

제3장 현장조사 및 시험

3.1 현장조사

3.2 내구성 시험

제3장 현장조사 및 시험

3.1 현장조사

물곡2교(상, 청평방향)는 국도 37호선에 위치한 총 연장 150.0m (47.5m+55.0m+47.5m), 폭 10.49m의 1종 도로교량으로서, 행정구역상 경기도 가평군 상면 울길리에 위치하며, 2010년 12월에 준공되어 약 10년 동안 공용 중이다. 상부구조는 Steel Box Girder 형식이고, 하부구조는 역T형인 교대와 T형 교각으로 구성되어 있다.

본 장의 세부내용은 다음과 같다.

외관조사는 대상구조물에 대한 최소한의 기초자료를 얻고, 시간이 경과함에 따라 변화되는 결함의 발견 및 변화상태 등을 추적하기 위한 것으로서 가장 기본이 되는 과업이다.

내구성조사는 구조물에 열화가 진행되었을 경우 열화의 정도 및 원인관계를 조사하고 보수·보강여부를 판정하며, 아직 열화가 없거나 경미한 구조물은 내구성 조사에 의해서 향후 열화경향을 예측하고 예방보전을 검토하기 위한 자료를 수집하는 것을 목적으로 한다.

본 과업대상 구조물의 현장조사 및 시험은 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 (안전점검·진단 편)(국토교통부, 2019. 09)』에 따라 각 항목별로 실시하였다.

외관조사는 교면포장, 방호벽, 신축이음장치, 배수구, 교대 등 접근이 가능한 부재는 도보 점검으로, 바닥판하면, 거더, 가로보, 받침장치, 교각 등 근접조사가 필요한 부재는 교량점검차, 점검사다리를 이용하여 상세 육안조사를 실시하였다.

현장 조사시 확인된 결함과 손상내용에 대해서는 사진을 촬영하고 외관조사망도에 수록하여 향후 보수·보강공사 및 점검 등의 유지관리에 효율적으로 활용될 수 있도록 하였다.

3.1.1 부위별 주요 항목조사

부재명	점검부위	주요 조사항목	비고
교면포장	◦공 통	◦균열(미세, 선상, 격자형) ◦소성변형(요철, 바퀴자국, 단차) ◦포트홀 ◦노면잡물(구배불량)	
	◦신축이음 전후, 구조물 경계부	◦단차, 침하	
	◦배수구 주변	◦물고임(배수구 간격, 유출구 위치)	

〈표 3.1〉 부위별 주요 조사항목

부재명	점검부위	주요 조사항목	비고
배수시설	배수구	- 파손, 누락 - 누수, 체수(막힘) - 오염(이물질 퇴적)	
	배수관	- 파손(연결 고정부 탈락) - 배수관 길이부족(거더에 물 떨어짐) - 유출구 위치 부적절	
방호벽	철근콘크리트	- 균열(부모멘트부 균열, 침하균열) - 박리, 박락, 철근노출, 파손(충돌)	
바닥판	공 통	- 박리, 박락, 층분리, 철근노출, 파손 - 백태, 오염 - 재료분리	
신축이음	본 체	- 누수, 오염(배수시설 누락, 이물질퇴적) - 유간(부족 또는 과다) - 이상진동(충격음) - 본체 유동 및 파손(충격음, 흔들림) - 방수재(셀재) 파손 - 노면수 유입	
	후타재	- 균열, 파손(패임 및 요철) - 전·후의 단차(교면포장과의 단차)	
교량받침	본 체	- 부식(오물퇴적), 변형 - 균열, 파손 - 가동받침의 유간부족 및 가동 장애요소 - 받침과 거더의 밀착상태(분리) - 앵커볼트 파손(절단) - 가동방향 오류, 편기설치 - 부속물 파손	
	받침대	- 균열, 파손 - 부분침하	

〈표 3.1〉 부위별 주요 조사항목(계속)

부재명	점검부위	주요 조사항목	비고
강거더	◦공 통	◦변형, 균열, 파손 ◦표면(도장)상태 오염, 부식 ◦이상처짐 ◦연결부 볼트 이완, 파손, 이상음	
	◦받침부	◦복부판 부식 및 국부좌굴 ◦박스내부 출입구 개폐 ◦거더와 받침연결부 부식 ◦박스내부 바닥 물고임 및 부식	
	◦중앙부	◦맞대기 용접부 균열 ◦플랜지 변형 및 처짐 ◦다이하프램 연결부 균열	
	◦2차부재	◦거더와의 연결부 균열	
	◦보수부위	◦용접부 및 용접부 주변 균열	
교 대	◦공 통	◦균열(시공이음부 횡방향 균열) ◦박리, 박락, 층분리, 백태, 파손, 철근노출 ◦교대회전	
	◦두 부	◦두부 물고임 ◦두부와 홍벽 경계부 균열 ◦거더와 홍벽 신축유간 부족	
	◦벽 체	◦균열(수직균열) ◦벽체와 날개벽 분리(이동)	
교 각	◦공 통	◦균열 박리, 철근노출, 파손 ◦침하	
	◦두 부	◦두부 물고임 ◦받침 하부 균열 및 파손(박리, 박락)	
	◦구 체	◦수직균열 ◦이동 또는 기울음	

〈표 3.1〉 부위별 주요 조사항목(계속)

3.1.2 외관조사방향 설정

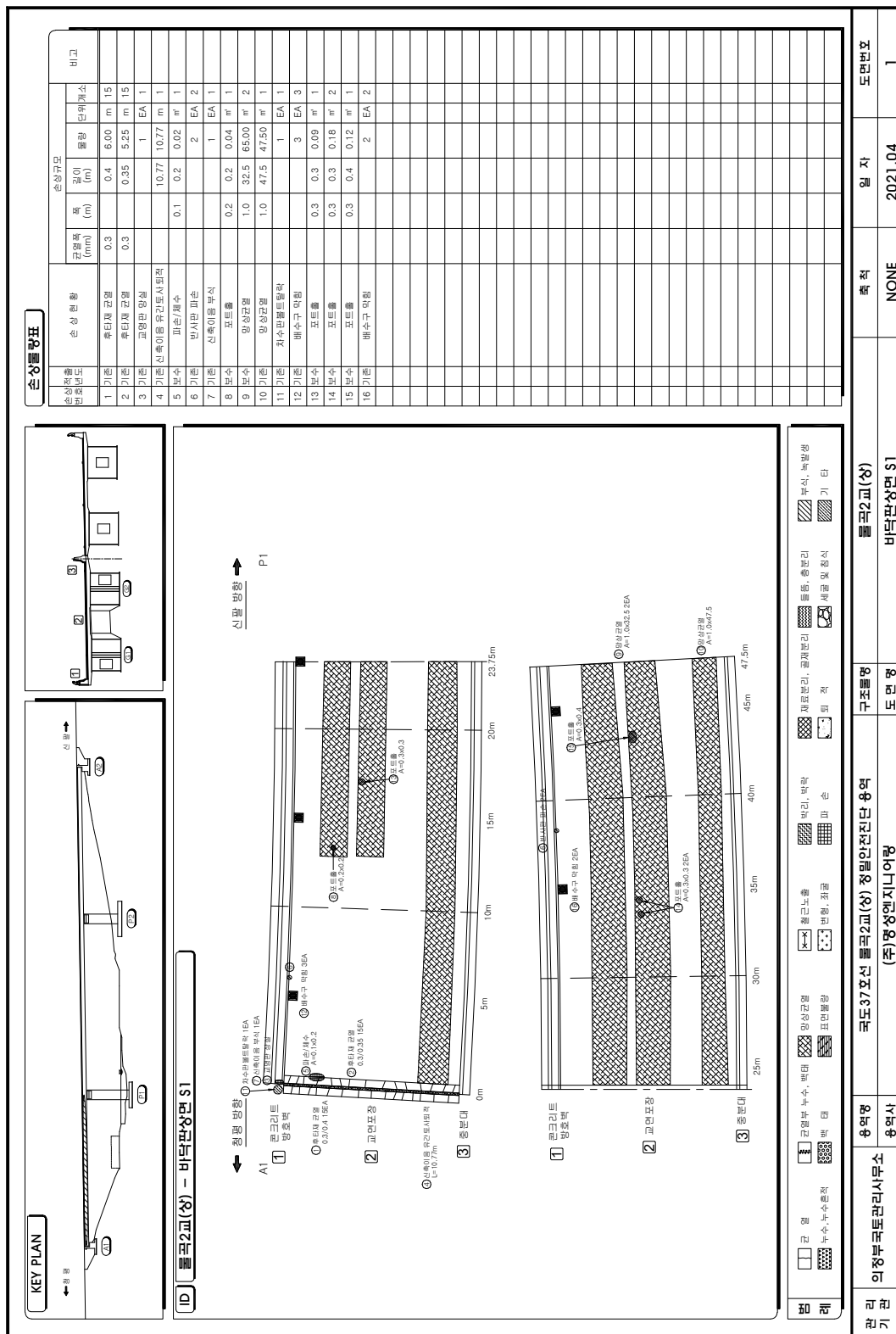
외관조사는 현장답사를 통해 접근방법 및 안전조치사항 등을 결정하고, 예비조사를 통해 세부적인 외관조사방법을 결정하여 외관조사를 시행하였다.

구 분	외관조사 방향
현장답사	◦현장접근에 필요한 고소차 등의 접근방법, 장비동원과 일정계획을 수립 ◦예비조사를 통해 교량에 발생된 주요 결함을 형태별로 분류 ◦결함 및 손상의 발생 원인을 추정하고 조사방향 결정 ◦현장조사 안전조치 사항
예비조사 및 감독관협의	◦교면포장 망상균열, 균열, 소성변형 등의 결함 발생 현황 ◦신축이음장치의 본체부식, 토사퇴적, 후타재 균열 발생 현황 ◦바닥판하면 손상 발생 현황 ◦거더에 발생된 도장손상, 발생 현황 ◦하부구조의 손상 현황 ◦받침장치의 이동량 측정, 기능성 여부 및 손상 발생 현황 ◦신축이음부의 손상 및 유간측정, 차수기능 저해 여부 확인

〈표 3.2〉 외관조사 방향

3.1.3 외관조사망도 작성방향

외관조사망도 작성은 최근에 실시한 2019년 정밀안전점검 외관조사망도를 기준으로 손상의 진행 및 보수여부를 파악하기 위하여 전회와 금회에 대한 표기를 사용하여 각 손상의 조사 시기를 파악 할 수 있도록 아래와 같이 구분하여 표기하였다.



〈그림 3.1〉 외관조사 작성 예(바닥판 상면)

	
교량점검차(굴절차)를 이용한 현장조사	교량점검차(굴절차)를 이용한 현장조사
	
교량점검차(굴절차)를 이용한 현장조사	교량점검차(굴절차)를 이용한 현장조사
	
상부 조사	하부 조사

〈사진 3.1〉 외관조사 현황

3.1.4 부재별 외관조사 결과

가. 교면포장

물곡2교(상, 청평방향)의 교폭은 10.49m, 편도 2차선으로 시공되어 있으며, 교면포장은 아스콘 포장(T=80mm)으로 시공되어 있다.



〈사진 3.2〉 교면포장 전경

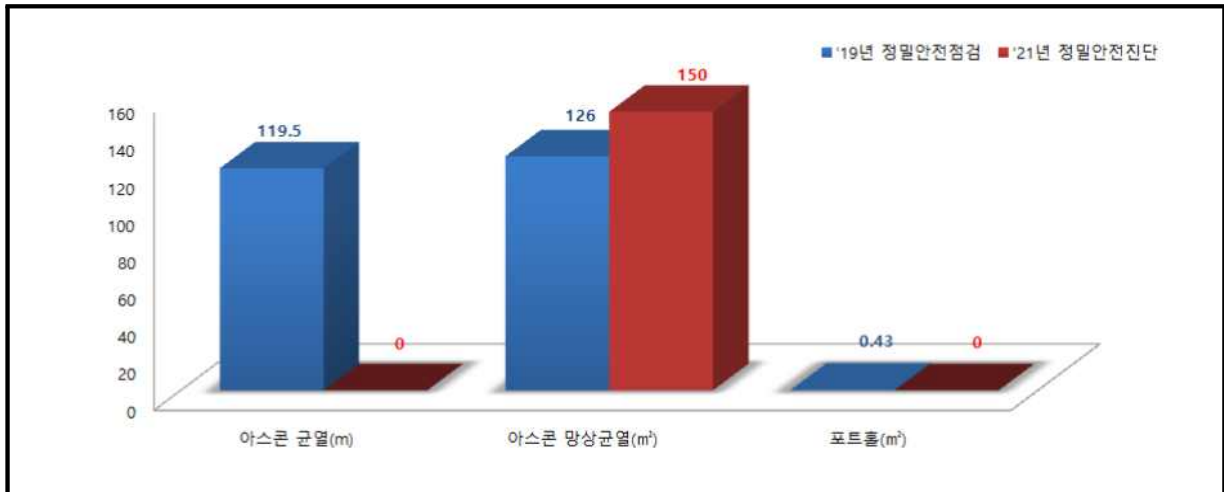
- 본 교량의 교면은 아스콘 포장으로 시공되었으며, 외관조사결과 2차로~갓길에 대해서 재포장이 실시되었고, 아스콘 망상균열이 조사되었다.
- 기 손상인 아스콘 균열이 장기 공용에 따른 열화로 인해 망상균열로 진전된 상태이며, 손상부는 재포장 등의 유지관리가 필요할 것으로 사료된다.

구분	위 치			합계
	S1	S2	S3	
아스콘 망상균열(㎡/개소)	47.5/1	55.0/1	47.5/1	150.0/7

〈표 3.3〉 교면포장 물량표

손상명	‘19년 정밀안전점검	‘21년 정밀안전진단	비고
아스콘 균열(m)	119.50	-	일부 보수 균열→망상균열 진전
아스콘 망상균열(㎡)	126.00	150.00	
포트홀(㎡)	0.43	-	보수

〈표 3.4〉 교면포장 전차 물량 비교



〈그림 3.2〉 교면포장 전차 물량 비교

현황	S1~3 아스콘 재포장	현황	S1 아스콘 망상균열
대책	-	대책	재포장
현황	S2 아스콘 망상균열	현황	S3 아스콘 망상균열
대책	재포장	대책	재포장

〈사진 3.3〉 교면포장 외관조사결과

나. 난간 및 연석(방호벽)

난간은 주행 중 정상적인 주행 경로를 벗어난 차량이 길 밖, 대향차로 또는 보도 등으로 이탈하는 것을 방지하는 동시에 탑승자의 상해 및 차량의 파손을 최소한도로 줄이고 차량을 정상 진행 방향으로 복귀시키는 것을 주목적으로 하는 시설물이다. 물곡2교(상, 청평방향)의 난간은 콘크리트 방호벽으로 교량 좌측에 시공되어 있으며, 방호벽 상단에는 철재난간이 설치되었고, 중앙에는 콘크리트 중앙분리대가 설치되어 있는 상태이다.



〈사진 3.4〉 방호벽 전경

■ 외관조사결과 기 손상인 방호벽 박리 및 박락, 난간 굽힘, 변형, 교명판 파손, 반사판 파손이 확인되었고, 금회 정밀조사로 인한 들뜸, 폭 0.3mm 이상 균열, 균열부백태 등의 손상이 신규 조사되었다.

■ 금회 진단에서 방호벽 일부에서 손상이 추가 조사되어 일부 물량이 증가하였다.

■ 상기 손상은 방호벽은 구조물 공용기간 경과 및 외부 충격, 제설제에 의한 열화 등의 원인으로 인해 발생한 손상으로 단면보수, 주입보수 백태보수 등의 유지관리를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 강재난간 굽힘 및 변형은 차량에 의한 외부충격으로 발생한 손상이며 변형은 현재 강재난간의 역할수행이 어려울 것으로 판단되므로 교체시공이 필요하다. 기타 반사판 파손, 교명판 망실 등은 보수보다는 유지관찰을 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

구분	위 치			합계
	S1	S2	S3	
박리 및 박락(㎡/개소)	-	6.00/1	-	6.00/1
들뜸(㎡/개소)	-	-	2.25/1	2.25/1
균열(폭 0.3mm 이상)	-	-	62.40/7	62.40/7
균열부 백태(㎡/개소)	-	-	0.75/15	0.75/15
강재난간 굽힘(m/개소)	-	-	0.50/1	0.50/1
강재난간 변형(개소)	-	-	2.00	2.00
교명판 망실(개소)	1.00	-	1.00	2.00
반사판 파손(개소)	2.00	2.00	-	4.00

〈표 3.5〉 방호벽 물량표

손상명	‘19년 정밀안전점검	‘21년 정밀안전진단	비고
박리 및 박락(㎡)	6.00	6.00	증감없음
들뜸(㎡)	-	2.25	신규손상
폭 0.3mm 이상 균열(m)	-	62.40	신규손상
균열부 백태(㎡)	-	0.75	신규손상
강재난간 굽힘(m)	0.50	0.50	증감없음
강재난간 변형(개소)	2.00	2.00	증감없음
교명판 망실(개소)	2.00	2.00	증감없음
반사판 파손(개소)	4.00	4.00	증감없음

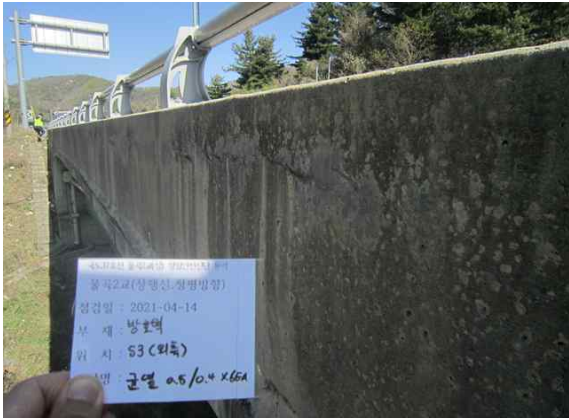
〈표 3.6〉 방호벽 전차 물량 비교



〈그림 3.3〉 방호벽 전차 물량 비교

			
현황	S1 교명판 유실	현황	S1 반사판 파손
대책	정비	대책	정비
			
현황	S2 박리 및 박락	현황	S2 박리 및 박락
대책	단면보수	대책	단면보수
			
현황	S2 반사판 파손	현황	S3 강재 난간 변형
대책	정비	대책	정비

<사진 3.5> 방호벽 외관조사결과

			
현황	S3 난간 변형	현황	S3 보수부 파손 재보수
대책	정비	대책	-
			
현황	S3 외측 폭0.3mm이상 균열	현황	S3 외측 폭0.3mm이상 균열
대책	주입보수	대책	주입보수
			
현황	S3 외측 들뜸	현황	S3 외측 균열부 백태
대책	단면보수	대책	백태보수

<사진 3.5> 방호벽 외관조사결과 - 계속

다. 배수시설

배수시설은 15개소(상행선)가 설치되어 있으며, 배수시설은 교면의 물고임에 따른 차량 사고방지 및 물유입에 따른 부식방지를 위해 일정한 곳으로 물을 배출하기 위한 시설로서, 본 교량의 배수구 상면에는 쓰레기 등의 이물질 혼입을 방지하기 위한 그레이팅(Grating)이 설치되어 있다.



〈사진 3.6〉 배수시설 전경

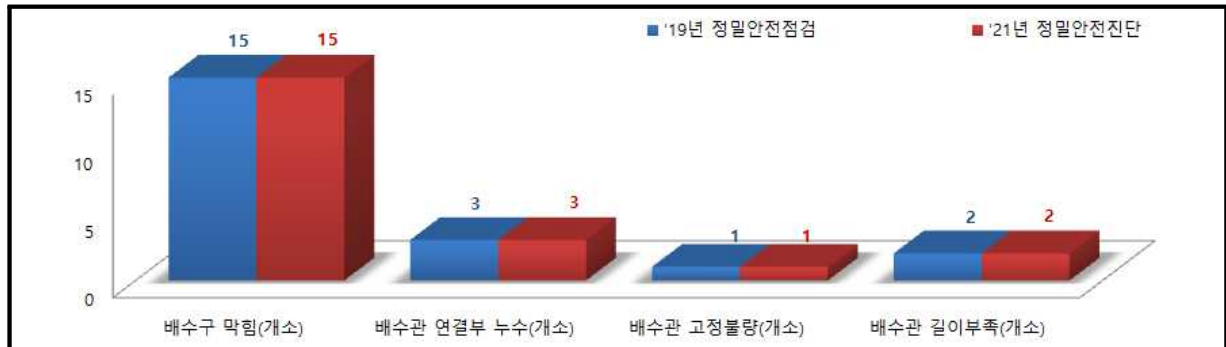
- 외관조사결과 기 손상인 배수구 막힘, 연결부 누수, 고정불량, 길이부족 등이 조사되었다.
- 기 점검과 비교시, 물량의 변동은 없는 상태이다.
- 배수구 막힘은 전구간에 걸쳐 발생한 손상으로, 공용 중 반복적인 통행 차량에 의한 토사(이물질)퇴적으로 인해 발생하였으며, 이는 우천시 체수를 유발하여 차량 주행성 및 사용성에 문제가 될 수 있으므로 주기적인 배수구 청소가 필요한 상태이다. 배수관 고정불량 구간은 부재의 사용성 확보 차원의 정비 등의 유지관리가 필요하며, 연결부 누수, 길이부족의 경우 유지관리가 요구된다.

구분	위 치			합계
	S1	S2	S3	
배수구 막힘(개소)	5.00	5.00	5.00	15.00
배수관 연결부 누수(개소)	3.00	-	-	3.00
배수관 고정불량(개소)	-	1.00	-	1.00
배수관 길이부족(개소)	2.00	-	-	2.00

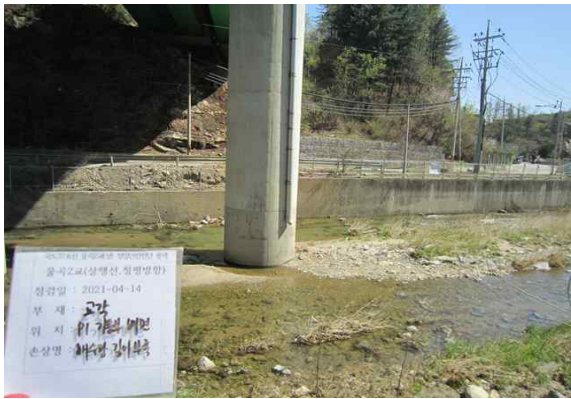
〈표 3.7〉 배수시설 물량표

손상명	'19년 정밀안전점검	'21년 정밀안전진단	비고
배수구 막힘(개소)	15.00	15.00	증감없음
배수관 연결부 누수(개소)	3.00	3.00	증감없음
배수관 고정볼량(개소)	1.00	1.00	증감없음
배수관 길이부족(개소)	2.00	2.00	증감없음

<표 3.8> 배수시설 전차 물량 비교



<그림 3.4> 배수시설 전차 물량 비교

			
현황	S1 배수구 막힘	현황	S1 배수관 연결부 누수
대책	정비	대책	주의관찰
			
현황	S1 배수관 길이부족	현황	S2 배수관 고정볼량
대책	주의관찰	대책	정비

<사진 3.7> 배수시설 외관조사결과

라. 신축이음장치

(1) 외관조사 결과

물곡2교(상, 청평방향)의 신축이음장치는 A1 Rail Type Joint 형식(NO.160), A2 Rail Type Joint 형식(NO.100)의 신축이음장치가 설치되어 있고, 하부구조로의 우수유입을 차단하기 위한 차수판이 시공되어 있다.



〈사진 3.8〉 신축이음 전경

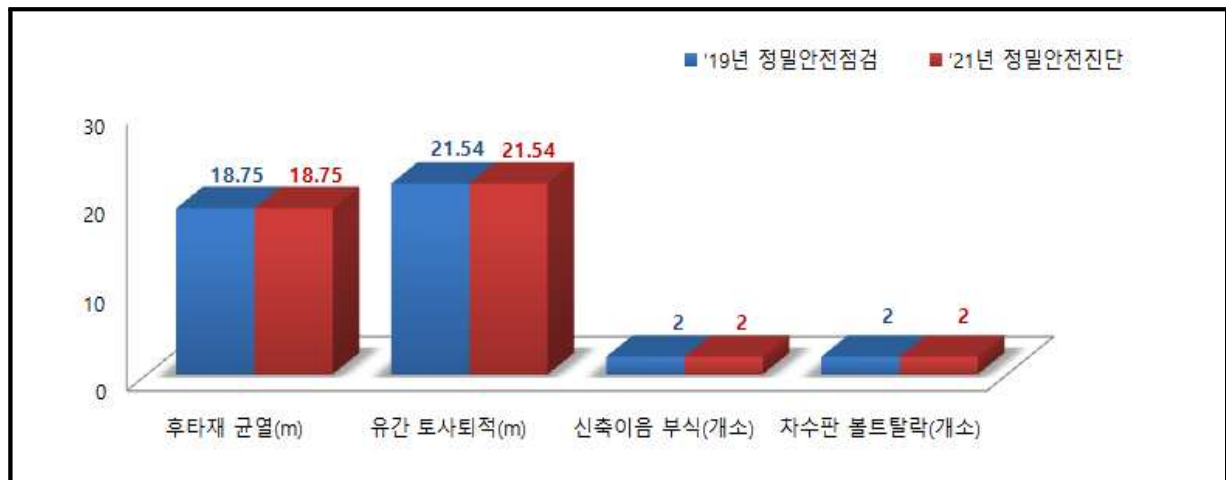
- 외관조사결과 후타재 균열, 본체 부식, 본체 유간부 토사퇴적, 차수판 볼트 탈락 등이 발생된 상태로 조사되었다.
- 기 점검과 비교시, 물량의 변동은 없는 상태이다.
- 후타재 균열은 건조수축 및 차량반복하중에 의하여 발생한 것으로 즉각보수보다는 주의관찰 후 진전시 표면보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다. 본체에 발생한 본체에서는 차량통행으로 인한 분산먼지 등에 의한 이물질퇴적이 조사되어 청소가 필요하며, 신축부 부식 손상은 현재 신축작용에 문제는 없는 상태로서 주의관찰을 통한 유지관리가 필요하다.

구분	위 치		합계
	A1	A2	
후타재 균열(m/개소)	11.25/30	7.50/20	18.75/50
유간 토사퇴적(m/개소)	10.77/1	10.77/1	21.54/2
신축이음 부식(개소)	1.00	1.00	2.00
차수판 볼트탈락(개소)	1.00	1.00	2.00

〈표 3.9〉 신축이음 물량표

손상명	'19년 정밀안전점검	'21년 정밀안전진단	비고
후타재 균열(m)	18.75	18.75	증감없음
유간 토사퇴적(m)	21.54	21.54	증감없음
신축이음 부식(개소)	2.00	2.00	증감없음
차수판 볼트탈락(개소)	2.00	2.00	증감없음

〈표 3.10〉 신축이음 전차 물량 비교



〈그림 3.5〉 신축이음 전차 물량 비교

			
현황	A1 본체 유간 토사퇴적	현황	A1 본체 부식
대책	청소	대책	주의관찰

〈사진 3.9〉 신축이음 외관조사결과

			
현황	A1 차수관 볼트탈락	현황	A1 후타재 균열
대책	정비	대책	주의관찰
			
현황	A2 차수관 볼트탈락	현황	A2 후타재 균열
대책	정비	대책	주의관찰
			
현황	A2 본체 유간 토사퇴적	현황	A2 본체 부식
대책	청소	대책	주의관찰

〈사진 3.9〉 신축이음 외관조사결과 - 계속

(2) 신축 유간 분석

상부구조는 고정단을 중심으로 온도변화에 따라 동절기와 하절기시 교축방향으로 수축과 신장을 하게 된다. 신축량이라 함은 보의 가동단에서 움직임을 나타내는 용어로서, 측정 당시를 기준으로 해서 보의 온도변화(+)에 의한 신축량($\Delta l + t$)과 온도변화(-)에 의한 수축량($\Delta l - t$)이다.

슬래브 및 거더 단부의 유간이 부족할 경우 단부 파손 및 기타 손상이 발생할 수 있으므로 슬래브 및 거더의 유간 거리를 측정하여 계산치와 비교검토 함으로서 각 유간의 적정성을 판단한다.

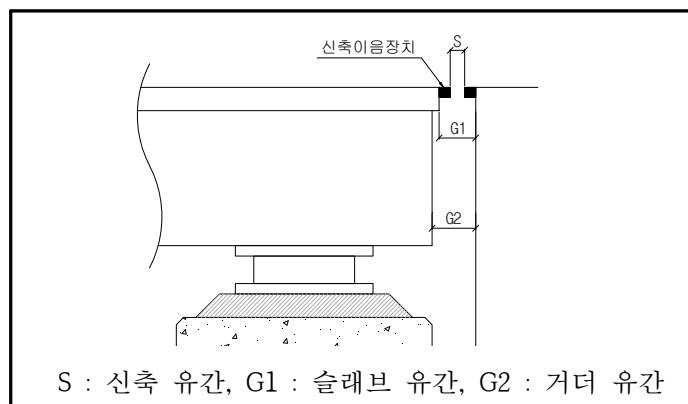
① 조사 방법

◎ 이론 신축량 계산 $\Delta l = \Delta T \times \alpha \times L$

여기서, ΔT : 온도변화량

α : 선팽창계수

L : 신축거더 길이



<그림 3.6> 유간거리 측정방법



<사진 3.10> 신축 유간 조사현황

교량 종류	온도변화		선팅창계수
	보통지방	한랭한 지방	
콘크리트교	-5℃ ~ +35℃	-15℃ ~ +35℃	1.0×10^{-5}
강 교	-10℃ ~ +40℃	-20℃ ~ +40℃	1.2×10^{-5}
- 2021년 04월 14일 09~17시, 측정시 온도 : 9.0℃			

<표 3.11> 지역별 온도변화 범위

② 이론 신축량 산정

ㄱ. 신장량 ($\Delta l_t = \Delta T \times \alpha \times L$)

- 적용 온도 : +40℃ 적용 (강교)
- $\Delta T_s = 40^\circ\text{C} - 9^\circ\text{C} = 31.0^\circ\text{C}$
- $\alpha_s = 1.2 \times 10^{-5}$ (강교)
- 신축돌보의 길이 (L)

- A1 : 47.5m+55.0m = 102.5m (A1~P2)
- A2 : 47.5m = 47.5m (P2~A2)

- 계산 신장량

- A1 : $\Delta l_t = \Delta T_s \times \alpha_s \times L = 31.0 \times (1.2 \times 10^{-5}) \times 102,500 = 38.13\text{mm}$
- A2 : $\Delta l_t = \Delta T_s \times \alpha_s \times L = 31.0 \times (1.2 \times 10^{-5}) \times 47,500 = 17.67\text{mm}$

ㄴ. 수축량 ($\Delta l_t = \Delta T \times \alpha \times L$)

- 적용 온도 : -20.0℃ 적용 (강교)
- $\Delta T_s = 9.0^\circ\text{C} - (-20.0^\circ\text{C}) = 29.0^\circ\text{C}$
- $\alpha_s = 1.2 \times 10^{-5}$ (강교)
- 신축돌보의 길이(L) $\Rightarrow$ 위와 동일
- 계산 수축량

- A1 : $\Delta l_t = \Delta T_s \times \alpha_s \times L = 29.0 \times (1.2 \times 10^{-5}) \times 102,500 = 35.67\text{mm}$
- A2 : $\Delta l_t = \Delta T_s \times \alpha_s \times L = 29.0 \times (1.2 \times 10^{-5}) \times 47,500 = 16.53\text{mm}$

③ 유간 측정결과

위 치	측정 결과 (mm)			이론 계산량 (mm)		허용 이동량 (mm)	평가
	S	G1	G2	최대 신장시	최대 수축시		
A1	74.0	190.0	170.0	38.1	35.7	160.0	O.K
A2	43.0	100.0	110.0	17.7	16.5	100.0	O.K
- 2021년 04월 14일 09~17시, 측정시 온도 : 9.0℃							

〈표 3.12〉 유간 측정결과

※ 유간 S=신축이음, G1=바닥판, G2=거더

◎ 측정 유간 > 최대 신장시 이론 계산량 ⇒ 양호

◎ 측정 유간(신축이음=S) + 최대 수축시 이론 계산량 < 허용 이동량 ⇒ 양호

유간(신축이음, 슬래브, 거더) 측정결과를 토대로 온도변화에 따른 유간 변화량 검토결과, 하절기 최대신장시 유간여유량이 충분한 상태였으며, 동절기 최대수축시 역시 허용이동량 범위 내로 유간에 따른 교량의 안전성의 문제는 없을 것으로 판단된다.

마. 바닥판

물곡2교(상, 청평방향)의 바닥판은 3경간의 철근콘크리트 구조로써 교량하부는 도로 및 하천이 흐르고 있다. 바닥판 하면의 거더와 거더 사이는 데크플레이트가 시공되어 있는 상태이며, 캔틸레버부는 콘크리트가 노출되어 있는 상태이다. 외관조사는 교량점검차(굴절점검차)를 이용하여 실시하였다.



〈사진 3.11〉 바닥판하면 전경

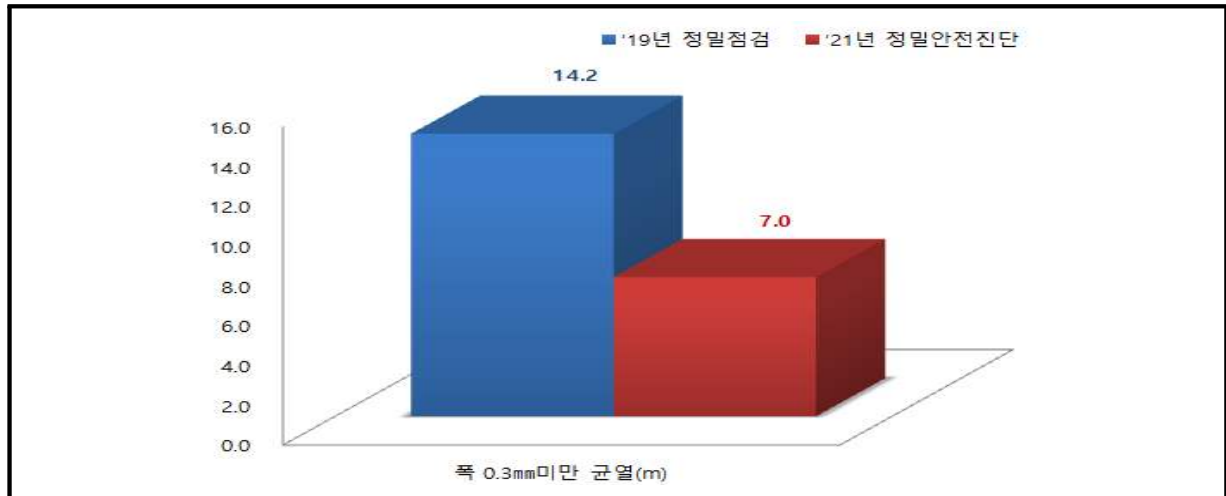
- 외관조사결과 기 손상인 폭 0.3mm미만 균열이 조사되었다.
- 기 점검과의 비교시, 일부구간 보수가 실시되어 손상 물량이 감소하였다.
- 바닥판에 발생한 폭 0.3mm미만 균열은 시공초기 건조수축 및 온도변화에 의해 발생한 균열로 지속적인 관찰 후 진전시 표면처리보수를 실시하는 것이 유지관리에 효율적일 것으로 판단된다.

구분	위 치			합계
	S1	S2	S3	
폭 0.3mm미만 균열(m/개소)	1.40/2	5.60/7	-	7.00/9

〈표 3.13〉 바닥판하면 물량표

손상명	‘19년 정밀안전점검	‘21년 정밀안전진단	비고
폭 0.3mm미만 균열(m)	14.20	7.00	일부 보수

〈표 3.14〉 바닥판하면 전차 물량 비교



<그림 3.7> 바닥판하면 전차 물량 비교

현황	S1 0.3mm미만 균열	현황	S1 균열 보수
대책	표면처리	대책	-
현황	S2 0.3mm미만 균열	현황	S2 균열 보수
대책	표면처리	대책	-

<사진 3.12> 바닥판 외관조사결과

바. 거더

물곡2교(상, 청평방향)의 강재 거더는 교량 횡방향으로 2개소(B2.6m×H2.4m)가 설치되었으며, 주부재는 SM490, 부부재는 SM400이고, 강재 현장이음부는 고장력 볼트(F10T)로 도장 방식은 초내후성중방식도장으로 시공되었다.



〈사진 3.13〉 거더 전경

■ 외관조사결과 거더내부에 도장박리, 박락, 부식, 토사 및 이물질퇴적 등의 손상이 조사되었고, 거더외부 도장 박리, 박락, 긁힘, 부식 등의 손상이 조사되었다.

■ 기 점검과의 비교시 스프라이스부 셸링 보수를 실시하였고, 일부구간에서 도장손상이 신규 조사되었다.

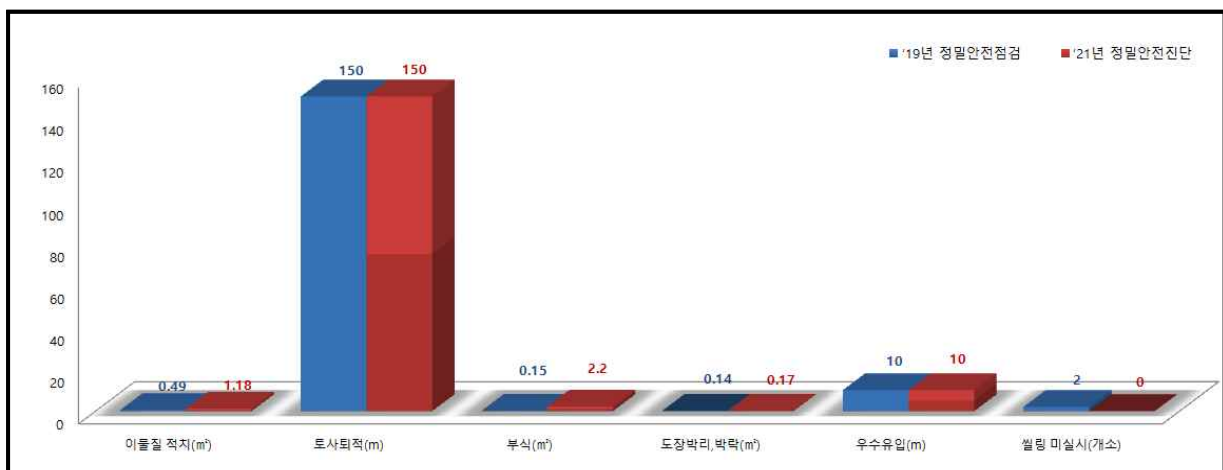
■ 도장손상(도장박리, 박락, 부식 등)은 시공미흡 및 외부충격에 의한 손상으로 지속적인 관찰 후 진전시 재도장이 필요하며, 거더내부에 발생한 우수유입 및 이물질퇴적은 청소(정비)가 필요하다.

구분		위 치			합계
		S1	S2	S3	
거더 내부	이물질 적치(㎡/개소)	0.49/1	0.09/1	0.60/1	1.18/3
	토사퇴적(m/개소)	47.50/1	55.0/1	47.50/1	150.00/3
	부식(㎡/개소)	0.05/1	-	2.15/2	2.20/3
	도장박리, 박락(㎡/개소)	-	0.12/6	0.05/1	0.17/7
	우수유입(m/개소)	-	10.00/1	-	10.00/1
거더 외부	도장박리, 박락, 균열(㎡/개소)	0.01/1	-	0.34/2	0.35/3
	부식(㎡/개소)	1.06/5	0.80/4	0.07/1	1.93/10

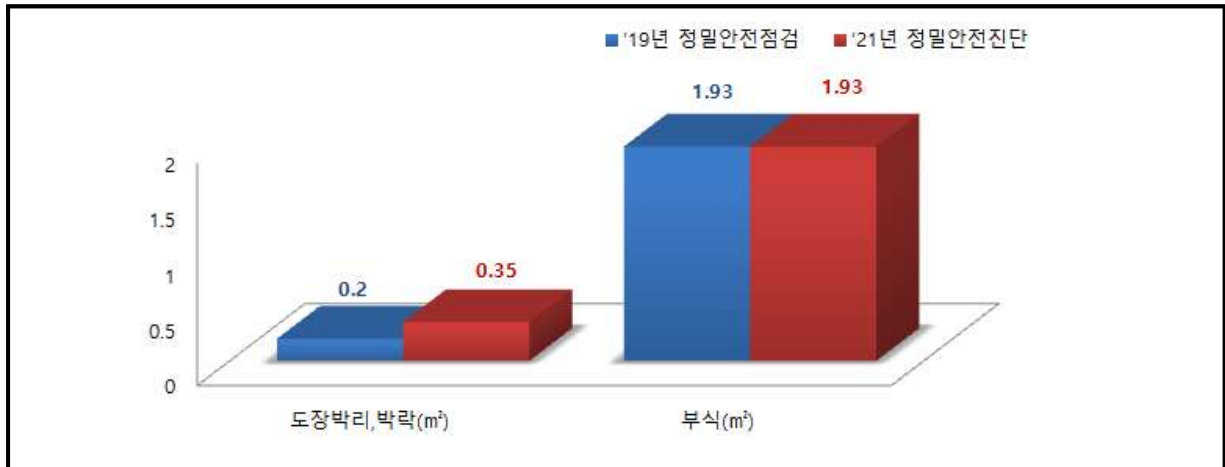
〈표 3.15〉 거더 물량표

손상명		‘19년 정밀안전점검	‘21년 정밀안전진단	비고
거더 내부	이물질 적치(㎡)	0.49	1.18	신규손상
	토사퇴적(m)	150.00	150.00	증감없음
	부식(㎡)	0.15	2.20	신규손상
	도장박리, 박락(㎡)	0.14	0.17	신규손상
	우수유입(m)	10.00	10.00	증감없음
	셀링 미실시(개소)	2.00	-	보수완료
거더 외부	도장박리, 박락(㎡)	0.20	0.35	진전, 신규
	부식(㎡)	1.93	1.93	증감없음

〈표 3.16〉 거더 전차 물량 비교



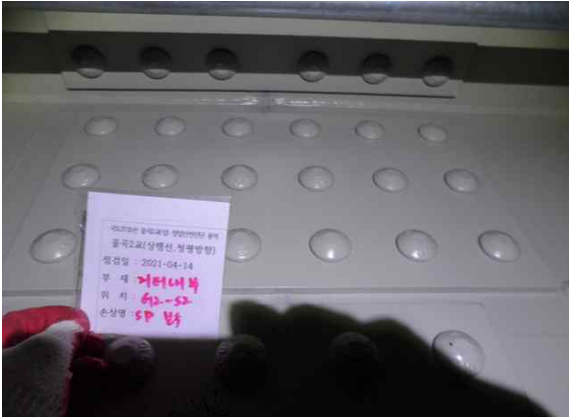
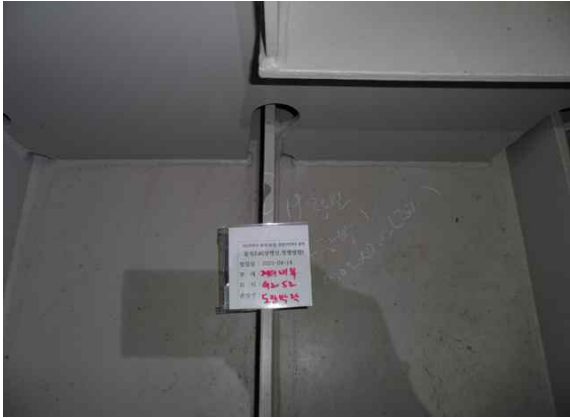
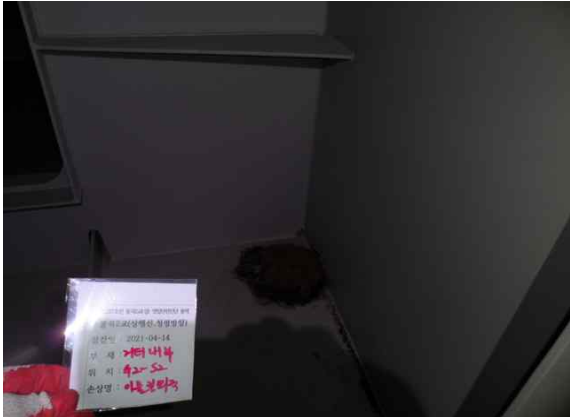
〈그림 3.8〉 거더내부 전차 물량 비교



〈그림 3.9〉 거터외부 전차 물량 비교

현황	거터내부 G1-S1 부식	현황	거터내부 G1-S1 페콘크리트 퇴적
대책	재도장	대책	정비
현황	거터내부 G1-S2 도장박락	현황	거터내부 G1-S2 도장박락
대책	재도장	대책	재도장

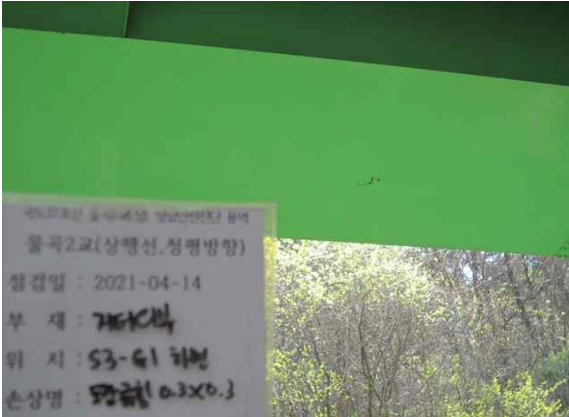
〈사진 3.14〉 거터 외관조사결과

			
현황	거더내부 G2-S2 쉘링 미 실시 보수	현황	거더내부 G2-S2 도장박락
대책	-	대책	재도장
			
현황	거더내부 G2-S2 우수유입	현황	거더내부 G2-S2 이물질퇴적
대책	정비	대책	정비
			
현황	거더내부 G2-S3 부식	현황	거더내부 G2-S3 부식
대책	재도장	대책	재도장

〈사진 3.14〉 거더 외관조사결과 - 계속

			
현황	거더내부 G2-S3 페콘크리트 퇴적	현황	거더외부 G1-S1 도장박리
대책	정비	대책	재도장
			
현황	거더외부 G1-S1 부식	현황	거더외부 G1-S1 부식
대책	재도장	대책	재도장
			
현황	거더외부 G1-S2 부식	현황	거더외부 G1-S2 부식
대책	재도장	대책	재도장

〈사진 3.14〉 거더 외관조사결과 - 계속

			
현황	거더외부 G1-S2 부식	현황	거더외부 G2-S3 부식
대책	재도장	대책	재도장
			
현황	거더외부 G1-S3 도장균열	현황	거더외부 G1-S3 도장박락
대책	재도장	대책	재도장

〈사진 3.14〉 거더 외관조사결과 - 계속

사. 가로보

공용기간 중 주거터의 횡변형 방지와 하중 횡분배 역할을 하는 가로보는 강재로 시공되어 있으며, 조사방법은 거더와 동일한 방법으로 점검차를 통한 근접조사를 실시하였다.



〈사진 3.15〉 가로보 전경

■ 외관조사 결과 가로보는 손상이 없는 양호한 상태로 확인되었고, 주기적인 점검을 통한 손상의 발생여부 확인 등의 유지관리가 요구된다.

구분	위 치			합계
	S1	S2	S3	
가로보 상태양호	-	-	-	-

〈표 3.17〉 가로보 물량표

손상명	‘19년 정밀안전점검	‘21년 정밀안전진단	비고
가로보 상태양호	-	-	

〈표 3.18〉 가로보 전차 물량 비교

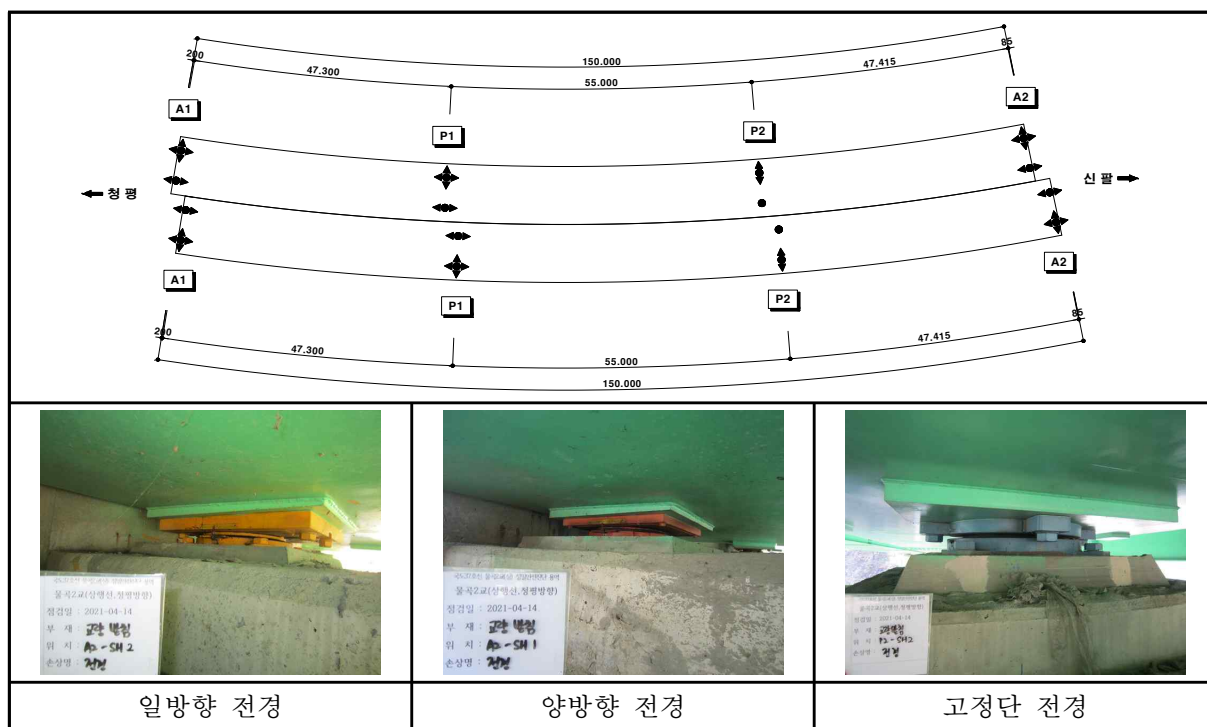


〈사진 3.16〉 가로보 외관조사결과

아. 받침장치

(1) 외관조사 결과

교량받침은 상·하부구조의 접속부에 위치한 교량의 부속물로써, 하중의 전달과 완충 등의 중요한 기능을 담당한다. 받침장치는 Pot Bearing로 교대 3,000kN(4개소), 교각 8,000kN(4개소)으로 각각 시공되었으며, 교량받침에 대한 외관조사결과는 다음과 같다.



〈그림 3.10〉 교량받침 상세도

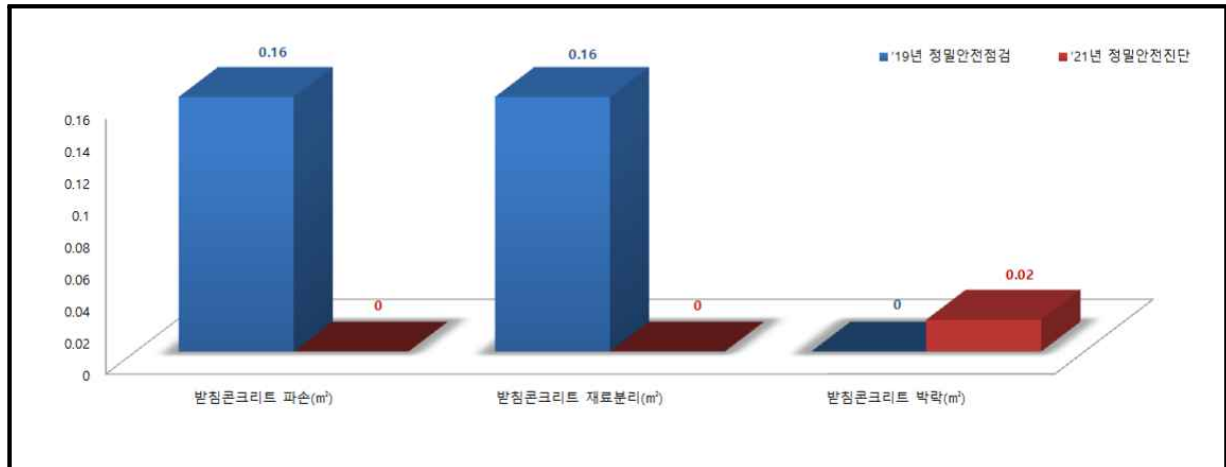
- 외관조사결과 본체 파손, 편기 등의 구조적인 손상은 없는 상태이다.
- 기 점검과의 비교시 받침콘크리트 박락 신규 조사되었고, 파손 및 재료분리에 대해 보수를 실시한 것이 확인되었다.
- 받침콘크리트 박락은 초기 시공시 발생한 손상으로 단면보수 등의 조치가 필요하다.

구분	위 치				합계
	A1	P1	P2	A2	
받침콘크리트 박락(㎡/개소)	0.02/1	-	-	-	0.02/1

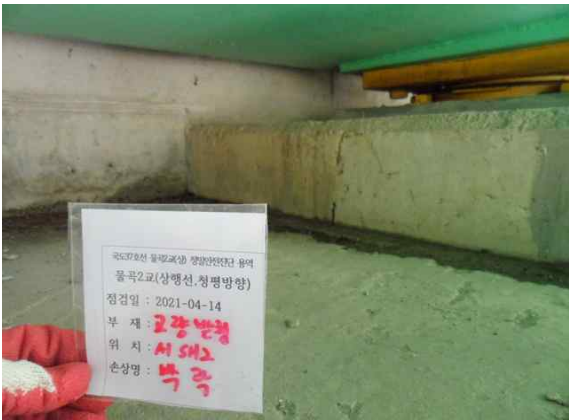
〈표 3.19〉 받침장치 물량표

손상명	‘19년 정밀안전점검	‘21년 정밀안전진단	비고
받침콘크리트 파손(㎡)	0.16	-	보수
받침콘크리트 재료분리(㎡)	0.16	-	보수
받침콘크리트 박락(㎡)	-	0.02	신규손상

〈표 3.20〉 받침장치 전차 물량 비교



〈그림 3.11〉 받침장치 전차 물량 비교

			
현황	A1-SH2 받침콘크리트 박락	현황	A1-SH2 받침콘크리트 박락
대책	단면보수	대책	단면보수
			
현황	P1-SH2 받침콘크리트 재료분리 보수	현황	P2-SH1 받침물탈 균열 보수
대책	-	대책	-

〈사진 3.17〉 받침장치 외관조사결과

(2) 받침장치 가동 여유량 검토

설계시 받침의 이동량은 온도변화, 활하중, 크리프, 건조수축, 부가여유량 및 설치여유량 등을 고려하여 산정하나, 금회 조사에서는 교량의 공용년수가 10년 경과되었으므로 크리프 및 건조수축 의한 변화는 거의 종결된 것으로 간주하여 온도변화에 의한 이동량을 검토하였다.

교량의 종류	온도변화		선팅창계수
	보통지방	한랭 지방	
PSC교, RC교	-5℃ ~ +35℃	-15℃ ~ +35℃	1.0×10^{-5}
강교(상로교)	-10℃ ~ +40℃	-20℃ ~ +40℃	1.2×10^{-5}
강교 (하로교 및 강바닥판교)	-10℃ ~ +50℃	-20℃ ~ +40℃	1.2×10^{-5}

〈표 3.21〉 받침장치의 이동량 산정시 온도변화 및 선팅창 계수

- 조사시 온도 : 2021년 04월 14일 가동량 측정시 외기온도 $\Rightarrow 9.0^{\circ}\text{C}$

- 검토 온도 : $-20^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ (강교일 경우)

◎ 받침장치 여유량 산정

- 온도에 의한 이동량 : $\Delta l_t = \alpha \times \Delta T \times \ell$

- 선팅창계수(강교) : $\alpha = 1.2 \times 10^{-5}$

- 온도범위 : $\Delta T = 9.0^{\circ}\text{C} - (-20^{\circ}\text{C}) = 29.0^{\circ}\text{C}$ (최대 수축시, 동절기)

$40.0^{\circ}\text{C} - 9.0^{\circ}\text{C} = 31.0^{\circ}\text{C}$ (최대 신장시, 하절기)

- 적용 경간 길이 (l) = 102.5m(A1), 55.0m(P1), 47.5m(A2)

구분	온도변화 (ΔT , $^{\circ}\text{C}$)		선팅창 계수 (α)	신축 길이 (L)	온도변화에 의한 이동량(mm)	
	동절기	하절기			동절기	하절기
A1	29.0	31.0	1.2×10^{-5}	102.5	35.7	38.1
P1	29.0	31.0	1.2×10^{-5}	55.0	19.1	20.5
P2	고정단					
A2	29.0	31.0	1.2×10^{-5}	47.5	16.5	17.7

※ 조사시 일 평균온도 : 9.0°C (2021. 04. 14)

※ 검토온도 : 강교: $-20^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ (한랭지방)

〈표 3.22〉 받침장치 검토조건

위 치	구 분	설계 이동량 (mm)	실측 이동량 (mm)	여유량(mm)		온도변화에 의한 이동량		판 정
				신장	수축	신장	수축	
A1	SH1	±100	+5	95	105	38.1	35.7	O.K
	SH2		+5	95	105	38.1	35.7	O.K
P1	SH1	±100	+5	95	105	20.5	19.1	O.K
	SH2		-2	102	98	20.5	19.1	O.K
P2	고정단		-	-	-	-	-	-
A2	SH1	±100	-15	115	85	17.7	16.5	O.K
	SH2		-15	115	85	17.7	16.5	O.K

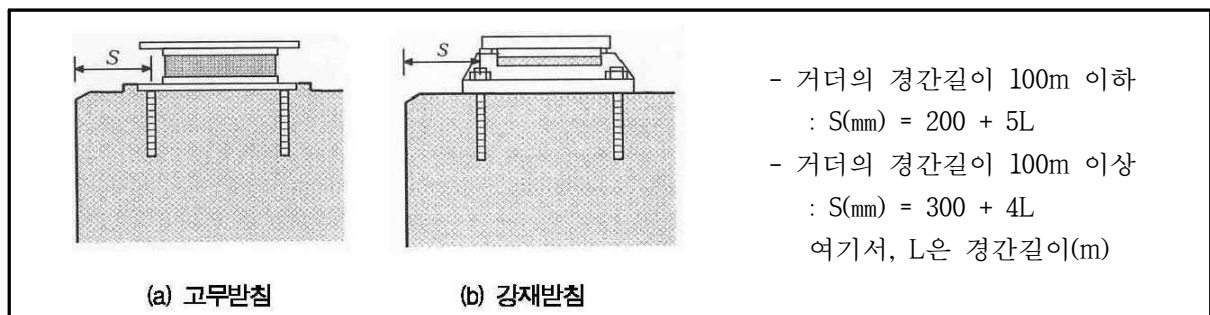
※ 실측 이동량은 고정단(P2)을 기준으로 신장시(+), 수축시(-)로 명기.

〈표 3.23〉 받침장치 여유량 조사 결과

받침장치의 이동량 검토결과 모든 받침에서 여유량을 확보하고 있는 것으로 검토되었다.

(2) 연단거리 분석

① 측정 방법



〈그림 3.12〉 연단거리 측정방법



〈사진 3.18〉 연단 측정

② 각 경간별 최소 연단거리 산정

- 거더의 경간 길이 100m 이하 : $S = 20 + 0.5 L$
- 거더의 경간 길이 100m 이상 : $S = 30 + 0.4 L$

경간 길이에 따른 최소 연단거리 산정

- S1, S3 : $200 + 5 \times 47.5 = 437.5\text{mm}$
- S2 : $200 + 5 \times 55.0 = 475.0\text{mm}$

③ 연단거리 측정 및 검토결과

구 분			측정결과(mm)		연단기준 (mm)	평가
			SH1	SH2		
A1	포트	중점	660	590	437.5	O.K
P1	포트	시점	880	960	437.5	O.K
		중점	920	880	475	O.K
P2	포트	시점	890	910	475	O.K
		중점	900	910	437.5	O.K
A2	포트	시점	700	680	437.5	O.K

〈표 3.24〉 연단거리 검토결과

연단거리 분석결과 전 구간 모두 실측 연단거리가 도로교 설계기준 최소 연단거리 이상으로 측정되어, 연단거리에 따른 구조물의 안전성의 문제는 없을 것으로 판단된다.

자. 교대 및 교각

물곡2교(상, 청평방향)의 교대는 역T형이고 직접기초로 시공되어 있는 상태이며, 교각은 T형이며 직접기초로 시공되어 있다.



〈사진 3.19〉 교대 및 교각 전경

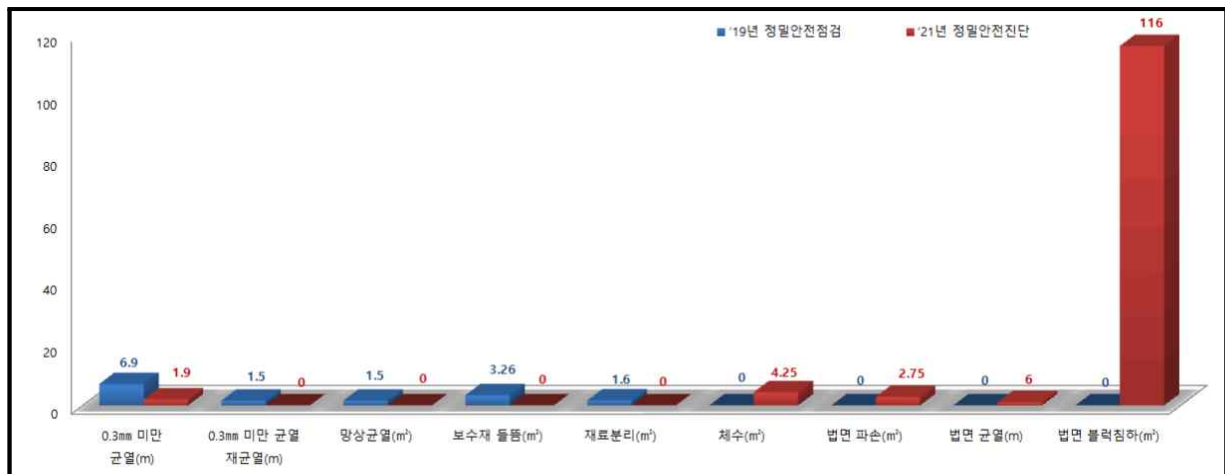
- 하부구조의 외관조사결과, 정밀조사로 인한 체수, 법면 파손, 균열, 침하 등의 손상이 조사되었다.
- 기 점검과의 비교시 폭 0.3mm미만 균열 일부 보수 및 망상균열 보수재 들뜸, 재료분리가 전구간 보수되었다. 교대에서 일부 손상이 조사되어 증가하였다.
- 균열의 경우 시공초기 건조수축에 의한 비구조적 균열로 추정되나, 하자보수 만료전 표면처리 등의 보수가 필요하며, 법면에 발생한 법면 블록침하, 법면유실의 경우 하행선 교대 배수관에서 흘러나온 우수에 의한 손상으로 유도 배수관 설치 등의 유지관리가 필요하며, 손상부는 주의관찰이 요구된다.

구분	위 치				합계
	A1	P1	P2	A2	
0.3mm 미만 균열(m)	-	1.00/1	-	0.90/2	1.90/3
체수(m³/개소)	2.00/1	-	-	2.25/1	4.25/2
법면 파손(m³/개소)	-	-	-	2.75/2	2.75/2
법면 균열(m/개소)	-	-	-	1.00/1	1.00/1
법면 유실 및 블록침하(m³/개소)	100.0/1	-	-	16.00/1	116.00/2

〈표 3.25〉 교대 및 교각 물량표

손상명	‘19년 정밀안전점검	‘21년 정밀안전진단	비고
0.3mm 미만 균열(m)	6.90	1.90	일부보수
0.3mm 미만 균열 재균열(m)	1.50	-	보수
망상균열(m ²)	1.50	-	보수
보수재 들뜸(m ²)	3.26	-	보수
재료분리(m ²)	1.60	-	보수
체수(m ²)	-	4.25	신규손상
법면 파손(m ²)	-	2.75	신규손상
법면 균열(m)	-	1.00	신규손상
법면 유실 및 블럭침하(m ²)	-	116.00	신규손상

〈표 3.26〉 교대 및 교각 전차 물량 비교



〈그림 3.13〉 교대 및 교각 전차 물량 비교

현황	A1 교대 법면유실	현황	A2 교대 법면 블럭침하
대책	주의관찰(하행선 유도배수관 설치)	대책	주의관찰(하행선 유도배수관 설치)

〈사진 3.20〉 교대 및 교각 외관조사결과

			
현황	A2 폭 0.3mm미만 균열	현황	A2 폭 0.3mm미만 균열
대책	표면처리	대책	표면처리
			
현황	A2 상면 체수	현황	A2 상면 보수재 들뜸 보수
대책	주의관찰	대책	-
			
현황	A2 법면 균열	현황	A2 법면 파손
대책	주의관찰	대책	주의관찰

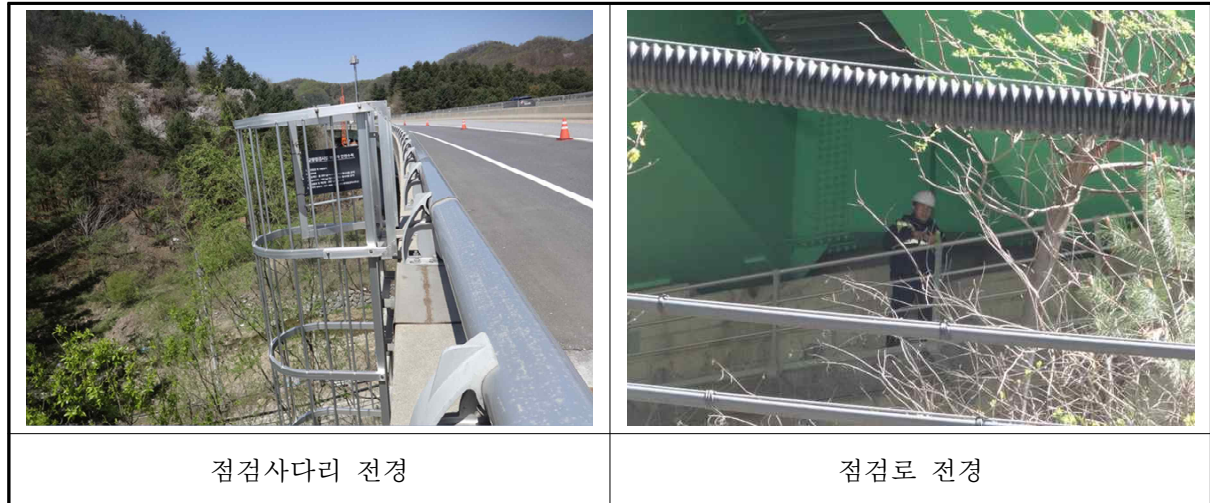
〈사진 3.20〉 교대 및 교각 외관조사결과 - 계속

			
현황	A1 균열보수	현황	A1 상면 채수
대책	-	대책	주의관찰
			
현황	P2 기둥부 망상균열 보수	현황	P2 재료분리 보수
대책	-	대책	-
			
현황	P2 재균열 보수	현황	P2 코핑부 폭 0.3mm미만 균열
대책	-	대책	표면처리

<사진 3.20> 교대 및 교각 외관조사결과 - 계속

차. 부대시설

물곡2교(상, 청평방향)의 부대시설 현황으로는 점검로가 A1, P1, P2 3개소에 설치되었고, 점검사다리는 A1 1개소가 설치되었다. P1, P2의 경우 하행선을 통해 진입이 가능하다.



〈사진 3.21〉 부대시설 전경

- 부대시설 외관조사결과 손상이 없는 양호한 상태로 확인되었고, 금회 점검로 안전표지판 설치를 실시하였다.

구분	위 치			합계
	A1	P1	P2	
상태양호	-	-	-	-

〈표 3.27〉 부대시설 물량표



〈사진 3.22〉 부대시설 외관조사결과

카. 전차 점검결과와 비교

본 과업대상 교량에 대한 전차 정밀안전점검(2019) 결과와 금회 정밀안전진단(2021) 결과를 비교 검토한 내용은 다음과 같다.

구 분		단위	‘19년 점검	‘21년 진단	증감	비고
			수량	수량		
교면포장	아스콘 균열	m	119.50	-	▼ 119.50	일부보수
	아스콘 망상균열	m ²	126.00	150.00	▲ 24.00	손상진전
	포트홀	m ²	0.43	-	▼ 0.43	보수
난간/ 연석	박리 및 박락	m ²	6.00	6.00	- -	증감없음
	들뜸	m ²	-	2.25	▲ 2.25	신규손상
	폭 0.3mm 이상 균열	m	-	62.40	▲ 62.40	신규손상
	균열부 백태	m ²	-	0.75	▲ 0.75	신규손상
	강재난간 굽힘	m	0.50	0.50	- -	증감없음
	강재난간 변형	개소	2.00	2.00	- -	증감없음
	교명판 망실	개소	2.00	2.00	- -	증감없음
	반사판 파손	개소	4.00	4.00	- -	증감없음
배수시설	배수구 막힘	개소	15.00	15.00	- -	증감없음
	배수관 연결부 누수	개소	3.00	3.00	- -	증감없음
	배수관 고정볼량	개소	1.00	1.00	- -	증감없음
	배수관 길이부족	개소	2.00	2.00	- -	증감없음
신축이음	후타재 균열	m	18.75	18.75	- -	증감없음
	유간 토사퇴적	m	21.54	21.54	- -	증감없음
	신축이음 부식	개소	2.00	2.00	- -	증감없음
	차수판 볼트탈락	개소	2.00	2.00	- -	증감없음
바닥판	폭 0.3mm미만 균열	m	14.20	7.00	▼ 7.20	일부보수
거더	이물질 적치	m ²	0.49	1.18	▲ 0.69	신규손상
	토사퇴적	m	150.00	150.00	- -	증감없음
	부식	m ²	0.15	2.20	▲ 2.05	신규손상
	도장박리, 박락	m ²	0.14	0.17	▲ 0.03	신규손상
	우수유입	m	10.00	10.00	- -	증감없음

〈표 3.28〉 전차 점검결과와 비교

구 분		단위	‘19년 점검	‘21년 진단	증감	비고
			수량	수량		
받침장치	받침콘크리트 파손	m ²	0.16	-	▼ 0.16	보수
	받침콘크리트 재료분리	m ²	0.16	-	▼ 0.16	보수
	받침콘크리트 박락	m ²	-	0.02	▲ 0.02	신규손상
교대, 교각	0.3mm미만 균열	m	6.90	1.90	▼ 5.00	일부보수
	0.3mm미만 균열 재균열	m	1.50	-	▼ 1.50	보수
	망상균열	m ²	1.50	-	▼ 1.50	보수
	보수재 들뜸	m ²	3.26	-	▼ 3.26	보수
	재료분리	m ²	1.60	-	▼ 1.60	보수
	체수	m ²	-	4.25	▲ 4.25	신규손상
	범면 파손	m ²	-	2.75	▲ 2.75	신규손상
	범면 균열	m	-	1.00	▲ 1.00	신규손상
	범면 블록침하	m ²	-	16.00	▲ 16.00	신규손상

〈표 3.28〉 전차 점검결과와 비교 - 계속

3.1.5 외관조사 결과분석

가. 교면포장 및 보도부

2차로~갓길에 대해서 재포장이 실시되었고, 기 손상인 아스콘 균열이 장기 공용에 따른 열화로 인해 망상균열로 진전된 상태이며, 손상부는 재포장 등의 유지관리가 필요할 것으로 사료된다.

나. 난간 및 연석

기 손상인 방호벽 박리 및 박락, 난간 굽힘, 변형, 교명판 파손, 반사판 파손이 확인되었고, 금회 정밀조사로 인한 들뜸, 폭 0.3mm 이상 균열, 균열부백태 등의 손상이 신규 조사되었다. 상기 손상은 방호벽은 구조물 공용기간 경과 및 외부 충격, 제설제에 의한 열화 등의 원인으로 인해 발생한 손상으로 단면보수, 주입보수 백태보수 등의 유지관리를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 강재난간 굽힘 및 변형은 차량에 의한 외부충격으로 발생한 손상이며 변형은 현재 강재난간의 역할수행이 어려울 것으로 판단되므로 교체시공이 필요하다. 기타 반사판 파손, 교명판 망실 등은 보수보다는 유지관찰을 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

다. 배수시설

기 손상인 배수구 막힘, 연결부 누수, 고정불량, 길이부족 등이 조사되었다. 배수구 막힘은 전구간에 걸쳐 발생한 손상으로, 공용 중 반복적인 통행 차량에 의한 토사(이물질)퇴적으로 인해 발생하였으며, 이는 우천시 체수를 유발하여 차량 주행성 및 사용성에 문제가 될 수 있으므로 주기적인 배수구 청소가 필요한 상태이다. 배수관 고정불량 구간은 부재의 사용성 확보 차원의 정비 등의 유지관리가 필요하며, 연결부 누수, 길이부족의 경우 유지관리가 요구된다.

라. 신축이음장치

후타재 균열, 본체 부식, 본체 유간부 토사퇴적, 차수판 볼트 탈락 등이 발생한 상태로 조사되었다. 후타재 균열은 건조수축 및 차량반복하중에 의하여 발생한 것으로 즉각보수보다는 주의관찰 후 진전시 표면보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다. 본체에 발생한 본체에서는 차량통행으로 인한 분산먼지 등에 의한 이물질퇴적이 조사되어 청소가 필요하며, 신축부 부식 손상은 현재 신축작용에 문제는 없는 상태로 서 주의관찰을 통한 유지관리가 필요하다.

유간(신축이음, 슬래브, 거더) 측정결과를 토대로 온도변화에 따른 유간 변화량 검토 결과, 하절기 최대신장시 유간여유량이 충분한 상태였으며, 동절기 최대수축시 역시 허용이동량 범위 내로 유간에 따른 교량의 안전성의 문제는 없을 것으로 판단된다.

마. 바닥판

기 손상인 폭 0.3mm미만 균열이 조사되었고, 일부 구간 보수가 실시되었다. 폭 0.3mm미만 균열은 시공초기 건조수축 및 온도변화에 의해 발생한 균열로 지속적인 관찰 후 진전시 표면처리보수를 실시하는 것이 유지관리에 효율적일 것으로 판단된다.

바. 거더

거더내부에 도장박리, 박락, 부식, 토사 및 이물질퇴적 등의 손상이 조사되었고, 거더외부 도장 박리, 박락, 긁힘, 부식 등의 손상이 조사되었다. 기 점검과의 비교시 스프레이스부 썰링 보수를 실시하였고, 일부구간에서 도장손상이 신규 조사되었다. 일부 구간에서 도장손상이 신규 조사되었다. 도장손상(도장박리, 박락, 부식 등)은 시공미흡 및 외부충격에 의한 손상으로 지속적인 관찰 후 진전시 재도장이 필요하며, 거더내부에 발생한 우수유입 및 이물질퇴적은 청소(정비)가 필요하다.

사. 가로보

가로보는 손상이 없는 양호한 상태로 확인되었고, 주기적인 점검을 통한 손상의 발생여부 확인 등의 유지관리가 요구된다.

아. 받침장치

본체 파손, 편기 등의 구조적인 손상은 없는 상태이다. 받침콘크리트 박락 신규 조사되었고, 파손 및 재료분리에 대해 보수를 실시한 것이 확인되었다. 받침콘크리트 박락은 초기 시공시 발생한 손상으로 단면보수 등의 조치가 필요하다.

받침장치의 이동량 검토결과 모든 받침에서 여유량을 확보하고 있는 것으로 검토되었다.

연단거리 분석결과 전 구간 모두 실측 연단거리가 도로교 설계기준 최소 연단거리 이상으로 측정되어, 연단거리에 따른 구조물의 안전성의 문제는 없을 것으로 판단된다.

자. 교대 및 교각

하부구조 정밀조사로 인한 체수, 법면 파손, 균열, 침하 등의 손상이 조사되었다. 기 점검과의 비교시 폭 0.3mm미만 균열 일부 보수 및 망상균열 보수재 들뜸, 재료분리가 전구간 보수되었다. 교대에서 일부 손상이 조사되어 증가하였다. 균열의 경우 시공초기 건조수축에 의한 비구조적 균열로 추정되나, 하자보수 만료전 표면처리 등의 보수가 필요하며, 법면에 발생한 법면 블록침하, 법면유실의 경우 하행선 교대 배수관에서 흘러나온 우수에 의한 손상으로 유도 배수관 설치 등의 유지관리가 필요하며, 손상부는 주의관찰이 요구된다.

차. 부대시설

부대시설 현황으로는 점검로가 A1, P1, P2 3개소에 설치되었고, 점검사다리는 A1 1개소가 설치되었다. P1, P2의 경우 하행선을 통해 진입이 가능하다. 외관조사결과 손상이 없는 양호한 상태로 확인되었고, 금회 점검로 안전표지판 설치를 실시하였다.

3.2 내구성 시험

3.2.1 개 요

구조물은 공용기간이 증가함에 따라 주변 환경과 사용여건의 영향으로 강도, 내구성, 사용성 등이 저하되고 이에 따라 균열, 누수, 백태, 표면 노후화, 부재변형, 동해, 철근부식, 강재의 변형 및 균열, 강재부식 등이 발생한다.

본 과업에서는 “시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2019. 09, 국토교통부)”에 근거하여 시험항목 및 조사수량을 결정하였으며, 현장조사 결과를 기초로 각종 검사기구 및 시험 장비를 사용한 콘크리트 내구성조사를 실시하여 구조물의 구성 재료인 콘크리트의 역학적·화학적 특성을 분석하고 대상 구조물의 내구성과 구조 안전성 분석의 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다.

본 장의 내구성 조사는 다음과 같은 목적으로 수행한다.

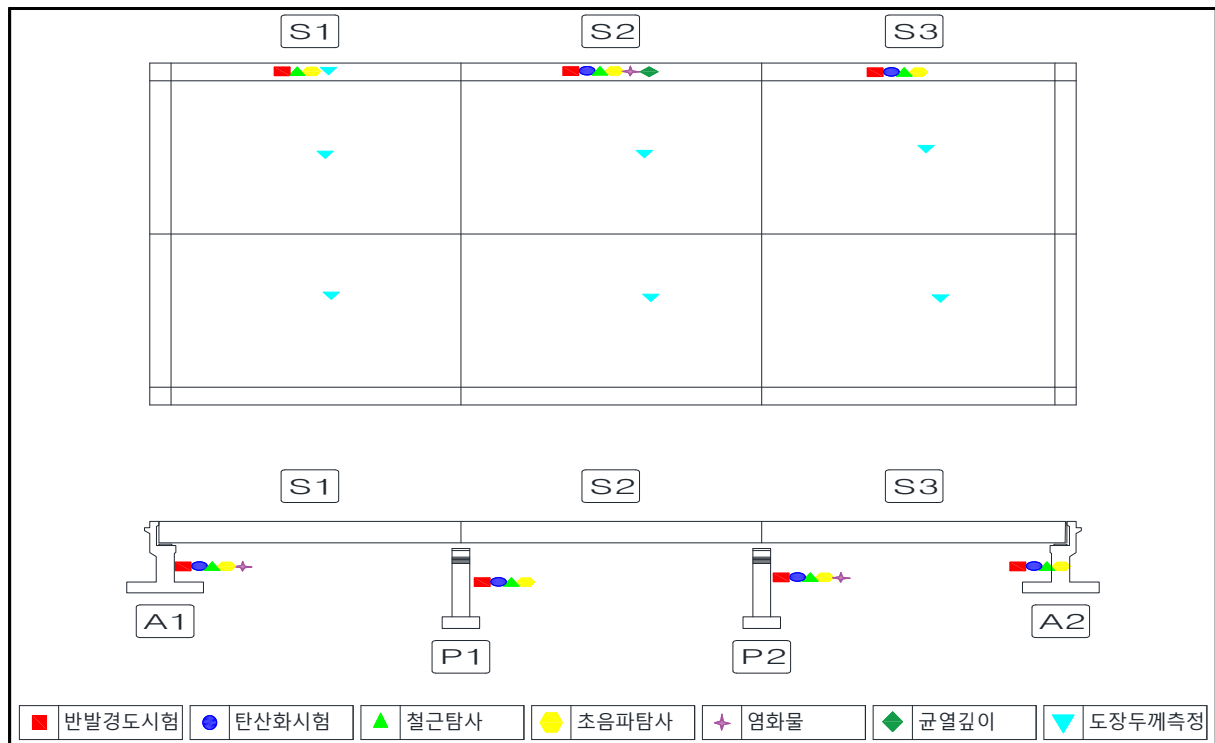
- 1) 손상 진행상황 예측
- 2) 손상 원인 분석 및 효과적인 대책방안 강구
- 3) 시공상태 적정성 평가
- 4) 구조물 상태평가
- 5) 구조물 안전성 및 내진성능평가

내구성 조사 항목	조 사 방 법	조 사 내 용	비고
콘크리트 압축강도	반발경도법	- 슈미트햄머로 반발경도를 측정하여 콘크리트 강도를 측정	
	초음파 속도법	- 초음파 전달속도를 측정하여 콘크리트 강도를 측정	
철근탐사	전자파법	- 배근된 철근의 간격 및 피복두께 추정	
탄산화	페놀프탈레인 용액 이용	- 콘크리트 표면을 드릴링하고 그 구멍에 페놀프탈레인 용액을 분사하여 공용년수에 대한 탄산화상태 조사	
균열 깊이	초음파 속도법	- 건전부와 균열부에 대해 초음파 속도를 측정하여 균열 깊이 추정	
염화물 함유량	염화물함유량 시험	- 구조물내 환산염화물 함유량을 측정하여 내구성평가의 기초자료로 활용	
강재 용접부 조사	초음파탐상시험 (UT)	- 초음파를 이용하여 맞대기 용접부 내부의 결함유무를 판정	

〈표 3.29〉 내구성조사 항목 및 계획

종 류	세부지침 기준		수량	
	상부구조	하부구조	기준 산출수량	금회 시험수량
반발경도시험	- 철근콘크리트 : 2개소/50m - 강합성교 : 1개소/50m	1개소/연장50m - 교대,교각 개소수 - 경간장 50m 이상	상부 : 3개소 하부 : 4개소	상부 : 3개소 하부 : 4개소
초음파 전달속도시험	- 철근콘크리트 : 2개소/50m - 강합성교 : 1개소/50m	1개소/연장50m - 교대,교각 개소수 - 경간장 50m 이상	상부 : 3개소 하부 : 4개소	상부 : 3개소 하부 : 4개소
철근탐사시험	- 철근콘크리트 : 2개소/50m - 강합성교 : 1개소/50m	1개소/연장50m - 교대,교각 개소수 - 경간장 50m 이상	상부 : 3개소 하부 : 4개소	상부 : 3개소 하부 : 4개소
탄산화깊이 측정	5경간 이내 : 4~6개소 5경간 이상 : 6~9개소		4~6개소	상부 : 2개소 하부 : 4개소
염화물 함유량시험	3개소 이상		3개소	상부 : 1개소 하부 : 2개소
균열깊이 조사	- 부재의 중요도를 고려 - 책임기술자의 판단에 따라 수량 결정		현장조사시 결정	하부 : 1개소
강재용접부 초음파탐상시험	- 플레이트거더교 : 1개소/경간별 거더 - 박스거더교 : 2개소/경간별 거더		12개소	12개소

<표 3.30> 내구성조사 현황



<그림 3.14> 내구성조사 위치

3.2.2 반발경도

가. 개 요

반발경도법은 콘크리트 표면의 경도로부터 콘크리트의 압축강도를 추정하는 방법으로 측정방법 및 적용 가능한 강도 범위, 판정식 및 판정의 평가방법에 대한 고려가 강도를 판정하는 과정에서 필요하다.

(1) 원 리

반발경도의 원리는 슈미트 햄머로 경화 콘크리트를 타격시 반발경도(R)과 콘크리트 압축강도(f_{ck})와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다.

슈미트 햄머는 대상물의 표면에서 직접 측정한 반발경도(R)에 타격각도에 따른 보정값(ΔR)을 고려하여 수정 반발경도(R_0)를 구하고, 이 값으로부터 재령에 대한 영향을 보정한 후 제안되고 있는 여러 산출식을 적용하여 콘크리트 강도를 산출한다. 일반적으로 타격시의 반발경도는 타격에너지 및 타격체의 형상, 크기, 재료의 물리적 특성과 관계되는 물리량에 따라 다르다.

즉, 반드시 재료의 강도와 일률적인 관계가 성립되는 것은 아니며 콘크리트와 같은 불균질한 재료에서는 슈미트 햄머로 표면에서 국부적 타격을 하는 경우에 반발경도는 타격면에서 존재하는 골재의 유무, 습윤 상태, 콘크리트의 재령 등에 따라 차이가 있으므로 콘크리트 구조체 내부의 강도를 명확히 측정하기는 곤란하나, 사용이 간편하고 짧은 시간에 강도추정이 가능하다는 우수한 사용성과 콘크리트 구조물 전체에 대한 강도 추정이 가능하다는 점에서 유효한 시험법이라 할 수 있다.

(2) 측정기 종류의 선정 및 검정

보통 콘크리트의 경우는 N형과 NR형이 일반적으로 사용되며, 반발경도를 직접 읽는 N형이 있으며, NP형은 반발경도를 숫자로 기록하므로 측정치의 기록과 처리가 정확하며 간단하다. ND형은 실제의 반발경도를 직접 읽을 수 있으므로 개인의 측정오차가 없으며 간단, 정확, 신속하게 구조체 시험을 실시할 수 있다.

초기강도 등을 추정하는 경우는 저강도용 P형이 사용되며, L형은 경량콘크리트용, M형은 매스콘크리트용으로 사용되고 있다.

슈미트 햄머에 의한 콘크리트 강도 추정법은 그 목적에 대응하는 적절한 기종을 사용할 필요가 있으며, 또한 각 기종의 강도 측정범위가 아래 표에 나타나 있으므로 이를 이용하여야 한다. 본 과업에서는 NR형을 이용하였다.

기 종	충격에너지 (kg·m)	강도측정범위 (kg/cm ²)	자중 (kg)	비 고
N형 (보통콘크리트용)	0.225	150 ~ 600	1.0	반발경도R을 직접 읽음
NR형 (보통콘크리트용)	0.225	150 ~ 600	1.4	반발경도R을 자동 기록
NP형 (보통콘크리트용)	0.225	150 ~ 600	1.6	반발경도R을 자동 기록
ND형 (보통콘크리트용)	0.225	150 ~ 600	1.6	반발경도R이 디지털 표시기에 나타남
MTC형 (보통콘크리트용)	0.225	150 ~ 1,000	1.6	콘크리트 압축강도기록
P형 (저강도콘크리트용)	0.09	50 ~ 150	2.7	전자식 초기강도 추정
L(R)형 (경량콘크리트용)	0.075	100 ~ 600	1.2	자동기록
M형 (매스콘크리트용)	3.0	600 ~ 1,000	12.0	댐이나 활주로 등의 매스콘크리트용

〈표 3.31〉 슈미트 햄머의 종류

(3) 측정 방법

① 측정개소의 측정

- 두께 10cm 이하의 판재, 1변이 15cm 이하인 단면의 기둥·보 등 작은 치수의 부재는 피하고, 측정면은 균질하고 평활한 평면부를 고른다.

② 반발경도 측정방법

- 측정대상 면에 도장이 되어 있는 경우는 이것을 제거하여 콘크리트 면을 노출시킨다. 측정부위에 대하여 연마석을 이용하여 콘크리트 면을 편평하게 갈아낸 후 분말 및 기타 부착물을 없앤 뒤에 측정한다.
- 타격은 수직면에 직각으로 서서히 힘을 가하며 한다.
- 1개소의 측정은 모퉁이에서 3cm이상 들어간 곳에서 가로, 세로 3cm 간격의 가로 4줄, 세로 5줄의 교차점 20점에 대하여 타격하여 데이터를 획득한다.
- 측정된 20개의 데이터중 타격시 반향음이 이상하거나 타격치의 $\pm 20\%$ 를 상회하는 경우는 이상치(Error)로 보고 제외시킨다. 이상치를 제외시킨 측정치의 평균을 그 측정개소의 반발경도(R)로 한다.

③ 타격방향

타격방향은 수평방향이 일반적이나, 수평 이외의 타격시에는 반발경도(R)가 중력에 의해 변화하는 것을 보정하기 위하여 타격각도에 따른 보정치를 구하여 보정하여야 한다.

반발경도 R	수 평 과 이 루 는 각 도				비 고
	+90° (상향 수직)	+45° (상향 경사)	-45° (하향 경사)	-90° (하향 수직)	
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	-2.1	+2.0	+2.7	
50	-3.1	-2.7	+1.6	+2.2	
60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7	

〈표 3.32〉 타격방향에 따른 보정치

④ 콘크리트 강도의 환산

ㄱ. 콘크리트 재령에 따른 콘크리트 압축강도의 보정

장기재령의 콘크리트 강도추정에 있어 일반적으로 적용되는 관계식이나 도표에서 재령에 따른 보정계수를 적용할 필요성이 있다.

일반적으로 수년이 경과한 콘크리트 구조물은 표면강도가 높기 때문에 재령 28일 의 압축강도로 수정하여야 하며, 수정계수는 다음과 같다.

재령	4일	5일	6일	7일	8일	9일	10일	11일	12일	13일
α	1.90	1.84	1.75	1.72	1.67	1.61	1.55	1.49	1.45	1.40
재령	14일	15일	16일	17일	18일	19일	20일	21일	22일	23일
α	1.36	1.32	1.28	1.25	1.22	1.18	1.15	1.12	1.10	1.08
재령	24일	25일	26일	27일	28일	29일	30일	32일	34일	36일
α	1.06	1.04	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.96	0.95	0.95
재령	175일	200일	250일	300일	400일	500일	750일	1000일	2000일	3000일
α	0.73	0.72	0.71	0.70	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63

〈표 3.33〉 재령에 의한 보정표

ㄴ. 압축강도 산정

반발경도를 이용한 콘크리트 비파괴강도의 추정식은 국내에서 주로 이용되고 있는 제안식을 적용하였다.

연구자	추정 제안식(MPa)	적용범위
방법1 : 제조사	반발경도 - 추정강도 환산표	설계기준강도 < 30MPa
방법2 : 일본재료학회	$F_c = -18.0 + 1.27R$	
방법3 : 일본건축학회	$(7.3R + 100) \times 0.098$	
방법4 : 권영웅	$F_c = 2.304R - 38.80$	설계기준강도 $\geq$ 30MPa
방법5 : 과학기술부	$1.52R - 11.28$	

〈표 3.34〉 반발경도에 의한 압축강도 추정 제안식

◇ 재령에 따른 보정 : 설계기준강도 30MPa 미만의 보통콘크리트는 방법2, 3의 제안식을 적용하고 설계기준강도 30MPa 이상의 고강도콘크리트의 경우, 방법 5를 이용하여 구조물의 콘크리트 재령에 의한 계수값을 곱해 보정한다.

◇ 압축강도 계산 : $F_c' = F_c \times \alpha$ (MPa)

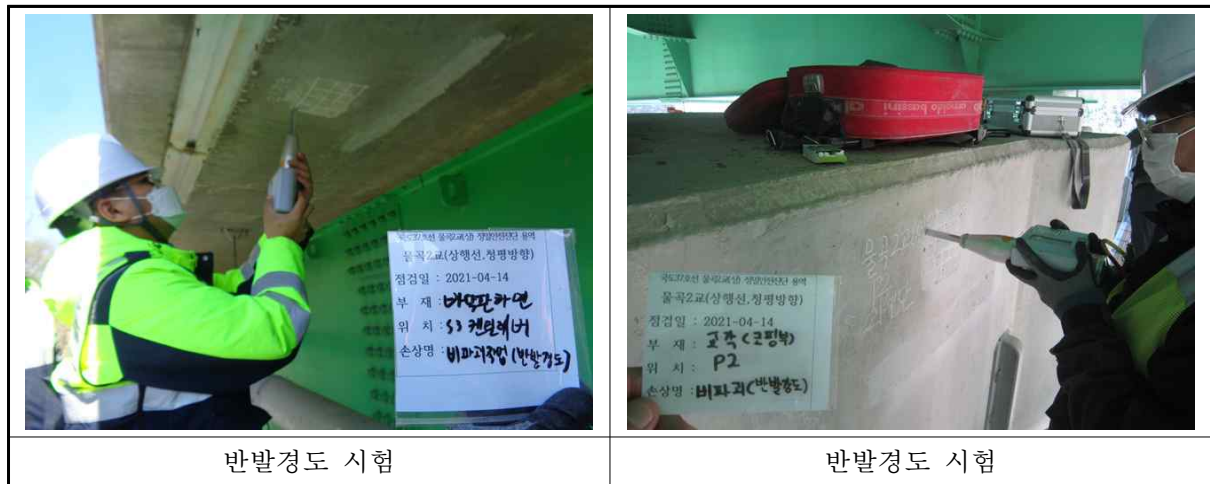
여기서, α : 재령계수에 의한 보정값

(4) 평가기준

평가기준 : 비파괴 추정식으로 평가된 강도가 설계기준강도의 90%이상을 만족하면 적정한 것으로 판단한다.(일본 국토개발기술연구센터)

나. 측정결과

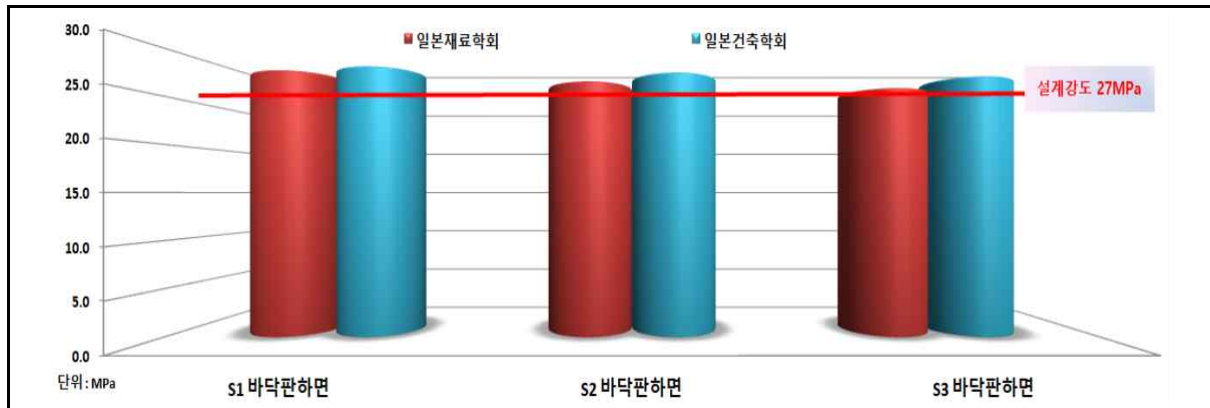
상부구조의 경우 바닥판 하면(켄틸레버)에서, 교대는 구체 전면, 교각은 코핑 및 기둥부에서 반발경도시험을 실시하였다. 바닥판하면 및 하부구조의 표면은 전반적으로 양호한 상태로 전구간 전전부에서 반발경도 시험을 실시하였다.



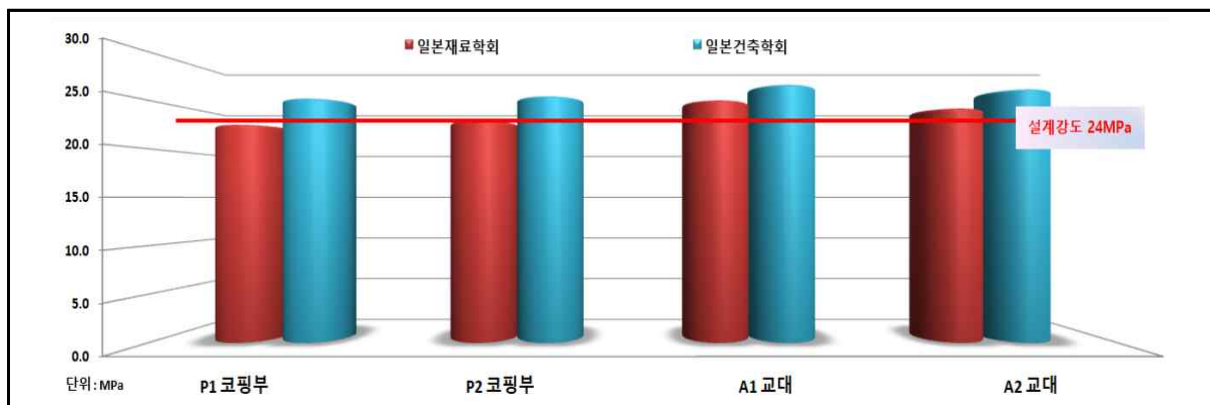
〈사진 3.23〉 반발경도 측정 현황

구 분		기준 경도 (Ro)	재령 계수 (α)	재료 학회 (MPa)(A1)	건축 학회 (MPa)(A2)	설계강도 (MPa) (B)	(A/B)*100(%)		비 고
							재료학회(A1)	건축학회(A2)	
상부 구조	S1 바닥판	48.9	0.63	27.8	28.2	27.0	103.0	104.4	
	S2 바닥판	47.4	0.63	26.6	27.5		98.5	101.9	
	S3 바닥판	46.5	0.63	25.9	27.2		95.9	100.7	
하부 구조	A1 교대	45.5	0.63	25.0	26.7	24.0	104.2	111.3	
	A2 교대	44.4	0.63	24.2	26.2		100.8	109.2	
	P1 교각	42.3	0.63	22.5	25.2		93.8	105.0	
	P2 교각	24.8	0.63	22.9	25.5		95.4	106.3	

〈표 3.35〉 반발경도 시험결과



〈그림 3.15〉 반발경도시험 데이터 분포도(상부)



〈그림 3.16〉 반발경도시험 데이터 분포도(하부)

구조물명	2019년 정밀안전점검		2021년 정밀안전진단		설계강도 (MPa)	평가
	일본재료학회식 (MPa)	일본건축학회식 (MPa)	일본재료학회식 (MPa)	일본건축학회식 (MPa)		
상부구조	31.3~34.5	30.2~32.0	25.9~27.8	27.2~28.2	27.0	강도저하 없음
하부구조	24.4~28.4	26.3~28.6	22.5~25.0	25.2~26.7	24.0	

〈표 3.36〉 기존자료 비교 분석-반발경도법

반발경도 시험을 통한 콘크리트 압축강도 평가결과, 상부구조의 경우 일본재료학회식 25.9~27.8MPa, 일본건축학회식 27.2~28.2MPa, 하부구조의 경우 일본재료학회식 22.5~25.0MPa, 일본건축학회식 25.2~26.7MPa로 측정되었다.

전회 정밀안전점검 결과인 상부구조 25.2~27.4MPa, 하부구조 22.8~24.8MPa와 유사한 상태로 전회와 비교시 강도의 저하 등의 열화는 없는 것으로 판단된다.

이는 부재별 설계기준 강도(상부 27.0MPa, 하부 24.0MPa)를 상회하는 것으로 반발경도법에 의한 콘크리트 품질은 양호한 것으로 분석되었다.

다. 반발경도 시험보고서

시 험 항 목		반발경도시험			
시 험 일 시		시험일시	위 치	온도(℃)	테스트엔빌결과
		2021년 4월 14일	물곡2교(상)	9.0	양호
구조물에서 시험 영역 위치		바닥판하면 캔틸레버, 교각 및 교대			
조 사 수 량		위 치	조사수량		비고
		상부구조	3개소		
		하부구조	4개소		교각 2개소, 교대 2개소
시험대상에 대한 설명		● 상부구조 : 철근콘크리트 구조 ● 하부구조 : 철근콘크리트 구조			
부재별 설계기준강도		● 상부구조 : 철근콘크리트(27.0MPa) ● 하부구조 : 철근콘크리트(24.0MPa)			
시험위치	마무리 정도	● 콘크리트 표면은 그라인더로 연마하여 이물질 제거 후 실시			
표면상태	균열, 박리, 화재피해 유무	● 결함 및 손상 발생위치에서의 시험값은 표면상태를 비건전부로 명시			
콘크리트 재령		● 3000일이상의 재령으로 재령보정계수 $\alpha = 0.63$ 적용			
콘크리트 내부 함수 상태		습윤상태		표면건조상태	기건상태 o
측정기구	종 류	● NJ80			
	제품번호	● 008397			
	검 교 정	● 검교정시험결과 양호함(현장 TEST ANVIL 결과 : 표준값 81 ± 2 만족함)			
반발경도 측정기 타격방향		● 상부슬래브 : 90° ● 벽체, 기둥 : 0°			
시험부위별 반발경도의 평균값		● 본 보고서 “반발경도법에 의한 비파괴강도 측정 결과” 표 참조			
		● 부록 “반발경도법에 의한 콘크리트 압축강도” 참조			
버린 반발경도의 값 및 위치		● 부록 “반발경도법에 의한 콘크리트 압축강도” 참조			

3.2.3 초음파 강도

가. 시험 개요

초음파 속도시험은 콘크리트의 균질성, 내구성 등의 판정 및 강도의 추정 등에 이용된다. 그러나, 콘크리트 중의 음속은 측정조건, 사용골재의 종류, 양, 콘크리트의 함수상태, 내부 철근의 양과 배합 등 많은 요인의 영향을 받으므로 음속만으로 콘크리트 압축강도의 정도를 양호하게 추정하는 것은 곤란한 경우가 많다. 단지, 주요 조건이 유사한 경우는 음속과 강도 사이에 거의 일정한 상관성이 보여, 어느 정도의 강도 추정은 가능하다. 그러므로, 음속법에 의한 콘크리트 강도 추정에 있어서는 대상으로 하는 콘크리트에 대한 가능한 많은 정보를 입수하여 강도의 추정에 반영시키는 것이 바람직하다.

(1) 시험 목적

콘크리트의 강도, 노후화 현상 및 균열의 깊이를 조사함을 목적으로 한다.

(2) 시험 장비

◆ JUST-500(콘크리트 초음파 측정기)

(3) 시험 방법

① 측정 준비

- 측정면은 평탄한 곳, 균열이 없는 곳을 선정한다.
- 도장된 곳이나 덧씌운 곳은 제거
- 요철, 공극, 자갈 노출부는 회피
- 그라인더로 요철, 분말 등을 제거
- 측정부위의 종·횡방향으로 최소 50cm 이상 그라인딩

② 측정 방법

- 측정 대상면에 접촉제(그리스)를 바르고 발·수진자를 밀착하여 측정한다.
- 측정 전 측정기의 전원을 10~20분간 켜놓고 안정된 상태에서 측정한다.
- 측정 전 Calibration Bar를 이용하여 0점 조정을 실시한다.
- 측정위치에서 종·횡방향으로 측정을 실시한다.
- 측정시 발진자를 고정하고 수진자를 이동하며 측정한다.
- 측정거리(표면법의 경우 : 탐촉자간의 간격)
- 콘크리트의 이질적인 성질이 시험에 영향을 미치지 않도록 충분히 길어야 한다.
- 굵은골재의 최대치수가 20mm 미만의 경우 측정거리는 100mm 이상
- 굵은골재의 최대치수가 20~40mm의 경우 측정거리는 150mm 이상

(4) 평가 방법

초음파 속도를 측정하여 재료의 특성을 파악하기 위한 측정은 고도의 정확성이 요구된다. 따라서 정확한 거리를 측정한 후, 몇 번의 반복시험을 통해 구한 파의 전달시간으로부터 통계적인 방법으로 초음파 속도를 추정하게 된다. 초음파 속도는 아래의 식에 의하여 구한다.

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

초음파탐사법은 탐촉자의 배열에 따라 직접법, 반직접법 및 간접법이 있으며, 간접법과 직접법에서 구한 초음파 전달속도는 근사적으로 아래식과 같은 관계가 있다.

$$\diamond V_d \approx 1.05 V_i$$

여기서, V_d : 직접법(Direct method)에 의한 초음파 속도
 V_i : 간접법(Indirect method)에 의한 초음파 속도

일반적으로 직접법에 의하여 초음파 전달속도를 구하는 것이 가장 바람직하나 불가피하게 간접법을 사용하여야 할 경우에는 <그림 3.17>과 같은 방법으로 각 거리 X_i 에 대한 전달시간 T_i 를 측정한다. X_i 와 T_i 를 <그림 3.17>에 나타낸 그래프에 표시하고 최소자승법에 의해서 회귀직선식을 구하여 기울기를 이용해서 전달속도 V_i 를 결정한다. 회귀직선의 적정성 여부를 판단하기 위해서 회귀직선의 유의성 검정에 사용되는 결정계수를 다음식에 의해 계산한다.

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

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

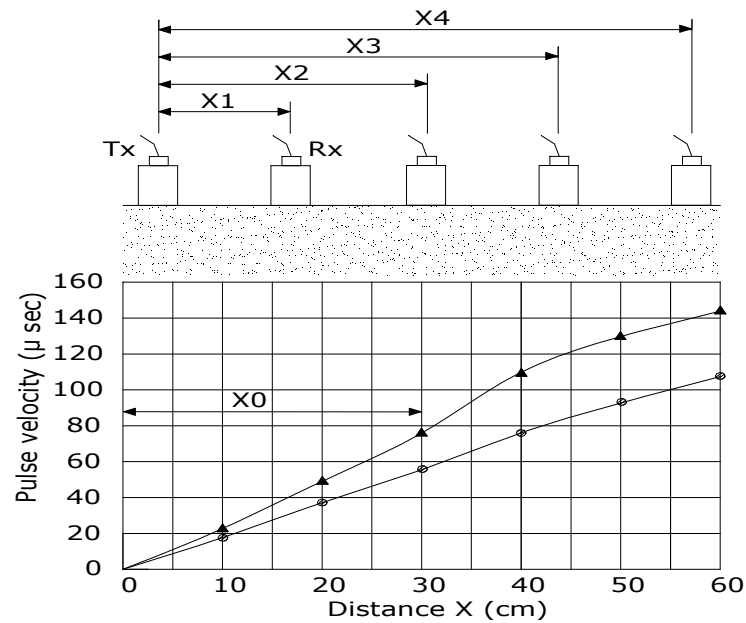
전달속도에 따른 콘크리트 비파괴강도의 추정을 위하여 다음 식을 사용한다.

$$\diamond F_c = (215V_d - 620) \times 0.098 \text{MPa (일본 건축학회식) - 공식 1}$$

$$\diamond F_c = (102V_d - 117) \times 0.098 \text{MPa (일본 재료학회식) - 공식 2}$$

여기서, F_c : 콘크리트의 압축강도(MPa)

V_p : 초음파전달속도(km/sec)



<그림 3.17> 간접법(Indirect method)에 의한 초음파 속도의 측정

(5) 판정기준

초음파에 의한 콘크리트 비파괴 강도는 재료의 매질, 공극, 균열, 철근 배근상태에 따라 다소 차이가 있다. 따라서, 이는 콘크리트의 강도 측정보다는 재료의 결함 및 시공 상태에 초점을 두어야 할 것이다.

비파괴 추정식으로 평가된 강도가 설계기준강도의 90% 이상을 만족하면 적절한 것으로 판단한다.(일본 국토개발연구센터)

$$\diamond \text{평가기준} : \frac{f_{\text{비파괴}}}{f_{\text{설계기준}}} \geq 0.90 \quad \text{-----} \quad \text{건전}$$

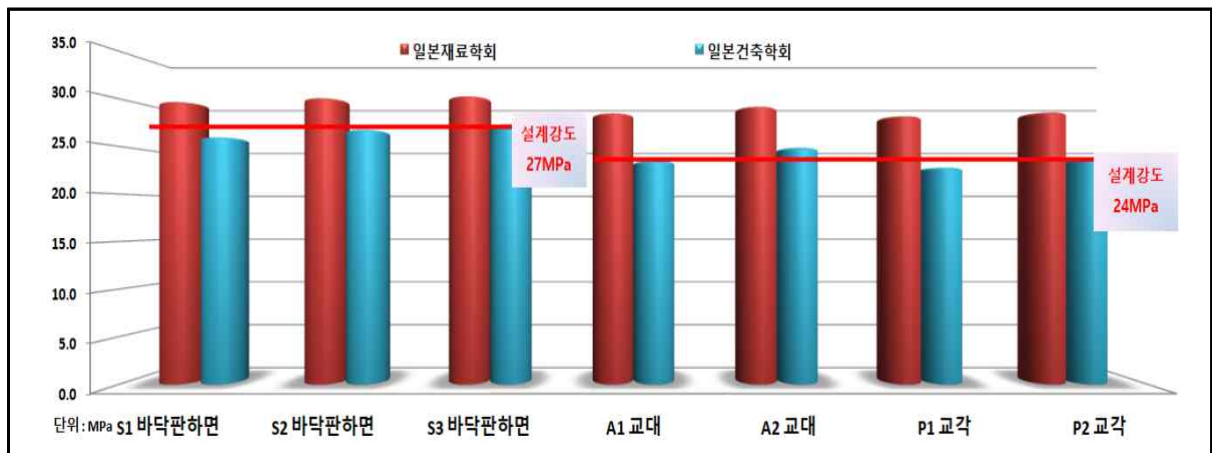
나. 측정결과



<사진 3.24> 초음파시험 측정 현황

구 분		전달속도 Vd (km/s)	일본재료학회 측정강도 A1(MPa)	일본건축학회 측정강도 A2(MPa)	설계 기준강도 B(MPa)	재료학회 (A/B)*100 (%)	건축학회 (A/B)*100 (%)	비 고
상부 구조	S1 바닥판하면	4.116	29.7	26.0	27.0	110.0	96.3	
	S2 바닥판하면	4.154	30.1	26.8		111.5	99.3	
	S3 바닥판하면	4.183	30.3	27.4		112.2	101.5	
하부 구조	A1 교대	3.998	28.5	23.5	24.0	118.8	97.9	
	A2 교대	4.067	29.2	24.9		121.7	103.8	
	P1 교각	3.964	28.2	22.8		117.5	95.0	
	P2 교각	4.007	28.6	23.7		119.2	98.8	

〈표 3.37〉 초음파강도 시험결과



〈그림 3.18〉 초음파 강도시험 데이터 분포도

바닥판하면 및 하부구조의 표면은 전반적으로 양호한 상태로 전구간 건전부에서 초음파 강도 시험을 실시하였고, 시험결과 상부구조의 경우 일본재료학회식 29.7~30.3MPa, 일본건축학회식 26.0~27.4MPa, 하부구조의 경우 일본재료학회식 28.2~29.2MPa, 일본건축학회식 22.8~24.9MPa로 측정되었다. 각 설계기준 강도인 27MPa, 24MPa를 상회하여 초음파속도법에 따른 콘크리트 강도는 양호한 것으로 분석되었다.

3.2.4 철근탐사

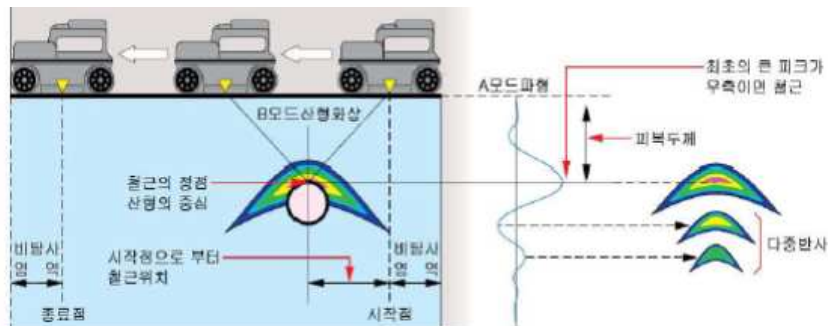
가. 개 요

전자파 레이더법은 콘크리트 구조물 내의 매설물 및 콘크리트 성상(부재두께 · 공동 등) 조사방법의 하나로서 취급이 간단하면서 단시간에 광범위한 조사가 가능하고 특별한 자격 · 면허 등을 필요로 하지 않으며 바로 결과가 얻어지는 방법이다. 그러나 간편한 방법인면서도 작업자의 기량과 경험에 의존하는 경향이 많은 방법이기도 하다.

(1) 원 리

전자파 레이더의 원리는 현재 넓게 이용되고 있는 레이더와 기본적으로 같다. 콘크리트용 전자파 레이더는 임펄스상의 전자파를 콘크리트 내로 송신안테나로부터 방사하면 그 전자파가 콘크리트와 전기적 성질(비유전율 · 도전율)이 다른 물체(철근 · 매설관)와의 경계면에서 반사한다. 이를 수신 안테나로 수신하고, 그에 소요되는 왕복 전파시간으로부터 반사물체까지의 거리(D)를 계산하면 그 위치를 구할 수 있다.

$$D = \frac{1}{2} VT \text{ (m)}$$



<그림 3.19> RC-Radar 원리

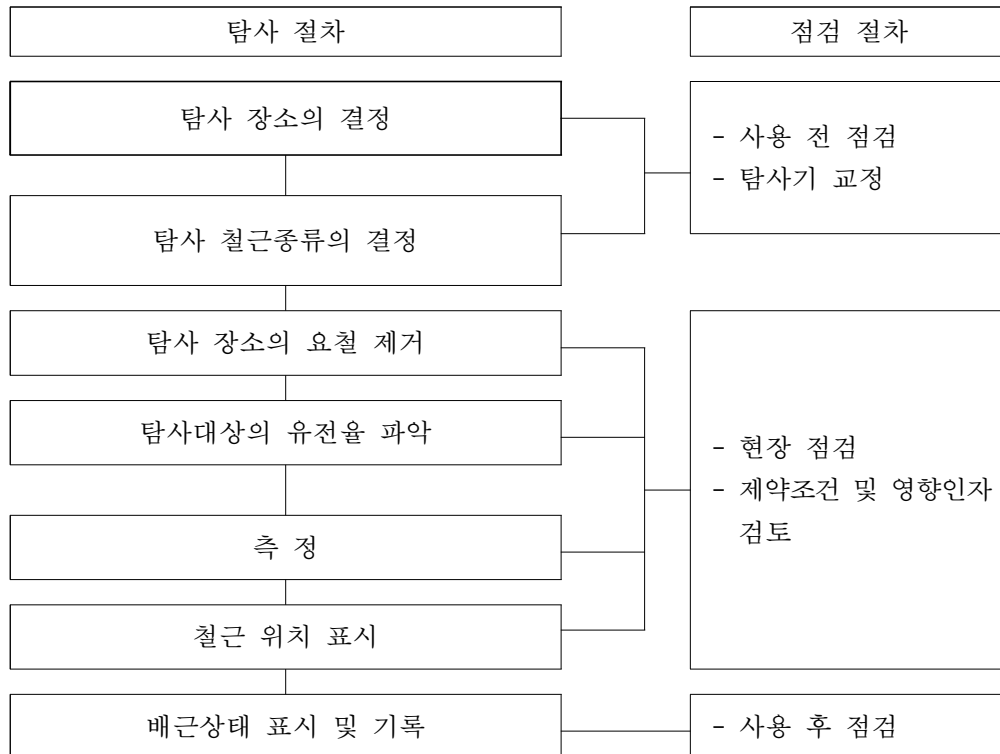
(2) 장 비

- 장비명 : 철근탐사기(RC-Radar)
- 모델명 : NJJ-95A
- 제작사 : 일본, 일본무선(주)

(3) 탐사 방법

- 측정대상 구조물의 측정하고자 하는 지점의 표면에 안테나를 밀착시키고 수평 및 수직 방향으로 진행시킨다.
- 안테나의 진행속도는 0.4m/s 이하를 유지한다.
- 화면을 필터링하여 철근 배근상태와 철근 피복두께를 확인한다.

(4) 탐사 절차

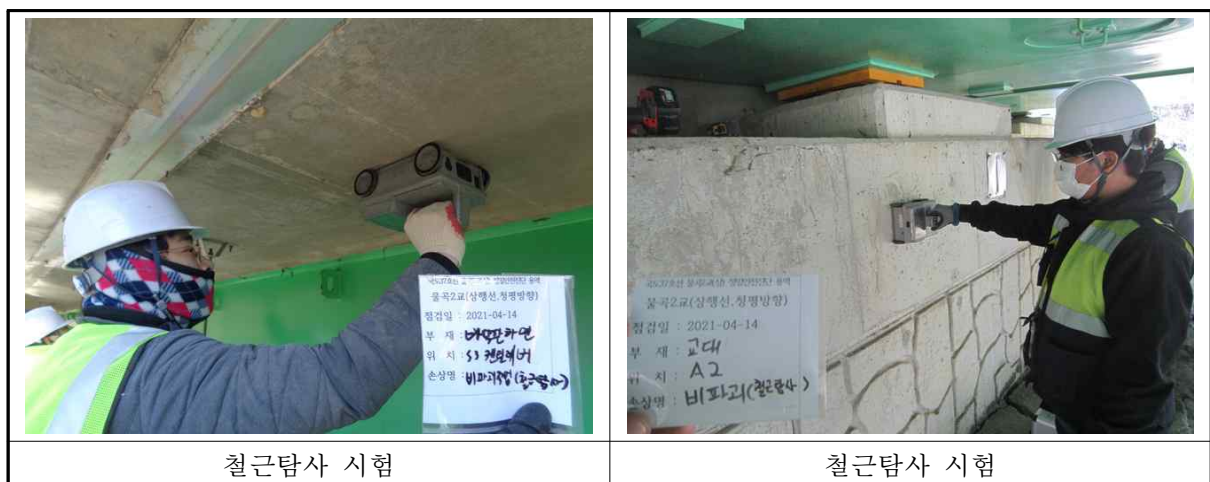


<그림 3.20> RC-Radar 탐사절차

(5) 탐사결과 분석

- 철근의 피복두께 및 배근상태를 준공도면과 비교하여 적정성여부를 판단한다.
- 실측된 철근배근 간격과 피복두께는 평균적인 개념으로 판단한다.

나. 시험결과



<사진 3.25> 철근탐사 현황

연번	구 분	철근종류	측정 (mm)		설계 (mm)		배근상태 (%)
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
1	S1	주철근	126	36	125	40	99
		배력근	245	91	250	40	102
2	S2	주철근	120	37	125	40	104
		배력근	240	89	250	40	104
3	S3	주철근	125	44	125	40	100
		배력근	255	86	250	40	98
4	A1	주철근	216	81	200	100	93
		배력근	165	91	150	100	91
5	A2	주철근	220	93	200	100	91
		배력근	134	149	150	100	112
6	P1	주철근	192	82	200	100	104
		배력근	135	112	200	100	148
7	P2	주철근	190	84	200	100	105
		배력근	147	124	200	100	136

〈표 3.38〉 철근탐사 결과

상부 바닥판과 하부 교대 및 교각에 대하여 철근배근 탐사결과, 상부 98%~104%, 하부 91%~148%로 설계도면과 비교시 배근간격은 설계 배근간격과 유사한 상태이며, 실측 피복 두께와 설계 피복두께도 설계도면과 유사한 상태로 분석되었다.

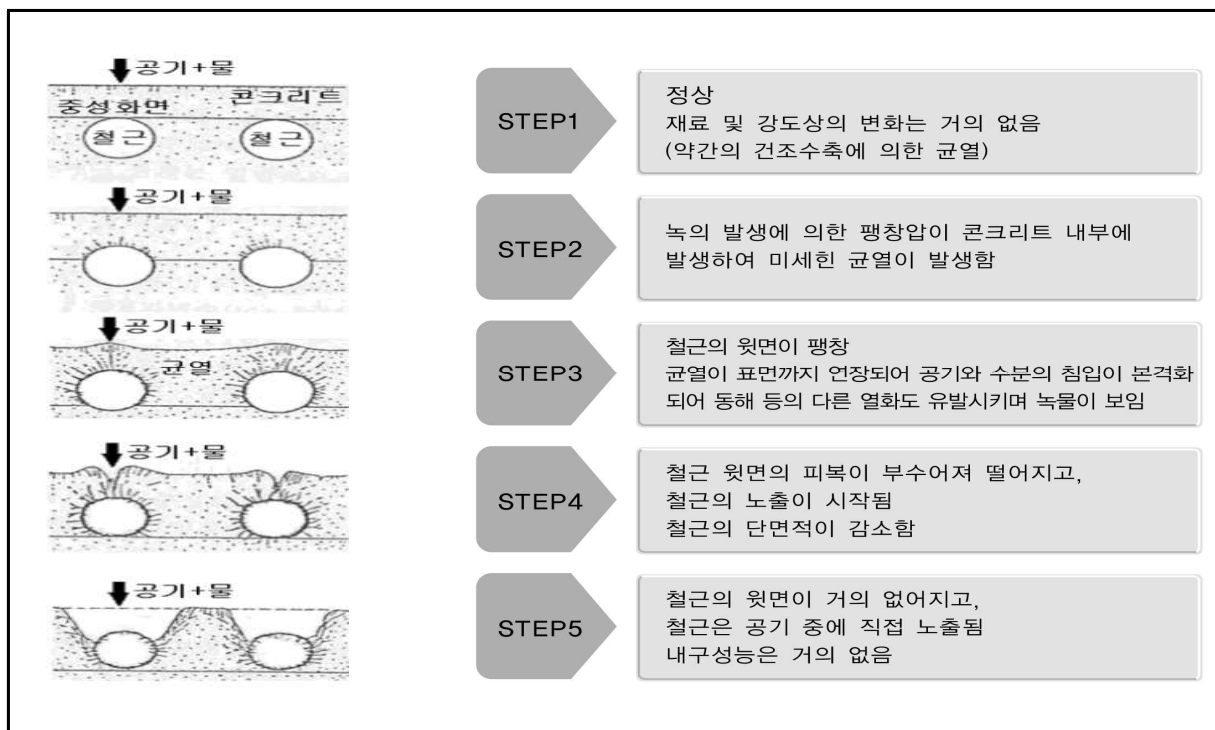
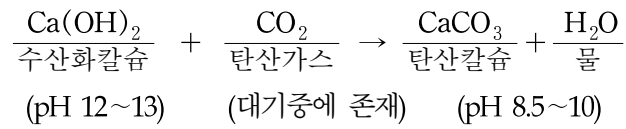
3.2.5 탄산화

가. 개 요

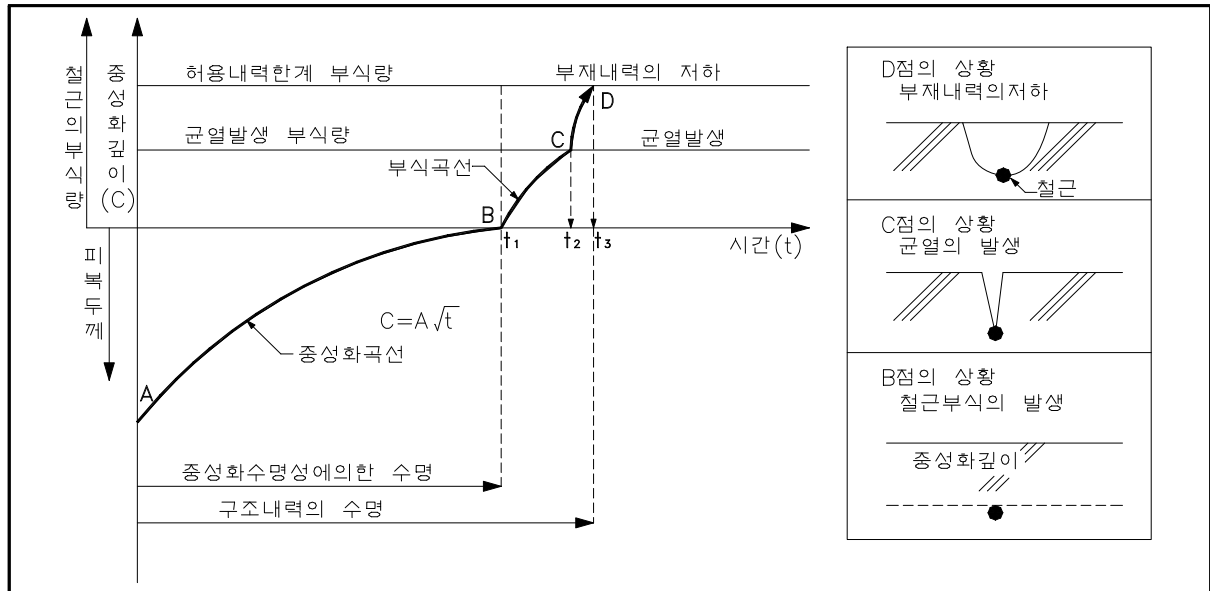
건전한 콘크리트는 경화시멘트 풀의 수산화합물 중 약 25%를 차지하는 수산화칼슘(Ca(OH)_2)의 영향으로 pH가 12~13인 강알칼리성을 나타낸다. 그러나 콘크리트가 대기 중에 노출되면 대기 중에 약 0.035% 포함되어 있는 약산성의 탄산가스(CO_2)와 수산화칼슘이 반응하여 탄산칼슘(CaCO_3)으로 환원되면서 표면부터 콘크리트의 pH가 서서히 10이하로 낮아지는데 이를 탄산화라고 정의한다.

이와 같이 콘크리트가 탄산화가 되면 철근표면의 부동태 피막이 파괴되어 철근이 부식됨으로써 콘크리트의 내구성이 저하된다.

탄산화시험은 드릴링한 콘크리트면에 페놀프탈레인 1%를 섞은 알코올 용액을 분무하여 변색되지 않은 무색부분을 버니어캘리퍼스 등을 이용하여 콘크리트 표면으로부터 깊이를 측정하는 방법으로서 탄산화 속도를 산정하고 철근 도달시간을 예측하는데 활용한다. 탄산화와 철근콘크리트의 수명과의 관계는 아래 그림에 제시된 것과 같다.



<그림 3.21> 탄산화에 의한 철근부식 메커니즘



〈그림 3.22〉 탄산화와 철근콘크리트 수명과의 관계

탄산화가 진행되는 속도는 시멘트의 종류, 콘크리트의 품질, 환경조건에 따라 다르지만 일반적으로 사용되는 탄산화 속도식은 다음의岸谷(안곡)일 경우식이 널리 이용된다.

$$\diamond y = \frac{0.3(1.15 + 3X)}{R^2(X - 0.25)^2} C^2 \text{-----} (X \geq 0.6) \text{일 경우}$$

$$\diamond y = \frac{7.2}{R^2(4.6X - 1.76)^2} C^2 \text{-----} (X \leq 0.6) \text{일 경우}$$

여기서, y =경과년수

X =물 · 시멘트비 (강도 상의 물시멘트비)

C =탄산화 심도(cm)

R =탄산화 비율(골재, 화학혼화제, 시멘트 종류 등에 의해 정해지는 정수)

골재의 종류 혼화제 종류 시멘트의 종류	자연(하천)골재			강자갈 & 채석모래			채석골재		
	Plain	AE제	AE 감수제	Plain	AE제	AE 감수제	Plain	AE제	AE 감수제
보통포틀랜드 시멘트	1.0	0.6	0.4	1.2	0.8	0.5	2.9	1.8	1.1
조강포틀랜드 시멘트	0.6	0.4	0.2	0.7	0.4	0.3	1.8	1.0	0.7
고로 시멘트 (slag 30 ~ 40%)	1.4	0.8	0.6	1.7	1.0	0.7	4.1	2.4	1.6
고로 시멘트 (slag 60% 전후)	2.2	1.3	0.9	2.6	1.6	1.1	6.4	3.8	2.6
실리카 시멘트	1.7	1.0	0.7	2.0	1.2	0.8	4.9	3.0	2.0
플라이애쉬 시멘트 (fly-ash 20%)	1.9	1.1	0.8	2.3	1.4	0.9	5.5	3.3	2.2

〈표 3.39〉 콘크리트의 종류별 탄산화 비율 (R)

(1) 탄산화 속도에 미치는 요인

탄산화 속도에 영향을 미치는 요인으로는 환경조건을 주원인으로 하는 외적요인과 콘크리트 자체의 성능·품질을 주원인으로 하는 내적요인에 의해 복합적인 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 대표적인 원인을 정리하면 다음과 같다.

구분	영향 인자	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 - 강모래, 강자갈<강모래, 화산골재<화산골재
	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 속도 빠름
환경 조건	온 도	- 온도상승 시 탄산화 속도 빠름 - 20~50℃ 사이에서는 영향이 크지 않음
	이산화탄소 농도	- 농도가 클수록 탄산화 속도 빠름 - 탄산가스농도 3~10% 사이에서 상승비율이 큼
	습 도	- 상대습도 50~70%에서 탄산화속도가 최대
	실내, 실외	- 실내의 탄산화속도가 빠름.

〈표 3.40〉 탄산화 속도 영향 인자

(2) 시험 방법

- ① 탄산화 조사할 위치를 선정하고 드릴링 한다
- ② 분무기를 이용하여 페놀프탈레인 1% 용액으로 드릴링면을 충분히 적신다.
- ③ 드릴링면에 나타난 색깔 변화를 관찰하여 표면에서부터 무색으로 나타난 부분까지 거리를 측정하여 기록한다. 이 때 골재부분의 색깔 변화는 무시하고 콘크리트 표면으로부터 적자색으로 변색한 부분까지의 거리를 0.5mm 단위로 측정한다.
- ④ 평균 탄산화깊이는 측정값의 합계를 측정 개수로 나누어 구하고, 반올림하여 소수점 이하 한자리까지 구한다.

(3) 평가기준

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

〈표 3.41〉 탄산화 상태평가 기준

(4) 탄산화속도계수 산정

탄산화속도는 경과시간 t 의 평방근에 비례하여 진행한다고 하는 $\sqrt{t}$ 법으로 표현되며, 탄산화깊이 C 는 다음과 같이 나타난다.

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

여기서, C =탄산화깊이(mm)

A =탄산화속도계수(mm/ $\sqrt{\text{년}}$)

t =재령(년)

나. 시험결과

탄산화시험은 철근콘크리트 구조물에서 내구성을 평가하는 중요한 시험항목으로서 측정위치에 드릴을 이용하여 국부적으로 파손시킨 면에 1% 페놀프탈레인용액을 분무하여 탄산화 깊이를 측정하였다.

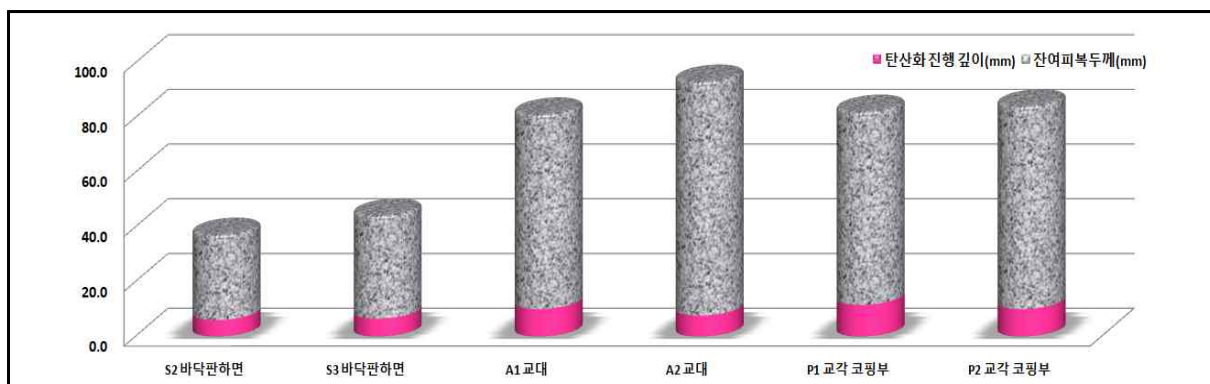


<사진 3.26> 탄산화 현황

구 분		실측 탄산화깊이 (mm)	실측 피복두께 (mm)	탄산화 잔여깊이 (mm)	평가 기준	경과 년수 (년)	탄산화 속도계수 (mm/√년)	잔존수명 (년)
상부	S2 바닥판하면	6.0	37.0	31.0	a	10	1.897	100년 이상
	S3 바닥판하면	6.5	44.0	37.5	a	10	2.055	100년 이상
하부	A1 교대	10.0	81.0	71.0	a	10	3.162	100년 이상
	A2 교대	7.6	93.0	85.4	a	10	2.403	100년 이상
	P1 교각	11.5	82.0	70.5	a	10	3.637	100년 이상
	P2 교각	10.0	84.0	74.0	a	10	3.162	100년 이상

<표 3.42> 탄산화 시험 결과

- ※ 탄산화 잔여깊이 평가기준 ⇒ a등급 : 30mm이상, b등급 : 30mm~10mm, c등급 : 10mm~0mm
- ※ 탄산화 속도계수 ⇒ 탄산화 깊이/√경과시간(년)
- ※ 수명예측(년) ⇒ (철근피복/탄산화 속도계수)²
- ※ 잔존 수명예측(년) ⇒ 수명 예측년수 - 경과년수



<그림 3.23> 탄산화시험 결과분석

구조물명	2019년 정밀안전점검			2021년 정밀안전진단		
	탄산화깊이 (mm)	실측피복두께 (mm)	잔여깊이 (mm)	탄산화깊이 (mm)	실측피복두께 (mm)	잔여깊이 (mm)
상부구조	4.5~5.0	53.3~58.9	48.3~54.4	6.0~6.5	37.0~44.0	31.0~37.5
하부구조	8.5	75.5	67.0	7.6~11.5	81.0~93.0	70.5~85.4

〈표 3.43〉 기존자료 비교 분석-탄산화시험

탄산화 시험결과, 상부구조의 탄산화 깊이는 6.0mm~6.5mm, 하부구조의 경우 7.6mm~11.5mm로 측정되었다. 탄산화 잔여깊이 30mm이상으로 탄산화 상태등급 a등급으로 탄산화에 의한 철근부식 가능성이 없는 양호한 상태로 분석되었다.

전회 정밀안전점검 탄산화 깊이인 상부구조 4.5mm~5.0mm, 하부구조 8.5mm와 비교시 측정 위치의 변화로 인해 값에 차이는 다소 있지만, 전반적으로 탄산화의 진행은 미미한 것으로 확인되었다.

다. 탄산화 시험보고서

시 험 항 목		콘크리트 탄산화시험		
시 험 일 시		시험일시	위 치	온도(℃)
		2021년 4월 14일	물곡2교(상)	9.0
구조물에서 시험 영역 위치		바닥판하면 캔틸레버, 교각 및 교대		
조 사 수 량		위 치	조사수량	비고
		상부구조	2개소	
		하부구조	4개소	
시험대상에 대한 설명		● 상부구조 : 철근콘크리트 구조물 ● 하부구조 : 철근콘크리트 구조물		
구조물 경과년수		● 경과년수 : 10년		
측정 위치		● 좌측캔틸레버, 교대 및 교각		
측정면 종류		● 기건 상태의 건전한 콘크리트 면 (그라인딩을 통해 요철 제거, 평탄 작업 실시)		
사용 골재의 종류		● 보통골재		
측 정	시 약/측정기구	● 페놀프탈레인(1%)용액 / 버니어 캘리퍼스		
시약분무 후 측정까지 시간		● 천공 후 1분 이내		
부위별 평균 결과		● 본 보고서 “탄산화시험 결과” 표 참조		

3.2.6 염화물 함유량

가. 개 요

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

염화물에 의하여 발생하는 콘크리트의 염해는 강재 부식 등 심각한 문제를 일으킬 수 있으므로 콘크리트 구조물의 건전성 평가시 염해에 대한 평가가 필요하다. 염화물 함유량 분석은 주철근 깊이까지 깊이별로 단계를 구분하여 염화물 분포를 파악함을 원칙으로 한다.

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

(1) 염화물의 구성

콘크리트 내 염화물의 구성은 수용성 염화물과 고정 염화물로 구성되어 있다. 이 2 종류의 염화물을 일컬어 전염화물이라고 하며 현재는 철근의 임계 발청농도를 전 염화물을 기준으로 정하고 있다.

- ① 수용성 염화물 (가용성 염화물) - 온수에 의해 추출
- ② 고정화된 염화물 - 질산용액에 의해 추출

(2) 분석 및 평가

염화물 함유량 분석은 철근 깊이까지 깊이별(10mm 또는 20mm)로 단계를 구분하여 염화물 분포를 파악함을 원칙으로 하는 세부지침기준에 준하여 콘크리트 표면에서 10mm로 구분하여 30mm 까지 시료를 채취하여 시험을 실시하였다.

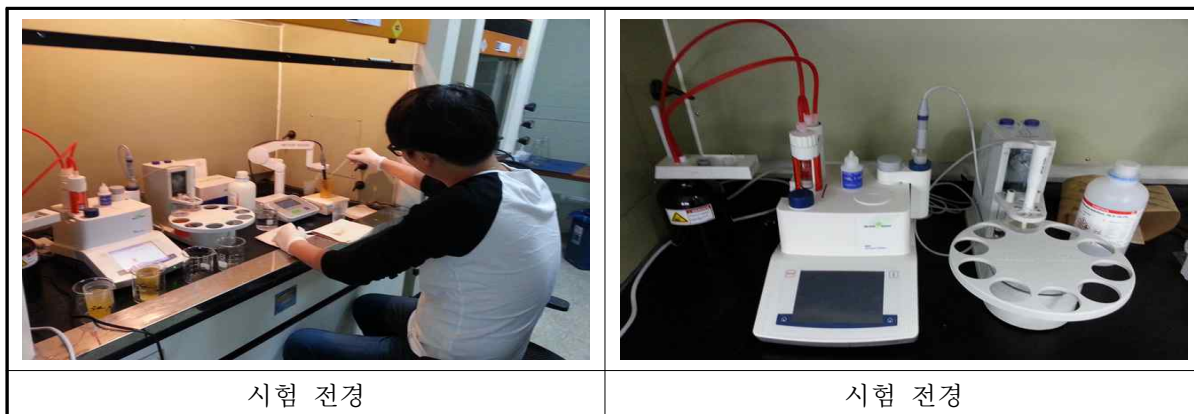
염해는 염분제거가 불충분한 해사의 사용에 의하여 콘크리트 내에 이미 염화물이 혼입된 경우와 외부환경으로부터 염화물이 콘크리트에 침투된 경우를 들 수 있다. 어느 경우라도 철근위치에 존재하는 염화물 이온량의 측정결과를 근거로 다음 표에 따라 염화물에 의한 손상을 판단한다.

등급	환산 염화물 이온량	철근부식의 가능성
a	염화물 $\leq 0.3\text{kg/m}^3$	염화물에 의한 부식이 발생할 우려 없음
b	$0.3\text{kg/m}^3 < \text{염화물} < 1.2\text{kg/m}^3$	염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음
c	$1.2\text{kg/m}^3 \leq \text{염화물} < 2.5\text{kg/m}^3$	향후 염화물에 의한 부식 발생 가능성 높음
d	염화물 $\geq 2.5\text{kg/m}^3$	철근부식 발생
e	-	-

〈표 3.44〉 염화물 상태평가 기준

나. 시험 결과

콘크리트에 포함되어 있는 염분 함유량을 측정하여 내구성 저하원인 및 구조물 상태평가의 기초자료로 파악하고자 국가공인 품질시험기관에 의뢰한 결과는 다음과 같다.



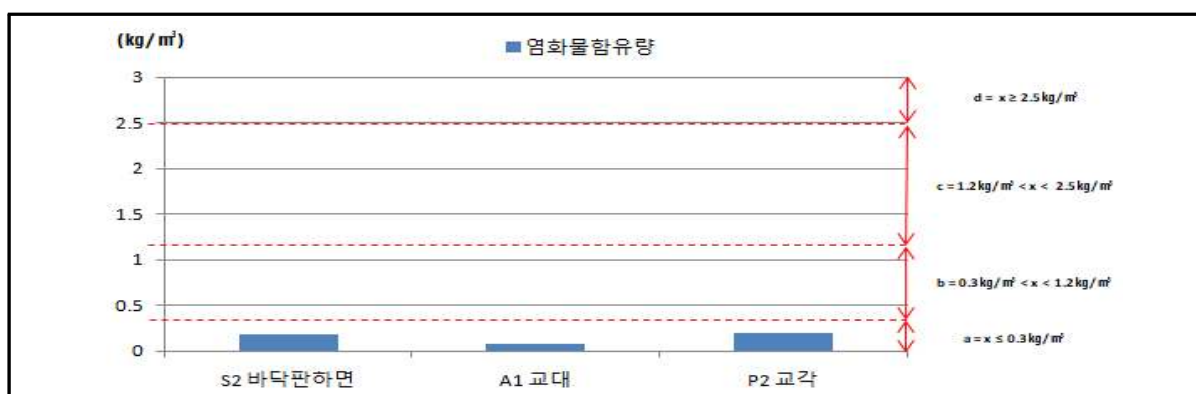
시험 전경

시험 전경

〈사진 3.27〉 염화물 함유량시험 현황 (시험실 제공)

구 분			전 염화물 (%)	환산 염화물 함량 (kgf/m ³)	평가결과
상부구조	S2 바닥판하면	0mm~10mm	0.0078	0.177	A
		10mm~20mm	0.0041	0.093	
		20mm~30mm	0.0021	0.048	
하부구조	A1 교대	0mm~10mm	0.0035	0.079	A
		10mm~20mm	0.0033	0.075	
		20mm~30mm	0.0029	0.066	
	P2 교각	0mm~10mm	0.0085	0.192	A
		10mm~20mm	0.0042	0.095	
		20mm~30mm	0.0041	0.093	

〈표 3.45〉 염화물 함유량 시험 결과



〈그림 3.24〉 염화물 함유량 그래프

상부구조(바닥판 상면)와 하부구조(교대)에 대해서 시료를 채취하여 표층~심층으로 구분하여 염화물함량 분석을 실시하였다. 시험결과, S2 바닥판하면과 A1 교대, P2 교각에서 모두 A등급(염화물에 의한 부식이 발생할 우려 없음)으로 분석되었다.

3.2.7 균열깊이 측정

가. 개 요

이 시험은 콘크리트에 발생된 균열을 초음파속도를 이용하여 콘크리트의 균열깊이를 평가할 수 있다.

(1) 시험방법

① 사전준비

- 측정부위에 사전에 철근탐사시험으로 철근의 위치를 파악하여 둔다.
- 측정 전 측정기의 전원을 미리 켜놓고 안정된 상태에서 측정한다.(10-20분)
- 측정 전 Calibration Bar를 이용하여 0점 조정을 실시한다.

② 측 정

- 측정은 주로 간접법에 의해 측정되는 경우가 많으므로 간접법에 의한 측정방법을 기준으로 한다.
- 그라인딩은 콘크리트표면에 이물질 제거하기 위하여 실시하며, 각 시험법에 따라 필요한 길이로 실시한다.
- 발·수신자 위치에 철근이 직접 놓이지 않도록 한다.
- 측정대상면에 접촉제(구리스 등)를 바르고 발·수신자를 밀착하여 측정한다.
- 측정자료가 안정될 때의 초음파 시간을 측정한다.

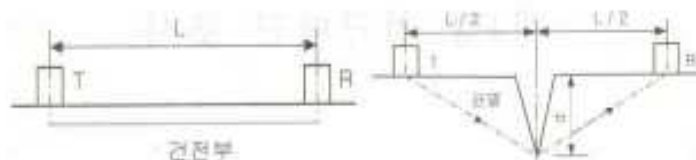
측정 시 특이한 상황에 대해서는 스케치하여 후에 자료 분석에 이용하도록 한다.

- 발생된 균열의 시점과 종점, 중간점에서 각각 측정하여 균열의 현황을 파악할 수 있도록 한다.

(2) 평가기준

Tc-To법은 수신자와 발신자를 균열을 중심으로 등간격 L/2로 배치한 경우의 전파시간 Tc와 균열이 없는 부근 L에서의 전파시간 To로부터 균열깊이 h를 다음 식에 의해 추정하는 방법으로 균열면이 콘크리트의 표면과 직각으로 발생되어 있으면, 균열 주위의 콘크리트는 어느 정도 균질한 것이라고 가정하여 유도한 것이다.

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



<그림 3.25> Tc-To법에 의한 균열깊이의 측정방법

나. 측정 결과

건전부의 전달시간을 측정한 후 균열부에서 Tc-To법으로 균열부에 대칭으로 전달시간을 측정하여 균열의 깊이를 계산하였다.

상부구조 바닥판하면에 발생된 균열(cw=0.2mm이상)에 대하여 측정을 실시하였고, 결과는 아래와 같이 나타났으며, 균열 깊이의 정도를 비교하기 위해서 실측 피복두께와 함께 표시 하였다.



〈사진 3.28〉 균열 깊이 측정현황

구 분		측정 거리 (mm)	초음파 전달시간		균열 깊이 (mm)	피복두께 (mm)	균열 폭 (mm)	비고
			건전부 To	균열부 Tc				
상부 구조	S2	150	49.8	62.6	11.4	37.0	0.2	

〈표 3.46〉 균열 깊이 측정결과

균열 깊이 측정결과, 측정부위의 균열 깊이는 콘크리트 피복두께 이하로 나타나 양호한 상태로 측정되었다.

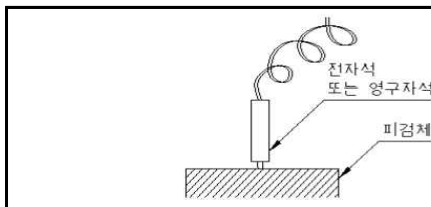
3.2.8 도장두께 측정 시험

가. 개 요

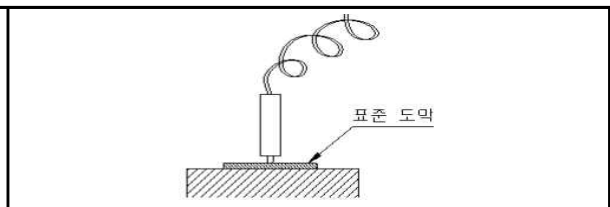
강재에 있어서 도장의 상태 및 도막의 두께는 구조물의 내구성능을 판단하는 기준이 된다. 도막두께의 부족은 강재의 부식을 촉진시키고 결과적으로 내구성능을 저하시키는 요인으로 작용한다. 본 측정은 강재 거더의 도막두께를 측정하여 현재의 도장상태를 확인하고 내구성능의 저하 여부를 판단하고자 실시하였다.

(1) 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 3.26〉 Gauge 영점조정



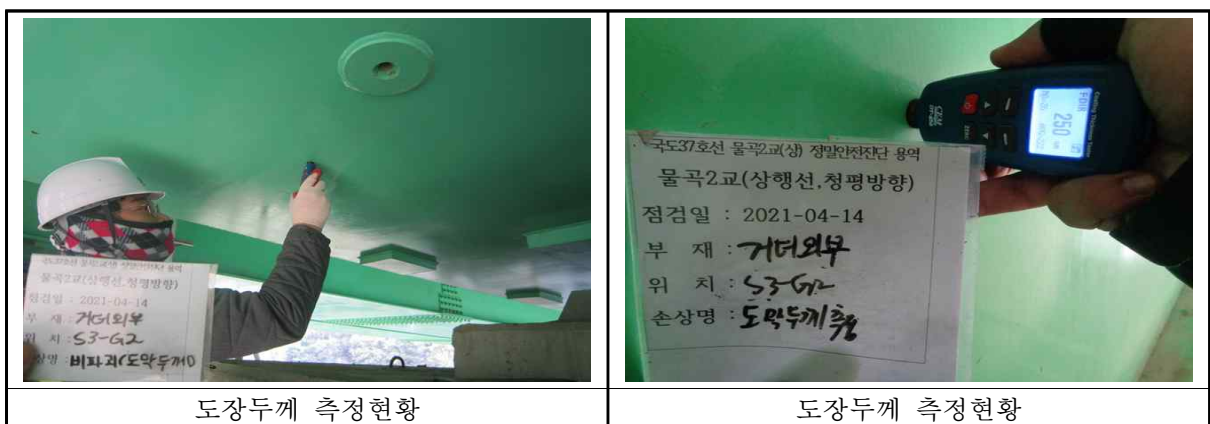
〈그림 3.27〉 Gauge 초기화(Calibration)

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.

나. 도장두께 측정 시험 결과

도장두께 측정은 도장두께 측정기를 사용하여 일정한 두께를 가진 표준시편에 교정한 후 강재에 기도장된 도장의 두께를 측정하였다.



도장두께 측정현황

도장두께 측정현황

〈사진 3.29〉 도장두께 측정현황

조사 경간	측점	위치	측정치(μm)					기준범위	판정
			평균						
S1	#1	G1 외부 좌측면	264	273	265	283	337	225	OK
			284						
	#2	G2 외부 좌측면	256	265	285	273	281	225	OK
			272						
	#3	G2 외부 우측면	262	268	285	309	310	225	OK
			287						
#4	G1 내부 좌측면	185	192	178	182	186	175	OK	
		185							
#5	G1 내부 하면	179	182	183	178	177	175	OK	
		180							
S2	#1	G1 외부 우측면	273	285	295	290	302	225	OK
			289						
	#2	G1 외부 좌측면	304	267	278	285	272	225	OK
			281						
	#3	G2 외부 우측면	253	258	267	256	270	225	OK
			261						
#4	G2 내부 좌측면	195	207	185	186	184	175	OK	
		191							
#5	G2 내부 하면	185	179	176	184	189	175	OK	
		183							
S3	#1	G1 외부 좌측면	267	259	268	265	262	225	OK
			264						
	#2	G2 외부 우측면	272	285	273	276	271	225	OK
			275						
	#3	G2 외부 하면	292	284	295	289	250	225	OK
			282						
#4	G1 내부 좌측면	178	181	189	196	188	175	OK	
		186							
#5	G1 내부 하면	176	183	187	185	196	175	OK	
		185							

〈표 3.47〉 도장 두께 측정결과

구분	2019년 정밀안전점검		2021년 정밀안전진단	
	외부 도장두께(μm)	내부 도장두께(μm)	외부 도장두께(μm)	내부 도장두께(μm)
거더	211 ~ 299	149 ~ 189	261 ~ 289	180 ~ 191

〈표 3.48〉 기존자료 비교 분석-도장두께측정

거더는 측정한 전개소에서 기준치(시방서 도장기준 거더 외부 225 μm , 내부 175 μm)에 준하는 것으로 조사되어 도장상태가 양호한 것으로 판단된다. 전회 정밀안전점검과 비교시 측정위치의 변화로 인해 값에 차이는 다소 있지만, 기준치 이상으로 확인되었다.

3.2.9 강재비파괴

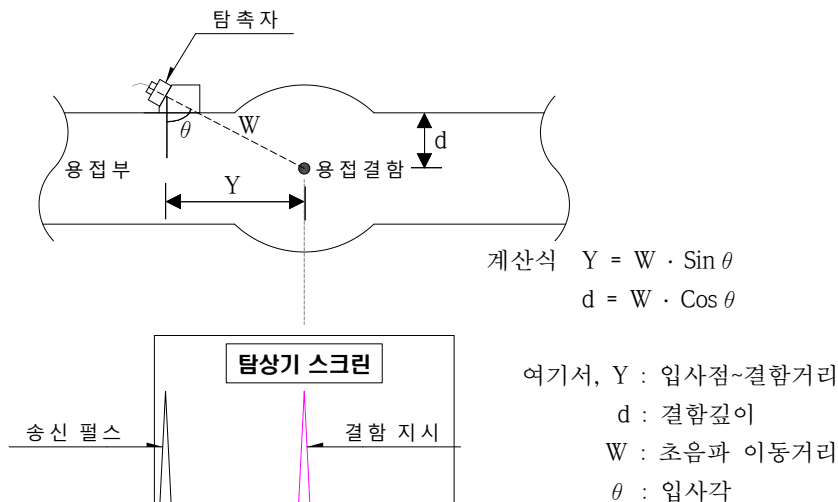
가. 개 요

가청 주파수 이상의 주파수를 갖는 초음파(20000Hz이상)를 시험체 내에 전달하여 초음파 진행경로 상에 존재하는 결함부로부터 반사하는 초음파 신호를 수신하여 탐상기 CRT 스크린상에서 에코파형을 확인함으로써 결함의 존재여부 및 결함정보를 알아내는 검사방법이다.

초음파법의 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.

(1) 시험 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 결함종류 및 길이 등을 측정한다.



<그림 3.28> 초음파탐상(사각법)시험 개요도

(2) 특 성

- ㄱ. 시험체가 두꺼워도 검사가 가능하다.
- ㄴ. 불연속의 위치를 정확히 알 수 있다.
- ㄷ. 검사결과를 바로 알 수 있다.
- ㄹ. 균열 등의 면상 결함의 검출에는 방사선투과검사보다 유리하다.
- ㅁ. 시험체 한면에서의 탐상이 가능하다.
- ㅂ. 결함의 종류 및 형상, 크기를 식별하기 어렵다.
- ㅅ. 금속 조직의 영향을 많이 받는다.
- ㅇ. 검사자의 기량에 의해 검사 결과가 영향을 받는다.
- ㅈ. 검사 결과의 기록보존이 어렵다.

(3) 평 가

초음파 탐상검사 방법 및 지시에 대한 등급분류는 아래 표와 같다.

영역	결함의 크기 (mm)					
	II, III			IV		
판 두께 등 급	18이하	18~60	60이상	18이하	18~60	60이상
1 급	6이하	t/3이하	20이하	4이하	t/4이하	15이하
2 급	9이하	t/2이하	30이하	6이하	t/3이하	20이하
3 급	18이하	t 이하	60이하	9이하	t/2이하	30이하
4 급	3급을 초과하는 것					

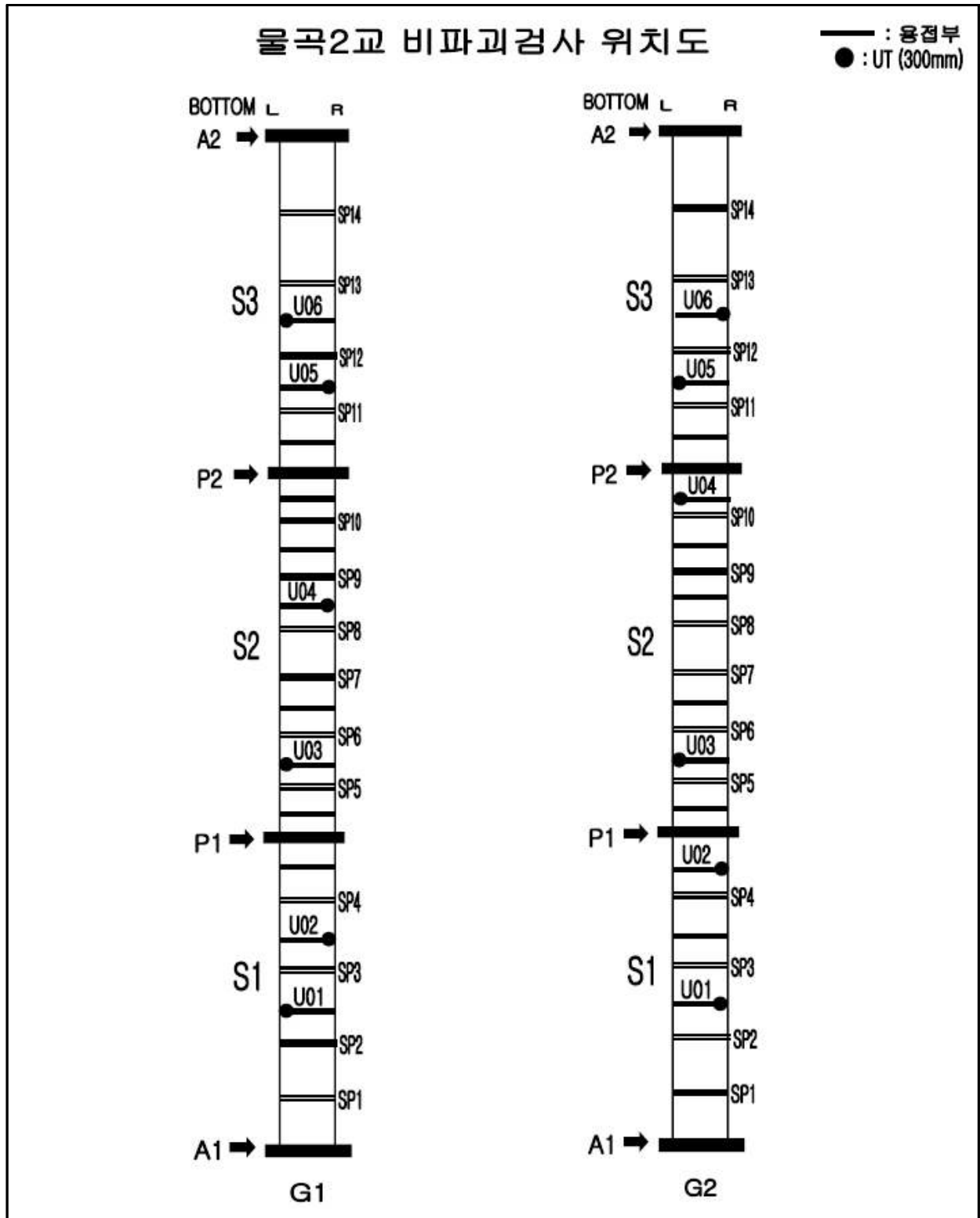
〈표 3.49〉 결함의 등급분류

(4) 합·부 판정기준

강도로교 용접 및 도장요령(1998. 건설교통부 제정) 기준

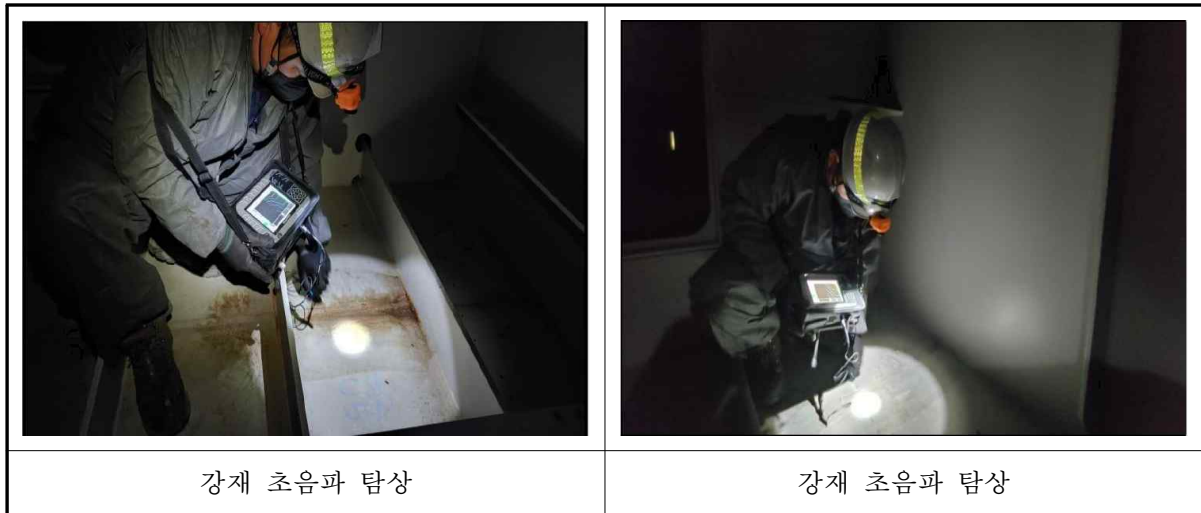
검사 부위	합 격 기 준	비 고
인장측	2급 이상	KS-B-0896
압축측	3급 이상	

〈표 3.50〉 용접부 결함의 합·부 판정기준



〈그림 3.29〉 강재 초음파탐상시험 위치도

나. 시험결과



<사진 3.30> 강재 초음파탐상시험 현황

번호	위치		수량	판정		등급	결함위치		결함길이	깊이	비고
				합	불		From	From			
1	G1	S1-U01-L	1개소	✓		I	NO RECORDABLE	NDICATION			
2	G1	S1-U02-R	1개소	✓		I	NO RECORDABLE	NDICATION			
3	G1	S2-U03-L	1개소	✓		I	NO RECORDABLE	NDICATION			
4	G1	S2-U04-R	1개소	✓		I	NO RECORDABLE	NDICATION			
5	G1	S3-U05-L	1개소	✓		I	NO RECORDABLE	NDICATION			
6	G1	S3-U06-R	1개소	✓		I	NO RECORDABLE	NDICATION			
7	G2	S1-U01-R	1개소	✓		I	NO RECORDABLE	NDICATION			
8	G2	S1-U02-R	1개소	✓		I	NO RECORDABLE	NDICATION			
9	G2	S2-U03-L	1개소	✓		I	NO RECORDABLE	NDICATION			
10	G2	S2-U04-L	1개소	✓		I	NO RECORDABLE	NDICATION			
11	G2	S3-U05-L	1개소	✓		I	NO RECORDABLE	NDICATION			
12	G2	S3-U06-R	1개소	✓		I	NO RECORDABLE	NDICATION			

<표 3.51> 강재 초음파탐상 시험결과

현황	G1 / S1-U01-L	현황	G1 / S1-U02-R
현황	G1 / S2-U03-L	현황	G1 / S2-U04-R
현황	G1 / S3-U05-L	현황	G1 / S3-U06-R

〈사진 3.31〉 강재 초음파탐상 output date

현황	G2 / S1-U01-R	현황	G2 / S1-U02-R
현황	G2 / S2-U03-L	현황	G2 / S2-U04-L
현황	G2 / S3-U05-L	현황	G2 / S3-U06-R

〈사진 3.31〉 강제 초음파탐상 output date(계속)

본 과업대상 구조물의 용접부 강제 초음파 탐상시험 결과, 결함 등급은 1등급으로 조사되어 양호한 것으로 판단된다.

3.2.9 내구성시험 결과

구 분	내구성 조사 결과						평가의견
콘크리트 압축 강도	시험 종류		측정결과 (MPa)				· 설계기준강도 상회
			상부구조		하부구조		
			재료학회	건축학회	재료학회	건축학회	
	반발경도		25.9~27.8	27.2~28.2	22.5~25.0	25.2~26.7	
	초음파 강도		29.7~30.3	26.0~27.4	28.2~29.2	22.8~24.9	
	설계기준강도		27.0		24.0		
철근 탐사	철근종류		측정 (mm)		설계 (mm)		· 배근간격은 설계간격과 유사 설계간격 대비 상부:98%~104%(평균:101%) 하부:91%~148%(평균:110%) · 피복두께는 설계피복과 유사 설계피복 대비 82%~228%(평균:127%)
			배근	피복	배근	피복	
	바닥판	주철근	120~126	36~44	125	40	
		하면	배력근	240~255	86~91	250	
	교 대	수평근	216~220	81~93	200	100	
		수직근	134~165	91~149	150	100	
	교 각	주철근	190~192	82~84	200	100	
		배력근	135~147	112~124	200	100	
탄산화 시험	부 재		탄산화깊이 (mm)	실측피복두께 (mm)	탄산화 잔여깊이(mm)		· a등급으로 탄산화에 의한 부식 발생 우려 없음
	상부구조		6.0~6.5	37.0~44.0	31.0~37.5		
	하부구조		6.0~11.5	81.0~93.0	71.0~85.4		
염화물 함유량 시험	부 재		측정결과 (kgf/m ³)		평가기준(kgf/m ³)		· a등급 6개소 염화물에 의한 부식이 발생 할 우려 없음
	상부구조		0.048~0.177		a등급 염화물≤0.3kg/m ³		
	하부구조		0.066~0.192				
균열깊이	부 재		균열 깊이 (mm)	피복두께 (mm)	균열폭 (mm)		· 균열 깊이가 피복두께 이하 로 측정되어 양호함
	S2 바닥판		11.4	37.0	0.2		
도장두께 측정	경간		외부 측정치 평균(μm)	내부 측정치 평균(μm)	판정		· 도장 두께가 시방서 도장기 준을 상회하는 것으로 조사 되어 부식 발생 우려 없음
	S1		281	183	OK		
	S2		277	187	OK		
	S3		274	186	OK		
강재초음 파탐상	부 재		검사개소		등급		· 1등급으로 양호함
	거더내부		12		I		