제3장
현장조사 및 시험

3.1 개 요
3.2 외관조사(내서방향)
3.3 외관조사(여주방향)
3.4 콘크리트 내구성조사
3.5 강재 내구성조사
3.6 현장조사 결과요약

제3장 현장조사 및 시험

3.1 개 요

용전2교(내서, 여주)는 설계하중 DB-24(DL-24)의 고속국도 교량으로서, 2002년에 준공되어 약 14년 정도 공용 중에 있으며, 충청북도 충주시 가금면 용전리(중부내륙선, 이정 228.64㎞)에 위치하고 있는 편도 2차로 교량이다.

본 교량은 총폭 12.14m, 총연장 255.0m(45.0m + 3@55.0m + 45.0m)이며, 상부구조는 5경간의 Steel Box Girder 형식으로써, 교각의 형식은 Π형이고 기초는 확대직접기초(P1~P5)로 이루어져 있으며, 교대의 형식은 역T형이고 기초는 확대기초+강관말뚝기초로 시공되어 있다.

본 시설물에 대한 외관조사는 대상교량의 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단함을 목적으로 교량부재 전체에 대하여 가능한 한 근접한 상태에서 육안조사를 실시함을 원칙으로 하였다. 따라서, 사전 현장답사를 통해 주변 여건을 파악하여 현장 접근에 필요한 접근방법 및 장비 동원과 그에 따른 일정계획을 수립하고, 기초자료의 수집 및 분석을 통한 주요 손상을 파악하는 등의 사전검토를 통하여 주요 손상을 파악한 후 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침_교량편(2010.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』의 실시요령에 따라 시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물의 기능 및 성능 저하, 상태 등을 신속·정확하게 검사·평가하는데 주안점을 두고 외관조사 방향을 결정하였다.

외관조사 범위는 주요 구조부재와 부부재로서 STB 거더(내·외부), 격벽, 바닥판(캔틸레버), 교면포장, 방호벽, 배수시설, 신축이음장치, 하부구조, 교량받침 등의 현 상태를 조사하였고, 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침_교량편(2010.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』 평가 기준에 근거하여 구조물에 발생된 손상정도에 따라 등급 a~e의 5단계로 구분하여 판정하였다.

본 장에서는 외관조사 결과 확인된 결함과 손상 상태에 대하여 교량의 구성 부재별로 사진을 첨부하여 설명하고, 발생 원인을 분석하여 보수·보강 및 유지관리 방안을 마련하는 데 참고할 수 있도록 하였으며, 전체 부재에 대한 외관조사망도를 작성하여 향후 교량의 점검 및 유지관리시 효율적으로 활용할 수 있도록 하였다.

【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	• 균열, 파손, 변형 • 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 길이부족, 배수관 주변 및 연결부 누수, 배수구 위치불량	
연석 및 난간		• 균열, 철근부식, 철근노출, 박락, 파손, 백태	
교량 받침	강재 받침	• 균열, 부식, 변형, 파손	
	기타	• 유간 부족, 편기, 수평불량, 가동불량, 교량받침 설치오류, 앵커볼트 파손	
신축이음		• 본체의 파손, 부식, 누수, 이상음 및 진동, 유간 부족 • 후타재의 균열, 파손, 단차 • 후타재와 포장면 사이 이격	

금회 정밀안전진단용역 수행 중 용전2교(내서, 여주) 현장조사 및 시험 일정 및 내용은 다음과 같다.

【표 3-2】 현장조사 기간

구 분	일 시	조사내용	수행자
사전답사	2016.06.20. ~ 06.22.	현장답사, 구조물 현황조사	서외택 외 20명
1차 현장조사	2016.07.11. ~ 08.30.	외관조사, 비파괴시험	
2차 현장조사	2016.10.10. ~ 10.25.	추가조사 (받침이동량및 균열 진행성 2차 측정 등)	

【표 3-3】 용전2교(내서, 여주)의 일반현황, 하부 주변현황 및 접근장비

일반현황				주변현황 (교차시설물 등)	조사방법
시설물명	형식	연장(m)	경간구성		
내서방향	STB	255.0	45.0+3@55.0+45.0 (S1~S5)	지방도599호선	고소점검차
여주방향	STB	255.0	45.0+3@55.0+45.0 (S1~S5)	지방도599호선	교량점검차, 고소점검차

용전2교(내서, 여주) 하부는 지방도(599호선)를 횡단하며, 접근이 용이한 부재의 외관조사는 도보로 실시하였고, Steel Box Girder 외부, 외측 바닥판 하면 등 접근이 난이한 부재는 교량점검차, 고소점검차, 사다리, 헬리곱터 드론(4k) 등을 이용하여 실시하였다.

내서방향은 갓길측에 방호벽이 설치되어있으므로, 접근이 난이한 부재는 고소점검차를 이용하였으며, 여주방향은 외관조사시 교량점검차, 고소점검차를 이용하여 접근이 난이한 부재를 근접조사를 실시하였다.

【그림 3-1】 구간별 근접장비 활용방법

도보를 이용한 외관조사	사다리를 이용한 외관조사

교량점검차를 이용한 외관조사(여주방향)	고소점검차를 이용한 외관조사

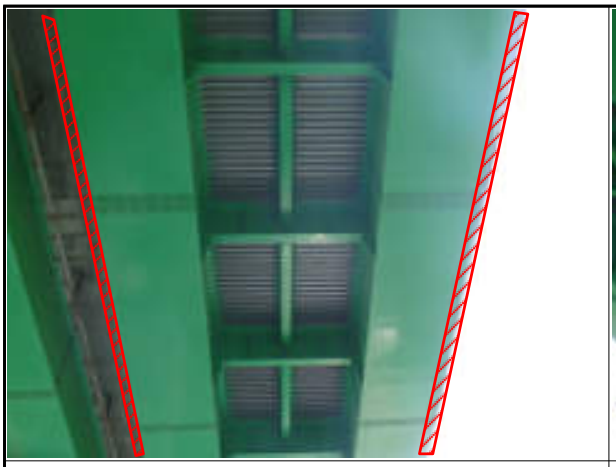
3.2 외관조사(내서방향)

3.2.1 상부구조

가. 바닥판

용전2교(내서)는 총 5경간(45.0m+3@55.0m+45.0m=255.0m)으로 구성되어 있으며, 상부구조는 강박스 거더(Steel Box Girder)로 시공되어있다. 따라서, 용전2교(내서)의 바닥판하면의 경우 좌·우측 캔틸레버부는 콘크리트가 노출되어 있으나, 거더와 거더사이에는 강재영구거푸집(Deck Plate)이 시공되어 있다.

외관조사는 고소점검차를 이용하여 근접한 후 시공초기 및 공용 중 발생할 수 있는 손상(균열 및 백태, 누수 등)을 중점적으로 조사하였다.



콘크리트 바닥판하면 조사범위

콘크리트 바닥판하면 전경

1) 외관조사 결과

【표 3-4】 내서방향 - 바닥판하면 외관조사 결과

구 분	균열						열화 손상					
	Cw=0.3㎜ 미만(m)		Cw=0.3㎜ 이상(m)		망상균열 Cw=0.3㎜ 미만(㎡)		표면박리(㎡)		백태(㎡)		파손(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	34.40	32	3.00	1	49.50	1	-	-	0.88	8	2.25	1
S2	40.70	37	-	-	-	-	-	-	0.36	9	-	-
S3	40.70	37	-	-	-	-	22.00	2	0.47	8	-	-
S4	40.70	37	-	-	-	-	-	-	0.28	7	-	-
S5	88.00	80	-	-	-	-	-	-	0.39	6	0.02	1
합계	244.50	223	3.00	1	49.50	1	22.00	2	2.38	38	2.27	2

2) 손상별 원인분석

현 황	◦S1 바닥판 하면 균열(0.3㎜/3.0m)	현 황	◦S1 바닥판 하면 망상균열(A=49.50㎡)
원 인	◦건조수축 및 온도변화	원 인	◦건조수축 및 온도변화
대 책	◦주입보수	대 책	◦지속관찰
현 황	◦S1 유공관 주변 백태/파손(A=0.09㎡)	현 황	◦S1 바닥판하면 파손(A=2.25㎡)
원 인	◦배수관 주위 마감불량	원 인	◦유간부족에 따른 단부박락
대 책	◦표면처리보수	대 책	◦단면보수(1안)

① 바닥판하면 협착(박락, 파손)

- 용전2교(내선)은 바닥판하면 단부와 흉벽 간의 유간을 충분히 확보하지 못하고 시공되어진 상태에서 공용중 흉벽의 뒷채움에 의한 토압에 의한 교대 전방 이동, 상부하중에 의한 박스 자체의 회전 이동량 및 온도 팽창량 등을 흡수할 정도의 충분한 유간을 확보하지 못한 상태이며, 바닥판하면 협착에 의한 파손은 단부에서 떨어져 나간 상태로 조사되었다.

3) 기 진단결과와의 비교・분석

- 기존 진단결과 조사된 손상은 균열, 망상균열, 균열/백태, 백태, 파손 등으로 조사되었

으며, 금회 정밀안전진단에 따른 손상도 대체로 동일한 것으로 나타났다. 그러나 손상물량의 경우 적절한 보수를 실시함으로써 일부 감소하기도 하였으나, 공용년수의 증가로 인해 증가한 손상도 나타났다.

【표 3-5】 내서방향-바닥판 기 진단결과 비교

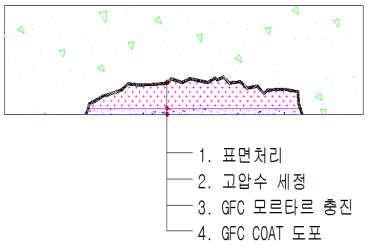
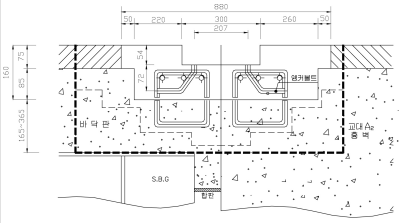
구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
바닥판	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	386	424.60	223	244.50	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	-	-	1	3.00	△
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	1	49.50	1	49.50	-
	•표면박리	㎡	-	-	2	22.00	△
	•백태	㎡	48	26.60	38	2.38	▽
	•파손	㎡	1	0.02	2	2.27	△
	•유공관파손	개소	-	-	6	6	△

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 금회 정밀 안전진단시 바닥판 하면 손상으로는 균열, 망상균열, 박리, 백태, 파손 등의 손상이 발생되었다.
- 균열 및 망상균열은 거더교 바닥판 하면에 일반적으로 나타나는 균열로써 콘크리트가 타설되는 표면적이 큰 바닥판의 습윤 감소로 인한 콘크리트 체적변화에 따른 건조수축, 수화열에 따른 외부(거더)구속응력 등이 복합적으로 작용한 것으로 시공초기 균열로 판단되며, 일부 균열은 바닥판 양생시 균열부를 통한 내부수 유출로 백태가 발생한 상태이다. 따라서 미세균열은 현시점의 보수보다는 지속관찰 후 균열 진전시 보수를 실시하며, 백태부의 경우 내구성 확보를 위하여 표면처리보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 캔틸레버 바닥판 유공관 주변의 백태는 배수관 주변 마감불량으로 누수 후 발생된 것으로 판단되며, 배수관 주위에 누수주입 충진을 시켜 배수관으로 누수가 되지 않도록 하여야 할 것으로 판단된다.
- 교대 A1의 바닥판 하면 단부 유간부족에 의한 파손은 2012년 정기점검에서 조사되었으며, 신축이음장치를 교체하였다. 이후 내서방향의 바닥판 하면 단부에서 일부 파손이 조사되었으나 교량의 받침 및 신축이음장치 융기 등이 발생되지 않은 점과 교대의 기울기 조사와 측방유동검토에 대한 결과 기울림 및 수평변위는 없는 것으로 분석되어 교대 이동은 없는 것으로 판단된다. 다만, 공용중인 교량으로써 협착된 거더 단부와 흉벽에 차량의 윤하중으로 진동 및 충격에 의해 발생된 것으로 볼 수 있으며 적절한 보수보강방안을 제시하였다.

- 교대 이동은 유간이 폐쇄된 현 상태에서 단기간에 진행성 여부를 판단하기 어렵기 때문에 1차적으로 1안)으로 내구성 확보를 위해 단면보수를 실시하고, 2안)으로 교대의 지반보강 그라우팅(A1)과 영구앵커공법(A2)을 이용한 보강을 실시하고 추가적인 손상여부를 관찰한 후 손상이 진행되거나 추가적으로 발생된다면 3안)으로 바닥판하면 단부를 절취하는 보수방법이 있으나 이는 신축이음장치를 지지하는 단부로서 신축이음장치와 함께 교체가 진행되어야하는 이점이 있다. 따라서 경제성을 비교 검토 후 적절한 보수보강을 실시하여 바닥판하면 단부와 교대 흉벽의 유간을 확보하여야 한다.

		
1안) 단면보수	2안) 교대 영구앵커 공법	3안) 바닥판하면 단부 절단

나. Steel Box Girder

바닥판으로부터 전달되는 하중을 지지하고 교량받침을 통하여 하부구조로 하중을 전달해 주는 역할을 하는 거더는 휨과 전단 및 비틀림에 대한 저항력이 큰 Steel Box Girder 형식으로 시공되었다.

1) Steel Box Girder 내부

Steel Box Girder 내부 조사 시 주요 용접 결함 조사, 리브 변형, 체수현상, 볼트 부식 등을 중점적으로 조사하였다.

Steel Box Girder 내부 전경

① 외관조사 결과

【표 3-6】 내서방향 - Steel Box Girder 내부 외관조사 결과

구 분		모재 및 연결부 손상						
		용접불량(PIT)	비드불량(m)		언더컷(m)		목두께 부족(m)	
		개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	G1	43	0.10	1	0.25	2	-	-
	G2	79	2.20	5	0.15	2	2.20	6
S2	G1	63	0.38	13	0.10	1	-	-
	G2	53	0.80	3	-	-	-	-
S3	G1	37	0.08	6	0.20	2	-	-
	G2	71	2.60	4	0.40	2	-	-
S4	G1	27	0.23	4	0.01	1	-	-
	G2	53	0.93	4	0.30	2	-	-
S5	G1	52	0.05	3	-	-	-	-
	G2	30	1.05	4	0.10	1	0.40	1
합계		508	8.42	47	1.51	13	2.60	7

【표 3-6】 내서방향 - Steel Box Girder 내부 외관조사 결과(계속)

구 분		표면열화						
		도장박리(㎡)		부식(㎡)		실링누락	인분배설	
		물량	개소	물량	개소	개소	물량	개소
S1	G1	0.01	1	-	-	-	-	-
	G2	-	-	-	-	-	-	-
S2	G1	0.01	1	-	-	-	-	-
	G2	-	-	0.15	3	1	-	-
S3	G1	0.01	1	-	-	-	-	-
	G2	-	-	0.06	1	-	-	-
S4	G1	-	-	-	-	-	-	-
	G2	-	-	0.01	1	-	-	-
S5	G1	0.01	1	-	-	-	0.09	1
	G2	0.18	3	0.29	4	2	-	-
합계		0.22	7	0.51	9	3	0.09	1

② 손상별 원인분석

현 황	◦S1-G1 용접불량(PIT)	현 황	◦S1-G2 비드불량(L=0.40m)
원 인	◦용접작업 자세 불안정	원 인	◦용접불량
대 책	◦지속관찰	대 책	◦지속관찰
현 황	◦S1-G1 언더컷(L=0.10m)	현 황	◦S1-G2 목두께부족(L=0.50m)
원 인	◦용접불량	원 인	◦용접불량
대 책	◦지속관찰	대 책	◦지속관찰
현 황	◦S5-G2 도장박리(A=0.24㎡)	현 황	◦S5-G2 도장박리(A=0.08㎡)
원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화	원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화
대 책	◦재도장	대 책	◦재도장

현 황	◦S2-G2 부식(A=0.04㎡)	현 황	◦S2-G2 실링불량
원 인	◦Splice부 우수유입에 따른 손상발생	원 인	◦시공미흡
대 책	◦실링재시공 후 재도장	대 책	◦실링재 시공

③ 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단결과 조사된 손상은 도장박리/부식, 용접결함(Pit, 비드면 불량, 언더컷, 목두께 불량), 실링불량, 인분 및 소변배설 등으로 조사되었으며, 금회 정밀안전진단 결과와 대체적으로 동일한 것으로 나타났다. 그러나 손상물량의 경우 적절한 보수를 실시함으로써 대체적으로 감소하거나, 기 진단 결과와 비교해 비슷한 수준으로 나타났다.

【표 3-7】 내서방향-Steel Box Girder 내부 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증・감
			개소	수량	개소	수량	
Steel Box 거더 내부	•Pit	개소	627	627	609	609	▽
	•비드불량, 언더컷, 목두께 부족	m	78	18.55	80	17.93	▽
	•도장박리, 부식	㎡	473	2.91	17	0.75	▽
	•실링누락	개소	10	10	3	3	▽
	•인분배설	㎡	2	0.34	1	0.09	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄
주)거더 내부 물량 비교는 격벽을 포함한 물량을 비교하였음.

④ 검토의견

- Steel Box Girder 내부는 전반적으로 양호한 상태로 조사되었으나, 일부 개소에서 피트(Pit), 목두께 부족, 비드불량, 언더컷, 도장박리, 부식, 실링누락, 인분배설 등의 손상이 조사되었다.

- 거더 내부에 국부적으로 발생된 도장박리 및 부식은 도장 전처리 불량과 Splice부를 통한 우수유입이 주요 원인으로 판단되며, 재도장이 적절할 것으로 판단된다.
- 거더 내부 주부재 및 보조부재의 용접면에서 피트(Pit), 목두께 부족, 비드불량, 언더컷 등의 용접결함이 조사되었으며, 이는 용접 시공시 용접전류 및 용접속도 불량, 용접작업 실수 등으로 인하여 발생된 것으로 판단된다.
- 용접비드 표면 피트는 구멍 직경이 작고 산재된 경우에는 강도에 큰 영향이 없지만, 집중적으로 발생한 경우는 응력집중의 원인이 되는 바, 용접불량 부위를 가우징으로 완전히 제거한 후 다시 용접을 실시하는 것이 원칙이다. 그러나 본 교량은 용접보수 시 주변 건전부위에 추가 손상이 발생할 가능성이 높고, 용접작업의 불안정성 등으로 현실적으로는 적용이 어려울 것으로 판단되며, 용접결함 범위가 작고 기준(한 이음에 대해 3개 또는 1m에 대해 3개 허용(단, Φ1㎜ 이하의 피트는 3개를 1개로 간주))이내로서 현재까지 피로균열과 변형 등의 주요 손상이 발생하지 않는바 현재 용접결함의 정도가 구조물의 안전성에 미치는 영향은 경미한 것으로 판단된다. 따라서, 재용접 등 보수보다는 지속적인 관찰을 실시하고, 피로균열의 발생시 보수·보강 대책을 수립하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 금회 거더 내부에서 조사된 비드불량(외관불량)은 용접작업공의 숙련도와 용접전류의 영향 등으로 인해 비드면의 형상과 외관이 불량하게 나타난 것으로 판단되며, 응력집중으로 인한 균열발생 유무에 대해 주기적인 관찰이 필요할 것으로 판단된다.
- 언더컷과 목두께 불량은 용접전류와 운봉속도의 영향 등으로 인해 모재가 움푹 파이거나 목두께가 불량해진 것으로 판단되며, 강도부족과 응력집중으로 인한 균열발생을 초래 할 수 있으므로 지속관찰이 필요할 것으로 판단된다.
- 거더 내부 Splice부에 실링처리가 되어 있으나 일부 시공미흡으로 인한 실링누락이 조사되었으며, 실링재 처리를 통한 보수가 필요할 것으로 판단되며, 인분배설로 인한 이물질 퇴적은 위생 및 미관을 위하여 청소가 이루어져야 할 것으로 판단된다.
- 거더 내부에 설치되어 있는 점검 등 케이블은 기진단과 동일하게 현재 전 구간에 절단되어 있는 상태로 조사되었다.
- 결과적으로, Steel Box Girder 내부는 구조적 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었으나 내구성 확보 측면에서 적절한 보수 및 지속적인 관찰을 통하여 향후 유지관리를 해야 할 것으로 판단된다.

2) 격벽

격벽은 Steel Box 단면이 뒤틀림에 의한 응력을 억제하기 위해 설치한 구조물로서 Steel Box Girder 내부와 동일한 방법으로 근접하여 외관조사를 실시하였다.

Steel Box Girder 내부 격벽 전경

① 외관조사 결과

【표 3-8】 내서방향 - Steel Box Girder 격벽 외관조사 결과

구 분		모재 및 연결부 손상			표면열화	
		용접불량(PIT)	비드불량(m)		도장박리(㎡)	
		개소	물량	개소	물량	개소
S1	G1	14	0.30	3	-	-
	G2	11	1.00	1	-	-
S2	G1	26	0.40	2	-	-
	G2	7	3.20	2	-	-
S3	G1	10	0.30	3	-	-
	G2	11	-	-	-	-
S4	G1	6	-	-	0.02	1
	G2	6	-	-	-	-
S5	G1	7	0.10	1	-	-
	G2	3	0.10	1	-	-
합계		101	5.40	13	0.02	1

② 손상별 원인분석

현 황	◦S1-G1 용접불량(PIT)	현 황	◦S3-G1 비드불량(L=0.10m/2EA)
원 인	◦용접작업 자세 불안정	원 인	◦용접불량
대 책	◦지속관찰	대 책	◦지속관찰

③ 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단결과 조사된 손상은 도장박리, 용접결함(Pit, 목두께 부족) 등으로 조사되었으며, 금회 정밀안전진단에 따른 손상과 동일한 것으로 나타났다. 그러나 손상물량의 경우 적절한 보수를 실시함으로써 대체적으로 감소하거나, 기 진단 결과와 비교해 비슷한 수준으로 나타났다.

④ 검토의견

- Steel Box Girder 내부의 격벽은 전반적으로 양호한 상태로 조사되었으나, 일부 개소에서 피트(Pit), 비드불량, 도장박리 등의 손상이 조사되었다.
- 격벽 용접면에서 피트(Pit), 비드불량의 용접결함이 조사되었으며, 이는 거더 내부와 마찬가지로 용접 시공시 용접전류 및 용접속도 불량, 용접작업 실수 등에 의해 발생된 것으로 판단되며, 현재까지 피로균열과 변형 등의 주요 손상이 발생하지 않았으며, 또한 현재 용접결함의 정도가 구조물의 안전성에 미치는 영향은 경미한 것으로 판단된다. 따라서, 재용접 등 보수보다는 지속적인 관찰을 실시하고, 피로균열의 발생시 보수・보강 대책을 수립하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 도장박리 역시 거더 내부와 유사한 형태로 시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화 등에 의한 것으로 판단되며, 내구성 저하방지를 위해 녹제거 후 재도장을 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

- 결과적으로, Steel Box Girder 격벽은 구조적 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었으며, 다만 적절한 보수 및 지속적인 관찰을 통하여 향후 유지관리 해야 할 것으로 판단된다.

3) Steel Box Girder 외부

Steel Box Girder 외부에 대해서는 고소점검차를 이용하여 근접 조사를 실시하였으며, Steel Box Girder 주요 조사 내용은 Splice부 볼트부식, 부식, 도장박리 등을 중점적으로 조사하였다.

Steel Box Girder 외부 전경

① 외관조사 결과

【표 3-9】 내서방향 - Steel Box Girder 외부 외관조사 결과

구 분		표면열화					
		도장박리(㎡)		부식(㎡)		점부식(㎡)	
		물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	G1	0.01	1	0.02	2	0.01	1
	G2	-	-	-	-	-	-
S2	G1	0.08	2	0.01	1	-	-
	G2	-	-	-	-	-	-
S3	G1	-	-	-	-	-	-
	G2	-	-	-	-	-	-
S4	G1	-	-	-	-	-	-
	G2	-	-	-	-	-	-
S5	G1	-	-	-	-	-	-
	G2	-	-	0.06	1	-	-
합계		0.09	3	0.09	4	0.01	1

② 손상별 원인분석

현 황	◦S2-G1 거더외부 도장박리(A=0.04㎡)	현 황	◦S1-G1 거더외부 부식(A=0.01㎡/2EA)
원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화	원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화
대 책	◦재도장	대 책	◦재도장

③ 기 진단결과와의 비교 · 분석

- 기 진단결과 조사된 손상은 도장박리 및 부식, Splice부 볼트부식, 볼트풀림 등이 조사되었으며, 금회 정밀안전진단시 조사된 손상과 대체로 동일한 것으로 나타났다. 그러나 각각의 손상물량은 적절한 보수를 실시함으로써 전체적으로 감소한 것으로 나타났다.

【표 3-10】 내서방향-Steel Box Girder 외부 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증 · 감
			개소	수량	개소	수량	
Steel Box 거더 외부	•도장박리, 부식	㎡	61	500.7	7	0.18	▽
	•점부식	㎡	-	-	1	0.01	△
	•Splice부 볼트부식	개소	308	308	-	-	▽
	•볼트풀림	개소	1	1	-	-	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

④ 검토의견

- Steel Box Girder 외부에 대한 외관조사결과, 구조적인 손상은 없으나 도장박리, 부식, 점부식이 조사되어 내구성 확보를 위해 보수가 필요한 상태이다.
- 도장박리, 부식, 점부식은 공용기간 증가로 인한 교량의 노후화 및 태양광에 의한 열화, 도장전 바탕 처리불량 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 구조물의 내구성 확보를 위

해 도장박리는 재도장을 실시하고, 부식, 점부식은 녹제거 후 재도장을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

- Steel Box Girder 외부는 구조적 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었으며, 적절한 보수 및 지속적인 관찰을 통하여 향후 유지관리를 해야 할 것으로 판단된다. ‘

4) 강 가로보 및 세로보

공용 기간중 거더의 횡변형(좌굴)을 방지해 주며 상부에 작용하는 하중을 횡분배 시켜주는 역할을 하는 가로보는 강재로 시공되어 있다.

강 가로보 및 세로보 전경

① 외관조사 결과

- 강 가로보 및 세로보에 대한 외관조사결과, 특이 손상이 없는 대체적으로 양호한 상태인 것으로 조사되었다.

② 기 진단결과와의 비교 · 분석

- 기 진단결과 가로보에 국부 도장박리 및 부식이 조사되었으나, 적절한 보수를 시행함으로써 금회 강가로보 및 세로보는 양호한 상태로 조사되었다.

③ 검토의견

- 금회 가로보의 외관조사결과, 특이 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다.

3.2.2 하부구조

가. 교대

교대는 교량 상부구조 하중을 지반으로 전달하며, 교량 전체 구조의 안전성을 위해 중요한 역할을 수행하는 구조부재이다.

용전2교(내서)의 교대형식은 역T형식이고, 기초형식 A1은 강관말뚝기초, A2는 확대전면기초로 시공되어 있으며, 금회 현장 조사시 교대 구체 및 흉벽, 날개벽, 흉벽 유도배수관 배출경로, 교대주변 측벽계단, 배수측구, 법면사면(압성토)를 중점적으로 조사하였다.

교대의 기초는 상시 매설된 상태로 육안조사가 불가하나, 주변지반 침하 및 구조적 결함이 조사되지 않아 기초 상태는 큰 문제점이 없을 것으로 판단된다.

교대(A1) 전경

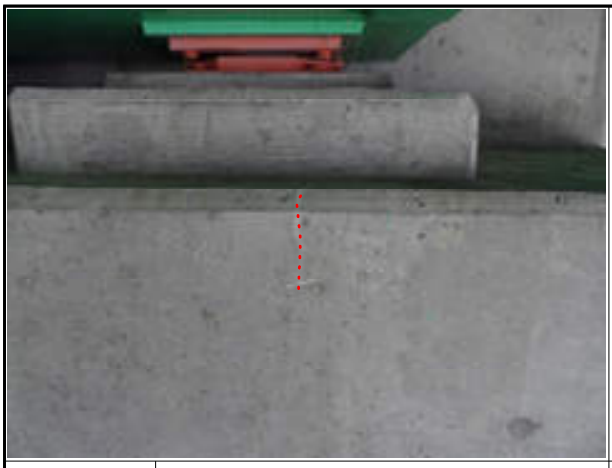
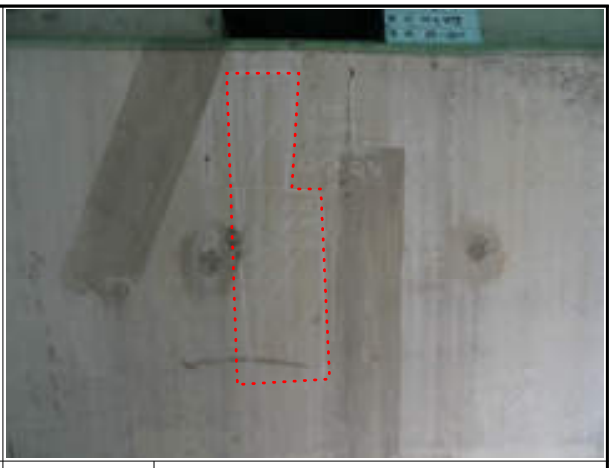
교대(A2) 전경

1) 외관조사 결과

【표 3-11】 내서방향 - 교대 외관조사 결과

구 분	균열				표면열화							
	Cw=0.3㎜미만 (m)		망상균열 Cw=0.3㎜미만 (㎡)		백태 (㎡)		박락 (㎡)		재료분리 (㎡)		파손 (㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
A1	1.30	4	-	-	0.12	1	-	-	-	-	0.12	1
A2	2.05	8	0.91	5	-	-	0.11	1	0.62	5	-	-
합계	3.35	12	0.91	5	0.12	1	0.11	1	0.62	5	0.12	1

2) 손상별 원인분석

			
현 황	◦A1 구체 균열(0.1㎜/0.3m)	현 황	◦A2 구체 망상균열(A=0.15㎡/Cw=0.1㎜)
원 인	◦건조수축 및 온도변화	원 인	◦건조수축 및 온도변화
대 책	◦지속관찰	대 책	◦지속관찰
현 황	◦A2 날개벽 박락(A=0.11㎡)	현 황	◦A2 날개벽 재료분리(A=0.20㎡)
원 인	◦시공이음부 콘크리트 열화	원 인	◦시공시 다짐불량
대 책	◦단면복구	대 책	◦단면복구

3) 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단시 외관조사 결과, 구체 및 흉벽에서 건조수축과 단면변화 응력집중으로 인한 균열 및 망상균열(Cw=0.1~0.2㎜), 신축이음부 우수유입으로 인한 흉벽 누수흔적, 국부 백태, 체수흔적, 녹발생, 파손, 실링재 열화 등이 조사되었으며, 금회 진단시에는 기 진단시와 비교해 대부분의 손상이 조사되지 않았다.
- 기 진단시 조사된 손상은 대부분 보수하였으며, 금회 발생한 손상은 신규로 조사된 것으로 판단된다. 또한 교대 A1, A2 보호 블록(압성토) 사면은 파손, 슬라이딩에 의한 사면 침하 등은 조사되지 않았다.

【표 3-12】 내서방향-교대 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
교대	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	31	21.05	12	3.35	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	2	1.21	5	0.91	▽
	•백태	㎡	12	20.75	1	0.12	▽
	•박락, 재료분리, 파손	㎡	5	0.35	7	0.85	△
	•흉벽하단 녹발생	㎡	2	0.58	-	-	▽
	•실링재 열화	m	2	8.40	-	-	▽
	•압성토 블록 이격	㎡	1	8.00	-	-	▽

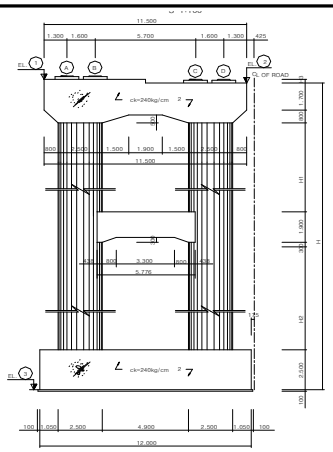
주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 교대는 균열 및 망상균열(Cw=0.3㎜미만), 백태, 박락, 재료분리 등의 손상이 조사되었다.
- 교대에 발생한 균열의 형상 및 발생 위치 등을 검토한 결과, 건조수축 및 온도변화에 의해 발생된 비구조적인 균열로 판단되며, 손상정도가 경미하여 보수의 긴급성은 없으므로, 지속관찰을 통해 균열 진전시 보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 교대 A1에서 발생한 백태, 박리는 상부 신축이음부에서 유입된 우수로 인하여 발생된 것으로 판단되며, 내구성 확보를 위하여 표면처리보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 교대 A2의 날개벽에 발생한 박락은 시공이음부에 발생한 손상으로 사용성에 큰 문제가 없는 것으로 판단되며, 재료분리는 시공시 다짐 미흡으로 인하여 발생한 것으로 판단된다. 다만 내구성향상을 위하여 단면보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 교대(A1) 흉벽에 발생한 파손은 구조물의 거동으로 인해 흉벽 단부 파손된 것으로 판단되며, 내구성향상을 위하여 단면보수가 적절할 것으로 판단된다.

나. 교각

상부구조를 지지하는 구조물인 교각형식은 Π형 교각식이고, 기초형식(P1~P4)은 확대전면기초로 시공되어 있다. 용전2교(내서)는 5경간, 교각이 4개소로 유지관리를 용이하게 하기 위한 출입사다리 및 점검통로가 시공되어 있어 도보점검 및 고소점검차를 이용하여 조사하였다.

	
교각(P4) 전경	교각 제원(준공도)

1) 외관조사 결과

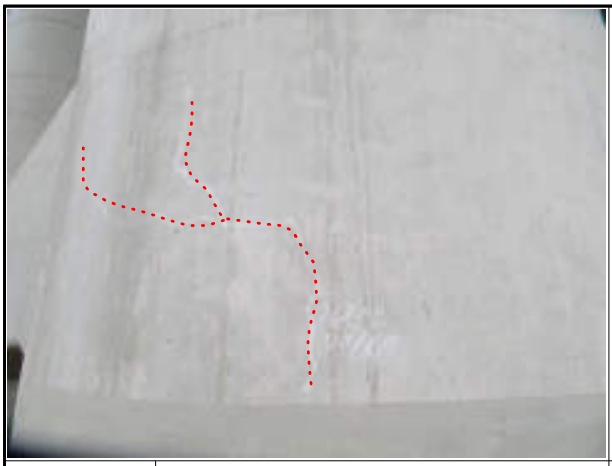
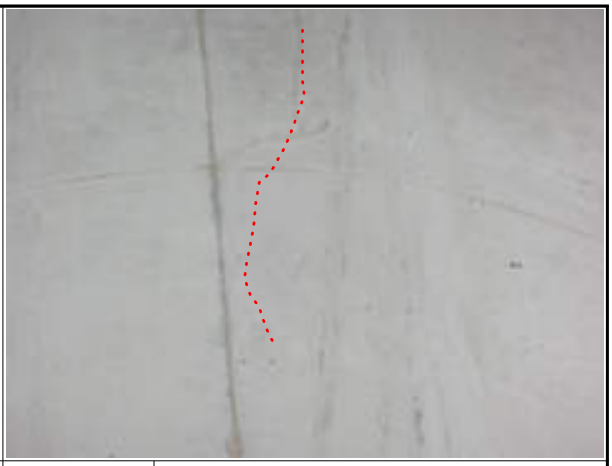
【표 3-13】 내서방향 - 교각 외관조사 결과

구 분	균열					
	Cw=0.3㎜미만(m)		Cw=0.3㎜이상(m)		망상균열 Cw=0.3㎜미만(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소
P1	32.50	39	0.50	1	6.60	2
P2	58.20	48	-	-	33.89	9
P3	54.20	45	-	-	0.12	1
P4	33.70	40	-	-	1.14	3
합계	178.60	172	0.50	1	41.75	15

【표 3-13】 내서방향 - 교각 외관조사 결과(계속)

구 분	표면열화					
	백태(㎡)		재료분리(㎡)		파손(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소
P1	0.04	1	0.07	1	-	-
P2	-	-	-	-	-	-
P3	-	-	-	-	0.02	2
P4	-	-	1.47	5	0.20	9
합계	0.04	1	1.54	6	0.22	11

2) 손상별 원인분석

			
현 황	◦P1 교각부 균열(0.1㎜/1.5m)	현 황	◦P1 교각부 균열(0.3㎜/0.5m)
원 인	◦건조수축 및 온도변화	원 인	◦건조수축 및 온도변화
대 책	◦지속관찰	대 책	◦주입보수
현 황	◦P2 교각부 망상균열(A=1.00㎡)	현 황	◦P4 교각부 파손(A=0.01㎡/2EA)
원 인	◦건조수축 및 온도변화	원 인	◦외부충격
대 책	◦지속관찰	대 책	◦단면보수

3) 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단 결과, 균열 및 망상균열, 누수흔적, 백태, 파손, 들뜸, 재료분리, 박리, 앵커볼트 부식 등이 발생하였으나, 금회 진단시 확인한 결과 전반적인 보수를 실시하여 대부분의 손상물량이 감소한 것으로 나타났다.

【표 3-14】 내서방향-교각 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
교각	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	355	383.60	172	178.60	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	7	6.70	1	0.50	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	18	45.57	15	41.75	▽
	•백태	㎡	3	0.28	1	0.04	▽
	•재료분리, 파손	㎡	36	8.25	17	1.76	▽
	•앵커볼트 부식	개소	22	22	-	-	▽

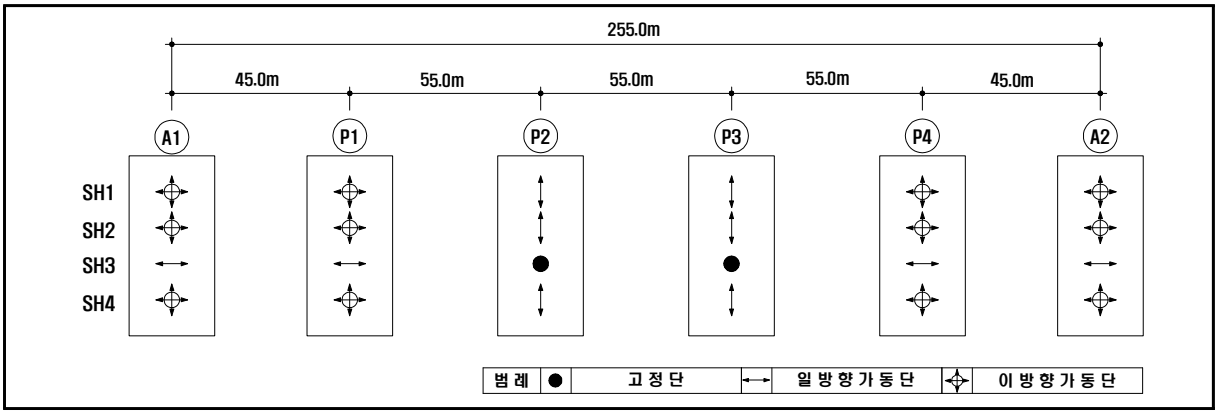
주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 교각은 전반적인 보수를 실시한 상태이나 균열, 망상균열, 백태, 재료분리, 파손 등의 손상이 조사되었다.
- 균열(최대폭 : 0.3㎜), 망상균열은 균열의 형상 및 발생 위치 등을 검토한 결과, 건조수축 및 온도변화에 의해 발생된 비구조적인 균열로 판단되며, 손상정도가 경미하여 보수의 긴급성은 없으나, 내구성 확보를 위해 균열폭 0.3㎜이상의 균열에 대해 주입보수를 실시하고 균열폭 0.3㎜미만 균열은 지속관찰을 통해 균열 진전시 보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 망상균열은 재령초기 표면 건조수축으로 인해 발생된 것으로 판단되며,『건조수축은 콘크리트가 수화반응을 하는데 필요한 수량은 시멘트량의 40%이하로 알려져 있다. 그러나, 일반적으로 사용되는 콘크리트의 물/시멘트비는 45~60% 정도가 가장 많은 실정이다. 따라서, 워커빌리티에 기여한 잉여수가 건조하면서 콘크리트는 수축을 하게 되므로 콘크리트의 건조수축에 의한 체적변화는 보통 다른 구조체에 의해 저지되기 때문에, 이러한 제약으로 인하여 인장응력이 발생하면서 콘크리트에 균열을 일으키게 된다. 건조수축 균열은 기본적으로 두꺼운 부재와 얇은 부재의 건조속도 차이로 발생하는 인장력과 건물 전체의 수축으로 발생하는 인장력의 작용으로 발생하는 경우가 많다.』(“콘크리트 균열의 원인”, 한국콘크리트학회 학회지 제6권4호, 1994.8)
- P1에 발생한 백태는 콘크리트 내부수의 유출로 인해 발생된 손상으로 판단되며, 현재 손상정도가 경미하나 내구성 향상을 위하여 표면처리보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 코핑부와 기둥부에 작업 중 임의 충격 등으로 국부파손과 다짐불량으로 인한 재료분리가 일부 조사되었으며, 공용 중 내구성 저하의 우려가 있으므로 단면보수가 바람직할 것으로 판단된다.

다. 교량받침

본 교량의 받침장치은 Pot Bearing받침으로 총 24개소가 시공되었으며, 전차 점검에서 확인된 손상에 대하여 전반적인 보수가 완료된 상태이며, 금회 추가 손상으로 받침몰탈, 콘크리트 균열 및 파손과 상부플레이트 부식 및 도장박리, 고무재 탈락이 일부 조사되었다. 교량받침 배치현황은 다음 그림과 같다.



【그림 3-2】 내서방향 - 교량받침 배치도

교량받침 전경(A1-Sh1, 양방향)	교량받침 전경(P2-Sh3, 고정단)	교량받침 전경(A1-Sh3, 일방향)

1) 외관조사 결과

【표 3-15】 내서방향 - 교량받침 외관조사 결과

구 분	받침본체				
	반침부식(㎡)		반침장치 고무재탈락	도장박리(㎡)	
	물량	개소	개소	물량	개소
A1	0.04	1	-	-	-
P1	-	-	1	-	-
P2	-	-	-	0.07	3
P3	-	-	-	0.16	2
P4	-	-	-	0.10	1
A2	0.05	1	-	0.02	1
합계	0.09	2	1	0.35	7

【표 3-15】 내서방향 - 교량받침 외관조사 결과(계속)

구 분	받침콘크리트, 받침몰탈					
	균열 Cw=0.3㎜미만(m)		균열 Cw=0.3㎜이상(m)		파손(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소
A1	-	-	-	-	0.03	1
P1	1.50	6	0.30	1	-	-
P2	4.70	16	-	-	-	-
P3	1.30	5	-	-	-	-
P4	1.60	6	-	-	-	-
A2	-	-	0.50	1	-	-
합계	9.10	33	0.80	2	0.03	1

2) 손상별 원인분석

현 황	◦A1-Sh3 받침부식(A=0.05㎡)	현 황	◦P1-Sh1 받침장치 고무재탈락
원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화	원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화
대 책	◦재도장	대 책	◦지속관찰

현 황	◦P3-Sh2 도장박리(A=0.08㎡)	현 황	◦P2-Sh2 받침콘크리트 균열(2EA)
원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화	원 인	◦건조수축 및 온도변화
대 책	◦재도장	대 책	◦지속관찰

현 황	◦P1-Sh1 받침콘크리트 균열(Cw=0.9㎜)	현 황	◦A1-Sh4 받침콘크리트 파손(A=0.30㎡)
원 인	◦건조수축 및 온도변화	원 인	◦우수유입으로 인한 동결융해
대 책	◦충전보수	대 책	◦단면복구

3) 기 점점결과와의 비교·분석

- 기 진단시 도장박리 및 부식, 볼트부 도장박리, 몰탈균열, 받침콘크리트 균열, 재료분리 및 파손, 박락 등의 손상이 조사되었으며, 금회 진단결과 대부분 보수를 실시하여 손상 물량은 대체로 감소한 것으로 조사되었다.

【표 3-16】 내서방향-교량받침 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
교량받침	•부식, 도장박리	㎡	18	0.90	9	0.44	▽
	•고무재 탈락	개소	-	-	1	1	△
	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	75	18.60	33	9.10	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	3	1.40	2	0.80	▽
	•파손	㎡	4	0.29	1	0.03	▽
	•박락	㎡	1	0.16	-	-	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 금회 교량받침 조사결과, 받침본체 부식, 도장박리, 받침장치 고무재탈락, 받침콘크리트 및 몰탈 균열, 받침 콘크리트 파손 등의 손상이 조사되었다.
- 교량 받침 소울플레이트에 부식 및 도장박리가 국부 조사되었으며, 이는 신축이음부와 외측면을 통한 우수유입이 가장 주요한 원인으로 판단되며, 내구성 확보를 위하여 재도장이 필요한 것으로 판단된다.

- 교량 받침장치의 고무재 탈락은 공용년수의 증가로 인한 고무재 노후화로 인하여 발생한 것으로 판단되며, 손상정도가 경미하여 지속적인 관찰이 적절한 것으로 판단된다.
- 받침콘크리트, 받침 몰탈에 발생한 0.3㎜미만의 균열은 건조수축에 의한 비구조적인 손상으로 판단되며, 손상정도가 경미한 0.3㎜미만의 균열은 지속관찰을 통해 균열 진전시 보수를 실시하고, 균열폭 0.3㎜이상은 주입보수를 실시하며, 균열폭 0.5㎜이상은 충전보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 받침 콘크리트에 발생한 파손은 우수유입에 따른 동결융해 및 내부 철근부식 팽창에 의한 것으로 판단되며, 내구성 확보를 위하여 단면보수가 필요할 것으로 판단된다.

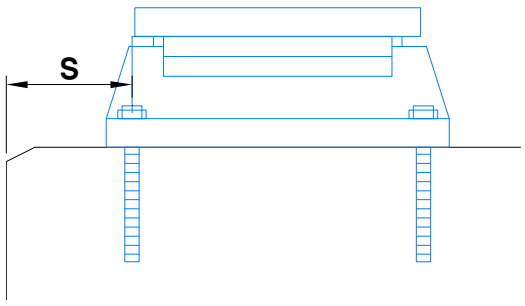
5) 연단거리 검토

교좌면은 받침을 통해 상부구조로부터 하중을 받는 곳이고 또한 지진시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 따라서 받침 끝에서 정부 연단까지의 거리가 작으면 고정단에서는 전단면에 연해서 콘크리트 구체 또는 받침이 파손될 수 있고, 가동단에서는 최악의 경우 받침이 벗어나 거더가 낙하할 수도 있다. 따라서 도로교 설계기준에서는 상부구조의 길이에 따라 연단거리의 최솟값을 정해놓았으며, 본 과업에서는 실제 시공된 연단거리와 설계 연단거리를 비교・검토하였다.

- 거더의 경간길이 100m이하 : S = 200 + 5.0L

  100m이상 : S = 300 + 4.0L (도로교 설계기준)

  여기서, S : 받침연단거리(㎜), L : 거더의 경간길이(m)
- 연단거리 : 콘크리트면의 가장자리로부터 가장 가까운 앵커 중심까지의 거리



< 포트받침 >

연단거리 측정 개요도

연단거리 실측 전경

【그림 3-3】 내서방향 - 연단거리 측정방법

【표 3-17】 내서방향 - 연단거리 측정결과

구 분		경간장 (m)	계산 연단거리 (㎜)	실측 연단거리(㎜)				검토 결과
				G1		G2		
				Sh1	Sh2	Sh3	Sh4	
A1	종점측	45.00	425	600	600	597	580	O.K
P1	시점측	45.00	425	1,040	1,050	1,040	1,050	O.K
	종점측	55.00	475	1,040	1,030	1,030	1,050	O.K
P2	시점측	55.00	475	1,040	1,050	1,050	1,030	O.K
	종점측	55.00	475	1,040	1,040	1,050	1,040	O.K
P3	시점측	55.00	475	1,050	1,040	1,050	1,050	O.K
	종점측	55.00	475	1,050	1,050	1,060	1,050	O.K
P4	시점측	55.00	475	1,040	1,040	1,050	1,040	O.K
	종점측	45.00	425	1,050	1,050	1,050	1,050	O.K
A2	시점측	45.00	425	670	670	670	670	O.K

연단거리 측정 결과, 모든 교량받침 실측 연단거리가 계산 연단거리를 상회하고 있는 것으로 측정되어 도로교 설계기준을 만족하고 있는 것으로 검토되었다.

6) 교량받침 가동량 측정

P1-Sh1 받침 이동위치 측정(20mm / 29.2℃일 때)

【표 3-18】 교량받침 가동량 산정

▣ 온도에 의한 가동량

$\Delta \ell t = \Delta T \times \alpha \times \ell$ (신축거더 길이)

ΔT = 온도변화(−20℃ ~ +40℃) → Steel Box Girder교(한랭지방)

α = 선팽창계수(1.2×10^{-5}) → Steel Box Girder교

도로설계편람 (2000년)	▪ 온도범위는 교량 상부구조의 평균 온도이며, 지역구분은 최근 5년간 최저기온 및 최고기온을 참조하여 결정(도로공사 연구보고서. 1993) [보통지방] : 대전 구미, 대구, 강릉, 논산, 전주, 광주, 순천, 진주, 마산, 창령, 고령, 동서울, 부산 [한랭지방] : 인천, 수원, 천안, 영동, 이천, 원주, 대관령, 정안, 진천
기상청 통계자료	▪ 최근 5년간 이천(기)의 일평균 최저 온도 : -14.2℃ (2011/01/16) ▪ 설계편람 발간 당시 이천(기) 5년간 일평균 최저 온도 : -15.8℃ (2001/01/15) ▪ 최근 5년간 일평균 최저 온도 < 설계편람 발간당시의 5년간 일평균 최저 온도

▣ 활하중에 의한 보의 처짐에 의한 가동량

$\Delta l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$

여기서, h_i : 받침의 회전중심에서 보의 중립축 까지의 높이 (거더 높이의 2/3)

θ_i : 보의 회전각 (강교 1/150, 콘크리트교 1/300)

▣ 계산 가동량 산정

온도변화 범위	−20℃ ~ +40℃		선팽창 계수(α)		1.2 × 10^{-5}
점검시 기온(℃)	2016. 08. 08. (1차) 2016. 10. 19. (2차)		29.2 (1차) 16.2 (2차)		
온도에 의한 가동량($\Delta \ell t$)	$\Delta \ell t = \Delta T \times \alpha \times \ell$				
보의 중립축까지 높이(hi)	$\frac{2}{3}\times2{,}500$				
보의 회전각(θi)	1/150 (Steel Box Girder교)				
보의 처짐에 의한 가동량($\Delta \ell r$)	$\Delta l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$				
신축거더길이 (L, m)	A1	P1	P2	P3	A2
	100.0	55.0	0	55.0	100.0

※ 처짐에 의한 가동량은 팽창시만 고려하여 계산

① 교량받침 가동량 측정결과 및 가동 여유량 분석

포트받침으로 시공된 용전2교(내서)의 교량받침에 대해 가동 여유량 부족으로 인한 교량받침의 기능저하를 방지하기 위해 가동 여유량을 실측하여 검토하였다.

가동받침 가동량 산정시 고려되는 항목은 활하중에 의한 보의 처짐, 온도변화, 건조수축, 크리프 등을 고려하여야 한다. 그러나 대상 교량은 준공 후 10년이 경과하였기 때문에 건조수축 및 크리프에 의한 변형은 완료된 것으로 판단하여 온도변화 및 활하중에 의한 처짐만을 검토하는 것으로 하였다.

【표 3-19】 내서방향 - 교량받침 계산 가동량 산정

구 분	온도변화 (⊿T, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더 길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜)	최대 받침 가동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
A1	49.2	10.8	1.2×10^{-5}	100	59.0	13.0	11.1	59.0	24.1
P1	49.2	10.8	1.2×10^{-5}	55	32.5	7.1	11.1	32.5	7.1
P2	고정단								
P3	고정단								
P4	49.2	10.8	1.2×10^{-5}	55	32.5	7.1	11.1	32.5	7.1
A2	49.2	10.8	1.2×10^{-5}	100	59.0	13.0	11.1	59.0	24.1

1) 조사당시 온도 : 1차 29.2℃(2016년 08월 08일)
2) 검토온도 : -20℃ ~ 40℃ (한랭지방)

금회 교량받침 측정은 눈금을 이용하여 측정하였으며, 가동 실측 여유량 측정결과와 계산 가동량을 비교한 결과는 다음과 같다.

② 교량받침 온도차에 따른 가동 여유량과 계산 가동량 비교

【표 3-20】 내서방향 - 교량받침 가동여유량 검토결과

구 분		점검당시 실측이동량 (㎜)	최대 반침 이동량(㎜)		실측 반침 가동여유량(㎜)		반침이동 허용량 (㎜)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
A1	Sh1	+70 (A1)	59.0	24.1	120.0	(20.0)	±50	N.G
	Sh2	+72 (A1)			122.0	(22.0)		N.G
	Sh3	+79 (A1)			129.0	(29.0)		N.G
	Sh4	+80 (A1)			130.0	(30.0)		N.G
P1	Sh1	+20 (A1)	32.5	7.1	70.0	30.0	±50	O.K
	Sh2	+20 (A1)			70.0	30.0		O.K
	Sh3	+19 (A1)			69.0	31.0		O.K
	Sh4	+20 (A1)			70.0	30.0		O.K
P2	고정단							-
P3	고정단							-
P4	Sh1	+10 (A2)	32.5	7.1	60.0	40.0	±50	O.K
	Sh2	+20 (A2)			70.0	30.0		O.K
	Sh3	+20 (A2)			70.0	30.0		O.K
	Sh4	+20 (A2)			70.0	30.0		O.K
A2	Sh1	+17 (A2)	59.0	24.1	67.0	33.0	±50	O.K
	Sh2	+23 (A2)			73.0	27.0		O.K
	Sh3	+33 (A2)			83.0	17.0		N.G
	Sh4	+30 (A2)			80.0	20.0		N.G
주) 판정 : 최대 반침 이동량 ≤ 실측 반침 가동여유량 ⇒ O.K								

- 교량받침의 이동량을 검토한 결과, 대부분 충분한 가동 여유량을 확보하고 있는 것으로 평가되었다. 다만, A1(Sh1~Sh4), A2(Sh3~Sh4)의 받침 이동량은 계산에 의한 최대 받침이동량(신장시)이 받침이동허용량을 고려한 받침 가동여유량(신장시)을 초과하는 것으로 검토되었다.
- 신장 가동여유량 부족은 받침장치 설치시 장기 변형량(크리프 및 건조수축)을 예상하지 못해 발생한 프리셋팅 오류로 판단된다. 가동흔적 조사결과, 기능상에 문제가 없고 이동여유량 부족으로 인한 이상변위 및 기타손상(받침들뜸 및 파손, 받침장치 주변 부재

의 파손 및 변형, 받침편기, 복부 거더의 경사균열 등)이 없으며, 현재 교량의 안전성 및 사용성에 문제가 없으므로, 경제성을 고려하여 교체보다는 현상유지가 타당할 것으로 판단된다. 그러나 여유량 부족으로 인한 받침장치 및 거더 등에 손상발생 가능성을 배제할 수 없으므로 중점유지관리 사항으로 선정하여 점검 시 이상유·무를 확인할 수 있도록 중점유지관리가 필요할 것으로 사료된다.

③ 온도차에 따른 이론 수축량과 실제 수축량 가동 여부 비교

【표 3-21】 내서방향 - 교량받침 가동상태 검토결과

구 분		실측이동량(㎜)		변동량(㎜)		비 고
		1차	2차	실측치	이론치	
A1	Sh1	+70 (A1)	+60 (A1)	10.0	15.6	1차:29.2℃ 2차:16.2℃ 온도차:13.0℃
	Sh2	+72 (A1)	+65 (A1)	7.0		
	Sh3	+79 (A1)	+70 (A1)	9.0		
	Sh4	+80 (A1)	+75 (A1)	5.0		
P1	Sh1	+20 (A1)	+15 (A1)	5.0	8.6	
	Sh2	+20 (A1)	+15 (A1)	5.0		
	Sh3	+19 (A1)	+14 (A1)	5.0		
	Sh4	+20 (A1)	+17 (A1)	3.0		
P2	고정단					-
P3	고정단					-
P4	Sh1	+10 (A2)	+8 (A2)	2.0	8.6	
	Sh2	+20 (A2)	+10 (A2)	10.0		
	Sh3	+20 (A2)	+10 (A2)	10.0		
	Sh4	+20 (A2)	+7 (A2)	13.0		
A2	Sh1	+17 (A2)	+3 (A2)	14.0	15.6	
	Sh2	+23 (A2)	+10 (A2)	13.0		
	Sh3	+33 (A2)	+5 (A2)	28.0		
	Sh4	+30 (A2)	+10 (A2)	20.0		
※ 받침 위치 조사시 기준점은 고정단을 기준으로 +: 신장, -:수축으로 표시함.						

■ 결과적으로 교량받침의 온도 변화에 따른 이동량 측정결과, 계산 이동량과 차이는 있으나, 전반적으로 양호한 거동상태를 보이고 있는 것으로 평가되었으며, 외관조사 결과 구조적으로 문제가 없는 것으로 판단된다.

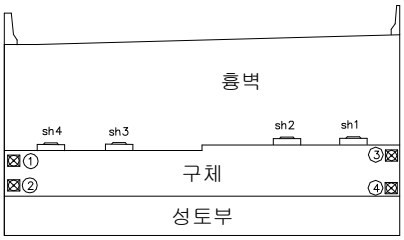
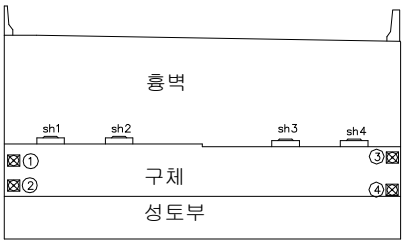
3.2.3 교대 기울기 측정

공용중인 교량의 교대 측방유동 및 밀림의 영향으로 교대 기울음이 발생할 수 있다. 따라서 교대 주변의 현상과 장기적인 추적조사를 통하여 교대의 이동 및 회전현상을 파악할 수 있는데 기존 정밀점검 Data와 비교 분석 및 금회 광파기 및 경사계를 이용하여 측정한 자료를 초기 값으로 하여 향후 교대의 기울기 변화를 지속적으로 관찰할 수 있도록 하였다.

가. 광파기를 이용한 측정

교대의 기울기 및 변위를 관찰하고자 교대 A1, A2 흉벽 및 구체에 4개의 측점을 선정하여 설치하고 광파기를 이용하여 측정하였다.

1) 측량 위치 및 측량 전경

측정 위치		
A1 교대	A2 교대	
		
측정 결과	측점 전경(A1)	측점 전경(A2)

2) 측량 결과 좌표

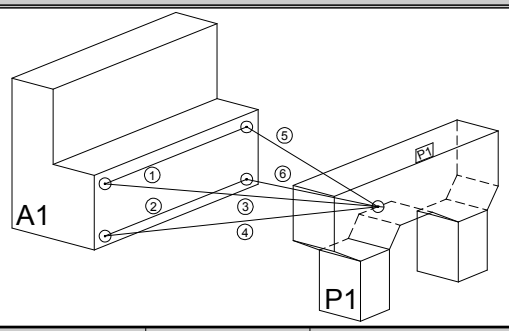
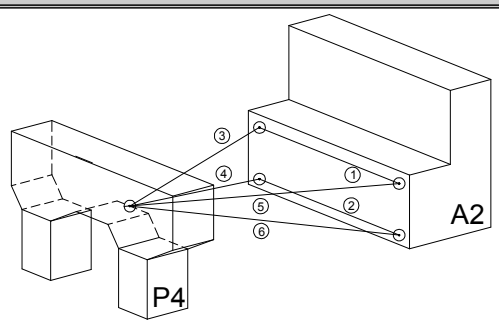
위치	①			②			③			④		
	N축	E축	Z축	N축	E축	Z축	N축	E축	Z축	N축	E축	Z축
교대 A1	15.292	−4.112	6.378	15.294	−4.114	5.650	13.544	7.606	6.473	13.541	7.624	5.817
교대 A2	79.269	−24.900	25.274	79.268	−24.884	24.400	80.233	−16.685	25.107	80.239	−16.695	24.219
교각 P1	−27.424	−4.636	4.887	코핑부 중앙 하단부 끝단 지점(후시)								
교각 P4	49.765	−3.059	22.787	코핑부 중앙 하단부 끝단 지점(후시)								

주) N:North(수직), E:East(수평), Z:Elevation(고저차)

3) 측량 결과 및 분석

교대 구체에 대한 수평변위 여부를 파악하기 위해 측정한 결과를 아래 표와 같이 나타내었으며, 향후 진단 및 점검시 활용하도록 하였다.

【표 3-22】 내서방향 - 광파기를 이용한 측량 결과

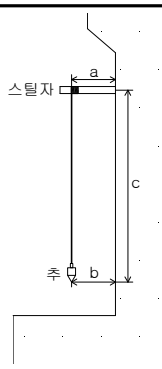
측점 모식도(A1)	측점 모식도(A2)
	

측정일자	위치	측정 결과					
		①	②	③	④	⑤	⑥
2016.07.26	교대 A1	11.848	11.869	42.719	42.721	42.758	42.760
	교대 A2	8.271	8.246	36.709	36.698	33.376	33.386

나. 다림추를 이용한 측정

교대의 기울기 및 변위를 관찰하고자 교대 A1, A2 흉벽에 다림추를 이용하여 측정하였다.

1) 측정 위치 및 측정 전경



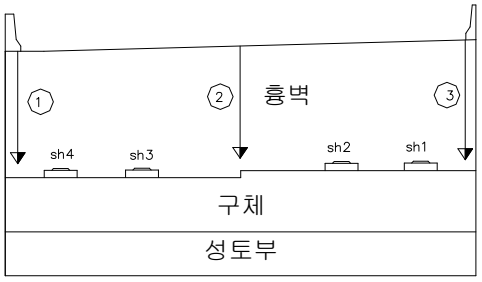
- a : 상단 이격거리(mm), 스틸자 사용
- b : 하단 이격거리(mm), 교대 흉벽에서 추의 거리
- c : 줄의 총 길이(mm)

$$경사(d) = \frac{(b-a)}{c}(\%)$$

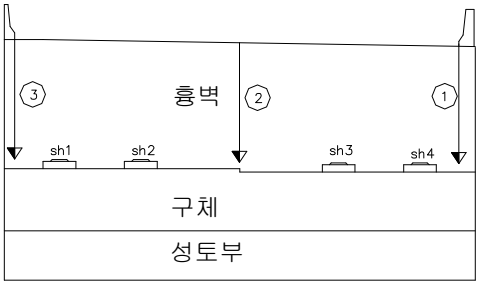
- 경사 부호

: (-)부호일 경우 ◿(교대가 흉벽측으로 기울음)

: (+)부호일 경우 ◹(교대가 교각측으로 기울음)



A1 교대 기울기 측정 위치



A2 교대 기울기 측정 위치

2) 측정 결과 및 분석

【표 3-23】 내서방향 - 다림추를 이용한 기울기 결과

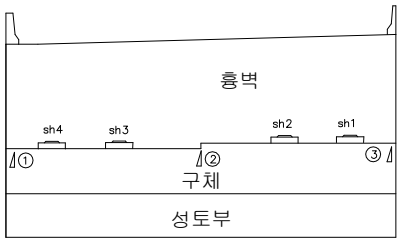
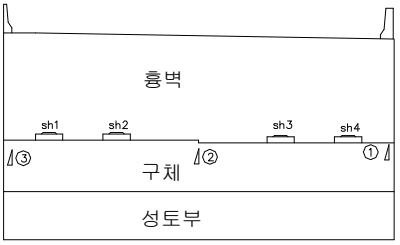
구 분		교대 기울기 측정 결과(단위 : mm)					
		①		②		③	
		금회	전회	금회	전회	금회	전회
A1	상단 이격거리(a)	100	100	100	100	100	100
	하단 이격거리(b)	108	101	101	88	89	85
	줄의 총 길이(c)	2000	2200	2000	2300	2000	2200
	경사(d)	0.40%	0.05%	0.05%	-0.52%	-0.55%	-0.68%
A2	상단 이격거리(a)	80	100	80	100	80	100
	하단 이격거리(b)	73	125	86	100	109	103
	줄의 총 길이(c)	2000	2200	2000	2200	2000	1900
	경사(d)	-0.35%	1.14%	0.30%	0.00%	1.45%	0.16%

A1 교대는 -0.68~0.05%의 경사가 측정되었고, A2 교대는 -0.35~1.45%의 경사가 측정되었다. A1의 기울기는 밖에서 안쪽으로 갈수록 흉벽측이 다소 기울어져 있으며, A2는 교각측으로 기울어져 있다. 교대 A1은 신축이음 바닥판하면 거더 유간이 협착된 상태로서 교대가 일부 흉벽쪽으로 기울어진 상태이며, 다른 구간은 시공 시 거푸집 변형 및 콘크리트면이 일정하지 않는 오차로서 수평이동에 대한 영향은 미미한 것으로 분석되었으며, 기 점점 결과와 비교 유사한 것으로 분석되었다.

다. 경사계를 이용한 측정

교대의 기울기 및 변위를 관찰하고자 교대 A1, A2 구체에 경사계를 이용하여 측정하였다.

1) 측정 위치 및 측정 전경

측정 위치		측정 전경
		
A1 교대	A2 교대	

2) 측정 결과 및 분석

경사계를 이용한 기울기 측정결과 교대 구체의 A1, A2은 전면(교각)측으로 기울어진 상태이며 코핑부 상면에 체수 등은 발생되지 않은 상태이다.

【표 3-24】 내서방향 - 경사계를 이용한 기울기 결과

측정일자	위치	측정결과			기호정의
		①	②	③	
2016.08.30	교대 A1	-0.3°	-0.2°	-0.9°	전면 배면:(-), 전면 배면:(+)
	교대 A2	0.8°	0.1°	0.4°	

라. 교대 측방유동 검토

연약지반 위에 축조되는 교대는 배면성토에 의한 지반의 압밀침하와 동시에 상시 재하하고 있는 편하중에 의해서 연약지반이 측방향 이동을 일으켜 교대에 기능상 좋지 않은 회전이나 수평변위 등의 변형(측방유동)이 생길 수 있다. 또한 교량을 지지하는 교대는 수평토압으로 인한 전도(Overturning), 활동(Sliding) 및 지지력(Bearing Capacity)에 안전하도록 설계되어야 하나 도로의 선형계획에 따라 연약지반상의 교대 설치시 배면 성토에 의한 편재하중으로 지반의 측방유동이 발생하게 된다. 측방유동은 교대의 지지구조가 상이한 교량과 토공의 경계에 위치하기 때문에 발생하는 것으로 압밀침하에 의한 교대배면의 단차, 교대의 수평이동과 경사, 신축이음부의 기능저하, Beam의 지지점 및 교좌의 파손 말뚝에 휨모멘트가 발생하여 두부파손 등이 발생한다.

따라서 용전2교 교대(A1, A2)를 대표단면으로 선정하여 측방유동 검토를 실시하였다.

1) 측방유동 판정방법

현재 국·내외에서 사용하고 있는 측방유동을 판정하는 방법은 배면 쌓기 하중과 원지반 전단강도를 고려한 측방유동지수(F)에 의한 방법과 측방유동지수(I)에 의한 방법, 비탈면 안전율과 관련된 원호활동에 의한 방법으로 구분된다. 본 검토에서는 시추주상도 검토결과 교대 A1, A2의 지층은 N치 23/30~50/2의 실트질 모래(SM)로 이루어진 풍화토층으로 연약지반으로 분류하기 어려우므로 원호활동에 의한 측방유동 안정성을 검토하였다.

2) 원호활동에 의한 판정

활동에 대한 안전율(Fs) 개념으로 한계평형해석을 실시하여 기준안전율과 비교하는 방법으로 한계평형해석시 기준이 되는 기준안전율은 외국의 경우 Marche가 제안한 Fs=1.4, 일본수도고속도로 공단의 Fs=1.6 등이 있으며, 국내의 경우 홍원표 등(1994)이 국내에서 발생된 6개 현장 12개 교대의 측방유동 사례에 대한 연구결과를 토대로 말뚝 효과를 고려하지

않을 때 Fs=1.5, 말뚝효과를 고려할 때 Fs=1.8을 기준으로 제시하였으며, 본 검토에서는 다음과 같이 기준안전율을 산정하였다. 또한 지진시의 경우『건설공사 비탈면 설계기준(2011)』쌓기비탈면의 허용 기준인 Fs=1.1을 적용하였다.

【표 3-25】 사면활동에 대한 기준안전율

구 분	사면활동에 대한 기준안전율				적 용
	Marce 제안	수도고속도로공단 (일본)	Hong (1994)	비탈면 설계기준 (2011)	
말뚝효과 고려시	-	-	1.8	-	1.8
말뚝효과 미고려시	1.4	1.6	1.5	-	1.5
지진시	-	-	-	1.1	1.1

3) 설계지진 가속도

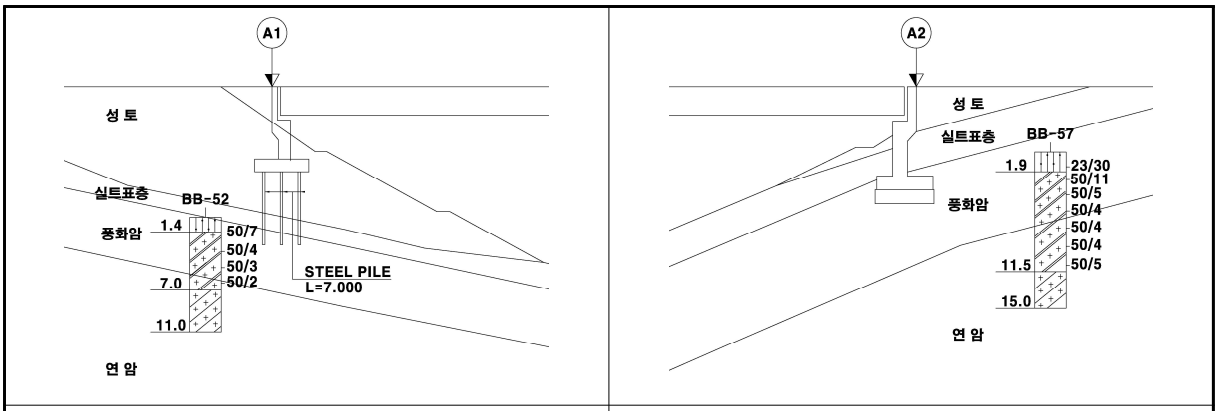
지진시의 경우 내진Ⅰ등급(재현주기 1,000년), 지진구역계수(0.11g), 위험도 계수(1.4)를 반영하여 0.154g 설계지진 가속도를 적용하였다.

【표 3-26】 설계지진 가속도

구 분	내진성능목표	지진구역계수	위험도 계수	설계지진 가속도
내진Ⅰ등급	1,000년	0.11g(충주시)	1.4	0.154g

4) 대표단면 선정

용전2교의 교대(A1, A2)를 대표단면으로 선정하여 다음과 같이 측방유동 검토하였다.



교대 A1 해석단면 | 교대 A2 해석단면

【그림 3-4】 대표단면 선정

5) 적용 물성치

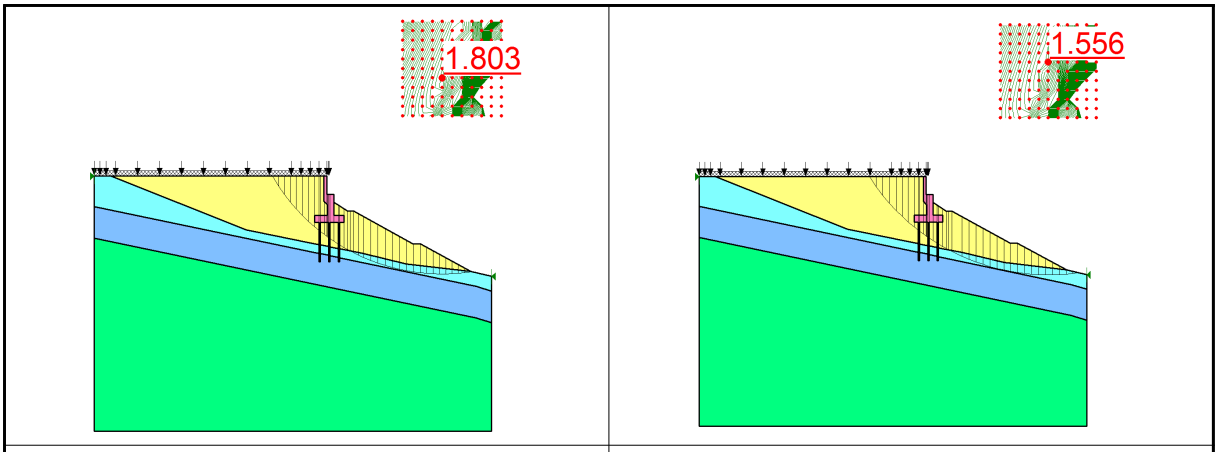
금회 측방유동 검토시 적용한 지반 물성치는 중부내륙 고속도로(충주~여주간) 건설공사 토질조사보고서 제4공구(용전~완오) 준공도서 및 기 진단보고서(2012)를 참조하여 다음과 같이 결정하였다.

【표 3-27】 적용 물성치

구 분	단위중량(kN/㎥)	점착력(kN/㎡)	내부마찰각
성토층	19.5	15	25
실트표층	19	20	30
풍화암	20	30	30
연 암	23	30	30

6) 검토결과

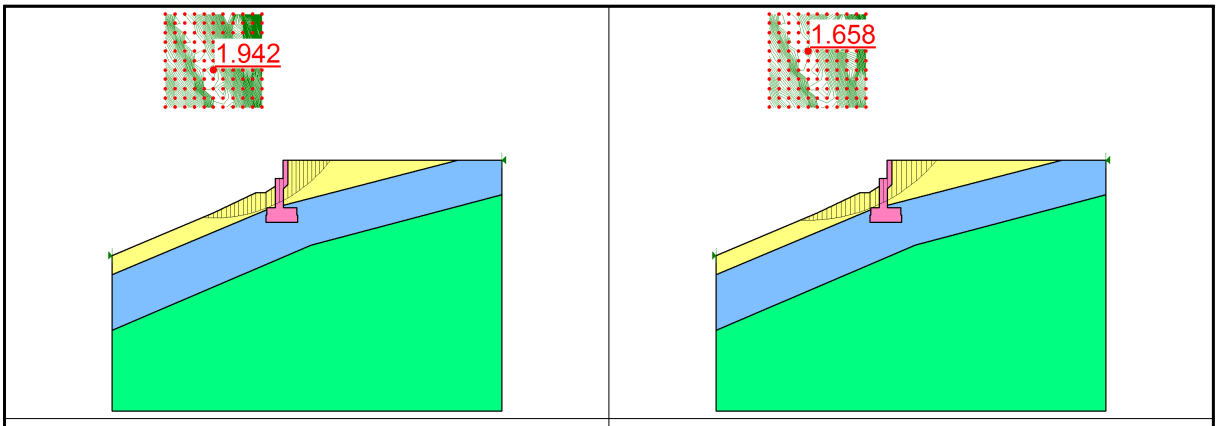
① A1 교대



평상시 Fs = 1.803 > 1.8 ∴ O.K	지진시 Fs = 1.556 > 1.1 ∴ O.K

【그림 3-5】 원호활동에 의한 방법(A1 교대)

② A2 교대



평상시 Fs = 1.942 > 1.8 ∴ O.K	지진시 Fs = 1.658 > 1.1 ∴ O.K

【그림 3-6】 원호활동에 의한 방법(A2 교대)

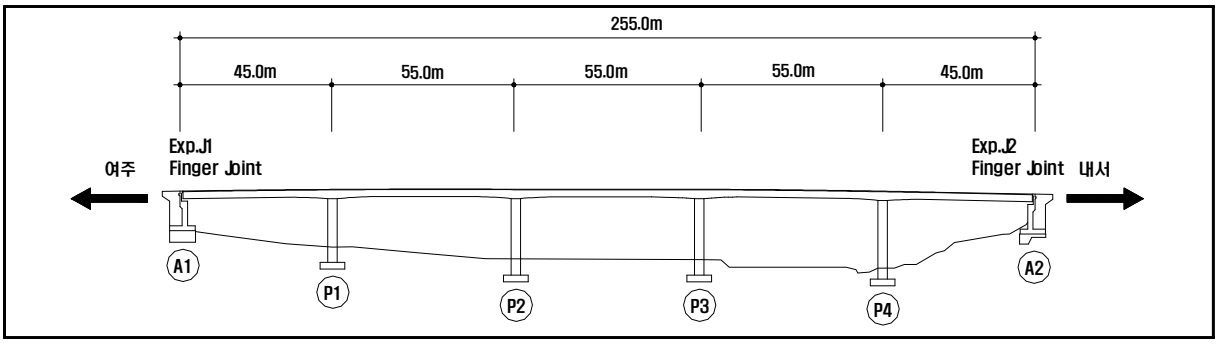
7) 결론

원호활동에 의한 측방유동 검토 결과 기준 안전율을 상회하는 것으로 평가되어 측방유동의 가능성은 없는 것으로 분석되었다.

3.2.4 신축이음장치

신축이음 장치는 온도변화에 의한 신축거동, 교면수의 하부유입을 막는 차수기능을 하는 부재로써 현장조사 시 이러한 기능성 저하여부, 내구성 측면, 차량 주행 안전성 등에 대해 중점적으로 조사하였다.

용전2교(내서)의 신축이음장치는 A1, A2에 핑거 조인트로 설치되어 있으며, 신축이음 배치 현황은 다음과 같다.



【그림 3-7】 내서방향 - 신축이음 배치도

신축이음장치 전경(A1)	신축이음장치 전경(A2)

가. 외관조사

1) 외관조사 결과

【표 3-28】 내서방향 - 신축이음장치 외관조사 결과

구 분	토사퇴적	덮개 볼트탈락	고무재파손(m)	
	개소	개소	물량	개소
A1	-	6	5.00	1
A2	1	7	-	-
합계	1	13	5.00	1

2) 손상별 원인분석

현 황	◦A2 신축이음장치 토사퇴적	현 황	◦A1 신축이음덮개 설치불량
원 인	◦토사퇴적	원 인	◦덮개 볼트탈락
대 책	◦청소	대 책	◦볼트 체결

3) 기 점점결과와의 비교 · 분석

- 기 진단 외관조사 결과, 신축이음장치 하부 채움재 탈락이 발생하였으나, 공용 중 후타재 재시공 및 보수를 실시하고 신축이음장치 교체에 따라 금회 진단결과 대체로 양호한 상태로 조사되었다.

【표 3-29】 내서방향 - 신축이음장치 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증 · 감
			개소	수량	개소	수량	
신축이음	•토사퇴적	개소	-	-	1	1	△
	•덮개볼트 탈락	개소	-	-	13	13	△
	•채움재 탈락	m	2	1.20	-	-	▽
	•고무재 파손	m	-	-	1	5.00	△

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

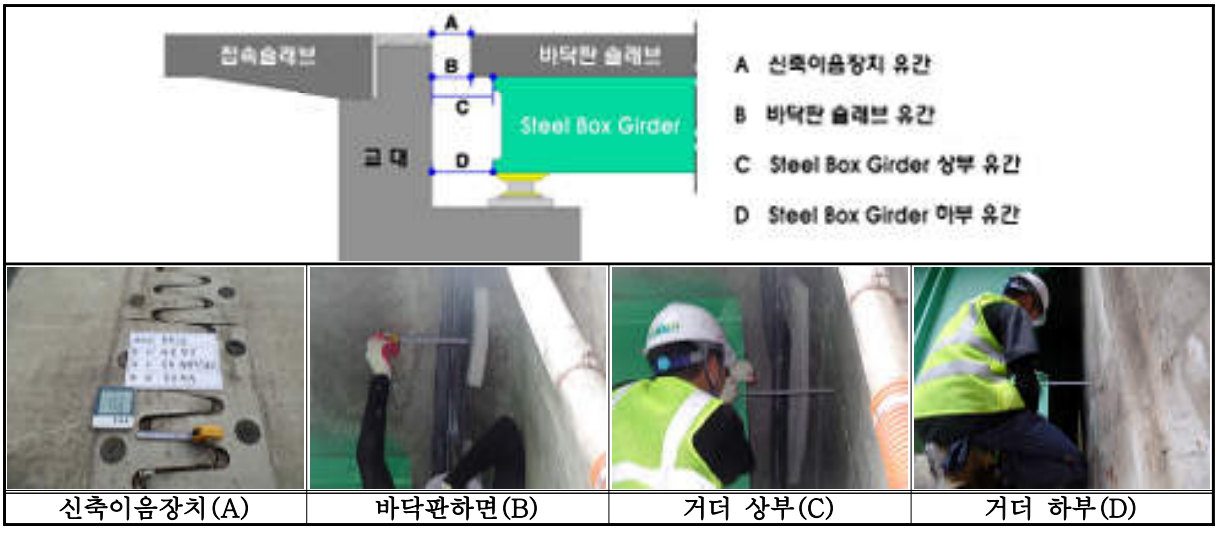
4) 검토의견

- 신축이음장치는 대체로 양호한 상태로 판단되나, 갓길측 토사퇴적 및 방호벽 신축이음 덮개 볼트탈락, 고무재 파손이 발생한 상태이다.
- 공용 중 우수로 인하여 신축이음장치(A2) 갓길측에 토사퇴적이 발생한 상태이며, 청소를 통하여 토사를 제거하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 방호벽 측 신축이음 덮개부에서는 공용년수의 증가로 인해 볼트탈락이 발생하였으며, 보수방안으로 볼트 재체결이 적절할 것으로 판단된다.

■ 신축이음장치 하면 유도배수로 고무재 파손이 일부 조사되었는데 이는 공용년수 증가에 따른 노후화로 인해 발생한 것으로 판단되며, 고무재 교체가 필요할 것으로 판단된다.

5) 신축이음 신축거동상태 검토

본 교량의 신축거동상태를 확인하기 위해 신축이음장치, 바닥판 및 거더 상·하부에 대한 유간을 측정하였고, 이론 변동량과의 비교를 통해 신축거동상태를 검토하였다. 또한, 측정된 유간으로부터 최대 온도 상승시 신장량과 최저 온도 하강시 수축량을 계산하여 유간확보 여부를 검토하였다.



【그림 3-8】 내서방향 - 신축이음 유간 측정방법

① 계산 신축량 산정

【표 3-30】 계산 신축량 산정

▣ 온도에 의한 가동량

$\Delta \ell t = \Delta T \times \alpha \times \ell$ (신축거더 길이)

ΔT = 온도변화(-20℃ ~ +40℃) → Steel Box Girder교(한랭지방)

α = 선팽창계수(1.2×10^{-5}) → Steel Box Girder교

도로설계편람 (2000년)	■ 온도범위는 교량 상부구조의 평균 온도이며, 지역구분은 최근 5년간 최저기온 및 최고기온을 참조하여 결정(도로공사 연구보고서. 1993) [보통지방] : 대전 구미, 대구, 강릉, 논산, 전주, 광주, 순천, 진주, 마산, 창령, 고령, 동서울, 부산 [한랭지방] : 인천, 수원, 천안, 영동, 이천, 원주, 대관령, 정안, 진천
기상청 통계자료	■ 최근 5년간 이천(기)의 일평균 최저 온도 : -14.2℃ (2011/01/16) ■ 설계편람 발간 당시 이천(기) 5년간 일평균 최저 온도 : -15.8℃ (2001/01/15) ■ 최근 5년간 일평균 최저 온도 < 설계편람 발간당시의 5년간 일평균 최저 온도

▣ 활하중에 의한 보의 처짐에 의한 가동량

$\Delta l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$

여기서, h_i : 받침의 회전중심에서 보의 중립축 까지의 높이 (거더 높이의 2/3)

θ_i : 보의 회전각 (강교 1/150, 콘크리트교 1/300)

【표 3-30】 계산 신축량 산정(계속)

▣ 계산 가동량 산정

온도변화 범위	-20℃ ~ +40℃	선팽창 계수(α)	1.2×10^{-5}
점검시 기온(℃)	2016. 08. 18. (1차) 2016. 10. 19. (2차)	28.1 (1차) 16.2 (2차)	
온도에 의한 가동량(⊿ℓt)	⊿ℓt = ⊿T × α × ℓ		
보의 중립축까지 높이(hi)	$\frac{2}{3} \times 2{,}500$		
보의 회전각(θi)	1/150 (Steel Box Girder교)		
보의 처짐에 의한 가동량(⊿ℓr)	$\triangle l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$		
신축거더길이 (L, m)	A1	A2	
	100.0	100.0	

※ 처짐에 의한 가동량은 팽창시만 고려하여 계산

② 신축이음 유간 측정결과

【표 3-31】 내서방향 - 신축이음 유간 측정결과

구 분	측 정 값(㎜)								비 고
	신축이음장치(A)		바닥판(B)		거더 상부(C)		거더 하부(D)		
	1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차	
Exp.J1(A1)	45.0	51.0	15.0	20.0	249.0	255.0	242.0	250.0	Finger Joint
Exp.J2(A2)	30.0	45.0	104.0	150.0	291.0	310.0	290.0	310.0	Finger Joint

③ 신축이음 가동상태 검토결과

【표 3-32】 내서방향 - 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동상태 검토결과

구 분		측정유간(㎜)		변동량(㎜)		비 고
		1차	2차	실측치	이론치	
Exp.J1(A1)	신축이음장치	45.0	51.0	-6.0	14.3	1차:28.1℃ 2차:16.2℃ 온도차 11.9℃
	바닥판	15.0	20.0	-5.0		
	거더 상부	249.0	255.0	-6.0		
	거더 하부	242.0	250.0	-8.0		
Exp.J2(A2)	신축이음장치	30.0	45.0	-15.0	14.3	
	바닥판	104.0	150.0	-46.0		
	거더 상부	291.0	310.0	-19.0		
	거더 하부	290.0	310.0	-20.0		

- 8월(28.1℃)과 10월(16.2℃)의 온도 변화에 따른 변동량 측정결과, 이론 변동량과 차이는 있으나, J1~J2의 신축이음 유간은 신장 및 수축시 여유량을 확보하고 있는 것으로 검토되어, 현재 신축이음의 가동상태는 양호한 것으로 판단된다.

④ 신축이음 신축이동량 산정

【표 3-33】 내서방향 - 신축이음 신축이동량 산정

구 분	온도변화 (⊿T,℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더 길이 (L, m)	온도변화에 의한 이동량)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량(㎜)	계산 이동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 팽창시)
Exp.J1(A1)	49.2	10.8	1.2×10^{-5}	100	59.0	13.0	11.1	59.0	24.1
Exp.J2(A2)	49.2	10.8	1.2×10^{-5}	100	59.0	13.0	11.1	59.0	24.1

⑤ 신축이음 가동여유량 검토결과

【표 3-34】 내서방향 - 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량 검토결과

구 분		계산이동량(㎜)		점검당시 실측유간 (㎜) ③	허용량(㎜) ④	신축 여유량(㎜)		검토 결과
		최대 수축시 ①	최대 신장시 ②			최대 수축시 ④ - (①+③)	최대 신장시 ③ - ②	
Exp.J1 (A1)	신축이음장치	47.0	24.1	45.0	240	148.0	20.9	O.K
	바닥판 단부			15.0	-	-	-9.1	N.G
Exp.J2 (A2)	신축이음장치	25.9	18.2	30.0	160	104.1	11.8	O.K
	바닥판 단부			104.0	-	-	85.8	O.K
주) 판정 : 0.0㎜ ≤ 신축여유량 ≤ 허용량 ⇒ O.K								

- 신축이음장치 유간 검토를 위해 신축유간, 바닥판 유간, 거더상단 및 하단 유간을 측정하여 계산 유간과 비교·분석한 결과, J2의 신축이음 유간은 신장 및 수축시 여유량을 확보하고 있는 것으로 검토되었으나, J1의 바닥판유간은 계산 이동량보다 신축 여유량은 확보하지 못한 것으로 검토되었다. 또한, 바닥판 유간 맞붙음(협착), 신축이음 장치 단차 및 노후화(양평 A2), 교대 이동 제어대책으로 현재 교대 이동은 유간이 폐쇄된 현 상태에서 단기간에 진행성 여부를 판단하기 어렵다. 따라서 1차적(단기)으로 내구성 확보를 위해 단면보수, 2차적(중기)으로 교대 이동을 완전하게 수렴하도록 영구앵

커공법, 3차(장기)으로 신축이음장치 교체 및 바닥판하면 절취가 병행한 공법으로 적정유간을 확보하여야 한다.

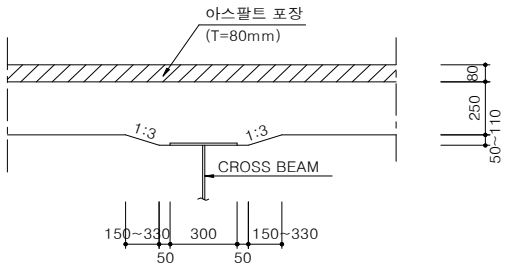
3.2.5 교면포장

바닥판 상면에 위치하여 차량에서 발생하는 진동을 흡수·분산시키고, 외부의 불리한 환경조건에 대해서 바닥판을 보호하는 역할을 하는 교면포장은 아스팔트 포장으로 시공되어 있다. ASP 포장은 연성포장으로서 승차감 및 진동소음에 좋으나, 유지 관리 시 손상에 따라 보수보강 비용이 증가되는 단점을 가지고 있으며, 상부의 하중을 표층 기층 보조기층에 전달하여 포장이며, ASP 포장의 두께는 80mm 시공되었다.

ASP포장은 소성변형, 포트홀, 망상균열, 균열이 발생될 경우 우수 등이 침투하여 바닥판 하면에 누수, 백태 등의 손상이 조사된 경우에 한해 코어 채취를 실시하는 것이 인위적인 손상의 발생을 예방할 수 있는 것으로 판단된다.

금회 교면포장과 바닥판 하면의 현장조사 결과를 비교·평가한 결과, 교면포장 손상으로 인한 바닥판 하면 캔틸레버부 백태 등의 열화 징후가 조사되었으며, 바닥판 및 포장부 상태 확인 및 포장두께 확인을 위하여 포장부 코어채취를 실시하였다.

교면포장 전경(A2 측)



교면포장 단면도(기존 설계시)

【그림 3-9】 내서방향 - 교면포장 전경

1) 외관조사 결과

- 교면포장 외관조사 결과, 주행성 및 평탄성은 양호한 것으로 조사되었다.
- 갓길 측 최외측에 전구간에 걸쳐 아스콘 들뜸이 조사되었으며, 포장부 들뜸 정도를 파악하기 위해 코어채취를 실시하여 확인하였으며, 확인결과는 나. 코어채취분석에 수록하였다.

2) 손상별 원인분석

현 황	◦갓길 측 최외측 포장부 들뜸
원 인	◦시공미흡
대 책	◦재포장

3) 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단시 외관조사 결과, 금회 진단결과와 동일하게 주행성에 특이점이 발생하지 않은 양호한 상태로 조사되었다.

4) 검토의견

- 갓길 측 최외측 포장부 들뜸은 전 구간에 발생한 상태이며, 코어시험을 통하여 갓길 들뜸부 포장상태를 분석하였으며, 분석 결과는 다음과 같이 나타내었다.

5) 코어채취 분석

- 용전2교(내서) 교면포장의 아스콘 상태, 두께, 방수층, 바닥판상면에 대한 손상 및 열화를 확인하기 위해 코어 채취를 실시하였다.

① 코어채취 위치도

금회 ● 전회 ●

구 분	S1	S2	S3	S4	S5	비고
1차선						
2차선				●		
갓길	●					

코어채취 위치도

② 코어채취 결과

㉠ 교면포장 S1(갓길)

		포장 두께	■ 금회결과 : 80㎜ ■ 준공도면 : 80㎜
		포장 현황	■포 장 상 태 : 보통(공극) ■방수층 상태 : 양호 ■바닥판 상면 : 양호

㉡ 교면포장 S1(갓길-공동부)

		포장 두께	■ 금회결과 : 60㎜(공동부 80㎜) ■ 준공도면 : 80㎜
		포장 현황	■포 장 상 태 : 불량(으스러짐) ■방수층 상태 : 불량(방수층 없음) ■바닥판 상면 : 불량(공동 및 열화)

③ 기 진단결과 비교 검토

구 분	위치	포장두께	진행성 여부	비 고
기 진단(2012년)	S3	75㎜	상태양호	
금 회(2016년)	S1(갓길)	80㎜	상태보통	아스콘 공극
	S1(갓길-공동)	60㎜	상태불량	아스콘 으스러짐, 방수층 노후, 바닥판상면 열화

④ 결과분석

- 용전2교(내서)의 교면포장 상태 결과 S1(갓길)은 아스콘 및 방수층, 바닥판상면은 양호한 것으로 나타났으며, 갓길의 공동이 있는 포장은 외관조사 시 아스팔트가 밀리는 소성변형 손상으로 아스콘 으스러짐, 방수층 노후화로 훼손, 바닥판상면은 열화가 진행된 것으로 분석되었다. 또한, 바닥판하면을 보면 전체적으로 균열, 백태 및 백태 꽃이 피어있고, 갓길의 공동부로 우수가 침투하여 바닥판에 영향을 미치므로 갓길의 교면포장을 재포장하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

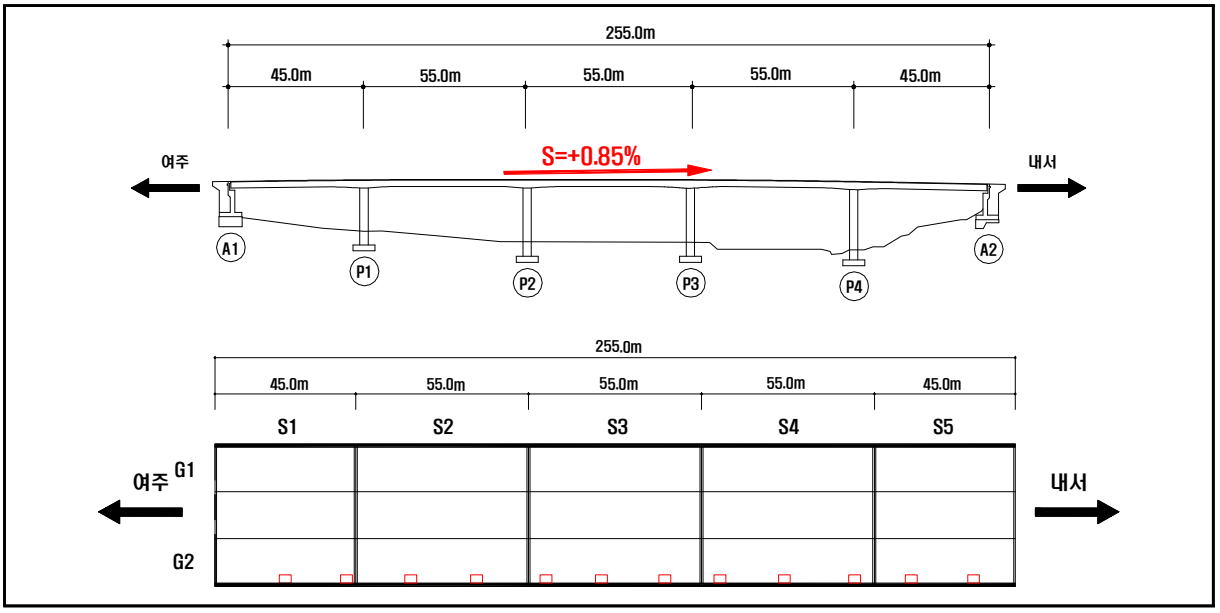
교면포장 갓길-공동부	바닥판하면 캔틸레버부 백태

3.2.6 기타부재

가. 배수시설

배수시설은 우수 유입에 따른 열화방지를 위해 일정한 곳으로 물을 배출하기 위한 시설로서, 용전2교(내서)의 배수시설은 각각의 경간 상부에 설치된 집수구를 통하여 STEEL Pipe φ 150㎜ 배수관을 따라 하부로 배수되도록 설치되어 있다.

용전2교(내서)는 교면 횡구배(2.000~2.219%)의 영향으로 우측에 13개소가 설치되어 있으며, 하부 배수파이프 사이에 유공관이 설치되어 있다.



【그림 3-10】 내서방향 - 배수시설 현황

배수구 전경	배수관 전경

1) 외관조사 결과

【표 3-35】 내서방향 - 배수시설 외관조사 결과

구 분	유공관 파손
	개소
S1	1
S2	2
S3	1
S4	1
S5	1
합계	6

2) 기 진단결과와의 비교·분석

- 기 진단 결과 배수로 이물질 퇴적, 유공관 파손이 조사되었으나, 금회 적절한 보수를 시행함으로써 배수로 이물질 퇴적은 조사되지 않은 상태이다.

【표 3-36】 내서방향 - 배수시설 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
배수시설	•배수구 이물질 퇴적	개소	10	10	-	-	▽
	•유도배수관 설치	개소	6	6	6	6	-

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

3) 검토의견

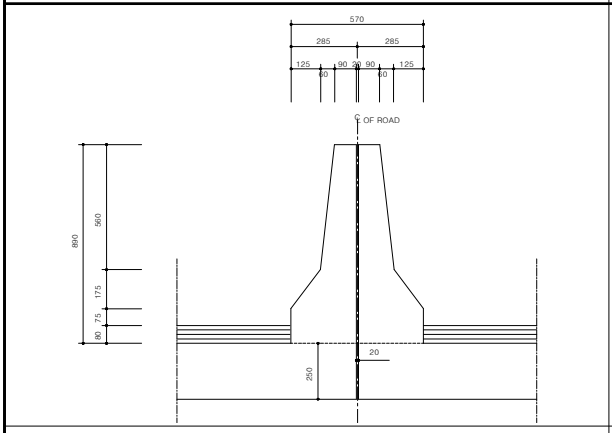
- 배수시설 외관조사 결과 대체로 양호한 상태로 포장부 배수로 이물질 퇴적 등의 손상은 발생하지 않았으나, 금회 유공관 파손 등의 손상이 조사되었다.
- 유공관 파손은 캔틸레버 하면 유공관 주변 누수흔적 및 백태 등 2차 손상을 초래 할 수 있으므로 유도배수관 설치가 필요할 것으로 판단된다.

나. 방호벽 및 중앙분리대

자동차의 차도이탈 방지, 사고시 완충작용 등의 기능을 하는 방호벽은 철근콘크리트 구조로 신축이음부에는 덮개판이 설치되어 있다.

방호벽 전경

중앙분리대 전경



방호벽 단면도(준공도)

방호벽 실측 측정

1) 외관조사 결과

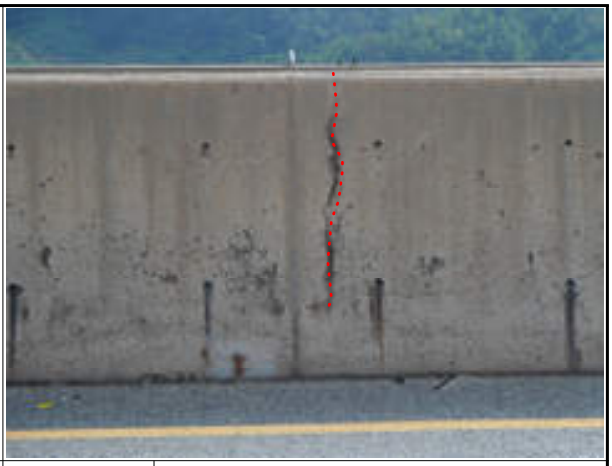
【표 3-37】 내서방향 - 방호벽 및 중앙분리대 외관조사 결과

구 분	콘크리트							
	균열 Cw=0.3㎜미만(m)		균열 Cw=0.3㎜이상(m)		망상균열 Cw=0.3㎜미만(㎡)		백태(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	31.80	11	7.30	5	-	-	-	-
S2	11.00	12	2.30	3	-	-	0.07	2
S3	6.75	11	47.20	4	-	-	-	-
S4	6.90	8	15.00	10	-	-	0.12	1
S5	1.50	1	89.50	12	0.50	1	-	-
합계	57.95	43	161.30	34	0.50	1	0.19	3

【표 3-37】 내서방향 - 방호벽 및 중앙분리대 외관조사 결과(계속)

구 분	콘크리트							
	박리(㎡)		재료분리(㎡)		녹발생(㎡)		파손(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	-	-	-	-	0.15	14	0.18	5
S2	0.25	1	-	-	0.19	9	0.28	7
S3	0.20	1	0.09	4	0.44	15	5.23	10
S4	-	-	-	-	0.24	6	0.58	14
S5	-	-	-	-	0.20	12	1.55	11
합계	0.45	2	0.09	4	1.22	56	7.82	47

2) 손상별 원인분석



현 황	◦S1 방호벽 균열(0.1㎜/0.8m)	현 황	◦S2 중분대 균열(0.3㎜/0.9m)
원 인	◦건조수축 및 온도변화	원 인	◦건조수축 및 줄눈 절단 시기 미흡
대 책	◦표면처리보수	대 책	◦주입보수

현 황	◦S1 중분대 녹발생(A=0.01㎡/4EA)	현 황	◦S2 방호벽 파손(A=0.04㎡)
원 인	◦시공 미흡	원 인	◦방음벽 설치로 인한 콘크리트 노후화
대 책	◦방청 후 단면보수	대 책	◦단면복구

3) 기 진단결과와의 비교·분석

- 기 진단시 외관조사 결과, 건조수축과 온도 변화에 따른 신축으로 인한 수직 및 수평균열, 방음벽 기둥 설치부 국부 백태, 백태 및 녹발생, 들뜸, 파손, 재료분리 등이 조사되었으며 금회 진단결과 기진단시와 유사하게 손상이 발생하였으나, 공용년수의 증가로 인해 손상물량은 대체적으로 증가한 것으로 나타났다.

【표 3-38】 내서방향 - 방호벽 및 중앙분리대 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
방호벽	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	89	60.30	43	57.95	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	61	90.00	34	161.30	△
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	3	1.10	1	0.50	▽
	•백태	㎡	4	2.35	3	0.19	▽
	•박리, 재료분리, 파손	㎡	49	1.94	53	8.36	△
	•녹발생	㎡	37	1.79	56	1.22	▽
	•볼트탈락	개소	4	4	-	-	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 용전2교(내서)의 방호벽 높이는 노면에서 1.10m정도로 '교량방호울타리 성능 개선방안(한국도로공사 구조물처 2009.11.13.)'에 따른 1.00~1.27m의 기준을 만족하는 것으로 조사되었다.
- 방호벽 및 중앙분리대 외관조사 결과, 균열, 백태, 박리, 재료분리, 녹발생, 파손 등의 손상이 조사되었다.
- 방호벽 및 중앙분리대에 발생한 균열은 대부분 주철근과 평행한 방향이고, 불규칙한 망상균열 형태로써, 시공초기 건조수축에 의해 발생된 것으로 보이며, 방호벽에 발생한 균열은 방치시 균열폭 증가 및 우수침투로 인한 백태 발생 우려가 있으므로, 미세균열은 표면처리보수를 실시하며, 균열폭 0.3㎜이상은 주입보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 녹발생은 시공불량(피복부족)과 치밀성 부족부를 통한 우수유입이 주요 원인으로 판단되나, 손상정도가 경미한 상태이다. 따라서 내구성 향상을 위하여 단면보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 백태는 콘크리트 내부수의 유출로 인해 발생된 것으로 판단되며, 박리는 우수가 방호벽 표면에 작용하여 발생된 손상으로 판단된다. 따라서, 표면처리보수를 실시하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

- 파손, 재료분리 등 기타 손상은 온도변화에 따른 콘크리트 신축, 시공불량, 표면열화 국부적인 외력의 작용으로 인하여 발생된 손상으로 판단되며, 단면보수가 적절하다.
- 용전2교(내서) 중앙분리대는 공용년수의 증가로 인해 전체적으로 표면열화가 진행된 상태이나 향후 지속관찰을 통하여 표면 열화정도가 심화될 경우 적절한 보수·보강을 실시하여야 할 것으로 판단된다.

다. 점검시설

본 교량의 점검시설은 교각 코핑부 및 교량받침 외관조사를 위한 점검시설(P1~P4)이 설치되어있다. 점검시설은 점검사다리 및 발판 등 전반적인 양호한 상태로 조사되었다.

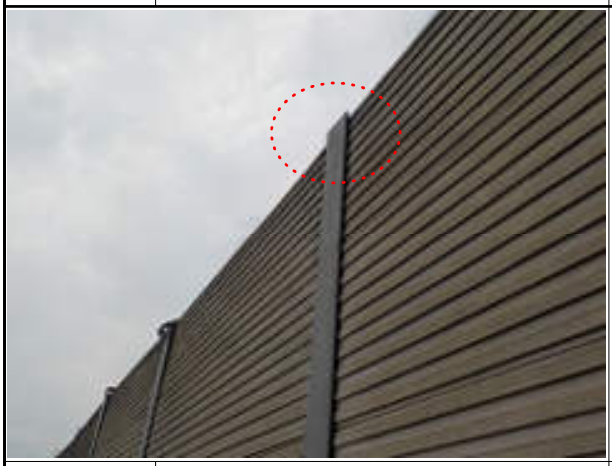
교각 점검시설 전경	방음벽 전경

1) 외관조사 결과

【표 3-39】 내서방향 - 점검시설 및 방음벽 외관조사 결과

구 분	점검시설	방음벽						
	점검로 부식	도장박리(㎡)		부식(㎡)		덮개탈락	파손(㎡)	
	개소	물량	개소	물량	개소	개소	물량	개소
S1/A1	-	-	-	-	-	4	-	-
S2/P1	1	-	-	-	-	3	-	-
S3/P2	-	-	-	0.18	6	7	-	-
S4/P3	-	-	-	0.41	11	23	0.08	1
S5/P4	-	0.04	1	-	-	4	1.15	2
A2	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	1	0.04	1	0.59	17	41	1.23	3

2) 손상별 원인분석

현 황	◦P1 점검로 부식(1EA)	현 황	◦S4 방음벽 지주대 부식(A=0.04㎡)
원 인	◦상부 배수관 누수	원 인	◦경년증가로 인한 방음벽 노후화
대 책	◦지속관찰	대 책	◦재도장
			
현 황	◦S3 방음벽 덮개탈락(2EA)	현 황	◦S5 방음벽 파손(A=0.15㎡)
원 인	◦경년증가로 인한 방음벽 노후화	원 인	◦경년증가로 인한 방음벽 노후화
대 책	◦덮개 재설치	대 책	◦지속관찰

3) 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단시 외관조사 결과, 방음벽은 전반적으로 파손이나 변형이 없는 양호한 상태로 조사되었으나, 금회 확인결과 지주대 부식 및 도장박리, 덮개탈락 등의 손상이 조사되었다.

4) 검토의견

- P1 점검로에 상부 배수관을 통한 우수유입으로 인해 점검로 발판에 부식이 일부 발생한 상태이다. 이는 캔틸레버 하면에 설치된 소형 유공관에서 낙수된 우수 등에 인한 손상으로 유공관 재설치를 실시하고 점검로 발판 부식에 대해서는 지속관찰이 적절할 것으로 판단된다.
- 방음벽 일부 도장박리, 부식, 덮개탈락, 파손 등의 손상은 시공미흡, 공용년수의 증가 등의 요인으로 발생한 것으로 판단되며, 지주대 부식은 재도장을 실시하여 내구성을 향상하는 것이 적절할 것으로 판단되며 덮개 탈락부는 덮개 재설치가 필요할 것으로 판단된다.
- S5 방음벽에 발생한 파손은 손상정도가 경미하여 지속적인 관찰을 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 박스내부 출입구의 시건장치 상태는 대부분의 열쇠체결은 되어 있으나 자물쇠 고리가 절단되거나 시건 상태가 불량하여 점검시 열쇠 없이 출입이 가능한 상태이므로 관계자 외 출입방지 및 원활한 구조물 관리를 위한 시건 장치의 재설치가 필요할 것으로 판단된다.

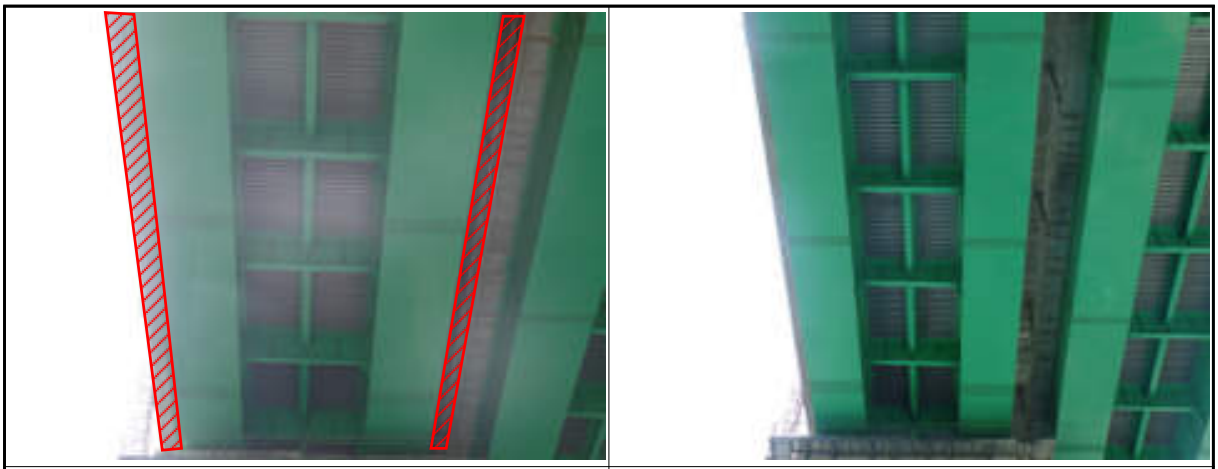
3.3 외관조사(여주방향)

3.3.1 상부구조

가. 바닥판

용전2교(여주)는 총 5경간(45.0m+3@55.0m+45.0m=255.0m)으로 구성되어 있으며, 상부구조는 강박스 거더(Steel Box Girder)로 시공되어 있다. 따라서, 용전2교(여주)의 바닥판 하면의 경우 좌·우측 캔틸레버부는 콘크리트가 노출되어 있으나, 거더와 거더사이에는 강재영구거푸집(Deck Plate)이 시공되어 있다.

외관조사는 교량점검차 및 고소점검차를 이용하여 근접한 후 시공초기 및 공용 중 발생할 수 있는 손상(균열 및 백태, 누수 등)을 중점적으로 조사하였다.



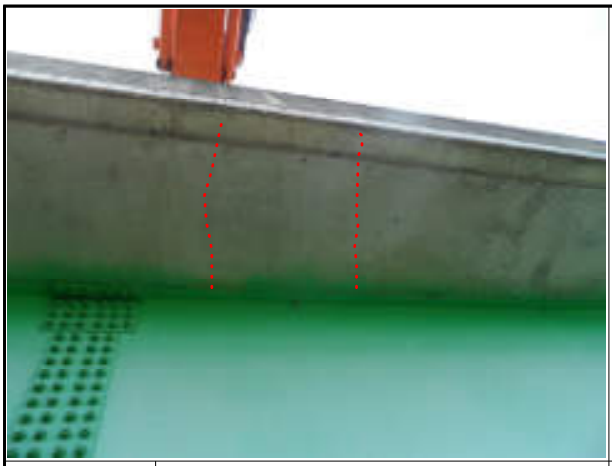
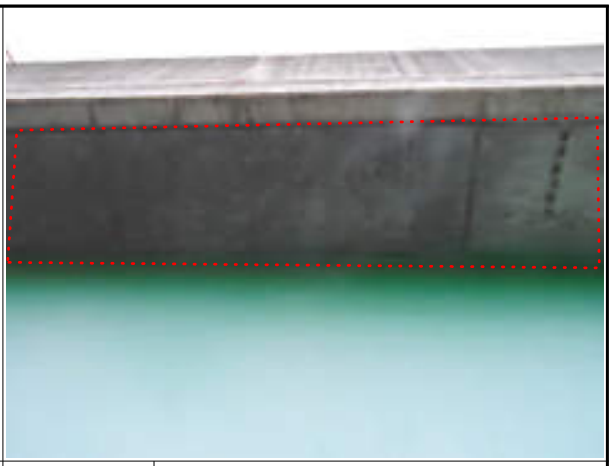
콘크리트 바닥판하면 조사범위	콘크리트 바닥판하면 전경

1) 외관조사 결과

【표 3-40】 여주방향 - 바닥판하면 외관조사 결과

구 분	균열				열화 손상			
	Cw=0.3㎜미만(m)		망상균열 Cw=0.3㎜미만(㎡)		백태(㎡)		표면박리(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	-	-	27.50	1	0.18	3	60.50	3
S2	-	-	-	-	-	-	29.70	3
S3	-	-	-	-	-	-	-	-
S4	27.50	25	-	-	-	-	-	-
S5	18.70	17	-	-	-	-	5.50	1
합계	46.20	42	27.50	1	0.18	3	95.70	7

2) 손상별 원인분석

			
현 황	◦S5 바닥판 하면 균열(0.1㎜/1.1m)	현 황	◦S1 바닥판 하면 망상균열(A=27.50㎡)
원 인	◦건조수축 및 온도변화	원 인	◦건조수축 및 온도변화
대 책	◦지속관찰	대 책	◦지속관찰
현 황	◦S1 바닥판 하면 백태(A=0.02㎡)	현 황	◦S2 바닥판 하면 표면박리(A=7.70㎡)
원 인	◦균열부를 통한 콘크리트 내부수 유출	원 인	◦상부 및 배수관을 통한 우수유출
대 책	◦표면처리보수	대 책	◦표면처리보수

3) 기 진단결과와의 비교・분석

- 기존 진단결과 조사된 손상은 균열, 망상균열, 백태, 열화 등으로 조사되었으며, 금회 정밀안전진단에 따른 손상도 대체로 비슷한 것으로 나타났다. 그러나 손상물량의 경우 적절한 보수를 실시함으로써 대부분 감소한 것으로 조사되었으나, 일부 손상으로 경우 개소는 감소하였으나, 손상물량은 크게 증가한 것으로 분석되었으며, 이는 공용년수 증가에 따른 손상정도의 증가 및 조사 정도에 따른 차이로 판단된다.

【표 3-41】 여주방향 - 바닥판 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
바닥판	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	157	172.70	42	46.20	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	3	170.50	1	27.50	▽
	•백태, 표면박리	㎡	16	29.30	10	95.88	△
	•배수관 볼트 부식	개소	2	2	-	-	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 금회 정밀 안전진단시 바닥판 하면 손상으로는 균열, 망상균열, 박리, 백태 등의 손상이 발생되었다.
- 균열 및 망상균열은 거더교 바닥판 하면에 일반적으로 나타나는 균열로써 콘크리트가 타설되는 표면적이 큰 바닥판의 습윤 감소로 인한 콘크리트 체적변화에 따른 건조수축, 수화열에 따른 외부(거더)구속응력 등이 복합적으로 작용한 것으로 시공초기 균열로 판단되며, 일부 균열은 바닥판 양생시 균열부를 통한 내부수 유출로 백태가 발생한 상태이다. 따라서 미세균열은 현시점의 보수보다는 지속관찰 후 균열 진전시 보수를 실시하며, 백태부의 경우 내구성 확보를 위하여 표면처리보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 캔틸레버 바닥판 유공관 주변의 백태는 배수관 주위마감불량으로 누수 후 백태가 발생된 것으로 판단되며, 방수 몰탈 등으로 마감을 실시하고 표면처리보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단되며, 배수관 주위는 누수주입 충진 을 시켜 배수관으로 누수가 되지 않도록 하여야 할 것으로 판단된다.
- 중앙분리대 측 바닥판 하면의 표면박리는 상부에서 유입되는 우수 및 배수관을 통한 우수유출로 인해 발생한 것으로 판단되며, 내구성 확보를 위해 표면처리보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

나. Steel Box Girder

바닥판으로부터 전달되는 하중을 지지하고 교량받침을 통하여 하부구조로 하중을 전달해 주는 역할을 하는 거더는 휨과 전단 및 비틀림에 대한 저항력이 큰 Steel Box Girder 형식으로 시공되었다.

1) Steel Box Girder 내부

Steel Box Girder 내부 조사 시 주요 용접 결함 조사, 리브 변형, 체수현상, 볼트 부식 등을 중점적으로 조사하였다.

Steel Box Girder 내부 전경

Steel Box Girder 내부 조사전경

① 외관조사 결과

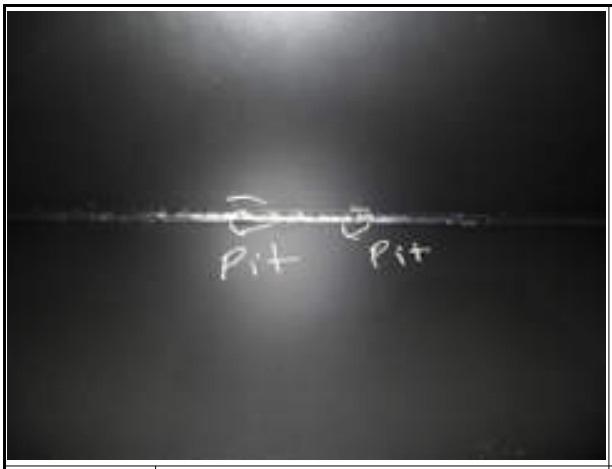
【표 3-42】여주방향 - Steel Box Girder 내부 외관조사 결과

구 분		모재 및 연결부 손상						
		용접불량(PIT)	비드불량(m)		언더컷(m)		변형(m)	
		개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	G1	28	2.40	9	0.30	1	-	-
	G2	33	0.70	7	-	-	-	-
S2	G1	40	2.60	4	0.50	2	-	-
	G2	40	1.00	7	-	-	-	-
S3	G1	43	8.70	15	-	-	-	-
	G2	29	1.30	8	-	-	0.20	1
S4	G1	31	1.70	4	-	-	-	-
	G2	25	0.70	3	0.10	1	-	-
S5	G1	33	0.60	1	-	-	-	-
	G2	16	0.60	1	-	-	-	-
합계		318	20.30	59	0.90	4	0.20	1

【표 3-42】 여주방향 - Steel Box Girder 내부 외관조사 결과(계속)

구 분		표면열화						기타	
		도장박리(㎡)		도장누락(㎡)		인분배설(㎡)		점검등 파손	환기구 볼트풀림
		물량	개소	물량	개소	물량	개소	개소	개소
S1	G1	-	-	-	-	0.10	1	-	-
	G2	-	-	-	-	0.25	1	-	-
S2	G1	0.20	12	-	-	-	-	-	-
	G2	-	-	-	-	-	-	-	-
S3	G1	1.17	8	-	-	-	-	-	-
	G2	-	-	-	-	-	-	-	-
S4	G1	1.17	16	-	-	-	-	-	-
	G2	0.04	1	-	-	-	-	-	-
S5	G1	1.27	2	0.14	2	3.00	3	-	-
	G2	-	-	-	-	-	-	1	1
합계		3.85	39	0.14	2	3.35	5	1	1

② 손상별 원인분석



현 황	◦S1-G1 용접불량(PIT)	현 황	◦S1-G1 비드불량(L=0.40m, 0.2m)
원 인	◦용접작업 자세 불안정	원 인	◦용접불량
대 책	◦지속관찰	대 책	◦지속관찰

현 황	◦S2-G1 언더컷(L=0.40m)	현 황	◦S3-G2 변형(L=0.20m)
원 인	◦용접불량	원 인	◦외부 충격
대 책	◦지속관찰	대 책	◦지속관찰
현 황	◦S4-G1 도장박리(A=0.10㎡)	현 황	◦S1-G1 인분배설
원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화	원 인	◦인분배설
대 책	◦재도장	대 책	◦청소
현 황	◦S5-G2 환기구 볼트풀림(1EA)	현 황	◦S5-G2 점검등 파손
원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화	원 인	◦설치불량
대 책	◦지속관찰	대 책	◦점검등 제거

③ 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단결과 조사된 손상은 도장박리/부식, 볼트부식, 모재변형, 용접결함(Pit, 비드면 불량, 언더컷), 실링불량, 인분배설, 케이블도난, 점검등 파손 등으로 조사되었으며, 금회 정밀안전진단 결과 손상은 대체적으로 동일한 것으로 나타났다. 그러나 손상물량의 경우 적절한 보수를 실시함으로써 대체적으로 감소하거나, 기 진단 결과와 비교해 비슷한 수준으로 나타났다.
- 기 진단시 조사된 실링불량부는 확인결과 전 개소 보수가 완료된 것으로 확인되었다.

【표 3-43】 여주방향 - Steel Box Girder 내부 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증・감
			개소	수량	개소	수량	
Steel Box 거더 내부	•Pit	개소	385	385	388	388	△
	•비드불량, 언더컷	m	67	21.78	68	23.3	△
	•변형	m	2	0.15	2	0.3	△
	•도장박리	㎡	22	2.41	41	3.98	△
	•도장누락	㎡	-	-	2	0.14	△
	•인분배설	㎡	1	0.25	5	3.35	△
	•점검등 파손	개소	-	-	1	1	△
	•환기구 볼트풀림	개소	-	-	1	1	△
	•실링불량	개소	3	3	-	-	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄
주)거더 내부 물량 비교는 격벽을 포함한 물량을 비교하였음.

④ 검토의견

- Steel Box Girder 내부는 전반적으로 양호한 상태로 조사되었으나, 일부 개소에서 피트(Pit), 비드불량, 언더컷, 변형, 도장박리, 도장누락, 인분배설, 점검등 파손, 환기구 볼트풀림 등 의 손상이 조사되었다.
- 거더 내부에 국부적으로 발생된 도장박리는 도장 전처리 불량과 Splice부를 통한 우수 유입이 주요 원인으로 판단되며, 재도장이 적절할 것으로 판단된다.
- 거더 내부 주부재 및 보조부재의 용접면에서 피트(Pit), 비드불량, 언더컷 등의 용접결함이 조사되었으며, 이는 용접 시공시 용접전류 및 용접속도 불량, 용접작업 실수 등으로 인하여 발생된 것으로 판단된다.
- 용접비드 표면 피트는 구멍 직경이 작고 산재된 경우에는 강도에 큰 영향이 없지만, 집

중적으로 발생한 경우는 응력집중의 원인이 되는 바, 용접불량 부위를 가우징으로 완전히 제거한 후 다시 용접을 실시하는 것이 원칙이다. 그러나 본 교량은 용접보수 시 주변 건전부위에 추가 손상이 발생할 가능성이 높고, 용접작업의 불안정성 등으로 현실적으로는 적용이 어려울 것으로 판단되며, 용접결함 범위가 작고 기준(한 이음에 대해 3개 또는 1m에 대해 3개 허용(단, Φ1㎜ 이하의 피트는 3개를 1개로 간주))이내로서 현재까지 피로균열과 변형 등의 주요 손상이 발생하지 않는바 현재 용접결함의 정도가 구조물의 안전성에 미치는 영향은 경미한 것으로 판단된다. 따라서, 재용접 등 보수보다는 지속적인 관찰을 실시하고, 피로균열의 발생시 보수·보강 대책을 수립하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

- 금회 거더 내부에서 조사된 비드불량(외관불량)은 용접작업공의 숙련도와 용접전류의 영향 등으로 인해 비드면의 형상과 외관이 불량하게 나타난 것으로 판단되며, 응력집중으로 인한 균열발생 유무에 대해 주기적인 관찰이 필요할 것으로 판단된다.
- 언더컷은 용접전류와 운봉속도의 영향 등으로 인해 모재가 움푹 파이거나 목두께가 불량해진 것으로 판단되며, 강도부족과 응력집중으로 인한 균열발생을 초래 할 수 있으므로 지속관찰이 필요할 것으로 판단된다.
- 거더내부 국부적인 모재변형은 시공시 임의 충격 등으로 인해 발생된 것으로 판단되며, 손상정도가 경미하여 지속관찰을 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 거더 내부에 국부적으로 발생된 도장누락은 도장 전처리 불량 및 시공불량이 주요 원인으로 판단되며, 재도장이 필요한 것으로 판단된다.
- 거더 내부의 인분배설은 위생 및 미관을 위하여 청소가 필요할 것으로 판단되며, 점검등 파손은 점검등 해체가 필요하며, 환기구 볼트풀림은 지속관찰이 필요할 것으로 판단된다.
- 거더 내부에 설치되어 있는 점검등 케이블은 현재 전 구간에 절단되어 있는 상태이며, 일부 점검등은 파손인 상태로 조사되었다.
- 결과적으로, Steel Box Girder 내부는 구조적 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다. 다만, 내구성 측면에서 적절한 보수 및 지속적인 관찰을 통하여 향후 유지관리 해야 할 것으로 판단된다.

2) 격벽

격벽은 Steel Box 단면이 뒤틀림에 의한 응력을 억제하기 위해 설치한 구조물로서 Steel Box Girder 내부와 동일한 방법으로 근접하여 외관조사를 실시하였다.

Steel Box Girder 내부 격벽 전경

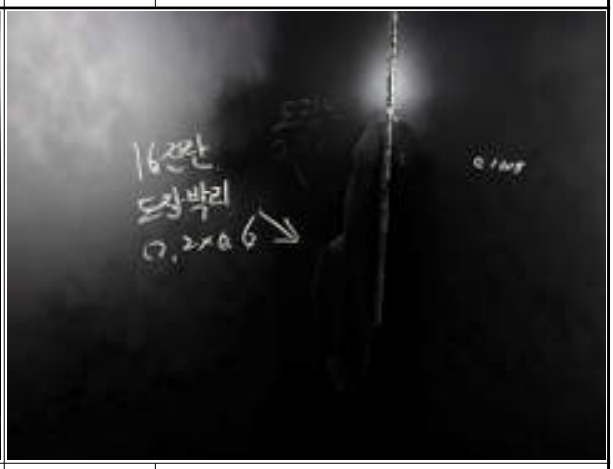
Steel Box Girder 내부 격벽 제원측정

① 외관조사 결과

【표 3-44】 여주방향 - Steel Box Girder 격벽 외관조사 결과

구 분		모재 및 연결부 손상					표면열화	
		용접불량(PIT)	비드불량(m)		변형(m)		도장박리(㎡)	
		개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	G1	3	-	-	-	-	-	-
	G2	8	0.20	1	-	-	-	-
S2	G1	13	-	-	-	-	-	-
	G2	12	0.10	1	-	-	-	-
S3	G1	13	1.30	2	-	-	0.01	1
	G2	3	-	-	-	-	-	-
S4	G1	8	0.50	1	-	-	-	-
	G2	4	-	-	0.10	1	-	-
S5	G1	3	-	-	-	-	-	-
	G2	3	-	-	-	-	0.12	1
합계		70	2.10	5	0.10	1	0.13	2

② 손상별 원인분석

현 황	◦S2-G1 용접불량(PIT)	현 황	◦S3-G1 비드불량(L=0.10m)
원 인	◦용접작업 자세 불안정	원 인	◦용접불량
대 책	◦지속관찰	대 책	◦지속관찰
			
현 황	◦S4-G2 모재변형(L=0.10m)	현 황	◦S5-G2 도장박리(A=0.12㎡)
원 인	◦시공시 임의충격	원 인	◦용접불량
대 책	◦지속관찰	대 책	◦지속관찰

③ 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단결과 조사된 손상은 도장불량, 모재변형, 도장박리, 용접결함(Pit, 비드면 불량) 등으로 조사되었으며, 금회 정밀안전진단 결과에 따른 손상과 대체적으로 동일한 것으로 나타났다. 그러나 손상물량의 경우 적절한 보수를 실시함으로써 대체적으로 감소하거나, 기 진단 결과와 비교해 비슷한 수준으로 나타났다.

④ 검토의견

- Steel Box Girder 내부의 격벽은 전반적으로 양호한 상태로 조사되었으나, 일부 개소에서 피트(Pit), 비드불량, 변형, 도장박리 등의 손상이 조사되었다.
- 격벽 용접면에서 피트(Pit), 비드불량 등의 용접결함이 조사되었으며, 이는 거더 내부와 마찬가지로 용접 시공시 용접전류 및 용접속도 불량, 용접작업 실수 등에 의해 발생된 것으로 판단되며, 현재까지 피로균열과 변형 등의 주요 손상이 발생하지 않았으며, 또한 현재 용접결함의 정도가 구조물의 안전성에 미치는 영향은 경미한 것으로 판단된다. 따라서, 재용접 등 보수보다는 지속적인 관찰을 실시하고, 피로균열의 발생시 보수·보강 대책을 수립하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 격벽에서 조사된 변형은 거더내부와 동일하게 시공시 임의충격에 의해 발생한 것으로 판단되며, 손상정도가 경미하여 지속관찰을 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 도장박리 역시 거더 내부와 유사한 형태로 시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화 등에 의한 판단되며, 내구성 저하방지를 위해 재도장을 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 결과적으로, Steel Box Girder 격벽은 구조적 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었으며, 다만 적절한 보수 및 지속적인 관찰을 통하여 향후 유지관리 해야 할 것으로 판단된다.

3) Steel Box Girder 외부

Steel Box Girder 외부에 대해서는 고소점검차를 이용하여 근접 조사하였으며, Steel Box Girder 주요조사 내용은 Splice부 볼트부식, 부식, 도장박리 등을 중점적으로 조사하였다.

Steel Box Girder 외부 전경

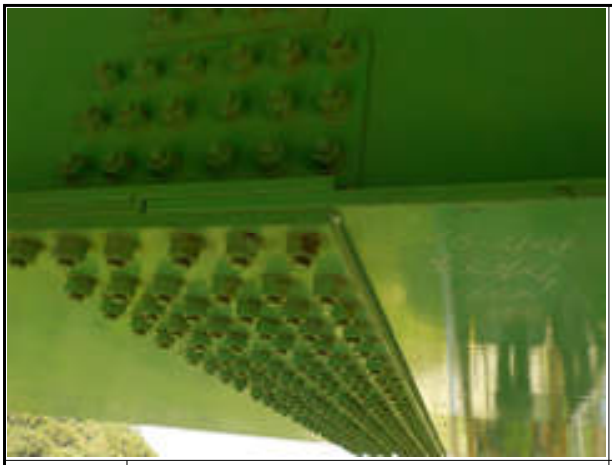
① 외관조사 결과

【표 3-45】 여주방향 - Steel Box Girder 외부 외관조사 결과

구 분		모재손상		표면열화					
		변형(㎡)		도장박리(㎡)		부식(㎡)		볼트부식	볼트탈락
		물량	개소	물량	개소	물량	개소	개소	개소
S1	G1	0.02	1	-	-	0.21	6	-	-
	G2	-	-	-	-	0.94	10	-	-
S2	G1	-	-	0.01	1	0.01	1	-	-
	G2	-	-	0.11	10	0.8	5	-	-
S3	G1	-	-	-	-	0.08	1	-	-
	G2	-	-	-	-	0.07	6	28	-
S4	G1	-	-	-	-	-	-	-	-
	G2	-	-	0.04	4	0.02	1	-	-
S5	G1	-	-	0.01	1	0.01	1	-	1
	G2	-	-	-	-	0.07	3	-	-
합계		0.02	1	0.17	16	2.21	34	28	1

② 손상별 원인분석

현 황	◦S1-G1 거더변형(A=0.02㎡)	현 황	◦S2-G2 도장박리(A=0.01㎡)
원 인	◦시공 중 인위적 충격	원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화
대 책	◦지속관찰	대 책	◦재도장

			
현 황	◦S3-G2 볼트부식(16EA)	현 황	◦S5-G1 볼트탈락(1EA)
원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화	원 인	◦시공미흡 및 공용년수 증가
대 책	◦재도장	대 책	◦볼트 재체결

③ 기 진단결과와의 비교 · 분석

- 기 진단결과 조사된 손상은 도장박리 및 부식, 모재변형, 볼트부식 등으로 조사되었으며, 금회 정밀안전진단시 조사된 손상과 대체로 동일한 것으로 나타났다. 그러나 각각의 손상물량은 증감하였으며, 이는 기 진단 결과에 따른 보수로 인해 일부 감소하기도 하였으나, 공용년수 증가에 따른 노후화로 인해 일부 손상물량은 증가한 것으로 조사되었다.

【표 3-46】 여주방향 - Steel Box Girder 외부 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증 · 감
			개소	수량	개소	수량	
Steel Box 거더 외부	•변형	㎡	1	0.02	1	0.02	-
	•도장박리, 부식	㎡	43	0.76	43	2.20	△
	•볼트부식	개소	-	-	28	28	△
	•볼트풀림	개소	1	1	-	-	▽
	•볼트탈락	개소	-	-	1	1	△

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

④ 검토의견

- Steel Box Girder 외부에 대한 외관조사결과, 구조적인 손상은 없으나 변형, 도장박리, 부식, 볼트부식, 볼트탈락 등이 조사되어 내구성 확보를 위해 보수가 필요한 상태이다.
- S1-G1에서 조사된 변형은 시공시 임의충격으로 인해 발생된 것으로 판단되며, 손상정도가 경미하여 지속적인 관찰을 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

- 도장박리, 부식, 볼트부식은 공용기간 중대로 인한 교량의 노후화 및 태양광에 의한 열화, 도장전 바탕 처리불량 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 구조물의 내구성 확보를 위해 도장박리는 재도장을 실시하고 부식, 볼트부식은 녹제거 후 재도장, 볼트탈락은 볼트 재체결을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- Steel Box Girder 외부는 구조적 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었으며, 적절한 보수 및 지속적인 관찰을 통하여 향후 유지관리 해야 할 것으로 판단된다.

4) 강 가로보 및 세로보

공용 기간중 거더의 횡변형(좌굴)을 방지해 주며 상부에 작용하는 하중을 횡분배 시켜주는 역할을 하는 가로보 및 세로보는 강재로 시공되어 있다.

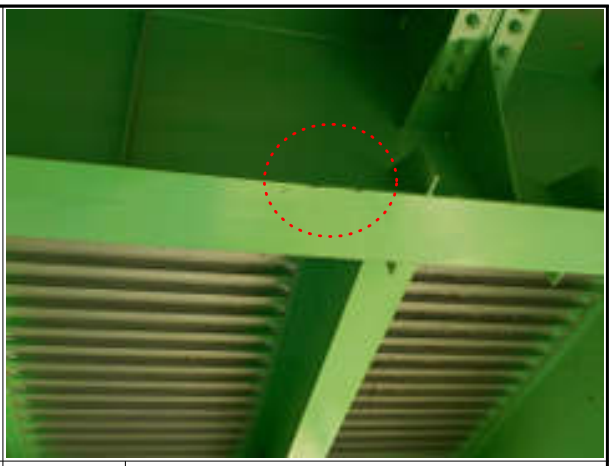
강 가로보 및 세로보 전경

① 외관조사 결과

【표 3-47】 여주방향 - 강 가로보 및 세로보 외관조사 결과

구 분	표면열화			
	도장박리(㎡)		부식(㎡)	
	물량	개소	물량	개소
S1	-	-	-	-
S2	0.05	2	-	-
S3	0.04	1	0.04	1
S4	-	-	-	-
S5	-	-	0.01	1
합계	0.09	3	0.05	2

② 손상별 원인분석

			
현 황	◦S2 가로보 도장박리(A=0.04㎡)	현 황	◦S3 가로보 부식(A=0.04㎡)
원 인	◦시공 중 충격 혹은 긁힘	원 인	◦시공 중 충격 혹은 긁힘
대 책	◦재도장	대 책	◦녹제거 후 재도장

③ 기 진단결과와의 비교 · 분석

- 기 진단 가로보 및 세로보 외관 조사결과는 도장박리, 부식이 국부적으로 조사된 양호한 상태인 것으로 조사되었으며, 금회 정밀안전진단 역시 공용년수의 증가로 인한 도장박리, 부식이 증가하였으나, 대체적으로 양호한 상태로 조사되었다.

【표 3-48】 여주방향 - 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증 · 감
			개소	수량	개소	수량	
가로보 및 세로보	•도장박리, 부식	㎡	2	0.05	5	0.14	△

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

④ 검토의견

- 강 가로보에 대한 외관조사결과, 대체적으로 양호한 것으로 조사되었으나, 국부 도장박리 및 부식이 일부 조사된 상태이다.
- 국부적으로 발생한 도장박리, 부식은 시공 중 충격 혹은 긁힘에 의한 것으로 판단되며, 보수방안으로 재도장을 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

3.3.2 하부구조

가. 교대

교대는 교량 상부구조 하중을 지반으로 전달하며, 교량 전체 구조의 안전성을 위해 중요한 역할을 수행하는 구조부재이다.

용전2교(여주)의 교대형식은 역T형식이고, 기초형식 A1은 강관말뚝기초, A2는 확대전면기초로 시공되어 있으며, 금회 현장 조사시 교대 구체 및 흉벽, 날개벽, 흉벽 유도배수관 배출경로, 교대주변 측벽계단, 배수측구, 법면사면(압성토)를 중점적으로 조사하였다.

교대의 기초는 상시 매설된 상태로 육안조사가 불가하나, 주변지반 침하 및 구조적 결함이 조사되지 않아 기초 상태는 큰 문제점이 없을 것으로 판단된다.

교대(A1) 전경	교대(A2) 전경

1) 외관조사 결과

【표 3-49】 여주방향 - 교대 외관조사 결과

구 분	균열		표면열화							
	Cw=0.3㎜미만 (m)		누수흔적 (㎡)		백태 (㎡)		재료분리 (㎡)		체수 (㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
A1	3.10	2	4.38	3	-	-	-	-	-	-
A2	1.60	2	-	-	0.24	1	0.20	1	0.33	1
합계	4.70	4	4.38	3	0.24	1	0.20	1	0.33	1

2) 손상별 원인분석

현 황	◦A1 흉벽 누수흔적(A=1.96㎡)	현 황	◦A2 흉벽 백태(A=0.24㎡)
원 인	◦신축이음부 누수	원 인	◦상부 우수유입에 따른 백태발생
대 책	◦표면처리	대 책	◦표면처리

3) 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단시 외관조사 결과, 구체 및 흉벽에서 건조수축과 단면변화 응력집중으로 인한 균열 및 망상균열(Cw=0.1~0.2㎜), 신축이음부 우수유입으로 인한 흉벽 누수흔적, 국부 백태, 체수, 철근노출, 파손, 재료분리, 유공관노출 등이 조사되었으며, 금회 진단시 조사된 손상은 대체로 동일하나 손상물량은 적절한 보수로 인해 대체적으로 감소한 것으로 조사되었다.
- 기 진단시 조사된 손상은 대부분 보수되었으며, 보수상태는 양호한 것으로 판단된다. 교대 A1, A2 보호 블록(압성토) 사면은 파손, 슬라이딩에 의한 사면 침하 등은 조사되지 않았다.

【표 3-50】 여주방향 - 교대 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증・감
			개소	수량	개소	수량	
교대	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	35	25.05	10	4.50	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	1	0.32	-	-	▽
	•누수흔적, 백태, 체수	㎡	14	14.73	5	4.95	▽
	•파손, 철근노출, 재료분리	㎡	24	4.33	1	0.20	▽
	•유공관 노출	개소	1	1	-	-	▽

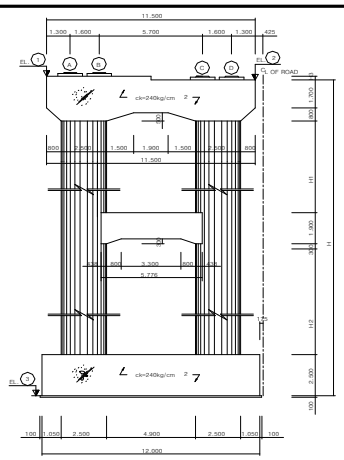
주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 교대는 균열(Cw=0.3㎜미만), 누수흔적, 백태, 재료분리, 체수 등의 손상이 조사되었다.
- 교대에 발생한 균열의 형상 및 발생 위치 등을 검토한 결과, 건조수축 및 온도변화에 의해 발생된 비구조적인 균열로 판단되며, 손상정도가 경미하여 보수의 긴급성은 없으므로, 지속관찰을 통해 균열 진전시 보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 교대에서 발생한 누수흔적, 백태, 체수는 상부 신축이음부에서 유입된 우수로 인하여 발생된 것으로 판단되며, 보수방안으로 신축이음부 보수가 선행 된 후 누수흔적, 백태는 표면처리보수를 실시 하는 것이 적절한 것으로 판단된다.
- 교대에 발생한 재료분리는 보수 중 다짐불량에 의한 손상으로 판단되며, 내구성향상을 위하여 단면보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단되며, 교대 구체부 상면에 발생한 체수는 지속적인 관찰이 필요할 것으로 판단된다.

나. 교각

상부구조를 지지하는 구조물인 교각형식은 Π형 교각식이고, 기초형식(P1~P4)은 확대전면기초로 시공되어 있다. 용전2교(여주)는 5경간 교량으로 교각이 4개소로 유지관리를 용이하게 하기 위한 출입사다리 및 점검통로가 시공되어 있어 도보점검 및 고소점검차를 이용하여 조사하였다.

	
교각(P1) 전경	교각(P1~P4) 단면도

1) 외관조사 결과

【표 3-51】 여주방향 - 교각 외관조사 결과

구 분	균열				표면열화					
	Cw=0.3㎜미만 (m)		망상균열 Cw=0.3㎜미만 (㎡)		재료분리 (㎡)		녹발생 (㎡)		파손 (㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
P1	22.40	25	-	-	0.09	1	0.02	2	0.10	5
P2	49.80	44	1.59	2	-	-	0.20	5	0.27	4
P3	83.40	81	9.08	6	-	-	-	-	0.36	11
P4	27.30	44	2.24	5	0.04	1	-	-	0.38	4
합계	182.90	194	12.91	13	0.13	2	0.22	7	1.11	24

2) 손상별 원인분석

현 황	◦P3 교각부 균열(4EA)	현 황	◦P4 교각부 망상균열(A=1.20㎡)
원 인	◦건조수축 및 온도변화	원 인	◦건조수축 및 온도변화
대 책	◦지속관찰	대 책	◦지속관찰
현 황	◦P4 교각부 재료분리(A=0.04㎡)	현 황	◦P3 교각부 파손(3EA)
원 인	◦시공시 다짐불량	원 인	◦외부충격
대 책	◦단면보수	대 책	◦단면보수

3) 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단 결과, 균열 및 망상균열, 녹발생, 파손, 들뜸, 재료분리, 박리, 표면불량 등이 발생하였으나, 금회 진단시 확인한 결과 전반적인 보수를 실시하여 대부분의 손상이 감소한 상태이다.

【표 3-52】 여주방향 - 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
교각	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	286	284.60	194	182.90	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	15	71.98	13	12.91	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	5	3.20	-	-	▽
	•재료분리, 들뜸, 박리, 표면불량, 파손	㎡	46	18.00	26	1.24	▽
	•녹발생	㎡	7	0.22	7	0.22	-

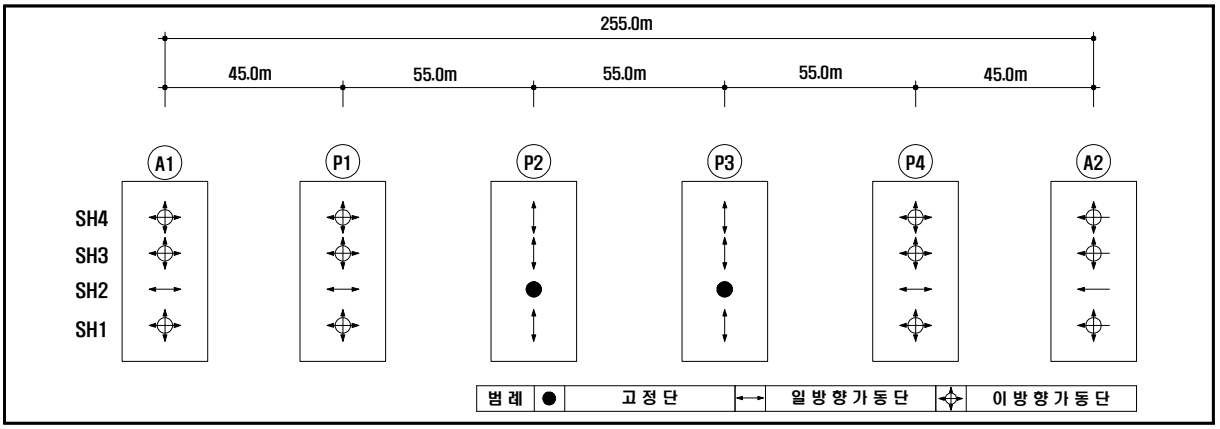
주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 교각은 전반적인 보수를 실시한 상태이나 균열, 망상균열, 재료분리, 녹발생, 파손 등의 손상이 조사되었다.
- 균열(최대폭 : 0.2㎜), 망상균열은 균열의 형상 및 발생 위치 등을 검토한 결과, 건조수축 및 온도변화에 의해 발생된 비구조적인 균열로 판단되며, 손상정도가 경미하여 보수의 긴급성은 없으나, 내구성 확보를 위해 균열폭 0.3㎜이상의 균열에 대해 주입보수를 실시하고 균열폭 0.3㎜미만 균열은 지속관찰을 통해 균열 진전시 보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 망상균열은 재령초기 표면 건조수축으로 인해 발생된 것으로 판단되며, 『건조수축은 콘크리트가 수화반응을 하는데 필요한 수량은 시멘트량의 40%이하로 알려져 있다. 그러나, 일반적으로 사용되는 콘크리트의 물/시멘트비는 45~60% 정도가 가장 많은 실정이다. 따라서, 워커빌리티에 기여한 잉여수가 건조하면서 콘크리트는 수축을 하게 되므로 콘크리트의 건조수축에 의한 체적변화는 보통 다른 구조체에 의해 저지되기 때문에, 이러한 제약으로 인하여 인장응력이 발생하면서 콘크리트에 균열을 일으키게 된다. 건조수축 균열은 기본적으로 두꺼운 부재와 얇은 부재의 건조속도 차이로 발생하는 인장력과 건물 전체의 수축으로 발생하는 인장력의 작용으로 발생하는 경우가 많다.』(“콘크리트 균열의 원인”, 한국콘크리트학회 학회지 제6권4호, 1994.8)
- 교각에 발생한 녹발생은 잡철근에 의한 손상으로 판단되며, 보수의 긴급성은 없는 것으로 판단되나, 내구성 확보를 위하여 방청후 단면복구를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 코핑부와 기둥부에 작업 중 임의 충격 등으로 국부파손과 다짐불량으로 인한 재료분리가 일부 조사되었으며, 손상정도는 경미하나 내구성 향상을 위하여 단면보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

다. 교량받침

본 교량의 받침장치은 Pot Bearing받침으로 총 24개소가 시공되었으며, 전차 점검에서 확인된 손상에 대하여 전반적인 보수가 완료된 상태이며, 금회 추가 손상으로 본체 고무재파손, 받침몰탈/콘크리트 균열 등이 일부 조사되었다. 교량받침 배치현황은 다음 그림과 같다.



【그림 3-11】 여주방향 - 교량받침 배치도

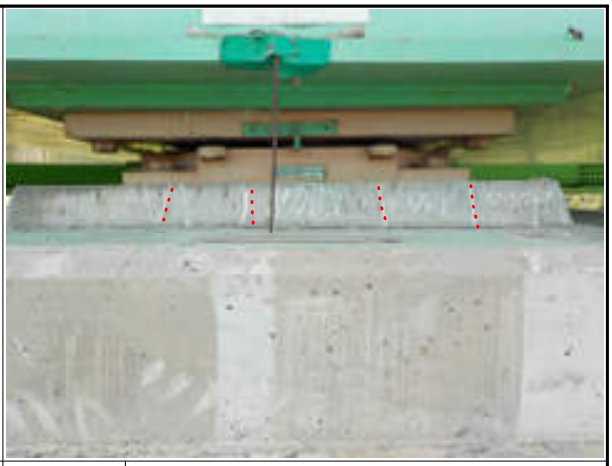
교량받침 전경(A1-Sh1, 양방향)	교량받침 전경(P2-Sh2, 고정단)	교량받침 전경(A1-Sh2, 일방향)

1) 외관조사 결과

【표 3-53】 여주방향 - 교량받침 외관조사 결과

구 분	본체					받침콘크리트, 받침몰탈	
	도장박리(㎡)		부식(㎡)		고무재파손	균열 Cw=0.3㎜미만(m)	
	물량	개소	물량	개소	개소	물량	개소
A1	-	-	0.5	7	-	-	-
P1	0.16	2	-	-	-	0.50	3
P2	0.14	6	0.02	1	-	-	-
P3	-	-	-	-	-	1.20	7
P4	-	-	-	-	3	0.50	5
A2	-	-	0.2	2	-	-	-
합계	0.30	8	0.72	10	3	2.20	15

2) 손상별 원인분석

			
현 황	◦P1 받침장치 부식(A=0.08㎡/2EA)	현 황	◦P4-Sh4 받침몰탈 균열(0.1㎜/0.1m)
원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화	원 인	◦건조수축 및 온도변화
대 책	◦재도장	대 책	◦지속관찰

3) 기 점점결과와의 비교・분석

- 기 진단시 일부 도장박리 및 부식, 볼트부식, 몰탈 균열, 받침콘크리트 균열, 누수흔적, 녹발생, 파손, 재료분리 등의 손상이 조사되었으며, 금회 진단 결과 대부분 보수를 실시하여 손상물량은 대체로 감소하였으며, 고무재 파손이 추가적으로 조사되었다.

【표 3-54】 여주방향 - 교량받침 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증・감
			개소	수량	개소	수량	
교량받침	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	114	21.75	15	2.20	▽
	•도장박리 및 부식	㎡	10	0.50	18	1.02	△
	•볼트부식	개소	5	5	-	-	▽
	•누수흔적	㎡	2	0.66	-	-	▽
	•녹발생	㎡	4	0.05	-	-	▽
	•파손	㎡	1	0.05	-	-	▽
	•재료분리	㎡	10	0.49	-	-	▽
	•고무재 파손	EA	-	-	3	3	△

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄
주) 균열 물량은 받침콘크리트, 받침몰탈을 포함한 물량임.

4) 검토의견

- 금회 교량받침 조사결과, 도장박리, 부식, 고무재 파손, 받침콘크리트 및 몰탈 균열 등의 손상이 조사되었다.
- 받침장치 본체에 발생한 도장박리, 부식, 고무재파손은 시공 미흡 및 경년증가에 따른 노후화로 인해 발생한 것으로 판단되며, 도장박리 및 부식은 재도장이 적절하나, 고무재파손은 손상정도가 경미하여 지속관찰이 적절할 것으로 판단된다.
- 받침콘크리트, 받침 몰탈에 발생한 0.3㎜미만의 균열은 건조수축에 의한 비구조적인 손상으로 판단되며, 손상정도가 경미하여 보수의 긴급성은 없으므로, 지속관찰을 통해 균열 진전시 보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

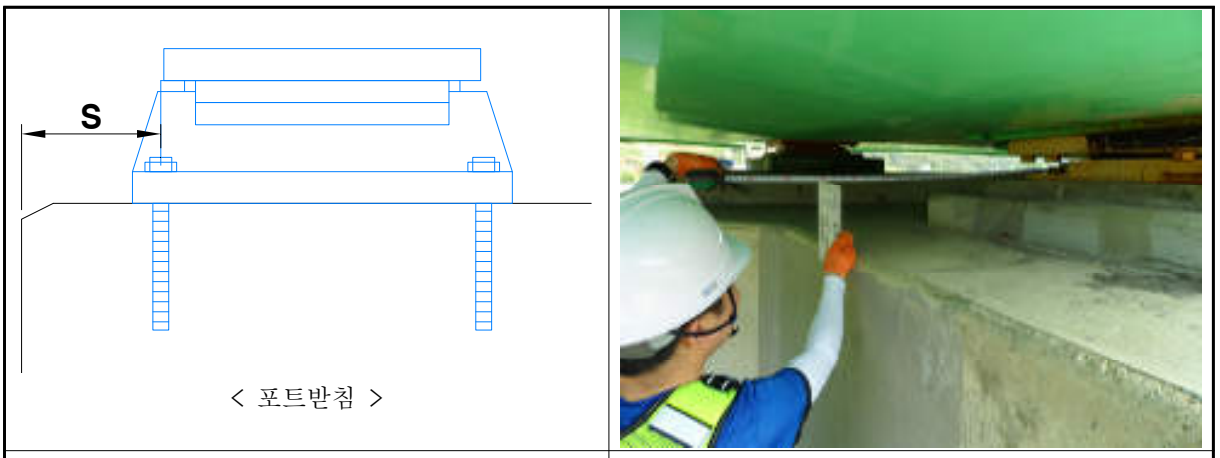
5) 연단거리 검토

교좌면은 받침을 통해 상부구조로부터 하중을 받는 곳이고 또한 지진시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 따라서 받침 끝에서 정부 연단까지의 거리가 작으면 고정단에서는 전단면에 연해서 콘크리트 구체 또는 받침이 파손될 수 있고, 가동단에서는 최악의 경우 받침이 벗어나 거더가 낙하할 수도 있다. 따라서 도로교 설계기준에서는 상부구조의 길이에 따라 연단거리의 최솟값을 정해놓았으며, 본 과업에서는 실제 시공된 연단거리와 설계 연단거리를 비교・검토하였다.

- 거더의 경간길이 100m이하 : S = 200 + 5.0L

  100m이상 : S = 300 + 4.0L (도로교 설계기준)

  여기서, S : 받침연단거리(㎜), L : 거더의 경간길이(m)
- 연단거리 : 콘크리트면의 가장자리로부터 가장 가까운 앵커 중심까지의 거리



연단거리 측정 개요도	연단거리 실측 전경

【그림 3-12】 여주방향 - 연단거리 측정방법

【표 3-55】 여주방향 - 연단거리 측정결과

구 분		경간장 (m)	계산 연단거리 (㎜)	실측 연단거리(㎜)				검토 결과
				G1		G2		
				Sh1	Sh2	Sh3	Sh4	
A1	종점측	45.00	425	600	600	600	600	O.K
P1	시점측	45.00	425	1,040	1,040	1,050	1,050	O.K
	종점측	55.00	475	1,050	1,050	1,050	1,060	O.K
P2	시점측	55.00	475	1,000	1,040	1,050	1,040	O.K
	종점측	55.00	475	1,010	1,040	1,050	1,050	O.K
P3	시점측	55.00	475	1,050	1,050	1,100	1,100	O.K
	종점측	55.00	475	1,050	1,040	1,100	1,090	O.K
P4	시점측	55.00	475	1,050	1,050	1,050	1,050	O.K
	종점측	45.00	425	1,040	1,040	1,040	1,050	O.K
A2	시점측	45.00	425	620	620	620	620	O.K

연단거리 측정 결과, 모든 교량받침 실측 연단거리가 계산 연단거리를 상회하고 있는 것으로 측정되어 도로교 설계기준을 만족하고 있는 것으로 검토되었다.

6) 교량받침 가동량 측정

A1 Sh2 받침 이동량 측정(30mm / 29.2℃일 때)

【표 3-56】 여주방향 - 교량받침 가동량 산정

▣ 온도에 의한 가동량

$\Delta \ell t = \Delta T \times \alpha \times \ell$ (신축거더 길이)

ΔT = 온도변화(-20℃ ~ +40℃) → Steel Box Girder교(한랭지방)

α = 선팽창계수(1.2×10^{-5}) → Steel Box Girder교

도로설계편람 (2000년)	■ 온도범위는 교량 상부구조의 평균 온도이며, 지역구분은 최근 5년간 최저기온 및 최고기온을 참조하여 결정(도로공사 연구보고서. 1993) [보통지방] : 대전 구미, 대구, 강릉, 논산, 전주, 광주, 순천, 진주, 마산, 창령, 고령, 동서울, 부산 [한랭지방] : 인천, 수원, 천안, 영동, 이천, 원주, 대관령, 정안, 진천
기상청 통계자료	■ 최근 5년간 이천(기)의 일평균 최저 온도 : -14.2℃ (2011/01/16) ■ 설계편람 발간 당시 이천(기) 5년간 일평균 최저 온도 : -15.8℃ (2001/01/15) ■ 최근 5년간 일평균 최저 온도 < 설계편람 발간당시의 5년간 일평균 최저 온도

▣ 활하중에 의한 보의 처짐에 의한 가동량

$\Delta l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$

여기서, h_i : 받침의 회전중심에서 보의 중립축 까지의 높이 (거더 높이의 2/3)

θ_i : 보의 회전각 (강교 1/150, 콘크리트교 1/300)

▣ 계산 가동량 산정

온도변화 범위	-20℃ ~ +40℃		선팽창 계수(α)		1.2 × 10^{-5}
점검시 기온(℃)	2016. 08. 08. (1차) 2016. 10. 19. (2차)		29.2 (1차) 16.2 (2차)		
온도에 의한 가동량($\Delta \ell t$)	$\Delta \ell t = \Delta T \times \alpha \times \ell$				
보의 중립축까지 높이(hi)	$\frac{2}{3} \times 2{,}500$				
보의 회전각(θi)	1/150 (Steel Box Girder교)				
보의 처짐에 의한 가동량($\Delta \ell r$)	$\Delta l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$				
신축거더길이 (L, m)	A1	P1	P2	P3	A2
	100.0	55.0	0	55.0	100.0

※ 처짐에 의한 가동량은 팽창시만 고려하여 계산

① 교량받침 가동량 측정결과 및 가동 여유량 분석

포트받침으로 시공된 용전2교(여주)의 교량받침에 대해 가동 여유량 부족으로 인한 교량받침의 기능저하를 방지하기 위해 가동 여유량을 실측하여 검토하였다.

가동받침 가동량 산정시 고려되는 항목은 활하중에 의한 보의 처짐, 온도변화, 건조수축, 크리프 등을 고려하여야 한다. 그러나 대상 교량은 준공 후 10년이 경과하였기 때문에 건조수축 및 크리프에 의한 변형은 완료된 것으로 판단하여 온도변화 및 활하중에 의한 처짐만을 검토하는 것으로 하였다.

【표 3-57】 여주방향 - 교량받침 이동량 산정

구 분	온도변화 (⊿T, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더 길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜)	최대 받침 가동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
A1	49.2	10.8	0.000012	100	59.0	13.0	11.1	59.0	24.1
P1	49.2	10.8	0.000012	55	32.5	7.1	11.1	32.5	7.1
P2	고정단								
P3	고정단								
P4	49.2	10.8	0.000012	55	32.5	7.1	11.1	32.5	7.1
A2	49.2	10.8	0.000012	100	59.0	13.0	11.1	59.0	24.1

1) 조사당시 온도 : 29.2℃ (조사일 : 2016년 08월 08일, 전일 평균온도)
2) 검토온도 : -20℃ ~ +40℃ (한랭지방)

금회 교량받침 측정은 눈금을 이용하여 측정하였으며, 가동 실측 여유량 측정결과와 계산 가동량을 비교한 결과는 다음과 같다.

② 교량받침 온도차에 따른 가동 여유량과 계산 가동량 비교

【표 3-58】 여주방향 - 교량받침 가동여유량 검토결과

구 분		점검당시 실측이동량 (㎜)	최대 받침 이동량(㎜)		실측 받침 가동여유량(㎜)		받침이동 허용량 (㎜)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
A1	Sh1	+40 (A1)	59.0	24.1	90.0	10.0	±50	N.G
	Sh2	+30 (A1)			80.0	20.0		N.G
	Sh3	+30 (A1)			80.0	20.0		N.G
	Sh4	+20 (A1)			70.0	30.0		O.K
P1	Sh1	+15 (A1)	32.5	7.1	65.0	35.0	±50	O.K
	Sh2	+15 (A1)			65.0	35.0		O.K
	Sh3	+15 (A1)			65.0	35.0		O.K
	Sh4	+15 (A1)			65.0	35.0		O.K
P2	고정단							-
P3	고정단							-
P4	Sh1	+10 (A2)	32.5	7.1	60.0	40.0	±50	O.K
	Sh2	+10 (A2)			60.0	40.0		O.K
	Sh3	+5 (A2)			55.0	45.0		O.K
	Sh4	+10 (A2)			60.0	40.0		O.K
A2	Sh1	+28 (A2)	59.0	24.1	78.0	22.0	±50	N.G
	Sh2	+28 (A2)			78.0	22.0		N.G
	Sh3	+25 (A2)			75.0	25.0		O.K
	Sh4	+20 (A2)			70.0	30.0		O.K
주) 판정 : 최대 받침 이동량 ≤ 실측 받침 가동여유량 ⇒ O.K								

- 교량받침의 이동량을 검토한 결과, 대부분 충분한 가동 여유량을 확보하고 있는 것으로 평가되었다. 다만, A1(Sh1~Sh3), A2(Sh1~Sh2)의 받침 이동량은 계산에 의한 최대 받침 이동량(신장시)이 받침이동허용량을 고려한 받침 가동여유량(신장시)을 초과하는 것으로 검토되었다.
- 신장 가동여유량 부족은 받침장치 설치시 장기 변형량(크리프 및 건조수축)을 예상하지 못해 발생한 프리셋팅 오류로 판단된다. 가동흔적 조사결과, 기능상에 문제가 없고 이동여유량 부족으로 인한 이상변위 및 기타손상(받침들뜸 및 파손, 받침장치 주변 부재

의 파손 및 변형, 받침편기, 복부 거더의 경사균열 등)이 없으며, 현재 교량의 안전성 및 사용성에 문제가 없으므로, 경제성을 고려하여 교체보다는 현상유지가 타당할 것으로 판단된다. 그러나 여유량 부족으로 인한 받침장치 및 거더 등에 손상발생 가능성을 배제할 수 없으므로 중점유지관리 사항으로 선정하여 점검 시 이상유·무를 확인할 수 있도록 중점유지관리가 필요할 것으로 사료된다.

③ 온도차에 따른 이론 수축량과 실제 수축량 가동 여부 비교

【표 3-59】 여주방향 - 교량받침 가동상태 검토결과

구 분		실측이동량(㎜)		변동량(㎜)		비 고
		1차	2차	실측치	이론치	
A1	Sh1	+40 (A1)	+21 (A1)	19.0	15.6	1차:24.9℃ 2차:16.2℃ 온도차:13.0℃
	Sh2	+30 (A1)	+21 (A1)	9.0		
	Sh3	+30 (A1)	+18 (A1)	12.0		
	Sh4	+20 (A1)	+10 (A1)	10.0		
P1	Sh1	+15 (A1)	+5 (A1)	10.0	8.6	
	Sh2	+15 (A1)	+5 (A1)	10.0		
	Sh3	+15 (A1)	+7 (A1)	8.0		
	Sh4	+15 (A1)	+5 (A1)	10.0		
P2	고정단					-
P3	고정단					-
P4	Sh1	+10 (A2)	0	10.0	8.6	
	Sh2	+10 (A2)	+2 (A2)	8.0		
	Sh3	+5 (A2)	0	5.0		
	Sh4	+10 (A2)	+4 (A2)	6.0		
A2	Sh1	+28 (A2)	+10 (A2)	18.0	15.6	
	Sh2	+28 (A2)	+10 (A2)	18.0		
	Sh3	+25 (A2)	+9 (A2)	16.0		
	Sh4	+20 (A2)	+10 (A2)	10.0		
※ 받침 위치 조사시 기준점은 고정단을 기준으로 +: 신장, -:수축으로 표시함.						

- 교량받침의 이동위치는 2회(1차:29.2℃(8월), 2차:16.2℃(10월))에 걸쳐 측정하였으며, 온도 변화에 따른 이동량 측정결과, 계산 이동량과 차이는 있으나, 전반적으로 양호한 거동상태를 보이고 있는 것으로 평가되었다.

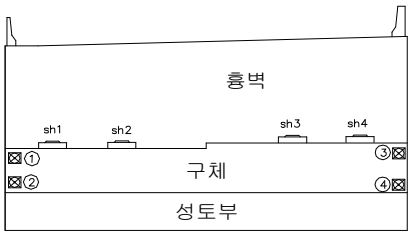
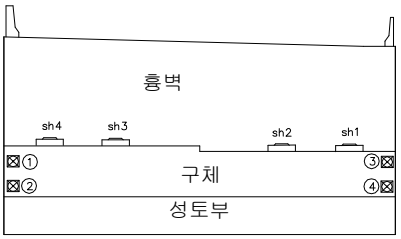
3.3.3 교대 기울기 측정

공용중인 교량의 교대 측방유동 및 밀림의 영향으로 교대 기울음이 발생할 수 있다. 따라서 교대 주변의 현상과 장기적인 추적조사를 통하여 교대의 이동 및 회전현상을 파악할 수 있는데 기존 정밀점검 Data와 비교 분석 및 금회 광파기 및 경사계를 이용하여 측정한 자료를 초기 값으로 하여 향후 교대의 기울기 변화를 지속적으로 관찰할 수 있도록 하였다.

가. 광파기를 이용한 측정

교대의 기울기 및 변위를 관찰하고자 교대 A1, A2 흉벽 및 구체에 4개의 측점과 교각 P1, P4의 코핑부 하면을 선정하여 설치하고 광파기를 이용하여 측정하였다.

1) 측량 위치 및 측량 전경

측정 위치		
A1 교대	A2 교대	
		
측정 결과	측점 전경(A1)	측점 전경(A2)

2) 측량 결과 좌표

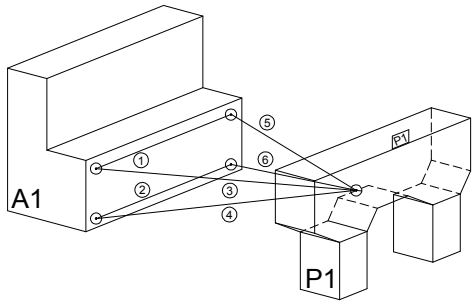
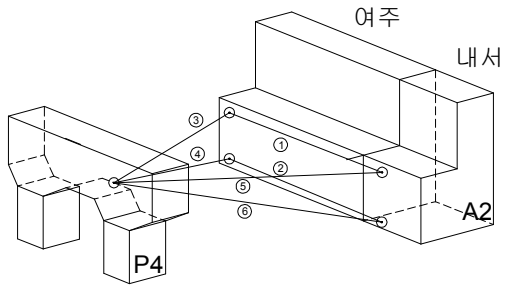
위치	①			②			③			④		
	N축	E축	Z축	N축	E축	Z축	N축	E축	Z축	N축	E축	Z축
교대 A1	15.741	0.000	0.852	15.739	0.008	0.009	14.251	11.246	1.037	14.257	11.233	0.232
교대 A2	80.233	−16.685	25.107	80.239	−16.695	24.219	94.796	−3.932	25.017	94.807	−3.962	23.461
교각 P1	−27.424	−4.636	4.887	코핑부 중앙 하단부 끝단 지점(후시)								
교각 P4	49.765	−3.059	22.787	코핑부 중앙 하단부 끝단 지점(후시)								

주) N:North(수직), E:East(수평), Z:Elevation(고저차)

3) 측량 결과 및 분석

교대 구체에 대한 수평변위 여부를 파악하기 위해 측정한 결과를 아래 표와 같이 나타내었으며, 향후 진단 및 점검시 활용하도록 하였다.

【표 3-60】 여주방향 - 광파기를 이용한 측량 결과

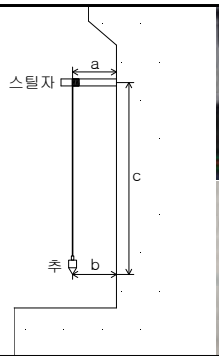
측점 모식도(A1)	측점 모식도(A2)
	

측정일자	위치	측정 결과					
		①	②	③	④	⑤	⑥
2016.07.26	교대 A1	11.344	11.322	43.413	43.412	44.599	44.600
	교대 A2	19.358	19.348	33.376	33.386	45.039	45.051

나. 다림추를 이용한 측정

교대의 기울기 및 변위를 관찰하고자 교대 A1, A2 흉벽에 다짐추를 이용하여 측정하였다.

1) 측정 위치 및 측정 전경



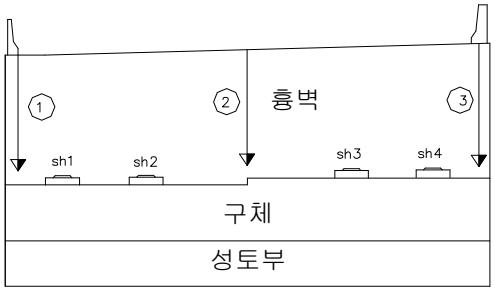
- a : 상단 이격거리(mm), 스틸자 사용
- b : 하단 이격거리(mm), 교대 흉벽에서 추의 거리
- c : 줄의 총 길이(mm)

$$경사(d) = \frac{(b-a)}{c}(\%)$$

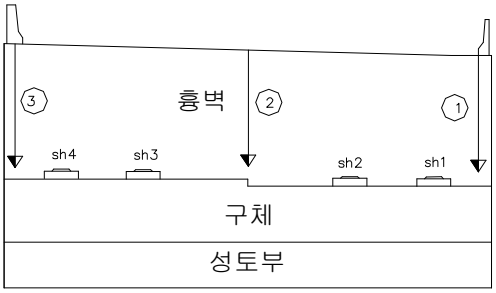
- 경사 부호

: (-)부호일 경우 ◿(교대가 흉벽측으로 기울음)

: (+)부호일 경우 ◹(교대가 교각측으로 기울음)



A1 교대 기울기 측정 위치



A2 교대 기울기 측정 위치

2) 측정 결과 및 분석

【표 3-61】 여주방향 - 다림추를 이용한 기울기 결과

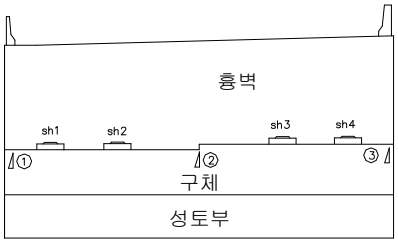
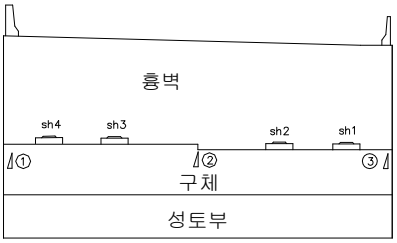
구 분		교대 기울기 측정 결과(단위 : mm)					
		①		②		③	
		금회	전회	금회	전회	금회	전회
A1	상단 이격거리(a)	100	100	100	100	100	100
	하단 이격거리(b)	98	118	94	80	101	102
	줄의 총 길이(c)	2000	2200	2000	2300	2000	2300
	경사(d)	-0.10%	0.82%	-0.30%	-0.87%	0.05%	0.09%
A2	상단 이격거리(a)	80	100	80	100	80	100
	하단 이격거리(b)	111	105	92	98	88	124
	줄의 총 길이(c)	2000	2400	2000	2300	2000	2100
	경사(d)	1.55%	0.21%	0.60%	-0.09%	0.40%	1.14%

A1 교대는 -0.30~0.05%의 경사가 측정되었고, A2 교대는 0.40~1.55%의 경사가 측정되었다. A1의 기울기는 흉벽측으로 다소 기울어져 있으며, A2는 교각측으로 기울어져 있다. 그러나 신축이음 유간을 만족하고, 흉벽 시공 시 거푸집 변형 및 콘크리트면이 일정하지 않는 오차로서 수평이동에 대한 영향은 미미한 것으로 분석되었다. 또한, 기 점점 결과와 비교 유사한 것으로 분석되었다.

다. 경사계를 이용한 측정

교대의 기울기 및 변위를 관찰하고자 교대 A1, A2 구체에 경사계를 이용하여 측정하였다.

1) 측정 위치 및 측정 전경

측정 위치		측정 전경
		
A1 교대	A2 교대	

2) 측정 결과 및 분석

경사계를 이용한 기울기 측정결과 교대 구체 A1 및 A2 모두 배면쪽으로 기울어진 상태이며, A2 코핑부 상면에 체수가 일부 조사되었다.

【표 3-62】 여주방향 - 경사계를 이용한 기울기 결과

측정일자	위치	측정 결과			기호정의
		①	②	③	
2016.08.30	교대 A1	-0.6°	-0.1°	0.1°	전면 배면:(-), 전면 배면:(+)
	교대 A2	-0.8°	-0.2°	-0.5°	

라. 교대 측방유동 검토

연약지반 위에 축조되는 교대는 배면성토에 의한 지반의 압밀침하와 동시에 상시 재하하고 있는 편하중에 의해서 연약지반이 측방향 이동을 일으켜 교대에 기능상 좋지 않은 회전이나 수평변위 등의 변형(측방유동)이 생길 수 있다. 또한 교량을 지지하는 교대는 수평토압으로 인한 전도(Overturning), 활동(Sliding) 및 지지력(Bearing Capacity)에 안전하도록 설계되어야 하나 도로의 선형계획에 따라 연약지반상의 교대 설치시 배면 성토에 의한 편재하중으로 지반의 측방유동이 발생하게 된다. 측방유동은 교대의 지지구조가 상이한 교량과 토공의 경계에 위치하기 때문에 발생하는 것으로 압밀침하에 의한 교대배면의 단차, 교대의 수평이동과 경사, 신축이음부의 기능저하, Beam의 지지점 및 교좌의 파손 말뚝에 휨모멘트가 발생하여 두부파손 등이 발생한다.

따라서 용전2교 교대(A1, A2)를 대표단면으로 선정하여 측방유동 검토를 실시하였다.

1) 측방유동 판정방법

현재 국·내외에서 사용하고 있는 측방유동을 판정하는 방법은 배면 쌓기 하중과 원지반 전단강도를 고려한 측방유동지수(F)에 의한 방법과 측방유동지수(I)에 의한 방법, 비탈면 안전율과 관련된 원호활동에 의한 방법으로 구분된다. 본 검토에서는 시추주상도 검토결과 교대 A1, A2의 지층은 N치 23/30~50/2의 실트질 모래(SM)로 이루어진 풍화토층으로 연약지반으로 분류하기 어려우므로 원호활동에 의한 측방유동 안정성을 검토하였다.

2) 원호활동에 의한 판정

활동에 대한 안전율(Fs) 개념으로 한계평형해석을 실시하여 기준안전율과 비교하는 방법으로 한계평형해석시 기준이 되는 기준안전율은 외국의 경우 Marche가 제안한 Fs=1.4, 일본수도고속도로 공단의 Fs=1.6 등이 있으며, 국내의 경우 홍원표 등(1994)이 국내에서 발생된 6개 현장 12개 교대의 측방유동 사례에 대한 연구결과를 토대로 말뚝 효과를 고려하지 않을 때 Fs=1.5, 말뚝효과를 고려할 때 Fs=1.8을 기준으로 제시하였으며, 본 검토에서는 다음과 같이 기준안전율을 산정하였다. 또한 지진시의 경우『건설공사 비탈면 설계기준(2011)』쌓기비탈면의 허용 기준인 Fs=1.1을 적용하였다.

【표 3-63】 사면활동에 대한 기준안전율

구 분	사면활동에 대한 기준안전율				적 용
	Marce 제안	수도고속도로공단 (일본)	Hong (1994)	비탈면 설계기준 (2011)	
말뚝효과 고려시	-	-	1.8	-	1.8
말뚝효과 미고려시	1.4	1.6	1.5	-	1.5
지진시	-	-	-	1.1	1.1

3) 설계지진 가속도

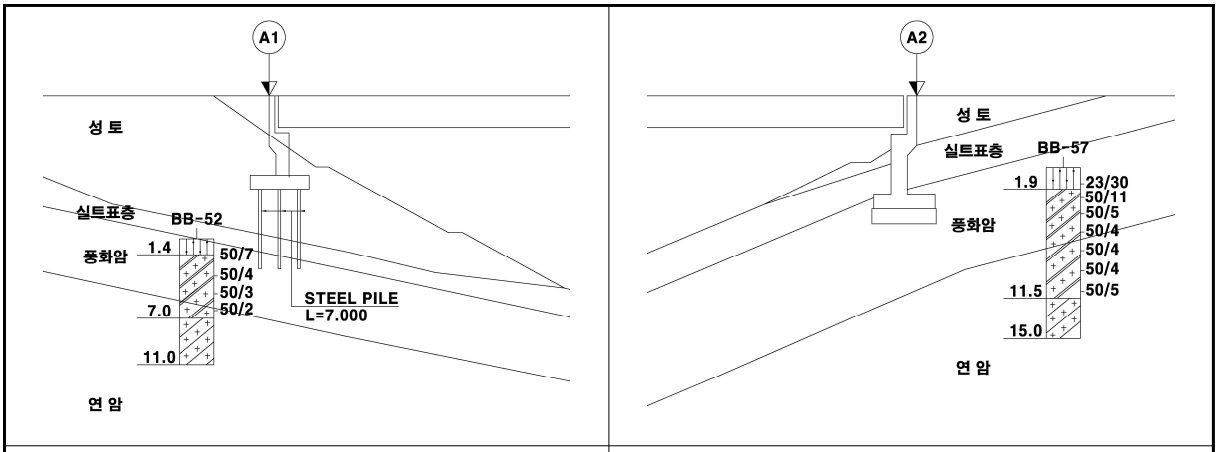
지진시의 경우 내진Ⅰ등급(재현주기 1,000년), 지진구역계수(0.11g), 위험도 계수(1.4)를 반영하여 0.154g 설계지진 가속도를 적용하였다.

【표 3-64】 설계지진 가속도

구 분	내진성능목표	지진구역계수	위험도 계수	설계지진 가속도
내진Ⅰ등급	1,000년	0.11g(충주시)	1.4	0.154g

4) 대표단면 선정

용전2교의 교대(A1, A2)를 대표단면으로 선정하여 다음과 같이 측방유동 검토하였다.



교대 A1 해석단면	교대 A2 해석단면

【그림 3-13】 대표단면 선정

5) 적용 물성치

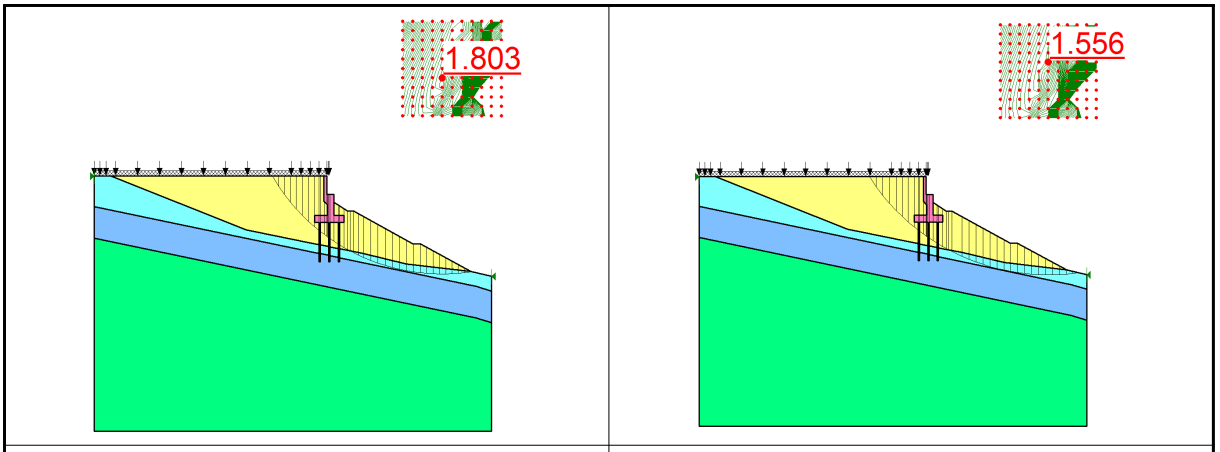
금회 측방유동 검토시 적용한 지반 물성치는 중부내륙 고속도로(충주~여주간) 건설공사 토질조사보고서 제4공구(용전~완오) 준공도서 및 기 진단보고서(2012)를 참조하여 다음과 같이 결정하였다.

【표 3-65】 적용 물성치

구 분	단위중량(kN/㎥)	점착력(kN/㎡)	내부마찰각
성토층	19.5	15	25
실트표층	19	20	30
풍화암	20	30	30
연 암	23	30	30

6) 검토결과

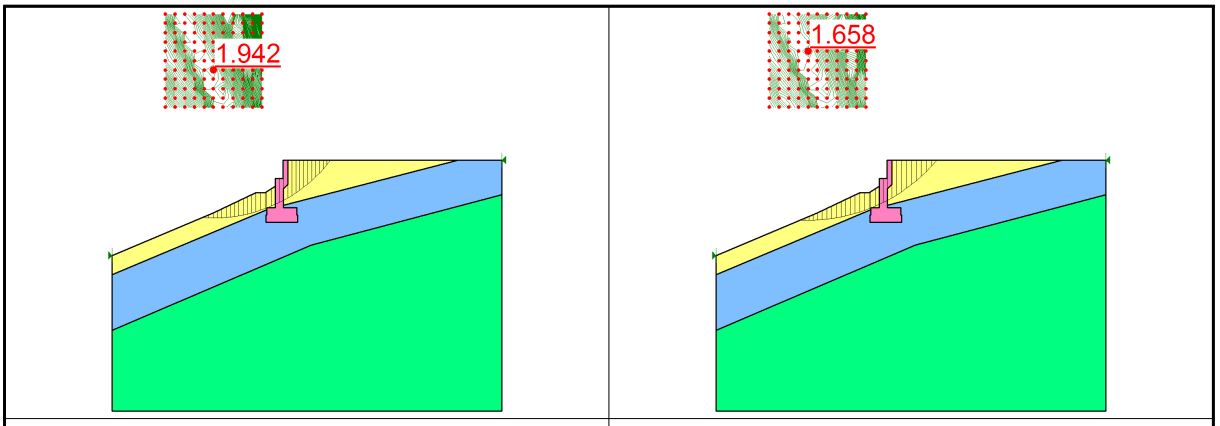
① A1 교대



평상시 Fs = 1.803 > 1.8 ∴ O.K	지진시 Fs = 1.556 > 1.1 ∴ O.K

【그림 3-14】 원호활동에 의한 방법(A1 교대)

② A2 교대



평상시 Fs = 1.942 > 1.8 ∴ O.K	지진시 Fs = 1.658 > 1.1 ∴ O.K

【그림 3-15】 원호활동에 의한 방법(A2 교대)

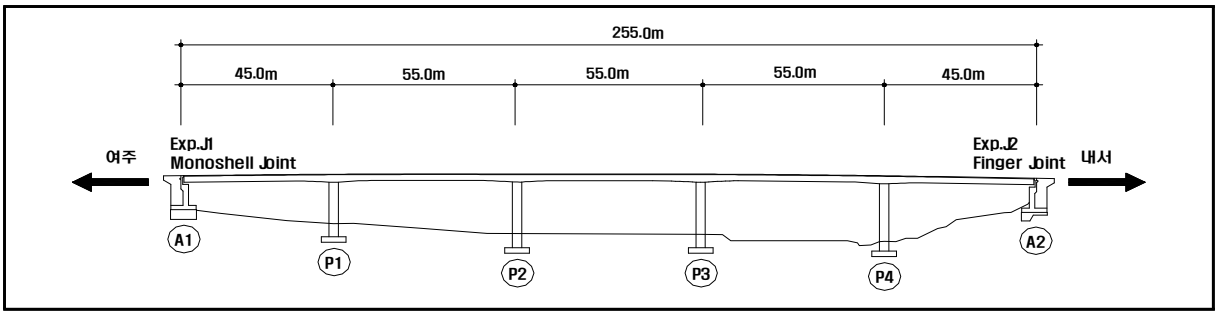
7) 결론

원호활동에 의한 측방유동 검토 결과 기준 안전율을 상회하는 것으로 평가되어 측방유동의 가능성은 없는 것으로 분석되었다.

3.3.4 신축이음장치

신축이음 장치는 온도변화에 의한 신축거동, 교면수의 하부유입을 막는 차수기능을 하는 부재로 금회 현장 조사시 이러한 기능성 저하여부, 내구성 측면, 차량 주행 안전성 등에 대해 중점적으로 조사하였다.

용전2교(여주)의 신축이음장치는 A1은 모노쉘, A2 강핑거 조인트로 설치되어 있으며, 신축이음 배치 현황은 다음과 같다.



【그림 3-16】 여주방향 - 신축이음 배치도

신축이음장치 전경(A1)	신축이음장치 전경(A2)

1) 외관조사 결과

【표 3-66】 여주방향 - 신축이음장치 외관조사 결과

구 분	후타재				기타		
	균열 Cw=0.3㎜미만(m)		파손(㎡)		신축이음 덮개 볼트탈락	이물질퇴적(m)	
	물량	개소	물량	개소	개소	물량	개소
A1	22.2	54	-	-	13	10.00	1
A2	1.20	1	0.01	1	3	-	-
합계	23.40	55	0.01	1	16	10.00	1

2) 손상별 원인분석

현 황	◦A1 신축이음 이물질퇴적(L=10.0m)	현 황	◦A2 후타재 파손(A=0.01㎡)
원 인	◦신축이음장치를 통한 이물질유입	원 인	◦중차량에 의한 파손
대 책	◦청소	대 책	◦지속관찰

3) 기 점점결과와의 비교·분석

- 기 진단 외관조사 결과, 신축이음장치 교체(A1)와 후타콘크리트 보수(A2)를 2012년 진단중에 실시하여 손상이 없는 상태이나, 금회 진단 결과 공용년수의 증가 및 중차량 통과 등으로 인해 후타재 균열(A1) 및 후타재 파손(A2)이 조사되었다.

【표 3-67】 여주방향 - 신축이음장치 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
신축이음	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	-	-	55	23.40	△
	•파손	㎡	-	-	1	0.01	△
	•덮개볼트 탈락	개소	-	-	16	16	△
	•이물질퇴적	m	-	-	1	10.00	△

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

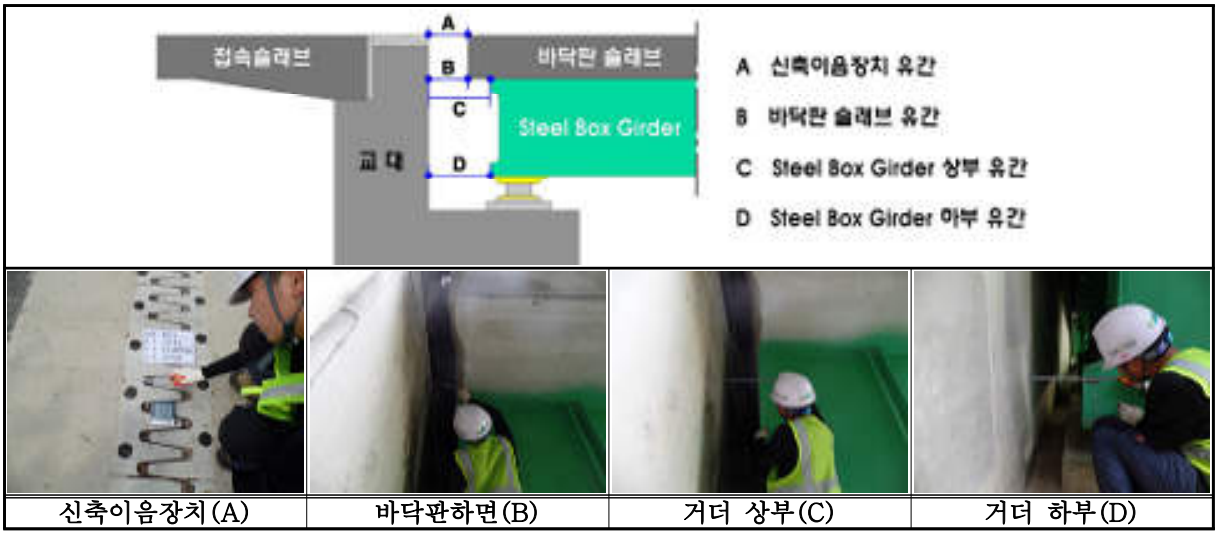
- 금회 신축이음장치 조사 시 건조수축, 중차량 통행 등의 요인으로 인해 후타재 균열(Cw=0.3㎜미만) 및 후타재 파손 등의 손상이 발생한 상태이다.
- 건조수축, 중차량 통행 등의 요인으로 인해 후타재 균열(Cw=0.3㎜미만)은 손상의 정도가 경미하나 균열부를 통한 우수 침투로 인해 신축이음 하부 누수 등 추가적인 손상의 우려가 있으므로 표면처리보수를 실시하며, 후타재 파손부에 대해서는 단면보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 방호벽 측 신축이음 덮개부에서는 공용년수의 증가로 인해 볼트탈락이 발생하였으며,

볼트 재체결을 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

- A1측 신축이음장치 하부 배수시설의 이물질퇴적은 상부를 통해 유입된 토사 및 이물질이 주원인이며, 주기적인 청소가 필요할 것으로 판단된다.

5) 신축이음 신축거동상태 검토

본 교량의 신축거동상태를 확인하기 위해 신축이음장치, 바닥판 및 거더 상·하부에 대한 유간을 측정하였고, 이론 변동량과의 비교를 통해 신축거동상태를 검토하였다. 또한, 측정된 유간으로부터 최대 온도 상승시 신장량과 최저 온도 하강시 수축량을 계산하여 유간확보 여부를 검토하였다.



【그림 3-17】 여주방향 - 신축이음 유간 측정방법

① 계산 신축량 산정

【표 3-68】 계산 신축량 산정

`▣ 온도에 의한 가동량

$\Delta \ell t = \Delta T \times \alpha \times \ell$ (신축거더 길이)

ΔT = 온도변화(-20℃ ~ +40℃) → Steel Box Girder교(한랭지방)

α = 선팽창계수(1.2×10^{-5}) → Steel Box Girder교

도로설계편람 (2000년)	■ 온도범위는 교량 상부구조의 평균 온도이며, 지역구분은 최근 5년간 최저기온 및 최고기온을 참조하여 결정(도로공사 연구보고서. 1993) [보통지방] : 대전 구미, 대구, 강릉, 논산, 전주, 광주, 순천, 진주, 마산, 창령, 고령, 동서울, 부산 [한랭지방] : 인천, 수원, 천안, 영동, 이천, 원주, 대관령, 정안, 진천
기상청 통계자료	■ 최근 5년간 이천(기)의 일평균 최저 온도 : -14.2℃ (2011/01/16) ■ 설계편람 발간 당시 이천(기) 5년간 일평균 최저 온도 : -15.8℃ (2001/01/15) ■ 최근 5년간 일평균 최저 온도 < 설계편람 발간당시의 5년간 일평균 최저 온도

▣ 활하중에 의한 보의 처짐에 의한 가동량

$\Delta l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$

여기서, h_i : 받침의 회전중심에서 보의 중립축 까지의 높이 (거더 높이의 2/3)

θ_i : 보의 회전각 (강교 1/150, 콘크리트교 1/300)

【표 3-68】 계산 신축량 산정(계속)

▣ 계산 가동량 산정

온도변화 범위	-20℃ ~ +40℃	선팽창 계수(α)	1.2×10^{-5}
점검시 기온(℃)	2016. 08. 18. (1차) 2016. 10. 19. (2차)	28.1 (1차) 16.2 (2차)	
온도에 의한 가동량($\Delta \ell t$)	$\Delta \ell t = \Delta T \times \alpha \times \ell$		
보의 중립축까지 높이(hi)	$\frac{2}{3} \times 2{,}500$		
보의 회전각(θi)	1/150 (Steel Box Girder교)		
보의 처짐에 의한 가동량($\Delta \ell r$)	$\Delta l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$		
신축거더길이 (L, m)	A1	A2	
	100.0	100.0	

※ 처짐에 의한 가동량은 팽창시만 고려하여 계산

② 신축이음 유간 측정결과

【표 3-69】 여주방향 - 신축이음 유간 측정결과

구 분	측 정 값(㎜)								비 고
	신축이음장치(A)		바닥판(B)		거더 상부(C)		거더 하부(D)		
	1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차	
Exp.J1(A1)	32.0	54.0	100.0	110.0	315.0	335.0	377.0	335.0	Monoshell Joint
Exp.J2(A2)	45.0	60.0	168.0	250.0	295.0	315.0	298.0	310.0	Finger Joint

③ 신축이음 가동상태 검토결과

【표 3-70】 여주방향 - 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동상태 검토결과

구 분		측정유간(㎜)		변동량(㎜)		비 고
		1차	2차	실측치	이론치	
Exp.J1(A1)	신축이음장치	32.0	54.0	-22.0	14.3	1차:28.1℃ 2차:16.2℃ 온도차 11.9℃
	바닥판	100.0	110.0	-10.0		
	거더 상부	315.0	335.0	-20.0		
	거더 하부	377.0	335.0	42.0		
Exp.J2(A2)	신축이음장치	45.0	60.0	-15.0	14.3	
	바닥판	168.0	250.0	-82.0		
	거더 상부	295.0	315.0	-20.0		
	거더 하부	298.0	310.0	-12.0		

- 8월(28.1℃)과 10월(16.2℃)의 온도 변화에 따른 변동량에 따른 J1~J2의 신축이음 유간을 각각 측정한 결과, 신축이음 유간은 신장 및 수축시 여유량을 확보하고 있는 것으로 검토되어, 현재 신축이음의 가동상태는 양호한 것으로 판단된다.

④ 신축이음 신축이동량 산정

【표 3-71】 여주방향 - 신축이음 신축이동량 산정

구 분	온도변화 (⊿T,℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더 길이 (L, m)	온도변화에 의한 이동량)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량(㎜)	계산 이동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 팽창시)
Exp.J1 (A1)	49.2	10.8	1.2×10^{-5}	100	59.0	13.0	11.1	59.0	24.1
Exp.J2 (A2)	49.2	10.8	1.2×10^{-5}	100	59.0	13.0	11.1	59.0	24.1

⑤ 신축이음 가동여유량 검토결과

【표 3-72】 여주방향 - 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량 검토결과

구 분		계산이동량(㎜)		점검당시 실측유간 (㎜) ③	허용량(㎜) ④	신축 여유량(㎜)		검토 결과
		최대 수축시 ①	최대 신장시 ②			최대 수축시 ④ - (①+③)	최대 신장시 ③ - ②	
Exp.J1 (A1)	신축이음장치	59.0	24.1	32.0	240	149.0	7.9	O.K
	바닥판 단부			100.0	-	-	75.9	O.K
Exp.J2 (A2)	신축이음장치	59.0	24.1	45.0	160	56.0	20.9	O.K
	바닥판 단부			168.0	-	-	143.9	O.K
주) 판정 : 0.0㎜ ≤ 신축 여유량 ≤ 허용량 ⇒ O.K								

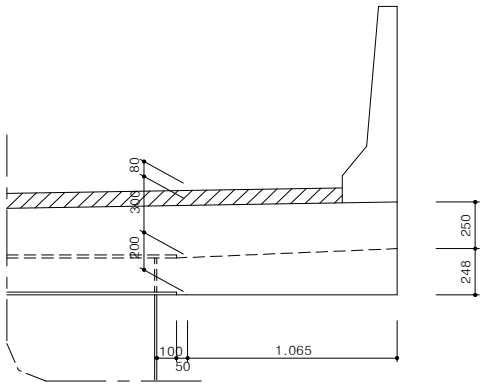
- J1, J2의 신축이음 유간을 측정한 결과, 신축이음 유간은 신장 및 수축시 여유량을 확보하고 있는 것으로 검토되어, 현재 신축이음의 가동상태는 양호한 것으로 판단된다.

3.3.5 교면포장

바닥판 상면에 위치하여 차량에서 발생하는 진동을 흡수·분산시키고, 외부의 불리한 환경조건에 대해서 바닥판을 보호하는 역할을 하는 교면포장은 아스팔트 포장으로 시공되어 있다. ASP 포장은 연성포장으로서 승차감 및 진동소음에 좋으나, 유지 관리 시 손상에 따라 보수보강 비용이 증가되는 단점을 가지고 있으며, 상부의 하중을 표층 기층 보조기층에 전달하여 포장이며, ASP 포장의 두께는 90mm 시공되었다.

금회 교면포장과 바닥판 하면의 현장조사 결과를 비교·평가한 결과, 교면포장 손상으로 인한 바닥판 하면에 누수 등의 열화 징후 등이 없는 것으로 조사되었으나, 포장부 상태 확인 및 포장두께 확인을 위하여 포장부 코어채취를 실시하였다.

교면포장 전경(A2 측)



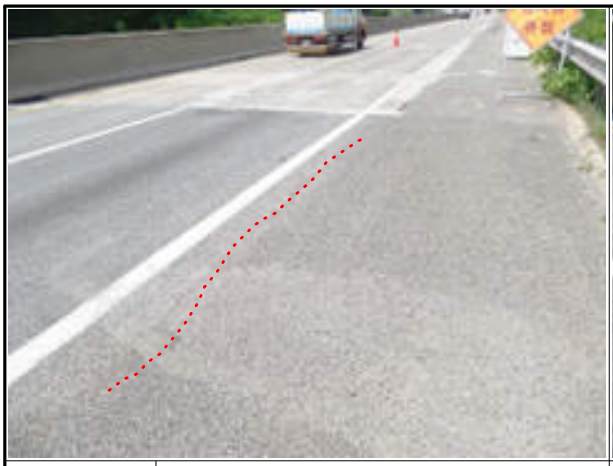
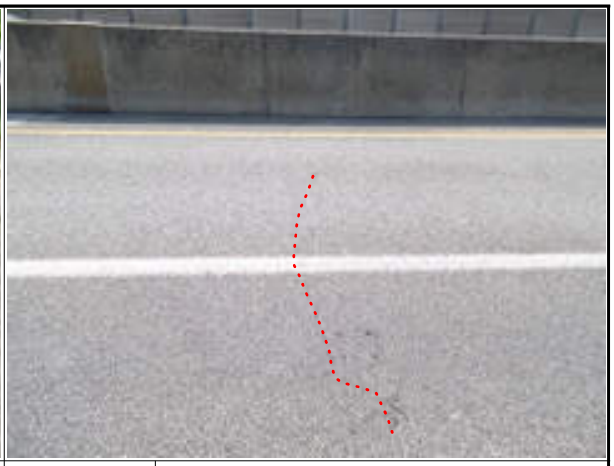
교면포장 단면도

1) 외관조사 결과

【표 3-73】 여주방향 - 교면포장 외관조사 결과

구 분	균열		포장불량			
	아스콘균열(m)		소성변형(㎡)		패임(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1 접속슬래브	5.00	1	0.10	1	-	-
S1	10.70	3	-	-	0.18	1
S2	-	-	-	-	0.01	1
S3	-	-	-	-	-	-
S4	-	-	-	-	-	-
S5	0.20	1	-	-	0.17	10
S2 접속슬래브	2.50	1	-	-	-	-
합계	18.40	6	0.10	1	0.36	12

2) 손상별 원인분석

			
현 황	◦S1 접속슬래브 아스콘균열(L=5.00m)	현 황	◦S5 접속슬래브 아스콘균열(L=2.50m)
원 인	◦다짐미흡(온도관리), 반복하는 윤하중	원 인	◦다짐미흡(온도관리), 반복하는 윤하중
대 책	◦지속관찰	대 책	◦지속관찰
현 황	◦S1 접속슬래브 소성변형(A=0.10㎡)	현 황	◦S5 아스콘 패임(A=0.01㎡/8EA)
원 인	◦시공불량, 혼합물 품질불량, 대형차량 통행	원 인	◦시공불량, 혼합물 품질불량
대 책	◦지속관찰	대 책	◦지속관찰

3) 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단시 외관조사 결과, 아스콘 균열이 발생하였으나 금회 진단결과 공용년수의 증가로 인해 소성변형 및 패임이 조사되었다.
- 대체로 주행성에 특이점이 발생하지 않은 양호한 상태로 조사되었다.

【표 3-74】 여주방향 - 교면포장 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
교면포장	•균열	m	3	14.50	6	18.40	△
	•소성변형	㎡	-	-	1	0.10	△
	•패임	㎡	-	-	12	0.36	△

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 교면포장 외관조사 결과, 종방향 균열, 소성변형, 패임이 조사되었다.
- 교면포장 상면에서 대형차 교통이 많은 2차로 상에 소성변형이 일부 조사되었으며, 1차로에서 패임이 조사되었다. 이는 시공불량(다짐불량), 혼합물 품질불량, 과다한 대형차량교통 등으로 인하여 발생된 것으로 판단되며, 손상정도가 경미함에 따라 보수의 필요성은 없을 것으로 판단되어 지속관찰이 요망된다.
- 포장부에 발생한 균열은 부분적으로 발생된 상태로 손상에 의해 차량 주행성 저하는 미미한 상태이므로 균열은 지속적인 관찰 후 부분 보수를 실시하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

5) 코어채취 분석

- 용전2교(여주) 교면포장의 아스콘 상태, 두께, 방수층, 바닥판상면에 대한 손상 및 열화를 확인하기 위해 코어 채취를 실시하였다.

① 코어채취 위치도

금회 ● 전회 ●

구 분	S1	S2	S3	S4	S5	비고
1차선						
2차선						
갓길			●		●	

코어채취 위치도

② 코어채취 결과

㉠ 교면포장 S5(갓길)

		포장 두께	■ 금회결과 : 90㎜ ■ 준공도면 : 80㎜
		포장 현황	■ 포 장 상 태 : 보통(으스러짐) ■ 방수층 상태 : 보통(노후화) ■ 바닥판 상면 : 양호

③ 기 진단결과 비교 검토

구 분	위치	포장두께	진행성 여부	비고
기 진단(2012년)	S3(갓길)	90㎜	상태양호	
금 회(2016년)	S5(갓길)	90㎜	상태보통	아스콘 으스러짐

④ 결과분석

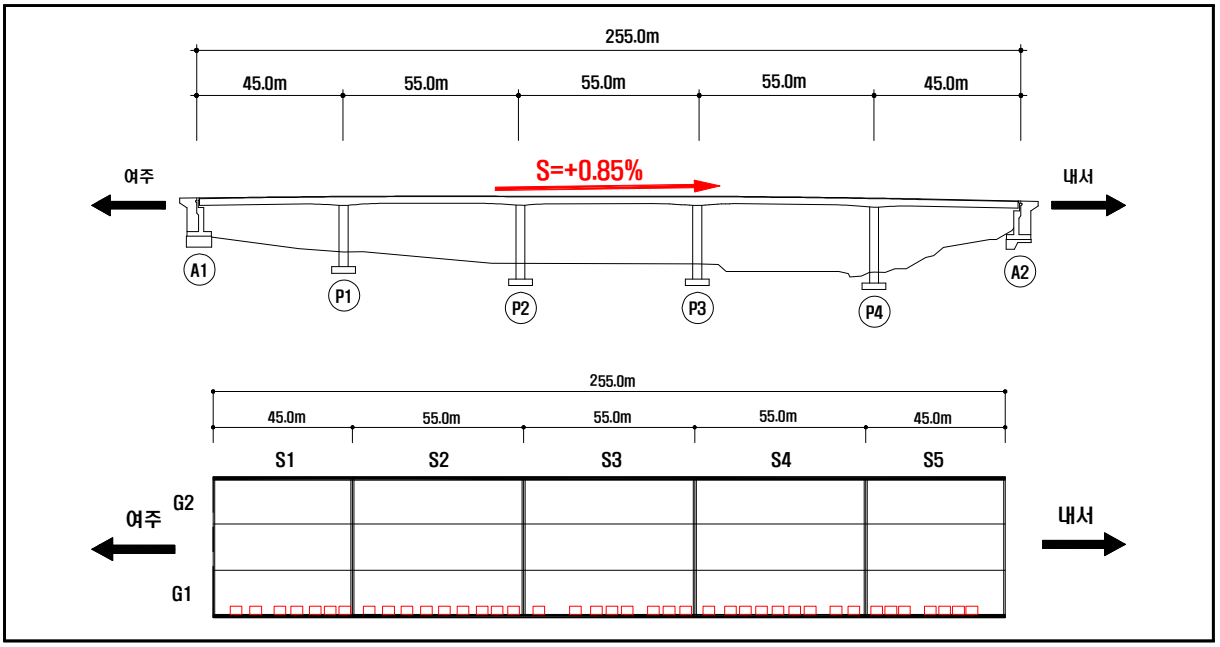
■ 용전2교(여주)의 교면포장 상태 결과 S1(갓길)은 아스콘 및 방수층, 바닥판상면은 양호한 것으로 분석되었다. 바닥판 슬래브와 포장 방수층 간의 접착력으로 인하여 하층 코어 채취과정에서 코어를 원형 그대로 채취하지 못하였으나 코어채취 깊이를 측정하여 포장두께를 정확하게 측정하였다. 또한, 준공도면과 포장두께의 차이가 있어 구조해석 시 포장두께를 반영하여 평가하였다.

3.3.6 기타부재

가. 배수시설

배수시설은 우수 유입에 따른 열화방지를 위해 일정한 곳으로 물을 배출하기 위한 시설로서, 용전2교(여주)의 배수시설은 각각의 경간 상부에 설치된 집수구를 통하여 STEEL Pipe φ 150㎜ 배수관을 따라 하부로 배수되도록 설치되어 있다.

용전2교(여주)는 교면 횡구배(2.000~2.215%)의 영향으로 하부 배수파이프 사이에 유공관이 총 42개소의 배수시설이 설치되어 있다.



【그림 3-18】 여주방향 - 배수시설 현황

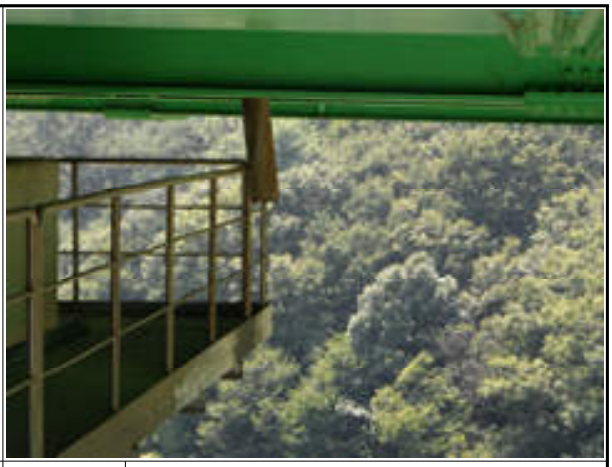
배수구 전경	배수관 전경

1) 외관조사 결과

【표 3-75】 여주방향 - 배수시설 외관조사 결과

구 분	배수시설					
	배수구 이물질퇴적	배수관 고정클립불량	배수관 볼트부식	배수관 길이부족	배수로 파손(㎡)	
	개소	개소	개소	개소	물량	개소
S1	-	1	-	-	0.04	1
S2	1	-	4	-	-	-
S3	-	-	-	2	-	-
S4	-	-	-	-	-	-
S5	-	-	-	-	-	-
합계	1	1	4	2	0.04	1

2) 손상별 원인분석



현 황	◦S1 배수관 고정클립탈락	현 황	◦S3 배수관 길이부족
원 인	◦시공불량 및 경년증가에 따른 노후화	원 인	◦시공 불량
대 책	◦재설치	대 책	◦배수관 길이 연장

3) 기 진단결과와의 비교·분석

- 기 진단시 외관조사 결과, 배수구 이물질 퇴적, 배수파이프 길이 부족, 곡관설치 누락 등의 손상이 조사되었으며, 금회 진단시에도 대체로 동일한 손상이 조사되었다.

【표 3-76】 여주방향-배수시설 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
배수시설	•배수구 이물질퇴적	개소	13	13	1	1	▽
	•배수관 고정클립불량	개소	-	-	1	1	△
	•배수관 볼트부식	개소	-	-	4	4	△
	•배수관 길이부족	개소	2	2	2	2	-
	•곡관설치 누락	개소	2	2	-	-	▽
	•배수로 파손	㎡	-	-	1	0.04	△

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

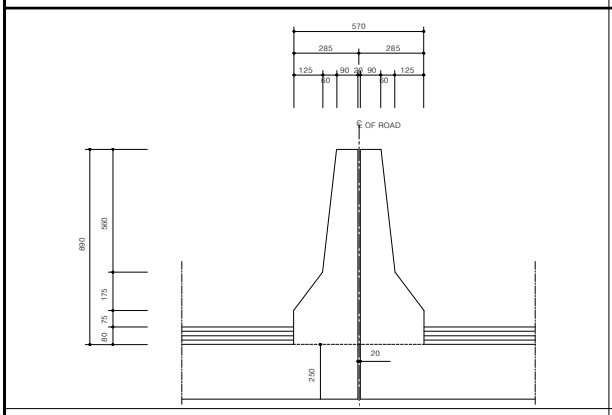
- 배수시설 외관조사 결과 배수로 이물질 퇴적, 배수관 고정클립불량, 배수관 볼트부식, 배수관 길이부족 등의 손상이 조사되었다.
- 교면포장부에 위치한 배수구 상태는 막힘이 없는 양호한 상태이나 이물질 퇴적이 조사되었다.
- 배수구 막힘의 유형은 이물질(토사, 쓰레기 등)에 의해 우수받이 부위가 막힌 것으로 확인되었고, 교량 종단구배로 교면체수가 없어 배수기능에는 문제가 없으므로, 배수 System 개선보다는 지속적인 청소를 실시하면 좋을 것으로 판단된다.
- 배수파이프의 길이가 부족하여 안전점검통로에 간섭이 되는 상태이며, 배수관 볼트부식 및 고정클립불량은 공용년수의 증가로 인해 열화가 발생한 것으로 판단되며, 배수관 고정클립 불량 및 볼트부식은 교체 하고 배수관 길이 부족부는 배수관 길이연장을 통하여 안전점검통로에 간섭이 되지 않도록 조치를 하여야 할 것으로 판단된다.
- 교대(A2)에 위치한 배수로에 충격으로 인한 파손이 발생하였으며, 단면보수를 통하여 내구성을 향상시키는 것이 적절할 것으로 판단된다.

나. 방호벽 및 중앙분리대

자동차의 차도이탈 방지, 사고시 완충작용 등의 기능을 하는 방호벽은 철근콘크리트 구조로 신축이음부에는 덮개판이 설치되어 있다.

방호벽 전경

중앙분리대 전경



중분대 단면도(준공도)

방호벽 실측 측정

1) 외관조사 결과

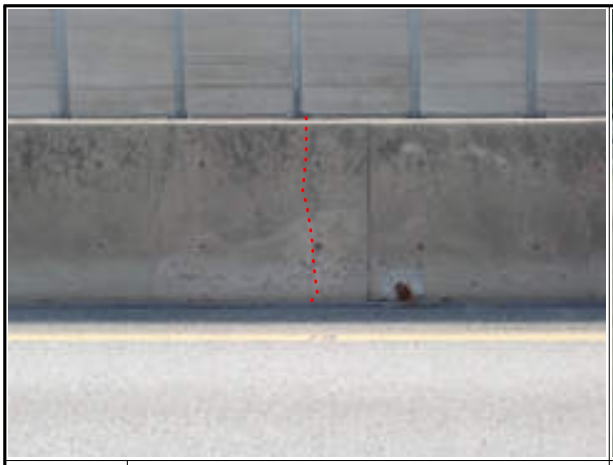
【표 3-77】 여주방향 - 방호벽 및 중분대 외관조사 결과

구 분	콘크리트							
	균열 Cw=0.3㎜미만(m)		균열 Cw=0.3㎜이상(m)		망상균열 Cw=0.3㎜미만(㎡)		백태(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	18.80	23	-	-	0.24	1	-	-
S2	17.60	23	2.20	2	6.00	1	0.01	1
S3	12.00	23	1.20	1	10.35	1	0.06	2
S4	9.50	15	5.40	4	-	-	0.01	1
S5	6.50	11	12.00	8	-	-	0.10	4
합계	64.40	95	20.80	15	16.59	3	0.18	8

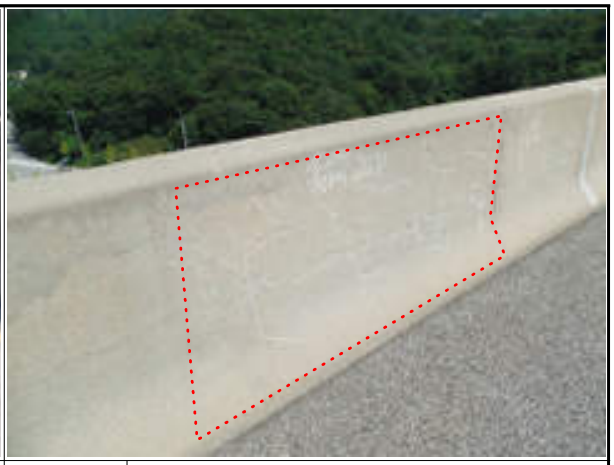
【표 3-77】 여주방향 - 방호벽 및 중분대 외관조사 결과(계속)

구 분	콘크리트									
	박리(㎡)		재료분리(㎡)		철근노출(㎡)		녹발생(㎡)		파손(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	17.75	2	0.10	1	0.20	1	0.14	7	0.14	6
S2	12.30	3	0.60	2	0.10	1	0.14	7	0.12	3
S3	5.00	1	-	-	-	-	0.04	1	0.18	6
S4	7.51	2	1.16	3	0.20	2	0.05	3	0.06	3
S5	6.00	1	-	-	0.10	1	-	-	0.29	8
합계	48.56	9	1.86	6	0.60	5	0.37	18	0.79	26

2) 손상별 원인분석



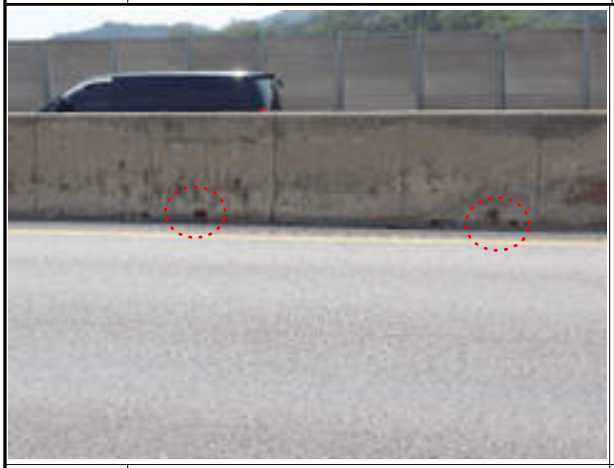
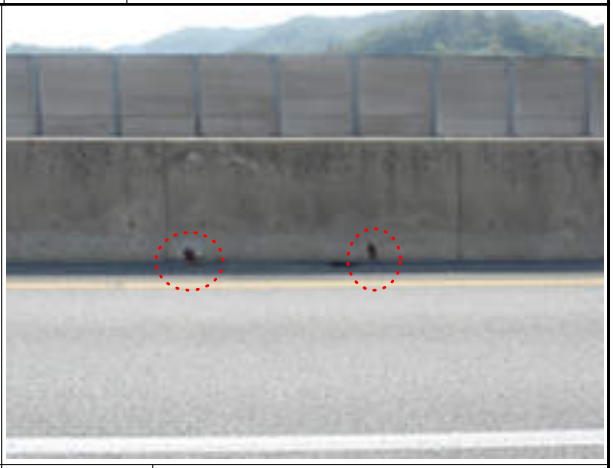
현 황	◦S4 중분대 균열(0.3㎜/1.5m)
원 인	◦건조수축 및 줄눈 절단 시기 미흡
대 책	◦주입보수



현 황	◦S3 방호벽 망상균열(A=10.35㎡)
원 인	◦건조수축 및 온도변화
대 책	◦표면처리보수

현 황	◦S1 중분대 박리(A=17.00㎡)
원 인	◦우수 및 동결융해에 따른 콘크리트열화
대 책	◦표면처리보수

현 황	◦S2 중분대 재료분리(A=0.10㎡)
원 인	◦시공시 다짐불량
대 책	◦단면보수

현 황	◦S1 방호벽 철근노출(L=0.20m)	현 황	◦S3 중분대 파손(A=0.02㎡)
원 인	◦피복두께 부족	원 인	◦외부충격
대 책	◦방청 후 단면복구	대 책	◦단면보수
			
현 황	◦S2 중분대 녹발생(A=0.02㎡/2EA)	현 황	◦S4 중분대 녹발생(A=0.02㎡/2EA)
원 인	◦시공 미흡	원 인	◦시공 미흡
대 책	◦방청 후 단면보수	대 책	◦방청 후 단면보수

3) 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단시 외관조사 결과, 건조수축과 온도 변화에 따른 신축으로 인한 수직 및 수평균열, 방음벽 기둥 설치부 국부 백태, 백태 및 녹발생, 파손, 재료분리 등이 조사되었으며 금회 진단결과 기진단시와 유사하게 손상이 발생하였으나, 공용년수의 증가로 인해 손상물량은 다소 증가한 것으로 나타났다.

【표 3-78】 여주방향 - 방호벽 및 중앙분리대 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
방호벽 및 중앙분리대	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	91	51.80	95	64.40	△
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	15	21.70	15	20.80	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	1	10.35	3	16.59	△
	•백태	㎡	4	0.09	8	0.18	△
	•박리, 재료분리, 파손	㎡	30	17.61	41	51.21	△
	•철근노출, 녹발생	㎡	13	0.23	23	0.97	△

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 용전2교(여주)의 방호벽 높이는 노면에서 1.10m정도로 '교량방호울타리 성능 개선 방안(한국도로공사 구조물처 2009.11.13.)' 에 따른 1.00~1.27m의 기준을 만족하는 것으로 조사되었다.
- 방호벽 외관조사 결과, 균열, 망상균열, 백태, 박리, 재료분리, 철근노출, 녹발생, 파손 등의 손상이 조사되었다.
- 방호벽 및 중앙분리대에 발생한 균열은 대부분 주철근과 평행한 방향이고, 불규칙한 망상균열 형태로써, 시공초기 건조수축에 의해 발생된 것으로 보이며, 방호벽에 발생한 균열은 방치시 균열폭 증가 및 우수침투로 인한 백태 발생 우려가 있으므로, 미세균열은 표면처리보수를 실시하며, 균열폭 0.3㎜이상은 주입보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 철근노출 및 녹발생은 시공불량(피복부족)과 치밀성 부족부를 통한 우수유입이 주요 원인으로 판단되며, 손상정도가 경미한 상태이다. 따라서 내구성 확보를 위하여 방청 후 단면복구를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 백태는 콘크리트 내부수의 유출로 인해 발생된 것으로 판단되며, 박리는 우수로 인해 방호벽 표면에 발생된 손상으로 판단되며, 표면보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 파손, 재료분리 등 기타 손상은 온도변화에 따른 콘크리트 신축, 시공불량, 표면열화 국부적인 외력의 작용으로 인하여 발생된 손상으로 판단되며, 단면보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 용전2교(여주) 중앙분리대는 공용년수의 증가로 인해 전체적으로 표면열화 발생정도가 진행 된 것으로 판단되며, 향후 지속관찰을 통하여 표면 열화정도를 심화할 경우 적절한 보수보강방안을 시행하여야 할 것으로 판단된다.

다. 점검시설

본 교량의 점검시설은 교각 코핑부 및 교량받침 외관조사를 위한 점검시설(P1~P4)이 설치되어있다. 점검시설은 점검사다리 및 발판 등 전반적인 양호한 상태로 조사되었다.

박스내부 출입구의 시건장치상태는 대부분의 열쇠체결은 되어 있으나 자물쇠 고리가 절단되거나 시건장치가 불량하여 점검시 열쇠 없이 출입이 가능한 상태이므로 관계자외 출입방지 및 원활한 구조물 관리를 위한 시건장치의 재설치가 필요할 것으로 판단된다.

교각 점검시설 전경

3.4 콘크리트 내구성조사

3.4.1 개 요

콘크리트 내구성조사는 구조물에 열화손상이 이미 현저하게 진행되었을 경우 열화의 정도 및 그 원인 관계를 조사하고 보수·보강 여부를 판정하며, 아직 열화손상이 없거나 경미한 구조물은 내구성조사에 의해서 향후 열화 경향을 예측하고 예방보전을 검토하기 위한 자료를 수집하는 것을 목적으로 한다.

본 과업의 내구성조사는 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12, 국토교통부/한국시설안전공단)』에 근거하여 시험방법, 시험빈도 및 평가방법 등을 실시하였다.

가. 현장시험 항목 및 실시수량

본 구조물에 대한 현장시험은 "안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(교량편 한국시설안전공단, 2010.12)" 에 근거하여 조사 위치 및 수량을 결정하였다.

【표 3-79】 현장시험 항목

구 분	조 사 내 용
반발경도 시험	■ 반발경도시험을 통하여 구조물의 압축강도를 비파괴로 추정하여 결과 도출
초음파 전달속도 시험	■ 콘크리트 초음파 전달속도 시험은 콘크리트의 구성 성분, 다짐 정도, 숙성도 등을 파악하여 콘크리트의 품질 평가 및 분석
철근탐사 시험	■ 철근탐사시험은 철근의 간격 및 피복두께를 측정하여 설계도면에 부합되는지 분석함.
탄산화 깊이 측정	■ 콘크리트 내에 매입된 철근을 부식시킬 수 있는 탄산화의 영향을 파악하기 위하여 페놀프탈레인용액의 분무에 의한 탄산화 깊이를 측정함
염화물함유량 시험	■ 주변한경(해안) 및 시공시 해사 사용에 따른 염화물함유량 검토

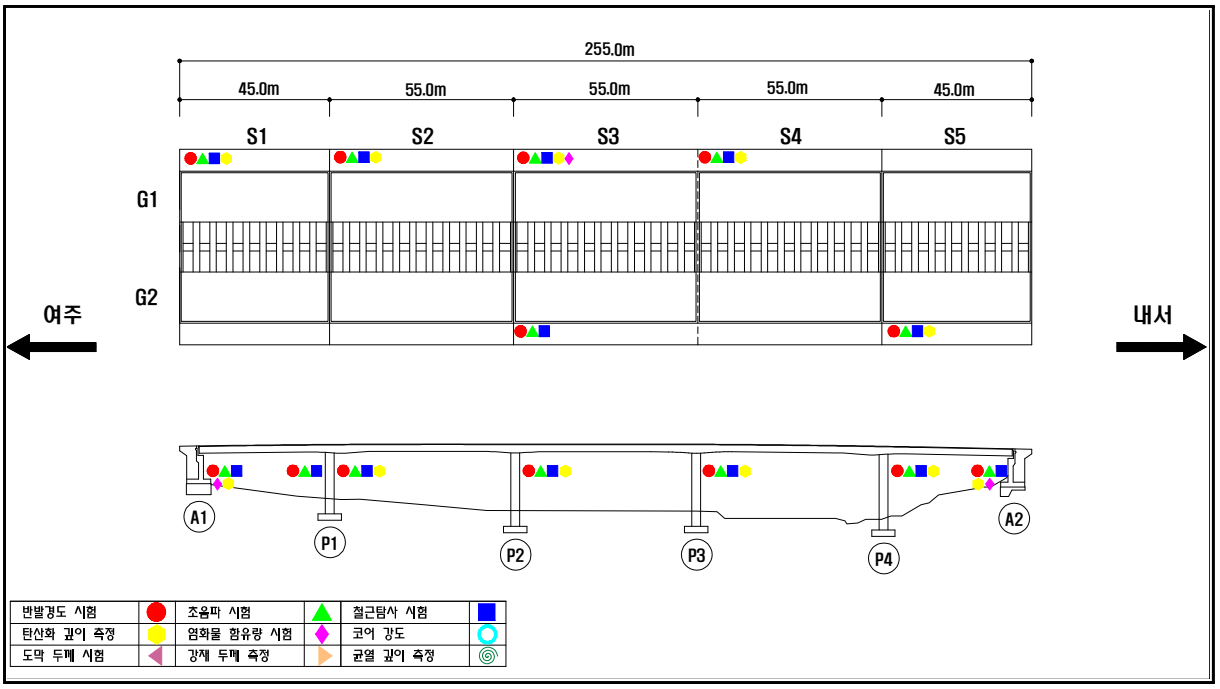
【표 3-80】 내서방향 - 비파괴시험 실시 수량

구 분	세부지침 기준		기준수량		금회 시험수량	
	상부구조	하부구조	상부 구조	하부 구조	상부 구조	하부 구조
반발경도시험	▪ 강합성교 : 1개소/50m	▪ 1개소/연장50m ▪ 교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	5개소	6개소	6개소	7개소
초음파 전달속도시험			5개소	6개소	6개소	7개소
철근탐사시험			5개소	6개소	6개소	7개소
탄산화 깊이 측정	▪ 5경간 이내 4~6개소(상부구조에서 최소 2개소 이상 실시)		3개소	4개소	5개소	6개소
염화물함유량 시험	▪ 3개소 이상(상부구조에서 최소 1개소 이상 실시)		1개소	2개소	1개소	2개소
강재초음파탐상	▪ Steel Box Girder : 2개소/경간별 거더		20개소	-	20개소	-
강재 및 도막두께 측정	-		-	-	3개소	-

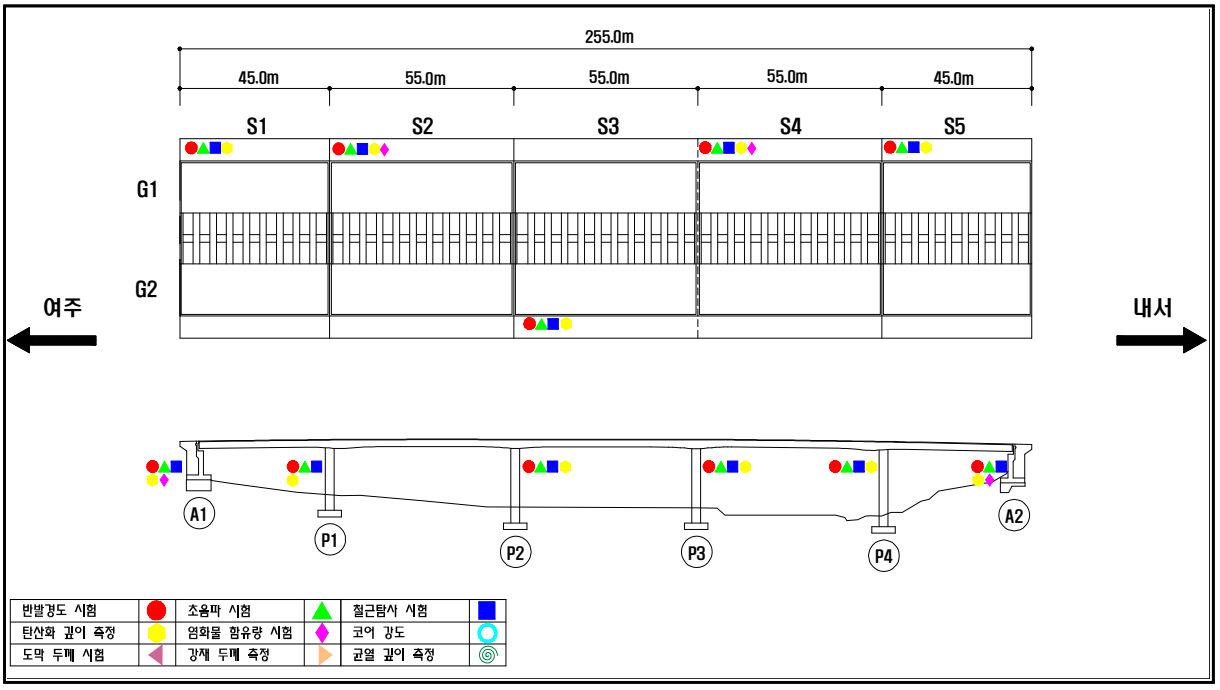
【표 3-81】 여주방향 - 비파괴시험 실시 수량

구 분	세부지침 기준		기준수량		금회 시험수량	
	상부구조	하부구조	상부 구조	하부 구조	상부 구조	하부 구조
반발경도시험	▪ 강합성교 : 1개소/50m	▪ 1개소/연장50m ▪ 교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	5개소	6개소	5개소	6개소
초음파 전달속도시험			5개소	6개소	5개소	6개소
철근탐사시험			5개소	6개소	5개소	6개소
탄산화 깊이 측정	▪ 5경간 이내 4~6개소(상부구조에서 최소 2개소 이상 실시)		3개소	4개소	5개소	6개소
염화물함유량 시험	▪ 3개소 이상(상부구조에서 최소 1개소 이상 실시)		1개소	2개소	2개소	2개소
강재초음파탐상	▪ Steel Box Girder : 2개소/경간별 거더		20개소	-	20개소	-
강재 및 도막두께 측정	-		-	-	3개소	-

나. 콘크리트 내구성조사 위치도



【그림 3-19】 내서방향 - 콘크리트 내구성조사 위치도



【그림 3-20】 여주방향 - 콘크리트 내구성조사 위치도

다. 콘크리트 내구성조사 전경

반발경도 시험

초음파 전달속도 시험

철근탐사 시험

탄산화 깊이 측정

염화물 함유량 시험

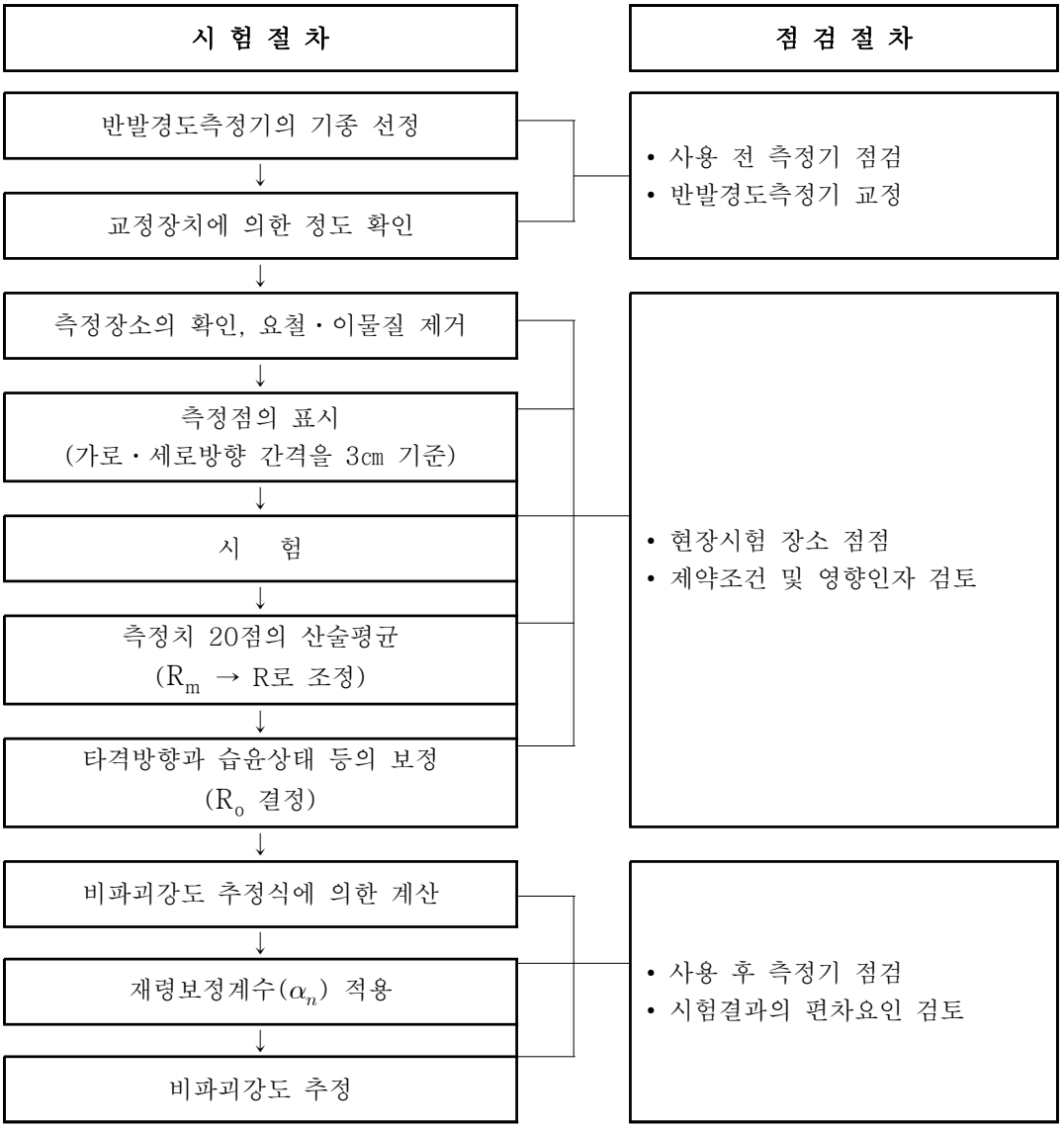
3.4.2 시험내용 및 평가기준

가. 콘크리트 강도시험

1) 반발경도시험

콘크리트의 표면 경도를 측정하여, 이 측정치로부터 콘크리트의 압축강도를 비파괴로 추정하는 검사방법이다. 반발경도를 구하는 방법으로는 슈미트 해머(Schmidt Hammer)법이 가장 널리 사용된다. 슈미트 해머로 경화된 콘크리트 표면을 타격시, 반발경도(R)와 콘크리트의 압축강도(F_c)와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다.

① 반발경도시험 및 측정기 점검 등의 절차



【그림 3-21】 반발경도시험 및 측정기 점검 등의 절차

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

② 보정반발경도(R_0)

【표 3-82】 보정반발경도(R_0)

◈ 보정반발경도 : $R_0 = R + \Delta R_1 + \Delta R_2$

여기서, R : 반발경도

ΔR_1 : 타격방향에 따른 보정값

ΔR_2 : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값

㉠ 타격방향에 따른 보정값(ΔR_1)

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

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

㉡ 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값(ΔR_2)

- 콘크리트는 함수율이 증가함에 따라 반발경도가 저하됨
  - ⇒ 측정위치가 습하고 타격의 흔적이 보이는 경우 : ΔR_2 = +3으로 보정
    측정위치가 완전히 젖어 있는 경우 : ΔR_2 = +5로 보정

③ 압축강도의 추정

보정반발경도(R_0)로부터 압축강도(F_c)의 상관관계를 도출한 제안식들은 다음과 같으며, 제안식의 적용은 시험방법 및 조건에 맞는 제안식을 선정하는 것이 중요하다.

【표 3-83】 기존의 비파괴강도 추정 제안식(반발경도시험)

구 분		추 정 식(MPa)	비 고
보통 콘크리트	일본재료학회	$F_c = -18.0 + 1.27R_o$	금회적용
	동경 건축재료 검사소	$F_c = (10R_o - 110) \times 0.098$	-
	일본건축학회	$F_c = (7.3R_o + 100) \times 0.098$	금회적용
	U.S Army	$F_c = (-120.6 + 8.0R_o + 0.0932R_o^2) \times 0.098$	-
고강도 콘크리트	한국시설안전공단	$F_c = (17.2R_o - 214) \times 0.098$	-
	과학기술부	$F_c = (15.2R_o - 112.8) \times 0.098$	-

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

④ 28일 강도의 추정

시일이 경과할수록 콘크리트 구조물은 표면경도가 높아지므로 아래 식과 같이 재령 28일 강도(F_{28}')로 환산하여 압축강도를 추정한다. 콘크리트의 재령에 따른 압축강도 보정계수 α는 아래 【표 3-84】와 같으며, 3000일 이상의 재령에 대해서는 0.63을 적용한다.

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

【표 3-84】 재령계수 α값

재령(일)	10	20	28	50	100	150	200	300	500	1000	3000
α	1.55	1.12	1.00	0.87	0.78	0.74	0.72	0.70	0.67	0.65	0.63

단, 과학기술부 Ro = R ×a (a=6.36/t+0.7, t:28일보다 큰 재령일수)

나. 철근탐사시험

1) 개 요

본 시험은 전자파레이더를 이용한 철근탐사 시험기(RC Radar)를 활용하여 철근콘크리트 구조물에 배근된 철근간격, 콘크리트 피복을 측정하기 위해 실시한다.

철근콘크리트 구조물의 부재 내부에 배근되어 있는 철근의 피복두께가 지나치게 작은 경우에는 콘크리트의 탄산화 등에 따른 열화손상에 대한 저항성이 저하되어 내구성이 감소할 가능성이 있으며, 피복두께가 지나치게 큰 경우에는 강도감소 등을 수반할 우려가 있으므로 철근탐사는 설계 당시와 같이 콘크리트 내에 배근되어 있는 철근의 배근상태 및 피복두께를 파악하기 위하여 실시한다.

2) 측정원리

전자파레이더의 원리는 현재 널리 사용되고 있는 레이더와 동일하다. 즉, 콘크리트용 전자파레이더는 임펄스 상의 전자파를 송신안테나로부터 콘크리트 내로 방사하면 그 전자파가 콘크리트와 전기적 성질(비유전율, 도전율)이 다른 물체(철근, 매설관, 공동 등)와의 경계에서 반사한다. 이를 수신안테나로 수신하고, 그에 소요되는 왕복전파시간으로부터 반사물체까지의 거리를 계산하면 그 위치를 구할 수 있다. 원리를 아래【그림 3-22】에 나타내었고, 콘크리트 중의 전자파 속도는 다음 식과 같다.

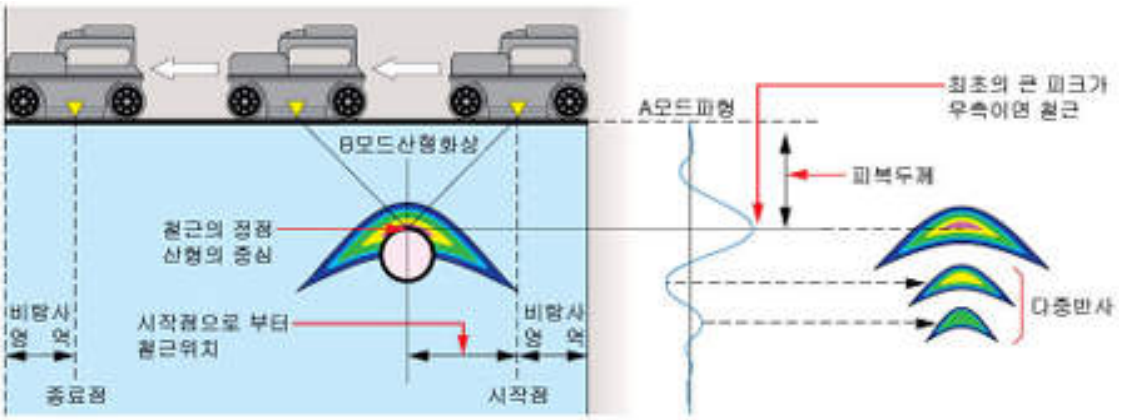
$$V = \frac{C}{\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (m/sec)$$

여기서, C : 진공 중에서 전자파의 속도(3×10^8 m/sec)

ε_r : 콘크리트의 상대유전율(6~10)

또한, 반사물체까지의 거리(D)는 송신 시각으로부터 수신 시각까지의 시간차(T)의 측정치와 콘크리트 내부의 전파속도(V)로부터 구할 수 있다.

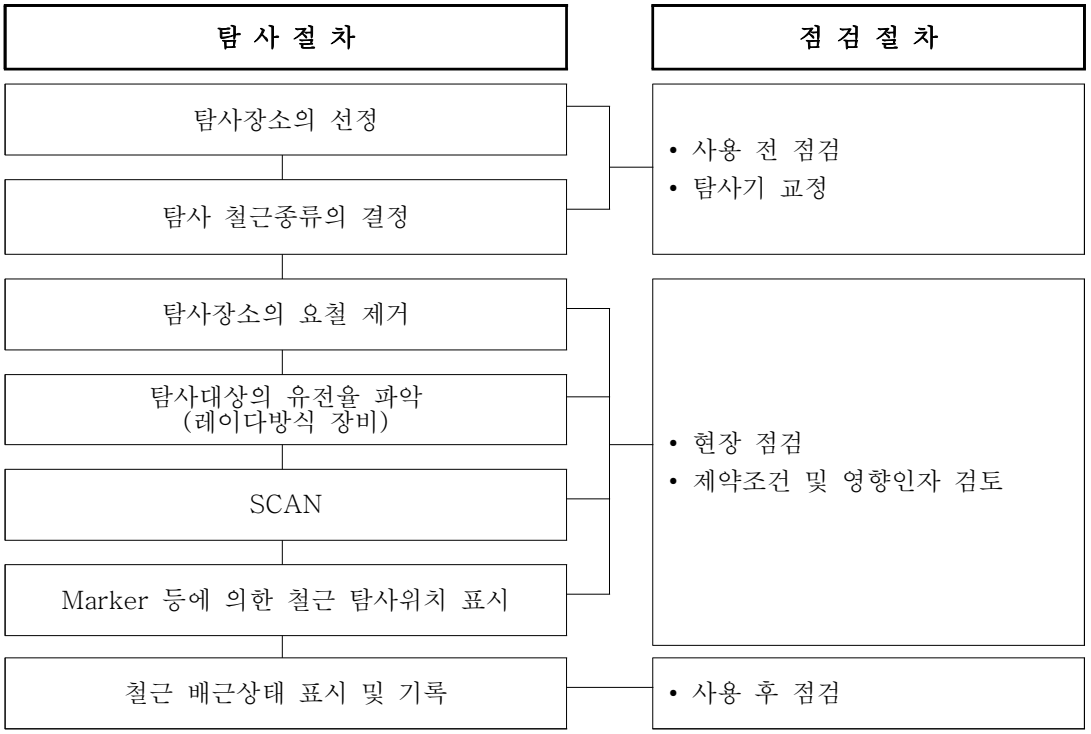
$$D = \frac{1}{2} V T \quad (m)$$



【그림 3-22】 철근탐사 측정원리

3) 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차

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



【그림 3-23】 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차

4) 탐사조건 및 적용한계(RC Radar의 경우)

① 탐사조건

- 적용 가능한 조건
  - 탐사심도 200㎜이내
  - 탐사대상 철근지름이 ϕ6㎜이상
  - 콘크리트의 질이 균일한 곳
  - 철근이 안테나 진행방향과 직교인 경우
- 적용 곤란한 조건
  - 표면에 금속 등 전파를 반사하는 것이 있고, 그 밑의 철근 등을 탐사하는 경우
  - 100㎜이하의 피치로 배근되어 있는 경우
  - 철근이 안테나의 진행방향과 평행인 경우

② 적용한계

- 탐사대상 물체의 표면에 금속 등 전파를 반사하는 것이 있고, 그 밑의 철근 등을 탐사하는 경우

- 철근이 안테나의 진행방향과 평행인 경우
- 비유전율에 따라 피복두께 차이가 있으므로 탐사 대상물의 비유전율을 추정하기 어려움
- 철근직경과 복철근 및 경사철근의 판독 불가능
- 탐사대상 표면에 요철이 많은 장소는 탐사결과의 신뢰성 저하
- 안테나의 사용으로 좁고, 짧은 위치의 탐사 불편

다. 콘크리트 품질시험

1) 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 방법이다.

2) 측정방법

초음파속도를 측정하기 위한 탐촉자의 배열은 직접법, 반직접법 및 간접법이 있음.

직접법에서 구한 초음파 전달속도(종파)를 강도 추정에 이용하나 보통 현장에서 직접법으로 적용할 수 없는 측정부분들에 대해서는 간접법(표면법)으로 초음파속도를 측정함.

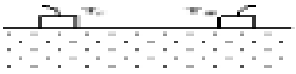
타격법과 동일부재 동일위치에서 측정하는 것을 원칙으로 하여 초음파속도를 측정.

간접법을 직접법으로 환산

$$Vd \approx 1.05\ Vi$$

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

<초음파법에 의한 강도추정 흐름도>

$$\text{전달속도}(Velocity,\ mm/\mu\text{sec}) = \frac{\text{전달길이}(Path\,Length,\ L\ :\ mm)}{\text{전달시간}(Transit\,Time,\ T:\ \mu\text{sec})}$$

3) 평가기준

콘크리트 품질평가를 위해 「콘크리트 비파괴 검사기술(한국전력공사 기술연구원)」의 기준을 적용하였으며, “a, b, c, d, e” 로 평가

초음파속도(km/s)	등 급	품 질	평 가	비 고
4.575 이상	a	대단히 좋다	-	-
3.660 ~ 4.575	b	좋 다	정기적인 관찰	-
3.050 ~ 3.660	c	검사를 요함	지속적인 관찰	-
2.135 ~ 3.050	d	나쁘다	보강 또는 보수	부분적 내부결함
2.135 미만	e	대단히 나쁨	교체 또는 보강	내부결함 다수

라. 탄산화깊이 측정

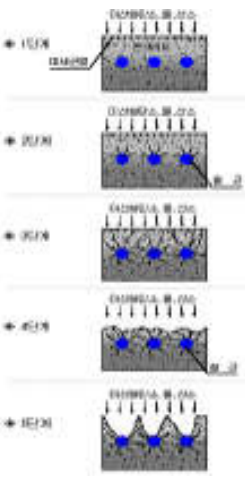
1) 개 요

탄산화란 콘크리트의 탄산화(Carbonation) 과정에서 나타나는 현상으로 탄산화에 의해서 문제가 발생되는 것은 콘크리트 자체에서 생기는 것이 아니고, 콘크리트 중의 철근에 녹이 발생함으로써 문제를 일으키는 것이다.

$$\underset{\text{수산화칼슘}}{Ca(OH)_2} + \underset{\text{탄산가스}}{CO_2} \rightarrow \underset{\text{탄산칼슘}}{CaCo_3} + \underset{\text{물}}{H_2O}$$

(pH 12~13) (대기 중에 존재) (pH 8.5~10)

탄산화가 일어나는 메카니즘을 보면 시멘트의 수화반응에서 생성되는 수산화칼슘($Ca(OH)_2$)은 pH 12~13정도의 강알칼리성을 나타내지만 대기 중에 포함되어 있는 약산성의 탄산가스(약 0.03%)와 접촉하면 탄산칼슘과 물로 변화하고 탄산칼슘으로 변화한 부분의 pH가 8.5~10 정도로 낮아지게 된다. 따라서, 콘크리트의 탄산화는 일반환경 하에서도 확실하게 진행되기 때문에 매입된 철근의 부식에 따른 문제가 가장 기본적이며 중요하다. 콘크리트 내부의 pH가 11이상에서 철근은 표면에 1×10^{-6}㎜ 두께의 수산화물($\gamma-Fe_2O_3 \cdot nH_2O$) 부동태막을 형성하므로 산소 침입을 막아 철근의 부식을 방지하지만 탄산화에 의하여 pH가 11보다 낮아지면 부동태막이 파괴되면서 철근에 녹이 발생하게 된다. 이러한 녹은 원래 부피의 약 2.5배에서 최대 7배까지 팽창하고 녹의 팽창압력에 의해 콘크리트 내부에는 균열이 발생하게 되며 철근의 부착강도 저하, 피복 콘크리트의 탈락, 철근 단면적의 감소 등 구조물의 내구성 저하를 초래하게 된다. 이러한 원인으로 녹의 진행과 함께 콘크리트 구조물의 내구성면에서 탄산화를 파악하는 것이 중요하다.

	STEP 1 • 정상, 재료 및 강도상의 변화는 거의 없음 (약간의 건조수축에 의한 균열)
	STEP 2 • 녹의 발생에 의한 팽창압이 콘크리트 내부에 발생하여 미세한 균열이 발생
	STEP 3 • 철근의 윗면이 팽창함 • 균열이 표면까지 연장되어 공기와 수분의 침입이 격화되어 동해 등의 다른 열화도 유발시키며 녹물이 보임
	STEP 4 • 철근 윗면의 피복이 떨어지고, 철근의 노출이 시작됨 • 철근단면적이 감소함
	STEP 5 • 철근 윗면이 거의 없어지고 철근은 공기 중에 직접 노출됨 • 내구성능은 없음

【그림 3-24】 탄산화에 의한 콘크리트 성능저하

2) 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

탄산화 속도에 영향을 미치는 요인으로는 환경조건(대기 중의 탄산가스 농도, 온도, 습도, 마감재 등)을 주원인으로 하는 외적요인 및 콘크리트 자체의 성능·품질(함수율, 강도, 시멘트의 종류, 배합조건, 시공조건 등)을 주원인으로 하는 내적요인에 의해 복합적인 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 대표적인 원인을 정리하면 다음과 같다.

【표 3-85】 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

구 분	영향인자	탄산화 속도
내적 요인	시멘트의 종류	• 수화반응이 느릴수록 탄산화 속도가 빠름 • 조강 포틀랜드시멘트 < 보통 포틀랜드시멘트 < 중용열 포틀랜드시멘트
	골재의 종류	• 투기성이 큰 골재일수록 탄산화 속도가 빠름
	계면활성제 종류	• 동일 물-시멘트비, 동일 슬럼프라면 탄산화 속도와 무관함
	압축강도	• 압축강도가 낮을수록 탄산화 속도가 빠름
	물-시멘트비	• 물-시멘트비가 증가하면 탄산화 속도가 빠름
	시공 정밀도	• 다짐이 불충분할수록 탄산화 속도가 빠름
	콘크리트 결함부	• 균열부위, 이음부, 손상부위 등에서 탄산화 속도가 빠름

【표 3-85】 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인(계속)

구 분	영향인자	탄산화 속도
외적 요인	온도	• 온도 상승시 탄산화 속도가 빠름 • 20~50 ˚C 사이에서는 영향이 크지 않음
	이산화탄소 농도	• 농도가 클수록 탄산화 속도가 빠름 • 탄산가스 농도 3~10% 사이에서 상승비율이 큼
	습도	• 상대습도 50~70% 에서 탄산화 속도가 최대
	실내, 실외	• 실내의 탄산화 속도가 빠름

3) 탄산화깊이의 측정

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

콘크리트 파단면에 1% 페놀프탈레인 용액을 도포한 후 색의 변화를 관찰하는 방법으로 강알칼리성일수록 짙은 보라색을 띠며 pH 9이하에서는 무색을 나타낸다. 탄산화 진행 깊이의 측정은 콘크리트 표면에서 발색점까지의 깊이를 버니어캘리퍼스 등으로 측정한다.

4) 탄산화를 고려한 잔존수명 예측

탄산화 속도는 경과시간(t)의 평방근에 비례하여 진행한다고 하는 $\sqrt{t}$법으로 표현된다. 탄산화(C)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서, C : 탄산화깊이(㎜)

A : 탄산화 속도계수(㎜/ $\sqrt{년}$)

t : 재령(년)

여기서 구해진 탄산화 속도계수(A)를 실제 탄산화깊이와 경과년수를 이용하여 역추적으로 구한 후 탄산화가 철근에 도달하는 시간을 계산하면 콘크리트의 탄산화에 의한 잔존수명을 예측할 수 있다.

5) 평가기준

탄산화 상태평가 기준은 다음과 같다.

【표 3-86】 탄산화 상태평가 기준

기 준	탄산화 잔여 깊이	철근부식의 가능성
a	• 30㎜이상	• 탄산화에 의한 부식발생 우려 없음
b	• 10㎜이상 ~ 30㎜미만	• 향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음
c	• 0㎜이상 ~ 10㎜미만	• 탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음
d	• 0㎜미만	• 철근부식 발생
e	-	-

마. 염화물함유량 시험

1) 콘크리트 속의 염분에 대한 일반적 사항

염화물의 콘크리트 침투를 구분해 보면 일반적으로 두가지로 크게 구분할 수 있다.

하나는 이미 건립된 구조물에 해풍, 해수 및 염화물을 함유한 외부 환경조건에 의해 염화물이 침투 축적되는 경우이고, 다른 하나는 방동대책으로서 염화칼슘($CaCl_2$)과 염화나트륨(NaCl)의 살포에 의해 염화물이 침투하는 경우이다.

다음은 콘크리트 제조시에 배합재료로부터 직접 콘크리트에 침투하는 경우, 특히 아직 굳지 않은 프레쉬 상태일 때 혼입하는 경우인데 이의 예로서는 ① 깨끗이 세척하지 않은 바다모래의 사용, ② 경화 촉진제로서 염화칼슘($CaCl_2$)의 사용, ③ 염화칼슘($CaCl_2$)을 주체로 한 조강형 AE제의 사용, ④ 혼화수로서 해수의 사용 등을 들 수 있다. 이 중 미세정 바다모래에 의한 염분(염화나트륨(NaCl)을 주로 함유한 것)의 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「경화 콘크리트 중에 함유된 50℃의 온수에 녹는 염화물」이라 정의하여 측정방법을 정하고 있다.

전 염화물량과 가용성 염화물량과의 차이는 시멘트 수화물에 고정되어 있는 염화물로써 판정되어진다.

강재 위치에 대한 염화물 이온의 강재 부식발생 한계농도는 콘크리트 단위용적당 양으로서 0.3~1.2kg/m^3 정도이고 이 값은 구조물의 설치 환경조건이나 강재부식 허용량 등의 조건에

따라서 다르다. 예를 들면, 미리 염화물을 혼입한 공시체에 의한 촉진시험 등에서는 0.3~0.6kg/m³ 정도이고 실제 환경의 노출실험에서는 1.2~2.4kg/m³ 정도로 되어 있다. 촉진시험과 실제 환경에서 얻어지는 한계농도의 차이는 시험 공시체와 실제 구조물의 덮개나 물-시멘트비의 차이 그리고 촉진시험시 설정되는 고온환경 등 온도의 영향이라고 생각된다.

안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010.12) 및 콘크리트 표준시방서 내구성조사편에서는 경화콘크리트의 경우 전염화물 기준으로 실제 환경의 노출실험 결과 하한치인 1.2kg/m³ 을 강재 부식발생 한계농도로서 정하고 있다. 비록, 부식환경에 따른 전염화물량이 1.2kg/m³ 를 넘더라도 부식이 발생하지 않을 가능성이 있지만 잠재적으로 부식 가능성이 높을 것으로 평가되므로 부식방지를 위한 조치가 검토되어야 할 것이다.

2) 평가기준

① 국내 콘크리트 표준시방서 기준

굳지않은 콘크리트의 경우는 철근의 부식을 방지하기 위하여 0.3kg/㎥이하로 규정하며, 책임기술자의 승인이 있는 경우 0.6kg/㎥까지 허용

② 콘크리트구조기준(2012)

【표 3-87】 염화물 평가기준(콘크리트구조기준, 2012)

부재의 종류	최대 수용성 염소이온(Cl^-), 시멘트의 중량에 대한 비(%)
프리스트레스트 콘크리트	0.06
염화물에 노출된 철근콘크리트	0.15
건조상태 또는 습기로부터 차단된 철근콘크리트	1.00
기타 철근콘크리트	0.30

③ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12)

【표 3-88】 염화물 상태평가 기준(안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 2010.12)

기 준	전염화물 이온량(kg/m³)	철근부식의 가능성
a	• 염화물 ≤ 0.3kg/m³	• 염화물에 의한 부식이 발생할 우려 없음
b	• 0.3kg/m³ < 염화물 < 1.2kg/m³	• 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음
c	• 1.2kg/m³ ≤ 염화물 < 2.5kg/m³	• 향후 염화물에 의한 부식발생 가능성 높음
d	• 염화물 ≥ 2.5kg/m³	• 철근 부식발생
e	-	-

바. 균열깊이 측정

1) 개 요

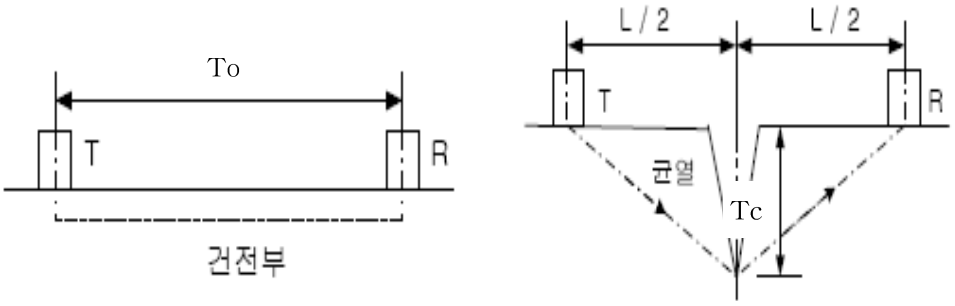
본 시험은 콘크리트에 발생된 균열 부위에서 건전부와 균열부의 측정된 초음파 전달시간의 차이를 이용하여 균열깊이를 평가하여 부재의 관통균열 여부 확인 및 철근의 부식조건 등에 대해 평가한다.

2) 시험방법

콘크리트 표면의 균열깊이는 일반적으로 Tc-To법으로 구한다. 이 방법은 종파용 발·수신자를 균열 개구부를 중심으로 등간격 L/2(=X)로 설치하여 균열선단부를 회절한 초음파의 전파시간 Tc를 구한다. 또한 부근의 균열이 없는 부분에서 발·수진자를 동일한 거리 L(=2X)만큼 떨어진 곳에 설치하여 전파시간 To를 구한다. 측정된 Tc-To로 부터 다음과 같은 식을 적용하여 균열의 깊이를 구한다. 본 시험에서는 X=10cm를 적용하였다.

$$C = \frac{L}{2}\sqrt{\frac{(T_C^2)}{(T_O^2)} - 1}$$

위 식은 균열면이 콘크리트의 표면과 직각으로 발생되어 있으며, 균열주위의 콘크리트는 어느 정도 균질한 것이라고 가정하여 유도한 것이다.

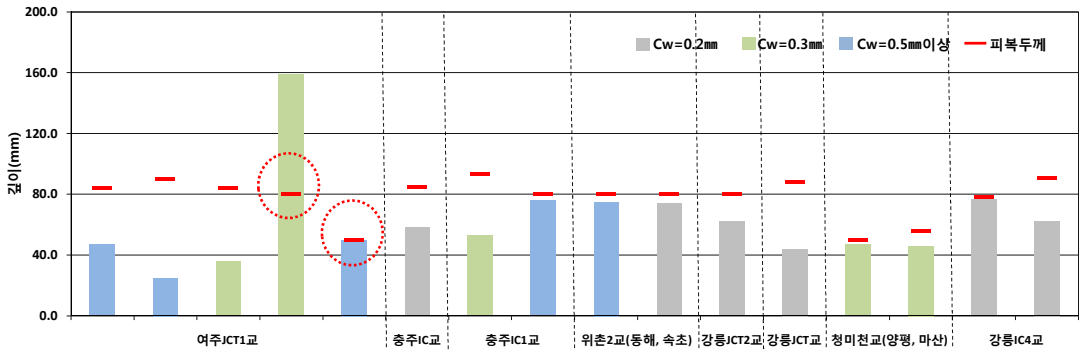


【그림 3-25】 Tc - To법에 의한 균열깊이 측정방법

3) 금회 정밀안전진단 여주JCT1교 등 14개소 균열 깊이 패턴 분석

금회 정밀안전진단 시 조사된 균열 중「시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토해양부-2010.12)」에 따라 초음파속도를 통한 균열깊이를 측정하였다. 균열깊이를 통한 균열의 관통 및 철근까지 도달 여부를 파악하는데 목적이 있으나 초음파 속도에 의한 균열 깊이 값이 철근, 균열 불연속성, 공극 등에 의해 오차가 발생된다. 따라서 금회 진행된 교량에 대해 균열깊이의 패턴을 분석하였고 그 결과를 아래와 같이 나타내었다.

교량명	측정 방법	시험위치		손상 크기 (㎜/m)	초음파전달시간		피복 두께 (㎜)	균열 깊이 (㎜)	비고
		위치	세부 위치		To	Tc			
여주JCT1교	초음파	A1 흉벽부	우측	0.5/1.5	60.3	71.3	84.0	47.0	보수
	건 코어	A1 흉벽부	우측	0.5/1.5	–	–	90.0	25.0	보수
	초음파	A1 흉벽부	우측	0.3/1.0	67.3	74.8	84.0	36.0	보수
		A1 흉벽부	좌측	0.3/2.0	43.3	101.6	80.0	159.0	보수
	건 코어	P2 코핑부	하면	1.5/4.0	–	–	50.0	50.0	보수
충주IC교	초음파	P2 기둥부	배면	0.2/1.7	42.4	53.5	85.0	58.0	–
충주IC1교	초음파	A1 전면부	우측	0.3/0.7	48.2	59.2	93.0	53.0	보수
		A2 흉벽부	우측	1.0/2.2	44.8	63.8	80.0	76.0	보수
위촌2교(동해)	초음파	A1 흉벽부	–	1.0/1.5	51.8	73.3	80.0	75.0	–
위촌2교(속초)	초음파	A1 흉벽부	–	0.2/1.5	51.3	72	80.0	74.0	–
강릉JCT2교	초음파	A2 전면부	–	0.2/0.7	54.8	71.3	80.0	62.0	–
강릉JCT교	초음파	P1 기둥부	후면	0.2/7.5	40.8	47.2	88.0	44.0	–
청미천교(양평)	초음파	A2 흉벽부	–	0.3/2.8	30.6	36.1	50.0	47.0	–
청미천교(마산)	초음파	P8 기둥부	–	0.3/2.0	51.5	60.3	56.0	46.0	보수
강릉IC4교	초음파	P2 기둥부	–	0.2/1.6	28.5	40.8	78.0	76.8	–
		A2 흉벽부	–	0.2/1.3	38.5	50.1	91.0	62.5	–



【그림 3-26】 여주JCT1교 등 14개소 균열깊이 측정 결과

4) 여주JCT1교 등 14개소에 대한 균열 깊이 측정은 총 16개소를 실시하였으며, 각 교량마다 대표적인 균열에 대해 실시하였다. 균열 깊이의 패턴을 검토한 결과 철근피복두께까지 진행된 균열은 2개소, 철근까지 도달하지 않은 균열은 14개소로 분석되었고, 균열 중 철근까지 도달한 균열 및 일부 0.3㎜이상의 균열 보수가 완료되었다. 철근까지 도달하지 않은 균열 중 0.3㎜이상의 균열은 주입보수를 실시하고, 0.2㎜이하의 균열은 부재별로 표면처리보수 및 지속관찰로 방안을 제시하였으며, 균열 폭이 0.5㎜이상의 균열은 충전공법을 실시하여 구조물의 내구성을 확보하여야한다.

3.4.3 시험결과 및 분석(내서방향)

가. 콘크리트 비파괴 강도시험 결과

반발경도법은 콘크리트 표면을 슈미트 햄머(Schmidt Hammer)로 타격하여 얻은 측정경도값으로부터 콘크리트의 압축강도를 추정하는 시험방법으로 슈미트 햄머의 반발경도값(R)과 콘크리트 강도 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다. 일반적으로 타격시 반발경도는 타격에너지, 피 타격체의 형상 및 크기, 재료의 물리적 특성과 관계되는 물리량에 따라 다르다. 특히 콘크리트와 같은 불균질한 재료에서는 슈미트 햄머로 표면을 국부적으로 타격하는 경우 반발도는 타격면에 존재하는 골재의 유무, 습윤상태, 콘크리트의 재령 등에 따라 차이가 난다. 따라서 강도 추정의 유일한 방법을 사용할 경우에는 문제가 있으나, 사용이 간편하고 짧은 시간에 강도추정이 가능하다는 우수한 사용성과 콘크리트 구조물 전체에 대한 강도 추정이 가능하다는 점에서 유효한 시험법이라 할 수 있다.

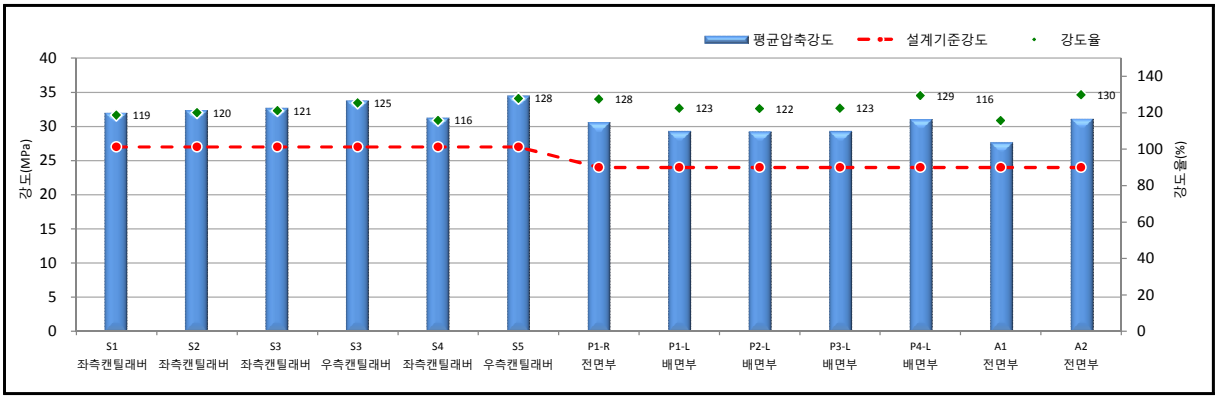
반발경도 측정은 콘크리트 표면의 요철, 부착물, 분말 등을 그라인딩으로 제거하고 실시하였으며 표면에 곰보, 공극, 노출된 자갈 등이 있는 부위들은 측정위치에서 제외했다. 또한, 반발경도 값은 각 측정부재에 따라 타격방향, 표면의 건습상태, 재령 등에 의한 보정을 한 후 콘크리트 강도를 추정하였으며, 반발경도에 의한 압축강도 추정은 일본재료학회와 일본 건축학회 CDNT 소위원회 강도 계산식을 사용하여 압축강도를 산출하였다.

본 과업에서의 반발경도법 시험은 상부 6개소, 하부 7개소 총 13개소에서 수행하였다.

1) 측정결과

【표 3-89】 내서방향 - 콘크리트 비파괴 강도시험 결과

시험위치		반발경도 (R_o)	반발경도법 측정강도(MPa)			설계기준강도 (MPa)	강도비(%) (평균강도/설계기준강도)
			일본 건축학회	일본 재료학회	평균 강도		
상부 구조	S1 좌측캔틸래버	55.4	31.1	33.0	32.1	27.0	119
	S2 좌측캔틸래버	55.9	31.4	33.4	32.4	27.0	120
	S3 좌측캔틸래버	56.4	31.6	33.8	32.7	27.0	121
	S3 우측캔틸래버	58.3	32.4	35.3	33.9	27.0	125
	S4 좌측캔틸래버	54.1	30.6	31.9	31.3	27.0	116
	S5 우측캔틸래버	59.3	32.9	36.1	34.5	27.0	128
하부 구조	P1-R 전면부	53.0	30.1	31.1	30.6	24.0	128
	P1-L 배면부	51.2	29.2	29.6	29.4	24.0	123
	P2-L 배면부	51.1	29.2	29.5	29.4	24.0	122
	P3-L 배면부	51.2	29.2	29.6	29.4	24.0	123
	P4-L 배면부	53.8	30.4	31.7	31.1	24.0	129
	A1 전면부	48.5	28.0	27.5	27.8	24.0	116
	A2 전면부	53.9	30.5	31.8	31.2	24.0	130



【그림 3-27】 내서방향 - 측정강도와 설계기준강도 비교

2) 기진단 결과와 비교

【표 3-90】 내서방향 - 기진단 결과와 비교

구 분	2012년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단 (2016년)
상부구조	29.0~32.0MPa	31.3~34.5MPa
하부구조	27.0~30.0MPa	27.8~31.2MPa

3) 측정결과 분석

본 교량의 콘크리트 반발경도시험은 총 13개소(상부구조 6개소, 하부구조 7개소)에서 실시하였으며 검토결과, 상부구조는 31.3~34.5㎫로 설계기준강도(27㎫)의 116~128%, 하부구조는 27.8~31.2㎫로 설계기준강도(24㎫)의 116~130%로 나타나 허용기준치(JICE, 설계기준강도의 90% 이상)를 만족하는 양호한 상태로 조사되었다.

기 진단 결과와 비교하여 분석한 결과, 금회 진단 시 반발경도 추정강도가 기 진단에 비하여 다소 크게 분석되었다. 이는 시험 위치 및 시험장비가 상이하여 측정 결과 값이 다소 차이가 나타난 것으로 분석되나, 모든 개소에서 설계기준 강도를 상회하는 양호한 상태로 문제가 없는 것으로 판단된다.

나. 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 배근간격이 설계도서와 다를 경우 구조물의 안전성에 직접적인 영향을 미치므로 내하력 저하의 원인이 된다. 철근탐사는 RC-Radar를 이용하여 수행하였으며, 현장에서 조사된 철근의 배근간격과 피복두께 탐사결과는 부재별 시공상태의 평가, 구조해석을 위한 단면특성 파악 및 내구수명 도출에 적용하였다. 본 과업에서의 철근탐사

시험은 반발경도법 및 초음파 전달속도 시험을 실시한 동일 위치에서 상부 6개소 하부 7개소 총 13개소에서 수행하였다.

1) 측정결과

【표 3-91】 내서방향 - 철근탐사 결과

시험위치		배근종류	설계값(㎜)		실측값(㎜)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
상부 구조	S 1좌측캔틸래버	수직철근	100	50	107	62	
		수평철근	150	34	160	51	
	S2 좌측캔틸래버	수직철근	200	50	200	61	
		수평철근	250	34	261	43	
	S3 좌측캔틸래버	수직철근	300	50	272	58	
		수평철근	250	34	233	43	
	S3 우측캔틸래버	수직철근	300	50	288	67	
		수평철근	250	34	256	41	
	S4 좌측캔틸래버	수직철근	100	50	96.3	71	
		수평철근	250	34	244	39	
	S5 우측캔틸래버	수직철근	100	50	97.5	70	
		수평철근	143	34	125	45	
하부 구조	P1-R 전면부	수직철근	150	100	150	100	
		수평철근	300	81	295	124	
	P1-L 배면부	수직철근	225	100	207	103	
		수평철근	250	78	252	87	
	P2-L 배면부	수직철근	225	100	228	103	
		수평철근	125	78	123	75	
	P3-L 배면부	수직철근	225	100	251	175	
		수평철근	125	78	140	88	
	P4-L 배면부	수직철근	225	100	235	105	
		수평철근	125	78	125	76	
	A1 전면부	수직철근	200	100	196	102	
		수평철근	150	78	147	80	
	A2 전면부	수직철근	200	100	203	101	
		수평철근	150	78	156	81	

2) 측정결과 분석

철근탐사시험 결과 철근의 배근 간격 및 피복두께는 설계도면과 유사한 것으로 조사되었으

나, 일부 부재에서 피복두께가 설계 값과 미소하게 차이가 나는 것으로 분석되었다. 이는 콘크리트 타설시 철근의 유동 등에 의한 것으로 판단되며, 준공 이후 공용기간 동안 피복두께로 인한 손상이 없는 점으로 보아, 콘크리트 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

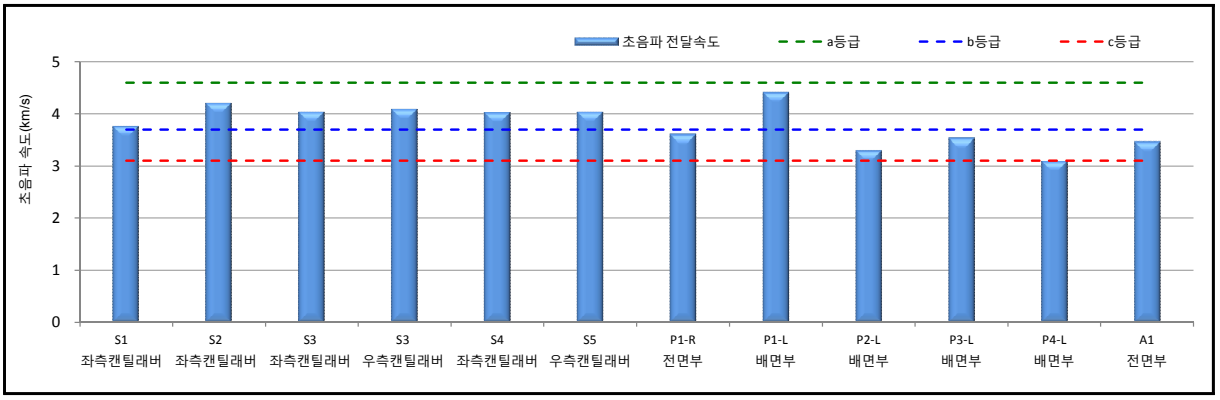
다. 콘크리트 품질시험

초음파 전달속도 시험은 반발경도시험을 수행한 동일부위를 선정하여 그라인딩을 실시하고 그리스 도포를 한 후, 발신자와 수신자의 측정거리를 10cm간격으로 증가시키면서 표면 법에 의한 초음파 전달속도를 측정하였으며, 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010.12)-초음파 전달속도의 관계」를 통해 보정계수를 적용하여 직접법 속도로 환산하였다. 본 과업에서 대상 구조물의 콘크리트 품질평가를 위하여 초음파 속도법의 시험 결과를 나타내었으며, 초음파 전달속도 시험은 반발 경도법 시험을 실시한 동일 위치에서 상부 6개소 하부 7개소 총 13개소에서 수행하였다.

1) 측정결과

【표 3-92】 내서방향 - 보정계수를 적용한 초음파 속도

시험위치		초음파 전달속도(km/sec)			상태등급
		표면법	보정계수	직접법	
상부 구조	S1 좌측캔틸래버	3.590	1.05	3.770	b
	S2 좌측캔틸래버	4.021		4.222	b
	S3 좌측캔틸래버	3.857		4.050	b
	S3 우측캔틸래버	3.907		4.102	b
	S4 좌측캔틸래버	3.846		4.038	b
	S5 우측캔틸래버	3.858		4.051	b
하부 구조	P1-R 전면부	3.442		3.614	c
	P1-L 배면부	4.218		4.429	b
	P2-L 배면부	3.155		3.313	c
	P3-L 배면부	3.373		3.542	c
	P4-L 배면부	2.957		3.105	c
	A1 전면부	3.314		3.480	c
	A2 전면부	3.201		3.361	c



【그림 3-28】 내서방향 - 초음파 전달속도를 이용한 콘크리트 품질측정

2) 측정결과 분석

초음파 전단속도시험에 의한 콘크리트 품질평가 결과 초음파 속도 범위는 상부구조 3.770~4.222km/s,로, 전 개소에서 품질상태가 양호한 “b” 등급으로 분석되었으며, 하부구조 3.105~4.429km/s로 초음파 속도 등급분포는 “b” 등급이 1개소 “c” 등급이 6개소로 분석되어 대부분 개소의 주기적인 관찰이 필요할 것으로 판단된다.

라. 탄산화깊이 측정

구조물의 탄산화 진행 정도는 드릴링에 의해 발생되는 콘크리트 가루가 페놀프탈레인용액을 적신 시험지에 떨어져 변색되는 시점의 깊이를 측정하였다. 지시약을 분무하면 알카리성 콘크리트 탄산화가 진행된 면에서는 색의 변화가 나타나지 않고 그 변화가 없는 정도를 곧 탄산화 진행 깊이로 판단하게 된다. 본 과업에서의 탄산화 깊이 측정은 상부 5개소 하부 6개소 총 11개소에서 수행하였다.

1) 측정결과

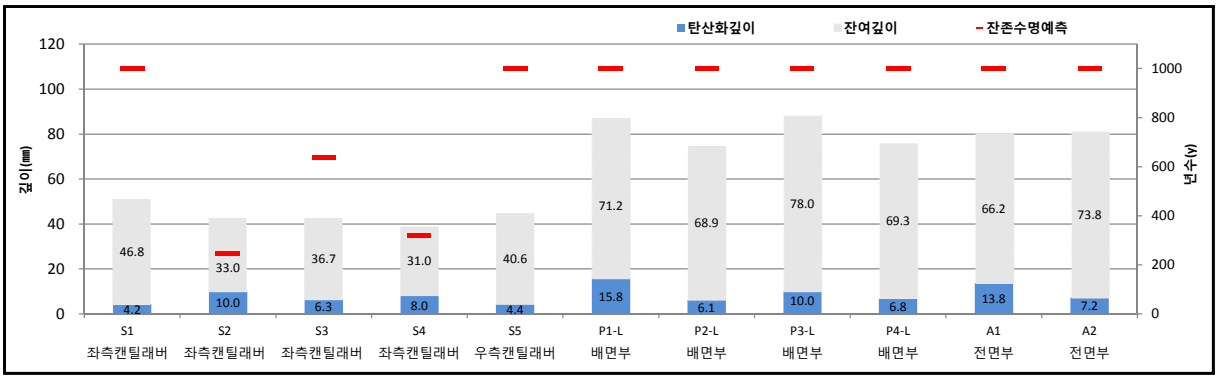
【표 3-93】 내서방향 – 탄산화 깊이 측정결과 및 평가

시험위치		실측 피복두께 (㎜)	탄산화 깊이 (㎜)	탄산화 잔여깊이 (㎜)	탄산화 속도계수 (A)	상태 평가	잔존수명
상부 구조	S1 좌측캔틸래버	51	4.2	46.8	1.12	a	100년 이상
	S2 좌측캔틸래버	43	10.0	33.0	2.67	a	100년 이상
	S3 좌측캔틸래버	43	6.3	36.7	1.68	a	100년 이상
	S4 좌측캔틸래버	39	8.0	31.0	2.14	a	100년 이상
	S5 우측캔틸래버	45	4.4	40.6	1.18	a	100년 이상

【표 3-93】 내서방향 - 탄산화 깊이 측정결과 및 평가(계속)

시험위치		실측 피복두께 (㎜)	탄산화 깊이 (㎜)	탄산화 잔여깊이 (㎜)	탄산화 속도계수 (A)	상태 평가	잔존수명
하부 구조	P1-L 배면부	87	15.8	71.2	4.22	a	100년 이상
	P2-L 배면부	75	6.1	68.9	1.63	a	100년 이상
	P3-L 배면부	88	10.0	78.0	2.67	a	100년 이상
	P4-L 배면부	76	6.8	69.3	1.80	a	100년 이상
	A1 전면부	80	13.8	66.2	3.69	a	100년 이상
	A2 전면부	81	7.2	73.8	1.92	a	100년 이상

주) 용전2교(내서) 재령 : 14년으로 산정
주) 탄산화 속도계수(A) = 탄산화깊이 / $\sqrt{재령(년)}$
주) 수명예측(년) = (철근피복 / 탄산화속도계수)^2
주) 잔여년수 = 수명예측년수 - 구조물 경과년수
주) 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12)참조
주) 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 (국토교통부, 한국시설안전공단, 2010.12)참조



【그림 3-29】 내서방향 - 탄산화 깊이 측정결과

2) 기점검 결과와 비교

【표 3-94】 내서방향 - 기점검 결과와 비교(탄산화 깊이 측정 결과, 단위 : ㎜)

구 분	2012년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단 (2016년)
상부구조	1.0~8.0㎜	4.2~10.0㎜
하부구조	2.0~6.5㎜	6.1~15.8㎜

기 진단 결과와 비교하여 분석한 결과, 하부구조의 탄산화가 다소 진행된 것으로 나타났다. 그 원인은 1) A1 신축이음 하부 유도배수관 고무재 파손으로 인한 우수 및 제설제 침투, 2) 교각부 탄산화 측정위치가 상이(기진단: 코핑부, 금회: 기둥하부), 3) 구조물이 외부에 직접적으로 노출되어 있어 온도·습도 등 다양한 환경으로부터 높은 영향을 받게 되어 탄산화가 다소 진행된 것으로 분석된다.

3) 측정결과 분석

탄산화 깊이 측정은 상부구조 5개소, 하부구조 6개소에서 실시하였으며, 측정위치에서 철근의 피복두께 측정을 실시하였다.

측정 결과, 탄산화 깊이가 상부구조에서 4.2~10.0㎜, 하부구조에서 6.1~15.8㎜로 나타나 측정위치에서의 철근피복두께를 고려할 때, “a” 로 평가되어 탄산화에 의한 철근의 부식 발생 우려는 없는 것으로 분석되었으며, 전 구간에서 탄산화가 철근에 도달하는 최소시간인 계산 내구수명에서도 100년 이상으로 나타나 전 구간에서 탄산화에 의한 철근부식영향 및 콘크리트 내구성 저하의 영향은 작을 것으로 판단된다.

모든 개소에서 철근부식에 영향이 없는 양호한 상태며, 중성화는 급속한 속도로 증대하는 경우는 거의 없으므로 문제가 없는 것으로 판단된다.

마. 염화물함유량 시험

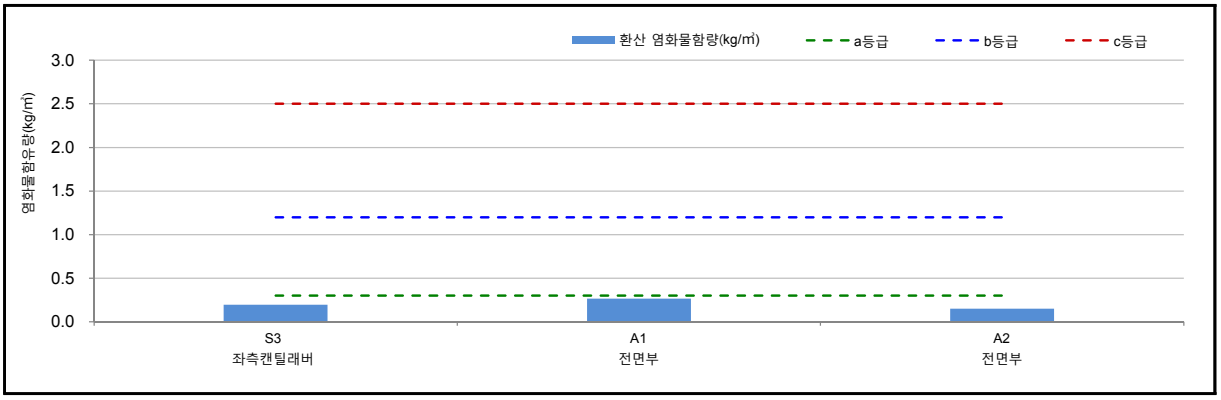
구조물에 염화물이 침투하게 되면 철근주위의 산소차단 역할을 하는 부동태막이 파손되고, 강재표면이 활성화되면 철근의 부식이 일어날 수 있으므로 철근콘크리트 구조물의 염해에 대한 평가는 매우 중요하다. 본 과업에서의 염화물 함유량시험은 상부 1개소 하부 2개소 총 3개소에서 수행하였다.

1) 시험결과

【표 3-95】 내서방향 - 염화물 함유량 시험결과

시험위치			실측 피복두께 (㎜)	전염화물 함유량 (%)	환산 염화물 함유량 (kg/㎥)	결과
상부 구조	S3 좌측캔틸래버	20~40㎜	43	0.0086	0.195	a
하부 구조	A1 전면부	20~40㎜	80	0.0117	0.265	a
	A2 전면부	20~40㎜	81	0.0066	0.150	a

주) 콘크리트 중의 환산 염화물 산출시 콘크리트의 단위중량은 2,263kg/㎥을 적용(KS F 2714)
철근부식 방지를 위한 최대 수용성 염소이온 비율(기타철근콘크리트) 0.3%을 적용



【그림 3-30】 내서방향 - 염화물 함유량 시험결과

2) 기점검 결과와 비교

【표 3-96】 내서방향 – 기점검 결과와 비교(염화물 함유량, 단위 : kg/㎥)

구 분	2012년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단 (2016년)
상부구조	0.043	0.195
하부구조	0.054~0.145	0.150~0.265

3) 시험결과 분석

염화물함유량 시험은 상부 1개소, 하부 2개소에서 측정을 실시하였으며, 콘크리트 분말을 채취하여 전염화물 이온함유량을 조사하였다. 그 결과 모든 개소에서 0.150 ~ 0.265kg/㎥로 나타나, 염화물에 의한 철근부식이 발생할 가능성이 없는 “a” 로 나타났다.

기 진단 결과와 비교 분석한 결과, 염화물 함유량이 증가한 것으로 나타났다. 이는 동절기 제설제 살포시 제설제잔여물이 교면포장의 균열을 통해 바닥판으로 침투하거나, 시간이 경과함에 따라 차로에서 도로 가장자리로 흩어진 제설제 분말이 흘러 내려 하부구조에 영향을 주어 기 진단에 비해 다소 높은 염화물 함유량을 보인 것으로 분석되나, 철근의 부식 가능성은 없는 “a” 등급(안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 참조)으로 판정되어 양호한 것으로 판단된다.

3.4.4 시험결과 및 분석(여주방향)

가. 콘크리트 비파괴 강도시험 결과

반발경도법은 콘크리트 표면을 슈미트 햄머(Schmidt Hammer)로 타격하여 얻은 측정경도값으로부터 콘크리트의 압축강도를 추정하는 시험방법으로 슈미트 햄머의 반발경도값(R)과 콘크리트 강도 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다. 일반적으로 타격시 반발경도는 타격에너지, 피 타격체의 형상 및 크기, 재료의 물리적 특성과 관계되는 물리량에 따라 다르다. 특히 콘크리트와 같은 불균질한 재료에서는 슈미트 햄머로 표면을 국부적으로 타격하는 경우 반발도는 타격면에 존재하는 골재의 유무, 습윤상태, 콘크리트의 재령 등에 따라 차이가 난다. 따라서 강도 추정의 유일한 방법을 사용할 경우에는 문제가 있으나, 사용이 간편하고 짧은 시간에 강도추정이 가능하다는 우수한 사용성과 콘크리트 구조물 전체에 대한 강도 추정이 가능하다는 점에서 유효한 시험법이라 할 수 있다.

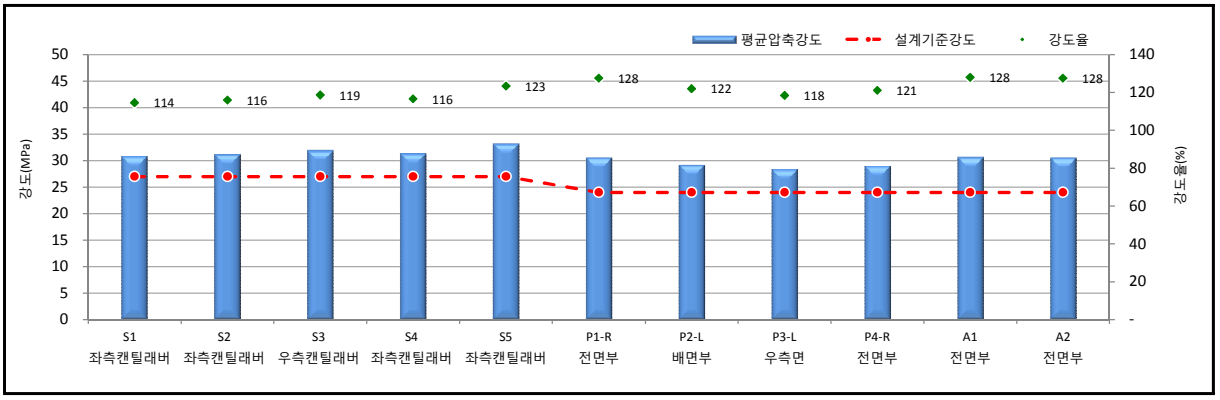
반발경도 측정은 콘크리트 표면의 요철, 부착물, 분말 등을 그라인딩으로 제거하고 실시하였으며 표면에 곰보, 공극, 노출된 자갈 등이 있는 부위들은 측정위치에서 제외했다. 또한, 반발경도 값은 각 측정부재에 따라 타격방향, 표면의 건습상태, 재령 등에 의한 보정을 한 후 콘크리트 강도를 추정하였으며, 반발경도에 의한 압축강도 추정은 일본재료학회와 일본 건축학회 CDNT 소위원회 강도 계산식을 사용하여 압축강도를 산출하였다.

본 과업에서의 반발경도법 시험은 상부 6개소, 하부 7개소 총 13개소에서 수행하였다.

1) 측정결과

【표 3-97】 여주방향 - 콘크리트 비파괴 강도시험 결과

시험위치		반발경도 (R_o)	반발경도법 측정강도(MPa)			설계기준강도 (MPa)	강도비(%) (평균강도/설계기준강도)
			일본 건축학회	일본 재료학회	평균 강도		
상부 구조	S1 좌측캔틸래버	53.6	30.3	31.5	30.9	27	114
	S2 좌측캔틸래버	54.2	30.6	32.0	31.3	27	116
	S3 우측캔틸래버	55.3	31.1	32.9	32.0	27	119
	S4 좌측캔틸래버	54.4	30.7	32.2	31.5	27	116
	S5 좌측캔틸래버	57.4	32.0	34.6	33.3	27	123
하부 구조	P1-R 전면부	53.0	30.1	31.1	30.6	24	128
	P2-L 배면부	50.9	29.1	29.4	29.3	24	122
	P3-L 우측면	49.5	28.5	28.3	28.4	24	118
	P4-R 전면부	50.6	29.0	29.1	29.1	24	121
	A1 전면부	53.2	30.2	31.2	30.7	24	128
	A2 전면부	53.1	30.1	31.1	30.6	24	128



【그림 3-31】 여주방향 - 측정강도와 설계기준강도 비교

2) 기점검 결과와 비교

【표 3-98】 여주방향 - 기점검 결과와 비교

구 분	2012년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단 (2016년)
상부구조	29.0~31.5㎫	30.9~33.3㎫
하부구조	25.0~29.0㎫	28.4~30.7㎫

3) 측정결과 분석

본 교량의 콘크리트 반발경도시험은 총 11개소(상부구조 5개소, 하부구조 6개소)에서 실시하였으며 검토결과, 상부구조는 30.9~33.3㎫로 설계기준강도(27㎫)의 114~123%, 하부구조는 28.4~30.7㎫로 설계기준강도(24㎫)의 118~128%로 나타나 허용기준치(JICE, 설계기준강도의 90% 이상)를 만족하는 양호한 상태로 조사되었다.

기 진단 결과와 비교하여 분석한 결과, 금회 진단 시 반발경도 추정강도가 기 진단에 비하여 다소 크게 분석되었다. 이는 시험 위치 및 시험장비가 상이하여 측정 결과 값이 다소 차이가 나타난 것으로 분석되나, 모든 개소에서 설계기준 강도를 상회하는 양호한 상태로 문제가 없는 것으로 판단된다.

나. 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 배근간격이 설계도서와 다를 경우 구조물의 안전성에 직접적인 영향을 미치므로 내하력 저하의 원인이 된다. 철근탐사는 RC-Radar를 이용하여 수행하였으며, 현장에서 조사된 철근의 배근간격과 피복두께 탐사결과는 부재별 시공상태의 평가, 구조해석을 위한 단면특성 파악 및 내구수명 도출에 적용하였다. 본 과업에서의 철근탐사

시험은 반발경도법 및 초음파 전달속도 시험을 실시한 동일 위치에서 상부 5개소 하부 5개소 총 10개소에서 수행하였다.

1) 측정결과

【표 3-99】 여주방향 - 철근탐사 결과

시험위치		배근종류	설계값(㎜)		실측값(㎜)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
상부 구조	S1 좌측캔틸래버	수직철근	300	50	304	72	
		수평철근	250	34	248	43	
	S2 좌측캔틸래버	수직철근	300	50	304	62	
		수평철근	250	34	247	50	
	S3 좌측캔틸래버	수직철근	300	50	301	66	
		수평철근	250	34	246	53	
	S3 우측캔틸래버	수직철근	300	50	306	68	
		수평철근	250	34	251	41	
	S4 좌측캔틸래버	수직철근	300	50	322	77	
		수평철근	250	34	246	55	
하부 구조	P1-L 배면부	수직철근	225	100	214	122	
		수평철근	250	78	259	79	
	P2-L 배면부	수직철근	225	100	214	102	
		수평철근	250	78	250	85	
	P3-L 배면부	수직철근	225	100	235	103	
		수평철근	250	78	242	69	
	A1 전면부	수직철근	200	100	199	102	
		수평철근	150	78	146	84	
	A2 전면부	수직철근	200	100	188	103	
		수평철근	150	78	143	82	

2) 측정결과 분석

철근탐사시험 결과 철근의 배근 간격 및 피복두께는 설계도면과 유사한 것으로 조사되었으나, 일부 부재에서 피복두께가 설계 값과 미소하게 차이가 나는 것으로 분석되었다. 이는 콘크리트 타설시 철근의 유동 등에 의한 것으로 판단되며, 준공 이후 공용기간 동안 피복두께로 인한 손상이 없는 점으로 보아, 콘크리트 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

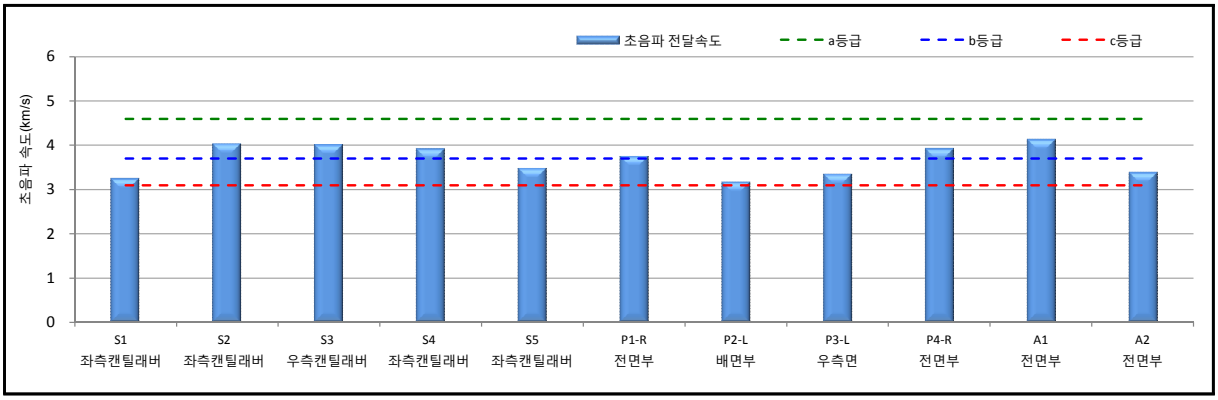
다. 콘크리트 품질시험

초음파 전달속도 시험은 반발경도시험을 수행한 동일부위를 선정하여 그라인딩을 실시하고 그리스 도포를 한 후, 발신자와 수신자의 측정거리를 10cm간격으로 증가시키면서 표면 법에 의한 초음파 전달속도를 측정하였으며, 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010.12)-초음파 전달속도의 관계」를 통해 보정계수를 적용하여 직접법 속도로 환산하였다. 본 과업에서 대상 구조물의 콘크리트 품질평가를 위하여 초음파 속도법의 시험 결과를 나타내었으며, 초음파 전달속도 시험은 반발 경도법 시험을 실시한 동일 위치에서 상부 6개소 하부 7개소 총 13개소에서 수행하였다.

1) 측정결과

【표 3-100】여주방향 - 보정계수를 적용한 초음파 속도

시험위치		초음파 전달속도(km/sec)			상태등급
		표면법	보정계수	직접법	
상부 구조	S1 좌측캔틸래버	3.102	1.05	3.257	c
	S2 좌측캔틸래버	3.866		4.059	b
	S3 우측캔틸래버	3.847		4.039	b
	S4 좌측캔틸래버	3.752		3.940	b
	S5 좌측캔틸래버	3.330		3.497	c
하부 구조	P1-R 전면부	3.592		3.772	b
	P2-L 배면부	3.029		3.180	c
	P3-L 우측면	3.204		3.364	c
	P4-R 전면부	3.755		3.943	b
	A1 전면부	3.958		4.156	b
	A2 전면부	3.239		3.401	c



【그림 3-32】여주방향 - 초음파 전달속도를 이용한 콘크리트 품질측정

2) 측정결과 분석

초음파 전단속도시험에 의한 콘크리트 품질평가 결과 초음파 속도 범위는 상부구조 3.257~4.059m/s, 하부구조 3.180~4.156km/s로 분석되었다. 초음파 속도 등급분포는 정기적인 곤찰이 필요하며 품질상태가 양호한 “b” 등급이 6개소, 검사를 요하며 주기적인 관찰이 필요한 “c” 등급이 5개소 조사되었으며, 몇 개소에서 콘크리트 주기적인 관찰이 필요한것으로 판단된다.

라. 탄산화깊이 측정

구조물의 탄산화 진행 정도는 드릴링에 의해 발생되는 콘크리트 가루가 페놀프탈레인용액을 적신 시험지에 떨어져 변색되는 시점의 깊이를 측정하였다. 지시약을 분무하면 알카리성 콘크리트 탄산화가 진행된 면에서는 색의 변화가 나타나지 않고 그 변화가 없는 정도를 곧 탄산화 진행 깊이로 판단하게 된다. 본 과업에서의 탄산화 깊이 측정은 상부 5개소 하부 6개소 총 11개소에서 수행하였다.

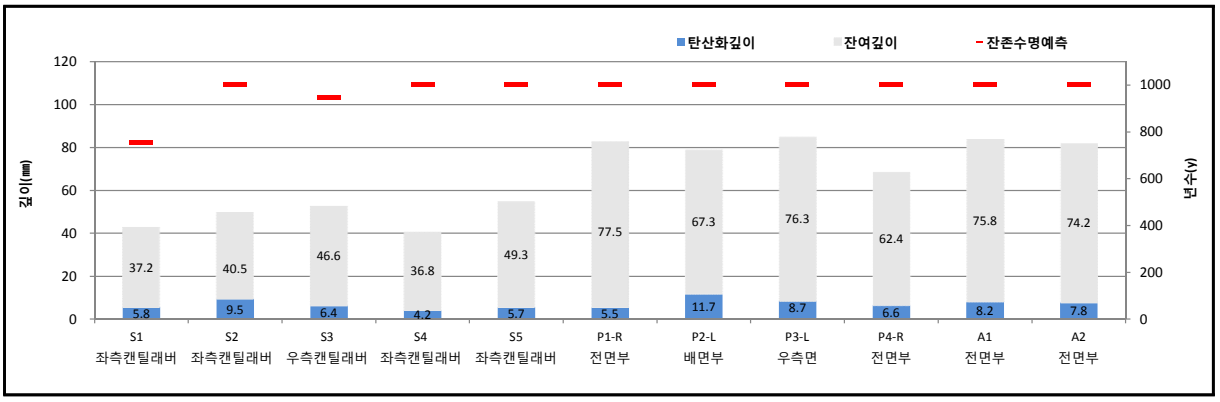
1) 측정결과

【표 3-101】 여주방향 - 탄산화 깊이 측정결과 및 평가

시험위치		실측 피복두께 (㎜)	탄산화 깊이 (㎜)	탄산화 잔여깊이 (㎜)	탄산화 속도계수 (A)	상태 평가	잔존수명
상부 구조	S1 좌측캔틸래버	43	5.8	37.2	1.55	a	100년 이상
	S2 좌측캔틸래버	50	9.5	40.5	2.54	a	100년 이상
	S3 좌측캔틸래버	53	6.4	46.6	1.71	a	100년 이상
	S4 좌측캔틸래버	41	4.2	31.8	2.46	a	100년 이상
	S5 우측캔틸래버	55	5.7	49.3	1.52	a	100년 이상
하부 구조	P1-R 전면부	83	5.5	77.5	1.47	a	100년 이상
	P2-L 배면부	79	11.7	67.3	3.13	a	100년 이상
	P3-L 우측면	85	8.7	76.3	2.33	a	100년 이상
	P4-R 전면부	69	6.6	62.4	1.76	a	100년 이상
	A1 전면부	84	8.2	75.8	2.19	a	100년 이상
	A2 전면부	82	7.8	74.2	2.08	a	100년 이상

주) 용전2교(여주) 재령 : 14년으로 산정
주) 탄산화 속도계수(A) = 탄산화깊이 / $\sqrt{\text{재령(년)}}$
주) 수명예측(년) = (철근피복 / 탄산화속도계수)^2
주) 잔여년수 = 수명예측년수 - 구조물 경과년수

주) 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12)참조
주) 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 (국토교통부, 한국시설안전공단, 2010.12)참조



【그림 3-33】 여주방향 - 탄산화 깊이 측정결과

2) 기점검 결과와 비교

【표 3-102】 여주방향 - 기점검 결과와 비교(탄산화 깊이 측정 결과, 단위 : ㎜)

구 분	2012년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단 (2016년)
상부구조	3.8~10.0㎜	4.2~9.5㎜
하부구조	1.3~11.0㎜	5.5~11.7㎜

3) 측정결과 분석

탄산화 깊이 측정은 상부구조 5개소, 하부구조 6개소에서 실시하였으며, 측정위치에서 철근의 피복두께 측정을 실시하였다.

측정 결과, 탄산화 깊이가 상부구조에서 4.2~9.5㎜, 하부구조에서 5.5~11.7㎜로 나타나 측정위치에서의 철근피복두께를 고려할 때, “a” 로 평가되어 탄산화에 의한 철근의 부식 발생 우려는 없는 것으로 분석되었으며, 전 구간에서 탄산화가 철근에 도달하는 최소시간인 계산 내구수명에서도 100년 이상으로 나타나 전 구간에서 탄산화에 의한 철근부식영향 및 콘크리트 내구성 저하의 영향은 작을 것으로 판단된다.

기 진단 결과와 비교하여 분석한 결과, 탄산화가 다소 진행된 것으로 나타났다. 이는 구조물이 외부에 직접적으로 노출되어 있어 온도·습도 등 다양한 환경으로부터 높은 영향을 받게되어 탄산화가 다소 진행된 것으로 분석된다.

모든 개소에서 철근부식에 영향이 없는 양호한 상태며, 중성화는 급속한 속도로 증대하는 경우는 거의 없으므로 장기적으로 문제가 없을 것으로 판단된다.

마. 염화물함유량 시험

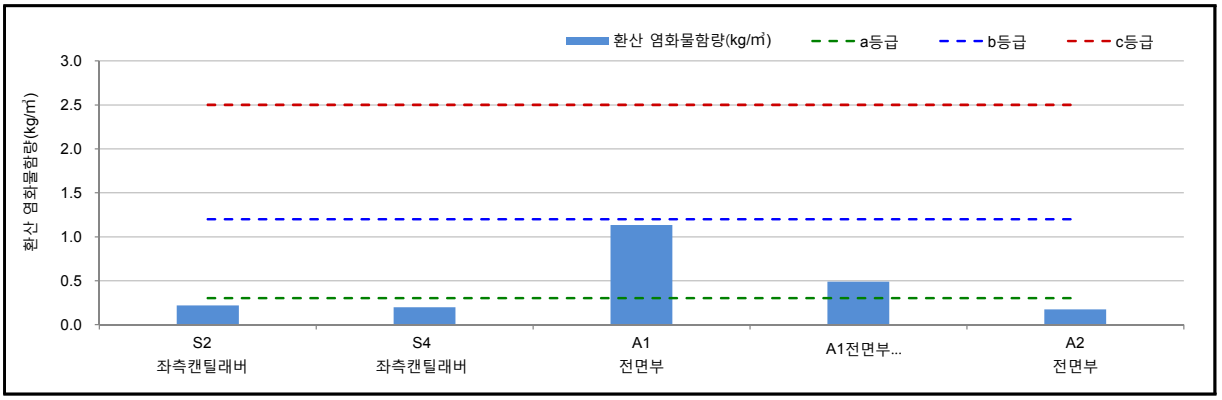
구조물에 염화물이 침투하게 되면 철근주위의 산소차단 역할을 하는 부동태막이 파손되고, 강재표면이 활성화되면 철근의 부식이 일어날 수 있으므로 철근콘크리트 구조물의 염해에 대한 평가는 매우 중요하다. 본 과업에서의 염화물 함유량시험은 상부 2개소 하부 2개소 총 4개소에서 수행하였다.

1) 시험결과

【표 3-103】여주방향 - 염화물 함유량 시험결과

시험위치			실측 피복두께 (㎜)	전염화물 함유량 (㎜)	환산 염화물 함유량 (kg/㎥)	결과
상부 구조	S2 좌측캔틸래버	20~40㎜	50	0.0098	0.221	a
	S4 좌측캔틸래버	20~40㎜	41	0.0088	0.200	a
하부 구조	A1 전면부	20~40㎜	84	0.0501	1.134	b
		40~60㎜	84	0.0216	0.490	b
	A2 전면부	20~40㎜	82	0.0077	0.174	a

주) 콘크리트 중의 환산 염화물 산출시 콘크리트의 단위중량은 2,263kg/㎥을 적용(KS F 2714)
철근부식 방지를 위한 최대 수용성 염소이온 비율(기타철근콘크리트) 0.3%을 적용



【그림 3-34】여주방향 - 염화물 함유량 시험결과

2) 기점검 결과와 비교

【표 3-104】여주방향 - 기점검 결과와 비교(염화물 함유량, 단위 : kg/㎥)

구 분	2012년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단 (2016년)
상부구조	0.036	0.200~0.221
하부구조	0.038~0.084	0.174~1.134

3) 시험결과 분석

염화물함유량 시험은 상부 2개소, 하부 2개소에서 측정을 실시하였으며, 콘크리트 분말을 채취하여 전염화물 이온함유량을 조사하였다. 그 결과 상부구조는 모든 개소에서 0.200~ 0.221㎏/㎥로 나타나, 염화물에 의한 철근부식이 발생할 가능성이 없는 “a” 로 나타났으며, 하부구조는 0.174~ 1.134㎏/㎥로 나타나, 염화물에 의한 철근부식이 발생할 가능성이 없는 “a” 와 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음 “b” 로 나타났다.

기 진단 결과와 비교 분석한 결과, 염화물 함유량이 증가한 것으로 나타났다. 이는 동절기 제설제 살포시 제설제잔여물이 교면포장의 균열을 통해 바닥판으로 침투하거나, 시간이 경과함에 따라 차로에서 도로 가장자리로 흩어진 제설제 분말이 흘러 내려 하부구조에 영향을 주어 기 진단에 비해 다소 높은 염화물 함유량을 보인 것으로 분석되나, 철근의 부식 가능성은 없는 “a” 등급(안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 참조)으로 판정되어 양호한 것으로 판단된다.

3.5 강재 내구성조사

3.5.1 개 요

공용 중 교량에 있어서 강재 비파괴조사는 강구조의 주요 부재에 대한 제작상태 및 결함의 분포 현황을 조사하고, 그 결과를 분석하여 교량 전체의 내구성평가에 요구되는 기초자료를 제공하기 위하여 실시한다.

가. 시험현황

1) 시험현황 및 선정사유

본 과업에서 강재 비파괴조사를 위해 초음파탐상시험(UT), 도막두께 측정을 실시하였다. 본 교량의 초음파탐상시험은 강재 비파괴시험에 앞서 강재 용접부에 대한 외관조사 결과를 토대로 용접결함 및 결함 의심부위가 없는 경우 타부위에 비해 구조적 취약부위인 맞대기용접부에 대해서 시험을 실시하도록 되어 있다.(과업지시서와『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침_교량편(2010.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』참조)

용전2교는 약 14년 정도의 공용기간이 경과한 상태로 각 부재별 강재 비파괴시험 현황은 다음과 같다.

【표 3-105】 내서방향 - 강재 비파괴시험 현황

시험위치		초음파탐상 시험	강재 및 도막두께 측정	비 고
S1	G1	2	1	
	G2	2	-	
S2	G1	2	1	
	G2	2	1	
S3	G1	2	-	
	G2	2	-	
S4	G1	2	-	
	G2	2	-	
S5	G1	2	-	
	G2	2	-	
합 계		20	3	
세부지침 상 기준수량		20	-	

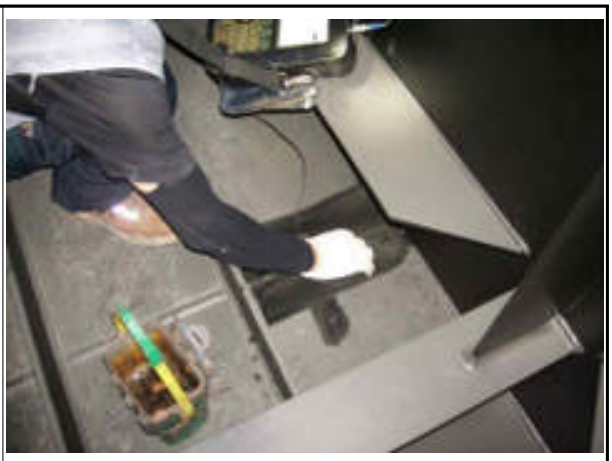
주) 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 상 기준수량(강재 초음파탐상시험)
: 2개소/경간별 거더(맞대기 용접부)

【표 3-106】 여주방향 - 강재 비파괴시험 현황

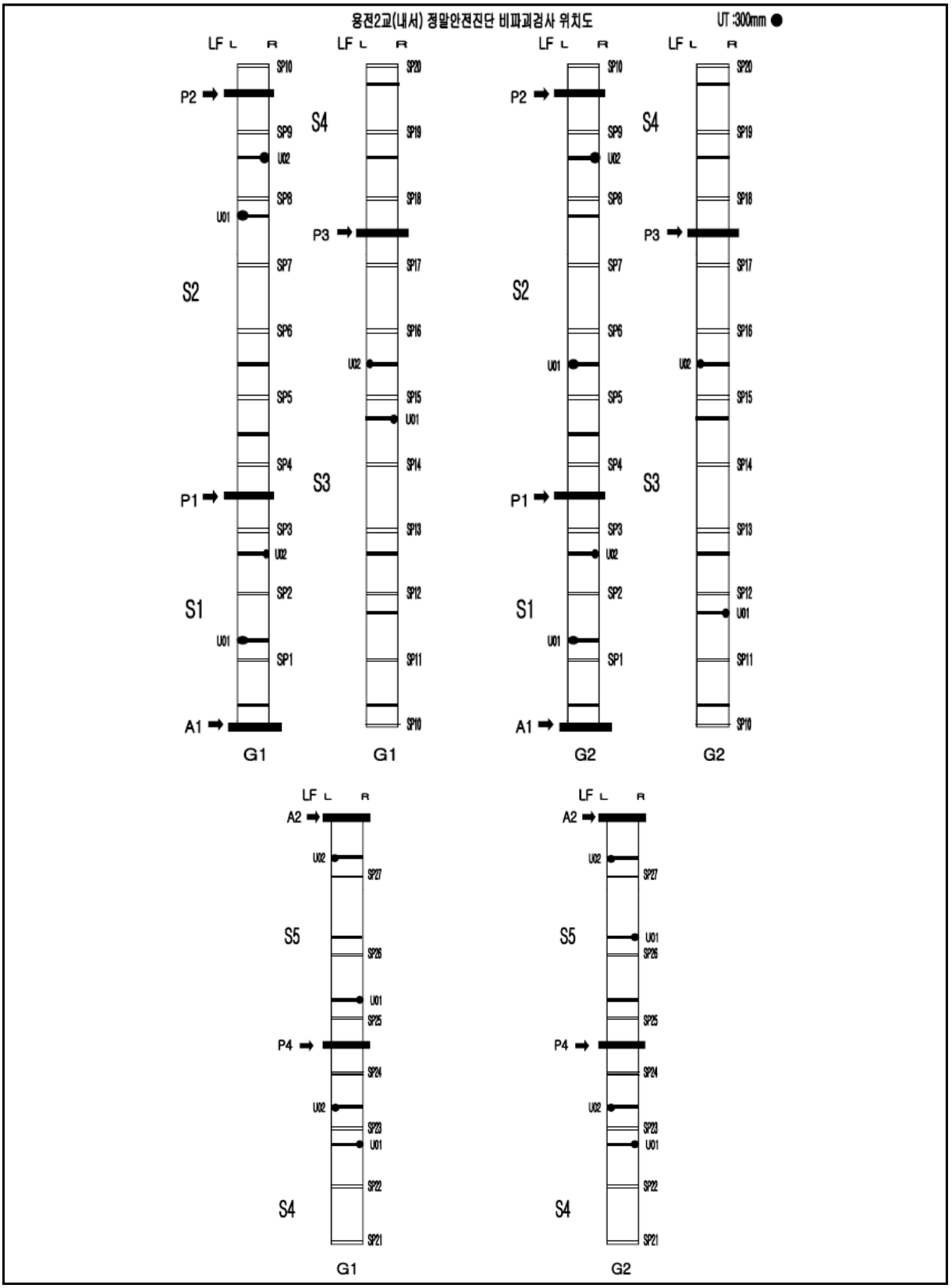
시험위치		초음파탐상 시험	강재 및 도막두께 측정	비 고
S1	G1	2	-	
	G2	2	-	
S2	G1	2	1	
	G2	2	1	
S3	G1	2	-	
	G2	2	-	
S4	G1	2	1	
	G2	2	-	
S5	G1	2	-	
	G2	2	-	
합 계		20	3	
세부지침 상 기준수량		20	-	

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

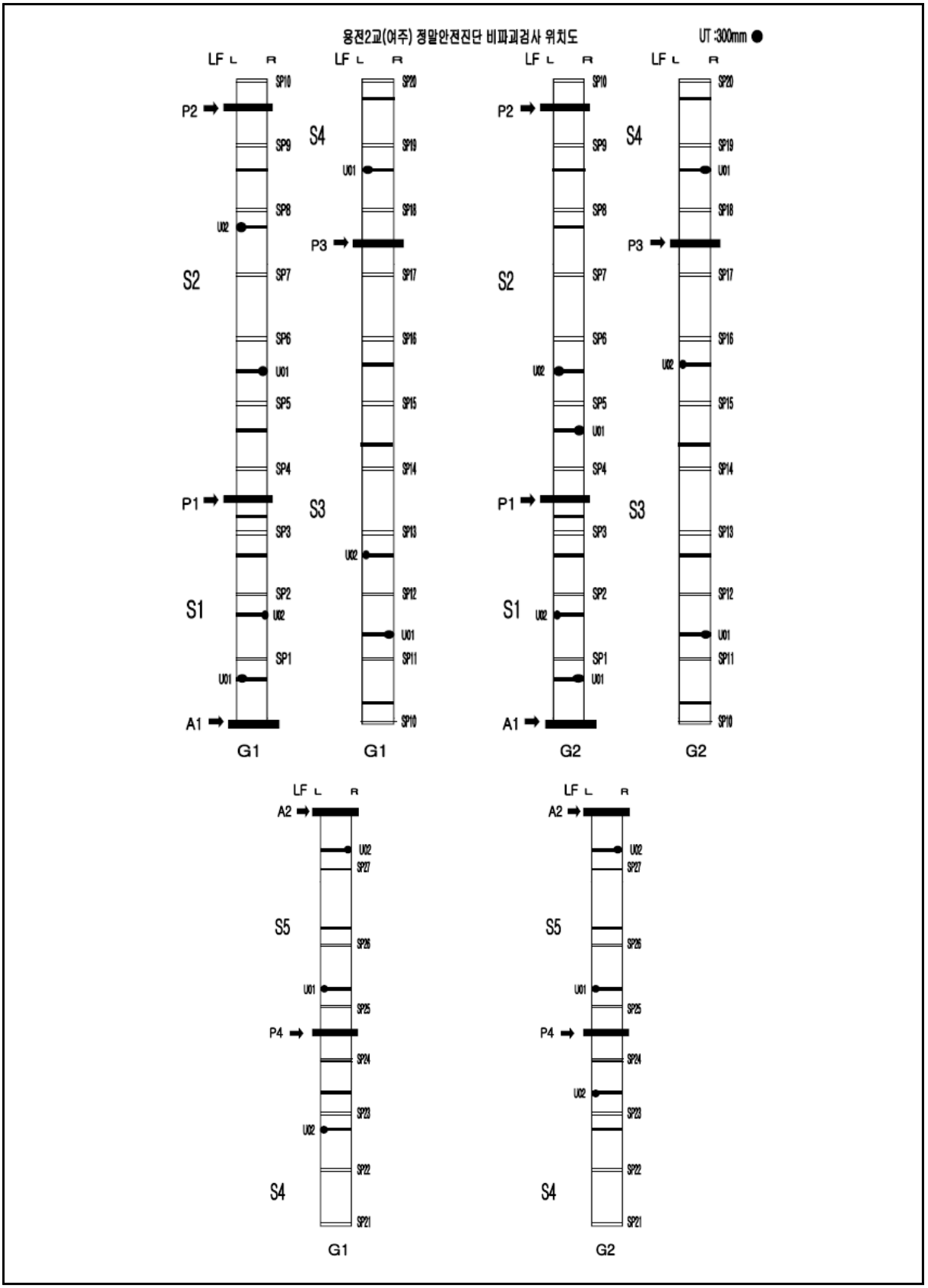
2) 조사사진

	
초음파탐상시험 (1)	초음파탐상시험 (2)
초음파탐상시험 (3)	초음파탐상시험 (4)
강재두께 측정	도막두께 측정

3) 강재 비파괴시험 위치도



【그림 3-35】 내서방향 - 초음파탐상시험 위치도



【그림 3-36】 여주방향 - 초음파탐상시험 위치도

3.5.2 시험내용 및 평가기준

가. 초음파탐상시험 (UT : Ultrasonic Testing)

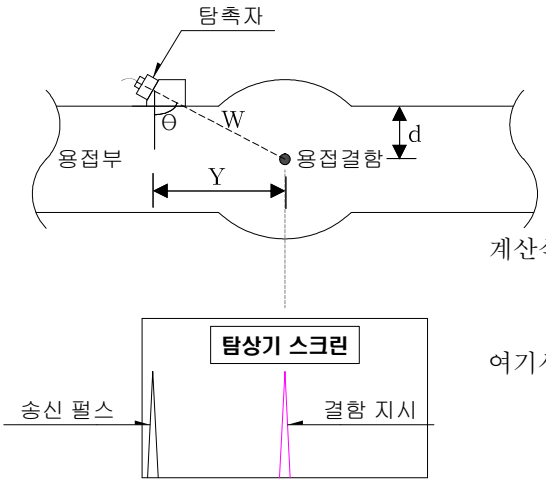
1) 개 요

가청 주파수 이상의 주파수를 갖는 초음파(20,000㎐이상)를 시험체 내에 전달하여 초음파 진행경로 상에 존재하는 결함부로부터 반사하는 초음파 신호를 수신하여 탐상기 CRT 스크린 상에서 에코파형을 확인함으로써 결함의 존재 여부 및 결함 정보를 알아내는 검사방법이다.

초음파의 종류는 크게 수직법과 사각법으로 대별되며, 수직법은 탐촉자를 시험체에 접촉하여 시험체에 수직으로 초음파를 전파시켜 검사하는 방법으로 통상적으로 판재 및 봉재, 주·단강품 결함 검사와 부재의 부식두께 측정 등에 이용되며, 사각법은 시험체에 임의의 일정각으로 초음파를 전파시켜 검사하는 방법으로 주로 강구조물 용접부 검사에 적용된다.

2) 방법(사각법)

일반적으로 강교 용접부의 사각탐상에서는 주로 용접부 내부에 존재하는 기공, 슬래그, 융합불량, 용입부족 등의 결함과 균열에 대한 조사가 실시되고 있으며, 각각의 결함부로부터 반사한 에코파형의 펄스형태(펄스폭&높이), 반사체(결함)까지의 진행거리, 초음파 입사각도, 에코의 반사패턴 등을 종합적으로 분석하여 결함의 입체적인 위치를 산출하고 결함종류 및 길이 등을 측정한다.



계산식 $Y = W \cdot \sin\theta$

$d = W \cdot \cos\theta$

여기서, Y : 입사점~결함거리

d : 결함깊이

W : 초음파 이동거리

θ : 입사각

【그림 3-37】 초음파탐상(사각법)시험 개요도

3) 특 성

① 시험체가 두꺼워도 검사가 가능하다.

② 불연속의 위치를 정확히 알 수 있다.

③ 검사 결과를 바로 알 수 있다.

④ 균열 등의 면상 결함의 검출에는 방사선투과검사보다 유리하다.

⑤ 시험체 한면에서의 탐상이 가능하다.

⑥ 결함의 종류 및 형상, 크기를 식별하기 어렵다.

⑦ 금속 조직의 영향을 많이 받는다.

⑧ 검사자의 기량에 의해 검사 결과가 영향을 받는다.

⑨ 검사 결과의 기록 보존이 어렵다.

4) 평가기준

초음파탐상검사 방법 및 결함지시에 대한 등급 분류는 아래 표와 같다.

【표 3-107】 결함의 등급 분류

영 역	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					

※ 강도로교 용접 및 도장요령(1998, 국토교통부) 참조

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

5) 합·부 판정기준

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

【표 3-108】 용접부 결함의 합·부 판정기준

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

나. 도막두께 측정(Dry Film Thickness Measurement)

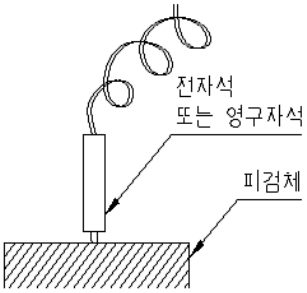
1) 개 요

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

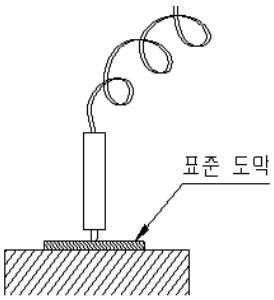
측정은 강박스 거더의 내부와 외부로 구분하였으며, 한 개소당 5회씩 측정하여 평균값을 도막두께로 취하였다.

2) 측정원리

도막두께 측정은 전자석 또는 영구자석을 이용하여 피검체(자성체)에 도포된 도막의 두께를 측정하는 검사 방법으로 페인트 도막 및 기타 코팅에 적용된다. 도막두께의 측정 원리는 다음과 같다.



【그림 3-38】 Gauge 영점조정



【그림 3-39】 Gauge 초기화(Calibration)

【그림 3-38】과 같이 도막이 도포되지 않은 피검체(자성체)에 전자석 또는 영구자석을 접촉시켜 지시계의 눈금을 영점(Zero) 조정한다. 영점 조정한 후【그림 3-39】와 같이 확인하고자 하는 두께와 유사한 표준도막을 이용하여 각 도막의 두께에 따른 자력차를 이용하여 검사하는 방법이다.

도막두께를 교정한 후 측정 부위에 접촉시켜 전자석 또는 영구자석의 자력차를 수치로 나타내어 측정 부위의 도막두께를 확인한다.

3) 평가기준

일반적으로 강교에 사용되는 도장계열은 일반환경과 특수환경에 따라 다르게 시공되고 있다. 일반환경용 도장은 재래식 도장과 중방식 도장으로 구분되고, 특수환경용 도장도 중방식 도장(우레탄계 마감), 중방식 도장(자연건조형 불소수지 마감), 내부도장(콜탈에폭시 마감), 내부도장(에폭시 마감), 내부도장(후막형 콜탈 에폭시 마감) 등 다양한 재료를 이용한 도장이 실시되고 있다.

대상구조물의 주요 구조부재인 거더는 일반환경용 중방식 도장으로 추정되며, 이에 대한 도장시방으로 시공당시 『도로교표준시방서(2013, 한국도로교통협회)』의 일반환경용 중방식 도장을 평가기준으로 정하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

【표 3-109】 일반환경용 중방식 도장(도로교표준시방서(1999, 한국도로교통협회))

구 분	도장 계열	공 정		도료명칭 또는 방법	도막두께 (㎛)	도장 횟수	비 고
교 량 외 부	GEB	1차 표면처리		SSPC - SP10			
		샵 프라이머		무기질 아연말 샵프라이머	20	1	
		2차 표면처리		SSPC - SP10			
		공장 도장	제1층	무기질 아연말도료	75	1	
			제2층	미스트 코트	60	1	
			제3층	염화고무계도료		1	
		공장/ 현장도장	제4층	염화고무계도료	60	1	
		계			215		
교 량 내 부	GIB	1차 표면처리		SSPC - SP10			
		샵 프라이머		무기질 아연말 샵프라이머	20	1	
		2차 표면처리		SSPC - SP10			
		공장 도장	제1층	무기질 아연말도료	75	1	
			제2층	미스트 코트	75	1	
			제3층	역청질계도료		1	
		계			170		

다. 강재 두께 측정

1) 개 요

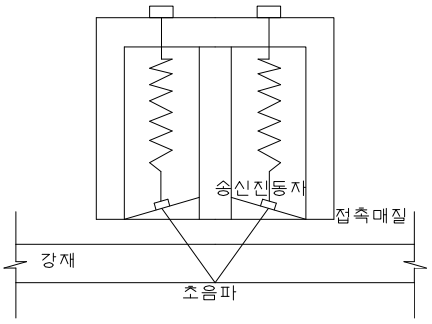
강재 부식이란 금속이 액체용액에 의해 퇴보되는 현상이며 이는 주위환경과의 전기 화학적 또는 화학적 반응에 의하여 그들의 본래 상태인 산화물로 되돌아가려는 본질적인 성질 또는 자연적인 경향이다. 구조물에서의 강재의 부식은 두께의 감소를 가져오게 되며 구조물의 강도를 저하시켜 안전성에 중요한 영향을 미치게 된다. 본 과업에서는 강구조물의 부식정도 및 설계상의 규정된 부재 사용 여부를 초음파 두께 측정기를 사용하여 조사하였다.

2) 측정방법

측정하고자 하는 부식단면 부재의 위치를 결정하고, 두께 측정개소를 결정한다. 측정은 30㎜ 간격을 표준으로 하고, 1단면당 10개소 이상의 측정점을 설정한다. 측정방범은 측정기를 이용하여 부식에 의한 판두께 변화를 측정단면의 평균 판두께를 산출한다.

부식단면의 측정은 주로 초음파 두께 측정기를 이용하여 실시한다. 초음파 두께 측정기의 원리는【그림 3-40】과 같은 분할형 탐측자의 송신형 진동자로부터 펄스를 보내고, 수신형 진동자가 시험체 저면에서 반사되는 에코를 받는데 이 저면 에코가 나타나는 시간을 측정하여 이것을 전압 또는 전류로 변환하여 두께를 미터 또는 디지털로 나타내는 것이다.

디지털 방식은, 반응속도가 빠르지만 최후의 지표가 불안정하게 되는 경우가 많고, 미터방식은 지표의 관성으로 지표가 안정되어 있는 것처럼 보이지만 반응이 둔감한 평균치를 나타내기 쉽다. 따라서 측정시간이 단시간(2~3초)의 접촉중에 측정해야 하는 경우는 디지털이 유리하다.



【그림 3-40】초음파를 이용한 강재 두께의 측정방법

3) 측정위치

① 부식에 의하여 단면 감소가 발생된 곳

② 누수가 발생되어 녹물이 유출되는 곳

③ 지점부

④ 박스 내부의 체수가 발생되는 곳

4) 평가기준

【표 3-110】 강재두께의 허용오차

나 비(㎜) / 두 께(㎜)	1,600 이상 2,000 미만	2,000 이상 2,500 미만	2,500 이상 3,150 미만	3,150 이상 4,000 미만
6이상 ~ 10미만	±0.65	±0.65	±0.80	±0.80
10이상 ~ 16미만	±0.65	±0.65	±0.80	±0.80
16이상 ~ 25미만	±0.75	±0.75	±0.95	±0.95
25이상 ~ 40미만	±0.80	±0.80	±1.00	±1.00

※도로교표준시방서(국토교통부, 한국도로교통협회, 2013) 참조
※국가기술표준원, 규격번호 KS D 3500 참조

3.5.3 시험결과 및 분석(내서방향)

가. 초음파탐상 시험결과

UT 시험은 전회 조사위치를 피하여 인장응력과 교번응력이 발생하는 위치 위주로 실시하였으며, 부재의 구조적인 안전성과 구조부재의 외관상태를 고려하여 선정하였다. 초음파탐상시험으로 강박스 거더의 맞대기 용접부에 대해 용접상태를 검사한 결과, 전 개소에서 균열, 기공, 슬래그 및 용입부족 등의 내부결함이 없는 1급(합격)으로 조사되었다.

【표 3-111】 내서방향 - 초음파탐상(UT) 시험결과

시험위치		시험개소	결함등급	합격 여부	결함발생 현황	비 고
S1-G1	U01-L(LF)	1	1급	합격	결함사항없음	
	U02-R(LF)	1	1급	합격		
S1-G2	U01-L(LF)	1	1급	합격		
	U02-R(LF)	1	1급	합격		
S2-G1	U01-L(LF)	1	1급	합격		
	U02-R(LF)	1	1급	합격		
S2-G2	U01-L(LF)	1	1급	합격		
	U02-R(LF)	1	1급	합격		
S3-G1	U01-R(LF)	1	1급	합격		
	U02-L(LF)	1	1급	합격		
S3-G2	U01-R(LF)	1	1급	합격		
	U02-L(LF)	1	1급	합격		
S4-G1	U01-R(LF)	1	1급	합격		
	U02-L(LF)	1	1급	합격		
S4-G2	U01-R(LF)	1	1급	합격		
	U02-L(LF)	1	1급	합격		
S5-G1	U01-R(LF)	1	1급	합격		
	U02-L(LF)	1	1급	합격		

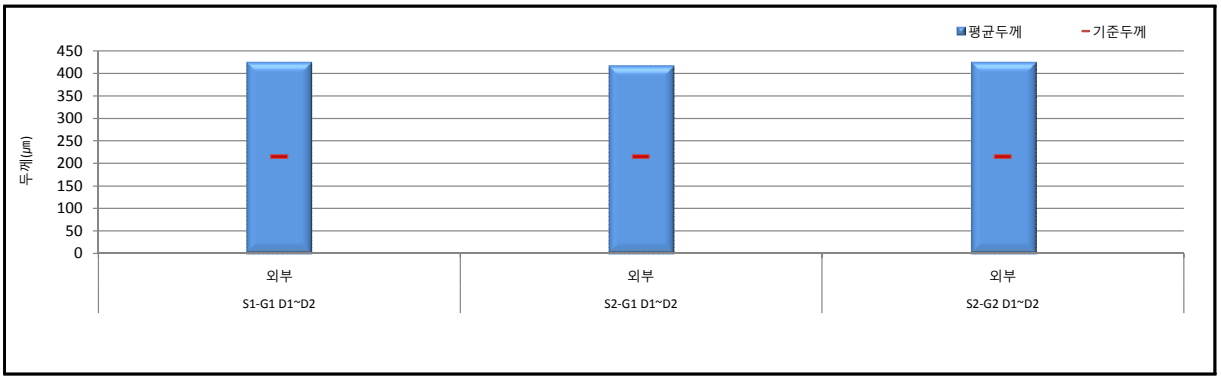
주) 합격기준 : 2급 이상

나. 도막두께 측정결과

시공당시 도장시방으로 『도로교 표준시방서(1999, 한국도로교통협회)』의 일반환경용 중방식 도장을 평가기준으로 정하였으며, 도막두께 측정결과, 전 개소의 실측도막두께가 기준치(외부 215㎛, 내부 170㎛)를 모두 상회하는 것으로 조사되어 양호한 상태로 판단된다.

【표 3-112】 내서방향 - 도막두께 측정결과

시험위치		실측 도막두께(㎛)			평균두께	기준두께(㎛)	평가
		1회	2회	3회			
S1-G1 D1~D2	외부	420	426	429	425	215	양호
S2-G1 D1~D2	외부	410	421	420	417	215	양호
S2-G2 D1~D2	외부	428	427	421	425	215	양호



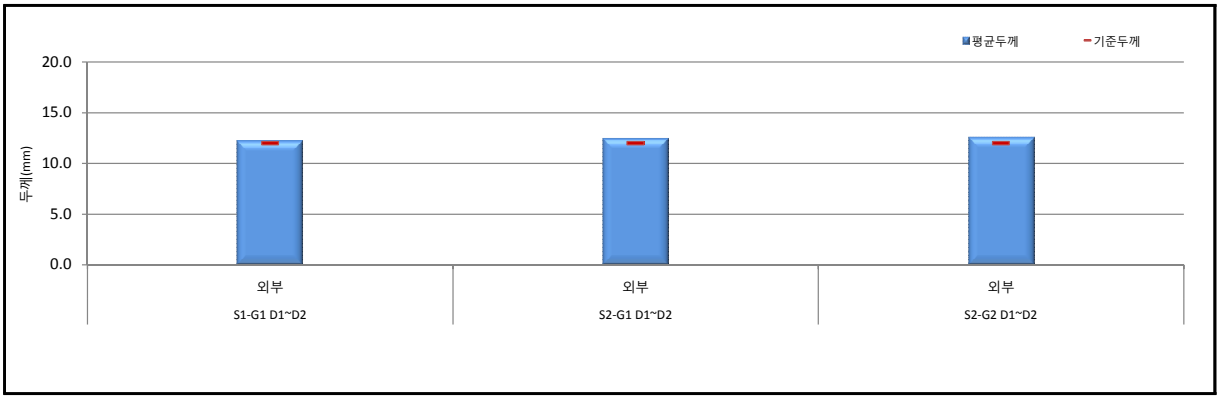
【그림 3-41】 내서방향 - 도막두께 측정결과

다. 강재두께 측정결과

설계도면상 강재두께는 복부, 상·하부 플랜지의 12㎜, 종리브 14㎜로 조사되었으며, 강재두께 측정결과 전 개소에서 평균 측정값이 설계도면의 +0.2~0.6㎜로 거의 일치하는 양호한 상태로 조사되었다.

【표 3-113】 내서방향 - 강재두께 측정결과

시험위치		실측 강재두께(㎜)			평균두께	기준두께(㎜)	평가
		1회	2회	3회			
S1-G1-LF D1~D2	외부	12.2	12.0	12.5	12.2	12.0	양호
S2-G1-LF D1~D2	외부	12.7	12.2	12.5	12.5	12.0	양호
S2-G2-LF D1~D2	외부	12.7	12.5	12.5	12.6	12.0	양호



【그림 3-42】 내서방향 - 강재두께 측정결과

3.5.4 시험결과 및 분석(여주방향)

가. 초음파탐상 시험결과

UT 시험은 전회 조사위치를 피하여 인장응력과 교번응력이 발생하는 위치 위주로 실시하였으며, 부재의 구조적인 안전성과 구조부재의 외관상태를 고려하여 선정하였다. 초음파탐상시험으로 강박스 거더의 맞대기 용접부에 대해 용접상태를 검사한 결과, 전 개소에서 균열, 기공, 슬래그 및 용입부족 등의 내부결함이 없는 1급(합격)으로 조사되었다.

【표 3-114】 여주방향 - 초음파탐상(UT) 시험결과

시험위치		시험개소	결함등급	합격 여부	결함발생 현황	비 고
S1-G1	U01-L(LF)	1	1급	합격	결함사항없음	
	U02-R(LF)	1	1급	합격		
S1-G1	U01-R(LF)	1	1급	합격		
	U02-L(LF)	1	1급	합격		
S2-G1	U01-R(LF)	1	1급	합격		
	U02-L(LF)	1	1급	합격		
S2-G2	U01-R(LF)	1	1급	합격		
	U02-L(LF)	1	1급	합격		
S3-G1	U01-R(LF)	1	1급	합격		
	U02-L(LF)	1	1급	합격		
S3-G1	U01-R(LF)	1	1급	합격		
	U02-L(LF)	1	1급	합격		
S4-G1	U01-L(LF)	1	1급	합격		
	U02-R(LF)	1	1급	합격		
S4-G2	U01-L(LF)	1	1급	합격		
	U02-R(LF)	1	1급	합격		
S5-G1	U01-L(LF)	1	1급	합격		
	U02-R(LF)	1	1급	합격		
S5-G2	U01-L(LF)	1	1급	합격		
	U02-R(LF)	1	1급	합격		

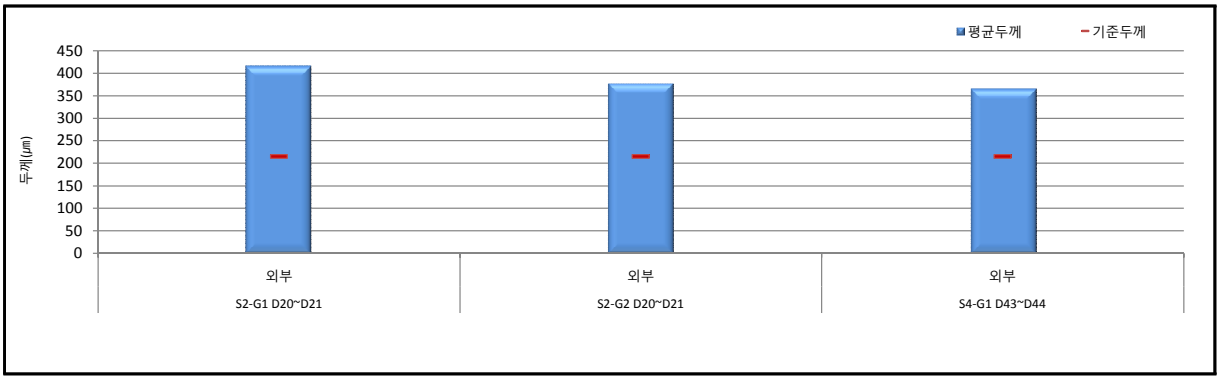
주) 합격기준 : 2급 이상

나. 도막두께 측정결과

시공당시 도장시방으로 『도로교 표준시방서(1999, 한국도로교통협회)』의 일반환경용 중방식 도장을 평가기준으로 정하였으며, 도막두께 측정결과, 전 개소의 실측도막두께가 기준치(외부 215㎛, 내부 170㎛)를 모두 상회하는 것으로 조사되어 양호한 상태로 판단된다.

【표 3-115】여주방향 - 도막두께 측정결과

시험위치		실측 도막두께(㎛)			평균두께	기준두께(㎛)	평가
		1회	2회	3회			
S2-G1 D20~D21	외부	420	423	409	417	215	양호
S2-G2 D20~D21	외부	396	371	366	378	215	양호
S4-G1 D43~D44	외부	352	365	379	365	215	양호



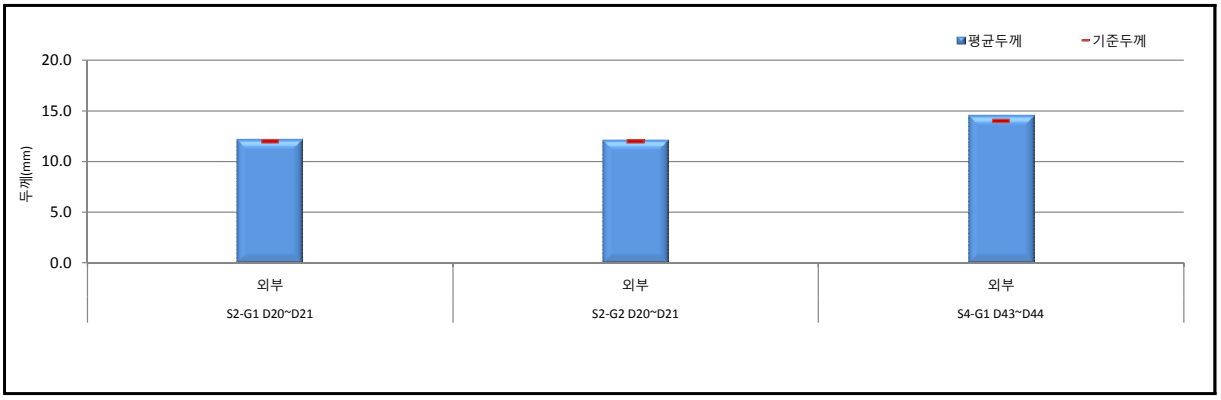
【그림 3-43】여주방향 - 도막두께 측정결과

다. 강재두께 측정결과

강재두께 측정결과 전 개소에서 평균 측정값이 설계도면의 +0.2~0.6㎜로 거의 일치하는 양호한 상태로 조사되었다.

【표 3-116】여주방향 - 강재두께 측정결과

시험위치		실측 강재두께(㎜)			평균두께	기준두께(㎜)	평가
		1회	2회	3회			
S1-G1-LF D1~D2	외부	12.2	12.2	12.3	12.2	12.0	양호
S2-G1-LF D1~D2	외부	12.1	12.1	12.3	12.2	12.0	양호
S2-G2-LF D1~D2	외부	14.6	14.7	14.4	14.6	12.0	양호



【그림 3-44】 여주방향 - 강재두께 측정결과

3.6 현장조사 결과요약

3.6.1 외관조사 결과요약

가. 내서방향

【표 3-117】 내서방향 - 금회 진단 외관조사 결과요약

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
바닥판 하면	• 균열(Cw=0.3㎜미만/0.3㎜이상), 망상균열	• 시공초기 콘크리트 내·외부의 온도차이로 인한 부등건조수축 등이 주원인으로 일부균열은 균열부를 통한 내부수 유출이 발생하였으며, 0.3㎜미만 균열은 지속관찰 후 균열 진전시 보수를 실시하고, 0.3㎜ 이상 균열은 주입보수 필요.
	• 표면박리, 백태	• 표면처리보수
	• 파손(단부)	• 바닥판 단부면과 흉벽의 협착이 주원인이며, 단면보수1안), 영구앵커공법2안), 신축이음장치교체 및 바닥판하면 절취3안) 병행 시공이 필요함.
Steel Box Girder 내부	• 용접결함 (Pit, 비드불량, 언더컷, 목두께부족)	• 용접시공시 용접전류 및 용접속도 불량, 용접작업실수 등이 원인으로 판단되며, 지속관찰이 적절할 것으로 판단됨.
	• 도장박리, 부식	• 도장 전처리 불량과 Splice부를 통한 우수유입이 주원인으로 판단되며, 재도장이 필요.
	• 실링누락	• 시공미흡이 원인으로 발생하였으며, 실링재 시공이 필요.
	• 인분배설	• 위생 및 외관을 위하여 청소가 필요
Steel Box Girder 격벽	• 용접결함(Pit, 비드불량)	• 용접시공시 용접전류 및 용접속도 불량, 용접작업 실수 등이 원인으로 판단되며, 지속관찰이 적절할 것으로 판단됨(거더내부와 동일함).
	• 도장박리	• 시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화가 주원인으로 판단되며, 재도장이 필요.
Steel Box Girder 외부	• 도장박리, 부식 및 점부식	• 공용기간 증대로 인한 교량의 노후화 및 태양광에 의한 열화, 도장전 바탕처리불량이 원인으로 판단되며, 재도장이 필요.
강 가로보 및 세로보	• 구조적 손상이 없는 양호한 상태	• 도장손상이나, 부식, 각종변형 및 균열, 이상음 발생 등의 손상이 없는 상태임.

【표 3-117】 내서방향 - 금회 진단 외관조사 결과요약(계속)

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
교대	• 균열(Cw=0.3㎜미만), 망상균열, 백태	• 시공초기 콘크리트 내·외부의 온도차이로 인한 부등건조수축 등이 주원인으로 일부균열은 균열부를 통한 내부수 유출이 발생하였으며, 0.3㎜미만 균열은 지속관찰 후 균열 진전시 보수를 실시하고, 백태 발생부는 내구성확보를 위하여 표면처리보수가 필요.
	• 박락, 재료분리, 파손	• 외부충격, 시공 다짐미흡 등이 원인이며 단면보수가 필요.
교각	• 균열(Cw=0.3㎜미만/0.3㎜이상) 및 망상균열, 백태	• 시공초기 콘크리트 내·외부의 온도차이로 인한 부등건조수축 등이 주원인으로 일부균열은 균열부를 통한 내부수 유출이 발생하였으며, 0.3㎜미만 균열은 지속관찰 후 균열 진전시 보수를 실시하고, 0.3㎜ 이상 균열은 주입보수를 백태 발생부는 내구성 확보를 위하여 표면처리보수가 필요.
	• 재료분리, 파손	• 외부충격, 시공 다짐미흡 등이 원인이며 단면보수가 필요.
교량받침	• 받침장치 본체 부식, 도장박리	• 외측면을 통한 우수유입이 주원인이며, 부식은 녹 제거후 재도장, 도장박리는 재도장이 필요.
	• 받침장치 고무재탈락	• 시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화가 원인이며, 지속관찰이 필요.
	• 받침 몰탈/콘크리트 균열	• 건조수축 및 양생불량 등에 의한 비구조적인 손상으로 손상정도는 경미하여, 지속관찰 후 균열 진전시 보수 필요.
	• 받침 콘크리트 파손	• 외부 우수유입에 따른 동결융해가 원인으로 판단되며, 내부 단면보수가 필요.
	• 받침이동량 초과 (A1-Sh1~Sh4, A2-Sh3~Sh4)	• 프리셋팅 오류로 판단되며, 기능상에 문제가 없으므로, 지속관찰을 통한 중점유지관리가 필요.
신축이음장치	• 신축이음장치 토사퇴적	• 공용년수 증가에 따른 이물질 퇴적으로 청소가 필요
	• 신축이음덮개 볼트탈락	• 공용년수 증가 및 시공누락으로 볼트 재설치 필요.
	• 바닥판 유간부족(A1)	• 유간은 일부확보하고 있으나 계산량보다 작은 상태이며, 지속관찰이 필요.
	• 고무재(유도배수로)파손	• 노후화에 의한 것으로 일부교체가 필요.
교면포장	• 전체적으로 양호한 상태 • 갓길측 전 구간에 걸쳐 아스콘 들뜸	• 주행성 및 평탄성은 양호함 • 코어채취 후 분석결과, 바닥판상면 열화로 인하여 바닥판하면에 영향을 미치므로 갓길 재포장이 필요.
배수시설	• 유공관 파손	• 유공관 재설치

【표 3-117】 내서방향 - 금회 진단 외관조사 결과요약(계속)

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
방호벽 및 중앙분리대	• 균열(폭 0.3㎜미만/0.3㎜이상), 망상균열, 백태, 박리 • 재료분리, 녹발생, 파손 • 중앙분리대 전체적 표면열화 발생	• 구조물에 미치는 영향이 미미하나 0.3㎜미만은 표면처리보수를 실시하며 0.3㎜이상은 주입보수가 필요하며, 망상균열, 백태,박리는 표면처리보수 필요 • 단면보수 및 단면보수(방청) 필요함 • 중앙분리대는 전체적으로 표면열화가 진행됨으로써 지속관찰 후 향후 손상증대시 전체적인 보수가 필요.
점검시설 및 방음벽	• 점검시설 시건장치 누락 • 점검로 부식(P1) • 방음벽, 도장박리, 부식, 덮개탈락, 파손	• 시건장치 재설치 • 유공관 재설치를 통하여 보수가 필요 • 공용년수의 증가로 인한 노후화로 발생하였으며, 재도장, 덮개재설치 등의 보수가 필요.

나. 여주방향

【표 3-118】 여주방향 - 금회 진단 외관조사 결과요약

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
바닥판 하면	• 균열(Cw=0.3㎜미만) 및 망상균열 • 백태, 박리	• 시공초기 콘크리트 내·외부의 온도차이로 인한 부등건조수축 등이 주원인으로 현시점의 보수보다는 지속관찰 후 균열 진전시 보수 필요 • 백태, 박리는 상부 신축이음부에서 유입된 우수로 인하여 발생하였으며, 표면처리보수가 필요.
Steel Box Girder 내부	• 용접결함(Pit, 비드불량, 언더컷) • 모재변형 • 도장박리, 도장누락 • 인분배설 • 점검등 파손, 환기구볼트풀림	• 용접시공시 용접전류 및 용접속도 불량, 용접작업실수 등이 원인으로 판단되며, 지속관찰이 적절할 것으로 판단됨. • 시공 중 인위적 충격이 원인이며, 지속관찰이 필요 • 도장 전처리 불량과 Splice부를 통한 우수유입이 주원인으로 판단되며, 재도장이 필요. • 위생 및 외관을 위하여 청소가 필요. • 지속관찰 및 점검등 제거
Steel Box Girder 격벽	• 용접결함(Pit, 비드불량) • 모재변형 • 도장박리	• 용접시공시 용접전류 및 용접속도 불량, 용접작업실수 등이 원인으로 판단되며, 지속관찰이 적절할 것으로 판단됨(거더 내부와 동일함). • 시공 중 인위적 충격이 원인이며, 지속관찰이 필요 • 시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화가 주원인으로 판단되며, 재도장이 필요.

【표 3-118】 여주방향 - 금회 진단 외관조사 결과요약(계속)

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
Steel Box Girder 외부	• 모재변형 • 도장박리, 부식 및 볼트부식 • 볼트탈락	• 시공 중 인위적 충격이 원인이며, 지속관찰이 필요 • 공용기간 증대로 인한 교량의 노후화 및 태양광에 의한 열화, 도장전 바탕처리불량이 원인으로 판단되며, 재도장이 필요. • 시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화가 원인이며, 볼트 재체결 필요.
강 가로보 및 세로보	• 도장박리, 부식	• 공용기간 증대로 인한 교량의 노후화 및 도장전 바탕처리불량이 원인으로 판단되며, 재도장이 필요.
교대	• 균열(Cw=0.3㎜미만) • 누수흔적, 백태 • 재료분리, 파손 • 체수	• 시공초기 콘크리트 내·외부의 온도차이로 인한 부등건조수축 등이 주원인으로 현시점의 보수보다는 지속관찰 후 균열 진전시 보수 필요 • 누수흔적, 백태는 상부 신축이음부에서 유입된 우수로 인하여 발생하였으며, 표면처리보수가 필요. • 다짐 미흡 및 인위적 충격이 주원인이며, 단면보수 필요. • 상부 우수유입이 주원인이며, 지속관찰이 필요.
교각	• 균열(Cw=0.3㎜미만), 망상균열 • 재료분리, 녹발생, 파손	• 시공초기 콘크리트 내·외부의 온도차이로 인한 부등건조수축 등이 주원인으로 현시점의 보수보다는 지속관찰 후 균열 진전시 보수 필요 • 외부충격, 시공 다짐미흡 등이 원인이며 단면보수가 필요.
교량받침	• 받침본체 도장박리 및 부식 • 받침본체 고무재파손 • 받침 몰탈/콘크리트 균열 • 받침이동량 초과 (A1-Sh1~Sh3, A2-Sh1~Sh2)	• 외측면을 통한 우수유입이 주원인이며, 부식은 녹 제거후 재도장, 도장박리는 재도장이 필요. • 시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화가 원인이며, 지속관찰이 필요. • 건건조수축 및 양생불량 등에 의한 비구조적인 손상으로 손상정도는 경미하여, 지속관찰 후 균열 진전시 보수 필요. • 프리셋팅 오류로 판단되며, 기능상에 문제가 없으므로, 지속관찰을 통한 중점유지관리가 필요.

【표 3-118】 여주방향 - 금회 진단 외관조사 결과요약(계속)

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
신축이음장치	• 후타재 균열(Cw=0.3㎜미만) 및 파손 • 신축이음덮개 볼트탈락 • 신축이음(A1) 유도배수로 이물질퇴적	• 시공시 건조수축 및 공용 중 중차량 통행 등의 요인이 원인이며, 후타재 균열부를 통한 우수 유입으로 인한 신축이음 하부 누수 등 추가적인 손상의 우려가 있으므로 표면처리보수를 실시하며, 후타재 파손은 단면보수가 필요. • 공용년수 증가 및 시공누락으로 덮개 및 볼트 재설치 필요. • 상부 이물질이 유입이 주원인이며, 주기적인 청소 필요
교면포장	• 종방향 균열 • 소성변형 및 패임	• 건조수축, 온도변화 및 시공초기 다짐 미흡(온도관리, 다짐초기 균열 등의 복합적인 원인에 의한 것으로 부분적으로 발생하고 차량 주행성 저하에 미치는 영향이 미미함으로 지속관찰 후 향후 부분 보수가 필요. • 중차량 통행 등에 의해 발생한 것으로 판단되나, 손상정도가 경미하여 보수의 필요성은 없을 것으로 판단되어 지속관찰이 필요
배수시설	• 전반적으로 양호한 상태이며, 배수구 이물질 퇴적 일부구간 발생 • 배수관 고정클립불량, 볼트부식 • 배수관 길이부족(S3) • 배수로파손(A1)	• 청소 • 교체 및 재도장 • 시공불량이 원인이며, 배수관길이연장 필요 • 인위적 충격이 주원인이며, 단면보수 필요.
방호벽 및 중앙분리대	• 균열(폭 0.3㎜미만/0.3㎜이상), 망상균열 • 백태, 박리 • 재료분리, 철근노출, 녹발생, 파손	• 구조물에 미치는 영향이 미미하나 0.3㎜미만은 표면처리보수를 실시하며 0.3㎜이상은 주입보수 필요. • 내구성확보를 위한 표면처리보수 필요. • 단면보수 및 단면보수(방청) 필요함
점검시설	• 점검시설 시건장치 누락	• 시건장치 재설치

다. 기 진단결과 비교

1) 내서방향

【표 3-119】 내서방향 - 기 진단결과 비교표

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
바닥판	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	386	424.60	223	244.50	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	-	-	1	3.00	△
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	1	49.50	1	49.50	-
	•표면박리	㎡	-	-	2	22.00	△
	•백태	㎡	48	26.60	38	2.38	▽
	•파손	㎡	1	0.02	2	2.27	△
	•유공관파손	개소	-	-	6	6	△
Steel Box 거더 내부	•Pit	개소	627	627	609	609	▽
	•비드불량, 언더컷, 목두께 부족	m	78	18.55	80	17.93	▽
	•도장박리, 부식	㎡	473	2.91	17	0.75	▽
	•실링누락	개소	10	10	3	3	▽
	•인분배설	㎡	2	0.34	1	0.09	▽
Steel Box 거더 외부	•도장박리, 부식	㎡	61	500.7	7	0.18	▽
	•점부식	㎡	-	-	1	0.01	△
	•Splice부 볼트부식	개소	308	308	-	-	▽
	•볼트풀림	개소	1	1	-	-	▽
교대	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	31	21.05	12	3.35	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	2	1.21	5	0.91	▽
	•백태	㎡	12	20.75	1	0.12	▽
	•박락, 재료분리, 파손	㎡	5	0.35	7	0.85	△
	•흉벽하단 녹발생	㎡	2	0.58	-	-	▽
	•실링재 열화	m	2	8.40	-	-	▽
	•압성토 블록 이격	㎡	1	8.00	-	-	▽
교각	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	355	383.60	172	178.60	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	7	6.70	1	0.50	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	18	45.57	15	41.75	▽
	•백태	㎡	3	0.28	1	0.04	▽
	•재료분리, 파손	㎡	36	8.25	17	1.76	▽
	•앵커볼트 부식	개소	22	22	-	-	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

【표 3-119】 내서방향 - 기 진단결과 비교표(계속)

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
교량받침	•부식, 도장박리	㎡	18	0.90	9	0.44	▽
	•고무재탈락	개소	-	-	1	1	△
	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	75	18.60	33	9.10	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	3	1.40	2	0.80	▽
	•파손	㎡	4	0.29	1	0.03	▽
	•박락	㎡	1	0.16	-	-	▽
신축이음	•토사퇴적	개소	-	-	1	1	△
	•덮개볼트 탈락	개소	-	-	13	13	△
	•채움재 탈락	m	2	1.20	-	-	▽
	•고무재 파손	m	-	-	1	5.00	△
배수시설	•배수구 이물질 퇴적	개소	10	10	-	-	▽
	•유도배수관 설치	개소	6	6	6	6	-
방호벽	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	89	60.30	43	57.95	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	61	90.00	34	161.30	△
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	3	1.10	1	0.50	▽
	•백태	㎡	4	2.35	3	0.19	▽
	•박리, 재료분리, 파손	㎡	49	1.94	53	8.36	△
	•녹발생	㎡	37	1.79	56	1.22	▽
	•볼트탈락	개소	4	4	-	-	▽
기타	•유간협착	㎡	-	-	1	0.23	△
검토의견	■ 보수이력 및 현장조사 결과, 기 진단 이후 바닥판 하면 균열보수, 하부구조 균열보수, 거더내부 도장보수, 받침장치 도장보수, 신축이음장치 보수 등이 실시된 것으로 확인됨. ■ 전차진단(2012년)에서 조사된 상·하부구조의 손상은 대부분 보수된 상태이며, 금회 조사된 신규손상 및 기존손상의 증가는 공용년수 증가에 따른 노후화(거더 외부 점부식, 신축이음 토사퇴적 등), 조사장비(교량점검차, 고소점검차)를 운용한 근접조사(바닥판 하면 균열 등), 기 용역 시 누락된 손상 추가조사 등에 따른 것으로 판단됨.						

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

2) 여주방향

【표 3-120】 여주방향 - 기 진단결과 비교표

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
바닥판	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	157	172.70	42	46.20	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	3	170.50	1	27.50	▽
	•백태, 표면박리	㎡	16	29.30	10	95.88	△
	•배수관 볼트 부식	개소	2	2	-	-	▽
Steel Box 거더 내부	•Pit	개소	385	385	388	388	△
	•비드불량, 언더컷	m	67	21.78	68	23.3	△
	•변형	m	2	0.15	2	0.3	△
	•도장박리	㎡	22	2.41	41	3.98	△
	•도장누락	㎡	-	-	2	0.14	△
	•인분배설	㎡	1	0.25	5	3.35	△
	•점검등 파손	개소	-	-	1	1	△
	•환기구 볼트풀림	개소	-	-	1	1	△
	•실링불량	개소	3	3	-	-	▽
Steel Box 거더 외부	•변형	㎡	1	0.02	1	0.02	-
	•도장박리, 부식	㎡	43	0.76	43	2.20	△
	•볼트부식	개소	-	-	28	28	△
	•쵸킹	㎡	-	-	1	2.00	△
	•볼트풀림	개소	1	1	-	-	▽
가로보 및 세로보	•도장박리, 부식	㎡	2	0.05	5	0.14	△
교대	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	35	25.05	10	4.50	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	1	0.32	1	0.32	-
	•누수흔적, 백태, 체수	㎡	14	14.73	5	4.95	▽
	•파손, 철근노출, 재료분리	㎡	24	4.33	1	0.04	▽
	•유공관 노출	개소	1	1	-	-	▽
교각	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	286	284.60	194	182.90	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	15	71.98	13	12.91	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	5	3.20	-	-	▽
	•재료분리, 들뜸, 박리, 표면불량, 파손	㎡	46	18.00	26	1.24	▽
	•녹발생	㎡	7	0.22	7	0.22	-

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

【표 3-120】 여주방향 - 기 진단결과 비교표(계속)

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
교량받침	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	47	10.10	15	2.20	▽
	•도장박리 및 부식	㎡	10	0.50	18	1.02	△
	•볼트부식	개소	5	5	-	-	▽
	•무수축몰탈균열	m	67	11.65	-	-	▽
	•누수흔적	㎡	2	0.66	-	-	▽
	•녹발생	㎡	4	0.05	-	-	▽
	•파손	㎡	1	0.05	-	-	▽
	•재료분리	㎡	10	0.49	3	3	△
신축이음	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	-	-	55	23.40	△
	•파손	㎡	-	-	1	0.01	△
	•덮개볼트 탈락	개소	-	-	16	16	△
	•이물질퇴적	m	-	-	1	10.00	△
교면포장	•균열	m	3	14.50	6	18.40	△
	•소성변형	㎡	-	-	1	0.10	△
	•패임	㎡	-	-	12	0.36	△
배수시설	•배수구 이물질퇴적	개소	13	13	1	1	▽
	•배수관 고정클립불량	개소	-	-	1	1	△
	•배수관 볼트부식	개소	-	-	4	4	△
	•배수관 길이부족	개소	2	2	2	2	-
	•곡관설치 누락	개소	2	2	-	-	▽
	•배수로 파손	㎡	-	-	1	0.04	△
방호벽	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	91	51.80	95	64.40	△
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	15	21.70	15	20.80	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	1	10.35	3	16.59	△
	•백태	㎡	4	0.09	8	0.18	△
	•박리, 재료분리, 파손	㎡	30	17.61	41	51.21	△
	•철근노출, 녹발생	㎡	13	0.23	23	0.97	△
검토의견	■ 보수이력 및 현장조사 결과, 기 진단 이후 바닥판 하면 균열보수, 하부구조 균열보수, 거더내부 도장보수, 받침장치 도장보수, 신축이음장치 보수 등이 실시된 것으로 확인됨. ■ 전차진단(2012년)에서 조사된 상·하부구조의 손상은 대부분 보수된 상태이며, 금회 조사된 신규손상 및 기존손상의 증가는 공용년수 증가에 따른 노후화(거더 내·외부 도장박리 및 부식, 배수관 볼트부식 등), 조사장비(교량점검차, 고소점검차)를 운용한 근접조사 실시(거더외부 도장박리 및 부식 등), 기 용역 시 누락된 손상 추가조사 등에 따른 것으로 판단됨.						

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

3.6.2 내구성조사 결과요약

가. 내서방향

【표 3-121】 내서방향 - 내구성조사 결과 요약

시 험 명		시험부위	시험 결과		비 고
			2012년 전차진단	2016년 금회진단	
콘크리트	비파괴 강도시험 (MPa)	상부구조	29.0~32.0	31.3~34.5	• 설계기준강도(27MPa)를 상회함.
		하부구조	27.0~30.0	27.8~31.2	• 설계기준강도(24MPa)를 상회함.
	철근탐사 시험	상·하부구조	-		• 전반적으로 철근배근간격 및 피복두께는 준공도면과 거의 일치함.
	품질시험 (km/s)	상부구조	-	3.770~4.222	• 대부분 개소의 주기적인 관찰이 필요할 것으로 판단됨.
		하부구조	-	3.105~4.420	
	탄산화 깊이 (㎜)	상부구조	1.0~8.0	4.2~10.0	• 상태평가 a (잔여깊이 30㎜이상)
		하부구조	2.0~6.5	6.1~15.8	
	염화물 함유량 시험 (kg/m³)	상부구조	0.043	0.195	• 상태평가 a (염화물 ≤ 0.3kg/m³)
		하부구조	0.054~0.145	0.150~0.265	
강재	초음파 탐상 (UT)	거더 내부 (맞대기 용접부)	합 격	시험 20개소 (20개소 합격)	• 1급
	도막두께 (μm)	거더 외부	-	417~425	• 도막두께(215μm)
	강재두께 (㎜)	거더 외부	-	12.2~12.6 (+0.2~0.6)	• ±0.80
종합평가	■ 비파괴강도 측정결과, 전 개소에서 설계기준 강도를 상회하는 것으로 조사되었으며, 기 진단과의 비교·분석 결과, 부재별로 측정 위치가 달라 다소 차이가 있지만, 구조물의 강도저하는 없는 것으로 평가됨. ■ 콘크리트 품질시험결과, 대부분의 개소에서 주기적인 검사가 필요한 것으로 평가됨. ■ 탄산화 깊이측정결과, 전반적으로 양호한 상태인 것으로 조사되어 상태등급 “a” 로 판정되며 기진단과의 비교·분석 결과, 탄산화 깊이가 다소 진행되었으나, 철근부식에 영향이 없는 것으로 평가됨. ■ 염화물 함유량 시험결과 “a” 로 평가됨. 기진단과의 비교·분석 결과, 염화물함유량이 다소 증가하였지만, 철근피복두께에 영향이 없는 것으로 평가됨. ■ 금회 진단결과, 비파괴 강도, 철근배근상태, 콘크리트 품질, 탄산화 깊이 시험결과, 대부분 양호한 수준으로 측정됨. ■ 강재에 대한 내구성 조사결과 전 개소에서 합격 판정된 것으로 나타나며, 도막두께 및 강재두께 측정치도 측정개소 모두 기준치를 상회하는 양호한 상태인 것으로 측정됨.				

나. 여주방향

【표 3-122】여주방향 - 내구성조사 결과 요약

시 험 명		시험부위	시험 결과		비 고
			2012년 전차진단	2016년 금회진단	
콘크리트	비파괴 강도시험 (MPa)	상부구조	29.0~31.5	30.9~33.3	• 설계기준강도(27MPa)를 상회함.
		하부구조	25.0~29.0	28.4~30.7	• 설계기준강도(24MPa)를 상회함.
	철근탐사 시험	상 · 하부구조	-		• 전반적으로 철근배근간격 및 피복두께는 준공도면과 거의 일치함.
	품질시험 (km/s)	상부구조	-	3.257~4.059	• 주기적인 관찰이 필요할 것으로 판단됨.
		하부구조	-	3.180~4.156	
	탄산화 깊이 (㎜)	상부구조	3.8~10.0	4.2~9.5	• 상태평가 a (잔여깊이 30㎜이상)
		하부구조	1.3~11.0	5.5~11.7	
	염화물 함유량 시험 (kg/m³)	상부구조	0.036	0.200~0.221	• 상태평가 a (염화물 ≤ 0.3kg/m³)
		하부구조	0.038~0.084	0.174~1.134	• 상태평가 a~b (염화물 < 1.2kg/m³)
강재	초음파 탐상 (UT)	거더 내부 (맞대기 용접부)	합 격	시험 20개소 (20개소 합격)	• 1급
	도막두께 (μm)	거더 외부	-	365~417	• 기준두께(215μm)
	강재두께 (㎜)	거더 외부	-	12.2~14.6 (+0.2~0.6)	• 설계두께의 ±0.80
종합평가	■ 비파괴강도 측정결과, 전 개소에서 설계기준 강도를 상회하는 것으로 조사되었으며, 기 진단과의 비교 · 분석 결과, 부재별로 측정 위치가 달라 다소 차이가 있지만, 구조물의 강도저하는 없는 것으로 평가됨. ■ 콘크리트 품질시험결과, 대부분의 개소에서 주지적인 검사가 필요한 것으로 평가됨. ■ 탄산화 깊이측정결과, 전반적으로 양호한 상태인 것으로 조사되어 상태등급 “a” 로 판정되며 기진단과의 비교 · 분석 결과, 탄산화 깊이가 다소 진행되었으나, 철근부식에 영향이 없는 것으로 평가됨. ■ 염화물 함유량 시험결과 “a~b” 로 평가됨. 기진단과의 비교 · 분석 결과, 염화물함유량이가 다소 증가하였지만, 철근부식에 영향이 없는 것으로 평가됨. ■ 금회 진단결과, 비파괴 강도, 철근배근상태, 콘크리트 품질, 탄산화 깊이 시험결과, 대부분 양호한 수준으로 측정됨. ■ 강재에 대한 내구성 조사결과 전 개소에서 합격 판정된 것으로 나타나며, 도막두께 및 강재두께 측정치도 측정개소 모두 기준치를 상회하는 양호한 상태인 것으로 측정됨.				