

제3장 현장조사 및 시험

3.1 전체 시설물의 외관조사 결과분석

3.2 주요한 결함의 발생원인 분석

3.3 재료시험 및 측정결과의 분석

제3장 현장조사 및 시험

3.1 전체 시설물의 외관조사 결과분석

3.1.1 개 요

본 과업대상 교량인 연인교는 경기도 여주시 상동~천송동에 위치하여 남한강을 횡단하는 지방도345호선상의 「여주대교」와 나란한 보도교로서, 구조형식은 Steel Plate 및 RC BOX Girder로 총연장 500.0m(20+6@40+12@20=500.0m), 교폭 9.4m, 설계하중 DB(DL)-18로 설계되어 1964년에 준공된 교량이다.

준공 후 도로교(구 여주교, 보·차도 공용)로 사용되었으나 인접한 「여주대교(자동차 전용교량)」가 1996년 09월 준공·개통됨에 따라 「보도교」로 용도가 변경되어 현재까지 사용 중인 것으로 확인되었다.

본 과업은 교량의 물리적·기능적 결함을 발견하고 안전성 판단을 목적으로 교량부재 전체에 대하여 가능한 근접한 상태에서의 육안조사를 원칙으로 하였으며, 사전 현장답사를 통해 주변 여건을 파악하여 근접조사에 필요한 교량점검차 및 고소작업차, 수상보트 등의 장비동원과 일정계획을 수립하여 효율적으로 교량의 외관상태를 조사하였다.

외관조사는 교면포장, 배수시설, 바닥판, 신축이음장치, 교량받침, 강재거더, RC BOX거더, 교대, 교각 등 각 부재에 대한 현 상태를 면밀히 조사하였고, 특히 교량의 안전성을 저해할 만한 구조적인 결함의 유무를 중점적으로 확인하고자 하였다.

『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토교통부, 한국시설안전공단, 2010. 12)』에 제시된 정밀안전진단 실시요령에 따라서 시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물 기능 및 성능 저하, 상태 등을 신속·정확하게 검사·평가하는데 주안점을 두었고, 관리주체가 시설물을 효율적으로 유지관리 하는데 필요한 기초자료 획득과 시설물의 상태평가 및 중점유지관리 항목을 파악하는 것에 목적을 두고 외관조사를 실시하였다.

본문에서는 교량의 주요 부재별로 외관조사 결과와 결함발생 원인분석 결과를 함께 수록하였으며, 이에 따른 외관조사망도 및 손상현황표는 부록에 별도 수록하여 향후 유지관리에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

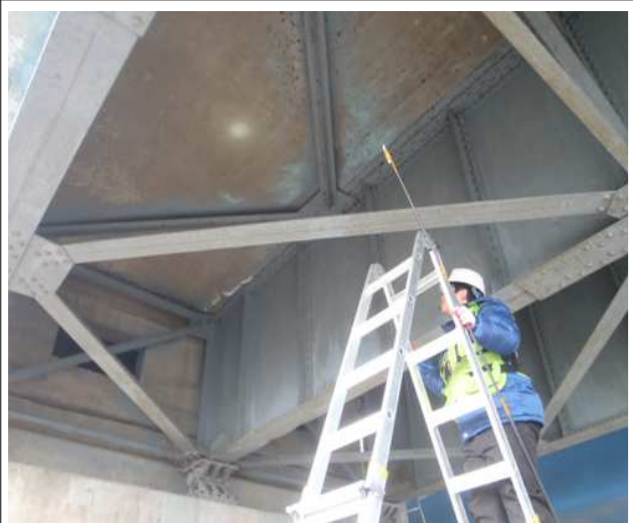
【표 3.1】 근접조사장비 사용전경



교량점검차를 이용한 외관조사



고소작업차를 이용한 외관조사



수상보트를 이용한 외관조사

사다리를 이용한 외관조사

가. 부재별 조사항목

【표 3.2】 교량 부재별 조사항목

구 분		조 사 항 목	비 고
상부 구조	바닥판	- 콘크리트 균열, 박리, 철근노출, 파손 및 골재분리 - 누수, 백태, 오염 등	
	RC BOX Girder	- 박리, 박락(파손), 철근노출, 백태 - 받침부 부스러짐, 복부 사인장균열, 중앙부 휨균열 - 받침부 측면 경사균열, 하면 및 난간부 횡균열 - 거더 처짐, 시공이음부 균열 및 누수 - 강판 등 보강재 부착상태불량(들뜸) 및 처짐	
	Steel Plate Girder	- 변형 - 충돌손상, 면외변형, 처짐 - 연결부 부식, 변형, 이완, 이상음, 리벳 파손 - 브레이싱 및 가로보 연결 불량, 리벳 탈락 - 표면상태 오염, 부식 - 도막손상, 단면감소 등	
하부 구조	교대 및 교각	- 콘크리트 균열, 철근부식, 철근노출, 누수, 백태, 박락, 파손, 재료 분리 등 - 교대의 이동 및 회전 유무 - 거더 또는 바닥판과 협착 유무	
	기초	세굴, 침하, 파손, 침식 등	
교면포장		균열, 요철, 단차, 함몰, 물고임(체수) 등	
배수시설		파손, 배수관 길이부족, 배수관 주변 및 연결부 누수, 배수구 위치 불량 등	
난간 및 연석		균열, 박리, 박락, 철근노출 및 부식, 파손, 백태 등	
교량 받침	강재받침	- 균열, 부식, 변형, 파손 - 부속물 파손(부상방지장치 및 이동제한장치)	
	탄성받침	- 부풀음 및 갈라짐 - 고무판의 과도한 변형	
	기타	유간부족, 편기, 수평불량, 가동불량, 가동방향 설치불량, 앵커볼트 파손, 물고임	
신축이음		- 본체의 파손, 누수, 오염, 유간, 이상 진동 - 후타재의 균열, 파손, 단차 - 후타재와 포장면 사이 벌어짐	

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

3.1.2 외관조사 결과 및 분석

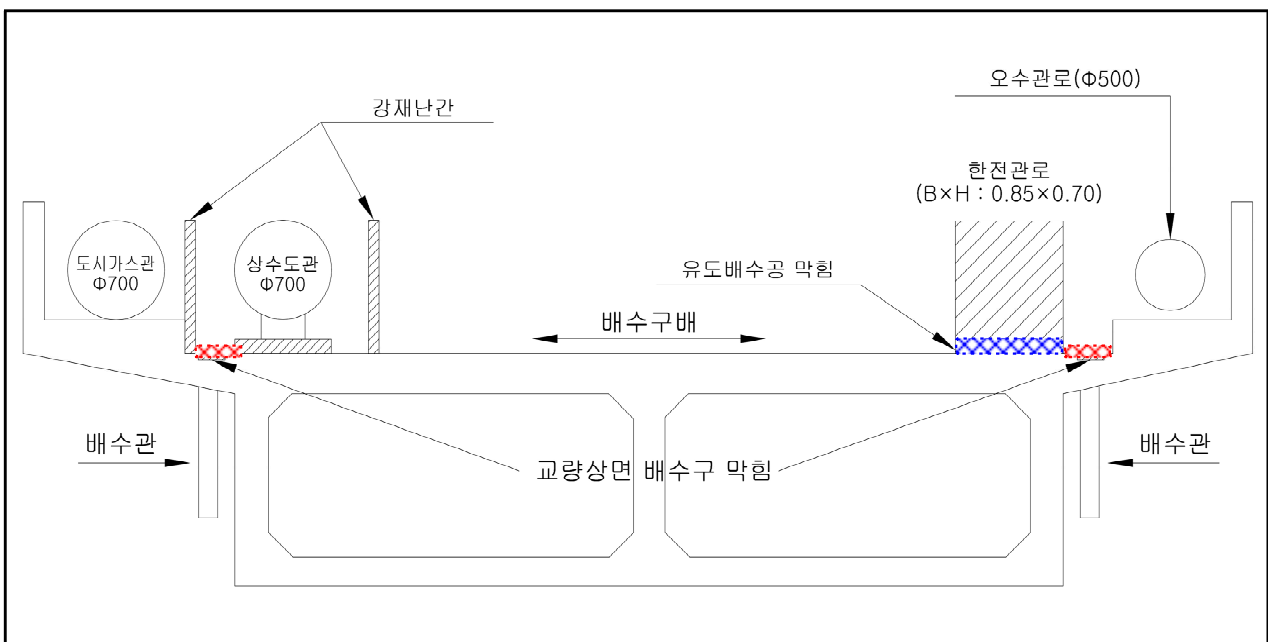
가. 교량상면

교면포장은 차량운행 시 발생하는 진동 및 충격을 흡수·분산시키고 환경적인 영향인자에 대해 콘크리트 바닥판이 직접적인 영향을 받지 않도록 하는 부재이다. 그러나 본 교량은 현재 평상시 차량통행이 없으며, 전폭 9.4m 중 양측에 도시가스 및 상수도관로, 한전관로, 오수관로 등이 설치되어 있어 유효 폭 4.3m의 콘크리트포장 「보도교」로 공용되고 있다.

외관조사결과 보도교로 사용하는데 있어서 안전성에 영향을 줄만한 구조적인 결함은 조사되지 않았으며, 사용기간 증가에 따른 포장면 열화와 배수불량으로 인해 전 경간에 걸쳐 전 반적인 골재노출이 조사되었고 국부적인 포장균열(횡방향 0.3~0.5mm)이 발생한 것으로 조사되었다.

상면 배수불량은 【그림 3.1】에 나타낸 바와 같이, 한전관로 하부 교면과 맞닿는 부분에 설치된 유도배수공과 양측에 설치된 배수구가 토사잡물에 의해 막혀있어 교량상면 체수와 추가적인 토사퇴적을 야기하고, 상면열화를 가속시키는 요인으로 작용되고 있는 것으로 조사되었다.

따라서 한전관로 하부 유도배수공 및 배수구주변에 대한 정기적인 청소를 통해 상면 배수능력을 확보하고, 국부적으로 발생한 포장균열에 대해서는 주입보수를 통해 바닥판으로의 우수침투를 방지하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.



【그림 3.1】 교량상면 배수불량 현황도

【표 3.3】 교량상면 손상현황

	
횡방향균열 (cw=0.5mm)	열화, 골재노출
	
체수, 토사퇴적	지장물(상수도관로) 주변 이물질 퇴적

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

【표 3.4】 교량상면 손상현황 분석표

구 분	포장균열		열화, 골재노출		체수, 토사퇴적		기타 균열		기타 파손		기타 손상
	개소	물량(m)	개소	물량(m')	개소	물량(m')	개소	물량(m)	개소	물량(m')	개소
S1	—	—	1	80.00	—	—	12	15.6	—	—	—
S2	—	—	1	160.00	1	8.25	10	14.5	—	—	—
S3	—	—	1	160.00	1	8.00	—	—	1	0.24	2
S4	—	—	1	120.00	1	12.00	8	8.4	1	0.25	1
S5	1	3.00	1	120.00	1	12.00	2	2.0	—	—	9
S6	3	3.90	1	60.00	2	15.00	3	4.0	2	0.68	1
S7	2	3.50	—	—	1	8.00	4	5.5	—	—	3
S8	—	—	—	—	1	8.00	7	19.1	—	—	1
S9	—	—	1	15.00	—	—	9	20.4	—	—	—

【표 3.4】 교량상면 손상현황 분석표(계속)

구 분	포장균열		열화, 골재노출		체수, 토사퇴적		기타 균열		기타 파손		기타 손상
	개소	물량(m)	개소	물량(m ²)	개소	물량(m ²)	개소	물량(m)	개소	물량(m ²)	개소
S10	—	—	1	51.00	—	—	4	6.0	—	—	—
S11	—	—	1	39.00	—	—	6	3.5	1	0.20	1
S12	—	—	1	60.00	—	—	5	7.5	—	—	—
S13	—	—	1	60.00	—	—	—	—	—	—	1
S14	—	—	2	30.00	—	—	1	2.5	—	—	1
S15	—	—	1	60.00	—	—	2	5.0	—	—	1
S16	—	—	1	60.00	1	1.00	1	2.5	—	—	1
S17	—	—	2	35.00	1	10.00	2	4.0	—	—	—
S18	—	—	1	80.00	—	—	3	4.7	—	—	—
S19	—	—	1	80.00	—	—	1	2.5	—	—	1
접속부	—	—	—	—	—	—	—	—	3	1.95	—
합 계	6	10.4	19	1270.00	10	82.25	80	127.70	8	3.32	23
보수방안	주입보수		주의관찰		청소		주의관찰		단면보수		주의관찰

주) 1. ‘기타’ 손상은 관로구체 및 기초 등의 손상임.

나. 배수시설

배수시설은 교면의 체수로 인한 사고방지 및 우수 유입으로 인한 교량의 노후화방지를 위해 일정한 곳으로 물을 배출하기 위한 시설이며, 본 연인교의 배수구는 SPG구간 경간 당 16개소, RC BOX구간 경간당 8개소로 총 200개가 교량 좌·우측 연석 접합부에 설치되어 있는 것으로 조사되었다

외관조사결과 상부 전 개소의 배수구와 한전관로 하부 유도배수공이 토사잡물 퇴적에 의해 막혀있는 것으로 조사되었다(그림 3.1 참조).

이러한 상부 배수구 막힘은 교량상면의 체수와 더불어 재료열화 및 방수층 열화를 촉진시키게 되므로 주기적인 청소를 통한 유지관리가 필요하며, 하부 배수관의 상태는 전반적으로 양호한 것으로 조사되어 교량상면의 배수능력만 확보된다면 원활한 기능유지에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

【표 3.5】 배수시설 손상현황

연석접속부(배수구 설치위치) 전 구간 토사퇴적	한전 관로구체 하단부 유도배수공 막힘
교량상면 S11(우측) 배수구 막힘	교량상면 S16(좌측) 배수구 막힘

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

【표 3.6】 배수시설 손상현황 분석표

구 분	한전관로 유도배수공 막힘	배수구 막힘
	개소	개소
배수시설(전 경간)	100	200
보수방안	청소	청소

다. 난간 및 연석

본 연인교는 콘크리트 연석 및 난간이 교량 양측에 설치되어 있으며, 상면에 설치된 도시가스 및 상수도, 오수 등 관로보호용 강재난간이 추가 설치되어 있는 것으로 조사되었다.

외관조사결과, 건조수축에 따른 국부적인 균열($cw=0.2\sim0.3mm$)과 구조물 표면의 동결융해 및 사용기간 증가에 따른 재료열화에 의해 콘크리트 파손, 그에 따른 국부적인 철근노출 등

의 손상이 전 경간에 걸쳐 발생되어 있는 것으로 조사되었으나, 기존 점검 및 진단 시 조사되어 미보수 상태로 유지되고 또한 장기공용에 따른 재료열화에 기인하여 일부 추가 발생한 손상들이고, 변상의 규모가 경미하며 시설물의 안전성에는 영향을 주지 않는 비구조적인 손상들이다.

본 시설물이 「보도교 전용」으로 사용 중이며 보행구간 좌·우측에 별도의 강재난간이 설치되어 있고 조사된 손상의 규모가 경미하여 잠재적인 위험요소는 없는 것으로 판단되나, 시설물의 장기적인 내구성과 사용성 확보차원의 적절한 보수를 실시하고 지속적인 유지관리가 필요하다.

【표 3.7】 난간 및 연석부 손상현황

	
S9 좌측난간 기둥부 파손, 철근노출	S13 좌측난간 기둥부 파손, 철근노출
	
S10 우측난간 기둥부 파손, 철근노출	S11 우측난간 균열(cw=0.3mm)

【표 3.8】 난간 및 연석부 손상현황 분석표

구 분	균열(cw=0.3mm미만)		균열(cw=0.3mm이상)		파손 및 철근노출	
	개소	물량(m)	개소	물량(m)	개소	물량(m²)
난간 및 연석 (전 경간)	3	0.80	1	0.40	156	11.25
보수방안	주의관찰		주의관찰		철근방청+단면보수	

라. 신축이음

신축이음장치는 온도변화로 인한 상부구조의 신축과 건조수축 및 활하중에 의한 처짐 등으로부터 변형을 원활하게 수용하도록 설치한 부재이며, 본 연인교의 신축이음은 맞댐식(A1, P1, P8~A2, RC BOX구간 14개소) 및 트랜스플렉스(P3, P5, P7, SPG구간 3개소) Joint로 총 17개소가 설치되어 있다.

외관조사결과, 장기사용에 따른 재료열화로 인해 후타재의 골재노출과 일부 구간 본체 부식이 진행 중이며 방수기능 상실로 인한 누수로 하부구조의 재료열화를 촉진시키고 있는 것으로 조사되었고, 국부적인 유간 토사퇴적과 경미한 파손 등이 조사되었다.

현재 「보도교」로 사용되고 있으며, 차량주행에 따른 직접적인 충격이 없고 공용 상 문제점이나 안전을 저해할만한 요인은 없는 것으로 판단되므로, 주의관찰을 통한 지속적인 유지관리를 실시한다면 부재의 기능발휘에는 문제가 없을 것으로 사료된다.

【표 3.9】 신축이음 손상현황

	
본체 부식, 유간 토사퇴적	신축이음 파손(S3)

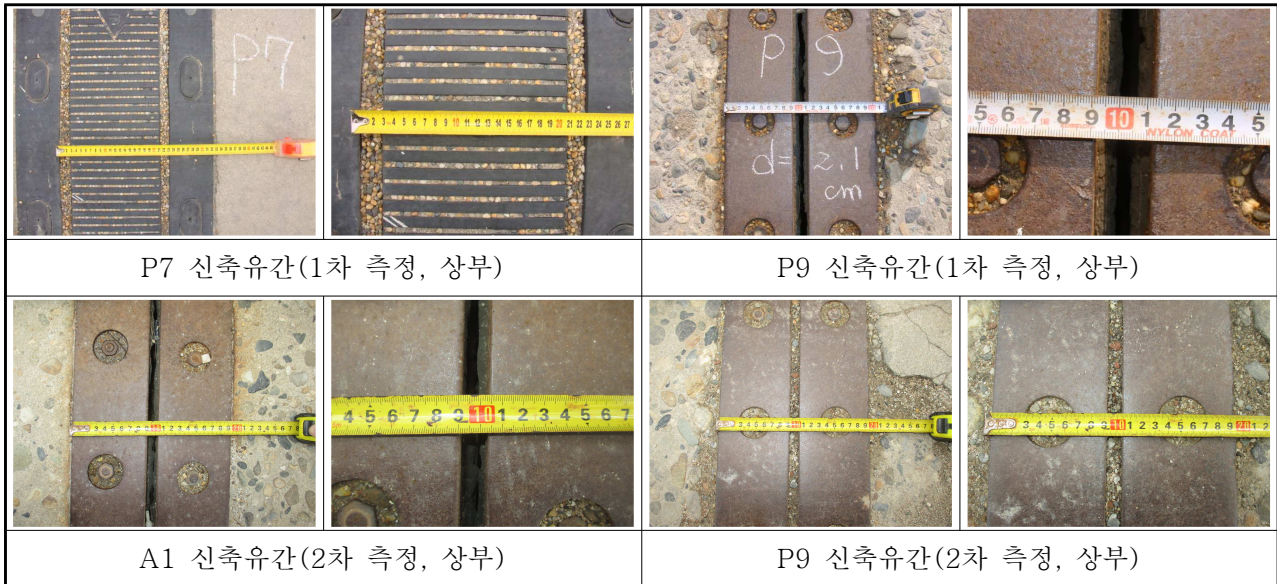
【표 3.10】 신축이음 손상현황 분석표

구 분	파 손		유간 토사퇴적		신축이음 부식		신축이음 누수	
	개소	물량(m')	개소	물량(m)	개소	물량(m')	개소	물량(m')
맞댐식 (A1, P1, P8~A2)	2	1.95	4	3.76	4	7.20	8	6.00
트랜스플렉스 (P3, P5, P7)	1	2.20	6	5.64	—	—	—	—
합 계	3	4.15	10	9.4	4	7.2	8	6
보수방안	주의관찰		주의관찰		주의관찰		주의관찰	

주) 1. 후타재의 「골재노출」 손상은 ‘교량상면 손상현황 분석표’에 해당 손상물량을 포함시킴.

1) 신축이음 유간 검토

【표 3.11】 연인교 신축이음 유간 측정



신축이음 유간측정 결과(mm)					
위치	종 류	상부유간 1차 측정값	상부유간 2차 측정값	거더 간 거리	
				상단	하단
A1	맞댐식 Joint	14.0	11.0	100.0	100.0
P1	맞댐식 Joint	13.0	10.0	157.0	160.0
P3	트랜스플렉스 Joint	47.0	34.0	60.0	62.0
P5	트랜스플렉스 Joint	52.0	39.0	47.0	50.0
P7	트랜스플렉스 Joint	50.0	38.0	62.0	65.0
P8	맞댐식 Joint	31.0	29.0	154.0	160.0
P9	맞댐식 Joint	21.0	18.0	162.0	170.0
P10	맞댐식 Joint	20.0	18.0	173.0	180.0
P11	맞댐식 Joint	38.0	35.0	185.0	190.0
P12	맞댐식 Joint	20.0	18.0	194.0	200.0
P13	맞댐식 Joint	32.0	29.0	189.0	190.0
P14	맞댐식 Joint	19.0	16.0	205.0	210.0
P15	맞댐식 Joint	19.0	17.0	161.0	166.0
P16	맞댐식 Joint	17.0	15.0	146.0	150.0
P17	맞댐식 Joint	18.0	12.0	168.0	170.0
P18	맞댐식 Joint	18.0	15.0	144.0	150.0
A2	맞댐식 Joint	16.0	13.0	84.0	93.0

2) 검토조건 및 이론적 계산유간

【표 3.12】 신축이음 유간 검토조건

교량종류	온도변화		선팅창계수(α)
	보통지방	한랭지방	
RC BOX 거더교	-5℃ ~ 35℃	-15℃ ~ 35℃	1.0×10^{-5}
Steel Plate 거더교	-10℃ ~ 40℃	-20℃ ~ 40℃	1.2×10^{-5}

온도변화 구분	적용지역	비고
보통지방	대전, 구미, 대구, 강릉, 논산, 전주, 광주, 순천, 진주, 마산, 창령, 고령, 동서울, 부산	『도로공사 연구보고서 (1993년 발간)』 참조
한랭지방	인천, 수원, 천안, 영동, 이천, 원주, 대관령, 정안, 진천	

○ 검토위치 : A1, P1, P3, P5, P7~P18, A2

○ 조사 시 평균온도 : 1.1℃ (1차-2015.02.23)
15.0℃ (2차-2015.04.20)

○ 검토온도 : -15℃ ~ +35℃ (콘크리트, 한랭지방)
-20℃ ~ +40℃ (강재, 한랭지방)

○ 받침장치 이동량 산정
: $\Delta L_t = \Delta T \cdot \alpha \cdot L$

(여기서, α = 선팅창계수,
 L = 신축거더의 길이)

○ ΔT (온도변화) 측정

• 1차 측정 (RC BOX 거더)
- 최대신장 시 : $35.0^\circ\text{C} - 1.1^\circ\text{C} = 33.9^\circ\text{C}$
- 최대수축 시 : $1.1^\circ\text{C} - (-15.0^\circ\text{C}) = 16.1^\circ\text{C}$

• 1차 측정 (Steel Plate 거더)
- 최대신장 시 : $40.0^\circ\text{C} - 1.1^\circ\text{C} = 38.9^\circ\text{C}$
- 최대수축 시 : $1.1^\circ\text{C} - (-20.0^\circ\text{C}) = 21.1^\circ\text{C}$

• 2차 측정 (RC BOX 거더)
- 최대신장 시 : $35.0^\circ\text{C} - 15.0^\circ\text{C} = 20.0^\circ\text{C}$
- 최대수축 시 : $15.0^\circ\text{C} - (-15.0^\circ\text{C}) = 30.0^\circ\text{C}$

• 2차 측정 (Steel Plate 거더)
- 최대신장 시 : $40.0^\circ\text{C} - 15.0^\circ\text{C} = 25.0^\circ\text{C}$
- 최대수축 시 : $15.0^\circ\text{C} - (-20.0^\circ\text{C}) = 35.0^\circ\text{C}$

【표 3.13】 신축이음 계산유간 산정

구분			α	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	$L(\text{m})$	계산유간(mm)	비고
A1	1차 측정	신장	1.0×10^{-5}	33.9	20.0	6.78	
		수축	1.0×10^{-5}	16.1	20.0	3.22	
	2차 측정	신장	1.0×10^{-5}	20.0	20.0	4.00	
		수축	1.0×10^{-5}	30.0	20.0	6.00	
P1	1차 측정	신장	1.0×10^{-5}	33.9	20.0+40.0	20.34	
		수축	1.0×10^{-5}	16.1	20.0+40.0	9.66	
	2차 측정	신장	1.0×10^{-5}	20.0	20.0+40.0	12.00	
		수축	1.0×10^{-5}	30.0	20.0+40.0	18.00	

【표 3.13】 신축이음 계산유간 산정(계속)

구 분			α	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	$L(\text{m})$	계산유간(mm)	비 고
P3	1차 측정	신장	1.2×10^{-5}	33.9	40.0+40.0	32.54	
		수축	1.2×10^{-5}	16.1	40.0+40.0	15.46	
	2차 측정	신장	1.2×10^{-5}	20.0	40.0+40.0	19.20	
		수축	1.2×10^{-5}	30.0	40.0+40.0	28.80	
P5	1차 측정	신장	1.2×10^{-5}	33.9	40.0+40.0	32.54	
		수축	1.2×10^{-5}	16.1	40.0+40.0	15.46	
	2차 측정	신장	1.2×10^{-5}	20.0	40.0+40.0	19.20	
		수축	1.2×10^{-5}	30.0	40.0+40.0	28.80	
P7	1차 측정	신장	1.2×10^{-5}	33.9	40.0+20.0	32.54	
		수축	1.2×10^{-5}	16.1	40.0+20.0	15.46	
	2차 측정	신장	1.2×10^{-5}	20.0	40.0+20.0	19.20	
		수축	1.2×10^{-5}	30.0	40.0+20.0	28.80	
P8	1차 측정	신장	1.0×10^{-5}	33.9	20.0+20.0	13.56	
		수축	1.0×10^{-5}	16.1	20.0+20.0	6.44	
	2차 측정	신장	1.0×10^{-5}	20.0	20.0+20.0	8.00	
		수축	1.0×10^{-5}	30.0	20.0+20.0	12.00	
P9	1차 측정	신장	1.0×10^{-5}	33.9	20.0+20.0	13.56	
		수축	1.0×10^{-5}	16.1	20.0+20.0	6.44	
	2차 측정	신장	1.0×10^{-5}	20.0	20.0+20.0	8.00	
		수축	1.0×10^{-5}	30.0	20.0+20.0	12.00	
P10	1차 측정	신장	1.0×10^{-5}	33.9	20.0+20.0	13.56	
		수축	1.0×10^{-5}	16.1	20.0+20.0	6.44	
	2차 측정	신장	1.0×10^{-5}	20.0	20.0+20.0	8.00	
		수축	1.0×10^{-5}	30.0	20.0+20.0	12.00	
P11	1차 측정	신장	1.0×10^{-5}	33.9	20.0+20.0	13.56	
		수축	1.0×10^{-5}	16.1	20.0+20.0	6.44	
	2차 측정	신장	1.0×10^{-5}	20.0	20.0+20.0	8.00	
		수축	1.0×10^{-5}	30.0	20.0+20.0	12.00	
P12	1차 측정	신장	1.0×10^{-5}	33.9	20.0+20.0	13.56	
		수축	1.0×10^{-5}	16.1	20.0+20.0	6.44	
	2차 측정	신장	1.0×10^{-5}	20.0	20.0+20.0	8.00	
		수축	1.0×10^{-5}	30.0	20.0+20.0	12.00	

【표 3.13】 신축이음 계산유간 산정(계속)

구 분			α	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	$L(\text{m})$	계산유간(mm)	비 고
P13	1차 측정	신장	1.0×10^{-5}	33.9	20.0+20.0	13.56	
		수축	1.0×10^{-5}	16.1	20.0+20.0	6.44	
	2차 측정	신장	1.0×10^{-5}	20.0	20.0+20.0	8.00	
		수축	1.0×10^{-5}	30.0	20.0+20.0	12.00	
P14	1차 측정	신장	1.0×10^{-5}	33.9	20.0+20.0	13.56	
		수축	1.0×10^{-5}	16.1	20.0+20.0	6.44	
	2차 측정	신장	1.0×10^{-5}	20.0	20.0+20.0	8.00	
		수축	1.0×10^{-5}	30.0	20.0+20.0	12.00	
P15	1차 측정	신장	1.0×10^{-5}	33.9	20.0+20.0	13.56	
		수축	1.0×10^{-5}	16.1	20.0+20.0	6.44	
	2차 측정	신장	1.0×10^{-5}	20.0	20.0+20.0	8.00	
		수축	1.0×10^{-5}	30.0	20.0+20.0	12.00	
P16	1차 측정	신장	1.0×10^{-5}	33.9	20.0+20.0	13.56	
		수축	1.0×10^{-5}	16.1	20.0+20.0	6.44	
	2차 측정	신장	1.0×10^{-5}	20.0	20.0+20.0	8.00	
		수축	1.0×10^{-5}	30.0	20.0+20.0	12.00	
P17	1차 측정	신장	1.0×10^{-5}	33.9	20.0+20.0	13.56	
		수축	1.0×10^{-5}	16.1	20.0+20.0	6.44	
	2차 측정	신장	1.0×10^{-5}	20.0	20.0+20.0	8.00	
		수축	1.0×10^{-5}	30.0	20.0+20.0	12.00	
P18	1차 측정	신장	1.0×10^{-5}	33.9	20.0+20.0	13.56	
		수축	1.0×10^{-5}	16.1	20.0+20.0	6.44	
	2차 측정	신장	1.0×10^{-5}	20.0	20.0+20.0	8.00	
		수축	1.0×10^{-5}	30.0	20.0+20.0	12.00	
A2	1차 측정	신장	1.0×10^{-5}	33.9	20.0	6.78	
		수축	1.0×10^{-5}	16.1	20.0	3.22	
	2차 측정	신장	1.0×10^{-5}	20.0	20.0	4.00	
		수축	1.0×10^{-5}	30.0	20.0	6.00	

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

3) 신축이음 유간검토 결과분석

【표 3.14】 신축이음 유간검토 결과표

부 재		실측유간 (mm)	계산유간(mm)		여유량(mm)		평가결과
			신장	수축	신장	수축	
A1	1차 측정	14.0	6.78	3.22	7.22	10.78	여유량 확보
	2차 측정	11.0	4.00	6.00	7.00	5.00	여유량 확보
P1	1차 측정	13.0	20.34	9.66	(-)7.34	3.34	여유량 부족
	2차 측정	10.0	12.00	18.00	(-)2.00	(-)8.00	여유량 부족
P3	1차 측정	47.0	32.54	15.46	14.46	31.54	여유량 확보
	2차 측정	34.0	19.20	28.80	14.80	5.20	여유량 확보
P5	1차 측정	52.0	32.54	15.46	19.46	36.54	여유량 확보
	2차 측정	39.0	19.20	28.80	19.80	10.20	여유량 확보
P7	1차 측정	50.0	32.54	15.46	17.46	34.54	여유량 확보
	2차 측정	38.0	19.20	28.80	18.80	9.20	여유량 확보
P8	1차 측정	31.0	13.56	6.44	17.44	24.56	여유량 확보
	2차 측정	29.0	8.00	12.00	21.00	17.00	여유량 확보
P9	1차 측정	21.0	13.56	6.44	7.44	14.56	여유량 확보
	2차 측정	18.0	8.00	12.00	10.00	6.00	여유량 확보
P10	1차 측정	20.0	13.56	6.44	6.44	13.56	여유량 확보
	2차 측정	18.0	8.00	12.00	10.00	6.00	여유량 확보
P11	1차 측정	38.0	13.56	6.44	24.44	31.56	여유량 확보
	2차 측정	35.0	8.00	12.00	27.00	23.00	여유량 확보
P12	1차 측정	20.0	13.56	6.44	6.44	13.56	여유량 확보
	2차 측정	18.0	8.00	12.00	10.00	6.00	여유량 확보
P13	1차 측정	32.0	13.56	6.44	18.44	25.56	여유량 확보
	2차 측정	29.0	8.00	12.00	21.00	17.00	여유량 확보
P14	1차 측정	19.0	13.56	6.44	5.44	12.56	여유량 확보
	2차 측정	16.0	8.00	12.00	8.00	4.00	여유량 확보
P15	1차 측정	19.0	13.56	6.44	5.44	12.56	여유량 확보
	2차 측정	17.0	8.00	12.00	9.00	5.00	여유량 확보
P16	1차 측정	17.0	13.56	6.44	3.44	10.56	여유량 확보
	2차 측정	15.0	8.00	12.00	7.00	3.00	여유량 확보

【표 3.14】 신축이음 유간검토 결과표(계속)

부 재		실측유간 (mm)	계산유간(mm)		여유량(mm)		평가결과
			신장	수축	신장	수축	
P17	1차 측정	18.0	13.56	6.44	4.44	11.56	여유량 확보
	2차 측정	16.0	8.00	12.00	8.00	4.00	여유량 확보
P18	1차 측정	18.0	13.56	6.44	4.44	11.56	여유량 확보
	2차 측정	15.0	8.00	12.00	7.00	3.00	여유량 확보
A2	1차 측정	16.0	6.78	3.22	9.22	12.78	여유량 확보
	2차 측정	13.0	4.00	6.00	9.00	7.00	여유량 확보

신축이음장치의 상부유간을 측정하여 계산에 의한 이론 신축량과 비교한 결과, P2 상부의 신축이음에서 여유량이 부족한 것으로 조사되었고 이는, RC BOX 거더와 Steel Plate 거더의 온도변화에 따른 신축량 차이에서 비롯된 것이므로 향후 지속적인 주의관찰이 필요하다.

그 외 모든 신축이음은 온도변화에 따른 계산유간이 현재의 실측유간 내에 있고, 1, 2차 유간측정결과 온도에 따른 교축방향 신축거동은 양호한 것으로 분석되었다.

그러나 신축이음장치 노후화(열화)에 의해 하부의 방수기능이 상실된 상태이며 하부로의 누수로 인해 교대 및 교각, 교량받침의 재료열화를 촉진시키고 있는 것으로 조사되었다.

현재 본 교량이 「보도교 전용」으로 사용되고 있고 신축이음장치 교체에 따른 유지관리비용 증가 등을 감안할 때, 신축이음 누수로 인한 하부구조의 재료열화 변화추이를 지속적으로 주의관찰하고, 향후 「유동성 신축이음덮개」 설치를 통해 우수 등의 유입을 차단하는 방안을 검토하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

마. SPG(Steel Plate Girder)구간 바닥판

상부의 하중을 직접 지지하며 거더로 전달해주는 SPG구간(6경간, 경간 길이 L=40.0m) 바닥판에 대한 외관조사결과, 기존 점검(2014년) 시 조사된 횡방향 균열(cw=0.1~0.3mm) 및 균열·백태 손상들은 규모 확대 또는 진전 없이 유지되고 있으며, 추가적으로 국부적인 콘크리트 박리 및 재료분리, 경미한 파손, 철근노출, 거푸집미제거, 백태 등의 손상들이 발생되어 있는 것으로 조사되었다.

횡방향 균열(cw=0.1~0.3mm)들은 초기 재료적 특성과 온도영향에 의해 발생된 것이며, 이러한 균열손상부에 습윤환경 및 우수 등이 영향을 주어 백태(균열·백태)가 발생된 것으로 판단된다. 또한 재료분리 및 거푸집미제거, 경미한 파손 손상들은 초기 손상들이며, 콘크리트 박리 및 그에 따른 철근노출 등은 시설물의 장기사용과 외기영향에 따른 재료열화가 주된 원인으로 비구조적인 공용 중 손상들로 사료된다.

그리고 3경간 및 6경간 일부에 「강판보강」이 실시되어 있는 것으로 조사되었으며, 보강

부의 상태는 보강판 들뜸 및 도장박리 등이 없이 전반적으로 양호한 것으로 확인되었다.

시설물의 안전에 영향을 줄만한 구조적인 손상은 없는 것으로 조사되었으며, 일부 손상에 대해 적절한 보수를 실시하고 지속적인 유지관리를 실시한다면 「보도교」 공용 상 부재의 내구성 및 안전성 확보에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

【표 3.15】 SPG구간 바닥판 손상현황

	
S3, G2~G3하면 균열·백태	S3, 우측 박리, 철근노출
	
S5, G1~G2하면 균열·백태	S6, G2~G3하면 파손, 철근노출

【표 3.16】 SPG구간 바닥판 손상현황 분석표

구 분	균열(cw=0.3mm미만)		균열(cw=0.3mm이상)		균열부백태		박리 및 박락	
	개소	물량(m)	개소	물량(m)	개소	물량(m)	개소	물량(m²)
S2	11	15.40	5	4.90	1	1.50	1	0.01
S3	—	—	—	—	20	29.20	1	0.16
S4	5	9.40	—	—	—	—	1	0.16
S5	6	11.00	1	1.30	2	5.10	1	0.02
S6	4	1.80	—	—	1	1.50	2	0.10
S7	1	3.10	—	—	—	—	—	—
합 계	27	40.70	6	6.20	24	37.30	6	0.45
보수방안	표면보수		주입보수		표면보수		단면보수	

【표 3.16】 SPG구간 바닥판 손상현황 분석표(계속)

구 분	파손, 철근노출		백 태		재료분리		거푸집미제거	
	개소	물량(m ²)	개소	물량(m ²)	개소	물량(m ²)	개소	물량(m ²)
S2	—	—	5	0.41	3	0.07	—	—
S3	7	0.54	—	—	—	—	—	—
S4	13	0.99	3	0.20	—	—	3	11.16
S5	8	0.71	1	0.04	4	0.04	2	7.44
S6	5	0.64	—	—	2	0.26	2	7.44
S7	3	0.49	2	1.89	—	—	—	—
합 계	36	3.37	11	2.54	9	0.37	7	26.04
보수방안	철근방청+단면보수		표면보수		단면보수		제거	

바. 강재 및 RC BOX 거더

본 연인교의 거더는 【표 3.17】에서 보는바와 같이, 용접을 하지 않은 『리벳접합방식』의 Steel Plate Girder(2경간 연속, 1경간 길이 L=40.0m) 6경간과 RC BOX Girder(단 경간, 1경간 길이 L=20.0m) 13경간으로 구성되어 있으며, RC BOX Girder의 경우 정모멘트부 전 구간에 대하여 「강판보강」이 시행된 것으로 조사되었다.

【표 3.17】 연인교 거더 현황

	
SPG구간 리벳접합부 전경	RC BOX구간 하부플랜지 강판보강부 전경

1) Steel Plate Girder

강재 거더에 대한 외관조사결과, 전차년도(2014년) 점검에서 조사된 도장박리 및 부식, 리벳탈락 등은 진전 없이 유지되고 있는 것으로 확인되었고 기존조사 시 누락된 하부플렌지 변형(L=0.6m) 1개소와 수직보강재 변형(L=2.7m) 2개소, 리벳폴립 및 탈락 9개소 등이 추가로 조사되었다.

또한, 강재거더 전반에 걸쳐 「점부식」이 진행되고 있는 것으로 조사되어 녹 제거 후 강재두께를 측정하여 건전부의 실측값과 비교한 결과, 【표 3.18】에서 보는바와 같이 부식에 의한 강재의 단면감소는 경미한 것으로 분석되었으며 준공 후 51년의 사용기간을 감안할 때, 강재거더의 상태는 전반적으로 양호한 것으로 판단된다.

【표 3.18】 초음파강재두께측정 결과 분석표(단위 : mm)

구 분	측 정 결 과								평 균 강 재 두 께	비고
	하부플렌지				복부판					
	#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4		
점부식 발생부	10.6	10.7	10.7	10.6	10.5	10.7	10.7	10.6	10.64	
건전부	11.1	10.9	11.0	11.0	10.8	11.1	11.0	11.2	11.01	
분석결과	◦ 점부식 발생부와 건전부의 평균 강재두께 값 차이는 0.37mm이며 최대·최소값 기준 0.30~0.50mm로서, 본 연인교 강재거더의 부식에 의한 단면감소의 영향은 경미하여 양호한 상태인 것으로 분석됨									

주) 1. 사용장비 :



— 강재초음파두께측정기(스틱형), 「A1207, 측정오차 ±1/10mm」

2. 「준공도면」의 부재로 도장상태가 건전한 부분의 측정 평균값을 비교대상으로 적용함.

강재거더 하부플렌지 및 수직보강재의 국부적인 변형은 인접한 『여주대교(1996년 준공)』 건설공사 시 장비 등의 충격에 의해 발생된 것으로 판단되고 개소별 변상의 규모 및 형상은 경미한 것으로 확인되었으며, 리벳폴립 및 탈락은 시설물의 장기공용에 따른 리벳머리 부분의 노후화로 인해 발생된 비구조적인 손상으로 사료된다.

강재거더에 대한 조사결과 구조적인 결함은 발견되지 않았으나, 전 경간에 걸쳐 발생된 도장열화 및 박리, 표면부식, 점부식 등은 부재의 단면감소를 초래하고 장기적으로 내구성 저하의 원인이 되므로 강재 표면처리 및 도장보수를 실시한 후 지속적인 유지관리가 필요한 것으로 판단되며, 보수 시에는 『상수원보호구역』인 남한강의 강상교량임을 감안하여 「오염물질유출 방지대책」에 대한 충분한 검토가 필요하다.

【표 3.19】 Steel Plate Girder 손상현황

	
S2, G2 하부플랜지 도장박리, 부식	S2, G2 하부플랜지 변형
	
S6, G1 복부판 우측면 도장박리, 부식	S4, G2 하부플랜지 리벳탈락

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

【표 3.20】 Steel Plate Girder 손상현황 분석표

구 분	도장박리, 부식		점부식		강재 변형		리벳폴립, 탈락
	개소	물량(㎡)	개소	물량(㎡)	개소	물량(m)	개소
S2	7	6.88	2	504	—	—	—
S3	8	7.98	2	504	—	—	4
S4	10	9.76	2	504	—	—	2
S5	6	2.76	2	504	—	—	3
S6	6	12.98	2	504	1	2.20	2
S7	2	2.70	2	504	1	0.50	3
합 계	40	43.08	12	3024	2	2.70	14
보수방안	재도장		재도장		주의관찰		볼트 체결

2) RC BOX Girder

외관조사결과, 전차년도(2014년) 점검에서 조사된 국부적인 보강판 도장박리 및 부식, 캔틸레버 하면 백태, 박리, 철근노출 등의 손상들은 규모의 확대 및 진전 없이 유지되고 있는 것으로 확인되었고, 기존 보수부의 상태는 재손상이 없이 양호한 것으로 조사되었다.

거더 하부플랜지 및 복부에서는 기존조사 시 누락된 일부 미세균열($cw=0.1\sim0.2\text{mm}$)과 신축이음부 누수 및 재료열화 영향에 의한 지점부의 경미한 파손, 국부적인 보강판 들뜸 등이 추가 조사되었고, 이전 점검·진단에서 조사되지 않았던 BOX 내부에서는 국부적인 균열($cw=0.1\sim0.3\text{mm}$) 및 균열부백태, 재료분리, 조류서식 등에 의한 이물질 및 토사퇴적, 백태 등의 손상이 발생되어 있는 것으로 조사되었다. 또한 캔틸레버는 시설물의 사용기간 증가와 우수 등의 환경적 요인에 의해 전반적인 재료열화가 진행 중이며, 일부 국부적인 콘크리트 박리 및 백태 등의 손상들이 추가로 조사되었으나 변상의 규모는 경미한 것으로 확인되었다.

RC BOX Girder에서 조사된 균열($cw=0.1\sim0.3\text{mm}$) 손상들은 초기 재료적 특성과 온도영향에 의해 발생한 후 진전 없이 유지되고 있는 비구조적인 손상들이며 이러한 균열손상부에 외기영향이 더해져 백태(균열·백태)가 발생한 것으로 판단되고, 콘크리트 박리 및 그에 따른 철근노출 등은 시설물의 장기사용에 따른 재료열화가 주된 원인으로 비구조적인 공용 중 손상들로 사료된다.

또한 보강부 타격·충음조사에서 나타난 일부 보강판 들뜸은 외부 고정앵커의 탈락이나 접합부 이격 등이 없는 것으로 조사되어 초기 시공불량이 원인으로 판단되며, 들뜸 면적은 경미한 것으로 확인되었다.

RC BOX Girder에 대한 조사결과, 시설물의 안전에 영향을 줄만한 구조적인 손상은 없는 것으로 조사되었고 보강판의 상태도 전반적으로 양호한 것으로 판단되며, 일부 손상에 대해 적절한 보수를 실시하고 지속적인 유지관리를 실시한다면 「보도교」 공용 상 부재의 내구성 및 안전성 확보에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

【표 3.21】 RC BOX Girder 손상현황

S8 거더 하부플랜지 보강부 점부식	S9 거더 하부플랜지 횡방향균열($cw=0.1\sim0.3\text{mm}$)

【표 3.21】 RC BOX Girder 손상현황(계속)

	
S12 거더 하부플랜지 콘크리트 박리	강판보강부 점검망치 타격, 청음조사 현황

【표 3.22】 RC BOX Girder 손상현황 분석표

구 분	균열(cw=0.3mm미만)		균열(cw=0.3mm이상)		균열부백태		박리, 박락, 파손		철근노출	
	개소	물량(m)	개소	물량(m)	개소	물량(m)	개소	물량(m²)	개소	물량(m²)
S1	10	11.80	2	4.40	1	0.60	—	—	1	0.02
S8	32	23.50	—	—	—	—	1	0.08	—	—
S9	19	14.60	—	—	—	—	1	0.01	—	—
S10	3	2.90	—	—	—	—	1	0.02	1	0.01
S11	18	28.60	—	—	—	—	—	—	8	0.10
S12	45	48.40	—	—	—	—	1	0.01	—	—
S13	48	93.10	1	1.00	—	—	1	0.01	2	0.04
S14	50	58.50	—	—	—	—	—	—	1	0.01
S15	29	15.80	1	0.80	—	—	1	0.04	3	0.03
S16	29	21.90	1	0.50	—	—	—	—	2	0.02
S17	21	10.40	—	—	—	—	1	0.01	2	0.02
S18	27	16.80	—	—	—	—	—	—	1	0.01
S19	14	39.30	—	—	—	—	—	—	1	0.02
합 계	345	385.60	5	6.70	1	0.60	7	0.18	22	0.28
보수방안	표면보수		주입보수		표면보수		단면보수		철근방청+단면보수	

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

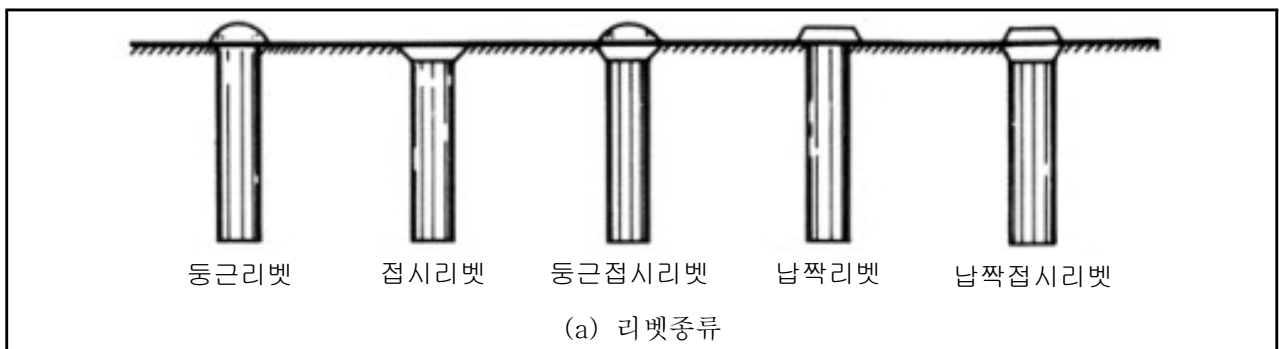
【표 3.22】 RC BOX Girder 손상현황 분석표(계속)

구 분	망상균열		백 태		재료분리		보강판 들뜸		도장박리, 점부식		토사잡물 퇴적	
	개소	물량(m ²)	개소	물량(m ²)	개소	물량(m ²)	개소	물량(m ²)	개소	물량(m ²)	개소	물량(m ²)
S1	1	0.24	3	0.14	—	—	—	—	7	98.00	2	62.50
S8	1	2.42	1	1.00	—	—	—	—	7	98.00	2	100.00
S9	—	—	1	1.00	—	—	—	—	7	98.00	3	91.25
S10	—	—	1	0.80	1	0.01	—	—	7	98.00	2	100.00
S11	—	—	—	—	—	—	—	—	7	98.00	2	100.00
S12	1	0.50	—	—	—	—	1	2.00	7	98.00	2	100.00
S13	1	2.40	—	—	—	—	1	7.68	7	98.00	2	100.00
S14	—	—	—	—	—	—	2	5.49	7	98.00	2	100.00
S15	—	—	—	—	1	0.01	2	6.50	7	98.00	2	100.00
S16	—	—	—	—	3	1.69	1	0.30	7	98.00	2	100.00
S17	—	—	—	—	—	—	3	2.20	7	98.00	2	100.00
S18	—	—	—	—	—	—	2	14.00	7	98.00	2	100.00
S19	—	—	—	—	—	—	3	2.30	7	98.00	2	62.50
합 계	4	5.56	6	2.94	5	1.71	15	40.47	91	1274.00	27	1216.25
보수방안	표면보수		표면보수		단면보수		주의관찰		주의관찰		청 소	

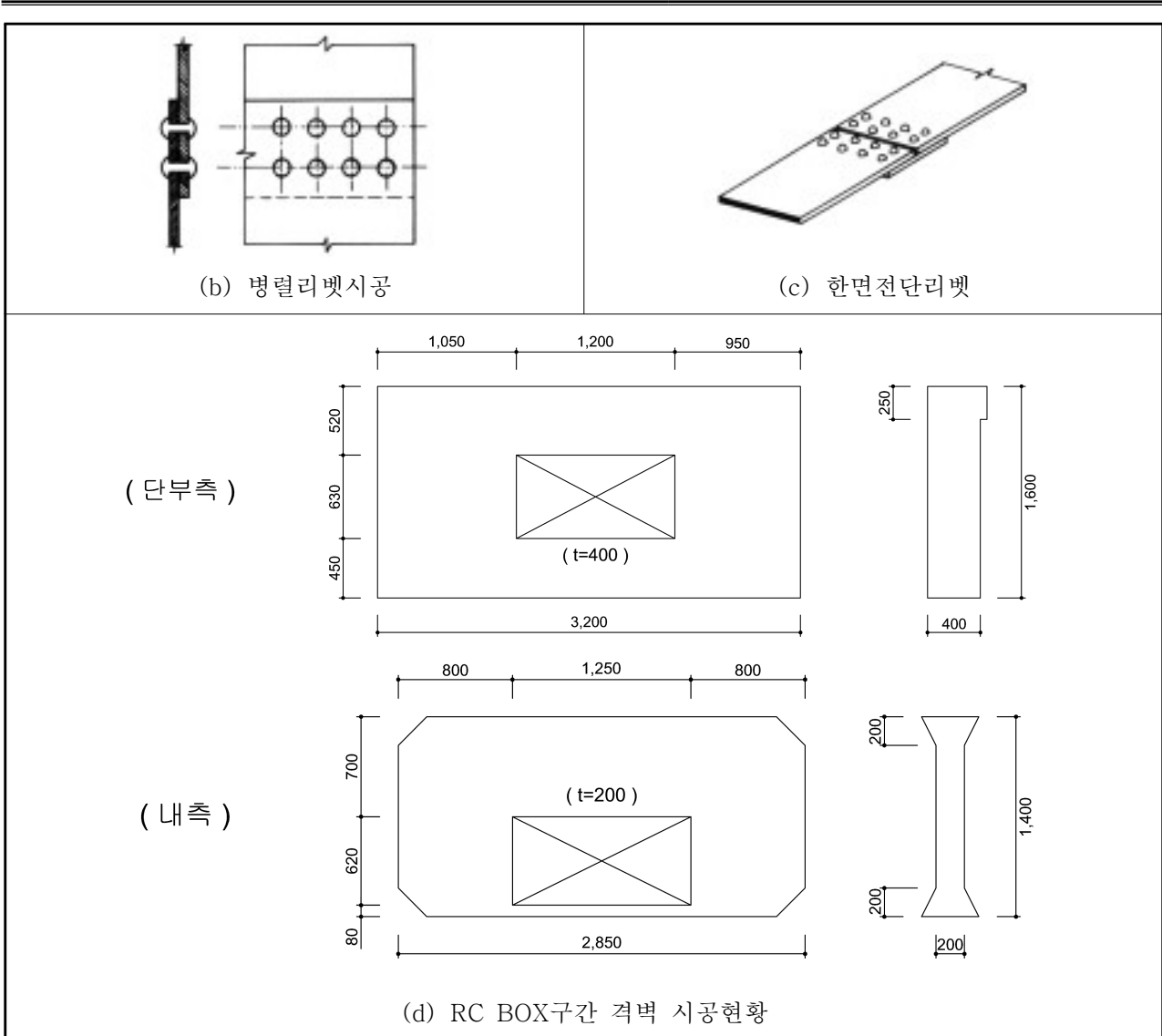
사. 2차 부재

본 연인교의 2차 부재는 SPG구간(S2~S7) 보강재(‘ㄴ’형강 Stiffener - 수직 및 수평, 격자 Bracing)와 RC BOX구간(S1, S8~S19) 격벽으로 구성되어 있다.

SPG구간 보강재는 【그림 3.2】 (a)~(c)에서 보는바와 같이, 『등근리벳접합방식』의 병렬 리벳(한면전단리벳) 형식으로 시공되어 있으며, RC BOX구간 격벽(D1~D5)은 철근콘크리트로 시공되어 있는 것으로 조사되었다.



【그림 3.2】 2차 부재 현황도



1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

【그림 3.2】 2차 부재 현황도(계속)

SPG구간(S2~S7) 2차 부재(Stiffener)에 대한 외관조사결과, 전차년도(2014년) 점검에서 조사된 도장박리 및 부식, 리벳탈락 등은 진전 없이 유지되고 있는 것으로 확인되었고 접합부 및 ‘L’ 형강의 변형은 없는 것으로 조사되었으며, 추가로 전 경간 도장열화 및 박리에 의한 점부식과 신축이음 유입수 영향에 의한 국부적인 강재 표면부식이 진행되고 있는 것으로 조사되었다.

RC BOX구간(S1, S8~S19) 격벽은 이전 점검 및 진단에서 접근성의 사유로 조사가 실시되지 않은 구간이며, 본 정밀안전진단 외관조사결과 일부 구간에서 시공 시 거푸집 내부 콘크리트의 다짐불량에 의한 철근노출이 발생되어 있는 것으로 조사되었다.

2차 부재에 대한 조사결과 시설물의 안전성에 영향을 미치는 구조적인 결함은 발견되지 않았으나, RC BOX구간 격벽의 철근노출 손상과 SPG구간(S2~S7)에 발생된 도장열화 및 박리, 표면부식, 점부식 등은 시간이 경과함에 따라 부재의 단면감소를 초래하고 장기적으로 내구성 저하의 원인이 되므로 강재 「표면처리 및 도장보수」와 콘크리트 「철근방청+단면

보수」를 실시한 후 지속적인 유지관리가 필요한 것으로 판단되며, 보수 시에는 『상수원보호구역』인 남한강의 강상교량임을 감안하여 「오염물질유출 방지대책」에 대한 충분한 검토가 필요하다.

또한 P1 배면(A2측)과 P7 전면(A1측) 코핑부에 RC BOX 내부 조사에 필요한 점검로가 설치되어 있지 않아 유지관리 시 위험한 상태이므로, 【그림 3.3】(c)에서 보는바와 같이 점검로를 설치하여 시설물 유지관리 시 안전성을 확보하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.



(a) P1 배면(A2측) 전경



(b) P7 전면(A1측) 전경



(c) 교각 코핑부 점검로 설치 예



【그림 3.3】 교각 점검로 설치도

【표 3.23】 2차 부재 손상현황



S3 수평보강재 도장박리, 부식



S3, G3 수평보강재 접합부 리벳탈락

【표 3.23】 2차 부재 손상현황(계속)

	
S6, G2~G3 수평보강재 접합부 강재부식	S1, D2~D3 상부플랜지 균열·백태
	
S8, D4~D5 상부플랜지 종방향균열(cw=0.1mm)	RC BOX Girder 내부 도보조사 현황

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

【표 3.24】 2차 부재 손상현황 분석표

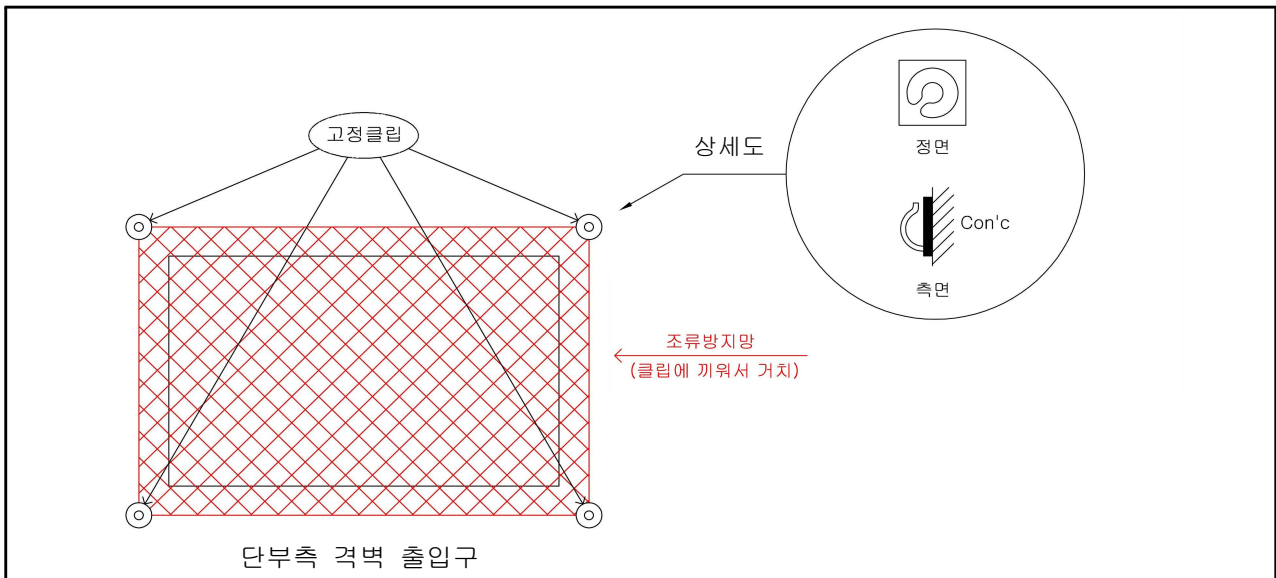
구 분	도장박리 및 부식		점부식		리벳 풀림, 탈락	철근노출	
	개소	물량(m ²)	개소	물량(m ²)	개소	개소	물량(m ²)
2차 부재 (전 경간)	1	0.02	380.16	14	10	8	0.31
보수방안	표면처리+도장보수				볼트 체결	철근방청+단면보수	

- 주) 1. 교각 점검로 설치 : 상부출입사다리(L=4.5m) 및 점검로(L=18.0m) 설치물량 및 비용계상은 「보수·보강방안」에 별도 기재함.
2. 도장박리, 표면부식, 점부식 등의 손상에 대한 보수는 SPG구간 강재 전체에 대해 표면처리와 병행하여 도장보수를 실시하는 것이 바람직 함.

1) RC BOX Girder구간 조류방지망 설치

조류배설물은 산성도가 강하여 콘크리트의 열화를 촉진시킬 수 있으므로 제거가 필요하며, 근본적으로 거더 내부에 조류가 서식하지 못하도록 하는 조류방지망을 RC BOX Girder구간 단부측 격벽(경간별 2개소)에 설치하는 것이 바람직하다.

【그림 3.4】에서 보는바와 같이, 격벽에 클립형 고정 핀을 설치하고 조류방지망을 거치하여 유지관리 시의 효율성을 도모하여야 하며, 현장조사 시 관찰된 서식조류의 크기를 감안하여 격자망의 크기는 3cm×3cm(B×H) 정도가 적당하다.



【그림 3.4】 단부측 격벽 출입구 조류방지망 설치 예

아. 교대

본 연인교의 교대는 중력식으로 2개소(A1, A2)가 시공되어 있으며, 종점측 A2 상단 전면과 측면에는 【그림 3.5】(b)와 같이 「강판보강」이 시행된 것으로 조사되었다.



【그림 3.5】 교대 현황

교대에 대한 외관조사결과, 흥벽부에서 골재노출과 박리, 수직균열($cw=0.2mm$), 마감불량 등이 조사되었고 전면벽체의 망상균열과 보강판 도장박리 및 부식, 누수흔적 및 오염, 재료 열화 등과 국부적인 「호안블록」 침하·유실이 발생되어 있는 것으로 조사되었다.

흥벽부 수직균열($cw=0.2mm$, 1개소)과 전면 망상균열은 매스콘크리트의 수화열 및 건조수축 등 재료적 특성에 따른 손상으로 판단되며, 기타 손상들 또한 신축이음 누수에 따른 유입수와 환경적 요인, 시설물의 장기공용에 따른 재료열화에서 기인된 비구조적인 공용 중 손상들로 판단된다.

또한 A1 전면 유수지와 맞닿아 시공된 「호안블록」 일부가 국부적으로 침하·유실된 것은 【그림 3.6】에서 보는바와 같이, 강우 시 교량 상부로부터 유입된 우수가 A1 좌측면을 통해 「호안블록」 쪽으로 흘러 배출됨에 따라 「호안블록」 배면 채움재의 침식·유실을 초래하였고, 그에 따라 「호안블록」 일부가 유실·함몰된 것으로 조사되었다.

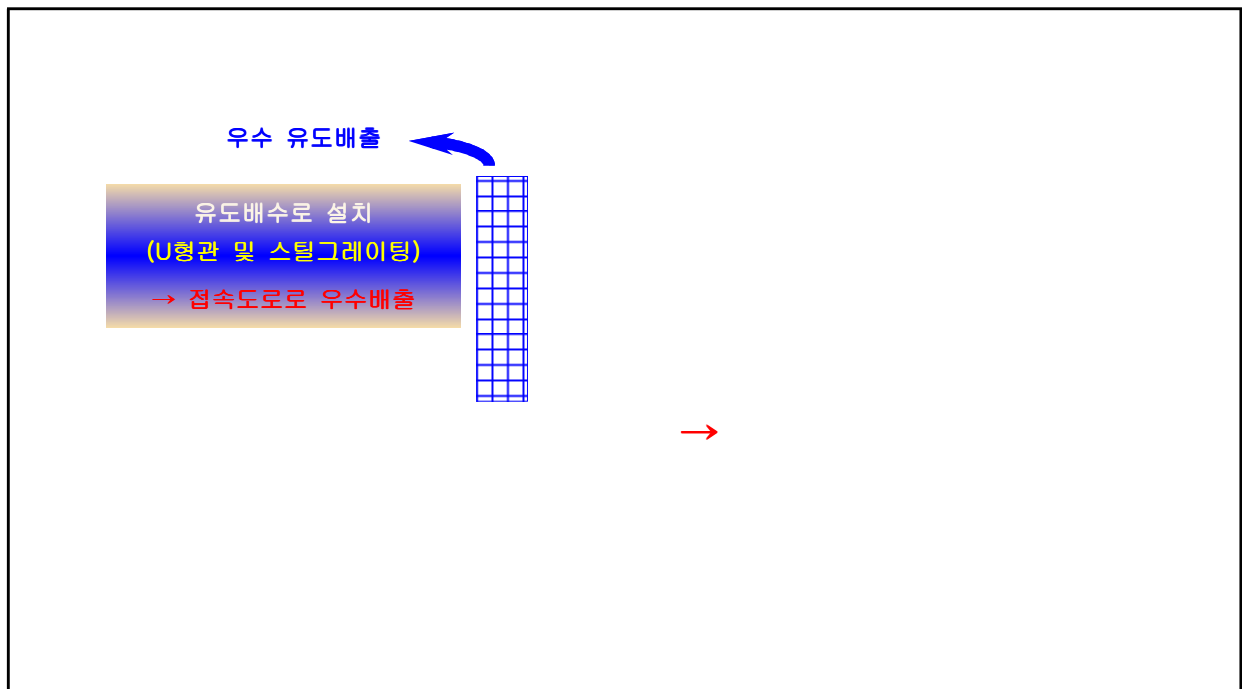


【그림 3.6】 교대 A1 주변 지반고 측정현황

A2 상단 전면과 측면에 시행된 「강판보강」 부분은 신축이음부 유입수와 환경적 요인, 장기공용에 따른 표면 도장박리 및 부식이 발생되어 있을 뿐 보강판 들뜸이나 강판접합부 이격, 고정앵커 탈락 등이 없이 양호한 것으로 조사되었고, A1 좌측면과 A2 우측면 제방접속

부에 시공된 석축(골쌓기)구간 또한 견칫돌 탈락이나 줄눈부 채움재 박리 등이 없이 양호한 상태로 조사되었다.

교대에 대한 조사결과 전도 및 부등침하, 측방이동 등 시설물의 안전성에 영향을 미치는 구조적인 결함은 발견되지 않았으며, 조사된 손상들은 규모가 경미한 공용 중 또는 시공 초기 발생한 국부적인 손상들이다. 따라서 【그림 3.7】에서 보는바와 같이 A1 상부 교량과 접촉되는 부분에 교축 직각방향으로 「유도배수로」를 설치하여 교대로 집중되는 우수를 접촉도로로 유도 배수시키고, 일부 손상들에 대해서 적절한 보수 후 지속적인 유지관리를 실시한다면, 「보도교」 공용 상 부재의 내구성 및 안전성 확보에는 문제가 없을 것으로 판단된다.



【그림 3.7】 교대 A1 상면 접촉부 유도배수로 설치도

【표 3.25】 교대(A1, A2) 손상현황

A1 전면벽체 누수흔적, 오염	A1 전면벽체 보수부 망상균열

【표 3.25】 교대(A1, A2) 손상현황(계속)

	
A1, 호안블록공 침식, 유실	A2 전면 강판보강부 도장박리, 부식
	
A2 전면벽체 누수흔적, 오염	A2 우측면 강판보강부 도장박리, 부식

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

【표 3.26】 교대(A1, A2) 손상현황 분석표

구 분	균열(cw=0.3mm미만)		박리, 골재노출		마감불량		콘크리트 열화	
	개소	물량(m)	개소	물량(m ²)	개소	물량(m ²)	개소	물량(m ²)
교 대 (A1, A2)	1	0.4	2	0.38	4	3.20	1	5.20
보수방안	표면보수		단면보수		표면보수		단면보수	
구 분	보강판 도장박리, 부식		누수흔적, 오염		이물질 삽입		호안블록 침하·유실	
	개소	물량(m ²)	개소	물량(m ²)	개소	물량(m ²)	개소	물량(m ²)
교 대 (A1, A2)	3	15.60	2	7.70	10	0.10	4	6.34
보수방안	재도장		유지관리		단면보수		뒤채움+블록재시공	

1) 교대 홍벽부 기울기측정 및 검토

교대 전도 및 경사 여부에 대한 검토를 위해 「디지털 수평계」를 이용하여 연직도를 측정하였고, 그 결과분석 내용은 다음과 같다.

① 연직도 측정현황

【표 3.27】 교대 홍벽부 연직도 측정결과 분석

			
교대 홍벽 기울기 측정값			
위 치	좌 측	중앙부	비 고
A1	(-)89.85° / 0.15° 기울기	(-)89.65° / 0.35° 기울기	
A2	(+)89.80° / 0.20° 기울기	(-)89.90° / 0.10° 기울기	
연직도 측정결과 분석내용	◦ 교대 홍벽부 기울기 측정결과 0.10° ~ 0.35° 의 기울기를 나타내고 있는 것으로 측정되었으며, 시공 콘크리트 표면의 평탄성 및 측정 시 오차 등을 감안할 때 연직에 가까운 양호한 상태로 판단됨.		

주) 1. ± 기호정의 ⇒ $\left. \begin{array}{l} \text{전면} \\ \text{배면} \end{array} \right\} : (+)$, $\left. \begin{array}{l} \text{전면} \\ \text{배면} \end{array} \right\} : (-)$

자. 교각

본 연인교의 교각은 중력식 및 우물통기초에 가로보가 설치된 문형식으로 총 18기가 시공되어 있다.

전차년도(2014년) 점검에서 조사된 국부적인 코핑부 하면 백태와 재료분리, 경미한 파손 등의 손상들은 규모의 확대 및 진전 없이 유지되고 있는 것으로 확인되었고, 기존 보수부는 일부에서 경미한 보수재 들뜸 및 탈락이 발생되어 있는 것으로 조사되었다.

기존조사 시 누락된 일부 균열(cw=0.1~0.3mm)과 신축이음부 누수 영향에 의한 누수흔적 및 오염, 균열·백태, 망상균열, 박리, 철근노출, 재료분리 등이 가로보 및 코핑부에서 조사되었고, 유수침식에 의한 기둥부 하단의 골재노출과 경미한 파손, 기초부 덧댐판 부식 등이 추가로 조사되었으나 변상의 규모는 경미한 것으로 확인되었다.

조사된 균열(cw=0.1~0.3mm) 및 망상균열 손상들은 초기 재료적 특성과 온도영향에 의해 발생된 후 미보수 상태로 진전 없이 유지되고 있는 손상들이며 이러한 균열손상부에 외기의

영향으로 백태(균열·백태)가 발생된 것으로 판단되고, 콘크리트 박리 및 그에 따른 국부적인 철근노출 등은 시설물의 장기사용에 따른 재료열화가 주된 원인으로 비구조적인 공용 중 손상들로 사료된다.

유수의 흐름에 직접적으로 영향을 받는 교각(P2~P7)에는 기초의 세굴대책으로 「돌망태 보호공」이 시공되어 있는 것으로 조사되었으며, 시공 폭은 국부세굴의 영향 폭을 고려해 교각 폭(1.48m)의 2배 이상인 B=3.0m 수준으로 「그물형망태」의 파손 및 사석유실 등이 없이 양호한 것으로 조사되었다.

교각에 대한 조사결과 초기 손상 및 일반적인 공용 중 손상 외에 시설물의 안전에 영향을 줄만한 구조적인 손상은 없는 것으로 조사된 바, 일부 손상에 대한 적절한 보수와 더불어 재손상에 대한 지속적인 유지관리를 실시한다면 「보도교」 공용 상 부재의 내구성 및 안전성 확보에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

【표 3.28】 교각(P1~P18) 손상현황

중력식기초 교각부(P1, P7~P18) 전경	우물통기초 교각부(P2~P6) 전경
P1 코핑부 하면 균열·백태	P1 기둥부 전면(우) 수직균열(cw=0.1mm)

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

【표 3.28】 교각(P1~P18) 손상현황(계속)

	
P15 코핑부 배면 콘크리트 박리	P16 코핑부 하면(우) 누수흔적, 백태
	
P17 기둥부 배면 박리, 철근노출	P18 코핑부 배면 수직균열(cw=0.3mm)

【표 3.29】 교각(P1~P18) 손상현황 분석표

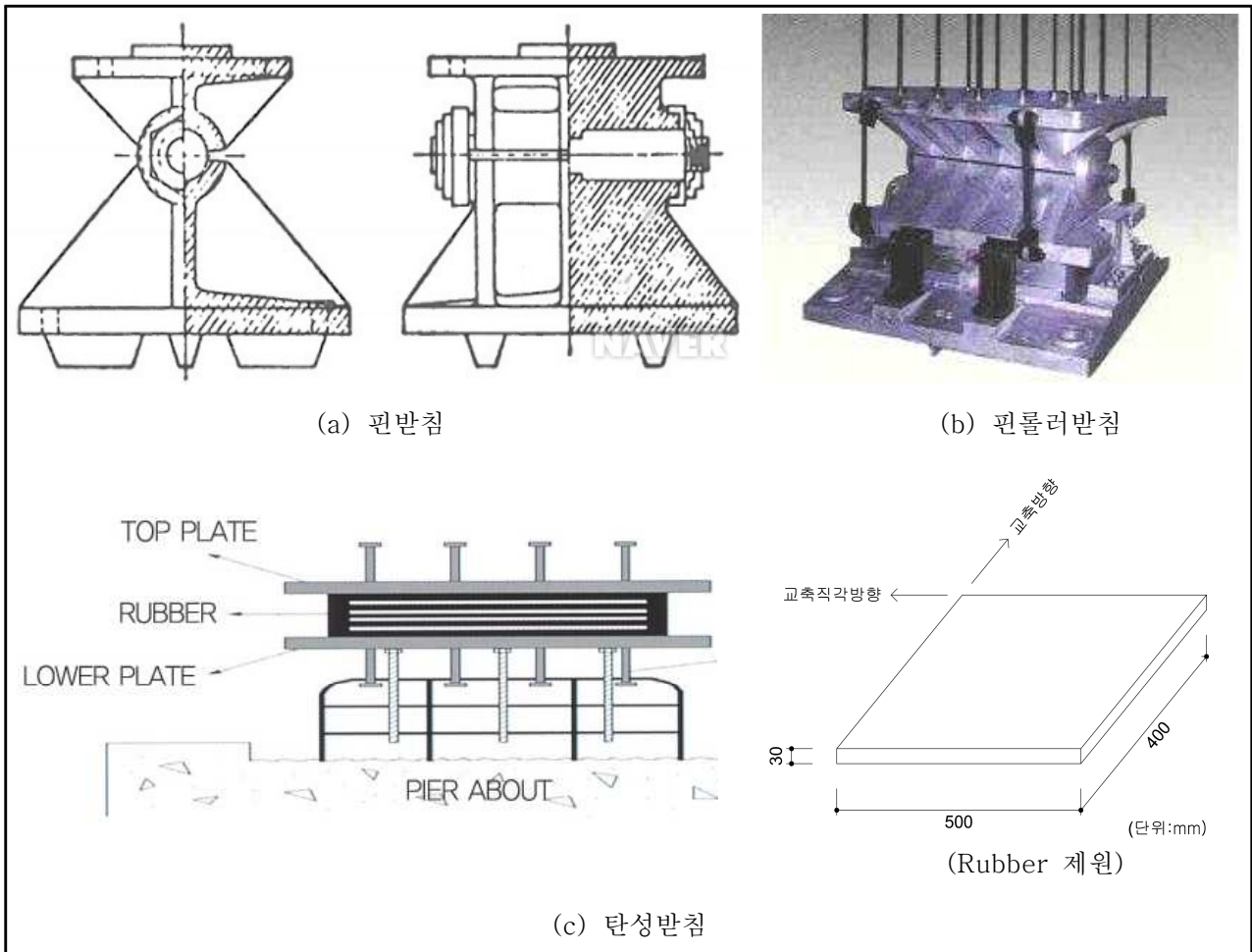
구 분	균열(cw=0.3mm미만)		균열(cw=0.3mm이상)		균열부백태		박리, 파손, 녹물	
	개소	물량(m)	개소	물량(m)	개소	물량(m)	개소	물량(m ²)
교 각 (P1~P18)	60	46.50	15	14.10	9	7.80	83	28.54
보수방안	표면보수		주입보수		표면보수		단면보수	
구 분	침식, 골재노출		철근노출		표면박리, 재료분리		백태, 망상균열	
	개소	물량(m ²)	개소	물량(m ²)	개소	물량(m ²)	개소	물량(m ²)
교 각 (P1~P18)	119	260.76	21	0.51	40	108.96	58	46.61
보수방안	단면보수		철근방청+단면보수		단면보수		표면보수	

【표 3.29】 교각(P1~P18) 손상현황 분석표(계속)

구 분	보수부 들뜸, 탈락		보수부재균열		덧댐판 부식		이물질 퇴적	
	개소	물량(m ²)	개소	물량(m)	개소	물량(m ²)	개소	물량(m ²)
교 각 (P1~P18)	17	6.11	3	4.30	12	77.04	10	27.90
보수방안	주의관찰		주의관찰		주의관찰		청소	

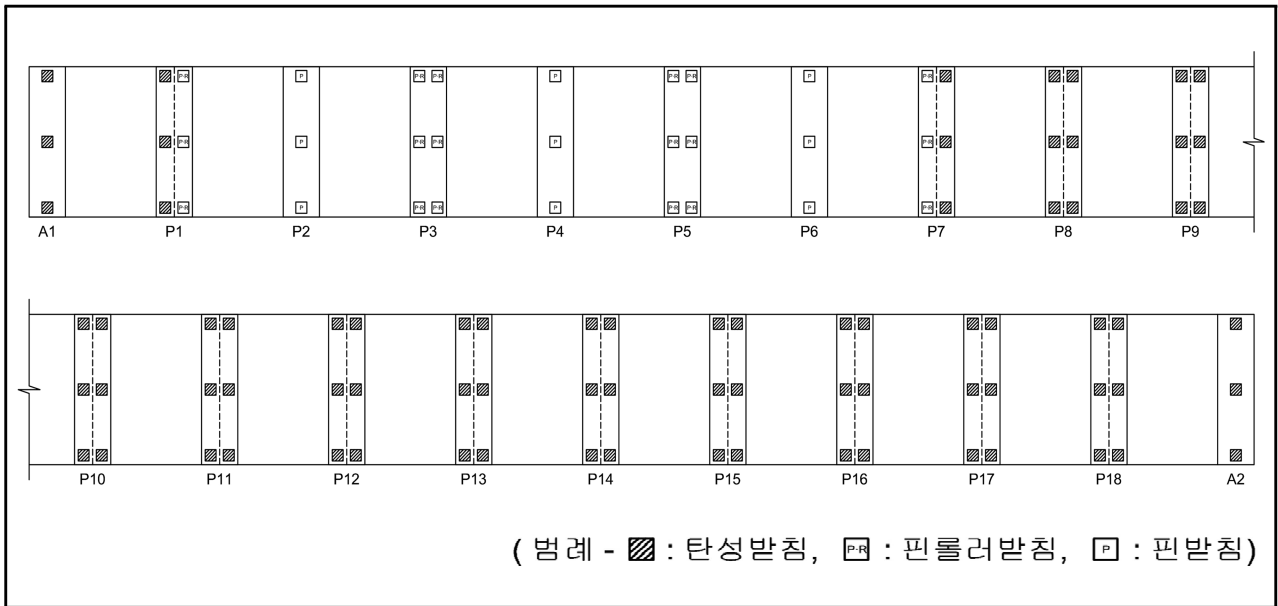
차. 교량받침

본 연인교의 교량받침은 【그림 3.8】에서 보는바와 같이, RC BOX구간(A1~P1, P7~A2) 탄성받침 78개와 SPG구간 지점부 가동단(P1, P3, P5, P7) 핀롤러받침 18개, 연속구간 고정단(P2, P4, P6) 핀받침 9개로 총 105개가 설치되어 있으며, 교량받침 배치현황은 【그림 3.9】에 정리하였다.



【그림 3.8】 연인교 교량받침

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장



【그림 3.9】 연인교 교량받침 설치현황

외관조사는 교량받침의 가동상태 확인과 강제받침의 도장박리 및 부식, 윤활제 고착과 받침몰탈 상태, 앵커볼트의 체결상태, 탄성받침의 변형·파손과 상·하부 Plate의 부식 등에 대하여 조사하였으며, 전차년도(2014년) 점검에서 조사된 핀롤러받침의 윤활제 고착 및 롤러덮개 파손, 일부 받침몰탈 들뜸 등은 규모의 확대 및 진전 없이 유지되고 있는 것으로 확인되었고, 이후 사용기간 동안 별도의 보수는 실시되지 않은 것으로 조사되었다.

추가로 기존조사 시 누락된 SPG구간 강제받침의 앵커볼트 풀림과 국부적인 도장박리 및 표면부식, RC BOX구간 탄성받침의 상·하 Plate 부식 등이 조사되었으나, 일반적인 공용 중 손상 외에 시설물의 안전에 영향을 줄만한 구조적인 손상은 없는 것으로 조사되었다.

교량받침 및 Plate의 부식은 습도 등 환경적인 요인과 신축이음 누수에 의한 손상으로 판단되며, 장기공용에 따른 강제받침 볼트체결부 부식으로 롤러덮개 파손이 발생한 부분은 이물질 침착으로 간섭이 우려되므로 볼트체결부 교체를 통해 받침의 원활한 기능발휘에 문제가 없도록 하는 것이 바람직하다.

현재 「보도교」 공용 상 교량받침의 전반적인 성능에는 문제가 없는 것으로 판단되므로 일부 조사된 손상에 대해서 적절한 보수를 실시하고, 강제받침 본체 및 탄성받침 상·하 Plate 부식, 볼트 탈락 및 부식 등에 대한 주의관찰과 지속적인 유지관리가 필요하다.

【표 3.30】 교량반침 손상현황

	
P5 교량반침 상부Plate, 덮개판 부식, 파손	P10 교량반침 Plate 부식
	
P17 교량반침 Plate 부식	교량반침 연단거리측정 현황

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

【표 3.31】 교량반침 손상현황 분석표

구 분	앵커볼트 풀림	덮개볼트 부식	반침Plate 부식	롤러덮개 파손
	개소	개소	개소	개소
교량반침 (전 구간)	6	3	54	2
보수방안	주의관찰	교체 재시공	주의관찰	볼트체결부 교체를 통한 덮개 재설치
구 분	Plate 변형		윤활제 고착	반침물탈 들뜸
	개소	물량(m)	개소	개소
교량반침 (전 구간)	2	0.40	18	6
보수방안	주의관찰		주의관찰	주의관찰

1) 교량받침 연단거리 검토

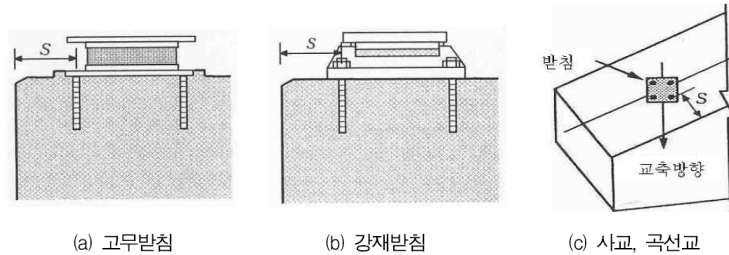
교량받침은 상부구조로부터의 집중하중을 받는 곳이며 지진 시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이므로, 받침 끝에서 정부(頂部) 연단까지의 거리가 작으면 고정단에서는 전단면에 연해서 콘크리트 구체 또는 받침이 파손될 수 있고 가동단에서는 최악의 경우 상부구조(거더)가 낙교하는 경우도 있다.

『도로교설계기준』에서는 【표 3.32】와 같이 거더의 경간 길이에 따른 연단거리를 계산값(S) 이상으로 규정하고 있으므로, 본 과업에서는 실제 시공된 연단거리를 측정하여 설계 연단거리와 비교·검토하여 평가를 실시하였다.

【표 3.32】 교량받침 연단거리 기준 및 측정방법

구 분	연단거리 기준(S값 이상)	비 고
거더의 경간길이 100m 이하	$S = 20 + 0.5L$	검토 시 적용
거더의 경간길이 100m 이상	$S = 30 + 0.4L$	-

- 주) 1. 『도로교설계기준(국토해양부, 2010)』 참조
 2. S : 연단거리(cm), L : 거더의 경간길이(m)
 3. Steel Plate Girder 경간길이 L=40.0m, RC BOX Girder 경간길이 L=20.0m 적용
 4. 연단거리 측정방법 :



【표 3.33】 교량받침 연단거리 검토결과 및 분석

구 분	받침종류	계산값 (S, cm)	실측 연단거리(cm)			검토결과
			Sh1	Sh2	Sh3	
A1	탄성받침	30.0	26.5	27.0	26.0	O.K
P1	A1측 탄성받침	30.0	61.0	62.0	61.0	O.K
	A2측 핀롤러받침	40.0	70.0	70.0	71.0	O.K
P2	핀받침	고 정 단				
P3	A1측 핀롤러받침	40.0	71.0	70.0	72.0	O.K
	A2측 핀롤러받침	40.0	70.0	72.0	71.5	O.K
P4	핀받침	고 정 단				

【표 3.33】 교량받침 연단거리 검토결과 및 분석(계속)

구 분		받침종류	계산값 (S, cm)	실측 연단거리(cm)			검토결과
				Sh1	Sh2	Sh3	
P5	A1측	핀롤러받침	40.0	71.0	71.0	70.0	O.K
	A2측	핀롤러받침	40.0	70.0	70.5	71.0	O.K
P6		핀받침	고 정 단				
P7	A1측	핀롤러받침	40.0	61.5	60.0	62.0	O.K
	A2측	탄성받침	30.0	61.0	61.0	60.5	O.K
P8	A1측	탄성받침	30.0	62.0	62.5	61.0	O.K
	A2측	탄성받침	30.0	61.0	61.0	61.5	O.K
P9	A1측	탄성받침	30.0	62.0	61.5	61.5	O.K
	A2측	탄성받침	30.0	61.0	61.5	61.0	O.K
P10	A1측	탄성받침	30.0	66.5	66.0	67.0	O.K
	A2측	탄성받침	30.0	61.0	62.0	61.0	O.K
P11	A1측	탄성받침	30.0	62.5	61.0	62.0	O.K
	A2측	탄성받침	30.0	61.0	60.5	61.0	O.K
P12	A1측	탄성받침	30.0	60.0	61.0	61.0	O.K
	A2측	탄성받침	30.0	61.5	60.0	61.0	O.K
P13	A1측	탄성받침	30.0	60.0	61.5	60.5	O.K
	A2측	탄성받침	30.0	60.0	61.0	61.0	O.K
P14	A1측	탄성받침	30.0	62.0	62.5	61.0	O.K
	A2측	탄성받침	30.0	61.0	61.5	61.5	O.K
P15	A1측	탄성받침	30.0	61.0	62.0	61.0	O.K
	A2측	탄성받침	30.0	60.0	61.0	61.0	O.K
P16	A1측	탄성받침	30.0	62.0	61.0	61.0	O.K
	A2측	탄성받침	30.0	61.0	60.5	61.0	O.K
P17	A1측	탄성받침	30.0	61.5	62.0	61.0	O.K
	A2측	탄성받침	30.0	60.0	61.0	60.5	O.K

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

【표 3.33】 교량받침 연단거리 검토결과 및 분석(계속)

구 분		받침종류	계산값 (S, cm)	실측 연단거리(cm)			검토결과
				Sh1	Sh2	Sh3	
P18	A1측	탄성받침	30.0	61.0	60.5	61.0	O.K
	A2측	탄성받침	30.0	62.0	61.5	61.0	O.K
A2		탄성받침	30.0	61.0	61.0	60.5	O.K
결과분석		◦ 본 연인교 교량받침의 연단거리에 대한 검토결과, 측정 전 개소에서 『도로교설 계기준(국토해양부, 2010)』을 만족하는 것으로 분석됨					

2) 교량받침 신축거동상태 검토

① 검토조건

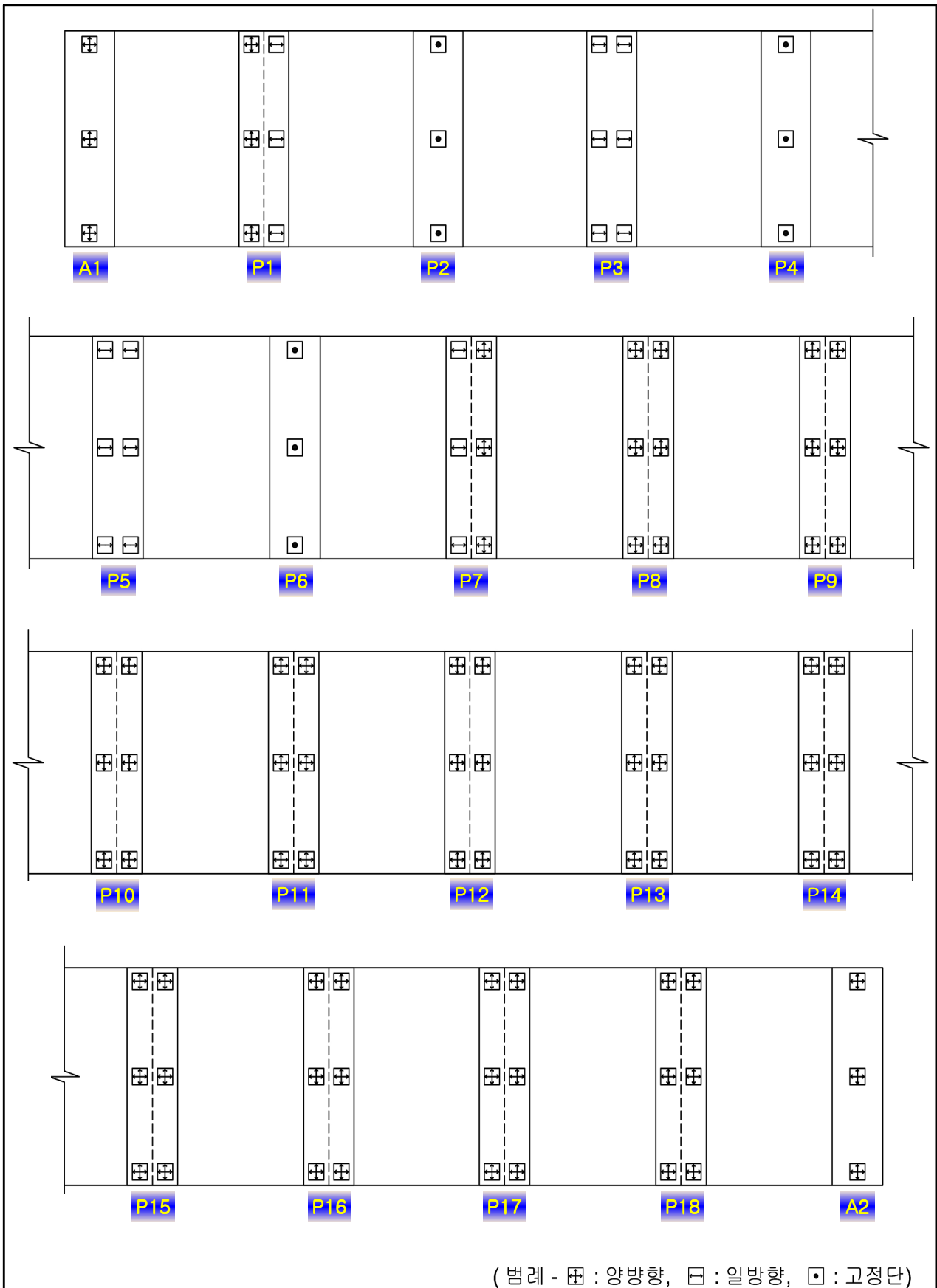
【표 3.34】 교량받침 신축거동상태 검토조건

교량종류	온 도 변 화		선팅창계수(α)
	보통지방	한랭지방	
RC BOX 거더교	-5℃ ~ 35℃	-15℃ ~ 35℃	1.0×10^{-5}
Steel Plate 거더교	-10℃ ~ 40℃	-20℃ ~ 40℃	1.2×10^{-5}

온도변화 구분	적 용 지 역	비 고
보통지방	대전, 구미, 대구, 강릉, 논산, 전주, 광주, 순천, 진주, 마산, 창령, 고령, 동서울, 부산	『도로공사 연구보고서 (1993년 발간)』 참조
한랭지방	인천, 수원, 천안, 영동, 이천, 원주, 대관령, 정안, 진천	

- 검토위치 : A1, P1, P3, P5, P7~P18, A2
- 조사 시 평균온도 : 1.1℃ (1차-2015.02.23)
15.0℃ (2차-2015.04.20)
- 검토온도 : -15℃ ~ +35℃ (콘크리트, 한랭지방)
-20℃ ~ +40℃ (강재, 한랭지방)
- 받침장치 이동량 산정
: $\Delta l_t = \Delta T \cdot \alpha \cdot L$
(여기서, α = 선팅창계수,
 L = 고정단~받침까지의 길이)

- ΔT (온도변화) 측정
 - 1차 측정(RC BOX 거더)
 - 최대신장 시 : $35.0^\circ\text{C} - 1.1^\circ\text{C} = 33.9^\circ\text{C}$
 - 최대수축 시 : $1.1^\circ\text{C} - (-15.0^\circ\text{C}) = 16.1^\circ\text{C}$
 - 1차 측정(Steel Plate 거더)
 - 최대신장 시 : $40.0^\circ\text{C} - 1.1^\circ\text{C} = 38.9^\circ\text{C}$
 - 최대수축 시 : $1.1^\circ\text{C} - (-20.0^\circ\text{C}) = 21.1^\circ\text{C}$
 - 2차 측정(RC BOX 거더)
 - 최대신장 시 : $35.0^\circ\text{C} - 15.0^\circ\text{C} = 20.0^\circ\text{C}$
 - 최대수축 시 : $15.0^\circ\text{C} - (-15.0^\circ\text{C}) = 30.0^\circ\text{C}$
 - 2차 측정(Steel Plate 거더)
 - 최대신장 시 : $40.0^\circ\text{C} - 15.0^\circ\text{C} = 25.0^\circ\text{C}$
 - 최대수축 시 : $15.0^\circ\text{C} - (-20.0^\circ\text{C}) = 35.0^\circ\text{C}$



【그림 3.10】 연인교 교량받침 배치도

② 이론식에 의한 교량받침 이동량 산정

【표 3.35】 이론식에 의한 이동량 산정표

구 분		온도변화 (ΔT , $^{\circ}\text{C}$)		선팅창계수 (α)	신축 거더 길이 (L, m)	온도변화에 의한 이동량(mm)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동향 (mm)	받침최대 이동량(mm)	
		동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대수축시)	하절기 (최대신장시)
A1		16.1	33.9	1.0×10^{-5}	20.0	3.22	6.78	—	3.22	6.78
P1	A1측	16.1	33.9	1.0×10^{-5}	20.0	3.22	6.78	—	3.22	6.78
	A2측	21.1	38.9	1.2×10^{-5}	40.0	8.44	15.56	—	8.44	15.56
P2		고 정 단								
P3	A1측	21.1	38.9	1.2×10^{-5}	40.0	8.44	15.56	—	8.44	15.56
	A2측	21.1	38.9	1.2×10^{-5}	40.0	8.44	15.56	—	8.44	15.56
P4		고 정 단								
P5	A1측	21.1	38.9	1.2×10^{-5}	40.0	8.44	15.56	—	8.44	15.56
	A2측	21.1	38.9	1.2×10^{-5}	40.0	8.44	15.56	—	8.44	15.56
P6		고 정 단								
P7	A1측	21.1	38.9	1.2×10^{-5}	40.0	8.44	15.56	—	8.44	15.56
	A2측	16.1	33.9	1.0×10^{-5}	20.0	3.22	6.78	—	3.22	6.78
P8~ P18	A1측	16.1	33.9	1.0×10^{-5}	20.0	3.22	6.78	—	3.22	6.78
	A2측	16.1	33.9	1.0×10^{-5}	20.0	3.22	6.78	—	3.22	6.78
A2		16.1	33.9	1.0×10^{-5}	20.0	3.22	6.78	—	3.22	6.78

- 주) 1. 조사당시 기온 - 1차 1.1 $^{\circ}\text{C}$ (조사일 : 2015.02.23, 평균기온)
 - 2차 15.0 $^{\circ}\text{C}$ (조사일 : 2015.04.20., 평균기온)
 2. 검토온도 : -15 $^{\circ}\text{C}$ ~ +35 $^{\circ}\text{C}$ (콘크리트 거더교, 한랭지방), -20 $^{\circ}\text{C}$ ~ +40 $^{\circ}\text{C}$ (강재 거더교, 한랭지방)
 3. 신축장 100m 미만일 경우 신축량 계산 적용(도로설계요령, 2009)
 4. 「활하중에 의한 거더 처짐에 의한 이동량」은 신축장 100m미만 교량에 해당하므로 검토 제외
 (도로설계요령, 2009)
 5. P8~P18구간 : 신축장 20m의 단경간이며, 교량받침은 양방향 가동상태임

③ 교량받침 이동량 측정

【표 3.36】 교량받침 이동량 측정표

구 분		실측 이동량(mm)		변동량 분석(mm)		비고
		1차	2차	측정 차이값	이론치	
A1	Sh1	1.0(A2)	1.2(A2)	0.20	3.22	
	Sh2	1.0(A2)	1.1(A2)	0.10	3.22	
	Sh3	1.0(A2)	1.2(A2)	0.20	3.22	

【표 3.36】 교량받침 이동량 측정표(계속)

구 분			실측 이동량(mm)		변동량 분석(mm)		비고
			1차	2차	측정 차이값	이론치	
P1	A1측	Sh1	1.2(A1)	1.3(A1)	0.10	3.22	
		Sh2	1.0(A1)	1.1(A1)	0.10	3.22	
		Sh3	1.2(A1)	1.2(A1)	－	3.22	
	A2측	Sh1	2.5(A2)	2.6(A2)	0.10	8.44	
		Sh2	2.8(A2)	2.8(A2)	－	8.44	
		Sh3	2.8(A2)	3.0(A2)	0.20	8.44	
P2		고 정 단					
P3	A1측	Sh1	2.5(A1)	2.5(A1)	－	8.44	
		Sh2	3.0(A1)	3.1(A1)	0.10	8.44	
		Sh3	2.8(A1)	2.9(A1)	0.10	8.44	
	A2측	Sh1	3.0(A2)	3.1(A2)	0.10	8.44	
		Sh2	3.0(A2)	3.0(A2)	－	8.44	
		Sh3	3.1(A2)	3.2(A2)	0.10	8.44	
P4		고 정 단					
P5	A1측	Sh1	3.2(A1)	3.4(A1)	0.20	8.44	
		Sh2	3.0(A1)	3.1(A1)	0.10	8.44	
		Sh3	2.8(A1)	2.8(A1)	－	8.44	
	A2측	Sh1	3.0(A2)	3.1(A2)	0.10	8.44	
		Sh2	3.0(A2)	3.0(A2)	－	8.44	
		Sh3	3.0(A2)	3.2(A2)	0.20	8.44	
P6		고 정 단					
P7	A1측	Sh1	4.0(A1)	4.1(A1)	0.10	8.44	
		Sh2	3.6(A1)	3.8(A1)	0.20	8.44	
		Sh3	3.5(A1)	3.5(A1)	－	8.44	
	A2측	Sh1	1.0(A2)	1.0(A2)	－	3.22	
		Sh2	1.0(A2)	1.2(A2)	0.20	3.22	
		Sh3	1.2(A2)	1.3(A2)	0.10	3.22	
P8	A1측	Sh1	1.0(A1)	1.2(A1)	0.20	3.22	
		Sh2	1.0(A1)	1.3(A1)	0.30	3.22	
		Sh3	1.0(A1)	1.2(A1)	0.20	3.22	
	A2측	Sh1	1.2(A2)	1.2(A2)	－	3.22	
		Sh2	0.0(－)	0.0(－)	－	3.22	
		Sh3	0.0(－)	0.0(－)	－	3.22	

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

【표 3.36】 교량받침 이동량 측정표(계속)

구 분			실측 이동량(mm)		변동량 분석(mm)		비고
			1차	2차	측정 차이값	이론치	
P9	A1측	Sh1	1.0(A1)	1.0(A1)	—	3.22	
		Sh2	1.0(A1)	1.2(A1)	0.20	3.22	
		Sh3	1.0(A1)	1.2(A1)	0.20	3.22	
	A2측	Sh1	1.0(A2)	1.0(A2)	—	3.22	
		Sh2	0.0(—)	0.0(—)	—	3.22	
		Sh3	1.1(A2)	1.2(A2)	0.10	3.22	
P10	A1측	Sh1	1.2(A1)	1.3(A1)	0.10	3.22	
		Sh2	1.2(A1)	1.2(A1)	—	3.22	
		Sh3	1.2(A1)	1.2(A1)	—	3.22	
	A2측	Sh1	1.0(A2)	1.2(A2)	0.20	3.22	
		Sh2	1.0(A2)	1.1(A2)	0.10	3.22	
		Sh3	1.0(A2)	1.1(A2)	0.10	3.22	
P11	A1측	Sh1	1.0(A1)	1.0(A1)	—	3.22	
		Sh2	1.1(A1)	1.2(A1)	0.10	3.22	
		Sh3	1.1(A1)	1.2(A1)	0.10	3.22	
	A2측	Sh1	1.0(A1)	1.0(A1)	—	3.22	
		Sh2	1.0(A1)	1.2(A1)	0.20	3.22	
		Sh3	1.0(A1)	1.1(A1)	0.10	3.22	
P12	A1측	Sh1	1.0(A1)	1.0(A1)	—	3.22	
		Sh2	1.0(A1)	1.2(A1)	0.20	3.22	
		Sh3	1.0(A1)	1.2(A1)	0.20	3.22	
	A2측	Sh1	1.0(A2)	1.1(A2)	0.10	3.22	
		Sh2	0.0(—)	0.0(—)	—	3.22	
		Sh3	1.0(A2)	1.0(A2)	—	3.22	
P13	A1측	Sh1	1.0(A1)	1.0(A1)	—	3.22	
		Sh2	0.0(—)	0.0(—)	—	3.22	
		Sh3	0.0(—)	0.0(—)	—	3.22	
	A2측	Sh1	1.1(A1)	1.2(A1)	0.10	3.22	
		Sh2	1.0(A1)	1.0(A1)	—	3.22	
		Sh3	1.0(A1)	1.2(A1)	0.20	3.22	
P14	A1측	Sh1	1.3(A1)	1.4(A1)	0.10	3.22	
		Sh2	1.2(A1)	1.2(A1)	—	3.22	
		Sh3	1.2(A1)	1.3(A1)	0.10	3.22	

【표 3.36】 교량받침 이동량 측정표(계속)

구 분			실측 이동량(mm)		변동량 분석(mm)		비고
			1차	2차	측정 차이값	이론치	
P14	A2측	Sh1	1.2(A2)	1.5(A2)	0.30	3.22	
		Sh2	1.2(A2)	1.4(A2)	0.20	3.22	
		Sh3	1.2(A2)	1.6(A2)	0.40	3.22	
P15	A1측	Sh1	1.0(A1)	1.2(A1)	0.20	3.22	
		Sh2	1.0(A1)	1.2(A1)	0.20	3.22	
		Sh3	1.0(A1)	1.3(A1)	0.30	3.22	
	A2측	Sh1	1.0(A1)	1.2(A1)	0.20	3.22	
		Sh2	1.0(A1)	1.0(A1)	－	3.22	
		Sh3	1.0(A1)	1.0(A1)	－	3.22	
P16	A1측	Sh1	1.2(A1)	1.3(A1)	0.10	3.22	
		Sh2	1.2(A1)	1.2(A1)	－	3.22	
		Sh3	1.2(A1)	1.4(A1)	0.20	3.22	
	A2측	Sh1	1.3(A2)	1.4(A2)	0.10	3.22	
		Sh2	1.3(A2)	1.5(A2)	0.20	3.22	
		Sh3	1.3(A2)	1.3(A2)	－	3.22	
P17	A1측	Sh1	1.0(A1)	1.0(A1)	－	3.22	
		Sh2	1.0(A1)	1.2(A1)	0.20	3.22	
		Sh3	1.2(A1)	1.3(A1)	0.10	3.22	
	A2측	Sh1	1.2(A1)	1.2(A1)	－	3.22	
		Sh2	1.0(A1)	1.3(A1)	0.30	3.22	
		Sh3	1.0(A1)	1.3(A1)	0.30	3.22	
P18	A1측	Sh1	1.0(A1)	1.4(A1)	0.40	3.22	
		Sh2	1.0(A1)	1.1(A1)	0.10	3.22	
		Sh3	1.2(A1)	1.3(A1)	0.10	3.22	
	A2측	Sh1	1.2(A1)	1.5(A1)	0.30	3.22	
		Sh2	1.0(A1)	1.0(A1)	－	3.22	
		Sh3	1.0(A1)	1.0(A1)	－	3.22	
A2		Sh1	1.0(A1)	1.3(A1)	0.30	3.22	
		Sh2	1.0(A1)	1.3(A1)	0.30	3.22	
		Sh3	1.0(A1)	1.4(A1)	0.40	3.22	

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

③ 교량받침 이동량 검토 결과

【표 3.37】 교량받침 이동량 검토 결과표

구 분		실측 이동량 (1·2차 측정 최대값, mm)	계산 최대이동량(mm)		실측 가동여유량(mm)		허 용 이동량 (mm)	검토 결과	
			최대수축량	최대신장량	수축여유량	신장여유량			
A1		Sh1	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	±11.2	OK
		Sh2	1.10	3.22	6.78	2.12	5.68	±11.2	OK
		Sh3	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	±11.2	OK
P1	A1측	Sh1	1.30	3.22	6.78	1.92	5.48	±11.2	OK
		Sh2	1.10	3.22	6.78	2.12	5.68	±11.2	OK
		Sh3	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	±11.2	OK
	A2측	Sh1	2.60	8.44	15.56	5.84	13.06	—	—
		Sh2	2.80	8.44	15.56	5.64	12.86	—	—
		Sh3	3.00	8.44	15.56	5.44	12.66	—	—
	P2		고 정 단						
P3	A1측	Sh1	2.50	8.44	15.56	5.94	13.16	—	—
		Sh2	3.10	8.44	15.56	5.34	12.56	—	—
		Sh3	2.90	8.44	15.56	5.54	12.76	—	—
	A2측	Sh1	3.10	8.44	15.56	5.34	12.56	—	—
		Sh2	3.00	8.44	15.56	5.44	12.66	—	—
		Sh3	3.20	8.44	15.56	5.24	12.46	—	—
P4		고 정 단							
P5	A1측	Sh1	3.40	8.44	15.56	5.04	12.26	—	—
		Sh2	3.10	8.44	15.56	5.34	12.56	—	—
		Sh3	2.80	8.44	15.56	5.64	12.86	—	—
	A2측	Sh1	3.10	8.44	15.56	5.34	12.56	—	—
		Sh2	3.00	8.44	15.56	5.44	12.66	—	—
		Sh3	3.20	8.44	15.56	5.24	12.46	—	—
P6		고 정 단							
P7	A1측	Sh1	4.10	8.44	15.56	4.34	11.56	—	—
		Sh2	3.80	8.44	15.56	4.64	11.86	—	—
		Sh3	3.50	8.44	15.56	4.94	12.16	—	—
	A2측	Sh1	1.00	3.22	6.78	2.22	5.78	±11.2	OK
		Sh2	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	±11.2	OK
		Sh3	1.30	3.22	6.78	1.92	5.48	±11.2	OK
P8	A1측	Sh1	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	±11.2	OK
		Sh2	1.30	3.22	6.78	1.92	5.48	±11.2	OK
		Sh3	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	±11.2	OK

【표 3.37】 교량받침 이동량 검토 결과표(계속)

구 분			실측 이동량 (1·2차 측정 최대값, mm)	계산 최대이동량(mm)		실측 가동여유량(mm)		허 용 이동량 (mm)	검토 결과
				최대수축량	최대신장량	수축여유량	신장여유량		
P8	A2측	Sh1	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	± 11.2	O.K
		Sh2	—	3.22	6.78	3.22	6.78	± 11.2	O.K
		Sh3	—	3.22	6.78	3.22	6.78	± 11.2	O.K
P9	A1측	Sh1	1.10	3.22	6.78	2.12	5.68	± 11.2	O.K
		Sh2	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	± 11.2	O.K
		Sh3	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	± 11.2	O.K
	A2측	Sh1	1.10	3.22	6.78	2.12	5.68	± 11.2	O.K
		Sh2	—	3.22	6.78	3.22	6.78	± 11.2	O.K
		Sh3	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	± 11.2	O.K
P10	A1측	Sh1	1.30	3.22	6.78	1.92	5.48	± 11.2	O.K
		Sh2	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	± 11.2	O.K
		Sh3	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	± 11.2	O.K
	A2측	Sh1	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	± 11.2	O.K
		Sh2	1.10	3.22	6.78	2.12	5.68	± 11.2	O.K
		Sh3	1.10	3.22	6.78	2.12	5.68	± 11.2	O.K
P11	A1측	Sh1	1.00	3.22	6.78	2.22	5.78	± 11.2	O.K
		Sh2	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	± 11.2	O.K
		Sh3	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	± 11.2	O.K
	A2측	Sh1	1.00	3.22	6.78	2.22	5.78	± 11.2	O.K
		Sh2	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	± 11.2	O.K
		Sh3	1.10	3.22	6.78	2.12	5.68	± 11.2	O.K
P12	A1측	Sh1	1.00	3.22	6.78	2.22	5.78	± 11.2	O.K
		Sh2	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	± 11.2	O.K
		Sh3	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	± 11.2	O.K
	A2측	Sh1	1.10	3.22	6.78	2.12	5.68	± 11.2	O.K
		Sh2	—	3.22	6.78	3.22	6.78	± 11.2	O.K
		Sh3	1.00	3.22	6.78	2.22	5.78	± 11.2	O.K
P13	A1측	Sh1	1.00	3.22	6.78	2.22	5.78	± 11.2	O.K
		Sh2	—	3.22	6.78	3.22	6.78	± 11.2	O.K
		Sh3	—	3.22	6.78	3.22	6.78	± 11.2	O.K
	A2측	Sh1	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	± 11.2	O.K
		Sh2	1.00	3.22	6.78	2.22	5.78	± 11.2	O.K
		Sh3	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	± 11.2	O.K
P14	A1측	Sh1	1.40	3.22	6.78	1.82	5.38	± 11.2	O.K
		Sh2	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	± 11.2	O.K
		Sh3	1.80	3.22	6.78	1.42	4.98	± 11.2	O.K

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

【표 3.37】 교량받침 이동량 검토 결과표(계속)

구 분			실측 이동량 (1·2차 측정 최대값, mm)	계산 최대이동량(mm)		실측 가동여유량(mm)		허 용 이동량 (mm)	검토 결과
				최대수축량	최대신장량	수축여유량	신장여유량		
P14	A2측	Sh1	1.50	3.22	6.78	1.72	5.28	±11.2	O.K
		Sh2	1.40	3.22	6.78	1.82	5.38	±11.2	O.K
		Sh3	1.60	3.22	6.78	1.62	5.18	±11.2	O.K
P15	A1측	Sh1	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	±11.2	O.K
		Sh2	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	±11.2	O.K
		Sh3	1.30	3.22	6.78	1.92	5.48	±11.2	O.K
	A2측	Sh1	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	±11.2	O.K
		Sh2	1.00	3.22	6.78	2.22	5.78	±11.2	O.K
		Sh3	1.00	3.22	6.78	2.22	5.78	±11.2	O.K
P16	A1측	Sh1	1.30	3.22	6.78	1.92	5.48	±11.2	O.K
		Sh2	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	±11.2	O.K
		Sh3	1.40	3.22	6.78	1.82	5.38	±11.2	O.K
	A2측	Sh1	1.40	3.22	6.78	1.82	5.38	±11.2	O.K
		Sh2	1.50	3.22	6.78	1.72	5.28	±11.2	O.K
		Sh3	1.30	3.22	6.78	1.92	5.48	±11.2	O.K
P17	A1측	Sh1	1.00	3.22	6.78	2.22	5.78	±11.2	O.K
		Sh2	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	±11.2	O.K
		Sh3	1.30	3.22	6.78	1.92	5.48	±11.2	O.K
	A2측	Sh1	1.20	3.22	6.78	2.02	5.58	±11.2	O.K
		Sh2	1.30	3.22	6.78	1.92	5.48	±11.2	O.K
		Sh3	1.30	3.22	6.78	1.92	5.48	±11.2	O.K
P18	A1측	Sh1	1.40	3.22	6.78	1.82	5.38	±11.2	O.K
		Sh2	1.10	3.22	6.78	2.12	5.68	±11.2	O.K
		Sh3	1.30	3.22	6.78	1.92	5.48	±11.2	O.K
	A2측	Sh1	1.50	3.22	6.78	1.72	5.28	±11.2	O.K
		Sh2	1.00	3.22	6.78	2.22	5.78	±11.2	O.K
		Sh3	1.00	3.22	6.78	2.22	5.78	±11.2	O.K
A2		Sh1	1.30	3.22	6.78	1.92	5.48	±11.2	O.K
		Sh2	1.30	3.22	6.78	1.92	5.48	±11.2	O.K
		Sh3	1.40	3.22	6.78	1.82	5.38	±11.2	O.K

④ 교량받침 신축거동상태 검토결과 분석

본 연인교 교량받침의 이동량에 대한 검토는 「준공도서」의 부재로 설치된 받침의 정확한 허용이동량은 알 수 없었으나 탄성받침의 경우 각 부재에 설치된 교량받침의 치수값을 측정하여 『KS표준규격』에 등록되어있는 동일규격의 기준과 비교하여 검토를 실시하였다.

설치된 탄성받침의 적용하중(25.0ton)과 받침고무두께(T=30.0mm)를 기준으로 『KSF 4420-98(KS표준규격 B형)』을 적용하였으며, 「설계허용변위량」은 다음과 같다.

- ▷ 적용 탄성받침 고무층수 2개, 유효고무두께 = 16.0(mm)
- ▷ 적용 탄성받침 설계허용변위량 : ± 11.2 (mm, 상시 기준 유효고무두께의 70%)

검토결과, 온도변화에 따른 신축거동상태는 전반적으로 양호하며 최대 신장 및 수축 시의 받침여유량 또한 확보되어 있는 것으로 분석되었다. 따라서 받침 본체부식에 대해 지속적인 주의관찰을 통해 유지관리를 실시한다면 「보도교」공용 상 교량받침의 전반적인 성능에는 문제가 없을 것으로 사료된다.

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

카. 기존 점검(2014년 정밀점검) 결과와의 비교 및 분석

【표 3.38】 기존 점검결과와의 손상현황 비교표

구 분	손 상 내 용			손 상 현 황			비 고	
				단위	전회(2014년)	금회(2015년)		
						개소		물량
교량상면	포장균열			m	400.00	6	10.40	
	열화, 골재노출			m ²	1,619.80	19	1,270.00	
	토사퇴적 및 체수			m ²	2,250.00	10	82.25	
	기 타 지 장 물	균열	cw=0.3mm미만	m	38.10	80	127.70	
			cw=0.3mm이상	m	16.10			
		망상균열		m ²	24.90	3	19.34	
		관로 국부적 파손		m ²	2.50	8	3.32	
		기타 손상		개소	1	23	—	
배수시설		배수구 막힘			개소	2	200	200
	한전관로 유도배수공 막힘			개소	—	100	100	
난간 및 연석	균열	cw=0.3mm미만	m	—	3	0.80		
		cw=0.3mm이상	m	—	1	0.40		
	파손 및 철근노출			m ²	2.00	156	11.25	
바닥판하면 및 RC BOX거더	균열	cw=0.3mm미만	m	36.00	372	426.30		
		cw=0.3mm이상	m	28.60	11	12.90		
	균열부백태			m	—	25	37.90	
	파손, 철근노출			m ²	0.05	66	3.96	
	박리, 박락, 파손			m ²	1.84	13	0.63	
	백 태			m ²	4.38	17	5.48	
	재료분리			m ²	—	14	2.08	
	망상균열			m ²	2.66	4	5.56	
	강 판 보강부	들뜸		m ²	4.10	91	1,274.00	
		도장박리		m ²	4.10			
		점부식		m ²	—			
	캔틸레버 부식, 열화			m ²	0.40	—	—	
	거푸집미제거			m ²	—	7	26.04	
	토사잡물 퇴적			m ²	—	27	1,216.25	
강재거더 (2차부재 포함)	도장박리 및 부식			m ²	3,168.00	41	43.10	
	리벳풀림, 탈락			개소	17	24	24.00	
	강재 변형			m	—	2	2.70	
	표면부식, 점부식			m ²	—	전 구간	3,579.12	

【표 3.38】 기존 점검결과와의 손상현황 비교표(계속)

구 분	손 상 내 용		손 상 현 황				비 고
			단위	전회(2014년)	금회(2015년)		
					개소	물량	
교대 및 교각	균열	cw=0.3mm미만	m	1.00	61	46.90	
		cw=0.3mm이상	m	3.90	15	14.10	
	균열부백태		m	—	9	7.80	
	철근노출		m²	—	21	0.51	
	박리, 파손(녹물)		m²	7.50	85	28.92	
	콘크리트 열화		m²	—	1	5.20	
	백태, 망상균열		m²	1.82	58	46.61	
	침식 및 골재노출		m²	—	119	260.76	
	재료분리, 표면박리		m²	20.20	40	108.96	
	마감불량		m²	—	4	3.20	
	보강판 도장박리, 부식		m²	—	3	15.60	
	누수흔적, 오염		m²	—	2	7.70	
	이물질 삽입		m²	—	10	0.10	
	호안블록 침하, 유실		m²	—	4	6.34	
	이물질퇴적		m²	—	10	27.90	
	덧댐판부식(기초부)		m²	—	12	77.04	
	보수부	들뜸, 탈락	m²	—	17	6.11	
		재균열	m	—	3	4.30	
신축이음	본체 파손		m²	—	3	4.15	
	본체 부식		m²	—	4	7.20	
	유간 토사퇴적		m²	—	10	9.40	
	이 격		m	0.80	—	—	
	누 수		m²	—	8	6.00	
교량받침	앵커볼트 풀림		개소	—	6	6	
	덮개볼트 부식		개소	—	3	3	
	받침Plate 부식		개소	—	54	54	
	받침Plate 변형		m²	—	2	0.40	
	윤활제 고착		개소	18	18	18	
	받침물탈들뜸		개소	6	6	6	
	롤러덮개파손		개소	2	—	—	

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

1) 전차용역(2014년 정밀점검)과의 비교·분석 결과

금회 조사된 손상에 대해서 기 점검결과 및 보수이력 등을 종합하여 분석한 결과, 전차용역(2014년 정밀점검)에서 조사가 실시되지 않은 부재(RC BOX 내부)의 신규조사와 더불어 교량점검차량 등 근접조사장비의 활용에 따라 각 부재별로 일부 손상이 추가로 조사되었고, 2010년 정밀안전진단 실시결과에 따라 기 실시된 보수부의 상태는 전반적으로 양호하게 조사되었다.

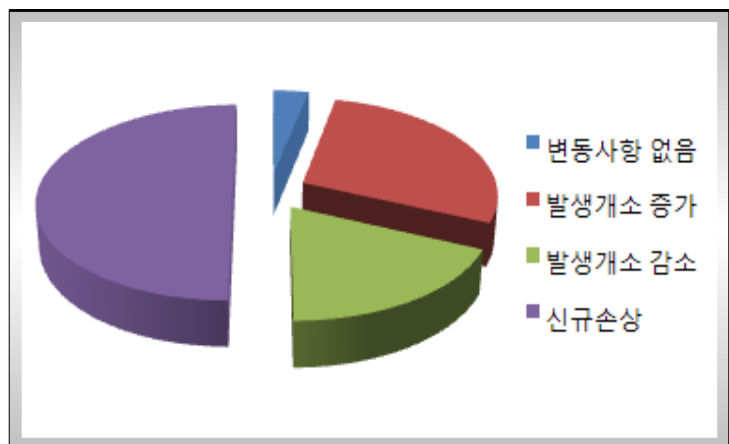
또한 기존 조사된 손상들의 진전 및 규모 확대는 없는 것으로 확인되었으며, 시설물의 안전에 영향을 줄만한 구조적인 결함은 조사되지 않았다.

본 연인교는 준공 후 51년의 사용기간을 갖는 만큼, 부재별로 재료열화와 환경적인 영향 등에 의해 구조물의 공용 중 발생하는 일반적인 비구조적인 손상들이 발생되어 있는 것으로 판단되므로 일부 손상들에 대해서는 장기적인 내구성 저하방지 차원의 보수가 필요하며, 보수 시에는 『상수원보호구역』인 남한강의 강상교량임을 감안하여 「오염물질유출 방지대책」에 대한 충분한 검토가 필요한 것으로 판단된다.

【표 3.39】에서 보는바와 같이, 전체 조사된 손상 중 기존 조사된 손상항목의 발생개소 증가(28.33%)가 가장 많은 것으로 분석되었으며 기존과 변동사항 없음(3.34%), 기존손상 발생개소 감소(18.33%)순으로 나타났고, 일부 경미한 신규손상(50.00%) 순으로 분석되었다.

【표 3.39】 기존 점검 결과와의 손상현황 비교·분석표

구 분		물량(%)
기존 손상	변동사항 없음	3.34
	발생개소 증가	28.33
	발생개소 감소	18.33
신규손상		50.00
총 합계		100.00



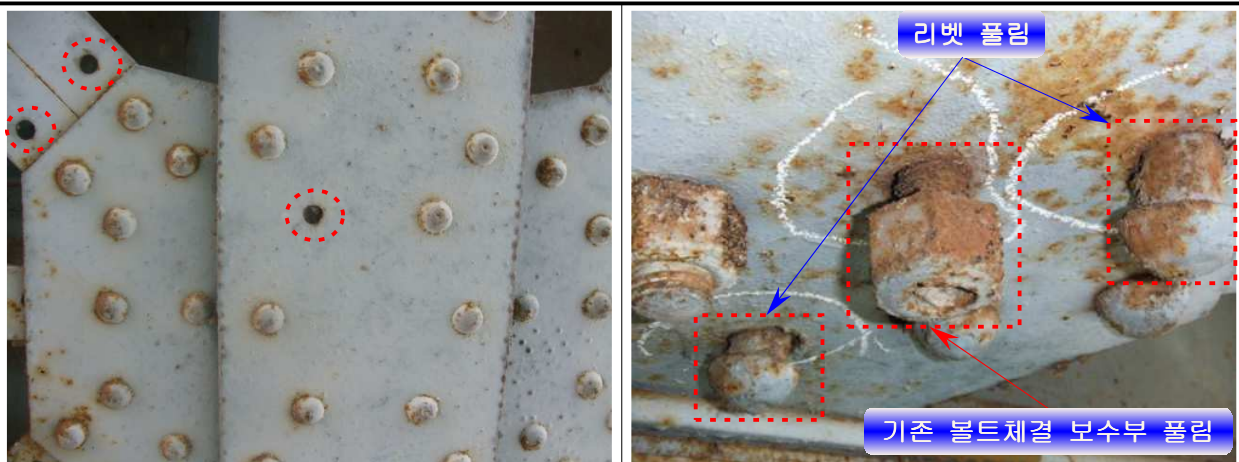
3.2 주요한 결함(손상)의 발생원인 분석

3.2.1 Steel Plate Girder 및 2차 부재 도장박리·부식



- ▷ 공용기간 증가에 따른 도장재료 열화와 습윤 환경의 영향에 의해 전 경간에 걸쳐 거더 상·하부플랜지 및 보강재(Stiffener)에 발생됨.
- ▷ 강재부식의 시간이 경과함에 따라 부재의 단면감소를 초래하여, 장기적으로 내구성 저하의 원인이 됨.
- ▷ 「표면처리 및 도장보수」를 실시하여 손상의 규모 확대를 방지하고, 장기적인 내구성 확보가 필요함.

3.2.2 Steel Plate Girder구간 리벳폴립 및 탈락



리벳탈락

리벳 및 볼트체결 보수부 폴립

- ▷ 시설물의 장기공용에 따른 리벳머리 부분의 노후에 의해 강재 접합부에 발생됨.
- ▷ 기본적으로 강구조의 접합부는 응력집중을 받는 곳이므로, 시간이 경과함에 따라 손상 규모가 확대될 우려가 있음.
- ▷ 기존에 실시해 온 「볼트체결」에 의한 보수가 필요함.

3.2.3 바닥판하면 균열·백태



- ▷ 초기 재료적 특성과 온도영향에 의해 발생된 균열손상부에 습윤 환경의 영향으로 바닥판하면 전 구간(S2~S7)에 국부적으로 발생됨.
- ▷ 시간이 경과함에 따라 손상규모가 확대되고 재료열화를 촉진시켜 박리, 철근부식 등의 2차적인 손상을 유발하며, 장기적으로 내구성 저하의 원인이 됨.
- ▷ 균열 폭에 따른 적절한 보수를 실시하고, 재손상 발생에 대한 주의관찰이 필요함.
 - 균열 폭(cw) 0.3mm미만 손상 : 표면보수
 - 균열 폭(cw) 0.3mm이상 손상 : 주입보수

3.2.4 바닥판하면 지점부 콘크리트 박리 및 철근노출



- ▷ 콘크리트 열화 및 신축이음 누수의 영향에 의해 바닥판하면 일부 지점부에 발생됨.
- ▷ 시간이 경과함에 따라 손상규모가 확대되고 재료열화를 촉진시켜 콘크리트 박락 및 철근부식 등의 2차적인 손상을 유발하며, 장기적으로 내구성 저하의 원인이 됨.
- ▷ 단면보수(철근방청 포함)를 실시하고, 보수부재손상 발생에 대한 주의관찰이 필요함.

3.3 재료시험 및 측정결과의 분석

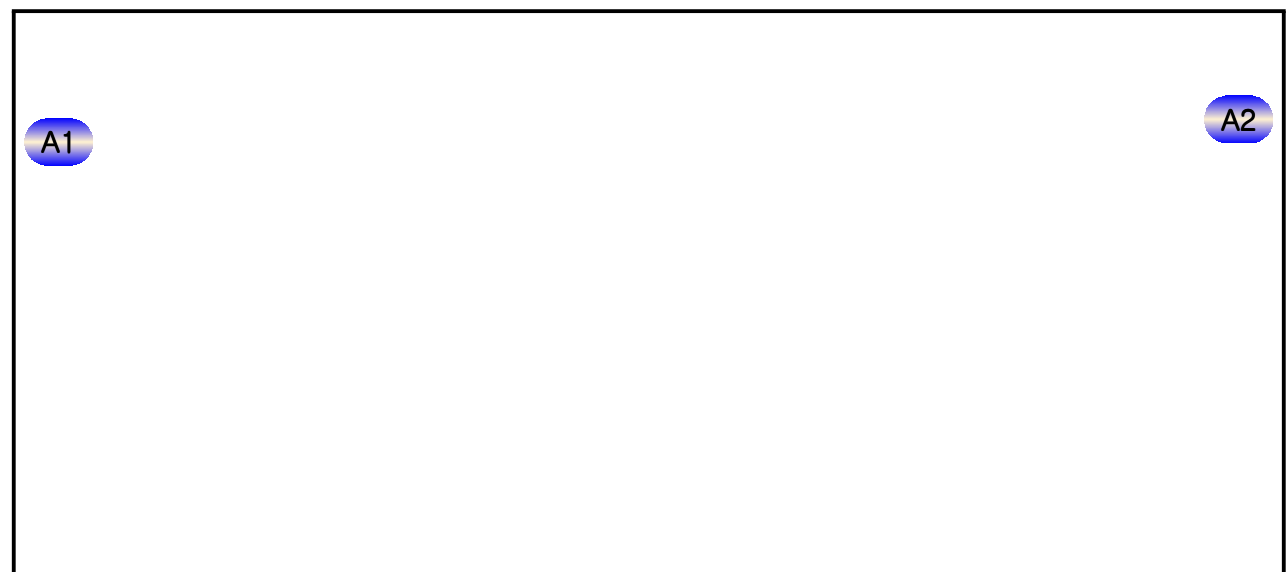
3.3.1 콘크리트시험

가. 개 요

시설물의 구성 재료에 대한 내구성평가는 주재료인 콘크리트 및 철근, 강재의 재료적 건전성을 평가하고 각 부재에 발생된 손상에 대해 그 원인을 분석하는 기본 자료로 활용할 수 있도록 하였으며, 시설물의 장기적인 내구성 및 사용성, 안전성 등을 평가하기 위하여 본 조사 및 시험을 수행하였고 각종 비파괴시험 보고서는 부록에 별도 수록하였다.

【표 3.40】 콘크리트 재료시험 기준수량 및 실시개소

구 분	시 험 명		시 험 장 비	수량(개소)		비 고
				기준	실시	
콘 크 리 트	콘크리트 강도시험	반발경도시험	Schmidt Hammer	25	30	
		초음파강도시험	PUNDIT	25	30	
	철근배근탐사시험		RC-Radar	25	30	
	탄산화깊이측정시험		페놀프탈레인 1% 용액	15	30	
	염화물함유량시험		국가공인시험기관 의뢰 (시험성적서 부록 첨부)	6	6	
	코어공시체 압축강도시험			—	4	
	균열깊이측정시험		PUNDIT	—	3	
	철근부식도시험		Half cell	—	1	



【그림 3.11】 연인교 콘크리트 재료시험 위치도

3.3.2 콘크리트시험 내용 및 평가기준

가. 반발경도시험

본 시험법은 콘크리트의 표면강도를 측정하는 시험으로 보편적으로 가장 손쉽게 시험할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 표면의 상태에 따라 오차를 가져올 수 있으며 콘크리트 재령이나 타격각도, 화학작용 즉 수화반응, 탄산화반응 등에 의하여 +, - 요인이 생기므로 반드시 이러한 요인에 대한 정확한 보정을 하여야 한다.

【표 3.41】 반발경도시험 개요

	
◦ 사용 장비 - Proceq(스위스), NR형 - 측정범위 : 8.6~71.5Mpa	◦ 사용 방법 - 콘크리트 표면에 3cm 간격으로 20점을 타격하여 강도를 추정
결과 이용	◦ 콘크리트 표면에 반발경도를 이용한 시험을 실시하여 콘크리트의 강도를 추정하고 설계기준강도와 비교평가 및 구조물의 강도 추정

1) 시험방법

「Schmidt Hammer법」에 의한 압축강도시험은 외관조사 결과에 의해서 결정된 측정개소에 대해 타격점 간의 간격 3cm를 표준으로 종으로 5열, 횡으로 4열의 선을 그어 직교되는 20점을 타격하여 반발경도 값의 산술평균값(R_m)을 구한다.

산술평균값 R_m 에 대해서 Recommendation에 따라 각 반발경도의 값이 $R_m \pm 15(\%)$ 범위를 벗어나는 값들은 제외시키고 나머지 값들을 다시 산술 평균하여 반발경도 R 을 구한다.

타격방향은 측정 면에서 직각이 되게 하였으며, 측정값에 현격한 차이가 있는 곳은 그 옆에서 다시 타격하는 방법을 사용하였다.

2) 반발경도법에 의한 콘크리트 압축강도 추정

Schmidt Hammer에 의해 반발경도를 측정한 후 콘크리트의 압축강도를 추정하는 방법은 다음과 같다.

① 보정반발경도(R_o)

보정반발경도 R_o 는 다음 식(式) (1)과 같이 측정경도 R 에 보정값 ΔR_1 , ΔR_2 를 더한 값으로 한다.

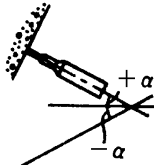
$$R_o = R + \Delta R_1 + \Delta R_2 \quad \text{식 - (1)}$$

(여기서, R : 측정 반발경도, ΔR_1 : 타격 방향에 따른 보정값, ΔR_2 : 콘크리트의 습윤성에 따른 보정값)

② 타격방향이 수평이 아닌 경우

측정 경사각도에 따라 다음 【표 3.42】와 같이 타격방향에 따른 주어진 보정값을 적용한다.

【표 3.42】 타격방향에 따른 보정값

Rebound value R α	Correction for inclination angle				타격방향
	Upwards		Downwards		
	+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	+1.6	+2.2	
60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7	

③ 압축강도추정 식(式)

보정반발경도 R_o 로부터 압축강도 F_c 를 추정하는 식은 여러 가지가 제안되어 있으나, 일반적으로 가장 널리 사용되고 있는 아래 식-(2)와 (3)을 사용하여 압축강도를 추정하였다.

- 보통콘크리트 강도추정식

$$F_c = 1.27 R_o - 18.0 (MPa) / \text{일본재료학회식} \quad \text{식 - (2)}$$

$$F_c = (7.3 R_o + 100) \times 0.1 (MPa) / \text{일본건축학회식} \quad \text{식 - (3)}$$

④ 28일 강도의 추정

시공 후 건조상태로 수년이 경과한 콘크리트 구조물은 표면강도가 높기 때문에 다음 【표 3.43】 과 같이 시간경과에 따른 계수(α_n)를 압축강도 F_c 에 곱해 재령 28일 강도(F_{28}')로 환산한 강도로 수정하여 아래 식-(4)와 같이 추정한다.

$$F_{28}' = \alpha_n \times F_c \quad \text{식 - (4)}$$

콘크리트의 재령에 따른 압축강도 보정계수 α_n 은 다음 【표 3.43】 과 같다.

【표 3.43】 재령에 따른 보정계수(α) 값

재령	4일	5일	6일	7일	8일	9일	10일	11일	12일	13일
α	1.90	1.84	1.75	1.72	1.67	1.61	1.55	1.49	1.45	1.40
재령	14일	15일	16일	17일	18일	19일	20일	21일	22일	23일
α	1.36	1.32	1.28	1.25	1.22	1.18	1.15	1.12	1.10	1.08
재령	24일	25일	26일	27일	28일	29일	30일	32일	34일	36일
α	1.06	1.04	1.02	1.01	1.00	0.99	0.99	0.98	0.96	0.95
재령	38일	40일	42일	44일	46일	48일	50일	52일	54일	56일
α	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.89	0.87	0.87	0.87	0.86
재령	58일	60일	62일	64일	66일	68일	70일	72일	74일	76일
α	0.86	0.86	0.85	0.85	0.85	0.84	0.84	0.84	0.83	0.83
재령	78일	80일	82일	84일	86일	88일	90일	100일	125일	150일
α	0.82	0.82	0.82	0.81	0.81	0.80	0.80	0.78	0.76	0.74
재령	175일	200일	250일	300일	400일	500일	750일	1000일	2000일	3000일 이상
α	0.73	0.72	0.71	0.70	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63

나. 초음파강도시험

초음파강도시험법은 초음파(콘크리트의 경우 보통 주파수가 50~100(kHz) 정도의 초음파 이용)의 투과속도가 콘크리트의 밀도 및 탄성계수에 따라서 변화하는 것을 이용하며, 이 투과속도로부터 콘크리트의 동적특성 및 강도, 균열상태 등을 추정하는 방법이다.

그러나 강도추정의 정확도는 높지 않으며, 일반적으로 콘크리트의 강도 및 품질비교, 또는 균열깊이를 판정하는 수단으로 사용되고 있다.

【표 3.44】 초음파강도시험 개요

	
◦ 사용 장비 - PUNDIT - Proceq(스위스)	◦ 사용 방법 - 발신자와 수신자간의 초음파 속도를 구하여 콘크리트의 강도를 측정
결과 이용	◦ 콘크리트 표면의 초음파속도를 측정하여 강도를 추정하고, 설계기준강도와 비교·평가에 이용함

1) 초음파 전달속도의 추정

초음파 속도를 통해 재료의 특성을 파악하기 위한 측정은 고도의 정확성이 있어야 한다. 이것은 적당한 파를 생성하고 재료를 통하여 전달되는 시간을 정확하게 측정하는 기구를 사용하여 수행하여야 하며, 파의 속도를 결정하기 위해서는 재료에서 파가 전달되는 거리측정이 선행되어야 하고 전달속도는 다음 식-(5)와 같이 구한다.

$$\text{전달속도(Velocity)} = \frac{\text{전달길이(PathLength)}}{\text{전달시간(Transit Time)}} \quad \text{식 - (5)}$$

초음파탐사를 위한 탐촉자의 배열은 직접법 및 반직접법, 간접법이 있으며, 간접법과 직접법에서 구한 초음파 전달속도는 근사적으로 다음과 같은 관계가 있다.

$$- V_d \approx 1.05 V_i$$

(여기서, V_d = 직접법(Direct Method)에 의한 초음파속도,
 V_i = 간접법(Indirect Method)에 의한 초음파속도)

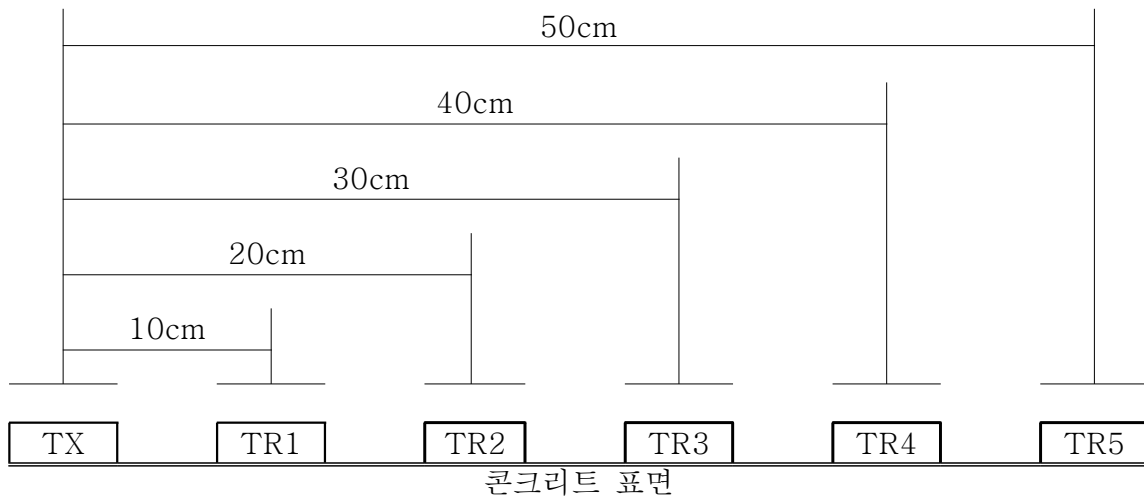
전달속도에 따른 콘크리트 압축강도의 추정을 위하여 초음파속도와 압축강도의 상관관계를 실험적으로 도출하면 다음 식-(6)과 같이 구할 수 있다.

$$F_C' = 215 V_p - 620 \quad \text{식 - (6)}$$

(여기서, F_C' : 콘크리트 압축강도(kgf/cm²), V_p : $V_p = V_d$ 로서 $V_p = 1.05 V_i$)

【표 3.45】 초음파 속도에 의한 콘크리트 품질등급표(표면법)

초음파속도(m/s)	등급	품 질	평 가	비 고
4,501 이상	㉠	대단히 좋다	—	—
3,501 ~ 4,500	㉡	좋 다	정기적인 관찰	—
3,001 ~ 3,500	㉢	검사를 요한다	지속적인 관찰	—
2,000 ~ 3,000	㉣	나쁘다	보강 또는 보수	부분적 내부결함
2,000 미만	㉤	대단히 나쁘다	교체 또는 보강	부식, 내부결함 다수



【그림 3.12】 표면법에 의한 발·수진자의 배치도(TX:발신자, TR:수신자)

2) 초음파법에 의한 압축강도의 추정

본 연인교의 초음파 전달속도에 의한 콘크리트강도 추정식은 일반적으로 가장 널리 사용되고 있는 아래 식-(7)과 (8)을 사용하여 추정하였다.

① 일본재료학회식

$$F_C' = (102 V_p - 117) \times 0.098(MPa) \quad \text{식 - (7)}$$

② 일본건축학회식

$$F_C' = (215 V_p - 620) \times 0.098(MPa) \quad \text{식 - (8)}$$

(여기서, F_C' : 콘크리트 압축강도(kgf/cm²), V_p : 초음파 전달속도)

다. 코어시료 채취에 의한 압축강도시험(실내시험)

현장에서의 콘크리트 코어시료 채취방법은 콘크리트 구조물의 내구성을 안전성을 저해하지 않는 범위 내에서 시행하기 위해 구조적으로 문제가 없는 지점을 선정하였으며, 채취된 코어는 콘크리트 상태를 확인 후 실내시험(압축강도시험)을 시행하였다.

1) 코어시료 압축강도시험 결과 분석

코어채취에 의한 압축강도시험방법은 강도를 측정하고자 하는 구조물로부터 코어 공시체를 직접 채취하여 일축압축강도를 시험하는 방법으로, 구조물에 손상을 입힐 수 있다는 단점이 있으나 비파괴시험에 비해 신뢰도가 높으며 통상적으로 비파괴시험에 의한 결과와 비교·분석을 실시하게 된다.

채취된 코어 공시체로 「KS F 2422」의 시험방법에 준하여 압축강도시험을 수행하며, 공시체 높이가 직경의 2배보다 작을 경우에는 시험으로부터 얻은 압축강도에 다음 【표 3.46】과 같은 보정계수를 곱하여 공시체의 높이가 직경의 2배가 되는 표준공시체의 압축강도로 환산한다.

【표 3.46】 높이/직경비에 대한 압축강도의 보정계수

높이와 직경의 비 (H/D)	보정계수	비 고
2.00	1.00	H/D가 중간 값일 경우에는 직선보간법을 이용하여 보정계수를 구한다.
1.75	0.98	
1.50	0.96	
1.25	0.94	
1.10	0.90	
1.00	0.85	
0.75	0.70	
0.50	0.50	

2) 보정계수와 추정 비파괴강도

각종 비파괴 강도시험을 이용하여 구조물의 전반적인 강도를 추정하는 경우에는, 비파괴시험 위치에서 채취한 코어시료의 압축강도를 이용하여 비파괴강도를 보정하는 것이 원칙이다. 따라서 부재별 코어시료의 압축강도와 비파괴강도(반발경도법, 초음파법) 간의 상관관계를 구하기 위하여 「RILEM Recommendation Part. 2」 기준에 제시된 식을 사용하여 보정계수 C_f 를 다음 식-(9)와 같이 구한다.

$$C_t = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{R_{pr}}{R_{st}} \quad \text{식 - (9)}$$

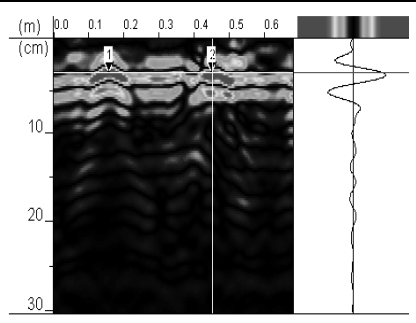
(여기서, C_t : 보정계수, R_{pr} : 코어압축강도, R_{st} : 비파괴 시험강도)

위와 같이 산정된 비파괴강도 보정계수의 평균값을 비교하여 1.0에 가장 근접하는 비파괴 강도 식을 선정하고, 해당 식으로 계산한 강도값에 보정계수를 곱한 강도를 본 연인교 구조물의 비파괴강도로 정하게 된다.

라. 철근배근탐사시험

철근콘크리트 구조물의 내구성 및 안전성은 콘크리트의 균열 및 강도와 더불어 철근의 배근상태 및 피복두께에 따라 크게 달라진다. 따라서 철근탐사를 통해 본 연인교 구조물의 배근상태 및 피복두께를 측정하여 분석하였다.

【표 3.47】 철근배근탐사시험 개요

		
◦ 사용 장비 - NJJ-105 - 일본, 무선	◦ 사용 방법 - 콘크리트 구조물의 표면에서 기기의 Scan을 실시하여 측정(자료수집 안테나 이용)	◦ 결과 도출 - Computer를 이용하여 필터링을 실시하고, 철근배근상태 및 피복두께를 분석
결과 이용	◦ 철근탐사 결과를 이용, 콘크리트 구조물의 철근배근상태 및 피복두께 등을 확인함	

1) 기기원리

본 기기의 원리는 현재 널리 이용되고 있는 일반적인 Radar와 기본적으로 같다. 즉, 전자파를 안테나로부터 콘크리트에 방사해 그 전자파가 콘크리트와 전기적 성질이 다른 물질, 예를 들면 철근, 공동 등 반사물체와의 경계면에서 반사되어 다시 콘크리트 표면으로 나와 표면 가까이에 위치한 수신안테나에 도달할 때까지의 시간으로 반사물체까지의 피복두께 및 간격을 알 수 있다.

본 장치는 콘크리트의 얇은 부분을 높은 분해능으로 탐사하는 것을 목적으로 하기 때문에 Pulse 폭이 극히 짧은 약 1nsec(10억분의 1초)의 pulse파를 송신에 이용하고 있으며, 콘크리트 중 전자파의 속도(V)는 다음 식-(10)과 같이 나타낼 수 있으며, 반사 물체까지의 거리(D)는 송신시각부터 반사파 수신시각까지의 시간차(T)로부터 식-(11)과 같이 구할 수 있다.

$$V = \frac{C}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ (m/s)} \quad \text{식 - (10)}$$

$$D = \frac{1}{2} VT \text{ (m)} \quad \text{식 - (11)}$$

(여기서, C : 공기 중 전자파 속도($3 \times 10^8 \text{ m/sec}$), ϵ_r : 콘크리트의 비유전율,

D : 반사물체까지의 거리(m), T : 반사파 송·수사이의 시간차)

2) 적용조건

① 적용 가능한 조건(콘크리트 중의 측정 대상물에서 반사 Pulse가 충분히 수신할 수 있는 것이 필요하며, 현장에 따라 다소 다름)

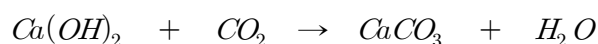
- 측정심도 20.0cm 이내
- 배근간격 80.0mm 이상(철근직경 10.0mm의 것이 깊이 6.0cm내에 있는 경우)
- 콘크리트의 질이 대부분 균일한 것
- 철근이 안테나 진행방향에 직교하고 있는 것

② 적용 곤란한 조건

- 표면에 금속 등 전파를 반사하는 것이 있고, 그 하부의 철근 등을 측정하는 경우
- 안테나의 진행방향과 평행으로 철근이 있는 경우

마. 탄산화깊이측정시험

시멘트의 수화반응에서 시멘트 량의 약 1/3 이 생성되는 수산화칼슘은 pH.12~13 정도의 알칼리성을 나타내며, 이 수산화칼슘은 대기 중의 약 산성 이산화탄소와 접촉하여 아래와 같은 반응을 일으켜 pH.8~10 정도의 탄산칼슘과 물로 변화되는데, 이러한 현상을 「탄산화(Carbonation)」라 한다.



콘크리트 속에 묻혀 있는 철근은 콘크리트의 알칼리성에 의해 부식 환경으로부터 보호되고 있으나, 탄산화가 이루어지면 철근이 부식하게 된다. 이러한 철근부식은 매립철근의 부착강도 감소, 콘크리트의 박리, 철근 단면적의 감소에 의한 저항모멘트 저하 등을 초래한다.

따라서 콘크리트의 탄산화 작용은 철근콘크리트 구조물의 내구성과 안전성에 치명적인 손상을 초래할 수 있으며, 이러한 탄산화 반응은 시간의 경과에 따라 진행하게 되므로 억제할 수가 없다.

【표 3.48】 탄산화깊이측정시험 사용기기 및 시험 현황

탄산화시험 평가기준 ^{주)}	
a	피복두께 30mm이상
b	피복두께 10mm이상~30mm미만
c	피복두께 0mm이상~10mm미만
d	피복두께 0mm미만
e	-

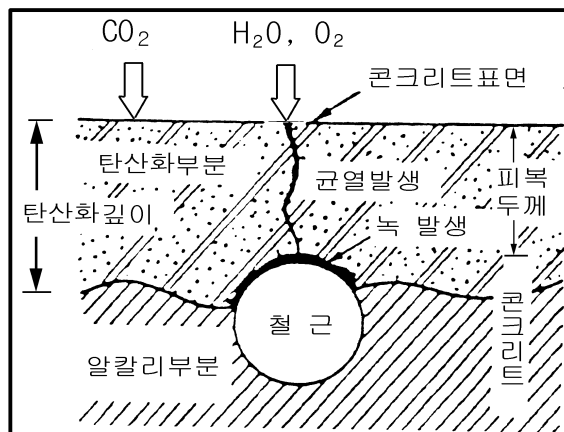
◦ 사용 장비 -페놀프탈레인 용액 1% -버니어캘리퍼스, 분무기 등	◦ 시험 방법 -측정하고자하는 콘크리트의 일부를 파취 후 페놀프탈레인 용액을 분사, 색상이 변하지 않는 부위는 탄산화가 된 부위	◦ 결과 -현장 측정치를 이용하여 철근의 배근상태 및 피복두께를 산출
결과 이용	콘크리트 내부 철근까지의 탄산화 진행여부 등을 판단	

주) 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토해양부, 한국시설안전공단, 2010.12)에 따름.

1) 탄산화에 의한 성능저하 특성 및 기준

탄산화는 콘크리트 표면에서 내부를 향해 진행하며 콘크리트는 탄산가스와 반응한 중량만큼 무거워지고 치밀해 진다. 따라서 탄산화에 의해서는 물리적 성능저하보다는 콘크리트 내부의 철근부식이 문제가 된다.

콘크리트 내부 pH가 11이상에서의 철근은 표면에 1×10^{-6} mm 두께의 수산화물(γ -Fe₂O₃·nH₂O) 부동태피막을 형성하므로, 산소의 침입을 막아 철근의 부식을 방지하지만 탄산화에 의하여 pH가 11보다 낮아지면 부동태피막이 파괴되면서 철근에 녹이 발생하게 된다.



【그림 3.13】 탄산화에 따른 매립철근의 녹 발생현황

이러한 녹은 원래부피의 약 2.5배에서 최대 7배까지 체적이 팽창하고 녹의 팽창압력에 의하여 콘크리트 내부에는 균열이 발생하게 되며, 철근의 부착강도 저하 및 피복 콘크리트의 탈락, 철근 단면적의 감소 등을 유발하여 구조물의 내구성저하를 초래하게 된다.

2) 시험방법

본 과업에서는 일반적으로 현장에서 간편하게 이용되는 「페놀프탈레인법」을 이용하여 콘크리트의 탄산화 진행정도를 측정하였다. 콘크리트 구조물에서의 탄산화 시험은 구조체에서 채취한 코어 또는 구조체 안전(내하력 등)에 영향을 미치지 않는 부위를 선정 일부분을 파취하여 노출된 대상 측정 면에 가능한 한 빨리 페놀프탈레인 1% 용액을 분무하여 탄산화 깊이를 측정하며, pH 8.2~10.0 이상의 알칼리 측에서는 홍색으로 발색하고 탄산화가 진행된 면에서는 무색으로 나타나게 되는데, 탄산화진행 깊이의 측정은 콘크리트 표면에서 발색점까지의 깊이를 버니어캘리퍼스로 측정한다.

바. 염화물함유량시험

1) 개요 및 시험현황

염화물이 콘크리트로 침투하는 것을 구분해 보면 일반적으로 두 가지로 크게 구분해 볼 수 있다.

그 하나는 이미 건립된 구조물에 해풍, 해수 및 염화물을 함유한 외부 환경조건에 의해 염화물이 침투·축적되는 경우 및 방동대책으로서 염화칼슘(CaCl_2), 염화나트륨(NaCl) 등을 살포하는 경우이다.

두 번째로는 콘크리트 제조 시에 배합재료로부터 직접 콘크리트에 침투하는 경우 특히, 아직 굳지 않은 프레쉬 상태일 때 혼입하는 경우인데 이의 예로서는 ①깨끗이 세척하지 않은 바다모래의 사용, ②경화 촉진제로서 염화칼슘(CaCl_2)의 사용, ③염화칼슘(CaCl_2)을 주체로 한 조강현 AE제의 사용, ④혼화수로서 해수의 사용 등을 들 수 있다.

이 중 세척하지 않은 바다모래에 의한 염화물(염화나트륨(NaCl))을 주로 함유한 것의 혼입이 염해 원인의 대부분을 차지하고 있다.

본 과업에서의 콘크리트 염화물함유량시험은 현장에서 부재별로 채취한 시료를 「국가공인 품질시험기관」에 의뢰하고 「시험성적서」를 제출받아 분석하여 시험의 객관성을 확보하도록 하였으며, 국내 『콘크리트구조기준(국토해양부, 2012)』과 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토해양부, 한국시설안전공단, 2010. 12)』의 콘크리트 내 염화물함유량 기준은 다음과 같다.

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

【표 3.49】 부식방지를 위한 최대 염소이온 비율(콘크리트구조기준, 2012)

부재의 종류	콘크리트속의 최대 수용성 염소이온(Cl^-), 시멘트 질량에 대한 백분율
프리스트레스 콘크리트	0.06
염화물에 노출된 철근콘크리트	0.15
건조 상태이거나 또는 습기로부터 차단된 철근콘크리트	1.00
기타 철근콘크리트	0.30

【표 3.50】 전염화물 이온량의 상태평가 기준^{주)}

평가기준	평가점수	전염화물 이온량(kg/m^3)	철근부식의 가능성
a	5	염화물 ≤ 0.3	염화물에 의한 부식이 발생할 우려 없음
b	4	$0.3 < \text{염화물} < 1.2$	콘크리트 중의 염화물 이온농도가 높으나, 부식이 발생할 가능성 적음
c	3	$1.2 < \text{염화물} < 2.5$	향후 염화물에 의한 부식이 발생할 가능성 높음
d	2	염화물 ≥ 2.5	철근부식 발생
e	1	—	—

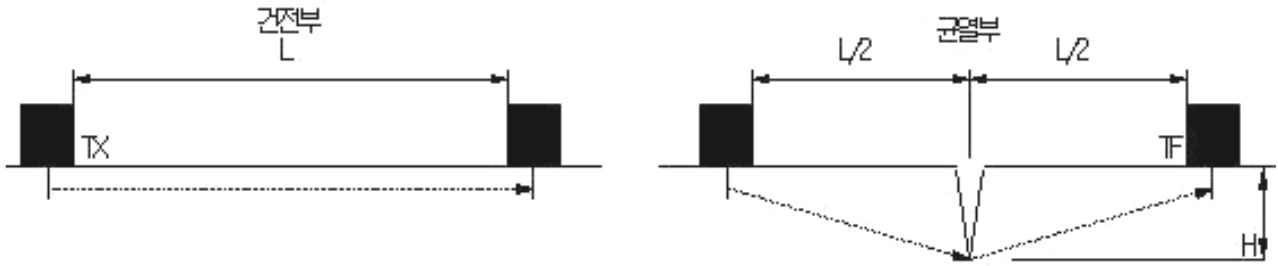
주). 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토해양부, 한국시설안전공단, 2010. 12)』

사. 콘크리트 균열깊이측정시험

1) 개요

콘크리트 내에 초음파의 전달경로는 【그림 3.14】에서 보는바와 같이, 구조물의 표면을 따라 진행하기 때문에 균열이나 공극이 있는 경우 초음파의 전달시간이 건전한 부분의 전달 시간보다 상대적으로 길어지게 되며, 이러한 특성을 이용하여 균열깊이나 내부 공극의 탐지가 가능한 것이다.

본 과업에서는 외관조사를 바탕으로 균열 폭(cw) 0.2~0.3mm의 균열에 대해 초음파속도법($T_c - T_o$ 법)을 이용하여 균열깊이를 측정하였으며, 균열깊이는 다음 식-(12)에 의해 구할 수 있다.



【그림 3.14】 초음파속도법을 이용한 균열깊이 측정방법

$$\text{균열깊이}(H) = X \sqrt{\left(\frac{T_c}{T_o}\right)^2 - 1} \quad \text{식 - (12)}$$

(여기서, $T_o = \frac{2X}{V}$: 균열이 없는 건전부의 초음파 전달속도,

$$T_c = \frac{2\sqrt{X^2 + H^2}}{V} : \text{결함부의 초음파 전달속도, } X = \frac{L}{2})$$

2) 평가기준

콘크리트 구조물에 발생한 균열은 균열 발생의 시점, 계속성, 연속성, 균열 폭, 균열밀도, 방향성 등 균열의 특성이 대상구조물의 구조적 신뢰성을 판정하는데 매우 중요한 인자이며, 유럽 및 미국 등 각국에서는 콘크리트 구조물의 용도별, 구조 요소의 특성 및 중요도별로 분류하고 최대 허용균열폭, 균열 밀도 등에 대한 규정을 제시하여 균열평가를 하고 있으며, 국내에서도 『콘크리트구조기준(국토해양부, 2012)』에서 구조물이 놓인 환경과 강재의 종류에 따라 허용균열폭을 다음과 같이 규정하고 있다.

【표 3.51】 콘크리트 허용균열폭(단위 : mm)

강재의 종류	강재의 부식에 대한 환경조건			
	건조한 환경	일반 환경	부식성 환경	극심한 부식성환경
철 근	$0.006 t_c$	$0.005 t_c$	$0.004 t_c$	$0.0035 t_c$
PS 강재	$0.005 t_c$	$0.004 t_c$	—	—

- 주) 1. t_c : 최 외단 철근의 표면과 콘크리트 표면사이의 콘크리트 최소덮개(mm)
 2. 물을 저장하는 수조 등과 같은 구조물의 허용균열폭은 0.1mm로 함
 3. 강재의 부식에 대한 환경조건으로는 다음 표와 같이 건조한 환경, 습윤 환경, 부식성 환경, 극심한 부식성 환경으로 구분함
 4. 콘크리트구조기준(국토해양부, 2012)

아. 철근부식도시험

1) 개요 및 시험장비

콘크리트 내부에 존재하는 철근은 강알칼리성(pH=12.5~13.0)에서는 부식이 발생하지 않는 것으로 알려져 있다. 그러나 콘크리트의 탄산화 및 기타 환경요인으로 균열손상부를 통해 탄산가스 또는 물이 침투하여 철근과 접촉하거나 콘크리트 내부에 염화물이 존재하여 철근의 부동태피막을 파괴하게 되면 철근은 부식하게 된다. 이러한 철근의 부식은 내구성 저하와 심한 경우 구조적인 안전성에도 영향을 미칠 수 있으며, 부식의 정도에 따라 구조물의 사용 가능 연한을 평가하는 자료로도 이용될 수 있다.

철근의 부식을 조사하는 가장 정확한 방법은 철근위치까지 콘크리트를 파쇄하여 육안으로 분석하거나, 구조물로부터 강재를 채취하여 재료시험을 하는 방법을 들 수 있다. 파쇄부를 통해 부식형태 및 수준을 파악할 수 있으며, 구조물로부터 강재를 채취하여 재료시험을 하는 경우에는 부식면적을 및 부식수준, 부식에 의한 강재의 단면감소, 중량변화율, 인장강도 등을 측정하여 부식상황을 정확히 평가할 수 있다.

하지만 이러한 방법은 근본적으로 구조물에 손상을 주기 때문에, 일반적인 철근부식도시험은 구조물에 손상을 주지 않는 검사방법인 『자연전위법』이 많이 이용되고 있다.

2) 철근부식도 조사 및 평가

① 조사방법

육안조사 방법은 철근부식을 유발시킬 수 있다고 판단되는 대표적인 손상부(균열·백태, 콘크리트 박리 등) 주위에서 철근위치까지 코어시료를 채취한 후 철근의 부식여부 및 그 정도를 파악하는 것이며, 그 평가 방법은 【표 3.52】와 같다.

자연전위법에 의한 조사방법은 철근탐사기로 철근을 찾아 콘크리트를 철근위치까지 파쇄하여 철근을 노출시킨 후, 노출된 철근에 장비의 단자의 한쪽을 물려 전기를 방출하고 다른 단자는 미리 찾은 철근을 따라 일정 간격으로 전위차를 측정하는 방법이다.

이렇게 측정된 전위 값으로부터 철근이 부식 환경에 노출된 확률을 파악할 수 있으며 측정된 값에 의해 철근부식도를 평가하는 방법은 【표 3.53】에 나타낸 바와 같고, ASTM(American standard test method) C876 및 KS F 2712에서 제시하고 있는 기준을 참고한 것이다.

② 평가방법

철근을 노출시켜 철근 부식면적 및 깊이 등의 변상상황을 관찰·기록하는 방법으로, 판정기준은 다음과 같다.

【표 3.52】 철근부식 정도의 육안판정 기준

발 청 도	철근표면의 방청상태
I	눈에 띄는 녹이 없으며, 거의 전면에 검은 흑피가 남아있다.
II	부분적으로 뜬 녹이 있으며, 소면적의 반점상이다.
III	비교적 넓은 면적의 녹이 있으며, 부분적으로 층상의 녹이 있다.
IV	대부분의 범위에 층상의 두꺼운 녹이 있다.
V	단면 결손이 심하다.

주). 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조

③ 비파괴조사

녹물의 유출과 철근 배근방향의 균열 발생은 철근부식이 상당히 진전한 단계에서 나타나는 현상으로 볼 수 있으며, 콘크리트 중의 철근부식은 전기화학적 현상이므로 초기 단계의 철근 부식을 비파괴 적으로 검출할 수 있는 유일한 방법은 「전기화학적 방법」이다.

ASTM C876 및 KS F 2712에서는 「자연전위법」과 철근부식의 관계에 대한 판정 기준(기준 전극 : CSE)을 제시하고 있고 이를 바탕으로 측정 장비에 따른 수정값을 【표 3.53】과 같이 적용하였으며, 자연전위법과 철근부식의 상관관계에 대한 최근의 자료에 의하면 아래 표 안의 ‘()’ 값이 더 타당한 것으로 알려지고 있다.

【표 3.53】 ASTM 기준에 의한 자연전위와 부식확률 평가방법

부식성 등급	자연전위 E(mV)	부식의 확률
I	$E \geq 0$ (-100)	부식 없음(0%)
II	$(-100) 0 \geq E > -200$	10%이하의 확률로 부식 발생
III	$-200 \geq E > -350$	50%의 확률로 부식 발생
IV	$-350 \geq E > -500$	90%이상의 확률로 부식 발생
V	$-500 \geq E$	100%의 확률로 부식발생

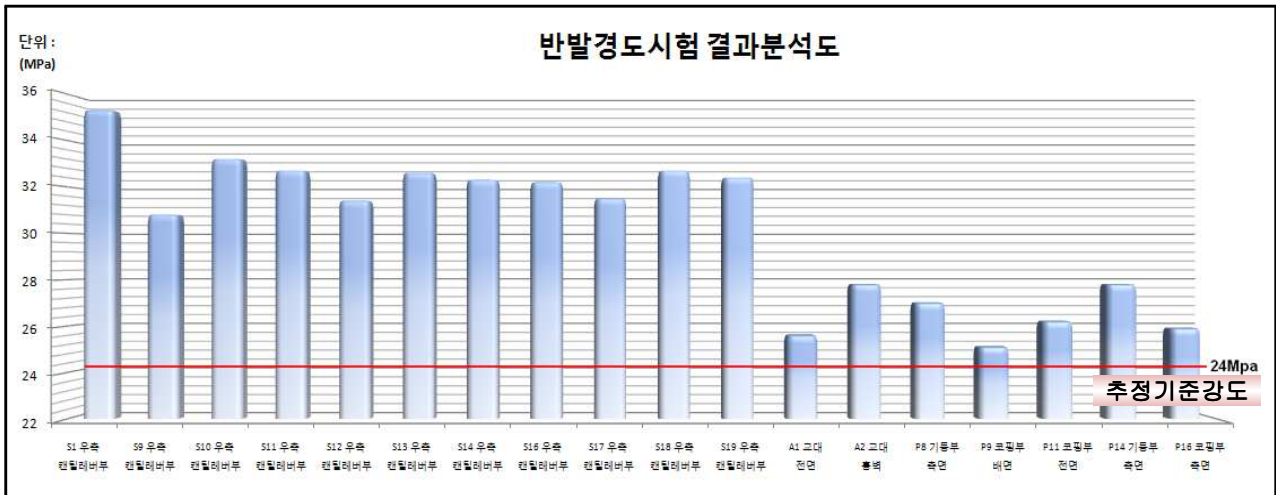
1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

3.3.3 콘크리트시험 결과분석 및 평가

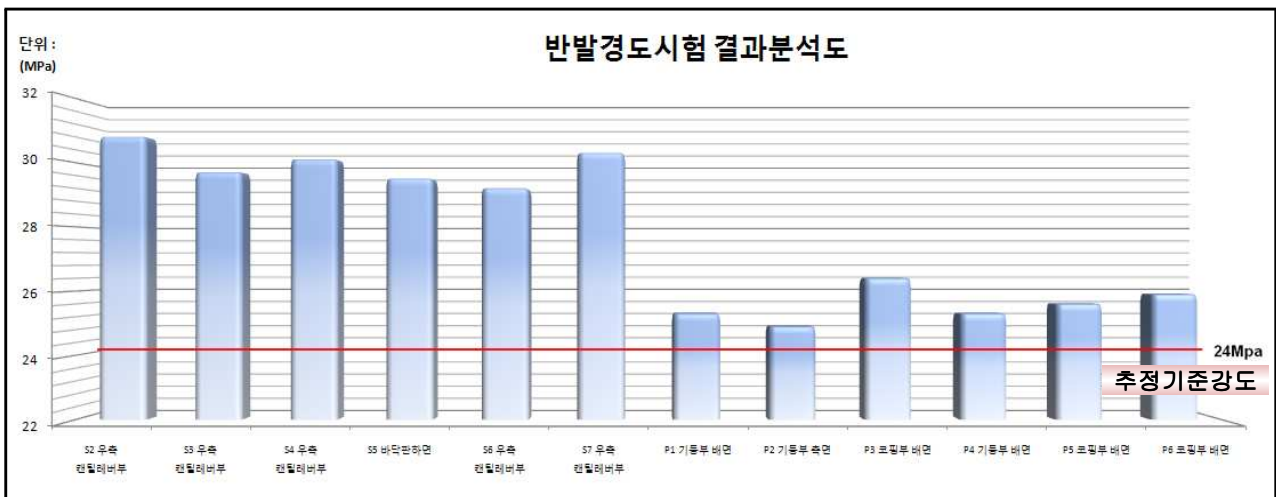
가. 반발경도시험 결과 및 분석

【표 3.54】 반발경도시험 결과표

위 치			반 발 경 도			기준 경도 (Ro)	압축강도(MPa)		재령 계수	압축 강도 (MPa)	추정 기준 강도 (MPa)	비고
			평균 치	타격 각도	보정 계수		일본재료 학회식	일본건축 학회식				
RC BOX 구간	상부 구조	S1	62.7	90	-2.08	60.6	37.2	33.5	0.63	35.3	24.0	
		S9	56.0	90	-2.62	53.3	31.3	30.2	0.63	30.8		
		S10	59.6	90	-2.34	57.2	34.4	32.0	0.63	33.2		
		S11	58.8	90	-2.40	56.4	33.7	31.6	0.63	32.7		
		S12	56.9	90	-2.55	54.4	32.1	30.7	0.63	31.4		
		S13	58.6	90	-2.41	56.2	33.6	31.5	0.63	32.6		
		S14	58.2	90	-2.44	55.8	33.3	31.3	0.63	32.3		
		S16	58.1	90	-2.45	55.6	33.2	31.3	0.63	32.2		
		S17	57.1	90	-2.53	54.6	32.3	30.8	0.63	31.5		
		S18	58.8	90	-2.40	56.4	33.7	31.6	0.63	32.7		
		S19	58.3	90	-2.44	55.9	33.4	31.4	0.63	32.4		
	하부 구조	A1	45.1	0	0.00	45.1	24.7	26.5	0.63	25.6		
		A2	48.6	0	0.00	48.6	27.5	28.1	0.63	27.8		
		P8	47.4	0	0.00	47.4	26.5	27.5	0.63	27.0		
		P9	44.3	0	0.00	44.3	24.1	26.1	0.63	25.1		
		P11	46.0	0	0.00	46.0	25.5	26.9	0.63	26.2		
		P14	48.7	0	0.00	48.7	27.6	28.1	0.63	27.8		
		P16	45.6	0	0.00	45.6	25.1	26.7	0.63	25.9		
SPG 구간	상부 구조	S2	56.1	90	-2.62	53.4	31.4	30.3	0.63	30.8	24.0	
		S3	54.4	90	-2.75	51.7	30.0	29.5	0.63	29.7		
		S4	55.0	90	-2.70	52.2	30.5	29.7	0.63	30.1		
		S5	54.0	90	-2.78	51.2	29.6	29.3	0.63	29.5		
		S6	53.7	90	-2.80	50.9	29.4	29.1	0.63	29.2		
		S7	55.3	90	-2.68	52.6	30.7	29.9	0.63	30.3		
	하부 구조	P1	44.7	0	0.00	44.7	24.4	26.3	0.63	25.3		
		P2	44.0	0	0.00	44.0	23.8	26.0	0.63	24.9		
		P3	46.4	0	0.00	46.4	25.7	27.1	0.63	26.4		
		P4	44.7	0	0.00	44.7	24.4	26.3	0.63	25.3		
		P5	45.1	0	0.00	45.1	24.7	26.5	0.63	25.6		
		P6	45.5	0	0.00	45.5	25.1	26.7	0.63	25.9		



【그림 3.15】 RC BOX구간 반발경도시험 결과 분석도



【그림 3.16】 SPG구간 반발경도시험 결과 분석도

1) 반발경도시험 결과 분석

본 연인교 구조물에 대한 부재별 반발경도시험 결과, 상기 분석도와 같이 조사 전 구간에서 추정기준강도(24.0MPa)를 상회하는 것으로 평가되었으며 시설물의 공용 상 콘크리트의 강도부족에 의한 구조적 불안전요소는 없을 것으로 분석되었다.

2) 이전 점검 및 진단결과와의 비교·분석 결과

이전 자료(2010년 정밀안전진단 및 2014년 정밀점검)와의 측정값 비교·분석결과 【표 3.55】에서 보는바와 같이, 측정값은 전반적으로 유사하며 강도비는 추정기준강도를 모두 만족하고 있는 것으로 분석되었다.

【표 3.55】 이전 자료와의 반발경도시험 측정값 비교 분석표

구 분	강도측정값 비교(MPa)			추정기준강도(MPa)
	2010년 정밀안전진단	2014년 정밀점검	금회 정밀안전진단	
상부구조	19.5 ~ 33.1	27.1 ~ 30.6	29.2 ~ 35.3	24.0
하부구조	14.1 ~ 28.4	26.4 ~ 28.6	24.9 ~ 27.8	24.0

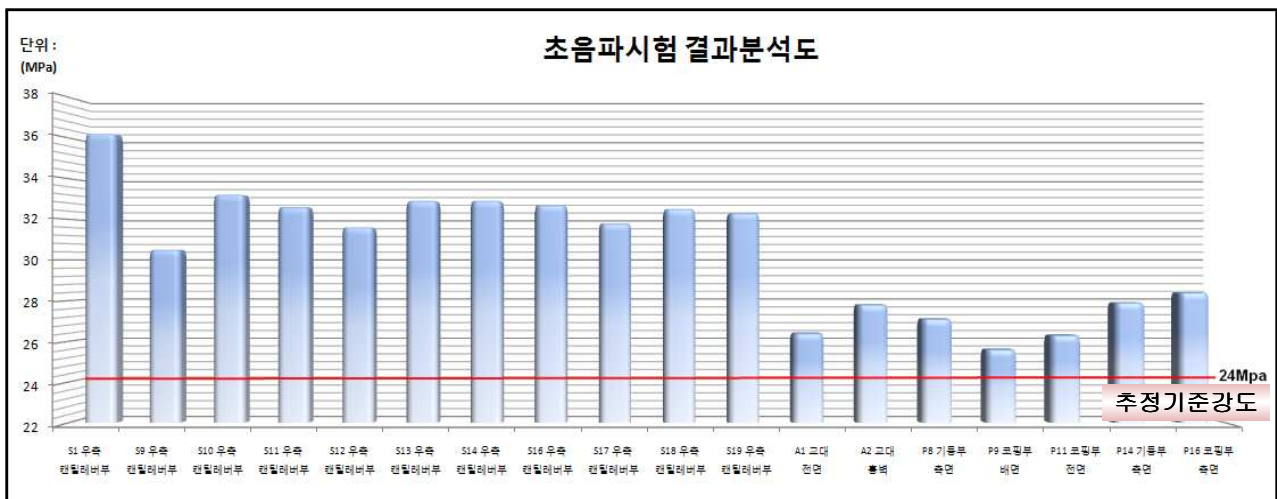
나. 초음파강도시험 결과 및 분석

【표 3.56】 초음파강도시험 결과표

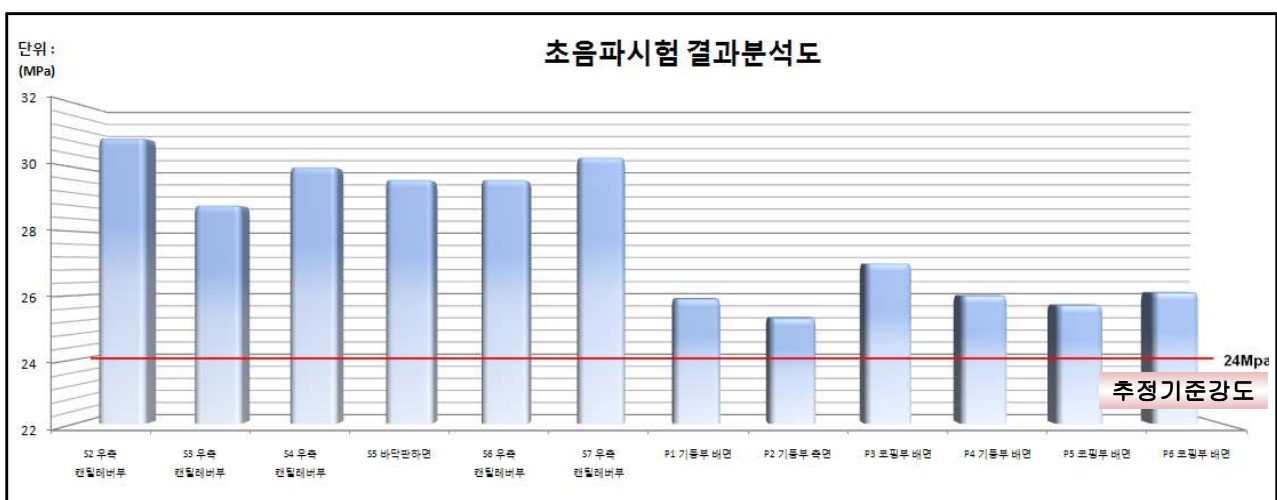
위 치			초음파속도(Vd) : (Km/sec)	압축강도(MPa)			추정기준강도(MPa)	비고
				일본재료 학 회 식	일본건축 학 회 식	평 균		
RC BOX 구간	상부 구조	S1 우측 캔틸레버	4.654	35.1	37.3	36.2	24.0	
		S9 우측 캔틸레버	4.290	31.4	29.6	30.5		
		S10 우측 캔틸레버	4.462	33.1	33.2	33.2		
		S11 우측 캔틸레버	4.426	32.8	32.5	32.6		
		S12 우측 캔틸레버	4.357	32.1	31.1	31.6		
		S13 우측 캔틸레버	4.441	32.9	32.8	32.9		
		S14 우측 캔틸레버	4.441	32.9	32.8	32.9		
		S16 우측 캔틸레버	4.432	32.8	32.6	32.7		
		S17 우측 캔틸레버	4.374	32.3	31.4	31.8		
		S18 우측 캔틸레버	4.415	32.7	32.3	32.5		
		S19 우측 캔틸레버	4.403	32.5	32.0	32.3		
	하부 구조	A1 교대 전면벽체	4.023	28.7	24.0	26.4		
		A2 교대 홍벽	4.113	29.7	25.9	27.8		
		P8 기둥부 측면	4.068	29.2	25.0	27.1		
		P9 코핑부 배면	3.973	28.2	22.9	25.6		
		P11 코핑부 전면	4.016	28.7	23.9	26.3		
		P14 기둥부 측면	4.119	29.7	26.0	27.9		
		P16 코핑부 측면	4.156	30.1	26.8	28.4		
SPG 구간	상부 구조	S2 우측 캔틸레버	4.315	31.7	30.1	30.9	24.0	
		S3 우측 캔틸레버	4.178	30.3	27.3	28.8		
		S4 우측 캔틸레버	4.255	31.1	28.9	30.0		
		S5 바닥판하면	4.230	30.8	28.4	29.6		
		S6 우측 캔틸레버	4.231	30.8	28.4	29.6		
		S7 우측 캔틸레버	4.278	31.3	29.4	30.3		

【표 3.52】 초음파강도시험 결과표(계속)

위 치			초음파속도 (Vd) : (Km/sec)	압축강도(MPa)			추정기준 강도 (MPa)	비고
				일본재료 학 회 식	일본건축 학 회 식	평 균		
SPG 구간	하부 구조	P1 기둥부 배면	3.994	28.5	23.4	25.9	24.0	
		P2 기둥부 측면	3.953	28.1	22.5	25.3		
		P3 코핑부 배면	4.061	29.1	24.8	27.0		
		P4 기둥부 배면	3.999	28.5	23.5	26.0		
		P5 코핑부 배면	3.978	28.3	23.1	25.7		
		P6 코핑부 배면	4.007	28.6	23.7	26.1		



【그림 3.17】 RC BOX구간 초음파강도시험 결과 분석도



【그림 3.18】 SPG구간 초음파강도시험 결과 분석도

1) 초음파강도시험 결과 분석

본 연인교 구조물에 대한 부재별 초음파강도시험 결과, 상기 분석도와 같이 조사 전 구간에서 추정기준강도(24.0MPa)를 상회하는 것으로 평가되었으며 구조물의 콘크리트 강도에 대한 건전성은 확보하고 있는 것으로 분석되었다.

2) 이전 점검 및 진단결과와의 비교·분석 결과

이전 자료(2010년 정밀안전진단)와의 측정값 비교·분석결과 【표 3.57】에서 보는바와 같이, 측정값은 전반적으로 유사하며 강도비는 추정기준강도를 모두 만족하고 있는 것으로 분석되었다.

【표 3.57】 이전 자료와의 초음파강도 측정값 비교·분석표

구 분	강도측정값 비교(MPa)			추정기준강도(MPa)
	2010년 정밀안전진단	2014년 정밀점검	금회 정밀안전진단	
상부구조	28.0 ~ 31.5	—	28.8 ~ 36.2	24.0
하부구조	25.3 ~ 30.4	—	25.3 ~ 28.4	24.0

다. 코어시료 채취에 의한 압축강도시험 결과 및 분석

1) 코어시료 채취

압축강도시험을 위한 코어시료 채취는 구조물의 장기적인 보호와 응력작용을 고려해 적절한 위치를 선정하여 총 4개소를 채취하였고, 시료 채취부 마감상태는 일주일 이상 시간경과 후 확인한 결과 채움재의 들뜸 및 이격 등은 없는 것으로 확인하였다.



【그림 3.19】 코어시료 채취 현황

【표 3.58】 콘크리트 코어시료 채취 위치 및 시료상태

구 분	시료채취 위치	코어시료 현황(mm)			비고
		채취 길이	채취 상태	실시시험	
연인교	No.1	S2 교량상면	195.0	콘크리트 구체	압축강도
	No.2	S17 교량상면	150.0	콘크리트 구체	
	No.3	교대(A1) 전면벽체	330.0	콘크리트 구체	
	No.4	교각(P16) 기둥부 배면	340.0	콘크리트 구체	

2) 코어시료 현황 및 압축강도시험

① 높이/직경비에 대한 보정계수 환산결과

【표 3.59】 높이/직경비에 대한 보정계수 환산표

구분	채 취 위 치	시료현황(단위, mm)			시험 전처리(커팅, mm)		환산 코어길이(mm)	보정비
		직경	길이	채취상태	표면측	내측		
연 인 교	S2 교면포장	200	195.0	콘크리트구체	—	45.0	150.0	
	S17 교면포장	200	150.0	콘크리트구체	—	—	150.0	
	A1 교대 전면	200	330.0	콘크리트구체	—	120.0	200.0	
	P16 기둥부 배면	200	340.0	콘크리트구체	—	140.0	200.0	

주). 환산코어길이 = 코어길이 - [채취장소 상태(마감재 등 여부)] - (표면측커팅 + 내측커팅)

② 압축강도시험

【표 3.60】 콘크리트 압축강도시험 현황

구 분	S2 교량상면	S17 교량상면	교대(A1) 전면벽체	교각(P16) 기둥부 배면
코어 공시체 현황				
압축 파괴 시험 현황				

【표 3.60】 콘크리트 압축강도시험 결과표

시 료 구 분	압축강도(MPa)				비 고
	결과값	추정기준강도	분석(%)	시험방법	
S2 교량상면	23.4	24.0	97.50	KS F 2422	- 분석·평가 기준강도 : 24.0MPa(추정값)
S17 교량상면	23.0	24.0	95.83		
교대(A1) 전면벽체	23.2	24.0	96.67		
교각(P16) 기둥부 배면	22.9	24.0	95.42		

주) 1. 분석(%) = (결과값 / 추정기준강도) × 100

2. 「시험성적서」는 부록에 별도 수록

본 연인교의 코어시료에 의한 압축강도시험 결과 강도는 22.9~23.4(MPa) 분포로 측정되었으며, 콘크리트 구체의 강도는 추정기준강도(24.0MPa)의 95.42~97.50(%) 강도비를 나타내고 있는 것으로 분석되었다.

③ 시료 채취부 마감현황

【표 3.61】 시료 채취부 마감상태

구 분	S2 교량상면	S17 교량상면	교대(A1) 전면	P16 기둥부 배면
시료 채취부 마감 현황				

3) 보정계수(C_t) 산정과 비파괴강도 결정

【표 3.62】 보정계수(C_t) 산정

시 험 위 치	보정 코어 강도(MPa)	산정구분	반발경도법(MPa)		초음파법(MPa)	
			일본재료 학회식	일본건축 학회식	일본재료 학회식	일본건축 학회식
S2 교량상면	23.4	비파괴강도	31.4	30.3	31.7	30.7
		보정계수(C_t)	0.745	0.772	0.738	0.762
S17 교량상면	23.0	비파괴강도	32.8	30.8	32.8	32.6
		보정계수(C_t)	0.701	0.747	0.701	0.706
교대(A1) 전면벽체	23.2	비파괴강도	24.7	26.5	28.7	24.0
		보정계수(C_t)	0.939	0.875	0.808	0.967
교각(P16) 기둥부 배면	22.9	비파괴강도	25.1	26.7	32.3	31.4
		보정계수(C_t)	0.912	0.858	0.709	0.729

【표 3.63】 보정계수(C_t) 적용에 따른 비파괴강도 결정

시 험 위 치			일본건축 학회식	보정계수 (C_t)	비파괴강도	추정기준강도	강도비(%)
RC Box 구간	상부 구조	S1 우측 캔틸레버	37.3	0.967	36.1	24.0	150.3
		S9 우측 캔틸레버	29.6	0.967	28.6	24.0	119.3
		S10 우측 캔틸레버	33.2	0.967	32.1	24.0	133.8
		S11 우측 캔틸레버	32.5	0.967	31.4	24.0	130.9
		S12 우측 캔틸레버	31.1	0.967	30.1	24.0	125.3
		S13 우측 캔틸레버	32.8	0.967	31.7	24.0	132.2
		S14 우측 캔틸레버	32.8	0.967	31.7	24.0	132.2
		S16 우측 캔틸레버	32.6	0.967	31.5	24.0	131.4
		S17 우측 캔틸레버	31.4	0.967	30.4	24.0	126.5
		S18 우측 캔틸레버	32.3	0.967	31.2	24.0	130.1
		S19 우측 캔틸레버	32.0	0.967	30.9	24.0	128.9
	하부 구조	A1 교대 전면	24.0	0.967	23.2	24.0	96.7
		A2 교대 홍벽	25.9	0.967	25.0	24.0	104.4
		P8 기둥부 측면	25.0	0.967	24.2	24.0	100.7
		P9 코핑부 배면	22.9	0.967	22.1	24.0	92.3
		P11 코핑부 전면	23.9	0.967	23.1	24.0	96.3
		P14 기둥부 측면	26.0	0.967	25.1	24.0	104.8
		P16 코핑부 측면	26.8	0.967	25.9	24.0	108.0
SPG 구간	상부 구조	S2 우측 캔틸레버	30.1	0.967	29.1	24.0	121.3
		S3 우측 캔틸레버	27.3	0.967	26.4	24.0	110.0
		S4 우측 캔틸레버	28.9	0.967	27.9	24.0	116.4
		S5 바닥판하면	28.4	0.967	27.5	24.0	114.4
		S6 우측 캔틸레버	28.4	0.967	27.5	24.0	114.4
		S7 우측 캔틸레버	29.4	0.967	28.4	24.0	118.5
	하부 구조	P1 기둥부 배면	23.4	0.967	22.6	24.0	94.3
		P2 기둥부 측면	22.5	0.967	21.8	24.0	90.7
		P3 코핑부 배면	24.8	0.967	24.0	24.0	99.9
		P4 기둥부 배면	23.5	0.967	22.7	24.0	94.7
		P5 코핑부 배면	23.1	0.967	22.3	24.0	93.1
		P6 코핑부 배면	23.7	0.967	22.9	24.0	95.5
분석내용		○ 보정계수(C_t) 적용에 따른 비파괴강도는 추정기준강도의 90.7~150.3%(평균 113.58%)로 평가되었으며, 본 연인교는 콘크리트 강도에 대한 건전성을 확보하고 있는 것으로 분석됨					

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

라. 철근탐사시험 결과 및 분석

【표 3.64】 철근탐사시험 결과표

구 분				측정값(mm)		비고
				배근간격	피복두께	
RC Box 거더 구간	상부 구조	S1 우측 캔틸레버	주철근	243.0	25.0	
			배력철근	207.0	38.0	
		S9 우측 캔틸레버	주철근	210.0	46.0	
			배력철근	293.0	28.0	
		S10 우측 캔틸레버	주철근	301.0	38.0	
			배력철근	328.0	47.0	
		S11 우측 캔틸레버	주철근	283.0	55.0	
			배력철근	403.0	95.0	
		S12 우측 캔틸레버	주철근	292.0	57.0	
			배력철근	445.0	85.0	
		S13 우측 캔틸레버	주철근	270.0	58.0	
			배력철근	368.0	94.0	
		S14 우측 캔틸레버	주철근	280.0	34.0	
			배력철근	300.0	62.0	
		S16 우측 캔틸레버	주철근	225.0	81.0	
			배력철근	254.0	51.0	
		S17 우측 캔틸레버	주철근	294.0	44.0	
			배력철근	244.0	71.0	
		S18 우측 캔틸레버	주철근	275.0	70.0	
			배력철근	410.0	99.0	
		S19 우측 캔틸레버	주철근	294.0	61.0	
			배력철근	244.0	76.0	
	하부 구조	A1 교대 전면	수직철근	274.0	28.0	
			수평철근	—	37.0	
		A2 교대 홍벽	수직철근	305.0	44.0	
			수평철근	395.0	63.0	
		P8 기둥부 측면	수직철근	226.0	106.0	
			수평철근	264.0	122.0	
		P9 코핑부 배면	수직철근	300.0	71.0	
			수평철근	370.0	105.0	
		P11 코핑부 전면	수직철근	187.0	94.0	
			수평철근	197.0	113.0	
		P14 기둥부 측면	수직철근	169.0	145.0	
			수평철근	305.0	139.0	
		P16 코핑부 측면	수직철근	186.0	88.0	
			수평철근	199.0	113.0	

【표 3.64】 철근탐사시험 결과표(계속)

구 분				측정값(mm)		비고
				배근간격	피복두께	
SPG	상부 구조	S2 우측 캔틸레버	주철근	300.0	30.0	
			배력철근	137.0	25.0	
		S3 우측 캔틸레버	주철근	270.0	85.0	
			배력철근	335.0	89.0	
		S4 우측 캔틸레버	주철근	255.0	76.0	
			배력철근	358.0	81.0	
		S5 바닥판하면	주철근	254.0	55.0	
			배력철근	325.0	72.0	
		S6 우측 캔틸레버	주철근	276.0	58.0	
			배력철근	360.0	96.0	
		S7 우측 캔틸레버	주철근	248.0	43.0	
			배력철근	353.0	65.0	
	하부 구조	P1 기둥부 배면	수직철근	183.0	57.0	
			수평철근	251.0	36.0	
		P2 기둥부 배면	수직철근	155.0	52.0	
			수평철근	235.0	16.0	
		P3 코핑부 배면	수직철근	264.0	63.0	
			수평철근	239.0	99.0	
		P4 기둥부 배면	수직철근	218.0	55.0	
			수평철근	226.0	56.0	
		P5 코핑부 배면	수직철근	193.0	104.0	
			수평철근	197.0	91.0	
		P6 코핑부 배면	수직철근	198.0	116.0	
			수평철근	195.0	108.0	

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

1) 철근탐사시험 결과 분석

본 연인교에 대한 부재별 철근탐사시험 결과 설계도면의 부재로 설계값과의 비교·분석은 할 수 없었으나 배근간격은 전반적으로 양호하게 분포되어 있는 것으로 사료되며, 피복두께 또한 『콘크리트구조기준(국토해양부, 한국콘크리트학회, 2012)』의 「제5장 철근상세, 제3절 철근배치」편 콘크리트 최소 피복두께에 대한 허용오차를 기준으로 분석한 결과 전반적으로 양호한 피복두께를 보이고 있는 것으로 조사되었다.

【표 3.65】 콘크리트 최소 피복두께에 대한 허용오차

유효깊이	허용범위	콘크리트 최소 피복두께 ^{주)}
$d \leq 200\text{mm}$	$\pm 10 \text{ mm}$	-10 mm
$d > 200\text{mm}$	$\pm 13 \text{ mm}$	-13 mm

주). 다만, 하단 거푸집까지의 순거리에 대한 허용오차는 -7mm이다. 또한 모든 경우의 피복두께 허용오차는 도면 또는 구조기준에서 요구하는 최소 피복두께의 -1/3을 초과하지 않아야 한다.

마. 탄산화깊이측정시험 결과 및 분석

【표 3.66】 탄산화깊이측정시험 결과표

구 분			탄산화깊이 (mm)	피복두께 (mm)	잔여깊이 (mm)	탄산화 철근도달 시간(년)	평가
RC Box 거더	상부 구조	S1 우측 캔틸레버	4.0	25.0	21.0	1,941	b
		S9 우측 캔틸레버	4.0	28.0	24.0	2,448	b
		S10 우측 캔틸레버	6.0	31.0	25.0	1,310	b
		S11 우측 캔틸레버	1.0	33.0	32.0	55,488	a
		S12 우측 캔틸레버	1.0	54.0	53.0	148,665	a
		S13 우측 캔틸레버	1.0	54.0	53.0	148,665	a
		S14 우측 캔틸레버	1.0	33.0	32.0	55,488	a
		S16 우측 캔틸레버	2.0	50.0	48.0	31,824	a
		S17 우측 캔틸레버	1.0	41.0	40.0	85,680	a
		S18 우측 캔틸레버	1.0	68.0	67.0	235,773	a
		S19 우측 캔틸레버	1.0	50.0	49.0	127,449	a
	하부 구조	A1 교대 전면	10.0	26.0	16.0	294	b
		A2 교대 홍벽	4.5	33.0	28.5	2,692	b
		P8 기둥부 측면	1.0	97.0	96.0	479,808	a
		P9 코핑부 배면	3.5	59.0	55.5	14,441	a
		P11 코핑부 전면	18.0	87.0	69.0	1,140	a
		P14 기둥부 측면	2.0	119.0	117.0	180,502	a
		P16 코핑부 측면	1.0	82.0	81.0	342,873	a
SPG 거더	상부 구조	S2 우측 캔틸레버	4.5	17.0	12.5	677	b
		S3 우측 캔틸레버	2.0	83.0	81.0	87,784	a
		S4 우측 캔틸레버	4.5	67.0	62.5	11,255	a
		S5 바닥판하면	7.2	54.0	46.8	2,818	a
		S6 우측 캔틸레버	2.0	37.0	35.0	17,404	a
		S7 우측 캔틸레버	4.2	37.0	32.8	3,907	a

【표 3.66】 탄산화깊이측정시험 결과표(계속)

구 분			탄산화깊이 (mm)	피복두께 (mm)	잔여깊이 (mm)	탄산화 철근도달 시간(년)	평가
SPG 거더	하부 구조	P1 기둥부 배면	2.0	33.0	31.0	13,834	a
		P2 기둥부 배면	5.3	16.0	10.7	414	b
		P3 코핑부 배면	9.6	62.0	52.4	2,076	a
		P4 기둥부 배면	7.5	52.0	44.5	2,401	a
		P5 코핑부 배면	11.5	82.0	70.5	2,542	a
		P6 코핑부 배면	1.0	95.0	94.0	460,224	a

주). 부재의 내구성저하 방지를 위해 탄산화시험 시의 파취부에 대한 전체 후처리를 실시하였으며, 상세 내용은 사진첩에 별도 수록함.

1) 탄산화깊이측정시험 결과 분석

본 연인교 구조물에 대한 부재별 탄산화시험 결과, 측정 전 개소에서 철근까지의 탄산화 잔여깊이는 10.7~117.0(mm, 평가 : a~b등급)로 평가되었다.

탄산화속도계수 산정에 따른 철근깊이 도달시간 분석에서는 측정 전 개소에서 양호한 것으로 분석되었으며, 본 연인교 구조물에 대한 사용기간 중 탄산화에 의한 철근부식 영향 및 그에 따른 콘크리트의 내구성 저하 영향은 없을 것으로 사료된다.

2) 이전 점검 및 진단결과와의 비교·분석 결과

이전 자료(2010년 정밀안전진단 및 2014년 정밀점검)와의 측정값 비교·분석결과 【표 3.67】에서 보는바와 같이, 측정 평균값 및 탄산화에 대한 평가등급(잔여깊이 기준) 산출결과는 전반적으로 양호하게 분석되었다.

【표 3.67】 이전 자료와의 탄산화시험 측정값 비교·분석표

구 분	탄산화깊이 측정값(mm)			비 고
	2010년 정밀안전진단	2014년 정밀점검	금회 정밀안전진단	
상부구조	6.0~8.0(a등급)	10.2~15.0(a~b등급)	1.0~7.2(a~b등급)	
하부구조	4.0~13.0(a~b등급)	8.0~15.6(a~b등급)	1.0~18.0(a~b등급)	

바. 염화물함유량시험 결과 및 분석

【표 3.68】 염화물함유량시험 결과표

구 분	시료채취 깊이	염화물 함유량(%)	염화물 함유량(kg/m ³)	평가 등급	철근피복 (mm)
		수용성 염소이온(Cl ⁻)	환산 염화물 함량		
S1 우측 캔틸레버	표면	0.004	0.100	a	25.0
	10mm	0.004	0.093	a	
	20mm	0.004	0.088	a	
S2 바닥판하면	표면	0.010	0.222	a	17.0
	10mm	0.010	0.220	a	
	20mm	0.009	0.208	a	
S6 바닥판하면	표면	0.009	0.201	a	35.0
	10mm	0.006	0.131	a	
	20mm	0.005	0.122	a	
S11 우측 캔틸레버	표면	0.005	0.155	a	33.0
	10mm	0.004	0.081	a	
	20mm	0.003	0.077	a	
A2 전면벽체	표면	0.004	0.095	a	33.0
	10mm	0.005	0.106	a	
	20mm	0.004	0.091	a	
P3 코핑부 배면	표면	0.004	0.086	a	62.0
	10mm	0.004	0.079	a	
	20mm	0.003	0.066	a	

- 주) 1. 「시험성적서」는 부록에 별도 수록함.
2. 철근피복은 해당부재의 측정 최소피복을 기준으로 함.

1) 염화물함유량시험 결과 분석

본 연인교 구조물에 대한 염화물함유량시험 결과 0.066~0.222(kg/m³, 전 염화물함유량 기준, a등급)의 값으로 측정 전 개소에서 양호한 것으로 분석되었으며, 탄산화 잔여깊이 및 철근피복 등을 고려할 때 시설물의 사용기간 중 염화물에 의한 철근부식의 영향은 없을 것으로 판단된다.

사. 균열깊이측정시험 결과 및 분석

【표 3.69】 균열깊이측정시험 결과표

시험위치		초음파속도(m/sec)		균열형상				철근피복 (mm)	평 가
		건전부	균열부	방향성	형태	폭(mm)	깊이(mm)		
연 인 교	S1 바닥판하면	35.4	35.8	횡방향	균열	0.2	15.1	25.0	양호
	S1 바닥판하면	36.2	36.7	횡방향	균열	0.2	16.7	25.0	양호
	P15 기둥부 배면 (가로보)	35.7	39.6	수평 방향	균열	0.3	48.0	119.0	양호
측정결과 분석		○ 조사된 균열 폭(cw) 0.2mm이상 균열 중 책임기술자의 판단에 의해 상기 3개소를 선정하고 초음파법에 의한 균열깊이를 측정한 결과, 계산된 균열 깊이는 15.1~48.0mm이며 측정 전 개소에서 철근피복두께 이하로 분석됨. ○ 『콘크리트구조기준(국토해양부, 2012)』에서 정한 허용균열폭(부식성환경, $0.004 t_c$) 기준에도 만족함.							

주) 1. 철근 피복두께는 해당부재의 실측 최소값을 적용함.

아. 철근부식도시험 결과 및 분석

【표 3.70】 철근부식도시험 결과표

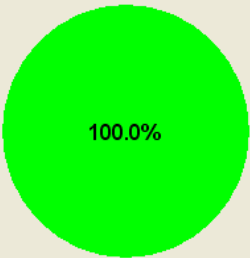
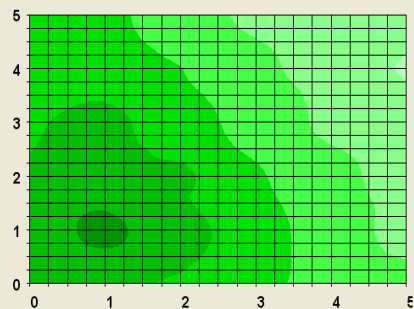
< 철근부식 및 자연전위 측정 >

1) 일반사항					
① 시설물명 : 연인교					
② 시험위치 : S11 우측 캔틸레버					
2) 측정결과					
자연전위 최소값 <u>-190.0 mV</u>					
	20cm	40cm	60cm	80cm	100cm
20cm	-190.0	-174.0	-163.0	-143.0	-131.0
40cm	-165.0	-159.0	-138.0	-126.0	-108.0
60cm	-142.0	-127.0	-115.0	-102.0	-91.0
80cm	-108.0	-104.0	-94.0	-86.0	-75.0
100cm	-89.0	-81.0	-75.0	-69.0	-51.0

【표 3.70】 철근부식도시험 결과표(계속)

< 철근부식 및 자연전위 측정 >

3) 결과 분석

구 분	그 래 프	
S11 우측 캔틸레버	ASTM C 876 에 의한 전위분포  100.0% 0 mV 이상 0 ~ -200 -200 ~ -350 -350 ~ -500 -500 이하	전위차에 의한 콘크리트 철근 부식 contour map 
	위치구분 : 전위분포도	구분 : 철근부식부
	측정값(최대~최소) : -51.0 ~ -190.0mV	
평가·분석	○ 평가등급 : II / 10% 이하의 확률로 부식 발생, $(-100) 0 \geq E > -200$ ○ 부식발생 확률은 전반적으로 낮게 분석되었으며, 외관조사 시 조사된 「철근노출」 손상부는 단면보수(철근방청)가 필요한 것으로 판단됨.	

3.3.4 강재시험

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

본 연인교는 Steel Plate Girder(S2~S7)와 RC BOX Girder(S1, S8~S19)가 구간별로 시공되어 있으며, 「3.1.2 외관조사 결과 및 분석」에서 언급한 바와 같이 강재거더는 「리벳 접합방식」의 Steel Plate Girder 형식으로 용접부 결함탐사는 실시할 수 없었다.

이에 강재거더 구간 내구성평가 기초자료 확보를 위해서 강재 부식과 그에 따른 부재 단면 감소의 주요 원인인 도장상태를 검토하고자 「강재도막두께측정시험」을 실시하였고, 부식손상부의 부재 단면감소를 검토를 위해 「초음파강재두께측정시험」을 실시하여 건전부와 비교·평가를 실시하였다.

가. 강재도막두께측정시험 결과 및 분석

1) 시험 개요

강교의 도장은 강재표면에 부착된 녹 기름, 슬래그(Slag), 오물 등을 완전히 제거하여 강재와 도막의 분리현상을 방지하는 전처리 작업과 도장작업으로 분류할 수 있으며, 도막두께측정은 전자식 또는 영구자석을 이용하여 피검체(자성체)에 도포된 도막의 두께를 측정하는 방법으로 페인트 도막 및 기타 코팅에 적용된다.

도막두께측정에 사용된 장비와 측정현황은 다음과 같다.

【표 3.71】 강재도막두께측정 장비 및 시험 현황

	
○ 사용 장비 - Elcometer / 영국 - 측정범위 : 0.0 ~ 1,500.0(μm)	도막두께측정 현황

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

2) 강재도막두께측정시험 결과 및 분석

【표 3.72】 강재도막두께측정 결과 및 분석

시 험 위 치		측 정 값 (μm)						평균 (μm)	비고
		1회	2회	3회	4회	5회	6회		
강 재 거 더	S2 G3 북부플랜지	288.0	279.0	299.0	267.0	288.0	275.0	282.7	
	S2 G3 하부플랜지	321.0	354.0	327.0	366.0	318.0	334.0	336.7	
	S3 G2 북부플랜지	256.0	272.0	264.0	284.0	271.0	291.0	273.0	
	S4 G3 북부플랜지	264.0	263.0	298.0	277.0	277.0	271.0	275.0	
	S5 G2 하부플랜지	361.0	314.0	310.0	302.0	394.0	337.0	336.3	
	S6 G3 북부플랜지	283.0	277.0	281.0	287.0	259.0	283.0	278.3	
	S7 G2 하부플랜지	327.0	301.0	381.0	384.0	330.0	328.0	341.8	
결 과 분 석		○ Steel Plate Girder에 대한 도막두께 측정결과 256.0~394.0μm 사이의 값으로 측정되었으며, 현 『도로교표준시방서(국토해양부, 2013)』의 도막방식 최소값 기준(외부 215.0μm)을 만족하고 있는 것으로 분석되었다.							

나. 초음파강재두께측정시험 결과 및 분석

1) 시험 개요

강재의 두께를 측정하는 방법으로는 기계적 접촉에 의한 방법과 전기적 방법, 공기 Micrometer식, 광선이나 굴절률에 의한 방법 등 여러 가지 측정방법이 있으나, 본 과업에서는 측정기를 피검사체에 접촉시켜 초음파를 통해 강재 두께를 측정하는 「투과형(A1207, 스틱(철, 비철 겸용)」과 버니어캘리퍼스를 사용하여 측정하였다.

① 측정 시 정확도 유지를 위한 조건

- 센서의 정밀도
- 피검사체의 재질 균일성
- 피검사체의 모양 : 평면 형태를 유지할 것(센서의 표면밀착 필요)
- 피검사체의 불순물 함량상태 및 소재의 차이도

강재두께 측정에 사용된 장비와 측정현황은 다음과 같다.

【표 3.73】 강재두께측정 장비 및 시험 현황

	
○ 사용 장비 - A1207(투과형) / 러시아 - 측정범위 : 0.8 ~ 35.0(mm)	강재두께측정 현황

1) 강재두께측정시험 결과 및 분석

【표 3.74】 강재두께측정 결과

구 분		측 정 값(mm)						평균값 (mm)	비고
		1회	2회	3회	4회	5회	6회		
강 재 거 더	S2 G3 하부플랜지	11.1	10.8	10.6	10.8	10.9	10.6	10.80	
	S2 G3 수직보강재	11.0	10.6	10.8	10.6	10.6	10.6	10.70	
	S3 G2 복부판	10.8	10.5	11.2	10.8	10.5	10.7	10.75	
	S4 G3 복부판	11.0	11.1	11.1	11.0	11.1	11.0	11.05	
	S5 G2 하부플랜지	10.7	11.0	10.5	10.7	10.5	10.8	10.70	
	S6 G3 복부판	10.5	10.8	10.6	11.1	11.2	11.1	10.88	
	S7 G2 하부플랜지	10.8	10.9	11.2	10.9	11.1	11.0	10.98	

【표 3.75】 부식손상부 및 건전부 두께측정 비교표

구 분	측 정 값(mm)								평균강재 두께(mm)	비고
	하부플랜지				복부판					
	#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4		
부식손상부	10.6	10.7	10.7	10.6	10.5	10.7	10.7	10.6	10.64	
건전부	11.1	10.9	11.0	11.0	10.8	11.1	11.0	11.2	11.01	

본 연인교 Steel Plate Girder에 대한 강재두께측정시험 결과 하부플랜지 및 복부판, 수직 보강재의 두께는 10.70~11.05(mm, 평균값 기준) 범위로 측정되었으며, 【표 3.75】에서 보는바와 같이 부식손상부와 건전부의 평균 강재두께 차이는 최대·최소값 기준 0.30~0.50mm로 측정되었다.

준공도면이 없어 부식에 의한 정확한 부재의 단면감소율 측정은 할 수 없었으나, 금회 실시한 건전부 강재의 평균두께와 비교·분석한 결과 부식에 의한 단면감소의 영향은 경미한 것으로 사료된다.

따라서 향후 점검 및 진단 시 지속적으로 강재두께를 측정해 단면감소 변화추이를 주의 관찰하여야 하며, 측정기록 및 보수기록 유지를 통한 효과적인 유지관리가 필요한 것으로 판단된다.