 평가됨 •안전성 평가결과 최소 안전율 1.0이상으로 “A”로 평가됨 •상태평가 및 안전성 평가결과를 통한 종합평가 결과 감곡IC교(양평)은 “B”로 평가됨				

주) 종합평가 : Min (상태평가, 안전성평가)

6.2 안전등급

6.2.1 안전등급 기준

정밀안전진단을 실시하는 경우 상태평가 및 안전성평가 등을 종합적으로 평가하여「법」제10조의 2 및 「영」제11조의 5에 따라서 당해 시설물의 안전등급을 지정하여야 하고, 책임기술자는 당해 시설물에 대한 종합적으로 평가한 결과로부터 안전등급을 지정하여야 하며, 안전등급에 따른 시설물의 상태는 다음과 같다.

【표 6-3】 시설물의 안전등급

안전등급	시설물의 상태 및 안전성
A(우수)	• 문제점이 없는 최상의 상태
B(양호)	• 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
C(보통)	• 주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하방지를 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 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

6.2.2 안전등급 지정

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

■ **감곡IC교(마산) 안전등급 : B등급(양호)**

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

■ **감곡IC교(양평) 안전등급 : B등급(양호)**

제7장
보수·보강 및 유지관리방안

7.1 개 요
7.2 보수·보강 방안
7.3 보수·보강 개략공사비
7.4 유지관리방안

제7장 보수·보강 및 유지관리방안

7.1 개 요

감곡IC교(마산, 양평)는 설계하중 DB-24(DL-24)의 고속국도 교량으로서, 2002년에 준공되어 약 14년 정도 공용 중에 있으며, 충청북도 음성군 감곡면 상우리(중부내륙선, 이정 251.02㎞)에 위치하고 있는 편도 2(마산)~3차로(양평) 교량이다.

본 교량은 총폭 11.40(마산)~27.90m(양평), 총연장 110.0m [STB : 55.0m + 55.0m]이며, 상부구조는 2경간의 Steel Box Girder 형식으로써, 교각의 형식은 다주형이고 기초는 확대기초(P1)로 이루어져 있으며, 교대의 형식은 역T형이고 기초는 강관말뚝기초로 시공되어 있다.

본 장에서는 정밀안전진단 결과에 의한 결함 및 손상에 대한 원인을 검토하고 그 결과를 토대로 교량의 안전성과 건전성을 유지하기 위한 보수·보강방법을 제안하고자 한다. 이러한 보수·보강방법의 기본방향은 장기적으로 설계 내하력을 유지시키고 내구성 저하를 방지하는데 그 목적이 있다. 본 교량의 보수·보강방안에 대한 검토사항은 기존자료의 검토를 통한 보수·보강 이력을 조사하고 진단 결과에 따른 보수·보강 범위를 선정하며, 이에 따른 공법선정, 재료의 선정 등을 검토하여 보수·보강 긴급우선순위에 따른 보수시기를 결정하여야 한다.【표 7-1】은 시설물의 보수·보강방안 수립에 따른 일반적인 검토사항을 언급하였다.

【표 7-1】 시설물의 보수·보강방안 수립에 따른 검토사항

검 토 순 서	내 용
기존자료분석	기존 점검 및 진단자료 분석, 설계도서 조사
보수·보강 이력검토	사용기간중 시설물의 보수·보강이력검토
보수·보강의 범위 선정	손상규모에 따른 보수여부 결정 구조물의 사용년한을 고려한 보수·보강 범위 산정
공법의 선정	구조물의 기능에 따른 공법선정 구조물의 주변환경 및 형식을 고려하여 공법선정 공법의 시공성 및 경제성 고려하여 결정
보수재료의 선정	기존의 재료와 물성이 같은 보수재 선택 구조물의 종류 및 환경조건 고려 구조물의 사용년한을 고려한 보수재 선택
보수시기 결정	구조적인 안전성, 내구성, 사용성, 결함, 열화의 중요도에 따라 우선순위 부여

7.2 보수 · 보강 방안

7.2.1 보수 · 보강 추진방향 및 우선순위의 선정

본 교량에 대한 정밀안전진단을 수행한 결과, 본 구조물은 시공시 시공 정밀도의 저하로 인하여 발생된 구조물의 결함(Defect)과 공용 중 시간의 경과와 주변의 환경인자에 의한 재료의 열화에 의한 손상(Damage)이 발생하고 있는 것으로 조사되었다.

진단시 조사된 유간부족, 균열, 단면결손 등의 손상 및 결함에 대해서는 가능한 한 조속한 보수를 실시하는 것이 원칙이나, 경제적이고 효율적인 보수·보강 작업을 위해 손상 및 결함이 구조물의 안전성에 미치는 영향을 고려하여 다음과 같이 우선순위를 부여하였다.

【표 7-2】 보수 · 보강 우선순위 결정 기준

구 분	순 위	내 용
단 기	1순위	• 구조물의 거동에 지장을 초래하여 구조적인 문제를 유발시킬 수 있는 손상 • 하부 차량과 통행인의 안전에 유해를 일으킬 수 있는 손상 • 『시설물의 안전관리에 관한 특별법』 제12조(중대한 결함)의 “대통령이 정하는 중대한 결함”에 포함되는 손상 - 교각의 부등침하 - 교량받침의 파손 - 철근콘크리트 시설물의 염해 또는 중성화에 따른 내력손실 - 구조적 결함 • 초기수준이상으로 개선할 필요가 있는 손상 • 방치시 교량의 안전성에 영향을 미치는 손상
중 기	2순위	• 철근부식에 의한 내하력 저하가 우려되거나 철근부식 가능성이 있는 손상 • 실용상 지장이 없는 성능까지 회복하여야 할 손상
장 기	3순위	• 즉각적인 보수는 요구되지 않지만 내구성, 기능성, 사용성 저하방지를 위한 보수가 필요한 경우 • 현상유지(진행억제)를 위해 필요로 하는 대책
	지속 관찰	• 발생된 손상이 경미하여, 지속관찰을 통한 점검이 필요한 경우 • 부분적 보수보다는 향후 전체적인 보수 및 개량이 필요한 경우 (교면포장, 거더 내·외부, 신축이음장치)

7.2.2 결함내용별 보수·보강방안

가. 마산방향

【표 7-3】 마산방향 - 보수·보강 일람표

구 분	손상내용	단위	개소	손상 물량	보수방안	우선 순위
바닥판	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	13	18.90	지속관찰	-
	•백태	㎡	2	0.05	표면처리보수	3
	•박락	㎡	7	1.64	단면복구 1안)	3
	•녹발생	㎡	2	0.40	방청 후 단면복구	2
Steel Box Girder 내부	•Pit	EA	39	39.00	지속관찰	-
	•비드불량	m	2	0.30	지속관찰	-
	•변형	m	1	0.20	지속관찰	-
	•도장박리	㎡	5	1.06	재도장	2
	•부식	㎡	2	0.29	녹제거 후 재도장	2
	•실링누락	EA	7	7.00	실링재 시공	3
	•인분배설	EA	1	1.00	청소	3
격벽	•Pit	EA	7	7.00	지속관찰	-
	•비드불량	m	2	0.20	지속관찰	-
	•도장박리	㎡	19	0.20	재도장	2
Steel Box Girder 외부	•도장박리	㎡	2	0.02	재도장	2
	•부식	㎡	11	0.28	녹제거 후 재도장	2
	•오염	㎡	2	0.72	재도장	2
교대	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	1	1.40	지속관찰	-
	•누수흔적	㎡	8	4.64	표면처리보수	3
	•백태	㎡	3	0.68	표면처리보수	3
	•박리	㎡	2	1.58	표면처리보수	3
교각	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	10	8.60	지속관찰	-
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	8	32.75	지속관찰	-

【표 7-3】 마산방향 - 보수·보강 일람표(계속)

구 분	손상내용	단위	개소	손상 물량	보수방안	우선 순위
교량받침	•볼트부식	EA	1	1.00	녹제거 후 재도장	2
	•도장박리	EA	1	1.00	재도장	2
	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	3	0.70	지속관찰	-
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	1	0.30	주입보수	2
	•파손	㎡	1	0.20	방청 후 단면복구	1
신축이음	•부식	m	1	2.00	지속관찰	-
	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	21	8.20	표면처리보수	3
	•덮개볼트 탈락	EA	4	0.04	볼트 재체결	3
교면포장	•소성변형	㎡	4	157.50	지속관찰	-
	•포트홀	㎡	4	0.13	지속관찰	-
방호벽	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	83	79.00	표면처리보수	3
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	37	54.70	주입보수	2
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	1	6.94	표면처리보수	3
	•박락	㎡	2	0.08	단면복구	3
	•재료분리	㎡	1	0.06	단면복구	3
	•철근노출	㎡	11	1.01	방청 후 단면복구	2
	•파손	㎡	3	0.03	단면복구	3
	•녹발생	㎡	5	0.11	방청 후 단면복구	2
기타	•유간협착	㎡	2	0.23	지속관찰	-

나. 양평방향

【표 7-4】 양평방향 - 보수·보강 일람표

구 분	손상내용	단위	개소	손상 물량	보수방안	우선 순위
바닥판	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	3	4.90	지속관찰	-
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	3	10.12	지속관찰	-
	•백태	㎡	1	0.10	표면처리보수	3
	•박락	㎡	11	3.19	단면복구 1안)	3
	•박락/녹발생	㎡	1	0.15	단면복구	2
	•재료분리	㎡	1	0.08	단면복구	3
Steel Box Girder 내부	•Pit	EA	35	35.00	지속관찰	-
	•도장박리	㎡	1	0.01	재도장	2
	•부식	㎡	10	0.32	녹제거 후 재도장	2
	•실링누락	EA	4	4.00	실링재 시공	3
	•소변배설	EA	1	1.00	청소	3
격벽	•Pit	EA	21	21.00	지속관찰	-
	•도장박리	㎡	8	0.08	재도장	2
	•부식	㎡	1	0.01	녹제거 후 재도장	2
Steel Box Girder 외부	•도장박리	㎡	2	1.01	재도장	2
	•부식	㎡	26	0.62	녹제거 후 재도장	2
	•오염	㎡	6	16.50	재도장	2
가로보 및 세로보	•부식	㎡	1	0.01	녹제거 후 재도장	2
교대	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	2	1.80	지속관찰	-
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	1	0.40	지속관찰	-
	•누수흔적	㎡	9	3.44	표면처리보수	3
	•백태	㎡	4	0.84	표면처리보수	3
	•박리	㎡	2	5.22	표면처리보수	3
	•재료분리	㎡	3	0.52	단면복구	3
	•녹발생	㎡	13	0.47	방청 후 단면복구	2
	•파손	㎡	1	0.02	단면복구	3
	•체수흔적	㎡	5	10.80	지속관찰	-
	•이물질퇴적	㎡	1	2.52	청소	3
	•실링재열화	m	1	0.25	실링재 시공	3

【표 7-4】 양평방향 - 보수·보강 일람표(계속)

구 분	손상내용	단위	개소	손상 물량	보수방안	우선 순위
교각	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	11	9.20	지속관찰	-
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	11	28.76	지속관찰	-
	•녹발생	㎡	11	0.11	방청 후 단면복구	2
교량받침	•부식	㎡	8	3.22	녹제거 후 재도장	2
	•도장박리	㎡	2	0.12	재도장	2
	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	8	1.40	표면처리보수	3
	•박락	㎡	1	0.06	방청 후 단면복구	1
신축이음	•단차	mm	2	8.00	지속관찰	-
	•들림	EA	1	1.00	지속관찰	-
	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	16	6.32	표면처리보수	3
	•파손	㎡	8	4.50	단면복구	3
	•덮개볼트 탈락	EA	3	3.00	볼트 재체결	3
교면포장	•균열	m	8	100.30	지속관찰	-
	•망상균열	m	1	2.10	지속관찰	-
	•포트홀	㎡	1	0.01	지속관찰	-
방호벽	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	69	43.70	표면처리보수	3
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	38	78.80	주입보수	2
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	5	4.06	표면처리보수	3
	•철근노출	㎡	1	0.01	방청 후 단면복구	2
	•파손	㎡	4	0.24	단면복구	3
	•단차	m	1	0.06	지속관찰	-

7.2.3 주요결함 및 손상에 대한 보수·보강 방법

가. 콘크리트 균열보수 방안

1) 진단 현황

본 교량의 바닥판하면 및 하부구조에 발생된 균열은 대부분 폭 0.2㎜이하의 미세균열로 조사되었고, 일부구간의 교각에서 0.3㎜이상의 균열이 조사되었다. 또한, 바닥판하면의 균열부 백태 및 방호벽에서 폭 0.3㎜미만의 균열이 일부구간 확인되었다.

상부구조에 발생된 균열부 백태 등은 부재의 중요도를 고려하여 내구성확보를 위해 표면보수가 필요하고, 교각 및 방호벽에 조사된 폭 0.3㎜이상 균열은 내구성 확보차원에서 주입보수가 필요한 것으로 판단된다. 또한 상부·하부구조 등에 조사된 0.3㎜미만 균열에 대해서는 현시점의 보수보다는 지속관찰 후 균열의 진전 시 보수를 실시하는 것으로 보수방안을 선정하였다.

하지만 신축이음 후타재에 발생한 균열은 신축이음 하부 누수 등 추가적인 손상의 우려가 있고, 방호벽 및 중앙분리대에 발생한 균열은 우수 침투시 내부수분 유출로 인한 백태 발생 등 추가적인 손상의 우려가 있으므로 0.3㎜균열에 대해서는 표면처리보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

2) 주입보수 개요

균열(0.3㎜이상)부에 수지를 주입하면 콘크리트와 일체를 이루어 콘크리트의 방수성을 향상시켜서 내부 철근의 부식방지 및 콘크리트의 열화방지에 효과적이다.

균열보수는 균열 폭 및 균열깊이, 균열의 형태, 구조적 안전성 여부 등을 종합적으로 판단하여 보수 목적에 따라 가장 유리한 보수 대책을 선정하여야 한다. 또한, 균열보수는 균열 폭과 균열깊이를 고려하여 이에 적합한 주입속도, 점도 및 양생 속도를 갖는 수지재료를 사용하여야 한다.

3) 수지주입공법의 종류

균열 주입공법에는 압입식과 흡입식이 있다. 압입식 주입공법에는 수동식, 기계식, 저압·저속식 주입 및 자동주입식 기계주입공법이 있으며, 이 중 저압·저속식 주입은 주입량 파악이 쉽고 균열 구석까지 주입할 수 있는 특징이 있어 유리하다.

【표 7-5】 수지주입공법의 종류

압입식 공법	흡입식 공법
· 수동식 주입 : 인력 · 기계식 주입 : 공기압식, 유압식, 기어식 · 저압·저속식 주입 : 고무, 용수철, 공기 등의 압력 · 자동주입식 기계주입 : 자동주입기	· 균열의 양단에 흡기구와 충전재 주입구를 설치하여, 흡입펌프로 충전재를 흡입주입

【표 7-6】 균열폭에 알맞은 수지의 점도

형 상		점도(20℃, cp)	주입 가능한 균열 폭
액 상	저점도	500±200	0.1㎜ 전후
	고점도	1,500±500	0.2㎜ 전후
Gel 상태		6,000±1,000	0.5~5.0㎜ 전후

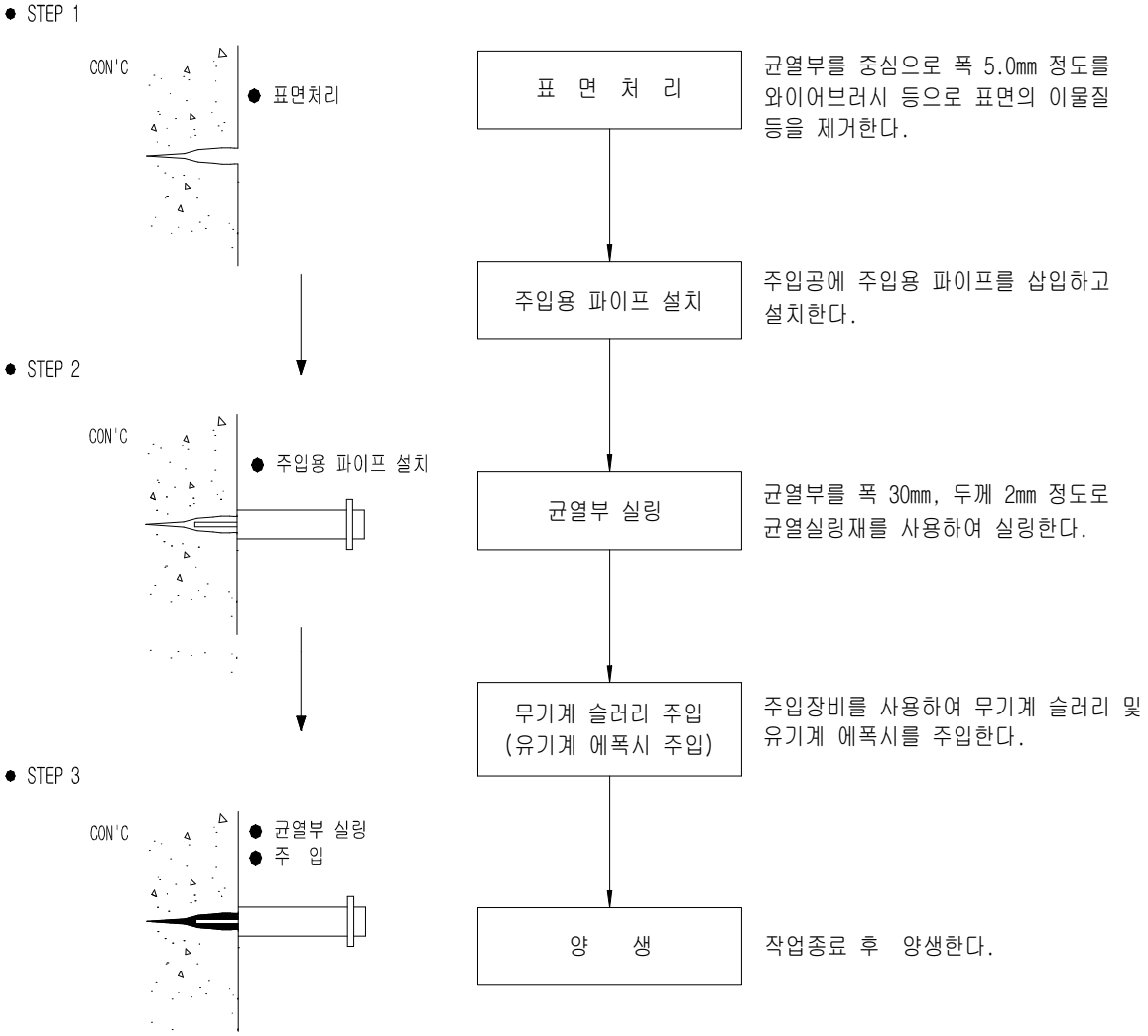
【표 7-7】 균열폭에 따른 주입파이프/패커의 간격

균열 폭(㎜)	주입파이프/패커간격(㎜)	비고
0.3이하	50~100	
0.3~0.5	100~200	
0.5~1.0	150~250	
1.0이상	200~300	

【표 7-8】 에폭시계 수지의 규격

시험항목	시험방법	시험조건	실링 및 퍼티용 규격치	주입용 규격치
비 중	KS M 3015	20℃ 7일간	1.7±0.2	1.2±0.2
사용가능시간	온도상승법	20℃	60이상	30이상
점 도	JIS K 6838	〃	-	5,000이하
압축항복강도	KS M 3015	20℃ 7일간	6.0이상	6.0이상
휨강도	〃	〃	3.5이상	4.0이상
인장강도	〃	〃	2.0이상	2.0이상
압축탄성계수	ASTM D 695	〃	0.1~0.6	0.1~0.6
인장전단강도	KS M 3722	〃	100이상	100이상
충격강도	KS M 3015	〃	0.15이상	0.3이상
경 도	ASTM D 2240	〃	80이상	80이상

4) 시공방법



【그림 7-1】 균열 보수공법 개요도

5) 시공시 주의사항

① 대기온도가 10~30℃일 때 시공 가능하며, 우천시는 중지한다.

② 에폭시계 수지는 사용에 앞서 현장에서 시공시의 기온에 대응하는 경화시간을 설정하여 균열 주입 효과를 높이도록 한다.

③ 사용하는 에폭시계 수지는 적당한 루트마다 시험을 실시하여 품질을 확보한다.

④ 씰링 및 표면 마감면은 주입압에 견디도록 충분히 양생한다.

⑤ 주입된 에폭시계 수지가 경화한 후에는 주입 파이프를 절단하고 씰링재와 함께 그라인더로 갈아 평탄하게 표면처리 한다.

【표 7-9】 주입공법 공법비교안

구 분	폴리머 슬러리시멘트 주입공법	에폭시 주입공법
공법 개요	균열부위를 컷팅하고 균열부를 씰링한 후에 무기계재료인 폴리머 슬러리시멘트를 주입기를 통하여 주입하는 공법	균열부위를 컷팅하고 균열부를 씰링한 후에 유기계 재료인 에폭시를 주입기를 통하여 주입하는 공법
시공 방법	표면처리→U.V컷팅→주입기설치→ 균열부 씰링→폴리머슬러리 시멘트주입→단면복구	표면처리→U.V컷팅→주입기설치→ 균열부 씰링→에폭시주입→단면복구
특징	· 품질관리가 용이하고 재균열 발생우려 없음 · 균열보수의 일괄적인 공정에 대한 재료 및 시방확보 · 콘크리트 모체와 동등한 탄성계수, 열팽창 계수, 투수성 확보 · 수용성인 무기계 재료의 사용으로 습윤지역 시공이 가능함 · 보통형식의 것은 경화시간이 늦고 공기가 길어짐 · 공정이 다소 복잡하여 시공전문가필요 · 유기계에 비해 접착강도 떨어짐	· 인장, 휨강도가 우수함 · 건조한 환경에 유리함 · 경화시간이 빠름 · 시공실적 다수 · 습기가 있는 부분에서는 접착력이 떨어지며 품질관리가 어려움 · 주입압력이 크면 균열이 확대되므로 주의 · 탄성계수, 열팽창계수가 콘크리트와 다름

나. 콘크리트 단면보수 방안

1) 진단 현황

본 교량의 단면손상(철근노출, 재료분리, 박리, 박락, 파손) 및 표면손상, 기타 후타재 파손, 방호벽 파손 등은 교량의 장기적인 내구성 및 사용성 확보를 위해 우선순위에 따라 보수가 필요하다.

2) 단면보수공법 개요

콘크리트 단면 결손부중 박락(파손) 및 철근 노출부는 내구성 저하방지를 위하여 단면보수공법을 사용하여 보수를 실시하는데, 콘크리트 표면을 피복하여 철근부식 등의 내구성 저하의 원인이 되는 물질의 침투를 억제함으로서 구조물의 내구성 저하를 방지하는 공법으로서 침투막제, 접착제, 단면 보수재, 철근방청재의 조합에 의한 공법으로 본 교량에서는 상기한 결함 중 콘크리트 파손부 및 철근노출, 부식부에 대한 보수방법으로 사용한다.

3) 단면복구시 털어내기 작업

단면복구시 털어내기 작업은 콘크리트 표면의 상황을 봐서 판단하는 것이 아니고 다음의 항목 및 【그림 7.2】을 참고하여 털어내기 범위나 형상을 결정하는 것이 좋다.

① 열화부분을 고려한 털어내기 범위

보수 개소의 콘크리트를 털어낼 때에 탄산화 등에 의한 취약한 부분을 남기면, 기설 콘크리트와 복구재료와의 충분한 부착강도를 얻을 수 없을 뿐 아니라, 균열이나 철근부식 재발의 원인이 된다. 따라서, 부재 내력에 영향을 미칠 수 없는 범위에서 열화부분을 모두 제거 할 필요가 있다. 열화부분을 효과적으로 확인하기 위해서는 탄산화깊이나 알칼리 반응성 생성물의 측정 등 열화요인과 관련된 시험을 실시하는 것이 바람직하다.

② 철근의 녹을 고려한 털어내기 범위

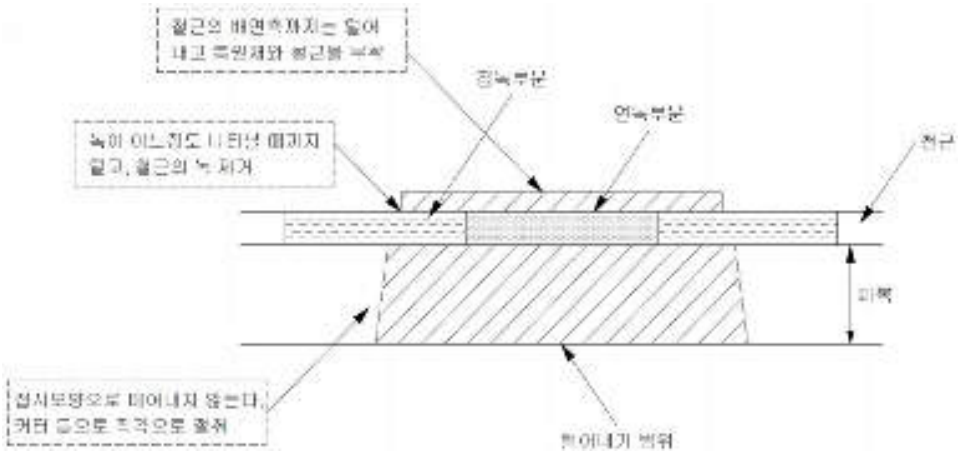
콘크리트의 열화부분을 충분하게 제거하여도 철근의 부식범위는 이 부위보다 넓은 경우가 대부분이다. 이 경우는 박락되어 노출된 부분의 철근 청소를 실시하여도 그 전후는 녹이 잔존한 채 남아있게 된다. 이 상태에서 단면복구를 실시하면 보수된 범위는 마이너스(−), 그 전후는 플러스(+)의 macro cell 부식이 생겨서 철근부식이 주위로 확산되어 보수효과가 적어지는 결과를 나타내는 경우가 많다. 따라서, 녹제거를 확실하게 할 수 있도록 철근표면의 전면에 녹이 나오고 있는 부분(면 녹의 부분)뿐만 아니라, 이것과 인접하면서 녹이 점상으로

나타나는 비교적 건전한 부분(점 녹의 부분)이 드러나는 범위까지 털어낼 필요가 있다. 한편, 털어내기 전에 면 녹의 범위를 파악하기 위해서는 자연전위 보정법에 근거하고 보정자연전위에서 −350mV보다 낮은 전위를 가리키는 부분이 이것에 해당한다.

또한 같은 이유로 녹의 제거는 철근의 전 주변에 대하여 실시하여야 하고, 철근은 박락된 부분(면)에서부터 뒷부분까지 파취할 필요가 있다. 이것은 단면복구재가 철근을 둘러싸는 것에 의한 부착성 향상에도 유효하다.

③ 털어내기 형상

콘크리트와 단면복구재와는 일반적으로 열팽창율이 다르기 때문에 복구재의 단부가 접시형상으로 되어 있으면, 온도신축에 의해 그 부분으로부터 박리현상을 보이는 우려가 있다. 이것을 방지하기 위해 털어내기시 단부가 접시형상으로 되는 것을 피하고, 될 수 있는 한 수직에 가까운 각도로 깊이 털어내는 것이 중요하다.



【그림 7-2】 단면복구 상세도

4) 철근의 방청 처리

털어내기에 의해 노출된 철근의 녹 제거는 특히 정성껏 실시할 필요가 있다. 일반적으로 와이어 브러시를 이용할 수 있는 것이 많지만, 보다 확실한 녹제거 방법은 샌드 블라스트, 워트제트 등을 쓰는 것이 좋다.

녹을 제거한 후는 철근에 방청재를 도포한다. 방청재에는 녹방지 도료, 아질산염계 방청재, 염분흡착제를 사용한 시멘트계 방청형 보수재가 있다. 일반적으로 철근부식의 억제는 철근부식효과가 있는 아질산염 이온이 함유된 것이 효과적이다.

액산의 아질산칼륨이나 아질산리튬을 철근이나 박락면에 직접 도포하여 아질산염이온을 같이 배합한 아질산염계 방청재가 있다. 염화물에 의한 부식의 경우 유효한 도포량은 아질산

이온량과 염화물량의 비율을 관리하여야 하며 많은 양의 충전이 필요한 경우 Paste나 모르터 등을 혼합하여 사용하는 등의 검토가 필요하다. 또한 최근 개발된 염분흡착재를 이용한 방청재는 해수성분을 함유한 수분이 있는 개소의 철근부식에 대응하여 아질산 이온을 도입 또는 함유한 염화물량의 저감효과가 있다.

염분흡착재는 콘크리트 제체중의 유해한 염화물이 흡착되어 저감되어지는 동시에 염분흡착제 자신이 기다리고 있는 아질산 이온을 방출하는 것에 의해 높은 방식재 효과를 얻을 수 있다.

5) 단면복구 재료

복구재의 선정은 열화의 요인, 손상 상황, 누수 상황 등을 감안하고, 기설의 철근이나 콘크리트와의 부착성, 시공성, 재료특성 등을 평가하고 시공개소에 적합한 것을 채용 할 필요가 있다. 특히 사용실적이나 적절한 시험방법 등에 의해 품질, 성능을 확인할 수 있는 복구재를 사용하는 것이 바람직하다. 단면복구재는 저수축성이 요구되며, 복구재 충전 후 경화전에 우려할만한 차량진동을 받는 부위는 조강형을 사용하고, 아치부나 슬래브 하면 등 시공성을 중시할 경우는 경량형을 사용하고, 거푸집을 설치해서 충전할 경우는 고유동형을 사용하는 방안을 검토하여야 한다.

일반적으로 단면복구재를 충전하기 전에 프라이머를 도포하는 경우가 많다. 프라이머는 기설 콘크리트와 복구재의 부착성 향상을 목적으로 한 에폭시 수지계, 복구재의 수분이 기설 콘크리트에 흡수되어 경화에 필요한 수분이 결핍하는 「드라이 아웃」방지를 목적으로 한 수성 에멀션을 주재로 하는 재료 등이 있다.

【표 7-10】 일반적인 단면 복구재의 분류

구 분		개 요
유기계	수지모르터 (에폭시수지 등)	에폭시 등의 수지와 잔골재를 이용한 모르터로 고강도, 수밀, 경량, 접착성이 뛰어나고 섞어쓰기 용이하나 고가임
무기계	폴리머 시멘트 모르터	시멘트에 SBR, 포키시 등의 수지를 첨가한 모르터로 고강도, 수밀성 양호
	무수축 모르터	팽창재가 함유된 건조수축을 보상하는 것에 의해 억제하는 모르터

6) 단면복구시 유의 사항

① Lath 철망이나 Wire Mesh를 끼울 경우는 박리현상이 발생되지 않게 충분히 고정한 뒤 단면복구재를 충전한다.

② 철근방청재, 프라이머, 단면복구재는 동일 제작사의 제품을 사용하거나 서로 양호한 조합의 물건을 이용한다.

③ 보수 깊이가 깊은 개소의 충전은 여러층으로 시공할 경우 경계부위가 부착상의 약점이 되기 쉬우므로 정확한 작업이 요구된다.

④ 보수한 단면복구재가 낙하할 가능성이 있는 부위는 중점적으로 검사 및 점검을 실시한다.

⑤ 털어내기 작업시 콘크리트 분진으로 인한 대기오염을 방지하기 위해 집진시설이나 물분사 등을 실시하여 도로주변의 환경오염에 주의하여야 한다.

【표 7-11】 단면보수 공법비교안

구 분	폴리머시멘트 모르터 공법	에폭시수지 모르터 공법
공법개요	· 콘크리트 손상부위 및 철근의 부식을 제거하고 콘크리트 보호제를 도포한 후 철근을 방청하고 무기계인 폴리머시멘트 모르터로 단면을 복구한 후 무기계 마감재로 마감하는 공법	· 콘크리트 손상부위 및 철근의 부식을 제거하고 접착제를 도포한 후 철근을 방청하고 유기계인 에폭시수지 모르터로 단면을 복구한 후 유기계 마감재로 마감하는 공법
시공방법	· 치핑/고압수 세척 → 철근 부식제거 → 콘크리트 보호재(침투성) 도포 → 철근 방청제 도포 → 폴리머시멘트 모르터로 단면복구 → 마감재(무기계)도포	· 치핑/고압수 세척 → 철근 부식제거 → 프라이머(접착제) 도포 → 에폭시수지 모르터로 단면복구 → 마감재(유기계) 도포
특 징	· 철근의 방청효과가 우수하고 재부식 확률이 없음 · 철근 노출부 보수의 일괄적인 공정에 대한 재료 및 시방확보 · 폴리머시멘트의 사용으로 콘크리트 탄산화 방지 효과가 우수함 · 수용성인 무기계 재료의 사용으로 습윤지역 시공이 가능함 · 일반적으로 한번의 시공두께가 얇기 때문에 목표두께가 두꺼울 경우 공정이 증가함 · 보통 형식의 것은 경화시간의 늦고 공기가 길어짐	· 인장, 휨강도가 콘크리트보다 우수함 · 재료 자체의 접착성 및 내마모성이 우수함 · 재료비가 폴리머 시멘트에 비해 저가임 · 경화시간이 빠름 · 방청효과가 확실하지 않음 · 유기계 재료로서 통기성이 없으므로 재부식 발생 우려 · 습기가 있는 부분에서는 접착력이 떨어지며 품질관리가 어려움

다. 강재 거더 및 받침장치 부식부 도장보수

1) 현황

강재거더의 일부구간 도장박리 및 부식, 받침장치 부식이 일부구간 조사되어, 내구성 확보를 위한 재도장이 필요하다.

2) 강재부식부 도장 보수공법

① 도장재료의 선정

다음은 크게 강재시설물(강교)에 대해 쉽게 발생되는 방식재의 손상으로 인한 구조물 상태와 이에 대한 일반적인 보수방법이다.

방식설계는 향후 관리비용과 직결되므로 LCC(Life Cycle Cost)개념인

LCC = I + M + R (I : 초기비용, M : 보수비용, R : 교체비용)

공식에 의해 내구성 있는 방식재를 선정하여 보수비용(M)과 교체비용(R)의 요인을 절감하는 것이 중요하다.

본 교량에 적용할 도장재료 및 색상의 선택은 재료의 장단점과 경제성 및 주변환경을 감안하여 결정하는 것이 바람직하다.

【표 7-12】 강재부식부의 일반적인 도장보수 방법

구 분	원 인	발생 현상	일반 보수방법	문 제 점
각종 부식 발생	◦염분피해 ◦도장박락 ◦동결융해 ◦건습반복	◦코팅제의 박락 및 변형으로 모체면에 생기는 각종부식현상 ◦코팅제의 자외선 노출로 인한 변색 및 변형 ◦변형으로 인한 부분박리, 박락 발생	◦표면처리 (blast) ◦발청부위보수 ◦재도장	기존의 중방식 도료들의 내구년한이 3~5년 정도로 대체적으로 짧은 편으로 재도장시 경제적으로 부담이 크게 발생되고, 표면처리시 각종 공해발생 가능성 내포, 보수후 재도장 가능성 유포 (동일방법)

② 표면처리

- 기 도장된 표면에 부착된 염분량을 측정하여 염분 부착량이 150㎎/㎡ 이상인 경우에는 강재 표면의 염분과 이물질을 깨끗한 물로 씻어낸다. 이때 분사압력은 2㎫로 하며, 강재면과의 거리는 30~45㎝ 정도 유지한다.
- 강재표면이 건조해질 때까지 기다린 후, 동력공구세정방법(power tool cleaning)을 선정하여 강재표면의 녹을 제거한다. 이때 재도장 실시는 녹 제거(블라스팅) 상태를 감독관 및 감리의 확인과 승인 후 실시한다.
- 블라스팅시 표면조도가 15~35㎛가 되도록 한다. 기존의 무기질아연 도장면 위에

재도장을 실시한다.

- 블라스팅과 하부도장은 같은 날 실시한다. 블라스팅 후 재도장까지 1일 이상 지체되면 밤에 응결된 수분에 의해 발청이 될 수도 있다.
- 하부도장을 실시한 후 상부도장까지는 5일이 경과하지 않도록 한다. 만약 5일 이상 경과하면, 상부도장 이전에 깨끗한 물로 세척한 후 도장하도록 한다.

③ 강재 도장시 고려사항

강재부식부에는 재 도장을 실시하여 부식을 방지하는 것이 원칙이며, 본 교량의 경우에도 기존의 발청부위의 부식을 제거하고, 재 도장으로 방식처리를 하는 것이 필요하다.

재도장시에는 다음의 사항을 고려하여 시행하는 것이 바람직하다.

【표 7-13】 강재 도장시 고려사항

◦도장대상면 물청소	현재 도장면에는 공기중의 이물질이 고형화하여 부착되어 있다. 재도장을 위한 표면처리시 이러한 이물질을 제거하지 않으면 블라스팅할 때 이물질이 강재에 부착되어 도장하부 부식의 원인이 되므로 먼저 기존의 도장면을 깨끗이 물청소 한다.
◦가벼운 블라스팅	부식이 심한 부위는 동력공구와 수동공구를 이용하여 부식을 제거하고, 발청부위는 가볍게 블라스팅한다. 화이트 블라스팅은 비용과다 및 환경오염을 가중시킬 우려가 있으므로, 기존의 부식부위를 가볍게 블라스팅하여 기존의 녹을 제거한다.
◦도장보수 작업	도장 대상면의 표면처리 후에 재도장을 실시하며, 시공때와 같이 강재면 위에 도장을 하는 것이 아니라 기존의 도장면 위에 도장작업을 수행하므로, 도장작업시 이러한 특성을 고려하여 선택하도록 한다. 도장작업시 주의해야 할 사항을 아래에 정리하였다.
-도막두께 불량 (Thickness)	얇은 도막은 점녹의 발생원인이 될 수가 있고, 도막이 두꺼우면 내부 용융상태에서 표면이 경화함으로 인해 균열이 발생할 수 있다.
-핀홀 (Pinholes)	기존 도장면의 핀홀 위에 스프레이 도장을 할 경우에는 도장 후 핀홀내부의 공기가 빠져나오면서 구멍이 발생한다(gassing 효과). 따라서, 도장작업시 핀홀이 발생하면 이를 먼저 제거하는 것이 바람직하다.
-건조스프레이 (Dry spray)	건조스프레이는 용제의 빠른 증발로 인하여 페인트 입자가 건조한 상태로 분사되는 것을 말하며, 이러한 현상이 발견되면 즉시 제거한 후 재도장한다.

【표 7-13】 강재 도장시 고려사항(계속)

-불연속	부분적으로 도장이 누락되거나, 오버랩이 되지 않아 도막두께가 얇은 것을 불연속(discontinuities) 또는 휴일(holiday)이라고 한다.
-분화구 (Cratering)	도장 후에 부분적으로 분화구 모양의 구멍이 형성되는 경우가 있는데, 이를 분화구(Cratering) 또는 어안(Fisheyes)라고 한다. 이것은 도장면 또는 페인트 분무공기에 함유되어 있던 기름에 의한 것으로, 이러한 현상이 발생하면 표면을 거칠게 한 후 브러쉬로 재도장한다.
-점토상 균열 (Mud Cracking)	점토상 균열은 두터운 도장면(특히 아연이 많은 도장)에서 발생하며, 두터운 수용성 도장면에서 용제나 수분이 빠르게 증발할 때 발생한다. 따라서, 빠른 건조가 예상되는 곳에서는 고비율 수용성 도장재료의 적용을 가능하면 피하는 것이 바람직하다.
-점녹 (Pin Point Rusting)	점녹은 도막두께가 적절하지 않을 경우 방식효과가 감소함으로써 발생한다. 이러한 결함을 방지하기 위해서는 적절한 함량의 도장재료를 사용하고, 도막두께가 충분해야 한다.

【표 7-14】 전면 재도장시 부식환경에서 사용도료 및 건조도막두께

도장부위		바탕처리정도	도장층별	도료 종류	건조도막두께(㎛)
외부	1안	거의 완전한 블라스트 (Sa 2 1/2)	하 도 중 도 상 도	무기질징크계 에폭시계 우레탄계	55 100 80
	2안	거의 완전한 블라스트 (Sa 2 1/2)	하 도 중 도 상 도	에폭시(알미늄) 에폭시계 우레탄계	100 100 80
내부	1안	거의 완전한 블라스트 (Sa 2 1/2)	하 도 상 도	무기질징크계 타르에폭시계	55 100
	2안	거의 완전한 블라스트 (Sa 2 1/2)	하 도 상 도	무기질징크계 에폭시계	55 100
	3안	거의 완전한 블라스트 (Sa 2 1/2)	하 도 상 도	에폭시계	100 100

【표 7-15】 부분 재도장시 사용도료 및 건조도막두께

기존의 도장 부위		바탕처리정도	도장층별	도료 종류	건조도막두께(㎛)
외부	염화고무계, 알키드 조합페인트	·거의 완전한 블라스트 (Sa 2 1/2) ·동력공구시공 (St 3)	T/U 하 도 상 도	에폭시계(알미늄) 에폭시계(마스틱) 우레탄계	(80) 100 50
	우 레 탄 계		T/U 하 도 상 도	에폭시계(알미늄) 에폭시계(마스틱) 우레탄계	(80) 80 50
내부	역 청 질 계		T/U 상 도	에폭시계(알미늄) 역청질계	(80) 55
	광명단 페인트, 에 폭 시 계		T/U 상 도	에폭시계(알미늄) 에폭시계(마스틱)	(80) 100

【표 7-16】 강재 거더 및 받침장치 발청부 도장보수 공법비교안

공 법	중방식 금속혼합물 (알루늄계)피막	염화고무계도료 (일반중방식)	세라믹계 도료
시공 순서	◦표면처리 ◦1차피막 (하도) ◦2차피막 (중도) ◦3,4차피막 (상도)	◦표면처리 ◦무기질징크 하도 ◦염화고무도료 중, 상도	◦세라믹코팅 바탕 만들기 ◦무기아연말계 ◦무기세라믹계 ◦우레탄세라믹
장 점	◦내열성, 내후성, 방청력, 부착력, 신율 ◦내마모성 ◦강인한 도막, 미관성 ◦내약품성, 내충격성 ◦희생양극방식 기능 ◦내염성, 내구성 ◦Re-Coating이 용이 ◦음용수 기준에도 적합한 친환경적 소재	◦일반적인 시공성 ◦국내적용 실적이 많음. ◦건조가 빠름.	◦내약품성 ◦강인한 도막, 미관성 ◦내구성
단 점	◦일반적 도료에 비해 비교적 고가 ◦작업시 접착제와 금속혼합물이 잘 혼합되도록 전동 믹서기를 이용하여 혼합하여야 함 ◦작업 전 시공교육 필요	◦내약품성이 나쁨. ◦내구성이 짧음 ◦내열성이 나쁨. ◦초기접착력은 우수하나, 접착력 저하(계면탈락) ◦저온시 증점 (점도상승, 유동성 감소) 및 겔화 현상발생	◦공사비 고가 ◦수축팽창에 대한 유연성(신율)부족 ◦다른 재질이므로 층간 분리현상이 나타날 수 있음.
내구성	20년	3 ~ 4년	10년

라. 아스팔트 팻칭

1) 개요

① 팻칭공법은 포트홀, 단차, 부분적인 균열 등 적은 면적의 손상된 곳을 긴급을 필요로 하는 경우에는 직접 채우는 임시적인 방법이 쓰이고, 그 외의 경우에는 불량 부분을 약간 크게 절취하여 수리하는 방법이 있다.

2) 주의사항

① 사용하는 재료로는 기존 포장과 같은 재료를 사용하는 것이 바람직하나 긴급히 대응하여야 하는 것과 기설 포장과 같은 재료를 얻기 어려울 경우에는 쉽게 구할 수 있는 재료를 사용해도 무방하다.

② 팻칭재료는 일반적으로 가열 아스팔트 혼합물이 사용되며, 긴급을 요할때는 상온 아스팔트 혼합물의 사용도 가능하다.

③ 마무리 면은 주위의 포장표면과 같은 높이가 되도록 시공한다.

3) 시공방법

① 파손부 주위의 불량부분을 브레이커나 콘크리트 커팅기로 장방형이나 수직으로 절취한다.

② 내측과 주위에 있는 먼지와 부스러기를 깨끗이 청소한다.

③ 젖어있는 경우에는 가열 건조시킨다.

④ 택코우트를 실시한다.

⑤ 가열 혼합물을 투입하여 고르게 편다.(가열 혼합식 공법의 경우)

⑥ 상온 혼합물을 투입하여 고르게 편다.(상온 혼합식 공법의 경우)

⑦ 전압기계를 사용하여 다진다. 이때 상온 혼합물이 안정되기 위해서는 수분의 증발, 용제의 휘발이 필요하며, 이들의 작용을 촉진하기 위해서는 혼합물을 포설한 후에 공기에 노출시킨다든지 다짐작업에 충분한 시간을 주도록 하는 것이 좋다.

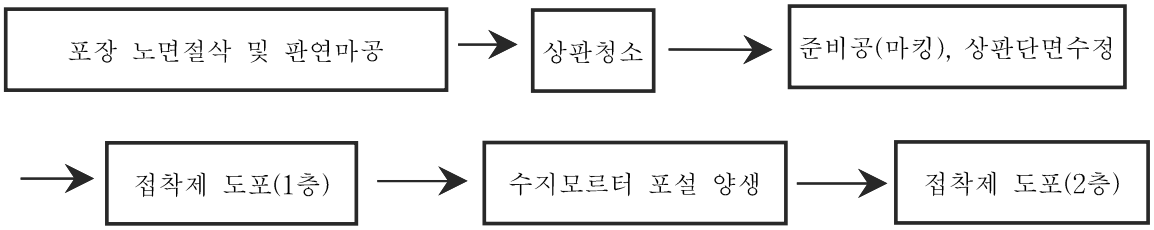
⑧ 표면온도가 손으로 댈 수 있을 정도가 되면 석분이나 가는 모래를 얇게 살포하고 교통을 개방한다.

마. 재포장

바닥판 상면에서 종방향 균열, 포트홀 및 소성변형이 일부구간 조사되었으므로, 향후 손상증대시 교량의 장기적인 내구성 확보를 위해 열화부 치환 및 교면 재포장이 필요하다.

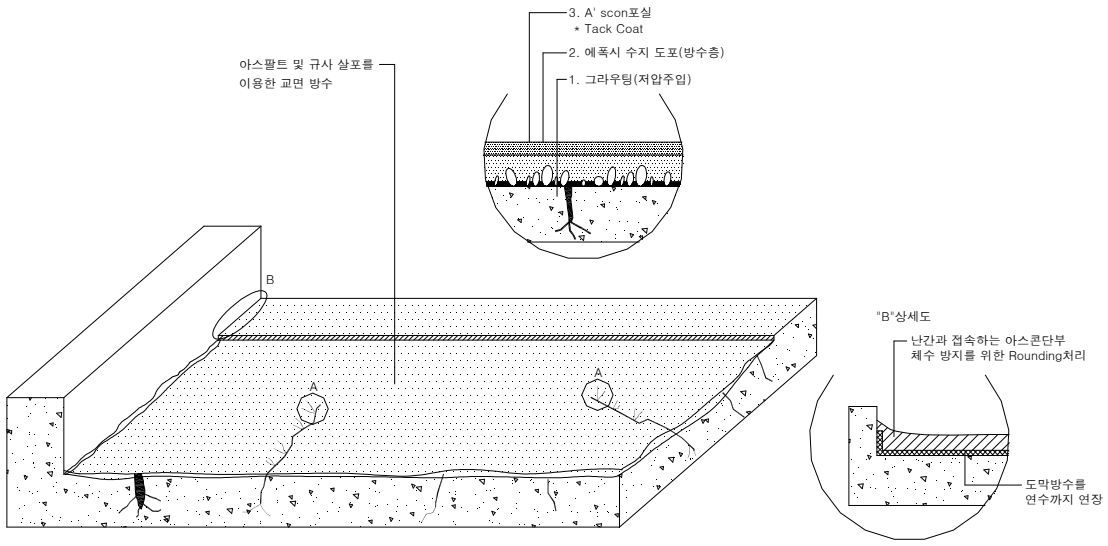
1) 상판 콘크리트 열화 발생부 보수

슬래브 상면의 단면증설공법으로서 증방식 내력 수지 모르터 또는 에폭시 수지 모르타르를 사용하여 열화된 콘크리트 상판의 보강을 실시한 공법이다.



【그림 7-3】 상판열화부 보수 순서

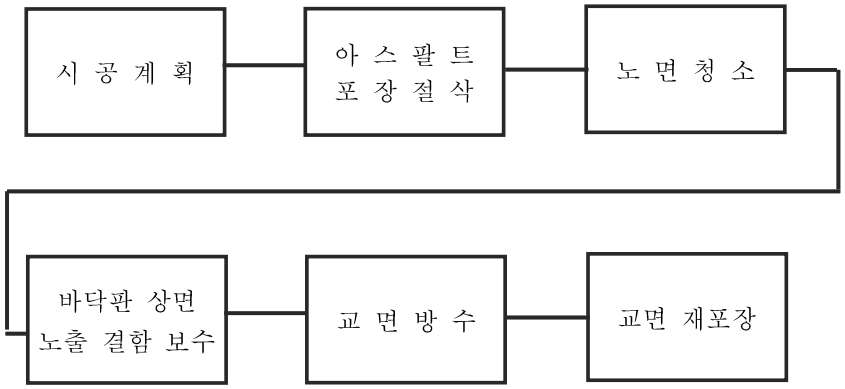
2) 교면방수 및 재포장



【그림 7-4】 상면 교면방수 및 재포장

교면 방수재는 고유의 방수성은 물론이고, 모체의 균열에 대한 유연과 충격을 흡수할 수 있는 탄성, 콘크리트 상판과 교면 포장재와의 접착성이 우수하여야 한다.

교면 방수층의 보수 순서도와 시공도는 다음 그림과 같다.



【그림 7-5】 상면 교면방수 및 재포장 순서

① 시공계획

차로수가 왕복 4차로이므로, 2차로를 통제하고 시공 완료후 2차로씩 차례로 시공한다. 교폭의 1/2씩 시공되므로, 시공 이음부는 주의 시공하여 완전방수가 될 수 있도록 조치한다.

② 기존 교면 포장의 제거 및 표면처리

㉠ 기존 교면 포장 제거

· 포장의 제거작업 시에는 장비의 자중과 진동 등의 충격으로 인하여 내구성이 저하될 우려가 있으므로 대형 절삭장비의 이용은 지양한다.

· 노면 절삭기가 아스콘 포장을 절삭할 때, 바닥판의 열화된 콘크리트까지 절삭되도록 작업을 진행하며, 건전부의 콘크리트가 절삭되지 않도록 주의해서 절삭하고, 절삭하고 남은 포장체는 재절삭 또는 인력으로 기존의 포장이 상판에 잔존하지 않도록 깨끗이 제거한다.

· 노면 접속부 부근의 포장면 절삭시 신축이음장치에 손상이 가지 않도록 포장면을 따라 15cm정도 남기고 절삭 후, 소형 핸드 브레이커에 의한 인력 작업으로 남은 표층을 완전히 제거한다.

㉡ 교면포장 제거 후의 바닥판 콘크리트 단면복구

· 교면포장을 완전히 제거 후 노출된 바닥판 콘크리트 표면의 요철부위 및 부식된 콘크리트면을 면밀히 관찰하여, 나타나는 결함들은 적합한 보수공법으로 보수를 시행한 후 표면에 대해서 면고르기로 평탄성을 확보하고 단면복구를 실시한다.

· 상판에 수분이 존재하면 방수재의 부착불량과 포장 포설시 부풀어 오르는 블리스터링이 발생하여 교면포장의 조기 파손의 원인이 되므로, 상판을 건조시키는 노면 가열히

터 또는, 열풍으로 상판면을 건조시킬수 있는 장비를 미리 준비하여, 상판의 건조를 확실히 시행한다.

· 상판 콘크리트에 대한 적절한 보수와, 면고르기 완료후 방수재 시공 전에 방수재와 상판의 부착이 원활하게 되도록 바닥판 청소를 철저히 시행하여야 하며 특히, 먼지 및 이물질이 깨끗이 제거되도록 상판 건조 후에 성능이 좋은 에어 콤푸레셔와 집진기 등을 사용하여 청소한다.

③ 방수재 선정

방수층은 일반적으로 시트계통 방수재료 또는 용제계통 방수제를 살포 또는 설치하거나, 방수성능을 가진 포장혼합물 등을 포설하여 방수층을 형성시킨다. 방수재는 크게 침투식과 도막식, 침투식과 도막식의 혼용 등이 있으며, 여기서는 침투성방수와 도막재 방수의 장점을 살린 침투식 도막방수와 비교하여 방수재를 제안하였다.

④ 교면방수 시공

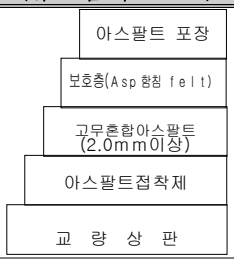
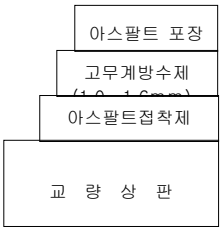
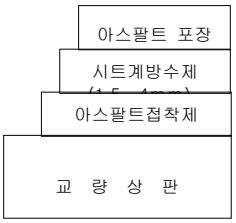
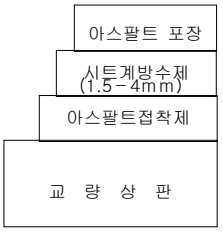
· 교면 방수는 철저히 시공한다.

· 교면의 종·횡구배로 방수제가 한 곳으로 고이지 않고 상판 전부분에 두께가 균일해질 수 있도록 시공에 주의한다.

· 방수제의 시공을 단일층으로 시공하게 되면 두께가 불균일해지는 경우가 많으므로 2~3회 나누어 도포하고, 블리스터링의 발생이 최소화되도록 유의하며, 블리스터링이 발생시에는 구멍을 뚫어 공기를 빼내고 방수제 특성에 맞게 블리스터링 발생 부분을 재시공한다.

· 방수층을 시공한 후 양생 중과 아스콘 포설시에 공사에 필요한 장비와 인원 이외의 출입을 철저히 제한하여야 하며, 방수층과 포장층의 접착을 방해하는 이물질 등의 반입을 최소화하여 오염에 대비하여야 한다.

【표 7-17】 교량상부 교면방수공법 비교

구 분	도막식 방수공법		시트식 방수공법	
	고무아스팔트계 (슈프림데크코트)	합성고무계 (클로로프렌계)	쉬트식 방수공법	자착식 시트방수 (브릿지쉬트)
단면도				
시공사진				
개요	• 기존 아스콘 포장 철거 후 프라이머 도포 후 도막 방수액인 슈프림데크코트를 포설한 후 보호층으로 유리섬유 펠트를 설치하는 방수공법	• 기존 아스콘 포장 철거 후 합성고무(클로로프렌계) 를 톨루엔 등의 용재에 용해한 액체를 교량 슬래브 에 도포하여 방수층을 형성한 후 재포장 하는 방안	• 기존 아스콘 포장 철거 후 부직포 또는 직포에 가열 용해한 고무혼합AP를 함침 피복시킨 시트를 가열하여 교량 슬래브에 접착하는 방안	• 기존 아스콘 포장 철거 후 부직포 또는 직포에 가열 용해한 고무혼합AP를 함침 피복시킨 시트를 자착식으로 슬래브에 접착하는 방안
시공방법	① 아스콘 절삭 ② 면처리 ③ 아스팔트 접착제 도포(1회) ④ 방수재도포(간접가열 용융방식) 및유리섬유펠트 ⑤ 아스팔트 포설 및 전압	① 아스콘 절삭 ② 면처리 ③ 아스팔트 접착제 도포(1회) ④ 방수재도포(2회) ⑤ 아스팔트 포설 및 전압	① 아스콘 절삭 ② 면처리 ③ 아스팔트 접착제 도포(1회) ③ 방수시트접착(토치사용 전면융착) ④ 아스팔트 포설 및 전압	① 아스콘 절삭 ② 면처리 ③ 아스팔트 접착제 도포(1회) ③ 방수시트접착(자착식 시트) ④ 아스팔트 포설 및 전압
두께	2㎜ (1~2시간)	1~1.6㎜ (3~5일)	4㎜ (3~4시간)	2㎜ (1~2시간)
특징	• 방수재 도포로 이음매가 없는 방수층형성 • 접착력이 우수하여 아스팔트 포장층과 일체거동 • 교량의 구배에 의한 방수재의 흘러내림이나 밀림이 현상이 없음 • 아스콘 포장시 텍코팅 불필요 • 양생기간이 필요없어 아스콘포장이 바로 가능함	• 내한, 내산, 내열성 우수 • 고무계로 균열에 대한 추종성양호 • 도막의 자연건조에 의한 양생시간(7~10일)시 기포 발생 및 품질저하가 우려됨 • 보수시공시 단시간 작업에 불리	• 연성으로 균열, 진동에 우수 • 방수층의 일정두께 유지가능 • 시트자체 접착성 및 보수성 있음 • 겹침부위 누수우려 • 곡선부나 거친바닥판에서 작업성이 현저히 떨어짐 • 동절기 시트의 경화로 인한 파손 및 박리현상 우려	• 연성으로 균열, 진동에 우수 • 방수층의 일정두께 유지가능 • 겹침부위 누수우려 • 곡선부나 거친바닥판에서 작업성이 현저히 떨어짐 • 아스콘 포설시 바닥판과의 접착력 약화로 밀림현상 우려
시공실적	• 강변북로, 청담대교(강상판), 서해안고속도로, 김포대교보수, 노량대교보수, 홍천국도(춘성대교,이포대교), 의정부국도,보은국도등 다수	• 동호대교, 올림픽대로, 국내시공실적 다수	• 대전~진주간, 청계고가, 성수대교	• 국도 일부구간
공사비	38,000원/㎡	42,000원/㎡	43,000원/㎡	42,000원/㎡

바. 교대 변위제어 대책

외관조사결과 A1, A2측 교대의 흉벽과 바닥판하면 유간부족 및 협착이 조사되었고, 제3장 현장조사 및 시험편에서 기술한 것과 같이 주변부재의 조사결과 교량 주변의 단부 파손 및 박락, 녹발생, A1 신축이음장치 단차 등이 발생되었다.

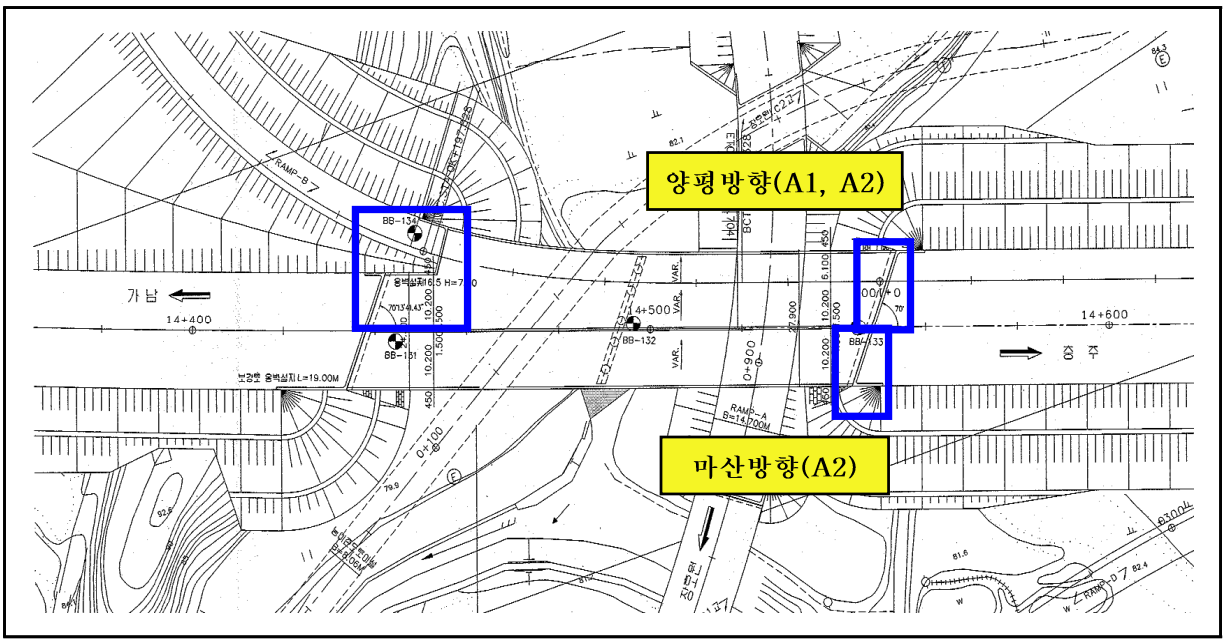
1) 단면보수

바닥판과 흉벽간 유간부족으로 박락 등이 발생된 상태이므로 내구성 확보를 위해 단면보수를 1차적으로 실시하여야 하며 '나. 콘크리트 단면보수' 에 작성하였다.

2) 영구 앵커공법(마산방향 : A2, 양평방향 : A1, A2)

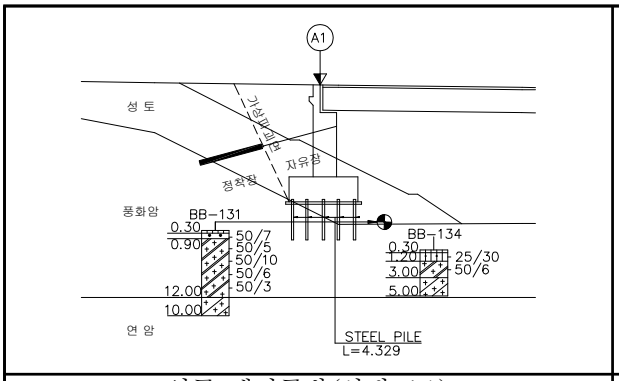
고성토 구간의 교대 이동에 대한 제어대책에는 성토하중 경감을 위한 Box Pipe 매설공법, 경량성토(EPS)공법과 지반개량으로 저항력 증가를 위한 그라우팅, 압성토 교대 영구앵커 설치 등이 있다. 감곡IC교는 고속도로 본선에 위치한 본 교량에서 주변 여건 등을 고려하여 영구앵커 설치가 적용 가능할 것으로 판단된다.

① 교대 현황

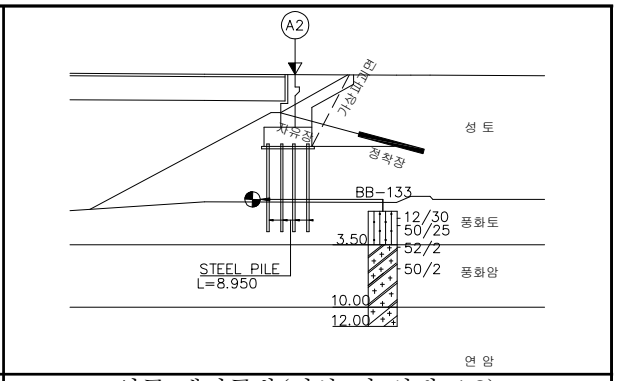


② 개요도

영구 앵커공법은 교대(A2) 전면 일정위치에 영구앵커를 조성하고 인장기를 이용하여 교대를 끌어당기는 방법으로서 추가 변위를 제어하기 위한 공법이다.



영구 앵커공법(양평 A1)



영구 앵커공법(마산 및 양평 A2)

③ 앵커 개소당 정착장 및 자유장 산정

㉠ 정착장 산정

- 최소 정착장 : 3.0m
- 그라우트와 지반 사이의 마찰저항장
  - T (강선 인장력) = 700 kN 적용시
  - FS=2.5(영구), D=100㎜, 주면 마찰저항력(τ) = 0.58㎫(풍화암),0.35㎫(토사층)
  - La = (T × Fs) / (π × D × τ) = 10.0m(풍화암), 16.0m(토사층)
- 정착장은 최소정착장과 마찰저항장 산정길이에서 가장 큰 값을 적용한다.
- 앵커 정착장 : 10.0m(풍화암), 16.0m(토사층) 적용

㉡ 자유장

- 최소 자유장 : 4.0m
- 자유장 : 절취면에서 가상파괴면 까지의 거리 ≒ 8.3m(양평 A1), 4.5m(마산 및 양평A2)
- 여유길이 1.0m 고려
- 자유장은 산정 길이에서 가장 큰 값을 적용한다.
- 앵커 자유장 : 9.0m 적용

㉢ 앵커 총 길이(L = 정착장 + 자유장 + 앵커두부 여유장)

구분	정착장(m)	자유장(m)	여유길이(m)	앵커 총 길이(m)
마산방향 A2	10.0	4.5	1.0	15.5
양평방향 A1	16.0	8.3	1.0	25.3
양평방향 A2	10.0	4.5	1.0	15.5

㉣ 설계 앵커력 검토

추가 변위를 제어하기 위하여 현 상태 유지 수준에 필요한 앵커 보강량을 검토하여야 하며, 교대 배면의 작용하중인 주동토압과 배면활하중 토압을 상쇄할 수 있는 설계 앵커력을 산정한다.

■ 작용하중

구 분		H (kN/m)	팔길이(m)	Moment(kN・m/m)	Moment(kN・m)
마산 A2	주동토압	173.44	2.667	462.564	5978.177
	배면활하중 토압	21.68	4.0	86.72	1120.769
	합 계				7098.946
양평 A1	주동토압	390.24	4	1560.96	20145.75
	배면활하중 토압	32.52	6	195.12	2518.187
	합 계				22663.968
양평 A2	주동토압	173.44	2.667	462.564	7750.722
	배면활하중 토압	21.68	4	86.72	1453.050
	합 계				9203.803

주) 구조계산서 및 정밀안전진단보고서(2012년) 참고함.

■ 앵커력, 개수 및 설치간격

구 분	교대폭 작용 Moment(k・m)	단위앵커력(kN)	앵커개수	설치간격(m)
마산 A2	7098.946	700	12	1.2
양평 A1	22663.968	700	33	2.5
양평 A2	9203.803	700	14	1.2

주) 앵커의 설치간격 및 설치력은 현장의 지반조건을 구체적으로 고려하지 않은 것으로 시공시 면밀히 검토하여 적용하여야 함.

㉱ 시공순서

■ 교대 전면부 구체 천공

■ 교대 전면에 앵커체 삽입용 천공

■ 영구 앵커를 삽입한 후 그라우팅 시공

■ PS 긴장

㉲ 시공시 유의 사항

■ 이 과업의 검토단계에서 가정한 앵커정착 지반의 토질정수는 현장의 토질구성 및 다짐 정도에 따라 차이가 있으므로 앵커작업 전에 시험천공을 통하여 시공 가능성, 정착지반 상태 등의 확인 과정이 필요하다.

■ 천공 방법은 강선 삽입이나 주입 등을 고려해서 공벽 붕괴가 발생하지 않도록 casting 천공으로 실시하되 천공 길이는 Slime 제거를 위하여 0.5m 길게 한다.

■ 천공작업은 토질조건이 불균질한 성토지반임을 고려하여 공압식 천공기를 사용하되, 천공 후 air lift로 충분히 세척하고 신속히 그라우트를 주입해서 공벽에 피막이 형성되지 않도록 한다. 단, 심한 공압 사용은 지반교란을 야기할 수 있으므로 슬라임 배출이 가능한 범위 내에서 조절한다.

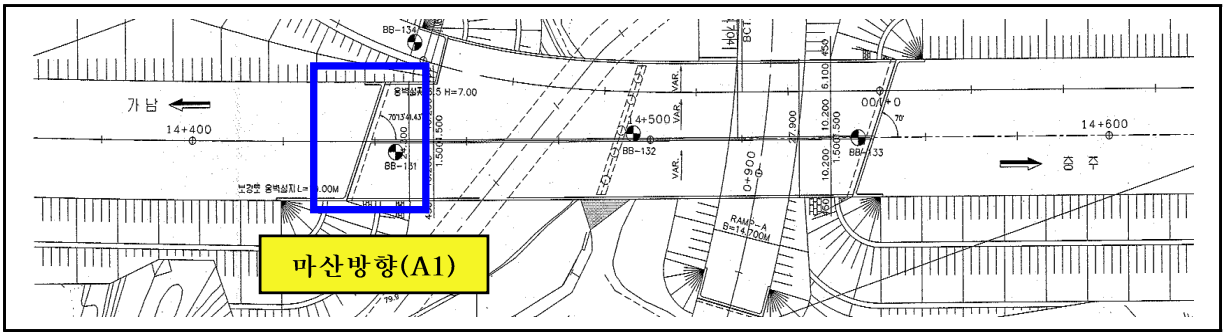
- 천공각도는 현장 여건이 가능한 범위 내에서 최대한 경사지게(설치각도 15° 이상) 함으로써 앵커 정착부가 깊은 지반에 도달하도록 한다.
- 앵커 정착부의 그라우트 주입시에는 앵커체의 부식을 방지하기 위해서 시멘트 그라우트 재료의 강도가 24MPa이상이 되어야 한다.
- 앵커체 형성을 위한 그라우트의 주입은 정착지반이 사력질임을 고려하여 casting 가압 방식으로 하되 주입압력을 시험 시공에 의하여 정한다. 단, 그라우트 유실이 심하게 발생하여 가압주입이 어려운 경우 별도의 대책을 마련하여야 한다.
- 앵커의 시험은 적정성이 판단될 수 있도록 하중반복재하를 통하여 하중과 변위를 측정하여야 하며, 단계별 하중하에서의 Creep가 측정될 수 있는 동적변형을 측정기를 이용한 실시간 데이터 기록 장치를 사용하여야 한다.
- 앵커 두부는 유지관리, 방수 및 재 긴장이 가능할 수 있도록 재 긴장용 정착구와 오일 캡(Oil Cap)을 사용한다.

3) 지반 그라우팅공법

고성토 구간의 교대 이동에 대한 제어대책에는 성토하중 경감을 위한 Box Pipe 매설공법, 경량성토(EPS)공법과 지반개량으로 저항력 증가를 위한 그라우팅, 압성토 교대 영구앵커 설치 등이 있다. 감곡IC교는 고속도로 본선에 위치한 본 교량에서 주변 여건 등을 고려하여 지반 그라우팅 공법이 적용 가능할 것으로 판단된다.

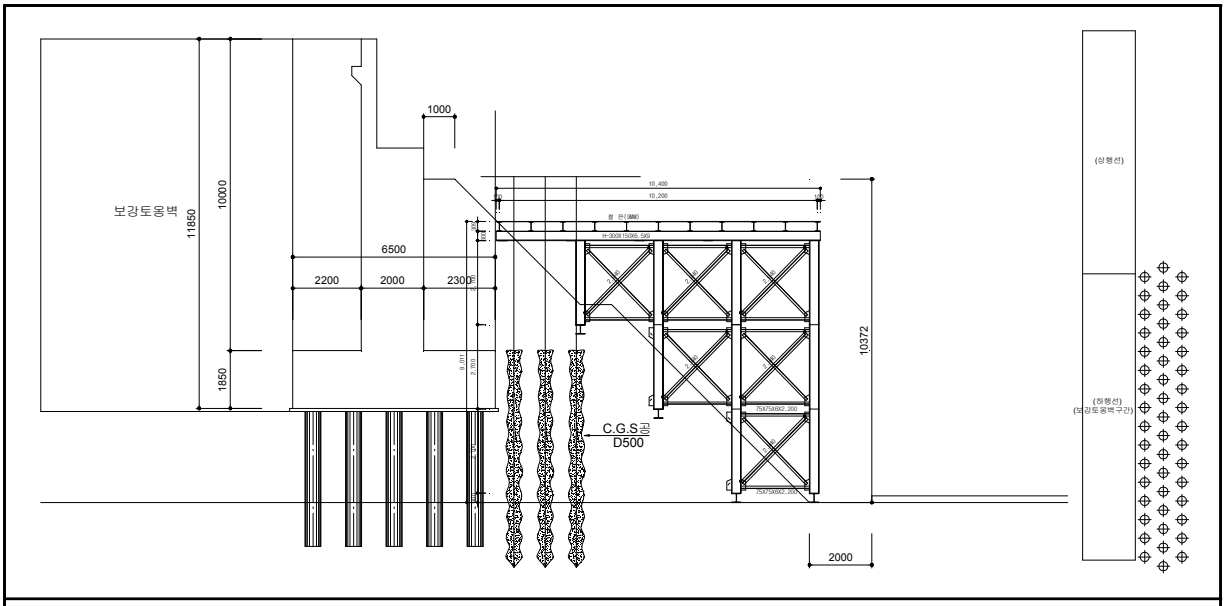
① 교대 현황

감곡IC교(마산) A1의 측면에 보강토 옹벽이 설치되고 배면에 그리드가 형성되어 있어 영구 앵커공법 및 배면 보강공법(EPS, 배면성토개량 그라우팅)의 시공이 불가능하다. 또한, 교대 전면에 부지가 협소하여 압성토 보강도 불가하므로 교대 전면 지반의 고결을 위한 그라우팅 공법을 적용할 수 있다. 단, 시추주상도에서 볼 때 점성이 없는 비소성(N.P) 토질로서 지반 그라우팅 시공시 사질지반에 적용 가능한 공법을 선정하여야 한다.



② 개요도

지반그라우팅공법은 교대(A1) 전면 부지가 협소하고 도로가 있어 작업을 위한 비계설치가 필요하며 개요도는 다음과 같다.



지반 그라우팅공법(마산 A1)

③ 지반보강 그라우팅 특징

천공 후 단관의 주입재를 설치한 상태에서 저 유동성 몰탈형 주입재를 압입하여 지중에 고강도 콘크리트의 조성체를 형성함과 동시에 주입재의 충전으로 구조물 배면 혹은 전면의 지반을 치밀하게 보강하고, 지반의 물성치를 증진시켜, 측압거동에 의한 구조물에 유해한 변위를 최대한 차단하기 위한 공법이다.

④ 지반보강 그라우팅 주입방법

- 약액주입 : 침투 주입(사질토), 할렬 주입(점섬토)
- 분사주입 : 교반 주입(JSP), 치환 주입(RJP, CJP)

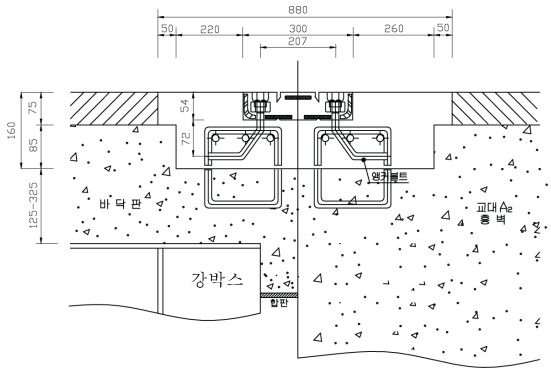
⑤ 시공시 유의 사항

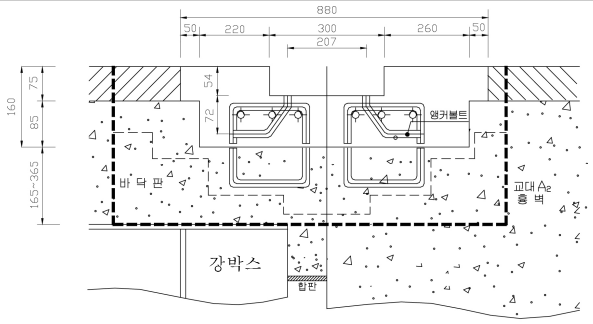
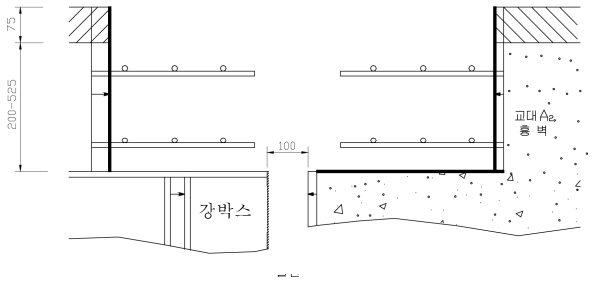
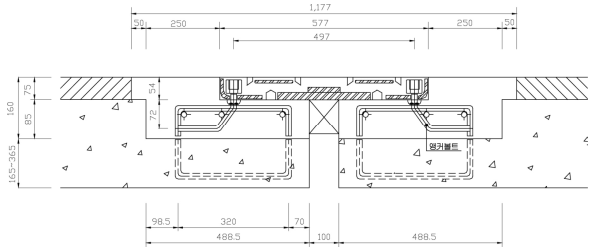
- 시공시 시험시공을 실시하여야 하며, 주변 융기가 발생하지 않도록 주의하여 시공한다.
- 사질토 지반으로 주변으로 용탈(Leaching) 현상이 발생하지 않도록 주의하여 시공하여야 한다.

4) 신축이음장치 교체 + 바닥판 하면 유간확보

■ 금회 감곡IC교의 신축이음장치에 대한 교대 A2 양평방향을 제외한 마산방향(A1, A2), 양평방향(A1)에 대한 신축이음장치는 2012년, 2015년에 교체가 이루어진 상태이다. 따라서 신축이음장치 교체 시기시 바닥판 하면을 절취하여 유간을 확보하여야 한다.

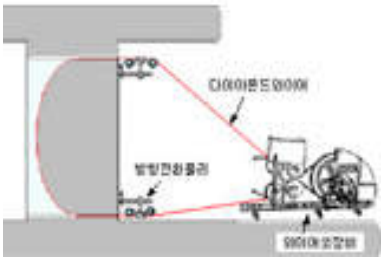
① 시설안전공단 보수보강사례 발췌(제1편 교량시설)

<table>
<tr><td> 
</td><td>· 설계시
– 교대시점 : A1(레일조인트, 마산 및 양평)
– 교대종점 : A2(레일조인트, 마산 및 양평)
– 시· 종점측 TYPE NO.120 신축량(120㎜)

· 현재시 : 2012년 12월(A2–마산, A1–양평)
2015년 09월(A1–마산, A1–양평)
– 마산방향 : A1(레일조인트→ 강핑거조인트)
: A2(레일조인트→ 모노셀조인트)
– 양평방향 : A1(레일조인트→ 모노셀조인트)</td></tr>
<tr><td>기존교량(예)</td><td>신축이음장치 설치 현황</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>· 바닥판하면의 두께는 도면상 380㎜~550㎜.
· 신축이음장치에서 바닥판하면 바닥까지의 두께는 160㎜~390㎜로 변화하기 때문에 부재가 두꺼운 부분에 대해서는 그림과 같이 1차적으로 내부 얇은 점선을 따라 계단식으로 콘크리트를 절취할 필요성이 있음.</td></tr>
<tr><td>바닥판하면 끝까지 절취(예)</td><td>바닥판하면 두께 현황 및 절취 방법</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>· 바닥판 절취시 가능한 바닥판 및 흉벽에서 앵커철근과 연결된 종방향이 손상되지 않도록 주의시공.
· 철근의 피복두께는 도면상의 두께를 확보함.</td></tr>
<tr><td>철근 및 앵커 연결(예)</td><td>기존 철근 상태 확인 및 피복두께 확보</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>· 바닥판 단부와 흉벽간은 100㎜정도의 유간확보
· 앵커볼트와 연결되는 훅 철근은 하부철근의 피복이 40㎜이상 확보</td></tr>
<tr><td>신축이음장치 재설치(예)</td><td>재설치 바닥판하면 유간 확보 고려</td></tr>
</table>

② 바닥판 하면 절취 비교표

【표 7-18】 유간확보를 위한 바닥판 하면 절취 비교표

구 분	휠쏘절단(Wheel Sawing)	와이어쏘(Diamond Wire Sawing)
개요도		
공 법 개 요	■다이아몬드 톱날을 휠쏘 또는 로드캇타라 하는 기계에 장착하고 한사람이 밀면서 절단	■절단대상물에 가이드폴리를 설치한 후 다이아몬드가 박힌 와이어를 구동장치로 회전시킴과 동시에 뒤로 끌어당겨 절단
공 법 특 징	■별도의 고정장치나 레일이 필요 없어 이동성이 우수 ■두께 400mm이하의 바닥절단에 주로 사용 ■절단능률이 우수하고 대규모 바닥절단 가능 ■구석진 곳이나 밀폐된 곳, 옹벽 등에는 사용불가 ■진동은 없으나 절단시 소음이 심함 ■고배근의 철근콘크리트에서는 절단성능 저하	■와이어 설치가 가능한 협소한 공간에서도 작업가능 ■인접 구조물이나 잔존구조물에 손상을 주지 않고 깨끗한 절단면 가능 ■고배근의 철근콘크리트 절단 가능 ■교량 상부슬래브에서 와이어설치를 위한 홀을 뚫어 슬래브 단부 절단가능 ■시공이 간편하나 공사비가 다소 고가 ■장비를 세울 수 있는 공간 필요
적 용 사 진		
공사비	1,000,000원/1식	3,000,000원/1식

5) 보수·보강 우선순위 및 유지관리 방안

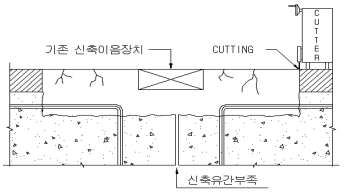
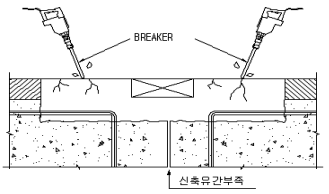
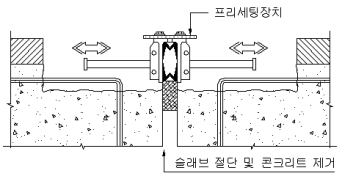
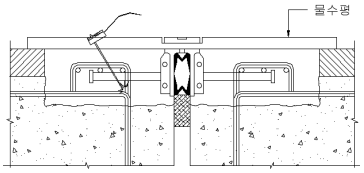
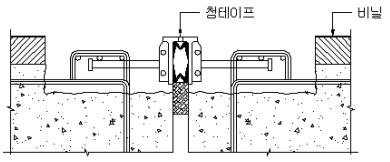
감곡IC교에 대한 바닥판 유간 맞붙음(협착), 신축이음 장치 단차 및 노후화(양평 A2), 교대 이동 제어대책이 필요하다. 교대 이동은 유간이 폐쇄된 현 상태에서 단기간에 진행성 여부를 판단하기 어렵다. **1차적(단기)으로 내구성 확보를 위해 단면보수**, **2차적(중기)으로 교대 이동을 완전하게 수렴하도록 영구앵커공법**, **3차(장기)으로 신축이음장치 교체 및 바닥판 하면 절취**가 병행한 공법으로 적정유간을 확보하여야 한다. 단 교체시기가 된 양평방향 A2의 신축이음장치는 단차 및 노후가 조사되어 3차(장기)를 먼저 시행하고 2차적(중기)를 실시 할 수 있다.

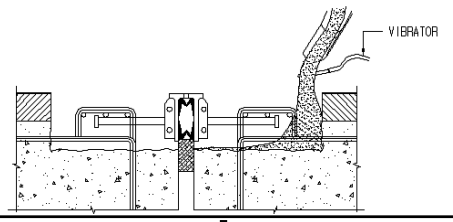
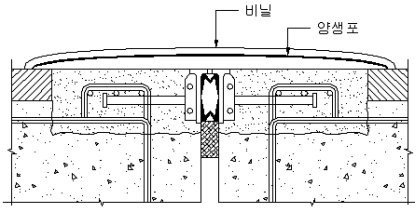
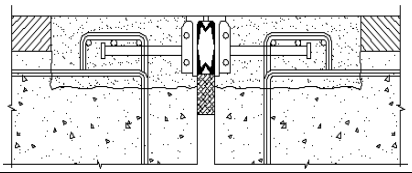
구분	보수·보강안	유의사항
단기	단면보수공법	· 철근노출부 방청처리 실시
단기	영구앵커공법	· 교대변위 제어대책 시행(교대 진행성 여부 관찰)
장기	신축이음장치 및 절취	· 바닥판 절취하여 병행 공으로 적정유간의 확보

사. 신축이음장치 교체

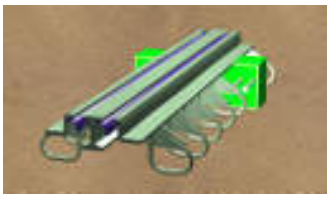
금회 감곡IC교는 양평방향 A2에 대한 노후화 및 단차로 인해 신축이음장치 교체시 바다판 하면 유간이 없는 상태이므로 바닥판 하면을 절취하여 유간을 확보하여야 한다.

【표 7-19】 신축이음장치 시공 순서도

① Cutter를 사용하여 포장면 절단	
② Breaker를 이용하여 기존 신축이음장치 철거 및 단면확보	
③ 슬래브 절단 및 콘크리트 제거 후 제품상부의 프리세팅 장치을 사용하여 프리세팅으로 실시한 후 볼트로 고정	
④ 물수평 레벨링 후 신축이음장치와 기존 철근 결속 및 철근 보강 작업	
⑤ 신축이음장치 윗부분에 콘크리트 유입방지를 위한 청테이프 덮기	

⑥ 초속경 및 초조강 콘크리트 타설	
⑦ 양생포 덮은 후 습윤 양생	
⑧ 설치 완료 후 차량 통행	

【표 7-20】 신축이음장치 비교표

구 분	뉴모노셀 조인트	레일 조인트	강핑거 조인트
개요도			
공 법 특 징	■상판이 강재로 되어있어 고무계보다는 내구성이 강함 ■상판의 형상이 S자형으로 횡조인트에 사용 ■철근 배근이 정밀하지 못함 ■앵커부 철근 용접이 가접이므로 콘크리트 타설시 철근 용접부 탈락 가능성이 높음 ■철근 탈락으로 콘크리트 후타부 크랙이 발생 ■강재와 접착된 고무가 노면으로 노출되어 통과 차륜의 마찰로 인해 고무 분리로 누수가 발생	■상판이 강재로 되어 있어 고무제의 제품에 비해 수명이 김 ■신축량이 커서 장대교량에 많이 사용 ■곡교에 사용이 가능 ■PSC BEAM교량에 적용이 불가 ■차량 주행소음이 매우 크며, 진동이 주변 바닥판에 전달되어 주변 콘크리트를 노화시킴 ■제작기간이 많이 소요 ■보수공사시 전구간 교통통제로 인해 작업에 어려움	■상판이 강재로 되어 있어 고무제의 제품에 비해 수명이 김 ■신축량이 커서 장대교량에 많이 사용 ■차량 주행소음이 큼 ■곡선교 및 사교의 경우 별도의 검토를 통해 적용 여부를 판단해야 함 ■연약지반은 사용 지양 ■종단경사가 심한 교량은 가동단에서 수평이동으로 인한 핑거간 단차발생을 고려하여 적용가능여부 시공전 검토
신축량	60㎜이하	100㎜이하	100㎜초과 강핑거 적용이 불가한 경우 레일조인트 적용 가능
공사비	587,000 원/m(No.60)	3,287,000 원/m(NO.160)	2,300,000 원/m(No.160)

※신축이음장치 개선 적용방안 (2009.8)

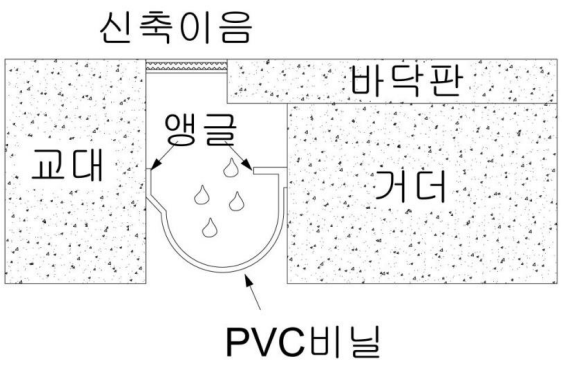
아. 신축이음 유도배수로 설치

1) 개 요

본 교량은 신축이음장치 하부 교대 흉벽 누수흔적이 발생된 구간에 대하여 받침장치 부식 등의 추가손상이 우려되므로, 신축이음 하부에 유도배수로의 설치가 필요하다.

교대와 바닥판하면 또는 가로보 사이 경질염화비닐(PVC)로 양측단부를 연결하여 낙수 및 누수를 차단하는 방안을 제안한다. (한국도로공사 구조물처-1326(2012.6.26.))

2) 신축이음 장치 유도배수로 설치 개요도

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>마산방향-교대(A2)흉벽 누수흔적</td><td>양평방향-교대(A1)흉벽 누수흔적</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>  </td></tr>
<tr><td>신축이음 하부누수 (동해방향, A2)</td><td>유도배수시설 설치 사례</td></tr>
</table>

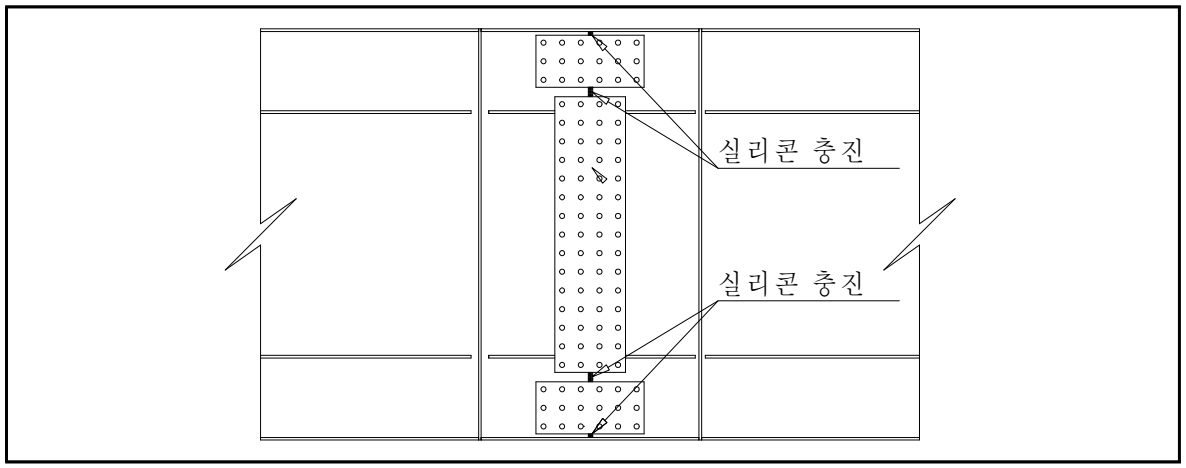
【그림 7-6】 유도배수로 설치 개요도

자. Steel Box Girder 스플라이스 틈새 실런트 주입

1) 개 요

거더 내부에 Scallop 및 Splice 틈으로 우수가 유입하여 하부플랜지에 누수흔적, 강재 및 볼트 부식이 발생한 상태이므로 장기적인 유지관리 및 내구성 확보 차원에서 보수가 필요하다.

2) 보수 개요도



【그림 7-7】 스플라이스 틈새 실런트 주입

7.3 보수 · 보강 개략공사비

가. 마산방향

【표 7-21】 마산방향 - 보수 · 보강 개략공사비

구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위
바닥판	•백태	표면처리보수	0.05	0.08	㎡	33	3	3
	•박락	단면복구 1안)	1.64	2.46	㎡	212	522	3
	•녹발생	방청 후 단면복구	0.40	0.60	㎡	241	145	2
Steel Box Girder 내부	•도장박리	재도장	1.06	1.59	㎡	32	52	2
	•부식	녹제거 후 재도장	0.29	0.44	㎡	32	15	2
	•실링누락	실링재 시공	7.00	7.00	EA	4	28	3
	•인분배설	청소	1.00	1.00	EA	13	14	3
격벽	•도장박리	재도장	0.20	0.30	㎡	32	10	2
Steel Box Girder 외부	•도장박리	재도장	0.02	0.03	㎡	32	1	2
	•부식	녹제거 후 재도장	0.28	0.42	㎡	32	14	2
	•오염	재도장	0.72	1.08	㎡	32	35	2
교대	•누수흔적	표면처리보수	4.64	6.96	㎡	33	233	3
	•백태	표면처리보수	0.68	1.02	㎡	33	35	3
	•박리	표면처리보수	1.58	2.37	㎡	33	80	3
교량 받침	•볼트부식	녹제거 후 재도장	1.00	1.00	EA	57	58	2
	•도장박리	재도장	1.00	1.00	EA	57	58	2
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	주입보수	0.30	0.45	m	70	32	2
	•파손	방청 후 단면복구	0.20	0.30	㎡	241	73	1

【표 7-21】 마산방향 - 보수·보강 개략공사비(계속)

구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위
신축이음	•덮개볼트 탈락	볼트 재체결	0.04	0.04	EA	6	1	3
	•균열(Cw=0.3㎜미만)	표면처리보수	8.20	3.08	m	33	103	3
방호벽	•균열(Cw=0.3㎜미만)	표면처리보수	79.00	29.63	m	33	959	3
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	주입보수	54.70	82.05	m	70	5,739	2
	•망상균열 (Cw=0.3㎜미만)	표면처리보수	6.94	10.41	㎡	33	348	3
	•박락	단면복구	0.08	0.12	㎡	212	26	3
	•재료분리	단면복구	0.06	0.09	㎡	212	20	3
	•철근노출	방청 후 단면복구	1.01	1.52	㎡	241	365	2
	•파손	단면복구	0.03	0.05	㎡	212	10	3
	•녹발생	방청 후 단면복구	0.11	0.17	㎡	241	40	2
순공사비 합계(천원)								9,049
제경비(순공사비×50%)								4,525
순위별 공사비 (제경비 포함)		1순위						110
		2순위						9,846
		3순위						3,618
개략공사비(천원)								13,574

※ 손상물량의 할증(50%)은 보수공사 및 재료에 대한 손실과『토목표준품셈 제1장 적용기준 중 "1-16 품의 할증 - 14.기타할증(작업능력 저하가 현저할 때-위험, 소음, 협소)』을 적용하였음.

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

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

1) 교대제어 보수보강 개략공사비

구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)
바닥판	•협착 및 파손	영구앵커공법	11	11	공	4000	44000
		신축이음장치 +바닥판하면 절취	22.0	m	m	2300	50600
			2	2	식	1500	3000

주) 지반 보강 그라우팅은 보수보강 공사시 별도 공사비 적용하여 산출함.

나. 양평방향

【표 7-22】 양평방향 - 보수·보강 개략공사비

구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위
바닥판	•백태	표면처리보수	0.10	0.15	㎡	33	6	3
	•박락	단면복구 1안)	3.19	4.79	㎡	212	1,015	3
	•박락/녹발생	단면복구	0.15	0.23	㎡	241	55	2
	•재료분리	단면복구	0.08	0.12	㎡	212	26	3
Steel Box Girder 내부	•도장박리	재도장	0.01	0.02	㎡	32	1	2
	•부식	녹제거 후 재도장	0.32	0.48	㎡	241	116	2
	•실링누락	실링재 시공	4.00	4.00	EA	4	16	3
	•소변배설	청소	1.00	1.00	EA	13	14	3
격벽	•도장박리	재도장	0.08	0.12	㎡	32	4	2
	•부식	녹제거 후 재도장	0.01	0.02	㎡	32	1	2
Steel Box Girder 외부	•도장박리	재도장	1.01	1.52	㎡	32	49	2
	•부식	녹제거 후 재도장	0.62	0.93	㎡	32	31	2
	•오염	재도장	16.50	24.75	㎡	32	801	2
가로보 및 세로보	•부식	녹제거 후 재도장	0.01	0.02	㎡	32	1	2
교대	•누수흔적	표면처리보수	3.44	5.16	㎡	33	173	3
	•백태	표면처리보수	0.84	1.26	㎡	33	43	3
	•박리	표면처리보수	5.22	7.83	㎡	33	262	3
	•재료분리	단면복구	0.52	0.78	㎡	212	166	3
	•녹발생	방청 후 단면복구	0.47	0.71	㎡	241	170	2
	•파손	단면복구	0.02	0.03	㎡	212	7	3
	•이물질퇴적	청소	2.52	3.78	㎡	13	51	3
	•실링재열화	실링재 시공	0.25	0.38	m	4	2	3

【표 7-22】 양평방향 - 보수·보강 개략공사비(계속)

구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위
교각	•녹발생	방청 후 단면복구	0.11	0.17	㎡	241	40	2
교량받침	•부식	녹제거 후 재도장	3.22	4.83	㎡	57	276	2
	•도장박리	재도장	0.12	0.18	㎡	57	11	2
	•박락	방청 후 단면복구	0.06	0.09	㎡	241	22	1
신축이음	•균열(Cw=0.3㎜미만)	표면처리보수	6.32	2.37	m/㎡	33	80	3
	•파손	단면복구	4.50	6.75	㎡	212	1,432	3
	•덮개볼트 탈락	볼트 재체결	3.00	3.00	EA	6	18	3
방호벽	•균열(Cw=0.3㎜미만)	표면처리보수	43.70	16.39	m/㎡	33	547	3
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	주입보수	78.80	118.20	m	70	8,267	2
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	표면처리보수	4.06	6.09	㎡	33	204	3
	•철근노출	방청 후 단면복구	0.01	0.02	㎡	241	4	2
	•파손	단면복구	0.24	0.36	㎡	212	77	3
순공사비 합계(천원)								13,988
제경비(순공사비×50%)								6,994
순위별 공사비 (제경비 포함)		1순위						33
		2순위						14,741
		3순위						6,209
개략공사비(천원)								20,982

※ 손상물량의 할증(50%)은 보수공사 및 재료에 대한 손실과 『토목표준품셈 제1장 적용기준 중 "1-16 품의 할증 - 14.기타할증(작업능력 저하가 현저할 때-위험, 소음, 협소)』을 적용하였음.

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

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

1) 교대 제어 보수보강 개략공사비

구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)
바닥판	•협착 및 파손	영구앵커공법	47	47	공	4000	188000
		신축이음장치 +바닥판하면 절취	30	m	m	2300	69000
			2	2	식	1500	3000

7.4 유지관리 방안

교량의 유지관리는 교량의 공용수명 동안 교량의 안전성과 기능성을 유지하기 위하여 행하는 행위로써 손상발생의 징후 또는 그 원인을 사전에 발견해 조치를 취하는 예방 유지관리와 손상발생 후 조치를 취하는 사후 유지관리로 나눌 수 있으나 유지관리의 주안점은 구조적 특성이나 손상유형을 고려하여 사전에 각 부위별로 발생 가능한 손상에 대하여 주의 깊게 점검하며 그 원인을 미리 해소하는 예방 활동에 목표를 두어야 한다.

7.4.1 진단결과에 따른 중점유지관리 사항

가. 중점유지관리 개요

감곡IC교(마산, 양평)에 대한 정밀안전진단 결과에 따라 본 절에서는 향후 실시할 점검 및 정밀안전진단시 교량의 안전성, 사용성 및 내구성 차원에서 중점적으로 관찰하고 유의하여 수행하여야 할 중점 유지관리 항목을 설정하여 제시하였다. 이러한 항목들은 결함의 진전여부 및 재발생 여부를 주기적으로 관찰함으로, 향후 더 크게 발전할 가능성이 있는 결함부위에 대한 원인을 분석하여 사전에 예방하자는 차원에서 중점적인 유지관리 항목을 다음 표에 제시하였다.

나. 주요 손상별 중점 유지관리 사항

1) 마산방향

향후 감곡IC교(마산)의 공용년수 증가시 내구성 및 사용성을 저하시킬 수 있는 손상들에 대해서는 결함의 진전여부 및 재발생 여부를 주기적으로 관찰하는 등 중점유지관리 항목으로 선정하여 구조물의 유지관리를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

【표 7-23】 마산방향-주요 손상별 중점 유지관리 사항

구 분	NO.	위 치		내 용	상태평가	대 책	비 고
외관조사 중요결함	-	-	-	-	-	-	-
상태평가	①	교량받침	A2	받침콘크리트 파손	c	단면보수	보수 후 관찰
	②	신축이음 바닥판하면	A1, A2	바닥판 협착	d	1안) 단면보수 2안)영구앵커공법	-
	③	교면포장	S1	포장불량(면적율)	c	지속관찰	-
	④	교면포장	S2	포장불량(면적율)	d	지속관찰	-

【표 7-23】 마산방향-주요 손상별 중점 유지관리 사항(계속)

구 분	NO.	위 치		내 용	상태평가	대 책	비 고
상태평가	⑤	방호벽, 중앙분리대	S1~S2	표면열화 (박리, 파손 등)	c	단면보수 등	보수 후 관찰
안전성평가	-	-	-	-	-	-	-
기타	-	-	-	-	-	-	-



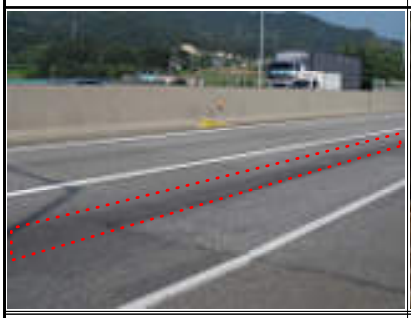
① A2 받침콘크리트 파손



② 바닥판 단부협착(A1, A2)



③ S1 교면포장 포장불량(면적율)



④ S2 교면포장 포장불량(면적율)



⑤ 방호벽, 중앙분리대 표면열화

-

2) 양평방향

향후 감곡IC교(양평)의 공용년수 증가시 내구성 및 사용성을 저하시킬 수 있는 손상들에 대해서는 결함의 진전여부 및 재발생 여부를 주기적으로 관찰하는 등 중점유지관리 항목으로 선정하여 구조물의 유지관리를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

【표 7-24】 양평방향-주요 손상별 중점 유지관리 사항

구 분	NO.	위 치		내 용	상태평가	대 책	비 고
외관조사 중요결함	-	-	-	-	-	-	-
상태평가	①	교 대	A1	표면열화	c	단면보수 등	보수 후 관찰
	②	바닥판하면	A1, A2	바닥판 협착	d	1안) 단면보수 2안)영구앵커공법	-
	③	방호벽, 중앙분리대	S1~S2	표면열화 (박리, 파손 등)	c	단면보수 등	보수 후 관찰

【표 7-24】 양평방향-주요 손상별 중점 유지관리 사항(계속)

구 분	NO.	위 치		내 용	상태평가	대 책	비 고
안전성평가	-	-	-	-	-	-	-
기타	④	교량받침	A1	여유량 부족	-	지속관찰	-
	⑤	신축이음	A2	단차	-	1안)지속관찰 2안)신축이음장치교체 +바닥판하며 절취	-
	⑥	방호벽	A2	단차	-	지속관찰	H=6.0㎝



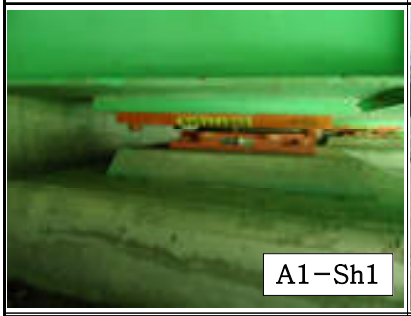
① A1 표면열화(면적율)



② 바닥판 단부협착(A1, A2)



③ 방호벽, 중앙분리대 표면열화



④ A1 받침장치 여유량 부족



⑤ 신축이음부 단차



⑥ 방호벽 단차(H=6.0㎝)

다. 부재별 중점유지관리 사항

본 교량에 대한 부재별 유지관리 중점사항은 다음과 같다.

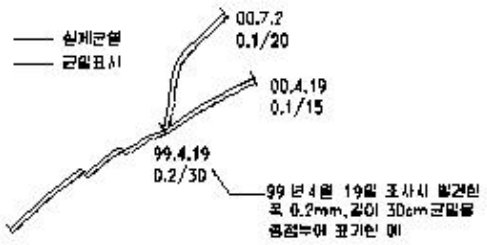
【표 7-25】 부재별 유지관리 중점사항

부재구분	중 점 점 검 내 용
교면포장	◦주요점검 대상 · 균열 및 망상균열 포트 홀 발생여부 · 재포장구간의 보수상태 점검 및 신규손상 발생 여부
배수시설	◦주요점검 대상 · 배수관 막힘
방호벽	◦주요점검 대상 · 콘크리트 파손/박락, 철근노출 · 전경간에서 균열이 조사됨 : 손상진전여부
바닥판	◦주요점검 대상 · 0.2mm 미세균열 진전여부 · 균열부 백태 진전여부 · 배수관 주변 백태 진전여부
강박스거더	◦ 쵸킹부의 열화 심화 여부 확인 ◦ 도장박리부 보수 후 재손상 발생 여부 확인 ◦ 언더컷, 피트 등의 손상 주변에 피로 균열, 변형 등의 발생 여부 확인 ◦ 인장응력을 받고 있는 하부플랜지와 보강재 용접부의 피로균열 발생 여부 ◦ 갭 발생 부위 주변 강재 녹발생, 부식, 접합부 녹물자국 등의 손상 발생 여부 확인
교량받침	◦신축이음부 누수여부(받침 도장박리, 부식, 몰탈/콘크리트 열화) ◦받침 몰탈/콘크리트 균열의 발생과 진전여부 ◦가동받침의 이동량 점검
신축이음장치	◦주요점검 대상 · 본체부식의 진전으로 인한 단면손실 발생 여부 · 하부 콘크리트 받침Plate 열화여부 · 후타재 균열 및 파손 등 손상심화에 따른 차량주행의 안전성 저해여부 · 바닥판 유간 확보여부
하부구조	◦교각의 수직균열 · 0.2mm이상 균열 진전여부 · 미세균열 진전여부 · 신축이음 누수로 인한 콘크리트 열화 여부 ◦전단키 설치부 박락 ◦흉벽 백태, 철근노출

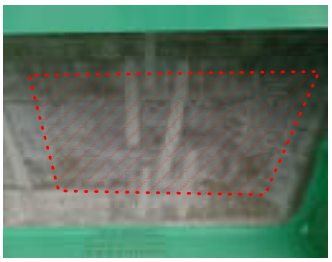
7.4.2 유지관리시 점검요령

교량의 안전성과 기능성, 사용성 및 노후화 정도 등을 파악하여 재해를 사전에 예방하기 위해서 주기적이고 체계적인 정기점검, 정밀점검, 정밀안전진단 등을 통한 유지관리가 무엇보다도 중요하다. 따라서, 정밀안전진단 결과를 바탕으로 부재별 결함부위에 대한 원인분석과 사전에 예방하자는 유지관리차원에서 중점적으로 점검해야 하는 사항을 제시하고 필요한 점검항목 및 점검요령을 기술하였다.

가. 바닥판

<table>
<tr><th colspan="3">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 공통</td><td></td><td>•박리, 박락, 층분리, 철근노출(피복두께 부족), 파손
•백태(유리석회), 오염
•재료분리</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 거더교</td><td></td><td>•균열(거더사이, 헌치부 종방향 균열)
•망상균열</td></tr>
<tr><td rowspan="2">▷ 슬래브, 라멘교 상부</td><td>· 단부</td><td></td><td>•부스러짐
•사인장균열</td></tr>
<tr><td>· 중앙부</td><td></td><td>•휨균열</td></tr>
<tr><td>주요부위</td><td colspan="3"> 
<바닥판 – 마산방향>
 
<바닥판 – 양평방향></td></tr>
<tr><td>점검요령</td><td colspan="3">○ 점검방법
· 도보접근이 불가능한 구간은 점검장비를 이용 근접 점검
· 슬래브의 중앙부 횡방향 균열과 받침부 사인장균열은 단면부족 등과 같은 구조적 균열의 형태로써 균열폭, 진전사항 등을 파악하기 위하여 균열의 시·종점을 표시하여 정기적으로 진전여부 관찰
 

(a) 균열표시 예 (b) 균열경 조사 예</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>점검요령</td><td>· 부모멘트가 발생하는 연속 받침부는 상부에서 하부로, 정모멘트가 발생하는 중앙부 구간은 하부에서 상부 순서로 점검을 진행
· 균열로부터 녹물 유출 여부 조사(철근 부식)
· 망상균열, 층분리, 누수나 백태흔적이 발견될 경우 점검용 망치를 두드려 나는 소리로서 내부결함의 존재여부를 추정한다. 내부에 결함 존재 시 외관상 건전한 부위에서도 펀칭 전단파괴의 우려가 있다.
※ 점검용 망치 : 내부의 공동이나 층분리 여부를 소리로 판단. 즉 건전한 부분을 두들기면 “핑”하는 맑 은 소리가 나지만 내부결함이 있는 부분은 “퍽”하는 소리가 난다.
 
◦점검시 유의사항
· 공통적인 손상은 대부분 구조적인 결함이므로 발생원인을 규명하고 보수·보강 등 적절한 조치방법을 수립할 수 있도록 주의 깊게 조사
· 큰 균열일지라도 상당히 오래전에 발생하여 안정된 것이 있는 반면에 미세균열일지라도 하중의 반복재하에 의해 점차 커지는 균열이 있으므로 점검 시 특별히 큰 균열에만 주목하지 말고 미세한 균열에도 주의
· 환경적 요인에 의하여 열화가 심한 부분은 철근의 부식환경을 확인하기 위하여 탄산화시험을 실시</td></tr>
<tr><td>주요손상</td><td> 
<마산방향–S1 균열(0.2㎜)>
 
<양평방향–S2 망상균열>
 
<양평방향–S1 박락></td></tr>
<tr><td>원인</td><td>◦ 공용 중 우수가 장기간 동안에 치밀성이 부족한 부위로 침투하여 발생
◦ 시공초기 건조수축 및 강선 긴장시 응력에 의한 미세균열</td></tr>
<tr><td>중점점검사항</td><td>◦ 바닥판
· 균열발생부의 손상진전 여부
· 캔틸레버부측 누수여부(배수구 주변, 신축이음부)
· 바닥판(상부플랜지) 하면 콘크리트 열화(파손 및 철근노출 등) 발생여부</td></tr>
<tr><td>점검도구</td><td>◦사진기
◦균열자
◦점검용 망치
◦확대경
◦줄자
◦필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)
◦점검야장
◦필요시 반발경도 및 탄산화 시험기기</td></tr>
</table>

나. 강박스 거더

점 검 부 위	점 검 항 목
▷공통	■ 변형, 균열, 파손 ■ 표면(도장)상태 오염, 부식 ■ 이상처짐 ■ 연결부 볼트 이완, 파손, 이상음
▷받침부	■ 복부판 부식 및 국부좌굴 ■ 박스내부 출입구 개폐 ■ 거더와 받침연결부 부식
▷중앙부	■ 맞대기 용접부 균열 ■ 플랜지 변형 및 처짐 ■ 다이아프램 연결부 균열
▷2차부재	■ 거더와의 연결부 균열
▷보수부위	■ 용접부 및 용접부 주변 균열

주요부위



<강박스 거더 내부>



<강박스 거더 외부>

점검요령

○ 점검방법
- 점검로에서 육안점검 혹은 교량하부에서 육안 또는 망원경으로 점검
- 중앙부 처짐은 점검로에서 하부플랜지 정도로 눈높이를 낮추어 점검하거나 교대 옆 혹은 교량에서 조금 떨어진 거리에서 하부플랜지의 전체적인 선형 점검
- 누수에 취약한 신축이음 하부, 배수구 주변 혹은 외측거더의 도장손상 및 녹발생 개략조사
- 차량통과시 삐걱거리는 소리 등 이상음이 들리면 소음발생 부위를 추정하여 기록 유지

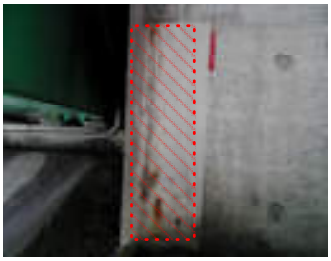
○ 손상발생시 조치
- 눈에 띌 정도의 처짐이나 충돌에 의한 손상으로 추가손상이 우려되거나 주행안전성에 지장을 초래할 경우 즉시 보고하여 대책을 수립

○ 점검시 유의사항
- 박스내부 출입구 잠금장치가 망가져 있는 경우 부랑인들이 거주하고 있는 경우가 있으므로 2인 이상이 1조가 되어 내부점검.
- 박스내부에 환기부족으로 유해가스가 있을 수 있으므로 환기를 시킨 후 점검하고 인화성 물질을 휴대하지 않도록 하며 특히 흡연은 삼가하여야 함

주요손상	 <마산방향 S1-G1(내부) 부식>  <양평방향 S1-G3(내부) 도장박리>  <마산방향 S2-G2(외부) 부식>
원인	◦ 시공미흡 및 도장열화 ◦ 시공미흡
중점점검사항	◦ 거더외부 · 도장박리 및 부식부의 추가손상 및 심화여부 · 용접부 및 볼트부식부 손상 심화여부 ◦ 거더내부 · 도장박리 추가손상 및 심화여부 · 현장이음부 갭으로 우수유입 및 우수유입에 의한 강재거더 부식여부
점검도구	•사진기(망원렌즈) •줄자(5m자) •점검야장 •점검용 망치 •손전등(박스내부) •필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)

다. 교대

점 검 부 위	점 검 항 목
▷ 공통	•균열(시공이음부 횡방향 균열) •박리, 박락, 층분리, 백태(유리석회), 파손, 철근노출 •교대 회전(기울음), 침하(연직이동)
▷ 두부	•두부 물고임 •두부와 흉벽 경계부 균열(후면으로 기울음) •거더와 흉벽 신축유간 부족
▷ 벽체	•균열(수직균열) •벽체와 날개벽 분리(이동)
▷ 날개벽	•날개벽 이동, 전도
주요부위	 <교 대 A1>  <교 대 A1>

<table>
<tr><td>점
검
요
령</td><td colspan="2">○ 점검방법
· 접근 장비에 의해 근접 육안점검
· 교대 입지조건이 성토부 혹은 연약지반에 위치한 경우 전후방으로 교대 벽체가 기울었는지 확인하고 의심스러울 경우 실을 매단 점검추를 늘어뜨리거나 측량기로 확인(날개벽, 옹벽 포함)
· 신축이음 하면에 위치하므로 누수 및 화학물질 등에 대한 열화 취약부위이므로 탄산화 시험에 의한 탄산화 깊이 확인
○ 점검시 유의사항
· 신축이음 유간이 벌어져 충격음이 발생하거나 닫혀 있을 경우 거더 상·하부와 흉벽 사이 간격이 서로 차이가 나는지 점검하고 교대 전도 여부도 확인
· 연약지반상의 교대는 뒷채움부의 침하로 인하여 접속슬래브 하부에 공동이 발생하여 흉벽이 교대 뒤쪽으로 전도되어 균열이 발생하기도 함
· 교대 뒷면과 날개벽 사이에 공동이 발생했거나 흙이 침하된 경우 날개벽의 전도를 의심하여 점검
· 벽체에 수직으로 발생하는 균열은 건조수축에 의한 비구조적 균열이므로 우려할 바는 아니지만 폭이 넓은 교대에서 균열폭이 1㎜ 이상이면 교대기초의 부등침하도 의심하여야 함</td></tr>
<tr><td>주
요
손
상</td><td colspan="2"> 
<교대(A1) 구체 균열(0.1㎜)>
 
<교대(A1) 흉벽 망상균열(0.1㎜)>
 
<교대(A2) 흉벽 백태>
 
<교대(A2) 구체 파손></td></tr>
<tr><td>원인</td><td colspan="2">◦ 시공초기 건조수축 및 온도변화
◦ 지반의 장기안정화 과정에서의 계단부에 국한된 침하</td></tr>
<tr><td>중
점
점
검
사
항</td><td colspan="2">◦ 교대의 수직균열
· 수직균열의 진전여부
◦ 점검계단의 침하진전 여부</td></tr>
<tr><td>점
검
도
구</td><td>•사진기
•균열자
•줄자(5m자)
•점검용 망치</td><td>•점검추 – 기울음 측정
•탄산화 시험기
•필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)
•점검야장</td></tr>
</table>

라. 교각

점 검 부 위	점 검 항 목
▷공통	•균열, 박리, 철근노출, 파손 •침하
▷두부	•두부 물고임 •받침 하부 균열 및 파손(박리, 박락)
▷구체	•수직균열 •이동 또는 기울음
▷수면접촉부	•수중구간의 경우 침식

주요부위

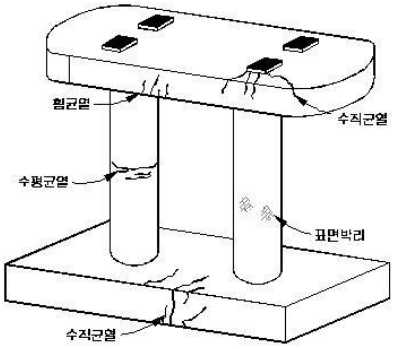


<마산방향-교각(P1)>



<양평방향-교각(P3)>

점검요령



○ 점검방법

· 접근장비 및 점검로에서 점검

· 신축이음의 유간이 비정상적(크게 벌어짐 또는 닫힘)이거나 방호울타리선형이 불량한 경우에는 교각 침하가 의심스러우므로 교각 구체 상부와 하부를 측량기기로 측정하여 교각의 전도여부를 확인하고 구체에 기준점을 표시하여 침하여부를 주기적으로 확인

○ 손상발생시 조치

· 교각두부 받침하부에 폭 0.3㎜이상 균열이 단부까지 진행된 경우에는 교량 안전과 직접적으로 관련이 있으므로 즉시 보고 및 대책수립

○ 점검시 유의사항

· 신축이음 유간이 크게 벌어지거나 닫힘, 방호울타리 선형불량은 교각 침하의 징후로 볼 수 있으므로 교각 점검 시 참고해야 할 항목임

주요손상	 <양평방향-교각(P1) 교각부 균열>	 <양평방향-교각(P1) 코핑부 녹발생>
원인	◦ 시공초기 건조수축 및 수화열 등 ◦ 외부충격 등	
중점점검사항	◦ 교각의 수직균열 및 수평균열 · 균열의 진전여부 및 보수부 재균열 여부 ◦ 단면손상(철근노출, 박리, 파손)의 진전여부 ◦ 보수부 재손상 발생여부	
점검도구	•사진기 •균열자 •줄자(5m자) •점검용 망치	•점검추 - 기울음 측정 •탄산화 시험기 •필기도구(소형 보드판, 매직, 분필) •점검야장

마. 교량받침

점 검 부 위		점 검 항 목
▷본체	· 공통	•부식(오물퇴적), 변형 •균열, 파손(균열발생으로 파손진행) •가동받침의 유간부족 및 가동 장애요소 •받침과 거더의 밀착상태(분리) •앵커볼트 파손(절단) •가동방향 오류, 편기설치
	· 강재받침	•가동면 부식 •부속물 파손
	· 고무받침	•고무재 부풀음 및 갈라짐 •고무판의 과도한 변형
▷받침대		•균열, 파손(하부공동) •부분 침하
▷이동제한장치		•용접부 균열 •파손

주요부위	 <받침장치 (양방향)>  <받침장치(고정단)>  <받침장치(일방향)>
점검요령	○ 점검방법 · 도보접근이 불가능한 부분은 접근장비를 이용하여 근접점검 · 가동받침의 가동여부는 가동면의 윤활재가 밀린 흔적이나 먼지 부착정도로 확인 가능함 · 눈금자가 설치되지 않은 받침은 측면을 깨끗한 헝겊으로 잘 닦고 유성펜으로 상부받침과 이동제한장치 끝부분에 수직으로 선을 그어 놓으면 다음 점검시 온도차에 따른 가동량을 측정할 수 있음 · 곡선교 내측 단부 혹은 사교의 예각부 단부의 부반력으로 인한 받침과 거더의 들뜸 상태 점검 · 경사교에서 받침 경사설치로 인한 상부가동받침과 하부받침 접촉 및 받침 부속품과의 접촉으로 인한 가동장애요소 점검 · 수직보강재와 받침이 10cm 이상 편기시 하부플랜지의 국부변형이나 거더 복부판의 좌굴 여부 확인 · 받침하부에 공동이 의심되면 긴드라이버 혹은 철사로 찔러서 확인하고, 침하흔적은 앵커볼트의 체결상태 및 인접받침의 상태를 참고하여 확인 · 받침부의 물고임 부분은 누수부위의 확인 및 물고임 원인분석
점검요령	○ 손상발생시 조치 · 받침하부 교각 두부에 0.3㎜ 이상의 균열이 단부까지 진행된 경우 즉시 보고하고, 안전성 검토 및 대책 수립 필요 ○ 점검시 유의사항 · 받침점검을 위한 교각 점검통로 이동시 항상 2인1조로 하여 신호유도를 실시하여 안전사고에 유의가 필요함
중점점검사항	◦ 받침주요손상 점검 · 신축이음 누수 및 받침부식 · 몰탈 균열 및 파손, 받침콘크리트 균열 및 파손 등 · 연단거리 확보여부 ◦ 가동받침의 이동량 점검 · $\Delta l = \alpha \cdot \Delta T \cdot l$ 여기서, Δl : 이동량(mm), α : 선팽창계수(강거더교:1.2×10^{-5}) ΔT : 온도 이동량(콘크리트교, 보통지방 −10~+40℃ l : 신축 주형길이(m)
점검도구	•사진기 •줄자 •균열자 •온도계 •유성펜(매직) 및 청소용 걸레 •점검용 망치 •드라이버(driver) •필기도구(소형 보드판, 매직, 분필) •점검야장

바. 신축이음장치

<table>
<tr><th colspan="2">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td rowspan="3">▷ 본체</td><td>· 공통</td><td>•누수, 오염(배수시설 누락, 유간의 오물퇴적)
•유간(부족 및 과다)
•이상진동(충격음)
•본체 유동 및 파손(충격음, 흔들림)</td></tr>
<tr><td>· 고무재</td><td>•고무판 마모, 강판노출 및 부식</td></tr>
<tr><td>· 강재</td><td>•방수재(씰링재) 파손 – 노면수 유입</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 후타재</td><td>•균열, 파손(패임 및 요철)</td></tr>
<tr><td>주요부위</td><td colspan="2"> 
<마산방향–신축이음장치 A1>
 
<양평방향–신축이음장치 A1></td></tr>
<tr><td>점검요령</td><td colspan="2">○ 점검방법
· 보도에서 점검
· 신축이음 본체의 유동, 단차, 파손으로 인한 충격음 발생 여부 점검
· 고무재의 마모, 파손, 충진 씰링재 노출로 차량운행 저해 및 방수기능 저하상태를 점검하며 교각, 교대 위에서 신축이음 하부의 방수성 및 단부보강 슬래브상태 점검
· 방호울타리부 신축이음의 방수기능 점검
· 점검기간 내 온도차이가 큰 아침과 한낮에 신축 이동량을 조사하고 적정유간을 확보하고 있는지 확인 점검

○ 손상발생시 조치
· 신축이음 본체의 유동, 단차, 파손으로 인한 충격으로 타부재에 추가손상이 우려되거나 주행안전성에 지장을 초래할 경우 즉시 보고하여 대책을 수립

○ 점검시 유의사항
· 차량 진행방향과 반대방향으로 점검을 진행하며 2인 1조로 점검수행
· 신축유간 점검시 차량에 유의</td></tr>
<tr><td>주요손상</td><td colspan="2"> 
<마산방향–A2 후타재 균열>
 
<양평방향–A2 후타재 파손></td></tr>
</table>

원인	◦ 시공당시의 건조수축, 차량의 반복하중 및 충격 등 ◦ 주행차량의 충격 등
중점점검사항	◦ 주요점검 대상구간 · Rail Joint : A1, A2 ◦ 본체 · 방수기능저하로 인한 누수 · 신축이음 표면마모, 부식 · 유간부족 및 과다, 파손, 단차, 볼트탈락으로 인한 충격음 발생 및 본체 유동 · 유간부족 및 과다로 인한 본체 및 기타부재 파손 ◦ 후타재 · 구조물 경계부 포장침하로 인한 단차 · 콘크리트 품질불량, 열화에 의한 균열, 파손
점검도구	•사진기 •드라이버(driver) – 유간오물 확인 •줄자 •필기도구(소형 보드판, 매직, 분필) •점검용 망치 •점검야장

사. 교면포장

점 검 부 위	점 검 항 목
▷ 공통	•균열, 요철, 단차, 포트홀, 소성변형
▷ 신축이음 전후, 구조물 경계부	•단차, 침하
▷ 배수구 주변	•물고임, 이물질 퇴적

주요부위



<마산방향–교면포장>



<양평방향–교면포장>

점검요령

◦점검방법
- · 방호벽측 갓길에서 도보점검
- · 중차량 통행이 많은 차선, 곡선부 외측, 급정지 구간 주변의 손상 점검
- · 신축이음 전후 및 경계부의 단차 점검
- · 교면위 물고임 및 포트홀 점검(가급적 비온 직후 점검)
- · 포장의 노후화에 따른 종방향균열의 진전여부, 망상균열의 진전여부

◦손상발생시 조치
- · 손상이 확연한 부분은 위치, 규모에 대하여 기록 후 사진 촬영
- · 포트홀의 직경이 20cm이상 혹은 종방향 단차가 30㎜이상 발생하여 추가손상이 우려되거나 주행안전성에 지장을 초래할 경우 즉시 보고하여 대책을 수립

◦점검시 유의사항
- · 교통사고의 위험이 높으므로 2인 1조로 하여 차량 진행방향과 반대방향으로 걸어가면서 점검

주요손상	 <양평방향-교면포장 균열>  <양평방향-교면포장 망상균열>  <마산방향-교면포장 소성변형>
원인	◦공용기간의 경과에 의한 노후화 ◦중차량 통행 등
중점점검사항	◦ 교면포장 · 균열 및 마모발생 여부 확인 · 포트홀 및 포장파손 진전여부 · 접속부 단차로 인한 2차손상여부
점검도구	•사진기 •줄자(5m) •필기도구(소형 보드판, 매직, 분필) 및 점검야장

아. 배수시설

점 검 부 위	점 검 항 목
▷ 배수관	•파손(연결 고정부 탈락) •배수관 길이 부족(거더에 물 떨어짐) •유출구 위치 부적절 (도로상이나 구조물 위에 위치)
주요부위	 <배수구>  <배수관>

점검요령	○ 점검방법 · 배수관 ① 갓길 측에서 점검하며 접근이 어려운 부분은 접근장비를 이용 ② 교량이 도로 위를 통과할 경우 배수관에서 유출된 물이 통행인이나 통행차량 위로 떨어지지 않는지 점검 ③ 배수관의 물이 구조물의 부식을 유발할 수 있는 위치로 배수되는지 점검 ④ 경사가 완만한 배수관은 점검용 망치로 두들겨 내부에 쓰레기로 막혀있는지 점검 ⑤ 배수관 지지장치 및 연결부 상태는 흔들어 보거나 망치로 두들겨서 점검 ○ 손상발생시 조치 · 배수구에 휴지나 나뭇잎 등으로 막혀있는 경우는 드라이버를 사용하여 제거 ○ 점검시 유의사항 · 2인 1조로 하여 차량진행 방향과 반대방향으로 걸어가면서 점검하며 차량운행에 주의 · 접근장비 사용시 차량운행 및 안전에 유의
점검도구	•사진기 •줄자 •드라이버(driver) •필기도구(소형 보드판, 매직, 분필) •점검용 망치 •점검야장

자. 방호벽

점 검 부 위		점 검 항 목
▷ 난간, 방음벽	· 강재, 알루미늄	•변형 •파손
▷ 보도		•신축이음 접촉부 부스러짐(파손) •표면 부스러짐(동결융해)
▷ 연석	· 철근콘크리트	•박리, 박락, 부스러짐, 파손
주요부위	 <방호벽>	 <중앙분리대>

점검요령	○ 점검방법 · 교량 한쪽에서 눈을 난간높이 정도로 낮추어 난간의 전체 선형에 급격한 변화 부분이 있는지 점검 · 안전난간 및 방음벽의 경우 안전난간 및 방음벽의 기둥과 바닥판 접촉면의 부식 혹은 볼트 손상에 의해 전도 우려가 있는지 힘을 주어 밀거나 당겨서 흔들림 정도를 확인 · 연속 받침부 연석 및 자갈막이는 콘크리트의 경우 부모멘트에 의한 균열(일반적으로 폭 0.3㎜ 이상)을 점검 ○ 손상발생시 조치 · 난간의 전체 선형에 급격한 변화부분이 있는 경우 받침이나 하부구조의 침하가 있을 수 있으므로 해당부재 점검시 참고할 수 있도록 기록 유지 · 외부의 강한 하중에 의한 손상일 경우 바닥판에도 영향을 줄 수 있으므로 바닥판 점검시 고려 ○ 점검시 유의사항 · 난간의 큰 변형이나 파손된 부분으로 통행인 추락 위험이 있을 시 즉시 연락하여 추락 방지시설 등의 응급조치 필요
점검도구	•사진기 •줄자 •솔(브러쉬) •필기도구(소형 보드판, 매직, 분필) •강재 부식부위 등 상세확인 •점검야장

7.4.3 붕괴유발부재 현황 및 관리요령

1) 강박스

점검부위		점검항목
받침부	외부	▸ 복부판 부식 및 국부좌굴 ▸ 거더와 받침연결부 부식
	내부	▸ 박스내부 충입구 개폐 ▸ 거더와 받침연결부 부식 ▸ 박스내부 바닥 물고임 및 부식
중앙부	외부	▸ 맞대기 용접부 균열 ▸ 플랜지 변형 및 처짐 ▸ 스플라이스 볼트 탈락
	내부	▸ 맞대기 용접부 균열 ▸ 플랜지 및 리브 변형 및 처짐 ▸ 스플라이스 볼트 탈락 ▸ 수평·수직보강재 용접 끝부분 균열 ▸ 곡선교 다이아프램부와 리브, 보강재, 복부판과의 용접부 균열



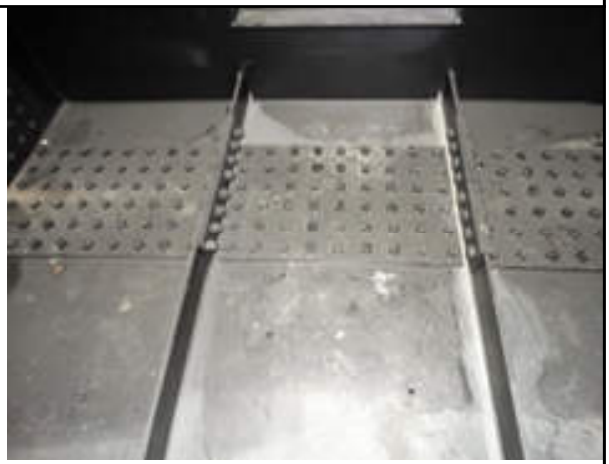
< 박스외부 >



< 박스 내부 >



< 중앙부 : 스플라이스(Splice) 볼트연결부 >



< 중앙부 : 보강재 >

2) 받침부

점검요령	① 신축이음 하면의 복부판 부식에 의한 단면감소 및 이로 인한 복부판의 좌굴(면외변형) 여부 확인 ② 복부판 좌굴은 일반적으로 보강재에 휨변형이 먼저 발생하게 되며, 또한 교량받침의 편기에 의해서도 발생함 ③ 받침부 복부판 변형정도는 거더높이 보다 약간 작은 막대기(알루미늄 샷시) 등을 하부플랜지 위에서 복부판에 수직으로 밀착시킨후 막대기와 복부판의 떨어진 거리를 측정

3) 중앙부

점검요령	① 중앙부 거더의 처짐은 전체적으로 차량방호울타리이나 거더의 선형이 급격하게 변화된 부분이 있는지 확인하며 특히 처짐의 과다발생 여부에 대해 점검 · 거더 부분의 처짐은 차량방호울타리의 선형을 변화시킬 수 있으며 또한 기초의 침하나 이동의 원인일 수도 있기 때문에 먼저 교량 상면에서 차량방호울타리의 전체선형을 확인하고, 교대 옹벽부나 교각위에서는 낮은 자세로 거더를 따라 바라보면서 거더의 변형 및 처짐, 교각의 기울음 등의 손상이 있는지 확인 ② 덧댐판 용접부 끝부분이나 맞대기 용접부, 단면급변부 및 날카롭게 각이 진 부분은 응력집중으로 균열 발생 확률 높음 ③ 스캘럽(Scallop), 좁은 틈 사이 등 육안으로 점검이 어려운 부분은 점검용 거울 사용 ④ 스플라이스(Splice)부 볼트체결 점검은 우선 육안으로 부재의 틈과 연결부를 따라서 노후화 및 활동의 흔적이 있는지 확인하고 육안으로 판단이 어려운 부분은 망치로 타격하는 방법을 사용. 망치사용 방법은 좌측 검지를 너트에 대고 우측 손에 망치를 들고 너트를 두드려 진동이 발생하면 덜 조여진 상태로 판단

※ 피로강도등급(응력범주) 적용기준 예

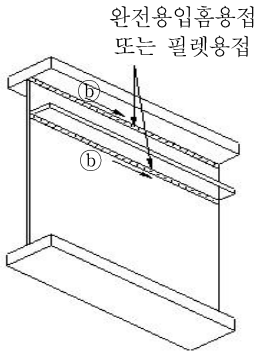
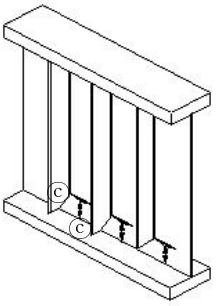
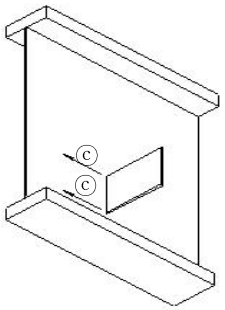
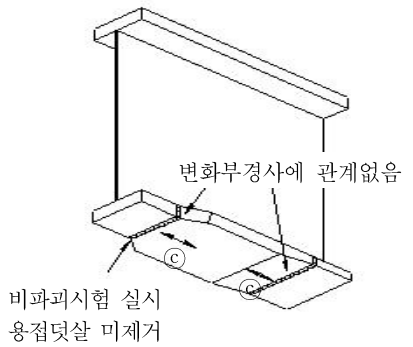
반복응력을 받는 부재와 용접부는 재료의 극한응력보다 아주 낮은 응력을 받는 경우에도 균열이 발생하기 쉬우며 이러한 균열을 “피로균열”이라 하며, 피로균열이 발생하기 쉬운 정도는 반복되는 활하중 응력의 크기, 용접형태 등에 따라 다르다. 도로교표준시방서는 피로균열이 발생하기 쉬운 정도에 따라 구조상세범주를 A~F(B', E')의 8가지로 구분하고 있다. 즉 상세범주에서 A보다는 C가 C보다는 E인 경우가 피로균열이 발생하기 쉬운 구조이며 특히 D~E'까지의 범주에 해당하는 부분은 허용피로응력이 상대적으로 낮으므로 점검시 주의를 기울여야 한다.

허용피로 응력범위는 응력의 방향, 용접상세부의 형태에 따라 다르지만 일반적으로 피로균열은 용접의 상태가 조잡하거나 부재가 많이 첨가되어 있는 부위일수록 발생하기 쉬우므로 관통용접부, 복부의 보강재가 많이 부착된 부분 등을 피로취약부로 취급하여 상세한 점검을 실시하는 것이 바람직하다.

● 허용 피로응력 범위(단재하경로 구조물, 200만회 이상)

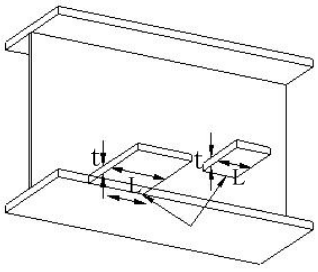
상 세 범 주	A	B	B'	C	D	E	E'	F
허용응력범위, * σ sr(kg/㎟)	16.8	11.2	7.7	7.7	3.5	1.6	0.9	4.2

* 응력범위는 최대응력과 최소응력의 대수차를 의미함

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>복부판과 수평보강재의 필렛용접부(응력범주 : B)</td><td>수직보강재의 용접단부(응력범주 : C)</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>복부판에 부착된 수직거셋판의 용접단부(응력범주: C)</td><td>맞대기 이음부, 용접덧살을 제거하지 않은 경우(응력범주: C)</td></tr>
</table>

– 필렛용접, 홈용접된 부착물

※ 변화부반경, R을 갖는 경우는 이음길이와 관계없이 R에 의해 응력범주가 결정됨



필렛용접 또는 홈용접

응력방향 용접길이 L(cm)	부착물두께 t(cm)	응력범주
L≤5	–	C
5<L≤10 (단, 12t 이하)	–	D
L>12t 또는 L> 10	t<2.5	E
	t≥2.5	E'

제8장
종합결론

8.1 마산방향
8.2 양평방향

제8장 종합결론

감곡IC교(마산, 양평)는 설계하중 DB-24(DL-24)의 고속국도 교량으로서, 2002년에 준공되어 약 14년 정도 공용 중에 있으며, 충청북도 음성군 감곡면 상우리(중부내륙선, 이정 251.02㎞)에 위치하고 있는 편도 2(마산)~3차로(양평) 교량이다.

본 교량은 총폭 11.00(마산)~28.00m(양평), 총연장 110.0m (55.0m + 55.0m)이며, 상부구조는 2경간의 Steel Box Girder 형식으로써, 교각의 형식은 다주형이고 기초는 확대기초(P1)로 이루어져 있으며, 교대의 형식은 역T형이고 기초는 강관말뚝기초로 시공되어 있다. 또한, 교량받침은 포트받침, 신축이음 장치는 핑거조인트(마산-A1), 모노셀(마산-A2, 양평-A1), 레일조인트(양평-A2)로 시공되었다.

기존 점검·진단보고서 등의 관련 자료를 검토하고 외관조사와 현장시험 및 측정 등을 통해 기초자료를 확보하였으며, 조사결과를 근거로 교량의 상태평가 및 안전성, 기본내하력 평가를 실시하였다.

8.1 마산방향

가. 외관조사 결과

- 각 부재별 외관조사 결과, 주요 손상으로는 바닥판하면의 미세균열(0.2㎜이하, 횡방향 균열), 균열부 백태, 강박스 거더의 내·외부 도장박리 및 부식, Splice 볼트부식, 하부구조의 미세균열, 받침장치의 이동량 초과, 표면부식, 받침몰탈 및 콘크리트 균열, 파손, 신축이음장치의 본체부식 및 후타재 균열, 유간협착, 교면포장의 소성변형 및 포트홀, 방호벽의 균열 및 박락, 철근노출 등이 조사되었다.
- 바닥판하면의 미세균열은 구조적 균열이 아닌 시공상 또는 콘크리트의 재료적인 특성상 발생한 균열(콘크리트 부등건조수축 및 콘크리트 내·외부 온도차 등)로 판단된다. 전차진단 시 조사된 균열은 대부분 보수가 완료된 상태로서, 금회 조사시 조사된 균열은 대부분 신규손상이며 내구성확보를 위하여 표면처리보수가 필요하다.
- Steel Box Girder 내·외부, 격벽에서 조사된 용접결함 및 표면열화 손상은 시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화로 인한 손상으로 판단되며, 용접결함은 지속 관찰하는 것이 적절하며, 표면열화 손상은 내구성 확보를 위해 재도장이 필요하다.

- 하부구조에서 조사된 0.3㎜미만의 균열은 대부분 Massive한 기둥부에서 시공초기 수화열에 의한 내외부 온도차 및 건조수축균열로 판단되며, 내구성 확보를 위해 표면처리보수가 필요하다.
- 신축이음장치(A1, A2)은 신장시 A1(J1), A2(J2)의 바닥판 유간이 부족한 것으로 측정되었으며, 외관조사 결과 바닥판 단부 박락 등이 일부 조사되었다. 바닥판 하면 단부에서 발생된 박락은 보수보강 및 유지관리방안편에 보수보강 공법을 비교하여 수록하였다.
- 신축이음장치 본체 부식, 후타재 균열 및 파손, 포장의 균열 및 소성변형 등의 손상은 공용년수의 증가, 중차량 통행 등이 원인으로 지속적인 관찰을 통하여 손상진전여부 검토가 필요하다.
- 기타, 소규모로 발생된 단면손상 및 표면손상은 외부충격 및 다짐부족, 피복부족 등에 의한 손상으로써, 시설물의 내구성 확보를 위해 단면보수가 필요하다.

나. 내구성조사 결과

- 비파괴시험을 통한 콘크리트 강도시험 결과, 콘크리트 강도는 설계기준 강도를 만족하고 있으며, 철근배근 상태는 준공도면과 거의 일치하는 것으로 측정되었다.
- 탄산화 깊이측정결과, 전반적으로 양호한 상태인 것으로 조사되어 상태등급 “a” 로 판정되었고, 염화물 함유량 시험결과 상부구조는 “a” , 하부구조는 “a~b” 로 평가되었다.
- 강재초음파 탐사 결과는 전 개소에서 합격으로 판정되어, 맞대기 용접부의 이상결함은 없는 것으로 확인되었다.
- 도막두께 및 강재두께 측정결과 설계기준치를 만족하는 것으로 분석되었다.

다. 상태평가 결과

- 외관조사 및 내구성 시험에 의한 상태평가결과, 구조물의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 조사되지 않았으며, 전반적으로 양호한 상태인 “B” (결함지수 X=0.257)로 평가되었다.

라. 안전성평가 결과

- 구조검토를 통한 안전성 검토결과, 바닥판의 캔틸레버부와 중앙 단면은 최소 안전율 1.0이상인 1.341으로 평가되어 안전성을 확보하고 있으며, 강박스 거더의 휨응력, 전단응력, 합성응력 모두 최소안전율 1.0이상으로 나타나 안전성을 확보하고 있다.

- 기본내하율도 1.0이상으로 설계하중 DB(DL)-24이상의 내하력을 보유하고 있는 상태로 평가되었고, 하부구조의 교대 및 교각에 대한 안전성 검토결과 안전성을 확보(교대, 교각 의 최소안전율이 1.0이상)하고 있는 것으로 평가되었다.

마. 종합평가 및 안전등급 지정

- 상태평가 및 안전성 평가결과를 통한 종합평가 결과, 감곡IC교(마산방향)는 “B” 로 평가되었고, 안전등급은『보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며, 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태』인 B등급으로 평가되었다.

바. 결언

- 감곡IC교(마산방향)는 DB-24의 1등교로서 정밀안전진단 결과, 상태평가(B)와 안전성 평가(A)에 의거 안전등급은『B등급』으로 평가되었으며, 기본내하력은 설계내하력(DB-24 / DL-24)이상으로 평가되었다.
- 본 교량은 2002년 준공되어 약14년 정도 경과한 교량으로, 전차점검 및 진단결과에 따른 주요 손상에 대해 유지보수가 지속적으로 실시되고 있는 것으로 확인되었다. 또한, 공용년수(14년)가 증가함에 따라 손상의 급격한 진전은 없는 상태이며, 상부구조 및 하부구조 안전성 검토 결과는 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.
- 그밖에 조사된 일부부재에 발생한 손상(바닥판하면 0.2㎜이하의 횡방향 균열, 백태,박락, 강박스 거더의 내·외부 도장박리 및 부식, Splice 볼트부식, 용접불량, 하부구조의 균열 및 백태, 교량받침의 표면부식, 받침몰탈 및 콘크리트 균열, 파손, 신축이음장치의 본체부식 및 후타재 균열, 유간 협착, 교면포장의 소성변형 및 포트홀, 방호벽의 균열 및 박락, 철근노출, 재료분리, 파손 등)에 대해서는 보고서에서 제시한 “보수·보강 및 유지관리 방안” 에 따라 보수를 실시하고, 진단결과에 따른 중점유지관리방안에서 제시한대로 보수부 및 중점유지관리가 필요한 부위에 대하여 효율적인 유지관리를 실시한다면 구조물의 안전성과 사용성 확보를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

8.2 양평방향

가. 외관조사 결과

- 각 부재별 외관조사 결과, 주요 손상으로는 바닥판하면의 미세균열(0.2㎜이하, 횡방향 균열), 균열부 백태, 강박스 거더의 내·외부 도장박리 및 부식, Splice 볼트부식, 하부구조의 미세균열, 받침장치의 이동량 초과, 표면부식, 받침몰탈 및 콘크리트 균열, 박락, 신축이음장치의 본체단차 및 들림, 후타재 균열 및 파손, 바닥판 및 신축이음 유간협착, 교면포장의 아스콘 균열 및 포트홀, 방호벽의 균열 및 단차 등이 조사되었다.
- 바닥판하면의 미세균열은 구조적 균열이 아닌 시공상 또는 콘크리트의 재료적인 특성상 발생한 균열(콘크리트 부등건조수축 및 콘크리트 내·외부 온도차 등)로 판단된다. 전차진단 시 조사된 균열은 대부분 보수가 완료된 상태로서, 금회 조사시 조사된 균열은 대부분 신규손상이며 내구성확보를 위하여 표면처리보수가 필요하다.
- Steel Box Girder 내·외부, 격벽에서 조사된 용접결함 및 표면열화 손상은 시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화로 인한 손상으로 판단되며, 용접결함은 지속 관찰하는 것이 적절하며, 표면열화 손상은 내구성 확보를 위해 재도장이 필요하다.
- 하부구조에서 조사된 0.3㎜미만의 균열은 대부분 Massive한 기둥부에서 시공초기 수화열에 의한 내외부 온도차 및 건조수축균열로 판단되며, 내구성 확보를 위해 표면처리보수가 필요하다.
- 받침이동량 초과 구간은 받침주변에 이상변위가 없는 상태이고, 기능상에 문제가 없는 상태로 보수의 필요성은 적은 상태이나, 향후 점검시 받침장치의 이상거동 상태 등에 대해서 중점관리가 필요하다.
- 신축이음장치(A2) 본체에서 발생한 단차는 유간 협착으로 인해 주원인으로 판단되며 중점유지관찰을 통하여 손상 발생유무를 파악하고 향후 손상 진행시 신축이음장치 교체 및 바닥판하면 단부 절취 보수와 같이 진행되어야 할 것이며, 보수보강·방안은「제7장 보수·보강 및 유지관리방안」에 수록하였다.
- 신축이음장치의 본체단차 및 들림, 후타재 균열 및 파손, 포장의 균열 및 포트홀 등의 손상은 공용년수의 증가, 중차량 통행 등이 원인으로 지속적인 관찰을 통하여 손상진전 여부검토가 필요하다.
- 기타, 소규모로 발생된 단면손상 및 표면손상은 외부충격 및 다짐부족, 피복부족 등에 의한 손상으로써, 시설물의 내구성 확보를 위해 단면보수가 필요하다.

나. 내구성조사 결과

- 비파괴시험을 통한 콘크리트 강도시험 결과, 콘크리트 강도는 설계기준 강도를 만족하고 있으며, 철근배근 상태는 준공도면과 거의 일치하는 것으로 측정되었다.
- 탄산화 깊이측정결과, 전반적으로 양호한 상태인 것으로 조사되어 상태등급 “a” 로 판정되었고, 염화물 함유량 시험결과 상부구조는 “a” , 하부구조는 “a~b” 로 평가되었다.
- 강재초음파 탐사 결과는 전 개소에서 합격으로 판정되어, 맞대기 용접부의 이상결함은 없는 것으로 확인되었다.
- 도막두께 및 강재두께 측정결과 설계기준치를 만족하는 것으로 분석되었다.

다. 상태평가 결과

- 외관조사 및 내구성 시험에 의한 상태평가결과, 구조물의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 조사되지 않았으며, 전반적으로 양호한 상태인 “B” (결함지수 X=0.250)로 평가되었다.

라. 안전성평가 결과

- 구조검토를 통한 안전성 검토결과, 바닥판의 캔틸레버부와 중앙 단면은 최소 안전율 1.0이상인 1.538으로 평가되어 안전성을 확보하고 있으며, 강박스 거더의 휨응력, 전단응력, 합성응력 모두 최소안전율 1.0이상으로 나타나 안전성을 확보하고 있다.
- 기본내하율도 1.0이상으로 설계하중 DB(DL)-24이상의 내하력을 보유하고 있는 상태로 평가되었고, 하부구조의 교대 및 교각에 대한 안전성 검토결과 안전성을 확보(교대, 교각 의 최소안전율이 1.0이상)하고 있는 것으로 평가되었다.

마. 종합평가 및 안전등급 지정

- 상태평가 및 안전성 평가결과를 통한 종합평가 결과, 감곡IC교(양평방향)는 “B” 로 평가되었고, 안전등급은 『보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며, 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태』인 B등급으로 평가되었다.

바. 결언

- 감곡IC교(양평방향)는 DB-24의 1등교로서 정밀안전진단 결과, 상태평가(B)와 안전성평가(A)에 의거 안전등급은『B등급』으로 평가되었으며, 기본내하력은 설계내하력

(DB-24 / DL-24)이상으로 평가되었다.

- 본 교량은 2002년 준공되어 약14년 정도 경과한 교량으로, 전차점검 및 진단결과에 따른 주요 손상에 대해 유지보수가 지속적으로 실시되고 있는 것으로 확인되었으며, 공용년수(14년)가 증가함에 따라 손상의 급격한 진전은 없는 상태이며, 상부구조 및 하부구조 안전성 검토 결과는 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.
- 그밖에 조사된 일부부재에 발생한 손상(바닥판하면 0.2㎜이하의 횡방향 균열, 균열부 백태, 박락, 재료분리, 강박스 거더의 내·외부 도장박리 및 부식, Splice 볼트부식, 하부구조의 미세균열, 백태, 재료분리, 파손, 이물질퇴적, 받침장치의 이동량 초과, 표면부식, 받침몰탈 및 콘크리트 균열, 박락, 신축이음장치의 본체단차 및 들림, 후타재 균열 및 파손, 바닥판 및 신축이음 유간협착(A2), 교면포장의 아스콘 균열 및 포트홀, 방호벽의 균열 및 망상균열, 단차, 철근노출 등)에 대해서는 보고서에서 제시한 “보수·보강 및 유지관리 방안” 에 따라 보수를 실시하고, 진단결과에 따른 중점유지관리방안에서 제시한대로 보수부 및 중점유지관리가 필요한 부위에 대하여 효율적인 유지관리를 실시한다면 구조물의 안전성과 사용성 확보를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.