제3장
현장조사 및 시험

3.1 개 요
3.2 외관조사
3.3 콘크리트 내구성조사
3.4 강재 내구성조사
3.5 현장조사 결과요약

제3장 현장조사 및 시험

3.1 개 요

충주IC1교는 설계하중 DB-24(DL-24)의 고속국도 교량으로서, 2002년에 준공되어 약 14년 정도 공용 중에 있으며, 충청북도 충주시 이류면 완오리(중부내륙선, 이정 224.61㎞)에 위치하고 있는 편도 1차로 교량이다.

본 교량은 총폭 7.60m, 총연장 145.0m (45.0m + 55.0m + 45.0m)이며, 상부구조는 3경간의 Steel Box Girder 형식으로써, 교각의 형식은 T형이고 기초는 확대기초(P1~P2)로 이루어져 있으며, 교대의 형식은 역T형이고 기초는 확대기초+강관말뚝기초로 시공되어 있으며, 교량받침은 포트받침, 신축이음 장치는 레일조인트(A1, A2)로 시공되었다.

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 길이 부족, 배수관 주변 및 연결부 누수, 배수구 위치 불량	
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 • 후타재 균열, 파손, 단차 • 후타재와 포장면 사이 이격	

금회 정밀안전진단용역 수행 중 충주IC1교 현장조사 및 시험 일정 및 내용은 다음과 같다.

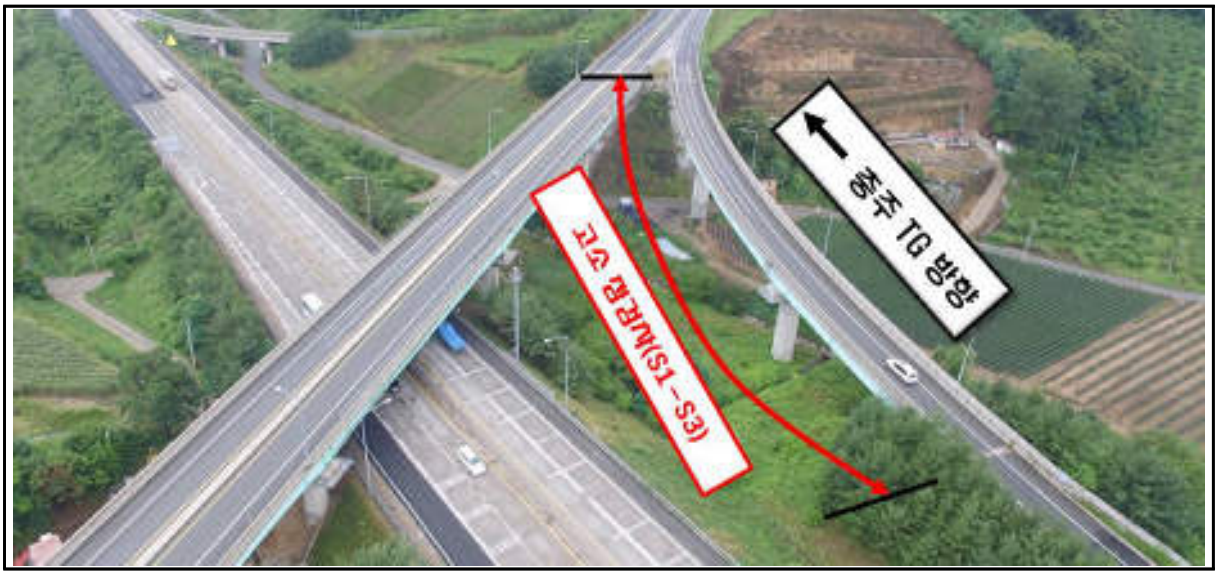
【표 3-2】 현장조사 기간

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. ~ 10.24.	추가조사 (받침장치 이동량 2차 측정 및 균열 진행성 측정 등)	

【표 3-3】 충주IC1교의 일반현황, 하부 주변현황 및 접근장비

일반현황				주변현황 (교차시설물 등)	조사방법
시설물명	형식	연장 (m)	경간구성		
충주IC1교	STB	145.0	45+55+45 (S1~S3)	육상구간(리도 등)	고소점검차

충주IC1교 하부는 리도를 횡단하며, 접근이 용이한 부재의 외관조사는 도보로 실시하였고, Steel Box Girder 외부, 외측 바닥판 하면 등 접근이 난이한 부재는 고소점검차, 사다리, 헬리곱터 드론(4k) 등을 이용하여 실시하였다.



【그림 3-1】 구간별 근접장비 활용방법

도보를 이용한 외관조사	고소점검차를 이용한 외관조사

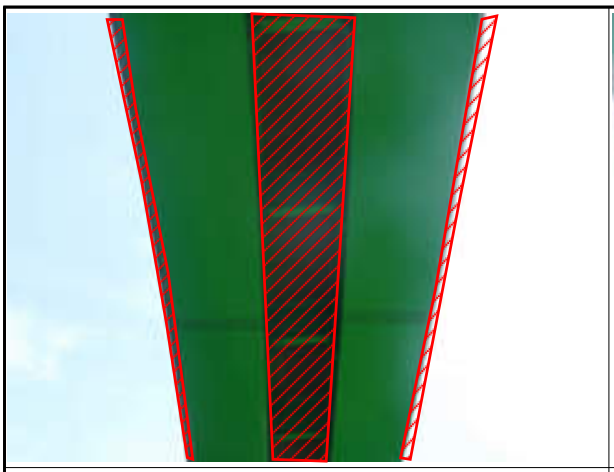
3.2 외관조사

3.2.1 상부구조

가. 바닥판

충주IC1교는 총 3경간(45.0m+55.0m+45.0m=145.0m)으로 구성되어 있으며, 상부구조는 강박스 거더(Steel Box Girder)로 시공되어있다. 충주IC1교의 바닥판하면의 경우 거더와 거더 사이, 좌·우측 캔틸레버부는 콘크리트가 노출되어 시공되었다.

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



콘크리트 바닥판하면 조사범위

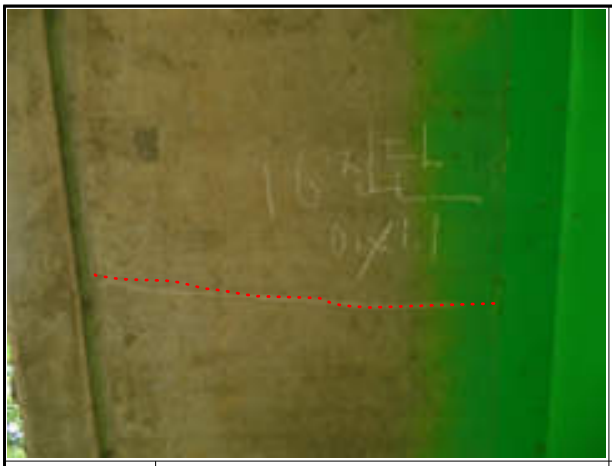
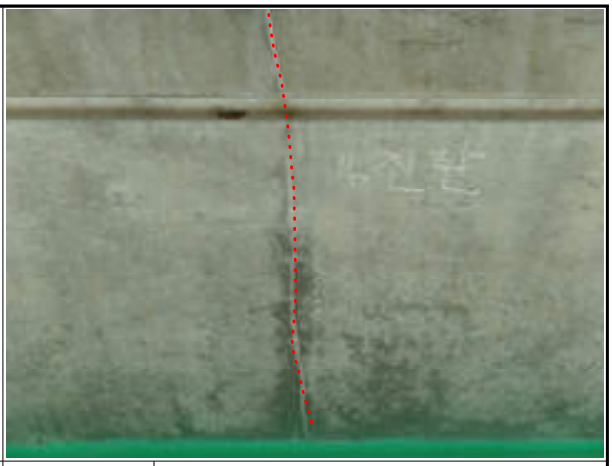
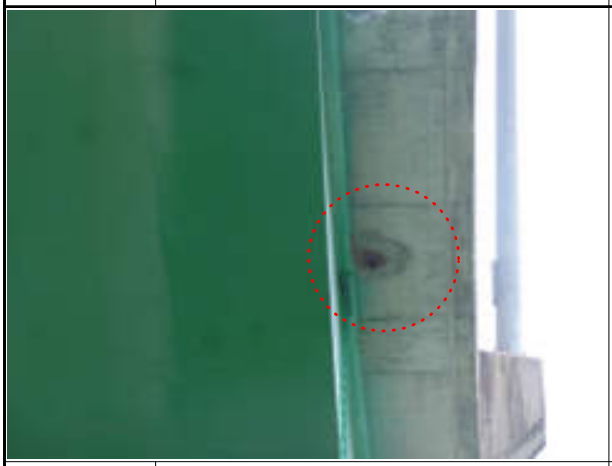
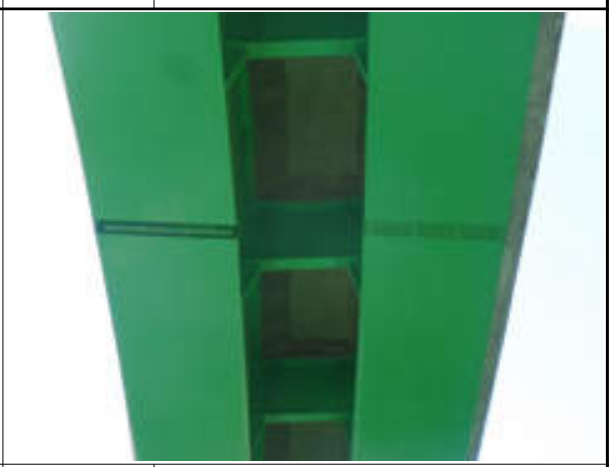
콘크리트 바닥판하면 전경

1) 외관조사 결과

【표 3-4】 바닥판 외관조사 결과

구 분	균열						열화 손상					
	Cw=0.3㎜미만 (m)		Cw=0.3㎜이상 (m)		균열/백태(m)		누수흔적/백태 (㎡)		백태(㎡)		파손(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	173.80	110	-	-	-	-	-	-	0.27	3	0.08	1
S2	81.70	44	11.50	5	4.60	2	0.18	2	-	-	-	-
S3	7.60	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	263.10	159	11.50	5	4.60	2	0.18	2	0.27	3	0.08	1

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S1 바닥판 하면 균열(0.1㎜/1.1m)</td><td>현 황</td><td>◦S2 바닥판 하면 균열(0.2㎜/0.8m)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦건조수축 및 온도변화</td><td>원 인</td><td>◦건조수축 및 온도변화</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦지속관찰</td><td>대 책</td><td>◦지속관찰</td></tr>
<tr><td>  </td><td> </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S1 바닥판 하면 백태(A=0.09㎡)</td><td>현 황</td><td>◦S1 바닥판 하면 파손(A=0.08㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦유공관을 통한 우수유입</td><td>원 인</td><td>◦유도배수판 설치 중 충격</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦표면처리보수</td><td>대 책</td><td>◦단면보수</td></tr>
<tr><td> </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S1 바닥판 하면 유공관 주변 보수</td><td>현 황</td><td>◦S2 바닥판 하면 균열 보수(표면보수)</td></tr>
</table>

3) 기 진단결과와의 비교・분석

- 기존 진단결과 조사된 손상은 균열, 균열/백태, 누수흔적/백태, 파손 등으로 조사되었으며, 금회 정밀안전진단에 따른 손상도 동일한 것으로 나타났다. 그러나 손상물량의 경우 적절한 보수를 실시함으로써 대체적으로 감소한 것으로 나타났다.
- 특히 균열(Cw=0.3㎜미만)의 경우 대부분 표면보수를 통하여 보수가 시행되었으며, 일부 유공관 주변 보수가 실시 된 것으로 나타났다.

【표 3-5】 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	296	475.30	159	263.10	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	6	12.30	5	11.50	▽
	•균열/백태	㎡	2	4.60	2	4.60	-
	•누수흔적/백태	㎡	18	1.98	2	0.18	▽
	•백태	㎡	-	-	3	0.27	△
	•파손	㎡	2	0.38	1	0.08	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 금회 정밀안전진단시 바닥판 손상으로는 균열, 균열/백태, 누수흔적/백태, 백태, 파손 등의 손상이 발생되었다.
- 바닥판 하면에 발생한 균열은 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, 폭 Cw=0.3㎜미만의 미세균열은 현시점의 보수보다는 지속관찰 후 균열 진전시 보수를 실시하며, 일부 Cw=0.3㎜이상의 균열인 경우 내구성 확보를 위하여 주입보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 경간 S2 바닥판 하면에 일부 발생한 균열/백태의 경우, 바닥판 양생시 균열부를 통한 내부수 유출로 백태가 발생한 상태이며, 미세균열과 마찬가지로 표면처리보수를 실시하여 내구성을 확보하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 캔틸레버 바닥판 유공관 및 배수관 누수흔적 및 백태는 유공관 시공 후 마감불량으로 인해 노면수가 유입되어 누수흔적이 발생된 것으로 판단되며, 유공관 주변으로 방수 몰탈 등으로 마감을 실시하고 손상부위에 대하여 표면처리보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- A1측 지점부 캔틸레버 끝단에 발생한 파손은 상부 신축이음에서 발생하는 우수유입을 유도하고자 유도 배수관 설치 중에 발생한 파손으로 판단되며, 단면보수를 실시하는 것

이 적절할 것으로 판단된다.

- 바닥판하면은 구조적 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었으며, 적절한 보수 및 유지관리를 통한 지속적인 관찰이 필요할 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

거더 내부에 대해서는 헤드랜턴 등을 이용하여 도보로 외관조사를 실시하였다. 거더 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】 Steel Box Girder 내부 외관조사 결과

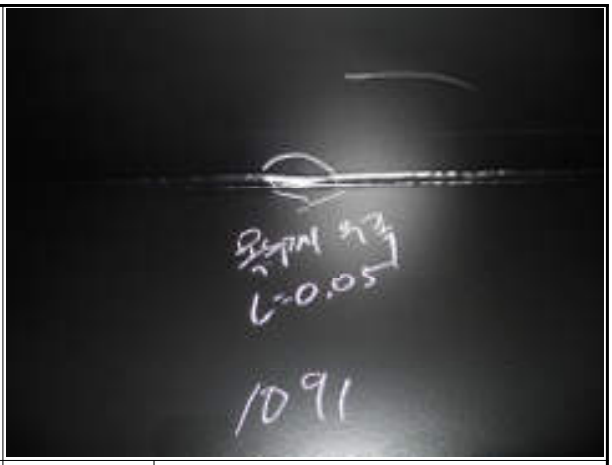
구 분		모재 및 연결부 손상						
		용접불량(PIT)	목두께부족(m)		비드불량(m)		언더컷(m)	
		개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	G1	30	-	-	3.50	19	-	-
	G2	23	-	-	-	-	-	-
S2	G1	66	-	-	0.75	4	-	-
	G2	108	0.35	3	0.20	2	0.20	2
S3	G1	30	0.05	1	0.60	2	-	-
	G2	32	0.20	1	0.30	2	0.10	1
합계		289	0.60	5	5.35	29	0.2	3

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

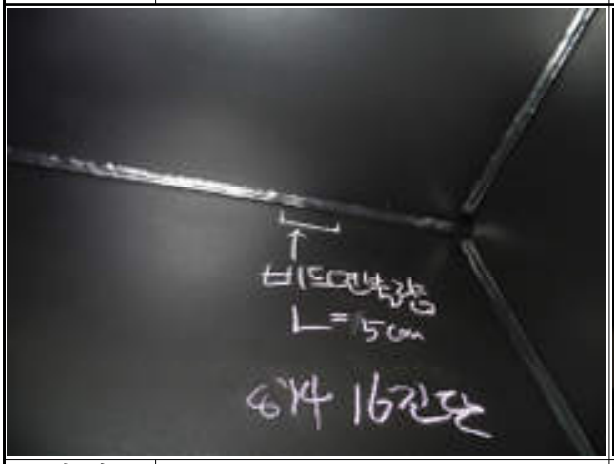
구 분		표면열화						기타		
		도장박리(㎡)		부식(㎡)		볼트풀림	실링재불량	배설물		점검등탈락
		물량	개소	물량	개소	개소	개소	물량	개소	개소
S1	G1	-	-	-	-	-	-	0.09	1	-
	G2	-	-	0.02	2	1	-	-	-	-
S2	G1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	G2	0.04	1	0.62	13	-	-	-	-	-
S3	G1	-	-	0.04	1	-	-	-	-	1
	G2	-	-	0.37	8	-	1	0.04	1	-
합계		0.04	1	1.05	24	1	1	0.13	2	1

② 손상별 원인분석

현 황	◦S1-G1 용접불량(PIT-5EA)
원 인	◦용접작업 자세 불안정
대 책	◦지속관찰

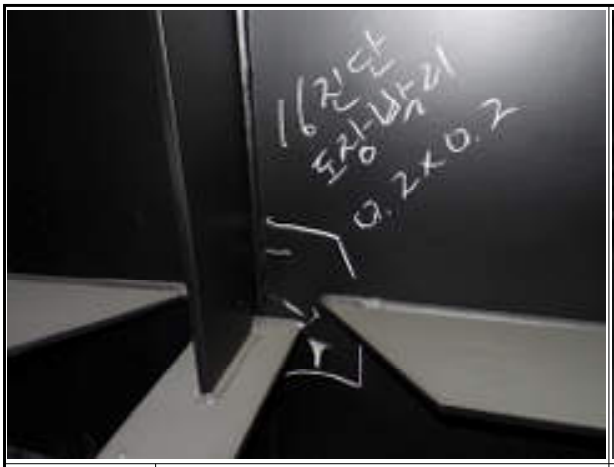


현 황	◦S3-G1 목두께부족(L=0.10m)
원 인	◦용접불량
대 책	◦지속관찰



현 황	◦S3-G1 비드불량(L=0.10m)
원 인	◦용접불량
대 책	◦지속관찰

현 황	◦S3-G2 언더컷(L=0.10m)
원 인	◦용접불량
대 책	◦지속관찰



현 황	◦S2-G2 도장박리(A=0.04㎡)
원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화
대 책	◦재도장

현 황	◦S2-G2 부식(A=0.06㎡)
원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화
대 책	◦녹제거 후 재도장

현 황	◦S1-G2 출입구 볼트풀림
원 인	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화
대 책	◦볼트 재체결

현 황	◦S3-G2 실링재 불량
원 인	◦시공미흡
대 책	◦실링재 재시공

현 황	◦S3-G2 배설물(A=0.04㎡)
원 인	◦배설물
대 책	◦청소

현 황	◦S1-G1 도장박리 보수부
원 인	-
대 책	-

③ 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단결과 조사된 손상은 도장박리/부식, 볼트부식, 용접결함(Pit, 비드면 불량, 언더컷, 목두께 불량), 실링불량, 인분배설 등으로 조사되었으며, 금회 정밀안전진단에 따른 손상은 볼트풀림, 점검등 탈락을 제외하고 대체적으로 동일한 것으로 나타났다. 그러나 손상물량의 경우 적절한 보수를 실시함으로써 대체적으로 감소하거나, 기 진단 결과에 비해 비슷한 수준으로 나타났다.
- 대부분의 보수부는 양호한 상태이며, 조사된 실링불량 등의 손상의 경우 시공시 누락된 것으로 판단된다.

【표 3-7】 Steel Box Girder 내부 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증・감
			개소	수량	개소	수량	
Steel Box Girder 내부	•Pit	개소	363	363	309	309	▽
	•목두께부족, 비드불량, 언더컷	m	34	6.52	39	7.35	△
	•도장박리, 부식	㎡	67	1.85	28	2.11	△
	•볼트풀림	개소	-	-	1	1	△
	•실링재불량	개소	20	20	1	1	▽
	•배설물	㎡	-	-	2	0.13	△
	•점검등탈락	개소	-	-	1	1	△
	•인분배설	㎡	1	0.09	-	-	▽

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

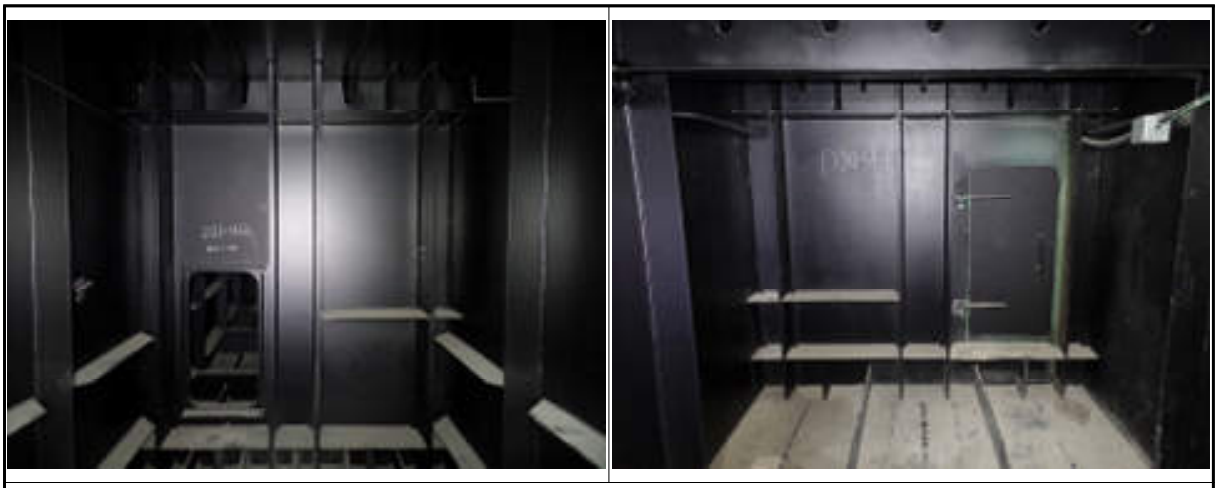
④ 검토의견

- Steel Box Girder 내부는 전반적으로 양호한 상태로 조사되었으나, 일부 개소에서 용접결함 손상으로 피트(Pit), 목두께 부족, 비드불량, 언더컷이 조사되었으며, 기타손상으로 공용중에 발생되는 도장박리, 부식, 실링재 불량 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 등에 의해 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 지속관찰을 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 불량해지는 것으로 판단되며, 강도부족과 응력집중으로 인한 균열발생을 초래 할 수 있으므로 지속관찰이 필요할 것으로 판단된다.
- 기 진단시 조사된 실링불량은 대부분의 개소에서 실링처리 보수가 완료된 상태이나, 금회 진단시 S3-G2에서 일부 실링불량 개소가 조사되었으며, 실링재 재시공이 필요할 것으로 판단되며, 배설물이 퇴적된 개소는 위생 및 외관을 위하여 청소가 필요할 것으로 판단된다.
- 거더내부에 설치되어 있는 점검등 케이블은 현재 전 구간에 절단되어 있는 상태이며, 일부 점검등은 탈락한 상태로 조사되었다.
- 결과적으로, Steel Box Girder 내부는 구조적 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었으며, 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

① 외관조사 결과

【표 3-8】 Steel Box Girder 격벽 외관조사 결과

구 분		모재 및 연결부 손상			표면열화	
		용접불량(PIT)	목두께부족(m)		도장박리(㎡)	
		개소	물량	개소	물량	개소
S1	G1	2	-	-	0.02	2
	G2	5	1.00	1	1.00	1
S2	G1	2	-	-	-	-
	G2	8	-	-	-	-
S3	G1	2	-	-	-	-
	G2	1	0.10	1	-	-
합계		20	1.10	2	1.02	3

② 손상별 원인분석

현 황	◦S3-G2 목두께부족(L=0.1m)	**현 황**	◦S1-G1 도장박리(A=0.01㎡-2EA)
원 인	◦용접불량	**원 인**	◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화
대 책	◦지속관찰	**대 책**	◦재도장

③ 기 진단결과와의 비교・분석

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

④ 검토의견

- Steel Box Girder 내부의 격벽은 전반적으로 양호한 상태로 조사되었으나, 일부 개소에서 피트(Pit), 목두께 부족, 도장박리 등의 손상이 조사되었다.
- 격벽 용접면에서 피트(Pit), 목두께 부족 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 않는바 현재 용접결함의 정도가 구조물의 안전성에 미치는 영향은 경미한 것으로 판단된다. 따라서, 재용접 등 보수보다는 지속관찰을 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, 보수방안으로 재도장이 적절할 것으로 판단된다.
- 결과적으로, Steel Box Girder 격벽은 구조적 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었으며, 적절한 보수 및 지속적인 관찰을 통하여 향후 유지관리 해야 할 것으로 판단된다.

3) Steel Box Girder 외부

거더 외부에 대해서는 고소점검차를 이용하여 근접 조사하였으며, 거더 외부 조사 시 강재 변형, Splice부 볼트부식, 부식, 도장박리 등을 중점적으로 조사하였다.

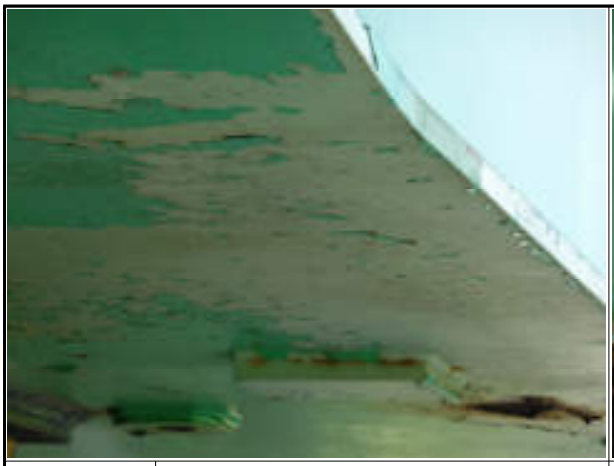
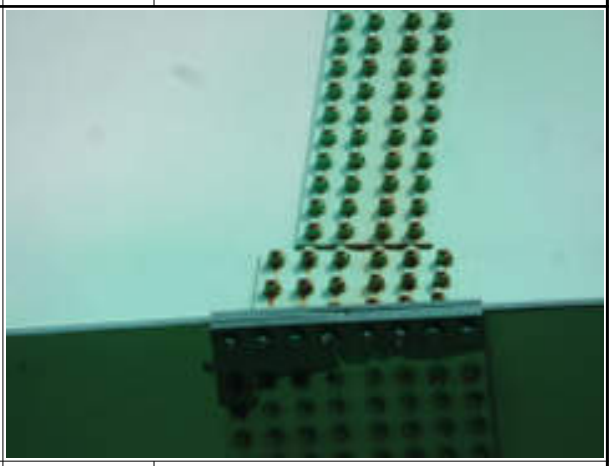
Steel Box Girder 외부 전경

① 외관조사 결과

【표 3-9】 Steel Box Girder 외부 외관조사 결과

구 분		표면열화						
		누수흔적(㎡)		도장박리(㎡)		부식(㎡)		볼트부식
		물량	개소	물량	개소	물량	개소	개소
S1	G1	-	-	-	-	0.15	11	-
	G2	3.00	2	-	-	1.67	7	16
S2	G1	-	-	0.02	1	-	-	-
	G2	-	-	0.09	2	1.01	2	6
S3	G1	-	-	-	-	0.05	1	-
	G2	0.15	1	0.01	1	0.08	4	27
합계		3.15	3	0.12	4	2.96	25	49

② 손상별 원인분석

<table>
<tr><td>  </td><td colspan="2">현 황 ◦S2-G2 도장박리(A=0.08㎡)
원 인 ◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화
대 책 ◦재도장</td><td> </td><td colspan="2">현 황 ◦S1-G2 거더외부 부식(A=0.5㎡)
원 인 ◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화
대 책 ◦재도장</td></tr>
<tr><td> </td><td colspan="2">현 황 ◦S3-G2 거더외부 부식(A=0.02㎡)
원 인 ◦시공미흡 및 경년증가에 따른 노후화
대 책 ◦재도장</td><td>  </td><td colspan="2">현 황 ◦S3-G2 볼트부식(16EA)
원 인 ◦경년증가에 따른 노후화
대 책 ◦재도장</td></tr>
</table>

③ 기 진단결과와의 비교 · 분석

- 기 진단결과 조사된 손상은 도장박리 및 부식, Splice부 볼트부식, 누수흔적 및 오염 등으로 조사되었으며, 금회 정밀안전진단시 조사된 손상 역시 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 3-10】 Steel Box Girder 외부 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
Steel Box Girder 외부	•누수흔적	㎡	7	7.15	3	3.15	▽
	•도장박리, 부식	㎡	37	1.83	29	3.08	△
	•볼트부식	개소	195	195	49	49	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

④ 검토의견

- Steel Box Girder 외부에 대한 외관조사결과, 구조적인 손상은 없으나 누수흔적, 도장박리, 부식, Splice부 볼트부식 등이 조사되어 내구성 확보를 위해 보수가 필요한 상태이다.
- 도장박리, 부식, 볼트부식은 공용기간 중대로 인한 교량의 노후화 및 태양광에 의한 열화, 도장전 바탕 처리불량 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 구조물의 내구성 확보를 위해 재도장을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 거더 외부에서 조사된 누수흔적은 바닥판 하면 캔틸레버부의 유공관으로부터 떨어지는 우수로 인하여 발생된 것으로 판단되며, 캔틸레버 하면에 설치된 배수관 재설치 및 연장을 통해 근본적인 누수 대책을 해결 후 거더 측면 열화 발생부에 대하여는 재도장을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 붕괴유발부재에 대한 조사결과, 용접부는 양호한 상태이며, 면외 응력으로 인한 손상과 부식 등으로 인한 단면감소도 관찰되지 않은 양호한 상태이다. 또한, 볼트이음부에 대한 외관조사 결과 이완, 탈락 등의 손상이 발생되지 않은 것으로 조사되었다.
- 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

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

강 가로보 전경

① 외관조사 결과

- 강 가로보에 대한 외관조사결과, 특이 손상이 없는 대체적으로 양호한 상태인 것으로 조사되었다.

② 기 진단결과와의 비교 · 분석

- 기 진단결과는 도장손상이나 부식, 각종 변형 및 균열, 이상음 발생 등의 손상이 없는 대체적 양호한 상태인 것으로 조사되었으며, 금회 진단도 양호한 상태로 조사되었다.

③ 검토의견

- 강 가로보 외관조사 결과, 구조적 손상이 없는 양호한 상태이며 지속적인 관찰을 통하여 유지관리 해야 할 것으로 판단된다.

3.2.2 하부구조

가. 교대

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

충주IC1교의 교대형식은 역T형식이고, 기초형식 A1, A2는 확대기초, 강관말뚝기초로 시공되어 있으며 금회 현장 조사시 교대의 외관상태, 법면사면(압성토)를 중점적으로 조사하였다.

교대(A1) 전경

교대(A2) 전경

1) 외관조사 결과

【표 3-11】 교대 외관조사 결과

구 분	균열		표면열화					
	Cw=0.3㎜미만 (m)		보수부 박리 (㎡)		재료분리 (㎡)		침하 (m)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
A1	0.50	1	1.16	3	-	-	-	-
A2	1.70	3	-	-	0.12	1	0.07	1
합계	**2.20**	**4**	**1.16**	**3**	**0.12**	**1**	**0.07**	**1**

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦A1 구체 균열(0.1㎜/0.5m)</td><td>현 황</td><td>◦A1 흉벽 보수부박리(A=0.5㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦건조수축 및 온도변화</td><td>원 인</td><td>◦우수유입으로 인한 박리 발생</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦지속관찰</td><td>대 책</td><td>◦표면처리보수</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦A2 구체 재료분리(A=0.12㎡)</td><td>현 황</td><td>◦A2 침하(H=0.07m)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦시공시 배합 불량 및 다짐불량</td><td>원 인</td><td>◦압성토 침하</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦단면보수</td><td>대 책</td><td>◦지속관찰</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td colspan="3">◦A1 구체 균열(0.3㎜/0.7m)</td></tr>
</table>

현 황	◦A2 흉벽 균열(1.0㎜/2.2m)

3) 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단시 외관조사 결과, 구체 및 흉벽에서 건조수축과 단면변화 응력집중으로 인한 균열(Cw=0.1~0.2㎜), 신축이음부 우수유입으로 인한 흉벽 누수흔적, 국부 백태, 녹발생, 파손 등이 조사되었으며, 금회 진단시에는 균열 및 보수부 박리, 재료분리, 침하 등의 손상이 조사되었다.
- 기 진단시 조사된 손상은 대부분 보수되었으며, 금회 발생한 손상은 추가로 조사된 것으로 판단된다. 교대 A1, A2 보호 블록(압성토) 사면은 파손, 슬라이딩에 의한 사면 침하 등은 조사되지 않았다.

【표 3-12】 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	14	8.30	4	2.20	▽
	•백태	㎡	2	0.41	-	-	▽
	•파손	㎡	1	0.01	-	-	▽
	•보수부박리	㎡	-	-	3	1.16	△
	•재료분리	㎡	-	-	1	0.12	△
	•침하	m	-	-	1	0.07	△
	•녹발생	㎡	8	0.14	-	-	▽
	•누수흔적	㎡	1	14.00	-	-	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 교대는 미세균열, 보수부 박리, 재료분리, 침하 등의 손상이 조사되었다.
- 교대에 발생한 균열의 형상 및 발생 위치 등을 검토한 결과, 건조수축 및 온도변화에

의해 발생된 비구조적인 균열로 판단되며, 발생한 균열폭이 0.3㎜미만으로 현시점의 보수보다는 지속관찰을 통해 균열 진전시 보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

- A1 구체(우측면)부에 발생한 균열폭 0.3㎜의 균열은 건조수축 및 온도변화에 의해 발생된 비구조적인 균열로 판단되며, 금회 진단기간 중 내구성 확보를 위하여 균열보수(2016.11.)가 이루어진 상태이다.
- 금회 진단시 A2 흉벽(우)부에 발생한 균열폭 1.0㎜의 균열은 해당위치에 설치된 배전판 볼트체결부의 우수로 인한 부식으로 인해 발생한 것으로 판단되며, 금회 진단기간 중 내구성 확보를 위하여 균열보수(2016.11)가 이루어진 상태이다.
- 교대 A1에서 발생한 보수부 박리는 상부 신축이음부에서 유입된 우수로 인하여 발생된 것으로 판단되며, 배수관 및 배수홈통설치와 교대 상면 유도배수로 설치 후 표면처리를 통하여 보수를 하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- A2 구체부에서 발생한 재료분리는 시공시 다짐불량에 의한 것으로 판단되며, 단면복구를 시행하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 교대 A2 압성토에서 발생한 침하는 금회 진단시 발생된 손상으로 판단되며, 침하량 7㎝정도 발생한 것으로 나타났으나, 향후 지속관찰을 통하여 진행성 여부를 판단하여 적절한 보수방안이 수립되어야 할 것으로 판단된다.

나. 교각

상부구조를 지지하는 구조물인 교각형식은 T형 교각식이고, 기초형식(P1~P2)은 직접기초로 시공되어 있다. 충주IC1교는 3경간 교량으로 교각이 2개소로 유지관리를 용이하게 하기 위한 출입사다리 및 점검통로가 시공되어 있어 도보점검 및 고소점검차를 이용하여 조사하였다.

교각(P1) 전경

교각(P2) 전경

1) 외관조사 결과

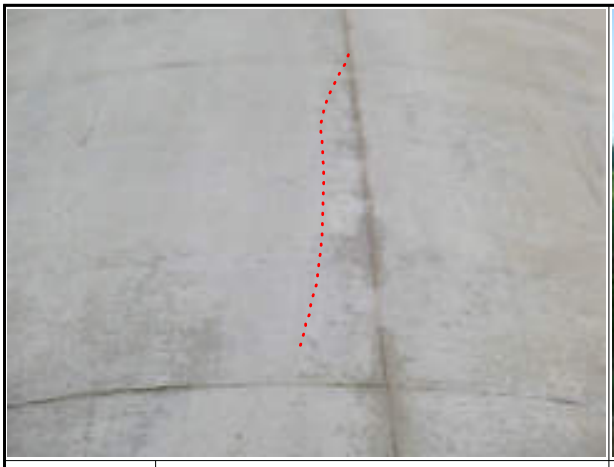
【표 3-13】 교각 외관조사 결과

구 분	균열				표면열화			
	Cw=0.3㎜미만 (m)		망상균열 Cw=0.3㎜미만(㎡)		누수흔적 (㎡)		들뜸 (㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
P1	16.90	17	-	-	0.70	1	-	-
P2	28.70	21	21.21	6	3.00	1	3.00	1
합계	**45.60**	**38**	**21.21**	**6**	**3.70**	**2**	**3.00**	**1**

【표 3-13】 교각 외관조사 결과(계속)

구 분	표면열화							
	박락(㎡)		보수부 박리(㎡)		재료분리(㎡)		파손(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
P1	0.06	1	0.08	1	-	-	0.03	3
P2	-	-	-	-	0.78	1	-	-
합계	**0.06**	**1**	**0.08**	**1**	**0.78**	**1**	**0.03**	**3**

2) 손상별 원인분석



현 황	◦P1 교각부 균열(0.2㎜/1.0m)
원 인	◦건조수축 및 온도변화
대 책	◦지속관찰

현 황	◦P2 교각부 망상균열(A=7.20㎡, Cw=0.1㎜)
원 인	◦건조수축 및 온도변화
대 책	◦지속관찰

현 황	◦P1 코핑부 박락(A=0.06㎡)
원 인	◦상부 유입되는 우수로 인한 열화
대 책	◦단면보수

현 황	◦P2 교각부 파손(A=0.01㎡/3EA)
원 인	◦외부충격
대 책	◦단면보수

현 황	◦P2 코핑부 하면 누수흔적/들뜸(A=3.00㎡), 재료분리(A=0.78㎡)
원 인	◦시공시 다짐불량/상부 우수유입으로 인한 백태 및 내부 철근부식
대 책	◦철근 방청 후 단면보수

현 황	◦P1 코핑부(우측면) 균열(0.3㎜/0.7m, 0.3㎜/0.5m)

현 황	◦P2 코핑부(후면) 균열(0.3㎜/0.4m)

현 황	◦P2 코핑부(하면) 균열(0.3㎜/1.0m)

현 황	◦P2 코핑부(하면) 균열(1.0㎜/2.0m)

3) 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단 결과, 균열 및 망상균열, 균열/백태, 재료분리, 파손 등이 발생하였으나, 금회 진단시 확인결과 전반적인 보수를 실시한 상태이다. 그러나 공용년수의 증가로 인해 코핑부 하면 들뜸(P2), 박락, 보수부 박리 등의 손상이 추가 조사되었다.
- 대부분의 기 진단을 통한 보수상태가 양호하나, P2 코핑부 하면에서 발생한 누수흔적/들뜸, 재료분리 발생부는 타격조사 결과 들뜸이 발생한 것으로 조사되었다.

【표 3-14】 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	82	100.60	38	45.60	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	2	2.00	-	-	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	13	55.62	6	21.21	▽
	•누수흔적	㎡	3	4.75	2	3.70	▽
	•균열/백태	m	1	1.00	-	-	▽
	•균열/녹발생	m	1	2.00	-	-	▽
	•들뜸	㎡	-	-	1	3.00	△
	•박락	㎡	-	-	1	0.06	△
	•보수부박리	㎡	-	-	1	0.08	△
	•재료분리, 파손	㎡	14	3.09	4	0.81	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

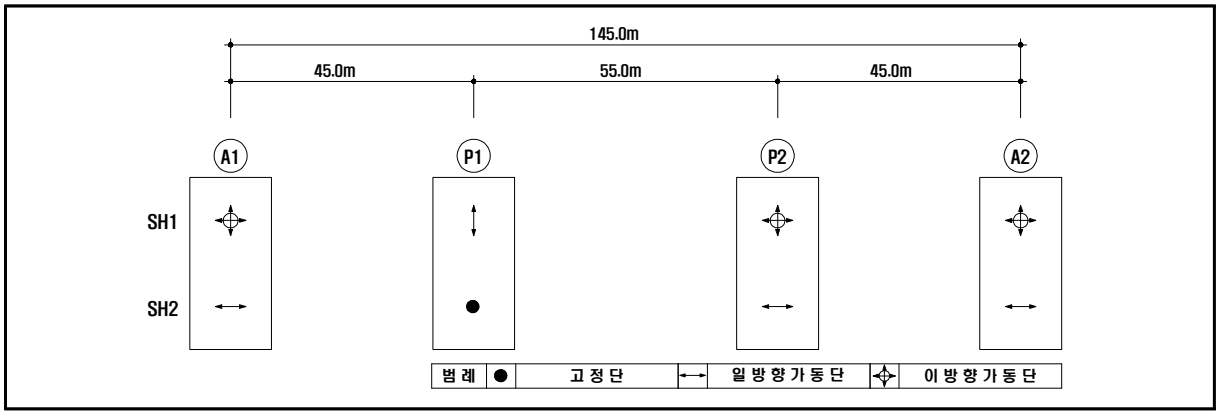
- 교각은 전반적인 보수를 실시한 상태이나 균열, 망상균열, 누수흔적, 들뜸, 박락, 보수부 박리, 재료분리, 파손 등의 손상이 조사되었다.
- 균열(최대폭 : 0.2㎜), 망상균열은 균열의 형상 및 발생 위치 등을 검토한 결과, 건조수축 및 온도변화에 의해 발생된 비구조적인 균열로 판단되며, 손상정도가 경미하여 보수의 긴급성은 없으므로, 지속관찰을 통해 균열 진전시 보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 망상균열(Cw=0.1㎜)은『재령초기 표면 건조수축으로 인해 발생된 것으로 판단되며, 건조수축은 콘크리트가 수화반응을 하는데 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 수축

을 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)

- 금회 코핑부에 발생한 균열폭 0.3㎜이상(최대폭 1.0㎜)의 균열은 건조수축 및 온도변화, 우수유입에 의해 발생된 손상으로 판단되며, 금회 진단기간 중 내구성 확보를 위하여 균열보수(2016.11.)가 이루어진 상태이다.
- 교각에 발생한 국부적인 콘크리트 결함(박락, 파손, 박리 등) 중 박락 및 파손 등은 공용 중 내구성 저하의 우려가 있으므로 단면보수가 요구되며, 박리는 표면처리보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- P2의 코핑부 우측면과 하면에 발생한 누수흔적, 들뜸, 재료분리는 상부구조 유공관을 통해 떨어지는 우수가 균열부와 재료분리부 등의 치밀성 부족부로 침투되어 내부 철근 부식을 유발하고 이로 인해 들뜸으로 발전된 것으로 판단되며, 내구성 확보를 위하여 들뜸부 파취를 진행하고 내부 철근방청 후 단면보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- P2 코핑부 하면(우)에 발생한 들뜸, 재료분리는 현재 열화정도가 기 진단 비교시 심화된 상태로 판단되며, 적절한 보수·보강이 시급한 것으로 판단되는 상태이다.
- 그 외에 교각은 양호한 상태로 판단되며, 각 손상에 맞는 적절한 보수를 실행하고 향후 유지관리가 필요할 것으로 판단된다.

다. 교량받침

본 교량의 받침장치은 Pot Bearing 받침으로 총 8개소가 시공되었으며, 전차 점검에서 확인된 손상에 대하여 전반적인 보수가 완료된 상태이나 금회 추가 손상으로 받침몰탈, 받침콘크리트 균열 및 파손과 상부플레이트 부식이 일부 조사되었다. 교량받침 현황은 다음과 같다.



【그림 3-2】 충주IC1교 교량받침 배치도

교량받침 전경(A1-Sh1, 양방향)

교량받침 전경(P1-Sh2, 고정단)

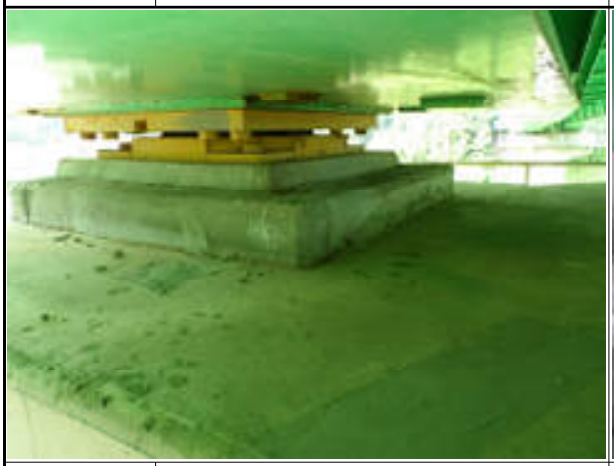
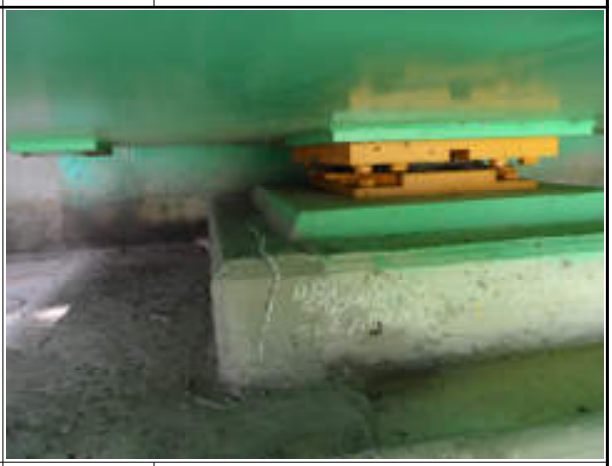
교량받침 전경(P2-Sh2, 일방향)

1) 외관조사 결과

【표 3-15】 교량받침 외관조사 결과

구 분	받침본체		받침콘크리트, 받침몰탈							
	부식(㎡)		균열 Cw=0.3㎜미만(m)		박락(㎡)		파손(㎡)		녹발생(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
A1	-	-	0.20	1	-	-	0.26	2	0.40	2
P1	0.20	1	0.30	3	-	-	0.01	1	-	-
P2	0.10	1	-	-	0.08	2	-	-	-	-
A2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	**0.30**	**2**	**0.50**	**4**	**0.08**	**2**	**0.27**	**3**	**0.40**	**2**

2) 손상별 원인분석

현 황	◦P2-Sh2 받침부식(A=0.10㎡)	**현 황**	◦P1-Sh2 받침콘크리트 균열(0.2㎜/0.3m)
원 인	◦신축이음부 및 외측면을 통한 우수유입	**원 인**	◦건조수축 및 온도변화
대 책	◦녹제거 후 재도장	**대 책**	◦지속관찰
			
현 황	◦P2-Sh2 받침콘크리트 박락(A=0.1㎡)	**현 황**	◦A1-Sh2 받침콘크리트 파손(A=0.13㎡)
원 인	◦우수유입에 따른 동결융해작용	**원 인**	◦우수유입으로 인한 동결융해작용
대 책	◦단면보수	**대 책**	◦단면보수

3) 기 점점결과와의 비교・분석

- 기 진단결과 조사된 손상은 받침부식, 무수축 몰탈 및 콘크리트 균열, 재료분리, 들뜸, 파손, 녹발생 등으로 조사되었으며, 금회 정밀안전진단시 조사된 손상 역시 대체로 동일한 것으로 나타났다.
- 각각의 손상물량은 증감하였으며, 이는 기 진단 결과에 따른 보수로 인해 일부 감소하기도 하였으나, 공용년수 증가에 따른 노후화로 인해 일부 손상물량은 증가한 것으로 조사되었다.

【표 3-16】 교량받침 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
교량받침	•부식	㎡	2	0.28	2	0.30	▽
	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	21	4.40	5	0.80	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	2	1.00	-	-	▽
	•재료분리	㎡	1	0.04	-	-	▽
	•박락	㎡	-	-	2	0.08	△
	•파손	㎡	12	1.70	3	0.27	▽
	•녹발생	㎡	2	0.02	2	0.40	△

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 금회 교량받침 조사결과, 받침본체 부식, 받침콘크리트 및 몰탈 균열, 받침 콘크리트 박락, 파손, 녹발생 등의 손상이 조사되었다.
- 교량 받침 소울플레이트에 부식이 국부 조사되었으며, 이는 외측면을 통한 우수유입이 가장 주요한 원인으로 판단되며, 녹제거 후 재도장을 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 받침콘크리트, 받침 몰탈에 발생한 0.3㎜미만의 균열은 건조수축 및 양생불량 등에 의한 비구조적인 손상으로 판단되며, 손상의 정도가 경미하여 지속관찰을 통해 균열 진전 시 보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 받침 콘크리트에 발생한 파손, 박락은 우수유입에 따른 동결융해 및 내부 철근부식 팽창에 의한 것으로 판단되며, 발생된 손상에 대해서는 내구성 확보를 위하여 단면보수가 필요할 것으로 판단된다.
- 받침 콘크리트에 발생한 녹발생은 받침 콘크리트 상면 균열부를 통한 우수침투로 인한 철근부식이 주요 원인으로 철근 방청 후 단면보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

5) 연단거리 검토

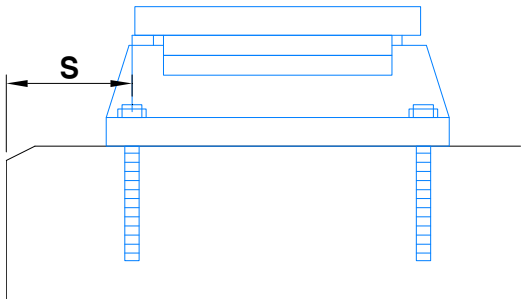
교좌면은 받침을 통해 상부구조로부터 하중을 받는 곳이고 또한 지진시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 따라서 받침 끝에서 정부 연단까지의 거리가 작으면 고정단에서는 전단면에 연해서 콘크리트 구체 또는 받침이 파손될 수 있고, 가동단에서는 최악의 경우 받침이 벗어나 거더가 낙하할 수도 있다. 따라서 도로교 설계기준에서는 상부구조의 길이에 따라 연단거리의 최솟값을 정해놓았으며, 본 과업에서는 실제 시공된 연단거리와 설계 연단거리를 비교・검토하였다.

■ 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



< 포트받침 >

연단거리 측정 개요도

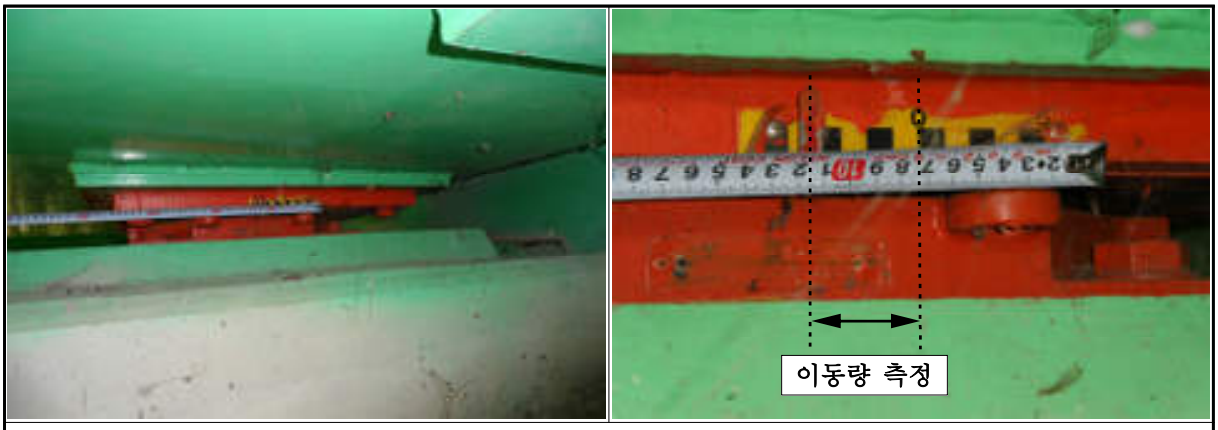
연단거리 실측 전경

【표 3-17】 연단거리 측정결과

구 분		경간장 (m)	계산 연단거리(㎜)	실측 연단거리(㎜)		검토 결과
				Sh1	Sh2	
A1	종점측	45.0	425	600	600	O.K
P1	시점측	45.0	425	960	980	O.K
	종점측	55.0	475	950	970	O.K
P2	시점측	55.0	475	940	960	O.K
	종점측	45.0	425	900	900	O.K
A2	시점측	45.0	425	600	600	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 Sh1 받침 이동량 측정(43mm / 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

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

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)	$\frac{2}{3}\times 2{,}800$			
보의 회전각(θi)	1/150 (Steel Box Girder교)			
보의 처짐에 의한 가동량($\Delta \ell r$)	$\triangle l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$			
신축거더길이 (L, m)	A1	P1	P2	A2
	45.0	0	55.0	100.0

※ 처짐에 의한 가동량은 팽창시만 고려하여 계산

① 교량받침 가동량 측정결과 및 가동 여유량 분석

포트받침으로 시공된 충주IC1교의 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】 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	0.000012	45	26.6	5.8	10.2	26.6	5.8
P1	고정단								
P2	49.2	10.8	0.000012	55	32.5	7.1	12.4	32.5	7.1
A2	49.2	10.8	0.000012	100	59.0	13.0	10.2	59.0	23.2
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 3-20】 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	+43 (A1)	26.6	5.8	93.0	7.0	±50	O.K
	Sh2	+42 (A1)			92.0	8.0		O.K
P1	고정단							-
P2	Sh1	+10 (A2)	32.5	7.1	60.0	40.0	±50	O.K
	Sh2	+10 (A2)			60.0	40.0		O.K
A2	Sh1	+30 (A2)	59.0	23.2	80.0	20.0	±50	N.G
	Sh2	+30 (A2)			80.0	20.0		N.G
주) 판정 : 최대 받침 이동량 ≤ 실측 받침 가동여유량 ⇒ O.K								

- 교량받침의 이동량을 검토한 결과, 대부분 충분한 가동 여유량을 확보하고 있는 것으로 평가되었다. 다만, A2-Sh1, Sh2의 받침 이동량은 계산에 의한 최대 신장시 받침이동량이 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 부재의 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】 교량받침 가동상태 검토결과

구 분		실측이동량(㎜)		변동량(㎜)		비 고
		1차	2차	실측치	이론치	
A1	Sh1	+43 (A1)	+30 (A1)	13.0	7.0	1차:29.2℃ 2차:16.2℃ 온도차:13.0℃
	Sh2	+42 (A1)	+33 (A1)	9.0		
P1	고정단					-
P2	Sh1	+10 (A2)	+4 (A2)	6.0	8.6	
	Sh2	+10 (A2)	+5 (A2)	5.0		
A2	Sh1	+30 (A2)	+19 (A2)	11.0	15.6	
	Sh2	+30 (A2)	+20 (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.

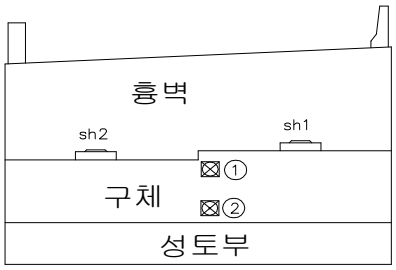
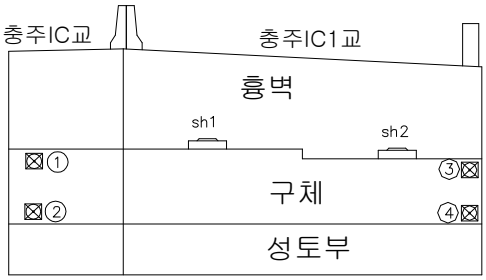
3.2.3 교대 기울기 측정

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

<table>
<tr><th colspan="3">측정 위치</th></tr>
<tr><th>A1 교대</th><th colspan="2">A2 교대</th></tr>
<tr><td> 
</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td><td>
</td></tr>
<tr><td>측정 결과</td><td>측점 전경(A1)</td><td>측점 전경(A2)</td></tr>
</table>

2) 측량 결과 좌표

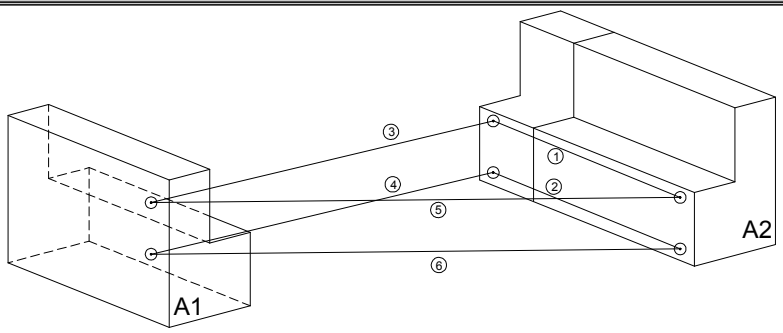
위치	①			②			③			④		
	N축	E축	Z축	N축	E축	Z축	N축	E축	Z축	N축	E축	Z축
교대 A1	-99.618	5.960	12.719	-99.623	5.973	12.709	-	-	-	-	-	-
교대 A2	44.157	13.029	14.100	44.158	13.023	13.421	40.436	22.215	13.819	40.428	22.237	13.014

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.

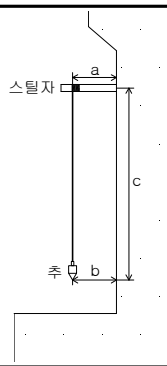
【표 3-22】 광파기를 이용한 측량 결과

측점 모식도(A1, A2)							
							
측정일자	위치	측정 결과					
		①	②	③	④	⑤	⑥
2016.07.26	교대 A1	9.911	9.940	143.949	143.954	140.994	140.992

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

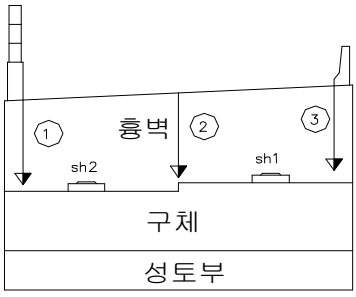
■ c : 줄의 총 길이(mm)

$$경사(d) = \frac{(b-a)}{c}(\%)$$

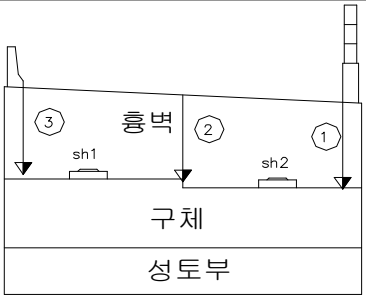
■ 경사 부호

: (-)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 3-23】 다림추를 이용한 기울기 결과

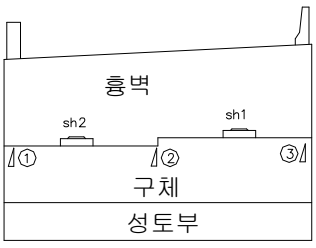
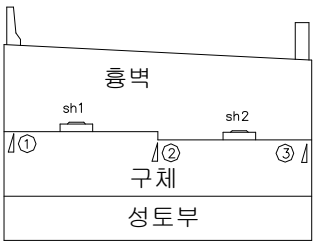
구 분		교대 기울기 측정 결과(단위 : mm)					
		①		②		③	
		금회	전회	금회	전회	금회	전회
A1	상단 이격거리(a)	80	100	80	100	80	100
	하단 이격거리(b)	77	85	82	95	62	75
	줄의 총 길이(c)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
	경사(d)	-0.15%	-0.75%	0.10%	-0.25%	-0.90%	-1.25%
A2	상단 이격거리(a)	80	100	80	100	80	100
	하단 이격거리(b)	89	95	87	105	88	98
	줄의 총 길이(c)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
	경사(d)	0.45%	-0.25%	0.35%	0.25%	0.40%	-0.10%

A1 교대는 -1.25~0.10%의 경사가 측정되었고, A2 교대는 -0.25~0.45%의 경사가 측정되었다. 교대 A1의 기울기는 흉벽측으로 교대 A2의 기울기는 교각측으로 기울어진 것으로 분석되었다. 또한, 기 점점 결과와 비교 시 유사한 것으로 검토되었으며 이는 흉벽 시공 시 거푸집 변형 및 콘크리트면이 일정하지 않은 오차로 볼 수 있다.

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

【표 3-24】 경사계를 이용한 기울기 결과

측정일자	위치	측정 결과			기호정의
		①	②	③	
2016.08.30	교대 A1	0.0°	-0.5°	-0.2°	전면/배면:(-), 전면\배면:(+)
	교대 A2	-0.7°	-0.9°	-0.6°	

경사계를 이용한 기울기 측정결과 교대 구체 A1 및 A2 모두 배면쪽으로 기울어진 상태이며 코핑부 상면에 체수 등은 발생되지 않은 상태이다.

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 충주IC 1교 교대부(A1, A2)를 대표단면으로 선정하여 측방유동 검토를 수행하고 자 한다.

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 11/30~50/27의 실트섞인 세립의 모래(SM)로 이루어진 풍화잔류토층으로 연약지반으로 분류하기 어려우므로 원호활동에 의한 측방유동 안정성을 검토하였다. 또한 교대배면의 성토로 인하여 기초지반은 측방토압을 받게되어 이로 인해 교대기초 말뚝에서 수평변위가 발생될 것으로 예상되므로 이에 대해 2차원 지반해석을 통하여 수평변위 및 침하량을 확인하였다.

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 비탈면설계기준(2011)』 쌓기비탈면의 허용 기준인 Fs=1.1을 적용하였다.

【표 3-25】 기준안전율

구 분	사면활동에 대한 기준안전율				적용
	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) 설계지진가속도

지진시의 경우 내진 I 등급(재현주기 1,000년), 지진구역계수(0.11g), 위험도 계수(1.4)를 반영하여 0.154g 설계지진가속도를 적용하였다.

【표 3-26】 설계지진 가속도

구 분	내진성능목표	지진구역계수	위험도 계수	설계지진 가속도
내진 I 등급	1,000년	0.11g(여주시)	1.4	0.154g

4) 허용 수평변위 및 침하량 선정

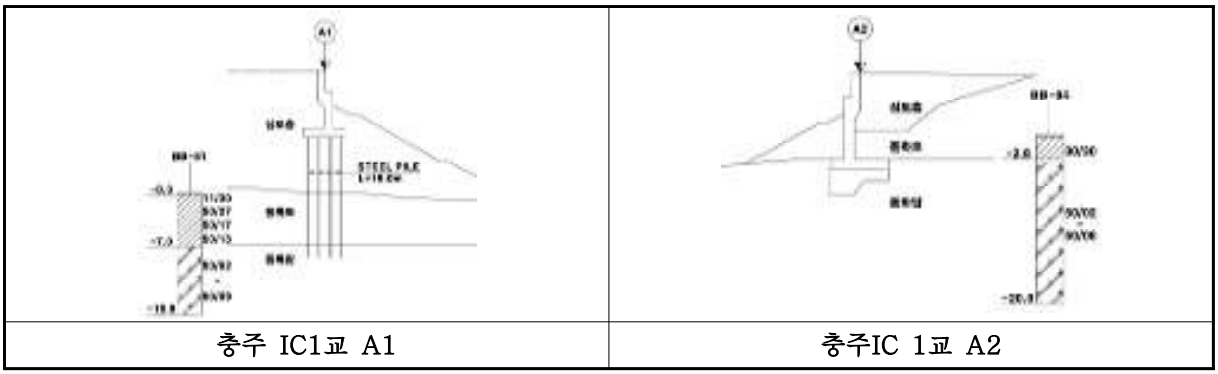
구조물 기초지반에 대한 허용 침하량은 각 기관별로 25~50mm의 범위로 구조물의 장기적 안정을 고려하여 하한값인 25mm, 허용 수평변위는 D1,500mm 이하의 말뚝에서 적용하는 15mm를 허용 수평변위로 적용하였다.

【표 3-27】 허용 수평변위 및 침하량

허용 수평변위	허용 침하량
15mm	25mm

5) 대표단면 선정

충주IC1교 교대부(A1, A2)를 대표단면으로 선정하여 원호활동에 의한 측방유동 검토를 수행하였다. 또한 2차원 지반해석은 성토고가 높아 안정성에 불리한 교대부 A1을 대표단면으로 선정하여 수치해석을 실시하였다.



충주 IC1교 A1	충주IC 1교 A2

【그림 3-3】 대표단면 선정

6) 적용 물성치

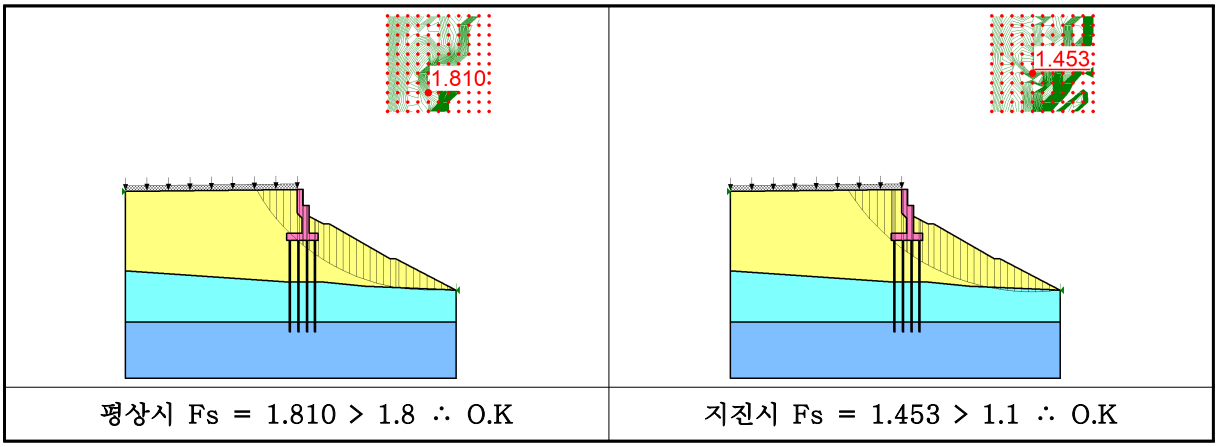
적용 물성치는 중부내륙 고속도로(충주~여주간) 건설공사 토질조사보고서 제4공구(용전~완오) 준공도서를 참조하여 다음과 같이 결정하였다.

【표 3-28】 적용 물성치

구 분	단위중량(kN/㎥)	점착력(kN/㎡)	내부마찰각	변형계수(MPa)	포아송비
성토층	19	15	25	90	0.35
풍화토	19	5	30	110	0.32
풍화암	21	30	33	400	0.30

7) 검토결과

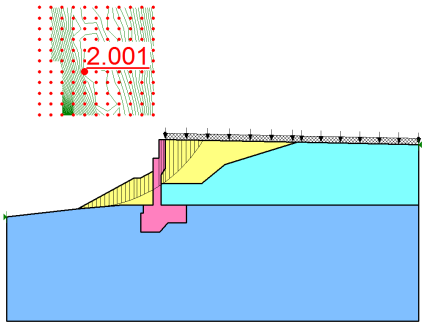
① A1 교대



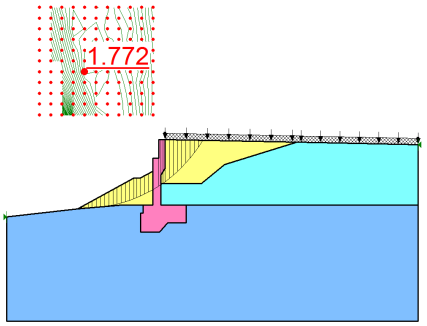
평상시 Fs = 1.810 > 1.8 ∴ O.K	지진시 Fs = 1.453 > 1.1 ∴ O.K

【그림 3-4】 원호활동에 의한 방법(A1 교대)

② A2 교대



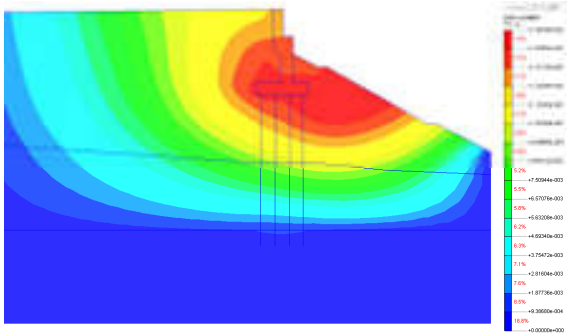
평상시 Fs = 2.001 > 1.8 ∴ O.K



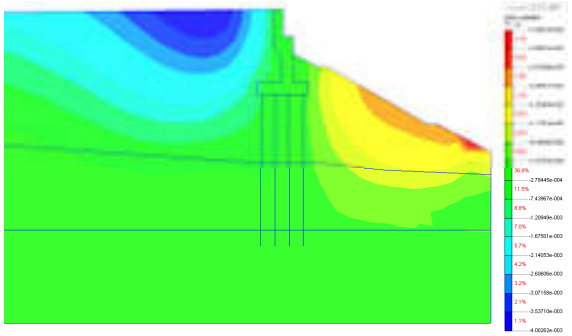
지진시 Fs = 1.772 > 1.1 ∴ O.K

【그림 3-5】 원호활동에 의한 방법(A2 교대)

8) 수치해석(A2 교대)



수평변위 : 14.52mm < 15.0mm ∴ O.K



침하량 : 4.01mm < 25.0mm ∴ O.K

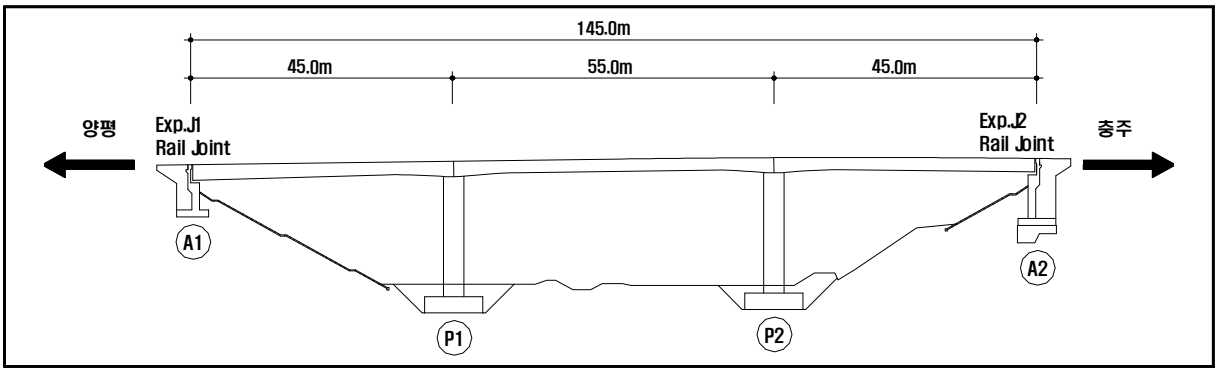
【그림 3-6】 수치해석에 의한 방법(A2 교대)

9) 결론

원호활동에 의한 측방유동 검토결과 기준안전율을 상회하여 측방유동의 가능성은 없는 것으로 검토되었고 2차원 수치해석을 통한 지반해석 결과 최대 수평변위는 14.52mm, 침하량은 4.01mm로 허용값 이내로 안정한 것으로 나타났다. 따라서 본 교량의 협착으로 인한 균열은 해석적인 측면보다는 주변현상을 바탕으로 향후 장기적인 관찰이 필요할 것으로 판단된다.

3.2.4 신축이음장치

신축이음 장치는 온도변화에 의한 신축거동, 교면수의 하부유입을 막는 차수기능을 하는 부재로써 현장 조사시에 이러한 기능성 저하여부, 내구성 측면, 차량 주행 안전성 등에 대해 중점적으로 조사하였다. 충주IC1교의 신축이음장치는 A1, A2에 레일 조인트로 설치되어 있으며, 신축이음 배치 현황은 다음과 같다.



【그림 3-7】 충주IC1교 신축이음 배치도

신축이음장치 전경(A1)

신축이음장치 전경(A2)

1) 외관조사 결과

【표 3-29】 신축이음장치 외관조사 결과

구 분	신축이음장치본체		후타재			
	부식(m)		균열 Cw=0.3㎜미만(m)		파손(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소
A1	0.30	2	-	-	-	-
A2	0.36	2	11.90	17	0.10	1
합계	**0.66**	**4**	**11.90**	**17**	**0.10**	**1**

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦A1 신축이음장치 부식(A=0.15㎡)</td><td>현 황</td><td>◦A1 후타재 균열(0.1㎜/0.7m, 20EA)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦공용 중 우수에 의한 부식</td><td>원 인</td><td>◦건조수축, 중차량 통과</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦지속관찰</td><td>대 책</td><td>◦표면처리보수</td></tr>
<tr><td> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦A2 후타재 균열(0.1㎜/0.7m, 17EA)</td><td>현 황</td><td>◦A2 후타재 파손(A=0.1㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦건조수축, 중차량 통과</td><td>원 인</td><td>◦중차량에 의한 파손</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦표면처리보수</td><td>대 책</td><td>◦단면보수</td></tr>
</table>

3) 기 점점결과와의 비교 · 분석

- 기 진단 외관조사 결과, 신축이음장치 부식과 후타재 균열, 신축이음부 하부 채움재 누락이 조사되었으며, 금회 진단시에도 신축이음장치 부식 및 후타재 균열이 동일하게 조사되었다. 또한 금회에는 후타재 파손이 추가적으로 조사되었다.

【표 3-30】 신축이음장치 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
신축이음	•부식	m	4	0.66	4	0.66	-
	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	61	29.39	17	11.90	▽
	•파손	㎡	-	-	1	0.10	△
	•채움재 누락	m	3	2.10	-	-	▽

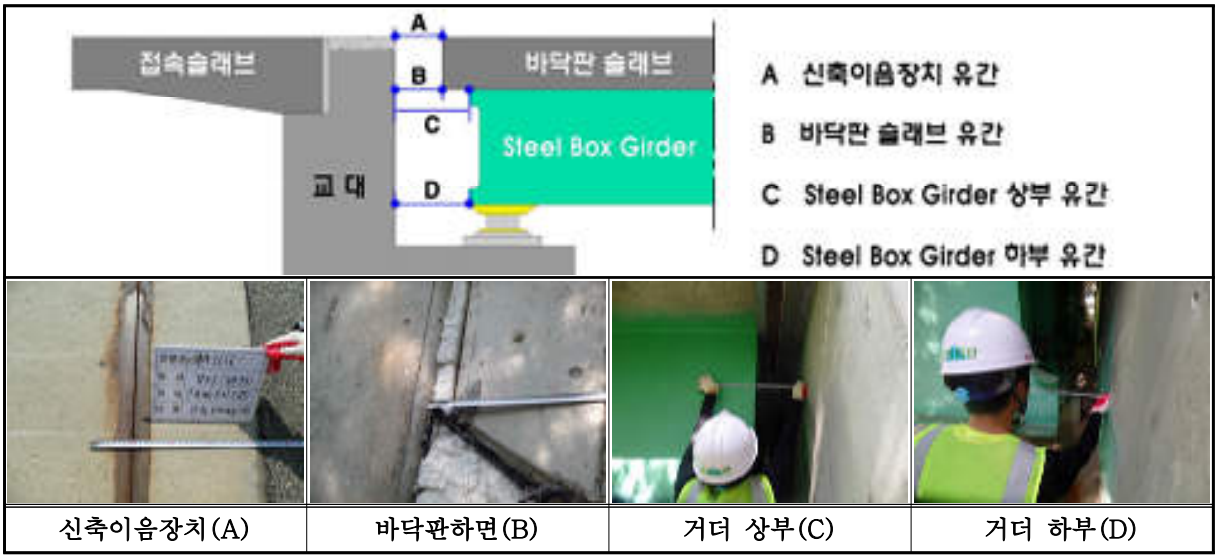
주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 신축이음장치 본체에서 발생한 갓길 측 부식은 공용 중 우수에 의한 부식으로 판단되며, 그 손상정도가 미미하며, 주행성에 영향을 미치지 않을 것으로 판단되어 보수의 필요성이 없을 것으로 판단된다.
- 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.

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】 신축이음 유간 측정방법

① 계산 신축량 산정

【표 3-31】 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

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

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. 11. (1차) 2016. 10. 19. (2차)	28.6 (1차) 16.2 (2차)	
온도에 의한 가동량($\Delta \ell t$)	$\Delta \ell t = \Delta T \times \alpha \times \ell$		
보의 중립축까지 높이(hi)	$\frac{2}{3}\times 2{,}800$		
보의 회전각(θi)	1/150 (Steel Box Girder교)		
보의 처짐에 의한 가동량($\Delta \ell r$)	$\triangle l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$		
신축거더길이 (L, m)	A1	A2	
	45.0	100.0	

※ 처짐에 의한 가동량은 팽창시만 고려하여 계산

② 신축이음 유간 측정결과

【표 3-32】 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)	4.0	17.0	35.0	50.0	300.0	305.0	274.0	285.0	Rail Joint
Exp.J2(A2)	0.0	15.0	55.0	65.0	313.0	345.0	307.0	340.0	Rail Joint

③ 신축이음 가동상태 검토결과

【표 3-33】 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동상태 검토결과

구 분		측정유간(㎜)		변동량(㎜)		비 고
		1차	2차	실측치	이론치	
Exp.J1(A1)	신축이음장치	4.0	17.0	-13.0	6.7	1차:28.6℃ 2차:16.2℃
	바닥판	35.0	50.0	-15.0		
	거더 상부	300.0	305.0	-5.0		
	거더 하부	274.0	285.0	-11.0		
Exp.J2(A2)	신축이음장치	0.0	15.0	-15.0	14.9	온도차 12.4℃
	바닥판	55.0	65.0	-10.0		
	거더 상부	313.0	345.0	-32.0		
	거더 하부	307.0	340.0	-33.0		

- 8월(28.6℃)과 10월(16.2℃)의 온도 변화에 따른 변동량 측정결과, 이론 변동량과 차이는 있으며, A2(J2)의 경우 최대 신장시 신축이음장치의 협착이 발생하였으나, 바닥판 단부 파손 및 2차손상은 발생하지 않은 상태로 조사되었다.

④ 신축이음 신축이동량 산정

【표 3-34】 신축이음 신축이동량 산정

구 분	온도변화 (⊿T,℃)		선팽창계수 (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	0.000012	45	26.6	5.8	10.2	26.6	5.8
Exp.J2 (A2)	49.2	10.8	0.000012	100	59.0	13.0	10.2	59.0	23.2

⑤ 신축이음 가동여유량 검토결과

【표 3-35】 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량 검토결과

구 분		계산이동량(㎜)		점검당시 실측유간(㎜) ③	허용량(㎜) ④	신축 여유량(㎜)		검토결과
		최대 수축시 ①	최대 신장시 ②			최대 수축시 ④ - (①+③)	최대 신장시 ③ - ②	
Exp.J1 (A1)	신축이음장치	26.6	5.8	4.0	240	209.4	-1.8	N.G
	바닥판 단부			35.0	-	-	29.2	O.K
Exp.J2 (A2)	신축이음장치	59.0	23.2	0.0	160	101.0	-23.2	N.G
	바닥판 단부			55.0	-	-	31.8	O.K
주) 판정 : 0.0㎜ ≤ 신축 여유량 ≤ 허용량 ⇒ O.K								

- 신축이음장치 유간 검토를 위해 신축유간, 바닥판 유간, 거더상단 및 하단 유간을 측정하여 계산 유간과 비교·분석한 결과, A1(J1), A2(J2)의 신축유간이 부족한 것으로 측정되었으나, 바닥판 유간이 적정한 것으로 조사되어 프리세팅 오류로 판단된다. 이에 현 시점에서 유간부족으로 발생될 수 있는 추가 손상 발생 유무에 대한 지속관찰이 요망되며, 차후 신축이음장치 협착으로 인한 구조물 손상 증가시 신축이음장치 교체가 바람직할 것으로 사료된다.

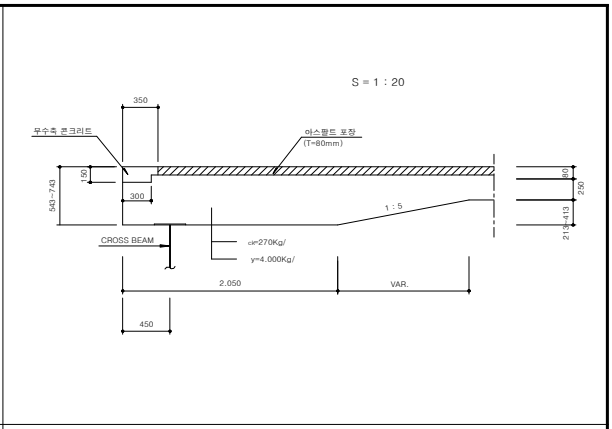
3.2.5 교면포장

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 90mm 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 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(기존 설계시)

1) 외관조사 결과

【표 3-36】 교면포장 외관조사 결과

구 분	균열(m)	
	물량	개소
S1 접속슬래브	-	-
S1	-	-
S2	-	-
S3	22.00	2
S3 접속슬래브	-	-
합계	**22.00**	**2**

2) 손상별 원인분석

현 황	◦S3 교면포장 균열(L=20.0m)
원 인	◦다짐 미흡(온도관리) 및 반복하는 윤하중
대 책	◦지속관찰

3) 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단시 외관조사 결과, 일부 균열이 조사되었으며, 금회 진단시에도 동일한 손상이 조사되었으나, 손상물량은 증가한 상태로 나타났다.

【표 3-37】 교면포장 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증・감
			개소	수량	개소	수량	
포장부	•균열	m	3	18.00	2	22.00	△

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 교면포장에 대한 외관조사 결과, 차량 주행의 안전성을 저해할만한 손상은 없는 상태이나, 종방향 균열이 조사되었다.
- 다짐미흡(온도관리) 및 반복하는 윤하중, 다짐초기 균열 등의 복합적인 원인에 의해 균열 이 발생된 것으로 판단되며, 손상에 의한 차량 주행성 저하는 미미한 상태이므로 지속관찰 후 향후 부분 보수를 실시하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

5) 코어채취 분석

충주IC1교 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	비고
1차선				
갓길		●	●	

코어채취 위치도

② 코어채취 결과

㉠ 교면포장 S2(갓길)

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

③ 기 진단결과 비교 검토

구 분	위치	포장두께	진행성 여부	비고
기 진단(2012년)	S2(갓길)	100㎜	상태양호	
금 회(2016년)	S3(갓길)	90㎜	상태보통	으스러짐

④ 결과분석

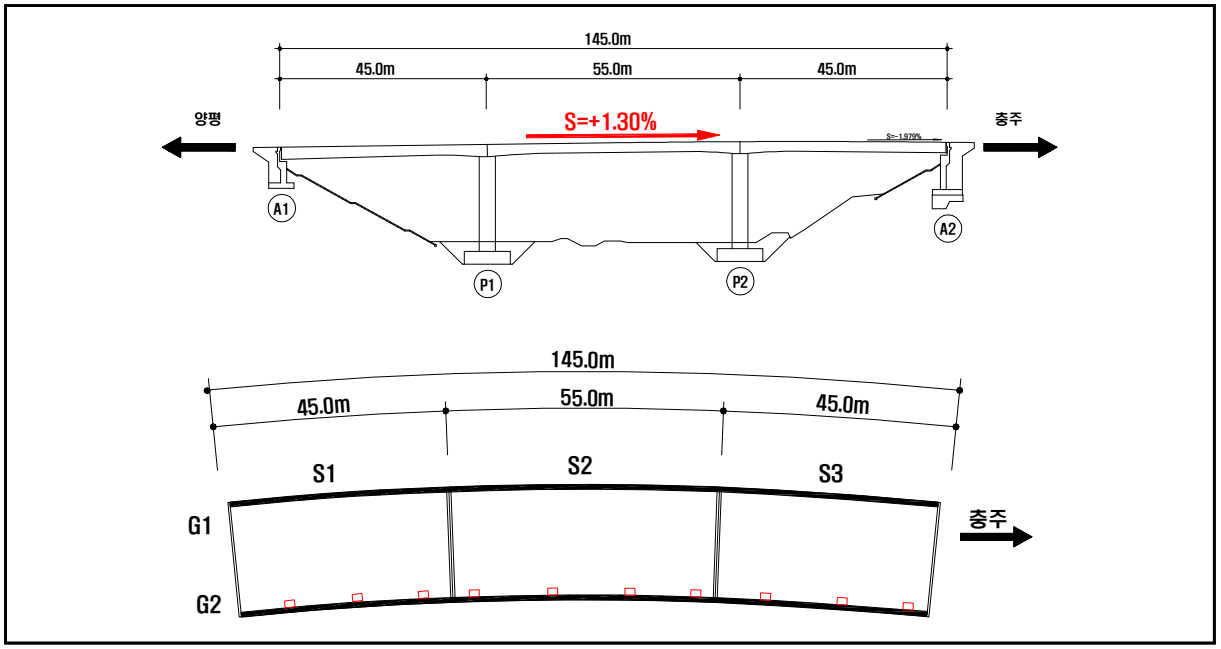
충주IC1교의 교면포장 상태 결과는 아스콘, 방수층 및 바닥판상면은 양호한 것으로 확인되었으며, 바닥판슬래브와 포장방수층 간의 접착력으로 인하여 하층코어 채취과정에서 코어를 원형 그대로 채취하지 못하였으나 코어채취 깊이를 측정하여 포장두께를 정확하게 측정하였다. 또한, 준공도면과 포장두께의 차이가 있어 구조해석 시 포장두께를 반영하여 평가하였다.

3.2.6 기타부재

가. 배수시설

배수시설은 우수 유입에 따른 열화방지를 위해 일정한 곳으로 물을 배출하기 위한 시설로서, 충주IC1교의 배수시설은 각각의 경간 상부에 설치된 집수구를 통하여 STEEL Pipe φ150㎜ 배수관을 따라 하부로 배수되도록 설치되어 있다.

충주IC1교는 교면 횡구배(5.0%)의 영향으로 하부 배수파이프 사이에 유공관이 총 18개소의 배수시설이 설치되어 있다.



【그림 3-9】 배수시설 현황

배수구 전경

배수관 전경

1) 외관조사 결과

【표 3-38】 배수시설 외관조사 현황

구 분	배수로 이물질 퇴적	유도배수판 부식(㎡)	
	개소	물량	개소
S1	1	1.50	2
S2	2	-	-
S3	2	0.50	2
합계	**5**	**2.00**	**4**

2) 손상별 원인분석

현 황	◦S2 배수로 이물질 퇴적	**현 황**	◦A1 유도배수판 부식(A=1.5㎡)
원 인	◦이물질 퇴적	**원 인**	◦공용 중 부식
대 책	◦청소	**대 책**	◦유도배수판 재설치

3) 기 진단결과와의 비교・분석

■ 기 진단시 외관조사 결과, 배수구 이물질 퇴적, 유도배수판 부식 등의 손상이 조사되었으며, 금회 진단시에도 동일한 배수시설의 손상이 조사되었다.

【표 3-39】 배수시설 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증・감
			개소	수량	개소	수량	
배수시설	•배수로이물질퇴적	개소	6	6	5	5	▽
	•유도배수관 설치(유공관)	개소	4	4	-	-	▽
	•유도배수판부식	㎡	3	0.90	4	2.00	△

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

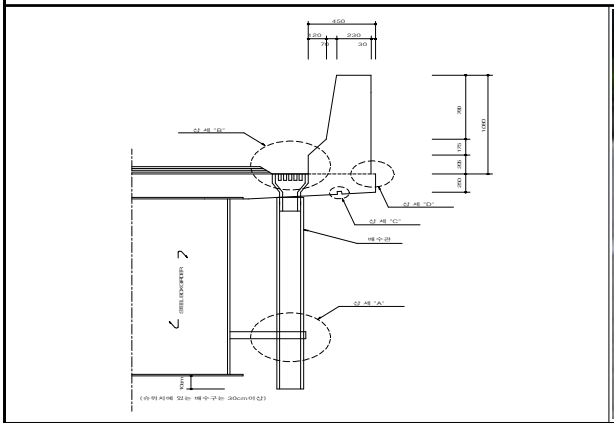
4) 검토의견

- 배수시설 외관조사 결과 배수로 이물질(토사, 쓰레기) 퇴적, 유도배수판 부식 등의 손상이 조사되었다.
- 교면포장부에 위치한 배수구 상태는 막힘이 없는 양호한 상태이나 이물질 퇴적이 조사되었으며, 배수 System 개선보다는 지속적인 청소를 실시하여 배수구 이물질제거가 이루어진다면 문제가 없을 것으로 판단된다.
- 상부 신축이음에서 발생하는 우수유입을 유도하고자 설치한 유도배수판에 공용 중 부식이 발생하였으며, 공용년수 증가에 따라 부식이 점차 진행됨에 따라 유도배수판 재설치가 적절할 것으로 판단된다.
- 배수관을 지탱하고 있는 앵커볼트가 우수로 인하여 일부 부식이 진행되고 있으며, 지속적인 관찰을 통하여 향후 유지관리 해야 할 것으로 판단된다.
- 교량 종단구배의 영향으로 교면체수가 없는 상태이며, 배수기능에는 문제가 없는 것으로 판단된다.

나. 방호벽

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

방호벽 전경



방호벽 단면도(준공도) | 방호벽 실측 측정

【그림 3-10】 충주IC1교 방호벽 전경 및 단면도

1) 외관조사 결과

【표 3-40】 방호벽 외관조사 결과

구 분	콘크리트									
	균열 Cw=0.3㎜미만 (m)		망상균열 Cw=0.3㎜미만 (㎡)		누수흔적 (㎡)		박락 (㎡)		박리 (㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	2.50	3	-	-	-	-	-	-	-	-
S2	2.70	5	1.40	1	1.26	3	-	-	0.97	8
S3	4.00	8	0.96	2	-	-	0.12	7	-	-
합계	**9.20**	**16**	**2.36**	**3**	**1.26**	**3**	**0.12**	**7**	**0.97**	**8**

【표 3-40】 방호벽 외관조사 결과(계속)

구 분	콘크리트						
	녹발생(㎡)		철근노출(㎡)		파손(㎡)		단차
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	개소
S1	0.05	2	-	-	0.22	6	-
S2	0.22	13	0.04	2	0.25	6	-
S3	-	-	-	-	0.80	4	1
합계	**0.27**	**15**	**0.04**	**2**	**1.27**	**16**	**1**

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td colspan="2"> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S3 방호벽 균열(0.1㎜/0.5m)</td><td>현 황</td><td>◦S3 방호벽 망상균열(A=0.84㎡, Cw=0.1㎜)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦건조수축 및 줄눈 절단 시기 미흡</td><td>원 인</td><td>◦건조수축 및 온도변화</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦표면처리보수</td><td>대 책</td><td>◦표면처리보수</td></tr>
<tr><td colspan="2"> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S3 방호벽 박락(A=0.06㎡)</td><td>현 황</td><td>◦S2 방호벽 박리(A=0.28㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦시공불량, 다짐불량, 표면열화</td><td>원 인</td><td>◦시공불량, 다짐불량, 표면열화</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦단면보수</td><td>대 책</td><td>◦표면처리보수</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="2"> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S2 방호벽 철근노출(L=0.2m)</td><td>현 황</td><td>◦S3 방호벽 파손(A=0.16㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦피복두께 부족</td><td>원 인</td><td>◦국부적인 외력(접속부 신축 및 침하)</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦방청 후 단면보수</td><td>대 책</td><td>◦단면보수</td></tr>
<tr><td colspan="2"> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td colspan="3">◦A2 방호벽 단차(H=3.0㎝)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td colspan="3">◦접속슬래브측 지반 침하</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td colspan="3">◦지속관찰</td></tr>
</table>

3) 기 진단결과와의 비교・분석

- 기 진단시 외관조사 결과, 건조수축과 온도 변화에 따른 신축으로 인한 수직 및 수평균열, 방음벽 기둥 설치부 누수흔적과 국부백태, 철근노출 및 녹발생, 파손, 재료분리, 박리, 긁힘 등이 조사되었으며 금회 진단시 기진단시와 유사하게 손상이 발생하였고 A2 측에서 단차 및 방호벽 파손이 추가적으로 조사되었다.

【표 3-41】 기 진단결과 비교

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
방호벽	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	188	79.90	16	9.20	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	4	2.90	-	-	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	15	2.78	3	2.36	▽
	•누수흔적	㎡	16	4.95	3	1.26	▽
	•박락	㎡	-	-	7	0.12	△
	•박리, 파손	㎡	61	3.75	24	2.24	▽
	•녹발생, 철근노출	㎡	8	0.15	17	0.31	△
	•단차	개소	-	-	1	1	△

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

4) 검토의견

- 충주IC1교의 방호벽 높이는 노면에서 1.00m정도로 '교량방호울타리 성능 개선 방안(한국도로공사 구조물처 2009.11.13.)' 에 따른 1.00~1.27m의 기준을 만족하는 것으로 조사되었으며, 갓길측 방호벽에 방음벽(H=1.50m)이 추가로 설치되어 있다.
- 방호벽 외관조사 결과, 균열, 망상균열, 누수흔적, 박락, 박리, 녹발생, 철근노출, 파손, 단차 등의 손상이 조사되었다.
- 방호벽에 발생된 균열(Cw=0.3㎜미만)과 망상균열(Cw=0.1㎜)은 건조수축 및 온도변화에 따른 콘크리트 신축으로 인하여 발생된 손상으로 판단되며, 손상정도가 미미하고 구조물에 미치는 영향이 작으나 내구성확보를 위하여 표면처리보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 우측 방호벽에 발생된 누수흔적 손상은 방음벽 기둥 설치를 위해 파취한 단면으로부터 콘크리트 내부 백태가 우수와 함께 흘러내려 외관상 오염처럼 누수흔적을 만든 것으로 추정되며, 표면처리보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 철근노출 및 녹발생은 시공불량(피복부족)과 치밀성 부족부를 통한 우수유입이 주요 원인으로 판단되며, 내구성확보를 위하여 방청 후 단면보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 파손, 박락, 박리 등 기타 손상은 온도변화에 따른 콘크리트 신축, 시공불량, 다짐불량, 표면열화 국부적인 외력의 작용으로 인하여 발생된 손상으로 판단되며, 파손 및 박락에 대해서는 단면보수를 박리에 대해서는 표면처리보수가 적절할 것으로 판단된다.
- A2측 방호벽에서 발생한 단차는 조사당시 3.0㎝로 조사되었다. 이는 접속 슬래브측 지반침하에 의한 것으로 사료되며, 향후 지속관찰을 통하여 손상이 진행될 경우 적절한 보수·보강방안이 필요할 것으로 사료된다.

다. 기타 부대시설

1) 점검시설

- 본 교량의 점검시설은 교각 코핑부 및 교량받침 외관조사를 위한 점검시설(P1~P2)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 관계자 외 출입방지 및 원활한 구조물 관리를 위한 시건장치의 재설치가 필요할 것으로 판단된다.

2) 방음벽

- 갓길 측 방호벽에 설치되어 있는 방음벽은 전반적으로 파손이나 변형이 없는 양호한 상태로 조사되었다.

교각 점검시설 전경	방음벽 전경

【그림 3-11】 충주IC1교 기타 부대시설 전경(점검시설, 방음벽)

3.3 콘크리트 내구성조사

3.3.1 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.

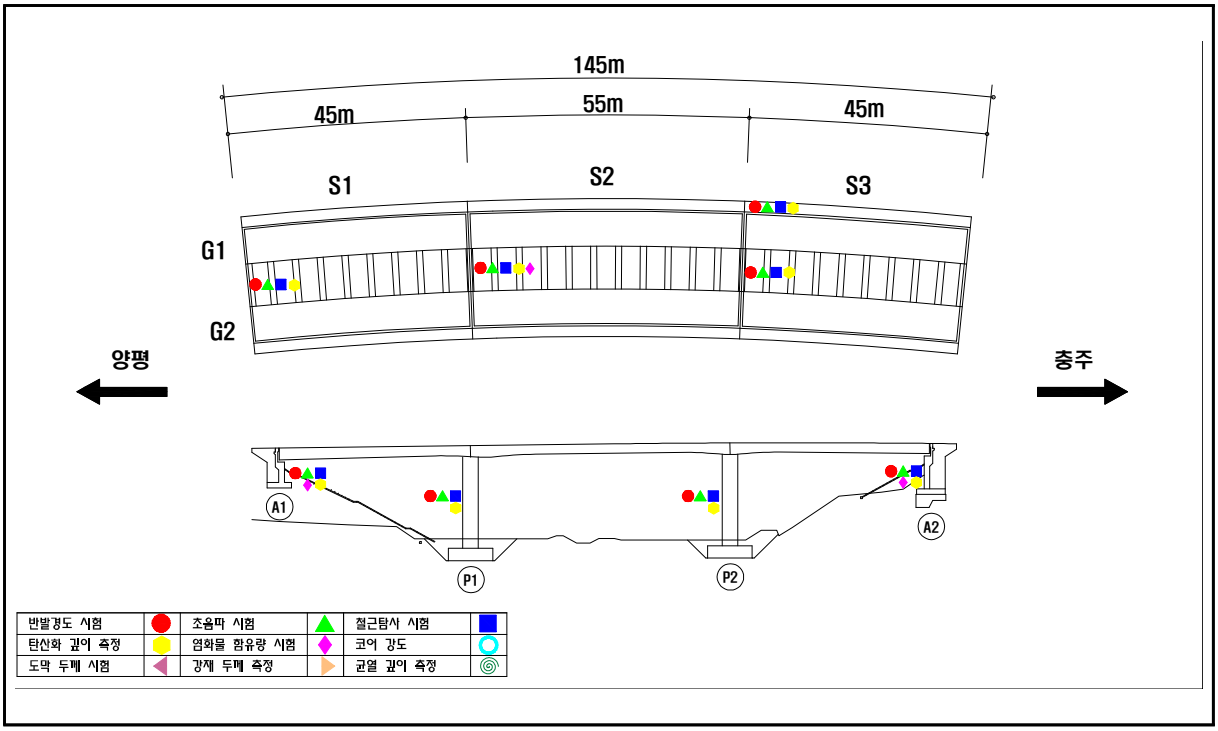
【표 3-42】 현장시험 항목

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
균열깊이 조사	■ 균열 관통여부 및 철근까지 도달하는지 여부 조사

【표 3-43】 비파괴시험 실시 수량

구 분	세부지침 기준		기준수량		금회 시험수량	
	상부구조	하부구조	상부 구조	하부 구조	상부 구조	하부 구조
반발경도시험	■ 철근콘크리트 : 2개소/50m	■ 1개소/연장50m ■ 교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	4개소	5개소	4개소	4개소
초음파 전달속도시험			4개소	5개소	4개소	4개소
철근탐사시험			4개소	5개소	4개소	4개소
탄산화 깊이 측정	■ 5경간 이내 4~6개소(상부구조에서 최소 2개소 이상 실시)		2개소	3개소	4개소	4개소
염화물함유량 시험	■ 3개소 이상(상부구조에서 최소 1개소 이상 실시)		1개소	2개소	1개소	2개소
균열깊이 조사	■ 부재의 중요도를 고려 책임기술자의 판단에 따라 수량 결정		-			2개소
강재초음파탐상	■ Steel Box Girder : 2개소/경간별 거더		12개소	-	12개소	-
강재 및 도막두께 측정	-			-	3개소	3개소
코어채취	■ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		-			

나. 콘크리트 내구성조사 위치도



【그림 3-12】 콘크리트 내구성조사 위치도

다. 콘크리트 내구성조사 전경

<table>
<tr><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>반발경도시험</td><td>초음파 전달속도 시험</td></tr>
<tr><td> </td><td>
</td></tr>
<tr><td>철근탐사 시험</td><td>탄산화 깊이 측정</td></tr>
<tr><td> </td><td>
</td></tr>
<tr><td>균열진행성 측정</td><td>염화물 함유량 시험</td></tr>
</table>

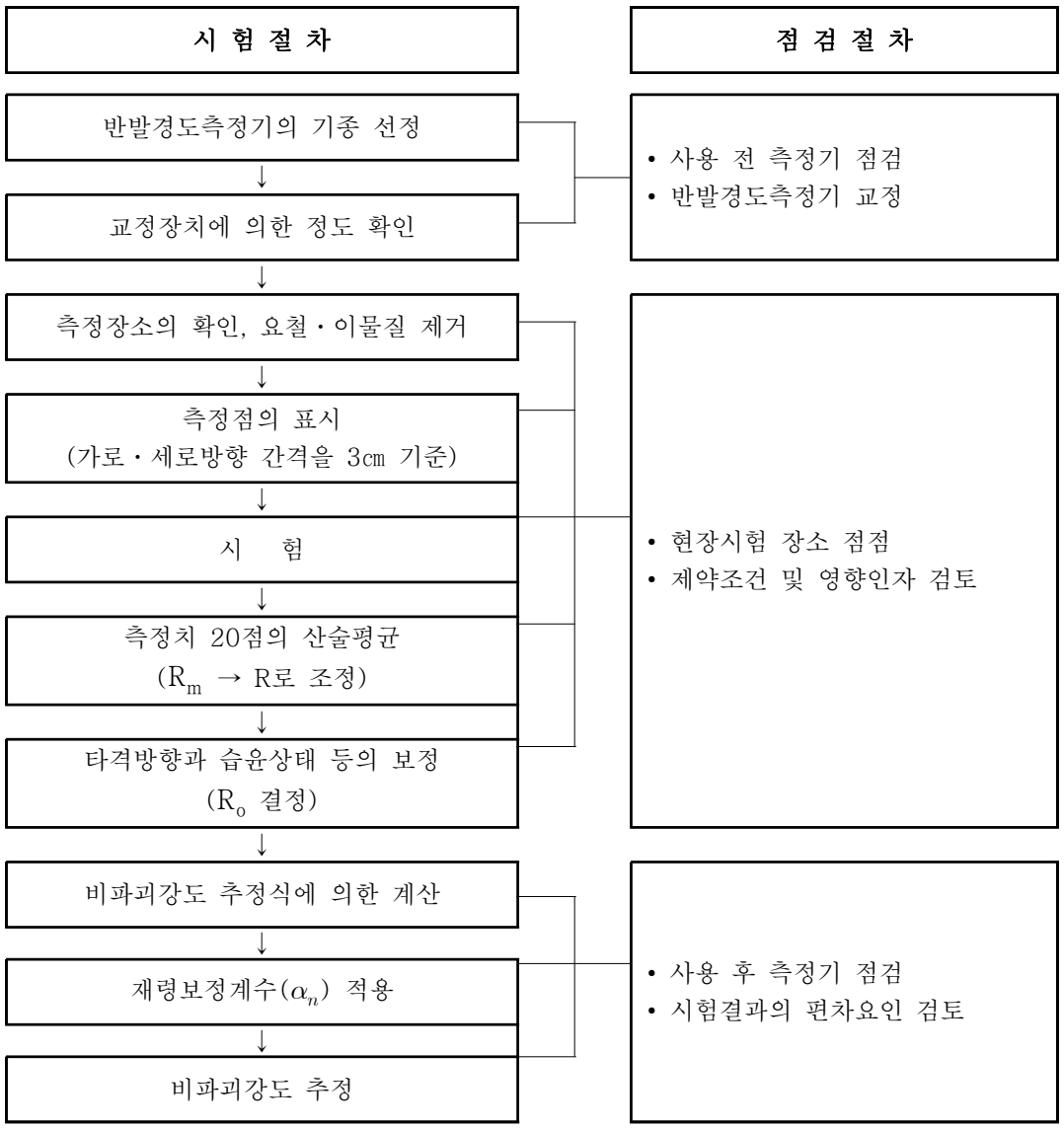
3.3.2 시험내용 및 평가기준

가. 콘크리트 강도시험

1) 반발경도시험

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

① 반발경도시험 및 측정기 점검 등의 절차



【그림 3-13】 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_o)

【표 3-44】 보정반발경도(R0)

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

여기서, R : 반발경도

ΔR_1 : 타격방향에 따른 보정값

ΔR_2 : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값

㉠ 타격방향에 따른 보정값(ΔR_1)

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

R \ α	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_o)로부터 압축강도(F_c)의 상관관계를 도출한 제안식들은 다음과 같으며, 제안식의 적용은 시험방법 및 조건에 맞는 제안식을 선정하는 것이 중요하다.

【표 3-45】 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 3-46】 과 같으며, 3000일 이상의 재령에 대해서는 0.63을 적용한다.

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

【표 3-46】 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 3-14】에 나타내었고, 콘크리트 중의 전자파 속도는 다음 식과 같다.

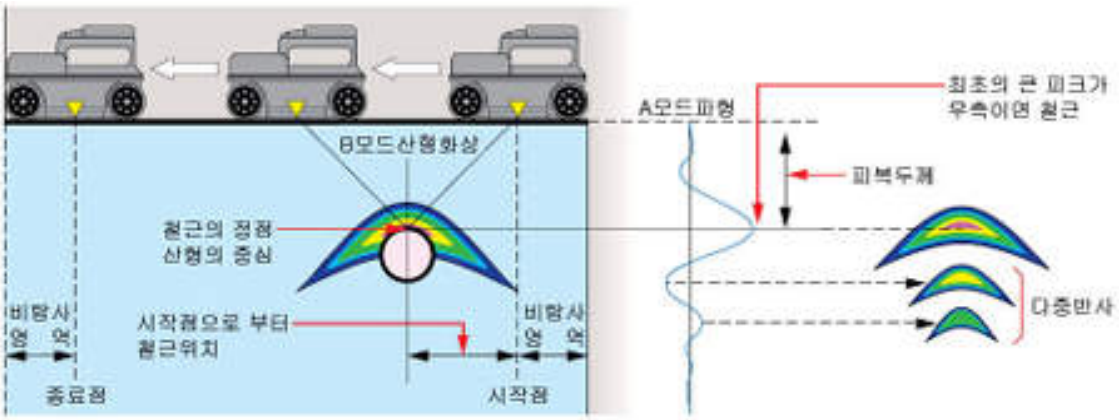
$$V = \frac{C}{\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (m/sec)$$

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.

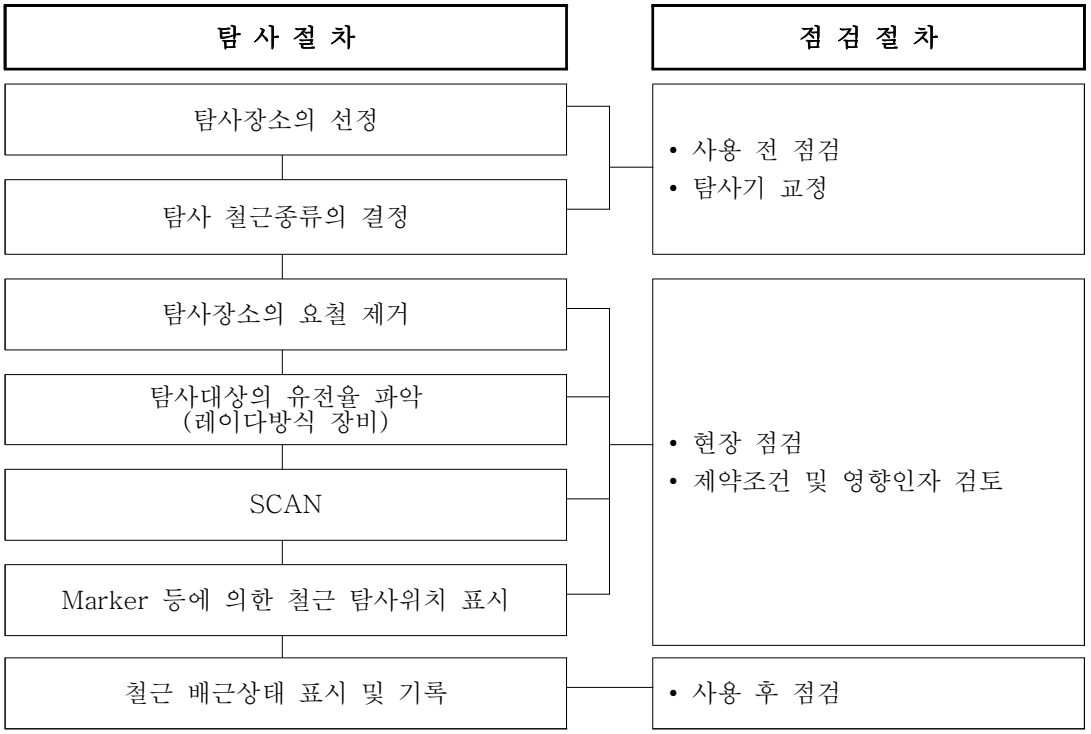
$$D = \frac{1}{2} V T \quad (m)$$



【그림 3-14】철근탐사 측정원리

3) 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차

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



【그림 3-15】 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.

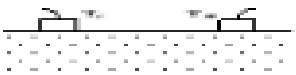
타격법과 동일부재 동일위치에서 측정하는 것을 원칙으로 하여 초음파속도를 측정.

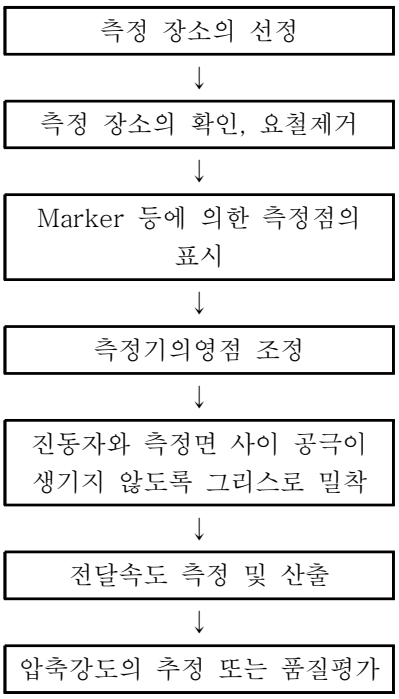
간접법을 직접법으로 환산

$$Vd \approx 1.05\ Vi$$

여기서, Vd : 직접법에 의한 초음파속도

Vi : 간접법에 의한 초음파속도





<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

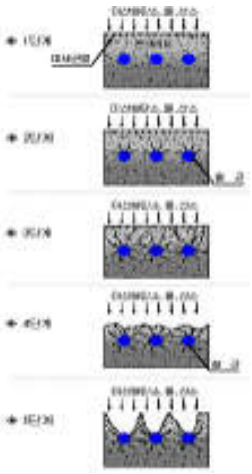
1) 개 요

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 3-16】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 3-47】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 3-47】 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 3-48】 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「경화콘크리트 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/m³ 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 덮개나물-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 3-49】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 3-50】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

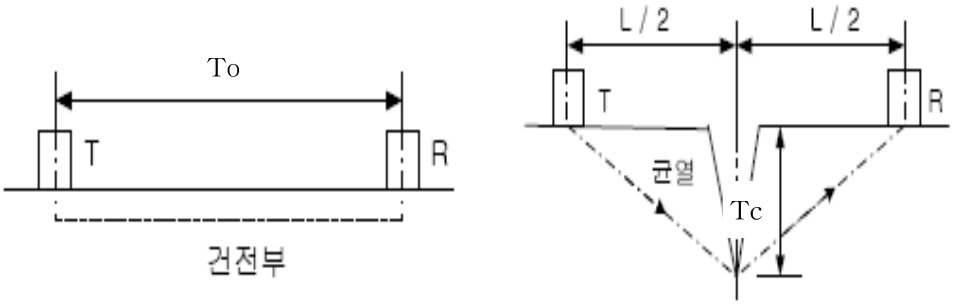
본 시험은 콘크리트에 발생된 균열 부위에서 건전부와 균열부의 측정된 초음파 전달시간의 차이를 이용하여 균열깊이를 평가하여 부재의 관통균열 여부 확인 및 철근의 부식조건 등에 대해 평가한다.

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.

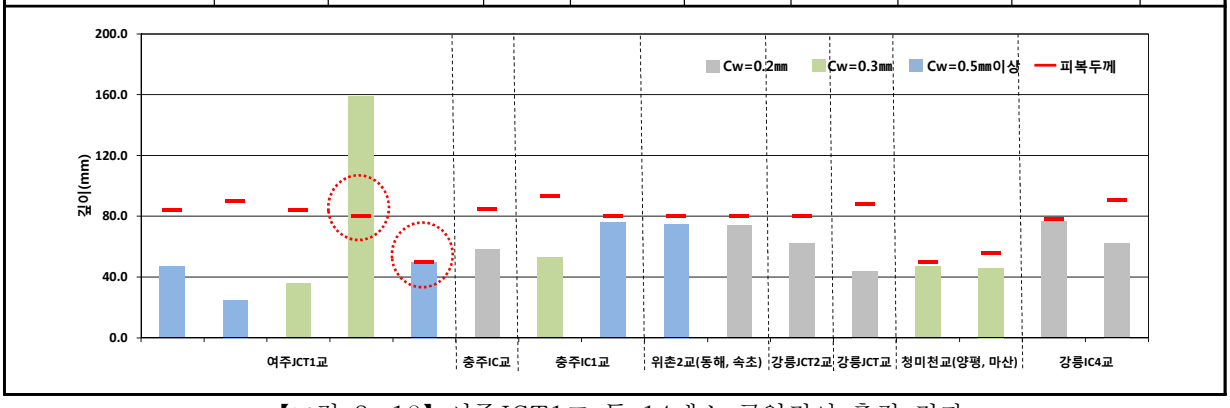


【그림 3-17】 Tc - To법에 의한 균열깊이 측정방법

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 3-18】 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.

3.3.3 시험결과 및 분석

가. 콘크리트 비파괴 강도시험 결과

반발경도법은 콘크리트 표면을 슈미트 햄머(Schmidt Hammer)로 타격하여 얻은 측정경도 값으로부터 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.

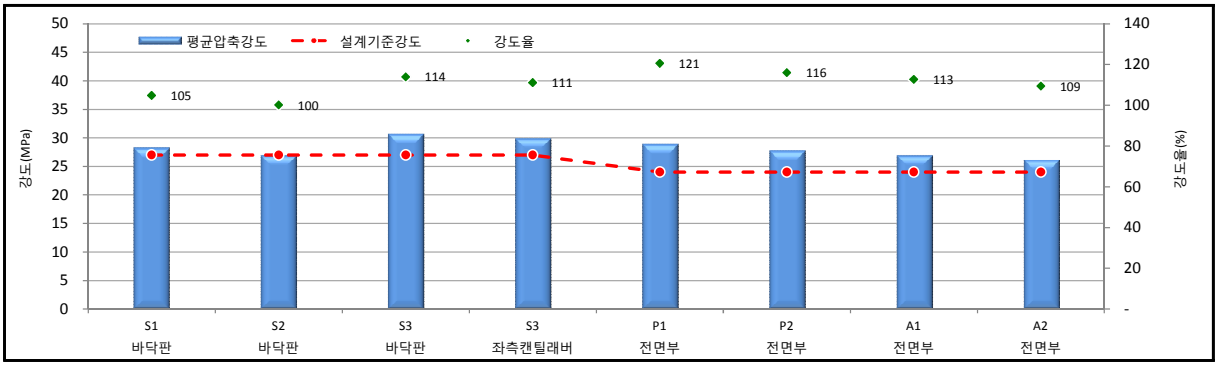
반발경도 측정은 콘크리트 표면의 요철, 부착물, 분말 등을 그라인딩으로 제거하고 실시하였으며 표면에 곰보, 공극, 노출된 자갈 등이 있는 부위들은 측정위치에서 제외했다. 또한, 반발경도 값은 각 측정부재에 따라 타격방향, 표면의 건습상태, 재령 등에 의한 보정을 한 후 콘크리트 강도를 추정하였으며, 반발경도에 의한 압축강도 추정은 일본재료학회와 일본 건축학회 CDNT 소위원회 강도 계산식을 사용하여 압축강도를 산출하였다.

본 과업에서의 반발경도법 시험은 상부 4개소, 하부 4개소 총 8개소에서 수행하였다.

1) 측정결과

【표 3-51】 콘크리트 비파괴 강도시험 결과

시험위치		반발경도 (R_o)	반발경도법 측정강도(MPa)			설계기준강도 (MPa)	강도비(%) (평균강도/설계기준강도)
			일본 건축학회	일본 재료학회	평균강도		
상부 구조	S1 바닥판	49.4	28.4	28.2	28.3	27	105
	S2 바닥판	47.4	27.5	26.6	27.1	27	100
	S3 바닥판	53.3	30.2	31.3	30.8	27	114
	S3 좌측캔틸래버	52.1	29.7	30.3	30.0	27	111
하부 구조	P1 전면부	50.4	28.9	29.0	29.0	24	121
	P2 전면부	48.7	28.1	27.6	27.9	24	116
	A1 전면부	47.4	27.5	26.6	27.1	24	113
	A2 전면부	46.1	27.0	25.5	26.3	24	109



【그림 3-19】 측정강도와 설계기준강도 비교

2) 기진단 결과와 비교

【표 3-52】 기진단 결과와 비교

구 분	2012년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단 (2016년)
상부구조	27.5~29.0 MPa	27.1~30.8 MPa
하부구조	27.5~33.0 MPa	26.3~29.0 MPa

3) 측정결과 분석

본 교량의 콘크리트 반발경도시험은 총 8개소(상부구조 4개소, 하부구조 4개소)에서 실시하였으며 검토결과, 상부구조는 27.1~30.8㎫로 설계기준강도(27㎫)의 100~114%, 하부구조는 26.3~29.0㎫로 설계기준강도(24㎫)의 109~121%로 나타나 허용기준치(JICE, 설계기준강도의 90% 이상)를 만족하는 양호한 상태로 조사되었다.

기 진단 결과와 비교하여 분석한 결과, 시험 위치에 따라 값이 상이하게 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 철근탐사시험은 반발경도법 및 초음파 전달속도 시험을 실시한 동일 위치에서 상부 4개소 하부 4개소 총 8개소에서 수행하였다.

1) 측정결과

【표 3-53】 철근탐사 결과

시험위치		배근종류	설계값(㎜)		실측값(㎜)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
상부 구조	S1 바닥판	수직철근	100	50	107	57	
		수평철근	122	34	108	38	
	S2 바닥판	수직펄근	100	50	113	56	
		수평철근	122	34	118	40	
	S3 바닥판	수직철근	100	50	96	68	
		수평철근	122	34	124	42	
	S3 좌측캔틸래버	수직철근	100	50	109	65	
		수평철근	222	34	227	46	
하부 구조	P1 전면부	수직철근	100	100	93	99	
		수평철근	250	81	254	96	
	P2 전면부	수직철근	100	100	111	113	
		수평철근	250	81	243	82	
	A1 전면부	수직철근	200	100	199	101	
		수평철근	150	78	151	93	
	A2 전면부	수직철근	200	100	201	92	
		수평철근	150	78	154	90	

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.

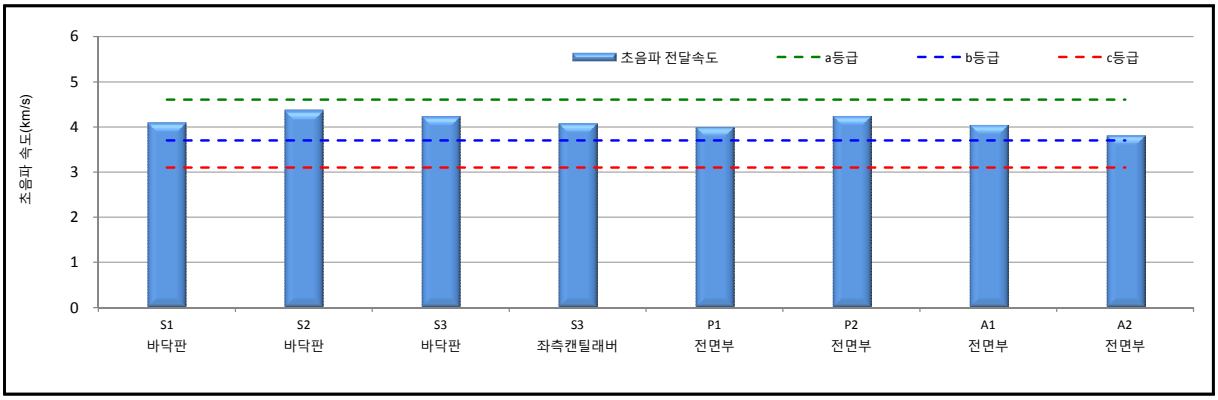
다. 콘크리트 품질시험

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 4개소 하부 4개소 총 8개소에서 수행하였다.

1) 측정결과

【표 3-54】 보정계수를 적용한 초음파 속도

시험위치		초음파 전달속도(km/sec)			상태등급
		표면법	보정계수	직접법	
상부 구조	S1 바닥판	3.906	1.05	4.101	b
	S2 바닥판	4.159		4.367	b
	S3 바닥판	4.043		4.245	b
	S3 좌측캔틸래버	3.893		4.088	b
하부 구조	P1 전면부	3.816		4.007	b
	P2 전면부	4.050		4.253	b
	A1 전면부	3.865		4.058	b
	A2 전면부	3.636		3.818	b



【그림 3-20】 초음파 전달속도를 이용한 콘크리트 품질측정

2) 측정결과 분석

초음파 전단속도시험에 의한 콘크리트 품질평가 결과 초음파 속도 범위는 상부구조 4.088~4.367km/s, 하부구조 3.818~4.253km/s로 분석되었다. 초음파 속도 등급분포는 모든 개소에서 “b” 등급으로 조사되어 콘크리트 품질상태는 양호한 것으로 판단된다.

라. 탄산화깊이 측정

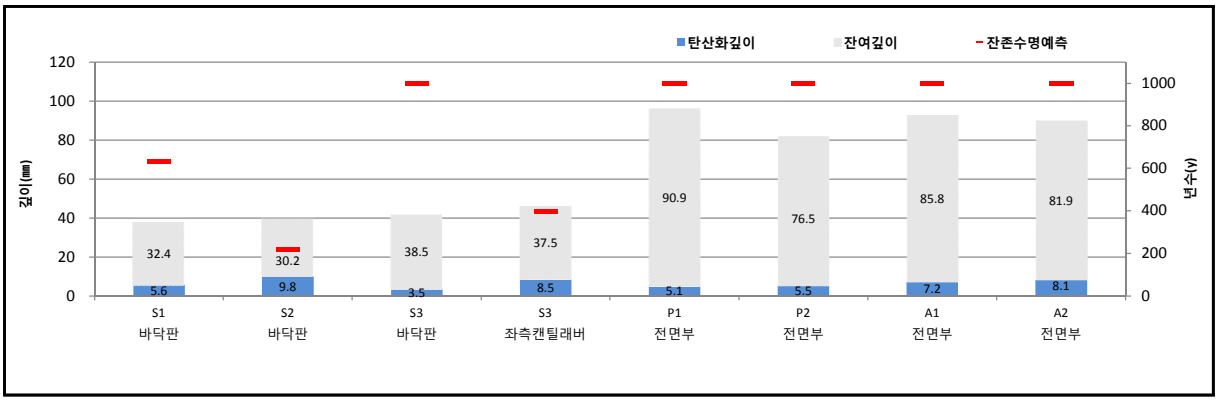
구조물의 탄산화 진행 정도는 드릴링에 의해 발생되는 콘크리트 가루가 페놀프탈레인용액을 적신 시험지에 떨어져 변색되는 시점의 깊이를 측정하였다. 지시약을 분무하면 알카리성 콘크리트 탄산화가 진행된 면에서는 색의 변화가 나타나지 않고 그 변화가 없는 정도를 곧 탄산화 진행 깊이로 판단하게 된다. 본 과업에서의 탄산화 깊이 측정은 상부 4개소 하부 4개소 총 8개소에서 수행하였다.

1) 측정결과

【표 3-55】 탄산화 깊이 측정결과 및 평가

시험위치		실측 피복두께 (㎜)	탄산화 깊이 (㎜)	탄산화 잔여깊이 (㎜)	탄산화 속도계수 (A)	상태 평가	잔존수명
상부 구조	S1 바닥판	38	5.6	32.4	1.50	a	100년 이상
	S2 바닥판	40	9.8	30.2	2.62	a	100년 이상
	S3 바닥판	42	3.5	38.5	0.94	a	100년 이상
	S3 좌측캔틸래버	46	8.5	37.5	2.27	a	100년 이상
하부 구조	P1 전면부	96	5.1	90.9	1.36	a	100년 이상
	P2 전면부	82	5.5	76.5	1.47	a	100년 이상
	A1 전면부	93	7.2	85.8	1.92	a	100년 이상
	A2 전면부	90	8.1	81.9	2.16	a	100년 이상

주) 충주1IC교 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 3-21】 탄산화 깊이 측정결과

2) 기진단 결과와 비교

【표 3-56】 기진단 결과와 비교(탄산화 깊이 측정 결과, 단위 : ㎜)

구 분	2012년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단 (2016년)
상부구조	1.9~3.6㎜	3.5~9.8㎜
하부구조	2.0~6.0㎜	5.1~8.1㎜

3) 측정결과 분석

탄산화 깊이 측정은 상부구조 4개소, 하부구조 4개소에서 실시하였으며, 측정위치에서 철근의 피복두께 측정을 실시하였다.

측정 결과, 탄산화 깊이가 상부구조에서 3.5~9.8㎜, 하부구조에서 5.1~8.1㎜로 나타나 측정 위치에서의 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 받아 탄산화가 다소 진행된 것으로 분석된다.

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

마. 염화물함유량 시험

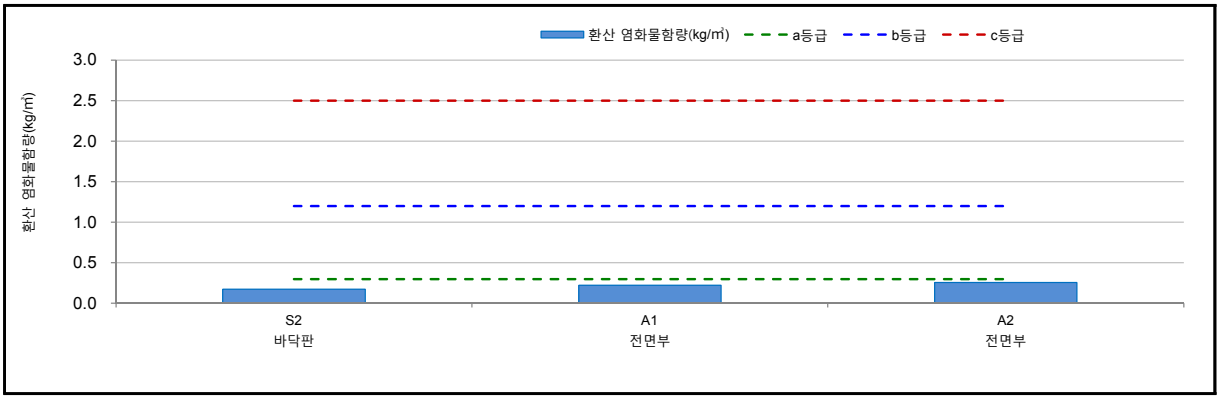
구조물에 염화물이 침투하게 되면 철근주위의 산소차단 역할을 하는 부동태막이 파손되고, 강재표면이 활성화되면 철근의 부식이 일어날 수 있으므로 철근콘크리트 구조물의 염해에 대한 평가는 매우 중요하다. 본 과업에서의 염화물 함유량시험은 상부 1개소 하부 2개소 총 3개소에서 수행하였다.

1) 시험결과

【표 3-57】 염화물 함유량 시험결과

시험위치			실측 피복두께 (㎜)	전염화물 함유량 (%)	환산 염화물 함유량 (kg/㎥)	결과
상부 구조	S2 바닥판	20~40㎜	40	0.0077	0.175	a
하부 구조	A1 전면부	20~40㎜	93	0.0098	0.221	a
	A2 전면부	20~40㎜	90	0.0114	0.258	a

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



【그림 3-22】 염화물 함유량 시험결과

2) 기진단 결과와 비교

【표 3-58】 기진단 결과와 비교(염화물 함유량, 단위 : kg/㎥)

구 분	2012년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단 (2016년)
상부구조	0.061~0.077	0.175
하부구조	0.050~0.149	0.221~0.258

3) 시험결과 분석

염화물함유량 시험은 상부 1개소, 하부 2개소에서 측정을 실시하였으며, 콘크리트 분말을 채취하여 전염화물 이온함유량을 조사하였다. 그 결과 모든 개소에서 0.175 ~ 0.258kg/㎥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” 급(안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 참조)으로 판정되어 양호한 것으로 판단된다.

바. 균열깊이 측정

균열깊이 측정은 책임기술자의 판단에 따라 철근까지의 진행여부를 판단하기 위해 철근이 배근되어 있는 구간에서 폭 0.3㎜ 이상의 균열 중 대표 개소를 선정하여 시험을 실시하였다. 측정 시 발·수신자의 거리를 150㎜로 하였으며, 측정된 속도는 동일 위치에서 3회를 측정한 후 그 평균값을 적용하였다.

1) 측정결과

【표 3-59】 균열깊이 측정 결과

시험위치		균열폭/길이 (㎜/m)	초음파 전달시간(×10^{-6}sec)		균열깊이 (㎜)	최소피복 두께(㎜)
			건전부(To)	균열부(Tc)		
하부 구조	A1전면부(우측)	0.3/0.7	48.2	59.2	53	93
	A2흉벽부(우측)	1.0/2.2	44.8	63.8	76	80

주) 피복두께는 철근탐사를 통한 실제 조사 피복두께임

2) 측정결과 분석

본 구조물에 대하여 하부구조 2개소에서 균열깊이를 측정한 결과, 균열깊이는 A1교대 53.0㎜, A2교대 76.0㎜로 조사되었다. 측정 균열은 측정 철근피복두께를 초과하지 않는 것으로 조사되었고, 균열에 의한 구조물 손상이나 철근 부식 등의 내구성 저하는 조사되지 않았으나, 철근부식 등의 손상 및 내구성 저하를 방지하기 위하여 금회 진단기간 중(2016.11.) 보수를 실시하였다.

현 황	◦A1 구체 균열(0.3㎜/0.7m)

현 황	◦A2 흉벽 균열(1.0㎜/2.2m)

3.4 강재 내구성조사

3.4.1 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)

충주IC1교는 약 14년 정도의 공용기간이 경과한 상태로 각 부재별 강재 비파괴시험 현황은 다음과 같다.

【표 3-60】 강재 비파괴시험 현황

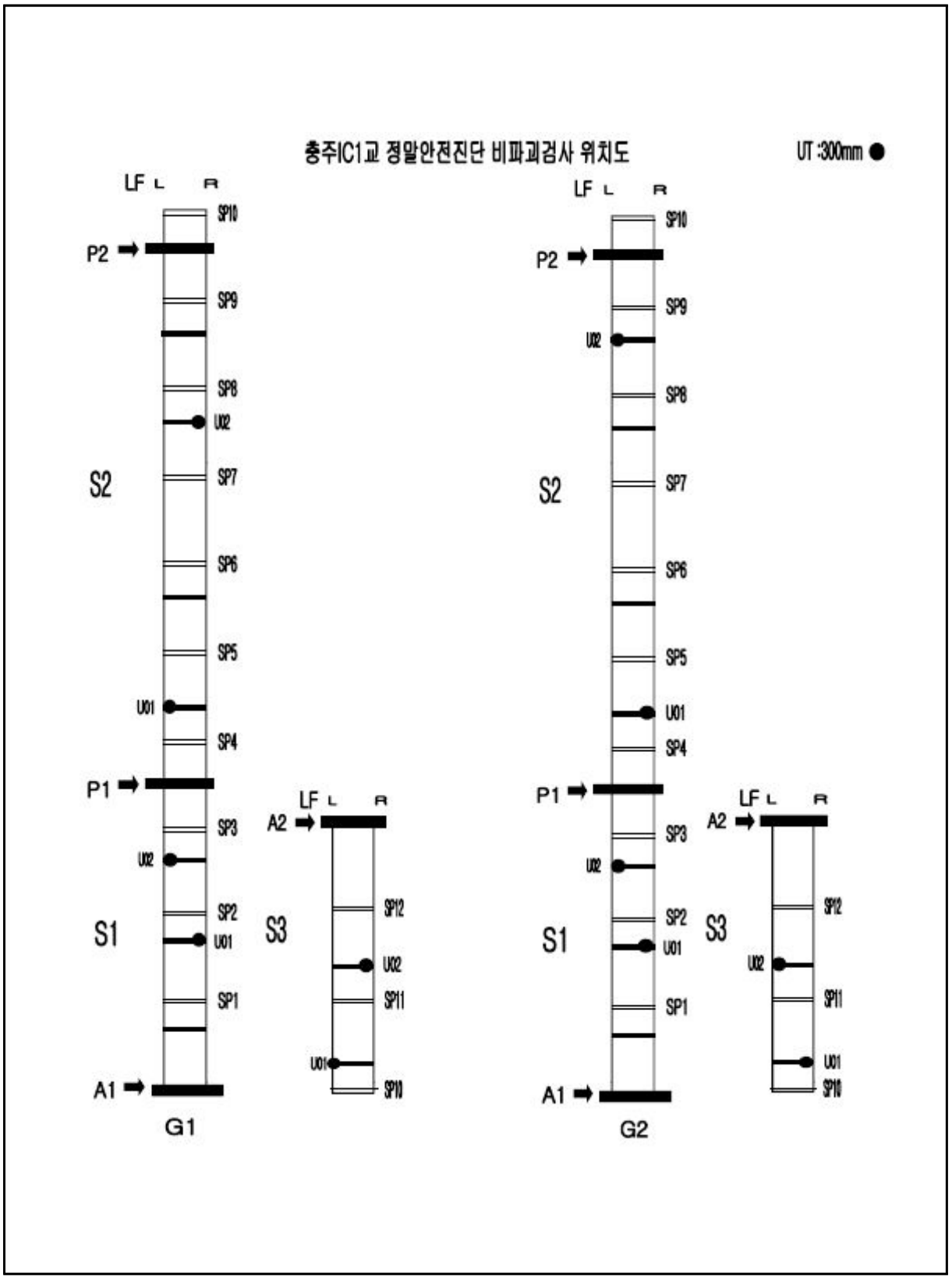
시험위치		초음파탐상 시험	강재 및 도막두께 측정	비 고
S1	G1	2	1	
	G2	2	-	
S2	G1	2	1	
	G2	2	-	
S3	G1	2	-	
	G2	2	1	
합 계		12	3	
세부지침 상 기준수량		12	-	

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

2) 조사사진

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

3) 강재 비파괴시험 위치도



【그림 3-23】 초음파탐상시험 위치도

3.4.2 시험내용 및 평가기준

가. 초음파탐상시험 (UT : Ultrasonic Testing)

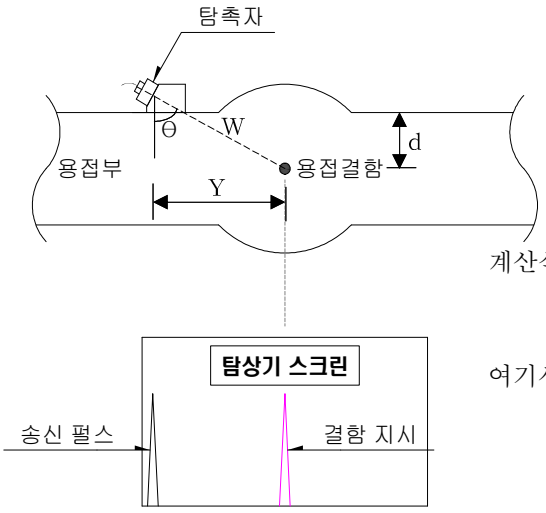
1) 개 요

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 3-24】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 3-61】 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 3-62】 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)

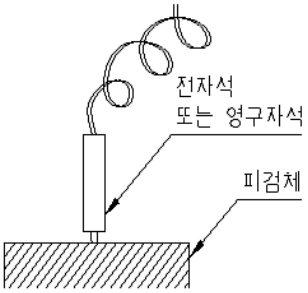
1) 개 요

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.

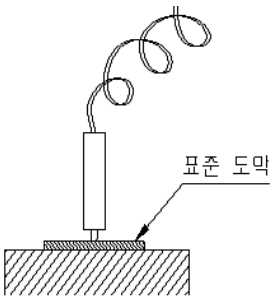
측정은 강박스 거더의 내부와 외부로 구분하였으며, 한 개소당 5회씩 측정하여 평균값을 도막두께로 취하였다.

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 3-25】 Gauge 영점조정



【그림 3-26】 Gauge 초기화(Calibration)

【그림 3-25】와 같이 도막이 도포되지 않은 피검체(자성체)에 전자석 또는 영구자석을 접촉시켜 지시계의 눈금을 영점(Zero) 조정한다. 영점 조정한 후【그림 3-26】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 3-63】 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

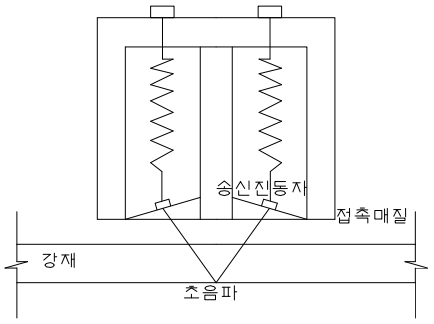
강재 부식이란 금속이 액체용액에 의해 퇴보되는 현상이며 이는 주위환경과의 전기 화학적 또는 화학적 반응에 의하여 그들의 본래 상태인 산화물로 되돌아가려는 본질적인 성질 또는 자연적인 경향이다. 구조물에서의 강재의 부식은 두께의 감소를 가져오게 되며 구조물의 강도를 저하시켜 안전성에 중요한 영향을 미치게 된다. 본 과업에서는 강구조물의 부식정도 및 설계상의 규정된 부재 사용 여부를 초음파 두께 측정기를 사용하여 조사하였다.

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 3-27】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 접축중에 측정해야 하는 경우는 디지털이 유리하다.



【그림 3-27】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 3-64】 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

3.4.3 시험결과 및 분석

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 3-65】 초음파탐상(UT) 시험결과

시험위치		시험개소	결함등급	합격 여부	결함발생 현황	비 고
S1-G1	U01-R(LF)	1	1급	합격	결함사항 없음	
	U02-L(LF)	1	1급	합격		
S1-G2	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-G2	U01-R(LF)	1	1급	합격		
	U02-L(LF)	1	1급	합격		

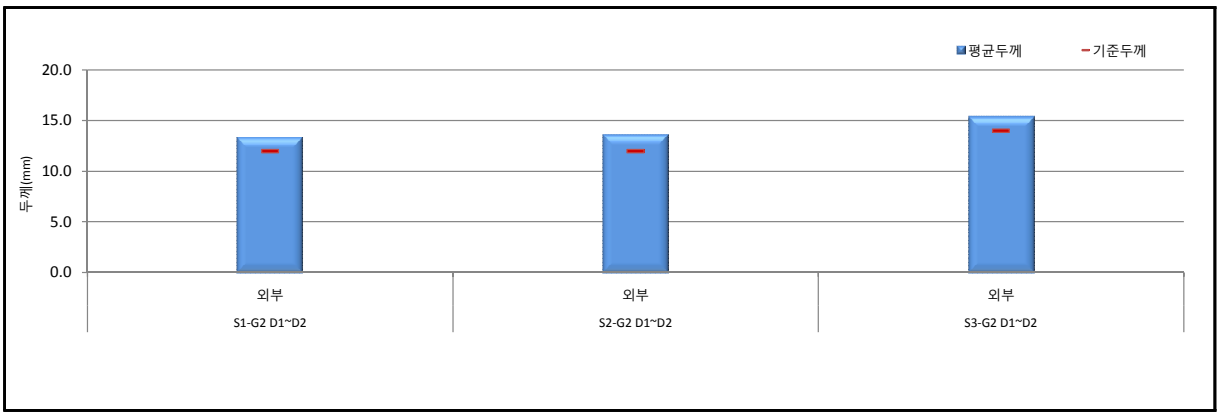
주) 합격기준 : 2급 이상

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 3-66】 도막두께 측정결과

시험위치		실측 도막두께(㎛)			평균두께	기준두께(㎛)	평가
		1회	2회	3회			
S1-G2-LF D1~D2	외부	321	321	386	343	215	양호
S2-G2-LF D1~D2	외부	367	330	390	362	215	양호
S3-G2-LF D1~D2	외부	340	304	379	341	215	양호



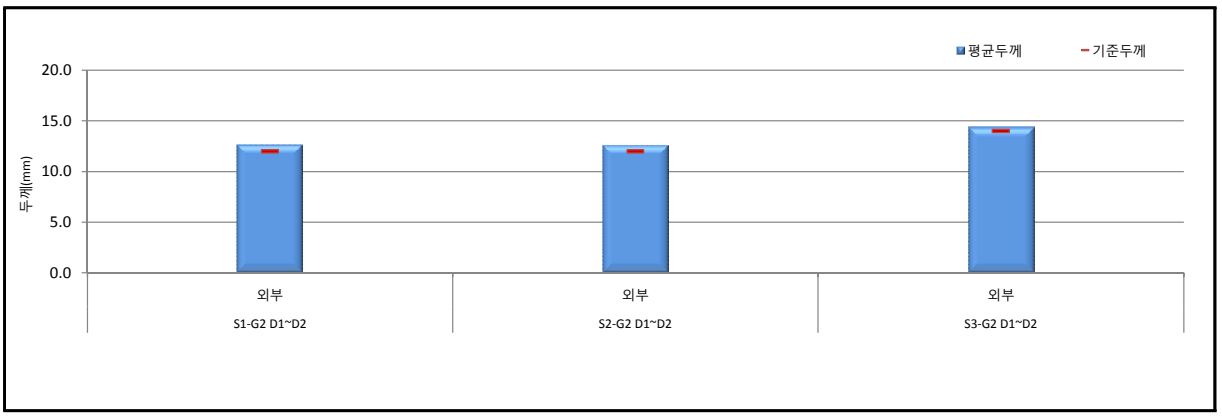
【그림 3-28】 도막두께 측정결과

다. 강재두께 측정결과

강재두께 측정결과 전 개소에서 평균 측정값이 설계도면의 +0.4~0.7㎜로 거의 일치하는 양호한 상태로 조사되었다.

【표 3-67】 강재두께 측정결과

시험위치		실측 강재두께(㎜)			평균두께	기준두께(㎜)	평가
		1회	2회	3회			
S1-G2-LF D1~D2	외부	12.5	13.2	12.5	12.7	12.0	양호
S2-G2-LF D1~D2	외부	12.6	12.7	12.7	12.7	12.0	양호
S3-G2-LF D1~D2	외부	14.4	14.6	14.3	14.4	14.0	양호



【그림 3-29】 강재두께 측정결과

3.5 현장조사 결과요약

3.5.1 외관조사 결과요약

가. 금회 진단 외관조사 결과

【표 3-68】 금회 진단 외관조사 결과요약

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
바닥판 하면	• 균열(Cw=0.3㎜이하), 균열/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.
	• 균열(Cw=0.3㎜이상)	• Cw=0.3㎜이상의 균열은 주원인은 일반균열 발생원인과 동일하며, 내구성확보를 위하여 주입보수가 필요.
	• 유공관 주변 누수흔적/백태, 백태	• 유공관 및 배수관 주변 손상은 유공관, 배수관 시공 후 마감불량으로 인해 발생한 손상으로 유공관, 배수관 주변 마감을 실시하고 표면처리보수가 필요.
	• 외부 충격에 의한 국부파손	• A1측 캔틸레버 끝단에 발생한 국부파손은 유도배수관 설치 중에 발생한 파손으로 판단되며, 내구성 확보를 위하여 단면보수가 필요.
Steel Box Girder 내부	• 용접결함 (Pit, 목두께부족, 비드불량, 언더컷)	• 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.
	• 볼트풀림	• 출입구 볼트가 공용중에 의해 풀린 것으로 판단되며, 지속관찰이 적절함.
	• 실링재 불량	• 기 진단시 조사된 손상으로 일부개소 보수 누락이 발생하였으며, 실링재 재시공이 필요.
	• 배설물, 점검등 탈락	• 이물질 퇴적 및 공용년수 증가에 따른 손상으로 위생 및 외관을 위하여 청소가 필요

【표 3-68】 금회 진단 외관조사 결과요약(계속)

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
Steel Box Girder 격벽	• 용접결함(Pit, 목두께부족) • 도장박리	• 용접시공시 용접전류 및 용접속도 불량, 용접작업실수 등이 원인으로 판단되며, 지속관찰이 적절할 것으로 판단됨(거더내부와 동일함). • 도장 전처리 불량과 Splice부를 통한 우수유입이 주원인으로 판단되며, 재도장이 필요.
Steel Box Girder 외부	• 누수흔적 • 도장박리, 부식 및 볼트부식	• 바닥판하면 캔틸레버부의 유공관으로 떨어지는 우수로 인하여 발생된 것으로 재도장이 필요. • 도장 전처리 불량과 Splice부를 통한 우수유입이 주원인으로 판단되며, 재도장이 필요.
강 가로보	• 구조적 손상이 없는 양호한 상태	• 도장손상이나, 부식, 각종변형 및 균열, 이상음 발생 등의 손상이 없는 상태임.
교대	• 균열(Cw=0.3㎜미만) • 흉벽부 보수부 박리 및 재료분리 • 압성토 침하(A2)	• 시공초기 콘크리트 내·외부의 온도차이로 인한 부등건조수축 등이 주원인으로 현시점의 보수보다는 지속관찰 후 균열 진전시 보수 필요 • 박리는 상부 신축이음부에서 유입된 우수로 인하여 발생하였으며, 표면처리보수가 필요하며, 재료분리는 시공시 다짐불량에 따른 것으로 단면보수 필요. • 압성토 침하에 따른 손상으로 h=7㎝이며, 금회 신규손상으로 지속관찰을 통한 진행성여부 판단이 필요.
교각	• 균열(Cw=0.3㎜미만) 및 망상균열 • 누수흔적, 보수부 박리 • 구체부 국부 파손 • P2 코핑부 하면 누수흔적/들뜸/재료분리	• 시공초기 콘크리트 내·외부의 온도차이로 인한 부등건조수축 등이 주원인으로 현시점의 보수보다는 지속관찰 후 균열 진전시 보수 필요 • 상부 유공관 및 배수구를 통한 우수유입에 원인으로 판단되며, 내구성확보를 위한 표면처리보수가 필요. • 외부 충격으로 인해 단면보수가 필요. • 상부구조 유공관을 통해 떨어지는 우수가 균열부와 재료분리부 등의 치밀성 부족부로 침투되어 내부 철근부식을 유발하고 보수부 시공미흡에 의해 내부 철근부식을 유발하고 균열 및 들뜸으로 발전하였으며, 들뜸부 치핑 후 철근방청, 단면복구가 필요

【표 3-68】 금회 진단 외관조사 결과요약(계속)

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
교량받침	• 받침장치 본체 부식 • 받침 몰탈/콘크리트 균열 • 받침 몰탈/콘크리트 박락, 파손, 녹발생 • 받침이동량 초과(A2-Sh1, Sh2)	• 외측면을 통한 우수유입이 주원인이며, 녹 제거후 재도장이 필요. • 건조수축 및 양생불량 등에 의한 비구조적인 손상으로 손상정도는 경미하여, 지속관찰 후 균열 진전시 보수 필요. • 외부 우수유입에 따른 동결융해로 인해 내부 철근부식 등이 원인으로 판단되며, 철근 방청 후 단면보수가 필요. • 프리셋팅 오류로 판단되며, 기능상에 문제가 없으므로, 지속관찰을 통한 중점 유지관리가 필요.
신축이음장치	• 신축이음장치 본체 부식(갓길) • 후타재 균열(Cw=0.3㎜미만) 및 파손 • 신축이음장치 유간 부족 및 협착	• 공용 중 우수에 의한 부식이 주원인이며, 손상의 정도가 경미하고 주행성에 영향을 미치지 않으므로 지속관찰 필요. • 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. • 신장시 신축이음장치 부족 및 협착이 발생하였으나, 2차 손상이 발생하지 않은 상태이며, 향후 손상 발생시 보수·보강 필요
교면포장	• 종방향 균열	• 건조수축, 온도변화 및 시공초기 다짐미흡(온도관리, 다짐초기 균열 등의 복합적인 원인에 의한 것으로 부분적으로 발생하고 차량 주행성 저하에 미치는 영향이 미미함으로 지속관찰 후 향후 부분 보수가 필요.
배수시설	• 전반적으로 양호한 상태이며, 배수구 이물질 퇴적 일부구간 발생 • 신축이음장치 하부 유도배수판 부식	• 청소 • 재설치
방호벽	• 균열(폭 0.3㎜이하) • 망상균열, 누수흔적 및 박리 • 박락, 녹발생, 철근노출, 파손 • 방호벽(A2) 단차	• 구조물에 미치는 영향이 미미하나 균열부 우수 침투로 인한 백태 발생 등의 우려가 있으므로 표면처리보수 필요 • 내구성 확보를 위한 표면처리보수 필요 • 단면보수 및 단면보수(방청) 필요함 • 접속슬래브측 지반침하가 원인으로 지속관찰이 필요

나. 기 진단결과 비교

【표 3-69】 기 진단결과 비교표

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
바닥판	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	296	475.30	159	263.10	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	6	12.30	5	11.50	▽
	•균열/백태	㎡	2	4.60	2	4.60	-
	•누수흔적/백태	㎡	18	1.98	2	0.18	▽
	•백태	㎡	-	-	3	0.27	△
	•파손	㎡	2	0.38	1	0.08	▽
Steel Box Girder 내부	•Pit	개소	363	363	309	309	▽
	•목두께부족, 비드불량, 언더컷	m	34	6.52	39	7.35	△
	•도장박리, 부식	㎡	67	1.85	28	2.11	△
	•볼트풀림	개소	-	-	1	1	△
	•실링재불량	개소	20	20	1	1	▽
	•배설물	㎡	-	-	2	0.13	△
	•점검등탈락	개소	-	-	1	1	△
	•인분배설	㎡	1	0.09	-	-	▽
Steel Box Girder 외부	•누수흔적	㎡	7	7.15	3	3.15	▽
	•도장박리, 부식	㎡	37	1.83	29	3.08	△
	•볼트부식	개소	195	195	49	49	▽
교대	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	14	8.30	4	2.20	▽
	•백태	㎡	2	0.41	-	-	▽
	•파손	㎡	1	0.01	-	-	▽
	•보수부박리	㎡	-	-	3	1.16	△
	•재료분리	㎡	-	-	1	0.12	△
	•침하	m	-	-	1	0.07	△
	•녹발생	㎡	8	0.14	-	-	▽
	•누수흔적	㎡	1	14.00	-	-	▽
교각	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	82	100.60	38	45.60	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	2	2.00	-	-	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	13	55.62	6	21.21	▽
	•누수흔적	㎡	3	4.75	2	3.70	▽
	•균열/백태	m	1	1.00	-	-	▽
	•균열/녹발생	m	1	2.00	-	-	▽
	•들뜸	㎡	-	-	1	3.00	△
	•박락	㎡	-	-	1	0.06	△
	•보수부 박리	㎡	-	-	1	0.08	△
	•재료분리, 파손	㎡	14	3.09	4	0.81	▽

주) △는 손상의 증가를 ▽는 손상의 감소를 나타냄

【표 3-69】기 진단결과 비교표(계속)

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		증·감
			개소	수량	개소	수량	
교량받침	•부식	㎡	2	0.28	2	0.30	▽
	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	21	4.40	5	0.80	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	2	1.00	-	-	▽
	•재료분리	㎡	1	0.04	-	-	▽
	•박락	㎡	-	-	2	0.08	△
	•파손	㎡	12	1.70	3	0.27	▽
	•녹발생	㎡	2	0.02	2	0.40	△
신축이음	•부식	m	4	0.66	4	0.66	-
	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	61	29.39	17	11.90	▽
	•파손	㎡	-	-	1	0.10	△
	•채움재 누락	m	3	2.10	-	-	▽
포장부	•균열	m	3	18.00	2	22.00	△
배수시설	•배수로이물질퇴적	개소	6	6	5	5	▽
	•유도배수관 설치(유공관)	개소	4	4	-	-	▽
	•유도배수판 부식	㎡	3	0.90	4	2.00	△
방호벽	•균열(Cw=0.3㎜미만)	m	188	79.90	16	9.20	▽
	•균열(Cw=0.3㎜이상)	m	4	2.90	-	-	▽
	•망상균열(Cw=0.3㎜미만)	㎡	15	2.78	3	2.36	▽
	•누수흔적	㎡	16	4.95	3	1.26	▽
	•박락	㎡	-	-	7	0.12	△
	•박리, 파손	㎡	61	3.75	24	2.24	▽
	•녹발생, 철근노출	㎡	8	0.15	17	0.31	△
	•단차	개소	-	-	1	1	△
기타	•유간협착	㎡	-	-	2	0.30	△
검토의견	■ 보수이력 및 현장조사 결과, 기 진단 이후 바닥판 하면 균열보수, 하부구조 균열보수 및 단면보수, 거더 내·외부 도장보수, 교량받침콘크리트 균열보수, 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, 교량받침 녹발생, 유도배수판부식 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

3.5.2 내구성조사 결과요약

【표 3-70】 내구성조사 결과 요약

시 험 명		시험부위	시험 결과		비 고
			2012년 전차진단	2016년 금회진단	
콘크리트	비파괴 강도시험 (㎫)	상부구조	27.5~29.0	27.1~30.8	• 설계기준강도(27㎫)를 상회함.
		하부구조	27.5~33.0	26.3~29.0	• 설계기준강도(24㎫)를 상회함.
	철근탐사 시험	상 · 하부구조	-		• 전반적으로 철근배근간격 및 피복두께는 준공도면과 거의 일치함.
	품질시험 (km/s)	상부구조	-	4.088~4.667	• 양호상태로 평가됨
		하부구조	-	3.818~4.253	
	탄산화 깊이 (㎜)	상부 구조	1.9~3.6	3.5~9.8	• 상태평가 a (잔여깊이 30㎜이상)
		하부 구조	2.0~6.0	5.1~8.1	
	염화물 함유량 시험 (kg/m^3)	상부 구조	0.061~0.077	0.175	• 상태평가 a (염화물 ≤ 0.3kg/m^3)
		하부 구조	0.050~0.149	0.221~0.258	
	균열깊이 (㎜)	하부 구조	-	53.0~76.0	• 주입보수 필요 (0.3㎜이상 균열)
강재	초음파 탐상 (UT)	거더 내부 (맞대기 용접부)	합 격	시험 24개소 (24개소 합격)	• 1급
	도막두께 (μm)	거더 외부	-	341~362	• 기준두께(215μm)
	강재두께 (㎜)	거더 외부	-	12.7~14.4 (+0.4~0.7)	• 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, 모든 개소에서 품질상태가 양호한 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. ■ 균열깊이 측정결과, 피복두께를 초과하지 않은 것으로 조사되었으나, 내구성 저하 방지를 위하여 주기적인 점검이 필요할 것으로 판단됨. ■ 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.				