

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	



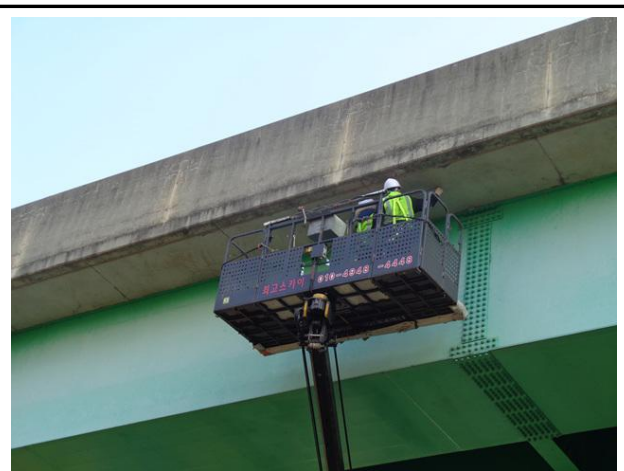
교통통제 후 교면포장, 방호울타리 조사



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

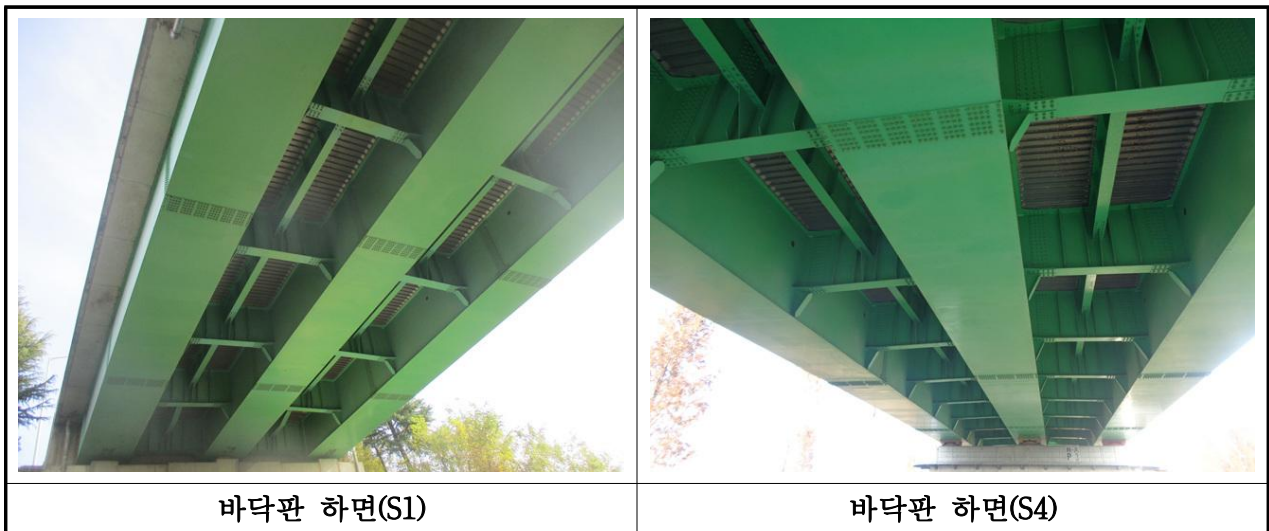
3.2.1 상부구조

가. 바닥판

연무IC교는 사각이 없는 직선교이며 (±)2.0%의 횡단 편구배를 가지고 있다.

본 교량의 교폭은 15.6m이고 바닥판(슬래브)의 두께는 T=250mm으로 내측(거터와 거터사이)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

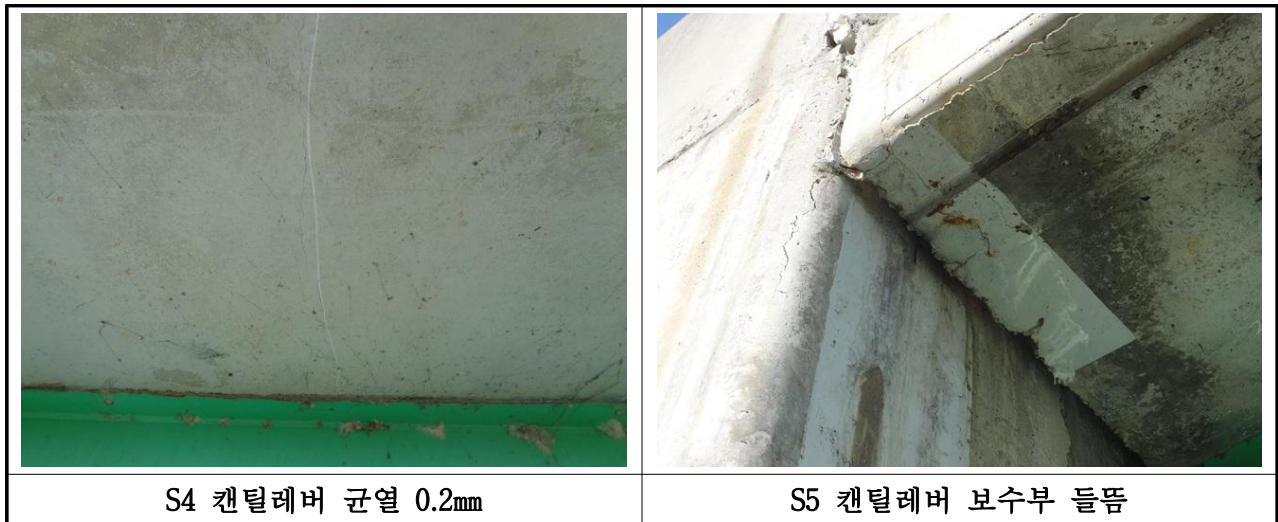
- 바닥판 하면에 대한 외관조사 결과 캔틸레버 전구간에 걸쳐 폭 0.1~0.2mm의 균열이 국부적으로 조사되었으며, S1 경간의 경우 백태가 발생하였다.
- S1과 S5의 캔틸레버에 신축이음 하부 누수, 보수미흡에 의한 들뜸이 발생한 상태이다.
- 그 외 구조물의 내구성에 영향을 미칠만한 손상은 발생되지 않는 것으로 조사되었다.

【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

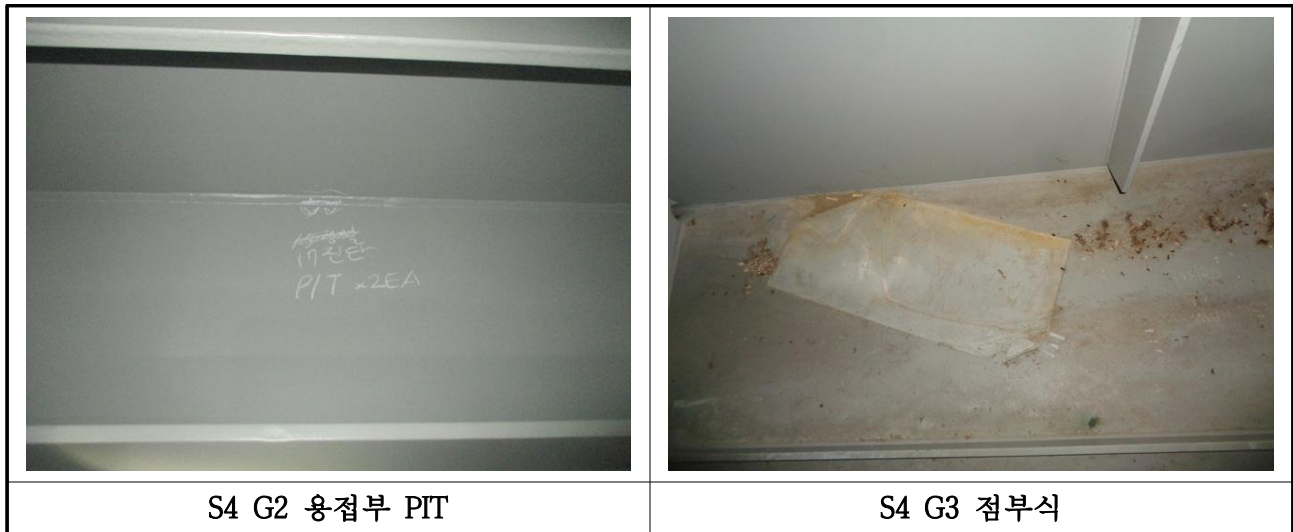
구 분	Splice 틈 (개소/개소)	PTT (개소/개소)	굽힘 (㎡/개소)	녹발생 (㎡/개소)	단부부식 (㎡/개소)	비고
S1	6 / 6	-	0.01 / 1	-	0.12 / 1	
S2	9 / 9	-	-	-	-	
S3	9 / 9	-	-	0.01 / 1	-	
S4	6 / 6	4 / 4	-	-	-	
S5	5 / 5	-	-	-	-	
합 계	35 / 35	4 / 4	0.01 / 1	0.01 / 1	0.12 / 1	

【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 틸, 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 틸	40ea / 40ea	35ea / 35ea	↓ 5	물량변동
PIT	4ea / 4ea	4ea / 4ea	- -	변동없음
긁힘	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.

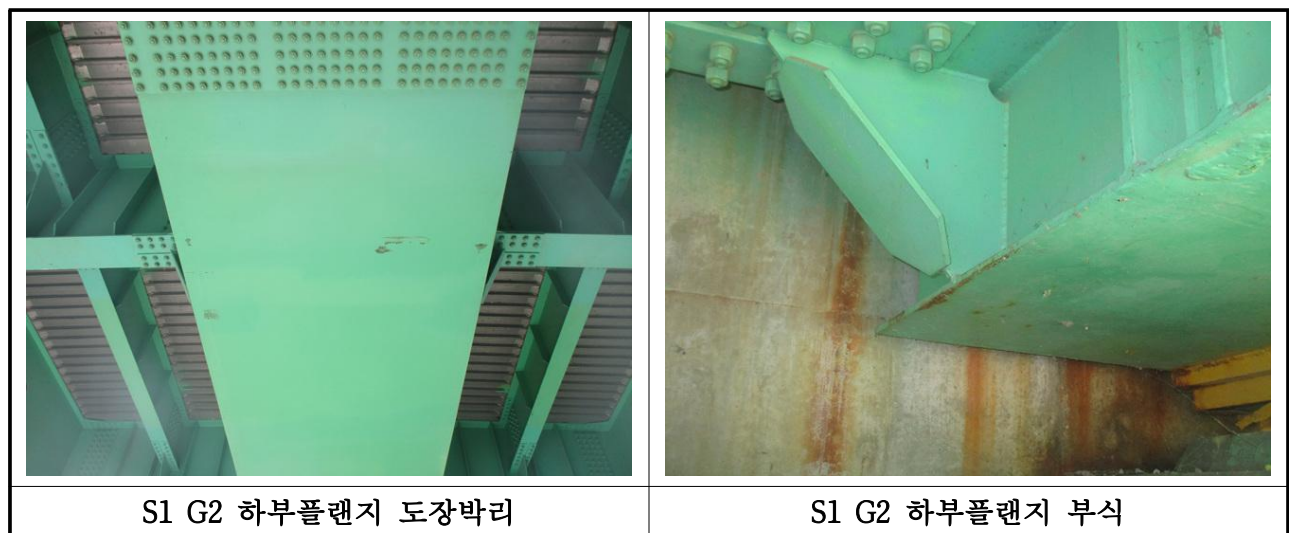
2) 강박스 거더 외부

① 외관조사 결과

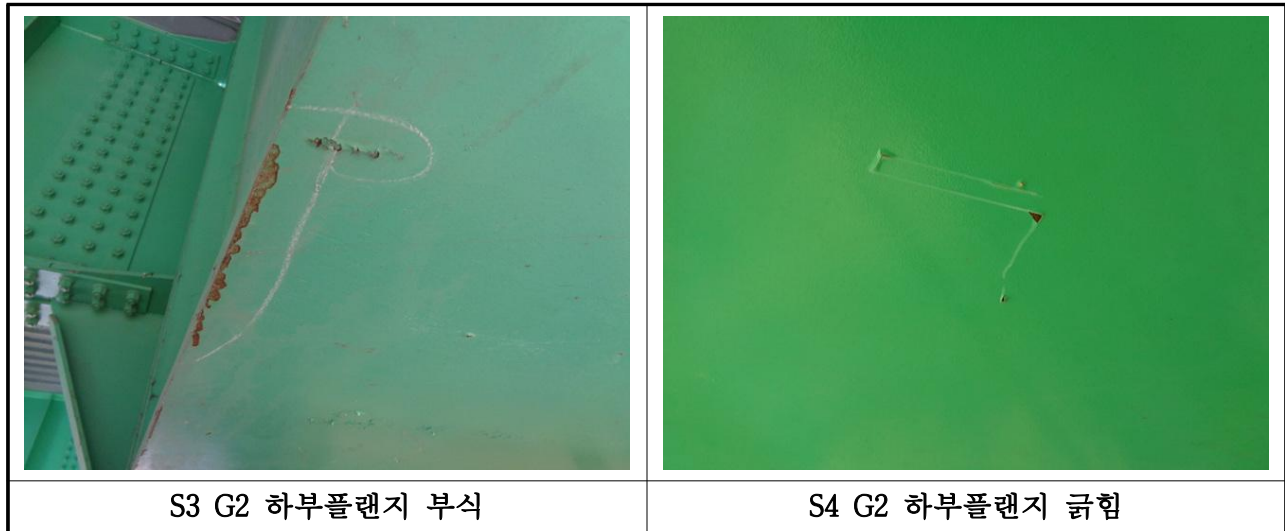
- 강박스 거더 외부에 대한 외관조사 결과 도장박리 및 굽힘, 부식, 볼트 풀림 등의 손상이 조사되었다.
- 그 외 구조물의 내구성에 영향을 미칠만한 손상은 발생되지 않은 것으로 조사되었다.

【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

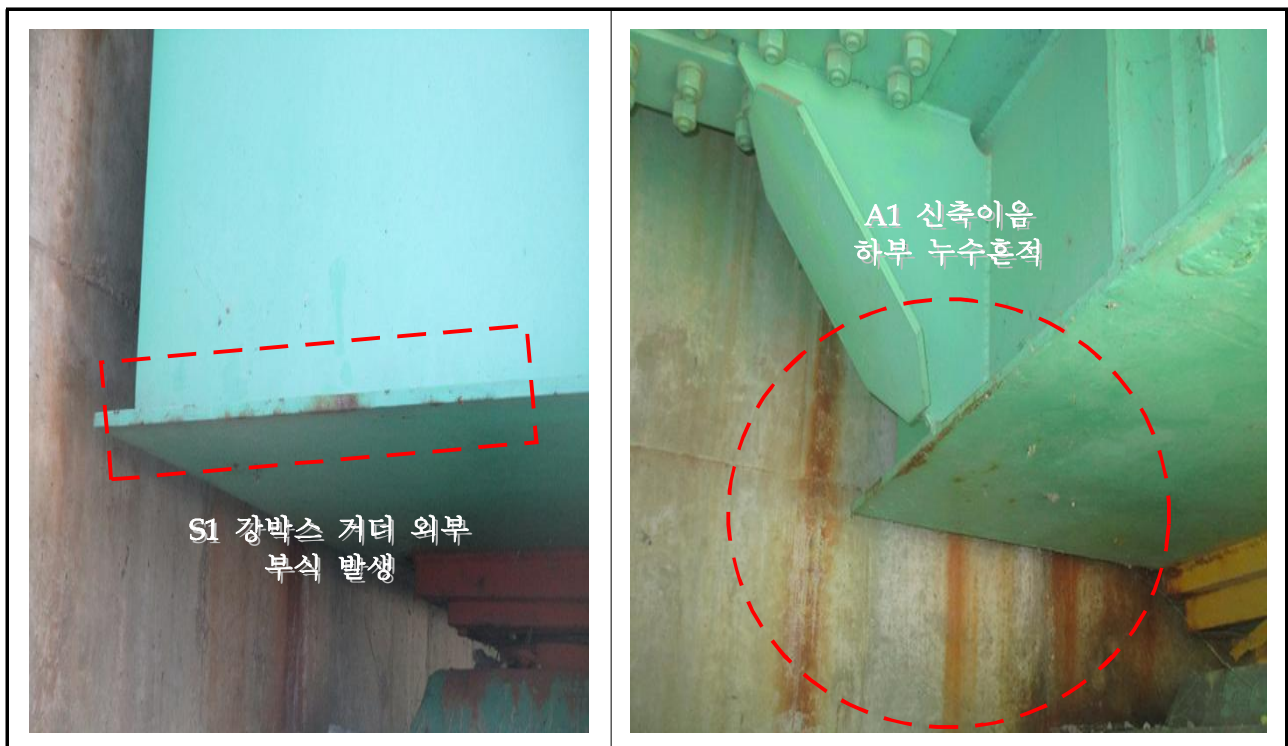
금회 진단은 준공 후 실시하는 15년차 정밀안전진단으로서 전차 점검에 비해 부식 등의 손상이 추가 발생된 것으로 조사되었으며, 균열 및 도장박리의 경우 점검자의 판단에 의한 물량변동이 발생되었다. 강박스 거더 외부의 경우 금회 실시한 결과를 토대로 하여 향후 유지관리를 실시하는 것이 바람직하다.

【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

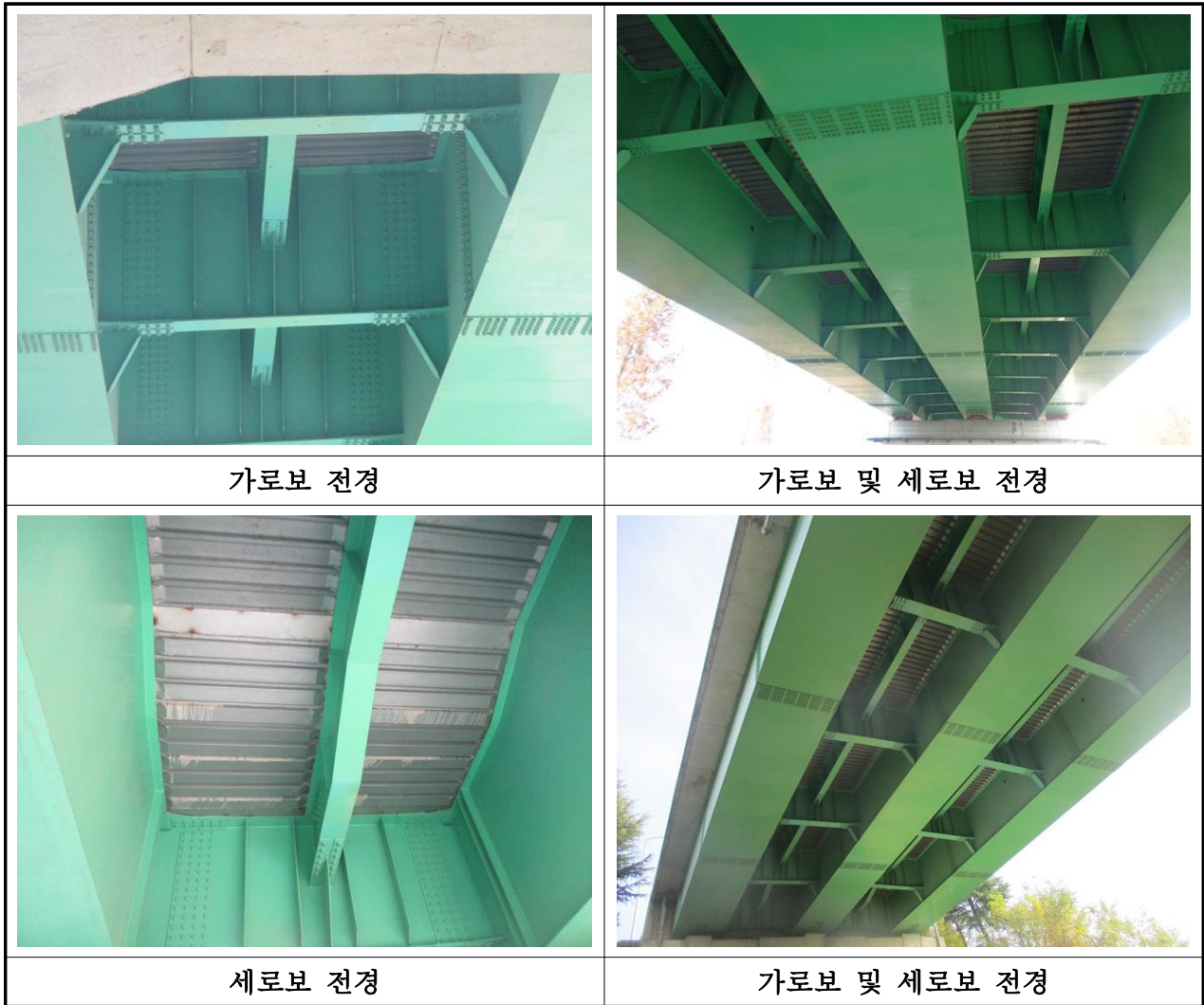
- S2, S3, S4에 발생한 부식은 시공당시 먼지, 녹 등 도장 전처리 미흡에 의해 도장이 박리됨에 따라 부식으로 진전된 것으로서 재도장이 필요한 상태이다.
- S1과 S5에 발생한 하부플랜지 부식은 신축이음으로부터 유입된 우수(염수)에 의해 발생한 것으로서 현재 신축이음장치에 대한 근본적인 보수가 선행되지 않으면 보수효과를 기대하기 어렵기 때문에 신축이음 하부 물받이 및 유도배수관 설치 등의 조치가 선행되어야 하며, 손상부는 부식의 진전 방지를 위한 재도장을 실시하는 것이 바람직하다.
- 거더 외부의 일부구간에서 발생된 도장박리 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.



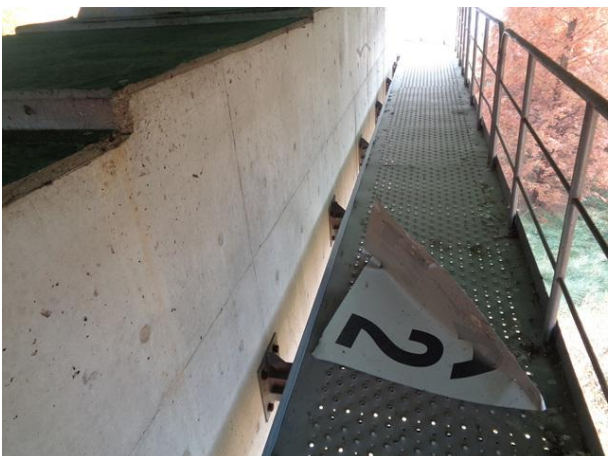
【사진 3.13】 교각 전경

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

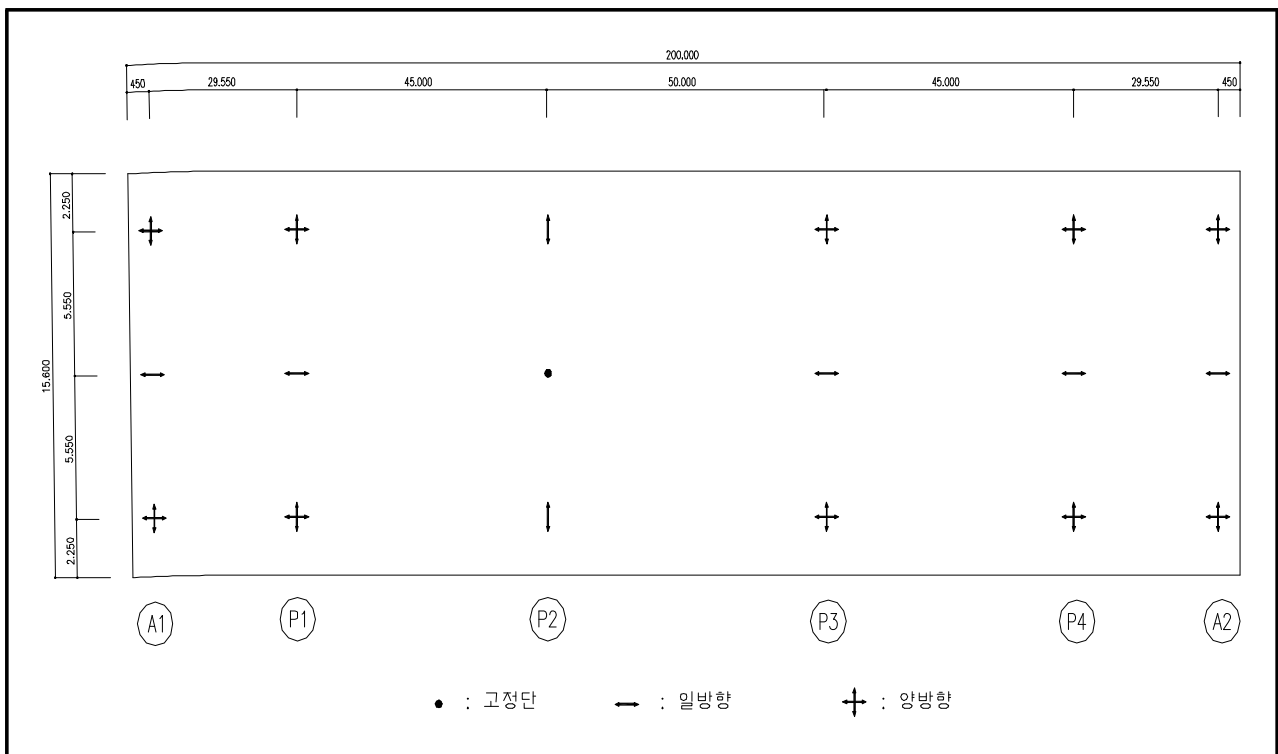
- 교각에서 조사된 균열은 균열의 형상, 방향성, 발생위치 등을 고려해 볼 때 시공초기 건조수축이 주된 원인으로 판단되며, 균열 폭 0.3mm미만의 비구조적 균열로서 주기적인 점검을 통한 주의관찰 후 손상의 진전시 표면처리 등의 조치를 취하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.
- 기타 원활한 유지관리를 위해 설치된 교각 표지판 탈락의 경우 구조물의 안전성에 영향을 미치는 손상은 아니므로 주기적인 점검을 통한 주의관찰이 필요하다.

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 발생된 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

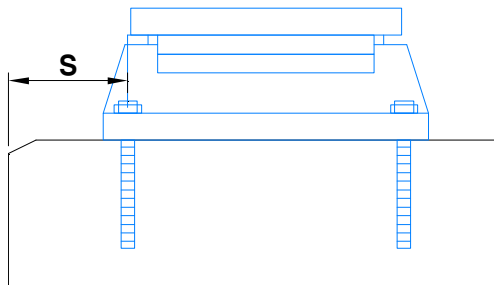
손상내용	손상물량		손상물량 비 교	비 고
	2017년 12월 정기점검 (개소 / 물량)	2018년 정밀안전진단 (개소 / 물량)		
무수축몰탈 균열	46ea / 8.0m	46ea / 7.4m	↓ 0.6	물량변동
유압실린더 부식	3ea / 0.06㎡	3ea / 0.06㎡	- -	변동없음
받침부식	5ea / 1.25㎡	6ea / 1.5㎡	↑ 0.25	신규손상

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.

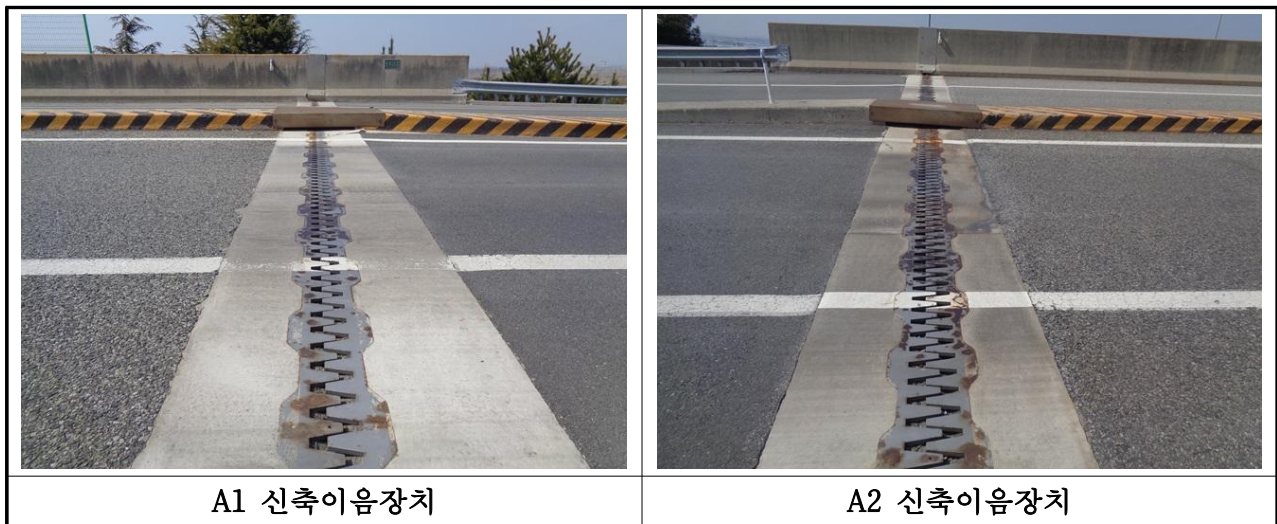
기상청 통계자료	· 최근 10년간 천안시 기상관측소 자료 참조 · 최근 10년간 최저기온 : -19.5℃(측정일시 : 2010년 1월 14일) · 최근 10년간 최고기온 : 36.4℃(측정일시 : 2012년 8월 6일)
----------	---

【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.



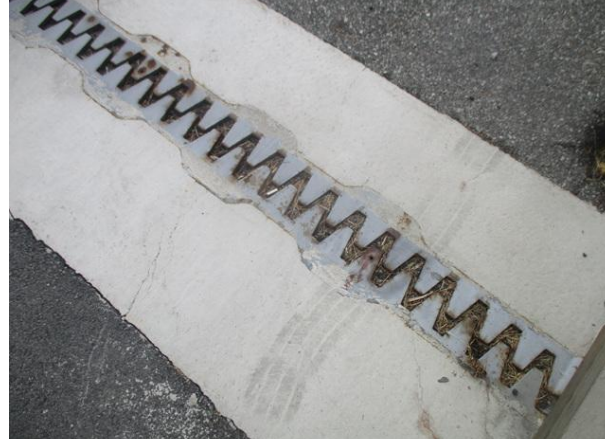
【사진 3.17】 신축이음장치 전경

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

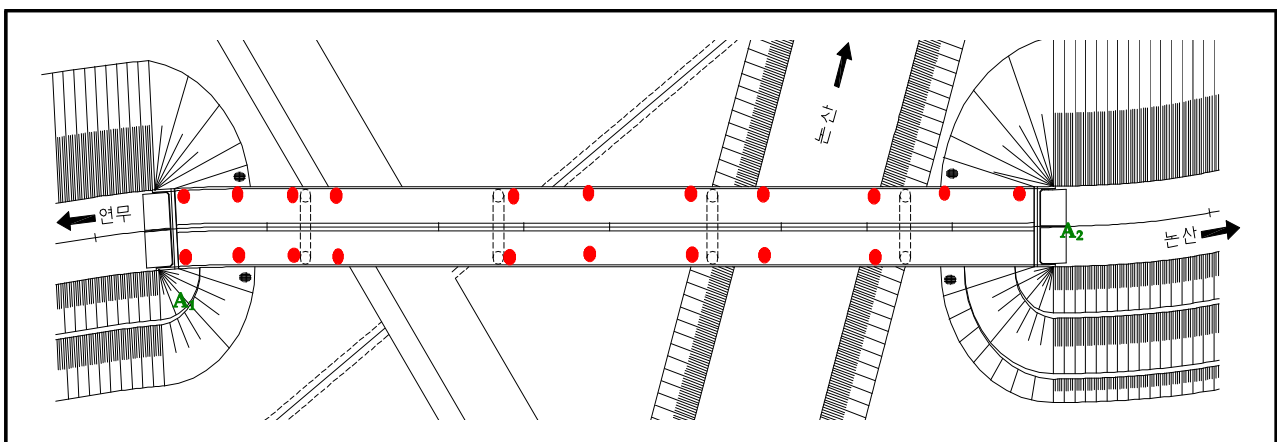
연무IC교는 사각이 없는 직선교이며 종단선형은 시점에서 3.6993%의 상향경사를 이루고 종점에서는 3.7833%의 하향경사를 이루고 있다.

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

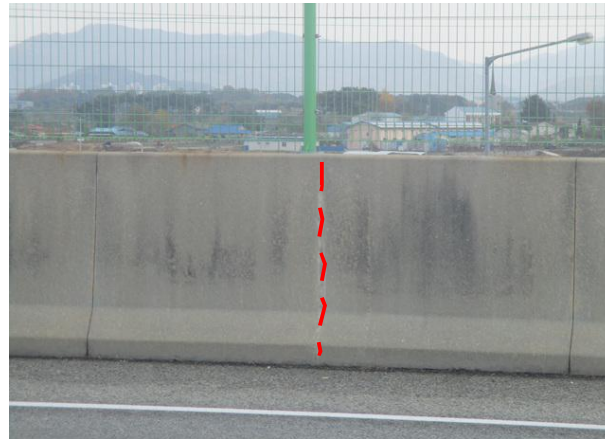
- 방호울타리에 대한 외관조사 결과 균열(폭 0.3mm 내·외) 및 백태, 박락 및 파손 등의 손상이 조사되었다.
- 중앙분리대 연석에 대한 외관조사 결과 도장박리, 박리 및 박락, 파손 등의 손상이 조사되었다.

【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

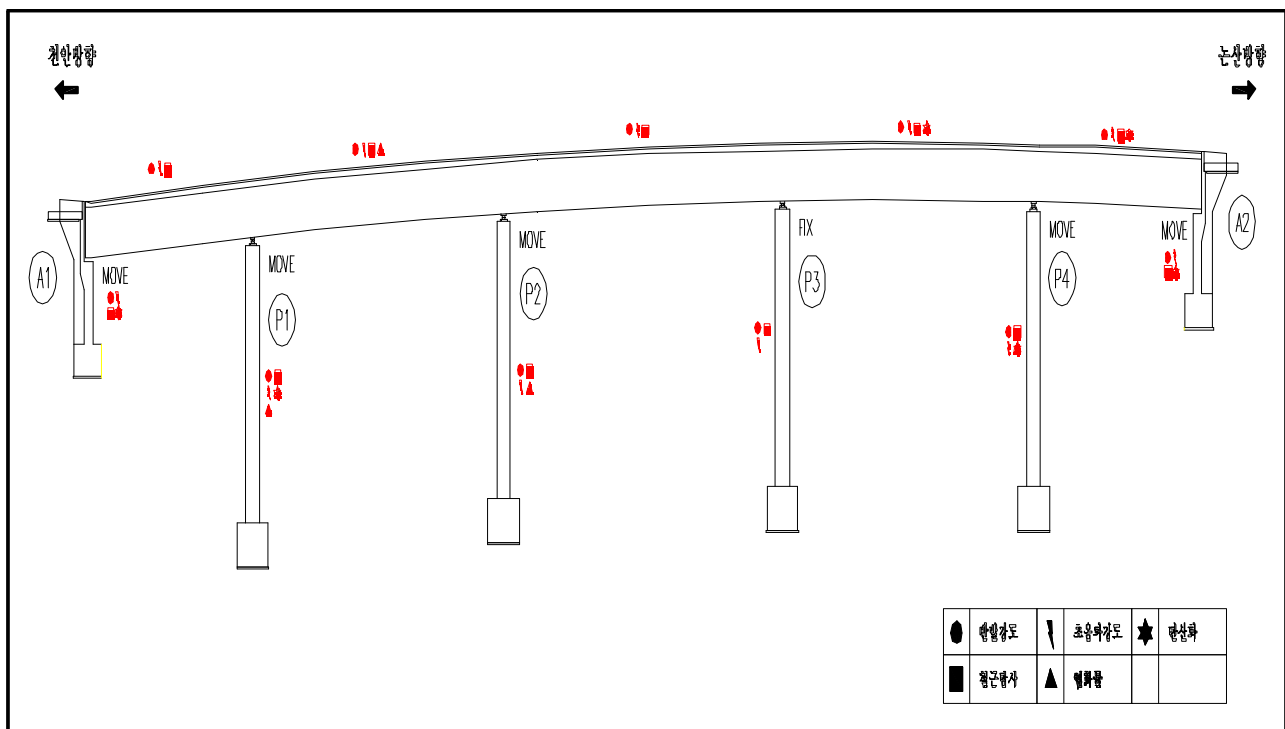
외관조사 결과에 따라 내구성의 상태 비교를 위하여 손상이 발생한 손상부와 손상이 발생하지 않은 건전부에 각각 시험을 실시하였으며 그에 따라 상부구조는 바닥판하면 캔틸레버에, 하부구조는 교각 기둥 하부측에 실시하였다.

3) 조사 사진



【사진 3.25】 콘크리트 내구성조사 전경

4) 콘크리트 내구성조사 위치도



【그림 3.4】 콘크리트 내구성조사 위치도

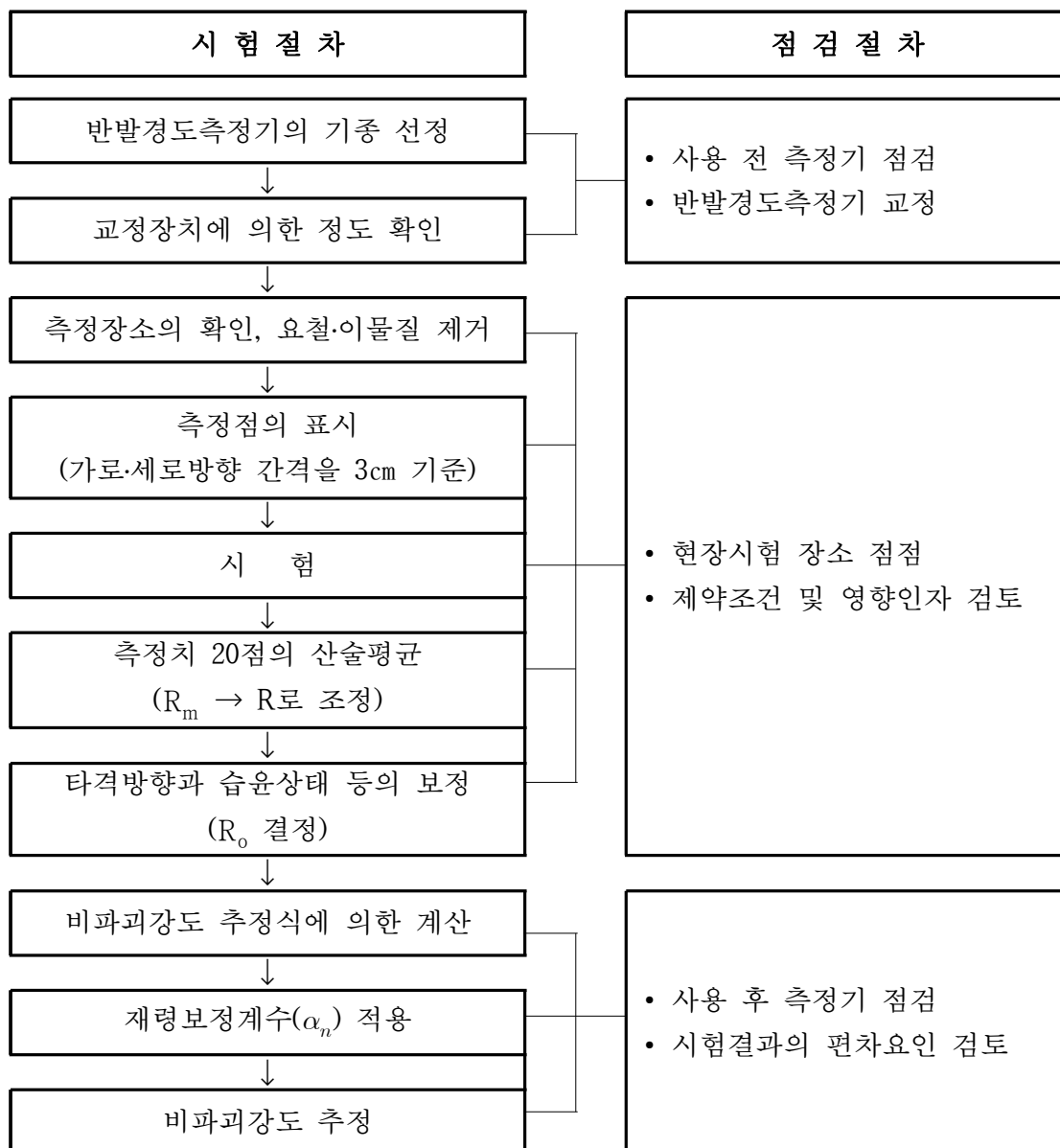
3.3.2 시험내용 및 평가기준

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.

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

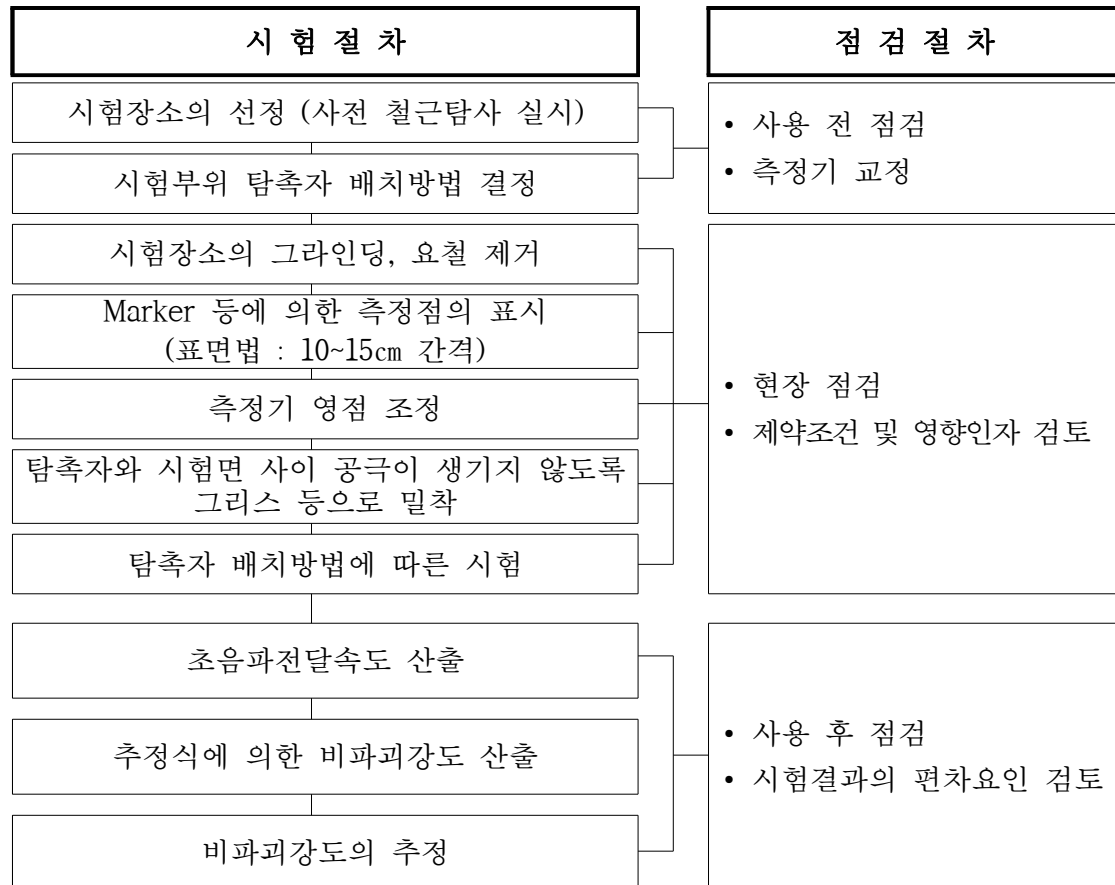
【표 3.38】 재령계수 α 값

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



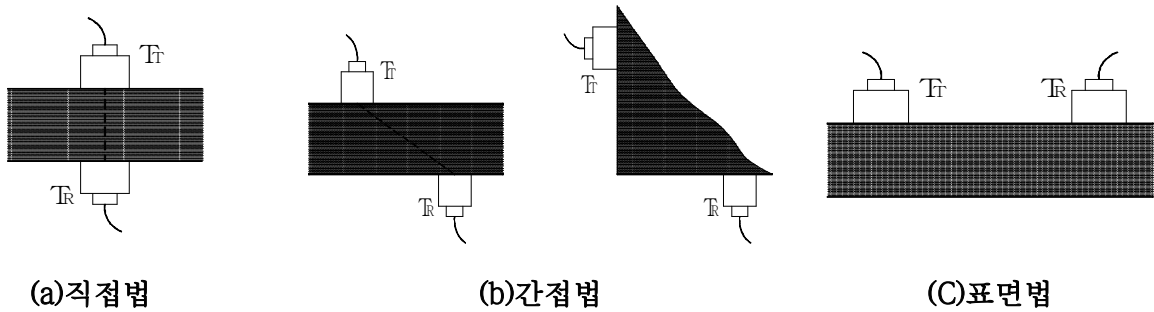
【그림 3.6】 초음파전달속도시험 및 측정기 점검 등의 절차

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.

$$V_d \approx 1.05 V_i$$

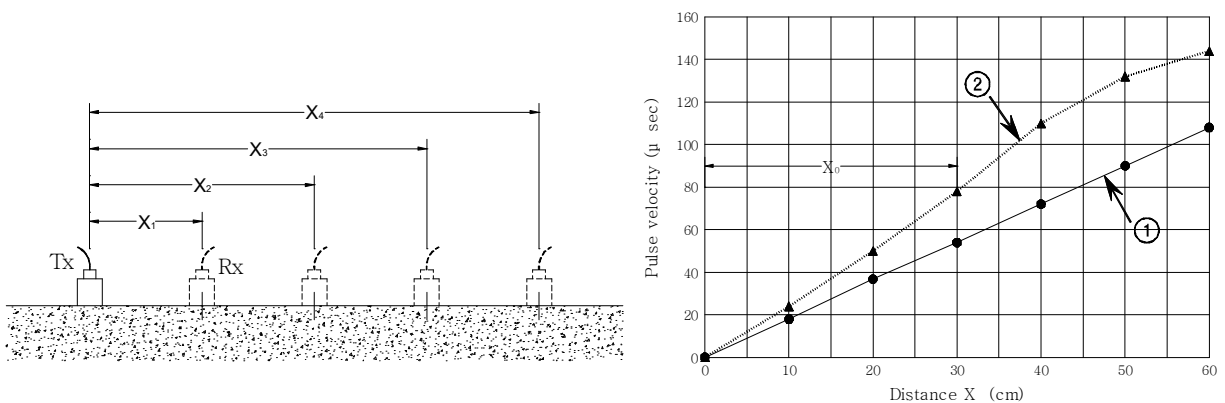
여기서, V_d : 직접법에 의한 초음파 속도

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.

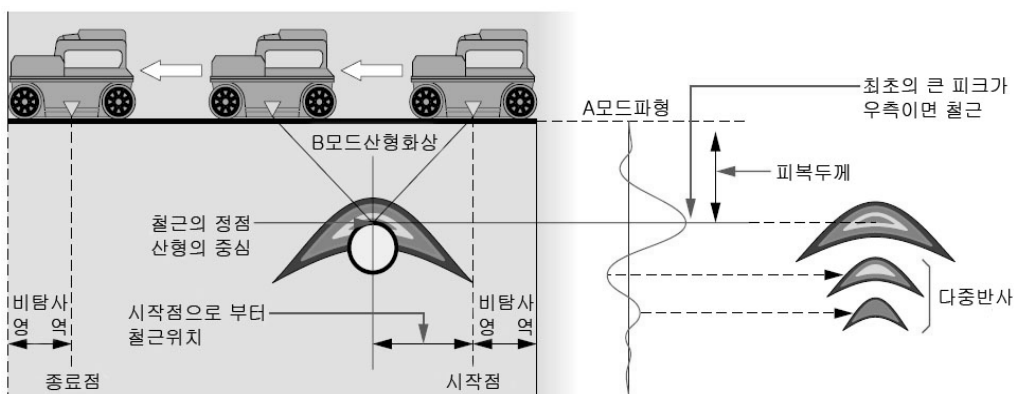
$$V = \frac{C}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{m/sec})$$

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.

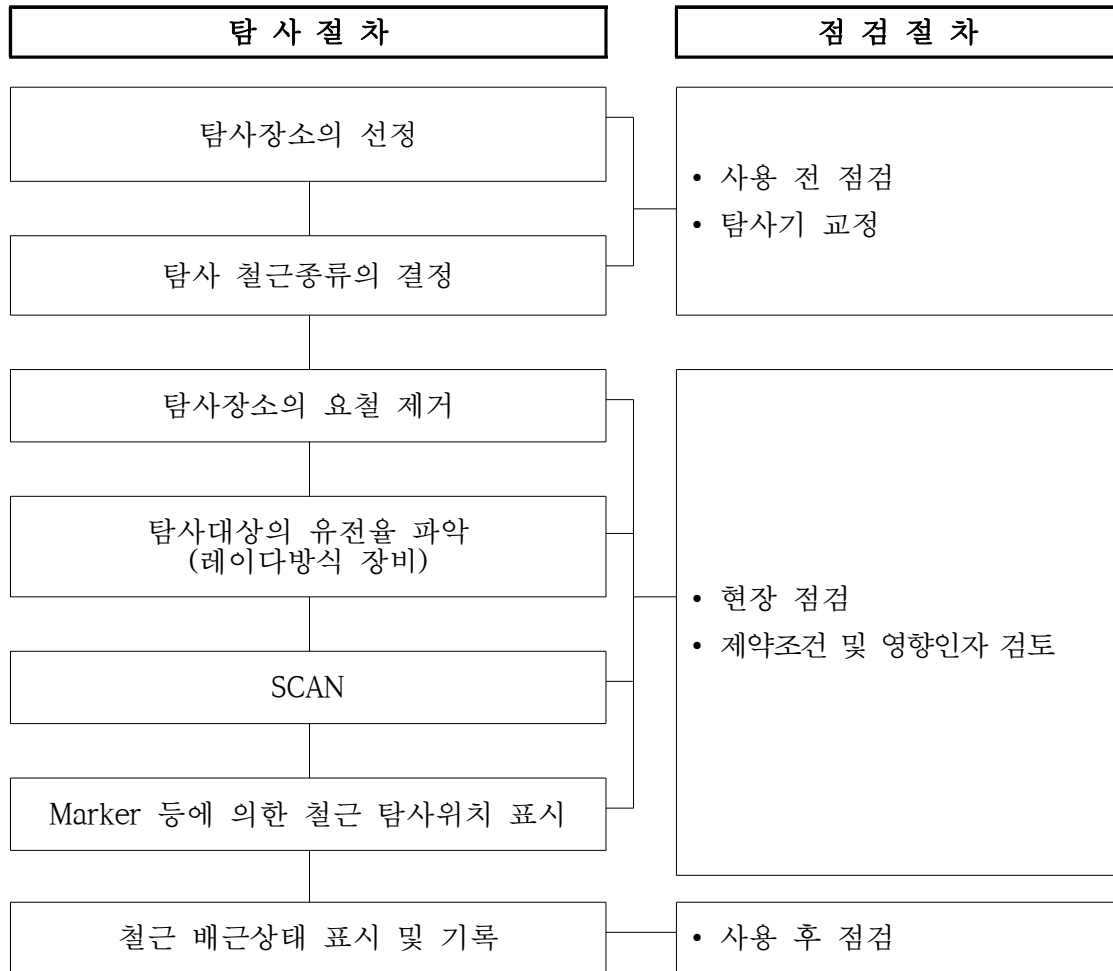
$$D = \frac{1}{2} V T \quad (\text{m})$$



【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

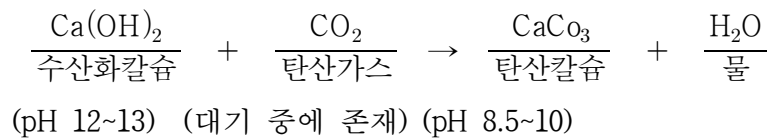
② 적용한계

- 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	-	-

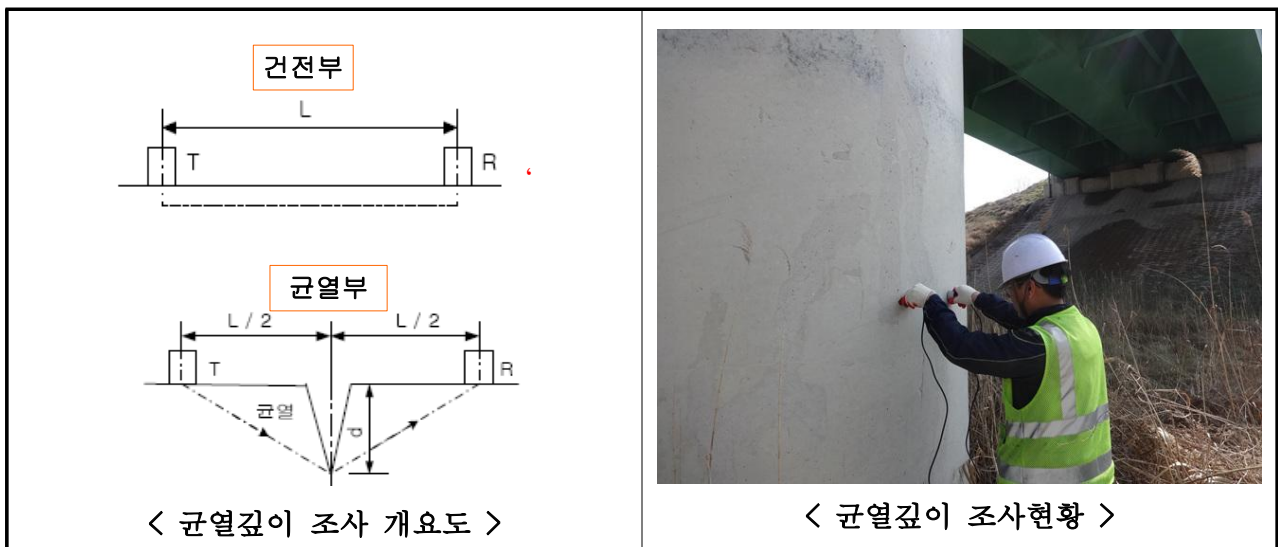
마. 균열깊이 조사

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

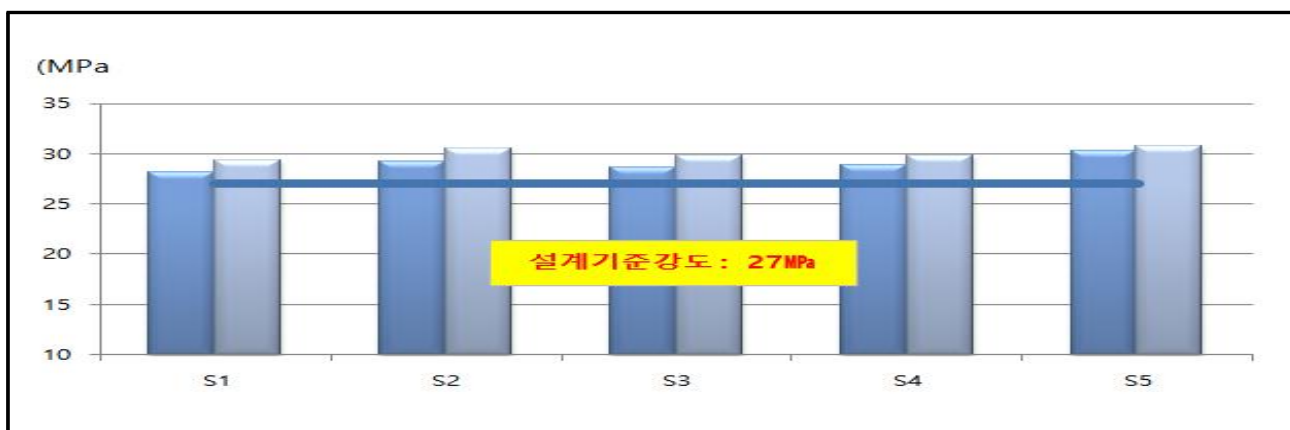
연무IC교의 콘크리트 비파괴강도시험은 상·하부구조에서 반발경도시험 11개소(상부구조:5개소, 하부구조:6개소) 및 초음파전달속도시험 11개소(상부구조:5개소, 하부구조:6개소)를 실시하였으며, 검토결과는 다음과 같다.

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

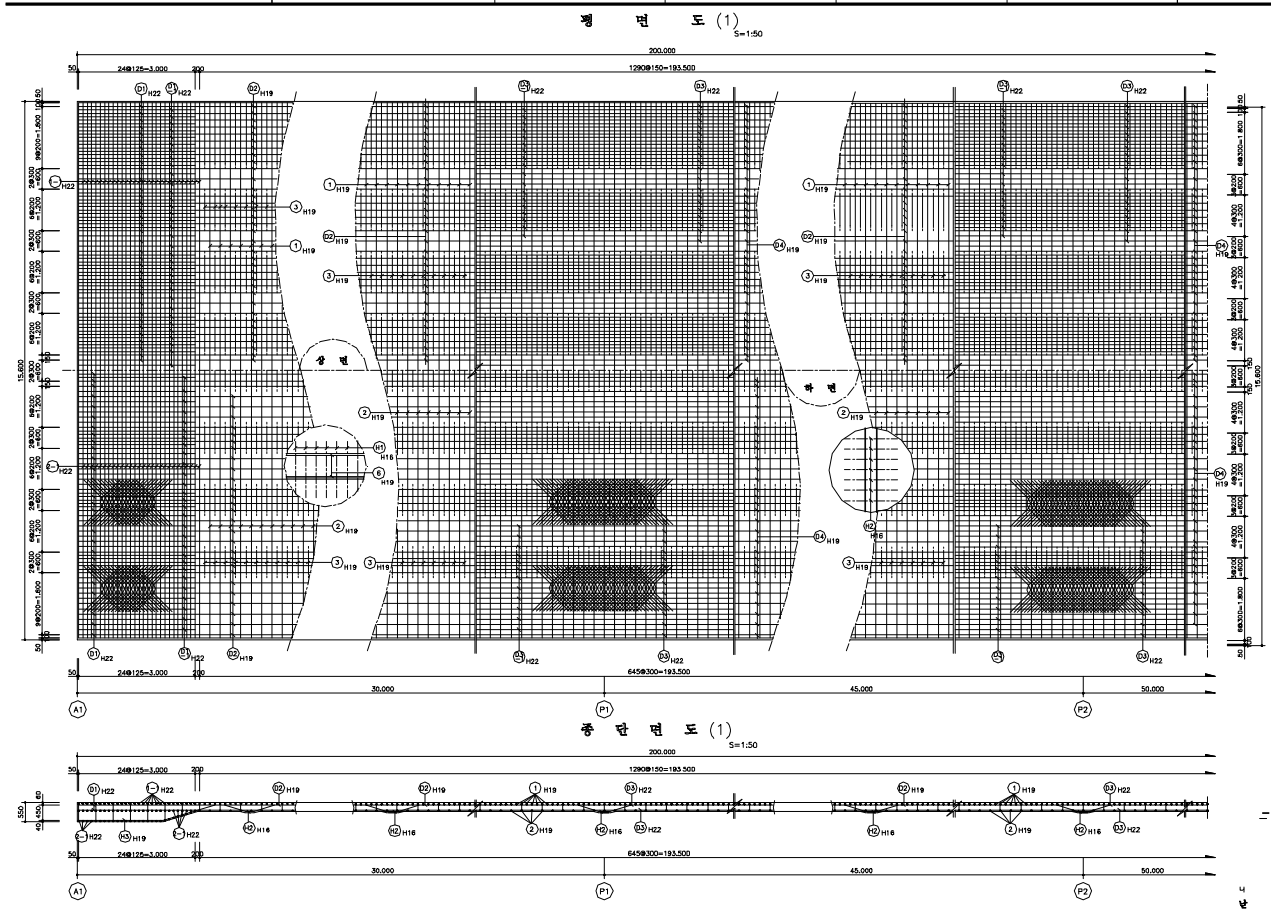
3) 철근탐사시험

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

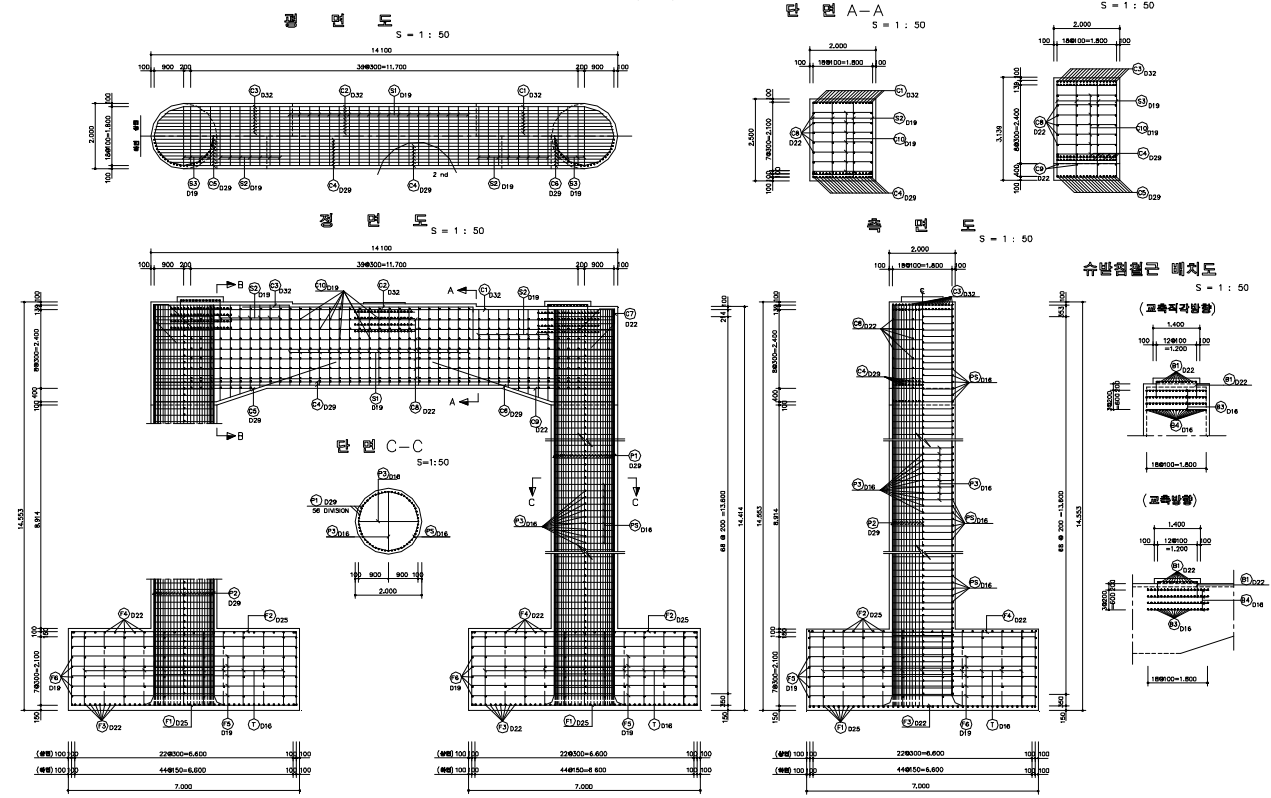
시험위치	철근종류	측정치(mm)		설계치(mm)		비 고
		배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
S1 캔틸레버	주철근	145	86	150	40	양호
	배력철근	293	36	300	40	양호
S2 캔틸레버	주철근	145	86	150	40	양호
	배력철근	303	41	300	40	양호
S3 캔틸레버	주철근	138	84	150	40	양호
	배력철근	291	33	300	40	양호
S4 캔틸레버	주철근	135	82	150	40	양호
	배력철근	300	44	300	40	양호
S5 캔틸레버	주철근	140	84	150	40	양호
	배력철근	315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

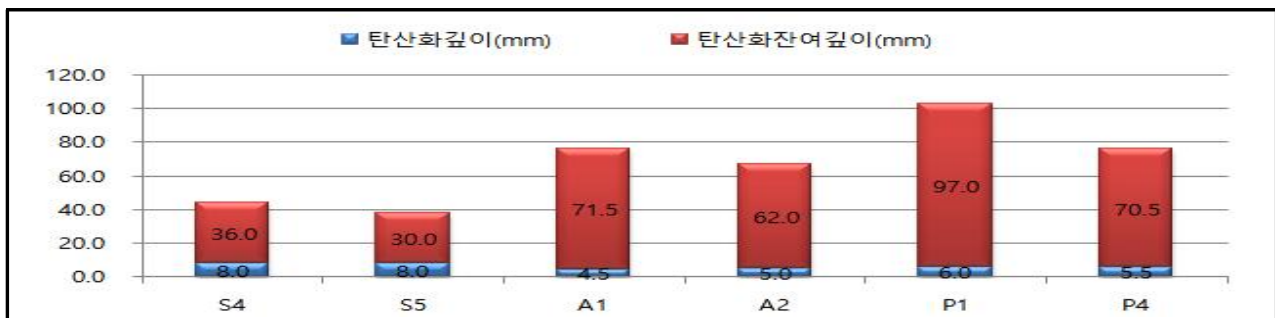
4) 탄산화 깊이 측정

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	-	

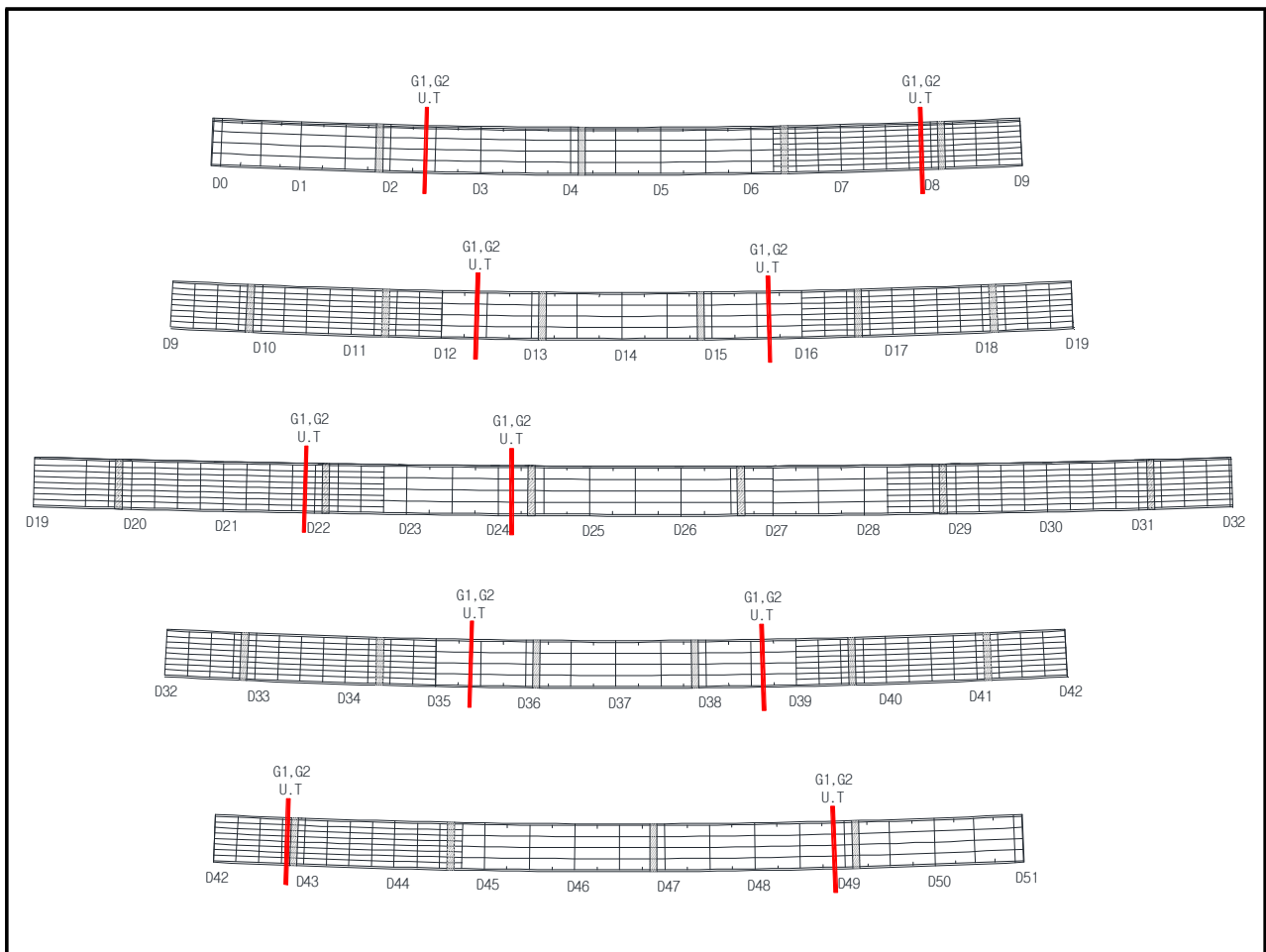
※ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 상 기준수량(강재 초음파탐상시험) : 2개소/경간별 거더(맞대기 용접부)

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)

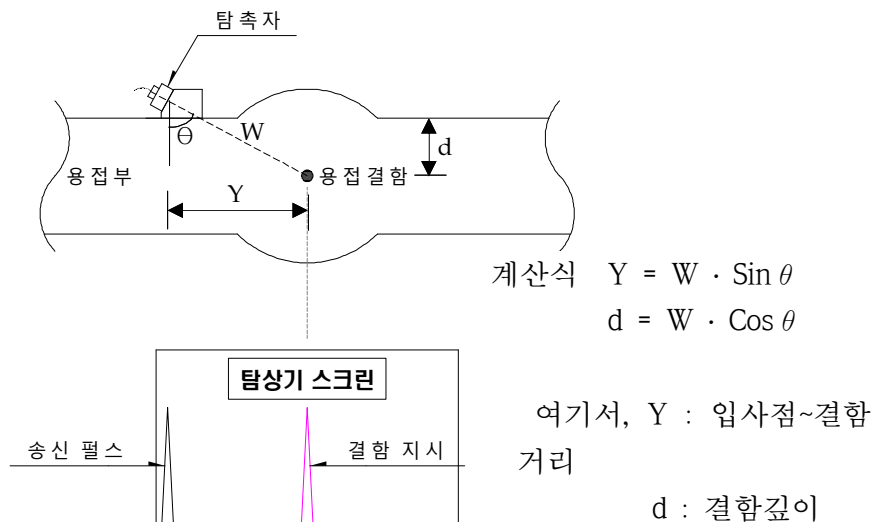
1) 개 요

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)

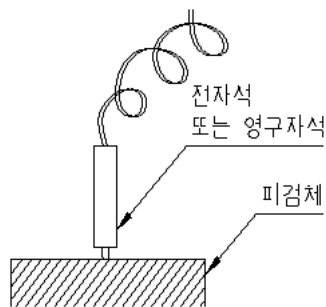
1) 개 요

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.

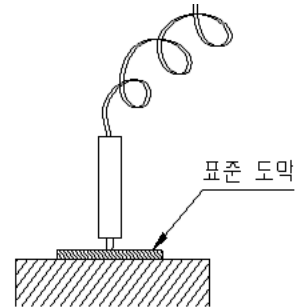
측정은 강박스 거더의 내부와 외부로 구분하였으며, 한 개소당 3회씩 측정하여 평균값을 도막두께로 취하였다.

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 조정한 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)

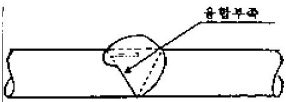
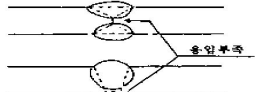
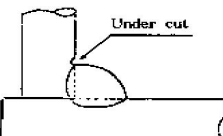
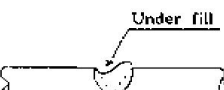
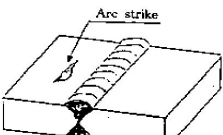
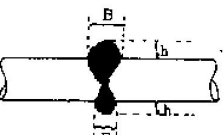
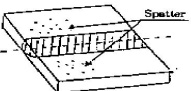
도장부위	표면처리	도장순서	도료형태	건조도막 두께(μm)
거더 외부	준 나금속블라스트 세정(SA 2.5)	1차	무기질계 도료	50
		2차	염화고무계 중도	60
		3차	염화고무계 상도	30
		4차	염화고무계 상도	30
		계		170
거더 내부	준 나금속블라스트 세정(SA 2.5)	1차	무기질계 도료	100~150
		계		150

【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		
		샵 프라이머		무기질 아연말 샵프라이머	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		
		샵 프라이머		무기질 아연말 샵프라이머	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.				

