

관 리 번 호

여주JCT1교 등 14개소 정밀안전진단보고서 - 충주IC1교 -

2016. 12





여주JC T1교 등 14개소
충주IC 1교

정밀안전진단보고서

2016
12

한국도로공사

관 리 번 호

여주JCT1교 등 14개소 정밀안전진단보고서 - 충주IC1교 -

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 충주IC1교의 결과를 본 보고서에 수록하여 부속자료와 함께 제출합니다.

2016년 12월 26일

인천광역시 부평구 안남로 447-1(청천동)

(주) 장 민 이 엔 씨

대표이사 한 영 필 (인)

경기도 성남시 중원구 사기막골로 124 비즈-616

(상대원동, SK[®]테크노파크)

(주) 다 음 기 술 단

대표이사 박 철 (인)

경기도 안양시 동안구 학의로 268, 711호

(관양동, 메가밸리)

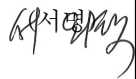
(주) 동 우 기 술 단

대표이사 고 중 호 (인)

충주IC1교 정밀안전진단 결과표

가. 일반현황					
용역명	2016년도 여주JCT1교 등 14개소 정밀안전진단 용역		진단기간	2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26.	
관리주체명	한국도로공사 강원본부 충주시사		대표자	지사장 장 후 복	
공동수급	(주)장민이엔씨/(주)다음기술단/(주)동우기술단		계약방법	일반경쟁	
시설물구분	교량		종류	도로교량	종별1종
준공일	2002년 12월 30일		진단금액(천원)	18,156	안전등급B
시설물위치	충청북도 충주시 이류면 완오리		시설물규모	L=145.0m, B=8.5m(1차로)	
나. 진단 실시결과 현황					
중대결함	■ 정밀안전진단 결과 시설물의 중대결함은 없는 상태임				
진단주요결과	■ 바닥판 : 균열, 균열부 백태 ■ Steel Box Girder : 용접불량, 도장박리, 부식, 볼트부식 ■ 가로보 및 세로보 : 상태양호 ■ 교대 : 균열, 박리, 재료분리, 압성토 침하 ■ 교각 : 균열, 망상균열, 박리, 파손, 들뜸/재료분리 ■ 교량받침 : 받침부식, 균열, 박락, 파손 ■ 신축이음 : 부식, 균열, 파손, 유간협착 ■ 교면포장 : 균열 ■ 배수시설 : 배수관 이물질퇴적, 유도배수관 부식 ■ 방호벽, 중앙분리대 : 균열, 망상균열, 백태, 단차				
주요보수·보강	■ 주요보수 : 표면처리보수, 주입보수, 단면보수(방청), 교량받침 도장보수, 팻칭보수, 유도관 배수로 설치 ■ 주요보강 : 보강부 없음				
다. 책임(참여)기술자 현황					
구분		성명	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					

충주IC1교 정밀안전진단 실시결과 요약표

책임기술자 종합의견	
■ 정밀안전진단 결과, 구조적 안전성을 저해할 만한 심각한 결함이나 손상 및 열화는 발생하지 않았으나, Steel Box Girder 와 바닥판 및 하부구조에 균열 및 망상균열, 도장박리, 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, 발생한 손상에 대한 내구성 확보차원의 보수 및 지속적인 지속관찰을 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~d	■ 균열 (Cw=0.3mm미만) ■ 균열 (Cw=0.3mm이상) ■ 균열/백태 ■ 파손	■ 지속관찰 ■ 주입보수 ■ 표면처리보수 ■ 단면보수
	강박스 거더	b	■ 용접불량(Pit, 비드불량, 언더컷 등) ■ 도장박리/부식 ■ 부식 ■ 이물질퇴적	■ 지속관찰 ■ 도장보수(내부, 외부) ■ 도장보수(내부, 외부) ■ 청소
	가로보	a	■ 상태양호	—
하부구조	교대	b	■ 균열 (Cw=0.3mm미만) ■ 재료분리 (T=3mm) ■ 압성토침하	■ 지속관찰 ■ 단면보수 ■ 지속관찰
	교각	b~c	■ 균열 (Cw=0.3mm미만) ■ 망상균열 (Cw=0.3mm미만) ■ 들뜸/재료분리 ■ 파손/박락 ■ 박리	■ 지속관찰 ■ 지속관찰 ■ 단면보수 ■ 단면보수 ■ 표면처리보수

<계속>

상태평가 결과 및 보수·보강			상태평가 결과 : C
결함발생 부재	상태평가 결과	결함종류	보수·보강(안)
교량받침	a~b	■ 받침부식 ■ 균열 (Cw=0.3mm미만) ■ 박락, 파손	■ 도장보수 ■ 지속관찰 ■ 단면보수
신축이음장치	c	■ 본체부식 ■ 균열 (Cw=0.3mm미만) ■ 파손	■ 지속관찰 ■ 표면처리보수 ■ 단면보수
교면포장	a~b	■ 균열	■ 지속관찰
기 타 부 재	배수시설	■ 배수구 이물질퇴적 ■ 유도배수관 부식	■ 청소 ■ 배수관 재설치
	방호벽, 중앙분리대	■ 균열 (Cw=0.3mm미만) ■ 망상균열 (Cw=0.3mm미만) ■ 철근노출, 녹발생 ■ 박락, 파손 ■ 박리	■ 표면처리보수 ■ 표면처리보수 ■ 방청 후 단면보수 ■ 단면보수 ■ 표면처리보수

나. 안전성평가 결과

평가 부재	해석방법	안전성평가 결과 요약	안전율	평가 결과
강박스거더교 (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
콘 크 리 트	비파괴 강도시험 (MPa)	상부구조	27.1~30.8	• 설계기준강도(27MPa)를 상회함.
		하부구조	26.3~29.0	• 설계기준강도(24MPa)를 상회함.
	철근탐사 시험	상 · 하부구조	—	• 전반적으로 철근배근간격 및 피복두께는 준공도면과 거의 일치함.
	품질시험 (km/s)	상부구조	4.088~4.667	• 양호상태로 평가됨
		하부구조	3.818~4.253	
	탄산화 깊이 (mm)	상부 구조	3.5~9.8	• 상태평가 a (잔여깊이 30mm이상)
		하부 구조	5.1~8.1	
	염화물 함유량 시험 (kg/m³)	상부 구조	0.175	• 상태평가 a
		하부 구조	0.221~0.258	
	균열깊이 (mm)	하부 구조	53.0~76.0	• 주의 관찰
강 재	초음파 탐상(UT)	거더 내부 (맞대기 용접부)	시험 24개소 (24개소 합격)	• 1급
	도막두께 (μm)	거더 외부	341~362	• 도막두께(215 μm) 상회
	강재두께 (mm)	거더 외부	12.7~14.4 (+0.4~0.7)	• 설계두께의 ± 0.80

충주IC1교 현황표

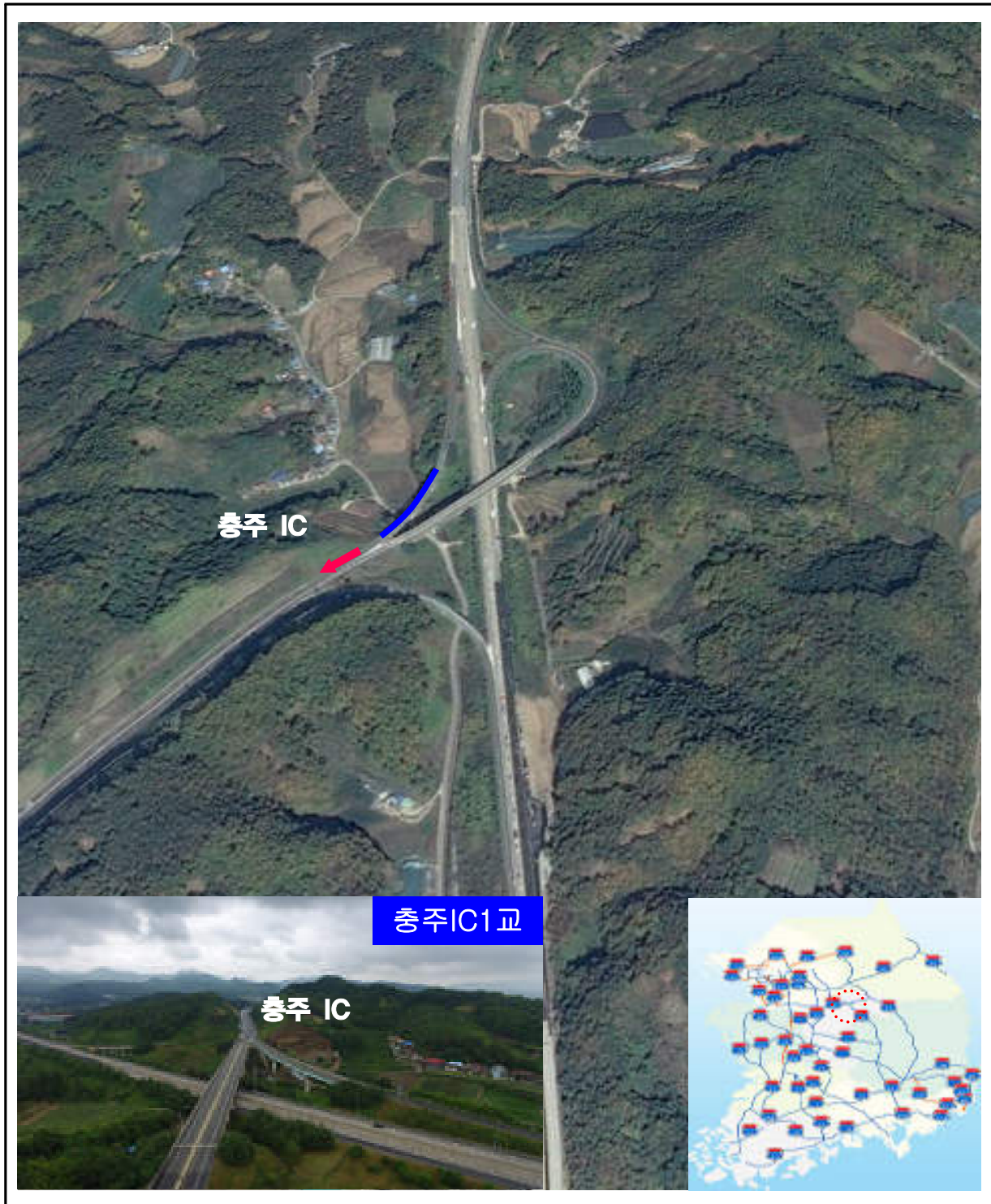
작성일 : 2016년 12월 26일

구 분		내 용		구 분		내 용	
시설물명		충주IC1교		시설물번호		BR2003-0000193	
준공년월		2002년 12월 30일		관리번호		0450B2826301(2)	
시설물위치		충청북도 충주시 이류면 완오리					
설계하중		DB-24 / DL-24		노선명(이정)		중부내륙선(224.61km)	
제원	연장	L = 1@45.0+1@55.0+1@45.0 = 145.0m					
	폭	B = 8.5m (1차로)					
구조 형식	상부	강박스 거더교(STB)		기초 형식	교대	강관 말뚝기초(1기) 확대(전면)기초(1기)	
	하부	교대 : 역T형(2기) 교각 : T형식(2기)			교각	확대(전면)기초(2기)	
교량받침		포트받침		신축이음		레일조인트	
교차시설물		-		통과높이		-	
설 계 사		(주)대한컨설팅		시 공 사		현대건설(주)	
내진설계유무		유		관리주체		한국도로공사 강원본부 충주시사	
부착시설내용		교각 점검로					
기 타		• 설계도서 및 구조계산서 유무 : 유 • 보수보강여부 : 신축이음장치, 교량받침(도장)					

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)	서 외택
분야별 책임기술자	재료시험	(주)동우기술단	부사장	김영환	2016.06.20.~12.26. (152일)	김영환
	자료분석	(주)다음기술단	이 사	이영수	2016.06.20.~12.26. (152일)	이영수
분야별 참여기술자	재료시험	(주)장민이엔씨	부사장	조병준	2016.06.20.~12.26. (95일)	조병준
	자료분석	(주)다음기술단	부사장	문정상	2016.06.20.~12.26. (95일)	문 정 상
기타 참여기술자	재료시험	(주)장민이엔씨	부사장	설범수	2016.06.20.~12.26. (26일)	설범수
		"	대표이사	한영필	2016.06.20.~12.26. (26일)	한영필
		"	상 무	박동욱	2016.06.20.~12.26. (26일)	박동욱
		"	부 장	김태근	2016.10.01.~12.26. (21일)	김태근
		"	차 장	이승현	2016.06.20.~12.26. (26일)	이승현
		"	과 장	현재웅	2016.06.20.~12.26. (25일)	현재웅
		"	대 리	장용환	2016.06.20.~12.26. (25일)	장용환
		"	주 임	최윤석	2016.06.20.~12.26. (25일)	최윤석
	자료분석	(주)다음기술단	이 사	이종현	2016.06.20.~12.26. (24일)	이종현
		"	차 장	주병철	2016.06.20.~12.26. (22일)	주병철
		"	과 장	최경식	2016.06.20.~12.26. (22일)	최경식
		"	대 리	박세훈	2016.06.20.~12.26. (20일)	박세훈
		"	과 장	김영석	2016.06.20.~12.26. (20일)	김영석
		"	대 리	임현민	2016.06.20.~12.26. (20일)	임현민
		(주)동우기술단	차 장	유재웅	2016.06.20.~12.26. (25일)	유재웅
		"	과 장	호 근	2016.06.20.~12.26. (25일)	호 근

시설물의 위치도



○ 시설물 위치 : 충청북도 충주시 이류면 완오리 (중부내륙선 224.61km)

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



받침 전경



신축이음 전경



신축이음 전경



방호벽 전경



배수시설 전경

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

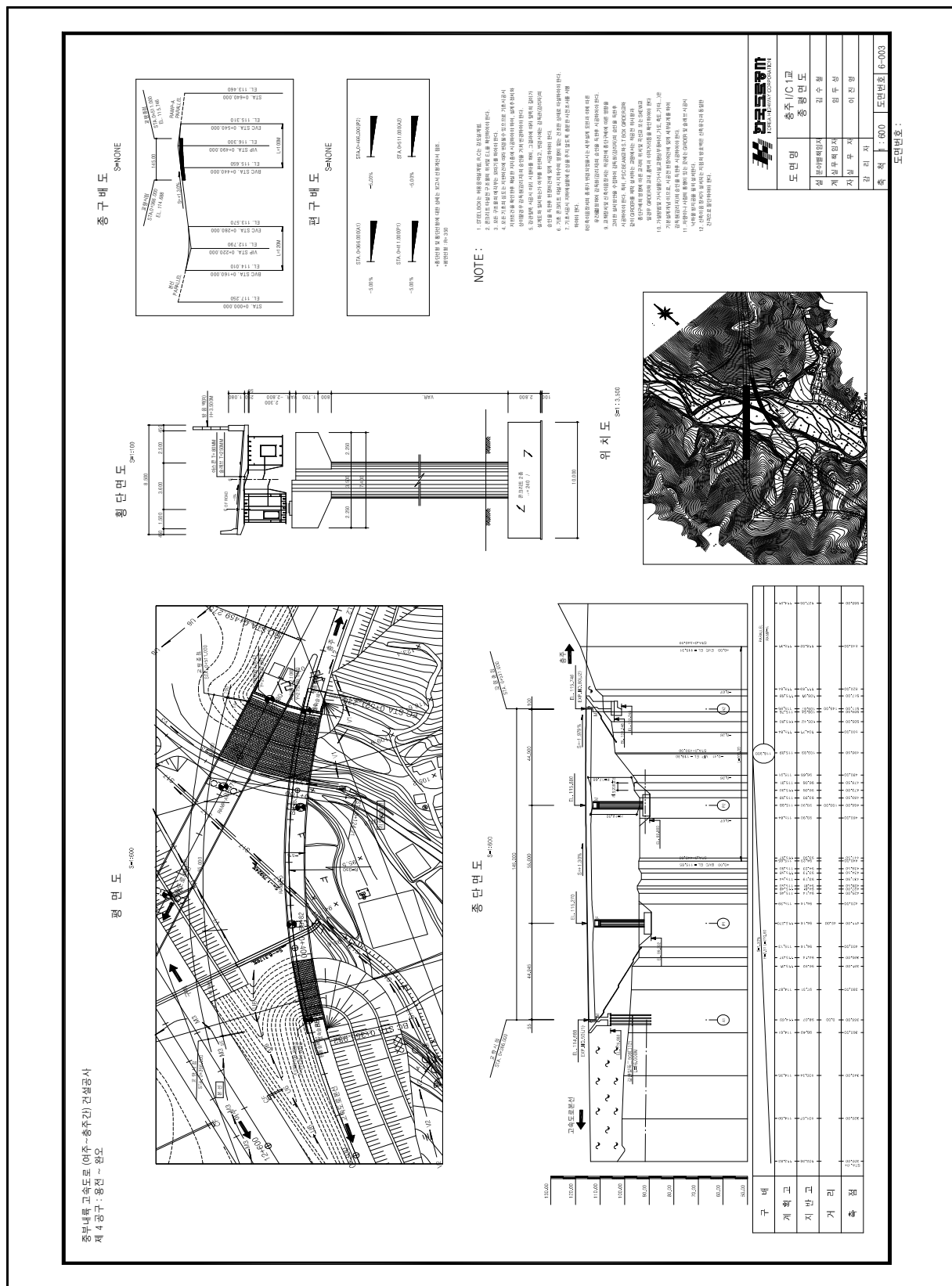
2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26. (착수일로부터 190일간)

3. 시설물의 개요

3.1 시설물 현황

구 분		내 용		구 분		내 용	
시설물명		충주IC1교		시설물번호		BR2003-0000193	
준공년월		2002년 12월 30일		관리번호		0450B2826301	
시설물위치		충청북도 충주시 이류면 완오리					
설계하중		DB-24 / DL-24		노선명(이정)		중부내륙선(224.61km)	
제원	연장	L = 1@45.0+1@55.0+1@45.0 = 145.0m					
	폭	B = 8.5m (1차로)					
구조 형식	상부	강박스 거더교(STB)		기초 형식	교대	강관 말뚝기초(1기) 확대(전면)기초(1기)	
	하부	교대 : 역T형(2기) 교각 : T형식(2기)			교각	확대(전면)기초(2기)	
교량받침		포트받침		신축이음		레일조인트	
교차시설물		-		통과높이		-	
설 계 사		(주)대한건설탄트		시 공 사		현대건설(주)	
내진설계유무		유		관리주체		한국도로공사 강원본부 충주지사	
부착시설내용		교각 점검로					
기 타		• 설계도서 및 구조계산서 유무 : 유 • 보수보강여부 : 신축이음장치, 교량받침(도장)					

3.2 시설물 주요도면



4. 자료수집 및 분석

4.1 점검 및 진단 이력

구분	점 검 기 간	점 검 자	상태 등급	점검결과 및 보수보강(안)
정기	■ 2003.03.19.	자체수행	양호	- 구조물 전반, 교좌장치, 슬라브, 주형, 교면포장, 교대, 교각, 신축이음장치 - 지속점검
정기	■ 2003.09.22.	자체수행	양호	- 구조물 전반적으로 양호 - 지속점검
정기	■ 2004.03.22.	자체수행	양호	구조물 전반적으로 양호
정밀	■ 2004.12.06.	자체수행	A등급	- A1교대코핑부 물고임 발생 - 침투수 배수관 연장
정기	■ 2005.05.12.	자체수행	양호	양호
정기	■ 2005.10.13.	자체수행	양호	양호
정기	■ 2006.04.11.	자체수행	양호	양호
정밀	■ 2006.10.10.	자체수행	A등급	양호
정기	■ 2007.06.13.	자체수행	양호	양호
정기	■ 2007.11.28.	자체수행	양호	양호
정밀	■ 2008.04.08.	자체수행	A등급	- P1(1개소)솔플레이트녹발생 - 녹제거후 재도장
정기	■ 2008.08.20.	자체수행	양호	양호
정기	■ 2009.06.04.	자체수행	양호	양호
정기	■ 2009.09.30.	자체수행	양호	양호
정밀	■ 2010.07.09.	자체수행	A등급	- 조인트 누수 - 조인트 누수부 유도 마감 처리
정기	■ 2010.09.08.	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	양호

구분	점 검 기 간	점 검 자	상태등급	점검결과 및 보수보강(안)
정밀 안전 진단	■ 2012.12.21.	(재)한국건설 품질연구원	C등급	- 바닥판 하면 균열, 균열 및 백태, 누수흔적, 파손, 유도배수관 부식 등 / STB 거더 도장박리 및 부식, 용접결함, 실링불량, 인분배설, 누수 흔적 및 표면오염 등 / 교대/교각의 균열, 균열 및 백태, 녹발생, 누수흔적, 백태, 재료분리, 파손 등 / 교량받침 소울플레이트 부식, 몰탈/콘크리트 균열, 재료분리, 들뜸, 파손, 녹발생 등 / 신축이음장치 본체 부식, 후타재 균열, 하부 채움재 누락, 유간부족 등 / 배수구 이물질퇴적 및 유도배수관 설치필요 등 - 내구성 저하방지를 위해 균열보수 및 단면보수 실시 / 도장박리, 녹발생 등의 손상 발생 부위에 대해 방청 및 도장보수 실시 / 교대 배수로 및 홈통, 바닥판 하면 유도배수관 설치 실시
정밀	■ 2013.06.28.	자체수행	C등급	- 교량받침 : A1-sh2 받침콘크리트 균열 (0.5mm이상, 100cm), P1-sh2 받침콘크리트 파손(2.5㎡) 및 슈 녹발생(0.4㎡) - 교량받침 : 교대.001 받침.02 주입보수 (100cm), 교각.001 받침.02 단면보수(2.5㎡), 슈재도장(0.56㎡)
정기	■ 2013.10.31.	자체수행	양호	- 교량받침 : A1-sh2 받침콘크리트 균열 (0.5mm이상, 100cm), P1-sh2 받침콘크리트 파손(2.5㎡) 및 슈 녹발생(0.4㎡) - 교량받침 : 교대.001 받침.02 주입보수 (100cm), 교각.001 받침.02 단면보수(2.5㎡), 슈재도장(0.56㎡)
정기	■ 2014.06.23.	자체수행	보통	- 거더// 도장박리, 부식. 내부 : S1G1(D1), S2G1(D9), S3G1(D21), S3G2(D21) (0.755㎡, 17개소) / 외부 : S2G2(P1), S3G2(A2측) (0.34㎡, 3개소) - 바닥판// 박리, 열화 : S1(0.1㎡, 1개소), 균열 (0.3mm미만) : S1, S2(49.5㎡), 균열(0.3mm 이상) : S3(1.7m, 1개소) - 받침// 부식 : P1, P2-sh2(0.6㎡, 2개소) - 하부구조// 열화 : P1, P2(0.95㎡, 4개소) - 신축이음// 유간부족 : A2, 누수 : A1, A2 - 난간// 열화 : S1, S2, S3(0.92㎡, 46개소) - 거더 재도장// 외부 : S1G1(D1), S2G1(D9), S3G1(D21), S3G2(D21) (0.755㎡, 17개소), 내부 : S2G2(P1), S3G2(A2측) (0.34㎡, 3개소) - 바닥판// 단면보수 : S1(A1갓길측) (0.1㎡, 1개소) - 받침// 균열보수 : A2-sh2(0.5m, 1개소), 재도장 : P1, P2-sh2(0.6㎡, 2개소) - 하부구조// 표면처리 : P1, P2(갓길측) (0.95㎡, 4개소) - 신축이음// 단면보수 : A2(2차로) (0.1㎡, 1개소) - 난간// 단면보수 : S1, S2, S3(0.92㎡, 46개소)

구분	점 검 기 간	점 검 자	상태 등급	점검결과 및 보수보강(안)
정기	■ 2014.07.22.	자체수행	보통	◦ 거더// 도장박리 : S1G1, S1G2(0.54㎡, 5개소), 부식 : S1G1, S1G2, S2G1, S3G1, S3G2(0.795㎡, 17개소) ◦ 바닥판// 균열(0.3mm이상) : S3(0.3mm, 1.7m, 1개소) ◦ 교량받침// 받침 콘크리트균열 (0.3mm이상) : A2-sh2(0.3mm,0.5m, 1개소) ◦ 하부구조// 열화 : P1, P2(0.95㎡, 4개소) ◦ 신축이음// 후타재 파손 : A2(0.1㎡, 1개소) ◦ 난간/중분대// 열화 : S1~S3(0.92㎡, 46개소) ◦ 거더// 재도장 : S1G1, S1G2, S2G1, S3G1, S3G2(0.895㎡, 9개소) ◦ 바닥판// 주입보수 : S3(0.3mm, 1.7m, 1개소) ◦ 교량받침// 주입보수 : A2-sh2(0.3mm, 0.5m, 1개소) ◦ 하부구조// 표면처리 : P1, P2(0.95㎡, 4개소) ◦ 신축이음// 단면보수 : A2(0.1㎡, 1개소) ◦ 난간/중분대// 단면보수 : S1~S3(0.92㎡, 46개소)
정기	■ 2015.04.02.	자체수행	양호	◦ 거더// 거더내부 도장박리, 거더외부 하판 도장박리, 거더내부 하판 부식 ◦ 바닥판// S1(A1갓길측) 단부 박리, 균열 ◦ 교량받침// 받침콘크리트 파손, 받침부식, 받침 콘크리트 균열 ◦ 하부구조// 코핑 표면열화 ◦ 신축이음// 후타재 파손 ◦ 난간/중분대// 방음벽 지주하단 열화 ◦ 거더// 거더내부 도장박리 : 재도장, 거더외부 하판 도장박리 : 재도장, 거더내부 하판 부식 : 재도장 ◦ 바닥판// S1(A1갓길측) 단부 박리 : 단면보수, 균열 : 주입보수 ◦ 교량받침// 받침콘크리트 파손 : 단면보수, 받침부식 : 재도장, 받침콘크리트 균열 : 주입보수 ◦ 하부구조// 코핑 표면열화 : 단면보수 ◦ 신축이음// 후타재 파손 : 단면보수 ◦ 난간/중분대// 방음벽 지주하단 열화 : 단면보수
정밀	■ 2015.12.11.	자체수행	A등급	◦ 바닥판균열(0.3mm이상), 교량받침부식, 후타재균열 및 파손, 난간 방호벽박리 ◦ 바닥판균열(0.3mm이상) : 주입보수, 교량받침 부식 : 녹 제거 후 재도장, 후타재 균열 및 파손 : 주입보수, 단면보수, 난간 방호벽 박리 : 단면보수
정기	■ 2016.04.07.	자체수행	양호	◦ 거더 : 도장박리, 바닥판 : 균열 및 들뜸, 교량받침 : 강재부식, 받침콘크리트균열, 하부구조 : 홍벽균열, 교좌면균열, 신축이음 : 후타재 파손, 누수, 난간/중분대 : 열화 ◦ 거더 : 도장박리, 바닥판 : 주입보수, 단면보수, 교량받침 : 재도장, 주입보수, 하부구조 : 주입보수, 신축이음 : 단면보수, 난간/중분대 : 단면보수

4.2 보수·보강 이력

구 분	공사기간	설계자	시공자	공사구간	보수·보강 공법	공사금액 (천원)	비고
보수	2008.10.10.	—	—	신축이음장치 (A1)	기타(보수)	1,125	
		—	—	신축이음장치 (A2)	기타(보수)	1,125	
	2008.10.16.	—	—	교량받침(P1)	도장	40	
	2012.12.31	—	—	교량받침 (A1, A2)	도장(4개소)	31/개소	

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. ◦ 신축이음장치는 시공기록보고서와 관리대장상의 형식이 상이함. ◦ 구조검토 시 1996년 설계기준을 적용함	◦ 현장조사 시 부재치수를 실측하여 준공도면과 비교, 검토 후 치수가 상이할 경우 안전측으로 구조계산토록 하고 도면을 재작성하며, 실측치와 동일할 경우는 준공도면을 기준으로 과업을 진행토록 함. ◦ 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	◦ 바닥판 하면 균열, 균열 및 백태, 누수흔적, 파손, 유도배수관 부식이 조사됨. ◦ STB 거더 도장박리 및 부식, 용접결함, 실링불량이 조사됨. ◦ 교대/교각의 균열, 균열 및 백태, 녹발생, 누수흔적, 백태, 재료분리, 파손 등이 조사됨. ◦ 교량받침 소울플레이트 부식, 몰탈/콘크리트 균열, 재료분리, 들뜸, 파손, 녹발생이 조사됨. ◦ 내구성조사 결과 설계 값 이상으로 양호한 상태임.	◦ 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, 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

가. 외관조사 결과요약

구 분	주요결합 및 외관조사 결과	검토의견
바닥판 하면	• 균열 ($C_w=0.3\text{mm}$이하), 균열/백태 • 균열 ($C_w=0.3\text{mm}$이상) • 유공관 주변 누수흔적/백태, 백태 • 외부 충격에 의한 국부파손	• 시공초기 콘크리트 내·외부의 온도차 이로 인한 부등건조수축 등이 주원인으로 일부균열은 균열부를 통한 내부수 유출이 발생하였으며, 0.3mm미만 균열은 지속관찰 후 균열 진전시 보수를 실시하고, 백태 발생부는 내구성확보를 위하여 표면처리보수가 필요. • $C_w=0.3\text{mm}$이상의 균열은 주원인은 일반균열 발생원인과 동일하며, 내구성확보를 위하여 주입보수가 필요. • 유공관 및 배수관 주변 손상은 유공관, 배수관 시공 후 마감불량으로 인해 발생한 손상으로 유공관, 배수관 주변 마감을 실시하고 표면처리보수가 필요. • A1측 캔틸레버 끝단에 발생한 국부파손은 유도배수관 설치 중에 발생한 파손으로 판단되며, 내구성 확보를 위하여 단면보수가 필요.
Steel Box Girder 내부	• 용접결함 (Pit, 목두께부족, 비드불량, 언더컷) • 도장박리, 부식 • 볼트풀림 • 실링재 불량 • 배설물, 점검등 탈락	• 용접시공시 용접전류 및 용접속도 불량, 용접작업실수 등이 원인으로 판단되며, 지속관찰이 적절할 것으로 판단됨. • 도장 전처리 불량과 Splice부를 통한 우수유입이 주원인으로 판단되며, 재도장이 필요. • 출입구 볼트가 공용중에 의해 풀린 것으로 판단되며, 지속관찰이 적절함. • 기 진단시 조사된 손상으로 일부개소 보수 누락이 발생하였으며, 실링재 재시공이 필요. • 이물질 퇴적 및 공용년수 증가에 따른 손상으로 위생 및 외관을 위하여 청소가 필요

구 분	주요결합 및 외관조사 결과	검토의견
Steel Box Girder 격벽	• 용접결함(Pit, 목두께부족) • 도장박리	• 용접시공시 용접전류 및 용접속도 불량, 용접작업실수 등이 원인으로 판단되며, 지속관찰이 적절할 것으로 판단됨(거더내부와 동일함). • 도장 전처리 불량과 Splice부를 통한 우수유입이 주원인으로 판단되며, 재도장이 필요.
Steel Box Girder 외부	• 누수흔적 • 도장박리, 부식 및 볼트부식	• 바닥판하면 캔틸레버부의 유공관으로 떨어지는 우수로 인하여 발생된 것으로 재도장이 필요. • 도장 전처리 불량과 Splice부를 통한 우수유입이 주원인으로 판단되며, 재도장이 필요.
강 가로보	• 구조적 손상이 없는 양호한 상태	• 도장손상이나, 부식, 각종변형 및 균열, 이상음 발생 등의 손상이 없는 상태임.
교대	• 균열(Cw=0.3mm미만) • 홍벽부 보수부 박리 및 재료분리 • 압성토 침하(A2)	• 시공초기 콘크리트 내·외부의 온도차이로 인한 부등건조수축 등이 주원인으로 현시점의 보수보다는 지속관찰 후 균열 진전시 보수 필요 • 박리는 상부 신축이음부에서 유입된 우수로 인하여 발생하였으며, 표면처리보수가 필요하며, 재료분리는 시공시 다짐불량에 따른 것으로 단면보수 필요. • 압성토 침하에 따른 손상으로 h=7cm이며, 금회 신규손상으로 지속관찰을 통한 진행성여부 판단이 필요.
교각	• 균열(Cw=0.3mm미만) 및 망상균열 • 누수흔적, 보수부 박리 • 구체부 국부 파손 • P2 코핑부 하면 누수흔적/들뜸/재료분리	• 시공초기 콘크리트 내·외부의 온도차이로 인한 부등건조수축 등이 주원인으로 현시점의 보수보다는 지속관찰 후 균열 진전시 보수 필요 • 상부 유공관 및 배수구를 통한 우수유입에 원인으로 판단되며, 내구성확보를 위한 표면처리보수가 필요. • 외부 충격으로 인해 단면보수가 필요. • 상부구조 유공관을 통해 떨어지는 우수가 균열부와 재료분리부 등의 치밀성 부족부로 침투되어 내부 철근부식을 유발하고 보수부 시공미흡에 의해 내부 철근부식을 유발하고 균열 및 들뜸으로 발전하였으며, 들뜸부 치핑 후 철근방청, 단면복구가 필요

구 분	주요결합 및 외관조사 결과	검토의견
교량받침	• 받침장치 본체 부식 • 받침 몰탈/콘크리트 균열 • 받침 몰탈/콘크리트 박락, 파손, 녹발생 • 받침이동량 초과(A2-Sh1, Sh2)	• 외측면을 통한 우수유입이 주원인이며, 녹 제거후 채도장이 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, 철근 방청 후 단면보수가 필요. • 프리셋팅 오류로 판단되며, 기능상에 문제가 없으므로, 지속관찰을 통한 중점 유지관리가 필요.
신축이음장치	• 신축이음장치 본체 부식(갓길) • 후타재 균열(Cw=0.3mm미만) 및 파손 • 신축이음장치 유간 부족 및 협착	• 공용 중 우수에 의한 부식이 주원인이며, 손상의 정도가 경미하고 주행성에 영향을 미치지 않으므로 지속관찰 필요. • 시공시 건조수축 및 공용 중 중차량 통행 등의 요인이 원인이며, 후타재 균열 부를 통한 우수 유입으로 인한 신축이음 하부 누수 등 추가적인 손상의 우려가 있으므로 표면처리보수를 실시하며, 후타재 파손은 단면보수가 필요. • 신장시 신축이음장치 부족 및 협착이 발생하였으나, 2차 손상이 발생하지 않은 상태이며, 향후 손상 발생시 보수·보강 필요
교면포장	• 종방향 균열	• 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.
배수시설	• 전반적으로 양호한 상태이며, 배수구 이물질 퇴적 일부구간 발생 • 신축이음장치 하부 유도배수관 부식	• 청소 • 재설치
방호벽	• 균열(폭 0.3mm이하) • 망상균열, 누수흔적 및 박리 • 박락, 녹발생, 철근노출, 파손 • 방호벽(A2) 단차	• 구조물에 미치는 영향이 미미하나 균열 부 우수 침투로 인한 백태 발생 등의 우려가 있으므로 표면처리보수 필요 • 내구성 확보를 위한 표면처리보수 필요. • 단면보수 및 단면보수(방청) 필요함 • 접속슬래브측 지반침하가 원인으로 지속관찰이 필요

나. 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증 · 감
			개소	수량	개소	수량	
바닥판	•균열 (Cw=0.3mm미만)	m	296	475.30	159	263.10	▽
	•균열 (Cw=0.3mm이상)	m	6	12.30	5	11.50	▽
	•균열/백태	m ²	2	4.60	2	4.60	—
	•누수흔적/백태	m ²	18	1.98	2	0.18	▽
	•백태	m ²	—	—	3	0.27	△
	•파손	m ²	2	0.38	1	0.08	▽
Steel Box Girder 내부	•Pit	개소	363	363	309	309	▽
	•목두깨부족, 비드불량, 언더컷	m	34	6.52	39	7.35	△
	•도장박리, 부식	m ²	67	1.85	28	2.11	△
	•볼트풀림	개소	—	—	1	1	△
	•실링재불량	개소	20	20	1	1	▽
	•배설물	m ²	—	—	2	0.13	△
	•점검등탈락	개소	—	—	1	1	△
	•인분배설	m ²	1	0.09	—	—	▽
Steel Box Girder 외부	•누수흔적	m ²	7	7.15	3	3.15	▽
	•도장박리, 부식	m ²	37	1.83	29	3.08	△
	•볼트부식	개소	195	195	49	49	▽
교대	•균열 (Cw=0.3mm미만)	m	14	8.30	4	2.20	▽
	•백태	m ²	2	0.41	—	—	▽
	•파손	m ²	1	0.01	—	—	▽
	•보수부박리	m ²	—	—	3	1.16	△
	•재료분리	m ²	—	—	1	0.12	△
	•침하	m	—	—	1	0.07	△
	•녹발생	m ²	8	0.14	—	—	▽
	•누수흔적	m ²	1	14.00	—	—	▽
교각	•균열 (Cw=0.3mm미만)	m	82	100.60	38	45.60	▽
	•균열 (Cw=0.3mm이상)	m	2	2.00	—	—	▽
	•망상균열 (Cw=0.3mm미만)	m ²	13	55.62	6	21.21	▽
	•누수흔적	m ²	3	4.75	2	3.70	▽
	•균열/백태	m	1	1.00	—	—	▽
	•균열/녹발생	m	1	2.00	—	—	▽
	•들뜸	m ²	—	—	1	3.00	△
	•박락	m ²	—	—	1	0.06	△
	•보수부 박리	m ²	—	—	1	0.08	△
	•재료분리, 파손	m ²	14	3.09	4	0.81	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증 · 감
			개소	수량	개소	수량	
교량받침	•부식	m ²	2	0.28	2	0.30	▽
	•균열 (Cw=0.3mm미만)	m	21	4.40	5	0.80	▽
	•균열 (Cw=0.3mm이상)	m	2	1.00	—	—	▽
	•재료분리	m ²	1	0.04	—	—	▽
	•박락	m ²	—	—	2	0.08	△
	•파손	m ²	12	1.70	3	0.27	▽
	•녹발생	m ²	2	0.02	2	0.40	△
신축이음	•부식	m	4	0.66	4	0.66	—
	•균열 (Cw=0.3mm미만)	m	61	29.39	17	11.90	▽
	•파손	m ²	—	—	1	0.10	△
	•채움재 누락	m	3	2.10	—	—	▽
포장부	•균열	m	3	18.00	2	22.00	△
배수시설	•배수로이물질퇴적	개소	6	6	5	5	▽
	•유도배수관 설치(유공관)	개소	4	4	—	—	▽
	•유도배수관 부식	m ²	3	0.90	4	2.00	△
방호벽	•균열 (Cw=0.3mm미만)	m	188	79.90	16	9.20	▽
	•균열 (Cw=0.3mm이상)	m	4	2.90	—	—	▽
	•망상균열(Cw=0.3mm미만)	m ²	15	2.78	3	2.36	▽
	•누수흔적	m ²	16	4.95	3	1.26	▽
	•박락	m ²	—	—	7	0.12	△
	•박리, 파손	m ²	61	3.75	24	2.24	▽
	•녹발생, 철근노출	m ²	8	0.15	17	0.31	△
	•단차	개소	—	—	1	1	△
기타	•유간협착	m ²	—	—	2	0.30	△
검토의견	■ 보수이력 및 현장조사 결과, 기 진단 이후 바닥판 하면 균열보수, 하부구조 균열보수 및 단면보수, 거더 내·외부 도장보수, 교량받침콘크리트 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 내·외부 도장박리 및 부식, 교량받침 녹발생, 유도배수관부식 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 나타냄내구성조사 결과요약

다. 내구성조사 결과요약

시 험 명		시험부위	시험 결과		비 고
			2012년 전차진단	2016년 금회진단	
콘 크 리 트	비파괴 강도시험 (MPa)	상부구조	27.5~29.0	27.1~30.8	• 설계기준강도(27MPa)를 상회함.
		하부구조	27.5~33.0	26.3~29.0	• 설계기준강도(24MPa)를 상회함.
	철근탐사 시험	상 · 하부구조	-		• 전반적으로 철근배근간 격 및 피복두께는 준공 도면과 거의 일치함.
	품질시험 (km/s)	상부구조	-	4.088~4.667	• 양호상태로 평가됨
		하부구조	-	3.818~4.253	
	탄산화 깊이 (mm)	상부 구조	1.9~3.6	3.5~9.8	• 상태평가 a (잔여깊이 30mm이상)
		하부 구조	2.0~6.0	5.1~8.1	
	염화물 함유량 시험 (kg/m ³)	상부 구조	0.061~0.077	0.175	• 상태평가 a (염화물 ≤ 0.3kg/m ³)
		하부 구조	0.050~0.149	0.221~0.258	
강 재	초음파 탐상 (UT)	거더 내부 (맞대기 용접부)	합 격	시험 24개소 (24개소 합격)	• 1급
	도막두께 (μm)	거더 외부	-	341~362	• 기준두께(215μm)
	강재두께 (mm)	거더 외부	-	12.7~14.4 (+0.4~0.7)	• 설계두께의 ±0.80
중 합 평 가		■ 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, 모든 개소에서 품질상태가 양호한 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” 로 평가됨. 기진단과의 비교·분석 결과, 염화물함유량이 다소 증가하였지만, 철근피복두께에 영향이 없는 것으로 평가됨. ■ 균열깊이 측정결과, 피복두께를 초과하지 않은 것으로 조사되었으나, 내구성 저하 방지를 위하여 주기적인 점검이 필요할 것으로 판단됨. ■ 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

부재의 분류		상부구조			하부구조		받침	기타부재				탄산화		염화물	
번호	형식	바닥판	거더	가로보	교대 교각	기초	교량 받침	신축 이음	교면 포장	배수 시설	난간	상부	하부	상부	하부
1	강박스	d	b	a	b	q	b	c	a	c	c	a	a	—	a
2	강박스	c	b	a	b	q	b	—	a	c	c	a	a	a	—
3	강박스	b	b	a	c	q	b	—	b	c	c	a	a	—	—
					b	q	a	c					a		a
평균		0.43	0.20	0.10	0.25	0.00	0.28	0.40	0.13	0.30	0.40	0.10	0.10	0.10	0.10
가중치		18	20	5	20	0	9	9	7	3	2	2	2	2	1
(평균X가중치 /가중치합)		0.077	0.040	0.005	0.050	0.000	0.025	0.036	0.009	0.009	0.008	0.002	0.002	0.002	0.001
주) 충주IC1교는 기초가 매립된 상태로 해당 가중치는 교대, 교각의 가중치에 포함시켜 평가함										결함도 환산점수		0.258			
										상태평가 결과		B			

7. 시설물의 안전성평가

7.1 안전성평가 결과

가. 상부구조

1) 바닥판

구 분	M_u (kN·m)	ΦM_n (kN·m)	안전율 ($\Phi M_n/M_u$)	검토결과
캔틸레버부 (G2측)	70.593	124.314	1.761	O.K
캔틸레버부 (G1측)	56.649	121.528	2.145	O.K
중앙부	75.651	105.961	1.401	O.K

강도설계법에 의한 바닥판의 단면검토 결과, 휨강도에 대한 계수모멘트의 최소 안전율이 1.401로 산정되어 바닥판은 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

2) 강박스 거더

① 휨응력

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	100.985	-123.542	218.500	190.000	2.128	1.538	O.K
	S2-G2	88.091	-105.712	247.00	-190.00	2.804	1.797	O.K
부모멘트부	P1	-159.583	149.517	190.00	190.00	1.191	1.271	O.K

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

② 전단응력

구 분		전 단 응 력		안전율	검토결과
		작용응력 (MPa)	허용응력 (MPa)		
정모멘트부	S1-G2	5.563	110.000	19.774	O.K
	S2-G2	6.917	110.000	15.903	O.K
부모멘트부	P1	21.671	110.000	5.076	O.K

허용응력법에 의한 강박스 거더의 응력 검토결과, 거더 상·하연에 발생하는 최대응력은 허용응력 이내(휨응력 : 1.191, 전단응력 : 5.076)로 검토되어 구조 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

3) 교량반침용량 검토

구 분		합성전고정하중 (kN)		합성후 고정하중 (kN)	활하중(kN)	합 계(kN)	반침 용량 (kN)	검토 결과
		Steel	Concrete					
A1	Sh01	277.306	643.511	287.902	673.536	1882.255	3000	O.K
	Sh02	228.057	456.122	292.759	600.019	1576.957	3000	O.K
P1	Sh01	1000.075	2010.098	911.081	1383.161	5304.415	9000	O.K
	Sh02	1028.903	1857.546	1124.859	1405.055	5416.363	9000	O.K
P2	Sh01	999.7	2009.351	910.563	1375.557	5295.171	9000	O.K
	Sh02	1028.101	1855.672	1124.005	1401.791	5409.569	9000	O.K
A2	Sh01	276.647	641.882	287.227	667.822	1873.578	3000	O.K
	Sh02	228.178	456.33	292.699	600.048	1577.255	3000	O.K

주) 반력 발생방향이 하향을 정(+), 상향을 부(-)로 표기함.

반침용량에 대한 검토결과 교량반침은 용량이 최대 발생 반력값 보다 큰 것으로 검토되어 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

나. 하부구조

1) 교대 단면검토

구 분		d(mm)	사용철근량(mm ²)	M _u (kN · m)	Φ M _n (kN · m)	Φ M _n / M _u
A1	연직벽체	1500	D32-10EA=7942.0	1873.183	2921.599	O.K.(1.560)
	홍벽	400	D19-10EA=2865.0	216.154	284.885	O.K.(1.318)
	압굽	1400	D29-10EA=6424.8	1111.114	2215.011	O.K.(1.994)
	뒷굽	1400	D29-10EA=6424.8	1001.934	2215.334	O.K.(2.211)
A2	연직벽체	1500	D32-10EA=7942.0	1874.859	2921.599	O.K.(1.558)
	홍벽	400	D19-10EA=2865.0	216.154	284.885	O.K.(1.318)
	압굽	1400	D29-10EA=6424.0	1116.172	2215.011	O.K.(1.984)
	뒷굽	1400	D29-10EA=6424.0	1001.934	2215.334	O.K.(2.211)

※ $f_{ck} = 24\text{MPa}$, $f_y = 300\text{MPa}$, $k_l = 0.85$, $\Phi_f = 0.85$, $\Phi_v = 0.75$

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

각 부재별 단면검토 결과 최소안전율 1.318(A1, A2)로 나와 구조적인 안전성을 확보한 것으로 판단된다.

2) 교각(P2) 단면검토

① 기둥해석 결과

구 분	사 용 철 근	조립도
1 단	D29 × 103EA	
2 단	D29 × 97EA	
계	128480.00mm ² - 1.335%	
유효단면적 A _{eff} =4810563.75mm ²	A _{eff} =P _u / { φ · 0.80 · (0.85f _{ck} +0.01f _y) } (단, A _{eff} >1/2 · A _g)	
$P_u=23199.410\text{kN} \leq \phi P_n=111017.761\text{kN} \quad \dots\dots \text{O.K (S.F. 4.785)}$ $\delta M_{ux}=0.000\text{kN} \cdot \text{m} \leq \phi M_{nx}=0.001\text{kN} \cdot \text{m} \quad \dots\dots \text{O.K}$ $\delta M_{uy}=2874.302\text{kN} \cdot \text{m} \leq \phi M_{ny}=3757.192\text{kN} \cdot \text{m} \quad \dots\dots \text{O.K (S.F. 1.307)}$ $\delta M_u=2874.302\text{kN} \cdot \text{m} \leq \phi M_n=3757.192\text{kN} \cdot \text{m} \quad \dots\dots \text{O.K (S.F. 1.307)}$		

구 분		P _u	αφP _n	안전율	M _u	φM _n	안전율
교축 직각 방향	P-MAX	23199.410	111017.761	O.K.(4.785)	2874.302	3757.192	O.K.(1.307)
	MX-MAX	15881.296	41269.567	O.K.(2.599)	29022.444	75440.340	O.K.(2.599)
	MY-MAX	16543.017	48001.074	O.K.(2.902)	26973.622	78250.431	O.K.(2.901)

② 코핑해석 결과

㉠ 단면력 검토

구 분	d(mm)	사용철근량(mm ²)	M _u (kN · m)	φM _n (kN · m)	안전율
깊은 보 힘 검토	2366.67	D29-10EA=15417.6 D29- 5EA=7708.8 = 23126.4	6757.520	13582.954	O.K.(2.010)

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

7.2 내하력 평가결과

가. 강박스 거더

구 분		응력 (MPa)			기본내하율 (RF)	기본내하력
		고정하중	활하중	허용응력		
S1-G2 정모멘트 최대	상연	65.486	9.451	190.000	13.175	DB-24이상
	하연	-85.629	-37.914	-190.000	2.753	"
S2-G2 정모멘트 최대	상연	51.870	9.142	190.000	15.109	"
	하연	-67.483	-38.229	-190.000	3.205	"
S1-G2 부모멘트 최대	상연	-113.855	-40.015	-190.000	1.903	"
	하연	103.596	39.159	190.000	2.206	"

나. 바닥판

구 분	설계강도 (kN · m)	고정하중 계수	고정하중 모멘트 (kN · m)	활하중 계수	활하중모멘트 (충격포함) (kN · m)	기본내하율 (RF)	기본내하력 (P)
캔틸레버부 (G2측)	124.314	1.3	10.146	2.15	17.495	2.954	DB-24 이상
캔틸레버부 (G1측)	121.528	1.3	8.246	2.15	13.042	3.952	"
중앙부 바닥판	105.961	1.3	2.586	2.15	29.120	1.639	"

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

8. 종합평가

8.1 종합평가 결과

구조물명	상태평가 결과		안전성평가 결과		종합평가 결과
	환산결함도점수	기준	S · F	기준	
충주IC1교	0.258	B	1.191(거더) 1.401(바닥판)	A	B
종합평가	•외관조사 및 내구성조사에 의한 상태평가 결과는 내구성, 기능성 저하방지를 위해 일부부부재에 대한 보수가 필요한 “B” 로 평가됨 •안전성 평가결과 최소 안전율 1.0이상으로 “A” 로 평가됨 •상태평가 및 안전성 평가결과를 통한 종합평가 결과 충주IC1교는 “B” 로 평가됨				

주) 종합평가 : Min (상태평가, 안전성평가)

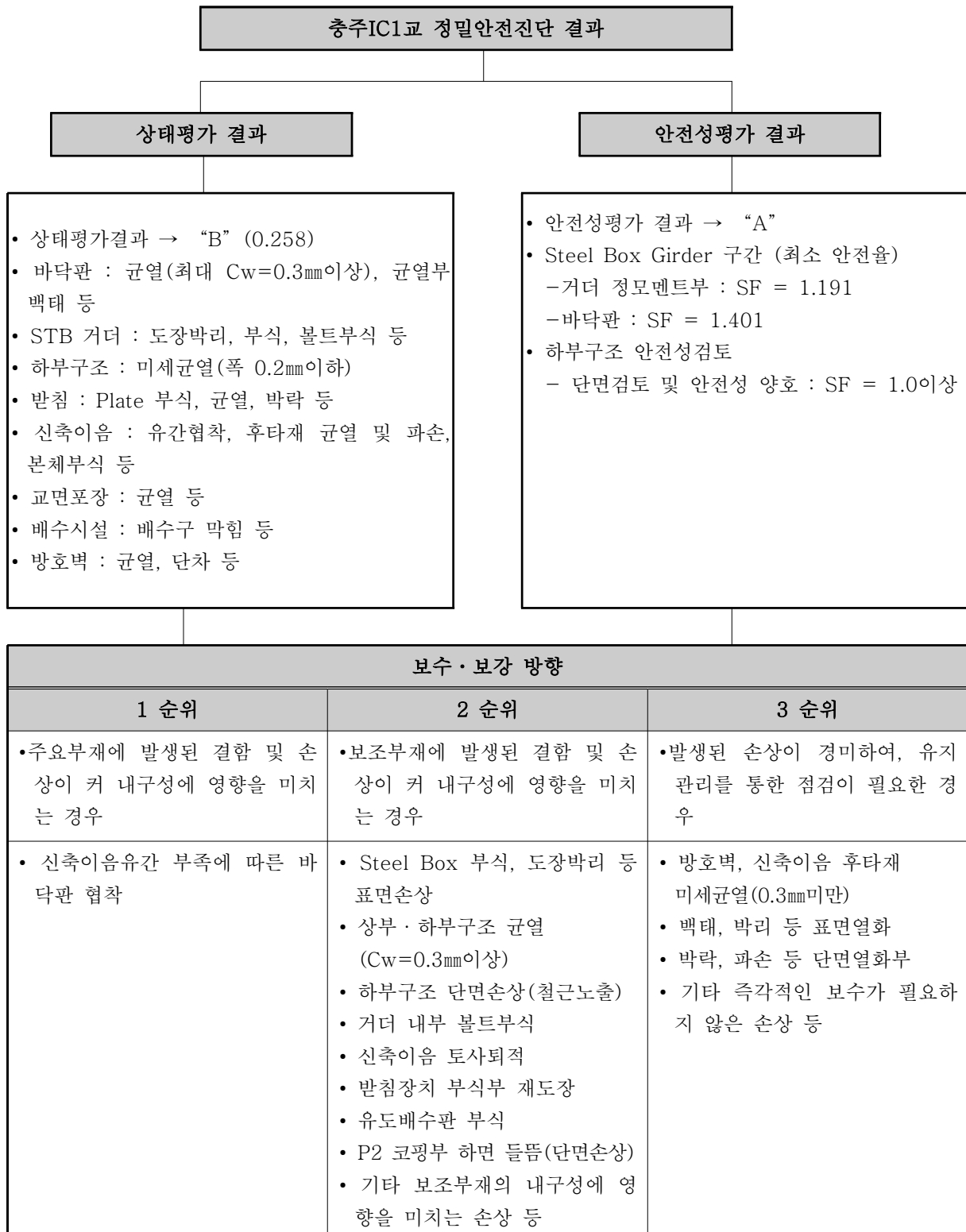
8.2 안전등급 지정

본 교량에 대한 상태평가 및 안전성평가 결과 시설물의 상태는 『보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태』로 안전등급은 B등급으로 평가되었다.

안전등급	구조물명	안전등급
	충주IC1교	B등급(양호)

9. 보수·보강 및 유지관리방안

9.1 보수·보강 추진방향



9.2 보수 · 보강방안 및 개략공사비

구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위
바닥판	•균열(Cw=0.3mm이상)	주입보수	11.50	17.25	m	70	1,207	2
	•균열/백태	표면처리보수	4.60	6.90	m ²	33	231	3
	•누수흔적/백태	표면처리보수	0.18	0.27	m ²	33	10	3
	•백태	표면처리보수	0.27	0.41	m ²	33	14	3
	•파손	단면보수	0.08	0.12	m ²	212	26	3
Steel Box Girder 내부	•도장박리	재도장	0.04	0.06	m ²	32	2	2
	•부식	녹제거 후 재도장	1.05	1.58	m ²	32	51	2
	•볼트풀림	볼트재체결	1.00	1.00	EA	6	6	3
	•실링재불량	실링재 재시공	1.00	1.00	EA	4	4	3
	•배설물	청소	0.13	0.20	m ²	13	3	3
	•점검등 탈락	청소	1.00	1.00	EA	13	14	3
격벽	•도장박리	재도장	1.02	1.53	m ²	32	50	2
Steel Box Girder 외부	•누수흔적	재도장	3.15	4.73	m ²	32	153	2
	•도장박리	재도장	0.12	0.18	m ²	32	6	2
	•부식	녹제거 후 재도장	2.96	4.44	m ²	32	144	2
	•볼트부식	재도장	49.00	49.00	EA	32	1,585	2
교대	•균열(Cw=0.3mm이상)	주입보수	2.90	4.35	m	70	305	2
	•보수부 박리	표면처리보수	1.16	1.74	m ²	33	59	3
	•재료분리	단면보수	0.12	0.18	m ²	212	39	3
교각	•균열(Cw=0.3mm이상)	주입보수	4.60	6.90	m	70	483	2
	•누수흔적	표면처리보수	3.70	5.55	m ²	33	186	3
	•들뜸	방청 후 단면복구	3.00	4.50	m ²	241	1,085	2
	•박락	단면보수	0.06	0.09	m ²	212	20	3
	•보수부박리	표면처리보수	0.08	0.12	m ²	33	5	3
	•재료분리	단면보수	0.78	1.17	m ²	212	249	3

※ 균열(Cw=0.3mm미만)은 손상물량 m, 보수물량 m²로 산정함.(보수물량=손상물량*0.25)

구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위
교량받침	•파손	단면보수	0.03	0.05	m²	57	3	3
	•부식	채도장	0.30	0.45	m²	33	16	2
	•박락	단면보수	0.08	0.12	m²	212	26	3
	•파손	단면보수	0.27	0.41	m²	212	86	3
신축이음	•균열(Cw=0.3mm미만)	표면처리보수	11.90	4.46	m/m²	33	149	3
	•파손	단면보수	0.10	0.15	m²	212	32	3
배수시설	•배수로 이물질퇴적	청소	5.00	5.00	EA	13	68	3
	•유도배수관 부식	유도배수관재설치	2.00	3.00	m²	4	13	2
방호벽	•균열(Cw=0.3mm미만)	표면처리보수	9.20	3.45	m/m²	33	116	3
	•망상균열(Cw=0.3mm미만)	표면처리보수	2.36	3.54	m²	33	119	3
	•누수흔적	누수보수	1.26	1.89	m²	35	67	2
	•박락	단면보수	0.12	0.18	m²	212	39	3
	•박리	표면처리보수	0.97	1.46	m²	33	49	3
	•녹발생	방청 후 단면복구	0.27	0.41	m²	241	98	2
	•철근노출	방청 후 단면복구	0.04	0.06	m²	241	15	2
	•파손	단면보수	1.27	1.91	m²	212	405	3
순공사비 합계(천원)							7,149	
제경비(순공사비×50%)							3,575	
순위별 공사비 (제경비 포함)		1순위					-	
		2순위					7,920	
		3순위					2,804	
개략공사비(천원)							10,724	

※ 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.

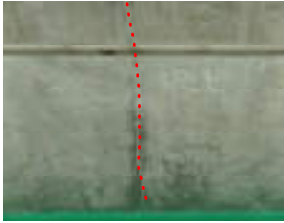
(용접부부식 : 폭 0.1m 고려, m→m², 볼트부식 : 1EA당 0.1m², EA→m² 등)

※ 균열(Cw=0.3mm미만)은 손상물량 m, 보수물량 m²로 산정함.(보수물량=손상물량*0.25)

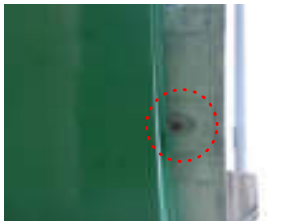
※ 상기 개략공사비는 실시설계시 공법선정, 단가변동 및 현장여건상 부대공의 추가 등으로 변동될 수 있음.

9.3 유지관리 방안

가. 진단결과에 따른 중점유지관리 사항

구 분	중 점 점 검 내 용	
상부구조	- 바닥판하면 유공관 주변 누수흔적/백태, 백태 진전여부 - 종방향 균열 및 경사균열, 횡방향 균열의 진전여부 - 보수부 재균열 발생여부 - Steel Box Girder 내·외부 도장박리 및 부식 진전여부	 <바닥판하면 횡균열>  <거더외부 도장박리>
하부구조	- 교대·교각 0.3mm 이상 수직균열 및 수평균열의 진전유무 - 박리, 박락 및 망상균열 진전 여부 - P2 코핑부 하면 손상 진전여부 및 보수시 보수상태 확인 - 교대(A2) 압성토 침하 진전여부	 <교대 A2 침하(압성토)>  <교각(P2) 코핑부 들뜸/재료분리>
받침장치	- 결합 발생 및 진전 여부 - 수축 가동여유량 부족 구간의 이상거동 유무	 <받침장치 부식>  <받침콘크리트 파손>
신축이음 장치	신축이음장치(A2) 유간협착	
방호벽	방호벽(A2) 단차 진전여부	

나. 유지관리를 위한 부재별 중점유지관리 사항

부재구분	중 점 점 검 내 용
교면포장	◦주요점검 대상 · 균열 및 망상균열 포트 홀 발생여부 · 재포장구간의 보수상태 점검 및 신규손상 발생 여부   <교면포장 균열> <교면포장 균열>
배수시설	◦주요점검 대상 · 배수관 막힘   <배수구 이물질 퇴적> <유도배수관 부식>
방호벽	◦주요점검 대상 · 콘크리트 파손/박락, 철근노출 · 전경간에서 균열이 조사됨 : 손상진전여부   <방호벽 균열> <방호벽 철근노출>
바닥판	◦주요점검 대상 · 0.2mm 미세균열 진전여부 · 균열부 백태 진전여부 · 배수관 주변 백태 진전여부   <폭0.2mm이하 횡방향 균열> <유공관 주변 백태>

부재구분	중 점 점 검 내 용
강박스 거더	◦ 초경부의 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  <거더 내부 부식>  <거더 외부 도장박리>
교량받침	◦ 신축이음부 누수여부(받침 도장박리, 부식, 몰탈/콘크리트 열화) ◦ 받침 몰탈/콘크리트 균열의 발생과 진전여부 ◦ 가동받침의 이동량 점검  <플레이트 부식>  <받침콘크리트 균열>
신축이음 장치	◦ 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  <후타재 균열>  <본체 부식>

부재구분	중 점 점 검 내 용
하부구조	◦교각의 수직균열 · 0.2mm이상 균열 진전여부 · 미세균열 진전여부 · 신축이음 누수로 인한 콘크리트 열화 여부 ◦전단키 설치부 박락 ◦홍벽 백태, 철근노출  <교대 박리>  <교각 망상균열>

10. 종합결론

충주IC1교는 2002년 12월 준공되어 2016년 현재 공용년수가 14년 정도 경과한 교량으로, 설계하중은 DB-24로 1등급교량에 해당하고, 상부구조의 주형식은 Steel Box Girder로써, 경간 구성은 3경간[STB : 45.0m + 55.0m + 45.0m]으로 이루어져 있다. 본 과업은 준공(2002년) 이후 2회차로 시행하는 정밀안전진단으로, 시공자료 분석을 포함하여, 현장조사, 각종시험 및 구조안전성평가 등을 통한 종합결론을 요약하면 다음과 같다.

가. 외관조사 결과

- 각 부재별 외관조사 결과, 주요 손상으로는 바닥판하면의 미세균열(0.2mm이하, 횡방향 균열), 폭 0.3mm이상 균열, 균열부 백태, 강박스 거더의 내·외부 도장박리 및 부식, Splice 볼트부식, 하부구조의 미세균열 및 0.3mm이상의 균열, 받침장치의 이동량 초과, 표면부식, 받침물탈 및 콘크리트 균열, 박락, 신축이음장치의 유간 협착 및 후타재 균열, 파손, 교면포장의 아스콘 균열, 배수시설의 배수구 막힘, 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 균열폭에 따른 적절한 보수가 필요하다.
- 하부구조에서 조사된 0.3mm미만의 균열은 대부분 Massive한 기둥부에서 시공초기 수화

열에 의한 내외부 온도차 및 건조수축균열로 판단되며, 내구성 확보를 위해 주입보수가 필요하고, 국부적인 미세균열(폭 0.2mm이하) 등에 대해서는 표면처리보수가 필요하다.

- 교대 A1, A2의 원호활동에 의한 측방유동 검토결과 기준안전율을 상회하여 측방유동의 가능성은 없는 것으로 검토되었고 교대 A2에 대한 2차원 수치해석을 통한 지반해석 결과 최대 수평변위는 14.52mm, 침하량은 4.01mm로 허용값 이내로 분석되었다.
- 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 협착(A2) 본체 부식, 후타재 균열 및 파손, 포장의 균열 및 소성변형 등의 손상은 공용년수의 증가, 중차량 통행 등이 원인으로 지속적인 관찰을 통하여 손상 진전여부검토가 필요하다.
- 기타, 소규모로 발생한 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 상태등급은 “a”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 $X=0.258$)로 평가되었다.
- 기 진단(2012년) 대비 금회 진단 결과에 따른 상태등급이 상향 조정되었으며, 그 원인은 바닥판 하면 및 교대, 교각에 발생한 균열보수, 신축이음 장치 보수, 받침장치 도장보수에 따라 상태 등급이 상향된 것으로 분석되었다.

라. 안전성평가 결과

- 구조검토를 통한 안전성 검토결과, 바닥판의 캔틸레버부와 중앙 단면은 최소 안전율 1.0이상인 1.401으로 평가되어 안전성을 확보하고 있으며, 강박스 거더의 휨응력, 전단 응력, 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, 충주IC1교는 “B” 로 평가되었고, 안전등급은 『보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태』인 B등급으로 평가되었다.

바. 결론

- 충주IC1교는 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 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 일부 부재에 발생한 손상(바닥판하면 0.2mm이하의 횡방향 균열, 균열폭 0.3mm이상 균열, 균열부 백태 및 누수흔적, 강박스 거더의 내·외부 도장박리 및 부식, Splice 볼트부식, 볼트볼림, 용접불량, 받침장치의 이동량 초과(A2), 부식, 재료분리 및 파손, 교량받침 몰탈 및 콘크리트 균열, 박락, 신축이음장치의 유간 협착 및 후타재 균열 및 파손, 교면포장의 아스콘 균열, 배수시설의 배수구 막힘, 방호벽의 균열 및 단차, 철근노출 및 파손, 박락 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	1
1.1 과업의 목적	3
1.2 과업의 범위 및 내용	3
1.2.1 과업의 범위	3
1.2.2 과업수행 기간	3
1.2.3 과업의 내용	4
1.3 과업수행 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	9
1.5 사용장비 및 시험기기의 현황	19
1.6 교량 기호의 정의	20
제2장 자료수집 및 분석	21
2.1 자료수집 현황	23
2.2 건설 관련자료 검토결과 요약	25
2.2.1 구조 및 수리계산서 검토	25
2.2.2 설계도면 검토	29
2.2.3 토질 및 지반조사 자료검토	29
2.3 기존 점검 및 진단 실시결과 요약	34
2.3.1 점검 및 진단이력	34
2.3.2 기존 진단 실시결과	37
2.4 보수·보강 이력	41

2.5 시설물의 내진설계 여부	41
2.5.1 교량 내진설계 기준	41
2.5.2 내진설계 조건 및 검토	41
2.6 자료분석 결과	44
제3장 현장조사 및 시험	47
3.1 개 요	49
3.2 외관조사	52
3.2.1 상부구조	52
3.2.2 하부구조	66
3.2.3 교대 기울기 측정	82
3.2.4 신축이음장치	89
3.2.5 교면포장	94
3.2.6 기타부재	98
3.3 콘크리트 내구성조사	106
3.3.1 개 요	106
3.3.2 시험내용 및 평가기준	109
3.3.3 시험결과 및 분석	122
3.4 강재 내구성조사	130
3.4.1 개 요	130
3.4.2 시험내용 및 평가기준	133
3.4.3 시험결과 및 분석	138
3.5 현장조사 결과요약	141
3.5.1 외관조사 결과요약	141
3.5.2 내구성조사 결과요약	146
제4장 시설물의 상태평가	147
4.1 상태평가 기준	149
4.1.1 부재별 상태평가 적용 범위	149
4.1.2 부재별 상태평가 기준	150
4.1.3 구조형식에 따른 부재별 가중치	155
4.2 상태평가 결과 산정방법	156

4.2.1 경간(지점)별 부재 상태평가 산정	156
4.2.2 전체 시설물의 상태평가 결과 결정	156
4.2.3 상태평가 결과 산정 방법	156
4.3 상태평가 결과	157
4.3.1 각 부재별 상태평가 결과	157
4.3.2 각 부재별 상태평가 결과 분석	161
4.3.3 전체 시설물 상태평가 결과	162
4.3.4 상태평가 결과 분석	163
제5장 시설물의 안전성평가	165
5.1 개 요	167
5.2 상부구조 안전성평가	167
5.2.1 S1 ~ S3 경간	167
5.3 내하력평가	197
5.3.1 개 요	197
5.4 하부구조 안전성 평가	201
5.4.1 교대(A1) 구조검토	201
5.4.2 교대(A2) 구조검토	209
5.4.3 교각(P2) 구조검토	217
5.5 안전성평가 결과요약	239
5.5.1 상부구조	239
5.5.2 하부구조	240
제6장 종합평가 및 안전등급의 지정	241
6.1 종합평가	243
6.1.1 종합평가 결과 산정방법	243
6.1.2 종합평가 결과	244
6.2 안전등급	245
6.2.1 안전등급 기준	245
6.2.2 안전등급 지정	245

제7장 보수·보강 및 유지관리방안	247
7.1 개 요	249
7.2 보수·보강 방안	250
7.2.1 보수·보강 추진방향 및 우선순위의 선정	250
7.2.2 결함내용별 보수·보강방안	251
7.2.3 주요결함 및 손상에 대한 보수·보강 방법	253
7.3 보수·보강 개략공사비	273
7.4 유지관리 방안	275
7.4.1 진단결과에 따른 중점유지관리 사항	275
7.4.2 유지관리시 점검요령	278
7.4.3 붕괴유발부재 현황 및 관리요령	291
제8장 종합결론	295

표 목차

제1장 정밀안전진단 개요	1
【표 1-1】 과업의 내용	4
【표 1-2】 과업수행 공정표	6
【표 1-3】 시설물 현황	7
【표 1-4】 사용장비 및 시험기기	19
【표 1-5】 교량 기호 정의	20
제2장 자료수집 및 분석	21
【표 2-1】 자료수집 현황	23
【표 2-2】 시설물 설계시 적용한 물성치 및 하중조건	25
【표 2-3】 설계도면 검토 결과	29
【표 2-4】 본 조사지역 지질계통도	31
【표 2-5】 본 조사지역 지층 구성 상태	33
【표 2-6】 점검 이력 사항	34
【표 2-7】 정밀안전진단 결과분석	37
【표 2-8】 보수·보강 이력사항	41
【표 2-9】 내진설계 조건	42
【표 2-10】 자료분석 결과	44
제3장 현장조사 및 시험	47
【표 3-1】 부재별 조사항목	50
【표 3-2】 현장조사 기간	50
【표 3-3】 충주IC1교의 일반현황, 하부 주변현황 및 접근장비	51
【표 3-4】 바닥판 외관조사 결과	52
【표 3-5】 바닥판 기 진단결과 비교	54
【표 3-6】 Steel Box Girder 내부 외관조사 결과	55
【표 3-7】 Steel Box Girder 내부 기 진단결과 비교	58
【표 3-8】 Steel Box Girder 격벽 외관조사 결과	60
【표 3-9】 Steel Box Girder 외부 외관조사 결과	62
【표 3-10】 Steel Box Girder 외부 기 진단결과 비교	64
【표 3-11】 교대 외관조사 결과	66
【표 3-12】 교대 기 진단결과 비교	68

【표 3-13】 교각 외관조사 결과	70
【표 3-14】 교각 기 진단결과 비교	73
【표 3-15】 교량받침 외관조사 결과	75
【표 3-16】 교량받침 기 진단결과 비교	77
【표 3-17】 연단거리 측정결과	78
【표 3-18】 교량받침 가동량 산정	79
【표 3-19】 교량받침 계산 가동량 산정	80
【표 3-20】 교량받침 가동여유량 검토결과	80
【표 3-21】 교량받침 가동상태 검토결과	81
【표 3-22】 광과기를 이용한 측량 결과	83
【표 3-23】 다림추를 이용한 기울기 결과	84
【표 3-24】 경사계를 이용한 기울기 결과	85
【표 3-25】 기준안전율	86
【표 3-26】 설계지진 가속도	86
【표 3-27】 허용 수평변위 및 침하량	86
【표 3-28】 적용 물성치	87
【표 3-29】 신축이음장치 외관조사 결과	89
【표 3-30】 신축이음장치 기 진단결과 비교	91
【표 3-31】 계산 신축량 산정	92
【표 3-32】 신축이음 유간 측정결과	92
【표 3-33】 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동상태 검토결과	93
【표 3-34】 신축이음 신축이동량 산정	93
【표 3-35】 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량 검토결과	94
【표 3-36】 교면포장 외관조사 결과	95
【표 3-37】 교면포장 기 진단결과 비교	96
【표 3-38】 배수시설 외관조사 현황	99
【표 3-39】 배수시설 기 진단결과 비교	99
【표 3-40】 방호벽 외관조사 결과	101
【표 3-41】 기 진단결과 비교	104
【표 3-42】 현장시험 항목	106
【표 3-43】 비파괴시험 실시 수량	107
【표 3-44】 보정반발경도(R0)	110
【표 3-45】 기존의 비파괴강도 추정 제안식(반발경도시험)	111
【표 3-46】 채령계수 α 값	111
【표 3-47】 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인	116
【표 3-48】 탄산화 상태평가 기준	118
【표 3-49】 염화물 평가기준(콘크리트구조기준, 2012)	119
【표 3-50】 염화물 상태평가 기준(안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 2010.12)	119

【표 3-51】 콘크리트 비파괴 강도시험 결과	122
【표 3-52】 기진단 결과와 비교	123
【표 3-53】 철근탐사 결과	124
【표 3-54】 보정계수를 적용한 초음파 속도	125
【표 3-55】 탄산화 깊이 측정결과 및 평가	126
【표 3-56】 기진단 결과와 비교(탄산화 깊이 측정 결과, 단위 : mm)	126
【표 3-57】 염화물 함유량 시험결과	127
【표 3-58】 기진단 결과와 비교(염화물 함유량, 단위 : kg/m ³)	128
【표 3-59】 균열깊이 측정 결과	129
【표 3-60】 강재 비파괴시험 현황	130
【표 3-61】 결함의 등급 분류	134
【표 3-62】 용접부 결함의 합·부 판정기준	134
【표 3-63】 일반환경용 중방식 도장(도로교표준시방서(1999, 한국도로교통협회))	136
【표 3-64】 강재두께의 허용오차	138
【표 3-65】 초음파탐상(UT) 시험결과	138
【표 3-66】 도막두께 측정결과	139
【표 3-67】 강재두께 측정결과	140
【표 3-68】 금회 진단 외관조사 결과요약	141
【표 3-69】 기 진단결과 비교표	144
【표 3-70】 내구성조사 결과 요약	146

제4장 시설물의 상태평가 147

【표 4-1】 부재별 상태평가 적용 범위	149
【표 4-2】 콘크리트 바닥판 상태평가 기준	150
【표 4-3】 강 거더 상태평가 기준	150
【표 4-4】 강 가로보와 세로보의 상태평가 기준	151
【표 4-5】 교대 상태평가 기준	151
【표 4-6】 콘크리트 교각 상태평가 기준	152
【표 4-7】 기초 상태평가 기준	152
【표 4-8】 교량받침 상태평가 기준	153
【표 4-9】 신축이음 상태평가 기준	153
【표 4-10】 교면포장 상태평가 기준	154
【표 4-11】 배수시설 상태평가 기준	154
【표 4-12】 방호벽 상태평가 기준	154
【표 4-13】 탄산화 상태평가 기준	155
【표 4-14】 염화물 상태평가 기준	155
【표 4-15】 구조형식에 따른 일반교량의 부재별 가중치	155

【표 4-16】 결함도 점수 범위에 따른 기준	156
【표 4-17】 콘크리트 바닥판 평가결과	157
【표 4-18】 강 거더(Steel Box Girder) 평가결과	157
【표 4-19】 강 가로보 평가결과	157
【표 4-20】 하부구조 평가결과	158
【표 4-21】 기초 평가결과	158
【표 4-22】 교량받침 평가결과	158
【표 4-23】 신축이음 평가결과	159
【표 4-24】 교면포장 평가결과	159
【표 4-25】 배수시설 평가결과	159
【표 4-26】 방호벽 평가결과	159
【표 4-27】 탄산화 평가결과	160
【표 4-28】 염화물 평가결과	160
【표 4-29】 각 부재별 상태평가 결과 분석	161
【표 4-30】 충주IC1교 상태평가 결과	162
【표 4-31】 충주IC1교 상태평가 결과 분석	163

제5장 시설물의 안전성평가 165

【표 5-1】 바닥판의 단면검토 결과	182
【표 5-2】 바닥판의 사용성(균열) 검토결과	182
【표 5-3】 플랜지의 유효폭 산정	186
【표 5-4】 바닥판의 유효폭 산정	186
【표 5-5】 경간(S1~S3) 정모멘트부 단면력 산정결과	190
【표 5-6】 지점부(P1~P2) 부모멘트부 단면력 산정결과	190
【표 5-7】 경간(S1) 정모멘트부 휨응력 검토결과	191
【표 5-8】 경간(S2) 정모멘트부 휨응력 검토결과	192
【표 5-9】 경간(S3) 정모멘트부 휨응력 검토결과	193
【표 5-10】 지점(P1) 부모멘트부 휨응력 검토결과	194
【표 5-11】 강박스 거더의 휨응력 검토결과	195
【표 5-12】 강박스 거더의 전단응력 검토결과	195
【표 5-13】 교량받침용량 검토	196
【표 5-14】 허용응력법에 의한 강박스 거더의 내하력평가 결과	198
【표 5-15】 강도설계법에 의한 바닥판 내하력평가 결과	198
【표 5-16】 2012년 강박스 거더의 내하력평가 결과	199
【표 5-17】 금회 강박스 거더의 내하력평가 결과	199
【표 5-18】 2012년 바닥판 내하력평가 결과	200
【표 5-19】 금회 바닥판 내하력평가 결과	200

제6장 종합평가 및 안전등급의 지정 241

【표 6-1】 종합평가 결과 244

【표 6-2】 시설물의 안전등급 245

제7장 보수·보강 및 유지관리방안 247

【표 7-1】 시설물의 보수·보강방안 수립에 따른 검토사항 249

【표 7-2】 보수·보강 우선순위 결정 기준 250

【표 7-3】 충주IC1교 - 보수·보강 일람표 251

【표 7-4】 수지주입공법의 종류 253

【표 7-5】 균열폭에 알맞은 수지의 점도 254

【표 7-6】 균열폭에 따른 주입파이프/패커의 간격 254

【표 7-7】 에폭시계 수지의 규격 254

【표 7-8】 주입공법 공법비교안 256

【표 7-9】 일반적인 단면 복구재의 분류 259

【표 7-10】 단면보수 공법비교안 260

【표 7-11】 강제부식부의 일반적인 도장보수 방법 261

【표 7-12】 강제 도장시 고려사항 262

【표 7-13】 전면 채도장시 부식환경에서 사용도료 및 건조도막두께 263

【표 7-14】 부분 채도장시 사용도료 및 건조도막두께 264

【표 7-15】 강제 거더 및 받침장치 발청부 도장보수 공법비교안 264

【표 7-16】 교량상부 교면방수공법 비교 269

【표 7-17】 충주IC1교 - 보수·보강 개략공사비 273

【표 7-18】 주요 손상별 중점 유지관리 사항 275

【표 7-19】 부재별 유지관리 중점사항 277

제8장 종합결론 295

그림 목차

제1장 정밀안전진단 개요	1
【그림 1-1】 과업수행 흐름도	5
【그림 1-2】 시설물사진	8
【그림 1-3】 종 · 평면도	9
【그림 1-4】 교대 A1 일반도	10
【그림 1-5】 교대 A2 일반도	11
【그림 1-6】 교각 일반도	12
【그림 1-7】 슬래브 일반도(1)	13
【그림 1-8】 슬래브 일반도(2)	14
【그림 1-9】 슬래브 일반도(3)	15
【그림 1-10】 강상형 일반도(1)	16
【그림 1-11】 강상형 일반도(2)	17
【그림 1-12】 강상형 일반도(3)	18
제2장 자료수집 및 분석	21
【그림 2-1】 자료수집 및 분석 흐름도	24
제3장 현장조사 및 시험	47
【그림 3-1】 구간별 근접장비 활용방법	51
【그림 3-2】 충주IC1교 교량받침 배치도	75
【그림 3-3】 대표단면 선정	87
【그림 3-4】 원호활동에 의한 방법(A1 교대)	87
【그림 3-5】 원호활동에 의한 방법(A2 교대)	88
【그림 3-6】 수치해석에 의한 방법(A2 교대)	88
【그림 3-7】 충주IC1교 신축이음 배치도	89
【그림 3-8】 신축이음 유간 측정방법	91
【그림 3-9】 배수시설 현황	98
【그림 3-10】 충주IC1교 방호벽 전경 및 단면도	101
【그림 3-11】 충주IC1교 기타 부대시설 전경(점검시설, 방음벽)	105
【그림 3-12】 콘크리트 내구성조사 위치도	107
【그림 3-13】 반발경도시험 및 측정기 점검 등의 절차	109
【그림 3-14】 철근탐사 측정원리	112

【그림 3-15】 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차	113
【그림 3-16】 탄산화에 의한 콘크리트 성능저하	116
【그림 3-17】 Tc - To법에 의한 균열깊이 측정방법	120
【그림 3-18】 여주JCT1교 등 14개소 균열깊이 측정 결과	121
【그림 3-19】 측정강도와 설계기준강도 비교	123
【그림 3-20】 초음파 전달속도를 이용한 콘크리트 품질측정	125
【그림 3-21】 탄산화 깊이 측정결과	126
【그림 3-22】 염화물 함유량 시험결과	128
【그림 3-23】 초음파탐상시험 위치도	132
【그림 3-24】 초음파탐상(사각법)시험 개요도	133
【그림 3-25】 Gauge 영점조정	135
【그림 3-26】 Gauge 초기화(Calibration)	135
【그림 3-27】 초음파를 이용한 강재 두께의 측정방법	137
【그림 3-28】 도막두께 측정결과	139
【그림 3-29】 강재두께 측정결과	140

제4장 시설물의 상태평가 147

【그림 4-1】 전체 교량의 상태평가 결과 산정 방법 예	156
【그림 4-2】 충주IC1교 전체시설물 상태평가 결과	162

제5장 시설물의 안전성평가 165

【그림 5-1】 해석단면	183
【그림 5-2】 합성전 바닥판 자중 재하도	184
【그림 5-3】 합성후 고정하중 재하도	184
【그림 5-4】 해석모델링	187
【그림 5-5】 휨모멘트	188
【그림 5-6】 전단력	189
【그림 5-7】 2차 부정정력에 대한 영향 검토	190
【그림 5-8】 해석단면(A1)	202
【그림 5-9】 해석단면(A2)	210
【그림 5-10】 해석단면(P2)	218

제6장 종합평가 및 안전등급의 지정 241

【그림 6-1】 종합평가 결과 산정절차	243

제7장 보수·보강 및 유지관리방안 247

【그림 7-1】 균열 보수공법 개요도	255
【그림 7-2】 단면복구 상세도	258
【그림 7-3】 상판열화부 보수 순서	266
【그림 7-4】 상면 교면방수 및 재포장	266
【그림 7-5】 상면 교면방수 및 재포장 순서	267
【그림 7-6】 유도배수로 설치 개요도	270
【그림 7-7】 스플라이스 틈새 실런트 주입	272

제8장 종합결론 295

◎ 부 록

1. 심의 지적사항 및 조치결과
2. 파업지시서
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

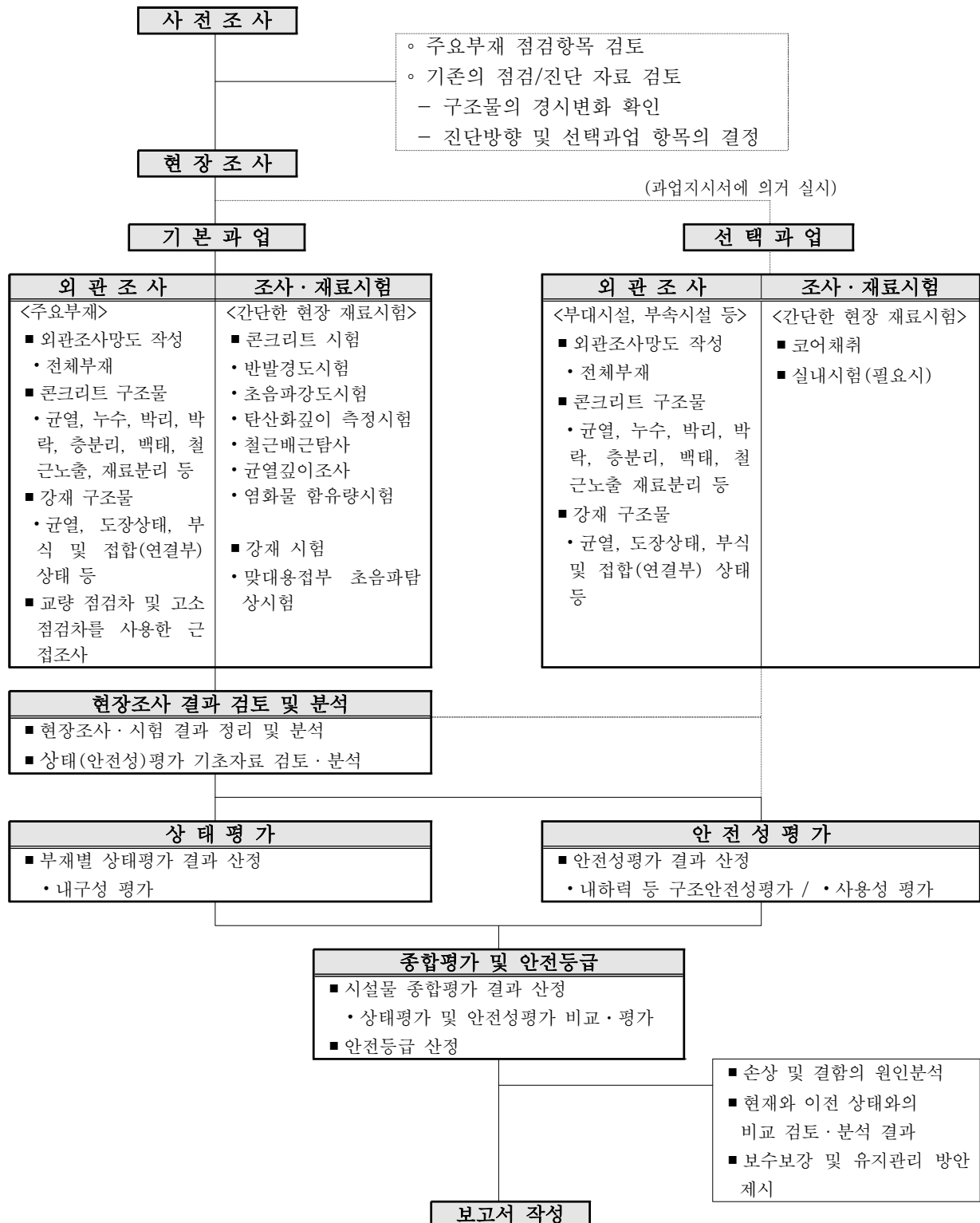
【표 1-1】 과업의 내용

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, 초음파전달 속도시험, 염화물 함유시험 등 · 철근탐사(배근상태, 피복두께) · 콘크리트 탄산화 깊이 측정 · 염화물 함유시험 · 균열깊이 측정(0.3mm이상 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

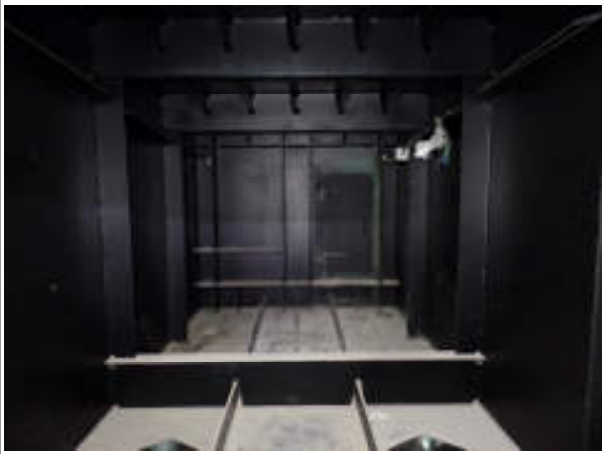
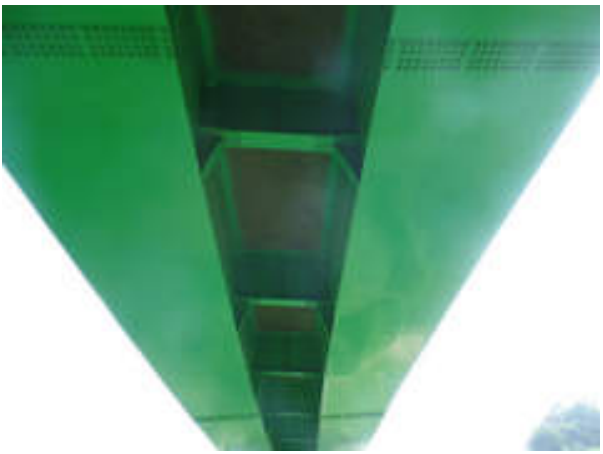
공 종	2016년(착수일로 부터 190일간)								비 고
	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월		
	2030	102031	102031	102030	102031	102030	102026		
1. 사전조사 · 착수 및 예비답사 · 관계자료 수집 및 분석 · 현장조사 계획수립	■	■						-과업수행계획서 : (사전검토보고서포함) 착수일(06.20.)로부터 14일 이내 제출	
2. 현장조사, 상태조사 · 외관조사 · 비파괴조사		■	■	■	■	■		-구조물별 상세일정은 첨부된 상세예정공정 표 참고 -필요시 2차 현장조사	
3. 조사결과 검토 및 분석			■	■	■	■			
4. 시설물의 상태평가				■	■	■	■	-필요시 2차 현장조사	
5. 안전성평가 및 종합 평가, 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 제출 하여 사전검토 후 미비된 사항은 수정 하여 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

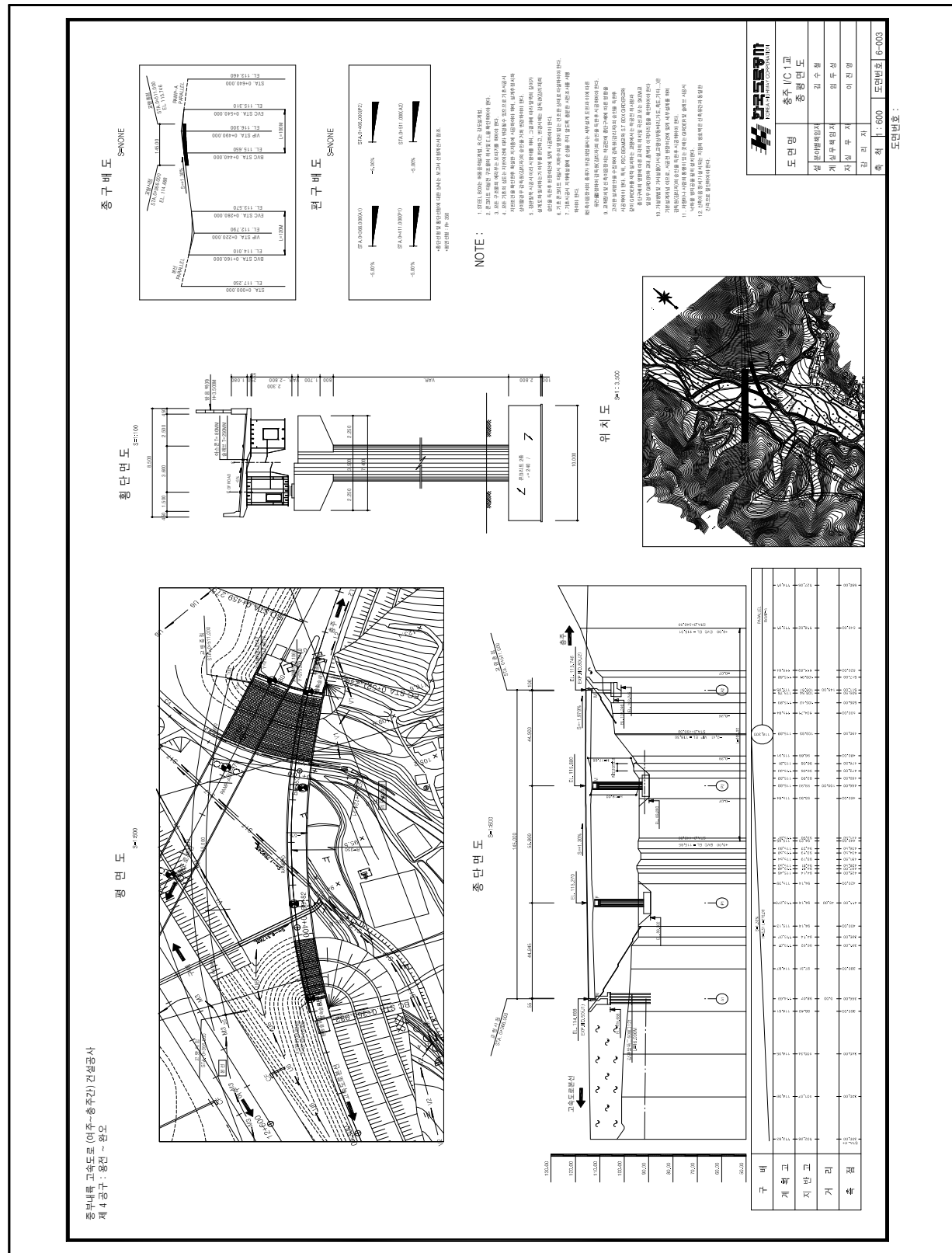
【표 1-3】 시설물 현황

구 분	내 용	구 분	내 용
시설물명	충주IC1교	관리주체	한국도로공사 충주지사
시설물위치	충청북도 충주시 이류면 완오리		
설계하중	DB-24	노선명	중부내륙선
준공년월	2002년 12월 30일	설계사	(주)대한콘설탄트
상부형식	Steel Boc Girder	시공사	현대건설(주)
교 폭	8.50m	감리사	한국도로공사
연 장	145.0m (1@45.0+1@55.0+1@45.0)	교대 형식	본체 역T형식
평면선형	곡선반경 130m	기초	확대+강과파일기초
교면포장	아스팔트 콘크리트	교각 형식	본체 T형식
난 간	콘크리트(방호벽)	기초	확대(전면기초)
배수구	강관파이프	신축이음	레일조인트
교량받침	포트받침	설계도서	유
교차시설물	—		

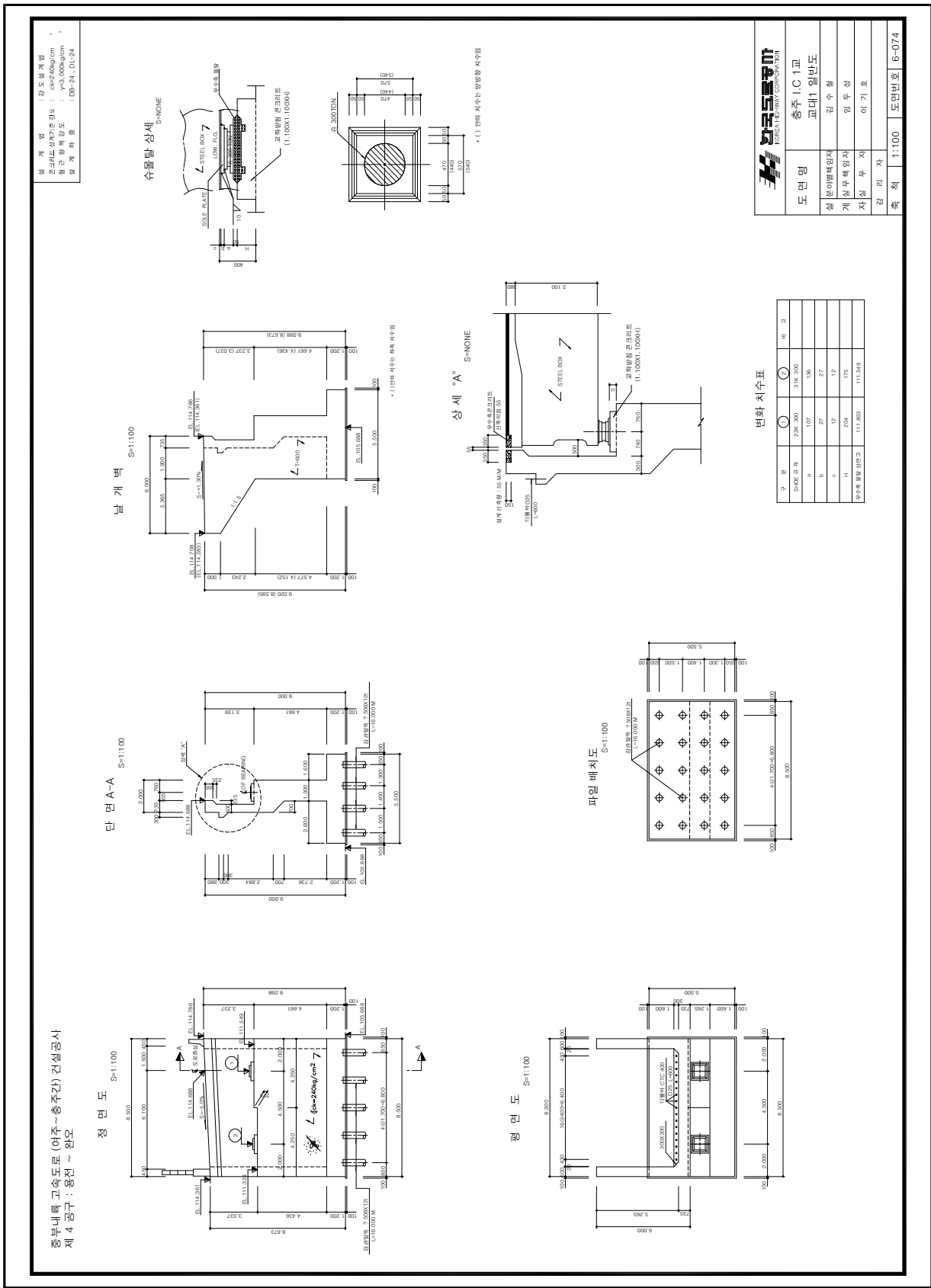
	
포장부 전경	측면 전경
	
Steel Box Girder 내부 전경	Steel Box Girder 외부 전경
	
교대 전경	교각 전경

【그림 1-2】 시설물사진

1.4.2 교량의 주요도면



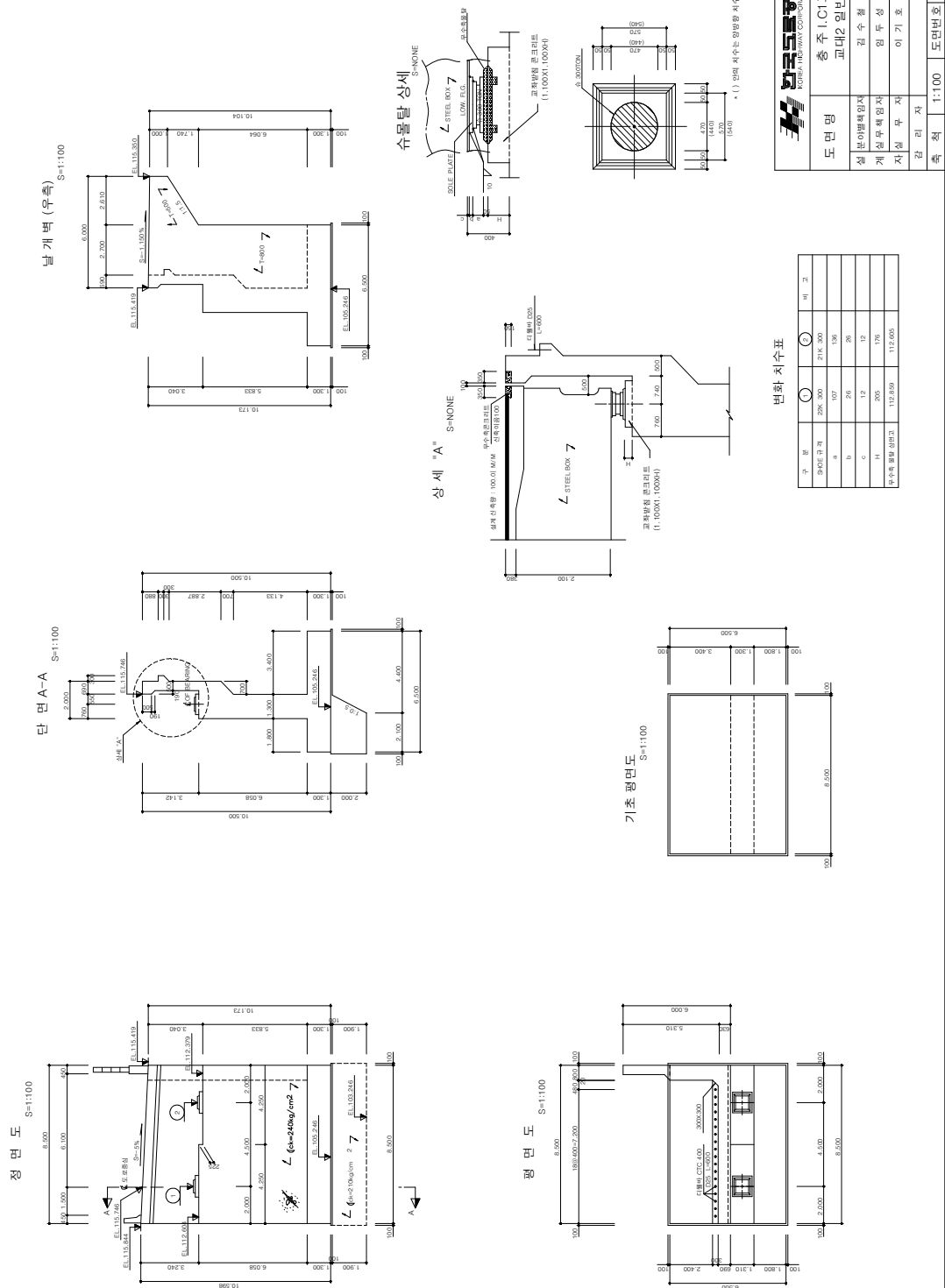
【그림 1-3】 종 · 평면도



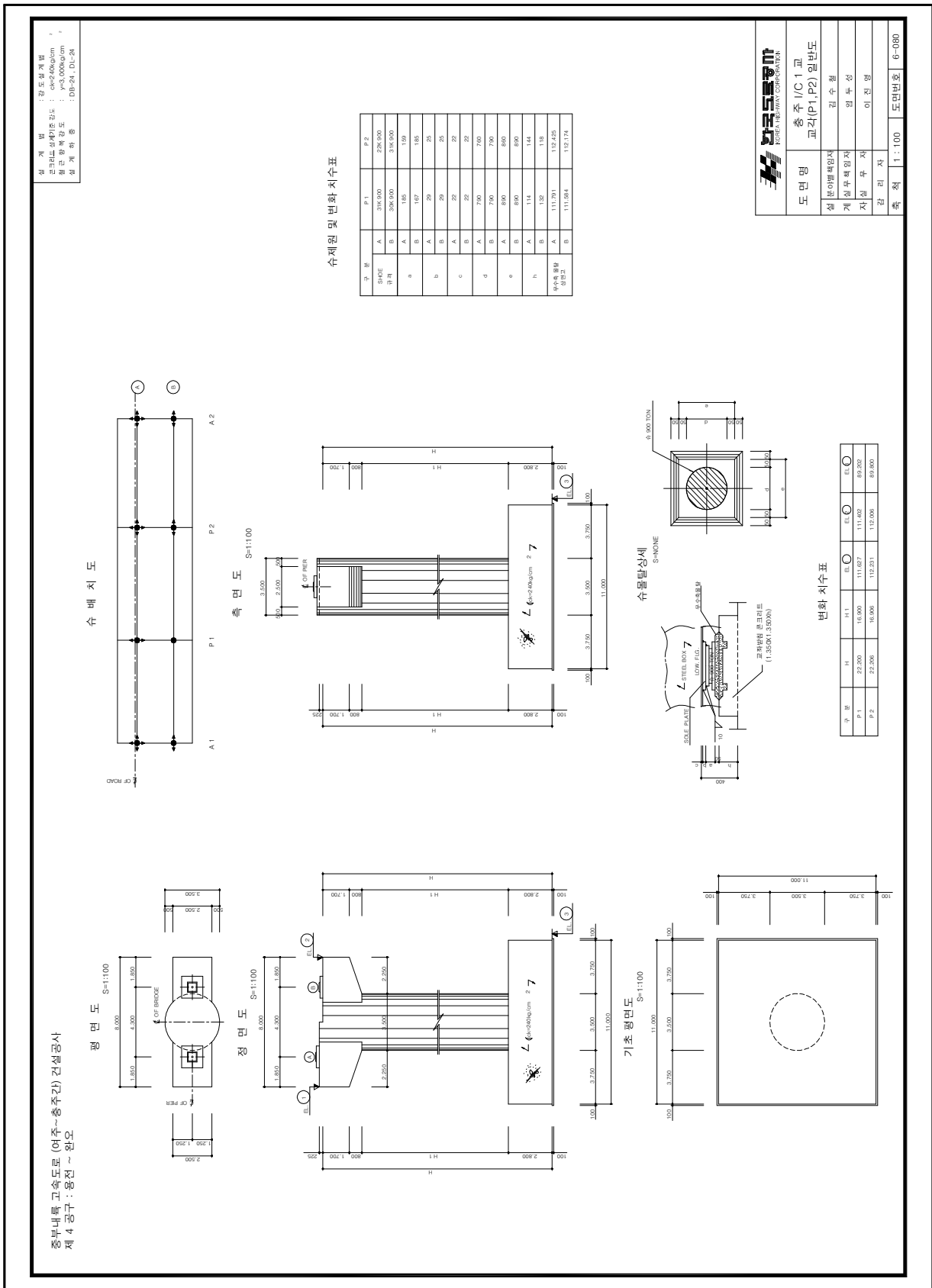
【그림 1-4】 교대 A1 일반도

충남내륙고속도로(여주~충주간)건설공사
제 4 공구 : 용전 ~ 원오

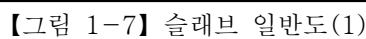
설 계 법 : 강도설계법
콘크리트 설계기준강도 : $c_k=24\text{N/cm}^2$
철근 항복강도 : $y_k=3,000\text{N/cm}^2$
설 계 하중 : DD-24, DL-24

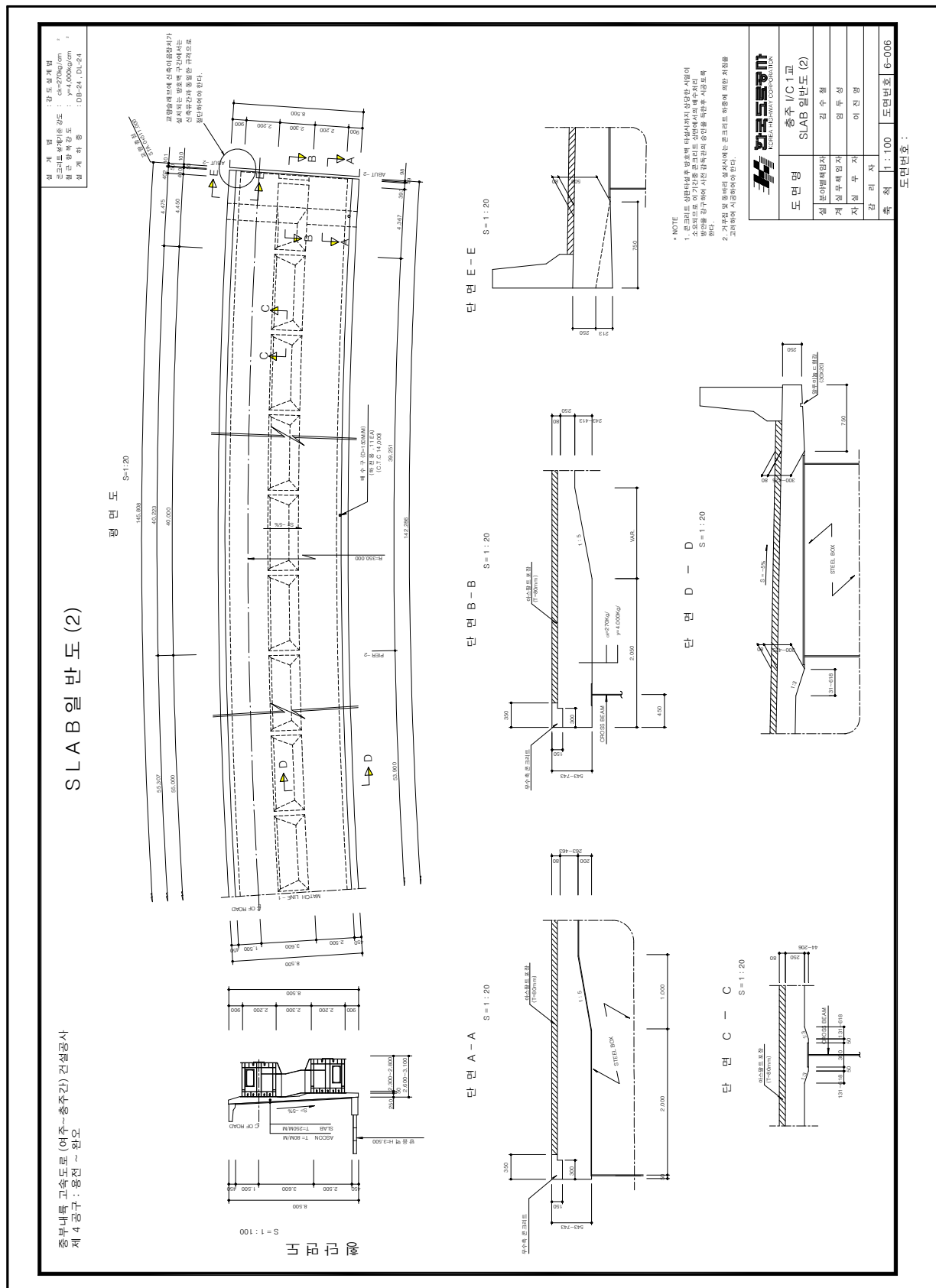


【그림 1-5】 교대 A2 일반도



【그림 1-6】 교각 일반도

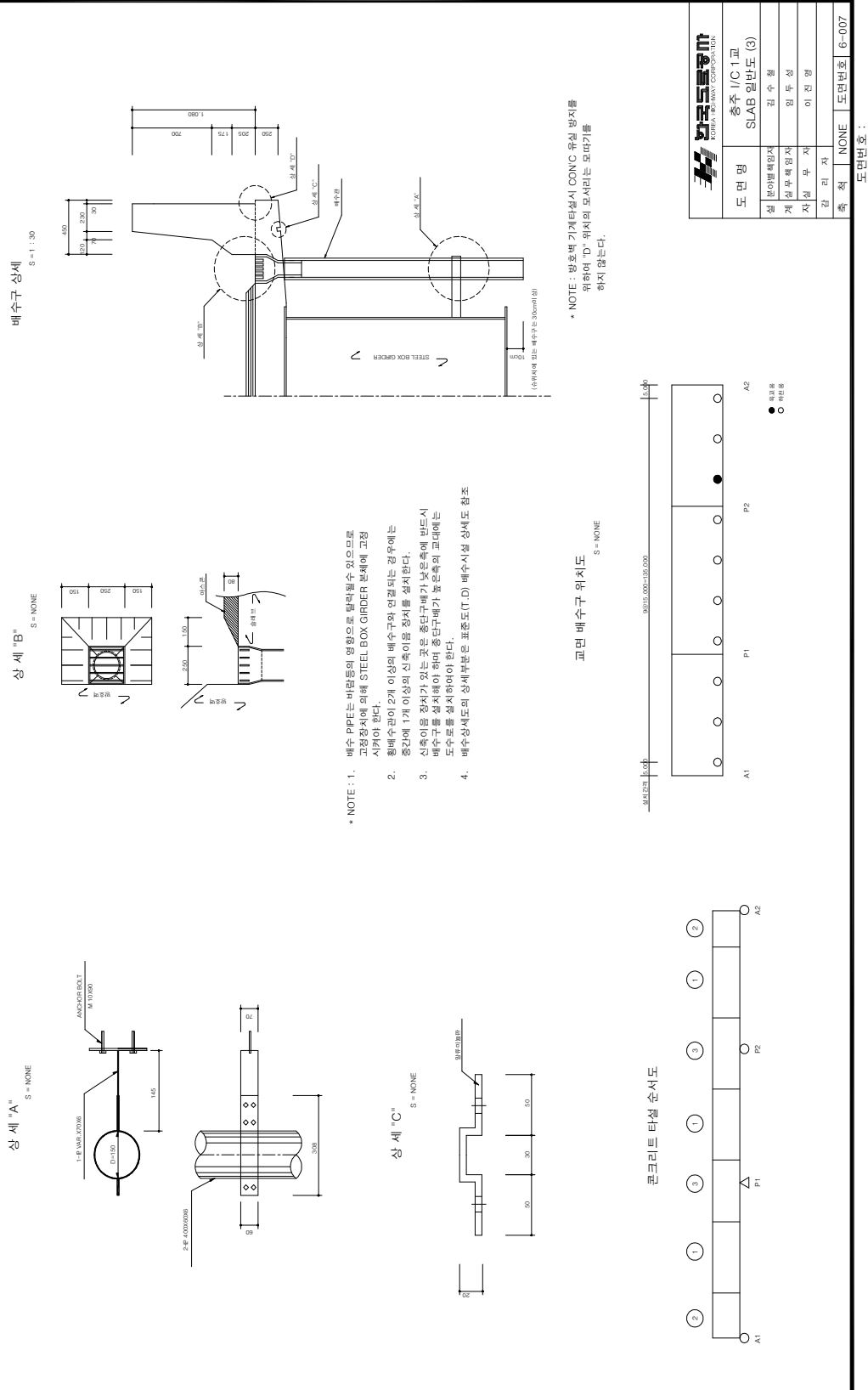




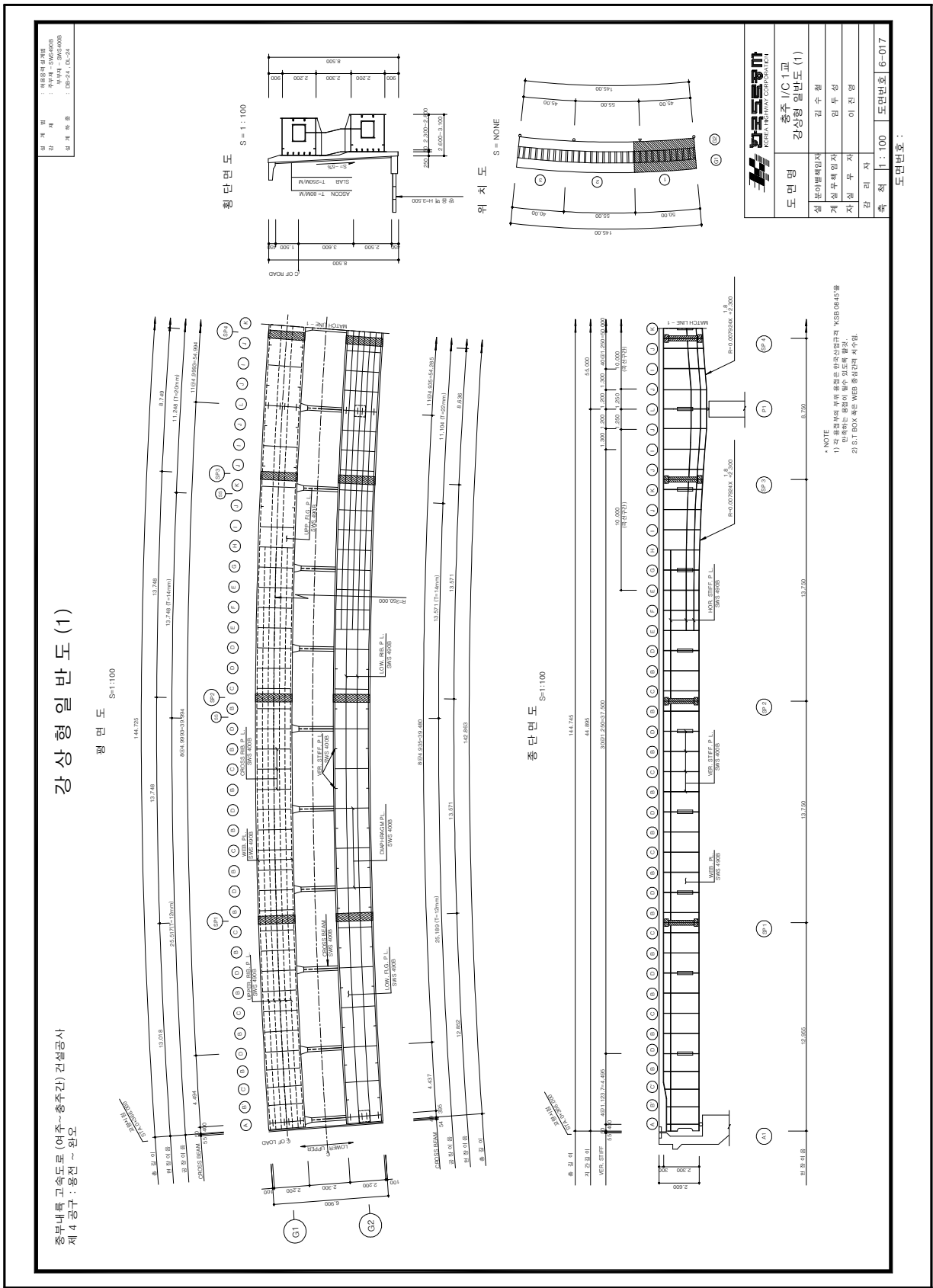
【그림 1-8】 슬래브 일반도(2)

SLAB 이판도 (3)

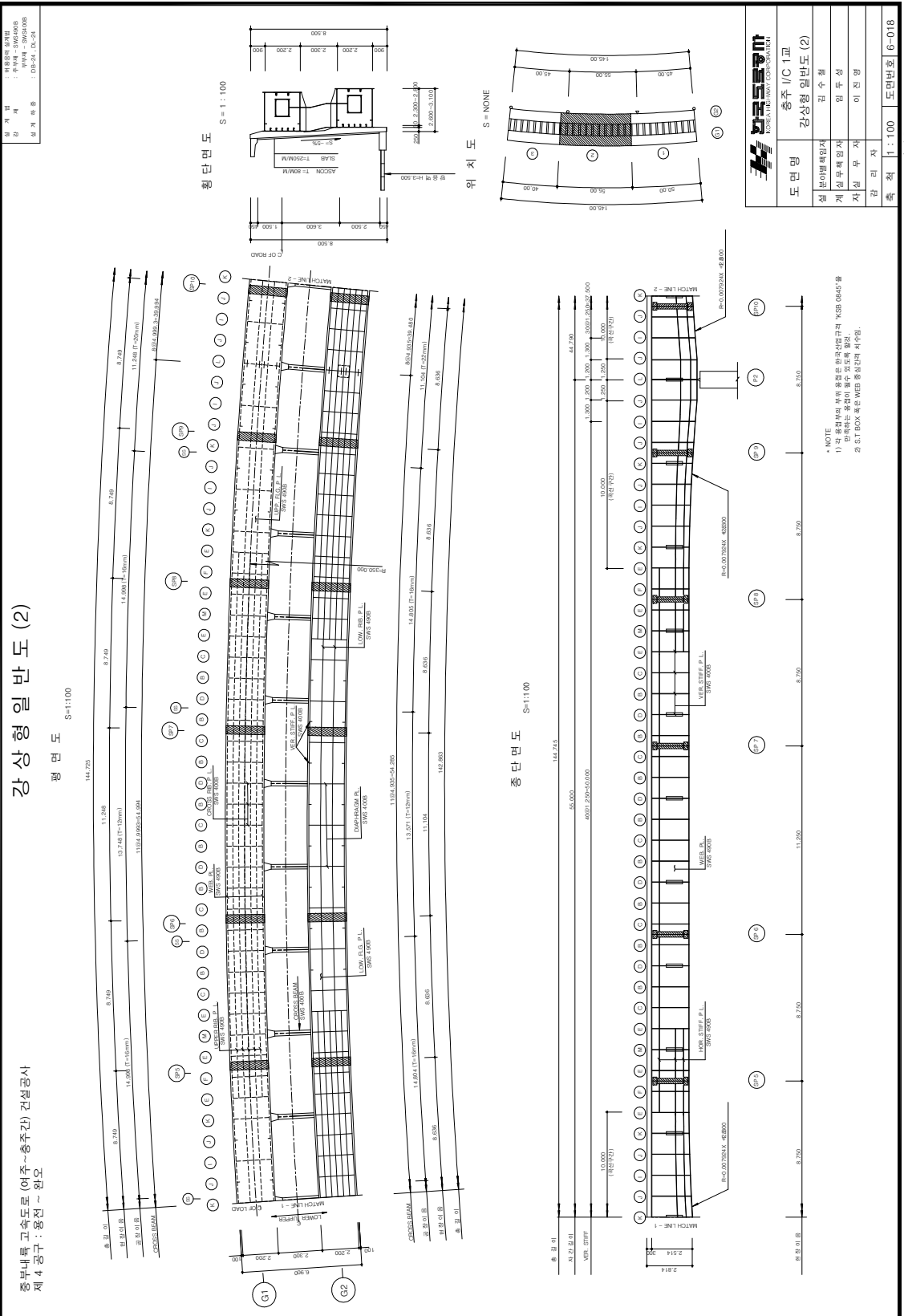
중과내탁고수도로 (여주~충주간) 건설공사
제 4 단 구 : 용진 ~ 완오



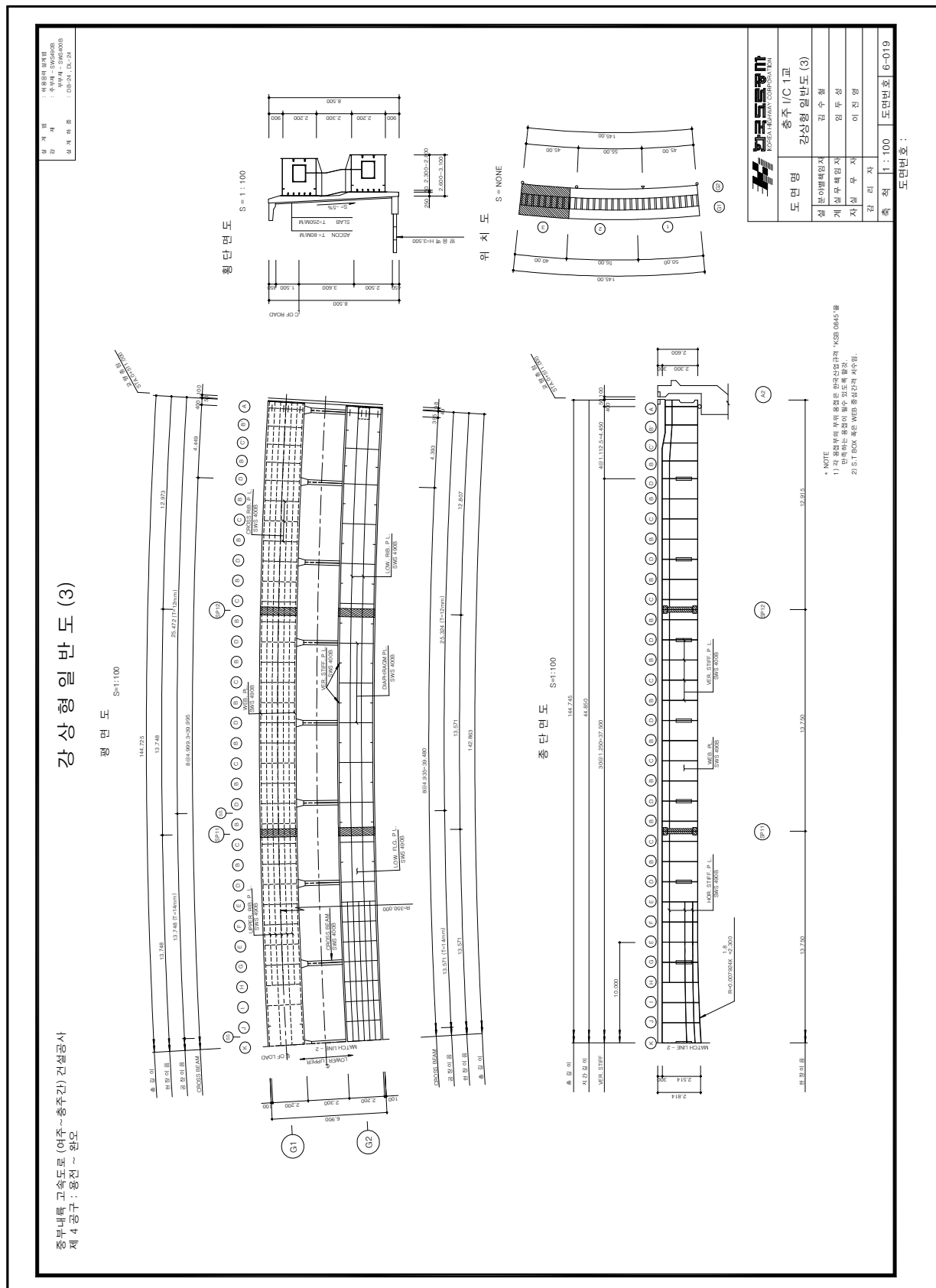
【그림 1-9】 슬래브 일반도(3)



【그림 1-10】 강상형 일반도(1)



【그림 1-11】 강상형 일반도(2)



1.5 사용장비 및 시험기기의 현황

【표 1-4】 사용장비 및 시험기기

장 비 명		규 격	용 도	활 용 방 법	사 진	비 고
콘 크 리 트	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 스캐너를 통해 한쪽방향으로 이동 하여 철근의 위치를 액정화면을 통해 측정		
보 조 기 구	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

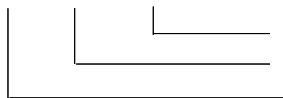
대상 교량의 정밀안전진단을 수행하면서 진단의 효율성과 통일성을 기하기 위하여 각 위치별, 부재별 기호를 부여하였다.

【표 1-5】 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	Diaphragm
	현장이음부	SP	Splice
	좌측복부	LW	Left-Web
	우측복부	RW	Right-Web

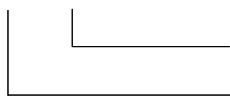
* 일련번호 (n)

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

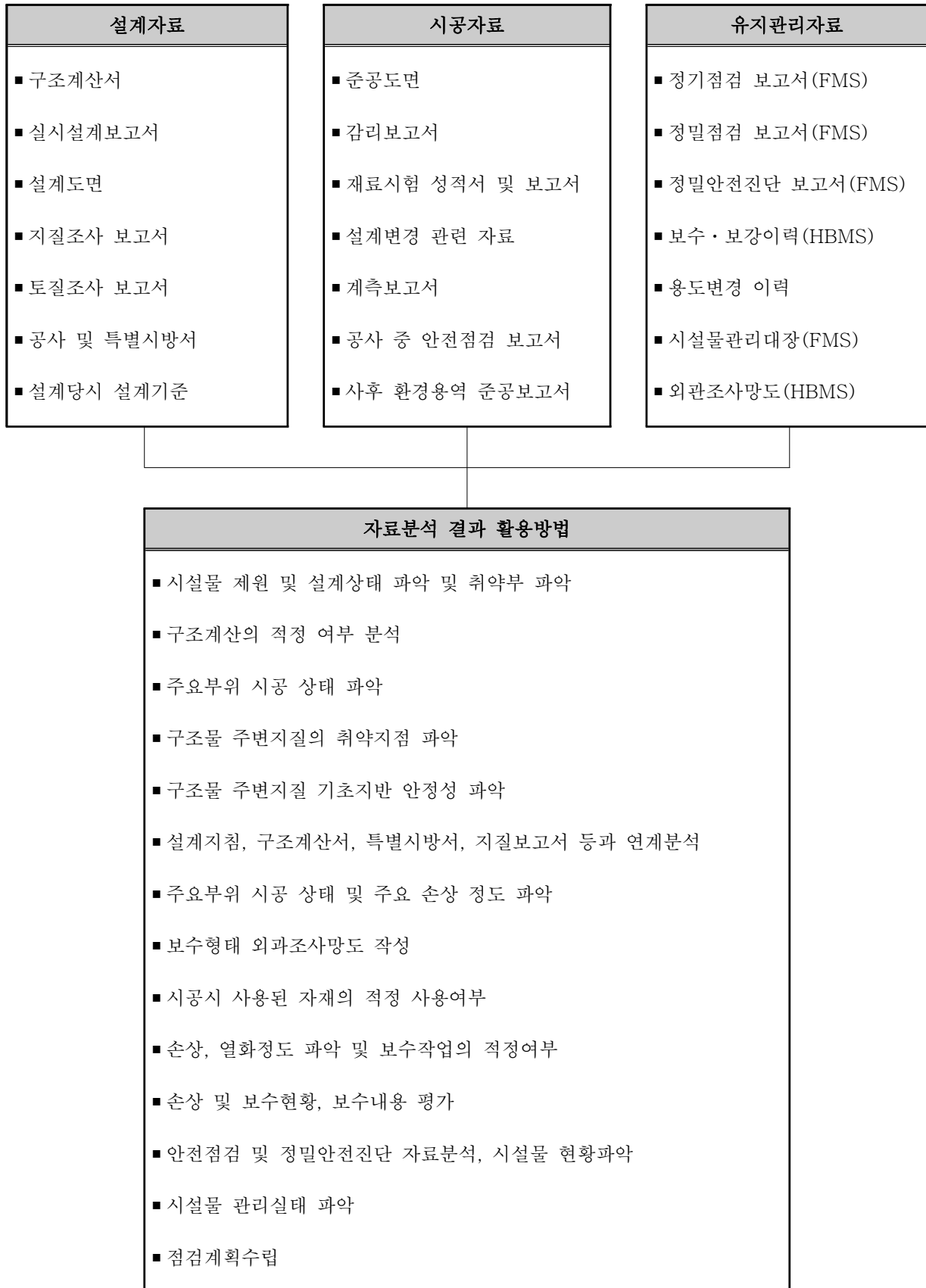
본 과업에 대한 자료조사는 주변현황 자료와 시설물의 설계, 시공 및 유지관리 관련자료로 대별되며, 자료 분석을 통하여 과업 수행의 추진방향과 세부계획을 수립하였다.

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 ◦ 설계도면 - 교량 위치도, 평면도, 단면도(종·횡), 상부·하부 구조물도, 신축이음·교량받침 상세도	◦ 중부내륙 고속도로 (충주~여주간) 건설공사 제4공구 - 일반보고서(2002.12.) - 토질조사보고서(2002.12.) - 준공도면(2002.12.) - 구조 및 수리계산서(2002.12.) - 준공내역서(2002)
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 제4공구 - 시공기록보고서(2002.12.) - 시공관련 자료 - 품질시험기록 - 관리 및 선정시험 기록 등 각종 시험 기록
안전점검 자료		◦ 중부내륙 고속도로 (충주~여주간) 건설공사 제4공구 - 정기안전점검보고서(2002.11.) - 정밀안전진단보고서(2012.12.)



【그림 2-1】 자료수집 및 분석 흐름도

2.2 건설 관련자료 검토결과 요약

2.2.1 구조 및 수리계산서 검토

중부내륙고속도로(충주~여주간) 건설공사 4공구 실시설계의 과업기간은 1996년 11월 18일~1997년 12월 21일이며, 설계시 적용한 표준시방서 및 설계기준은 다음과 같다.

- 콘크리트 표준시방서(1996. 건설교통부)
- 철근콘크리트 설계편람(I, II) (1990. 건설교통부)
- 도로교 표준 시방서 (1996. 건설교통부)
- 도로시설 기준령(개정안) (한국도로공사)
- 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
하 중	고정 하중	◦ 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 제4공구 - 구조 및 수리계산서(2002. 12 한국도로공사)

가. 구조해석 결과 요약

1) 상부구조

구 분		내 용
바닥판 설계	개 요	- Steel Box Girder교 - 경간 : 55.0m, L=145.0m - 교폭 : 8.5m
	캔틸레버 (방호벽) 안전성 검토	- 바닥판 최소두께 검토 $25.53 \leq 30.00$ O.K - 단면검토 - 설계모멘트 : $M_u = 4.675t \cdot m$ - 모멘트 소요철근량 $\Phi M_n = 12.217t \cdot m > M_u$ O.K - 소요철근 $A_s = 7.8055cm^2$, 사용철근 $A_s = 15.888cm^2$ - 배력 소요철근량 교축방향 : 소요철근 $A_s = 15.611cm^2$, 사용철근 $A_s = 30.968cm^2$ 교축직각방향 : 소요철근 $A_s = 21.290cm^2$, 사용철근 $A_s = 25.807cm^2$ - 사용성 검토 - 처짐검토 $\delta_{min} = 9.0cm < T = 30cm$ O.K - 균열폭 검토 $W = 0.09mm < W_a = 0.26mm$ O.K
	캔틸레버 (방음벽) 안전성 검토	- 단면검토 - 설계모멘트 : $M_u = 9.107t \cdot m$ - 모멘트 소요철근량 $\Phi M_n = 12.225t \cdot m > M_u$ O.K - 소요철근 $A_s = 8.400cm^2$, 사용철근 $A_s = 15.900cm^2$ - 배력 소요철근량 교축방향 : 소요철근 $A_s = 23.308cm^2$, 사용철근 $A_s = 30.968cm^2$ 교축직각방향 : 소요철근 $A_s = 21.306cm^2$, 사용철근 $A_s = 25.807cm^2$ - 사용성 검토 - 처짐검토 $\delta_{min} = 9.0cm < T = 30cm$ O.K - 균열폭 검토 $W = 0.11mm < W_a = 0.26mm$ O.K
	중앙부 안전성 검토	- 바닥판 최소두께 검토 $24.80 \leq 25.00$ O.K - 단면검토 - 설계모멘트 : $M_u = 7.180t \cdot m$ - 모멘트 소요철근량 $\Phi M_n = 10.596t \cdot m > M_u$ O.K - 소요철근 $A_s = 7.350cm^2$, 사용철근 $A_s = 15.888cm^2$

구 분		내 용
바닥판 설계	중앙부	- 배력 소요철근량 소요철근 $A_s = 10.645cm^2$, 사용철근 $A_s = 13.240cm^2$ ◦ 사용성 검토 - 처짐검토 $\delta_{min} = 8.21cm < T = 30cm$ O.K - 균열폭 검토 $W = 0.12mm < W_a = 0.26mm$ O.K
거더 설계	개요	◦ Steel Box Girder교(3경간 연속) ◦ 하중반복횟수 - 특력하중 : 200 만회 이상, - 차선 하중 50 만회 이상
	사용성 검토	◦ 응력검토 - 1경간 $\Delta\delta_{si} = 473.559kgf/cm^2 < 1120kgf/cm^2$ O.K - 2경간 $\Delta\delta_{si} = 506.319kgf/cm^2 < 1120kgf/cm^2$ O.K

2) 하부구조

구 분		내 용
교대	개요	◦ 교대형식 - 역T형 교대 - 확대(교대2)+강관파일기초(교대1) ◦ 제원 - H=9.098m - B=5.500m - L=8.500m - $\angle = 90^\circ$
	A1 (강관파일) 안정 검토	◦ 전도 - 상부구조 설치 전 : $F_s = 3.29 > 2.0$ O.K - 상부구조 설치 후 : $F_s = 3.70 > 2.0$ O.K ◦ 활동 - 상부구조 설치 전 : $F_s = 1.35 < 1.5$ N.G - 상부구조 설치 후 : $F_s = 1.85 > 1.5$ O.K ◦ 벽체 단면검토 - 설계모멘트 : $M_u = 123.287t \cdot m$ - 철근량 산정 $\Phi M_n = 188.837t \cdot m > M_u$ O.K - 소요철근 $A_s = 55.116cm^2$, 사용철근 $A_s = 64.240cm^2$ - 전단력 검토 $\frac{1}{2}\Phi S_c = 34.485t < S_u = 38.276t$ 최소전단철근 필요 - 소요철근 $A_v = 3.500cm^2$, 사용철근 $A_v = 3.972cm^2$

구 분		내 용
교대	A1 (강관파일) 안전성 검토	◦ 홍벽 단면검토 - 설계모멘트 : $M_u = 22.512t \cdot m$ - 철근량 산정 $\phi M_n = 29.145t \cdot m > M_u$ O.K - 소요철근 $A_s = 21.856cm^2$, 사용철근 $A_s = 28.650cm^2$ - 전단력 검토 $\frac{1}{2}\phi S_c = 12.070t > S_u = 10.561t$ 전단철근 불필요
	A2 (직접기초) 안전성 검토	◦ 전도 - 평상시 : $F_s = 3.616 > 2.0$ O.K - 지진시 : $F_s = 2.601 > 1.2$ O.K ◦ 활동 - 평상시 : $F_s = 2.422 > 1.5$ O.K - 지진시 : $F_s = 1.754 > 1.5$ O.K ◦ 벽체 단면검토 - 설계모멘트 : $M_u = 193.573t \cdot m$ - 철근량 산정 $\phi M_n = 231.119t \cdot m > M_u$ O.K - 소요철근 $A_s = 65.922cm^2$, 사용철근 $A_s = 79.420cm^2$ - 전단력 검토 $\frac{1}{2}\phi S_c = 34.485t < S_u = 51.369t$ 최소전단철근 필요 - 소요철근 $A_v = 3.500cm^2$, 사용철근 $A_v = 3.972cm^2$
교 각	개 요	◦ 교각형식 - T형 교각 - 확대기초 ◦ 제원 - H=22.8m(기초 : 2.8m, 코핑 : 2.5m) - 기둥 $\phi = 3.5m$ - B=10.0(기초)
	안전성 검토	◦ 단면검토 - 전단마찰 철근 $A_{vf} = 276.028cm^2$ - 휨철근 $A_f = 124.324cm^2$ - 인장철근 직접인장 : $A_v = 77.287cm^2$ 주인장 : 소요철근 $A_s = 261.305cm^2$ 사용철근 $A_s = 285.912cm^2$ - 전단철근 소요철근 $A_s = 92.009cm^2$ 사용철근 $A_s = 103.14cm^2$

2.2.2 설계도면 검토

본 교량은 총연장 145.0m(1@45.0m+1@55m+1@45.0m)이며, 상부구조는 3경간의 STB 형식으로써, 교각의 주형식은 T형이고 기초는 직접기초로 이루어져 있으며, 교대의 형식은 역 T형이고 기초는 강관파일기초(A1) 및 직접기초(A2)로 시공되어 있다.

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

【표 2-3】 설계도면 검토 결과

구 분		검토 내용
제 원		◦ 형식 : Steel Box Girder ◦ 길이 : 145.0m ◦ 폭 : 8.5m ◦ 부대시설 : 방음벽 설치
구 배	종구배	1.30%(A2방향)
	횡구배	5.00%(좌측방향)
방호벽	방호벽	◦ H=1.08m ◦ B=0.45m/0.23m
	방음벽	◦ H=3.5m
배수구	제 원	◦ D=0.15m ◦ H=Steel Box Girder에서 밑으로 0.1m이상, 슈위치는 0.3m이상
	배수구 개소	◦ S1 : 3개소 ◦ S2 : 4개소 ◦ S3 : 3개소
아스팔트 포장두께		t=80mm
Steel Box Girder	강재두께	◦ 강상형 본체 : 12~22mm ◦ 강상형 리브 : 12~20mm
연단거리	A1	표기되어 있지 않음
	A2	

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

본 조사지역은 행정구역상 충북 충주시 노은면 문성리~이류면 완오리 일원으로 설계구간의 우측에는 시점부를 향하여 북서방향으로 흐르는 남한강이 가까이 위치하고 있으며, 서쪽방향으로는 평풍산($\Delta 395.6\text{m}$), 자주봉산($\Delta 483.6\text{m}$) 및 남산($\Delta 404.1\text{m}$)이 위치하고 있고, 남쪽방향으로는 분지내에 이루어진 도심지인 주덕읍이 위치한다.

본 조사지역의 특색은 설계시점부는 북고남저형의 지형이며, 설계종점부는 북저남동고의 지형을 나타내고 대체로 준평원에 가까운 구룡성산지를 형성하고 있다.

나. 지질

본 조사지역의 지질은 중생대 백악기에 있었던 대심성 관입작용으로 형성된 충주화강암에 의하여 지배되어 이 화강암과 광역변성된 지층 및 암맥들로 구성되어 분포한다.

선캠브리아기의 편마암류를 최고기암으로하여 이를 부정합으로 덮는 고생대 오도비스기의 고운리층, 이를 부정합으로 덮는 선옥천층군의 시대미상인 변성퇴적층인 충주층군, 천등산층 및 서창리층이 있다. 선옥천층군의 모든 층만을 관입하고 있는 고기각섬암이 옥천층군 및 그 후기지층을 제외하고는 도처에 소규모 산재한다. 이를 부정합으로 특히 서창리층과는 뚜렷한 부정합으로 피복하는 옥천층군이 본 조사지역 동부에 소규모 분포한다, 중생대 백악기의 화강암류는 이를 모든 암층을 관입하였으며, 분화과생암인 암맥들로 구성되어 있다. 이들 화성암은 조사지역 내에 분포하는 전 지층을 관입하여 저지층이 거의 규화되었으며, 특히 충주층군의 계명산층은 장기간에 걸친 산박작용의 결과 Roof pendant를 잔존되며 화강암체의 지반이 드러나 있다. 저반을 형성하고 있는 것은 주로 흑운모화강암이며, 각섬석 화강암, 백운모 화강암과 소규모의 양 운모 화강암은 비교적 얇은 산에만 나타난다, 한편 흑운모가 거의 없고 괴상인 화강암은 비교적 높은 산에 분포한다.

결성질석회암층인 고운리층이 조사지역 서부에 분포하며, 변질천매암층인 서창리층은 계명산층, 향상돌로마이트석회암층, 대향산규암층으로 세분되어 분포한다. 시대미상의 옥천층군은 함력천매암질암과 녹니석편암으로 구성되어 있으며, 하부로부터 북노리층, 명오리층, 황강리층, 문주리층으로 세분되어 N60 °E 방향을 크고 작은 향사구조를 가지며 조사지역의 동부에 널리 분포한다. 백악기 불국사층군의 화성암류는 조사지역 전지역에 광범위하게 분포하며 저반을 형성하고 있다. 화성암류는 우백질 화강암인 young granite인 흑운모화강암이며, 이밖에 각섬석 화강암, 화강암반과 이들의 분포과생암맥이 북북동내지 북북서 방향으로 설계시점쪽, 중심부 및 종점쪽에 밀집되어 분포한다. 본 조사지역에 부존하는 모든 광상중 철광상을 제외한 비철금속, 비금속, 금·은광상은 규모로 보아 대광상은 거의 없고 특히 충주광산, 금곡광산 갭내에

관찰할 수 있는 기술한 화강암들은 부분적으로 미약한 재결정작용을 박은 흔적이 있으나, 일반적으로 철광층을 단지 절단하고 있음이 보통이다.

본 조사지역의 설계시점부 및 중심부는 도폭을, 중심부 및 설계종점부로는 충주도폭을 일괄하여 지질계통도를 나타내면 다음과 같다.

【표 2-4】 본 조사지역 지질계통도

지질시대 (대구분)	지질시대 (세구분)	지층명		층 군	누층군	
신생대	제4기					
부정합						
동생대	백악기	석영맥		불국사층군	경상누층군	
		염기성암맥				
		규정암				
		화강반암				
		각섬석회강암				
		흑운모화강암				
- 관입 -						
시대미상		문주리층		옥천층군		
		황강리층				
		명오리층				
		북노리층				
		부정합		- 관계불명 -		
		서창리층		대향산규암	충주층군	
				향산리돌로마이트석회암		
				계명산층		
		부정합		- 관계불명 -		
고생대	오도비스기	고운리층		대석회암층군	조선누층군	
		부정합				
선캄브리아기		편마암류				

다. 지층상태

연장 145m로 계획된 본 교량에서는 BB-81~BB-84 총 4개소에서 시추되었다. 지층상태는 상부로부터 매립토층, 퇴적토층, 풍화잔류토층, 풍화암층 순으로 구성되어 있으며, 지층 구성 상태는 다음과 같다.

1) 매립토층

본 매립토층은 보 교량이 설치될 전 지점에서 출현되며, 상부에서 1.1~2.0m 층후로 분포한다. 토성은 자갈섞인 모래, 모래섞인 자갈, 실트섞인 세립의 모래이다. 표준관입시험에 의한 N치는 13/30 정도로 보통 조밀한 상대밀도를 갖는다. 본 층 내에서는 지하수위가 분포하지 않아 건조상태를 갖는다. 색조는 갈색~황갈색을 띤다.

2) 퇴적토층

본 퇴적토층은 본 교량이 설치될 P1지점에서만 매립토층 하부에서 심도 2.0m에서 출현되며, 3.0m의 층후로 분포한다. 토성은 자갈섞인 모래이며, 통일분류법상 SW로 표기된다. 표준관입시험에 의한 N치는 35/30~50/18 정도로 조밀~매우 조밀한 상대밀도를 갖는다. 지하수위가 GL-2.0M로 측정되며, 습윤상태를 갖는다. 색조는 강색을 띤다.

3) 풍화잔류토층

본 풍화잔류토층은 기반암이 오랜 풍화작용에 의해 완전히 토사화되어 원위치에 잔류되어 있는 층으로서 본 교량이 설치될 A1, P2, A2 지점에서 심도 1.1~1.3m에서 출현되며, 1.7~5.7m의 층후로 분포한다. 토성은 실트섞인 세립의 모래이며, 통일분류법상 SM으로 표기된다. 표준관입시험에 의한 N치는 11/30~50/13 정도로 보통 조밀~매우조밀한 상대밀도를 갖는다. BB-81, BB-84 지점에서는 본 층 내에 지하수위가 분포하지 않아 건조상태를 갖으며, BB-83 지점에서는 지하수위가 GL-2.8M로 측정되며 건조~습윤 상태를 갖는다. 색조는 갈색을 띤다.

4) 풍화암층

본 풍화암층은 기반암이 풍화되어 모암의 조직과 형태는 그대로 유지하고 있으나, 역학적 성질 및 화학적 조성이 상실되거나 변질된 상태의 풍화대로서 본 교량이 설치될 전 조사지점에서 심도 2.8~7.0m에서 출현되며 대체로 풍화잔류토층 하부에서 9.0~17.2m 이상의 층후로 분포한다. 토성은 굴진시 실트섞인 모래로 분해되며 지반명은 WR로 표기된다. 표준관입시험에 의한 N치는 50/9~50/3 정도로 매우 조밀한 상대밀도를 갖는다. 코어회수율은 매우 낮은 편이며 암석내부까지 풍화되어 광물이 변석되어 있고 암석의 강도는 매우 불량하여 코공작업시 리핑 작업으로 절취가 가능하다. 색조는 갈색을 띤다.

【표 2-5】 본 조사지역 지층 구성 상태

교량명	공 번	수행심도 [m]	지 층 두 겹 [m]				S.P.T.
			매립토층	퇴적토층	풍화잔류 토층	풍화암층	
충주IC1교	BB-81 (STA. 0+366)	16.0	1.3		5.7	9.0	11/30 50/27 50/17 50/13 50/ 9 50/ 5 50/ 2 50/ 4 50/ 3 50/ 3
	BB-82 (STA. 0+411)	16.0	2.0	3.0		11.0	13/30 35/30 50/18 50/ 7 50/ 6 50/ 5 50/ 4 50/ 4 50/ 2 50/ 3
	BB-83 (STA. 0+466)	20.0	1.3		2.7	16.0	30/30 50/25 50/ 6 50/ 7 50/ 7 50/ 4 50/ 3 50/ 3
	BB-84 (STA. 0+511)	20.0	1.1		1.7	17.2	30/30 50/12 50/ 2 50/ 8 50/ 7 50/ 6 50/ 4 50/ 3
	소계	48.5	4.5	0.7	9.0	31.3	27회

주) 표준관입시험은 KS F 2318에 규정된 방법에 의거하여 지층이변하거나, 동일지층의 경우라도 1.5m간격으로 수행함.

2.3 기존 점검 및 진단 실시결과 요약

본 교량은 2003년~2015년까지 한국도로공사에서 자체점검을 실시하였고, 2012년 (재)한국건설품질연구원에서 최초 정밀안전진단을 실시하였다. 또한, 시설물정보관리종합시스템(FMS)를 참고하여 정리하였다.

2.3.1 점검 및 진단이력

본 교량은 2002년 5월 실시한 정밀점검을 시작으로 2016년 06월 정밀점검까지 공용기간 중 정기점검 21회, 정밀점검 6회, 정밀안전진단 1회 등을 실시하였으며, 주요 점검이력은 다음 표와 같다.

【표 2-6】 점검 이력 사항

구분	점 검 기 간	점 검 자	상태 등급	점검결과 및 보수보강(안)
정기	■ 2003.03.19.	자체수행	양호	- 구조물 전반, 교좌장치, 슬라브, 주형, 교면포장, 교대, 교각, 신축이음장치 - 지속점검
정기	■ 2003.09.22.	자체수행	양호	- 구조물 전반적으로 양호 - 지속점검
정기	■ 2004.03.22.	자체수행	양호	구조물 전반적으로 양호
정밀	■ 2004.12.06.	자체수행	A등급	- A1교대코핑부 물고임 발생 - 침투수 배수관 연장
정기	■ 2005.05.12.	자체수행	양호	양호
정기	■ 2005.10.13.	자체수행	양호	양호
정기	■ 2006.04.11.	자체수행	양호	양호
정밀	■ 2006.10.10.	자체수행	A등급	양호
정기	■ 2007.06.13.	자체수행	양호	양호
정기	■ 2007.11.28.	자체수행	양호	양호
정밀	■ 2008.04.08.	자체수행	A등급	- P1(1개소)솔플레이트녹발생 - 녹제거후 재도장
정기	■ 2008.08.20.	자체수행	양호	양호
정기	■ 2009.06.04.	자체수행	양호	양호
정기	■ 2009.09.30.	자체수행	양호	양호
정밀	■ 2010.07.09.	자체수행	A등급	- 조인트 누수 - 조인트 누수부 유도 마감 처리

【표 2-6】점검 이력 사항(계속)

구분	점 검 기 간	점 검 자	상태 등급	점검결과 및 보수보강(안)
정기	■ 2010.09.08.	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	◦ 양호
정밀 안전 진단	■ 2012.12.21.	(재)한국건설 품질연구원	C등급	◦ 바닥판 하면 균열, 균열 및 백태, 누수흔적, 파손, 유도배수관 부식 등 / STB 거더 도장박리 및 부식, 용접결함, 실링불량, 인분배설, 누수 흔적 및 표면오염 등 / 교대/교각의 균열, 균열 및 백태, 녹발생, 누수흔적, 백태, 재료분리, 파손 등 / 교량받침 소울플레이트 부식, 몰탈/콘크리트 균열, 재료분리, 들뜸, 파손, 녹발생 등 / 신축이음장치 본체 부식, 후타재 균열, 하부 채움재 누락, 유간부족 등 / 배수구 이물질퇴적 및 유도배수관 설치필요 등 ◦ 내구성 저하방지를 위해 균열보수 및 단면보수 실시 / 도장박리, 녹발생 등의 손상 발생 부위에 대해 방청 및 도장보수 실시 / 교대 배수로 및 홈통, 바닥판 하면 유도배수관 설치 실시
정밀	■ 2013.06.28.	자체수행	C등급	◦ 교량받침 : A1-sh2 받침콘크리트 균열(0.5mm이상, 100cm), P1-sh2 받침콘크리트 파손(2.5㎡) 및 슈 녹발생(0.4㎡) ◦ 교량받침 : 교대.001 받침.02 주입보수(100cm), 교각.001 받침.02 단면보수(2.5㎡), 슈재도장(0.56㎡)
정기	■ 2013.10.31.	자체수행	양호	◦ 교량받침 : A1-sh2 받침콘크리트 균열(0.5mm이상, 100cm), P1-sh2 받침콘크리트 파손(2.5㎡) 및 슈 녹발생(0.4㎡) ◦ 교량받침 : 교대.001 받침.02 주입보수(100cm), 교각.001 받침.02 단면보수(2.5㎡), 슈재도장(0.56㎡)

【표 2-6】 점검 이력 사항(계속)

구분	점 검 기 간	점 검 자	상태 등급	점검결과 및 보수보강(안)
정기	■ 2014.06.23.	자체수행	보통	◦ 거더// 도장박리, 부식. 내부 : S1G1(D1), S2G1(D9), S3G1(D21), S3G2(D21) (0.755m², 17개소) / 외부 : S2G2(P1), S3G2(A2측) (0.34m², 3개소) ◦ 바닥판// 박리, 열화 : S1(0.1m², 1개소), 균열(0.3mm미만) : S1, S2(49.5m²), 균열(0.3mm 이상) : S3(1.7m, 1개소) ◦ 받침// 부식 : P1, P2-sh2(0.6m², 2개소) ◦ 하부구조// 열화 : P1, P2(0.95m², 4개소) ◦ 신축이음// 유간부족 : A2, 누수 : A1, A2 ◦ 난간// 열화 : S1, S2, S3(0.92m², 46개소)
				◦ 거더 재도장// 외부 : S1G1(D1), S2G1(D9), S3G1(D21), S3G2(D21) (0.755m², 17개소), 내부 : S2G2(P1), S3G2(A2측) (0.34m², 3개소) ◦ 바닥판// 단면보수 : S1(A1갓길측) (0.1m², 1개소) ◦ 받침// 균열보수 : A2-sh2(0.5m, 1개소), 재도장 : P1, P2-sh2(0.6m², 2개소) ◦ 하부구조// 표면처리 : P1, P2(갓길측) (0.95m², 4개소) ◦ 신축이음// 단면보수 : A2(2차로) (0.1m², 1개소) ◦ 난간// 단면보수 : S1, S2, S3(0.92m², 46개소)
정기	■ 2014.07.22.	자체수행	보통	◦ 거더// 도장박리 : S1G1, S1G2(0.54m², 5개소), 부식 : S1G1, S1G2, S2G1, S3G1, S3G2(0.795m², 17개소) ◦ 바닥판// 균열(0.3mm이상) : S3(0.3mm, 1.7m, 1개소) ◦ 교량받침// 받침 콘크리트균열(0.3mm이상) : A2-sh2(0.3mm, 0.5m, 1개소) ◦ 하부구조// 열화 : P1, P2(0.95m², 4개소) ◦ 신축이음// 후타재 파손 : A2(0.1m², 1개소) ◦ 난간/중분대// 열화 : S1~S3(0.92m², 46개소)
				◦ 거더// 재도장 : S1G1, S1G2, S2G1, S3G1, S3G2(0.895m², 9개소) ◦ 바닥판// 주입보수 : S3(0.3mm, 1.7m, 1개소) ◦ 교량받침// 주입보수 : A2-sh2(0.3mm, 0.5m, 1개소) ◦ 하부구조// 표면처리 : P1, P2(0.95m², 4개소) ◦ 신축이음// 단면보수 : A2(0.1m², 1개소) ◦ 난간/중분대// 단면보수 : S1~S3(0.92m², 46개소)

【표 2-6】점검 이력 사항(계속)

구분	점 검 기 간	점 검 자	상태 등급	점검결과 및 보수보강(안)
정기	■ 2015.04.02.	자체수행	양호	◦ 거더// 거더내부 도장박리, 거더외부 하판 도장박리, 거더내부 하판 부식 ◦ 바닥판// S1(A1갓길측) 단부 박리, 균열 ◦ 교량받침// 받침콘크리트 파손, 받침부식, 받침콘크리트 균열 ◦ 하부구조// 코핑 표면열화 ◦ 신축이음// 후타재 파손 ◦ 난간/중분대// 방음벽 지주하단 열화 ◦ 거더// 거더내부 도장박리 : 재도장, 거더외부 하판 도장박리 : 재도장, 거더내부 하판 부식 : 재도장 ◦ 바닥판// S1(A1갓길측) 단부 박리 : 단면보수, 균열 : 주입보수 ◦ 교량받침// 받침콘크리트 파손 : 단면보수, 받침부식 : 재도장, 받침콘크리트 균열 : 주입보수 ◦ 하부구조// 코핑 표면열화 : 단면보수 ◦ 신축이음// 후타재 파손 : 단면보수 ◦ 난간/중분대// 방음벽 지주하단 열화 : 단면보수
정밀	■ 2015.12.11.	자체수행	A등급	◦ 바닥판균열(0.3mm이상), 교량받침부식, 후타재균열 및 파손, 난간 방호벽박리 ◦ 바닥판균열(0.3mm이상) : 주입보수, 교량받침 부식 : 녹 제거 후 재도장, 후타재 균열 및 파손 : 주입보수, 단면보수, 난간 방호벽 박리 : 단면보수
정기	■ 2016.04.07.	자체수행	양호	◦ 거더 : 도장박리, 바닥판 : 균열 및 들뜸, 교량받침 : 강재부식, 받침콘크리트균열, 하부구조 : 홍벽균열, 교좌면균열, 신축이음 : 후타재 파손, 누수, 난간/중분대 : 열화 ◦ 거더 : 도장박리, 바닥판 : 주입보수, 단면보수, 교량받침 : 재도장, 주입보수, 하부구조 : 주입보수, 신축이음 : 단면보수, 난간/중분대 : 단면보수

2.3.2 기존 진단 실시결과

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

【표 2-7】정밀안전진단 결과분석

구 분	외관조사 요약 및 검토의견	비고
외 관 조 사 결 과	바닥판 ◦ 바닥판 하면에 발생된 횡방향균열(cw=0.1~0.3mm)은 시공초기 건조수축으로 인하여 발생된 균열로 판단되며, cw=0.3mm미만 균열은 표면보수하고, cw=0.3mm이상 균열은 주입보수가 요망된다. ◦ A1/A2측 지점부 캔틸레버 끝단에 파손과 함께 유도배수판 부식이 조사되었으며, 현 유도배수판의 상태가 매우 불량하여 끝단부 단면보수와 함께 홈통설치가 필요할 것으로 판단된다.	

【표 2-7】 정밀안전진단 결과분석(계속)

구 분	외관조사 요약 및 검토의견	비고
외 관 조 사 결 과	하부구조 전차 용역에 대한 하부구조의 전반적인 하자보수가 완료된 상태이며, 금회 상세 외관조사시 주요 손상으로 콘크리트 균열(수직 및 망상균열), 재료분리, 탈락, 표면오염과 교대 보호사면 공동, 점검계단 파손 등이 조사되었으나 구조물의 안전성을 저해할 만한 손상은 확인되지 않았으며, 내구성 확보 및 유지관리 차원의 적절한 보수가 필요한 상태이다.	
	거 더 (STB) - 거더 내부에 국부적으로 발생된 도장박리 및 부식은 도장 전처리 불량과 Splice부를 통한 우수유입이 주요 원인이며, 녹제거 후 재도장이 요구된다. - 바닥판 캔틸레버부의 유공관으로부터 떨어지는 우수로 인하여 거더외부에 누수흔적 및 오염이 조사되어, 유도배수관 설치와 함께 오염부 재도장이 요망된다. - 거더 내부 전반에 걸쳐 Splice부 실링처리가 되어있으나, 일부 실링불량이 발생되었으며, S1-G1 입구측에 인분배설이 조사되었다. 이에 외부 우수유입을 방지하기 위해 실링불량부 실링처리가 필요하며, 위생 및 외관을 위하여 인분배설 청소가 요망된다. 2차부재인 가로보는 대체로 양호한 상태인 것으로 조사되었다.	
	교 대 - 교대 홍벽 및 구체에는 건조수축과 단면변화부 응력집중으로 인한 수직균열($cw=0.1\sim0.2mm$)과 망상균열($cw=0.1mm$)이 다수 발생되어, 표면보수가 요망된다. - A1 교대 홍벽에 누수흔적 및 체수가 조사되었으며, 이는 신축이음부(갓길측)를 통한 우수유입이 원인으로 배수관 및 홈통설치와 교면상부 유도배수가 요망되며, A2 교대는 전반적으로 누수손상은 발생되지 않은 양호한 상태이다. - A1 교대 전면과 A2 좌측 날개벽에 발생된 백태는 콘크리트 표면백화 현상과 치밀성 부족부로 스며나온 백태로 판단되며, A2 교대 전면에 발생된 녹발생은 취약부(폼파이 홀) 수분침투를 통한 녹발생이 추정되어, 표면보수가 요망된다.	
	교 각 - P2 코핑부 우측면과 하면에 $cw=0.2\sim2.0mm$의 균열이 녹물 및 백태를 동반하여 발생되었으며, 이는 상부구조 유공관을 통해 떨어지는 우수가 균열부와 재료분리부 등의 치밀성 부족부로 침투되어 백태와 내부 철근부식을 유발하고, 이로 인해 큰 폭의 균열로 발전된 것으로 판단되며, 균열깊이를 측정된 결과, $108.0\sim202.0mm$로 균열깊이가 피복두께를 넘어선 것으로 측정되어 균열 보수 보다는 철근방청 후 단면보수가 바람직할 것으로 판단된다. - P1/P2 코핑부에 유공관을 통해 우수가 지속적으로 떨어져 누수흔적이 발생되었으며, 표면보수가 요망된다.	
	받침장치 - 받침장치 소울플레이트에 부식이 국부 조사되었으며, 이는 신축이음부와 외측면을 통한 우수유입이 가장 주요한 원인으로 판단되어, 녹제거 후 재도장이 요망된다. - 받침콘크리트에 우수유입에 따른 동결융해로 인해 들뜸 및 파손이 일부 녹발생을 동반하여 조사되어, 단면보수(철근방청)가 요망된다. - 받침의 가동상태는 가동여유량 및 실측 서스팬여유량이 계산 필요가동량을 만족하고 있는 것으로 분석되었다. - 본 교량은 필요 연단거리를 만족하는 양호한 상태이다.	

【표 2-7】 정밀안전진단 결과분석(계속)

구 분		외관조사 요약 및 검토의견	비고
외 관 조 사 결 과	신축이음	- 신축이음장치 부식, 후타재 균열($cw=0.3\text{mm}$미만), 하부 채움재 누락 등이 조사되었으나, 보수 필요성은 없을 것으로 판단되어 주의관찰 한다. - 신축이음장치 유간을 종합적으로 비교·분석한 결과, A1(J1), A2(J2)측의 신축유간이 부족한 것으로 측정되었으나, 바닥판 유간이 적정한 것으로 조사되어 프리세팅 오류로 판단된다. 차후 신축이음 협착으로 인한 구조물 손상 증가 시 신축이음장치 교체가 바람직할 것으로 사료된다.	
	교면포장	- 포장면의 코어상태조사 결과, 공극이나 골재분리 등의 특이사항은 없으며 방수층 또한 공극이 없는 양호한 상태로 조사되었다. - 교면포장 상면에서 시공불량(다짐불량), 다짐온도의 부적당, 다짐초기 균열 등으로 인해 아스팔트 균열이 조사되었으나, 손상정도가 경미하여 보수의 필요성은 없을 것으로 판단되어 지속적인 주의관찰이 요망된다.	
	배수시설	- 유공관 주변 누수흔적 및 백태와 우수유입을 통한 교각 상면에 2차 손상을 초래하고 있는 상태로, 유도배수관 설치가 요망된다. - 배수파이프 길이부족 구간은 없는 상태이며, 배수파이프 끝단에 곡관설치가 되어있는 양호한 상태로 조사되었다.	
	방호벽 및 방음벽	- 방호벽에 건조수축 및 온도변화로 인한 수직 및 수평균열($cw=0.1\sim 0.3\text{mm}$), 망상균열($cw=0.1\text{mm}$)이 조사되었으며, $cw=0.3\text{mm}$이상 균열에 대해 주입보수가 요망된다. - S2 좌·우측 방호벽에 국부적으로 철근노출과 녹발생이 조사되었으며, 이는 시공불량(피복부족)과 치밀성 부족부를 통한 우수유입이 주요 원인으로 판단되나 손상면적이 미소하여 보수의 필요성은 없을 것으로 사료되어 주의관찰이 요망된다.	
내구성 시험 결과	압축강도 조사	반발경도법 및 초음파법에 의한 콘크리트 강도조사 결과는 모두 설계기준 강도를 상회하는 양호한 상태로 조사된다.	
	철근배근 탐사조사	철근간격은 준공도면과 일치하는 것으로 조사되었으나, 일부 하부구조에서 피복두께부족부가 조사되어 주의관찰 요한다.	
	탄산화 시험	탄산화로 인한 콘크리트 내의 철근부식 가능성은 없는 것으로 조사되었다.	
	염화물함 유량시험	염화물에 의한 부식이 발생할 우려 없는 것으로 분석된다.	
	균열깊이 조사	균열깊이 조사 결과 측정 깊이가 설계 피복두께를 초과하여 보수·보강이 필요한 것으로 판단된다.	
강재 시험 결과	초음파 탐상 시험	구조물의 용접 상태는 양호한 것으로 평가된다.	
	도막 두께 측정	도막두께 측정값은 모든 위치에서 도로교 표준시방서 기준값을 상회하는 것으로 조사되어 양호한 상태로 평가된다.	
상태평가 결과		C등급(환산점수 : 0.356)	

【표 2-7】 정밀안전진단 결과분석(계속)

구 분	외관조사 요약 및 검토의견					비고
안전성평가 결과	안전성평가 수행 부재		해석방법	안전성평가 결과 요약	안전율	안전성 평가 결과
	상 부 구 조	바닥 판	강도설계법	$\circ \frac{\Phi M_n}{M_u} = \frac{105.961}{92.859} = 1.141$	1.0이상	A
		거더	허용응력설계법	$\circ \frac{f_a}{f} = \frac{190}{159.583} = 1.191$	1.0이상	
	하 부 구 조	교대	강도설계법 허용응력설계법	$\circ$ 단면 휨 설계검토 양호 $\circ$ 말뚝 및 기초검토 양호	1.0이상	
		교각		$\circ$ 기둥의 단면검토 양호 $\circ$ 직접기초의 안정성 양호	1.0이상	
보수 · 보강방안	- 내구성 저하방지를 위해 균열보수 및 단면보수 실시 - 도장박리, 녹발생 등의 손상 발생 부위에 대해 방청 및 도장보수 실시 - 교대 배수로 및 홈통, 바닥판 하면 유도배수관 설치 실시					
종합결론	- 충주IC1교는 고속국도 45호선(중부내륙선, 이점 224.610km)으로 충청북도 충주시 이류면 완오리에 위치하며, 2002년 12월 20일에 준공되었으며, 내진 1등급으로 설계된 1종 교량이다. - 본 과업은 2002년도 준공 이후 금회 10년이 경과된 구조물에 대하여 최초로 실시하는 정밀안전진단 용역으로써 외관조사 및 내구성 조사, 구조해석 결과를 토대로 종합적으로 평가해 볼 때, 구조물의 안전성에는 문제가 없는 것으로 평가되었으며, 발생한 손상은 공용중의 안전성은 확보되나 시설물의 사용성 및 내구성 확보를 위한 보수가 필요하다. - 외관조사 결과, 기 손상부에 대해서는 2003년도에서 2011년도까지 자체적으로 실시한 초기점검과 정기점검, 정밀점검을 바탕으로 지속적인 하자보수를 시행한 것으로 조사되었으나, 금회 실시한 정밀안전진단을 통해 확인되지 않은 추가 및 신규손상의 발견, 공용기간 중 발생한 열화 등으로 인한 손상들이 다수 조사된 것으로 나타났다. - 충주IC1교에 대한 안전등급은 ‘C등급(보통)’으로 평가되어, 조사된 일부 손상에 대해 앞서 제시한 보수방안과 유지관리방안을 충실히 수행한다면 1등급로서의 기능을 유지하는데 이상이 없을 것으로 판단된다.					

2.4 보수·보강 이력

【표 2-8】 보수·보강 이력사항

구 분	공사기간	설계자	시공자	공사구간	보수·보강 공법	공사금액 (천원)	비고
보수	2008.10.10.	—	—	신축이음장치 (A1)	기타(보수)	1,125	
		—	—	신축이음장치 (A2)	기타(보수)	1,125	
	2008.10.16.	—	—	교량받침 (P1)	도장	40	
	2012.12.31	—	—	교량받침 (A1, A2)	도장(4개소)	31/개소	

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 일반보고서 제4공구 : 용전~완오(2002.12)” 보고서 검토결과 본 과업대상 교량인 충주IC1교는 내진 1등급으로 설계되어 있는 것으로 조사되었다.

2.5.1 교량 내진설계 기준

- 본 과업구간은 충청북도 충주시에 위치하고 있어 가속도 계수 $A=0.14$ 이며 내진등급은 1등급교에 해당된다.
- 지반조건은 II지역(지반계수 1.2)으로 설계하였다.
- 지방서 규정에 따라 상부구조, 교각 및 기초, 교대에 예외없이 내진설계를 적용하였다.
- 지진시 교량의 붕괴방지를 위해 낙교방지와 교각의 안정을 최대주안점으로 설계하였다.
- 구조적으로 허용하는 한 고정받침을 여러 개소에 사용하여 수평력을 분산시켜 현재 국내 생산 가능한 받침을 적용 하였다.
- 상부구조로부터 고정받침에 작용하는 수평력 산정과 수평력에 의한 교각 설계를 면밀히 하여야 한다. 설계시 받침에 수평력을 반드시 표시

2.5.2 내진설계 조건 및 검토

- 내진 1등급교로 단일모드 스펙트럼 해석을 적용한다.
- 상부 수평력을 받침이 저항할 수 있도록 수평력을 보강한 특수슈를 사용한다.

【표 2-9】 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 $K_h = A / 2 = 0.070 \text{ (변위를 허용한 독립교대)}$ ※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($\phi=35.0^\circ$)
	교각	■ 교각 지진하중 설계조건 1) 가속도계수 : A=0.14 2) 내진 등급 : 내진 1등급 3) 지반계수 : II 지역(S=1.20) 4) 응답수정계수 - 교각 : R = 3.0 - 기초 : R = 1.0 - 상부구조와 교대 : R = 0.8 5) 탄성계수 : $E_c = 2.35 \times 10^6 \text{ t/m}^2$ 6) 해석방법 : 단일모드 스펙트럼 해석법
	받침	■ 교좌장치 용량 = 수평하중 × 증가계수 1.35 적용

가. 하부구조 내진설계 검토

1) 교대

① 지진시 안정계산 검토

구 분	연직력(kN)	수평력(kN)	M(저항)	M(전도)
하중	996.21 ^{주1)}	333.53	3158.90 (kN·m)	1200.80 (kN·m)

주1) 기존계산서 2. 말뚝머리 한지 중 ⑥지진시 참조

㉠ 전도에 대한 검토

- 말뚝기초이므로 전도에 대한 검토 생략

㉡ 활동에 대한 검토

- 말뚝기초이므로 활동에 대한 검토 생략

㉢ 말뚝검토(φ508) (‘(3)지지력에 대한 검토’ 부분 참조)

- 극한지지력 = $30 \times N \times A_p + U \times \sum (l_i \times f_i)$
 $= 30 \times 40 \times 0.202 + 1.595 \times 733$
 $= 3593.13 \text{ kN/EA}$
- 지진시 지지력 = 극한지지력 / 2
 $= 3593.13 / 2 = 1796.56 \text{ kN/EA}$
- $F_s = 1796.56 / 787.64 = 2.281$ 안정

2) 교각

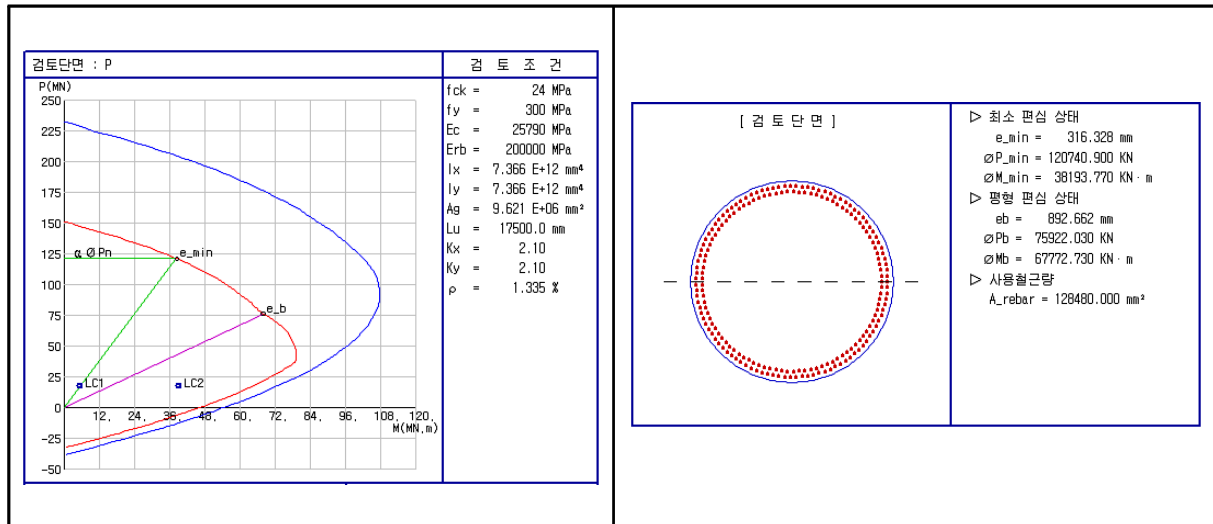
① 단면력 정리 및 검토

구 분		P_u (kN)	P_N (kN)	P_u / P_N	M_u (kN·m)	ϕM_n (kN·m)	$M_u / \phi M_n$	비고
CASE(5)	교축방향	17656.82 ^{주2)}	120740.882	O.K. (6.838)	5263.338 ^{주3)}	38192.996	O.K. (7.256)	
	교축 직각방향		35469.985	O.K. (2.009)	38857.225 ^{주3)}	78058.503	O.K. (2.009)	

주2) 기존계산서 ‘8.기둥의 설계’ 중 CASE(5) 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 2-10】 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. - 신축이음장치는 시공기록보고서와 관리대장상의 형식이 상이함. - 구조검토 시 1996년 설계기준을 적용함	- 현장조사 시 부재치수를 실측하여 준공도면과 비교, 검토 후 치수가 상이할 경우 안전측으로 구조계산토록 하고 도면을 재작성하며, 실측치와 동일할 경우는 준공도면을 기준으로 과업을 진행토록 함. - 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.

【표 2-10】 자료분석 결과(계속)

구 분	수집 자료	자료 분석 결과	정밀안전진단 과업진행 방향
유지 관리 자료	◦ 점검 및 진단 이력	◦ 바닥판 하면 균열, 균열 및 백태, 누수흔적, 파손, 유도배수관 부식이 조사됨. ◦ STB 거더 도장박리 및 부식, 용접결함, 실링불량이 조사됨. ◦ 교대/교각의 균열, 균열 및 백태, 녹발생, 누수흔적, 백태, 재료분리, 파손 등이 조사됨. ◦ 교량받침 소울플레이트 부식, 몰탈/콘크리트 균열, 재료분리, 들뜸, 파손, 녹발생이 조사됨. ◦ 내구성조사 결과 설계 값 이상으로 양호한 상태임.	◦ 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, 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

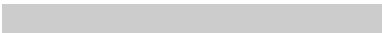
3.1 개 요

3.2 외관조사

3.3 콘크리트 내구성조사

3.4 강재 내구성조사

3.5 현장조사 결과요약



제3장 현장조사 및 시험

3.1 개 요

충주IC1교는 설계하중 DB-24(DL-24)의 고속국도 교량으로서, 2002년에 준공되어 약 14년 정도 공용 중에 있으며, 충청북도 충주시 이류면 완오리(중부내륙선, 이점 224.61km)에 위치하고 있는 편도 1차로 교량이다.

본 교량은 총폭 7.60m, 총연장 145.0m (45.0m + 55.0m + 45.0m)이며, 상부구조는 3경간의 Steel Box Girder 형식으로써, 교각의 형식은 T형이고 기초는 확대기초(P1~P2)로 이루어져 있으며, 교대의 형식은 역T형이고 기초는 확대기초+강관말뚝기초로 시공되어 있으며, 교량받침은 포트받침, 신축이음 장치는 레일조인트(A1, A2)로 시공되었다.

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

외관조사 범위는 주요 구조부재와 부부재로서 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 길이 부족, 배수관 주변 및 연결부 누수, 배수구 위치 불량	
연석 및 난간		균열, 철근부식, 철근노출, 박락, 파손, 백태	
교량 반침	강재 반침	균열, 부식, 변형, 파손	
	기타	유간 부족, 편기, 수평불량, 가동불량, 교량반침 설치오류, 앵커볼트 파손	
신축이음		- 본체의 파손, 부식, 누수, 이상음 및 진동, 유간 부족 - 후타재 균열, 파손, 단차 - 후타재와 포장면 사이 이격	

금회 정밀안전진단용역 수행 중 충주IC1교 현장조사 및 시험 일정 및 내용은 다음과 같다.

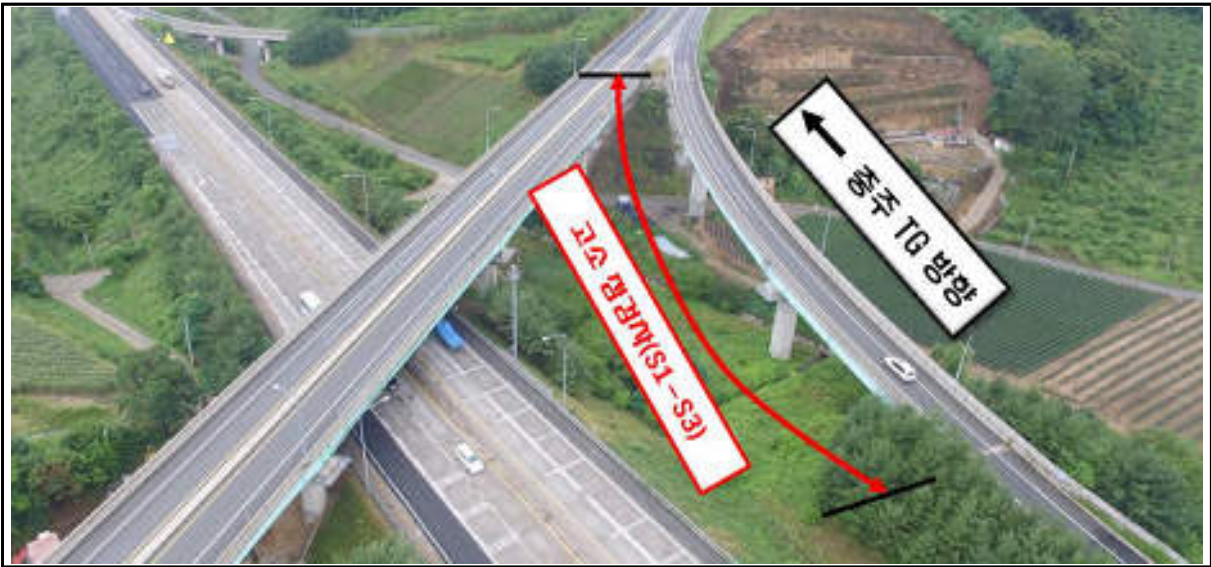
【표 3-2】 현장조사 기간

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. ~ 10.24.	추가조사 (받침장치 이동량 2차 측정 및 균열 진행성 측정 등)	

【표 3-3】충주IC1교의 일반현황, 하부 주변현황 및 접근장비

일반현황				주변현황 (교차시설물 등)	조사방법
시설물명	형식	연장 (m)	경간구성		
충주IC1교	STB	145.0	45+55+45 (S1~S3)	육상구간(리도 등)	고소점검차

충주IC1교 하부는 리도를 횡단하며, 접근이 용이한 부재의 외관조사는 도보로 실시하였고, Steel Box Girder 외부, 외측 바닥판 하면 등 접근이 난이한 부재는 고소점검차, 사다리, 헬리콥터 드론(4k) 등을 이용하여 실시하였다.



【그림 3-1】 구간별 근접장비 활용방법



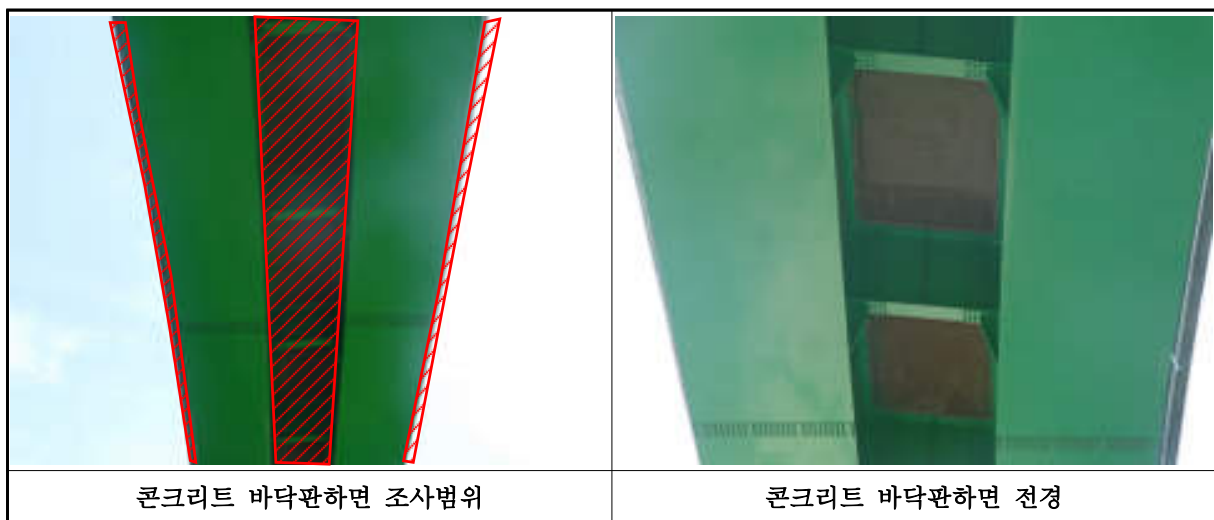
3.2 외관조사

3.2.1 상부구조

가. 바닥판

충주IC1교는 총 3경간(45.0m+55.0m+45.0m=145.0m)으로 구성되어 있으며, 상부구조는 강박스 거더(Steel Box Girder)로 시공되어있다. 충주IC1교의 바닥판하면의 경우 거더와 거더 사이, 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.

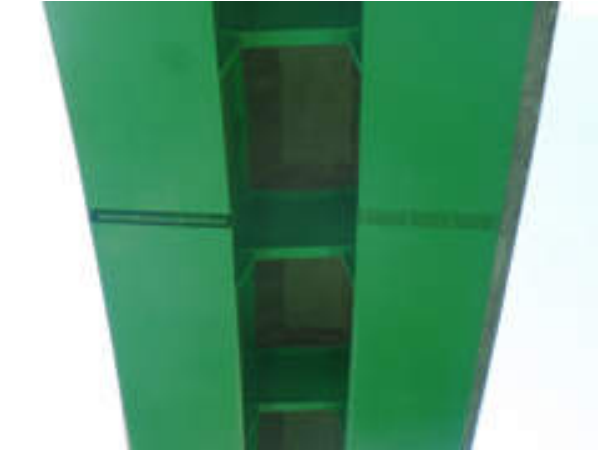


1) 외관조사 결과

【표 3-4】 바닥판 외관조사 결과

구 분	균열						열화 손상					
	Cw=0.3mm미만 (m)		Cw=0.3mm이상 (m)		균열/백태(m)		누수흔적/백태 (㎡)		백태(㎡)		파손(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	173.80	110	—	—	—	—	—	—	0.27	3	0.08	1
S2	81.70	44	11.50	5	4.60	2	0.18	2	—	—	—	—
S3	7.60	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
합계	263.10	159	11.50	5	4.60	2	0.18	2	0.27	3	0.08	1

2) 손상별 원인분석

			
현 황	◦S1 바닥판 하면 균열 (0.1mm/1.1m)	현 황	◦S2 바닥판 하면 균열 (0.2mm/0.8m)
원 인	◦건조수축 및 온도변화	원 인	◦건조수축 및 온도변화
대 책	◦지속관찰	대 책	◦지속관찰
			
현 황	◦S1 바닥판 하면 백태 (A=0.09m ²)	현 황	◦S1 바닥판 하면 파손 (A=0.08m ²)
원 인	◦유공관을 통한 우수유입	원 인	◦유도배수관 설치 중 충격
대 책	◦표면처리보수	대 책	◦단면보수
			
현 황	◦S1 바닥판 하면 유공관 주변 보수	현 황	◦S2 바닥판 하면 균열 보수(표면보수)

3) 기 진단결과와의 비교·분석

- 기존 진단결과 조사된 손상은 균열, 균열/백태, 누수흔적/백태, 파손 등으로 조사되었으며, 금회 정밀안전진단에 따른 손상도 동일한 것으로 나타났다. 그러나 손상물량의 경우 적절한 보수를 실시함으로써 대체적으로 감소한 것으로 나타났다.
- 특히 균열($C_w=0.3\text{mm}$ 미만)의 경우 대부분 표면보수를 통하여 보수가 시행되었으며, 일부 유공관 주변 보수가 실시된 것으로 나타났다.

【표 3-5】 바닥판 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
바닥판	•균열($C_w=0.3\text{mm}$ 미만)	m	296	475.30	159	263.10	▽
	•균열($C_w=0.3\text{mm}$ 이상)	m	6	12.30	5	11.50	▽
	•균열/백태	m ²	2	4.60	2	4.60	—
	•누수흔적/백태	m ²	18	1.98	2	0.18	▽
	•백태	m ²	—	—	3	0.27	△
	•파손	m ²	2	0.38	1	0.08	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 금회 정밀안전진단시 바닥판 손상으로는 균열, 균열/백태, 누수흔적/백태, 백태, 파손 등의 손상이 발생되었다.
- 바닥판 하면에 발생한 균열은 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, 폭 $C_w=0.3\text{mm}$ 미만의 미세균열은 현시점의 보수보다는 지속관찰 후 균열 진전시 보수를 실시하며, 일부 $C_w=0.3\text{mm}$ 이상의 균열인 경우 내구성 확보를 위하여 주입보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 경간 S2 바닥판 하면에 일부 발생한 균열/백태의 경우, 바닥판 양생시 균열부를 통한 내부수 유출로 백태가 발생한 상태이며, 미세균열과 마찬가지로 표면처리보수를 실시하여 내구성을 확보하는 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.
- A1측 지점부 캔틸레버 끝단에 발생한 파손은 상부 신축이음에서 발생하는 우수유입을 유도하고자 유도 배수관 설치 중에 발생한 파손으로 판단되며, 단면보수를 실시하는 것

이 적절할 것으로 판단된다.

- 바닥판하면은 구조적 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었으며, 적절한 보수 및 유지관리를 통한 지속적인 관찰이 필요할 것으로 판단된다.

나. Steel Box Girder

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

1) Steel Box Girder 내부

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



① 외관조사 결과

【표 3-6】 Steel Box Girder 내부 외관조사 결과

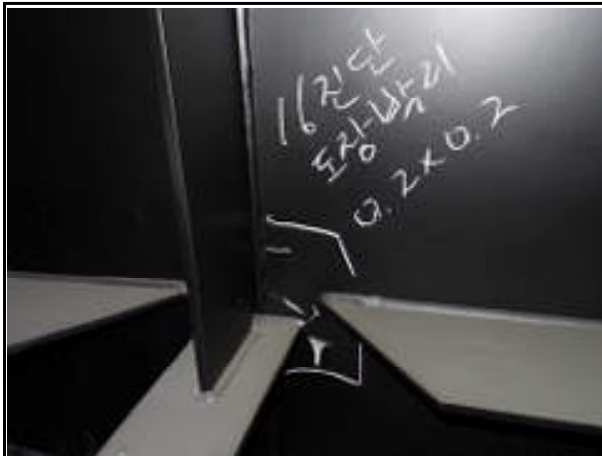
구 분		모재 및 연결부 손상						
		용접불량(PIT)	목두께부족(m)		비드불량(m)		언더컷(m)	
		개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	G1	30	—	—	3.50	19	—	—
	G2	23	—	—	—	—	—	—
S2	G1	66	—	—	0.75	4	—	—
	G2	108	0.35	3	0.20	2	0.20	2
S3	G1	30	0.05	1	0.60	2	—	—
	G2	32	0.20	1	0.30	2	0.10	1
합계		289	0.60	5	5.35	29	0.2	3

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

구 분		표면열화						기타		
		도장박리(㎡)		부식(㎡)		볼트풀림	실링재불량	배설물		점검등탈락
		물량	개소	물량	개소	개소	개소	물량	개소	개소
S1	G1	—	—	—	—	—	—	0.09	1	—
	G2	—	—	0.02	2	1	—	—	—	—
S2	G1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	G2	0.04	1	0.62	13	—	—	—	—	—
S3	G1	—	—	0.04	1	—	—	—	—	1
	G2	—	—	0.37	8	—	1	0.04	1	—
합계		0.04	1	1.05	24	1	1	0.13	2	1

② 손상별 원인분석

현 황	◦S1-G1 용접불량(PIT-5EA)	현 황	◦S3-G1 목두께부족(L=0.10m)
원 인	◦용접작업 자세 불안정	원 인	◦용접불량
대 책	◦지속관찰	대 책	◦지속관찰
현 황	◦S3-G1 비드불량(L=0.10m)	현 황	◦S3-G2 언더컷(L=0.10m)
원 인	◦용접불량	원 인	◦용접불량
대 책	◦지속관찰	대 책	◦지속관찰



현 황	◦S2-G2 도장박리 ($A=0.04\text{m}^2$)
원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화
대 책	◦재도장



현 황	◦S2-G2 부식 ($A=0.06\text{m}^2$)
원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화
대 책	◦녹제거 후 재도장



현 황	◦S1-G2 출입구 볼트풀림
원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화
대 책	◦볼트 재체결



현 황	◦S3-G2 실링재 불량
원 인	◦시공미흡
대 책	◦실링재 재시공



현 황	◦S3-G2 배설물 ($A=0.04\text{m}^2$)
원 인	◦배설물
대 책	◦청소



현 황	◦S1-G1 도장박리 보수부
원 인	—
대 책	—

③ 기 진단결과와의 비교·분석

- 기 진단결과 조사된 손상은 도장박리/부식, 볼트부식, 용접결함(Pit, 비드면 불량, 언더컷, 목두께 불량), 실링불량, 인분배설 등으로 조사되었으며, 금회 정밀안전진단에 따른 손상은 볼트풀림, 점검등 탈락을 제외하고 대체적으로 동일한 것으로 나타났다. 그러나 손상물량의 경우 적절한 보수를 실시함으로써 대체적으로 감소하거나, 기 진단 결과에 비해 비슷한 수준으로 나타났다.
- 대부분의 보수부는 양호한 상태이며, 조사된 실링불량 등의 손상의 경우 시공시 누락된 것으로 판단된다.

【표 3-7】 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	363	363	309	309	▽
	•목두께부족, 비드불량, 언더컷	m	34	6.52	39	7.35	△
	•도장박리, 부식	m ²	67	1.85	28	2.11	△
	•볼트풀림	개소	—	—	1	1	△
	•실링재불량	개소	20	20	1	1	▽
	•배설물	m ²	—	—	2	0.13	△
	•점검등탈락	개소	—	—	1	1	△
	•인분배설	m ²	1	0.09	—	—	▽

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 용접결함 손상으로 피트(Pit), 목두께 부족, 비드불량, 언더컷이 조사되었으며, 기타손상으로 공용중에 발생하는 도장박리, 부식, 실링재 불량 등의 손상이 조사되었다.
- 거더 내부에 국부적으로 발생한 도장박리 및 부식은 도장 전처리 불량과 Splice부를 통한 우수유입이 주요 원인으로 판단되며, 재도장이 적절할 것으로 판단된다.
- 거더 내부 주부재 및 보조부재의 용접면에서 피트(Pit), 목두께 부족, 비드불량, 언더컷 등의 용접결함이 조사되었으며, 이는 용접 시공시 용접전류 및 용접속도 불량, 용접작업 실수 등에 의해 발생한 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 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, $\phi 1\text{mm}$ 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 지속관찰을 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.
- 언더컷과 목두께 불량은 용접전류와 운봉속도의 영향 등으로 인해 모재가 움푹 파이거나 목두께가 불량해지는 것으로 판단되며, 강도부족과 응력집중으로 인한 균열발생을 초래할 수 있으므로 지속관찰이 필요할 것으로 판단된다.
- 기 진단시 조사된 실링불량은 대부분의 개소에서 실링처리 보수가 완료된 상태이나, 금회 진단시 S3-G2에서 일부 실링불량 개소가 조사되었으며, 실링재 재시공이 필요할 것으로 판단되며, 배설물이 퇴적된 개소는 위생 및 외관을 위하여 청소가 필요할 것으로 판단된다.
- 거더내부에 설치되어 있는 점검등 케이블은 현재 전 구간에 절단되어 있는 상태이며, 일부 점검등은 탈락한 상태로 조사되었다.
- 결과적으로, Steel Box Girder 내부는 구조적 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었으며, 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.



① 외관조사 결과

【표 3-8】 Steel Box Girder 격벽 외관조사 결과

구 분		모재 및 연결부 손상			표면열화	
		용접불량(PIT)	목두께부족(m)		도장박리 (㎡)	
		개소	물량	개소	물량	개소
S1	G1	2	—	—	0.02	2
	G2	5	1.00	1	1.00	1
S2	G1	2	—	—	—	—
	G2	8	—	—	—	—
S3	G1	2	—	—	—	—
	G2	1	0.10	1	—	—
합계		20	1.10	2	1.02	3

② 손상별 원인분석

			
현 황	◦S3-G2 목두께부족(L=0.1m)	현 황	◦S1-G1 도장박리(A=0.01m²-2EA)
원 인	◦용접불량	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, 목두께 부족) 등으로 조사되었으며, 금회 정밀안전진단에 따른 손상은 동일한 것으로 나타났다. 그러나 손상물량의 경우 적절한 보수를 실시함으로써 대체적으로 감소하거나, 기 진단 결과에 비해 비슷한 수준으로 나타났다.

④ 검토의견

- Steel Box Girder 내부의 격벽은 전반적으로 양호한 상태로 조사되었으나, 일부 개소에서 피트(Pit), 목두께 부족, 도장박리 등의 손상이 조사되었다.
- 격벽 용접면에서 피트(Pit), 목두께 부족 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 않는바 현재 용접결함의 정도가 구조물의 안전성에 미치는 영향은 경미한 것으로 판단된다. 따라서, 재용접 등 보수보다는 지속관찰을 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, 보수방안으로 재도장이 적절할 것으로 판단된다.
- 결과적으로, Steel Box Girder 격벽은 구조적 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었으며, 적절한 보수 및 지속적인 관찰을 통하여 향후 유지관리 해야 할 것으로 판단된다.

3) Steel Box Girder 외부

거더 외부에 대해서는 고소점검차를 이용하여 근접 조사하였으며, 거더 외부 조사 시 강재 변형, Splice부 볼트부식, 부식, 도장박리 등을 중점적으로 조사하였다.



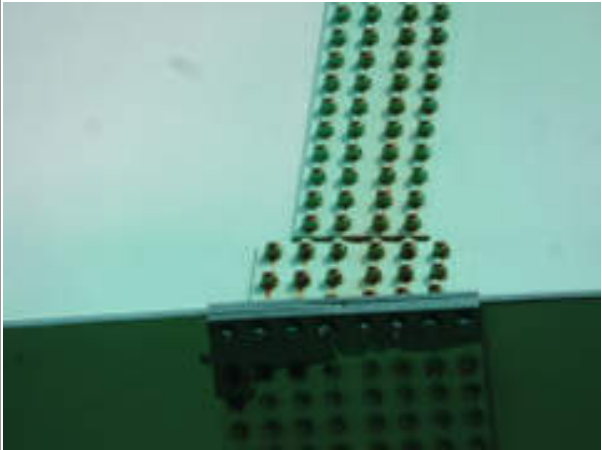
Steel Box Girder 외부 전경

① 외관조사 결과

【표 3-9】 Steel Box Girder 외부 외관조사 결과

구 분		표면열화						
		누수흔적 (㎡)		도장박리 (㎡)		부식 (㎡)		볼트부식
		물량	개소	물량	개소	물량	개소	개소
S1	G1	—	—	—	—	0.15	11	—
	G2	3.00	2	—	—	1.67	7	16
S2	G1	—	—	0.02	1	—	—	—
	G2	—	—	0.09	2	1.01	2	6
S3	G1	—	—	—	—	0.05	1	—
	G2	0.15	1	0.01	1	0.08	4	27
합계		3.15	3	0.12	4	2.96	25	49

② 손상별 원인분석

			
현 황	◦S2-G2 도장박리 (A=0.08m ²)	현 황	◦S1-G2 거더외부 부식 (A=0.5m ²)
원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화	원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화
대 책	◦재도장	대 책	◦재도장
			
현 황	◦S3-G2 거더외부 부식 (A=0.02m ²)	현 황	◦S3-G2 볼트부식 (16EA)
원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화	원 인	◦경년증가에 따른 노후화
대 책	◦재도장	대 책	◦재도장

③ 기 진단결과와의 비교 · 분석

- 기 진단결과 조사된 손상은 도장박리 및 부식, Splice부 볼트부식, 누수흔적 및 오염 등으로 조사되었으며, 금회 정밀안전진단시 조사된 손상 역시 대체로 동일한 것으로 나타났다. 그러나 각각의 손상물량은 증감하였으며, 이는 기 진단 결과에 따른 보수로 인해 일부 감소하기도 하였으나, 공용년수 증가에 따른 노후화로 인해 일부 손상물량은 증가한 것으로 조사되었다.

【표 3-10】 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	•누수흔적	m ²	7	7.15	3	3.15	▽
	•도장박리, 부식	m ²	37	1.83	29	3.08	△
	•볼트부식	개소	195	195	49	49	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

④ 검토의견

- Steel Box Girder 외부에 대한 외관조사결과, 구조적인 손상은 없으나 누수흔적, 도장 박리, 부식, Splice부 볼트부식 등이 조사되어 내구성 확보를 위해 보수가 필요한 상태이다.
- 도장박리, 부식, 볼트부식은 공용기간 중대로 인한 교량의 노후화 및 태양광에 의한 열화, 도장전 바탕 처리불량 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 구조물의 내구성 확보를 위해 재도장을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 거더 외부에서 조사된 누수흔적은 바닥판 하면 캔틸레버부의 유공관으로부터 떨어지는 우수로 인하여 발생된 것으로 판단되며, 캔틸레버 하면에 설치된 배수관 재설치 및 연장을 통해 근본적인 누수 대책을 해결 후 거더 측면 열화 발생부에 대하여는 재도장을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 붕괴유발부재에 대한 조사결과, 용접부는 양호한 상태이며, 면외 응력으로 인한 손상과 부식 등으로 인한 단면감소도 관찰되지 않은 양호한 상태이다. 또한, 볼트이음부에 대한 외관조사 결과 이완, 탈락 등의 손상이 발생되지 않은 것으로 조사되었다.
- 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

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



① 외관조사 결과

- 강 가로보에 대한 외관조사결과, 특히 손상이 없는 대체적으로 양호한 상태인 것으로 조사되었다.

② 기 진단결과와의 비교 · 분석

- 기 진단결과는 도장손상이나 부식, 각종 변형 및 균열, 이상음 발생 등의 손상이 없는 대체적 양호한 상태인 것으로 조사되었으며, 금회 진단도 양호한 상태로 조사되었다.

③ 검토의견

- 강 가로보 외관조사 결과, 구조적 손상이 없는 양호한 상태이며 지속적인 관찰을 통하여 유지관리 해야 할 것으로 판단된다.

3.2.2 하부구조

가. 교대

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

충주IC1교의 교대형식은 역T형식이고, 기초형식 A1, A2는 확대기초, 강관말뚝기초로 시공되어 있으며 금회 현장 조사시 교대의 외관상태, 법면사면(압성토)를 중점적으로 조사하였다.



1) 외관조사 결과

【표 3-11】 교대 외관조사 결과

구 분	균열		표면열화					
	Cw=0.3mm미만 (m)		보수부 박리 (m ²)		재료분리 (m ²)		침하 (m)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
A1	0.50	1	1.16	3	—	—	—	—
A2	1.70	3	—	—	0.12	1	0.07	1
합계	2.20	4	1.16	3	0.12	1	0.07	1

2) 손상별 원인분석

			
현 황	◦A1 구체 균열(0.1mm/0.5m)	현 황	◦A1 흉벽 보수부박리(A=0.5m ²)
원 인	◦건조수축 및 온도변화	원 인	◦우수유입으로 인한 박리 발생
대 책	◦지속관찰	대 책	◦표면처리보수
			
현 황	◦A2 구체 재료분리(A=0.12m ²)	현 황	◦A2 침하(H=0.07m)
원 인	◦시공시 배합 불량 및 다짐불량	원 인	◦압성토 침하
대 책	◦단면보수	대 책	◦지속관찰
			
현 황	◦A1 구체 균열(0.3mm/0.7m)		



3) 기 진단결과와의 비교 · 분석

- 기 진단시 외관조사 결과, 구체 및 홍벽에서 건조수축과 단면변화 응력집중으로 인한 균열($C_w=0.1\sim0.2\text{mm}$), 신축이음부 우수유입으로 인한 홍벽 누수흔적, 국부 백태, 녹발생, 파손 등이 조사되었으며, 금회 진단시에는 균열 및 보수부 박리, 재료분리, 침하 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】 교대 기 진단결과 비교

구분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
교대	•균열 ($C_w=0.3\text{mm}$ 미만)	m	14	8.30	4	2.20	▽
	•백태	m ²	2	0.41	—	—	▽
	•파손	m ²	1	0.01	—	—	▽
	•보수부박리	m ²	—	—	3	1.16	△
	•재료분리	m ²	—	—	1	0.12	△
	•침하	m	—	—	1	0.07	△
	•녹발생	m ²	8	0.14	—	—	▽
	•누수흔적	m ²	1	14.00	—	—	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 교대는 미세균열, 보수부 박리, 재료분리, 침하 등의 손상이 조사되었다.
- 교대에 발생한 균열의 형상 및 발생 위치 등을 검토한 결과, 건조수축 및 온도변화에

의해 발생한 비구조적인 균열로 판단되며, 발생한 균열폭이 0.3mm미만으로 현시점의 보수보다는 지속관찰을 통해 균열 진전시 보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

- A1 구체(우측면)부에 발생한 균열폭 0.3mm의 균열은 건조수축 및 온도변화에 의해 발생한 비구조적인 균열로 판단되며, 금회 진단기간 중 내구성 확보를 위하여 균열보수(2016.11.)가 이루어진 상태이다.
- 금회 진단시 A2 홍벽(우)부에 발생한 균열폭 1.0mm의 균열은 해당위치에 설치된 배전판 볼트체결부의 우수로 인한 부식으로 인해 발생한 것으로 판단되며, 금회 진단기간 중 내구성 확보를 위하여 균열보수(2016.11)가 이루어진 상태이다.
- 교대 A1에서 발생한 보수부 박리는 상부 신축이음부에서 유입된 우수로 인하여 발생한 것으로 판단되며, 배수관 및 배수홈통설치와 교대 상면 유도배수로 설치 후 표면처리를 통하여 보수를 하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- A2 구체부에서 발생한 재료분리는 시공시 다짐불량에 의한 것으로 판단되며, 단면복구를 시행하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 교대 A2 압성토에서 발생한 침하는 금회 진단시 발생한 손상으로 판단되며, 침하량 7cm정도 발생한 것으로 나타났으나, 향후 지속관찰을 통하여 진행성 여부를 판단하여 적절한 보수방안이 수립되어야 할 것으로 판단된다.

나. 교각

상부구조를 지지하는 구조물인 교각형식은 T형 교각식이고, 기초형식(P1~P2)은 직접기초로 시공되어 있다. 충주IC1교는 3경간 교량으로 교각이 2개소로 유지관리를 용이하게 하기 위한 출입사다리 및 점검통로가 시공되어 있어 도보점검 및 고소점검차를 이용하여 조사하였다.



1) 외관조사 결과

【표 3-13】 교각 외관조사 결과

구 분	균열				표면열화			
	Cw=0.3mm미만 (m)		망상균열 Cw=0.3mm미만(m')		누수흔적 (m')		들뜸 (m')	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
P1	16.90	17	—	—	0.70	1	—	—
P2	28.70	21	21.21	6	3.00	1	3.00	1
합계	45.60	38	21.21	6	3.70	2	3.00	1

【표 3-13】 교각 외관조사 결과(계속)

구 분	표면열화							
	박락(m')		보수부 박리(m')		재료분리(m')		파손(m')	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
P1	0.06	1	0.08	1	—	—	0.03	3
P2	—	—	—	—	0.78	1	—	—
합계	0.06	1	0.08	1	0.78	1	0.03	3

2) 손상별 원인분석

			
현 황	◦P1 교각부 균열 (0.2mm/1.0m)	현 황	◦P2 교각부 망상균열(A=7.20m², Cw=0.1mm)
원 인	◦건조수축 및 온도변화	원 인	◦건조수축 및 온도변화
대 책	◦지속관찰	대 책	◦지속관찰

				
현 황	◦P1 코핑부 박락(A=0.06㎡)	현 황	◦P2 교각부 파손(A=0.01㎡/3EA)	
원 인	◦상부 유입되는 우수로 인한 열화	원 인	◦외부충격	
대 책	◦단면보수	대 책	◦단면보수	
				
현 황	◦P2 코핑부 하면 누수흔적/들뜸(A=3.00㎡), 재료분리(A=0.78㎡)			
원 인	◦시공시 다짐불량/상부 우수유입으로 인한 백태 및 내부 철근부식			
대 책	◦철근 방청 후 단면보수			
				
		금회조사	보수완료	
현 황	◦P1 코핑부(우측면) 균열(0.3mm/0.7m, 0.3mm/0.5m)			

			
현 황		◦P2 코핑부(후면) 균열 (0.3mm/0.4m)	
			
현 황		◦P2 코핑부(하면) 균열 (0.3mm/1.0m)	
			
현 황		◦P2 코핑부(하면) 균열 (1.0mm/2.0m)	

3) 기 진단결과와의 비교·분석

- 기 진단 결과, 균열 및 망상균열, 균열/백태, 재료분리, 파손 등이 발생하였으나, 금회 진단시 확인결과 전반적인 보수를 실시한 상태이다. 그러나 공용년수의 증가로 인해 코핑부 하면 들뜸(P2), 박락, 보수부 박리 등의 손상이 추가 조사되었다.
- 대부분의 기 진단을 통한 보수상태가 양호하나, P2 코핑부 하면에서 발생한 누수흔적/들뜸, 재료분리 발생부는 타격조사 결과 들뜸이 발생한 것으로 조사되었다.

【표 3-14】 교각 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
교각	•균열 (Cw=0.3mm미만)	m	82	100.60	38	45.60	▽
	•균열 (Cw=0.3mm이상)	m	2	2.00	—	—	▽
	•망상균열(Cw=0.3mm미만)	m ²	13	55.62	6	21.21	▽
	•누수흔적	m ²	3	4.75	2	3.70	▽
	•균열/백태	m	1	1.00	—	—	▽
	•균열/녹발생	m	1	2.00	—	—	▽
	•들뜸	m ²	—	—	1	3.00	△
	•박락	m ²	—	—	1	0.06	△
	•보수부박리	m ²	—	—	1	0.08	△
	•재료분리, 파손	m ²	14	3.09	4	0.81	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

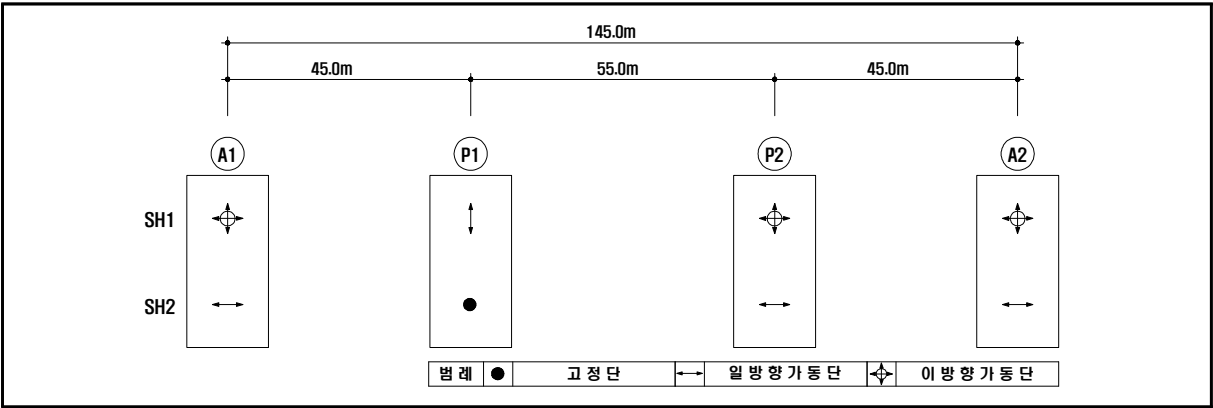
- 교각은 전반적인 보수를 실시한 상태이나 균열, 망상균열, 누수흔적, 들뜸, 박락, 보수부 박리, 재료분리, 파손 등의 손상이 조사되었다.
- 균열(최대폭 : 0.2mm), 망상균열은 균열의 형상 및 발생 위치 등을 검토한 결과, 건조수축 및 온도변화에 의해 발생한 비구조적인 균열로 판단되며, 손상정도가 경미하여 보수의 긴급성은 없으므로, 지속관찰을 통해 균열 진전시 보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 망상균열(Cw=0.1mm)은 『재령초기 표면 건조수축으로 인해 발생한 것으로 판단되며, 건조수축은 콘크리트가 수화반응을 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 수축

을 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 코핑부에 발생한 균열폭 0.3mm이상(최대폭 1.0mm)의 균열은 건조수축 및 온도변화, 우수유입에 의해 발생한 손상으로 판단되며, 금회 진단기간 중 내구성 확보를 위하여 균열보수(2016.11.)가 이루어진 상태이다.
- 교각에 발생한 국부적인 콘크리트 결함(박락, 파손, 박리 등) 중 박락 및 파손 등은 공용 중 내구성 저하의 우려가 있으므로 단면보수가 요구되며, 박리는 표면처리보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- P2의 코핑부 우측면과 하면에 발생한 누수흔적, 들뜸, 재료분리는 상부구조 유공관을 통해 떨어지는 우수가 균열부와 재료분리부 등의 치밀성 부족부로 침투되어 내부 철근 부식을 유발하고 이로 인해 들뜸으로 발전된 것으로 판단되며, 내구성 확보를 위하여 들뜸부 파취를 진행하고 내부 철근방청 후 단면보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- P2 코핑부 하면(우)에 발생한 들뜸, 재료분리는 현재 열화정도가 기 진단 비교시 심화된 상태로 판단되며, 적절한 보수·보강이 시급한 것으로 판단되는 상태이다.
- 그 외에 교각은 양호한 상태로 판단되며, 각 손상에 맞는 적절한 보수를 실행하고 향후 유지관리가 필요할 것으로 판단된다.

다. 교량받침

본 교량의 받침장치는 Pot Bearing 받침으로 총 8개소가 시공되었으며, 전차 점검에서 확인된 손상에 대하여 전반적인 보수가 완료된 상태이나 금회 추가 손상으로 받침몰탈, 받침콘크리트 균열 및 파손과 상부플레이트 부식이 일부 조사되었다. 교량받침 현황은 다음과 같다.



【그림 3-2】 충주IC1교 교량받침 배치도

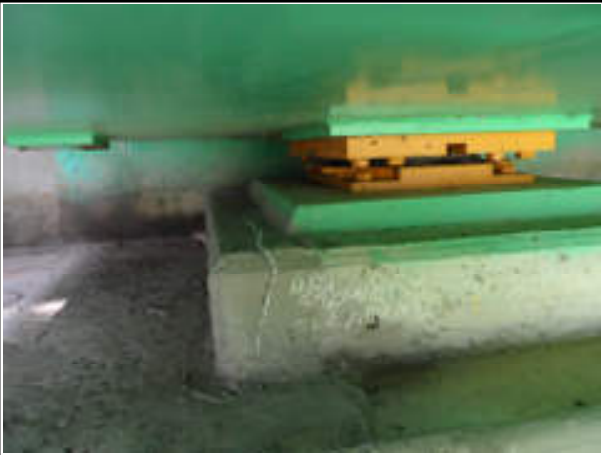


1) 외관조사 결과

【표 3-15】 교량받침 외관조사 결과

구 분	받침본체		받침콘크리트, 받침몰탈							
	부식(m²)		균열 Cw=0.3mm미만(m)		박락(m²)		파손(m²)		녹발생(m²)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
A1	—	—	0.20	1	—	—	0.26	2	0.40	2
P1	0.20	1	0.30	3	—	—	0.01	1	—	—
P2	0.10	1	—	—	0.08	2	—	—	—	—
A2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
합계	0.30	2	0.50	4	0.08	2	0.27	3	0.40	2

2) 손상별 원인분석

			
현 황	◦P2-Sh2 받침부식 ($A=0.10\text{m}^2$)	현 황	◦P1-Sh2 받침콘크리트 균열 ($0.2\text{mm}/0.3\text{m}$)
원 인	◦신축이음부 및 외측면을 통한 우수유입	원 인	◦건조수축 및 온도변화
대 책	◦녹제거 후 채도장	대 책	◦지속관찰
			
현 황	◦P2-Sh2 받침콘크리트 박락 ($A=0.1\text{m}^2$)	현 황	◦A1-Sh2 받침콘크리트 파손 ($A=0.13\text{m}^2$)
원 인	◦우수유입에 따른 동결융해작용	원 인	◦우수유입으로 인한 동결융해작용
대 책	◦단면보수	대 책	◦단면보수

3) 기 점검결과와의 비교 · 분석

- 기 진단결과 조사된 손상은 받침부식, 우수축 몰탈 및 콘크리트 균열, 재료분리, 들뜸, 파손, 녹발생 등으로 조사되었으며, 금회 정밀안전진단시 조사된 손상 역시 대체로 동일한 것으로 나타났다.
- 각각의 손상물량은 증감하였으며, 이는 기 진단 결과에 따른 보수로 인해 일부 감소하기도 하였으나, 공용년수 증가에 따른 노후화로 인해 일부 손상물량은 증가한 것으로 조사되었다.

【표 3-16】 교량받침 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
교량받침	•부식	m ²	2	0.28	2	0.30	▽
	•균열 (Cw=0.3mm미만)	m	21	4.40	5	0.80	▽
	•균열 (Cw=0.3mm이상)	m	2	1.00	—	—	▽
	•재료분리	m ²	1	0.04	—	—	▽
	•박락	m ²	—	—	2	0.08	△
	•파손	m ²	12	1.70	3	0.27	▽
	•녹발생	m ²	2	0.02	2	0.40	△

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 금회 교량받침 조사결과, 받침본체 부식, 받침콘크리트 및 몰탈 균열, 받침 콘크리트 박락, 파손, 녹발생 등의 손상이 조사되었다.
- 교량 받침 소울플레이트에 부식이 국부 조사되었으며, 이는 외측면을 통한 우수유입이 가장 주요한 원인으로 판단되며, 녹제거 후 재도장을 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 받침콘크리트, 받침 몰탈에 발생한 0.3mm미만의 균열은 건조수축 및 양생불량 등에 의한 비구조적인 손상으로 판단되며, 손상의 정도가 경미하여 지속관찰을 통해 균열 진전 시 보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 받침 콘크리트에 발생한 파손, 박락은 우수유입에 따른 동결융해 및 내부 철근부식 팽창에 의한 것으로 판단되며, 발생한 손상에 대해서는 내구성 확보를 위하여 단면보수가 필요할 것으로 판단된다.
- 받침 콘크리트에 발생한 녹발생은 받침 콘크리트 상면 균열부를 통한 우수침투로 인한 철근부식이 주요 원인으로 철근 방청 후 단면보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

5) 연단거리 검토

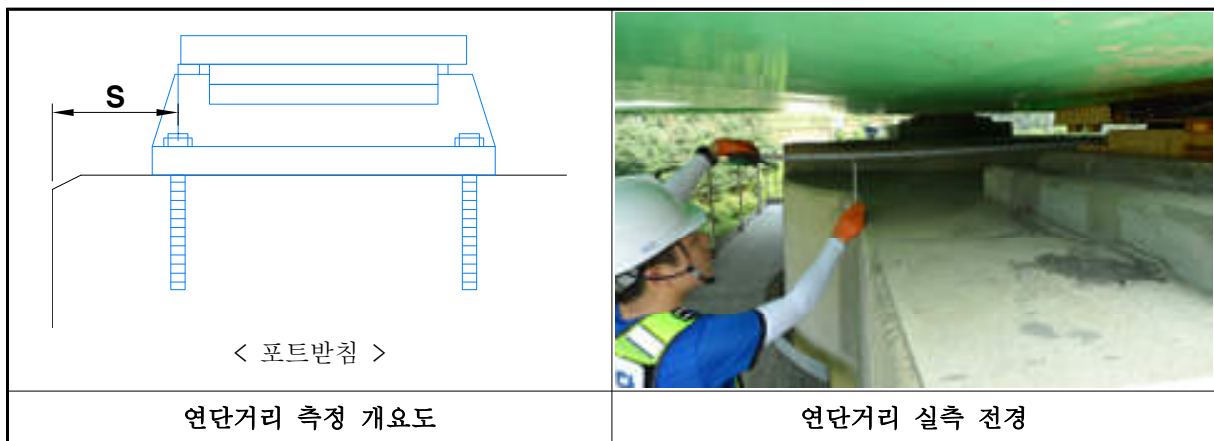
교좌면은 받침을 통해 상부구조로부터 하중을 받는 곳이고 또한 지진시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 따라서 받침 끝에서 정부 연단까지의 거리가 작으면 고정단에서는 전단면에 연해서 콘크리트 구체 또는 받침이 파손될 수 있고, 가동단에서는 최악의 경우 받침이 벗어나 거더가 낙하할 수도 있다. 따라서 도로교 설계기준에서는 상부구조의 길이에 따라 연단거리의 최솟값을 정해놓았으며, 본 과업에서는 실제 시공된 연단거리와 설계 연단거리를 비교·검토하였다.

■ 거더의 경간길이 100m이하 : $S = 200 + 5.0L$

100m이상 : $S = 300 + 4.0L$ (도로교 설계기준)

여기서, S : 받침연단거리(mm), L : 거더의 경간길이(m)

■ 연단거리 : 콘크리트면의 가장자리로부터 가장 가까운 앵커 중심까지의 거리



【표 3-17】 연단거리 측정결과

구 분		경간장 (m)	계산 연단거리(mm)	실측 연단거리(mm)		검토 결과
				Sh1	Sh2	
A1	중점측	45.0	425	600	600	O.K
P1	시점측	45.0	425	960	980	O.K
	중점측	55.0	475	950	970	O.K
P2	시점측	55.0	475	940	960	O.K
	중점측	45.0	425	900	900	O.K
A2	시점측	45.0	425	600	600	O.K

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

① 교량받침 가동량 측정결과 및 가동 여유량 분석

포트받침으로 시공된 충주IC1교의 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】 교량받침 계산 가동량 산정

구 분	온도변화 (ΔT , $^{\circ}\text{C}$)		선팽창 계수 (α)	신축거더 길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(mm)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (mm)	최대 받침 가동량(mm)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
A1	49.2	10.8	0.000012	45	26.6	5.8	10.2	26.6	5.8
P1	고정단								
P2	49.2	10.8	0.000012	55	32.5	7.1	12.4	32.5	7.1
A2	49.2	10.8	0.000012	100	59.0	13.0	10.2	59.0	23.2
1) 조사당시 온도 : 29.2°C (조사일 : 2016년 08월 08일, 전일 평균온도)									
2) 검토온도 : $-20^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ (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】 교량받침 가동여유량 검토결과

구 분		점검당시 실측이동량 (mm)	최대 받침 이동량(mm)		실측 받침 가동여유량(mm)		받침이동 허용량 (mm)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
A1	Sh1	+43 (A1)	26.6	5.8	93.0	7.0	±50	O.K
	Sh2	+42 (A1)			92.0	8.0		O.K
P1	고정단							—
P2	Sh1	+10 (A2)	32.5	7.1	60.0	40.0	±50	O.K
	Sh2	+10 (A2)			60.0	40.0		O.K
A2	Sh1	+30 (A2)	59.0	23.2	80.0	20.0	±50	N.G
	Sh2	+30 (A2)			80.0	20.0		N.G
주) 판정 : 최대 받침 이동량 ≤ 실측 받침 가동여유량 ⇒ O.K								

- 교량받침의 이동량을 검토한 결과, 대부분 충분한 가동 여유량을 확보하고 있는 것으로 평가되었다. 다만, A2-Sh1, Sh2의 받침 이동량은 계산에 의한 최대 신장시 받침이동량이 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 3-21】 교량받침 가동상태 검토결과

구 분		실측이동량(㎜)		변동량(㎜)		비 고
		1차	2차	실측치	이론치	
A1	Sh1	+43 (A1)	+30 (A1)	13.0	7.0	1차:29.2℃ 2차:16.2℃ 온도차:13.0℃
	Sh2	+42 (A1)	+33 (A1)	9.0		
P1	고정단					—
P2	Sh1	+10 (A2)	+4 (A2)	6.0	8.6	
	Sh2	+10 (A2)	+5 (A2)	5.0		
A2	Sh1	+30 (A2)	+19 (A2)	11.0	15.6	
	Sh2	+30 (A2)	+20 (A2)	10.0		
※ 받침 위치 조사시 기준점은 고정단을 기준으로 +: 신장, -:수축으로 표시함.						

- 교량받침의 이동위치는 2회(1차:29.2℃(8월), 2차:16.2℃(10월))에 걸쳐 측정하였으며, 온도 변화에 따른 이동량 측정결과, 계산 이동량과 차이는 있으나, 전반적으로 양호한 거동상태를 보이고 있는 것으로 평가되었다.

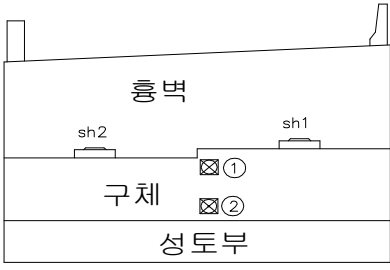
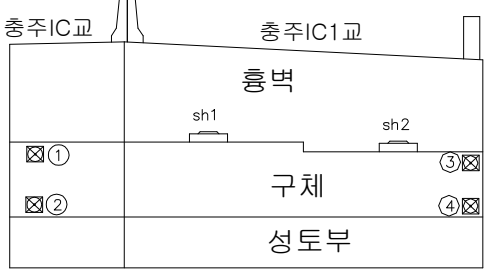
3.2.3 교대 기울기 측정

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

측정 위치		
A1 교대	A2 교대	
		
		
측정 결과	측점 전경(A1)	측점 전경(A2)

2) 측량 결과 좌표

위치	①			②			③			④		
	N측	E측	Z측	N측	E측	Z측	N측	E측	Z측	N측	E측	Z측
교대 A1	-99.618	5.960	12.719	-99.623	5.973	12.709	-	-	-	-	-	-
교대 A2	44.157	13.029	14.100	44.158	13.023	13.421	40.436	22.215	13.819	40.428	22.237	13.014

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】 광파기를 이용한 측량 결과

측점 모식도(A1, A2)							
측정일자	위치	측정 결과					
		①	②	③	④	⑤	⑥
2016.07.26	교대 A1	9.911	9.940	143.949	143.954	140.994	140.992

나. 다림추를 이용한 측정

교대의 기울기 및 변위를 관찰하고자 교대 A1, A2 홍벽에 다림추를 이용하여 측정하였다.

1) 측정 위치 및 측정 전경

		■ a : 상단 이격거리(mm), 스틸자 사용 ■ b : 하단 이격거리(mm), 교대 홍벽에서 추의 거리 ■ c : 줄의 총 길이(mm)	
		$\text{경사}(d) = \frac{(b-a)}{c} (\%)$	
■ 경사 부호 : (-)부호일 경우 ∠(교대가 홍벽측으로 기울음) : (+)부호일 경우 ∇(교대가 교각측으로 기울음)			
A1 교대 기울기 측정 위치		A2 교대 기울기 측정 위치	

2) 측정 결과 및 분석

【표 3-23】 다림추를 이용한 기울기 결과

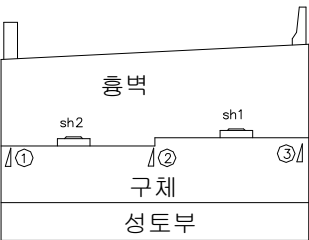
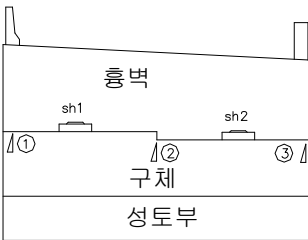
구 분		교대 기울기 측정 결과(단위 : mm)					
		①		②		③	
		금회	전회	금회	전회	금회	전회
A1	상단 이격거리(a)	80	100	80	100	80	100
	하단 이격거리(b)	77	85	82	95	62	75
	줄의 총 길이(c)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
	경사(d)	-0.15%	-0.75%	0.10%	-0.25%	-0.90%	-1.25%
A2	상단 이격거리(a)	80	100	80	100	80	100
	하단 이격거리(b)	89	95	87	105	88	98
	줄의 총 길이(c)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
	경사(d)	0.45%	-0.25%	0.35%	0.25%	0.40%	-0.10%

A1 교대는 -1.25~0.10%의 경사가 측정되었고, A2 교대는 -0.25~0.45%의 경사가 측정되었다. 교대 A1의 기울기는 흙벽측으로 교대 A2의 기울기는 교각측으로 기울어진 것으로 분석되었다. 또한, 기 점점 결과와 비교 시 유사한 것으로 검토되었으며 이는 흙벽 시공 시 거푸집 변형 및 콘크리트면이 일정하지 않은 오차로 볼 수 있다.

다. 경사계를 이용한 측정

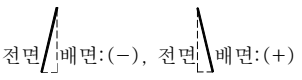
교대의 기울기 및 변위를 관찰하고자 교대 A1, A2 구체에 경사계를 이용하여 측정하였다.

1) 측정 위치 및 측정 전경

측정 위치		측정 전경
 A1 교대	 A2 교대	

2) 측정 결과 및 분석

【표 3-24】 경사계를 이용한 기울기 결과

측정일자	위치	측정 결과			기호정의
		①	②	③	
2016.08.30	교대 A1	0.0°	-0.5°	-0.2°	
	교대 A2	-0.7°	-0.9°	-0.6°	

경사계를 이용한 기울기 측정결과 교대 구체 A1 및 A2 모두 배면쪽으로 기울어진 상태이며 코핑부 상면에 체수 등은 발생되지 않은 상태이다.

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 충주IC 1교 교대부(A1, A2)를 대표단면으로 선정하여 측방유동 검토를 수행하고 자 한다.

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 11/30~50/27의 실트섞인 세립의 모래(SM)로 이루어진 풍화잔류토층으로 연약지반으로 분류하기 어려우므로 원호활동에 의한 측방유동 안정성을 검토하였다. 또한 교대배면의 성토로 인하여 기초지반은 측방토압을 받게되어 이로 인해 교대기초 말뚝에서 수평변위가 발생할 것으로 예상되므로 이에 대해 2차원 지반해석을 통하여 수평변위 및 침하량을 확인하였다.

2) 원호활동에 의한 판정

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

【표 3-25】 기준안전율

구 분	사면활동에 대한 기준안전율				적용
	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) 설계지진가속도

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

【표 3-26】 설계지진 가속도

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

4) 허용 수평변위 및 침하량 선정

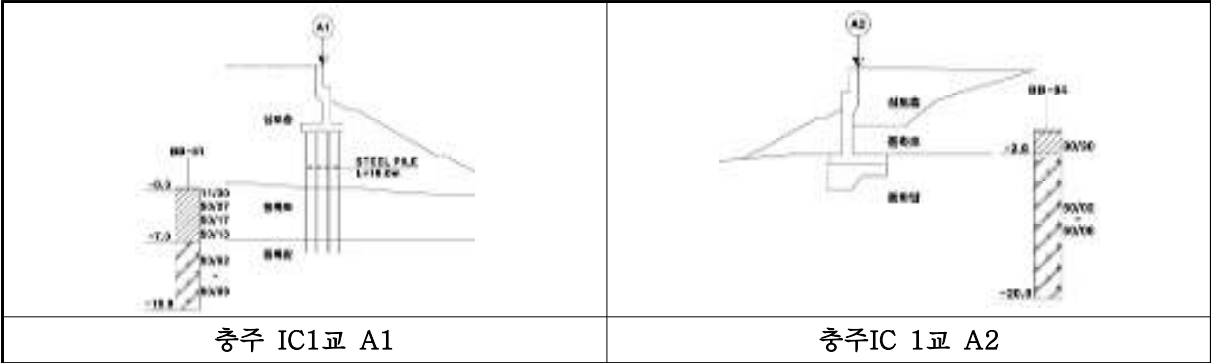
구조물 기초지반에 대한 허용 침하량은 각 기관별로 25~50mm의 범위로 구조물의 장기적 안정을 고려하여 하한값인 25mm, 허용 수평변위는 D1,500mm 이하의 말뚝에서 적용하는 15mm를 허용 수평변위로 적용하였다.

【표 3-27】 허용 수평변위 및 침하량

허용 수평변위	허용 침하량
15mm	25mm

5) 대표단면 선정

충주IC1교 교대부(A1, A2)를 대표단면으로 선정하여 원호활동에 의한 측방유동 검토를 수행하였다. 또한 2차원 지반해석은 성토고가 높아 안정성에 불리한 교대부 A1을 대표단면으로 선정하여 수치해석을 실시하였다.



【그림 3-3】 대표단면 선정

6) 적용 물성치

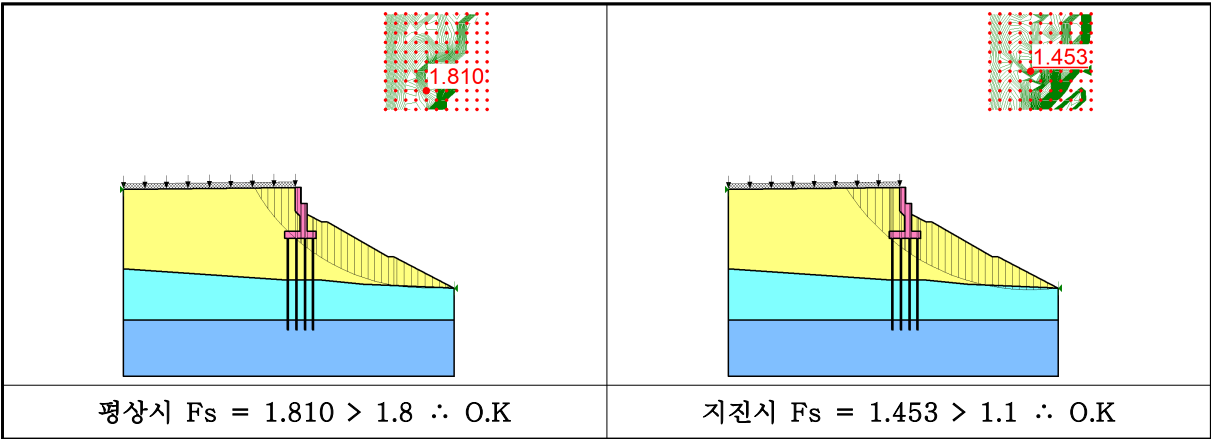
적용 물성치는 중부내륙 고속도로(충주~여주간) 건설공사 토질조사보고서 제4공구(용전~완오) 준공도서를 참조하여 다음과 같이 결정하였다.

【표 3-28】 적용 물성치

구 분	단위중량(kN/m³)	점착력(kN/m²)	내부마찰각	변형계수(MPa)	포아송비
성토층	19	15	25	90	0.35
풍화토	19	5	30	110	0.32
풍화암	21	30	33	400	0.30

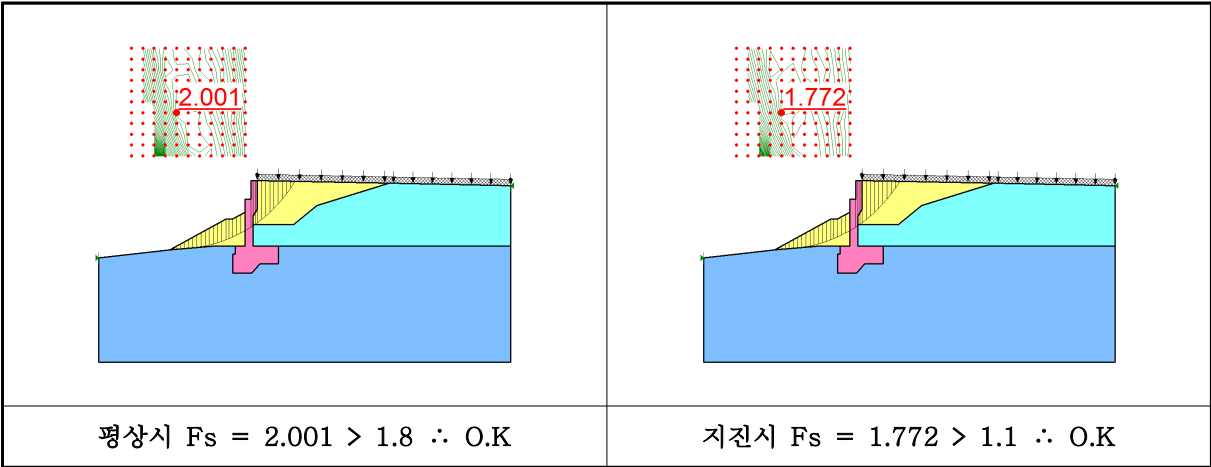
7) 검토결과

① A1 교대



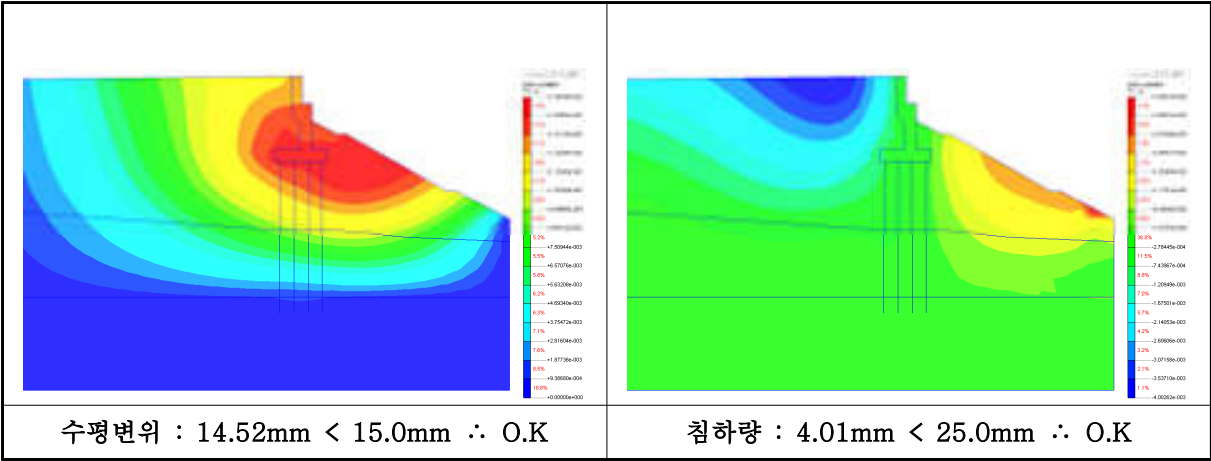
【그림 3-4】 원호활동에 의한 방법(A1 교대)

② A2 교대



【그림 3-5】 원호활동에 의한 방법(A2 교대)

8) 수치해석(A2 교대)



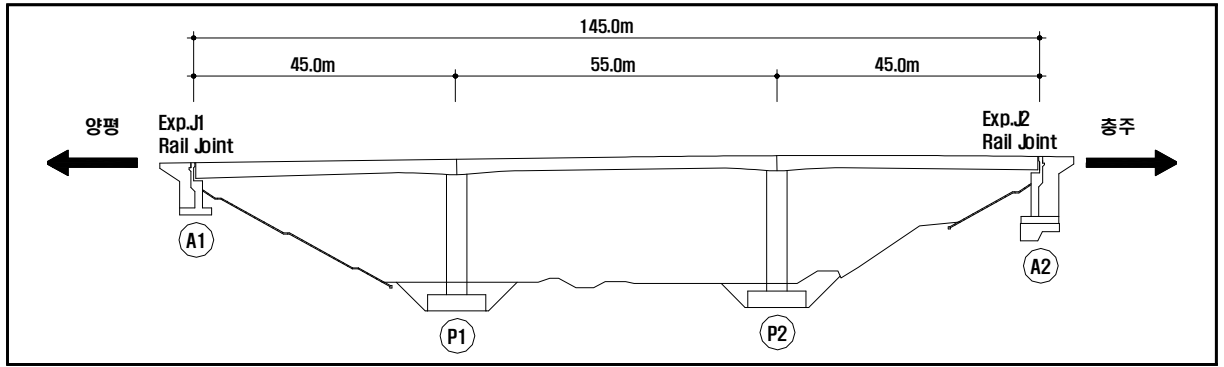
【그림 3-6】 수치해석에 의한 방법(A2 교대)

9) 결론

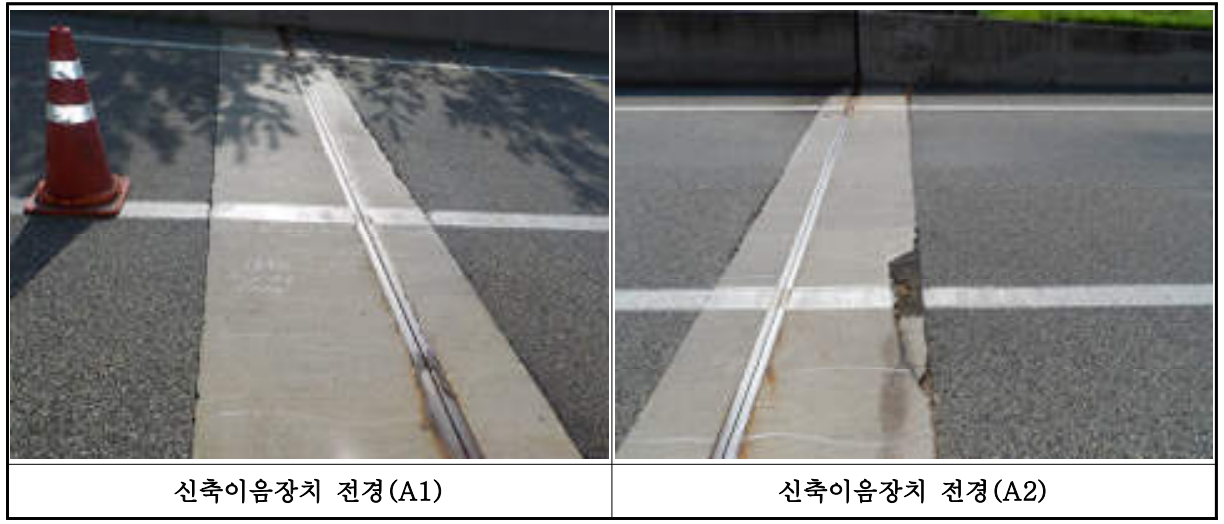
원호활동에 의한 측방유동 검토결과 기준안전율을 상회하여 측방유동의 가능성은 없는 것으로 검토되었고 2차원 수치해석을 통한 지반해석 결과 최대 수평변위는 14.52mm, 침하량은 4.01mm로 허용값 이내로 안정한 것으로 나타났다. 따라서 본 교량의 협착으로 인한 균열은 해석적인 측면보다는 주변현상을 바탕으로 향후 장기적인 관찰이 필요할 것으로 판단된다.

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. 충주IC1교의 신축이음장치는 A1, A2에 레일 조인트로 설치되어 있으며, 신축이음 배치 현황은 다음과 같다.



【그림 3-7】 충주IC1교 신축이음 배치도



1) 외관조사 결과

【표 3-29】 신축이음장치 외관조사 결과

구 분	신축이음장치본체		후타재			
	부식(m)		균열 Cw=0.3mm미만(m)		파손(m²)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소
A1	0.30	2	—	—	—	—
A2	0.36	2	11.90	17	0.10	1
합계	0.66	4	11.90	17	0.10	1

2) 손상별 원인분석

			
현 황	◦A1 신축이음장치 부식 (A=0.15㎡)	현 황	◦A1 후타재 균열 (0.1mm/0.7m, 20EA)
원 인	◦공용 중 우수에 의한 부식	원 인	◦건조수축, 중차량 통과
대 책	◦지속관찰	대 책	◦표면처리보수
			
현 황	◦A2 후타재 균열 (0.1mm/0.7m, 17EA)	현 황	◦A2 후타재 파손 (A=0.1㎡)
원 인	◦건조수축, 중차량 통과	원 인	◦중차량에 의한 파손
대 책	◦표면처리보수	대 책	◦단면보수

3) 기 점검결과와의 비교 · 분석

- 기 진단 외관조사 결과, 신축이음장치 부식과 후타재 균열, 신축이음부 하부 채움재 누락이 조사되었으며, 금회 진단시에도 신축이음장치 부식 및 후타재 균열이 동일하게 조사되었다. 또한 금회에는 후타재 파손이 추가적으로 조사되었다.

【표 3-30】 신축이음장치 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
신축이음	•부식	m	4	0.66	4	0.66	—
	•균열 (Cw=0.3mm미만)	m	61	29.39	17	11.90	▽
	•파손	m ²	—	—	1	0.10	△
	•채움재 누락	m	3	2.10	—	—	▽

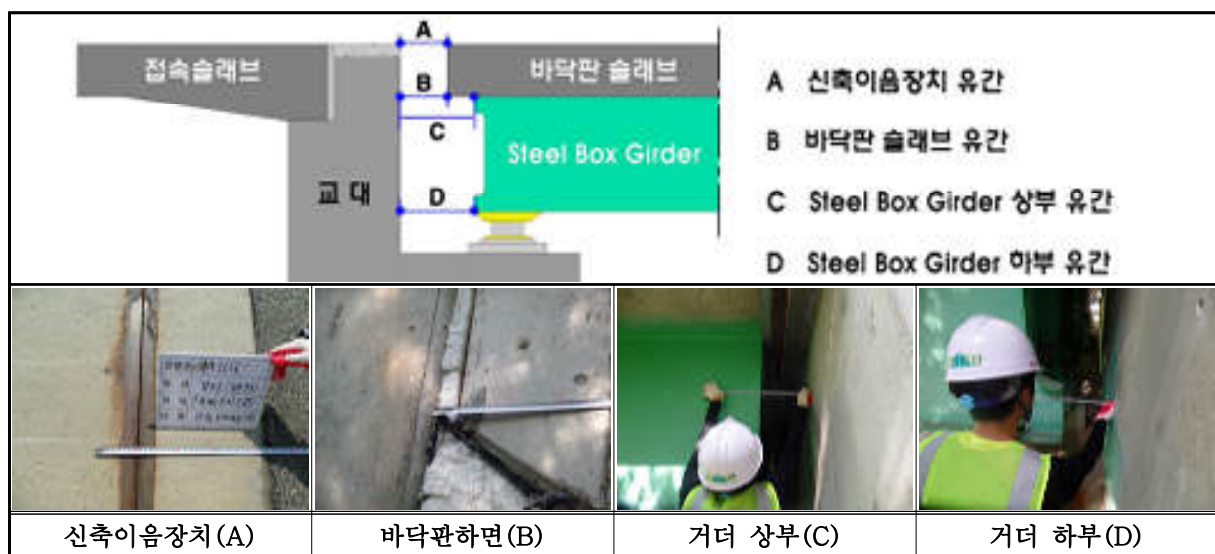
주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

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.
- 건조수축, 중차량 통행 등의 요인으로 인해 후타재 균열 (Cw=0.3mm미만)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.

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】 신축이음 유간 측정방법

① 계산 신축량 산정

【표 3-31】 계산 신축량 산정

■ 온도에 의한 가동량

$$\Delta l_t = \Delta T \times \alpha \times l \text{ (신축거더 길이)}$$

 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, 창원, 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 중립축까지의 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)	28.6 (1차) 16.2 (2차)	
온도에 의한 가동량(Δl_t)	$\Delta l_t = \Delta T \times \alpha \times l$		
보의 중립축까지 높이(h_i)	$\frac{2}{3} \times 2,800$		
보의 회전각(θ_i)	1/150 (Steel Box Girder교)		
보의 처짐에 의한 가동량(Δl_r)	$\Delta l_r = \sum (h_i \times \theta_i)$		
신축거더길이 (L, m)	A1	A2	
	45.0	100.0	

※ 처짐에 의한 가동량은 팽창시만 고려하여 계산

② 신축이음 유간 측정결과

【표 3-32】 신축이음 유간 측정결과

구 분	측 정 값(mm)								비 고
	신축이음장치(A)		바닥판(B)		거더 상부(C)		거더 하부(D)		
	1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차	
Exp.J1(A1)	4.0	17.0	35.0	50.0	300.0	305.0	274.0	285.0	Rail Joint
Exp.J2(A2)	0.0	15.0	55.0	65.0	313.0	345.0	307.0	340.0	Rail Joint

③ 신축이음 가동상태 검토결과

【표 3-33】 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동상태 검토결과

구 분		측정유간(mm)		변동량(mm)		비 고
		1차	2차	실측치	이론치	
Exp.J1 (A1)	신축이음장치	4.0	17.0	-13.0	6.7	1차:28.6℃ 2차:16.2℃
	바닥판	35.0	50.0	-15.0		
	거더 상부	300.0	305.0	-5.0		
	거더 하부	274.0	285.0	-11.0		
Exp.J2 (A2)	신축이음장치	0.0	15.0	-15.0	14.9	온도차 12.4℃
	바닥판	55.0	65.0	-10.0		
	거더 상부	313.0	345.0	-32.0		
	거더 하부	307.0	340.0	-33.0		

- 8월(28.6℃)과 10월(16.2℃)의 온도 변화에 따른 변동량 측정결과, 이론 변동량과 차이는 있으며, A2(J2)의 경우 최대 신장시 신축이음장치의 협착이 발생하였으나, 바닥판 단부 파손 및 2차손상은 발생하지 않은 상태로 조사되었다.

④ 신축이음 신축이동량 산정

【표 3-34】 신축이음 신축이동량 산정

구 분	온도변화 ($\Delta T, ^\circ\text{C}$)		선팅창 계수 (α)	신축거더 길이 (L, m)	온도변화에 의한 이동량		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량(mm)	계산 이동량(mm)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 팽창시)
Exp.J1 (A1)	49.2	10.8	0.000012	45	26.6	5.8	10.2	26.6	5.8
Exp.J2 (A2)	49.2	10.8	0.000012	100	59.0	13.0	10.2	59.0	23.2

⑤ 신축이음 가동여유량 검토결과

【표 3-35】 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량 검토결과

구 분		계산이동량(mm)		점검당시 실측유간 (mm) ③	허용량(mm) ④	신축 여유량(mm)		검토 결과
		최대 수축시 ①	최대 신장시 ②			최대 수축시 ④ - (①+③)	최대 신장시 ③ - ②	
Exp.J1 (A1)	신축이음장치	26.6	5.8	4.0	240	209.4	-1.8	N.G
	바닥판 단부			35.0	-	-	29.2	O.K
Exp.J2 (A2)	신축이음장치	59.0	23.2	0.0	160	101.0	-23.2	N.G
	바닥판 단부			55.0	-	-	31.8	O.K
주) 판정 : 0.0mm ≤ 신축 여유량 ≤ 허용량 ⇒ O.K								

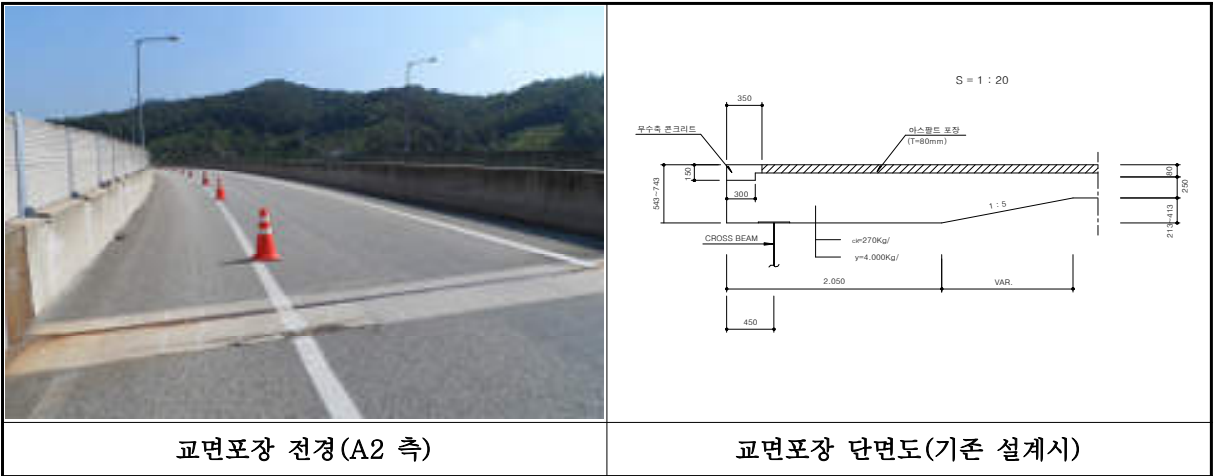
- 신축이음장치 유간 검토를 위해 신축유간, 바닥판 유간, 거더상단 및 하단 유간을 측정하여 계산 유간과 비교·분석한 결과, A1(J1), A2(J2)의 신축유간이 부족한 것으로 측정되었으나, 바닥판 유간이 적정한 것으로 조사되어 프리세팅 오류로 판단된다. 이에 현 시점에서 유간부족으로 발생할 수 있는 추가 손상 발생 유무에 대한 지속관찰이 요망되며, 차후 신축이음장치 협착으로 인한 구조물 손상 증가시 신축이음장치 교체가 바람직할 것으로 사료된다.

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 90mm 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.



1) 외관조사 결과

【표 3-36】 교면포장 외관조사 결과

구 분	균열 (m)	
	물량	개소
S1 접속슬래브	—	—
S1	—	—
S2	—	—
S3	22.00	2
S3 접속슬래브	—	—
합계	22.00	2

2) 손상별 원인분석



현 황	◦S3 교면포장 균열 (L=20.0m)
원 인	◦다짐 미흡(온도관리) 및 반복하는 운하중
대 책	◦지속관찰

3) 기 진단결과와의 비교·분석

- 기 진단시 외관조사 결과, 일부 균열이 조사되었으며, 금회 진단시에도 동일한 손상이 조사되었으나, 손상물량은 증가한 상태로 나타났다.

【표 3-37】 교면포장 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
포장부	•균열	m	3	18.00	2	22.00	△

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 교면포장에 대한 외관조사 결과, 차량 주행의 안전성을 저해할만한 손상은 없는 상태이나, 종방향 균열이 조사되었다.
- 다짐미흡(온도관리) 및 반복하는 윤회중, 다짐초기 균열 등의 복합적인 원인에 의해 균열이 발생된 것으로 판단되며, 손상에 의한 차량 주행성 저하는 미미한 상태이므로 지속관찰 후 향후 부분 보수를 실시하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

5) 코어채취 분석

충주IC1교 교면포장의 아스콘 상태, 두께, 방수층, 바닥판상면에 대한 손상 및 열화를 확인하기 위해 코어 채취를 실시하였다.

① 코어채취 위치도

금회		전회		
구 분	S1	S2	S3	비고
1차선				
갓길				
코어채취 위치도				

② 코어채취 결과

㉠ 교면포장 S2(갓길)

		포장 두께	■ 금회결과 : 90mm ■ 준공도면 : 80mm
		포장 현황	■ 포 장 상 태 : 보통(으스러짐) ■ 방수층 상태 : 양호 ■ 바닥판 상면 : 양호

③ 기 진단결과 비교 검토

구 분	위 치	포장두께	진행성 여부	비 고
기 진단(2012년)	S2(갓길)	100mm	상태양호	
금 회(2016년)	S3(갓길)	90mm	상태보통	으스러짐

④ 결과분석

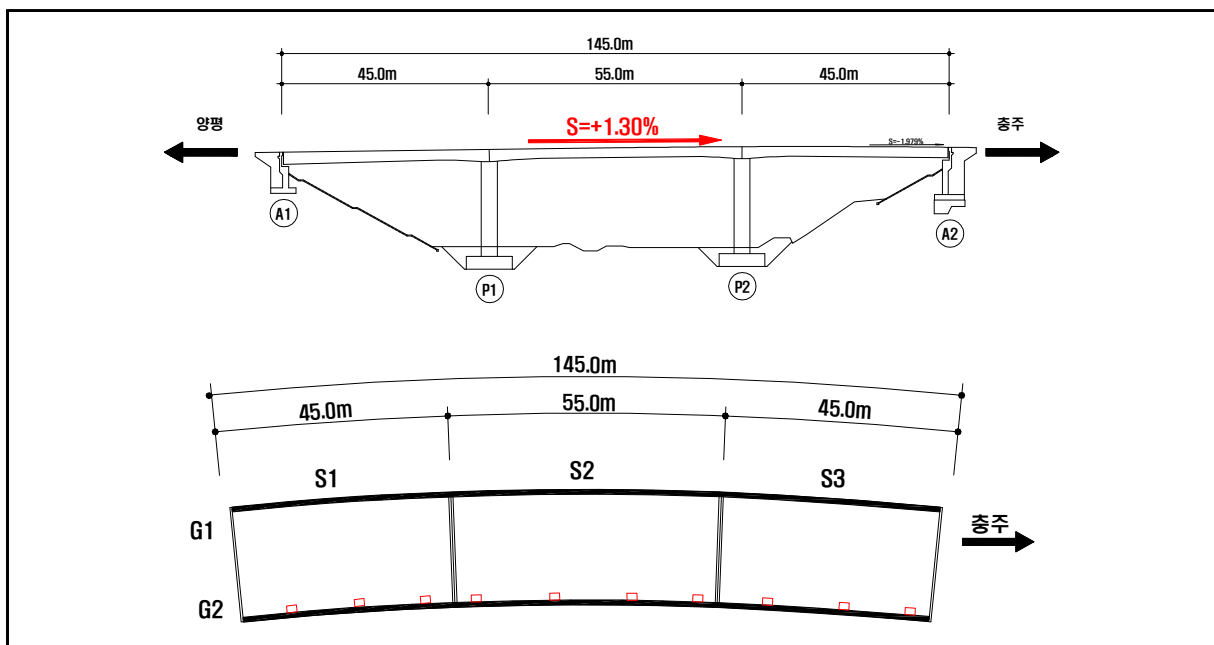
충주IC1교의 교면포장 상태 결과는 아스콘, 방수층 및 바닥판상면은 양호한 것으로 확인되었으며, 바닥판슬래브와 포장방수층 간의 접착력으로 인하여 하층코어 채취과정에서 코어를 원형 그대로 채취하지 못하였으나 코어채취 깊이를 측정하여 포장두께를 정확하게 측정하였다. 또한, 준공도면과 포장두께의 차이가 있어 구조해석 시 포장두께를 반영하여 평가하였다.

3.2.6 기타부재

가. 배수시설

배수시설은 우수 유입에 따른 얼화방지를 위해 일정한 곳으로 물을 배출하기 위한 시설로서, 충주IC1교의 배수시설은 각각의 경간 상부에 설치된 집수구를 통하여 STEEL Pipe $\phi 150\text{mm}$ 배수관을 따라 하부로 배수되도록 설치되어 있다.

충주IC1교는 교면 횡구배(5.0%)의 영향으로 하부 배수파이프 사이에 유공관이 총 18개소의 배수시설이 설치되어 있다.



【그림 3-9】 배수시설 현황



1) 외관조사 결과

【표 3-38】 배수시설 외관조사 현황

구 분	배수로 이물질 퇴적	유도배수관 부식(m ²)	
	개소	물량	개소
S1	1	1.50	2
S2	2	—	—
S3	2	0.50	2
합계	5	2.00	4

2) 손상별 원인분석

			
현 황	◦S2 배수로 이물질 퇴적	현 황	◦A1 유도배수관 부식(A=1.5m ²)
원 인	◦이물질 퇴적	원 인	◦공용 중 부식
대 책	◦청소	대 책	◦유도배수관 재설치

3) 기 진단결과와의 비교·분석

- 기 진단시 외관조사 결과, 배수구 이물질 퇴적, 유도배수관 부식 등의 손상이 조사되었으며, 금회 진단시에도 동일한 배수시설의 손상이 조사되었다.

【표 3-39】 배수시설 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
배수시설	•배수로이물질퇴적	개소	6	6	5	5	▽
	•유도배수관 설치(유공관)	개소	4	4	—	—	▽
	•유도배수관부식	m ²	3	0.90	4	2.00	△

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 배수시설 외관조사 결과 배수로 이물질(토사, 쓰레기) 퇴적, 유도배수판 부식 등의 손상이 조사되었다.
- 교면포장부에 위치한 배수구 상태는 막힘이 없는 양호한 상태이나 이물질 퇴적이 조사되었으며, 배수 System 개선보다는 지속적인 청소를 실시하여 배수구 이물질제거가 이루어진다면 문제가 없을 것으로 판단된다.
- 상부 신축이음에서 발생하는 우수유입을 유도하고자 설치한 유도배수판에 공용 중 부식이 발생하였으며, 공용년수 증가에 따라 부식이 점차 진행됨에 따라 유도배수판 재설치가 적절할 것으로 판단된다.
- 배수관을 지탱하고 있는 앵커볼트가 우수로 인하여 일부 부식이 진행되고 있으며, 지속적인 관찰을 통하여 향후 유지관리 해야 할 것으로 판단된다.
- 교량 종단구배의 영향으로 교면체수가 없는 상태이며, 배수기능에는 문제가 없는 것으로 판단된다.

나. 방호벽

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



【그림 3-10】 충주IC1교 방호벽 전경 및 단면도

1) 외관조사 결과

【표 3-40】 방호벽 외관조사 결과

구 분	콘크리트									
	균열 Cw=0.3mm미만 (m)		망상균열 Cw=0.3mm미만 (m ²)		누수흔적 (m ²)		박락 (m ²)		박리 (m ²)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	2.50	3	—	—	—	—	—	—	—	—
S2	2.70	5	1.40	1	1.26	3	—	—	0.97	8
S3	4.00	8	0.96	2	—	—	0.12	7	—	—
합계	9.20	16	2.36	3	1.26	3	0.12	7	0.97	8

【표 3-40】 방호벽 외관조사 결과(계속)

구 분	콘크리트						
	녹발생(m ²)		철근노출(m ²)		파손(m ²)		단차
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	개소
S1	0.05	2	—	—	0.22	6	—
S2	0.22	13	0.04	2	0.25	6	—
S3	—	—	—	—	0.80	4	1
합계	0.27	15	0.04	2	1.27	16	1

2) 손상별 원인분석

			
현 황	◦S3 방호벽 균열(0.1mm/0.5m)	현 황	◦S3 방호벽 망상균열(A=0.84m ² , Cw=0.1mm)
원 인	◦건조수축 및 줄눈 절단 시기 미흡	원 인	◦건조수축 및 온도변화
대 책	◦표면처리보수	대 책	◦표면처리보수
			
현 황	◦S3 방호벽 박락(A=0.06m ²)	현 황	◦S2 방호벽 박리(A=0.28m ²)
원 인	◦시공불량, 다짐불량, 표면열화	원 인	◦시공불량, 다짐불량, 표면열화
대 책	◦단면보수	대 책	◦표면처리보수

			
현 황	◦S2 방호벽 철근노출(L=0.2m)	현 황	◦S3 방호벽 파손(A=0.16㎡)
원 인	◦피복두께 부족	원 인	◦국부적인 외력(접속부 신축 및 침하)
대 책	◦방청 후 단면보수	대 책	◦단면보수
			
현 황	◦A2 방호벽 단차(H=3.0cm)		
원 인	◦접속슬래브측 지반 침하		
대 책	◦지속관찰		

3) 기 진단결과와의 비교·분석

- 기 진단시 외관조사 결과, 건조수축과 온도 변화에 따른 신축으로 인한 수직 및 수평균열, 방음벽 기둥 설치부 누수흔적과 국부백태, 철근노출 및 녹발생, 파손, 재료분리, 박리, 굽힘 등이 조사되었으며 금회 진단시 기진단시와 유사하게 손상이 발생하였고 A2측에서 단차 및 방호벽 파손이 추가적으로 조사되었다.

【표 3-41】 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
방호벽	•균열 (Cw=0.3mm미만)	m	188	79.90	16	9.20	▽
	•균열 (Cw=0.3mm이상)	m	4	2.90	—	—	▽
	•망상균열 (Cw=0.3mm미만)	m ²	15	2.78	3	2.36	▽
	•누수흔적	m ²	16	4.95	3	1.26	▽
	•박락	m ²	—	—	7	0.12	△
	•박리, 파손	m ²	61	3.75	24	2.24	▽
	•녹발생, 철근노출	m ²	8	0.15	17	0.31	△
	•단차	개소	—	—	1	1	△

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 충주IC1교의 방호벽 높이는 노면에서 1.00m정도로 ‘교량방호울타리 성능 개선 방안 (한국도로공사 구조물처 2009.11.13.)’에 따른 1.00~1.27m의 기준을 만족하는 것으로 조사되었으며, 갓길측 방호벽에 방음벽(H=1.50m)이 추가로 설치되어 있다.
- 방호벽 외관조사 결과, 균열, 망상균열, 누수흔적, 박락, 박리, 녹발생, 철근노출, 파손, 단차 등의 손상이 조사되었다.
- 방호벽에 발생한 균열(Cw=0.3mm미만)과 망상균열(Cw=0.1mm)은 건조수축 및 온도변화에 따른 콘크리트 신축으로 인하여 발생한 손상으로 판단되며, 손상정도가 미미하고 구조물에 미치는 영향이 작으나 내구성확보를 위하여 표면처리보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 우측 방호벽에 발생한 누수흔적 손상은 방음벽 기둥 설치를 위해 파취한 단면으로부터 콘크리트 내부 백태가 우수와 함께 흘러내려 외관상 오염처럼 누수흔적을 만든 것으로 추정되며, 표면처리보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 철근노출 및 녹발생은 시공불량(피복부족)과 치밀성 부족부를 통한 우수유입이 주요 원인으로 판단되며, 내구성확보를 위하여 방청 후 단면보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 파손, 박락, 박리 등 기타 손상은 온도변화에 따른 콘크리트 신축, 시공불량, 다짐불량, 표면열화 국부적인 외력의 작용으로 인하여 발생한 손상으로 판단되며, 파손 및 박락에 대해서는 단면보수를 박리에 대해서는 표면처리보수가 적절할 것으로 판단된다.
- A2측 방호벽에서 발생한 단차는 조사당시 3.0cm로 조사되었다. 이는 접속 슬래브측 지반침하에 의한 것으로 사료되며, 향후 지속관찰을 통하여 손상이 진행될 경우 적절한 보수·보강방안이 필요할 것으로 사료된다.

다. 기타 부대시설

1) 점검시설

- 본 교량의 점검시설은 교각 코핑부 및 교량받침 외관조사를 위한 점검시설(P1~P2)이 설치되어있다.
- 점검시설은 점검사다리 및 발판 등 전반적인 양호한 상태로 조사되었다.
- 박스내부 출입구의 시건장치상태는 대부분의 열쇠체결은 되어 있으나 자물쇠 고리가 절단되거나 시건장치가 불량하여 점검시 열쇠 없이 출입이 가능한 상태이므로 관계자 외 출입방지 및 원활한 구조물 관리를 위한 시건장치의 재설치가 필요할 것으로 판단된다.

2) 방음벽

- 갓길 측 방호벽에 설치되어 있는 방음벽은 전반적으로 파손이나 변형이 없는 양호한 상태로 조사되었다.



【그림 3-11】 충주IC1교 기타 부대시설 전경(점검시설, 방음벽)

3.3 콘크리트 내구성조사

3.3.1 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 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12, 국토교통부/한국시설안전공단)』에 근거하여 시험방법, 시험빈도 및 평가방법 등을 실시하였다.

가. 현장시험 항목 및 실시수량

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

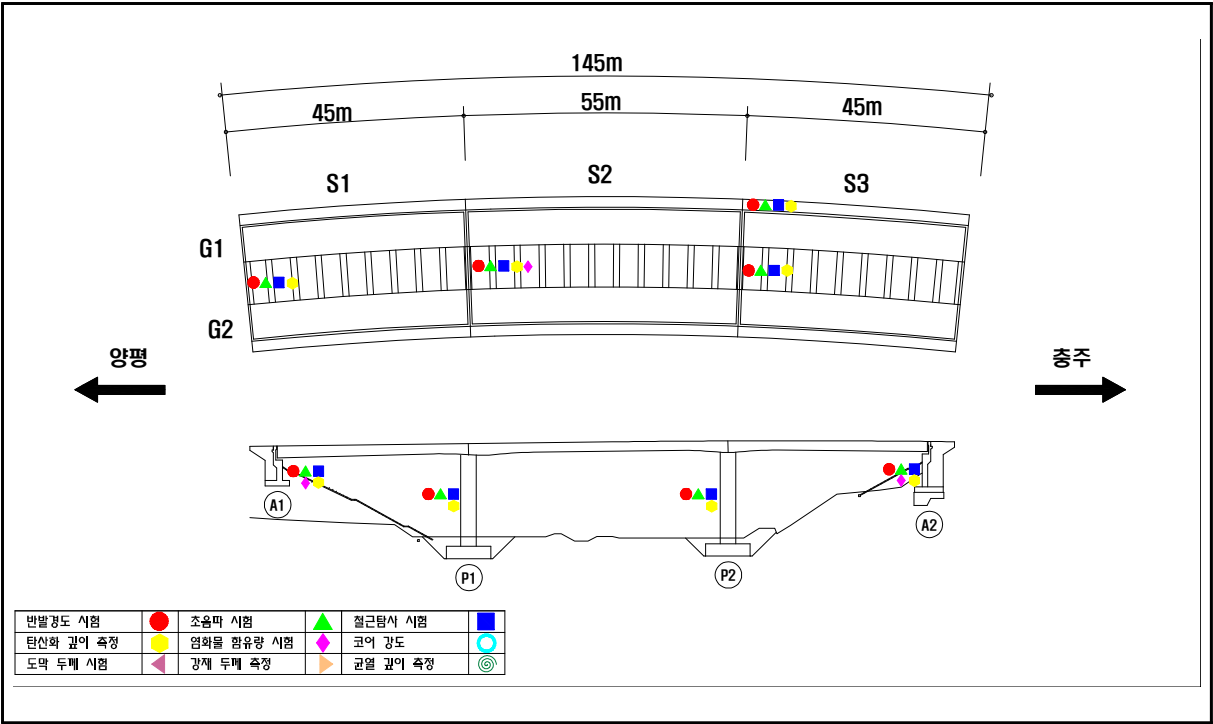
【표 3-42】 현장시험 항목

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	■ 주변환경(해안) 및 시공시 해사 사용에 따른 염화물함유량 검토
균열깊이 조사	■ 균열 관통여부 및 철근까지 도달하는지 여부 조사

【표 3-43】 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)	4개소	5개소	4개소	4개소
초음파 전달속도시험			4개소	5개소	4개소	4개소
철근탐사시험			4개소	5개소	4개소	4개소
탄산화 깊이 측정	■ 5경간 이내 4~6개소(상부구조에서 최소 2개소 이상 실시)		2개소	3개소	4개소	4개소
염화물함유량 시험	■ 3개소 이상(상부구조에서 최소 1개소 이상 실시)		1개소	2개소	1개소	2개소
균열깊이 조사	■ 부재의 중요도를 고려 책임기술자의 판단에 따라 수량 결정		-			2개소
강재초음파탐상	■ Steel Box Girder : 2개소/경간별 거더		12개소	-	12개소	-
강재 및 도막두께 측정	-			-	3개소	3개소
코어채취	■ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		-			

나. 콘크리트 내구성조사 위치도



【그림 3-12】 콘크리트 내구성조사 위치도

다. 콘크리트 내구성조사 전경

 <table border="1" data-bbox="188 548 566 813"><tr><td>교량명</td><td>충주 I.C. 1교</td></tr><tr><td>행 선</td><td>진출</td></tr><tr><td>위 치</td><td>A.</td></tr><tr><td>내 용</td><td>반발경도 시험</td></tr></table>	교량명	충주 I.C. 1교	행 선	진출	위 치	A.	내 용	반발경도 시험	 <table border="1" data-bbox="801 548 1085 813"><tr><td>교량명</td><td>충주 I.C. 1교</td></tr><tr><td>행 선</td><td>진출</td></tr><tr><td>위 치</td><td>A.</td></tr><tr><td>내 용</td><td>초음파 시험</td></tr></table>	교량명	충주 I.C. 1교	행 선	진출	위 치	A.	내 용	초음파 시험
교량명	충주 I.C. 1교																
행 선	진출																
위 치	A.																
내 용	반발경도 시험																
교량명	충주 I.C. 1교																
행 선	진출																
위 치	A.																
내 용	초음파 시험																
반발경도시험	초음파 전달속도 시험																
 <table border="1" data-bbox="188 1153 462 1350"><tr><td>교량명</td><td>충주 I.C. 1교</td></tr><tr><td>행 선</td><td>-</td></tr><tr><td>위 치</td><td>A2</td></tr><tr><td>내 용</td><td>철근탐사 시험</td></tr></table>	교량명	충주 I.C. 1교	행 선	-	위 치	A2	내 용	철근탐사 시험	 <table border="1" data-bbox="801 1086 1125 1350"><tr><td>교량명</td><td>충주 I.C. 1교</td></tr><tr><td>행 선</td><td>진출</td></tr><tr><td>위 치</td><td>A.</td></tr><tr><td>내 용</td><td>탄산화 시험</td></tr></table>	교량명	충주 I.C. 1교	행 선	진출	위 치	A.	내 용	탄산화 시험
교량명	충주 I.C. 1교																
행 선	-																
위 치	A2																
내 용	철근탐사 시험																
교량명	충주 I.C. 1교																
행 선	진출																
위 치	A.																
내 용	탄산화 시험																
철근탐사 시험	탄산화 깊이 측정																
 <table border="1" data-bbox="188 1601 462 1888"><tr><td>교량명</td><td>충주 I.C. 1교</td></tr><tr><td>행 선</td><td>진출</td></tr><tr><td>위 치</td><td>A.</td></tr><tr><td>내 용</td><td>염화물 시험</td></tr></table>	교량명	충주 I.C. 1교	행 선	진출	위 치	A.	내 용	염화물 시험	 <table border="1" data-bbox="801 1601 1101 1888"><tr><td>교량명</td><td>충주 I.C. 1교</td></tr><tr><td>행 선</td><td>진출</td></tr><tr><td>위 치</td><td>A.</td></tr><tr><td>내 용</td><td>염화물 시험</td></tr></table>	교량명	충주 I.C. 1교	행 선	진출	위 치	A.	내 용	염화물 시험
교량명	충주 I.C. 1교																
행 선	진출																
위 치	A.																
내 용	염화물 시험																
교량명	충주 I.C. 1교																
행 선	진출																
위 치	A.																
내 용	염화물 시험																
균열진행성 측정	염화물 함유량 시험																

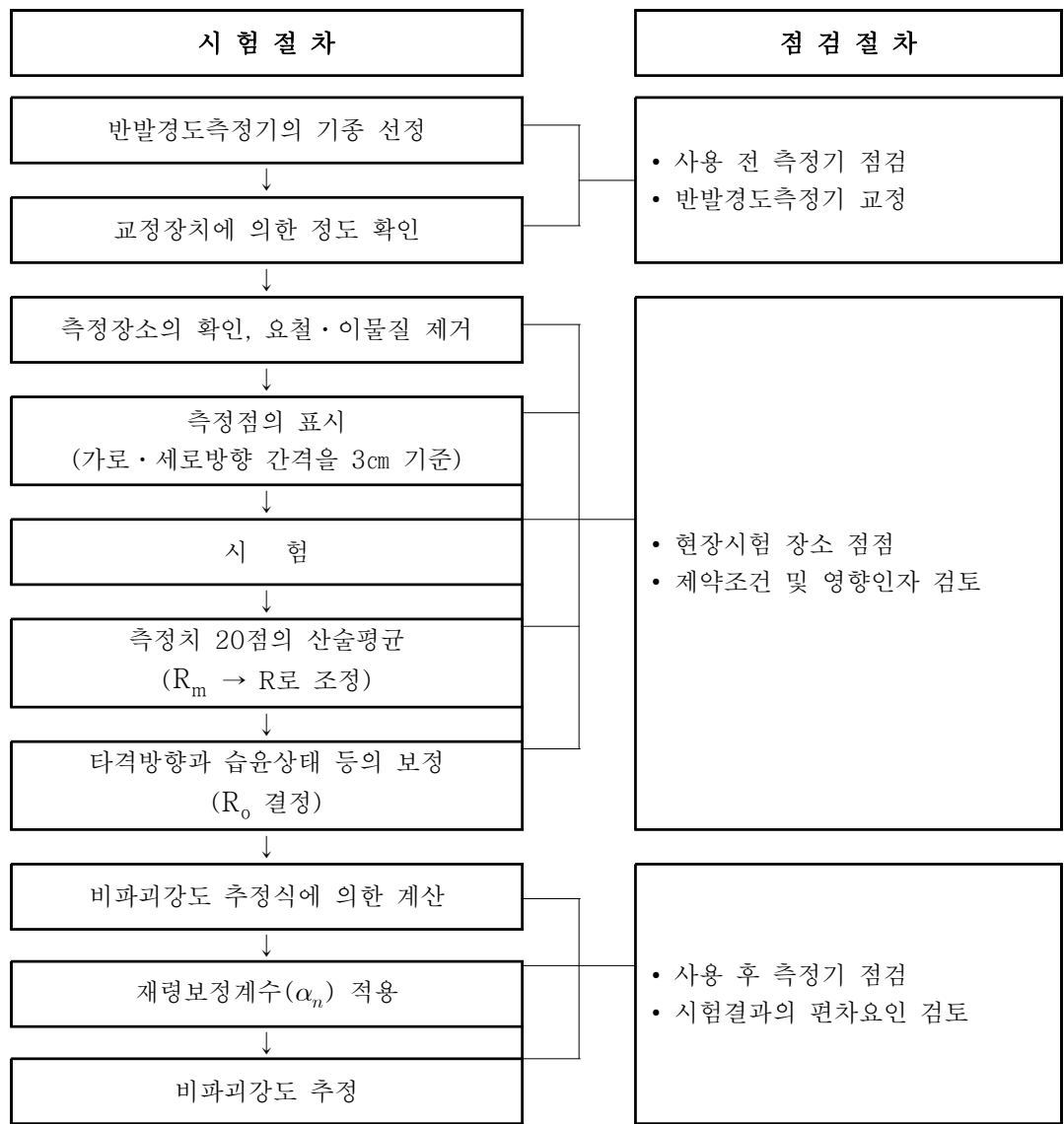
3.3.2 시험내용 및 평가기준

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 점검 등의 절차



【그림 3-13】 반발경도시험 및 측정기 점검 등의 절차

【표 3-45】 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	$F_c = (15.2R_o - 112.8) \times 0.098$	-

※ 안전점검 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 α 는 아래 【표 3-46】과 같으며, 3000일 이상의 재령에 대해서는 0.63을 적용한다.

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

【표 3-46】 재령계수 α 값

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 $R_o = R \times a$ ($a=6.36/t+0.7$, 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.

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.

2) 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 3-14】에 나타내었고, 콘크리트 중의 전자파 속도는 다음 식과 같다.

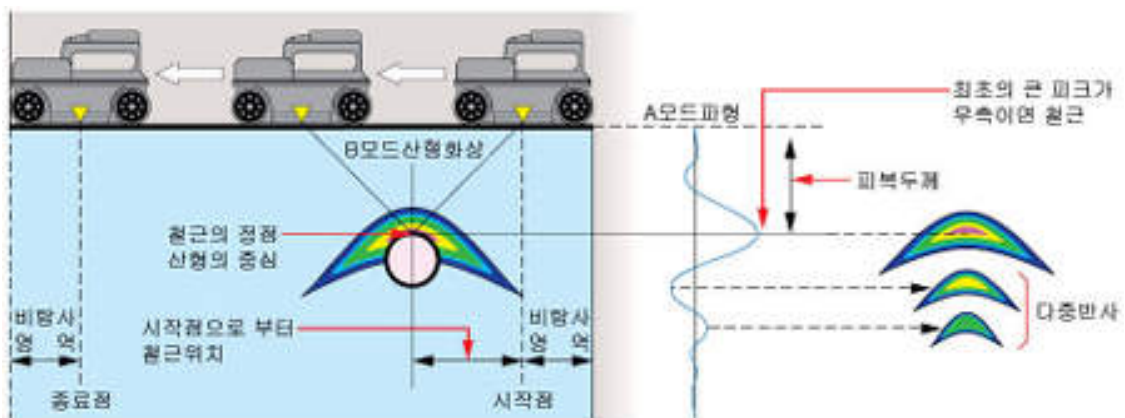
$$V = \frac{C}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{m/sec})$$

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.

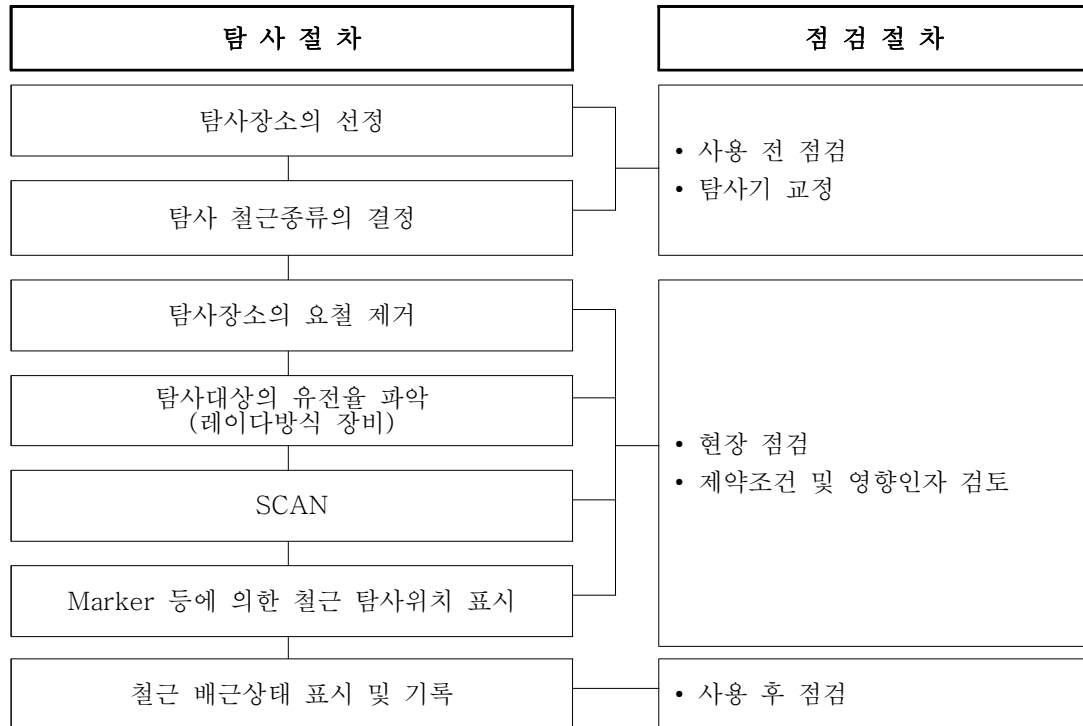
$$D = \frac{1}{2} V T \quad (\text{m})$$



【그림 3-14】 철근탐사 측정원리

3) 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차

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



【그림 3-15】 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차

4) 탐사조건 및 적용한계(RC Radar의 경우)

① 탐사조건

- 적용 가능한 조건
 - 탐사심도 200mm 이내
 - 탐사대상 철근지름이 $\phi 6\text{mm}$ 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
 - 100mm 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 탄성 계수에 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 측정 부분들에 대해서는 간접법(표면법)으로 초음파속도를 측정함.

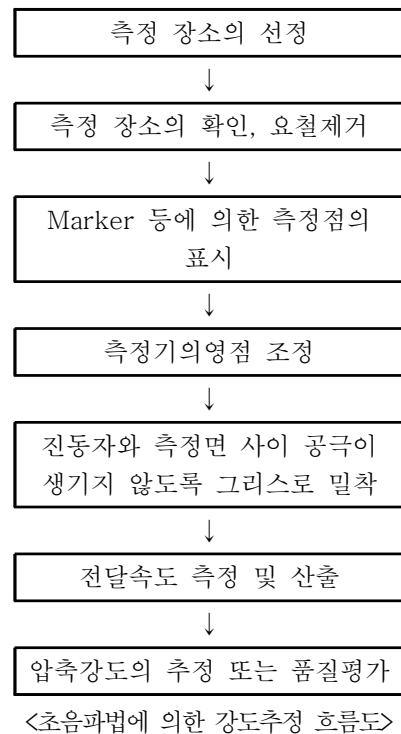
타격법과 동일부재 동일위치에서 측정하는 것을 원칙으로 하여 초음파속도를 측정.

간접법을 직접법으로 환산

$$V_d \approx 1.05 V_i$$

여기서, V_d : 직접법에 의한 초음파속도

V_i : 간접법에 의한 초음파속도



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

3) 평가기준

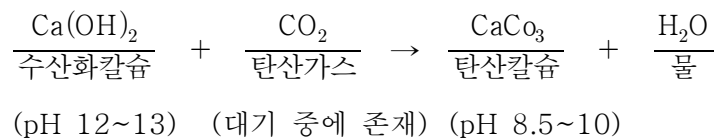
콘크리트 품질평가를 위해 「콘크리트 비파괴 검사기술(한국전력공사 기술연구원)」의 기준을 적용하였으며, “a, b, c, d, e”로 평가

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 발생하는 것은 콘크리트 자체에서 생기는 것이 아니고, 콘크리트 중의 철근에 녹이 발생함으로써 문제를 일으키는 것이다.



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 $1 \times 10^{-6} \text{mm}$ 두께의 수산화물($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) 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 3-16】 탄산화에 의한 콘크리트 성능저하

2) 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

탄산화 속도에 영향을 미치는 요인으로서는 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 3-47】 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 3-47】 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(mm)

A : 탄산화 속도계수(mm/ $\sqrt{\text{년}}$)

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 3-48】 탄산화 상태평가 기준

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

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 것의 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 「경화콘크리트 중에 함유된 50℃의 온수에 녹는 염화물」이라 정의하여 측정방법을 정하고 있다.

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

강재 위치에 대한 염화물 이온의 강제 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 덮개나 물-시멘트비의 차이 그리고 촉진시험시 설정되는 고온환경 등 온도의 영향이라고 생각된다.

안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010.12) 및 콘크리트 표준시방서 내구성조서편에서는 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/m³이하로 규정하며, 책임기술자의 승인이 있는 경우 0.6kg/m³까지 허용

② 콘크리트구조기준(2012)

【표 3-49】 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 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12)

【표 3-50】 염화물 상태평가 기준(안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 2010.12)

기 준	전염화물 이온량(kg/m ³)	철근부식의 가능성
a	• 염화물 ≤ 0.3kg/m ³	• 염화물에 의한 부식이 발생할 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	• 철근 부식발생
e	—	—

바. 균열깊이 측정

1) 개 요

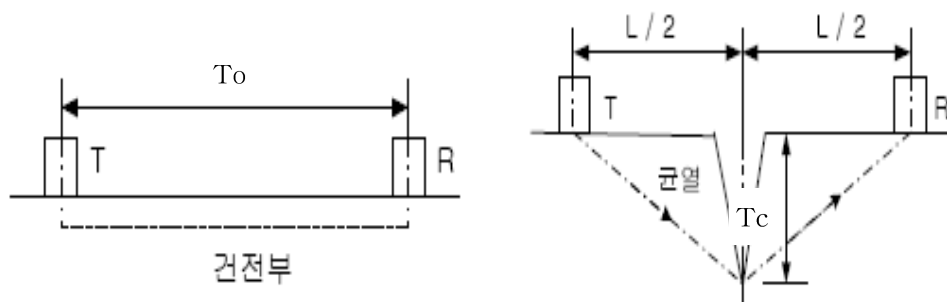
본 시험은 콘크리트에 발생된 균열 부위에서 건전부와 균열부의 측정된 초음파 전달시간의 차이를 이용하여 균열깊이를 평가하여 부재의 관통균열 여부 확인 및 철근의 부식조건 등에 대해 평가한다.

2) 시험방법

콘크리트 표면의 균열깊이는 일반적으로 $T_c - T_o$ 법으로 구한다. 이 방법은 종파용 발·수신자를 균열 개구부를 중심으로 등간격 $L/2 (=X)$ 로 설치하여 균열선단부를 회절한 초음파의 전파시간 T_c 를 구한다. 또한 부근의 균열이 없는 부분에서 발·수신자를 동일한 거리 $L (=2X)$ 만큼 떨어진 곳에 설치하여 전파시간 T_o 를 구한다. 측정된 $T_c - T_o$ 로 부터 다음과 같은 식을 적용하여 균열의 깊이를 구한다. 본 시험에서는 $X=10\text{cm}$ 를 적용하였다.

$$C = \frac{L}{2} \sqrt{\frac{(T_c^2)}{(T_o^2)} - 1}$$

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

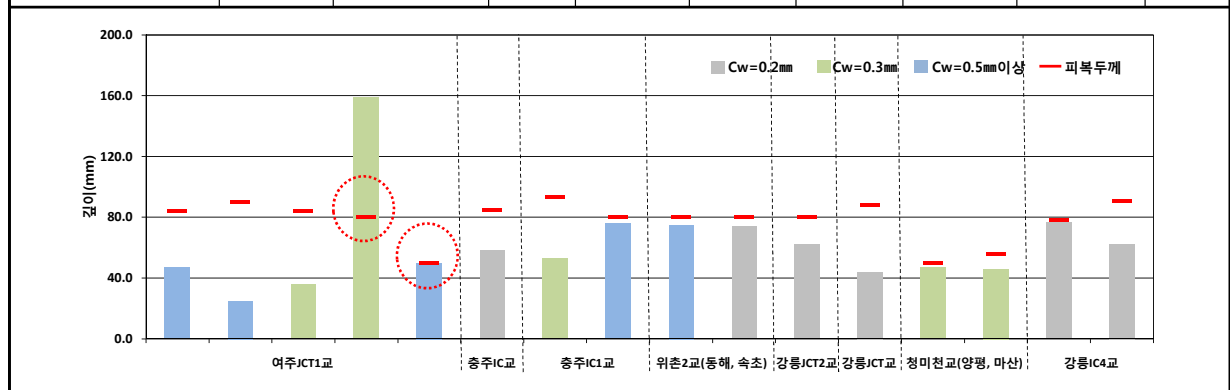


【그림 3-17】 $T_c - T_o$ 법에 의한 균열깊이 측정방법

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

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

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



【그림 3-18】 여주JCT1교 등 14개소 균열깊이 측정 결과

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

3.3.3 시험결과 및 분석

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.

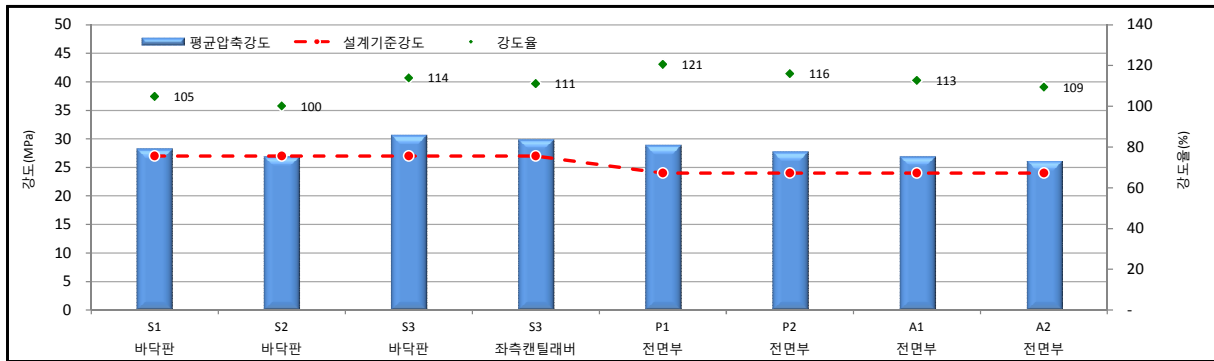
반발경도 측정은 콘크리트 표면의 요철, 부착물, 분말 등을 그라인딩으로 제거하고 실시하였으며 표면에 곰보, 공극, 노출된 자갈 등이 있는 부위들은 측정위치에서 제외했다. 또한, 반발경도 값은 각 측정부재에 따라 타격방향, 표면의 건습상태, 재령 등에 의한 보정을 한 후 콘크리트 강도를 추정하였으며, 반발경도에 의한 압축강도 추정은 일본재료학회와 일본 건축학회 CDNT 소위원회 강도 계산식을 사용하여 압축강도를 산출하였다.

본 과업에서의 반발경도법 시험은 상부 4개소, 하부 4개소 총 8개소에서 수행하였다.

1) 측정결과

【표 3-51】 콘크리트 비파괴 강도시험 결과

시험위치		반발 경도 (R_o)	반발경도법 측정강도(MPa)			설계기준 강도 (MPa)	강도비(%) (평균강도/ 설계기준강도)
			일본 건축학회	일본 재료학회	평균 강도		
상부 구조	S1 바닥판	49.4	28.4	28.2	28.3	27	105
	S2 바닥판	47.4	27.5	26.6	27.1	27	100
	S3 바닥판	53.3	30.2	31.3	30.8	27	114
	S3 좌측캔틸레버	52.1	29.7	30.3	30.0	27	111
하부 구조	P1 전면부	50.4	28.9	29.0	29.0	24	121
	P2 전면부	48.7	28.1	27.6	27.9	24	116
	A1 전면부	47.4	27.5	26.6	27.1	24	113
	A2 전면부	46.1	27.0	25.5	26.3	24	109



【그림 3-19】 측정강도와 설계기준강도 비교

2) 기진단 결과와 비교

【표 3-52】 기진단 결과와 비교

구 분	2012년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단 (2016년)
상부구조	27.5~29.0 MPa	27.1~30.8 MPa
하부구조	27.5~33.0 MPa	26.3~29.0 MPa

3) 측정결과 분석

본 교량의 콘크리트 반발경도시험은 총 8개소(상부구조 4개소, 하부구조 4개소)에서 실시하였으며 검토결과, 상부구조는 27.1~30.8MPa로 설계기준강도(27MPa)의 100~114%, 하부구조는 26.3~29.0MPa로 설계기준강도(24MPa)의 109~121%로 나타나 허용기준치(JICE, 설계기준강도의 90% 이상)를 만족하는 양호한 상태로 조사되었다.

기 진단 결과와 비교하여 분석한 결과, 시험 위치에 따라 값이 상이하게 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 철근탐사시험은 반발경도법 및 초음파 전달속도 시험을 실시한 동일 위치에서 상부 4개소 하부 4개소 총 8개소에서 수행하였다.

1) 측정결과

【표 3-53】 철근탐사 결과

시험위치		배근종류	설계값(mm)		실측값(mm)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
상부 구조	S1 바닥판	수직철근	100	50	107	57	
		수평철근	122	34	108	38	
	S2 바닥판	수직철근	100	50	113	56	
		수평철근	122	34	118	40	
	S3 바닥판	수직철근	100	50	96	68	
		수평철근	122	34	124	42	
	S3 좌측캔틸레버	수직철근	100	50	109	65	
		수평철근	222	34	227	46	
하부 구조	P1 전면부	수직철근	100	100	93	99	
		수평철근	250	81	254	96	
	P2 전면부	수직철근	100	100	111	113	
		수평철근	250	81	243	82	
	A1 전면부	수직철근	200	100	199	101	
		수평철근	150	78	151	93	
	A2 전면부	수직철근	200	100	201	92	
		수평철근	150	78	154	90	

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.

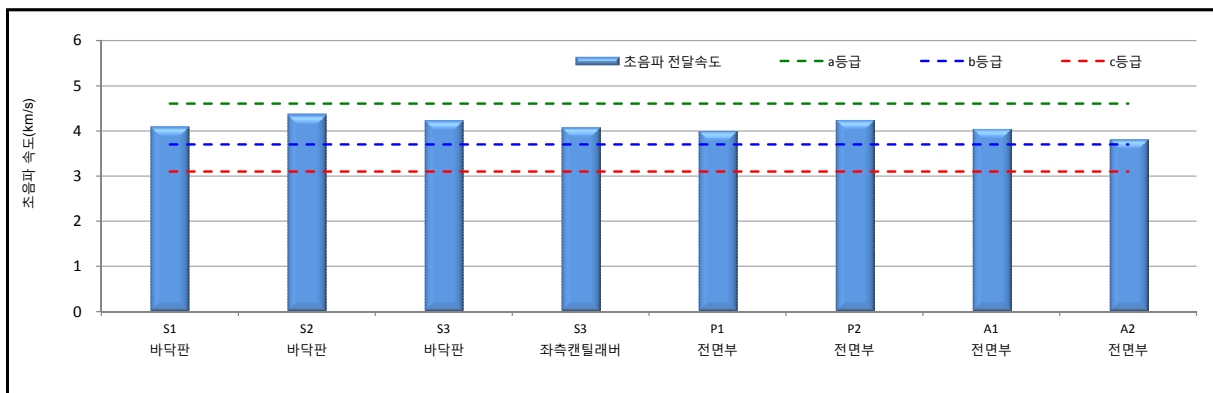
다. 콘크리트 품질시험

초음파 전달속도 시험은 반발경도시험을 수행한 동일부위를 선정하여 그라인딩을 실시하고 그리스 도포를 한 후, 발신자와 수신자의 측정거리를 10cm간격으로 증가시키면서 표면 법에 의한 초음파 전달속도를 측정하였으며, 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010.12)-초음파 전달속도의 관계」를 통해 보정계수를 적용하여 직접법 속도로 환산하였다. 본 과업에서 대상 구조물의 콘크리트 품질평가를 위하여 초음파 속도법의 시험 결과를 나타내었으며, 초음파 전달속도 시험은 반발 경도법 시험을 실시한 동일 위치에서 상부 4개소 하부 4개소 총 8개소에서 수행하였다.

1) 측정결과

【표 3-54】 보정계수를 적용한 초음파 속도

시험위치		초음파 전달속도(km/sec)			상태등급
		표면법	보정계수	직접법	
상부 구조	S1 바닥판	3.906	1.05	4.101	b
	S2 바닥판	4.159		4.367	b
	S3 바닥판	4.043		4.245	b
	S3 좌측캔틸레버	3.893		4.088	b
하부 구조	P1 전면부	3.816		4.007	b
	P2 전면부	4.050		4.253	b
	A1 전면부	3.865		4.058	b
	A2 전면부	3.636		3.818	b



【그림 3-20】 초음파 전달속도를 이용한 콘크리트 품질측정

2) 측정결과 분석

초음파 전달속도시험에 의한 콘크리트 품질평가 결과 초음파 속도 범위는 상부구조 4.088~4.367km/s, 하부구조 3.818~4.253km/s로 분석되었다. 초음파 속도 등급분포는 모든 개소에서 “b” 등급으로 조사되어 콘크리트 품질상태는 양호한 것으로 판단된다.

라. 탄산화깊이 측정

구조물의 탄산화 진행 정도는 드릴링에 의해 발생하는 콘크리트 가루가 페놀프탈레인용액을 적신 시험지에 떨어져 변색되는 시점의 깊이를 측정하였다. 지시약을 분무하면 알칼리성 콘크리트 탄산화가 진행된 면에서는 색의 변화가 나타나지 않고 그 변화가 없는 정도를 곧 탄산화 진행 깊이로 판단하게 된다. 본 과업에서의 탄산화 깊이 측정은 상부 4개소 하부 4개소 총 8개소에서 수행하였다.

1) 측정결과

【표 3-55】 탄산화 깊이 측정결과 및 평가

시험위치		실측 피복두께 (mm)	탄산화 깊이 (mm)	탄산화 잔여깊이 (mm)	탄산화 속도계수 (A)	상태 평가	잔존수명
상부 구조	S1 바닥판	38	5.6	32.4	1.50	a	100년 이상
	S2 바닥판	40	9.8	30.2	2.62	a	100년 이상
	S3 바닥판	42	3.5	38.5	0.94	a	100년 이상
	S3 좌측캐틸래버	46	8.5	37.5	2.27	a	100년 이상
하부 구조	P1 전면부	96	5.1	90.9	1.36	a	100년 이상
	P2 전면부	82	5.5	76.5	1.47	a	100년 이상
	A1 전면부	93	7.2	85.8	1.92	a	100년 이상
	A2 전면부	90	8.1	81.9	2.16	a	100년 이상

주) 충주1IC교 재령 : 14년으로 산정

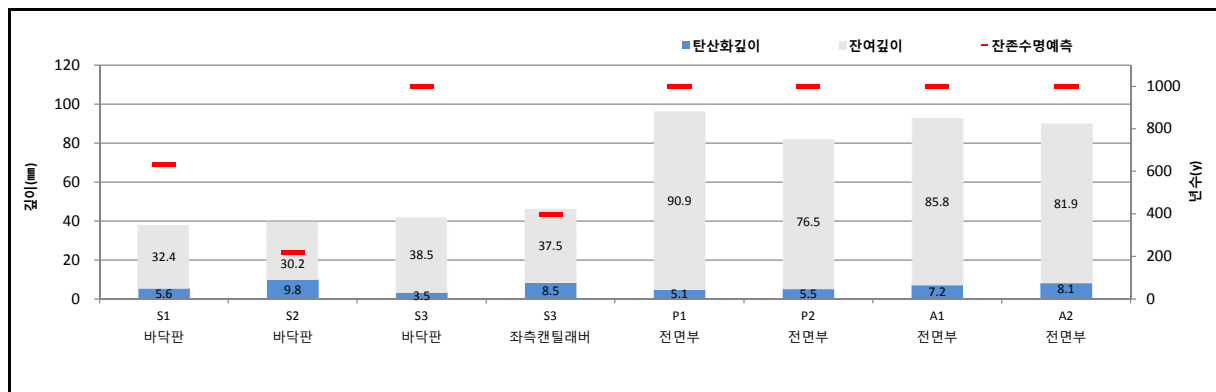
주) 탄산화 속도계수(A) = 탄산화깊이 / $\sqrt{\text{재령(년)}}$

주) 수명예측(년) = (철근피복 / 탄산화속도계수)²

주) 잔여년수 = 수명예측년수 - 구조물 경과년수

주) 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12)참조

주) 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 (국토교통부, 한국시설안전공단, 2010.12)참조



【그림 3-21】 탄산화 깊이 측정결과

2) 기진단 결과와 비교

【표 3-56】 기진단 결과와 비교(탄산화 깊이 측정 결과, 단위 : mm)

구 분	2012년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단 (2016년)
상부구조	1.9~3.6mm	3.5~9.8mm
하부구조	2.0~6.0mm	5.1~8.1mm

3) 측정결과 분석

탄산화 깊이 측정은 상부구조 4개소, 하부구조 4개소에서 실시하였으며, 측정위치에서 철근의 피복두께 측정을 실시하였다.

측정 결과, 탄산화 깊이가 상부구조에서 3.5~9.8mm, 하부구조에서 5.1~8.1mm로 나타나 측정 위치에서의 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

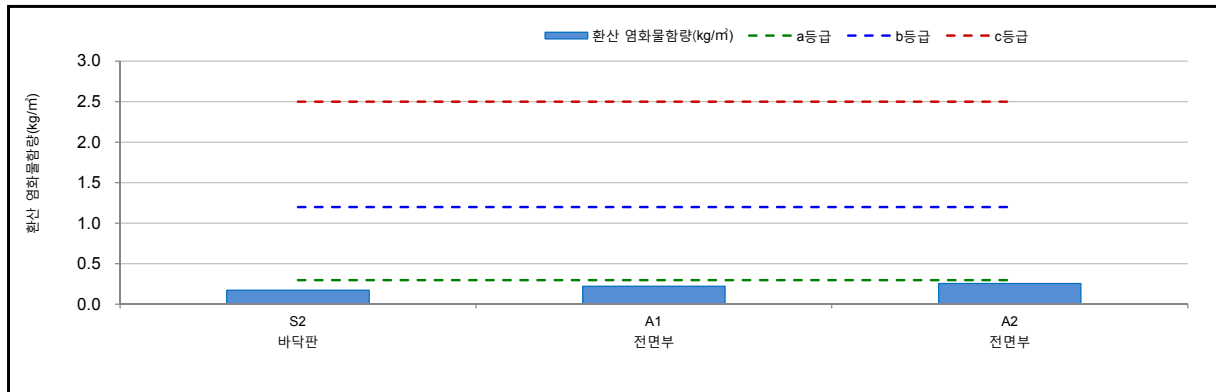
구조물에 염화물이 침투하게 되면 철근주위의 산소차단 역할을 하는 부동태막이 파손되고, 강재표면이 활성화되면 철근의 부식이 일어날 수 있으므로 철근콘크리트 구조물의 염해에 대한 평가는 매우 중요하다. 본 과업에서의 염화물 함유량시험은 상부 1개소 하부 2개소 총 3개소에서 수행하였다.

1) 시험결과

【표 3-57】 염화물 함유량 시험결과

시험위치			실측 피복두께 (mm)	전염화물 함유량 (%)	환산 염화물 함유량 (kg/m ³)	결과
상부 구조	S2 바닥판	20~40mm	40	0.0077	0.175	a
하부 구조	A1 전면부	20~40mm	93	0.0098	0.221	a
	A2 전면부	20~40mm	90	0.0114	0.258	a

주) 콘크리트 중의 환산 염화물 산출시 콘크리트의 단위중량은 2,263kg/m³을 적용(KS F 2714)
철근부식 방지를 위한 최대 수용성 염소이온 비율(기타철근콘크리트) 0.3%를 적용



【그림 3-22】 염화물 함유량 시험결과

2) 기진단 결과와 비교

【표 3-58】 기진단 결과와 비교(염화물 함유량, 단위 : kg/m³)

구 분	2012년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단 (2016년)
상부구조	0.061~0.077	0.175
하부구조	0.050~0.149	0.221~0.258

3) 시험결과 분석

염화물함유량 시험은 상부 1개소, 하부 2개소에서 측정을 실시하였으며, 콘크리트 분말을 채취하여 전염화물 이온함유량을 조사하였다. 그 결과 모든 개소에서 0.175 ~ 0.258kg/m³로 나타나, 염화물에 의한 철근부식이 발생할 가능성이 없는 “a”로 나타났다.

기 진단 결과와 비교 분석한 결과, 염화물 함유량이 증가한 것으로 나타났다. 이는 동절기 제설제 살포시 제설제잔여물이 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” 급(안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 참조)으로 판정되어 양호한 것으로 판단된다.

바. 균열깊이 측정

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

1) 측정결과

【표 3-59】 균열깊이 측정 결과

시험위치		균열폭/깊이 (mm/m)	초음파 전달시간($\times 10^{-6}$ sec)		균열깊이 (mm)	최소피복 두께(mm)
			전전부(To)	균열부(Tc)		
하부 구조	A1전면부(우측)	0.3/0.7	48.2	59.2	53	93
	A2홍벽부(우측)	1.0/2.2	44.8	63.8	76	80

주) 피복두께는 철근탐사를 통한 실제 조사 피복두께임

2) 측정결과 분석

본 구조물에 대하여 하부구조 2개소에서 균열깊이를 측정한 결과, 균열깊이는 A1교대 53.0mm, A2교대 76.0mm로 조사되었다. 측정 균열은 측정 철근피복두께를 초과하지 않는 것으로 조사되었고, 균열에 의한 구조물 손상이나 철근 부식 등의 내구성 저하는 조사되지 않았으나, 철근부식 등의 손상 및 내구성 저하를 방지하기 위하여 금회 진단기간 중 (2016.11.) 보수를 실시하였다.

			
금회조사		보수완료	
현황	◦A1 구체 균열(0.3mm/0.7m)		
			
금회조사		보수완료	
현황	◦A2 홍벽 균열(1.0mm/2.2m)		

3.4 강재 내구성조사

3.4.1 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 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침_교량편(2010.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』 참조)

충주IC1교는 약 14년 정도의 공용기간이 경과한 상태로 각 부재별 강재 비파괴시험 현황은 다음과 같다.

【표 3-60】 강재 비파괴시험 현황

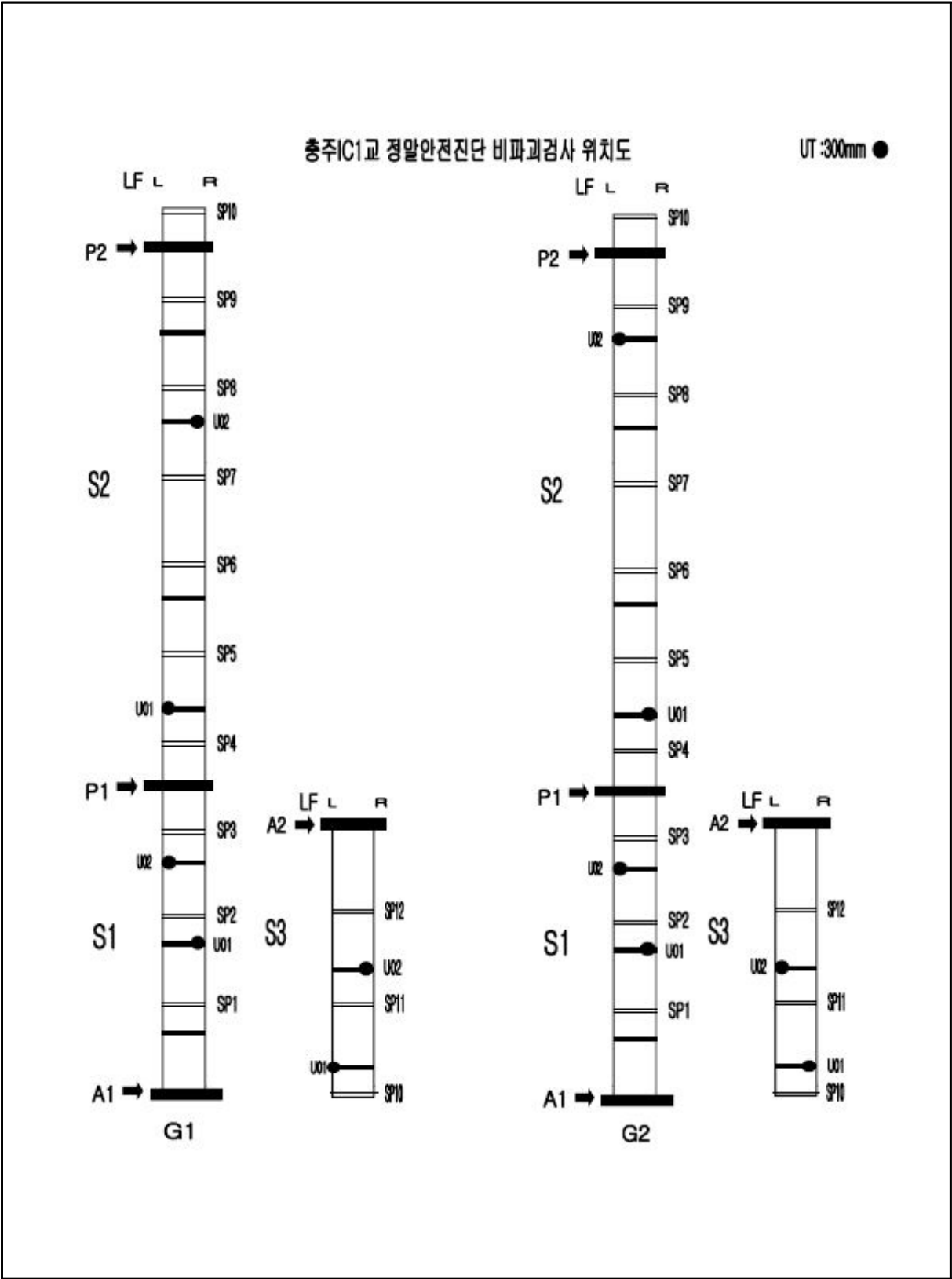
시험위치		초음파탐상 시험	강재 및 도막두께 측정	비 고
S1	G1	2	1	
	G2	2	—	
S2	G1	2	1	
	G2	2	—	
S3	G1	2	—	
	G2	2	1	
합 계		12	3	
세부지침 상 기준수량		12	—	

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

2) 조사사진



3) 강재 비파괴시험 위치도



【그림 3-23】 초음파탐상시험 위치도

3.4.2 시험내용 및 평가기준

가. 초음파탐상시험 (UT : Ultrasonic Testing)

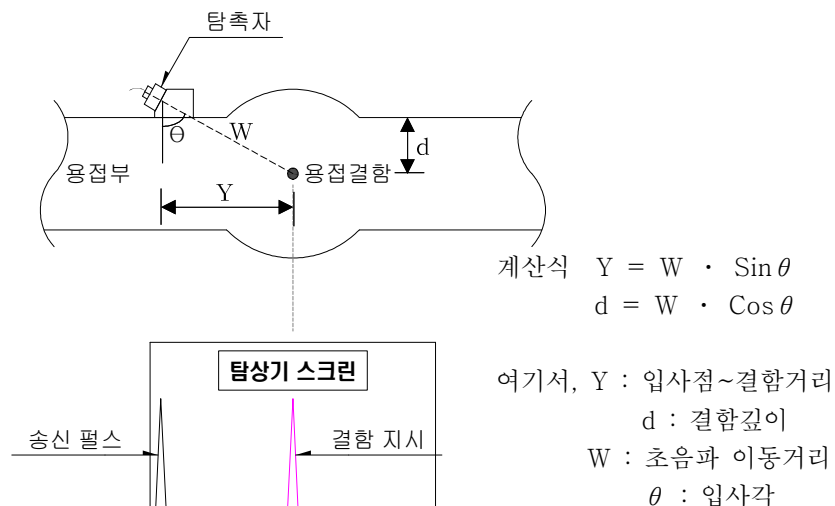
1) 개요

가청 주파수 이상의 주파수를 갖는 초음파(20,000Hz이상)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 3-24】 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 3-61】 결함의 등급 분류

영역 판두께(mm) 등급	M검출 레벨은 Ⅲ L검출 레벨은 Ⅱ와 Ⅲ			Ⅳ		
	18 이하	18 초과 ~ 60 이하	60 초과	18 이하	18 초과 ~ 60 이하	60 초과
1급	6mm 이하	t/3 이하	20mm 이하	4mm 이하	t/4 이하	15mm 이하
2급	9mm 이하	t/2 이하	30mm 이하	6mm 이하	t/3 이하	20mm 이하
3급	18mm 이하	t 이하	60mm 이하	9mm 이하	t/2 이하	30mm 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 3-62】 용접부 결함의 합·부 판정기준

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

나. 도막두께 측정(Dry Film Thickness Measurement)

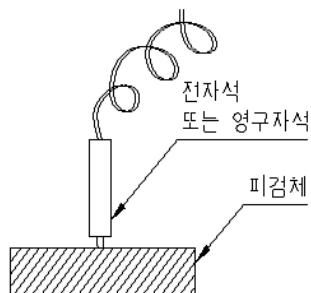
1) 개 요

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 도장상태를 확인하고 내구성능의 저하 여부를 판단하고자 실시하였다.

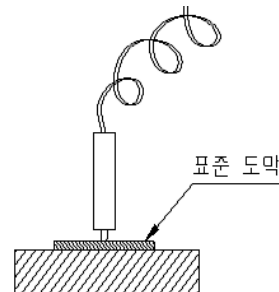
측정은 강박스 거더의 내부와 외부로 구분하였으며, 한 개소당 5회씩 측정하여 평균값을 도막두께로 취하였다.

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 3-25】 Gauge 영점조정



【그림 3-26】 Gauge 초기화(Calibration)

【그림 3-25】와 같이 도막이 도포되지 않은 피검체(자성체)에 전자석 또는 영구자석을 접촉시켜 지시계의 눈금을 영점(Zero) 조정한다. 영점 조정 후 【그림 3-26】와 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 3-63】 일반환경용 중방식 도장(도로교표준시방서(1999, 한국도로교통협회))

구 분	도장 계열	공 정		도료명칭 또는 방법	도막두께 (μm)	도장 횟수	비 고
교 량 외 부	GEB	1차 표면처리		SSPC - SP10	-	-	
		샙 프라이머		무기질 아연말 샙프라이머	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	-	-	
		샙 프라이머		무기질 아연말 샙프라이머	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

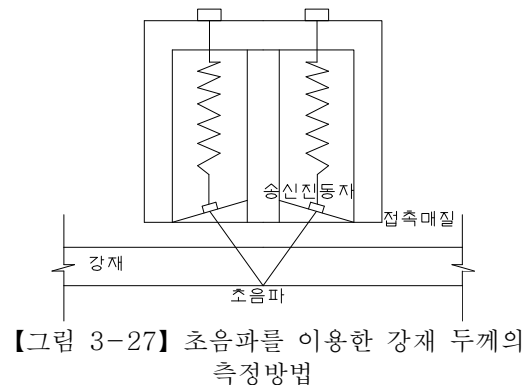
강재 부식이란 금속이 액체용액에 의해 퇴보되는 현상이며 이는 주위환경과의 전기 화학적 또는 화학적 반응에 의하여 그들의 본래 상태인 산화물로 되돌아가려는 본질적인 성질 또는 자연적인 경향이다. 구조물에서의 강재의 부식은 두께의 감소를 가져오게 되며 구조물의 강도를 저하시켜 안전성에 중요한 영향을 미치게 된다. 본 과업에서는 강구조물의 부식정도 및 설계상의 규정된 부재 사용 여부를 초음파 두께 측정기를 사용하여 조사하였다.

2) 측정방법

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

부식단면의 측정은 주로 초음파 두께 측정기를 이용하여 실시한다. 초음파 두께 측정기의 원리는 【그림 3-27】과 같은 분할형 탐촉자의 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 접촉중에 측정해야 하는 경우는 디지털이 유리하다.



3) 측정위치

- ① 부식에 의하여 단면 감소가 발생된 곳
- ② 누수가 발생되어 녹물이 유출되는 곳
- ③ 지점부
- ④ 박스 내부의 채수가 발생하는 곳

4) 평가기준

【표 3-64】 강재두께의 허용오차

나 비(mm) 두께(mm)	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

3.4.3 시험결과 및 분석

가. 초음파탐상 시험결과

UT 시험은 전회 조사위치를 피하여 인장응력과 교변응력이 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 3-65】 초음파탐상(UT) 시험결과

시험위치		시험개소	결함등급	합격 여부	결함발생 현황	비 고
S1-G1	U01-R(LF)	1	1급	합격	결함사항 없음	
	U02-L(LF)	1	1급	합격		
S1-G2	U01-R(LF)	1	1급	합격		
	U02-L(LF)	1	1급	합격		
S2-G1	U01-R(LF)	1	1급	합격		
	U02-L(LF)	1	1급	합격		
S2-G2	U01-R(LF)	1	1급	합격		
	U02-L(LF)	1	1급	합격		
S3-G1	U01-R(LF)	1	1급	합격		
	U02-L(LF)	1	1급	합격		
S3-G2	U01-R(LF)	1	1급	합격		
	U02-L(LF)	1	1급	합격		

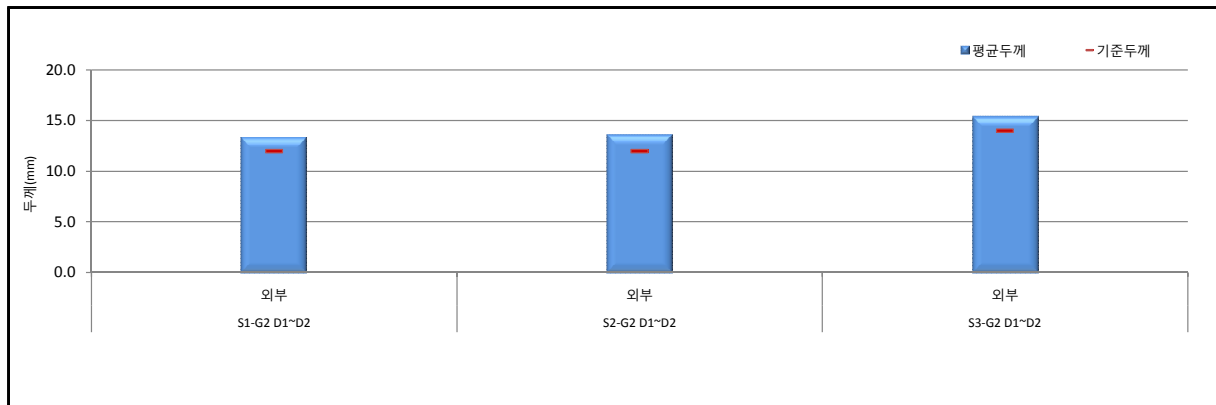
주) 합격기준 : 2급 이상

나. 도막두께 측정결과

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

【표 3-66】 도막두께 측정결과

시험위치		실측 도막두께 (μ m)			평균두께	기준두께 (μ m)	평가
		1회	2회	3회			
S1-G2-LF D1~D2	외부	321	321	386	343	215	양호
S2-G2-LF D1~D2	외부	367	330	390	362	215	양호
S3-G2-LF D1~D2	외부	340	304	379	341	215	양호



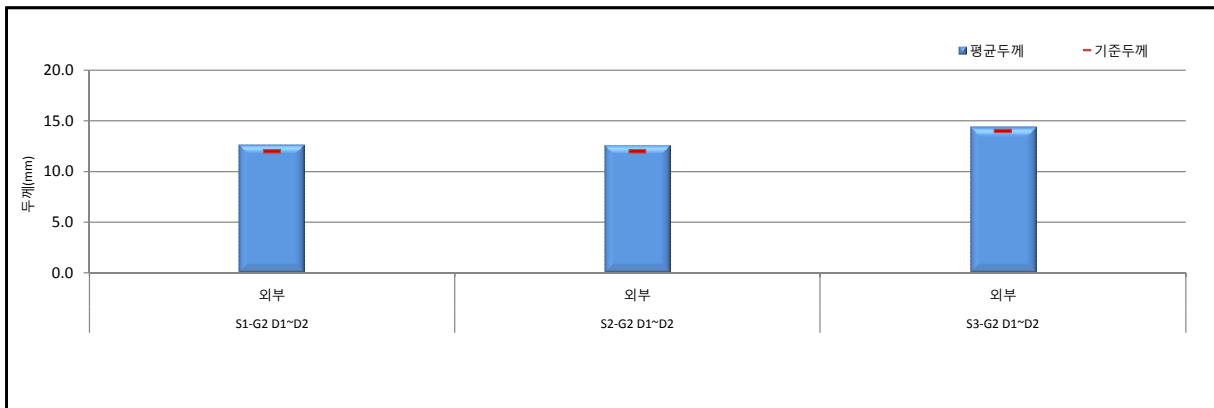
【그림 3-28】 도막두께 측정결과

다. 강재두께 측정결과

강재두께 측정결과 전 개소에서 평균 측정값이 설계도면의 +0.4~0.7mm로 거의 일치하는 양호한 상태로 조사되었다.

【표 3-67】 강재두께 측정결과

시험위치		실측 강재두께(mm)			평균두께	기준두께(mm)	평가
		1회	2회	3회			
S1-G2-LF D1~D2	외부	12.5	13.2	12.5	12.7	12.0	양호
S2-G2-LF D1~D2	외부	12.6	12.7	12.7	12.7	12.0	양호
S3-G2-LF D1~D2	외부	14.4	14.6	14.3	14.4	14.0	양호



【그림 3-29】 강재두께 측정결과

3.5 현장조사 결과요약

3.5.1 외관조사 결과요약

가. 금회 진단 외관조사 결과

【표 3-68】금회 진단 외관조사 결과요약

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
바닥판 하면	• 균열 ($C_w=0.3\text{mm}$이하), 균열/백태 • 균열 ($C_w=0.3\text{mm}$이상) • 유공관 주변 누수흔적/백태, 백태 • 외부 충격에 의한 국부파손	• 시공초기 콘크리트 내·외부의 온도차 이로 인한 부등건조수축 등이 주원인으로 일부균열은 균열부를 통한 내부수 유출이 발생하였으며, 0.3mm미만 균열은 지속관찰 후 균열 진전시 보수를 실시하고, 백태 발생부는 내구성확보를 위하여 표면처리보수가 필요. • $C_w=0.3\text{mm}$이상의 균열은 주원인은 일반균열 발생원인과 동일하며, 내구성확보를 위하여 주입보수가 필요. • 유공관 및 배수관 주변 손상은 유공관, 배수관 시공 후 마감불량으로 인해 발생한 손상으로 유공관, 배수관 주변 마감을 실시하고 표면처리보수가 필요. • A1층 캔틸레버 끝단에 발생한 국부파손은 유도배수관 설치 중에 발생한 파손으로 판단되며, 내구성 확보를 위하여 단면보수가 필요.
Steel Box Girder 내부	• 용접결함 (Pit, 목두께부족, 비드불량, 언더컷) • 도장박리, 부식 • 볼트풀림 • 실링재 불량 • 배설물, 짐검등 탈락	• 용접시공시 용접전류 및 용접속도 불량, 용접작업실수 등이 원인으로 판단되며, 지속관찰이 적절할 것으로 판단됨. • 도장 전처리 불량과 Splice부를 통한 우수유입이 주원인으로 판단되며, 재도장이 필요. • 출입구 볼트가 공용중에 의해 풀린 것으로 판단되며, 지속관찰이 적절함. • 기 진단시 조사된 손상으로 일부개소 보수 누락이 발생하였으며, 실링재 재시공이 필요. • 이물질 퇴적 및 공용년수 증가에 따른 손상으로 위생 및 외관을 위하여 청소가 필요

【표 3-68】금회 진단 외관조사 결과요약(계속)

구 분	주요결합 및 외관조사 결과	검토의견
Steel Box Girder 격벽	• 용접결함(Pit, 목두께부족) • 도장박리	• 용접시공시 용접전류 및 용접속도 불량, 용접작업실수 등이 원인으로 판단되며, 지속관찰이 적절할 것으로 판단됨(거더내부와 동일함). • 도장 전처리 불량과 Splice부를 통한 우수유입이 주원인으로 판단되며, 재도장이 필요.
Steel Box Girder 외부	• 누수흔적 • 도장박리, 부식 및 볼트부식	• 바닥판하면 캔틸레버부의 유공관으로 떨어지는 우수로 인하여 발생된 것으로 재도장이 필요. • 도장 전처리 불량과 Splice부를 통한 우수유입이 주원인으로 판단되며, 재도장이 필요.
강 가로보	• 구조적 손상이 없는 양호한 상태	• 도장손상이나, 부식, 각종변형 및 균열, 이상음 발생 등의 손상이 없는 상태임.
교대	• 균열(Cw=0.3mm미만) • 홍벽부 보수부 박리 및 재료분리 • 압성토 침하(A2)	• 시공초기 콘크리트 내·외부의 온도차이로 인한 부등긴조수축 등이 주원인으로 현시점의 보수보다는 지속관찰 후 균열 진전시 보수 필요 • 박리는 상부 신축이음부에서 유입된 우수로 인하여 발생하였으며, 표면처리보수가 필요하며, 재료분리는 시공시 다짐불량에 따른 것으로 단면보수 필요. • 압성토 침하에 따른 손상으로 h=7cm이며, 금회 신규손상으로 지속관찰을 통한 진행성여부 판단이 필요.
교각	• 균열(Cw=0.3mm미만) 및 망상균열 • 누수흔적, 보수부 박리 • 구체부 국부 파손 • P2 코핑부 하면 누수흔적/들뜸/재료분리	• 시공초기 콘크리트 내·외부의 온도차이로 인한 부등긴조수축 등이 주원인으로 현시점의 보수보다는 지속관찰 후 균열 진전시 보수 필요 • 상부 유공관 및 배수구를 통한 우수유입에 원인으로 판단되며, 내구성확보를 위한 표면처리보수가 필요. • 외부 충격으로 인해 단면보수가 필요. • 상부구조 유공관을 통해 떨어지는 우수가 균열부와 재료분리부 등의 치밀성 부족부로 침투되어 내부 철근부식을 유발하고 보수부 시공미흡에 의해 내부 철근부식을 유발하고 균열 및 들뜸으로 발전하였으며, 들뜸부 치핑 후 철근방청, 단면복구가 필요

【표 3-68】금회 진단 외관조사 결과요약(계속)

구 분	주요결합 및 외관조사 결과	검토의견
교량받침	• 받침장치 본체 부식 • 받침 몰탈/콘크리트 균열 • 받침 몰탈/콘크리트 박락, 파손, 녹발생 • 받침이동량 초과(A2-Sh1, Sh2)	• 외측면을 통한 우수유입이 주원인이며, 녹 제거후 채도장이 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, 철근 방청 후 단면보수가 필요. • 프리셋팅 오류로 판단되며, 기능상에 문제가 없으므로, 지속관찰을 통한 중점 유지관리가 필요.
신축이음장치	• 신축이음장치 본체 부식(갓길) • 후타재 균열(Cw=0.3mm미만) 및 파손 • 신축이음장치 유간 부족 및 협착	• 공용 중 우수에 의한 부식이 주원인이며, 손상의 정도가 경미하고 주행성에 영향을 미치지 않으므로 지속관찰 필요. • 시공시 건조수축 및 공용 중 중차량 통행 등의 요인이 원인이며, 후타재 균열 부를 통한 우수 유입으로 인한 신축이음 하부 누수 등 추가적인 손상의 우려가 있으므로 표면처리보수를 실시하며, 후타재 파손은 단면보수가 필요. • 신장시 신축이음장치 부족 및 협착이 발생하였으나, 2차 손상이 발생하지 않은 상태이며, 향후 손상 발생시 보수·보강 필요
교면포장	• 종방향 균열	• 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.
배수시설	• 전반적으로 양호한 상태이며, 배수구 이물질 퇴적 일부구간 발생 • 신축이음장치 하부 유도배수관 부식	• 청소 • 재설치
방호벽	• 균열(폭 0.3mm이하) • 망상균열, 누수흔적 및 박리 • 박락, 녹발생, 철근노출, 파손 • 방호벽(A2) 단차	• 구조물에 미치는 영향이 미미하나 균열 부 우수 침투로 인한 백태 발생 등의 우려가 있으므로 표면처리보수 필요 • 내구성 확보를 위한 표면처리보수 필요 • 단면보수 및 단면보수(방청) 필요함 • 접속슬래브측 지반침하가 원인으로 지속관찰이 필요

나. 기 진단결과 비교

【표 3-69】 기 진단결과 비교표

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
바닥판	•균열 (Cw=0.3mm미만)	m	296	475.30	159	263.10	▽
	•균열 (Cw=0.3mm이상)	m	6	12.30	5	11.50	▽
	•균열/백태	m ²	2	4.60	2	4.60	—
	•누수흔적/백태	m ²	18	1.98	2	0.18	▽
	•백태	m ²	—	—	3	0.27	△
	•파손	m ²	2	0.38	1	0.08	▽
Steel Box Girder 내부	•Pit	개소	363	363	309	309	▽
	•목두깨부족, 비드불량, 언더컷	m	34	6.52	39	7.35	△
	•도장박리, 부식	m ²	67	1.85	28	2.11	△
	•볼트풀림	개소	—	—	1	1	△
	•실링재불량	개소	20	20	1	1	▽
	•배설물	m ²	—	—	2	0.13	△
	•점검등탈락	개소	—	—	1	1	△
	•인분배설	m ²	1	0.09	—	—	▽
Steel Box Girder 외부	•누수흔적	m ²	7	7.15	3	3.15	▽
	•도장박리, 부식	m ²	37	1.83	29	3.08	△
	•볼트부식	개소	195	195	49	49	▽
교대	•균열 (Cw=0.3mm미만)	m	14	8.30	4	2.20	▽
	•백태	m ²	2	0.41	—	—	▽
	•파손	m ²	1	0.01	—	—	▽
	•보수부박리	m ²	—	—	3	1.16	△
	•재료분리	m ²	—	—	1	0.12	△
	•침하	m	—	—	1	0.07	△
	•녹발생	m ²	8	0.14	—	—	▽
	•누수흔적	m ²	1	14.00	—	—	▽
교각	•균열 (Cw=0.3mm미만)	m	82	100.60	38	45.60	▽
	•균열 (Cw=0.3mm이상)	m	2	2.00	—	—	▽
	•망상균열 (Cw=0.3mm미만)	m ²	13	55.62	6	21.21	▽
	•누수흔적	m ²	3	4.75	2	3.70	▽
	•균열/백태	m	1	1.00	—	—	▽
	•균열/녹발생	m	1	2.00	—	—	▽
	•들뜸	m ²	—	—	1	3.00	△
	•박락	m ²	—	—	1	0.06	△
	•보수부 박리	m ²	—	—	1	0.08	△
	•재료분리, 파손	m ²	14	3.09	4	0.81	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

【표 3-69】 기 진단결과 비교표(계속)

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
교량받침	•부식	m ²	2	0.28	2	0.30	▽
	•균열 (Cw=0.3mm미만)	m	21	4.40	5	0.80	▽
	•균열 (Cw=0.3mm이상)	m	2	1.00	—	—	▽
	•재료분리	m ²	1	0.04	—	—	▽
	•박락	m ²	—	—	2	0.08	△
	•파손	m ²	12	1.70	3	0.27	▽
	•녹발생	m ²	2	0.02	2	0.40	△
신축이음	•부식	m	4	0.66	4	0.66	—
	•균열 (Cw=0.3mm미만)	m	61	29.39	17	11.90	▽
	•파손	m ²	—	—	1	0.10	△
	•채움재 누락	m	3	2.10	—	—	▽
포장부	•균열	m	3	18.00	2	22.00	△
배수시설	•배수로이물질퇴적	개소	6	6	5	5	▽
	•유도배수관 설치(유공관)	개소	4	4	—	—	▽
	•유도배수관 부식	m ²	3	0.90	4	2.00	△
방호벽	•균열 (Cw=0.3mm미만)	m	188	79.90	16	9.20	▽
	•균열 (Cw=0.3mm이상)	m	4	2.90	—	—	▽
	•망상균열(Cw=0.3mm미만)	m ²	15	2.78	3	2.36	▽
	•누수흔적	m ²	16	4.95	3	1.26	▽
	•박락	m ²	—	—	7	0.12	△
	•박리, 파손	m ²	61	3.75	24	2.24	▽
	•녹발생, 철근노출	m ²	8	0.15	17	0.31	△
	•단차	개소	—	—	1	1	△
기타	•유간협착	m ²	—	—	2	0.30	△
검토의견	■ 보수이력 및 현장조사 결과, 기 진단 이후 바닥판 하면 균열보수, 하부구조 균열보수 및 단면보수, 거더 내·외부 도장보수, 교량받침콘크리트 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 내·외부 도장박리 및 부식, 교량받침 녹발생, 유도배수관부식 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

3.5.2 내구성조사 결과요약

【표 3-70】 내구성조사 결과 요약

시 험 명		시험부위	시험 결과		비 고
			2012년 전차진단	2016년 금회진단	
콘 크 리 트	비파괴 강도시험 (MPa)	상부구조	27.5~29.0	27.1~30.8	• 설계기준강도(27MPa)를 상회함.
		하부구조	27.5~33.0	26.3~29.0	• 설계기준강도(24MPa)를 상회함.
	철근탐사 시험	상 · 하부구조	—		• 전반적으로 철근배근간 격 및 피복두께는 준공 도면과 거의 일치함.
	품질시험 (km/s)	상부구조	—	4.088~4.667	• 양호상태로 평가됨
		하부구조	—	3.818~4.253	
	탄산화 깊이 (mm)	상부 구조	1.9~3.6	3.5~9.8	• 상태평가 a (잔여깊이 30mm이상)
		하부 구조	2.0~6.0	5.1~8.1	
	염화물 함유량 시험 (kg/m ³)	상부 구조	0.061~0.077	0.175	• 상태평가 a (염화물 ≤ 0.3kg/m ³)
		하부 구조	0.050~0.149	0.221~0.258	
	균열깊이 (mm)	하부 구조	—	53.0~76.0	• 주입보수 필요 (0.3mm이상 균열)
강 재	초음파 탐상 (UT)	거더 내부 (맞대기 용접부)	합 격	시험 24개소 (24개소 합격)	• 1급
	도막두께 (μm)	거더 외부	—	341~362	• 기준두께(215μm)
	강재두께 (mm)	거더 외부	—	12.7~14.4 (+0.4~0.7)	• 설계두께의 ±0.80
총 합 평 가		■ 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, 모든 개소에서 품질상태가 양호한 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”로 평가됨. 기진단과의 비교·분석 결과, 염화물함유량이 다소 증가하였지만, 철근피복두께에 영향이 없는 것으로 평가됨. ■ 균열깊이 측정결과, 피복두께를 초과하지 않은 것으로 조사되었으나, 내구성 저하 방지를 위하여 주기적인 점검이 필요할 것으로 판단됨. ■ 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	균열		열화 및 손상
	1방향 균열	2방향 균열	
a	■ 균열폭 0.1mm미만	■ 망상균열폭 0.1mm미만	■ 없음
b	■ 균열폭 0.1mm이상 ~ 0.3mm미만 ■ 균열율 2%미만	■ 망상균열폭 0.1mm ~ 0.3mm미만	■ 표면 손상면적 2%미만
c	■ 균열폭 0.3mm이상 ~ 0.5mm미만 ■ 균열율 2%이상 ~ 10%미만	■ 망상균열폭 0.3mm이상	■ 표면 손상면적 2%이상 ~ 10%미만 ■ 철근부식 손상면적 2%미만 ■ 데크플레이트 박리 및 누수 발생
d	■ 균열폭 0.5mm이상 ~ 1.0mm미만 ■ 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 1.0mm이상 ■ 균열율 20%이상	■ 망상균열에 의한 박리가 심하여 편칭파괴 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 연결 볼트 파단	■ 보조부재 10%이상 ■ 주부재 2%이상~10%미만	■ 인장플랜지 용접 연결부 용입부족 및 용접누락으로 인한 안전성 저하	■ 부식발생 면적 10%이상 ■ 부식에 의한 단면 손상 면적 10%미만
e	■ 균열이 주부재 단면의 20% 이상 진전	■ 좌굴에 의한 파대 변형 및 파단으로 주부재의 안전성 저하	■ 주부재 10%이상	■ 인장플랜지 용접 연결부 균열진전으로 인하여 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 용입부족 및 용접누락으로 인한 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 0.1mm미만	■ 없음
b	■ 구체 균열폭 0.1mm이상 ~ 0.3mm미만	■ 표면 손상면적 2%미만 ■ 앵커블록 내부 결로 발생
c	■ 구체 균열폭 0.3mm이상 ~ 0.5mm미만 ■ 교대와 날개벽사이에 폭 1.0mm이상의 균열발생	■ 표면 손상면적 2%이상 ~ 10%미만 ■ 철근부식 손상면적 2%미만 ■ 앵커블록 내부 결로에 의한 체수
d	■ 구체 균열폭 0.5mm이상 ~ 1.0mm미만 ■ 날개벽 기울음 및 손상 심화 (배면토 유출) ■ 기초의 부등침하로 인한 구체 기울음	■ 표면 손상면적 10%이상 ■ 철근부식 손상면적 2%이상
e	■ 구체 균열폭 1.0mm이상 ■ 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 0.1mm미만	■ 없음
b	■ 균열폭 0.1mm이상 ~ 0.3mm미만	■ 표면 손상면적 2%미만
c	■ 균열폭 0.3mm이상 ~ 0.5mm미만	■ 표면 손상면적 2%이상 ~ 10%미만 ■ 철근부식 손상면적 2%미만
d	■ 균열폭 0.5mm이상 ~ 1.0mm미만 ■ 기초의 부등침하로 인한 구체 기울음	■ 표면 손상면적 10%이상 ■ 철근부식 손상면적 2%이상
e	■ 구체 균열폭 1.0mm이상 ■ 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 0.3mm미만의 균열 발생	■ 매립된 직접기초(확대기초)의 상부가 세굴등에 의해 노출됨
c	■ 직접기초(확대기초)에 폭 0.3mm이상의 균열 및 단면손상 발생 ■ 침식, 충돌 등에 의한 말뚝 및 케이슨 기초의 다면손상 발생	■ 침하가 20mm미만 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 20mm이상 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 0.3mm이상 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 500mm이하의 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

【표 4-12】 방호벽 상태평가 기준

기준	강재		콘크리트
a	■ 양호	■ 양호	■ 양호
b	■ 도장 불량 10%미만	■ 고정장치 및 연결재의 이완이 국부적으로 발생	■ 경미한 손상, 0.3mm이하 균열
c	■ 도장불량 10%이상 ■ 부식으로 인한 단면손상 10%미만	■ 파손 및 탈락 10%미만	■ 0.3mm이상 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	■ 30mm이상	탄산화에 의한 부식발생 우려 없음
b	■ 10mm이상 ~ 30mm미만	향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음
c	■ 0mm이상 ~ 10mm미만	탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음
d	■ 0mm미만	철근부식 발생
e	—	—

파. 염화물

【표 4-14】 염화물 상태평가 기준

기준	전염화물 이온량	철근부식의 가능성
a	■ 염화물 $\leq 0.3\text{kg/m}^3$	염화물에 의한 부식발생 우려 없음
b	■ $0.3\text{kg/m}^3 < \text{염화물} < 1.2\text{kg/m}^3$	염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음
c	■ $1.2\text{kg/m}^3 \leq \text{염화물} < 2.5\text{kg/m}^3$	향후 염화물에 의한 부식발생 가능성 높음
d	■ 염화물 $\geq 2.5\text{kg/m}^3$	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)	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)	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 최저값을 개별부재 상태평가 결과로 산정한다.
- 한 경간 내에서 여러 부재가 있을 경우는 각 부재의 상태평가 기준 중 최저값을 경간(지점) 상태평가 결과로 산정한다.
- 복개구조물은 바닥판의 장변방향으로 경간을 구분하고, 1경간의 길이는 약 50m 범위 또는 신축이음부를 경계로 경간을 구분하는 것으로 한다.

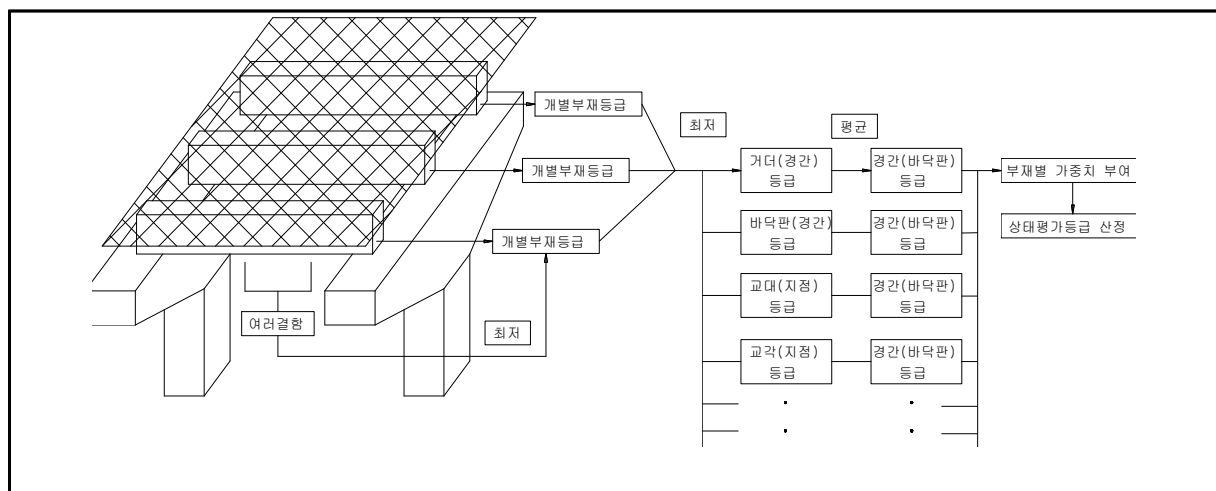
4.2.2 전체 시설물의 상태평가 결과 결정

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 각 부재별 상태평가 결과

가. 콘크리트 바닥판

【표 4-17】 콘크리트 바닥판 평가결과

구분	부재면적 (㎡)	1방향 균열				2방향 균열				열화 및 손상				평가 결과
		균열폭 (mm)		균열율 (%)		균열폭 (mm)		균열율 (%)		표면손상면 적 (%)		철근부식 손상면적 (%)		
S1	184.5	0.2	b	13.71	d	—	a	—	a	0.19	b	—	a	d
S2	225.5	0.3	c	8.50	c	—	a	—	a	0.08	b	—	a	c
S3	184.5	0.2	b	0.81	b	—	a	—	a	0.00	b	—	a	b

나. 강 거더(Steel Box Girder)

【표 4-18】 강 거더(Steel Box Girder) 평가결과

구분	부재면적 (㎡)	모재 및 연결부 손상							표면열화				평가 결과	
		부재균열		변형, 파단		연결 볼트 이완, 탈락		용접연결부 결함		도장탈락 면적(%)		부식발생 면적(%)		
S1	1,591.2	—	a	—	a	—	a	부분적용접불량	b	0.06	b	0.13	b	b
S2	1,933.0	—	a	—	a	—	a	부분적용접불량	b	0.01	b	0.09	b	b
S3	1,581.4	—	a	—	a	—	a	부분적용접불량	b	0.00	b	0.05	b	b

다. 강 가로보

【표 4-19】 강 가로보 평가결과

구분	부재면적 (㎡)	모재 및 연결부 손상								표면열화				평가 결과
		부재균열		변형, 파단		연결 볼트 이완, 탈락(%)		용접연결부 결함		도장손상 면적(%)		부식발생 면적(%)		
S1	611.8	－	a	－	a	－	a	－	a	－	a	－	a	a
S2	1,700.2	－	a	－	a	－	a	－	a	－	a	－	a	a
S3	1,391.0	－	a	－	a	－	a	－	a	－	a	－	a	a

라. 하부구조(교대 및 교각)

【표 4-20】 하부구조 평가결과

구분	부재면적 (㎡)	균열, 변위				열화 및 손상				평가 결과
		균열폭(mm)		변위		표면손상 면적(%)		철근부식 손상면적(%)		
A1	86.5	0.1	b	－	a	1.341	b	－	a	b
P1	216.5	0.2	b	－	a	0.402	b	－	a	b
P2	240.6	0.2	b	－	a	2.818	c	－	a	c
A2	70.9	0.1	b	－	a	0.169	b	－	a	b

마. 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
P2	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q
A2	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q

바. 교량받침

【표 4-22】 교량받침 평가결과

구분	받침 본체		받침 콘크리트				평가 결과
	강재받침		균열폭(mm)		박리, 탈락, 파손 등		
A1	－	－	0.1	b	파손	b	b
P1	부식	b	0.2	b	파손	b	b
P2	부식	b	－	a	박락	b	b
A2	－	－	－	a	－	－	a

사. 신축이음

【표 4-23】 신축이음 평가결과

구분	본 체		후타재				평가 결과
			균열		박리, 박락, 파손 등		
A1	부식	c	—	a	—	a	c
A2	부식	c	0.1	b	파손	c	c

아. 교면포장

【표 4-24】 교면포장 평가결과

구분	부재면적 (㎡)	포장불량				배 수		평가 결과
		포장불량 면적 (%)		포장손상에 따른 주행성 및 통행성				
S1	342.0	－	－	양호	a	양호	a	a
S2	418.0	－	－	양호	a	양호	a	a
S3	342.0	1.61	b	양호	a	양호	a	b

자. 배수시설

【표 4-25】 배수시설 평가결과

구분	평가내용		평가결과
S1, A1	유도배수판 부식		c
S2, P1	배수로 이물질퇴적		c
S3, P2	유도배수판 부식		c
A2	—		a

차. 방호벽

【표 4-26】 방호벽 평가결과

구분	콘크리트 부재면적 (㎡)	콘크리트(방호벽)						강재(방음벽)						평가 결과
		균열폭(mm)		박리, 파손, 철근노출(%)		철근부식 손상면적(%)		도장불량면적 (%)		철근부식손상 길이율(%)		파손 및 탈락(%)		
S1	234.9	0.2	b	0.09	c	0.02	c	—	a	—	a	—	a	c
S2	287.1	0.2	b	0.86	c	0.09	c	—	a	—	a	—	a	c
S3	234.9	0.1	b	0.39	c	—	a	—	a	—	a	—	a	c

카. 탄산화

【표 4-27】 탄산화 평가결과

구분		탄산화 잔여 깊이(mm)	평가기준	평가결과
상부 구조	S1	32.4	< 탄산화 잔여깊이 > · a : 30mm이상 · b : 10mm이상~30mm미만 · c : 0mm이상~10mm미만 · d : 0mm미만	a
	S2	30.2		a
	S3	38.5		a
	S3	37.5		a
하부 구조	P1	90.9		a
	P2	76.5		a
	A1	85.8		a
	A2	81.9		a

타. 염화물

【표 4-28】 염화물 평가결과

구분		염화물 함유량(kg/m³)	평가기준	평가결과
상부 구조	S2	0.175	< 전염화물 이온량 > · a : 염화물 ≤ 0.3kg/m³ · b : 0.3kg/m³ < 염화물 < 1.2kg/m³ · c : 1.2kg/m³ ≤ 염화물 < 2.5kg/m³ · d : 염화물 ≥ 2.5kg/m³	a
하부 구조	A1	0.221		a
	A2	0.258		a

※ 염화물 함유량에 대한 상태평가는 철근 위치에서는 전염화물 이온량을 기준으로 실시함.

4.3.2 각 부재별 상태평가 결과 분석

상태평가는 세부지침에 의거 부재별로 평가하였으며, 산정시 도출방법은 다음과 같이 실시하였다.

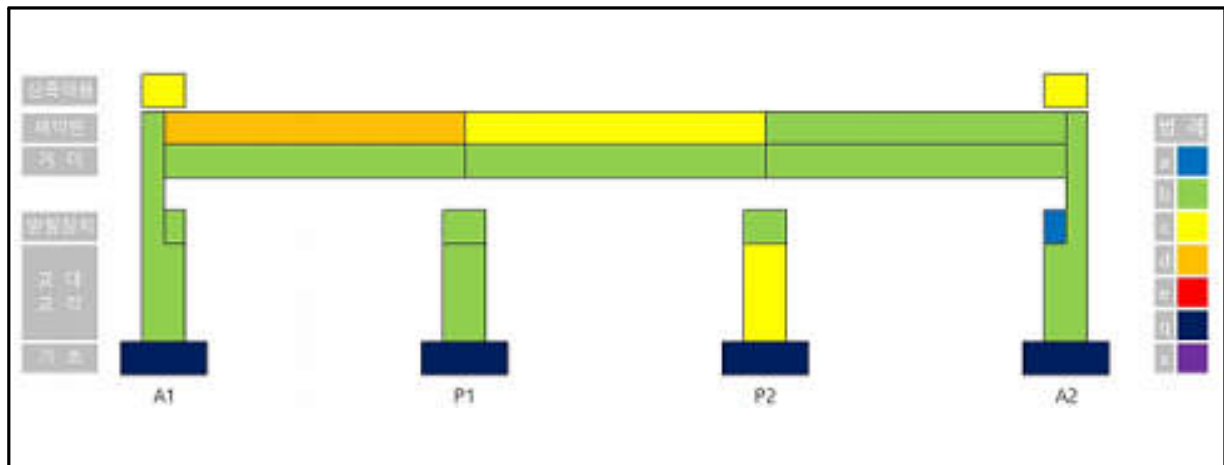
【표 4-29】 각 부재별 상태평가 결과 분석

구 분	손상항목 및 도출방법	평가 결과	결합도 점수
바닥판	■ 1방향 균열율, 1방향 균열폭, 열화 및 손상 면적비, 철근부식손상 면적비 등에 대한 평가결과 중 최댓값	b~d	0.43
Steel Box Girder	■ 모재 및 연결부 손상, 표면열화 등에 대한 평가결과 중 최댓값	b	0.20
가로보	■ 모재 및 연결부 손상, 표면열화 등에 대한 평가결과 중 최댓값	a	0.10
교대 및 교각	■ 균열폭, 변위, 표면손상 면적비, 철근부식손상 면적비 등에 대한 평가결과 중 최댓값	b~c	0.25
교량받침	■ 받침본체, 받침콘크리트 등에 대한 평가결과 중 최댓값	a~b	0.18
신축이음	■ 신축이음 본체, 후타재 등에 대한 평가결과 중 최댓값	c	0.40
교면포장	■ 포장불량 면적비, 포장상태, 배수 등에 대한 평가결과 중 최댓값	a~b	0.13
배수시설	■ 배수시설 손상에 대한 평가결과	a~c	0.30
난간	■ 균열폭, 표면 손상율, 철근부식 손상율 등에 대한 평가결과 중 최댓값	c	0.40
탄산화	■ 탄산화 잔여 깊이, 철근부식의 가능성 등에 대한 평가결과 중 최댓값	a	0.10
염화물	■ 전염화물 이온량, 철근부식의 가능성 등에 대한 평가결과 중 최댓값	a	0.10
평가자 소견	■ 부재별 평가 결과가 a~e로 나타났고, 부재별 결합도 점수 범위가 0.10~0.43으로 나타남. ■ 부재별 상태평가 결과, 일부 부재에 손상 및 결합이 발생한 상태로서 발생한 손상은 별도의 보강은 필요치 않으나, 내구성, 기능성 저하방지를 위해 일부부재에 대한 보수가 필요한 상태로 판단됨.		

4.3.3 전체 시설물 상태평가 결과

【표 4-30】 충주IC1교 상태평가 결과

부재의 분류		상부구조			하부구조		받침	기타부재				탄산화		염화물	
번호	형식	바닥판	거더	가로보	교대 교각	기초	교량 받침	신축 이음	교면 포장	배수 시설	난간	상부	하부	상부	하부
1	강박스	d	b	a	b	q	b	c	a	c	c	a	a	-	a
2	강박스	c	b	a	b	q	b	-	a	c	c	a	a	a	-
3	강박스	b	b	a	c	q	b	-	b	c	c	a	a	-	-
					b	q	a	c					a		a
평균		0.43	0.20	0.10	0.25	0.00	0.28	0.40	0.13	0.30	0.40	0.10	0.10	0.10	0.10
가중치		18	20	5	20	0	9	9	7	3	2	2	2	2	1
(평균X가중치 /가중치합)		0.077	0.040	0.005	0.050	0.000	0.025	0.036	0.009	0.009	0.008	0.002	0.002	0.002	0.001
주) 충주IC1교는 기초가 매립된 상태로 해당 가중치는 교대, 교각의 가중치에 포함시켜 평가함											결합도 환산점수		0.258		
											상태평가 결과		B		



【그림 4-2】 충주IC1교 전체시설물 상태평가 결과

4.3.4 상태평가 결과 분석

【표 4-31】충주IC1교 상태평가 결과 분석

구분	상태평가 결과 분석																																																						
외관조사 결과분석	■금회 상태평가 결과에 영향을 미친 손상은 바닥판 1방향 균열율(d), 교각 들뜸(c), 신축이음 부식(c) 등으로 나타남																																																						
시험 및 측정 결과분석	■상부구조 4개소, 하부구조 4개소에서 탄산화 잔여깊이 측정을 실시한 결과, 잔여피복 깊이가 30.2~90.9mm로 나타나, “a”로 평가됨 ■상부구조 1개소, 하부구조 2개소에서 염화물함유량 시험을 실시한 결과, 철근배근 깊이에서 염화물 함유량이 0.175~0.258kg/m³로 나타나, “a”로 평가됨																																																						
기진단 비교	<table><tr><th colspan="2">2012년 정밀안전진단</th></tr><tr><td>결함도 점수</td><td>0.356</td></tr><tr><td>상태평가 결과</td><td>C</td></tr></table>		2012년 정밀안전진단		결함도 점수	0.356	상태평가 결과	C		<table><tr><th colspan="2">2016년 정밀안전진단</th></tr><tr><td>결함도 점수</td><td>0.258</td></tr><tr><td>상태평가 결과</td><td>B</td></tr></table>		2016년 정밀안전진단		결함도 점수	0.258	상태평가 결과	B																																						
	2012년 정밀안전진단																																																						
	결함도 점수	0.356																																																					
	상태평가 결과	C																																																					
	2016년 정밀안전진단																																																						
결함도 점수	0.258																																																						
상태평가 결과	B																																																						
<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>		기준	A	B	C	D	E	결함도 범위	0 ≤ X < 0.13	0.13 ≤ X < 0.26	0.26 ≤ X < 0.49	0.49 ≤ X < 0.79	0.79 ≤ X																																										
기준	A	B	C	D	E																																																		
결함도 범위	0 ≤ X < 0.13	0.13 ≤ X < 0.26	0.26 ≤ X < 0.49	0.49 ≤ X < 0.79	0.79 ≤ X																																																		
<table><thead><tr><th>구분</th><th>2012년 진단</th><th>2016년 진단</th></tr></thead><tbody><tr><td>바닥판</td><td>0.60</td><td>0.43</td></tr><tr><td>상부구조</td><td>0.20</td><td>0.20</td></tr><tr><td>거더</td><td>0.10</td><td>0.10</td></tr><tr><td>가로보</td><td>0.10</td><td>0.10</td></tr><tr><td>교대, 교각</td><td>0.40</td><td>0.25</td></tr><tr><td>하부구조</td><td>0.30</td><td>0.18</td></tr><tr><td>받침</td><td>0.70</td><td>0.40</td></tr><tr><td>신축이음</td><td>0.40</td><td>0.10</td></tr><tr><td>교면포장</td><td>0.10</td><td>0.13</td></tr><tr><td>기타부재</td><td>0.40</td><td>0.30</td></tr><tr><td>배수시설</td><td>0.40</td><td>0.33</td></tr><tr><td>난간</td><td>0.40</td><td>0.40</td></tr><tr><td>탄산화</td><td>0.10</td><td>0.10</td></tr><tr><td>상부</td><td>0.10</td><td>0.10</td></tr><tr><td>하부</td><td>0.10</td><td>0.10</td></tr><tr><td>염화물</td><td>0.10</td><td>0.10</td></tr></tbody></table>					구분	2012년 진단	2016년 진단	바닥판	0.60	0.43	상부구조	0.20	0.20	거더	0.10	0.10	가로보	0.10	0.10	교대, 교각	0.40	0.25	하부구조	0.30	0.18	받침	0.70	0.40	신축이음	0.40	0.10	교면포장	0.10	0.13	기타부재	0.40	0.30	배수시설	0.40	0.33	난간	0.40	0.40	탄산화	0.10	0.10	상부	0.10	0.10	하부	0.10	0.10	염화물	0.10	0.10
구분	2012년 진단	2016년 진단																																																					
바닥판	0.60	0.43																																																					
상부구조	0.20	0.20																																																					
거더	0.10	0.10																																																					
가로보	0.10	0.10																																																					
교대, 교각	0.40	0.25																																																					
하부구조	0.30	0.18																																																					
받침	0.70	0.40																																																					
신축이음	0.40	0.10																																																					
교면포장	0.10	0.13																																																					
기타부재	0.40	0.30																																																					
배수시설	0.40	0.33																																																					
난간	0.40	0.40																																																					
탄산화	0.10	0.10																																																					
상부	0.10	0.10																																																					
하부	0.10	0.10																																																					
염화물	0.10	0.10																																																					
<기진단(12)과 금회진단 부재별 결함도 점수 결과 비교> ■기진단(2012) 및 금회진단은 정량적 평가를 실시하여 결함도 점수를 산정하였으며, 환산 결함도 점수를 비교한 결과 0.356에서 0.258로 금회 0.098 감소되었으며 평가등급은 기진단시 C등급으로 나타났으나, 금회 진단시 B등급으로 분석된 것으로 나타남. ■기진단에 비해 결함도 점수가 다소 증가된 사유는 다음과 같음(교면포장, 난간) - 공용년수 증가에 따른 노후화 ⇒ 방호벽 및 중앙분리대 균열 및 박리, 교면포장 균열 등 - 조사용 접근장비(교량점검차, 고소점검차)를 운용한 근접조사 ⇒ Steel Box 거더 외부 부식, 도장박리 - 기 용역 시 누락된 손상 추가 조사 ■기진단에 비해 결함도 점수가 다소 감소된 사유는 다음과 같음(바닥판, 하부구조, 신축이음 등) - 기진단 이후 보수 실시 ⇒ 바닥판 하면 및 하부구조 균열보수, 신축이음 장치 보수, 받침장치 도장보수																																																							



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

충주IC1교는 총연장 145m, 폭(11.1m)의 3차로 교량으로서, 상부구조형식은 3경간 연속 강박스 거더교($45\text{m} + 55\text{m} + 45\text{m} = 145\text{m}$)으로 구성되어 있다.

하부구조는 상부에서 발생하는 하중과 하부 자체의 하중까지 버틸 수 있는 구조물로, 교대(역T형) 2기와 교각(T형) 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, 금회 실시된 현장조사자료(실측 제원, 외관조사 및 내구성조사 등), 시공단계 등을 고려하였으며, 현 설계기준을 적용하였다.

5.2 상부구조 안전성평가

5.2.1 S1 ~ S3 경간

가. 검토조건

1) 교량 제원

- ① 교량형식 : 3경간 연속 강박스 거더교
- ② 교량연장 : $L = 45\text{m} + 55\text{m} + 45\text{m} = 145\text{m}$
- ③ 교량폭원 : 8.50m
- ④ 사 각 : 90.0°
- ⑤ 거더제원 : $B = 2.4\text{m}$, $H = 2.3\text{m} \sim 2.8\text{m}$
- ⑥ 교량등급 : 1등급(DB-24 및 DL-24 적용)

2) 사용재료

① 콘크리트

- ㉠ 설계기준강도 : $f_{ck} = 27.0\text{MPa}$
- ㉡ 탄성계수 : $E_c: 27,804\text{MPa}$
- ㉢ 전단탄성계수 : $G_c = 11,781\text{MPa}$

㉔ 허용압축응력 : $f_{ca} = 10.8\text{MPa}$

② 철근(SD400)

㉕ 항복강도 : $f_y = 400.0\text{MPa}$

㉖ 탄성계수 : $E_s = 200,000\text{MPa}$

㉗ 허용압축응력 : $f_{ca} = 180.0\text{MPa}$

㉘ 허용인장응력 : $f_{ta} = 160.0\text{MPa}$

③ 강재

㉙ 주부재 : SM490(준공당시 기호 : SWS490)

㉚ 부부재 : SM400(준공당시 기호 : SWS400)

㉛ 탄성계수 : $E_{st} = 205,000\text{MPa}$

㉜ 전단탄성계수 : $G_{st} = 79,000\text{MPa}$

㉝ 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

㉞ 허용축방향압축응력(MPa)

강종 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM 570 SMA 570
40이하	$140 : \ell/r \leq 18.6$	$190 : \ell/r \leq 16.0$	$215 : \ell/r \leq 15.1$	$270 : \ell/r \leq 13.4$
	$140 - 0.82(\ell/r - 18.6) :$	$190 - 1.29(\ell/r - 16.0) :$	$215 - 1.55(\ell/r - 15.1) :$	$270 - 2.19(\ell/r - 13.4) :$
	$18.6 < \ell/r \leq 92.8$	$16.0 < \ell/r \leq 80.1$	$15.1 < \ell/r \leq 75.5$	$13.4 < \ell/r \leq 67.1$
	$\frac{1,200,000}{6,700 + (\ell/r)^2} :$	$\frac{1,200,000}{5,000 + (\ell/r)^2} :$	$\frac{1,200,000}{4,400 + (\ell/r)^2} :$	$\frac{1,200,000}{3,500 + (\ell/r)^2} :$
	$92.8 < \ell/r$	$80.1 < \ell/r$	$75.5 < \ell/r$	$67.1 < \ell/r$

강종 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM 570 SMA 570
40초과 75이하	130 : $\ell/r \leq 19.4$	175 : $\ell/r \leq 16.6$	200 : $\ell/r \leq 15.5$ 200-1.40(ℓ/r -15.5) : 15.5 < $\ell/r \leq 77.7$ $\frac{1,200,000}{4,700+(\ell/r)^2}$: 77.7 < ℓ/r	260 : $\ell/r \leq 13.7$ 260-2.07(ℓ/r -13.7) : 13.7 < $\ell/r \leq 68.6$ $\frac{1,200,000}{3,600+(\ell/r)^2}$: 68.6 < ℓ/r
75초과 100이하	19.4 < $\ell/r \leq 97.0$ $\frac{1,200,000}{7,300+(\ell/r)^2}$: 97.0 < ℓ/r	16.6 < $\ell/r \leq 82.8$ $\frac{1,200,000}{5,300+(\ell/r)^2}$: 82.8 < ℓ/r	195 : $\ell/r \leq 15.8$ 195-1.35(ℓ/r -15.8) : 15.8 < $\ell/r \leq 78.9$ $\frac{1,200,000}{4,800+(\ell/r)^2}$: 78.9 < ℓ/r	250 : $\ell/r \leq 13.9$ 250-1.96(ℓ/r -13.9) : 13.9 < $\ell/r \leq 69.4$ $\frac{1,200,000}{3,700+(\ell/r)^2}$: 69.4 < ℓ/r

여기서, ℓ : 부재의 유효좌굴길이(mm)
 r : 부재 종단면의 단면회전반경(mm)

㉠ 허용휨압축응력(MPa)

- 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 직접 고정되어 있는 경우, 상자형 단면, π 형 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 : $\ell/b \leq 4.6$ 140-2.49($\ell/b-4.6$) : 4.6 < $\ell/b \leq 30$	190 : $\ell/b \leq 4.0$ 190-3.91($\ell/b-4.0$) : 4.0 < $\ell/b \leq 30$	215 : $\ell/b \leq 3.8$ 215-4.69($\ell/b-3.8$) : 3.8 < $\ell/b \leq 27$	270 : $\ell/b \leq 3.4$ 270-6.64($\ell/b-3.4$) : 3.4 < $\ell/b \leq 25$
	40초과 75이하	130 : $\ell/b \leq 4.9$ 130-2.21($\ell/b-4.9$) : 4.9 < $\ell/b \leq 30$	175 : $\ell/b \leq 4.1$ 175-3.48($\ell/b-4.1$) : 4.1 < $\ell/b \leq 30$	200 : $\ell/b \leq 3.9$ 200-4.24($\ell/b-3.9$) : 3.9 < $\ell/b \leq 27$	260 : $\ell/b \leq 3.4$ 260-6.25($\ell/b-3.4$) : 3.4 < $\ell/b \leq 25$
	75초과 100이하	130-2.21($\ell/b-4.9$) : 4.9 < $\ell/b \leq 30$	175-3.48($\ell/b-4.1$) : 4.1 < $\ell/b \leq 30$	195 : $\ell/b \leq 3.9$ 195-4.07($\ell/b-3.9$) : 3.9 < $\ell/b \leq 27$	250 : $\ell/b \leq 3.5$ 250-5.94($\ell/b-3.5$) : 3.5 < $\ell/b \leq 25$
	40이하	140 : $\ell/b \leq 9.3/K$ 140-1.24(K $\ell/b-9.3$) : 9.3/K < $\ell/b \leq 30$	190 : $\ell/b \leq 8.0/K$ 190-1.95(K $\ell/b-8.0$) : 8.0/K < $\ell/b \leq 30$	215 : $\ell/b \leq 7.5/K$ 215-2.35(K $\ell/b-7.5$) : 7.5/K < $\ell/b \leq 27$	270 : $\ell/b \leq 6.7/K$ 270-3.32(K $\ell/b-6.7$) : 6.7/K < $\ell/b \leq 25$
	40초과 75이하	130 : $\ell/b \leq 9.7/K$ 130-1.10(K $\ell/b-9.7$) : 9.7/K < $\ell/b \leq 30$	175 : $\ell/b \leq 8.3/K$ 175-1.74(K $\ell/b-8.3$) : 8.3/K < $\ell/b \leq 30$	200 : $\ell/b \leq 7.8/K$ 200-2.12(K $\ell/b-7.8$) : 7.8/K < $\ell/b \leq 27$	260 : $\ell/b \leq 6.9/K$ 260-3.12(K $\ell/b-6.9$) : 6.9/K < $\ell/b \leq 25$
	75초과 100이하	130-1.10(K $\ell/b-9.7$) : 9.7/K < $\ell/b \leq 30$	175-1.74(K $\ell/b-8.3$) : 8.3/K < $\ell/b \leq 30$	195 : $\ell/b \leq 7.9/K$ 195-2.04(K $\ell/b-7.9$) : 7.9/K < $\ell/b \leq 27$	250 : $\ell/b \leq 6.9/K$ 250-2.97(K $\ell/b-6.9$) : 6.9/K < $\ell/b \leq 25$
비 고		A_w : 복부판의 총 단면적(mm ²) A_c : 압축플랜지의 총 단면적(mm ²) ℓ : 압축플랜지의 고정점간의 거리(mm) b : 압축플랜지의 폭(mm) $K : \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}}$			

◎ 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

㉔ 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

㉔ 강재 주거더의 허용응력 증가율

하중의 조합			증가율(%)	
			정의 휨모멘트를 받는 부분	부의 휨모멘트를 받는 부분
1	크리프의 영향과 건조수축의 영향을 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) : $\pm 10^{\circ} \text{C}$

㉡ 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 (Girde 2측)

① 고정하중

NO.	작용하중 (kN)	작용거리 (m)	모멘트 (kN·m)	비 고
①	$0.700 \times 0.230 \times 25 = 4.025$	0.735	2.958	
②	$1/2 \times 0.070 \times 0.700 \times 25 = 0.613$	0.597	0.365	
③	$0.175 \times 0.300 \times 25 = 1.313$	0.700	0.919	
④	$1/2 \times 0.175 \times 0.12 \times 25 = 0.263$	0.510	0.134	
⑤	$0.205 \times 0.42 \times 25 = 2.153$	0.640	1.378	
⑥	$0.250 \times 0.850 \times 25 = 5.313$	0.425	2.258	
⑦	$1/2 \times 0.050 \times 0.750 \times 25 = 0.469$	0.350	0.164	
⑧	$0.050 \times 0.100 \times 25 = 0.125$	0.050	0.006	
⑨	$0.100 \times 0.430 \times 23 = 0.989$	0.215	0.213	포장
⑩	방음벽하중 = 2.382	0.735	1.751	방음벽
계	17.642		10.146	

H1 =	0.700	m
H2 =	0.175	m
H3 =	0.205	m
H4 =	0.250	m
H5 =	0.050	m
H =	0.100	m
H' =	3.500	m
L1 =	0.230	m
L2 =	0.070	m
L3 =	0.120	m
L4 =	0.250	m
L5 =	0.180	m
L6 =	0.750	m
L7 =	0.100	m
L =	0.180	m

콘크리트 단위중량 = 25.0kN/m³
 아스팔트포장 단위중량 = 23.0kN/m³
 트럭의 후륜하중 (P_r) = 96.0kN
 곡선반경 (R) = 350m
 설계속도 = 60km/hr

② 활하중(DB-24 : $P_r = 96 \text{ kN}$)

운하중 분포폭

$$E = 0.8X + 1.14 = 0.8 \times 0.180 + 1.14 = 1.284\text{m}$$

여기서, $X = 0.180\text{m}$

③ 충격계수

$$i = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 0.18} = 0.373 > 0.300 \quad \therefore i = 0.300 \text{ 적용}$$

④ 활하중

$$M_{\ell+i} = \frac{P_r \cdot X \cdot (1+i)}{E} = \frac{96 \times 0.180 \times (1+0.300)}{1.284} = 17.495\text{kN} \cdot \text{m/m}$$

⑤ 차량 충돌하중

$$H = (V / 60)^2 \times 7500 + 2500 = (60 / 60)^2 \times 7500 + 2500 \\ = 10.000\text{kN/m}$$

$$M_{co} = H \times h = 10.000 \times 1.100 = 11.000\text{kN} \cdot \text{m/m}$$

⑥ 원심하중

$$CF = 0.79 \frac{V^2}{R} \% = 0.79 \frac{60^2}{350} (\%) = 8.126 (\%)$$

$$P_{cf} = P_r / E \times CF = 96 / 1.284 \times 8.126 / 100 = 6.076 \text{ kN/m}$$

$$M_{cf} = 6.076 \times 1.800 = 10.937 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

⑦ 풍하중

$$P_w = 3.0\text{kN/m}^2 \times 4.480\text{m} = 13.440\text{kN/m}$$

$$M_w = 13.440 \times 2.340 = 31.450\text{kN}$$

⑧ 하중조합

㉠ 계수모멘트

- $M_{u1} = 1.3 M_d + 2.15 M_{(\ell + i)} + 1.3 M_{ct} = 65.022 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$
- $M_{u2} = 1.3 M_d + 1.3 M_w + 1.3 M_{ct} + 1.3 M_{co} = 64.451 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$
- $M_{u3} = 1.3 M_d + 1.3 M_{(\ell + i)} + 1.3 M_{ct} = 70.593 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$
- $M_{u4} = 1.2 M_d + 1.2 M_w + 1.2 M_{co} = 63.114 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$
- $M_{u5} = 1.3 M_d + 1.3 M_w = 54.074 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$

㉡ 사용모멘트

- $M = 1.0 M_d + 1.0 M_{(\ell + i)} + 1.0 M_{cf} = 40.097 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$

⑨ 바닥판의 최소두께 ($X \leq 0.25$ 인 경우)

$$h_{\min} = (280 \cdot X + 180) = (280 \times 0.18 + 180) = 230.4 \text{ mm} > 220.0 \text{ mm} \quad \therefore h_{\text{req}} = 230.4 \text{ mm}$$

$$h_{\text{use}} = 300.0 \text{ mm} > h_{\text{req}} = 230.4 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K}$$

⑩ 단면검토

㉠ 검토조건

설계기준강도(f_{ck}) = 27.0MPa , 인장철근 항복강도(f_y) = 400.0MPa

단면폭(b) = 1000mm , 단면높이(h) = 300mm

철근 피복두께(d_c) = 60mm , 유효깊이(d) = 240mm

사용철근량(A_s) = H16@123 = 1618.6mm²

⑪ 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_{ck} \cdot b} = \frac{1618.6 \times 400.0}{0.85 \times 27.0 \times 1000.0} = 28.211 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \left\{ A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \right\} \\ &= 0.85 \times 1618.6 \times 400.0 \times \left(240.0 - \frac{28.211}{2} \right) = 124.314 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

㉠ 휨모멘트 검토

$$\phi M_n = 124.314 \text{ kN}\cdot\text{m} > M_u = 70.593 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \therefore \text{O.K}$$

⑫ 사용성(균열) 검토

$$\textcircled{㉠} \text{탄성계수비}(n) = E_s / E_c = 7.193$$

$$\textcircled{㉡} \text{중립축 거리}(\chi) = -nA_s/b + nA_s/b \sqrt{1 + 2bd/(nA_s)} = 66.9$$

$$\textcircled{㉢} \text{철근응력}(f_s) = M/[A_s \times (d - \chi/3)] = 38.578/[1618.6 \times (240 - 66.9/3)] = 109.489 \text{ MPa}$$

$$\textcircled{㉣} \text{최소 두께}(c_c) = 60.0 - 16.0/2 = 52.0 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{㉤} \text{인장연단 폭}(s_1) &= 375 \times (210/f_s) - 2.5c_c \\ &= 375 \times (210/109.489) - 2.5 \times 52.0 = 589 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{㉥} \text{인장연단 폭}(s_2) &= 300 \times (210/f_s) \\ &= 300 \times (210/109.489) = 575 \text{ mm} \end{aligned}$$

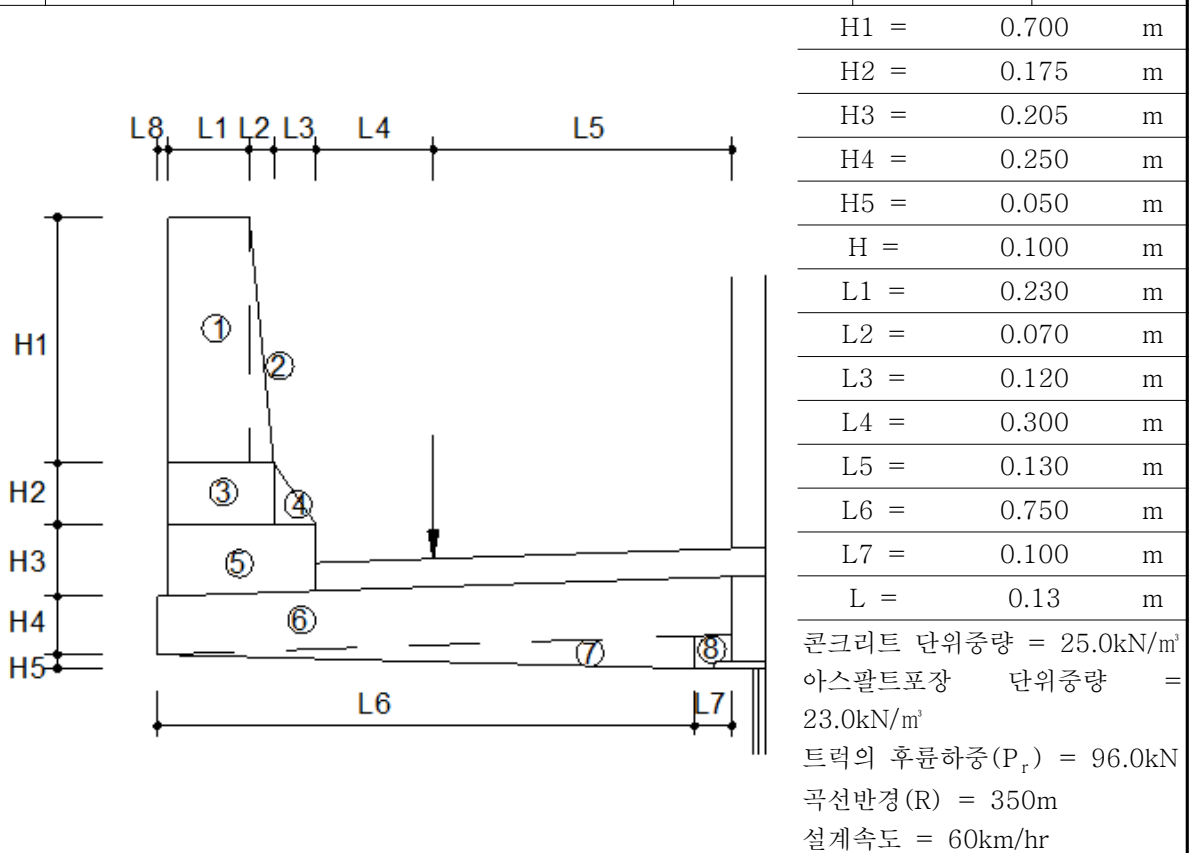
$$\textcircled{㉦} \text{철근 소요중심간격}(s_a) = \text{Min}(s_1, s_2) = 575 \text{ mm}$$

$$\textcircled{㉧} \text{철근 평균간격 } s = 123.0 \text{ mm} \leq s_a = 575 \text{ mm} \text{이므로, } \therefore \text{O.K}$$

2) 캔틸레버부 (Girde 1층)

① 고정하중

NO.	작용하중 (kN)	작용거리 (m)	모멘트 (kN·m)	비 고
①	$0.700 \times 0.230 \times 25 = 4.025$	0.735	2.958	
②	$1/2 \times 0.070 \times 0.700 \times 25 = 0.613$	0.597	0.365	
③	$0.175 \times 0.300 \times 25 = 1.313$	0.700	0.919	
④	$1/2 \times 0.175 \times 0.12 \times 25 = 0.263$	0.510	0.134	
⑤	$0.205 \times 0.85 \times 25 = 2.153$	0.640	1.378	
⑥	$0.250 \times 0.850 \times 25 = 5.313$	0.425	2.258	
⑦	$1/2 \times 0.050 \times 0.75 \times 25 = 0.469$	0.350	0.164	
⑧	$0.050 \times 0.100 \times 25 = 0.125$	0.050	0.006	
⑨	$0.100 \times 0.130 \times 23 = 0.299$	0.215	0.064	포장
⑩	방음벽하중 = 0.000	0.735	0.000	방음벽
계	14.570		8.246	



② 활하중(DB-24 : $P_r = 96 \text{ kN}$)

운하중 분포폭

$$E = 0.8X + 1.14 = 0.8 \times 0.130 + 1.14 = 1.244\text{m}$$

여기서, $X = 0.130\text{m}$

③ 충격계수

$$i = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 0.130} = 0.374 > 0.300 \quad \therefore i = 0.300 \text{ 적용}$$

④ 활하중

$$M_{\ell+i} = \frac{P_r \cdot X \cdot (1+i)}{E} = \frac{96 \times 0.130 \times (1+0.300)}{1.244} = 13.042\text{kN} \cdot \text{m/m}$$

⑤ 차량 충돌하중

$$H = (V / 60)^2 \times 7500 + 2500 = (60 / 60)^2 \times 7500 + 2500 \\ = 10.000\text{kN/m}$$

$$M_{co} = H \times h = 10.000 \times 1.100 = 11.000\text{kN} \cdot \text{m/m}$$

⑥ 원심하중

$$CF = 0.79 \frac{V^2}{R} \% = 0.79 \frac{60^2}{350} (\%) = 8.126 (\%)$$

$$P_{cf} = P_r / E \times CF = 96 / 0.130 \times 8.126 / 100 = 6.271 \text{ kN/m}$$

$$M_{cf} = 6.271 \times 1.800 = 11.288 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

⑦ 풍하중

$$P_w = 3.0\text{kN/m}^2 \times 0.980\text{m} = 2.940\text{kN/m}$$

$$M_w = 2.940 \times 0.590 = 1.735\text{kN} \cdot \text{m/m}$$

⑧ 하중조합

㉠ 계수모멘트

- $M_{u1} = 1.3 M_d + 2.15 M_{(\ell + i)} + 1.3 M_{ct} = 53.435 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$
- $M_{u2} = 1.3 M_d + 1.3 M_w + 1.3 M_{ct} + 1.3 M_{co} = 56.649 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$
- $M_{u3} = 1.3 M_d + 1.3 M_{(\ell + i)} + 1.3 M_{ct} = 43.477 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$
- $M_{u4} = 1.2 M_d + 1.2 M_w + 1.2 M_{co} = 25.177 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$
- $M_{u5} = 1.3 M_d + 1.3 M_w = 12.975 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$

㉡ 사용모멘트

- $M = 1.0 M_d + 1.0 M_{(\ell + i)} + 1.0 M_{cf} = 32.576 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$

⑨ 바닥판의 최소두께 ($X \leq 0.25$ 인 경우)

$$h_{\min} = (280 \cdot X + 180) = (280 \times 0.130 + 180) = 216.4 \text{ mm} < 220.0 \text{ mm} \quad \therefore h_{\text{req}} = 300.0 \text{ mm}$$

$$h_{\text{use}} = 300.0 \text{ mm} > h_{\text{req}} = 216.4 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K}$$

⑩ 단면검토

㉠ 검토조건

설계기준강도 (f_{ck}) = 27.0MPa , 인장철근 항복강도 (f_y) = 400.0MPa

단면폭(b) = 1000mm , 단면높이(h) = 300mm

철근 피복두께(d_c) = 60mm , 유효깊이(d) = 240mm

사용철근량(A_s) = H16@126 = 1580.0mm²

⑪ 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_{ck} \cdot b} = \frac{1580.0 \times 400.0}{0.85 \times 27.0 \times 1000.0} = 27.537 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \left\{ A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \right\} \\ &= 0.85 \times 1580.0 \times 400.0 \times \left(240.0 - \frac{27.537}{2} \right) = 121.528 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

㉠ 휨모멘트 검토

$$\phi M_n = 121.528 \text{ kN}\cdot\text{m} > M_u = 56.649 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \therefore \text{O.K}$$

⑫ 사용성(균열) 검토

$$\textcircled{㉠} \text{탄성계수비}(n) = E_s / E_c = 7.193$$

$$\textcircled{㉡} \text{중립축 거리}(\chi) = -nA_s/b + nA_s/b \sqrt{1 + 2bd/(nA_s)} = 66.3$$

$$\textcircled{㉢} \text{철근응력}(f_s) = M/[A_s \times (d - \chi/3)] = 32.576/[1580.0 \times (240 - 66.3/3)] = 94.620 \text{ MPa}$$

$$\textcircled{㉣} \text{최소 두께}(c_c) = 60.0 - 16.0/2 = 52.0 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{㉤} \text{인장연단 폭}(s_1) &= 375 \times (210/f_s) - 2.5c_c \\ &= 375 \times (210/94.620) - 2.5 \times 52.0 = 702 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{㉥} \text{인장연단 폭}(s_2) &= 300 \times (210/f_s) \\ &= 300 \times (210/94.620) = 666 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\textcircled{㉦} \text{철근 소요중심간격}(s_a) = \text{Min}(s_1, s_2) = 666 \text{ mm}$$

$$\textcircled{㉧} \text{철근 평균간격 } s = 126.0 \text{ mm} \leq s_a = 666 \text{ mm} \text{이므로, } \therefore \text{O.K}$$

3) 중앙부

① 고정하중

$$\text{철근콘크리트} : 0.250 \text{ m} \times 25.0 \text{ kN/m}^3 = 6.250 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{아스팔트포장} : 0.100 \text{ m} \times 23.0 \text{ kN/m}^3 = 2.300 \text{ kN/m}^2$$

$$\Sigma w_d = 8.550 \text{ kN/m}^2$$

$$M_d = \frac{\Sigma w_d L^2}{16} = \frac{8.550 \times 2.200^2}{16} = 2.586 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

여기서, 계산지간(L) = 2.200m

② 활하중(DB-24 : $P_r = 96 \text{ kN}$)

㉠ 충격계수

$$i = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 2.200} = 0.355 > 0.300 \quad \therefore i = 0.300 \text{ 적용}$$

㉡ 활하중

$$M_{\ell+i} = \frac{(L+0.6)P_r}{9.6} (1+i) = \frac{(2.200+0.6) \times 96}{9.6} \times (1+0.300) = 36.400 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

$$\text{연속 바닥판이므로, } M_{\ell+i} = 0.8 \times 3600 = 29.120 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

③ 원심하중

$$CF = 0.79 \frac{V^2}{R} \% = 0.79 \frac{60^2}{350} (\%) = 8.126 (\%)$$

$$P_{cf} = P_r / E \times CF = 96 / 1.886 \times 8.126 / 100 = 4.137 \text{ kN/m}$$

$$E = 2.4L / (L + 0.6) = 1.886 \text{ m}$$

$$M_{cf} = 4.137 \times 1.800 = 7.447 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

④ 하중조합

㉠ 계수모멘트

$$\blacksquare M_{u1} = 1.3 M_d + 2.15 M_{(\ell + i)} + 1.3 M_{cf} = 75.651 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

㉡ 사용모멘트

$$\blacksquare M = 1.0 M_d + 1.0 M_{(\ell + i)} + 1.0 M_{cf} = 39.153 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

⑤ 바닥판의 최소두께

$$h_{\min} = (30 \cdot L + 130) = (30 \times 2.20 + 130) = 196.0 \text{ mm} < 220.0 \text{ mm} \quad \therefore h_{\text{req}} = 220.0 \text{ mm}$$

$$h_{\text{use}} = 250.0 \text{ mm} > h_{\text{req}} = 220.0 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K}$$

⑥ 단면검토

㉠ 검토조건

$$\text{설계기준강도}(f_{ck}) = 27.0 \text{ MPa}, \quad \text{인장철근 항복강도}(f_y) = 400.0 \text{ MPa}$$

$$\text{단면폭}(b) = 1000 \text{ mm}, \quad \text{단면높이}(h) = 250 \text{ mm}$$

$$\text{철근 피복두께}(d_c) = 40 \text{ mm}, \quad \text{유효깊이}(d) = 210 \text{ mm}$$

$$\text{사용철근량}(A_s) = \text{H16@125} = 1588.8 \text{ mm}^2$$

㉡ 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_{ck} \cdot b} = \frac{1588.8 \times 400.0}{0.85 \times 27.0 \times 1000.0} = 27.692 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \left\{ A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \right\} \\ &= 0.85 \times 1588.8 \times 400.0 \times \left(190.0 - \frac{27.692}{2} \right) = 105.961 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

㉢ 휨모멘트 검토

$$\phi M_n = 105.961 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_u = 75.651 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \therefore \text{O.K}$$

⑦ 사용성(균열) 검토

㉠ 탄성계수비(n) = $E_s / E_c = 7.193$

㉡ 중립축 거리(χ) = $-nA_s/b + nA_s/b\sqrt{1 + 2bd/(nA_s)} = 61.5\text{mm}$

㉢ 철근응력(f_s) = $M/[A_s \times (d - \chi/3)] = 39.153/[1588.8 \times (210.0 - 61.5/3)] = 130.032 \text{ MPa}$

㉣ 최소 두께(c_c) = $40.0 - 16.0/2 = 32.00 \text{ mm}$

㉤ 인장연단 폭(s_1) = $375 \times (210/f_s) - 2.5c_c$
 $= 375 \times (210/130.032) - 2.5 \times 32.00 = 526 \text{ mm}$

㉥ 인장연단 폭(s_2) = $300 \times (210/f_s)$
 $= 300 \times (210/130.032) = 484 \text{ mm}$

㉦ 철근 소요중심간격(s_a) = $\text{Min}(s_1, s_2) = 484 \text{ mm}$

㉧ 철근 평균간격 $s = 125.0 \text{ mm} \leq s_a = 484 \text{ mm}$ 이므로, $\therefore$ O.K

4) 바닥판의 구조검토 결과

강도설계법에 의한 바닥판의 단면검토 결과, 휨강도에 대한 계수모멘트의 최소 안전율이 1.401로 산정되어 바닥판은 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

【표 5-1】 바닥판의 단면검토 결과

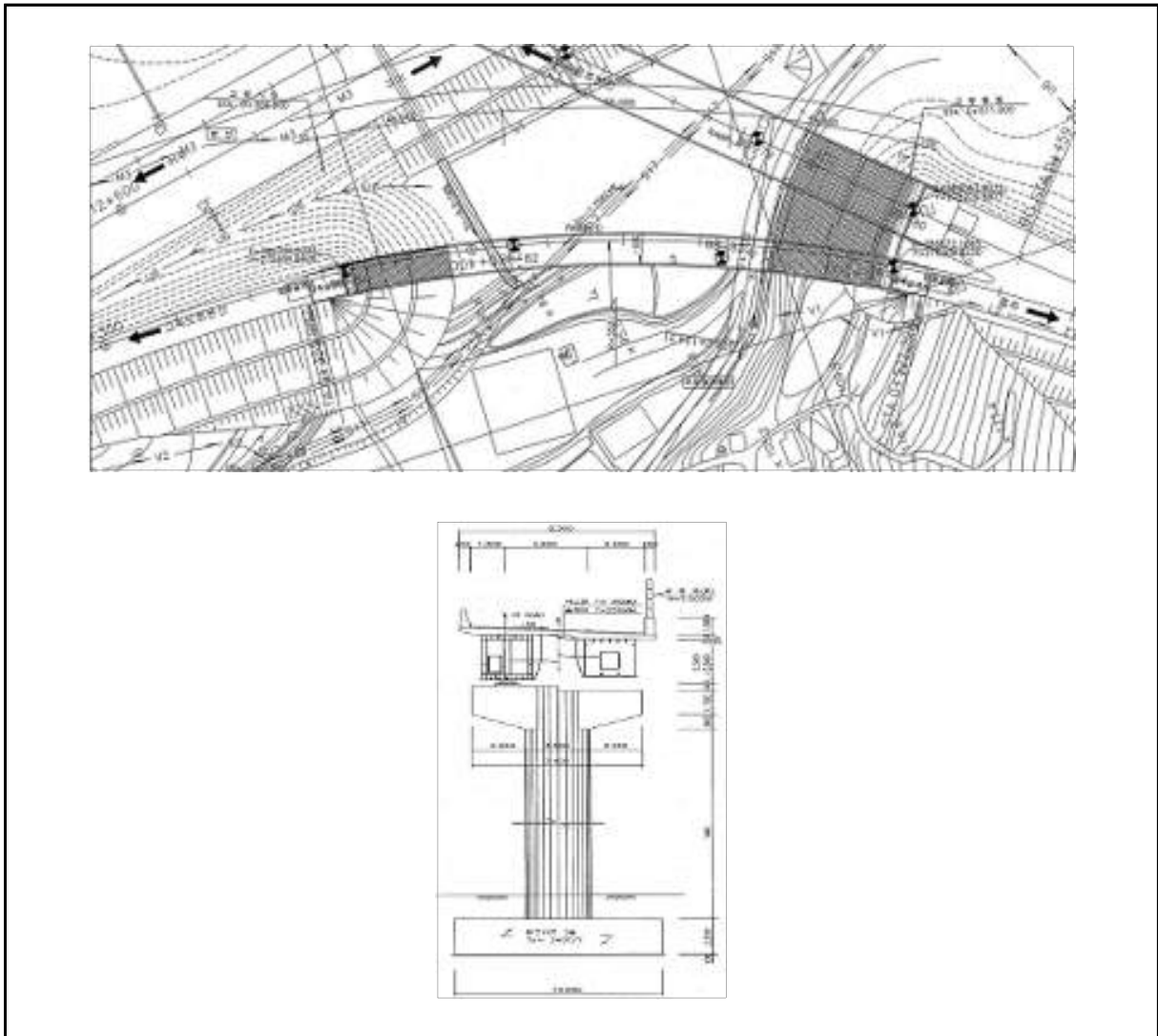
구 분	M_u (kN·m)	ϕM_n (kN·m)	안전율($\phi M_n/M_u$)	검토결과
캔틸레버부(G2측)	70.593	124.314	1.761	O.K
캔틸레버부(G1측)	56.649	121.528	2.145	O.K
중앙부	75.651	105.961	1.401	O.K

【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)	검토 결과
캔틸레버부(G2측)	40.097	109.489	240.000	125.000	554.000	O.K
캔틸레버부(G1측)	32.576	94.620	240.000	125.000	669.000	O.K
중앙부	39.153	130.032	240.000	125.000	484.000	O.K

다. 강박스 거더 구조검토

1) 해석단면



【그림 5-1】 해석단면

2) 하중 산정

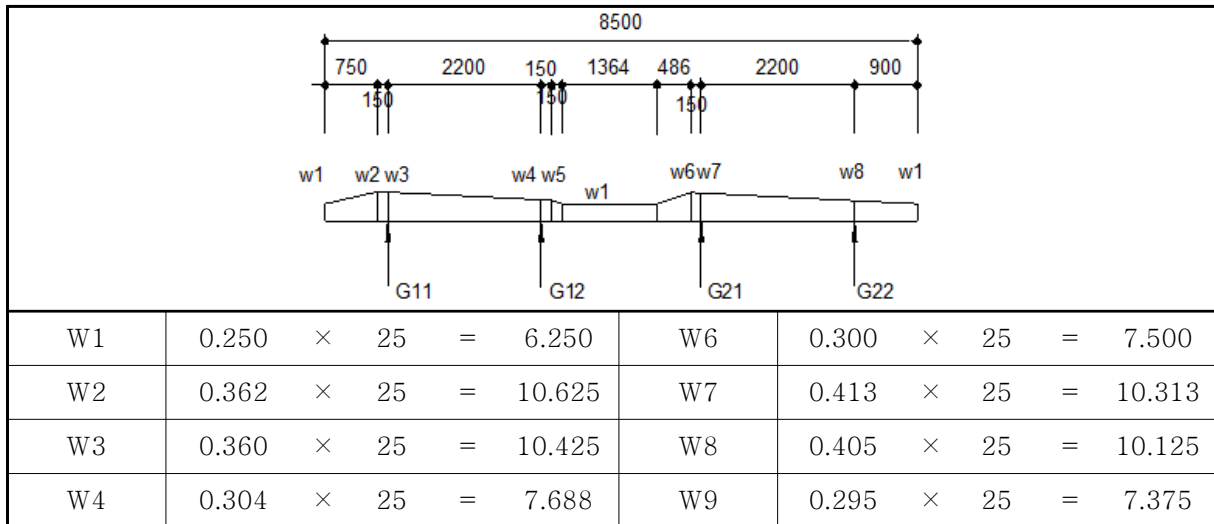
① 합성전 고정하중

㉠ 강재 자중 : 프로그램 내에서 자동 고려

- 각종 보강재 및 현장이음재 등의 부부재 하중으로 주부재 자중을 51.1% 할증 적용
- 총 강재중량 / 모델링 강재중량 = 1.511

㉔ 바닥판 자중

■ 횡방향 하중분배



【그림 5-2】 합성전 바닥판 자중 재하도

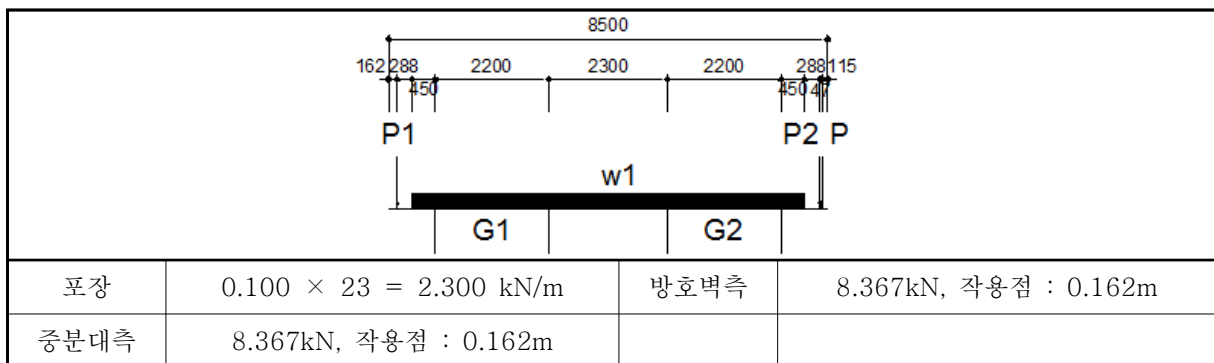
■ 거더별 작용하중

구분	거더폭 (m)	바닥판 자중				기호의 정의
		P1 (kN/m)	P2 (kN/m)	Pt (kN/m)	Mt (kN · m)	
G1	2.200	18.467	16.903	35.370	-1.720	
G2	2.200	18.910	15.155	34.065	-4.131	

② 합성후 고정하중

합성후 고정하중은 콘크리트 바닥판에 의한 횡분배 효과를 반영하기 위하여 2차원 프레임 모델을 사용하여 반력을 산출한 후 그 반력을 3차원 격자모델에 재하하였다.

㉕ 횡방향 하중분배



【그림 5-3】 합성후 고정하중 재하도

㉔ 거더별 작용하중

구분	거더폭 (m)	바닥판 자중				기호의 정의
		P1 (kN/m)	P2 (kN/m)	Pt (kN/m)	Mt (kN · m)	
G1	2.200	11.932	5.175	17.107	-7.433	
G2	2.200	5.175	14.314	19.489	10.053	

③ 활하중

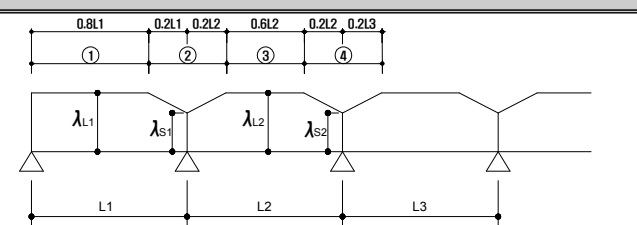
구 분	활하중
• 교 폭	• 8.500m
• 지간장(L)	• 45.000m + 55.000 + 45.000 = 145.000m
• 연석간 교폭(W_c)	• 7.600m
• 설계 차로수(N)	• $6.0\text{m} \leq W_c < 9.1\text{m} \quad \therefore$ 2차로 재하
• 설계 차로폭(W)	• $7.800\text{m} / 2 = 3.800\text{m} > 3.600\text{m}$ 이므로, $\therefore W = 3.600\text{m}$
• 충격계수(i)	• 제1, 3지간 $15 / (40+45) = 0.176 < 0.3 \quad \therefore i = 0.176$ 적용
	• 제2지간 $15 / (40+55) = 0.158 < 0.3 \quad \therefore i = 0.158$ 적용
	• 제1, 2 내부지점 $15 / \{40 + (45.0+55.0)/2\} = 0.166 < 0.3 \quad \therefore i = 0.166$ 적용
• 활하중 크기	표준차로하중(DL-24)
	P_m 108kN
	P_s 156kN
	W_ℓ 12.7kN/m
• 재하방법	표준트럭하중(DB-24)
	P_f 24 kN
	P_r 96 kN
	• 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.

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)

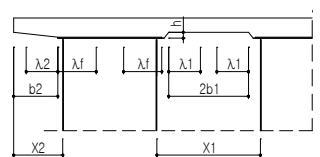
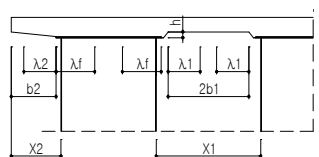
① 플랜지 유효폭

【표 5-3】 플랜지의 유효폭 산정

구 분	플랜지 (m)		비 고
	G1	G2	
제1, 3지간 중양부	2.400	2.400	 상부 : 복부간격 $2b = 2.200\text{m}$, 플랜지돌출폭 $b_e = 0.100\text{m}$ 하부 : 복부간격 $2b = 2.200\text{m}$, 플랜지돌출폭 $b_e = 0.100\text{m}$ $L_1 = 45.00\text{m}$, $L_2 = 55.00\text{m}$, $L_3 = 45.00\text{m}$,
제1, 2중간 지점부	2.175	2.175	
제2지간 중양부	2.400	2.400	

② 바닥판 유효폭

【표 5-4】 바닥판의 유효폭 산정

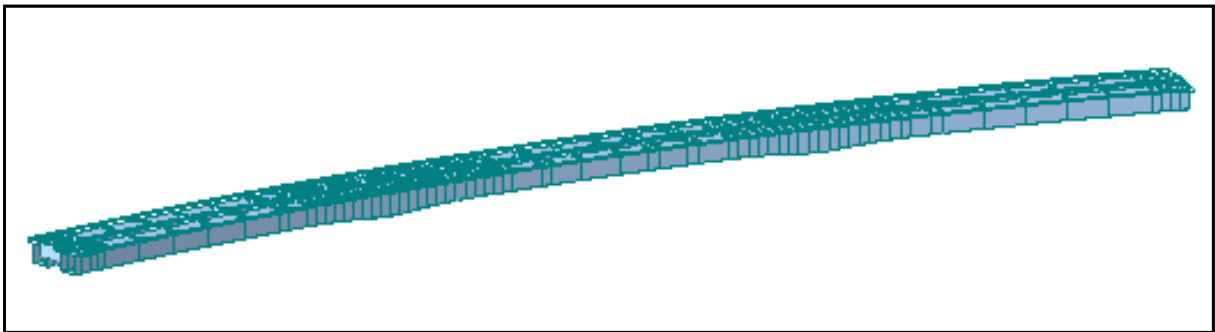
구 분	바닥판 (m)	
	G1	G2
개 요	 $X_1 = 2.300\text{m}$, $X_2 = 0.900\text{m}$ $h = 0.05\text{m}$, $b_e = 0.100\text{m}$	 $X_1 = 2.300\text{m}$, $X_2 = 0.900\text{m}$ $h = 0.05\text{m}$, $b_e = 0.100\text{m}$
제1, 3지간 중양부	4.200	4.200
제1, 2중간 지점부	3.846	3.846
제2지간 중양부	4.200	4.200

4) 모델링 및 단면 제정수

① 모델링

해석모델은 3차원 격자모델을 적용하였으며, 보요소로 이상화된 각 구조요소의 연결은 부재편심(Offset)이 반영되도록 하였다. 또한 시공단계별로 대상교량의 실제 강성과 최대한 근접할 수 있도록 모델링하였으며, 기타 세부내용은 다음과 같다.

- ㉠ 합성전 모델링시 바닥판은 단면의 강성에 기여하는 바 없이 고정하중만을 추가시키는 역할만을 함으로 바닥판에 의한 횡분배 효과는 고려하지 않는 것으로 하였다. 활하중은 해석프로그램 내의 이동하중해석 기능을 사용하였으며 도로교 설계기준을 참조하여 가장 불리한 하중조합이 되도록 설정하였다.
- ㉡ 경계조건은 현장조사시 확인된 각 지점의 가동, 고정상태를 고려하여 설정하였다.

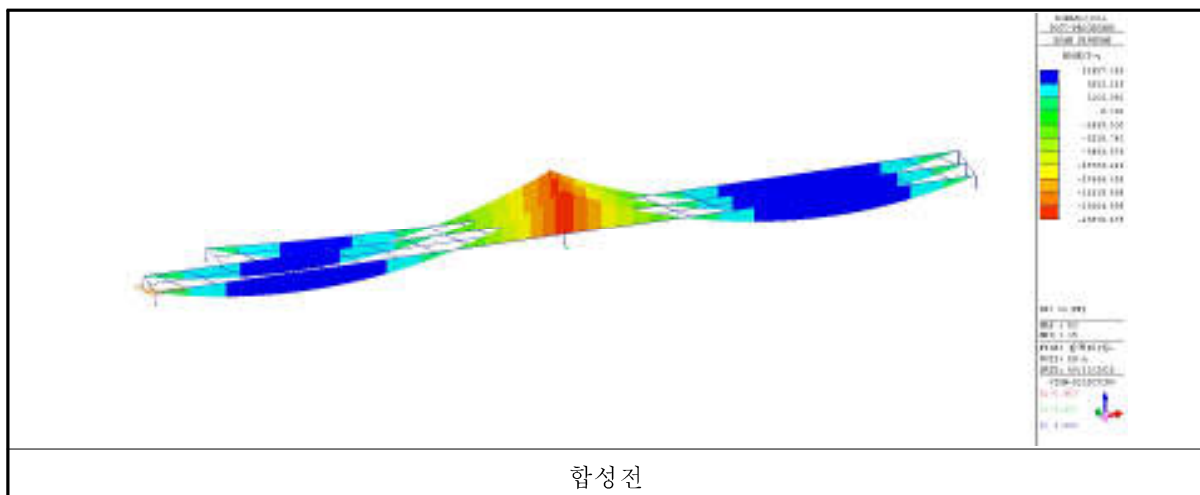


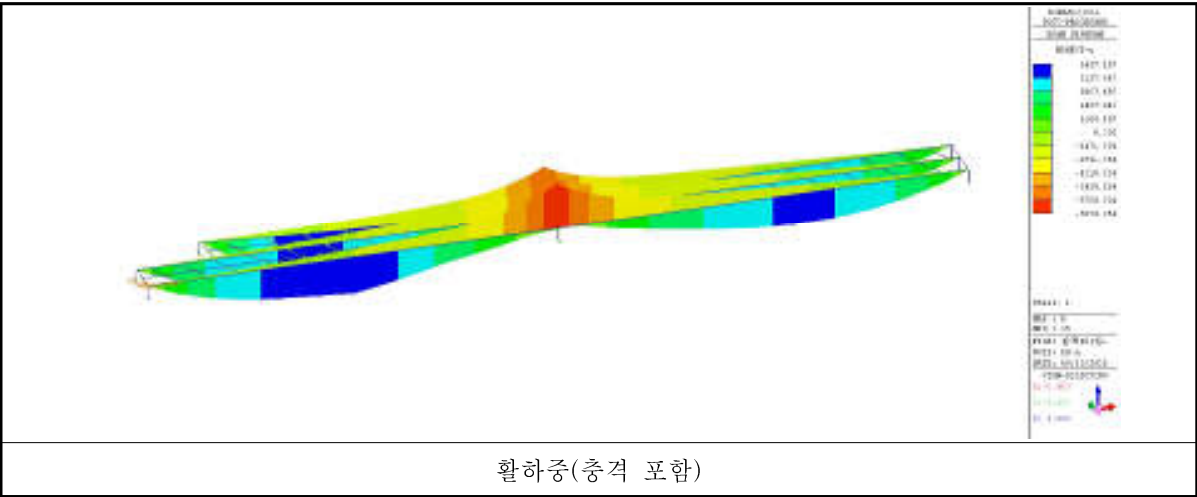
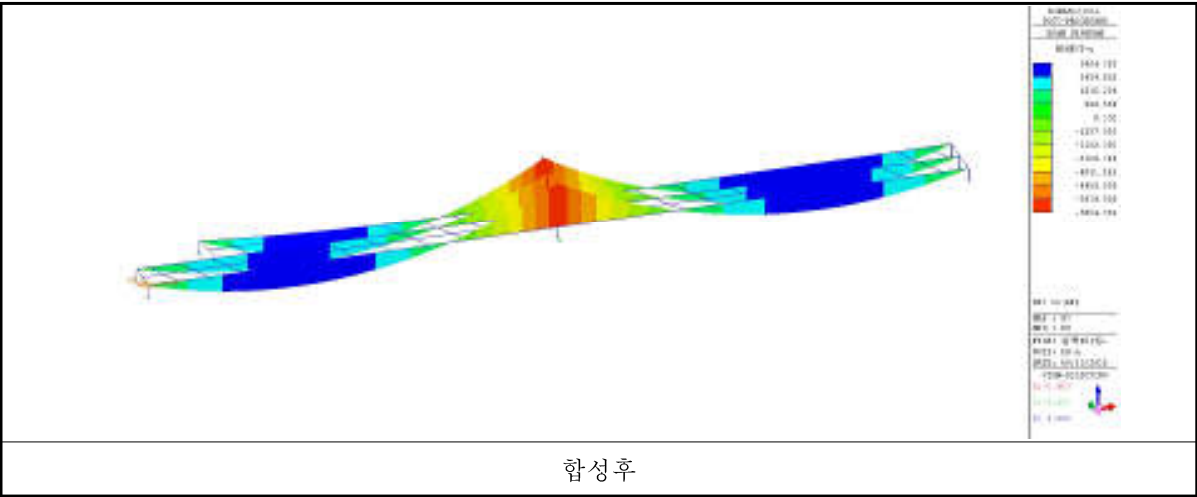
【그림 5-4】 해석모델링

5) 구조해석 결과

① 단면력도

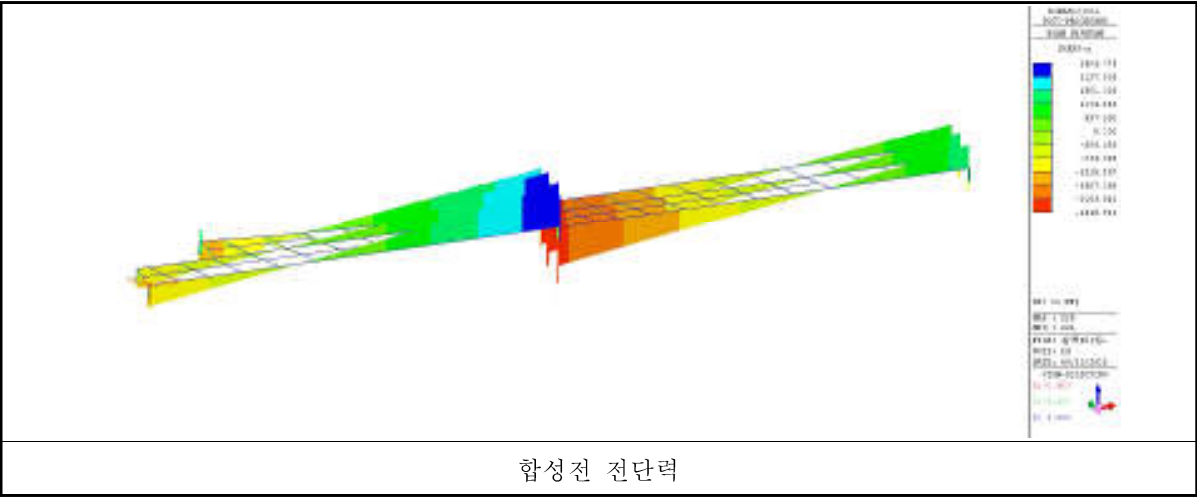
㉠ 휨모멘트

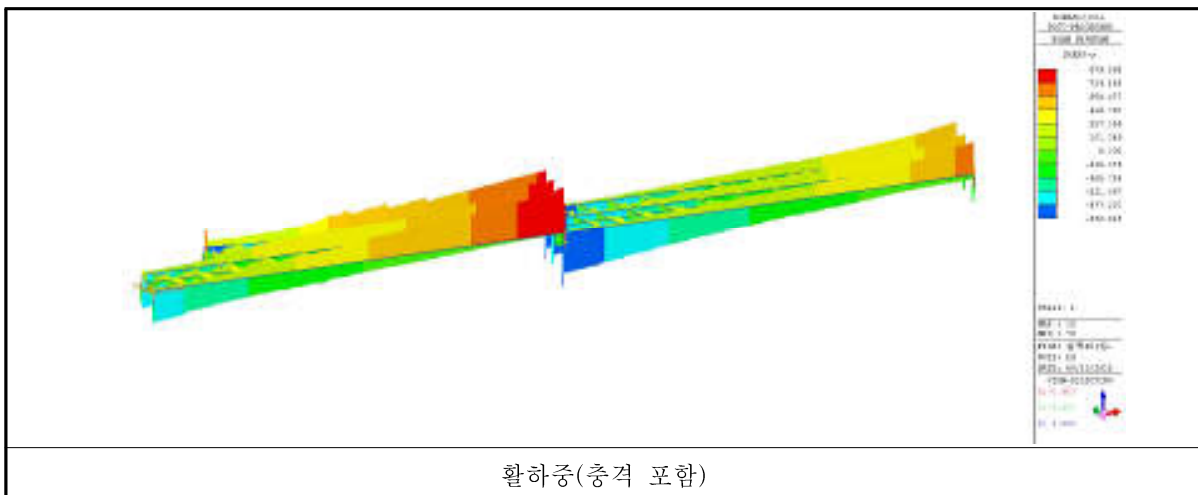
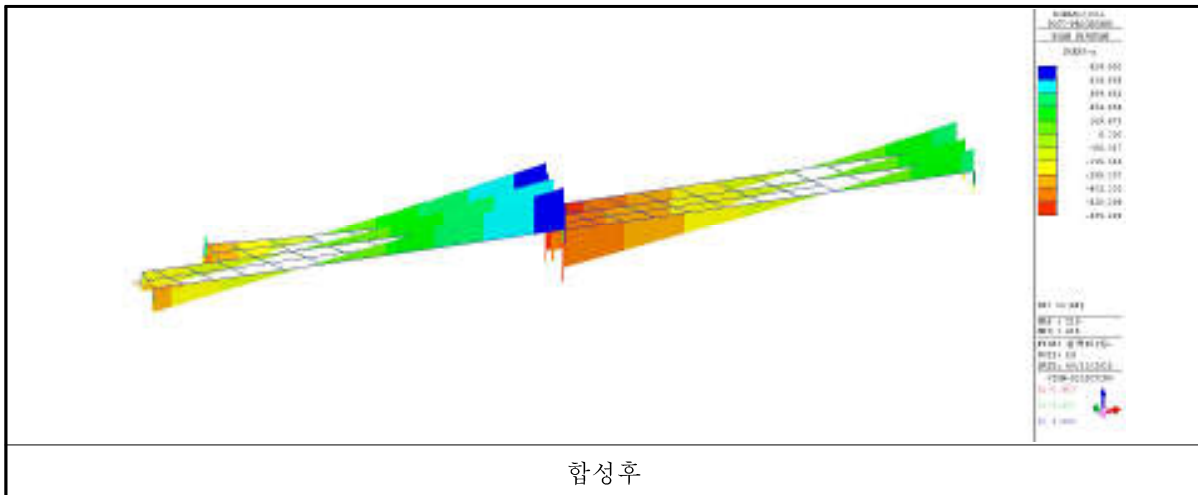




【그림 5-5】 휨모멘트

㉔ 전단력



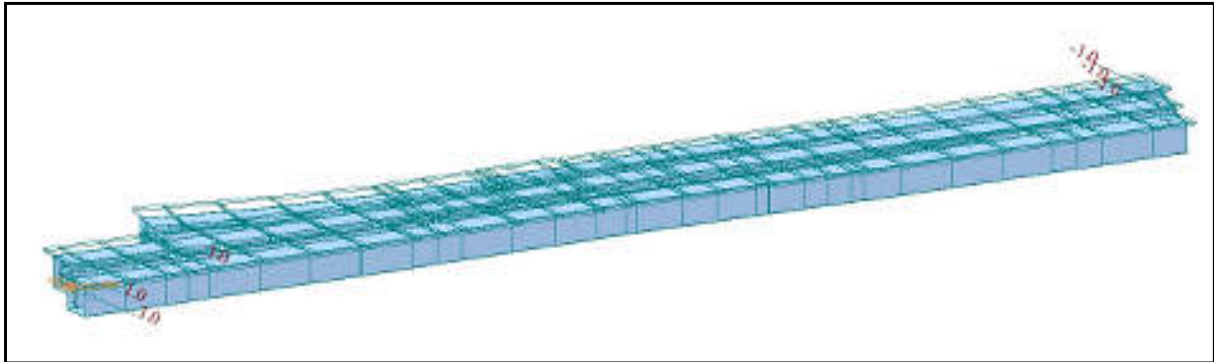


【그림 5-6】 전단력

② 2차 부정정력에 대한 영향 검토

콘크리트-강재 합성형 교량에서는 고정하중과 활하중에 의한 응력 이외에 건조수축, 크리프, 강재-콘크리트 온도차에 의한 응력이 발생한다. 특히, 강합성형교가 2경간 이상의 연속 교일 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 k 라 함)를 구하여 이를 단면의 응력 검토시에 이용하였다.



【그림 5-7】 2차 부정정력에 대한 영향 검토

③ 단면력 산정결과

㉠ 경간(S1~S3) 정모멘트부

【표 5-5】 경간(S1~S3) 정모멘트부 단면력 산정결과

구 분		합 성 전 고정하중	합 성 후 고정하중	활하중 (충격포함)	합 계
S1	휨모멘트(kN · m)	6460.390	2290.140	3564.710	12315.240
	전단력(kN)	-3.540	-1.210	187.870	183.120
	비틀림모멘트(kN · m)	7.160	1.570	121.920	130.650
S2	휨모멘트(kN · m)	5151.080	1755.360	3582.560	10489.000
	전단력(kN)	-0.230	-0.080	229.620	229.310
	비틀림모멘트(kN · m)	-2.760	-0.150	165.850	162.940

㉡ 지점부(P1) 부모멘트부

【표 5-6】 지점부(P1~P2) 부모멘트부 단면력 산정결과

구 분		합 성 전 고정하중	합 성 후 고정하중	활하중 (충격포함)	합 계
P1	휨모멘트(kN · m)	-14660.340	-4835.120	-5395.030	-24890.490
	전단력(kN)	-1471.160	-460.300	-676.600	-2608.060
	비틀림모멘트(kN · m)	-19.290	13.940	-368.680	-374.030

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 경간(S1) 정모멘트부

㉠ S1-G1(단면-150)

■ 휨응력

【표 5-7】 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	60.729	-66.547	190.000	190.000	3.129	2.855
1+2+3	74.937	-123.542	190.000	190.000	2.535	1.538
1+2+3+4	80.680	-122.519	218.500	190.000	2.708	1.551
1+2+3+4+5	100.985	-119.465	218.500	190.000	2.164	1.590
1+2+3+4+5+6	116.092	-116.009	247.000	218.500	2.128	1.883
1+2+3+4+5-6	85.877	-122.921	247.000	218.500	2.876	1.778
1+2+3+4+5+7	101.658	-122.166	237.500	237.500	2.336	1.944
1+2+3+4+5+6+7	116.765	-118.710	256.500	256.500	2.197	2.161
1+2+3+4+5-6+7	86.550	-125.622	256.500	256.500	2.964	2.042

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

■ 전단 및 비틀림

$$\nu = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2 F t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2 F_v t_w)$$

$$= 5.563 \text{ MPa} < \nu_a = 110.000 \text{ MPa} \quad \therefore \text{O.K}$$

■ 합성응력의 검토

◦ 상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{116.092}{247.000}\right)^2 + \left(\frac{5.563}{110.000}\right)^2 = 0.221 + 0.003 = 0.223 < 1.2 \quad \therefore \text{O.K}$$

◦ 하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{-123.542}{-190.000}\right)^2 + \left(\frac{5.563}{110.000}\right)^2 = 0.423 + 0.003 = 0.425 < 1.2 \quad \therefore \text{O.K}$$

㉔ S2-G2(단면-180)

■ 휨응력

【표 5-8】 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	48.421	-53.060	190.000	190.000	3.924	3.581
1+2+3	61.013	-105.712	190.000	190.000	3.114	1.797
1+2+3+4	63.959	-101.349	218.500	190.000	3.416	1.875
1+2+3+4+5	76.184	-82.357	218.500	190.000	2.868	2.307
1+2+3+4+5+6	88.091	-65.913	247.000	218.500	2.804	3.315
1+2+3+4+5-6	64.277	-98.801	247.000	218.500	3.843	2.212
1+2+3+4+5+7	76.636	-84.246	237.500	237.500	3.099	2.819
1+2+3+4+5+6+7	88.543	-67.802	256.500	256.500	2.897	3.783
1+2+3+4+5-6+7	64.729	-100.689	256.500	256.500	3.963	2.547

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

■ 전단 및 비틀림

$$\nu = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 F t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 F_v t_w)$$

$$= 16.789 \text{ MPa} < \nu_a = 110.000 \text{ MPa} \quad \therefore \text{O.K}$$

■ 합성응력의 검토

◦ 상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{88.091}{247.000}\right)^2 + \left(\frac{6.917}{110.000}\right)^2 = 0.127 + 0.004 = 0.131 < 1.2 \quad \therefore \text{O.K}$$

◦ 하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{-105.712}{-190.000}\right)^2 + \left(\frac{6.917}{110.000}\right)^2 = 0.310 + 0.004 = 0.314 < 1.2 \quad \therefore \text{O.K}$$

㉔ S3-G2(단면-95)

■ 휨응력

【표 5-9】 경간(S3) 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	44.854	-41.393	190.000	190.000	4.236	4.590
1+2+3	57.309	-94.419	190.000	190.000	3.315	2.012
1+2+3+4	61.211	-93.569	218.500	190.000	3.570	2.031
1+2+3+4+5	84.418	-89.204	218.500	190.000	2.588	2.130
1+2+3+4+5+6	100.693	-84.824	247.000	218.500	2.453	2.576
1+2+3+4+5-6	68.143	-93.584	247.000	218.500	3.625	2.335
1+2+3+4+5+7	84.460	-89.381	237.500	237.500	2.812	2.657
1+2+3+4+5+6+7	100.735	-85.001	256.500	256.500	2.546	3.018
1+2+3+4+5-6+7	68.185	-93.760	256.500	256.500	3.762	2.736

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

■ 전단 및 비틀림

$$\nu = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2 F t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2 F_v t_w)$$

$$= 11.183 \text{ MPa} < \nu_a = 110.000 \text{ MPa} \quad \therefore \text{O.K}$$

■ 합성응력의 검토

◦ 상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{100.693}{247.000}\right)^2 + \left(\frac{11.183}{110.000}\right)^2 = 0.166 + 0.010 = 0.177 < 1.2 \quad \therefore \text{O.K}$$

◦ 하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{-94.419}{-190.000}\right)^2 + \left(\frac{11.183}{110.000}\right)^2 = 0.247 + 0.010 = 0.257 < 1.2 \quad \therefore \text{O.K}$$

② 지점부 부모멘트부

㉠ P1-G1(단면-19)

■ 휨응력

【표 5-10】 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	-88.100	78.392	190.00	190.00	2.157	2.424
1+2+3	-153.870	142.755	190.00	190.00	1.235	1.331
1+2+3+4	-159.583	134.339	190.00	190.00	1.191	1.414
1+2+3+4+5	-149.660	149.517	190.00	190.00	1.270	1.271
1+2+3+4+5+6	-135.462	168.807	218.50	218.50	1.613	1.294
1+2+3+4+5-6	-163.857	130.227	218.50	218.50	1.333	1.678
1+2+3+4+5+7	-156.822	156.526	256.50	256.50	1.636	1.639
1+2+3+4+5+6+7	-142.624	175.816	256.50	256.50	1.798	1.459
1+2+3+4+5-6+7	-171.020	137.236	256.50	256.50	1.500	1.869

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

■ 전단 및 비틀림

$$\nu = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 F t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 F_v t_w)$$

$$= 21.671 \text{ MPa} < \nu_a = 110.000 \text{ MPa} \therefore \text{O.K}$$

■ 합성응력의 검토

◦ 상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{-159.583}{190.000}\right)^2 + \left(\frac{21.671}{110.000}\right)^2 = 0.705 + 0.039 = 0.744 < 1.2 \therefore \text{O.K}$$

◦ 하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{149.517}{190.000}\right)^2 + \left(\frac{21.671}{110.000}\right)^2 = 0.619 + 0.039 = 0.658 < 1.2 \therefore \text{O.K}$$

7) 강박스 거더의 안전성 검토결과

① 휨응력

【표 5-11】 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	100.985	-123.542	218.500	190.000	2.128	1.538	O.K
	S2-G2	88.091	-105.712	247.00	-190.00	2.804	1.797	O.K
부모멘트부	P1	-159.583	149.517	190.00	190.00	1.191	1.271	O.K

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

② 전단응력

【표 5-12】 강박스 거더의 전단응력 검토결과

구 분		전 단 응 력		안전율	검토결과
		작용응력(MPa)	허용응력(MPa)		
정모멘트부	S1-G2	5.563	110.000	19.774	O.K
	S2-G2	6.917	110.000	15.903	O.K
부모멘트부	P1	21.671	110.000	5.076	O.K

허용응력법에 의한 강박스 거더의 응력 검토결과, 거더 상·하연에 발생하는 최대응력은 허용응력 이내(휨응력 : 1.191, 전단응력 : 5.076)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 0.131~0.744 사이로 허용기준치 1.2를 넘지 않은 것으로 검토되었다. 실제 교량의 현장여건을 고려한 공용차로(1차로~3차로 재하)에 의한 합성응력을 검토한 결과 허용기준치인 1.2에 만족하는 것으로 분석되었으며, 현장조사를 통한 비파괴시험 및 외관조사결과 지점부 강박스 거더의 특이손상은 발생되지 않은 양호한 상태로 판단된다.

라. 교량받침용량 검토

【표 5-13】 교량받침용량 검토

구 분		합성전고정하중 (kN)		합성후 고정하중 (kN)	활하중(kN)	합 계(kN)	받침 용량 (kN)	검토 결과
		Steel	Concrete					
A1	Sh01	277.306	643.511	287.902	673.536	1882.255	3000	O.K
	Sh02	228.057	456.122	292.759	600.019	1576.957	3000	O.K
P1	Sh01	1000.075	2010.098	911.081	1383.161	5304.415	9000	O.K
	Sh02	1028.903	1857.546	1124.859	1405.055	5416.363	9000	O.K
P2	Sh01	999.7	2009.351	910.563	1375.557	5295.171	9000	O.K
	Sh02	1028.101	1855.672	1124.005	1401.791	5409.569	9000	O.K
A2	Sh01	276.647	641.882	287.227	667.822	1873.578	3000	O.K
	Sh02	228.178	456.33	292.699	600.048	1577.255	3000	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

$$\textcircled{1} \text{ 내하율(RF)} = \frac{f_a - (f_d + f_{ps} + f_{cs})}{f_\ell (1 + i)}$$

$$\textcircled{2} \text{ 기본 내하력(P)} = \text{RF} \times P_r$$

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

$$\textcircled{1} \text{ 내하율(RF)} = \frac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_\ell M_\ell (1 + i)}$$

$$\textcircled{2} \text{ 기본 내하력(P)} = \text{RF} \times P_r$$

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. 강박스 거더

【표 5-14】 허용응력법에 의한 강박스 거더의 내하력평가 결과

구 분		응력(MPa)			기본내하율 (RF)	기본내하력
		고정하중	활하중	허용응력		
S1-G2 정모멘트 최대	상연	65.486	9.451	190.000	13.175	DB-24이상
	하연	-85.629	-37.914	-190.000	2.753	"
S2-G2 정모멘트 최대	상연	51.870	9.142	190.000	15.109	"
	하연	-67.483	-38.229	-190.000	3.205	"
S1-G2 부모멘트 최대	상연	-113.855	-40.015	-190.000	1.903	"
	하연	103.596	39.159	190.000	2.206	"

【표 5-15】 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 (G2측)	124.314	1.3	10.146	2.15	17.495	2.954	DB-24 이상
캔틸레버부 (G1측)	121.528	1.3	8.246	2.15	13.042	3.952	"
중앙부 바닥판	105.961	1.3	2.586	2.15	29.120	1.639	"

라. 검토결과

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

마. 기 진단결과와의 비교 · 분석

1) 강박스 거더 내하력평가 결과

금회 강박스 거더는 허용응력법에 의해 내하력을 평가하였으며 2012년 정밀안전진단 결과와 금회 내하력평가 결과를 비교하여 수록하였으며, 기본내하력의 변화는 없는 것으로 분석되었다.

① 2012년 정밀안전진단 결과

【표 5-16】 2012년 강박스 거더의 내하력평가 결과

구 분			응력(MPa)			기본내하율 (RF)	기본내하력
			고정하중	활하중	허용응력		
거더 G1	제1지간 중앙부	상연	65.486	9.451	190.000	13.175	DB-24이상
		하연	-85.629	-37.914	-190.000	2.753	"
	제2지간 중앙부	상연	51.870	9.142	190.000	15.109	"
		하연	-67.483	-38.229	-190.000	3.205	"
	제1지간 지점부	상연	-113.855	-40.015	-190.000	1.903	"
		하연	103.596	39.159	190.000	2.206	"

② 금회 정밀안전진단 결과

【표 5-17】 금회 강박스 거더의 내하력평가 결과

구 분		응력(MPa)			기본내하율 (RF)	기본내하력
		고정하중	활하중	허용응력		
S1- G2 정모멘트 최대	상연	65.486	9.451	190.000	13.175	DB-24이상
	하연	-85.629	-37.914	-190.000	2.753	"
S2-G2 정모멘트 최대	상연	51.870	9.142	190.000	15.109	"
	하연	-67.483	-38.229	-190.000	3.205	"
S1-G2 부모멘트 최대	상연	-113.855	-40.015	-190.000	1.903	"
	하연	103.596	39.159	190.000	2.206	"

2) 바닥판 내하력평가 결과

금회 바닥판은 강도설계법에 의해 내하력을 평가하였으며 2012년 정밀안전진단 결과와 금회 내하력평가 결과를 비교하여 수록하였으며, 기본내하력의 변화는 없는 것으로 분석되었다.

① 2012년 정밀안전진단 결과

【표 5-18】 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 (G2측)	124.314	1.3	10.146	2.15	17.495	2.954	DB-24 이상
캔틸레버부 (G1측)	122.167	1.3	8.246	2.15	13.042	3.975	
중앙부 바닥판	105.961	1.3	2.586	2.15	29.120	1.639	"

② 금회 정밀안전진단 결과

【표 5-19】 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 (G2측)	124.314	1.3	10.146	2.15	17.495	2.954	DB-24 이상
캔틸레버부 (G1측)	122.167	1.3	8.246	2.15	13.042	3.975	
중앙부 바닥판	105.961	1.3	2.586	2.15	29.120	1.639	"

5.4 하부구조 안전성 평가

외관 및 내구성조사 결과, 지금까지 공용기간 중 하부구조에 구조적인 손상이나 부등침하, 전도 및 활동 등의 이상 징후는 없는 상태이며 상기 조사결과와 구체 및 기초형식, 제원, 상부 하중, 발생한 손상 등을 감안하여 교대, 교각에 대해서 도로교 설계기준(2010)에 따라 하부구조 안전성 검토를 실시하였다.(자세한 계산과정은 부록 참조)

5.4.1 교대(A1) 구조검토

가. 검토조건

- ① 일반조건
- ② 하부구조형식 : 역T형 교대
- ③ 상부구조형식 : 강박스 거더교
- ④ 교량등급 : 1등교(DB-24, DL-24)
- ⑤ 교대총폭 : $B=12.906\text{m}$
- ⑥ 교대총높이 : $H=11.860\text{m}$
- ⑦ 기초형식 : 말뚝기초
- ⑧ SKEW : 20.000°

2) 하중

- ① 철근콘크리트의 단위중량 : $\gamma_c = 25.000\text{kN/m}^3$
- ② 뒷채움재의 단위중량 : $\gamma_{s1} = 10.000\text{kN/m}^3$ (토사)
- ③ 기초지반의 단위중량 : $\gamma_{s2} = 20.000\text{kN/m}^3$
- ④ 과재하중 : $q_1 = 10.000\text{kN/m}$
- ⑤ 상부 고정하중 반력 : $R_d = 216.260\text{kN/m}$
- ⑥ 상부 활하중 반력 : $R_1 = 209.502\text{kN/m}$
- ⑦ 교량받침 마찰계수 : $f_s = 0.050$

3) 지반조건

- ① 뒷채움재의 내부마찰각 : $\phi_1 = 35.0^\circ$
- ② 기초지반의 N치 : $N = 50.0$
- ③ 기초지반의 내부마찰각 : $\phi_2 = 42.386^\circ$ ($\phi_2 = 15 + \sqrt{15N}$)
- ④ 기초지반의 점착력 : $C = 0.000\text{kN/m}^2$
- ⑤ 기초지반의 마찰계수 : $\mu = 0.327$ ($\tan(2/3\phi_2)$) : 흙과 콘크리트

4) 사용재료

① 콘크리트

㉠ 설계기준강도(f_{ck}) : 24 MPa

㉡ 탄성계수(E_c) : 26,986

② 철근(SD30)

㉠ 항복강도(f_y) : 300 MPa

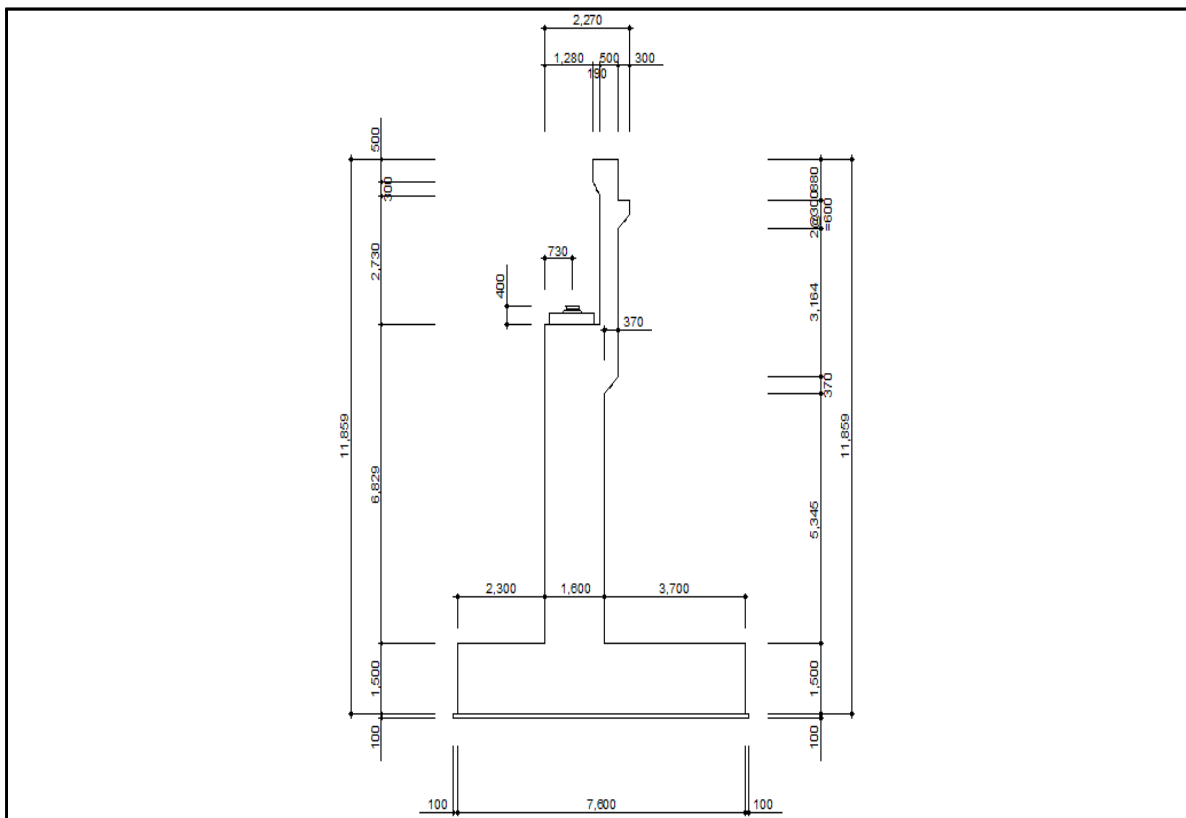
㉡ 탄성계수(E_s) : 200,000 MPa

5) 설계방법

① 안전성검토 : 허용응력설계법

② 단면검토 : 강도설계법

나. 해석단면



【그림 5-8】 해석단면(A1)

1) 하중산정

① 자중(원점 0을 기준으로)

㉠ 교대구체

$$W_c = 24.83\text{m}^2 \times 25.0 = 620.763\text{kN/m}$$

㉡ 뒷채움채

$$W_c = 36.41\text{m}^2 \times 20.0 = 728.131\text{kN/m}$$

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	$1/2 \times 0.2710 \times 20 \times 11.859^2 \times \cos 0.000$	381.109	3.953	1506.525
	배면활하중 토압	$0.2710 \times 10.000 \times 11.859 \times \cos 0.000$	32.137	5.930	190.555

④ 상부구조물 하중

㉠ 상부구조물 하중 집계

구 분		하중산식	P (kN/m)	x(m)	M (kN · m/m)
연직하중	고정하중	3373.650 / 15.600	216.260	3.030	655.267
	활하중	3268.230 / 15.600	209.502	3.030	634.791
	배면활하중	10.000×3.330	33.300	5.935	197.636
수평하중	온도하중	216.260×0.050000	10.813	8.729	94.387

⑤ 하중요약

구 분	V(kN/m)	H(kN/m)	팔길이(m)		Moment(kN/m · m)	
			x	y	Mx	My
교대본체자중	620.763	—	3.516	—	2182.388	—
뒷굽상부토자중	728.131	—	5.837	—	4249.974	—
상부고정하중	216.260	—	3.030	—	655.267	—
상부활하중	209.502	—	3.030	—	634.791	—
수평토압	—	381.109	—	3.953	—	1506.525
배면활하중	33.300	32.137	5.935	5.930	197.636	190.555
온도하중	—	10.813	—	8.729	—	94.387

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	

㉔ 계수하중 조합

구 분	D	Rd	RI	LU	H	G	Q	비 고
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

RI : 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

㉕ 하중조합 결과

하 중 조 합		V(kN/m)	H(kN/m)	Mr (kN/m · m)	Mo (kN/m · m)	비 고
사용하중	LCBS1	1348.895	381.109	6432.362	1506.525	
	LCBS2	1565.154	381.109	7087.628	1506.525	
	LCBS3	1807.956	413.246	7920.055	1697.079	
	LCBS4	1565.154	381.109	7087.628	1506.525	
계수하중	LCBF1	1753.563	647.886	8362.070	2561.092	
	LCBF2	2034.701	647.886	9213.917	2561.092	
	LCBF3	2556.725	702.518	11003.634	2885.035	
	LCBF4	2350.343	716.575	10296.071	3007.738	

2) 안정검토

① 전도에 대한 안정검토

하 중 조 합	$\sum Mr$ (kN · m/m)	$\sum Mo$ (kN · m/m)	SF = $\sum Mr / \sum Mo$	비 고
LCBS1	6432.362	1506.525	4.270 > 2.0	O.K.
LCBS2	7087.628	1506.525	4.705 > 2.0	O.K.
LCBS3	7920.055	1697.079	4.667 > 2.0	O.K.
LCBS4	7087.628	1506.525	4.705 > 2.0	O.K.

② 활동에 대한 안정검토

하 중 조 합	e (m)	Bf'(m)	V (kN/m)	Hu(kN/m)	H (kN/m)	SF = Hu/H	비 고
LCBS1	0.148	7.304	1348.895	809.337	381.109	2.124 > 1.5	O.K.
LCBS2	0.234	7.132	1565.154	939.093	381.109	2.464 > 1.5	O.K.
LCBS3	0.358	6.884	1807.956	1084.774	413.246	2.625 > 1.5	O.K.
LCBS4	0.234	7.132	1565.154	939.093	381.109	2.464 > 1.5	O.K.

③ 지지력에 대한 안정검토

하 중 조 합	e (m)	qmax (kN/m ²)	qmin (kN/m ²)	qu (kN/m ²)	S.F.	qa (kN/m ²)	qult (kN/m ²)	비 고
LCBS1	0.148	276.458	234.914	20167.207	3.0	6722.402	600.000	O.K.(2.170)
LCBS2	0.234	322.211	246.072	19929.498	3.0	6643.166	600.000	O.K.(1.862)
LCBS3	0.358	383.325	248.853	19582.967	3.0	6527.656	600.000	O.K.(1.565)
LCBS4	0.234	322.211	246.072	19929.498	3.0	6643.166	600.000	O.K.(1.862)

3) 교대 단면력에 대한 검토

① 연직벽

㉠ 단면력 산정

구 분		하중산식	P (kN/m)	x(m)	M (kN · m/m)
상 시	수평토압	$1/2 \times 0.2508 \times 20 \times 10.3592 \times \cos 11.667$	263.622	3.453	910.286
	배면활하중 토압	$0.2508 \times 10.000 \times 10.359 \times \cos 11.667$	25.449	5.180	131.811
	온도하중	216.260×0.050000	10.813	7.229	78.167

㉡ 하중조합

구 분		D	H	Rd	Rl	LU	G	V(kN/m)	M (kN · m/m)
사용하중	LCBS1	1	1	0	0	0	0	263.622	910.286
	LCBS2	1	1	1	0	1	0	263.622	910.286
	LCBS3	1	1	1	1	1	0	289.070	1042.097
	LCBS4	1	1	1	1	1	1	263.622	910.286
	Max							289.070	1042.097
계수하중	LCBF1	1.3	1.7	0	0	0	0	448.157	1547.487
	LCBF2	1.3	1.7	1.3	0	0	0	448.157	1547.487
	LCBF3	1.3	1.7	1.3	2.15	2.15	0	491.420	1771.565
	LCBF4	1.3	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	505.477	1873.183
	Max							505.477	1873.183

② 흙벽

㉠ 단면력 산정

구 분	하중산식	P (kN/m)	x(m)	M (kN · m/m)
수평토압	$1/2 \times 0.2508 \times 20 \times 3.5302 \times \cos 11.667$	30.612	1.177	36.020
윤하중	11.46×0.2508	28.747	3.170	91.129

㉡ 하중조합

구 분		D	H	Rd	Rl	LU	G	V(kN/m)	M (kN · m/m)
사용하중	LCBS1	1	1	0	0	0	0	30.612	36.020
	LCBS2	1	1	1	0	1	0	30.612	36.020
	LCBS3	1	1	1	1	1	0	59.360	127.149
	LCBS4	1	1	1	1	1	1	30.612	36.020
	Max							59.360	127.149
계수하중	LCBF1	1.3	1.7	0	0	0	0	52.041	61.235
	LCBF2	1.3	1.7	1.3	0	0	0	52.041	61.235
	LCBF3	1.3	1.7	1.3	2.15	2.15	0	100.911	216.154
	LCBF4	1.3	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	100.911	216.154
	Max							100.911	216.154

③ 압굽

㉠ 단면검토를 위한 부재력

구 분		D	H	Rd	Rl	LU	G	V(kN/m)	M (kN · m/m)
사용하중	LCBS1	1	1	0	0	0	0	142.468	414.120
	LCBS2	1	1	1	0	1	0	181.802	525.906
	LCBS3	1	1	1	1	1	0	233.697	671.988
	LCBS4	1	1	1	1	1	1	181.802	525.906
	Max							233.697	671.988
계수하중	LCBF1	1.3	1.7	0	0	0	0	234.875	670.523
	LCBF2	1.3	1.7	1.3	0	0	0	286.010	815.844
	LCBF3	1.3	1.7	1.3	2.15	2.15	0	390.515	1111.114
	LCBF4	1.3	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	369.867	1049.380
	Max							390.515	1111.114

④ 뒷굽

㉠ 단면검토를 위한 부재력

구 분		D	H	Rd	Rl	LU	G	V(kN/m)	M (kN · m/m)
사용하중	LCBS1	1	1	0	0	0	0	249.622	548.092
	LCBS2	1	1	1	0	1	0	177.180	433.290
	LCBS3	1	1	1	1	1	0	147.652	417.222
	LCBS4	1	1	1	1	1	1	177.180	433.290
	Max							249.622	548.092
계수하중	LCBF1	1.3	1.7	0	0	0	0	443.362	1001.934
	LCBF2	1.3	1.7	1.3	0	0	0	349.188	852.692
	LCBF3	1.3	1.7	1.3	2.15	2.15	0	268.790	776.962
	LCBF4	1.3	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	350.036	927.339
	Max							443.362	1001.934

⑤ 각 부재별 단면검토

구 분	d(mm)	사용철근량(mm ²)	M _u (kN · m)	Φ M _n (kN · m)	Φ M _n / M _u
연직벽체	1500	D32-10EA=7942.0	1873.183	2921.599	O.K.(1.560)
홍벽	400	D19-10EA=2865.0	216.154	284.885	O.K.(1.318)
압굽	1400	D29-10EA=6424.8	1111.114	2215.011	O.K.(1.994)
뒷굽	1400	D29-10EA=6424.8	1001.934	2215.334	O.K.(2.211)

4) 검토결과

각 부재별 단면검토 결과 최소안전율 1.318로 나와 구조적인 안전성을 확보한 것으로 판단된다.

기초 안정에 대한 검토 결과 최소 안전율 1.565로 나와 안전한 것으로 판단된다.

5.4.2 교대(A2) 구조검토

가. 검토조건

- ① 일반조건
- ② 하부구조형식 : 역T형 교대
- ③ 상부구조형식 : 강박스 거더교
- ④ 교량등급 : 1등급(DB-24, DL-24)
- ⑤ 교대총폭 : $B=15.600\text{m}$
- ⑥ 교대총높이 : $H=11.859\text{m}$
- ⑦ 기초형식 : 말뚝기초
- ⑧ SKEW : 20.000°

2) 하중

- ① 철근콘크리트의 단위중량 : $\gamma_c = 25.000\text{kN/m}^3$
- ② 뒹채움재의 단위중량 : $\gamma_{s1} = 10.000\text{kN/m}^3$ (토사)
- ③ 기초지반의 단위중량 : $\gamma_{s2} = 20.000\text{kN/m}^3$
- ④ 과재하중 : $q_1 = 10.000\text{kN/m}$
- ⑤ 상부 고정하중 반력 : $R_d = 219.828\text{kN/m}$
- ⑥ 상부 활하중 반력 : $R_1 = 211.895\text{kN/m}$
- ⑦ 교량받침 마찰계수 : $f_s = 0.050$

3) 지반조건

- ① 뒹채움재의 내부마찰각 : $\phi_1 = 35.0^\circ$
- ② 기초지반의 N치 : $N = 50.0$
- ③ 기초지반의 내부마찰각 : $\phi_2 = 42.386^\circ$ ($\phi_2 = 15 + \sqrt{15N}$)
- ④ 기초지반의 점착력 : $C = 0.000\text{kN/m}^2$
- ⑤ 기초지반의 마찰계수 : $\mu = 0.327$ ($\tan(2/3\phi_2)$: 흙과 콘크리트)

4) 사용재료

- ① 콘크리트
 - ㉠ 설계기준강도(f_{ck}) : 24 MPa
 - ㉡ 탄성계수(E_c) : 26,986

② 철근(SD30)

㉠ 항복강도(f_y) : 300 MPa

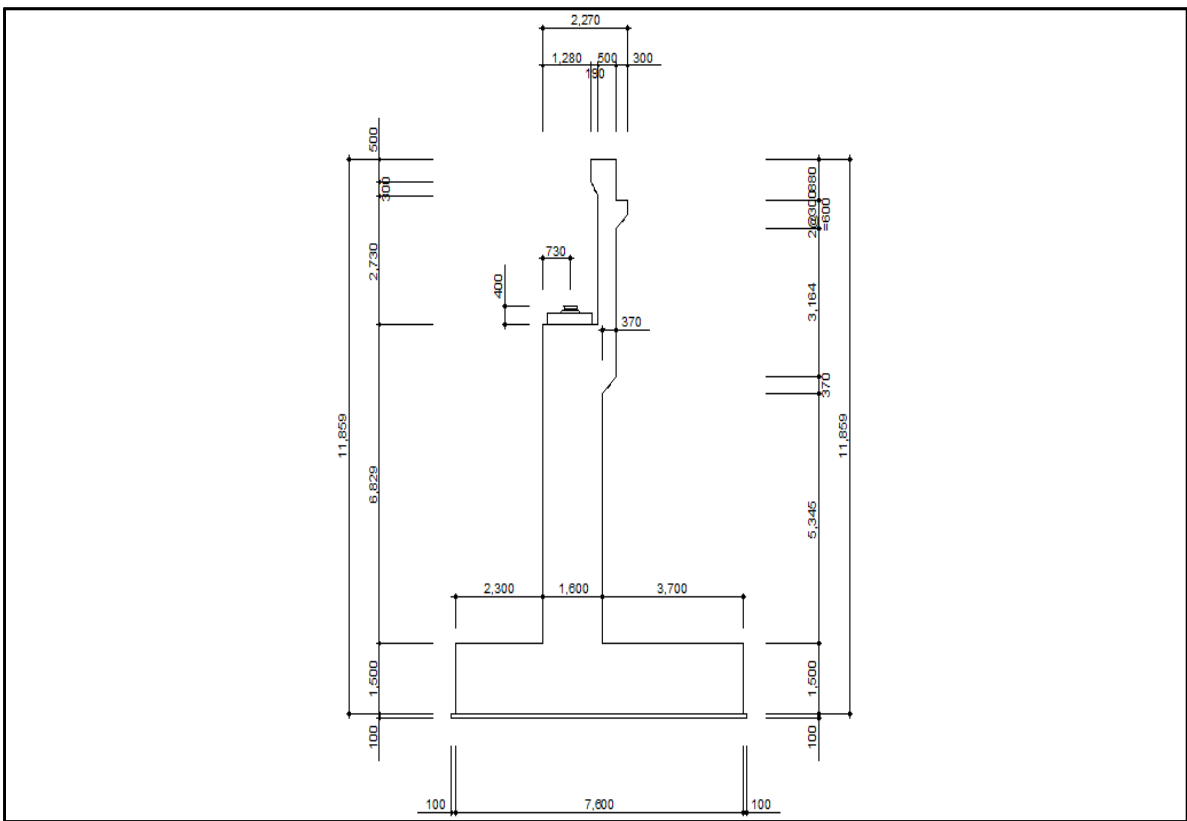
㉡ 탄성계수(E_s) : 200,000 MPa

5) 설계방법

① 안전성검토 : 허용응력설계법

② 단면검토 : 강도설계법

나. 해석단면



【그림 5-9】 해석단면 (A2)

1) 하중산정

① 자중(원점 0을 기준으로)

㉠ 교대구체

$$W_c = 24.83\text{m}^2 \times 25.0 = 620.763\text{kN/m}$$

㉡ 뒷채움채

$$W_c = 36.41\text{m}^2 \times 20.0 = 728.131\text{kN/m}$$

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	$1/2 \times 0.2710 \times 20 \times 11.859^2 \times \cos 0.000$	381.109	3.953	1506.525
	배면활하중 토압	$0.2710 \times 10.000 \times 11.859 \times \cos 0.000$	32.137	5.930	190.555

④ 상부구조물 하중

㉠ 상부구조물 하중 집계

구 분		하중산식	P (kN/m)	x(m)	M (kN · m/m)
연직하중	고정하중	3429.320 / 15.600	219.828	3.030	666.079
	활하중	3305.560 / 15.600	211.895	3.030	642.041
	배면활하중	10.000×3.330	33.300	5.935	197.636
수평하중	온도하중	219.828×0.050000	10.991	8.729	95.944

⑤ 하중요약

구 분	V(kN/m)	H(kN/m)	팔길이(m)		Moment(kN/m · m)	
			x	y	Mx	My
교대본체자중	620.763	—	3.516	—	2182.388	—
뒷굽상부토자중	728.131	—	5.837	—	4249.974	—
상부고정하중	219.828	—	3.030	—	666.079	—
상부활하중	211.895	—	3.030	—	642.041	—
수평토압	—	381.109	—	3.953	—	1506.525
배면활하중	33.300	32.137	5.935	5.930	197.636	190.555
온도하중	—	10.991	—	8.729	—	95.944

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	

㉔ 계수하중 조합

구 분	D	Rd	RI	LU	H	G	Q	비 고
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

RI : 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

㉕ 하중조합 결과

하 중 조 합		V(kN/m)	H(kN/m)	Mr (kN/m · m)	Mo (kN/m · m)	비 고
사용하중	LCBS1	1348.895	381.109	6432.362	1506.525	
	LCBS2	1568.723	381.109	7098.441	1506.525	
	LCBS3	1813.918	413.246	7938.118	1697.079	
	LCBS4	1568.723	381.109	7098.441	1506.525	
계수하중	LCBF1	1753.563	647.886	8362.070	2561.092	
	LCBF2	2039.340	647.886	9227.974	2561.092	
	LCBF3	2566.509	702.518	11033.279	2885.035	
	LCBF4	2358.093	716.807	10319.554	3009.762	

2) 안정검토

① 전도에 대한 안정검토

하 중 조 합	$\sum Mr$ (kN · m/m)	$\sum Mo$ (kN · m/m)	SF = $\sum Mr / \sum Mo$	비 고
LCBS1	6432.362	1506.525	4.270 > 2.0	O.K.
LCBS2	7098.441	1506.525	4.712 > 2.0	O.K.
LCBS3	7938.118	1697.079	4.678 > 2.0	O.K.
LCBS4	7098.441	1506.525	4.712 > 2.0	O.K.

② 활동에 대한 안정검토

하 중 조 합	e (m)	Bf'(m)	V (kN/m)	Hu(kN/m)	H (kN/m)	SF = Hu/H	비 고
LCBS1	0.148	7.304	1348.895	809.337	381.109	2.124 > 1.5	O.K.
LCBS2	0.235	7.129	1568.723	941.234	381.109	2.470 > 1.5	O.K.
LCBS3	0.359	6.881	1813.918	1088.351	413.246	2.634 > 1.5	O.K.
LCBS4	0.235	7.129	1568.723	941.234	381.109	2.470 > 1.5	O.K.

③ 지지력에 대한 안정검토

하 중 조 합	e (m)	qmax (kN/m ²)	qmin (kN/m ²)	qu (kN/m ²)	S.F.	qa (kN/m ²)	qult (kN/m ²)	비 고
LCBS1	0.148	276.458	234.914	16338.510	3.0	5446.170	600.000	O.K.(2.170)
LCBS2	0.235	322.966	246.256	16125.034	3.0	5375.011	600.000	O.K.(1.858)
LCBS3	0.359	384.586	249.161	15817.388	3.0	5272.463	600.000	O.K.(1.560)
LCBS4	0.235	322.966	246.256	16125.034	3.0	5375.011	600.000	O.K.(1.858)

3) 교대 단면력에 대한 검토

① 연직벽

㉠ 단면력 산정

구 분		하중산식	P (kN/m)	x(m)	M (kN · m/m)
상 시	수평토압	$1/2 \times 0.2508 \times 20 \times 10.3592 \times \cos 11.667$	263.622	3.453	910.286
	배면활하중 토압	$0.2508 \times 10.000 \times 10.359 \times \cos 11.667$	25.449	5.180	131.811
	온도하중	219.828×0.050000	10.991	7.229	79.457

㉡ 하중조합

구 분		D	H	Rd	RI	LU	G	V(kN/m)	M (kN · m/m)
사용하중	LCBS1	1	1	0	0	0	0	263.622	910.286
	LCBS2	1	1	1	0	1	0	263.622	910.286
	LCBS3	1	1	1	1	1	0	289.070	1042.097
	LCBS4	1	1	1	1	1	1	263.622	910.286
	Max							289.070	1042.097
계수하중	LCBF1	1.3	1.7	0	0	0	0	448.157	1547.487
	LCBF2	1.3	1.7	1.3	0	0	0	448.157	1547.487
	LCBF3	1.3	1.7	1.3	2.15	2.15	0	491.420	1771.565
	LCBF4	1.3	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	505.709	1874.859
	Max							505.709	1874.859

② 흙벽

㉠ 단면력 산정

구 분	하중산식	P (kN/m)	x(m)	M (kN·m/m)
수평토압	$1/2 \times 0.2508 \times 20 \times 3.5302 \times \cos 11.667$	30.612	1.177	36.020
윤하중	11.46×0.2508	28.747	3.170	91.129

㉡ 하중조합

구 분		D	H	Rd	Rl	LU	G	V(kN/m)	M (kN·m/m)
사용하중	LCBS1	1	1	0	0	0	0	30.612	36.020
	LCBS2	1	1	1	0	1	0	30.612	36.020
	LCBS3	1	1	1	1	1	0	59.360	127.149
	LCBS4	1	1	1	1	1	1	30.612	36.020
	Max							59.360	127.149
계수하중	LCBF1	1.3	1.7	0	0	0	0	52.041	61.235
	LCBF2	1.3	1.7	1.3	0	0	0	52.041	61.235
	LCBF3	1.3	1.7	1.3	2.15	2.15	0	100.911	216.154
	LCBF4	1.3	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	100.911	216.154
	Max							100.911	216.154

③ 압굽

㉠ 단면검토를 위한 부재력

구 분		D	H	Rd	Rl	LU	G	V(kN/m)	M (kN·m/m)
사용하중	LCBS1	1	1	0	0	0	0	142.468	414.120
	LCBS2	1	1	1	0	1	0	182.451	527.750
	LCBS3	1	1	1	1	1	0	234.781	675.070
	LCBS4	1	1	1	1	1	1	182.451	527.750
	Max							234.781	675.070
계수하중	LCBF1	1.3	1.7	0	0	0	0	234.875	670.523
	LCBF2	1.3	1.7	1.3	0	0	0	286.853	818.242
	LCBF3	1.3	1.7	1.3	2.15	2.15	0	392.294	1116.172
	LCBF4	1.3	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	371.444	1053.830
	Max							392.294	1116.172

④ 뒷굽

㉠ 단면검토를 위한 부재력

구 분		D	H	Rd	Rl	LU	G	V(kN/m)	M (kN · m/m)
사용하중	LCBS1	1	1	0	0	0	0	249.622	548.092
	LCBS2	1	1	1	0	1	0	175.985	431.396
	LCBS3	1	1	1	1	1	0	145.655	414.057
	LCBS4	1	1	1	1	1	1	175.985	431.396
	Max							249.622	548.092
계수하중	LCBF1	1.3	1.7	0	0	0	0	443.362	1001.934
	LCBF2	1.3	1.7	1.3	0	0	0	347.634	850.229
	LCBF3	1.3	1.7	1.3	2.15	2.15	0	265.512	771.768
	LCBF4	1.3	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	347.839	924.198
	Max							443.362	1001.934

⑤ 각 부재별 단면검토

구 분	d(mm)	사용철근량(mm ²)	M _u (kN · m)	Φ M _n (kN · m)	Φ M _n / M _u
연직벽체	1500	D32-10EA=7942.0	1874.859	2921.599	O.K.(1.558)
홍벽	400	D19-10EA=2865.0	216.154	284.885	O.K.(1.318)
압굽	1400	D29-10EA=6424.0	1116.172	2215.011	O.K.(1.984)
뒷굽	1400	D29-10EA=6424.0	1001.934	2215.334	O.K.(2.211)

4) 검토결과

각 부재별 단면검토 결과 최소안전율 1.318로 나와 구조적인 안전성을 확보한 것으로 판단된다.

기초 안정에 대한 검토 결과 최소 안전율 1.560로 나와 안전한 것으로 판단된다.

5.4.3 교각(P2) 구조검토

가. 검토조건

1) 일반사항

- ① 하부구조형식 : T형 교각
- ② 상부구조형식 : 강박스 거더교
- ③ 교량등급 : 1등급(DB-24, DL-24)
- ④ 기초형식 : 직접기초

2) 하중

- ① 철근콘크리트의 단위중량 : $\gamma_c = 25.0 \text{ kN/m}^3$
- ② 기초지반의 단위중량 : $\gamma_{s2} = 20.0 \text{ kN/m}^3$
- ③ 교량받침 마찰계수 : $f_s = 0.050$

3) 지반조건

- ① 기초지반의 N치 : $N = 50$
- ② 기초지반의 내부마찰각 : $\phi_2 = 42.386^\circ$ ($\phi_2 = 15 + \sqrt{15N}$)
- ③ 기초지반의 점착력 : $C = 0.0 \text{ kN/m}^2$
- ④ 기초지반의 마찰계수 : $\mu = 0.6$ ($\tan\phi_b = 0.60$, $C_b = 0$:암과 콘크리트)
- ⑤ 기초지반의 최대 허용지지력 : $Q_a = 700 \text{ kN/m}^2$

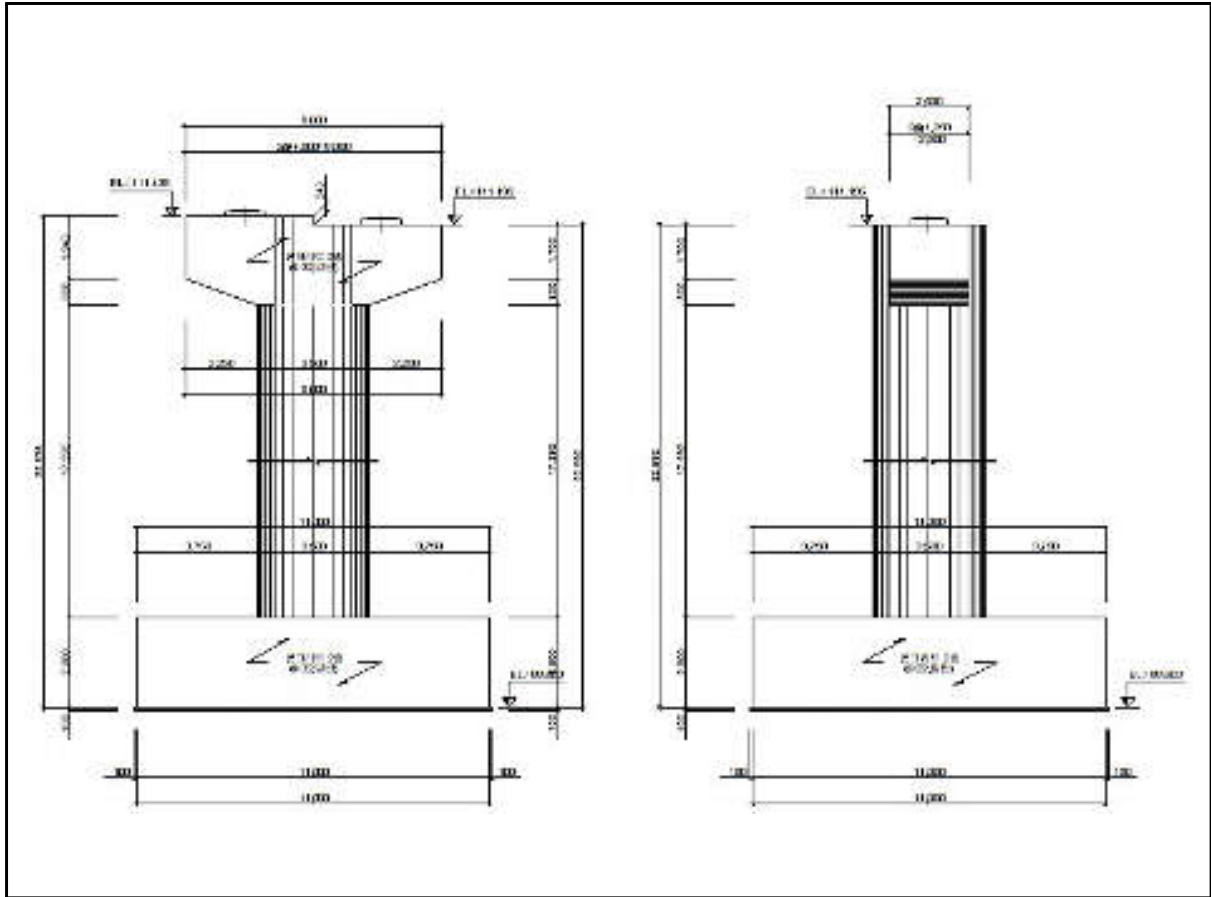
4) 사용재료

- ① 콘크리트
 - ㉠ 설계기준강도(f_{ck}) : 24 MPa(기둥, 기초)
 - ㉡ 탄성계수(E_c) : 26,986MPa(기둥, 기초)
- ② 철근(SD30)
 - ㉠ 항복강도(f_y) : 300 MPa(기둥, 기초)
 - ㉡ 탄성계수(E_s) : 200,000 MPa

5) 설계방법

- ① 안정성검토 : 허용응력설계법
- ② 단면검토 : 강도설계법

나. 해석단면



【그림 5-10】 해석단면(P2)

다. 하중산정

1) 상부반력 및 교각자중

교좌번호	고정하중(kN)	활하중(kN)	합 계	비 고
1	3896.08	1383.16	5279.24	
2	4041.62	1405.06	5446.68	
계	7937.7	2788.22	10725.92	

※ 교각자중은 25.0 kN/m³의 값을 프로그램에서 자동재하

2) 풍하중

① 상부풍하중

$$B/D = 8.500 / 5.310 = 1.601 \quad [1 \leq B/D < 8]$$

$$P = 4.0 - 0.2 \times (B/D) \times D$$

$$= 13.891 \text{ kN/m} > 6 \text{ kN/m} \therefore P = 11.113 \text{ kN/m}$$

$$P_w = 15.632 \times (45.000 + 55.000) / 2 = 781.600 \text{ kN}$$

$$\text{작용위치 } h = 0.400 + 5.310 / 2 = 3.055 \text{ m}$$

$$\text{작용모멘트 } M_x = P_w \times h = 781.600 \times 3.055 = 2387.788 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

② 활하중에 작용하는 풍하중

$$P_{wl} = 1.500 \times (45.000 + 55.000) / 2.0 = 75.000 \text{ kN}$$

$$\text{작용위치 } h = 0.400 + 2.760 + 1.5 = 4.660 \text{ m}$$

$$\text{작용모멘트 } M_y = P_{wl} \times h = 75.000 \times 4.660 = 349.500 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ 하부구조에 작용하는 풍하중

㉠ 교축방향

$$\blacksquare W_{\text{coping}} = 3.000 \times 2.275 = 6.825 \text{ kN/m}$$

$$\blacksquare W_{\text{column}} = 1.500 \times 3.500 = 5.250 \text{ kN/m}$$

㉡ 교축직각방향

$$\blacksquare W_{\text{coping}} = 3.000 \times 2.500 = 7.500 \text{ kN/m}$$

$$\blacksquare W_{\text{column}} = 1.500 \times 3.500 = 5.250 \text{ kN/m (풍상측)}$$

3) 온도하중

① 교축직각방향

연평균 온도변화차 $\Delta T = \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ 적용

② 교축방향

㉠ 상부구조 신축에 의한 수평력

$$P_{T1} = 3EI \delta / H^3 = 3 \times 23080000.000 \times 7.366 \times 1 \text{ EA} \times 0.017 / 19.7923 = 1085.461 \text{ kN}$$

$$\delta = \alpha \times \Delta T \times L = 1.2 \text{ E} - 05 \times 25 \times 55.000 = 0.017 \text{ m} : \text{온도에 의한 신축량}$$

$$H = 19.792 \text{ m}$$

$$I = 7.366 \text{ m}^4$$

㉡ 교좌장치 마찰에 의한 수평력

$$P_{T2} = \mu \times W_d = 0.050 \times 7937.700 = 396.885 \text{ kN}$$

$$W_d = 7937.700 \text{ kN} : \text{전체상부고정하중}$$

$$\mu = 0.050 : \text{Bearing 마찰계수}$$

$$\therefore P_T = \min [P_{T1}, P_{T2}] = 396.885 \text{ kN}$$

4) 차량 충돌하중

① 교축방향

$P_{OL}=500.0\text{kN}$:노면위 1.8m 에서 수평으로 작용

$$h = \text{원지반 EL.} + 1.800 - \text{기초상면 EL.} = 94.140 + 1.800 - 91.403 \\ = 4.537\text{m} : \text{기초상면에서 충돌하중위치까지 높이}$$

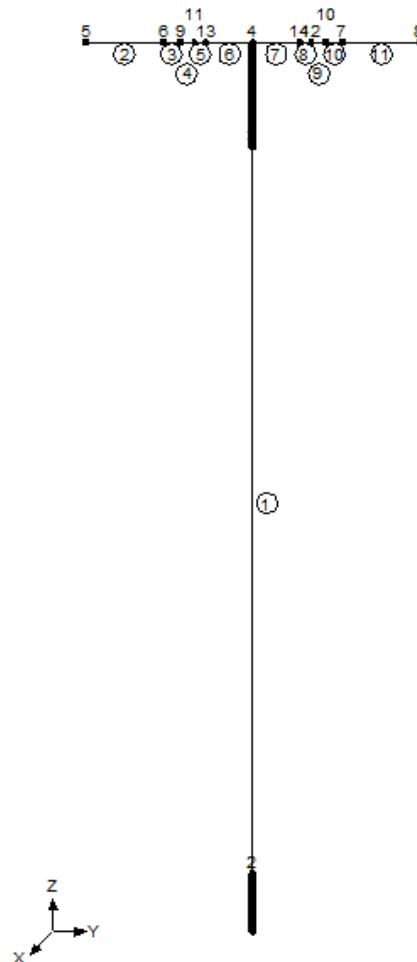
② 교축직각방향

$P_{OT}=1000.0\text{kN}$:노면위 1.8m 에서 수평으로 작용

$$h = \text{원지반 EL.} + 1.800 - \text{기초상면 EL.} = 94.140 + 1.800 - 91.403 \\ = 4.537\text{m} : \text{기초상면에서 충돌하중위치까지 높이}$$

라. 모델링

1) 구조해석 모델



2) 절점정보

Node ID	Y(m)	Z(m)	Node ID	Y(m)	Z(m)
1	0.000	-1.400	2	0.000	0.000
3	0.000	17.292	4	0.000	19.792
5	-4.000	19.792	6	-2.150	19.792
7	2.150	19.792	8	4.000	19.792
9	-1.750	19.792	10	1.750	19.792
11	-1.400	19.792	12	1.400	19.792
13	-1.125	19.792	14	1.125	19.792

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	9.621	7.366	7.366	9.621	7.366	7.366	1
2	4.250	1.024	2.214	5.894	2.731	3.070	2
3	5.894	2.731	3.070	6.250	3.255	3.255	3
4	6.250	3.255	3.255	6.250	3.255	3.255	4,5,8,9
5	6.250	325.521	3.255	6.250	325.521	3.255	6,7
6	6.250	3.255	3.255	5.894	2.731	3.070	10
7	5.894	2.731	3.070	4.250	1.024	2.214	11

4) 하중 조건별 단면력 산출

① 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)		-3346.123	4246.080	0.000	0.000	-3455.277	-4391.620	0.000	0.000
활하중	만재하중	-1037.370	1383.160	0.000	0.000	-1053.795	-1405.080	0.000	0.000
풍하중	W	928.412	-555.300	-23.068	-17.745	-904.975	-555.300	-23.069	17.745
	WL	107.834	-81.279	0.000	0.000	-107.834	-81.279	0.000	0.000
온도하중(GT)		0.000	0.000	-148.832	-198.442	0.000	0.000	-148.832	198.443
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

② 기둥

㉠ 기둥1 상단

구 분		축력 (kN)	교축직각 휨 (kN · m)	교축 휨 (kN · m)	비 고
고정하중(D)		-9075.200	312.911	0.000	
활하중	만재하시	-2788.220	47.085	0.000	
풍하중	W	0.000	4388.663	-74.393	
	WL	0.000	537.000	0.000	
온도하중(GT)		0.000	0.000	-992.213	
건조수축하중(GSH)		0.000	0.000	0.000	
충돌하중(CO)		0.000	0.000	0.000	
원심하중(CF)		0.000	0.000	0.000	
유수압(Q)		0.000	0.000	0.000	

㉡ 기둥1 하단

구 분		축력 (kN)	교축직각 휨 (kN · m)	교축 휨 (kN · m)	비 고
고정하중(D)		-13234.413	312.911	0.000	
활하중	만재하시	-2788.220	47.085	0.000	
풍하중	W	0.000	18993.561	-1783.781	
	WL	0.000	1833.900	0.000	
온도하중(GT)		0.000	0.000	-7855.148	
건조수축하중(GSH)		0.000	0.000	0.000	
충돌하중(CO)		0.000	4537.000	-2268.500	
원심하중(CF)		0.000	0.000	0.000	
유수압(Q)		0.000	0.000	0.000	

③ 기초

㉠ 기초(기둥1)

구 분		축력 (kN)	교축직각 휨 (kN · m)	교축 휨 (kN · m)	교축전단 (kN)	교축직각 전단 (kN)
고정하중(D)		-13234.413	312.911	0.000	0.000	0.000
활하중	만재하중	-2788.220	47.085	0.000	0.000	0.000
풍하중	W	0.000	18993.561	-1783.781	-131.014	-876.764
	WL	0.000	1833.900	0.000	0.000	-75.000
온도하중(GT)		0.000	0.000	-7855.148	-396.885	0.000
건조수축하중(GSH)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
충돌하중(CO)		0.000	4537.000	-2268.500	-500.000	-1000.000
원심하중(CF)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
유수압(Q)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

마. 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

바. 위치별 단면력 정리

1) 코핑 하중조합

① 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	-4383.493	5629.240	0.000	0.000	-4509.072	-5796.680	0.000	0.000
LCBS2	-4383.493	5629.240	-148.832	-198.442	-4509.073	-5796.680	-148.832	198.443
LCBS3	-4383.492	5629.240	148.832	198.442	-4509.072	-5796.680	148.832	-198.443
LCBS4	-3811.452	5270.311	-11.534	-8.872	-5069.394	-6155.609	-11.534	8.873
LCBS5	-4955.533	5988.169	11.534	8.872	-3948.751	-5437.751	11.534	-8.873
LCBS6	-2417.710	3690.780	-23.068	-17.745	-4360.252	-4946.920	-23.069	17.745
LCBS7	-4274.535	4801.380	23.068	17.745	-2550.303	-3836.320	23.069	-17.745
LCBS8	-3811.452	5270.311	-160.366	-207.315	-5069.394	-6155.609	-160.366	207.315
LCBS9	-3811.452	5270.311	137.298	189.570	-5069.394	-6155.609	137.298	-189.570
LCBS10	-4955.533	5988.169	-137.298	-189.570	-3948.751	-5437.751	-137.298	189.570
LCBS11	-4955.533	5988.169	160.366	207.315	-3948.751	-5437.751	160.366	-207.315
LCBS12	-2417.710	3690.780	-171.900	-216.187	-4360.252	-4946.920	-171.900	216.188
LCBS13	-2417.710	3690.780	125.763	180.697	-4360.252	-4946.920	125.763	-180.698
LCBS14	-4274.535	4801.380	-125.763	-180.697	-2550.303	-3836.320	-125.763	180.698
LCBS15	-4274.535	4801.380	171.900	216.187	-2550.303	-3836.320	171.900	-216.188
LCBS16	-4383.493	5629.240	0.000	0.000	-4509.072	-5796.680	0.000	0.000
LCBS17	-3346.123	4246.080	0.000	0.000	-3455.277	-4391.620	0.000	0.000
MAX	4955.533	5988.169	171.900	216.187	5069.394	6155.609	171.900	216.188
MIN	2417.710	3690.780	0.000	0.000	2550.303	3836.320	0.000	0.000

② 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	-6580.305	8493.698	0.000	0.000	-6757.520	-8729.985	0.000	0.000
LCBF2	-3143.023	4798.015	-29.989	-23.068	-5668.328	-6430.995	-29.989	23.069
LCBF3	-5556.895	6241.793	29.989	23.068	-3315.394	-4987.217	29.989	-23.069
LCBF4	-4954.888	6851.405	-14.995	-11.534	-6590.212	-8002.291	-14.995	11.534
LCBF5	-6442.193	7784.619	14.995	11.534	-5133.376	-7069.077	14.995	-11.534
LCBF6	-5698.540	7318.012	-193.481	-257.975	-5861.794	-7535.684	-193.481	257.975
LCBF7	-5698.540	7318.012	193.481	257.975	-5861.794	-7535.684	193.481	-257.975
LCBF8	-3022.138	4613.476	-214.875	-270.234	-5450.315	-6183.649	-214.875	270.234
LCBF9	-3022.138	4613.476	157.204	225.872	-5450.315	-6183.649	157.204	-225.872
LCBF10	-5343.168	6001.724	-157.204	-225.872	-3187.879	-4795.401	-157.204	225.872
LCBF11	-5343.168	6001.724	214.875	270.234	-3187.879	-4795.401	214.875	-270.234
LCBF12	-4764.315	6587.889	-200.458	-259.144	-6336.743	-7694.511	-200.458	259.144
LCBF13	-4764.315	6587.889	171.622	236.962	-6336.743	-7694.511	171.622	-236.963
LCBF14	-6194.416	7485.211	-171.622	-236.962	-4935.939	-6797.189	-171.622	236.963
LCBF15	-6194.416	7485.211	200.458	259.144	-4935.939	-6797.189	200.458	-259.144
LCBF16	-3346.123	4246.080	0.000	0.000	-3455.277	-4391.620	0.000	0.000
LCBF17	-5698.540	7318.012	0.000	0.000	-5861.794	-7535.684	0.000	0.000
LCBF18	-2901.252	4428.937	-27.682	-21.294	-5232.303	-5936.303	-27.682	21.294
LCBF19	-5129.442	5761.655	27.682	21.294	-3060.363	-4603.585	27.682	-21.294
MAX	6580.305	8493.698	214.875	270.234	6757.520	8729.985	214.875	270.234
MIN	2901.252	4246.080	0.000	0.000	3060.363	4391.620	0.000	0.000

③ 기둥

㉠ 기둥1 상단(계수하중조합)

구 분	축력 (kN)	교축직각 휨 (kN · m)	교축 휨 (kN · m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBF1	-17792.433	508.017	0.000	0.000	0.000
LCBF2	-11797.760	6112.046	-96.710	-70.980	-1040.455
LCBF3	-11797.760	-5298.478	96.710	70.980	1040.455
LCBF4	-15422.446	4018.726	-48.355	-35.490	-617.728
LCBF5	-15422.446	-3082.736	48.355	35.490	617.728
LCBF6	-15422.446	467.995	-1289.876	-515.951	0.000
LCBF7	-15422.446	467.995	1289.876	515.951	0.000
LCBF8	-11344.000	5876.967	-1333.256	-564.356	-1000.438
LCBF9	-11344.000	5876.967	1147.275	427.856	-1000.438
LCBF10	-11344.000	-5094.690	-1147.275	-427.856	1000.438
LCBF11	-11344.000	-5094.690	1333.256	564.356	1000.438
LCBF12	-14829.275	3864.159	-1286.761	-530.231	-593.969
LCBF13	-14829.275	3864.159	1193.770	461.981	-593.969
LCBF14	-14829.275	-2964.169	-1193.770	-461.981	593.969
LCBF15	-14829.275	-2964.169	1286.761	530.231	593.969
LCBF16	-9075.200	312.911	0.000	0.000	0.000
LCBF17	-15422.446	467.995	0.000	0.000	0.000
LCBF18	-10890.240	5641.889	-89.271	-65.520	-960.420
LCBF19	-10890.240	-4890.902	89.271	65.520	960.420
LCBF20	-15069.873	414.144	0.000	0.000	0.000
LCBF21	-9075.200	6018.173	-96.710	-70.980	-1040.455
LCBF22	-9075.200	-5392.351	96.710	70.980	1040.455
LCBF23	-12699.886	3924.852	-48.355	-35.490	-617.728
LCBF24	-12699.886	-3176.609	48.355	35.490	617.728
LCBF25	-12699.886	374.121	-1289.876	-515.951	0.000
LCBF26	-12699.886	374.121	1289.876	515.951	0.000
LCBF27	-9075.200	5798.740	-1333.256	-564.356	-1000.438
LCBF28	-9075.200	5798.740	1147.275	427.856	-1000.438
LCBF29	-9075.200	-5172.918	-1147.275	-427.856	1000.438
LCBF30	-9075.200	-5172.918	1333.256	564.356	1000.438
LCBF31	-12560.475	3785.932	-1286.761	-530.231	-593.969
LCBF32	-12560.475	3785.932	1193.770	461.981	-593.969
LCBF33	-12560.475	-3042.397	-1193.770	-461.981	593.969
LCBF34	-12560.475	-3042.397	1286.761	530.231	593.969
LCBF35	-9075.200	312.911	0.000	0.000	0.000
LCBF36	-12699.886	374.121	0.000	0.000	0.000
LCBF37	-9075.200	5579.307	-89.271	-65.520	-960.420
LCBF38	-9075.200	-4953.485	89.271	65.520	960.420

㉔ 기둥1 하단(계수하중조합)

구 분		축력 (kN)	교축직각 휨 (kN · m)	교축 휨 (kN · m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBF1		-23199.410	508.017	0.000	0.000	0.000
LCBF2		-17204.737	25098.413	-2318.916	-170.318	-1139.793
LCBF3		-17204.737	-24284.845	2318.916	170.318	1139.793
LCBF4		-20829.423	15197.879	-1159.458	-85.159	-667.396
LCBF5		-20829.423	-14261.890	1159.458	85.159	667.396
LCBF6		-20829.423	467.995	-10211.692	-515.951	0.000
LCBF7		-20829.423	467.995	10211.692	515.951	0.000
LCBF8		-16543.017	24133.090	-12048.661	-659.873	-1095.955
LCBF9		-16543.017	24133.090	7589.208	332.339	-1095.955
LCBF10		-16543.017	-23350.812	-7589.208	-332.339	1095.955
LCBF11		-16543.017	-23350.812	12048.661	659.873	1095.955
LCBF12		-20028.292	14613.345	-10933.798	-577.990	-641.727
LCBF13		-20028.292	14613.345	8704.072	414.223	-641.727
LCBF14		-20028.292	-13713.355	-8704.072	-414.223	641.727
LCBF15		-20028.292	-13713.355	10933.798	577.990	641.727
LCBF16		-13234.413	312.911	0.000	0.000	0.000
LCBF17		-20829.423	6366.095	-2949.050	-650.000	-1300.000
LCBF18		-15881.296	28612.166	-4862.737	-757.217	-2252.117
LCBF19		-15881.296	-16972.380	-581.663	-442.783	-147.883
LCBF20		-19229.086	414.144	0.000	0.000	0.000
LCBF21		-13234.413	25004.540	-2318.916	-170.318	-1139.793
LCBF22		-13234.413	-24378.718	2318.916	170.318	1139.793
LCBF23		-16859.099	15104.006	-1159.458	-85.159	-667.396
LCBF24		-16859.099	-14355.763	1159.458	85.159	667.396
LCBF25		-16859.099	374.122	-10211.692	-515.951	0.000
LCBF26		-16859.099	374.122	10211.692	515.951	0.000
LCBF27		-13234.413	24054.862	-12048.661	-659.873	-1095.955
LCBF28		-13234.413	24054.862	7589.208	332.339	-1095.955
LCBF29		-13234.413	-23429.040	-7589.208	-332.339	1095.955
LCBF30		-13234.413	-23429.040	12048.661	659.873	1095.955
LCBF31		-16719.688	14535.118	-10933.798	-577.990	-641.727
LCBF32		-16719.688	14535.118	8704.072	414.223	-641.727
LCBF33		-16719.688	-13791.583	-8704.072	-414.223	641.727
LCBF34		-16719.688	-13791.583	10933.798	577.990	641.727
LCBF35		-13234.413	312.911	0.000	0.000	0.000
LCBF36		-16859.099	6272.222	-2949.050	-650.000	-1300.000
LCBF37		-13234.413	28549.584	-4862.737	-757.217	-2252.117
LCBF38		-13234.413	-17034.962	-581.663	-442.783	-147.883
일반 축하중 조합	P 최대	23199.410	508.017	0.000	0.000	0.000
	My 최대	16543.017	24133.090	-12048.661	659.873	1095.955
	Mx 최대	15881.296	28612.166	-4862.737	757.217	2252.117
최소 축하중 조합	P 최소	13234.413	24054.862	7589.208	427.856	1095.955
	My 최대	13234.413	24054.862	-12048.661	659.873	1095.955
	Mx 최대	13234.413	28549.584	-4862.737	757.217	2252.117

④ 기둥하중조합 : 기초

㉠ 기둥1 기초(사용하중조합)

구 분	축력 (kN)	교축직각 휨 (kN · m)	교축 휨 (kN · m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBS1	-16022.633	359.996	0.000	0.000	0.000
LCBS2	-16022.633	359.996	-7855.148	-396.885	0.000
LCBS3	-16022.633	359.996	7855.148	396.885	0.000
LCBS4	-16022.633	11690.676	-891.891	-65.507	-513.382
LCBS5	-16022.633	-10970.684	891.891	65.507	513.382
LCBS6	-13234.413	19306.472	-1783.781	-131.014	-876.764
LCBS7	-13234.413	-18680.650	1783.781	131.014	876.764
LCBS8	-16022.633	11690.676	-8747.039	-462.392	-513.382
LCBS9	-16022.633	11690.676	6963.257	331.378	-513.382
LCBS10	-16022.633	-10970.684	-6963.257	-331.378	513.382
LCBS11	-16022.633	-10970.684	8747.039	462.392	513.382
LCBS12	-13234.413	19306.472	-9638.929	-527.899	-876.764
LCBS13	-13234.413	19306.472	6071.367	265.871	-876.764
LCBS14	-13234.413	-18680.650	-6071.367	-265.871	876.764
LCBS15	-13234.413	-18680.650	9638.929	527.899	876.764
LCBS16	-16022.633	4896.996	-2268.500	-500.000	-1000.000
LCBS17	-13234.413	312.911	0.000	0.000	0.000
P 최대	16022.633	-10970.684	-6963.257	369.585	513.382
My 최대	13234.413	19306.472	-9638.929	527.899	876.764
Mx 최대	13234.413	19306.472	-9638.929	527.899	876.764
Vx 최대	13234.413	19306.472	-9638.929	527.899	876.764
Vy 최대	16022.633	4896.996	-2268.500	500.000	1000.000

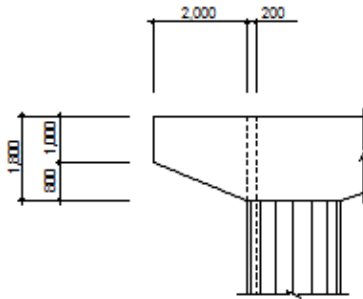
㉔ 기둥1 기초(계수하중조합)

구 분	축력 (kN)	교축직각 휨 (kN · m)	교축 휨 (kN · m)	교축전단 (kN)	교축직각전단 (kN)
LCBF1	-23199.410	508.017	0.000	0.000	0.000
LCBF2	-17204.737	25098.413	-2318.916	-170.318	-1139.793
LCBF3	-17204.737	-24284.845	2318.916	170.318	1139.793
LCBF4	-20829.423	15197.879	-1159.458	-85.159	-667.396
LCBF5	-20829.423	-14261.890	1159.458	85.159	667.396
LCBF6	-20829.423	467.995	-10211.692	-515.951	0.000
LCBF7	-20829.423	467.995	10211.692	515.951	0.000
LCBF8	-16543.017	24133.090	-12048.661	-659.873	-1095.955
LCBF9	-16543.017	24133.090	7589.208	332.339	-1095.955
LCBF10	-16543.017	-23350.812	-7589.208	-332.339	1095.955
LCBF11	-16543.017	-23350.812	12048.661	659.873	1095.955
LCBF12	-20028.292	14613.345	-10933.798	-577.990	-641.727
LCBF13	-20028.292	14613.345	8704.072	414.223	-641.727
LCBF14	-20028.292	-13713.355	-8704.072	-414.223	641.727
LCBF15	-20028.292	-13713.355	10933.798	577.990	641.727
LCBF16	-13234.413	312.911	0.000	0.000	0.000
LCBF17	-20829.423	6366.095	-2949.050	-650.000	-1300.000
LCBF18	-15881.296	28612.166	-4862.737	-757.217	-2252.117
LCBF19	-15881.296	-16972.380	-581.663	-442.783	-147.883
P 최대	23199.410	508.017	0.000	0.000	0.000
My 최대	16543.017	24133.090	-12048.661	659.873	1095.955
Mx 최대	15881.296	28612.166	-4862.737	757.217	2252.117
Vx 최대	15881.296	28612.166	-4862.737	757.217	2252.117
Vy 최대	15881.296	28612.166	-4862.737	757.217	2252.117

사. 부재별 검토

1) 코핑설계

① 부재력 요약



$$l_c = w_1 + 0.1 \cdot D = 2.200\text{m}$$

w_1 : 코핑연단에서 기둥 전면까지의 거리

D : 기둥직경

l_c : 코핑 유효 내민 길이

② 내민보 설계

㉠ 깊은 보 검토

$$L_n/d = 1.548/2.400 = 0.645 < 5.0 \Rightarrow \text{Deep Beam 검토 필요.}$$

③ 깊은 보 설계

구 분	d(mm)	사용철근량(mm ²)	M_u (kN · m)	ϕM_n (kN · m)	안전율
깊은 보 휨 검토	2366.67	D29-10EA=15417.6 D29- 5EA=7708.8 = 23126.4	6757.520	13582.954	O.K.(2.010)

④ 브라켓 검토

㉠ 좌측 내민보

$$a / d = 0.775 / 2.367 = 0.327 < 1.0 \Rightarrow \text{브라켓 검토 필요.}$$

$$a = M / V = 6580.305 / 8493.698 = 0.775\text{m}$$

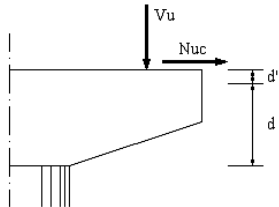
㉡ 우측 내민보

$$a / d = 0.774 / 2.367 = 0.327 < 1.0 \Rightarrow \text{브라켓 검토 필요.}$$

$$a = M / V = 6757.520 / 8729.985 = 0.774\text{m}$$

⑤ 브라켓 검토

㉠ 좌측



$$b = 2500.00\text{mm}$$

$$d = 2366.67\text{mm} : \text{브라켓 유효길이}$$

$$d' = 133.33\text{mm} : \text{피복 두께}$$

$$f_{ck} = 24\text{MPa}$$

$$f_y = 300\text{MPa}$$

$$\phi_f = 0.800 : \text{강도감소계수 (휨)}$$

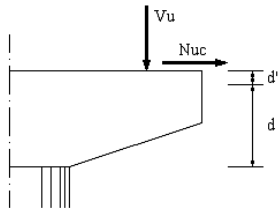
$$\phi_s = 0.800 : \text{강도감소계수 (전단)}$$

$$\mu = 1.400 : \text{전단마찰계수}$$

■ 단면검토

구 분		단 위	관 계 식	결과
브라켓 검토	V_u	kN	코핑하중조합 참고	8493.698
	M_u	kN · m	코핑하중조합 참고	6580.305
	a	mm	M_u/V_u	774.73
	a/d	—	a/d	0.327
단면력	N_{uc}	kN	$0.2 \cdot V_u$	1698.740
	M_u	kN · m	$V_u \cdot a + N_{uc} \cdot d'$	6806.803
단면검토	V_n	kN	$0.2 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot d/1000$	28400.000
		kN	$5.6 \cdot b \cdot d/1000$	33133.333
전단마찰철근량	A_{vf}	mm ²	$V_u/(\phi_s \cdot f_y \cdot \mu)$	25278.86
인장철근량	A_n	mm ²	$N_{uc}/(\phi_s \cdot f_y)$	7078.08
휨철근량	A_f	mm ²	$\{(\phi_f \cdot f_y^2)/(1.7 \cdot f_{ck} \cdot b)\} \cdot A_f^2 - (\phi_f \cdot d \cdot f_y) \cdot A_f + M_u = 0$	12167.80
주철근량	A_{s1}	mm ²	$A_f + A_n$	19245.89
	A_{s2}	mm ²	$2/3 \cdot A_{vf} + A_n$	23930.66
	A_{smin}	mm ²	$0.04 \cdot f_{ck}/f_y \cdot b \cdot d$	18933.33
	A_s	mm ²	$\max(A_{s1}, A_{s2}, A_{smin})$	23930.66
필요철근량	$reqA_s$	mm ²	$\max(\text{적용 } A_f, A_s)$	23930.66
사용철근량	$useA_s$	mm ²	1 단 : D29@100 = 15417.60mm ² 2 단 : D29@200 = 7708.80mm ²	23126.40
필요수평철근량	$reqA_h$	mm ²	$0.5 \cdot (A_s - A_n)$	8426.29
사용수평철근량	$useA_h$	mm ²	D19-6열-6단	10314.00

㉔ 우측



$$b = 2500.00\text{mm}$$

$$d = 2366.67\text{mm} : \text{브라켓 유효길이}$$

$$d' = 133.33\text{mm} : \text{피복 두께}$$

$$f_{ck} = 24\text{MPa}$$

$$f_y = 300\text{MPa}$$

$$\phi_f = 0.800 : \text{강도감소계수 (휨)}$$

$$\phi_s = 0.800 : \text{강도감소계수 (전단)}$$

$$\mu = 1.400 : \text{전단마찰계수}$$

■ 단면검토

구 분	단 위	관 계 식	결과
브라켓 검토	V_u	kN	코핑하중조합 참고
	M_u	kN · m	코핑하중조합 참고
	a	mm	M_u/V_u
	a/d	—	a/d
단면력	N_{uc}	kN	$0.2 \cdot V_u$
	M_u	kN · m	$V_u \cdot a + N_{uc} \cdot d'$
단면검토	V_n	kN	$0.2 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot d/1000$
		kN	$5.6 \cdot b \cdot d/1000$
전단마찰철근량	A_{vf}	mm ²	$V_u/(\phi_s \cdot f_y \cdot \mu)$
인장철근량	A_n	mm ²	$N_{uc}/(\phi_s \cdot f_y)$
휨철근량	A_f	mm ²	$\{(\phi_f \cdot f_y^2) / (1.7 \cdot f_{ck} \cdot b) \} \cdot A_f^2 - (\phi_f \cdot d \cdot f_y) \cdot A_f + M_u = 0$
주철근량	A_{s1}	mm ²	$A_f + A_n$
	A_{s2}	mm ²	$2/3 \cdot A_{vf} + A_n$
	A_{smin}	mm ²	$0.04 \cdot f_{ck}/f_y \cdot b \cdot d$
	A_s	mm ²	$\max(A_{s1}, A_{s2}, A_{smin})$
필요철근량	$reqA_s$	mm ²	$\max(\text{적용 } A_f, A_s)$
사용철근량	$useA_s$	mm ²	1 단 : D29@100 = 15417.60mm ² 2 단 : D29@200 = 7708.80mm ²
필요수평철근량	$reqA_h$	mm ²	$0.5 \cdot (A_s - A_n)$
사용수평철근량	$useA_h$	mm ²	D19-6열-6단

⑥ 캔틸레버부 종방향 검토

구 분	d(mm)	사용철근량(mm ²)	M _u (kN · m)	Φ M _n (kN · m)	안전율
보	1889.53	D19-30EA+D29-31 =28509.40	214.875	13127.027	O.K.(61.091)

2) 기둥검토

① 부재력 요약

㉠ 기둥 1

구 분			축력 (kN)		모 멘트 (kN · m)				V (kN)	δ (mm)
			장기 지 속 축력	전 체 축력	Top		Bottom			
					Sway	Non Swat	Sway	Non Swat		
일반	P _{max}	교축	17204.737	23199.410	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
		직각			0.000	538017	0.000	538017	0.000	0.45
	M _{ym ax}	교축	16543017	16543017	-1333.256	0.000	-12048661	0.000	669873	7.45
		직각			5485829	391.139	23741.951	391.139	1095955	15.95
	M _{xm ax}	교축	15881.296	15881.296	-89.271	0.000	-4862.737	0.000	757.217	1.78
		직각			5266.396	375.493	28236673	375.493	2252.117	16.52
최소	P _{min}	교축	13234413	13234413	1147.275	0.000	7589.208	0.000	427.856	-4.99
		직각			5485829	312911	23741.951	312911	1095955	15.88
	M _{ym ax}	교축	13234413	13234413	-1333.256	0.000	-12048661	0.000	669873	7.45
		직각			5485829	312911	23741.951	312911	1095955	15.88
	M _{xm ax}	교축	13234413	13234413	-89.271	0.000	-4862.737	0.000	757.217	1.78
		직각			5266.396	312911	28236673	312911	2252.117	16.47

㉡ 설계요약

■ 기둥 1

구 분		P _u	δ M _y	δ M _x	δ M _u	CASE
일반조합	P _{max}	23199.410	2874.302	0.000	2874.302	LCBF1
	M _y max	16543.017	24133.090	12048.661	26973.622	LCBF8
	M _x max	15881.296	28612.166	4862.737	29022.444	LCBF18
최소 축력조합	P _{min}	13234.413	24054.862	7589.208	25223.649	LCBF28
	M _y max	13234.413	24054.862	12048.661	26903.654	LCBF27
	M _x max	13234.413	28549.584	4862.737	28960.749	LCBF37

㉔ 기둥 주철근량 검토

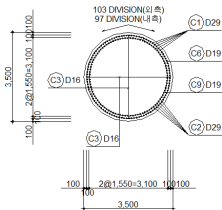
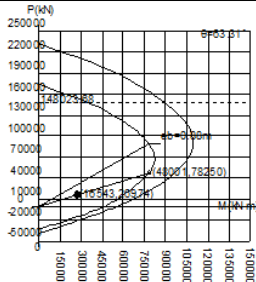
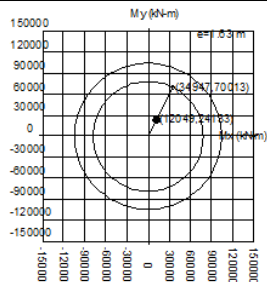
■ 기둥 1(P-MAX)

구 분	사 용 철 근	조립도
1 단	D29× 103EA	
2 단	D29× 97EA	
계	128480.00mm ² - 1.335%	
유효단면적 A _{eff} =4810563.75 mm ²	A _{eff} =P _u / { ϕ · 0.80 · (0.85f _{ck} +0.01f _y) } (단, A _{eff} >1/2 · A _g)	
P _u =23199.410kN ≤ ϕ P _n =111017.761kN ····· O.K (S.F. 4.785) δ M _{ux} =0.000kN · m ≤ ϕ M _{nx} =0.001kN · m ····· O.K δ M _{uy} =2874.302kN · m ≤ ϕ M _{ny} =3757.192kN · m ····· O.K (S.F. 1.307) δ M _u =2874.302kN · m ≤ ϕ M _n =3757.192kN · m ····· O.K (S.F. 1.307)		

■ 기둥 1(MX-MAX)

구 분	사 용 철 근	조립도
1 단	D29× 103EA	
2 단	D29× 97EA	
계	128480.00mm ² - 1.335%	
유효단면적 A _{eff} =4810563.75 mm ²	A _{eff} =P _u / { ϕ · 0.80 · (0.85f _{ck} +0.01f _y) } (단, A _{eff} >1/2 · A _g)	
P _u =15881.296kN ≤ ϕ P _n =41269.567kN ····· O.K (S.F. 2.599) δ M _{ux} =4862.737kN · m ≤ ϕ M _{nx} =12644.997kN · m ····· O.K (S.F. 2.600) δ M _{uy} =28612.166kN · m ≤ ϕ M _{ny} =74373.106kN · m ····· O.K (S.F. 2.599) δ M _u =29022.444kN · m ≤ ϕ M _n =75440.340kN · m ····· O.K (S.F. 2.599)		

■ 기둥 1 (MY-MAX)

구 분	사 용 철 근	조립도
1 단	D29× 103EA	
2 단	D29× 97EA	
계	128480.00mm ² - 1.335%	
유효단면적 A _{eff} =4810563.75 mm ²	A _{eff} =P _u / { φ · 0.80 · (0.85f _{ck} +0.01f _y) } (단, A _{eff} >1/2 · A _g)	
 		
Pu=16543.017kN ≤ φ Pn=48001.074kN ····· O.K (S.F. 2.902) δ Mux=12048.661kN · m ≤ φ Mnx=34947.490kN · m ····· O.K (S.F. 2.901) δ Muy=24133.090kN · m ≤ φ Mny=70013.254kN · m ····· O.K (S.F. 2.901) δ Mu=26973.622kN · m ≤ φ Mn=78250.431kN · m ····· O.K (S.F. 2.901)		

3) 기초설계

① 직접기초 안정검토

구 분	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	0.404	1.833	OK (4.537)	31.252	1.5	1.5이상	285.859	600	OK (2.099)
교축지각	0.791	1.833	OK (2.317)	18.171	1.5	1.5이상	325.341	600	OK (1.844)

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

② 기초단면력 검토

위 치	Mu (kN · m)	ϕ Mn (kN · m)	Mu/ ϕ Mn	reqAs (mm ²)	useAs(mm ²)		w (mm)	wa (mm)
캔틸레버 (교축)	2489.000	7876.390	31.6%	4930.67	D32@100 D32@200	11913.0 0	0.08	0.42
캔틸레버 (교축지각)	3089.577	6392.321	48.3%	6135.85	D29@100 D29@200	9636.00	0.11	0.43

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

4) 검토 결과

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

아. 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	996.21	333.53	3158.90 (kN · m)	1200.80 (kN · m)

주1) 기존계산서 2. 말뚝머리 힌지 중 ⑥지진시 참조

㉠ 전도에 대한 검토

- 말뚝기초이므로 불필요.(※말뚝검토 참조)

㉡ 활동에 대한 검토

- 말뚝기초이므로 불필요.(※말뚝검토 참조)

㉢ 말뚝검토(φ508) (‘(3)지지력에 대한 검토’ 부분 참조)

- 허용지지력 = $30 \times N \times A_p + U \times \sum (l_i \times f_i)$
 $= 30 \times 40 \times 0.202 + 1.595 \times 733$
 $= 3593.13 \text{ kN/EA}$

- 지진시 허용지지력 = 허용지지력 / 2
 $= 3593.13 / 2 = 1796.56 \text{ kN/EA}$

- $F_s = 1796.56 / 787.64 = 2.281$ 안정

2) 교각

① 교각형식 : T형 교각

② 상부형식 : 3경간 STEEL BOX교

③ 기초형식 : 직접기초

④ 내진조건

㉠ 가속도 계수 : $A = 0.14$

㉡ 내진등급 : 내진2등급

㉢ 지반계수 : $S = 1.2$ (지반 II)

㉣ 응답수정계수(R)

- 하부구조

- 교각 = 3.0

- 연결부분

- 기초 = 1.0

- 상부구조와 교대 = 0.8

㉤ 해석방법 : 단일모드 스펙트럼 해석법

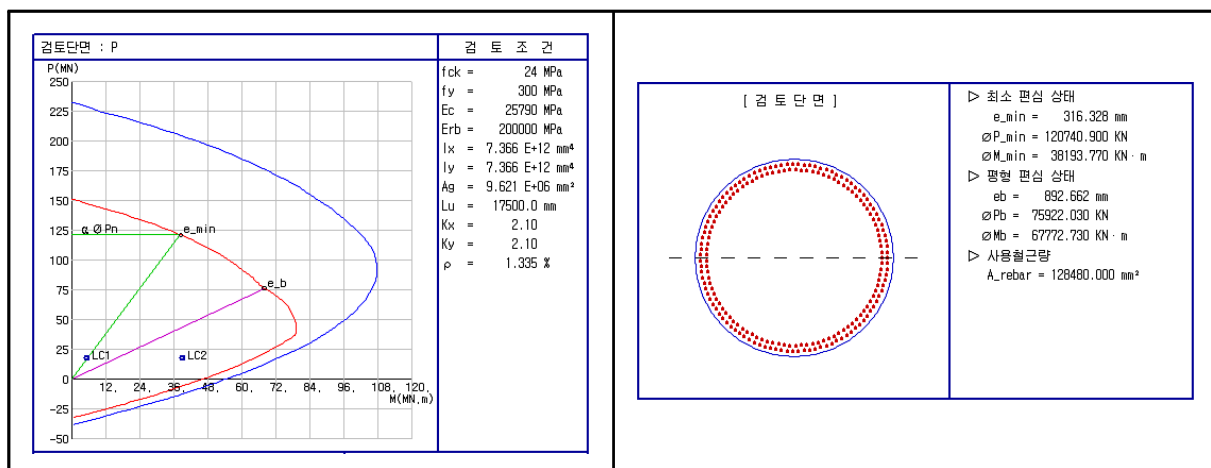
⑤ 단면력 정리 및 검토

구 분		P_u (kN) ^{주2)}	ϕP_N (kN)	$P_u / \phi P_N$	M_u ^{주3)} (kN·m)	ϕM_n (kN·m)	$M_u / \phi M_n$	비고
CASE (5)	교축방향	17656.82	120740.882	O.K. (6.838)	5263.338	38192.996	O.K. (7.256)	
	교축 직각방향		35469.985	O.K. (2.009)	38857.225	78058.503	O.K. (2.009)	

주2) 기존계산서 '8.기둥의 설계' 중 CASE (5) 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 $F_s = 2.218$)

교각부 검토결과 내진시 단면력 검토결과 안전율 2.009로 구조적으로 안전성을 확보하고 있다.

5.5 안전성평가 결과요약

5.5.1 상부구조

가. 바닥판 검토결과

충주IC1교의 바닥판에 대한 안전성 검토 결과, S1~S3경간의 최소 안전율은 1.401로 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

나. 강박스 거더 검토결과

충주IC1교의 허용응력설계법에 의한 강박스 거더의 응력 검토결과, 거더 상·하면에 발생하는 최대응력은 허용응력 범위 이내로서 최소 안전율이 S1~S3경간 1.191로 검토되어 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

한편, 허용응력법에 의한 강박스 거더의 휨응력과 전단응력에 의한 합성응력 검토결과, 최대 부모멘트 및 최대전단력 발생구간인 교각 지점부에서 합성응력이 허용기준치 1.2를 초과하지 않는 것으로 검토되어 안전성을 확보한 것으로 판단된다. 그러나 공용후 14년이 경과된 구조물이기 때문에 지속적인 관찰을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

다. 받침용량 검토결과

충주IC1교의 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

교대의 안전성 검토결과, 강도설계법에 의한 최소 안전율이 1.318로 구조적인 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

나. 교각 검토결과

교각(P2)에 대해서 안전성 검토를 실시한 결과, 최소 안전율은 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

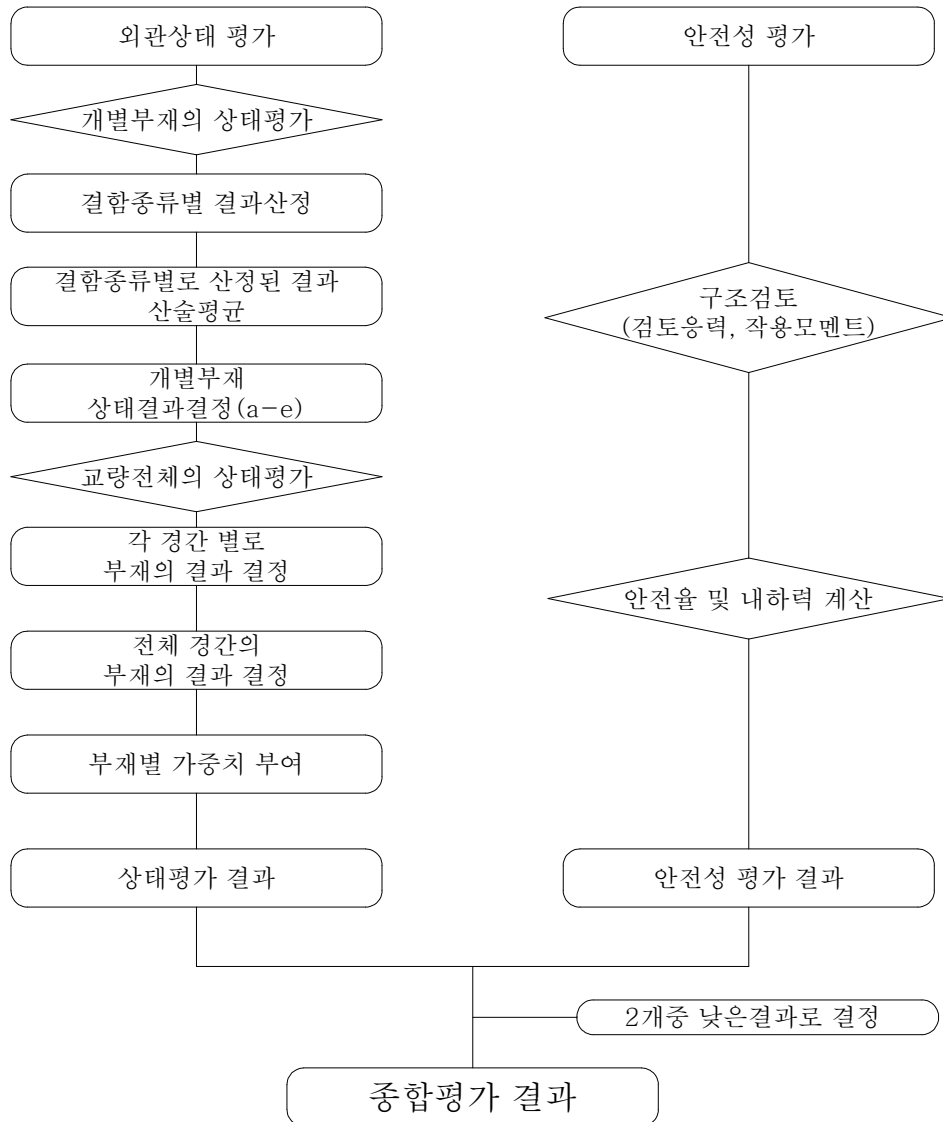
제6장 종합평가 및 안전등급의 지정

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

외관조사 및 시험에 의한 상태평가 결과와 구조 검토에 의한 안전성평가 결과를 종합하여 검토한 결과, 충주IC1교의 종합평가 결과는 “B” 로 평가되었다.

【표 6-1】 종합평가 결과

구조물명	상태평가 결과		안전성평가 결과		종합평가 결과
	환산결함도점수	기준	S · F	기준	
충주IC1교	0.258	B	1.191(거더) 1.401(바닥판)	A	B
종합평가	•외관조사 및 내구성조사에 의한 상태평가 결과는 내구성, 기능성 저하방지를 위해 일 부부재에 대한 보수가 필요한 “B” 로 평가됨 •안전성 평가결과 최소 안전율 1.0이상으로 “A” 로 평가됨 •상태평가 및 안전성 평가결과를 통한 종합평가 결과 충주IC1교는 “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」 제 10조의 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 6-2】 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

충주IC1교에 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.

■ 충주IC1교 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

충주IC1교는 설계하중 DB-24(DL-24)의 고속국도 교량으로서, 2002년에 준공되어 약 14년 정도 공용 중에 있으며, 충청북도 충주시 이류면 완오리(중부내륙선, 이점 224.61km)에 위치하고 있는 편도 1차로 교량이다.

본 교량은 총폭 7.60m, 총연장 145.0m (45.0m + 55.0m + 45.0m)이며, 상부구조는 3경간의 Steel Box Girder 형식으로써, 교각의 형식은 T형이고 기초는 확대기초(P1~P2)로 이루어져 있으며, 교대의 형식은 역T형이고 기초는 확대기초+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
기존 자료 분석	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 발생한 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

【표 7-3】 충주IC1교 - 보수·보강 일람표

구 분	손상내용	단위	개소	손상 물량	보수방안	우선 순위
바닥판	•균열(Cw=0.3mm미만)	m	159	263.10	지속관찰	—
	•균열(Cw=0.3mm이상)	m	5	11.50	주입보수	2
	•균열/백태	m ²	2	4.60	표면처리보수	3
	•누수흔적/백태	m ²	2	0.18	표면처리보수	3
	•백태	m ²	3	0.27	표면처리보수	3
	•과손	m ²	1	0.08	단면보수	3
Steel Box Girder 내부	•Pit	EA	289	289.00	지속관찰	—
	•목두께 부족	m	5	0.60	지속관찰	—
	•비드불량	m	29	5.35	지속관찰	—
	•언더컷	m	3	0.30	지속관찰	—
	•도장박리	m ²	1	0.04	재도장	2
	•부식	m ²	24	1.05	녹제거 후 재도장	2
	•환기구 볼트풀림	EA	1	1.00	볼트재체결	3
	•실링재불량	EA	1	1.00	실링재 재시공	3
	•배설물	m ²	2	0.13	청소	3
	•점검등 탈락	EA	1	1.00	청소	3
격벽	•Pit	EA	20	20.00	지속관찰	—
	•목두께 부족	EA	2	1.10	지속관찰	—
	•도장박리	m ²	3	1.02	재도장	2
Steel Box Girder 외부	•누수흔적	m ²	3	3.15	재도장	2
	•도장박리	m ²	4	0.12	재도장	2
	•부식	m ²	25	2.96	녹제거 후 재도장	2
	•볼트부식	EA	49	49.00	재도장	2
교대	•균열(Cw=0.3mm미만)	m	4	2.20	지속관찰	—
	•보수부 박리	m ²	3	1.16	표면처리보수	3
	•재료분리	m ²	1	0.12	단면보수	3
	•침하	m	1	0.07	지속관찰	—

【표 7-3】 충주IC1교 - 보수·보강 일람표(계속)

구 분	손상내용	단위	개소	손상 물량	보수방안	우선 순위
교각	•균열 (Cw=0.3mm미만)	m	38	45.60	지속관찰	—
	•망상균열 (Cw=0.3mm미만)	m ²	6	21.21	지속관찰	—
	•누수흔적	m ²	2	3.70	표면처리보수	3
	•들뜸	m ²	1	3.00	방청 후 단면보수	2
	•박락	m ²	1	0.06	단면보수	3
	•보수부 박리	m ²	1	0.08	표면처리보수	3
	•재료분리	m ²	1	0.78	단면보수	3
	•파손	m ²	3	0.03	단면보수	3
교량받침	•부식	m ²	2	0.30	재도장	2
	•균열 (Cw=0.3mm미만)	m	5	0.80	지속관찰	—
	•박락	m ²	2	0.08	단면보수	3
	•파손	m ²	3	0.27	단면보수	3
	•녹발생	m ²	2	0.40	방청 후 단면보수	2
신축이음장치	•부식	m	4	0.66	지속관찰	—
	•균열 (Cw=0.3mm미만)	m	17	11.90	표면처리보수	3
	•후타재 파손	m ²	1	0.10	단면보수	3
교면포장	•균열	m	2	22.00	지속관찰	—
배수시설	•배수로 이물질퇴적	EA	5	5.00	청소	3
	•유도배수관 부식	m ²	4	2.00	유도배수관재설치	2
방호벽	•균열 (Cw=0.3mm미만)	m	16	9.20	표면처리보수	3
	•망상균열 (Cw=0.3mm미만)	m ²	3	2.36	표면처리보수	3
	•누수흔적	m ²	3	1.26	누수보수	2
	•박락	m ²	7	0.12	단면보수	3
	•박리	m ²	8	0.97	표면처리보수	3
	•녹발생	m ²	15	0.27	방청 후 단면보수	2
	•철근노출	m ²	2	0.04	방청 후 단면보수	2
	•파손	m ²	16	1.27	단면보수	3
	•단차	EA	1	1.00	지속관찰	—

7.2.3 주요결함 및 손상에 대한 보수·보강 방법

가. 콘크리트 균열보수 방안

1) 진단 현황

본 교량의 바닥판하면 및 하부구조에 발생한 균열은 대부분 폭 0.2mm이하의 미세균열로 조사되었고, 일부구간의 바닥판하면(S2), 하부구조에서 0.3mm이상의 균열이 조사되었다. 또한, 방호벽, 반침콘크리트에서 폭 0.3mm미만의 균열이 일부구간 확인되었다.

상부 및 하부구조에서 발생한 균열 중 0.3mm이상 균열은 내구성 확보 및 추가적인 손상의 우려가 있으므로 주입보수를 실시하며, 0.3mm미만 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 0.3mm균열에 대해서는 표면처리보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

2) 주입보수 개요

균열(0.3mm이상)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 7-4】 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 7-5】 균열폭에 알맞은 수지의 점도

형 상		점도(20℃, cp)	주입 가능한 균열 폭
액 상	저점도	500±200	0.1mm 전후
	고점도	1,500±500	0.2mm 전후
Gel 상태		6,000±1,000	0.5~5.0mm 전후

【표 7-6】 균열폭에 따른 주입파이프/패커의 간격

균열 폭(mm)	주입파이프/패커간격(mm)	비고
0.3이하	50~100	
0.3~0.5	100~200	
0.5~1.0	150~250	
1.0이상	200~300	

【표 7-7】 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

● STEP 1

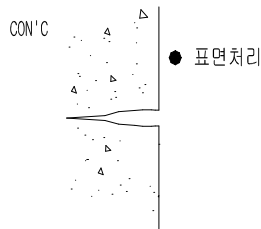
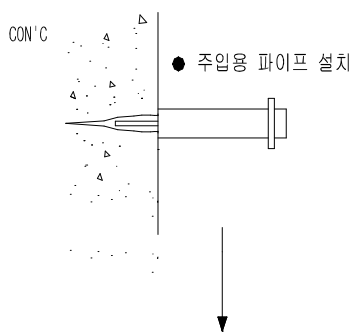


표 면 처 리

균열부를 중심으로 폭 5.0mm 정도를 와이어브러시 등으로 표면의 이물질 등을 제거한다.

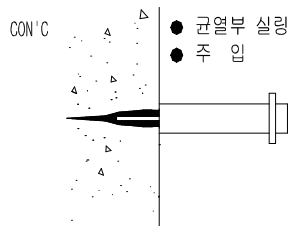
● STEP 2



주입용 파이프 설치

주입공에 주입용 파이프를 삽입하고 설치한다.

● STEP 3



균열부 실링

균열부를 폭 30mm, 두께 2mm 정도로 균열실링재를 사용하여 실링한다.

무기계 슬러리 주입
(유기계 에폭시 주입)

주입장비를 사용하여 무기계 슬러리 및 유기계 에폭시를 주입한다.

양 생

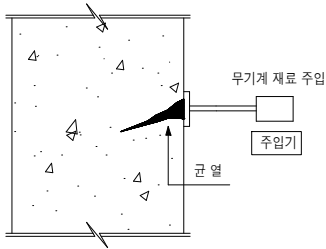
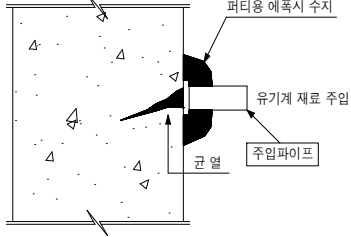
작업종료 후 양생한다.

【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 썰링 및 표면 마감면은 주입압에 견디도록 충분히 양생한다.
- ⑤ 주입된 에폭시계 수지가 경화한 후에는 주입 파이프를 절단하고 썰링재와 함께 그라인더로 갈아 평탄하게 표면처리 한다.

【표 7-8】 주입공법 공법비교안

구 분	폴리머 슬러시멘트 주입공법	에폭시 주입공법
개요도		
공법 개요	균열부위를 컷팅하고 균열부를 썰링한 후에 무기계재료인 폴리머 슬러시멘트를 주입기를 통하여 주입하는 공법	균열부위를 컷팅하고 균열부를 썰링한 후에 유기계 재료인 에폭시를 주입기를 통하여 주입하는 공법
시공 방법	표면처리→U.V컷팅→주입기설치→균열부 썰링→폴리머슬러시멘트주입→단면복구	표면처리→U.V컷팅→주입기설치→균열부 썰링→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 단면보수 공법을 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 결합 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

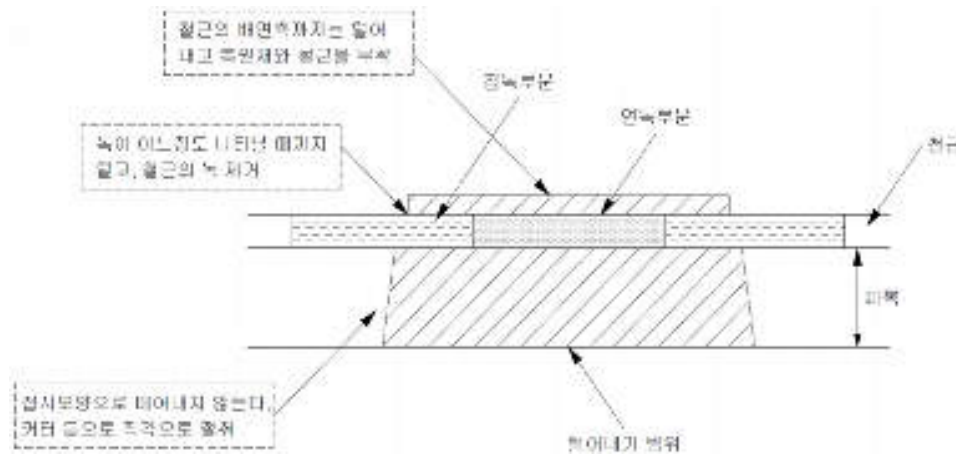
콘크리트의 열화부분을 충분하게 제거하여도 철근의 부식범위는 이 부위보다 넓은 경우가 대부분이다. 이 경우는 박락되어 노출된 부분의 철근 청소를 실시하여도 그 전후는 녹이 잔존한 채 남아있게 된다. 이 상태에서 단면복구를 실시하면 보수된 범위는 마이너스(-), 그 전후는 플러스(+)의 macro cell 부식이 생겨서 철근부식이 주위로 확산되어 보수효과가 적어지는 결과를 나타내는 경우가 많다.

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 -350mV 보다 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 아질산이온량과 염화물량의 비율을 관리하여야 하며 많은 양의 충전이 필요한 경우 Paste나 모르타 등을 혼합하여 사용하는 등의 검토가 필요하다. 또한 최근 개발된 염분흡착제를 이용한 방청재는 해수성분을 함유한 수분이 있는 개소의 철근부식에 대응하여 아질산 이온을 도입 또는 함유한 염화물량의 저감효과가 있다.

염분흡착제는 콘크리트 제체중의 유해한 염화물이 흡착되어 저감되어지는 동시에 염분흡착제 자신이 기다리고 있는 아질산 이온을 방출하는 것에 의해 높은 방청재 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 주재료 하는 재료 등이 있다.

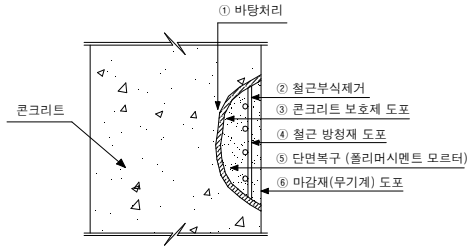
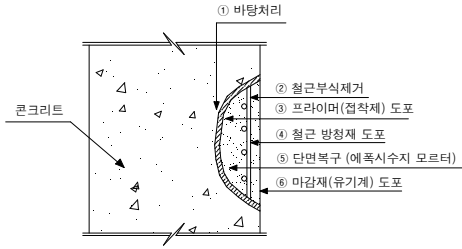
【표 7-9】 일반적인 단면 복구재의 분류

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 고정된 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 떨어내기 작업시 콘크리트 분진으로 인한 대기오염을 방지하기 위해 집진시설이나 물분사 등을 실시하여 도로주변의 환경오염에 주의하여야 한다.

【표 7-10】 단면보수 공법비교안

구 분	폴리머시멘트 모르터 공법	에폭시수지 모르터 공법
개 요 도		
공법개요	콘크리트 손상부위 및 철근의 부식을 제거하고 콘크리트 보호제를 도포한 후 철근을 방청하고 무기제인 폴리머시멘트 모르터로 단면을 복구한 후 무기계 마감재로 마감하는 공법	콘크리트 손상부위 및 철근의 부식을 제거하고 접착제를 도포한 후 철근을 방청하고 유기제인 에폭시수지 모르터로 단면을 복구한 후 유기계 마감재로 마감하는 공법
시공방법	치핑/고압수 세척 → 철근 부식제거 → 콘크리트 보호제(침투성) 도포 → 철근 방청제 도포 → 폴리머시멘트 모르터로 단면 복구 → 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

강재 거더의 일부구간 도장박리 및 부식 및 받침장치 부식이 일부구간 조사되어, 내구성 확보를 위한 재도장이 필요하다.

2) 강재부식부 도장 보수공법

① 도장재료의 선정

다음은 크게 강재시설물(강교)에 대해 쉽게 발생하는 방식재의 손상으로 인한 구조물 상태와 이에 대한 일반적인 보수방법이다.

방식설계는 향후 관리비용과 직결되므로 LCC(Life Cycle Cost) 개념인

$$LCC = I + M + R \quad (I : \text{초기비용}, M : \text{보수비용}, R : \text{교체비용})$$

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 7-11】 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, 보수 후 재도장 가능성 유포 (동일방법)

② 표면처리

- 기 도장된 표면에 부착된 염분량을 측정하여 염분 부착량이 $150\text{mg}/\text{m}^2$ 이상인 경우에는 강재 표면의 염분과 이물질들을 깨끗한 물로 씻어낸다. 이때 분사압력은 2MPa 로 하며, 강재면과의 거리는 $30\sim 45\text{cm}$ 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 $15\sim 35\mu\text{m}$ 가 되도록 한다. 기존의 무기질아연 도장면 위에

재도장을 실시한다.

- 블라스팅과 하부도장은 같은 날 실시한다. 블라스팅 후 재도장까지 1일 이상 지체 되면 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 7-12】 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 7-12】 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 7-13】 전면 재도장시 부식환경에서 사용도료 및 건조도막두께

도장부위		바탕처리정도	도장층별	도료 종류	건조도막두께(μm)
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 7-14】부분 재도장시 사용도료 및 건조도막두께

기존의 도장 부위		바탕처리정도	도장층별	도료 종류	건조도막두께(μm)
외부	염화고무계, 알키드 조합페인트	· 거의 완전한 블라스트 (Sa 2 1/2) · 동력공구시공 (St 3)	T/U	에폭시계(알미늄)	(80)
			하 도	에폭시계(마스틱)	100
			상 도	우레탄계	50
우 레 탄 계	T/U		에폭시계(알미늄)	(80)	
	하 도		에폭시계(마스틱)	80	
	상 도		우레탄계	50	
내부	역 청 질 계		T/U	에폭시계(알미늄)	(80)
			상 도	역청질계	55
			광명단 페인트, 에 폭 시 계	T/U	에폭시계(알미늄)
상 도	에폭시계(마스틱)	100			

【표 7-15】강제 거더 및 받침장치 발정부 도장보수 공법비교안

공 법	중방식 금속혼합물 (알루뮴계)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 분리 현상이 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

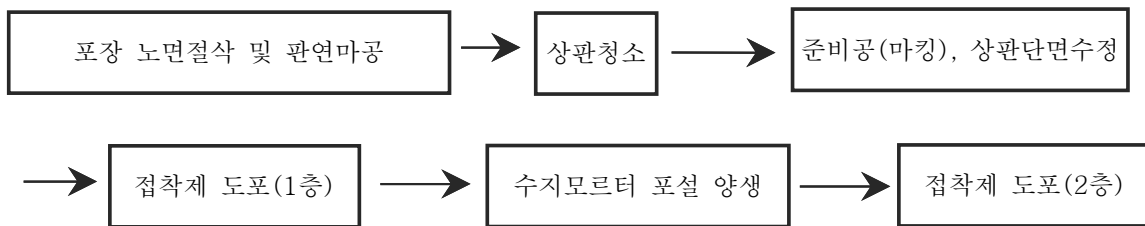
- ① 파손부 주위의 불량부분을 브레이커나 콘크리트 커팅기로 장방형이나 수직으로 절취한다.
- ② 내측과 주위에 있는 먼지와 부스러기를 깨끗이 청소한다.
- ③ 젖어있는 경우에는 가열 건조시킨다.
- ④ 택코우트를 실시한다.
- ⑤ 가열 혼합물을 투입하여 고르게 편다.(가열 혼합식 공법의 경우)
- ⑥ 상온 혼합물을 투입하여 고르게 편다.(상온 혼합식 공법의 경우)
- ⑦ 전압기계를 사용하여 다진다. 이때 상온 혼합물이 안정되기 위해서는 수분의 증발, 용제의 휘발이 필요하며, 이들의 작용을 촉진하기 위해서는 혼합물을 포설한 후에 공기에 노출시킨다든지 다짐작업에 충분한 시간을 주도록 하는 것이 좋다.
- ⑧ 표면온도가 손으로 델 수 있을 정도가 되면 석분이나 가는 모래를 얇게 살포하고 교통을 개방한다.

마. 재포장

바닥판 상면에서 표면열화부(균열)가 일부구간 조사되었으므로, 향후 손상증대시 교량의 장기적인 내구성 확보를 위해 열화부 치환 및 교면 재포장이 필요하다.

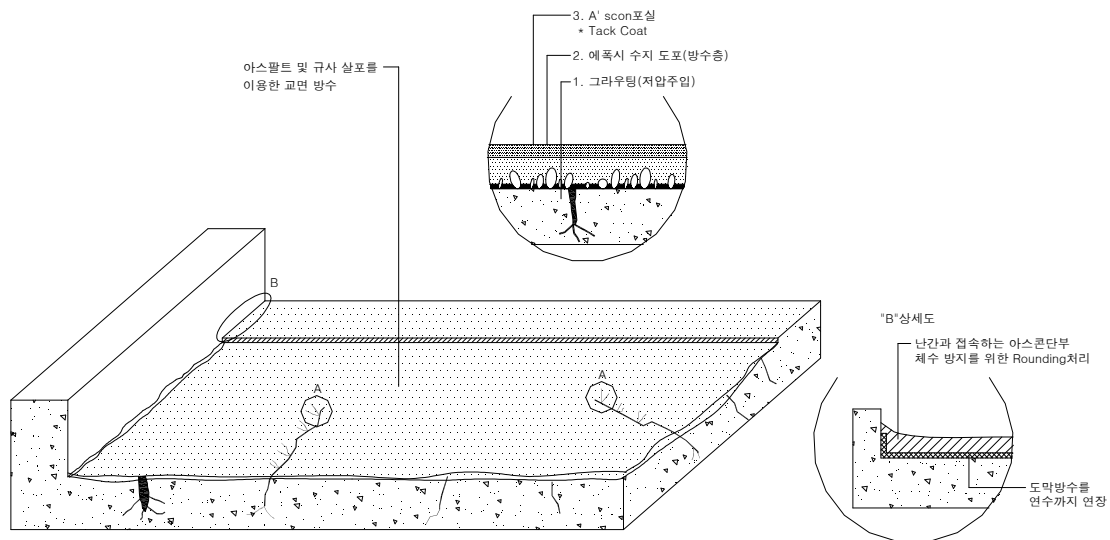
1) 상판 콘크리트 열화 발생부 보수

슬래브 상면의 단면증설공법으로서 증방식 내력 수지 모르터 또는 에폭시 수지 모르타르를 사용하여 열화된 콘크리트 상판의 보강을 실시한 공법이다.



【그림 7-3】 상판열화부 보수 순서

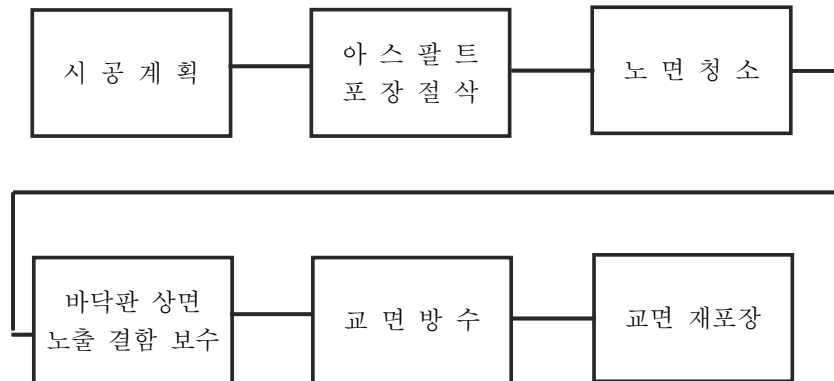
2) 교면방수 및 재포장



【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 콤푼레셔와 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 7-16】 교량상부 교면방수공법 비교

구 분	도막식 방수공법		시트식 방수공법	
	고무아스팔트계 (슈프림테크코트)	합성고무계 (클로로프렌계)	쉬트식 방수공법	자착식 시트방수 (브릿지쉬트)
단 면 도				
시공 사진				
개요	기존 아스콘 포장 철거 후 프라이머 도포 후 도막 방수액인 슈프림테크코트를 포설한 후 보호층으로 유리섬유 펠트를 설치하는 방수공법	기존 아스콘 포장 철거 후 합성고무(클로로프렌계)를 톨루엔 등의 용제에 용해한 액체를 교량 슬래브에 도포하여 방수층을 형성한 후 재포장 하는 방안	기존 아스콘 포장 철거 후 부직포 또는 직포에 가열 용해한 고무혼합AP를 합침 피복시킨 시트를 가열하여 교량 슬래브에 접착하는 방안	기존 아스콘 포장 철거 후 부직포 또는 직포에 가열 용해한 고무혼합AP를 합침 피복시킨 시트를 자착식으로 슬래브에 접착하는 방안
시공 방법	① 아스콘 절삭 ② 먼처리 ③ 아스팔트 접착제 도포(1회) ④ 방수재도포(간접가열 용융방식) 및 유리섬유펠트 ⑤ 아스팔트 포설 및 전압	① 아스콘 절삭 ② 먼처리 ③ 아스팔트 접착제 도포(1회) ④ 방수재도포(2회) ⑤ 아스팔트 포설 및 전압	① 아스콘 절삭 ② 먼처리 ③ 아스팔트 접착제 도포(1회) ③ 방수시트접착(토치사용 전면용착) ④ 아스팔트 포설 및 전압	① 아스콘 절삭 ② 먼처리 ③ 아스팔트 접착제 도포(1회) ③ 방수시트접착(자착식 시트) ④ 아스팔트 포설 및 전압
두께	2mm (1~2시간)	1~1.6mm (3~5일)	4mm (3~4시간)	2mm (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)이 기포 발생 및 품질저하가 우려 - 보수시공시 단시간 작업에 불리	- 연성으로 균열, 진동에 우수 - 방수층의 일정두께 유지가 가능 - 시트자체 접착성 및 보수성 있음 - 접침부위 누수우려 - 곡선부나 거친바닥판에서 작업성이 현저히 떨어짐 - 동절기 시트의 경화로 인한 파손 및 박리현상 우려	- 연성으로 균열, 진동에 우수 - 방수층의 일정두께 유지가 가능 - 접침부위 누수우려 - 곡선부나 거친바닥판에서 작업성이 현저히 떨어짐 - 아스콘 포설시 바닥판과의 접착력 약화로 밀림현상 우려
시공 실적	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/㎡

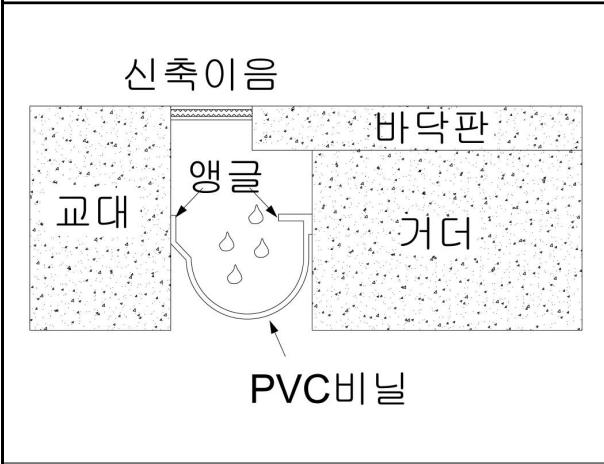
바. 신축이음 유도배수로 설치

1) 개 요

본 교량은 신축이음장치 하부 유도배수관 부식이 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

	
보수부 박리	유도배수관 부식
	
신축이음 하부누수 (동해방향, A2)	유도배수시설 설치 사례

【그림 7-6】 유도배수로 설치 개요도

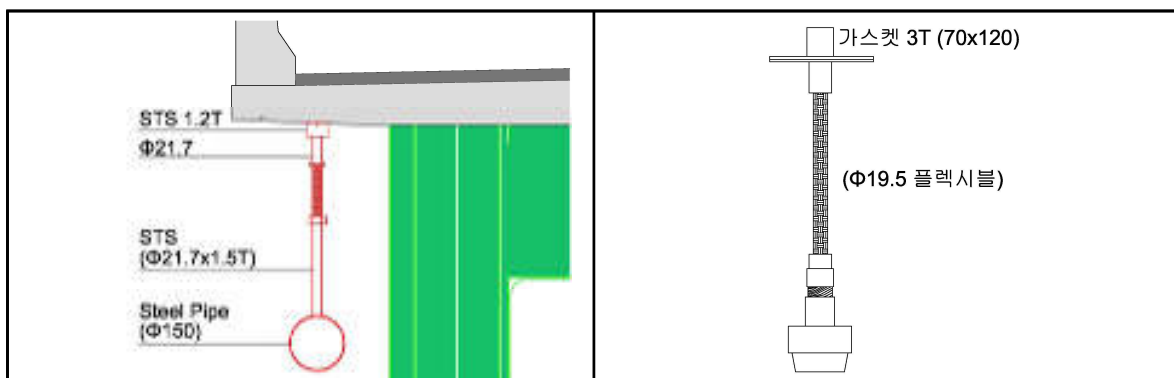
사. 캔틸레버 하면 소형 배수구 연장

1) 개요

교면 침투수 배출을 위해 캔틸레버 하면에 설치된 유공관으로부터 떨어지는 우수에 의해 도장 열화 및 누수흔적이 조사되었으며, 현재 PVC배수관 또는 고무튜브를 통해 배수 처리가 되고 있으나, 배수관 연장이 되지 않은 배수구에 대해서는 STS 재질의 배수관을 이용하여 포장면 내부 침투수를 처리함으로써 편리한 시공방법으로 시설물의 배수처리가 원활히 이루어지도록 보수가 필요하다.



2) 보수개념도



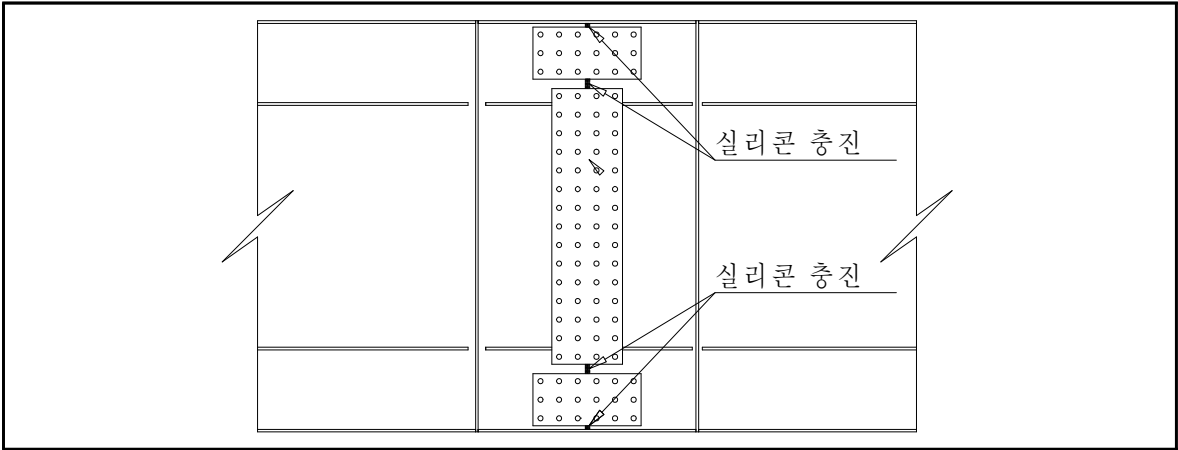
3) 시공순서





아. Steel Box Girder 스플라이스 틈새 실런트 주입

- 1) 개요
- 거더 내부에 Scallop 및 Splice 틈으로 우수가 유입하여 하부플랜지에 누수흔적, 강재 및 볼트 부식이 발생한 상태이므로 장기적인 유지관리 및 내구성 확보 차원에서 스플라이스 틈새 실런트 주입보수가 필요하다.
- 2) 보수 개요도



【그림 7-7】 스플라이스 틈새 실런트 주입

7.3 보수·보강 개략공사비

【표 7-17】충주IC1교 - 보수·보강 개략공사비

구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위
바닥판	•균열(Cw=0.3mm이상)	주입보수	11.50	17.25	m	70	1,207	2
	•균열/백태	표면처리보수	4.60	6.90	m ²	33	231	3
	•누수흔적/백태	표면처리보수	0.18	0.27	m ²	33	10	3
	•백태	표면처리보수	0.27	0.41	m ²	33	14	3
	•파손	단면보수	0.08	0.12	m ²	212	26	3
Steel Box Girder 내부	•도장박리	재도장	0.04	0.06	m ²	32	2	2
	•부식	녹제거 후 재도장	1.05	1.58	m ²	32	51	2
	•볼트풀림	볼트재 체결	1.00	1.00	EA	6	6	3
	•실링재불량	실링재 재시공	1.00	1.00	EA	4	4	3
	•배설물	청소	0.13	0.20	m ²	13	3	3
	•점검등 탈락	청소	1.00	1.00	EA	13	14	3
격벽	•도장박리	재도장	1.02	1.53	m ²	32	50	2
Steel Box Girder 외부	•누수흔적	재도장	3.15	4.73	m ²	32	153	2
	•도장박리	재도장	0.12	0.18	m ²	32	6	2
	•부식	녹제거 후 재도장	2.96	4.44	m ²	32	144	2
	•볼트부식	재도장	49.00	49.00	EA	32	1,585	2
교대	•균열(Cw=0.3mm이상)	주입보수	2.90	4.35	m	70	305	2
	•보수부 박리	표면처리보수	1.16	1.74	m ²	33	59	3
	•재료분리	단면보수	0.12	0.18	m ²	212	39	3
교각	•균열(Cw=0.3mm이상)	주입보수	4.60	6.90	m	70	483	2
	•누수흔적	표면처리보수	3.70	5.55	m ²	33	186	3
	•들뜸	방청 후 단면복구	3.00	4.50	m ²	241	1,085	2
	•박락	단면보수	0.06	0.09	m ²	212	20	3
	•보수부박리	표면처리보수	0.08	0.12	m ²	33	5	3
	•재료분리	단면보수	0.78	1.17	m ²	212	249	3

※균열(Cw=0.3mm미만)은 손상물량 m, 보수물량 m²로 산정함.(보수물량=손상물량*0.25)

【표 7-17】 충주IC1교 - 보수·보강 개략공사비(계속)

구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위
교량받침	•파손	단면보수	0.03	0.05	m ²	57	3	3
	•부식	채도장	0.30	0.45	m ²	33	16	2
	•박락	단면보수	0.08	0.12	m ²	212	26	3
	•파손	단면보수	0.27	0.41	m ²	212	86	3
신축이음	•균열(Cw=0.3mm미만)	표면처리보수	11.90	4.46	m/m ²	33	149	3
	•파손	단면보수	0.10	0.15	m ²	212	32	3
배수시설	•배수로 이물질퇴적	청소	5.00	5.00	EA	13	68	3
	•유도배수관 부식	유도배수관재설치	2.00	3.00	m ²	4	13	2
방호벽	•균열(Cw=0.3mm미만)	표면처리보수	9.20	3.45	m/m ²	33	116	3
	•망상균열(Cw=0.3mm미만)	표면처리보수	2.36	3.54	m ²	33	119	3
	•누수흔적	누수보수	1.26	1.89	m ²	35	67	2
	•박락	단면보수	0.12	0.18	m ²	212	39	3
	•박리	표면처리보수	0.97	1.46	m ²	33	49	3
	•녹발생	방청 후 단면복구	0.27	0.41	m ²	241	98	2
	•철근노출	방청 후 단면복구	0.04	0.06	m ²	241	15	2
	•파손	단면보수	1.27	1.91	m ²	212	405	3
순공사비 합계(천원)							7,149	
제경비(순공사비×50%)							3,575	
순위별 공사비 (제경비 포함)							1순위	-
							2순위	7,920
							3순위	2,804
개략공사비(천원)							10,724	

※ 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→m², 볼트부식 : 1EA당 0.1m², EA→m² 등)

※ 균열(Cw=0.3mm미만)은 손상물량 m, 보수물량 m²로 산정함.(보수물량=손상물량*0.25)

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

7.4 유지관리 방안

교량의 유지관리는 교량의 공용수명 동안 교량의 안전성과 기능성을 유지하기 위하여 행하는 행위으로써 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

충주IC1교에 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 관찰함으로써, 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

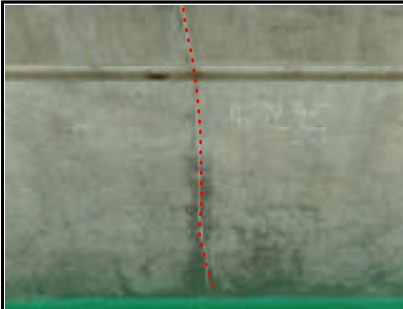
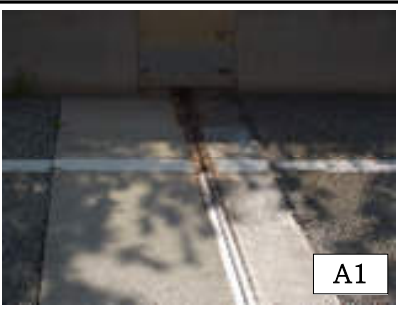
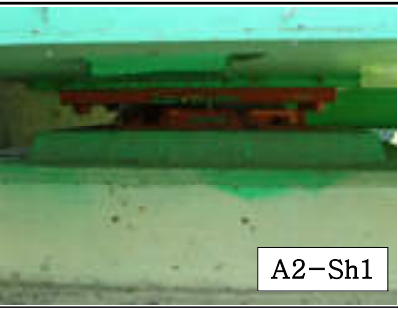
향후 충주IC1교의 공용년수 증가시 내구성 및 사용성을 저하시킬 수 있는 손상들에 대해서는 결함의 진전여부 및 재발생 여부를 주기적으로 관찰하는 등 중점유지관리 항목으로 선정하여 구조물의 유지관리를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

【표 7-18】 주요 손상별 중점 유지관리 사항

구 분	NO.	위 치		내 용	상태평가	대 책	비 고
외관조사 중요결함	—	—	—	—	—	—	—
상태평가	①	바닥판하면	S2	균열(폭 0.3mm)	c	주입보수	보수 후 관찰
	②	교 각	P2	누수흔적, 들뜸	c	방청/단면보수	보수 후 관찰
	③	신축이음	A1, A2	부식(갓길측)	c	지속관찰	—
	④	배수시설	A1, A2	유도배수판부식	c	재설치	보수 후 관찰
	⑤	방호벽, 중앙분리대	S1~S3	표면열화 (박리, 파손 등)	c	단면보수 등	보수 후 관찰

【표 7-18】 주요 손상별 중점 유지관리 사항(계속)

구 분	NO.	위 치	내 용	상태평가	대 책	비 고
안전성평가	-	-	-	-	-	-
기타	⑥	교량받침	A2	여유량 부족	-	지속관찰
	⑦	신축이음	A1, A2	신축이음장치 유간부족	-	지속관찰
	⑧	방호벽	A2	단차	-	지속관찰 H=3.0cm

		
① S2 바닥판 하면 균열	② P2 코핑부 하면 누수흔적/들뜸	③ 신축이음장치 부식(A1, A2)
		
④ 유도배수판 부식(A1, A2)	⑤ 방호벽, 중앙분리대 표면열화	⑥ A2 받침장치 여유량 부족
		-
⑦ 신축이음장치 유간부족(A1, A2)	⑧ A2 방호벽 단차	-

다. 부재별 중점유지관리 사항

본 교량에 대한 부재별 유지관리 중점사항은 다음과 같다.

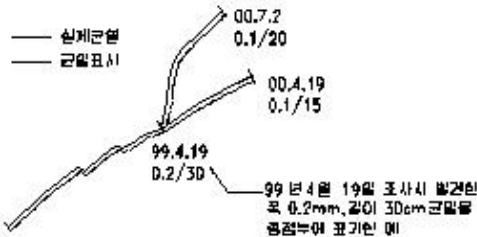
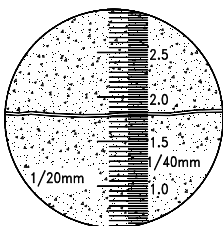
【표 7-19】 부재별 유지관리 중점사항

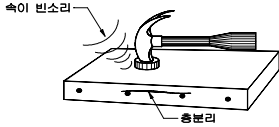
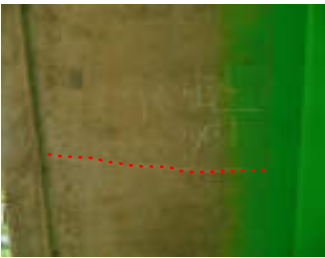
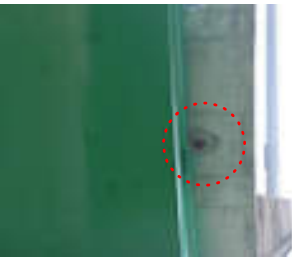
부재구분	중 점 점 검 내 용
교면포장	◦주요점검 대상 · 균열 및 망상균열 포트 홀 발생여부 · 재포장구간의 보수상태 점검 및 신규손상 발생 여부
배수시설	◦주요점검 대상 · 배수관 막힘
방호벽	◦주요점검 대상 · 콘크리트 파손/박락, 철근노출 · 전경간에서 균열이 조사됨 : 손상진전여부
바닥판	◦주요점검 대상 · 0.2mm 미세균열 진전여부 · 균열부 백태 진전여부 · 배수관 주변 백태 진전여부
강박스거더	◦ 쇼킹부의 열화 심화 여부 확인 ◦ 도장박리부 보수 후 재손상 발생 여부 확인 ◦ 언더컷, 피트 등의 손상 주변에 피로 균열, 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 ◦ 흙벽 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

점 검 부 위		점 검 항 목
▷ 공통		• 박리, 박락, 층분리, 철근노출(피복두께 부족), 파손 • 백태(유리석회), 오염 • 재료분리
▷ 거더교		• 균열(거더사이, 헌치부 종방향 균열) • 망상균열
▷ 슬래브, 라멘교 상부	· 단부	• 부스러짐 • 사인장균열
	· 중앙부	• 휨균열
주요 부 위	  <바닥판> <바닥판-캔틸레버>	
점 검 요 령	○ 점검방법 · 도보접근이 불가능한 구간은 점검장비를 이용 근접 점검 · 슬래브의 중앙부 횡방향 균열과 받침부 사인장균열은 단면부족 등과 같은 구조적 균열의 형태로써 균열폭, 진전사향 등을 파악하기 위하여 균열의 시·종점을 표시하여 정기적으로 진전여부 관찰  (a) 균열표시 예  (b) 균열경 조사 예	

점 검 요 령	· 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 편칭 전단 파괴의 우려가 있다. ※ 점검용 망치 : 내부의 공동이나 층분리 여부를 소리로 판단. 즉 건전한 부분을 두들기면 “퐁” 하는 맑은 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
주 요 손 상	   <S1 균열(0.1mm)> <S1 백태> <S1 파손>
원 인	· 공용 중 우수가 장기간 동안에 치밀성이 부족한 부위로 침투하여 발생 · 시공초기 건조수축 및 강선 긴장시 응력에 의한 미세균열
중 점 점 검 사 항	◦ 바닥판 · 균열발생부의 손상진전 여부 · 캔틸레버부측 누수여부(배수구 주변, 신축이음부) · 바닥판(상부플랜지) 하면 콘크리트 열화(파손 및 철근노출 등) 발생여부
점 검 도 구	◦ 사진기 ◦ 균열자 ◦ 점검용 망치 ◦ 확대경 ◦ 줄자 ◦ 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필) ◦ 점검야장 ◦ 필요시 반발경도 및 탄산화 시험기기

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
주요 부 위	 <강박스 거더 내부>  <강박스 거더 외부>	
점 검 요 령	○ 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 띄는 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	

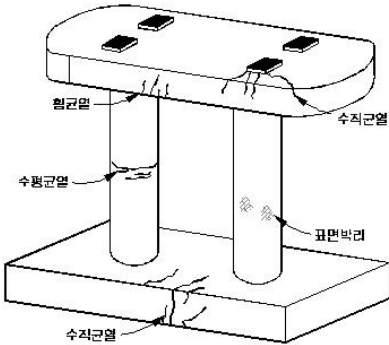
주요 손상			
	<S2-G2(내부) 부식>	<S2-G2(외부) 도장박리>	<S3-G2(외부) 볼트부식>
원인	◦ 시공미흡 및 도장열화 ◦ 시공미흡		
중점 점검 사항	◦ 거더외부 · 도장박리 및 부식부의 추가손상 및 심화여부 · 용접부 및 볼트부식부 손상 심화여부 ◦ 거더내부 · 도장박리 추가손상 및 심화여부 · 현장이음부 겹으로 우수유입 및 우수유입에 의한 강재거더 부식여부		
점검 도구	• 사진기(망원렌즈) • 줄자(5m자) • 점검야장 • 점검용 망치 • 손전등(박스내부) • 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)		

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 홍벽 경계부 균열(후면으로 기울음) • 거더와 홍벽 신축유간 부족
▷ 벽체		• 균열(수직균열) • 벽체와 날개벽 분리(이동)
▷ 날개벽		• 날개벽 이동, 전도
주요 부위		
	<교 대 A2>	<교 대 A1-좌측면(점검계단)>

점 검 요 령	◦ 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 단혀 있을 경우 거더 상·하부와 홍벽 사이 간격이 서로 차이가 나는지 점검하고 교대 전도 여부도 확인 · 연약지반상의 교대는 뒷채움부의 침하로 인하여 접속슬래브 하부에 공동이 발생하여 홍벽이 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 1mm 이상이면 교대기초의 부등침하도 의심하여야 함	
주 요 손 상	 <교대(A1) 구체 균열(0.3mm)>	 <교대(A1) 홍벽 보수부박리>
	 <교대(A2) 구체 재료분리>	 <교대(A2) 침하>
원인	◦ 시공초기 건조수축 및 온도변화 ◦ 지반의 장기안정화 과정에서의 계단부에 국한된 침하	
중 점 점 검 사 항	◦ 교대의 수직균열 · 수직균열의 진전여부 ◦ 점검계단의 침하진전 여부	
점 검 도 구	• 사진기 • 균열자 • 줄자(5m자) • 점검용 망치	• 점검추 - 기울음 측정 • 탄산화 시험기 • 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필) • 점검야장

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
주 요 부 위		
	<교각(P1)>	<교각(P2)>
점 검 요 령	 ◦ 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 전도 여부를 확인하고 구체에 기준점을 표시하여 침하여부를 주기적으로 확인 ◦ 손상발생시 조치 · 교각두부 받침하부에 폭 0.3mm 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	

주요 손상	   <교각(P1) 교각부 균열> <교각(P2) 교각부 망상균열> <교각(P2) 코핑부 누수흔적/들뜸>
원인	◦ 시공초기 건조수축 및 수화열 등 ◦ 외부충격 등
중점 점검 사항	◦ 교각의 수직균열 및 수평균열 · 균열의 진전여부 및 보수부 재균열 여부 ◦ 단면손상(철근노출, 박리, 파손)의 진전여부 ◦ 보수부 재손상 발생여부
점검 도구	• 사진기 • 균열자 • 줄자(5m자) • 점검용 망치 • 점검추 - 기울음 측정 • 탄산화 시험기 • 필기 도구(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	   <반침장치 (양방향)> <반침장치 (고정단)> <반침장치 (일방향)>																	
점검요령	○ 점검방법 · 도보접근이 불가능한 부분은 접근장비를 이용하여 근접점검 · 가동반침의 가동여부는 가동면의 윤활재가 밀린 흔적이나 먼지 부착정도로 확인 가능함 · 눈금자가 설치되지 않은 반침은 측면을 깨끗한 형궤으로 잘 닦고 유성펜으로 상부반침과 이동제한장치 끝부분에 수직으로 선을 그어 놓으면 다음 점검시 온도차에 따른 가동량을 측정할 수 있음 · 곡선교 내측 단부 혹은 사교의 예각부 단부의 부반력으로 인한 반침과 거더의 들뜸 상태 점검 · 경사교에서 반침 경사설치로 인한 상부가동반침과 하부반침 접촉 및 반침 부속품과의 접촉으로 인한 가동장애요소 점검 · 수직보강재와 반침이 10cm 이상 편기시 하부플랜지의 국부변형이나 거더 복부판의 좌굴 여부 확인 · 반침하부에 공동이 의심되면 긴드라이버 혹은 철사로 찔러서 확인하고, 침하흔적은 앵커볼트의 체결상태 및 인접반침의 상태를 참고하여 확인 · 반침부의 물고임 부분은 누수부위의 확인 및 물고임 원인분석																	
점검요령	○ 손상발생시 조치 · 반침하부 교각 두부에 0.3mm 이상의 균열이 단부까지 진행된 경우 즉시 보고하고, 안전성 검토 및 대책 수립 필요 ○ 점검시 유의사항 · 반침점검을 위한 교각 점검통로 이동시 항상 2인1조로 하여 신호유도를 실시하여 안전사고에 유의가 필요함																	
중점점검사항	○ 반침주요손상 점검 · 신축이음 누수 및 반침부식 · 몰탈 균열 및 파손, 반침콘크리트 균열 및 파손 등 · 연단거리 확보여부 ○ 가동반침의 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, 한냉지방 $-20 \sim +40^{\circ}\text{C}$) l : 신축 주형길이(m)	<table><tr><th>구분 (A2)</th><th>기전단 (2012)</th><th>금회 (2016)</th></tr><tr><td>온도(℃)</td><td>18.9</td><td>29.2</td></tr><tr><td>이동량 (Sh1) (mm)</td><td>+27</td><td>+30</td></tr><tr><td>이동량 (Sh2) (mm)</td><td>+27</td><td>+30</td></tr><tr><td>결 과</td><td>N.G</td><td>N.G</td></tr></table>	구분 (A2)	기전단 (2012)	금회 (2016)	온도(℃)	18.9	29.2	이동량 (Sh1) (mm)	+27	+30	이동량 (Sh2) (mm)	+27	+30	결 과	N.G	N.G	
구분 (A2)	기전단 (2012)	금회 (2016)																
온도(℃)	18.9	29.2																
이동량 (Sh1) (mm)	+27	+30																
이동량 (Sh2) (mm)	+27	+30																
결 과	N.G	N.G																
점검도구	•사진기 •줄자 •균열자 •온도계 •유성펜(매직) 및 청소용 걸레 •점검용 망치 •드라이버(driver) •필기도구(소형 보드판, 매직, 분필) •점검야장																	

바. 신축이음장치

점 검 부 위		점 검 항 목
▷ 본체	· 공통	· 누수, 오염(배수시설 누락, 유간의 오물퇴적) · 유간(부족 및 과다) · 이상진동(충격음) · 본체 유동 및 파손(충격음, 흔들림)
	· 고무재	· 고무판 마모, 강판노출 및 부식
	· 강재	· 방수재(셀링재) 파손 - 노면수 유입
▷ 후타재		· 균열, 파손(패임 및 요철)
주 요 부 위	 <신축이음장치 A1>	 <신축이음장치 A2>
점 검 요 령	○ 점검방법 · 보도에서 점검 · 신축이음 본체의 유동, 단차, 파손으로 인한 충격음 발생 여부 점검 · 고무재의 마모, 파손, 충전 셀링재 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	
주 요 손 상	 <A1 후타재 균열>	 <A1 본체 부식>
		 <A2 후타재 파손>

원인	◦ 시공당시의 건조수축, 차량의 반복하중 및 충격 등 ◦ 주행차량의 충격 등	
중점 점검 사항	◦ 주요점검 대상구간 · Rail Joint : A1, A2 ◦ 본체 · 방수기능저하로 인한 누수 · 신축이음 표면마모, 부식 · 유간부족 및 파다, 파손, 단차, 볼트탈락으로 인한 충격음 발생 및 본체 유동 · 유간부족 및 파다로 인한 본체 및 기타부재 파손 ◦ 후타재 · 구조물 경계부 포장침하로 인한 단차 · 콘크리트 품질불량, 열화에 의한 균열, 파손	
점검 도구	• 사진기 • 줄자 • 점검용 망치	• 드라이버(driver) - 유간오물 확인 • 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필) • 점검야장

사. 교면포장

점검부위		점검항목
▷ 공통		• 균열, 요철, 단차, 포트홀, 소성변형
▷ 신축이음 전후, 구조물 경계부		• 단차, 침하
▷ 배수구 주변		• 물고임, 이물질 퇴적
주요 부위	 <교면포장>	 <교면포장>
점검 요령	◦ 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 확인한 부분은 위치, 규모에 대하여 기록 후 사진 촬영 · 포트홀의 직경이 20cm이상 혹은 종방향 단차가 30mm이상 발생하여 추가손상이 우려되거나 주행안전성에 지장을 초래할 경우 즉시 보고하여 대책을 수립 ◦ 점검시 유의사항 · 교통사고의 위험이 높으므로 2인 1조로 하여 차량 진행방향과 반대방향으로 걸어가면서 점검	

주요 손상	 <교면포장 균열>	 <교면포장 균열>
원인	◦공용기간의 경과에 의한 노후화 ◦중차량 통행 등	
중점 점검 사항	◦ 교면포장 · 균열 및 마모발생 여부 확인 · 포트홀 및 포장파손 진전여부 · 접속부 단차로 인한 2차손상여부	
점검 도구	•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)
주요 부위	 <배수구>	 <배수관>

점 검 요 령	○ 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	
점검 도구	• 사진기 • 드라이버(driver) • 점검용 망치	• 줄자 • 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필) • 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
주 요 부 위	 <방호벽>  <방호벽>	

점 검 요 령	○ 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 0.3mm 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
점검 도구	•사진기 •솔(브러쉬) •강재 부식부위 등 상세확인 •줄자 •펼기도구(소형 보드판, 매직, 분필) •점검야장

7.4.3 붕괴유발부재 현황 및 관리요령

1) 강박스

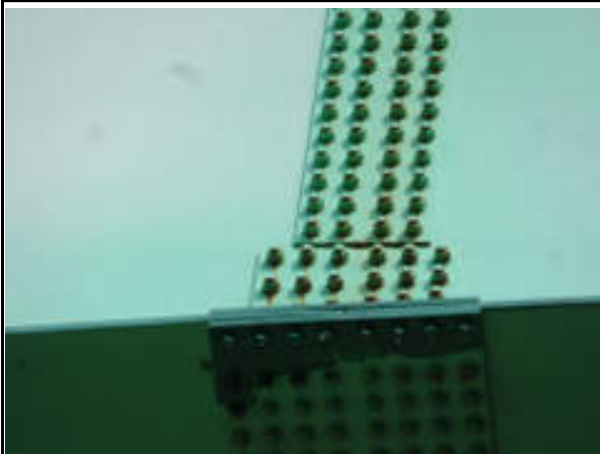
점검부위		점검항목
받침부	외부	- 복부판 부식 및 국부좌굴 - 거더와 받침연결부 부식
	내부	- 박스내부 충입구 개폐 - 거더와 받침연결부 부식 - 박스내부 바닥 물고임 및 부식
중양부	외부	- 맞대기 용접부 균열 - 플랜지 변형 및 처짐 - 스플라이스 볼트 탈락
	내부	- 맞대기 용접부 균열 - 플랜지 및 리브 변형 및 처짐 - 스플라이스 볼트 탈락 - 수평·수직보강재 용접 끝부분 균열 - 곡선교 다이아프램부와 리브, 보강재, 복부판과의 용접부 균열



< 박스외부 >



< 박스 내부 >



< 중양부 : 스프라이스(Splice) 볼트연결부 >



< 중양부 : 보강재 >

2) 받침부

점 검 요 령	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

점 검 요 령	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 스칼롭(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

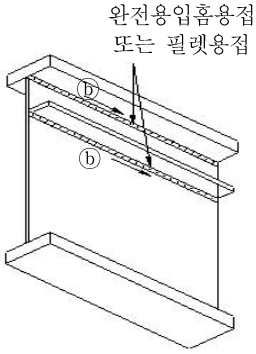
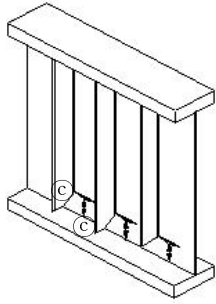
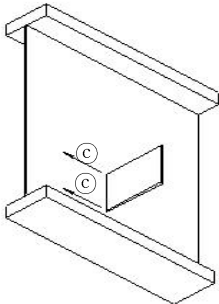
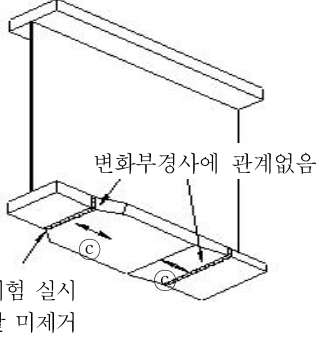
반복응력을 받는 부재와 용접부는 재료의 극한응력보다 아주 낮은 응력을 받는 경우에도 균열이 발생하기 쉬우며 이러한 균열을 “피로균열”이라 하며, 피로균열이 발생하기 쉬운 정도는 반복되는 활하중 응력의 크기, 용접형태 등에 따라 다르다. 도로교표준시방서는 피로균열이 발생하기 쉬운 정도에 따라 구조상세범주를 A~F(B', E')의 8가지로 구분하고 있다. 즉 상세범주에서 A보다는 C가 C보다는 E인 경우가 피로균열이 발생하기 쉬운 구조이며 특히 D~E'까지의 범주에 해당하는 부분은 허용피로응력이 상대적으로 낮으므로 점검시 주의를 기울여야 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)

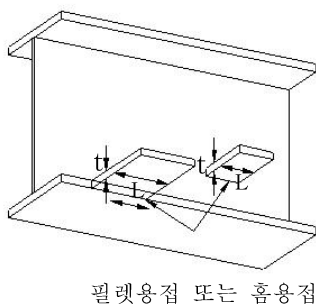
상 세 범 주	A	B	B'	C	D	E	E'	F
허용응력범위, * $\sigma_{sr}(\text{kg/mm}^2)$	16.8	11.2	7.7	7.7	3.5	1.6	0.9	4.2

* 응력범위는 최대응력과 최소응력의 대수차를 의미함

	
복부판과 수평보강재의 필렛용접부(응력범주 : B)	수직보강재의 용접단부(응력범주 : C)
	
복부판에 부착된 수직거šet판의 용접단부(응력범주: C)	맞대기 이음부, 용접덧살을 제거하지 않은 경우(응력범주: C)

— 필렛용접, 흡용접된 부착물

※ 변화부반경, R을 갖는 경우는 이음길이와 관계없이 R에 의해 응력범주가 결정됨



응력방향 용접길이 L(cm)	부착물두께 t(cm)	응력범주
$L \leq 5$	—	C
$5 < L \leq 10$ (단, $12t$ 이하)	—	D
$L > 12t$ 또는 $L > 10$	$t < 2.5$	E
	$t \geq 2.5$	E'

제8장

종합결론

제8장 종합결론

충주IC1교는 설계하중 DB-24(DL-24)의 고속국도 교량으로서, 2002년에 준공되어 약 14년 정도 공용 중에 있으며, 충청북도 충주시 이류면 완오리(중부내륙선, 이점 224.61km)에 위치하고 있는 편도 1차로 교량이다.

본 교량은 총폭 7.60m, 총연장 145.0m (45.0m + 55.0m + 45.0m)이며, 상부구조는 3경간의 Steel Box Girder 형식으로써, 교각의 형식은 T형이고 기초는 확대기초(P1~P2)로 이루어져 있으며, 교대의 형식은 역T형이고 기초는 확대기초+강관말뚝기초로 시공되어 있으며, 교량받침은 포트받침, 신축이음 장치는 레일조인트(A1, 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.

가. 외관조사 결과

- 각 부재별 외관조사 결과, 주요 손상으로는 바닥판하면의 미세균열(0.2mm이하, 횡방향 균열), 폭 0.3mm이상 균열, 균열부 백태, 강박스 거더의 내·외부 도장박리 및 부식, Splice 볼트부식, 하부구조의 미세균열 및 0.3mm이상의 균열, 받침장치의 이동량 초과, 표면부식, 받침물탈 및 콘크리트 균열, 박락, 신축이음장치의 유간 협착 및 후타재 균열, 파손, 교면포장의 아스콘 균열, 배수시설의 배수구 막힘, 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 균열폭에 따른 적절한 보수가 필요하다.
- 하부구조에서 조사된 0.3mm미만의 균열은 대부분 Massive한 기둥부에서 시공초기 수화열에 의한 내외부 온도차 및 건조수축균열로 판단되며, 내구성 확보를 위해 주입보수가 필요하고, 국부적인 미세균열(폭 0.2mm이하) 등에 대해서는 현시점의 보수보다는 지속관찰을 통해 균열 진전시 보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 교대 A1, A2의 원호활동에 의한 측방유동 검토결과 기준안전율을 상회하여 측방유동의 가능성은 없는 것으로 검토되었고 교대 A2에 대한 2차원 수치해석을 통한 지반해석

결과 최대 수평변위는 14.52mm, 침하량은 4.01mm로 허용값 이내로 분석되었다.

- 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 협착(A2) 본체 부식, 후타재 균열 및 파손, 포장의 균열 및 소성변형 등의 손상은 공용년수의 증가, 중차량 통행 등이 원인으로 지속적인 관찰을 통하여 손상 진전여부검토가 필요하다.
- 기타, 소규모로 발생한 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 상태등급은 “a”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 $X=0.258$)로 평가되었다.
- 기 진단(2012년) 대비 금회 진단 결과에 따른 상태등급이 상향 조정되었으며, 그 원인은 바닥판 하면 및 교대, 교각에 발생한 균열보수, 신축이음 장치 보수, 받침장치 도장보수에 따라 상태 등급이 상향된 것으로 분석되었다.

라. 안전성평가 결과

- 구조검토를 통한 안전성 검토결과, 바닥판의 캔틸레버부와 중앙 단면은 최소 안전율 1.0이상인 1.401으로 평가되어 안전성을 확보하고 있으며, 강박스 거더의 휨응력, 전단 응력, 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, 충주IC1교는 “B” 로 평가되었고, 안전등급은 『보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없으며, 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태』인 B등급으로 평가되었다.

바. 결론

- 충주IC1교는 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 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 일부 부재에 발생한 손상(바닥판하면 0.2mm이하의 횡방향 균열, 균열폭 0.3mm이상 균열, 균열부 백태 및 누수흔적, 강박스 거더의 내·외부 도장박리 및 부식, Splice 볼트부식, 볼트볼림, 용접불량, 받침장치의 이동량 초과(A2), 부식, 재료분리 및 파손, 교량받침 몰탈 및 콘크리트 균열, 박락, 신축이음장치의 유간 협착 및 후타재 균열 및 파손, 교면포장의 아스콘 균열, 배수시설의 배수구 막힘, 방호벽의 균열 및 단차, 철근노출 및 파손, 박락 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.