



천안논산고속도로
Cheonan Nonsan
Expressway

논산천안고속도로 1종시설물

정밀안전진단 보고서

- 연 무 | C 교 -

2018. 06

Cheonan Nonsan Expressway

Corporate Identity Standard

BASIC SYSTEM | APPLICATION SYSTEM

논산천안고속도로 1종시설물

정밀안전진단 보고서

연무 I C 교

2018.6



천안논산고속도로(주)

제 출 문

천안논산고속도로 주식회사 귀중

귀사와 2017년 10월 16일자로 계약을 체결한 “논산천안고속도로 1종시설물 정밀안전진단 용역(2구역)”을 성실히 수행하고 연무IC교의 결과를 본 보고서에 수록하여 부속자료와 함께 제출합니다.

2018년 06월

(주)한 국 구 조 물 안 전 연 구 원

이 채 규



(주)한 맥 기 술

이 기 상



연무IC교 정밀안전진단 결과표

가. 일반현황					
용역명	논산천안고속도로 1종시설물 정밀안전진단 용역(2구역)	진단기간	2017. 10. 19 ~ 2018. 06. 30		
관리주체명	천안논산고속도로(주)	대표자	이 선 관		
공동수급	(주)한국구조물안전연구원, (주)한 맥 기 술	계약방법	일반경쟁		
시설물 구분	교 량	종 류	도로교량	종 별	1종
준공일	2002년 12월 23일	진단금액 (천원)	20,684	안전등급	B
시설물 위치	충청남도 논산시 채운면 화정리 (연무IC 10+043)	시설물 규모	L=200.0m, B=15.6m(2차로)		
나. 진단 실시결과 현황					
중대결함	■ 없음				
진단 주요결과	■ 바닥판 하면 폭 0.1~0.2mm 균열, 들뜸, 백태 ■ 거더 내부 Splice 틈, PIT, 굽힘, 녹발생 및 단부부식, 도장박리 및 부식 등 ■ 거더 외부 굽힘, 도장박리, 볼트풀림, 부식 ■ 가로보 및 세로보 부식 ■ 교대 및 교각 폭 0.1~0.3mm 균열, 망상균열, 들뜸 및 박락, 백태 등 ■ 교량받침 무수축물탈 균열, 유압실린더 및 받침 부식 ■ 신축이음 본체 부식, 유간 토사퇴적, 후타재 폭 0.1~0.2mm 균열, 파손 및 들뜸 ■ 난간 및 연석 폭 0.1~0.3mm 균열, 백태, 박리 및 박락, 파손, 도장박리 등				
주요 보수·보강	■ 폭 0.3mm균열 주입보수 ■ 들뜸 및 박락, 파손 부 단면보수 ■ 도장박리 및 부식 부 채도장				
다. 책임(참여)기술자 현황					
구분	성명	과업 참여기간		기술등급	
사업책임	서 중 태	2017. 10. 19 ~ 2018. 06. 30		특급기술자	
분야별책임	오 판 수	2017. 10. 19 ~ 2018. 06. 30		특급기술자	
	최 진 선	2017. 10. 19 ~ 2018. 06. 30		특급기술자	
분야별참여	전 국 현	2017. 10. 19 ~ 2018. 06. 30		특급기술자	
	유 창 수	2017. 10. 19 ~ 2018. 06. 30		특급기술자	
참여기술자	이 상 훈 외 23인	2017. 10. 19 ~ 2018. 06. 30		고급기술자 등	
라. 참고사항					
■ 폭 0.3mm이상 균열부 및 기 손상부 진전 여부 파악 및 신규손상 발생여부 파악					

연무IC교 정밀안전진단 실시결과 요약표

책임기술자 종합의견	
○ 연무IC교는 16년의 공용기간이 경과한 교량시설물로서, 주부재인 강박스 거더와 바닥판, 하부구조에는 구조적 손상은 조사되지 않은 상태이다. 주부재 및 보조부재에 일부 발생한 균열(폭 0.3mm이상), 들뜸 및 박락, 도장박리 및 부식 등의 손상부는 교량의 내구성 저하 방지를 위한 국부적인 보수 및 주의관찰을 통한 지속적인 유지관리가 필요한 것으로 평가되었다. ○ 따라서, 본 교량의 상태평가 및 안전성평가 결과를 토대로 안전등급을 산정하면 『B등급(양호)』로 평가되었으며, 결함 및 손상 부위에 대하여 보수를 실시하고 중점유지관리가 필요한 구간에 대한 지속적인 유지관리가 수행된다면 1등교(DB-24)로서의 기능을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.	
책임기술자 : 서 종 태 (서명)	

가. 정밀안전진단 외관조사 결과 기본사항

상태평가 결과 및 보수·보강				상태평가 결과 : B
결함발생 부재		상태평가 결과	결함종류	보수·보강(안)
상부구조	바닥판	a~b	- 균열(0.3mm미만) - 들뜸 - 백태	- 주의관찰 - 주의관찰 - 주의관찰
	거더 내부	b	- Splice 틈, PIT, 굽힘 - 단부부식, 도장박리 및 부식 - 이물질 퇴적, 화재흔적	- 주의관찰 - 재도장 - 주의관찰
	거더 외부	b	- 굽힘, 볼트풀림 - 도장박리 및 부식	- 주의관찰 - 재도장
	가로보 및 세로보	a~b	- 부식	- 재도장
하부구조	교대	c	- 균열(0.3mm미만), 망상균열 - 균열(0.3mm이상) - 들뜸 및 박락, 계단부 침하 - 백태, 누수흔적, 배부름	- 주의관찰 - 주입보수 - 단면보수 - 주의관찰
	교각	a~b	- 균열(0.3mm미만) - 표지판 탈락	- 주의관찰 - 주의관찰

상태평가 결과 및 보수·보강			상태평가 결과 : B
결함발생 부재	상태평가 결과	결함종류	보수·보강(안)
교량받침	b~c	- 무수축 몰탈 균열 - 받침 부식	- 주의관찰 - 재도장
신축이음장치	c	- 본체 부식, 유간 토사퇴적 - 후타재 균열(0.3mm미만), 들뜸	- 주의관찰 - 주의관찰
교면포장	a	- 상태 양호	- 주의관찰
기타부재	배수시설	a	- 상태 양호 - 주의관찰
	난간 및 연석	b~c	- 균열(0.3mm미만), 백태 - 균열(0.3mm이상) - 박리 및 박락, 파손 - 도장박리 - 주의관찰 - 주입보수 - 주의관찰 - 주의관찰

나. 안전성평가 결과

안전성평가 수행 부재	해석방법	안전성평가 결과 요약	안전율	안전성평가 결과
강박스거더	허용응력법	최소 안전율 1.235로 양호	1.0이상	A
바닥판	강도설계법	최소 안전율 1.167로 양호	1.0이상	
교각	강도설계법	최소 안전율 2.045로 양호	1.0이상	

다. 내진성능 검토 수행 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약
-	Y	적용	당초 설계에 내진 반영

※ “제2장 자료수집 및 분석” 편에 상세히 기술함.

라. 현장시험(비파괴 및 추가시험)

시 험 명	시험부위		시험 결과		비 고
			측정	설계	
비파괴 강도 (MPa)	상부 구조	반발경도	28.2 ~ 30.3	27.0	■ 설계기준강도를 상회하는 양호한 것으로 나타나 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨.
		초음파	29.3 ~ 30.9		
	하부 구조	반발경도	25.1 ~ 26.3	24.0	
		초음파	27.1 ~ 28.2		
철근탐사 (mm)	상부 구조	배근간격	135 ~ 315	150 ~ 300	■ 전반적으로 철근간격 및 피복두께가 설계값과 근사함.
		피복두께	36 ~ 86	40	
	하부 구조	배근간격	93 ~ 297	100 ~ 300	
		피복두께	61 ~ 103	50 ~ 100	
탄산화 잔여깊이 (mm)	상부구조		30.0 ~ 36.0		■ 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 없는 것으로 검토됨.
	하부구조		62.0 ~ 97.0		
염화물 함유량 시험 (kg/m³)	상부구조		0.0294		■ 염화물에 의한 철근의 부식이 발생할 우려는 없는 것으로 평가됨.
	하부구조		0.0113 ~ 0.0317		
강재 비파괴 시험	초음파탐상시험		1급		■ 강재 용접부에 대한 시험 결과 결함이 없는 1급으로 나타남
	도막두께 측정 (μm)	거더내부	186 ~ 194	175	■ 도막두께 측정 결과 표준 도막두께를 상회하는 양호한 상태로 측정되었음
		거더외부	221 ~ 230	215	
종합 평가	- 비파괴강도 측정결과, 측정값은 설계기준강도를 상회하는 것으로 조사되었으며, 공용년수 경과에 따른 구조물의 강도저하는 없는 것으로 평가됨. - 탄산화 깊이 측정결과, 전 개소에서 상태평가 “a” 로 검토되어 양호한 상태로 판단됨. - 염화물 함유량의 경우 a등급으로 평가되었으므로, 염화물에 의한 철근의 부식이 발생할 우려는 없는 것으로 평가됨. - 거더에 대한 강재비파괴 시험 결과 용접부, 도장의 상태는 모두 양호한 것으로 나타남.				

연무IC교 현황표

작성일 : 2018년 06월 30일

구 분		내 용		구 분		내 용	
시설물명		연무IC교		시설물번호		BR2003-0001981	
준공년월		2002년 12월 23일		관리번호		논산천안교량-05	
시설물위치		충청남도 논산시 채운면 화정리					
설계하중		DB-24		노선명(이정)		논산천안고속도로 (연무IC 10+043)	
제원	연장	L = 200.0m (2@30+2@45+50 = 200.0m)					
	폭	B = 15.6m, 2차로					
구조 형식	상 부	강상자형교(STB)		기초 형식	교대	강관 PILE	
	하 부	교대-역T형(RTA) 교각-라멘식(RAP)			교각	강관 PILE	
교량받침		POT BEARING		신축이음		M.S JOINT	
교차시설물		군도 및 하천		통과높이		16.0m	
설 계 사		금호엔지니어링(주)		시 공 사		금호산업(주), 이수건설(주)	
내진설계유무		내진설계적용		관리주체		천안논산고속도로(주)	
부착시설내용		- 난간					
기 타		- 평면형상 : 사각이 없는 직선교 - 포장유형 : 아스팔트 포장 - 난간유형 : 콘크리트 - 중앙분리대 : 콘크리트 - 조명 시설 : 가로등 9기					

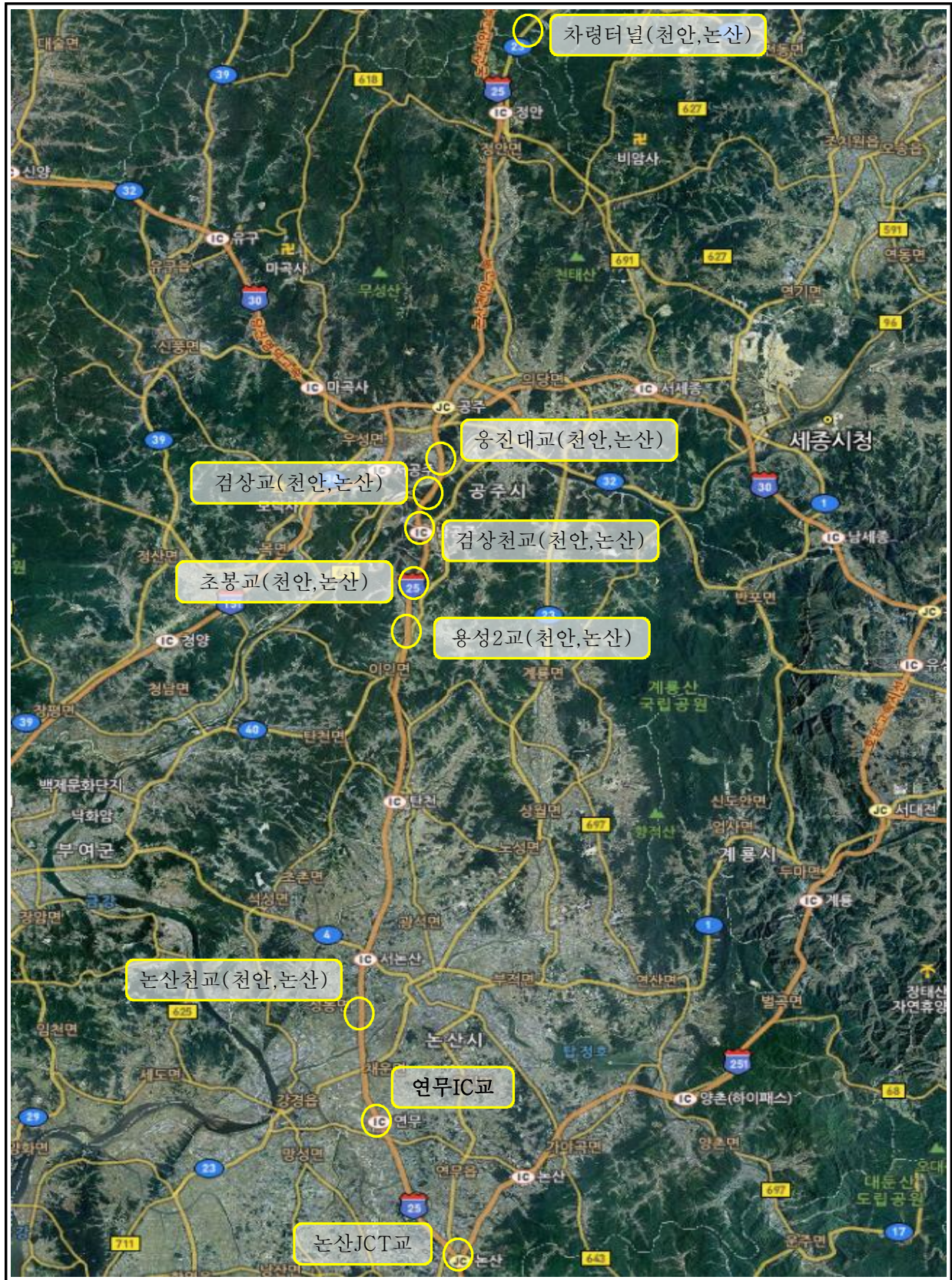
정밀안전진단 참여기술진(1)

참여구분	참여분야	소 속	직 위	성 명	참여기간	서 명
책임기술자	사업책임	(주)한국구조물안전연구원	부원장	서종태	10월19일~06월30일 (255일)	
분야별 책임기술자	재료시험분야	(주)한국구조물안전연구원	부원장	오관수	10월19일~06월30일 (127일)	
	자료분석분야	(주)한맥기술	사장	최진선	10월19일~06월30일 (127일)	
분야별 참여기술자	재료시험분야	(주)한국구조물안전연구원	부원장	전국현	10월19일~06월30일 (127일)	
	자료분석분야	(주)한국구조물안전연구원	부원장	유창수	10월19일~06월30일 (127일)	
참여기술자	재료시험분야	〃	부장	김정대	10월19일~06월30일 (255일)	
		〃	차장	곽호정	10월19일~06월30일 (127일)	
		〃	차장	박선영	10월19일~06월30일 (127일)	
		〃	차장	최희림	10월19일~06월30일 (127일)	
		〃	차장	김충희	10월19일~06월30일 (127일)	
		〃	과장	김세열	10월19일~06월30일 (127일)	
		〃	차장	이덕주	10월19일~06월30일 (127일)	
		〃	과장	김정훈	10월19일~06월30일 (255일)	
		〃	과장	마권동	10월19일~06월30일 (127일)	
		〃	과장	현지홍	10월19일~06월30일 (127일)	

정밀안전진단 참여기술진(2)

참여구분	참여분야	소 속	직 위	성 명	참여기간	서 명
참여기술자	재료시험분야	(주)한국구조물안전연구원	부장	이상훈	10월19일~06월30일 (255일)	
		〃	대리	이주형	10월19일~06월30일 (127일)	
		〃	대리	차광희	10월19일~06월30일 (127일)	
		〃	대리	김영학	10월19일~06월30일 (127일)	
		〃	사원	김재홍	10월19일~06월30일 (127일)	
		〃	사원	김호섭	10월19일~06월30일 (255일)	
		〃	사원	김인하	10월19일~06월30일 (127일)	
		〃	부장	양승필	05월01일~06월30일 (61일)	
		〃	이사	이택수	06월01일~06월30일 (30일)	
		(주)한맥기술	부장	김승제	10월19일~06월30일 (255일)	
		〃	부장	김건훈	10월19일~03월22일 (155일)	
		〃	과장	박지훈	10월19일~06월08일 (233일)	
		〃	사원	김치엽	10월19일~06월30일 (255일)	
		〃	부사장	고삼암	03월23일~06월30일 (100일)	

시설물의 위치도





○ 시설물 위치 : 충청남도 논산시 채운면 화정리 (논산천안고속도로 연무IC교 10+043)

시설물의 전경사진(1)



상부전경



측면전경

시설물의 전경사진(2)



바닥판하면 및 거더 외부 전경



강박스 내부 전경

시설물의 전경사진(3)



교대 전경(A1)



교각 전경(P1)

시설물의 전경사진(4)



신축이음장치 전경(A2)



교량받침 전경(P2)

시설물의 전경사진(5)



방호울타리 전경



교면포장 전경

시설물의 전경사진(6)



교량판 전경



교량설명판 전경

정밀안전진단 결과 요약문

1. 과업의 개요

1.1 과업의 목적

본 과업은 “시설물의 안전 유지관리에 관한 특별법”(이하 “시설물안전법”이라 한다.) 제7조 및 동법 시행령 제8조에 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

가. 정밀안전진단

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

나. 수중점검 : 해당사항 없음

다. 과업기간

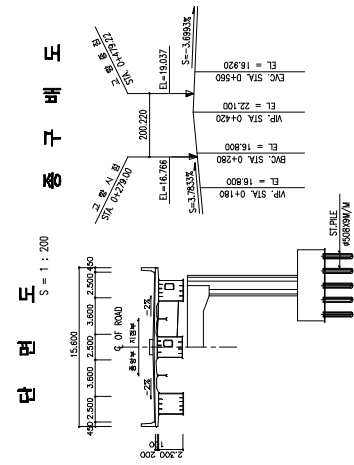
2017. 10. 19 ~ 2018. 06. 30(착수일로부터 255일간)

1.3 시설물의 개요

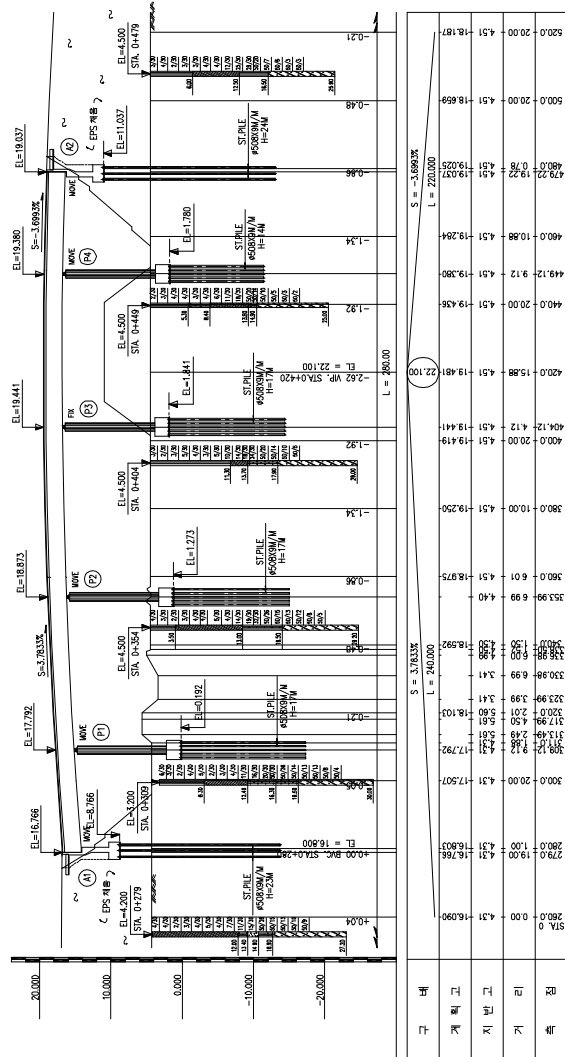
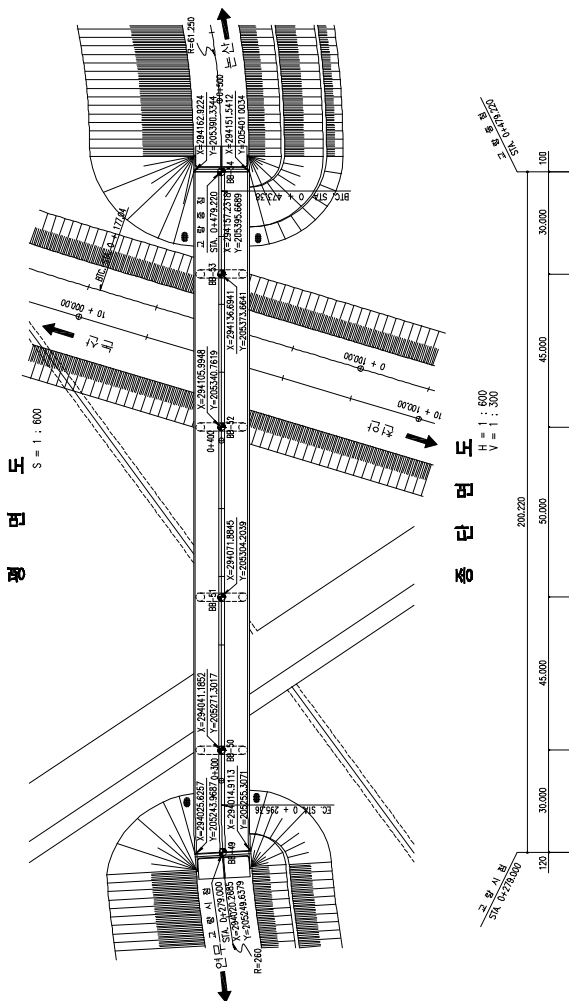
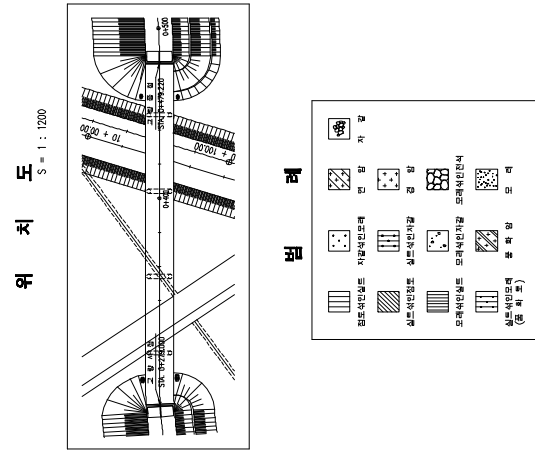
1) 시설물의 현황

구 분		내 용		구 분		내 용	
시설물명		연무IC교		시설물번호		BR2003-0001981	
준공년월		2002년 12월 23일		관리번호		논산천안교량-05	
시설물위치		충청남도 논산시 채운면 화정리					
설계하중		DB-24		노선명(이정)		논산천안고속도로 (연무IC 10+043)	
제원	연장	L = 200.0m (2@30+2@45+50 = 200.0m)					
	폭	B = 15.6m, 2차로					
구조 형식	상 부	강상자형교(STB)		기초 형식	교대	강관 PILE	
	하 부	교대-역T형(RTA) 교각-라멘식(RAP)			교각	강관 PILE	
교량받침		POT BEARING		신축이음		M.S JOINT	
교차시설물		군도 및 하천		통과높이		16.0m	
설 계 사		금호엔지니어링(주)		시 공 사		금호산업(주), 이수건설(주)	
내진설계유무		내진설계적용		관리주체		천안논산고속도로(주)	
부착시설내용		- 난간					
기 타		- 평면형상 : 사각이 없는 직선교 - 포장유형 : 아스팔트 포장 - 난간유형 : 콘크리트 - 중앙분리대 : 콘크리트 - 조명 시설 : 가로등 9기					

2) 시설물의 주요도면



NOTE : 1. 모든 가수의 실명은 자비 여건의 따라 변형될 수 있으므로 자비 소속 가수 자비 여건을 확인하십시오.
2. 모든 가수의 실명 후 주황색 배경에는 자비 여건의 실명된 가수 명을 하여야 한다.
3. 모든 가수의 실명 후 배경에는 자비 여건의 실명된 가수 명을 하여야 한다.
4. 자비 여건의 실명 후 배경에는 자비 여건의 실명된 가수 명을 하여야 한다.
5. 자비 여건의 실명 후 배경에는 자비 여건의 실명된 가수 명을 하여야 한다.
6. 자비 여건의 실명 후 배경에는 자비 여건의 실명된 가수 명을 하여야 한다.
7. 자비 여건의 실명 후 배경에는 자비 여건의 실명된 가수 명을 하여야 한다.
8. 자비 여건의 실명 후 배경에는 자비 여건의 실명된 가수 명을 하여야 한다.
9. 자비 여건의 실명 후 배경에는 자비 여건의 실명된 가수 명을 하여야 한다.
10. 자비 여건의 실명 후 배경에는 자비 여건의 실명된 가수 명을 하여야 한다.

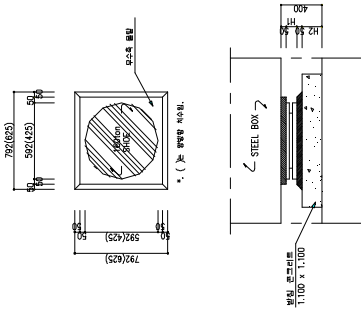


〈교량의 종.평면도〉

Revision. 2000년 4월 Revision. 2000년 8월 Revision1. 2000년 10월
 정민교황 철도정보 역점 1. 광역화 위해 수정 1. 철근 Dia 수정
 (t=12mm→9mm)
 2. 철근 Dia 수정

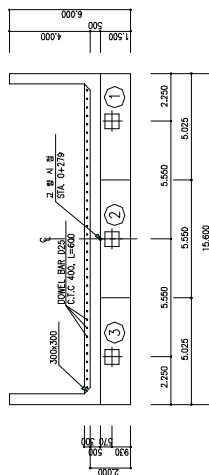
SHOE 받침 상세도.

T
S = NONE

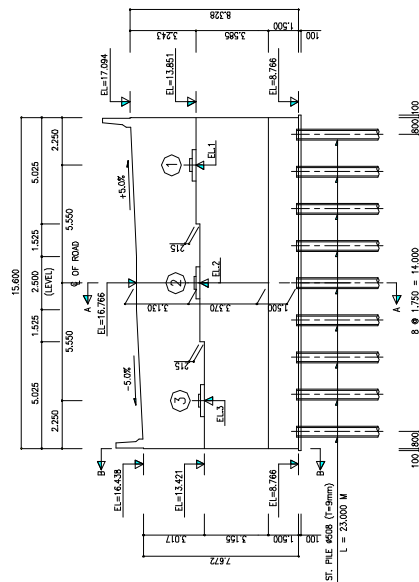


(부) (시) (점)

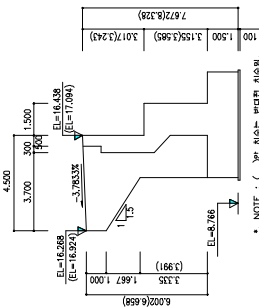
॥
॥
॥



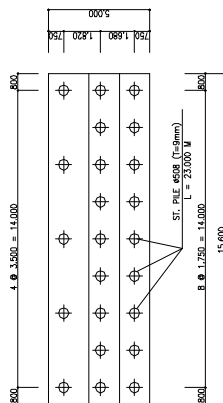
॥



8-15-17

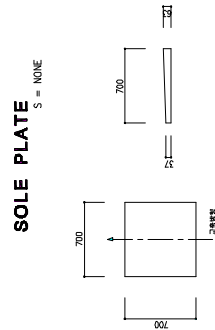


노
민
평
초
기



SHOE DIMENSION TABLE

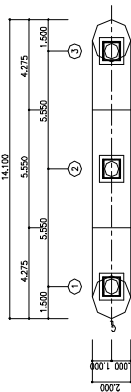
SHOE NO.	①	②	③
EL	13.851	13.636	13.421
	기동	정비형 (소극형)	정비형
SHOE	수리	160TON	160TON
	수평	0	0
	총부	Pot. Bearing 175	Pot. Bearing 107
H1	107	175	107
H2	193	125	193



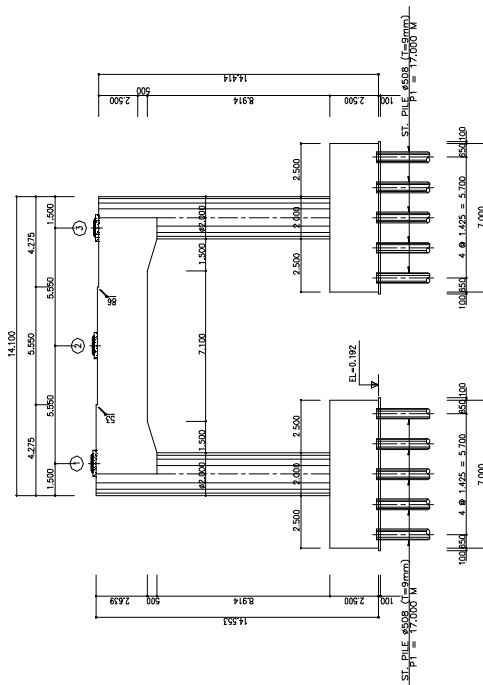
SOLE PLATE

S = NONE

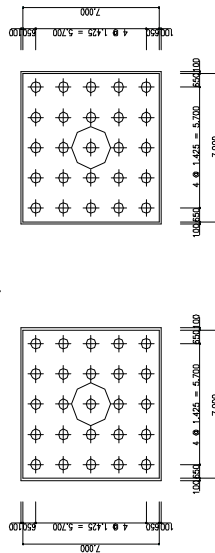
평면도



정면도



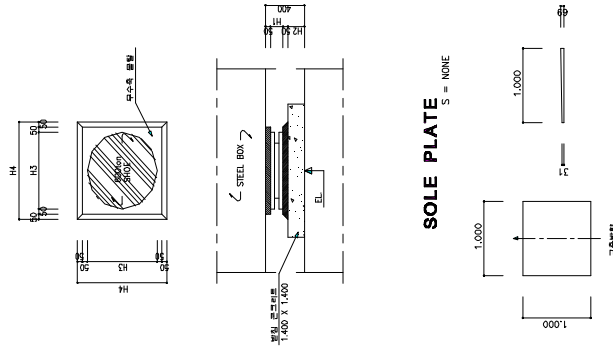
저면



Revision. 2000년 8월
1. 관관파일 두께 수정
(t=12mm→9mm)
2. 홈 Diα 수정

SHOE 받침 상세도

S = NONE



SHOE DIMENSION TABLE

PIER NO.	SHOE NO.	①	②	③	REMARK
(P)	SHOE	수평방향 기울기 수직 수평	14,745 600 TON 135 165	14,692 600 TON 242 58	14,606 Pier Bearing Pier Bearing 600 TON 135 165
	H1	수평	0	230 TON	0
	H2	수평	135	242	135
	H3	수평	165	58	165
	H4	수평	890	980	890

2. 자료수집 및 분석

2.1 보수·보강 이력

일 자	내 용	물 량	비 고
06년 10월	점검시설 정비	N=1EA	사다리 와이어 설치(P1)
08년 04월	받침장치 재도장	N=13EA	P2, A2
09년 11월	받침장치 재도장	N=4EA	A1-SH2
16년 10월	신축이음부 교체	A1 양방향 : MS 120 A2 양방향 : MS 80	

2.2 점검 및 진단이력

번호	구 분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요점검/진단결과	상태 등급
1	초기점검	2003.04	(주)아워브레인	주요 손상은 하부구조 균열, 교대 누수흔적 발생. 주의관찰.	A
2	정기점검	2003.12	(주)아워브레인	주요 손상은 교대 누수흔적 및 균열, 법면 보호블럭 침하, 파손 발생. 주의관찰.	-
3	정기점검	2004.6	(주)아워브레인	주요 손상은 교대 누수흔적 및 균열, 법면 보호블럭 침하, 파손 발생. 주의관찰.	-
4	정기점검	2004.7	(주)아워브레인	주요 손상은 주형외부 국부적인 도장박리, 법면 보호블럭 침하 및 파손, 도수로, 점검로 파손 발생. 주의관찰.	-
5	정밀점검	2005.4	(주)한길종합 엔지니어링	주요 손상은 주형외부 국부적인 도장박리, 법면 보호블럭 침하 및 파손, 도수로, 점검로 파손 발생. 주의관찰.	A

번호	구 분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요점검/진단결과	상태 등급
6	정기점검	2005.7	(주)한길종합 엔지니어링	주요 손상은 주형외부 국부적인 도장박리, 법면 보호블럭 침하 및 파손, 도수로, 점검로 파손 발생. 주의관찰.	-
7	정기점검	2006.3	(주)아워브레인	방호벽 및 하부구조에서 균열보수가 실시된 양호한 상태이나, 일부에서 보수부 재균열, 교대부 체수, 변색 및 콘크리트박락, 교면포장 접속부 이격(5cm), 배수시설 배수덮개 망실(그레이팅), 받침장치 무수축물탈 균열 및 유압실린더 부식, 신축이음부 본체 부식 및 후타재 이격, 누수등의 손상현황이 발생. 또한, 법면 보호블럭파손, 도수로 콘크리트 융기 및 파손, 점검사다리 와이어로프 망실등의 손상이 발생.	-
8	정기점검	2006.10	(주)아워브레인	교대부 체수, 변색 및 콘크리트박락, 배수시설 배수덮개 망실(그레이팅), 받침장치 무수축물탈 균열 및 유압실린더 부식, 신축이음부 본체 부식 및 후타재 이격, 누수 발생. 또한, A2 신축이음부 본체 유간이 0.2~0.4mm (하부슬래브 및 주형 유간은 양호한 상태임) 내외이므로 지속적인 관찰이 요망됨. 현재 손상현황은 구조적으로 큰 문제가 없는 것으로 사료되나, 구조물의 내구성 확보차원의 보수를 실시하며, 지속적인 관찰을 통한 유지관리가 필요함.	-
9	정밀점검	2007.6	(주)아워브레인	상태평가 등급은 A등급으로 주요 손상부에 보수가 실시된 양호한 상태이다. 주요 손상현황은 배수덮개 망실, 하부구조 균열(폭0.1~0.2mm), 누수 및 체수, 교좌 부식, 신축이음부 본체 마모 및 후타재 이격등의 손상이 조사되었다. 발생한 손상현황은 일부부재에서 내구성 확보차원의 보수가 필요하며, 기타 손상부는 주의관찰이 필요하다.	A

번호	구 분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요점검/진단결과	상태 등급
10	정기점검	2007.12	(주)아워브레인	교량 일부에서 보수가 실시되었으며, 공용년수 증가로 인하여 경미한 손상현황이 발생한 것으로 조사되었다. 발생한 손상현황은 접속부 아스콘 파손 및 공동, 방호벽 콘크리트 탈락, 배수구 덮개 망실, 주형 내부 경미한 도장손상 및 변형, 하부구조 균열(폭 0.1~0.2mm), 받침장치 부식, 신축이음 본체 표면 부식 등이다. 현재 구조적으로 큰 문제가 없는 것으로 사료되나, 구조물의 내구성 증진을 위한 일부 보수와 지속적인 관찰과 유지관리가 필요.	-
11	정기점검	2008.6	(주)아워브레인	받침장치 부식부에 재도장이 실시된 상태이나, 공용년수 증가로 인하여 일부 부재에서 손상현황이 발생한 것으로 조사되었다. 발생한 손상현황으로는 접속부 아스콘 파손 및 공동, 방호벽 콘크리트 탈락, 배수구 덮개 망실, 주형 내부 도장손상 및 변형, 하부구조 균열(폭 0.1~0.2mm), 신축이음 본체 표면부식 및 이격 등의 손상이 발생한 상태이다. 현재 구조적으로 큰 문제가 없는 것으로 사료되나, 구조물의 내구성 증진을 위한 일부 보수를 실시하며, 지속적인 관찰을 통한 구조물의 유지관리가 필요하다.	-
12	정기점검	2008.12	(주)아워브레인	받침장치 부식부에 재도장이 실시된 상태이나, 공용년수 증가로 인하여 일부 부재에서 손상현황이 발생한 것으로 조사되었다. 손상현황으로는 접속부 아스콘 파손 및 공동, 방호벽 콘크리트 탈락, 배수구 덮개 망실, 주형 내부 도장손상 및 변형, 하부구조 균열(폭 0.1~0.2mm), 신축이음 본체 표면부식 및 이격 등의 손상이다. 발생한 손상현황은 전회와 비교시 진전은 미미한 상태이나, 구조물의 내구성 확보를 위하여 일부 보수를 실시하며, 지속적인 유지관찰을 통한 구조물의 유지관리가 필요.	-
13	정밀점검	2009.06	(주)한길종합 엔지니어링	정밀점검 결과, 본 구조물은 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태인 'B'등급의 양호한 상태로 평가되었다. 주요 손상으로는 신축이음부 유간부족, 주형내부 우수유입 등이며, 기발생된 손상에 대해서는 지속적인 주의관찰을 통한 유지관리가 필요하다.	B

번호	구 분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요점검/진단결과	상태 등급
14	정기점검	2009.12	(주)한길종합 엔지니어링	정기점검 결과, 대상시설물의 상태는 ‘양호’인 것으로 판단되며 주요 손상으로는 주형내부 우수유입에 의한 표면오염 및 이물질 퇴적, 하부구조 건조수축에 의한 표면균열이 조사되었다. 기 발생된 손상은 구조물의 안전성 및 내구성을 크게 저해하지는 않으나, 예방차원의 일부 보수가 필요한 상태이다.	-
15	정기점검	2010.06	(주)한길종합 엔지니어링	정기점검 결과, 대상시설물의 상태는 ‘양호’인 것으로 판단되며 주요 손상으로는 주형내부 우수유입 및 이물질 퇴적에 의한 도장손상, 하부구조 건조수축에 의한 표면균열이 조사되었다. 본 교량은 1종 교량시설물로 점검일 현재 주부재 및 보조부재에 경미한 손상이 일부 조사되었으나 하자담보기간이 남아 있으므로 정기점검 등을 통하여 지속적인 주의관찰을 실시한다면 공용중 구조물의 안전에 지장을 주는 요인은 없을 것으로 사료된다.	-
16	정기점검	2010.12	(주)한길종합 엔지니어링	정기점검 결과, 전회 점검과 비교시 하부구조 균열 손상이 추가 발생하였으며, 거푸집 미제거에 대한 정비가 실시되었다. 주요 손상으로는 주형내부 우수유입 및 이물질 퇴적, 하부구조 균열, 신축이음부 본체 부식, 교량받침 무수축물탈 균열 등이다. 공용중 구조물의 내구성 증진을 위해 일부 손상에 대한 보수 조치가 필요하다. 추후 정기적인 점검을 통해 지속적인 주의관찰을 실시한다.	-
17	정밀점검	2011.06	(주)아워브레인	정밀점검 결과 본 구조물은 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태인 “B” 등급의 양호한 상태로 평가되었다. 현재 일부 부재에 손상이 조사되어 내구성 측면에서의 보수가 필요하다. 발생된 주요 손상으로는 교면접속부 갯길 아스콘균열, 중분대 콘크리트 박리, 신축이음 유간부족 및 이격, 주형내부 우수유입, 하부구조 균열 등이다. 특히 A1지점 본선방향의 신축이음장치는 실측 신장여유량이 온도에 의한 계산신장량에 비해 다소 부족한 것으로 검토되었으나, 부족한 여유량이 2.2mm 정도로 경미하므로, 현상태에서 교체보다는 하절기 신축거동상태 관찰 후 보수여부를 판단한다. 또한 주형 내부 우수유입 및 도장손상의 경우 향후 강제 주형의 내구성저하를 유발할 수 있으므로 조치가 필요하다.	B

번호	구 분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요점검/진단결과	상태 등급
18	정기점검	2011.12	(주)아워브레인	정기점검 결과, 대상 시설물의 안전성을 저해할 만한 주요부재의 심각한 손상은 없는 양호한 상태이다. 주요 손상으로는 포장면 접속부 침하균열, 바닥판하면 균열, 주형내부 이물질 퇴적, 교대 및 교각 균열, 교대 범면 손상 등이다. 기 발생한 손상에 대해서는 교량의 안전성 및 내구성 확보차원의 보수가 필요하며, 지속적인 점검을 통한 유지관리를 실시하는 것이 바람직하다.	-
19	정기점검	2012.06	(주)아워브레인	정기점검 결과, 대상시설물의 상태는 교량의 안전성을 저해할 만한 주요부재의 심각한 손상은 없는 ‘양호’한 상태로 판단된다. 다만, 유지관리차원에서 보수를 요하는 손상이 발생한 상태이다. 이전 점검이후 주형내부 이물질에 대한 정비, 배수구 덮개망실, 주형 외부 외부 맨홀 볼트 탈락, 교대 및 교각 균열 보수가 실시된 상태이며, 발생한 주요 손상으로는 교면포장 바닥판하면 균열 및 들뜸, 주형 도장손상, 하부구조 균열, 날개벽 및 접속부 토사유실, 점검계단 파손 등이다. 기 발생한 손상에 대해서도 내구성 저하방지를 위한 일부 보수를 실시하고 지속적인 점검을 통한 유지관리를 실시한다면 1등급으로써의 교량의 기능발휘에 문제가 없을 것으로 판단된다.	-
20	정밀 안전진단	2013.06	(주)동우기술단	연무C교에 대한 정밀점검 결과 본 구조물은 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태인 “B”등급의 양호한 상태로 평가되었다. 현재 일부 부재에 손상이 조사되어 내구성 측면에서의 보수가 필요하다. 발생한 주요 손상으로는 교면접속부 갯길 아스콘균열, 중분대 콘크리트 박리, 신축이음 유간부족 및 이격, 주형내부 우수유입, 하부구조 균열 등이다. 특히 A1지점 본선방향의 신축이음장치는 실측 신장여유량이 온도에 의한 계산신장량에 비해 다소 부족한 것으로 검토되었으나, 부족한 여유량이 2.2mm 정도로 경미하므로, 현상태에서 교체보다는 하절기 신축거동 상태 관찰 후 보수여부를 판단한다. 또한 주형 내부 우수유입 및 도장손상의 경우 향후 강재 주형의 내구성저하를 유발할 수 있으므로 조치가 필요하다. 대상 교량은 안전성 및 사용성이 양호한 상태로 판단되며 외관조사에서 나타난 손상에 대하여 보수를 실시하고, 지속적인 점검을 통한 유지관리를 실시한다면 1등급으로써의 교량 기능을 계속적으로 발휘할 수 있을 것으로 판단된다.	B

번호	구 분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요점검/진단결과	상태 등급
21	정기점검	2013.12	(주)동우기술단	정기점검 결과, 대상시설물의 상태는 교량의 안전성을 저해할 만한 주요부재의 심각한 손상은 없는 ‘양호’ 한 상태로 판단된다. 다만, 유지관리차원에서 보수를 요하는 손상이 발생한 상태이다. 발생한 주요 손상으로는 교면포장 균열 및 파손, 함몰, 신축이음 누수, 교량받침 유압실린더부식, 거더 도장손상, 하부구조 균열, 날개벽 및 접속부 토사유실, 점검계단 파손 등이다. 기 발생한 손상에 대해서도 내구성 저하방지를 위한 일부 보수를 실시하고 지속적인 점검을 통한 유지관리를 실시한다면 1등교로써의 교량의 기능발휘에 문제가 없을 것으로 판단된다.	-
22	정기점검	2014.06	(주)동우기술단	정기점검 결과 구조안전성 저하에 의한 징후가 없고 국부적으로 발생한 손상 외 전반적으로 시설물의 상태는 ‘양호’ 한 것으로 판단된다. 현재 발생한 손상 중 비교적 단기적인 손상 진전이 예상되는 일부 구간에 내구성 확보 차원의 보수가 필요하며 향후 지속적인 주의관찰이 요망된다.	-
23	정기점검	2014.12	(주)아워브레인	정기점검 결과, 시설물의 안전성에는 문제가 없는 양호한 상태로 조사되었다. 다만, 사용성 향상을 위한 아스콘 손상에 대한 보수와 교대 법면의 토사유실 등에 대한 정비를 실시하는 것이 필요하다. 그 외 발생한 일반적인 손상 중 단면손상, 도장손상 등에 대해서는 손상부위가 국부적인 표면손상에 그치므로 주의관찰을 실시하여 진전시 보수를 고려하는 효율적인 유지관리가 필요하다.	-

번호	구 분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요점검/진단결과	상태 등급
24	정밀점검	2015.06	(주)동우기술단	정밀점검 결과 본 구조물은 주요부재 및 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태인 “B” 등급의 양호한 상태로 평가되었다. 이전 점검 이후 손상의 진전은 미미한 상태로 판단되며, 아스콘 접속부 균열 및 침하, 거더 내외부 경미한 도장손상등이 신규로 조사되었다. 교면포장 접속슬래브에 발생한 아스콘 침하 및 파손, 단차는 차량 통행시 손상 진전 및 차량 주행성 저하 등을 발생시킬 수 있으므로 패칭보수를 통한 보수가 필요하며, 그 외 조사된 국부적인 단면손상 및 도장손상은 손상의 규모 및 진행성이 크지 않으므로 지속적인 점검을 통한 손상의 진전 여부를 주의관할 한다면 구조물의 사용성 및 안전성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.	B
25	정기점검	2015.12	(주)동우기술단	정기점검결과 조사된 손상은 대부분이 기존에 발생된 것으로서 일부 손상은 보수가 실시되었으며 기존 손상의 진전은 미미한 상태이다. 발생한 일부 손상은 유지관리차원에서 보수가 필요하며 전반적인 교량의 안전성에 문제가 될 만한 손상은 조사되지 않았다. 이에 정기적인 점검을 통해 손상의 진전유무를 관찰하고 지속적인 유지관리를 실시하는 것이 바람직하다.	-
26	정기점검	2016.06	(주)아워브레인	정기점검 결과, 대상시설물의 상태는 교량의 안전성을 저해할 만한 주요부재의 심각한 손상은 없는 상태로 판단된다. 주요 손상으로는 바닥판하면 지점부 균열 및 들뜸, 거더 내외부 도장손상, 하부구조 균열, 신축이음 본체 부식 등이 조사되었다. 이전 점검과 비교시 교대 법면 배수로 파손에 대한 보수가 시행된 상태이며, 그 외 손상의 진전은 미미한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상에 대해서는 유지관리차원에서 추가 보수가 필요한 상태이며, 그 외 손상에 대해서는 주기적인 점검을 통한 손상의 진전유무 및 신규손상 발생에 대한 지속적인 유지관리가 필요하다.	-

번호	구 분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요점검/진단결과	상태 등급
27	정기점검	2016.12	(주)아워브레인	정기점검 결과, 대상시설물의 상태는 교량의 안전성을 저해할 만한 주요부재의 심각한 손상은 없는 상태로 판단된다. 기 실시된 점검 이후 신축이음 본체 교체가 시행되었으며, 주요 손상으로는 바닥판하면 지점부 균열 및 들뜸, 거더 내·외부 도장손상, 하부구조 균열 등이 조사되었다. 기 발생한 손상은 이전 점검과 비교시 콘크리트 부재에 신규손상 및 진전이 확인되었으며, 내구성 저하방지를 위한 보수가 필요한 상태이다. 또한, 주기적인 점검을 통한 지속적인 유지관리가 필요하다.	-
28	정밀점검	2017.06	(주)아워브레인	연무C교에 대한 정밀점검 결과 본 구조물은 주요부재 및 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 저하방지를 위하여 일부의 보수가 필요한 상태인 “B” 등급의 양호한 상태로 평가되었다. 점검 결과 포장면이나 거더 등 구조물 전체는 대체적으로 양호한 상태로 점검되었으나 일부 부재에 손상이 발생한 상태이며 주요 발생한 손상으로는 신축이음부 단부와 상·하행선 종방향 이음 단부에 균열 및 백태, 박리·박락 등이며 교대 및 받침장치에 발생한 손상은 선별적인 보수가 이루어진 것을 확인하였다. 연단거리, 신축이음장치 신축유간 여유량 검토결과 문제점은 없었으며 교량받침 이동량 또한 허용 받침량 이내로 가동상태는 양호한 것으로 평가되었다. 부재별 반발경도법에 의한 콘크리트 강도시험을 실시한 결과 콘크리트 부재의 강도상의 문제점은 없었으며 탄산화 깊이를 측정한 결과 또한 탄산화 잔여깊이가 30mm 이상으로 탄산화에 의한 성능저하 및 부식의 발생위험은 없는 것으로 나타났다.	B
29	정기점검	2017.12	(주)아워브레인	정기점검 결과, 대상시설물의 상태는 교량의 안전성을 저해할 만한 주요부재의 심각한 손상은 없는 상태로 판단된다. 기 실시된 점검 이후 거더 내부 도장박리, 부식 손상에 대하여 선별적 보수가 시행되었으며, 주요 손상으로는 바닥판하면 지점부 균열, 백태, 박락, 거더 내·외부 도장손상, 하부구조 균열 등이 조사되었다. 기 발생한 손상은 이전 점검과 비교시 진전은 미미한 상태이나, 내구성 저하방지차원에서 보수를 요하는 손상이 일부 발생한 상태이다. 또한, 주기적인 점검을 통한 지속적인 유지관리가 필요하다.	-

2.3 자료수집 및 분석 결과요약

구 분	수집 자료	자료분석 결과	진단과업 진행방향
건 설 관 련 자 료	◇ 천안-논산간 고속도로 건설공사 제6공구 - 공사시방서 - 구조계산서 - 일반보고서 - 토질조사보고서 - 초기점검보고서	◇ 구조계산서 및 구조물도, 일반보고서는 설계 당시 기준에 준하여 작성된 것으로 확인됨 ◇ 설계도면과 실측 제원 비교시 주요 부재에 대하여 전반적으로 동일 ◇ 점검시설의 경우 설치하는 것으로 제시되었으나 현재 미설치 된 것으로 검토됨	◇ 본 과업은 구조물 정밀 안전진단이므로 외관조사망도의 정비 및 면밀한 외관조사 실시
유 지 관 리 자 료	◇ 정기점검 및 정밀점검 정밀안전진단 ◇ 보수·보강 이력	◇ 16년간 공용하면서 별다른 문제가 없는 양호한 상태 ◇ 일부 발생한 손상에 대하여 보수 필요 ◇ 보수 및 보강 이력은 관리주체에 제공받아 검토됨	

3. 현장조사 및 시험

3.1 외관조사 결과요약

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
바닥판	- 일부구간 국부적인 균열 발생 - 우수유입 및 외부충격에 따른 바닥판 들뜸 및 백태 발생	- 건조수축, 수화열에 의한 균열로서 주의관찰 후 진전 시 조치를 취하는 것이 바람직함 - 단면손상 부 손상의 진전 시 단면 보수 등의 조치를 취하는 것이 바람직함
강박스 거더	- 구조적 손상은 발생하지 않은 양호한 상태 - 장기공용으로 인한 열화 등의 원인으로 도장박리 및 부식 발생	- 도장박리 및 부식 부 손상의 진전 방지를 위한 재도장 등의 조치가 필요함
가로보 및 세로보	- 전반적으로 양호한 상태 - 일부 구간 부식 발생	- 당초 전처리 미흡에 의해 발생한 것으로 판단되며, 손상의 진전 방지를 위한 재도장 등의 조치가 필요함
교대	- 신축이음 우수유입에 의해 들뜸 및 박락 발생 - 폭 0.1~0.3mm 수직균열 발생	- 들뜸 및 박락의 경우 손상의 진전 방지를 위한 단면보수 등의 조치가 필요함 - 균열의 경우 건조수축에 의한 것으로 폭 0.3mm이상의 경우 손상의 진전 방지를 위한 주입보수 등의 조치가 필요함
교각	- 폭 0.1~0.2mm 수직균열 발생	- Massive한 단면에 발생하는 온도 균열과 건조수축에 의한 균열로서 균열폭에 따라 적절한 보수 실시
교량받침	- 전반적으로 양호한 상태로 조사됨 - 일부구간 받침부식이 발생됨	- 장기공용 및 우수유입 등에 의한 것으로 손상 진전 방지를 위한 재도장 등의 조치가 필요함
신축이음장치	- 본체 유간 토사퇴적 및 부식 발생 - 후타재 폭 0.3mm미만 균열, 박락	- 손상 정도가 경미하여 주의관찰 후 손상의 진전 시 녹제거, 청소, 단면보수 등의 조치를 취하는 것이 바람직함
교면포장	- 상태 양호	- 손상이 없는 양호한 상태로 주기적인 점검을 통한 신규 손상 발생 파악 등의 유지관리가 필요함

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
배수시설	- 상태 양호	- 손상이 없는 양호한 상태로 주기적인 점검을 통한 신규 손상 발생 파악 등의 유지관리가 필요함
난간 및 연석	- 폭 0.1~0.3mm 균열 발생	- 폭 0.3mm이상 균열부 진전 방지를 위한 주입보수 등의 조치가 필요함

나. 내구성 결과요약

시 험 명	시험부위		시험 결과		비 고
			측정	설계	
비파괴 강도 (MPa)	상부 구조	반발경도	28.2 ~ 30.3	27.0	■ 설계기준강도를 상회하는 양호한 것으로 나타나 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨.
		초음파	29.3 ~ 30.9		
	하부 구조	반발경도	25.1 ~ 26.3	24.0	
		초음파	27.1 ~ 28.2		
철근탐사 (mm)	상부 구조	배근간격	135 ~ 315	150 ~ 300	■ 전반적으로 철근간격 및 피복두께가 설계값과 근사함.
		피복두께	36 ~ 86	40	
	하부 구조	배근간격	93 ~ 297	100 ~ 300	
		피복두께	61 ~ 103	50 ~ 100	
탄산화 잔여깊이 (mm)	상부구조		30.0 ~ 36.0		■ 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 없는 것으로 검토됨.
	하부구조		62.0 ~ 97.0		
염화물 함유량 시험 (kg/m³)	상부구조		0.0294		■ 염화물에 의한 철근의 부식이 발생할 우려는 없는 것으로 평가됨.
	하부구조		0.0113 ~ 0.0317		
강재 비파괴 시험	초음파탐상시험		1급		■ 강재 용접부에 대한 시험 결과 결함이 없는 1급으로 나타남
	도막두께 측정 (μm)	거더내부	186 ~ 194	175	■ 도막두께 측정 결과 표준도막두께를 상회하는 양호한 상태로 측정되었음
		거더외부	221 ~ 230	215	
종합 평가	- 비파괴강도 측정결과, 측정값은 설계기준강도를 상회하는 것으로 조사되었으며, 공용년수 경과에 따른 구조물의 강도저하는 없는 것으로 평가됨. - 탄산화 깊이 측정결과, 전 개소에서 상태평가 “a” 로 검토되어 양호한 상태로 판단됨. - 염화물 함유량의 경우 a등급으로 평가되었으므로, 염화물에 의한 철근의 부식이 발생할 우려는 없는 것으로 평가됨.				

4. 시설물의 상태평가

4.1 시설물 전체 상태평가 결과

부재의 분류		상부구조		2차 부재	기타부재				받침	하부구조		탄산화		염화물	
번호	구조 형식	바닥 판	거더	가로 보	포장	배수	난간 연석	신축 이음	교량 받침	하 부	기 초	상 부	하 부	상 부	하 부
1	STB	b	b	a	a	a	b	c	b	c	q	x	a	x	x
2	STB	b	b	b	a	a	c	x	c	b	q	x	a	a	a
3	STB	a	b	b	a	a	c	x	b	a	q	x	x	x	a
4	STB	b	b	b	a	a	b	x	c	a	q	a	x	x	x
5	STB	b	b	b	a	a	b	x	b	b	q	a	a	x	x
6	STB							c	b	c	q		a		x
평균		0.180	0.200	0.180	0.100	0.100	0.280	0.400	0.267	0.233	0.200	0.100	0.100	0.100	0.100
가중치		18	20	5	7	3	2	9	9	20	0	2	2	2	1
(평균/가중치) /가중치합		0.032	0.040	0.009	0.007	0.003	0.006	0.036	0.024	0.047	0.000	0.002	0.002	0.002	0.001

결함도 범위 : 0.130 ≤ 결함도 지수(0.211) ≤ 0.260

0.211

B

5. 안전성평가

5.1 상부구조 안전성 평가

구 분			계산식	등급	비고
강박스거더	제3지간 중앙 정모멘트부	휨모멘트	$\frac{f_a}{f} = \frac{247.000}{81.830} = 3.018$	A	MPa
		전단 및 비틀림	$\frac{f_a}{f} = \frac{110.000}{9.620} = 11.434$	A	MPa
	제3지간 중앙 부모멘트부	휨모멘트	$\frac{f_a}{f} = \frac{190.000}{72.483} = 2.621$	A	MPa
		전단 및 비틀림	$\frac{f_a}{f} = \frac{110.000}{9.620} = 11.434$	A	MPa

구 분			계산식	등급	비고
강박스거더	제3지점부 정모멘트부	휨모멘트	$\frac{f_a}{f} = \frac{190.000}{139.109} = 1.365$	A	MPa
		전단 및 비틀림	$\frac{f_a}{f} = \frac{110.000}{69.057} = 1.592$	A	MPa
	제3지점부 부모멘트부	휨모멘트	$\frac{f_a}{f} = \frac{190.000}{153.901} = 1.235$	A	MPa
		전단 및 비틀림	$\frac{f_a}{f} = \frac{110.000}{69.057} = 1.592$	A	MPa
바닥판	캔틸레버부		$\frac{\Phi M_n}{M_u} = \frac{131.515}{99.884} = 1.316$	A	kN·m
	중앙부		$\frac{\Phi M_n}{M_u} = \frac{59.179}{50.673} = 1.167$	A	kN·m

안전성평가등급	A

5.2 교각 안전성 평가

구 분		P_u (kN)	ΦP_n (kN)	M_u (kN·m)	ΦM_n (kN·m)	안전율	비 고
교각 1	LCBF2	9865.086	26447.52	4762.188	12657.647	2.657	O.K
	LCBF12	13439.22	16191.828	6573.09	13439.22	2.044	O.K
	LCBF1	9827.772	26188.278	4788.292	12725.888	2.657	O.K
교각 2	LCBF1	9760.302	26188.278	4789.757	12725.888	2.656	O.K
	LCBF12	7472.825	21956.717	4570.843	13460.238	2.944	O.K
	LCBF2	9724.027	26188.278	4765.252	12725.888	2.670	O.K

안전성평가등급	A

6. 종합평가 및 안전등급의 지정

6.1 종합평가 결과

구조물명	상태평가 결과		안전성평가 결과		종합평가 결과
	환산결함도점수	기준	S·F	기준	
연무IC교	0.211	B	1.167(바닥판)	A	B
종합평가	•연무IC교의 외관조사 및 내구성조사에 의한 상태평가 결과는 “B” 로 평가됨 •안전성평가 결과 양방향 최소 안전율 1.0이상으로 “A” 로 평가됨 •상태평가 및 안전성평가 결과를 통한 종합평가 결과 연무IC교는 “B” 로 평가됨				

6.2 안전등급 지정

안전등급	구조물명	안전등급
	연무IC교	B등급(양호)

7. 보수·보강 및 유지관리방안

7.1 보수·보강 및 개략공사비

구분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천 원)	개략 공사비 (천 원)	우선 순위
바닥판	균열(0.3mm미만)	주의관찰	12.1	4.54	m ²	-	-	-
	들뜸	주의관찰	0.26	0.39	m ²	-	-	-
	백태	주의관찰	0.25	0.38	m ²	-	-	-
거 더	내부	Splice 틈	주의관찰	35.0	EA	-	-	-
		PIT	주의관찰	4.0	EA	-	-	-
		굽힘	주의관찰	0.01	m ²	-	-	-
		녹발생	주의관찰	0.01	m ²	-	-	-
		단부부식	재도장	0.12	m ²	9	2	2
		도장박리	재도장	0.14	m ²	9	2	3
		도장박리 및 부식	재도장	0.18	m ²	9	2	2
		점부식	재도장	0.26	m ²	9	4	2
		이물질 퇴적	주의관찰	44.37	m ²	-	-	-
		화재흔적	주의관찰	0.45	m ²	-	-	-
	외부	굽힘	주의관찰	0.19	m ²	-	-	-
		도장박리	재도장	0.04	m ²	45	3	3
		볼트풀림	주의관찰	2.0	EA	-	-	-
		부식	재도장	1.92	m ²	45	130	2
가로보 및 세로보	부식	재도장	0.48	0.72	m ²	45	32	2
하부 구조	교대	균열(0.3mm미만)	주의관찰	6.2	m ²	-	-	-
		균열(0.3mm이상)	주입보수	1.5	m	75	169	2
		망상균열	주의관찰	0.5	m ²	-	-	-
		누수흔적	주의관찰	3.45	m ²	-	-	-
		들뜸 및 박락	단면보수	0.86	m ²	230	297	2
		백태	주의관찰	1.67	m ²	-	-	-
		배부름	주의관찰	2.0	m ²	-	-	-
		폐콘크리트 퇴적	주의관찰	2.4	m ²	-	-	-
		계단부 침하	주의관찰	0.3	m ²	-	-	-
		공동, 계단부 침하	단면보수	0.9	m ²	230	311	3
	교각	균열(0.3mm미만)	주의관찰	22.7	m ²	-	-	-
		표지판 탈락	주의관찰	1.0	EA	-	-	-
교량 받침	받침 본체	몰탈 균열	주의관찰	7.4	m ²	-	-	-
		유압실린더 부식	주의관찰	0.06	m ²	-	-	-
		받침부식	재도장	1.5	m ²	9	20	2

구분		손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위
신축 이음	본체	부식	주의관찰	12.3	18.45	m ²	-	-	-
		유간 토사퇴적	주의관찰	0.2	0.3	m ²	-	-	-
	후타 재	균열(0.3mm미만)	주의관찰	2.7	1.01	m ²	-	-	-
		파손 및 들뜸	주의관찰	0.42	0.63	m ²	-	-	-
기타 시설	난간 및 연석	균열(0.3mm미만)	주의관찰	19.0	7.13	m ²	-	-	-
		균열(0.3mm이상)	주입보수	3.0	4.5	m	75	338	3
		백태	주의관찰	0.09	0.14	m ²	-	-	-
		고정볼트유실	주의관찰	1.0	1.0	EA	-	-	-
		식생	주의관찰	0.02	0.03	m ²	-	-	-
		차수판 변형	주의관찰	2.0	2.0	EA	-	-	-
		박리 및 박락	주의관찰	14.19	21.29	m ²	-	-	-
		파손	주의관찰	0.27	0.41	m ²	-	-	-
		도장박리	주의관찰	270.0	405.0	m ²	-	-	-
순공사비 합계(천원)							1,310,000원		
제경비(순공사비×50%)							655,000원		
순위별 공사비 (제경비 포함)			1순위				-		
			2순위				984,000원		
			3순위				981,000원		
유지보수 개략공사비 총계							1,965,000원		

※ 순공사비는 부대공(교통통제 및 고소장비 등)을 포함한 개략공사비 합산금액이며, 부대비용은 현장여건에 따라 금액이 변경될 수 있음.

※ 유지보수 개략공사비 총계는 부대공을 포함하여 합산한 금액임.

※ 면적환산 = 균열보수(0.3mm미만) : L(길이) × 0.25m(폭)

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

7.2 유지관리방안

부재구분	중 점 점 검 내 용
공통	바닥판, 거더, 가로보 및 세로보, 교대 및 교각에 대하여 보수 실시 후 보수부 재손상 발생 여부 점검
바닥판	- 폭 0.1~0.2mm 균열 진전 여부 - 우수유입에 의한 바닥판 들뜸 및 백태 진전 여부
거더	- 장기공용으로 인한 부식 및 도장박리 진전 여부 - 스플라이스 우수 유입에 따른 부식 발생 여부
가로보 및 세로보	부식 진전 여부
교대	폭 0.3mm 균열 및 단면손상 부 진전 여부
교각	폭 0.1~0.2mm 균열 진전 여부
교량받침	받침 및 유압실린더 부식 진전 여부
신축이음장치	본체 부식 및 후타재 단면손상 부 진전 여부
교면포장	신규손상 발생 여부
배수시설	신규손상 발생 여부
난간 및 연석	폭 0.3mm 균열 및 단면손상 부 진전 여부

8. 종합결론

본 과업 대상 교량인 연무IC교는 논산천안고속도로(이정 : R-A 0+378km)에 위치하며 2002년 12월에 준공된 교량이다. 행정구역상으로 충청남도 논산시 채운면 화정리에 위치하고 S2경간에 본선이 교차·횡단하고 있다.

평면선형은 사각이 없는 직선교이며 종단선형은 시점에서 3.6993%의 상향경사를 이루고 종점에서는 3.7833%의 하향경사를 이루고 있다. 상부 구조형식은 5경간 연속의 STEEL BOX GIRDER교이며 하부구조는 역T형의 교대 2기와 라멘식(π 형)의 교각 3기로 구성되어 있고 기초형식은 강관파일(A1~2, P1~4)로 시공되어 있다.

총연장은 200.0m(1@50+2@45+2@30)로 최대경간장이 50m이며, 각 교량의 폭은 15.600m(도로폭 14.500m)으로 설계하중 DB(DL)-24(1등교)로 설계되었다.

본 과업에서는 외관조사, 내구성조사 등의 현장조사를 실시하였고 설계도서와 현장조사의 결과를 토대로 구조안전성 검토와 기본 내하력을 평가하였으며, 이를 통한 종합결론을 요약하면 다음과 같다.

가. 현장조사 결과

- 상부구조인 강박스 거더와 바닥판은 구조적인 손상 및 결함이 없는 양호한 상태를 확보하고 있으며, 외관조사 결과 바닥판 하면 전 구간에 걸쳐 폭 0.1~0.2mm의 균열이 발생한 상태이다. 거더의 경우 일부 부식, 도장박리, 용접부 PIT 등이 조사되었다. 조사된 손상은 내구성 확보 및 손상 진전 방지를 위한 적절한 보수가 요구되며, 보수 후에도 보수부의 재손상 발생여부를 주기적으로 점검하는 것이 바람직하다.
- 바닥판에 발생한 들뜸의 경우 신축이음 하부 누수, 보수미흡 등의 원인으로 인한 손상으로 신축이음장치에 대한 근본적인 보수가 선행되지 않으면 보수효과를 기대하기 어렵기 때문에 신축이음 하부 물받이 및 유도배수관 설치 등의 조치가 선행되어야 하며, 들뜸부는 주의관찰 후 손상의 진전시 단면보수 등의 조치를 취하는 것이 바람직하다.
- 가로보 및 세로보는 전반적으로 양호한 상태이며, 일부 발생한 도장박리 및 부식에 대하여 보수를 실시하고 주의관찰 하는 것이 바람직하다.
- 교대 및 교각에 발생한 수직균열은 폭 0.1~0.3mm의 균열로서 이는 건조수축 및 온도균열 등에 의한 것으로서 횡방향 균열 등과 같은 구조적 손상은 발생하지 않은 것으로 조사되었다. 기타 경미한 백태, 망상균열 등이 발생하였으며, 기 손상부는 주의관찰 후

손상의 진전시 적절한 조치를 취하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

- 교대 양측 흥벽에 발생된 들뜸 및 박락의 경우 신축이음 하부 누수 및 우수유입으로 인한 손상으로 바닥판에 발생된 손상과 동일하게 신축이음에 관한 조치가 선행되어야 하며, 손상부는 진전시 단면보수 등의 조치를 취하는 것이 바람직하다. 또한 점검계단 침하 및 공동, 법면 블록 배부름의 경우 상부 배수관으로부터의 우수유입 및 당초 앞성토의 다짐불량에 의해 발생된 손상으로 손상의 진전 방지를 위한 단면보수 후 주의관찰하는 것이 바람직하다.
- 교량받침의 외관조사 결과 전반적으로 양호한 상태로 조사되었으며 일부 신축이음 누수에 따른 부식 건조수축에 의한 받침몰탈 균열, 면진받침인 Dynapots의 유압실린더 일부에 부식이 발생한 상태이다. 발생한 손상에 대하여 적절한 보수를 통한 유지관리가 바람직할 것이다.
- A1과 A2에 MS 형식으로 설치된 신축이음 장치는 본체의 부식, 유간 토사퇴적, 후타재 균열 등이 조사된 상태이며, 유간 토사퇴적의 경우 주기적인 청소를 통한 정비, 그 외 기 손상부는 주의관찰 후 손상의 진전시 적절한 조치를 취하는 것이 바람직하다.
- 연무IC교의 교면포장은 손상이 없는 양호한 상태이며, 추 후 점검을 통한 손상의 발생 여부 파악 등의 유지관리가 필요하다.
- 배수시설은 막힘이 발생하지 않은 양호한 상태이며, 주기적인 청소를 통한 유지관리를 실시하여 현 상태를 유지하는 것이 바람직하다.
- 방호울타리의 외관조사 결과, 균열, 백태, 박리 및 박락, 파손 등의 손상이 조사되었으며, 균열(폭 0.3mm이상)부는 손상의 진전 방지를 위한 주입보수를, 그 외 기 손상부는 주의관찰 후 손상의 진전시 적절한 조치를 취하는 것이 바람직하다.

나. 시험 및 측정 결과

- 비파괴강도 측정결과, 측정값은 설계기준강도를 상회하는 것으로 조사되었으며, 공용년 수 경과에 따른 구조물의 강도저하는 없는 것으로 평가됨.
- 탄산화 깊이 측정결과, 전 개소에서 상태평가 “a” 로 검토되어 양호한 상태로 판단됨.
- 염화물 함유량의 경우 a등급으로 평가되었으므로, 염화물에 의한 철근의 부식이 발생될 우려는 없는 것으로 평가됨.
- 거더에 대한 강재비파괴 시험 결과 용접부, 도장의 상태는 모두 양호한 것으로 나타남.

다. 상태평가 결과

- 연무IC교의 외관조사 및 내구성 시험에 의한 상태평가결과, 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태인 “B등급” 으로 평가되었다.

라. 안전성평가 결과

- 상부구조에 대한 구조검토결과, 바닥판의 경우 최소안전율이 1.167로, 거더의 경우는 최소안전율이 1.235로 안전율 1.0을 상회하는 것으로 평가되었다. 하부구조의 경우 교각 P4에 대한 구조검토결과, 기둥은 P-M상관도 해석에 의한 최소안전율 2.045로서 안전율 1.0을 초과하며 내하력 평가결과, 기본내하력이 설계활하중인 DB-24를 상회하여 구조물이 전반적으로 구조적 안전성을 확보한 것으로 판단되며 최종적인 안전성 평가등급은 A등급이다.

마. 결론

- 연무IC교는 16년의 공용기간이 경과한 교량시설물로서, 주부재인 강박스 거더와 바닥판, 하부구조에는 구조적 손상은 조사되지 않은 상태이다. 주부재 및 보조부재에 일부 발생한 균열(폭 0.3mm이상), 들뜸 및 박락, 도장박리 및 부식 등의 손상부는 교량의 내구성 저하방지를 위한 국부적인 보수 및 지속적인 유지관리가 필요한 것으로 평가되었다.
- 따라서, 본 교량의 상태평가 및 안전성평가 결과를 토대로 안전등급을 산정하면 『B등급(양호)』로 평가되었으며, 결함 및 손상 부위에 대하여 보수를 실시하고 중점유지관리가 필요한 구간에 대한 지속적인 유지관리가 수행된다면 1등급(DB-24)로서의 기능을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

보고서 목차

◎정밀안전진단 결과 요약문

제 1장 정밀안전진단 개요	1
1.1 과업의 목적	3
1.2 과업의 범위 및 내용	3
1.2.1 과업의 범위	3
1.2.2 과업수행기간	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 대상교량의 현황	7
1.4.1 현황	7
1.4.2 교량 주요도면	8
1.5 사용장비 및 시험기기의 현황	12
1.6 교량기호의 정의	13
 제 2장 자료수집 및 분석	15
2.1 자료수집 현황	17
2.1.1 자료수집 현황	17
2.2 건설 관련자료 검토결과 요약	18
2.2.1 일반보고서	18
2.2.2 일반보고서(실시설계)	20
2.2.3 구조계산서 검토	39
2.2.4 토질 및 지반조사 자료검토	43
2.2.5 기 정밀안전진단 분석	46
2.2.6 시공관련 자료검토	57

2.3 기존 점검 및 진단 실시결과 요약	58
2.4 보수·보강 이력	66
2.5 시설물의 내진설계 여부	66
2.6 자료분석 결과요약	67

제 3장 현장조사 및 시험 69

3.1 개 요	71
3.2 외관조사	73
3.2.1 상부구조	73
3.2.2 하부구조	87
3.2.3 교량받침	94
3.2.4 신축이음장치	103
3.2.5 교면포장	110
3.2.6 기타부재	112
3.3 콘크리트 내구성조사	119
3.3.1 개 요	119
3.3.2 시험내용 및 평가기준	121
3.3.3 시험결과 및 분석	135
3.3.4 내구성조사 결과요약	142
3.4 강재 내구성 조사	143
3.4.1 개 요	143
3.4.2 시험내용 및 평가기준	145
3.4.3 용접부에 발생하는 대표적인 결함	149
3.4.4 시험결과 및 분석	150
3.5 현장조사 및 시험 결과요약	153
3.5.1 현장조사 결과	153
3.5.2 시험 및 측정 결과	154

제 4장 시설물의 상태평가 159

4.1 개요	161
4.2 상태평가 항목 및 기준	161

4.2.1 부재별 상태평가 적용범위	161
4.2.2 구조형식에 따른 부재별 가중치	162
4.2.3 상태평가 결과 결정	163
4.3 상태평가 결과	164
4.3.1 연무IC교 상태평가 결과	164

제 5장 시설물의 안전성 평가 171

5.1 개요	173
5.2 구조해석	174
5.2.1 구조해석 절차	174
5.2.2 교량 제원	174
5.2.3 설계기준	174
5.2.4 단면특성	175
5.2.5 해석모델	176
5.2.6 하중산정	177
5.2.7 해석결과	180
5.2.8 바닥판 안전성 검토	194
5.2.9 바닥판 균열 검토	196
5.2.10 하부구조 검토	197
5.3 내하력 평가	208
5.3.1 개 요	208
5.3.2 기본내하력 평가	209
5.3.3 고 찰	210
5.4 안전성평가 등급 산정	211
5.4.1 개 요	211
5.4.2 안전성 평가결과	212

제 6장 종합평가 및 안전등급의 지정 213

6.1 종합평가 산정절차	215
6.1.1 종합평가 결과 산정방법	215
6.2 종합평가 결과	216

6.3 안전등급 지정	217
6.3.1 안전등급기준	217
6.3.2 안전등급 지정	217

제 7장 보수·보강 및 유지관리방안 219

7.1 개요	221
7.2 보수·보강 방안	222
7.2.1 보수·보강 추진방향 및 우선순위의 선정	222
7.2.2 결함내용별 보수·보강방안	224
7.2.3 주요결함 및 손상에 대한 보수·보강 방법	226
7.3 보수·보강 개략공사비	234
7.4 유지관리방안	236
7.4.1 진단결과에 따른 중점유지관리 사항	236
7.4.2 유지관리시 점검요령	240

제 8장 종합결론 249

8.1 종합결론	251
8.2 현장조사 결과	251
8.3 시험 및 측정 결과	253
8.4 상태평가 결과	253
8.5 안전성평가 결과	253
8.6 결 언	253

◎ 부 록

1. 과업지시서
2. 외관조사망도
3. 상태평가 결과자료
4. 측정, 시험, 계측 성과표
5. 안정성평가 결과자료
6. 현장조사 사진첩
7. 시설물관리대장
8. 사용장비 및 기기의 사진
9. 사전검토보고서 및 과업수행계획서
10. 심의의견 및 조치결과

표 목 차

【표 1.1】 과업의 내용	4
【표 1.2】 정밀안전진단 과업수행 일정	6
【표 1.3】 연무IC교 현황표	7
【표 1.4】 주요 사용장비 및 시험기기 일반사항	12
【표 1.5】 교량기호의 정의	13
【표 2.1】 자료수집 현황	17
【표 2.2】 설계구간	18
【표 2.3】 과업기간	18
【표 2.4】 장래교통량	19
【표 2.5】 연무IC교 교량 현황	20
【표 2.6】 본선 횡단구성	21
【표 2.7】 연결로 횡단구성	21
【표 2.8】 곡선반경별 편구배기준	22
【표 2.9】 접속 설치율 및 접속설치 길이	22
【표 2.10】 곡선부 길어깨 횡단구배	23
【표 2.11】 기하구조기준	23
【표 2.12】 연결로 기하구조	24
【표 2.13】 노즈부근의 기하구조	24
【표 2.14】 본선 기하구조	24
【표 2.15】 가감속 차로장	25
【표 2.16】 종단구배구간의 가감속 차로길이 보정율	25
【표 2.17】 콘크리트 사용기준	26
【표 2.17】 콘크리트 사용기준(계속)	27
【표 2.18】 철근 사용기준	28
【표 2.19】 콘크리트 탄성계수	28
【표 2.20】 P.C 강재의 종류에 따른 겉보기 리락세이션율	29
【표 2.21】 마찰손실	29
【표 2.22】 교형비교(안)	31
【표 2.23】 하부형식비교(안)	32
【표 2.24】 강교 유지관리 시설 설치 현황	34
【표 2.25】 하부구조 점검시설 설치 현황	34
【표 2.26】 교면포장 비교표	35
【표 2.27】 교량받침 형식 비교표	37
【표 2.28】 연무IC교 구조검토 조건	39
【표 2.28】 연무IC교 구조검토 조건(계속)	40

【표 2.28】 연무IC교 구조검토 조건(계속)	41
【표 2.29】 연무IC교 상부구조 구조검토 결과요약	42
【표 2.30】 연무IC교 하부구조 구조검토 결과요약	42
【표 2.31】 연무IC교 지반조사 결과	44
【표 2.32】 연무IC교 점검 및 진단이력	58
【표 2.32】 연무IC교 점검 및 진단이력(계속)	59
【표 2.32】 연무IC교 점검 및 진단이력(계속)	60
【표 2.32】 연무IC교 점검 및 진단이력(계속)	61
【표 2.32】 연무IC교 점검 및 진단이력(계속)	62
【표 2.32】 연무IC교 점검 및 진단이력(계속)	63
【표 2.32】 연무IC교 점검 및 진단이력(계속)	64
【표 2.32】 연무IC교 점검 및 진단이력(계속)	65
【표 2.33】 자료분석 결과요약	67
【표 3.1】 각 부재 별 조사방법 및 기간	72
【표 3.2】 바닥판 외관조사 결과	74
【표 3.3】 바닥판 기 점검 결과 비교	75
【표 3.4】 강박스 거더 내부 외관조사 결과	78
【표 3.4】 강박스 거더 내부 외관조사 결과(계속)	78
【표 3.5】 강박스 거더 내부 기 점검 결과 비교	79
【표 3.6】 강박스 거더 외부 외관조사 결과	81
【표 3.7】 강박스 거더 외부 기 점검 결과 비교	82
【표 3.8】 가로보 및 세로보 외관조사 결과	85
【표 3.9】 가로보 및 세로보 기 점검 결과 비교	86
【표 3.10】 교대 외관조사 결과	88
【표 3.10】 교대 외관조사 결과(계속)	88
【표 3.11】 교대 기 점검 결과 비교	89
【표 3.12】 교각 외관조사 결과	91
【표 3.13】 교각 기 점검 결과 비교	92
【표 3.14】 교량받침 현황	95
【표 3.15】 교량받침 외관조사 결과	96
【표 3.16】 교량받침 기 점검 결과 비교	97
【표 3.17】 교축방향 연단거리 측정 결과	98
【표 3.18】 교량받침 가동상태 검토평과	100
【표 3.19】 교량받침 이동량 산정	101
【표 3.20】 교량받침 이동량(설계기준 온도) 검토평과	101
【표 3.21】 교량받침 이동량(기상청 통계자료) 검토평과	102
【표 3.22】 신축이음장치 외관조사 결과	103
【표 3.23】 신축이음장치 기 점검 결과 비교	105
【표 3.24】 신축이음 유간 측정결과	106
【표 3.25】 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동상태 검토평과	107
【표 3.26】 신축이음 신축이동량(설계기준 온도) 산정	107

【표 3.27】 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량(설계기준 온도) 검토결과	108
【표 3.28】 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량(기상청 통계자료) 검토결과	109
【표 3.29】 교면포장 외관조사 결과	110
【표 3.30】 교면포장 기 점검 결과 비교	111
【표 3.31】 배수시설 외관조사 결과	113
【표 3.32】 배수시설 기 점검 결과 비교	114
【표 3.33】 난간 및 연석 외관조사 결과	115
【표 3.33】 난간 및 연석 외관조사 결과(계속)	115
【표 3.34】 난간 및 연석 기 점검 결과 비교	117
【표 3.35】 콘크리트 비파괴시험 현황	119
【표 3.36】 보정반발경도(R_o)	122
【표 3.37】 기존의 비파괴강도 추정 제안식(반발경도시험)	123
【표 3.38】 재령계수 α 값	123
【표 3.39】 기존의 비파괴강도 추정 제안식(초음파전달속도시험)	126
【표 3.40】 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인	130
【표 3.40】 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인(계속)	131
【표 3.41】 탄산화 상태평가 기준	132
【표 3.42】 염화물 평가기준(콘크리트 구조설계기준(2007))	133
【표 3.43】 염화물 상태평가 기준(안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2017.01))	133
【표 3.44】 상부구조 콘크리트 비파괴강도 시험결과	135
【표 3.45】 하부구조 콘크리트 비파괴강도 시험결과	136
【표 3.46】 비파괴강도 시험결과 분석	136
【표 3.47】 기 진단결과와의 시험결과 비교 · 분석	136
【표 3.48】 상부구조 철근탐사 시험결과	137
【표 3.49】 하부구조 철근탐사 시험결과	138
【표 3.50】 기 진단결과와의 시험결과 비교 · 분석	138
【표 3.51】 탄산화 깊이 측정결과 및 평가	139
【표 3.52】 기 진단결과와의 시험결과 비교 · 분석	139
【표 3.53】 염화물 함유량 시험결과 및 평가	140
【표 3.54】 기 진단결과와의 시험결과 비교 · 분석	140
【표 3.55】 균열깊이 조사결과	141
【표 3.56】 금회진단 내구성조사 결과요약	142
【표 3.57】 강재 비파괴시험 현황	143
【표 3.58】 결함의 등급 분류	146
【표 3.59】 용접부 결함의 합 · 부 판정기준	146
【표 3.60】 일반환경용 중방식 도장(공사시방서)	148
【표 3.61】 일반환경용 중방식 도장(현 시방기준)	148
【표 3.62】 용접부에 발생하는 대표적인 결함	149
【표 3.63】 초음파탐상(UT) 시험결과	150
【표 3.64】 강재 도막두께 측정결과	152
【표 3.65】 금회 진단 외관조사 결과 요약	153

【표 3.65】금회 진단 외관조사 결과 요약(계속)	154
【표 3.66】기 진단 외관조사 결과 비교	155
【표 3.67】금회 진단 내구성조사 결과요약	156
【표 3.68】기 진단 내구성조사 결과요약	157
【표 4.1】부재별 상태평가 적용 범위	161
【표 4.2】구조형식에 따른 일반교량의 부재별 가중치	162
【표 4.3】결함도 점수 범위에 따른 기준	163
【표 4.4】콘크리트 바닥판 상태평가 결과	164
【표 4.5】거더 상태평가 결과	164
【표 4.6】가로보 및 세로보 상태평가 결과	165
【표 4.7】콘크리트 교대 상태평가 결과	165
【표 4.8】콘크리트 교각 상태평가 결과	165
【표 4.9】기초 상태평가 결과	166
【표 4.10】교량받침 상태평가 결과	166
【표 4.11】신축이음 상태평가 결과	166
【표 4.12】교면포장 상태평가 결과	167
【표 4.13】배수시설 상태평가 결과	167
【표 4.14】난간 및 연석 상태평가 결과	167
【표 4.15】탄산화 상태평가 결과	168
【표 4.16】염화물 상태평가 결과	168
【표 4.17】상태평가 결과표	169
【표 5.1】합성전 교량 단면상수	175
【표 5.2】합성후 교량 단면상수	176
【표 5.3】강재중량 할증율 산정 결과	177
【표 5.4】상부구조에 작용하는 풍하중	178
【표 5.5】하부구조에 작용하는 풍하중	178
【표 5.6】휨모멘트 산출결과(kN · m)	182
【표 5.7】영향계수 k값 산출결과 요약(MPa)	183
【표 5.8】응력 산정시 입력자료	184
【표 5.9】적용 하중조합	187
【표 5.10】사용재료의 허용응력	187
【표 5.11】정모멘트부(제3지간 중앙부) 응력 검토 결과(MPa)	188
【표 5.12】응력 산정시 입력자료	189
【표 5.13】사용재료의 허용응력	192
【표 5.14】부모멘트부(제3내부 지점부) 응력 검토 결과(MPa)	193
【표 5.15】조합응력 검토결과	193
【표 5.16】고정하중에 대한 휨모멘트	194
【표 5.17】극한강도 검토시 하중조합	198
【표 5.18】부재력 요약(기둥 1)	198
【표 5.19】부재력 요약(기둥 2)	199

【표 5.20】임계하중 산정 결과(기둥 1)	199
【표 5.21】임계하중 산정 결과(기둥 2)	200
【표 5.22】세장비 검토 결과(기둥 1)	200
【표 5.23】세장비 검토 결과(기둥 2)	201
【표 5.24】확대모멘트 산정 결과(기둥 1)	201
【표 5.25】확대모멘트 산정 결과(기둥 2)	202
【표 5.26】세장비 검토 결과(기둥 1)	202
【표 5.27】세장비 검토 결과(기둥 2)	203
【표 5.28】확대모멘트계수 산정 결과(기둥 1)	203
【표 5.29】확대모멘트계수 산정 결과(기둥 2)	204
【표 5.30】확대모멘트 산정 결과(기둥 1)	204
【표 5.31】확대모멘트 산정 결과(기둥 2)	205
【표 5.32】단면력 산출결과 요약(기둥 1)	205
【표 5.33】단면력 산출결과 요약(기둥 2)	205
【표 5.34】P-M 상관도에 의한 기둥 안전성 평가 결과 요약(기둥 1)	206
【표 5.35】P-M 상관도에 의한 기둥 안전성 평가 결과 요약(기둥 2)	207
【표 5.36】허용응력법에 의한 연무IC교 거더의 공용내하력	209
【표 5.37】강도설계법에 의한 연무IC교 바닥판의 공용내하력	210
【표 5.38】구조물의 안전성 평가기준	211
【표 5.39】안전성 평가결과	212
【표 6.1】종합평가 결과	216
【표 6.2】시설물의 안전등급	217
【표 6.3】안전등급 지정	217
【표 7.1】시설물의 보수·보강방안 수립에 따른 검토사항	221
【표 7.2】보수·보강 우선순위 결정 기준	222
【표 7.3】보수·보강 주체 선정	223
【표 7.4】보수·보강 일람표	224
【표 7.4】보수·보강 일람표(계속)	225
【표 7.5】수지주입공법의 종류	227
【표 7.6】균열폭에 알맞은 수지의 점도	227
【표 7.7】균열폭에 따른 주입파이프/패커의 간격	227
【표 7.8】예폭시계 수지의 규격	228
【표 7.9】주입공법 공법비교안	229
【표 7.10】일반적인 단면 복구(보수)재의 분류	232
【표 7.11】단면복구(보수) 공법비교안	233
【표 7.12】보수·보강 개략공사비	234
【표 7.12】보수·보강 개략공사비(계속)	235
【표 7.13】부재별 유지관리 중점사항	239

그림 목 차

【그림 1.1】 정밀안전진단 과업수행 흐름도	5
【그림 1.2】 종·평면도	8
【그림 1.3】 슬래브 일반도	9
【그림 1.4】 교대 일반도	10
【그림 1.5】 교각 일반도	11
【그림 2.1】 본선 일반구간 표준횡단면도	19
【그림 2.2】 본선 교량구간 표준횡단면도	19
【그림 2.3】 연무IC교 토질조사 위치도 및 지층단면도	43
【그림 3.1】 교량받침 배치도	94
【그림 3.2】 도로교설계기준 연단거리 산출방법	98
【그림 3.3】 배수시설 설치현황	112
【그림 3.4】 콘크리트 내구성조사 위치도	120
【그림 3.5】 반발경도시험 및 측정기 점검 등의 절차	121
【그림 3.6】 초음파전달속도시험 및 측정기 점검 등의 절차	124
【그림 3.7】 초음파전달속도시험을 위한 탐촉자 배치방법	125
【그림 3.8】 표면법에 의한 초음파전달속도의 측정	125
【그림 3.9】 철근탐사 측정원리	127
【그림 3.10】 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차	128
【그림 3.11】 탄산화에 의한 콘크리트 성능저하	130
【그림 3.12】 T_c - T_o 법에 의한 탐촉자 배치 및 균열깊이 측정방법	134
【그림 3.13】 상부구조 평균압축강도 추정결과	135
【그림 3.14】 하부구조 평균압축강도 추정결과	136
【그림 3.15】 탄산화 깊이 측정결과	139
【그림 3.16】 염화물시험 측정결과	140
【그림 3.17】 강재 내구성조사 위치도	144
【그림 3.18】 초음파탐상(사각법)시험 개요도	145
【그림 3.19】 Gauge 영점조정	147
【그림 3.20】 Gauge 초기화(Calibration)	147
【그림 4.1】 전체 교량의 상태평가 결과 산정 방법	163
【그림 5.1】 종·평면도	173
【그림 5.2】 강박스 거더 구조해석 모델	176
【그림 5.3】 강박스 거더의 하중조건별 부재력도	180
【그림 5.4】 강박스 거더의 고유진동수 해석 결과	181
【그림 5.5】 해석단면	197
【그림 6.1】 종합평가 결과 산정절차	215

【그림 7.1】 보수·보강방안 추진방향	223
【그림 7.2】 콘크리트 표면처리 시공순서도	226
【그림 7.3】 균열 보수공법 개요도	228
【그림 7.4】 단면복구(보수) 상세도	231

사 진 목 차

【사진 3.1】 연무IC교 장비접근 현황	72
【사진 3.2】 바닥판 전경	73
【사진 3.3】 바닥판 손상현황	74
【사진 3.3】 바닥판 손상현황(계속)	75
【사진 3.4】 캔틸레버 들뜸 현황	76
【사진 3.5】 강박스 거더 전경	77
【사진 3.6】 강박스 거더 내부 손상현황	78
【사진 3.6】 강박스 거더 내부 손상현황(계속)	79
【사진 3.7】 강박스 거더 외부 손상현황	81
【사진 3.7】 강박스 거더 외부 손상현황(계속)	82
【사진 3.8】 강박스 거더 외부 부식현황	83
【사진 3.9】 가로보 및 세로보 전경	84
【사진 3.10】 가로보 및 세로보 손상현황	85
【사진 3.11】 교대 전경	87
【사진 3.12】 교대 손상현황	88
【사진 3.12】 교대 손상현황(계속)	89
【사진 3.13】 교각 전경	91
【사진 3.14】 교각 손상현황	92
【사진 3.15】 교량받침 손상현황	96
【사진 3.16】 교량받침 가동량 측정 전경	99
【사진 3.17】 신축이음장치 전경	103
【사진 3.18】 신축이음장치 손상현황	104
【사진 3.19】 신축이음 유간 측정방법	106
【사진 3.20】 교면포장 전경	110
【사진 3.21】 배수구 및 배수관 전경	112
【사진 3.22】 배수시설 손상현황	113
【사진 3.23】 난간 및 연석 전경	114
【사진 3.24】 난간 및 연석 손상현황	116
【사진 3.25】 콘크리트 내구성조사 전경	120
【사진 3.26】 강재 내구성조사 전경	144
【사진 7.1】 신축이음 누수에 따른 손상 발생 현황	237
【사진 7.2】 교각 균열 발생 현황	238

제 1장 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 교량기호의 정의

제 1장 정밀안전진단 개요

1.1 과업의 목적

본 과업은 “시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법”(이하 “시설물안전법”이라 한다.) 제7조 및 동법 시행령 제8조에 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

가. 정밀안전진단

- 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

나. 수중점검 : 해당사항 없음

1.2.2 과업수행기간

2017. 10. 20 ~ 2018. 06. 30(착수일로부터 254일간)

1.2.3 과업의 내용

본 과업은 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2017. 01, 국토교통부/한국시설안전공단)』에 의거 수행하였으며, 과업의 내용에 대한 세부사항은 다음과 같다.

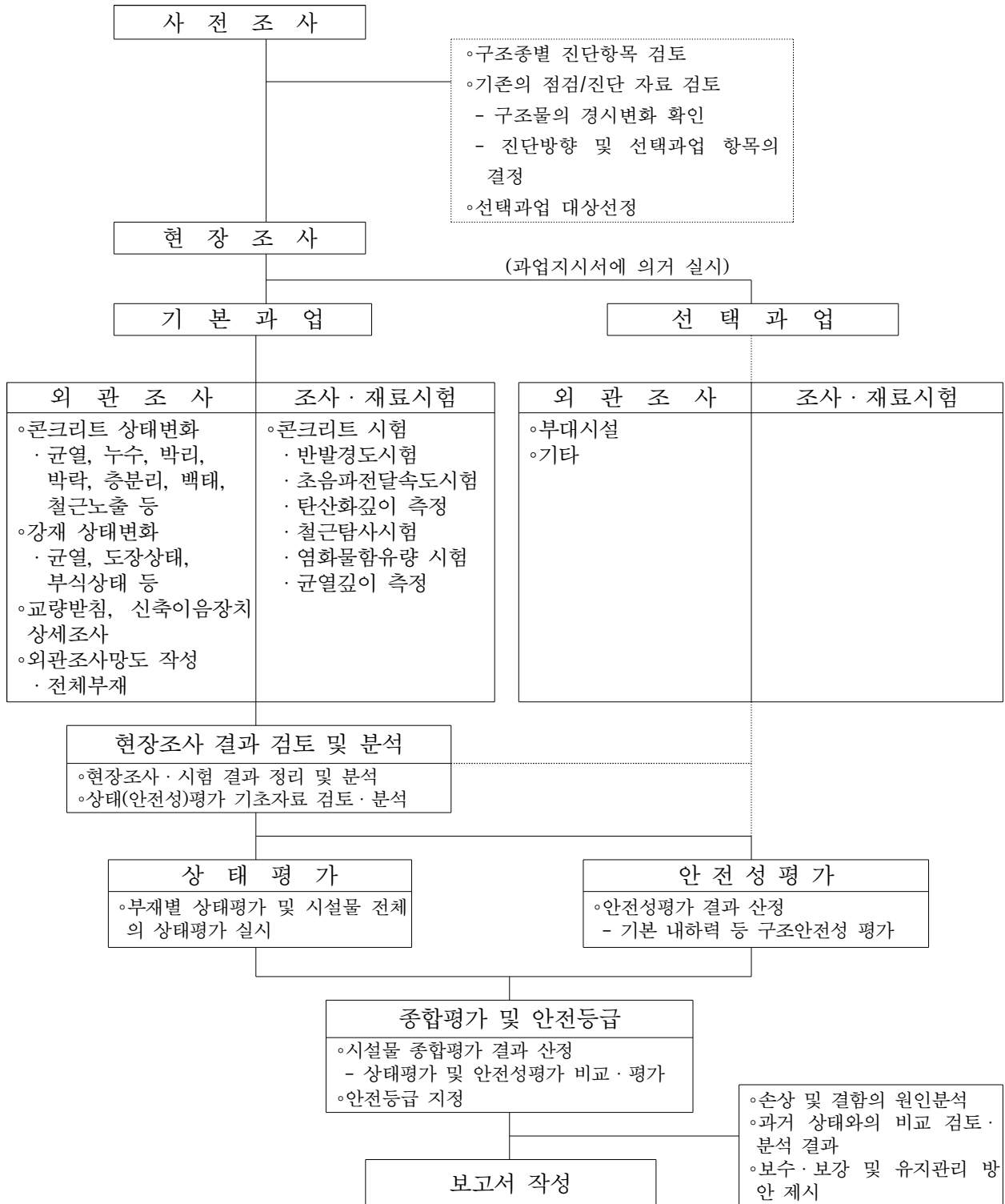
【표 1.1】 과업의 내용

과업의 범위		과업의 내용	비 고
설계도서 및 관련자료 수집·검토		1) 설계자료 검토(준공도면, 구조계산서) 2) 기존 점검 및 유지관리자료 검토 (초기점검 및 정밀점검 자료 등)	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 (2017.01) 적용
현장 조사 및 시험	외관 조사	1) 교량의 제원 및 시공상태 조사 2) 상·하부구조 외관 결함 및 손상 등 외관조사 3) 신축이음, 교량받침 등 기능상태 조사 4) 부재별 기 진단결과와의 비교	
	내구성 조사 (콘크리트)	1) 콘크리트 강도 조사 - 반발경도시험, 초음파전달속도시험 2) 철근탐사시험 - 배근 간격, 피복두께 3) 콘크리트 품질시험 - 탄산화 깊이 측정 4) 균열깊이 조사 5) 염분함유량 시험(제설재에 의해 발생한 손상부 건전도평가) 6) 강재초음파탐상	
상태평가		1) 부재별 상태평가 결과 산정 후 부재별 가중치를 고려한 시설물 전체에 대한 상태평가 결과 산정 2) 탄산화 및 염화물 함유량에 대한 평가 후 상태평가 항목으로 반영 3) 기 점검결과와의 비교	
안전성평가		1) 결함부위 진단 및 결함원인 분석 2) 당초 구조계산서 및 초기점검 내하력 평가 검토	
종합평가 및 안전등급 지정		1) 상태평가 및 안전성평가 결과를 이용하여 안전등급 지정	
보수 및 보강대책 수립		1) 결함 및 손상부위에 대한 원인 분석 및 평가 2) 기능 회복 및 향상을 위한 보수·보강 공법 제시 3) 보수·보강 물량 및 보수·보강 우선순위 제시	
유지관리 대책 수립		1) 유지 관리상 문제점과 지침 기준 작성 2) 효율적인 유지관리를 위한 방안 제시	
보고서 작성		1) 기술심의 보고서 제출 2) 기술심의 지적사항을 보완하여 최종보고서 작성 및 제출	

1.3 과업수행 절차 및 일정

1.3.1 과업수행 절차

본 교량의 정밀안전진단 과업수행 흐름도는 다음과 같다.



【그림 1.1】 정밀안전진단 과업수행 흐름도

1.3.2 과업수행 일정

본 과업을 위해 수행한 정밀안전진단 과업 일정은 다음과 같다.

【표 1.2】 정밀안전진단 과업수행 일정

공 종		2017년									2018년												비 고						
		10월			11월			12월			1월			2월			3월			4월				5월			6월		
		30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20		30	10	20	30		
1. 사전조사																													- 착수 10.20
·착수 및 예비답사																													
·자료 수집 및 검토																													
·현장조사 계획수립																													
2. 현장조사																													
·외관,비파괴조사																													
·수중 및 지반조사																													
·조사결과 정리																													
3. 상태평가																													
·외관조사 결과분석																													
·비파괴조사결과분석																													
4. 안전성평가																													
·안전성평가																													
·종합평가																													
5. 보수보강대책수립																													
·보수보강방안 제시																													
·유지관리방안 제시																													
6. 보고서 작성																													- 준공 06.30
·중간보고서작성																													
·최종보고서작성																													
·성과품제출																													
공정율(%)	월 별	1.0	21.0		3.2		19.5		6.8		10.0		17.6		15.6		5.3												
	누 계	1.0	22.0		25.2		44.7		51.5		61.5		79.1		94.7		100.0												

1.4 대상교량의 현황

1.4.1 현황

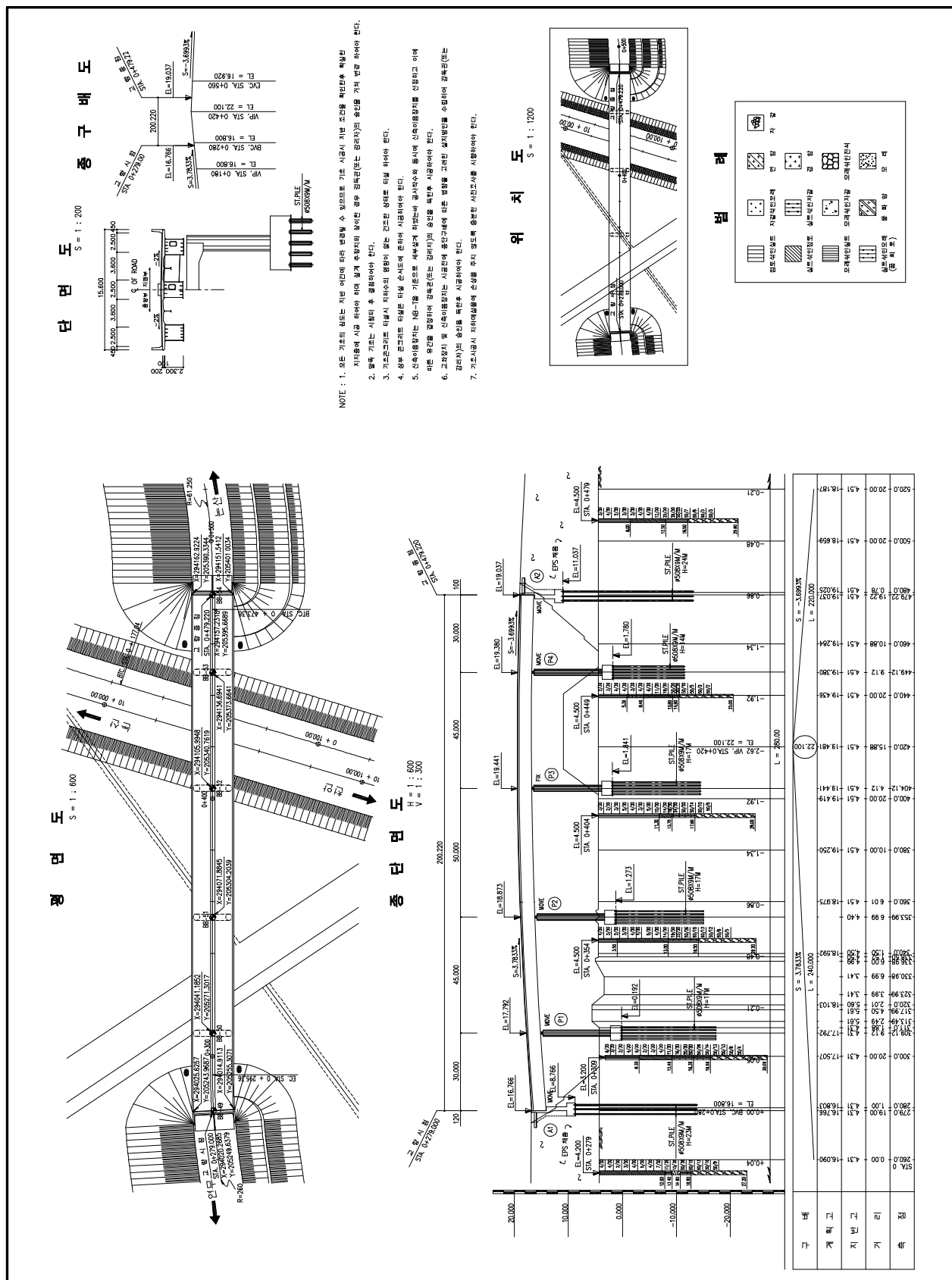
본 과업의 대상시설물인 연무IC교의 현황은 다음과 같다.

【표 1.3】 연무IC교 현황표

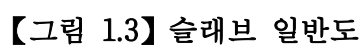
작성일 : 2018년 02월 01일

구 분		내 용		구 분		내 용	
시설물명		연무IC교		시설물번호		BR2003-0001981	
준공년월		2002년 12월 23일		관리번호		논산천안교량-05	
시설물위치		충청남도 논산시 채운면 화정리					
설계하중		DB-24		노선명(이정)		논산천안고속도로 (연무IC 10+043)	
제원	연장	L=200.0m, (2@30+2@45+50=200.0m)					
	폭	B=15.6m, 2차로					
구조 형식	상 부	강상자형교(STB)		기초 형식	교대	강관 PILE	
	하 부	교대-역T형(RTA) 교각-라멘식(RAP)			교각	강관 PILE	
교량받침		POT BEARING		신축이음		MS JOINT	
교차시설물		군도 및 하천		교 고		16.0m	
설 계 사		금호엔지니어링(주)		시 공 사		금호산업(주), 이수건설(주)	
내진설계유무		내진설계적용		관리주체		천안논산고속도로(주)	
부착시설내용		- 난간					
기 타		- 평면형상 : 사각이 없는 직선교 - 포장유형 : 아스팔트 포장 - 난간유형 : 콘크리트 - 중앙분리대 : 콘크리트 - 조명 시설 : 가로등 9기					

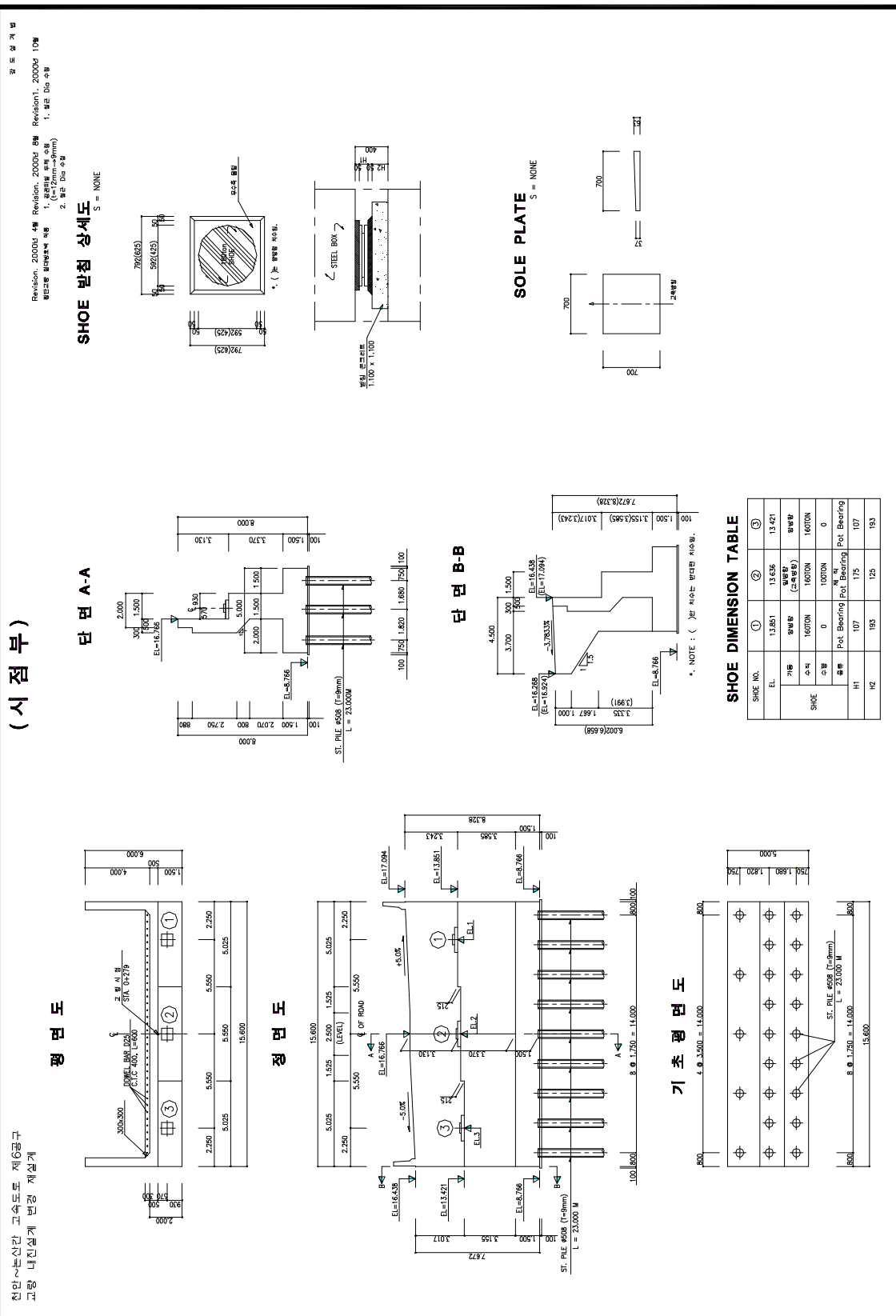
1.4.2 교량 주요도면



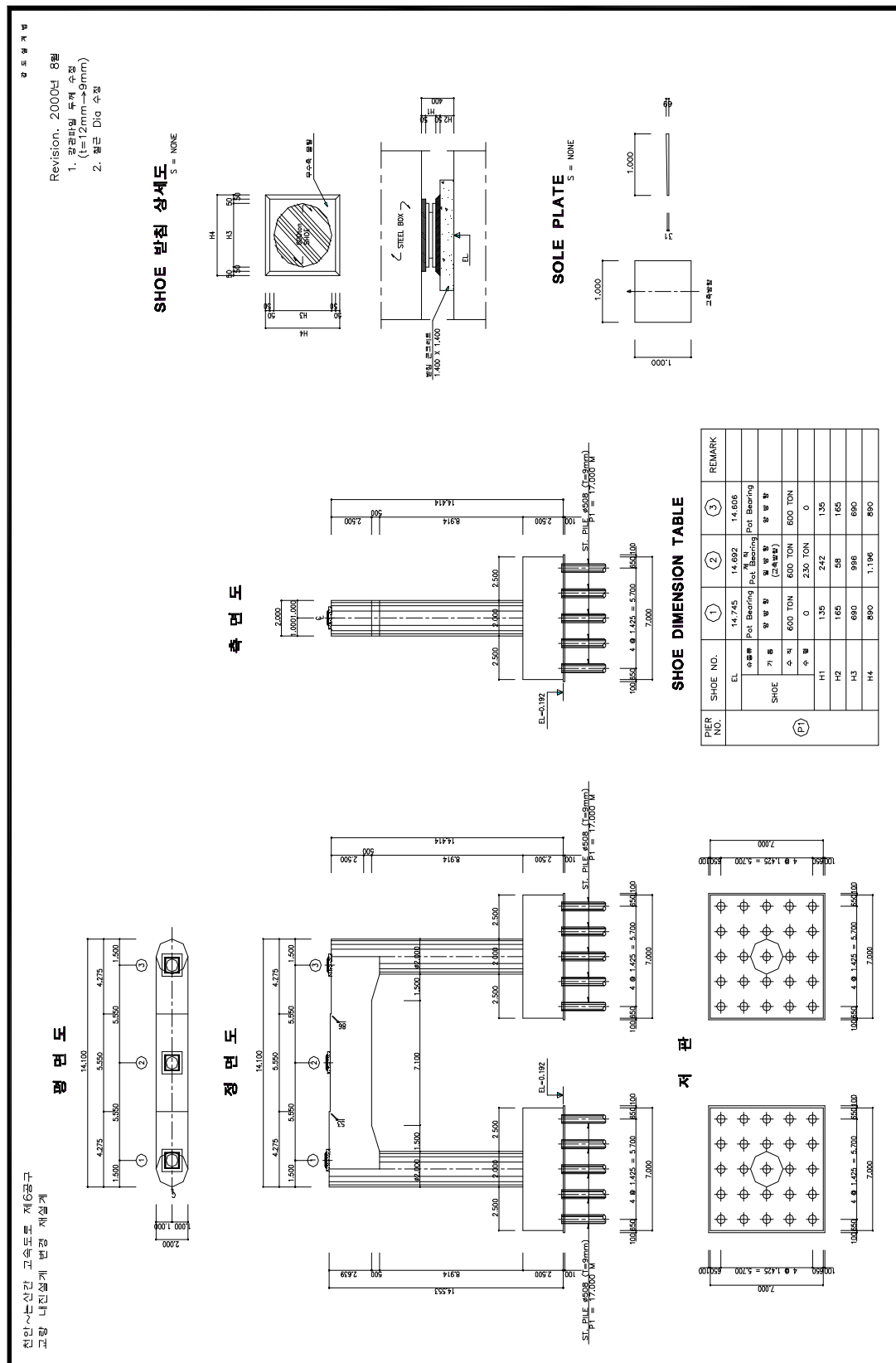
【그림 1.2】 종 · 평면도



(시점)부



【그림 1.4】 교대 일반도

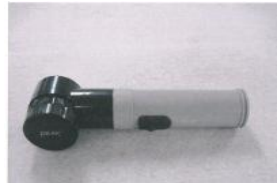


【그림 1.5】 교각 일반도

1.5 사용장비 및 시험기기의 현황

본 과업을 수행하기 위하여 사용한 주요 진단장비는 다음과 같다.

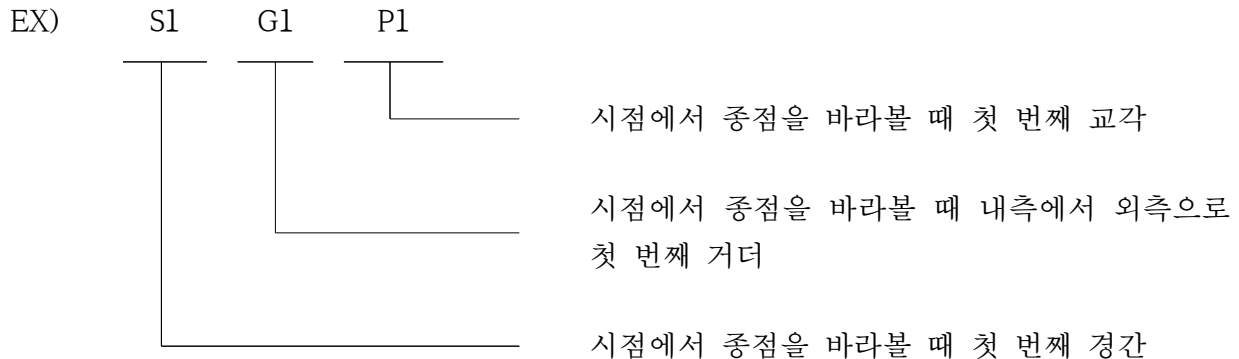
【표 1.4】 주요 사용장비 및 시험기기 일반사항

장비명	용도	제조회사	제조년도	사 진
반발경도 측정기	콘크리트(표면) 압축강도 측정	Proceq(스위스)	2014	
철근탐사기	철근위치 및 간격, 피복두께 측정	JRC(일본)	2011	
초음파 측정기	콘크리트 균열깊이 및 강도 측정	ULTRACON-170	2012	
탄산화 측정기	경화콘크리트 탄산화 깊이 측정	삼천화학(주)	2010	
균열폭 측정 현미경	균열폭 크기 측정	PEAK(일본)	2012	
교량 점검차 (고소작업차)	-	-	-	
교량 점검차 (다굴질 작업차)	-	-	-	

1.6 교량기호의 정의

【표 1.5】교량기호의 정의

부 재 구 분		사용기호	비 고
공 통	경 간	S	Span(시점에서 종점으로 순번)
	거 더	G	Main Girder
	바 닥 판	SL	Slab
	가 로 보	CB	Cross Beam
	교량받침	Sh	Shoe
	신축이음	EXP. J	Expansion Joint(시점에서 종점으로 순번)
상부구조	좌측복부(우측)	L(R)-W	Left Web(Right Web)
	상부플랜지	UF	Upper Flange
	하부플랜지	LF	Lower Flange
	격 벽	D	Diaphragm
하부구조	교 대	A	Abutment(시점에서 종점으로 순번)
	교 각	P	Pier(시점에서 종점으로 순번)



※ 교량받침장치 및 거더의 표시는 시점에서 종점을 바라볼 때 교량형식이 분리형인 경우내측(중앙분리대)에서 외측(방호벽)으로, 일체형인 경우 좌측에서 우측으로 번호를 부여함.

※ 격벽 및 현장이음부의 표시는 신축이음부를 기준으로 하여 구분하였으며, 시점에서 종점을 바라볼 때 순차적으로 번호를 부여함.

제 2장 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 결과요약

제 2장 자료수집 및 분석

2.1 자료수집 현황

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

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

2.1.1 자료수집 현황

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	비 고
설계 도서	◇ 공통 - 공사시방서 - 구조계산서 - 일반보고서 - 토질조사보고서 - 초기점검보고서	○	◇ 천안-논산간 고속도로 건설공사 제6공구 - 공사시방서 - 구조계산서 - 일반보고서 - 토질조사보고서 - 초기점검보고서
	◇ 설계도면 - 위치도, 평면도, 단면도(중·횡) - 각 부재별 상세도	○	
시설물 관 리 대 장	◇ 기본현황 ◇ 상세제원 ◇ 유지관리 이력	○	◇ 시설물정보관리종합(FMS) 시스템 내 시설물관리대장
시공 관련 자료	◇ 시공관련 자료 ◇ 품질관리 관련자료 ◇ 사고기록	○	◇ 시설물정보관리종합(FMS) 시스템 내 설계도서
안전점검 및 정밀안전진단 자료		○	◇ 발주처 요청
보수·보강 자료		○	

2.2 건설 관련자료 검토결과 요약

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 “천안-논산간 고속도로 건설 공사 제6공구”의 구조계산서와 수리계산서, 토질조사 보고서, 일반보고서(실시설계보고서), 초기점검 보고서, 정밀안전진단 보고서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

2.2.1 일반보고서

가. 과업의 목적

본 과업은 제 3차 국토종합개발계획 9×7 간선도로망의 남북 2축 노선으로, 충남 천안시 목천면 응원리 경부고속도로에서 분기하여 논산시 연무읍 고내리 호남고속도로에 접속되는 신설 4차로 고속도로로서 공사시행에 필요한 실시설계를 수행하는데 그 목적이 있다.

나. 과업의 범위

1) 과업명

천안~논산고속도로(정안~논산간) 건설공사 실시설계, 제6공구

2) 과업구간 및 기간

천안~논산고속도로 제6공구의 설계구간은 다음과 같다.

【표 2.2】설계구간

노선명	구분	행정구역	연장
천안~논산간 고속도로 (제6공구)	시점	충남 논산시 광석면 독윤리(천안기점 : 62+550)	18.41km
	종점	충남 논산시 연무읍 고내리(천안기점 : 80+960)	

【표 2.3】과업기간

구 분	기간	비 고
전체과업	1995. 10. 11 ~ 1996. 11. 24 (360일간)	
1차과업	1995. 10. 11 ~ 1995. 12. 20 (71일간)	
2차과업	1996. 02. 10 ~ 1996. 11. 24 (289일간)	

나. 과업수행 결과요약

1) 목표년도 설정 및 장래교통량

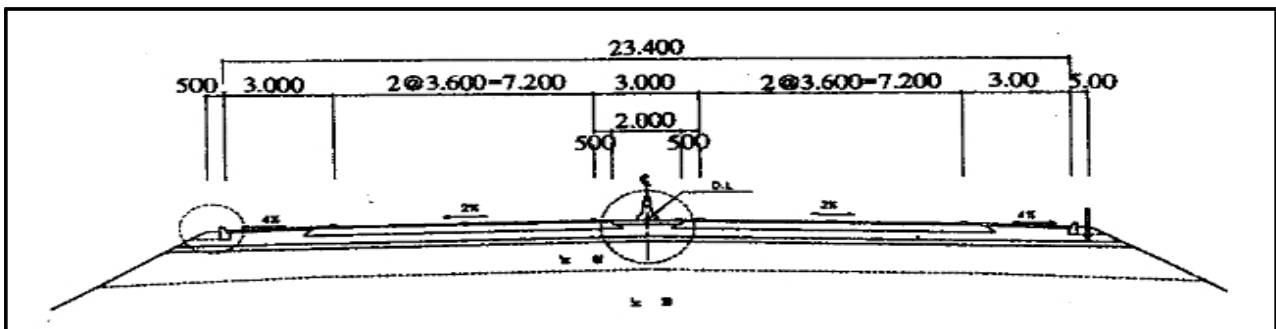
- 공용기간 : 20년
- 공용개시년도 : 2002년
- 목표년도 : 2021년

【표 2.4】 장래교통량

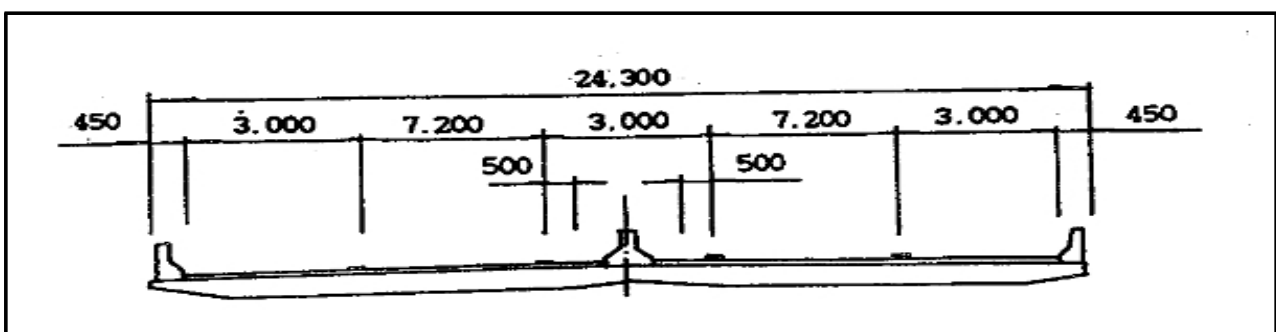
구분	교 통 량 (대/일)			비고
	2002	2011	2021	
6공구 시점 ~연무IC	42,022	64,236	79,190	
연무IC ~논산JCT	24,556	38,440	52,364	

2) 설계기준

- ① 도로의 구분 : 자동차 전용도로(지방부 고속도로)
- ② 설계속도 : 본 선 : 120km/hr
- ③ 도로폭원 : 23.4m
 - 차로폭 : $4 \times 3.60 = 14.40\text{m}$
 - 길어깨폭 : $2 \times 3.00 = 6.00\text{m}$
 - 중앙분리대 : 3.0m
 - 보호길어깨폭 : $2 \times 0.50 = 1.00\text{m}$
- ④ 표준횡단면도



【그림 2.1】 본선 일반구간 표준횡단면도



【그림 2.2】 본선 교량구간 표준횡단면도

2.2.2 일반보고서(실시설계)

가. 개요

본 설계구간은 충남 논산시 광석면 득운리에서 충남 논산시 연무읍 고내리를 연결하는 총 연장 18.4km의 4차로 고속도로로서 일반구간 6.195km(STA NO.0~STA NO.2+895, STA NO.15+100~STA NO.18+400)와 연약지반구간 12.205km(STA NO.2+895~STA NO.15+100)로 형성되어 있으며 주로 기존농지를 평균 10m 정도 성토하여 계획하였고 주변에 국도4호선, 국도23호선, 국도1호선, 지방도602호선을 횡단하고 직할하천인 논산천과 준용하천인 마산천 및 신양천을 통과하도록 계획하였다. 따라서 이러한 지형 및 선형여건을 감안하여 교량가설 위치 및 형식을 결정하였다.

본 설계구간내 계획교량은 총 36개소로써 교량 총연장 L=2749.5m중 연장 100m 이상의 장대교가 10개소(L=1844m), 소교량이 26개소(L=905.5m)로 구성되어 있고 그중 연약지반에 위치하고 있는 교량이 23개소(L=2,125m)로 전체교량 구조물의 약 80%를 차지하고 있으며 교량의 형식선정은 기본설계시 제안한 형식을 토대로 교량가설위치의 선형조건과 지형 및 지역조건, 지질상태, 형하조건 등을 감안하여 경제성, 시공성, 미관 및 유지관리 등을 종합적으로 고려한 비교안을 면밀히 검토·분석한후 최적안을 선정하였다.

특히 연약지반구간에 위치한 교량의 교대부분은 측방유동압에 의한 말뚝의 수평변위를 방지하기 위한 별도의 대책을 강구하여 계획하였다.

본 교량설계는 사용목적에 적합하고 안전 및 미관이 수려하고 경제적으로 설계하기 위하여 현장조건, 시공방법등 제반여건을 종합적으로 검토하고 국도 및 횡단육교등은 장래확장 계획 등을 고려하여 설계하였다.

나. 교량현황

【표 2.5】연무IC교 교량 현황

위치 (STA)	교량형식			연장 (m)	폭원 (m)	사각 (deg)	비고
	상부	하부	기초				
0K+379	강합성형 (STEEL BOX)	교대:역T형 교각:라멘식	교대:강관말뚝 교각:강관말뚝	(2@30+2@45 +50)=200	24.3	90 °	

다. 설계기준

1) 설계속도

고속도로의 설계속도는 기하구조를 결정하는데 가장 기본적인 요소로서 계획도로의 중요도, 경제성, 지형 및 지역여건, 설계교통량등이며 자동차의 주행을 직접적으로 규정하는 곡선반경, 편구배, 종단구배 등의 기하구조 요소를 결정한다. 설계속도는 이와같은 도로의 중요성이나 도로의 성격에 관한 지표값의 의미를 나타내고 있으며, 특히 고속도로의 경우에는 고속도로의 특성과 고속주행의 효율성과 안정성을 확보하고 기 설계구간과의 동질성을 고려하여 도로의 구조시설 기준에 관한 규정에서 제시하는 설계속도 120km/hr를 적용하였다.

2) 폭원구성 및 횡단구배

• 폭 원

① 본 선

도로의 폭원은 차로, 중앙분리대, 길어깨로 구성되며 본선의 횡단구성은 다음과 같다.

【표 2.6】본선 횡단구성

구 분		단 위	적 용	비 고
차 선 수		차 로	4	양방향
도 로 폭 원	총 폭 원	m	23.4	보호 길어깨 제외
	차 로	m	14.4	4@3.6
	중 앙 분 리 대	m	3.0	
	길 어 깨	m	6.0	2@3.0
	측 대	m	0.5	길어깨측
		m	0.5	중앙분리대측
	보 호 길 어 깨	m	0.5	성토부 적용

② 연 결 로

【표 2.7】연결로 횡단구성

구 분		단 위	1 방 향	2 방 향	비 고
차 로 폭		m	3.6	3.6	
중 앙 분 리 대		m	-	2.5	
길 어 깨	우 측	m	2.5	2.5	
	좌 측	m	1.5	-	

• 횡단구배

① 차 로 부

직선구간의 표준 횡단구배는 2%로 하며 곡선부의 최대편구배는 본선 6%, 연결로 8%로 한다. 편구배 설치방법은 중앙분리대 양단을 회전축으로 사용하였으며 곡선반경별 적용편구배 및 접속설치율은 다음과 같다.

【표 2.8】곡선반경별 편구배기준

편 구 배 (%)	곡 선 반 경					비 고
	설 계 속 도					
	120km/hr		50km/hr		40km/hr	
8	-		80이상	140미만	50이상 90미만	
7	-		140이상	180미만	90이상 130미만	
6	710이상	860미만	180이상	250미만	130이상 170미만	
5	860이상	1,070미만	250이상	370미만	170이상 210미만	
4	1,070이상	1,400미만	370이상	500미만	210이상 330미만	
3	1,400이상	1,990미만	500이상	800미만	330이상 510미만	
2	2,000이상	7,500미만	800이상	1,300미만	510이상 700미만	
표준구배	7,500이상		1,300이상		700이상	

【표 2.9】접속 설치율 및 접속설치 길이

차도폭 (m)	설 계 속 도 (km/hr)	접 속 설 치 율 (m/m)	편구배별 접속설치길이(m)													
			2%		3%		4%		5%		6%		7%		8%	
			TL	L	TL	L	TL	L	TL	L	TL	L	TL	L	TL	L
4.6	50	1/115	21	11	27	16	32	21	37	27	42	32	48	37	53	42
	40	1/105	19	10	24	14	29	19	34	24	39	29	43	34	48	39
8.2	120	1/200	66	33	82	49	98	66	115	82	131	98	-	-	-	-

① 길어깨부

직선구간의 길어깨부 횡단구배는 4%로 하며 곡선부에서는 길어깨의 편구배를 내측은 차로구배와 동일하게 하고 외측은 차로와의 절대 구배차를 7%로 적용하였다.

차로구배별 길어깨 횡단구배는 다음과 같다.

【표 2.10】곡선부 길어깨 횡단구배

내 측 차 로	내측길어깨	외 측 차 로	외측길어깨	비 고
- 2	- 4	+ 2	- 4	
- 3	- 4	+ 3	- 4	
- 4	- 4	+ 4	- 3	
- 5	- 5	+ 5	- 2	
- 6	- 6	+ 6	- 1	

3) 기하구조기준

• 본 선

① 본 선

본 설계에서 기하구조기준은 「도로의 구조시설에 관한 규정」 및 「도로설계요령」에서 제시하는 제요소를 근간으로 가능한한 표준치 이상으로 적용하였다.

【표 2.11】기하구조기준

구 분		단 위	기 준 치	비 고
설 계 속 도		km/hr	120	
최 소 평 면 곡 선 반 경		m	710	
최 소 평 면 곡 선 장	교각 5° 미만	m	700/θ	
	교각 5° 이상	m	140	
최 대 표 준		%	3	
중 단 구 배	부득이한 경우	%	-	
최소중단곡선 변화 비율	불 룝 형	m/%	190	
	오 목 형	m/%	70	
중 단 곡 선 의 최 소 길 이		m	100	
최 소 정 지 시 거		m	280	
최 소 완 화 곡 선 장		m	70	
표 준 횡 단 구 배		%	2	
최 대 편 구 배		%	6	
완 화 곡 선 파 라 미 터		-	$R/3 \leq A \leq R$	

• 유출입시설

① 연결로 기하구조

【표 2.12】 연결로 기하구조

구 분		단 위	기 준 치			비 고
설 계 속 도		km/hr	60	50	40	
최 소 평 면 곡 선 반 경		m	130	80	50	
완화곡선을 생략할 수 있는 최소곡선반경		m	350	220	140	
최 소 평 면 곡 선 장	교각 5° 미만	m	350/ θ	300/ θ	250/ θ	
	교각 5° 이상	m	70	60	50	
최 대 종 단 구 배	평 지 부	%	6	7	7	
	산 지 부	%	8	10	11	
최소종단곡선 변 화 비 율	블 록 형	m/%	20	10	5	
	오 목 형	m/%	20	12	7	
종 단 곡 선 의 최 소 길 이		m	50	40	35	
최 소 정 지 시 거		m	85	65	45	
최 소 완 화 곡 선 장		m	35	30	25	
표 준 횡 단 구 배		%	2	2	2	
최 대 편 구 배		%	6	6	6	
완 화 곡 선 파 라 미 터			70	50	35	

② 노즈부근의 기하구조

【표 2.13】 노즈부근의 기하구조

설계속도 (km/hr)	최소평면 곡선반경 (m)	최소종단 곡선변화율(m/%)		최소종단 곡 선 장 (m)	최 소 완화곡선 파라미터
		블 록 형	오 목 형		
120	250	20	20	50	90

③ 본선 기하구조

【표 2.14】 본선 기하구조

본 선 설계속도 (km/hr)	최 소 곡선반경 (m)	종단 곡선 변화비율(m/%)		최 소 종단구배 (m)	비 고
		블 록 형	오 목 형		
120	1,000	240	110	2	

④ 가감속 차로장

【표 2.15】가감속 차로장

감속차로 규정길이(m)		가속차로 규정길이(m)		테 이 퍼 (m)	비 고
1차로	2차로	1차로	2차로		
170	200	300	450	70	

⑤ 종단구배구간의 가감속 차로길이 보정율

【표 2.16】종단구배구간의 가감속 차로길이 보정율

본선의 종단구배 (%)	내리막 구배					오르막 구배				
	0 ~ 2미만	2이상 ~ 3미만	3이상 ~ 4미만	4이상 ~ 5미만	5이상	0 ~ 2미만	2이상 ~ 3미만	3이상 ~ 4미만	4이상 ~ 5미만	5이상
감속차로의 길이보정율	1.0	1.10	1.20	1.30	1.35	1.0	0.95	0.90	0.85	0.80
가속차로의 길이보정율	1.0	0.80	0.70	0.60	0.50	1.0	1.20	1.30	1.40	1.50

4) 설계하중 및 시설한계

• 적용범위

본 설계에 적용한 표준시방서 및 설계기준은 다음과 같다.

- ① 콘크리트 표준 시방서 (1996)
- ② 철근콘크리트 설계편람(Ⅰ,Ⅱ) (1991)
- ③ 도로교 표준 시방서 (1996)
- ④ 도로의 구조, 시설 기준에 관한 규정 (1990)
- ⑤ 도로 설계 요령 (1992)
- ⑥ 기타 설계 기준

• 설계하중

강도 설계법에 의할 때는 극한 하중을 적용하고 허용응력 설계법에 의할 때는 사용하중을 적용해야 하며, 구조계산 하중조합은 사하중, 활하중, 충격, 건조수축, 크리프, 온도변화 그리고 지지점의 부등침하 등의 영향을 고려한 하중 조합중 가장 불리한 하중으로 설계하고 구조계산서에 상세히 기재한다.

① 사 하 중

사하중의 산출에 사용되는 재료의 중량은 도로교 표준 시방서에 따르며 실하중이 확실한 것은 그 값을 사용한다.

② 활 하 중

- 교 량

· 본선교량 : 본선 및 I.C교량 DB-24, DL-24

· 기타교량 : 해당 도로의 등급

- 교량 및 옹벽에 적용하는 노면 활하중

· 교량 등급에 관계없이 1.0T/m²으로 한다.

③ 설계방법 적용기준

- W.S.D(허용응력 설계법) : 철근 CON' C를 탄성체로 보고 재료에 적합한 안전율을 고려한 허용응력을 사용하여 설계하는 방법

- U.S.D(강도 설계법) : 실제 하중이 작용하여 부재가 파괴될 때에 CON' C의 압축응력 분포를 알아내어 이에 맞도록 적합한 하중(LOAD FACTOR)를 갖고 설계하는 방법

· 강도 설계법 적용 : R.C 구조물(슬라브, 교대, 교각, BOX)

· 허용응력설계법 적용 : P.C 구조물(상도설계법으로 안정성 검토)

강구조물

· 시설한계

① 도 로 : 4.8m이상(가급적 5.0m이상)

② 철 도 : 7.5m이상(관계기관과 협의)

5) 주요자재 사용기준

· 콘크리트

【표 2.17】 콘크리트 사용기준

종 류	기준강도 (kg/cm ²)	골재최대 치수(mm)	적 용 구 조 물	슬럼프 기 준	비 고
P . C	$\sigma_{ck}=400$	19	P.C 구조물 PREFLEX 아래 플랜지 신축이음장치 후타콘크리트	15 cm	BASE=8cm
1 종	$\sigma_{ck}=270$	25	라멘교(SLAB, 측벽, 기초, 날개벽) PREFLEX(복부, 가로보) 현장제작 철근 콘크리트판 교량접속슬라브, 완충슬라브	13,15 cm	BASE=8cm

【표 2.17】콘크리트 사용기준(계속)

종 류	기준강도 (kg/cm ²)	골재최대 치수(mm)	적 용 구 조 물	슬럼프 기 준	비 고
1 종 (섬유보강)	$\sigma_{ck}=270$	25	거더교 상부 슬래브	13,15cm	
2 종	$\sigma_{ck}=240$	25	필요시	15cm	
		32	터널라이닝 콘크리트 및 입출구시설, 교량하부구조(교각,교대,우물통기초) 및 날개벽, 철근콘크리트 옹벽, 연석, 암거, 암거접속 슬래브		
		40	강관이음용 철근콘크리트		
2종 수중	$\sigma_{ck}=240$ (육상300)	25	수중 콘크리트	15cm	
3 종	$\sigma_{ck}=210$	25	절, 성토부 도수로, 도수로 집수거, V형측구, L형측구(TYPE 3-4), U형 측구(TYPE 1-4,7), U형측구 뚜껑, 중분대 집수정, 노면집수정	8,15cm	
		40	중력식 옹벽, MASS콘크리트, 부대시설기초, 암거 및 배수관 APPROACH부 바닥콘크리트, 배수관 기초, U형측구(TYPE 5-6), 배수관 날개벽		
5 종	$\sigma_{ck}=150$	50	레벨링 콘크리트, 속채움콘크리트(우물통)	-	
L형 측구	$\sigma_{ck}=210$	19	TYPE - 1, 2, 콘크리트 다이크	2~5cm	
		25	TYPE - 3, 4	8cm	
중분대용	$\sigma_{ck}=240$	19	중분대 구체, 교량중분대, 난간 방호벽 : 섬유 보강 콘크리트	2~5cm	
중 간 층	$\sigma_{ck}=50$ (7일양생기준)	40	포장 LEAN 콘크리트	-	습윤포 6일 수침양생1일
포 장 용	$\sigma_{bk}=45$	32	포장슬래브, 통로암거접속부, 절성보강슬래브, 중분대 기초	4~6cm	

주) 현장여건 및 사용장비에 따라 골재치수는 변경될 수 있다.

• 철 근

KS D 3504에 적합한 재료를 기준으로 한다.

【표 2.18】철근 사용기준

종 류	허용응력(kg/cm ²)	적 용 콘 크 리 트
SD 40	$\sigma_y = 4,000$ $\sigma_{sa} = 1,800$	• 1종 콘크리트 • 일반적인 부재, 라멘의 구체(상부 및 하부)
	$\sigma_y = 4,000$ $\sigma_{sa} = 1,600$	• 1종 콘크리트 • 바닥판 및 지간 10m 이하의 슬래브교 • 수중 혹은 지하수위 이하에 설치
SD 30	$\sigma_y = 3,000$ $\sigma_{sa} = 1,500$	• 2종 콘크리트

• 강 재

① P.C 강재 : KS D 7002에 적합한 재료를 기준으로 한다.

SW PC7B(2종) 항복점강도 $\sigma_{py} = 160\text{kg/mm}^2$ 이상

항복점강도 $\sigma_{pu} = 190\text{kg/mm}^2$ 이상

② 일반강재

주 부 재 : SWS 490(상·하 플랜지, 복부판, 종 RIB, 주부재 연결판)

부 부 재 : SWS 400을 기준으로 한다.(주부재를 제외한 모든 부재)

• 주요재료 물리상수

① 콘크리트(도로교 표준시방서 P123,318,630,633)

탄성계수 : $E_c = W^{1.5} \cdot 4,270 \sqrt{\sigma_{ck}(\text{kg/cm}^2)}$ 에 준하되 다음값을 사용해도 좋다.

【표 2.19】콘크리트 탄성계수

강 도	400kg/cm ²	270kg/cm ²	240kg/cm ²
E_c	300,000	250,000	235,000
n	7	8	9

온도 팽창계수 : $\alpha = 1.0 \times 10^{-5}$

CREEP계수 : $\phi = 2.0$ (조강시멘트) 3.0(보통시멘트 사용)

건조수축계수 : 2.0×10^{-5}

② 철근의 탄성계수(도로교 시방서 P123)

$$ES = 2.04 \times 10^5 (kg/cm^2)$$

③ PC 강재(강연선) (도로교 시방서 P123)

- 탄성계수 : $E_p = 2.0 \times 10^6 (kg/cm^3)$
- 결보기 리락세이션율

【표 2.20】P.C 강재의 종류에 따른 결보기 리락세이션율

P.C 강재의 종류	결보기 리락세이션율(%)
P.C 강선, P.C 강연선	5
P.C 강 봉	3

P.C강재가 고온을 받을 경우 P.C강재의 결보기 리락세이션율을 위표의 값에 2% 가산한다.

④ 마찰손실(도로교 시방서 P755)

【표 2.21】마찰손실

긴장재의 형태	닥트의 형태	파장마찰계수 (K/m)	곡률마찰계수 (μ /rad)
P.C강선 또는 도금되지 않은 P.C강연선	금속쉬스	0.0066	0.30
	아연도금 금속쉬스	0.0050	0.25
	아스팔트 또는 그리스로 코팅되고 피복된것	0.0066	0.30
	아연 도금된 강성 덕트	0.0007	0.25
고강도 강봉	금속쉬스	0.0010	0.20
	아연도금된 금속쉬스	0.0007	0.15

⑤ 강재(도로교 시방서 P123)

- 탄성계수 : $ES = 2.1 \times 10^6 (kg/cm^2)$
- 온도팽창계수 : $\alpha = 1.2 \times 10^{-5}$

라. 교량형식 선정

1) 계획일반

- 교량형식의 선형, 지형 및 지질 그리고 기존교량의 건설경험과 교량 유지보수실적 등을 감안하여 선정하여야 하는바, 이들 요소를 요약하면 다음과 같다.
 - 경제성 (경간구성 및 재료)
 - 기능 (주행감)
 - 시공성 (가설방법, 공기, 시공관리)
 - 유지보수
 - 조형미 등
- 상기한 요소들을 감안한 본 구간의 교량형식 선정시 주요 고려사항은 다음과 같다.
 - 교량형식은 지형 및 주위 경관을 고려하여 미려한 구조가 되도록 하였다.
 - 상부구조는 차량주행시 쾌적성을 고려하여 가급적 연속구조형식으로 하였다.
 - 하부구조는 안정성에 중점을 두고 간단, 경제한 구조가 되도록 하였다.
 - 기초의 형식은 지반의 상황이나 기타조건을 충분히 조사, 검토한 후 상부구조에 적합하고 가장 안전하며 시공조건을 감안하여 경제적인 형식으로 하였다.
 - 형하공간
 - 도 로 : 5.0m이상 (가급적 5.2m이상)

2) 장대교 형식선정

◦ 연무IC교

■ 현 황

- 위 치 : STA. 0K+379 (RAMP-A)
- 평면선형 : 직 선
- 종단선형 : 3.8% ~ -3.7%
- 사 각 : 90°

■ 본 교량은 연무IC RAMP-A LINE에 위치하며 연약지반구간에 속하는 교량으로 천안~논산간 고속도로를 횡단한다. 당초안은 교량이 인접해 있어 시공성 확보차원에서 교량연장을 증가시켰으며, 양측교대에 EPS 공법을 사용하여 기초에 전달되는 수평력을 감소시켰다.

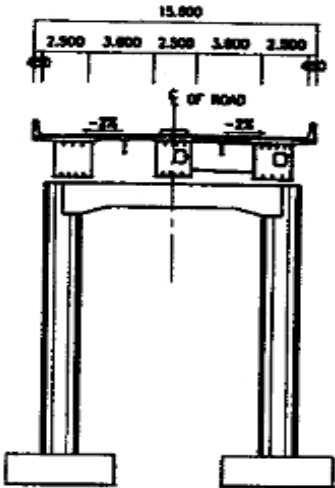
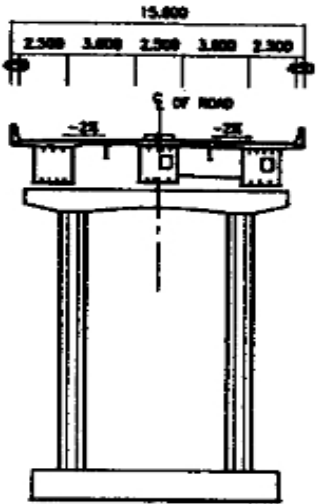
마. 연무IC교 교형비교(안)

【표 2.22】 교형비교(안)

구분		기 본 설 계 안	비 교 1 안
형 식	상 부	PC BEAM	ST. BOX GIRDER
	하 부	-	문 형
연 장		교 량 : 30m + 30m 토 공 : 35m	30+45+50+45+30 = 200m
개략 공사비		21억 9천만원	48억 4천만원
장 점		· 시공성 양호 · 공기 단축 · 품질관리 용이 · 합성단면으로 효율성 증대	· 시공성 양호 · 휨 및 비틀 강성이 큼 · ST. BOX 이동 및 운송 양호 · 연장은 증가하나 시공성 확보
단 점		· 해석시 하중 횡분배 고려 · 곡선부 적용 불리 · 제작장 확보 필요 · 램프교량이 인접하여 도로시공성 난해	· 유지관리시설 필요 · 연결부 및 지점부에 대한 정밀 해석 필요
건 의 안			○

바. 연무IC교 하부 형식 비교(안)

【표 2.23】하부형식비교(안)

공 종	비 교 1 안	비 교 2 안
형 식	문 형	π 형
단 면		
특 징	• 미관 양호 • 시공성 양호 • 구조적 안정감 • 라멘 형식으로 횡방향력에 유리 • 내진 저항성 우수 • 교각이 높고 교폭이 넓은 경우에 구조적으로 유리	• 미관 비교적 양호 • 시공성 복잡 • 구조적 안정성 비교적 유리 • 내진 저항성 양호 • 교각이 넓은 경우 유리
건 의 안	○	

사. 내진설계 적용내용

1) 교량 내진설계 기본방향

- 본 과업구간은 충청남도 논산시에 위치하고 있어 내진 1등급 지역에 해당하고 있으므로 가속도계수 $A=0.14g$ 로 교량형식에 관계없이 모든 구조물을 내진 1등급교로 설계하였다. (도시 P.766)
- 지진시 교량의 붕괴방지는 낙교방지와 교각의 안정을 최대 주안점으로 하였다.
- 점성스토퍼나 면진받침 등의 특수장비는 국내에 활성화되어 있지 않고 경제성 및 시공성 유지관리 등 관련문제가 많으므로 지진시 낙교를 확실하게 방지할 수 있도록 전단 KEY를 매교각에 설치 하였다.
- 구조적으로 허용하는 한 고정받침을 여러개소에 사용하여 수평력을 분산시켜 현재 국내 생산가능한 받침을 적용토록 하였다.
- 상부구조로부터 고정받침이나 전단 KEY에 적용하는 수평력 산정과 수평력에 의한 교각 설계를 면밀히 하였다.

2) 내진설계 기준

① 강합성형 BOX교

- 교축방향, 교축직각방향으로 전단 KEY 설치

② 하부구조

- 교각, 교대 및 기초 모두 시방서에서 규정한 대로 내진설계를 실시(도로교시방서, 제 6장 기초 및 교대의 내진설계 P.787)

아. 유지관리시설

교량 구조물 건설에 있어서 공기내에 안전하고 경제적으로 건설할 수 있는 구조로 설계하는 것도 중요하지만 증대하는 사회 간접자본의 수요에 부응하고, 시간의 경과에 따른 노후화를 최소화하여 장기적인 효율성을 갖고 효율적인 유지관리방법을 확립해 놓지 않으면 안 될 것이다.

신설교량의 계획에 있어서는 완성후의 유지관리가 용이하도록 구조 및 설비를 충분히 강구하여야 하며 공용기간중 일관성 있게 관찰 및 점검·보수를 계획하는 것이 매우 중요한 유지관리의 한 방안이다.

1) 강교 유지관리 시설

고속도로 이용차량의 대형화, 중량화, 통행증가와 구조물 노후화로 인한 피로, 파손 상태를 조기발견,, 구조물을 적기에 효율적으로 보수하여 도로의 기능보존 및 이용자의 편의와 안전을 도모하며 관계기관(공문참조)에서는 본 사항을 실시설계시 반영토록 하였는바 본 실시설

계에서 충분히 검토하여 적용토록 하는데 있다.

【표 2.24】강교 유지관리 시설 설치 현황

시설물	용도	비고
맨 홀	강교의 BOX내부로 유지관리 요원 출입	
환기용 개구부 및 받침대	정기적인 STEEL BOX내부 도장작업시 유독가스 배출	
조 명 등	STEEL BOX 내부조사, 점검 등의 작업능력 증대	

2) 교량 점검로 시설

교량구조물(본체, 슬래브의 균열 및 강교도장, 받침부의 노후화 정도, 배수장치)의 일상점검 및 천재지변 발생시 구조물의 조기 안전진단 및 노후화에 따른 구조물 점검을 하기 위함.

【표 2.25】하부구조 점검시설 설치 현황

구분	종류	형태	이용목적	비고
점검시설	점검계단	교대부 점검로	- 교대 성토(절토)를 따라 계단식 설치 - 교량 접근로	
	고정식 계단	검사통로 형식	- 주형하부에 설치 - 주형, 바닥판, 지점부 점검 - 교각 및 상·하부 연결장치 점검	
		사다리 형식	- 교각 및 상·하부 연결장치 점검	
	이동식 시설	이동식 점검대	- 교량상부구조 점검 - 지점부 점검 - 유지관리 필요	
		이동식 곤돌라	- 교각 등 수직구조물 점검	

자. 교면포장

본 구간의 교면포장은 ASCON포장과 콘크리트포장을 다음과 같이 비교 검토한 결과 시공성 및 주행성이 양호한 ASCON포장으로 설계하였다.

【표 2.26】 교면포장 비교표

구분	아스콘포장(t=8cm)	콘크리트포장(t=4cm)
단면도		
특징	• 시공이 용이하다. • 유지보수가 용이하다. • 주행성이 용이하다. • 종곡선 처리가 용이하다. • 변단면 처리가 용이하다. • 토공부는 콘크리트 포장이고 교량부는 아스콘 포장이 되어 미관상 연속성이 없어 보임.	• 마모층 마모시는 아스콘으로 보강하여야 한다. • 처짐시 표면에 크랙이 발생하기 쉽다. • 테크휘티샤 면고르기를 하여야 한다. (콘크리트타설 공기가 길다) • 주행성이 불량하다. • 종곡선 처리가 어렵다. • 변단면 처리가 어렵다. • 폭이 넓은 교량처리가 어렵다.(시중의 테크휘티샤 폭보다 넓은 경우)

차. 교면방수

도로공사에서 시험하여 성능을 확인 바 있으며, 방수성이 우수하고 내구성, 내활성이 양호하며 가격이 보통인 Sheet방수를 차도구간에 적용토록 하였다.

카. 교좌장치

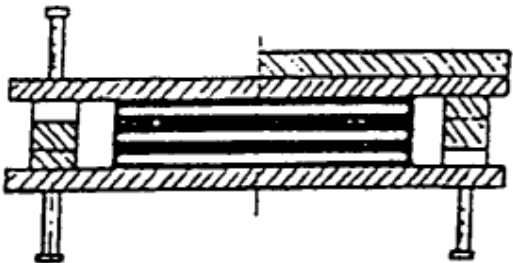
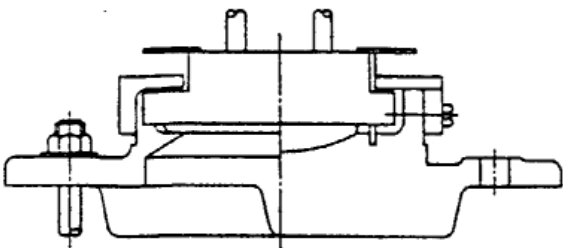
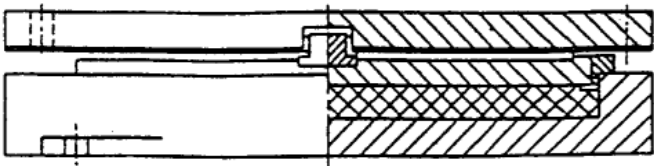
1) 교좌장치 선정

본 과업에서는 상부하중, 횡방향 신축량 및 교량형식 등의 제반여건을 감안하여 다음과 같이 선정하였다.

상부반력 175ton이하인 강합성교 경우에는 급격한 수평력(지진하중)에 저항성이 우수한 탄성고무 받침을 선정하였으며, 상부반력이 큰 강상형교에서는 장대교량의 특성에 적합한 POT받침을 적용하였다.

2) 받침형식비교

【표 2.27】교량받침 형식 비교표

구분	탄성받침	고력황동주물받침판 받침	불소수지 받침판 받침
형태			
재질	• CHOROPORENE계의 합성고무	• 몸체 : 탄성주강 • 지압판 : 고력황동주물	• 몸체 : 주강, 강재 • 지압판 : 천연고무 및 PTFE
회전기구	• 전방향 탄성변형	• 일방향, 전방향 미끄러짐	• 전방향 탄성변형
지압기구	• 평면지압 $\sigma = P/A$	• 평면지압 $\sigma = P/A$	• 평면지압 $\sigma = P/A$
용도	• 소교량에 사용 • 특히 사교, 곡선교, 넓은 폭의 SLAB교에 사용	• 작은 규모의 PlateGirder나 SLAB교로부터 큰 규모의 BOX GIRDER교에 사용	• 사교, 곡선교, 넓은 폭의 SLAB 및 BOX GIRDER에 사용
사용범위	• 이동량 80mm이하 • 마찰계수 0.55 • 반력 300ton이하	• 이동량 100mm이하 • 마찰계수 0.15 • 반력 1,000ton이하	• 이동량 250mm이하 • 마찰계수 0.10 • 반력 5,000ton이하
장점	• 설치 및 유지관리가 용이하다. • 임의 형상으로 제작이 가능하다. • 모든 방향으로 회전 및 신축이 가능하다. • 사각이 큰 사교에서 둔각부의 큰 반력에 의한 고무받침의 탄성변위가 둔각부의 부반력을 방지한다. • 지진시 횡방향 동요에 대한 저항증대 • 구조가 간단하여 감쇄효과가 크다.	• 회전기능이 우수하다.(전방향으로 가능) • 회전이 큰 곳, 회전방향이 이동방향과 일치하지 않는 곳 등에 사용할 때 유리하다. • 제작 및 설치가 용이	• 회전에 따른 하중의 편심이 작아 유리하다. • 반력이 커질수록 다른 받침의 종류보다 경제성이 증가되므로 장대교 건설이 늘어나는 현 추세에 적합하다. • 윤활유 주입으로 수명을 늘릴 수 있으며 고온과 저온에서 특성이 좋아진다.
단점	• 고하중용으로는 면적이 커지고 지간이 길어지면 이동량 확보를 위하여 두께가 과다하게 증가된다.	• 반력이 커지면 상대적으로 받침 크기가 커지므로 하부구조 형상에 불리하다. • 횡방향 이동량이 작다.(10mm정도)	
채택안	P.C빔, R.C슬래브		강상형, P.C BOX
검토의견	교량의 연결부는 상부구조의 사하중 및 활하중 등을 원활하게 하부구조로 전달하는 역할을 수행하며, 고무와 강판을 교대로 중첩하여 부착한 적층고무체의 중심에 납으로 된 BLOCK을 넣어 일체화 시킨 탄성받침은 지진시의 진동에너지를 흡수하고 각 교각에 수평력을 분산시켜 지진과 같은 급격한 수평력에 저항성이 우수하므로 P.C BEAM교 등 비교적 소형규모의 BEARING인 탄성받침을 채택하였으며, 장대교량 및 강교와 같이 연직력이 크고 교축방향의 이동량이 큰 교량은 이에 충분히 저항할 수 있고 저항이 적으며 ‘91년 제정된 한국공업 규격 KSF 4424의 규정에 의거 품질관리 및 규격화가 가능한 불소수지의 받침판 받침을 사용하는 것이 바람직할 것으로 사료됨.		

타. 신축이음장치

신축이음장치는 교량구조의 특성 및 규모에 따라 차이가 있으므로 평탄성이 우수하고 구조물에 주는 영향을 최소화 하는 형식으로 선정함을 기준으로 하였는바, 현재 개발된 수많은 신축이음장치 제품이 있으나 상호간의 비교는 상당히 난이하며 설사 제품이 우수하더라도 설치 시공상의 오차로 인해 구조물 및 차량주행에 악영향을 미치는 경우도 있으므로 본 과업에서는 교량별 신축이음량에 의해 소교량에는 NB-TYPE, 장대교량에는 Rail-TYPE을 적용하였다.

2.2.3 구조계산서 검토

가. 구조검토 조건

【표 2.28】연무IC교 구조검토 조건

구 분	주요 검토내용	
설계기준	- 콘크리트 표준시방서(1996. 06.) - 도로교 표준시방서(1996. 06) - 도로설계요령	
사용재료	구 분	주요 검토내용
	설 계 강 도	- 콘크리트 : $\sigma_{ck}=270\text{kg/cm}^2$, 240kg/cm^2(하부구조) - 철 근 : $\sigma_y=4,000\text{kg/cm}^2$(SD40), $3,000\text{kg/cm}^2$(SD30) - 강재 - SWS 490 : $\sigma_{all}=1,900\text{kg/cm}^2$, $\tau_{all}=1,100\text{kg/cm}^2$, $E_s=2.1 \times 10^6\text{kg/cm}^2$ - SWS 400 : $\sigma_{all}=1,400\text{kg/cm}^2$, $\tau_{all}=800\text{kg/cm}^2$, $E_s=2.1 \times 10^6\text{kg/cm}^2$
	탄 성 계 수	- 콘크리트 : $250,000\text{kg/cm}^2$(바닥판), $235,000\text{kg/cm}^2$(하부구조) - 철근 : $2,040,000\text{kg/cm}^2$ - 강재 : $2,100,000\text{kg/cm}^2$

【표 2.28】연무IC교 구조검토 조건(계속)

구 분	주요 검토내용		
상부구조	• 적용하중		
	구 분		하중종류별 주요 고려사항
	강 박스 거더	사하중	- 철근콘크리트 $\gamma_c = 2,500\text{kg/m}^3$, - 아스팔트포장 $\gamma_a = 2,300\text{kg/m}^3$, 강재 $\gamma_s = 7,850\text{kg/m}^3$
		활하중	- DB-24, DL-24 - 충격계수 : $I = 15 / (40 + L)$ - 상부구조 전폭을 기준
		크리프	• 크리프 계수 : 2
		건조 수축	• 건조수축에 의한 크리프 계수 : 4 , 최종수축율 : 18×10^{-5}
		온도차	• 온도차 : $\pm 10^\circ\text{C}$, 선팽창계수 : 1.2×10^{-6}
	바 닥 판	사하중	- 방호벽 자중 - 슬래브 두께 - 포장두께
		활하중	- 유효폭 : $E = 0.8X + 1.14$ - 충격계수 산정식 : 강박스 거더와 동일
		충돌 하중	- 설계속도 : $V = 120\text{km/hr}$ - 작용높이 : $H = 1.0\text{m}$(방호벽측, 중분대측) - 충돌하중 : $(V/60)^2 + 0.750 + 0.250$
		풍하중	적용 풍하중 : 150kg/m^2(활하중 재하시) , 300kg/m^2(활하중 비 재하시)

【표 2.28】연무IC교 구조검토 조건(계속)

구 분	주요 검토내용	
상부구조	적용하중	
	구 분	하중종류별 주요 고려사항
	상부구조 반력	상부구조에 작용하는 사하중 및 활하중
	하부구조 사하중	철근콘크리트 $\gamma_c = 2,500\text{kg/m}^3$
	Shoe 마찰력(교축방향)	마찰계수 : 0.04 적용
	풍 하 중	- 상부구조에 작용하는 풍하중(각형) - 활하중 재하시 : 150kg/m^2 - 활하중 비재하시 : 300kg/m^2 - 하부구조에 작용하는 풍하중(각형) - 활하중 재하시 : 150kg/m^2 - 활하중 비재하시 : 300kg/m^2
	지진하중	“도로교 표준시방서(1992, 건설부)_제 V편 내진설계편 “ 또는 “2.2.1 설계기준 검토_내진설계 세목” 참조.
	하중조합	
	구 분	하 중 조 합
	하부구조 (교 각)	활하중 재하시와 비재하시로 구분 ⇒ 하중조합은 “도로교 표준시방서(1996, 건설부)_3.3.2 설계 하중조합” 또는 “2.2.1 설계기준 검토_라. 구조설계기준” 참조.

나. 구조검토 결과요약

1) 상부구조

【표 2.29】연무IC교 상부구조 구조검토 결과요약

구 분		주요 검토내용	비 고
상부 구조	바닥판	- 검토조건 - 단면폭 $b = 100.0\text{cm}$, 유효깊이 $d = 24.0\text{cm}$ - 사용철근량 $A_s = H19@6.667 = 19.101\text{cm}^2$ - 설계휨모멘트 검토 - $M_u = 11.016\text{t}\cdot\text{m} < \phi M_n = 14.505\text{t}\cdot\text{m} \rightarrow \therefore \text{O.K}$	
	중간부	- 검토조건 - 단면폭 $b = 100.0\text{cm}$, 유효깊이 $d = 19.0\text{cm}$ - 사용철근량 $A_s = H19@6.667 = 19.101\text{cm}^2$ - 설계휨모멘트 검토 - $M_u = 7.049\text{t}\cdot\text{m} < \phi M_n = 11.258\text{t}\cdot\text{m} \rightarrow \therefore \text{O.K}$	

주) 기존 구조계산서 결과 요약시 기호 및 단위계는 원구조계산서와 동일하게 표기함.

2) 하부구조

【표 2.30】연무IC교 하부구조 구조검토 결과요약

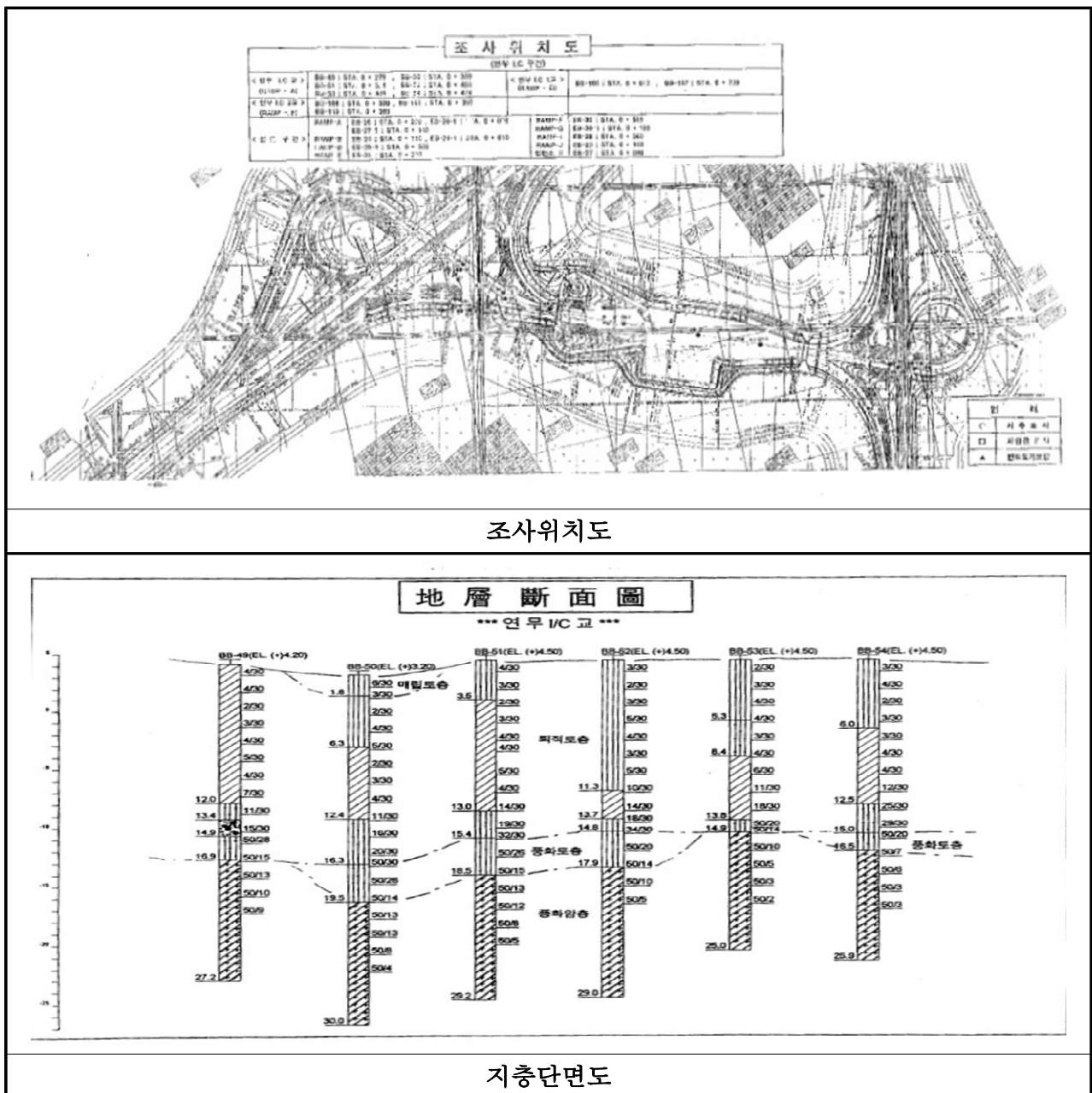
구 분			주요 검토내용	비 고
하부 구조	교대	홍벽	- 검토조건 - 단면폭 $b = 100.0\text{cm}$, 유효깊이 $d = 70.0\text{cm}$ - 철근 피복두께 $d_c = 10.0\text{cm}$ - 단면검토 - $M_u = 21.402\text{t}\cdot\text{m} < \phi M_n = 33.409\text{t}\cdot\text{m} \rightarrow \therefore \text{O.K}$	
		벽체	- 검토조건 - 단면폭 $b = 100.0\text{cm}$, 유효깊이 $d = 140.0\text{cm}$ - 철근 피복두께 $d_c = 10.0\text{cm}$ - 단면검토 - $M_u = 58.085\text{t}\cdot\text{m} < \phi M_n = 90.882\text{t}\cdot\text{m} \rightarrow \therefore \text{O.K}$	

주) 기존 구조계산서 결과 요약시 기호 및 단위계는 원구조계산서와 동일하게 표기함.

2.2.4 토질 및 지반조사 자료검토

가. 개요

- 1) 현장조사 : 1996년 3월 ~ 1996년 4월
- 2) 실내시험 : 1996년 4월 ~ 1996년 6월
- 3) 성과분석 및 보고서 작성 : 1996년 6월 ~ 1997년 9월
- 4) 위치 : STA. 0+000 ~ 17+600
- 5) 해당위치 교량명 : 연무IC교



【그림 2.3】 연무IC교 토질조사 위치도 및 지층단면도

나. 조사결과

연장 195m로 계획된 본 교량에서는 총 6개소의 시추조사를 계획하였으며 각 시추공별 지층의 두께는 다음과 같다.

【표 2.31】 연무IC교 지반조사 결과

구 분	매립 토층 (m)	표토층 (m)	퇴 적 층 (m)			풍화 토층 (m)	풍화 암층 (m)	연암층 (m)	경암층 (m)	굴진 심도 (m)	비 고 (SPT횟수)
			점토	모래	자갈						
BB-49	-	-	12.0	1.4	1.5	2.0	13.0	-	-	27.2	15
BB-50	1.8	-	10.6	3.9	-	3.2	10.5	-	-	30.0	18
BB-51	-	-	13.0	2.4	-	3.1	10.7	-	-	29.2	17
BB-52	-	-	13.7	1.1	-	3.1	11.1	-	-	29.0	15
BB-53	-	-	10.7	3.1	-	1.1	10.1	-	-	25.0	15
BB-54	-	-	12.5	2.5	-	1.5	9.4	-	-	25.9	15

1) 매립토층

본 층은 BB-50공의 최상부층으로 1.8m의 두께로 형성되어 있으며 토성은 점토가 혼재된 실트층(ML)으로 구성되어 있다. 표준관입시험에 의한 N치는 6으로 보통의 연경도를 보이고 있다.

2) 퇴적층

본 층은 BB-49, 51, 52, 53, 54공에서 최상부층을 이루고 있으며 BB-50 공에서는 매립층 하부에 나타난다. 층후는 13.8m~15.4m를 보인다. 본 퇴적층은 점토, 모래, 자갈층으로 구성되며 점토층은 BB-49, 50, 51, 52, 53, 54 공에서 10.6~13.7m의 층후로 N치 2~18정도의 매우연약~매우단단한 연경도를 가진다. 모래층은 BB-49, 50, 51, 52, 53 공에서 층후 1.1~3.9m로 N치 3~29정도의 매우느슨~보통의 상대밀도를 갖는다. 한편 자갈층은 BB-49 공에서만 나타나며 1.5m의 얇은 층후를 가지는 모래와 자갈의 혼층으로 N치 15정도로 보통의 상대밀도를 보이고 있다.

3) 풍화토층

본 지층은 BB-49, 50, 51, 52, 53, 54 공에서 14.8~16.3m의 출현심도를 보이며 1.1~3.2m의 두께로 분포하고 있다. 본 층의 토성은 실트질 모래(SM)로 구성되어 있다. 표준관입시험에 의한 N치는 32~50/20범위의 조밀~매우조밀한 상태의 상대밀도를 보이며 심도가 깊어짐에 따라 점차 조밀해지는 양상을 보인다.

4) 풍화암층

본 층은 모암이 심하게 풍화가 진행된 상태로 모암의 조직과 형태는 그대로 잔존하고 있다. 본 암은 BB-49, 50, 51, 52, 53, 54 공에서 14.9~19.5m의 출현심도를 보이며 시추종료심도 이하까지 연장된다.

2.2.5 기 정밀안전진단 분석

가. 외관조사 결과

구 분	기존 정밀안전진단 (2013년)	비 고
교면 포장	·아스콘 균열 및 망상균열 ·아스콘 함몰 및 하부 공동	·아스콘 균열보수, 팻칭보수 ·다짐 및 부분재포장 실시
방호 울타리	·균열 ·균열백태 ·차수판 변형, 고정볼트 탈락 ·연석부 콘크리트 파손, 표면열화, 콘크리트 박락 등	·균열부 주입보수 ·주의관찰 ·재체결, 주의관찰 후 교체 실시 ·단면보수 후 주의관찰
바닥판 하면	·캔틸레버 균열 ·지점측 바닥판 박락, 층분리	·균열(폭 0.3mm이상) 주입보수, 이외의 균열은 주의관찰 ·단면보수 후 주의관찰 필요
배수 시설	·전반적으로 상태 양호	·지속적인 관찰 및 점검
Steel Box 거더	·하부플랜지(LF) 이물질퇴적, 부식 ·도장박리, 도장긁힘 ·변형, 용접부 Pit	·청소 후 주기적인 점검 ·손상부 제거 후 재도장 ·지속적인 주의관찰
가로보 세로보	·부식	·재도장 후 주의관찰 실시
신축 이음	·후타재 균열 ·본체 유간토사퇴적, 부식 ·포장접속부 단차 ·신축이음 하부 누수	·주입보수 후 주의관찰 ·유간청소 및 주의관찰 ·보수시 토사채움 및 재포장 ·신축이음 하부 물받이 설치
교량 받침	·받침콘크리트 재료분리 ·받침모르타르 균열 ·교량받침 및 실린더 부식	·단면보수 후 주의관찰 ·지속적인 주의관찰 후 손상 확대시 보수 ·받침부식부위는 재도장을 통 한 보수가 요구됨
교대 교각	·보수부 재균열, 균열 ·교각 마감불량, 박락, 재료분리 등 ·교대 사면부 함몰 등	·균열(폭 0.3mm이상) 주입보수 ·단면보수 후 주기적인 관찰 ·주의관찰 후 보수실시

나. 내구성 조사

시험명	시험 결과									
비파괴 강도	구분			설계기준(MPa)		조사결과(MPa)		평가결과(%)		
	연무IC교	상부 구조	반발경도	27.0		27.4~27.6		101.5~102.2		
			초음파법							27.2~27.7
		하부 구조	반발경도	24.0		24.3~25.3		101.3~105.4		
			초음파법							24.1~24.9
	◦콘크리트 강도 조사결과 설계기준강도와 비교할 때 상·하부구조 모두 반발경도법과 초음파속도법에서 기준강도를 상회하는 것으로 평가되어 강도상의 문제점이 없는 것으로 판단된다.									
철근 탐사	구분			철근종류	측정결과		설계도면 기준			
					피복	간격	피복	간격		
	연무IC교	상부 구조	켄틸레버 하면	주철근	44~55	255~308	40	300 150~300		
				배력철근	65~85	118~305				
		하부 구조	교대	주철근	97~110	295~305	100	300 150 300 300 100 200		
				배력철근	122~133	148~155				
			교각	주철근	98~103	290~308				
				배력철근	110~119	285~297				
				주철근	102~128	96~105				
				배력철근	85~108	185~210				
	◦철근탐사를 결과, 부재별로 설계도면과 비교시 철근배근간격 및 피복두께는 상·하 구조의 부재별로 다소의 편차가 있는 것으로 조사되었으며 지속적인 점검 및 관찰을 실시한다면 문제는 없을 것으로 판단된다.									
	구분			탄산화 깊이 (mm)	피복두께 (mm)	탄산화잔여깊이 (mm)	결 과			
	연무IC교	상부구조		4.0~5.0	44~51	39.0~46.0	a			
		하부구조		7.0~8.0	97~100	89.0~93.0	a			
탄산화 깊이	◦탄산화시험 수행 결과 측정 심도는 상부구조 4.0mm ~ 5.0mm, 하부구조 7.0mm ~ 9.0mm으로 조사되어 건전성 평가 기준에 의거 탄산화 잔여깊이가 30mm이상인 『 a 』 로 평가되었으며, 탄산화에 의한 철근 부식 등 내구성 저하의 가능성은 적을 것으로 판단된다.									

시험명	시험 결과							
염화물	측정위치			깊이(mm)	염화물 함유량		결 과	
					Cl-(%)	Cl-(kg/ m ³)		
	연무IC교	S4 켄틸레버 하면	0~10	0.007	0.158	a		
			10~20	0.005	0.113	a		
			20~30	0.005	0.113	a		
		P1 기둥부	0~10	0.006	0.136	a		
			10~20	0.006	0.136	a		
			20~30	0.005	0.113	a		
		P3 기둥부	0~10	0.006	0.136	a		
			10~20	0.006	0.136	a		
			20~30	0.005	0.113	a		
	◦안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12)을 토대로 전염화물에 대하여 평가하였으며, 채취한 시료의 전염화물 함유량 분석결과, 염화물함유량이 낮아 부식발생 우려가 없는 상태인 a로 평가되었다.							
균열 깊이	측 정 위 치			초음파 전달시간 (×10 ⁻⁶ sec)		균열폭 (mm)	최 소 피복두께 (mm)	균 열 깊 이 (mm)
				균열부 (Tc)	건전부 (To)			
	연무IC교	상부 구조	S1 켄틸레버	47.1	32.6	0.3	30.5	52.2
		하부 구조	P4 코핑	66.9	30.3	0.3	102.0	98.4
◦균열깊이의 측정은 Cw=0.3mm의 균열을 대상으로 실시하였으며 그 결과 일부 균열심도가 콘크리트 피복두께를 초과하여 발생된 것으로 나타났다. 다만, 균열부위를 통한 철근노출 및 부식, 누수 등은 없는 상태로서 내구성 확보를 위하여 주입보수가 필요할 것으로 판단되며, 피복심도 이하의 경우에도 마찬가지로 균열 폭을 고려할 때 주입보수를 실시하는 것이 바람직 할 것이다.								
도막 두께	측정위치		측 정 값(μm)			시방 기준	비고	
	연무IC교	거더 외부	232 ~ 242			215	양 호	
		거더 내부	204 ~ 214			175	양 호	
	◦도막두께는 도로교 표준시방서의 “일반환경의 증방식 도장”의 기준치인 교량 내부 175μm, 교량 외부 215μm을 토대로 평가하였다. 측정결과 시험대상 전 부재에서 도막두께는 양호한 것으로 평가되어 내구성 저하의 원인이 될 수 있는 요인은 없는 것으로 검토되었다.							

주) 피복두께는 철근탐사 실측치 및 설계도면(순피복) 적용.

다. 내하력평가

1) 거더의 내하력평가

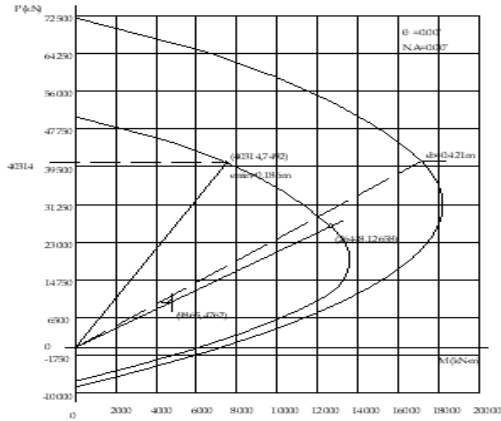
구 분		발생응력(MPa)			내하율	기본 내하력
		허용	고정하중	활하중		
최대 정모멘트부	상 연	190.000	45.449	6.470	22.341	DB-24 이상
	하 연	190.000	50.667	-21.815	6.387	
최대 부모멘트부	상 연	190.000	105.482	-40.549	2.084	
	하 연	190.000	92.784	39.769	2.445	

2) 바닥판의 내하력평가

구 분	$\varnothing M_n$ (kN · m)	M_d (kN · m)	$M_{l(1+i)}$ (kN · m)	내하율	기본내하 력
켄틸레버부	131.515	14.913	37.440	1.392	DB-24 이상
중양부	59.179	1.999	22.360	1.176	

3) 교각 안전성 검토

■ 하중조합 : LCBF2



■ 평형편심 상태

$$e_b = 0.421 \text{ m}$$

$$\phi P_b = 28962.802 \text{ kN}$$

$$\phi M_b = 12195.954 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

■ 작용편심에서의 설계강도

$$e = 0.479 \text{ m}$$

$$\phi P_n = 26447.52 \text{ kN} \geq P_u = 9865.086 \text{ kN}$$

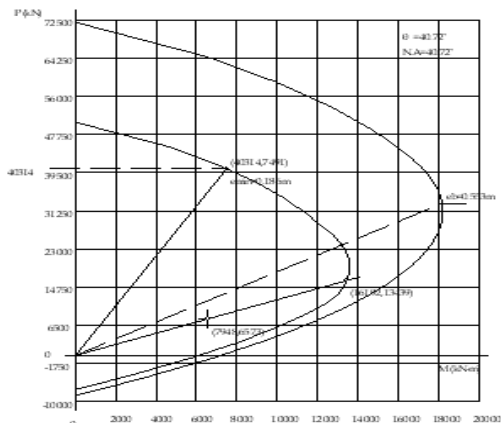
∴ OK

$$12657.647 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_u = 4762.188$$

$$\phi M_n = \text{kN} \cdot \text{m}$$

∴ OK

■ 하중조합 : LCBF12



■ 평형편심 상태

$$e_b = 0.553 \text{ m}$$

$$\phi P_b = 26139.934 \text{ kN}$$

$$\phi M_b = 14457.291 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

■ 작용편심에서의 설계강도

$$e = 0.830 \text{ m}$$

$$\phi P_n = 16191.828 \text{ kN} \geq P_u = 13439.22 \text{ kN}$$

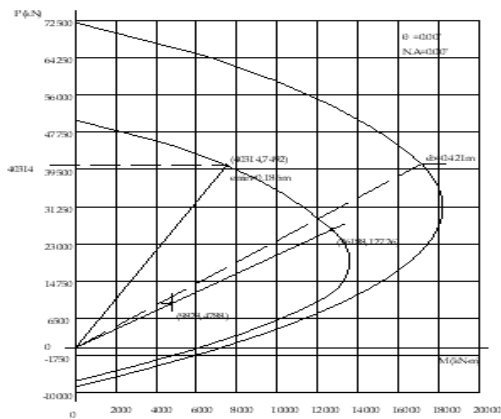
∴ OK

$$13439.22 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_u = 6573.09$$

$$\phi M_n = \text{kN} \cdot \text{m}$$

∴ OK

■ 하중조합 : LCBF1



■ 평형편심 상태

$$e_b = 0.421 \text{ m}$$

$$\phi P_b = 29022.302 \text{ kN}$$

$$\phi M_b = 12221.009 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

■ 작용편심에서의 설계강도

$$e = 0.486 \text{ m}$$

$$\phi P_n = 26188.278 \text{ kN} \geq P_u = 9827.772 \text{ kN}$$

∴ OK

$$12725.888 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_u = 4788.292$$

$$\phi M_n = \text{kN} \cdot \text{m}$$

∴ OK

■ 하중조합 : LCBF1	■ 평형편심 상태 $e_b = 0.421 \text{ m}$ $\phi P_b = 29022.302 \text{ kN}$ $\phi M_b = 12221.009 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ■ 작용편심에서의 설계강도 $e = 0.486 \text{ m}$ $\phi P_n = 26188.278 \text{ kN} \geq P_u = 9760.302 \text{ kN}$ $\therefore \text{OK}$ $12725.888 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_u = 4789.757$ $\phi M_n = \text{ kN} \cdot \text{m}$ $\therefore \text{OK}$
■ 하중조합 : LCBF12	■ 평형편심 상태 $e_b = 0.520 \text{ m}$ $\phi P_b = 25712.507 \text{ kN}$ $\phi M_b = 13380.745 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ■ 작용편심에서의 설계강도 $e = 0.613 \text{ m}$ $\phi P_n = 21956.717 \text{ kN} \geq P_u = 7472.825 \text{ kN}$ $\therefore \text{OK}$ $13460.238 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_u = 4570.843$ $\phi M_n = \text{ kN} \cdot \text{m}$ $\therefore \text{OK}$
■ 하중조합 : LCBF2	■ 평형편심 상태 $e_b = 0.421 \text{ m}$ $\phi P_b = 29022.302 \text{ kN}$ $\phi M_b = 12221.009 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ■ 작용편심에서의 설계강도 $e = 0.486 \text{ m}$ $\phi P_n = 26188.278 \text{ kN} \geq P_u = 9724.027 \text{ kN}$ $\therefore \text{OK}$ $12725.888 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_u = 4765.252$ $\phi M_n = \text{ kN} \cdot \text{m}$ $\therefore \text{OK}$

P-M 상관도를 통한 교각 안전성 검토결과 안전성을 충분히 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

라. 상태평가 및 안전등급

1) 안전성평가 결과

부 재	SF(안전율)	등 급
강박스 거더	1.235	A
바닥판 슬래브	1.167	A
하부구조	2.045	A

2) 연무IC교 상태평가 결과

구성교량명	구조형식	환산결함도점수	상태평가등급	연장(m)	차선	길이 × 차선	연장비	환산결함도점수 × 연장비
연무IC교	STB	0.252	b	200	2	400	1.00	0.252
합계(Σ)				200	2	400	1	0.252

1. 환산결함도 점수 = 0.252

2. 상태평가 결과 = B

3) 종합평가 및 안전등급

구 분	안전성평가등급	상태평가등급	안 전 등 급
연무IC교	A	B	B

마. 보수·보강 방안

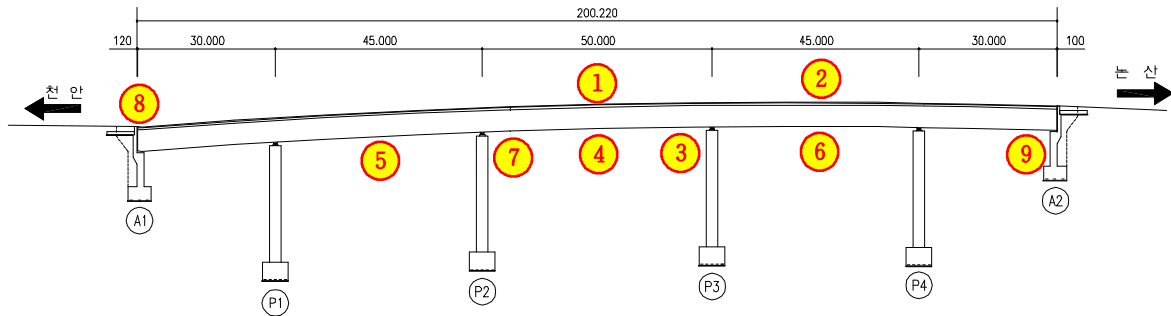
1) 연무IC교 보수·보강 방안

부재	결함내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	공사비 (천원)	우선 순위	비고
교면 포장	아스콘균열	균열보수	12.00	18.00	m	1	13	2	
	아스콘파손	팻칭보수	0.09	1.00	m ²	55	55	2	
	아스콘함몰	팻칭보수	0.30						
난간 및 연석	박락	단면보수	2.53	3.80	m ²	330	1,252	2	
	표면열화	표면보수	13.00	19.50	m ²	30	585	2	
	식생	제거	0.79	1.19	m ²	1	1	3	
	차수판 고정볼트유실	재체결	1.00	1.00	EA	5	5	3	
바닥판	균열(0.3mm이상)	주입보수	0.80	1.20	m	33	40	1	
	박락	단면보수	0.02	1.00	m ²	330	330	2	
	충분리	단면보수(방청)	0.20	1.00	m ²	350	350	1	
거더 내부	이물질퇴적	청소	73.24	109.86	m ²	11	1,208	3	
	우수유입(SP)	실란트 밀봉	1.10	1.65	m ²	10	17	2	
	부식	재도장	0.35	1.00	m ²	15	15	1	
	도장손상	재도장	0.05	1.00	m ²	15	15	2	
	도장긁힘	재도장	0.01						
	도장박락	재도장	0.03						
	화재흔적	재도장	0.54						
거더 외부	부식	재도장	0.56	1.00	m ²	11	11	1	
	도장긁힘	재도장	0.07	1.00	m ²	11	11	2	
	볼트유실	재체결	2.00	6.00	EA	5	31	1	
	볼트풀림	재체결	4.00						
가로보	부식	재도장	0.07	1.00	m ²	11	11	1	
신축 이음	유간토사퇴적	청소	0.81	1.22	m ²	11	13	3	
	신축이음누수	물받이설치	32.00	32.00	m	70	2,240	3	

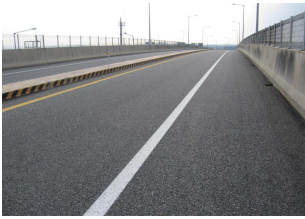
부재	결합내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	공사비 (천원)	우선 순위	비고
교량 받침	본체부식	재도장	0.75	1.49	㎡	13	19	1	
	유압실린더부식	재도장	0.24						
	받침콘크리트 재료분리	단면보수	0.01	1.00	㎡	330	330	2	
	받침모르타르균열 (0.3mm이상)	주입보수	0.20	1.00	m	33	33	1	
교대	균열(0.3mm이상)	주입보수	5.30	7.95	m	33	262	1	
	철근노출	단면보수(방청)	0.02	1.00	㎡	350	350	1	
교각	균열(0.3mm이상)	주입보수	11.10	16.65	m	33	549	1	
	박락	단면보수	0.07	3.77	㎡	330	1,242	2	
	재료분리	단면보수	2.24						
	파손	단면보수	0.20						
순공사비 합계 (천원)							8,989		
제경비 (순공사비×50%)							4,495		
순위별 공사비 (제경비 포함)		제 1 순위					2,507		
		제 2 순위					5,775		
		제 3 순위					5,202		
절삭							84		
개략공사비 (천원)							13,400		

바. 유지관리방안

금회 정밀안전진단의 결과 및 자료는 향후 점검 시 기본자료 및 유지관리 자료로 활용할 수 있도록 하였다.



1) 점검 및 진단 시 구조부재별 유지관리 항목

위 치	중점점검항목	점검요령
 ① 교면포장	·균열, 망상균열 ·함몰 및 하부 공동	·지속적인 관찰 및 점검 ·공용기간 증가에 따른 손상의 발생 및 진전 여부
 ② 방호울타리	·내,외측 균열 및 균열부 백태 ·파손, 박락, 표면열화 등 ·차수판 변형 및 볼트 탈락	·손상에 따른 적절한 보수 실시 ·공용기간 증가에 따른 손상의 진전 및 추가발생 여부
 ③ 배수시설	·전반적으로 상태 양호	·청소 및 체수 상태 ·공용중 배수관 탈락, 파손 여부
 ④ 바닥판	·캔틸레버 균열 ·박락, 층분리	·균열의 진전, 재발생 및 추가 발생 여부 ·보수후 재발생 여부 ·데크플레이트부 누수발생 여부

위 치	중점점검항목	점검요령
 ⑤ S.T.B 거더	·거더내부 이물질 퇴적 ·강재 부식 ·도장박리, 긁힘 ·변형, 용접부 Pit	·도장관련 손상의 재발생 및 추가발생 여부 ·강재 연결부 손상 관찰 및 점검 ·보수후 재발생 여부
 ⑥ 가로보 및 세로보	·국부적 부식	·지속적인 관찰 및 점검 ·강재 연결부 손상 관찰 및 점검 ·공용기간 증가에 따른 손상의 발생 및 진전 여부
 ⑦ 교량받침	·반침콘크리트 재료분리 ·반침모르타르 균열 ·교량반침 및 실린더 부식	·손상의 진전 및 추가발생 여부 ·지속적인 관찰을 통한 이상징후 발생 여부 확인
 ⑧ 신축이음	·후타재 균열 ·본체부식 및 유간토사퇴적 ·포장접속부 단차 ·신축이음 하부 누수	·공용중 손상의 진전 여부 ·보수 시공에 따른 하부 누수의 재발생 여부 확인
 ⑨ 교대 및 교각, 기초	·균열 및 보수부 재균열 ·누수흔적 ·박락, 재료분리 등 ·교대측 사면 일부 함몰	·손상의 진전 재발생 및 추가발생 여부 ·손상의 재발생 및 추가발생 여부 ·신축이음 배수로 설치 후 우천시 체수 재발생 여부 확인

사. 종합결론

대상시설물은 준공(2002년 12월 23일) 후 11년이 경과한 5경간 STB교이다.

정밀 외관조사와 항목별 제반시험을 통한 정밀안전진단 결과

- 구조적으로 문제가 될 만한 손상, 결함, 열화는 조사되지 않았으나, 신장량 부족으로 판정된 신축이음 장치는 손상의 발생 유무를 주기적으로 점검해야 하며,
- 안전율은 1.0이상, 내하력 또한 DB-24 이상을 확보하는 것으로 평가되었고
- 시설물의 안전등급은 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부 보수가 필요한 상태인 『B등급』으로 평가되었다.

이에 제시한 손상들은 우선순위에 따라 보수하고 정기적으로 유지관리 한다면 교량으로서의 기능유지에 문제가 없을 것으로 판단된다.

2.2.6 시공관련 자료검토

- 발주처 및 관련자료(FMS) 확인결과 시공관련 자료가 보관되어 있는 것으로 확인됨.

2.3 기존 점검 및 진단 실시결과 요약

본 교량은 2003년 4월 실시한 초기점검을 시작으로 현재까지 공용기간 중 초기점검 1회, 정기점검 20회, 정밀점검 6회, 정밀안전진단 1회 실시하였으며, 주요 점검이력은 다음과 같다.

【표 2.32】연무IC교 점검 및 진단이력

번호	구 분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요점검/진단결과	상태 등급
1	초기점검	2003.04	(주)아워브레인	주요 손상은 하부구조 균열, 교대 누수흔적 발생. 주의관찰.	A
2	정기점검	2003.12	(주)아워브레인	주요 손상은 교대 누수흔적 및 균열, 법면 보호블럭 침하, 파손 발생. 주의관찰.	-
3	정기점검	2004.6	(주)아워브레인	주요 손상은 교대 누수흔적 및 균열, 법면 보호블럭 침하, 파손 발생. 주의관찰.	-
4	정기점검	2004.7	(주)아워브레인	주요 손상은 주형외부 국부적인 도장박리, 법면 보호블럭 침하 및 파손, 도수로, 점검로 파손 발생. 주의관찰.	-
5	정밀점검	2005.4	(주)한길종합엔지니어링	주요 손상은 주형외부 국부적인 도장박리, 법면 보호블럭 침하 및 파손, 도수로, 점검로 파손 발생. 주의관찰.	A
6	정기점검	2005.7	(주)한길종합엔지니어링	주요 손상은 주형외부 국부적인 도장박리, 법면 보호블럭 침하 및 파손, 도수로, 점검로 파손 발생. 주의관찰.	-
7	정기점검	2006.3	(주)아워브레인	방호벽 및 하부구조에서 균열보수가 실시된 양호한 상태이나, 일부에서 보수부 재균열, 교대부 체수, 변색 및 콘크리트박락, 교면포장 점속부 이격(5cm), 배수시설 배수덮개 망실(그레이팅), 받침장치 무수축물탈 균열 및 유압실린더 부식, 신축이음부 본체 부식 및 후타재 이격, 누수등의 손상현황이 발생. 또한, 법면 보호블럭 파손, 도수로 콘크리트 융기 및 파손, 점검사다리 와이어로프 망실등의 손상이 발생.	-

【표 2.32】 연무IC교 점검 및 진단이력(계속)

번호	구 분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요점검/진단결과	상태 등급
8	정기점검	2006.10	(주)아워브레인	교대부 체수, 변색 및 콘크리트박락, 배수 시설 배수덮개 망실(그레이팅), 받침장치 무수축몰탈 균열 및 유압실린더 부식, 신축이음부 본체 부식 및 후타재 이격, 누수 발생. 또한, A2 신축이음부 본체 유간이 0.2~0.4mm(하부슬래브 및 주형 유간은 양호한 상태임) 내외이므로 지속적인 관찰이 요망됨. 현재 손상현황은 구조적으로 큰 문제가 없는 것으로 사료되나, 구조물의 내구성 확보차원의 보수를 실시하며, 지속적인 관찰을 통한 유지관리가 필요함.	-
9	정밀점검	2007.6	(주)아워브레인	상태평가 등급은 A등급으로 주요 손상부에 보수가 실시된 양호한 상태이다. 주요 손상현황은 배수덮개 망실, 하부구조 균열(폭0.1~0.2mm), 누수 및 체수, 교좌 부식, 신축이음 본체 마모 및 후타재 이격 등의 손상이 조사되었다. 발생한 손상현황은 일부부재에서 내구성 확보차원의 보수가 필요하며, 기타 손상부는 주의관찰이 필요하다.	A
10	정기점검	2007.12	(주)아워브레인	교량 일부에서 보수가 실시되었으며, 공용년수 증가로 인하여 경미한 손상현황이 발생한 것으로 조사되었다. 발생한 손상현황은 접속부 아스콘 파손 및 공동, 방호벽 콘크리트 탈락, 배수구 덮개 망실, 주형 내부 경미한 도장손상 및 변형, 하부구조 균열(폭 0.1~0.2mm), 받침장치 부식, 신축이음 본체 표면부식 등이다. 현재 구조적으로 큰 문제가 없는 것으로 사료되나, 구조물의 내구성 증진을 위한 일부 보수와 지속적인 관찰과 유지관리가 필요.	-
11	정기점검	2008.6	(주)아워브레인	받침장치 부식부에 재도장이 실시된 상태이나, 공용년수 증가로 인하여 일부 부재에서 손상현황이 발생한 것으로 조사되었다. 발생한 손상현황으로는 접속부 아스콘 파손 및 공동, 방호벽 콘크리트 탈락, 배수구 덮개 망실, 주형 내부 도장손상 및 변형, 하부구조 균열(폭 0.1~0.2mm), 신축이음 본체 표면부식 및 이격 등의 손상이 발생한 상태이다. 현재 구조적으로 큰 문제가 없는 것으로 사료되나, 구조물의 내구성 증진을 위한 일부 보수를 실시하며, 지속적인 관찰을 통한 구조물의 유지관리가 필요하다.	-

【표 2.32】 연무IC교 점검 및 진단이력(계속)

번호	구 분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요점검/진단결과	상태 등급
12	정기점검	2008.12	(주)아워브레인	받침장치 부식부에 채도장이 실시된 상태 이나, 공용년수 증가로 인하여 일부 부재 에서 손상현황이 발생한 것으로 조사되었 다. 손상현황으로는 접속부 아스콘 파손 및 공동, 방호벽 콘크리트 탈락, 배수구 덮개 망실, 주형 내부 도장손상 및 변형, 하부구조 균열(폭 0.1 ~ 0.2mm), 신축이음 본체 표면부식 및 이격 등의 손상이다. 발생한 손상현황은 전회와 비교시 진전은 미미한 상태이나, 구조물의 내구성 확보 를 위하여 일부 보수를 실시하며, 지속적 인 유지관찰을 통한 구조물의 유지관리가 필요.	-
13	정밀점검	2009.06	(주)한길종합 엔지니어링	정밀점검 결과, 본 구조물은 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능 발휘 에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하 여 일부의 보수가 필요한 상태인 'B'등 급의 양호한 상태로 평가되었다. 주요 손 상으로는 신축이음부 유간부족, 주형내부 우수유입 등이며, 기발생된 손상에 대해 서는 지속적인 주의관찰을 통한 유지관리 가 필요하다.	B
14	정기점검	2009.12	(주)한길종합 엔지니어링	정기점검 결과, 대상시설물의 상태는 '양호' 인 것으로 판단되며 주요 손상으 로는 주형내부 우수유입에 의한 표면오염 및 이물질 퇴적, 하부구조 건조수축에 의 한 표면균열이 조사되었다. 기 발생한 손 상은구조물의 안전성 및 내구성을 크게 저해하지는 않으나, 예방차원의 일부 보 수가 필요한 상태이다.	-
15	정기점검	2010.06	(주)한길종합 엔지니어링	정기점검 결과, 대상시설물의 상태는 '양호' 인 것으로 판단되며 주요 손상으 로는 주형내부 우수유입 및 이물질 퇴적 에 의한 도장손상, 하부구조 건조수축에 의한 표면균열이 조사되었다. 본 교량은 1종 교량시설물로 점검일 현재 주부재 및 보조부재에 경미한 손상이 일부 조사되었 으나 하자담보기간이 남아 있으므로 정기 점검 등을 통하여 지속적인 주의관찰을 실시한다면 공용중 구조물의 안전에 지장 을 주는 요인은 없을 것으로 사료된다.	-

【표 2.32】 연무IC교 점검 및 진단이력(계속)

번호	구 분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요점검/진단결과	상태 등급
16	정기점검	2010.12	(주)한길종합 엔지니어링	정기점검 결과, 전회 점검과 비교시 하부 구조 균열 손상이 추가 발생하였으며, 거푸집 미제거에 대한 정비가 실시되었다. 주요 손상으로는 주형내부 우수유입 및 이물질 퇴적, 하부구조 균열, 신축이음부 본체 부식, 교량받침 무수축물탈 균열 등이다. 공용중 구조물의 내구성 증진을 위해 일부 손상에 대한 보수 조치가 필요하다. 추후 정기적인 점검을 통해 지속적인 주의관찰을 실시한다.	-
17	정밀점검	2011.06	(주)아워브레인	정밀점검 결과 본 구조물은 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태인 “B” 등급의 양호한 상태로 평가되었다. 현재 일부 부재에 손상이 조사되어 내구성 측면에서의 보수가 필요하다. 발생된 주요 손상으로는 교면접속부 갯길 아스콘균열, 중분대 콘크리트 박리, 신축이음 유간부족 및 이격, 주형내부 우수유입, 하부구조 균열 등이다. 특히 A1지점 본선방향의 신축이음장치는 실측 신장여유량이 온도에 의한 계산신장량에 비해 다소 부족한 것으로 검토되었으나, 부족한 여유량이 2.2 mm 정도로 경미하므로, 현상태에서 교체보다는 하절기 신축거동상태 관찰 후 보수여부를 판단한다. 또한 주형 내부 우수유입 및 도장손상의 경우 향후 강제 주형의 내구성저하를 유발할 수 있으므로 조치가 필요하다.	B
18	정기점검	2011.12	(주)아워브레인	정기점검 결과, 대상 시설물의 안전성을 저해할 만한 주요부재의 심각한 손상은 없는 양호한 상태이다. 주요 손상으로는 포장면 접속부 침하균열, 바닥판하면 균열, 주형내부 이물질 퇴적, 교대 및 교각 균열, 교대 법면 손상 등이다. 기 발생된 손상에 대해서는 교량의 안전성 및 내구성 확보차원의 보수가 필요하며, 지속적인 점검을 통한 유지관리를 실시하는 것이 바람직하다.	-

【표 2.32】 연무IC교 점검 및 진단이력(계속)

번호	구 분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요점검/진단결과	상태 등급
19	정기점검	2012.06	(주)아워브레인	정기점검 결과, 대상시설물의 상태는 교량의 안전성을 저해할 만한 주요부재의 심각한 손상은 없는 ‘양호’ 한 상태로 판단된다. 다만, 유지관리차원에서 보수를 요하는 손상이 발생한 상태이다. 이전 점검이후 주형내부 이물질에 대한 정비, 배수구 덮개망실, 주형외부 외부 맨홀 볼트 탈락, 교대 및 교각 균열 보수가 실시된 상태이며, 발생한 주요 손상으로는 교면 포장 바닥판하면 균열 및 들뜸, 주형 도장손상, 하부구조 균열, 날개벽 및 접속부 토사유실, 점검계단 파손 등이다. 기 발생한 손상에 대해서도 내구성 저하방지를 위한 일부 보수를 실시하고 지속적인 점검을 통한 유지관리를 실시한다면 1등교로써의 교량의 기능발휘에 문제가 없을 것으로 판단된다.	-
20	정밀 안전진단	2013.06	(주)동우기술단	연무IC교에 대한 정밀점검 결과 본 구조물은 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태인 “B” 등급의 양호한 상태로 평가되었다. 현재 일부 부재에 손상이 조사되어 내구성 측면에서의 보수가 필요하다. 발생한 주요 손상으로는 교면접속부 갯길 아스콘 균열, 중분대 콘크리트 박리, 신축이음 유간부족 및 이격, 주형내부 우수유입, 하부구조 균열 등이다. 특히 A1지점 본선방향의 신축이음장치는 실측 신장여유량이 온도에 의한 계산신장량에 비해 다소 부족한 것으로 검토되었으나, 부족한 여유량이 2.2mm 정도로 경미하므로, 현상태에서 교체보다는 하절기 신축거동상태 관찰 후 보수여부를 판단한다. 또한 주형 내부 우수유입 및 도장손상의 경우 향후 강재 주형의 내구성저하를 유발할 수 있으므로 조치가 필요하다. 대상 교량은 안전성 및 사용성이 양호한 상태로 판단되며 외관조사에서 나타난 손상에 대하여 보수를 실시하고, 지속적인 점검을 통한 유지관리를 실시한다면 1등교로써의 교량 기능을 계속적으로 발휘할 수 있을 것으로 판단된다.	B

【표 2.32】 연무IC교 점검 및 진단이력(계속)

번호	구 분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요점검/진단결과	상태 등급
21	정기점검	2013.12	(주)동우기술단	정기점검 결과, 대상시설물의 상태는 교량의 안전성을 저해할 만한 주요부재의 심각한 손상은 없는 ‘양호’ 한 상태로 판단된다. 다만, 유지관리차원에서 보수를 요하는 손상이 발생한 상태이다. 발생한 주요 손상으로는 교면포장 균열 및 파손, 함몰, 신축이음 누수, 교량받침 유압실린더부식, 거더 도장손상, 하부구조 균열, 날개벽 및 접속부 토사유실, 점검계단 파손 등이다. 기 발생한 손상에 대해서도 내구성 저하방지를 위한 일부 보수를 실시하고 지속적인 점검을 통한 유지관리를 실시한다면 1등급으로써의 교량의 기능발휘에 문제가 없을 것으로 판단된다.	-
22	정기점검	2014.06	(주)동우기술단	정기점검 결과 구조안전성 저하에 의한 징후가 없고 국부적으로 발생한 손상 외 전반적으로 시설물의 상태는 ‘양호’ 한 것으로 판단된다. 현재 발생한 손상 중 비교적 단기적인 손상 진전이 예상되는 일부 구간에 내구성 확보 차원의 보수가 필요하며 향후 지속적인 주의관찰이 요망된다.	-
23	정기점검	2014.12	(주)아워브레인	정기점검 결과, 시설물의 안전성에는 문제가 없는 양호한 상태로 조사되었다. 다만, 사용성 향상을 위한 아스콘 손상에 대한 보수와 교대 법면의 토사유실 등에 대한 정비를 실시하는 것이 필요하다. 그 외 발생한 일반적인 손상 중 단면손상, 도장손상 등에 대해서는 손상부위가 국부적인 표면손상에 그치므로 주의관찰을 실시하여 진전시 보수를 고려하는 효율적인 유지관리가 필요하다.	-

【표 2.32】 연무IC교 점검 및 진단이력(계속)

번호	구 분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요점검/진단결과	상태 등급
24	정밀점검	2015.06	(주)동우기술단	정밀점검 결과 본 구조물은 주요부재 및 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태인 “B” 등급의 양호한 상태로 평가되었다. 이전 점검 이후 손상의 진전은 미미한 상태로 판단되며, 아스콘 접속부 균열 및 침하, 거더 내·외부 경미한 도장손상등이 신규로 조사되었다. 교면포장 접속슬래브에 발생한 아스콘 침하 및 파손, 단차는 차량 통행시 손상 진전 및 차량 주행성 저하 등을 발생시킬 수 있으므로 패칭보수를 통한 보수가 필요하며, 그 외 조사된 국부적인 단면손상 및 도장손상은 손상의 규모 및 진행성이 크지 않으므로 지속적인 점검을 통한 손상의 진전여부를 주의관할 한다면 구조물의 사용성 및 안전성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.	B
25	정기점검	2015.12	(주)동우기술단	정기점검결과 조사된 손상은 대부분이 기존에 발생된 것으로서 일부 손상은 보수가 실시되었으며 기존 손상의 진전은 미미한 상태이다. 발생된 일부 손상은 유지관리차원에서 보수가 필요하며 전반적인 교량의 안전성에 문제가 될 만한 손상은 조사되지 않았다. 이에 정기적인 점검을 통해 손상의 진전유무를 관찰하고 지속적인 유지관리를 실시하는 것이 바람직하다.	-
26	정기점검	2016.06	(주)아워브레인	정기점검 결과, 대상시설물의 상태는 교량의 안전성을 저해할 만한 주요부재의 심각한 손상은 없는 상태로 판단된다. 주요 손상으로는 바닥판하면 지점부 균열 및 들뜸, 거더 내·외부 도장손상, 하부구조 균열, 신축이음 본체 부식 등이 조사되었다. 이전 점검과 비교시 교대 법면 배수로 파손에 대한 보수가 시행된 상태이며, 그 외 손상의 진전은 미미한 것으로 조사되었다. 기 발생된 손상에 대해서는 유지관리차원에서 추가 보수가 필요한 상태이며, 그 외 손상에 대해서는 주기적인 점검을 통한 손상의 진전유무 및 신규 손상 발생에 대한 지속적인 유지관리가 필요하다.	-

【표 2.32】 연무IC교 점검 및 진단이력(계속)

번호	구 분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요점검/진단결과	상태 등급
27	정기점검	2016.12	(주)아워브레인	정기점검 결과, 대상시설물의 상태는 교량의 안전성을 저해할 만한 주요부재의 심각한 손상은 없는 상태로 판단된다. 기 실시된 점검이후 신축이음 본체 교체가 시행되었으며, 주요 손상으로는 바닥판하면 지점부 균열 및 들뜸, 거더 내·외부 도장손상, 하부구조 균열 등이 조사되었다. 기 발생된 손상은 이전 점검과 비교시 콘크리트 부재에 신규손상 및 진전이 확인되었으며, 내구성 저하방지를 위한 보수가 필요한 상태이다. 또한, 주기적인 점검을 통한 지속적인 유지관리가 필요하다.	-
28	정밀점검	2017.06	(주)아워브레인	연무IC교에 대한 정밀점검 결과 본 구조물은 주요부재 및 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 저하방지를 위하여 일부의 보수가 필요한 상태인 “B” 등급의 양호한 상태로 평가되었다. 점검 결과 포장면이나 거더 등 구조물 전체는 대체적으로 양호한 상태로 점검되었으나 일부 부재에 손상이 발생된 상태이며 주요 발생된 손상으로는 신축이음부 단부와 상·하행선 종방향 이음 단부에 균열 및 백태, 박리·박락 등 이며 교대 및 받침장치에 발생한 손상은 선별적인 보수가 이루어진 것을 확인하였다. 연단거리, 신축이음장치 신축유간 여유량 검토결과 문제점은 없었으며 교량받침 이동량 또한 허용 받침량 이내로 가동상태는 양호한 것으로 평가되었다. 부재별 반발경도법에 의한 콘크리트 강도시험을 실시한 결과 콘크리트 부재의 강도상의 문제점은 없었으며 탄산화 깊이를 측정한 결과 또한 탄산화 잔여깊이가 30mm 이상으로 탄산화에 의한 성능저하 및 부식의 발생위험은 없는 것으로 나타났다.	B
29	정기점검	2017.12	(주)아워브레인	정기점검 결과, 대상시설물의 상태는 교량의 안전성을 저해할 만한 주요부재의 심각한 손상은 없는 상태로 판단된다. 기 실시된 점검이후 거더 내부 도장박리, 부식 손상에 대하여 선별적 보수가 시행되었으며, 주요 손상으로는 바닥판하면 지점부 균열, 백태, 박락, 거더 내·외부 도장손상, 하부구조 균열 등이 조사되었다. 기 발생된 손상은 이전 점검과 비교시 진전은 미미한 상태이나, 내구성 저하방지 차원에서 보수를 요하는 손상이 일부 발생된 상태이다. 또한, 주기적인 점검을 통한 지속적인 유지관리가 필요하다.	-

2.4 보수.보강 이력

일 자	내 용	물 량	비 고
06년 10월	점검시설 정비	N=1EA	사다리 와이어 설치(P1)
08년 04월	받침장치 재도장	N=13EA	P2, A2
09년 11월	받침장치 재도장	N=4EA	A1-SH2
16년 10월	신축이음부 교체	A1 양방향 : MS 120 A2 양방향 : MS 80	

2.5 시설물의 내진설계 여부

시본 과업구간은 충청남도 논산시에 위치하고 있어 내진 1등급 지역에 해당하고 있으므로, 가속도계수 $A=0.14g$ 로 교량형식에 관계없이 모든 구조물을 내진 1등급교로 설계하였다. 지진 시 교량의 붕괴방지는 낙교방지와 교각의 안정을 최대 주안점으로 하였다. 점성스토퍼나 면진받침 등의 특수장비는 국내에 활성화되어 있지 않고 경제성 및 시공성 유지관리 등 관련 문제가 많으므로 지진시 낙교를 확실하게 방지할 수 있도록 전단 KEY를 매교각에 설치 하였다. 구조적으로 허용하는 한 고정받침을 여러개소에 사용하여 수평력을 분산시켜 현재 국내 생산가능한 받침을 적용토록 하였다. 상부구조로부터 고정받침이나 전단 KEY에 작용하는 수평력 산정과 수평력에 의한 교각 설계를 면밀히 하였다.

2.6 자료분석 결과요약

본 과업의 효과적인 용역 수행을 위하여 건설관련 자료와 유지관리 자료 등을 입수하였으며, 수집 자료를 검토한 결과 및 진단과업 진행방향은 다음과 같다.

【표 2.33】 자료분석 결과요약

구 분	수집 자료	자료분석 결과	진단과업 진행방향
건 설 관 련 자 료	◇ 천안-논산간 고속도로 건설공사 제6공구 - 공사시방서 - 구조계산서 - 일반보고서 - 토질조사보고서 - 초기점검보고서	◇ 구조계산서 및 구조물도, 일반보고서는 설계 당시 기준에 준하여 작성된 것으로 확인됨 ◇ 설계도면과 실측 제원 비교시 주요 부재에 대하여 전반적으로 동일 ◇ 점검시설의 경우 설치하는 것으로 제시되었으나 현재 미설치 된 것으로 검토됨	◇ 본 과업은 구조물 정밀 안전진단이므로 외관조사망도의 정비 및 면밀한 외관조사 실시
유 지 관 리 자 료	◇ 정기점검 및 정밀점검 정밀안전진단 ◇ 보수·보강 이력	◇ 16년간 공용하면서 별다른 문제가 없는 양호한 상태 ◇ 일부 발생한 손상에 대하여 보수 필요 ◇ 보수 및 보강 이력은 관리주체에 제공받아 검토됨	

제 3장 현장조사 및 시험

3.1 개 요

3.2 외관조사

3.3 콘크리트 내구성조사

3.4 강재 내구성조사

3.5 현장조사 및 시험 결과요약

제 3장 현장조사 및 시험

3.1 개 요

본 과업 대상 교량인 연무IC교는 논산천안고속도로(이정 : R-A 0+378km)에 위치하며 2002년 12월에 준공된 교량이다. 행정구역상으로 충청남도 논산시 채운면 화정리에 위치하고 S2경간에 본선이 교차·횡단하고 있다.

평면선형은 사각이 없는 직선교이며 종단선형은 시점에서 3.6993%의 상향경사를 이루고 종점에서는 3.7833%의 하향경사를 이루고 있다. 상부 구조형식은 5경간 연속의 STEEL BOX GIRDER교이며 하부구조는 역T형의 교대 2기와 라멘식(Ⅱ형)의 교각 3기로 구성되어 있고 기초형식은 강관파일(A1, A2, P1, P2, P3)로 시공되어 있다.

총연장은 200.0m(1@50+2@45+2@30)로 최대경간장이 50m이며, 각 교량의 폭은 15.60m(도로 폭 14.50m)으로 설계하중 DB(DL)-24(1등교)로 설계되었다.

본 교량은 준공시와 반대로 관리시에는 IC방향을 시점으로, 본선방향을 종점으로 관리하고 있으며, 본 과업은 대상교량의 물리적, 기능적 결함을 조기에 발견하여 신속하고 적절한 조치를 취하고 구조적 안전성 및 결함원인 등을 조사·측정·평가하여 장·단기 보수계획 등 유지관리에 활용할 목적으로 점검장비를 이용하여 가능한 한 모든부재에 근접한 상태에서 조사를 실시하였다.

또한, 외관조사는 주요 구조부재와 부속 시설물로서 교면포장, 배수시설, 바닥판, 신축이음, 교량받침, 거더, 교대, 교각 각각에 대한 현 상태를 조사하였고, 기존 정기점검(' 17.12)시에 발생된 손상의 확인, 진행유무, 보수상태, 재발생 여부 및 신규발생 손상 등에 대하여 면밀한 조사를 실시하였다.

본문에서는 교량의 구성부재별로 외관조사 결과를 사진 중심으로 수록하였고 이에 따른 외관조사망도와 외관조사 총괄표는 부록에 수록하여 향후 교량점검 및 유지관리시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였으며, 과업조사 착수 전까지의 정기점검(' 17.12)을 “기존”, 2018년 정밀안전진단을 “금회” 라고 표기하였다.

연무IC교의 조사 방법은 교각 하부 도보를 통한 1차 외관조사 실시 후 접근장비를 이용한 2차 조사를 실시하였으며, 도보를 통한 3차 조사(이동량 측정)를 실시 하였다. 접근장비는 고소작업차를 이용하여 최대한 접근 후 조사를 실시하였다.

【표 3.1】 각 부재 별 조사방법 및 기간

구분	경간	조사방법	조사기간	비고
1차 조사	S1~S5	도보	2017.11.13. ~ 11.24	
2차 조사	S1~S5	고소작업차, 망원경	2017.11.27. ~ 12.01	
3차 조사	S1~S5	도보	2018.03.26. ~ 03.30	



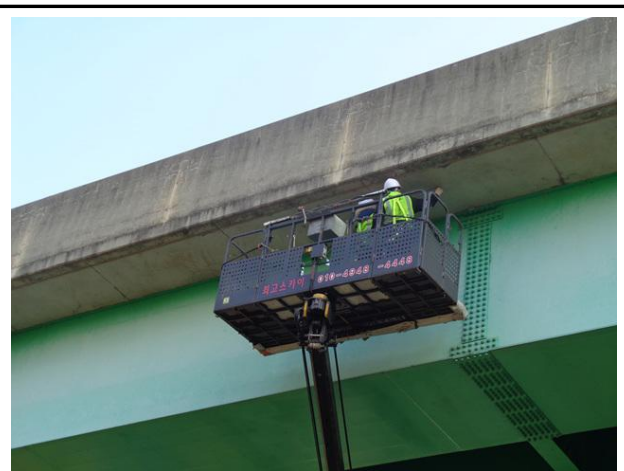
교통통제 후 교면포장, 방호울타리 조사



교각, 바닥판 조사를 위한 고소작업차 이용



교각, 바닥판 조사를 위한 고소작업차 이용



교각, 바닥판 조사를 위한 고소작업차 이용

【사진 3.1】 연무IC교 장비접근 현황

3.2 외관조사

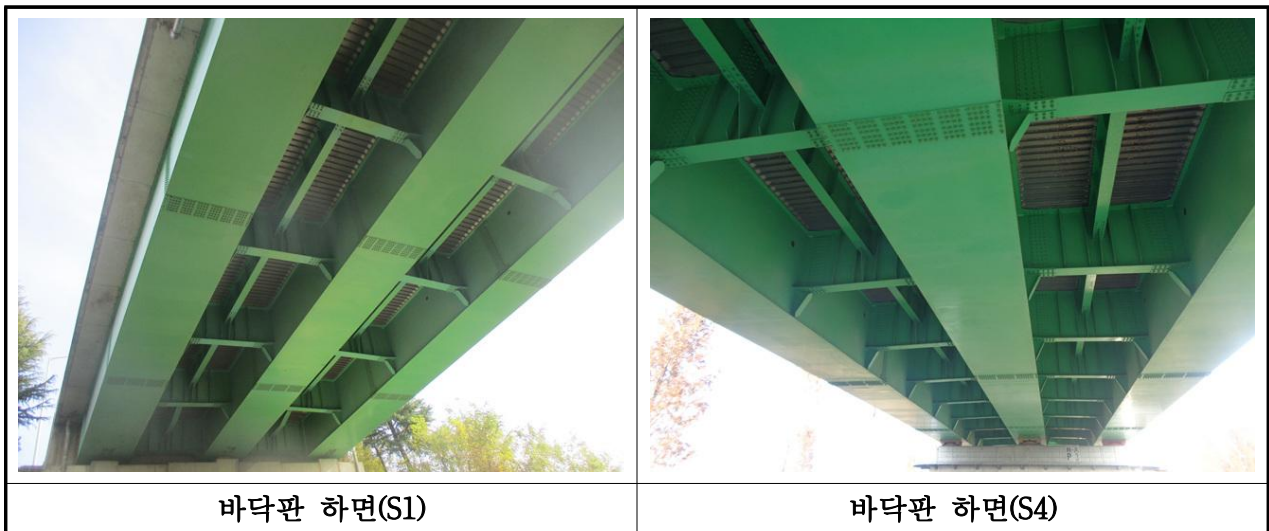
3.2.1 상부구조

가. 바닥판

연무IC교는 사각이 없는 직선교이며 ($\pm$)2.0%의 횡단 편구배를 가지고 있다.

본 교량의 교폭은 15.6m이고 바닥판(슬래브)의 두께는 T=250mm으로 내측(거더와 거더사이)에는 영구거푸집(Deck Plate)과 좌·우측의 캔틸레버는 콘크리트로 시공되어 있다.

바닥판의 외관조사는 고소점검차를 이용하여 최대한 근접한 거리에서 실시하였다.



【사진 3.2】바닥판 전경

1) 외관조사 결과

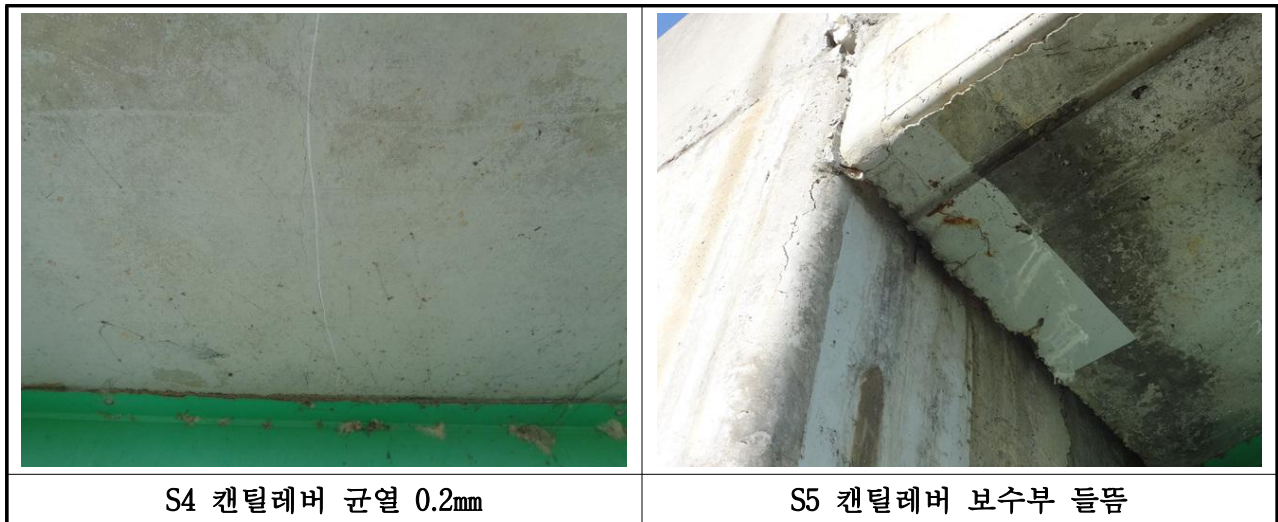
- 바닥판 하면에 대한 외관조사 결과 캔틸레버 전구간에 걸쳐 폭 0.1~0.2mm의 균열이 국부적으로 조사되었으며, S1 경간의 경우 백태가 발생하였다.
- S1과 S5의 캔틸레버에 신축이음 하부 누수, 보수미흡에 의한 들뜸이 발생한 상태이다.
- 그 외 구조물의 내구성에 영향을 미칠만한 손상은 발생되지 않는 것으로 조사되었다.

【표 3.2】 바닥판 외관조사 결과

구 분	균열(m/개소)		들뜸 (㎡/개소)	백태 (㎡/개소)	비고
	0.3mm미만	0.3mm이상			
S1	0.5 / 1	-	0.14 / 1	0.25 / 1	
S2	0.6 / 2	-	-	-	
S3	-	-	-	-	
S4	11.0 / 16	-	-	-	
S5	-	-	0.12 / 1	-	
합 계	12.1 / 19	-	0.26 / 2	0.25 / 1	



【사진 3.3】 바닥판 손상현황



【사진 3.3】바닥판 손상현황(계속)

2) 기 점검결과와의 비교·분석

금회 진단은 준공 후 실시하는 15년차 정밀안전진단으로서 전차 점검에 비해 균열(폭 0.3mm미만)이 추가 발생된 것으로 조사되었으며, 들뜸의 경우 점검자의 판단에 의한 물량의 변동이 발생되었다. 바닥판은 금회 실시한 결과를 토대로 하여 향후 유지관리를 실시하는 것이 바람직하다.

【표 3.3】바닥판 기 점검 결과 비교

손상내용	손상물량		손상물량 비 교	비 고
	2017년 12월 정기점검 (개소 / 물량)	2018년 정밀안전진단 (개소 / 물량)		
균열(폭 0.3mm미만)	13ea / 9.6m	19ea / 12.1m	↑ 2.5	물량변동
들뜸	2ea / 0.2m ²	2ea / 0.26m ²	↑ 0.06	물량변동
백태	1ea / 0.25m ²	1ea / 0.25m ²	- -	변동없음

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 조사된 균열은 대부분 균열 폭 0.1~0.2mm로 깊이가 얇은 표면균열 형태를 띠고 있고, 균열의 형상, 방향성, 발생위치 등을 고려해 볼 때 시공초기 건조수축에 의해 발생한 것으로 판단된다. 균열의 발생은 일부구간 국부적으로 발생한 상태이며, 주의관찰 후 손상의 진전시 표면처리 등의 조치를 취하는 것이 바람직하다.
- S1 캔틸레버에 발생한 백태의 경우 균열부 우수유입, 배수관 이음부 누수 등의 원인으로

로 발생한 것으로 판단되며, 주기적인 점검을 통한 손상의 진전시 표면처리 등의 조치를 취하는 것이 바람직하다.

- S1, S5 경간에 발생한 들뜸의 경우 신축이음 하부 누수, 보수미흡 등의 원인으로 발생한 손상인 것으로 판단된다. 현재 신축이음장치에 대한 근본적인 보수가 선행되지 않으면 보수효과를 기대하기 어렵기 때문에 신축이음 하부 물받이 및 유도배수관 설치 등의 조치가 선행되어야 하며, 들뜸부는 주의관찰 후 손상의 진전시 단면보수를 실시하는 것이 바람직하다.



【사진 3.4】 캔틸레버 들뜸 현황

나. 강박스 거더

본 연무IC교의 거더 형식은 강박스(STB)이며 3개의 거더가 3.35m의 간격으로 병렬 설치되어 있으며, 각각의 거더는 폭(B)2.0m×높이(H)2.3m이고 거더와 거더 사이에는 가로보 및 세로보가 위치하며 내부에는 격벽이 시공되어 있다.

강박스 거더는 강재로 구성된 모재와 부재들이 용접과 볼트로 접합되어 형성된 구조로서 이에 대한 구조적 특성과 제반이력들을 숙지하고 현장조사에 임하는 것이 중요하다.

강박스 거더 외부에 대해서는 바닥판과 동일한 방법으로, 내부에 대해서는 도보에 의해 외관조사를 실시하였다.



【사진 3.5】 강박스 거더 전경

1) 강박스 거더 내부

① 외관조사 결과

- 강박스 거더 내부에 대한 외관조사 결과 도장박리 및 부식, 굽힘, 녹발생, 이물질 퇴적 등의 손상이 조사되었다.
- 용접부에 대한 외관조사 결과 일부구간 용접부 PIT 가 조사되었다.
- 강박스 거더 내부의 Splice부에 대한 외관조사 결과 일부구간 Splice 틈이 조사되었다.
- 그 외 구조물의 내구성에 영향을 미칠만한 손상은 발생되지 않은 것으로 확인되었다.

【표 3.4】강박스 거더 내부 외관조사 결과

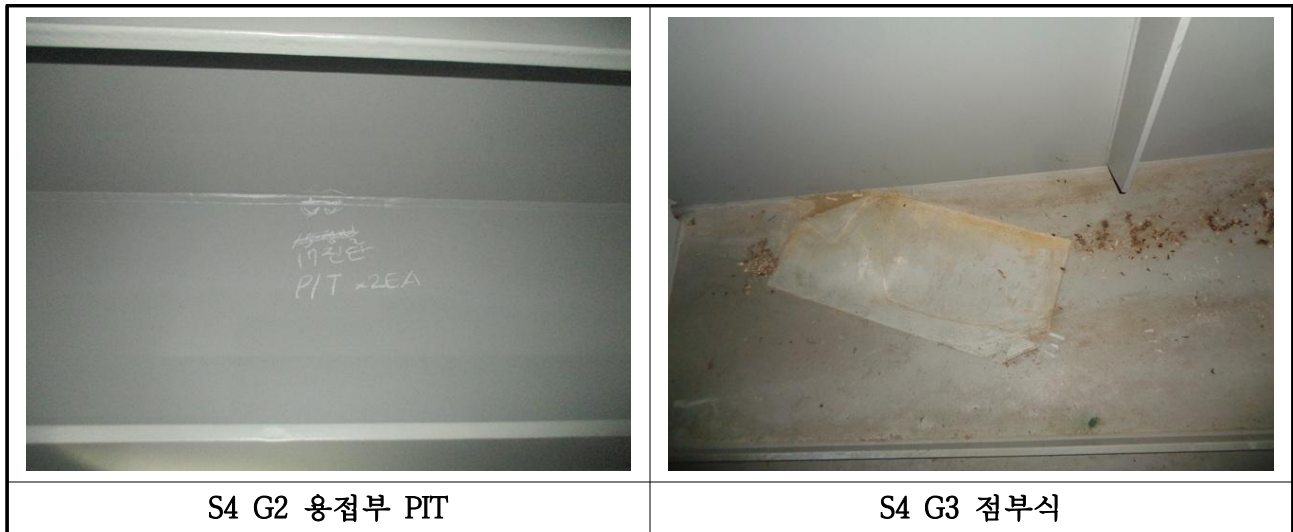
구 분	Splice 틈 (개소/개소)	PTT (개소/개소)	굽힘 (㎡/개소)	녹발생 (㎡/개소)	단부부식 (㎡/개소)	비고
S1	6 / 6	-	0.01 / 1	-	0.12 / 1	
S2	9 / 9	-	-	-	-	
S3	9 / 9	-	-	0.01 / 1	-	
S4	6 / 6	4 / 4	-	-	-	
S5	5 / 5	-	-	-	-	
합 계	35 / 35	4 / 4	0.01 / 1	0.01 / 1	0.12 / 1	

【표 3.4】강박스 거더 내부 외관조사 결과(계속)

구 분	도장박리 (㎡/개소)	도장박리 및 부식 (㎡/개소)	점부식 (㎡/개소)	이물질퇴적 (㎡/개소)	화재흔적 (㎡/개소)	비고
S1	-	-	-	19.12 / 3	-	
S2	0.09 / 2	-	-	0.04 / 1	-	
S3	-	0.18 / 2	0.2 / 4	8.93 / 14	-	
S4	0.02 / 2	0.18 / 3	0.06 / 3	4.17 / 4	-	
S5	0.03 / 3	0.12 / 1	-	12.11 / 4	0.45 / 2	
합 계	0.14 / 7	0.48 / 6	0.26 / 7	44.37 / 26	0.45 / 2	



【사진 3.6】강박스 거더 내부 손상현황



【사진 3.6】강박스 거더 내부 손상현황(계속)

② 기 점검결과와의 비교·분석

금회 진단은 준공 후 실시하는 15년차 정밀안전진단으로서 전차 점검에 비해 녹발생, 도장박리 및 부식, 점부식 등의 손상이 추가 발생된 것으로 조사되었으며, Splice 틈, 이물질 퇴적의 경우 점검자의 판단에 의한 물량변동이 발생되었다. 강박스 거더 내부의 경우 금회 실시한 결과를 토대로 하여 향후 유지관리를 실시하는 것이 바람직하다.

【표 3.5】강박스 거더 내부 기 점검 결과 비교

손상내용	손상물량		손상물량 비 교	비 고
	2017년 12월 정기점검 (개소 / 물량)	2018년 정밀안전진단 (개소 / 물량)		
Splice 틈	40ea / 40ea	35ea / 35ea	↓ 5	물량변동
PIT	4ea / 4ea	4ea / 4ea	- -	변동없음
굽힘	1ea / 0.01m ²	1ea / 0.01m ²	- -	변동없음
녹발생	- / -	1ea / 0.01m ²	↑ 0.01	신규손상
단부부식	1ea / 0.12m ²	1ea / 0.12m ²	- -	변동없음
도장박리	7ea / 0.14m ²	7ea / 0.14m ²	- -	변동없음
도장박리 및 부식	- / -	2ea / 0.18m ²	↑ 0.18	신규손상
점부식	5ea / 0.08m ²	7ea / 0.26m ²	↑ 0.18	신규손상
이물질 퇴적	28ea / 49.32m ²	26ea / 44.37m ²	↓ 4.95	물량변동
화재흔적	2ea / 0.45m ²	2ea / 0.45m ²	- -	변동없음

③ 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 연무IC교의 거더 내부에 발생한 부식 및 녹발생, 단부부식의 경우 장기공용으로 인한 열화 및 Splice 틈으로 유입된 우수로 인해 발생한 손상으로 구조물의 내구성 증진을 위한 재도장 등의 조치가 필요할 것으로 판단된다.
- 거더 내부에 발생한 도장박리의 경우 장기공용으로 인한 열화, 우수유입 등의 원인으로 발생한 손상으로 기 점검 이후 일부구간 손상이 추가 발생된 것으로 확인되었다. 도장박리의 경우 거더의 부식 발생 방지를 위한 재도장 등의 조치를 취하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.
- Splice 부의 경우 전반적으로 양호한 상태이나, 실링재 미설치로 인해 Splice 틈으로 우수가 유입된 흔적이 발생한 상태이다. 거더 내부의 우수유입은 장기적으로 거더의 도장에 영향을 미쳐 부식 등의 손상을 발생시킬 수 있으므로 주의관찰 후 손상의 발생시 우수유입 방지를 위한 실링재 마감을 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.
- S4의 용접부에 발생한 PIT는 시공시 발생한 손상으로, 현재 상태는 경미한 상태이며, 안전성에 별다른 영향을 미치지 않는 손상이므로 주의관찰 하여도 무방하다.
- 기타 이물질퇴적, 화재흔적 등은 주의관찰 후 청소 등의 조치를 취하는 것이 바람직 할 것이다.

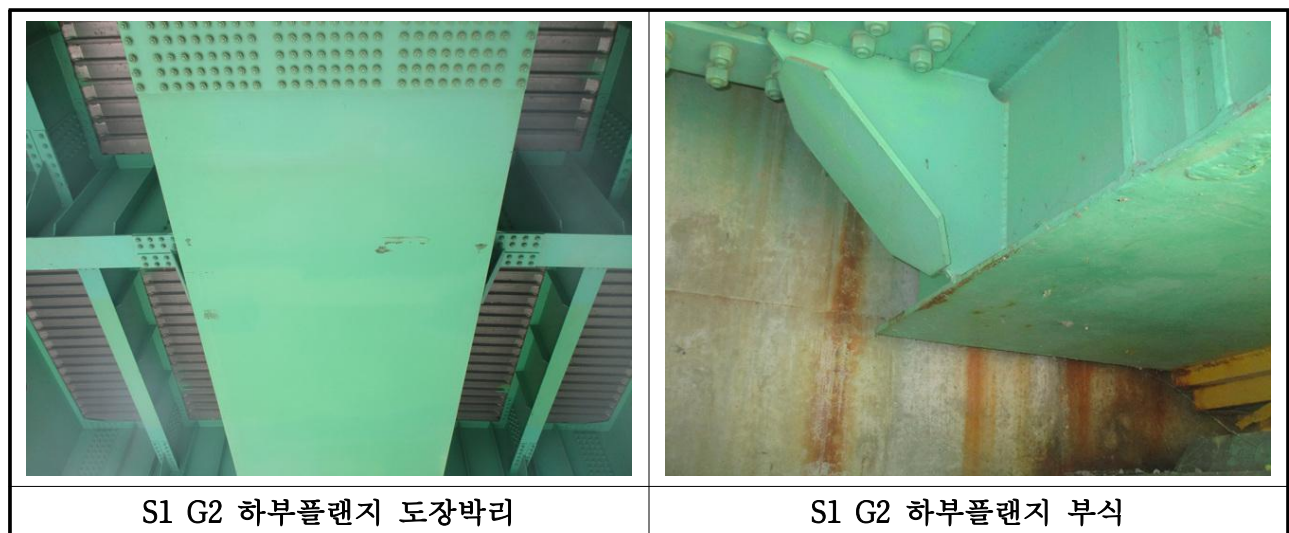
2) 강박스 거더 외부

① 외관조사 결과

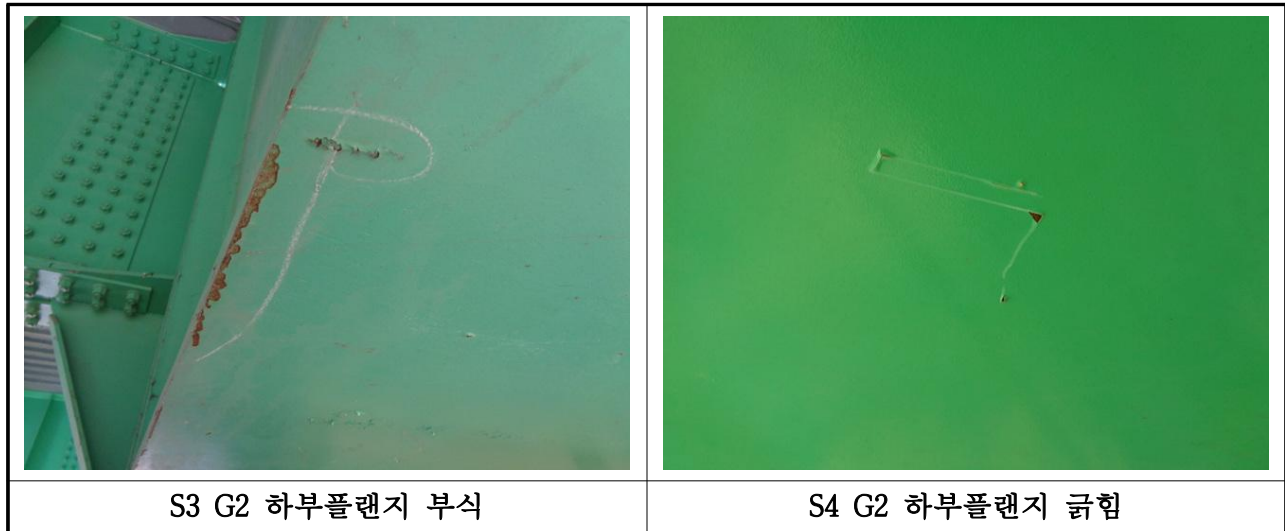
- 강박스 거더 외부에 대한 외관조사 결과 도장박리 및 굽힘, 부식, 볼트 풀림 등의 손상이 조사되었다.
- 그 외 구조물의 내구성에 영향을 미칠만한 손상은 발생되지 않은 것으로 조사되었다.

【표 3.6】 강박스 거더 외부 외관조사 결과

구 분	굽힘 (㎡/개소)	도장박리 (㎡/개소)	볼트풀림 (개소/개소)	부식 (㎡/개소)	비고
S1	-	0.04 / 4	-	0.38 / 13	
S2	0.12 / 4	-	-	1.23 / 19	
S3	0.07 / 1	-	-	0.16 / 8	
S4	-	-	-	0.12 / 12	
S5	-	-	2 / 2	0.03 / 3	
합 계	0.19 / 5	0.04 / 4	2 / 2	1.92 / 55	



【사진 3.7】 강박스 거더 외부 손상현황



【사진 3.7】강박스 거더 외부 손상현황(계속)

② 기 점검결과와의 비교·분석

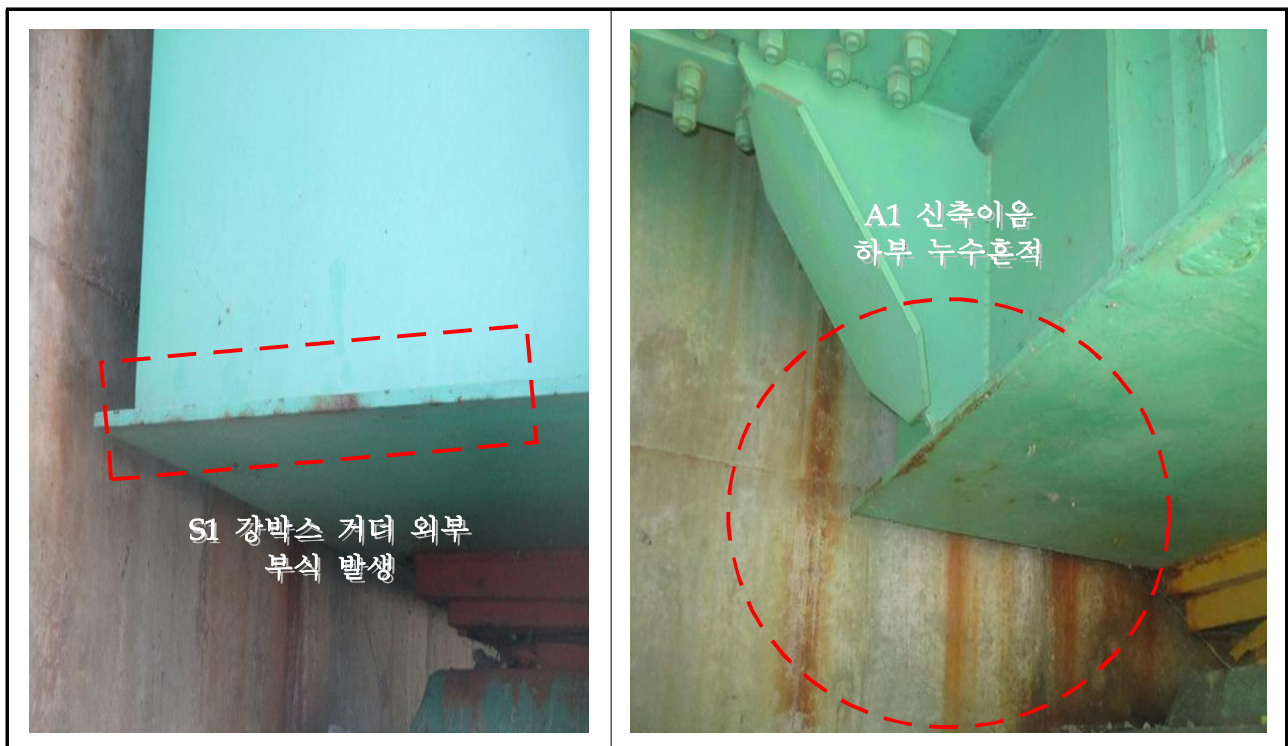
금회 진단은 준공 후 실시하는 15년차 정밀안전진단으로서 전차 점검에 비해 부식 등의 손상이 추가 발생된 것으로 조사되었으며, 균열 및 도장박리의 경우 점검자의 판단에 의한 물량변동이 발생되었다. 강박스 거더 외부의 경우 금회 실시한 결과를 토대로 하여 향후 유지관리를 실시하는 것이 바람직하다.

【표 3.7】강박스 거더 외부 기 점검 결과 비교

손상내용	손상물량		손상물량 비 교	비 고
	2017년 12월 정기점검 (개소 / 물량)	2018년 정밀안전진단 (개소 / 물량)		
균열	6ea / 0.2㎡	5ea / 0.19㎡	↓ 0.01	물량변동
도장박리	1ea / 0.1㎡	4ea / 0.04㎡	↓ 0.06	물량변동
볼트풀림	2ea / 2ea	2ea / 2ea	- -	변동없음
부식	40ea / 1.81㎡	55ea / 1.92㎡	↑ 0.11	신규손상

③ 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

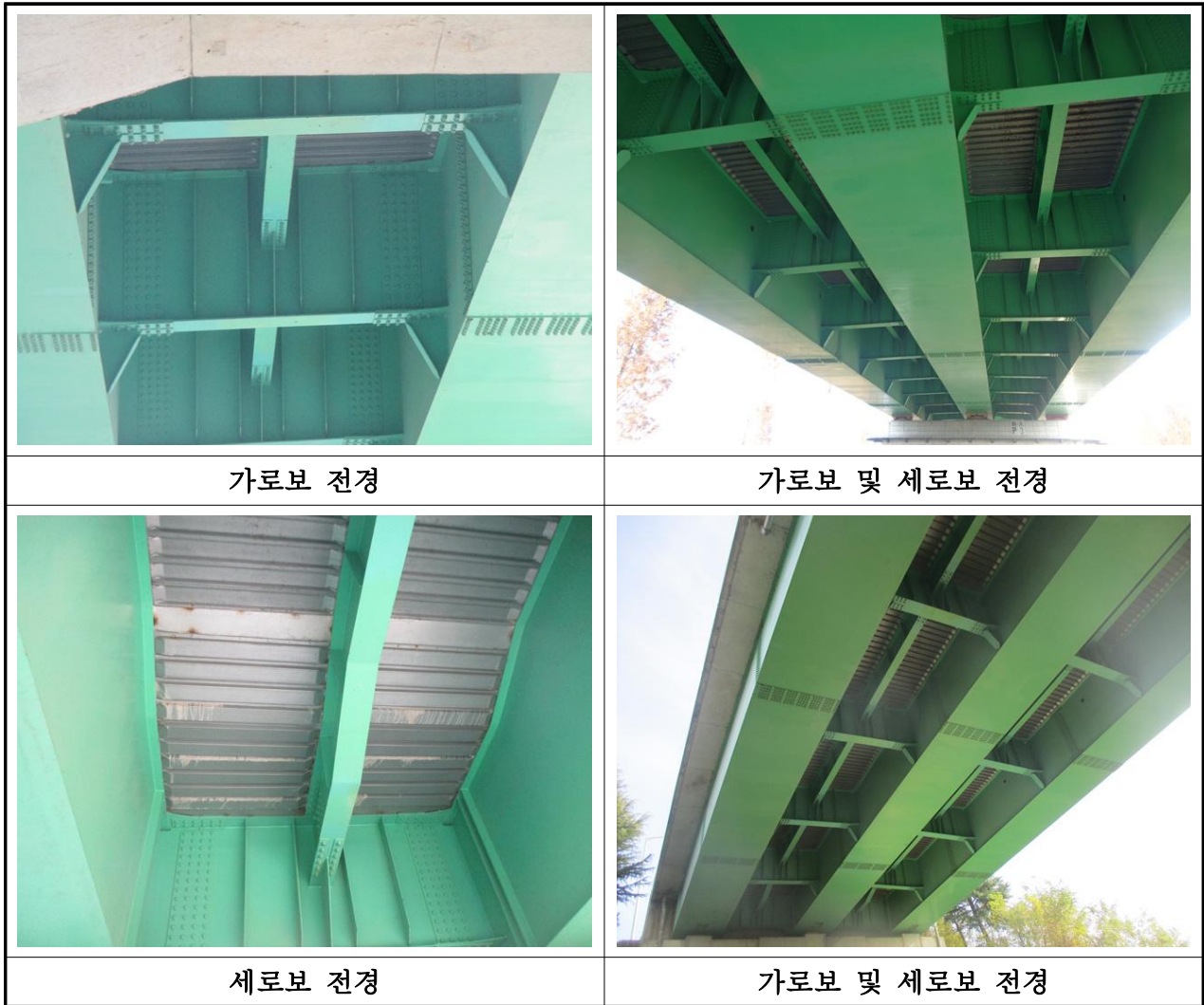
- S2, S3, S4에 발생한 부식은 시공당시 먼지, 녹 등 도장 전처리 미흡에 의해 도장이 박리됨에 따라 부식으로 진전된 것으로서 재도장이 필요한 상태이다.
- S1과 S5에 발생한 하부플랜지 부식은 신축이음으로부터 유입된 우수(염수)에 의해 발생한 것으로서 현재 신축이음장치에 대한 근본적인 보수가 선행되지 않으면 보수효과를 기대하기 어렵기 때문에 신축이음 하부 물받이 및 유도배수관 설치 등의 조치가 선행되어야 하며, 손상부는 부식의 진전 방지를 위한 재도장을 실시하는 것이 바람직하다.
- 거더 외부의 일부구간에서 발생된 도장박리 및 굽힘의 경우 시공 중 거더 거치시 발생된 손상으로 판단되며, 구조물의 안전성에는 별다른 영향을 미치지 않는 손상이므로 주의관찰 후 손상의 진전시 재도장 등의 조치를 취하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.
- 기타 볼트풀림은 주기적인 점검을 통한 주의관찰 후 손상의 진전시 적절한 조치를 취하는 것이 바람직하다.



【사진 3.8】강박스 거더 외부 부식 현황

다. 가로보 및 세로보

본 교량은 가로보 및 세로보가 시공되어 있으며 가로보는 5.0m의 간격을 유지하고 있다. 가로보 및 세로보에 대해서는 강박스 거더 외부와 동일한 방법으로 외관조사를 실시하였다.



【사진 3.9】 가로보 및 세로보 전경

1) 외관조사 결과

- 가로보의 경우 S2 하면의 부식 1개소가 조사되었다.
- 세로보의 S3, S4, S5의 하면에서 부식이 국부적으로 조사되었다.

【표 3.8】 가로보 및 세로보 외관조사 결과

구 분	부식 (㎡/개소)	비고
S1	-	
S2	0.01 / 1	
S3	0.05 / 4	
S4	0.26 / 7	
S5	0.16 / 7	
합 계	0.48 / 19	



S2 가로보 부식



S3 세로보 부식



S4 세로보 부식



S5 세로보 부식

【사진 3.10】 가로보 및 세로보 손상현황

2) 기 점검결과와의 비교·분석

금회 진단은 준공 후 실시하는 15년차 정밀안전진단으로서 전차 점검에 비해 부식이 추가 발생된 것으로 조사되었다. 가로보 및 세로보의 경우 금회 실시한 결과를 토대로 하여 향후 유지관리를 실시하는 것이 바람직하다.

【표 3.9】 가로보 및 세로보 기 점검 결과 비교

손상내용	손상물량		손상물량 비 교	비 고
	2017년 12월 정기점검	2018년 정밀안전진단		
부식	7ea / 0.07㎡	19ea / 0.48㎡	↑ 0.41	신규손상

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 가로보 및 세로보에 발생한 부식은 시공당시 먼지, 녹 등 도장 전처리 미흡에 의해 도장이 박리됨에 따라 부식으로 진전된 것으로서 재도장이 필요한 상태이다.

3.2.2 하부구조

가. 교대

연무IC교의 교대는 철근콘크리트 역 T형, 기초형식은 강관파일이며, 교대에 대한 외관조사는 도보조사로 근접하여 조사 실시하였다.



【사진 3.11】 교대 전경

1) 외관조사 결과

- 교대에 발생한 균열은 폭 0.1~0.3mm로서 수직균열의 형태로 발생하였다.
- 신축이음하부 누수로 인하여 교대 흙벽에 누수흔적이 조사되었고, 이로 인해 들뜸, 박락, 백태가 조사되었다.
- 교대 전면의 경사는 콘크리트 블록으로 마감되어 있으며, A2의 경우 일부 배부름이 조사되었으며, A1, A2 양측 점검계단 침하 및 공동이 조사되었다.
- 그 외 구조물의 내구성에 영향을 미칠만한 손상은 발생되지 않은 것으로 조사되었다.

【표 3.10】 교대 외관조사 결과

구 분	균열(m/개소)		망상균열 (㎡/개소)	누수흔적 (㎡/개소)	들뜸 및 박락 (㎡/개소)	백태 (㎡/개소)	비고
	0.3mm미만	0.3mm이상					
A1	3.5 / 5	1.5 / 1	0.5 / 2	2.7 / 4	0.65 / 3	0.47 / 4	
A2	2.7 / 5	1.0 / 1	-	0.75 / 1	0.21 / 2	1.2 / 1	
합 계	6.2 / 10	2.5 / 2	0.5 / 2	3.45 / 5	0.86 / 5	1.67 / 5	

【표 3.10】 교대 외관조사 결과(계속)

구 분	배부름 (㎡/개소)	폐콘크리트 퇴적 (㎡/개소)	계단부 침하 (㎡/개소)	공동, 계단부 침하 (㎡/개소)	비고
A1	-	2.4 / 1	-	0.9 / 1	
A2	2.0 / 1	-	0.3 / 1	-	
합 계	2.0 / 1	2.4 / 1	0.3 / 1	0.9 / 1	



【사진 3.12】 교대손상현황



【사진 3.12】 교대손상현황(계속)

2) 기 점검결과와의 비교·분석

금회 진단은 준공 후 실시하는 15년차 정밀안전진단으로서 전차 점검에 비해 균열, 들뜸 및 박락, 백태가 추가 발생된 것으로 조사되었다. 교대의 경우 금회 실시한 결과를 토대로 하여 향후 유지관리를 실시하는 것이 바람직하다.

【표 3.11】 교대 기 점검 결과 비교

손상내용	손상물량		손상물량 비 교	비 고
	2017년 12월 정기점검 (개소 / 물량)	2018년 정밀안전진단 (개소 / 물량)		
균열(폭 0.3mm미만)	10ea / 6.2m	10ea / 6.2m	- -	변동없음
균열(폭 0.3mm이상)	1ea / 1.5m	2ea / 2.5m	↑ 1.0	신규손상
망상균열	2ea / 0.5㎡	2ea / 0.5㎡	- -	변동없음
누수흔적	5ea / 3.45㎡	5ea / 3.45㎡	- -	변동없음
들뜸 및 박락	3ea / 0.81㎡	5ea / 0.86㎡	↑ 0.05	신규손상
백태	1ea / 1.2㎡	5ea / 1.67㎡	↑ 0.47	신규손상
배부름	1ea / 2.0㎡	1ea / 2.0㎡	- -	변동없음
폐콘크리트 퇴적	1ea / 2.4㎡	1ea / 2.4㎡	- -	변동없음
계단부 침하	1ea / 0.3㎡	1ea / 0.3㎡	- -	변동없음
공동, 계단부 침하	1ea / 0.9㎡	1ea / 0.9㎡	- -	변동없음

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 교대에서 조사된 수직균열은 균열의 형상, 방향성, 발생위치 등을 고려해 볼 때 시공초기 건조수축 및 신축이음 하부 누수에 의해 발생한 것으로 판단된다. 흉벽부에 발생된 폭 0.3mm이상 균열의 경우 상부의 우수유입시 균열 진전 및 내부 철근부식 등을 유발할 수 있으므로 주입보수 등의 조치가 요구되며, 그 외 균열부는 주기적인 점검을 통한 주의관찰 후 손상의 진전시 표면처리 등의 조치를 취하는 것이 바람직하다.
- 교대 흉벽에 발생한 들뜸 및 박락, 백태 등의 손상은 신축이음으로 유입된 우수(염수)에 의한 것으로서 현재 신축이음장치에 대한 근본적인 보수가 선행되지 않으면 보수효과를 기대하기 어렵기 때문에 신축이음 하부 물받이 및 유도배수관 설치 등의 조치가 선행되어야 하며, 들뜸 및 박락의 경우 손상의 진전여부 방지를 위한 단면보수 등의 조치가 필요하다.
- 교대 양측 계단부 침하 및 공동, A2측의 콘크리트 블록에 발생한 배부름은 상부 배수관으로부터의 우수유입 및 당초 앞성토의 다짐불량에 의해 발생한 것으로 판단된다.

교대 날개벽과 바닥판의 이격 등은 발생하지 않은 것으로 나타났으며 손상 부 또한 별다른 진전이 발생하지 않은 것으로 나타났으나 방치 시 손상이 진전될 수 있으므로 단면보수 등의 조치를 취하는 것이 바람직하다.

나. 교각

연무IC교의 교각은 라멘식(Ⅱ형), 기초형식은 강관파일로 시공되어 있으며, 교각에 대한 외관 조사는 점검로 및 교량점검차를 이용하여 최대한 근접거리에서 육안으로 조사하였다.



【사진 3.13】 교각 전경

1) 외관조사 결과

- 교각에 발생한 균열은 폭 0.1~0.2mm로서 수직균열의 형태로 발생하였다.
- 기타 유지관리를 위한 교각 표지판 탈락이 발생되었다.

【표 3.12】 교각 외관조사 결과

구 분	균열(m/개소)		표지판 탈락 (개소/개소)	비고
	0.3mm미만	0.3mm이상		
P1	3.4 / 5	-	-	
P2		-	1 / 1	
P3		-	-	
P4	19.3 / 11	-	-	
합 계	22.7 / 16	-	1 / 1	

	
교각 P1 코핑부 균열 0.1mm	교각 P1 코핑부 균열 0.1mm
	
교각 P2 코핑부 교각 표지판 탈락	교각 P4 코핑부 균열 0.1mm

【사진 3.14】 교각 손상현황

2) 기 점검결과와의 비교·분석

금회 진단은 준공 후 실시하는 15년차 정밀안전진단으로서 전차 점검 이후 추가 발생한 손상은 없는 것으로 조사되었다. 교각의 경우 금회 실시한 결과를 토대로 하여 향후 유지관리를 실시하는 것이 바람직하다.

【표 3.13】 교각 기 점검 결과 비교

손상내용	손상물량		손상물량 비 교	비 고
	2017년 12월 정기점검 (개소 / 물량)	2018년 정밀안전진단 (개소 / 물량)		
균열(폭 0.3mm미만)	16ea / 22.7m	16ea / 22.7m	- -	변동없음
표지판 탈락	1ea / 1ea	1ea / 1ea	- -	변동없음

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

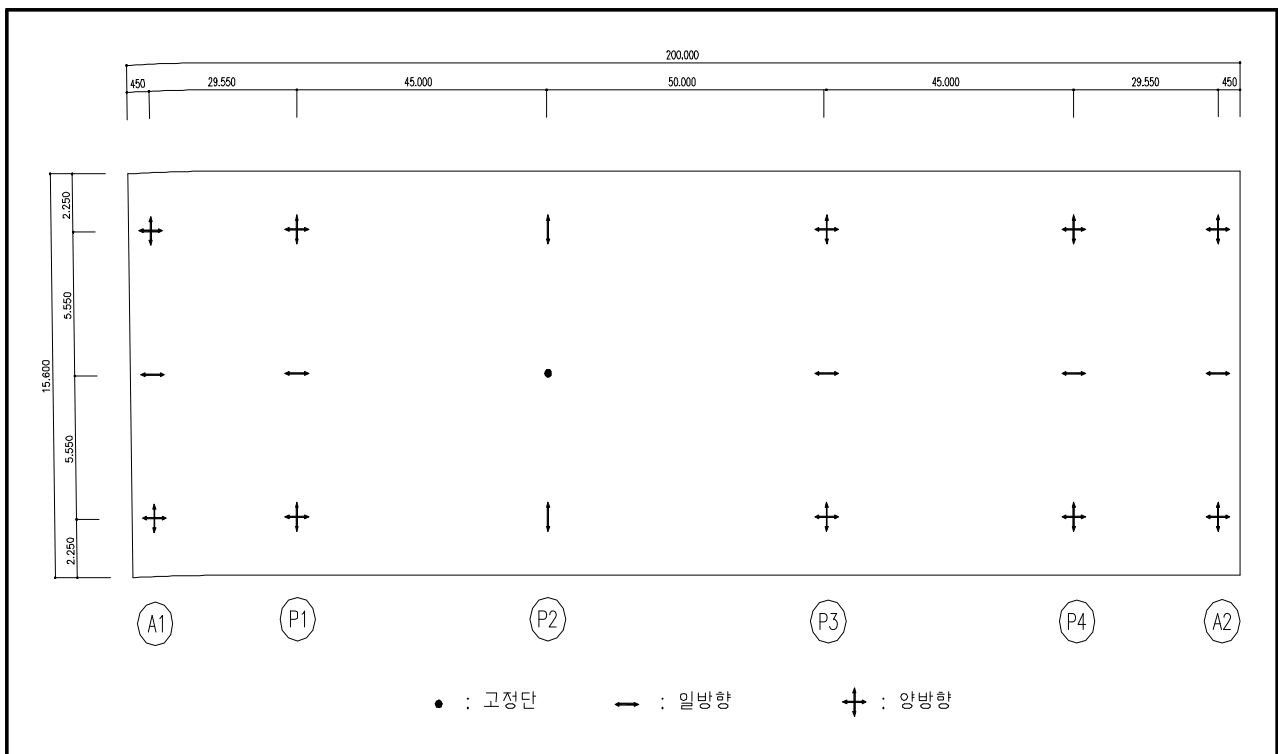
- 교각에서 조사된 균열은 균열의 형상, 방향성, 발생위치 등을 고려해 볼 때 시공초기 건조수축이 주된 원인으로 판단되며, 균열 폭 0.3mm미만의 비구조적 균열로서 주기적인 점검을 통한 주의관찰 후 손상의 진전시 표면처리 등의 조치를 취하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.
- 기타 원활한 유지관리를 위해 설치된 교각 표지판 탈락의 경우 구조물의 안전성에 영향을 미치는 손상은 아니므로 주기적인 점검을 통한 주의관찰이 필요하다.

3.2.3 교량받침

본 교량의 받침 형식은 포트받침(Pot Bearing)과 내진포트받침(Dyna Pot)으로 설치되어 있다. 받침의 형식은 1개의 고정단 받침, 5개소의 교축 일방향 받침 및 2개소의 교축직각 일방향 받침과 10개소의 양방향 받침으로 설치되어 있다.

교량받침은 상부구조에 작용하는 하중을 하부에 전달하는 기능을 수행하는 부재로서 상부 온도변화에 따른 거동, 상부 활하중에 의한 변위에 대한 흡수, 저항하는 부재로 온도변화, 활하중에 의한 신축기능 여부뿐만 아니라 표면부식, 받침콘크리트 손상여부 등을 점검하여야 한다.

교량받침의 외관조사는 점검로를 통한 근접조사를 기반으로 받침 이동량, 연단거리 등을 측정하였고, 받침의 부식 및 받침콘크리트 손상여부를 중점적으로 조사하였다.



【그림 3.1】 교량받침 배치도

【표 3.14】 교량반침 현황

가동방향		현황사진	용량(ton)		가동량(mm)	설치개소
일방향	교축방향		A1	160.0	±43.0	5
			A2	160.0	±58.0	
			P1, P4	600.0	±34.0, ±49.0	
			P3	700.0	±35.0	
	교축 직각방향		P2	700.0	-	2
	Dynapot		P3	700.0	±35.0	3
양방향			A1	160.0	±43.0	10
			A2	160.0	±58.0	
			P1, P4	600.0	±34.0, ±49.0	
			P3	700.0	±35.0	
고정단			P2	700.0	-	1

가. 외관조사 결과

- 교량 받침장치는 상부구조에서 발생된 하중을 하부구조로 전달하고 상부구조의 신축 및 회전에 능동적으로 대응하는 부재로서 본 조사에서는 과반력 및 부반력 발생 여부, 온도변화 및 활하중에 의한 신축거동 여부 뿐만 아니라 강재 부식, 콘크리트 손상 여부 등 내구성, 기능성, 사용성 등에 대한 현장조사를 시행하였다.
- 받침장치의 외관조사 결과, 무수축 몰탈 균열, 유압실린더 및 받침 부식이 조사되었다.
- 교각 P3 Dyna pot 받침의 유압실린더에 부식이 발생된 것으로 조사되었으며, 교대 양측의 교량받침은 부식이 발생한 상태이다.
- 교량받침의 가동 및 교량의 안전성에 유해한 영향을 미칠만한 손상은 조사되지 않았다.

【표 3.15】 교량받침 외관조사 결과

구 분	무수축 몰탈균열(m/개소)		유압실린더 부식 (㎡/개소)	받침 부식 (㎡/개소)	비고
	0.3mm미만	0.3mm이상			
A1	0.2 / 1	-	-	0.25 / 1	
P1	0.4 / 4	0.1 / 1	-	-	
P2	5.0 / 31	-	-	0.25 / 1	
P3	0.1 / 1	-	0.06 / 3	0.75 / 3	
P4	1.6 / 8	-	-	-	
A2	-	-	-	0.25 / 1	
합 계	7.3 / 45	0.1 / 1	0.06 / 3	1.5 / 6	



【사진 3.15】 교량받침 손상현황

나. 기 점검결과와의 비교·분석

금회 진단은 준공 후 실시하는 15년차 정밀안전진단으로서 전차 점검 이후 일부구간 받침 부식의 손상이 추가 발생된 것으로 조사되었으며, 무수축몰탈 균열의 경우 점검자의 판단에 의한 물량변동이 발생되었다. 교량받침의 경우 금회 실시한 결과를 토대로 하여 향후 유지관리를 실시하는 것이 바람직하다.

【표 3.16】 교량받침 기 점검 결과 비교

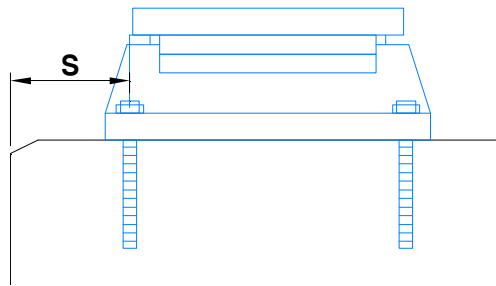
손상내용	손상물량		손상물량 비 교	비 고
	2017년 12월 정기점검 (개소 / 물량)	2018년 정밀안전진단 (개소 / 물량)		
무수축몰탈 균열	46ea / 8.0m	46ea / 7.4m	↓ 0.6	물량변동
유압실린더 부식	3ea / 0.06㎡	3ea / 0.06㎡	- -	변동없음
받침부식	5ea / 1.25㎡	6ea / 1.5㎡	↑ 0.25	신규손상

다. 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 각 교각의 교량받침 부식 및 교각 P3의 Dynapot 유압실린더 부식은 장기공용 및 외기에 부식이 발생한 것으로 판단되며, 주기적인 점검을 통한 주의관찰 후 손상의 진전시 부식제거, 재도장 등의 조치를 취하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.
- 교대 양측의 교량받침에 발생한 부식은 신축이음 누수에 의한 것으로서 도장보수를 실시하기 전 신축이음 하부 물받이 및 유도배수관 설치와 같은 근본적인 보수를 실시한 후 재도장을 실시해야 보수효과를 기대할 수 있을 것이다.

라. 연단거리 검토

- 교대 및 교각의 교좌면은 상부구조로부터 집중하중을 받는 부위이고, 지진시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 연단거리가 짧으면 고정단에서는 콘크리트 구체 또는 교량받침이 파손될 수 있고, 가동단에서는 최악의 경우 받침이 벗어나 거더가 낙하할 수도 있다.
- 상부구조의 길이에 따라 ‘도로교설계기준(2012, 국토해양부)’에서는 최소값을 규정하고 있다.



< 포트받침 >

- 거더의 경간길이 100m 이하

$$: S(\text{mm}) = 200 + 5L$$

- 거더의 경간길이 100m 이상

$$: S(\text{mm}) = 300 + 4L$$

여기서, L은 경간길이(m)

【그림 3.2】 도로교설계기준 연단거리 산출방법

1) 연단거리 산출

- 거더 경간길이(L=30.0m) : $200+5 \times 30.0 = 350.0(\text{mm})$
- 거더 경간길이(L=45.0m) : $200+5 \times 45.0 = 425.0(\text{mm})$
- 거더 경간길이(L=50.0m) : $200+5 \times 50.0 = 450.0(\text{mm})$



연단거리 측정 전경(P3)

2) 연단거리 측정 결과

- 연단거리 측정 결과, 실측 연단거리가 계산 연단거리를 상회하고 있는 것으로 측정되어 시방규정을 만족하고 있는 것으로 검토되었다.

【표 3.17】 교축방향 연단거리 측정 결과

구 분		계산 연단거리 (mm)	실측 연단거리(mm)			검토 결과
			Sh1	Sh2	Sh3	
A1		350.0	840	750	840	O.K
P1	A1측		850	790	870	O.K
	A2측	425.0	680	650	650	O.K
P2	A1측		740	440	740	O.K
	A2측	450.0	740	460	740	O.K
P3	A1측		640	600	640	O.K
	A2측	425.0	550	540	550	O.K
P4	A1측		700	690	790	O.K
	A2측	350.0	800	705	805	O.K
A2			805	710	810	O.K

마. 교량받침 신축거동상태 검토

- 교량받침은 포트받침으로 현재 여유량을 실측함으로써 온도 변화와 활하중에 의한 거더의 처짐에 따른 신축시 이동량 부족으로 인한 받침의 기능 저하 여부를 검토하고자 하였다.
- 교량받침의 이동량은 2회(1차:6.3℃(2017년 11월 9일), 2차:9.6℃(2018년 3월 26일))에 걸쳐 측정하였으며, 온도는 기상청 일평균 온도를 적용하였다.



【사진 3.16】 교량받침 가동량 측정 전경

1) 온도변화에 따른 가동상태 검토

- 온도 변화에 따른 변동량 측정결과 이론 변동량과 유사한 것으로 나타나 전반적으로 양호한 거동상태를 보이고 있는 것으로 평가되었다.

【표 3.18】교량받침 가동상태 검토결과

구 분		실측 이동량(mm)		변동량(mm)		비 고
		1차	2차	실측치	이론치	
A1	Sh1	20 (A2)	10 (A2)	10.0	3.0	
	Sh2	20 (A2)	10 (A2)	10.0		
	Sh3	20 (A2)	10 (A2)	10.0		
P1	Sh1	10 (A2)	10 (A2)	0	2.0	
	Sh2	10 (A2)	10 (A2)	0		
	Sh3	20 (A2)	15 (A2)	5.0		
P2	고정단					
P3	Sh1	5 (A1)	5 (A1)	0	2.0	
	Sh2	10 (A1)	5 (A1)	5.0		
	Sh3	10 (A1)	5 (A1)	5.0		
P4	Sh1	10 (A1)	3 (A1)	7.0	4.0	
	Sh2	0	3 (A1)	3.0		
	Sh3	5 (A1)	3 (A1)	2.0		
A2	Sh1	5 (A2)	30 (A2)	25.0	5.0	
	Sh2	5 (A2)	25 (A2)	20.0		
	Sh3	5 (A2)	25 (A2)	20.0		

2) 설계기준온도(-10℃ ~ 40℃(보통지방))에 따른 여유량 검토

- 교량받침의 이동량을 검토한 결과, 전 개소에서 충분한 가동여유량을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

【표 3.19】교량받침 이동량 산정

구 분	온도변화 (ΔT , $^{\circ}\text{C}$)		선팅창 계수 (α)	신축 거더길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(mm)		거더의 처짐에 의한 이동량 (mm)	최대 받침 이동량(mm)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
A1	16.3	33.7	1.2×10^{-5}	75.0	14.7	30.3	11.3	26.0	41.6
P1	16.3	33.7	1.2×10^{-5}	45.0	8.8	18.2	11.3	20.1	29.5
P2	고 정 단								
P3	16.3	33.7	1.2×10^{-5}	50.0	9.8	20.2	11.3	21.1	31.5
P4	16.3	33.7	1.2×10^{-5}	95.0	18.6	38.4	11.3	29.9	49.7
A2	16.3	33.7	1.2×10^{-5}	125.0	24.5	50.6	11.3	35.8	61.9

1) 조사당시 온도 : 6.3°C (조사일 : 2017년 11월 09일, 기상청 일평균 온도)

2) 검토온도 : $-10^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ (보통지방)

【표 3.20】교량받침 이동량(설계기준 온도) 검토결과

구 분		점검당시 실측이동량 (mm)	최대 받침 이동량(mm)		실측 받침 가동여유량(mm)		받침용량 (mm)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
A1	Sh1	20 (A2)	26.0	41.6	60.0	100.0	± 80	O.K
	Sh2	20 (A2)			60.0	100.0	± 80	O.K
	Sh3	20 (A2)			60.0	100.0	± 80	O.K
P1	Sh1	10 (A2)	20.1	29.5	40.0	60.0	± 50	O.K
	Sh2	10 (A2)			40.0	60.0	± 50	O.K
	Sh3	10 (A2)			40.0	60.0	± 50	O.K
P2		고정단						
P3	Sh1	5 (A1)	21.1	31.5	75.0	85.0	± 80	O.K
	Sh2	10 (A1)			70.0	90.0	± 80	O.K
	Sh3	10 (A1)			70.0	90.0	± 80	O.K
P4	Sh1	10 (A1)	29.9	49.7	70.0	90.0	± 80	O.K
	Sh2	0			80.0	80.0	± 80	O.K
	Sh3	5 (A1)			75.0	85.0	± 80	O.K
A2	Sh1	5 (A2)	35.8	61.9	85.0	75.0	± 80	O.K
	Sh2	5 (A2)			85.0	75.0	± 80	O.K
	Sh3	5 (A2)			85.0	75.0	± 80	O.K

주) 판정 : 최대 받침 이동량 $\leq$ 실측 받침 가동여유량 $\Rightarrow$ O.K

3) 기상청 통계자료에 따른 이동량 검토

- 진단주기를 감안하여 최근 10년간 천안시 기상관측소의 최저, 최대온도를 분석하여 이에 따른 교량받침의 가동여유량을 평가한 결과 전 개소에서 충분한 가동여유량을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

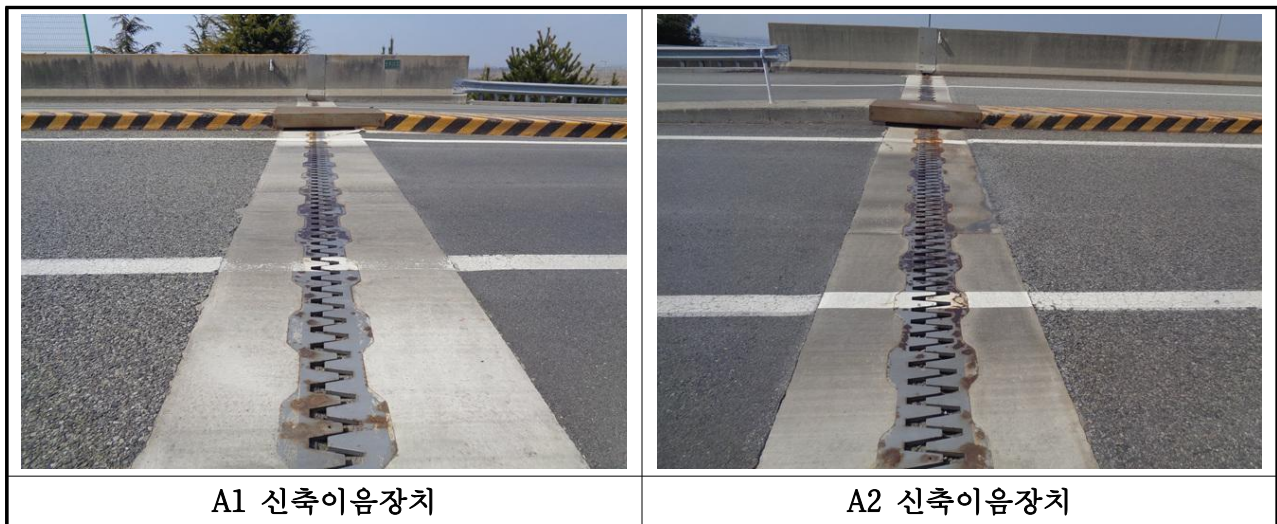
기상청 통계자료	· 최근 10년간 천안시 기상관측소 자료 참조 · 최근 10년간 최저기온 : -19.5℃(측정일시 : 2010년 1월 14일) · 최근 10년간 최고기온 : 36.4℃(측정일시 : 2012년 8월 6일)

【표 3.21】 교량받침 이동량(기상청 통계자료) 검토결과

구 분		점검당시 실측이동량 (mm)	최대 받침 이동량(mm)		실측 받침 가동여유량(mm)		받침용량 (mm)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
A1	Sh1	20 (A2)	34.5	38.4	60.0	100.0	±80	O.K
	Sh2	20 (A2)			60.0	100.0	±80	O.K
	Sh3	20 (A2)			60.0	100.0	±80	O.K
P1	Sh1	10 (A2)	25.2	27.6	40.0	60.0	±50	O.K
	Sh2	10 (A2)			40.0	60.0	±50	O.K
	Sh3	10 (A2)			40.0	60.0	±50	O.K
P2	고정단							
P3	Sh1	5 (A1)	26.8	29.4	75.0	85.0	±80	O.K
	Sh2	10 (A1)			70.0	90.0	±80	O.K
	Sh3	10 (A1)			70.0	90.0	±80	O.K
P4	Sh1	10 (A1)	40.7	45.6	70.0	90.0	±80	O.K
	Sh2	0			80.0	80.0	±80	O.K
	Sh3	5 (A1)			75.0	85.0	±80	O.K
A2	Sh1	5 (A2)	50.0	56.5	85.0	75.0	±80	O.K
	Sh2	5 (A2)			85.0	75.0	±80	O.K
	Sh3	5 (A2)			85.0	75.0	±80	O.K

3.2.4 신축이음장치

신축이음장치는 교량받침과 연동되어 온도나 하중에 대한 상부구조의 신축거동을 수렴하는 중요 장치로서 본체와 후타재로 구분되며, 본 교량은 5경간 연속교량으로 교대인 A1, A2에 MS Joint로 시공되어 있다. 본 과업에서는 신축이음장치의 기능성 저하여부, 내구성 측면의 차량 주행 안전성 확보 등에 대해 조사를 수행하였다.



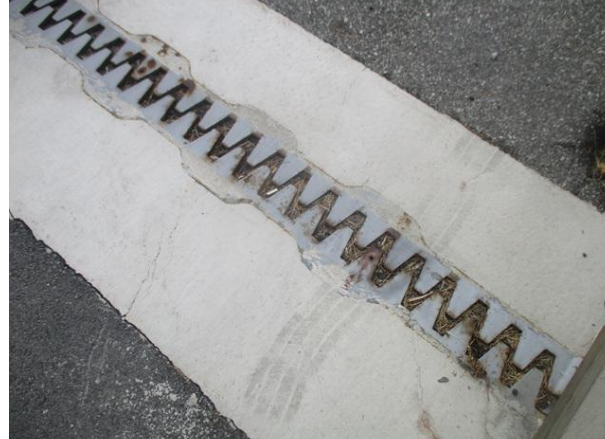
【사진 3.17】 신축이음장치 전경

가. 외관조사 결과

- 신축이음장치의 외관조사 결과 신축이음장치 본체의 부식, 유간 토사퇴적 등이 조사되었다.
- 후타재의 경우 폭 0.2mm 균열, 파손 및 들뜸이 조사되었다.

【표 3.22】 신축이음장치 외관조사 결과

구 분	후타재 균열(m/개소)		후타재 파손 및 들뜸 (㎡/개소)	본체 부식 (m/개소)	본체 유간토사퇴적 (㎡/개소)	비고
	0.3mm미만	0.3mm이상				
A1	1.8 / 6	-	0.33 / 3	6.0 / 2	0.2 / 2	
A2	0.9 / 3	-	0.09 / 1	6.3 / 4	-	
합 계	2.7 / 9	-	0.42 / 4	12.3 / 6	0.2 / 2	

	
A1 후타재 들뜸 및 파손	A1 후타재 균열 0.2mm
	
A2 후타재 균열 0.2mm	A2 본체 유간 토사퇴적
	
A2 본체 부식	A2 본체 부식

【사진 3.18】 신축이음장치 손상현황

나. 기 점검결과와의 비교·분석

금회 진단은 준공 후 실시하는 15년차 정밀안전진단으로서 전차 점검 이후 일부구간 후타재 파손 및 들뜸의 손상이 추가 발생된 것으로 조사되었으며, 본체 부식 및 유간 토사퇴적, 후타재 균열의 경우 점검자의 판단에 의한 물량변동이 발생되었다. 신축이음의 경우 금회 실시한 결과를 토대로 하여 향후 유지관리를 실시하는 것이 바람직하다.

【표 3.23】 신축이음 기 점검 결과 비교

손상내용		손상물량		손상물량 비 교	비 고
		2017년 12월 정기점검 (개소 / 물량)	2018년 정밀안전진단 (개소 / 물량)		
본체	부식	5ea / 28.0m	6ea / 12.3m	↓ 15.7	물량변동
	유간 토사퇴적	6ea / 0.6㎡	2ea / 0.2㎡	↓ 0.4	물량변동
후타재	균열(폭 0.3mm미만)	9ea / 4.5m	9ea / 2.7m	↓ 1.8	물량변동
	파손 및 들뜸	1ea / 0.1㎡	4ea / 0.42㎡	↑ 0.32	신규손상

다. 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 신축이음장치의 본체에 발생한 부식은 신축이음장치의 양측 끝단에 국한되어 발생하였으며 이는 끝단에 퇴적된 이물질에 의하여 장기간 체수가 지속됨에 따라 발생한 것으로 판단된다.
- 부식 발생으로 인하여 본체의 거동에는 별다른 문제를 미치지 않는 상태이며, 손상의 진전방지 및 내구성 유지를 위하여 체수가 발생하지 않도록 주기적인 청소를 실시하는 것이 바람직하다.
- 후타재에 발생한 균열은 시공초기 건조수축, 공용 중 차량의 반복하중 및 충격에 의한 손상으로서 신축이음장치의 거동에는 별다른 문제를 미치지 않는 상태이므로 주기적인 점검을 통한 주의관찰 후 손상의 진전시 적절한 조치를 취하는 것이 바람직하다.
- 후타재에 발생한 파손 및 들뜸의 경우 공용 중 차량의 반복하중 및 충격에 의한 손상으로서 신축이음장치의 거동에는 영향을 미치지 않는 상태이므로 주의관찰 후 손상의 진전시 단면보수 등의 조치를 취하는 것이 바람직하다.

라. 신축이음 신축거동상태 검토

1) 온도변화에 따른 가동상태 검토

- 본 교량의 신축거동상태를 확인하기 위해 2회(1차:6.3℃(2017년 11월 9일), 2차:9.6℃(2018년 3월 26일)에 걸쳐 신축이음장치, 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.



【사진 3.19】 신축이음 유간 측정방법

【표 3.24】 신축이음 유간 측정결과

측정위치	측 정 값(mm)						비 고
	신축이음장치(A)		거더 상부(바닥판)(B)		거더 하부(C)		
	1차	2차	1차	2차	1차	2차	
EXP.J1 (A1)	47	40	70	60	155	145	MS Joint (No. 80)
EXP.J2 (A2)	75	70	60	45	150	140	MS Joint (No. 120)

- 2017년 11월(6.3℃)과 2018년 3월(9.6℃)의 온도 변화에 따른 변동량 측정결과, EXP. J1(A1) EXP. J2(A2)의 가동상태는 이론 변동량과 유사한 것으로 나타났다.

【표 3.25】 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동상태 검토결과

측정위치		측정유간(mm)		변동량(mm)		비 고
		1차	2차	실측치	이론치	
EXP.J1(A1)	신축이음장치	47	40	7.0	3.0	
	거더 상부	70	60	10.0		
	거더 하부	155	145	10.0		
EXP.J2(A2)	신축이음장치	75	70	5.0	5.0	
	거더 상부	60	45	15.0		
	거더 하부	150	140	10.0		

2) 설계기준온도(-10℃ ~ 40℃(보통지방))에 따른 여유량 검토

- 신축이음 유간을 각각 측정한 결과, A1, A2측 모두 신축 및 수축에 대한 여유량을 확보하고 있는 것으로 검토 되었다.

【표 3.26】 신축이음 신축이동량(설계기준 온도) 산정

구 분	온도변화 (ΔT , ℃)		선팅창 계수 (α)	신축 거더 길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(mm)		거더의 처짐에 의한 이동량 (mm)	계산 이동량(mm)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
EXP.J1(A1)	16.3	33.7	1.2×10^{-5}	75	14.7	30.3	-	14.7	30.3
EXP.J2(A2)	16.3	33.7	1.2×10^{-5}	125	24.5	50.6	5.7	30.2	56.3

1) 조사당시 온도 : 6.3℃(조사일 : 2017년 11월 9일, 기상청 일평균 온도)

2) 검토온도 : -10℃ ~ 40℃(보통지방)

3) A1측은 신축장 100m 미만이므로 활하중에 의한 거더 처짐에 의한 이동량을 고려하지 않았음

【표 3.27】 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량(설계기준 온도) 검토결과

구 분		계산 이동량(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			47	80	18.3	16.7	O.K
	거더 상부	14.7	30.3	70	80		39.7	O.K
	거더 하부			155	80		124.7	O.K
EXP.J2 (A2)	신축이음장치			75	120	14.8	18.7	O.K
	거더 상부	30.2	56.3	60	120		3.7	O.K
	거더 하부			150	120		93.7	O.K

 주) 판정 : $0.0\text{mm} \leq \text{신축 여유량} \leq \text{허용량} \Rightarrow \text{O.K}$

3) 기상청 통계자료에 따른 이동량 검토

- 진단주기를 감안하여 최근 10년간 천안시 기상관측소의 최저, 최대온도를 분석하여 이에 따른 교량받침의 가동여유량을 평가한 결과 A1, A2측 모두 신축 및 수축에 대한 여유량을 확보하고 있는 것으로 검토 되었다.

기상청 통계자료	· 최근 10년간 천안시 기상관측소 자료 참조 · 최근 10년간 최저기온 : -19.5℃(측정일시 : 2010년 1월 14일) · 최근 10년간 최고기온 : 36.4℃(측정일시 : 2012년 8월 6일)

【표 3.28】 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량(기상청 통계자료) 검토결과

구 분		계산 이동량(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	23.2	27.1	47	80	9.8	19.9	O.K
	거더 상부			70	80		42.9	O.K
	거더 하부			155	80		127.9	O.K
EXP.J2 (A2)	신축이음장치	44.4	50.9	75	120	0.6	24.1	O.K
	거더 상부			60	120		9.1	O.K
	거더 하부			150	120		99.1	O.K

주) 판정 : $0.0\text{mm} \leq \text{신축 여유량} \leq \text{허용량} \Rightarrow \text{O.K}$

3.2.5 교면포장

연무IC교는 왕복 1차로로 구성되어 있고 교면포장은 아스팔트 포장으로 T=80mm 두께로 설계되었다. 교면포장의 외관조사는 도보를 이용하여 육안조사를 실시하였다.



【사진 3.20】 교면포장 전경

가. 외관조사 결과

- 교면포장에 대한 외관조사 결과 손상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.

【표 3.29】 교면포장 외관조사 결과

구 분	상태양호	비고
S1	-	
S2	-	
S3	-	
S4	-	
S5	-	
합 계	-	

나. 기 점검결과와의 비교·분석

금회 진단은 준공 후 실시하는 15년차 정밀안전진단으로서 전차 점검 이후 추가 발생한 손상은 없는 것으로 조사되었다. 교면포장의 경우 금회 실시한 결과를 토대로 하여 향후 유지관리를 실시하는 것이 바람직하다.

【표 3.30】 교면포장 기 점검 결과 비교

손상내용	손상물량		손상물량 비 교	비 고
	2017년 12월 정기점검 (개소 / 물량)	2018년 정밀안전진단 (개소 / 물량)		
상태양호	- / -	- / -	- -	-

다. 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 교면포장의 외관조사 결과, 손상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다. 교면포장의 경우 손상의 발생 시 차량의 주행성 및 안전성에 영향을 미치므로 지속적인 점검을 통한 유지관리가 필요하다.

3.2.6 기타부재

가. 배수시설

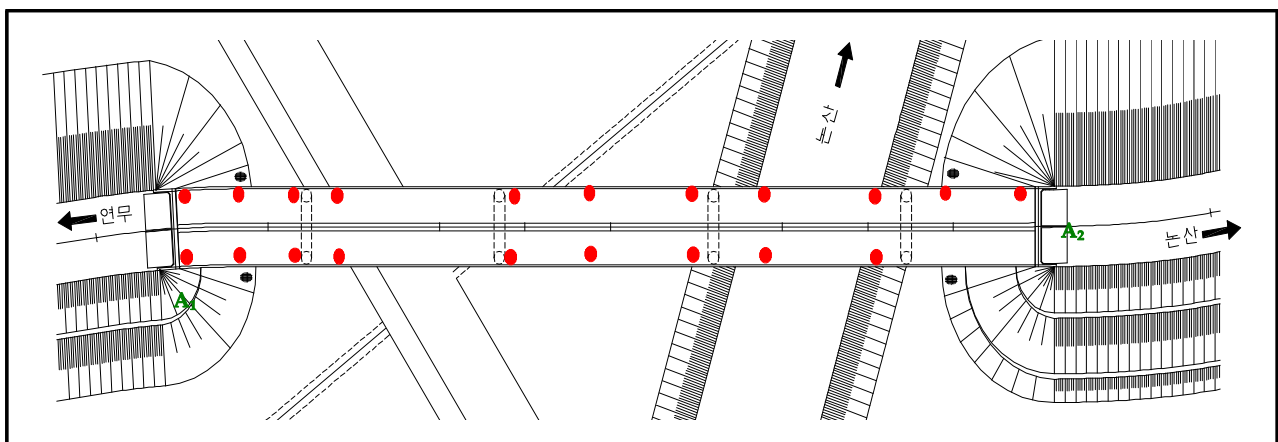
연무IC교는 사각이 없는 직선교이며 종단선형은 시점에서 3.6993%의 상향경사를 이루고 종점에서는 3.7833%의 하향경사를 이루고 있다.

교면수 흐름에 의거하여 교량의 좌측에 11개소와 우측에 9개소의 배수시설이 설치되어 있으며, 배수시설의 형식은 육교형과 하천형으로 시공되어 있다. 또한, 교면부의 상부에는 이물질 혼입 방지를 위한 집수구 덮개(Grating)가 설치되어 있다.

배수시설의 외관조사는 도보를 이용하여 최대한 근접거리에서 배수시설 누수 및 배수구 막힘, 배수관 연결 상태 등을 중점적으로 조사하였다.



【사진 3.21】 배수구 및 배수관 전경



【그림 3.3】 배수시설 설치현황

1) 외관조사 결과

- 배수구 및 배수관에 대한 외관조사 결과 손상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.

【표 3.31】 배수시설 외관조사 결과

구 분	상태양호	비고
S1	-	
S2	-	
S3	-	
S4	-	
S5	-	
합 계	-	



【사진 3.22】 배수시설 손상현황

2) 기 점검결과와의 비교·분석

금회 진단은 준공 후 실시하는 15년차 정밀안전진단으로서 전차 점검 이후 추가 발생한 손상은 없는 것으로 조사되었다. 배수시설의 경우 금회 실시한 결과를 토대로 하여 향후 유지관리를 실시하는 것이 바람직하다.

【표 3.32】 배수시설 기 점검 결과 비교

손상내용	손상물량		손상물량 비 교	비 고
	2017년 12월 정기점검 (개소 / 물량)	2018년 정밀안전진단 (개소 / 물량)		
상태양호	- / -	- / -	- -	-

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 현재 배수시설의 상태는 양호한 것으로 조사되었다. 배수시설의 경우 이물질 퇴적으로 인한 배수구 막힘 등의 손상이 발생되면 노면 체수 및 바닥판 손상 등을 야기 시키므로 주기적인 청소를 통한 관리주체의 유지관리가 필요하다.

나. 난간 및 연석(방호울타리)

본 교량의 방호울타리는 좌·우측에 차량 충돌 시 탑승자의 보호, 충돌로부터 인접 주행 차량의 보호, 교면 위나 교량하부의 인명 및 재물의 보호 등을 위하여 콘크리트로 설치되어 있으며, 본선을 횡단하는 구간에는 낙하물방지시설인 웬스와 차선 중앙은 콘크리트 연석이 시공되어 있다. 본 진단 시에는 신규 손상의 발생 및 기 손상의 진행성 유무, 보수상태 등을 확인하였다.



【사진 3.23】 난간 및 연석 전경

1) 외관조사 결과

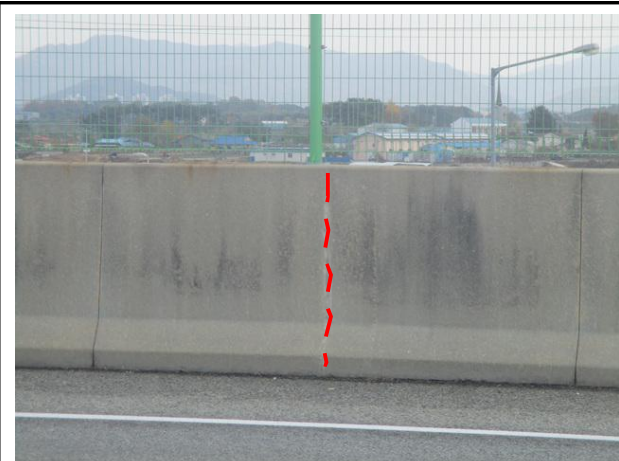
- 방호울타리에 대한 외관조사 결과 균열(폭 0.3mm 내·외) 및 백태, 박락 및 파손 등의 손상이 조사되었다.
- 중앙분리대 연석에 대한 외관조사 결과 도장박리, 박리 및 박락, 파손 등의 손상이 조사되었다.

【표 3.33】 난간 및 연석 외관조사 결과

구 분	균열(m/개소)		백태 (㎡/개소)	고정볼트유실 (개소/개소)	식생 (㎡/개소)	비고
	0.3mm미만	0.3mm이상				
S1	2.5 / 7	-	-	-	-	
S2	3.3 / 3	1.5 / 1	-	-	-	
S3	3.1 / 8	1.5 / 1	-	-	-	
S4	5.3 / 10	-	0.09 / 1	-	0.02 / 2	
S5	4.8 / 10	-	-	1 / 1	-	
합 계	19.0 / 38	3.0 / 2	0.09 / 1	1 / 1	0.02 / 2	

【표 3.33】 난간 및 연석 외관조사 결과(계속)

구 분	차수판 변형 (개소/개소)	박리 및 박락 (㎡/개소)	파손 (㎡/개소)	도장박리 (㎡/개소)	비고
S1	-	8.37 / 7	0.09 / 1	54.0 / 1	
S2	-	5.32 / 5	-	54.0 / 1	
S3	-	0.42 / 2	0.1 / 1	54.0 / 1	
S4	-	-	-	54.0 / 1	
S5	2 / 2	0.08 / 2	0.08 / 1	54.0 / 1	
합 계	2 / 2	14.19 / 16	0.27 / 3	270.0 / 5	

	
S1 방호울타리 전면 균열 0.2mm	S2 방호울타리 전면 균열 0.3mm
	
S4 방호울타리 전면 백태	S1 방호울타리 접속부 파손
	
S1 중앙분리대 연석 박락	S2 중앙분리대 연석 도장박리

【사진 3.24】 난간 및 연석 손상현황

2) 기 점검결과와의 비교·분석

금회 진단은 준공 후 실시하는 15년차 정밀안전진단으로서 전차 점검 이후 손상의 진전 및 외부 충격 등으로 인한 균열(폭 0.3mm이상), 박리 및 박락, 파손이 추가 발생된 것으로 조사되었으며, 균열(폭 0.3mm미만) 및 고정볼트유실의 경우 점검자의 판단에 의한 물량변동이 발생되었다. 난간 및 연석의 경우 금회 실시한 결과를 토대로 하여 향후 유지관리를 실시하는 것이 바람직하다.

【표 3.34】 난간 및 연석 기 점검 결과 비교

손상내용	손상물량		손상물량 비 교	비 고
	2017년 12월 정기점검	2018년 정밀안전진단		
균열(폭 0.3mm미만)	27ea / 19.7m	38ea / 19.0m	↓ 0.7	물량변동
균열(폭 0.3mm이상)	- / -	2ea / 3.0m	↑ 3.0	신규손상
백태	1ea / 0.09㎡	1ea / 0.09㎡	- -	변동없음
고정볼트유실	5ea / 5ea	1ea / 1ea	↓ 4.0	물량변동
식생	2ea / 0.02㎡	2ea / 0.02㎡	- -	변동없음
차수판 변형	2ea / 2ea	2ea / 2ea	- -	변동없음
박리 및 박락	12ea / 6.06㎡	16ea / 14.19㎡	↑ 8.13	물량변동
파손	2ea / 0.17㎡	3ea / 0.27㎡	↑ 0.1	신규손상
도장박리	5ea / 270.0㎡	5ea / 270.0㎡	- -	변동없음

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 방호울타리에 발생한 균열(폭 0.3mm미만)은 대부분 시공초기 건조수축에 의해 발생한 균열로, 일부구간 균열부에 우수가 유입되어 백태가 발생한 것으로 조사되었다. 기 손상부는 주기적인 점검을 통한 주의관찰 후 손상의 진전시 표면처리 등의 적절한 조치를 취하는 것이 바람직하다.
- 그 외 발생한 균열(폭 0.3mm이상)의 경우 기존 균열부의 손상이 진전된 것으로 판단되며, 발생한 손상은 교량의 안전성 및 차량의 주행 안전성에 별다른 영향을 미치지 않는 손

상이나, 부재의 내구성 유지 및 손상진전 방지를 위한 주입보수 등의 보수를 실시하는 것이 바람직하다.

- 방호울타리 및 중앙분리대 연석에 발생된 박리 및 박락, 파손, 도장박리, 차수판 변형 등의 손상은 공용기간 증가에 의한 열화, 외부 충격, 시공미흡 등의 원인으로 인한 손상으로 주의관찰 후 손상의 진전시 적절한 조치를 취하는 것이 바람직하다.

3.3 콘크리트 내구성조사

3.3.1 개 요

가. 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(2017. 01, 국토해양부/한국시설안전공단)』에 근거하여 시험방법, 시험빈도 및 평가방법 등을 실시하였다.

나. 조사 현황 및 위치

1) 조사 현황

본 과업에서 콘크리트 내구성조사를 위해 콘크리트 강도시험(반발경도시험, 초음파전달속도시험), 철근탐사시험, 탄산화깊이 측정, 염화물함유량시험, 균열깊이 조사 등을 실시하였으며, 각 부재별 콘크리트 비파괴시험 현황은 다음과 같다.

【표 3.35】 콘크리트 비파괴시험 현황

항 목	기준수량		수 량(개소)				비 고
	상부구조(Steel BOX)	하부구조	기준		실시		
			상부	하부	상부	하부	
반발경도 시 험	• 철근콘크리트: 2개소/50m • 강합성교: 1개소/50m	• 1개소/연장50m • 교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	5	6	5	6	동일부위 시험
초음파 전달속도시 험	• 철근콘크리트: 2개소/50m • 강합성교: 1개소/50m	• 1개소/연장50m • 교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	5	6	5	6	
철근탐사 시 험	• 철근콘크리트: 2개소/50m • 강합성교: 1개소/50m	• 1개소/연장50m • 교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	5	6	5	6	
탄산화 깊이 측정	• 5경간 이내: 4~6개소 ¹⁾ • 5경간 이상: 6~9개소 ²⁾		4~6		2	4	
염화물 함유량시험	• 3개소 이상 ³⁾		3		1	2	
균열깊이 조 사	• 부재의 중요도를 고려하여 책임기술자의 판 단에 따라 수량 결정		-		-	2	C _w =0.3mm미만 균열

주1) 철근콘크리트 상부구조에서 최소 2개소 이상 실시

주2) 철근콘크리트 상부구조에서 최소 3개소 이상 실시

주3) 철근콘크리트 상부구조에서 최소 1개소 이상 실시

2) 내구성조사 위치 선정사유

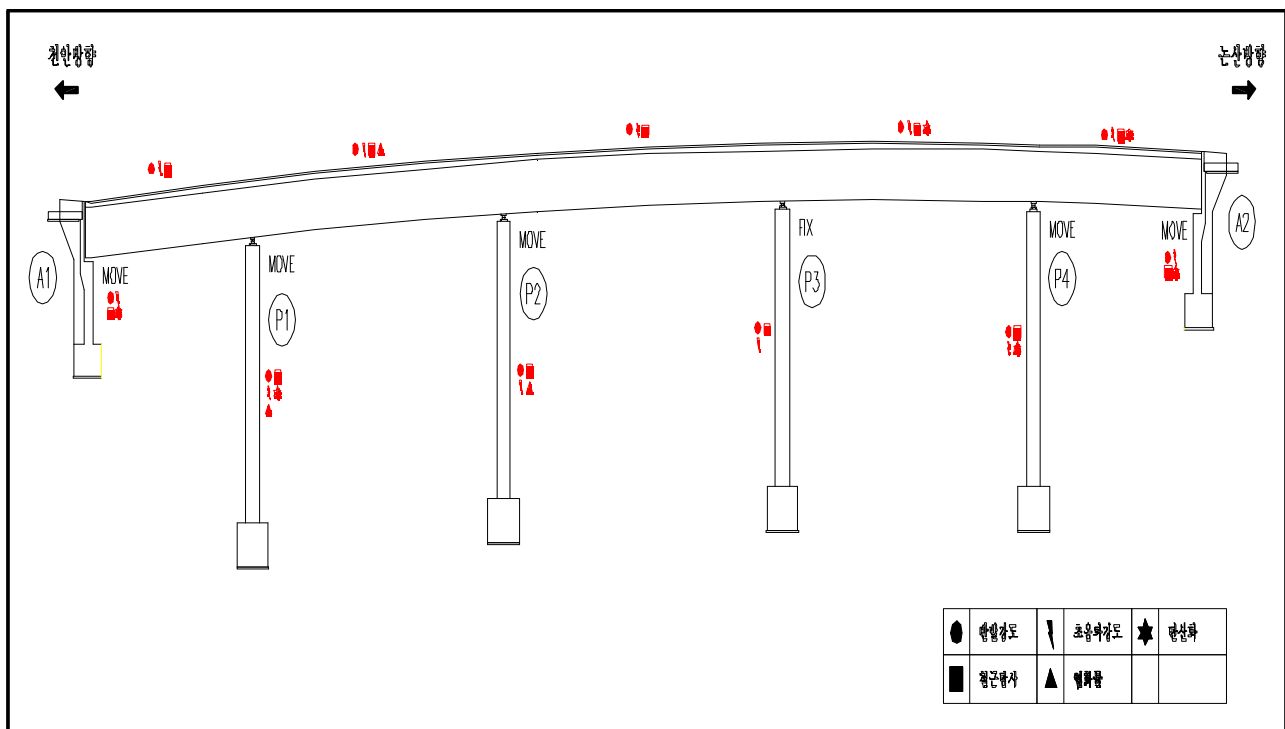
외관조사 결과에 따라 내구성의 상태 비교를 위하여 손상이 발생한 손상부와 손상이 발생하지 않은 건전부에 각각 시험을 실시하였으며 그에 따라 상부구조는 바닥판하면 캔틸레버에, 하부구조는 교각 기둥 하부측에 실시하였다.

3) 조사 사진



【사진 3.25】 콘크리트 내구성조사 전경

4) 콘크리트 내구성조사 위치도



【그림 3.4】 콘크리트 내구성조사 위치도

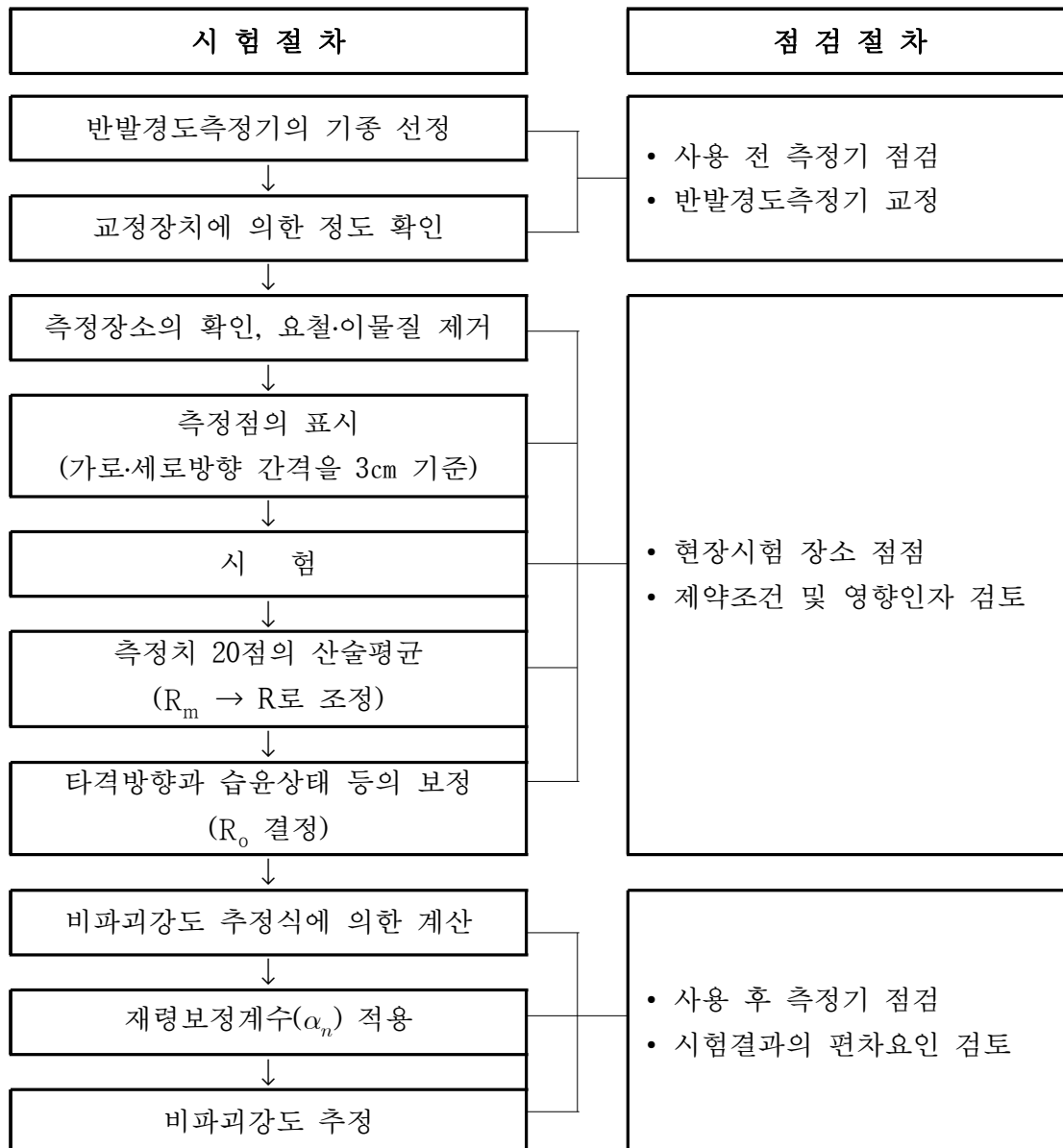
3.3.2 시험내용 및 평가기준

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 3.5】 반발경도시험 및 측정기 점검 등의 절차

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

② 보정반발경도(R_o)

【표 3.36】 보정반발경도(R_o)

◆ 보정반발경도 : $R_o = R + \Delta R_1 + \Delta R_2$

여기서, R : 반발경도

ΔR_1 : 타격방향에 따른 보정값

ΔR_2 : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값

㉠ 타격방향에 따른 보정값(ΔR_1)

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

α R	보 정 값			
	$+90^\circ$	$+45^\circ$	-45°	-90°
10	-	-	+2.4	+3.2
20	-5.4	-3.5	+2.5	+3.4
30	-4.7	-3.1	+2.3	+3.1
40	-3.9	-2.6	+2.0	+2.7
50	-3.1	-2.1	+1.5	+2.2
60	-2.2	-1.6	+1.3	+1.7

㉡ 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값(ΔR_2)

- 콘크리트는 함수율이 증가함에 따라 반발경도가 저하됨
- ⇒ 측정위치가 습하고 타격의 흔적이 보이는 경우 : $\Delta R_2 = +3$ 으로 보정
- 측정위치가 완전히 젖어 있는 경우 : $\Delta R_2 = +5$ 로 보정

③ 압축강도의 추정

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

【표 3.37】 기존의 비파괴강도 추정 제안식(반발경도시험)

구 분	추 정 식(MPa)	비 고
일본재료학회	$F_c = -18.0 + 1.27R_o$	금회 적용(식①)
동경 건축재료 검사소	$F_c = (10R_o - 110) \times 0.098$	-
일본건축학회	$F_c = (7.3R_o + 100) \times 0.098$	금회 적용(식②)
U.S Army	$F_c = (-120.6 + 8.0R_o + 0.0932R_o^2) \times 0.098$	-

※ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12, 국토해양부/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 표와 같으며, 3,000일 이상의 재령에 대해서는 0.63을 적용한다.

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

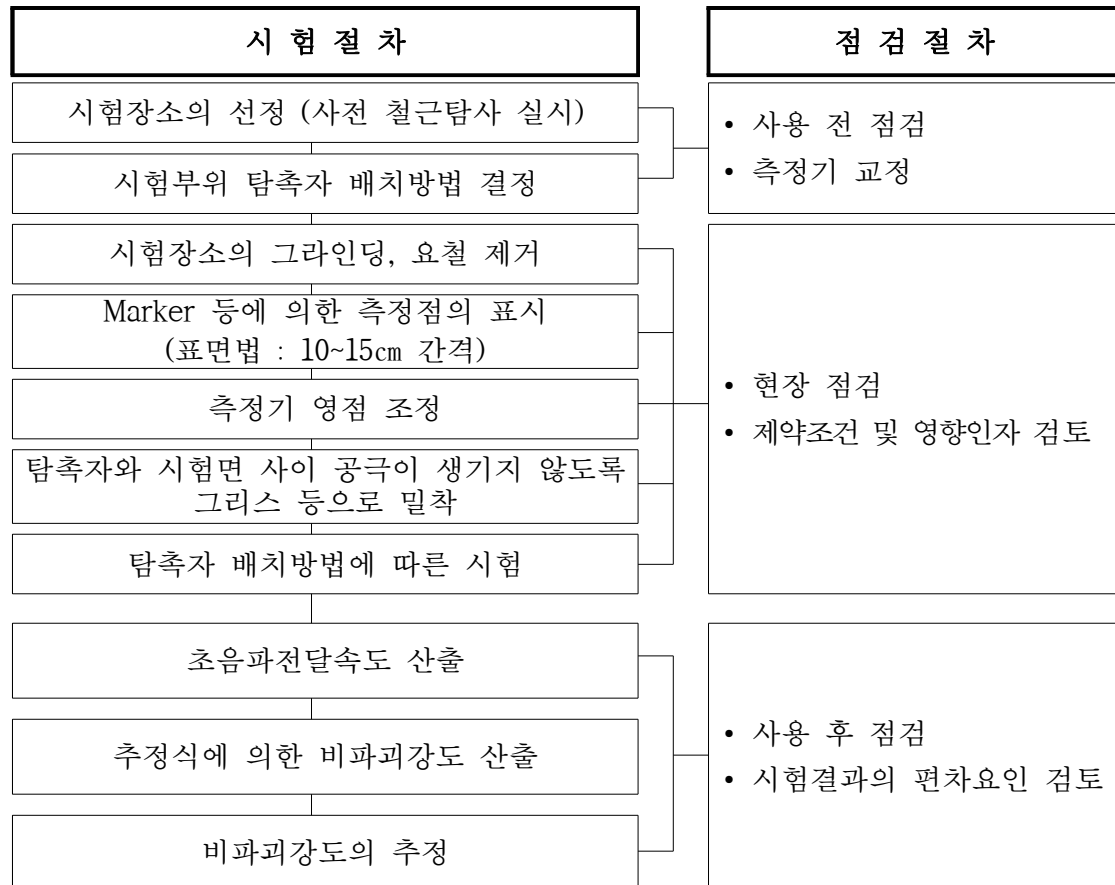
【표 3.38】 재령계수 α 값

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

2) 초음파전달속도시험

초음파의 투과속도가 콘크리트의 밀도 및 탄성계수에 따라서 변화하는 것을 이용하며, 이 투과속도로부터 콘크리트의 동적 특성, 강도, 균열상태 등을 추정하는 방법이다. 그러나, 강도 추정의 정확도는 높지 않으며, 일반적으로 콘크리트의 강도 및 품질 비교 또는 균열깊이를 판정하는 수단으로서 이 방법을 사용하고 있다.

① 초음파전달속도시험 및 측정기 점검 등의 절차



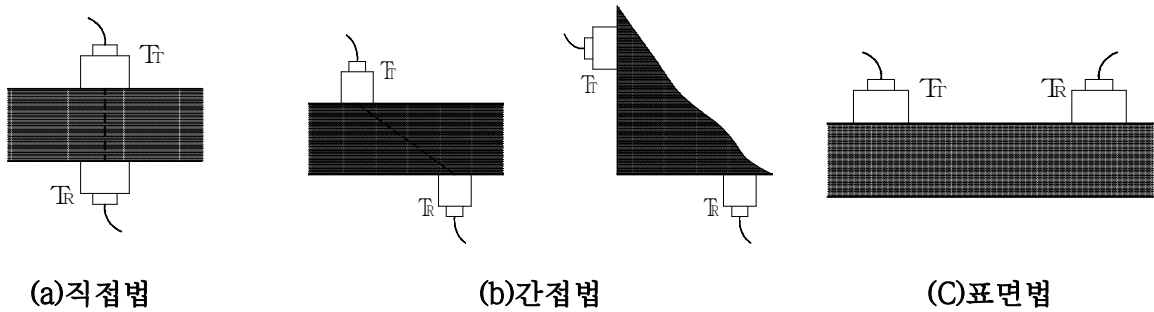
【그림 3.6】 초음파전달속도시험 및 측정기 점검 등의 절차

② 초음파전달속도시험에 의한 전달속도 분석

초음파전달속도를 결정하기 위해서는 재료에서 초음파가 전달되는 거리를 미리 측정하고 장비상에 나타난 초음파 전달시간을 측정한 후 아래 식에 의해서 구한다.

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

초음파전달속도시험을 위한 탐촉자의 배치방법으로는 직접법, 간접법 및 표면법이 있다.



【그림 3.7】 초음파전달속도시험을 위한 탐촉자 배치방법

표면법과 직접법에서 구한 초음파전달속도는 근사적으로 아래 식과 같은 관계가 있다.

$$V_d \approx 1.05 V_i$$

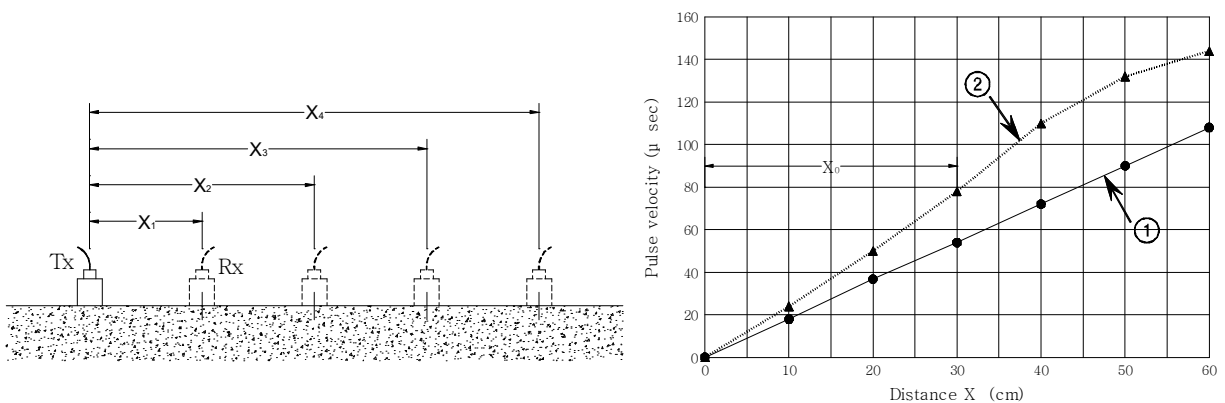
여기서, V_d : 직접법에 의한 초음파 속도

V_i : 표면법에 의한 초음파 속도

직접법과 표면법의 초음파전달속도는 재료의 종류, 배합, 함수율 등 여러 가지 원인으로 변동을 나타내고 있으며, 보편적으로 현장 콘크리트의 초음파전달속도 관계는 $V_d \approx 1.05 \sim 1.15 V_i$ 의 사이에 있다고 경험적으로 보고되고 있다.

보다 정확한 직접법과 표면법의 초음파전달속도의 관계를 파악하기 위해서는 표면법을 수행한 동일 조건의 구조물이나, 동일한 부위에서 채취한 코어의 종파(직접법) 속도를 측정하여 상관관계에 의해 환산하여 이용하는 방법이 바람직하다.

표면법은 등간격(100~150mm)으로 5점 이상의 측점을 정하고 초음파의 전달거리(X_i)에 따른 전달시간(T_i)을 측정하고, 최소자승법에 의해서 회귀직선식을 구하여 그 기울기를 전달속도(V_i)로 한다.



【그림 3.8】 표면법에 의한 초음파전달속도의 측정

회귀직선의 적정성 여부를 판단하기 위해서 회귀직선의 유의성(有意性)검정에 사용되는 결정계수(Coefficient of determination)를 다음 식에 의해서 계산한다.

$$r^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{(\sum (X_i - \bar{X})(T_i - \bar{T}))^2}{\sum (X_i - \bar{X})^2 \sum (T_i - \bar{T})^2}$$

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

③ 비파괴강도의 추정

본 과업에서는 r^2 값이 99% 이상이 되는 회귀직선식만을 사용하여 전달속도 V_i 를 계산하였다. 전달속도에 따른 콘크리트 압축강도의 추정을 위하여 초음파전달속도와 압축강도의 상관관계를 도출한 다음 식을 사용하였다.

【표 3.39】 기존의 비파괴강도 추정 제안식(초음파전달속도시험)

구 분	추 정 식(MPa)	비 고
일본건축학회	$F_c = (215 V_d - 620) \times 0.098$	금회 적용(식④)
일본토목학회	$F_c = (102 V_d - 117) \times 0.098$	금회 적용(식③)
한전기술연구원	$F_c = (339.1 V_d - 1107) \times 0.098$	-
谷川의 제안식	$F_c = (172.5 V_d - 499.6) \times 0.098$	-

※ V_d : 직접법에 의한 초음파전달속도(km/s)

※ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12, 국토해양부/한국시설안전공단) 참조

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

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 3.9】에 나타내었고, 콘크리트 중의 전자파 속도는 다음 식과 같다.

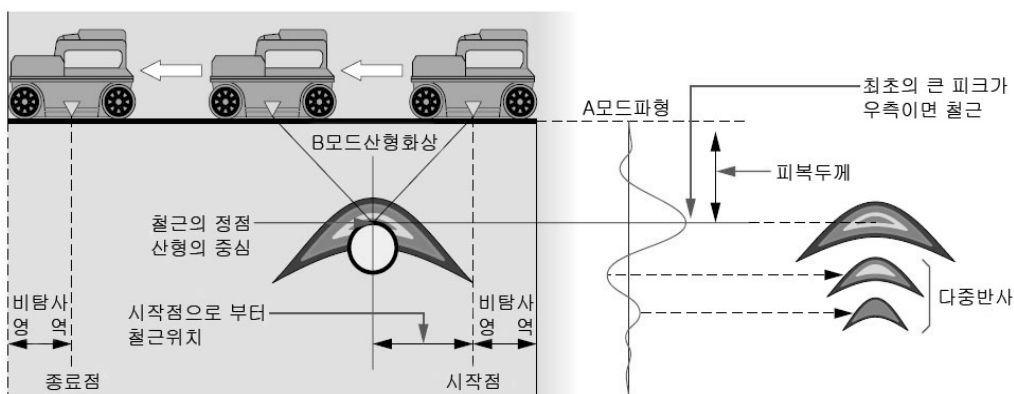
$$V = \frac{C}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{m/sec})$$

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.

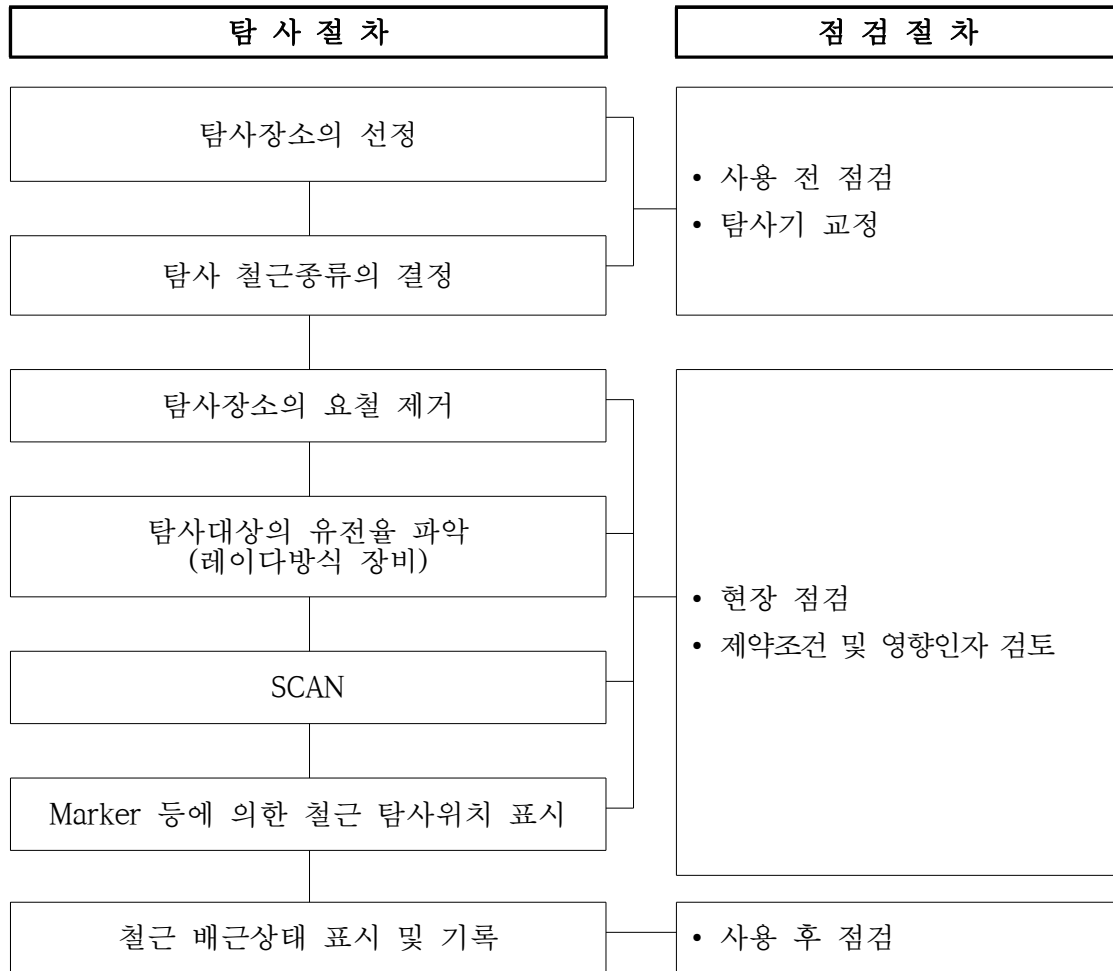
$$D = \frac{1}{2} V T \quad (\text{m})$$



【그림 3.9】 철근탐사 측정원리

3) 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차

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



【그림 3.10】 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차

4) 탐사조건 및 적용한계(RC Radar의 경우)

① 탐사조건

- 적용 가능한 조건
 - 탐사심도 200mm이내
 - 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
 - 100mm이하의 피치로 배근되어 있는 경우
 - 철근이 안테나의 진행방향과 평행인 경우

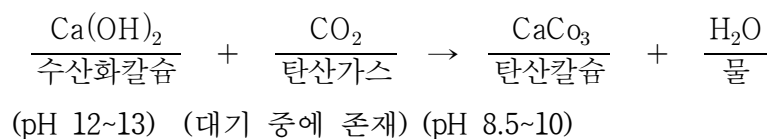
② 적용한계

- 탐사대상 물체의 표면에 금속 등 전파를 반사하는 것이 있고, 그 밑의 철근 등을 탐사하는 경우
- 철근이 안테나의 진행방향과 평행인 경우
- 비유전율에 따라 피복두께의 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. 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 기본적인 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 3.11】 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 3.40】 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

구분	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 3.40】 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인(계속)

구분	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.

$$\text{수명예측(년)} = (\text{철근피복} / \text{탄산화 속도계수})^2$$

$$\text{잔존수명예측(년)} = \text{수명예측년수} - \text{경과년수}$$

5) 평가기준

탄산화 상태평가 기준은 다음과 같다.

【표 3.41】 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	-	-

라. 염화물함유량시험

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 프레스 상태일 때 혼입하는 경우인데 이의 예로서는 ① 깨끗이 세척하지 않은 바다 모래의 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 강재 부식발생 한계농도는 콘크리트 단위용적당 양으로서 $0.3 \sim 1.2 \text{kg/m}^3$ 정도이고 이 값은 구조물의 설치 환경조건이나 강재부식 허용량 등의 조건에 따라서 다르다. 예를 들면, 미리 염화물을 혼입한 공시체에 의한 촉진시험 등에서는 $0.3 \sim 0.6 \text{kg/m}^3$ 정도이고 실제 환경의 노출실험에서는 $1.2 \sim 2.4 \text{kg/m}^3$ 정도로 되어 있다. 촉진시험과 실제 환경에서 얻어지는 한계농도의 차이는 시험 공시체와 실제 구조물의 덮개나 물-시멘트비의 차이 그리고 촉진시험 시에 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/m^3 을 강재 부식발생 한계농도로서 정하고 있다. 비록, 부식환경에 따른 전염화물량이 1.2kg/m^3 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/m^3 이하로 규정하며, 책임기술자의 승인이 있는 경우 0.6kg/m^3 까지 허용

② 콘크리트 구조설계기준(2007년)

【표 3.42】 염화물 평가기준(콘크리트 구조설계기준(2007))

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(2017. 01)

【표 3.43】 염화물 상태평가 기준(안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2017.01))

기 준	전염화물 이온량(kg/m^3)	철근부식의 가능성
a	• 염화물 $< 0.3 \text{kg/m}^3$	• 염화물에 의한 부식이 발생할 우려 없음
b	• $0.3 \text{kg/m}^3 < \text{염화물} \leq 1.2 \text{kg/m}^3$	• 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음
c	• $1.2 \text{kg/m}^3 < \text{염화물} \leq 2.5 \text{kg/m}^3$	• 향후 염화물에 의한 부식발생 가능성 높음
d	• 염화물 $\geq 2.5 \text{kg/m}^3$	• 철근 부식발생
e	-	-

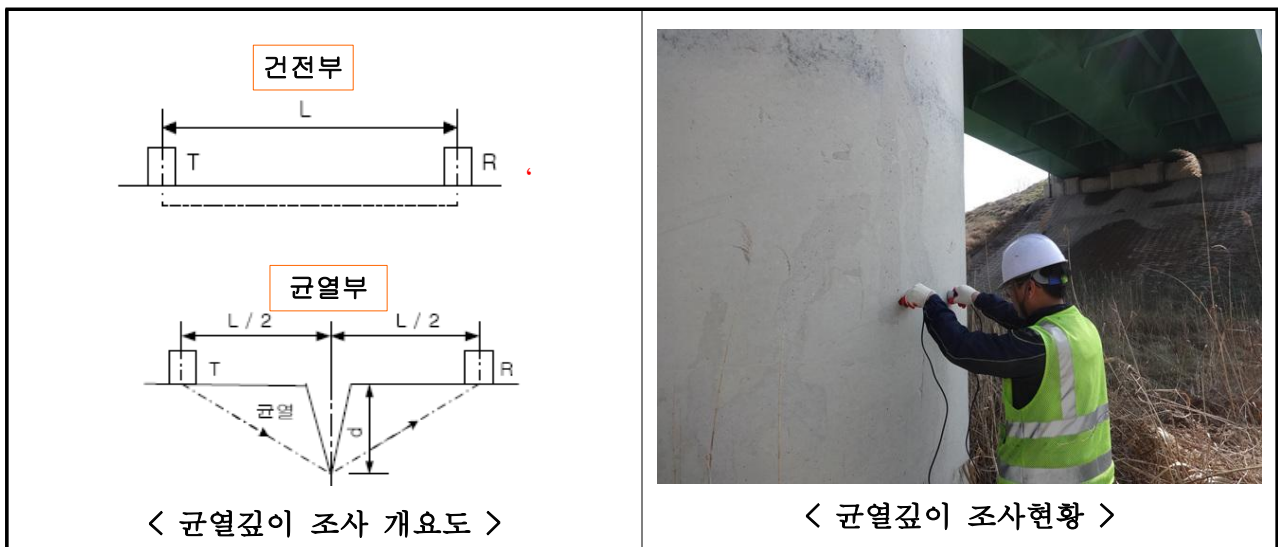
마. 균열깊이 조사

콘크리트 표면의 균열깊이는 일반적으로 T_c-T_0 법으로 구한다.

T_c-T_0 법은 콘크리트 부재의 균열부와 건전부에서 아래 그림과 같이 각각 측정하고, 양자의 데이터 비교에 의해 균열깊이를 산출하는 것이다. 본 방법에서는 균열부분을 중심으로 하여 송신탐촉자와 수신탐촉자를 등간격으로 배치한다. 송신탐촉자(T)로부터 발신된 종파초음파가 그림 중의 점선과 같이 콘크리트 내를 전파하고 균열 선단부를 경유해서 수신탐촉자(R)에 도달하기까지의 시간 T_c 를 구한다.

비교용으로서 같은 콘크리트 부재에서 균열이 없는 부분을 대상으로 송신탐촉자와 수신탐촉자의 거리 L 과 초음파가 전파하는 시간 T_0 를 구해 다음 식을 적용하여 균열깊이를 구한다. 본 과업에서는 $X=10\text{cm}$ 를 적용하였다.

$$d = \frac{L}{2} \sqrt{\frac{(T_c^2)}{(T_0^2)} - 1}$$



【그림 3.12】 T_c-T_0 법에 의한 탐촉자 배치 및 균열깊이 측정방법

3.3.3 시험결과 및 분석

1) 콘크리트 강도시험

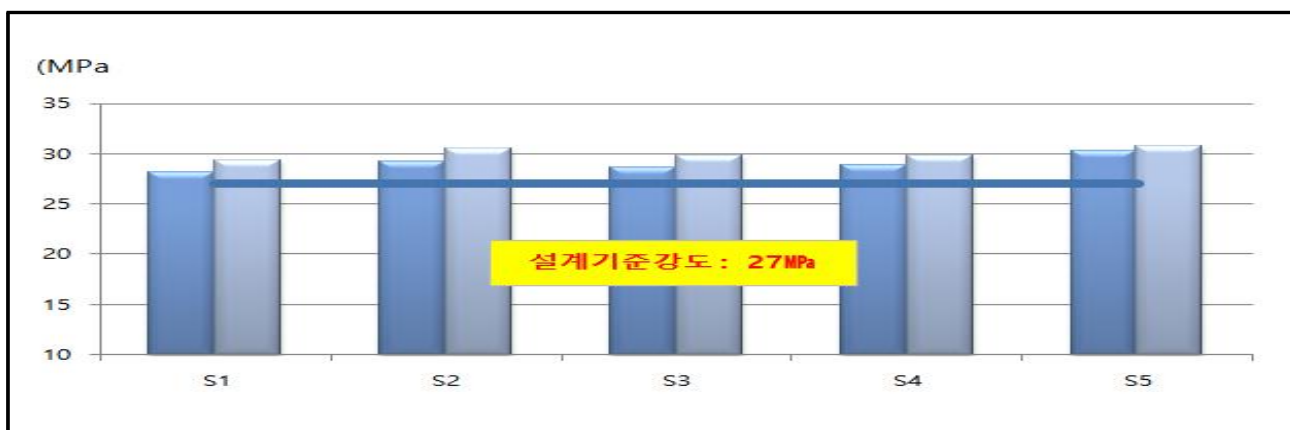
연무IC교의 콘크리트 비파괴강도시험은 상·하부구조에서 반발경도시험 11개소(상부구조:5개소, 하부구조:6개소) 및 초음파전달속도시험 11개소(상부구조:5개소, 하부구조:6개소)를 실시하였으며, 검토결과는 다음과 같다.

① 비파괴강도 시험결과

- 검토결과, 설계기준 대비 상부구조 : 110.3~115.6%, 하부구조 : 102.9~120.0%로 반발경도법에 의한 비파괴 추정강도는 모두 설계기준강도를 상회하는 양호한 것으로 측정되었다.
- 따라서, 금회 시험을 실시한 연무IC교 상부구조 및 하부구조에 대한 콘크리트 강도는 공용년수 경과에 따른 강도 저하는 없는 것으로 판단된다.

【표 3.44】 상부구조 콘크리트 비파괴강도 시험결과

시험위치	비파괴시험		반발경도법 (MPa)		초음파속도법 (MPa)		반발경도법 평균	초음파속도법 평균	설계기준 강도 (MPa)
	반발경도 (R_o)	초음파속도 (V_d)	식①	식②	식③	식④			
S1 캔틸레버	57.50	4.212	28.0	28.4	30.6	28.0	28.2	29.3	27.0
S2 캔틸레버	56.70	4.289	29.3	29.1	31.4	29.6	29.2	30.5	
S3 캔틸레버	58.60	4.245	28.6	28.6	31.0	28.7	28.6	29.9	
S4 캔틸레버	57.85	4.244	29.0	28.9	31.0	28.7	29.0	29.9	
S5 캔틸레버	57.45	4.311	30.7	29.9	31.6	30.1	30.3	30.9	
평 균			29.1	29.0	31.1	29.0	29.1	30.1	
표준편차			1.01	0.58	0.39	0.83	0.80	0.61	
변동계수			3.47	2.00	1.25	2.86	2.74	2.06	



【그림 3.13】 상부구조 평균압축강도 추정결과

【표 3.45】하부구조 콘크리트 비파괴강도 시험결과

시험위치	비파괴시험		반발경도법 (MPa)		초음파속도법 (MPa)		반발경도법 평균	초음파속도법 평균	설계기준강도 (MPa)
	반발경도 (R_o)	초음파속도 (V_d)	식①	식②	식③	식④			
A1 벽체	44.38	4.068	24.2	26.2	29.2	25.0	25.2	27.1	24.0
A2 벽체	44.18	4.079	24.0	26.1	29.3	25.2	25.1	27.3	
P1 코핑부	45.92	4.128	25.4	26.9	29.8	26.2	26.2	28.0	
P2 기둥부	46.23	4.139	25.6	27.0	29.9	26.4	26.3	28.2	
P3 기둥부	46.07	4.138	25.5	26.9	29.9	26.4	26.2	28.2	
P4 코핑부	45.72	4.137	25.2	26.8	29.9	26.4	26.0	28.2	
평균			25.0	26.7	29.7	25.9	25.9	27.8	
표준편차			0.70	0.40	0.33	0.65	0.55	0.49	
변동계수			2.80	1.50	1.11	2.51	2.15	1.81	



【그림 3.14】하부구조 평균압축강도 추정결과

【표 3.46】비파괴강도 시험결과 분석

구 분	시험방법	평균강도(A)	설계기준강도(B)	A/B×100(%)
상부구조	반발경도법	28.2 ~ 30.3	27.0	104.4 ~ 112.2
	초음파속도법	29.3 ~ 30.9		108.5 ~ 114.4
하부구조	반발경도법	25.1 ~ 26.3	24.0	104.6 ~ 109.5
	초음파속도법	27.1 ~ 28.2		112.9 ~ 117.5

② 기 진단결과와의 비교·분석

【표 3.47】기 진단결과와의 시험결과 비교·분석

구 분	시험방법	2013년 정밀안전진단	2018년 정밀안전진단
상부구조	반발경도법	27.6 ~ 27.4	28.2 ~ 30.3
	초음파속도법	27.2 ~ 27.7	29.3 ~ 30.9
하부구조	반발경도법	24.3 ~ 25.3	25.1 ~ 26.3
	초음파속도법	24.1 ~ 24.9	27.1 ~ 28.2

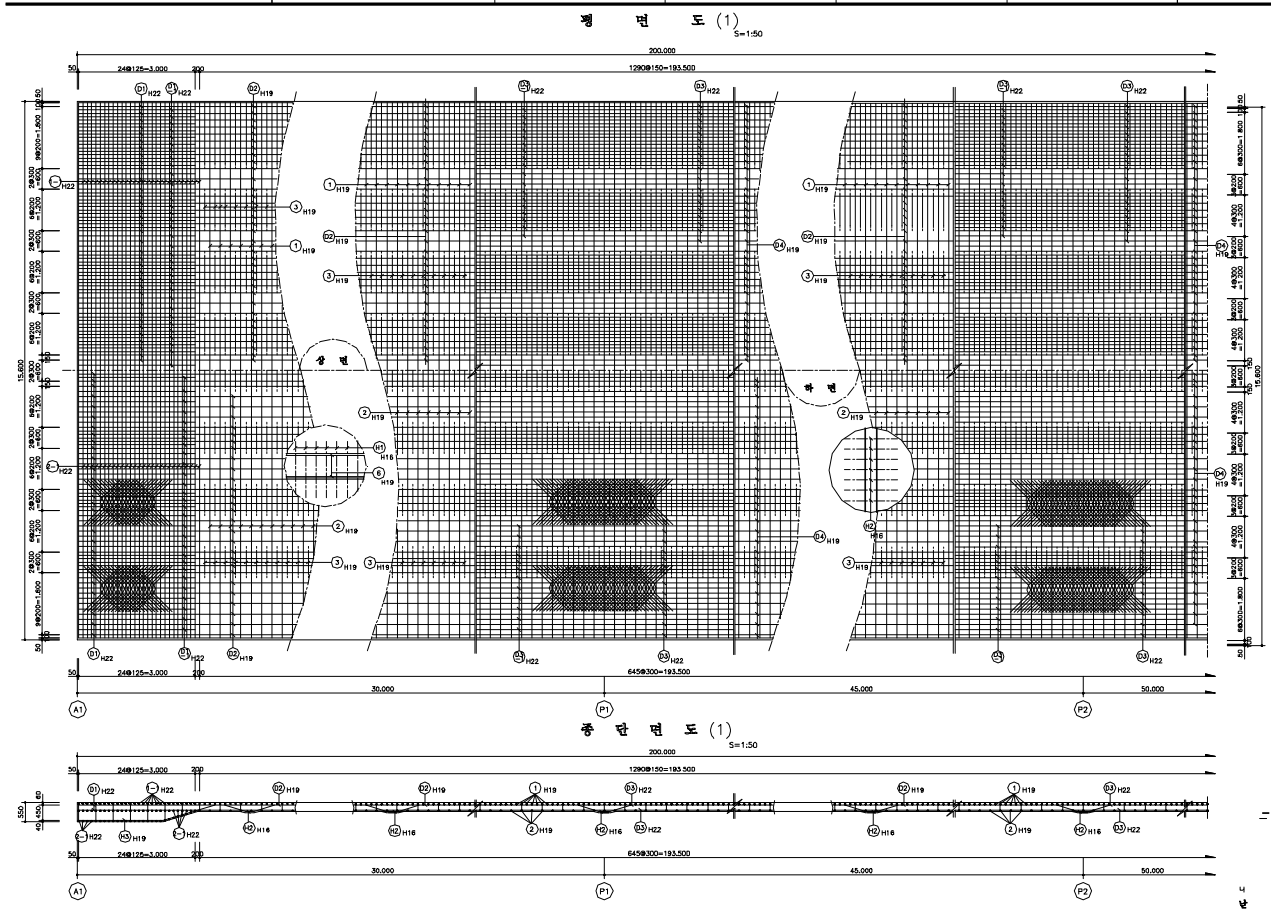
3) 철근탐사시험

철근탐사기(RC-Radar)를 이용한 철근탐사시험은 총 11개소(상부구조 5개소, 하부구조 6개소)에서 실시하였으며, 철근탐사시험 결과, 측정된 배근간격 및 피복두께는 미소한 차이는 있으나 전반적으로 설계도면에 준하여 시공된 것으로 확인되었다.

① 철근탐사 시험결과

【표 3.48】 상부구조 철근탐사 시험결과

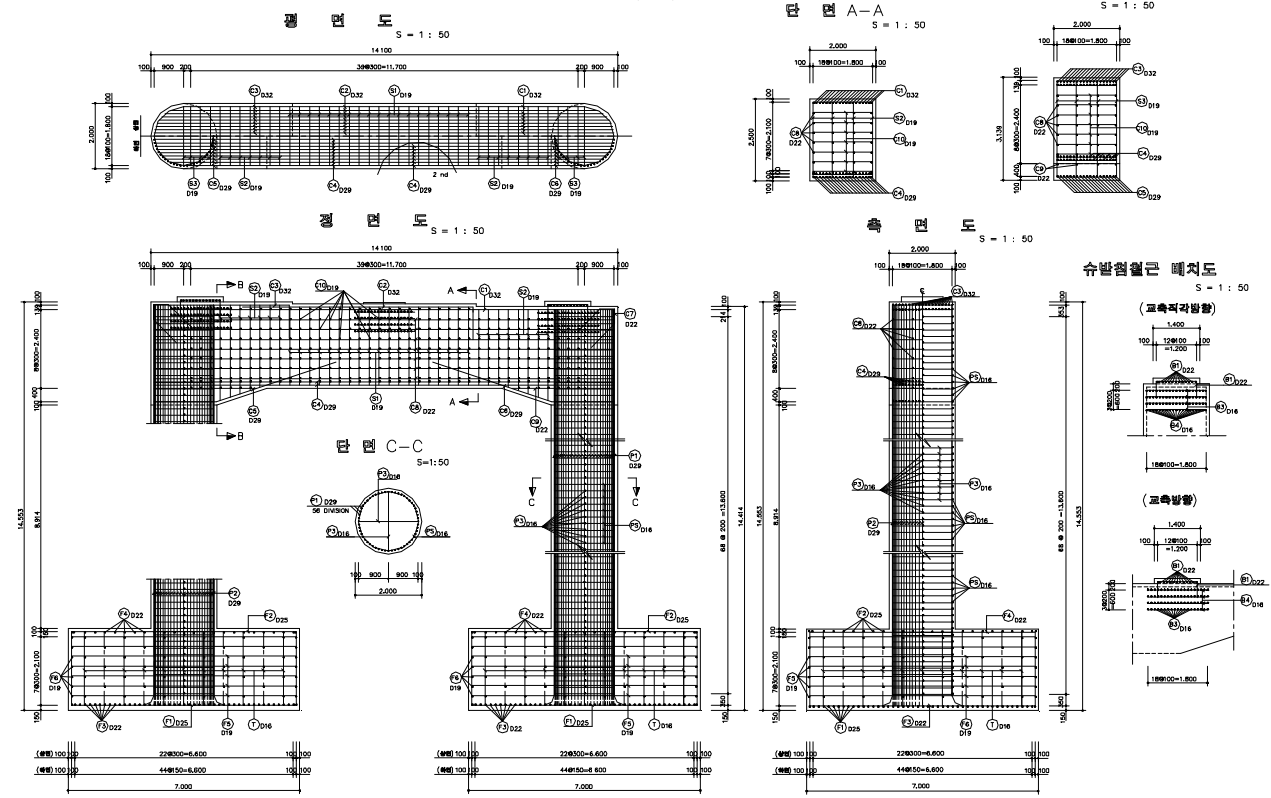
시험위치	철근종류	측정치(mm)		설계치(mm)		비 고
		배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
S1 캔틸레버	주철근	145	86	150	40	양호
	배력철근	293	36	300	40	양호
S2 캔틸레버	주철근	145	86	150	40	양호
	배력철근	303	41	300	40	양호
S3 캔틸레버	주철근	138	84	150	40	양호
	배력철근	291	33	300	40	양호
S4 캔틸레버	주철근	135	82	150	40	양호
	배력철근	300	44	300	40	양호
S5 캔틸레버	주철근	140	84	150	40	양호
	배력철근	315	38	300	40	양호



【표 3.49】 하부구조 철근탐사 시험결과

시험위치	철근종류	측정치(mm)		설계치(mm)		비 고
		배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
A1 벽체	수직철근	140	84	150	50	양호
	수평철근	159	76	150	50	양호
A2 벽체	수직철근	297	67	300	100	양호
	수평철근	140	91	150	100	양호
P1 기둥부	수직철근	100	103	100	100	양호
	수평철근	191	103	200	100	양호
P2 기둥부	수직철근	98	89	100	100	양호
	수평철근	200	65	200	100	양호
P3 기둥부	수직철근	100	89	100	100	양호
	수평철근	200	61	200	100	양호
P4 기둥부	수직철근	93	79	100	100	양호
	수평철근	200	76	200	100	양호

(P1)



② 기 진단결과와의 비교

【표 3.50】 기 진단결과와의 시험결과 비교·분석

구 분	2013년 정밀안전진단		2018년 정밀안전진단	
	배근간격	피복두께	배근간격	피복두께
상부구조	118 ~ 308	44 ~ 85	135 ~ 315	36 ~ 86
하부구조	96 ~ 308	85 ~ 133	93 ~ 297	61 ~ 103

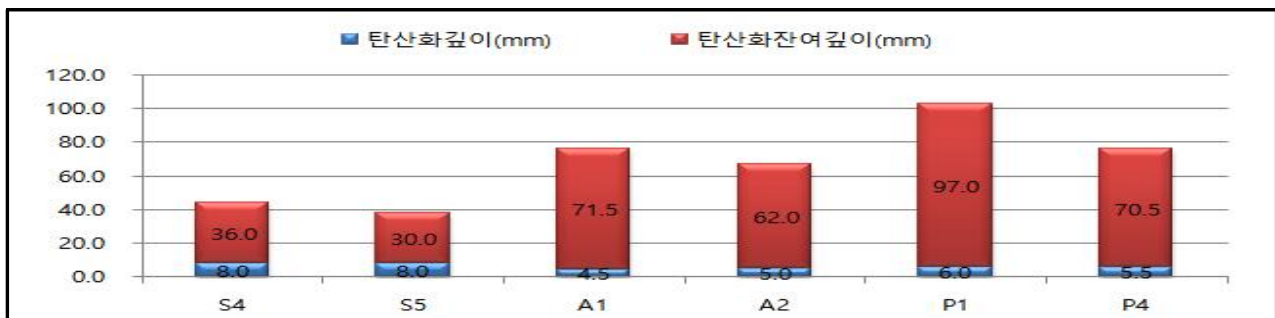
4) 탄산화 깊이 측정

탄산화 깊이 측정은 총 6개소(상부구조 2개소, 하부구조 4개소)에서 실시하였다. 실측한 최소 피복두께와 탄산화 깊이를 비교한 결과, 탄산화에 의해 철근부식 우려가 적은 “a등급”으로 평가되었다.

① 탄산화 깊이 측정결과

【표 3.51】 탄산화 깊이 측정결과 및 평가

시험위치	탄산화 깊이 (mm)	실측 피복두께 (mm)	탄산화 잔여깊이 (mm)	탄산화 속도계수 (A)	잔존 수명 (년)	평가 등급	비 고
S4 캔틸레버	8.0	44.0	36.0	1.94	100년이상	a	양호
S5 캔틸레버	8.0	38.0	30.0	1.94	100년이상	a	양호
A1 벽체	4.5	76.0	71.5	1.09	100년이상	a	양호
A2 벽체	5.0	67.0	62.0	1.21	100년이상	a	양호
P1 기둥부	6.0	103.0	97.0	1.46	100년이상	a	양호
P4 기둥부	5.5	76.0	70.5	1.33	100년이상	a	양호



【그림 3.15】 탄산화 깊이 측정결과

② 기 진단결과와의 비교

【표 3.52】 기 진단결과와의 시험결과 비교·분석

구 분	2013년 정밀안전진단 잔여깊이(mm)	2018년 정밀안전진단 잔여깊이(mm)
상부구조	39.0 ~ 46.0	30.0 ~ 36.0
하부구조	89.0 ~ 93.0	62.0 ~ 97.0

4) 염화물함유량 시험

염화물함유량 시험은 총 3개소(상부구조 1개소, 하부구조2개소)에서 깊이별 시험을 실시하였으며, 그 결과 신축이음 하부 누수가 발생하는 구간에서 a등급으로 평가되었으며, 그 외 전전부 구간에서 a~b등급으로 평가되었다.

【표 3.53】 염화물 함유량 시험결과 및 평가

시험위치		실측 피복두께 (mm)	염화물 함유량		평가 결과	비 고
			Cl ⁻ (%)	Cl ⁻ (kg/m³)		
상부 구조	S2 캔틸레버하면 (건전부)	41	0.0013	0.0294	a	
하부 구조	P1 기둥부 (건전부)	103	0.0005	0.0113	a	
	P2 기둥부 (건전부)	65	0.0014	0.0317	a	

※ 콘크리트 환산 염화물 함유량(kg/m³) = 전 염화물 함유량(Cl⁻%) / 100 × 콘크리트 단위중량(2,263kg/m³)



【그림 3.16】 염화물시험 측정결과

② 기 진단결과와의 비교

【표 3.54】 기 진단결과와의 시험결과 비교·분석

구 분	2013년 정밀안전진단 Cl ⁻ (kg/m ³)	2018년 정밀안전진단 Cl ⁻ (kg/m ³)
상부구조	0.113	0.0294
하부구조	0.113	0.0113 ~ 0.0317

5) 균열깊이 측정결과

균열깊이측정을 위해 현장외관조사 시 확인된 폭 0.3mm미만 균열을 선정하였으며, 초음파 속도를 이용하여 균열깊이 측정을 실시하였다.

균열깊이 측정결과, 폭 0.3mm미만 균열의 균열깊이는 철근피복두께를 초과하지 않은 것으로 분석되었다. 이에 주기적인 점검을 통한 주의관찰 후 손상의 진전 시 표면처리 등의 조치를 취하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

【표 3.55】 균열깊이 조사결과

시험위치	균열폭 (mm)	초음파 전달시간 ($\times 10^{-6}$ sec)		균열깊이 (mm)	피복두께 (mm)	비 고
		건전부 (To)	균열부 (Tc)			
A2 벽체	0.2	73.2	78.7	59	76	

3.3.4 내구성조사 결과요약

【표 3.56】금회진단 내구성조사 결과요약

시 험 명	시험부위		시험 결과		비 고
			평균	설계	
비파괴 강도 (MPa)	상부 구조	반발경도	28.2 ~ 30.3	27.0	■ 설계기준강도를 상회하는 양호한 것으로 나타나 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨.
		초음파	29.3 ~ 30.9	27.0	
	하부 구조	반발경도	25.1 ~ 26.3	24.0	■ 설계기준강도를 상회하는 양호한 것으로 나타나 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨.
		초음파	27.1 ~ 28.2	24.0	
철근탐사 (mm)	상부 구조	배근간격	135 ~ 315	150 ~ 300	■ 전반적으로 철근간격 및 피복두께가 설계값과 근사함.
		피복두께	36 ~ 86	40	
	하부 구조	배근간격	93 ~ 297	100 ~ 300	
		피복두께	61 ~ 103	50 ~ 100	
탄산화 잔여깊이 (mm)	상부구조		30.0 ~ 36.0		■ 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 없는 것으로 검토됨.
	하부구조		62.0 ~ 97.0		
염화물 함유량 시험 (kg/m³)	상부구조		0.0294		■ 염화물에 의한 철근의 부식이 발생할 우려는 없는 것으로 평가됨.
	하부구조		0.0113 ~ 0.0317		
종합 평가	- 비파괴강도 측정결과, 측정값은 설계기준강도를 상회하는 것으로 조사되었으며, 공용년수 경과에 따른 구조물의 강도저하는 없는 것으로 평가됨. - 탄산화 깊이 측정결과, 전 개소에서 상태평가 “a” 로 검토되어 양호한 상태로 판단됨. - 염화물 함유량의 경우 a등급으로 평가되었으므로, 염화물에 의한 철근의 부식이 발생할 우려는 없는 것으로 평가됨.				

3.4 강재 내구성 조사

3.4.1 개 요

가. 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.

나. 조사 현황 및 위치

1) 조사 현황 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, 국토해양부/한국시설안전공단)』 참조)

연무IC교는 약 10년 정도의 공용기간이 경과한 상태로 현재 강재 용접부에 문제가 될 만한 용접결함이 없는 양호한 상태로 조사되어 상기 언급한 과업지시서 및 세부지침에 따라 책임기술자의 판단 하에 필렛용접구간의 시험은 실시하지 않았으며, 인장 및 교번구간의 하부플랜지 맞대기이음부에 대해서 초음파탐상시험을 실시하였다.

【표 3.57】 강재 비파괴시험 현황

조사위치		초음파탐상시험	도막두께측정	비고
S1	G1	2	3	
	G2	2	3	
	G3	2	3	
S2	G1	2	3	
	G2	2	3	
	G3	2	3	
S3	G1	2	3	
	G2	2	3	
	G3	2	3	
S4	G1	2	3	
	G2	2	3	
	G3	2	3	
S5	G1	2	3	
	G2	2	3	
	G3	2	3	
합 계		30	45	
세부지침 기준수량		30	-	

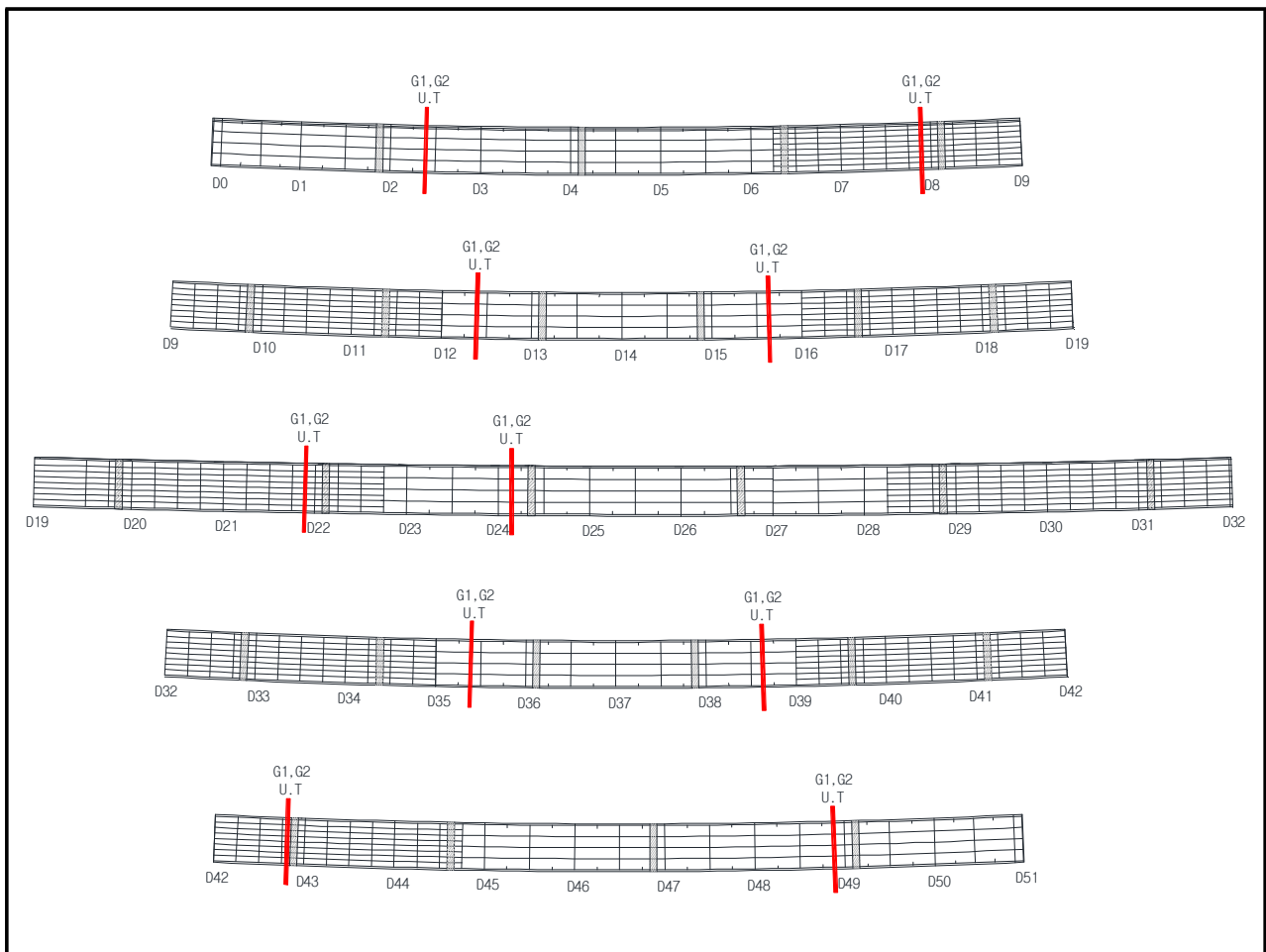
※ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 상 기준수량(강재 초음파탐상시험) : 2개소/경간별 거더(맞대기 용접부)

2) 조사 사진



【사진 3.26】 강재 내구성조사 전경

3) 강재 내구성조사 위치도



【그림 3.17】 강재 내구성조사 위치도

3.4.2 시험내용 및 평가기준

가. 초음파탐상시험(UT : Ultrasonic Testing)

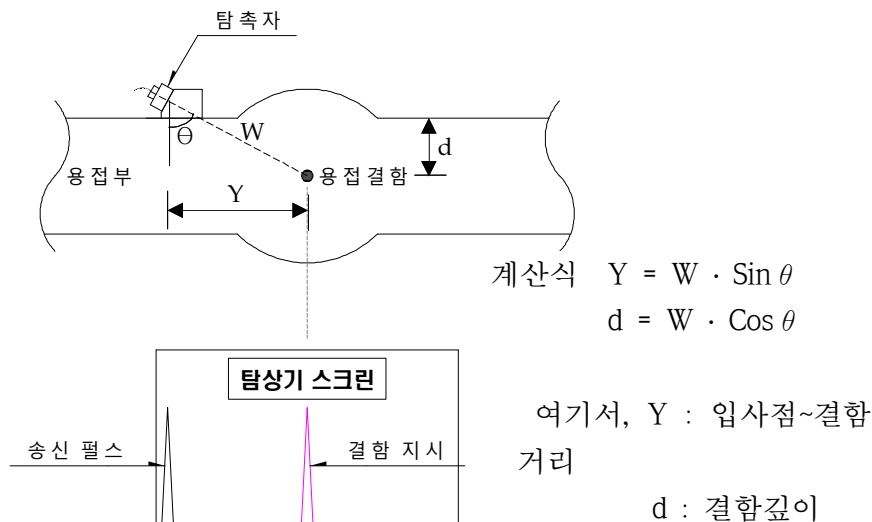
1) 개 요

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, 용합불량, 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 결함 종류 및 길이 등을 측정한다.



【그림 3.18】 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 3.58】결함의 등급 분류

영역 판두께(mm)	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, 건설교통부) 참조

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

5) 판정기준

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

【표 3.59】용접부 결함의 합·부 판정기준

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

나. 강재 도막두께 측정(Dry Film Thickness Measurement)

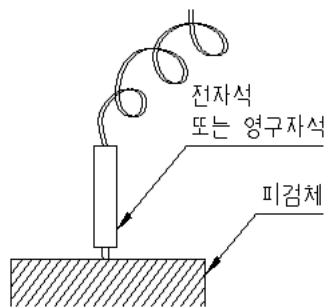
1) 개 요

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.

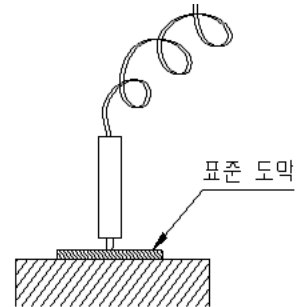
측정은 강박스 거더의 내부와 외부로 구분하였으며, 한 개소당 3회씩 측정하여 평균값을 도막두께로 취하였다.

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 3.19】 Gauge 영점조정



【그림 3.20】 Gauge 초기화(Calibration)

상기 그림과 같이 도막이 도포되지 않은 피검체(자성체)에 전자석 또는 영구자석을 접촉시켜 지시계의 눈금을 영점(Zero) 조정한다. 영점 조정 후 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

본 교량의 강재도장은 도로교 표준시방서의 시공 및 유지 관리편의 규정과 강구조물의 방청 도장공사 시방('96. 6. 한국도로공사)에 따라 시공된 것으로 확인되었다.

따라서 금회 진단시 평가는 준공당시 시방기준과 현 시방기준인 『도로교 표준시방서 (2013)』의 일반환경용 중박식 도장)기준을 비교·평가하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

【표 3.60】일반환경용 중방식 도장(공사시방서)

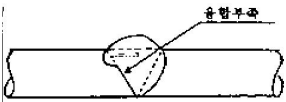
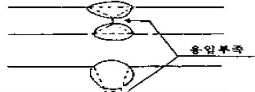
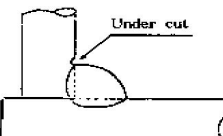
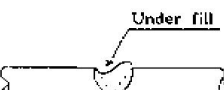
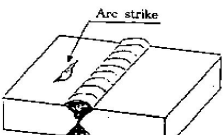
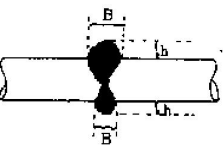
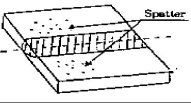
도장부위	표면처리	도장순서	도료형태	건조도막 두께(μm)
거더 외부	준 나금속블라스트 세정(SA 2.5)	1차	무기질계 도료	50
		2차	염화고무계 중도	60
		3차	염화고무계 상도	30
		4차	염화고무계 상도	30
		계		170
거더 내부	준 나금속블라스트 세정(SA 2.5)	1차	무기질계 도료	100~150
		계		150

【표 3.61】일반환경용 중방식 도장(현 시방기준)

구 분	도장 계열	공 정	현 시방기준		도장 횟수
			도료명칭 또는 방법	도막두께(μm)	
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	80	1
			제3층 고고분형 에폭시계 도료		1
		공장/ 현장도장	제4층 우레탄계 도료	30	1
			제5층 우레탄계 도료	30	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	100	1
			제3층 고고분형 에폭시계 도료		1
		계		175	

3.4.3 용접부에 발생하는 대표적인 결함

【표 3.62】 용접부에 발생하는 대표적인 결함

결함내용	설명	비고
균열 Crack	용접부의 작은 단면에 걸리는 하중이 금속의 응력값을 초과할 때 발생. 균열은 모재나 용접금속에서도 나타나며 다른 결함, Notch 등과 함께 나타나기도 함	
용합부족(LF) Lack of fusion	그림과 같이 용접금속과 모재 사이가 완전하게 용합이 되지 아니한 상태	
용입부족(IP) Incomplete Penetration	그림과 같이 용접금속의 두께가 모재 두께 보다 적게 용입이 이루어진 상태	
언더 컷 Under cut	용접사 기량 또는 용접조건 불량 등의 원인에 의하여 그림과 같이 움푹 패인 형상으로, 도로교 표준시방서 15.3.3의 (12)에 의하면 0.3~0.8mm 까지 허용됨	
언더 필 Under fill	용접금속이 덜 채워진 형상	
아크 스트라이크 Arc strike	용접을 시작할 때 용접봉을 모재쪽에 대고 Arc를 발생시킴으로 인하여 모재가 움푹 패인 현상으로 응력집중의 원인이 됨	
기공 Porosity	이물질이나 수분에 의해 용접부 내부에 가스가 발생되어 용접금속 외부로 빠져 나오지 못하고 내부에서 기포를 형성한 상태	
블로 홀 Blow hole (Pit)	이물질이나 수분에 의해 발생된 가스가 용접비드 표면에 빠져 나오면서 발생된 작은 구멍	
용접Bead 상태불량 -과대한 용접 덧붙임 -Bead 표면의 과대한 요철	도·시(표 15.3.7)에 의하면 용접 Bead 폭 B에 따라 용접 덧붙임 높이 h값이 규정되어 있으며, 이 규정을 초과하는 덧붙임, 용접 Bead 표면의 과대한 요철 등이 발생	
스패터 Spatter	용접시 용융 Pool로부터 모재쪽으로 튀겨 나온 조그마한 금속 알갱이	
슬래그 혼입 Slag Inclusion	용접봉 피복 등이 용접금속 내에 혼입된 상태. 용접 내부의 슬래그는 강도를 저하시키며, 표면의 슬래그는 도장 박리의 원인이 됨	

3.4.4 시험결과 및 분석

가. 초음파탐상시험

초음파탐상시험으로 강박스 거더의 맞대기 용접부에 대해 용접상태를 검사한 결과, 전 개소에서 균열, 기공, 슬래그 및 용입부족 등의 내부결함이 없는 1등급(합격)으로 조사되었다.

【표 3.63】 초음파탐상(UT) 시험결과

시험위치	모재두께	각도	위치		결함발생 현황	등급	합격여부		비 고
			x	y			합격	불합격	
S1 - 주형1 - W2	16+14	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S1 - 주형1 - W3	14+22	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S1 - 주형2 - W1	12+16	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S1 - 주형2 - W2	16+14	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S1 - 주형3 - W1	12+16	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S1 - 주형3 - W3	14+22	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S2 - 주형1 - W2	16+18	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S2 - 주형1 - W3	18+22	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S2 - 주형2 - W1	22+16	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S2 - 주형2 - W3	18+22	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S2 - 주형3 - W2	16+18	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S2 - 주형3 - W4	22+28	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S3 - 주형1 - W2	22+20	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S3 - 주형1 - W3	20+22	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S3 - 주형2 - W1	28+22	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S3 - 주형2 - W3	20+22	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S3 - 주형3 - W2	22+20	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S3 - 주형3 - W4	22+28	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S4 - 주형1 - W2	22+18	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S4 - 주형1 - W3	18+16	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		

주) 합격기준 : 2급 이상(인장 및 교번하중 작용부재), 3급 이상(압축 및 전단응력 작용부재)

【표 3.63】 초음파탐상(UT) 시험결과(계속)

시험위치	모재두께	각도	위치		결함발생 현황	등급	합격여부		비 고
			x	y			합격	불합격	
S4 - 주형2 - W1	28+22	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S4 - 주형2 - W3	18+16	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S4 - 주형3 - W2	22+18	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S4 - 주형3 - W4	16+22	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S5 - 주형1 - W1	22+14	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S5 - 주형1 - W3	16+12	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S5 - 주형2 - W1	22+14	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S5 - 주형2 - W2	14+16	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S5 - 주형3 - W2	14+16	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		
S5 - 주형3 - W3	16+12	70	0	1890	결함지시 없음	1	V		

주) 합격기준 : 2급 이상(인장 및 교번하중 작용부재), 3급 이상(압축 및 전단응력 작용부재)

나. 강재 도막두께 측정결과

도막두께 측정결과, 실측도막두께(외부 221~230 μ m, 내부 186~194 μ m)가 표준도막두께(외부 215 μ m, 내부 175 μ m)를 모두 상회하는 것으로 조사되어 양호한 상태로 측정되었다.

【표 3.64】 강재 도막두께 측정결과

시험위치		실측 도막두께(μ m)			평균 (μ m)	평 가
		1회	2회	3회		
S1	G1-RW(내부)	201	191	180	191	양호
	G2-LW(외부)	240	221	214	225	양호
	G3-LW(외부)	231	215	217	221	양호
S2	G1-RW(내부)	200	189	192	194	양호
	G2-LW(외부)	230	224	234	229	양호
	G3-LW(외부)	221	218	231	223	양호
S3	G1-RW(내부)	194	184	197	192	양호
	G2-LW(외부)	234	221	231	229	양호
	G3-LW(외부)	221	241	218	227	양호
S4	G1-RW(내부)	197	170	191	186	양호
	G2-LW(외부)	215	231	239	229	양호
	G3-LW(외부)	232	231	218	227	양호
S5	G1-RW(내부)	194	171	195	187	양호
	G2-LW(외부)	241	221	227	230	양호
	G3-LW(외부)	220	242	224	229	양호

3.5 현장조사 및 시험 결과요약

3.5.1 현장조사 결과

가. 금회 진단외관조사 결과요약

【표 3.65】금회 진단 외관조사 결과 요약

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
바닥판	- 일부구간 국부적인 균열 발생 - 우수유입 및 외부충격에 따른 바닥판 들뜸 및 백태 발생	- 건조수축, 수화열에 의한 균열로서 주의관찰 후 진전 시 조치를 취하는 것이 바람직함 - 단면손상 부 손상의 진전 시 단면 보수 등의 조치를 취하는 것이 바람직함
강박스 거더	- 구조적 손상은 발생하지 않은 양호한 상태 - 장기공용으로 인한 열화 등의 원인으로 도장박리 및 부식 발생	- 도장박리 및 부식 부 손상의 진전 방지를 위한 재도장 등의 조치가 필요함
가로보 및 세로보	- 전반적으로 양호한 상태 - 일부 구간 부식 발생	- 당초 전처리 미흡에 의해 발생한 것으로 판단되며, 손상의 진전 방지를 위한 재도장 등의 조치가 필요함
교대	- 신축이음 우수유입에 의해 들뜸 및 박락 발생 - 폭 0.1~0.3mm 수직균열 발생	- 들뜸 및 박락의 경우 손상의 진전 방지를 위한 단면보수 등의 조치가 필요함 - 균열의 경우 건조수축에 의한 것으로 폭 0.3mm이상의 경우 손상의 진전 방지를 위한 주입보수 등의 조치가 필요함
교각	- 폭 0.1~0.2mm 수직균열 발생	- Massive한 단면에 발생하는 온도 균열과 건조수축에 의한 균열로서 균열폭에 따라 적절한 보수 실시

【표 3.65】금회 진단 외관조사 결과 요약(계속)

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
교량받침	- 전반적으로 양호한 상태로 조사됨 - 일부구간 받침부식이 발생됨	- 장기공용 및 우수유입 등에 의한 것으로 손상 진전 방지를 위한 재도장 등의 조치가 필요함
신축이음장치	- 본체 유간 토사퇴적 및 부식 발생 - 후타재 폭 0.3mm미만 균열, 박락	- 손상 정도가 경미하여 주의관찰 후 손상의 진전 시 녹제거, 청소, 단면보수 등의 조치를 취하는 것이 바람직함
교면포장	- 상태 양호	- 손상이 없는 양호한 상태로 주기적인 점검을 통한 신규 손상 발생 파악 등의 유지관리가 필요함
배수시설	- 상태 양호	- 손상이 없는 양호한 상태로 주기적인 점검을 통한 신규 손상 발생 파악 등의 유지관리가 필요함
난간 및 연석	- 폭 0.1~0.3mm 균열 발생	- 폭 0.3mm이상 균열부 진전 방지를 위한 주입보수 등의 조치가 필요함

나. 기 진단(2013년 정밀안전진단) 결과와의 비교

【표 3.66】 기 진단 외관조사 결과 비교

구 분	2013년 진단결과	금회 진단결과	비 고
바닥판	• 캔틸레버 균열, 지점측 박락, 층분리	• 균열 및 단면손상부에 대해 일부 보수가 실시되었으며 금회 조사된 균열은 미보수 및 추가 발생된 균열이며 지점부 들뜸이 추가 조사됨	
거더, 가로보 및 세로보	• 국부적인 도장 박리, 부식이 조사됨	• 기 점검 이후 도장손상의 추가 발생과 점부식, 거더 내부 우수유입흔적이 추가로 조사됨	
하부구조	• 폭 0.3mm 내·외 균열과 재균열 발생 • 교대 사면부 함몰 발생	• 균열에 대해 일부 보수가 실시되었으며 금회 조사된 균열은 미보수 및 추가 발생균열이며 콘크리트 들뜸 및 박락, 백태 등의 손상이 추가 조사됨	
교량받침	• 받침콘크리트 균열, 재료분리, 받침장치 및 실린더 부식 발생	• 받침콘크리트 재료분리의 경우 보수를 실시하였으며 현재 상태는 양호한 것으로 조사됨	
신축이음	• 본체 이물질 퇴적 및 부식 • 후타재 균열 • 신축이음 하부 누수	• 신축이음 하부 누수의 경우 신축이음장치 교체를 실시하였으며 현재 상태는 양호한 것으로 조사됨	
교면포장	• 아스콘 함몰 및 하부 공동	• 아스콘 손상의 경우 보수를 실시하였으며 보수상태는 양호함 • 그 외 추가 발생된 손상은 없는 것으로 조사됨	
기타부재	• 배수시설 : 전반적으로 상태 양호 • 방호벽 : 폭 0.3mm 내·외 균열, 파손, 표면열화, 박락 발생	• 배수시설 : 전반적으로 상태 양호 • 방호벽 : 균열과 백태에 대해 보수가 실시된 상태이나 추가 발생과 재손상이 다수 확인되었음	
검토의견	• 기 진단(2012년)결과 발생된 손상 중 바닥판 및 하부구조, 신축이음, 방호벽 등에 발생된 손상은 일부 보수가 이루어진 것으로 확인되었으나, 대부분의 손상은 미보수된 상태이며 금회 상세조사를 통한 추가적인 손상이 확인됨 • 대부분의 부재에서 손상이 추가로 발생되어 증가된 상태로써 내구성 확보와 유지관리차원의 보수가 필요함		

3.5.2 시험 및 측정 결과

가. 금회 진단 내구성 결과요약

【표 3.67】 금회 진단 내구성조사 결과요약

시 험 명	시험부위		시험 결과		비 고
			측정	설계	
비파괴 강도 (MPa)	상부 구조	반발경도	28.2 ~ 30.3	27.0	■ 설계기준강도를 상회하는 양호한 것으로 나타나 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨.
		초음파	29.3 ~ 30.9		
	하부 구조	반발경도	25.1 ~ 26.3	24.0	
		초음파	27.1 ~ 28.2		
철근탐사 (mm)	상부 구조	배근간격	135 ~ 315	150 ~ 300	■ 전반적으로 철근간격 및 피복두께가 설계값과 근사함.
		피복두께	36 ~ 86	40	
	하부 구조	배근간격	93 ~ 297	100 ~ 300	
		피복두께	61 ~ 103	50 ~ 100	
탄산화 잔여깊이 (mm)	상부구조		30.0 ~ 36.0		■ 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 없는 것으로 검토됨.
	하부구조		62.0 ~ 97.0		
염화물 함유량 시험 (kg/m³)	상부구조		0.0294		■ 염화물에 의한 철근의 부식이 발생할 우려는 없는 것으로 평가됨.
	하부구조		0.0113 ~ 0.0317		
강재 비파괴 시험	초음파탐상시험		1등급: 30개소		■ 강재 용접부에 대한 시험 결과 결함이 없는 1등급으로 나타남
	도막두께 측정 (μm)	거더내부	186 ~ 194	175	■ 도막두께 측정 결과 표준도막두께를 상회하는 양호한 상태로 측정되었음
		거더외부	221 ~ 230	215	
종합 평가	• 비파괴강도 측정결과, 측정값은 설계기준강도를 상회하는 것으로 조사되었으며, 공용년수 경과에 따른 구조물의 강도저하는 없는 것으로 평가됨. • 탄산화 깊이 측정결과, 전 개소에서 상태평가 “a” 로 검토되어 양호한 상태로 판단됨. • 염화물 함유량의 경우 a등급으로 평가되었으므로, 염화물에 의한 철근의 부식이 발생할 우려는 없는 것으로 평가됨. • 초음파탐상 시험결과, 전 개소에서 맞대기이음부의 용접상태는 양호한 것으로 판단됨.				

나. 기 진단(2013년 정밀안전진단) 결과 비교

【표 3.68】 기 진단 내구성조사 결과요약

시 험 명	시험부위		시험 결과		비 고
			‘13년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단	
비파괴 강도 (MPa)	상부구조	반발경도	27.6 ~ 27.4	28.2 ~ 30.3	■ 설계기준강도 대비 100%이상으로 공용년 수 경과에 따른 콘크 리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨
		초음파	27.2 ~ 27.7	29.3 ~ 30.9	
	하부구조	반발경도	24.3 ~ 25.3	25.1 ~ 26.3	
		초음파	24.1 ~ 24.9	27.1 ~ 28.2	
철근탐사 (mm)	상부구조	배근간격	118 ~ 308	135 ~ 315	■ 전반적으로 철근간격 및 피복두께가 설계값 과 근사함.
		피복두께	44 ~ 85	36 ~ 86	
	하부구조	배근간격	96 ~ 308	93 ~ 297	
		피복두께	85 ~ 133	61 ~ 103	
탄산화 잔여깊이 (mm)	상부구조		39.0 ~ 46.0	30.0 ~ 36.0	■ 잔여깊이가 30mm이상 ‘a등급’ 으로 탄산화 로 인한 내구성 저하 가능성은 없는 것으로 검토됨
	하부구조		89.0 ~ 93.0	62.0 ~ 97.0	
염화물 함유량시 험 (kg/m ³)	상부구조		0.113	0.0294	■ 염화물에 의한 철근의 부식이 발생할 우려는 없는 것으로 평가됨.
	하부구조		0.113	0.0113 ~ 0.0317	
초음파 탐상시험 (개소)	거더 내부		1등급: 30개소	1등급: 30개소	■ 전 개소에서 균열, 기 공, 슬래그, 용입부족 등의 내부결함이 없는 1등급(합격)으로 조사 됨
종합 평가	• 비파괴강도 측정결과, 측정값은 설계기준강도를 상회하는 것으로 조사되었으며, 공용년수 경과에 따른 구조물의 강도저하는 없는 것으로 평가됨. • 탄산화 깊이 측정결과, 전 개소에서 상태평가 “a” 로 검토되어 양호한 상태로 판단됨. • 염화물 함유량의 경우 a등급으로 평가되었으므로, 염화물에 의한 철근의 부식이 발생할 우려는 없는 것으로 평가됨. • 초음파탐상 시험결과, 전 개소에서 맞대기이음부의 용접상태는 양호한 것으로 판단됨.				

제 4장 시설물의 상태평가

4.1 개 요

4.2 상태평가 항목 및 기준

4.3 상태평가 결과

제 4장 시설물의 상태평가

4.1 개요

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

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

4.2 상태평가 항목 및 기준

4.2.1 부재별 상태평가 적용범위

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 조정하였다. 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, 케이블	a, b, c, d, e
	2차부재 (가로보 및 세로보)	a, b, c, d
하부구조	교대 및 교각, 기초, 주탑	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 손상수량의 비율에 의해 평가하는 정량적 평가와 시설물의 상태에 대한 점검자의 주관적인 의견에 의한 정성적 평가를 동시에 수행하며 정성적 평가 시 점검자에 의한 편차를 줄이기 위해 손상수량 및 손상현황에 대한 정도를 정확히 파악하여야 한다.

4.2.2 구조형식에 따른 부재별 가중치

【표 4.2】 구조형식에 따른 일반교량의 부재별 가중치

구분	결함도 평가항목	슬래브 교량	거더교량							라멘교	
			일반 거더교			바닥판·거더 일체형		아치,트러스		거더 없음	거더있음 (복개구조물)
			일 반	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	탄산	상부	2	2	-	-	2	2	-	4	
	화	하부	2	2	4	4	2	2	4		
	염화	상부	2	2	-	-	2	2	-	3	
	물	하부	1	1	3	3	1	1	3		

<해 설>

- 하부구조물이 무근콘크리트로 시공된 경우, 하부구조물의 탄산화 및 염화물항목에 할당된 가중치를 상부구조물의 탄산화 및 염화물항목의 가중치에 포함시킨다.
- 하부구조물은 무근콘크리트, 상부구조물은 강재로 시공된 경우, 상부구조물의 탄산화 및 염화물 항목에 할당된 가중치는 상부구조물의 상태평가항목(바닥판, 거더)의 가중치에 균등배분하고 하부구조물의 탄산화 및 염화물항목에 할당된 가중치는 하부구조물(교대/교각)의 가중치에 포함시킨다.

- 기타시설물(신축이음, 교면포장, 배수시설, 난간/연석)이 없는 경우, 기타시설물에 할당된 가중치는 바닥판의 가중치에 포함시킨다.
- 기초에 대한평가가 수행되지 않았을 경우, 기초에 할당된 가중치는 교대/교각의 가중치에 포함시킨다.

4.2.3 상태평가 결과 결정

가. 경간(지점)별 부재 상태평가 산정

- 개별부재에서 발견된 결함 및 손상에 대하여 평가한 후 각 상태평가 결과 중 최적값을 개별부재 상태평가 결과로 산정한다.
- 한 경간 내에서 여러 부재가 있을 경우는 각 부재의 상태평가 기준 중 최적값을 경간(지점) 상태평가 결과로 산정한다.
- 복개구조물은 바닥판의 장변방향으로 경간을 구분하고, 1경간의 길이는 약50m 범위 또는 신축이음부를 경계로 경간을 구분하는 것으로 한다.

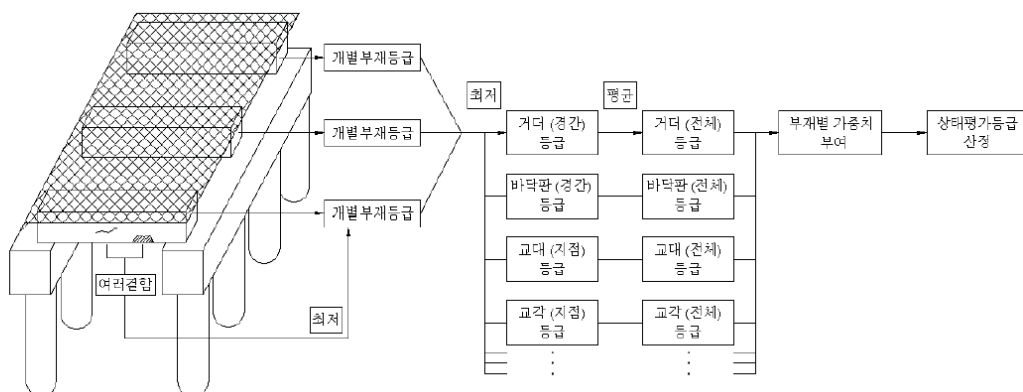
나. 전체 시설물의 상태평가 결과 결정

구조형식이 같은 부재에 대해 부재별로 평균하여 부재 상태평가를 결정한 후 구조형식에 따른 부재별 가중치를 적용하여 환산 결함도 점수를 구한다.

환산 결함도 점수는 시설물 전체의 상태평가 결과를 산정하기 위한 기준 값이며, 결함도 점수 범위에 따른 기준을 적용하여 시설물 전체에 대한 상태평가 결과를 구한다.

【표 4.3】 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	$0 \leq x < 0.13$	$0.13 \leq x < 0.26$	$0.26 \leq x < 0.49$	$0.49 \leq x < 0.79$	$0.79 \leq x$



【그림 4.1】 전체 교량의 상태평가 결과 산정 방법

4.3 상태평가 결과

4.3.1 연무IC교 상태평가 결과

가. 각 부재별 상태평가 결과

1) 콘크리트 바닥판

【표 4.4】 콘크리트 바닥판 상태평가 결과

구분	1방향 균열				2방향 균열				열화 및 손상				평가 결과
	균열폭 (mm)		균열율 (%)		균열폭 (mm)		균열율 (%)		표면 손상면적 (%)		철근부식 손상면적 (%)		
S1	0.2	b	2% 미만	b	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	b
S2	0.2	b	2% 미만	b	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	b
S3	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	a
S4	0.2	b	2% 미만	b	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	b
S5	0.2	b	2% 미만	b	없음	a	없음	a	2% 미만	b	없음	a	b

2) 거더(강박스거더)

【표 4.5】 거더 상태평가 결과

구분	모재 및 연결부 손상								열화 및 손상				평가 결과
	부재 균열		변형, 파단		연결 볼트 이완, 탈락		용접연결부 결합		도장탈락 면적(%)		부식발생 면적(%)		
S1	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	10% 미만	b	2%미만	b	b
S2	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	10% 미만	b	2%미만	b	b
S3	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	10% 미만	b	2%미만	b	b
S4	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	10% 미만	b	2%미만	b	b
S5	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	10% 미만	b	2%미만	b	b

3) 가로보 및 세로보

【표 4.6】 가로보 및 세로보 상태평가 결과

구분	모재 및 연결부 손상								열화 및 손상				평가 결과
	부재 균열		변형, 파단		연결 볼트 이완, 탈락		용접연결부 결합		도장탈락 면적(%)		부식발생 면적(%)		
S1	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	a
S2	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	2% 미만	b	b
S3	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	2% 미만	b	b
S4	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	2% 미만	b	b
S5	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	2% 미만	b	b

4) 교대 및 교각

① 콘크리트 교대

【표 4.7】 콘크리트 교대 상태평가 결과

구분	균열, 변위				열화 및 손상				평가 결과
	균열폭 (mm)		변위		표면 손상면적 (%)		철근부식 손상면적 (%)		
A1	0.3	c	없음	a	2% 미만	b	없음	a	c
A2	0.3	c	없음	a	2% 미만	b	없음	a	c

② 콘크리트 교각

【표 4.8】 콘크리트 교각 상태평가 결과

구분	균열, 변위				열화 및 손상				평가 결과
	균열폭 (mm)		변위		표면 손상면적 (%)		철근부식 손상면적 (%)		
P1	0.2	b	없음	a	없음	a	없음	a	b
P2	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	a
P3	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	a
P4	0.2	b	없음	a	없음	a	없음	a	b

5) 기초

기초에 대한 상태평가 결과, 기초가 노출되어 있지 않는 상태로 점검불가인 ‘q’로 평가되었다.

【표 4.9】기초 상태평가 결과

구분	기초(직접, 말뚝, 케이슨) 손상				지반의 안정성				평가 결과
	균열폭 (mm)		단면손상 (파손, 철근노출 등)		세굴 여부		침하 (mm)		
A1	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q
P1	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q
P2	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q
P3	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q
P4	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q
A2	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q

6) 교량받침

【표 4.10】교량받침 상태평가 결과

구분	받침 본체		받침 콘크리트				평가 결과
	강재받침		균열폭(mm)		박리, 탈락, 파손 등		
A1	부식	b	0.2	b	들뜸	b	b
P1	없음	a	0.3	c	없음	a	c
P2	부식	b	0.2	b	없음	a	b
P3	부식	c	0.2	b	없음	a	c
P4	없음	a	0.2	b	없음	a	b
A2	부식	b	없음	a	없음	a	b

7) 신축이음

【표 4.11】신축이음 상태평가 결과

구분	본 체		후타재				평가 결과
			균열		박리, 박락, 파손 등		
EXP.J1 (A1)	본체 부식, 토사퇴적	c	0.2	b	들뜸	c	c
EXP.J2 (A2)	본체 부식, 토사퇴적	c	0.2	b	파손	c	c

8) 교면포장

【표 4.12】 교면포장 상태평가 결과

구분	포장불량				배 수		평가 결과
	포장불량 면적 (%)		포장손상에 따른 주행성 및 통행성				
S1	없음	a	없음	a	없음	a	a
S2	없음	a	없음	a	없음	a	a
S3	없음	a	없음	a	없음	a	a
S4	없음	a	없음	a	없음	a	a
S5	없음	a	없음	a	없음	a	a

9) 배수시설

【표 4.13】 배수시설 상태평가 결과

구 분	평가내용	평가결과
S1	없음	a
S2	없음	a
S3	없음	a
S4	없음	a
S5	없음	a

10) 난간 및 연석

【표 4.14】 난간 및 연석 상태평가 결과

구분	콘크리트						평가 결과
	균열폭 (mm)		바리, 파손, 철근노출 (%)		철근부식 손상면적 (%)		
S1	0.2	b	없음	a	없음	a	b
S2	0.3	c	없음	a	없음	a	c
S3	0.3	c	없음	a	없음	a	c
S4	0.2	b	없음	a	없음	a	b
S5	0.2	b	2% 미만	b	없음	a	b

11) 탄산화

【표 4.15】탄산화 상태평가 결과

구분		탄산화 잔여 깊이(mm)	평가기준	평가결과
상부 구조	S4 캔틸레버	36.0	< 탄산화 잔여 깊이 > ·a : 30mm이상 ·b : 10mm이상~30mm미만 ·c : 0mm이상~10mm미만 ·d : 0mm미만	a
	S5 캔틸레버	30.0		a
하부 구조	A1 벽체	71.5		a
	A2 벽체	62.0		a
	P1 기둥부	97.0		a
	P4 기둥부	70.5		a

12) 염화물

【표 4.16】염화물 상태평가 결과

구분		전염화물 이온량(kg/m ³)	평가기준	평가결과
상부 구조	S2 캔틸레버하면	0.0294	< 전염화물 이온량 > ·a : 염화물 ≤ 0.3kg/m ³ ·b : 0.3kg/m ³ < 염화물 < 1.2kg/m ³ ·c : 1.2kg/m ³ ≤ 염화물 < 2.5kg/m ³ ·d : 염화물 ≥ 2.5kg/m ³	a
하부 구조	P1 기둥부	0.0113		a
	P2 기둥부	0.0317		a

나. 시설물 전체 상태평가 결과

연무IC교의 외관조사 및 내구성 시험에 의한 상태평가결과, 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태인 “B등급” 으로 평가되었다.

【표 4.17】 상태평가 결과표

부재의 분류		상부구조		2차 부재	기타부재				받침	하부구조		탄산화		염화물	
번호	구조 형식	바닥 판	거더	가로 보	포장	배수	난간 연석	신축 이음	교량 받침	하 부	기 초	상 부	하 부	상 부	하 부
1	STB	b	b	a	a	a	b	c	b	c	q	x	a	x	x
2	STB	b	b	b	a	a	c	x	c	b	q	x	a	a	a
3	STB	a	b	b	a	a	c	x	b	a	q	x	x	x	a
4	STB	b	b	b	a	a	b	x	c	a	q	a	x	x	x
5	STB	b	b	b	a	a	b	x	b	b	q	a	a	x	x
6	STB							c	b	c	q		a		x
평균		0.180	0.200	0.180	0.100	0.100	0.280	0.400	0.267	0.233	0.200	0.100	0.100	0.100	0.100
가중치		18	20	5	7	3	2	9	9	20	0	2	2	2	1
(평균X가 중치) /가중치 합		0.032	0.040	0.009	0.007	0.003	0.006	0.036	0.024	0.047	0.000	0.002	0.002	0.002	0.001

결함도 범위 : $0.130 \leq \text{결함도 지수}(0.211) \leq 0.260$

0.211

B

다. 기 진단결과 비교

상태평가 결과, 상태기준은 “B” 로 동일한 상태로 평가되었으며, 2013년 정밀안전진단 이후 신축이음 교체 등의 보수를 실시하여, 환산결함도 점수가 $0.252 \Rightarrow 0.211$ 로 다소 감소한 것으로 분석되었다.

제 5장 시설물의 안전성 평가

5.1 개 요

5.2 구조해석

5.3 내하력 평가

5.4 안전성평가 등급 산정

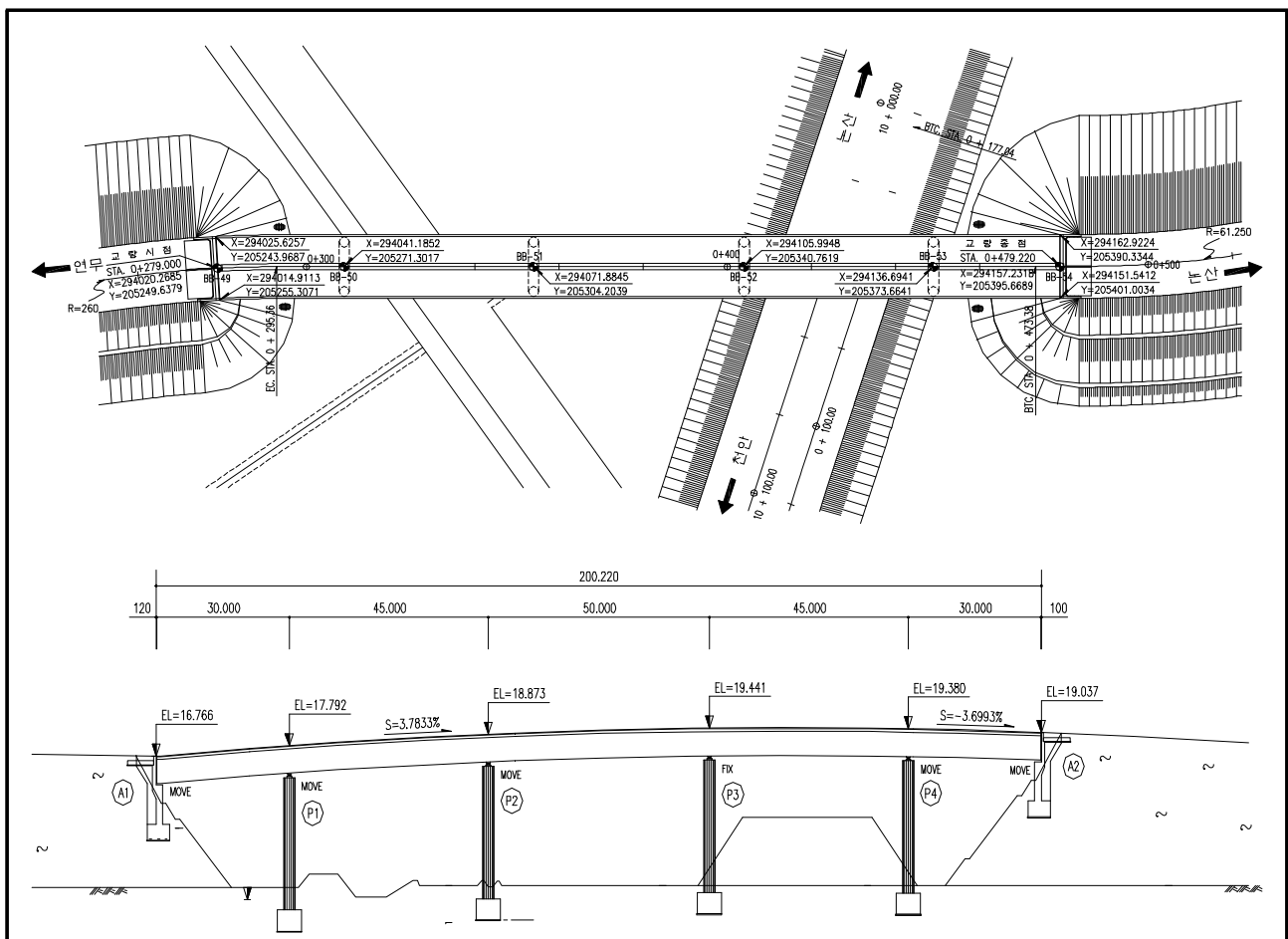
제 5장 시설물의 안전성 평가

5.1 개요

본 과업 대상 교량인 연무IC교는 충청남도 논산시 채운면 화정리에 위치하며 논산천안고속도로 연무IC에 있는 교량으로서 총연장 L=200.220m 이며 1992년에 준공된 3-Girder 강박스 강합성교이다.

대상교량은 5경간 연속 교량으로 교폭 15.60m의 단일교량이다. 본 과업에서는 5경간 연속 3-Girder 강박스 강합성교를 대상으로 구조해석을 수행하였다.

설계활하중 DB-24, DL-24로 현재 보유하고 있는 구조안전성 및 내하력을 평가하기 위해 도로교 설계기준 및 콘크리트 설계기준을 적용하여 대상교량의 구조안전성 및 내하력을 평가하였다.



【그림 5.1】 종·평면도

5.2 구조해석

5.2.1 구조해석 절차

가. 합성전

- 1) 단면 : 3-Girder
- 2) 하중 : 강재+바닥판 자중

나. 합성후

- 1) 단면 : 3-Girder+바닥판
- 2) 하중 : 합성전 고정하중+2차 고정하중+활하중+건조수축+크리프+온도

5.2.2 교량 제원

가. 교량명 : 연무IC교

나. 형식 : Steel Box Girder(합성형교)

다. 교폭 : 15.600 m

라. 교량 : $L = 30.120 + 45.000 + 50.000 + 45.000 + 30.100 = 200.220 \text{ m}$

마. 평면선형 : 직선, $R=\infty$

5.2.3 설계기준

가. 설계하중

- 1) 고정하중 단위질량
 - 철근콘크리트 $\gamma_c = 25.0 \text{ kN/m}^3$
 - 강재 $\gamma_s = 78.5 \text{ kN/m}^3$
 - 아스팔트 $\gamma_{asp} = 23.0 \text{ kN/m}^3$
- 2) 활하중 : DB-24, DL-24

나. 사용재료의 역학적 특성

- 1) 강재(SWS490B 및 SWS400B)
 - 허용인장응력 : $f_y = 190 \text{ MPa}$
 - 탄성계수 : $E_s = 2.05 \times 10^5 \text{ MPa}$

2) 콘크리트

- 설계기준강도 : $f_{ck} = 27 \text{ MPa}$
- 탄성계수 : $E_c = 27,804 \text{ MPa}$

3) 철근(SD40)

- 항복응력 : $f_y = 400 \text{ MPa}$
- 탄성계수 : $E_s = 2.0 \times 10^5 \text{ MPa}$
- 허용응력 : $f_{sa} = 160 \text{ MPa}$

다. 적용 물성치

구분		설계도서	현장측정	적용	비고
설계강도		• 준공도면/구조계산서 - 상부: 27.0Mpa - 하부: 24.0Mpa	• 준공도면/구조계산서 - 상부: 28.2~30.3 Mpa - 하부: 29.3~30.9 Mpa	• 비파괴강도 측정값이 설계기준 강도를 상회 하므로 설계기준강도 적용	
철근 간격 / 피복 두께	상부 구조	150 ~ 300 / 40	135 ~ 315 / 36 ~ 86	• 철근배근 및 피복두께는 적반적으로 설계값과 일치하므로 설계값 적용	
	하부 구조	100~300 / 50~100	93 ~ 297 / 61 ~ 103		

5.2.4 단면특성

대상구간의 강박스 거더의 강성은 【표 5.1】 과 【표 5.2】 에 나타난 바와 같다.

【표 5.1】 합성전 교량 단면상수

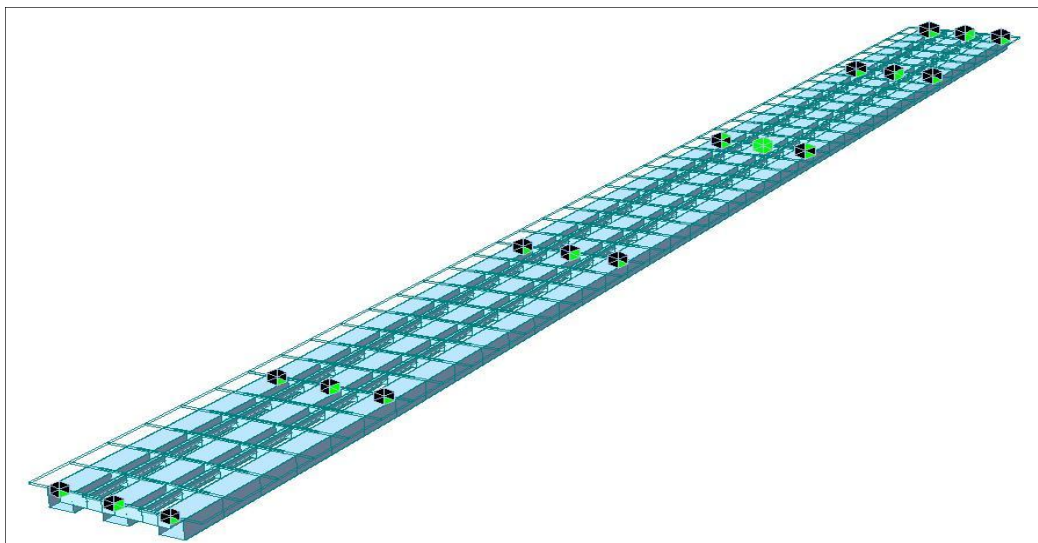
구분	$A(m^2)$	$I_x(m^4)$	$I_y(m^4)$	$I_z(m^4)$	비고
단면 1	0.132300	0.157991	0.124391	0.119470	
단면 2	0.147900	0.175934	0.145858	0.128258	
단면 3	0.158300	0.183977	0.156108	0.134116	
단면 4	0.179100	0.203156	0.188423	0.145834	
단면 5	0.158300	0.186208	0.158959	0.134116	
단면 6	0.163500	0.191092	0.166802	0.137046	
단면 7	0.189500	0.210241	0.201837	0.151692	
단면 8	0.205100	0.219224	0.224103	0.160480	
단면 9	0.173900	0.198720	0.181152	0.142904	
단면 10	0.168700	0.195205	0.174186	0.139975	
단면 11	0.024943	0.000001	0.007218	0.000054	가로보
단면 12	0.014812	0.000001	0.001473	0.000032	세로보

【표 5.2】합성후 교량 단면상수

구 분	A(m ²)	I _x (m ⁴)	I _y (m ⁴)	I _z (m ⁴)	비고
단면 1	0.321400	0.159300	0.244200	6.229600	
단면 2	0.337000	0.177200	0.283700	6.777500	
단면 3	0.347400	0.185300	0.268500	7.142800	
단면 4	0.368200	0.204500	0.342700	7.873300	
단면 5	0.347400	0.187500	0.286500	7.142800	
단면 6	0.352600	0.192400	0.305100	7.325400	
단면 7	0.378600	0.211600	0.346300	8.238600	
단면 8	0.394200	0.220500	0.398000	8.786500	
단면 9	0.363000	0.200000	0.340900	7.690700	
단면 10	0.357800	0.196500	0.323300	7.508100	
단면 11	0.024943	0.000001	0.007218	0.000054	가로보
단면 12	0.014812	0.000001	0.001473	0.000032	세로보

5.2.5 해석모델

대상교량의 구조해석 모델은 【그림 5.2】와 같다.



【그림 5.2】강박스 거더 구조해석 모델

5.2.6 하중산정

대상교량의 구조안전성검토를 위하여 고려된 하중은 합성 전·후 고정하중, 설계활하중(DB-24) 2차로, 온도하중, 콘크리트 바닥판의 건조수축 및 크리프 등이다.

가. 고정하중

고정하중은 합성 전 고정하중 및 합성 후 고정하중으로 구분하여 적용하였다. 콘크리트 바닥판의 자중은 합성 전, 후로 구분하고 횡방향 분배를 계산하여 연직하중 및 모멘트하중으로 치환하였으며, 강재의 자중은 구조해석 프로그램 내에서 자동으로 고려하도록 하였다. 단위중량 입력시 해석모델에서 제외된 Splice plate, Diaphragm, Stiffener, Bolt 등의 부부재 및 기타 부재의 중량을 고려하여 할증된 단위중량을 적용하였다. 연석 및 포장은 합성 후 고정하중으로 고려하였다.

【표 5.3】 강재중량 할증을 산정 결과

구 분	강 중	강재재료표	해석모델 순중량	할증율
Main Girder	SWS490	288.559	259.9	1.110
Cross Beam	SWS400	59.597	44.27	1.346
Stringer	SWS400			
총 계		348.156	304.166667	

나. 설계활하중

설계활하중은 DB-24로 최대 단면력을 발생시키는 경우에 대해서 구조검토를 수행하였다. 설계충격계수는 정·부모멘트부 모두 아래의 식으로 계산하여 경간 30m구간에 대해서는 0.2142, 경간 45m구간에 대해서는 0.1764, 경간 50m구간에 대해서는 0.1667을 사용하였다.

$$i = \frac{15}{40+L}$$

다. 바닥판 콘크리트와 강재들보와의 온도차

바닥판 콘크리트와 강재들보와의 온도차는 10℃를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다.

온도분포는 강재들보 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

라. 바닥판 콘크리트의 건조수축

합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우(M_{d2}) 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 쓰이는 건조수축 계수 ϕ_2 는 4.0을 사용한다.

마. 크리프

합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우(M_{d2}) 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프 계수 ϕ_1 은 2.0을 사용한다.

바. 풍하중

상부구조에 작용하는 풍하중은 다음과 같이 산정한다.

【표 5.4】 상부구조에 작용하는 풍하중

단면형상	풍하중	비 고
$1 \leq B/D \leq 8$	$[4.0 - 0.2 \times (B/D)] \times D \geq 6$	적 용
$8 \leq B/D$	$2.4 \times D \geq 6$	-

하부구조에 작용하는 풍하중은 다음과 같이 산정한다.

【표 5.5】 하부구조에 작용하는 풍하중

부재의 단면 형상		풍하중		비고
		풍상측 부재	풍하측 부재	
원형	활하중 재하시	0.75×10^{-3}	0.75×10^{-3}	기둥부 적용
	활하중 비재하시	1.50×10^{-3}	1.50×10^{-3}	
각형	활하중 재하시	1.50×10^{-3}	0.75×10^{-3}	코핑부 적용
	활하중 비재하시	3.00×10^{-3}	1.50×10^{-3}	

1) 교축직각방향

$$\textcircled{1} W_{\text{column}} = 1.5 \times 10^{-3} \times 2.000 \times 1000 = 3.000 \text{ kN/m}$$

2) 교축방향

$$\textcircled{1} W_{\text{column}} = 1.5 \times 10^{-3} \times 2.000 \times 1000 = 3.000 \text{ kN/m}$$

$$\textcircled{2} W_{\text{coping}} = 3.0 \times 10^{-3} \times 3.000 \times 1000 = 9.000 \text{ kN/m}$$

사. 온도변화에 의한 수평력

상부구조의 온도신축에 의한 변형을 교각 상단에 가했을 때 교각 변위에 의한 수평력과 상부 고정하중에 대한 교량받침의 마찰력 중 최소값을 온도변화에 의한 수평력으로 적용하였다. 강교의 온도변화는 $-20\sim 40^{\circ}\text{C}$ 를 표준으로 하기 때문에 가설시 온도를 15°C 로 가정하고 교각에 최대 단면력을 유발할 수 있는 최대 온도변화 폭(ΔT)인 35°C 를 적용하였다.

1) 상부구조 신축에 의한 수평력

① 온도변화에 의한 수평변위

$$\cdot \delta = \alpha \cdot \Delta T \cdot L = 1.2 \times 10^{-5} \times 35 \times 45 = 0.0189\text{m}$$

여기서, L : 고정단(P3)에서 검토 교각(P4) 위치까지의 거리

ΔT : 연평균 온도변화차 35°C 적용

② 등가수평력

$$\cdot \delta = \frac{P \cdot H^3}{3 \cdot E \cdot I} \Rightarrow P_{h1} = \frac{3 \cdot E \cdot I \cdot \delta}{H^3}$$

$$\cdot P_{h1} = \frac{3 \cdot E \cdot I \cdot \delta}{H^3} = (3 \times 26986000 \times 1.570 \times 0.0189) / 11.914^3 = 1420.523\text{kN}$$

여기서, $H = 11.914\text{m}$

$$I = 1.570\text{m}^4$$

$$E = 8500 \sqrt[3]{f_{cu}} = 8500 \sqrt[3]{24+8} = 26986\text{MPa}$$

2) 교량받침 마찰에 의한 수평력

① 상부 고정하중 반력

$$\cdot W = 8865.592\text{kN}$$

② 교량받침 마찰에 의한 수평력

$$\cdot Ph_2 = \mu \cdot W = 0.05 \times 8865.592 = 443.279\text{kN}$$

여기서, μ : 불소수지 받침판 받침의 최소 마찰계수 값인 0.05 적용

3) 온도변화에 의한 수평력

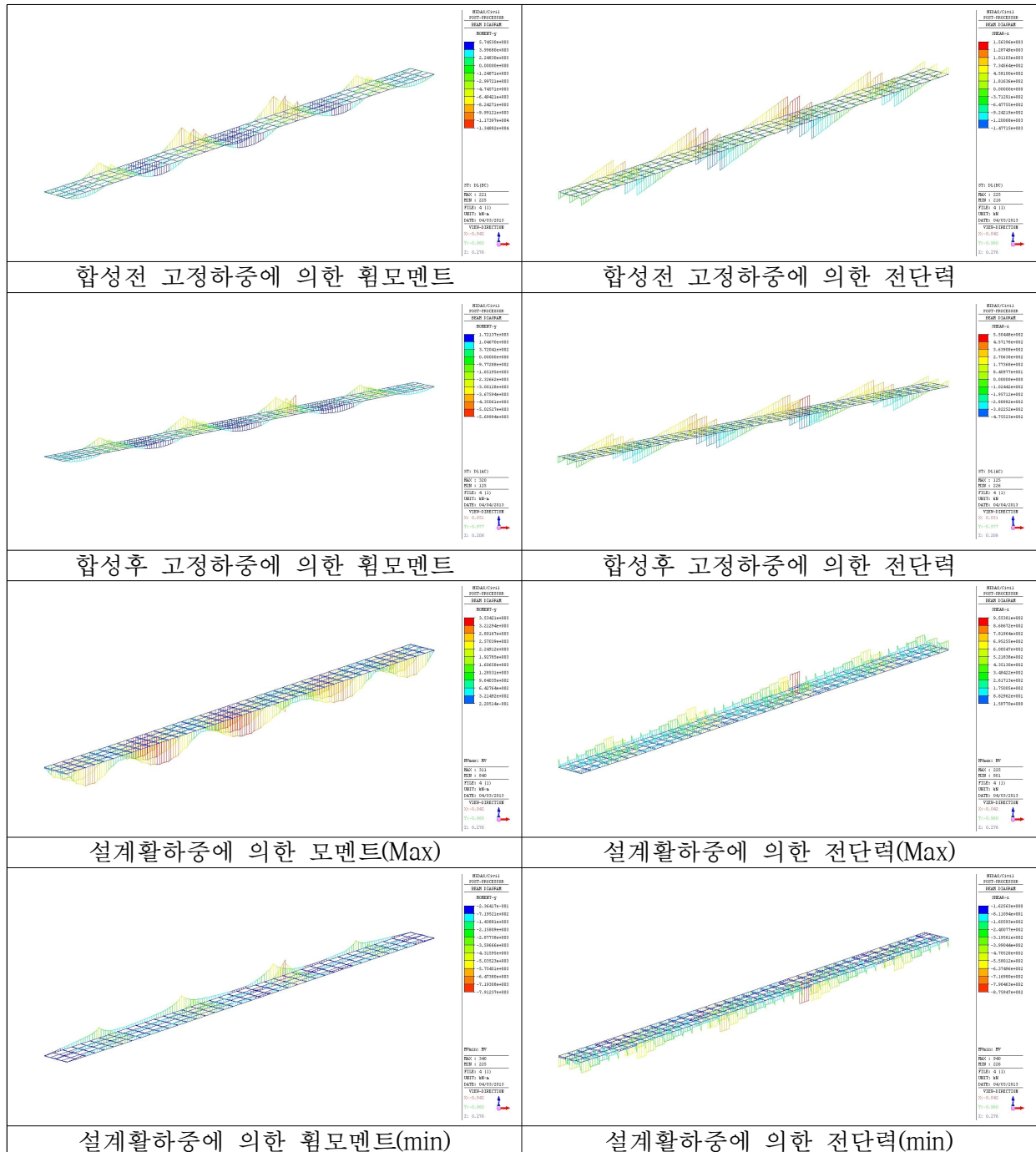
$$\cdot P_t = \text{Min}[Ph_1, Ph_2] = 443.279\text{kN}$$

5.2.7 해석결과

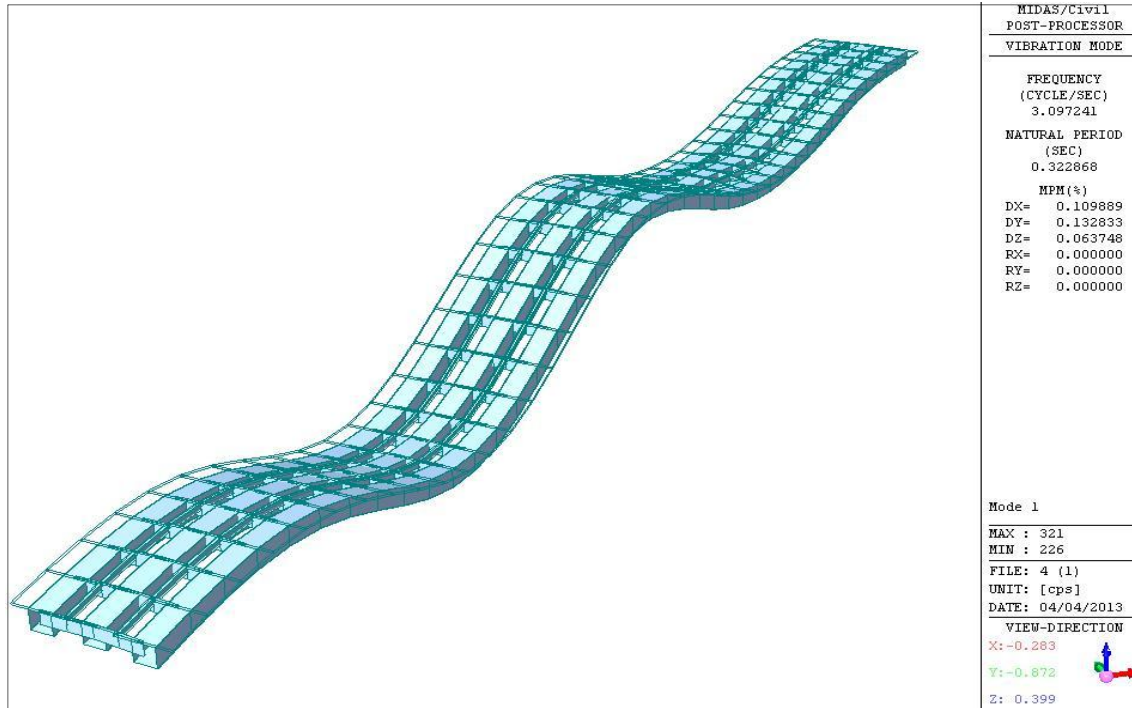
가. 고정하중 및 활하중에 의한 검토

고정하중 및 활하중에 의한 각 하중에 대한 해석결과는 다음 아래와 같다. 박스 거더의 정모멘트부와 부모멘트부에서 각각 발생한 최대 단면력을 【표 5.6】에 나타내었다.

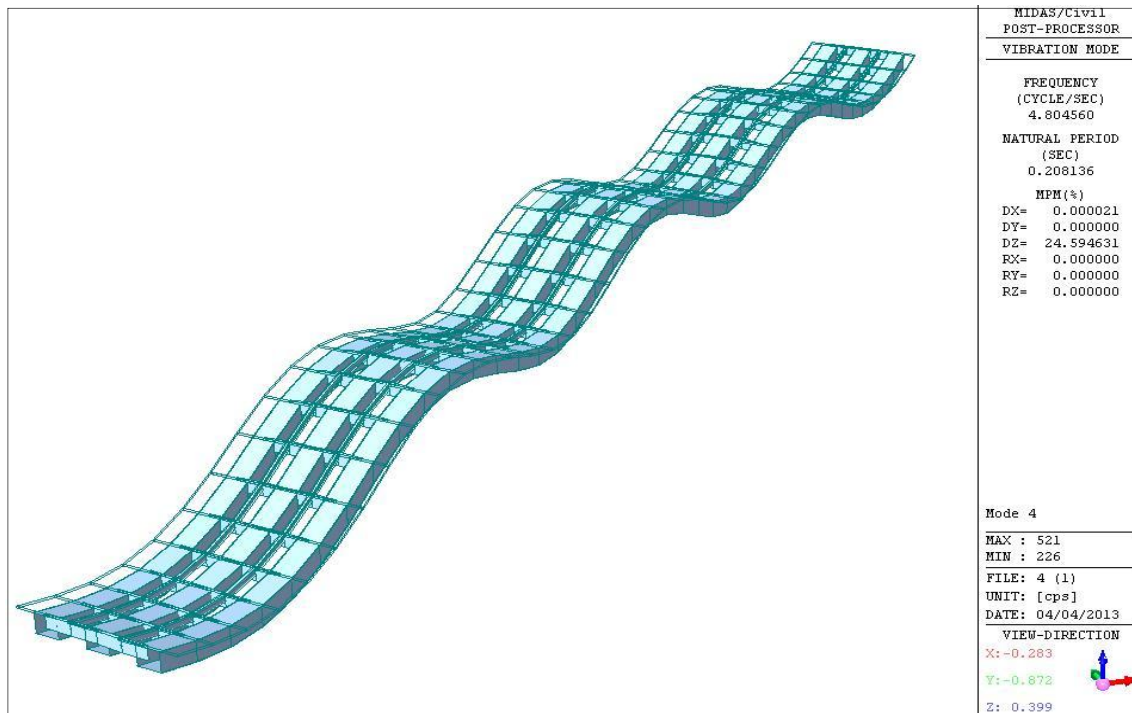
【그림 5.3】에는 강박스 거더의 최대휨모멘트도를 나타내었다.



【그림 5.3】 강박스 거더의 하중조건별 부재력도



(a) Mode 1 ($f_1 = 3.0972$ Hz)



(b) Mode 4 ($f_4 = 4.8045$ Hz)

【그림 5.4】 강박스 거더의 고유진동수 해석 결과

【표 5.6】 휨모멘트 산출결과 (kN·m)

구 분		합성전 고정하중	합성후			계		비 고
			고정하중	활하중(충격포함)				
				Max	Min	Max	Min	
제1지간 중앙부	G1	2167.27	746.03	3040.04	-1166.17	5953.34	1747.13	
	G2	2431.81	758.31	2792.28	-1105.58	5982.40	2084.54	
	G3	2065.70	720.91	2998.20	-1174.39	5784.81	1612.22	
제1내부 지점부	G1	-7027.63	-2480.57	674.31	-3895.10	-8833.89	-13403.30	
	G2	-7805.79	-2360.64	637.46	-3744.57	-9528.97	-13911.00	
	G3	-7015.80	-2381.75	693.48	-3907.56	-8704.07	-13305.11	
제2지간 중앙부	G1	4567.71	1529.11	3505.21	-986.99	9602.03	5109.83	
	G2	4809.93	1542.35	3225.04	-956.82	9577.32	5395.46	
	G3	4588.25	1515.73	3507.05	-979.64	9611.03	5124.34	
제2내부 지점부	G1	-11220.90	-3465.62	610.47	-5318.34	-14076.05	-20004.86	
	G2	-12216.52	-3577.17	491.71	-4831.48	-15301.98	-20625.17	
	G3	-11290.77	-3666.53	598.51	-5318.04	-14358.79	-20275.34	
제3내부 지점부	G1	5494.63	1638.06	3499.38	-789.14	10632.07	6343.55	
	G2	5745.30	1622.48	3358.58	-965.38	10726.36	6402.40	
	G3	5513.29	1721.34	3498.83	-788.36	10733.46	6446.27	
제3내부 지점부	G1	-10918.82	-1689.18	875.65	-5545.35	-11732.35	-18153.35	
	G2	-11240.43	-4075.24	2510.38	-6698.49	-12805.29	-22014.16	
	G3	-11389.07	-3738.74	874.57	-5544.33	-14253.24	-20672.14	
제4내부 지점부	G1	4337.53	1659.54	3016.22	-600.14	9013.29	5396.93	
	G2	4508.36	1630.46	2848.72	-757.53	8987.54	5381.29	
	G3	4283.96	1426.37	3016.99	-600.85	8727.32	5109.48	
제4내부 지점부	G1	-7157.73	-2668.29	393.83	-3721.90	-9432.19	-13547.92	
	G2	-7932.13	-2492.61	268.73	-3449.86	-10156.01	-13874.60	
	G3	-7099.15	-2403.26	394.05	-3723.24	-9108.36	-13225.65	
제5지간 중앙부	G1	2058.76	661.64	2944.61	-1018.33	5665.01	1702.07	
	G2	2378.13	691.22	2719.67	-948.96	5789.02	2120.39	
	G3	2073.12	706.95	2946.01	-1017.94	5726.08	1762.13	

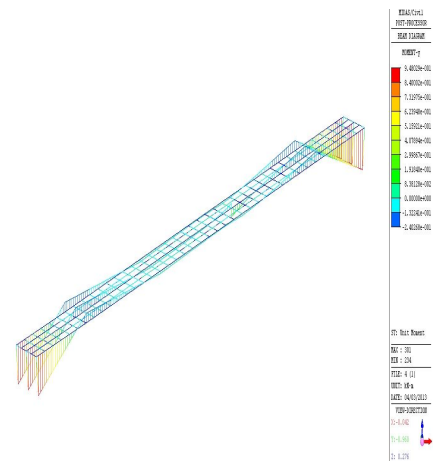
나. 2차 부정정력에 의한 검토 : 건조수축, 크리프 및 온도하중

연속강합성 교량은 고정하중과 활하중에 의한 응력 이외에 크리프 및 건조수축, 강재와 콘크리트의 온도차에 의한 부정정력이 추가로 발생한다. 따라서 부정정력에 의한 2차 모멘트를 산정하기 위하여 해석모델의 양단에 단위모멘트(1.0kN·m)를 작용시켜 각 절점에 작용되는 영향계수 k값(모멘트)을 산출하였다.

또한 구조물의 준공년도 대비 현재의 재령을 고려할 때 크리프 및 건조수축은 모두 발생하였다고 볼 수 있는바, 크리프 및 건조수축에 의한 응력 산정은 장기손실이 일어난 후로 하여 수행하였다.

【표 5.7】 영향계수 k값 산출결과 요약 (MPa)

절점	절점	절점	절점	절점	절점	절점	절점	절점
104	107	111	116	121	126	130	135	138
0.38	-0.23	-0.10	0.06	0.03	0.05	-0.05	-0.24	0.38
절점	절점	절점	절점	절점	절점	절점	절점	절점
204	207	211	216	221	226	230	235	238
0.38	-0.23	-0.10	0.06	0.03	0.20	-0.06	-0.24	0.38
절점	절점	절점	절점	절점	절점	절점	절점	절점
304	307	311	316	321	326	330	335	338
0.38	-0.23	-0.10	0.06	0.03	0.05	-0.05	-0.24	0.38

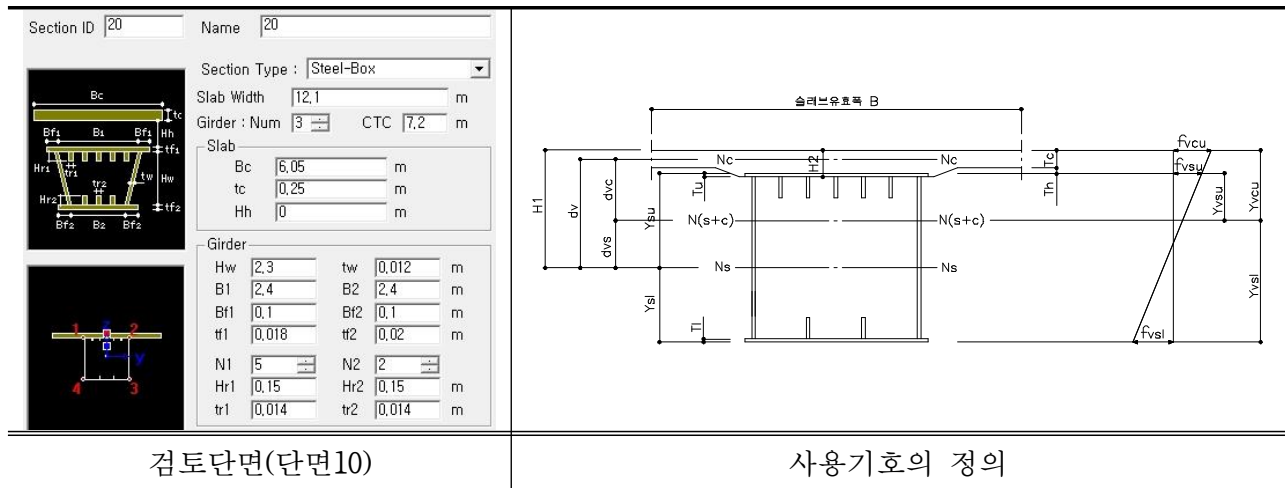


다. 구조안전성 검토결과

1) 최대 정모멘트부

① 제1지간 중앙부

최대 정모멘트가 작용하는 제3지간 중앙부 거더3(G3) 단면10에 대한 응력검토 세부과정은 다음과 같다.



【표 5.8】 응력 산정시 입력자료

구분	단위	입력자료
Es : 강역 탄성계수	MPa	205000
Ec : 콘크리트 탄성계수	MPa	27804
ϵ_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축률		0.00027
α : 강재 및 콘크리트의 선팽창계수		0.000012
ϕ_1 : 크리프에 의한 응력계산에 사용된 크리프계수		2
ϕ_2 : 건조수축에 의한 응력계산에 사용된 크리프계수		4
n : 강재와 콘크리트의 탄성계수비		8
n_1 : 크리프에 의한 응력의 계산에 사용된 탄성계수비		16
n : 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용된 탄성계수비		24
t : 강재와 콘크리트의 온도차	℃	10
Ms : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	5513.290
Msc : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	1721.340
Mv : 활하중에 의한 모멘트	kN·m	3498.830
Ss : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	34.060
Ssc : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	3.450
Sv : 활하중에 의한 전단력	kN	267.810
Mst : 합성전 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	-34.900
Msct : 합성후 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	-2.900
Mvt : 활하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	-241.850
k : 부정정력 산정을 위한 영향계수	kN·m	0.030

가) 응력 산정

(1)합성 전

$$I_s' = A_s \cdot Y^2 + \sum I_s = 136668452600 + 20320244200.0 = 156988696800 \text{mm}^4$$

$$\delta s = \sum (A \cdot Y) / A_s = -5143600 / 150600 = -34.154 \text{mm}$$

$$I_s = I_s' - A_s \cdot \delta s^2 = 156988696800 - 150600 \times (-34.154)^2 = 156813022026 \text{mm}^4$$

$$Y_{su} = H/2 + T_u - \delta s = 2300.0/2 + 18.0 - (-34.154) = 1202.154 \text{mm}$$

$$Y_{sl} = Y_{su} - (H + T_u + T_l) = 1202.154 - 2338.000 = -1135.846 \text{mm}$$

$$F = b \cdot h = ((UL_2 + UR_2 + B_2)/2 + T_w) \cdot (H + T_u/2 + T_l/2) = 4661190.0 \text{mm}^2$$

$$f_{su} = M_s \cdot Y_{su} / I_s = 42.266 \text{MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot Y_{sl} / I_s = -39.934 \text{MPa}$$

$$\nu = S_s / (A(\text{Web}) + M_{st} / (2 \cdot F \cdot T_w)) = 1.115 \text{MPa}$$

(2)합성 후

$$A_v = A_s + A_c/n = 307193.8 \text{mm}^2$$

$$I_c/n = 815592448 \text{mm}^4$$

$$d_v = Y_{su} - T_u + T_h + T_c/2 = 1309.2 \text{mm}$$

$$d_{vc} = d_v \cdot A_s / (A_c/n + A_s) = 641.8 \text{mm}$$

$$d_{vs} = d_v - d_{vc} = 667.3 \text{mm}$$

$$Y_{vcu} = d_{vc} + T_c/2 = 766.8 \text{mm}$$

$$Y_{vcl} = Y_{vcu} - T_c = 516.8 \text{mm}$$

$$Y_{vsu} = Y_{vcu} - H_2 + T_u = 534.8 \text{mm}$$

$$Y_{vsl} = Y_{vsu} - (H + T_u + T_l) = -1803.2 \text{mm}$$

$$I_v = I_s + I_c/n + A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c/n \cdot d_{vc}^2 = 289202144987 \text{mm}^4$$

$$F_v = b \cdot h_v = ((UL_2 + UR_2 + B_2)/2 + T_w) \cdot (H + (T_u + T_c/n)/2 + T_l/2) = 4692596.3 \text{mm}^2$$

$$f_{vcu} = M_{sc} \cdot Y_{vcu} / (n \cdot I_v) = 0.571 \text{MPa}$$

$$f_{vcl} = M_{sc} \cdot Y_{vcl} / (n \cdot I_v) = 0.385 \text{MPa}$$

$$f_{vsu} = M_{sc} \cdot Y_{vsu} / I_v = 3.183 \text{MPa}$$

$$f_{vsl} = M_{sc} \cdot Y_{vsl} / I_v = -10.733 \text{MPa}$$

$$\nu = S_{sc} / (A(\text{Web}) + M_{sct} / (2 \cdot F_v \cdot T_w)) = 0.106 \text{MPa}$$

(3)활하중

$$f_{vcu} = M_v \cdot Y_{vcu} / (n \cdot I_v) = 1.160 \text{MPa}$$

$$f_{vcl} = M_v \cdot Y_{vcl} / (n \cdot I_v) = 0.782 \text{MPa}$$

$$f_{vsu} = M_v \cdot Y_{vsu} / I_v = 6.470 \text{MPa}$$

$$f_{vsl} = M_v \cdot Y_{vsl} / I_v = -21.815 \text{MPa}$$

$$\nu = Sv/A(\text{Web})+Mvt/(2 \cdot Fv \cdot Tw) = 8.399\text{MPa}$$

(4)크리이프

$$n1 = n \cdot (1 + \phi 1/2) = 8 \times (1 + 2.0/2) = 16$$

$$Av1 = As + Ac/n1 = 228896.9\text{mm}^2$$

$$dc1 = dv \cdot As/(Ac/n1 + As) = 861.3\text{mm}$$

$$ds1 = dv - dc1 = 447.8\text{mm}$$

$$Yv1cu = dc1 + Tc/2 = 986.3\text{mm}$$

$$Yv1cl = Yv1cu - Tc = 736.3\text{mm}$$

$$Yv1su = Yv1cu - H2 + Tu = 754.3\text{mm}$$

$$Yv1sl = Yv1su - (H + Tu + Tl) = -1583.7\text{mm}$$

$$Iv1 = Is + Ic/n1 + As \cdot ds1^2 + Ac/n1 \cdot dc1^2 = 245510722249\text{mm}^4$$

$$Nc = Msc \cdot dvc \cdot Ac/(n \cdot Iv) = 598195\text{N}$$

$$P\phi = Nc \cdot 2 \cdot \phi 1/(2 + \phi 1) = 598195\text{N}$$

$$M\phi = P\phi \cdot dc1 = 515250934\text{N} \cdot \text{mm}$$

$$Ec1 = Ec/(1 + \phi 1/2) = 13902\text{MPa}$$

$$fcu = Msc \cdot Yvcu/(n \cdot Iv) = 0.571\text{MPa}$$

$$fcl = Msc \cdot Yvcl/(n \cdot Iv) = 0.385\text{MPa}$$

$$fvcu1 = 1/n1 \cdot (P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1cu/Iv1) - Ec1 \cdot fcu \cdot \phi 1/Ec = -0.403\text{MPa}$$

$$fvcl1 = 1/n1 \cdot (P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1cl/Iv1) - Ec1 \cdot fcl \cdot \phi 1/Ec = -0.218\text{MPa}$$

$$fvsu1 = P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1su/Iv1 = 2.661\text{MPa}$$

$$fvsl1 = P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1sl/Iv1 = 2.514\text{MPa}$$

(5)건조수축

$$n2 = n \cdot (1 + \phi 2/2) = 8 \times (1 + 4.0/2) = 24$$

$$Av2 = As + Ac/n2 = 202797.917\text{mm}^2$$

$$dc2 = dv \cdot As/(Ac/n2 + As) = 972.2\text{mm}$$

$$ds2 = dv - dc2 = 337.0\text{mm}$$

$$Yv2cu = dc2 + Tc/2 = 1097.2\text{mm}$$

$$Yv2cl = Yv2cu - Tc = 847.2\text{mm}$$

$$Yv2su = Yv2cu - H2 + Tu = 865.2\text{mm}$$

$$Yv2sl = Yv2su - (H + Tu + Tl) = -1472.8\text{mm}$$

$$Iv2 = Is + Ic/n2 + As \cdot ds2^2 + Ac/n2 \cdot dc2^2 = 223519766939.6\text{mm}^4$$

$$P2 = Es \cdot \epsilon s \cdot Ac/n2 = 2889155\text{N}$$

$$Mv2 = P2 \cdot dc2 = 2808814325\text{N} \cdot \text{mm}$$

$$E_{c2} = E_s \cdot /n_2 = 8542\text{MPa}$$

$$f_{vcu2} = 1/n_2 \cdot (P_2/Av_2+k \cdot Mv_2 \cdot Yv_{2cu}/Iv_2)-E_{c2} \cdot \epsilon_s = -1.695\text{MPa}$$

$$f_{vcl2} = 1/n_2 \cdot (P_2/Av_2+k \cdot Mv_2 \cdot Yv_{2cl}/Iv_2)-E_{c2} \cdot \epsilon_s = -1.699\text{MPa}$$

$$f_{vsu2} = P_2/Av_2+k \cdot Mv_2 \cdot Yv_{2su}/Iv_2 = 14.573\text{MPa}$$

$$f_{vsl2} = P_2/Av_2+k \cdot Mv_2 \cdot Yv_{2sl}/Iv_2 = 13.691\text{MPa}$$

(6) 온도차

$$\epsilon_t = \alpha \cdot t = 0.000012 \times 10 = 0.00012$$

$$P_1 = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_c/n = 3852206\text{N}$$

$$M_{vt} = P_1 \cdot d_{vc} = 2472366678\text{N} \cdot \text{mm}$$

$$f_{cut} = 1/n \cdot (P_1/Av+k \cdot M_{vt} \cdot Y_{vcu}/Iv)-E_c \cdot \epsilon_t = -1.744\text{MPa}$$

$$f_{clt} = 1/n \cdot (P_1/Av+K \cdot M_{vt} \cdot Y_{vcl}/Iv)-E_c \cdot \epsilon_t = -1.752\text{MPa}$$

$$f_{sut} = P_1/Av+K \cdot M_{vt} \cdot Y_{vsu}/Iv = 12.677\text{MPa}$$

$$f_{slt} = P_1/Av+K \cdot M_{vt} \cdot Y_{vsl}/Iv = 12.078\text{MPa}$$

나) 응력조합 및 검토

(1) 적용 하중조합

【표 5.9】 적용 하중조합

구분	하중조합 정의
LCB 1	합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중
LCB 2	합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프
LCB 3	합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축
LCB 4	합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축+온도차
LCB 5	합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축-온도차

(2) 허용응력

【표 5.10】 사용재료의 허용응력

구분	허용압축응력	허용인장응력	비고
강재(거더)	190.000 MPa	190.000 MPa	SWS 490
콘크리트(바닥판)	10.800 MPa	1.890 MPa	fck = 27.0 MPa

(3) 응력 검토

시공단계별 하중조건에 대한 응력을 조합한 결과, 최대 정모멘트부(제3지간 중앙부)에서의 휨응력은 허용응력 범위내에서 발생하는 것으로 검토되었다.

【표 5.11】 정모멘트부(제3지간 중앙부) 응력 검토 결과 (MPa)

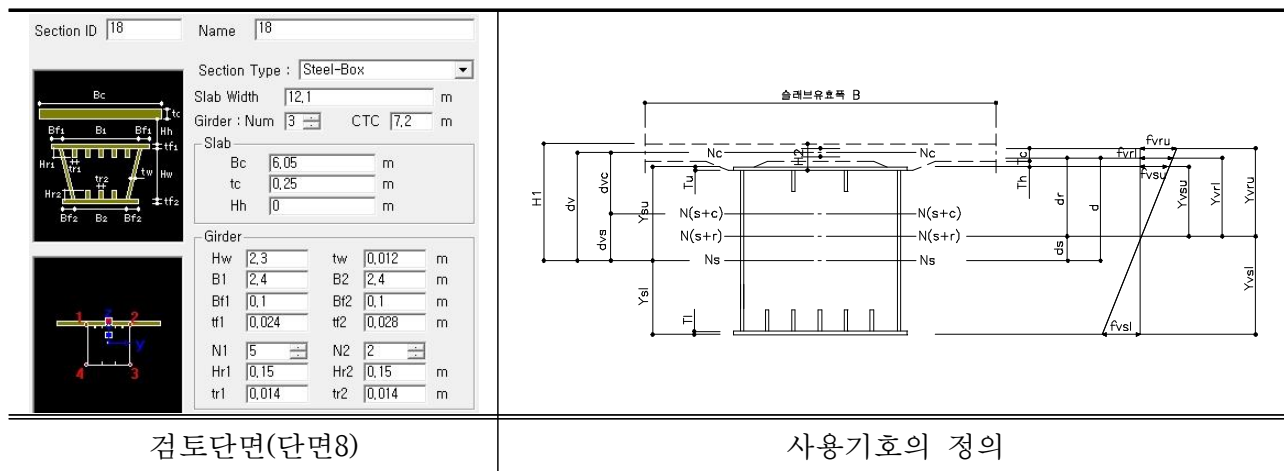
하중조합	콘크리트 바닥판			강재 거더					
	상 연			상 연			하 연		
	발생응력	허용응력	검토 결과 (안전율)	발생응력	허용응력	검토 결과 (안전율)	발생응력	허용응력	검토 결과 (안전율)
LCB 1	1.730	10.800	OK (6.243)	51.919	190.000	OK (3.660)	-72.483	190.000	OK (2.621)
LCB 2	1.327	10.800	OK (8.139)	54.580	218.500	OK (4.003)	-69.969	190.000	OK (2.715)
LCB 3	-0.369	1.890	OK (5.122)	69.153	218.500	OK (3.160)	-56.278	190.000	OK (3.376)
LCB 4	-2.113	2.174	OK (1.029)	81.830	247.000	OK (3.018)	-44.200	218.500	OK (4.943)
LCB 5	1.376	12.420	OK (9.026)	56.476	247.000	OK (4.374)	-68.355	218.500	OK (3.197)

여기서, 1. 부호규약은 압축을 정(+), 인장을 부(-)로 하였음

2) 최대 부모멘트부

① 제3내부 지점부

최대 부모멘트가 작용하는 제3내부 지점부 거더2(G2) 단면8에 대한 응력검토 세부과정은 다음과 같으며 바닥판의 합성작용은 바닥판에서 콘크리트 단면은 무시하고 바닥판 내의 교축방향 철근만을 주거더 단면의 일부로 취급하였다.



【표 5.12】 응력 산정시 입력자료

구 분		단위	입력자료
Es	: 강의 탄성계수	MPa	205000
Ec	: 콘크리트 탄성계수	MPa	27804
ε_s	: 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축률		0.00027
α	: 강재 및 콘크리트의 선팽창계수		0.000012
ϕ_1	: 크리프에 의한 응력계산에 사용된 크리프계수		2
ϕ_2	: 건조수축에 의한 응력계산에 사용된 크리프계수		4
n	: 강재와 콘크리트의 탄성계수비		8
n_1	: 크리프에 의한 응력의 계산에 사용된 탄성계수비		16
n_2	: 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용된 탄성계수비		24
t	: 강재와 콘크리트의 온도차	℃	10
Ms	: 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-11240.430
Msc	: 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-4075.240
Mv	: 활하중에 의한 모멘트	kN·m	-6698.490
Ss	: 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-1364.240
Ssc	: 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	-475.520
Sv	: 활하중에 의한 전단력	kN	-875.950
Mst	: 합성전 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	40.300
Msct	: 합성후 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	175.250
Mvt	: 활하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	727.420
tou, tcl	: 교축방향 철근의 피복두께(상부, 하부)	mm	60, 40
k	: 부정정력 산정을 위한 영향계수	kN·m	0.050

가) 응력 산정

(1)합성 전

$$I_s' = A_s \cdot Y^2 + \sum I_s = 158236319052 + 20311882351 = 178548201403 \text{mm}^4$$

$$\delta s = \sum (A \cdot Y) / A_s = -16218132 / 165116 = -98.223 \text{mm}$$

$$I_s = I_s' - A_s \cdot \delta s^2 = 178548201403 - 165116 \times (-98.223)^2 = 176955213409 \text{mm}^4$$

$$Y_{su} = H/2 + T_u - \delta s = 2300.0/2 + 24.0 - (-98.223) = 1272.223 \text{mm}$$

$$Y_{sl} = Y_{su} - (H + T_u + T_l) = 1272.223 - 2352.000 = -1079.777 \text{mm}$$

$$F = b \cdot h = ((UL_2 + UR_2 + B_2)/2 + T_w) \cdot (H + T_u/2 + T_l/2) = 4675260.0 \text{mm}^2$$

$$f_{su} = M_s \cdot Y_{su} / I_s = -80.813 \text{MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot Y_{sl} / I_s = 68.589 \text{MPa}$$

$$\nu = S_s / (A(\text{Web}) + M_s t / (2 \cdot F \cdot T_w)) = 30.088 \text{MPa}$$

(2)합성 후

$$A_v = A_s + A_r = 176003 \text{mm}^2$$

$$d = Y_{su} - T_u + T_h + t_{cl} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \cdot A_{ru} / A_r = 1371.117 \text{mm}$$

$$d_r = d \cdot A_s / (A_s + A_r) = 1286.304 \text{mm}$$

$$d_s = d - d_r = 84.813 \text{mm}$$

$$Y_{vru} = d_r + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \cdot A_{rl} / A_r = 1353.410 \text{mm}$$

$$Y_{vrl} = d_r - (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \cdot A_{ru} / A_r = 1203.410 \text{mm}$$

$$Y_{vsu} = Y_{vrl} - t_{cl} - T_h + T_u = 1187.410 \text{mm}$$

$$Y_{vsl} = Y_{vsu} - (H + T_u + T_l) = -1164.590 \text{mm}$$

$$I_{rv} = I_s + A_s \cdot d_s^2 + A_r \cdot d_r^2 = 196156334709 \text{mm}^4$$

$$F_v = b \cdot h_v = ((UL_2 + UR_2 + B_2)/2 + T_w) \cdot (H + (T_u + T_c/n)/2 + T_l/2) = 4706666.3 \text{mm}^2$$

$$f_{vru} = M_{sc} \cdot Y_{vru} / I_{rv} = -28.118 \text{MPa}$$

$$f_{vrl} = M_{sc} \cdot Y_{vrl} / I_{rv} = -25.001 \text{MPa}$$

$$f_{vsu} = M_{sc} \cdot Y_{vsu} / I_{rv} = -24.669 \text{MPa}$$

$$f_{vsl} = M_{sc} \cdot Y_{vsl} / I_{rv} = 24.195 \text{MPa}$$

$$\nu = S_{sc} / (A(\text{Web}) + M_{sc} t / (2 \cdot F_v \cdot T_w)) = 12.199 \text{MPa}$$

(3)활하중

$$f_{vru} = M_v \cdot Y_{vru} / I_{rv} = -46.217 \text{MPa}$$

$$f_{vrl} = M_v \cdot Y_{vrl} / I_{rv} = -41.095 \text{MPa}$$

$$f_{vsu} = M_v \cdot Y_{vsu} / I_{rv} = -40.549 \text{MPa}$$

$$f_{vsl} = M_v \cdot Y_{vsl} / I_{rv} = 39.769 \text{MPa}$$

$$\nu = S_v / (A(\text{Web}) + M_v t / (2 \cdot F_v \cdot T_w)) = 26.770 \text{MPa}$$

(4)크리이프

$$A_{vc} = A_s + A_c/n = 303178.500\text{mm}^2$$

$$d_v = Y_{su} - T_u + T_h + T_c/2 = 1373.223\text{mm}$$

$$d_{vc} = d_v \cdot A_s / (A_c/n + A_s) = 747.880\text{mm}$$

$$d_{vs} = d_v - d_{vc} = 625.343\text{mm}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi 1/2) = 8 \times (1 + 2.0/2) = 16$$

$$A_{v1} = A_s + A_c/n_1 = 234147.250\text{mm}^2$$

$$d_{c1} = d_v \cdot A_s / (A_c/n_1 + A_s) = 968.369\text{mm}$$

$$d_{s1} = d_v - d_{c1} = 404.853\text{mm}$$

$$I_{cv} = I_s + I_c/n + A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c/n \cdot d_{vc}^2 = 319465206224.6\text{mm}^4$$

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{vc} \cdot A_c / (n \cdot I_{cv}) = -1317156\text{N}$$

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi 1 / (2 + \phi 1) = -1317156\text{N}$$

$$M_\phi = P_\phi \cdot d_{c1} = -1275493164\text{N} \cdot \text{mm}$$

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi 1/2) = 13902\text{MPa}$$

$$f_{vru1} = P_\phi / A_v + k \cdot M_\phi \cdot Y_{vru} / I_{rv} = -7.924\text{MPa}$$

$$f_{vrl1} = P_\phi / A_v + k \cdot M_\phi \cdot Y_{vrl} / I_{rv} = -7.875\text{MPa}$$

$$f_{vsu1} = P_\phi / A_v + k \cdot M_\phi \cdot Y_{vsu} / I_{rv} = -7.870\text{MPa}$$

$$f_{vsl1} = P_\phi / A_v + k \cdot M_\phi \cdot Y_{vsl} / I_{rv} = -7.105\text{MPa}$$

(5)건조수축

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi 2/2) = 8 \times (1 + 4.0/2) = 24$$

$$A_{v2} = A_s + A_c/n_2 = 211136.833\text{mm}^2$$

$$d_{c2} = d_v \cdot A_s / (A_c/n_2 + A_s) = 1073.906\text{mm}$$

$$d_{s2} = d_v - d_{c2} = 299.317\text{mm}$$

$$P_2 = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_c/n_2 = 2547253\text{N}$$

$$M_{v2} = P_2 \cdot d_{c2} = 2735509448\text{N} \cdot \text{mm}$$

$$f_{vru2} = P_2 / A_v + K \cdot M_{v2} \cdot Y_{vru} / I_{rv} = 15.416\text{MPa}$$

$$f_{vrl2} = P_2 / A_v + K \cdot M_{v2} \cdot Y_{vrl} / I_{rv} = 15.312\text{MPa}$$

$$f_{vsu2} = P_2 / A_v + K \cdot M_{v2} \cdot Y_{vsu} / I_{rv} = 15.301\text{MPa}$$

$$f_{vsl2} = P_2 / A_v + K \cdot M_{v2} \cdot Y_{vsl} / I_{rv} = 13.661\text{MPa}$$

(6)온도차

$$\epsilon_t = \alpha \cdot t = 0.000012 \times 10 = 0.00012$$

$$P_1 = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_c/n = 3396338\text{N}$$

$$M_{vt} = P_1 \cdot d_{vc} = 2540051718\text{N} \cdot \text{mm}$$

$$E_{rt} = E_s \cdot \varepsilon_t = 24.600\text{MPa}$$

$$f_{rut} = P_1 / (A_v + K \cdot M_v t) \cdot Y_{vru} / l_{rv} - E_s \cdot \varepsilon_t = -4.427\text{MPa}$$

$$f_{rlt} = P_1 / (A_v + K \cdot M_v t) \cdot Y_{vrl} / l_{rv} - E_s \cdot \varepsilon_t = -4.524\text{MPa}$$

$$f_{sut} = P_1 / (A_v + K \cdot M_v t) \cdot Y_{vsu} / l_{rv} = 20.066\text{MPa}$$

$$f_{slt} = P_1 / (A_v + K \cdot M_v t) \cdot Y_{vsl} / l_{rv} = 18.543\text{MPa}$$

나) 응력조합 및 검토

(1) 허용응력

【표 5.13】 사용재료의 허용응력

구 분	허용압축응력	허용인장응력	비 고
강재(거더)	190.000 MPa ¹⁾	190.000 MPa	SWS 490
철근(바닥판)	-	160.000 MPa	SD40

주 : 1) 압축플랜지가 콘크리트 바닥판에 직접 고정되어 횡좌굴이 어려운 경우 이외의 허용휨압축응력과 압축응력을 받는 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력 중 작은 값을 사용한다.

- 바닥판에 직접 고정되어 횡좌굴이 어려운 경우 이외의 허용휨압축응력 ($t=28\text{mm} < 40\text{mm}$)
 $A_w/A_c = 89455.8/46000.0 = 0.5142 \leq 2.0$ 이고, $l/b = 5.000/2.200 = 2.272 < 4.0$ 이므로 190 MPa
 여기서, A_w : 복부판의 총단면적 A_c : 압축플랜지의 총단면적 b : 압축플랜지 폭
 l : 압축플랜지의 고정점간 거리 (여기서는 가로보간 간격)

- 압축응력을 받는 양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력

$t = 28\text{mm}$ 의 SWS490에 대해 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력은 다음과 같다.

$$i = 0.65(\phi/n)^2 + 0.13(\phi/n) + 1.0 = 0.650 \times (0.0/6)^2 + 0.130 \times (0.0/6) + 1.0 = 1.000$$

$$\therefore \phi = (f_1 - f_2)/f_1 \approx 0$$

여기서, n : 종리브에 의해서 구분되는 Pannel의 수

i : 응력구배계수

ϕ : 응력구배

f_1, f_2 : 보강된 판의 양연의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다.)

$b/(24 \cdot i \cdot n) = 2000/(24 \times 1.000 \times 6) = 13.889\text{mm}$ 이므로 $t = 28.0\text{mm} > b/(24 \cdot i \cdot n)$ 인 경우, $f_{ca} = 190.000\text{MPa}$

(2) 응력 검토

시공단계별 하중조건에 대한 발생응력을 조합한 결과, 최대 부모멘트부(제3내부 지점부)는 휨응력에 대해서 소정의 안전율을 확보하고 있는 것으로 나타났다.

【표 5.14】 부모멘트부(제3 내부 지점부) 응력 검토 결과 (MPa)

하중조합	철근			강재 거더					
	상 연			상 연			하 연		
	발생응력	허용응력	검토 결과 (안전율)	발생응력	허용응력	검토 결과 (안전율)	발생응력	허용응력	검토 결과 (안전율)
LCB 1	-74.335	160.000	OK (2.152)	-146.031	190.000	OK (1.301)	132.553	190.000	OK (1.433)
LCB 2	-82.259	160.000	OK (1.945)	-153.901	190.000	OK (1.235)	125.448	190.000	OK (1.515)
LCB 3	-66.842	160.000	OK (2.394)	-138.600	190.000	OK (1.371)	139.109	190.000	OK (1.366)
LCB 4	-71.269	184.000	OK (2.582)	-118.534	218.500	OK (1.843)	157.652	218.500	OK (1.386)
LCB 5	-62.416	184.000	OK (2.948)	-158.666	218.500	OK (1.377)	120.566	218.500	OK (1.812)

【표 5.15】 조합응력 검토결과

구 분		f_b	f_a	V_b	V_a	$\left(\frac{f_b}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{V_b}{V_a}\right)^2 \leq 1.2$	검토결과
제3지간 중앙 (정모멘트)	상연	81.830	247.000	9.620	110.000	0.117	OK
	하연	-72.483	190.000	9.620	110.000	0.153	OK
제3지점부 (부모멘트)	상연	-153.901	190.000	69.057	110.000	1.050	OK
	하연	139.109	190.000	69.057	110.000	0.930	OK

5.2.8 바닥판 안전성 검토

콘크리트 비파괴조사 결과 콘크리트 강도가 설계기준강도보다 크게 측정되어 바닥판에 대한 안전성평가는 안전측으로 계산을 수행하기 위해 설계기준강도를 적용하여 강도설계법에 의해 수행하였다.

가. 캔틸레버부

- 콘크리트의 강도 $f_{ck} = 27 \text{ MPa}$
- 철근의 항복강도 $f_y = 400 \text{ MPa}$
- 유효높이 $d = 240 \text{ mm}$
- 철근량 $A_s = 6 \times 286.5 = 1719.0 \text{ mm}^2$ (H19, CTC 150.000mm)
- 고정하중에 대한 휨모멘트

【표 5.16】 고정하중에 대한 휨모멘트

구 분	W_d (kN/m)	거리 (m)	휨모멘트 (kN·m/m)
방 호 벽	9.468	1.005	9.518
아스콘포장	1.553	0.375	0.582
바 닥 판	8.281	0.581	4.813
합 계			14.913

- 활하중에 대한 휨모멘트

$$\text{운하중 분포폭 } E = 0.8X + 1.14 = 1.5 \text{ m}$$

$$\text{휨모멘트 } M_{(1+i)} = P_{(1+i)} \times X/E = 96 \times (1+0.3) \times 0.450/1.3 = 37.440 \text{ kN·m}$$

- 설계휨강도

$$a = \frac{f_y \times A_s}{0.85 \times f_{ck} \times b} = \frac{400 \times 1719.0}{0.85 \times 27 \times 1000} = 29.961 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = 0.85 \times f_y \times A_s \times (d - \frac{a}{2}) = 0.85 \times 400 \times 1719.0 \times (240 - \frac{29.961}{2}) = 131.515 \text{ kN·m}$$

- 계수모멘트 $M_u = 1.3 \times 14.913 + 2.15 \times 37.440 = 99.884 \text{ kN·m}$

- 안전성 평가 $\phi M_n > M_u$ ----- O.K

- 내하율 $RF = \frac{131.515 - 1.3 \times 14.913}{2.15 \times 37.440} = 1.392$

- 기본내하력 DB-24 이상

나. 단면 중앙부

- 콘크리트의 강도 $f_{ck} = 27 \text{ MPa}$
- 철근의 항복강도 $f_y = 400 \text{ MPa}$
- 유효높이 $d = 210 \text{ mm}$
- 철근량 $A_s = 3 \times 286.5 = 859.5 \text{ mm}^2$ (H19, CTC 300.000mm)
- 고정하중에 대한 휨모멘트

$$\text{바닥판} \quad 0.25\text{m} \times 25\text{kN/m}^3 = 6.250 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{아스콘포장} \quad 0.09\text{m} \times 23\text{kN/m}^3 = 2.070 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{합계} \quad W_d = 8.320 \text{ kN/m}^2$$

$$M_d = (W_d \times L^2)/10 = (8.320 \times 1.550^2)/10 = 1.999 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

- 활하중에 대한 휨모멘트

$$M_l = 0.8 \times \frac{L+0.6}{9.6} \cdot P_{24(1+i)} = 0.8 \times \frac{1.550+0.6}{9.6} \times 96 \times 1.3 = 22.360 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

- 설계휨강도

$$a = \frac{f_y \times A_s}{0.85 \times f_{ck} \times b} = \frac{400 \times 859.5}{0.85 \times 27 \times 1000} = 14.980 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = 0.85 \times f_y \times A_s \times (d - \frac{a}{2}) = 0.85 \times 400 \times 859.5 \times (210 - \frac{14.980}{2}) = 59.179 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

- 계수모멘트 $M_u = 1.3 \times 1.999 + 2.15 \times 22.360 = 50.673 \text{ kN}\cdot\text{m}$

- 안전성 평가 : $\phi M_n > M_u$ ----- O.K

- 내하율 $RF = \frac{59.179 - 1.3 \times 1.999}{2.15 \times 22.360} = 1.176$

- 기본내하력 DB-24 이상

3.2.9 바닥판 균열 검토

가. 캔틸레버부

- 철근량 $A_s = 6 \times 286.5 = 1719.0 \text{ mm}^2$ (H19, CTC 150.000 mm)
- 피복두께 $d_c = 60 \text{ mm}$
- 유효깊이 $d = 240 \text{ mm}$
- 사용철근비(ρ_{use}) $= \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{1719.0}{1000 \times 240} = 0.007163$
- 사용하중(M_s) $= 14.913 + 37.440 = 52.353 \text{ kN} \cdot \text{m}$
- 탄성계수비(n) $= 8$
- 중립축비(k) $= -np + \sqrt{2np + (np)^2}$
 $= -8 \times 0.007163 + \sqrt{2 \times 8 \times 0.007163 + (8 \times 0.007163)^2} = 0.286$
- 모멘트거리비(j) $= 1 - \frac{k}{3} = 1 - \frac{0.286}{3} = 0.905$
- 철근 응력(f_s) $= \frac{M_s}{A_s \cdot j \cdot d} = \frac{52.353}{1719.000 \times 0.905 \times 240} \times 10^6$
 $= 140.274 \text{ MPa} < 0.6f_y = 240 \text{ MPa} \therefore \text{OK}$
- 휨철근 최소 중심 간격 $= \text{MIN} \left[375 \left(\frac{210}{f_s} \right) - 2.5c_c, 300 \left(\frac{210}{f_s} \right) \right] = 435.152 \text{ mm}$
- 철근과 콘크리트
표면 사이의
최소두께(C_c) $= d_c - \frac{\text{주철근직경}}{2} = 60 - \frac{19}{2} = 50.5 \text{ mm}$
- 사용성검토
(균열검토) $= 150.000 \text{ mm} (\text{최외단철근 평균배근간격}) \leq 435.152 \text{ mm}$
 $\therefore \text{OK}$

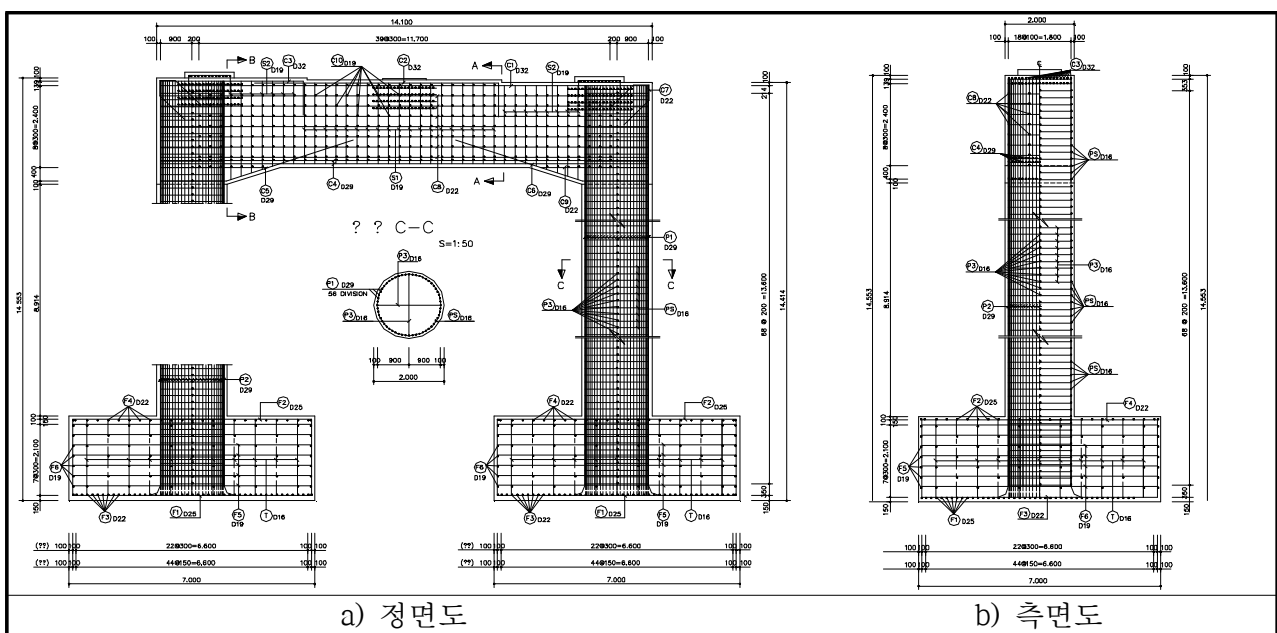
나. 단면 중앙부

- 철근량 $A_s = 3 \times 286.5 = 859.5 \text{ mm}^2$ (H19, CTC 300.000 mm)
- 피복두께 $d_c = 40 \text{ mm}$
- 유효깊이 $d = 210 \text{ mm}$
- 사용철근비(ρ_{use}) $= \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{859.5}{1000 \times 210} = 0.004093$
- 사용하중(M_s) $= 1.999 + 22.360 = 24.359 \text{ kN} \cdot \text{m}$

- 탄성계수비(n) $= 8$
- 중립축비(k) $= -np + \sqrt{2np + (np)^2}$
 $= -8 \times 0.004093 + \sqrt{2 \times 8 \times 0.004093 + (8 \times 0.004093)^2} = 0.225$
- 모멘트거리비(j) $= 1 - \frac{k}{3} = 1 - \frac{0.225}{3} = 0.925$
- 철근 응력(f_s) $= \frac{M_s}{A_s \cdot j \cdot d} = \frac{24.359}{859.500 \times 0.925 \times 210} \times 10^6$
 $= 145.912 \text{ MPa} < 0.6f_y = 240 \text{ MPa} \therefore \text{OK}$
- 휨철근 최소 중심 간격 $= \text{MIN} \left[375 \left(\frac{210}{f_s} \right) - 2.5c_c, 300 \left(\frac{210}{f_s} \right) \right] = 431.767 \text{ mm}$
- 철근과 콘크리트
표면 사이의
최소두께(C_c) $= d_c - \frac{\text{주철근직경}}{2} = 40 - \frac{19}{2} = 30.5 \text{ mm}$
- 사용성검토
(균열검토) $= 300.000 \text{ mm} (\text{최외단철근 평균배근간격}) \leq 431.767 \text{ mm}$
 $\therefore \text{OK}$

5.2.10 하부구조 검토

본 절에서는 고정단 교각을 제외한 가동단 교각중 예비 구조해석을 수행하여 가장 불리한 단면력 발생이 예상되는 교각4(P4)에 대해서 안전성검토를 실시하였다. 안전성검토시 고려된 하중은 고정하중, 설계활하중(DB-24, DL-24)과 풍하중이며 교각1(P1)의 실측 단면 제원은 【그림 5.5】와 같다.



【그림 5.5】 해석단면

가. 검토조건

- 단면형상 : 원형
- 콘크리트 설계기준강도 : 24.0 MPa
- 철근 설계기준항복강도 : 300.0 MPa
- 철근 탄성계수 : 200000.0 MPa
- 콘크리트 탄성계수 : 26986.0 MPa
- 사용 철근량 : 35974.4 mm²

나. 하중조합

【표 5.17】극한강도 검토시 하중조합

조합경우	하 중 조 합						비 고
	고정하중(D)	L1	L2	W1	W2	G	
LCBF1	1.30	2.15	-	-	-	-	
LCBF2	1.30		2.15	-	-	-	
LCBF3	1.30	-	-	1.30	-	-	
LCBF4	1.30	-	-	-	1.30	-	
LCBF5	1.30	1.30	-	0.65	-	-	
LCBF6	1.30	-	1.30	-	0.65	-	
LCBF7	1.30	-	1.30	0.65	-	-	
LCBF8	1.30	1.30	-	-	0.65	-	
LCBF9	1.30	1.30		-	-	1.30	
LCBF10	1.30	-	1.30	-	-	1.30	
LCBF11	1.25	-	-	1.25	-	1.25	
LCBF12	1.25	-	-	-	1.25	1.25	

다. 부재력 요약

【표 5.18】부재력 요약 (기둥 1)

구 분		Pu(kN)	모 멘트(kN · m)				V(kN)	δ (mm)
			Top		Bottom			
			Sway	Nonsway	Sway	Nonsway		
LCBF2	y축	9865.086	0.000	4762.188	0.000	-1819.778	-552.456	1.050
	z축		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
LCBF12	y축	7948.313	1663.352	3318.634	-1803.089	-1267.090	-675.857	-1.542
	z축		90.000	0.000	-4287.811	0.000	-389.790	-9.459
LCBF1	y축	9827.772	0.000	4788.292	0.000	-1828.682	-555.395	1.058
	z축		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

【표 5.19】 부재력 요약 (기둥 2)

구 분		Pu(kN)	모멘트(kN · m)				V(kN)	δ (mm)
			Top		Bottom			
			Sway	Nonsway	Sway	Nonsway		
LCBF1	y축	9760.302	0.000	-4789.757	0.000	1827.216	555.395	-1.063
	z축		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
LCBF12	y축	7472.825	1736.602	-3320.042	-1831.176	1265.682	85.441	-2.998
	z축		90.000	0.000	-4287.811	0.000	-389.790	-9.459
LCBF2	y축	9724.027	0.000	-4765.252	0.000	1816.714	552.456	-1.060
	z축		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

라. 확대모멘트 산정

1) 횡구속여부 결정

검토교각은 철근콘크리트 문형 교각으로서 기둥의 거동은 교각 상단의 연결상태를 고려할 때 교축방향에 대해서 수평하중의 변형에 대한 구속력이 없는 것으로 판단되므로 횡방향 상대변위가 방지되지 않은 부재로 취급하여 검토하였으며, 수평이동에 대한 가능성을 고려하여 유효좌굴계수는 k=2를 적용하였다. 교축직각방향에 대해서는 횡방향 상대변위가 방지된 부재로 취급하여 검토하였으며 유효좌굴계수는 k=1.2를 적용하였다.

2) 임계하중 산정

【표 5.20】 임계하중 산정 결과(기둥 1)

구 분	교축직각방향(y)				교축방향(z)			
	k	β _d	EI(kN · m ²)	P _c (kN)	k	β _d	EI(kN · m ²)	P _c (kN)
LCBF2	1.200	0.600	5298652.951	255851.246	2.000	0.600	5298652.951	92106.449
LCBF12	1.200	0.600	5298652.951	255851.246	2.000	0.600	5298652.951	92106.449
LCBF1	1.200	0.600	5298652.951	255851.246	2.000	0.600	5298652.951	92106.449

β_d : 고정하중에 의한 전체축력/전체 계수축력
최대 계수 지속전단력/최대전단력

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k \cdot l_u)^2}$$

EI : 휨강성

E_c : 26985.82 MPa

k : 유효좌굴길이계수

I : 단면2차모멘트

$$y\text{축} = 0.785398 \text{ m}^4 \quad z\text{축} = 0.785398 \text{ m}^4$$

l_u : 비지지길이

$$y\text{축} = 11.914 \text{ m} \quad z\text{축} = 11.914 \text{ m}$$

【표 5.21】임계하중 산정 결과(기둥 2)

구 분	교축직각방향(y)				교축방향(z)			
	k	β_d	EI(kN · m ²)	P _c (kN)	k	β_d	EI(kN · m ²)	P _c (kN)
LCBF1	1.200	0.600	5298652.951	255851.246	2.000	0.600	5298652.951	92106.449
LCBF12	1.200	0.600	5298652.951	255851.246	2.000	0.600	5298652.951	92106.449
LCBF2	1.200	0.600	5298652.951	255851.246	2.000	0.600	5298652.951	92106.449

β_d : 고정하중에 의한 전체축력/전체 계수축력

최대 계수 지속전단력/최대전단력

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k \cdot l_u)^2}$$

EI : 휨강성

E_c : 26985.82 MPa

k : 유효좌굴길이계수

I : 단면2차모멘트

$$EI = \frac{0.4 E_c I_g}{1 + \beta_d}$$

$$y_{\text{축}} = 0.785398 \text{ m}^4 \quad z_{\text{축}} = 0.785398 \text{ m}^4$$

l_u : 비지지길이

$$y_{\text{축}} = 11.914 \text{ m} \quad z_{\text{축}} = 11.914 \text{ m}$$

3) 횡구속 골조인 경우의 확대모멘트 계산

① 세장비 검토

【표 5.22】세장비 검토 결과 (기둥 1)

구 분	교축직각방향(y)				교축방향(z)			
	k	(k · l _u)/r	한계세장비	판단	k	(k · l _u)/r	한계세장비	판단
LCBF2	1.200	28.594	38.586	단주	-	-	-	비횡구속
LCBF12	1.200	28.594	40.000	단주	-	-	-	비횡구속
LCBF1	1.200	28.594	38.583	단주	-	-	-	비횡구속

M₁, M₂ : 기둥의 양끝단 모멘트

M₁/M₂의 값이 단일곡률일 때 (+), 이중곡률일 때 (-)

$$M_1/M_2 \geq -0.5$$

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 34 - 12 \frac{M_1}{M_2}$$

$r = \sqrt{I/A}$: 회전반경

$$-y_{\text{축}} = 0.500 \text{ m}$$

$$-z_{\text{축}} = 0.500 \text{ m}$$

【표 5.23】세장비 검토 결과 (기둥 2)

구 분	교축직각방향(y)				교축방향(z)			
	k	(k · lu)/r	한계세장비	판단	k	(k · lu)/r	한계세장비	판단
LCBF1	1.200	28.594	38.578	단주	-	-	-	비횡구속
LCBF12	1.200	28.594	29.714	단주	-	-	-	비횡구속
LCBF2	1.200	28.594	38.575	단주	-	-	-	비횡구속

M_1, M_2 : 기둥의 양끝단 모멘트

M_1 / M_2 의 값이 단일곡률일 때 (+), 이중곡률일 때 (-)

$M_1 / M_2 \geq -0.5$

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 34 - 12 \frac{M_1}{M_2} \quad r = \sqrt{I/A} : \text{회전반경}$$

- y축 = 0.500 m

- z축 = 0.500 m

② 확대모멘트 산정

【표 5.24】확대모멘트 산정 결과 (기둥 1)

구 분		C_m	$P_u(kN)$	$P_c(kN)$	δ_{ns}	$M_u (kN \cdot m)$		$\delta_{ns} \cdot M^2 (kN \cdot m)$
						M_u	M_{2min}	
y축	LCBF2	0.447	9865.086	255851.246	1.000	4762.188	739.881	4762.188
	LCBF12	0.400	7948.313	255851.246	1.000	4981.986	596.123	4981.986
	LCBF1	0.447	9827.772	255851.246	1.000	4788.292	737.083	4788.292

$$M_c = \delta_{ns} \cdot M_2$$

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0.75P_c}} \geq 1.0$$

$$C_m = 0.6 + 0.4 \frac{M_1}{M_2} \geq 0.4$$

기둥 양단 사이에 횡하중이 있는 경우, $C_m = 1.0$

$M_{2min} = P_u \cdot e_{min}$ 이상이어야 함

$e_{min} = 15 + 0.03 \cdot h$ (mm)

- y축 = 75.00 mm

- z축 = 75.00 mm

【표 5.25】 확대모멘트 산정 결과 (기둥 2)

구 분		C_m	$P_u(kN)$	$P_c(kN)$	δ_{ns}	$M_u (kN \cdot m)$		$\delta_{ns} \cdot M^2$ ($kN \cdot m$)
						M_u	M_{2min}	
y축	LCBF1	0.447	9760.302	255851.246	1.000	-4789.757	732.023	-4789.757
	LCBF12	0.743	7472.825	255851.246	1.000	-1583.440	560.462	-1583.440
	LCBF2	0.448	9724.027	255851.246	1.000	-4765.252	729.302	-4765.252

$$M_c = \delta_{ns} \cdot M_2$$

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0.75P_c}} \geq 1.0$$

$$C_m = 0.6 + 0.4 \frac{M_1}{M_2} \geq 0.4$$

기둥 양단 사이에 횡하중이 있는 경우, $C_m = 1.0$

$M_{2min} = P_u \cdot e_{min}$ 이상이어야 함

$e_{min} = 15 + 0.03 \cdot h$ (mm)

- y축 = 75.00 mm

- z축 = 75.00 mm

4) 비횡구속 골조인 경우의 확대모멘트 계산

① 세장비 검토

【표 5.26】 세장비 검토 결과 (기둥 1)

구 분	교축직각방향(y축)				교축방향(z축)			
	k	$(k \cdot l_u)/r$	한계세장비	판단	k	$(k \cdot l_u)/r$	한계세장비	판단
LCBF2	-	-	-	횡구속	2.000	47.656	22.000	장주
LCBF12	-	-	-	횡구속	2.000	47.656	22.000	장주
LCBF1	-	-	-	횡구속	2.000	47.656	22.000	장주

M_1, M_2 : 기둥의 양끝단 모멘트

M_1/M_2 의 값이 단일곡률일 때 (+), 이중곡률일 때 (-)

$M_1/M_2 \geq -0.5$

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 34 - 12 \frac{M_1}{M_2} \quad r = \sqrt{I/A} : \text{회전반경}$$

- y축 = 0.500 m

- z축 = 0.500 m

【표 5.27】세장비 검토 결과 (기둥 2)

구 분	교축직각방향(y축)				교축방향(z축)			
	k	(k · lu)/r	한계세장비	판단	k	(k · lu)/r	한계세장비	판단
LCBF1	-	-	-	횡구속	2.000	47.656	22.000	장주
LCBF12	-	-	-	횡구속	2.000	47.656	22.000	장주
LCBF2	-	-	-	횡구속	2.000	47.656	22.000	장주

M_1, M_2 : 기둥의 양끝단 모멘트

M_1 / M_2 의 값이 단일곡률일 때 (+), 이중곡률일 때 (-)

$M_1 / M_2 \geq -0.5$

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 34 - 12 \frac{M_1}{M_2} \quad r = \sqrt{I/A} : \text{회전반경}$$

- y축 = 0.500 m

- z축 = 0.500 m

② 확대모멘트계수 산정

【표 5.28】확대모멘트계수 산정 결과 (기둥 1)

구 분	교축직각방향(y축)			교축방향(z축)		
	$\Sigma P_u(\text{kN})$	$\Sigma P_c(\text{kN})$	δ_s	$\Sigma P_u(\text{kN})$	$\Sigma P_c(\text{kN})$	δ_s
LCBF2	-	-	횡구속	0	0	1.000
LCBF12	-	-	횡구속	0	0	1.000
LCBF1	-	-	횡구속	0	0	1.000

$$\delta_s = \frac{1}{1 - Q}$$

여기서, $Q < 0.6$, $\delta_s < 2.5$

$\delta_s > 1.5$ 이면

$$Q_s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0.75 \Sigma P_c}} \geq 1.0$$

ΣP_u : 해당층의 모든 수직하중의 합

ΣP_c : 해당층의 횡변위를 지지하는 기둥들의 임계하중의 합

β_d = 최대 장기지속 계수축력 / 전체계수축력

【표 5.29】 확대모멘트계수 산정 결과 (기둥 2)

구 분	교축직각방향(y축)			교축방향(z축)		
	$\Sigma P_u(kN)$	$\Sigma P_c(kN)$	δ_s	$\Sigma P_u(kN)$	$\Sigma P_c(kN)$	δ_s
LCBF1	-	-	횡구속	0	0	1.000
LCBF12	-	-	횡구속	0	0	1.000
LCBF2	-	-	횡구속	0	0	1.000

$$\delta_s = \frac{1}{1-Q}$$

 여기서, $Q < 0.6$, $\delta_s < 2.5$
 $\delta_s > 1.5$ 이면

$$Q_s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0.75 \Sigma P_c}} \geq 1.0$$

 ΣP_u : 해당층의 모든 수직하중의 합

 ΣP_c : 해당층의 횡변위를 지지하는 기둥들의 임계하중의 합

 β_d = 최대 장기지속 계수축력 / 전체계수축력

③ 확대모멘트 산정

【표 5.30】 확대모멘트 산정 결과 (기둥 1)

구 분		δ_s	$M_2(kN \cdot m)$	검토	C_m	$P_u(kN)$	δ_{ns}	$M_c(kN \cdot m)$
z축	LCBF2	1.000	0	이하	-	-	-	0
	LCBF12	1.000	-4287.81	이하	-	-	-	-4287.811
	LCBF1	1.000	0	이하	-	-	-	0

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s \cdot M_{2s}$$

 만일 $\frac{l_u}{r} > \frac{35}{\sqrt{P_u/(f_{ck} \cdot A_g)}}$ 이면, 추가로 확대를 해주어야 한다.

$$\text{이때 } \delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - P/(0.75P)} \geq 1.0$$

$$C_m = 0.6 + 0.4 \frac{M_1}{M_2} \geq 0.4$$

$$M_c = \delta_{ns} \cdot M_2$$

【표 5.31】 확대모멘트 산정 결과 (기둥 2)

구 분		δ_s	$M_2(\text{kN} \cdot \text{m})$	검토	C_m	$P_u(\text{kN})$	δ_{ns}	$M_c(\text{kN} \cdot \text{m})$
z축	LCBF1	1.000	0	이하	-	-	-	0
	LCBF12	1.000	-4287.81	이하	-	-	-	-4287.811
	LCBF2	1.000	0	이하	-	-	-	0

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s \cdot M_{2s}$$

만일 $\frac{l_u}{r} > \frac{35}{\sqrt{P_u/(f_{ck} \cdot A_g)}}$ 이면, 추가로 확대를 해주어야 한다.

$$\text{이때 } \delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - P/(0.75P)} \geq 1.0$$

$$C_m = 0.6 + 0.4 \frac{M_1}{M_2} \geq 0.4$$

$$M_c = \delta_{ns} \cdot M_2$$

마. 확대모멘트 산정 결과

【표 5.32】 단면력 산출결과 요약 (기둥 1)

구 분	P_u (kN)	M_{cy} (kN · m)	M_{cz} (kN · m)	M_c (kN · m)	비 고
LCBF2	9865.09 kN	4762.19 kN · m	0.00 kN · m	4762.19 kN · m	$P_{u,max}$
LCBF12	7948.31 kN	4981.99 kN · m	-4287.81 kN · m	6573.09 kN · m	$M_{z,max}$
LCBF1	9827.77 kN	4788.29 kN · m	0.00 kN · m	4788.29 kN · m	$M_{y,max}$

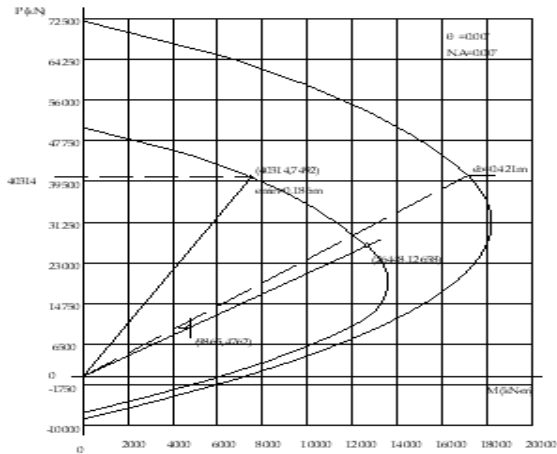
【표 5.33】 단면력 산출결과 요약 (기둥 2)

구 분	P_u (kN)	M_{cy} (kN · m)	M_{cz} (kN · m)	M_c (kN · m)	비 고
LCBF2	9760.30 kN	-4789.76 kN · m	0.00 kN · m	4789.76 kN · m	$P_{u,max}$
LCBF12	7472.83 kN	-1583.44 kN · m	-4287.81 kN · m	4570.84 kN · m	$M_{z,max}$
LCBF1	9724.03 kN	-4765.25 kN · m	0.00 kN · m	4765.25 kN · m	$M_{y,max}$

바. P-M 상관도

【표 5.34】 P-M 상관도에 의한 기둥 안전성 평가 결과 요약 (기둥 1)

■ 하중조합 : LCBF2



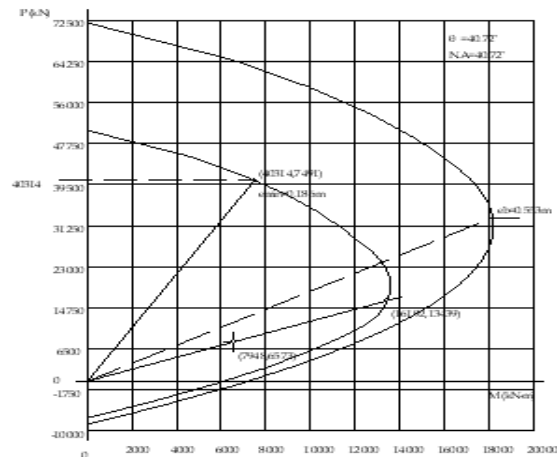
■ 평형편심 상태

$$\begin{aligned} e_b &= 0.421 \text{ m} \\ \phi P_b &= 28962.802 \text{ kN} \\ \phi M_b &= 12195.954 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

■ 작용편심에서의 설계강도

$$\begin{aligned} e &= 0.479 \text{ m} \\ \phi P_n &= 26447.52 \text{ kN} \geq P_u = 9865.086 \text{ kN} \\ &\therefore \text{OK} \\ \phi M_n &= 12657.647 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_u = 4762.188 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ &\therefore \text{OK} \end{aligned}$$

■ 하중조합 : LCBF12



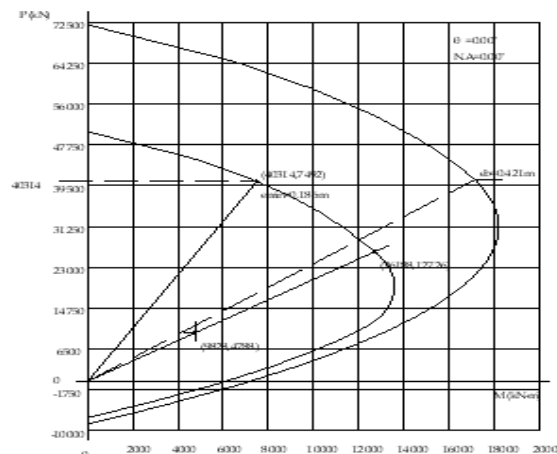
■ 평형편심 상태

$$\begin{aligned} e_b &= 0.553 \text{ m} \\ \phi P_b &= 26139.934 \text{ kN} \\ \phi M_b &= 14457.291 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

■ 작용편심에서의 설계강도

$$\begin{aligned} e &= 0.830 \text{ m} \\ \phi P_n &= 16191.828 \text{ kN} \geq P_u = 13439.22 \text{ kN} \\ &\therefore \text{OK} \\ \phi M_n &= 13439.22 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_u = 6573.09 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ &\therefore \text{OK} \end{aligned}$$

■ 하중조합 : LCBF1



■ 평형편심 상태

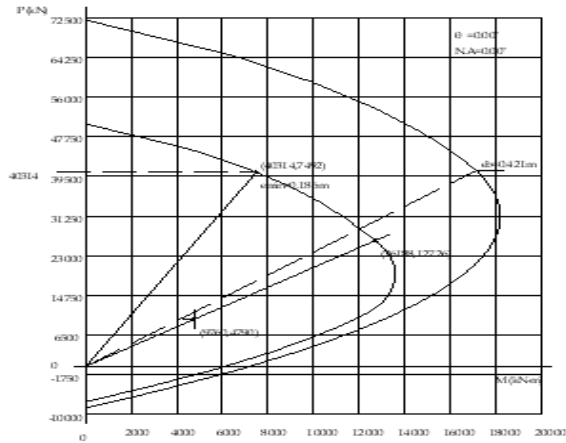
$$\begin{aligned} e_b &= 0.421 \text{ m} \\ \phi P_b &= 29022.302 \text{ kN} \\ \phi M_b &= 12221.009 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

■ 작용편심에서의 설계강도

$$\begin{aligned} e &= 0.486 \text{ m} \\ \phi P_n &= 26188.278 \text{ kN} \geq P_u = 9827.772 \text{ kN} \\ &\therefore \text{OK} \\ \phi M_n &= 12725.888 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_u = 4788.292 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ &\therefore \text{OK} \end{aligned}$$

【표 5.35】 P-M 상관도에 의한 기둥 안전성 평가 결과 요약 (기둥 2)

■ 하중조합 : LCBF1



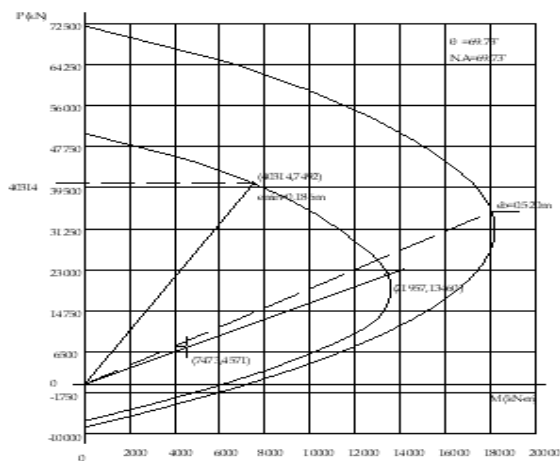
■ 평형편심 상태

$$\begin{aligned} e_b &= 0.421 \text{ m} \\ \phi P_b &= 29022.302 \text{ kN} \\ \phi M_b &= 12221.009 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

■ 작용편심에서의 설계강도

$$\begin{aligned} e &= 0.486 \text{ m} \\ \phi P_n &= 26188.278 \text{ kN} \geq P_u = 9760.302 \text{ kN} \\ &\therefore \text{OK} \\ \phi M_n &= 12725.888 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_u = 4789.757 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ &\therefore \text{OK} \end{aligned}$$

■ 하중조합 : LCBF12



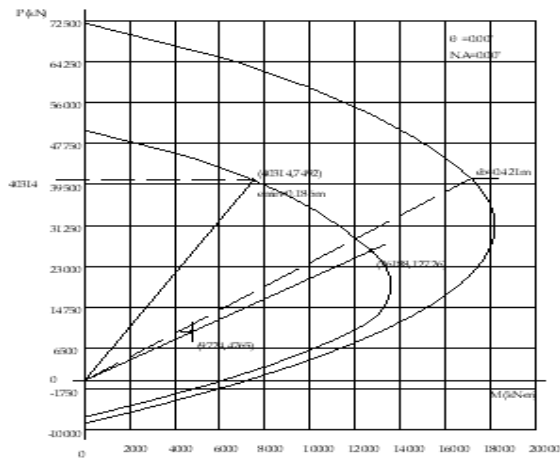
■ 평형편심 상태

$$\begin{aligned} e_b &= 0.520 \text{ m} \\ \phi P_b &= 25712.507 \text{ kN} \\ \phi M_b &= 13380.745 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

■ 작용편심에서의 설계강도

$$\begin{aligned} e &= 0.613 \text{ m} \\ \phi P_n &= 21956.717 \text{ kN} \geq P_u = 7472.825 \text{ kN} \\ &\therefore \text{OK} \\ \phi M_n &= 13460.238 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_u = 4570.843 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ &\therefore \text{OK} \end{aligned}$$

■ 하중조합 : LCBF2



■ 평형편심 상태

$$\begin{aligned} e_b &= 0.421 \text{ m} \\ \phi P_b &= 29022.302 \text{ kN} \\ \phi M_b &= 12221.009 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

■ 작용편심에서의 설계강도

$$\begin{aligned} e &= 0.486 \text{ m} \\ \phi P_n &= 26188.278 \text{ kN} \geq P_u = 9724.027 \text{ kN} \\ &\therefore \text{OK} \\ \phi M_n &= 12725.888 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_u = 4765.252 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ &\therefore \text{OK} \end{aligned}$$

5.3 내하력 평가

5.3.1 개요

내하력 평가시 강박스 거더교의 주거더에 대해서는 허용응력법으로 내하력을 평가하였으며, 콘크리트 바닥판은 강도 설계법에 의하여 내하력을 평가한다.

가. 허용응력법

허용응력법에 의한 교량부재의 내하율 산정시에 하중조합으로는 D+L(1.0+i)를 사용하여 하중계수를 각각 1.0으로 하며, 사용재료의 허용응력은 강재의 경우 사용재료에 따른 항복응력, 콘크리트의 경우 실제 압축강도를 사용하여 도로교 설계기준에 의거 부재종류에 따라 결정한다.

고정하중과 활하중에 의한 응력은 도로교설계기준에 의거하여 계산하였으며, 본 교량에서의 적용 활하중은 DB-24 및 DL-24이다.

허용응력법에 의한 교량부재의 내하력 평가방법은 다음과 같다.

$$\cdot \text{내하율(RF)} = \frac{f_a - f_d}{f_l (1+i)}$$

여기서, f_a : 허용응력

f_d : 고정하중에 의한 응력

f_l : 설계활하중에 의한 응력

f_d : 이론 충격계수

나. 강도 설계법

강도 설계법으로 내하율을 산정할 때의 하중조합으로는 1.3D+2.15L(1.0+i)을 사용하므로 하중계수는 각각 1.3, 2.15 가 된다. 단면강도는 단면의 현재상태, 즉 재료강도와 단면손실 등을 고려하여 도로교설계기준의 공칭강도와 강도감소 계수를 적용하여 계산한다.

교량설계의 부재강도 감소계수는 부재강도의 산정에 있어서 재료강도에 대한 불확실성, 설계와 시공단면의 오차 등을 고려하는 계수이나 내하력 평가시에는 그러한 불확실성은 상

당히 감소하므로 오히려 공용 중에 부재단면의 손상정도에 따라 결정되어야 한다. 그러나 부재단면의 손상정도를 정량적으로 평가하기가 어려우므로 공칭강도의 산정시는 교량의 현재상태에 따른 단면감소와 재료강도를 고려하고 강도감소계수는 설계시의 값을 그대로 사용한다.

고정하중과 활하중에 의한 단면력은 현재 작용하고 있는 사하중과 현행 도로교 표준시방서의 설계활하중(DB 또는 DL하중) 및 콘크리트 구조설계기준을 사용하여 구조해석을 통하여 구한다.

강도설계법에 의한 내하력 평가방법은 다음과 같다.

$$\cdot \text{내하율(RF)} = \frac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_1 M_1 (1+i)}$$

여기서, $\phi = 0.85$ (RC-PC구조물의 휨부재)

M_d = 고정하중 모멘트

M_1 = 설계활하중 모멘트

γ_1 = 활하중계수 = 2.15

γ_d = 고정하중계수 = 1.30

i = 이론 충격계수

5.3.2 기본 내하력 평가

대상교량의 강박스 거더와 바닥판의 내하력은 재하시험을 실시하지 않아 기본내하력으로 평가하였으며, 아래 【표 5.36】과 【표 5.37】에서 보는 바와 같이 강박스 거더와 바닥판 모두 설계활하중인 DL-24 및 DB-24 이상의 내하력을 확보하고 있는 것으로 나타났다.

【표 5.36】 허용응력법에 의한 연무IC교 거더의 공용내하력

구 분		발생응력(MPa)			내하율	비 고
		허용	고정하중	활하중		
최대 정모멘트부	상 연	190.000	45.449	6.470	22.341	
	하 연	190.000	50.667	-21.815	6.387	
최대 부모멘트부	상 연	190.000	105.482	-40.549	2.084	
	하 연	190.000	92.784	39.769	2.445	

$$* RF = \frac{f_a - f_d}{f_l(1+i)}$$

【표 5.37】 강도설계법에 의한 연무IC교 바닥판의 공용내하력

구 분	ϕM_n (kN · m)	M_d (kN · m)	$M_{l(1+i)}$ (kN · m)	내하율	비 고
켄틸레버부	131.515	14.913	37.440	1.392	
중앙부	59.179	1.999	22.360	1.176	

$$\ast RF = \frac{\phi M_n - 1.3M_d}{2.15 \times M_{l(1+i)}}$$

5.3.3 고찰

본 교량에 대한 구조해석 결과 강박스 거더에 대한 내하율과 바닥판 슬래브의 내하율이 1.0 이상으로 설계활하중 DB-24를 만족하는 것으로 평가된다.

5.4 안전성평가 등급 산정

외관상태와 내구성조사를 근거로 교량구조물의 대표등급을 산정하는 경우, 구조물의 실제적인 안전성에 대한 효과적인 고려가 곤란하다. 따라서, 정밀점검(필요시)이나 정밀안전진단 시에는 안전성 평가 결과에 의하여 안전성평가등급을 산정하도록 한다.

5.4.1 개요

구조물의 안전성평가는 주요 구조부재의 정밀육안검사, 비파괴 현장시험 및 재료시험의 결과를 토대로 종합적으로 이루어져야 한다. 현재 도로교와 철도교는 강교의 경우 허용응력설계법, 콘크리트교는 강도설계법으로 설계되고 있다. 안전성검토는 대상 교량의 설계개념을 따라 일관성이 유지되도록 평가하는 것을 원칙으로 하고 있다.

또한 교량의 안전성평가는 내하력평가 개념으로 규정되어 왔으나 내하력은 활하중여유도로서 하중비에 따라 내하력의 변동폭이 크게 변하므로 교량의 안전성을 일관되게 평가하는 기준으로 적절하지 못하다. 따라서 안전성평가는 교량의 안전을 개념을 도입하여 평가하였다.

【표 5.38】 구조물의 안전성 평가기준

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

5.4.2 안전성 평가결과

【표 5.38】에 따라 설계하중에 대한 안전율은 다음과 같이 계산된다.

- 강박스 거더 (허용응력설계법)

$$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+1}} = \frac{190.000}{153.901} = 1.235 \quad 『A』$$

- 바닥판 슬래브 (강도설계법)

$$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{설계강도}}{\text{소요강도}} = \frac{\phi M_n}{M_u} = \frac{59.179}{50.673} = 1.167 \quad 『A』$$

- 하부구조 (강도설계법)

$$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{설계강도}}{\text{소요강도}} = \frac{\phi M_n}{M_u} = \frac{13439.22}{6573.09} = 2.044 \quad 『A』$$

대상교량의 구조해석에 의한 안전성 평가결과는 【표 5.39】와 같이 강박스 거더와 바닥판 슬래브의 안전율이 1.0을 초과한다.

【표 5.39】 안전성 평가결과

부 재	SF(안전율)	등 급
강박스 거더	1.235	A
바닥판 슬래브	1.167	A
하부구조	2.044	A

제 6장 종합평가 및 안전등급의 지정

6.1 종합평가 산정절차

6.2 종합평가 결과

6.3 안전등급 지정

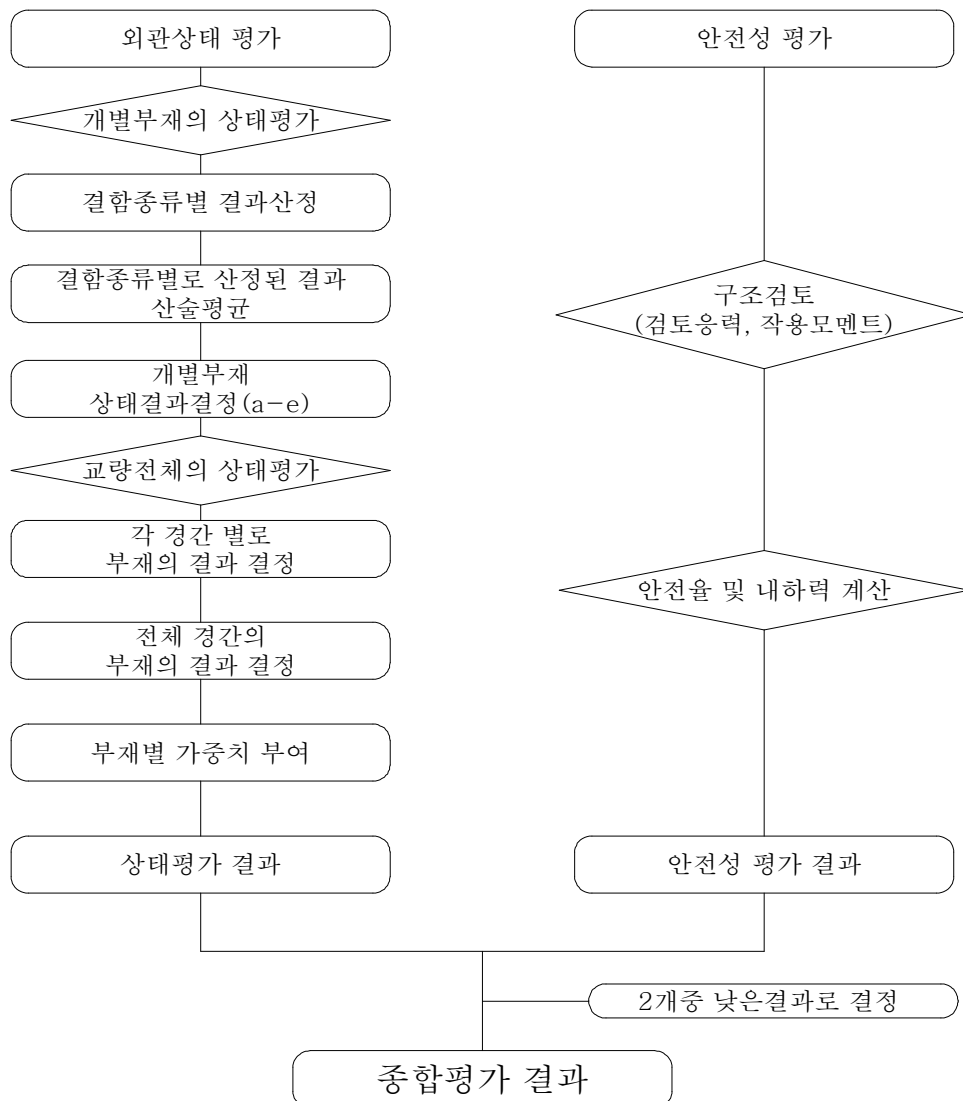
제 6장 종합평가 및 안전등급의 지정

6.1 종합평가 산정절차

6.1.1 종합평가 결과 산정방법

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

■ 종합평가 등급=MIN(상태평가 결과, 안전성 평가 결과)



【그림 6.1】 종합평가 결과 산정절차

6.2 종합평가 결과

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

【표 6.1】종합평가 결과

구조물명	상태평가 결과		안전성평가 결과		종합평가 결과
	환산결함도점수	기준	S·F	기준	
연무IC교	0.211	B	1.167(바닥판)	A	B
종합평가	•연무IC교의 외관조사 및 내구성조사에 의한 상태평가 결과는 “B”로 평가됨 •안전성평가 결과 양방향 최소 안전율 1.0이상으로 “A”로 평가됨 •상태평가 및 안전성평가 결과를 통한 종합평가 결과 연무IC교는 “B”로 평가됨				

6.3 안전등급 지정

6.3.1 안전등급기준

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

6.3.2 안전등급 지정

연무IC교에 대한 상태평가 및 안전성평가 결과 시설물의 상태는 『보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태』인 안전등급 B등급으로 평가되었다

【표 6.3】 안전등급 지정

안전등급	구조물명	안전등급
	연무IC교	B등급(양호)

제 7장 보수·보강 및 유지관리방안

7.1 개 요

7.2 보수·보강 방안

7.3 보수·보강 개략공사비

7.4 유지관리방안

제 7장 보수·보강 및 유지관리방안

7.1 개요

본 과업 대상 교량인 연무IC교는 논산천안고속도로(이정 : R-A 0+378km)에 위치하며 2002년 12월에 준공된 교량이다. 행정구역상으로 충청남도 논산시 채운면 화정리에 위치하고 S2경간에 본선이 교차·횡단 하고 있다.

교량의 외관조사에 따른 상태평가 결과 “B등급” 으로 산정되어 발생한 손상에 대한 보수가 필요한 상태이고, 구조안전성평가 결과, 상·하행선 모두 전 경간에서 1등급(DB-24)로서의 내하력을 충분히 확보하고 있으며, 하부구조 또한 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

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.

연무IC교의 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】 시설물의 보수·보강방안 수립에 따른 검토사항

검 토 순 서	내 용
기존자료분석	기존 점검 및 진단자료 분석, 설계도서 조사
보수·보강 이력검토	사용기간중 시설물의 보수·보강이력검토
보수·보강의 범위 선정	손상규모에 따른 보수여부 결정 구조물의 사용년한을 고려한 보수·보강 범위 산정
공법의 선정	구조물의 기능에 따른 공법선정 구조물의 주변환경 및 형식을 고려하여 공법선정 공법의 시공성 및 경제성 고려하여 결정
보수재료의 선정	기존의 재료와 물성이 같은 보수재 선택 구조물의 종류 및 환경조건 고려 구조물의 사용년한을 고려한 보수재 선택
보수시기 결정	구조적인 안전성, 내구성, 사용성, 결함, 열화의 중요도에 따라 우선순위 부여

7.2 보수·보강 방안

7.2.1 보수·보강 추진방향 및 우선순위의 선정

연무IC교에 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 발생한 것으로 조사되었다.

진단시 조사된 콘크리트의 균열, 박리, 박락 등의 손상 및 결함에 대해서는 가능한 한 조속한 보수·보강을 실시하는 것이 원칙이나, 경제적이고 효율적인 보수·보강 작업을 위해 손상 및 결함이 구조물의 안전성에 미치는 영향을 고려하여야 한다.

보수·보강의 우선순위는 다음 표의 기준에 의해 구분하되 책임기술자의 판단하에 우선순위를 선정하였다.

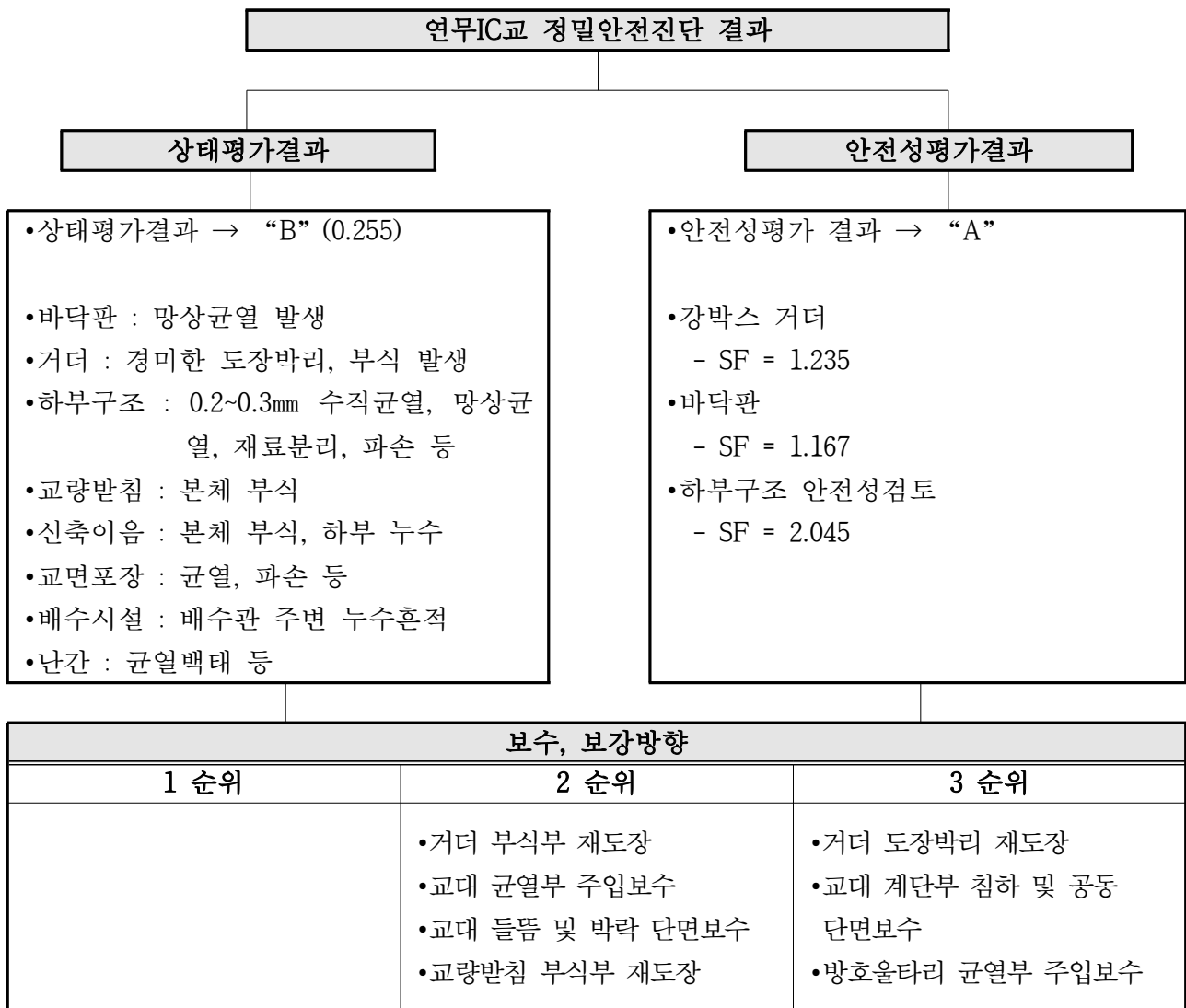
또한, 직접 구조물에 발생한 손상이 아닌 경우 유지관리 방안에는 기술하되, 공사비 산정에는 반영하지 않았다.

【표 7.2】 보수·보강 우선순위 결정 기준

구분	순위	내 용
단기	1순위	• 『시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법 시행령』 제18조(시설물의 중대한 결함)의 “대통령령으로 정하는 중대한 결함”에 포함되는 손상 - 철근콘크리트 시설물의 염해 또는 탄산화에 따른 내력손실 • 주요부재에 발생한 결함 및 손상이 커 상태평가 기준 “d” 이하인 경우 • 철근부식에 의한 내하력 저하가 우려되거나, 부식가능성이 큰 경우
중기	2순위	• 보조부재에 발생한 결함 및 손상이 커 내구성에 영향을 미치는 경우 • 상부 차량 통행에 지장을 줄 수 있는 손상 • 즉각적인 보수는 요구되지 않지만 내구성, 기능성, 사용성 저하방지를 위한 보수가 필요한 경우
장기	3순위	• 기능발휘에는 지장이 없으나, 방치시 규모가 증대될 수 있는 손상 및 사용성 증진을 위해 보수가 필요한 손상 • 발생한 손상이 경미하여, 유지관리를 통한 점검이 필요한 경우
주의 관찰		• 1~3순위를 제외한 손상으로서 지속적인 관찰을 통해 향후 발전상태에 따라 보수·보강 여부를 판단할 수 있는 정도의 손상 - 콘크리트의 0.2mm이하의 비구조적 미세균열(단, 균열집중구간은 제외) - 경미한 강재의 용접결함 - 후타재 등의 보조부재에서의 주행에 지장을 주지 않는 균열 등의 손상(빈번한 차량통행으로 인한 보수효과가 없는 경우, 향후 교체가 시행될 부재 등) - 기타 경미한 손상으로서 내구성 및 사용성에 지장을 주지 않은 경우

【표 7.3】 보수·보강 주체 선정

구 분	하자보수	관리주체
내용	- 준공 후 하자담보 책임기간 만료 전 발생한 하자 손상 - 준 공 : 2002년 12월 - 하자만료 : 2012년 12월	- 사용 중 구조물에 발생한 손상 - 자연적인 손상 및 노후화 - 하자담보 책임기간이 만료된 기타부재
보수방안	- 주요부재 및 보조부재 : 상부구조(바닥판, 거더, 2차부재) - 하부구조(교대 및 교각, 기초)	- 기타부재 : 교면포장, 방호울타리, 배수시설 - 신축이음장치, 교량받침
손상내용	- 균열(건조수축 및 수화열 등) - 철근노출, 박리 : 철근관련 손상 - 재료분리, 박락 : 단면손상 - 기타 시공미흡에 의해 발생한 손상	- 기타부재에 발생한 손상 - 외부 충격에 의해 발생한 손상 - 파손, 굽힘 등



【그림 7.1】 보수·보강방안 추진방향

7.2.2 결함내용별 보수·보강방안

【표 7.4】 보수·보강 일람표

구분		손상내용	손상 물량	단위	보수방안	우선 순위
바닥판		균열(0.3mm미만)	12.1	m	주의관찰	-
		들뜸	0.26	m ²	주의관찰	-
		백태	0.25	m ²	주의관찰	-
거더	내부	Splice 틈	35.0	EA	주의관찰	-
		PIT	4.0	EA	주의관찰	-
		굽힘	0.01	m ²	주의관찰	-
		녹발생	0.01	m ²	주의관찰	-
		단부부식	0.12	m ²	재도장	2
		도장박리	0.14	m ²	재도장	3
		도장박리 및 부식	0.18	m ²	재도장	2
		점부식	0.26	m ²	재도장	2
		이물질 퇴적	44.37	m ²	주의관찰	-
		화재흔적	0.45	m ²	주의관찰	-
	외부	굽힘	0.19	m ²	주의관찰	-
		도장박리	0.04	m ²	재도장	3
		볼트풀림	2.0	EA	주의관찰	-
		부식	1.92	m ²	재도장	2
가로보 및 세로보		부식	0.48	m ²	재도장	2
하부 구조	교대	균열(0.3mm미만)	6.2	m	주의관찰	-
		균열(0.3mm이상)	1.5	m	주입보수	2
		망상균열	0.5	m ²	주의관찰	-
		누수흔적	3.45	m ²	주의관찰	-
		들뜸 및 박락	0.86	m ²	단면보수	2
		백태	1.67	m ²	주의관찰	-
		배부름	2.0	m ²	주의관찰	-
		폐콘크리트 퇴적	2.4	m ²	주의관찰	-
		계단부 침하	0.3	m ²	주의관찰	-
		공동, 계단부 침하	0.9	m ²	단면보수	3

【표 7.4】 보수·보강 일람표(계속)

구분		손상내용	손상 물량	단위	보수방안	우선 순위
하부 구조	교각	균열(0.3mm미만)	22.7	m	주의관찰	-
		표지판 탈락	1.0	EA	주의관찰	-
교량 받침	받침	몰탈 균열(0.3mm미만)	7.4	m	주의관찰	-
	본체	유압실린더 부식	0.06	m ²	주의관찰	-
		받침부식	1.5	m ²	재도장	2
신축 이음	본체	부식	12.3	m	주의관찰	-
		유간 토사퇴적	0.2	m ²	주의관찰	-
	후타재	균열(0.3mm미만)	2.7	m	주의관찰	-
		파손 및 들뜸	0.42	m ²	주의관찰	-
기타 시설	난간 및 연석	균열(0.3mm미만)	19.0	m	주의관찰	-
		균열(0.3mm이상)	3.0	m	주입보수	3
		백태	0.09	m ²	주의관찰	-
		고정볼트유실	1.0	EA	주의관찰	-
		식생	0.02	m ²	주의관찰	-
		차수판 변형	2.0	EA	주의관찰	-
		박리 및 박락	14.19	m ²	주의관찰	-
		파손	0.27	m ²	주의관찰	-
		도장박리	270.0	m ²	주의관찰	-

7.2.3 주요결함 및 손상에 대한 보수·보강 방법

가. 콘크리트 균열보수 방안

1) 진단 현황

본 교량에 상·하부 구조에 발생된 균열은 대부분 폭 0.1mm~0.3mm로 내구성 유지 및 진전 방지를 위한 보수가 필요한 상태로서 폭 0.1~0.2mm 균열은 주의관찰 후 손상의 진전시 조치를, 폭 0.3mm 이상 균열은 주입보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

2) 콘크리트 표면처리공법(c/w=0.3mm미만)

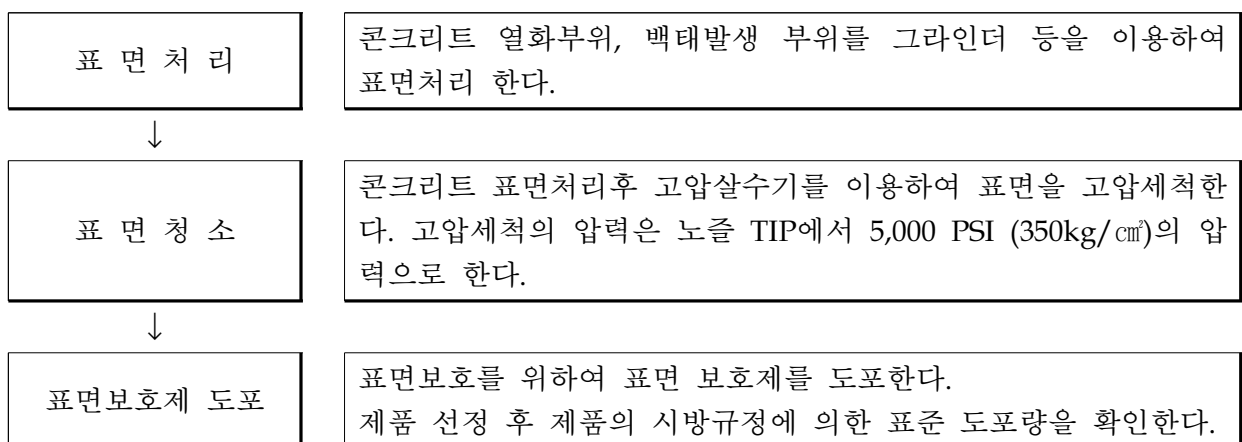
① 공법 개요

콘크리트 표면이 노후 및 열화된 부위에 대해서 그라인더를 이용하여 열화부위를 제거하고 표면보호제를 도포하여 보수하는 방법이며 표면백태, 0.2mm 이하의 미세균열의 발생 부위에 적용한다. 또한, 보수 효과는 콘크리트 표면의 보수에 그치므로 본 공법 적용 시 균열 등의 결함발생 여부에 대한 주기적인 관찰이 요구된다.

② 시공방법 및 유의사항

균열의 성장이 정지된 상태에서는 균열선 및 백태를 따라 폭 50~100mm를 와이어 브러쉬로 닦아 내거나 심한 경우 치핑을 실시한 후 폴리머 시멘트 페이스트나 모르타르로 균일하게 도포한다.

균열폭의 변동이 큰 경우에는 경화후의 재질이 단단한 폴리머 시멘트 페이스트나 모르타르로 보수할 경우 보수부위에 다시 균열이 발생하므로 균열면을 와이어 브러쉬로 완전히 청소한 후 균열선을 중심으로 폭 10~15mm 절연재를 부착하고, 절연재를 중심으로 폭 30~50mm, 두께 2~4mm의 변형성 및 신장성이 큰 실링재를 도포하여 바닥의 변형을 이 테이프사이에서 흡수할 수 있도록 한다.



【그림 7.2】 콘크리트 표면처리 시공순서도

3) 균열주입보수(c/w=0.3mm이상)

① 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 수지 재료를 사용하여야 한다.

② 수지주입공법의 종류

균열 주입공법에는 압입식과 흡입식이 있다. 압입식 주입공법에는 수동식, 기계식, 저압·저속식 주입 및 자동주입식 기계주입공법이 있으며, 이 중 저압·저속식 주입은 주입량 파악이 쉽고 균열 구석까지 주입할 수 있는 특징이 있어 유리하다.

【표 7.5】 수지주입공법의 종류

압입식 공법	흡입식 공법
· 수동식 주입 : 인력 · 기계식 주입 : 공기압식, 유압식, 기어식 · 저압·저속식 주입 : 고무, 용수철, 공기 등의 압력 · 자동주입식 기계주입 : 자동주입기	· 균열의 양단에 흡기구와 충전재 주입구를 설치하여, 흡입펌프로 충전재를 흡입 주입

【표 7.6】 균열폭에 알맞은 수지의 점도

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

【표 7.7】 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 7.8】 에폭시계 수지의 규격

시험항목	시험방법	시험조건	실링 및 퍼티용 규격치	주입용 규격치
비 중	KS M 3015	20℃ 7일간	1.7±0.2	1.2±0.2
사용가능시간	온도상승법	20℃	60이상	30이상
점 도	JIS K 6838	〃	-	5,000이하
압축항복강도	KS M 3015	20℃ 7일간	6.0이상	6.0이상
휨강도	〃	〃	3.5이상	4.0이상
인장강도	〃	〃	2.0이상	2.0이상
압축탄성계수	ASTM D 695	〃	0.1~0.6	0.1~0.6
인장전단강도	KS M 3722	〃	100이상	100이상
충격강도	KS M 3015	〃	0.15이상	0.3이상
경 도	ASTM D 2240	〃	80이상	80이상

③ 시공방법

● STEP 1

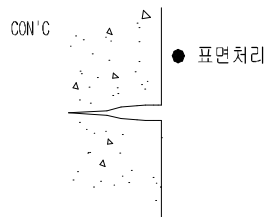
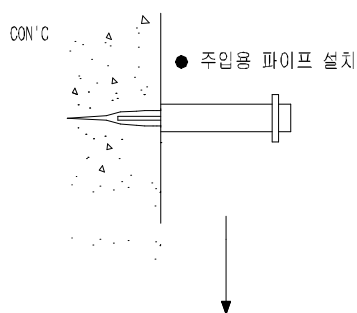


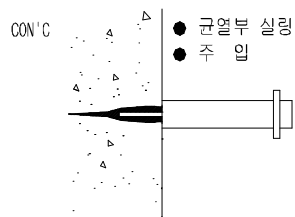
표 면 처 리
균열부를 중심으로 폭 5.0mm 정도를 와이어브러시 등으로 표면의 이물질 등을 제거한다.

● 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.

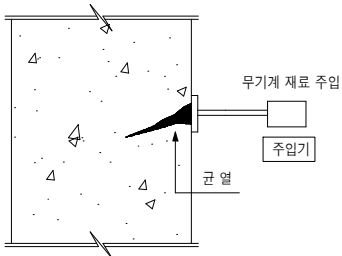
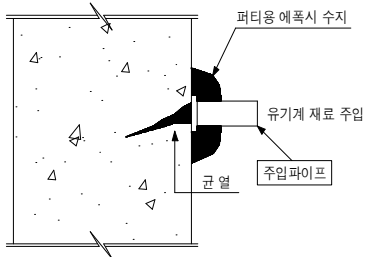
양 생
작업종료 후 양생한다.

【그림 7.3】 균열 보수공법 개요도

④ 시공시 주의사항

- ㉠ 대기온도가 10~30℃ 일 때 시공 가능하며, 우천시는 중지한다.
- ㉡ 에폭시계 수지는 사용에 앞서 현장에서 시공시의 기온에 대응하는 경화시간을 설정하여 균열 주입 효과를 높이도록 한다.
- ㉢ 사용하는 에폭시계 수지는 적당한 루트마다 시험을 실시하여 품질을 확보한다.
- ㉣ 썰링 및 표면 마감면은 주입압에 견디도록 충분히 양생한다.
- ㉤ 주입된 에폭시계 수지가 경화한 후에는 주입 파이프를 절단하고 썰링재와 함께 그라인더로 갈아 평탄하게 표면처리 한다.

【표 7.9】 주입공법 공법비교안

구 분	폴리머 슬러리시멘트 주입공법	에폭시 주입공법
개요도		
공법 개요	균열부위를 컷팅하고 균열부를 썰링한 후에 무기계재료인 폴리머 슬러리시멘트를 주입기를 통하여 주입하는 공법	균열부위를 컷팅하고 균열부를 썰링한 후에 유기계 재료인 에폭시를 주입기를 통하여 주입하는 공법
시공 방법	표면처리→U.V컷팅→주입기설치→균열부 썰링→폴리머슬러리시멘트주입→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 단면손상은 바닥판의 들뜸, 교대의 파손 및 들뜸, 신축이음 후타재 파손 및 들뜸이 조사되었으며, 조사된 손상은 주의관찰, 내구성 유지 및 손상진전 방지차원의 보수가 필요한 상태이다.

2) 단면복구(보수)공법 개요

콘크리트 단면 결손부중 박락(파손) 및 철근 노출부는 내구성 저하방지를 위하여 단면복구(보수)공법을 사용하여 보수를 실시하는데, 콘크리트 표면을 피복하여 철근부식 등의 내구성 저하의 원인이 되는 물질의 침투를 억제함으로써 구조물의 내구성 저하를 방지하는 공법으로서 침투막제, 접착제, 단면 보수재, 철근방청제의 조합에 의한 공법으로 본 교량에서는 상기한 결합 중 콘크리트 파손부 및 철근노출, 부식부에 대한 보수방법으로 사용한다.

3) 단면복구(보수)시 털어내기 작업

단면복구(보수)시 털어내기 작업은 콘크리트 표면의 상황을 봐서 판단하는 것이 아니고 다음의 항목을 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

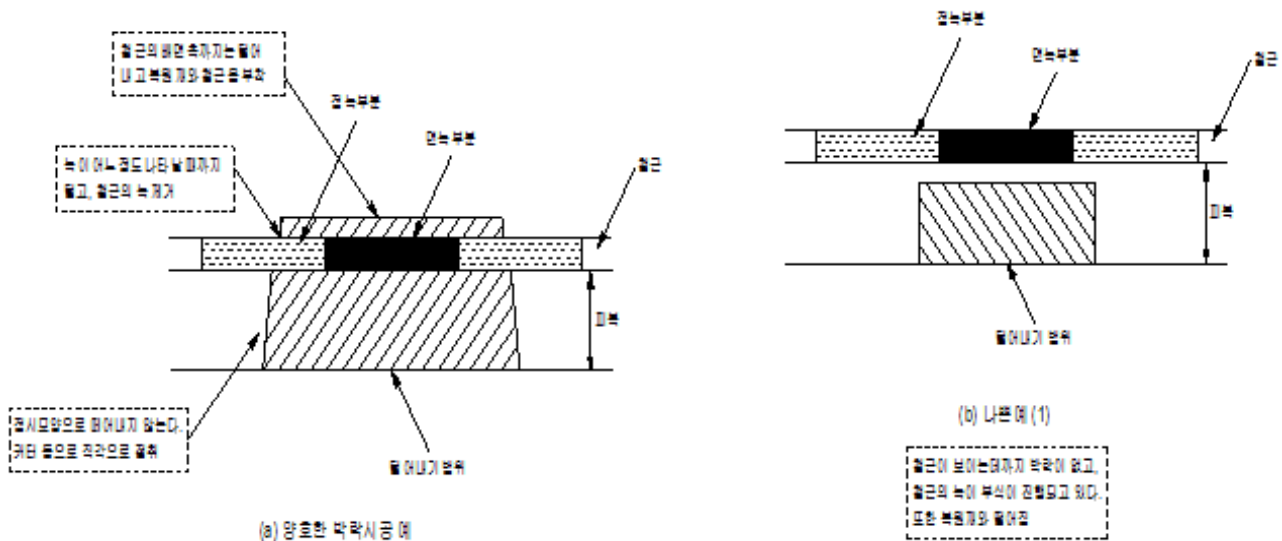
콘크리트의 열화부분을 충분하게 제거하여도 철근의 부식범위는 이 부위보다 넓은 경우가 대부분이다. 이 경우는 박락되어 노출된 부분의 철근 청소를 실시하여도 그 전후는 녹이 잔존한 채 남아있게 된다. 이 상태에서 단면복구(보수)를 실시하면 보수된 범위는 마이너스(-), 그 전후는 플러스(+)의 macro cell 부식이 생겨서 철근부식이 주위로 확산되어 보수효과가 적어지는 결과를 나타내는 경우가 많다.

따라서, 녹제거를 확실하게 할 수 있도록 철근표면의 전면에 녹이 나오고 있는 부분(면 녹의 부분)뿐만 아니라, 이것과 인접하면서 녹이 점상으로 나타나는 비교적 건전한 부분(점 녹의 부분)이 드러나는 범위까지 털어낼 필요가 있다. 한편, 털어내기 전에 면 녹의 범위를 파악하기 위해서는 자연전위 보정법에 근거하고 보정자연전위에서 -350mV보다 낮은 전위를 가리키는 부분이 이것에 해당한다.

또한 같은 이유로 녹의 제거는 철근의 전 주변에 대하여 실시하여야 하고, 철근은 박락된 부분(면)에서부터 뒷부분까지 파취할 필요가 있다. 이것은 단면복구(보수)재가 철근을 둘러싸는 것에 의한 부착성 향상에도 유효하다.

③ 떨어내기 형상

콘크리트와 단면복구(보수)재와는 일반적으로 열팽창율이 다르기 때문에 복구재의 단부가 접시형상으로 되어 있으면, 온도신축에 의해 그 부분으로부터 박리현상을 보이는 우려가 있다. 이것을 방지하기 위해 떨어내기시 단부가 접시형상으로 되는 것을 피하고, 될 수 있는 한 수직에 가까운 각도로 깊이 떨어내는 것이 중요하다.



【그림 7.4】 단면복구(보수) 상세도

4) 철근의 방청 처리

떨어내기에 의해 노출된 철근의 녹 제거는 특히 정성껏 실시할 필요가 있다. 일반적으로 와이어 브러시를 이용할 수 있는 것이 많지만, 보다 확실한 녹제거 방법은 샌드 블라스트, 워트제트 등을 쓰는 것이 좋다.

녹을 제거한 후는 철근에 방청재를 도포한다. 방청재에는 녹방지 도료, 아질산염계 방청재, 염분흡착제를 사용한 시멘트계 방청형 보수재가 있다. 일반적으로 철근부식의 억제는 철근부식효과가 있는 아질산염 이온이 함유된 것이 효과적이다.

액산의 아질산칼륨이나 아질산리튬을 철근이나 박락면에 직접 도포하여 아질산염이온을 같이 배합한 아질산염계 방청재가 있다. 염화물에 의한 부식의 경우 유효한 도포량은 아질산 이온량과 염화물량의 비율을 관리하여야 하며 많은 양의 충전이 필요한 경우 Paste나 모르터 등을 혼합하여 사용하는 등의 검토가 필요하다. 또한 최근 개발된 염분흡착재를 이용한 방청재는 해수성분을 함유한 수분이 있는 개소의 철근부식에 대응하여 아질산 이온을 도입 또는 함유한 염화물량의 저감효과가 있다.

염분흡착재는 콘크리트 제체중의 유해한 염화물이 흡착되어 저장되어지는 동시에 염분흡착재 자신이 기다리고 있는 아질산 이온을 방출하는 것에 의해 높은 방식재 효과를 얻을 수 있다.

5) 단면복구(보수) 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. 단면복구(보수)재는 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 단면복구(보수)재를 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 7.10】 일반적인 단면 복구(보수)재의 분류

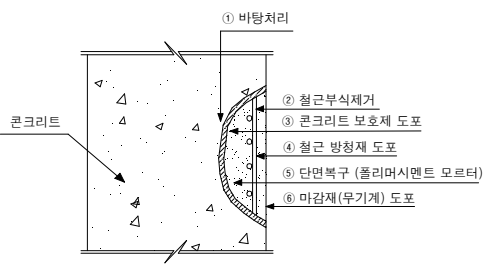
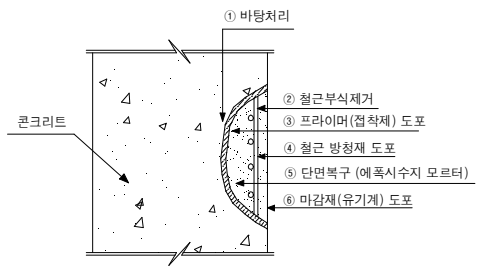
분 류		개 요
유기계	수지모르터 (에폭시수지 등)	에폭시 등의 수지와 잔골재를 이용한 모르터로 고강도, 수밀, 경량, 접착성이 뛰어나고 섞어쓰기 용이하나 고가임
	폴리머 시멘트 모르터	시멘트에 SBR, 포키시 등의 수지를 첨가한 모르터로 고강도, 수밀성 양호
무기계	무수축 모르터	팽창재가 함유된 건조수축을 보상하는 것에 의해 억제하는 모르터

6) 단면복구(보수)시 유의 사항

- ① Lath 철망이나 Wire Mesh를 끼울 경우는 박리현상이 발생되지 않게 충분히 고정된 뒤 단면복구(보수)재를 충전한다.
- ② 철근방청재, 프라이머, 단면복구(보수)재는 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 단면복구(보수)재가 낙하할 가능성이 있는 부위는 중점적으로 검사 및 점검을 실시한다. 또한, 재료의 선택에 따라 신구콘크리트접착재의 도포가 필요할 경우에는 도포 후 단면복구(보수)를 실시한다.

- ⑤ 털어내기 작업시 콘크리트 분진으로 인한 대기오염을 방지하기 위해 집진시설이나 물 분사 등을 실시하여 도로주변의 환경오염에 주의하여야 한다.

【표 7.11】 단면복구(보수) 공법비교안

구 분	폴리머시멘트 모르터 공법	에폭시수지 모르터 공법
개 요 도		
공법개요	콘크리트 손상부위 및 철근의 부식을 제거하고 콘크리트 보호제를 도포한 후 철근을 방청하고 무기계인 폴리머시멘트 모르터로 단면을 복구한 후 무기계 마감재로 마감하는 공법	콘크리트 손상부위 및 철근의 부식을 제거하고 접착제를 도포한 후 철근을 방청하고 유기계인 에폭시수지 모르터로 단면을 복구한 후 유기계 마감재로 마감하는 공법
시공방법	치핑/고압수 세척 → 철근 부식제거 → 콘크리트 보호재(침투성) 도포 → 철근 방청제 도포 → 폴리머시멘트 모르터로 단면복구 → 마감재(무기계)도포	치핑/고압수 세척 → 철근 부식제거 → 프라이머(접착제) 도포 → 에폭시수지 모르터로 단면복구 → 마감재(유기계) 도포
특 징	- 철근의 방청효과가 우수하고 재부식 확률이 없음 - 철근 노출부 보수의 일괄적인 공정에 대한 재료 및 시방확보 - 폴리머시멘트의 사용으로 콘크리트 중성화 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

7.3 보수·보강 개략공사비

금회 진단은 준공 후 실시하는 최초 진단으로서 하자만료 전 진단이므로 하자에 해당되는 손상에 대한 공사비는 산정하지 않고 비 하자에 대한 부재 및 손상에 대하여 개략공사비를 산정하였으며, 보수공법별 단가는 한국도로공사 2016년 유지보수단가를 적용하여 산정하였다.

【표 7.12】 보수·보강 개략공사비

구분	손상내용	보수방안	손상 수량	보수 수량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위
바닥판	균열(0.3mm미만)	주의관찰	12.1	4.54	m ²	-	-	-
	들뜸	주의관찰	0.26	0.39	m ²	-	-	-
	백테	주의관찰	0.25	0.38	m ²	-	-	-
거 더	내부	Splice 틈	주의관찰	35.0	EA	-	-	-
		PIT	주의관찰	4.0	EA	-	-	-
		균함	주의관찰	0.01	m ²	-	-	-
		녹발생	주의관찰	0.01	m ²	-	-	-
		단부부식	재도장	0.12	m ²	9	2	2
		도장박리	재도장	0.14	m ²	9	2	3
		도장박리 및 부식	재도장	0.18	m ²	9	2	2
		점부식	재도장	0.26	m ²	9	4	2
		이물질 퇴적	주의관찰	44.37	m ²	-	-	-
		화재흔적	주의관찰	0.45	m ²	-	-	-
	외부	균함	주의관찰	0.19	m ²	-	-	-
		도장박리	재도장	0.04	m ²	45	3	3
		볼트풀림	주의관찰	2.0	EA	-	-	-
		부식	재도장	1.92	m ²	45	130	2
가로보 및 세로보	부식	재도장	0.48	0.72	m ²	45	32	2
하부 구조	교대	균열(0.3mm미만)	주의관찰	6.2	m ²	-	-	-
		균열(0.3mm이상)	주입보수	1.5	m	75	169	2
		망상균열	주의관찰	0.5	m ²	-	-	-
		누수흔적	주의관찰	3.45	m ²	-	-	-
		들뜸 및 박락	단면보수	0.86	m ²	230	297	2
		백테	주의관찰	1.67	m ²	-	-	-
		배부름	주의관찰	2.0	m ²	-	-	-
		폐콘크리트 퇴적	주의관찰	2.4	m ²	-	-	-
		계단부 침하	주의관찰	0.3	m ²	-	-	-
		공동, 계단부 침하	단면보수	0.9	m ²	230	311	3
	교각	균열(0.3mm미만)	주의관찰	22.7	m ²	-	-	-
		표지판 탈락	주의관찰	1.0	EA	-	-	-

【표 7.12】 보수·보강 개략공사비(계속)

구분		손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위
교량 받침	받침	몰탈 균열	주의관찰	7.4	2.78	m ²	-	-	-
	본체	유압실린더 부식	주의관찰	0.06	0.09	m ²	-	-	-
		받침부식	재도장	1.5	2.25	m ²	9	20	2
신축 이음	본체	부식	주의관찰	12.3	18.45	m ²	-	-	-
		유간 토사퇴적	주의관찰	0.2	0.3	m ²	-	-	-
	후타 재	균열(0.3mm미만)	주의관찰	2.7	1.01	m ²	-	-	-
		파손 및 들뜸	주의관찰	0.42	0.63	m ²	-	-	-
기타 시설	난간 및 연석	균열(0.3mm미만)	주의관찰	19.0	7.13	m ²	-	-	-
		균열(0.3mm이상)	주입보수	3.0	4.5	m	75	338	3
		백태	주의관찰	0.09	0.14	m ²	-	-	-
		고정볼트유실	주의관찰	1.0	1.0	EA	-	-	-
		식생	주의관찰	0.02	0.03	m ²	-	-	-
		차수판 변형	주의관찰	2.0	2.0	EA	-	-	-
		박리 및 박락	주의관찰	14.19	21.29	m ²	-	-	-
		파손	주의관찰	0.27	0.41	m ²	-	-	-
		도장박리	주의관찰	270.0	405.0	m ²	-	-	-
순공사비 합계(천원)							1,310,000원		
제경비(순공사비×50%)							655,000원		
순위별 공사비 (제경비 포함)			1순위				-		
			2순위				984,000원		
			3순위				981,000원		
유지보수 개략공사비 총계							1,965,000원		

※ 순공사비는 부대공(교통통제 및 고소장비 등)을 포함한 개략공사비 합산금액이며, 부대비용은 현장여건에 따라 금액이 변경될 수 있음.

※ 유지보수 개략공사비 총계는 부대공을 포함하여 합산한 금액임.

※ 면적환산 = 균열보수(0.3mm미만) : L(길이) × 0.25m(폭)

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

7.4 유지관리방안

교량 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

연무IC교는 금회 진단결과, 바닥판 균열 폭 0.3mm미만, 들뜸, 백태, 거더 도장박리 및 부식, 녹발생, PIT, 교대 균열 폭 0.3mm 내·외, 망상균열, 누수흔적, 들뜸 및 박락, 폐콘크리트 퇴적, 계단부 공동 및 침하, 교각 균열 폭 0.3mm미만, 표지판 탈락, 교량받침 무수축 몰탈 균열, 받침 부식 및 유압실린더 부식, 신축이음 본체 부식, 유간 토사퇴적, 후타재 균열, 파손 및 들뜸, 난간 및 연석 균열 폭 0.3mm 내·외, 백태, 박리 및 박락, 도장박리 등의 손상이 조사되었다. 기 손상 중 거더 도장박리 및 부식, 교대 균열 폭 0.3mm이상, 들뜸 및 박락, 계단부 침하, 교량받침 부식 등의 손상부는 보수 실시 후 보수부 재손상 발생 여부 및 추가 손상진전 발생에 대한 주기적인 점검이 필요하며, 그 외 손상부는 주의관찰 후 손상의 진전시 적절한 조치를 취하는 것이 바람직하다.

나. 손상부 보수 실시 후 보수부 재손상 발생 여부 확인

거더 도장박리 및 부식, 교대 균열 폭 0.3mm이상, 들뜸 및 박락, 공동, 계단부 침하, 교량받침 부식 등의 손상부는 보수 실시 후 보수부의 재손상 발생 여부를 파악하는 것이 바람직하며, 양호한 구조물로 유지하기 위하여 밀실한 보수가 요구된다.

다. 거더 내·외부 도장박리 및 부식

1) 선정사유

거더 내·외부에 발생된 도장박리 및 부식의 경우 공용기간 증가에 의한 열화, 우수 유입 등의 원인으로 발생된 손상으로 진전시 구조물의 내구성 저하에 직접적인 영향을 미치기 때문에 손상의 진전 방지를 위한 적절한 조치가 필요하다.

2) 현장조사결과

거더의 외관조사 결과, 내·외부 및 가로보, 세로보 등에 전구간 국부적인 도장박리 및

부식이 발생된 상태이다. 이는 공용기간 증가에 의한 열화, 외기환경, 우수유입 등에 의한 손상으로 손상의 진전 방지를 위한 적절한 조치가 필요하다.

3) 향후관리방안

금회 진단시 조사된 거더 내·외부에 발생된 도장박리의 경우 거더의 부식 방지를 위한 재도장을, 거더 내·외부 및 가로보, 세로보에 국부적으로 발생된 부식의 경우 진전 방지를 위한 녹제거, 재도장 등의 보수를 실시하는 것이 바람직하다. 또한 보수 후 주기적인 점검을 통한 보수부 재손상 및 추가 손상 발생 확인 등의 유지관리가 필요하다.

라. 신축이음 하부 누수

1) 선정사유

신축이음장치가 부식되거나 파손, 변형이 발생하였을 경우 하부에 누수가 발생할 수 있는데 누수에 의해 직접적인 손상은 발생하지 않으나 동절기 염화칼슘 등과 같은 염수가 유입될 경우 거더 단부 및 교량받침의 부식, 교대의 내구성에 손상을 유발시킬 수 있으므로 신축이음장치의 누수 발생 여부는 중요한 점검 사항이다.

2) 현장조사결과

현재 연무IC교는 A1측과 A2측에 MS형식의 신축이음장치가 설치되어 있으며 신축이음장치에 별다른 손상은 없는 상태이나 신축이음 단부로 우수가 유입된 상태이며 이로 인하여 거더 단부 및 교량받침의 부식 등과 같은 2차 손상이 유발된 것으로 조사되었다.



【사진 7.1】 신축이음 누수에 따른 손상 발생 현황

3) 향후관리방안

현재 거더의 부식 및 교량받침의 부식, 바닥판 및 교대 들뜸 등과 같은 2차 손상이 발생된 상태이다. 신축이음장치에 2차 손상을 발생시킬 만한 손상은 조사되지 않았으며, 기 손상은 신축이음 단부를 통해 유입된 우수로 인해 발생한 손상으로 주기적인 점검을 통한 주의관찰 후 손상의 진전 시 신축이음 하부 물받이 설치 및 유도배수관 설치 등의 조치를 취

하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

마. 하부구조 폭 0.3mm 균열

1) 선정사유

하부구조 교대 및 교각의 외관조사 결과 폭 0.1~0.3mm 균열이 다수 조사되었다. 전반적으로 비구조적인 균열로 판단되나, 폭 0.3mm 균열의 경우 피복두께 초과시 철근부식으로 진전되는 2차 손상이 발생할 우려가 있다.

2) 현장조사 결과

교대 흥벽 및 벽체에 발생한 수직균열(폭 0.1~0.3mm)과 교각 코핑부에 발생한 수직균열(폭 0.1~0.2mm)은 다수 발생한 상태이다.

	
교대 A1 벽체 균열 0.2mm	교대 A1 흥벽 균열 0.3mm
	
교각 P1 코핑부 균열 0.1mm	교각 P4 코핑부 균열 0.1mm

【사진 7.2】교각 균열 발생 현황

3) 향후관리방안

발생한 균열(폭 0.3mm이상)에 대하여 주입보수를 실시하고 보수부 재균열 발생 여부 및 진전여부를 주기적인 관찰 및 점검을 실시하여 유지관리 하는 것이 바람직하며, 그 외 균열부는 주의관찰 후 손상의 진전시 적절한 보수를 실시하는 것이 바람직하다.

바. 스마트 내하력 평가

교량의 외관조사 결과 내하력의 저하가 우려되거나 그에 따른 손상, 결함이 발생하였을 경우 관리주체와 협의하여 스마트 내하력 평가를 실시할 수 있다.

연무IC교의 외관조사 결과 내하력 저하가 의심될만한 손상은 조사되지 않았으며, 초기점검 당시 실시한 내하력 평가 또한 DB-24를 만족하는 상태로 나타났으므로 관리주체와 협의 결과 별도의 스마트 내하력 평가는 필요하지 않을 것으로 판단된다.

사. 부재별 중점유지관리 사항

본 교량에 대한 부재별 유지관리 중점사항은 다음과 같다.

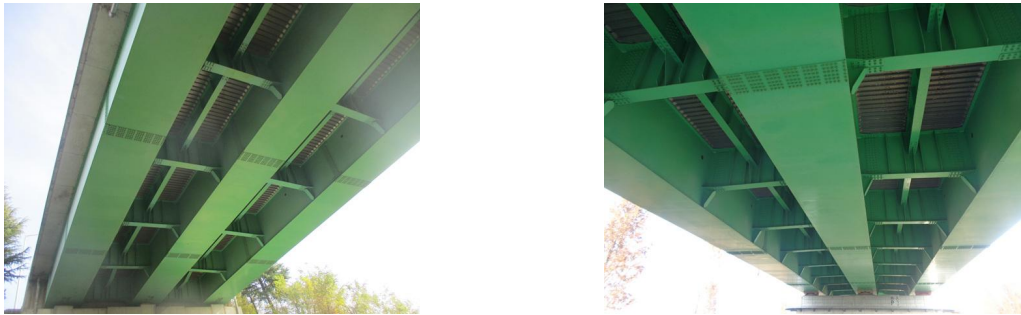
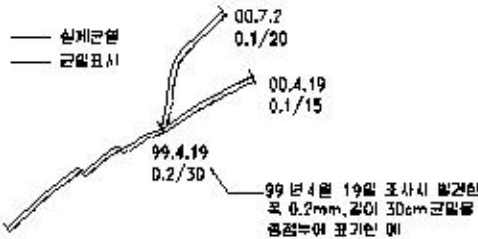
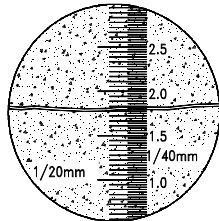
【표 7.14】 부재별 유지관리 중점사항

부재구분	중 점 점 검 내 용
공통	바닥판, 거더, 가로보 및 세로보, 교대 및 교각에 대하여 보수 실시 후 보수부 재손상 발생 여부 점검
바닥판	- 폭 0.1~0.2mm 균열 진전 여부 - 우수유입에 의한 바닥판 들뜸 및 백태 진전 여부
거더	- 장기공용으로 인한 부식 및 도장박리 진전 여부 - 스플라이스 우수 유입에 따른 부식 발생 여부
가로보 및 세로보	부식 진전 여부
교대	폭 0.3mm 균열 및 단면손상 부 진전 여부
교각	폭 0.1~0.2mm 균열 진전 여부
교량받침	받침 및 유압실린더 부식 진전 여부
신축이음장치	본체 부식 및 후타재 단면손상 부 진전 여부
교면포장	신규손상 발생 여부
배수시설	신규손상 발생 여부
난간 및 연석	폭 0.3mm 균열 및 단면손상 부 진전 여부

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
주요부위		
점검요령	○ 점검방법 - 도보접근이 불가능한 구간은 점검장비를 이용 근접 점검 - 균열의 진행상황을 파악하기 위하여 균열의 시·종점을 표시해 두는 것이 필요하며, 정기적으로 진행여부를 관찰  (a) 균열표시 예  (b) 균열경 조사 예	

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 계폐 • 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 부위	 	
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 떨 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	

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

주 요 부 위	 
점 검 요 령	○ 점검방법 - 접근 장비에 의해 근접 육안점검 - 교대 입지조건이 성토부 혹은 연약지반에 위치한 경우 전후방으로 교대 벽체가 기울었는지 확인하고 의심스러운 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

라. 교각

점 검 부 위	점 검 항 목
▷ 공통	• 균열, 박리, 철근노출, 파손 • 침하
▷ 두부	• 두부 물고임 • 받침 하부 균열 및 파손(박리, 박락)
▷ 구체	• 수직균열 • 이동 또는 기울음
▷ 수면접촉부	• 수중구간의 경우 침식
주요부위	
점검요령	○ 점검방법 - 접근장비 및 점검로에서 점검 - 신축이음의 유간이 비정상적(크게 벌어짐 또는 닫힘)이거나 방호울타리선형이 불량한 경우에는 교각 침하가 의심스러우므로 교각 구체 상부와 하부를 측량기기로 측정하여 교각의 전도 여부를 확인하고 구체에 기준점을 표시하여 침하여부를 주기적으로 확인 ○ 손상발생시 조치 - 교각두부 받침하부에 폭 0.3mm이상 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

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

주요 부위	  

점 검 요 령	○ 점검방법 - 도보접근이 불가능한 부분은 접근장비를 이용하여 근접점검 - 가동받침의 가동여부는 가동면의 윤활재가 밀린 흔적이나 먼지 부착정도로 확인 가능함 - 눈금자가 설치되지 않은 받침은 측면을 깨끗한 형겅으로 잘 닦고 유성펜으로 상부 받침과 이동제한장치 끝부분에 수직으로 선을 그어 놓으면 다음 점검시 온도차에 따른 가동량을 측정할 수 있음 - 곡선교 내측 단부 혹은 사교의 예각부 단부의 부반력으로 인한 받침과 거더의 들뜸 상태 점검 - 경사교에서 받침 경사설치로 인한 상부가동받침과 하부받침 접촉 및 받침 부속품과의 접촉으로 인한 가동장애요소 점검 - 수직보강재와 받침이 10cm 이상 편기시 하부플랜지의 국부변형이나 거더 복부판의 좌굴 여부 확인 - 받침하부에 공동이 의심되면 킨드라이버 혹은 철사로 찔러서 확인하고, 침하흔적은 앵커볼트의 체결상태 및 인접받침의 상태를 참고하여 확인 - 받침부의 물고임 부분은 누수부위의 확인 및 물고임 원인분석 ○ 손상발생시 조치 - 받침하부 교각 두부에 폭 0.3mm 이상의 균열이 단부까지 진행된 경우 즉시 보고하고, 안전성 검토 및 대책 수립 필요

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)
주요 부위		
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	

사. 교면포장

점 검 부 위		점 검 항 목
▷ 공통		•균열, 요철, 단차, 포트홀, 소성변형
▷ 신축이음 전후, 구조물 경계부		•단차, 침하
▷ 배수구 주변		•물고임, 이물질 퇴적
주요부위		
점검요령	◦점검방법 - 방호벽측 갓길에서 도보점검 - 중차량 통행이 많은 차선, 곡선부 외측, 급정지 구간 주변의 손상 점검 - 신축이음 전후 및 경계부의 단차 점검 - 교면위 물고임 및 포트홀 점검(가급적 비온 직후 점검) - 포장의 노후화에 따른 종방향균열의 진전여부, 망상균열의 진전여부 ◦손상발생시 조치 - 손상이 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 - 갓길은 교통사고의 위험이 높으므로 2인 1조로 하여 차량 진행방향과 반대방향으로 걸어가면서 점검	

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	 
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

자. 난간

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
주요 부위		
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 0.3mm이상)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	

제 8장 종합결론

8.1 종합결론

8.2 현장조사 결과

8.3 시험 및 측정 결과

8.4 상태평가 결과

8.5 안전성평가 결과

8.6 결 언

제 8장 종합결론

8.1 종합결론

본 과업 대상 교량인 연무IC교는 논산천안고속도로(이정 : R-A 0+378km)에 위치하며 2002년 12월에 준공된 교량이다. 행정구역상으로 충청남도 논산시 채운면 화정리에 위치하고 S2경간에 본선이 교차·횡단하고 있다.

평면선형은 사각이 없는 직선교이며 종단선형은 시점에서 3.6993%의 상향경사를 이루고 종점에서는 3.7833%의 하향경사를 이루고 있다. 상부 구조형식은 5경간 연속의 STEEL BOX GIRDER교이며 하부구조는 역T형의 교대 2기와 라멘식(Ⅱ형)의 교각 3기로 구성되어 있고 기초형식은 강관파일(A1~2, P1~4)로 시공되어 있다.

총연장은 200.0m(1@50+2@45+2@30)로 최대경간장이 50m이며, 각 교량의 폭은 15.600m(도로폭 14.500m)으로 설계하중 DB(DL)-24(1등교)로 설계되었다.

본 과업에서는 외관조사, 내구성조사 등의 현장조사를 실시하였고 설계도서와 현장조사의 결과를 토대로 구조안전성 검토와 기본 내하력을 평가하였으며, 이를 통한 종합결론을 요약하면 다음과 같다.

8.2 현장조사 결과

- 상부구조인 강박스 거더와 바닥판은 구조적인 손상 및 결함이 없는 양호한 상태를 확보하고 있으며, 외관조사 결과 바닥판 하면 전 구간에 걸쳐 폭 0.1~0.2mm의 균열이 발생한 상태이다. 거더의 경우 일부 부식, 도장박리, 용접부 PIT 등이 조사되었다. 조사된 손상은 내구성 확보 및 손상 진전 방지를 위한 적절한 보수가 요구되며, 보수 후에도 보수부의 재손상 발생여부를 주기적으로 점검하는 것이 바람직하다.
- 바닥판에 발생한 들뜸의 경우 신축이음 하부 누수, 보수미흡 등의 원인으로 인한 손상으로 신축이음장치에 대한 근본적인 보수가 선행되지 않으면 보수효과를 기대하기 어렵기 때문에 신축이음 하부 물받이 및 유도배수관 설치 등의 조치가 선행되어야 하며, 들뜸부는 주의관찰 후 손상의 진전시 단면보수 등의 조치를 취하는 것이 바람직하다.

- 가로보 및 세로보는 전반적으로 양호한 상태이며, 일부 발생한 도장박리 및 부식에 대하여 보수를 실시하고 주의관찰 하는 것이 바람직하다.
- 교대 및 교각에 발생한 수직균열은 폭 0.1~0.3mm의 균열로서 이는 건조수축 및 온도균열 등에 의한 것으로서 횡방향 균열 등과 같은 구조적 손상은 발생하지 않은 것으로 조사되었다. 기타 경미한 백태, 망상균열 등이 발생하였으며, 기 손상부는 주의관찰 후 손상의 진전시 적절한 조치를 취하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.
- 교대 양측 흉벽에 발생된 들뜸 및 박락의 경우 신축이음 하부 누수 및 우수유입으로 인한 손상으로 바닥판에 발생된 손상과 동일하게 신축이음에 관한 조치가 선행되어야 하며, 손상부는 진전시 단면보수 등의 조치를 취하는 것이 바람직하다. 또한 점검계단 침하 및 공동, 법면 블록 배부름의 경우 상부 배수관으로부터의 우수유입 및 당초 앞성토의 다짐불량에 의해 발생된 손상으로 손상의 진전 방지를 위한 단면보수 후 주의관찰 하는 것이 바람직하다.
- 교량받침의 외관조사 결과 전반적으로 양호한 상태로 조사되었으며 일부 신축이음 누수에 따른 부식 건조수축에 의한 받침몰탈 균열, 면진받침인 Dynapote의 유압실린더 일부에 부식이 발생한 상태이다. 발생한 손상에 대하여 적절한 보수를 통한 유지관리가 바람직할 것이다.
- A1과 A2에 MS 형식으로 설치된 신축이음 장치는 본체의 부식, 유간 토사퇴적, 후타재 균열 등이 조사된 상태이며, 유간 토사퇴적의 경우 주기적인 청소를 통한 정비, 그 외 기 손상부는 주의관찰 후 손상의 진전시 적절한 조치를 취하는 것이 바람직하다.
- 연무IC교의 교면포장은 손상이 없는 양호한 상태이며, 주 후 점검을 통한 손상의 발생 여부 파악 등의 유지관리가 필요하다.
- 배수시설은 막힘이 발생하지 않은 양호한 상태이며, 주기적인 청소를 통한 유지관리를 실시하여 현 상태를 유지하는 것이 바람직하다.
- 방호울타리의 외관조사 결과, 균열, 백태, 박리 및 박락, 파손 등의 손상이 조사되었으며, 균열(폭 0.3mm이상)부는 손상의 진전 방지를 위한 주입보수를, 그 외 기 손상부는 주의관찰 후 손상의 진전시 적절한 조치를 취하는 것이 바람직하다.

8.3 시험 및 측정 결과

- 비파괴강도 측정결과, 측정값은 설계기준강도를 상회하는 것으로 조사되었으며, 공용년 수 경과에 따른 구조물의 강도저하는 없는 것으로 평가됨.
- 탄산화 깊이 측정결과, 전 개소에서 상태평가 “a” 로 검토되어 양호한 상태로 판단됨.
- 염화물 함유량의 경우 a등급으로 평가되었으므로, 염화물에 의한 철근의 부식이 발생할 우려는 없는 것으로 평가됨.
- 거더에 대한 강재비파괴 시험 결과 용접부, 도장의 상태는 모두 양호한 것으로 나타남.

8.4 상태평가 결과

- 연무IC교의 외관조사 및 내구성 시험에 의한 상태평가결과, 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태인 “B등급” 으로 평가되었다.

8.5 안전성평가 결과

- 상부구조에 대한 구조검토결과, 바닥판의 경우 최소안전율이 1.167로, 거더의 경우는 최소안전율이 1.235로 안전율 1.0을 상회하는 것으로 평가되었다. 하부구조의 경우 교각 P4에 대한 구조검토결과, 기둥은 P-M상관도 해석에 의한 최소안전율 2.045로서 안전율 1.0을 초과하며 내하력 평가결과, 기본내하력이 설계활하중인 DB-24를 상회하여 구조물이 전반적으로 구조적 안전성을 확보한 것으로 판단되며 최종적인 안전성 평가등급은 A등급이다.

8.6 결 언

- 연무IC교는 16년의 공용기간이 경과한 교량시설물로서, 주부재인 강박스 거더와 바닥판, 하부구조에는 구조적 손상은 조사되지 않은 상태이다. 주부재 및 보조부재에 일부 발생한 균열(폭 0.3mm이상), 들뜸 및 박락, 도장박리 및 부식 등의 손상부는 교량의 내구성 저하 방지를 위한 국부적인 보수 및 지속적인 유지관리가 필요한 것으로 평가되었다.
- 따라서, 본 교량의 상태평가 및 안전성평가 결과를 토대로 안전등급을 산정하면 『B등급(양호)』로 평가되었으며, 결함 및 손상 부위에 대하여 보수를 실시하고 중점유지관리가 필요한 구간에 대한 지속적인 유지관리가 수행된다면 1등급(DB-24)로서의 기능을 유지 할 수 있을 것으로 판단된다.

