

제3장 현장조사 및 시험

3.1 개요

3.2 하중조사

3.3 외관조사

3.4 콘크리트 내구성 조사

3.5 강재 내구성 조사

3.6 내구성 조사 결과요약

제3장 현장조사 및 시험

3.1 개요

본 과업의 대상 교량인 ‘연호고가교’는 대구광역시 수성구 연호동에 위치하고 있으며, 총연장 410.0m, 교폭은 28.9m의 왕복 6차선 교량으로 상부구조는 분리되었으나 하부구조는 일체형으로 시공된 상태이다. 곡선교로서 상부구조는 Steel Box Girder 형식이며 최대경간장은 60.0m이며, 하부구조는 역T형 교대(A1, A2), 다주식 라멘형 교각(P1~P7)으로 구성되어있다. 교량의 기하학적 형상은 교량 중앙부에서 시점으로 3.6367%, 종점으로 -4.8453%의 경사를 이루며, 횡단구배는 안심방향으로 -2%의 경사를 이루고 있다.

2002년 08월 24일에 준공되어 약 20년이 경과된 본 교량에 대한 외관조사는 교량 물리적, 기능적 결함을 발견하고 구조적인 안전성의 판단을 목적으로 부재 전체에 대하여 가능한 근접한 상태에서 육안조사를 실시함을 원칙으로 하였다. 사전 현장답사를 통해 주변 교통여건을 파악하여 현장접근에 필요한 고소작업차 등의 장비 동원과 일정계획을 수립하여 교량의 외관상태를 조사하였다.

외관조사는 주요부재 및 보조부재에 대하여 현재 상태를 확인하며, 특히 교량의 안전성을 저해할 만한 구조적인 결함의 유무와 향후 유지관리시 중점점검사항을 고려하여 실시하였다. 외관조사시 확인된 결함과 손상내용에 대해서는 사진을 촬영하고 외관조사망도에 수록하여 향후 보수·보강 및 점검 등의 유지관리에 효율적으로 활용될 수 있도록 하였다.



<그림 3.1> 연호고가교 측면 전경

<표 3.1> 부재별 조사항목

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



<그림 3.2> 고소작업차 등을 이용한 외관조사

3.2 하중조사

본 교량에 대한 준공도면과 현재 부재의 상태를 확인한 결과, 준공도면과 일치하는 것으로 확인되었다.

	
상부구조 안심방향 진경	상부구조 범물방향 진경
	
하부구조 전경(A1)	하부구조 전경(P3)
	
방호벽 제원 측정	방음벽 제원 측정

3.3 외관조사

3.3.1 상부구조

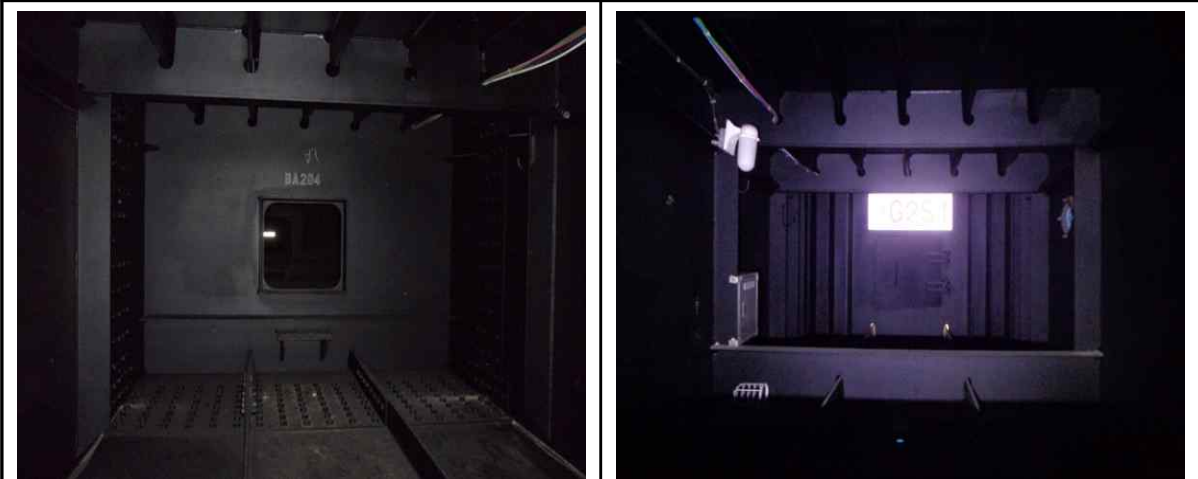
가) 강박스 거더

연호고가교의 주부재인 Steel Box Girder는 각 방향별 3열로 총 6열 배치되어 있는 상태이다.

거더 내·외부에 대한 점검은 붕괴유발부재(F.C.M)에 대한 점검을 중점적으로 시행하였다. 특히, 피로균열 발생부재, 부식에 의한 단면감소, 구조적인 변형 여부, 도장 손상 등 안전성 및 내구성에 영향을 미치는 결함에 대하여 조사를 수행하였다.



거더 외부 전경



거더 내부 전경

1) 외관조사 결과

① 거더 외부

강재 거더 외부는 기 발생한 박리에 대한 보수가 일부 실시되었으며, 국부적인 도장박리 등이 일부 발생한 상태이다.

	
S4-G1 도장박리(안심방향)	S5-G3 도장박리(안심방향)
	
S4-G1 도장박리(범물방향)	S8-G1 도장박리(범물방향)
'21년 정밀 	금회 진단 
S2-G3 도장박리 보수 실시(안심방향)	

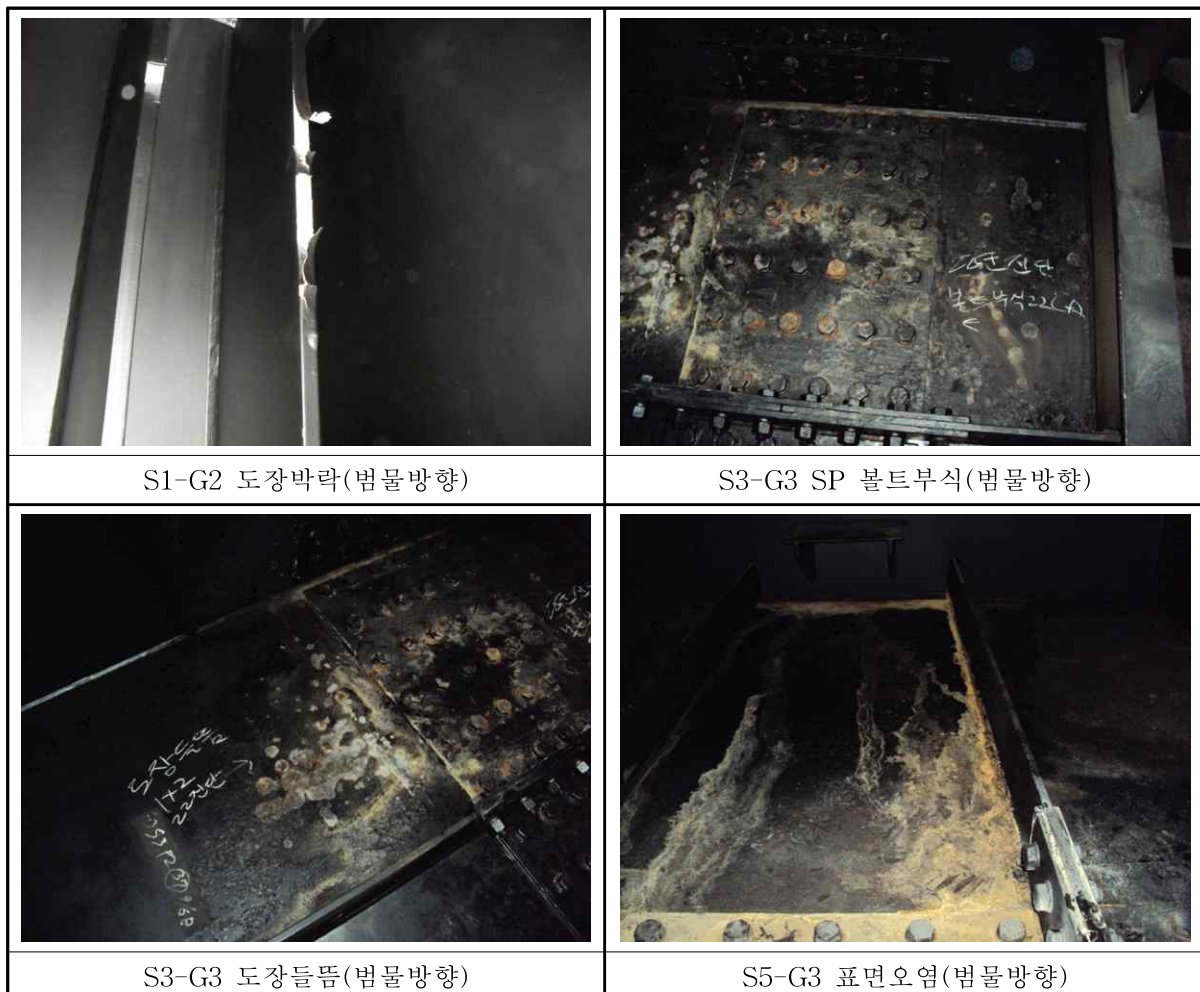
<표 3.2> 거더 외부 외관조사 결과

구분	손상현황	단위	손상물량	개소	비고
거더외부	도장박리	m ²	4.40	57	

구분	손상현황
	도장박리(m ²)
S1	-
S2	-
S3	-
S4	0.94
S5	0.35
S6	-
S7	0.37
S8	2.74
합계	4.40

② 거더 내부

강재 거더 내부는 도장들뜸 및 박락, 표면오염, 볼트부식, 실링처리미흡, 점검등 덮개탈락, 파손, 불량, 기공 등이 조사되었다.





S4-G2 기공(PIN홀)(범물방향)

S1-G2 점검등 덮개탈락(스위치BOX)(범물방향)

S7-G1 기보수부 상태양호(안심방향)

S3-G3 SP 실링부 상태양호(안심방향)

<표 3.3> 거더 내부 외관조사 결과

구분	손상현황	단위	손상물량	개소	비고
거더내부	도장들뜸, 박락	m ²	2.78	7	
	표면오염	m ²	5.00	1	
	볼트부식	개소	22	22	
	실링처리미흡	개소	2	2	
	점검등덮개탈락, 파손, 불량	개소	17	17	
	기공	개소	1	1	

구분	손상현황					
	도장들뜸, 박락 (m ²)	표면오염 (m ²)	볼트부식 (개소)	실링처리미흡 (개소)	점검등덮개탈락, 파손, 불량 (개소)	기공 (개소)
S1	0.1	-	-	-	2	-
S2	0.1	-	-	-	3	-
S3	2.58	-	22	-	4	-
S4	-	-	-	-	5	1
S5	-	5.00	-	-	2	-
S6	-	-	-	-	-	-
S7	-	-	-	2	1	-
S8	-	-	-	-	-	-
합계	2.78	5.00	22	2	17	1

2) 기 정밀점검 결과와의 비교 분석

① 거더 외부

기 정밀점검 결과를 토대로 손상을 비교검토한 결과, 기점검 이후 도장박리에 대한 보수가 일부 실시되었으며, 국부적인 도장박리가 추가 조사되었다.

<표 3.4> 거더 외부 기 정밀점검 결과 비교

손상현황	단위	'21년 정밀	금회진단	증감량	비고
도장박리	m ² /개소	30.57 / 33	4.40 / 57	▼ 26.17 / ▲ 24	보수, 신규

② 거더 내부

기 정밀점검 결과를 토대로 손상을 비교검토한 결과, 도장들뜸 및 박락, 표면오염, 볼트부식, 실링처리미흡, 점검등 덮개탈락, 파손, 불량, 기공 등에 대한 손상이 추가 조사되었다.

<표 3.5> 거더 내부 기 정밀점검 결과 비교

손상현황	단위	'21년 정밀	금회진단	증감량	비고
도장들뜸, 박락	m ² /개소	- / -	2.78 / 7	▲ 2.78 / ▲ 7	신규
표면오염	m ² /개소	- / -	5.00 / 1	▲ 5.00 / ▲ 1	신규
볼트부식	개소	- / -	22 / 22	▲ 22 / ▲ 22	신규
실링처리미흡	개소	- / -	2 / 2	▲ 2 / ▲ 2	신규
점검등 덮개탈락, 파손, 불량	개소	- / -	17 / 17	▲ 17 / ▲ 17	신규
기공	개소	- / -	1 / 1	▲ 1 / ▲ 1	신규

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

① 거더 외부

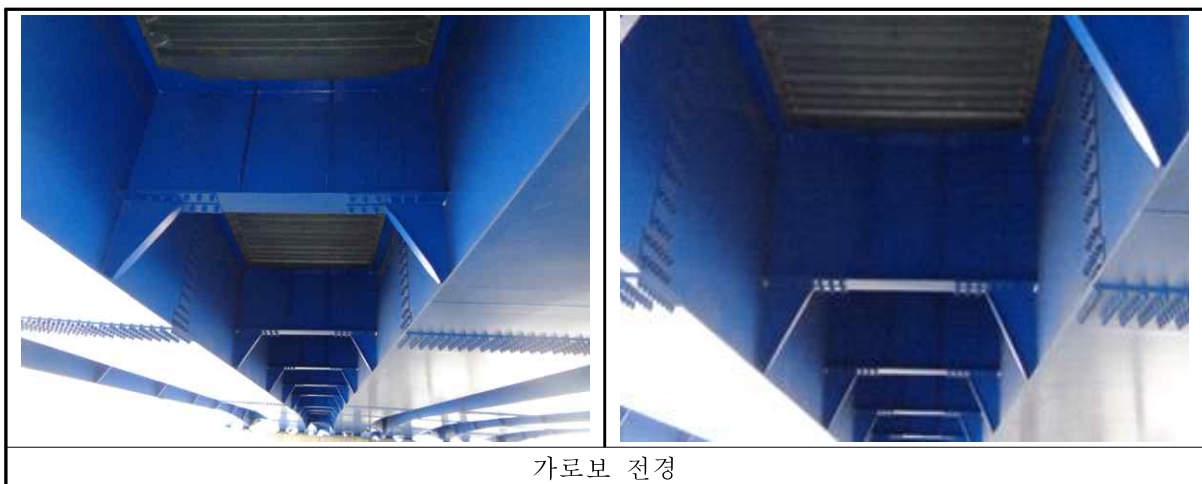
- 도장박리 - 약 21년의 공용기간중 외기노출 및 경년열화에 의해 발생한 것으로 판단되며, 내구성 확보 및 도장손상에 따른 부식을 방지하기 위한 도장보수를 실시하는 것이 필요하다.

② 거더 내부

- 도장들뜸, 박락, 볼트부식 - 공용기간 경과, 우수유입, 보수미흡, 시공미흡 등에 의한 손상으로 내구성 확보 차원의 도장보수가 필요하며, 보수시 기존 도장 제거, 도료 품질관리 등을 통하여 재손상 발생을 방지하여야 한다.
- 표면오염 - 현장 이음부 틈을 통해서 유입된 누수흔적으로 판단되며, 우천시 우수유입에 따른 2차손상 발생 우려가 있으므로 현장 이음부 실란트 충전을 통한 보수가 필요하다.
- 실링처리미흡 - 우수유입 방지를 위한 실란트 충전이 요구된다.
- 점검등 덮개탈락, 파손, 불량 - 시공미흡 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 정비를 통한 유지관리가 필요하다.
- 기공 - 시공미흡 등에 의한 것으로 손상의 정도가 경미하므로 주의관찰이 요구된다.

나) 가로보

연호고가교의 2차부재는 가로보가 있으며 가로보는 약 5.0m 간격으로 설치되어있는 상태이다.



가로보 전경

1) 외관조사 결과

가로보는 전반적으로 양호하나 이물질퇴적(조류서식)이 1개소 조사되었다.

	
S4-G2~3 이물질퇴적(조류서식)	가로보 상태 양호

<표 3.6> 가로보 외관조사 결과

구분	손상현황	단위	손상물량	개소	비고
가로보	이물질퇴적 (조류서식)	개소	1	1	

구분	손상현황	
	이물질퇴적(조류서식) (개소)	
S1	-	
S2	-	
S3	-	
S4	1	
S5	-	
S6	-	
S7	-	
S8	-	
합계	1	

2) 기 정밀점검 결과와의 비교 분석

기 정밀점검 결과를 토대로 손상을 비교검토한 결과, 이물질퇴적(조류서식)이 1개소 추가 조사되었다.

<표 3.7> 가로보 기 정밀점검 결과 비교

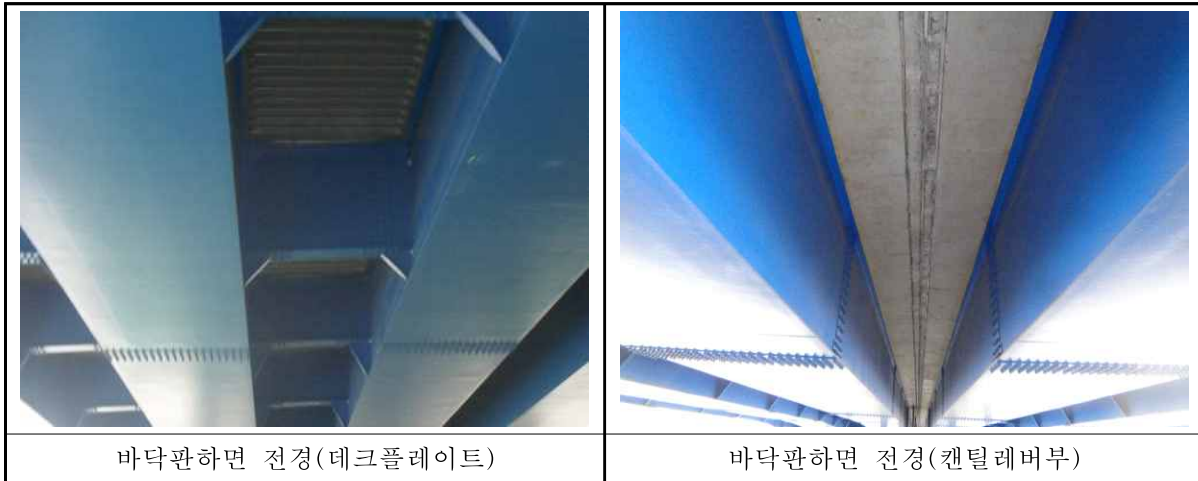
손상현황	단위	'21년 정밀	금회진단	증감량	비고
이물질퇴적 (조류서식)	개소	- / -	1 / 1	▲ 1 / ▲ 1	신규

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 이물질퇴적(조류서식) - 정비를 통한 보수가 필요하며, 기 손상외에 전반적으로 양호한 것으로 확인되었다.

다) 콘크리트 바닥판

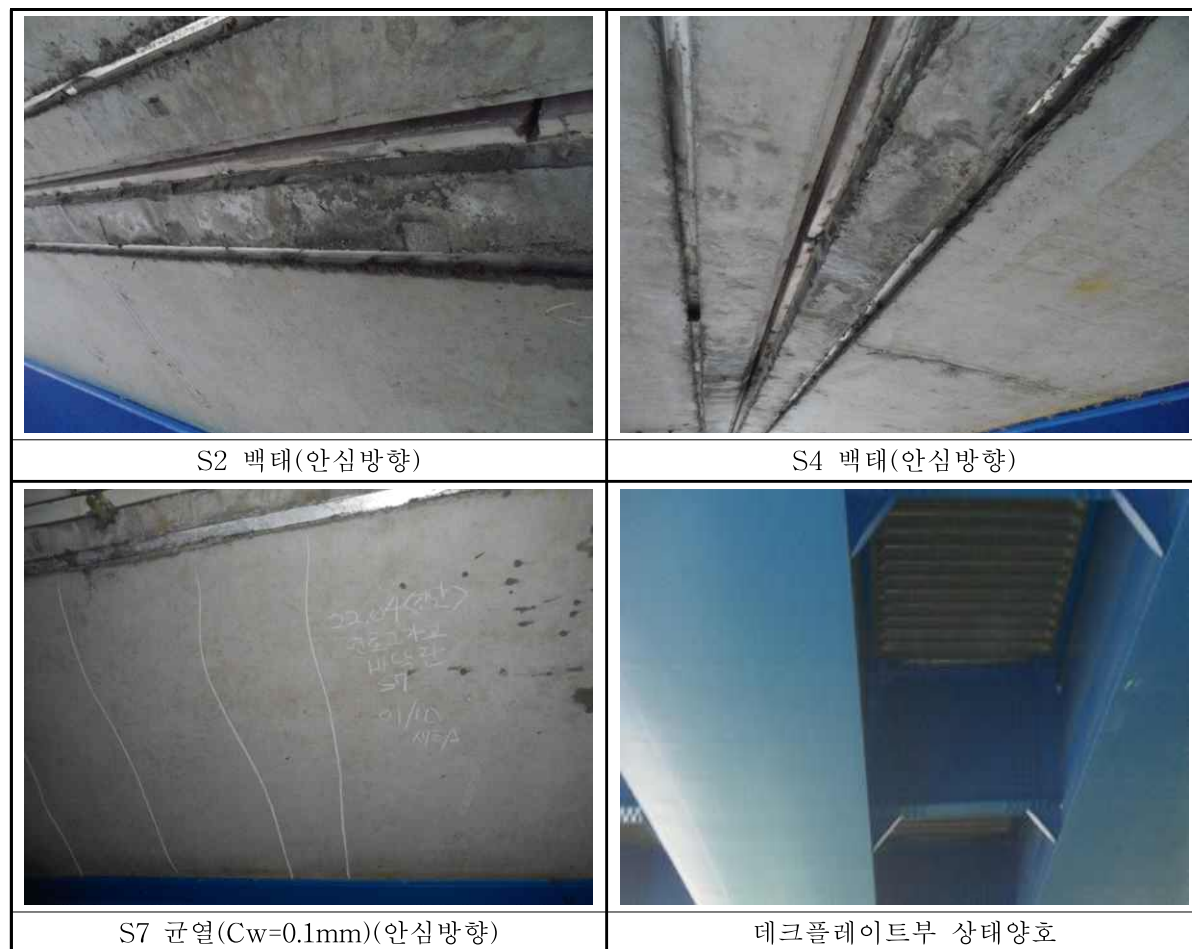
연호고가교의 바닥판은 철근콘크리트 구조로 시공되어있는 상태이며, 캔틸레버부를 제외한 내측은 데크플레이트가 시공되어있다.



1) 외관조사 결과

외관조사 결과, 데크플레이트 구간은 전반적으로 양호한 상태이며, 캔틸레버부에 균열(0.3mm미만), 백태, 박리, 종조인트부 누수가 조사되었다.





<표 3.8> 바닥판 외관조사 결과

구분	손상현황	단위	손상물량	개소	비고
바닥판 하면	균열(0.3mm미만)	m	7.50	9	
	백태	m ²	1.66	11	
	박리	m ²	0.09	9	
	종조인트 누수	m	10.00	1	

구분	손상현황			
	균열(0.3mm미만)(m)	백태(m ²)	박리(m ²)	종조인트 누수(m)
S1	-	-	-	-
S2	-	0.25	-	-
S3	-	0.08	0.03	10.0
S4	-	0.65	-	-
S5	1.50	-	0.06	-
S6	-	-	-	-
S7	6.00	0.50	-	-
S8	-	0.18	-	-
합계	7.50	1.66	0.09	10.0

2) 기 정밀점검 결과와의 비교 분석

기 정밀점검 결과를 토대로 손상을 비교검토한 결과, 균열(0.3mm미만), 백태, 박리, 종조인트 누수 등의 손상이 추가 조사되었다.

<표 3.9> 바닥판 기 정밀점검 결과 비교

손상현황	단위	‘21년 정밀	금회진단	증감량	비고
균열(0.3mm미만)	m/개소	1.5 / 3	7.50 / 9	▲6.00 / ▲6	신규
백태	m ² /개소	0.18 / 2	1.66 / 11	▲1.48 / ▲9	신규
박리	m ² /개소	- / -	0.09 / 9	▲0.09 / ▲9	신규
종조인트 누수	m/개소	- / -	10.00 / 1	▲10.0 / ▲1	신규

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 균열(0.3mm미만) - 대체로 초기 건조수축에 의해 발생한 방향성이 없는 표면 균열로 판단되며, 비구조적인 손상이나 우수유입, 온도변화 등에 의해 손상이 진전될 우려가 있으므로 내구성 확보 차원에서 표면처리 보수를 실시하는 것이 필요하다.
- 백태 - 손상부를 통한 우수유입, 수분접촉, 종조인트 누수 등의 원인에 의해 발생한 것으로 판단되며, 표면처리를 통해 구조물의 내구성 저하를 방지하는 것이 바람직하다.
- 박리 - 시공시 다짐불량, 외부충격, 우수유입, 온도변화 등에 의한 손상으로 판단되며, 손상의 정도는 경미하나 내구성 확보차원의 보수를 실시하는 것이 필요하다.
- 종조인트 누수 - 종조인트부로 침투된 노면수 등에 의한 것으로 판단되며, 손상에 대한 주의관찰을 실시하고 누수에 대한 대책 수립이 요구된다.

3.3.2 하부구조

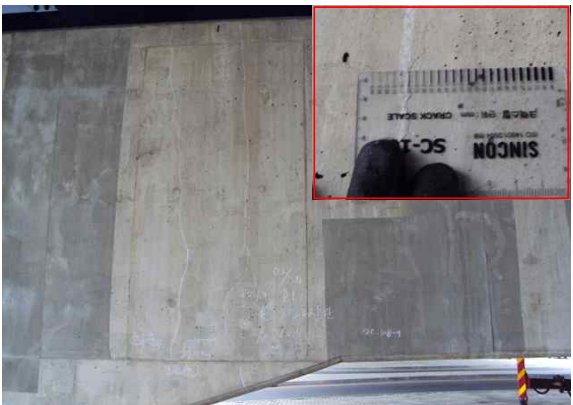
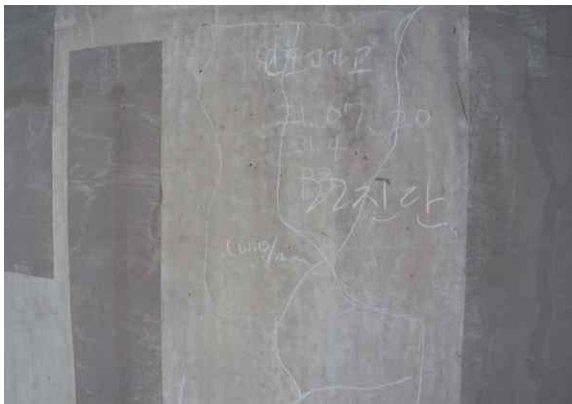
본 교량의 하부구조는 철근콘크리트 구조로써 교대는 역T형이며, 기초는 파일기초이다. 교각은 다주식 라멘형(P1~P7)으로 기초는 파일기초(P1, P2), 직접기초(P3~P7)로 시공되었다.

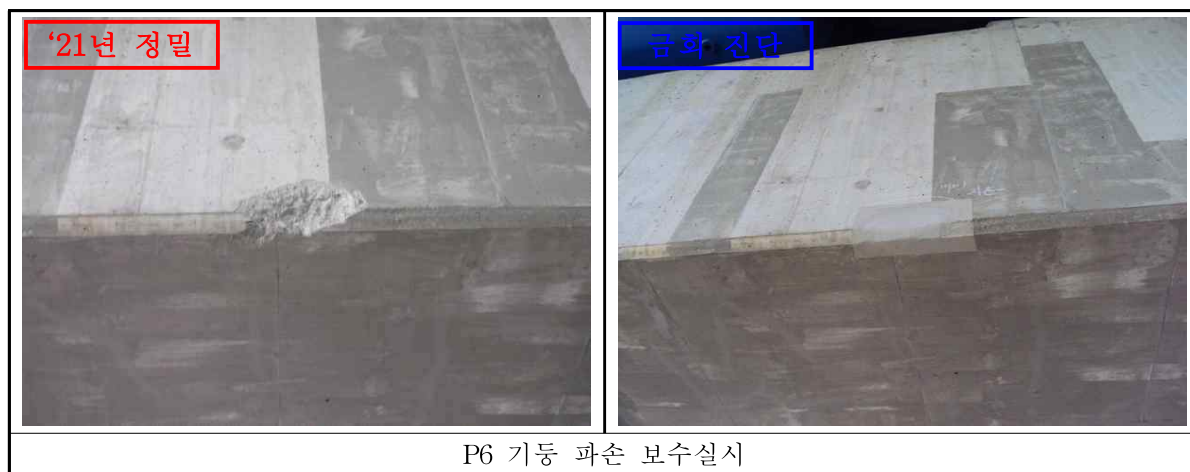


1) 외관조사 결과

외관조사 결과, 기 발생한 교각 코핑부 파손에 대한 보수가 실시되었으며, 균열(0.3mm미만), 망상균열, 백태, 파손, 누수흔적, 표면오염(녹물) 등이 조사되었다.



	
A1 홍벽 균열($C_w=0.2\text{mm}$)	A2 홍벽 백태
	
A2 홍벽 파손	P1 코핑 균열($C_w=0.2\text{mm}$)
	
P1 코핑 표면오염(녹물)	P1 코핑 백태
	
P3 기둥 망상균열	P6 코핑 균열($C_w=0.2\text{mm}$)



<표 3.10> 하부구조 외관조사 결과

구분		손상현황	단위	손상물량	개소	비고
하 부 구 조	교대	균열(0.3mm미만)	m	4.90	4	
		백태	m ²	0.04	1	
		누수흔적	m ²	28.4	5	
		파손	m ²	1.29	2	
	교각	균열(0.3mm미만)	m	56.10	47	
		망상균열	m ²	106.0	29	
		백태	m ²	0.24	12	
		표면오염(녹물)	m ²	5.00	1	

구분	손상현황					
	균열 (0.3mm미만) (m)	망상균열 (m ²)	백태 (m ²)	누수흔적 (m ²)	표면오염 (녹물) (m ²)	파손 (m ²)
A1	4.90	-	-	24.4	-	1.20
A2	-	-	0.04	4.00	-	0.09
P1	17.10	20.00	0.24	-	5.00	-
P2	3.80	14.00	-	-	-	-
P3	8.10	12.00	-	-	-	-
P4	4.00	15.25	-	-	-	-
P5	12.60	37.00	-	-	-	-
P6	9.00	-	-	-	-	-
P7	1.50	7.75	-	-	-	-
합계	61.00	106.00	0.28	28.4	5.00	1.29

2) 기 정밀점검 결과와의 비교 분석

기 정밀점검 결과를 토대로 손상을 비교검토한 결과, 교각 파손에 대한 보수가 실시되었으며, 균열(0.3mm미만), 망상균열, 백태, 누수흔적, 파손, 표면오염(녹물) 등이 추가 조사되었다.

<표 3.11> 하부구조 기 정밀점검 결과 비교

손상현황		단위	‘21년 정밀	금회진단	증감량	비고
교대	균열(0.3mm미만)	m/개소	3.4 / 3	4.90 / 4	▲1.50 / ▲1	보수
	백태	m ² /개소	- / -	0.04 / 1	▲0.04 / ▲1	신규
	누수흔적	m ² /개소	2.7 / 4	28.4 / 5	▲25.7 / ▲1	신규
	파손	m ² /개소	1.2 / 1	1.29 / 2	▲0.09 / ▲1	신규
교각	균열(0.3mm미만)	m/개소	20.1 / 18	56.10 / 47	▲36.0 / ▲29	보수
	망상균열	m ² /개소	23.7 / 9	106.0 / 29	▲82.3 / ▲20	신규
	백태	m ² /개소	- / -	0.24 / 12	▲0.24 / ▲12	신규
	표면오염(녹물)	m ² /개소	/	5.00 / 1	▲5.00 / ▲1	신규
	파손	m ² /개소	0.08 / 1	- / -	▼0.08 / ▼1	보수

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 균열(0.3mm미만), 망상균열 - 건조수축 및 구속응력, 온도변화 등에 의해 발생된 것으로 판단되며, 장기간 우수 및 외기에 의한 수분침투시 표면열화에 따른 박리 또는 내부 철근의 부식 팽창 등에 의해 박락이 발생될 수 있으므로 내구성 확보를 위한 보수를 실시하는 것이 필요하다.
- 백태 - 신축이음부 우수유입, 외기노출, 온도변화 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 표면처리를 통해 구조물의 내구성 저하를 방지하는 것이 바람직하다.
- 표면오염(녹물), 누수흔적 - 신축이음부 우수유입, 외기노출 등에 의한 것으로 판단되며, 진전여부에 대한 주의관찰을 실시하는 것이 요구된다. 보수시 신축이음부와 연계된 보수가 필요하다.
- 파손 - 시공미흡, 우수유입, 온도변화 등에 의한 것으로 내구성 확보 차원의 단면보수가 필요하다.

3.3.3 교량받침

본 교량의 교량받침은 납면진받침(L.R.B)으로 거더당 2개소씩 배치되어 있으며, 총 108개소가 설치되어있다. 교량받침은 상부구조의 하중을 하부구조로 전달하고 상부구조의 신축 및 회전에 능동적으로 대응하는 부재로써 본 조사에서는 과반력 및 부반력 발생여부, 온도변화에 의한 신축거동 여부뿐만 아니라 강재부식, 콘크리트 손상 여부 등 내구성, 기능성 등에 대한 조사를 실시하였다.

교량받침 현황 및 배치도는 다음과 같다.

⬆⬆ : 양방향 가동단

구분		A1	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	A2	계
230 TONF	⬆⬆	12								12	24
440 TONF	⬆⬆		12	12	12	12	12	12	12		84



양방향 가동단



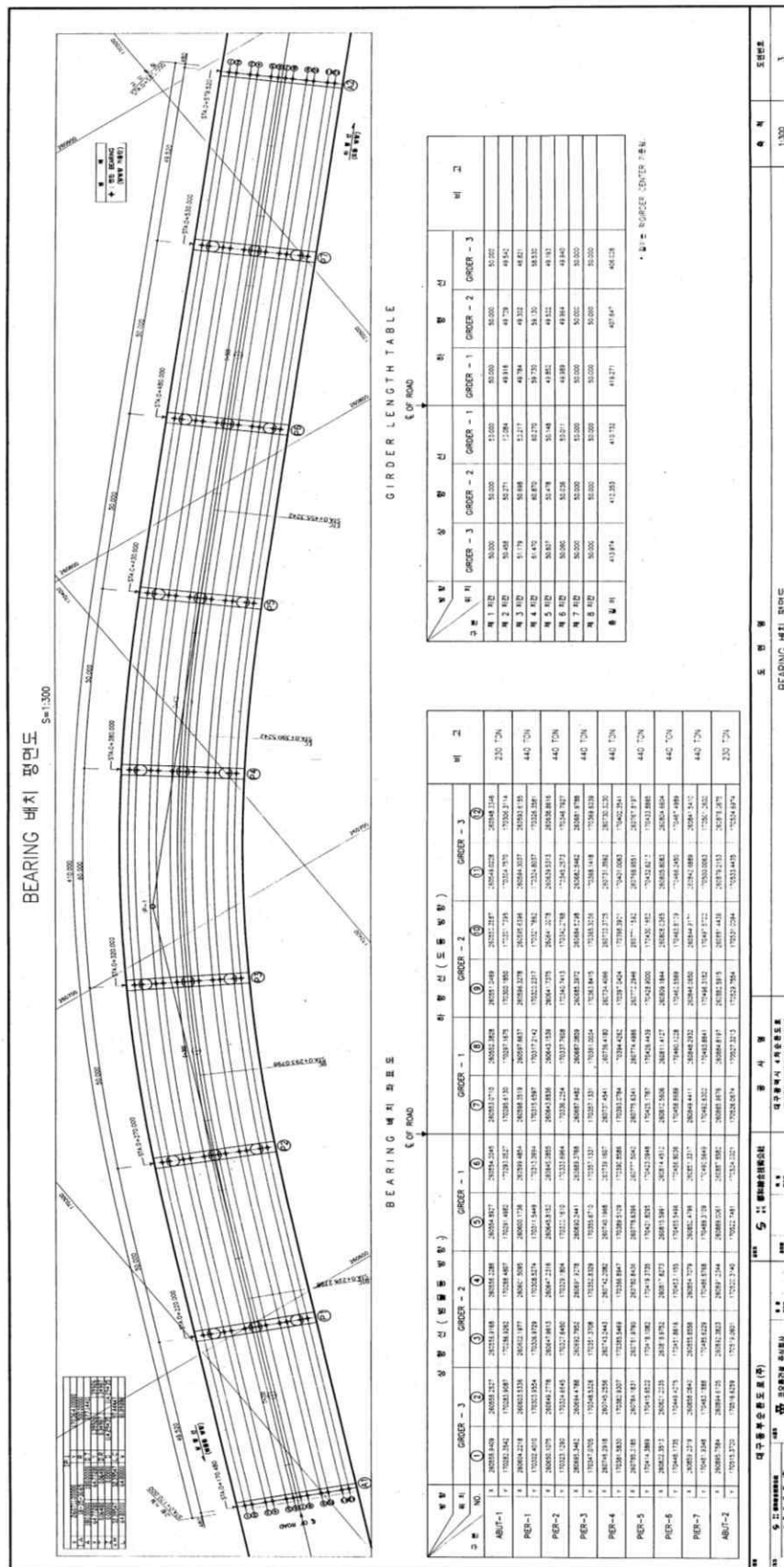
양방향 가동단



양방향 가동단



양방향 가동단



교량받침 배치도

가) 외관상태

1) 외관조사 결과

전반적인 가동상태는 양호하며 외관조사 결과, 받침콘크리트 균열(0.3mm미만)에 대한 보수가 일부 실시되었으며, 받침콘크리트 균열(0.3mm미만), 플레이트 도장박리 등이 조사되었다.

	
A2-SH10 받침콘크리트 균열(폭:0.1mm)	P2-SH5 상부플레이트 도장박리
	
P2-SH9 하부플레이트 도장박리	P5-SH4 받침콘크리트 균열(폭:0.2mm)
	
A2-SH8 받침콘크리트 균열 보수실시	P5-SH2 받침콘크리트 균열 보수실시



<표 3.12> 교량받침 외관조사 결과

구분		손상현황	단위	손상물량	개소	비고
교량 받침	받침콘크리트	균열(0.3mm미만)	m	7.20	27	
	본체	도장박리	m ²	1.97	19	

구분	손상현황	
	받침콘크리트 균열(0.3mm미만) (m)	본체 도장박리 (m ²)
A1	-	-
A2	0.80	-
P1	0.90	1.35
P2	0.90	0.33
P3	0.30	0.05
P4	1.00	-
P5	-	0.15
P6	3.30	0.09
P7	-	-
합계	7.20	1.97

2) 기 정밀점검 결과와의 비교 분석

기 정밀점검 결과를 토대로 손상을 비교검토한 결과, 받침콘크리트 균열(0.3mm미만)에 대한 보수가 일부 실시되었으며, 받침콘크리트 균열(0.3mm미만), 플레이트 도장박리 등이 추가 조사되었다.

<표 3.13> 교량받침 기 정밀점검 결과 비교

손상현황		단위	'21년 정밀	금회진단	증감량	비고
받침콘크리트	균열(0.3mm미만)	m/개소	9.0 / 45	7.20 / 27	▼1.80 / ▼18	보수,신규
본체	도장박리	m ² /개소	- / -	1.97 / 19	▲1.97 / ▲19	신규

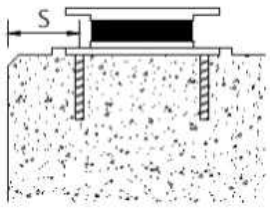
3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 균열(0.3mm미만) - 건조수축 및 온도변화 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 내구성 확보 차원의 표면처리를 실시하는 것이 필요하고, 보수시 표면정리, 적합한 보수재 사용 등에 대해 주의를 기울여야 한다.
- 도장박리 - 시공미흡, 우수유입, 외기노출, 공용기간 경과 등에 의해 발생한 손상으로 장기적인 내구성 확보를 위하여 도장보수가 필요하다.

나) 연단거리 조사

받침장치는 상부구조로부터 집중하중을 받는 부위로 연단거리가 짧으면 고정단에서는 교각 및 교대의 전면에서 콘크리트가 파손되거나 받침이 파손되며 가동단에서는 받침이 벗어나 심한 경우 주형이 낙하할 수도 있다. 따라서 교량의 교축방향의 받침 연단과 하부구조 정부(頂部)연단 사이의 거리는 다음 값(S) 이상이어야 한다.

교량의 받침 연단거리 측정은 다음과 같이 측정한다.

 <고무받침>	• 거더의 경간길이 100m 이하 : $S(\text{mm}) = 200 + 5L$ • 거더의 경간길이 100m 이상 : $S(\text{mm}) = 300 + 4L$	도로교설계기준 (2010)
• S1~S3, S5~S8 : $L=50.0\text{m} \rightarrow S = 200 + 5 \times 50.0 = 450\text{mm}$ • S4 : $L=60.0\text{m} \rightarrow S = 200 + 5 \times 60.0 = 500\text{mm}$		



<표 3.14> 교량받침 연단거리 조사 결과

구분		경간길이 (시/종, m)	최소연단거리 (시/종, mm)	실측연단거리		평가	비고
				시점측(mm)	종점측(mm)		
A1	Sh1	-/50	-/450	-	760	양호	
	Sh2	-/50	-/450	-	750	양호	
	Sh3	-/50	-/450	-	750	양호	
	Sh4	-/50	-/450	-	750	양호	
	Sh5	-/50	-/450	-	750	양호	
	Sh6	-/50	-/450	-	760	양호	
	Sh7	-/50	-/450	-	750	양호	
	Sh8	-/50	-/450	-	770	양호	
	Sh9	-/50	-/450	-	750	양호	
	Sh10	-/50	-/450	-	750	양호	
	Sh11	-/50	-/450	-	750	양호	
	Sh12	-/50	-/450	-	760	양호	
P1	Sh1	50/50	450/450	880	880	양호	
	Sh2	50/50	450/450	870	880	양호	
	Sh3	50/50	450/450	880	890	양호	
	Sh4	50/50	450/450	880	890	양호	
	Sh5	50/50	450/450	890	880	양호	
	Sh6	50/50	450/450	900	880	양호	
	Sh7	50/50	450/450	870	880	양호	
	Sh8	50/50	450/450	890	880	양호	
	Sh9	50/50	450/450	890	890	양호	
	Sh10	50/50	450/450	890	890	양호	
	Sh11	50/50	450/450	890	890	양호	
	Sh12	50/50	450/450	890	890	양호	

<표 3.14> 교량받침 연단거리 조사 결과(계속)

구분		경간길이 (시/중, m)	최소연단거리 (시/중, mm)	실측연단거리		평가	비고
				시점측(mm)	중점측(mm)		
P2	Sh1	50/50	450/450	900	880	양호	
	Sh2	50/50	450/450	900	880	양호	
	Sh3	50/50	450/450	880	900	양호	
	Sh4	50/50	450/450	880	880	양호	
	Sh5	50/50	450/450	880	880	양호	
	Sh6	50/50	450/450	900	880	양호	
	Sh7	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh8	50/50	450/450	900	880	양호	
	Sh9	50/50	450/450	900	880	양호	
	Sh10	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh11	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh12	50/50	450/450	900	870	양호	
P3	Sh1	50/60	450/500	890	880	양호	
	Sh2	50/60	450/500	900	880	양호	
	Sh3	50/60	450/500	900	870	양호	
	Sh4	50/60	450/500	900	880	양호	
	Sh5	50/60	450/500	900	880	양호	
	Sh6	50/60	450/500	900	890	양호	
	Sh7	50/60	450/500	900	890	양호	
	Sh8	50/60	450/500	900	880	양호	
	Sh9	50/60	450/500	890	890	양호	
	Sh10	50/60	450/500	890	870	양호	
	Sh11	50/60	450/500	890	870	양호	
	Sh12	50/60	450/500	890	870	양호	
P4	Sh1	60/50	500/450	900	880	양호	
	Sh2	60/50	500/450	900	880	양호	
	Sh3	60/50	500/450	900	870	양호	
	Sh4	60/50	500/450	880	870	양호	
	Sh5	60/50	500/450	890	880	양호	
	Sh6	60/50	500/450	890	880	양호	
	Sh7	60/50	500/450	890	870	양호	
	Sh8	60/50	500/450	900	880	양호	
	Sh9	60/50	500/450	900	880	양호	
	Sh10	60/50	500/450	900	880	양호	
	Sh11	60/50	500/450	900	870	양호	
	Sh12	60/50	500/450	900	870	양호	
P5	Sh1	50/50	450/450	890	870	양호	
	Sh2	50/50	450/450	890	870	양호	
	Sh3	50/50	450/450	880	870	양호	
	Sh4	50/50	450/450	890	880	양호	
	Sh5	50/50	450/450	890	880	양호	
	Sh6	50/50	450/450	890	880	양호	
	Sh7	50/50	450/450	890	880	양호	
	Sh8	50/50	450/450	900	880	양호	
	Sh9	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh10	50/50	450/450	890	870	양호	
	Sh11	50/50	450/450	890	880	양호	
	Sh12	50/50	450/450	900	870	양호	

<표 3.14> 교량받침 연단거리 조사 결과(계속)

구분		경간길이 (시/중, m)	최소연단거리 (시/중, mm)	실측연단거리		평가	비고
				시점측(mm)	중점측(mm)		
P6	Sh1	50/50	450/450	890	870	양호	
	Sh2	50/50	450/450	890	870	양호	
	Sh3	50/50	450/450	900	880	양호	
	Sh4	50/50	450/450	900	880	양호	
	Sh5	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh6	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh7	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh8	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh9	50/50	450/450	890	860	양호	
	Sh10	50/50	450/450	890	880	양호	
	Sh11	50/50	450/450	890	880	양호	
	Sh12	50/50	450/450	890	870	양호	
P7	Sh1	50/50	450/450	890	880	양호	
	Sh2	50/50	450/450	890	880	양호	
	Sh3	50/50	450/450	890	880	양호	
	Sh4	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh5	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh6	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh7	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh8	50/50	450/450	900	880	양호	
	Sh9	50/50	450/450	900	880	양호	
	Sh10	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh11	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh12	50/50	450/450	900	870	양호	
A2	Sh1	50/-	450/-	700	-	양호	
	Sh2	50/-	450/-	700	-	양호	
	Sh3	50/-	450/-	700	-	양호	
	Sh4	50/-	450/-	700	-	양호	
	Sh5	50/-	450/-	700	-	양호	
	Sh6	50/-	450/-	690	-	양호	
	Sh7	50/-	450/-	690	-	양호	
	Sh8	50/-	450/-	700	-	양호	
	Sh9	50/-	450/-	700	-	양호	
	Sh10	50/-	450/-	700	-	양호	
	Sh11	50/-	450/-	700	-	양호	
	Sh12	50/-	450/-	700	-	양호	

교대 및 교각의 받침장치 연단거리는 설계기준을 만족하고 연단거리 부족으로 인한 이상 징후가 발견되지 않는 양호한 상태이다.

다) 가동여유량 검토

1) 온도변화에 따른 가동상태 검토

- ① 교량받침은 탄성으로 현재 여유량을 실측함으로써 온도 변화에 따른 신축시 이동량 부족으로 인한 받침의 기능 저하 여부를 검토하고자 하였다.
- ② 교량받침의 신축거동상태 검토 시에는 이동량 측정 당시의 실측 온도를 이용하여 검토를 실시하였다.

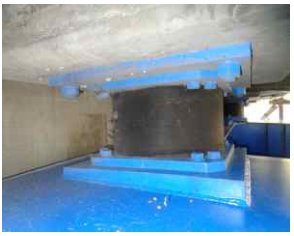
2) 설계기준온도(-10℃ ~ 40℃(보통지방, STB교))에 따른 여유량 검토

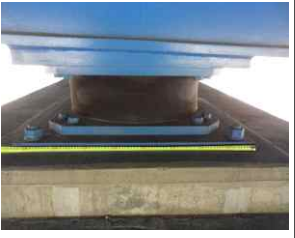
- ① 받침 허용이동량의 경우, 상판 제원을 측정하여 도면 정보와 비교하였다.
- ② 교량받침의 이동량을 검토한 결과, 온도변화에 따른 수축 및 신장시 가동여유량을 확보하고 있는 것으로 확인되었다.

- 온도변화에 의한 신축량 $\Delta \ell t = \Delta T \cdot \alpha \cdot L$

여기서 ΔT : 온도변화, L : 신축거더 길이, α : 선팽창계수(강교 : 1.2×10^{-5})

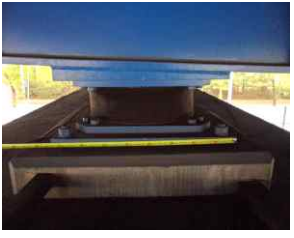
3) 현장조사(2022.04.14.)

			
A1-SH1	A1-SH2	A1-SH3	A1-SH4
			
A1-SH5	A1-SH6	A1-SH7	A1-SH8
			
A1-SH9	A1-SH10	A1-SH11	A1-SH12

			
P1-SH1	P1-SH2	P1-SH3	P1-SH4
			
P1-SH5	P1-SH6	P1-SH7	P1-SH8
			
P1-SH9	P1-SH10	P1-SH11	P1-SH12
			
P2-SH1	P2-SH2	P2-SH3	P2-SH4
			
P2-SH5	P2-SH6	P2-SH7	P2-SH8
			
P2-SH9	P2-SH10	P2-SH11	P2-SH12

			
P3-SH1	P3-SH2	P3-SH3	P3-SH4
			
P3-SH5	P3-SH6	P3-SH7	P3-SH8
			
P3-SH9	P3-SH10	P3-SH11	P3-SH12
			
P4-SH1	P4-SH2	P4-SH3	P4-SH4
			
P4-SH5	P4-SH6	P4-SH7	P4-SH8
			
P4-SH9	P4-SH10	P4-SH11	P4-SH12

			
P5-SH1	P5-SH2	P5-SH3	P5-SH4
			
P5-SH5	P5-SH6	P5-SH7	P5-SH8
			
P5-SH9	P5-SH10	P5-SH11	P5-SH12
			
P6-SH1	P6-SH2	P6-SH3	P6-SH4
			
P6-SH5	P6-SH6	P6-SH7	P6-SH8
			
P6-SH9	P6-SH10	P6-SH11	P6-SH12

			
P7-SH1	P7-SH2	P7-SH3	P7-SH4
			
P7-SH5	P7-SH6	P7-SH7	P7-SH8
			
P7-SH9	P7-SH10	P7-SH11	P7-SH12
			
A2-SH1	A2-SH2	A2-SH3	A2-SH4
			
A2-SH5	A2-SH6	A2-SH7	A2-SH8
			
A2-SH9	A2-SH10	A2-SH11	A2-SH12

<표 3.15> 교량받침 이동량(설계기준 온도) 산정

구 분	조사일 온도 (℃)	온도변화 (ΔT , ℃)		선폭창 계수 (α)	신축 거더 길이 (L, m)	최대 받침 이동량(mm)	
		동절기	하절기			동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
A1	10.9	20.9	29.1	1.2×10^{-5}	150	51.4	71.6
P1	10.9	20.9	29.1	1.2×10^{-5}	100	38.9	54.1
P2	10.9	20.9	29.1	1.2×10^{-5}	50	26.3	36.7
P3	10.9	20.9	29.1	1.2×10^{-5}	50	13.8	19.2
P4	10.9	20.9	29.1	1.2×10^{-5}	100	1.3	1.7
P5	10.9	20.9	29.1	1.2×10^{-5}	150	13.8	19.2
P6	10.9	20.9	29.1	1.2×10^{-5}	100	26.3	36.7
P7	10.9	20.9	29.1	1.2×10^{-5}	50	38.9	54.1
A2	10.9	20.9	29.1	1.2×10^{-5}	50	51.4	71.6
1) 조사일 : 2022년 4월 14일(10.9℃)							
2) 검토온도 : -10℃ ~ 40℃(보통지방)							

<표 3.16> 교량받침 이동량(설계기준 온도) 검토결과

구 분		점검당시 실측이동량(mm)	최대 받침 이동량(mm)		실측 받침 가동여유량(mm)		이동 허용량 (mm)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
A1	Sh1	5 ↓	51.4	71.6	195	205	±200	O.K
	Sh2	5 ↓			195	205	±200	O.K
	Sh3	5 ↓			195	205	±200	O.K
	Sh4	5 ↓			195	205	±200	O.K
	Sh5	5 ↓			195	205	±200	O.K
	Sh6	5 ↓			195	205	±200	O.K
	Sh7	5 ↓			195	205	±200	O.K
	Sh8	5 ↓			195	205	±200	O.K
	Sh9	5 ↓			195	205	±200	O.K
	Sh10	5 ↓			195	205	±200	O.K
	Sh11	5 ↓			195	205	±200	O.K
	Sh12	5 ↓			195	205	±200	O.K
※ 이동방향 : ↑ (A1방향, 시점), ↓ (A2방향, 종점)								
주) 판정 : 최대 받침 이동량 ≤ 실측 받침 가동여유량 ⇒ O.K								

<표 3.16> 교량받침 이동량(설계기준 온도) 검토결과(계속)

구 분		점검당시 실측이동량(mm)	최대 받침 이동량(mm)		실측 받침 가동여유량(mm)		이동 허용량 (mm)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
P1	Sh1	0	38.9	54.1	165	165	±165	O.K
	Sh2	0			165	165	±165	O.K
	Sh3	0			165	165	±165	O.K
	Sh4	0			165	165	±165	O.K
	Sh5	0			165	165	±165	O.K
	Sh6	0			165	165	±165	O.K
	Sh7	0			165	165	±165	O.K
	Sh8	0			165	165	±165	O.K
	Sh9	0			165	165	±165	O.K
	Sh10	0			165	165	±165	O.K
	Sh11	0			165	165	±165	O.K
	Sh12	0			165	165	±165	O.K
P2	Sh1	0	26.3	36.7	165	165	±165	O.K
	Sh2	0			165	165	±165	O.K
	Sh3	0			165	165	±165	O.K
	Sh4	0			165	165	±165	O.K
	Sh5	0			165	165	±165	O.K
	Sh6	0			165	165	±165	O.K
	Sh7	0			165	165	±165	O.K
	Sh8	0			165	165	±165	O.K
	Sh9	0			165	165	±165	O.K
	Sh10	0			165	165	±165	O.K
	Sh11	0			165	165	±165	O.K
	Sh12	0			165	165	±165	O.K
P3	Sh1	0	13.8	19.2	165	165	±165	O.K
	Sh2	0			165	165	±165	O.K
	Sh3	0			165	165	±165	O.K
	Sh4	0			165	165	±165	O.K
	Sh5	0			165	165	±165	O.K
	Sh6	0			165	165	±165	O.K
	Sh7	0			165	165	±165	O.K
	Sh8	0			165	165	±165	O.K
	Sh9	0			165	165	±165	O.K
	Sh10	0			165	165	±165	O.K
	Sh11	0			165	165	±165	O.K
	Sh12	0			165	165	±165	O.K
P4	Sh1	0	1.3	1.7	165	165	±165	O.K
	Sh2	0			165	165	±165	O.K
	Sh3	0			165	165	±165	O.K
	Sh4	0			165	165	±165	O.K
	Sh5	0			165	165	±165	O.K
	Sh6	0			165	165	±165	O.K
	Sh7	0			165	165	±165	O.K
	Sh8	0			165	165	±165	O.K
	Sh9	0			165	165	±165	O.K
	Sh10	0			165	165	±165	O.K
	Sh11	0			165	165	±165	O.K
	Sh12	0			165	165	±165	O.K

※ 이동방향 : ↑ (A1방향, 시점), ↓ (A2방향, 종점)
주) 판정 : 최대 받침 이동량 ≤ 실측 받침 가동여유량 ⇒ O.K

<표 3.16> 교량받침 이동량(설계기준 온도) 검토결과(계속)

구 분		점검당시 실측이동량(mm)	최대 받침 이동량(mm)		실측 받침 가동여유량(mm)		이동 허용량 (mm)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
P5	Sh1	5↓	13.8	19.2	170	160	±165	O.K
	Sh2	5↓			170	160	±165	O.K
	Sh3	5↓			170	160	±165	O.K
	Sh4	5↓			170	160	±165	O.K
	Sh5	5↓			170	160	±165	O.K
	Sh6	5↓			170	160	±165	O.K
	Sh7	5↓			170	160	±165	O.K
	Sh8	5↓			170	160	±165	O.K
	Sh9	5↓			170	160	±165	O.K
	Sh10	5↓			170	160	±165	O.K
	Sh11	5↓			170	160	±165	O.K
	Sh12	5↓			170	160	±165	O.K
P6	Sh1	0	26.3	36.7	165	165	±165	O.K
	Sh2	0			165	165	±165	O.K
	Sh3	0			165	165	±165	O.K
	Sh4	0			165	165	±165	O.K
	Sh5	0			165	165	±165	O.K
	Sh6	0			165	165	±165	O.K
	Sh7	0			165	165	±165	O.K
	Sh8	0			165	165	±165	O.K
	Sh9	0			165	165	±165	O.K
	Sh10	0			165	165	±165	O.K
	Sh11	0			165	165	±165	O.K
	Sh12	0			165	165	±165	O.K
P7	Sh1	5↑	38.9	54.1	160	170	±165	O.K
	Sh2	5↑			160	170	±165	O.K
	Sh3	5↑			160	170	±165	O.K
	Sh4	5↑			160	170	±165	O.K
	Sh5	5↑			160	170	±165	O.K
	Sh6	5↑			160	170	±165	O.K
	Sh7	5↑			160	170	±165	O.K
	Sh8	5↑			160	170	±165	O.K
	Sh9	5↑			160	170	±165	O.K
	Sh10	5↑			160	170	±165	O.K
	Sh11	5↑			160	170	±165	O.K
	Sh12	5↑			160	170	±165	O.K
A2	Sh1	5↓	51.4	71.6	205	195	±200	O.K
	Sh2	5↓			205	195	±200	O.K
	Sh3	5↓			205	195	±200	O.K
	Sh4	5↓			205	195	±200	O.K
	Sh5	5↓			205	195	±200	O.K
	Sh6	5↓			205	195	±200	O.K
	Sh7	5↓			205	195	±200	O.K
	Sh8	5↓			205	195	±200	O.K
	Sh9	5↓			205	195	±200	O.K
	Sh10	5↓			205	195	±200	O.K
	Sh11	5↓			205	195	±200	O.K
	Sh12	5↓			205	195	±200	O.K
※ 이동방향 : ↑ (A1방향, 시점), ↓ (A2방향, 종점)								
주) 판정 : 최대 받침 이동량 ≤ 실측 받침 가동여유량 ⇒ O.K								

받침장치 가동 여유량 검토 결과, 온도변화에 따른 수축 및 신장시 가동여유량을 확보하고 있는 것으로 확인되었다.

3.3.4 신축이음

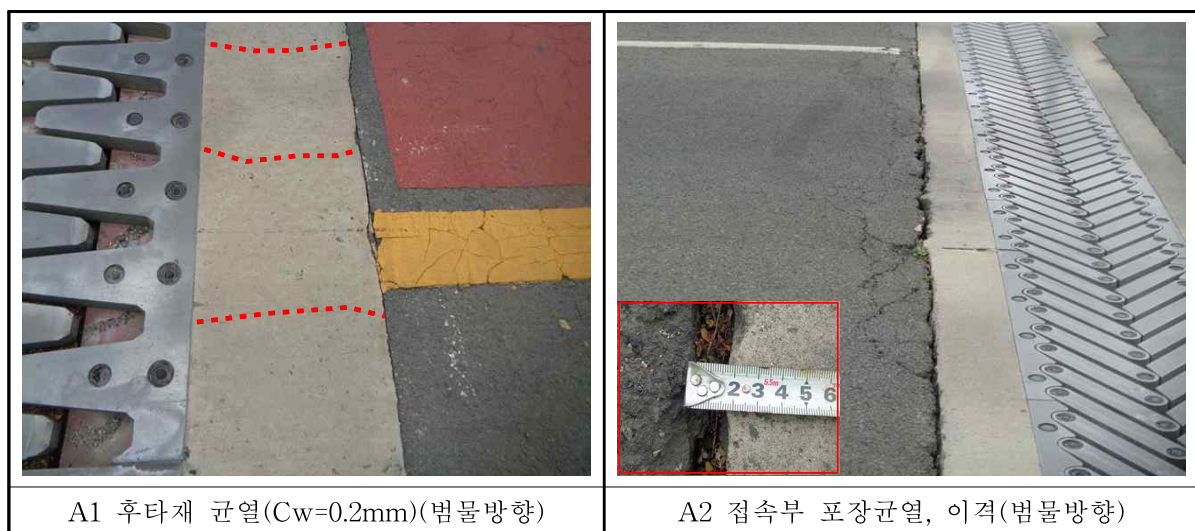
신축이음은 교량받침과 연동되어 온도나 하중에 대한 상부구조의 신축거동을 수렴하는 중요 장치로써 본체와 후타재로 구분되며, 본 교량의 신축이음은 2017년도에 교체되었고 Finger Joint(A1), 저소음 굴절형 Joint(A2) 형식으로 시공된 상태이다.



가) 외관상태

1) 외관조사 결과

본체는 전반적으로 작동상태는 양호하며, 차수관 손상(차수커버 볼트탈락, 철판절단)에 대한 보수가 실시되었으며, 후타재 균열(0.3mm미만), 파손, 신축이음 하부 흡음재 탈락, 접속부 포장균열, 이격이 조사되었다.





<표 3.17> 신축이음 외관조사 결과

구분	손상현황	단위	손상물량	개소	비고
신축이음	후타재 균열(0.3mm미만)	m	21.5	67	
	파손	m ²	0.02	2	
	흙음재탈락	m	2.00	1	
	접속부 포장균열, 이격	m	10.0	1	

구분	손상현황			
	후타재 균열 (0.3mm미만) (m)	후타재 파손 (m ²)	흙음재탈락 (m)	접속부 포장균열, 이격 (m)
A1	18.1	-	-	-
A2	3.4	0.02	2.00	10.0
합계	21.5	0.02	200	10.0

2) 기 정밀점검 결과와의 비교 분석

기 정밀점검 결과를 토대로 손상을 비교검토한 결과, 차수판 손상(차수커버 볼트 탈락, 철관절단)에 대한 보수가 실시되었으며, 후타재 파손이 추가 조사되었다. 기존 후타재 균열(0.3mm미만)의 경우 물량 산정오류로 인해 금회 정정하였다.

<표 3.18> 신축이음 기 정밀점검 결과 비교

손상현황		단위	'21년 정밀	금회진단	증감량	비고
후타재	균열(0.3mm미만)	m/개소	90.7 / 67	21.5 / 67	▼ 69.2 / -	기존물량 산정오류
	파손	m ² /개소	- / -	0.02 / 2	▲ 0.02 / ▲ 1	신규
흡음재탈락		m/개소	2.00 / 1	2.00 / 1	- / -	-
접속부 포장균열,이격		m/개소	10.0 / 1	10.0 / 1	- / -	-
차수커버 볼트탈락		개소	9 / 9	- / -	▼ 9 / ▼ 9	보수
차수커버 철판절단		개소	1 / 1	- / -	▼ 1 / ▼ 1	보수

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 후타재 균열(0.3mm미만), 파손 - 건조수축, 차량의 반복적인 윤하중, 온도변화, 공용기간 경과에 의한 것으로 판단되며, 손상의 정도가 경미하므로 보수보다는 주의관찰을 실시하고, 추후 손상의 증가 및 확대시 일괄보수를 실시하는 것이 요구된다.
- 흡음재 탈락 - 시공미흡 등에 의해 발생된 것으로 차량 통행시 소음 등의 영향이 크지않은 바 주의관찰이 요구된다.
- 접속부 포장균열, 이격 - 차량의 반복적인 윤하중, 다짐미흡, 시공미흡 등에 의해 발생된 것으로 판단되며, 주행성에 영향이 없는 상태로 주의관찰 후 보수 시기를 결정하는 것이 바람직하다.

나) 신축이음 유간검토

본 교량의 신축거동상태를 확인하기 위해 신축이음장치, 바닥판, 거더에 대한 유간을 측정하였고, 측정된 유간으로부터 최대 온도 상승시 신장량과 최저 온도 하강시 수축량을 계산하여 유간확보 여부를 검토하였다.

1) 현장조사

구분		신축이음장치 유간(A)	바닥판 유간(B)	거더 유간(C)
범물 방향	A1			
	A2			
안심 방향	A1			
	A2			
		< 측정 개요도 >		

<표 3.19> 신축이음 유간 측정 결과

측정위치		측 정 값(mm)			비 고
		신축이음장치(A)	바닥판(B)	거더(C)	
범물 방향	EXP.J1(A1)	114	150	136	Finger Joint
	EXP.J2(A2)	-	134	144	JHR Joint
안심 방향	EXP.J1(A1)	105	125	119	Finger Joint
	EXP.J2(A2)	-	137	142	JHR Joint

※ 저소음 굴절형 조인트(JHR Joint)는 유간을 하부만 고려함에 따라 상부유간은 고려하지 않음.

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

$$\Delta \ell_t = \Delta T \cdot \alpha \cdot L$$

여기서 ΔT : 온도변화, L : 신축거더 길이

α : 선팅창계수(강교 : 1.2×10^{-5})

<표 3.20> 신축이음 신축이동량 산정

구 분	조사일 온도 (℃)	온도변화 (ΔT , ℃)		선팅창 계수 (α)	신축 거더 길이 (L, m)	계산 이동량(mm)	
		동절기	하절기			동절기 (최대수축시)	하절기 (최대신장시)
EXP.J1(A1)	10.9	20.9	29.1	1.2×10^{-5}	205.0	51.4	71.6
EXP.J2(A2)	10.9	20.9	29.1	1.2×10^{-5}	205.0	51.4	71.6

1) 조사일 : 2022년 4월 14일(10.9℃)
2) 검토온도 : -10℃ ~ +40℃(보통지방)

<표 3.21> 신축이음장치 가동여유량 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) ④-(①+③)	최대 신장시 ③-② ③-②	
범물 방향	EXP.J1 (A1)	신축이음장치	51.4	71.6	114	240	74.6	42.4	O.K
		바닥판			150	-	-	78.4	O.K
		거더			136	-	-	64.4	O.K
	EXP.J2 (A2)	신축이음장치	51.4	71.6	-	240	-	-	O.K
		바닥판			134	-	-	62.4	O.K
		거더			144	-	-	72.4	O.K
안심 방향	EXP.J1 (A1)	신축이음장치	51.4	71.6	105	240	83.6	33.4	O.K
		바닥판			125	-	-	53.4	O.K
		거더			119	-	-	47.4	O.K
	EXP.J2 (A2)	신축이음장치	51.4	71.6	-	240	-	-	O.K
		바닥판			137	-	-	65.4	O.K
		거더			142	-	-	70.4	O.K

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

신축이음 유간을 검토한 결과, 온도변화에 따른 수축 및 신장시 모든 신축이음에서 여유량을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

3.3.5 기타

비구조체인 교면포장, 배수시설, 난간 등과 같은 기타 시설물에 대한 외관조사 결과는 다음과 같다.

가) 교면포장

본 교량의 교면포장은 아스팔트 포장(T=80mm)으로 시공되었으며, 각 방향별 3차로 총 6차로로 구성되어있다.



1) 외관조사 결과

외관조사 결과, 재포장된 이후 차량 주행성저하, 침하, 변형 등의 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다.



<표 3.22> 교면포장 외관조사 결과

구분	손상현황	단위	손상물량	개소	비고
교면포장	상태양호	-	-	-	

2) 기 정밀점검 결과와의 비교 분석

기 정밀점검 결과를 토대로 손상을 비교검토한 결과, 기 점검이후 신규손상이 발생하지 않은 양호한 상태로 조사되었다.

<표 3.23> 교면포장 기 정밀점검 결과 비교

손상현황	단위	'21년 정밀	금회진단	증감량	비고
상태양호	-	-	-	-	

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 현재 전반적으로 양호한 상태로 조사되었으며, 향후 공용기간 경과, 차량의 운하중, 온도변화, 우수유입 등에 의해 신규 손상이 발생할 수 있으므로, 주기적인 점검을 통한 유지관리를 실시하는 것이 바람직하다.

나) 배수시설

본 교량의 배수시설은 교량의 횡구배에 맞게 설치되어 있으며, 육교형(S1~S8) 배수관으로 연결되어있는 상태이다.



1) 외관조사 결과

외관조사 결과, 배수구 막힘, 퇴적, 배수관 및 고정철물 손상 등의 문제가 없는 양호한 상태로 조사되었다.



<표 3.24> 배수시설 외관조사 결과

구분	손상현황	단위	손상물량	개소	비고
배수시설	상태양호	-	-	-	

2) 기 정밀점검 결과와의 비교 분석

기 정밀점검 결과를 토대로 손상을 비교검토한 결과, 기 점검이후 신규손상이 발생하지 않은 양호한 상태로 조사되었다.

<표 3.25> 배수시설 기 정밀점검 결과 비교

손상현황	단위	‘21년 정밀	금회진단	증감량	비고
상태양호	-	-	-	-	-

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 현재 전반적으로 양호한 상태로 조사되었으며, 주기적인 점검을 통한 유지관리를 실시하는 것이 바람직하다.

다) 난간 및 연석

교면 외측(안심방향, 범물방향)에는 콘크리트 방호벽 및 방음벽, 중앙부에는 콘크리트 중앙분리대가 시공되어있다.



1) 외관조사 결과

기 발생한 균열(0.3mm미만), 파손, 보수부 들뜸, 텔리네이터 파손에 대한 보수가 일부 실시되었으며, 금회 미보수 및 추가된 균열(0.3mm미만)이 조사되었다.





<표 3.26> 난간 및 연석 외관조사 결과

구분	손상현황	단위	손상물량	개소	비고
난간 및 연석	균열(0.3mm미만)	m	619.4	684	

구분	손상현황
	균열(0.3mm미만)(개소)
S1	36.8
S2	45.8
S3	93.6
S4	124.0
S5	98.4
S6	92.8
S7	85.2
S8	42.8
합계	619.4

2) 기 정밀점검 결과와의 비교 분석

기 정밀점검 결과를 토대로 손상을 비교검토한 결과, 기 발생한 균열(0.3mm미만), 파손, 보수부 들뜸, 텔리네이터 파손에 대한 보수가 일부 실시되었으며, 균열(0.3mm미만)이 추가 조사되었다.

<표 3.27> 난간 및 연석 기 정밀점검 결과 비교

손상현황	단위	'21년 정밀	금회진단	증감량	비고
균열(0.3mm미만)	m/개소	658.6 / 694	619.4 / 684	▼39.2 / ▼10	보수
파손	m ² /개소	0.04 / 1	- / -	▼0.04 / ▼1	보수
보수부들뜸	m ² /개소	0.06 / 1	- / -	▼0.06 / ▼1	보수
텔레레이터 파손	개소	1 / 1	- / -	▼1 / ▼1	보수

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 균열(0.3mm미만) - 건조수축 및 구속응력, 온도변화, 수화열 등에 의해 발생된 것으로 내구성 및 미관 확보 차원의 보수를 실시하는 것이 요구되며, 보수시 철저한 시공관리를 통해 재손상이 발생하지 않도록 하는 것이 필요하다.

라) 점검시설

연호고가교의 점검시설은 미설치된 상태이다.

마) 램프구간 포장

램프구간 포장은 아스팔트 포장으로 시공되었으며, 각 방향별 3차로 총 6차로로 구성되어있다.



램프구간 포장(안심방향)

램프구간 포장(범물방향)

1) 외관조사 결과

기 발생한 포트홀에 대한 보수가 실시되었으며, 미 보수 및 추가 조사된 아스콘 균열, 파손, 포트홀이 조사되었다.



<표 3.28> 램프구간 포장 외관조사 결과

구분	손상현황	단위	손상물량	개소	비고
램프구간 포장	아스콘 균열	m	23.60	7	
	아스콘 파손	m ²	0.09	3	
	포트홀	m ²	0.04	1	

구분	손상현황		
	아스콘 균열(m)	아스콘 파손(m ²)	포트홀(m ²)
시점	20.00	0.09	0.04
종점	3.60	-	-
합계	23.60	0.09	0.04

2) 기 정밀점검 결과와의 비교 분석

기 정밀점검 결과를 토대로 손상을 비교검토한 결과, 기 발생한 포트홀에 대한 보수가 실시되었으며, 아스콘 균열, 파손, 포트홀이 추가 조사되었다. 기존 아스콘 파손의 손상크기 확인에 대한 오류를 정정하였다.

<표 3.29> 램프구간 포장 기 정밀점검 결과 비교

손상현황	단위	'21년 정밀	금회진단	증감량	비고
아스콘 균열	m/개소	20.0 / 4	23.60 / 7	▲ 3.60 / ▲ 3	신규
아스콘 파손	m ² /개소	0.16 / 1	0.09 / 3	▼ 0.07 / ▲ 2	신규, 물량정정
포트홀	m ² /개소	0.05 / 2	0.04 / 1	▼ 0.01 / ▼ 1	보수,신규

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 아스콘 균열, 파손, 포트홀 - 차량의 반복적인 윤회중, 공용기간 경과, 시공초기 다짐불량, 배합불량, 시공미흡 등에 의해 발생한 손상으로 판단되며, 조사된 손상은 차량통행에 중대한 영향을 미치는 손상이 아닌 바 지속적인 주의관찰을 실시하고 향후 손상의 진전시 보수대책 수립이 요구된다.

바) 램프구간 난간 및 연석

램프구간 외측(안심방향, 범물방향)에는 콘크리트 방호벽 및 방음벽, 중앙부에는 콘크리트 중앙분리대가 시공되어있다.



외측 방호벽 및 방음벽

내측 중앙분리대

1) 외관조사 결과

기 발생한 균열, 파손, 보수부들뜸, 박리에 대한 보수가 실시되었으며, 미 보수 및 추가 조사된 균열(0.3mm미만, 이상), 망상균열, 파손, 재료분리, 철근노출, 단차가 조사되었다.

	
램프구간 균열($Cw=0.2mm$)(안심방향, 종점)	램프구간 망상균열(범물방향, 시점)
	
램프구간 균열($Cw=0.3mm$)(범물방향, 종점)	램프구간 균열 보수 실시(범물방향, 종점)
	
램프구간 보수부 상태양호(안심방향, 시점)	램프구간 단차(범물방향, 시점)

<표 3.30> 램프구간 난간 및 연석 외관조사 결과

구분	손상현황	단위	손상물량	개소	비고
램프구간 난간 및 연석	균열(0.3mm미만)	m	20.00	21	
	균열(0.3mm이상)	m	5.80	5	
	망상균열	m ²	195.0	6	
	파손	m ²	0.28	2	
	재료분리	m ²	23.2	2	
	철근노출	m ²	0.26	3	
	단차	개소	1	1	

구분	손상현황						
	균열(0.3mm 미만) (m)	균열(0.3mm 이상) (m)	망상균 열 (m ²)	파손 (m ²)	재료분 리 (m ²)	철근노 출 (m ²)	단차 (개소)
시점	-	-	180.0	0.24	23.2	-	1
종점	20.0	5.80	15.0	0.04	-	0.26	-
합계	20	5.80	195.0	0.28	23.2	0.26	1

2) 기 정밀점검 결과와의 비교 분석

기 정밀점검 결과를 토대로 손상을 비교검토한 결과, 균열, 파손, 보수부들뜸, 박리에 대한 보수가 실시되었으며, 균열(0.3mm미만, 이상)이 추가 조사되었다.

<표 3.31> 램프구간 난간 및 연석 기 정밀점검 결과 비교

손상현황	단위	'21년 정밀	금회진단	증감량	비고
균열(0.3mm미만)	m/개소	21.10 / 22	20.00 / 21	▼1.10 / ▼1	보수,신규
균열(0.3mm이상)	m/개소	17.40 / 10	5.80 / 5	▼11.6 / ▼5	보수
망상균열	m ² /개소	195.0 / 6	195.0 / 6	- / -	-
파손	m ² /개소	0.56 / 4	0.28 / 2	▼0.28 / ▼2	보수
재료분리	m ² /개소	23.20 / 2	23.2 / 2	- / -	-
철근노출	m ² /개소	0.26 / 3	0.26 / 3	- / -	-
보수부들뜸, 박리	m ² /개소	0.31 / 2	- / -	▼0.31 / ▼2	보수
단차	개소	1 / 1	1 / 1	- / -	-

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 균열(0.3mm미만, 이상), 망상균열 - 건조수축 및 구속응력, 온도변화, 수화열 등에 의해 발생된 것으로 내구성 및 미관 확보 차원의 표면보수, 주입보수를 실시하는 것이 요구되며, 보수시 철저한 시공관리를 통해 재손상이 발생하지 않도록 하는 것이 필요하다.
- 파손, 재료분리, 철근노출 - 차량 충격, 다짐미흡, 시공미흡 등에 의한 손상으로 판단되며, 내구성 및 미관확보를 위해 단면보수를 실시하는 것이 요구된다.
- 단차 - 시공초기 옹벽 시공 이후 잔류침하에 의한 손상으로 추정되며, 현재 균열모니터를 통해 유지관리중인 것으로 확인되고, 진전여부에 대한 지속적인 계측 및 주의관찰이 요구된다.

3.3.6 공중이 이용하는 부위

공중이 이용하는 부위는 추락방지시설, 도로포장, 도로부 신축이음부, 환기구 등의 덮개가 있다.

가) 추락방지시설

공중이 이용하는 부위 중 추락방지시설은 3.3.5 기타시설 라)점검시설에 기입된 사항으로 미설치된 상태이다.

나) 도로포장

공중이 이용하는 부위 중 도로포장은 3.3.5 기타시설 가)교면포장에 기입된 사항으로 대체하였다.

다) 도로부 신축이음부

공중이 이용하는 부위 중 도로부 신축이음부는 3.3.4 신축이음에 기입된 사항으로 대체하였다.

라) 환기구 등의 덮개

공중이 이용하는 부위 중 환기구 등의 덮개는 없는 것으로 확인되었다.

3.3.7 외관조사 결과 요약

가) 금회 진단 외관조사 결과 요약

<표 3.32> 금회 진단 외관조사 결과 요약

구분		주요 결함 및 외관조사 결과	검토 의견
거더	외부	◦ 강재 거더 외부는 기 발생한 박리에 대한 보수가 일부 실시되었으며, 국부적인 도장박리 등이 일부 발생한 상태이다.	▪ 도장박리 - 약 20년의 공용기간중 외기노출 및 경년열화에 의해 발생한 것으로 판단되며, 내구성 확보 및 도장손상에 따른 부식을 방지하기 위한 도장보수를 실시하는 것이 필요하다.
	내부	◦ 강재 거더 내부는 도장들뜸 및 박락, 표면오염, 볼트부식, 실링처리미흡, 점검등 덮개탈락, 파손, 불량, 기공 등이 조사되었다.	▪ 도장들뜸, 박락 - 공용기간 경과, 우수유입, 보수미흡, 시공미흡 등에 의한 손상으로 내구성 확보 차원의 도장보수가 필요하며, 보수시 기존 도장 제거, 도로 품질관리 등을 통하여 재손상 발생을 방지하여야 한다. ▪ 표면오염 - 현장 이음부 틈을 통해서 유입된 누수흔적으로 판단되며, 우천시 우수유입에 따른 2차손상 발생 우려가 있으므로 현장 이음부 실란트 충전을 통한 보수가 필요하다. ▪ 실링처리미흡 - 우수유입 방지를 위한 실란트 충전이 요구된다. ▪ 점검등 덮개탈락, 파손, 불량 - 시공미흡 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 정비를 통한 유지관리가 필요하다. ▪ 기공 - 시공미흡 등에 의한 것으로 손상의 정도가 경미하므로 주의관찰이 요구된다.
2차부재		◦ 가로보는 전반적으로 양호하나 이물질 퇴적(조류서식)이 1개소 조사되었다.	▪ 이물질퇴적(조류서식) - 정비를 통한 보수가 필요하며, 기 손상외에 전반적으로 양호한 것으로 확인되었다.
바닥판		◦ 데크플레이트 구간은 전반적으로 양호한 상태이며, 캔틸레러부에 균열(0.3mm 미만), 백태, 박리, 종조인트부 누수가 조사되었다.	▪ 균열(0.3mm미만) - 대체로 초기 건조수축에 의해 발생한 방향성이 없는 표면균열로 판단되며, 비구조적인 손상이나 우수유입, 온도변화 등에 의해 손상이 진전될 우려가 있으므로 내구성 확보 차원에서 표면처리 보수를 실시하는 것이 필요하다. ▪ 백태 - 손상부를 통한 우수유입, 수분접촉, 종조인트 누수 등의 원인에 의해 발생한 것으로 판단되며, 표면처리를 통해 구조물의 내구성 저하를 방지하는 것이 바람직하다. ▪ 박리 - 시공시 다짐불량, 외부충격, 우수유입, 온도변화 등에 의한 손상으로 판단되며, 손상의 정도는 경미하나 내구성 확보차원의 보수를 실시하는 것이 필요하다. ▪ 종조인트 누수 - 종조인트부로 침투된 노면수 등에 의한 것으로 판단되며, 손상에 대한 주의관찰을 실시하고 누수에 대한 대책 수립이 요구된다.

구분	주요 결함 및 외관조사 결과	검토 의견
하부구조	기 발생한 교각 코핑부 파손에 대한 보수가 실시되었으며, 균열(0.3mm미만), 망상균열, 백태, 파손, 누수흔적, 표면오염(녹물) 등이 조사되었다.	- 균열(0.3mm미만), 망상균열 - 건조수축 및 구속응력, 온도변화 등에 의해 발생된 것으로 판단되며, 장기간 우수 및 외기에 의한 수분접촉시 표면열화에 따른 박리 또는 내부 철근의 부식 팽창 등에 의해 박락이 발생될 수 있으므로 내구성 확보를 위한 보수를 실시하는 것이 필요하다. - 백태 - 신축이음부 우수유입, 외기노출, 온도변화 등에 의해 발생된 것으로 판단되며, 표면처리를 통해 구조물의 내구성 저하를 방지하는 것이 바람직하다. - 표면오염(녹물), 누수흔적 - 신축이음부 우수유입, 외기노출 등에 의한 것으로 판단되며, 진전여부에 대한 주의 관찰을 실시하는 것이 요구된다. 보수시 신축이음부와 연계된 보수가 필요하다. - 파손 - 시공미흡, 우수유입, 온도변화 등에 의한 것으로 내구성 확보 차원의 단면보수가 필요하다.
교량받침	- 전반적인 가동상태는 양호하며 외관조사 결과, 받침콘크리트 균열(0.3mm미만)에 대한 보수가 일부 실시되었으며, 받침콘크리트 균열(0.3mm미만), 플레이트 도장박리 등이 조사되었다. - 교대 및 교각의 교량받침 연단거리는 설계기준을 만족하고 연단거리 부족으로 인한 이상 징후가 발견되지 않는 양호한 상태임. - 받침장치 가동 여유량 검토 결과, 온도변화에 따른 수축 및 신장시 가동여유량을 확보하고 있는 것으로 확인되었다.	- 균열(0.3mm미만) - 건조수축 및 온도변화 등에 의해 발생된 것으로 판단되며, 내구성 확보 차원의 표면처리를 실시하는 것이 필요하고, 보수시 표면정리, 적합한 보수재 사용 등에 대해 주의를 기울여야 한다. - 도장박리 - 시공미흡, 우수유입, 외기노출, 공용기간 경과 등에 의해 발생한 손상으로 장기적인 내구성 확보를 위하여 도장보수가 필요하다.
신축이음	- 본체는 전반적으로 작동상태는 양호하며, 차수관 손상(차수커버 볼트탈락, 철판절단)에 대한 보수가 실시되었으며, 후타재 균열(0.3mm미만), 파손, 신축이음 하부 흡음재 탈락, 접속부 포장균열, 이격이 조사되었다. - 신축이음 유간을 검토한 결과, 온도변화에 따른 수축 및 신장시 모든 신축이음에서 여유량을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.	- 후타재 균열(0.3mm미만), 파손 - 건조수축, 차량의 반복적인 윤하중, 온도변화, 공용기간 경과에 의한 것으로 판단되며, 손상의 정도가 경미하므로 보수보다는 주의관찰을 실시하고, 추후 손상의 증가 및 확대시 일괄보수를 실시하는 것이 요구된다. - 흡음재 탈락 - 시공미흡 등에 의해 발생된 것으로 차량 통행시 소음 등의 영향이 크지않은 바 주의관찰이 요구된다. - 접속부 포장균열, 이격 - 차량의 반복적인 윤하중, 다짐미흡, 시공미흡 등에 의해 발생된 것으로 판단되며, 주행성에 영향이 없는 상태로 주의관찰 후 보수시기를 결정하는 것이 바람직하다.

구분	주요 결함 및 외관조사 결과	검토 의견
교면포장	◦ 재포장된 이후 차량 주행성저하, 침하, 변형 등의 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다.	▪ 현재 전반적으로 양호한 상태로 조사되었으며, 향후 공용기간 경과, 차량의 윤하중, 온도변화, 우수유입 등에 의해 신규 손상이 발생할 수 있으므로, 주기적인 점검을 통한 유지관리를 실시하는 것이 바람직하다.
배수시설	◦ 배수구 막힘, 퇴적, 배수관 및 고정철물 손상 등의 문제가 없는 양호한 상태로 조사되었다.	▪ 현재 전반적으로 양호한 상태로 조사되었으며, 주기적인 점검을 통한 유지관리를 실시하는 것이 바람직하다.
난간, 연석	◦ 기 발생한 균열(0.3mm미만), 파손, 보수부 들뜸, 텔리네이터 파손에 대한 보수가 일부 실시되었으며, 금회 미보수 및 추가된 균열(0.3mm미만)이 조사되었다.	▪ 균열(0.3mm미만) - 건조수축 및 구속응력, 온도변화, 수화열 등에 의해 발생된 것으로 내구성 및 미관 확보 차원의 보수를 실시하는 것이 요구되며, 보수시 철저한 시공관리를 통해 재손상이 발생하지 않도록 하는 것이 필요하다.
교량 점검시설	◦ 연호고가교의 점검시설은 미설치된 상태이다.	-
램프구간 포장	◦ 기 발생한 포트홀에 대한 보수가 실시되었으며, 미 보수 및 추가 조사된 아스콘 균열, 파손, 포트홀이 조사되었다.	▪ 아스콘 균열, 파손, 포트홀 - 차량의 반복적인 윤하중, 공용기간 경과, 시공 초기 다짐불량, 배합불량, 시공미흡 등에 의해 발생한 손상으로 판단되며, 조사된 손상은 차량통행에 중대한 영향을 미치는 손상이 아닌 바 지속적인 주의관찰을 실시하고 향후 손상의 진전시 보수대책 수립이 요구된다.
램프구간 난간 및 연석	◦ 기 발생한 균열, 파손, 보수부들뜸, 박리에 대한 보수가 실시되었으며, 미 보수 및 추가 조사된 균열(0.3mm미만, 이상), 망상균열, 파손, 재료분리, 철근노출, 단차가 조사되었다.	▪ 균열(0.3mm미만, 이상), 망상균열 - 건조수축 및 구속응력, 온도변화, 수화열 등에 의해 발생된 것으로 내구성 및 미관 확보 차원의 표면보수, 주입보수를 실시하는 것이 요구되며, 보수시 철저한 시공관리를 통해 재손상이 발생하지 않도록 하는 것이 필요하다. ▪ 파손, 재료분리, 철근노출 - 차량 충격, 다짐미흡, 시공미흡 등에 의한 손상으로 판단되며, 내구성 및 미관확보를 위해 단면보수를 실시하는 것이 요구된다. ▪ 단차 - 시공초기 옹벽 시공 이후 잔류침하에 의한 손상으로 추정되며, 현재 균열모니터를 통해 유지관리중인 것으로 확인되고, 진전여부에 대한 지속적인 계측 및 주의관찰이 요구된다.
하중조사	• 본 교량에 대한 준공도면과 현재 부재의 상태를 확인한 결과, 준공도면과 일치하는 것으로 확인되었다.	

나) 기 정밀점검('21년) 외관조사 결과와의 비교

<표 3.33> 기 정밀점검 외관조사 결과 비교

구분		2021년 정밀점검 결과	금회 진단결과
거더		◦ 외부 <u>도장박리</u> ◦ 내부 상태양호	◦ 외부 <u>도장박리</u> ◦ 내부 <u>도장들뜸 및 박락, 표면오염, 볼트부식, 실링처리미흡, 점검등 덮개탈락, 파손, 불량, 기공</u>
가로보		◦ 상태양호	◦ <u>이물질퇴적(조류서식)</u>
바닥판		◦ 균열(0.3mm미만), 백태	◦ 균열(0.3mm미만), 백태, <u>박리, 종조인트 누수</u>
하부구조		◦ 교대 균열(0.3mm미만), 누수흔적, 파손 ◦ 교각 균열(0.3mm미만), 망상균열, <u>파손</u>	◦ 교대 <u>균열(0.3mm미만), 누수흔적, 백태, 파손</u> ◦ 교각 <u>균열(0.3mm미만), 망상균열, 백태, 표면오염(녹물)</u>
교량받침		◦ 받침콘크리트 <u>균열(0.3mm미만)</u>	◦ 받침콘크리트 <u>균열(0.3mm미만)</u> ◦ 본체 <u>도장박리</u>
신축이음		◦ 후타재 균열(0.3mm미만), 흡음재탈락, 접속부 포장균열, 이격, <u>차수커버 볼트탈락, 차수커버 철판절단</u>	◦ 후타재 균열(0.3mm미만), <u>파손</u> , 흡음재탈락, 접속부 포장균열, 이격
교면포장		◦ 상태양호	◦ 상태양호
배수시설		◦ 상태양호	◦ 상태양호
난간, 연석		◦ 균열(0.3mm미만), <u>파손, 보수부들뜸, 텔리네이터 파손</u>	◦ 균열(0.3mm미만)
램프 구간	포장	◦ 아스콘 균열, <u>파손, 포트홀</u>	◦ 아스콘 균열, <u>파손, 포트홀</u>
	난간	◦ 균열(0.3mm미만, 이상), 망상균열, 파손, 재료분리, 철근노출, <u>보수부들뜸, 박리</u> , 단차	◦ 균열(0.3mm미만, 이상), 망상균열, 파손, 재료분리, 철근노출, 단차
검토의견		• 기 정밀안전점검(2021년)과의 비교 결과, 기 발생된 손상에 대한 보수가 일부 완료된 것으로 조사되었으나 신규 발생된 손상도 일부 확인됨. • 고소작업차, 점검사다리 등을 이용한 근접조사를 통해 신규발생 손상이 전반적으로 증가하였으며, 도장손상, 단면손상 등은 내구성 확보를 위한 보수가 필요함.	

※ 밑줄 표시 : 기 정밀점검 - 보수완료, 금회진단 - 신규발생 손상

3.4 콘크리트 내구성 조사

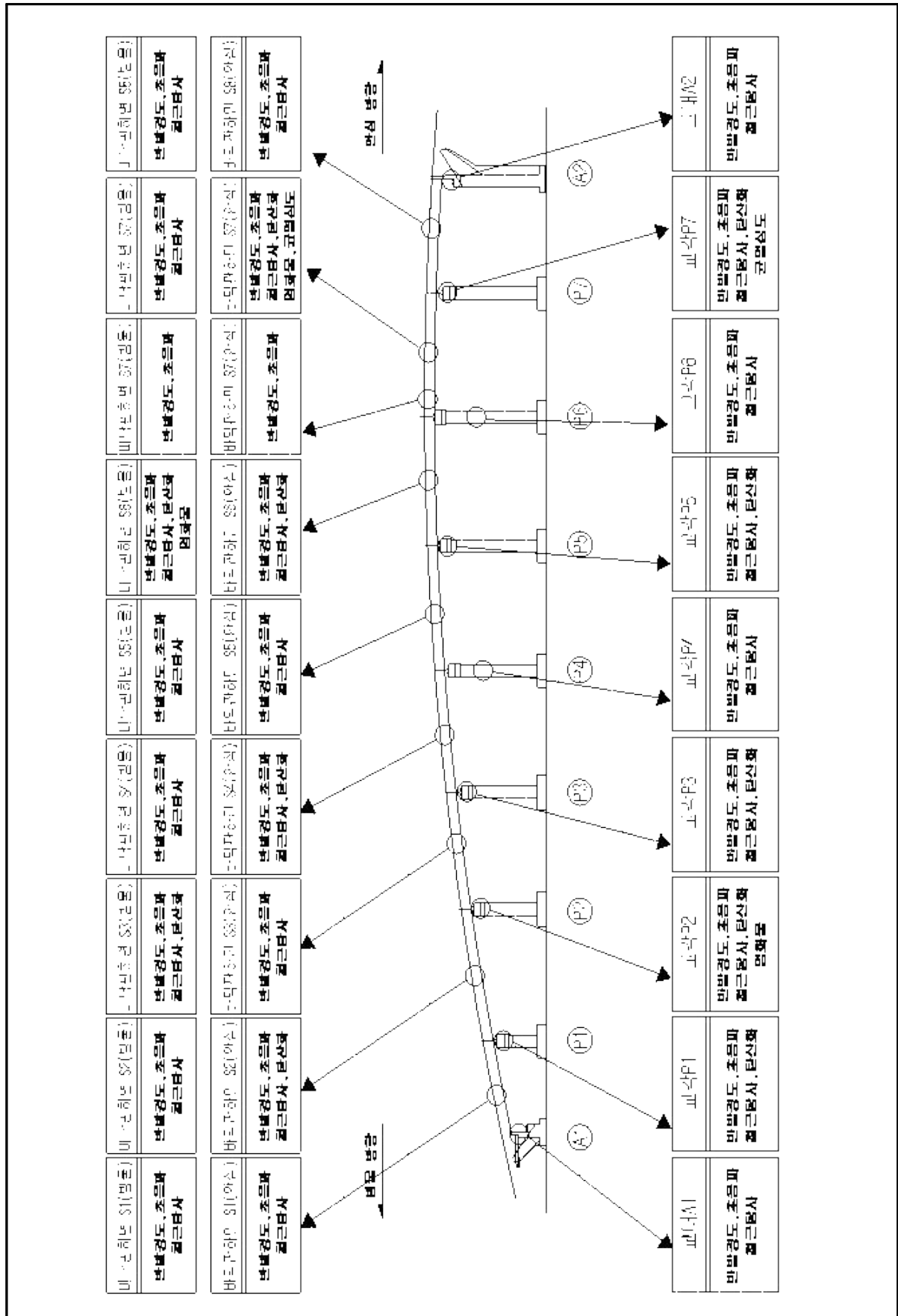
3.4.1 개요

본 과업의 내구성 조사를 위한 시험은 콘크리트 부재에 대한 강도 조사, 탄산화 시험, 철근 배근상태 조사와 강재에 대한 용접부 결함 조사 등을 수행하였으며 각 시험의 내용 및 결과는 다음 절에 상세히 기술하였다.

조사항목별 조사수량은 세부지침을 토대로 하여 관리주체와 협의하여 실시하였다.

<표 3.34> 부재별 내구성 조사 부위 총괄표

항 목	기준수량		수 량(개소)				비 고
	상부구조 (Steel Box)	하부구조	기준		실시		
			상부	하부	상부	하부	
반발경도 시 험	• 강합성교: 1개소/50m	• 1개소/연장50m • 교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	9	9	18	9	
초음파 전달속도시험	• 강합성교: 1개소/50m	• 1개소/연장50m • 교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	9	9	18	9	
철근탐사 시 험	• 강합성교: 1개소/50m	• 1개소/연장50m • 교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	9	9	18	9	
탄산화 깊이 측정	• 5경간 이상: 6~9개소 ¹⁾				6	5	
염화물 함유량시험	• 3개소 이상 ²⁾				2	1	
균열깊이 조 사	• 부재의 중요도를 고려하여 책임기술자의 판단에 따라 수 량 결정				1	1	
강재용접부 초음파탐상시험	• 박스거더교 : 2개소/경간별 거더				96	-	맞대기 용접부
강재거더 도막두께측정	• 박스거더교				36	-	
주1) 철근콘크리트 상부구조에서 최소 3개소 이상 실시							
주2) 철근콘크리트 상부구조에서 최소 1개소 이상 실시							



<그림 3.3> 콘크리트 내구성 조사 위치도

3.4.2 콘크리트 강도 조사

가) 시험 내용 및 평가 기준

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 타격하여 반발도(R)와 콘크리트 압축강도(F_c')와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다.

① 반발경도(R)

슈미트 해머로 경화된 콘크리트 표면의 타격시 내부에 충추의 반동량을 반발도(R)로 표시하며, 이 반발도의 크기에 따라 콘크리트의 압축강도를 추정한다.

외관조사 결과에 의해서 결정된 측정개소에 대해서 표면 평활작업을 하여 타격점 상호간의 간격은 3cm를 표준으로 종으로 5열, 횡으로 4열의 선을 그어 직교되는 20점을 타격하여 반발경도 값의 산술 평균값(R_m)을 구한다.

산술평균값 R_m 에 대해 RILEM Recommendation에 따라 각 반발경도의 값이 $R_m \pm 20\%$ 의 범위를 벗어나는 값들은 제외시키고 나머지 값들을 다시 산술평균하여 반발경도 R을 결정한다. 제외된 반발치가 4개 이상일 때는 측정지점의 반발경도값(R)은 버린다. 여기서 측정된 반발치의 값들이 많은 편차를 보이고 있으면 보편적으로 콘크리트의 품질이 불균질하다고 평가될 수 있을 것이다.

② 보정반발경도(R_0)

보정반발경도 R_0 은 다음 (식 3.1)과 같이 측정경도 R에 보정값 ΔR_1 및 ΔR_2 을 더한 값으로 한다.

$$R_0 = R + \Delta R_1 + \Delta R_2 \dots\dots\dots (식 3.1)$$

여기서, ΔR_1 : 타격방향에 따른 보정값

ΔR_2 : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정 값

● 타격 방향에 따른 반발경도의 보정(ΔR_1)

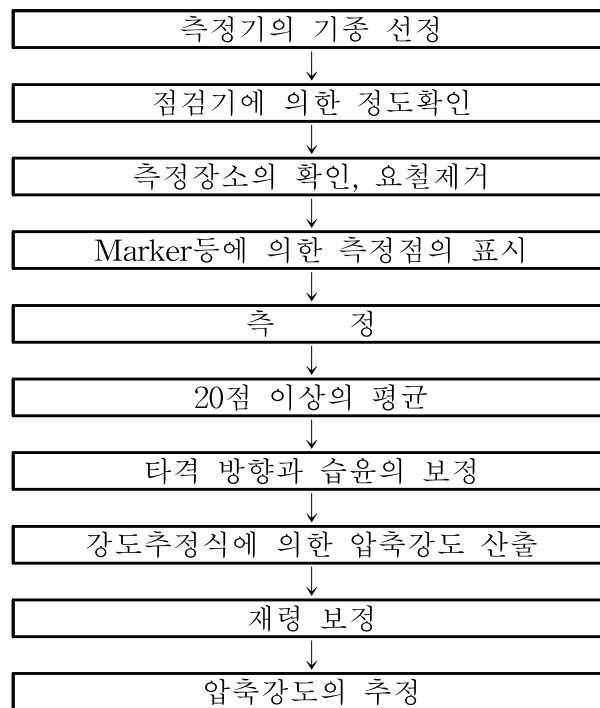
수평방향의 타격에 의한 측정치가 안정된 값을 나타내지만 타격방향이 다른 경우에는 반발치를 보정해 주어야 한다.

하향 타격(-90°)의 경우에는 Schmidt Hammer 내부의 해머중량에 의해서 실제보다 반동량이 작아지므로 +값으로 수정해 주고, 상향의 타격($+90^\circ$)의 경우에는 반대현상에 의해서 -값으로 수정해 주어야 한다.

<표 3.35> 타격방향에 대한 보정값

반발경도	보 정 값				비고
	+90°	+45°	-45°	-90°	
10			+2.4	+3.2	상향수직타격 +90° 하향수직타격 -90°
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	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7	

- 콘크리트의 습윤상태에 따른 반발경도 보정(ΔR_2)
 - 측정위치가 습하고 타격의 흔적이 보이는 경우 보정값 3을 더한다.
 - 측정위치가 완전히 젖어있는 경우 보정값 5를 더한다.



<그림 3.4> 반발경도법에 의한 압축강도 추정도

③ 압축강도의 추정

보정반발경도 R_0 로부터 압축강도(F_c)의 상관관계를 도출한 제안식들은 다음과 같다.

- 일본재료학회

$$F_c = -18.0 + 1.27 \cdot R_0 \text{ (MPa)} \dots\dots\dots (\text{식 } 3.2)$$

- 일본건축학회

$$F_c = (7.3 \cdot R_0 + 100) \times 0.098 \text{ (MPa)} \dots\dots\dots (\text{식 } 3.3)$$

④ 28일 강도의 추정

시일이 경과할수록 콘크리트 구조물은 표면경도가 높아지므로 (식 3.4)와 같이 재령 28일 강도(F_{28}')로 환산하여 압축강도를 추정한다. 콘크리트의 재령에 따른 압축강도 보정계수 α 는 <표 3.36>과 같으며, 3000일 이상의 재령에 대해서는 0.63을 적용한다.

$$F_{28}' = \alpha \cdot F_c \dots\dots\dots (\text{식 3.4})$$

<표 3.36> 재령계수 α 값

재령(일)	28	100	300	500	1000	3000
α	1.00	0.78	0.70	0.67	0.65	0.63

2) 초음파 탐사 시험

초음파의 투과속도가 콘크리트의 밀도 및 탄성계수에 따라서 변화하는 것을 이용하여, 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 수단으로써 이 방법을 사용하고 있다.

① 초음파법에 의한 압축강도의 추정

초음파 전달속도를 결정하기 위해서는 재료에서 초음파가 전달되는 거리를 미리 측정하고 장비상에 나타난 초음파 전달시간을 측정한 후 (식 3.5)에 의해서 구한다.

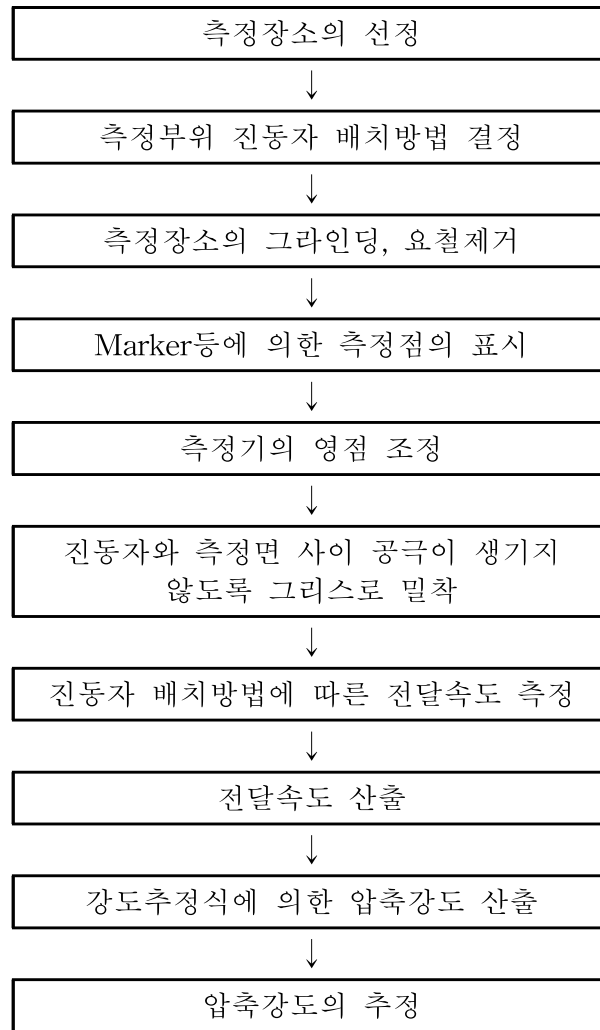
$$\text{전달속도} (Velocity) = \frac{\text{전달길이} (Path Length)}{\text{전달시간} (Transit Time)} \dots\dots\dots (\text{식 3.5})$$

초음파 탐사를 위한 탐촉자의 배열은 직접법, 반직접법 및 간접법이 있으며, 본 과업에서 간접법으로 구한 초음파 전달속도는 근사적으로 (식 3.6) 과 같은 관계가 있다.

$$V_d \approx 1.05 \cdot V_i \dots\dots\dots (\text{식 3.6})$$

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

V_i : 간접법(Indirect method)에 의한 초음파 속도



<그림 3.5> 초음파 속도법에 의한 압축강도 추정도

또, 간접법을 수행한 동일 조건의 구조물, 동일한 부위에서 채취한 코어의 종파(직접법)속도를 측정하여 현장에서 측정된 표면파(간접법)속도와 상관관계를 통한 초음파 전달속도를 근사적으로 환산하여 이용할 수 있다.

간접법은 일정거리를 등간격으로 떨어진 5점 이상의 측정점을 정하고 초음파의 전달거리(X_i)에 따른 전달시간(T_i)을 측정한다. 최소자승법에 의해서 회귀직선식을 구하여 그 기울기를 전달속도 V_i 로 한다.

회귀직선의 적정성 여부를 판단하기 위해서 회귀직선의 유의성(有意性) 검정에 사용되는 결정계수(Coefficient of determination)를 (식 3.7)에 의해 계산한다.

$$r^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{(\sum (X_i - \bar{X})(T_i - \bar{T}))^2}{\sum (X_i - \bar{X})^2 \sum (T_i - \bar{T})^2} \dots\dots\dots \text{(식 3.7)}$$

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

② 비파괴 강도의 추정

본 과업에서는 3점 이상의 회귀직선식에서 r^2 값이 99% 이상이 되는 회귀직선식만을 사용하여 전달속도 V_i 를 계산한다. 전달속도에 따른 콘크리트 압축강도의 추정을 위하여 초음파속도와 압축강도의 상관관계를 도출한 다음식을 사용한다.

- 일본건축학회

$$F_c' = (215 \cdot V_p - 620) \times 0.098 \text{ (MPa)} \dots\dots\dots \text{(식 3.8)}$$

- 일본재료학회

$$F_c' = (102 \cdot V_p - 117) \times 0.098 \text{ (MPa)} \dots\dots\dots \text{(식 3.9)}$$

여기서, F_c' : 콘크리트 강도 (MPa)

$$V_p : V_p = V_d \text{ 로써 } V_p \approx 1.05 \cdot V_i$$

3) 코어 압축강도 시험

이 방법은 현장에서 코어를 채취하여 이로부터 콘크리트의 압축강도를 추정하는 국부파괴시험으로 비파괴시험과는 구별되지만 구조물의 실제강도를 추정하는데 신뢰도가 가장 높다. 다만, 급회 진단에서는 구조물의 손상을 최소화 하기 위하여 철근배근 순간격이 100mm이상인 교대에서만 코어를 채취하여 시험하였다.

콘크리트의 각종 물성적, 역학적시험을 실시하며, 통상 비파괴시험에 의한 강도와 비교 분석한다.

① 압축강도 시험

- 코어 크기의 영향

콘크리트구조설계기준(KDS 14 20 01)에 의하면 콘크리트의 압축강도용 공시체는 $\phi 150 \times 300\text{mm}$ 를 기준으로 하므로 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 코어를 채취한 경우에는 강도보정계수 0.97을 곱하여 보정한다.

- 높이/직경비의 영향

채취된 코어 공시체로 KS F 2422에 준하여 압축강도시험을 한다. 코어 공시체의 높이/직경비(h/d)가 작아질수록 겉보기 압축강도는 커진다. 공시체 높이가 직경의 2배보다 작을 경우에는 시험으로부터 얻은 압축강도에 높이 보정계수를 곱하여 공시체의 높이가 직경의 2배가되는 코어 공시체의 압축강도로 환산한다.

<표 3.37> 압축강도의 보정계수

높이와 직경의 비(h/d)	보정계수(KS F 2422)	비 고
2.00	1.00	· h/d 가 중간값일 경우 직선 보간법을 이용하여 보정계수를 구한다.
1.75	0.98	
1.50	0.96	
1.25	0.93	
1.00	0.89	

- 매입철근 지름의 영향

코어를 가로지르는 철근이 있는 경우에는 시험결과, 5~10% 정도의 압축강도가 감소된다고 보고되고 있다. 코어 비트에 따라 약간의 차이가 있으나, 철근의 직경이 증가함에 따라 코어강도는 저하된다.

- 코어 채취 위치와 방향의 영향

코어는 일반적으로 구조물의 최상단에서 가장 낮은 강도를 갖고 밑으로 깊이가 커질수록 코어의 강도는 증가하지만 300mm 이상의 두께에서는 더 이상의 강도증가는 없는 것으로 보고되고 있다. 수평방향으로 코어를 채취하면 수직으로 채취한 경우보다 전형적으로 8%가량 강도가 감소한다는 사실이 실험적으로 입증되었다.

- 재령의 영향

실제의 구조물에서는 표준 공시체의 양생조건과 동일한 양생방법을 기대할 수 없기 때문에 콘크리트 구조물이 재령이 경과함에 따라 강도가 증가한다 할지라도, 표준 양생한 공시체의 28일 압축강도보다 항상 크지는 않다. 따라서, 현장 양생한 구조물의 코어강도는 표준 공시체의 28일 압축강도와 같게 보는 것이 일반적이며, 코어강도에 대해서는 재령에 대한 보정은 하지 않는다.

② 비파괴 강도·압축강도와의 보정계수

각종 비파괴강도를 이용하여 구조물의 전반적인 강도를 추정하는 경우에는 시험위치에서 채취한 코어강도를 이용하여 비파괴강도를 보정하는 것이 원칙이다. 따라서 부재 종류별로 코어 압축강도와 코어 또는 코어채취 위치에서 얻은 비파괴강도(반발경도법, 초음파법)간의 상관관계를 구하기 위하여 RILEM Recommendation Part 2 기준에 제시된 (식 3.10)을 사용하여 보정계수 C_t 를 구한다.

$$C_t = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{R_{pr}}{R_{st}} \dots\dots\dots (3.10)$$

여기서, C_t : 보정계수

R_{pr} : 코어압축강도 (MPa)

R_{st} : 비파괴강도 (MPa)

각 비파괴강도의 보정계수를 비교하여 가장 1.0에 근접하는 비파괴강도식을 선정하고, 이식으로 계산한 강도값에 보정계수를 곱한 강도를 구조물의 비파괴강도로 한다.

나) 시험결과 분석

콘크리트 비파괴 강도를 추정하기 위하여 반발경도시험과 초음파탐사시험을 상부구조 18개소, 하부구조 9개소의 동일위치에서 수행하였다.



<그림 3.6> 콘크리트 강도조사

1) 비파괴 시험법에 의한 압축강도

반발경도 측정은 R.C. Radar 로 철근의 위치를 조사하여 철근이 없는 부위를 선택한 후, 콘크리트 표면의 요철, 부착물, 분말 등을 그라인더로 제거한 후 실시하였으며 표면에 곰보, 공극, 노출된 자갈 등이 있는 부위들은 측정위치에서 제외했다. 또한, 반발경도 값은 각 측정부위에 따라 타격방향, 표면의 건습상태, 재령 등에 의한 보정을 한 후 콘크리트 강도를 추정하였다. 초음파탐사시험은 반발경도시험을 수행한 동일부위를 선정하여 그라인딩을 실시하고 구리스 도포를 한 후, 발신자와 수신자의 측정거리를 10cm간격으로 증가시키면서 간접법에 의한 초음파 전달속도를 측정하였으며, 이를 직접법 속도로 환산하였다.

본 과업에서 대상구조물의 콘크리트 비파괴 강도를 평가하기 위하여 반발경도법, 초음파속도법의 시험결과를 비교, 분석하여 그 결과를 다음 표에 나타내었다.

<표 3.38> 비파괴 시험에 의한 콘크리트 강도(상부구조)

(단위 : MPa)

시험위치				비파괴시험		반발경도법		초음파 속도법		설계 기준 강도
				반발경도 (R_0)	초음파속도 (V_d , mm/ μ s)	(식 3.2)	(식 3.3)	(식 3.8)	(식 3.9)	
상 부 구 조	바 닥 판	범 물	S1	51.9	4.366	30.2	29.6	31.2	32.2	27
			S2	52.4	4.234	30.5	29.8	28.4	30.9	
			S3	52.3	4.209	30.5	29.7	27.9	30.6	
			S4	48.1	4.218	27.2	27.9	28.1	30.7	
			S5	50.4	4.232	29.0	28.9	28.4	30.8	
			S6	48.4	4.171	27.3	28.0	27.1	30.2	
			S7(단부)	49.4	4.172	28.2	28.4	27.1	30.2	
			S7(중앙)	51.4	4.395	29.8	29.3	31.8	32.5	
			S8	49.9	4.193	28.6	28.7	27.6	30.4	
		안 심	S1	49.3	4.170	28.1	28.4	27.1	30.2	
			S2	51.3	4.295	29.7	29.3	29.7	31.5	
			S3	49.1	4.198	28.0	28.3	27.7	30.5	
			S4	48.8	4.242	27.7	28.2	28.6	30.9	
			S5	48.2	4.183	27.3	27.9	27.4	30.3	
			S6	51.7	4.183	30.0	29.5	27.4	30.3	
			S7(단부)	50.4	4.212	28.9	28.9	28.0	30.6	
			S7(중앙)	51.1	4.193	29.5	29.2	27.6	30.4	
			S8	50.5	4.190	29.1	28.9	27.5	30.4	

<표 3.39> 비파괴 시험에 의한 콘크리트 강도(하부구조)

(단위 : MPa)

시험위치			비파괴시험		반발경도법		초음파 속도법		설계 기준 강도
			반발경도 (R_0)	초음파속도 (V_d , mm/ μ s)	(식 3.2)	(식 3.3)	(식 3.8)	(식 3.9)	
하 부 구 조	교대	A1	47.1	4.060	26.3	27.4	24.8	29.1	24
		A2	48.1	4.088	27.1	27.9	25.4	29.4	
	교각	P1	47.3	4.101	26.5	27.5	25.7	29.5	
		P2	47.4	4.055	26.6	27.5	24.7	29.1	
		P3	48.0	4.096	27.0	27.8	25.5	29.5	
		P4	46.9	4.030	26.2	27.3	24.2	28.9	
		P5	47.8	4.099	26.9	27.7	25.6	29.5	
		P6	47.9	4.129	26.9	27.7	26.2	29.8	
		P7	49.0	4.056	27.9	28.3	24.7	29.1	

2) 코어 압축강도

2017년 정밀안전진단시 코어 채취를 하여 압축강도 시험을 하여 그 결과를 본 보고서에 참조하였으며, 시험결과는 아래 표와 같다.

<표 3.40> 보정 코어강도(2017년 정밀안전진단)

(단위 : MPa)

위치			시험압축강도(A)	설계기준강도(B)	$(A/B) \times 100(\%)$
연호 고가교	상부	S1	24.3	27.0	90
	하부	P1	36.7	24.0	153
		P4	36.8	24.0	153

3) 비파괴 강도의 추정

① 비파괴 강도 · 코어 압축강도와의 보정계수

콘크리트 비파괴 강도는 코어의 압축강도와 코어 채취부위에서 시행한 비파괴 시험 강도를 RILEM 추천식 Part2 기준의 (식 3.10)를 응용하여 상관계수를 구하고 상관도가 가장 좋은 압축강도 추정식에 의해서 압축강도를 추정하기로 한다. 다음 표는 코어강도를 이용하여 각 시험방법에 대한 보정계수를 구한 것이다.

<표 3.41> 보정계수의 결정

(단위 : MPa)

위치			보정 코어강도	구분	반발경도법		초음파 속도법	
					(식 3.2)	(식 3.3)	(식 3.8)	(식 3.9)
상부	범물	S1	24.3	비파괴 강도	30.2	29.6	31.2	32.2
	안심				28.1	28.4	27.1	30.2
하부	P1		36.7	비파괴 강도	28.1	28.4	27.1	30.2
	P4		36.8	비파괴 강도	27.7	28.2	28.6	30.9
보 정 계 수(C_t)					1.0506	1.0510	1.0588	1.1359

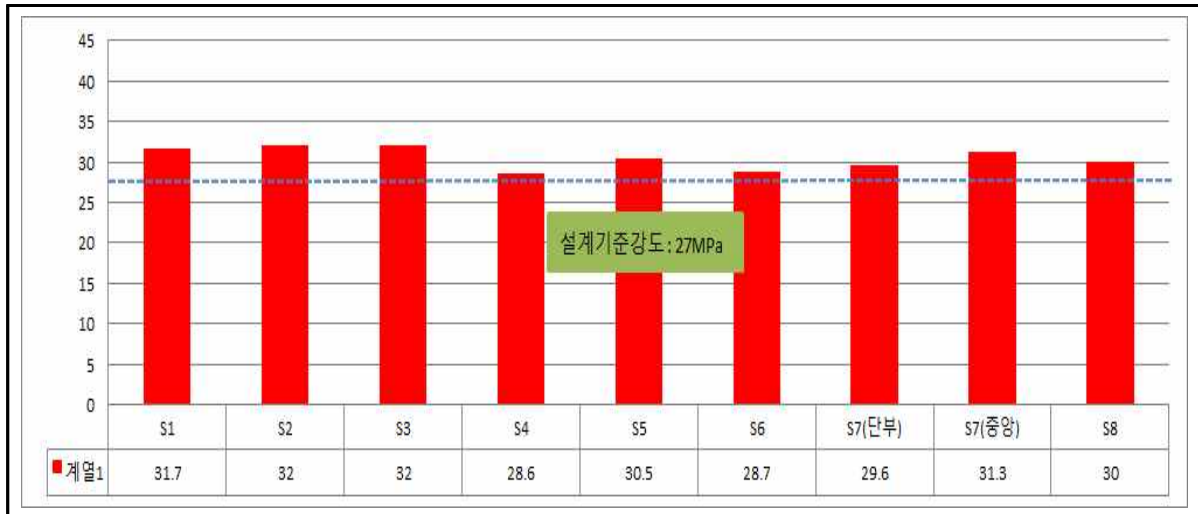
② 추정 비파괴 강도 조사 결과

위의 표와 같이 각 방법에 의해 보정계수를 구한 결과, 1.0에 가장 근접하는 비파괴 식인 일본재료학회(식 3.2)에 의한 강도 보정계수 값을 사용하여 비파괴강도를 추정하였다.

<표 3.42> 추정 비파괴 강도

(단위 : MPa)

시험위치				일본재료학회 (식 3.2)	코어 보정계수	추정 비파괴 강도	비고
상 부 구 조	바닥판	범물	S1	30.2	1.0506	31.7	
			S2	30.5	1.0506	32.0	
			S3	30.5	1.0506	32.0	
			S4	27.2	1.0506	28.6	
			S5	29.0	1.0506	30.5	
			S6	27.3	1.0506	28.7	
			S7(단부)	28.2	1.0506	29.6	
			S7(중앙)	29.8	1.0506	31.3	
		안심	S8	28.6	1.0506	30.0	
			S1	28.1	1.0506	29.5	
			S2	29.7	1.0506	31.2	
			S3	28.0	1.0506	29.4	
			S4	27.7	1.0506	29.1	
			S5	27.3	1.0506	28.7	
			S6	30.0	1.0506	31.5	
			S7(단부)	28.9	1.0506	30.4	
			S7(중앙)	29.5	1.0506	31.0	
			S8	29.1	1.0506	30.6	
하 부 구 조	교대		A1	26.3	1.0506	27.6	
			A2	27.1	1.0506	28.5	
	교각		P1	26.5	1.0506	27.8	
			P2	26.6	1.0506	27.9	
			P3	27.0	1.0506	28.4	
			P4	26.2	1.0506	27.5	
			P5	26.9	1.0506	28.3	
			P6	26.9	1.0506	28.3	
			P7	27.9	1.0506	29.3	



<그림 3.7> 콘크리트 강도조사 결과 (상부구조(범물방향))



<그림 3.8> 콘크리트 강도조사 결과 (상부구조(안심방향))



<그림 3.9> 콘크리트 강도조사 결과 (하부구조)

<표 3.43> 콘크리트 강도조사 결과

(단위 : MPa)

구분		시험방법	추정강도(A)	설계기준강도(B)	A/B×100(%)
연호고가교	상부	반발경도법 (일본재료학회)	28.6~32.0	27.0	105.9~118.5
	하부		27.5~29.3	24.0	101.9~108.5

상부구조는 28.6~32.0 MPa로 설계기준강도의 105.9~118.5% 수준이며, 하부구조는 27.5~29.3 MPa로 설계기준강도의 101.9~108.5% 수준으로 측정되었다.

따라서, 본 교량의 콘크리트 강도에는 문제가 없는 것으로 판단된다.

<표 3.44> 기 진단 및 정밀안전점검 콘크리트 강도조사 결과 비교

(단위 : MPa)

구분		2017년 진단	2021년 정밀	금회 진단	설계기준강도
연호고가교	상부	27.1~30.0	27.1~28.9	28.6~32.0	27.0
	하부	24.2~25.5	24.6~28.0	27.5~29.3	24.0

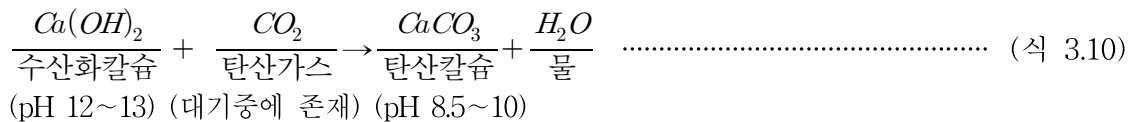
기 진단 및 정밀안전점검 결과와 비교한 결과, 측정위치가 상이하여 콘크리트 강도 범위의 차이가 다소 있으나, 전반적으로 설계기준 강도를 하회하는 지점은 없으므로 본 교량의 콘크리트 강도는 공용년수 경과에 따른 강도저하가 없는 것으로 판단된다.

3.4.3 탄산화 시험

가) 시험 내용 및 평가 기준

1) 개요

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 (식 3.10) 에서 시멘트의 수화 반응에서 생성되는 수산화칼슘 $[Ca(OH)_2]$ 은 pH 12~13정도의 강 알칼리성을 나타내지만 대기중에 포함되어 있는 약산성의 탄산가스(약 0.03%) 와 접촉하면 탄산칼슘과 물로 변화하고 탄산칼슘으로 변화한 부분의 pH 가 8.5~10 정도로 낮아지게 된다. 따라서, 콘크리트의 탄산화는 일반 환경 하에서도 확실하게 진행되기 때문에 매입된 철근의 부식에 따른 문제가 가장 기본적이며 중요하다.

콘크리트 내부의 pH 가 11 이상에서 철근은 표면에 1×10^{-6} mm 두께의 수산화물(γ - $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$) 부동태막을 형성하므로 산소 침입을 막아 철근의 부식을 방지하지만 탄산화에 의하여 pH 가 11 보다 낮아지면 부동태막이 파괴되면서 철근에 녹이 발생하게 된다. 이러한 녹은 원래 부피의 약 2.5배에서 최대 7배까지 팽창하고 녹의 팽창 압력에 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 표면에 균열, 박리, 박락 등을 초래하기 때문에 콘크리트 구조물의 내구성면에서 탄산화를 파악하는 것이 중요하다.

2) 탄산화 깊이의 측정

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

콘크리트 구조물에서의 탄산화 시험은 콘크리트 구조물에서 깎아낸 면에서 시험하는 경우, 코어 공시체를 이용하는 경우, 드릴을 이용하는 경우 등이 있으며 본 과업에서는 <그림 3.10>와 같이 $\phi 10\text{mm}$ 의 드릴링에 의해 채취되는 콘크리트 가루를 이용하여 탄산화 깊이를 시험하였으며 이 방법은 드릴링에 의해 발생하는 콘크리트 가루가 페놀프탈레인 용액을 적신 원형시험지에 떨어져 변색되는 시점을 탄산화 깊이로 정하고 있으며 pH 8.2~10.0 이상의 알칼리측에서 홍색으로 발색하며 중성측에서는 무색으로 나타나게 되는데, 탄산화 진행 깊이의 측정은 콘크리트 표면에서 발색점까지의 깊이를 깊이계, 버니어캘리퍼스 등으로 측정한다.

나) 시험결과 분석

콘크리트의 탄산화 깊이측정은 상부구조 5개소, 하부구조 6개소에서 드릴링 방법으로 수행하였으며 후술되는 철근탐사시험 결과와 비교·검토하였다.



<그림 3.10> 드릴에 의한 탄산화 깊이 측정

1) 시험결과 분석

경화 콘크리트의 탄산화 평가는 시멘트의 종류, 콘크리트의 품질 환경조건에 따라 다르지만 일반적으로 철근 피복두께 수치와 함께 <표 3.45>에 의한 기준(시설물의 안전 및 유지관리 세부지침, 2021. 12.)으로 나타낸다.

<표 3.45> 탄산화 상태평가 기준

기준	탄산화잔여깊이	철근부식의 가능성
a	◦ 30mm 이상	탄산화에 의한 부식발생 우려 없음
b	◦ 10mm 이상 ~ 30mm 미만	향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음
c	◦ 0mm 이상 ~ 10mm 미만	탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음
d	◦ 0mm 미만	철근부식 발생
e	-	-

현장에서 드릴링에 의한 탄산화 시험결과는 다음 <표 3.46>에 정리하였으며 (식 3.11)에 의해 향후 탄산화의 철근까지 도달기간을 추정하였다.

$$C = A \times \sqrt{t} \dots\dots\dots (식 3.11)$$

여기서, C : 탄산화 깊이(mm)

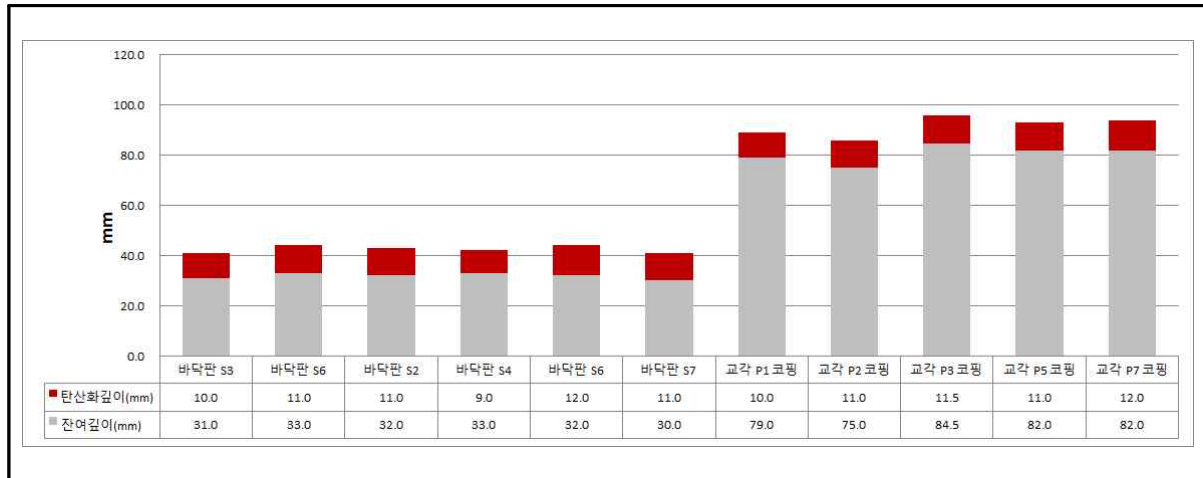
A : 탄산화속도 계수(mm/√년)

t : 재령(년)

<표 3.46> 탄산화 깊이 측정 결과

위치				탄산화 깊이 (mm)	실측 피복 두께 (mm)	잔여깊이 (mm)	상태 평가 기준	탄산화속도 계수 (A)	철근도달 기간(t _d) (잔존수명)	비고
연 호 고 가 교	상부 구조	바 닥 판	S3	10.0	41.0	31.0	a	2.236	316	드릴링
			S6	11.0	44.0	33.0	a	2.460	300	
		안 심	S2	11.0	43.0	32.0	a	2.460	286	
			S4	9.0	42.0	33.0	a	2.012	416	
			S6	12.0	44.0	32.0	a	2.683	249	
			S7	11.0	41.0	30.0	a	2.460	258	
	하부 구조	교 각	P1	10.0	89.0	79.0	a	2.236	1564	
			P2	11.0	86.0	75.0	a	2.460	1202	
			P3	11.5	96.0	84.5	a	2.571	1374	
			P5	11.0	93.0	82.0	a	2.460	1410	
			P7	12.0	94.0	82.0	a	2.683	1207	

단, 재령(t) = 16, 잔존수명예측(t_d) = (실측피복두께/탄산화속도계수)²-재령 (단위 : 년)



<그림 3.11> 탄산화 깊이 측정 결과

대상 구조물의 탄산화 진행정도를 검토한 결과, 탄산화 잔여깊이를 30mm이상 확보하고 있는 것으로 조사되어 평가결과 “a”등급으로 탄산화에 의한 내구성 저하는 없는 것으로 평가되었다.

2) 기 진단 및 정밀안전점검 결과와의 비교

<표 3.47> 기 진단 및 정밀안전점검 탄산화 깊이 결과 비교

구분			2017년 진단	2021년 정밀	금회 진단	비고
상행선	탄산화 깊이(mm)	상부구조	10.7~14.8	4.0~9.0	9.0~12.0	
		하부구조	8.5~11.8	6.0~8.0	10.0~12.0	

기 진단 및 정밀안전점검 결과와 비교한 결과, 상부 및 하부구조의 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 급격한 진전은 없는 양호한 상태로 확인되며, 탄산화 진행으로 인한 철근부식의 영향은 없는 것으로 판단된다.

3.4.4 철근탐사 시험

가) 시험 내용 및 평가 기준

철근 콘크리트 구조물에서 기존 구조물의 구조내력을 검토, 구조부재의 배근상태(철근직경, 배근간격, 피복두께 등)를 조사하기 위하여, 구조체를 손상시키지 않고 실시하는 비파괴 조사 방법으로 전자기유도 방식과 전자파레이더 방식 등이 있으며 본 과업에서는 전자파레이더 방식으로 수행하였다. 시험 결과는 준공도면의 배근상태와 비교·분석하였다.

1) 전자파레이더 방식

해당 물체 내에 송신된 전자파가 전기적 특성(유전율 및 전도율)이 다른 물질(철근, 매설물, 공동 등)의 경계에서 반사파를 일으키는 성질을 이용해 콘크리트 표면으로부터 내부를 향해 전자파를 안테나로부터 방사하여 목표물에서 반사해 온 신호를 안테나로 수신한 후 콘크리트 내부의 상태를 수직 단면도로 본체 표시기에 나타내어 준다.



<그림 3.12> 전자파 레이더법에 의한 철근탐사장비의 장치 구성도

나) 시험 결과 분석

철근의 피복두께가 부족할 경우 콘크리트의 탄산화 등에 따른 열화손상에 대한 저항성이 저하되어 내구성이 감소할 가능성이 있으며, 피복두께가 지나치게 큰 경우에는 강도감소 등을 수반할 우려가 있다. 철근탐사시험은 콘크리트 내에 배근되어 있는 실제 철근의 배근상태 및 피복두께를 비교·검토하기 위하여 실시하였으며, 본 시험에서는 R.C. Radar를 사용하여 전자파 레이더법으로 각 구조부재에 대하여 시험을 수행하였으며, 그 결과는 <표 3.48>에 나타내었다.

철근탐사 시험은 상부구조 18개소, 하부구조 9개소에서 수행하였다.



철근탐사

<그림 3.13> 철근탐사 시험

1) 시험결과 분석

<표 3.48> 철근탐사 시험 결과

위치			구분	배근간격(mm)		피복두께(mm)	
				설계값	실측값	설계값	실측값
상부 구조	범물 방향	S1	주근	125	132	40	52
		바닥판하면	배력근	120	104	40	44
		S2	주근	250	251	40	41
		바닥판하면	배력근	120	100	40	57
		S3	주근	250	248	40	41
		바닥판하면	배력근	120	105	40	44
		S4	주근	250	252	40	41
		바닥판하면	배력근	120	100	40	44
		S5	주근	250	254	40	47
		바닥판하면	배력근	120	103	40	52
		S6	주근	250	248	40	44
		바닥판하면	배력근	120	100	40	47
		S7	주근	250	252	40	49
		바닥판하면	배력근	120	105	40	47
		S8	주근	125	133	40	46
		바닥판하면	배력근	120	108	40	44
	안심 방향	S1	주근	125	117	40	42
		바닥판하면	배력근	120	118	40	44
		S2	주근	250	253	40	43
		바닥판하면	배력근	120	100	40	57
		S3	주근	250	246	40	52
		바닥판하면	배력근	120	103	40	55
		S4	주근	250	249	40	42
		바닥판하면	배력근	120	101	40	55
		S5	주근	250	250	40	44
		바닥판하면	배력근	120	104	40	57
		S6	주근	250	255	40	44
		바닥판하면	배력근	120	105	40	57
		S7	주근	250	259	40	41
		바닥판하면	배력근	120	106	40	44
		S8	주근	125	122	40	45
		바닥판하면	배력근	120	103	40	55

<표 3.48> 철근탐사 시험 결과(계속)

위치		구분	배근간격(mm)		피복두께(mm)	
			설계값	실측값	설계값	실측값
하부 구조	A1 교대 홍벽	수직근	125	127	50	56
		수평근	300	250	50	86
	A2 교대 홍벽	수직근	125	128	50	55
		수평근	300	250	50	52
	P1 교각 코핑	수직근	200	182	100	89
		수평근	300	265	100	94
	P2 교각 코핑	수직근	200	200	100	86
		수평근	300	243	100	89
	P3 교각 코핑	수직근	200	189	100	96
		수평근	300	256	100	96
	P4 교각 기둥	수직근	120	134	100	119
		수평근	150	307	100	84
	P5 교각 코핑	수직근	200	217	100	101
		수평근	300	293	100	93
	P6 교각 기둥	수직근	120	143	100	117
		수평근	150	150	100	119
	P7 교각 코핑	수직근	200	212	100	94
		수평근	300	300	100	100

본 과업 대상 교량에 대하여 전자파 레이더법으로 철근탐사를 수행하여 설계도면의 철근배근도와 비교한 결과, 배근간격은 구간별 시공오차를 고려하면 대체로 설계값과 일치하는 양호한 상태로 나타났다. 피복두께는 대체로 설계값을 만족하고 있으나 일부 지점에서 실측피복이 작거나 크게 측정되어 시공이 다소 미흡했던 것으로 판단된다.

2) 기 진단 결과와의 비교

<표 3.49> 기 진단 철근탐사 시험 결과 비교

구분				2017년 진단		금회 진단		비고
				배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
연 호 고 가 교	상부구조	바닥판	주근	233~252	32.0~42.5	117~259	41~52	
			배력근	-	-	100~118	44~57	
	하부구조	교대	수직철근	133~134	58.0~72.0	127~128	55~56	
			수평철근	-	-	250	52~86	
		교각 (기둥)	수직철근	125~152	75~145	134~143	117~119	
			수평철근	-	-	150~307	84~119	
		교각 (코핑)	수직철근	193~203	70~80	182~217	86~101	
			수평철근	-	-	243~300	89~100	

기 진단결과와 비교한 결과, 배근간격은 측정위치에 따른 편차가 있으나 설계 도면과 유사하게 측정되어 철근배근 상의 문제는 없는 것으로 판단되며, 피복두께는 기 진단결과와 마찬가지로 일부구간에서 작거나 크게 시공된 것으로 확인되었다.

3.4.5 염화물 함유량 시험

가) 시험 내용 및 평가 기준

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 방동대책으로써 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 예로써는 ① 깨끗이 세척하지 않은 바다 모래의 사용, ② 경화 촉진제로써 염화칼슘(CaCl_2)의 사용, ③ 염화칼슘(CaCl_2)을 주체로 한 조강형 AE제의 사용, ④ 혼화수로써 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 염화물으로써 판정되어진다.

강재 위치에 대한 염화물 이온의 강재 부식발생 한계농도는 콘크리트 단위용적당 양으로써 $0.3 \sim 1.2\text{kg/m}^3$ 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 되어있다. 촉진시험과 실제 환경에서 얻어지는 한계농도의 차이는 시험 공시체와 실제 구조물의 덮개나 물-시멘트비의 차이 그리고 촉진시험 시에 설정되는 고온환경 등 온도의 영향이라고 생각된다.

‘시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 (2021. 12.)’ 및 콘크리트 표준시방서 내

구성조사편에서는 경화콘크리트의 경우 전염화물 기준으로 실제 환경의 노출실험 결과 하한치인 1.2kg/m^3 을 강재 부식발생 한계농도로써 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

굳지 않은 콘크리트의 경우는 철근의 부식을 방지하기 위하여 0.3kg/m^3 이하로 규정

② 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 (2021. 12.)

<표 3.50> 염화물 상태평가 기준

기준	전염화물 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 부식발생 가능성 높음
d	◦ 염화물 $\geq 2.5\text{kg/m}^3$	철근 부식발생
e	-	-

나) 시험결과 분석

염화물 함유량 시험은 3개소(상부구조 2개소, 하부구조 1개소)에서 깊이별로 시료(분말)을 채취하여 시험을 실시하였다.



<그림 3.14> 염화물 시료 채취

1) 시험결과 분석

염화물 함유량 시험 결과, 콘크리트 표면에서 철근 피복에 가까워질수록 그 양이 감소하는 양상으로 측정되었다. 이는 공용 중 제설작업 시 살포하는 염화칼슘이 콘크리트 표면에 부착되어 나타나는 현상으로 판단되며, 염화물은 철근 부식에 영향을 미치는 열화요인으로 이에 대한 상태평가는 철근피복 깊이에 가까운 값을 측정값으로 이용하였다.

염화물 함유량은 측정 전 개소에서 0.3kg/m^3 이하로서 상태평가기준 'a'로 평가되었으며, 염화물에 의한 철근 부식이 발생할 우려가 없는 것으로 판단된다.

<표 3.51> 염화물 함유량 시험 결과

위치				깊이 (mm)	염화물 함유량		등급	염화물 상태평가 기준
					Cl ⁻ (%)	Cl ⁻ (kg/m ³)		
연 호 고 가 교	상 부 구 조	범 물	S6 바닥판 하면	0~10	0.0043	0.0973	a	판정결과 a : 염화물 ≤ 0.3 b : $0.3 < \text{염화물} < 1.2$ c : $1.2 \leq \text{염화물} < 2.5$ d : 염화물 ≥ 2.5 e : -
				10~20	0.0024	0.0543	a	
				20~30	0.0010	0.0226	a	
		안 심	S7 바닥판 하면	0~10	0.0044	0.0996	a	
				10~20	0.0030	0.0679	a	
				20~30	0.0015	0.0339	a	
	하 부 구 조	P2 교각		0~20	0.0037	0.0837	a	
				20~40	0.0034	0.0769	a	
				40~60	0.0015	0.0339	a	

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

2) 기 진단 결과와의 비교

<표 3.52> 기 진단 염화물 함유량 시험 결과 비교

구분			2017년 진단	금회 진단	비고
연 호 고 가 교	염화물 함유량 (kg/m ³)	상부구조	0.4526	0.0226~0.0339	
		하부구조	0.0634	0.0339	

기 진단결과와 비교한 결과, 상부 및 하부구조의 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 급격한 진전은 없는 양호한 상태로 확인되며, 염화물에 의한 철근부식의 영향은 없는 것으로 판단된다.

3.4.6 균열 깊이 측정

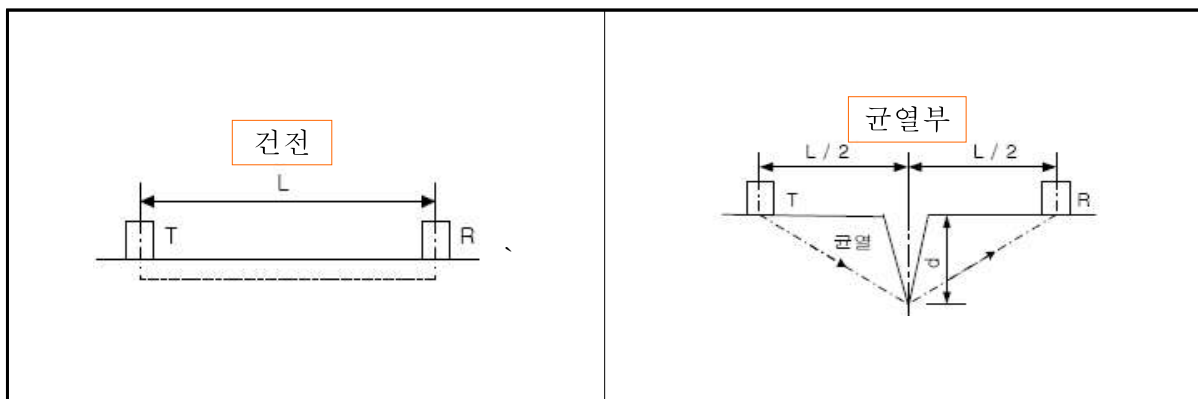
가) 시험 내용 및 평가 기준

균열 깊이를 측정하기 위한 기본은 초음파의 발·수신자를 균열 부근에 설치하여 검출되는 파의 종류(종파, 횡파, 표면파) 및 검출항목(전파시간, 주파수, 위상 등)에 따라 많은 방법이 제안되고 있으나 일반적으로 Tc-To 법이 많이 이용되며, 본 과업에서도 Tc-To 법을 적용한다.

Tc-To 법의 원리는 종파용 발·수신자를 균열 개구부를 중심으로 등간격 L/2(=x)으로 설치하여 균열선단부를 회절한 초음파의 전파시간 Tc 를 구한다. 또한, 부근의 균열이 없는 부분에서 발·수신자를 똑같이 거리 L(=2x) 만큼 설치하여 전파시간 To 를 구하여, 균열깊이를 추정한다.

균열면이 콘크리트의 표면과 직각으로 발생되어 있으며, 균열 주위의 콘크리트는 어느 정도 균질한 것이라고 가정하여 유도한 것으로 측정된 Tc-To 로 부터 다음 식을 적용하여 균열의 깊이를 구한다.

$$C = \frac{L}{2} \sqrt{\frac{(T_c^2)}{(T_o^2)} - 1} \dots\dots\dots (식 3.12)$$



<그림 3.15> Tc-To법에 의한 탐촉자 배치 및 균열깊이 측정방법

균열깊이 측정위치는 일반적으로 녹물의 용출, 철근방향의 균열 등 손상이 현저한 경우 그 부분을 조사대상으로 한다. 손상이 현저하지 않은 경우 해당 구조물을 대표하는 위치, 응력상 문제가 되는 위치 등을 조사위치로 한다.

나) 시험여부

대상 교량의 바닥판 및 교각에서 균열폭 0.1~0.2mm 균열 중 임의로 대표손상을 선정하였으며, 초음파속도를 이용하여 균열깊이 측정을 실시하였다.

<표 3.53> 균열깊이 측정결과

위치		균열폭 (mm)	전달거리 (mm)	초음파 전달시간 (μSec)		균열깊이 (mm)	설계 피복두께 (mm)	비고
				건전부 (To)	균열부 (Tc)			
연호 고가교	바닥판 S7 (안심방향)	0.1	150	33.0	45.2	14.1	41.0	
	교각 P7	0.2	150	34.4	52.4	17.2	94.0	

균열깊이 측정결과, 상부구조 균열깊이 14.1mm, 하부구조 균열깊이 17.2mm로 측정되어 조사부위의 피복 두께 내의 표면균열로 검토되었으며, 균열에 의한 구조물 손상이나, 철근부식 등의 내구성 저하는 조사되지 않았다.

3.5 강재 내구성 조사

3.5.1 초음파 탐상 시험(UT)

가) 시험 내용 및 평가 기준

1) 개요

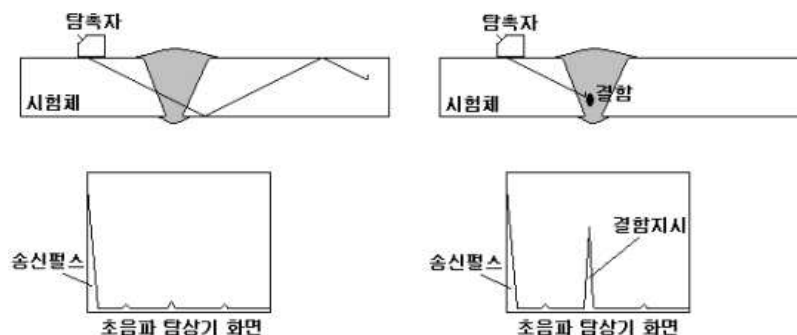
초음파 탐상 시험은 고주파수(20,000Hz 이상)의 음파 즉, 초음파를 검사할 매질내로 전파시켜 시험체 내의 내부결함을 검출하는 비파괴검사법의 하나이다.

초음파법의 종류는 크게 수직법과 사각법으로 구분되며, 수직법은 탐촉자와 시험체의 접촉면에 수직방향으로 초음파를 전파시키는 검사방법으로 통상적으로 판재 및 봉재, 주·단강품 결함 검사와 부재의 부식두께 측정 등에 이용되며, 사각법은 시험체에 임의의 일정각으로 초음파를 전파시켜서 검사하는 방법으로 주로 강구조물 용접부 검사에 적용된다.

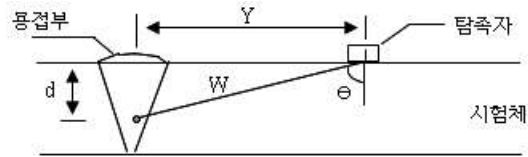
2) 방법(사각법)

일반적으로 강교 용접부의 사각탐상에서는 주로 용접부 내부에 존재하는 기공, 슬래그, 융합불량, 용입부족 등의 결함과 균열에 대한 조사가 실시되고 있으며, 방법은 시험체에 탐촉자를 놓고, 진동자에서 발생한 초음파 펄스를 시험체 중으로 진행시킨다. 초음파 펄스의 진행방향에 결함이 없으면 초음파는 <그림 3.16>의 좌측과 같이 시험체 내를 진행하다가 소멸되고, 결함이 있으면 <그림 3.17>의 우측과 같이 반사한 초음파 펄스가 탐촉자로 되돌아와서 수신된다. 이것을 브라운관상에서 펄스신호로 표시하여 관찰 분석함으로써 결함의 존재 및 위치를 알아내어 평가할 수 있다.

본 시험에서는 70°로 초음파를 입사하였다.



<그림 3.16> 초음파 탐상 시험 원리



$$\text{계산식 } Y = W \cdot \sin\theta$$

$$d = W \cdot \cos\theta$$

여기서, Y : 입사점-결함거리

d : 결함깊이

W : 초음파 이동거리

θ : 입사각(70°)

<그림 3.17> 초음파 탐상(사각법) 시험 개요도

3) 특성

- ① 금속의 조직검사에 유용하다. (라미네이션, 미세한 불연속부의 검출, RT로는 검사가 어려운 매우 두꺼운 주물의 검사)
- ② RT와는 달리 작업자의 안전관리상 문제가 없다.
- ③ 즉석으로 결함유무를 판단할 수 있어 신속하다.
- ④ 검사대상물의 모양에 많은 제한이 있다. (형상이 복잡하거나, 너무 얇아도 결함 검출이 어렵다.)
- ⑤ 금속자체의 조직에 따라 영향을 많이 받는다.
- ⑥ 표면결함의 검출이 어렵다.

4) 평가

초음파 탐상 검사 방법 및 결함 지시에 대한 등급분류는 <표 3.54>에 있는 한국산업규격 KS B 0896 ‘강 용접부의 초음파 탐상 시험 방법 및 시험결과의 등급 분류방법’의 등급분류표를 적용하였다.

<표 3.54> 결함의 등급 분류

영역	결함의 크기(mm)					
	M검출 레벨은 III, L검출 레벨은 II와 III			IV		
판두께 등급	18 이하	18 초과 ~ 60 이하	60 초과	18 이하	18 초과 ~ 60 이하	60 초과
1급	6 이하	t/3 이하	20 이하	4 이하	t/4 이하	15 이하
2급	9 이하	t/2 이하	30 이하	6 이하	t/3 이하	20 이하
3급	18 이하	t 이하	60 이하	9 이하	t/2 이하	30 이하
4급	3급을 초과하는 것					

5) 판정기준

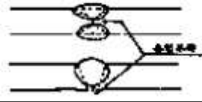
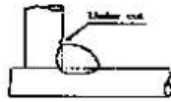
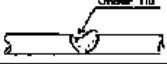
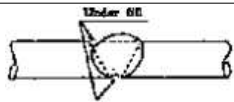
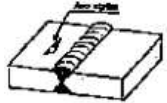
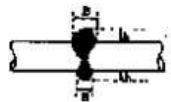
강도로교 용접 및 도장요령(1998, 건설교통부)에 의거하여 합·부를 판정하였다.

<표 3.55> 용접부 결함의 합·부 판정기준

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

나) 용접부에 발생하는 결함

<표 3.56> 용접부에 발생하는 대표적인 결함

결 합 내 용	설 명	비 고
균열 Crack	용접부의 작은 단면에 걸리는 하중이 금속의 응력값을 초과할 때 발생한다. 균열은 모재 또는 용접금속에서도 나타나며 다른 결함, Notch 등과 함께 나타나기도 한다.	
용합부족(LF) Lack of fusion	그림과 같이 용접 금속과 모재사이가 완전하게 용합이 되지 아니한 상태.	
용입부족(IP) Incomplete Penetration	그림과 같이 용융금속의 두께가 모재두께 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	용융금속이 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 수분의 존재에 의하여 발생된 가스가 용접비드 표면에 빠져 나오면서 발생된 작은 구멍.	
용접 Bead 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 알갱이를 말한다.	
슬래그 혼입 Slag Inclusion	용접봉 피복 등이 용접 금속내에 혼입된 상태. 용접 내부의 슬래그는 강도를 저하시키며, 표면의 슬래그는 도장박리의 원인이 됨.	

다) 시험결과 분석



거더내부 맞대기 용접부 초음파 탐상 시험

<그림 3.18> 초음파 탐상(사각법) 시험

본 교량의 거더 내부 하부플랜지의 맞대기용접부에 대하여 초음파탐상시험으로 조사한 결과, 총 96개소 모두 'KS B 0896'의 판정기준에 의거 불합격 결함은 조사되지 않았다.

교량 부위별 시험 내용은 다음 <표 3.57>과 같다.

<표 3.57> 맞대기 용접부 경간별 결함 내역(UT)

구분		하부플랜지				
		결함 유	결함 무	결함종류	합 · 부 판정	결함발생 현황
연 호 고 가 교	G1-S1-P1		○	ND	합	결함없음
	G1-S1-P2		○	ND	합	결함없음
	G1-S2-P3		○	ND	합	결함없음
	G1-S2-P4		○	ND	합	결함없음
	G1-S3-P5		○	ND	합	결함없음
	G1-S3-P6		○	ND	합	결함없음
	G1-S4-P7		○	ND	합	결함없음
	G1-S4-P8		○	ND	합	결함없음
	G1-S5-P9		○	ND	합	결함없음
	G1-S5-P10		○	ND	합	결함없음
	G1-S6-P11		○	ND	합	결함없음
	G1-S6-P12		○	ND	합	결함없음
	G1-S7-P13		○	ND	합	결함없음
	G1-S7-P14		○	ND	합	결함없음
	G1-S8-P15		○	ND	합	결함없음
	G1-S8-P16		○	ND	합	결함없음

※ 결함 - PO : Porosity(기공), CR : CRACK(균열), IP : Incomp Pene.(용입 불량), LF : Lack of Fusion(용합 불량), ND : 결함없음

<표 3.57> 맞대기 용접부 경간별 결함 내역(UT)(계속)

구분		하부플랜지				
		결함 유	결함 무	결함종류	합 · 부 판정	결함발생 현황
연 호 고 가 고	G2-S1-P1		○	ND	합	결함없음
	G2-S1-P2		○	ND	합	결함없음
	G2-S2-P3		○	ND	합	결함없음
	G2-S2-P4		○	ND	합	결함없음
	G2-S3-P5		○	ND	합	결함없음
	G2-S3-P6		○	ND	합	결함없음
	G2-S4-P7		○	ND	합	결함없음
	G2-S4-P8		○	ND	합	결함없음
	G2-S5-P9		○	ND	합	결함없음
	G2-S5-P10		○	ND	합	결함없음
	G2-S6-P11		○	ND	합	결함없음
	G2-S6-P12		○	ND	합	결함없음
	G2-S7-P13		○	ND	합	결함없음
	G2-S7-P14		○	ND	합	결함없음
	G2-S8-P15		○	ND	합	결함없음
	G2-S8-P16		○	ND	합	결함없음
	G3-S1-P1		○	ND	합	결함없음
	G3-S1-P2		○	ND	합	결함없음
	G3-S2-P3		○	ND	합	결함없음
	G3-S2-P4		○	ND	합	결함없음
	G3-S3-P5		○	ND	합	결함없음
	G3-S3-P6		○	ND	합	결함없음
	G3-S4-P7		○	ND	합	결함없음
	G3-S4-P8		○	ND	합	결함없음
	G3-S5-P9		○	ND	합	결함없음
	G3-S5-P10		○	ND	합	결함없음
	G3-S6-P11		○	ND	합	결함없음
	G3-S6-P12		○	ND	합	결함없음
	G3-S7-P13		○	ND	합	결함없음
	G3-S7-P14		○	ND	합	결함없음
	G3-S8-P15		○	ND	합	결함없음
	G3-S8-P16		○	ND	합	결함없음
	G4-S1-P1		○	ND	합	결함없음
	G4-S1-P2		○	ND	합	결함없음
	G4-S2-P3		○	ND	합	결함없음
	G4-S2-P4		○	ND	합	결함없음
	G4-S3-P5		○	ND	합	결함없음
	G4-S3-P6		○	ND	합	결함없음
	G4-S4-P7		○	ND	합	결함없음
	G4-S4-P8		○	ND	합	결함없음

※ 결함 - PO : Porosity(기공), CR : CRACK(균열), IP : Incomp Pene.(용입 불량), LF : Lack of Fusion(융합 불량), ND : 결함없음

<표 3.57> 맞대기 용접부 경간별 결함 내역(UT)(계속)

구분		하부플랜지				
		결함 유	결함 무	결함종류	합 · 부 판정	결함발생 현황
연 호 고 가 교	G4-S5-P9		○	ND	합	결함없음
	G4-S5-P10		○	ND	합	결함없음
	G4-S6-P11		○	ND	합	결함없음
	G4-S6-P12		○	ND	합	결함없음
	G4-S7-P13		○	ND	합	결함없음
	G4-S7-P14		○	ND	합	결함없음
	G4-S8-P15		○	ND	합	결함없음
	G4-S8-P16		○	ND	합	결함없음
	G5-S1-P1		○	ND	합	결함없음
	G5-S1-P2		○	ND	합	결함없음
	G5-S2-P3		○	ND	합	결함없음
	G5-S2-P4		○	ND	합	결함없음
	G5-S3-P5		○	ND	합	결함없음
	G5-S3-P6		○	ND	합	결함없음
	G5-S4-P7		○	ND	합	결함없음
	G5-S4-P8		○	ND	합	결함없음
	G5-S5-P9		○	ND	합	결함없음
	G5-S5-P10		○	ND	합	결함없음
	G5-S6-P11		○	ND	합	결함없음
	G5-S6-P12		○	ND	합	결함없음
	G5-S7-P13		○	ND	합	결함없음
	G5-S7-P14		○	ND	합	결함없음
	G5-S8-P15		○	ND	합	결함없음
	G5-S8-P16		○	ND	합	결함없음
	G6-S1-P1		○	ND	합	결함없음
	G6-S1-P2		○	ND	합	결함없음
	G6-S2-P3		○	ND	합	결함없음
	G6-S2-P4		○	ND	합	결함없음
	G6-S3-P5		○	ND	합	결함없음
	G6-S3-P6		○	ND	합	결함없음
	G6-S4-P7		○	ND	합	결함없음
	G6-S4-P8		○	ND	합	결함없음
	G6-S5-P9		○	ND	합	결함없음
	G6-S5-P10		○	ND	합	결함없음
	G6-S6-P11		○	ND	합	결함없음
	G6-S6-P12		○	ND	합	결함없음
	G6-S7-P13		○	ND	합	결함없음
	G6-S7-P14		○	ND	합	결함없음
	G6-S8-P15		○	ND	합	결함없음
	G6-S8-P16		○	ND	합	결함없음

※ 결함 - PO : Porosity(기공), CR : CRACK(균열), IP : Incomp Pene.(용입 불량), LF : Lack of Fusion(융합 불량), ND : 결함없음

3.5.2 도막두께 측정

가) 시험 내용 및 평가 기준

1) 개요

강재에 있어서 도장의 상태 및 도막의 두께는 구조물의 내구성능을 판단하는 기준이 된다. 도장막의 부족은 강재의 부식을 촉진시키고 결과적으로 내구성능을 저하시키는 요인으로 작용한다. 본 측정은 강거더의 도막두께를 측정하여 현재의 도장상태를 확인하고 내구성능의 저하여부를 판단하고자 실시하였다.

① 시험장비

ELCOMETER

② 시험방법

도막두께는 도막두께 Gauge 를 사용하여 일정한 Standard 두께를 가진 필름에 교정한 후 강재에 기 도장된 부위의 두께를 측정하는 것이다.

Gauge 를 이용한 측정법은 다음과 같다.

- Wet Thickness Gauges

도료가 굳지 않은 상태에서 도장막 두께를 측정하는 방법으로 비교적 오차가 크고 도료의 종류에 따라 조금씩 방법이 달라지는 단점이 있다.

- Dry Film Thickness Gauges

도장막을 통과시킨 자력 또는 저항값 감소율을 측정하여 도장두께를 산출하는 방법이며, 접촉식으로 Probe를 도장막 표면에 접촉시키면 디지털 혹은 아날로그 방식으로 두께가 표시된다. 현재 가장 많이 사용되는 장비이다.

- Tooke Scratch Gauges

정해진 각도의 칼날로 도장막을 직선으로 긁어 잘려진 면의 단면길이를 휴대용 현미경으로 도장막을 측정하는 방법이다.

③ 측정기준

일반적으로 강교에 사용되는 도장계열은 일반환경과 특수환경에 따라 다르게 시공되며 일반환경용에도 재래식 도장과 중방식 도장으로 구분되고 특수환경용 도장은 우레탄계마감 중방식 도장과 자연건조형 불소수지 마감 중방식 도장 등 다양한 재료를 이용한 도장이 실시되고 있다.

대상 구조물의 주요 구조부재인 거더 외부의 도장은 폴리우레탄계 내후성중방식, 내부는 에폭시계마감으로 실시되었으며, 그 내용은 다음과 같다.

<표 3.58> 일반환경용 도장(중방식 마감)

구분	도장 계열	고정		도료명칭 또는 방법	도막두께 (μm)	도장횟수	비고
교 량 외 부	GEB	1차 표면처리		SSPC SP10			
		전처리 프리미어		무기질 아연말 샵프라이머	20	1	
		2차 표면처리		SSPC SP10			
		공장 도장	제1중	무기질 아연말도료	75	1	
			제2중	미스트 코트	60	1	
			제3중	염화고무계 도료		1	
		공장도장/ 현장도장	제4중	염화고무계 도료	60	1	
계			195				
교 량 내 부	GIB	1차 표면처리		SSPC SP10			
		전처리 프리미어		무기질 아연말 샵프라이머	20	1	
		2차 표면처리		SSPC SP10			
		공장 도장	제1중	무기질 아연말도료	75	1	
			제2중	미스트 코트	75	1	
			제3중	역청질계 도료		1	
		계			150		



<그림 3.19> 도막두께 측정

나) 시험결과 분석

도막두께 측정은 거더 내부 18개소, 거더 외부 18개소에서 5 Spot씩 각 개소당 5회 반복 측정하였으며, 조사결과는 아래와 같다. 거더 내부의 도막두께는 200~289 μm , 외부는 275~332 μm 로 측정되었다. 일반 환경용 중방식 도장계열 기준과 비교할 때 거더 내·외부 모두에서 기준 도막두께(내부 150 μm , 외부 195 μm) 이상의 두께를 확보하고 있는 상태이다.

<표 3.59> 도막두께 측정 결과

시험위치				Spot 평균값(μm)					평균값(μm)	판정기준(μm)	평가	비고
				1	2	3	4	5				
거더 내부	범물 방향	S1	G1	237	238	226	228	232	232	150	만족	
			G2	224	226	222	219	227	224		만족	
			G3	238	248	244	242	247	244		만족	
		S4	G1	234	248	239	239	242	240		만족	
			G2	238	234	232	233	233	234		만족	
			G3	256	265	259	266	259	261		만족	
		S8	G1	242	243	249	247	239	244		만족	
			G2	199	198	203	200	199	200		만족	
			G3	201	202	211	208	208	206		만족	
	안심 방향	S1	G1	245	244	251	252	241	247		만족	
			G2	252	262	258	255	257	257		만족	
			G3	273	277	283	276	279	278		만족	
		S4	G1	283	285	280	279	283	282		만족	
			G2	272	278	268	274	272	273		만족	
			G3	265	269	261	258	259	262		만족	
		S8	G1	292	288	293	285	287	289		만족	
			G2	264	272	265	274	270	269		만족	
			G3	270	274	271	276	266	271		만족	
	거더 외부	범물 방향	S1	G1	287	285	292	293	295	195	만족	
				G2	288	287	295	292	286		만족	
				G3	287	288	284	282	296		만족	
		S4	G1	303	312	307	308	306	307		만족	
			G2	322	321	314	318	318	319		만족	
			G3	288	276	282	279	279	281		만족	
		S8	G1	297	304	311	315	314	308		만족	
			G2	288	282	289	286	278	285		만족	
			G3	276	282	282	279	289	282		만족	
	안심 방향	S1	G1	277	276	268	282	274	275		만족	
			G2	288	295	292	281	295	290		만족	
			G3	301	299	303	292	295	298		만족	
		S4	G1	270	282	288	276	278	279		만족	
			G2	315	322	316	317	319	318		만족	
			G3	311	314	308	315	315	313		만족	
		S8	G1	294	292	299	297	296	296		만족	
			G2	334	325	331	334	335	332		만족	
			G3	311	305	299	297	306	304		만족	

다) 기 진단 결과와의 비교

<표 3.60> 기 진단 도막두께 측정 결과 비교

구분			2017년 진단	금회 진단	비고
연호 고가교	도막두께 측정 (μm)	거더 내부	208~292	175~209	
		거더 외부	262~345	194~303	

기 진단결과와 비교한 결과, 측정위치에 따른 편차가 있으나 거더 내·외부 모두에서 기준 도막두께(내부 150 μm , 외부 195 μm) 이상의 두께를 확보하고 있는 양호한 상태로 확인되었다.

3.6 내구성 조사 결과요약

3.6.1 금회 진단 내구성 조사 결과요약

<표 3.61> 금회 진단 내구성 조사 결과요약

시험명	시험부위		시험 결과		검토 의견	
비파괴 강도 (MPa)	보정 코어강도		상부 24.3, 하부 36.7~36.8		설계기준 대비 상부구조는 105.9~118.5%, 하부구조는 101.9~108.5%로 콘크리트 강도에는 문제가 없는 것으로 판단됨	
	보정 계수의 결정		반발경도법(1.0506)			
	상부구조 (설계기준 : 27MPa)		28.6~32.0			
	하부구조 (설계기준 : 24MPa)		27.5~29.3			
탄산화 깊이 (mm)	상부구조	진행깊이	9.0~12.0		실측 피복두께 대비 탄산화 잔여 깊이가 30mm 이상으로 측정되어 탄산화에 의한 부식이 발생할 가능성이 없는 'a'등급으로 평가됨	
		잔여깊이	30.0~33.0			
	하부구조	진행깊이	10.0~12.0			
		잔여깊이	75.0~84.5			
철근탐사 (배근간격/ 피복두께) (mm)	상부 구조	바닥판	주근	117~259	41~52	배근간격은 대체로 설계값과 일치하는 양호한 상태로 측정되었으며, 피복두께는 대체로 설계값을 만족하고 있으나 일부 구간의 경우 실측 피복이 다소 부족한 것으로 조사됨
			배력근	100~118	44~57	
	하부 구조	교대	수직철근	127~128	55~56	
			수평철근	250	52~86	
		교각 (기둥)	수직철근	134~143	117~119	
			수평철근	150~307	84~119	
		교각 (코핑)	수직철근	182~217	86~101	
			수평철근	243~300	89~100	
염화물 함유량시험 (kg/m³)	상부구조		0.0226~0.0339		'a'등급으로 평가되어 염화물에 의한 철근 부식이 발생할 우려가 없는 것으로 판단됨	
	하부구조		0.0339			
균열깊이 측정	상부구조	Cw=0.1mm	14.1		실측 피복두께 초과하지 않음	
	하부구조	Cw=0.2mm	17.2			
초음파 탐상시험	거더 내부		96개소 양호		판정기준에 의거 불합격 결함은 조사되지 않았음	
도막두께 측정 (μm)	거더 내부		175~209		전반적으로 기준 이상의 두께를 확보하고 있는 상태임	
	거더 외부		194~303			

3.6.2 기 진단 및 정밀안전점검 내구성 조사 결과와의 비교

<표 3.62> 기 진단 및 정밀안전점검 내구성 조사 결과 비교

시험명	시험부위			2017년 진단		2021년 정밀		금회 진단		비고
비파괴 강도 (MPa)	보정 코어강도			24.3(상부) 33.7~42.7(하부)		-		24.3(상부) 33.7~42.7(하부)		추정식, 측정 위치에 따른 편차로 인해 정밀한 비교가 어려우나 전반적으로 강도상에는 문제가 없는 상태로 판단됨
	보정 계수의 결정			일본재료학회 (1.0506)		-		일본재료학회 (1.0506)		
	상부구조 (설계기준: 27MPa)			27.1~30.0		27.1~28.9		28.6~32.0		
	하부구조 (설계기준: 24MPa)			24.2~25.5		24.6~28.0		27.5~29.3		
탄산화 깊이 (mm)	상부구조		진행 깊이	10.7~14.8		4.0~9.0		9.0~12.0		측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 급격한 진전은 없는 양호한 상태로 확인되며, 탄산화 진행으로 인한 철근부식의 영향은 없는 것으로 판단됨.
			잔여 깊이	20.5~41.2		28.0~36.0		30.0~33.0		
	하부구조		진행 깊이	8.5~11.8		6.0~8.0		10.0~12.0		
			잔여 깊이	62.7~67.0		70.0~76.0		75.0~84.5		
철근탐사 (배근간격/ 피복두께) (mm)	상부구조	바닥판	주근	233~252	32.0~42.5	-	-	117~259	41~52	배근간격은 측정위치에 따른 편차가 있으나 설계 도면과 유사하게 측정되어 철근배근 상의 문제는 없는 것으로 판단되며 피복두께는 기 진단 결과와 마찬가지로 일부구간에서 작거나 크게 시공된 것으로 확인됨
			배력근	-	-	-	-	100~118	44~57	
	하부구조	교대	수직 철근	133~134	58.0~72.0	-	-	127~128	55~56	
			수평 철근	-	-	-	-	250	52~86	
		교각 (기둥)	수직 철근	125~152	75~145	-	-	134~143	117~119	
			수평 철근	-	-	-	-	150~307	84~119	
		교각 (코핑)	수직 철근	193~203	70~80	-	-	182~217	86~101	
			수평 철근	-	-	-	-	243~300	89~100	
염화물 함유량시험 (kg/m³)	상부구조			0.4526		-		0.0226~0.0339		측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 급격한 진전은 없으며, 염화물에 의한 철근부식의 영향은 없는 것으로 판단됨
	하부구조			0.0634		-		0.0339		
균열깊이 (균열깊이/ 피복두께) (mm)	상부구조			-		-		14.1 (Cw=0.1mm)		실측 피복두께 초과하지 않음
	하부구조			-		-		17.2 (Cw=0.1mm)		
초음파 탐상시험	거더			양호: 96개소		-		양호: 96개소		전반적으로 양호함
도막두께 측정 (μm)	거더 내부			208~292		-		175~209		전반적으로 양호함
	거더 외부			262~345		-		194~303		

