제 3 장 현장조사 및 시험

3.1 개요
3.2 백운4교(부산) 외관조사
3.3 백운4교(춘천) 외관조사
3.4 콘크리트 내구성조사
3.5 강재 내구성조사
3.6 현장조사 및 시험 결과요약

제 3 장 현장조사 및 시험

3.1 개 요

3.1.1 대상구조물의 개요

가. 백운4교(부산)

○ 백운4교(부산)은 총연장 310.785m, 총폭 12.6m의 SPG형식의 교량으로서, 강원도 원주시 판부면 금대리에 위치(중앙선 Sta. 303.67km)한다. 평면선형은 R=1,500m인 곡선교이며, 종단경사는 시점(부산측)에서 종점(춘천측)으로 -2.78%의 하향경사를 이루고 있다.

○ 상부구조는 Steel Plate Girder 형식으로 4열로 배열되어 있고, 바닥판은 Deck Plate가 시공되어 있으며,, 2차 부재로 세로보, 가로보 및 브레이싱이 설치되어 있는 5경간 연속교이며, 하부구조는 벽식(중공)교각 4기와 역T형 교대 2기이며, 기초형식은 A1은 강관파일기초, 그 외 직접기초로 시공되었다. 또한 A2/배면은 라멘구간이 10.0m 시공되어 있다.

○ 백운4교(부산)는 1등교(DB-24)로써 2000년도에 준공되어 현재까지 약 16년이 경과되었으며, 최대 경간장이 60.175m인 1종 시설물이다.

나. 백운4교(춘천)

○ 백운4교(춘천)은 총연장 299.421m, 총폭 12.6m의 SPG형식의 교량으로서, 강원도 원주시 판부면 금대리에 위치(중앙선 Sta. 303.70km)한다. 평면선형은 R=1,500m인 곡선교이며, 종단경사는 시점(부산측)에서 종점(춘천측)으로 -2.78%의 하향경사를 이루고 있다.

○ 상부구조는 Steel Plate Girder 형식으로 2열로 배열되어 있고, 바닥판은 Deck Plate가 시공되어 있으며,, 2차 부재로 세로보, 가로보 및 브레이싱이 설치되어 있는 5경간 연속교이며, 하부구조는 벽식(중공)교각 4기와 역T형 교대 2기이며, 기초형식은 A1은 강관파일기초, 그 외 직접기초로 시공되었다.

○ 교각(P2, P3) 코핑 상부는 2009년 내진성능평가 결과에 따라 전단키가 설치되어 있다.

○ 백운4교(춘천)는 1등교(DB-24)로써 1995년도에 준공되어 현재까지 약 21년이 경과되었으며, 최대 경간장이 59.821m인 1종 시설물이다.

3.1.2 현장조사 개요

진단대상 교량의 외관조사는 손상현황 및 결함의 상태를 파악하여 시설물의 건전성을 저해시키는 위험요인을 사전에 발견하여 보다 적절한 보수대책 수립을 위한 기본자료를 얻기 위함이며, 현장조사는 도보조사, 점검통로, 점검차량 등 접근장비를 이용하여 대상 부위에 가능

한 근접하여 조사를 실시하였다.

현장조사는 정밀 육안관찰을 기본으로 하여 실시하였으며, 필요한 경우 균열게이지, 균열확대경, 줄자 등을 이용하고 카메라, 야장을 이용하여 손상위치 및 현황을 파악하였다.

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

외관조사시 손상 또는 결함의 정도는 육안이나 간단한 도구에 의하여 실시하였는바, 조사자의 주관적인 판단에 의해 발생되는 차이를 최소화하기 위하여『시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 실시 등에 관한 지침(국토교통부고시 제2015-467호)』,『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 해설서(2012.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』를 기준으로 평가하였으며, 구조물에 발생된 손상의 정도는 a~d 4단계, a~e 5단계로 분류하여 적용하였고, 점검항목의 체계화를 위하여 구조물 항목별로 평가를 실시하였다.

3.1.3 현장조사 진행방향

【표 3.1】 현장조사 진행방향

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

【표 3.2】 현장조사 기간

구 분	일 시	조사내용	수행자
예비조사	2016. 06. 27. ~ 06. 28.	현장답사, 구조물 현황조사	안과헌 외 14명
1차 현장조사	2016. 07. 07. ~ 08. 19.	외관조사, 비파괴시험	
2차 현장조사	2016. 09. 28. ~ 09. 29.	외관조사(받침장치, 신축이음 등)	

3.1.4 교량 점검 및 접근방법

백운4교는 치악4터널과 금대1터널 간의 골짜기를 연결하는 교량으로 외관조사는 교량 상부 및 교대는 도보를 이용하여 실시하였고, 거더, 바닥판 하면, 교각 코핑부/기둥부, 받침장치 등 접근이 난이한 부재는 교량점검차, 고소점검차, 망원경 및 점검통로를 이용하였다.

도보를 이용한 외관조사

교량점검차를 이용한 외관조사

고소점검차 및 디스코프(망원경)를 이용한 외관조사

【사진 3.1】 외관조사 전경

3.1.5 일반적 부재별, 손상별 발생원인 및 조사방향

【표 3.3】 일반적 부재별, 손상별 발생원인 및 조사방향

손상내용		발생원인	조사방향
교면포장	신축이음 후타재 균열, 파손 등	▪ 중차량 통과 ▪ 노후화 및 시공불량	▪ 발생위치 및 규모
바닥판 하면	횡방향 균열	▪ 건조수축에 의한 균열	▪ 균열폭, 방향 및 연속성 ▪ 균열부 누수, 백태 유무
	망상균열	▪ 건조수축에 의한 균열	▪ 균열폭, 방향 및 연속성 ▪ 균열부 누수, 백태 유무
	누수, 백태	▪ 교량상면 균열	▪ 구체를 통한 누수 여부
교대, 교각	균열	▪ 건조수축에 의한 균열 ▪ 수화열에 의한 균열 ▪ 시공이음부 균열	▪ 균열폭, 방향 및 연속성 ▪ 균열의 시・종점
철근 비노출 손상 (재료분리, 박리, 박락, 들뜸 등)		▪ 다짐불량 ▪ 인위적인 손상 ▪ 탄산화로 인한 내부철근 부식	▪ 발생 규모 및 위치 ▪ 청음조사
철근 노출 손상 (재료분리, 파손, 박락 등)		▪ 피복두께 부족 ▪ 내부철근 부식으로 인한 피복 박리 ▪ 인위적인 큰 단면 손상	▪ 발생 규모 및 위치 ▪ 청음조사 ▪ 부식으로 인한 철근단면 감소 여부
Steel Plate Girder 및 2차 부재	강재본체	▪ 기 변형된 부재 사용 ▪ 인위적인 절단, 충격(하중)	▪ 발생위치 및 규모 ▪ 2차적인 손상발생 유무
	용접부	▪ 피로균열, 받침 지지상태 불량 ▪ 시공시 누락 ▪ 용접전류, 용접속도 불량 ▪ 미숙련자의 용접	▪ 발생위치 및 규모 ▪ 2차적인 손상발생 유무
	연결볼트	▪ 연결부 제작오차로 인한 단차 발생 ▪ 볼트 구멍 어긋남(불일치)	▪ 발생위치 및 규모 ▪ 2차적인 손상발생 유무
	부식 및 도장박리	▪ 오랜 공용기간으로 인한 도장 열화 ▪ 도막두께 부족 ▪ 신축이음부 누수 및 빗물 유입	▪ 발생위치 및 규모 ▪ 2차적인 손상발생 유무
교량받침	가동 여유량 부족 및 밀착 발생 등	▪ 온도변화를 정확히 미고려함 ▪ 시공오차에 따른 가동 여유량 부족	▪ 현 가동여유량 조사 ▪ 발생 위치 및 개소 ▪ 2차 손상 발생 유무
	연단부 및 받침 콘크리트 파손	▪ 받침장치 가동불량에 따른 전단파괴	▪ 교각 연단부 균열발생 여부 및 받침부 강재 변형여부 관찰
	고정앵커 볼트 미조임, 길이부족 설치불량 등	▪ 볼트 나사선 청소불량 ▪ 앵커 볼트 편심 시공 ▪ 제작오차로 인한 조임시 하답과 밀착	▪ 발생 위치 및 개소 ▪ 2차 손상 발생 유무
	녹 및 부식	▪ 오랜 공용기간으로 인한 도장 열화 ▪ 신축이음부 누수	▪ 발생 위치 및 개소
	무수축 몰탈 균열 및 들뜸	▪ 시공불량 ▪ 건조수축에 의한 균열	▪ 발생 규모 및 위치 ▪ 청음조사

3.1.6 부재제원 확인

백운4교의 부재제원 확인을 위해 줄자 및 디스토(거리측정기)를 이용하여 각각의 부재별로 실측을 실시하고 이를 준공도와 비교·검토하여 주요 부재의 규격을 확인하였다.

줄자 및 디스토(거리측정기)를 이용한 부재제원 확인

【표 3.4】 부재제원 확인

구 분				부재제원	실측결과	비 고
백운4교 (부산)	상부구조	바닥판 B		12.600 m	12.604 m	일치함
		거더	높이 H	3.000 m	3.000 m	일치함
			간격 B	3.600 m	3.598 m	일치함
	하부구조	교 대 (A1/구체)	폭 B	12.600 m	12.600 m	일치함
			상면 L	1.600 m	1.600 m	일치함
		교 각 (P2/코핑)	폭 B	12.800 m	12.800 m	일치함
			상면 L	3.600 m	3.600 m	일치함
	기타	방호벽	높이 H	1.080 m	1.100 m	유사함
			폭 B	0.450 m	0.450 m	일치함
백운4교 (춘천)	상부구조	바닥판 B		13.710 m	13.708 m	일치함
		거더	높이 H	4.000 m	4.000 m	일치함
			간격 B	11.700 m	11.698 m	일치함
	하부구조	교 대 (A1/구체)	폭 B	13.710 m	13.713 m	일치함
			상면 L	1.600 m	1.600 m	일치함
		교 각 (P1/코핑)	폭 B	14.000 m	14.000 m	일치함
			상면 L	3.600 m	3.600 m	일치함
	기타	방호벽	높이 H	0.900 m	1.080 m	단면증설
			폭 B	0.375 m	0.450 m	
측정 결과	▪ 부재 제원의 실측결과, 전반적으로 준공도상의 제원과 일치하였으나 춘천방향의 방호벽은 설계도면의 제원과 실측 제원이 상이한 상태로 공용중 단면증설이 된 것으로 판단되며, 구조계산 시 실측치를 적용토록 한다.					

3.2 백운4교(부산) 외관조사

3.2.1 상부구조

가. 바닥판

상부의 교통하중을 직접 지지하며, 상부하중을 거더로 전달해 주는 바닥판은 거더와 거더 사이의 내측 바닥판과 캔틸레버 구조인 외측바닥판으로 구분되며, 내측 바닥판은 Deck Plate가 설치되어 있다. 현장조사는 고소점검차를 이용한 근접조사를 실시하였으며, 바닥판하면에서 발생되는 균열, 백태, 누수 및 데크플레이트 부식 등의 손상여부를 중점적으로 조사하였다.

내측 바닥판 전경	**외측 바닥판(캔틸레버) 전경**

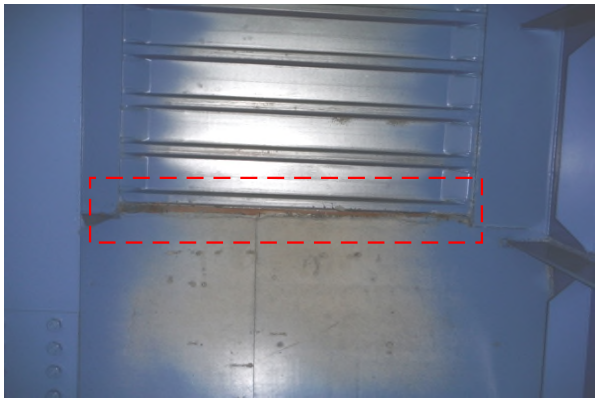
1) 외관조사 결과

바닥판 하면에서 발생된 주요 결함은 균열, 백태, 들뜸, 녹물, 거푸집 미제거 및 잡철근노출의 결함이 경미한 규모로 조사되었으며, 내측 바닥판에 설치된 Deck Plate는 부식이 없는 양호한 상태로 조사되었다. 손상현황은 【표 3.5】과 같다.

【표 3.5】바닥판의 손상현황(부산)

구분	균열 및 백태 폭0.3㎜미만 (m/EA)	들뜸, 백태 및 녹물 (㎡/EA)	거푸집 미제거 (㎡/EA)	잡철근노출 (㎡/EA)
S1	-	-	-	0.03 / 1
S2	-	-	-	-
S3	-	-	-	-
S4	-	-	-	0.03 / 1
S5	0.20 / 1	0.80 / 2	0.45 / 3	-
합계	**0.20 / 1**	**0.80 / 2**	**0.45 / 3**	**0.06 / 2**

2) 손상별 현황

현 황	◦ S5-A2지점 좌측 캔틸레버 백태균열(Cw=0.2㎜, L=0.2m)	현 황	◦ S5-A2지점 바닥판측면 들뜸, 백태 및 녹물 (A=0.70㎡)
원 인	◦ 수직보강재 응력집중 및 수분접촉	원 인	◦ 점검로 설치시 외부충격 및 우수접촉
대 책	◦ 표면처리	대 책	◦ 단면복구
			
현 황	◦ S1 우측 캔틸레버하면 잡철근노출 (A=0.03㎡)	현 황	◦ S1 우측 캔틸레버하면 거푸집 미제거 (A=0.15㎡)
원 인	◦ 시공 시 협재	원 인	◦ 시공 시 협재
대 책	◦ 제거 및 단면복구	대 책	◦ 주의관찰
현 황	◦ S1~S5 바닥판 상면 단면보수 현황(2016년)	현 황	◦ S1~S5 재포장 전 방수층 시공 현황(2016년)
평 가	◦ 바닥판 하면의 데크플레이트는 전 구간 부식이 없는 양호한 상태로 누수에 의한 결함은 발생치 않았으며, 바닥판 상면은 단면보수를 실시한 후 재포장(방수층 도포)을 실시하였다. 따라서 본 교량의 바닥판은 양호하며, 누수에 의한 영향은 없는 것으로 판단된다.		

3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

① 균열

발생된 균열은 시공초기 건조수축에 의한 비구조적 균열로 폭0.1mm이하의 미세균열이므로 보수방안보다는 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

② 균열 및 백태

균열 틈으로 수분이 접촉되어 발생된 결함으로 구조물의 안전성에 미치는 영향은 없으나 향후 손상진전이 우려되므로 표면처리 보수가 필요할 것으로 판단된다.

③ 들뜸, 백태 및 녹물

점검로 설치 시 외부충격에 의한 들뜸 및 미세균열부 수분접촉에 의한 백태가 발생하였으며, 부분적으로 녹물이 발생한 상태로 철근부식이 우려되므로 내구성 확보를 위해 단면복구가 적합할 것으로 판단된다.

④ 잡철근노출 및 거푸집 미제거

잡철근노출은 시공 시 협재된 철근이 노출되어 발생한 결함으로 구조적인 문제점은 없으나 내구성 확보를 위해 제거 및 단면복구가 적합할 것으로 판단되며, 거푸집 미제거는 시공미흡에 의한 결함으로 내구성 저하 영향은 없는 결함이므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

⑤ 데크플레이트 및 교면 방수층

데크플레이트는 바닥판 누수에 의한 부식의 결함이 없는 양호한 상태이며, 교면 방수층도 양호한 것으로 조사되어 공용기간 증가에 따른 바닥판 누수는 없는 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

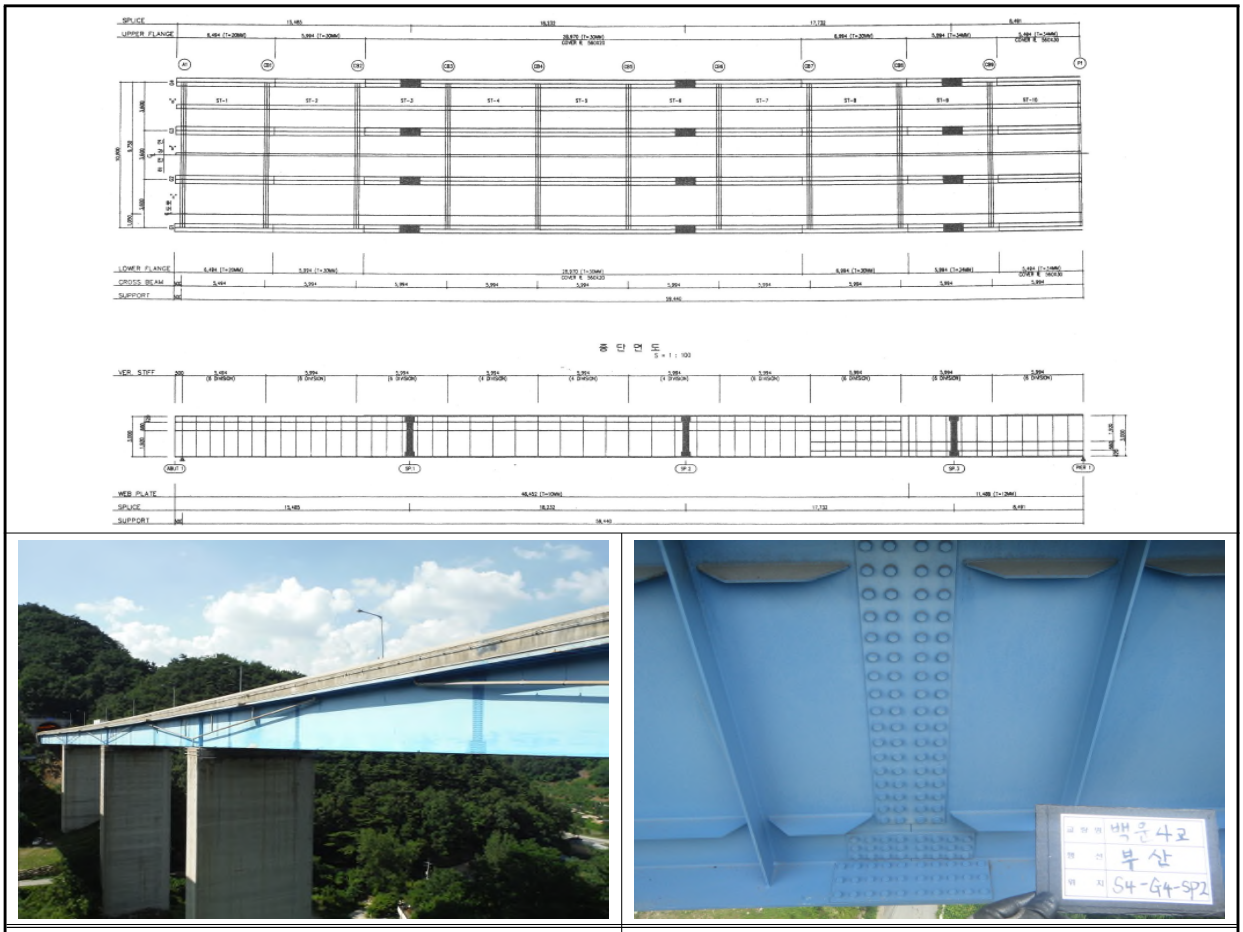
기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 균열, 균열 및 백태, 백태 및 녹물, 거푸집 미제거, 잡철근노출의 결함은 금회 진단 시 상세조사에 의한 신규손상 및 추가손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 데크플레이트는 기 진단과 동일하게 결함이 없는 양호한 상태로 공용기간 증가에 따른 누수 및 노후화는 없는 것으로 판단된다.

【표 3.6】 바닥판의 기 진단과의 비교, 검토(부산)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2011년	2016년		
균열 및 백태	m	-	0.20	+ 0.20	• 상세조사에 의한 신규손상
들뜸, 백태 및 녹물	㎡	0.70	0.80	+ 0.10	• 상세조사에 의한 추가손상
거푸집 미제거	㎡	-	0.45	+ 0.45	• 상세조사에 의한 신규손상
잡철근노출	㎡	-	0.06	+ 0.06	• 상세조사에 의한 신규손상

나. 거더

바닥판으로부터 전달되는 하중을 지지하고 교량받침을 통하여 하부구조로 하중을 전달해 주는 역할을 하는 거더는 최소단면으로 큰 강성을 갖을 수 있는 Steel Plate Girder 형식의 4열로 시공되었으며, 조사방법은 점검로 및 교량점검차를 이용한 근접조사를 실시하였다.



거더 전경	거더 현장이음부 전경

1) 외관조사 결과

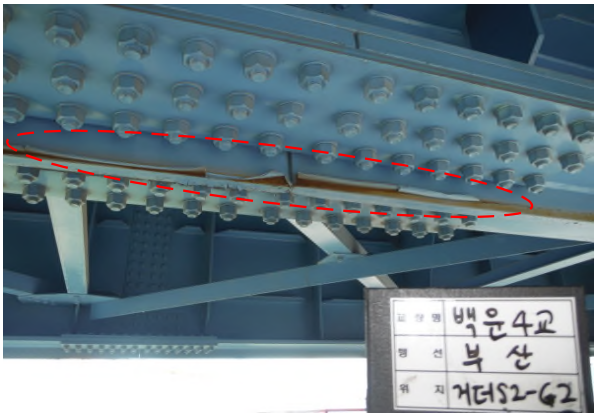
거더에 대한 현장조사 결과, 도장박리, 부식, 볼트부식 및 변형의 결함이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.7】과 같다.

【표 3.7】 거더의 손상현황(부산)

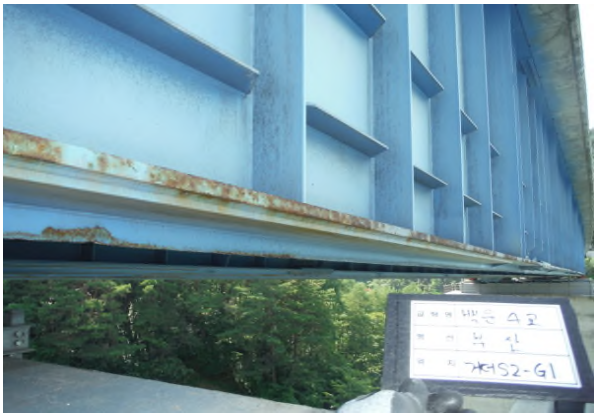
구분	도장박리 (㎡/EA)	부식 (㎡/EA)	볼트부식 (㎡/EA)	변형 (m/EA)
S1	0.07 / 3	2.67 / 19	0.60 / 1	-
S2	0.67 / 4	9.42 / 38	1.20 / 1	0.60 / 3
S3	1.16 / 3	13.46 / 35	-	-
S4	1.50 / 1	21.90 / 23	-	-
S5	1.04 / 6	22.88 / 27	-	1.00 / 1
합계	**4.44 / 17**	**70.33 / 142**	**1.80 / 2**	**1.60 / 4**

2) 손상별 현황

현 황	◦ S3-G3-LF 도장박리(A=0.15㎡)
원 인	◦ 공용장기화에 따른 도장열화
대 책	◦ 도장보수



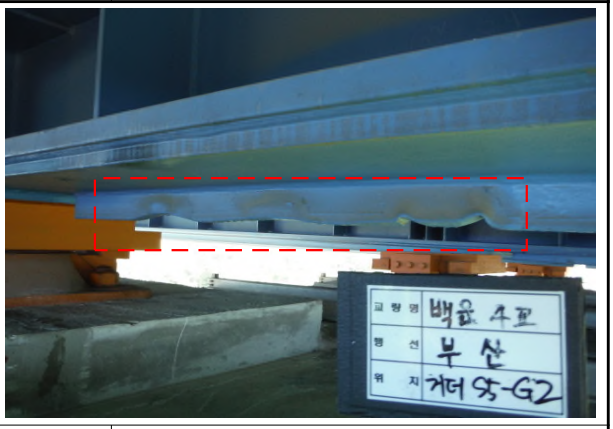
현 황	◦ S2-G2-LF 도장박리(A=0.20㎡)
원 인	◦ 공용장기화에 따른 도장열화
대 책	◦ 도장보수



현 황	◦ S2-G1-LF 부식(A=5.00㎡)
원 인	◦ 공용장기화 및 우수접촉
대 책	◦ 도장보수

현 황	◦ S5-G4-LF 부식(A=0.10㎡)
원 인	◦ 공용장기화 및 우수접촉
대 책	◦ 도장보수

현 황	◦ S1-G1-SP3 볼트부식(A=5.00㎡)
원 인	◦ 공용장기화 및 우수접촉
대 책	◦ 도장보수



현 황	◦ S5-G2-P4지점 강재 변형(L=1.0m)
원 인	◦ 설치과정에 따른 인위적 변형
대 책	◦ 주의관찰

3) 원인분석 및 대책방안

① 도장박리

거더에서 발생된 도장박리는 공용장기화에 따른 도장열화가 원인으로 판단되며, 장기적인 내구성 확보를 위해 도장보수가 필요할 것으로 판단된다.

② 부식

부식 발생 위치는 대부분 거더/하부플랜지 측면 모서리에서 발생된 결함으로 공용장기화에 따른 도장열화 및 우수접촉 등에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 부식에 따른 단면감소는 없는 것으로 조사되었다. 따라서 내구성 확보를 위한 도장보수가 적합할 것으로 판단된다.

③ 볼트부식

현장이음부는 전반적으로 양호한 상태이나 일부 볼트부식이 발생한 상태로 이는 공용장기화에 따른 도장열화 및 우수접촉에 의한 결함으로 판단되며, 도장보수가 적합할 것으로 판단된다.

④ 변형

거더에서 발생된 변형은 하부플랜지에서 발생된 결함으로 이는 거더 설치시 현장가이드 및 롤러 설치 등의 시공 시 인위적으로 발생된 결함으로 손상규모가 미소하여 구조적인 문제점은 없으므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

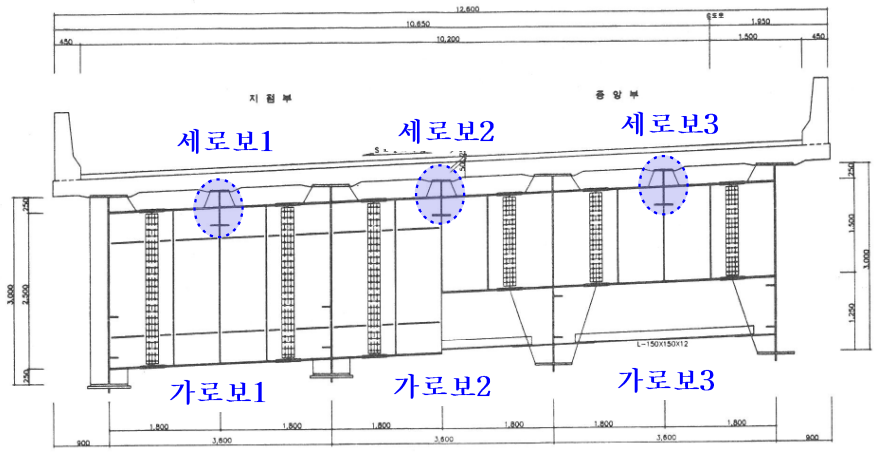
기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 도장박리, 부식, 볼트부식의 결함은 공용기간 증가에 따른 추가손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 강재변형도 상세조사에 의한 추가손상이 조사되어 손상물량이 증가된 것으로 평가되었다.

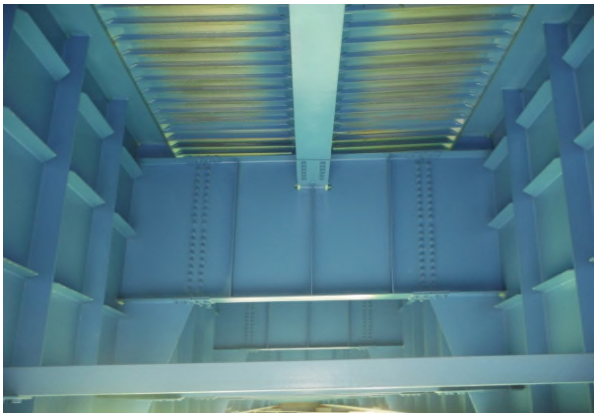
【표 3.8】 거더의 기 진단과의 비교, 검토(부산)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2011년	2016년		
도장박리	㎡	3.21	4.44	+ 1.23	• 공용중 발생된 추가손상
부식	㎡	50.36	70.33	+ 19.97	• 공용중 발생된 추가손상
볼트부식	㎡	-	1.80	+ 1.80	• 공용중 발생된 신규손상
변형	m	1.20	1.60	+ 0.40	• 상세조사에 의한 추가손상

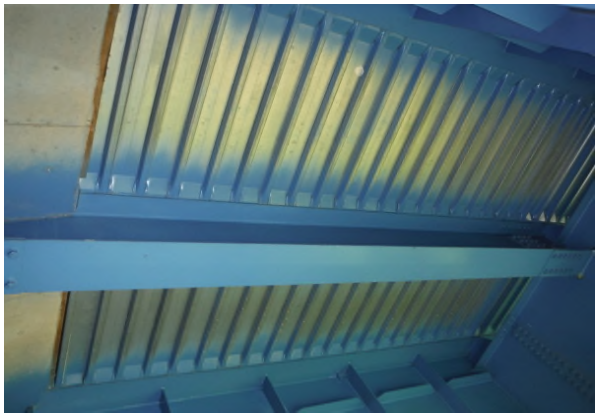
다. 가로보 및 세로보

공용기간중 거더의 횡변형을 방지해주며, 상부에 작용하는 하중을 분배시켜주는 역할을 하는 가로보 및 세로보는 강재로 시공되어 있다.





가로보 전경



세로보 전경

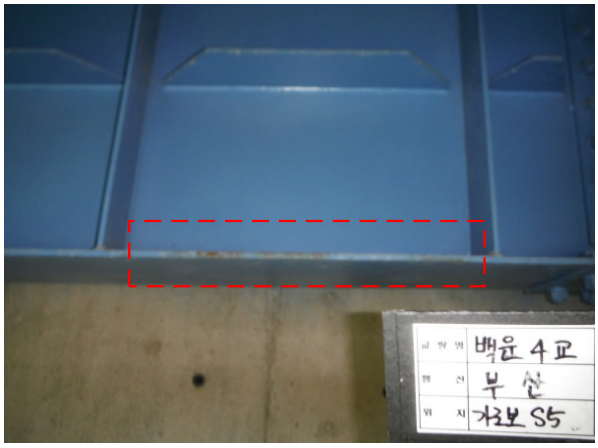
1) 현장조사 결과

현장조사 결과, 가로보에서 일부 경미한 부식이 발생하였고, 세로보는 결함이 없는 양호한 상태로 조사되었다. 손상현황은 【표 3.9】과 같다.

【표 3.9】 가로보 및 세로보의 손상현황(부산)

구분	가로보 부식(㎡/EA)	세로보
S1	-	-
S2	0.03 / 1	-
S3	-	-
S4	-	-
S5	0.10 / 2	-
합계	**0.13 / 3**	-

2) 손상별 현황

			
현 황	◦ S2-G3~G4-CB11/A2측 부식(A=0.03㎡)	**현 황**	◦ S5-G1~G2-CB51/A1측 부식(A=0.10㎡)
원 인	◦ 공용장기화에 따른 도장열화	**원 인**	◦ 공용장기화에 따른 도장열화
대 책	◦ 도장보수	**대 책**	◦ 도장보수

3) 원인분석 및 대책방안

① 볼트연결 상태

가로보 및 세로보의 볼트연결 상태는 양호하며, 강재도 변형이나 단면 결함이 없는 양호한 상태로 조사되었다.

② 부식

가로보에서 일부 부식이 조사되었으며, 이는 하부플랜지 모서리에서 공용장기화에 따른 도장열화에 의해 발생된 결함으로 손상규모는 경미하나 장기적인 내구성 확보를 위해 도장보수가 바람직할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

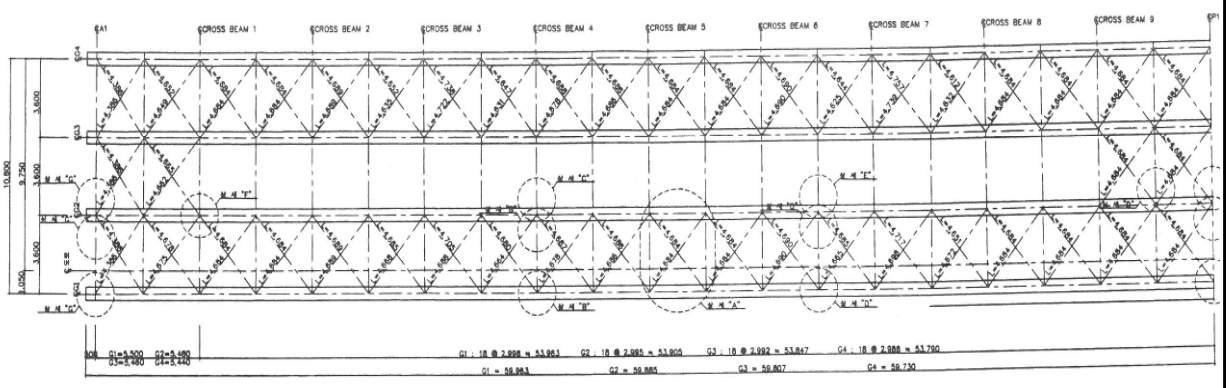
기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 가로보에서 부식이 공용기간 증가에 따른 신규 손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 세로보는 결함이 없는 양호한 상태로 공용기간 증가에 따른 노후화 및 결함은 없는 것으로 평가되었다.

【표 3.10】 가로보 및 세로보의 기 진단과의 비교, 검토(부산)

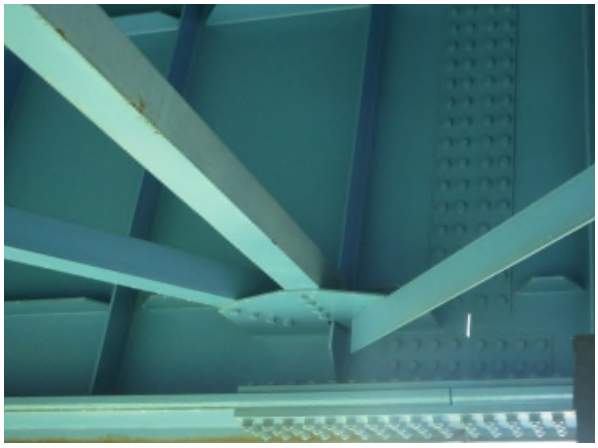
손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2011년	2016년		
부식	㎡	-	0.13	+ 0.13	● 공용중 발생된 신규손상

라. 브레이싱

가로보와 병행하여 공용기간중 거더의 횡변형을 방지시켜주는 역할을 하는 브레이싱은 L 형강으로 거더 측면에 용접이음된 연결판(Gusset)과 볼트로 연결되어 있다.



브레이싱 전경



연결판(Gusset) 전경

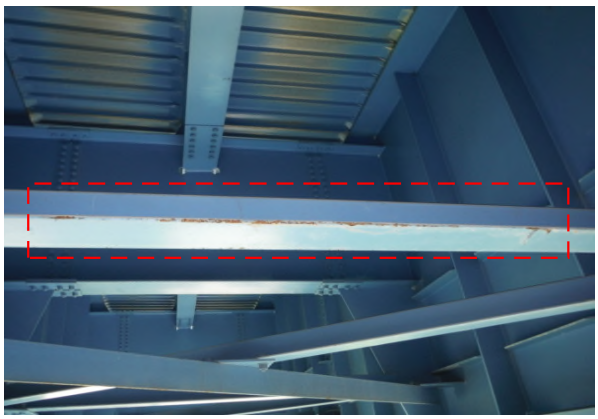
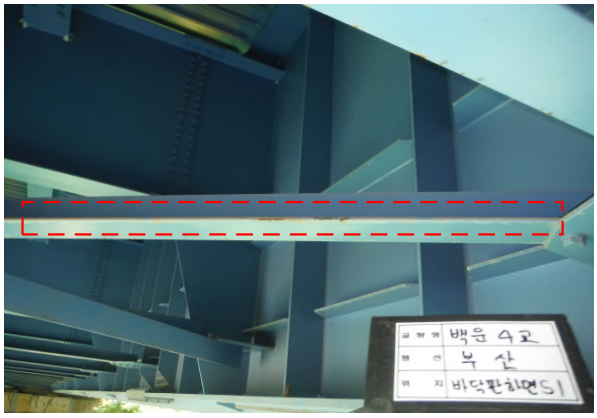
1) 현장조사 결과

현장조사 결과, 볼트연결 상태는 양호하나 국부적으로 도장박리 및 부식이 조사되었다. 손상현황은 【표 3.11】과 같다.

【표 3.11】 브레이싱의 손상현황(부산)

구분	도장박리 (㎡/EA)	부식 (㎡/EA)
S1	0.01 / 1	0.60 / 10
S2	-	0.22 / 6
S3	-	0.21 / 7
S4	-	1.34 / 14
S5	0.01 / 1	0.82 / 14
합계	**0.02 / 2**	**3.19 / 51**

2) 손상별 현황

			
현 황	◦ S5-G2~G3 도장박리(A=0.01㎡)	**현 황**	◦ S4-G1~G2 부식(A=0.20㎡)
원 인	◦ 외부 긁힘	**원 인**	◦ 공용장기화에 따른 도장열화
대 책	◦ 도장보수	**대 책**	◦ 도장보수
			
현 황	◦ S1-G2~G3 부식(A=0.03㎡)	**현 황**	◦ S5-G1-RW 연결판 상태양호
원 인	◦ 공용장기화에 따른 도장열화	**원 인**	◦ -
대 책	◦ 도장보수	**대 책**	◦ 유지관리

3) 원인분석 및 대책방안

① 도장박리

브레이싱에서 발생된 도장박리는 외부긁힘에 의한 결함으로 판단되며, 손상규모는 경미하나 장기적인 내구성 확보차원에서 도장보수가 적합할 것으로 판단된다.

② 부식

국부적으로 부식이 조사되었으며, 이는 모서리에서 공용장기화에 따른 도장열화에 의해 발생된 결함으로 장기적인 내구성 확보를 위해 도장보수가 바람직할 것으로 판단된다.

③ 연결판 상태

연결판의 볼트연결 상태는 양호하며, 거더와 연결판의 용접부도 양호한 상태로 거더의 횡변형에 의한 영향은 없는 것으로 조사되었다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 도장박리 및 부식의 결함은 공용기간 증가에 따른 추가손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 연결판은 결함이 없는 양호한 상태로 공용기간 증가에 따른 노후화 및 변형은 없는 것으로 평가되었다.

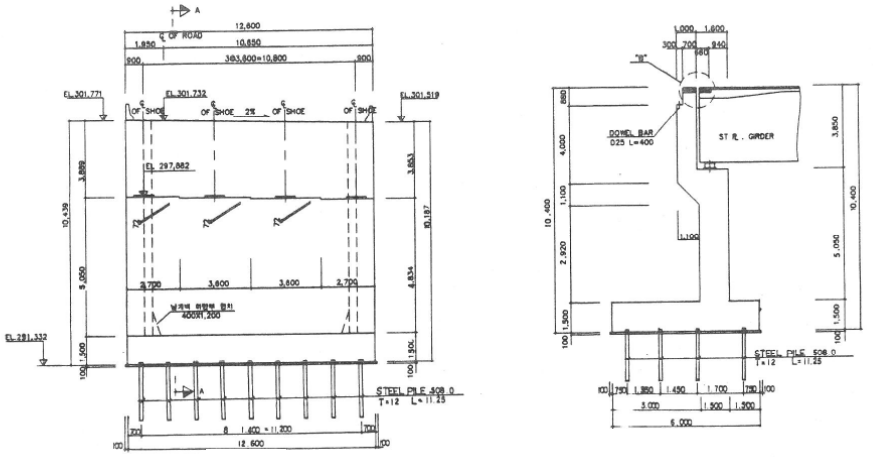
【표 3.12】 브레이싱의 기 진단과의 비교, 검토(부산)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2011년	2016년		
도장박리	㎡	0.01	0.02	+ 0.01	● 공용중 발생된 추가손상
부식	㎡	0.39	3.19	+ 2.80	● 공용중 발생된 추가손상

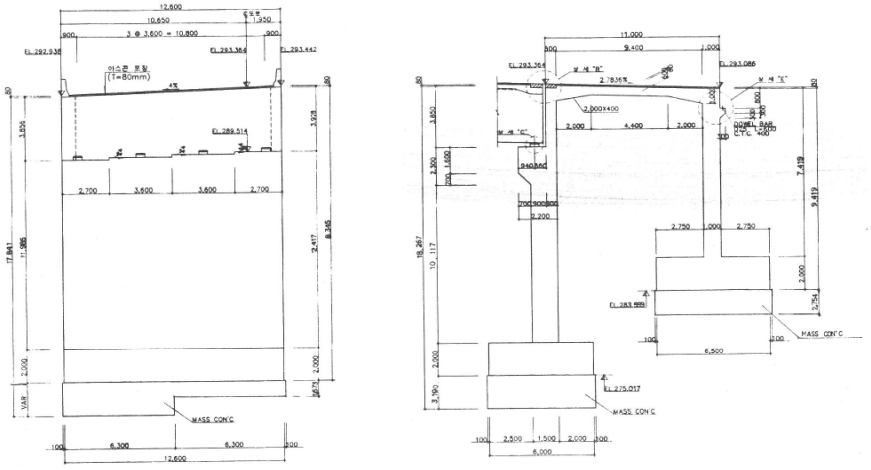
3.2.2 하부구조

가. 교대

본 교량의 교대는 A1, A2 2기로 구성되어 A1은 역T형 교대의 강관파일 기초이며, A2는 라멘형 교대의 확대기초로 시공되어 있다.



< 교대(A1) 일반도 >



< 교대(A2) 일반도 >

교대(A1) 전경	교대(A2) 전경

1) 현장조사 결과

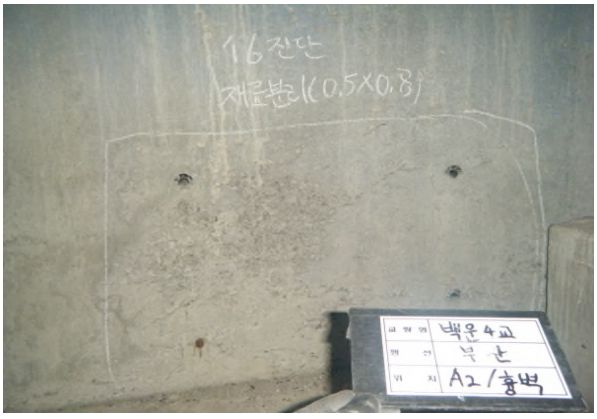
교대의 흉벽 및 구체에 대한 현장조사 결과, 건조수축에 의한 균열, 백태, 단면 손상, 재료분리, 철근노출, 잡철근노출 및 앵커볼트노출, 사면유실의 결함이 조사되었으며, 기초는 노출되지 않은 상태로 손상현황은 【표 3.13】과 같다.

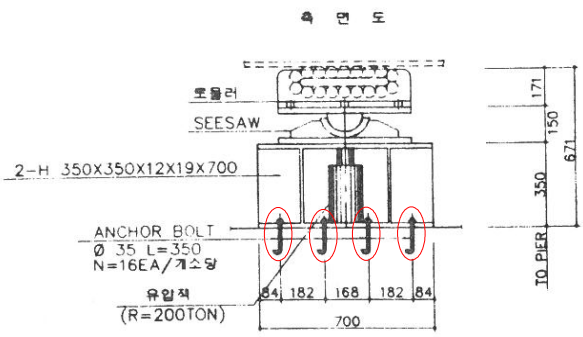
【표 3.13】교대 손상발생 현황(부산)

구분	균열				열화 및 손상
	0.3㎜미만 (m/EA)	0.3㎜미만 및 백태 (m/EA)	0.3㎜이상 및 백태 (m/EA)	균열 및 녹물 (m/EA)	들뜸, 박락, 파손 (㎡/EA)
A1	2.90 / 6	1.50 / 1	3.50 / 1	-	-
A2	12.40 / 14	1.20 / 1	-	3.00 / 1	2.52 / 14
합계	**15.30 / 20**	**2.70 / 2**	**3.50 / 1**	**3.00 / 1**	**2.52 / 14**

구분	열화 및 손상				
	재료분리 (㎡/EA)	철근노출 (㎡/EA)	잡철근노출 (㎡/EA)	앵커볼트노출 (㎡/EA)	사면유실 (㎡/EA)
A1	-	-	-	0.01 / 1	13.00 / 2
A2	0.89 / 3	0.07 / 2	0.29 / 29	0.35 / 35	0.50 / 1
합계	**0.89 / 3**	**0.07 / 2**	**0.29 / 29**	**0.36 / 36**	**13.50 / 3**

2) 손상별 현황

현 황	◦ A2/구체 균열(Cw=0.1㎜, L=1.5m)	현 황	◦ A1/흉벽 균열,백태(Cw=0.3㎜, L=3.5m)
원 인	◦ 건조수축	원 인	◦ 건조수축 및 수분접촉
대 책	◦ 주의관찰	대 책	◦ 주입보수
현 황	◦ A2/라멘 균열,녹물(Cw=0.1㎜, L=3.0m)	현 황	◦ A2/구체 파손(A=0.24㎡)
원 인	◦ 미세균열부 우수유입	원 인	◦ 시공초기 외부충격 및 시공불량
대 책	◦ 단면복구	대 책	◦ 단면복구
			
현 황	◦ A2/흉벽 재료분리(A=0.40㎡)	현 황	◦ A2/좌측면 철근노출(A=0.04㎡)
원 인	◦ 시공미흡	원 인	◦ 피복부족
대 책	◦ 주의관찰	대 책	◦ 단면복구 및 방청

			
현 황	◦ A2/교좌면 앵커볼트노출(A=0.06㎡)	**현 황**	◦ 현장가이드 및 롤러 설치 개요도
원 인	◦ 현장가이드 및 롤러 설치시 앵커 제거 후 마감불량		
대 책	◦ 주의관찰		
현 황	◦ A1/압성토 사면유실(A=8.00㎡)	**현 황**	◦ A2/좌측면 사면유실(A=0.50㎡)
원 인	◦ 거푸집 홈 마감미흡 및 배면수 유출	**원 인**	◦ 오랜 공용중 지표수에 의한 유실
대 책	◦ 거푸집 홈 마감처리(몰탈보수)	**대 책**	◦ 사면 정비

3) 원인분석 및 대책방안

① 균열

교대에서 조사된 균열의 형상 및 발생 위치 등을 검토한 결과, 건조수축에 의한 비구조적 균열로 구조적인 영향은 없으나 내구성 확보를 위해 폭 0.3㎜이상의 균열에 대해서는 주입보수를 실시하고, 폭 0.3㎜미만의 균열은 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다. A1, A2 구체의 기 손상 중 일부는 표면처리가 실시된 것으로 조사되었으며, 보수상태는 양호하다.

② 백태

백태는 미세균열부 틈새로 우수가 유입되어 수산화칼슘 융해에 의해 발생된 결함으로 내구성 확보를 위해 표면처리 보수가 필요할 것으로 판단된다.

③ 균열 및 녹물

교대(A2) 라멘 좌측면에서 발생된 결함으로 미세균열부로 우수유입에 의한 철근부식이 발생된 것으로 판단되며, 내구성 확보를 위해 단면복구가 필요할 것으로 판단된다.

④ 단면손상

교대(A2)에서 들뜸, 박락, 파손 등의 단면손상이 조사되었으며, 이는 시공초기 외부충격 및 시공미흡에 의한 결함으로 판단되며, 내구성 확보를 위해 단면복구 보수방안이 바람직

할 것으로 판단된다.

⑤ 재료분리

재료분리는 콘크리트 타설 시 다짐부족에 의해 발생된 결함으로 손상규모가 경미하여 단면력 저하 영향은 미미한 상태이므로 보수방안보다는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

⑥ 철근노출

철근노출은 피복부족에 의해 발생된 결함으로 교대(A2) 좌측면에서 조사되었으며, 내구성 확보를 위해 단면복구 및 방청 보수가 필요할 것으로 판단된다.

⑦ 잡철근 및 앵커볼트노출

잡철근 노출은 시공 시 협재된 비배근 철근 및 거푸집 결속철근이 노출된 결함으로 내구성 저하 및 단면손상이 없는 상태이며, 앵커볼트노출은 시공시 현장가이드 및 롤러의 기초에 설치된 앵커를 제거 후 마감미흡에 의해 발생된 결함으로 판단된다. 잡철근 및 앵커볼트노출부는 내구성 저하 영향이 미미한 결함이므로 보수방안보다는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

⑧ 사면유실

A1 압성토에서 일부 발생된 사면유실은 구체 거푸집 폼타이 홈을 통해 배면 지하수가 용출되어 발생된 결함으로 향후 추가 유실 방지를 위해 폼타이 홈 몰탈보수가 필요할 것으로 판단되며, A2측 라멘구간에서 발생된 사면유실은 지표수에 의한 결함으로 추가 토사유실 방지를 위해 사면 재정비가 바람직할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

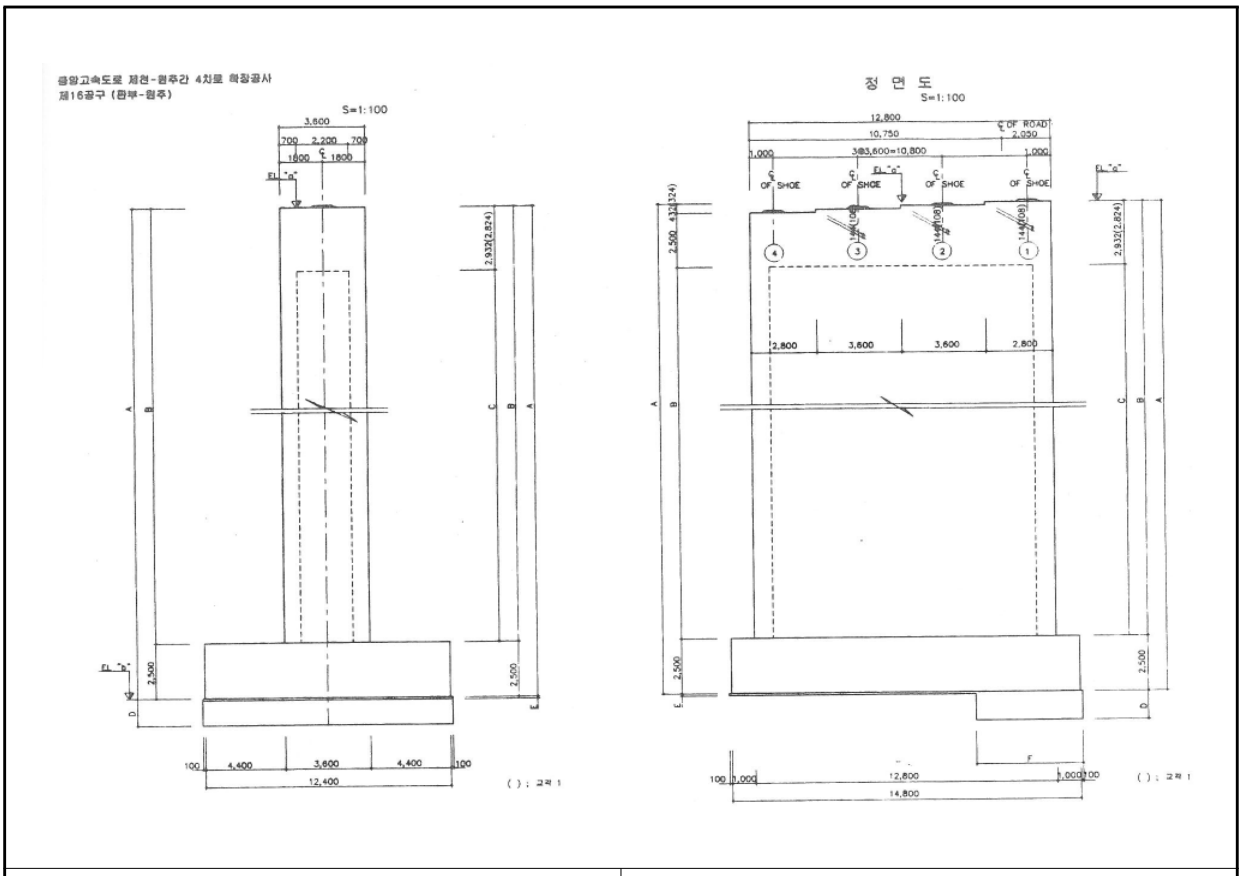
기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 균열(0.3mm미만), 백태, 균열 및 녹물, 단면손상, 재료분리, 잡철근노출, 앵커볼트노출 및 사면유실의 결함은 금회 진단 시 상세조사 및 공용기간 증가에 따른 추가(신규)손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 균열(0.3mm이상)의 결함은 공용중 보수가 완료되어 손상물량이 감소하였으며, 보수상태는 양호한 것으로 평가되었다.

【표 3.14】 교대의 기 진단과의 비교, 검토(부산)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
		2011년	2016년			
균열(0.3㎜미만)	m	14.00	15.30	+	1.30	• 상세조사에 의한 추가손상
균열(0.3㎜이상)	m	15.90	-	-	15.90	• 공용중 보수완료
균열(0.3㎜미만) 및 백태	m	-	2.70	+	2.70	• 공용중 발생된 신규손상
균열(0.3㎜이상) 및 백태	m	3.50	3.50		-	• 손상변화 없음 (동일손상)
균열 및 녹물	m	-	3.00	+	3.00	• 공용중 발생된 신규손상
들뜸, 박락, 파손	㎡	1.60	2.52	+	0.92	• 공용중 발생된 추가손상
재료분리	㎡	0.80	0.89	+	0.09	• 상세조사에 의한 추가손상
철근노출	㎡	0.05	0.07	+	0.02	• 상세조사에 의한 추가손상
잡철근노출	㎡	-	0.29	+	0.29	• 상세조사에 의한 신규손상
앵커볼트노출	㎡	-	0.36	+	0.36	• 상세조사에 의한 신규손상
사면유실	㎡	-	13.50	+	13.50	• 공용중 발생된 신규손상

나. 교각

상부구조를 지지하는 구조물인 교각은 벽식(중공)으로 되어있으며, 기초는 직접기초로 시공되어 있다. 현장조사는 도보 및 고소점검차를 이용한 근접조사를 실시하였다.



교각 전경(P1)

교각 전경(P3)

1) 현장조사 결과

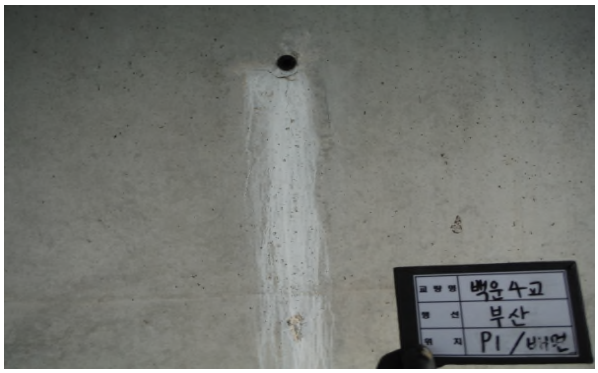
교각에 대한 현장조사 결과, 건조수축 균열, 백태, 표면불량, 보수재 박리, 재료분리, 단면손상, 잡철근노출, 앵커볼트노출의 결함이 조사되었고, 기존 손상에 대한 일부 표면처리 보수가 실시되었으며, 보수상태는 양호하다. 손상현황은 【표 3.15】과 같다.

【표 3.15】 교각 손상발생 현황(부산)

구분	균열(0.3㎜미만) (m/EA)	백태 (㎡/EA)	표면불량 (㎡/EA)	보수재 박리 (㎡/EA)
P1	0.40 / 3	0.24 / 1	0.34 / 3	0.38 / 2
P2	9.40 / 20	-	4.82 / 2	-
P3	4.50 / 10	-	0.32 / 1	-
P4	12.80 / 25	-	-	0.08 / 3
합계	**27.10 / 58**	**0.24 / 1**	**5.48 / 6**	**0.46 / 5**

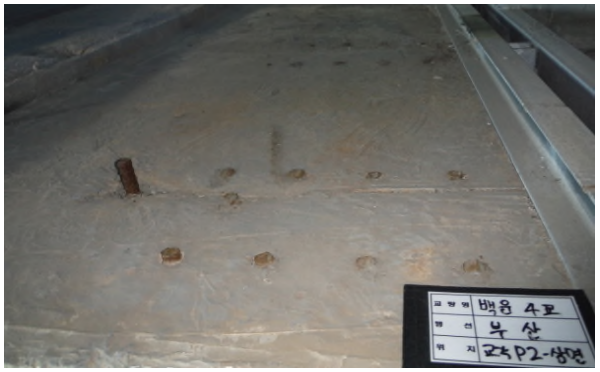
구분	재료분리 (㎡/EA)	들뜸, 박락, 파손 (㎡/EA)	잡철근노출 (㎡/EA)	앵커볼트노출 (㎡/EA)
P1	0.15 / 1	0.75 / 5	0.28 / 13	0.18 / 18
P2	0.15 / 1	1.08 / 9	0.12 / 3	1.07 / 107
P3	-	-	0.14 / 14	1.14 / 114
P4	-	1.52 / 4	-	1.41 / 141
합계	**0.30 / 2**	**3.35 / 18**	**0.54 / 30**	**3.80 / 380**

2) 손상별 현황



현 황	◦ P2/전면 균열(Cw=0.1㎜ L=0.8m)	**현 황**	◦ P1/배면 백태(A=0.24㎡)
원 인	◦ 시공초기 건조수축	**원 인**	◦ 미세균열부 수분접촉
대 책	◦ 주의관찰	**대 책**	◦ 주의관찰

현 황	◦ P2/전면 표면불량(A=4.80㎡)	**현 황**	◦ P1/우측면 보수재 박리(A=0.02㎡)
원 인	◦ 시공불량	**원 인**	◦ 바탕처리 및 시공불량
대 책	◦ 주의관찰	**대 책**	◦ 주의관찰

현 황	◦ P1/배면 재료분리(A=0.15㎡)	**현 황**	◦ P1/상면 박락(A=0.48㎡)
원 인	◦ 시공불량	**원 인**	◦ 시공초기 외부충격
대 책	◦ 주의관찰	**대 책**	◦ 단면복구
			
현 황	◦ P1/배면 잡철근노출(A=0.02㎡)	**현 황**	◦ P2/상면 앵커볼트노출(A=0.18㎡)
원 인	◦ 시공미흡	**원 인**	◦ 앵커 제거 후 마감불량
대 책	◦ 주의관찰	**대 책**	◦ 주의관찰

3) 원인분석 및 대책방안

① 균열

교각에서 조사된 균열은 건조수축 및 수화열에 의해 발생된 비구조적 균열로 구조적인 영향은 없으며, 균열폭도 0.1㎜이하의 미세균열로 허용균열폭(Cw=0.3mm) 미만이므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

② 백태

P1/배면에서 조사된 백태는 미세균열부에 수분이 접촉되어 발생된 결함으로 백태 양상이 시공초기 발생되어 추가 진행은 없는 것으로 판단된다. 따라서 현 상태에서 주의관찰 후 추가 진행 시 표면처리 보수가 바람직할 것으로 판단된다.

③ 표면불량 및 재료분리

표면불량 및 재료분리는 콘크리트 타설 시 다짐불량에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 그에 따른 단면감소 및 내구성 저하 영향은 미미한 상태이므로 보수방안보다는 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

④ 보수재 박리

교각 상단부는 전체적으로 표면처리 보수가 실시된 상태로 P1, P4에서 일부 보수재 박리가 조사되었으며, 이는 보수 전 바탕처리 및 시공미흡에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 내구성

저하 영향이 미미하므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

⑤ 들뜸, 박락, 파손

들뜸, 박락, 파손의 단면손상은 외부충격, 거푸집 제거 시 탈락 등에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 구조적인 영향은 미미하나 장기적인 내구성 확보를 위해 단면복구가 필요할 것으로 판단된다.

⑥ 잡철근 및 앵커볼트노출

잡철근 노출은 시공 시 협재된 비배근 철근 및 거푸집 결속철근이 노출된 결함으로 내구성 저하 및 단면손상이 없는 상태이며, 앵커볼트노출은 시공시 현장가이드 및 롤러의 기초에 설치된 앵커를 제거 후 마감미흡에 의해 발생된 결함으로 판단된다. 잡철근 및 앵커볼트노출부는 내구성 저하 영향이 미미한 결함이므로 보수방안보다는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

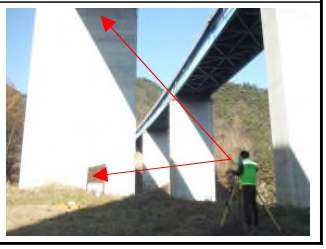
기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 균열(0.3mm미만), 백태, 보수재박리, 단면손상, 잡철근노출 및 앵커볼트노출의 결함은 금회 진단 시 상세조사 및 공용기간 증가에 따른 추가(신규)손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 망상균열, 표면불량, 재료분리의 결함은 공용중 보수가 실시되어 손상물량이 감소하였으며, 보수상태는 전반적으로 양호한 것으로 평가되었다.

【표 3.16】 교각의 기 진단과의 비교, 검토(부산)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2011년	2016년		
균열(0.3㎜미만)	m	3.80	27.10	+ 23.30	• 상세조사에 의한 추가손상
망상균열	㎡	0.06	-	- 0.06	• 공용중 보수완료
백태	㎡	-	0.24	+ 0.24	• 상세조사에 의한 신규손상
표면불량	㎡	104.20	5.48	- 98.72	• 기존손상 보수완료
보수재 박리	㎡	-	0.46	+ 0.46	• 공용중 발생된 신규손상
재료분리	㎡	1.91	0.30	- 1.61	• 공용중 일부 보수완료
들뜸, 박락, 파손	㎡	1.19	3.35	+ 2.16	• 공용중 발생된 추가손상
잡철근노출	㎡	-	0.54	+ 0.54	• 상세조사에 의한 신규손상
앵커볼트노출	㎡	-	3.80	+ 3.80	• 상세조사에 의한 신규손상

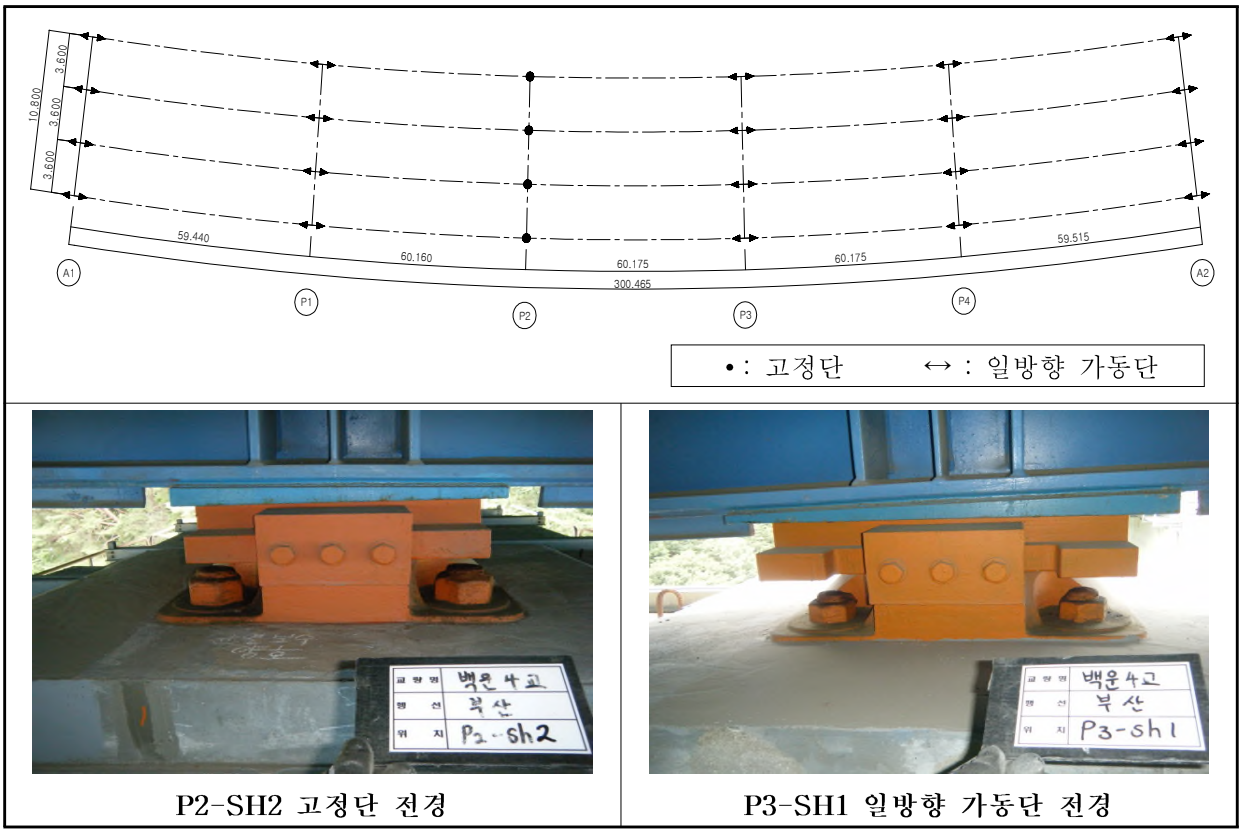
5) 교각의 연직도 측정결과

본 교량은 시공당시 교고가 높아 밀어내기공법(I.L.M)으로 시공된 교량으로 시공중 교각의 변위여부를 확인하기 위하여 광파기를 이용한 교각의 연직도를 측정하였으며, 검토결과 수평변위량은 10mm미만으로 시공중 교각의 변위는 없는 것으로 판단된다.

구분	측정 높이 (mm)	수평변위량 (mm)	기울기	검토결과	비고
P1	22,889	7	1 / 3,269	• 수평변위량은 10mm 미만으로 교각의 연직도는 양호한 상태로 밀어내기공법(I.L.M)에 의한 교각의 변위는 없는 것으로 평가됨	
P2	24,189	8	1 / 3,023		
P3	23,771	6	1 / 3,961		
P4	22,436	8	1 / 2,804		

3.2.3 교량받침

백운4교(부산)의 교량받침은 스페리컬받침으로 일방향 가동단 20개소, 고정단 4개소로 총 24개소 설치되어 있으며, 받침배치 현황은 다음과 같다.



P2-SH2 고정단 전경 | P3-SH1 일방향 가동단 전경

가. 받침장치 외관상태 조사결과

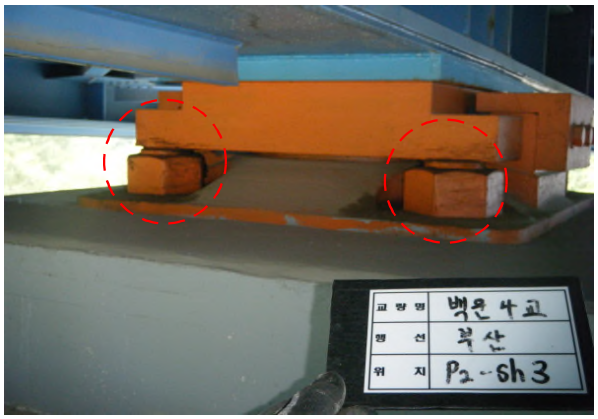
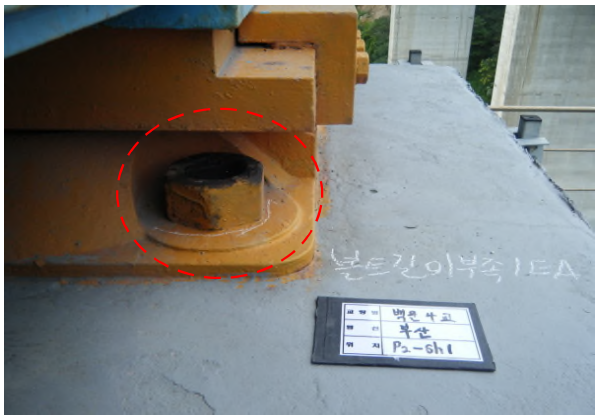
1) 현장조사 결과

받침장치에 대한 현장조사 결과, 받침장치에서 부식, 볼트간섭 및 길이부족과 받침콘크리트에서 균열(0.1㎜), 보수부재균열, 들뜸 및 박리의 손상이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.17】와 같다.

【표 3.17】 교량받침의 손상발생 현황(부산)

구분	받침 본체		받침 콘크리트			
	부식 (㎡/EA)	볼트간섭 및 볼트길이부족 (EA)	균열 (0.2mm이하) (m/EA)	보수부재균열 (0.2mm이하) (m/EA)	들뜸 (㎡/EA)	박리 (㎡/EA)
A1	0.24 / 2	-	0.80 / 3	-	0.01 / 1	-
P1	0.80 / 4	-	1.70 / 3	-	-	-
P2	0.57 / 3	5	1.20 / 3	5.50 / 11	-	0.01 / 1
P3	0.70 / 4	-	-	2.50 / 6	-	-
P4	0.62 / 4	-	2.30 / 7	5.80 / 19	0.34 / 1	-
A2	1.18 / 2	-	2.10 / 3	8.50 / 14	0.15 / 1	0.05 / 1
합계	**4.11 / 19**	**5**	**8.10 / 19**	**22.30 / 40**	**0.50 / 3**	**0.06 / 1**

2) 손상별 현황

현 황	◦ A2/SH4 본체부식(A=1.00㎡)	**현 황**	◦ P1/SH1 본체부식(A=0.16㎡)
원 인	◦ 공용장기화에 따른 도장열화 및 외측부 우수접촉		
대 책	◦ 도장보수		
			
현 황	◦ P2/SH3 볼트간섭(4EA)	**현 황**	◦ P2/SH1 볼트길이부족(1EA)
원 인	◦ 시공불량		
대 책	◦ 고정단이므로 가동량이 없으며, 길이부족에 의한 결함은 없으므로 주의관찰토록 함		
현 황	◦ P4/SH3 균열(Cw=0.1㎜ L=0.3m) 2EA	**현 황**	◦ P1/SH1 재균열(Cw=0.1㎜ L=0.5m)
원 인	◦ 시공초기 건조수축	**원 인**	◦ 보수불량
대 책	◦ 주의관찰	**대 책**	◦ 주의관찰

현 황	◦ P4/SH4 몰탈들뜸(A=0.34㎡)	**현 황**	◦ P4/SH1 몰탈박리(A=0.05㎡)
원 인	◦ 시공미흡	**원 인**	◦ 시공초기 외부충격
대 책	◦ 주의관찰	**대 책**	◦ 주의관찰

3) 원인분석 및 대책방안

㉠ 받침장치 부식

받침장치에 대한 현장조사 결과, 오랜 공용기간 증가에 따른 도장열화 및 외측부 우수접촉에 의해 부식이 발생된 상태로 받침장치 신축거동에 미치는 영향은 없으나 장기적인 내구성 확보를 위해 도장보수가 바람직할 것으로 판단된다.

㉡ 볼트간섭 및 볼트길이부족

볼트간섭 4개소와 볼트길이부족 1개소가 조사되었으며, 이는 시공미흡에 의한 결함으로 판단되며, 결함 위치는 교각 P2의 고정단이므로 받침 가동에 미치는 영향이 없는 상태이므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

㉢ 받침콘크리트 균열

받침콘크리트 균열은 시공초기 건조수축에 의해 발생된 Cw=0.2㎜이하의 비구조적 균열로 구조물의 안전성 미치는 영향은 없으며, 허용균열폭(0.3mm) 미만이므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

㉣ 받침콘크리트 보수부 재균열

받침콘크리트 보수부 재균열은 공용중 표면처리 보수가 실시되었으나 보수미흡에 의해 공용중 재발생된 결함으로 허용균열폭(0.3mm)미만이므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

㉤ 받침콘크리트 들뜸 및 박리

받침콘크리트 들뜸은 시공미흡에 의한 결함으로 받침장치의 기능성 및 내구성 저하 영향이 미미한 상태이므로 주의관찰토록 하며, 받침콘크리트 박리는 시공초기 외부충격에 의한 결함으로 손상규모가 경미하며, 내구성 저하 영향이 미미하므로 보수방안보다는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 받침장치 본체 부식은 동일손상으로 손상변화가 없는 상태이며, 받침장치 볼트간섭, 볼트길이부족, 받침콘크리트 보수부 재균열, 들뜸 및 박리의 결함은 금회 진단 시 상세조사 및 공용기간 증가에 따른 추가(신규)손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었고, 받침콘크리트 균열의 결함은 공용중 보수가 실시되어 손상물량이 감소하였으며, 보수상태는 보수부 재균열 부위를 제외하고는 양호한 것으로 조사되었다.

【표 3.18】 받침장치의 기 진단과의 비교, 검토(부산)

손상내용		단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
			2011년	2016년			
받침 본체	본체 부식	㎡	4.11	4.11		-	● 손상변화 없음(동일손상)
	볼트간섭	EA	-	4.00	+	4.00	● 상세조사에 의한 신규손상
	볼트길이부족	EA	-	1.00	+	1.00	● 상세조사에 의한 신규손상
받침 콘크리트	균열(0.3㎜미만)	m	53.30	8.10	-	45.20	● 공용중 일부 보수완료
	균열(0.3㎜이상)	m	22.20	-	-	22.20	● 공용중 보수완료
	보수부 재균열	m	-	22.30	+	22.30	● 공용중 발생된 재손상
	들뜸	㎡	0.01	0.50	+	0.49	● 상세조사에 의한 추가손상
	박리	㎡	-	0.06	+	0.06	● 상세조사에 의한 신규손상

나. 받침장치 연단거리 검토결과

교좌면은 받침을 통해서 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 설계기준에서 정한 연단거리의 최소값과 각 지점별 실측 연단거리를 비교・검토하였다.

1) 최소 연단거리 산정결과

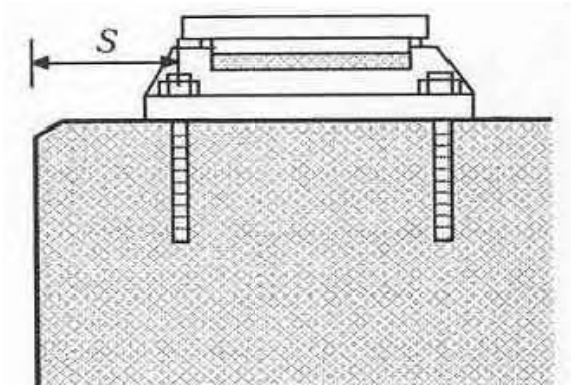
① 거더의 경간길이 100m이하 : S = 200 + 5.0L (도로교설계기준)

여기서, S : 받침연단거리(㎜), L : 거더의 경간길이(m)

구분	A1	P1		P2		P3		P4		A2
		A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	
경간길이(m)	59.44	59.94	60.16	60.16	60.18	60.18	60.18	60.18	59.52	59.52
최소연단거리(㎜)	497	497	501	501	501	501	501	501	498	498

* 최소연단거리(mm)의 계산값은 소수 첫째 자리에서 반올림하여 수록함

② 연단거리-콘크리트면의 가장자리로부터 가장 가까운 앵커중심까지의 거리



2) 연단거리 검토결과

실측 연단거리와 최소 연단거리를 비교검토한 결과, 전 개소에서 실측 연단거리가 최소 연단거리를 상회하는 것으로 평가되었다.

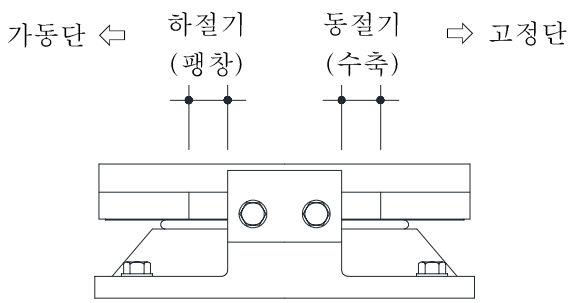
【표 3.19】 연단거리 측정결과(부산)

위치		최소 연단거리 (mm)	실측 연단거리(mm)				검토 결과
			Sh1	Sh2	Sh3	Sh4	
A1		497	755	760	755	755	O.K
P1	A1	497	1495	1510	1450	1525	O.K
	A2	501	1500	1490	1485	1530	O.K
P2	A1	501	1470	1520	1480	1575	O.K
	A2	501	1540	1510	1460	1480	O.K
P3	A1	501	1520	1540	1540	1530	O.K
	A2	501	1520	1500	1530	1530	O.K
P4	A1	501	1510	1490	1370	1510	O.K
	A2	498	1510	1525	1335	1490	O.K
A2		498	740	710	710	710	O.K

다. 교량받침 가동량 검토결과

본 교량의 받침형식은 스페리컬받침으로 1차, 2차에 걸쳐 받침장치 가동량을 검토함으로써 온도변화에 따른 받침 신축거동상태 및 가동여유량을 평가하여 교량받침의 기능저하를 방지하고자 한다. 받침 가동여유량 평가기준은 【표 3.20】와 같다.

【표 3.20】교량받침 가동량 평가기준



평가 기준

▣ 온도에 의한 가동량

Δl_t = $\Delta T \times \alpha \times L$(신축거더 길이)

ΔT = 온도변화(-20℃～+40℃) → 강교(한랭지방) : 강판형교

α = 선팽창계수(1.2×10^{-5}) → 강교 : 강판형교

※ 한랭지방 적용근거

구 분	내 용	비고
보통지방	- 대전 구미, 대구, 강릉, 논산, 전주, 광주, 순천, 진주, 마산, 창령, 고령, 동서울, 부산	도로공사 연구보고서 (1993년)
한랭지방	- 인천, 수원, 천안, 영동, 이천, **원주**, 대관령, 정안, 진천	

▣ 활하중에 의한 보의 처짐에 의한 가동량

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

여기서, h_i : 받침의 회전중심에서 보의 중립축까지의 높이(2h/3)

θ_i : 보의 회전각(강교 1/150)

▣ 계산 가동량 산정

온도변화 범위	-20℃～+40℃	선팽창 계수(α)	강재:1.2×10^{-5}
점검시 기온(℃)	1차 (07.11)	28.2℃	
	2차 (09.28)	21.0℃	
온도에 의한 가동량(Δl_t)	$\Delta l_t = \Delta T \times \alpha \times L$		
보의 중립축까지 높이2h/3(h_i)	$\frac{2}{3}\times3.000$		
보의 회전각(θ_i)	1/150(강합성교)		
보의 처짐에 의한 가동량(Δl_r)	$\Delta l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$		

신축거더길이(L) (m)	A1	P1	P2	P3	P4	A2
	119.60	60.16	고정단	60.18	120.36	179.88

※ 처짐에 의한 신축량은 팽창시만 고려하여 계산

1) 온도변화에 따른 받침 신축거동상태 검토결과

교량받침의 이동량은 2회(1차: 28.2℃(07월11일), 2차: 21.0℃(09월28일))에 걸쳐 측정하였으며, 변동량 측정결과는 【표 3.21】과 같이 실측치와 이론치가 유사하게 검토되었다. 따라서 본 교량받침의 온도변화에 따른 신축거동상태는 양호한 것으로 판단된다.

【표 3.21】 계산가동량 산정결과(부산)

구 분		실측 이동량(mm)		변동량(mm)		비고
		1차	2차	실측치	이론치	
A1	Sh1	45 (A1)	35 (A1)	10	10	양호
	Sh2	46 (A1)	35 (A1)	11		
	Sh3	43 (A1)	30 (A1)	13		
	Sh4	40 (A1)	25 (A1)	15		
P1	Sh1	33 (A2)	38 (A2)	5	5	양호
	Sh2	28 (A2)	35 (A2)	7		
	Sh3	35 (A2)	43 (A2)	8		
	Sh4	33 (A2)	41 (A2)	8		
P2	-	고 정 단				
P3	Sh1	13 (A2)	10 (A2)	3	5	양호
	Sh2	6 (A2)	4 (A2)	2		
	Sh3	21 (A2)	18 (A2)	3		
	Sh4	50 (A2)	45 (A2)	5		
P4	Sh1	30 (A2)	22 (A2)	8	10	양호
	Sh2	45 (A2)	40 (A2)	5		
	Sh3	20 (A2)	12 (A2)	8		
	Sh4	8 (A2)	2 (A2)	6		
A2	Sh1	80 (A2)	63 (A2)	17	15	양호
	Sh2	77 (A2)	60 (A2)	17		
	Sh3	65 (A2)	50 (A2)	15		
	Sh4	50 (A2)	35 (A2)	15		

2) 계산가동량 산정결과

계산 가동량 산정시 고려되는 항목은 활하중에 의한 보의 처짐, 온도변화, 건조수축, 크리프 등을 고려하여야 한다. 그러나 대상 교량은 준공 후 16년이 경과하였기 때문에 건조수축 및 크리프에 의한 변형은 완료된 것으로 판단하여 교각 연속부는 온도변화에 의한 가동량만 고려하며, 교대 단부는 온도변화 및 활하중에 의한 처짐을 고려하여 검토하였다.

【표 3.22】 계산가동량 산정결과(부산)

구분	위치	측정시 온도 (℃)	온도변화(Δlt)		선팽창 계수	신축거더 길이 (m)	처짐(Δlr) (㎜)	계산 가동량(㎜)	
			동절기	하절기				동절기 (최대수축시)	하절기 (최대팽창시)
A1	1차	28.2	69	17	1.2×10^{-5}	119.6	13	69	30
	2차	21.0	59	27	1.2×10^{-5}	119.6	13	59	40
P1	1차	28.2	35	9	1.2×10^{-5}	60.16	-	35	9
	2차	21.0	30	14	1.2×10^{-5}	60.16	-	30	14
P2		고 정 단							
P3	1차	28.2	35	9	1.2×10^{-5}	60.18	-	35	9
	2차	21.0	30	14	1.2×10^{-5}	60.18	-	30	14
P4	1차	28.2	69	17	1.2×10^{-5}	120.36	-	69	17
	2차	21.0	59	27	1.2×10^{-5}	120.36	-	59	27
A2	1차	28.2	104	26	1.2×10^{-5}	179.88	13	104	39
	2차	21.0	89	41	1.2×10^{-5}	179.88	13	89	54

※ 처짐에 의한 신축량은 교대(A1, A2) 단부에서 팽창시에만 고려하며, 교각(연속부)은 고려하지 않음

3) 교량받침 가동여유량 검토결과

받침장치 가동량을 실측하여 계산가동량과 비교 검토한 결과, A2를 제외한 전 개소에서 실측여유량이 계산가동량을 상회하는 것으로 검토되었다.

【표 3.23】 교량받침 가동여유량 검토결과(부산)

구 분		최대 수축시 가동량 검토(mm)						최대 팽창시 가동량 검토(mm)					
		1차 측정(07.11)			2차 측정(09.28)			1차 측정(07.11)			2차 측정(09.28)		
		①	②	평가	①	②	평가	①	②	평가	①	②	평가
A1	Sh1	125	69	O.K	115	59	O.K	35	30	O.K	45	40	O.K
	Sh2	126		O.K	115		O.K	34		O.K	45		O.K
	Sh3	123		O.K	110		O.K	37		O.K	50		O.K
	Sh4	120		O.K	105		O.K	40		O.K	55		O.K
P1	Sh1	50	35	O.K	45	30	O.K	115	9	O.K	120	14	O.K
	Sh2	55		O.K	48		O.K	110		O.K	117		O.K
	Sh3	48		O.K	40		O.K	117		O.K	125		O.K
	Sh4	50		O.K	42		O.K	115		O.K	123		O.K
P2		고 정 단											
P3	Sh1	95	35	O.K	92	30	O.K	70	9	O.K	73	14	O.K
	Sh2	88		O.K	86		O.K	77		O.K	79		O.K
	Sh3	103		O.K	100		O.K	62		O.K	65		O.K
	Sh4	132		O.K	127		O.K	33		O.K	38		O.K
P4	Sh1	115	69	O.K	107	59	O.K	55	17	O.K	63	27	O.K
	Sh2	130		O.K	125		O.K	40		O.K	45		O.K
	Sh3	105		O.K	97		O.K	65		O.K	73		O.K
	Sh4	93		O.K	87		O.K	77		O.K	83		O.K
A2	Sh1	160	104	O.K	143	89	O.K	0	39	N.G	17	54	N.G
	Sh2	157		O.K	140		O.K	3		N.G	20		N.G
	Sh3	145		O.K	130		O.K	15		N.G	30		N.G
	Sh4	130		O.K	115		O.K	30		N.G	45		N.G

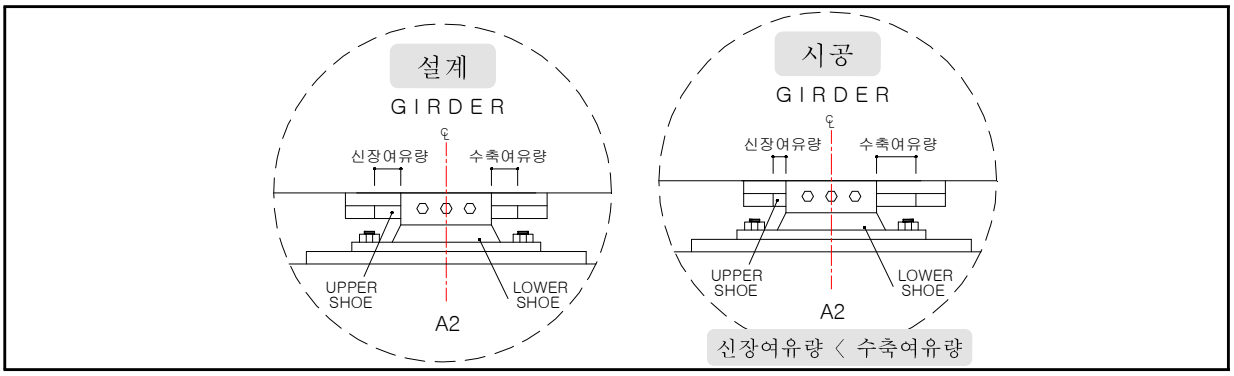
① : 실측여유량, ② : 계산가동량

4) A2측 교량받침 가동여유량 부족 원인 검토결과

A2측 받침장치의 가동여유량 부족 원인에 대한 검토결과는 다음과 같다.

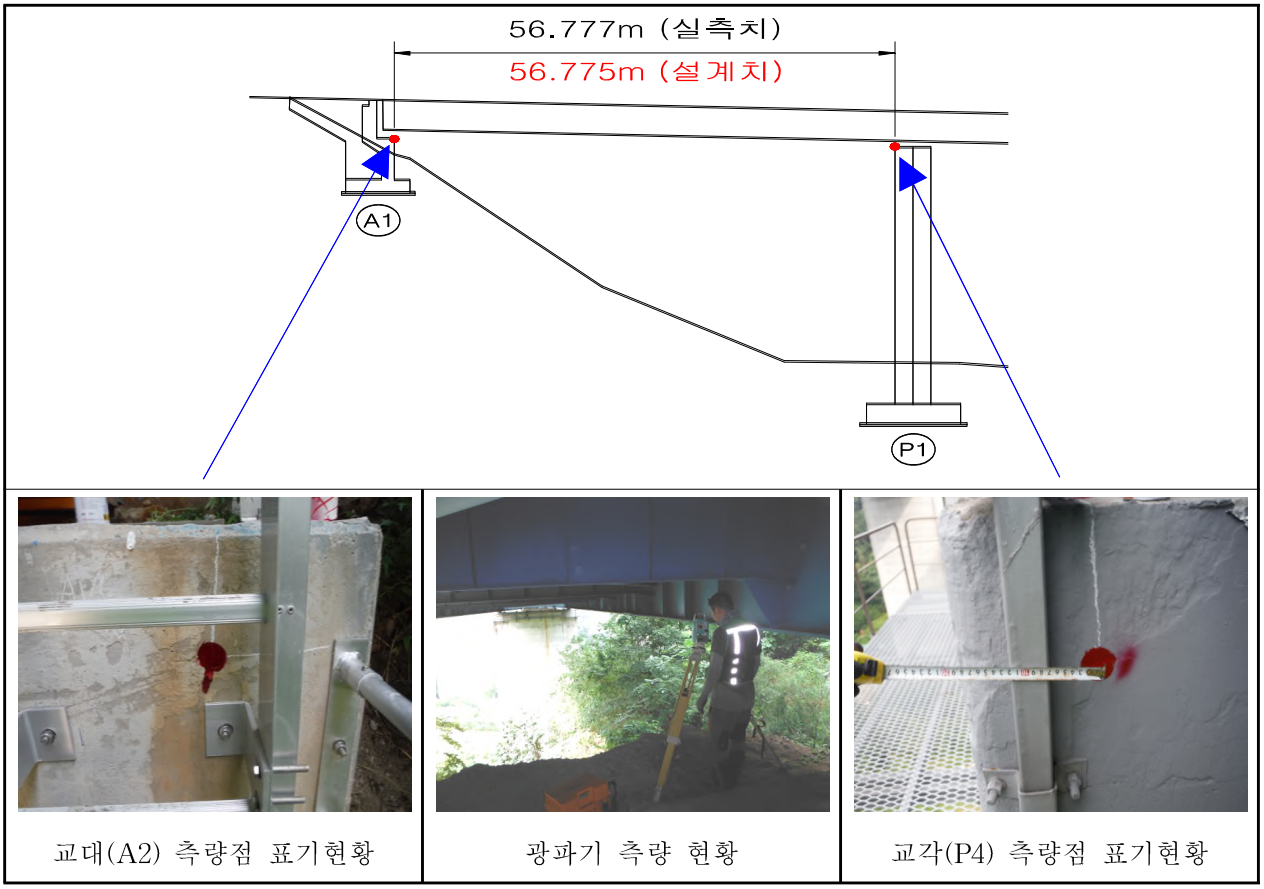
① 기 진단(2011년도) 시 검토결과

A2측 받침장치 가동여유량 부족은 기 진단(2011년도) 시에도 동일하게 조사된 결함으로 주요 원인은 Upper Shoe가 시공당시 온도에 따른 가동량 계산의 오류로 인해 적절한 위치에 설치되지 않은 것으로 검토되었다.



② 측량에 의한 교대변위 여부 검토결과

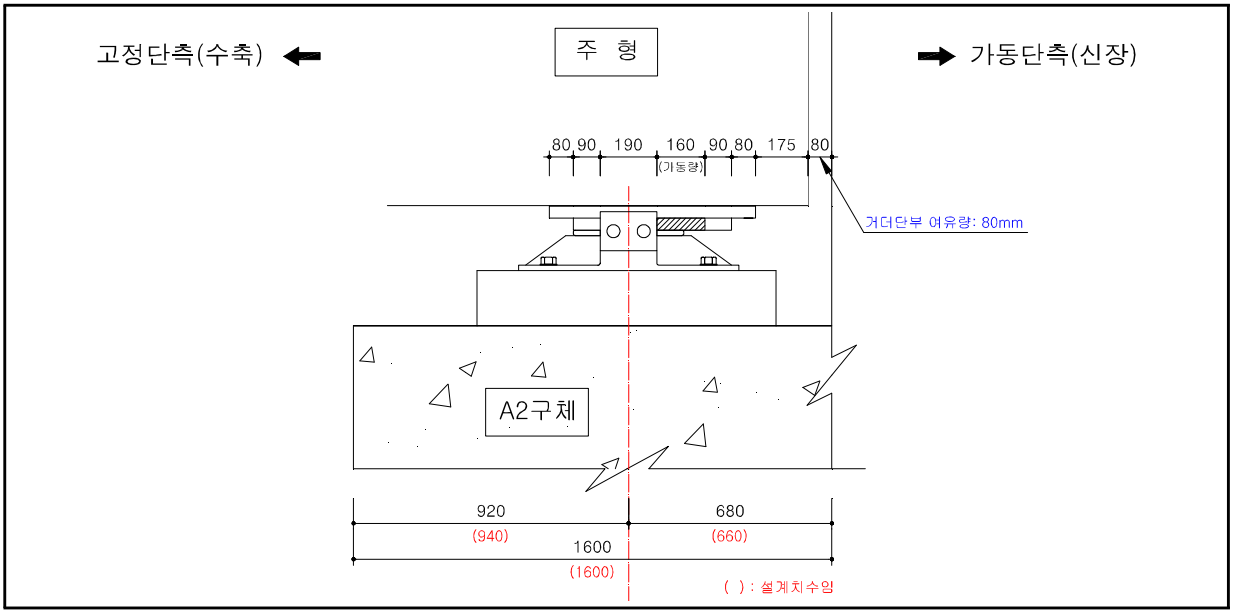
광파기 측량을 통해 교대(A2)와 교각(P4)의 거리를 측정할 결과, 실측치는 56.777m이며, 설계치는 56.775m로 +0.002m의 미소한 오차로 교대변위는 없는 것으로 검토되었다.



교대(A2) 측량점 표기현황 | 광파기 측량 현황 | 교각(P4) 측량점 표기현황

③ 받침장치 제원 검토결과

A2-SH1에 대한 받침장치 제원 검토결과, 받침장치 중심은 교대(A2) 흉벽에서 660mm에 설계되어 있으나 실측치는 680mm로 측정되어 20mm 고정단측으로 시공된 것으로 검토되었다.



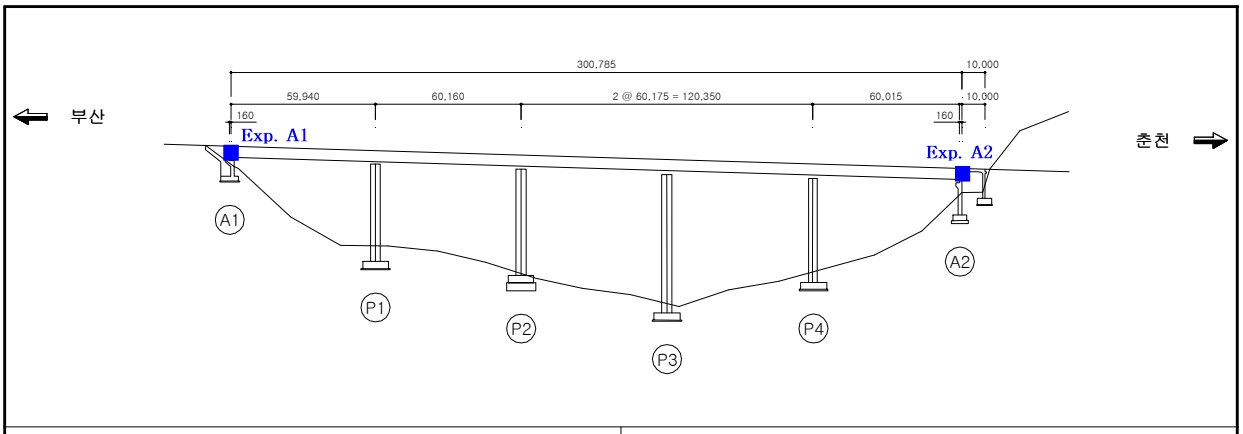
【그림 3.1】 A2-SH1 제원 실측 개요도

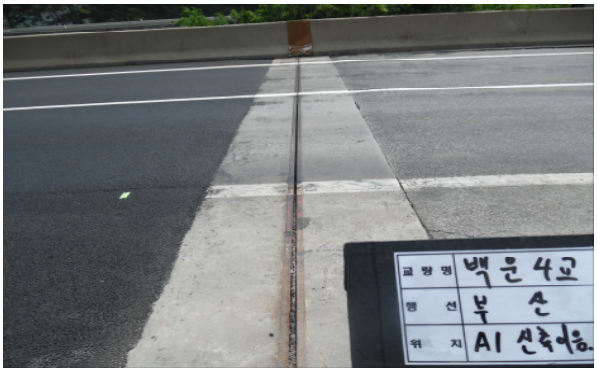
④ 결론

교대(A2)측의 받침장치 가동여유량 부족의 원인은 시공초기 받침배치 및 Upper Shoe 시공오류에 의해 발생된 것으로 판단되며, 현장조사 시 거더 단부는 【그림 3.1】과 같이 80mm의 가동 여유량을 확보하고 있고, 가동여유량 부족에 의한 구조적인 결함이나 교량 신축거동에 문제가 될만한 손상은 관찰되지 않으므로 보수방안보다는 현 상태에서 주의관찰토록 하며, 향후 받침 교체 계획 시 온도변화량을 고려하여 교체하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

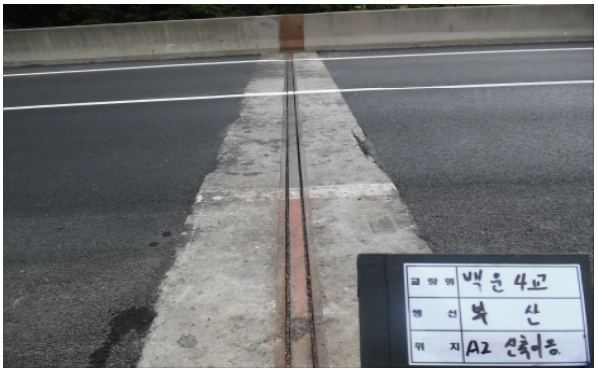
3.2.4 신축이음장치

신축이음은 A1, A2지점부에 Rail Joint형식으로 2개소 설치되어 있으며, 신축이음 배치 현황은 다음과 같다.





신축이음장치 A1 전경



신축이음장치 A2 전경

【그림 3.2】 백운4교(부산) 신축이음 배치도

가. 신축이음장치 외관상태 조사결과

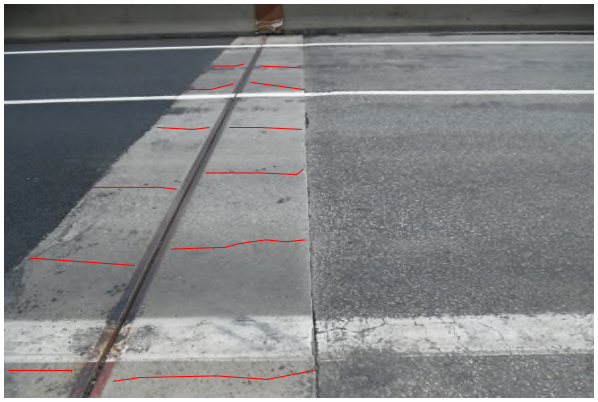
1) 현장조사 결과

신축이음 현장조사 결과, 본체 부식 및 토사퇴적, 후타재 균열(0.3㎜미만), 망상균열, 파손, 덮개판 길이부족 및 변형의 결함이 조사되었으며, 손상 현황은 【표 3.24】와 같다.

【표 3.24】 신축이음 손상 발생 현황(부산)

구분	본체		후타재			덮개판	
	부식	토사퇴적	균열0.3㎜미만	망상균열	파손	길이부족	변형
	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(m/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(EA)	(EA)
A1	0.47 / 2	0.60 / 2	13.40 / 27	-	0.30 / 1	1	1
A2	0.48 / 3	0.43 / 2	14.10 / 28	0.60 / 1	0.11 / 1	1	-
합계	**0.95 / 5**	**1.03 / 4**	**27.50 / 55**	**0.60 / 1**	**0.41 / 2**	**2**	**1**

2) 손상별 현황

현 황	◦ A2 신축이음 본체부식(A=0.15㎡)	**현 황**	◦ A1 신축이음 토사퇴적(A=0.28㎡)
원 인	◦ 우수접촉	**원 인**	◦ 공용중 우수 등에 의해 퇴적
대 책	◦ 주의관찰	**대 책**	◦ 청소
			
현 황	◦ A1 신축이음 후타재균열(Cw=0.2㎜) : 0.50m~0.70m 간격으로 발생	**현 황**	◦ A2 신축이음 후타재파손 (A=0.11㎡)
원 인	◦ 건조수축 및 차량반복 하중	**원 인**	◦ 재포장 시 외부충격 및 중차량통행
대 책	◦ 표면처리	**대 책**	◦ 단면복구
현 황	◦ A1 신축이음 덮개판 길이부족(1EA)	**현 황**	◦ A1 신축이음 덮개판 변형(1EA)
원 인	◦ 인위적 절단	**원 인**	◦ 외부충격
대 책	◦ 주의관찰	**대 책**	◦ 주의관찰

3) 원인분석 및 대책방안

① 본체부식

신축이음 본체부식은 오랜 공용중 우수접촉 및 체수에 의해 발생된 손상으로 부식에 의한 기능 저하 영향은 없기에 보수방안보다는 현 상태에서 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

② 토사퇴적

공용 중 우수 등에 의한 신축이음 유간 내 토사가 퇴적된 것으로 신축이음의 원활한 거동을 위해 주기적인 청소가 적합할 것으로 판단된다.

③ 후타재 균열 및 파손

후타재균열은 공용중 차량반복 하중에 의해 발생된 결함으로 신축이음장치의 신축 거동에 미치는 영향은 없으나 동절기 제설재 살포 등에 의한 염화물 침투가 우려되므로 표면처리가 필요할 것으로 판단되며, 파손은 재포장 시 장비에 의한 외부충격 및 중차량 통행에 의해 발생된 결함으로 통행차량의 안전성 확보를 위해 단면복구가 필요할 것으로 판단된다.

④ 덮개판 길이부족 및 변형

덮개판 길이부족은 설치 후 인위적으로 절단된 상태로 차수기능에 문제점은 없는 상태이므로 주의관찰토록 하며, 덮개판 변형은 공용중 청소차량 등에 의한 외부충격이 원인으로 판단되며, 차수기능상의 문제점은 없으므로 주의관찰토록 하며 향후 신축이음 교체 시 보수하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 신축이음 본체 부식, 토사퇴적, 후타재 망상균열, 덮개판 길이부족 및 변형의 결함은 동일손상으로 손상변화가 없는 상태이며, 후타재 균열 및 파손의 결함은 금회 진단 시 상세조사 및 공용기간 증가에 따른 추가(신규)손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었다.

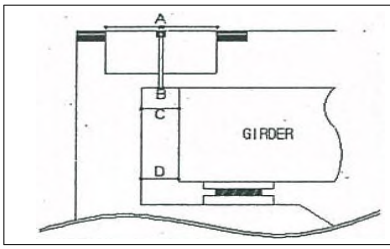
【표 3.25】 신축이음장치의 기 진단과의 비교, 검토(부산)

손상내용		단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
			2011년	2016년		
신축이음	본체 부식	㎡	0.95	0.95	-	● 손상변화 없음(동일손상)
	토사퇴적	㎡	1.03	1.03	-	● 손상변화 없음(동일손상)
후타재	균열(0.3㎜미만)	m	27.10	27.50	+ 0.40	● 상세조사에 의한 추가손상
	망상균열	㎡	0.60	0.60	-	● 손상변화 없음(동일손상)
	파손	㎡	-	0.41	+ 0.41	● 공용중 발생된 신규손상
덮개판	길이부족	EA	2	2	-	● 손상변화 없음(동일손상)
	변형	EA	1	1	-	● 손상변화 없음(동일손상)

나. 신축이음장치 거동상태 검토결과

1) 계산 신축량 산정방법

【표 3.26】 계산 신축량 산정



A1	1차	2016년 7월 13일	26.3℃	원주기상대
	2차	2016년 9월 28일	21.0℃	
A2	1차	2016년 7월 13일	26.3℃	
	2차	2016년 9월 28일	21.0℃	

신축이음 유간(A)

바닥판 유간(B)

거더상단 유간(C)

거더하단 유간(D)

평가 기준

▣ 온도에 의한 신축량

Δl_t = ⊿T×α×L(신축거더 길이)

ΔT = 온도변화(-20℃～+40℃)→ 강판형교 : 한랭지방

α = 선팽창계수(1.2×10^{-5})→ 강판형교

※ 한랭지방 적용근거

구 분	내 용	비고
보통지방	- 대전 구미, 대구, 강릉, 논산, 전주, 광주, 순천, 진주, 마산, 창령, 고령, 동서울, 부산	도로공사 연구보고서 (1993년)
한랭지방	- 인천, 수원, 천안, 영동, 이천, **원주**, 대관령, 정안, 진천	

▣ 계산 신축량 산정

온도변화 범위	-20℃～+40℃	선팽창 계수(α)	1.2×10^{-5}
점검시 기온(℃)	1차 (07.13)	26.3℃	
	2차 (09.28)	21.0℃	
온도에 의한 신축량(Δl_t)	Δl_t = ⊿T×α×L		

신축거더 길이 (L)	A1	A2
	120.10m	180.36m

※ 공용기간이 16년이상인 교량이므로 건조수축 및 크리프의 영향은 고려하지 않음

2) 계산 신축량 산정결과

【표 3.27】 계산 신축량 산정결과

위치		측정시 온도 (℃)	온도변화(ΔT)		선팽창 계수	신축거더 길이 (m)	최대 신축량(㎜)	
			동절기 (℃)	하절기 (℃)			동절기 (최대수축시)	하절기 (최대팽창시)
A1	1차	26.3	46.3	13.7	1.2×10^{-5}	120.10	67	20
	2차	21.0	41.0	19.0	1.2×10^{-5}	120.10	59	28
A2	1차	26.3	46.3	13.7	1.2×10^{-5}	180.36	100	30
	2차	21.0	41.0	19.0	1.2×10^{-5}	180.36	89	41

3) 신축이음 유간거리 측정결과

신축이음 유간거리에 대한 실측값은 【표 3.28】과 같으며, 1차, 2차의 실측 변동량을 이론치와 비교검토한 결과, 이론치와 유사하게 변동되므로 온도변화에 따른 신축거동은 원활한 것으로 판단된다.

【표 3.28】 신축이음 유간거리 측정결과(단위 : ㎜)

구 분		실측 이동량(mm)		변동량(mm)		비고
		1차	2차	실측치	이론치	
A1	신축이음장치	32	41	9	8	양호
	바닥판	95	104	9		
	거더 상단	178	187	9		
	거더 하단	154	165	11		
A2	신축이음장치	36	42	6	11	양호
	바닥판	128	135	7		
	거더 상단	130	140	10		
	거더 하단	108	120	12		

4) 신축이음 가동여유량 검토결과

신축이음 가동여유량 검토결과는 【표 3.29】와 같으며, 신축이음장치 A1과 A2 모두 계산 신축량을 만족하는 상태이므로 본 교량의 신축이음 가동여유량은 양호한 것으로 평가되었다.

【표 3.29】신축이음 유간거리 검토결과

부 재			측정유간 (㎜)	계산 신축량(㎜)		허용신축량 (㎜)	신축 여유량(㎜)		평가
				수축	팽창		수축	팽창	
Exp.J1(A1)	1차	A	32	67	20	100	1	12	양호
		B	95					75	
		C	178					158	
		D	154					134	
	2차	A	41	59	28		0	13	
		B	104					76	
		C	187					159	
		D	165					137	
Exp.J2(A2)	1차	A	36	100	30	160	24	6	양호
		B	128					98	
		C	130					100	
		D	108					78	
	2차	A	42	89	41		29	1	
		B	135					94	
		C	140					99	
		D	120					79	

※ 신축여유량(팽창)=측정유간-계산신축량(팽창), 신축여유량(수축)=허용신장량-측정유간-계산신축량(수축)
※ 신축여유량 > 0인 경우 양호
※ A : 신축이음장치, B : 바닥판, C : 거더상단, D : 거더하단

3.2.5 교면포장

교면포장은 바닥판 상면에 위치하여 차량에서 발생하는 진동을 흡수·분산시키고, 외부의 불리한 환경조건에 대해서 바닥판을 보호하는 부재이다.

S1 포장 전경	S4 포장 전경

가. 현장조사 결과

전 구간 재포장 보수를 실시한 상태로 재포장 상태는 양호한 것으로 조사되었으나 시점측 접속슬래브의 미보수 구간에서 아스콘 망상균열, 패임, 융기 및 침하의 결함이 조사되었으며, 손상 현황은 다음과 같다.

【표 3.30】 교면포장의 손상현황(부산)

구분	아스콘 망상균열(㎡/EA)	아스콘 패임(㎡/EA)	아스콘 융기, 침하(㎡/EA)
접속슬래브	12.74 / 2	0.75 / 1	3.00 / 2
S1	-	-	-
S2	-	-	-
S3	-	-	-
S4	-	-	-
S5	-	-	-
라멘구간	-	-	-
합계	**12.74 / 2**	**0.75 / 1**	**3.00 / 2**

나. 손상별 현황

<table>
<tr><td colspan="2"> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ S1 접속슬래브 아스콘 침하(A=3.00㎡)
및 아스콘 망상균열(A=12.74㎡)</td><td>현 황</td><td>◦ S1 접속슬래브
아스콘 패임(A=0.75㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦ 시공초기 다짐불량 및 건조수축</td><td>원 인</td><td>◦ 아스콘 단부 전압부족 및 중차량 통행</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦ 팻칭보수</td><td>대 책</td><td>◦ 팻칭보수</td></tr>
<tr><td colspan="2">
</td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ S4 아스콘 재포장 실시 ⇒ 상태양호</td><td>현 황</td><td>◦ 갓길/방호벽 접속부 우수유입 방지를
위한 마감처리 실시 ⇒ 상태양호</td></tr>
<tr><td colspan="2">
</td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td colspan="3">◦ 교면포장 코어채취를 통한 방수층 조사결과: 상태양호
◦ 교면포장 두께 측정결과 : 80~85mm ⇨ 설계두께 : 80mm와 일치함</td></tr>
</table>

다. 원인분석 및 대책방안

1) 아스콘 망상균열 및 융기, 침하

S1측 접속슬래브에서 시공초기 다짐불량에 의한 지반침하 및 건조수축에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 갓길 차선으로 통행차량의 주행성에 미치는 영향이 없으나 장기적인 내구성 확보를 위해 팻칭보수가 필요할 것으로 판단된다.

2) 아스콘 패임

S1측 접속슬래브의 후타재 접합 단부에서 전압부족 및 중차량 통행에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 부분 팻칭보수가 적합할 것으로 판단된다.

라. 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 아스콘 균열, 시공이음 균열, 망상균열, 들뜸 및 패임의 결함은 재포장 보수가 완료되어 손상물량이 감소하였으며, 접속슬래브 아스콘 융기 및 침하의 결함은 금회 진단 시 상세조사에 따른 신규손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었다.

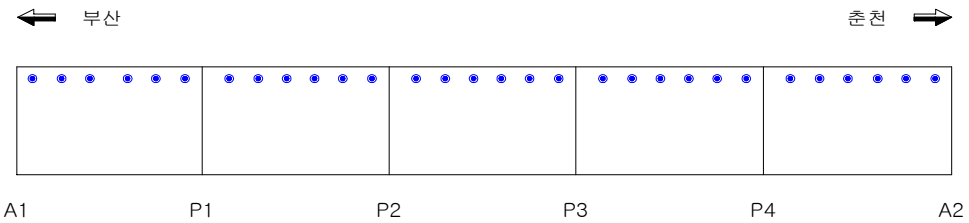
【표 3.31】 교면포장의 기 진단과의 비교, 검토(부산)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2011년	2016년		
아스콘 균열	m	102.00	-	- 102.00	• 재포장 보수완료
시공이음 균열	m	540.00	-	- 540.00	• 재포장 보수완료
아스콘 망상균열	㎡	173.90	12.74	- 161.16	• 교량구간 재포장 보수완료 접속슬래브 구간 미보수
아스콘 들뜸	㎡	431.88	-	- 431.88	• 재포장 보수완료
아스콘 패임	㎡	10.77	0.75	- 10.02	• 교량구간 재포장 보수완료 접속슬래브 구간 미보수
아스콘 융기, 침하	㎡	-	3.00	+ 3.00	• 상세조사에 의한 신규손상

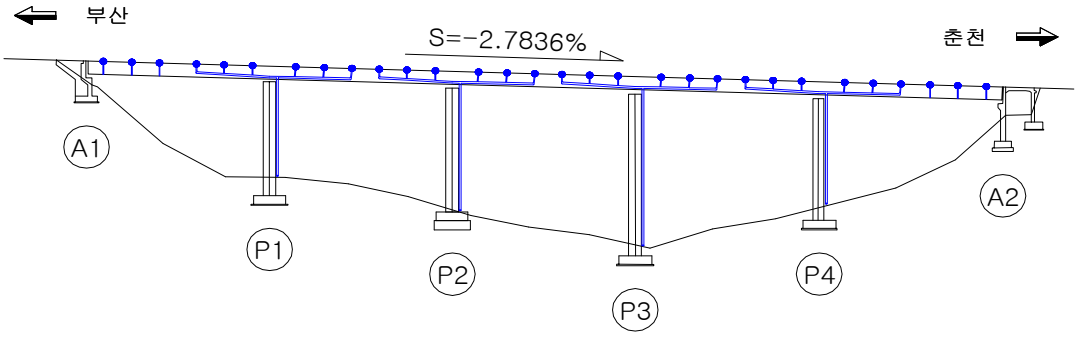
3.2.6 기타부재

가. 배수시설

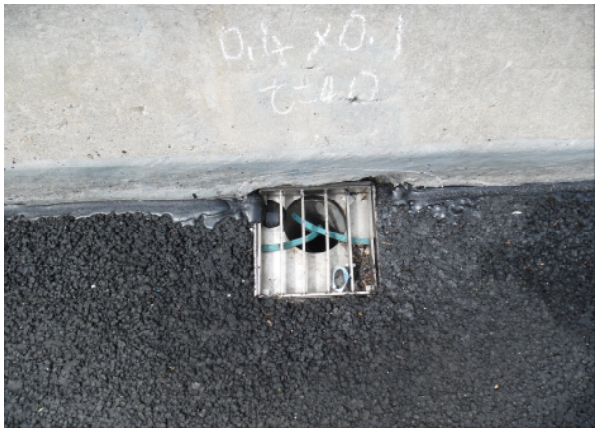
배수시설은 우천 시 포장부의 교면수를 배출하기 위한 시설로서, 백운4교(부산)의 배수시설은 횡구배(-2.0%~-4.0%)가 설계되어 교량 상부의 갓길측에 설치된 배수구(30EA)를 통하여 STEEL Pipe Φ150㎜ 배수관을 따라 하부로 배수되도록 설치되어 있으며, 시점에서 종점으로 하향 종구배(S=-2.7836%)가 설계되어 교면수가 자연배수되도록 시공되었다.



< 교량 상면 배수구 설치 현황 >



< 교량 하면 배수관 종단 개요도 >



교량 상부 배수구 전경

교량 하부 배수관 전경

【그림 3.3】 백운4교(부산) 배수시설 현황

1) 현장조사 결과

배수시설에 대한 현장조사 결과, 상부의 배수구는 재포장 보수 시 교체 보수된 상태로 결함이 없는 양호한 상태이나 하부의 배수관에서 용접부 부식 및 누수, 지지대 부식 및 탈락의 결함이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.32】와 같다.

【표 3.32】배수시설의 손상현황(부산)

구분	배수관			
	부식 (㎡/EA)	부식 및 누수(㎡/EA)	고정핀 부식(EA)	고정핀 탈락(EA)
S1	0.12 / 4	0.04 / 1	1	4
S2	0.12 / 4	0.04 / 1	5	5
S3	0.04 / 1	0.08 / 2	14	7
S4	-	0.04 / 1	14	7
S5	0.18 / 4	-	10	3
합계	**0.46 / 13**	**0.20 / 5**	**44**	**26**

2) 손상별 현황

현 황	◦ S2 배수구 상태양호

현 황	◦ S4 배수구 상태양호

현 황	◦ S3/P2지점 배수관 고정핀 부식 1EA
원 인	◦ 오랜 공용중 수분접촉

현 황	◦ S1/P1지점 배수관 고정핀 탈락 1EA
원 인	◦ 시공불량 및 부식에 의한 파손

대 책	◦ 재설치

현 황	◦ S3/좌측 캔틸레버 배수관 용접부 부식 및 누수(A=0.04㎡)	**현 황**	◦ S5/좌측 캔틸레버 배수관 부식(A=0.04㎡)
원 인	◦ 용접불량에 의한 누수 및 도장불량	**원 인**	◦ 배수 시 수분접촉
대 책	◦ 용접보수	**대 책**	◦ 주의관찰

3) 원인분석 및 대책방안

① 배수관 부식

배수관 부식은 배수구와 배수관 연결 홈으로 수분이 접촉되어 발생된 결함으로 배수시설의 기능상에 문제점은 없는 상태이므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

② 용접부 부식 및 누수

배수관 용접부 부식 및 누수는 시공초기 용접불량에 의한 결함으로 판단되며, 누수가 진행되어 배수관 고정핀 부식의 원인이 되므로 용접보수가 필요할 것으로 판단된다.

③ 배수관 고정핀 부식

배수관 고정핀 부식은 오랜 공용중 배수관 누수에 의한 교면수 및 우수 접촉에 의한 결함으로 판단되며, 일부 부식이 심한 구간은 파손되어 탈락된 상태이므로 교체보수하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

④ 배수관 고정핀 탈락

배수관 고정핀 탈락은 원활한 배수를 위해 배수관은 종방향으로 구배가 형성된 상태이나 시공미흡에 의한 고정핀 길이가 부족하거나 부식에 의한 파손이 원인으로 판단되며, 향후 배수관 탈락의 우려가 있으므로 재설치하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 배수관 부식, 용접부 부식 및 누수, 지지대 부식 및 탈락의 결함은 금회 진단 시 상세조사 및 공용중 발생된 신규손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었다.

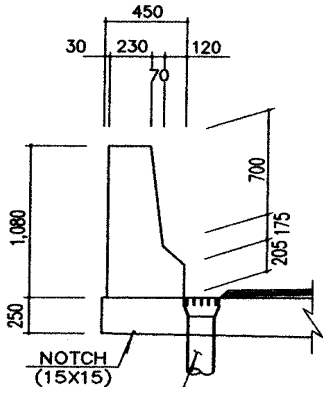
【표 3.33】 배수시설의 기 진단과의 비교, 검토(부산)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2011년	2016년		
배수관 부식	㎡	-	0.46	+ 0.46	• 공용중 발생된 신규손상
용접부 부식 및 누수	㎡	-	0.20	+ 0.20	• 공용중 발생된 신규손상
배수관 고정핀 부식	EA	-	44	+ 44.00	• 상세조사에 의한 신규손상
배수관 고정핀 탈락	EA	-	26	+ 26.00	• 상세조사에 의한 신규손상

나. 방호벽

자동차의 차도이탈 방지 및 맞은편 차선 라이트 차단 등의 기능을 하는 방호벽은 철근콘크리트 구조로 시공되어 있다.

방호벽 전경



방호벽 제원

1) 현장조사 결과

방호벽에 대한 현장조사 결과, 콘크리트 균열, 보수부 재균열, 백태, 파손, 들뜸 및 전선덮개판 탈락의 결함이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.34】과 같다.

【표 3.34】 방호벽의 손상발생 현황(부산)

구분	균열		
	폭 0.3㎜미만 (m/EA)	보수부재균열 (m/EA)	균열 및 백태 (m/EA)
S1	6.90 / 9	2.10 / 2	5.60 / 4
S2	4.80 / 6	-	4.70 / 6
S3	4.60 / 6	2.40 / 3	12.10 / 12
S4	0.80 / 1	-	6.20 / 9
S5	1.30 / 2	-	1.90 / 3
라멘구간	1.60 / 1	-	-
합계	**20.00 / 25**	**4.50 / 5**	**30.50 / 34**

구분	손상 및 열화			
	백태 (㎡/EA)	파손 (㎡/EA)	들뜸 (㎡/EA)	전선덮개판 탈락 (EA)
S1	0.22 / 4	0.23 / 7	0.60 / 2	3
S2	0.05 / 1	0.24 / 6	1.00 / 2	3
S3	0.24 / 4	0.27 / 7	2.75 / 3	1
S4	0.42 / 2	1.07 / 8	1.10 / 1	2
S5	-	0.23 / 5	-	1
라멘구간	-	-	-	-
합계	**0.93 / 11**	**2.04 / 33**	**5.45 / 8**	**10**

2) 손상별 현황

현 황	◦ S3/방호벽 균열(Cw=0.2㎜, L=0.9m)	**현 황**	◦ S5/방호벽 백태균열(Cw=0.1㎜, L=0.7m)
원 인	◦ 건조수축	**원 인**	◦ 미세균열부 우수접촉
대 책	◦ 표면처리	**대 책**	◦ 표면처리
현 황	◦ S4/방호벽 배면 들뜸(A=1.10㎡)	**현 황**	◦ S3/방호벽 배면 들뜸(A=1.50㎡)
원 인	◦ 시공불량 및 피복부족		
대 책	◦ 단면복구		
현 황	◦ S5/방호벽 파손(A=0.03㎡)	**현 황**	◦ S2/방호벽 전선덮개판 탈락(1EA)
원 인	◦ 배수구 설치 시 외부충격	**원 인**	◦ 시공미흡
대 책	◦ 주의관찰	**대 책**	◦ 재설치

3) 원인분석 및 대책방안

① 균열 및 보수부 재균열

방호벽에서 발생된 균열, 보수부 재균열은 건조수축 및 보수미흡에 의한 균열로 판단되며, 폭0.3㎜미만의 미세균열이나 동절기 제설재 살포 등에 의한 염화물 침투가 우려되므로 표면처리하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

② 백태

백태는 미세균열부 틈새로 우수가 접촉되어 발생된 결함으로 구조적인 문제점은 없으나 내구성 확보를 위해 표면처리 보수가 바람직할 것으로 판단된다.

③ 파손

파손은 배수구 설치 시 외부충격 등에 의한 결함으로 손상규모가 경미하여 내구성 저하 영향이 미미하므로 보수방안보다는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

④ 들뜸

들뜸은 방호벽 배면에서 발생된 결함으로 시공미흡 및 피복부족에 의한 결함으로 판단되며, 탈락의 우려가 있으므로 단면복구가 필요할 것으로 판단된다.

⑤ 전선덮개판 탈락

전선덮개판은 가로등 배선연결부에 설치된 기타시설물로 시공초기 설치불량 및 관리미흡에 의한 결함으로 판단되며, 우수 차단을 위해 덮개재설치가 바람직할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 균열, 보수부 재균열, 백태, 파손, 전선덮개판 탈락의 결함은 금회 진단 시 상세조사 및 공용중 발생된 추가(신규)손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었고, 들뜸은 동일손상으로 손상 증감은 없는 것으로 평가되었다.

【표 3.35】 방호벽의 기 진단과의 비교, 검토(부산)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2011년	2016년		
균열(0.3mm미만)	m	10.80	20.00	+ 9.20	• 상세조사에 의한 추가손상
보수부 재균열	m	-	4.50	+ 4.50	• 공용중 발생된 신규손상
균열 및 백태	m	28.70	30.50	+ 1.80	• 공용중 발생된 추가손상
백태	㎡	0.79	0.93	+ 0.14	• 공용중 발생된 추가손상
파손	㎡	-	2.04	+ 2.04	• 공용중 발생된 신규손상
들뜸	㎡	5.45	5.45	-	• 손상변화없음(동일손상)
전선덮개판 탈락	EA	4.00	10.00	+ 6.00	• 공용중 발생된 추가손상

3.3 백운4교(춘천) 외관조사

3.3.1 상부구조

가. 바닥판

상부의 교통하중을 직접 지지하며, 상부하중을 거더로 전달해 주는 바닥판은 거더와 거더 사이의 내측 바닥판과 캔틸레버 구조인 외측바닥판으로 구분되며, 내측 바닥판은 Deck Plate, 외측 바닥판은 강판이 설치되어 있다. 현장조사는 고소점검차를 이용한 근접조사를 실시하였으며, 데크플레이트 및 강판 부식, 변형, 누수, 콘크리트 부재 노출부 균열, 단면손상 등의 손상여부를 중점적으로 조사하였다.

내측 바닥판 전경	외측 바닥판(캔틸레버) 전경

1) 외관조사 결과

바닥판 하면에서 발생된 주요 결함은 데크플레이트 부식, 처짐, 강판 부식 및 도장박리, 콘크리트 망상균열 및 백태, 열화 및 박락의 결함과 기타 부착시설물로 전선 보호덮개 강판 부식 및 탈락의 손상이 조사되었다. 손상현황은 【표 3.36】, 【표 3.37】과 같다.

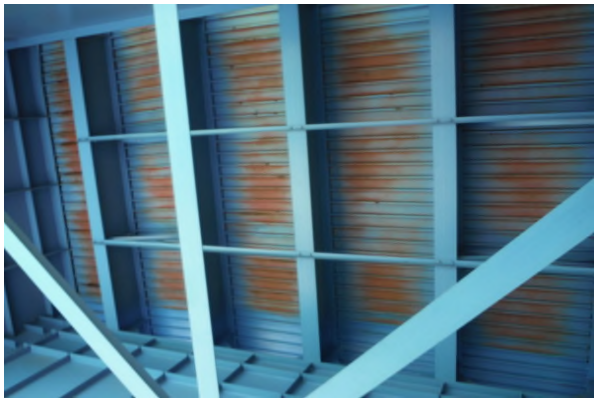
【표 3.36】 바닥판의 손상현황(춘천)(1)

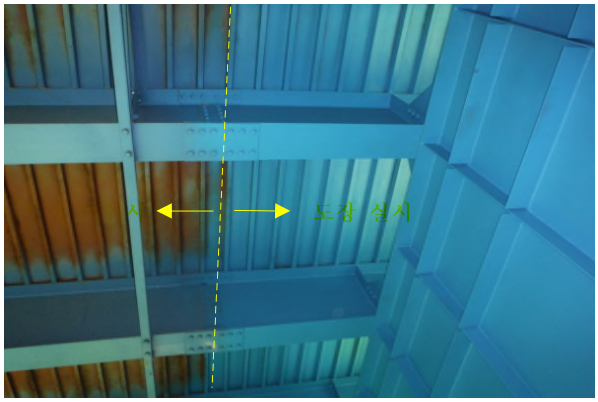
구분	데크 플레이트		강판	
	부식 (㎡/EA)	처짐 (㎡/EA)	부식 (㎡/EA)	도장박리 (㎡/EA)
S1	456.12 / 71	-	67.82 / 41	0.01 / 1
S2	504.00 / 60	-	45.74 / 28	-
S3	504.00 / 60	-	83.42 / 30	0.06 / 1
S4	504.00 / 60	-	74.96 / 46	-
S5	494.23 / 80	3.00 / 1	64.57 / 61	0.54 / 2
합계	**2462.35 / 331**	**3.00 / 1**	**336.51 / 206**	**0.61 / 4**

【표 3.37】 바닥판의 손상현황(춘천)(2)

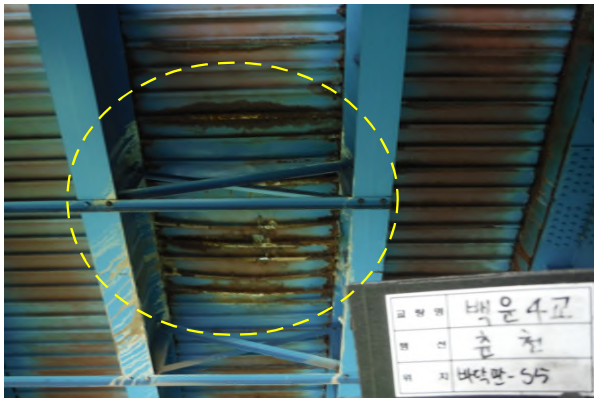
구분	콘크리트		전선 보호덮개	
	망상균열 및 백태 (㎡/EA)	박락 (㎡/EA)	부식 (㎡/EA)	탈락 (m/EA)
S1	2.40 / 1	0.25 / 1	1.55 / 16	10.00 / 2
S2	-	0.60 / 1	1.33 / 12	5.00 / 2
S3	-	0.20 / 1	4.26 / 10	2.00 / 1
S4	-	0.60 / 1	2.40 / 14	4.00 / 2
S5	-	0.60 / 1	5.05 / 13	14.00 / 6
합계	**2.40 / 1**	**2.25 / 5**	**14.59 / 65**	**35.00 / 13**

2) 손상별 현황

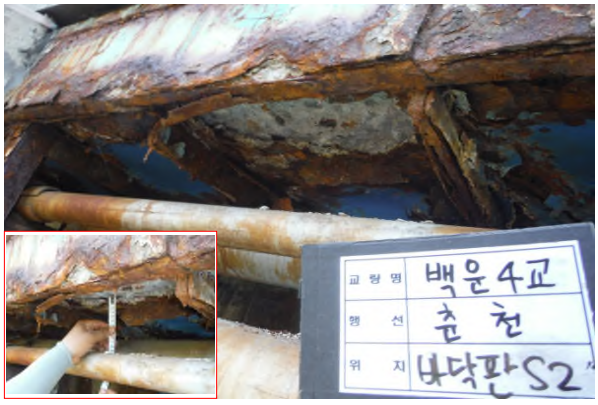
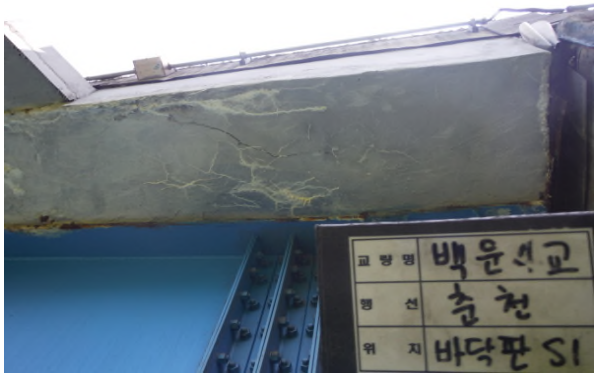


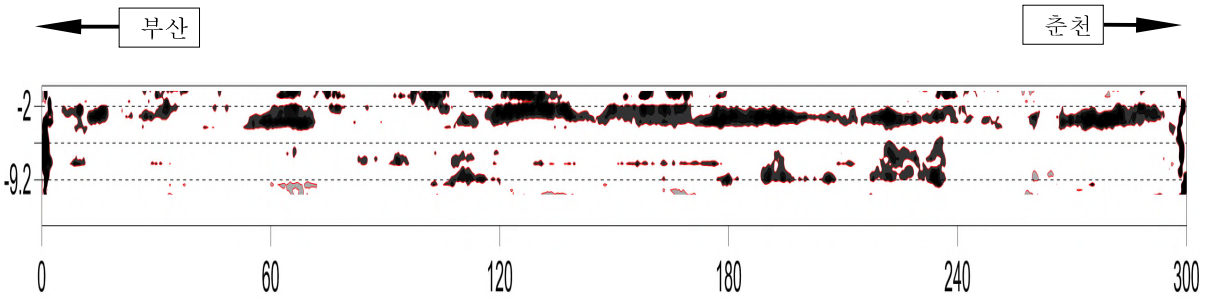


현 황	◦ S4/내측 바닥판 데크플레이트 부식(A=504.00㎡)	**현 황**	◦ S1/A1지점 내측 바닥판 데크플레이트 도장보수 - 상태양호
원 인	◦ 시공시 도장 미실시 및 오랜 공용중 수분접촉 ⇒ 바닥판 누수의 영향은 아님		
대 책	◦ 비구조적 부재이며, 바닥판 누수의 영향이 아니므로 주의관찰토록 함		



현 황	◦ S5/내측 바닥판 데크플레이트 처짐 (A=3.00㎡)	**현 황**	◦ S5/내측 바닥판 데크플레이트 처짐부 교면포장 보수현황
원 인	◦ 교면포장 및 바닥판 손상부 단면보수를 위한 치핑 작업 시 관통 손상이 발생하였으며, 단면보수 시 관통부를 통한 일부 콘크리트 유입에 의한 처짐		
대 책	◦ 인접 거더의 변형 및 처짐은 발생치 않은 상태이므로 주의관찰		

현 황	◦ S1/우측 캔틸레버 강판 부식 (A=1.80㎡)	현 황	◦ S1/A1지점 바닥판 우측면 강판 부식 (A=18.00㎡)
원 인	◦ 가로등 기초를 통한 우수접촉	원 인	◦ 오랜공용중 외측부 우수접촉
대 책	◦ 가로등 기초에 대한 우수차단 강판 설치된 상태이며, 비구조적 부재이므로 주의관찰		
			
현 황	◦ S1/우측 캔틸레버하면(가로등 기초부) 강판 파손 및 콘크리트 박락(A=0.25㎡)	현 황	◦ S2/우측 캔틸레버하면(가로등 기초부) 강판 파손 및 콘크리트 박락(A=0.60㎡)
원 인	◦ 가로등 기초를 통해 우수유입 및 체수 (열화 및 박락 깊이: t= 20~30mm)		
대 책	◦ 강판 제거 및 단면복구, 물끊기 홈 설치		
			
현 황	◦ S1/A1지점 우측 캔틸레버하면 망상균열 및 백태(A=2.40㎡)	현 황	◦ S2/우측 캔틸레버하면 전선 보호덮개 탈락(L=2.00m)
원 인	◦ 보수부 우수접촉	원 인	◦ 우수접촉에 의한 부식파손
대 책	◦ 물끊기홈 설치 및 표면처리	대 책	◦ 재설치



현 황	◦교면 GPR 조사결과 - 바닥판 열화(A=504.00㎡) : 기 진단(2013년) 자료

현 황	◦S2/갓길 포장 코어채취 - 표층열화 : 기 진단(2013년) 자료

현 황	◦S4/갓길 재포장 보수완료 : 금회 진단	**현 황**	◦S2 코어채취부 방수층 양호 : 금회 진단
평 가	◦기 진단(2013년) 시 교면 GPR 조사 및 코어채취를 통한 바닥판 조사결과, 갓길측에서 바닥판 상면에서 표층 열화가 조사되었으나 금회 진단 시 현장조사 결과, 교면포장/갓길측은 전 구간 재포장 및 바닥판 열화부 보수가 시행된 상태이며, S2의 교면포장을 코어채취한 결과, 바닥판 상면의 도막 방수층은 양호한 상태로 조사되었다.		

3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

① 데크플레이트 부식

바닥판하면의 데크플레이트는 전체적으로 부식이 발생한 상태이나 이는 시공시 도장미실시 및 오랜 공용중 수분접촉에 의한 원인으로 바닥판 누수의 영향은 없는 것으로 판단되며, 데크플레이트 부재는 비구조적 부재로 구조물의 안전성과는 무관한 부재이므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

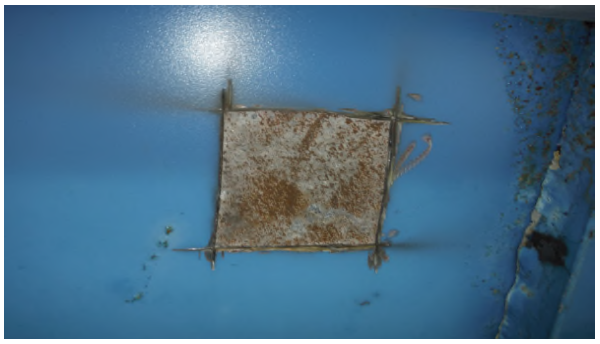
② 데크플레이트 처짐

데크플레이트 처짐은 공용중 S5에서 발생된 포장 및 바닥판 단면복구 작업 중 발생된 결함으로 구조적인 영향은 없는 상태이다. 따라서 보수방안보다는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

③ 강판 부식 및 도장박리

외측 캔틸레버 및 측면의 강판부식 및 도장박리는 공용장기화에 따른 도장열화 및 외측부 우수접촉에 의해 발생된 결함으로 일부 강판을 절단하여 내부 콘크리트 열화 여부를 검토한 결과, 콘크리트는 양호한 상태로 조사되었다. 따라서 강판부식 및 도장박리에 의한 바닥판 내구성 저하는 없는 것으로 판단되므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

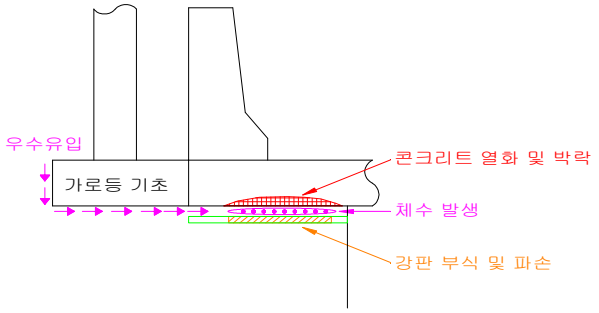
외측 캔틸레버 강판 절취 현황



강판 절취부 콘크리트 표면 현황 : 상태양호

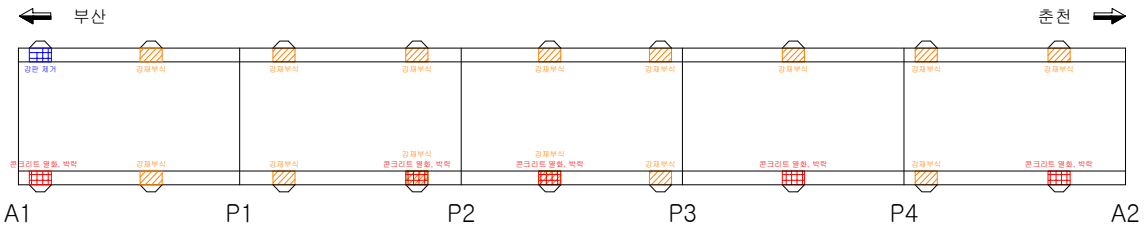
④ 콘크리트 박락

콘크리트 박락은 【그림 3.4】와 같이 가로등 기초를 통해 유입된 우수가 강판과 바닥판 틈새에 오랜기간 체수되면서 발생된 결함으로 판단되며, 현장조사 시 가로등 기초부 우수유입 차단 강판이 설치된 상태이나 내구성 확보를 위해 콘크리트 박락부는 강판 제거, 콘크리트 단면복구 및 물끊기 홈 설치가 바람직할 것으로 판단된다.



< 콘크리트 열화 및 박락 발생 개요도 >

< 기초부 우수차단 강판 설치현황 >



< 가로등 기초부 콘크리트 열화 및 박락 손상 현황 >

【그림 3.4】 콘크리트 박락 발생 개요도 및 현황

⑤ 전선 보호덮개 부식 및 탈락

전선 보호덮개 부식 및 탈락은 오랜 공용중 외측부 우수접촉에 의해 발생된 결함으로 교량 구조물에 미치는 영향은 없는 결함이므로 부식은 주의관찰토록 하며, 전선 보호덮개 탈락은 전선의 우수접촉 차단을 위해 재설치하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

⑥ 콘크리트 망상균열 및 백태

S1/A1지점부 좌측 캔틸레버는 강판 제거 후 표면처리 보수가 실시된 상태이나 물끊기 홈 미설치에 의한 수분접촉으로 망상균열 및 백태가 재발생한 것으로 판단되며, 내구성 확보를 위해 물끊기 홈 설치 및 표면처리 보수가 필요할 것으로 판단된다.

⑦ 콘크리트 열화

기 진단(2013년) 시 교면 GPR탐사 및 코어채취 조사결과, 포장/갓길측에서 바닥판 상면 표층열화가 전 경간 발생된 것으로 평가되었으나 금회 진단 시 갓길측 재포장 및 바닥판 열화부 보수가 실시되었으며, 방수층도 양호한 것으로 조사되어 콘크리트 열화에 대한 보수는 실시된 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

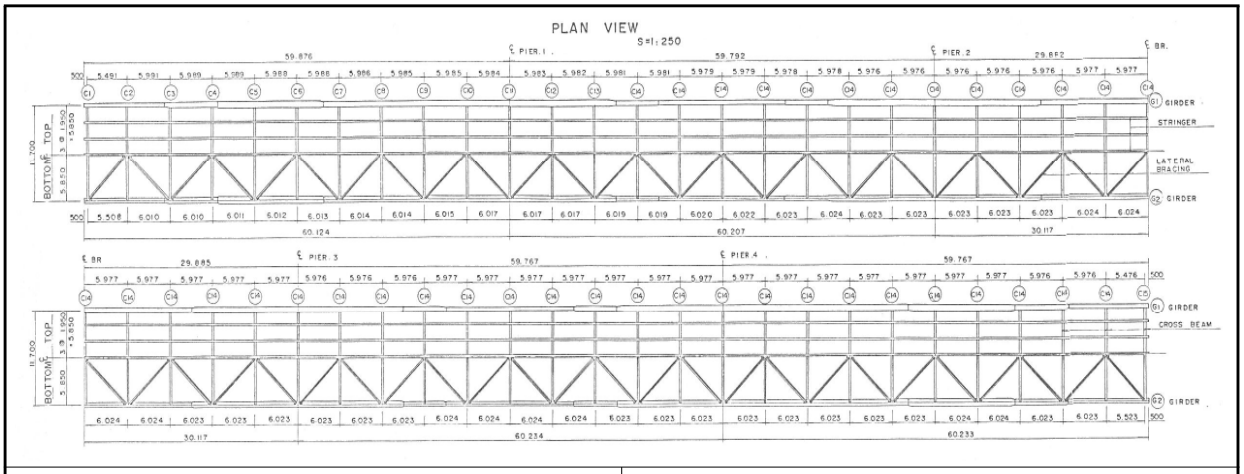
기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 데크플레이트 부식 및 처짐, 강판 부식, 도장박리, 콘크리트 망상균열 및 백태, 박락, 전선 보호덮개 부식 및 탈락의 결함은 금회 진단 시 상세조사에 의한 신규손상 및 추가손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 콘크리트 열화는 교면 재포장 및 방수층 보수가 실시되었으므로 보수가 완료된 것으로 검토되었다.

【표 3.38】 바닥판의 기 진단과의 비교, 검토(춘천)

손상내용		단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
			2013년	2016년			
데크 플레이트	부식	㎡	2,456.50	2,462.35	+	5.85	• 공용중 발생된 추가손상
	처짐	㎡	-	3.00	+	3.00	• 상세조사에 의한 신규손상
강판	부식	㎡	328.84	336.51	+	7.67	• 공용중 발생된 추가손상
	도장박리	㎡	0.60	0.61	+	0.01	• 공용중 발생된 추가손상
콘크리트	망상균열, 백태	㎡	-	2.40	+	2.40	• 공용중 발생된 신규손상
	열화	㎡	504.00	-	-	504.00	• 재포장 및 열화부 보수완료
	박락	㎡	-	2.25	+	2.25	• 공용중 발생된 신규손상
전선 보호덮개	부식	㎡	9.86	14.59	+	4.73	• 공용중 발생된 추가손상
	탈락	m	9.00	35.00	+	24.00	• 공용중 발생된 추가손상

나. 거더

바닥판으로부터 전달되는 하중을 지지하고 교량받침을 통하여 하부구조로 하중을 전달해 주는 역할을 하는 거더는 최소단면으로 큰 강성을 갖을 수 있는 Steel Plate Girder 형식의 2열로 시공되었으며, 조사방법은 도보 및 교량점검차를 이용한 근접조사를 실시하였다.



거더 전경

거더 현장이음부 전경

1) 외관조사 결과

거더에 대한 현장조사 결과, 도장박리, 부식, 볼트부식, 녹물흔적, 볼트누락, 천공홀, 변형 및 기공의 결함이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.39】,【표 3.40】과 같다.

【표 3.39】 거더의 손상현황(춘천)(1)

구분	도장박리 (㎡/EA)	부식 (㎡/EA)	볼트부식 (㎡/EA)	녹물흔적 (㎡/EA)
S1	3.32 / 6	113.63 / 21	33.40 / 8	1.20 / 1
S2	1.22 / 6	48.95 / 22	42.40 / 8	1.60 / 2
S3	0.06 / 5	44.39 / 25	42.40 / 8	-
S4	3.71 / 9	23.78 / 11	42.40 / 8	-
S5	4.77 / 32	30.00 / 28	42.40 / 8	3.75 / 2
합계	**13.08 / 58**	**260.75/ 107**	**203.00/ 40**	**6.55 / 5**

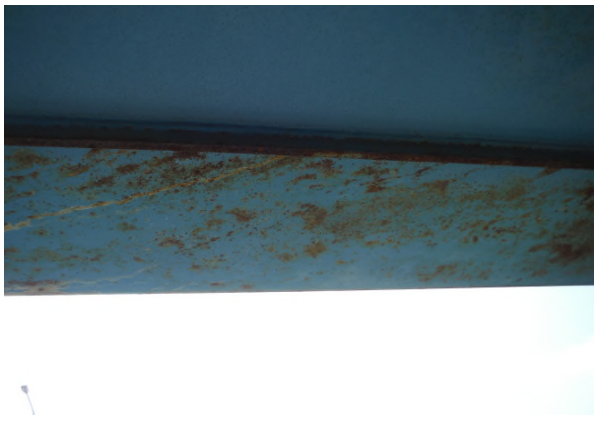
【표 3.40】 거더의 손상현황(춘천)(2)

구분	볼트누락 (EA)	변형 (EA)	천공홀 (EA)	기공 (EA)
S1	-	1	16	16
S2	-	1	-	-
S3	-	-	-	4
S4	1	-	-	-
S5	-	-	32	-
합계	**1**	**2**	**48**	**20**

2) 손상별 현황

현 황	◦ S5-G1-RW 도장박리(A=0.40㎡)
원 인	◦ 공용장기화에 따른 도장열화
대 책	◦ 도장보수

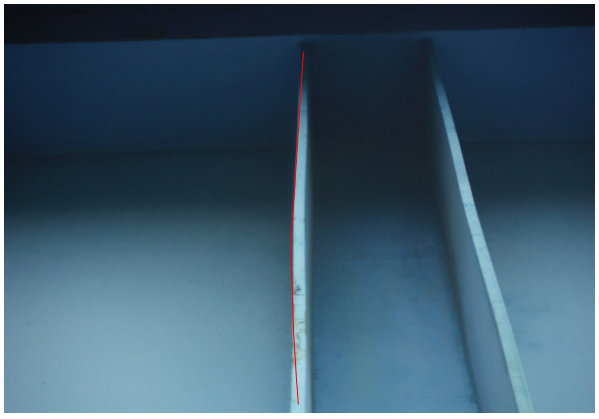
현 황	◦ S3-G2-LF 부식(A=0.70㎡)
원 인	◦ 공용장기화 및 우수접촉
대 책	◦ 도장보수



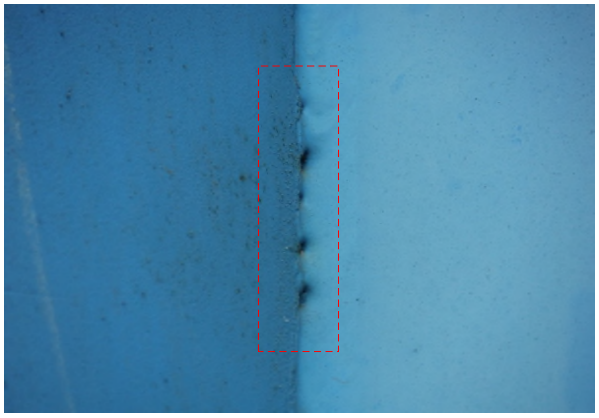
현 황	◦ S2-G1-LF 부식(A=0.60㎡)
원 인	◦ 공용장기화 및 우수접촉
대 책	◦ 도장보수

현 황	◦ S1-G1-LW 부식 및 녹물(A=1.20㎡)
원 인	◦ 캔틸레버 강판 부식부 녹물 접촉
대 책	◦ 도장보수

현 황	◦ S1-G2-SP1 볼트부식(A=5.30㎡)	현 황	◦ S3-G2-SP2 볼트부식(A=5.30㎡)
원 인	◦ 공용장기화에 따른 도장열화 및 우수접촉		
대 책	◦ 도장보수		



현 황	◦ S4-G2-SP2 볼트누락(1EA)	현 황	◦ S1-G2-P1지점 수직보강재 변형(1EA)
원 인	◦ 시공불량	원 인	◦ 시공초기 외부충격
대 책	◦ 주의관찰	대 책	◦ 주의관찰



현 황	◦ S1-G2-LF 천공홀(4EA)	현 황	◦ S1-G2-P1지점 용접부 기공(4EA)
원 인	◦ 거더 설치에 따른 인위적 천공	원 인	◦ 용접불량
대 책	◦ 주의관찰	대 책	◦ 주의관찰

3) 원인분석 및 대책방안

① 도장박리

거더에서 발생된 도장박리는 공용장기화에 따른 도장열화가 주원인으로 판단되며, 장기적인 내구성 확보를 위해 도장보수가 필요할 것으로 판단된다.

② 부식

부식은 공용장기화에 따른 도장열화, 우수 및 대기중의 수분접촉 등에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 부식에 따른 단면 감소는 없는 상태이나 내구성 확보를 위한 도장보수가 적합할 것으로 판단된다.

③ 볼트부식

현장이음부는 전반적으로 볼트체결 상태는 양호하나 볼트부식이 전체적으로 발생한 상태로 공용장기화에 따른 도장열화, 우수 및 대기중의 수분접촉 등에 의한 결함으로 판단되며, 도장보수가 적합할 것으로 판단된다.

④ 녹물흔적

녹물흔적은 캔틸레버측의 강판부식이 발생한 부위에서 녹물이 흘러내려 발생된 결함으로 그로 인한 거더 부식이 진행되므로 내구성 확보를 위해 도장보수가 필요할 것으로 판단된다.

⑤ 볼트누락

시공미흡에 의해 볼트누락이 1개소 조사되었으나 그 외 현장이음부의 볼트체결 상태는 양호한 상태로 구조물의 안전성에 미치는 영향은 미미하기에 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

⑥ 변형

거더에서 발생된 변형은 거더의 지점부 수직보강재 2열 중 1열에서 발생된 결함으로 구조적인 영향보다는 시공초기 외부충격에 의한 결함으로 판단되며, 손상규모가 경미하므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

⑦ 천공홀

거더의 하부플랜지에서 발생된 천공홀은 시공 과정에서 인위적으로 발생된 결함으로 판단되며, 거더의 안전성 및 내구성 저하 영향은 없는 손상이므로 주의관찰이 바람직하겠다.

⑧ 기공

거더의 수직리브 용접연결 시 용접불량에 의해 발생된 결함으로 손상규모가 경미하므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 도장박리, 부식, 볼트부식, 녹물흔적, 기공의 결함은 상세조사 및 공용기간 증가에 따른 추가(신규)손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것

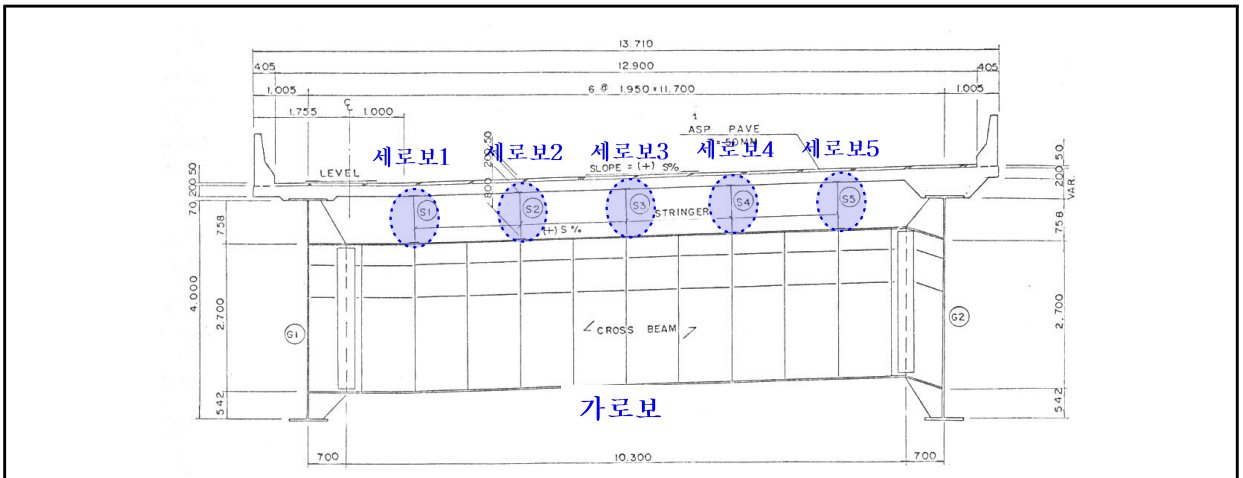
으로 조사되었으며, 볼트누락, 변형, 천공홀의 결함은 동일손상으로 손상물량의 증감은 없는 것으로 검토되었다.

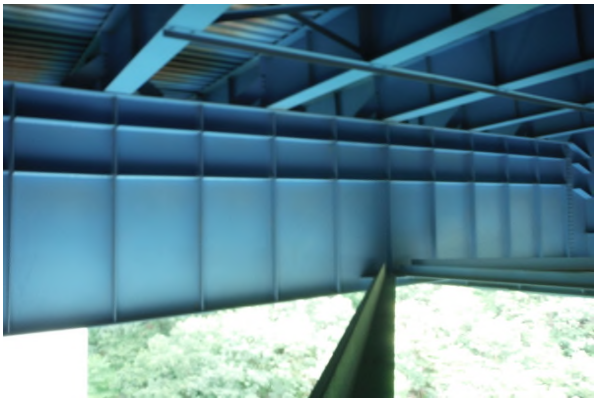
【표 3.41】 거더의 기 진단과의 비교, 검토(춘천)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2013년	2016년		
도장박리	㎡	8.53	13.08	+ 4.55	• 공용중 발생된 추가손상
부식	㎡	214.30	260.75	+ 46.45	• 공용중 발생된 추가손상
볼트부식	㎡	159.00	203.00	+ 44.00	• 공용중 발생된 추가손상
녹물흔적	㎡	-	6.55	+ 6.55	• 공용중 발생된 신규손상
볼트누락	EA	1.00	1.00	-	• 손상변화 없음(동일손상)
변형	EA	2.00	2.00	-	• 손상변화 없음(동일손상)
천공홀	EA	48.00	48.00	-	• 손상변화 없음(동일손상)
기공	EA	-	20.00	+ 20.00	• 상세조사에 의한 신규손상

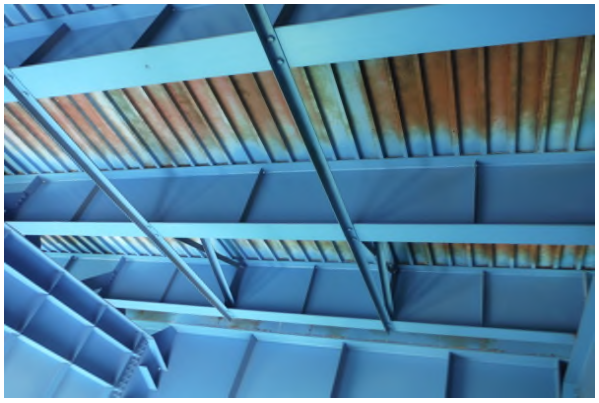
다. 가로보 및 세로보

공용기간중 거더의 횡변형을 방지해주며, 상부에 작용하는 하중을 분배시켜주는 역할을 하는 가로보 및 세로보는 강재로 시공되어 있다.





가로보 전경



세로보 전경

1) 현장조사 결과

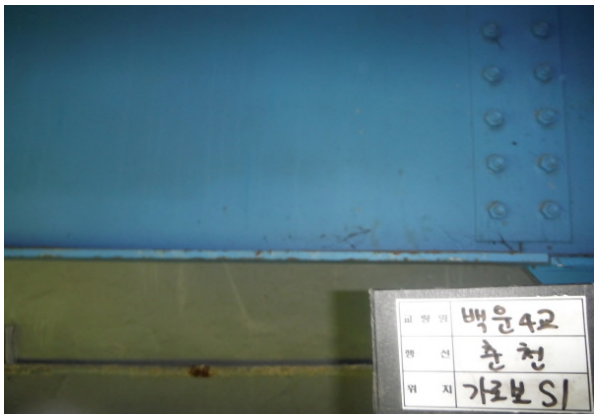
현장조사 결과, 가로보 및 세로보에서 도장박리, 부식, 볼트부식, 누수오염, 볼트풀림 및 변형의 결함이 조사되었고, 손상현황은 【표 3.42】과 같다.

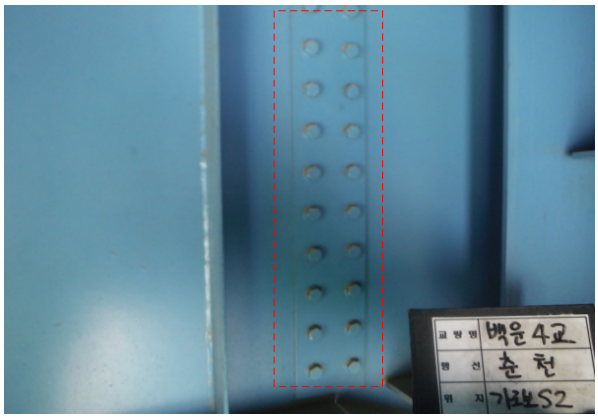
【표 3.42】 가로보 및 세로보의 손상현황(춘천)

구분	도장박리 (㎡/EA)	부식 (㎡/EA)	볼트부식 (㎡/EA)	누수오염 (㎡/EA)	볼트풀림 (EA)	변형 (EA)
S1	0.51 / 13	0.50 / 3	0.70 / 2	-	-	1
S2	1.51 / 18	-	0.94 / 2	-	-	-
S3	0.43 / 9	0.01 / 1	1.70 / 4	-	1.00 / 1	-
S4	0.52 / 4	0.30 / 1	0.80 / 2	-	-	1
S5	0.19 / 6	0.52 / 3	0.80 / 4	3.20 / 2	-	3
합계	**3.16 / 50**	**1.33 / 8**	**4.94 / 14**	**3.20 / 2**	**1.00 / 1**	**5**

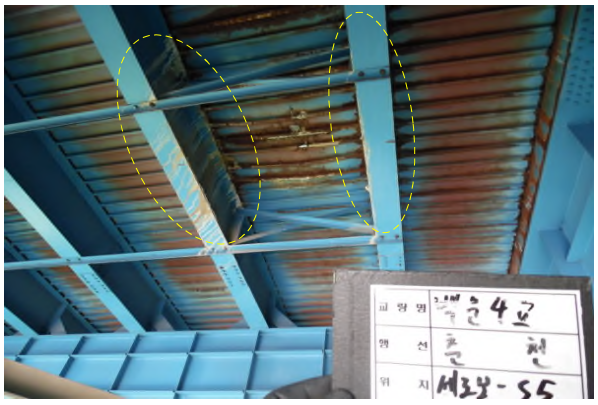
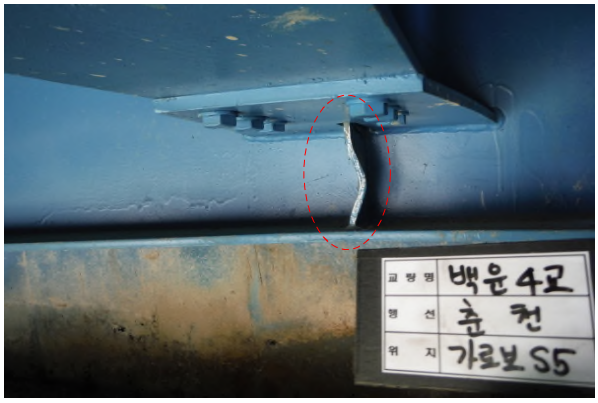
2) 손상별 현황

현 황	◦ S5-CB2-전면 도장박리(A=0.07㎡)	**현 황**	◦ S1-ST4-LF 도장박리(A=0.04㎡)
원 인	◦ 공용장기화에 따른 도장열화		
대 책	◦ 도장보수		





현 황	◦ S1-CB1-배면(A1지점) 부식(A=0.20㎡)	**현 황**	◦ S2-CB1-전면 볼트부식(A=0.40㎡)
원 인	◦ 공용장기화에 따른 도장열화 및 대기중의 수분접촉(안개)		
대 책	◦ 도장보수		

			
현 황	◦ S5-ST1~2 누수오염(A=3.20㎡)	**현 황**	◦ S3-CB11-전면(P3지점) 볼트풀림(1EA)
원 인	◦ 상부 바닥판 보수 시 몰탈수 누수	**원 인**	◦ 시공초기 볼트체결 불량
대 책	◦ 주의관찰	**대 책**	◦ 주의관찰
			
현 황	◦ S1-CB11-P1지점 변형 및 파손(1EA)	**현 황**	◦ S5-CB11-전면(A2지점) 변형(1EA)
원 인	◦ 시공초기 외부충격		
대 책	◦ 주의관찰		

3) 원인분석 및 대책방안

① 도장박리, 부식 및 볼트부식

도장박리 및 부식은 공용장기화에 따른 도장열화 및 대기중의 수분접촉(안개) 등에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 모재 상태는 양호하여 구조물의 안전성에 미치는 영향은 없으나 내구성 확보를 위해 도장보수가 적합할 것으로 판단된다.

② 누수오염

세로보에서 조사된 누수오염은 S5의 상부 바닥판 보수 시 몰탈수가 흘려내려 발생된 결함으로 바닥판 누수의 영향은 없는 것으로 조사되어 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

③ 볼트풀림

볼트풀림은 시공초기 볼트체결 불량에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 그 외 볼트체결 상태는 양호한 것으로 조사되었다. 볼트풀림의 손상규모는 1개소로 가로보의 안전성에 미치는 영향은 미미한 상태이므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

④ 변형

2차 부재에서 발생된 변형은 시공초기 외부충격에 의한 결함으로 구조적인 영향은 없는 것으로 조사되었다. 따라서 보수방안보다는 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

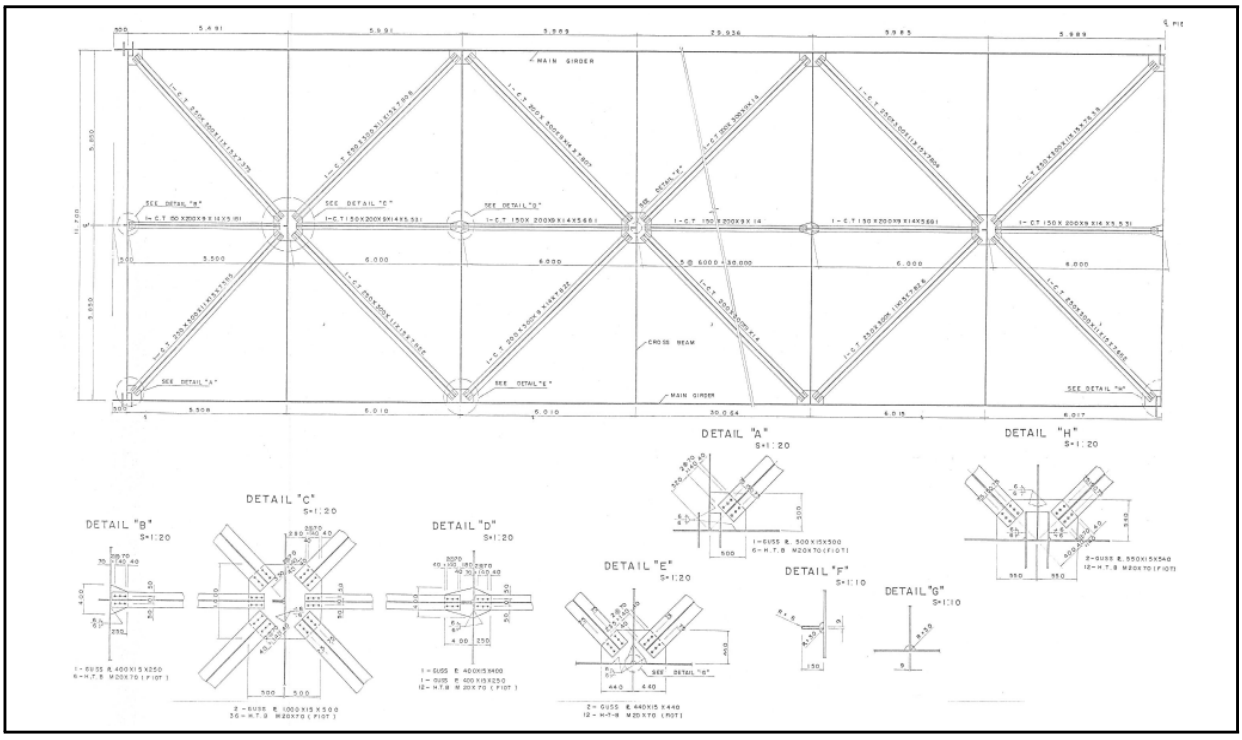
기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 도장박리, 부식, 볼트부식, 변형의 결함은 상세조사 및 공용기간 증가에 따른 추가(신규)손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 누수오염 및 볼트풀림의 결함은 동일손상으로 조사되어 손상물량의 증감은 없는 것으로 평가되었다.

【표 3.43】 가로보 및 세로보의 기 진단과의 비교, 검토(춘천)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2013년	2016년		
도장박리	㎡	1.08	3.16	+ 0.13	● 공용중 발생된 추가손상
부식	㎡	-	1.33	+ 1.33	● 공용중 발생된 신규손상
볼트부식	㎡	0.74	4.94	+ 4.20	● 공용중 발생된 추가손상
누수오염	㎡	3.20	3.20	-	● 손상변화 없음(동일손상)
볼트풀림	EA	1.00	1.00	-	● 손상변화 없음(동일손상)
변형	EA	3.00	5.00	+ 2.00	● 상세조사에 의한 추가손상

라. 브레이싱

가로보와 병행하여 공용기간중 거더의 횡변형을 방지시켜주는 역할을 하는 브레이싱은 L형강으로 거더 하단/측면에 용접이음된 연결판(Gusset)과 볼트로 연결되어 있다.



브레이싱 전경	연결판(Gusset) 전경

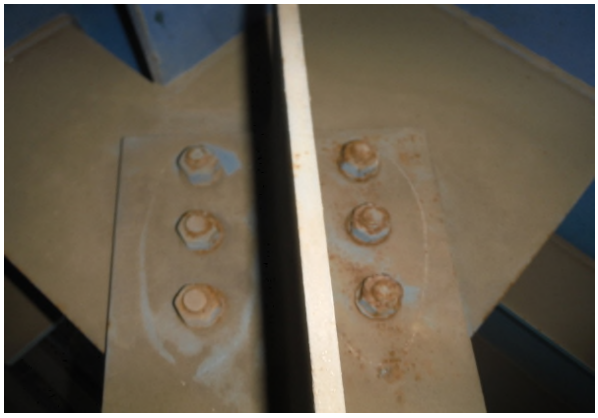
1) 현장조사 결과

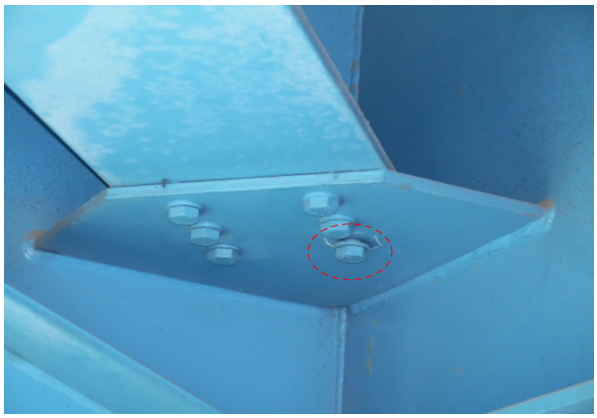
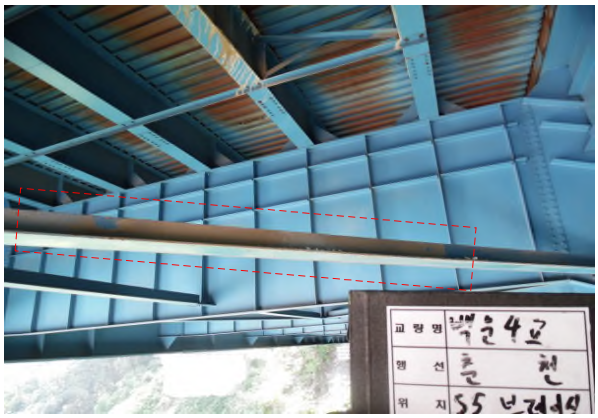
브레이싱에 대한 현장조사 결과, 부식, 볼트부식, 볼트풀림 및 누수오염의 결함이 국부적으로 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.44】과 같다.

【표 3.44】브레이싱의 손상현황(춘천)

구분	부식 (㎡/EA)	볼트부식 (㎡/EA)	볼트풀림(EA)	누수오염 (㎡/EA)
S1	2.30 / 8	0.04 / 2	-	-
S2	3.75 / 7	0.20 / 10	-	-
S3	3.50 / 6	0.54 / 27	-	-
S4	9.70 / 10	0.56 / 28	1.00	-
S5	1.95 / 6	0.28 / 14	-	3.00 / 1
합계	**21.20 / 37**	**1.62 / 81**	**1.00**	**3.00 / 1**

2) 손상별 현황

			
현 황	◦ S4/브레이싱 부식(A=2.40㎡)	**현 황**	◦ S4/브레이싱 볼트부식(A=0.04㎡)
원 인	◦ 공용장기화에 따른 도장열화 및 대기중의 수분접촉(안개)		
대 책	◦ 도장보수		

			
현 황	◦ S4/브레이싱 연결부 볼트풀림(1EA)	**현 황**	◦ S5/브레이싱 누수오염(A=3.00㎡)
원 인	◦ 시공초기 볼트체결 불량	**원 인**	◦ 상부 바닥판 보수 시 몰탈수 누수
대 책	◦ 주의관찰	**대 책**	◦ 주의관찰

3) 원인분석 및 대책방안

① 부식 및 볼트부식

브레이싱에서 발생된 부식 및 볼트부식은 공용장기화에 따른 도장열화 및 대기중의 수분접촉(안개) 등에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 내구성 확보차원에서 도장보수가 적합할 것으로 판단된다.

② 볼트풀림

연결판의 용접 및 볼트연결 상태는 전반적으로 양호하나 S4에서 볼트풀림이 1개소 조사되었고, 발생구간의 타 연결부는 체결상태가 양호하므로 공용중 발생된 것으로 보기 어려우므로 시공초기 볼트체결불량에 의해 발생된 것으로 판단된다. 따라서 보수방안보다는 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

③ 누수오염

세로보의 누수오염과 동일 구간으로 상부 바닥판 단면보수 시 몰탈수가 흘러내려 발생된 손상으로 구조물의 안전성 및 내구성 저하 영향이 없는 결함이므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 부식 및 볼트부식의 결함은 공용기간 증가에 따른 추가손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 볼트풀림 및 누수오염의 결함은 동일손상으로 손상물량 증감은 없는 것으로 평가되었다.

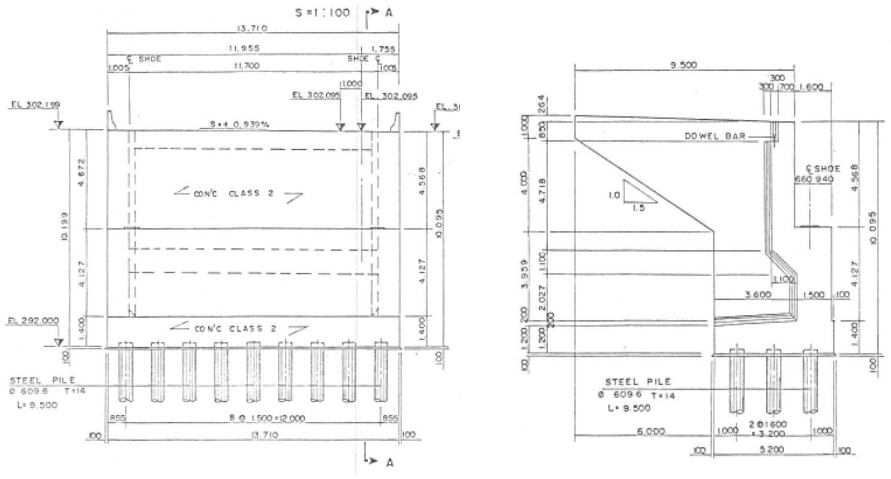
【표 3.45】 브레이싱의 기 진단과의 비교, 검토(부산)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2013년	2016년		
부식	㎡	9.80	21.20	+ 11.40	● 공용중 발생된 추가손상
볼트부식	㎡	1.32	1.62	+ 0.30	● 공용중 발생된 추가손상
볼트풀림	EA	1.00	1.00	-	● 손상변화 없음(동일손상)
누수오염	㎡	3.00	3.00	-	● 손상변화 없음(동일손상)

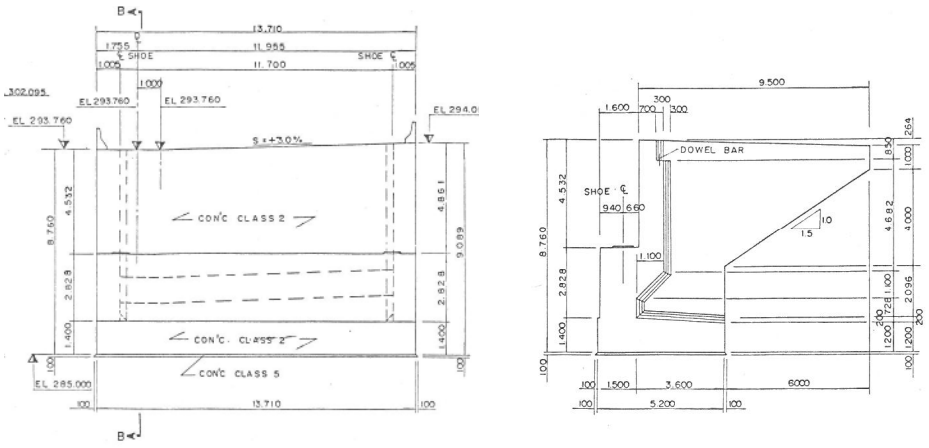
3.3.2 하부구조

가. 교대

본 교량의 교대는 A1, A2 2기로 구성되어 A1은 역T형 교대의 강관파일 기초이며, A2는 역T형 교대의 직접기초로 시공되어 있다.



< 교대(A1) 일반도 >



< 교대(A2) 일반도 >

교대(A1) 전경

교대(A2) 전경

1) 현장조사 결과

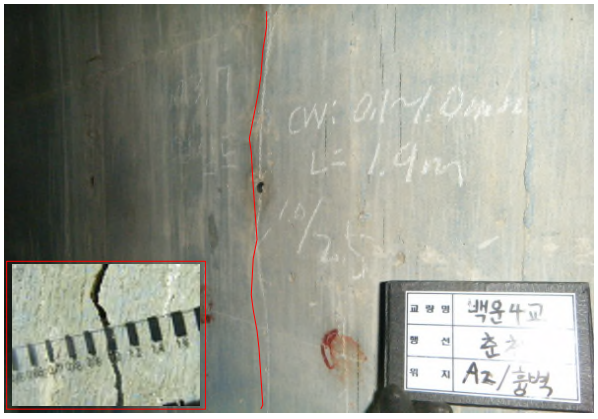
교대의 흉벽 및 구체에 대한 현장조사 결과, 건조수축에 의한 균열, 망상균열, 백태, 녹물흔적, 재료분리, 단면손상, 체수, 잡철근노출의 결함이 조사되었으나 진단 기간 중 Cw= 0.3mm 이상 균열에 대한 보수가 실시되었으며, 기초는 노출되지 않은 상태로 손상현황은 【표 3.46】과 같다.

【표 3.46】 교대 손상발생 현황(춘천)

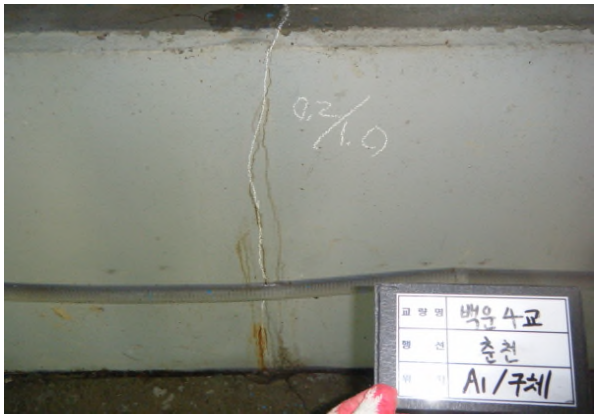
구분	균열		
	0.3㎜미만 (m/EA)	망상균열 (㎡/EA)	망상균열 및 백태 (㎡/EA)
A1	6.40 / 7	20.80 / 3	-
A2	12.00 / 13	30.48 / 2	1.40 / 1
합계	**18.40 / 20**	**51.28 / 5**	**1.40 / 1**

구분	열화 및 손상				
	백태 (㎡/EA)	재료분리 (㎡/EA)	들뜸 및 파손 (㎡/EA)	체수 (㎡/EA)	잡철근노출 (㎡/EA)
A1	0.04 / 1	-	0.32 / 9	16.50 / 2	0.24 / 19
A2	2.25 / 1	0.89 / 3	2.07 / 8	17.00 / 1	0.49 / 49
합계	**2.29 / 2**	**0.89 / 3**	**2.39 / 17**	**33.50 / 3**	**0.73 / 68**

2) 손상별 현황



현 황	◦ A2/흉벽 균열(Cw=0.1~1.0㎜, L=2.5m)	**현 황**	◦ A2/흉벽 균열 보수 후 현황
원 인	◦ 시공초기 건조수축 및 수화열		
대 책	◦ 기존 손상과 동일하게 조사되었으나 진단 기간 중 균열 보수가 실시됨 ⇨ 보수상태양호		

			
현 황	◦ A1/구체 균열(Cw=0.2㎜, L=1.0m)	현 황	◦ A2/흉벽 망상균열 및 백태(A=1.40㎡)
원 인	◦ 건조수축	원 인	◦ 건조수축 및 수분접촉
대 책	◦ 주의관찰	대 책	◦ 표면처리
현 황	◦ A2/좌측 날개벽 재료분리(A=0.72㎡)	현 황	◦ A2/흉벽 파손(A=0.35㎡)
원 인	◦ 시공불량	원 인	◦ 신축이음 설치 시 외부충격
대 책	◦ 주의관찰	대 책	◦ 단면복구
현 황	◦ A1/흉벽 잡철근노출(A=0.01㎡)	현 황	◦ A2/교좌면 체수(A=17.00㎡)
원 인	◦ 거푸집 제거시 마감불량	원 인	◦ 외측부 우수유입 및 신축이음 누수
대 책	◦ 주의관찰	대 책	◦ 주의관찰

3) 원인분석 및 대책방안

① 균열

교대에서 조사된 균열의 형상 및 발생 위치 등을 검토한 결과, 시공초기 건조수축 및 수화열에 의한 비구조적 균열로 구조적인 영향은 없으며, 진단 기간 중 폭 0.3㎜이상의 균열에 대한 보수 및 일부 표면처리 보수가 실시되어 조사된 균열 폭은 0.3㎜미만으로 내구성 저하 영향이 미미한 상태으므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다. 또한 균열부 보수상태는 양호한 것으로 조사되었다.

② 망상균열 및 백태

망상균열은 표면 건조수축에 의한 결함으로 균열 폭은 0.1㎜이하의 미세균열로 허용균열폭(0.3㎜) 미만으로 조사되어 주의관찰토록 하며, 균열 틈의 수분접촉에 의한 백태 발생 구간은 내구성 확보를 위해 표면처리 보수가 적합할 것으로 판단된다.

③ 백태

백태는 미세균열부 틈새로 우수가 유입되어 수산화칼슘 융해에 의해 발생된 결함으로 내구성 확보를 위해 표면처리 보수가 필요할 것으로 판단된다.

④ 재료분리

재료분리는 콘크리트 타설 시 다짐불량에 의해 발생된 결함으로 손상규모가 경미하며, 단면력 저하 영향은 미미한 상태이므로 보수방안보다는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

⑤ 들뜸, 파손

들뜸, 파손 등의 단면손상이 조사되었으며, 이는 신축이음 설치 시 외부충격 및 시공미흡에 의한 결함으로 판단되며, 내구성 확보를 위해 단면복구 보수방안이 바람직할 것으로 판단된다.

⑥ 체수

체수는 외측부 우수유입 및 신축이음 누수에 의해 발생된 결함으로 체수에 의한 내구성 저하 영향은 미미한 상태이므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

⑦ 잡철근노출

잡철근 노출은 시공 시 협재된 비배근 철근 및 거푸집 결속철근이 노출된 결함으로 내구성 저하 및 단면손상이 없는 상태이며, 내구성 저하 영향이 미미한 결함이므로 보수방안보다는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

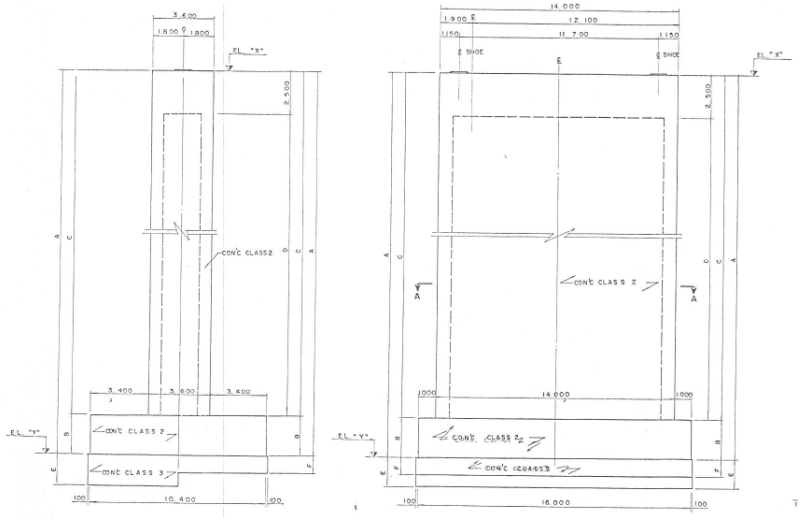
기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 균열(0.3mm미만), 균열(0.3mm이상), 망상균열, 백태, 단면손상, 체수, 잡철근노출의 결함은 금회 진단 시 상세조사 및 공용기간 증가에 따른 추가(신규)손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 재료분리의 결함은 공용중 A1/흉벽에서 일부 보수가 실시되어 손상물량이 감소하였으며, 보수상태는 양호한 것으로 평가되었다.

【표 3.47】 교대의 기 진단과의 비교, 검토(춘천)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2013년	2016년		
균열(0.3㎜미만)	m	2.00	18.40	+ 16.40	• 상세조사에 의한 추가손상
균열(0.3㎜이상)	m	17.20	-	- 17.20	• 진단 기간중 보수완료
망상균열	㎡	49.00	51.28	+ 2.28	• 상세조사에 의한 추가손상
망상균열 및 백태	㎡	-	1.40	+ 1.40	• 상세조사에 의한 신규손상
백태	㎡	2.25	2.29	+ 0.04	• 공용중 발생된 신규손상
재료분리	㎡	2.23	0.89	- 1.34	• 공용중 일부 보수완료
들뜸 및 파손	㎡	1.58	2.39	+ 0.81	• 상세조사에 의한 추가손상
체수	㎡	3.00	33.50	+ 30.50	• 공용중 발생된 추가손상
잡철근노출	㎡	0.24	0.73	+ 0.49	• 상세조사에 의한 추가손상

나. 교각

상부구조를 지지하는 구조물인 교각은 벽식(중공)으로 되어있으며, 기초는 직접기초로 시공되어 있다. 현장조사는 도보 및 고소점검차를 이용한 근접조사를 실시하였다.



교각 전경(P2)

교각 전경(P3)

1) 현장조사 결과

교각에 대한 현장조사 결과, 건조수축 균열, 백태, 표면불량, 보수재 박리, 재료분리, 단면손상, 잡철근노출, 앵커볼트노출의 결함이 조사되었고, 기존 손상에 대한 일부 표면처리 보수가 실시되었으며, 보수상태는 양호하다. 손상현황은 【표 3.48】과 같다.

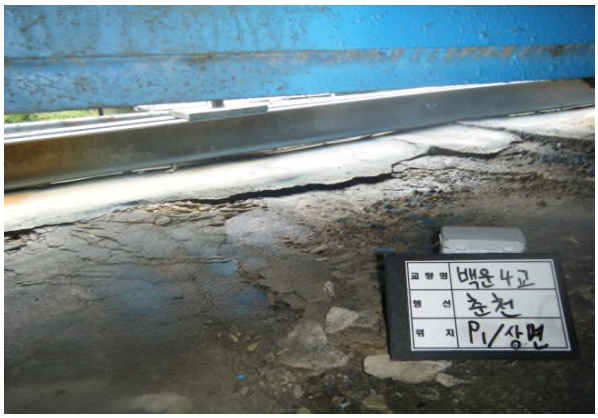
【표 3.48】 교각 손상발생 현황(춘천)

구분	균열			열화 및 손상			
	(0.3㎜미만) (m/EA)	(0.3㎜이상) (m/EA)	망상균열 (㎡/EA)	파손 (㎡/EA)	들뜸 (㎡/EA)	표면불량 (㎡/EA)	잡철근노출 (㎡/EA)
P1	10.40 / 8	13.10 / 11	2.52 / 1	0.66 / 16	4.48 / 4	-	0.04 / 2
P2	33.30 / 37	8.00 / 7	1.75 / 1	0.09 / 7	1.58 / 3	-	0.17 / 6
P3	43.20 / 47	0.90 / 1	1.02 / 2	0.12 / 6	5.29 / 6	0.53 / 4	0.02 / 1
P4	29.00 / 27	4.00 / 3	13.50 / 1	0.12 / 9	7.24 / 3	-	0.01 / 1
합계	**115.90 / 119**	**26.00 / 22**	**18.79 / 5**	**0.99 / 38**	**18.59 / 16**	**0.53 / 4**	**0.24 / 10**

2) 손상별 현황

현 황	◦ P3/상면 균열(Cw=0.1㎜, L=0.5m)	**현 황**	◦ P2/배면 균열(Cw=0.4㎜, L=1.5m)
원 인	◦ 시공초기 건조수축	**원 인**	◦ 시공초기 건조수축 및 수화열
대 책	◦ 주의관찰	**대 책**	◦ 주입보수

현 황	◦ P1/상면 망상균열(A=2.52㎡)	**현 황**	◦ P1/배면 파손(A=0.06㎡)
원 인	◦ 시공초기 건조수축	**원 인**	◦ 외부충격
대 책	◦ 주의관찰	**대 책**	◦ 단면복구

			
현 황	◦P3/상면 몰탈 들뜸, 박락(A=1.69㎡)	**현 황**	◦P1/상면 몰탈 들뜸, 박락(A=0.80㎡)
원 인	◦교각 상면 몰탈 표면처리부 시공미흡		
대 책	◦몰탈보수		
현 황	◦P3/좌측면 표면불량(A=0.42㎡)	**현 황**	◦P3/상면 잡철근노출(A=0.02㎡)
원 인	◦시공미흡	**원 인**	◦시공미흡
대 책	◦단면복구	**대 책**	◦주의관찰

3) 원인분석 및 대책방안

① 균열 및 망상균열

교각에서 조사된 균열 및 망상균열은 시공초기 건조수축 및 수화열에 의한 비구조적 균열로 구조적인 영향은 없으나 내구성 확보를 위해 폭 0.3㎜이상의 균열에 대해서는 주입보수를 실시하고, 폭 0.3㎜미만의 균열은 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

② 파손 및 표면불량

교각에서 발생된 파손은 외부충격, 표면불량은 시공미흡에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 손상 규모가 경미하여 구조물의 안전성에 미치는 영향은 미미하나 피복두께 확보를 위해 단면복구가 적합할 것으로 판단된다.

③ 들뜸

들뜸은 대부분 교각 상면 몰탈 표면보수부에서 발생된 결함으로 시공미흡이 원인으로 판단되며, 유지관리 차원에서 몰탈보수가 바람직할 것으로 판단된다.

④ 잡철근노출

잡철근 노출은 시공 시 협재된 비배근 철근 및 거푸집 결속철근이 노출된 결함으로 내구성 저하 및 단면손상이 없는 상태이며, 내구성 저하 영향이 미미한 결함이므로 보수방안보다는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 균열(0.3mm미만), 균열(0.3mm이상), 파손, 들뜸, 표면불량, 잡철근노출의 결함은 금회 진단 시 상세조사 및 공용기간 증가에 따른 추가(신규) 손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 망상균열의 결함은 공용중 일부 보수가 실시되어 손상물량이 감소하였으며, 보수상태는 양호한 것으로 평가되었다.

【표 3.49】 교각의 기 진단과의 비교, 검토(춘천)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2013년	2016년		
균열(0.3㎜미만)	m	58.50	115.90	+ 57.40	• 상세조사에 의한 추가손상
균열(0.3㎜이상)	㎡	24.50	26.00	+ 1.50	• 상세조사에 의한 추가손상
망상균열	㎡	20.79	18.79	- 2.00	• 공용중 일부 보수완료
파손	㎡	0.71	0.99	+ 0.28	• 상세조사에 의한 추가손상
들뜸	㎡	12.91	18.59	+ 5.68	• 상세조사에 의한 추가손상
표면불량	㎡	0.08	0.53	+ 0.45	• 상세조사에 의한 추가손상
잡철근노출	㎡	-	0.24	+ 0.24	• 상세조사에 의한 신규손상

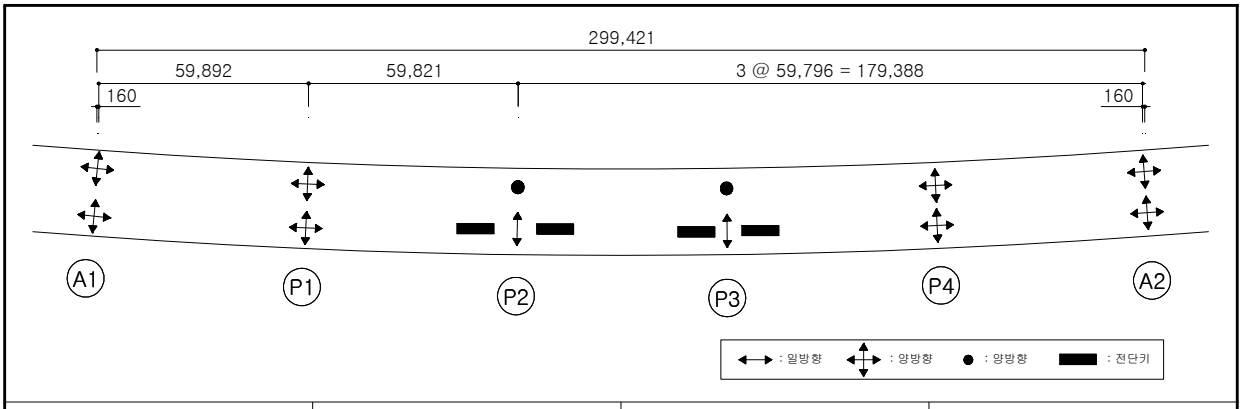
5) 교각의 연직도 측정결과

본 교량은 시공당시 교고가 높아 밀어내기공법(I.L.M)으로 시공된 교량으로 시공중 교각의 변위여부를 확인하기 위하여 광파기를 이용한 교각의 연직도를 측정하였으며, 검토결과 수평변위량은 10mm미만으로 시공중 교각의 변위는 없는 것으로 판단된다.

구분	측정 높이 (mm)	수평변위량 (mm)	기울기	검토결과	비고
P1	26,140	6	1 / 4,357	• 수평변위량은 10mm 미만으로 교각의 연직도는 양호한 상태로 밀어내기공법(I.L.M)에 의한 교각의 변위는 없는 것으로 평가됨	
P2	28,115	2	1 / 14,057		
P3	29,136	8	1 / 3,642		
P4	19,448	9	1 / 2,160		

3.3.3 교량받침

백운4교(춘천)의 교량받침은 포트받침으로 일방향 가동단 2개소, 양방향 가동단 8개소, 고정단 2개소로 총 12개소 설치되어 있으며, 2009년 내진보강에 의하여 P2, P3에 전단키가 2개소씩 총 4개소 보강된 상태이다. 받침배치 현황은 다음과 같다.



일방향 받침 전경

양방향 받침 전경

고정단 전경

전단키 전경

가. 받침장치 외관상태 조사결과

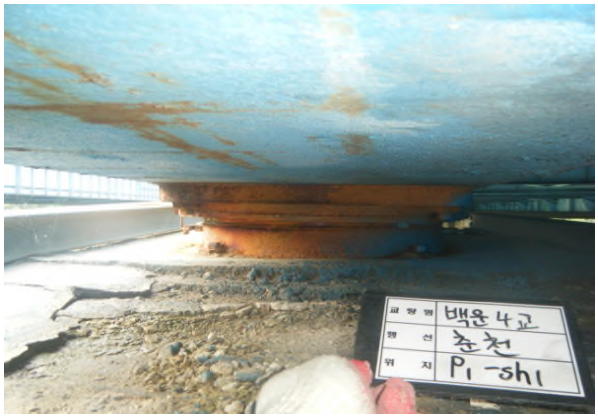
1) 현장조사 결과

받침장치에 대한 현장조사 결과, 받침장치에서 부식, 전단키부식과 받침콘크리트에서 균열(0.2㎜), 망상균열, 들뜸 및 잡철근노출의 손상이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.50】와 같다.

【표 3.50】 교량받침의 손상발생 현황(춘천)

구분	받침 본체		받침 콘크리트		
	부식 (㎡/EA)	전단키 부식 (㎡/EA)	균열 (0.2mm이하) (m/EA)	망상균열 (0.2mm이하) (㎡/EA)	잡철근노출 (㎡/EA)
A1	0.40 / 1	-	-	-	-
P1	0.72 / 1	-	-	0.15 / 1	-
P2	0.12 / 1	2.00 / 2	-	0.48 / 1	-
P3	0.72 / 1	2.00 / 2	0.80 / 2	0.96 / 2	0.01 / 1
P4	0.05 / 1	-	-	-	-
A2	1.08 / 2	-	-	-	-
합계	**3.09 / 7**	**4.00 / 4**	**0.80 / 2**	**1.59 / 4**	**0.01 / 1**

2) 손상별 현황

			
현 황	◦ A2/SH1 본체부식(A=0.72㎡)	**현 황**	◦ P1/SH1 본체부식(A=0.16㎡)
원 인	◦ 공용장기화에 따른 도장열화 및 외측부 우수접촉		
대 책	◦ 도장보수		
현 황	◦ P2/A1측 전단키 부식(A=1.00㎡)	**현 황**	◦ P3/A2측 전단키 부식(A=1.00㎡)
원 인	◦ 공용장기화에 따른 도장열화 및 외측부 우수접촉		
대 책	◦ 도장보수		
현 황	◦ P3/SH1 균열(Cw=0.2㎜ L=0.4m)	**현 황**	◦ P3/SH2 망상균열(A=0.05㎡)
원 인	◦ 시공초기 건조수축	**원 인**	◦ 시공초기 건조수축
대 책	◦ 주의관찰	**대 책**	◦ 주의관찰

현 황	◦ P3/SH1 잡철근노출(A=0.01㎡)	**현 황**	◦ P2/SH2 기존 받침부식 도장보수완료
원 인	◦ 시공미흡	**평 가**	◦ 상태양호
대 책	◦ 주의관찰	**대 책**	◦ 유지관리

3) 원인분석 및 대책방안

㉠ 받침장치 및 전단키 부식

받침장치에 대한 현장조사 결과, 오랜 공용기간 증가에 따른 도장열화 및 외측부 우수접촉에 의해 부식이 발생된 상태로 받침장치 신축거동에 미치는 영향은 없으나 장기적인 내구성 확보를 위해 도장보수가 바람직할 것으로 판단되며, 받침장치의 기존 부식부에 대한 도장보수가 실시되었고, 보수상태는 전반적으로 양호한 것으로 조사되었다.

㉡ 받침콘크리트 균열 및 망상균열

받침콘크리트 균열 및 망상균열은 시공초기 건조수축에 의해 발생된 Cw=0.2㎜이하의 비구조적 균열로 받침장치의 기능성 저하 영향은 없으며, 허용균열폭(0.3mm) 미만이므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

㉢ 받침콘크리트 잡철근노출

받침콘크리트의 잡철근노출은 시공 시 협재된 철근이 노출되어 발생된 결함으로 시공미흡이 원인으로 판단되며, 그에 따른 받침장치의 기능성 및 내구성 저하 영향은 미미하므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

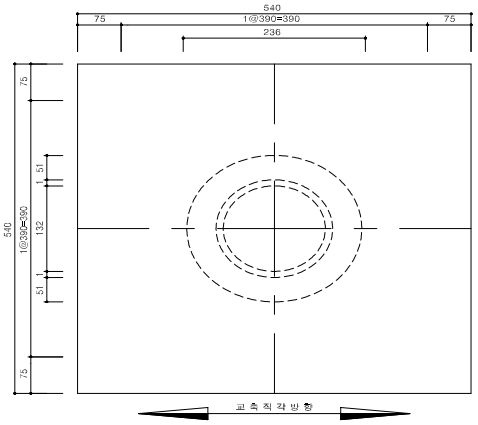
기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 전단키 부식, 받침콘크리트 균열(0.2mm이하), 잡철근노출의 결함은 금회 진단 시 상세조사 및 공용기간 증가에 따른 추가(신규)손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었고, 받침 본체부식은 공용기간 증가에 따른 추가 손상이 조사되었으나 기 손상에 대한 보수가 실시되어 손상물량은 감소하였으며, 받침콘크리트 망상균열 및 잡철근노출의 결함은 기 손상과 동일하게 조사되었다.

【표 3.51】 받침장치의 기 진단과의 비교, 검토(춘천)

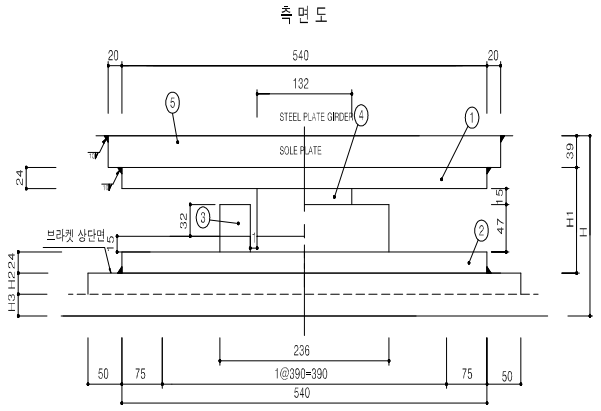
손상내용		단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
			2013년	2016년		
받침 본체	본체 부식	㎡	4.45	3.09	- 1.36	• 기 손상 보수 및 추가손상
	전단키 부식	㎡	-	4.00	+ 4.00	• 공용중 발생된 신규손상
받침 콘크리트	균열(0.2㎜이하)	m	0.40	0.80	+ 0.40	• 상세조사에 의한 추가손상
	망상균열	㎡	1.59	1.59	-	• 손상변화 없음(동일손상)
	잡철근노출	㎡	0.01	0.01	-	• 손상변화 없음(동일손상)

5) 내진 전단키 제원 조사결과

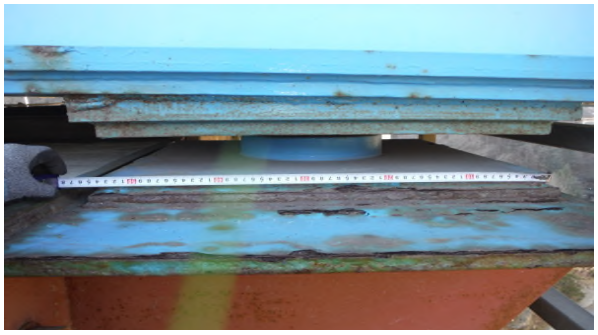
내진 전단키에 대한 조사 결과, 외관상 특이사항이 없고, 제원은 설계도면과 일치하며, 상·하부 간의 이격거리를 확보하는 것으로 검토되어 내진 전단키의 기능성은 확보된 것으로 판단된다.



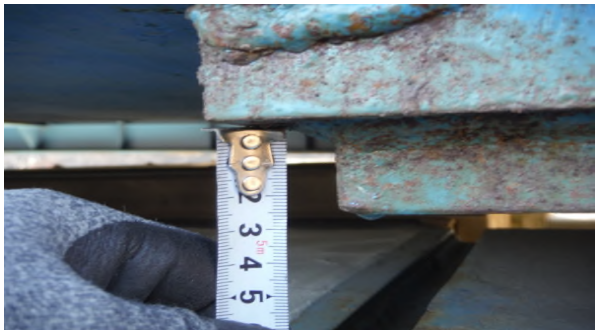
< 평 면 도 >



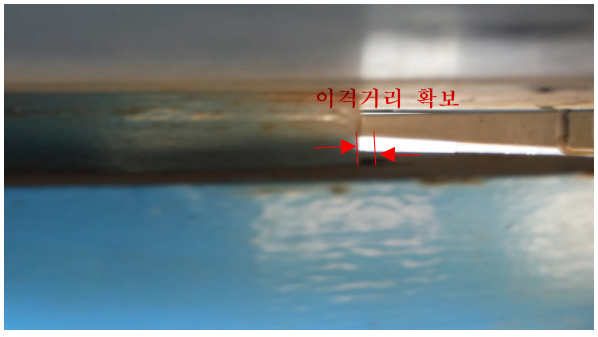
< 측 면 도 >



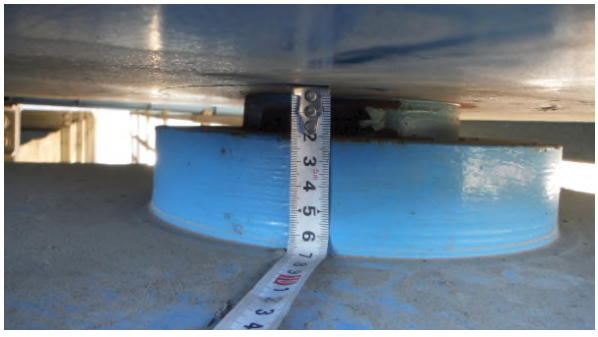
하부 플랜지 길이(540mm) = 설계(540mm)



상부 플랜지 두께(25mm) ≒ 설계(24mm)



상판 원형 강재와 하판 원형 강재 간 이격거리 확보



상부 플랜지와 하판 원형강재 간 이격(20mm)

나. 받침장치 연단거리 검토결과

교좌면은 받침을 통해서 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 설계기준에서 정한 연단거리의 최소값과 각 지점별 실측 연단거리를 비교・검토하였다.

1) 최소 연단거리 산정결과

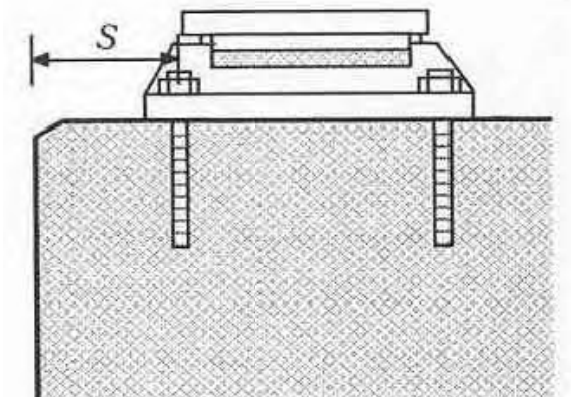
① 거더의 경간길이 100m이하 : S = 200 + 5.0L (도로교설계기준)

여기서, S : 받침연단거리(㎜), L : 거더의 경간길이(m)

구분	A1	P1		P2		P3		P4		A2
		A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	
경간길이(m)	59.89	59.89	59.82	59.82	59.80	59.80	59.80	59.80	59.80	59.80
최소연단거리(㎜)	499	499	499	499	499	499	499	499	499	499

* 최소연단거리(mm)의 계산값은 소수 첫째 자리에서 반올림하여 수록함

② 연단거리-콘크리트면의 가장자리로부터 가장 가까운 앵커중심까지의 거리



2) 연단거리 검토결과

실측 연단거리와 최소 연단거리를 비교검토한 결과, 전 개소에서 실측 연단거리가 최소 연단거리를 상회하는 것으로 평가되었다.

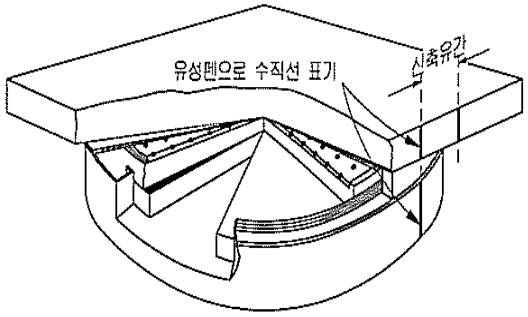
【표 3.52】 연단거리 측정결과(춘천)

위치		최소 연단거리 (mm)	실측 연단거리(mm)		검토 결과
			Sh1	Sh2	
A1		499	760	760	O.K
P1	A1	499	1560	1510	O.K
	A2	499	1550	1535	O.K
P2	A1	499	1440	1560	O.K
	A2	499	1450	1550	O.K
P3	A1	499	1500	1590	O.K
	A2	499	1430	1510	O.K
P4	A1	499	1525	1570	O.K
	A2	499	1570	1590	O.K
A2		499	790	800	O.K

다. 교량받침 가동량 검토결과

본 교량의 받침형식은 포트받침으로 1차, 2차에 걸쳐 받침장치 가동량을 검토함으로써 온도변화에 따른 받침 신축거동상태 및 가동여유량을 평가하여 교량받침의 기능저하를 방지하고자 한다. 받침 가동여유량 평가기준은 【표 3.53】와 같다.

【표 3.53】 교량받침 가동량 평가기준

(계속)

평가 기준

▣ 온도에 의한 가동량

Δl_t = $\Delta T \times \alpha \times L$(신축거더 길이)

ΔT = 온도변화(-20℃～+40℃) → 강교(한랭지방) : 강판형교

α = 선팽창계수(1.2×10^{-5}) → 강교 : 강판형교

※ 한랭지방 적용근거

구 분	내 용	비고
보통지방	- 대전 구미, 대구, 강릉, 논산, 전주, 광주, 순천, 진주, 마산, 창령, 고령, 동서울, 부산	도로공사 연구보고서 (1993년)
한랭지방	- 인천, 수원, 천안, 영동, 이천, **원주**, 대관령, 정안, 진천	

▣ 활하중에 의한 보의 처짐에 의한 가동량

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

여기서, h_i : 받침의 회전중심에서 보의 중립축까지의 높이(2h/3)

θ_i : 보의 회전각(강교 1/150)

▣ 계산 가동량 산정

온도변화 범위	-20℃～+40℃		선팽창 계수(α)	강재:1.2×10^{-5}
점검시 기온(℃)	1차	(07.20)	A1, P1 : 27.0℃	
		(07.18)	P4, A2 : 23.3℃	
	2차 (09.28)		21.0℃	
온도에 의한 가동량(Δl_t)	$\Delta l_t = \Delta T \times \alpha \times L$			
보의 중립축까지 높이2h/3(h_i)	$\frac{2}{3}\times4.000$			
보의 회전각(θ_i)	1/150(강합성교)			
보의 처짐에 의한 가동량(Δl_r)	$\Delta l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$			

신축거더길이(L) (m)	A1	P1	P2	P3	P4	A2
	119.71	59.82	고정단	고정단	59.80	119.59

※ 처짐에 의한 신축량은 팽창시만 고려하여 계산

1) 온도변화에 따른 받침 신축거동상태 검토결과

교량받침의 이동량은 2회(1차: 23.3℃(07월18일), 27.0℃(07월20일), 2차: 21.0℃(09월28일))에 걸쳐 측정하였으며, 변동량 측정결과는 【표 3.54】과 같이 실측치와 이론치가 유사하게 검토되었다. 따라서 본 교량받침의 온도변화에 따른 신축거동상태는 양호한 것으로 판단된다.

【표 3.54】 계산가동량 산정결과(부산)

구 분		실측 이동량(mm)		변동량(mm)		비고
		1차	2차	실측치	이론치	
A1	Sh1	55 (A1)	48 (A1)	7	8	양호
	Sh2	45 (A1)	38 (A1)	7		
P1	Sh1	40 (A1)	33 (A1)	7	5	양호
	Sh2	40 (A1)	33 (A1)	7		
P2	-	고 정 단				
P3	-	고 정 단				
P4	Sh1	35 (A2)	33 (A2)	2	2	양호
	Sh2	32 (A2)	30 (A2)	2		
A2	Sh1	28 (A2)	25 (A2)	3	3	양호
	Sh2	30 (A2)	27 (A2)	3		

2) 계산가동량 산정결과

계산 가동량 산정시 고려되는 항목은 활하중에 의한 보의 처짐, 온도변화, 건조수축, 크리프 등을 고려하여야 한다. 그러나 대상 교량은 준공 후 21년이 경과하였기 때문에 건조수축 및 크리프에 의한 변형은 완료된 것으로 판단하여 교각 연속부는 온도변화에 의한 가동량만 고려하며, 교대 단부는 온도변화 및 활하중에 의한 처짐을 고려하여 검토하였다.

【표 3.55】 계산가동량 산정결과(춘천)

구분	위치	측정시 온도 (℃)	온도변화(Δlt)		선팽창 계수	신축거더 길이 (m)	처짐(Δlr) (㎜)	계산 가동량(㎜)	
			동절기	하절기				동절기 (최대수축시)	하절기 (최대팽창시)
A1	1차	27.0	68	18	1.2×10^{-5}	119.71	18	68	36
	2차	21.0	59	27	1.2×10^{-5}	119.71	18	59	45
P1	1차	27.0	34	9	1.2×10^{-5}	59.82	-	34	9
	2차	21.0	29	14	1.2×10^{-5}	59.82	-	29	14
P2		고 정 단							
P3		고 정 단							
P4	1차	23.3	31	12	1.2×10^{-5}	59.80	-	31	12
	2차	21.0	29	14	1.2×10^{-5}	59.80	-	29	14
A2	1차	23.3	62	24	1.2×10^{-5}	119.59	18	62	42
	2차	21.0	59	27	1.2×10^{-5}	119.59	18	59	45

※ 처짐에 의한 신축량은 교대(A1, A2) 단부에서 팽창시에만 고려하며, 교각(연속부)은 고려하지 않음

3) 교량받침 가동여유량 검토결과

받침장치 가동량을 실측하여 계산가동량과 비교 검토한 결과, A2를 제외한 전 개소에서 실측여유량이 계산가동량을 상회하는 것으로 검토되었다.

【표 3.56】 교량받침 가동여유량 검토결과(춘천)

구 분		최대 수축시 가동량 검토(mm)						최대 팽창시 가동량 검토(mm)					
		1차 측정(07.18~20)			2차 측정(09.28)			1차 측정(07.18~20)			2차 측정(09.28)		
		①	②	평가	①	②	평가	①	②	평가	①	②	평가
A1	Sh1	105	68	O.K	98	59	O.K	-5	36	N.G	2	45	N.G
	Sh2	95		O.K	88		O.K	5		N.G	12		N.G
P1	Sh1	90	34	O.K	83	29	O.K	10	9	O.K	17	14	O.K
	Sh2	90		O.K	83		O.K	10		O.K	17		O.K
P2		고 정 단											
P3		고 정 단											
P4	Sh1	85	31	O.K	83	29	O.K	15	12	O.K	17	14	O.K
	Sh2	82		O.K	80		O.K	18		O.K	20		O.K
A2	Sh1	160	62	O.K	160	59	O.K	22	42	N.G	25	45	N.G
	Sh2	80		O.K	77		O.K	20		N.G	23		N.G

① : 실측여유량, ② : 계산가동량

4) A2측 교량받침 가동여유량 부족 원인 검토결과

A1, A2측 받침장치의 가동여유량 부족 원인에 대한 검토결과는 다음과 같다.

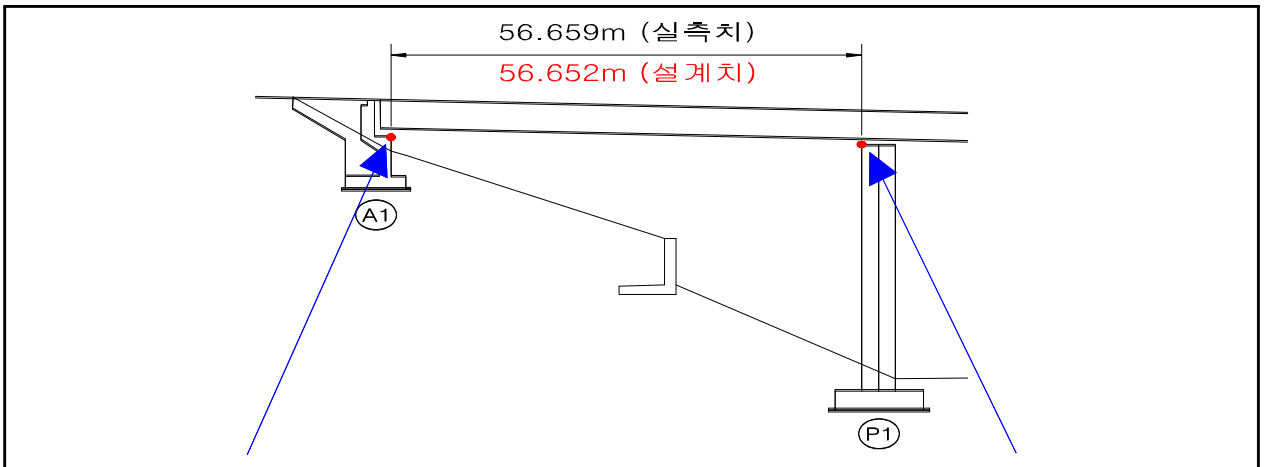
① 기 진단(2013년도) 시 검토결과

A1, A2측 받침장치 가동여유량 부족은 기 진단(2013년도) 시에도 동일하게 조사된 결함으로 최대 신장시(40℃) 허용변위량(±50)를 다소 초과하는 것으로 검토되었으며, 현 상태에서의 받침 이탈이나 주변 시설물의 특이한 손상은 없는 상태이며, 받침의 가동도 정상적으로 작동하므로 주의관찰을 통한 지속적인 유지관리가 요구되는 것으로 검토되었다.

구 분		기 능	이동거리(㎜)			산출이동량(㎜)								허용 변위량 (㎜)	비고
			측정 이동량			최대 신장시				최대 수축시					
			방향	1차	2차	방향	1차	방향	2차	방향	1차	방향	2차		
A1	SH1	양방향	A1	45.0	28.0	A1	**78.9**	A1	**69.9**	A2	10.9	A2	19.9	±50	**N.G**
	SH2	양방향	A1	45.0	28.0	A1	**78.9**	A1	**69.9**	A2	10.9	A2	19.9		
A2	SH1	일방향	A2	30.0	19.0	A2	**63.9**	A2	**60.9**	A1	25.9	A1	28.9	±50	**N.G**
	SH2	양방향	A2	30.0	19.0	A2	**63.9**	A2	**60.9**	A1	25.9	A1	28.9		

② 측량에 의한 교대변위(A1) 여부 검토결과

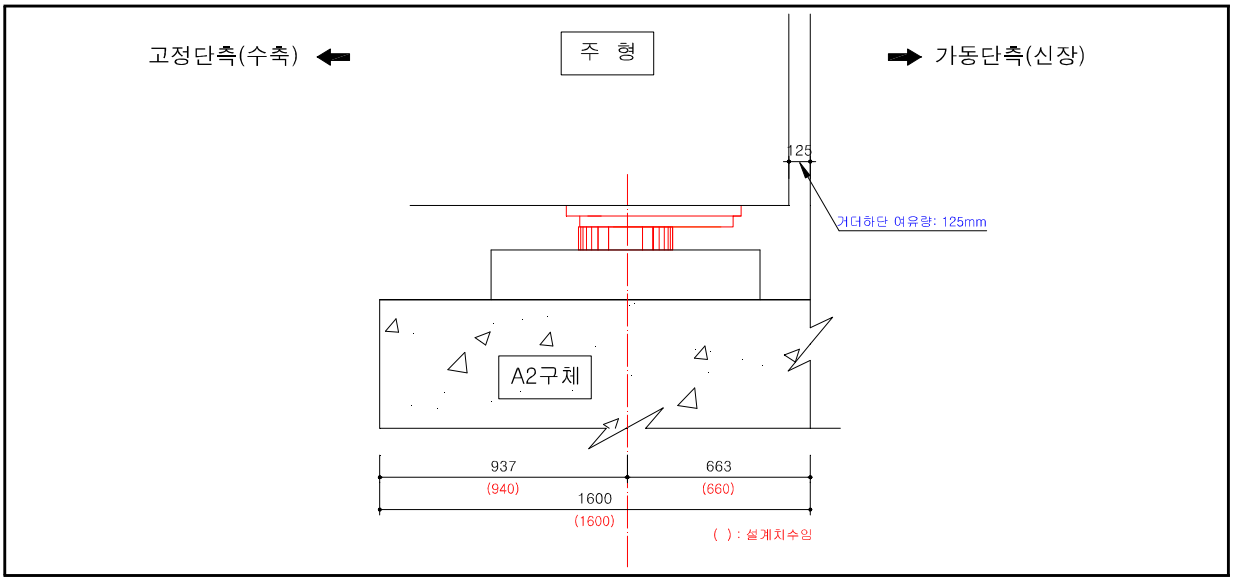
광파기 측량을 통해 교대(A1)와 교각(P1)의 거리를 측정할 결과, 실측치는 56.659m이며, 설계치는 56.652m로 +0.007m의 미소한 오차로 교대변위는 없는 것으로 검토되었다.



교대(A1) 측량점 표기현황	광파기 측량 현황	교각(P1) 측량점 표기현황

③ 받침장치 제원 검토결과

A1-SH1에 대한 받침장치 제원 검토결과, 받침장치 중심은 교대(A1) 흉벽에서 660mm에 설계되었고, 실측치는 663mm로 측정되어 오차 범위는 3mm이내이므로 교대 교좌면의 Lower Shoe 배치오류는 없는 것으로 검토되었다.



【그림 3.5】 A1-SH1 제원 실측 개요도

④ 받침장치 허용 가동량 검토결과

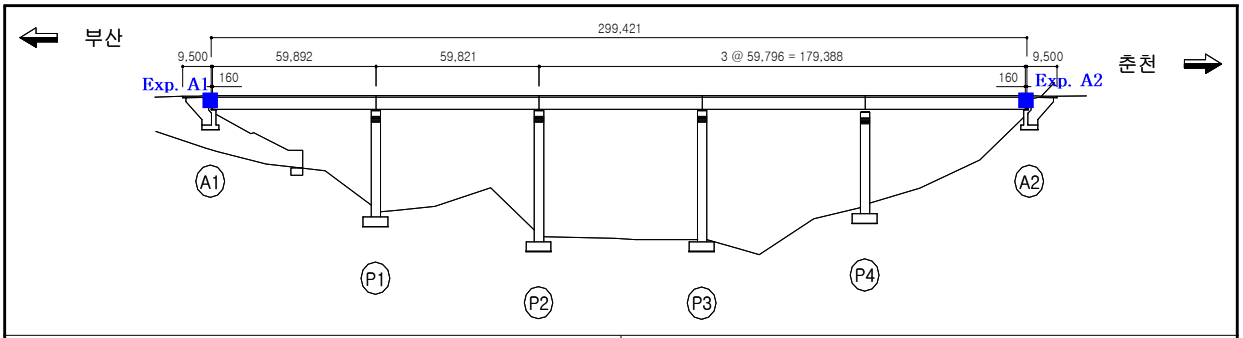
A1, A2의 받침장치 허용 가동량은 ±50mm이나 온도변화 및 거더 처짐에 의한 계산가동량 범위는 A1측은 68mm(수축)+36mm(팽창+처짐)=104mm(±52mm)이며, A2측은 62mm(수축)+42mm(팽창+처짐)=104mm(±52mm)로 검토되어 받침장치 허용 가동량은 미소하게 부족한 것으로 평가되었으나 실온도 변화에 의한 허용 가동량은 문제가 없을 것으로 판단된다.

⑤ 결론

교대 측방유동은 발생치 않았으며, 받침장치 Lower Shoe의 배치도 설계와 일치하는 상태이고, 받침장치 허용 가동량도 문제가 없는 것으로 검토되어 교대의 받침 가동여유량 부족은 온도변화에 따른 Upper Shoe 시공오류 및 사하중에 의한 회전변위량 등에 의해 발생된 것으로 판단되며, 현장조사 시 A1과 A2측의 거더 단부는 125mm의 가동 여유량을 확보하고 있고, 가동여유량 부족에 의한 구조적인 결함이나 교량 신축거동에 문제가 될만한 손상은 관찰되지 않으므로 보수방안보다는 현 상태에서 주의관찰토록 하며, 향후 받침 교체 계획 시 온도변화량 및 받침 허용 가동량을 고려하여 교체하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

3.3.4 신축이음장치

신축이음은 A1, A2지점부에 2개소로 A1측은 강핑거 조인트, A2측은 리플렉션조인트로 시공되었으며, 신축이음 배치 현황은 다음과 같다.



신축이음장치 A1 전경

신축이음장치 A2 전경

【그림 3.6】 백운4교(춘천) 신축이음 배치도

가. 신축이음장치 외관상태 조사결과

1) 현장조사 결과

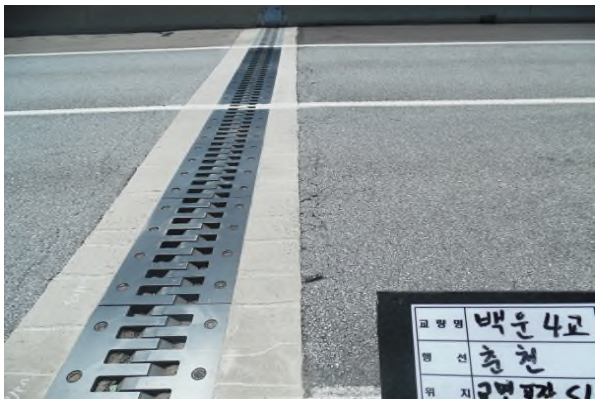
신축이음 현장조사 결과, 유간 토사퇴적, 후타재 균열(0.3㎜미만), 덮개판 고정볼트 탈락의 결함이 조사되었으며, 손상 현황은 【표 3.57】와 같다.

【표 3.57】 신축이음 손상 발생 현황(춘천)

구분	본체	후타재	덮개판
	토사퇴적	균열0.3㎜미만	고정볼트 탈락
	(m/EA)	(m/EA)	(EA)
A1	-	14.70 / 49	-
A2	3.00 / 1	13.30 / 33	7
합계	**3.00 / 1**	**28.00 / 82**	**7**

2) 손상별 현황

현 황	◦ A2 신축이음 토사퇴적(L=3.00m)
원 인	◦ 공용중 우수 등에 의해 퇴적
대 책	◦ 청소



현 황	◦ A1 신축이음 후타재균열(Cw=0.2㎜) : 0.30m~0.50m 간격으로 발생
원 인	◦ 건조수축 및 차량반복 하중
대 책	◦ 표면처리

현 황	◦ A2 신축이음 후타재균열(Cw=0.2㎜) : 0.50m~0.70m 간격으로 발생
원 인	◦ 건조수축 및 차량반복 하중
대 책	◦ 표면처리

현 황	◦ A2 신축이음 덮개판 볼트탈락 (7EA)
원 인	◦ 제설작업 시 외부충격 및 교량진동
대 책	◦ 볼트 재설치

3) 원인분석 및 대책방안

① 토사퇴적

공용 중 우수 등에 의해 갓길측에서 토사가 퇴적된 것으로 판단되며, 신축이음의 원활한 거동을 위해 주기적인 청소가 적합할 것으로 판단된다.

② 후타재 균열

후타재균열은 시공초기 건조수축 및 차량반복 하중에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 신축이음의 신축거동에 미치는 영향은 없으나 동절기 제설재 살포 등에 의한 염화물 침투가 우려되므로 표면처리하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

③ 덮개판 고정볼트 탈락

덮개판 고정볼트 탈락은 공용중 제설작업 시 외부충격 및 교량진동에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 덮개판 탈락의 우려가 있으므로 볼트 재설치가 바람직할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 신축이음 토사퇴적의 결함은 일부 보수가 완료되어 손상물량이 감소하였고, 후타재 균열은 금회 진단 시 상세조사에 따른 추가손상이 조사되어 손상물량은 증가되었으며, 덮개판 고정볼트 탈락은 동일손상으로 손상변화가 없는 것으로 조사되었다.

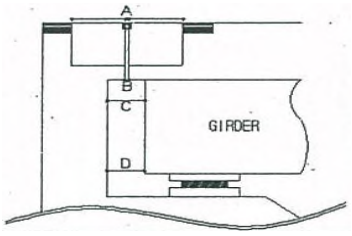
【표 3.58】 신축이음장치의 기 진단과의 비교, 검토(춘천)

손상내용		단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
			2013년	2016년		
신축이음	토사퇴적	m	11.00	3.00	- 8.00	• 일부 보수완료
후타재	균열(0.3㎜미만)	m	6.60	28.00	+ 21.40	• 상세조사에 의한 추가손상
덮개판	고정볼트 탈락	EA	7	7	-	• 손상변화 없음(동일손상)

나. 신축이음장치 거동상태 검토결과

1) 계산 신축량 산정방법

【표 3.59】 계산 신축량 산정



A1	1차	2016년 7월 20일	27.0℃	원주기상대
	2차	2016년 9월 28일	21.0℃	
A2	1차	2016년 7월 18일	23.3℃	
	2차	2016년 9월 28일	21.0℃	

신축이음 유간(A)

바닥판 유간(B)

거더상단 유간(C)

거더하단 유간(D)

평가 기준

▣ 온도에 의한 신축량

Δl_t = ⊿T×α×L(신축거더 길이)

ΔT = 온도변화(-20℃～+40℃)→ 강판형교 : 한랭지방

α = 선팽창계수(1.2×10^{-5})→ 강판형교

※ 한랭지방 적용근거

구 분	내 용	비고
보통지방	- 대전 구미, 대구, 강릉, 논산, 전주, 광주, 순천, 진주, 마산, 창령, 고령, 동서울, 부산	도로공사 연구보고서 (1993년)
한랭지방	- 인천, 수원, 천안, 영동, 이천, **원주**, 대관령, 정안, 진천	

▣ 계산 신축량 산정

온도변화 범위	-20℃～+40℃		선팽창 계수(α)	1.2×10^{-5}
점검시 기온(℃)	1차	07.20	A1 : 27.0℃	
		07.18	A2 : 23.3℃	
	2차 (09.28)		A1, A2 : 21.0℃	
온도에 의한 신축량(Δl_t)	Δl_t = ⊿T×α×L			

신축거더 길이 (L)	A1	A2
	119.71m	119.59m

※ 공용기간이 16년이상인 교량이므로 건조수축 및 크리프의 영향은 고려하지 않음

2) 계산 신축량 산정결과

【표 3.60】 계산 신축량 산정결과

위치		측정시 온도 (℃)	온도변화(ΔT)		선팽창 계수	신축거더 길이 (m)	최대 신축량(㎜)	
			동절기 (℃)	하절기 (℃)			동절기 (최대수축시)	하절기 (최대팽창시)
A1	1차	27.0	47.0	13.0	1.2×10^{-5}	119.71	68	18
	2차	21.0	41.0	19.0	1.2×10^{-5}	119.71	59	27
A2	1차	23.3	43.3	16.7	1.2×10^{-5}	119.59	62	24
	2차	21.0	41.0	19.0	1.2×10^{-5}	119.59	59	27

3) 신축이음 유간거리 측정결과

신축이음 유간거리에 대한 실측값은 【표 3.61】과 같으며, 1차, 2차의 실측 변동량을 이론치와 비교검토한 결과, 이론치와 유사하게 변동되므로 온도변화에 따른 신축거동은 원활한 것으로 판단된다.

【표 3.61】 신축이음 유간거리 측정결과(단위 : ㎜)

구 분		실측 이동량(mm)		변동량(mm)		비고
		1차	2차	실측치	이론치	
A1	신축이음장치	65	75	10	9	양호
	바닥판	175	185	10		
	거더 상단	175	185	10		
	거더 하단	125	138	13		
A2	신축이음장치	164	167	3	3	양호
	바닥판	147	150	3		
	거더 상단	169	172	3		
	거더 하단	125	130	5		

4) 신축이음 가동여유량 검토결과

신축이음 가동여유량 검토결과는 【표 3.62】와 같으며, 신축이음장치 A1과 A2 모두 계산 신축량을 만족하는 상태이므로 본 교량의 신축이음 가동여유량은 양호한 것으로 평가되었다.

【표 3.62】신축이음 유간거리 검토결과

부 재			측정유간 (㎜)	계산 신축량(㎜)		허용신축량 (㎜)	신축 여유량(㎜)		평가
				수축	팽창		수축	팽창	
Exp.J1(A1)	1차	A	65	68	18	230	97	46	양호
		B	175					156	
		C	175					156	
		D	125					106	
	2차	A	75	59	27		96	47	
		B	185					157	
		C	185					157	
		D	135					107	
Exp.J2(A2)	1차	A	164	62	24	230	4	140	양호
		B	147					123	
		C	169					145	
		D	125					101	
	2차	A	167	59	27		4	140	
		B	150					123	
		C	172					145	
		D	130					103	

※ 신축여유량(팽창)=측정유간-계산신축량(팽창), 신축여유량(수축)=허용신장량-측정유간-계산신축량(수축)
※ 신축여유량 > 0인 경우 양호
※ A : 신축이음장치, B : 바닥판, C : 거더상단, D : 거더하단

3.3.5 교면포장

교면포장은 바닥판 상면에 위치하여 차량에서 발생하는 진동을 흡수·분산시키고, 외부의 불리한 환경조건에 대해서 바닥판을 보호하는 부재로 아스콘 포장으로 시공되었다.

S1 포장 전경

S4 포장 전경

가. 현장조사 결과

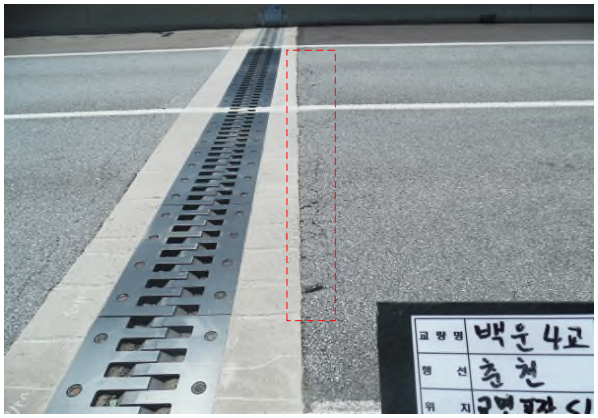
교면포장 현장조사 결과, 아스콘 망상균열, 코어채취부 마감불량의 결함이 발생하였으며, 길어깨 및 갓길측의 기존 손상부는 전 구간 재포장 보수를 실시하여 보수가 완료되었으며, 재포장 상태는 양호한 것으로 조사되었다. 손상 현황은 다음과 같다.

【표 3.63】 교면포장의 손상현황(춘천)

구분	포장 망상균열(㎡/EA)	코어채취부 마감불량(㎡/EA)
S1	1.44 / 1	-
S2	-	0.01 / 1
S3	0.35 / 1	0.06 / 1
S4	-	-
S5	-	-
합계	**1.79 / 2**	**0.07 / 2**

주) 교량 종점측은 금대1터널이 인접하여 시공되어 있으며, 터널 내 갓길차선이 없어지므로 이에 따른 유도 방호벽이 S5/갓길 중 일부 설치되어 있고, 유도 방호벽 내측의 갓길은 재포장 보수가 미실시됨

나. 손상별 현황

			
현 황	◦ S1 아스콘 망상균열(A=1.44㎡)	현 황	◦ S3 코어채취부 마감불량(A=0.06㎡)
원 인	◦ 아스콘 단부 전압부족 및 중차량 통행	원 인	◦ 코어채취 시 마감불량
대 책	◦ 팻칭보수	대 책	◦ 주의관찰
현 황	◦ S1/갓길 아스콘 재포장 실시 ⇒ 상태양호	현 황	◦ S5/2차선 포장 파손부 보수완료 ⇒ 상태양호
현 황	◦ S2/갓길 포장 보수부 코어채취를 통한 방수층 조사결과: 상태양호	현 황	◦ S5/갓길 포장 미보수부 코어채취를 통한 슬래브 상면 조사결과: 상태양호

다. 원인분석 및 대책방안

1) 아스콘 망상균열

S1측 후타재 접합 단부에서 전압부족 및 중차량 통행에 의해 발생된 결함으로 손상규모가 경미하며, 통행차량의 주행성에 미치는 영향이 없으나 동절기 제설재 살포 등에 의한 바닥판 염화물 침투가 우려되므로 표면처리하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

2) 코어채취부 마감불량

코어채취부 마감불량은 기 진단 시 발생된 결함으로 손상 규모가 경미하고, 몰탈채움이 실시되어 바닥판 누수의 영향은 없는 상태이므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

3) 재포장 보수부 상태

길어깨 및 갓길측은 기 진단 결과에 따른 아스콘 재포장 보수가 실시되었으며, 아스콘 표면상태는 결함이 없는 양호한 상태이며, 코어채취를 통한 방수층 확인 결과도 양호하여 누수의 영향은 없을 것으로 판단되고, S5/갓길측 재포장 미실시 구간의 코어채취를 통한 슬래브 표면상태는 누수에 의한 열화가 없는 것으로 조사되었다. 따라서 바닥판 상면의 열화에 대한 보수는 완료된 것으로 판단된다.

라. 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 아스콘 균열, 망상균열, 들뜸, 불량 및 파손의 결함은 재포장 보수가 완료되어 손상물량이 감소하였으며, 코어채취부 마감불량은 기 진단 시 발생된 신규손상으로 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었다.

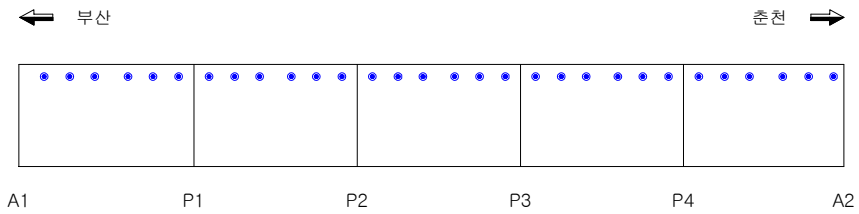
【표 3.64】 교면포장의 기 진단과의 비교, 검토(춘천)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2013년	2016년		
아스콘 균열	m	110.50	-	- 110.50	• 재포장 보수완료
아스콘 망상균열	㎡	92.14	1.79	- 90.35	• 재포장 보수완료 및 일부 미보수
아스콘 들뜸	㎡	2.85	-	- 2.85	• 재포장 보수완료
아스콘 불량	㎡	4.60	-	- 4.60	• 재포장 보수완료
아스콘 파손	㎡	1.40	-	- 1.40	• 재포장 보수완료
코어채취부 마감불량	㎡	-	0.07	+ 0.07	• 기 진단시 발생된 신규손상

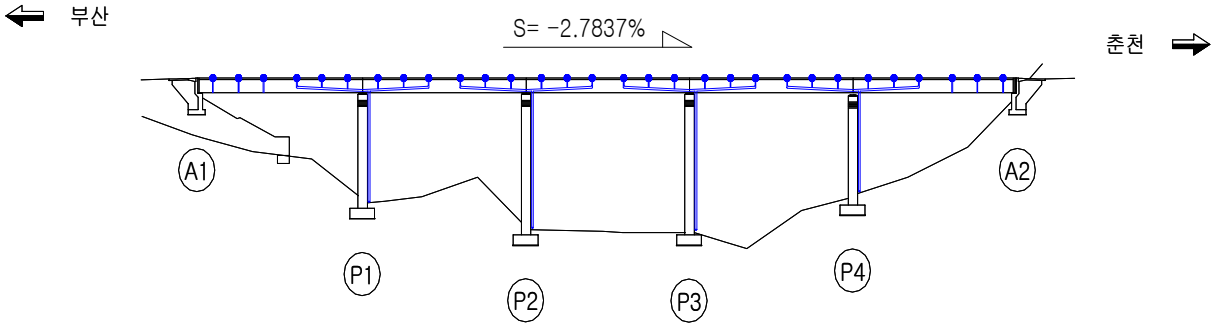
3.3.6 기타부재

가. 배수시설

배수시설은 우천 시 포장부의 교면수를 배출하기 위한 시설로서, 백운4교(춘천)의 배수시설은 횡구배(-0.939%~-3.0%)가 설계되어 교량 상부의 길어깨에 설치된 배수구(30EA)를 통하여 STEEL Pipe Φ150㎜ 배수관을 따라 하부로 배수되도록 설치되어 있으며, 시점에서 종점으로 하향 종구배(S=-2.7837%)가 설계되어 교면수가 자연배수되도록 시공되었다.



< 교량 상면 배수구 설치 현황 >



< 교량 하면 배수관 종단 개요도 >

교량 상부 배수구 전경

교량 하부 배수관 전경

【그림 3.7】 백운4교(춘천) 배수시설 현황

1) 현장조사 결과

배수시설에 대한 현장조사 결과, 상부의 배수구는 재포장 보수 시 교체 보수된 상태이나 일부 이물질퇴적이 조사되었으며, 하부의 배수관에서 부식, 용접 연결부 탈락, 고정핀 부식 및 파손, 탈락의 결함이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.65】와 같다.

【표 3.65】배수시설의 손상현황(춘천)

구분	배수구	배수관		
	이물질퇴적 (EA)	용접 연결부 누수 및 탈락(EA)	고정핀 부식 (EA)	고정핀 탈락 (EA)
S1	3	1	9	2
S2	-	-	17	2
S3	-	-	10	4
S4	-	2	6	6
S5	-	-	8	1
합계	**3**	**3**	**50**	**15**

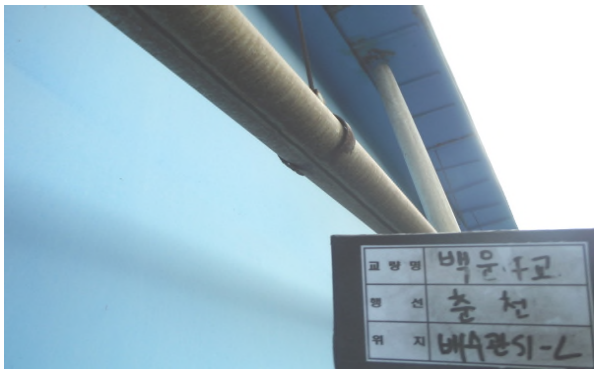
2) 손상별 현황

현 황	◦S1 배수구 상태양호

현 황	◦S1 배수구 이물질퇴적 (1EA)

현 황	◦S4/좌측 캔틸레버 배수관 용접부 탈락(1EA)
원 인	◦용접불량 및 우수접촉
대 책	◦용접보수

현 황	◦S4/좌측 캔틸레버 배수관 용접부 부식 및 누수(1EA)
원 인	◦용접불량에 의한 누수 및 도장불량
대 책	◦용접보수

			
현 황	◦ S1/좌측 캔틸레버 배수관 고정핀 부식 및 파손(1EA)	**현 황**	◦ S4/좌측 캔틸레버 배수관 고정핀 탈락(1EA)
원 인	◦ 오랜 공용중 우수접촉	**원 인**	◦ 오랜 공용중 우수접촉 및 시공불량
대 책	◦ 고정핀 재설치	**대 책**	◦ 고정핀 재설치

3) 원인분석 및 대책방안

① 배수구 이물질 퇴적

배수구 이물질 퇴적은 공용중 차량 통행, 우수 등에 의해 적치된 결함으로 교면수의 원활한 배수를 위해 청소 보수가 바람직할 것으로 판단된다.

② 용접부 누수(부식) 및 탈락

배수관 용접부 누수(부식) 및 탈락은 시공초기 용접불량 및 오랜 공용중 우수접촉에 의한 결함으로 판단되며, 누수가 진행되어 배수관 고정핀 부식의 원인이 되므로 용접보수가 필요할 것으로 판단된다.

③ 배수관 고정핀 부식

배수관 고정핀 부식은 오랜 공용중 배수관 누수에 의한 교면수 및 우수 접촉에 의한 결함으로 판단되며, 일부 부식이 심한 구간은 파손되어 탈락된 상태이므로 고정핀 재설치하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

④ 배수관 고정핀 탈락

배수관 고정핀 탈락은 원활한 배수를 위해 배수관은 종방향으로 구배가 형성된 상태이나 시공미흡에 의한 고정핀 길이가 부족하거나 부식에 의한 파손이 원인으로 판단되며, 향후 배수관 탈락의 우려가 있으므로 고정핀 재설치하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

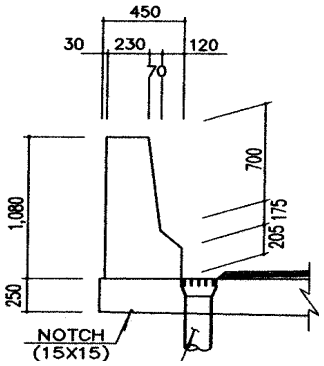
기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 배수구 그레이팅파손은 교체보수가 완료되어 손상물량이 감소하였으며, 배수구 이물질퇴적, 배수관 용접부 누수 및 탈락, 고정핀 부식 및 탈락의 결함은 금회 진단 시 신규손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었다.

【표 3.66】 배수시설의 기 진단과의 비교, 검토(춘천)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
		2013년	2016년			
배수구 그레이팅파손	EA	30.00	-	-	30.00	• 교체 보수완료
배수구 이물질퇴적	EA	-	3.00	+	3.00	• 공용중 발생된 신규손상
용접부 누수 및 탈락	EA	-	3.00	+	3.00	• 상세조사에 의한 신규손상
배수관 고정핀 부식	EA	-	50.00	+	50.00	• 상세조사에 의한 신규손상
배수관 고정핀 탈락	EA	-	15.00	+	15.00	• 상세조사에 의한 신규손상

나. 방호벽

자동차의 차도이탈 방지 및 맞은편 차선 라이트 차단 등의 기능을 하는 방호벽은 철근콘크리트 구조로 시공되어 있으며, 공용중 단면증설(900mm ⇒ 1,080mm)이 실시된 상태이다.

	
방호벽 전경	방호벽 제원

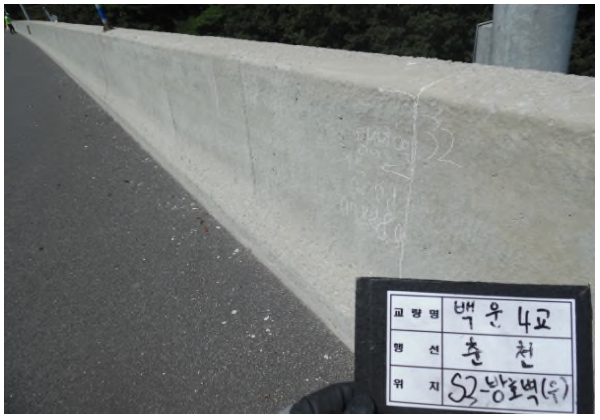
1) 현장조사 결과

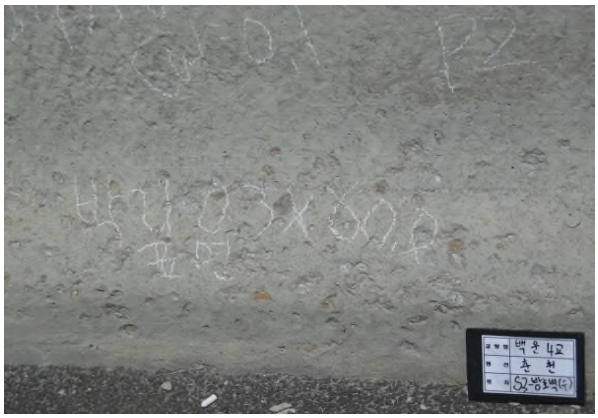
방호벽에 대한 현장조사 결과, 콘크리트 균열, 망상균열, 파손 및 표면박리의 결함이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.67】과 같다.

【표 3.67】 방호벽의 손상발생 현황(춘천)

구분	균열(0.3㎜미만) (m/EA)	망상균열 (㎡/EA)	파손 (㎡/EA)	표면박리 (㎡/EA)
S1	104.10 / 300	15.02 / 3	-	44.91 / 4
S2	96.20 / 284	42.00 / 1	0.10 / 1	42.00 / 3
S3	181.50 / 556	42.00 / 1	0.10 / 1	48.00 / 3
S4	172.30 / 547	15.02 / 3	-	48.00 / 3
S5	203.40 / 574	36.22 / 2	0.01 / 1	37.56 / 3
합계	**757.50 / 2261**	**156.59 / 9**	**0.21 / 3**	**220.47 / 16**

2) 손상별 현황

			
현 황	◦ S2/방호벽 균열(Cw=0.2㎜, L=1.2m)	**현 황**	◦ S3/방호벽 망상균열(A=42.00㎡)
원 인	◦ 건조수축	**원 인**	◦ 건조수축
대 책	◦ 표면처리	**대 책**	◦ 표면처리

			
현 황	◦ S3/방호벽 파손(A=0.10㎡)	**현 황**	◦ S2/방호벽 표면박리(A=18.00㎡)
원 인	◦ 외부충격	**원 인**	◦ 시공미흡
대 책	◦ 주의관찰	**대 책**	◦ 주의관찰

3) 원인분석 및 대책방안

① 균열 및 망상균열

방호벽에서 발생된 균열 및 망상균열은 Cw=0.3mm미만으로 건조수축에 의한 비구조적 균열로 판단되며, 향후 동절기 제설재 살포 등에 의한 염화물 침투가 우려되므로 표면처리하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

② 파손

파손은 시공초기 및 제설작업 중 외부충격에 의한 결함으로 손상규모가 경미하여 내구성 저하 영향이 미미하므로 보수방안보다는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

③ 표면박리

표면박리는 시공미흡에 의한 결함으로 판단되며, 손상규모가 경미하여 내구성에 미치는 영향이 미미하므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 파손 및 표면박리의 결함은 금회 진단 시 상세조사 및 공용중 발생된 추가(신규)손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었고, 균열 및 망상균열은 기존 균열부에 대하여 일부 망상균열로 평가하여 균열 손상물량은 감소하였고, 망상균열은 증가한 것으로 평가되었다.

【표 3.68】 방호벽의 기 진단과의 비교, 검토(춘천)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2013년	2016년		
균열(0.3mm미만)	m	860.40	757.50	- 102.90	• 기존 균열 손상부를 망상균열로 변경하였음
망상균열	m	11.30	156.59	+ 145.29	
파손	㎡	-	0.21	+ 0.21	• 공용중 발생된 신규손상
표면박리	㎡	132.78	220.47	+ 87.69	• 상세조사에 의한 추가손상

3.4 콘크리트 내구성 조사

3.4.1 개 요

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

【표 3.69】 현장시험 측정일자 및 조사자

구 분	일 자	조 사 자	비 고
현장시험	2016. 07. 13 ~ 08. 11.	안과헌 외 14명	도보, 교량점검차 사용

가. 재료시험 항목 및 수량

재료시험 항목 및 수량은 다음과 같다.

【표 3.70】 재료시험 항목

구 분	기 본 과 업	선 택 과 업 (추가과업)
콘크리트 재료시험	◦콘크리트 강도 - 비파괴시험 : 반발경도, 초음파속도 ◦철근탐사시험 - 철근 배근상태, 철근 피복두께 ◦콘크리트 탄산화 깊이 측정 ◦콘크리트 염화물함유량시험 ◦균열 깊이 측정	-
강재 재료시험	◦용접부 결함탐사 - 초음파탐상시험	◦강재 도막두께 측정

【표 3.71】 재료시험 기준수량 및 실시수량

<table>
<tr><th rowspan="2">구 분</th><th colspan="2">세부지침 기준수량</th><th rowspan="2" colspan="2">기준수량</th><th colspan="2">실시
수량</th><th rowspan="2">비고</th></tr>
<tr><th>상부구조</th><th>하부구조</th><th>부산</th><th>춘천</th></tr>
<tr><td>반발경도시험</td><td rowspan="3">· 강합성교
: 1개소/50m
· 철근콘크리트교
: 2개소/50m</td><td rowspan="3">· 교대, 교각
개소수</td><td rowspan="3" colspan="2">· 상부구조
= 6개소
· 하부구조
= 6개소</td><td>상부:6개소
하부:6개소</td><td>상부:5개소
하부:6개소</td><td rowspan="2">춘천방향
(상부:Deck)</td></tr>
<tr><td>초음파
전달속도시험</td><td>상부:6개소
하부:6개소</td><td>상부:4개소
하부:6개소</td></tr>
<tr><td>철근탐사시험</td><td>13개소</td><td>11개소</td><td>춘천방향
(상부:Deck)</td></tr>
<tr><td>탄산화
깊이 측정</td><td colspan="2">· 5경간 이상 : 6~9개소
(상부구조에서 최소 3개소 이상)</td><td colspan="2">· 6~9개소</td><td>7개소</td><td>6개소</td><td>춘천방향
(상부:Deck)</td></tr>
<tr><td>염화물함유량</td><td colspan="2">· 3개소 이상
(상부구조에서 최소 1개소 이상)</td><td colspan="2">· 3개소 이상</td><td>3개소</td><td>3개소</td><td></td></tr>
<tr><td>균열깊이 조사</td><td colspan="4">· 책임기술자 판단</td><td>1개소</td><td>3개소</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">강재용접부
초음파탐상시험</td><td colspan="2" rowspan="2">· 박스거더교 : 2개소/경간별거더
· 플레이트거더교 :1개소/경간별거더</td><td>부산</td><td>· 5(경간) × 4(거더)
× 1개소 = 20개소</td><td rowspan="2">20개소</td><td rowspan="2">10개소</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>춘천</td><td>· 5(경간) × 2(거더)
× 1개소 = 10개소</td></tr>
<tr><td>강재
도막두께 측정</td><td colspan="2">· 책임기술자 판단</td><td colspan="2">· 강재 도장부</td><td>14개소</td><td>9개소</td><td></td></tr>
</table>

주) 백운4교 춘천방향은 내측 바닥판은 데크플레이트가 설치되어 있고, 외측 켄틸레버부는 강판이 시공되어 있어 재료시험을 수행할 수가 없는 상태로 기 진단 시에도 상부구조에 대한 재료시험은 실시하지 않았음

주) 금회 진단 시 외측 켄틸레버부의 강판을 1개소 절취하였으며, 절취부에서 반발경도 및 탄산화 깊이를 측정함

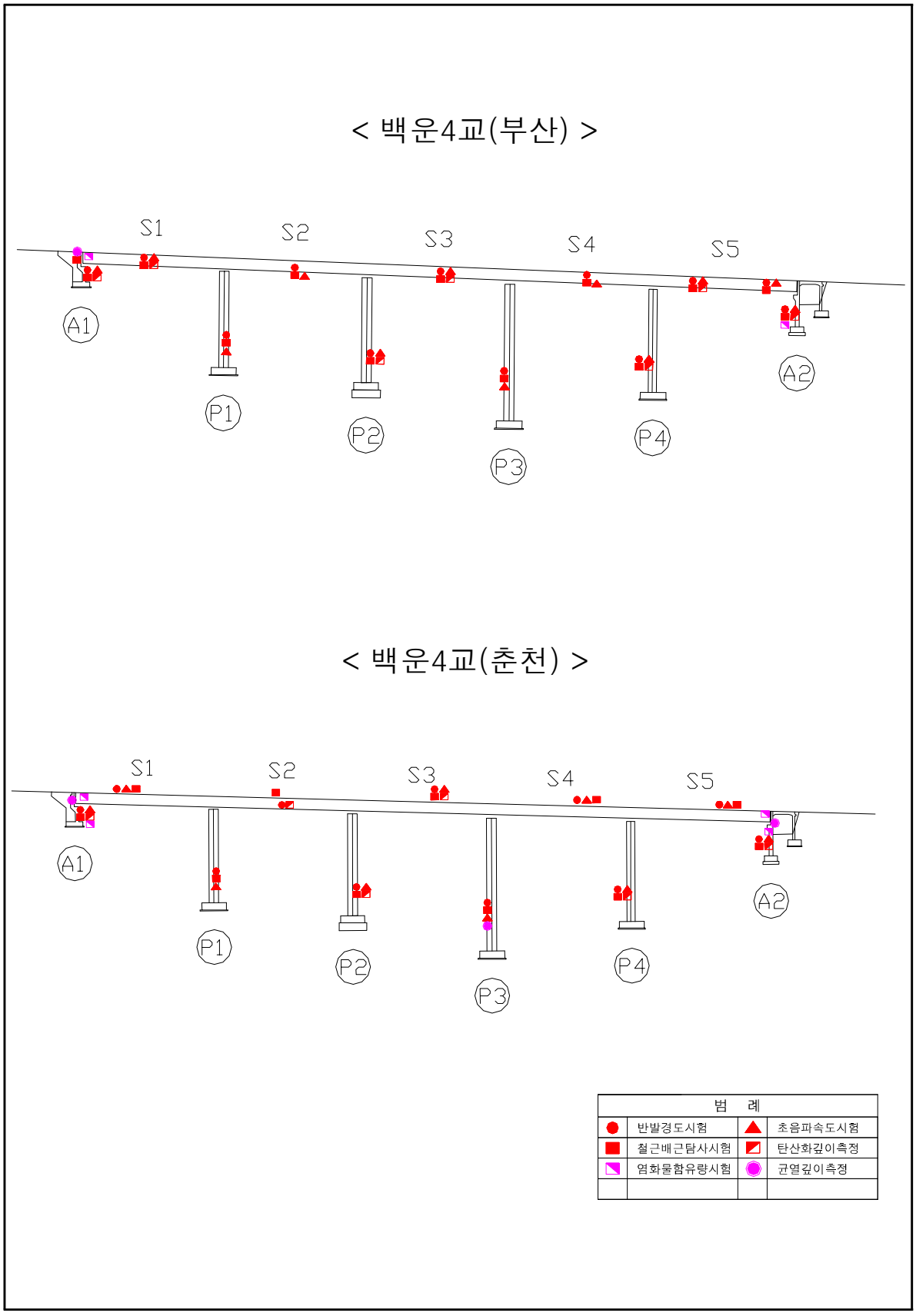
반발경도시험	초음파전달속도시험	철근탐사시험
탄산화 깊이 측정	염화물 함유량 시료채취	균열깊이 측정

【그림 3.8】 콘크리트 재료시험(부산)

외측 켄틸레버 강판 절취부 반발경도시험	초음파전달속도시험	철근탐사시험
탄산화 깊이 측정	염화물 함유량 시료채취	균열깊이 측정

【그림 3.9】 콘크리트 재료시험(춘천)

나. 재료시험 위치도



【그림 3.10】 재료시험위치도

【표 3.72】 백운4교(부산) 조사위치 선정사유

구 분	항 목		조사위치 선정사유	비 고
콘크리트 구조물	기본과업	반발경도시험 초음파시험 철근탐사시험	• 콘크리트 비파괴강도 측정을 위하여 실시하였으며, 경간 및 개소별로 상부구조 6개소, 하부구조 6개소를 선정하여 실시하였음.	<바닥판> 내측: Deck 외측: Con'c
		탄산화깊이 측정	• 탄산화에 의한 철근부식 발생 영향을 검토하기 위한 시험으로 상부구조 3개소, 하부구조 4개소를 선정하여 실시하였음.	
		염화물함유량 시험	• 철근 깊이까지의 염화물 분포 파악을 위한 시험으로 신축이음이 있는 상부구조 S1, 하부구조 A1, A2를 선정하여 총 3개소 실시하였음.	
		균열깊이 조사	• 외관조사 결과를 토대로 책임기술자 판단 하에 철근까지의 진행여부 판단을 위해 Cw=0.3mm이상 균열 1개소를 선정하여 실시하였음.	
강재 구조물		강재용접부 비파괴시험	• 용접부 내부에 존재하는 기공, 슬래그, 융합불량 등의 결함사항에 대한 조사로 하부브레이싱 맞대기 용접부에 20개소를 선정하여 실시하였음.	
		도막두께 측정	• 거더의 도장상태에 대한 전 경간 동일한 상태로 조사되어 임의적으로 8개소이상 선정하여 측정하였음	

【표 3.73】 백운4교(춘천) 조사위치 선정사유

구 분	항 목		조사위치 선정사유	비 고
콘크리트 구조물	기본과업	반발경도시험 초음파시험	• 콘크리트 비파괴강도 측정을 위하여 실시하였으며, 상부구조 5개소, 하부구조 6개소를 선정하여 실시하였음. 상부구조는 데크플레이트 및 강판이 설치되어 콘크리트 비파괴강도 측정이 불가한 상태이나 S2구간에서 1개소 강판 절취 후 반발경도시험을 측정 및 평가하였고, 나머지구간은 방호벽에서 반발경도 및 초음파시험을 측정 및 평가하였음	<바닥판> 내측: Deck 외측: 강 판
		철근탐사시험	• 철근수량 및 피복두께 측정을 위하여 상부구조5개소 하부구조2개소 기 진단과 비교하고자 유사 단면 하부구조 4개소를 선정하여 실시하였음.	
		탄산화깊이 측정	• 탄산화에 의한 철근부식 발생 영향을 검토하기 위한 시험으로 상부구조 3개소, 하부구조 4개소를 선정하여 실시하였음.	
		염화물함유량 시험	• 철근 깊이까지의 염화물 분포 파악을 위한 시험으로 신축이음이 있는 상부구조 S5, 하부구조 A1, A2를 선정하여 총 3개소 실시하였음.	
		균열깊이 조사	• 외관조사 결과를 토대로 책임기술자 판단 하에 철근까지의 진행여부 판단을 위해 Cw=0.3mm이상 균열 중 3개소를 선정하여 실시하였음.	
강재 구조물		강재용접부 비파괴시험	• 용접부 내부에 존재하는 기공, 슬래그, 융합불량 등의 결함사항에 대한 조사로 하부브레이싱 맞대기 용접부에 10개소를 선정하여 실시하였음.	
		도막두께 측정	• 거더의 도장상태에 대한 전 경간 동일한 상태로 조사되어 임의적으로 8개소이상 선정하여 측정하였음	

3.4.2 현장시험 개요

가. 반발경도시험

개요

- 콘크리트 표면의 반발경도를 측정하여, 콘크리트의 압축강도를 추정하는 검사법
- 슈미트해머는 경화된 콘크리트 표면을 타격 시, 반발도(R)와 콘크리트의 압축강도(Fc)와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 함

시험 방법

- 반발경도 측정은 선정된 부위에 그라인딩 작업으로 표면 정리를 한 다음 타격점 상호간의 종·횡 간격을 30mm기준으로 그어 직교되는 부위에 20점 이상을 타격하여 반발경도 값의 산술 평균값을 구하고, 각 반발경도 값이 평균값의 ±20% 범위를 벗어나는 값들은 제외시키고 나머지 값들을 다시 산술평균하여 반발경도를 결정함
- 보-기둥의 모서리에서는 최소 30~60mm 이격 하고, 측정부재의 최소두께는 반발도의 영향을 고려하여 100mm 이상을 원칙으로 함
- 측정치는 원칙적으로 정수값을 읽고, 표면 건조상태의 부위를 선정, 측정하여 건습에 따른 보정, 압축응력에 따른 반발도의 보정과 타격 방향에 대한 보정 및 재령에 따른 보정을 적용함

측정기의 기종 선정
↓
점검기에 의한 정도확인
↓
측정 장소의 확인, 요철제거
↓
Marker 등에 의한 측정점의 표시
↓
측정, 20점 이상의 평균
↓
타격 방향, 습윤 및 재령의 보정
↓
강도추정식에 의한 압축강도 산출
↓
압축강도의 추정

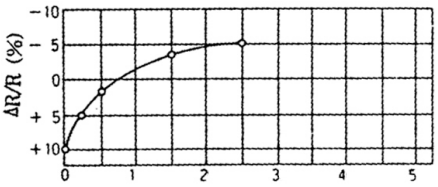
<반발경도법에 의한 강도추정 흐름도>

보정 방법

- 타격방향에 따른 보정(ΔR1)

반발경도(R)	수평과 이루는 각도				비고
	+90°	+45°	-45°	-90°	
10	-	-	+2.4	+3.2	상향수직 : +90° 하향수직 : -90°
20	-5.4	-3.5	+2.5	+3.4	
30	-4.7	-3.1	+2.3	+3.1	
40	-3.9	-2.6	+2.0	+2.7	
50	-3.1	-2.1	+1.6	+2.2	
60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7	

- 압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정(ΔR2)
  압축응력 1.0kgf/cm2 인 경우
  ΔR2=-0.015R, 2.5kgf/cm2 인 경우
  ΔR2=-0.05R 정도임



<압축응력에 따른 반발경도 보정곡선>

- 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정(ΔR3)
  기건상태 : ΔR3=0, 습윤상태 ΔR3= +5
  반습윤상태 : ΔR3= +3
- 콘크리트 재령에 따른 보정(α)

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

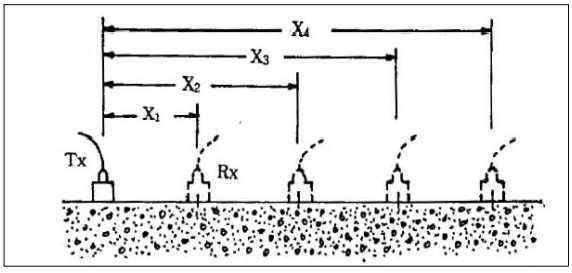
- Ro = R + ΔR (⇒ ΔR = ΔR1 + ΔR2 + ΔR3)
  여기서, ΔR1 : 타격방향에 따른 보정값
  ΔR2 : 압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정값
  ΔR3 : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값

압축 강도 추정식

- 방법 1 : Fc = -18.0+1.27×Ro (MPa) ⇒ 일본 재료학회 추정식
- 방법 2 : Fc = (7.3Ro + 100)×0.098 (MPa) ⇒ 일본건축학회 추정식

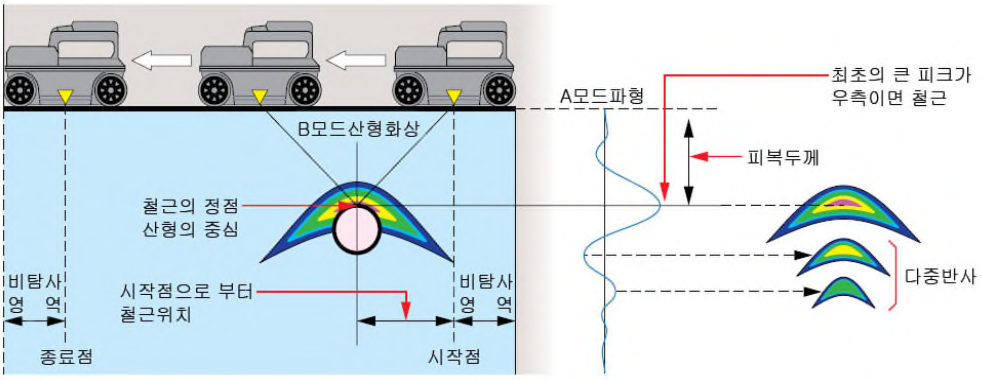
※ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※ 콘크리트 내구성 평가절차 수립(국토해양부, 한국시설안전공단, 1999.12) 참조
※ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토해양부, 한국시설안전공단, 2010.12) 참조

나. 초음파전달속도시험

개요	▪ 초음파전달속도시험은 초음파 (주파수 50~100kHz 정도)의 투과속도가 콘크리트의 밀도 및 탄성계수에 따라서 변화한다는 것을 이용하여 이 투과속도로부터 콘크리트의 강도, 균열상태, 내부결함 등을 조사하는 방법 ▪ 초음파전달속도시험은 발·수진자의 배치, 콘크리트의 배합비 및 함수율, 내부 철근의 유무 등에 따라 영향을 많이 받기 때문에 강도 추정의 정확도는 높지 않으므로 이 방법을 단독으로 사용하지 않고 반발경도법과 복합법으로 이용하는 것이 일반적임
시험 방법	▪ 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 ≈ 1.05 Vi 여기서, Vd : 직접법에 의한 초음파속도 Vi : 간접법에 의한 초음파속도  측정 장소의 선정 ↓ 측정 장소의 확인, 요철제거 ↓ Marker 등에 의한 측정점의 표시 ↓ 측정기의영점 조정 ↓ 진동자와 측정면 사이 공극이 생기지 않도록 그리스로 밀착 ↓ 전달속도 측정 및 산출 ↓ 압축강도의 추정 또는 품질평가 <초음파법에 의한 강도추정 흐름도>
초음파 전달 속도	▪ 전달속도(Velocity, mm/μsec) $= \dfrac{\text{전달길이(Path Length, L : mm)}}{\text{전달시간(Transit Time, T : } \mu\text{sec)}}$
압축 강도 추정식	▪ 식1 (일본건축학회) : Fc = (215Vd - 620) × 0.098 ▪ 식2 (일본재료학회) : Fc = (102Vd - 117) × 0.098

※ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※ 콘크리트 내구성 평가절차 수립(국토해양부, 한국시설안전공단, 1999.12) 참조
※ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토해양부, 한국시설안전공단, 2010.12) 참조

다. 철근탐사시험

개요	▪ 본 철근탐사는 탄산화 상태평가를 위한 철근피복두께를 조사하여 탄산화로 인한 구조물의 내구성 평가와 장기적인 내구성 확보를 위한 대책마련을 위해 실시
탐사 조건	▪ 적용 가능한 조건 ◦ 탐사심도 200mm 이내 ◦ 탐사대상 철근지름이 6mm 이상 ◦ 콘크리트의 질이 균일한 곳 ◦ 철근이 안테나 진행 방향에 직교한 곳 ▪ 적용 곤란한 조건 ◦ 표면에 금속 등 전파를 반사하는 것이 있고, 그 밑에 철근이 위치한 경우 ◦ 100mm 이하의 피치에서 배근된 경우 ◦ 철근이 안테나 진행 방향과 평행한 경우
측정 방법	▪ 철근탐사장비 RC-Radar의 측정원리는 전자파를 콘크리트의 표면에서 내부로 방사하여 콘크리트와 전기적 성질이 다른 철근이나 공동 등의 대상물로부터 반사되는 전파를 다시 안테나에서 수신하여 철근의 배근상태나 공동 등의 위치 및 깊이를 화상으로 기록하는 장비로 레이더 방식(화면 모니터 방식)이며, 측정가능심도는 5~200mm 임  <RC-Radar 측정원리>
평가 기준	▪ 철근의 피복두께는 콘크리트 표면에서 철근 최외측면까지의 거리로 함 ▪ 철근의 피복두께 및 일반적인 피복두께 기준과 비교하여 적정성 여부를 판단 ▪ 실측된 피복두께는 평균적인 개념으로 판단함이 바람직함

<철근의 피복두께 기준>

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

※ 콘크리트 구조기준(한국콘크리트학회, 2012) 참조

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

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

※ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※ 진단장비 활용・관리 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토해양부, 한국시설안전공단, 2010.12) 참조

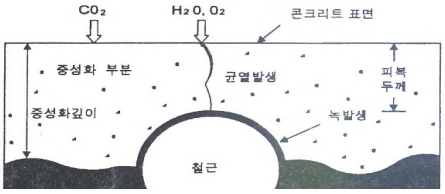
라. 탄산화 깊이 측정

개요

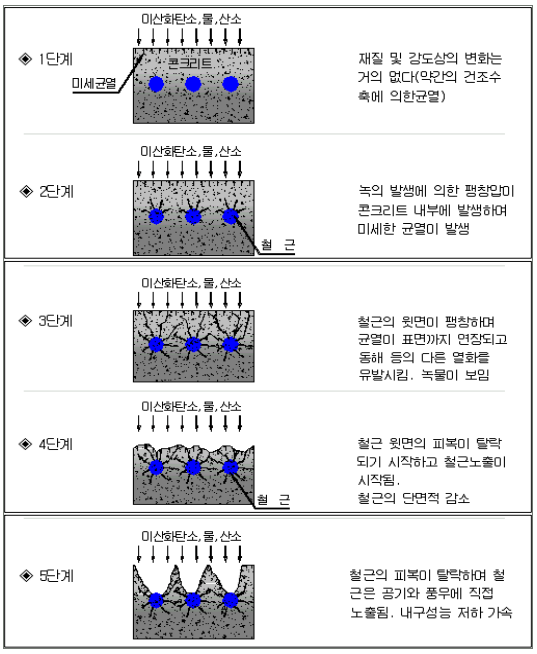
▪ 경화콘크리트는 표면에서 서서히 탄산화하여 pH값은 12~13에서 8~10이하로 감소한다. 이 과정을 콘크리트의 탄산화라고 함

$CaO + H2O \rightarrow Ca(OH)2$

$Ca(OH)2 + CO2 \rightarrow CaCO3 + H2O$

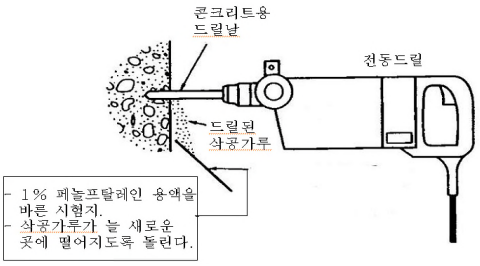


▪ 콘크리트는 탄산화에 의해 직접적으로 성능이 저하되는 것은 아니며, 단지 탄산화가 문제가 되는 이유는 탄산화가 피복두께를 넘어서 철근의 표면에 도달하게 되면 철근 표면을 감싸고 있던 부동태 피막이 파괴되면서 철근표면에 부식이 시작되기 때문.



<탄산화에 의한 콘크리트 성능저하 과정>

측정 방법



▪ 드릴링에 의해 발생되는 콘크리트가루가 페놀프탈레인용액을 적신 원형시험지에 떨어져 변색되는 시점을 탄산화깊이로 정하는 방법

시험 순서

① 탄산화시험 위치 선정
② 페놀프탈레인 1% 용액을 적신 원형시험지 준비
③ 페놀프탈레인용액을 적신 원형시험지를 드릴 밑에 두고 드릴링 시작
④ 원형시험지가 변색되는 시점에 드릴링 멈춤
⑤ 드릴링된 깊이(mm) 측정, 평균값 선정

평가 기준

<탄산화 상태평가 기준>

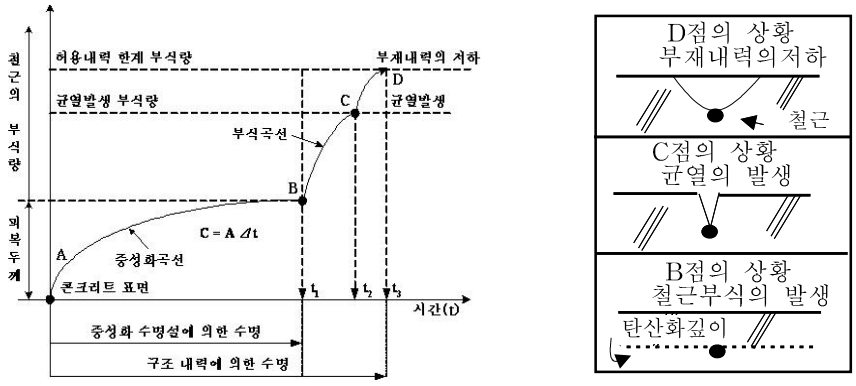
결과 / 구분	a	b	c	d	e
탄산화 잔여 깊이	30mm 이상	10 mm 이상 ~ 30mm 미만	0 mm 이상 ~ 10mm 미만	0mm 미만	-
철근부식의 가능성	탄산화에 의한 부식발생 우려 없음	향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음	경우에 따라서 탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음	철근부식 발생	-

※ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토해양부, 한국시설안전공단, 2010.12) 참조

< 계 속>

내구 수명 평가

- 콘크리트의 탄산화가 진행하여 철근에 다다르게 되면 철근의 부식이 시작된다. 그러나 철근주변까지 콘크리트가 탄산화 되었다고 해서 바로 부식이 발생하여 철근의 단면 결손이 발생하는 것은 아니다. 또한 실내외의 환경조건에 따라 철근 부식 조건이 달라진다. 실외에서는 탄산화영역이 철근위치에 도달하면 급속하게 철근의 부식이 발생하는 반면, 실내의 경우는 탄산화영역이 철근에 도달해도 급속하게 부식하는 경우는 없고, 탄산화영역이 피복두께를 20~30mm 지나치는 시점에서 부식이 시작됨
- 콘크리트가 탄산화 되어 철근의 부식이 시작되고, 수명에 이르는 개념을 아래 그림에 나타내었다. 즉 t1은 탄산화영역이 철근표면에 도달하는 시점, t2는 그 결과 철근이 부식되고 콘크리트에 균열을 발생시키는 시점, t3은 부재내력이 한계에 달하는 시점을 의미한다.
- 지금까지 철근콘크리트 구조물의 수명은 t1의 시점이라고 판단되어 왔으나 실제 구조물에 적용할 경우 많은 문제점이 나타나게 된다. 전문가에 따라서는 t1의 시점이 반드시 철근의 유해한 부식량의 시점이라고는 생각되지 않기 때문에, t2의 시점을 수명으로 산정하는 것이 적절하다는 의견이 있으므로 아직까지는 명확한 수명을 판단하기가 어렵다. 또한 다양한 환경조건에 따라 t1에서 t2 도달까지의 시간이 다르기 때문에 본 과업에서는 탄산화에 대한 내구수명으로서 t1에 도달할 때까지의 시간으로 결정하고 내구수명을 산정



<콘크리트 내부에서의 철근부식의 개념>

- 대기 중의 탄산가스에 의한 콘크리트 표면으로부터의 탄산화 진행을 경과시간의 함수로서 표현한 것이 탄산화 속도식이다. 탄산화가 정상상태에서 탄산가스의 콘크리트내부 확산에 따라 생긴다고 가정하면, 탄산화깊이 C는 경과시간 t의 평방근에 비례한다고 하는 식이 도출된다. 이것은 통상, √t 법으로 불리며, 가장 일반적으로 사용됨

  $C=A\sqrt{t}$

- 위의 식에서 계수 A는 탄산화속도 계수라고 하며, A의 수치가 큰 만큼 탄산화 속도가 크게 된다. 계수 A는 콘크리트의 재료적 요인 및 환경조건에 의해 정해지는 복잡한 함수이다.
- 본 과업에서 탄산화에 의한 수명 평가는 경과년수와 탄산화깊이와의 관계를 통해 탄산화 속도계수를 역추적하여 탄산화가 철근에 도달하는 시간을 계산하였다. 앞서 언급한 식 $C=A\sqrt{t}$ 에서 준공 후 현재까지의 경과년수 t는 설계도로부터 구할 수 있고 탄산화 깊이 C는 현장조사를 통하여 얻을 수 있으므로 탄산화 속도계수 A를 계산할 수 있다. 이에 따라 다음 식을 통하여 현재로부터 탄산화가 철근에 도달하는데 걸리는 시간을 추정

$$t_d = \frac{D_c^2}{A^2} - t_o$$

- 여기서, td는 현재로부터 탄산화가 철근에 도달하는데 걸리는 시간, Dc는 현장조사로부터 얻어진 철근까지의 피복두께(mm), A는 탄산화시험으로부터 계산된 계수, to는 현재의 구조물 경과시간임

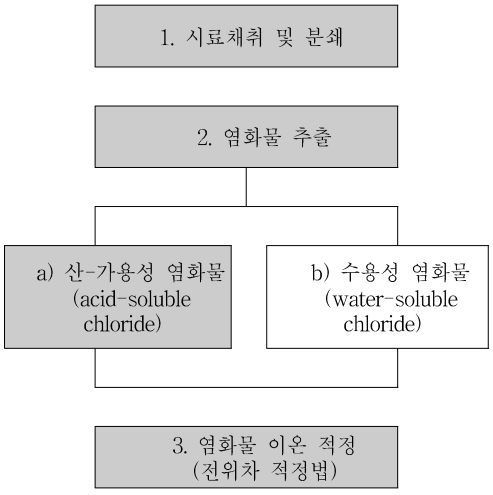
마. 염화물함유량 시험

개요

- 콘크리트가 탄산화되거나 염화물이 침투하게 되면 철근주위의 산소차단 역할을 하는 부동태막이 파손되고, 강재표면이 활성화되면 철근의 부식이 시작되어 철근의 부식방지를 위해서 염화물 이온량을 원칙적으로 제한할 필요가 있음
- 굳지 않은 콘크리트의 총 염화물 이온량은 국내의 경우 0.30kg/m^3이하로 제한하고 있으며, 책임기술자의 승인을 받는 경우 0.60kg/m^3 까지 허용될 수 있다.

시험 방법

- 본 진단 대상구조물의 콘크리트 재료 중에 함유된 염화물함유량 정도를 추정하기 위하여 현장에서 채취한 분말시료를 이용하여 실내시험을 실시하였다.
- 이미 굳은 콘크리트의 총 염화물 이온량에 대한 검토가 이루어질 경우에는 대상시설물의 시료를 채취한 후 산-가용성 염화물 이온농도 시험 KS F 2713 (콘크리트 및 콘크리트의 재료의 염화물 분석 시험 방법)에 따라 시행한 후 산출된 염화물량(%)에 22.63kg/m^3을 곱하여 전염화물 이온량을 구한다.
- 전염화물 이온량은 아래 염화물 상태평가 기준에 의거 평가한다.



<염화물함유량 시험방법>

평가 기준

<염화물 상태평가 기준>

구분 \ 결과	a	b	c	d	e
전염화물 이온량(kg/m^3)	염화물≤ 0.3	0.3 <염화물< 1.2	1.2 ≤염화물< 2.5	염화물≥ 2.5	-
철근부식의 가능성	염화물에 의한 부식 발생 우려 없음	염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음	향후 염화물에 의한 부식발생 가능성 높음	철근부식 발생	-

<노출등급에 따른 내구성 허용기준>

노출등급	최대 물-결합재비	최소 설계기준 압축강도(MPa)	콘크리트 내 최대 수용성 염소이온(Cl-)량 (시멘트 질량에 대한 %)	
			철근콘크리트	프리스트레스트 콘크리트
C0	-	21	1.00	0.06
C1	-	21	0.30	0.06
C2	0.40	35	0.15	0.06

※ 노출등급 ⇨ C0 : 건조하거나 또는 수분으로부터 보호되는 콘크리트
C1 : 수분에 노출되지만 외부의 염화물에 노출되지 않는 콘크리트
C2 : 제빙화학제, 소금, 염수, 해수 또는 해수 물보라 등과 같은 염화물에 직접적으로 노출되는 콘크리트

※ 콘크리트 내구성 평가절차 수립(국토해양부, 한국시설안전공단, 1999.12) 참조
※ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토해양부, 한국시설안전공단, 2010.12) 참조
※ 콘크리트구조기준 해설(콘크리트학회, 2012.12) 참조

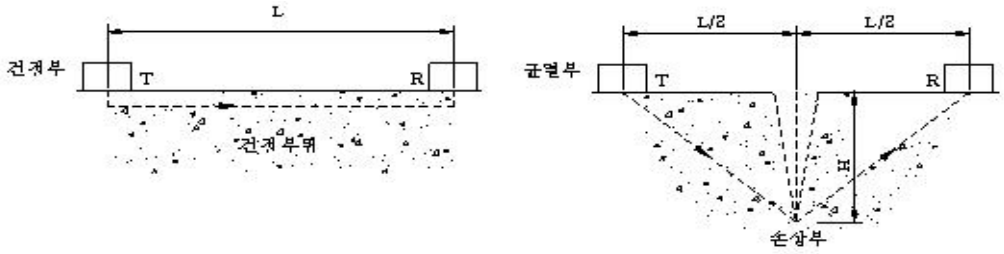
바. 균열깊이 측정

개요

- 본 과업에서는 외관조사를 바탕으로 대표적인 균열부를 선정하였으며, 초음파를 이용한 Tc-To법을 적용하여 측정하였다.
- Tc-To법은 측정대상인 콘크리트 부재에서 균열부와 건전부에서 각각 측정하고, 양자의 데이터 비교에 의해 균열깊이를 산출한다.

시험 방법

- 균열부분을 중심으로 송신탐촉자(TX)와 수신탐촉자(TR)를 등간격으로 배치하고, 송신탐촉자로부터 발신된 종파초음파가 그림 중의 점선과 같이 콘크리트 내를 전파하고, 균열선단부를 경유해서 수신탐촉자에 도달하기까지의 시간 Tc를 구한다.
- 균열이 없는 부분을 대상으로 동일 방법으로 송신탐촉자와 수신탐촉자의 거리 L과 초음파가 전파하는 시간 To를 구해서 균열깊이(H)를 평가한다.
- 콘크리트에 균열 있는 경우 그림과 같이 초음파의 전달경로가 균열을 따라 진행하기 때문에 초음파의 전달시간이 건전부의 전달시간보다 상대적으로 길어지게 된다. 이러한 특성을 이용하여 균열 깊이를 측정할 수 있다.



$$\text{균열깊이}(H) = \frac{L}{2}\sqrt{(\frac{T_c}{T_o})^2 - 1}$$

여기서, To : 균열이 없는 건전부의 초음파 전달속도

Tc : 균열면 주위의 초음파 전달속도

평가 기준

<균열깊이의 손상도 판정기준>

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

※ 여기서, Dc는 피복두께(mm)를 의미함

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※콘크리트 내구성 평가절차 수립(한국시설안전공단, 1999.12) 참조
※안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(한국시설안전공단, 2010.12) 참조

3.4.3 시험결과 및 분석

가. 백운4교(부산)시험 결과

1) 콘크리트 강도시험

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

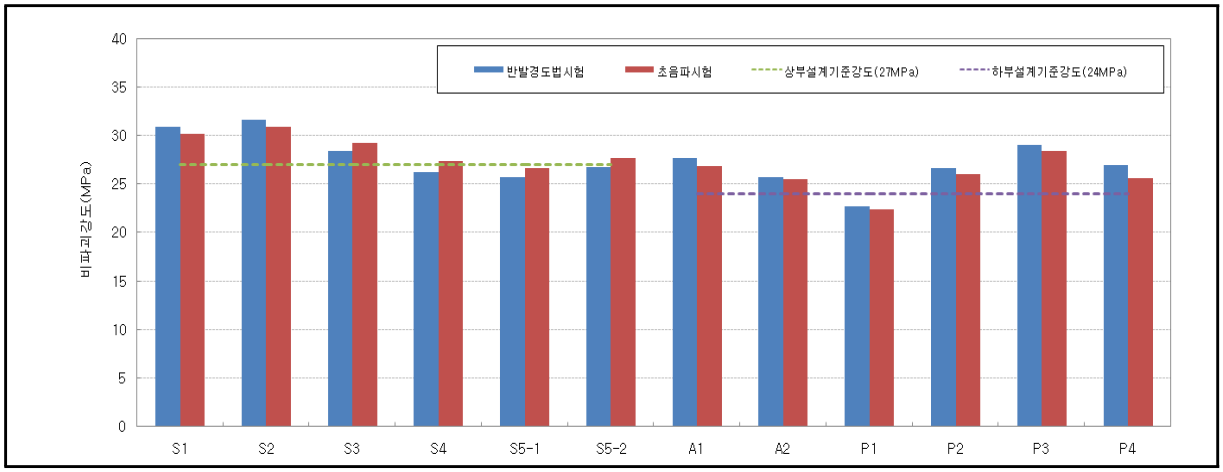
초음파시험은 반발경도시험을 수행한 동일부위를 선정하여 그라인딩을 실시하고 그리스를 도포 한 후, 발신자와 수신자의 측정거리를 10cm간격으로 증가시키면서 간접법에 의한 초음파 전달속도를 측정하였으며, 이를 직접법 속도로 환산하였다.

본 과업에서 대상 구조물의 콘크리트 비파괴강도를 평가하기 위하여 반발경도시험, 초음파시험의 결과를 비교하였고, 각 시험방법에 의한 비파괴강도를 【표 3.74】에 나타내었다.

① 비파괴강도 시험결과

【표 3.74】부재별 콘크리트 비파괴강도 시험결과(부산)

시험위치		비파괴시험		반발경도시험(MPa)			초음파시험(MPa)			설계 기준 강도 (MPa)
		반발 경도 (R_0)	초음파 속도 (V_d)	①식 일본 재료학회	②식 일본 건축학회	평균	①식 일본 재료학회	②식 일본 건축학회	평균	
상부구조	S1 캔틸레버	53.5	4.267	31.5	30.3	30.9	29.14	31.19	30.2	27.0
	S2 캔틸레버	54.6	4.316	32.4	30.8	31.6	30.18	31.68	30.9	
	S3 캔틸레버	49.5	4.204	28.3	28.5	28.4	27.82	30.56	29.2	
	S4 캔틸레버	46.1	4.087	25.5	26.9	26.2	25.36	29.39	27.4	
	S5 캔틸레버1	45.2	4.039	24.8	26.6	25.7	24.34	28.91	26.6	
	S5 캔틸레버2	46.8	4.106	26.1	27.3	26.7	25.76	29.58	27.7	
	평 균			28.1	28.4	28.2	27.1	30.2	28.7	
	표준편차			3.2	1.8	2.5	2.3	1.1	1.7	
	변동계수			0.114	0.063	0.088	0.085	0.036	0.059	
하부구조	A1 구체	48.5	3.855	27.4	28.0	27.7	24.52	28.94	26.8	24.0
	A2 구체	45.2	3.775	24.8	26.5	25.7	22.76	28.16	25.5	
	P1 기둥	40.4	3.587	21.0	24.4	22.7	18.60	26.18	22.4	
	P2 기둥	46.7	3.810	26.0	27.2	26.6	23.53	28.52	26.0	
	P3 기둥	50.5	3.955	29.1	28.9	29.0	26.73	30.04	28.4	
	P4 기둥	47.1	3.782	26.3	27.4	26.9	22.90	28.23	25.6	
	평 균			25.8	27.1	27.1	23.2	28.4	25.8	
	표준편차			2.8	1.5	1.5	2.7	1.3	2.0	
	변동계수			0.107	0.057	0.081	0.115	0.045	0.077	



【그림 3.11】 콘크리트 강도시험 결과(부산)

② 시험결과분석

【표 3.75】 비파괴강도 시험결과 분석(부산)

구 분	시험방법	평균강도(A)(MPa)	설계기준강도(B)(MPa)	A/B×100(%)
상부구조	반발경도시험	25.7~31.6	27.0	95.2~116.9
	초음파시험	26.6~30.9		98.6~114.5
하부구조	반발경도시험	22.7~29.0	24.0	94.5~120.8
	초음파시험	22.4~28.4		93.3~118.3

비파괴강도 시험(반발경도시험. 초음파시험)에 의한 콘크리트 강도시험 결과, 상부구조는 설계기준강도의 95.2%~116.9%, 하부구조는 93.3%~120.8%으로 나타나 설계기준강도 대비 90%이상의 강도가 측정되어 비교적 양호한 것으로 평가되었다.

③ 기 진단결과와의 비교

【표 3.76】 비파괴강도 측정결과 전회 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석(부산)

구 분	전회 정밀안전진단(2011년)		금회 정밀안전진단		설계강도 (MPa)
	반발경도시험(MPa)	초음파시험(MPa)	반발경도시험(MPa)	초음파시험(MPa)	
상부구조	24.4~28.7	25.3~30.4	25.7~31.6	26.6~30.9	27.0
하부구조	19.3~28.9	24.3~30.9	22.7~29.0	22.4~28.4	24.0

전회 정밀안전진단(2011년)과 금회 측정한 비파괴 압축강도 측정값을 비교·분석한 결과, 측정위치에 따라 다소 차이는 발생하고 있으나 전반적으로 전회 정밀안전진단 결과와 유사한 경향을 보이고 있으며, 설계기준강도 대비 90%이상의 강도가 측정되어 비교적 양호하며, 강도저하는 발생되지 않은 것으로 판단된다.

2) 철근탐사시험

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

① 시험결과

【표 3.77】 철근탐사시험 결과(부산)

구 분		주철근				배력철근			
		철근간격(㎜)		피복두께(㎜)		철근간격(㎜)		피복두께(㎜)	
		평균	설계	평균	설계	평균	설계	평균	설계
상부구조	S1 캔틸레버	195.0	250.0	70.0	40	-	-	-	-
	S2 캔틸레버	187.0	250.0	61.0	40	-	-	-	-
	S3 캔틸레버	199.0	250.0	60.0	40	-	-	-	-
	S4 캔틸레버	194.0	250.0	60.0	40	-	-	-	-
	S5 캔틸레버1	190.0	250.0	61.0	40	-	-	-	-
	S5 캔틸레버2	200.0	250.0	58.0	40	-	-	-	-
하부구조	A1 구체	199.0	200.0	108.0	100.0	-	-	-	-
	A1 흉벽	202.0	200.0	107.0	100.0	196.0	200.0	119.0	114.5
	A2 구체	193.0	200.0	81.0	100.0	193.0	200.0	88.0	114.5
	P1 기둥	160.0	150.0	108.0	100.0	250.0	250.0	81.0	74.5
	P2 기둥	156.0	150.0	113.0	100.0	251.0	250.0	88.0	74.5
	P3 기둥	148.0	150.0	105.0	100.0	275.0	250.0	75.0	74.5
	P4 기둥	153.0	150.0	101.0	100.0	240.0	250.0	79.0	74.5

② 시험결과 분석

콘크리트 부재에 대하여 철근탐사를 측정한 결과, 준공도면과 비교 시 상부구조의 배근간격은 실측치(200㎜)와 설계치(250㎜)는 차이가 있으나 추가 시험결과 배근간격이 동일하게 200㎜ 간격으로 조사되었고 단위m당 철근수가 설계치 이상이므로 구조적인 문제가 없을 것으로 판단되며, 피복두께는 전반적으로 설계치 보다 다소 두꺼운 것으로 나타났으나 외관조사 결과 이로 인한 손상은 조사되지 않았으며, 하부구조의 배근간격 및 피복두께는 전반적으로 설계와 일치하는 것으로 나타났다.

③ 기 진단결과와의 비교

【표 3.78】 철근탐사결과 전회 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석(부산)

시험위치		철근종류	전회 정밀안전진단		금회 정밀안전진단		설계치(mm)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
상부구조	S1 켄틸레버	횡방향철근	180~235	94.0	195.0	70.0	250	40.0	
	S2 켄틸레버	횡방향철근	135~225	40.0	187.0	61.0	250	40.0	
	S3 켄틸레버	횡방향철근	100~145	90.0	199.0	60.0	250	40.0	
	S4 켄틸레버	횡방향철근	100~175	90.0	194.0	60.0	250	40.0	
	S5 켄틸레버1	횡방향철근	175~300	74.0	190.0	61.0	250	40.0	
	S5 켄틸레버2	횡방향철근	-	-	200.0	58.0	250	40.0	
하부구조	A1 구체	수직철근	200~620	-	199.0	108.0	200.0	100.0	
		수평철근	180~215	-	-	-	-	-	
	A1 흉벽	수직철근	-	-	202.0	107.0	200.0	100.0	
		수평철근	-	-	196.0	119.0	200.0	114.5	
	A2 구체	수직철근	-	-	193.0	81.0	200.0	100.0	
		수평철근	-	-	193.0	88.0	200.0	100.0	
	P1 기둥(상부)	수직철근	155~180	-	-	-	200.0	100.0	
		수평철근	220~255	-	-	-	200.0	100.0	
	P1 기둥(하부)	수직철근	-	-	160.0	108.0	150.0	100.0	
		수평철근	-	-	250.0	81.0	250.0	74.5	
	P2 기둥	수직철근	-	-	156.0	113.0	150.0	100	
		수평철근	-	-	251.0	88.0	250.0	74.5	
	P3 기둥	수직철근	-	-	148.0	105.0	150.0	100.0	
		수평철근	-	-	275.0	75.0	250.0	74.5	
	P4 기둥	수직철근	-	-	153.0	101.0	150.0	100.0	
		수평철근	-	-	240.0	79.0	250.0	74.5	

상부구조는 전회 진단 시 측정부위가 지점부에서 시행하여 간격이 불규칙하며, 금회 진단 시 지간 중앙부에서 철근탐사시험을 시행하여 전회 진단과 오차가 발생하는 등 동일 부재여도 측정부위에 따른 설계기준이 상이하여 직접적인 비교·분석이 불가능한 상태이며, 하부구조도 측정부위가 상이하여 비교·분석이 불가능하나 전회 진단 및 금회 진단 시험 결과 모두 단위 m당 철근수가 설계 이상이므로 구조적인 문제가 없을 것으로 판단된다.

나. 콘크리트 품질시험

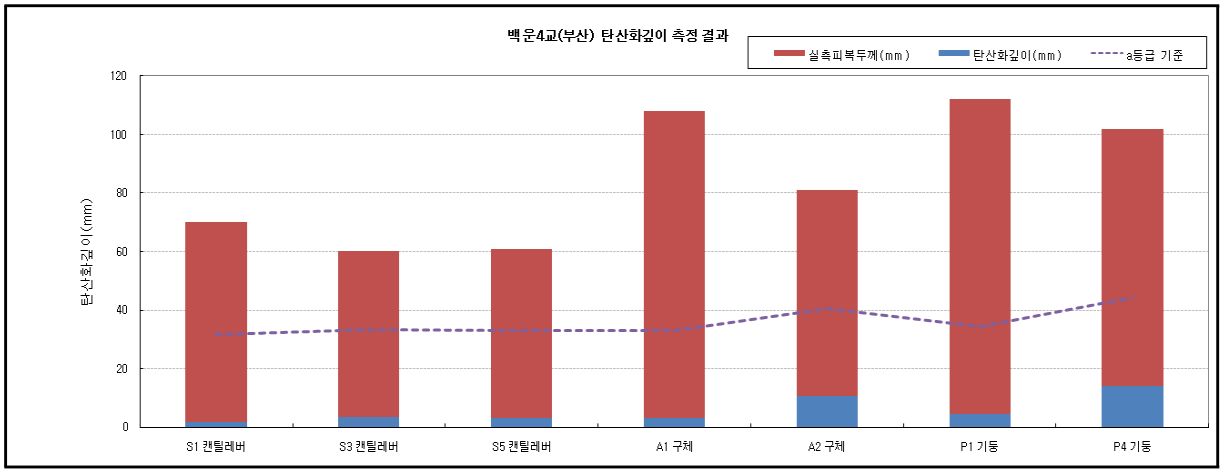
1) 탄산화 깊이 측정

구조물의 탄산화 진행 정도는 상부구조의 경우 드릴링에 의해 발생되는 콘크리트가루가 페놀프탈레인용액을 적신 시험지에 떨어져 변색되는 시점의 깊이를 측정하였고, 하부구조의 경우는 코어채취 시 실시하였다. 지시약을 분무하면 알칼리성 콘크리트의 탄산화가 진행된 면에서는 색의 변화가 나타나지 않고 그 변화가 없는 정도를 곧 탄산화 진행 깊이로 판단하게 된다.

① 시험결과

【표 3.79】 탄산화 깊이 측정결과 및 평가(부산)

시험 위치		탄산화깊이 (㎜)	피복두께 (㎜)	탄산화속도 계수(A)	잔존수명 예측(년)	잔여깊이 (㎜)	평가 결과	비고
상부 구조	S1 캔틸레버	1.6	70.0	0.388	∞	68.5	a	
	S3 캔틸레버	3.4	60.0	0.838	∞	56.7	a	
	S5 캔틸레버	3.0	61.0	0.756	∞	58.0	a	
하부 구조	A1 구체	3.1	108.0	0.781	∞	104.9	a	
	A2 구체	10.5	81.0	2.613	∞	70.6	a	
	P2 기둥	4.5	88.0	1.131	∞	107.5	a	
	P4 기둥	14.2	79.0	3.544	∞	87.8	a	



【그림 3.12】 탄산화깊이 측정결과(부산)

② 시험결과 분석

탄산화 깊이 측정은 상부구조 3개소, 하부구조 4개소에서 실시하였으며, 측정위치에서 철근의 피복두께 측정을 실시하였다.

측정 결과, 탄산화 깊이가 상부구조에서 1.6~3.4㎜, 하부구조에서 3.1~14.2㎜로 나타나 측정위치에서의 철근피복두께를 고려할 때, 전 개소에서 "a"의 상태(7개소, 탄산화 잔여깊이 30㎜이상)로 평가되어 탄산화에 의한 철근의 부식 발생 가능성은 적은 것으로 분석되었다.

③ 기 진단결과와의 비교

【표 3.80】 탄산화 깊이 측정결과 전회 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석(부산)

구 분	전회 정밀안전진단(2011년)		금회 정밀안전진단		비 고
	탄산화깊이(mm)	잔여깊이(mm)	탄산화깊이(mm)	잔여깊이(mm)	
상부구조	3.0~5.0	37.0~89.0	1.6~3.4	56.7~68.5	철근부식 우려 없음
하부구조	3.0~18.0	62.0~90.0	3.1~14.2	70.6~107.5	

기 진단 결과와 비교·분석한 결과, 측정위치 차이에 의해 측정 결과 값에 다소 차이가 있으나, 측정개소 모두 전 개소에서 "a"의 상태로 평가되어 탄산화에 의한 철근의 부식 발생 가능성은 적은 것으로 분석되었다

2) 염화물함유량 시험

① 시험결과

염화물함유량시험은 염해피해가 예상되는 신축이음부에서 시행하였으며, 시험결과는 아래표와 같다.

【표 3.81】 염화물함유량 시험결과(부산)

시험 위치			콘크리트구조기준		상태평가 기준		비고
			전 함유율(%)	평가결과	환산 염화물함량(kg/㎥)	평가결과	
상부구조	S1 바닥판	0~30㎜	0.0091	적합	0.205	a	
		30~50㎜	0.0084		0.190	a	
하부구조	A1 구체	0~30㎜	0.0237	적합	0.536	b	
		30~50㎜	0.0198		0.448	b	
	A2 구체	0~30㎜	0.0089	적합	0.201	a	
		30~50㎜	0.0057		0.128	a	

※ 콘크리트 중의 환산 염화물 산출시 콘크리트의 단위질량은 2,263kg/㎥을 적용
※ 노출등급(C1), 최소 설계기준 21.0MPa에 해당하는 철근콘크리트 0.3%을 적용
※ 상태평가 결과는 철근이 위치하고 있는 피복두께 깊이의 염화물 함유량 결과에 대하여 실시함.

② 측정결과 분석

측정 전 개소에서 콘크리트구조기준에 적합한 것으로 평가되었으며, 상태평가에 따른 염화물 함유량은 30~50㎜ 깊이에서 상부구조는 0.190kg/m³, 하부구조는 0.128~0.448kg/m³로 분석되어 상태평가 "a~b"로 부식발생 가능성이 낮은 것으로 평가되었다. 금회 현장조사 결과 철근부식에 의한 박락은 발생되지 않은 상태로 염화물에 의한 구조물의 손상은 없는 것으로 조사되었다.

③ 기 진단결과와의 비교

【표 3.82】 염화물 함유량 시험결과 전회 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석(부산)

구 분	전회 정밀안전진단(2011년)		금회 정밀안전진단		비 고
	전 함유율 (%)	환산 염화물함량 (kg/m³)	전 함유율 (%)	환산 염화물함량 (kg/m³)	
상부구조	0.0438	0.990	0.0084	0.190	
하부구조	0.0171~0.0179	0.387~0.405	0.0057~0.0198	0.128~0.448	

전회 정밀안전진단(2011년)과 금회 측정한 염화물 함유량 시험결과를 비교·분석한 결과, 재료시험 특성 및 시험위치의 차이 등에 의해 미소한 차이가 발생하였으나, 측정개소 모두 염화물 함유량 1.2kg/m³이하로 염화물에 의한 부식발생 가능성이 낮은 것으로 분석되었다.

3) 균열깊이 측정

균열심도 측정은 책임기술자 판단 하에 철근까지의 진행여부를 판단하기 위해 폭 0.2~1.0㎜ 이상의 균열 중 대표 개소를 선정하여 시험을 실시하였다. 측정 시 발·수신자의 거리를 200㎜로 하였으며, 측정된 속도는 동일 위치에서 3회를 측정한 후 그 평균값을 적용하였다.

① 측정결과

【표 3.83】 균열깊이 측정 결과(부산)

시험 위치		균열폭/길이 (㎜/m)	발·수신자 거리 2L (㎜)	초음파 전달시간 ($\times10^{-6}$sec)		균열심도 (㎜)	철근피복 (㎜)
				건전부 To	균열부 Tc		
부산	A1 흉벽	0.3/3.5	200	95.4	121.3	39.3	107.0

※ 피복두께는 철근탐사를 통한 실제 조사 피복두께임

② 측정결과 분석

본 구조물에 대하여 1개소에서 균열깊이 측정결과, 균열깊이는 39.3㎜로 측정되었다.

균열깊이는 A1흉벽에서 피복두께의 1/2 이하로 조사되었고, 균열에 의한 구조물 손상이나 철근 부식 등의 내구성 저하는 조사되지 않았으나 주기적인 점검을 통해 이로 인한 철근부식 등의 손상발생에 유의하여 주의 관찰해야 될 것으로 판단된다.

다. 백운4교(춘천)시험 결과

1) 콘크리트 강도시험

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

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

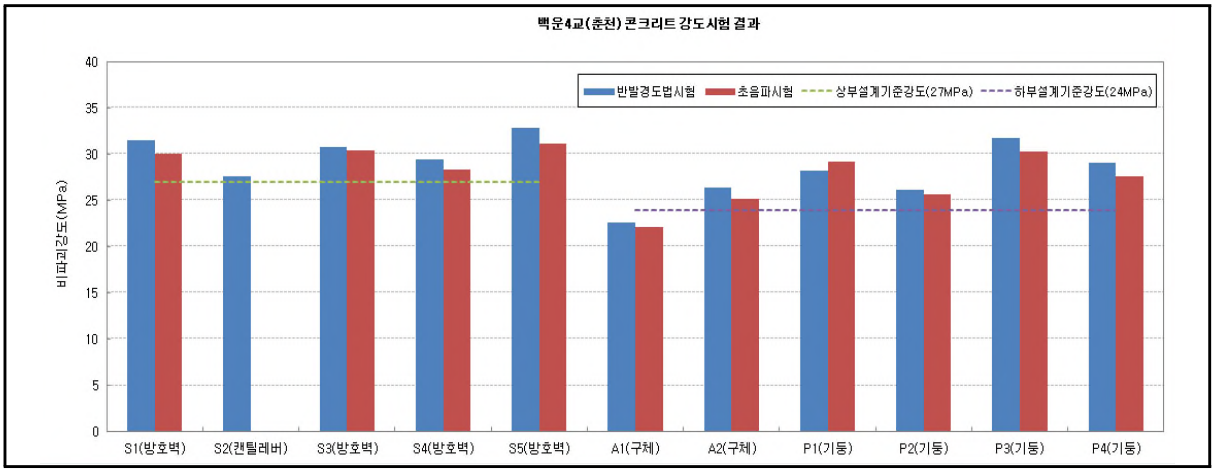
본 과업에서 대상 구조물의 콘크리트 비파괴강도를 평가하기 위하여 반발경도시험, 초음파시험의 결과를 비교하였고, 각 시험방법에 의한 비파괴강도를 【표 3.84】에 나타내었다.

① 비파괴강도 시험결과

【표 3.84】 부재별 콘크리트 비파괴강도 시험결과(춘천)

시험위치		비파괴시험		반발경도시험(MPa)			초음파시험(MPa)			설계 기준 강도 (MPa)
		반발경도 (R_0)	초음파 속도 (V_d)	①식 일본 재료학회	②식 일본 건축학회	평균	①식 일본 재료학회	②식 일본 건축학회	평균	
상부구조	S2 캔틸레버	51.5	-	27.3	27.9	27.6	-	-	-	27.0 (상부:Deck)
	S1 방호벽	54.6	4.263	32.3	30.8	31.5	29.06	31.14	30.1	
	S3 방호벽	53.3	4.280	31.3	30.2	30.8	29.42	31.32	30.4	
	S4 방호벽	51.1	4.147	29.5	29.2	29.4	26.61	29.99	28.3	
	S5 방호벽	56.7	4.335	34.0	31.7	32.9	30.58	31.87	31.2	
	평 균			30.9	30.0	30.4	28.9	31.08	30.0	
	표준편차			2.6	1.5	2.0	1.7	0.8	1.2	
	변동계수			0.084	0.049	0.006	0.058	0.025	0.041	
하부구조	A1 구체	40.3	3.745	20.9	24.3	22.6	18.14	25.97	22.1	24.0
	A2 구체	46.3	3.945	25.7	27.0	26.4	22.36	27.97	25.2	
	P1 기둥	49.3	4.205	28.1	28.4	28.2	27.84	30.57	29.2	
	P2 기둥	45.8	3.974	25.3	26.8	26.1	22.98	28.26	25.6	
	P3 기둥	55.0	4.274	32.7	31.0	31.8	29.30	31.26	30.3	
	P4 기둥	50.6	4.101	29.1	29.0	29.1	25.65	29.53	27.6	
	평 균			27.0	27.8	27.4	24.38	28.9	26.6	
	표준편차			4.0	2.2	3.1	4.1	1.9	3.0	
	변동계수			0.148	0.081	0.114	0.167	0.067	0.113	

주) 상부구조는 내측 바닥판 및 외측 캔틸레버부가 데크플레이트 및 강판이 설치되어 콘크리트 비파괴강도 측정이 불가한 상태이나 S2구간에서 1개소 강판 절취 후 반발경도시험을 측정 및 평가하였고, 나머지구간은 방호벽에서 반발경도 및 초음파시험을 측정 및 평가하였음



【그림 3.13】 콘크리트 강도시험 결과(춘천)

② 시험결과분석

【표 3.85】 비파괴강도 시험결과 분석(춘천)

구 분	시험방법	평균강도(A)(MPa)	설계기준강도(B)(MPa)	A/B×100(%)
상부구조	반발경도시험	27.6~32.9	27.0	102.3~121.8
	초음파시험	28.3~31.2		104.8~115.6
하부구조	반발경도시험	22.6~31.8	24.0	94.2~132.6
	초음파시험	22.1~30.3		91.9~126.2

비파괴강도 시험(반발경도시험. 초음파시험)에 의한 콘크리트 강도시험 결과, 상부구조는 설계기준강도의 102.3~121.8%, 하부구조는 91.9%~132.6%,으로 나타나 설계기준강도 대비 90%이상의 강도가 측정되어 비교적 양호한 것으로 평가되었다.

③ 기 진단결과와의 비교

【표 3.86】 비파괴강도 측정결과 전회 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석(춘천)

구 분	전회 정밀안전진단(2013년)		금회 정밀안전진단		설계강도 (MPa)
	반발경도시험(MPa)	초음파시험(MPa)	반발경도시험(MPa)	초음파시험(MPa)	
상부구조	-	-	27.6~32.9	28.3~31.2	27.0
하부구조	26.6~28.2	25.9~28.2	22.6~31.8	22.1~30.3	24.0

전회 정밀안전진단(2013년)과 금회 측정한 비파괴 압축강도 측정값을 비교·분석한 결과, 상부구조는 전회 진단 시 미실시하여 비교분석은 생략토록 하며, 하부구조는 측정위치에 따라 다소 차이는 발생하고 있으나 전반적으로 전회 정밀안전진단 결과와 유사한 경향을 보이고 있으며, 설계기준강도 대비 90%이상의 강도가 측정되어 공용기간 증가에 따른 강도 저하는 발생되지 않은 것으로 판단된다.

2) 철근탐사시험

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

① 시험결과

【표 3.87】 철근탐사시험 결과(춘천)

구 분		주철근				배력철근			
		철근간격(㎜)		피복두께(㎜)		철근간격(㎜)		피복두께(㎜)	
		평균	설계	평균	설계	평균	설계	평균	설계
상부구조	S1방호벽	200.0	200.0	84.0	40.0	200.0	200.0	102.0	54.5
	S2방호벽	202.0	200.0	76.0	40.0	205.0	200.0	85.0	54.5
	S3방호벽	200.0	200.0	81.0	40.0	190.0	200.0	97.0	54.5
	S4방호벽	202.0	200.0	79.0	40.0	195.0	200.0	95.0	54.5
	S5방호벽	203.0	200.0	80.0	40.0	197.0	200.0	93.0	54.5
하부구조	A1 구체	200.0	200.0	103.0	100.0	207.0	200.0	120.0	114.5
	A2 구체	190.0	200.0	110.0	100.0	193.0	200.0	117.0	114.5
	P1 기둥	153.0	150.0	105.0	100.0	237.0	250.0	79.0	78.0
	P2 기둥	145.0	150.0	104.0	100.0	239.0	250.0	92.0	78.0
	P3 기둥	148.0	150.0	111.0	100.0	245.0	250.0	89.0	78.0
	P4 기둥	132.0	150.0	105.0	100.0	260.0	250.0	85.0	78.0

② 시험결과 분석

콘크리트 부재에 대하여 철근탐사를 측정한 결과, 바닥판하면이 영구거푸집(Deck)으로 마감되어있어 상부구조는 방호벽에서, 하부구조는 교대 및 교각에서 시험을 실시하였다. 준공도면과 비교 시 철근 배근간격은 전반적으로 양호한 상태이고 외관조사결과 이로 인한 손상은 조사되지 않았다. 피복두께의 경우, 상부구조의 방호벽은 단면이 증설되어 피복두께가 다소 깊게 측정된 것으로 판단되며, 하부구조의 피복두께는 전반적으로 설계와 일치하는 것으로 나타났다.

③ 기 진단결과와의 비교

【표 3.88】 철근탐사결과 전회 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석(춘천)

시험위치		철근종류	전회 정밀안전진단		금회 정밀안전진단		설계치(mm)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
상부구조	S1방호벽	수직철근	-	-	200.0	84.0	200.0	40.0	
		수평철근	-	-	200.0	102.0	200.0	54.5	
	S2방호벽	수직철근	-	-	202.0	76.0	200.0	40.0	
		수평철근	-	-	205.0	88.0	200.0	54.5	
	S3방호벽	수직철근	-	-	200.0	81.0	200.0	40.0	
		수평철근	-	-	190.0	97.0	200.0	54.5	
	S4방호벽	수직철근	-	-	202.0	79.0	200.0	40.0	
		수평철근	-	-	195.0	95.0	200.0	54.5	
	S5방호벽	수직철근	-	-	203.0	80.0	200.0	50.0	
		수평철근	-	-	197.0	93.0	200.0	54.5	
하부구조	A1 구체	수직철근	-	-	200.0	103.0	200.0	100.0	
		수평철근	-	-	207.0	120.0	200.0	114.5.	
	A2 구체	수직철근	-	-	190.0	110.0	200.0	100.0	
		수평철근	-	-	193.0	117.0	200.0	114.5	
	A1 흉벽	수직철근	200.0	61.0	-	-	200.0	92.0	
		수평철근	200.0	64.0	-	-	200.0	108.0	
	A2 흉벽	수직철근	200.0	83.0	-	-	200.0	92.0	
		수평철근	200.0	134.0	-	-	200.0	108.0	
	P1 기둥	수직철근	150.0	115.0	153.0	105.0	150.0	100.0	
		수평철근	250.0	64.0	237.0	79.0	250.0	78.0	
	P2 기둥	수직철근	155.0	73.0	145.0	104.0	150.0	100.0	
		수평철근	250.0	47.0	239.0	92.0	250.0	78.0	
	P3 기둥	수직철근	150.0	89.0	148.0	111.0	150.0	100.0	
		수평철근	250.0	73.0	245.0	93.0	250.0	78.0	
	P4 기둥	수직철근	150.0	59.0	132.0	105.0	150.0	100.0	
		수평철근	250.0	59.0	260.0	85.0	250.0	78.0	

교대는 측정부위에 따른 설계기준이 상이하여 직접적인 비교·분석이 가능하지 않으며, 교각부에 대한 전회 정밀안전진단(2013년)과 금회 측정한 철근탐사결과를 비교분석한 결과, 측정위치가 상이함에 따라 피복두께 및 배근간격의 부분적인 차이는 있으나 준공도면과 비교시 단위 m당 철근수량은 설계도면과 동일한 검토되었다. 방호벽의 경우 전회 진단시 측정자료가 없으므로 비교·분석이 불가능한 상태이다.

라. 콘크리트 품질시험

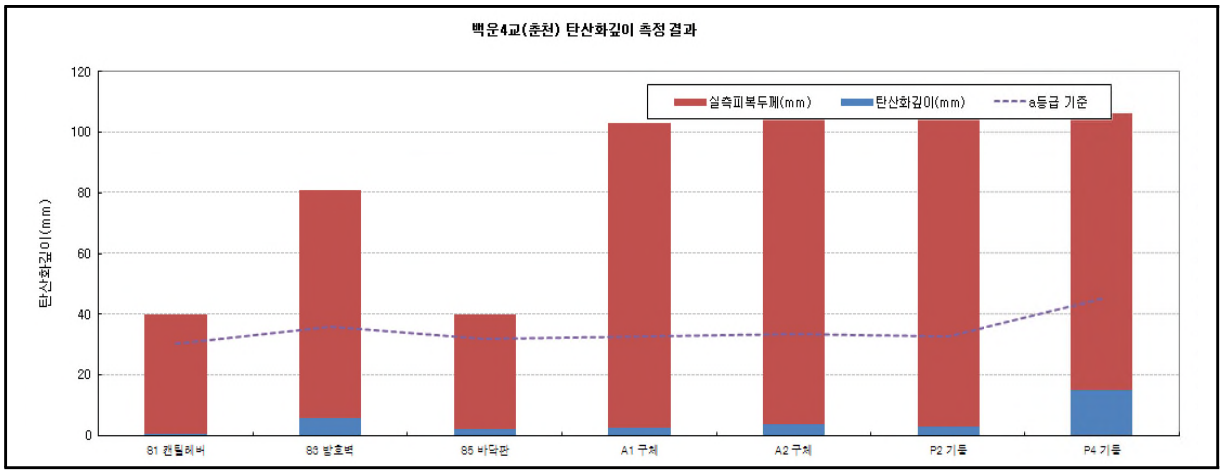
1) 탄산화 깊이 측정

구조물의 탄산화 진행 정도는 상부구조의 경우 드릴링에 의해 발생되는 콘크리트가루가 페놀프탈레인용액을 적신 시험지에 떨어져 변색되는 시점의 깊이를 측정하였고, 하부구조의 경우는 코어채취 시 실시하였다. 지시약을 분무하면 알칼리성 콘크리트의 탄산화가 진행된 면에서는 색의 변화가 나타나지 않고 그 변화가 없는 정도를 곧 탄산화 진행 깊이로 판단하게 된다.

① 시험결과

【표 3.89】 탄산화 깊이 측정결과 및 평가(춘천)

시험 위치		탄산화깊이 (㎜)	피복두께 (㎜)	탄산화속도 계수(A)	잔존수명 예측(년)	잔여깊이 (㎜)	평가 결과	비고
상부 구조	S1 캔틸레버	0.4	40.0	0.076	∞	39.7	a	
	S3방호벽	5.8	81.0	1.260	∞	75.2	a	
	S5 바닥판	2.1	40.0	0.458	∞	37.9	a	
하부 구조	A1 구체	2.7	103.0	0.584	∞	100.3	a	
	A2 구체	3.7	110.0	0.807	∞	108.3	a	
	P2 기둥	2.8	92.0	0.616	∞	109.2	a	
	P4 기둥	15.1	85.0	3.284	∞	91.0	a	



【그림 3.14】 탄산화깊이 측정결과(춘천)

② 시험결과 분석

탄산화 깊이 측정은 상부구조 3개소, 하부구조 4개소에서 실시하였으며, 상부구조 바닥판, 캔틸레버는 영구거푸집(Deck)으로 마감되어있어 설계기준 피복두께를 적용하였고, 하부구조의 측정위치에서 철근의 피복두께 측정을 실시하였다.

측정 결과, 탄산화 깊이가 상부구조에서 0.4~5.8㎜, 하부구조에서 2.7~15.1㎜로 나타나 측정위치에서의 철근피복두께를 고려할 때, 전 개소에서 “a”의 상태(7개소, 탄산화 잔여 깊이 30㎜이상)로 평가되어 탄산화에 의한 철근의 부식 발생 가능성은 적은 것으로 분석되었다.

③ 기 진단결과와의 비교

【표 3.90】 탄산화 깊이 측정결과 전회 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석(춘천)

구 분	전회 정밀안전진단(2013년)		금회 정밀안전진단		비 고
	탄산화깊이(mm)	잔여깊이(mm)	탄산화깊이(mm)	잔여깊이(mm)	
상부구조	-	-	0.4~5.8	37.9~75.2	철근부식 우려 없음
하부구조	3.7~6.2	47.0~83.0	2.7~15.1	91.0~109.2	

기 진단 결과와 비교·분석한 결과, 측정위치 차이에 의해 측정 결과 값에 다소 차이가 있으나, 측정개소 모두 전 개소에서 “a”의 상태로 평가되어 탄산화에 의한 철근의 부식 발생 가능성은 적은 것으로 분석되었다.

2) 염화물함유량 시험

① 시험결과

염화물함유량시험은 염해피해가 예상되는 신축이음부에서 시행하였으며 시험결과는 아래표와 같다.

【표 3.91】 염화물함유량 시험결과(춘천)

시험 위치			콘크리트구조기준		상태평가 기준		비고
			전 함유율(%)	평가결과	환산 염화물함량(kg/㎥)	평가결과	
상부구조	S5 바닥판	0~30㎜	0.0098	적합	0.221	a	
		30~50㎜	0.0074		0.167	a	
하부구조	A1 구체	0~30㎜	0.0176	적합	0.398	b	
		30~50㎜	0.0111		0.251	a	
	A2 구체	0~30㎜	0.0061	적합	0.138	a	
		30~50㎜	0.0058		0.131	a	

※ 콘크리트 중의 환산 염화물 산출시 콘크리트의 단위질량은 22.663kg/㎥을 적용
※ 노출등급(C1), 최소 설계기준 21.0MPa에 해당하는 철근콘크리트 0.3%을 적용
※ 상태평가 결과는 철근이 위치하고 있는 피복두께 깊이의 염화물 함유량 결과에 대하여 실시함.

② 측정결과 분석

측정 전 개소에서 콘크리트구조기준에 적합한 것으로 평가되었으며, 상태평가에 따른 염화물 함유량은 30~50㎜ 깊이에서 상부구조는 0.167/m³, 하부구조는 0.131~0.251kg/m³로 분석되어 상태평가 “a~b”로 부식발생 가능성이 낮은 것으로 평가되었다. 금회 현장조사 결과, 철근부식에 의한 박락은 발생되지 않은 상태로 염화물에 의한 구조물의 손상은 없는 것으로 조사되었다.

③ 기 진단결과와의 비교

【표 3.92】 염화물 함유량 시험결과 전회 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석(춘천)

구 분	전회 정밀안전진단(2013년)		금회 정밀안전진단		비 고
	전 함유율 (%)	환산 염화물함량 (kg/m³)	전 함유율 (%)	환산 염화물함량 (kg/m³)	
상부구조	0.003	0.071	0.0074	0.167	
하부구조	0.002~0.007	0.047~0.165	0.0058~0.0111	0.131~0.251	

전회 정밀안전진단(2011년)과 금회 측정한 염화물 함유량 시험결과를 비교·분석한 결과, 재료시험 특성 및 시험위치의 차이 등에 의해 미소한 차이가 발생하였으나, 측정개소 모두 염화물 함유량 1.2kg/m³이하로 염화물에 의한 부식발생 가능성이 낮은 것으로 분석되었다.

3) 균열깊이 측정

균열심도 측정은 책임기술자 판단 하에 철근까지의 진행여부를 판단하기 위해 폭 0.2~1.0㎜ 이상의 균열 중 대표 개소를 선정하여 시험을 실시하였다. 측정 시 발·수신자의 거리를 200㎜로 하였으며, 측정된 속도는 동일 위치에서 3회를 측정한 후 그 평균값을 적용하였다.

① 측정결과

【표 3.93】 균열깊이 측정 결과(춘천)

시험 위치		균열폭/길이 (㎜/m)	발·수신자 거리 2L (㎜)	초음파 전달시간 (×10-6sec)		균열심도 (㎜)	철근피복 (㎜)
				건전부 To	균열부 Tc		
춘천	A1 흉벽	0.3/1.2	200	48.3	53..8	49.1	65.0
	A2 흉벽	0.7/2.5	200	53.2	108.5	177.7	86.0
	P3 기둥	0.2/4.0	200	49.4	55.3	25.2	109.0

※ 피복두께는 철근탐사를 통한 실제 조사 피복두께임

② 측정결과 분석

균열깊이는 흉벽(A1), 교각(P3)에서 피복두께 이하로 조사되었고, 균열에 의한 구조물 손상이나 철근 부식 등의 내구성 저하는 조사되지 않았으나 주기적인 점검을 통해 이로 인한 철근부식 등의 손상발생에 유의하여 주의 관찰해야 될 것으로 판단되며, A2흉벽에 발생된 균열에 대하여 균열심도 측정결과, 철근의 피복두께까지 진행된 상태이나 금회 진단 기간 중 균열보수가 실시되었으므로 차기 진단 시 보수부 재손상 여부에 대한 확인이 필요할 것으로 판단된다.

3.5 강재 내구성조사

3.5.1 개 요

가. 시험내용 및 평가기준

1) 시험 측정일자 및 조사자

백운4교의 강재 시험 측정일자 및 조사자는 아래와 같다.

【표 3.94】 현장시험 측정일자 및 조사자

구 분	일 자	조사자	비 고
강재 구조물	2016. 8	윤진석외 2명 및 보조인부 하도급(UT): (주)금산기술검사	교량점검차 및 도보

2) 시험내용, 측정 조사방법 및 측정개소

강재 비파괴 조사는 교량의 안정성 평가를 위한 시험으로 외관조사 결과와 함께 구조물의 상태평가, 보수·보강 및 유지관리 방안을 수립하는데 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다.

각 시험내용 및 수량은 아래의 【표 3.95】, 【표 3.96】과 같으며, 각 부재별 상세 시험위치는 시험성적서와 함께 부록에 첨부하였다.

【표 3.95】 강재 재료시험 및 측정 조사 내용

구 분	조사 항목	내 용	비고
안정성평가	초음파탐상시험(U.T)	맞대기 용접부 초음파 탐상시험(U.T)	
내구성평가	도막두께 측정	도막기준치와 비교	

【표 3.96】 강재 재료시험 측정 기준 및 실시 수량

항 목	선정 구분		측 정 개 소 기 준	수 량		비 고
	필 수	선 택		기 준	실 시	
초음파탐상시험(부산)	●		1개소/경간별 거더	20	20	
초음파탐상시험(춘천)	●		1개소/경간별 거더	10	10	
도막두께 측정(부산)		●	-	-	14	
도막두께 측정(춘천)		●	-	-	9	

※ 조사수량은 "안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 교량편 (한국시설안전공단, 2010.12)"을 참조하여 결정하였으며, 세부지침 기준수량 이상 실시하였음.

3) 강재 시험별 적용 기준 및 근거

강재 비파괴 시험별 적용 기준 및 근거는 아래의 【표 3.97】과 같다.

【표 3.97】 강재 재료시험별 적용 기준 및 근거

구 분	조사 항목	적용기준	적용근거
안정성 평가	초음파탐상시험(U.T)	- 인장측 : 2등급이상 : 결함크기 모재두께의 1/2 이하(Ⅱ,Ⅲ), 1/3이하(Ⅳ) - 압축측 : 3등급이상 : 결함크기 모재두께이하 (Ⅱ, Ⅲ), 1/2이하(Ⅳ)	· 강도로교 용접 및 도장요령 (1998년, 건교부) - KS-B-0896
	강재두께 측정	- 강판의 폭과 두께에 따라 허용오차: ±0.55 ~ ±1.2mm	KS D3500
내구성 평가	도막두께 측정	- 일반환경용 중방식 도장 교량외부: 215㎛ 교량내부: 175㎛	도로교표준시방서, 2005년

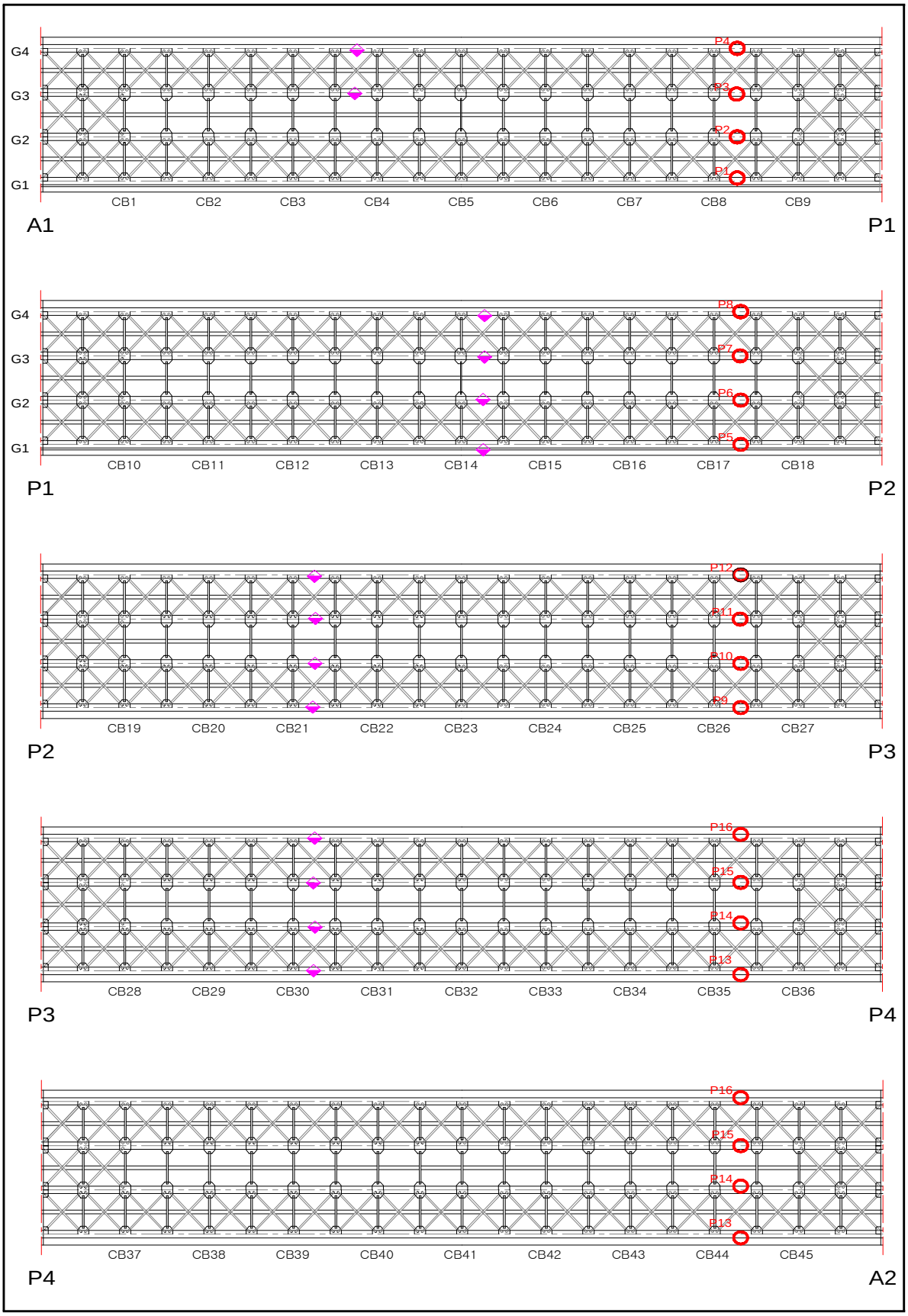
부산 초음파 탐상(U.T)

부산 도막두께 측정

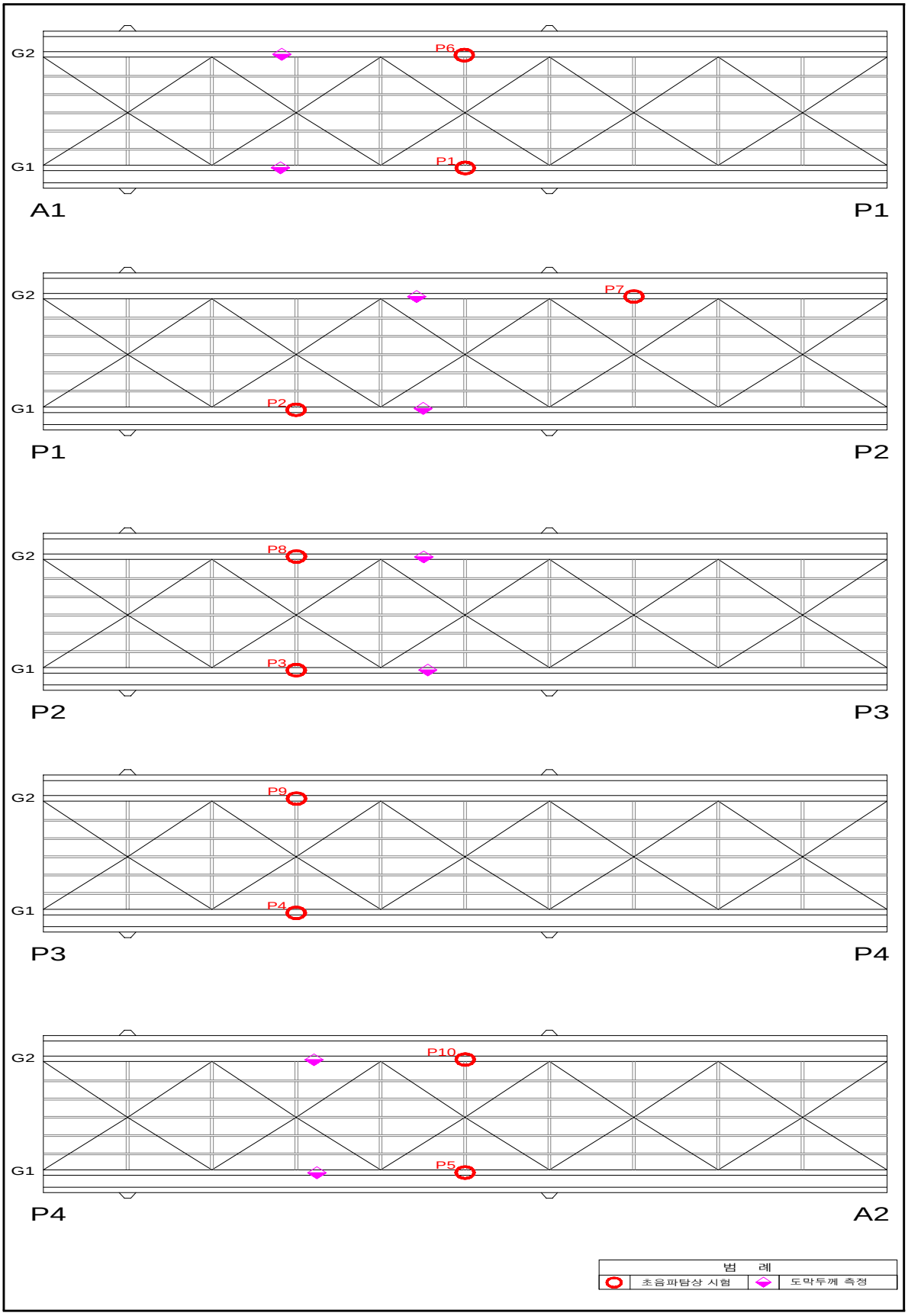
춘천 초음파 탐상(U.T)

춘천 도막두께 측정

나. 강재비파괴 위치도



【그림 3.15】 강재 재료시험 위치도(부산방향)



【그림 3.16】 강재 재료시험 위치도(춘천방향)

3.5.2 현장시험 개요

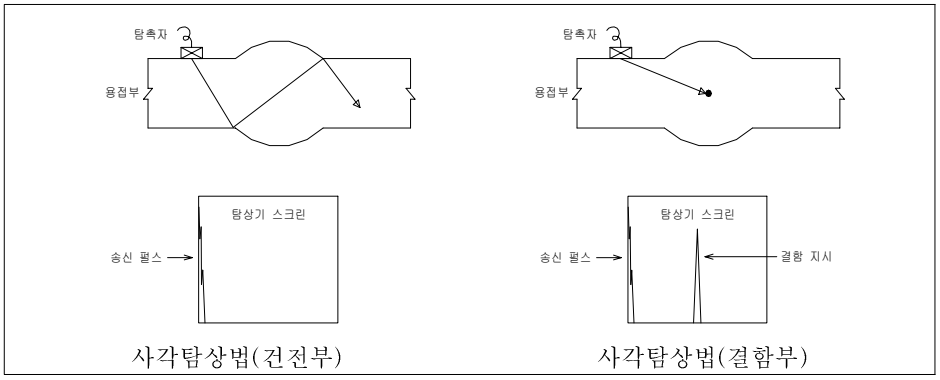
가. 초음파탐상시험 (UT:Ultrasonic Testing)

개요

- 가청 주파수 이상의 주파수를 갖는 초음파(20,000Hz이상)를 시험체 내에 전달하여 초음파 진행경로 상에 존재하는 결함부로부터 반사하는 초음파 신호를 수신하여 탐상기 CRT 스크린상에서 에코파형을 확인함으로써 결함의 존재여부 및 결함정보를 알아내는 검사 방법이다.
- 표면에 발생된 균열의 검출을 그 목적으로 하지만, 이 밖에 균열과 비슷한 선형으로 발생된 결함, 균열처럼 유해하지는 않지만 다수가 모인 점상결함, 원형과 불규칙한 형상으로 존재하고 어느정도 체적을 가진 결함들도 측정대상으로 한다.

시험 방법

- 초음파탐상 검사는 초음파(20000Hz이상)를 매질내로 전파시켜 매질의 경계면으로부터 반사되어온 초음파를 탐상기 스크린 상에 펄스신호로 나타나게 하여 이 신호를 분석하여 결함유무를 판단하는 검사방법
- 용접부의 경우는 수직탐상법으로는 검출효과가 적음으로 다음과 같은 사각 탐상법을 적용



사각탐상법(건전부) 사각탐상법(결함부)

- 사각탐상은 초음파가 일정의 각도를 가지고 매질내로 전파되도록 하며 용접부 내부에 결함이 존재하지 않을 경우 계속 일정한 각으로 전파되므로 수신신호가 나타나지 않게 된다. 결함이 존재할 경우 반사된 위치까지의 초음파 진행거리를 탐상기 스크린 상에서 읽은 후 삼각함수를 이용하여 결함의 깊이를 구함

평가 기준

<결함의 등급분류>

영 역	결 함 의 크 기 (mm)					
	Ⅱ, Ⅲ			Ⅳ		
판두께 / 등급	18이하	18~60	60초과	18이하	18~60	60초과
1류	6이하	t/3이하	20이하	4이하	t/4이하	15이하
2류	9이하	t/2이하	30이하	6이하	t/3이하	20이하
3류	18이하	t 이하	60이하	9이하	t/2이하	30이하
4류	3류를 초과하는 것					

<용접부 결함의 합·부 판정기준>

검 사 부 위	합 격 기 준	비 고
인 장 측	2류 등급 이상	KS-B-0896
압 축 측	3류 등급 이상	

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※도로교표준시방서(건설교통부, (사)한국도로교통협회, 2005) 참조
※안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(한국시설안전공단, 2010.12) 참조

나. 도막두께 측정

개요

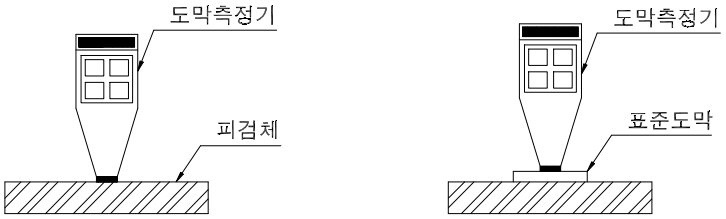
▪ 본 측정은 강재의 높은 안전도를 제공하며 강재의 공용수명의 확보 및 도장의 유지관리 비용을 감소시키기 위함이다. 측정결과는 기존의 두께를 기준하여 정상적으로 도장작업이 수행되었는지의 여부 및 감소여부를 판단한다. 방청방식도장에서는 절대적으로 필요한 요소이며, 도장상태가 구조물에 미치게 될 영향에 대해 평가 할 필요가 있음

시험 방법

▪ 도막두께 측정은 전자석 또는 영구자석을 이용하여 피검체(자성체)에 도포된 도막의 두께를 측정하는 검사방법으로 페인트 도막 및 기타 코팅에 적용

▪ 도막이 도포되지 않은 피검체(자성체)에 전자석 또는 영구자석을 접촉시켜 지시계의 눈금을 영점(Zero) 조정

▪ 영점 조정 후 확인하고자 하는 두께와 유사한 표준도막을 이용하여 각 도막의 두께에 따른 자력차를 이용하여 검사하는 방법



▪ 도막두께를 교정 후 측정부위에 접촉시켜 전자석 또는 영구자석의 자력차를 수치로 나타내어 측정부위의 도막두께를 확인

평가 기준

▪ 일반적으로 강재에 사용되는 도장계열은 일반환경과 특수환경에 따라 다르게 시공되며 일반 환경용에도 재래식도장과 중방식도장으로 구분되고 특수환경용 도장은 중방식도장(우레탄계 마감)과 중방식도장(자연건조형 불소수지 마감) 등 다양한 재료를 이용한 도장이 실시

▪ 일반 환경의 중방식 도장계열은 다음표의 내용에 따라야 함

구분	도장계열	공 정		도료명칭 또는 방법	추천도막 두께(㎛)	도장 횟수	비고
교량 외부	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	80	1	
			제3층	후막형 에폭시계도료		1	
		공장/현장도장	제4층	폴리 우레탄계도료	30	1	
			제5층	폴리 우레탄계도료	30	1	
		계			215		
교량 내부	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	100	1	
			제3층	후막형 에폭시계도료		1	
		계			175		

※ 도로교 표준시방서(국토해양부, 2013) 참조

3.5.3 시험결과 및 분석

가. 백운4교(부산)

1) 초음파탐상시험

초음파탐상시험은 거더의 용접상태를 검사하기 위해 맞대기 용접부에 대해 세부기준 수량에 따라 경간별, 거더별로 1개소씩 20개소 대해 검사를 실시하였으며, 초음파탐상시험 결과는 다음과 같다.

① 측정결과

【표 3.98】 초음파탐상시험 결과(부산)

시험위치				합격여부	등급	비고
부산	S1	G1	P1	합격	1류	
		G2	P2	합격	1류	
		G3	P3	합격	1류	
		G4	P4	합격	1류	
	S2	G1	P5	합격	1류	
		G2	P6	합격	1류	
		G3	P7	합격	1류	
		G4	P8	합격	1류	
	S3	G1	P9	합격	1류	
		G2	P10	합격	1류	
		G3	P11	합격	1류	
		G4	P12	합격	1류	
	S4	G1	P13	합격	1류	
		G2	P14	합격	1류	
		G3	P15	합격	1류	
		G4	P16	합격	1류	
	S5	G1	P17	합격	1류	
		G2	P18	합격	1류	
		G3	P19	합격	1류	
		G4	P20	합격	1류	

② 측정결과 분석

거더의 용접상태를 검사하기 위해 맞대기 용접부에 대해 경간별, 거더별로 1개소씩 총 20개소에 대해 검사를 실시하였으며, 초음파탐상시험 결과 20개소 모두 결함이 없는 양호한 상태로 조사되었다.

③ 기 진단결과와의 비교

【표 3.99】 초음파탐상 시험결과 전회 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석(부산)

구 분	전회 정밀안전진단(2011년)	금회 정밀안전진단	비 고
	초음파 이상유무	초음파 이상유무	
S1	합격 : 8개소	합격 : 4개소	
S2	합격 : 8개소	합격 : 4개소	
S3	합격 : 8개소	합격 : 4개소	
S4	합격 : 8개소	합격 : 4개소	
S5	합격 : 8개소	합격 : 4개소	

전회 정밀안전진단(2011년) 결과와 금회 맞대기 용접부 결함 유무 비교 결과, 용접부의 결함지시가 없는 상태로서 공용기간 증가에 따른 용접부 결함은 발생되지 않은 것으로 판단된다.

2) 도막두께 측정결과

금회 도막두께 측정은 거더 외부의 건전부에서 측정하였으며, 각 위치별 14개소를 측정하여 그 평균값을 도로교표준시방서에 따르는 일반환경의 중방식계열 기준두께와 비교하여 검토하였다.

도막두께 측정결과는 아래 표와 같다.

① 측정결과

【표 3.100】 도막두께 측정 결과(부산)

구 분		측 정 결 과 (㎛)						기준두께 (㎛)	비고
구분	측정위치	도 막 두 께					두께 평균		
		1	2	3	4	5			
부산	S1 - G3	221	204	207	261	256	229.8	215	양호
	S1 - G4	271	216	264	288	240	255.8	215	양호
	S2 - G1	291	289	284	233	264	272.2	215	양호
	S2 - G2	341	321	495	350	371	375.6	215	양호
	S2 - G3	288	255	267	353	254	283.4	215	양호
	S2 - G4	417	378	365	408	372	388.0	215	양호
	S3 - G1	283	282	275	278	293	282.2	215	양호
	S3 - G2	462	403	445	472	461	448.6	215	양호
	S3 - G3	375	408	368	404	388	388.6	215	양호
	S3 - G4	320	297	331	284	303	307.0	215	양호
	S4 - G1	252	294	259	275	266	269.2	215	양호
	S4 - G2	413	396	347	468	445	413.8	215	양호
	S4 - G3	541	558	585	561	499	548.8	215	양호
	S4 - G4	469	395	376	375	383	399.6	215	양호

② 측정결과 분석

거더의 도막두께 측정 결과, 거더 건전부에서 229~548㎛로 측정되어 건전부의 도장두께는 양호한 상태로 조사되었다.

나. 백운4교(춘천)

1) 초음파탐상시험

초음파탐상시험은 거더의 용접상태를 검사하기 위해 맞대기 용접부에 대해 세부기준 수량에 따라 경간별, 거더별로 1개소씩 10개소 대해 검사를 실시하였으며, 초음파탐상시험 결과는 다음과 같다.

① 측정결과

【표 3.101】 초음파탐상시험 결과(춘천)

시험위치				합격여부	등급	비고
춘천	S1	G1	P1	합격	1류	
		G2	P2	합격	1류	
	S2	G1	P3	합격	1류	
		G2	P4	합격	1류	
	S3	G1	P5	합격	1류	
		G2	P6	합격	1류	
	S4	G1	P7	합격	1류	
		G2	P8	합격	1류	
	S5	G1	P9	합격	1류	
		G2	P10	합격	1류	

② 측정결과 분석

거더의 용접상태를 검사하기 위해 맞대기 용접부에 대해 경간별, 거더별로 1개소씩 총 10개소에 대해 검사를 실시하였으며, 초음파탐상시험 결과 10개소 모두 결함이 없는 양호한 상태로 조사되었다.

③ 기 진단결과와의 비교

【표 3.102】 초음파탐상 시험결과 전회 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석(춘천)

구 분	전회 정밀안전진단(2013년)	금회 정밀안전진단	비 고
	초음파 이상유무	초음파 이상유무	
S1	합격 : 4개소	합격 : 2개소	
S2	합격 : 4개소	합격 : 2개소	
S3	합격 : 4개소	합격 : 2개소	
S4	합격 : 4개소	합격 : 2개소	
S5	합격 : 3개소	합격 : 2개소	

전회 정밀안전진단(2013년) 결과와 금회 맞대기 용접부 결함 유무 비교 결과, 용접부의 결함 지시가 없는 상태로서 공용기간 증가에 따른 용접부 결함은 발생되지 않은 것으로 판단된다.

2) 도막두께 측정결과

금회 도막두께 측정은 거더의 건전부와 도장박리부에서 측정하였으며, 각 위치별 9개소를 측정하여 그 평균값을 도로교표준시방서에 따르는 일반환경의 중방식계열 기준두께와 비교하여 검토하였다.

도막두께 측정결과는 아래 표와 같다.

① 측정결과

【표 3.103】 도막두께 측정 결과(춘천)

구 분		측 정 결 과 (㎛)						기준두께(㎛)	비고
구분	측정위치	도 막 두 께					두께평균		
		1	2	3	4	5			
춘천	S1 - G1	225	205	219	197	234	216.0	215	양호
	S1 - G2	230	231	203	230	204	219.6	215	양호
	S2 - G1	236	231	288	241	233	245.8	215	양호
	S2 - G1 - 도장박리부	23	28	30	36	38	31.0	215	불량
	S2 - G2	250	200	255	181	198	216.8	215	양호
	S4 - G1	280	320	305	315	337	311.4	215	양호
	S4 - G2	210	227	190	232	255	222.8	215	양호
	S5 - G1	279	183	204	313	214	238.6	215	양호
	S5 - G2	252	215	327	306	224	264.8	215	양호

② 측정결과 분석

거더의 도막두께 측정 결과, 거더의 건전부에서 216~311㎛, 도장박리부에서 31㎛로 측정되어 거더 건전부의 도장두께는 양호한 상태이나 도장박리부는 기준두께에 미달되어 부식이 발생될 우려가 있으므로 도장보수가 필요할 것으로 판단된다.

③ 기 진단결과와의 비교

【표 3.104】 도막두께 측정결과 전회 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석(춘천)

구 분	전회 정밀안전진단(2013년)	금회 정밀안전진단	기준두께(㎛)	비 고
	도막두께평균	도막두께평균		
G1	232.4	252.9	215.0	양호
G2	235.1	231.0		
G1-손상부	-	31.0		불량

기 진단 결과와 비교·분석한 결과, 측정위치 차이에 의해 측정 결과 값에 다소 차이가 있으나, 건전부의 도장두께는 양호한 상태이며, 금회 측정한 도장박리부는 내구성 확보를 위해 도장보수가 필요한 상태이다.

3.6 현장조사 및 시험 결과요약

3.6.1 외관조사 결과요약

가. 백운4교(부산방향)

1) 외관조사 결과요약

부재		외관조사 결과분석
바닥판		• 바닥판은 내측은 데크플레이트가 설치되어 있으며, 데크플레이트는 양호한 상태이나 콘크리트 부재에서 일부 건조수축에 의한 균열, 백태 및 녹물, 들뜸, 거푸집 미제거, 잡철근노출의 결함이 조사되었으며, 조사된 손상은 비구조적 결함으로 구조물의 안전성에 미치는 영향은 없으나 내구성 확보를 위해 표면처리 및 단면복구가 필요할 것으로 판단된다.
거더		• 거더는 플레이트 거더 형식으로 현장조사 결과, 공용장기화에 따른 도장열화로 도장박리, 부식, 볼트부식과 시공시 설치과정에 따른 인위적인 변형의 결함이 조사되어 장기적인 내구성 확보를 위해 도장박리 및 부식은 도장보수가 필요하며, 변형은 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.
가로보 및 세로보		• 2차 부재인 가로보 및 세로보는 볼트 체결 상태는 양호하나 가로보에서 공용장기화에 따른 도장열화로 일부 부식이 경미한 규모로 조사되어 장기적인 내구성 확보를 위해 도장보수가 필요하며, 세로보는 결함이 없는 양호한 상태이다.
브레이싱		• 브레이싱은 거더의 변형을 보강하기 위해 설치된 부재로 시공 상태는 양호하나 공용장기화에 따른 도장열화로 국부적인 도장박리 및 부식이 조사되어 장기적인 내구성 확보를 위해 도장보수가 필요할 것으로 판단된다.
하부구조	교대	• 교대에서 조사된 균열은 시공초기 건조수축에 의한 비구조적 균열로 구조적인 영향은 없으나 내구성 확보를 위해 폭 0.3㎜이상은 주입보수를 실시하고, 폭 0.3㎜미만은 주의관찰토록 한다. 그 외 외부충격에 의한 단면손상, 피복부족에 의한 철근노출, 시공시 협재된 잡철근노출 및 앵커볼트노출, 백태, 일부 사면유실의 결함이 조사되어 단면복구, 표면처리, 몰탈보수의 보수방안이 필요할 것으로 판단된다.
	교각	• 교각에서는 건조수축에 의한 균열, 백태, 시공불량에 의한 표면불량, 보수재 박리, 외부충격에 의한 단면손상, 시공미흡에 의한 잡철근노출 및 앵커볼트노출의 결함이 조사되었으며, 단면손상부는 내구성 확보를 위해 단면복구가 필요하며, 그 외 결함은 손상 규모가 경미하며 내구성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

(계속)

부재	외관조사 결과분석
받침장치	• 받침장치에 대한 현장조사 결과, 부식, 볼트간섭 및 길이부족, 받침콘크리트 균열, 들뜸 및 박리의 손상이 조사되어 장기적인 내구성 및 기능성 확보를 위해 부식부는 도장보수가 필요하며, 그 외 결함은 손상규모가 경미하거나 내구성 및 기능성 저하 영향이 미미한 손상으로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다. • 받침장치의 연단거리 및 가동량 조사결과, A2측에서 설치불량에 의해 가동여유량 부족이 조사되었으나 1차 및 2차의 온도변화에 따른 신축거동 상태는 원활한 것으로 조사되어 주의관찰토록 하며, 향후 받침장치 교체 계획 시 보수하는 것이 적합할 것으로 판단된다.
신축이음장치	• 신축이음장치의 유간거리는 신축여유량을 확보한 상태이나 오랜 공용중 본체부식, 토사퇴적, 후타재균열 및 파손, 덮개판 길이부족 및 변형의 결함이 조사되어 토사퇴적은 청소, 후타재 균열은 표면처리, 후타재 파손은 단면복구가 필요하며, 그 외 결함은 내구성 및 기능성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰토록 한다.
교면포장	• 교면포장은 재포장 보수가 실시되어 교량구간의 포장상태는 양호하나 시점측의 접속슬래브 구간은 미보수 구간으로 시공초기 다짐불량에 의한 아스콘 망상균열 및 침하, 후타재 접합부 전압부족에 의한 패임의 손상이 조사되어 장기적인 내구성 확보를 위해 부분 팻칭보수가 필요할 것으로 판단된다.
배수시설	• 배수시설은 상부의 배수구와 하부의 배수관으로 구분되며, 배수구는 양호한 상태이나 배수관에서 용접부 부식 및 누수, 고정핀 부식 및 탈락의 결함이 조사되어 재용접 및 고정핀 재설치의 보수방안이 적합할 것으로 판단된다.
방호벽	• 방호벽의 주요결함은 시공초기 건조수축에 의한 균열(0.3㎜미만) 및 백태, 시공미흡에 의한 들뜸 및 전선덮개판 탈락, 외부충격에 의한 파손의 결함이 조사되어 표면처리, 단면복구, 전선덮개판 재설치의 보수가 적합할 것으로 판단된다.

2) 손상물량 총괄표

부재	손상명		손상물량			조치방안	비고
			단위	개소	물량		
바닥판	균열(0.3㎜미만), 백태		m	1	0.20	표면처리	
	들뜸, 백태, 녹물		㎡	2	0.80	단면복구(방청)	t=30㎜
	거푸집 미제거		㎡	3	0.45	주의관찰	
	잡철근노출		㎡	2	0.06	단면복구	t=10㎜
거더	도장박리		㎡	17	4.44	도장보수	
	부식		㎡	142	70.33	도장보수	
	볼트부식		㎡	2	1.80	도장보수	
	변형		m	4	1.60	주의관찰	
가로보	부식		㎡	3	0.13	도장보수	
브레이싱	도장박리		㎡	2	0.02	도장보수	
	부식		㎡	51	3.19	도장보수	
교대	균열(0.3㎜미만)		m	20	15.30	주의관찰	
	균열(0.3㎜미만), 백태		m	2	2.70	표면처리	
	균열(0.3㎜이상), 백태		m	1	3.50	주입보수	
	균열 및 녹물		m	1	3.00	단면복구(방청)	t=30㎜
	들뜸, 박락, 파손		㎡	14	2.52	단면복구	t=30㎜
	재료분리		㎡	3	0.89	주의관찰	
	철근노출		㎡	2	0.07	단면복구(방청)	t=30㎜
	잡철근노출		㎡	29	0.29	주의관찰	
	앵커볼트노출		㎡	36	0.36	주의관찰	
	사면유실	A1측	㎡	2	13.00	몰탈보수	폼타이홈
		A2측	㎡	1	0.50	사면정비	
교각	균열(0.3㎜미만)		m	58	27.10	주의관찰	
	백태		㎡	1	0.24	주의관찰	
	표면불량		㎡	6	5.48	주의관찰	
	보수재 박리		㎡	5	0.46	주의관찰	
	재료분리		㎡	2	0.30	주의관찰	
	들뜸, 박락, 파손		㎡	18	3.35	단면복구	t=30㎜
	잡철근노출		㎡	30	0.54	주의관찰	
	앵커볼트노출		㎡	380	3.80	주의관찰	

(계속)

부재		손상명	손상물량			조치방안	비고
			단위	개소	물량		
받침장치	본체	부식	㎡	19	4.11	도장보수	
		볼트간섭 및 길이부족	EA	5	5.00	주의관찰	
		가동여유량 부족	EA	4	4.00	주의관찰	
	콘크리트	균열(0.2mm이하)	m	19	8.10	주의관찰	
		재균열(0.2mm이하)	m	40	22.30	주의관찰	
		들뜸	㎡	3	0.50	주의관찰	
		박리	㎡	1	0.06	주의관찰	
신축이음장치	본체	부식	㎡	5	0.95	주의관찰	
		토사퇴적	㎡	4	1.03	청소	
	후타재	균열(0.3mm미만)	m	55	27.50	표면처리	
		망상균열	㎡	1	0.60	표면처리	
		파손	㎡	2	0.41	단면복구	t=30㎜
	덮개판	길이부족	EA	2	2.00	주의관찰	
		변형	EA	1	1.00	주의관찰	
교면포장		아스콘 망상균열	㎡	2	12.74	팻칭보수	
		아스콘 패임	㎡	1	0.75	팻칭보수	
		아스콘 융기, 침하	㎡	2	3.00	주의관찰	
배수시설		배수관 부식	㎡	13	0.46	주의관찰	
		용접부 부식 및 누수	㎡	5	0.20	용접보수	
		고정핀 부식	EA	44	44.00	재설치	
		고정핀 탈락	EA	26	26.00	재설치	
방호벽		균열(0.3mm미만)	m	25	20.00	표면처리	
		재균열(0.3mm미만)	m	5	4.50	표면처리	
		균열 및 백태	m	34	30.50	표면처리	
		백태	㎡	11	0.93	표면처리	
		파손	㎡	33	2.04	주의관찰	
		들뜸	㎡	8	5.45	단면복구	t=30㎜
		전선덮개판 탈락	EA	10	10.00	재설치	

3) 기 진단(2011년)과의 손상물량 비교표

부재	손상명		단위	전회(2011년) 정밀안전진단	금회(2016년) 정밀안전진단	전회와 물량비교	비고
바닥판	균열(0.3㎜미만), 백태		m	-	0.20	▲ 0.20	
	들뜸, 백태, 녹물		㎡	0.70	0.80	▲ 0.10	
	거푸집 미제거		㎡	-	0.45	▲ 0.45	
	잡철근노출		㎡	-	0.06	▲ 0.06	
거더	도장박리		㎡	3.21	4.44	▲ 1.23	
	부식		㎡	50.36	70.33	▲ 19.97	
	볼트부식		㎡	-	1.80	▲ 1.80	
	변형		m	1.20	1.60	▲ 0.40	
가로보	부식		㎡	-	0.13	▲ 0.13	
브레이싱	도장박리		㎡	0.01	0.02	▲ 0.01	
	부식		㎡	0.39	3.19	▲ 2.80	
교대	균열(0.3㎜미만)		m	14.00	15.30	▲ 1.30	
	균열(0.3㎜이상)		m	15.90	-	▽ 15.90	보수완료
	균열(0.3㎜미만), 백태		m	-	2.70	▲ 2.70	
	균열(0.3㎜이상), 백태		m	3.50	3.50	-	
	균열 및 녹물		m	-	3.00	▲ 3.00	
	들뜸, 박락, 파손		㎡	1.60	2.52	▲ 0.92	
	재료분리		㎡	0.80	0.89	▲ 0.09	
	철근노출		㎡	0.05	0.07	▲ 0.02	
	잡철근노출		㎡	-	0.29	▲ 0.29	
	앵커볼트노출		㎡	-	0.36	▲ 0.36	
	사면유실	A1측	㎡	-	13.00	▲ 13.00	
		A2측	㎡	-	0.50	▲ 0.50	
교각	균열(0.3㎜미만)		m	3.80	27.10	▲ 23.30	
	망상균열		㎡	0.06	-	▽ 0.06	보수완료
	백태		㎡	-	0.24	▲ 0.24	
	표면불량		㎡	104.20	5.48	▽ 98.72	일부보수
	보수재 박리		㎡	-	0.46	▲ 0.46	
	재료분리		㎡	1.91	0.30	▽ 1.61	일부보수
	들뜸, 박락, 파손		㎡	1.19	3.35	▲ 2.16	
	잡철근노출		㎡	-	0.54	▲ 0.54	
	앵커볼트노출		㎡	-	3.80	▲ 3.80	

(계속)

부재		손상명	단위	전회(2011년) 정밀안전진단	금회(2016년) 정밀안전진단	전회와 물량비교	비고
받침장치	본체	부식	㎡	4.11	4.11	-	동일함
		볼트간섭 및 길이부족	EA	-	5.00	▲ 5.00	
		가동여유량 부족	EA	4.00	4.00	-	동일함
	콘크리트	균열(0.2mm이하)	m	53.30	8.10	▽ 45.20	일부보수
		균열(0.3mm이상)	m	22.20	-	▽ 22.20	보수완료
		재균열(0.2mm이하)	m	-	22.30	▲ 22.30	
		들뜸	㎡	0.01	0.50	▲ 0.49	
		박리	㎡	-	0.06	▲ 0.06	
신축이음장치	본체	부식	㎡	0.95	0.95	-	동일함
		토사퇴적	㎡	1.03	1.03	-	동일함
	후타재	균열(0.3mm미만)	m	27.10	27.50	▲ 0.40	
		망상균열	㎡	0.60	0.60	-	동일함
		파손	㎡	-	0.41	▲ 0.41	
	덮개판	길이부족	EA	2	2.00	-	동일함
		변형	EA	1	1.00	-	동일함
교면포장		아스콘 균열	m	102.00	-	▽ 102.00	교량구간 보수완료 접속슬래브구간 미보수
		시공이음 균열	m	540.00	-	▽ 540.00	
		아스콘 망상균열	㎡	173.90	12.74	▽ 161.16	
		아스콘 들뜸	㎡	431.88	-	▽ 431.88	
		아스콘 패임	㎡	10.77	0.75	▽ 10.02	
		아스콘 융기, 침하	㎡	-	3.00	▲ 3.00	
배수시설		배수관 부식	㎡	-	0.46	▲ 0.46	
		용접부 부식 및 누수	㎡	-	0.20	▲ 0.20	
		고정핀 부식	EA	-	44.00	▲ 44.00	
		고정핀 탈락	EA	-	26.00	▲ 26.00	
방호벽		균열(0.3mm미만)	m	10.80	20.00	▲ 9.20	
		재균열(0.3mm미만)	m	-	4.50	▲ 4.50	
		균열 및 백태	m	28.70	30.50	▲ 1.80	
		백태	㎡	0.79	0.93	▲ 0.14	
		파손	㎡	-	2.04	▲ 2.04	
		들뜸	㎡	5.45	5.45	-	동일함
		전선덮개판 탈락	EA	4.00	10.00	▲ 6.00	

나. 백운4교(춘천방향)

1) 외관조사 결과요약

부재		외관조사 결과분석
바닥판		• 바닥판의 내측은 데크플레이트, 외측은 강판이 설치된 상태로 현장조사 결과, 데크플레이트 부식, 강판, 부식 및 도장박리, 콘크리트 망상균열 및 백태, 박락, 부착 시설물로 전선 보호덮개 부식 및 탈락의 결함이 조사되어 내구성 확보를 위해 콘크리트 망상균열 및 백태는 물끊기홈 설치 및 표면처리, 콘크리트 박락은 강판 제거 및 단면복구, 전선 보호덮개 탈락은 재설치가 필요하며, 그 외 결함은 내구성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.
거더		• 거더는 플레이트 거더 형식으로 현장조사 결과, 공용장기화에 의한 도장열화 및 우수접촉으로 도장박리, 부식, 볼트부식이 발생하였고, 시공미흡에 의한 볼트누락 및 천공홀, 기공, 외부충격에 의한 변형의 결함이 조사되어 장기적인 내구성 확보를 위해 도장박리 및 부식부는 도장보수가 필요하며, 그 외 결함은 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.
가로보 및 세로보		• 2차 부재인 가로보 및 세로보는 도장박리, 부식, 볼트부식, 누수오염, 볼트풀림, 변형의 결함이 조사되었으며, 내구성 확보를 의해 도장박리 및 부식부에 대한 도장보수가 필요하며, 그 외 누수오염, 볼트풀림, 변형의 결함은 손상규모가 경미하여 내구성 저하 영향이 미미하여 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.
브레이싱		• 브레이싱은 거더의 변형을 보강하기 위해 설치된 부재로 시공 상태는 양호하나 공용장기화에 의한 도장열화 및 수분접촉으로 부식 및 볼트부식이 일부 조사되어 장기적인 내구성 확보를 위해 도장보수가 필요할 것으로 판단되며, 그 외 볼트풀림 및 누수오염은 손상규모가 경미하며, 내구성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.
하부 구조	교대	• 교대에서 조사된 균열은 시공초기 건조수축 및 수화열에 의한 비구조적 균열로 구조적인 영향은 없으며, 폭 0.3㎜이상의 균열은 진단 기간 중 보수가 완료되었다. 폭 0.3㎜미만은 주의관찰토록 하며, 미세 균열부 수분접촉에 의한 백태는 표면처리, 신축이음 설치 시 외부충격에 의한 파손부는 단면복구가 필요할 것으로 판단된다. 그 외 시공미흡에 의한 재료분리, 잡철근노출 및 체수의 결함은 손상규모가 경미하거나 내구성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.
	교각	• 교각에서 발생된 균열은 대부분 교각 상단부에서 건조수축에 의한 비구조적 균열로 구조물의 안전성에 미치는 영향은 없으나 내구성 확보를 위해 폭 0.3㎜이상은 주입보수를 실시하고, 폭 0.3㎜미만은 주의관찰토록 한다. 그 외 외부충격에 의한 파손은 단면복구, 상면 몰탈 들뜸 및 박락은 몰탈보수가 필요하며, 시공시 협재된 잡철근노출은 손상 규모가 경미하며 내구성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

(계속)

부재	외관조사 결과분석
받침장치	• 받침장치에 대한 현장조사 결과, 본체 부식, 받침콘크리트 균열(0.2mm이하), 망상균열, 잡철근노출의 손상이 조사되어 장기적인 내구성 및 기능성 확보를 위해 부식부는 도장보수가 필요하며, 그 외 결함은 손상규모가 경미하거나 내구성 및 기능성 저하 영향이 미미한 손상으로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다. • 받침장치의 연단거리 및 가동량 조사결과, 교대(A1, A2)측에서 허용 가동량 자체 부족 및 온도변화에 따른 설치오류에 의해 가동여유량 부족이 조사되었으나 1차 및 2차의 온도변화에 따른 신축거동 상태는 원활하며, 가동여유량 부족에 의한 결함은 관찰되지 않았으므로 현 상태에서 주의관찰토록 하며, 향후 받침장치 교체 계획 시 보수하는 것이 적합할 것으로 판단된다. 그 외 연단거리는 전 개소 최소 연단거리를 상회하는 것으로 검토되었다.
신축이음장치	• 신축이음장치의 유간거리는 신축여유량을 확보한 상태이나 공용중 적치된 토사퇴적, 건조수축에 의한 후타재균열 및 외부충격에 의한 덮개판 고정볼트 탈락의 결함이 조사되어 토사퇴적은 청소, 덮개판 고정볼트 탈락은 재설치가 필요하며, 후타재 균열은 동절기 제설재 살포 등에 의한 염화물 침투가 우려되므로 표면처리하는 것이 적합할 것으로 판단된다.
교면포장	• 교면포장은 길어깨 및 갓길측은 기존 손상에 대한 재포장 보수가 실시되었으며, 아스콘 표면 및 방수층의 보수 상태는 양호한 것으로 조사되었으며, 차선구간의 일부 포장 망상균열이 조사되어 동절기 제설재 살포 등에 의한 염화물 침투가 우려되므로 부분 팻칭보수가 적합할 것으로 판단된다. 그 외 코어채취부 마감불량의 결함이 조사되었으나 손상규모가 경미하여 차량 주행성 및 포장 기능성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.
배수시설	• 배수시설은 상부의 배수구와 하부의 배수관으로 구분되며, 배수구는 전 개소 교체 보수되어 양호한 상태이나 배수관에서 용접 연결부 누수(부식) 및 탈락과, 고정핀 부식 및 탈락의 결함이 조사되어 재용접 및 고정핀 재설치의 보수방안이 필요할 것으로 판단된다.
방호벽	• 방호벽의 주요결함은 시공초기 건조수축에 의한 균열(0.3㎜미만) 및 망상균열, 시공불량에 의한 표면박리, 외부충격에 의한 파손의 결함이 조사되었으며, 기조사된 결함 중 균열 및 망상균열은 동절기 제설재 살포 등에 의한 염화물 침투가 우려되므로 표면처리하는 것이 적합할 것으로 판단되며, 표면박리 및 파손의 결함은 손상규모가 경미하여 방호벽의 기능성 및 내구성 저하 영향이 미미하므로 보수방안보다는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

2) 손상물량 총괄표

부재		손상명	손상물량			조치방안	비고
			단위	개소	물량		
바닥판	데크 플레이트	부식	㎡	331	2462.35	주의관찰	
		처짐	㎡	1	3.00	주의관찰	
	강판	부식	㎡	206	336.51	주의관찰	
		도장박리	㎡	4	0.61	주의관찰	
	콘크리트	망상균열, 백태	㎡	1	2.40	표면처리 및 물끊기홈 설치	
		박락	㎡	5	2.25	강판제거, 단면복구 및 물끊기홈 설치	t=50㎜
	전선 보호덮개	부식	㎡	65	14.59	주의관찰	
		탈락	m	13	35.00	재설치	
거더		도장박리	㎡	58	13.08	도장보수	
		부식	㎡	107	260.75	도장보수	
		볼트부식	㎡	40	203.00	도장보수	
		녹물흔적	㎡	5	6.55	도장보수	
		볼트누락	EA	1	1.00	주의관찰	
		변형	EA	2	2.00	주의관찰	
		천공홀	EA	48	48.00	주의관찰	
		기공	EA	20	20.00	주의관찰	
가로보 및 세로보		도장박리	㎡	50	3.16	도장보수	
		부식	㎡	8	1.33	도장보수	
		볼트부식	㎡	14	4.94	도장보수	
		누수오염	㎡	2	3.20	주의관찰	
		볼트풀림	EA	1	1.00	주의관찰	
		변형	EA	5	5.00	주의관찰	
브레이싱		부식	㎡	37	21.20	도장보수	
		볼트부식	㎡	81	1.62	도장보수	
		볼트풀림	EA	1	1.00	주의관찰	
		누수오염	㎡	1	3.00	주의관찰	
교대		균열(0.3㎜미만)	m	20	18.40	주의관찰	
		망상균열	㎡	5	51.28	주의관찰	
		망상균열 및 백태	㎡	1	1.40	표면처리	
		백태	㎡	2	2.29	표면처리	
		재료분리	㎡	3	0.89	주의관찰	
		들뜸 및 파손	㎡	17	2.39	단면복구	t=30㎜
		체수	㎡	3	33.50	주의관찰	
		잡철근노출	㎡	68	0.73	주의관찰	

(계속)

부재		손상명	손상물량			조치방안	비고
			단위	개소	물량		
교각		균열(0.3㎜미만)	m	119	115.90	주의관찰	
		균열(0.3㎜이상)	m	22	26.00	주입보수	
		망상균열	㎡	5	18.79	주의관찰	
		파손	㎡	38	0.99	단면복구	
		들뜸	㎡	16	18.59	몰탈보수	
		표면불량	㎡	4	0.53	단면복구	
		잡철근노출	㎡	10	0.24	주의관찰	
받침장치	본체	부식	㎡	7	3.09	도장보수	
		전단키 부식	㎡	4	4.00	도장보수	
	콘크리트	균열(0.2mm이하)	m	2	0.80	주의관찰	
		망상균열(0.2mm이하)	㎡	4	1.59	주의관찰	
		잡철근노출	㎡	1	0.01	주의관찰	
신축이음장치	본체	토사퇴적	m	1	3.00	청소	
	후타재	균열(0.3mm미만)	m	82	28.00	표면처리	
	덮개판	고정볼트 탈락	EA	7	7.00	볼트 재설치	
교면포장		포장 망상균열	㎡	2	1.79	팻칭보수	
		코어채취부 마감불량	㎡	2	0.07	주의관찰	
배수시설	배수구	이물질퇴적	EA	3	3.00	청소	
	배수관	용접 연결부 누수 및 탈락	EA	3	3.00	용접보수	
		고정핀 부식	EA	50	50.00	고정핀 재설치	
		고정핀 탈락	EA	15	15.00	고정핀 재설치	
방호벽		균열(0.3mm미만)	m	2261	757.50	표면처리	
		망상균열	㎡	9	156.59	표면처리	
		파손	㎡	3	0.21	주의관찰	
		표면박리	㎡	16	220.47	주의관찰	

3) 기 진단(2013년)과의 손상물량 비교표

부재		손상명	단위	전회(2013년) 정밀안전진단	금회(2016년) 정밀안전진단	전회와 물량비교	비고
바닥판	데크 플레이트	부식	㎡	2,456.50	2.462.35	▲ 5.85	
		처짐	㎡	-	3.00	▲ 3.00	
	강판	부식	㎡	328.84	336.51	▲ 7.67	
		도장박리	㎡	0.60	0.61	▲ 0.01	
	콘크리트	망상균열, 백태	㎡	-	2.40	▲ 2.40	
		열화	㎡	504.00	-	▽ 504.00	보수완료
		박락	㎡	-	2.25	▲ 2.25	
	전선 보호덮개	부식	㎡	9.86	14.59	▲ 4.73	
		탈락	m	9.00	35.00	▲ 24.00	
거더		도장박리	㎡	8.53	13.08	▲ 4.55	
		부식	㎡	214.30	260.75	▲ 46.45	
		볼트부식	㎡	159.00	203.00	▲ 44.00	
		녹물흔적	㎡	-	6.55	▲ 6.55	
		볼트누락	EA	1.00	1.00	-	동일함
		변형	EA	2.00	2.00	-	동일함
		천공홀	EA	48.00	48.00	-	동일함
		기공	EA	-	20.00	▲ 20.00	
가로보 및 세로보		도장박리	㎡	1.08	3.16	▲ 0.13	
		부식	㎡	-	1.33	▲ 1.33	
		볼트부식	㎡	0.74	4.94	▲ 4.20	
		누수오염	㎡	3.20	3.20	-	동일함
		볼트풀림	EA	1.00	1.00	-	동일함
		변형	EA	3.00	5.00	▲ 2.00	
브레이싱		부식	㎡	9.80	21.20	▲ 11.40	
		볼트부식	㎡	1.32	1.62	▲ 0.30	
		볼트풀림	EA	1.00	1.00	-	동일함
		누수오염	㎡	3.00	3.00	-	동일함
교대		균열(0.3㎜미만)	m	2.00	18.40	▲ 16.40	
		균열(0.3㎜이상)	m	17.20	-	▽ 17.20	보수완료
		망상균열	㎡	49.00	51.28	▲ 2.28	
		망상균열 및 백태	㎡	-	1.40	▲ 1.40	
		백태	㎡	2.25	2.29	▲ 0.04	
		재료분리	㎡	2.23	0.89	▽ 1.34	일부보수
		들뜸 및 파손	㎡	1.58	2.39	▲ 0.81	
		체수	㎡	3.00	33.50	▲ 30.50	
		잡철근노출	㎡	0.24	0.73	▲ 0.49	

(계속)

부재		손상명	단위	전회(2013년) 정밀안전진단	금회(2016년) 정밀안전진단	전회와 물량비교	비고
교각		균열(0.3㎜미만)	m	58.50	115.90	▲ 57.40	
		균열(0.3㎜이상)	㎡	24.50	26.00	▲ 1.50	
		망상균열	㎡	20.79	18.79	▲ 2.00	
		파손	㎡	0.71	0.99	▲ 0.28	
		들뜸	㎡	12.91	18.59	▲ 5.68	
		표면불량	㎡	0.08	0.53	▽ 0.45	
		잡철근노출	㎡	-	0.24	▲ 0.24	
받침 본체	본체	본체 부식	㎡	4.45	3.09	▽ 1.36	일부보수
		전단키 부식	㎡	-	4.00	▲ 4.00	
		가동여유량 부족	EA	4.00	4.00	-	
	콘크리트	균열(0.2㎜이하)	m	0.40	0.80	▲ 0.40	
		망상균열	㎡	1.59	1.59	-	
		잡철근노출	㎡	0.01	0.01	-	
신축이음		토사퇴적	m	11.00	3.00	▽ 8.00	일부보수
		후타재 균열(0.3㎜미만)	m	6.60	28.00	▲ 21.40	
		덮개판 고정볼트 탈락	EA	7	7	-	동일함
교면포장		아스콘 균열	m	110.50	-	▽ 110.50	갓길 및 길어깨 재포장 보수완료
		아스콘 망상균열	㎡	92.14	1.79	▽ 90.35	
		아스콘 들뜸	㎡	2.85	-	▽ 2.85	
		아스콘 불량	㎡	4.60	-	▽ 4.60	
		아스콘 파손	㎡	1.40	-	▽ 1.40	
		코어채취부 마감불량	㎡	-	0.07	▲ 0.07	
배수시설		배수구 그레이팅파손	EA	30.00	-	▽ 30.00	보수완료
		배수구 이물질퇴적	EA	-	3.00	▲ 3.00	
		용접부 누수 및 탈락	EA	-	3.00	▲ 3.00	
		배수관 고정핀 부식	EA	-	50.00	▲ 50.00	
		배수관 고정핀 탈락	EA	-	15.00	▲ 15.00	
방호벽		균열(0.3mm미만)	m	860.40	757.50	▽ 102.90	일부보수
		망상균열	m	11.30	156.59	▲ 145.29	
		파손	㎡	-	0.21	▲ 0.21	
		표면박리	㎡	132.78	220.47	▲ 87.69	

3.6.2 내구성조사 결과요약

가. 백운4교(부산방향)

1) 현장시험 결과요약(부산)

시 험 명		시험부위	시험결과	평 가
콘크리트 강도시험	반발 경도 시험	상부구조	▪바닥판 설계기준강도(27.0MPa)의 95.2~116.9%로 나타나 설계기준강도 대비 90%이상의 강도가 측정되어 비교적 양호한 것으로 평가되었다.	양호
		하부구조	▪교대 설계기준강도(24.0MPa)의 106.9~115.5%로 나타나 설계기준강도를 상회하고 있음 ▪교각 설계기준강도(24.0MPa)의 94.5~120.8%로 나타나 설계기준강도 대비 90%이상의 강도가 측정되어 비교적 양호한 것으로 평가되었다.	양호
	초음파 전달 속도 시험	상부구조	▪거더 설계기준강도(27.0MPa)의 98.6~114.5%로 나타나 설계기준강도 대비 90%이상의 강도가 측정되어 비교적 양호한 것으로 평가되었다.	양호
		하부구조	▪교대 설계기준강도(24.0MPa)의 106.1~111.5%로 나타나 설계기준강도를 상회하고 있음 ▪교각 설계기준강도(24.0MPa)의 93.3~118.3%로 나타나 설계기준강도 대비 90%이상의 강도가 측정되어 비교적 양호한 것으로 평가되었다.	양호
철근탐사시험		상부구조	▪준공도면을 비교·검토한 결과 피복두께가 설계치보다 다소 두꺼운 것으로 나타났으나 외관조사결과 이로 인한 손상은 조사되지 않았으며 배근간격 등이 준공도면과 유사함	양호
		하부구조	▪준공도면을 비교·검토한 결과 배근간격 , 피복두께 등이 준공도면과 유사함	양호
탄산화 깊이 측정		상부구조	▪철근까지의 잔여깊이가 30㎜이상 확보되어 “a”로 평가됨	부식발생 우려 없음
		하부구조	▪철근까지의 잔여깊이가 30㎜이상 확보되어 “a”로 평가됨	부식발생 우려 없음
염화물함유량 시험		상부구조	▪전개소 : 염화물함유량 ≤ 0.3kg/㎥이하로 (상태평가결과 : a)	부식발생 우려없음
		하부구조	▪전개소 : 0.3kg/㎥≤ 염화물함유량 ≤ 1.2kg/㎥이하로 (상태평가결과 : b)	부식발생 가능성 낮음
균열깊이 측정		하부구조	▪균열심도(39.3㎜) < 철근피복두께(107.0㎜)	양호
초음파탐상시험(UT)		거더	▪Ⅰ류등급 : 20개소	양호
도막두께 측정		거더	▪건전부(230~549㎛) > 시방기준두께(215㎛)	건전부 양호
평가 의견		▪본 시설물은 특이사항이 없는 양호한 상태로 구조물을 대표할 수 있는 부위에서 현장시험을 실시하였으며, 측정 및 시험 결과, 콘크리트 강도, 탄산화 깊이, 염화물 함유량 시험, 균열깊이 측정, 초음파탐상시험(UT), 도막두께 측정은 관련기준을 만족하는 양호한 상태임		

2) 전회 진단과 비교·분석(부산)

구 분		2011년 정밀안전진단	2016년 정밀안전진단	기준값
비파괴 강 도 (MPa)	상부	26.9~28.1	25.7~31.6	27.0
	하부	24.6~29.2	22.7~29.0	24.0
철근배근탐사		• 국부적인 철근탐사 시험 결과, 대부분 설계도와 일치하여 철근배근상태는 양호함 • 일부 피복두께 및 배근간격의 부분적인 차이는 있으나 외관조사결과 이에 따른 부재의 손상은 없는 상태임		
탄산화 깊 이 (㎜)	상부	3.0~5.0	1.6~3.0	잔여피복 30㎜이상
	하부	3.0~18.0	3.1~14.2	잔여피복 30㎜이상
염화물 함유량시험 (kg/m³)	상부	0.990	0.190~0.205	염화물 < 0.3 (평가결과: a)
	하부	0.387~0.405	0.128~0.448	0.3 < 염화물 < 1.2 (평가결과: b)
강재초음파시험		결함도 없음	결함도 없음	
총 평		■ 본 교량에 대한 내구성조사 결과는 측정위치 및 기술자 숙련도, 현장 기상조건 등에 의하여 차이가 있기 때문에 정확한 산술적 비교는 어려운 상태이나 금회 측정된 내구성 평가 결과값과 기 진단시 측정된 결과값에서 큰 차이가 없으며, 전반적으로 허용기준값을 만족하는 것으로 평가됨		

나. 백운4교(춘천방향)

1) 현장시험 결과요약(춘천)

시 험 명		시험부위		시험결과	평 가
콘크리트 강도시험	반발 경도 시험	상부구조		▪ 바닥판, 방호벽 설계기준강도(27.0㎫)의 102.3~121.8%로 나타나 설계기준강도를 상회하고 있음	양호
		하부구조		▪ 교대 설계기준강도(24.0㎫)의 91.9~109.9%로 나타나 설계기준강도 대비 90%이상의 강도가 측정되어 비교적 양호한 것으로 평가되었다. ▪ 교각 설계기준강도(27.0㎫)의 108.7~132.6%로 나타나 설계기준강도를 상회하고 있음	양호
	초음파 전달 속도 시험	상부구조		▪ 방호벽 설계기준강도(27.0㎫)의 104.8~115.6%로 나타나 설계기준강도를 상회하고 있음	양호
		하부구조		▪ 교대 설계기준강도(24.0㎫)의 91.9~104.8%로 나타나 설계기준강도 대비 90%이상의 강도가 측정되어 비교적 양호한 것으로 평가되었다. ▪ 교각 설계기준강도(30,35㎫)의 106.7~126.2%로 나타나 설계기준강도를 상회하고 있음	양호
철근탐사시험		상부구조		▪ 배근간격은 설계도면과 일치하며, 피복두께는 방호벽 단면증설로 인해 피복두께가 깊게 측정된 것으로 판단됨	양호
		하부구조		▪ 배근간격은 설계도면과 일치하며, 피복두께는 시방기준을 상회하고 있음	양호
탄산화 깊이 측정		상부구조		▪ 철근까지의 잔여깊이가 30㎜이상 확보되어 “a”로 평가됨	부식발생 우려 없음
		하부구조		▪ 철근까지의 잔여깊이가 30㎜이상 확보되어 “a”로 평가됨	부식발생 우려 없음
염화물 함유량 시험	상부구조	S5	건전부	▪ 염화물함유량 ≤ 0.3kg/㎥이하로 (상태평가결과 : a)	부식발생 우려 없음
	하부구조	A1	건전부	▪ 0.3kg/㎥≤ 염화물함유량 ≤ 1.2kg/㎥이하로 (상태평가결과 : b)	부식발생 가능성 낮음
		A2	건전부	▪ 염화물함유량 ≤ 0.3kg/㎥이하로 (상태평가결과 : a)	부식발생 우려 없음
균열깊이 측정		하부 구조	A1	▪ 균열심도(49.1㎜) < 철근피복두께(65.0㎜)	양호
			A2	▪ 균열심도(177.7㎜) > 철근피복두께(86.0㎜)	불량
			P3	▪ 균열심도(25.2㎜) < 철근피복두께(109.0㎜)	양호
초음파탐상시험(UT)		거더		▪ Ⅰ류등급 : 10개소	양호
도막두께 측정		거더		▪ 건전부(216.0~311.4㎛) > 시방기준두께(215㎛) ▪ 손상부(23.0㎛) < 시방기준두께(215㎛)	건전부 양호
평가 의견		▪ 본 시설물은 특이사항이 없는 양호한 상태로 구조물을 대표할 수 있는 부위에서 현장시험을 실시하였으며, 측정 및 시험 결과, 콘크리트 강도, 탄산화 깊이, 염화물 함유량 시험, 초음파탐상시험(UT)은 관련기준을 만족하는 양호한 상태이다. A2흉벽의 균열깊이는 철근피복두께를 관통한 상태이나 진단 기간중 균열보수가 실시되어 차기 진단 시 재손상 여부에 대한 확인이 필요하며, 두께 손상부는 기준미만으로 주의관찰 및 보수가 필요한 상태임			

2) 기 진단(2013년)과의 비교·분석(춘천)

구 분			2013년 정밀안전진단	2016년 정밀안전진단	기준값
비파괴 강 도 (MPa)	상부		-	27.6~32.9	27.0
	하부		28.1~29.6	22.6~31.8	24.0
철근배근탐사			• 기 진단 시 상부구조는 데크플레이트 및 강판 설치에 의해 미실시하였고, 금회 진단 시에는 강판 절취부 1개소 및 방호벽 4개소에서 측정하여 비교·분석이 불가능하며, 하부구조는 준공도면과 비교 시 단위 m 당 철근수량은 설계도면과 동일하며, 피복두께는 시방기준을 다소 상회하고 있음		
탄산화 깊 이 (mm)	상부		-	0.4~5.8	잔여피복 30㎜이상
	하부		6.3~11.9	2.7~15.1	잔여피복 30㎜이상
염화물 함유량시험 (kg/㎥)	상부	건전부	0.071	0.167	염화물 < 0.3 (평가결과: a)
	하부	건전부	0.047~0.165	0.131~0.251	염화물 < 0.3 (평가결과: a)
강재초음파시험			결함도 없음	결함도 없음	-
총 평			■ 본 교량에 대한 내구성조사 결과는 측정위치 및 기술자 숙련도, 현장 기상조건 등에 의하여 차이가 있기 때문에 정확한 산술적 비교는 어려운 상태이나 금회 측정된 내구성 평가 결과값과 기 진단시 측정된 결과값에서 큰 차이가 없으며, 전반적으로 허용기준값을 만족하는 것으로 평가됨 ■ 상부 바닥판은 데크플레이트 및 강판이 설치되어 기 진단 시 비파괴강도 및 탄산화깊이 측정은 미실시되어 비교는 불가능한 상태이나 금회 진단 시에는 방호벽 및 캔틸레버 강판 절단부에서 측정하였으며, 측정결과가 기준치를 만족하고 있으므로 공용기간 증가에 따른 내구성 저하는 없는 것으로 평가됨		