제 3 장 현장조사 및 시험

3.1 개요

3.2 외관조사

3.3 콘크리트 내구성조사

3.4 강재 내구성조사

3.5 현장조사 및 시험 결과요약

제 3 장 현장조사 및 시험

3.1 개요

3.1.1 대상구조물의 개요

등원육교는 경기도 파주시 조리읍 등원리 일원에 위치하고 있는 설계하중 DB/DL-24의 도로교량으로, 2006년 06월에 준공되어 약 15년 정도 공용된 1종 시설물이다.

본 교량은 5경간으로 경간구성은 40+3@50.0+40=230.0m로 이루어져 있으며, 상부구조는 STB형식이며, 하부구조는 교대는 역T형, 교각은 구주식으로 시공되어 있다. 신축이음장치는 A1, A2에 Rail JOINT형식으로 총 2개소가 설치되어 있으며, 교량받침은 납면진 받침으로 시공된 것으로 확인되었다.

3.1.2 현장조사 개요

진단대상 교량의 외관조사는 손상현황 및 결함의 상태를 파악하여 시설물의 건전성을 저해시키는 위험요인을 사전에 발견하여 보다 적절한 보수대책 수립을 위한 기본 자료를 얻기 위함이며, 현장조사는 도보조사, 점검통로, 점검차량 등 접근장비를 이용하여 대상 부위에 가능한 근접하여 조사를 실시하였다.

현장조사는 정밀 육안관찰을 기본으로 하여 실시하였으며, 필요한 경우 균열게이지, 균열확대경, 줄자 등을 이용하고 카메라를 이용하여 손상위치를 파악하였다.

외관조사와 더불어 Schmidt Hammer, 콘크리트 초음파시험기, RC-RADAR(철근탐사기) 등의 비파괴 장비를 이용하여 측정부위에 구조적인 영향이나 파괴 없이 구조물의 물적 특성을 조사하였다.

외관조사 시 손상 또는 결함의 정도는 육안이나 간단한 도구에 의하여 실시하였는바, 조사자의 주관적인 판단에 의해 발생되는 차이를 최소화하기 위하여『시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침(국토교통부고시 제2020-869호)』,『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2021.12, 국토교통부/국토안전관리원)』을 기준으로 평가하였으며, 구조물에 발생된 손상의 정도는 a~d 4단계, a~e 5단계로 분류하여 적용하였고, 점검항목의 체계화를 위하여 구조물 항목별로 평가를 실시하였다.

3.1.3 현장조사 진행방향

【표 3.1】 현장조사 진행방향

구 분	조사내용	비고
답사 및 예비조사	•현장조사 여건파악, 부재별 조사방법 및 접근장비 계획 •주변 상태변화 파악 •이력사항 검토를 통하여 부재별 주요 결함, 보수·보강 부재, 부위 파악 •결함, 손상의 발생 원인을 추정하고 조사방향 결정 •조사인원 구성, 진단장비, 교통통제 계획 및 유관기관 협의, 기타 일정 계획	–
본조사	•바닥판, 거더, 교대, 교각 등 주부재 손상 보수여부, 균열, 열화 및 손상 •교량받침, 신축이음장치 보수여부, 외관 및 기능상태 육안점검, 측정 •교면 아스콘포장 보수여부, 주행로 균열, 열화 및 손상 발생여부 •배수시설 상태변화 및 기능상태 •난간, 연석 손상 보수여부, 열화 및 손상 •콘크리트 및 강재 부재 내구성조사 ⇒ 상기사항을 중점 점검하여 손상의 원인을 판단하고, 원인에 따른 적정한 보수·보강방안 및 범위, 효율적인 유지관리방안 제시	–

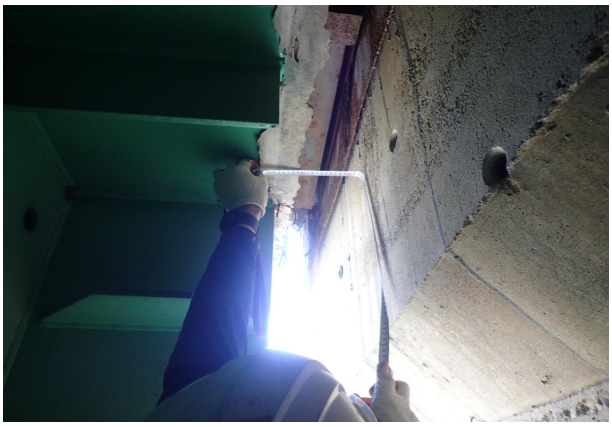
【표 3.2】 현장조사 기간

구 분	일 시	조사내용	수행자
예비조사	2021. 07. 01 ~ 07. 02	현장답사, 구조물 현황조사	황인선 외 10명
1차 현장조사	2021. 08. 01 ~ 08. 20	외관조사	
2차 현장조사	2021. 11. 03 ~ 11. 04	재하시험	
3차 현장조사	2021. 12 .07 ~ 12. 08	외관조사, 비파괴시험	
4차 현장조사	2022. 01. 18	거더내부 추가조사, 강재 비파괴시험	

3.1.4 교량 점검 및 접근방법

본 교량은 통일로 및 등원교차로를 횡단하는 시설물로 교량상면은 도보를 이용하여 실시하였고, Steel Box Girder 외측, 바닥판 하면, 교각 코핑부, 교량받침 등 접근이 어려운 부재는 점검로 및 고소 점검차량을 이용하였다.

도보를 이용한 외관조사



점검로를 이용한 외관조사

고소점검차를 이용한 외관조사

【그림 3.1】 외관조사 전경

3.1.5 일반적 부재별, 손상별 발생원인 및 조사방향

【표 3.3】 일반적 부재별, 손상별 발생원인 및 조사방향

손상내용		발생원인	조사방향
교면포장	신축이음 후타재 균열, 파손 등	■ 중차량 통과 ■ 노후화 및 시공불량	■ 발생위치 및 규모
바닥판 하면	횡방향 균열	■ 건조수축에 의한 균열	■ 균열폭, 방향 및 연속성 ■ 균열부 누수, 백태 유무
	망상균열	■ 건조수축에 의한 균열	■ 균열폭, 방향 및 연속성 ■ 균열부 누수, 백태 유무
	누수, 백태	■ 교량상면 균열	■ 구체를 통한 누수 여부
교대, 교각	균열	■ 건조수축에 의한 균열 ■ 수화열에 의한 균열 ■ 시공이음부 균열	■ 균열폭, 방향 및 연속성 ■ 균열의 시·종점
철근 비노출 손상 (재료분리, 박리, 박락, 들뜸 등)		■ 다짐불량 ■ 인위적인 손상 ■ 탄산화로 인한 내부철근 부식	■ 발생 규모 및 위치 ■ 청음조사
철근 노출 손상 (재료분리, 파손, 박락 등)		■ 피복두께 부족 ■ 내부철근 부식으로 인한 피복박리 ■ 인위적인 큰 단면 손상	■ 발생 규모 및 위치 ■ 청음조사 ■ 부식으로 인한 철근단면 감소 여부
교량받침	가동 여유량 부족 및 밀착 발생 등	■ 온도변화를 정확히 미고려함 ■ 시공오차에 따른 가동 여유량 부족	■ 현 가동여유량 조사 ■ 발생 위치 및 개소 ■ 2차 손상 발생 유무
	연단부 및 받침 콘크리트 파손	■ 교량받침 가동불량에 따른 전단파괴	■ 교각 연단부 균열발생 여부 및 받침부 강재 변형여부 관찰
	고정앵커 볼트 미조임, 길이부족 설치불량 등	■ 볼트 나사선 청소불량 ■ 앵커 볼트 편심 시공 ■ 제작오차로 인한 조임시 하답과 밀착	■ 발생 위치 및 개소 ■ 2차 손상 발생 유무
	녹 및 부식	■ 오랜 공용기간으로 인한 도장열화 ■ 신축이음부 누수	■ 발생 위치 및 개소
	무수축 몰탈 균열 및 들뜸	■ 시공불량 ■ 건조수축에 의한 균열	■ 발생 규모 및 위치 ■ 청음조사

3.1.6 하중상태 등 단면제원 측정

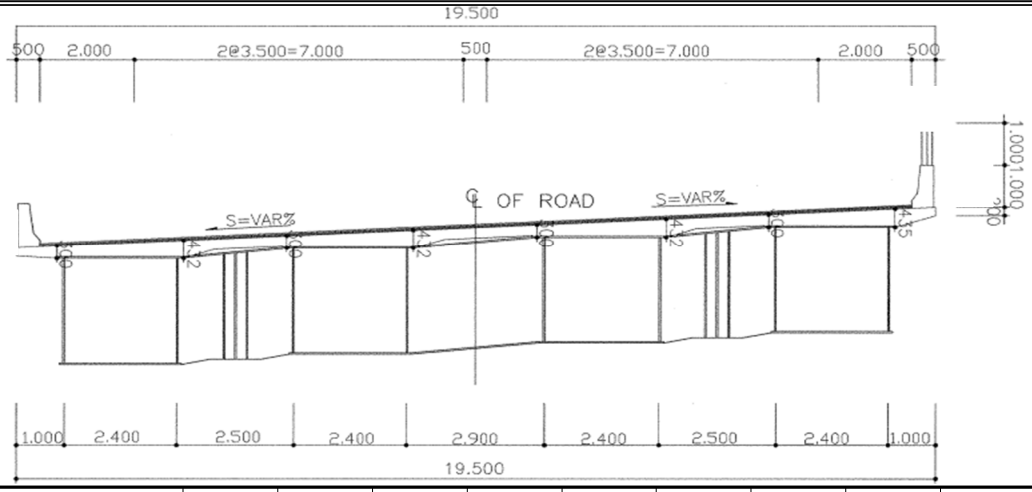
가. 하중상태 변화

본 교량의 시공관련자료(시공/보수/보강도면) 및 보수·보강 이력, 준공도면 등의 자료를 토대로 현장조사 시 상부의 하중상태를 조사하고 부재의 제원을 측정한 결과, 준공 이후 시설물의 용도변경 또는 구조변경은 없어 하중상태의 변화는 없는 것으로 확인되었다.

나. 부재제원 확인

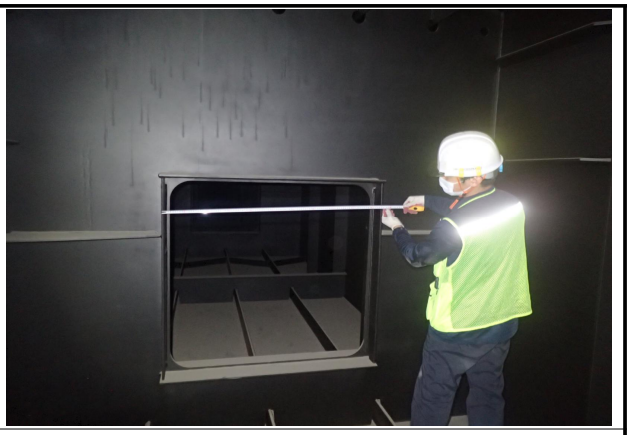
등원육교의 부재제원 확인을 위해 조사 가능한 부재에 대하여 실측하였으며, 이를 준공도와 비교·검토하여 주요 부재의 규격을 확인하였고, 그 결과는 다음과 같다.

상부구조 단면제원 조사결과



구분		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
S1, S5	설계값(㎜)	500	1000	1000	2400	2400	2400	2400	1000	1000	500
	실측값(㎜)	503	1004	998	2401	2400	2399	2400	1002	998	497
	설계치 대비(㎜)	+3	+4	−2	1	0	−1	+0	−2	−2	−3

교면포장 전경



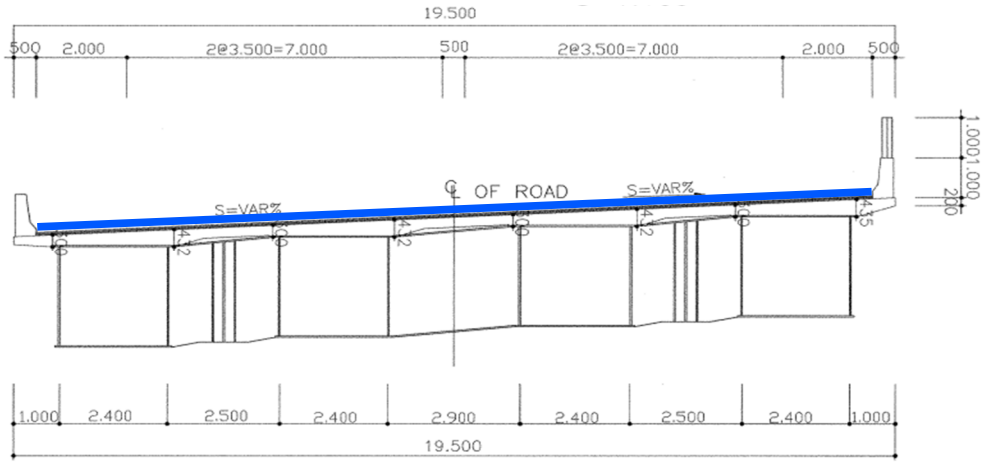
거더 내부 전경

3.2 외관조사

3.2.1 교면포장

가. 현황

등원육교의 포장면은 왕복 4차선(B=20.0m)의 아스콘 포장으로 시공되어 있으며, 포장면의 균열, 포장면 마모, 파손 등 빈번히 발생할 수 있는 손상들의 위주로 근접 육안점검을 실시하였다.



< 횡 단 면 도 >

교면포장 전경

【그림 3.2】교면포장 전경

나. 외관조사결과

·교면포장 외관조사 결과, 부분적인 재포장이 실시된 것으로 확인되었으며, 국부적으로 포장 망상균열, 포장 소성변형, 포트홀, 접속부 포장파손 등이 조사되었다.

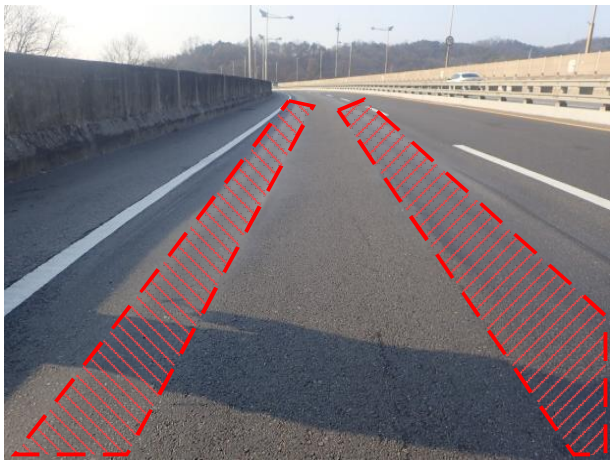
현 황	아스콘 소성변형(5.0m×0.3m)
위 치	S1 교면포장

현 황	아스콘 망상균열(30.0m×2.0m)
위 치	S3 교면포장

현 황	포트홀(0.2m×0.2m)
위 치	S3 교면포장

현 황	아스콘 망상균열(15.0m×2.0m)
위 치	S4 교면포장

현 황	재포장 상태양호
위 치	S5 교면포장



현 황	아스콘 소성변형(40.0m×0.3m, 2EA)
위 치	S5 교면포장

【표 3.4】 교면포장 및 보도부 손상물량

구분	ASP 망상균열 (㎡/개소)	ASP 소성변형 (㎡/개소)	ASP 포트홀 (㎡/개소)	접속부포장파손 (㎡/개소)	비고
S1	–	1.5 / 1	–	0.3 / 1	
S2	30.0 / 1	–	–	–	
S3	60.0 / 1	6.5 / 2	0.04 / 1	–	
S4	30.0 / 1	1.5 / 1	–	–	
S5	–	24.0 / 2	0.03 / 2	–	
합 계	**120.0 / 3**	**33.5 / 6**	**0.07 / 3**	**0.3 / 1**	

다. 기 점검(2019년) 결과와 비교

교면포장에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 기 점검 이후 부분적인 재포장이 실시된 것으로 확인되었으며, 반복적인 중차량 통행 및 공용년수 증가 등에 의한 ASP 망상균열, 포트홀이 증가된 것으로 분석되었다.

【표 3.5】 교면포장 기 점검 비교 물량

위치	손상내용	발생원인	단위	기 점검		금회 진단		증,감 (↑,↓)
				개소	물량	개소	물량	
교면포장	ASP 망상균열	차륜하중, 공용증가	㎡	6	1.54	3	120.0	↑ 118.46
	ASP 소성변형	차륜하중, 시공미흡	㎡	11	70.1	6	33.5	↓ 36.6
	포트홀	차륜하중, 시공미흡	㎡	–	–	3	0.07	↑ 0.07
	접속부 포장파손	차륜하중, 공용증가	㎡	3	0.96	1	0.3	↓ 0.66

라. 손상원인 및 대책

1) ASP 망상균열

- ASP 망상균열은 준공 이후 현재 15년의 공용기간 경과함에 따라 반복된 차량의 통행으로 발생된 것으로 현재 주행차량의 안전성 및 교량의 내구성에 문제를 야기하는 손상은 없는 것으로 확인되어 지속적인 주의관찰 후 장기적인 계획을 수립하여 전면재포장을 실시하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

2) 포트홀

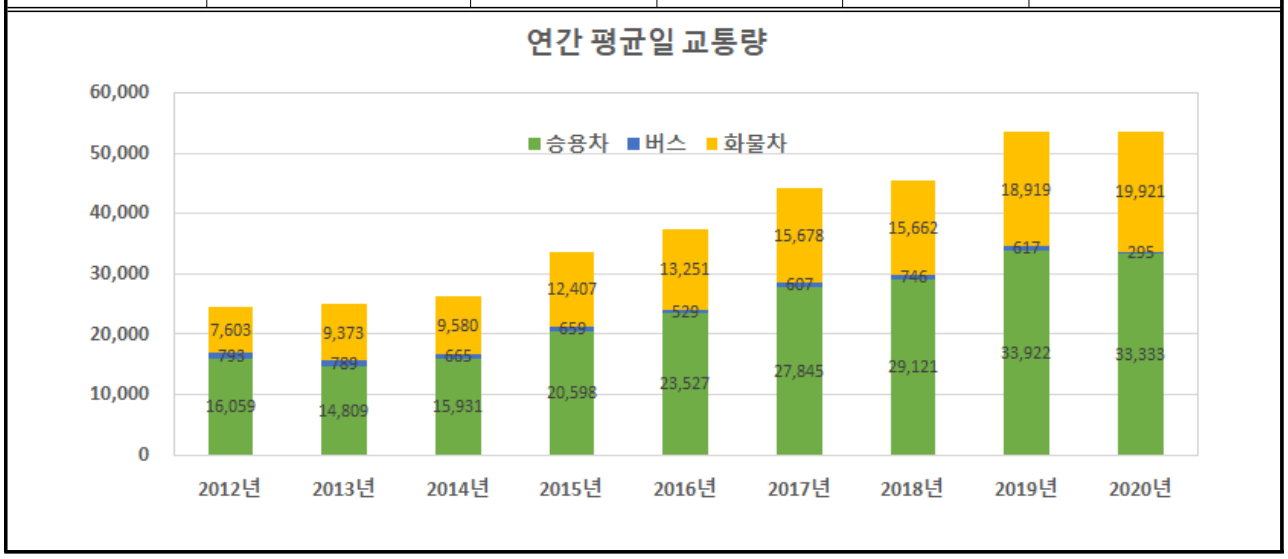
▪ 그 외 국부적으로 발생된 포트홀은 중차량통행, 초과하중, 반복하중, 아스팔트 혼합물의 품질부족 등의 복합적인 원인으로 판단되며, 이로 인한 바닥판 열화는 조사되지 않았으나, 차량통행에 영향을 줄 수 있으므로 패칭보수가 필요한 것으로 판단된다.

3) 교통량 분석

▪ 교통량 분석결과, 등원육교는 2012년 ~ 2020년의 일일 평균 교통량이 24,455대에서 53,549대로 2배 이상 증가하였고, 연간 교통량 증가량은 연평균 3,636대로 꾸준히 증가하고 있는 것으로 분석되었으며, 이 중 버스와 화물차 등의 중차량 비중은 약 30%~40%를 차지하고 있는 것으로 분석되었다.

【표 3.6】 연간 교통량 분석

년도	평균일 교통량(대)	승용차(대)	중차량		연간교통량 증가량(대)
			버스(대)	화물차(대)	
2012년	24455	16,059	793	7,603	–
2013년	24971	14,809	789	9,373	516
2014년	26176	15,931	665	9,580	1,205
2015년	33664	20,598	659	12,407	7,488
2016년	37307	23,527	529	13,251	3,643
2017년	44,130	27,845	607	15,678	6,823
2018년	45,529	29,121	746	15,662	1,399
2019년	53,458	33,922	617	18,919	7,929
2020년	53,549	33,333	295	19,921	91

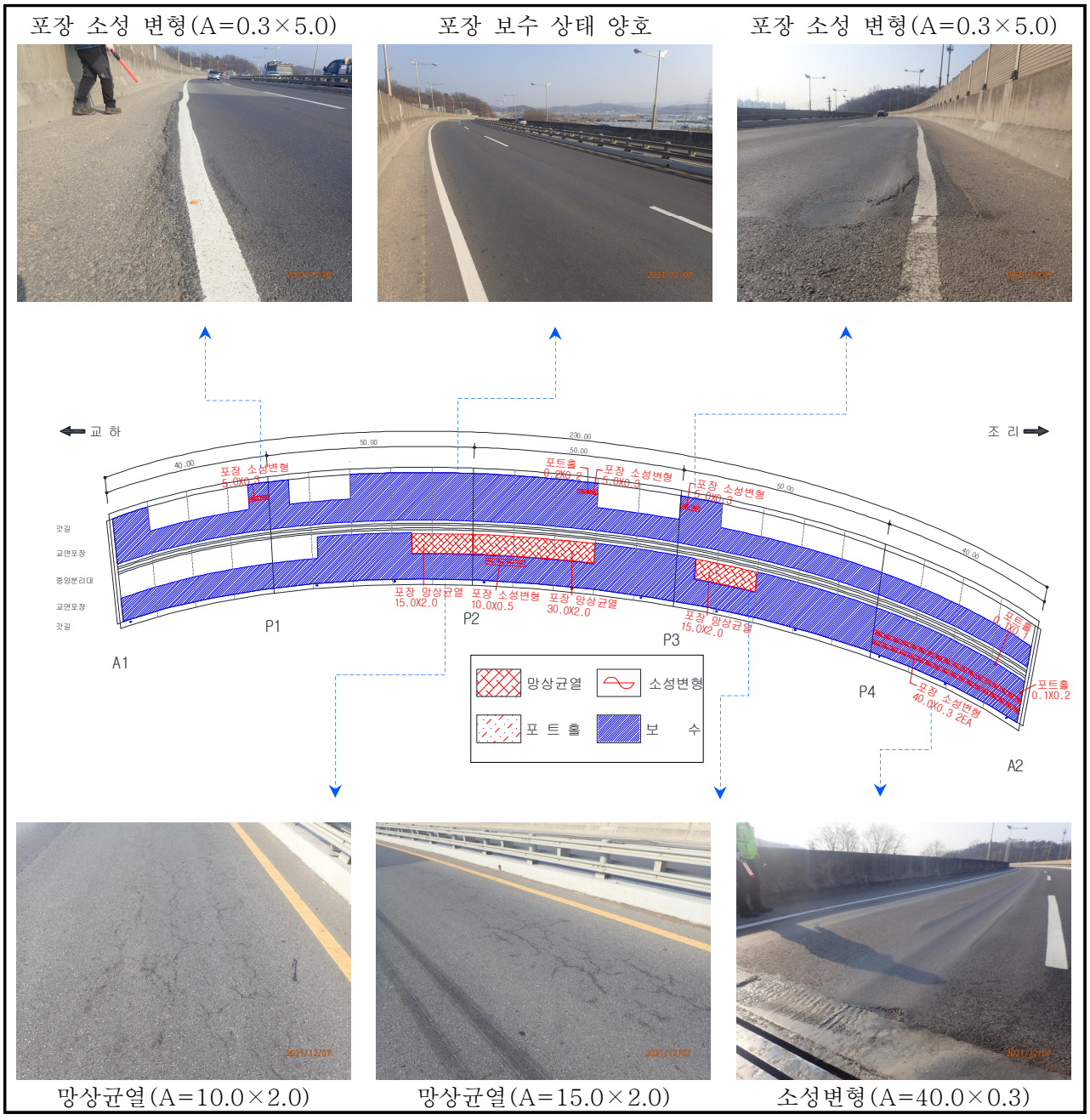


※ 출처 : 국토교통부 교통량정보제공 시스템

4) ASP 소성변형

▪ ASP 소성변형은 주로 중차량 통행이 잦은 2차로에서 발생하였는데, 특히 조리방향 S5의 종점부에서 집중적으로 발생하였다. S5는 종구배상 내리막길(−3.1667%)이며, 평면상으로는 곡선구간(R=450.0)에 해당하는데, 중차량의 반복적인 통행으로 인한 차륜하중과 곡선구간 주행 시 급제동에 의해 포장면의 변형을 초래하는 것으로 판단된다.

따라서 주행차량의 안전성 및 교량의 내구성에 영향을 미칠 우려가 있으므로 교면방수를 포함한 재포장을 고려하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.



【그림 3.3】 교면포장 손상 위치

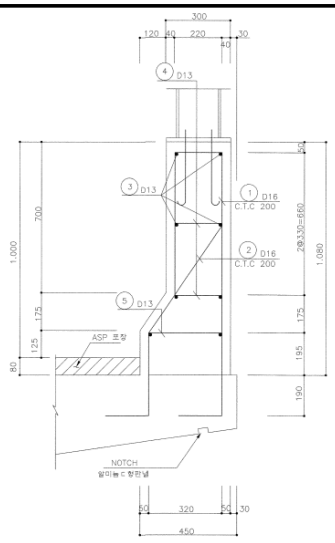
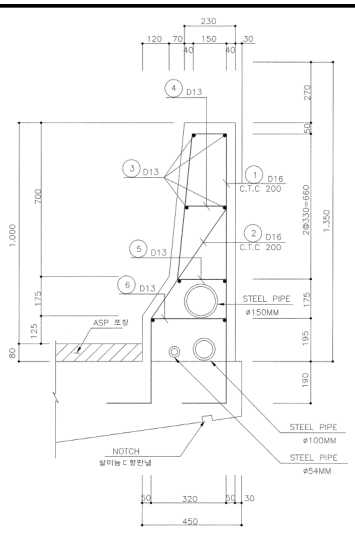
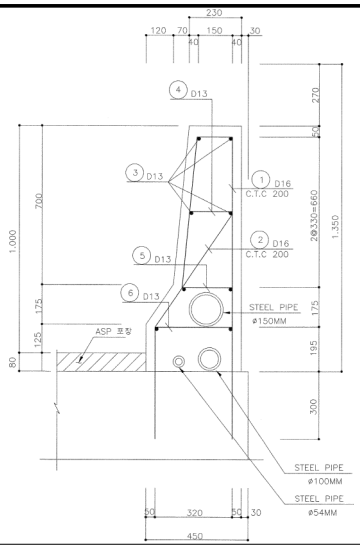
3.2.2 방호벽 및 중앙분리대

가. 현황

등원육교는 좌·우측에 방호울타리(h=1,120.0㎜), 좌측에 방음벽(h=1,000.0㎜), 중앙분리대가 설치되어 있으며, 부재 조사 시 방호울타리 균열, 열화, 난간 및 방음벽부재 변형, 파손 및 체결상태 등의 손상 발생에 주안점을 두고 점검을 실시하였다.

방호벽 및 방음벽 전경	중앙분리대 전경

【그림 3.4】 방호벽 및 중앙분리대 현황 및 전경

		
방음벽 기초	방호벽(슬래브)	방호벽(날개벽)

나. 외관조사결과

방호벽에 대한 외관조사 결과, 균열(0.3㎜미만), 균열(0.3㎜이상), 박락, 철근노출 등이 조사되었으며, 중앙분리대는 전 구간 표면보수가 완료되어 금회 조사 결과, 전반적으로 양호한 것으로 조사되었다.

제1장
제2장
제3장
제4장
제5장
제6장
제7장
제8장
제9장

현 황	보수부 재균열(cw=0.1㎜)	현 황	보수부 재균열(cw=0.1㎜)
위 치	S1 방호벽	위 치	S5 방호벽
현 황	박락(A=0.1×0.3)	현 황	철근노출(A=0.4×0.1)
위 치	S1 방호벽	위 치	S4 방호벽
현 황	철근노출(A=0.3×0.1)	현 황	철근노출(A=0.3×0.1)
위 치	S4 방호벽	위 치	S3 방호벽

【표 3.7】 방호벽 및 중앙분리대 손상물량

구분	보수부 재균열 균열(0.3㎜미만) (m/개소)	균열(0.3㎜이상) (m/개소)	박락 (㎡/개소)	철근노출 (㎡/개소)	비고
S1	7.2 / 6	–	0.03 / 1	–	
S2	–	1.2 / 1	–	–	
S3	9.4 / 8	–	–	0.07 / 2	
S4	6.0 / 5	1.2 / 1	–	0.03 / 1	
S5	3.6 / 3	–	–	0.04 / 1	
합 계	26.2 22	2.4 / 2	0.03 / 1	0.14 / 4	

다. 기 점검(2019년) 결과와 비교

방호벽 및 중앙분리대에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 보수부 재균열(0.3㎜미만), 철근노출이 소폭 증가되었는데, 이는 공용년수 증가 및 보수미흡 등에 의한 것으로 분석되며, 신규로 추가된 박락은 신축이음 주변에서 경미하게 발생된 것으로 구조물의 신축거동에 의한 것으로 판단된다.

【표 3.8】 방호벽 및 중앙분리대 기 점검 비교 물량

위치	손상내용	발생원인	단위	기 점검		금회 진단		증,감 (↑,↓)
				개소	물량	개소	물량	
방호벽 및 중앙분리대	균열(0.3㎜이상)	건조수축, 온도변화	m	2	2.4	2	2.4	–
	보수부 재균열 균열(0.3㎜미만)	건조수축, 온도변화	m	19	22.6	22	26.2	↑ 3.6
	철근노출	재질열화, 피복부족	㎡	1	0.01	4	0.14	↑ 0.13
	박락	공용증가, 재질열화	㎡	–	–	1	0.03	↑ 0.03

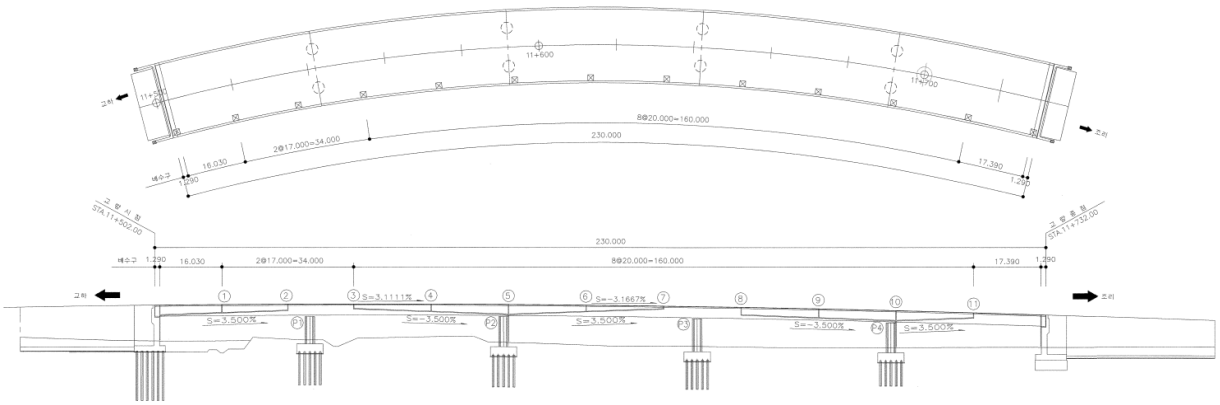
라. 손상원인 및 대책

- 방호벽 균열은 주로 표면 보수부에서 조사되었는데, 이는 시공초기 건조수축, 온도응력 등에 의해 발생된 균열로 전 개소 0.3㎜미만의 미세균열이므로 보수보다는 현 상태에서 주의 관찰하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 철근노출은 주로 교하방향의 방호벽 하단에서 조사되었는데, 피복부족과 공용년수 증가가 주원인으로 내구성 확보를 위해 반드시 녹 제거 후 단면보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 박락은 조리방향 시점부 A1 인접부에서 조사되었으며, 구조물의 신축 거동 작용에 의해 발생되었으나, 손상이 경미하므로 보수는 필요치 않을 것으로 판단된다.

3.2.3 배수시설

가. 현황

등원육교의 배수시설은 경간 우측에 1~3개소씩 설치되어 있으며, 상부 배수구 및 하부 강재 원형 배수관으로 시공되어 있다.



배수구 전경

배수관 전경(육교형)

배수관 전경(교대)

배수관 전경(교각)

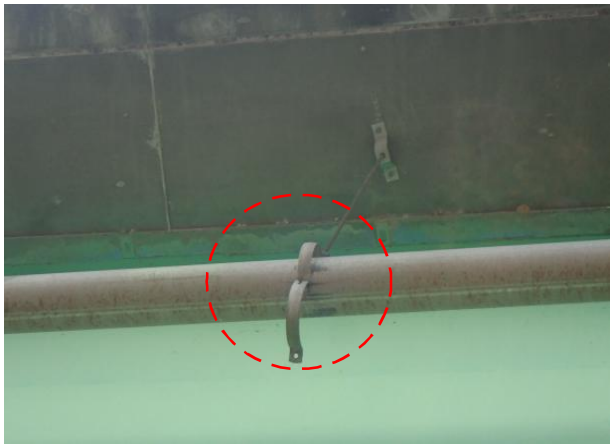
【그림 3.5】 배수시설 현황 및 전경

나. 외관조사결과

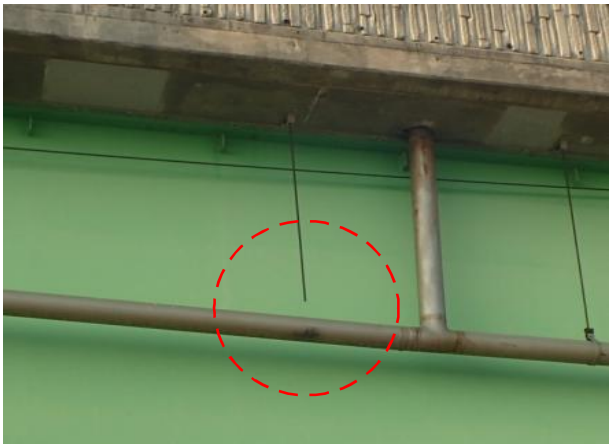
■ 배수시설 외관조사 결과, 배수구 막힘이 10개소, 배수관 고정철물 탈락 18개소가 조사되었고, 배수관 시공 상태는 전반적으로 양호한 것으로 확인되었다.

현 황	배수구막힘(1EA)
위 치	S3 배수시설

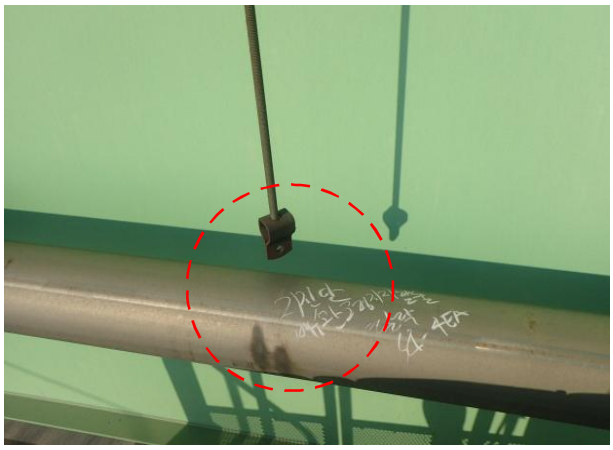
현 황	배수구막힘(1EA)
위 치	S5 배수시설



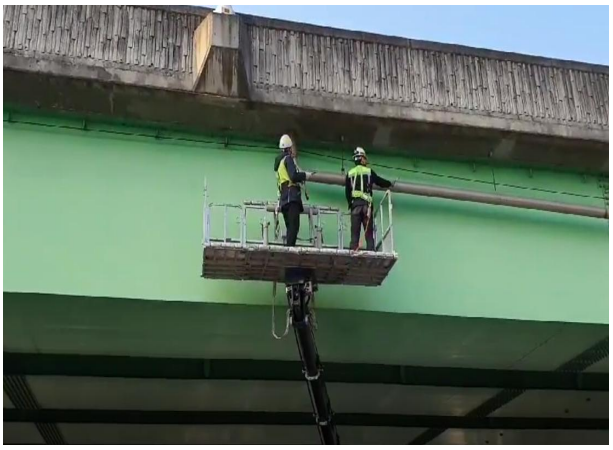
현 황	배수관 고정철물 탈락
위 치	S1 배수시설



현 황	배수관 고정철물 탈락
위 치	S3 배수시설



현 황	배수관 고정철물 탈락
위 치	S4 배수시설



현 황	**배수관 타격조사 전경**
위 치	S4 배수시설

【표 3.9】 배수시설 손상물량

구분	배수구 막힘 (EA/개소)	배수관 고정철물 탈락 (EA/개소)	비고
S1	–	2 / 2	
S2	2 / 2	–	
S3	3 / 3	9 / 9	
S4	2 / 2	4 / 4	
S5	3 / 3	3 / 3	
합계	**10 / 10**	**18 / 18**	

다. 기 점검(2019년) 결과와 비교

배수시설에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 상부 배수구 막힘이 소폭 증가하였으며, 차량 통행으로 인한 진동과 공용년수 증가 등에 의해 배수관 고정철물 탈락의 물량이 증가한 것으로 분석되었다.

【표 3.10】 배수시설 손상물량 기 점검 비교 물량

위치	손상내용	발생원인	단위	기 점검		금회 진단		증,감 (↑,↓)
				개소	물량	개소	물량	
배수시설	배수구 막힘	이물질 유입	EA	7	7	10	10	↑ 3.0
	배수관 고정철물 탈락	재질열화, 차량진동	EA	3	3	18	18	↑ 15.0

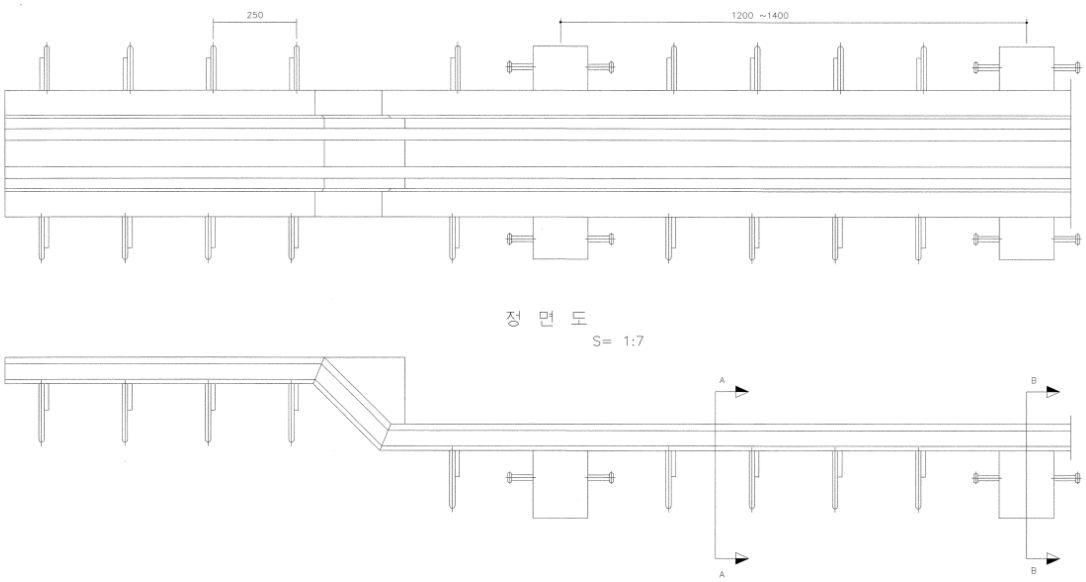
라. 손상원인 및 대책

- 배수구 막힘은 횡단구배 상 우측으로 우수 및 토사가 집수되는 배수시스템으로 인해 조리방향 우측에 전 개소 조사되었는데, 특히 상부의 중차량 통행이 잦아 배수구의 이물질퇴적이 다수 발생하는 것으로 판단되나, 교량 하부의 배수관 타격조사를 실시한 결과, 배수관은 막혀 있지 않은 양호한 상태로 확인되었으므로 교면 상부의 배수구청소를 주기적으로 실시하면 집중호우 시 교면체수를 방지하고 배수능력을 확보할 것으로 판단된다.
- 배수관 고정철물 탈락은 공용증가와 중차량 통행 진동으로 인해 발생된 것으로 추정되며, 현 시점에서 탈락의 우려는 없으나 기 점검 및 진단 대비 증가하고 있으므로 교량하부 차량 통행의 안전을 위해 재정비가 필요할 것으로 판단된다.

3.2.4 신축이음장치

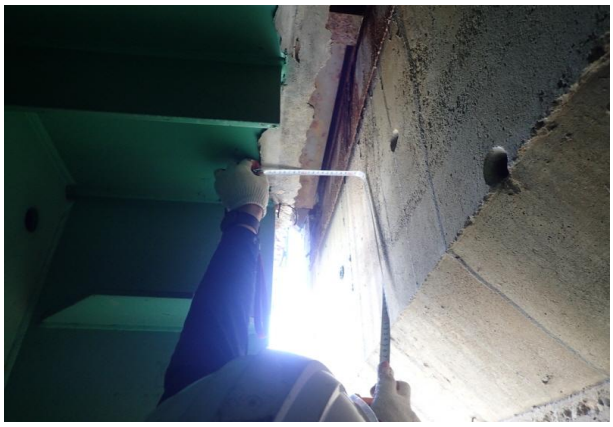
가. 현황

등원육교의 신축이음장치는 Rail Joint 형식으로 A1, A2에 총 2개소가 시공된 상태이다.



EXP. J1(A1) 상부전경

EXP. J2(A2) 상부전경



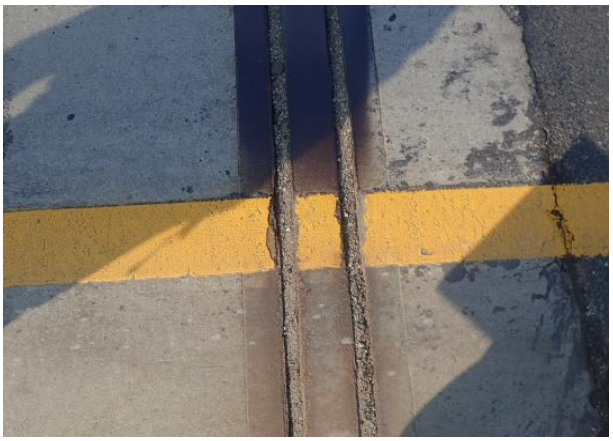
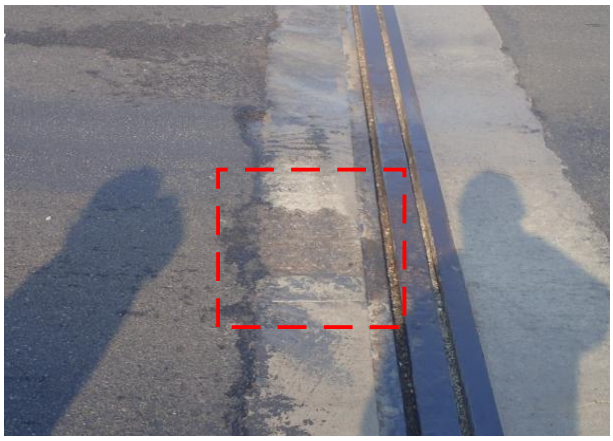
EXP. J1(A1) 하부전경

EXP. J2(A2) 하부전경

제1장
제2장
제3장
제4장
제5장
제6장
제7장
제8장
제9장

나. 외관조사결과

■ 신축이음장치에 대한 외관조사 결과, 유간토사퇴적, 본체 부식, 하부누수, 국부적인 후타재 파손, 차수판 볼트 탈락 등의 손상이 조사되었다.

			
현 황	본체부식(L=1.2m)	현 황	유간토사퇴적 (L=16.0m)
위 치	A1 신축이음부	위 치	A1 신축이음부
			
현 황	후타재파손(0.3m×0.3m)	현 황	본체부식(L=1.5m)
위 치	A2 신축이음부	위 치	A2 신축이음부
현 황	차수판 볼트 탈락 (1EA)	현 황	하부누수(L=0.8m, 2EA)
위 치	A2 신축이음부	위 치	A2 신축이음부

【표 3.11】 신축이음장치 손상물량

구분	후타재	본체			차수덮개판 볼트탈락 (EA/개소)	비고
	파손 (㎡/개소)	신축이음누수 (㎡/개소)	부식 (㎡/개소)	유간토사퇴적 (m/개소)		
A1	–	–	2 / 2	16.0 / 1	–	
A2	0.09 / 1	1.6 / 2	2.7 / 2	16.0 / 1	4 / 4	
합계	0.09 / 1	1.6 / 2	4.7 / 4	32.0 / 2	4 / 4	

다. 기 점검(2019년) 결과와 비교

신축이음장치에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 공용년수 증가로 인한 기 손상들의 물량증가와 신규로 신축이음누수가 조사되어 기 점검 대비 손상물량은 증가한 것으로 분석되었다.

【표 3.12】 신축이음장치 손상물량 기 점검 비교 물량

위치	손상내용	발생원인	단위	2019년		2022년		증,감 (↑,↓)
				개소	물량	개소	물량	
신축 이음장치	후타재파손	차륜하중, 재질열화	㎡	1	0.03	1	0.09	↑ 0.06
	신축이음누수	공용년수 증가	m	–	–	2	1.6	↑ 1.6
	부식	습윤환경, 공용증가	m	4	4.7	4	4.7	–
	유간토사퇴적	공용증가, 이물질유입	㎡	2	26.5	2	32.0	↑ 5.5
	차수판 볼트 탈락	공용년수증가	EA	3	3.0	4	4.0	↑ 1.0

라. 손상원인 및 대책

- 후타재 파손은 장기공용, 차량 바퀴 접지면 마찰로 발생된 것으로 판단되나, 현 상태는 차량 주행에 직접적인 영향을 주지 않으며, 반복된 차량통행으로 보수효과가 적으므로 부분적인 보수보다는 신축이음교체와 연계하여 일괄 교체하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 유간토사퇴적은 차량통행에 따라 공기 중 미세 먼지 및 토사가 퇴적되어 발생하였으며, 특히, 신축이음 유간에 토사가 퇴적되면 정상적인 신축거동이 불가능하므로 주기적인 청소가 필요하다.
- 공용년수 증가 및 중차량 반복하중에 의한 차수판 볼트 탈락이 발생된 상태로 방호벽과 차수판 사이 틈으로 우수가 유입되어 신축이음 누수가 동반되어 조사되었으며, 이를 방치시 교좌면 콘크리트 열화 및 박리, 받침장치 부식 등을 초래할 수 있으므로 차수판 볼트 재체결이 필요하다.
- 본체부식은 장기공용으로 인한 습윤접촉에 의해 발생된 것으로 현 상태에서의 본체 거동은 양호한 상태하나 전반적으로 노후화가 진행중 이므로 신축이음장치 교체를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

마. 신축량 계산

1) 신축량 계산방법

【표 3.13】 신축량 계산

구분	계산방법	비고
이론 신축량	• 온도변화에 의한 이동량 ▸ $\Delta lt = \Delta T \cdot \alpha \cdot L$ 여기서, Δlt : 온도변화에 의한 이동량 ΔT : 온도변화 범위(기상청 자료참조) α(강재): 1.2×10^{-5}, L : 신축들보의 길이(㎜)	
소요 신축량 산정	•소요 가동량 산정 조사일 : : 2021. 12. 07. 기온 적용: 3.9℃ 여기서, △T(최대 신장시) : 40.0℃−3.9℃ = 35.1℃ △T(최대 수축시) : 3.9℃−(−20.0℃) = 23.9℃ − 지점의회전변위에 의한 신축량 $\Delta \ell r = \Sigma(hi \cdot \theta i)$ hi:받침의 회전중심에서 보의 중립축까지의 높이 (거더높이의 2/3) θi:보의 회전각(강교 :1/150) $\Delta \ell r = \Sigma(hi \cdot \theta i) = 2/3\times2{,}500\times1/150 = 11.11mm$ h:거더높이 2,500mm, θ :1/150 (강교) *신축장 100m이상 교량의경우신장시에만 고려(도로설계요령, 2010) − A1, A2 −Δlt(최대신장시) = $\triangle T\times\alpha\times L$ = $35.1\times1.2\times10^{-5}\times125.0m\times1{,}000$ = 52.65㎜ ∴ 52.65㎜ + 11.11㎜ = 63.76㎜ −Δlt(최대수축시) = $\triangle T\times\alpha\times L$ = $23.9\times1.2\times10^{-5}\times125.0m\times1{,}000$ = 35.85㎜ ∴ 35.85㎜ − 11.11㎜ = 24.74㎜ •형식별 온도변화범위(℃) α	

2) 신축이음 유간 검토

- 신축이음 유간검토는 측정 당시 기온(기상청 참조: 3.9℃)을 고려하여 수축 및 신장 계산량과 현재 여유량을 검토하였다.
- 등원육교의 신축유간 계산결과 현재 여유량이 온도변화를 고려한 계산량 보다 크므로 신축유간은 건전한 것으로 평가 되었으며, 상부구조 온도거동 상태도 양호한 것으로 계산되었다.

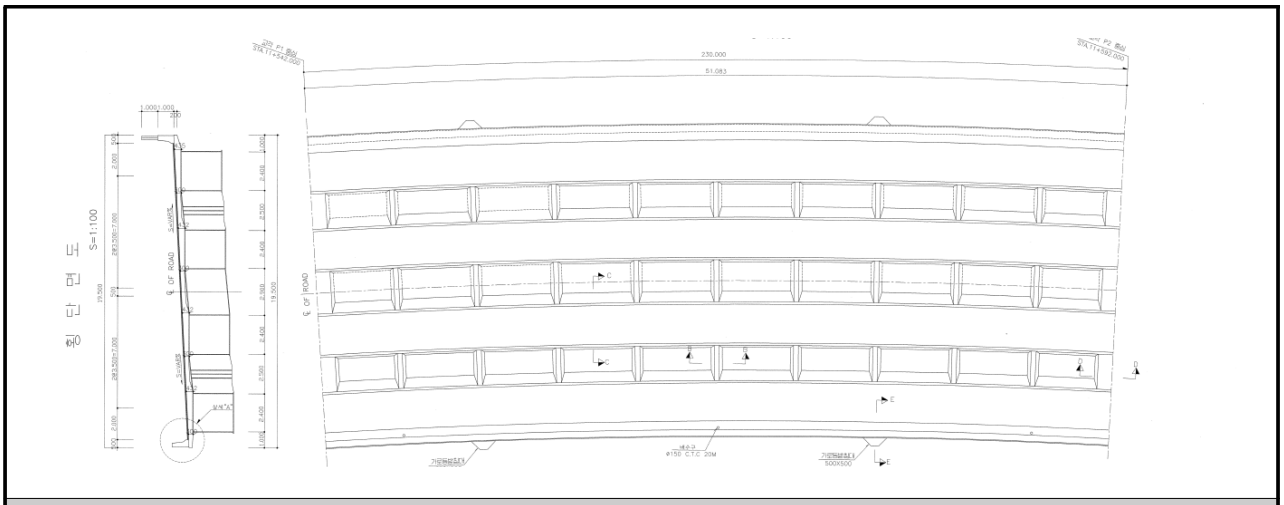
【표 3.14】 신축이음 유간 검토결과

위치	형식	허용최대 신축량(㎜)	현장실측 유간(㎜)	수축량(㎜)		수축량 검토	신장량(㎜)		신장량 검토
				계산	현재여유량		계산	현재여유량	
A1	Rail Joint	160	73	24.74	87.0	O.K	63.76	73.0	O.K
A2	Rail Joint	160	64	24.74	96.0	O.K	63.76	64.0	O.K
※ 크리프 및 건조수축에 대한 변화량은 무시하였음.									

3.2.5 바닥판하면

가. 현황

바닥판은 철근콘크리트 구체로 시공된 상태이며, 균열, 파손, 백태, 재료분리, 박리, 박락, 철근노출, 부식 등의 손상 발생 유·무 등에 중점을 두고 점검을 실시하였다.



바닥판하면

【그림 3.6】 바닥판하면 도면

바닥판하면 전경

【그림 3.7】 바닥판하면 전경

나. 외관조사결과

바닥판하면에 대한 외관조사 결과, 균열(0.3㎜미만), 보수부 균열부 백태, 망상균열, 배수관 주변 백태, 백태, 철근노출, 잡철물부식 등의 손상이 조사되었다.

제1장
제2장
제3장
제4장
제5장
제6장
제7장
제8장
제9장

현 황	망상균열(cw=0.2㎜)
위 치	S2 바닥판하면

현 황	망상균열(cw=0.1㎜)
위 치	S3 바닥판하면

현 황	백태(A=0.3m×0.4m)
위 치	S3 바닥판하면

현 황	배수관 주변 백태(A=0.3m×0.3m)
위 치	S3 바닥판하면

현 황	철근노출(A=0.2m×0.3m)
위 치	S4 바닥판하면

현 황	백태(A=0.3m×0.3m)
위 치	S4 바닥판하면

【표 3.15】 바닥판하면 손상물량

구분	균열 (0.3㎜미만) (m/개소)	보수부 균열부 백태 (m/개소)	망상균열 (㎡/개소)	배수관 주변 백태 (㎡/개소)	백태 (㎡/개소)	철근노출 (㎡/개소)	잡철물부식 (㎡/개소)
S1	–	–	–	0.25 / 1	0.1 / 1	–	–
S2	1.2 / 1	–	10.0 / 1	–	1.5 / 1	–	–
S3	1.5 / 1	–	33.75 / 3	0.18 / 2	0.28 / 5	–	–
S4	–	–	–	–	0.3 / 5	0.1 / 1	–
S5	1.3 / 2	2.0 / 2	22.5 / 2	–	0.11 / 2	–	0.1 / 5
합계	4.0 / 4	2.0 / 2	66.3 / 6	0.4 / 3	2.29 / 14	0.1 / 1	0.1 / 5

다. 기 점검(2019년) 결과와 비교

바닥판하면에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 보수부 균열부백태, 망상균열, 백태, 철근노출 등의 손상이 증가하였으며, 보수재 박리가 기 점검 시 집계오류로 인해 감소하였다. 이 중 망상균열은 대부분 보수부에서 재발생된 초기 건조수축 균열이며, 백태, 철근노출 등은 상부수 유입, 수분접촉 및 피복부족에 의해 소폭 증가한 것으로 분석되었다.

【표 3.16】 바닥판하면 손상물량 기 점검 및 진단 비교물량

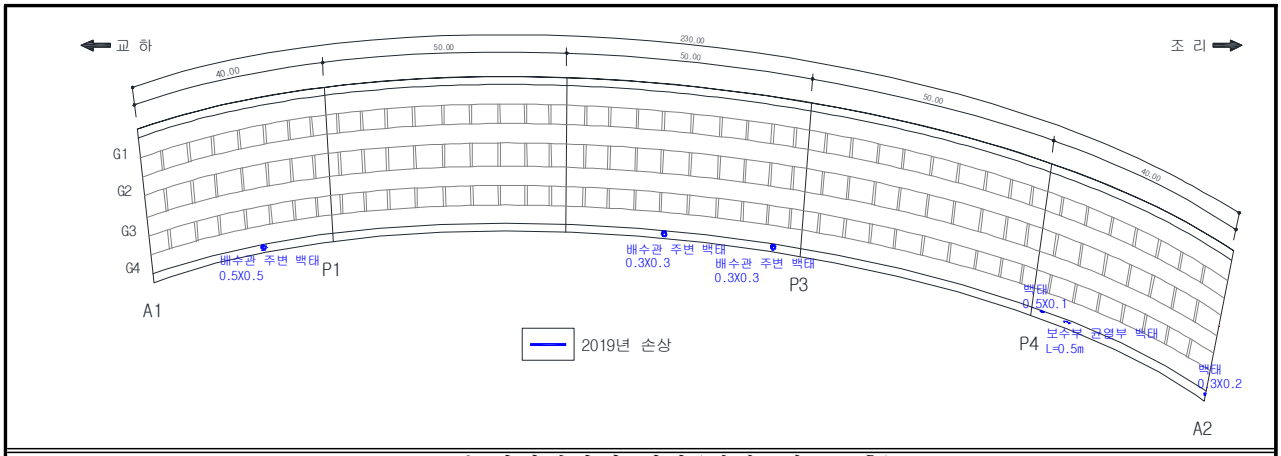
위치	손상내용	발생원인	단위	기 진단 (2017년)		기 점검 (2019년)		금회 진단		증,감 (↑,↓)
				개소	물량	개소	물량	개소	물량	
바닥판 하면	균열(0.3㎜미만)	건조수축, 습윤환경	m	–	–	–	–	4	4.0	↑ 4.0
	보수부 균열부 백태	습윤환경, 공용증가	m	342	297.7	1	0.50	2	2.0	↑ 1.5
	망상균열	건조수축, 온도변화	m	84	903.5	1	11.25	6	66.3	↑ 55.05
	백태	습윤환경, 공용증가	㎡	76	8.78	5	0.52	17	2.7	↑ 2.18
	철근노출	피복부족	㎡	–	–	–	–	1	0.1	↑ 0.1
	잡철물부식	이물질 혼입	㎡	–	–	5	0.1	5	0.1	–

라. 손상원인 및 대책

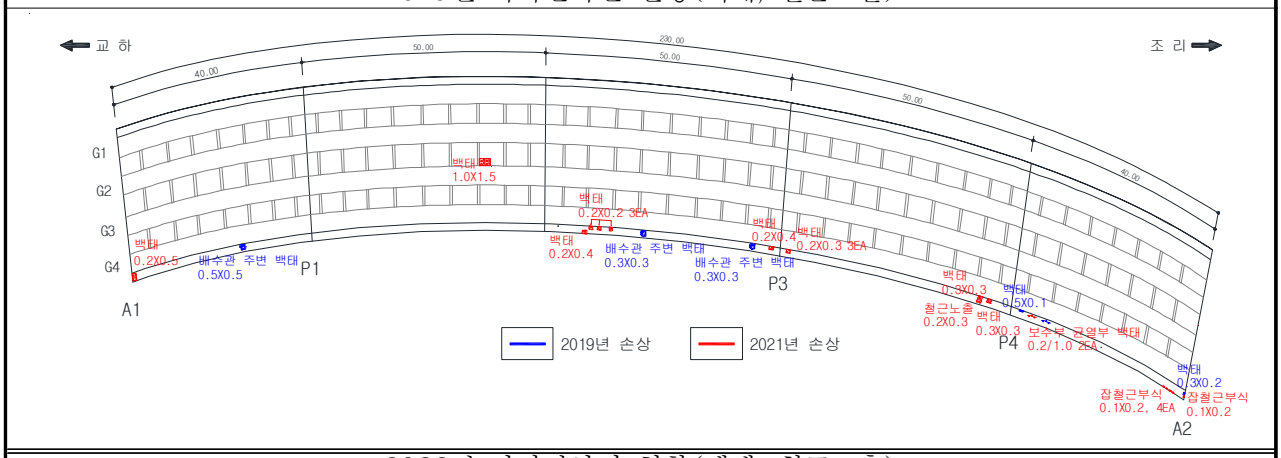
1) 균열, 백태

- 금회 조사된 균열은 전 개소(cw=0.3㎜미만)으로 확인되는데 조사된 균열은 모두 횡균열 및 망상균열 형태를 띄고 있고, 길이는 1.0m미만으로 온도응력에 의한 비구조적인 균열로 판단되며, 내구성확보를 위해 표면보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 균열부 백태 및 백태는 바닥판 하면과 캔틸레버, 배수관 접합부/주변에서 조사되었는데 이는 이는 재포장이 실시되지 않은 갓길과 중앙분리대, 재포장 미실시 구간과 위치가 일치하는 것으로 보아 상부수가 유입되어 발생된 것으로 손상의 규모는 크지 않아 현 상태에서 주의관찰을 실시하고 중·장기적인 계획을 수립하여 교면재포장 시 일괄 교면방수를

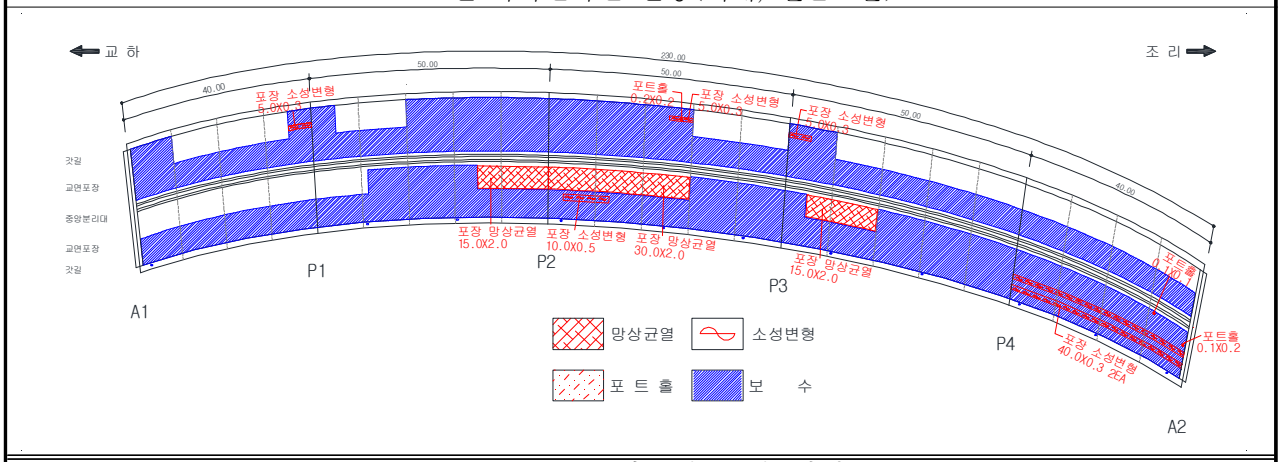
실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.



2019년 바닥판하면 현황(백태, 철근노출)



2022년 바닥판하면 현황(백태, 철근노출)



2022년 교면포장 손상 현황

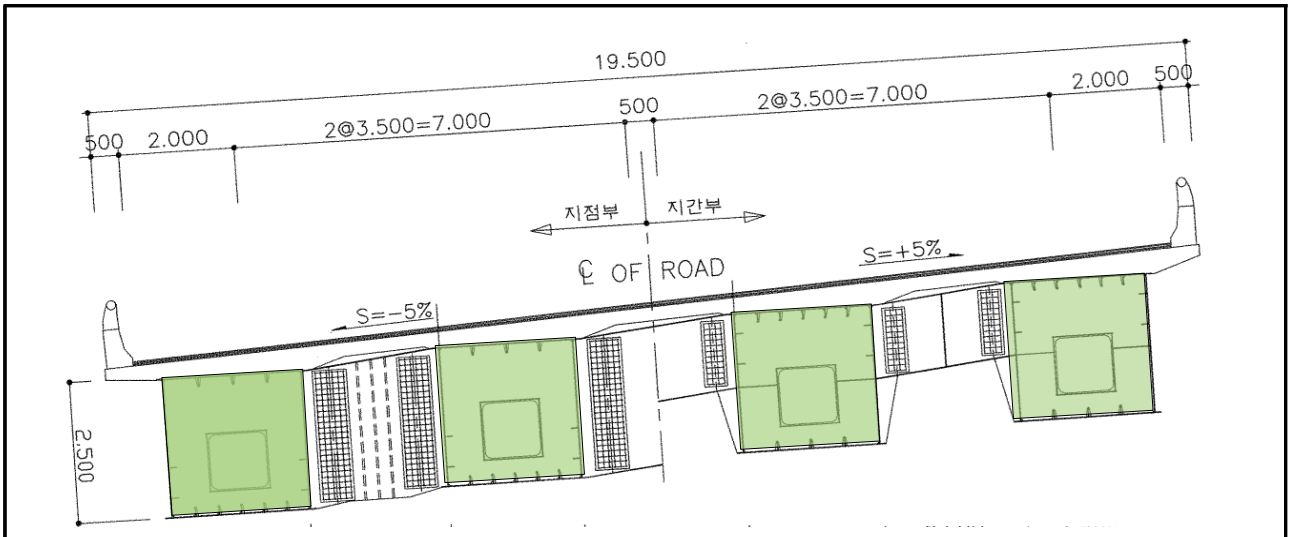
2) 철근노출

- 철근노출은 S4의 캔틸레버에서 조사되었는데 발생 원인은 피복부족부에서 공용년수 증가 및 미세 공극부 수분유입에 의한 것으로 판단되며, 내구성확보를 위해 녹 제거 후 단면보수가 필요할 것으로 판단된다.

3.2.6 거더

가. 현황

거더는 STB형식으로 총 4개의 거더가 시공된 상태이다. 거더 공용 중 발생할 수 있는 부식, 도장박리, 박락, 변형, 볼트풀림 및 보강부재의 손상 유무 등에 중점을 두어 조사를 실시하였다.



STB 거더 현황도

STB 거더 외부 전경

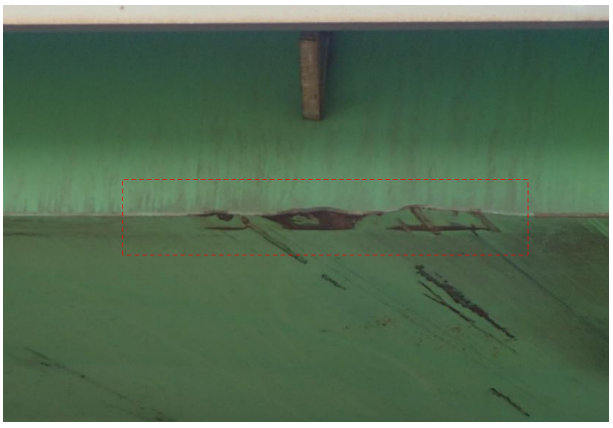
STB 거더 내부 전경

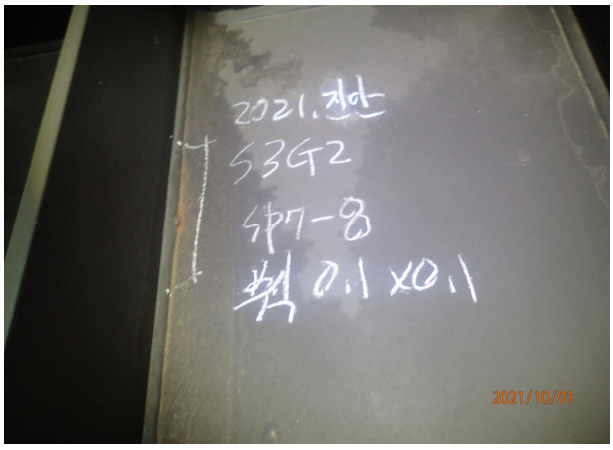
【그림 3.8】 거더 현황도 및 전경

제1장
제2장
제3장
제4장
제5장
제6장
제7장
제8장
제9장

나. 외관조사결과

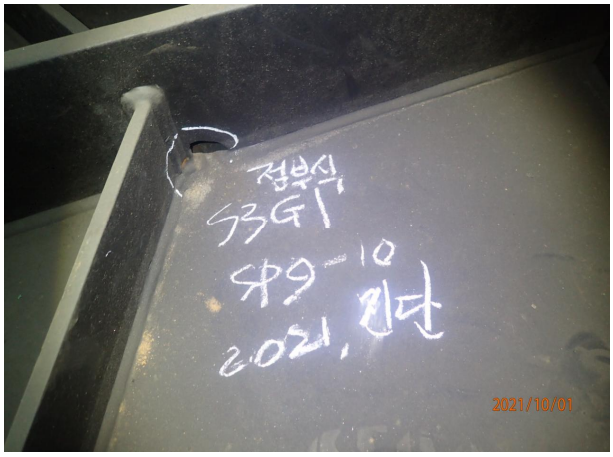
거더 외관조사결과, 강재변형 및 도장탈락, 도장박리, 도장긁힘, 부식, 점부식, 환기망 누수흔적, 환풍구 볼트 및 망 탈락, 용접부 도장박리, 실링 누락, 누수흔적 등이 손상이 조사되었다.

현 황	도장탈락(A=0.1m×0.1m)	현 황	도장 긁힘/탈락(A=0.5m×0.1m)
위 치	거더외부 S1-G1	위 치	거더외부 S2-G1
			
현 황	도장 긁힘(A=10.0m×2.0m)	현 황	강재변형(L=2.0m)
위 치	거더외부 S2-G4	위 치	거더외부 S2-G4
현 황	도장박리(A=0.1m×0.3m)	현 황	도장긁힘(A=0.1m×0.2m)
위 치	거더외부 S3-G3	위 치	거더외부 S2-G4

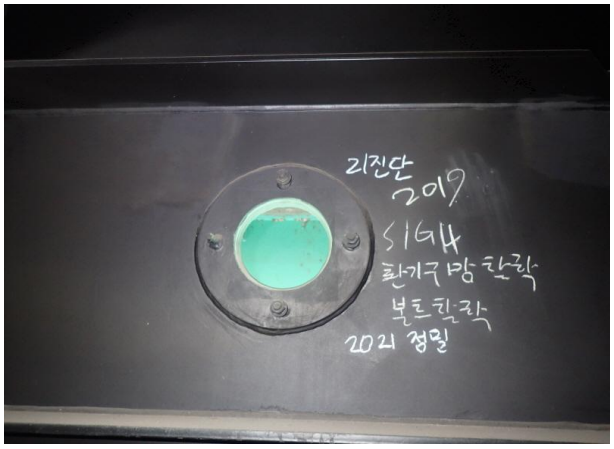


현 황	부식(A=0.1m×0.1m)
위 치	거더내부 S3-G2

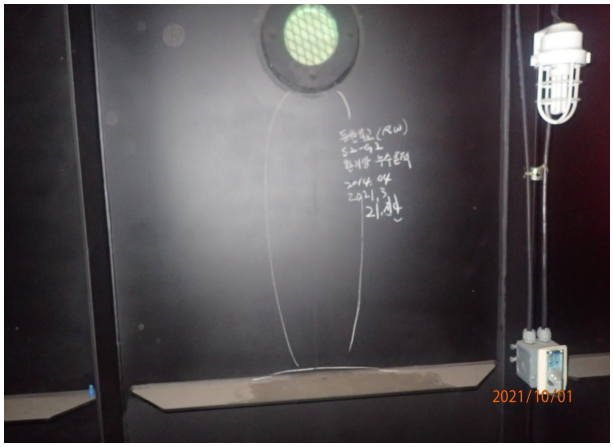
현 황	씰링누락 1EA
위 치	거더내부 S2-G4



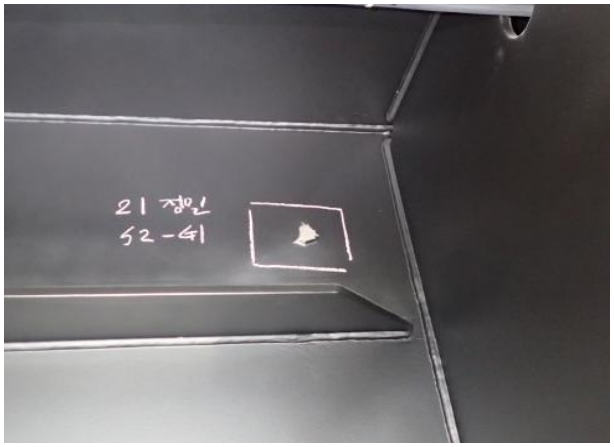
현 황	점부식(1EA)
위 치	거더내부 S3-G1



현 황	환풍구 볼트 망 탈락
위 치	거더내부 S1-G4



현 황	환기망 누수흔적
위 치	거더내부 S2-G2



현 황	도장박락(A=0.1m×0.1m)
위 치	거더내부 S2-G1

【표 3.17】 거더 손상물량

구분		강재변형 (m/개소)	도장박리/탈락 (㎡/개소)	도장긁힘 (㎡/개소)	부식 (㎡/개소)	보수부 도장탈락 (㎡/개소)
거더외부	S1	–	0.01 / 1	–	–	–
	S2	4.5 / 4	2.0 / 11	31.31 / 7	–	0.14 / 7
	S3	–	0.05 / 3	–	0.01 / 1	–
	S4	–	–	0.01 / 1	–	–
	S5	–	0.001 / 1	0.05 / 2	–	–
합계		4.5 / 4	2.06 / 16	31.37 / 10	0.01 / 1	0.14 / 7

구분		도장박리/탈락 (㎡/개소)	부식 (㎡/개소)	점부식 (EA/개소)	보수부 도장탈락 (㎡/개소)	환기망 누수흔적 (㎡/개소)
거더내부	S1	–	–	–	–	–
	S2	0.01 / 1	0.13 / 2	–	–	0.02 / 1
	S3	0.05 / 2	0.16 / 7	4 / 4	–	–
	S4	0.11 / 5	–	–	0.03 / 2	0.2 / 1
	S5		–	–	–	–
합계		0.17 / 8	0.29 / 9	4 / 4	0.03 / 2	0.22 / 2

구분		환풍구 볼트 및 망 탈락 (EA/개소)	도장박리 (용접부) (m/개소)	씰링누락 (EA/개소)	누수흔적 (㎡/개소)	
거더내부	S1	1 / 1	–	1 / 1	–	
	S2	–	–	1 / 1	–	
	S3	–	0.9 / 4	–	–	
	S4	–	–	–	–	
	S5	–	0.6 / 3	–	0.75 / 3	
합계		1 / 1	1.5 / 7	2 / 2	0.75 / 3	

다. 기 점검(2019년) 결과와 비교

거더에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 거더외부의 강재변형 및 도장탈락 및 부식 거더 내부의 보수부 도장탈락, 용접부 이격 등의 손상이 증가하였다.

금회 추가된 강재변형 및 도장탈락은 거더 하부 차량통행에 의해 증가된 것이며, 거더내부의 용접부에서 발생된 도장박리는 공용 중 발생된 것이 아닌 시공 시 발생된 결함으로 기존 점검(2019년) 시 용접부 이격 및 들뜸으로 조사가 되었으나, 금회 이에 대해 상세 외관조사 결과 용접부에 대한 손상은 없는 것으로 최종 확인되어 금회 도장박리로 손상명을 변경하였다.

【표 3.18】 거더 손상물량 기 점검 비교 물량

위치	손상내용	발생원인	단위	기 점검		금회 진단		증,감 (↑,↓)
				개소	물량	개소	물량	
거더 외부	강재변형 및 도장탈락	외부충격	㎡	2	0.49	4	4.5	↑ 4.01
	도장 박리, 부식	재질열화, 공용증가	㎡	13	1.27	17	2.07	↑ 0.8
	도장 긁힘	외부충격	㎡	10	31.37	10	31.37	-
	보수부 도장 탈락	재질열화, 공용증가	㎡	7	0.14	7	0.14	-
거더 내부	도장 박리, 부식	습윤환경, 재질열화	㎡	9	0.48	17	0.46	↓ 0.02
	도장박리(용접부)	시공미흡	m	5	1.1	7	1.5	↑ 0.4
	점부식	습윤환경, 재질열화	EA	4	4	4	4	-
	보수부 도장 탈락	재질열화, 공용증가	㎡	1	0.02	2	0.03	↑ 0.01
	환기망 누수흔적	우수유입	㎡	2	0.22	2	0.22	-
	환풍구 볼트 및 망 탈락	재질열화, 공용증가	EA	1	1	1	1	-
	실링 누락	시공미흡	EA	2	2	2	2	-
	누수흔적	우수유입	㎡	1	1.96	3	0.75	↓ 1.21

라. 손상원인 및 대책

1) 도장결함(긁힘, 박리, 탈락, 부식)

- 도장 긁힘은 거더외부에 발생되었는데, 특히 통과높이가 낮은 S2-G4(h=4.55m)에서 집중적으로 발생한 것으로 조사되었다. 금회 조사 결과 통과높이 제한 표지판은 기존 5.0m에서 금회 4.5m로 변경된 것이 확인되었고, 신규 손상은 발생되지 않았으므로 추가적인 조치는 필요치 않을 것으로 판단되며, 거더의 내구성 확보 차원의 도장보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

S2-G4 등원교차로 측 전경

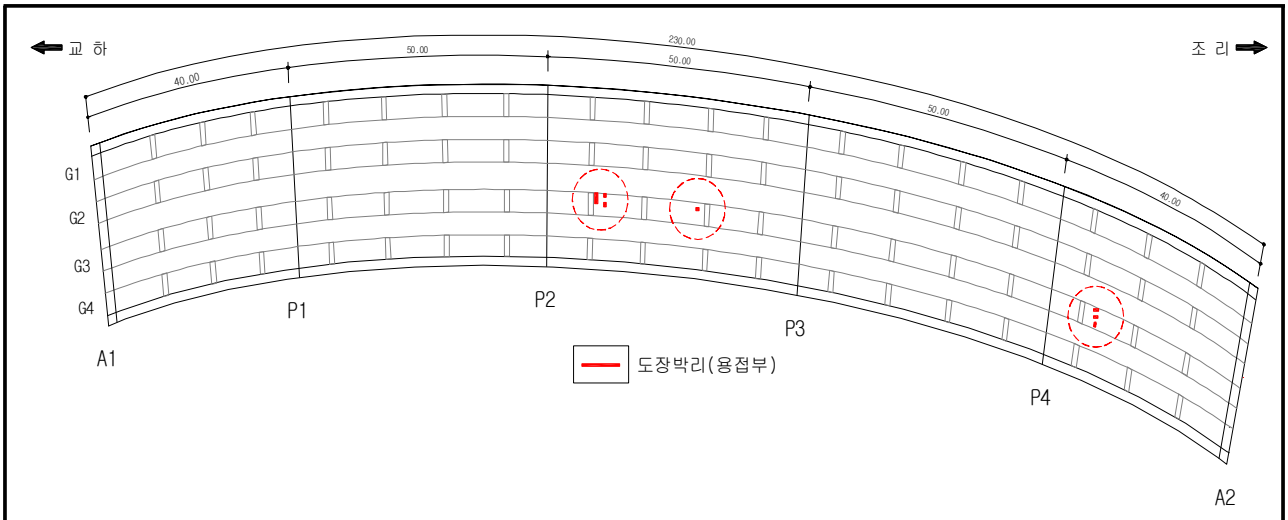
통과높이 측정 / 통과높이 제한 설치 전경

2) 강재결함

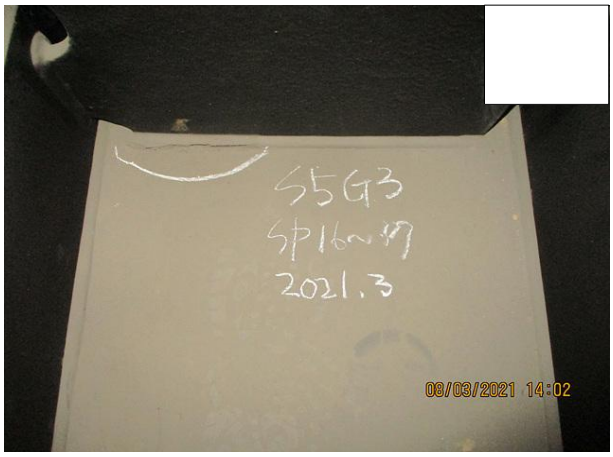
- 강재변형은 전 개소 거더 외부 하부플랜지(S2-G4, S2-G3)에서 발생되었는데, 이는 하부 차량 통과 시 차량 접촉에 의한 것으로 현재 손상의 규모가 크지 않으므로 해당 구간에 대해선 내구성확보 차원의 도장보수가 적절할 것으로 판단된다.

3) 도장박리(용접부)

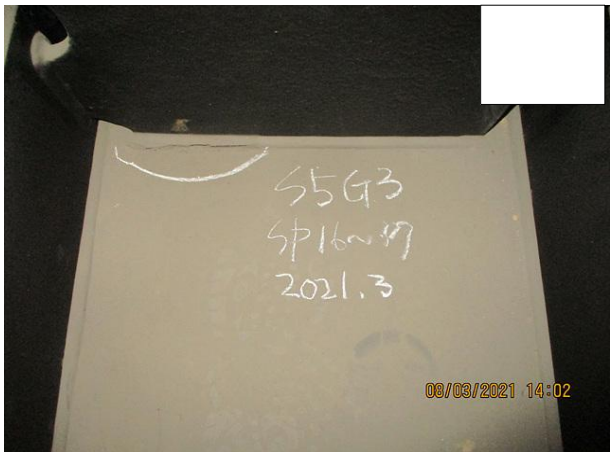
- 용접부에서 발생한 도장박리는 S3-G3, S5-D-G5의 거더내부 횡리브와 하부플랜지간에서 2019년 정밀안전점검 시 최초 용접부 결함(이격 및 들뜸)으로 조사가 되었으나, 금회 해당부위에 대한 상세 외관조사 결과, 용접결함이 아닌 도장 시공 미흡에 의한 도장박리인 것으로 확인되었다. 따라서 해당부위는 부식방지차원의 도장보수를 실시하면 유지관리에 문제가 없을 것으로 판단된다.

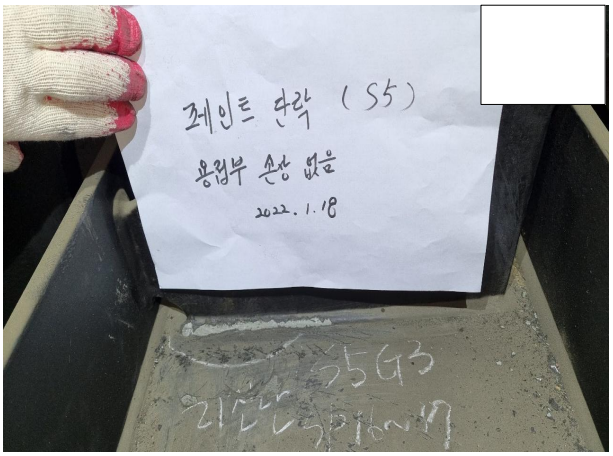


도장박리(용접부) 발생 위치

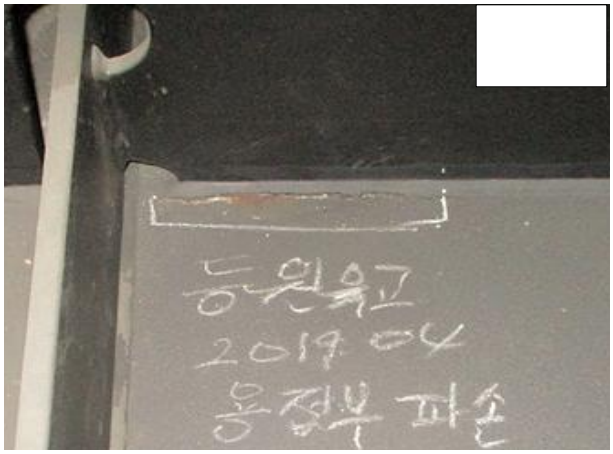


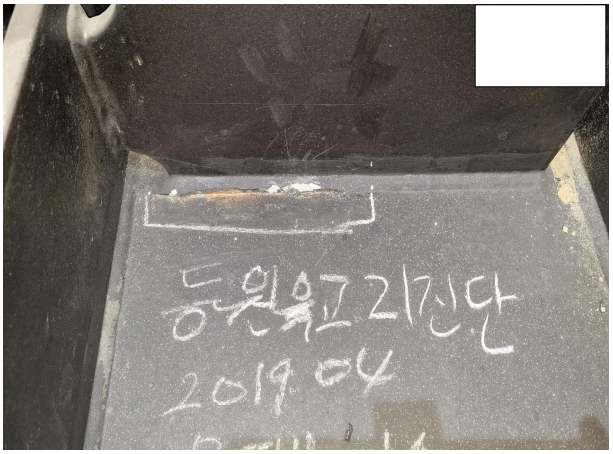
2021년 정밀안전점검: 용접부 이격 ➡ 2022년 정밀안전진단: 도장 박리로 변경





2021년 정밀안전점검: 용접부 이격 ➡ 2022년 정밀안전진단: 도장 박리로 변경





2019년 정밀안전점검: 용접부 이격/파손 ➡ 2022년 정밀안전진단: 도장 박리로 변경

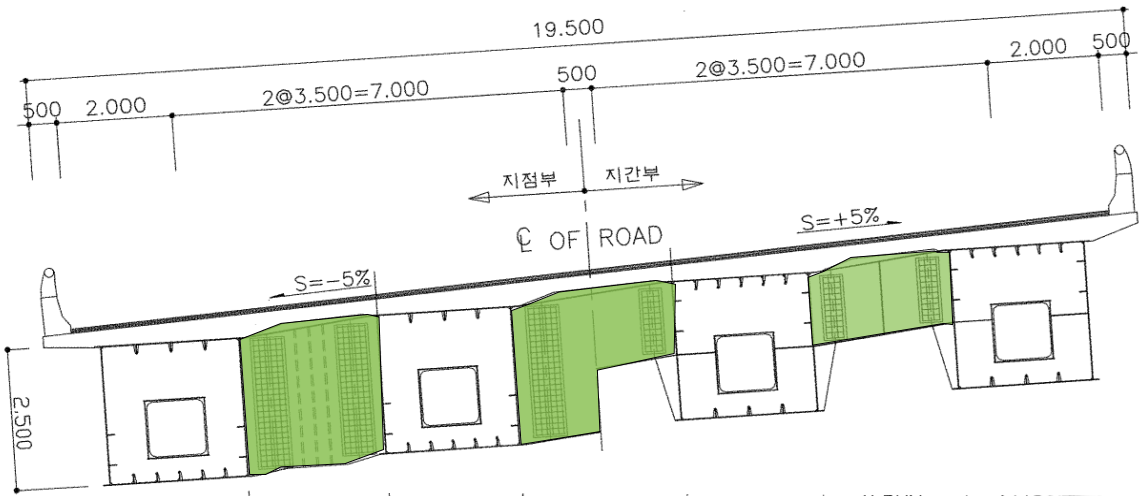
4) 기타손상(환풍구 볼트망 탈락, 누수흔적, 씰링누락)

- 그 외 환풍구 볼트망 탈락은 거더 내부로 우수 및 조류 등의 유입될 시 강재 부식을 초래할 우려가 있으므로 재정비가 필요할 것으로 판단된다.
- 씰링 누락은 스플라이스 갭부분에 발생하였는데, 방치 시 우수의 유입으로 거더내부 하부플랜지 및 리브에 부식을 초래할 수 있어 씰링 처리가 필요할 것으로 판단된다.

3.2.7 가로보

가. 현황

가로보는 4개의 STB 거더 사이에 4.3m~5.0m간격으로 설치되어 있으며, 공용 중 발생할 수 있는 부식, 도장박리, 박락, 변형, 볼트풀림 등에 중점을 두어 조사를 실시하였다.



가로보 현황도

가로보 전경(1)

가로보 전경(2)

【그림 3.9】 가로보 전경

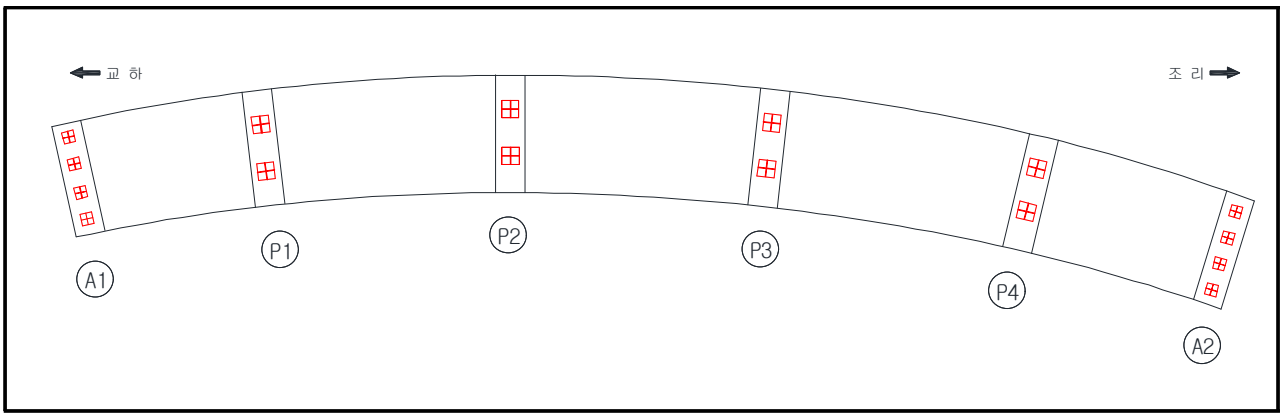
나. 외관조사결과

가로보 외관조사결과, 강재변형 및 도장탈락 등이 없는 전반적으로 양호한 상태로 조사되었다.

3.2.8 교량 받침

가. 현황

등원육교의 받침장치는 교대 각각 4개소, 교각 각각 2개소씩 총 16개의 탄성받침(면진받침)이 설치되어 있으며, 받침장치의 가동성능 여부, 변형상태, 받침몰탈 균열, 받침장치 부식 등의 손상발생 유무 등에 대하여 조사를 실시하였다.



【그림 3.10】 받침장치 배치도

A1 받침장치 전경

P1 받침장치 전경

P2 받침장치 전경

P3 받침장치 전경

【그림 3.11】 받침장치 전경

P4 받침장치 전경	A2 받침장치 전경

【그림 3.11】 받침장치 전경(계속)

나. 외관조사결과

- 금회 외관조사결과, 받침 상·하부 플레이트 도장박리, 볼트 녹발생, 받침몰탈 및 받침콘크리트 균열 등이 조사되었다.

현 황	받침플레이트 부식	현 황	받침몰탈 균열 cw=0.1㎜, L=0.2m
위 치	A1-SH4 받침장치	위 치	P4-SH1 받침장치
현 황	받침볼트 체결불량	현 황	받침플레이트 부식
위 치	P2-SH1 받침장치	위 치	A2-SH2 받침장치

【표 3.19】 받침장치 손상물량

구분	받침플레이트 부식 (EA/개소)	받침플레이트 도장탈락/부식 (㎡/개소)	받침 볼트 부식 (EA/개소)	볼트 체결불량 (EA/개소)	받침 몰탈 균열(0.3㎜미만) (EA/개소)
A1	1 / 1	–	–	–	–
P1	2 / 2	–	17 / 17	–	0.9 / 9
P2	–	–	16 / 16	1 / 1	1.7 / 17
P3	–	0.02 / 1	18 / 18	–	1.2 / 12
P4	–	0.04 / 1	1 / 1	–	0.6 / 6
A2	4 / 4	–	–	–	0.1 / 1
합계	**7 / 7**	**0.06 / 2**	**52 / 52**	**1 / 1**	**4.5 / 45**

다. 기 점검(2019년) 결과와 비교

받침장치에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 공용증가 및 외기노출에 따른 받침장치 부식이 신규로 조사되어 손상물량이 소폭 증가하였으며, 그 외 손상에 대해서는 증감이 없는 것으로 검토되었다.

【표 3.20】 받침장치 손상물량 기 점검 비교 물량

위치	손상내용	발생원인	단위	기 점검		금회 진단		증,감 (↑,↓)
				개소	물량	개소	물량	
받침장치	받침플레이트 부식	습윤환경, 공용년수증가	EA	5	5	7	7	↑ 2
	받침플레이트 도장탈락, 부식	습윤환경, 공용년수증가	㎡	2	0.06	2	0.06	–
	받침 볼트 부식	습윤환경, 공용년수증가	EA	53	53	52	52	↓ 1
	볼트체결불량	시공미흡	EA	1	1	1	1	–
	받침 몰탈 균열(0.3㎜미만)	온도변화, 공용년수증가	m	39	5.2	45	4.5	↓ 0.7

라. 손상원인 및 대책

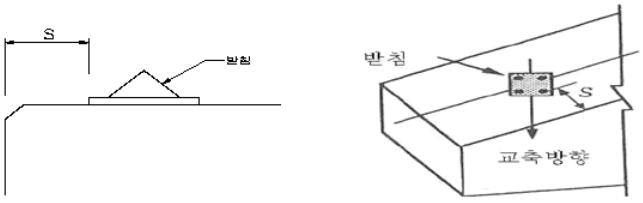
- 볼트체결불량은 기 진단(2017년) 및 점검(2016년, 2019년)에서 조사되었던 손상이며, P2에서 1개소 조사되었는데, 이는 초기 시공미흡으로 발생한 것으로 판단된다. 해당 손상으로 인한 2차 추가손상이 발생하지 않았으나, 볼트 탈락 시 받침거동에 문제가 될 수 있으므로 받침장치의 원활한 거동을 위해 볼트 재체결을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 받침장치 도장탈락 및 부식은 공용중 외기영향 및 습윤 접촉으로 발생할 수 있는 일반적인 손상으로 재도장을 실시한다면 시설물 공용에는 문제가 없을 것으로 판단된다.
- 그 외 받침몰탈 균열은 시공 초기 건조수축에 의해 발생된 것으로 손상의 규모가 경미하므로 보수보다는 현 상태에서 주의 관찰하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

마. 연단거리 검토

1) 연단거리 계산방법

【표 3.21】 연단거리 검토

연단거리 측정 현황(1)	연단거리 측정 현황(2)

구분	연단거리 검토
연단거리	•하부구조 정부에 있어서 교축방향의 받침연단과 하부구조 정부 연단사이의 거리, S(㎜)는 다음의 값 이상으로 한다. (1) 거더의 경간길이 100m 이하 : S = 200 + 5L (2) 거더의 경간길이 100m 이상 : S = 300 + 4L, 여기서, L = 지간길이(m) •연단거리 산출 – S1, S5 거더길이(L = 39.8m) : S = 200 + 5 × 39.8m = 399.0㎜ – S2~S4 거더길이(L = 50.0m) : S = 200 + 5 × 50.0m = 450.0㎜  [연단거리 측정 및 검토]
검토결과	○ 상부구조 연단거리 검토 결과는 다음과 같다. – S1, S5= 399.0㎜, S2~S4= 450.0㎜ 이상으로 모두 설계기준 이상으로 만족함.

【표 3.22】 연단거리 검토 결과

구 분		실측 연단거리(mm)				최소연단 (계산값)	평 가
		SH1	SH2	SH3	SH4		
A1		450	460	490	490	399	OK
P1	전면	840	850	–	–	450	OK
	후면	850	850	–	–	450	OK
P2	전면	850	850	–	–	450	OK
	후면	850	850	–	–	450	OK
P3	전면	850	850	–	–	450	OK
	후면	850	850	–	–	450	OK
P4	전면	850	850	–	–	450	OK
	후면	850	840	–	–	450	OK
A2		660	680	620	615	399	OK

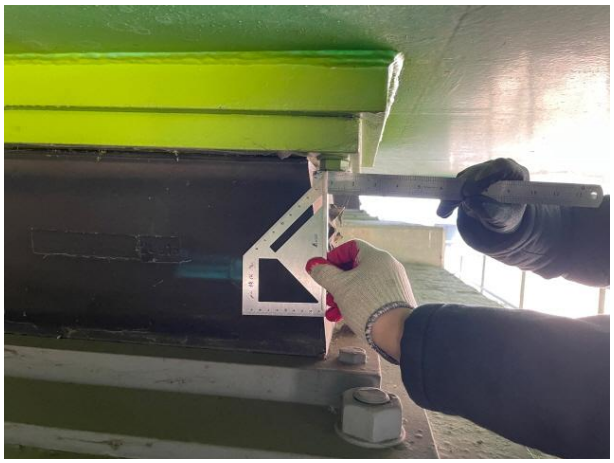
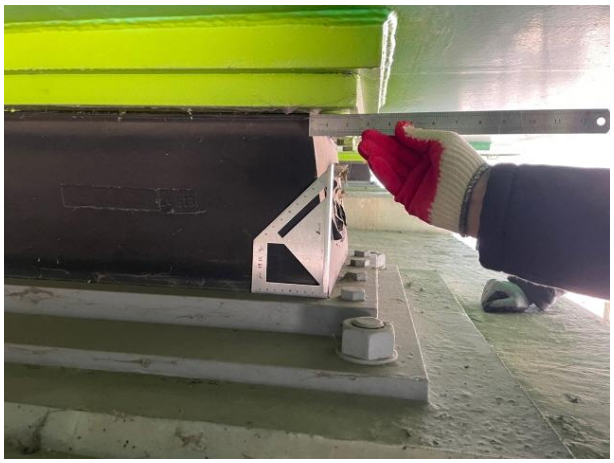
2) 연단거리 검토 결과

· 등원육교의 연단거리검토 결과, 전개소 최소연단거리를 확보하고 있는 양호한 상태로 검토되었다.

바. 가동받침의 여유량 검토

1) 이동량 계산방법

구분	계산방법	비고
이동량 산정	• 온도변화에 의한 이동량(⊿lt) ▸ ⊿lt = ⊿T · α · L 여기서, ⊿T : 건조수축에 해당하는 온도변화(한랭지방 −20℃~+40℃) △T(최대 신장시) : 40.0℃−3.9℃ = 35.1℃ △T(최대 수축시) : 3.9℃−(−20.0℃) = 23.9℃ α : 선팽창계수 강재 1.2×10^{-5} L : 신축거더 길이(㎜)	
산정방법	•소요 가동량 산정 조사일 : 2021. 12. 07. 기온 적용: 3.9℃ ⇒ 온도변화에 의한 이동량 산정, 신축거더 길이 (L = 25.0m) −⊿lt(최대신장시) = △T× α ×L = $35.1\times1.2\times10^{-5}\times25.0m\times1,000$ = 10.53㎜ −⊿lt(최대수축시) = △T× α ×L = $23.9\times1.2\times10^{-5}\times25.0m\times1,000$ = 7.17㎜ ⇒ 온도변화에 의한 이동량 산정, 신축거더 길이 (L = 75.0m) −⊿lt(최대신장시) = △T× α ×L = $35.1\times1.2\times10^{-5}\times75.0m\times1,000$ = 31.59㎜ −⊿lt(최대수축시) = △T× α ×L = $23.9\times1.2\times10^{-5}\times75.0m\times1,000$ = 21.51㎜ • 지점의회전변위에 의한 신축량 ⊿ℓr=Σ(hi·θi) hi:받침의 회전중심에서 보의 중립축까지의 높이 (거더높이의 2/3) θi:보의 회전각(강교 :1/150) ⊿ℓr =Σ(hi·θi)=2/3×2,500×1/150 =11.11mm h:거더높이 2,500mm, θ :1/150 (강교) *신축장 100m이상 교량의경우신장시에만 고려(도로설계요령, 2010) ⇒ 온도변화에 의한 이동량 산정, 신축거더 길이 (L = 115.0m) −⊿lt(최대신장시) = △T× α ×L = $35.1\times1.2\times10^{-5}\times115.0m\times1,000$ = 48.44㎜ ∴48.44㎜+11.11㎜ = 59.55㎜ −⊿lt(최대수축시) = △T× α ×L = $23.9\times1.2\times10^{-5}\times115.0m\times1,000$ = 32.98㎜ ∴32.98㎜−11.11㎜ = 21.87㎜	

	
이동량 측정 현황(1)	이동량 측정 현황(2)

2) 가동상태 검토결과

· 교량받침 이동량은 과업수행기간 2021년 12월 7일(3.9℃) 측정하였으며, 받침장치 가동 적정성 여부 확인 결과 온도 변화에 따른 변동량은 이론 변동량과 전반적으로 유사한 것으로 나타나 양호한 거동상태를 보이고 있는 것으로 평가되었다.

【표 3.23】 교량받침 이동량 산정

구 분	온도변화 (⊿T, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더 길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		지점의 회전변위에 의한 신축량 (㎜)	최대 받침 이동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
A1	23.9	35.1	1.2×10^{-5}	115.0	32.98	48.44	11.1	21.87	59.55
P1	23.9	35.1	1.2×10^{-5}	75.0	21.51	31.59	–	21.51	31.59
P2	23.9	35.1	1.2×10^{-5}	25.0	7.17	10.53	–	7.17	10.53
P3	23.9	35.1	1.2×10^{-5}	25.0	7.17	10.53	–	7.17	10.53
P4	23.9	35.1	1.2×10^{-5}	75.0	21.51	31.59	–	21.51	31.59
A2	23.9	35.1	1.2×10^{-5}	115.0	32.98	48.44	11.1	21.87	59.55

1) 조사당시 온도 : 3.9℃(조사일 : 2021년 12월 07일, 평균온도)
2) 검토온도 : −20℃ ~ +40℃(한랭지방)
3) 지점의회전변위에 의한신축량$\Delta \ell r = \Sigma(hi \cdot \theta i)$
여기서, hi:받침의회전중심에서보의 중립축까지의높이 (거더높이의 2/3) θi:보의 회전각(강교 :1/150)$\Delta \ell r = \Sigma(hi \cdot \theta i) = 2/3 \times 2{,}500 \times 1/150 = 12.0$mm h:거더높이2,700mm, θ :1/150 (강교)
*신축장 100m이상 교량의경우신장시에만 고려(도로설계요령, 2010)

사. 설계기준 온도(-20℃ ~ 40℃(한랭지방))에 따른 여유량 검토

본 교량은 준공 후 15년이 경과한 교량이므로 건조수축, 크리프 등의 영향은 무시하고, 온도 변화 및 활하중에 의한 영향을 고려하여 가동받침의 수축 및 신장에 대한 계산 이동량과 실측 여유량 비교, 분석 결과 현재 여유 있는 구조로 판정되었다.

【표 3.24】 교량받침 이동량 검토결과

구 분		점검당시 실측이동량 (㎜)	최대 받침 이동량(㎜)		실측 받침 가동여유량(㎜)		받침 가동여유량 (㎜)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
A1	Sh1	65.0(A1)	21.87	59.55	148.0	18.0	±83	O.K
	Sh2	55.0(A1)	21.87	59.55	138.0	28.0	±83	O.K
	Sh3	60.0(A1)	21.87	59.55	143.0	23.0	±83	O.K
	Sh4	60.0(A1)	21.87	59.55	143.0	23.0	±83	O.K
P1	Sh1	10.0(A1)	21.51	31.59	57.0	37.0	±47	O.K
	Sh2	5.0(A1)	21.51	31.59	52.0	42.0	±47	O.K
P2	Sh1	0.0	7.17	10.53	47.0	47.0	±47	O.K
	Sh2	0.0	7.17	10.53	47.0	47.0	±47	O.K
P3	Sh1	0.0	7.17	10.53	47.0	47.0	±47	O.K
	Sh2	0.0	7.17	10.53	47.0	47.0	±47	O.K
P4	Sh1	5.0(A2)	21.51	31.59	52.0	42.0	±47	O.K
	Sh2	5.0(A2)	21.51	31.59	52.0	42.0	±47	O.K
A2	Sh1	60.0(A2)	21.87	59.55	143.0	23.0	±83	O.K
	Sh2	50.0(A2)	21.87	59.55	133.0	33.0	±83	O.K
	Sh3	58.0(A2)	21.87	59.55	141.0	25.0	±83	O.K
	Sh4	55.0(A2)	21.87	59.55	138.0	28.0	±83	O.K

3.2.9 교대 및 교각

가. 현황

등원육교의 교대는 역T형, 교각은 구주식으로 시공되었으며, 교각 하단은 표면보호 마감재 처리가 되어있다. 외관조사는 콘크리트 부재의 일반적 손상(균열, 열화, 파손 등)과 교각 하부 보호마감재의 파손 등, 상부구조의 하중으로 인한 구조적 손상의 발생여부 등에 대하여 중점을 두고 조사를 실시하였다.

교대 전경	교각 전경

【그림 3.12】 하부구조 전경

나. 외관조사결과

금회 외관조사결과, 균열(0.3㎜미만), 망상균열(0.3㎜미만), 보수부들뜸, 박리, 파손, 철근 노출, 보수재 박리, 보호막 파손 등의 손상이 조사되었다.

현 황	보수부재균열(cw=0.2㎜, L=4.0m)	현 황	보수부재균열(cw=0.2㎜, L=4.5m)
위 치	A1교대 구체	위 치	A2교대 구체

현 황	층분리(A=0.2×0.4)
위 치	A2교대 구체

현 황	철근노출(A=0.2×0.2 ,2EA)
위 치	A2교대 구체

현 황	보수부 들뜸(A=0.6×0.4)
위 치	A2교대 구체

현 황	망상균열(A=3.0×2.0)
위 치	P4교각 기둥

현 황	보호막 파손(A=0.5×1.4)
위 치	P1교각 기둥

현 황	보수재박리(A=0.3×0.3)
위 치	P2교각 기둥

제1장
제2장
제3장
제4장
제5장
제6장
제7장
제8장
제9장

【표 3.25】 교대 및 교각 손상물량

구분		균열 (0.3㎜미만) (m/개소)	보수부 재균열 (0.3㎜미만) (m/개소)	보수부 들뜸 (㎡/개소)	층분리 (㎡/개소)	철근노출 (㎡/개소)
교대	A1	–	8.0 / 2	0.24 / 1	–	–
	A2	1.8 / 1	28.2 / 10	–	0.08 / 1	0.1 / 4
합계		1.8 / 1	36.2 / 12	0.24 / 1	0.08 / 1	0.1 / 4
구분		균열 (0.3㎜미만) (m/개소)	망상균열 (㎡/개소)	보호막 파손 (㎡/개소)	보수재 박리 (㎡/개소)	파손 (㎡/개소)
교각	P1	–	–	3.45 / 4	–	–
	P2	–	–	4.53 / 4	0.18 / 2	–
	P3	–	–	–	1.0 / 3	0.04 / 2
	P4	2.2 / 2	6.0 / 1	–	–	–
합계		2.2 / 2	6.0 / 1	7.98 / 8	1.18 / 5	0.04 / 2

다. 기 점검(2019년) 결과와 비교

교대 및 교각에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 전반적으로 손상 물량이 증가하였는데, 균열(0.3㎜미만)은 보수부에서 재발생되었으며, 그 외 층분리, 보수재 박리, 파손 등은 공용년수 증가로 인해 물량이 다소 증가한 것으로 분석되었다.

【표 3.26】 교대 및 교각 손상물량 기 점검 비교 물량

위치	손상내용	발생원인	단위	기 점검		금회 진단		증,감 (↑,↓)
				개소	물량	개소	물량	
교대	균열(0.3㎜미만)	건조수축, 온도변화	m	–	–	1	1.8	↑ 1.8
	보수부 재균열(0.3㎜미만)	건조수축, 보수미흡	m	–	–	12	36.2	↑ 36.2
	보수부 들뜸	보수미흡	㎡	–	–	1	0.24	↑ 0.24
	층분리	신축이음누수	㎡	–	–	1	0.08	↑ 0.08
	철근노출	피복부족	㎡	1	0.01	4	0.1	↑ 0.09
교각	균열(0.3㎜미만)	건조수축, 온도변화	m	1	1.2	2	2.2	↑ 1
	망상균열	건조수축, 온도변화	㎡	1	6.0	1	6.0	–
	보호막 파손	외부 충격	㎡	8	7.98	8	7.98	–
	보수재 박리	수분 유입	㎡	3	0.33	5	1.18	↑ 0.85
	파손	외부충격	㎡	1	0.01	2	0.04	↑ 0.03

라. 손상원인 및 대책

1) 균열

- 교대 및 교각에 발생된 균열(0.3㎜미만)은 단속적인 형태이며, 균열폭의 증가가 없는 것으로 보아 건조수축 및 온도변화에 의해 발생한 손상으로, 금회 보수부에서 다수 재발생된 것으로 확인되어 내구성확보를 위해 표면보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

2) 단면결함

- 철근노출은 교대 흉벽 하부측에 발생되었는데 시공초기 피복두께부족으로 발생한 것으로 판단되며, 내구성 확보를 위해 철근 방청 후 단면보수가 필요하다.
- 층분리는 신축이음누수에 의한 교면수(제설재) 유입에 의한 것으로 단면보수(방청)를 실시한다면 시설물 장기공용에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

3) 기타결함

- 그 외 조사된 보수부들뜸, 보호막 파손, 보수재 박리 등은 손상규모가 경미하므로 현 상태에서 주의관찰하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

3.2.10 외관조사 총괄표

【표 3.27】 외관조사 총괄표

위치	손상내용	발생원인	단위	기 점검 (2019년)		금회 진단 (2022년)		증,감 (↑,↓)
				개소	물량	개소	물량	
교면포장	ASP 망상균열	차륜하중, 공용증가	㎡	6	1.54	3	120.0	↑ 118.46
	ASP 소성변형	차륜하중, 시공미흡	㎡	11	70.1	6	33.5	↓ 36.6
	포트홀	차륜하중, 시공미흡	㎡	–	–	3	0.07	↑ 0.07
	접속부 포장파손	차륜하중, 공용증가	㎡	3	0.96	1	0.3	↓ 0.66
방호벽 및 중앙분리대	균열(0.3㎜이상)	건조수축, 온도변화	m	2	2.4	2	2.4	–
	보수부 재균열 (0.3㎜미만)	건조수축, 온도변화	m	19	22.6	22	26.2	↑ 3.6
	철근노출	재질열화, 피복부족	㎡	1	0.01	4	0.14	↑ 0.13
	박락	공용증가, 재질열화	㎡	–	–	1	0.03	↑ 0.03
배수시설	배수구 막힘	이물질 유입	EA	7	7	10	10	↑ 3
	배수관 고정철물 탈락	재질열화, 차량진동	EA	3	3	18	18	↑ 15
신축 이음장치	후타재파손	차륜하중, 재질열화	㎡	1	0.03	1	0.09	↑ 0.06
	신축이음누수	공용년수 증가	m	–	–	2	1.6	↑ 1.6
	부식	습윤환경, 공용증가	m	4	4.7	4	4.7	–
	유간토사퇴적	공용증가, 이물질유입	㎡	2	26.5	2	32.0	↑ 5.5
	차수판 볼트 탈락	공용년수증가	EA	3	3.0	4	4.0	↑ 1
바닥판 하면	균열(0.3㎜미만)	건조수축, 습윤환경	m	–	–	4	4.0	–
	보수부 균열부 백태	습윤환경, 공용증가	m	1	0.50	2	2.0	↑ 1.5
	망상균열	건조수축, 온도변화	m	1	11.25	6	66.3	↑ 55.05
	백태	습윤환경, 공용증가	㎡	5	0.52	17	2.69	↑ 2.17
	철근노출	피복부족	㎡	–	–	1	0.1	↑ 0.1
	잡철물부식	이물질 혼입	㎡	5	0.1	5	0.1	–

※기 점검과의 물량비교는 직전 점검은 2021년에 수행되었으나 금회 진단의 현장조사 시기가 2021년으로 물량의 차이가 경미하다고 판단하여 2019년 정밀안전점검과 비교분석을 실시함.

【표 3.27】 외관조사 총괄표(계속)

위치	손상내용	발생원인	단위	기 점검 (2019년)		금회 진단 (2022년)		증,감 (↑,↓)
				개소	물량	개소	물량	
거더 외부	강재변형 및 도장탈락	외부충격	㎡	2	0.49	4	4.5	↑ 4.01
	도장 박리, 부식	재질열화, 공용증가	㎡	13	1.27	17	2.07	↑ 0.8
	도장 긁힘	외부충격	㎡	10	31.37	10	31.37	–
	보수부 도장 탈락	재질열화, 공용증가	㎡	7	0.14	7	0.14	–
거더 내부	도장 박리, 부식	습윤환경, 재질열화	㎡	9	0.48	17	0.46	–
	도장박리(용접부)	시공미흡	m	5	1.1	7	1.5	↑ 0.4
	점부식	습윤환경, 재질열화	EA	4	4	4	4	–
	보수부 도장 탈락	재질열화, 공용증가	㎡	1	0.02	2	0.03	↑ 0.01
	환기망 누수흔적	우수유입	㎡	2	0.22	2	0.22	–
	환풍구 볼트 및 망 탈락	재질열화, 공용증가	EA	1	1	1	1	–
	실링 누락	시공미흡	EA	2	2	2	2	–
	누수흔적	우수유입	㎡	1	1.96	3	0.75	↓ 1.21
받침장치	받침플레이트 부식	습윤환경, 공용년수증가	EA	5	5	7	7	↑ 2
	받침플레이트 도장탈락,부식	습윤환경, 공용년수증가	㎡	2	0.06	2	0.06	–
	받침 볼트 부식	습윤환경, 공용년수증가	EA	53	53	52	52	↓ 1
	볼트체결불량	시공미흡	EA	1	1	1	1	–
	받침 몰탈 균열 (0.3㎜미만)	온도변화, 공용년수증가	m	39	5.2	45	4.5	↓ 0.7
교대	균열(0.3㎜미만)	건조수축, 온도변화	m	–	–	1	1.8	↑ 1.8
	보수부 재균열(0.3㎜미만)	건조수축, 보수미흡	m	–	–	12	36.2	↑ 36.2
	보수부 들뜸	보수미흡	㎡	–	–	1	0.24	↑ 0.24
	층분리	신축이음누수	㎡	–	–	1	0.08	↑ 0.08
	철근노출	피복부족	㎡	1	0.01	4	0.1	↑ 0.09
교각	균열(0.3㎜미만)	건조수축, 온도변화	m	1	1.2	2	2.2	↑ 1.0
	망상균열	건조수축, 온도변화	㎡	1	6.0	1	6.0	–
	보호막 파손	외부 충격	㎡	8	7.98	8	7.98	–
	보수재 박리	수분 유입	㎡	3	0.33	5	1.18	↑ 0.85
	파손	외부충격	㎡	1	0.01	2	0.04	↑ 0.03

※기 점검과의 물량비교는 직전 점검은 2021년에 수행되었으나 금회 진단의 현장조사 시기가 2021년으로 물량의 차이가 경미하다고 판단하여 2019년 정밀안전점검과 비교분석을 실시함.

3.3 콘크리트 내구성조사

3.3.1 개요

콘크리트 구조물은 공용기간이 증가함에 따라 주변 환경 및 사용여건의 영향으로 강도, 내구성, 사용성 등이 저하되고 이에 따라 균열, 누수, 백태, 표면 노후화, 부재변형, 동해, 철근부식 등의 손상이 발생한다. 본 과업에서는 현장조사 결과를 기초로 각종 검사기구 및 시험장비를 사용하여 콘크리트 재료시험을 실시하여, 대상구조물의 내구성과 구조안전성 평가의 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다.

【표 3.28】 비파괴 조사위치 선정사유

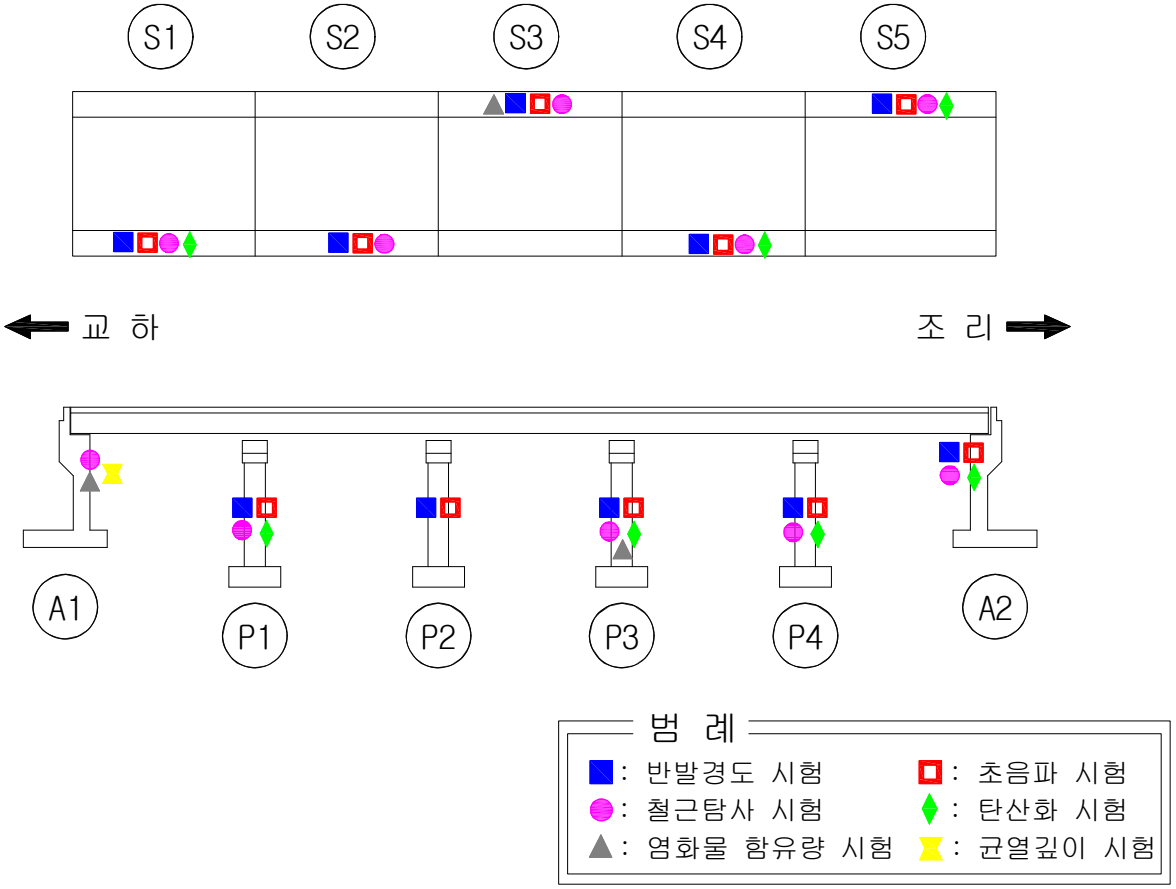
구 분	항 목		조사위치 선정사유	비 고
콘크리트 구조물	기본 과업	반발경도시험	•콘크리트 비파괴강도 측정을 위하여 실시하였으며, 기 진단과 비교하고자 동일 단면에서 70%, 신규(불건전 부위 포함) 30% 정도를 선정하여 실시하였음.	
		초음파시험		
		철근탐사시험		
		탄산화깊이 측정	•탄산화에 의한 철근부식 발생 영향을 검토하기 위한 시험으로 기 진단과 비교하고자 동일 단면에서 30%, 신규 70% 정도를 선정하여 실시하였음.	
		염화물함유량 시험	•철근 깊이까지의 염화물 분포 파악을 위한 시험으로 기 진단과 비교하고자 동일 단면 1개소, 신규 2개소를 선정하여 실시하였음.	
		균열깊이측정	•외관조사 결과를 토대로 0.3㎜이상 균열 부위에 대해 책임기술자 판단 하에 대표단면 1개소를 선정하여 실시하였음	

【표 3.29】 기준수량 및 실시수량

구 분	항 목		세부지침 기준		기준수량		실시수량	
			상부구조	하부구조	상부 구조	하부 구조	상부 구조	하부 구조
콘크리트 구조물	기본 과업	반발경도시험	•철근콘크리트 : 2개소/50m •강합성교 : 1개소/50m	•1개소/50m •교대, 교각 개소수 (경간장 50m이상)	5개소	5개소	5개소	5개소
		초음파시험			5개소	5개소	5개소	5개소
		철근탐사시험			5개소	5개소	5개소	5개소
		탄산화깊이 측정	•5경간 이상 : 6~9개소 (상부구조에서 최소 3개소 이상 실시)		6~9개소		3개소	3개소
		염화물함유량 시험	•3개소 이상 (상부구조에서 최소 1개소 이상 실시)		–		1개소	2개소
		균열깊이 조사	•책임기술자의 판단에 따른 수량 결정		–		–	1개소
		강재용접부 초음파탐상시험	•박스거더교 : 2개소/경간별 거더		40개소		40개소	–

반발경도시험 전경	초음파시험 전경
철근탐사시험 전경	탄산화깊이 측정 전경
염화물 시료 채취현황	균열깊이 측정 전경

【그림 3.13】 콘크리트 내구성시험 전경



비파괴 시험 위치도

【그림 3.14】 현장시험 조사 위치도

3.3.2 시험내용 및 평가기준

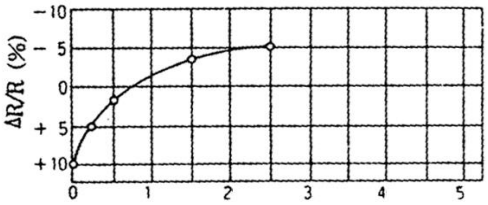
가. 콘크리트 강도시험

1) 반발경도시험

【표 3.30】 반발경도시험

개 요	•콘크리트 표면의 반발경도를 측정하여, 콘크리트의 압축강도를 추정하는 검사방법임. •슈미트해머는 경화된 콘크리트 표면을 타격시, 반발도(R)와 콘크리트의 압축강도(　　)와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 적용함.
시험 방법	•반발경도 측정은 선정된 부위에 그라인딩 작업으로 표면 정리를 한 다음 타격점 상호간의 종·횡 간격을 30㎜기준으로 그어 직교되는 부위에 20점 이상을 타격하여 반발경도 값의 산술 평균값을 구하고, 각 반발경도 값이 평균값의 ±20%범위를 벗어나는 값들은 제외시키고 나머지 값들을 다시 산술평균하여 반발경도를 결정함. •측정점간의 최소간격은 보, 기둥 등 모서리로부터 30~60㎜ 이상 떨어진 장소에서 측정 하고, 측정부재의 최소두께는 반발도의 영향을 고려하여 100㎜이상을 원칙으로 함. •측정치는 원칙적으로 정수값을 읽고, 표면 건조상태의 부위를 선정, 측정하여 건습에 따른 보정, 압축응력에 따른 반발도의 보정과 타격 방향에 대한 보정 및 재령에 따른 보정을 적용함. 측정기의 기종 선정 ↓ 점검기에 의한 정도확인 ↓ 측정 장소의 확인, 요철제거 ↓ Marker 등에 의한 측정점의 표시 ↓ 측정, 20점 이상의 평균 ↓ 타격 방향, 습윤 및 재령의 보정 ↓ 강도추정식에 의한 압축강도 산출 ↓ 압축강도의 추정
보정 방법	•타격방향에 따른 보정(ΔR_1) •콘크리트의 습윤상태에 따른 보정(ΔR_3) 기건상태 : $\Delta R_3 = 0$ 습윤상태 $\Delta R_3 = +5$ •압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정(ΔR_2) 압축응력 1.0kgf/㎠ 인 경우 $\Delta R_2 = -0.015R$, 2.5kgf/㎠ 인 경우 $\Delta R_2 = -0.05R$ 정도임. 그러나 현실적으로 측정부위에 작용하는 응력을 산정하는 것이 용이하지 않으므로 보정은 제외함. •콘크리트 재령에 따른 보정(α) •$Ro = R + \Delta R$ ($\Rightarrow \Delta R = \Delta R_1 + \Delta R_2 + \Delta R_3$) 여기서, ΔR_1 : 타격방향에 따른 보정값 ΔR_2 : 압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정값 ΔR_3 : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값
압축 강도 추정식	•기 점검 및 진단 시험결과와의 비교 · 검토를 위하여 선정 – 방법 1 : $Fc = -18.0 + 1.27 \times R_o$ (MPa) ⇒ 일본 재료학회 강도 추정식 – 방법 2 : $Fc = (7.3R_o + 100) \times 0.098$ (MPa) ⇒ 일본 건축학회 강도 추정식

반발경도 (R)	수평과 이루는 각도 +90°	+45°	−45°	−90°	비고
10	–	–	+2.4	+3.2	상향수직 : +90° 하향수직 : −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	+1.6	+2.2	
60	−2.3	−1.6	+1.3	+1.7	



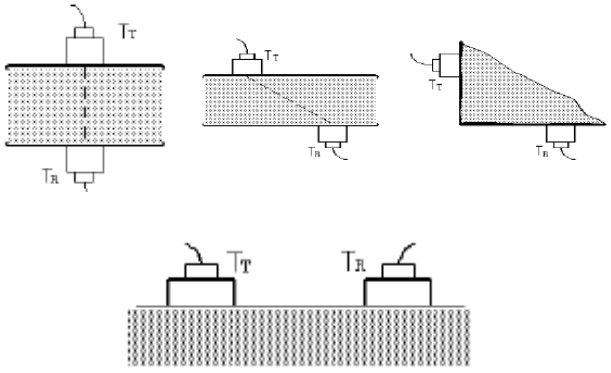
<압축응력에 따른 반발경도 보정곡선>

구분	7일	14일	21일	28일	100일	500일	750일	1000일	2000일	3000일
재령(α)	1.72	1.36	1.12	1.00	0.78	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※콘크리트 내구성 평가절차 수립(한국시설안전공단, 1999.12) 참조
※시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(국토교통부/국토안전관리원 2021.12) 참조

2) 초음파시험

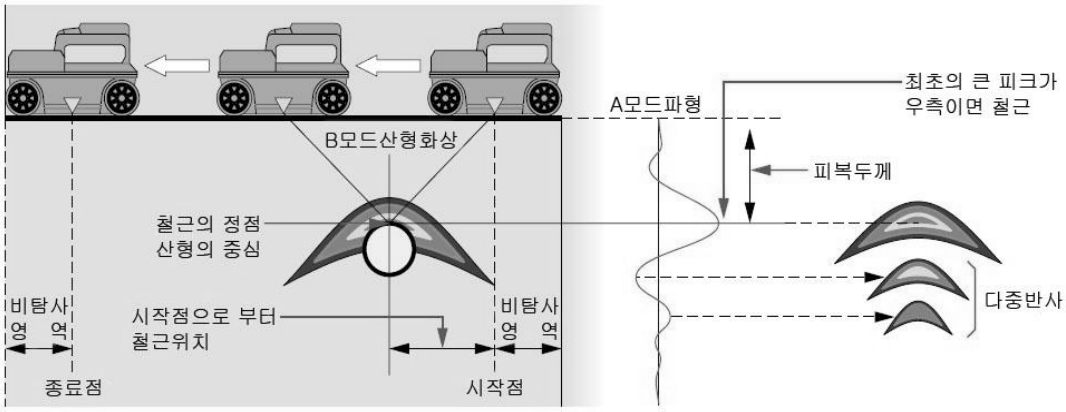
【표 3.31】 초음파시험

개 요	•초음파법은 초음파 (주파수 50~100 kHz 정도)의 투과속도가 콘크리트의 밀도 및 탄성계수에 따라서 변화한다는 것을 이용하여 이 투과속도로부터 콘크리트의 강도, 균열상태, 내부결함 등을 조사하는 방법임.
영향 인자	•콘크리트의 특성을 정확히 재현할 수 있는 펄스 속도 시험을 위해서는 펄스속도에 영향을 미치는 요인 및 콘크리트의 다양한 물리적 특성과의 상관관계를 고려해야 하며, 영향인자로는 함수량, 콘크리트의 온도, 시험체의 형상, 내부 철근의 유무 등이 있음.
시험 방법	•초음파속도를 측정하기 위한 탐촉자의 배열은 직접법, 간접법 및 표면법이 있음. •직접법에서 구한 초음파 전달속도(종파)를 강도 추정에 이용하나 보통 현장에서 직접법으로 적용할 수 없는 측정부분들에 대해서는 간접법(표면법)으로 초음파속도를 측정함. •타격법과 동일부재 동일위치에서 측정하는 것을 원칙으로 하여 초음파속도를 측정함. •간접법을 직접법으로 환산 Vd ≈ 1.05 Vi 여기서, Vd : 직접법에 의한 초음파속도 Vi : 간접법에 의한 초음파속도  측정 장소의 선정 ↓ 측정 장소의 확인, 요철제거 ↓ Marker 등에 의한 측정점의 표시 ↓ 측정기의영점 조정 ↓ 진동자와 측정면 사이 공극이 생기지 않도록 그리스로 밀착 ↓ 전달속도 측정 및 산출 ↓ 압축강도의 추정 또는 품질평가
초음파 전달 속도	•전달속도$(Velocity,\ mm/\mu sec)$ = $\dfrac{\text{전달길이}(Path \le ngth,\ L\ :\ mm)}{\text{전달시간}(Transit\,Time,\ T:\ \mu sec)}$
압축 강도 추정식	•기 점검 및 진단 시험결과와의 비교 · 검토를 위하여 선정 – 방법 3 : Fc = (102Vd - 117) × 0.098 (MPa) ⇒ 일본재료학회 강도 추정식 – 방법 4 : Fc = (215Vd - 620) × 0.098 (MPa) ⇒ 일본건축학회 강도 추정식

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※콘크리트 내구성 평가절차 수립(한국시설안전공단, 1999.12) 참조
※시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(국토교통부/국토안전관리원, 2021.12) 참조

나. 철근탐사시험

【표 3.32】 철근탐사시험

개 요	•본 탐사는 시공 상태평가를 위하여 설계도서에 기록된 배근간격과의 동일 시공여부를 비교하여 구조체 배근상태의 적정성을 판단하며, 철근피복두께를 조사하여 탄산화로 인한 구조물의 내구성 평가와 장기적인 내구성 확보를 위한 대책마련을 위해 실시함.
탐사 조건	•적용 가능한 조건 – 탐사심도 200㎜ 이내 – 탐사대상 철근지름이 6㎜ 이상 – 콘크리트의 질이 균일한 곳 – 철근이 안테나 진행 방향에 직교한 곳 •적용 곤란한 조건 – 표면에 금속 등 전파를 반사하는 것이 있고, 그 밑에 철근이 위치한 경우 – 100㎜ 이하의 피치에서 배근된 경우 – 철근이 안테나 진행 방향과 평행한 경우
측정 방법	•철근탐사장비 RC-Radar의 측정원리는 전자파를 콘크리트의 표면에서 내부로 방사하여 콘크리트와 전기적 성질이 다른 철근이나 공동 등의 대상물로부터 반사되는 전파를 다시 안테나에서 수신하여 철근의 배근상태나 공동 등의 위치 및 깊이를 화상으로 기록하는 장비로 레이다 방식(화면 모니터 방식)이며, 측정가능심도는 5~200㎜임.  <RC-Radar 측정원리>
평가 기준	•철근의 피복두께는 콘크리트 표면에서 철근 최외측면까지의 거리로 함. •철근의 피복두께 및 배근상태를 준공도면과 비교하여 적정성 여부를 판단함. •실측된 철근배근 간격과 피복두께는 평균적인 개념으로 판단함이 바람직함.

<철근의 피복두께 기준>

구 분	조 건	부재종류	철근직경/구분	피복두께(㎜)	비 고
현장 타설 콘크리트	옥외 공기나 흙에 직접 접하지 않는 부위	슬래브	D35 초과	40	
		벽체, 장선	D35 이하	20	
		보 기둥	fck ≥ 40MPa	30	규정값에서 10㎜ 저감 가능
			fck < 40MPa	40	
		쉘, 절판 부재		20	
	수중에서 타설 되는 콘크리트			100	
	흙에 영구히 묻혀 있는 콘크리트			80	
	흙에 접하거나 옥외공기에 직접 노출되는 콘크리트		D29 이상 철근	60	
			D25 이하 철근	50	
			D16 이하의 철근	40	

※콘크리트 구조기준(한국콘크리트학회, 2012) 참조

유효깊이(d)	유효깊이의 허용오차	피복두께의 허용오차
d ≤ 200㎜	±10㎜	−10㎜
d > 200㎜	±13㎜	−13㎜

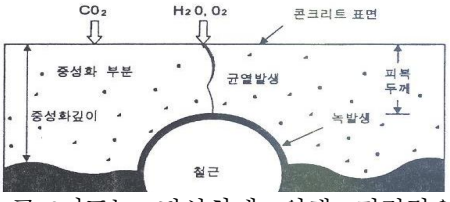
※피복두께의 허용오차는 도면 또는 설계기준에서 요구하는 최소 피복두께의 −1/3로 하여야 함.

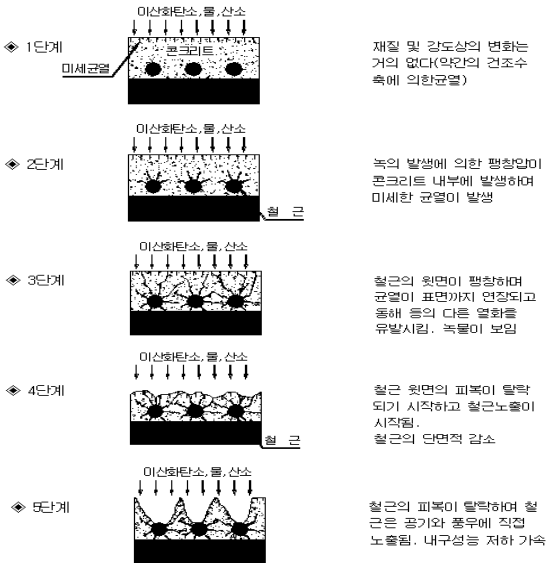
※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※진단장비 활용·관리 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(국토교통부/국토안전관리원(2021.12) 참조

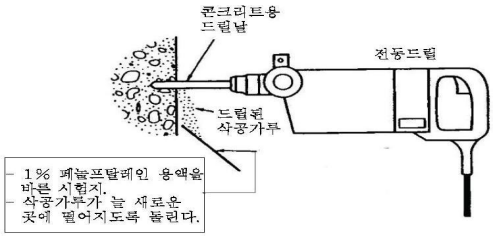
제1장 제2장 제3장 제4장 제5장 제6장 제7장 제8장 제9장

다. 탄산화깊이 측정

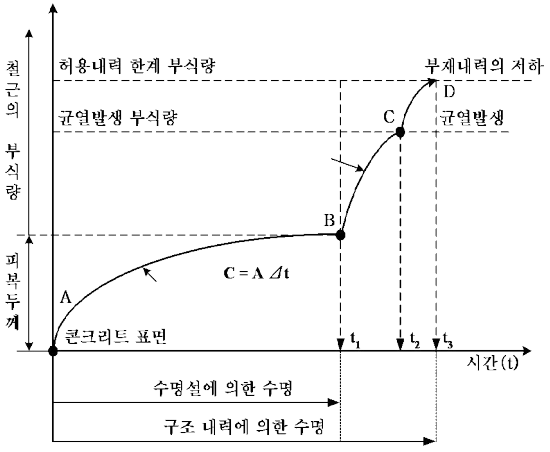
【표 3.33】 탄산화깊이 측정

<table>
<tr>
<td>개 요</td>
<td>
•경화콘크리트는 표면에서 서서히 탄산화 하여 pH값은 12~13에서 8~10 이하로 감소함. 이 과정을 콘크리트의 탄산화라고 함.
$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$
$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$


•콘크리트는 탄산화에 의해 직접적으로 성능이 저하되는 것은 아니며, 단지 탄산화가 문제가 되는 이유는 탄산화가 피복두께를 넘어서 철근의 표면에 도달하게 되면 철근표면을 감싸고 있던 부동태 피막이 파괴되면서 철근표면에 부식이 시작되기 때문임.


<탄산화에 의한 콘크리트 성능저하 과정>
</td>
</tr>
<tr>
<td>측정 방법</td>
<td>


① ϕ10mm의 드릴링에 의해 채취되는 콘크리트가루를 이용하여 탄산화 깊이를 시험하는 방법으로 드릴링에 의해 발생되는 콘크리트가루가 페놀프탈레인용액을 적신 원형 시험지에 떨어져 변색되는 시점을 탄산화 깊이로 정하고 있음
② 페놀프탈레인 1% 용액 : 페놀프탈레인 1g + 에탄올 90cc(순도 95%) + 증류수 = 100ml로 제조
</td>
</tr>
<tr>
<td>평가 기준</td>
<td>

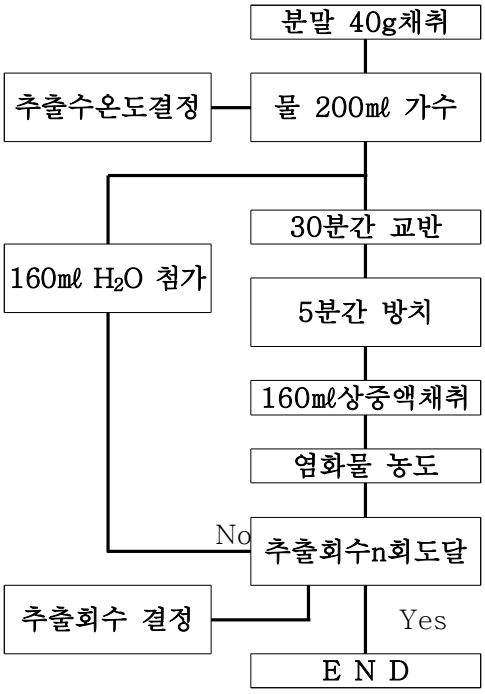
<table>
<tr><th>구분</th><th>a</th><th>b</th><th>c</th><th>d</th><th>e</th></tr>
<tr><td>탄산화 잔여 깊이</td><td>30㎜ 이상</td><td>10 ㎜ 이상 ~ 30㎜ 미만</td><td>0 ㎜ 이상 ~ 10㎜ 미만</td><td>0㎜ 미만</td><td>–</td></tr>
<tr><td>철근부식의 가능성</td><td>탄산화에 의한 부식발생 우려 없음.</td><td>향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음.</td><td>탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음.</td><td>철근부식 발생함.</td><td>–</td></tr>
</table>
</td>
</tr>
<tr>
<td>내구 수명 평가</td>
<td>
•t_1 : 탄산화가 철근표면에 도달하는 시점
t_2 : 철근 부식, 콘크리트 균열 발생 시점
t_3 : 부재내력이 한계에 달하는 시점
•탄산화속도 식 : $\sqrt{}$
여기서, : 탄산화깊이(㎜)
: 경과년수(년)
: 탄산화 속도계수(㎜/)
•탄산화가 철근에 도달하는 시간( ) :
—
여기서, : 철근까지의 피복두께(㎜)
: 현재의 구조물 경과시간(년)


</td>
</tr>
</table>

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(국토교통부/국토안전관리원, 2021.12) 참조

라. 염화물 함유량 시험

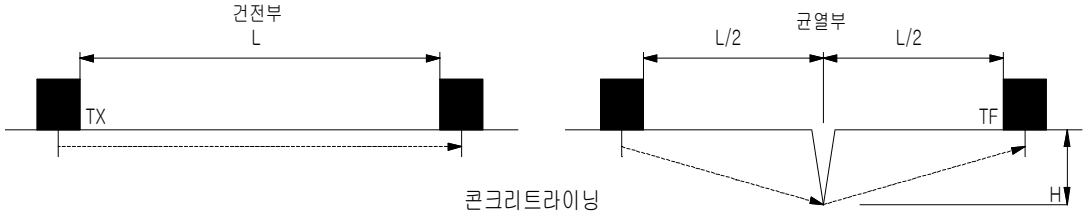
【표 3.34】 염화물 함유량 시험

개 요	•콘크리트가 탄산화되거나 염화물이 침투하게 되면 철근주위의 산소차단 역할을 하는 부동태막이 파손되고, 강재표면이 활성화되면 철근의 부식이 시작되어 철근의 부식방지를 위해서 염화물 이온량을 원칙적으로 제한할 필요가 있음. •굳지 않은 콘크리트의 총 염화물 이온량은 국내의 경우 0.30kg/㎥이하로 제한하고 있으며, 책임기술자의 승인을 받는 경우 0.60kg/㎥ 까지 허용될 수 있음.
시험 방법	•본 진단 대상구조물의 콘크리트 재료 중에 함유된 염화물함유량 정도를 추정하기 위하여 현장에서 채취한 분말시료를 이용하여 실내시험을 실시함. •경화콘크리트는 염분을 증류수로 용출하여 시험을 하며, 경화콘크리트에 대한 염분함량 측정은 일본 "건설성 토목연구소"에서 규정한 [콘크리트 중에 포함되어 있는 염화물의 정량 방법에 관한 사안]에 따라 가용성 염분량의 분석을 실시함. •그러나 이미 굳은 콘크리트의 총 염화물 이온량에 대한 검토가 염소이온 농도에 의해 이루어질 경우, 재령 29일 이후의 콘크리트에서 최대 수용성 염화물 이온농도 시험은 KS F 2713(콘크리트 및 콘크리트의 재료의 염화물 분석 시험 방법)에 따라 시행하고 콘크리트 구조기준(2012년)에 준하여 철근부식방지를 위한 최대 수용성 염소이온 비율 값으로 검토할 수 있음  <염화물함유량 시험방법>
평가 기준	<염화물 상태평가 기준> 구 분 / a / b / c / d / e 전염화물 이온량(kg/㎥) / 염화물≤0.3 / 0.3<염화물<1.2 / 1.2≤염화물<2.5 / 염화물≥2.5 / – 철근부식의 가능성 / 염화물에 의한 부식발생 우려 없음. / 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음. / 향후 염화물에 의한 부식발생 가능성 높음. / 철근부식 발생. / –

※콘크리트 내구성 평가절차 수립(한국시설안전공단, 1999.12) 참조
※시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(국토교통부/국토안전관리원 2021.12) 참조

마. 균열깊이 조사

【표 3.35】 균열깊이 측정

개 요	•본 과업에서는 외관조사를 바탕으로 대표적인 균열부를 선정하였으며, 초음파를 이용한 Tc-To법을 적용하여 측정하였다. •Tc-To법은 측정대상인 콘크리트 부재에서 균열부와 건전부에서 각각 측정하고, 양자의 데이터 비교에 의해 균열깊이를 산출한다.
시험방법	•균열부분을 중심으로 송신탐촉자(TX)와 수신탐촉자(TR)를 등간격으로 배치하고, 송신탐촉자로부터 발신된 종파초음파가 그림 중의 점선과 같이 콘크리트 내를 전파하고, 균열선단부를 경유해서 수신탐촉자에 도달하기까지의 시간 Tc를 구한다. •균열이 없는 부분을 대상으로 동일 방법으로 송신탐촉자와 수신탐촉자의 거리 L과 초음파가 전파하는 시간 To를 구해서 균열깊이(H)를 평가한다. •콘크리트에 균열 있는 경우 그림과 같이 초음파의 전달경로가 균열을 따라 진행하기 때문에 초음파의 전달시간이 건전부의 전달시간보다 상대적으로 길어지게 된다. 이러한 특성을 이용하여 균열 깊이를 측정할 수 있다.  <초음파 속도법을 이용한 균열깊이 측정방법> 균열깊이 $= \sqrt{\quad}$ 여기서, To : 균열이 없는 건전부의 초음파 전달속도 Tc : 균열면 주위의 초음파 전달속도
평가기준	<균열깊이의 손상도 판정기준>

손상도	균열깊이(H)	구조물 상황
Ⅰ	피복두께 균열깊이	•콘크리트 중 강재 부식 없음 •일반적인 정기점검으로도 충분한 단계
Ⅱ	피복두께 > 균열깊이 ≥ $\frac{\text{피복두께}}{2}$	•콘크리트 중 강재의 부식 시작 •구조물의 중요도, 내구연한 등 유지관리의 수준에 따라서 정밀한 내구성 진단의 실시가 필요한 단계
Ⅲ	균열깊이 피복두께	•콘크리트 중 강재의 부식 진행 •정밀한 내구성 진단을 실시하여 구조물의 상황을 확실히 파악할 필요가 있는 단계
Ⅳ	-	•콘크리트 중 강재 부식 •즉시 정밀한 내구성 진단이 필요한 단계

※여기서, Dc는 피복두께(mm)를 의미함

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조
※콘크리트 내구성 평가절차 수립(한국시설안전공단, 1999.12) 참조
※시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(국토교통부/국토안전관리원, 2021.12) 참조

3.3.3 시험결과 및 분석

1) 콘크리트 강도시험

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

초음파시험은 반발경도시험을 수행한 동일부위를 선정하여 그라인딩을 실시하고 그리스를 도포 한 후, 발신자와 수신자의 측정거리를 10cm간격으로 증가시키면서 간접법에 의한 초음파 전달속도를 측정하였으며, 이를 직접법 속도로 환산하였다.

본 과업에서 대상 구조물의 콘크리트 비파괴강도를 평가하기 위하여 반발경도시험, 초음파시험의 결과를 비교하였고, 각 시험방법에 의한 비파괴강도를 【표 3.36】에 나타내었다.

① 비파괴강도 시험결과

【표 3.36】 콘크리트 비파괴강도 시험결과

시험위치		비파괴시험		반발경도시험(MPa)			초음파시험(MPa)			설계 기준 강도 (MPa)
		반발 경도 (R_0)	초음파 속도 (V_d)	①식 일본 재료학회	②식 일본 건축학회	최소	③식 일본 재료학회	④식 일본 건축학회	최소	
상부구조	S1 캔틸레버 하면	52.5	4.194	30.7	29.8	29.8	30.5	27.6	27.6	27.0
	S2 캔틸레버 하면	49.2	4.359	28.0	28.3	28.0	32.1	31.1	31.1	
	S3 캔틸레버 하면	50.7	4.257	29.3	29.0	29.0	31.1	28.9	28.9	
	S4 캔틸레버 하면 (비건전부)	48.8	4.264	27.7	28.2	27.7	31.2	29.1	29.1	
	S5 캔틸레버 하면	48.9	4.311	27.8	28.2	27.8	31.6	30.1	30.1	
하부구조	교대 A2	46.1	4.097	25.5	26.9	25.5	29.5	25.6	25.6	24.0
	교각 P1	47.0	4.266	26.2	27.3	26.2	29.4	25.4	25.4	
	교각 P2	53.4	4.249	31.4	30.2	30.2	31.0	28.8	28.8	
	교각 P3	48.7	4.291	27.6	28.1	27.6	31.4	29.7	29.7	
	교각 P4	50.2	4.095	28.8	28.8	28.8	29.5	25.5	25.5	

② 코어 강도를 이용한 비파괴강도 보정

제안된 여러 비파괴강도 추정식의 신뢰성을 높이기 위해 비파괴시험부위 혹은 인접부위에서 채취한 코어의 압축강도와 상관계수를 도풀하여 상관성이 좋은 비파괴강도의 식을 채택하고 그에 따른 보정계수를 사용하여 비파괴강도의 값으로 사용하였으며, 코어압축강도는 기 진단 시 자료를 활용하여 산정하였다.

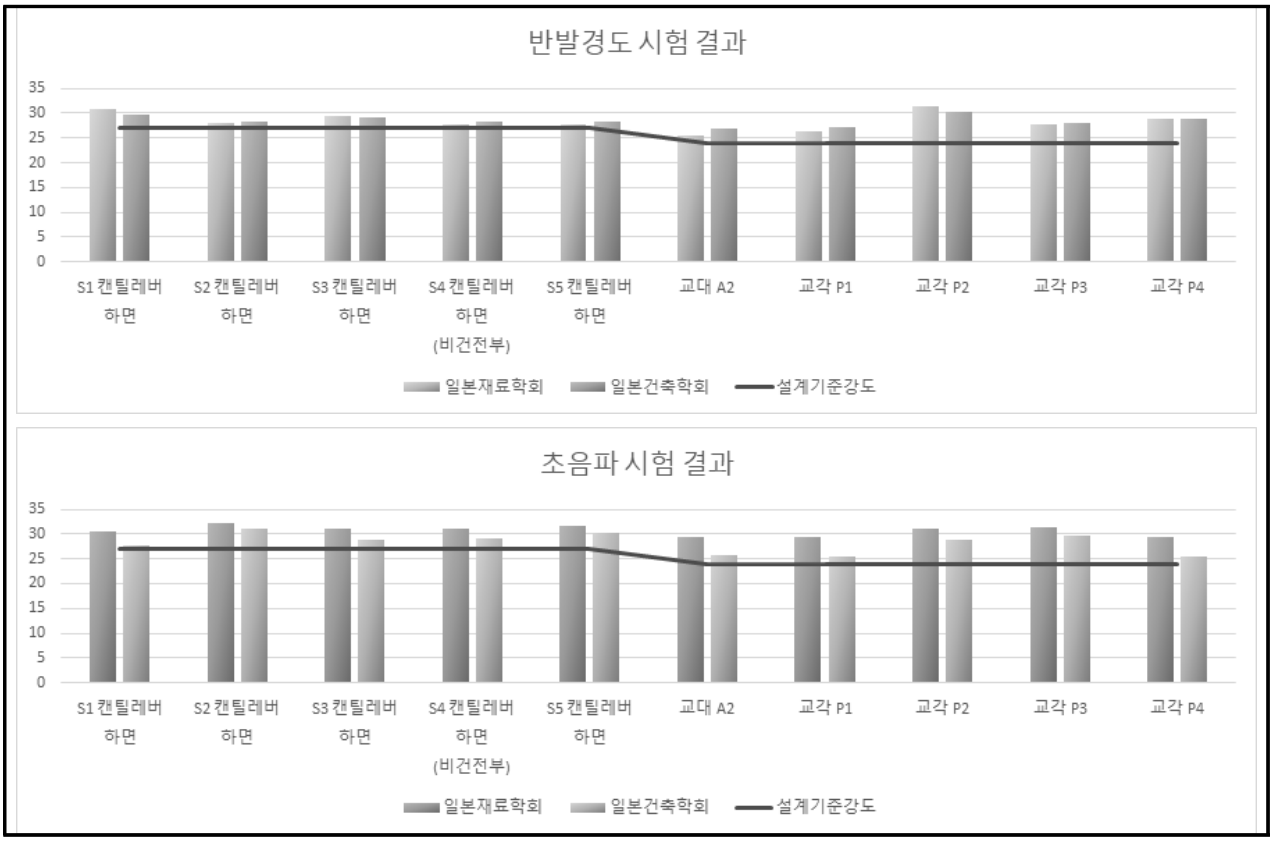
【표 3.37】 비파괴 강도 보정

구 분	코어압축강도	반발경도법				초음파법			
		일본재료학회		일본건축학회		일본재료학회		일본건축학회	
		측정 강도	보정 계수	측정 강도	보정 계수	측정 강도	보정 계수	측정 강도	보정 계수
A1	37.2	–	–	–	–	–	–	–	–
A2	40.5	25.5	1.588	26.9	1.506	29.5	1.373	25.6	1.582
P4	31.2	28.8	1.083	28.8	1.083	29.5	1.058	25.5	1.224
보정계수(Ct) 평균		–	1.336	–	1.294	–	1.215	–	1.403

각 방법에 의해 보정계수를 산정한 결과, 반발경도법의 일본건축학회식, 초음파법의 일본재료학회식이 가장 “1” 에 근접한 것으로 확인되어 반발경도법은 1.294, 초음파법은 1.215를 적용하여 보정강도를 산정하였다.

【표 3.38】 콘크리트 비파괴강도 시험결과

시험위치		반발경도시험(MPa)			초음파시험(MPa)			설계 기준 강도 (MPa)
		②식 일본 건축학회	보정계수 (Ct)	보정강도 (MPa)	③식 일본 재료학회	보정계수 (Ct)	보정강도 (MPa)	
상부구조	S1 캔틸레버 하면	29.8	1.294	38.6	30.5	1.215	37.1	27.0
	S2 캔틸레버 하면	28.3		36.6	32.1		39.0	
	S3 캔틸레버 하면	29.0		37.5	31.1		37.8	
	S4 캔틸레버 하면 (비건전부)	28.2		36.5	31.2		37.9	
	S5 캔틸레버 하면	28.2		36.5	31.6		38.4	
하부구조	교대 A2	26.9		34.8	29.5		35.8	24.0
	교각 P1	27.3		35.3	29.4		35.7	
	교각 P2	30.2		39.1	31.0		37.7	
	교각 P3	28.1		36.4	31.4		38.2	
	교각 P4	28.8		37.3	29.5		35.8	



【그림 3.15】 콘크리트 비파괴강도시험 결과

【표 3.39】 비파괴강도 시험결과 분석

구 분	시험방법	강도(A)(㎫)	설계기준강도(B)(㎫)	A/B×100(%)
상부구조	반발경도시험	27.7~29.8	27.0	102.6~110.4
	초음파시험	27.6~31.1		102.2~115.2
하부구조	반발경도시험	26.9~30.2	24.0	112.1~125.8
	초음파시험	25.4~29.7		105.8~122.5

비파괴강도 시험(반발경도시험. 초음파시험)에 의한 콘크리트 강도시험 결과, 상부구조 반발경도시험 27.7~29.8MPa, 보정강도(36.5~38.6MPa), 초음파시험 27.6~31.1MPa, 보정강도(37.1~39.0MPa)로 설계기준강도(27.0MPa)를 상회하는 것으로 측정되었으며, 하부구조 반발경도시험 26.9~30.2MPa, 보정강도(34.8~39.1MPa), 초음파시험 25.4~29.7MPa, 보정강도(35.7~38.2MPa)로 설계기준강도(24.0MPa)를 상회하는 것으로 측정되어 건전부와 비건전부 상관없이 콘크리트 강도는 건전한 것으로 판단된다.

③ 기 결과와의 비교

【표 3.40】 비파괴강도 측정결과 기 결과와의 비교 · 분석

구분	기 진단		기 점검	금회 진단		설계 강도 (㎫)
	반발경도시험 (㎫)	초음파시험 (㎫)	반발경도시험 (㎫)	반발경도시험 (㎫)	초음파시험 (㎫)	
상부 구조	28.5~29.1	27.2~30.6	27.5~32.3	29.3~33.0	27.9~32.9	27.0
하부 구조	24.7~25.3	24.2~29.7	24.0~28.4	25.6~29.5	28.1~29.8	24.0

기 진단(2017년) 및 점검(2021년)과 금회 측정한 비파괴 압축강도 측정값을 비교 · 분석한 결과, 측정위치에 따라 다소 차이는 발생하고 있으나 전반적으로 기 진단 및 전차 점검 결과와 유사한 경향을 보이고 있으며, 측정개소 모두 설계기준강도를 상회하는 것으로 측정되어 콘크리트 강도는 전반적으로 양호하며, 강도저하는 발생되지 않은 것으로 판단된다.

2) 철근탐사시험

철근의 피복두께가 부족할 경우에는 콘크리트의 탄산화 등에 따른 열화손상에 대한 저항성이 저하되어 내구성이 감소할 가능성이 있으며, 피복두께가 지나치게 큰 경우에는 강도감소 등을 수반할 우려가 있다. 또한 철근의 배근 간격이 설계도서와 다를 경우 구조물의 안전성에 직접적인 영향을 미치므로 내하력 저하의 원인이 된다.

철근탐사시험은 상부구조 5개소, 하부구조 5개소에서 RC-Rader를 이용하여 실시하였다. 상부구조의 철근탐사는 바닥판 캔틸레버부에서 조사를 실시하였으며, 하부구조의 경우 교대 및 교각 구체에서 조사를 실시하였다.

① 철근탐사 시험결과

【표 3.41】 철근탐사 시험결과

시험위치		철근종류	측정치(㎜)		설계치(㎜)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
상부구조	S1 캔틸레버 하면	주철근	246.3	44	250	40	
		배력철근	145.0	58	150	40	
	S2 캔틸레버 하면	주철근	261.1	39	250	40	
		배력철근	149.0	62	150	40	
	S3 캔틸레버 하면	주철근	245.5	43	250	40	
		배력철근	151.2	48	150	40	
	S4 캔틸레버 하면	주철근	243.8	57	250	40	
		배력철근	147.4	55	150	40	
	S5 캔틸레버 하면	주철근	250.0	52	250	40	
		배력철근	141.0	52	150	40	

【표 3.41】 철근탐사 시험결과(계속)

시험위치		철근종류	측정치(㎜)		설계치(㎜)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
하부구조	교대 A1	수직철근	196.2	83	200	100	
		수평철근	302.5	105	300	100	
	교대 A2	수직철근	194.6	86	200	100	
		수평철근	307.5	108	300	100	
	교각 P1	수직철근	105.5	92.5	110	100	
		수평철근	157.5	89	150	100	
	교각 P3	수직철근	110.3	103	110	100	
		수평철근	148.0	68	150	100	
	교각 P4	수직철근	106.6	92	110	100	
		수평철근	146.5	94	150	100	

주) 피복두께는 설계도서를 참고하여 순피복두께를 적용함.

철근탐사 결과를 "등원육교 준공도서"를 기준으로 비교·검토 한 결과 철근의 배근간격은 각각의 철근간의 간격이 다소 편차를 보이고 있으나 전체적인 평균 간격은 설계 간격과 유사한 것으로 확인되었다. 피복두께가 설계치 보다 작게 측정된 것이 일부 조사되었으며, 이는 콘크리트 타설시 철근 유동 등에 의한 것으로 판단되며, 준공 이후 공용기간 동안 피복두께로 인한 손상이 없는 점으로 보아, 공용중 이로 인한 문제는 없을 것으로 판단된다.

② 기 결과와의 비교

【표 3.42】 철근탐사결과 기 결과와의 비교·분석

시험위치		철근종류	기 진단		금회 진단		설계치(㎜)		비고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
상부	바닥판	주철근	120~132	34~58	-	-	125	40	
		배력철근	146~158		-		150		
	캔틸레버	주철근	-	-	243.8~261.1	39~62	250	40	
		배력철근	-		141.0~151.2		150		
하부	교대	수직철근	193~202	52~144	194.6~196.2	83~108	200	100	
		수평철근	290		302.5~307.5		300		
	교각	수직철근	104~123	61~121	105.5~110.3	68~103	110	100	
		수평철근	140~280		146.5~157.5		150(300)		

주) 피복두께는 설계치 중 ( )값은 순피복두께임.

동일 부재여도 측정부위에 따른 설계기준이 상이하여 직접적인 비교·분석이 가능하지 않은 측정개소가 발생하였으나, 기 진단(2017년)과 금회 측정한 철근탐사결과 배근간격 및 피복두께가 설계기준에 따라 적정하게 배근된 것으로 검토되었다.

3) 탄산화 깊이 측정

구조물의 탄산화 진행 정도는 ϕ10mm의 드릴링에 의해 발생되는 콘크리트가루가 페놀프탈레인용액을 적신 원형시험지에 떨어져 변색되는 시점이 탄산화 진행 깊이로 판단하게 된다.

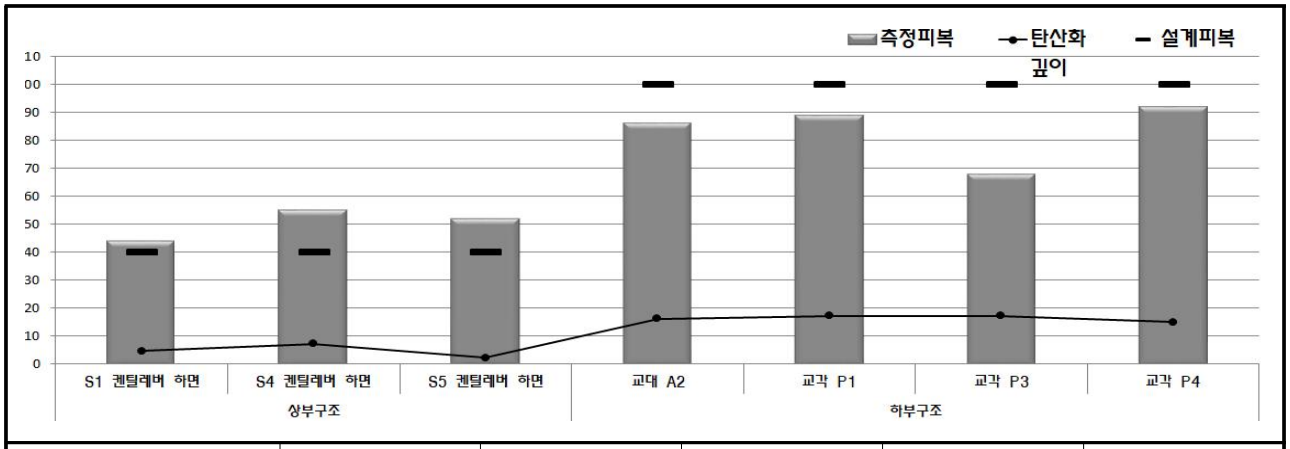
탄산화 시험은 상부구조 3개소, 하부구조 4개소를 선정하여 실시하였다.

① 탄산화 깊이 측정결과

【표 3.43】 탄산화 깊이 측정결과 및 평가

시험위치		탄산화 깊이 (㎜)	실측 피복두께 (㎜)	탄산화 잔여깊이 (㎜)	평가 기준	탄산화 속도계수 (A)	잔존 수명 (년)	비 고
상부 구조	S1 캔틸레버 하면	4.62	44	39.38	a	1.193	100년 이상	
	S4 캔틸레버 하면	7.24	55	47.76	a	1.869	100년 이상	
	S5 캔틸레버 하면	2.27	52	49.73	a	0.586	100년 이상	
하부 구조	교대 A2	16.18	86	69.82	a	4.178	100년 이상	
	교각 P1	17.32	89	71.68	a	4.472	100년 이상	
	교각 P3	17.26	68	50.74	a	4.457	100년 이상	
	교각 P4	15.02	92	76.98	a	3.878	100년 이상	

※실측 피복두께는 철근탐사 시험결과 중 해당 부재의 최소피복두께를 적용함
※탄산화 속도계수(A) = 탄산화깊이 / √재령(년)
※수명예측(년) = (철근피복 / 탄산화속도 계수)^2
※잔존수명 예측(년) = 수명예측년수 - 경과년수(2006년 준공, 경과년수 : 15년)
※시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(국토교통부/국토안전관리원 2021.12) 참조



구분	a	b	c	d	e
탄산화 잔여 깊이(h)	h≥30	30>h≥10	10>h≥0	h<0	–

【그림 3.16】 탄산화깊이 측정결과

상부구조의 탄산화 깊이는 2.27~7.24㎜, 하부구조는 15.02~17.32㎜로 조사되었다. 실측 탄산화 깊이 및 철근탐사 피복두께에 의한 탄산화 잔여깊이는 상부구조 39.38~49.73㎜, 하부구조 50.74~76.98㎜로 측정개소 모두 잔여깊이 30㎜ 이상으로 철근부식의 우려가 없는 a로 평가되었다. 또한, 현재의 탄산화 깊이를 철근 피복과 비교하여 내구성측면에서의 잔존수명을 계산하면 100년 이상을 나타내고 있으므로 탄산화에 의한 철근부식 등 내구성 저하는 없는 것으로 판단된다.

② 기 결과와의 비교

【표 3.44】 탄산화 깊이 측정결과 기 결과와의 비교 · 분석

구 분	기 진단		기 점검		금회 진단		비 고
	탄산화깊이 (㎜)	잔여깊이 (㎜)	탄산화깊이 (㎜)	잔여깊이 (㎜)	탄산화깊이 (㎜)	잔여깊이 (㎜)	
상부구조	6.0~9.7	24.3~40.0	6.4~7.1	24.9~25.6	2.27~7.24	39.38~49.73	철근부식 우려 없음
하부구조	5.0~8.7	43.3~104.9	2.84~18.05	37.16~61.5	15.02~17.32	50.74~76.98	

기 진단 결과와 비교 · 분석한 결과, 측정위치 차이에 의해 측정 결과 값에 다소 차이가 있으나, 측정개소 모두 탄산화에 의한 철근부식 및 콘크리트 내구성 저하의 영향은 적을 것으로 판단된다.

4) 염화물 함유량 시험

염화물 함유량 시험은 상부구조 1개소와 하부구조 2개소의 콘크리트 표면에서 철근위치까지 깊이별로 시료를 채취하여 시험을 실시하였다.

① 염화물 함유량 시험결과

【표 3.45】 염화물 함유량 시험결과 및 평가

시험위치			염화물 함유량		평가 결과	비고
			Cl^-(%)	Cl^-(kg/m³)		
상부 구조	S3 바닥판상면	표면부	0.0401	0.907	b	–
		중간부	0.0338	0.765	b	
		철근부	0.0337	0.763	b	
하부 구조	A1 본체	표면부	0.0832	1.882	c	–
		중간부	0.0408	0.923	b	
		철근부	0.0344	0.778	b	
	P3 기둥부	표면부	0.0422	0.955	b	–
		중간부	0.0375	0.849	b	
		철근부	0.0355	0.804	b	

주) 콘크리트 환산 염화물 함유량(㎏/㎥) = 전 염화물 함유량(Cl^-)% / 100 × 콘크리트 단위중량(2,300㎏/㎥)

시험결과, 상부구조 염화물 함유량은 0.763~0.907kg/m³ , 하부구조 염화물 유량은 0.778~1.882kg/m³ 로 분석되었다. A1본체 표면부에서 1.882kg/m³ “c”로 평가되었으나, 철근부에서의 함유량은 0.778kg/m³ “b”로 평가되어 염화물에 의한 부식발생 가능성이 낮은 것으로 판단된다.

② 기 진단결과와의 비교

【표 3.46】 염화물 함유량 시험결과 기 진단(2017년)과의 비교 · 분석

구 분	기 진단	금회 진단	비 고
	Cl^-(kg/m³)	Cl^-(kg/m³)	
상부구조	0.214~0.294	0.763~0.907	
하부구조	0.271~0.712	0.778~1.882	

금회 진단에서는 기 진단 염화물 함유량(0.214~0.712kg/㎥)에 비해 0.763~1.882kg/㎥으로 높게 측정되었으나 시험위치 및 시료채취 방법의 차이에 의한 것으로 판단된다. 금번 염화물 함유량 시험에 대한 철근깊이에서의 평가 결과 상부구조 b, 하부구조 b로 평가되어 현 시점에서 염화물에 의한 부식발생 가능성이 낮은 것으로 판단되나, 향후 진단 등을 통해 염화물 함유량 변화에 대한 지속적인 관리는 필요할 것으로 사료된다.

5) 균열깊이 측정

콘크리트 구조물에 발생된 균열의 깊이를 측정하기 위해 초음파전달속도법에 의한 비파괴시험 방법으로 측정한다. 균열이 발생하지 않은 건전부(T_O)와 균열이 발생한 부위(T_C)의 초음파 전달시간을 이용하여 균열깊이를 측정하는 Tc-To법으로 균열깊이를 측정하였으며, 금회 외관조사시 폭 0.3㎜이상인 균열이 조사되지 않아 폭 0.2㎜인 균열에서 심도를 측정하였다.

【표 3.47】 균열깊이 조사결과

측 정 위 치	균열폭 (㎜)	초음파도달시간(×10^{-6}sec)		측정 길이(㎜)	균열 깊이(㎜)	피복 두께(㎜)	비고
		균열부(Tc)	건전부(To)				
교대 A1	0.2	25.4	23.3	100.0	21.7	83.0	조사망도 : 31 손상번호 : 2

※ 피복두께는 철근탐사를 통한 실측치임

금회 진단 시 교대 A1에 균열 폭 0.2㎜인 균열이 조사되어 균열깊이를 측정한 결과, 균열깊이는 43.4㎜로 측정되어 피복두께 83.0㎜이하인 것으로 분석되었다.

외관조사 결과, 균열은 외부구속 및 건조수축(온도)에 의한 균열이며, 균열깊이 측정 결과 피복두께를 초과하지 않은 것으로 측정되어 균열로 인한 내부 철근의 부식 우려는 없을 것으로 판단되나 장기적인 내구성 확보를 위해 보수를 실시하고 지속적인 점검을 통한 균열의 재발생 여부를 주의 깊게 관찰하도록 한다.

3.4 강재 내구성조사

3.4.1 개요

본 과업에서 실시한 강재 품질 조사 및 시험은 초음파탐상시험(U.T), 도막두께측정을 시행하였으며 실시한 결과는 다음과 같다.

【표 3.48】 강재시험 측정일자 및 조사자

구 분	일 자	조 사 자	비 고
강재 시험	2021. 8. 7 ~ 2022. 01. 18	황인선 외 2명	도보

등원육교는 총 5경간의 5경간 연속 Steel Box Girder형식으로 4개의 Girder로 구성되어 있으며 비파괴시험은 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침<안전점검 · 진단편>(교량편) [2021.12, 국토교통부/국토안전관리원]』에 근거하여 위치 및 수량을 결정하였으며, 현장여건, 외관조사 결과를 고려하여 조사 위치를 선정하였다.

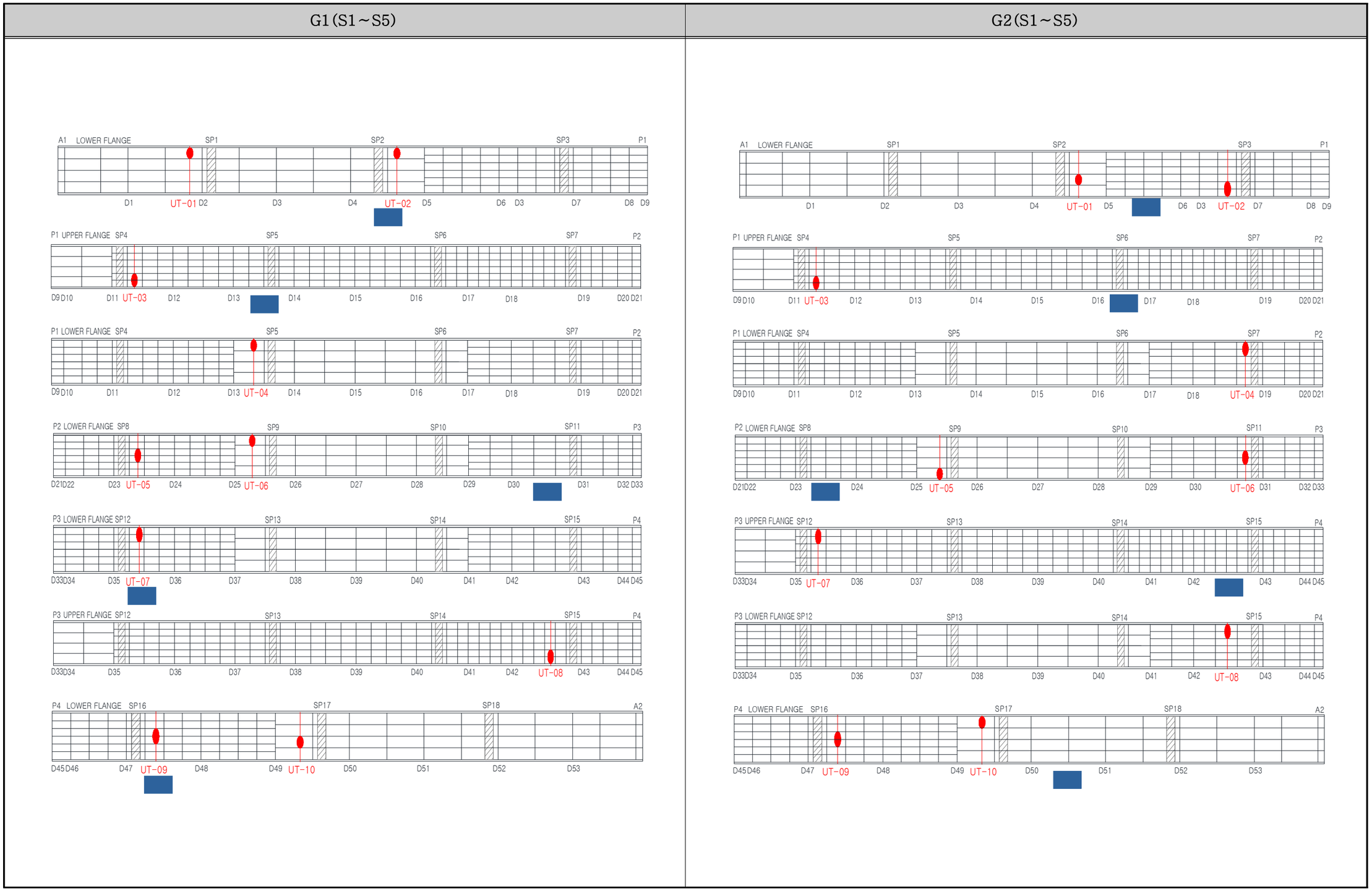
【표 3.49】 강재시험 기준수량 및 실시수량

구 분	항 목		세부지침 기준	기준수량	실시수량
강재 구조물	기본 과업	초음파탐상 시험(UT)	•플레이트거더교 : 1개소/경간별 거더 •박스거더교 : 2개소/경간별 거더	40개소	40개소
	선택 과업	도막두께 측정	•책임기술자의 판단에 따라 수량 결정	–	20개소

초음파 탐상시험 전경

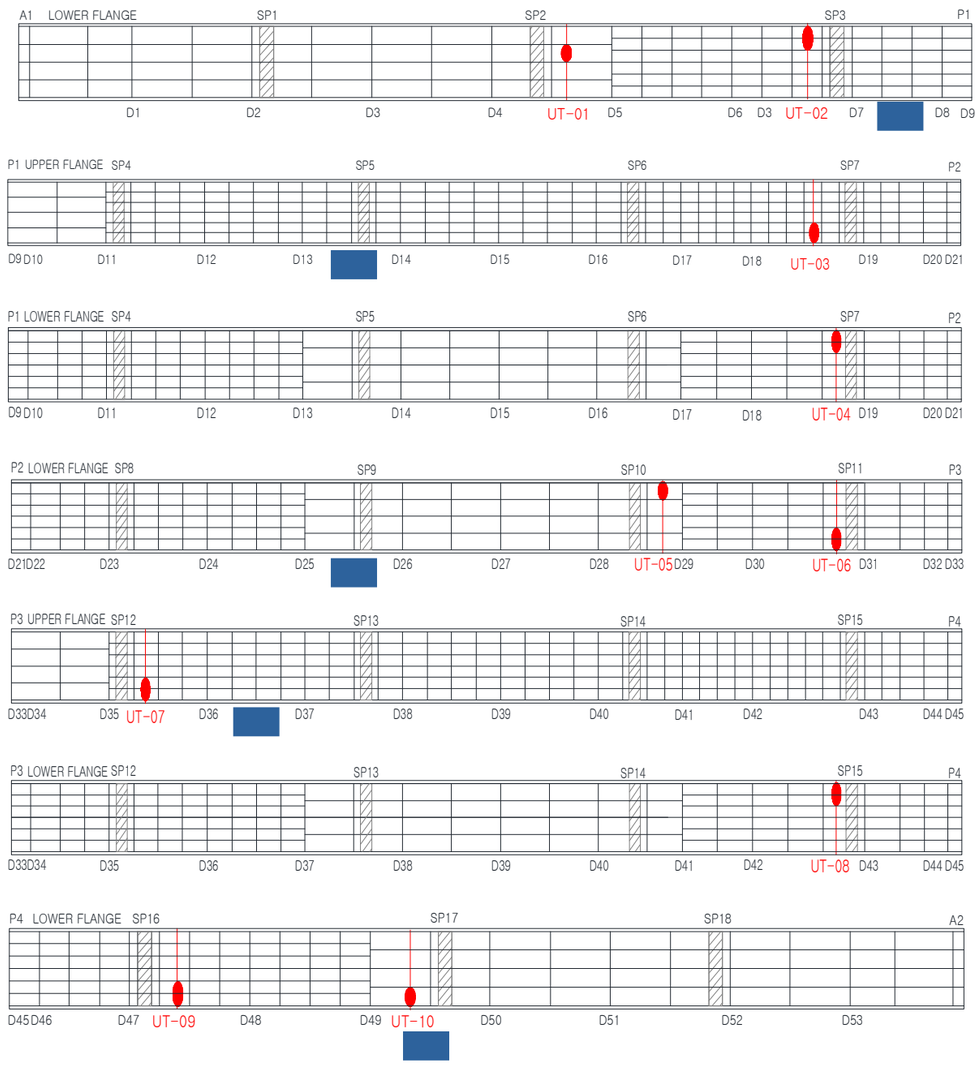
도막두께 측정 전경

【그림 3.17】 강재 내구성시험 전경

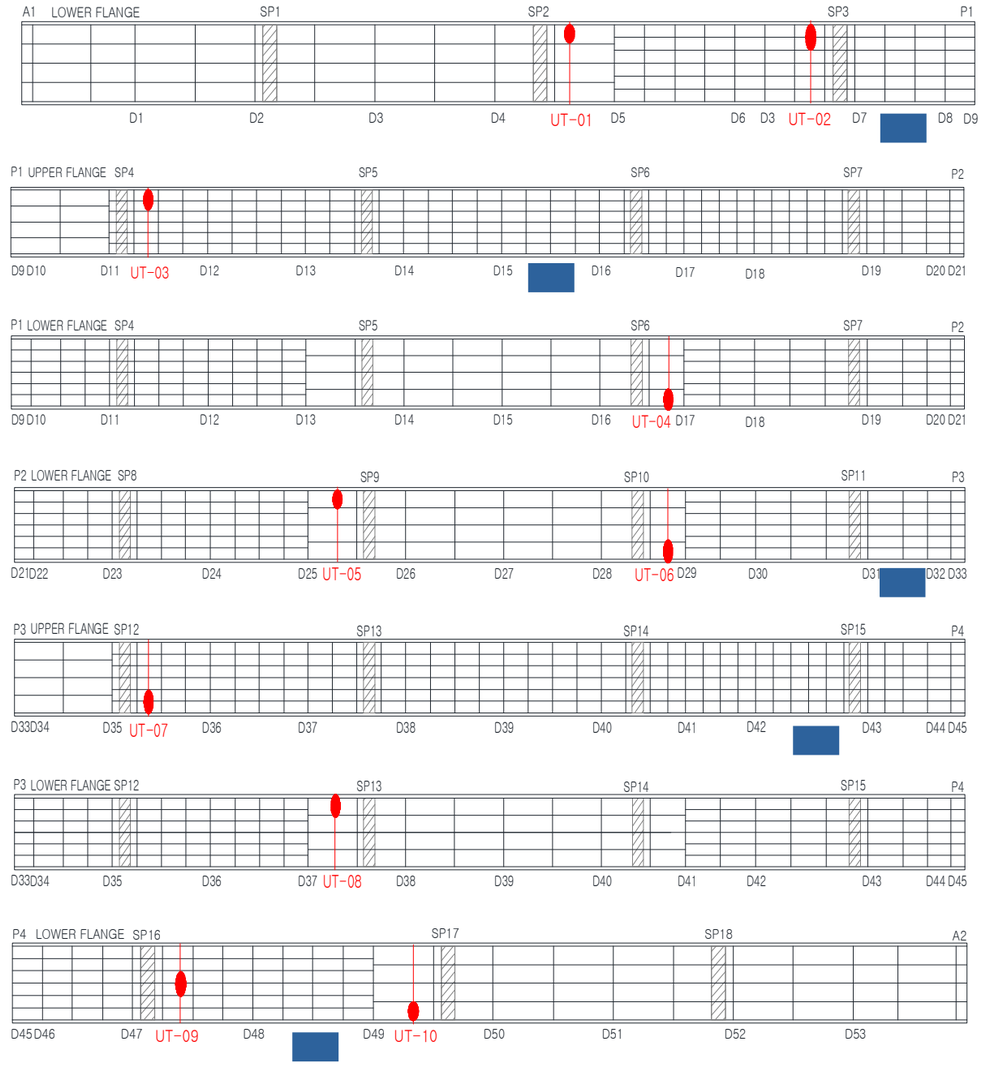


【그림 3.18】 강재시험 조사 위치도

G3(S1~S5)



G4(S1~S5)



【그림 3.18】 강재시험 조사 위치도(계속)

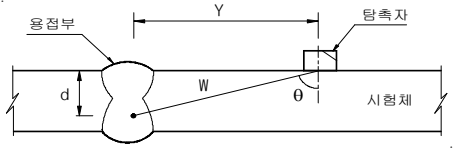
【표 3.50】 강재시험 조사위치 선정사유

구 분	항 목		조사위치 선정사유	비 고
강재 구조물	기본 과업	강재용접부 비파괴시험	•용접부 내부에 존재하는 기공, 슬래그, 융합불량 등의 결함사항에 대한 조사로 하부브레이싱 맞대기 용접부에 40개소를 선정하여 실시하였음.	
	선택 과업	도막두께 측정	•강재 도장면에 대하여 규정된 도장두께 확보여부를 판단하기 위한 시험으로 20개소를 선정하여 실시하였음.	

3.4.2 시험내용 및 평가기준

가. 초음파탐상시험(UT : Ultrasonic Testing)

【표 3.51】 초음파탐상시험

<table>
<tr><td>개 요</td><td colspan="2">•가청 주파수 이상의 주파수를 갖는 초음파(20,000Hz이상)를 시험체 내에 전달하여 초음파 진행경로상에 존재하는 결함부로부터 반사하는 초음파 신호를 수신하여 탐상기 CRT 스크린상에서 에코파형을 확인함으로써 결함의 존재여부 및 결함정보를 알아내는 검사 방법임.
•초음파법의 종류는 크게 수직법과 사각법으로 대별되며, 수직법은 탐촉자를 시험체에 접촉하여 시험체에 수직으로 전달하는 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 적용됨.</td></tr>
<tr><td>시험 방법</td><td>•일반적으로 강교 용접부의 사각탐상에는 주로 용접부 내부에 존재하는 기공, 슬래그, 융합 불량, 용입부족 등의 결함과 균열에 대한 조사가 실시되고 있으며, 각각의 결함부로 부터 반사한 에코파형의 펄스형태(펄스폭&높이), 반사체(결함)까지의 진행거리, 초음파 입사각도, 에코의 반사패턴 등을 종합적으로 분석하여 결함의 입체적인 위치를 산출하고 결함 종류 및 길이 등을 측정함. 본시험에서는 70° 로 초음파를 입사함.</td><td> 

•계산식 $Y = W \cdot Sin\theta$
$d = W \cdot Cos\theta$
여기서 Y : 입사점-결함거리
d : 결함깊이
w : 초음파 이동거리
θ ° : 입사각(70°)</td></tr>
<tr><td>평가 기준</td><td colspan="2">< 결함의 등급분류 >
<table>
<tr><th rowspan="2">영 역</th><th colspan="6">결 함 의 크 기 (㎜)</th></tr>
<tr><th colspan="3">Ⅱ, Ⅲ</th><th colspan="3">Ⅳ</th></tr>
<tr><th>판두께
등급</th><th>18이하</th><th>18~60</th><th>60이상</th><th>18이하</th><th>18~60</th><th>60이상</th></tr>
<tr><td>1 급</td><td>6이하</td><td>t/3이하</td><td>20이하</td><td>4이하</td><td>t/4이하</td><td>15이하</td></tr>
<tr><td>2 급</td><td>9이하</td><td>t/2이하</td><td>30이하</td><td>6이하</td><td>t/3이하</td><td>20이하</td></tr>
<tr><td>3 급</td><td>18이하</td><td>t 이하</td><td>60이하</td><td>9이하</td><td>t/2이하</td><td>30이하</td></tr>
<tr><td>4 급</td><td colspan="6">3급을 초과하는 것</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※도로교표준시방서(건설교통부, (사)한국도로교통협회, 2005) 참조
※시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(국토교통부/국토안전관리원 2021.12) 참조

제1장
제2장
제3장
제4장
제5장
제6장
제7장
제8장
제9장

나. 도막두께 측정

【표 3.52】 도막두께 측정

적용 목적	•도막측정은 정상적인 도장시공이 되어 있는지를 확인하는 작업으로 방청·방식 도장에서는 절대적인 요소이며, 도장상태가 구조물에 미치게 될 영향에 대해 평가할 필요가 있음.
측정 원리	•측정 Gage는 Magnetic Gage로서 자석의 원리를 이용하여 탐침끝에서 표면조도(Profile)의 Peak로 자기장을 보내서 돌아오는 속도를 감지하여 도막두께를 인지함. 자기장이 가장 먼저 도달되는 부위는 Peak이며, Magnetic 탐침끝에는 여러개의 Peak들이 존재하며 이들의 평균을 계산하여 나타낸 값이 도막두께임. •도막에 도포되지 않은 피검체(자성체)에 전자석 또는 영구자석을 접촉시켜 지시계 눈금을 영점조정 함. 영점조정 후 확인하고자 하는 두께와 유사한 표준도막을 이용하여 각 도막의 두께에 따른 자력차를 이용하여 검사하는 방법임.
측정 방법	•도막두께를 측정할 부위에 Random 하게 5곳을 선정. •선정된 측정장소 1곳당 3회 측정하여 1곳의 평균을 구함. •같은 방식으로 나머지 4곳도 동일하게 측정. •측정한 면적에 대한 5곳의 평균을 구함.
평가 기준	•건조도막의 판정은 SSPC-PA2를 기준으로 함. - 각각의 측정장소(Spot)의 평균치를 규정된 건조도막 두께의 80% 이상임. - 5곳의 평균치를 규정된 건조도막 두께와 같거나 높아야 함. - 5곳의 평균치를 최대 120%를 초과해서는 안됨. ※ 도장계열에 따른 도막두께 기준

구 분	도장 계열	도장위치		기준 도막두께(㎛)	비 고
일반환경	재래식	교량외부	GEA	140	
		교량내부	GIA	70	
	중방식	교량외부	GEB	215	
		교량내부	GIB	175	
	세라믹	교량외부	GED	160	
		교량내부	GID	140	
특수환경	중방식	교량외부	SED	255	우레탄계 마감
		교량외부	SEE	225	자연건조형 불소수지 마감
		교량내부	SID	275	고고형분 에폭시 2회도장 마감
		교량내부	SIE	225	고고형분 후막형 에폭시도료 마감
		교량내부	SIF	375	고고형분 후막형 에폭시 2회도장 마감
	세라믹	교량외부	SEH	200	
		교량내부	SIG	180	

주) 1. 일반환경 : 전원, 산간계곡 및 도시 : 강재의 부식이 경미하다고 예측되는 지구
2. 특수환경
- 해안지구 : 해염입자의 영향으로 강재의 부식이 빠른 지구
- 공장지구 : 공장과 근접한 지구로 질산화물 등의 영향으로 강재의 부식이 빠른 지구
- 대기오염지구 : 도시 등에서 대기오염도가 대단히 높아서 강재의 부식이 빠른 지구
- 해상지구 : 해상에 설치된 강구조물 또는 이와 동등한 부식환경에 놓여 있는 지구
- 해안공업지구 : 해안과 공장의 환경조건이 중복된 지구

※『도로교표준시방서, 2013년』 참조
※『콘크리트 및 강재비파괴 시험 매뉴얼(2006.12, 한국시설안전공단)』 참조

3.4.3 시험결과 및 분석

가. 초음파탐상(UT) 시험

강거더의 용접상태를 검사하기 위해 맞대기 용접부에 대해 경간별 거더당 2개소씩 총 40개소에 대해 검사를 실시하였으며, 검사결과 총 40개소 모두 합격 판정되어 맞대기이음부의 용접상태는 양호한 것으로 나타났다.

① 초음파탐상 시험결과

【표 3.53】 초음파탐상(UT) 시험결과

시험위치		시험개소	결함등급	검사결과		결함종류 및 개소	비 고
				합격	불합격		
G1	UT1	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT2	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT3	1	1급	1	–	결함없음	U.F
	UT4	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT5	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT6	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT7	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT8	1	1급	1	–	결함없음	U.F
	UT9	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT10	1	1급	1	–	결함없음	L.F
G2	UT1	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT2	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT3	1	1급	1	–	결함없음	U.F
	UT4	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT5	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT6	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT7	1	1급	1	–	결함없음	U.F
	UT8	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT9	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT10	1	1급	1	–	결함없음	L.F

주) 합격기준 : 2급 이상(인장 및 교번하중 적용부재), 3급 이상(압축 및 전단응력 작용부재)
주) 시험위치 상세는 “강재시험 조사 위치도” 참조

【표 3.53】 초음파탐상(UT) 시험결과 (계속)

시험위치		시험개소	결함등급	검사결과		결함종류 및 개소	비 고
				합격	불합격		
G3	UT1	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT2	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT3	1	1급	1	–	결함없음	U.F
	UT4	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT5	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT6	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT7	1	1급	1	–	결함없음	U.F
	UT8	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT9	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT10	1	1급	1	–	결함없음	L.F
G4	UT1	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT2	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT3	1	1급	1	–	결함없음	U.F
	UT4	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT5	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT6	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT7	1	1급	1	–	결함없음	U.F
	UT8	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT9	1	1급	1	–	결함없음	L.F
	UT10	1	1급	1	–	결함없음	L.F

주) 합격기준 : 2급 이상(인장 및 교번하중 적용부재), 3급 이상(압축 및 전단응력 작용부재)
주) 시험위치 상세는 “강재시험 조사 위치도” 참조

② 기 진단결과와의 비교

【표 3.54】 초음파탐상(UT) 시험결과 기 진단(2017년)과의 비교 · 분석

구 분	기 진단	금회 진단	비 고
	초음파 이상유무	초음파 이상유무	
거더 G1	합격 : 10개소	합격 : 10개소	
거더 G2	합격 : 10개소	합격 : 10개소	
거더 G3	합격 : 10개소	합격 : 10개소	
거더 G4	합격 : 10개소	합격 : 10개소	

금회 과업에서는 기 진단 측정위치를 피하여 신규로 측정위치를 선정하여 시험을 실시하였으므로 기 진단과의 비교검토는 어려우며 금회 실시한 시험에서도 기 진단과 마찬가지로 맞대기 용접부 결함 유무 측정 결과, 용접부의 결함지시가 없는 상태로서 결함이 발생되지 않은 것으로 측정되었다.

나. 도막두께 측정

도막두께 측정은 Steel Box Girder의 거더내·외부에서 실시하였으며, 도로교 표준시방서에 제시된 도막두께 기준과 비교함으로써 적정 도막두께 확보 여부를 검토하였다.

① 도막두께 측정결과

【표 3.55】 도막두께 측정결과

측 정 위 치		측정값(㎛)			기준값 (㎛)	판 정	비 고
		최소값(㎛)	최대값(㎛)	평균값(㎛)			
거더 내부	G1 – S1 – D4~D5	206	452	287	175	적정	
	G1 – S2 – D13~D14	224	417	289		적정	
	G1 – S3 – D30~D31	215	385	260		적정	
	G1 – S4 – D35~D36	208	519	301		적정	
	G2 – S1 – D5~D6	238	480	312		적정	
	G2 – S3 – D23~D24	220	463	302		적정	
	G2 – S4 – D42~D43	216	432	308		적정	
	G3 – S2 – D13~D14	239	358	281		적정	
	G3 – S3 – D25~D26	206	389	273		적정	
	G3 – S4 – D36~D37	251	326	289		적정	
	G3 – S5 – D49~D50	226	379	288		적정	
	G4 – S1 – D7~D8	218	525	307		적정	
	G4 – S2 – D15~D16	249	415	308		적정	
	G4 – S3 – D31~D32	206	368	301		적정	
거더 외부	G1 – S5 – D47~D48	226	468	322	215	적정	
	G2 – S2 – D16~D17	257	501	326		적정	
	G2 – S5 – D50~D51	253	419	313		적정	
	G3 – S1 – D7~D8	240	469	313		적정	
	G4 – S4 – D42~D43	264	474	330		적정	
	G4 – S5 – D48~D49	257	465	336		적정	

교량의 도막두께 측정위치는 책임기술자 판단하에 임의의 위치를 선정하여 실시하였으며, 측정결과 도막두께(평균값)이 도로교 표준시방서의 기준 값인 교량내부 175μm이상, 교량외부 215μm이상을 상회하는 것으로 조사되어 도장상태는 양호한 것으로 판단된다.

3.4.4 내구성조사 결과요약

【표 3.56】 내구성조사 결과요약

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>비파괴시험결과</th></tr>
<tr><td rowspan="8">내구성조사</td><td>콘크리트 비파괴 강도조사</td><td>
<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>평균강도(MPa)</th><th>설계강도(MPa)</th></tr>
<tr><td rowspan="2">상부구조</td><td>반발경도</td><td>27.7～29.8</td><td rowspan="2">27.0</td></tr>
<tr><td>초음파</td><td>27.6～31.1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">하부구조</td><td>반발경도</td><td>26.9～30.2</td><td rowspan="2">24.0</td></tr>
<tr><td>초음파</td><td>25.4～29.7</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>철근배근 상태조사</td><td>
<table>
<tr><th colspan="3" rowspan="2">구 분</th><th colspan="2">측정치(㎜)</th><th colspan="2">설계치(㎜)</th></tr>
<tr><th>배근간격</th><th>피복두께</th><th>배근간격</th><th>피복두께</th></tr>
<tr><td rowspan="2">상부구조</td><td rowspan="2">캔틸레버</td><td>주</td><td>243.8～261.1</td><td rowspan="2">39～62</td><td>250</td><td rowspan="2">40</td></tr>
<tr><td>배력</td><td>141.0～151.2</td><td>150</td></tr>
<tr><td rowspan="4">하부구조</td><td rowspan="2">교대</td><td>수직</td><td>194.6～196.2</td><td rowspan="2">83～108</td><td>200</td><td rowspan="2">100</td></tr>
<tr><td>수평</td><td>302.5～307.5</td><td>300</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교각</td><td>수직</td><td>105.5～110.3</td><td rowspan="2">68～103</td><td>110</td><td rowspan="2">100</td></tr>
<tr><td>수평</td><td>146.5～157.5</td><td>150(300)</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>탄산화 시험</td><td>
<table>
<tr><th>구 분</th><th>측정결과(㎜)</th><th>잔여깊이(㎜)</th></tr>
<tr><td>상부구조</td><td>2.27～7.24</td><td>39.38～49.73</td></tr>
<tr><td>하부구조</td><td>15.02～17.32</td><td>50.74～76.98</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>염화물 함유량 시험</td><td>
<table>
<tr><th>구 분</th><th>염화물 함유량(kg/m^3)</th><th>판 정</th></tr>
<tr><td>상부구조</td><td>0.763～0.907</td><td>b</td></tr>
<tr><td>하부구조</td><td>0.778～1.882</td><td>b～c</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>균열깊이 측정</td><td>
<table>
<tr><th rowspan="2">측 정 위 치</th><th rowspan="2">균열폭 (㎜)</th><th colspan="2">초음파도달시간 ($\times 10^{-6}$sec)</th><th rowspan="2">측정 길이 (㎜)</th><th rowspan="2">균열 깊이 (㎜)</th><th rowspan="2">피복 두께 (㎜)</th><th rowspan="2">비고</th></tr>
<tr><th>균열부(Tc)</th><th>건전부(To)</th></tr>
<tr><td>교대 A1</td><td>0.2</td><td>25.4</td><td>23.3</td><td>100.0</td><td>21.7</td><td>83.0</td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>초음파탐상 시험</td><td>• 맞대기 용접부에 대해 경간별 거더당 2개소씩 총 40개소에 대해 검사를 실시하였으며, 검사결과 총 40개소 모두 합격 판정되어 용접상태는 양호한 것으로 나타남.</td></tr>
<tr><td>도막두께 측정</td><td>
<table>
<tr><th>구 분</th><th>측정값(㎛)</th><th>판 정</th></tr>
<tr><td>거더내부</td><td>206.0～525.0</td><td>적정</td></tr>
<tr><td>거더외부</td><td>226.0～501.0</td><td>적정</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>결과 분석</td><td>• 비파괴강도 측정결과, 측정값은 설계기준강도를 상회하는 것으로 조사되었으며, 기 점검과의 비교·분석 결과, 구조물의 강도저하는 없는 것으로 평가됨.
• 탄산화 깊이 측정결과, 전 개소에서 상태평가 “a”로 검토되어 현 상태에서는 탄산화에 의한 철근부식의 우려가 없는 상태로 판단됨.
• 염화물함유량 시험결과 철근깊이에서의 함유량은 “b”로 평가되어 현 시점에서 염화물에 의한 내구성 저하요인은 작을 것으로 판단됨.
• 균열깊이 측정 결과, 피복두께를 초과하지 않은 것으로 측정되어 균열로 인한 내부 철근의 부식 우려는 없을 것으로 판단됨.
• 도막두께 측정결과, 도장두께 평균값이 도로교 표준시방서의 기준 값을 상회하는 것으로 조사되어 도장상태는 양호한 것으로 판단됨.
• 기 진단 결과와 비교할 때 콘크리트 내구성 저하는 거의 없는 상태임.</td></tr>
</table>