제3장 현장조사 및 시험

3.1 개 요
3.2 외관조사 결과(부산방향)
3.3 외관조사 결과(춘천방향)
3.4 콘크리트 내구성조사
3.5 현장조사 결과요약

제3장 현장조사 및 시험

3.1 개 요

단양대교(부산, 춘천)는 설계하중 DB-24(DL-24)의 고속국도 교량으로서, 2001년에 준공되어 약 15년정도 공용 중에 있으며, 충청북도 단양군 단성면 하방리 (중앙선, 이정 252.32㎞)에 위치하고 있는 방향별 편도 2차로 교량이다.

본 교량의 총폭 12.6m, 총연장은 440m [PSCB(FCM) : 1@55+3@110+1@55]이며, 상부구조는 5경간의 PSCB(FCM)형으로써, 교각의 형식은 구주형, 교대의 형식은 역T형이고 기초는 P1,4:현장타설말뚝, P2,3:우물통+현장타설말뚝로 시공되어 있다.

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

현장조사 방법은 상부구조는 교량상부 2차선(주행선)과 길어깨(갓길)를 차단 후 교량점검차를 사용하여 점검을 실시하였고, 하부구조는 고소작업차를 이용하여 구조물에 최대한 근접한 상태에서 외관조사를 실시하였으며, 고소작업차의 진입이 불가한 구간은 고성능 망원캠(사진촬영, 동영상촬영 가능)을 이용하여 외관조사를 실시하였다.

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

【표 3-1】 부재별 조사항목

구 분		조 사 항 목	비 고
상부 구조	바닥판	• 콘크리트 균열, 철근부식, 철근노출, 박락, 파손, 재료분리 • 누수, 백태, 표면오염	
	PSC 거더	• 균열(중앙부 횡방향 균열, 복부 사인장 균열 등) • 받침부 부스러짐 • 박리, 박락, 층분리, 파손, 철근노출, 재료분리, 백태	
하부 구조	교대	• 콘크리트 균열, 철근부식, 철근노출, 누수, 백태, 박락, 파손, 재료분리 • 교대의 이동 및 회전 유무 • 거더 또는 바닥판과 협착 유무	
	교각	• 콘크리트 균열, 철근부식, 철근노출, 박락, 파손, 재료분리	
	기초	• 세굴, 침하, 파손, 침식	
교면포장		• 균열, 요철, 단차, 포트홀, 물고임(체수)	
배수시설		• 파손, 배수관 길이 부족, 배수관 주변 및 연결부 누수, 배수구 위치 불량	
연석 및 난간		• 균열, 철근부식, 철근노출, 박락, 파손, 백태	
교량 받침	강재 받침	• 균열, 부식, 변형, 파손	
	기타	• 유간 부족, 편기, 수평불량, 가동불량, 교량받침 설치오류, 앵커볼트 파손	
신축이음		• 본체의 파손, 부식, 누수, 이상음 및 진동, 유간 부족 • 후타재의 균열, 파손, 단차 • 후타재와 포장면 사이 이격	

금회 정밀안전진단용역 수행 중 단양대교(부산, 춘천)의 현장조사 및 시험 일정 및 내용은 다음과 같다.

【표 3-2】 현장조사 기간

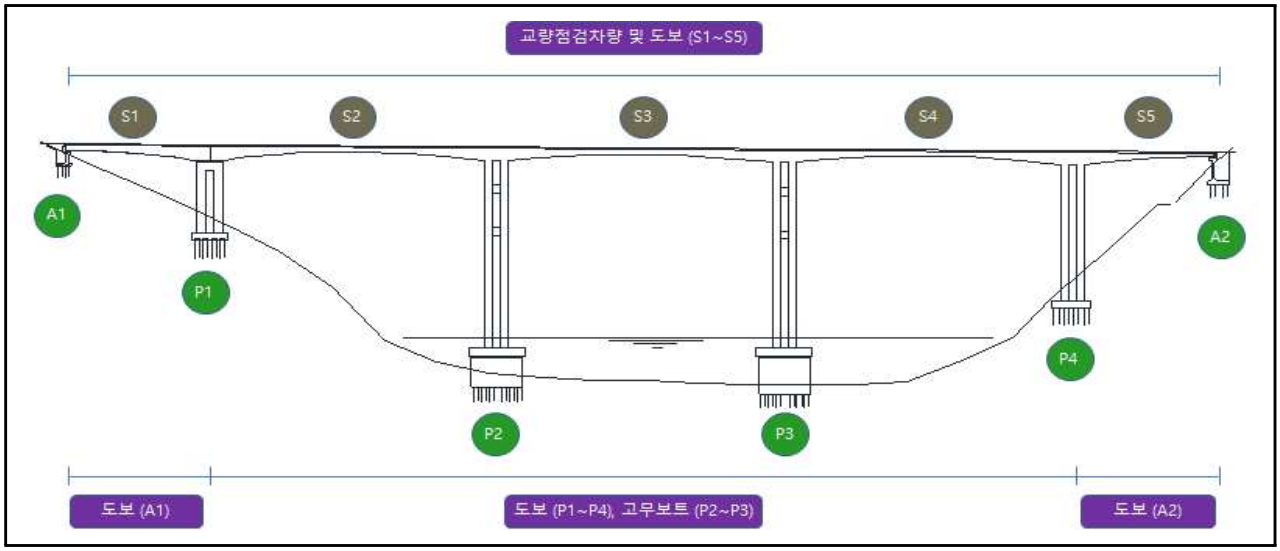
구 분	일 시	조사내용	수행자
사전답사	2016.06.20 ~ 06.24	현장답사, 구조물 현황조사	박정용 외 14명
1차 현장조사	2016.07.12 ~ 09.28	외관조사, 비파괴시험	
2차 현장조사	2016.11.10 ~ 11.14	추가조사 (이동량 2차 측정, 균열 진행성 확인 등)	

【표 3-3】 단양대교(부산, 춘천)의 일반현황, 하부 주변현황 및 접근장비

일반현황				주변현황 (교차시설물 등)	조사방법
시설물명	형식	연장 (m)	경간구성		
단양대교 (부산, 춘천)	PSCB	440.0	(55+3@110+55)	충주호, 지방도로	교량점검차, 고소작업차, 드론

구분	수행방법	구분	수행방법
S1	교량점검차+도보	A1	도보, 고소작업차
S2	교량점검차	P1	드론
S3	교량점검차	P2	드론
S4	교량점검차	P3	드론
S5	교량점검차	A2	도보, 고소작업차

단양대교의 하부현황은 충주호를 횡단하고 있으며, 접근이 용이한 부재의 외관조사는 도보로 실시하였고, 박스외부, 외측 바닥판하면, 기둥 등 접근이 난이한 부재는 교량점검차, 고소작업차, 사다리, 드론(사진촬영, 동영상촬영 가능)등을 이용하여 실시하였다.



【그림 3-1】 구간별 근접장비 활용방법

점검로를 이용하여 받침장치 조사(부산방향) 통풍 안전모 특허 제10-0816556호	도보를 이용한 외관조사(춘천방향)
교량점검차를 이용한 외관조사(부산방향)	교량점검차를 이용한 외관조사(춘천방향)
고소작업차를 이용한 외관조사(부산방향)	교통 통제 후 현장조사 실시

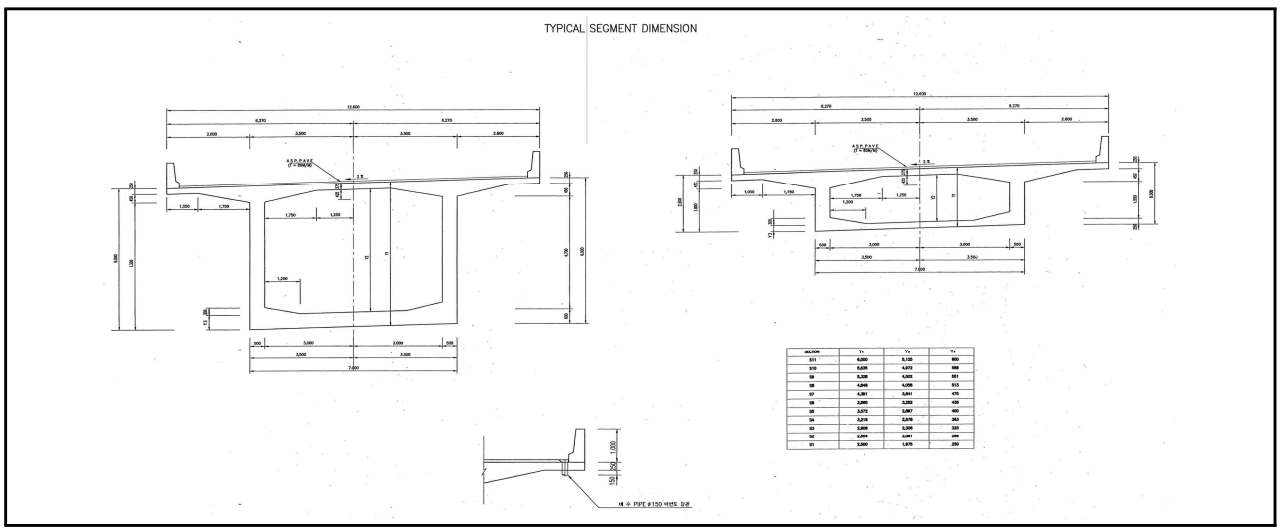
【그림 3-2】 단양대교(부산, 춘천) 조사 전경

3.2 외관조사(부산방향)

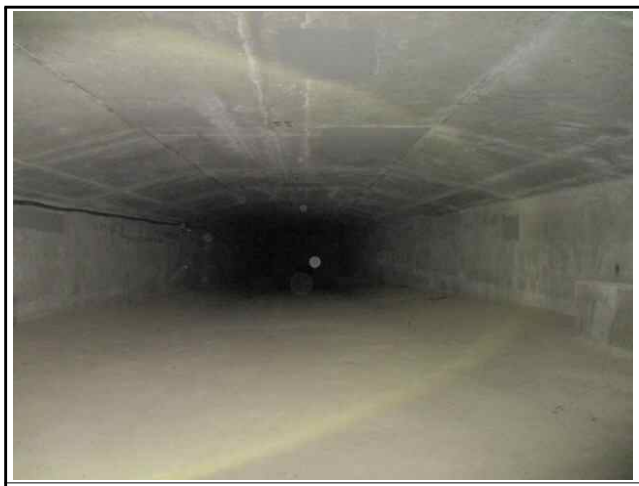
3.2.1 상부구조

가. PSC 박스거더(내부)

- PSC Box Girder교의 경우 상·하부 플랜지와 복부판이 일체가 되어 있는 거더로서, 본 교량은 총 5경간으로 구성되어 있으며, 전경간 PSC Box Girder교로 FCM공법으로 시공되어졌다.
- 따라서, 프리스트레스력 저하를 유발시킬 수 있는 정착블럭의 변형이나 파손상태 유·무, 정모멘트 구간의 휨균열 여부를 금번 진단 시 집중적으로 조사하였다.
- 거더에 대한 외관조사는 박스 내부 바닥판 및 복부 조사 시 도보에 의한 근접 외관조사를 실시하였다.



【그림 3-3】 단양대교(부산) 상부구조 횡단면도



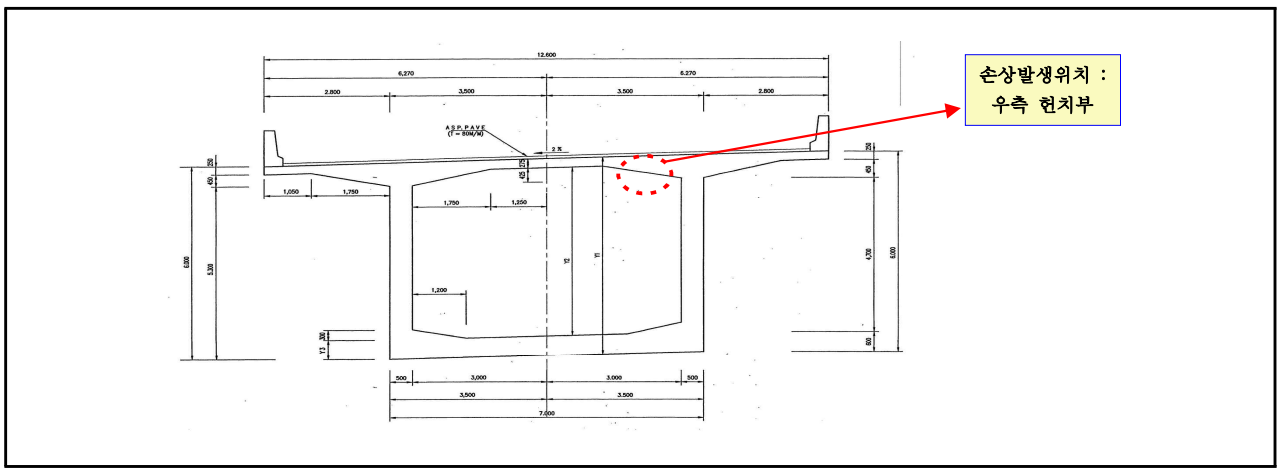
PSC 박스거더(내부) 전경(1)

PSC 박스거더(내부) 전경(2)

1) 외관조사 결과

- 2012년도 실시된 하자만료전 보수공사 이후 거더 내부에 발생한 손상에 대해 하자보수가 전반적으로 완료된 상태이며, 금회 진단 결과 거더 복부 종방향 균열, 박리, 백태 등의 손상이 조사되었다.
- 전차 정밀안전진단 시 조사된 주요 손상은 상부플랜지의 손상은 대부분 c/w=0.3mm 미만의 종방향, 일부 c/w=0.3mm이상의 균열과 망상균열, 백태 등의 손상이 조사되었다. 전반적으로 보수가 완료된 상태이며, 보수상태는 양호한 것으로 조사되었다.
- 거더 내부 복부에서 폭 0.3㎜미만의 사방향 균열 1개소가 발생하였으며, 상부플랜지에 폭 0.3㎜미만 균열 2개소가 조사되었으며, 내부 상부플랜지에 발생한 종방향 균열은 대부분 일정한 방향성 없이 분절된 형태로 균열의 연속성이 없는 불연속 형태를 나타내는 것으로 조사되었다. 대부분의 균열은 시공초기 발생한 거더 내·외부의 온도차이로 인한 건조수축 균열이며 시공과정에서 발생된 균열로 평가된다.
- PSC 박스 내부에서 발생한 0.3㎜미만 균열은 주기적인 점검 등을 통한 지속관찰을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 거더 S3구간 복부 콘크리트 박리(1개소) 손상은 기 보수부위에 조사되었으며 기존 보수공사 미흡에 의한 것으로 판단된다.
- PSC Box 내부 상부플랜지 격벽부 부근의 백태는 PE관 주변에서 발생하였으며, 손상부에 대한 국부적인 보수가 필요하다. 일부에서 발생한 백태는 대부분 경미한 것으로 조사되었다.

→ 발생한 백태는 기 손상으로 전차 진단 시에도 조사된 손상인 것으로 확인되었다. 발생 위치는 상단 헌치부로 키세그 연결부와 텐던 위치는 아닌 것으로 판단되며, 하자만료 전 보수 시 발생한 백태로 추정된다. 외관조사 시 손상 진전은 없는 것으로 조사되어 내구성 확보를 위해 표면보수가 필요할 것으로 판단된다.



【표 3-4】 부산방향 - PSC 박스거더(내부) 외관조사 결과

구분	균열		열화 및 손상					
	균열 Cw=0.3㎜미만(m)		누수흔적(㎡)		박리(㎡)		백태(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	-	-	1.00	1	0.12	1	0.13	2
S2	-	-	0.28	2	-	-	1.54	8
S3	-	-	0.73	2	0.03	1	0.72	7
S4	2.70	2	-	-	-	-	0.45	4
S5	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	2.7	2	2.01	5	0.15	2	2.84	21

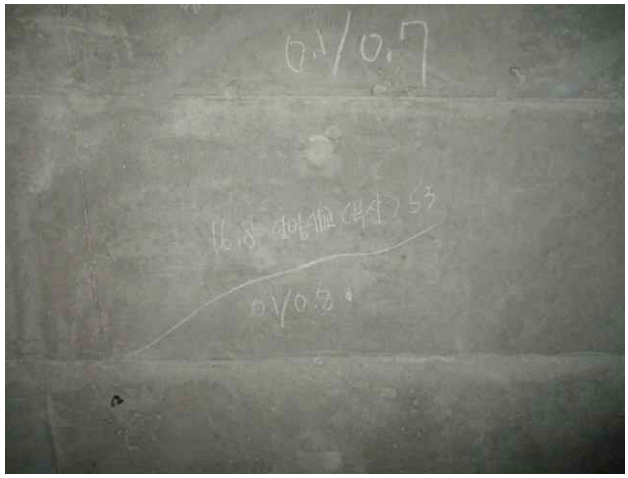
2) 손상별 원인분석

보수현황	◦거더 내측 복부 망상균열 보수부

보수현황	◦거더 상부플랜지 종방향균열 보수부

현 황	◦S1-상부플랜지 종방향 균열
원 인	◦건조수축 및 콘크리트 구속응력
대 책	◦지속관찰

현 황	◦S3-상부플랜지 백태
원 인	◦PE관 삽입부
대 책	◦단면보수

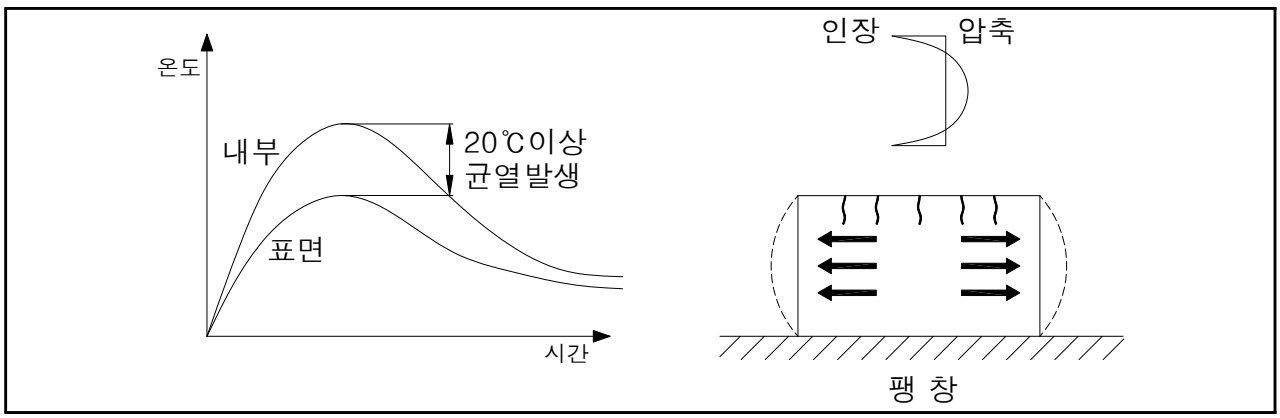
			
현 황	◦S3- 복부 사방향 균열	현 황	◦S3- 복부 콘크리트 박리
원 인	◦건조수축	원 인	◦보수공사 미흡
대 책	◦지속관찰	대 책	◦단면보수

3) 기 점검결과와의 비교・분석

- 기존 정밀안전진단 결과 조사된 손상은 보수가 완료되었으며, 금회 정밀안전진단 조사 시 균열 및 박리, 백태 등이 조사되었다.

4) 검토의견

- PSC 박스 내부에 발생한 종방향 균열은 전 경간에 걸쳐 분포하고 있는 것으로 확인되었다. 조사된 균열은 폭 0.3㎜미만로서 균열 보수부를 감안할 때 일정한 간격으로 방향성과 규칙성을 가지고 있고, 균열 길이양상이 2.5m 이내로 분절되어 연속성이 없는 형태를 띄고 있는 것으로 나타났다. 종방향으로 발생한 균열은 시공초기 콘크리트 내・외부의 온도 차이로 인한 부등건조수축 등이 주원인으로 판단된다. 부가적으로 균열보수부도 전반적으로 양호한 상태인 것으로 미루어 볼 때, 발생된 균열은 장경간 교량의 구조적 특성과 단면특성에 의한 처짐, 진동, 대단면 등의 영향이 복합적으로 작용한 것으로 판단된다.



【그림 3-4】 수화열에 의한 균열발생 메커니즘

- 백태는 콘크리트 중의 가용성분이 수분에 용해되어 표면에 석출된 백색의 침전물로서 균열선을 따라 나타나는 선상백태와 광범위한 면적으로 표출되는 면백태로 구분되며 경년열화로 나타나는 경우가 대부분이지만 시공초기에서도 관찰되는 열화현상이다. 노후화로 인한 면백태나 누수를 동반하는 백태는 품질저하가 확연하지만 본 구조물에서 나타나는 백태는 이러한 특징을 나타내지 않는다. 따라서 보수의 시급성을 요하지는 않으므로 현시점의 보수보다는 지속관찰을 통하여 추후 보수계획을 수립하는 것이 적절한 것으로 판단된다. S3-상부 플랜지 PE관 삽입에 의한 백태는 내구성 관점에서 단면보수가 필요하다.

나. PSC 박스거더(외부)

- PSC Box Girder교의 경우 상·하부 플랜지와 복부판이 일체가 되어 있는 거더로서, 거더 외부는 상부 플랜지를 및 복부 외부를 포함하여 진단을 실시하였다.
- 박스 외부는 교량점검차 및 고소점검차를 이용하여 근접 외관조사를 실시하였고, 전차 진단시 조사되었던 종방향균열 및 망상균열, 균열부 백태, 누수 및 백태 등에 대해 집중적으로 조사하였다.

PSC 박스거더(외부) 전경(1)	PSC 박스거더(외부) 전경(2)

1) 외관조사 결과

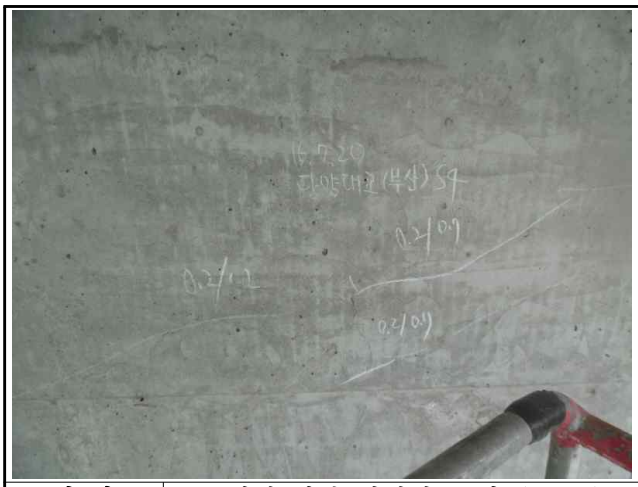
- PSC 박스 외부에서 폭 0.3㎜미만 균열(187개소) 및 폭 0.3㎜이상 균열(8개소)에서 연속성이 없이 부분적으로 조사되었다. 또한, 균열 발생 형태 및 위치상으로 전단균열 형태를 보이고 있으나, 이 손상은 상 · 하부 정착단에서 프리스트레스 도입 초기(강선 인장시) 긴장력과 시공초기 가설 후에 발생한 시공초기 균열로 판단된다.

- S4 거더 하면에서 조사된 재료분리는 콘크리트 타설 중 다짐불량에 의한 것으로 경미한 상태로 조사되었다.
- 캔틸레버 바닥판에 균열, 누수, 박리, 백태가 발생하였으며, 외측 캔틸레버하면 국부적으로 조사되었다. 이는 상부 배수구 막힘에 의한 부분적인 체수의 영향으로 배수구 주변에서 우수가 점진적으로 스며드는 상태이며, 또한 방호벽 기초와 교면포장 경계면에서 상대적으로 다짐이 불량하거나 아스콘 마모가 진행된 미세한 틈으로 우수가 유입되어 누수흔적 및 백태가 발생한 것으로 판단된다.
- 기 보수된 보수부 상태 점검결과 보수부 재균열 등은 발생하지 않은 양호한 상태로 확인되었다.

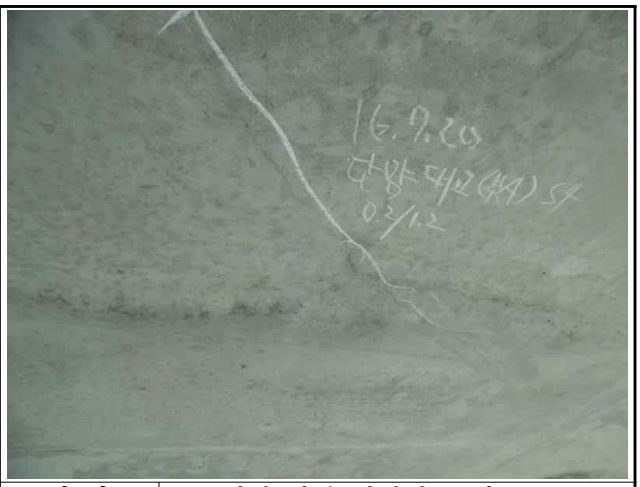
【표 3-5】 부산방향 - PSC 박스거더(외부) 외관조사 결과

구분	균열						열화 및 손상							
	균열 Cw=0.3㎜미만 (m)		균열 Cw=0.3m이상 (m)		망상균열 Cw=0.3m이하 (m)		균열 및 백태 (m)		백태(㎡)		층분리(㎡)		재료분리(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	13.5	10	1.0	1	-	-	2.0	2	-	-	-	-	-	-
S2	36.0	26	32.5	14	-	-	0.3	1	0.29	3	-	-	0.28	2
S3	47.1	53	11.0	5	-	-	-	-	-	-	-	-	0.25	1
S4	99.9	90	2.5	2	0.16	1	-	-	0.14	3	0.15	1	-	-
S5	20.90	23	4.00	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	217.4	202	51	24	0.16	1	2.3	3	0.43	6	0.15	1	0.53	3

2) 손상별 원인분석



현 황	◦S4 거더 복부 사방향 균열 (0.2㎜)
원 인	◦시공초기 균열
대 책	◦지속관찰



현 황	◦S4 거더 복부 사방향 균열 (0.2㎜)
원 인	◦시공초기 균열
대 책	◦지속관찰

현 황	◦S2 캔틸레버 하면 백태	현 황	◦S4 캔틸레버 측면 백태
원 인	◦ 배수구 주변 누수	원 인	◦방호벽 기초 다짐불량
대 책	◦지속관찰	대 책	◦표면보수
현 황	◦S1 캔틸레버 하면 백태	현 황	◦S1 캔틸레버 하면 누수흔적 및 백태
원 인	◦기보수부 우수유입	원 인	◦기 보수부 우수유입
대 책	◦표면보수	대 책	◦표면보수

3) 기 점검결과와의 비교・분석

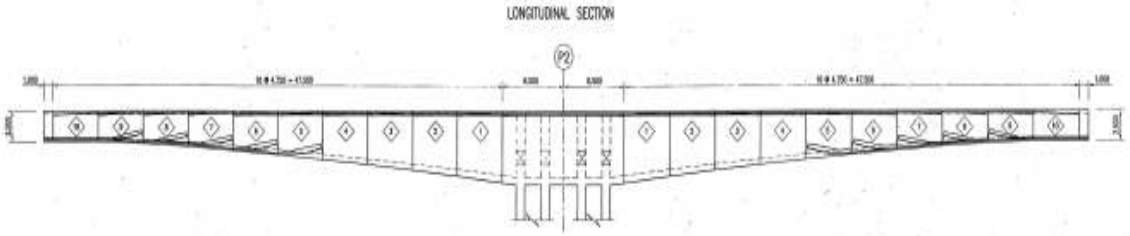
- 기존 정밀안전진단 결과 조사된 손상은 12년 7월 하자보수를 통하여 일부 보수가 완료된 것으로 확인되었으나, 금회 정밀안전진단 조사 시 균열 및 누수, 박리, 백태 등이 조사되었다.

4) 검토의견

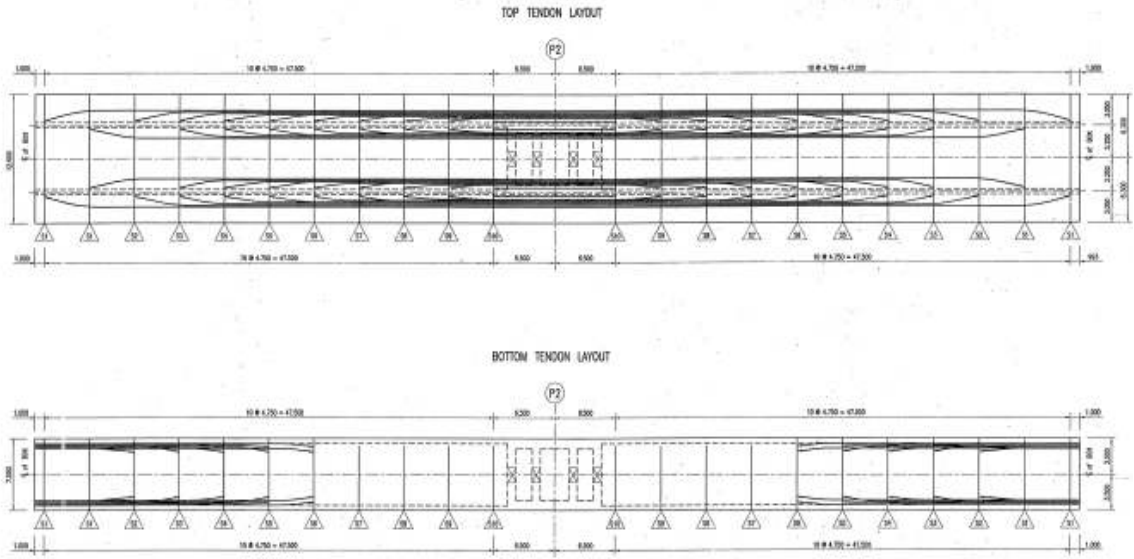
- 복부 외부에 발생한 cw=0.1~0.3mm의 사방향 균열은 발생 형태 및 위치상으로 전단 균열 형태를 보이고 있으나, 이 손상은 상・하부 정착단에서 프리스트레스 도입 초기(강선 인장시) 긴장력과 시공초기 가설 후에 발생한 시공초기 균열로 판단된다.
- 캔틸레버 바닥판에 누수흔적 및 백태가 발생하였으며, 외측 캔틸레버하면에서 국부적으로 조사되었다. 이는 상부 배수구 막힘에 의한 부분적인 체수의 영향으로 배수구 주변

에서 우수가 점진적으로 스며드는 상태이다.

- 캔틸레버 바닥판 하면은 방호벽 기초와 교면포장 경계면에서 상대적으로 다짐이 불량하거나 아스콘 마모가 진행된 미세한 틈으로 우수가 유입되어 누수흔적 및 백태가 발생한 것으로 판단된다.
- 백태는 콘크리트 중의 가용성분이 수분에 용해되어 표면에 석출된 백색의 침전물로서 균열선을 따라 나타나는 선상백태와 광범위한 면적으로 표출되는 면백태로 구분되며 경년열화로 나타나는 경우가 대부분이지만 시공초기에서도 관찰되는 열화현상이다. 노후화로 인한 면백태나 누수를 동반하는 백태는 품질저하가 확연하지만 본 구조물에서 나타나는 백태는 이러한 특징을 나타내지 않는다. 따라서 보수의 시급성을 요하지는 않지만 장기적인 내구성저하 방지를 위해 표면보수가 필요하다.
- 전차진단(2012년)시 조사된 내용과 비교할 때, 기 진단시 조사된 PSC Box 외부의 손상은 일부 보수된 상태로써, 일부 공용에 따른 손상증가 및 조사누락 등으로 조사되었다.



【그림 3-5】 Tendon Layout



【그림 3-6】 Tendon Layout

다. 격벽

- 격벽은 교량의 각 지점부에 총 17개소(A1측:1개소, P1측:3개소, P2측:4개소, P3측:4개소, P4측:4개소, A2측:1개소)가 설치되어 있다.
- 현장조사 및 유지관리 자료 검토결과, 전차진단시 조사된 손상에 대해서는 대부분 12년 하자보수가 실시된 상태인 것으로 확인되었다.

격벽 전면 전경	격벽 측면 전경

1) 외관조사 결과

- 벽체 개구부의 모서리에는 건조수축, 온도변화, 외력 등으로 인한 응력집중발생으로 균열이 발생하기 쉬운 곳이다. 현재 격벽에서 발생한 손상은 2012년 하자보수를 통해 대부분 보수가 완료되었다.
- 격벽에 대한 외관조사 결과, 기 보수공사 불량에 의한 A1 격벽에 박리가 조사되었다.
- 기 정밀안전진단 조사 후 손상은 대부분 보수가 완료된 상태로써, 보수부 상태는 양호한 것으로 조사되었다.

【표 3-6】 부산방향 - 격벽 외관조사 결과

구분	균열	
	균열 Cw=0.3㎜미만(m)	
	물량	개소
A1	1.10	1
합계	1.1	1

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td colspan="2"> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦A1 격벽 박리</td><td rowspan="3">현 황</td><td rowspan="3">◦P1 격벽 보수상태</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦보수공사 불량</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦단면보수</td></tr>
</table>

3) 기 점검결과와의 비교・분석

- 전차진단(2012년)시 조사된 내용과 비교할 때 대부분 보수가 완료된 상태이다. 일부 A1격벽에 보수공사 미흡에 의해 재박리가 조사되었다.

4) 검토의견

- 격벽에 발생한 박리는 보수공사 미흡에 의해 재박리가 나타났으므로 내구성 차원에서 단면보수가 필요하다고 판단된다.

3.2.2 하부구조

가. 교대

- 교대는 교량 상부구조 하중을 지반으로 전달하며, 교량 전체 구조의 안전성을 위해 중요한 역할을 수해하는 구조부재이다.
- 단양대교의 하부구조는 구주식 교각으로 인근에 운항되는 충주호 유람선에서 바라보는 미관을 감안하여 긴 교각의 단조로움을 없애기 위하여 쌍기둥(twin-column) 형태로 시공되어졌다. 교각의 높이가 103m로 국내에 건설된 교량 가운데 가장 높으며, 국내 최초로 초고교각 타설공법인 셀프클라이밍폼(Self Climbing Form ; 타워크레인 없이 여러 개의 유압펌프 장치를 이용하여 압력으로 폼을 위로 올리는 공법)이 적용되었다.

교대 전경 (A2)	교대 전경 (A2)

1) 외관조사 결과

- 교대에 발생한 균열은 미세균열(폭 0.2㎜이하)로써, 대부분의 균열의 유형은 수직균열 형태를 나타내고 있다.
- 특히, 폭 0.3㎜이상의 균열은 수직방향 총 물량이 L=3.0m로써, 교대(A1)에 2개소가 조사되었다.
- 교대의 기타 손상으로는 백태, 부식, 재료분리, 파손 및 철근노출(A1), 박리, 박락 등이 조사되었다.

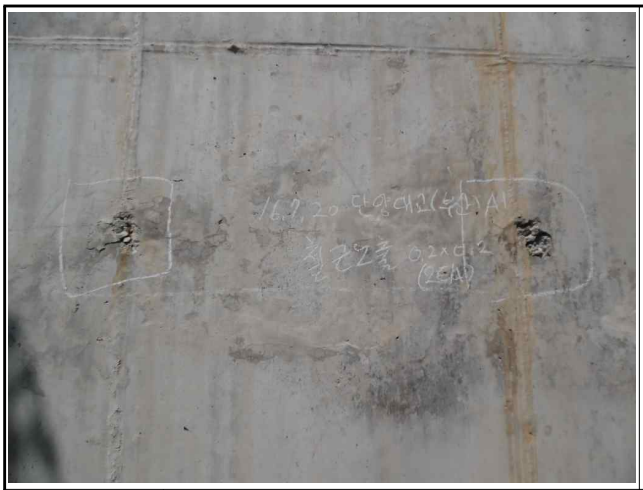
【표 3-7】 부산방향 - 교대 외관조사 결과

구분	균열						열화 및 손상			
	균열 Cw=0.3㎜미만 (m)		균열 Cw=0.3㎜이상 (m)		망상균열 Cw=0.3㎜미만 (㎡)		박락(㎡)		박리(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
A1	25.30	17	3.00	2	6.50	3	0.21	11	0.96	1
A2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	25.3	17	3	2	6.5	3	0.21	11	0.96	1

【표 3-7】 부산방향 - 교대 외관조사 결과(계속)

구분	열화 및 손상									
	백태(㎡)		강판부식(㎡)		재료분리(㎡)		앵커홀 마감불량		철근노출(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
A1	0.40	2	1.02	4	1.20	1	0.16	16	0.20	5
A2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	0.4	2	1.02	4	1.2	1	0.16	16	0.2	5

2) 손상별 원인분석

			
현 황	◦교대 A1 측면 철근노출	현 황	◦교대 A1 앵커볼트 마감불량
원 인	◦피복두께 부족	원 인	◦ 마감불량
대 책	◦단면보수(방청)	대 책	◦주의관찰
현 황	◦교대 A1 상면 단면파손	현 황	◦교대 A1 측면 망상균열
원 인	◦외부 충격하중	원 인	◦양생시 표면 건조수축
대 책	◦주의관찰	대 책	◦표면보수

3) 기 점검결과와의 비교・분석

- 교대A1, A2에 대한 외관조사 결과 국부적으로 수직균열 및 소규모 파손, 재료분리 등이 조사되었으나 구조적 안전성에는 큰 영향이 없을 것으로 판단되며 향후 장기적인 내구성 확보 차원에서 보수가 필요할 것으로 판단된다.
- 교대의 기존 손상은 0.3㎜미만 균열, 철근노출 등이 조사되었는데 금회 외관조사 결과 시 기존 발생된 균열의 진행은 없는 것으로 조사되었다.

4) 교대측 부대시설 현황

단양대교의 A1, A2의 사면 및 점검계단, 배수로에 대한 외관조사 결과, 대부분 양호한 상

태를 보였으나 A2교대측 사면의 국부적 침하로 인한 압성토사면의 국부적인 침하와 교대 측면 점검계단의 국부적 파손(7개소)이 조사되었다.

압성토 사면의 침하(A2)	압성토 사면의 침하(A2)

【표 3-8】 부산방향 - 부대시설 상태

5) 검토의견

- 교대에 발생된 균열은 대부분 일방향성 균열이고, 주철근 방향과 평행한 수직균열 형태이므로 균열의 형상, 방향성, 발생 위치 등을 고려해 볼 때, 콘크리트 재료적 특성인 시공초기 건조수축 및 공용 중 온도변화에 의해 발생한 것으로 판단된다. 교대의 균열은 대부분 미세균열 형태이므로 지속적인 유지관찰이 필요하다.
- 수직균열은 발생위치 및 유사한 유형의 균열보수흔적으로 미루어 볼 때 하중에 의한 균열이 아니라, Massive한 기둥부에서 시공초기 수화열에 의한 내외부 온도차 및 건조수축균열로 판단되며, 기둥의 하단부에서 발생한 수평균열은 균열의 규모가 작고(L=0.7m) 발생위치로 미루어 볼 때, 기둥 분할타설시 다짐부족, 급속타설 등에 의한 시공초기 균열로 판단된다.
- 교대 A2 압성토 사면은 배수 불량 및 급경사에 의해서 사면침하, 토사유실 등이 조사되었다.

  → 교대 A2측의 압성토 유실은 그 정도가 전도에 영향을 미칠 정도는 아닌 것으로 판단되나, 하부로 단양군 적성명~단양군 단양읍으로 이어지는 군도가 지나고 있어 유실된 토사들로 인한 교통통행에 위험요소를 될 수 있으므로 교대 보호 블록공 설치가 필요할 것으로 판단된다.

나. 교각

- 상부구조를 지지하는 구조물인 교각은 4기로 구성되어있다. 교각의 형식은 구주식

(P1~P4)으로 시공되어져 있다.

- 교각에 대한 외관조사는 도보 및 사다리를 이용하였으며, 장비 접근이 가능한 P1, P4, 교각에 대해서는 고소점점차를 이용하였으며, 그 외에 장비접근이 곤란한 교각에 대해서는 드론을 활용하여 손상 여부를 확인하였다.

교각 전면 전경 (P2)	교각 측면 전경

P1 후면 현장조사 (드론사용)	P2 전면 현장조사 (드론사용)	P3 전면 현장조사 (드론사용)	P4 전면 현장조사 (드론사용)

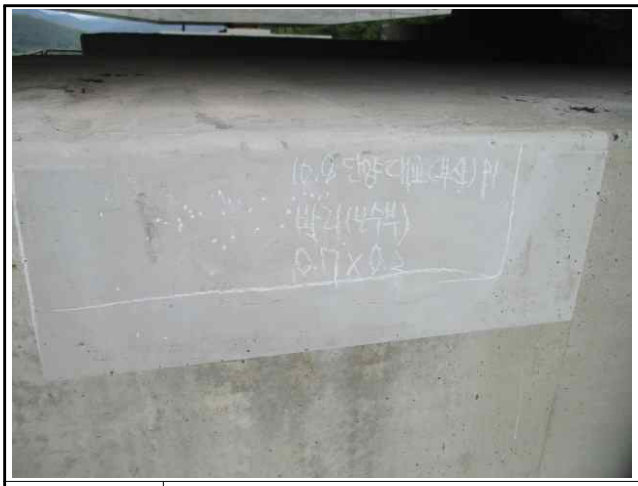
1) 외관조사 결과

- 교각에 발생한 균열은 미세균열(폭 0.2㎜이하)로써, 대부분의 균열의 유형은 수직균열 형태로 교각 상단부와 기초부에 집중적으로 나타내고 있다.
- 균열 폭 0.3㎜이상의 균열은 균열 양상이 수직균열로 발생한 부위가 전면 상단부로 동일하게 P1(전면 : 0.3㎜/1.0m, 0.4㎜/1.5m, 후면 : 0.3㎜/1.5m, 0.3㎜/1.0m)에서 조사되었다.
- 교각에 발생한 균열은 교각 상단부위(교량 점검로 위) 및 교각 기초부에 주로 분포하는 것으로 조사되었다.

【표 3-9】 부산방향 - 교각 외관조사 결과

구분	균열		열화 및 손상			기초	
	균열 Cw=0.3㎜미만(m)		박리(㎡)		눈금바늘파손	망상균열 Cw=0.3㎜미만	
	물량	개소	물량	개소	개소	물량	개소
P1	0.5	1	0.14	1	1	-	-
P2	-	-	-	-	-	120.00	1
P3	-	-	-	-	-	120.00	1
합계	0.5	1	0.14	1	1	240.00	2

2) 손상별 원인분석



현 황	◦P1 코핑 상부 박리	현 황	◦P2 기초부 균열
원 인	◦보수공사 미흡	원 인	◦시공초기에 발생된 균열
대 책	◦단면보수	대 책	◦주입보수

현 황	◦P2 수직균열 보수상태	현 황	◦P5 후면부 표면불량 (A=1.00㎡)
원 인	◦시공초기에 발생된 균열	원 인	◦시공시 다짐불량
대 책		대 책	◦표면처리보수

3) 기 점검결과와의 비교· 분석

- 기존 정밀안전진단 결과 단면손상이 진행된 것은 없는 것으로 확인되었으나, 금회 조사 시 균열 폭 0.3mm미만 및 이상 균열, 박리 등이 조사되었다.

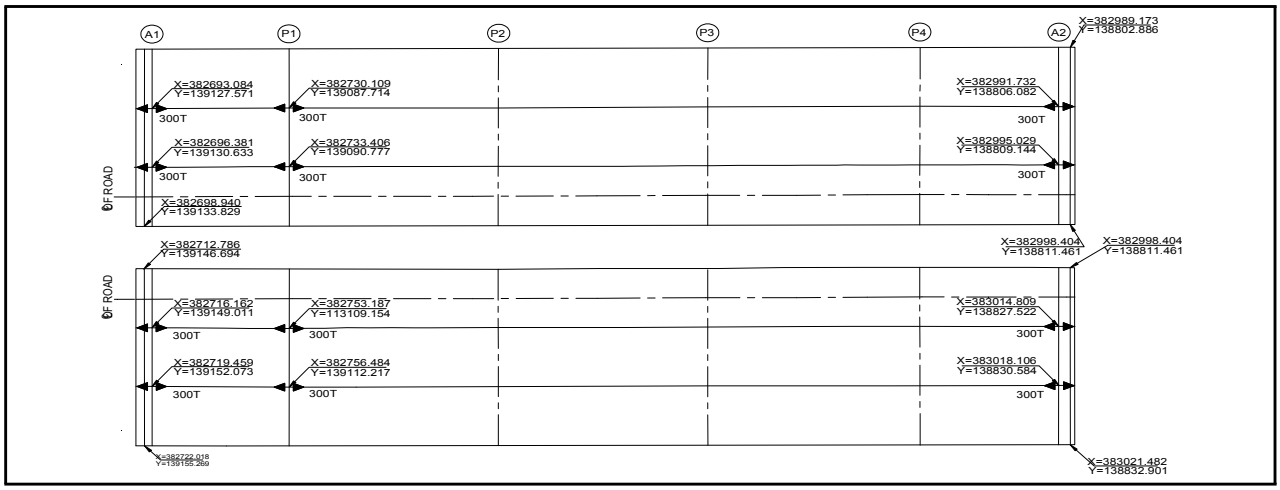
- 교각에 발생한 균열은 교각 상단부위(교량 점검로 위) 및 교각 기둥부 전면, 배면에 주로 분포하는 것으로 조사되었다. 전차 진단와 비교하면 균열의 진행이 없는 상태로 조사되었다. 균열은 대부분 미세균열(폭 0.2㎜이하)의 수직형태 및 미세 망상균열 형태를 나태내고 있는 것으로 조사되었다.

4) 검토의견

- 교각에 발생한 균열은 교각 상단부위(교량 점검로 위) 및 교각 기둥부 전면, 배면에 주로 분포하는 것으로 조사되었다. 전차 진단와 비교하면 균열의 진행이 없는 상태로 조사되었다. 구조적 안전성에는 큰 영향이 없을 것으로 판단되며 향후 장기적인 내구성 확보 차원에서 보수가 필요할 것으로 판단된다.
- P2,3의 교각 기초부에 대한 외관조사 결과 시공초기에 발생된 수직균열이 다수 조사되었으며 미세균열의 경우 2012년의 점검결과와 거의 유사하여 공용중 균열진전등은 없었던 것으로 조사되었다. 하지만 수중구조물의 경우 비구조적 균열이라 하더라도 철근부식 및 열화의 진행속도가 빨라 기초발생균열에 대해서는 전반적인 보수가 이루어져야 할 것이다.
- 교각상단부 수직균열은 발생위치 및 유사한 유형으로 미루어 볼 때 하중에 의한 균열이 아니라, Massive한 기둥부에서 시공초기 수화열에 의한 내외부 온도차 및 건조수축균열로 판단된다.

3.2.3 교량받침

- 교량 받침장치는 상부구조에 작용하는 하중을 하부구조에 전달하는 기능을 갖는 교량의 부속장치로서 하중에 의해서 상부구조에 발생되는 변위와 온도변화 및 크리프에 의해 발생되는 교량의 변위, 변형에 대해서도 흡수 또는 저항하는 구조 요소이므로 받침본체의 기능상태, 편기상태, 부식, 몰탈 및 콘크리트의 균열 파손 등에 대하여 점검을 실시 하였다.
- 본 교량의 받침은 전구간 Pot Bearing으로 교대(A1,A2) 및 교각(P1)에 거더당 2개소씩 총 6개소가 시공되어 있으며, 전개소 일방향 가동단으로 구성되어 있다. 교량받침 현황은【그림 3-0】다음과 같다.



【그림 3-7】 교량받침 배치도

일방향(교축) P1-Sh2	일방향(교축) P1-Sh1

가. 외관조사

1) 외관조사 결과

- 교량 받침장치는 상부구조에서 발생된 하중을 하부구조로 전달하고 상부구조의 신축 및 회전에 능동적으로 대응하는 부재이며, 본 조사에서는 과반력 및 부반력 발생 여부, 온도변화 및 활하중에 의한 신축거동 여부 뿐만 아니라 강재 부식, 콘크리트 손상 여부 등 내구성, 기능성, 사용성 등에 대한 현장조사를 시행하였다.
- 점검결과 미끄럼흔적이 조사되어 받침장치의 기능상 문제는 없으나, 일부구간에서 받침몰탈 균열(0.3㎜미만, 48개소) 등이 조사되었다.
- 받침장치(P1-Sh2)의 도장박리(2개소) 등의 손상이 소규모로 조사되었다.

【표 3-10】 부산방향 - 교량받침 외관조사 결과

구분	받침콘크리트, 받침몰탈		
	균열 Cw=0.3㎜미만(m)		눈금바늘파손
	물량	개소	개소
A1	1.40	7	1
P1	10.30	40	-
A2	1.00	2	-
합계	12.7	49	1

2) 손상별 원인분석

현 황	◦P1-Sh2 받침부식	현 황	◦P1-Sh1 받침콘크리트 균열
원 인	◦장기공용	원 인	◦건조수축
대 책	◦받침 재도장	대 책	◦표면보수

현 황	◦P1-Sh1 받침콘크리트 균열재료분리	현 황	◦A1-Sh1 받침몰탈 균열
원 인	◦건조수축	원 인	◦건조수축
대 책	◦표면보수	대 책	◦표면보수

3) 기 점점결과와의 비교・분석

- 기존 정밀안전진단 결과 단면손상이 진행된 것은 없는 것으로 확인되었으나, 금회 조사 시 균열 폭 0.3mm미만 및 이상 균열, 도장박리 등이 조사되었다.

나. 연단거리 검토

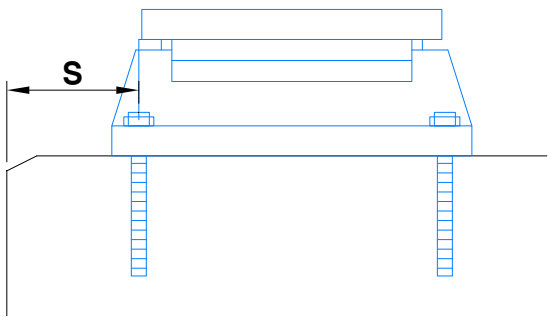
- 교각의 교좌면은 상부구조로부터 집중하중을 받는 부위이고, 지진시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 연단거리가 짧으면 고정단에서는 콘크리트 구체 또는 교량받침이 파손될 수 있고, 가동단에서는 최악의 경우 받침이 벗어나 거더가 낙하할 수도 있다.
- 상부구조의 길이에 따라 '도로교설계기준(2010, 국토교통부)' 에서는 최소값을 규정하고 있다.
  - 거더의 경간길이 100m 이하 : S(㎜) = 200 + 5L
  - 거더의 경간길이 100m 이상 : S(㎜) = 300 + 4L

여기서, L은 경간길이(m)

1) 연단거리 산출

- 거더 경간길이(L=55.0m) : 200+5×55.0 = 470(㎜)
- 거더 경간길이(L=110.0m) : 300+4×110.0 = 740(㎜)

2) 연단거리 측정방법



< 포트받침 >

연단거리 측정 개요도	연단거리 실측 전경

【그림 3-8】 부산방향 - 연단거리 측정방법

3) 연단거리 측정결과

- 연단거리 측정 결과, 실측 연단거리가 계산 연단거리를 상회하고 있는 것으로 측정되어

도로교설계기준 연단거리 최소규정을 만족하고 있는 것으로 검토되었다.

- 연단거리의 부족으로 인한 교량받침의 손상 및 낙교 문제가 없다고 판단되므로 지속적인 유지관찰이 필요한 것으로 판단된다.

【표 3-11】 부산방향 - 연단거리 측정결과

구 분		경간장 (m)	계산 연단거리 (㎜)	실측 연단거리(㎜)		검토 결과
				G1	G2	
				Sh1	Sh2	
A1	종점측	55	470	520	520	O.K
P1	시점측	55	470	4300	4300	O.K
	종점측	110	740	4300	4300	O.K
A2	시점측	55	470	620	620	O.K

다. 교량받침 이동량 검토

- 교량받침은 포트받침으로 현재 여유량을 실측함으로써 온도 변화와 활하중에 의한 거더의 처짐에 따른 신축 시 이동량 부족으로 인한 받침의 기능 저하 여부를 검토하고자 하였다.
- 이동량 검토 결과, 받침장치의 경우 신축 여유량 및 수축여유량이 부족하지 않은 양호한 상태로 평가되었고, 사용성에는 문제가 없는 것으로 판단된다.

받침 이동위치 측정(1)

받침 이동위치 측정(2)

【표 3-12】 부산방향 - 교량받침 가동상태 검토결과

구 분		실측이동량(㎜)		변동량(㎜)		비 고
		1차	2차	실측치	이론치	
A1	Sh1	45(A2)	50(A2)	-5	13.9	1차:24.0℃ 2차:17.0℃ 온도차:7.0℃
	Sh2	45(A2)	50(A2)	-5	13.9	
P1	Sh1	10(A2)	15(A2)	-5	9.2	1차:24.0℃ 2차:17.0℃ 온도차:7.0℃
	Sh2	5(A2)	10(A2)	-5	9.2	
A2	Sh1	45(A1)	50(A1)	-5	4.6	1차:24.0℃ 2차:17.0℃ 온도차:7.0℃
	Sh2	45(A1)	50(A1)	-5	4.6	
※ 1차 측정 : 2016년 07월 20일(24.0℃) / 2차 측정 : 2016년 11월 13일(17.0℃)						

【표 3-13】 부산방향 - 교량받침 이동량 산정

구 분		온도변화 (⊿T, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더 길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜)	최대 받침 가동량(㎜)	
		동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
A1	1차	39.0	11.0	1.0×10^{-5}	165	64.3	18.1	10.00	64.3	28.1
	2차	32.0	18.0			52.8	29.7		52.8	39.7
P1	1차	39.0	11.0	1.0×10^{-5}	110	42.9	12.1	-	42.9	12.1
	2차	32.0	18.0			35.2	19.8		35.2	19.8
A2	1차	39.0	11.0	1.0×10^{-5}	55	21.4	6.0	-	21.4	6.0
	2차	32.0	18.0			17.6	9.9		17.6	9.9

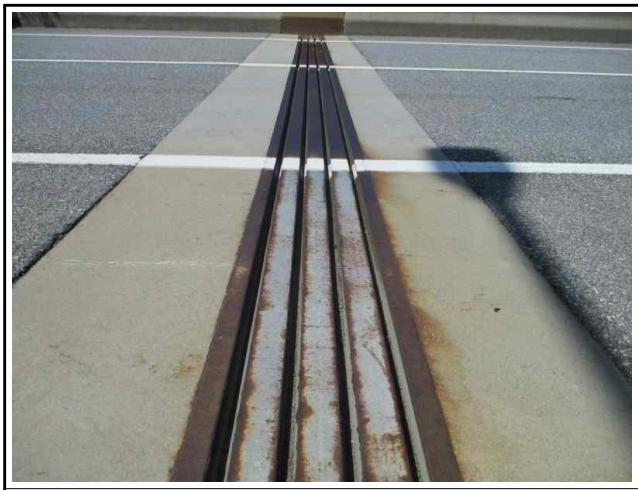
1) 조사당시 온도 : 1차조사 : 24.0℃ (조사일 : 2016년 07월 20일, 24.0℃)
2차조사 : 17.0℃ (조사일 : 2016년 11월 13일, 17.0℃)
2) 검토온도 : -15℃ ~ +35℃ (한랭한지방)
3) 지점의 회전변위에 의한 신축량 $\Delta \ell r = \Sigma(hi \cdot \theta i)$
여기서, hi : 받침의 회전중심에서 보의 중립축 까지의 높이 (거더높이의 2/3)
θi : 보의 회전각(콘크리트교: 1/300) $\Delta \ell r = \Sigma(hi \cdot \theta i) = 2/3 \times 4500 \times 1/300 = 10.00mm$
h : 주형높이 4,500mm, θ : 1/300 (콘크리트교)
* 신축장 100m 이상 교량의 경우 신장시에만 고려(도로설계요령, 2009)

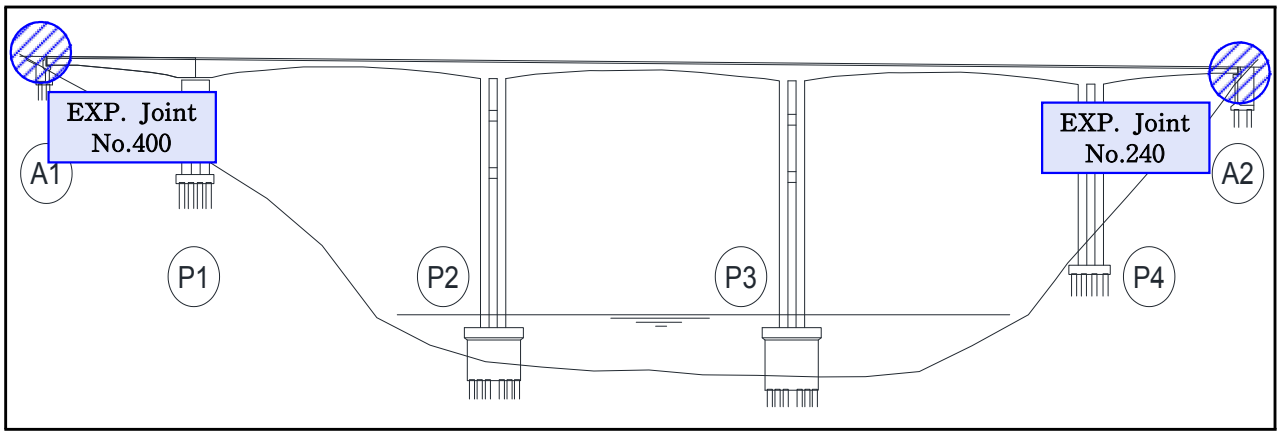
【표 3-14】 부산방향 - 교량받침 가동여유량 검토결과

구 분		점검당시 실측이동량(㎜)	최대 받침 이동량(㎜)		실측 받침 가동여유량(㎜)		받침이동 허용량 (㎜)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
A1	Sh1	45(A2)/50(A2)	64.3/52.8	28.1/39.7	130/125	220/225	±175	O.K
	Sh2	45(A2)/50(A2)			130/125	220/225		O.K
P1	Sh1	10(A2)/15(A2)	42.9/35.2	12.1/19.8	190/185	210/215	±200	O.K
	Sh2	5(A2)/10(A2)			195/190	205/210		O.K
A2	Sh1	45(A1)/50(A1)	21.4/17.6	6.0/9.9	130/125	220/225	±175	O.K
	Sh2	45(A1)/50(A1)			130/125	220/225		O.K
주) 판정 : 최대 받침 이동량 ≤ 실측 받침 가동여유량 ⇒ O.K								

3.2.4 신축이음장치

- 신축이음 장치는 온도변화에 의한 신축거동, 교면수의 하부유입을 막는 차수기능을 하는 부재로써 현장조사시에 이러한 기능성 저하여부, 내구성 측면, 차량 주행 안전성 등에 대해 중점적으로 조사하였다.
- 신축이음장치는 교량의 시·종점부인 A1과 A2에 총 2개소가 설치되어 있으며, A1과 A2는 레일조인트(A1:EXP. 400, A2:EXP. 240)가 설치되어 있다. 신축이음 배치 현황은 다음과 같다.

	
신축이음장치 전경(A1)	신축이음장치 전경(A2)



【그림 3-9】 부산방향 - 신축이음 배치도

가. 외관조사

1) 외관조사 결과

- 신축이음장치에 대한 외관조사 결과, 전반적인 신축거동은 원활한 상태로 조사되었으며, A1:EXP. 400, A2:EXP. 240의 신축이음장치 양끝단(갓길 구간)에서 본체 부식 및 유간부 이물질 퇴적이 조사되었다. 또한, A1:EXP. 400, A2:EXP. 240의 후타재의 전 폭

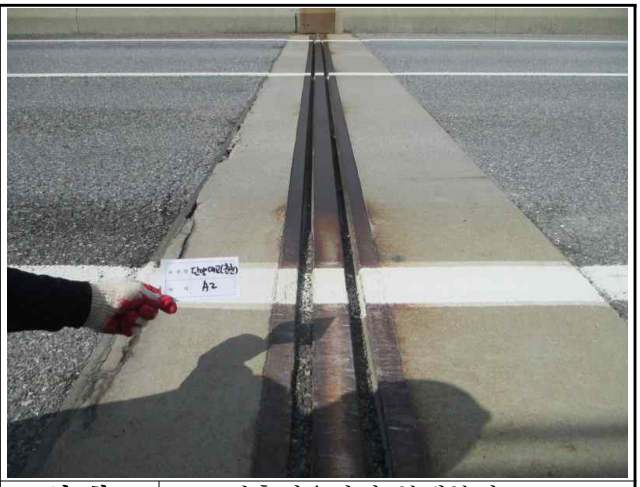
에 걸쳐서 후타재 균열이 일부 발생된 것으로 확인되었으며, A2:EXP. 240에서 후타재 파손이 국부적으로 1개소 조사되었다.

- 신축이음하부에 대한 조사결과, Rail의 등 변형 및 파손이 없는 대부분 양호한 것으로 조사되었다.

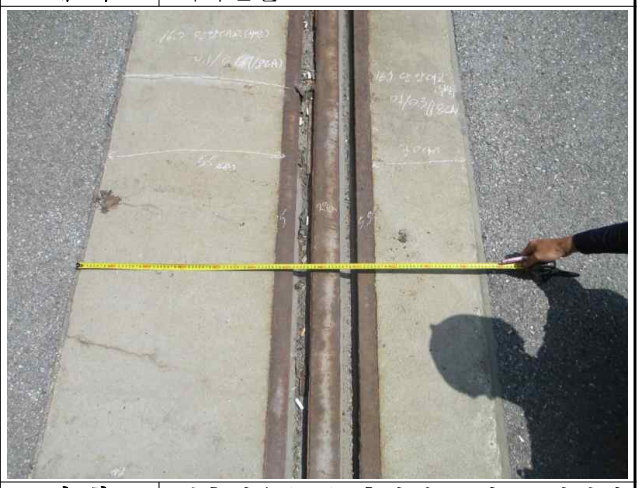
【표 3-15】 부산방향 - 신축이음장치 외관조사 결과

구분	본체		후타재						차수판
	부식(㎡)		균열 Cw=0.3㎜미만(m)		파손(㎡)		이물질퇴적(㎡)		볼트탈락
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	개소
A1	5.92	1	12.9	24	-	-	2.00	2	2
A2	0.45	1	16.2	36	0.16	1	1.20	2	5
합계	6.37	2	29.1	60	0.16	1	3.2	4	7

2) 손상별 원인분석



현 황	◦A1 신축이음장치 본체부식	현 황	◦A2 신축이음장치 본체부식
원 인	◦경년열화	원 인	◦경년열화
대 책	◦지속관찰	대 책	◦지속관찰



현 황	◦신축이음(A1) 차수판 볼트 탈락	현 황	◦신축이음(A2) 후타재 균열, 토사퇴적
원 인	◦장기공용	원 인	◦경년열화 및 차량충격
대 책	◦볼트 재설치	대 책	◦주의관찰 및 청소

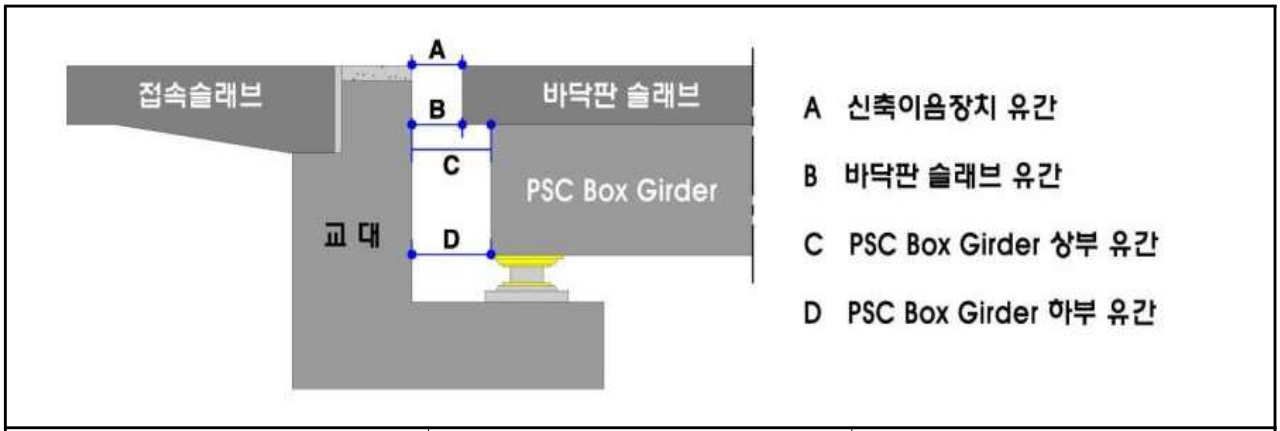
3) 기 점검결과와의 비교 · 분석

- 금회 조사 시 균열 폭 0.3mm미만 및 이상의 균열, 부식, 후타재 파손, 이물질 퇴적, 차수덮개 볼트탈락 등이 조사되었다.

나. 신축이음 신축거동상태 검토

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

1) 신축이음 유간 측정방법



신축이음장치(A1～A2)

신축유간 측정(A1)

슬래브 유간 측정(A2)

【그림 3-10】 부산방향 - 신축이음 유간 측정방법

2) 신축이음 유간

【표 3-16】 부산방향 - 신축이음 유간 측정결과

측정위치	측정값(mm)								비고
	신축이음장치(A)		바닥판(B)		거더상부(C)		거더하부(D)		
	1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차	
Rail Joint (A1)	130	150	430	450	430	450	410	430	
Rail Joint (A2)	110	130	310	320	310	320	300	310	
※ 1차 측정 : 16년 7월 13일(26.3℃) / 2차 측정 : 16년 11월 13일(17.0℃)									

- 7월(26.3℃)과 11월(17.0℃)의 온도 변화에 따른 변동량 측정결과, 이론 변동량과 차이는 보이고 있으나, 교량의 신축거동상태는 전반적으로 양호한 것으로 판단된다.

【표 3-17】 부산방향 - 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동상태 검토결과

구 분		측정유간(㎜)		변동량(㎜)		비 고
		1차	2차	실측치	이론치	
A1	신축이음장치	130	150	20	15.3	1차:26.3℃ 2차:17.0℃ 온도차:9.3℃
	바닥판 단부	430	450	20		
	거더 상부	430	450	20		
	거더 하부	410	430	20		
A2	신축이음장치	110	130	20	5.1	1차:26.3℃ 2차:17.0℃ 온도차:9.3℃
	바닥판 단부	310	320	10		
	거더 상부	310	320	10		
	거더 하부	300	310	10		

3) 신축이음 신축이동량 산정

【표 3-18】 부산방향 - 신축이음 신축이동량 산정

구 분		온도변화 (⊿T, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더 길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜)	계산 이동량(㎜)	
		동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
A1	1차	41.3	8.7	1.0×10^{-5}	165	68.1	14.3	10.00	68.1	24.3
	2차	32.0	18.0			52.8	29.7		52.8	39.7
A2	1차	41.3	8.7	1.0×10^{-5}	55	22.7	4.8	-	22.7	4.8
	2차	32.0	18.0			17.6	9.9		17.6	9.9
1) 조사당시 온도 : 1차조사 : 26.3℃ (조사일 : 2016년 07월 17일, 26.3℃) 2차조사 : 17.0℃ (조사일 : 2016년 11월 13일, 17.0℃) 2) 검토온도 : -15℃ ~ +35℃ (한랭한지방) * 신축장 100m 이상 교량의 경우 신장시에만 고려(도로설계요령, 2009)										

【표 3-19】 부산방향 - 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량 검토결과

구 분		계산 이동량(㎜)		점검당시 실측유간(㎜) ③	허용량 (㎜) ④	신축 여유량(㎜)		검토 결과
		최대 수축시 ①	최대 신장시 ②			최대 수축시 ④-(①+③)	최대 신장시 ③-②	
A1	신축이음장치	68.1	24.3	130	400	201.9	105.7	O.K
	바닥판 단부			430	-	-	405.7	O.K
	거더 상부			430		-	405.7	O.K
	거더 하부			410		-	385.7	O.K
A2	신축이음장치	22.7	4.8	110	240	107.3	105.2	O.K
	바닥판 단부			310	-	-	305.2	O.K
	거더 상부			310		-	305.2	O.K
	거더 하부			300		-	295.2	O.K
주) 판정 : 0.0㎜ ≤ 신축 여유량 ≤ 허용량 ⇒ O.K								

【표 3-19】 부산방향 - 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량 검토결과(계속)

구 분		계산 이동량(㎜)		점검당시 실측유간(㎜) ③	허용량 (㎜) ④	신축 여유량(㎜)		검토 결과
		최대 수축시 ①	최대 신장시 ②			최대 수축시 ④-(①+③)	최대 신장시 ③-②	
A1	신축이음장치	52.8	39.7	150	400	197.2	110.3	O.K
	바닥판 단부			450	-	-	410.3	O.K
	거더 상부			450		-	410.3	O.K
	거더 하부			430		-	390.3	O.K
A2	신축이음장치	17.6	9.9	130	240	92.4	120.1	O.K
	바닥판 단부			320	-	-	310.1	O.K
	거더 상부			320		-	310.1	O.K
	거더 하부			310		-	300.1	O.K
주) 판정 : 0.0㎜ ≤ 신축 여유량 ≤ 허용량 ⇒ O.K								

다. 검토의견

- 본 교량의 신축거동상태를 확인하기 위해 신축이음장치, 바닥판 및 거더 상·하부에 대한 유간을 측정하기 위하여 7월(26.3℃), 11월(17.0℃)에 2회 측정하였다.
- 상부구조의 온도변화에 의한 신축거동에 따른 신축유간의 여유량 확보여부 검토결과, 전반적으로 신축이음 유간은 신장 및 수축 시 여유량을 확보하고 있는 것으로 측정되었고 현재 신축이음의 가동상태는 양호한 것으로 판단된다.

3.2.5 교면포장

- 바닥판 상면에 위치하여 차량에서 발생하는 진동을 흡수·분산시키고, 외부의 불리한 환경조건에 대해서 바닥판을 보호하는 역할을 하는 교면포장은 아스팔트 포장으로 시공되어 있다. ASP 포장은 연성포장으로서 승차감 및 진동소음에 좋으나, 유지 관리 시 손상에 따라 보수보강 비용이 증가되는 단점을 가지고 있으며, 상부의 하중을 표층 기층 보조기층에 전달하는 역할을 한다.
- 본 교량의 교면포장은 아스콘 포장으로 시공되어 있다.

교면포장 전경(1)	교면포장 전경(2)

1) 외관조사 결과

- 본 교량의 포장은 아스팔트포장으로 기 2012년 정밀안전진단에서 S4경간 포장부에 대한 코어채취결과 방수층 및 바닥판의 손상은 없는 것으로 조사되었다.
- 포장두께의 측정결과는 각각 t=80mm로 측정되어 설계두께인 t=80mm와 유사한 것으로 확인되었다.
- 교면포장에 대한 외관조사 결과, 차량 주행의 안전성을 저해할만한 손상은 없는 상태이나, 포장균열 및 망상균열이 대부분 주행차로인 2차로 및 갓길에서 부분적으로 조사되었다.
- 포트홀은 일부구간에서 9개소가 조사되었고, 포장의 표면마모 현상은 9개소(S1,2,3,5)가 조사되었다.
- 교면포장에 대하여 전차 손상 및 현장조사에서 특이한 사항이 없으므로 기존 전차 보고서를 인용했다. 기존 2012년 정밀안전진단에서 코어를 채취한 결과, 포장두께는 8.1~8.2㎝로 설계 포장두께(t=8.0㎝)와 유사한 것으로 확인되었으며, 교면포장 및 방수층 상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었다.

【표 3-20】 부산방향 - 교면포장 외관조사 결과

구분	균열				열화 및 손상			
	아스콘 균열 (m)		아스콘 망상균열 (㎡)		포트홀(㎡)		표면마모(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	-	-	-	-	0.3	6	18.50	2
S2	52.00	4	21.00	2	0.65	2	17.5	3
S3	9.50	4	-	-	0.04	1	12.00	2
S4	2.50	2	-	-	-	-	-	-
S5	8.70	3	-	-	-	-	7.50	2
합계	72.7	13	21	2	0.99	9	55.5	9

2) 손상별 원인분석

현 황	아스콘 균열	현 황	망상균열
원 인	반복하중, 전압부족, 공용기간 증가	원 인	반복하중, 공용기간 증가
대 책	실링재 주입	대 책	주의관찰

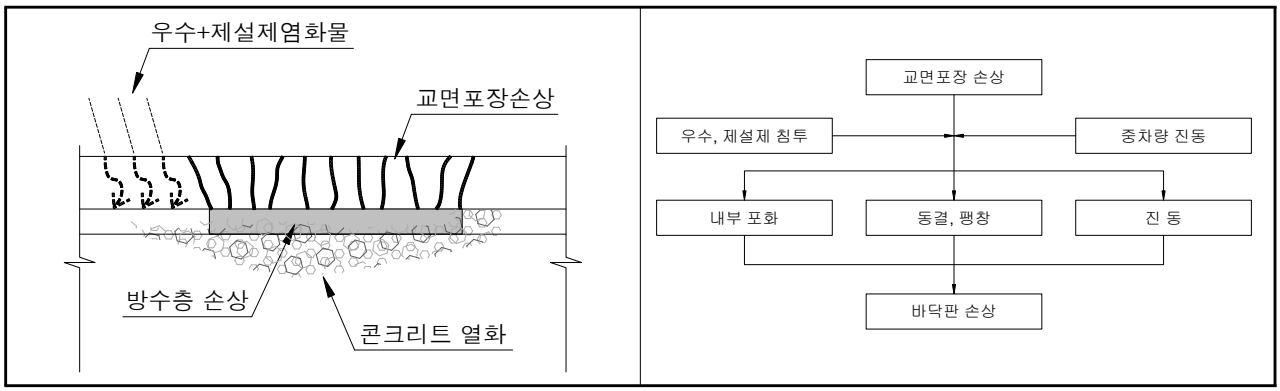
현 황	소성변형	현 황	아스콘 마모
원 인	도로사용 환경요인	원 인	반복하중, 공용기간 증가
대 책	부분 재포장	대 책	부분 재포장

3) 기 점검결과와의 비교・분석

- 기존 정밀안전진단 결과 일부 소성변형, 망상균열, 아스콘 패임이 조사된 것으로 확인되었으나, 금회 조사 시 전반적으로 공용기간 증가에 따른 손상은 증가한 것으로 조사되었다.

4) 검토의견

- 본 교량의 교면포장은 대부분 주행차로인 2차로 및 갓길에서 부분적으로 망상균열 및 일방향성 균열 형태의 손상이 대부분의 경간에 부분적으로 조사되었고, 일부구간 마모가 조사되었으며, 이는 차량의 반복하중 및 전압부족, 공용기간 증가, 도로사용 환경요인 등에 의해 발생된 것으로 판단된다.
- 마모 및 망상균열로 인해 경간별 포장불량율이 10%이상인 포장손상 심화구간 및 평탄성, 주행성이 저하된 구간은 포장층의 내구성 저하와 더불어 포장내부로 우수 및 제설염화물 등 유해물질의 침투가 발생하고, 아스팔트 교면포장과 콘크리트 바닥판의 경계면에 장기체류하면서 동절기 동안 동결융해 작용을 거쳐 바닥판 콘크리트의 상면의 열화손상이 우려되므로 보수가 필요하고, 포장불량율이 10%이하인 구간은 바닥판 상태가 누수가 없는 양호한 상태이므로, 현재 시점에서 소성변형 및 포트홀 등의 손상진전 시 재포장 시기를 결정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.



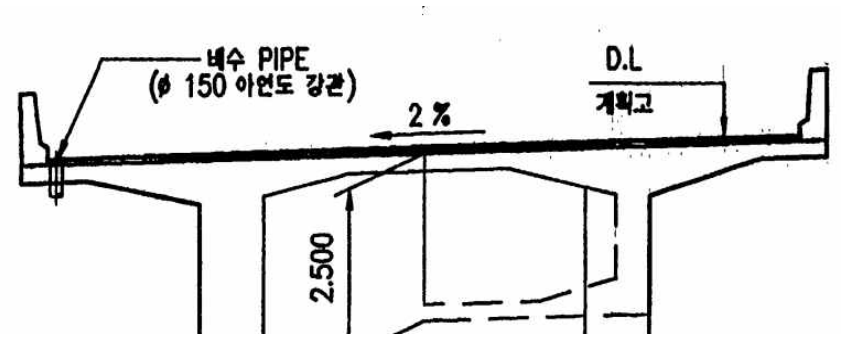
【그림 3-11】 포장손상으로 인한 바닥판 손상발생 모식도 및 흐름도

- 포트홀은 소규모 형태로 차량 주행성에 영향은 적은 상태이나, 주행차량의 충격에 의해 손상의 진전 및 추가손상이 발생할 우려가 있으므로, 내구성 확보를 위해 포장보수가 필요하다.
- 전차진단(2012년)과 비교할 때, 일부 소성변형, 망상균열, 아스콘 패임이 조사된 것으로 확인되었으나, 금회 조사 시 전반적으로 공용기간 증가에 따른 손상은 증가한 것으로 조사되었다.

3.2.6 기타부재

가. 배수시설

- 배수시설은 우수 유입에 따른 열화방지를 위해 일정한 곳으로 물을 배출하기 위한 시설로서, 본 교량은 종단기울기 0.819%로 배수시설은 횡단기울기 2.00%의 하향기울기에 위치되도록 설계되었으며, 배수관은 아연도 강관으로 관경은 Φ150인 것으로 조사되었다. 배수구 상면에는 쓰레기 등의 이물질 혼입을 방지하기 위한 그레이팅(Grating)이 설치되어 있다

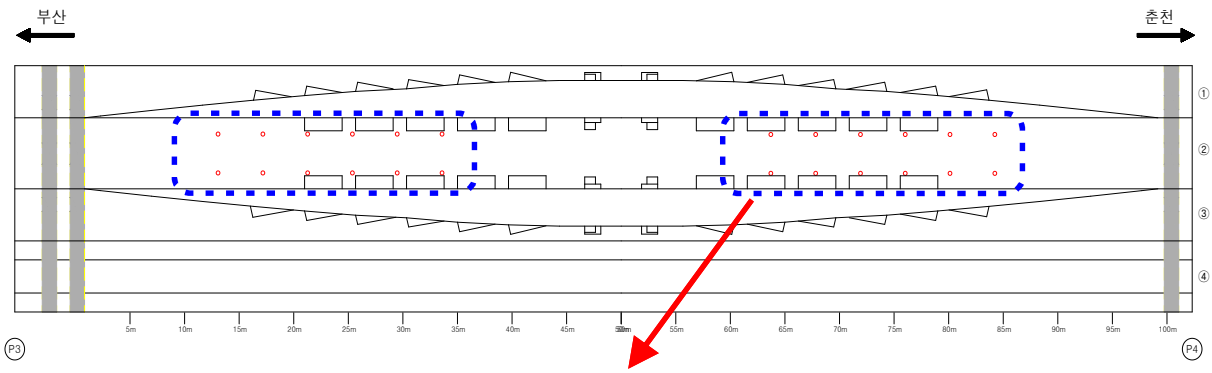


배수구 전경	배수관 전경

【그림 3-12】 부산방향 - 외부 배수구 전경

【표 3-21】 PSC 거더 내부 배수홀 현황

경 간	S1	S2	S3	S4	S5	소계
설치개수	14	24	24	24	14	100



【그림 3-13】 부산방향 - 내부 배수시설 현황

1) 외관조사 결과

- 배수시설에 대한 외관조사 결과, 배수시설의 설치상태 및 교면의 배수상태는 전반적으로 양호한 상태이며 우수시 배수상태는 양호한 것으로 판단되며 이물질 퇴적에 의한 배수구 막힘 1개소 및 부식, 파손, 지지대 탈락 등이 조사되었다.

【표 3-22】 부산방향 – 배수시설 외관조사 결과

구분	표면열화			
	부식	파손	지지대탈락	막힘
	개소	개소	개소	개소
S1	5	2	1	–
S2	1	–	2	–
S3	–	–	5	–
S4	2	–	–	–
S5	–	–	–	1
합계	8	2	8	1

2) 손상별 원인분석

현 황	배수관 부식	현 황	배수관 이음부 부식
원 인	연결부 우수 유입	원 인	이음부 우수유입
대 책	주의관찰	대 책	부분 재도장
현 황	배구관 연결부 부식	현 황	배수관 덮개 그레이팅 상태 양호
원 인	연결부 우수 유입		
대 책	부분 재도장		

3) 기 점검결과와의 비교・분석

- 외관조사 결과, 교량의 배수관 길이 및 연결 상태는 전반적으로 양호하나, 일부 공용년수 증가에 따른 지지대 탈락과 배수관 연결부 부식이 조사되어 원활한 배수기능 확보 및 구조물의 내구성을 고려한 보수 및 유지관리가 필요한 상태이다.

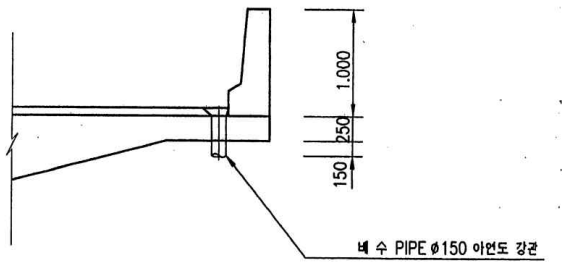
4) 검토의견

- 배수구 막힘의 유형은 이물질(토사, 쓰레기 등)에 의해 우수받이 부위가 막힌 것으로 확인되었고, 교량 종단구배로 교면체수가 없는 상태이고, 배수기능에는 문제가 없으므로, 배수System 개선보다는 지속적인 청소를 실시하면 문제가 없을 것으로 판단된다.

- 배수관지지대의 탈락은 교량의 신축거동 및 차량진동으로 인해 배수관의 추가적인 손상의 원인이 될수 있으므로 보수가 필요하며, 배수관 끝단부의 부식 역시 재도장을 통한 국부적인 보수가 이루어져야 할 것이다.
- 바닥판 하면의 배수관 설치부에서는 배수관지지대의 탈락(8개소)와 배수관 끝단의 부식(8개소)이 조사되었다.

나. 방호벽

- 차량의 이탈방지, 사고시 완충작용 등의 역할을 하는 방호벽은 철근콘크리트 구조로 되어 있으며, 신축이음부에는 차수덮개판이 설치되어 있다.
- 방호벽에 대한 실측 제원조사 결과, 교량의 난간(방호울타리) 높이는 실측결과 135cm로 측정되어, 설계도면의 100cm보다 다소 높게 시공되어진 것으로 조사되었다. 외측 난간(차량진행방향 우측)위로 안개와 강설바람 차단을 위한 방풍벽이 설치되어있다.

	
방호벽 전경	방호벽 단면도(준공도)

1) 외관조사 결과

- 방호벽에 대한 외관조사 결과, 전반적인 설치상태는 침하 및 변형 등이 없는 양호한 상태를 유지하고 있으나, 전 경간에 걸쳐서 균열, 균열부 백태가 다수 발생된 것으로 조사되었고, 일부구간에는 망상균열이 조사되었다.
- 피복부족에 의한 철근노출 및 국부적인 파손 및 박리 등이 일부구간에서 소규모로 조사되었다. 특히, 철근노출은 외측 방호벽측에서 조사되었다.

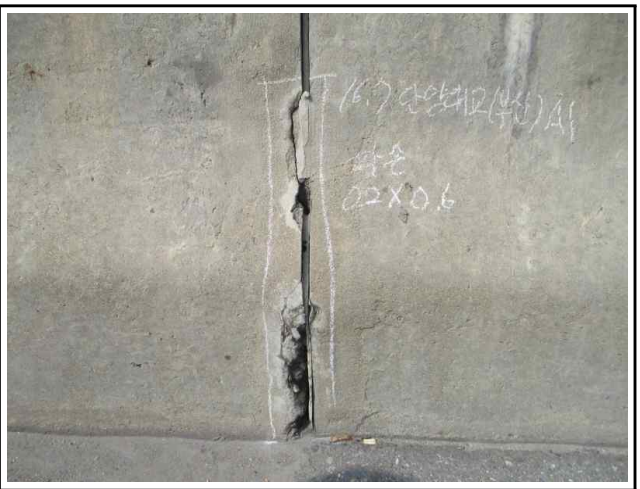
【표 3-23】 부산방향 - 방호벽 외관조사 결과

구분	균열						열화 및 손상	
	균열 Cw=0.3㎜미만 (m)		균열 Cw=0.3㎜이상 (m)		망상균열 Cw=0.3㎜미만 (㎡)		균열 및 백태(m)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	32.6	32	1.00	1	0.12	1	-	-
S2	-	-	-	-	-	-	112.7	55
S3	-	-	-	-	-	-	250.1	51
S4	5.80	4	-	-	-	-	208.9	37
S5	-	-	-	-	2.25	1	120.8	34
합계	38.4	36	1	1	2.37	2	692.5	177

【표 3-23】 부산방향 - 방호벽 외관조사 결과(계속)

구분	열화 및 손상							
	박리(㎡)		박락(㎡)		파손(㎡)		철근노출(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	-	-	-	-	0.21	2	0.87	11
S2	-	-	0.12	1	-	-	-	-
S3	-	-	-	-	0.02	1	-	-
S4	-	-	-	-	3.00	1	0.64	1
S5	0.18	1	-	-	0.25	1	-	-
합계	0.18	1	0.12	1	3.48	5	1.51	12

2) 손상별 원인분석



현 황	철근노출	현 황	단면파손
원 인	피복두께 부족	원 인	외부충격
대 책	단면보수(방청)	대 책	단면보수

현 황	균열부 백태	현 황	박락(S4)
원 인	균열부 우수유입	원 인	외부 충격
대 책	주입보수	대 책	단면보수

3) 기 점검결과와의 비교・분석

- 기존 정밀안전진단 결과 조사된 손상은 일부 보수가 확인되었으나, 금회 조사 시 공용기간 증가에 따른 균열, 균열부 백태, 철근노출, 박락 등의 손상이 조사되었다.

4) 검토의견

- 난간(방호울타리)에 발생한 균열 및 균열부 백태는 대부분 c/w=0.1~0.2mm의 균열로 조사되었다. 손상원인은 선시공된 바닥판에 난간이 후타설되면서 발생한 구속응력에 기인한 부등건조수축균열과 타설시 내부에 수화반응을 하고 남은 잉여수가 증발함에 따라 발생한 수축균열에 기인한 것으로 판단된다. 방호벽에 발생한 균열은 방치시 균열폭 증가 및 우수침투로 인한 백태 발생 우려가 있으므로, 균열폭에 따른 적절한 보수가 이루어져야 할 것으로 판단된다.
- 차량충돌 등 공용 중 발생한 외부충격에 의한 박리, 박락등의 단면결손부가 발생하였으며, 최근 차량이 방호울타리와 충돌한 뒤 도로 밖으로 이탈하는 사고가 자주 발생발함에 따라 차량방호울타리의 안전에 대한 중요도가 증대되고 있는 실정으로 내구성 확보와 운전자의 안전을 위해 단면결손부에 내구성 확보를 위해 국부적인 단면보수가 요구된다.
- 철근노출은 피복부족 등에 의한 손상이므로 내구성 확보를 위해 단면보수 등이 요구된다.

다. 점검시설

- 본 교량의 하부구조 점검시설은 받침장치 설치부인 교대(A1,A2)와 교각(P1)에 설치되어 코핑부 및 받침장치에 대해서 점검이 가능하도록 이루어져있다.
- 외관조사결과, 교대 및 교각점검로의 상태는 비교적 양호하며 A2교대의 점검로에 국부적인 부식이 확인되어, 부식방지를 위한 재도장이 이루어져야 할 것이다.

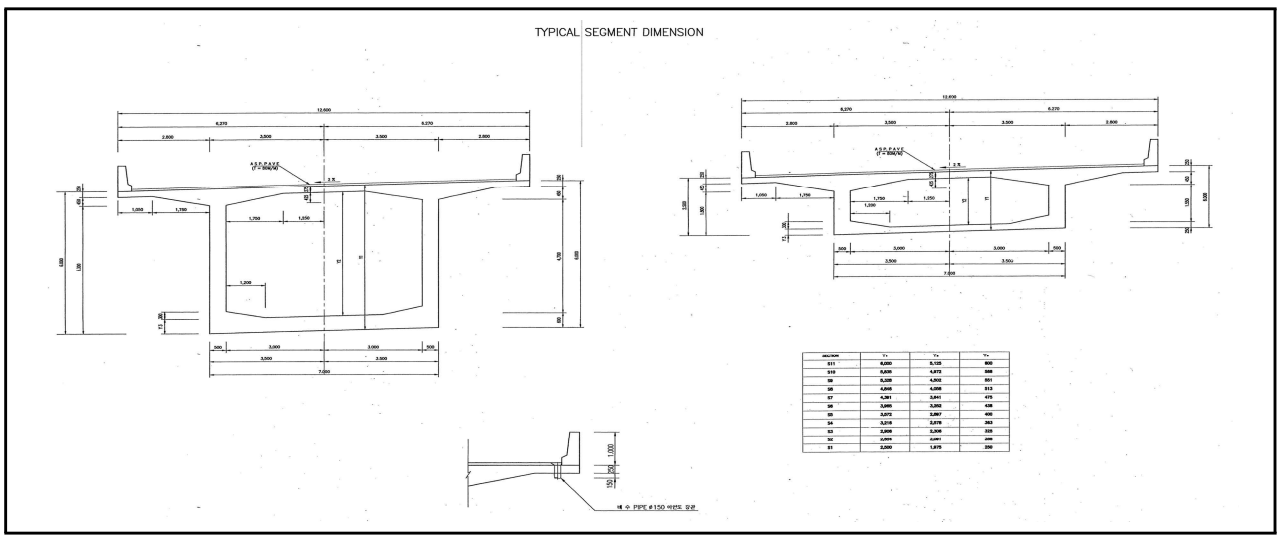
현 황	점검로 상태양호(A1)	현 황	점검로 상태양호

3.3 외관조사(춘천방향)

3.3.1 상부구조

가. PSC 박스거더(내부)

- PSC Box Girder교의 경우 상·하부 플랜지와 복부판이 일체가 되어 있는 거더로서, 본 교량은 총 5경간으로 구성되어 있으며, 전경간 PSC Box Girder교로 FCM공법으로 시공되어졌다.
- 따라서, 프리스트레스력 저하를 유발시킬 수 있는 정착블럭의 변형이나 파손상태 유·무, 정모멘트 구간의 휨균열 여부를 금번 진단 시 집중적으로 조사하였다.
- 거더에 대한 외관조사는 박스 내부 바닥판 및 복부 조사시 도보에 의한 근접 외관조사를 실시하였다.



【그림 3-14】 단양대교(춘천) 상부구조 횡단면도

PSC 박스거더(내부) 전경(1)

PSC 박스거더(내부) 전경(2)

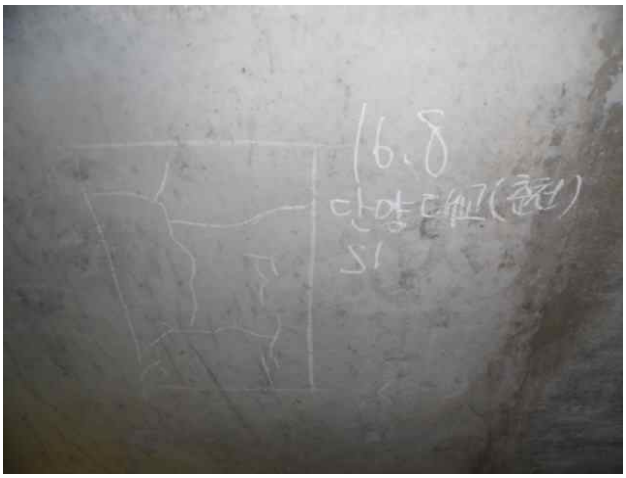
1) 외관조사 결과

- 2012년도 실시된 하자만료전 보수공사 이후 거더 내부에 발생한 손상에 대해 하자보수가 전반적으로 완료된 상태이며, 금회 진단 결과 거더 복부 종방향 균열, 박락 등의 손상이 조사되었다.
- 전차 정밀안전진단 시 조사된 주요 손상은 상부플랜지, 복부의 손상은 대부분 c/w=0.3mm미만의 종방향 균열과 망상균열 등의 손상이 조사되었다. 전반적으로 보수가 완료된 상태이며, 보수상태는 양호한 것으로 조사되었다.
- 거더 상부플랜지에서 폭 0.3㎜미만의 종방향 균열 9개소가 발생하였으며, 내부 상부플랜지에 발생한 종방향 균열은 대부분 일정한 방향성 없이 분절된 형태로 균열의 연속성이 없는 불연속 형태를 나타내는 것으로 조사되었다. 대부분의 균열은 시공초기 발생한 거더 내·외부의 온도차이로 인한 건조수축 균열이며 시공과정에서 발생된 균열로 평가된다.
- PSC 박스 내부에서 발생한 0.3㎜미만 균열은 주기적인 점검 등을 통한 지속관찰을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 거더 S2구간 복부 콘크리트 박리(1개소)이 조사되었다.

【표 3-24】 춘천방향 - PSC 박스거더(내부) 외관조사 결과

구분	균열		열화 및 손상							
	균열 Cw=0.3㎜미만 (m)		박락(㎡)		균열 및 백태 (m)		백태(㎡)		누수흔적(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	3.00	1	-	-	-	-	-	-	-	-
S2	-	-	-	-	-	-	0.5	2	-	-
S3	-	-	-	-	0.50	1	0.07	2	-	-
S4	-	-	0.15	1	-	-	-	-	1.05	1
S5	-	-	-	-	-	-	0.40	5	0.72	1
합계	3	1	0.15	1	0.5	1	0.97	9	1.77	2

2) 손상별 원인분석

			
현 황	◦S1-상부플랜지 망상균열	현 황	◦S2-복부 박락
원 인	◦시공시 건조수축	원 인	◦외부 충격
대 책	◦주의관찰	대 책	◦주의관찰
현 황	상부플랜지 보수상태	현 황	◦복부 보수상태

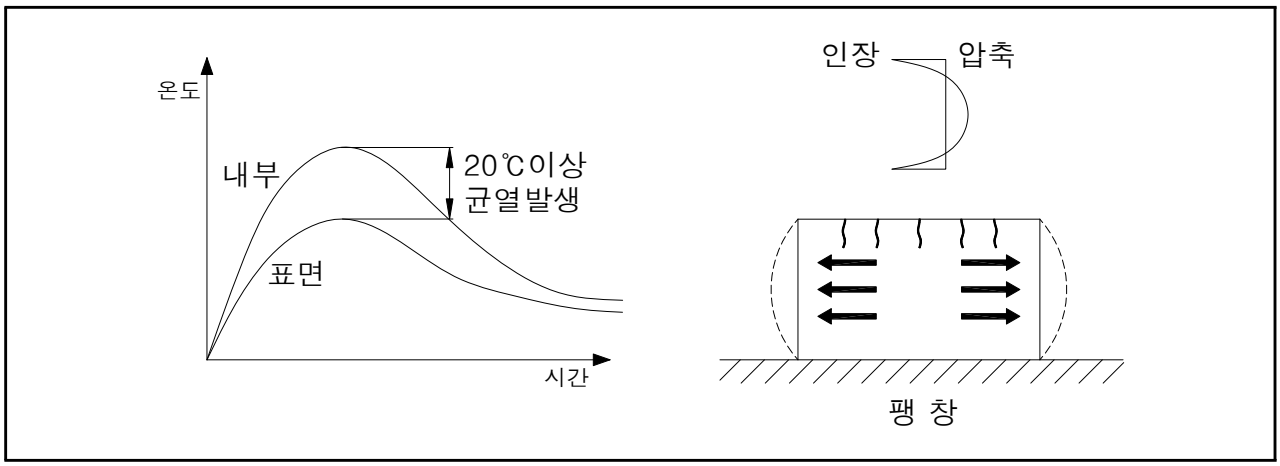
3) 기 점검결과와의 비교・분석

- 기존 정밀안전진단 결과 조사된 손상은 보수가 완료되었으며, 금회 정밀안전진단 조사 시 균열 및 박락 등이 조사되었다.

4) 검토의견

- PSC 박스 내부에 발생한 종방향 균열은 전 경간에 걸쳐 분포하고 있는 것으로 확인되었다. 조사된 균열은 폭 0.3㎜미만로서 균열 보수부를 감안할 때 일정한 간격으로 방향성과 규칙성을 가지고 있고, 균열 길이양상이 1.0m 이내로 분절되어 연속성이 없는 형태를 띄고 있는 것으로 나타났다. 종방향으로 발생한 균열은 시공초기 콘크리트 내・외부의 온도차이로 인한 부등건조수축 등이 주원인으로 판단된다. 부가적으로 균열보수부

도 전반적으로 양호한 상태인 것으로 미루어 볼 때, 발생된 균열은 장경간 교량의 구조적 특성과 단면특성에 의한 처짐, 진동, 대단면 등의 영향이 복합적으로 작용한 것으로 판단된다.



【그림 3-15】 수화열에 의한 균열발생 메커니즘

나. PSC 박스거더(외부)

- PSC Box Girder교의 경우 상·하부 플랜지와 복부판이 일체가 되어 있는 거더로서, 거더 외부는 상부 플랜지를 및 복부 외부를 포함하여 진단을 실시하였다.
- 박스 외부는 교량점검차 및 고소점검차를 이용하여 근접 외관조사를 실시하였고, 전차 진단시 조사되었던 0.3mm미만 균열 및 백태, 재료분리 등에 대해 집중적으로 조사하였다.

PSC 박스거더(외부) 전경(1)	PSC 박스거더(외부) 전경(2)

1) 외관조사 결과

- PSC 박스 외부에서 폭 0.3㎜미만 균열(104개소)이 연속성이 없이 부분적으로 조사되었다. 또한, 균열 발생형태 및 위치상으로 전단균열 형태를 보이고 있으나, 이 손상은

상·하부 정착단에서 프리스트레스 도입 초기(강선 인장시) 긴장력과 시공초기 가설 후에 발생한 시공초기 균열로 판단된다.

- 캔틸레버 바닥판에 균열, 박리, 박락, 백태, 누수흔적이 발생하였으며, 외측 캔틸레버하면 국부적으로 조사되었다.
- 일부 기 보수된 보수부 상태 점검결과 보수부 재균열 등은 발생하지 않은 양호한 상태로 확인되었다.

【표 3-25】 춘천방향 - PSC 박스거더(외부) 외관조사 결과

구분	균열				열화 및 손상	
	균열 Cw=0.3㎜미만(m)		망상균열 Cw=0.3㎜미만(㎡)		균열 및 백태(m)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	20.40	18	-	-	-	-
S2	34.40	23	5.00	1	0.50	1
S3	23.80	26	-	-	-	-
S4	40.40	32	-	-	-	-
S5	3.70	7	-	-	-	-
합계	122.7	106	5	1	0.5	1

2) 손상별 원인분석

현 황	◦S1 거더 복부 사방향 균열 (0.2㎜)
원 인	◦시공초기 균열
대 책	◦지속관찰

현 황	◦S3 거더 복부 사방향 균열 (0.2㎜)
원 인	◦시공초기 균열
대 책	◦지속관찰

현 황	◦S5 캔틸레버 측면 백태	현 황	◦S2 하부플랜지 상태
원 인	◦방호벽 기초 다짐불량		
대 책	◦표면보수		

3) 기 점검결과와의 비교・분석

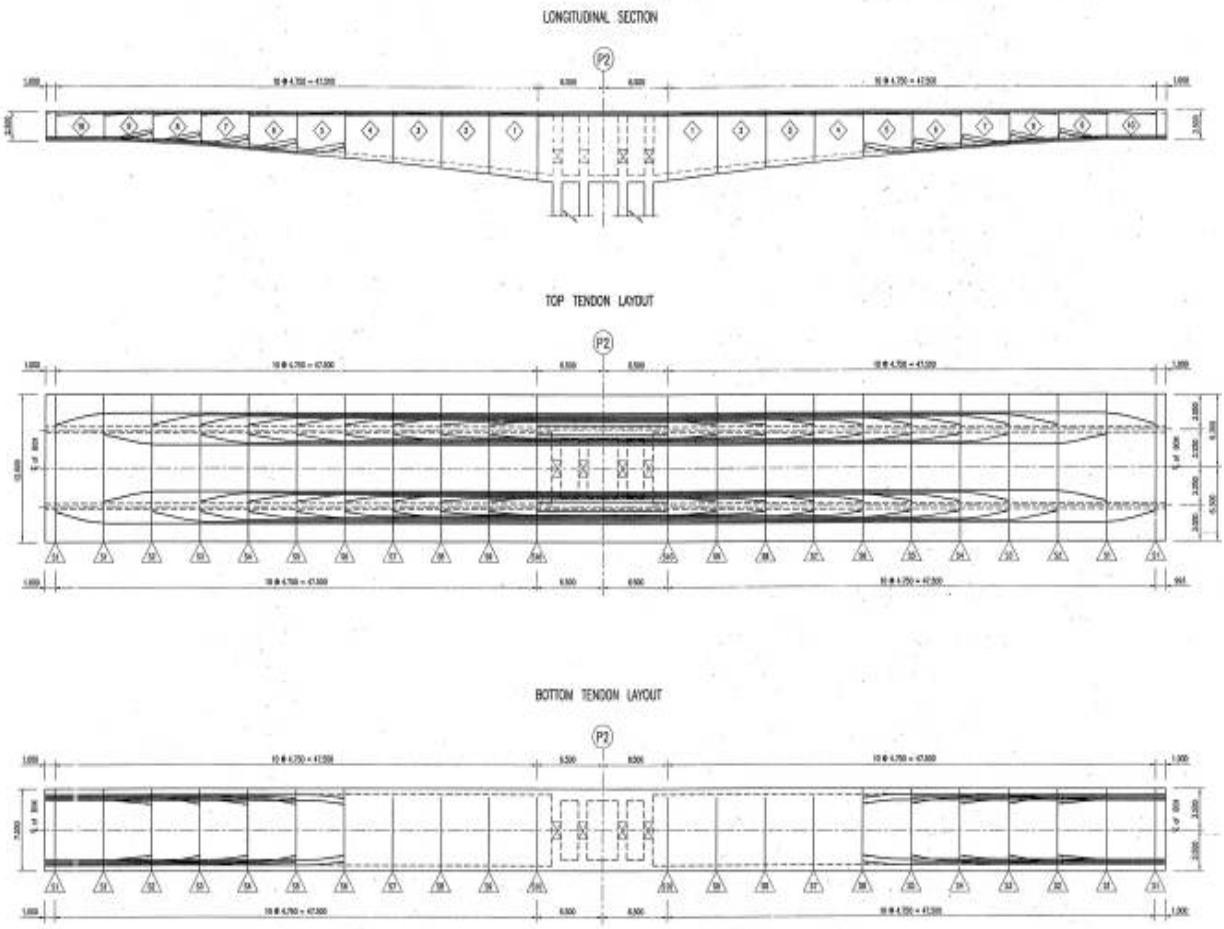
- 기존 정밀안전진단 결과 조사된 손상은 12년 7월 하자보수를 통하여 일부 보수가 완료된 것으로 확인되었으나, 금회 정밀안전진단 조사 시 균열 및 균열부 백태, 망상균열, 박리, 박락, 백태 등이 조사되었다.

4) 검토의견

- 복부 외부에 발생한 cw=0.3mm미만의 사방향 균열은 발생 형태 및 위치상으로 전단균열 형태를 보이고 있으나, 이 손상은 상・하부 정착단에서 프리스트레스 도입 초기(강선 인장시) 긴장력과 시공초기 가설 후에 발생한 시공초기 균열로 판단된다.
- 캔틸레버 바닥판에 누수흔적 및 백태가 발생하였으며, 외측 캔틸레버하면에서 국부적으로 조사되었다. 이는 상부 배수구 막힘에 의한 부분적인 체수의 영향으로 배수구 주변에서 우수가 점진적으로 스며드는 상태이다.
- 캔틸레버 바닥판 하면은 방호벽 기초와 교면포장 경계면에서 상대적으로 다짐이 불량하거나 아스콘 마모가 진행된 미세한 틈으로 우수가 유입되어 누수흔적 및 백태가 발생한 것으로 판단된다.
- 백태는 콘크리트 중의 가용성분이 수분에 용해되어 표면에 석출된 백색의 침전물로서 균열선을 따라 나타나는 선상백태와 광범위한 면적으로 표출되는 면백태로 구분되며 경년열화로 나타나는 경우가 대부분이지만 시공초기에서도 관찰되는 열화현상이다. 노후화로 인한 면백태나 누수를 동반하는 백태는 품질저하가 확연하지만 본 구조물에서

나타나는 백태는 이러한 특징을 나타내지 않는다. 따라서 보수의 시급성을 요하지는 않지만 장기적인 내구성저하 방지를 위해 표면보수가 필요하다.

- 전차진단(2012년)시 조사된 내용과 비교할 때, 기 진단시 조사된 PSC Box 외부의 손상은 일부 보수된 상태로써, 일부 공용에 따른 손상증가 및 조사누락 등으로 조사되었다.



【그림 3-16】 Tendon Layout

다. 격벽

- 격벽은 교량의 각 지점부에 총 17개소(A1측:1개소, P1측:3개소, P2측:4개소, P3측:4개소, P4측:4개소, A2측:1개소)가 설치되어 있다.
- 현장조사 및 유지관리 자료 검토결과, 전차진단시 조사된 손상에 대해서는 대부분 12년 하자보수가 실시된 상태인 것으로 확인되었다.

격벽 보수상태 양호	격벽 보수상태 양호

1) 외관조사 결과

- 벽체 개구부의 모서리에는 건조수축, 온도변화, 외력 등으로 인한 응력집중발생으로 균열이 발생하기 쉬운 곳이다. 현재 격벽에서 발생한 손상은 2012년 하자보수를 통해 대부분 보수가 완료되었다.

3.3.2 하부구조

가. 교대

- 교대는 교량 상부구조 하중을 지반으로 전달하며, 교량 전체 구조의 안전성을 위해 중요한 역할을 수해하는 구조부재이다.
- 단양대교의 하부구조는 구주식 교각으로 인근에 운항되는 충주호 유람선에서 바라보는 미관을 감안하여 긴 교각의 단조로움을 없애기 위하여 쌍기둥(twin-column) 형태로 시공되어졌다. 교각의 높이가 103m로 국내에 건설된 교량 가운데 가장 높으며, 국내 최초로 초고교각 타설공법인 셀프클라이밍폼(Self Climbing Form ; 타워크레인 없이 여러 개의 유압펌프 장치를 이용하여 압력으로 폼을 위로 올리는 공법)이 적용되었다.

교대 전경 (A1)	교대 전경 (A1)

1) 외관조사 결과

- 교대에 발생한 균열은 미세균열(폭 0.3㎜미만, 이상)로써, 대부분의 균열의 유형은 수직균열 형태를 나타내고 있다.
- 교대의 기타 손상으로는 백태, 재료분리, 파손 및 철근노출(A1), 박리, 박락 등이 조사되었다.

【표 3-26】 춘천방향 - 교대 외관조사 결과

구분	균열						열화 및 손상			
	균열 Cw=0.3㎜미만 (m)		균열 Cw=0.3㎜이상 (m)		망상균열 Cw=0.3㎜미만 (㎡)		박리(㎡)		재료분리(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
A1	17.74	19	3.7	2	0.48	1	0.07	1	-	-
A2	24.60	15	5.60	4	2.45	3	1.01	3	0.02	1
합계	42.34	34	9.3	6	2.93	4	1.08	4	0.02	1

【표 3-26】 춘천방향 - 교대 외관조사 결과(계속)

구분	열화 및 손상											
	균열 및 백태 (m)		박락(㎡)		백태(㎡)		강판부식(㎡)		파손(㎡)		철근노출(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
A1	5.6	3	0.81	2	1.80	2	1.51	3	-	-	-	-
A2	-	-	-	-	0.06	1	-	-	0.25	1	0.04	1
합계	5.6	3	0.81	2	1.86	3	1.51	3	0.25	1	0.04	1

2) 손상별 원인분석

현 황	◦A1 흉벽 균열부 백태	현 황	◦A1 0.4mm 수직균열
원 인	◦균열부 수분유입	원 인	◦건조수축
대 책	◦단면보수	대 책	◦주입보수

3) 기 점검결과와의 비교・분석

- 교대A1, A2에 대한 외관조사 결과 국부적으로 수직균열 및 소규모 파손, 재료분리 등이 조사되었으나 구조적 안전성에는 큰 영향이 없을 것으로 판단되며 향후 장기적인 내구성 확보 차원에서 보수가 필요할 것으로 판단된다.
- 교대의 기존 손상은 금회 외관조사 결과시 기존 발생된 균열의 진행은 없는 것으로 조사되었다.

4) 교대측 부대시설 현황

단양대교의 A1, A2의 사면 및 점검계단, 배수로에 대한 외관조사 결과, 대부분 양호한 상태를 보였으나 A2교대측 사면의 국부적 침하로 인한 압성토사면의 국부적인 침하가 조사되었다.

압성토 사면의 침하(A2)	점검계단 파손(A1)

【표 3-27】 춘천방향 - 부대시설 상태

5) 검토의견

- 교대에 발생된 균열은 대부분 일방향성 균열이고, 주철근 방향과 평행한 수직균열 형태이므로 균열의 형상, 방향성, 발생 위치 등을 고려해 볼 때, 콘크리트 재료적 특성인 시공초기 건조수축 및 공용 중 온도변화에 의해 발생한 것으로 판단된다. 교대의 균열은 대부분 미세균열 형태이므로 지속적인 유지관찰이 필요하다.
- 수직균열은 발생위치 및 유사한 유형의 균열보수흔적으로 미루어 볼 때 하중에 의한 균열이 아니라, Massive한 기둥부에서 시공초기 수화열에 의한 내외부 온도차 및 건조수축균열로 판단되며, 기둥의 하단부에서 발생한 수평균열은 균열의 규모가 작고(L=1.2, 6.0m) 발생위치로 미루어 볼 때, 기둥 분할타설시 다짐부족, 급속타설 등에 의한 시공초기 균열로 판단된다.
- 교대 A2 압성토 사면은 배수 불량 및 급경사에 의해서 사면침하, 토사유실 등이 조사되었다.

→ 교대 A2측의 압성토 유실은 그 정도가 전도에 영향을 미칠 정도는 아닌 것으로 판단되나, 하부로 단양군 적성명~단양군 단양읍으로 이어지는 군도가 지나고 있어 유실된 토사들로 인한 교통통행에 위험요소를 될 수 있으므로 교대 보호 블록공 설치가 필요할 것으로 판단된다.

나. 교각

- 상부구조를 지지하는 구조물인 교각은 4기로 구성되어있다. 교각의 형식은 구주식(P1~P4)으로 시공되어져 있다.
- 교각에 대한 외관조사는 도보 및 사다리를 이용하였으며, 장비 접근이 가능한 P1, P4, 교각에 대해서는 고소점점차를 이용하였으며, 그 외에 장비접근이 곤란한 교각에 대해서는 드론을 활용하여 손상 여부를 확인하였다.

교각 전면 전경 (P2)	교각 측면 전경

P1 후면 현장조사 (드론사용)	P2 전면 현장조사 (드론사용)	P3 후면 현장조사 (드론사용)	P4 전면 현장조사 (드론사용)

1) 외관조사 결과

- 교각에 발생한 균열은 미세균열(폭 0.2㎜이하)로써, 대부분의 균열의 유형은 수직균열 형태로 교각 상단부와 기초부에 집중적으로 나타내고 있다.
- 균열 폭 0.3㎜이상의 균열은 균열 양상이 수직균열로 발생한 부위가 전면 상단부로 동일하게 조사되었다.

【표 3-28】 춘천방향 - 교각 외관조사 결과

구분	균열		열화 및 손상		기초	
	균열 Cw=0.3㎜미만(m)		철근노출		망상균열 Cw=0.3㎜미만(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소
P1	-	-	0.12	6	120.00	1
P2	0.2	2	-	-	120.00	1
합계	0.2	2	0.12	6	240.00	2

2) 손상별 원인분석

현 황	◦P3 기초부 균열	현 황	◦P2 기초부 균열
원 인	◦시공초기에 발생된 균열	원 인	◦시공초기에 발생된 균열
대 책	◦주입보수	대 책	◦주입보수

3) 기 점검결과와의 비교· 분석

- 단양대교(춘천)의 하부구조는 전반적으로 양호한 상태였으며 교각 구체의 경우 거의 손상이 없는 매우 양호한 상태인 것으로 조사되었다.
- P2,3의 교각 기초부에 대한 외관조사 결과 시공초기에 발생된 수직균열이 다수 조사되었으며 공용 중 균열진행성은 없었던 것으로 조사되었다. 하지만 수중구조물의 경우 비구조적 균열이라 하더라도 철근부식 및 열화의 진행속도가 빨라 기초발생균열에 대해서는 전반적인 보수가 이루어져야 할 것이다.

4) 검토의견

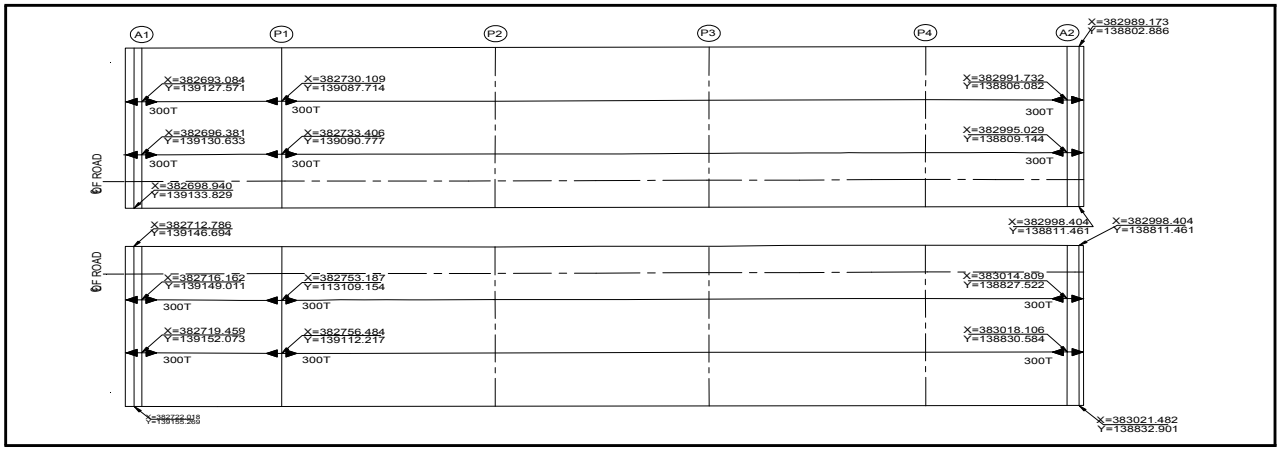
- 교각에 발생한 균열은 주로 교각 기둥상단부위(교량 점검로 위) 및 기둥의 전면에 대부분 분포하고 있는 것으로 조사되었고, 전차진단시 조사된 유사한 균열형태로 확인되었다.
- 교각상단부 수직균열은 발생위치 및 유사한 유형으로 미루어 볼 때 하중에 의한 균열이 아니라, Massive한 기둥부에서 시공초기 수화열에 의한 내외부 온도차 및 건조수축균열로 판단된다.

3.3.3 교량받침

- 교량 받침장치는 상부구조에 작용하는 하중을 하부구조에 전달하는 기능을 갖는 교량의 부속장치로서 하중에 의해서 상부구조에 발생되는 변위와 온도변화 및 크리프에 의해 발생되는

교량의 변위, 변형에 대해서도 흡수 또는 저항하는 구조 요소이므로 받침본체의 기능상태, 편기상태, 부식, 몰탈 및 콘크리트의 균열 파손 등에 대하여 점검을 실시 하였다.

- 본 교량의 받침은 전구간 Pot Bearing으로 교대(A1,A2) 및 교각(P1)에 거더당 2개소씩 총 6개소가 시공되어 있으며, 전개소 일방향 가동단으로 구성되어 있다. 교량받침 현황은【그림 3-17】다음과 같다.



【그림 3-17】교량받침 배치도

가. 외관조사

1) 외관조사 결과

- 교량 받침장치는 상부구조에서 발생된 하중을 하부구조로 전달하고 상부구조의 신축 및 회전에 능동적으로 대응하는 부재이며, 본 조사에서는 과반력 및 부반력 발생 여부, 온도변화 및 활하중에 의한 신축거동 여부 뿐만 아니라 강재 부식, 콘크리트 손상 여부 등 내구성, 기능성, 사용성 등에 대한 현장조사를 시행하였다.
- 점검결과 미끄럼흔적이 조사되어 받침장치의 기능상 문제는 없으나, 일부구간에서 받침몰탈 균열(0.3㎜미만, 8개소) 등이 조사되었다.

【표 3-29】춘천방향 - 교량받침 외관조사 결과

구분	본체		받침콘크리트		모르타르	
	도장박리(㎡)		균열 Cw=0.3㎜미만(m)		균열 Cw=0.3㎜미만(m)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소
A1	0.01	1	0.4	1	-	-
P1	-	-	-	-	6.1	41
A2	-	-	2.0	17	1.4	14
합계	0.01	1	2.40	18	7.50	55

2) 손상별 원인분석

일방향(교축) A2-Sh1		일방향(교축) A2-Sh2	
현 황	◦받침콘크리트 균열	현 황	◦받침콘크리트 균열
원 인	◦건조수축	원 인	◦건조수축
대 책	◦표면보수	대 책	◦표면보수

3) 기 점점결과와의 비교・분석

- 기존 정밀안전진단 결과 단면손상이 진행된 것은 없는 것으로 확인되었으나, 금회 조사 시 균열 폭 0.3mm미만 등이 조사되었다.

나. 연단거리 검토

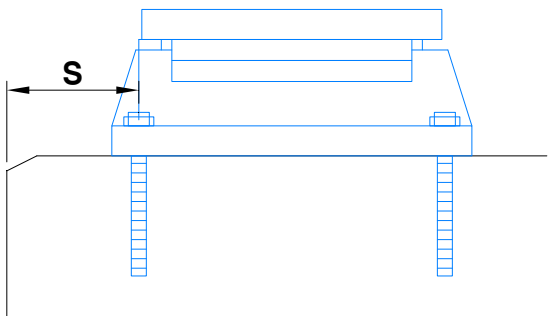
- 교각의 교좌면은 상부구조로부터 집중하중을 받는 부위이고, 지진시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 연단거리가 짧으면 고정단에서는 콘크리트 구체 또는 교량받침이 파손될 수 있고, 가동단에서는 최악의 경우 받침이 벗어나 거더가 낙하할 수도 있다.
- 상부구조의 길이에 따라 '도로교설계기준(2010, 국토교통부)' 에서는 최소값을 규정하고 있다.
  - 거더의 경간길이 100m 이하 : S(㎜) = 200 + 5L
  - 거더의 경간길이 100m 이상 : S(㎜) = 300 + 4L

여기서, L은 경간길이(m)

1) 연단거리 산출

- 거더 경간길이(L=55.0m) : 200+5×55.0 = 475(㎜)
- 거더 경간길이(L=110.0m) : 300+4×110.0 = 740(㎜)

2) 연단거리 측정방법



< 포트받침 >

연단거리 측정 개요도	연단거리 실측 전경

【그림 3-18】 춘천방향 - 연단거리 측정방법

3) 연단거리 측정결과

- 각 지점별 받침에 대한 연단거리 측정 결과, 실측 연단거리가 계산 연단거리를 상회하고

있는 것으로 측정되어 도로교설계기준 연단거리 최소규정을 만족하고 있는 것으로 검토되었다.

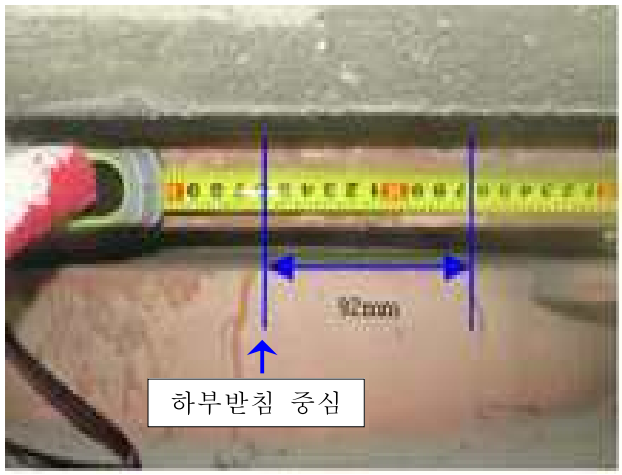
- 연단거리의 부족으로 인한 교량받침의 손상 및 낙교 문제가 없다고 판단되므로 지속적인 유지관찰이 필요한 것으로 판단된다.

【표 3-30】 춘천방향 - 연단거리 측정결과

구 분		경간장 (m)	계산 연단거리 (㎜)	실측 연단거리(㎜)		검토 결과
				G1	G2	
				Sh1	Sh2	
A1	종점측	55	475	510	520	O.K
P1	시점측	55	475	4400	4700	O.K
	종점측	110	740	4400	4700	O.K
A2	시점측	55	475	600	600	O.K

다. 교량받침 이동량 검토

- 교량받침은 포트받침으로 현재 여유량을 실측함으로써 온도 변화와 활하중에 의한 거더의 처짐에 따른 신축시 이동량 부족으로 인한 받침의 기능 저하 여부를 검토하고자 하였다.
- 이동량 검토 결과, 받침장치의 경우 신축 여유량 및 수축여유량이 부족하지 않은 양호한 상태로 평가되었고, 사용성에는 문제가 없는 것으로 판단된다.



P10 Sh1 받침 이동위치 측정 (92mm)(27.8℃일 때)

P10 Sh1 가동흔적

【표 3-31】 춘천방향 - 교량받침 가동상태 검토결과

구 분		실측이동량(㎜)		변동량(㎜)		비 고
		1차	2차	실측치	이론치	
A1	Sh1	55(A2)	60(A2)	-5	13.9	1차:24.0℃ 2차:17.0℃ 온도차:7.0℃
	Sh2	55(A2)	60(A2)	-5	13.9	
P1	Sh1	4(A2)	10(A2)	-6	9.2	1차:24.0℃ 2차:17.0℃ 온도차:7.0℃
	Sh2	6(A2)	10(A2)	-4	9.2	
A2	Sh1	56(A1)	60(A1)	-4	4.6	1차:24.0℃ 2차:17.0℃ 온도차:7.0℃
	Sh2	55(A1)	60(A1)	-5	4.6	
※ 1차 측정 : 2016년 07월 20일(24.0℃) / 2차 측정 : 2016년 11월 13일(17.0℃)						

【표 3-32】 춘천방향 - 교량받침 이동량 산정

구 분		온도변화 (⊿T, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더 길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜)	최대 받침 가동량(㎜)	
		동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
A1	1차	39.0	11.0	1.0×10^{-5}	165	64.3	18.1	10.00	64.3	28.1
	2차	32.0	18.0			52.8	29.7		52.8	39.7
P1	1차	39.0	11.0	1.0×10^{-5}	110	42.9	12.1	-	42.9	12.1
	2차	32.0	18.0			35.2	19.8		35.2	19.8
A2	1차	39.0	11.0	1.0×10^{-5}	55	21.4	6.0	-	21.4	6.0
	2차	32.0	18.0			17.6	9.9		17.6	9.9

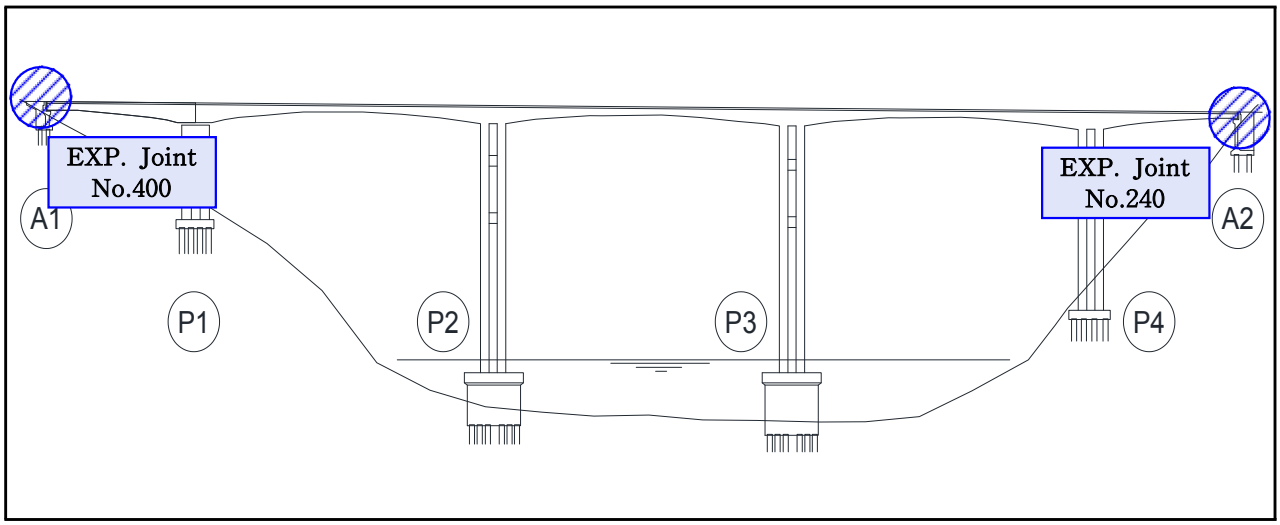
1) 조사당시 온도 : 1차조사 : 24.0℃ (조사일 : 2016년 07월 20일, 24.0℃)
2차조사 : 17.0℃ (조사일 : 2016년 11월 13일, 17.0℃)
2) 검토온도 : -15℃ ~ +35℃ (한랭한지방)
3) 지점의 회전변위에 의한 신축량 $\Delta \ell r = \Sigma(hi \cdot \theta i)$
여기서, hi : 받침의 회전중심에서 보의 중립축 까지의 높이 (거더높이의 2/3)
θi : 보의 회전각(콘크리트교: 1/300) $\Delta \ell r = \Sigma(hi \cdot \theta i) = 2/3 \times 4500 \times 1/300 = 10.00mm$
h : 주형높이 4,500mm, θ : 1/300 (콘크리트교)
* 신축장 100m 이상 교량의 경우 신장시에만 고려(도로설계요령, 2009)

【표 3-33】 춘천방향 - 교량받침 가동여유량 검토결과

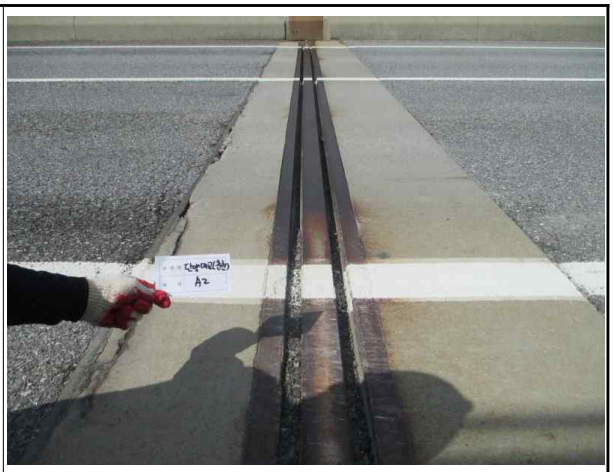
구 분		점검당시 실측이동량(㎜)	최대 받침 이동량(㎜)		실측 받침 가동여유량(㎜)		받침이동 허용량 (㎜)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
A1	Sh1	55(A2)/60(A2)	64.3/52.8	28.1/39.7	120/115	230/235	±175	O.K
	Sh2	55(A2)/60(A2)			120/115	230/235		O.K
P1	Sh1	4(A2)/10(A2)	42.9/35.2	12.1/19.8	196/190	204/210	±200	O.K
	Sh2	6(A2)/10(A2)			194/190	206/210		O.K
A2	Sh1	56(A1)/60(A1)	21.4/17.6	6.0/9.9	119/115	231/235	±175	O.K
	Sh2	55(A1)/60(A1)			120/115	230/235		O.K
주) 판정 : 최대 받침 이동량 ≤ 실측 받침 가동여유량 ⇒ O.K								

3.3.4 신축이음장치

- 신축이음 장치는 온도변화에 의한 신축거동, 교면수의 하부유입을 막는 차수기능을 하는 부재로써 현장조사시에 이러한 기능성 저하여부, 내구성 측면, 차량 주행 안전성 등에 대해 중점적으로 조사하였다.
- 신축이음장치는 교량의 시·종점부인 A1과 A2에 총 2개소가 설치되어 있으며, A1과 A2는 레일조인트(A1:EXP. 400, A2:EXP. 240)가 설치되어 있다. 신축이음 배치 현황은 다음과 같다.



【그림 3-19】 춘천방향 - 신축이음 배치도

	
신축이음장치 전경 A1:EXP. 400	신축이음장치 전경 A2:EXP. 240

가. 외관조사

1) 외관조사 결과

- 신축이음장치에 대한 외관조사 결과, 전반적인 신축거동은 원활한 상태로 조사되었으며, A1:EXP. 400, A2:EXP. 240의 신축이음장치 양끝단(갓길 구간)에서 본체 부식 및 유간부 이물질 퇴적이 조사되었다. 또한, A1:EXP. 400, A2:EXP. 240의 후타재의 전 폭에 걸쳐서 후타재 균열이 일부 발생된 것으로 확인되었으며, A2:EXP. 240에서 후타재 파손이 국부적으로 2개소 조사되었다.
- 신축이음하부에 대한 조사결과, Rail의 등 변형 및 파손이 없는 대부분 양호한 것으로 조사되었다.

【표 3-34】 춘천방향 - 신축이음장치 외관조사 결과

구분	균열				열화 및 손상						
	균열 Cw=0.3㎜미만 (m)		균열 Cw=0.3㎜이상 (m)		차수판 볼트탈락	이물질퇴적(㎡)		부식(㎡)		파손(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
A1	11.48	22	8.54	16	1	3.00	3	6.55	1	-	-
A2	5.70	18	1.92	6	-	1.02	2	3.53	1	0.14	2
합계	17.18	40	10.46	22	1	4.02	5	10.08	2	0.14	2

2) 손상별 원인분석

현 황	◦A2 신축이음장치 본체부식	현 황	◦A1 신축이음장치 본체부식
원 인	◦경년열화	원 인	◦경년열화
대 책	◦지속관찰	대 책	◦지속관찰
현 황	◦신축이음(A1) 토사퇴적	현 황	◦신축이음(A2) 후타재 균열, 토사퇴적
원 인	◦이물질 퇴적	원 인	◦경년열화 및 차량충격
대 책	◦청소	대 책	◦주의관찰 및 청소

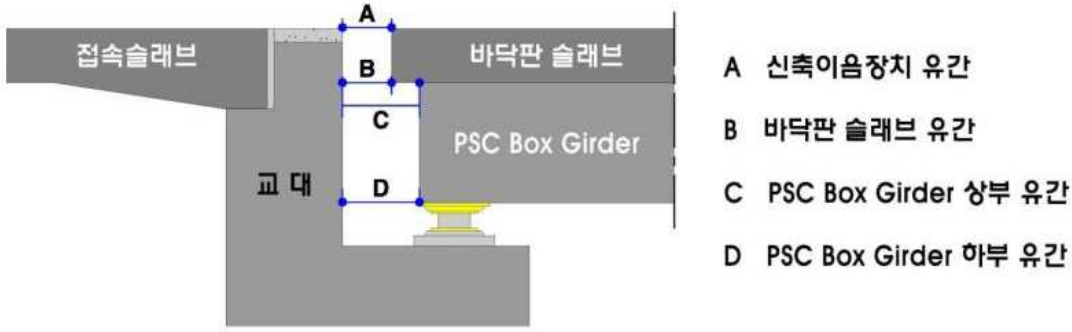
3) 기 점점결과와의 비교 · 분석

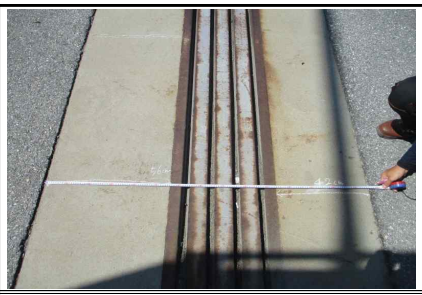
- 금회 조사 시 균열 폭 0.3mm미만 및 이상의 균열, 부식, 후타재 파손, 이물질 퇴적, 차수덮개 볼트탈락 등이 조사되었다.

나. 신축이음 신축거동상태 검토

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

1) 신축이음 유간 측정방법



		
신축이음장치(A1, A2)	신축이음장치 유간 측정(A1)	하부 유간 측정(A2)

【그림 3-20】 춘천방향 - 신축이음 유간 측정방법

2) 신축이음 유간 측정결과

【표 3-35】 춘천방향 - 신축이음 유간 측정결과

측정위치	측정값(mm)								비고
	신축이음장치(A)		바닥판(B)		거더상부(C)		거더하부(D)		
	1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차	
Rail Joint (A1)	180	200	505	520	520	530	525	540	
Rail Joint (A2)	112	120	300	310	315	320	310	320	
※ 1차 측정 : 16년 7월 18일(23.3℃) / 2차 측정 : 16년 11월 13일(17.0℃)									

- 7월(23.3℃)과 11월(17.0℃)의 온도 변화에 따른 변동량 측정결과, 이론 변동량과 차이는 보이고 있으나, 교량의 신축거동상태는 전반적으로 양호한 것으로 판단된다.

【표 3-36】 춘천방향 - 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동상태 검토결과

구 분		측정유간(㎜)		변동량(㎜)		비 고
		1차	2차	실측치	이론치	
A1	신축이음장치	180	200	20	10.4	1차:23.3℃ 2차:17.0℃ 온도차:6.3℃
	바닥판 단부	505	520	15		
	거더 상부	520	530	10		
	거더 하부	525	540	15		
A2	신축이음장치	112	120	8	3.5	1차:23.3℃ 2차:17.0℃ 온도차:6.3℃
	바닥판 단부	300	310	10		
	거더 상부	315	320	5		
	거더 하부	310	320	10		

3) 신축이음 신축이동량 산정

【표 3-37】 춘천방향 - 신축이음 신축이동량 산정

구 분		온도변화 (⊿T, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더 길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜)	계산 이동량(㎜)	
		동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
A1	1차	38.3	11.7	1.0×10^{-5}	165	63.2	19.3	10.00	63.2	29.3
	2차	32.0	18.0			52.8	29.7		52.8	39.7
A2	1차	38.3	11.7	1.0×10^{-5}	55	21.0	6.4	10.00	21.0	6.4
	2차	32.0	18.0			17.6	9.9		17.6	9.9

1) 조사당시 온도 : 1차조사 : 23.3℃ (조사일 : 2016년 07월 18일, 23.3℃)
2차조사 : 17.0℃ (조사일 : 2016년 11월 13일, 17.0℃)
2) 검토온도 : -15℃ ~ +35℃ (한랭한지방)
* 신축장 100m 이상 교량의 경우 신장시에만 고려(도로설계요령, 2009)

【표 3-38】 춘천방향 - 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량 검토결과(1차)

구 분		계산 이동량(㎜)		점검당시 실측유간(㎜) ③	허용량 (㎜) ④	신축 여유량(㎜)		검토 결과
		최대 수축시 ①	최대 신장시 ②			최대 수축시 ④-(①+③)	최대 신장시 ③-②	
A1	신축이음장치	63.2	29.3	180	400	156.8	150.7	O.K
	바닥판 단부			505	-	-	475.7	O.K
	거더 상부			520		-	490.7	O.K
	거더 하부			525		-	495.7	O.K
A2	신축이음장치	52.8	39.7	112	240	75.2	72.3	O.K
	바닥판 단부			300	-	-	260.3	O.K
	거더 상부			315		-	275.3	O.K
	거더 하부			310		-	270.3	O.K

주) 판정 : 0.0㎜ ≤ 신축 여유량 ≤ 허용량 ⇒ O.K

【표 3-39】 춘천방향 - 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량 검토결과(2차)

구 분		계산 이동량(㎜)		점검당시 실측유간(㎜) ③	허용량 (㎜) ④	신축 여유량(㎜)		검토 결과
		최대 수축시 ①	최대 신장시 ②			최대 수축시 ④-(①+③)	최대 신장시 ③-②	
A1	신축이음장치	21.0	6.4	200	400	179.0	193.6	O.K
	바닥판 단부			520	-	-	513.6	O.K
	거더 상부			530		-	523.6	O.K
	거더 하부			540		-	533.6	O.K
A2	신축이음장치	17.6	9.9	120	240	102.4	110.1	O.K
	바닥판 단부			310	-	-	300.1	O.K
	거더 상부			320		-	310.1	O.K
	거더 하부			320		-	310.1	O.K
주) 판정 : 0.0㎜ ≤ 신축 여유량 ≤ 허용량 ⇒ O.K								

다. 검토의견

- 본 교량의 신축거동상태를 확인하기 위해 신축이음장치, 바닥판 및 거더 상·하부에 대한 유간을 측정하기 위하여 7월(23.3℃), 11월(17.0℃)에 2회 측정하였다.
- 상부구조의 온도변화에 의한 신축거동에 따른 신축유간의 여유량 확보여부 검토결과, 전반적으로 신축이음 유간은 신장 및 수축 시 여유량을 확보하고 있는 것으로 측정되었고 현재 신축이음의 가동상태는 양호한 것으로 판단된다.

3.3.5 교면포장

- 바닥판 상면에 위치하여 차량에서 발생하는 진동을 흡수·분산시키고, 외부의 불리한 환경조건에 대해서 바닥판을 보호하는 역할을 하는 교면포장은 아스팔트 포장으로 시공되어 있다. ASP 포장은 연성포장으로서 승차감 및 진동소음에 좋으나, 유지 관리 시 손상에 따라 보수보강 비용이 증가되는 단점을 가지고 있으며, 상부의 하중을 표층 기층 보조기층에 전달하는 역할을 한다.
- 본 교량의 교면포장은 아스콘 포장으로 시공되어 있다.

교면포장 전경 (1)	교면포장 전경 (2)

1) 외관조사 결과

- 본 교량의 포장은 아스팔트포장으로 기 2012년 정밀안전진단에서 S1경간 포장부에 대한 코어채취결과 방수층 및 바닥판의 손상은 없는 것으로 조사되었다.
- 포장두께의 측정결과는 각각 t=80mm로 측정되어 설계두께인 t=80mm와 유사한 것으로 확인되었다.
- 교면포장에 대한 외관조사 결과, 차량 주행의 안전성을 저해할만한 손상은 없는 상태이나, 포장균열 및 망상균열이 대부분 주행차로인 2차로 및 갓길에서 부분적으로 조사되었다.
- 포장의 표면마모 현상은 10개소(S1~5)가 조사되었다.
- 교면포장에 대하여 전차 손상 및 현장조사에서 특이한 사항이 없으므로 기존 전차 보고서를 인용했다. 기존 2012년 정밀안전진단에서 코어를 채취한 결과, 포장두께는 8.0㎝로 설계 포장두께(t=8.0㎝)와 유사한 것으로 확인되었으며, 교면포장 및 방수층 상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었다.

【표 3-40】 춘천방향 - 교면포장 외관조사 결과

구분	균열				열화 및 손상			
	아스콘 균열 (m)		아스콘 망상균열 (㎡)		아스콘 파손 (㎡)		표면마모 (㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	-	-	-	-	-	-	13.00	2
S2	2.60	1	-	-	-	-	17.00	3
S3	10.00	1	-	-	-	-	16.50	2
S4	0.60	1	-	-	-	-	19.00	3
S5	-	-	21.50	2	3.00	1	-	-
합계	13.2	3	21.5	2	3	1	65.5	10

2) 손상별 원인분석

현 황	◦소성변형	현 황	◦망상균열
원 인	◦도로사용 환경요인	원 인	◦반복하중, 공용기간 증가
대 책	◦부분 재포장	대 책	◦주의관찰

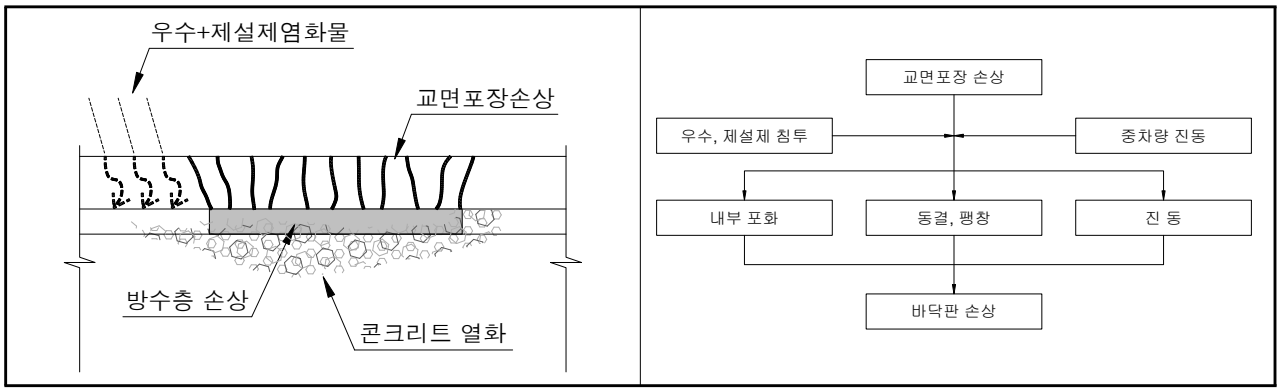
3) 기 점검결과와의 비교・분석

- 기존 정밀안전진단 결과 일부 소성변형, 망상균열, 아스콘 패임이 조사된 것으로 확인되었으나, 금회 조사 시 전반적으로 공용기간 증가에 따른 손상은 증가한 것으로 조사되었다.

4) 검토의견

- 본 교량의 교면포장은 대부분 주행차로인 2차로 및 갓길에서 부분적으로 망상균열 및 표면마모의 손상이 대부분의 전 경간에서 조사되었고, 이는 차량의 반복하중 및 전압부족, 공용기간 증가, 도로사용 환경요인 등에 의해 발생된 것으로 판단된다.

- 마모 및 망상균열로 인해 경간별 포장불량율이 10%이상인 포장손상 심화구간 및 평탄성, 주행성이 저하된 구간은 포장층의 내구성 저하와 더불어 포장내부로 우수 및 제설염화물 등 유해물질의 침투가 발생하고, 아스팔트 교면포장과 콘크리트 바닥판의 경계면에 장기체류하면서 동절기 동안 동결융해 작용을 거쳐 바닥판 콘크리트의 상면의 열화손상이 우려되므로 보수가 필요하고, 포장불량율이 10%이하인 구간은 바닥판 상태가 누수가 없는 양호한 상태이므로, 현재 시점에서 소성변형 등의 손상진전시 재포장 시기를 결정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.



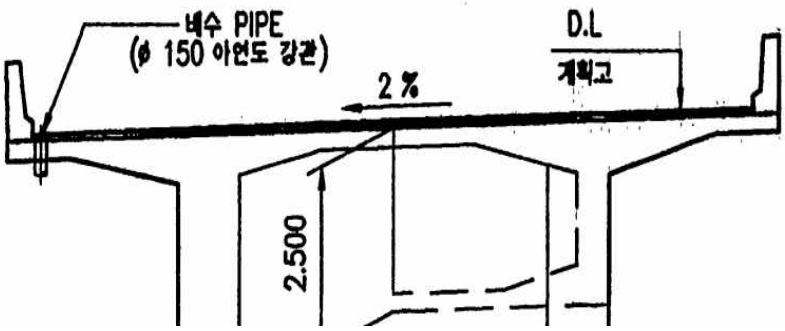
【그림 3-21】 포장손상으로 인한 바닥판 손상발생 모식도 및 흐름도

- 전차진단(2012년)과 비교할 때, 일부 소성변형, 망상균열, 아스콘 마모가 조사된 것으로 확인되었으나, 금회 조사 시 전반적으로 공용기간 증가에 따른 손상은 증가한 것으로 조사되었다.

3.3.6 기타부재

가. 배수시설

- 배수시설은 우수 유입에 따른 열화방지를 위해 일정한 곳으로 물을 배출하기 위한 시설로서, 본 교량은 종단기울기 0.819%로 배수시설은 횡단기울기 2.00%의 하향기울기에 위치되도록 설계되었으며, 배수관은 아연도 강관으로 관경은 Φ150인 것으로 조사되었다. 배수구 상면에는 쓰레기 등의 이물질 혼입을 방지하기 위한 그레이팅(Grating)이 설치되어 있다

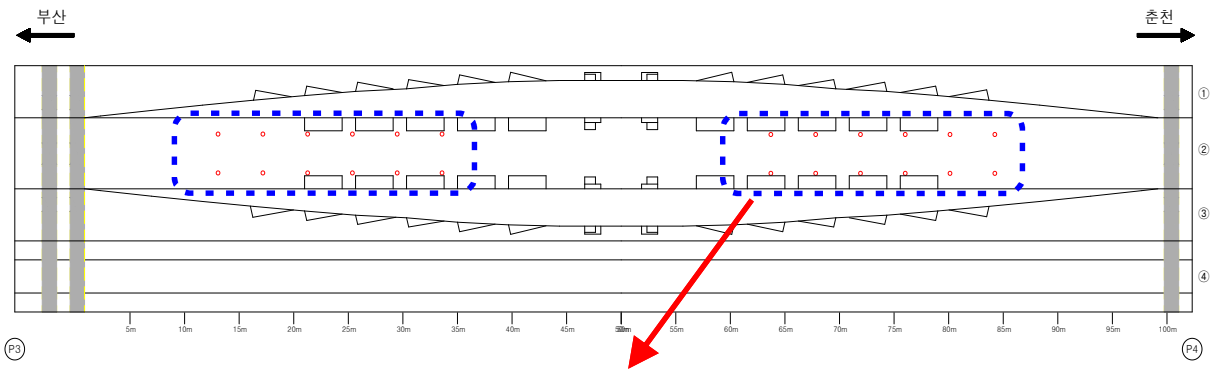


배수구 전경	배수관 전경

■ 거더내부의 배수홀은 전경간의 하부 플랜지에 위치하고 있으며, 총100개소의 배수홀(D=100mm)이 설치되어있어 우수 및 외부 유입수에 대한 배수상태는 양호한 것으로 조사되었다.

【표 3-41】 PSC 거더 내부 배수홀 현황

경 간	S1	S2	S3	S4	S5	소계
설치개수	14	24	24	24	14	100



【그림 3-22】 춘천방향 - 내부 배수시설 현황

1) 외관조사 결과

- 배수시설에 대한 외관조사 결과, 배수시설의 설치상태 및 교면의 배수상태는 전반적으로 양호한 상태이며 우수시 배수상태는 양호한 것으로 판단되며 부식이 조사되었다.

【표 3-42】 춘천방향 - 배수시설 외관조사 결과

구분	표면열화
	부식 (개소)
S1	-
S2	9
S3	6
S4	-
S5	-
합계	15

2) 손상별 원인분석

현 황	배수관 이음부 부식	현 황	배수관 연결부 부식
원 인	이음부 우수 유입	원 인	연결부 우수유입
대 책	이음부 실링	대 책	연결부 재설치

3) 기 점검결과와의 비교・분석

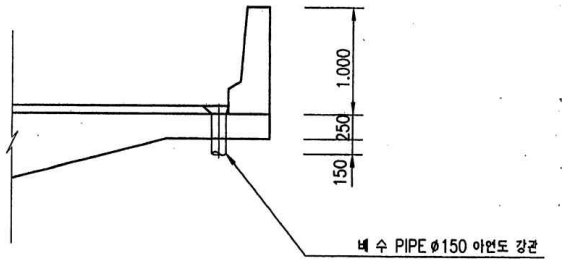
- 외관조사 결과, 교량의 배수관 길이 및 연결 상태는 전반적으로 양호하나, 일부 공용년수 증가에 따른 연결부, 이음부의 부식이 조사되어 원활한 배수기능 확보 및 구조물의 내구성을 고려한 보수 및 유지관리가 필요한 상태이다.

4) 검토의견

- 배수관 이음부 및 배수관 끝단의 부식은 재도장을 통한 보수가 필요하며, 배수관 접합부의 누수는 이음부 실링을 통한 우수차단대책을 마련해야 할 것이다.

나. 방호벽

- 차량의 이탈방지, 사고시 완충작용 등의 역할을 하는 방호벽은 철근콘크리트 구조로 되어 있으며, 신축이음부에는 차수덮개판이 설치되어 있다.
- 외측난간(차량진행방향 우측)위로 안개와 강설바람 차단을 위한 방풍벽이 설치되어있다.

	
방호벽 전경	방호벽 단면도(준공도)

1) 외관조사 결과

- 방호벽에 대한 외관조사 결과, 전반적인 설치상태는 침하 및 변형 등이 없는 양호한 상태를 유지하고 있으나, 방호벽에 발생한 균열 및 균열부 백태는 대부분 c/w=0.1~0.2mm의 균열로 조사되었다. 손상원인은 선시공된 바닥판에 난간이 후타설되면서 발생한 구속응력에 기인한 부등건조수축균열과 타설시 내부에 수화반응을 하고 남은 잉여수가 증발함에 따라 발생한 수축균열에 기인한 것으로 판단된다.

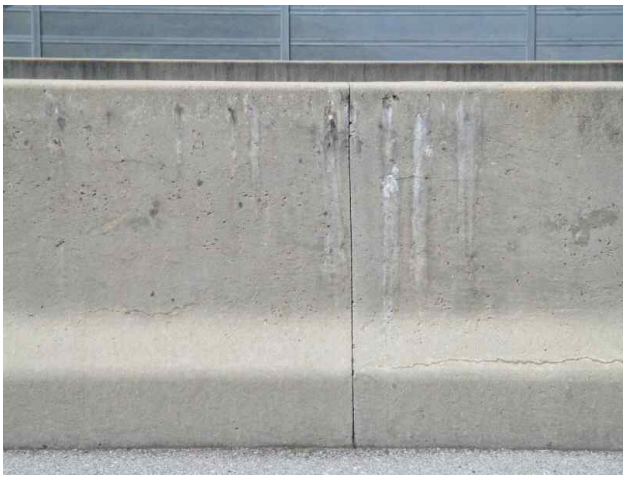
【표 3-43】 춘천방향 - 방호벽 외관조사 결과

구분	균열				열화 및 손상							
	균열 Cw=0.3㎜미만 (m)		망상균열 Cw=0.3㎜미만 (㎡)		균열 및 백태 (m)		실링재탈락(㎡)		박락(㎡)		파손(㎡)	
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소
S1	19.80	15	0.72	1	55.00	1	-	-	-	-	0.08	1
S2	72.90	19	0.50	1	110.00	1	0.01	1	0.40	1	0.04	2
S3	93.60	30	1.40	2	100.00	2	-	-	-	-	-	-
S4	65.20	17	1.75	2	-	-	-	-	-	-	-	-
S5	104.3	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	355.8	93	4.37	6	265	4	0.01	1	0.4	1	0.12	3

【표 3-44】 춘천방향 - 점검시설 및 방풍벽 외관조사 결과

구분	방풍벽				가로등받침대		
	부식(㎡)		파손(㎡)		열화 및 손상(㎡)		덮개탈락
	물량	개소	물량	개소	물량	개소	개소
S1/A1	-	-	2.00	1	0.50	2	-
S2/P1	0.06	3	-	-	0.50	2	-
S3/P2	-	-	-	-	0.50	2	-
S4/P3	0.08	4	-	-	-	-	1
S5/P4	-	-	-	-	-	-	-
합계	0.14	7	2	1	1.5	6	1

2) 손상별 원인분석



현 황	균열부 백태	현 황	방풍벽 파손
원 인	균열부 우수유입	원 인	외부충격
대 책	주입보수	대 책	주의관찰

현 황	균열부 백태	현 황	방호벽 보수상태
원 인	균열부 우수유입	원 인	
대 책	주입보수	대 책	

3) 기 점검결과와의 비교・분석

- 기존 정밀안전진단 결과 조사된 손상은 일부 보수가 확인되었으나, 금회 조사 시 공용기간 증가에 따른 균열, 균열부 백태 등의 손상이 조사되었다.

4) 검토의견

- 난간(방호울타리)에 발생한 균열 및 균열부 백태는 대부분 c/w=0.1~0.2mm의 균열로 조사되었다. 손상원인은 선시공된 바닥판에 난간이 후타설되면서 발생한 구속응력에 기인한 부등건조수축균열과 타설시 내부에 수화반응을 하고 남은 잉여수가 증발함에 따라 발생한 수축균열에 기인한 것으로 판단된다. 방호벽에 발생한 균열은 방치시 균열폭 증가 및 우수침투로 인한 백태 발생 우려가 있으므로, 균열폭에 따른 적절한 보수가 이루어져야 할 것으로 판단된다.
- 최근 차량이 방호울타리와 충돌한 뒤 도로 밖으로 이탈하는 사고가 자주 발생발함에 따라 차량방호울타리의 안전에 대한 중요도가 증대되고 있는 실정으로 내구성 확보와 운전자의 안전을 위해 단면결손부에 내구성 확보를 위해 국부적인 단면보수가 요구된다.

다. 기타 부대시설

- 본 교량의 하부구조 점검시설은 받침장치 설치부인 교대(A2)와 교각(P1)에 설치되어 코핑부 및 받침장치에 대해서 점검이 가능하도록 이루어져있다.
- 외관조사결과, 교대 및 교각점검로의 상태는 비교적 양호하며 A2교대의 점검로에 국부적인 부식이 확인되어, 부식방지를 위한 재도장이 이루어져야 할 것이다.

점검로 상태양호(P1)	점검로 부식(A2)

3.4 콘크리트 내구성조사

3.4.1 개 요

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

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

가. 현장시험 항목 및 실시수량

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

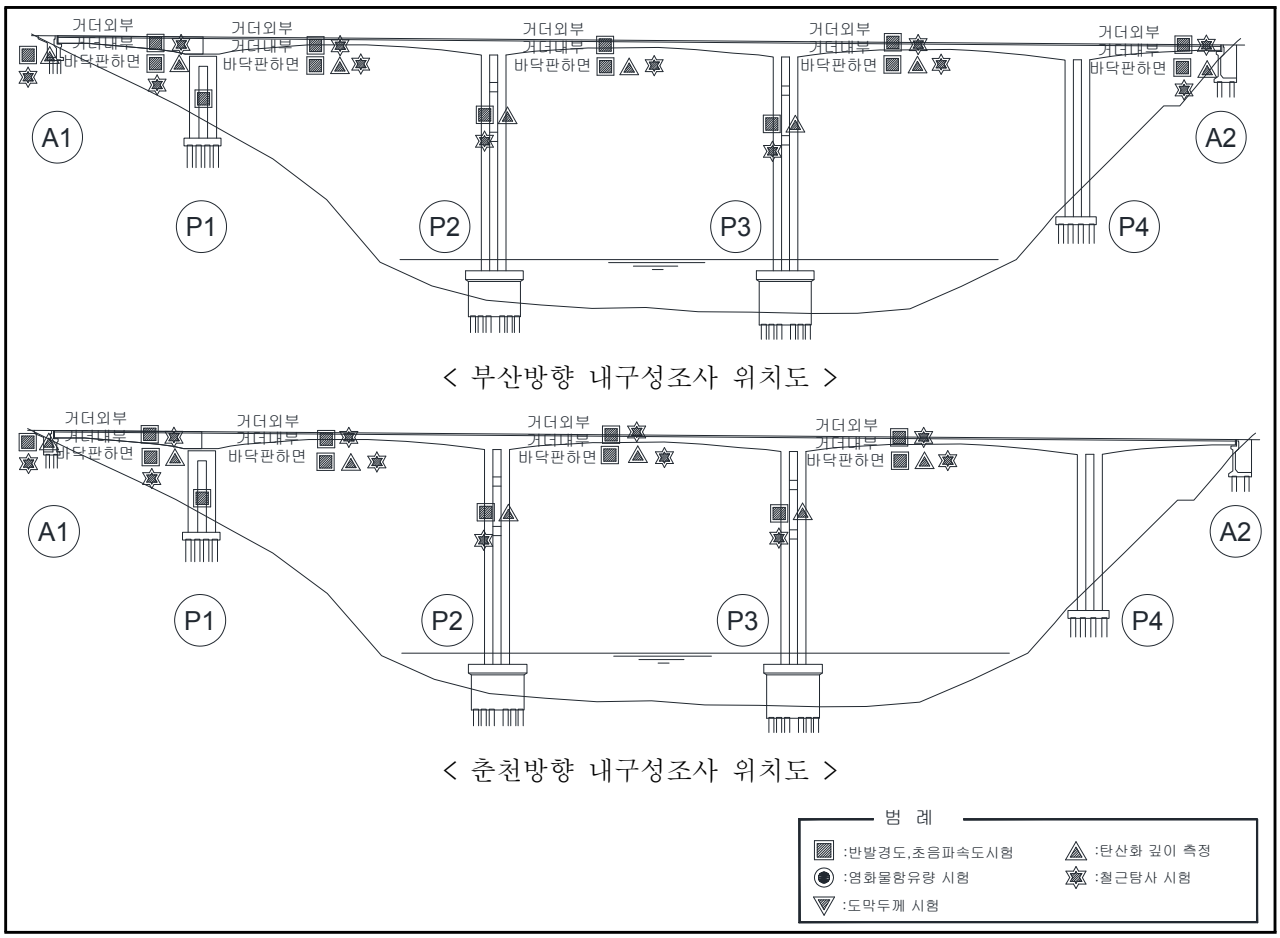
【표 3-45】 현장시험 항목

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

【표 3-46】 비파괴시험 실시 수량

구 분	세부지침 기준		기준수량		금회 시험수량	
	상부구조	하부구조	상부구조	하부구조	상부구조	하부구조
반발경도시험	■ 철근콘크리트 : 2개소/50m	■ 1개소/연장50m ■ 교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	28개소	10개소	30개소	12개소
초음파 전달속도시험			28개소	10개소	30개소	12개소
철근탐사시험			28개소	10개소	28개소	12개소
탄산화 깊이 측정	■ 5경간 이내 4~6개소 ■ 5경간 이상 6~9개소 (상부구조에서 최소 2개소 이상 실시)		6개소~9개소		10개소	6개소
염화물함유량 시험	■ 3개소 이상 (상부구조에서 최소 1개소 이상 실시)		3개소		2개소	4개소
균열깊이 조사	■ 부재의 중요도를 고려 책임기술자의 판단에 따라 수량 결정		-		3개소	2개소

나. 콘크리트 내구성조사 위치도



【그림 3-23】 콘크리트 내구성조사 위치도

다. 콘크리트 내구성조사 전경

콘크리트 면처리	반발경도 시험
초음파 전달속도 시험	철근탐사 시험
탄산화 깊이 측정	균열깊이 조사

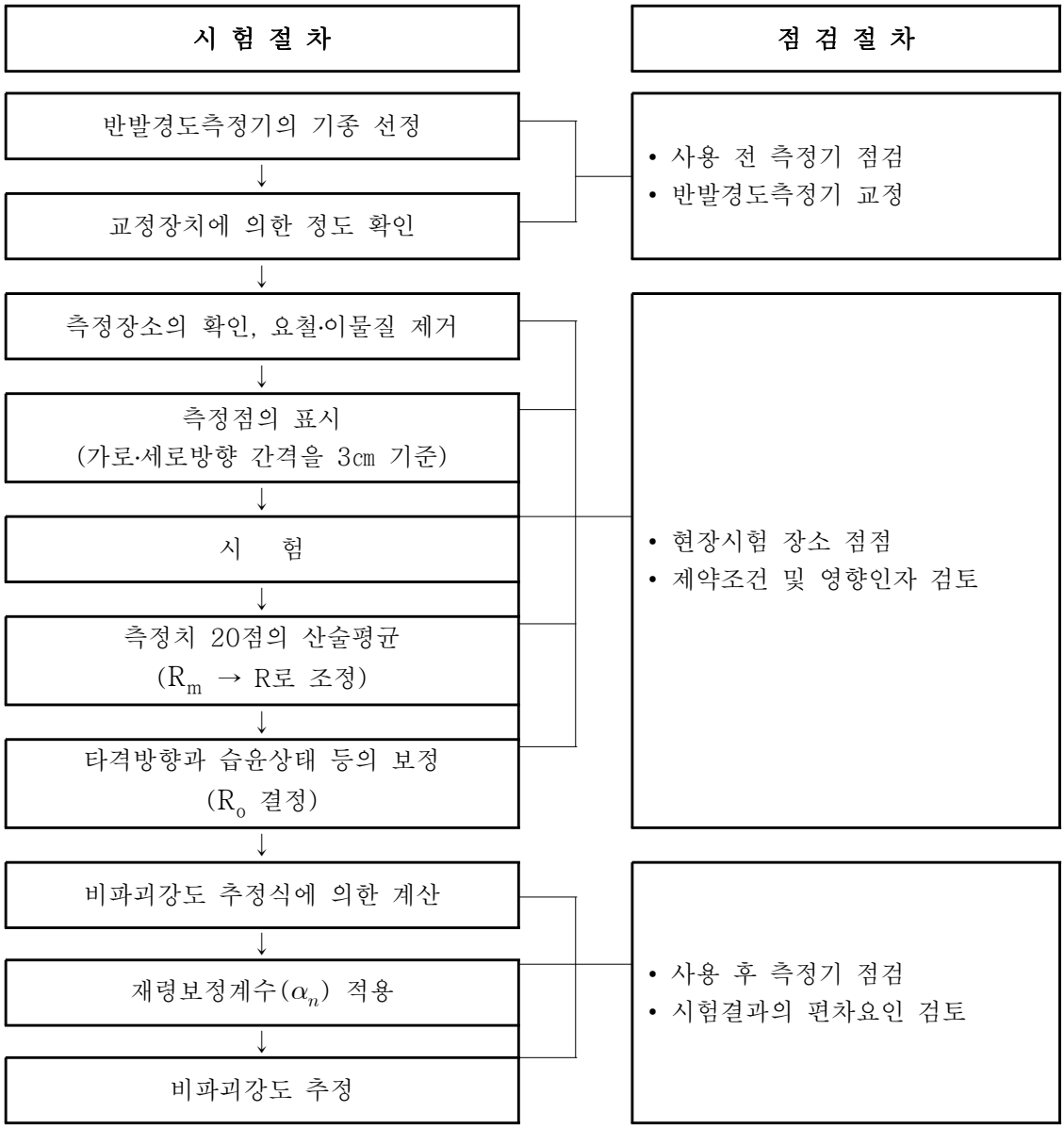
3.4.2 시험내용 및 평가기준

가. 콘크리트 강도시험

1) 반발경도시험

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

① 반발경도시험 및 측정기 점검 등의 절차



【그림 3-24】 반발경도시험 및 측정기 점검 등의 절차

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

② 보정반발경도(R_o)

【표 3-47】 보정반발경도(R_0)

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

여기서, R : 반발경도

ΔR_1 : 타격방향에 따른 보정값

ΔR_2 : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값

㉠ 타격방향에 따른 보정값(ΔR_1)

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

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

㉡ 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값(ΔR_2)

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

③ 압축강도의 추정

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

【표 3-48】 기존의 비파괴강도 추정 제안식(반발경도시험)

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

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

④ 28일 강도의 추정

시일이 경과할수록 콘크리트 구조물은 표면경도가 높아지므로 아래 식과 같이 재령 28일 강도(F_{28}')로 환산하여 압축강도를 추정한다. 콘크리트의 재령에 따른 압축강도 보정계수 α는 아래【표 3.54】 과 같으며, 3000일 이상의 재령에 대해서는 0.63을 적용한다.

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

【표 3-49】 재령계수 α값

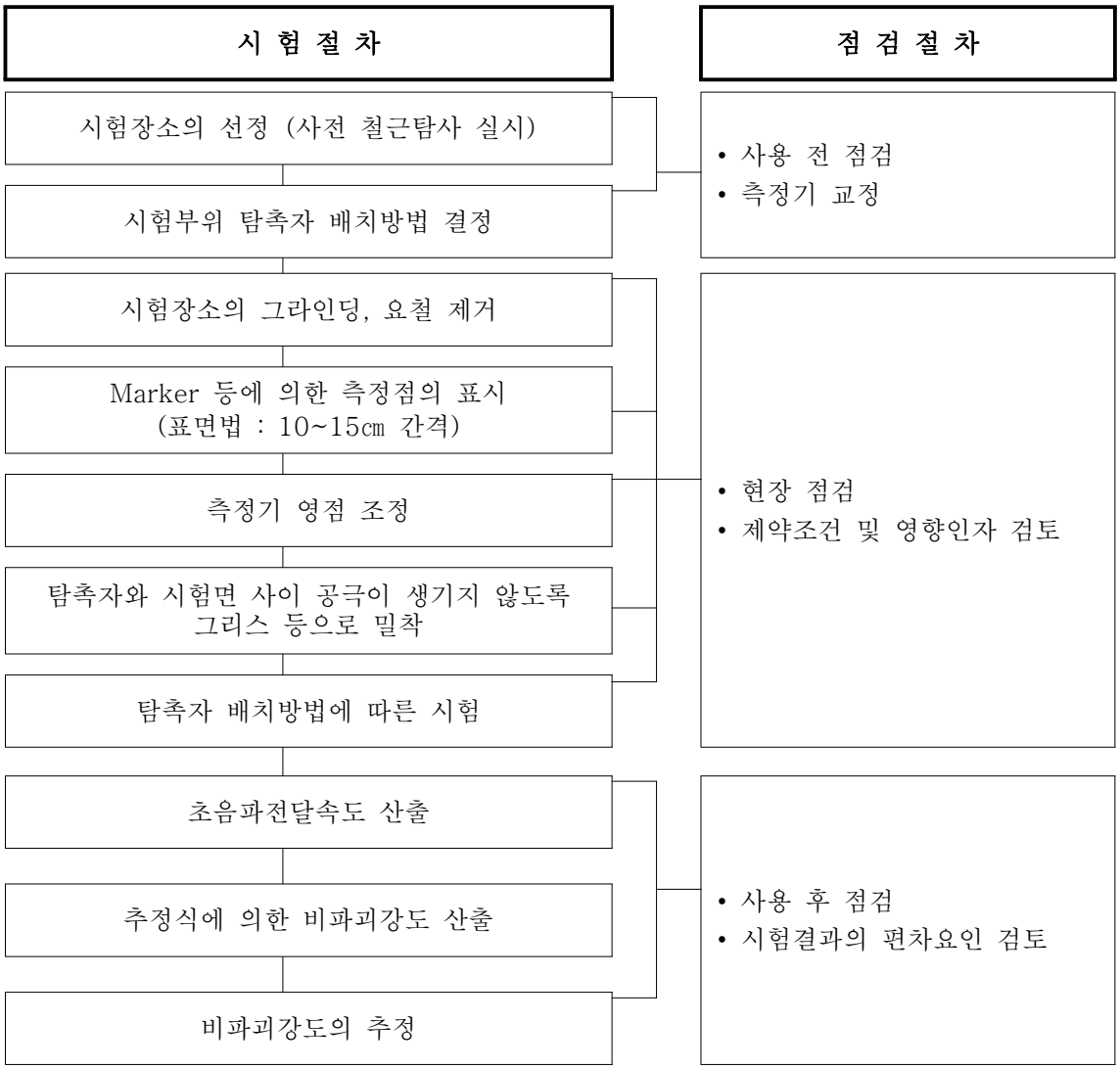
재령(일)	10	20	28	50	100	150	200	300	500	1000	3000
α	1.55	1.12	1.00	0.87	0.78	0.74	0.72	0.70	0.67	0.65	0.63

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

2) 초음파 전달속도시험

초음파법은 초음파(콘크리트의 경우 보통 주파수가 50~100kHz 정도의 초음파 이용)의 투과속도가 콘크리트의 밀도 및 탄성계수에 따라서 변화되는 것을 이용하며, 이 투과속도로부터 콘크리트의 동적특성, 강도, 균열상태 등을 추정하는 방법이다. 그러나 강도추정시 정확도는 높지 않으며, 일반적으로 콘크리트의 강도 및 품질비교 또는 균열깊이를 판정하는 수단으로서 이 방법을 널리 사용하고 있다. 강도 추정에 적용할 경우에는 이 방법을 단독적으로 사용하지 않고 반발경도법과 초음파법의 조합식을 이용하는 것이 바람직하다.

① 초음파 전달속도시험 및 측정기 점검 등의 절차



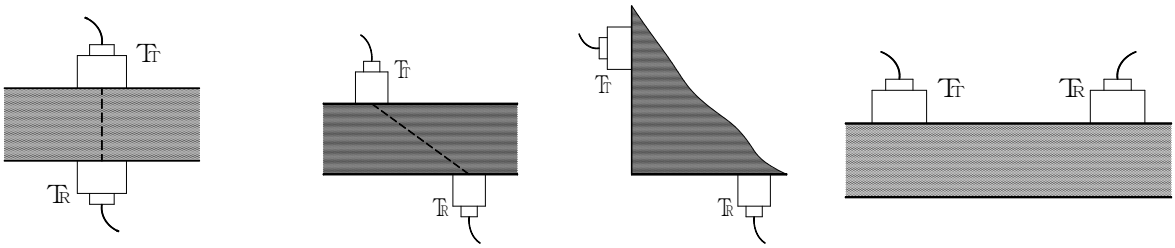
【그림 3.24】 초음파 전달속도시험 및 측정기 점검 등의 절차

② 초음파 전달속도시험에 의한 전달속도 분석

초음파 전달속도를 결정하기 위해서는 재료에서 초음파가 전달되는 거리를 미리 측정하고 장비상에 나타난 초음파 전달시간을 측정한 후 아래 식에 의해서 구한다.

$$\text{전달속도(Velocity)} = \frac{\text{전달길이(Path Length)}}{\text{전달시간(Transit Time)}}$$

초음파전달속도시험을 위한 탐촉자의 배치방법으로는 직접법, 간접법 및 표면법이 있다.



(a)직접법 (b)간접법 (C)표면법

【그림 3-25】 초음파전달속도시험을 위한 탐촉자 배치방법

표면법과 직접법에서 구한 초음파전달속도는 근사적으로 아래 식과 같은 관계가 있다.

$$V_d \approx 1.05 V_i$$

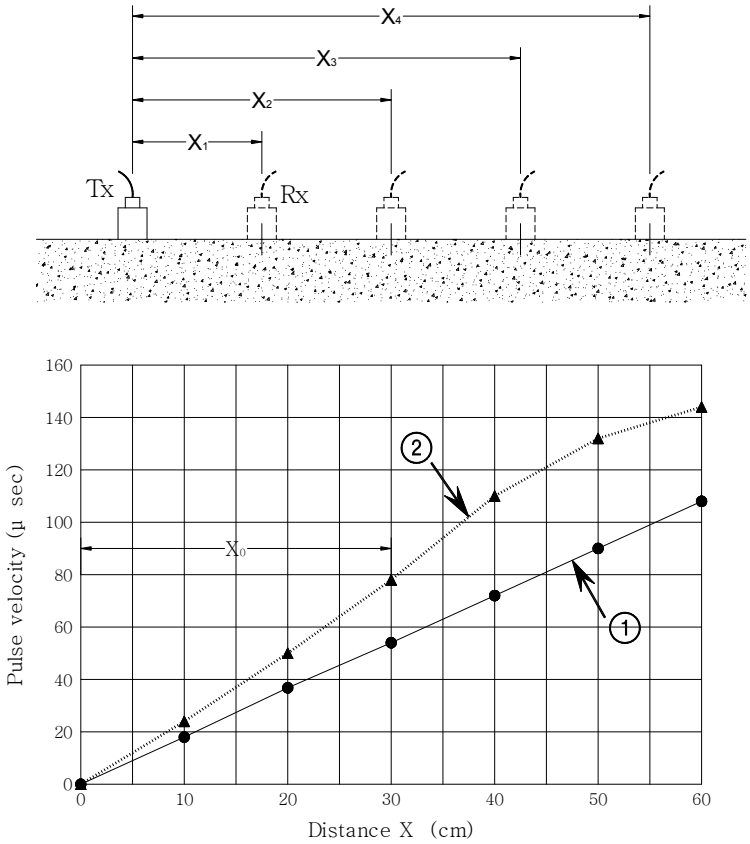
여기서, V_d : 직접법에 의한 초음파 속도

V_i : 표면법에 의한 초음파 속도

직접법과 표면법의 초음파전달속도는 재료의 종류, 배합, 함수율 등 여러 가지 원인으로 변동을 나타내고 있으며, 보편적으로 현장 콘크리트의 초음파전달속도 관계는 $V_d \approx 1.05 \sim 1.15 V_i$의 사이에 있다고 경험적으로 보고되고 있다.

보다 정확한 직접법과 표면법의 초음파전달속도의 관계를 파악하기 위해서는 표면법을 수행한 동일 조건의 구조물이나, 동일한 부위에서 채취한 코어의 종파(직접법) 속도를 측정하여 상관관계에 의해 환산하여 이용하는 방법이 바람직하다.

표면법은 등간격(100~150㎜)으로 5점 이상의 측점을 정하고 초음파의 전달거리(X_i)에 따른 전달시간(T_i)을 측정하고, 최소자승법에 의해서 회귀직선식을 구하여 그 기울기를 전달속도(V_i)로 한다.



【그림 3-26】 표면법에 의한 초음파전달속도의 측정

회귀직선의 적정성 여부를 판단하기 위해서 회귀직선의 유의성(有意性)검정에 사용되는 결정계수(Coefficient of determination)를 다음 식에 의해서 계산한다.

$$r^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{(\Sigma(X_i - \overline{X})(T_i - \overline{T}))^2}{\Sigma(X_i - \overline{X})^2 \Sigma(T_i - \overline{T})^2}$$

여기서, $\overline{X}$, $\overline{T}$는 거리 및 전달시간의 평균값

③ 비파괴강도의 추정

본 과업에서는 r^2값이 99% 이상이 되는 회귀직선식만을 사용하여 전달속도 V_i를 계산하였다. 전달속도에 따른 콘크리트 압축강도의 추정을 위하여 초음파전달속도와 압축강도의 상관관계를 도출한 다음 식을 사용하였다.

【표 3-50】 기존의 비파괴강도 추정 제안식(초음파전달속도시험)

구 분	추 정 식(MPa)	비 고
일본건축학회	$F_c = (215\,V_d - 620) \times 0.098$	금회 적용
일본재료학회	$F_c = (102\,V_d - 117) \times 0.098$	-
한전기술연구원	$F_c = (339.1\,V_d - 1107) \times 0.098$	금회 적용
谷川의 제안식	$F_c = (172.5\,V_d - 499.6) \times 0.098$	-

※ V_d : 직접법에 의한 초음파전달속도(㎞/s)
※ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12, 국토교통부/한국시설안전공단) 참조
※ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(2006. 12, 한국시설안전공단) 참조

3) 조합법

조합법은 콘크리트강도와 밀접한 상관관계를 갖는 반발경도와 초음파 전달속도를 병용하여 보다 합리적으로 콘크리트의 비파괴강도를 추정하기 위해 제안된 것으로써, 본 과업에서는 다음과 같은 식을 이용하여 각각의 평균값을 측정지점의 압축강도로 적용하였다.

【표 3-51】 기존의 비파괴강도 추정 제안식(조합법)

구 분	추 정 식(MPa)	비 고
RIMEM 식	$\log_{10}F_c = 0.3794V_d + 0.01149R_O + 0.4332$ $F_c' = 0.85F_c \times 0.1(\mathrm{MPa})$	금회 적용
일본건축학회	Fc' = (8.2(K・Ro) + 269Vd - 1094)×0.1(MPa)	금회 적용

※여기서, F_c' : 콘크리트 강도(MPa)
R_O : Schmidt hammer에 의한 보정 반발경도
V_d : 직접법에 의한 초음파 전달속도 (km/sec)
K : 0.9

나. 철근탐사시험

1) 개 요

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

철근콘크리트 구조물의 부재 내부에 배근되어 있는 철근의 피복두께가 지나치게 작은 경우에는 콘크리트의 탄산화 등에 따른 열화손상에 대한 저항성이 저하되어 내구성이 감소할 가능성이 있으며, 피복두께가 지나치게 큰 경우에는 강도감소 등을 수반할 우려가 있으므로 철

근탐사는 설계 당시와 같이 콘크리트 내에 배근되어 있는 철근의 배근상태 및 피복두께를 파악하기 위하여 실시한다.

2) 측정원리

전자파레이더의 원리는 현재 널리 사용되고 있는 레이더와 동일하다. 즉, 콘크리트용 전자파레이더는 임펄스 상의 전자파를 송신안테나로부터 콘크리트 내로 방사하면 그 전자파가 콘크리트와 전기적 성질(비유전율, 도전율)이 다른 물체(철근, 매설관, 공동 등)와의 경계에서 반사한다. 이를 수신안테나로 수신하고, 그에 소요되는 왕복전파시간으로부터 반사물체까지의 거리를 계산하면 그 위치를 구할 수 있다. 원리를 아래【그림 3-27】에 나타내었고, 콘크리트 중의 전자파 속도는 다음 식과 같다.

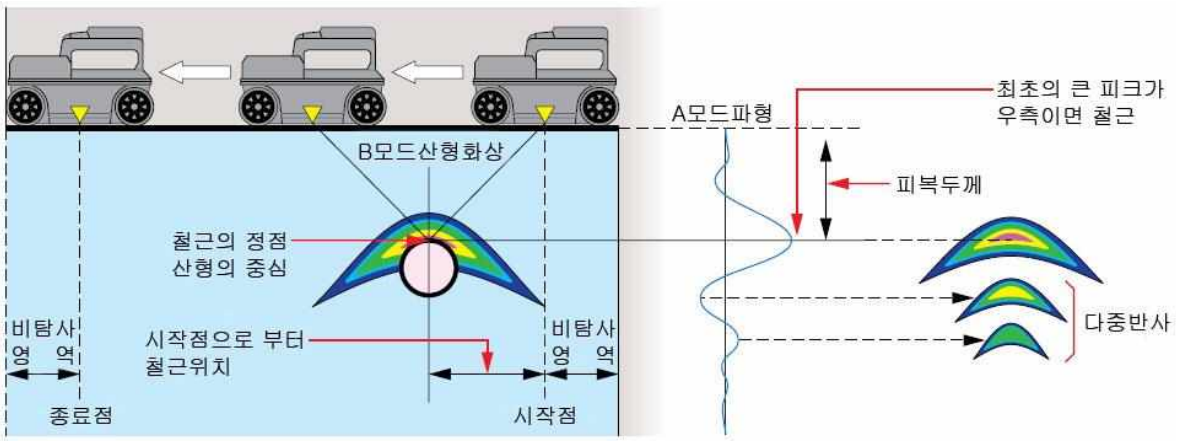
$$V = \frac{C}{\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (m/sec)$$

여기서, C : 진공 중에서 전자파의 속도(3×10^8 m/sec)

ε_r : 콘크리트의 상대유전율(6~10)

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

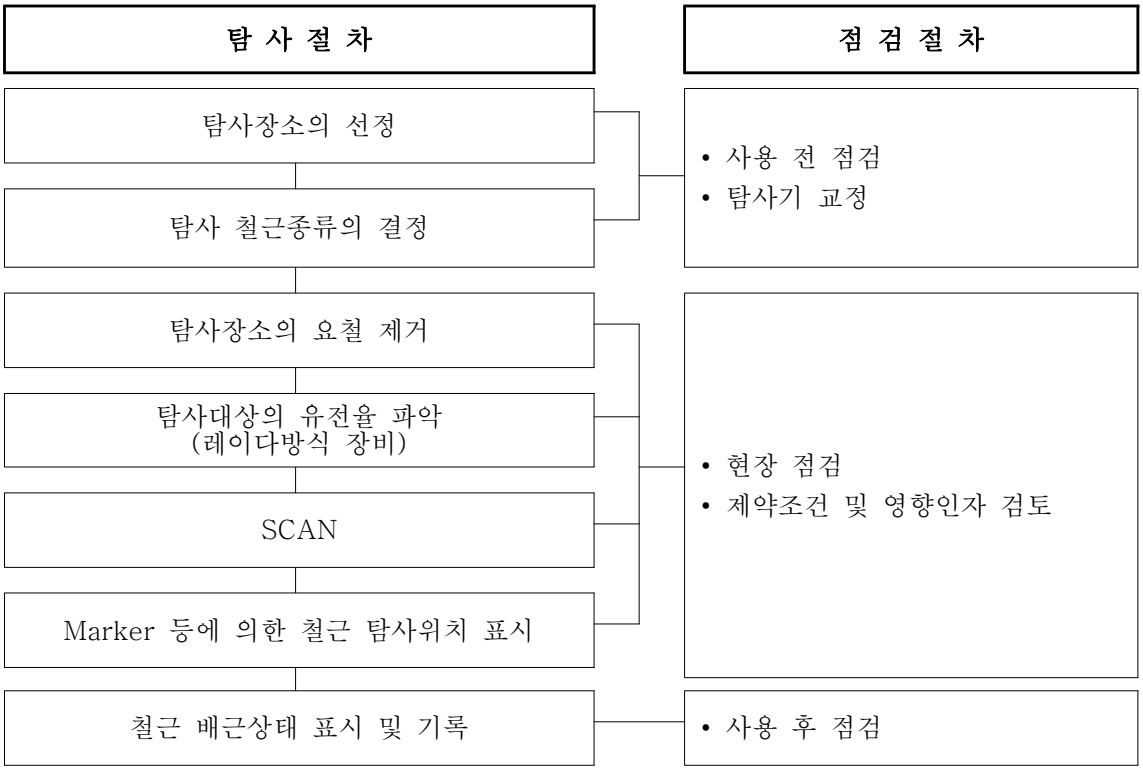
$$D = \frac{1}{2} V T \quad (m)$$



【그림 3-37】 철근탐사 측정원리

3) 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차

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



【그림 3-28】 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차

4) 탐사조건 및 적용한계(RC Radar의 경우)

① 탐사조건

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

② 적용한계

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

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

다. 탄산화깊이 측정

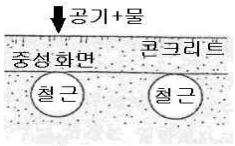
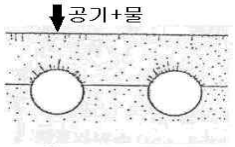
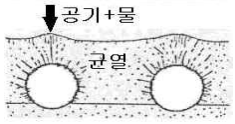
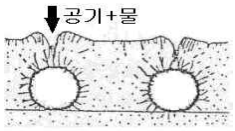
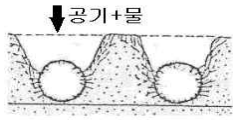
1) 개 요

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

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

(pH 12~13) (대기 중에 존재) (pH 8.5~10)

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

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

【그림 3-29】 탄산화에 의한 콘크리트 성능저하

2) 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

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

【표 3-52】 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

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

【표 3-52】 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인(계속)

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

3) 탄산화깊이의 측정

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

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

4) 탄산화를 고려한 잔존수명 예측

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

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

여기서, C : 탄산화깊이(㎜)

A : 탄산화 속도계수(㎜/ $\sqrt{년}$)

t : 재령(년)

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

5) 평가기준

탄산화 상태평가 기준은 다음과 같다.

【표 3-53】 탄산화 상태평가 기준

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

라. 염화물함유량 시험

1) 콘크리트 속의 염분에 대한 일반적 사항

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

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

다음은 콘크리트 제조시에 배합재료로부터 직접 콘크리트에 침투하는 경우, 특히 아직 굳지 않은 프레쉬 상태일 때 혼입하는 경우인데 이의 예로서는 ① 깨끗이 세척하지 않은 바다모래의 사용, ② 경화 촉진제로서 염화칼슘($CaCl_2$)의 사용, ③ 염화칼슘($CaCl_2$)을 주체로 한 조강형 AE제의 사용, ④ 혼화수로서 해수의 사용 등을 들 수 있다. 이 중 미세정 바다모래에 의한 염분(염화나트륨(NaCl)을 주로 함유한 것)의 혼입에 의한 것이 염해 원인의 대부분을 차지하고 있다.

콘크리트 중에 함유하는 염화물은 ① 가용성 염화물(수용성 염화물), ② 전 염화물(산 용해성 염화물)의 2종류로 분류할 수 있다. ①의 가용성 염화물로는 콘크리트에서 물에 의해 유출되는 염화물이고, ②의 전 염화물은 콘크리트를 강한 산으로 용해함으로써 유출되는 염화물이다. 가용성 염화물의 측정은 콘크리트의 세공용액 속에 용해되어 있는 유리 염화물의 양을 구하는 경우로 측정할 수 있고 유출온도 등 시험방법의 자세한 내용은 제안되고 있는 각 방법에 따라 약간 차이가 있다. 일본 콘크리트공학협회(JCI)에서는 가용성 염화물을 「경화 콘크리트 중에 함유된 50℃의 온수에 녹는 염화물」이라 정의하여 측정방법을 정하고 있다.

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

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

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

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

2) 평가기준

① 국내 콘크리트 표준시방서 기준

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

② 콘크리트구조기준(2012)

【표 3-54】 염화물 평가기준(콘크리트구조기준, 2012)

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

③ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12)

【표 3-55】 염화물 상태평가 기준(안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 2010.12)

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

마. 균열깊이 측정

1) 개 요

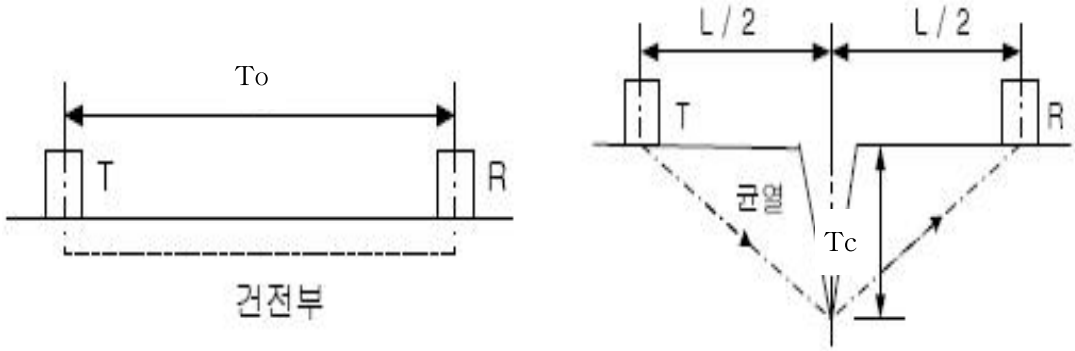
본 시험은 콘크리트에 발생된 균열 부위에서 건전부와 균열부의 측정된 초음파 전달시간의 차이를 이용하여 균열깊이를 평가하여 부재의 관통균열 여부 확인 및 철근의 부식조건 등에 대해 평가한다.

2) 시험방법

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

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

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



【그림 3-30】 Tc - To법에 의한 균열깊이 측정방법

3.4.3 시험결과 및 분석

가. 부산방향

1) 콘크리트 강도시험

본 교량의 콘크리트 비파괴강도시험(반발경도시험, 초음파전달속도시험)은 총 21개소(상부구조 15개소, 하부구조 6개소)에서 실시하였으며 검토결과, 상부구조는 42.4～50.6MPa로 설계기준강도(40MPa)의 106~127%, 하부구조는 29.4～44.4MPa로 설계기준강도(24, 40MPa)의 107~132%로 나타나 허용기준치(JICE, 설계기준강도의 90% 이상)를 만족하는 양호한 상태로 조사되었다.

① 측정결과

【표 3-56】 부산방향 - 콘크리트 비파괴 강도시험 결과

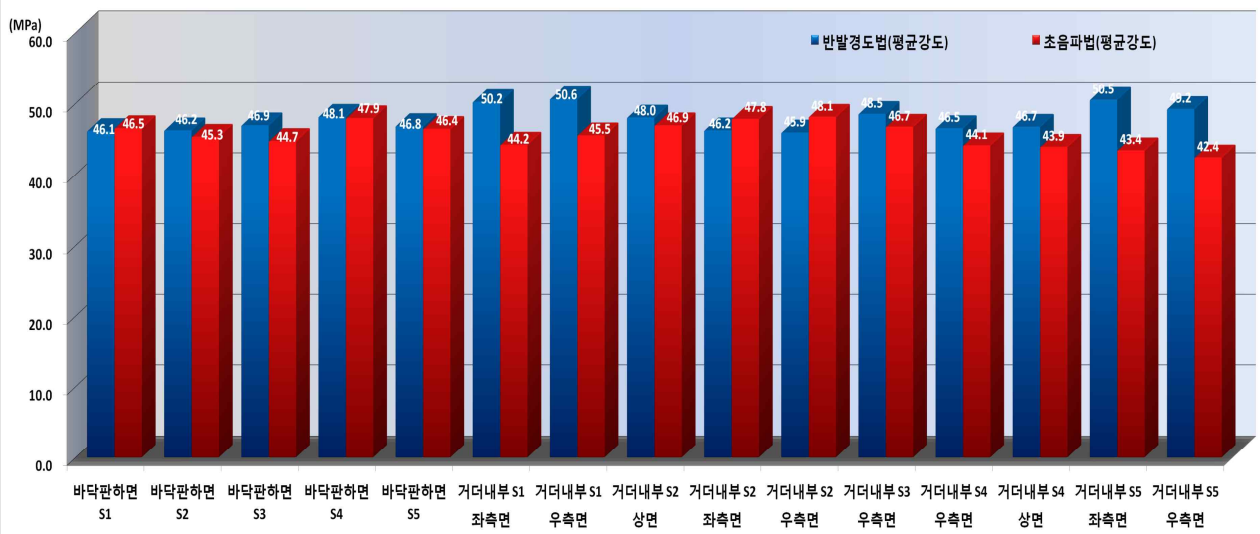
시험 위치		비파괴시험		반발경도법(MPa)	초음파 전달속도법(MPa)			설계 기준 강도 (MPa)
		반발경도 (RO)	초음파속도 (km/sec)	과학기술부 (압축강도)	일본 건축학회	한전 기술연구원	평균	
상부구조	바닥판하면 S1	55.5	4.887	46.1	37.4	53.9	45.6	40
	바닥판하면 S2	55.7	4.872	46.2	37.2	53.4	45.3	40
	바닥판하면 S3	56.4	4.842	46.9	36.9	52.4	44.7	40
	바닥판하면 S4	57.7	4.991	48.1	38.4	57.4	47.9	40
	바닥판하면 S5	56.2	4.923	46.8	37.7	55.1	46.4	40
	거더내부 S1 좌측면	59.8	4.820	50.2	36.7	51.7	44.2	40
	거더내부 S1 우측면	60.3	4.883	50.6	37.3	53.8	45.5	40
	거더내부 S2 상면	57.6	4.942	48.0	37.9	55.8	46.9	40
	거더내부 S2 좌측면	55.7	4.986	46.2	38.4	57.2	47.8	40
	거더내부 S2 우측면	55.3	4.999	45.9	38.5	57.7	48.1	40
	거더내부 S3 우측면	58.1	4.934	48.5	37.8	55.5	46.7	40
	거더내부 S4 우측면	56.0	4.816	46.5	36.7	51.6	44.1	40

【표 3-56】 부산방향 - 콘크리트 비파괴 강도시험 결과(계속)

시험 위치		비파괴시험		반발경도법(MPa)	초음파 전달속도법(MPa)			설계 기준 강도 (MPa)
		반발경도 (RO)	초음파속도 (km/sec)	과학기술부 (압축강도)	일본 건축학회	한전 기술연구원	평균	
상부구조	거더내부 S4 상면	56.1	4.804	46.7	36.6	51.2	43.9	40
	거더내부 S5 좌측면	60.2	4.782	50.5	36.3	50.4	43.4	40
	거더내부 S5 우측면	58.8	4.735	49.2	35.9	48.9	42.4	40
하부구조	교각 P2 기둥부	53.8	4.746	44.4	36.0	49.2	42.6	40
	교각 P3 기둥부	53.5	4.747	44.1	36.0	49.3	42.6	40
	교각 P4 기둥부	53.9	4.774	44.5	36.3	50.2	43.2	40

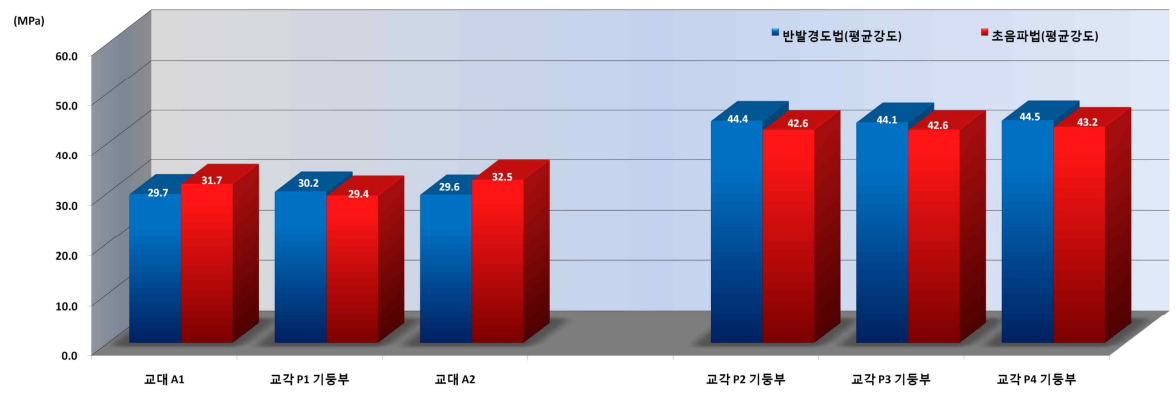
【표 3-56】 부산방향 - 콘크리트 비파괴 강도시험 결과(계속)

시험 위치		비파괴시험		반발경도법(MPa)			초음파 전달속도법(MPa)			설계 기준 강도 (MPa)
		반발경도 (RO)	초음파속도 (km/sec)	일본 재료학회	일본 건축학회	평균	일본 건축학회	일본 재료학회	평균	
하부구조	교대 A1	47.6	4.367	29.5	29.8	29.7	32.2	31.2	31.7	24
	교각 P1 기둥부	52.0	4.212	30.3	30.2	30.2	30.9	28.0	29.4	24
	교대 A2	51.0	4.415	29.5	29.7	29.6	32.7	32.3	32.5	24



< 상부구조 - 측정강도와 설계기준강도 비교 >

【그림 3-31】 부산방향 - 측정강도와 설계기준강도 비교



< 하부구조 – 측정강도와 설계기준강도 비교 >

【그림 3-31】 부산방향 – 측정강도와 설계기준강도 비교(계속)

② 기 진단 결과와의 비교 · 분석

【표 3-57】 부산방향 - 기 진단 결과와 비교 · 분석

구 분	2012년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단 (2016년)
상부구조	42.6~58.7MPa	42.4~50.6MPa
하부구조	27.5~56.7MPa	29.4~44.4MPa

2) 철근탐사시험

RC-Radar에 의한 철근탐사시험은 총 19개소(상부구조 13개소, 하부구조 6개소)에서 실시하였다. 철근 콘크리트 부재에 RC-Radar을 이용한 국부적인 철근탐사 시험 결과, 철근 간격 및 피복두께는 대체적으로 설계도와 일치하여, 전반적인 배근 및 피복두께 상태는 양호한 것으로 판단된다.

① 측정결과

【표 3-58】 부산방향 – 철근탐사 결과

시험위치		배근종류	설계값(㎜)		실측값(㎜)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
상부구조	바닥판하면 S1	주철근	150	60	145	51~61	
		배력철근	150	60	148	51~57	
	바닥판하면 S2	주철근	150	60	143	55~61	
		배력철근	150	60	145	58~65	

【표 3-58】 부산방향 - 철근탐사 결과(계속)

시험위치		배근종류	설계값(㎜)		실측값(㎜)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
상부 구조	바닥판하면 S3	주철근	150	60	153	59~60	
		배력철근	150	60	146	58~60	
	바닥판하면 S4	주철근	150	60	140	61~66	
		배력철근	150	60	140	55~60	
	바닥판하면 S5	주철근	150	60	153	55~56	
		배력철근	150	60	153	51~54	
	거더내부 S1 좌측면	주철근	150	60	142	52~60	
		배력철근	150	60	145	60~65	
	거더내부 S1 우측면	주철근	150	60	150	55~60	
		배력철근	150	60	153	48~52	
	거더내부 S2 상면	주철근	150	60	142	60~61	
		배력철근	150	60	145	55~60	
	거더내부 S2 좌측면	주철근	150	60	141	49~55	
		배력철근	150	60	144	52~60	
	거더내부 S2 우측면	주철근	150	60	145	55~62	
		배력철근	150	60	146	50~58	
	거더내부 S4 상면	주철근	150	60	144	54~59	
		배력철근	150	60	147	56~58	
	거더내부 S4 우측면	주철근	150	60	150	61~62	
		배력철근	150	60	153	55~60	
	거더내부 S5 우측면	주철근	150	60	150	51~57	
		배력철근	150	60	153	60~65	
하부 구조	교대 A1	수직철근	250	100	240	68~70	
		수평철근	125	100	105	62~65	
	교각 P1 기둥부	수직철근	125	100	125	90~96	
		수평철근	100	100	105	83~88	
	교각 P2 기초부	수직철근	125	100	125	92~98	
		수평철근	100	100	105	85~90	
	교각 P3 기초부	수직철근	125	100	120	97~100	
		수평철근	100	100	100	85~95	
	교각 P4 기둥부	수직철근	125	100	120	90~95	
		수평철근	100	100	110	80~90	
	교대 A2	수직철근	250	100	250	70~85	
		수평철근	125	100	120	60~65	

② 기 진단 결과와의 비교 · 분석

【표 3-59】 부산방향 - 기 진단 결과와 비교 · 분석

구 분		2012년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단 (2016년)
상부구조	배근간격	140~160mm	140~153mm
	피복두께	50~70mm	48~66mm
하부구조	배근간격	100mm	100~250mm
	피복두께	41~105mm	60~100mm

3) 탄산화 깊이 측정

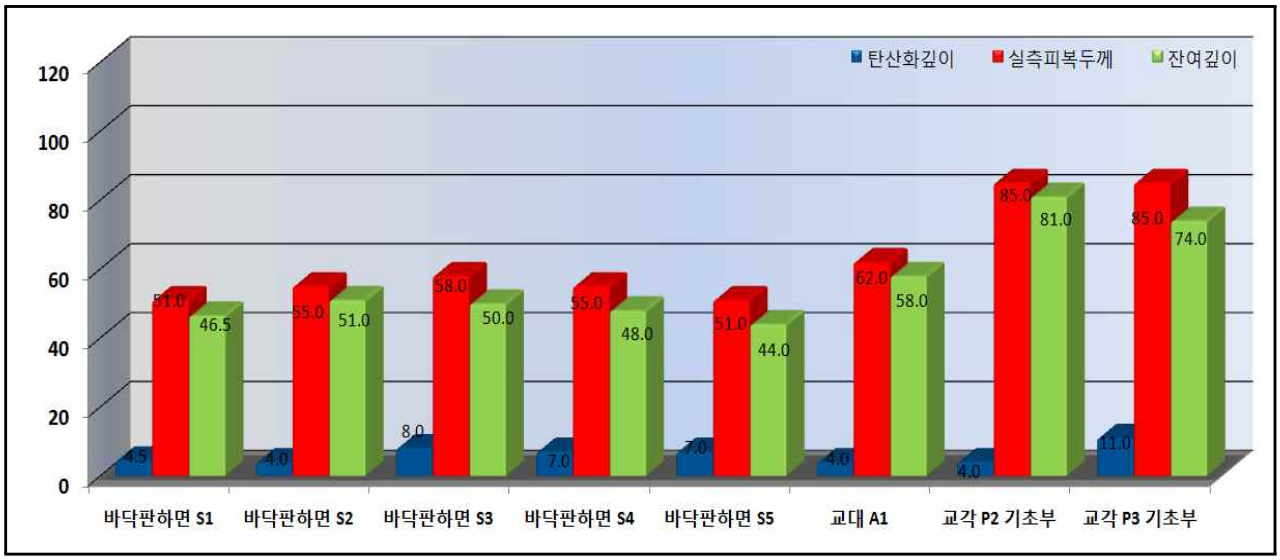
탄산화 깊이 측정은 상부구조 5개소, 하부구조 3개소에서 실시하였으며, 측정위치에서 철근의 피복두께 측정을 실시하였다.

측정 결과, 탄산화 깊이가 상부구조에서 4.0~8.0mm, 하부구조에서 4.0~11.0mm로 나타나 측정위치에서의 철근피복두께를 고려할 때, “a” 로 평가되어 탄산화에 의한 철근의 부식 발생 우려는 없는 것으로 분석되었으며, 전 구간에서 탄산화가 철근에 도달하는 최소시간인 계산 내구수명에서도 100년 이상으로 나타나 전 구간에서 탄산화에 의한 철근부식영향 및 콘크리트 내구성 저하의 영향은 작을 것으로 판단된다.

① 측정결과

【표 3-60】 부산방향 - 탄산화 깊이 측정결과 및 평가

시험위치		실측 피복두께 (㎜)	탄산화 깊이 (㎜)	탄산화 잔여깊이 (㎜)	탄산화 속도계수 (A)	상태 평가	잔존수명
상부 구조	바닥판하면 S1	51.0	4.5	46.5	1.162	a	100년이상
	바닥판하면 S2	55.0	4.0	51.0	1.033	a	100년이상
	바닥판하면 S3	58.0	8.0	50.0	2.066	a	100년이상
	바닥판하면 S4	55.0	7.0	48.0	1.807	a	100년이상
	바닥판하면 S5	51.0	7.0	44.0	1.807	a	100년이상
하부 구조	교대 A1	62.0	4.0	58.0	1.549	a	100년이상
	교각 P2 기초부	85.0	4.0	81.0	0.516	a	100년이상
	교각 P3 기초부	85.0	11.0	74.0	0.775	a	100년이상



【그림 3-32】 부산방향 - 탄산화 깊이 측정결과

② 기 진단 결과와의 비교 · 분석

【표 3-61】 부산방향 - 기 진단 결과와 비교 · 분석(탄산화 깊이 측정 결과, 단위 : ㎜)

구 분		2012년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단 (2016년)
상부구조	탄산화깊이	2.4~4.7mm	4.0~8.0mm
	잔여깊이	37.3~51.6mm	44.0~51.0mm
하부구조	탄산화깊이	4.3~5.2mm	4.0~11.0mm
	잔여깊이	35.8mm~63.7mm	58.0~81.0mm

4) 염화물 함유량 시험

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

염화물함유량시험 결과, 염화물 상태평가 기준인 a~b로 평가되었으며, 염화물에 의한 철근 부식은 없을 것으로 판단된다.

① 측정결과

【표 3-62】 부산방향 - 염화물 함유량과 시험결과

시험위치		전염화물함유량		상태평가 결과	상태평가 기준((kg/㎥)
		Cl-(%)	Cl-(kg/㎥)		
상부구조	바닥판하면 S2	0.0015	0.0339	a	a : 염화물 〈 0.3 b : 0.3 〈염화물≤1.2 c : 1.2 〈염화물≤2.5 d : 2.5≤염화물
하부구조	교대 A1	0.0160	0.3621	b	
	교각 P1	0.0028	0.0634	a	

※ 콘크리트 중의 환산 염화물 산출시 콘크리트의 단위중량은 2.300㎏/㎥을 적용
※ 철근부식 방지를 위한 최대 수용성 염소이온 비율(기타철근콘크리트) 0.3%을 적용

② 기 진단 결과와의 비교 · 분석

【표 3-63】 부산방향 - 기 진단 결과와 비교 · 분석

구 분		2012년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단 (2016년)
부산 방향	상부구조	0.282~0.306㎏/㎥	0.0339㎏/㎥
	하부구조	0.306~0.329㎏/㎥	0.0634~0.3621㎏/㎥

5) 균열깊이 조사

균열깊이 측정은 책임기술자의 판단에 따라 철근까지의 진행여부를 판단하기 위해 철근이 배근되어 있는 구간에서 폭 0.3㎜ 이상의 균열 및 균열깊이가 다소 깊게 예상되는 개소를 선정하여 시험을 실시하였다.

본 구조물에 대하여 상부구조 2개소, 하부구조 1개소에서 균열깊이를 측정한 결과, 측정위치에서 철근깊이까지 균열이 도달하지 않은 상태로 확인되었으나, 향후 균열의 진전으로 철근부식이 우려가 있으므로 내구성확보 차원에서 균열보수(주입보수) 및 주기적인 유지관리가 필요한 것으로 판단된다.

【표 3-64】 부산방향 - 균열깊이 측정 결과

시험위치		균열폭/길이 (㎜/m)	초음파 전달시간 ($\times 10^{-6}$sec)		균열 깊이 (㎜)	최소 피복두께 (㎜)
			건전부 (To)	균열부 (Tc)		
상부 구조	거더외부 S3	0.3/2.5	68.2	75.3	46.8	55.0
	거더외부 S5	0.3/2.0	78.7	85.5	42.5	51.0
하부 구조	교대 A1	0.3/2.0	70.7	80.6	54.7	62.0

※ 피복두께는 철근탐사를 통한 실제 조사 피복두께임

나. 춘천방향

1) 콘크리트 강도시험

본 교량의 콘크리트 비파괴강도시험(반발경도시험, 초음파전달속도시험)은 총 19개소(상부구조 15개소, 하부구조 6개소)에서 실시하였으며 검토결과, 상부구조는 44.4～50.5MPa로 설계기준강도(40MPa)의 117~126%, 하부구조는 29.3～45.4MPa로 설계기준강도(24, 40MPa)의 108~137%로 나타나 허용기준치(JICE, 설계기준강도의 90% 이상)를 만족하는 양호한 상태로 조사되었다.

① 측정결과

【표 3-65】 춘천방향 - 콘크리트 비파괴 강도시험 결과

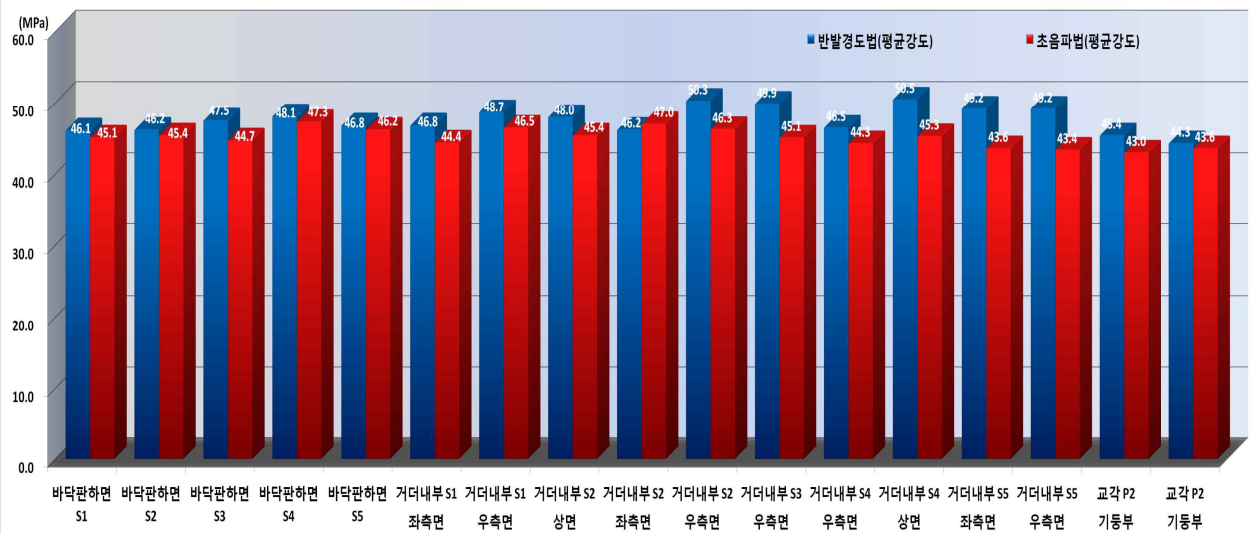
시험 위치		비파괴시험		반발경도법(MPa)	초음파 전달속도법(MPa)			설계 기준 강도 (MPa)
		반발경도 (RO)	초음파속도 (km/sec)	과학기술부 (압축강도)	일본 건축학회	한전 기술연구원	평균	
상부구조	바닥판하면 S1	55.5	4.863	46.1	37.1	53.1	45.1	40
	바닥판하면 S2	55.7	4.874	46.2	37.3	53.5	45.4	40
	바닥판하면 S3	57.0	4.841	47.5	36.9	52.4	44.7	40
	바닥판하면 S4	57.7	4.962	48.1	38.1	56.4	47.3	40
	바닥판하면 S5	56.2	4.914	46.8	37.7	54.8	46.2	40
	거더내부 S1 좌측면	56.3	4.829	46.8	36.8	52.0	44.4	40
	거더내부 S1 우측면	58.3	4.927	48.7	37.8	55.2	46.5	40
	거더내부 S2 상면	57.6	4.874	48.0	37.3	53.5	45.4	40
	거더내부 S2 좌측면	55.7	4.953	46.2	38.0	56.1	47.0	40
	거더내부 S2 우측면	59.9	4.918	50.3	37.7	54.9	46.3	40
	거더내부 S3 우측면	58.2	4.859	48.6	37.1	53.0	45.1	40
	거더내부 S4 우측면	59.6	4.824	49.96	36.8	51.8	44.3	40

【표 3-65】 춘천방향 - 콘크리트 비파괴 강도시험 결과(계속)

시험 위치		비파괴시험		반발경도법(MPa)	초음파 전달속도법(MPa)			설계 기준 강도 (MPa)
		반발경도 (RO)	초음파속도 (km/sec)	과학기술부 (압축강도)	일본 건축학회	한전 기술연구원	평균	
상부구조	거더내부 S4 상면	56.0	4.870	46.5	37.2	53.4	45.3	40
	거더내부 S5 좌측면	60.2	4.800	50.5	36.5	51.0	43.6	40
	거더내부 S5 우측면	58.8	4.782	49.2	36.3	50.4	43.4	40
하부구조	교각 P2 기둥부	54.9	4.762	45.4	36.1	49.8	43.0	40
	교각 P3 기둥부	53.7	4.790	44.3	36.4	50.7	43.6	40
	교각 P4 기둥부	54.3	4.479	44.8	35.4	47.5	41.5	40

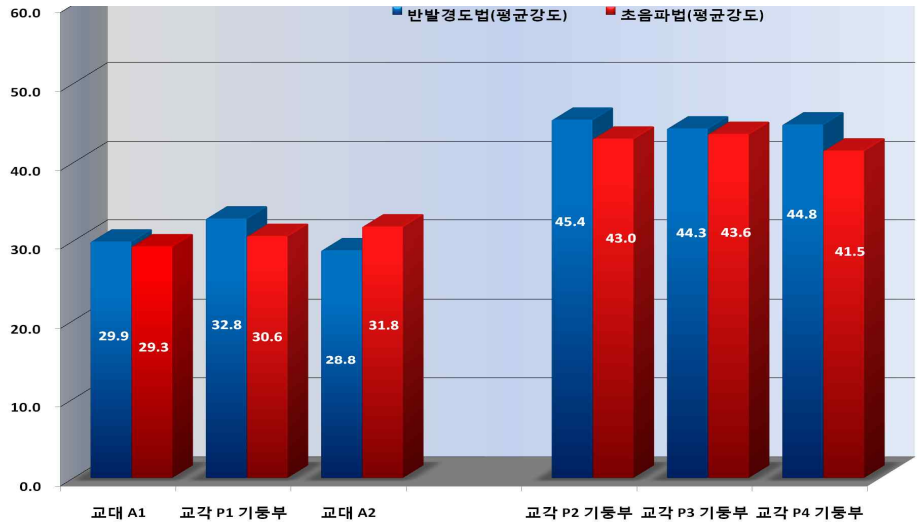
【표 3-65】 춘천방향 - 콘크리트 비파괴 강도시험 결과(계속)

시험 위치		비파괴시험		반발경도법(MPa)			초음파 전달속도법(MPa)			설계 기준 강도 (MPa)
		반발경도 (RO)	초음파속도 (km/sec)	일본 재료학회	일본 건축학회	평균	일본 건축학회	일본 재료학회	평균	
하부구조	교대 A1	51.6	4.210	29.9	30.0	29.9	30.6	27.9	29.3	24
	교각 P1 기둥부	56.0	4.293	33.5	32.1	32.8	31.5	29.7	30.6	24
	교대 A2	49.7	4.370	45.1	46.2	28.8	32.2	31.3	31.8	24



< 상부 및 하부구조 - 측정강도와 설계기준강도 비교 >

【그림 3-33】 춘천방향 - 측정강도와 설계기준강도 비교



< 하부구조 – 측정강도와 설계기준강도 비교 >

【그림 3-33】 춘천방향 – 측정강도와 설계기준강도 비교(계속)

② 기 진단 결과와의 비교 · 분석

【표 3-66】 춘천방향 - 기 진단 결과와 비교 · 분석

구 분	2012년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단 (2016년)
상부구조	40.7~58.8MPa	44.4~50.5MPa
하부구조	24.3~50.4MPa	29.3~45.4MPa

2) 철근탐사시험

RC-Radar에 의한 철근탐사시험은 총 21개소(상부구조 15개소, 하부구조 6개소)에서 실시하였다. 철근 콘크리트 부재에 RC-Radar을 이용한 국부적인 철근탐사 시험 결과, 철근 간격 및 피복두께는 대체적으로 설계도와 일치하여, 전반적인 배근 및 피복두께 상태는 양호한 것으로 판단된다.

① 측정결과

【표 3-67】 춘천방향 – 철근탐사 결과

시험위치		배근종류	설계값(㎜)		실측값(㎜)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
상부구조	바닥판하면 S1	주철근	150	60	146	59~63	
		배력철근	150	60	149	49~63	
	바닥판하면 S2	주철근	150	60	144	56~57	
		배력철근	150	60	143	53~60	

【표 3-67】 춘천방향 - 철근탐사 결과(계속)

시험위치		배근종류	설계값(㎜)		실측값(㎜)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
상부 구조	바닥판하면 S3	주철근	150	60	146	52~55	
		배력철근	150	60	147	55~60	
	바닥판하면 S4	주철근	150	60	144	53~56	
		배력철근	150	60	150	49~60	
	바닥판하면 S5	주철근	150	60	149	54~59	
		배력철근	150	60	140	55~60	
	거더내부 S1 좌측면	주철근	150	60	144	52~53	
		배력철근	150	60	152	55~60	
	거더내부 S1 우측면	주철근	150	60	151	53~61	
		배력철근	150	60	150	50~60	
	거더내부 S2 상면	주철근	150	60	146	55~56	
		배력철근	150	60	148	50~57	
	거더내부 S2 좌측면	주철근	150	60	144	56~58	
		배력철근	150	60	143	55~60	
	거더내부 S2 우측면	주철근	150	60	146	55~56	
		배력철근	150	60	148	55~60	
	거더내부 S3 우측면	주철근	150	60	149	51~55	
		배력철근	150	60	158	55~60	
	거더내부 S4 상면	주철근	150	60	145	59~60	
		배력철근	150	60	150	59~60	
	거더내부 S4 우측면	주철근	150	60	150	58~61	
		배력철근	150	60	148	48~55	
	거더내부 S5 좌측면	주철근	150	60	150	54~60	
		배력철근	150	60	140	50~55	
	거더내부 S5 우측면	주철근	150	60	153	58~61	
		배력철근	150	60	140	55~60	
하부 구조	교대 A1	수직철근	250	100	230	88~85	
		수평철근	125	100	135	79~82	

【표 3-67】 춘천방향 - 철근탐사 결과(계속)

시험위치		배근종류	설계값(㎜)		실측값(㎜)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
하부구조	교대 A2	수직철근	250	100	245	92~96	
		수평철근	125	100	120	80~88	
	교각 P1 기초부	수직철근	125	100	120	90~95	
		수평철근	100	100	95	82~90	
	교각 P2 기초부	수직철근	125	100	120	85~88	
		수평철근	100	100	95	70~72	
	교각 P3 기초부	수직철근	125	100	122	75~80	
		수평철근	100	100	98	68~73	
	교각 P4 기둥부	수직철근	125	100	120	92~95	
		수평철근	100	100	100	85~90	

② 기 진단 결과와의 비교 · 분석

【표 3-68】 춘천방향 - 기 진단 결과와 비교 · 분석

구 분		2012년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단 (2016년)
상부구조	배근간격	120～175mm	140~158mm
	피복두께	45~72mm	48~61mm
하부구조	배근간격	85～145mm	95~245mm
	피복두께	93~107mm	68~96mm

3) 탄산화 깊이 측정

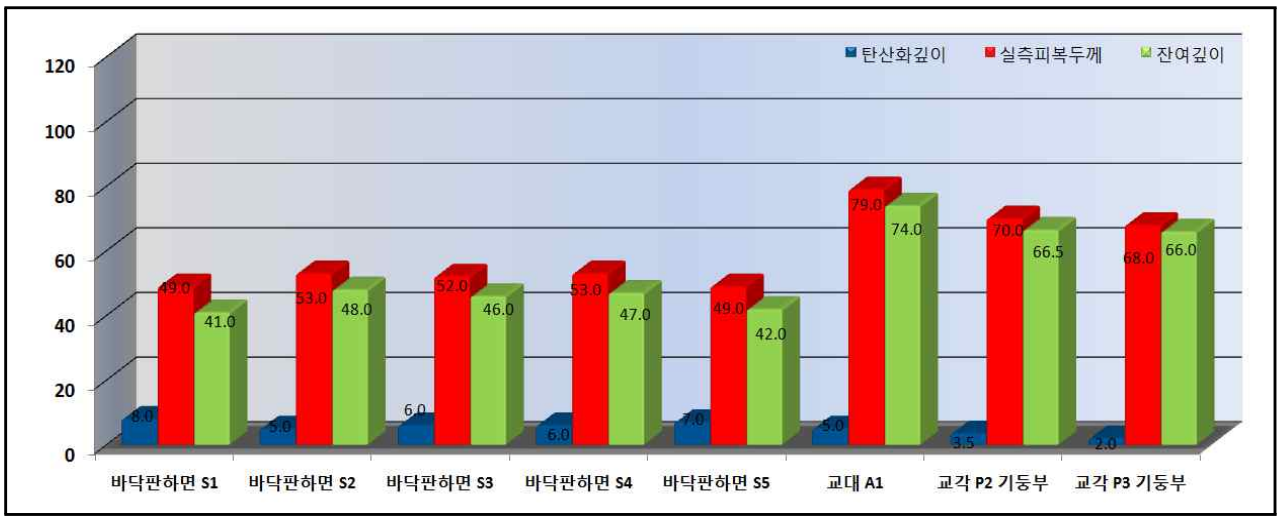
탄산화 깊이 측정은 상부구조 4개소, 하부구조 4개소에서 실시하였으며, 측정위치에서 철근의 피복두께 측정을 실시하였다.

측정 결과, 탄산화 깊이가 상부구조에서 5.0～8.0mm, 하부구조에서 2.0～5.0mm로 나타나 측정위치에서의 철근피복두께를 고려할 때, “a” 로 평가되어 탄산화에 의한 철근의 부식 발생 우려는 없는 것으로 분석되었으며, 전 구간에서 탄산화가 철근에 도달하는 최소시간인 계산 내구수명에서도 100년 이상으로 나타나 전 구간에서 탄산화에 의한 철근부식영향 및 콘크리트 내구성 저하의 영향은 작을 것으로 판단된다.

① 측정결과

【표 3-69】 춘천방향 - 탄산화 깊이 측정결과 및 평가

시험위치		실측 피복두께 (㎜)	탄산화 깊이 (㎜)	탄산화 잔여깊이 (㎜)	탄산화 속도계수 (A)	상태 평가	잔존수명
상부 구조	바닥판하면 S1	49.0	8.0	41.0	2.066	a	100년이상
	바닥판하면 S2	53.0	5.0	48.0	1.291	a	100년이상
	바닥판하면 S3	52.0	6.0	46.0	1.549	a	100년이상
	바닥판하면 S4	53.0	6.0	47.0	1.549	a	100년이상
	바닥판하면 S5	49.0	7.0	42.0	1.807	a	100년이상
하부 구조	교대 A1	79.0	5.0	74.0	1.291	a	100년이상
	교각 P2 기둥부	70.0	3.5	66.5	0.904	a	100년이상
	교각 P3 기둥부	68.0	2.0	66.0	0.516	a	100년이상



【그림 3-34】 춘천방향 - 탄산화 깊이 측정결과

② 기 진단 결과와의 비교 · 분석

【표 3-70】 춘천방향 - 기 진단 결과와 비교 · 분석

구 분		2012년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단 (2016년)
상부구조	탄산화깊이	2.2~5.1mm	5.0~8.0mm
	잔여깊이	42.8~57.0mm	41.0~48.0mm
하부구조	탄산화깊이	4.7～6.1mm	2.0~5.0mm
	잔여깊이	60.3～73.2mm	66.0~74.0mm

4) 염화물 함유량 시험

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

염화물함유량시험 결과, 염화물 상태평가 기준인 “a”로 평가되었으며, 염화물에 의한 철근부식이 발생할 우려가 없는 상태로 철근부식과 내구성 저하는 없는 것으로 분석되었다.

① 측정결과

【표 3-71】 춘천방향 - 염화물 함유량과 시험결과

시험위치		전염화물함유량		상태평가 결과	상태평가 기준((kg/㎥)
		Cl-(%)	Cl-(kg/㎥)		
상부구조	바닥판하면 S2	0.0020	0.0453	a	a : 염화물 〈 0.3 b : 0.3 〈염화물≤1.2 c : 1.2 〈염화물≤2.5 d : 2.5≤염화물
하부구조	교대 A2	0.0009	0.0204	a	
	교각 P1	0.0010	0.0226	a	

※ 콘크리트 중의 환산 염화물 산출시 콘크리트의 단위중량은 2.300㎏/㎥을 적용
※ 철근부식 방지를 위한 최대 수용성 염소이온 비율(기타철근콘크리트) 0.3%을 적용

② 기 진단 결과와의 비교 · 분석

【표 3-72】 춘천방향 - 기 진단 결과와 비교 · 분석

구 분		2012년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단 (2016년)
춘천 방향	상부구조	0.235~0.239㎏/㎥	0.0453㎏/㎥
	하부구조	0.235~0.259㎏/㎥	0.0204~0.0226㎏/㎥

【표 3-73】 춘천방향 - 염화물 함유량과 시험결과

시험위치		전염화물함유량		상태평가 결과	상태평가 기준((kg/㎥)
		Cl-(%)	Cl-(kg/㎥)		
상부구조	바닥판하면 S2	0.0020	0.0453	a	a : 염화물 〈 0.3 b : 0.3 〈염화물≤1.2 c : 1.2 〈염화물≤2.5 d : 2.5≤염화물
하부구조	교대 A2	0.0009	0.0204	a	
	교각 P1	0.0010	0.0226	a	

※ 콘크리트 중의 환산 염화물 산출시 콘크리트의 단위중량은 2.300㎏/㎥을 적용
※ 철근부식 방지를 위한 최대 수용성 염소이온 비율(기타철근콘크리트) 0.3%을 적용

5) 균열깊이 조사

균열깊이 측정은 책임기술자의 판단에 따라 철근까지의 진행여부를 판단하기 위해 철근이 배근되어 있는 구간에서 폭 0.3㎜ 이상의 균열 및 균열깊이가 다소 깊게 예상되는 개소를 선정하여 시험을 실시하였다. 거더에 발생한 균열 중 폭 0.3㎜ 미만이지만 교량의 주요부재인 것으로 균열깊이를 측정하였다.

본 구조물에 대하여 상부구조 1개소, 하부구조 1개소에서 균열깊이를 측정한 결과, 측정위치에서 철근깊이까지 균열이 도달하지 않은 상태로 확인되었으나, 거더외부 S3에 발생한 균열(0.2mm/1.0m)은 균열깊이가 최소피복두께에 근접하는 것으로 측정되었다.

향후 균열의 진전으로 철근부식이 우려가 있으므로 내구성확보 차원에서 균열보수(주입보수) 및 주기적인 유지관리가 필요한 것으로 판단된다.

【표 3-74】 춘천방향 - 균열깊이 측정 결과

시험위치		균열폭/길이 (㎜/m)	초음파 전달시간 ($\times 10^{-6}$sec)		균열 깊이 (㎜)	최소 피복두께 (㎜)
			건전부 (To)	균열부 (Tc)		
상부 구조	거더외부 S3	0.2/1.0	62.2	68.7	46.9	51
하부 구조	교대 A2	0.3/1.1	60.8	70.3	58.0	78

※ 피복두께는 철근탐사를 통한 실제 조사 피복두께임

3.5 현장조사 결과요약

3.5.1 외관조사 결과요약

가. 부산방향

【표 3-75】 부산방향 - 금회 진단 외관조사 결과요약

구 분	주요결함 및 외관조사 결과
PSC 박스거더 (내부)	• 2012년도 실시된 하자만료전 보수공사 이후 거더 내부에 발생한 손상에 대해 하자보수가 전반적으로 완료된 상태이며, 금회 진단 결과 거더 복부 종방향 균열, 박리, 백태 등의 손상이 조사되었다. • 전차 정밀안전진단 시 조사된 주요 손상은 상부플랜지의 손상은 대부분 c/w=0.3mm미만의 종방향, 일부 c/w=0.3mm이상의 균열과 망상균열, 백태 등의 손상이 조사되었다. 전반적으로 보수가 완료된 상태이며, 보수상태는 양호한 것으로 조사되었다. • 거더 내부 복부에서 폭 0.3㎜미만의 사방향 균열 1개소가 발생하였으며, 상부플랜지에 폭 0.3㎜미만 균열 2개소가 조사되었으며, 내부 상부플랜지에 발생한 종방향 균열은 대부분 일정한 방향성 없이 분절된 형태로 균열의 연속성이 없는 불연속 형태를 나타내는 것으로 조사되었다. 대부분의 균열은 시공초기 발생한 거더 내·외부의 온도차이로 인한 건조수축 균열이며 시공과정에서 발생된 균열로 평가된다. • PSC 박스 내부에서 발생한 0.3㎜미만 균열은 주기적인 점검 등을 통한 지속관찰을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. • 거더 S3구간 복부 콘크리트 박리(1개소) 손상은 기 보수부위에 조사되었으며 기존 보수공사 미흡에 의한 것으로 판단된다. • PSC Box 내부 상부플랜지 격벽부 부근의 백태는 PE관 주변에서 발생하였으며, 손상부에 대한 국부적인 보수가 필요하다. 일부에서 발생한 백태는 대부분 경미한 것으로 조사되었다.
PSC 박스거더 (외부)	• PSC 박스 외부에서 폭 0.3㎜미만 균열(187개소) 및 폭 0.3㎜이상 균열(8개소)에서 연속성이 없이 부분적으로 조사되었다. 또한, 균열 발생 형태 및 위치상으로 전단균열 형태를 보이고 있으나, 이 손상은 상·하부 정착단에서 프리스트레스 도입 초기(강선 인장시) 긴장력과 시공초기 가설 후에 발생한 시공초기 균열로 판단된다. • S4 거더 하면에서 조사된 재료분리는 콘크리트 타설 중 다짐불량에 의한 것으로 경미한 상태로 조사되었다. • 캔틸레버 바닥판에 균열, 누수, 박리, 백태가 발생하였으며, 외측 캔틸레버하면 국부적으로 조사되었다. 이는 상부 배수구 막힘에 의한 부분적인 체수의 영향으로 배수구 주변에서 우수가 점진적으로 스며드는 상태이며, 또한 방호벽 기초와 교면포장 경계면에서 상대적으로 다짐이 불량하거나 아스콘 마모가 진행된 미세한 틈으로 우수가 유입되어 누수흔적 및 백태가 발생한 것으로 판단된다. • 기 보수된 보수부 상태 점검결과 보수부 재균열 등은 발생하지 않은 양호한 상태로 확인되었다.
PSC 박스거더 격벽	• 벽체 개구부의 모서리에는 건조수축, 온도변화, 외력 등으로 인한 응력집중발생으로 균열이 발생하기 쉬운 곳이다. 현재 격벽에서 발생한 손상은 2012년 하자보수를 통해 대부분 보수가 완료되었다. • 격벽에 대한 외관조사 결과, 기 보수공사 불량에 의한 A1 격벽에 박리가 조사되었다. • 기 정밀안전진단 조사 후 손상은 대부분 보수가 완료된 상태로써, 보수부 상태는 양호한 것으로 조사되었다.

【표 3-75】 부산방향 - 금회 진단 외관조사 결과요약(계속)

구 분	주요결함 및 외관조사 결과
교 대	• 교대에 발생한 균열은 미세균열(폭 0.2㎜이하)로써, 대부분의 균열의 유형은 수직균열 형태를 나타내고 있다. • 특히, 폭 0.3㎜이상의 균열은 수직방향 총 물량이 L=3.0m로써, 교대(A1)에 2개소가 조사되었다. • 교대의 기타 손상으로는 백태, 부식, 재료분리, 파손 및 철근노출(A1), 박리, 박락 등이 조사되었다.
교각	• 교각에 발생한 균열은 미세균열(폭 0.2㎜이하)로써, 대부분의 균열의 유형은 수직균열 형태로 교각 상단부와 기초부에 집중적으로 나타내고 있다. • 균열 폭 0.3㎜이상의 균열은 균열 양상이 수직균열로 발생한 부위가 전면 상단부로 동일하게 P1(전면 : 0.3㎜/1.0m, 0.4㎜/1.5m, 후면 : 0.3㎜/1.5m, 0.3㎜/1.0m)에서 조사되었다. • 교각에 발생한 균열은 교각 상단부위(교량 점검로 위) 및 교각 기초부에 주로 분포하는 것으로 조사되었다.
교량받침	• 교량 받침장치는 상부구조에서 발생된 하중을 하부구조로 전달하고 상부구조의 신축 및 회전에 능동적으로 대응하는 부재이며, 본 조사에서는 과반력 및 부반력 발생 여부, 온도변화 및 활하중에 의한 신축거동 여부 뿐만 아니라 강재 부식, 콘크리트 손상 여부 등 내구성, 기능성, 사용성 등에 대한 현장조사를 시행하였다. • 점검결과 미끄럼흔적이 조사되어 받침장치의 기능상 문제는 없으나, 일부구간에서 받침몰탈 균열(0.3㎜미만, 48개소) 등이 조사되었다. • 받침장치(P1-Sh2)의 도장박리(2개소) 등의 손상이 소규모로 조사되었다.
신축이음장치	• 신축이음장치에 대한 외관조사 결과, 전반적인 신축거동은 원활한 상태로 조사되었으며, A1:EXP. 400, A2:EXP. 240의 신축이음장치 양끝단(갓길 구간)에서 본체 부식 및 유간부 이물질 퇴적이 조사되었다. 또한, A1:EXP. 400, A2:EXP. 240의 후타재의 전 폭에 걸쳐서 후타재 균열이 일부 발생된 것으로 확인되었으며, A2:EXP. 240에서 후타재 파손이 국부적으로 1개소 조사되었다. • 신축이음하부에 대한 조사결과, Rail의 등 변형 및 파손이 없는 대부분 양호한 것으로 조사되었다.
교면포장	• 본 교량의 포장은 아스팔트포장으로 기 2012년 정밀안전진단에서 S4경간 포장부에 대한 코어채취결과 방수층 및 바닥판의 손상은 없는 것으로 조사되었다. • 포장두께의 측정결과는 각각 t=80mm로 측정되어 설계두께인 t=80mm와 유사한 것으로 조사되었다. • 교면포장에 대한 외관조사 결과, 차량 주행의 안전성을 저해할만한 손상은 없는 상태이나, 포장균열 및 망상균열이 대부분 주행차로인 2차로 및 갓길에서 부분적으로 조사되었다. • 포트홀은 일부구간에서 9개소가 조사되었고, 포장의 표면마모 현상은 9개소(S1,2,3, 5)가 조사되었다. • 교면포장에 대하여 전차 손상 및 현장조사에서 특이한 사항이 없으므로 기존 전차 보고서를 인용했다. 기존 2012년 정밀안전진단에서 코어를 채취한 결과, 포장두께는 8.1~8.2㎝로 설계 포장두께(t=8.0㎝)와 유사한 것으로 확인되었으며, 교면포장 및 방수층 상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었다.

【표 3-76】 부산방향 - 금회 진단 외관조사 결과요약

구 분	주요결함 및 외관조사 결과
배수시설	• 배수시설에 대한 외관조사 결과, 배수시설의 설치상태 및 교면의 배수상태는 전반적으로 양호한 상태이며 우수시 배수상태는 양호한 것으로 판단되며 이물질 퇴적에 의한 배수구 막힘 1개소 및 부식, 파손, 지지대 탈락 등이 조사되었다.
방호벽	• 방호벽에 대한 외관조사 결과, 전반적인 설치상태는 침하 및 변형 등이 없는 양호한 상태를 유지하고 있으나, 전 경간에 걸쳐서 균열, 균열부 백태가 다수 발생된 것으로 조사되었고, 일부구간에는 망상균열이 조사되었다. • 피복부족에 의한 철근노출 및 국부적인 파손 및 박리 등이 일부구간에서 소규모로 조사되었다. 특히, 철근노출은 외측 방호벽측에서 조사되었다.
점검시설	• 본 교량의 하부구조 점검시설은 받침장치 설치부인 교대(A1,A2)와 교각(P1)에 설치되어 코핑부 및 받침장치에 대해서 점검이 가능하도록 이루어져있다.

나. 춘천방향

【표 3-77】 춘천방향 - 금회 진단 외관조사 결과요약

구 분	주요결함 및 외관조사 결과
PSC 박스거더 (내부)	• 2012년도 실시된 하자만료전 보수공사 이후 거더 내부에 발생한 손상에 대해 하자보수가 전반적으로 완료된 상태이며, 금회 진단 결과 거더 복부 종방향 균열, 박락 등의 손상이 조사되었다. • 전차 정밀안전진단 시 조사된 주요 손상은 상부플랜지, 복부의 손상은 대부분 c/w=0.3mm미만의 종방향 균열과 망상균열 등의 손상이 조사되었다. 전반적으로 보수가 완료된 상태이며, 보수상태는 양호한 것으로 조사되었다. • 거더 상부플랜지에서 폭 0.3㎜미만의 종방향 균열 9개소가 발생하였으며, 내부 상부플랜지에 발생한 종방향 균열은 대부분 일정한 방향성 없이 분절된 형태로 균열의 연속성이 없는 불연속 형태를 나타내는 것으로 조사되었다. 대부분의 균열은 시공초기 발생한 거더 내·외부의 온도차이로 인한 건조수축 균열이며 시공과정에서 발생된 균열로 평가된다. • PSC 박스 내부에서 발생한 0.3㎜미만 균열은 주기적인 점검 등을 통한 지속관찰을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. • 거더 S2구간 복부 콘크리트 박리(1개소)이 조사되었다.
PSC 박스거더 (외부)	• PSC 박스 외부에서 폭 0.3㎜미만 균열(104개소)이 연속성이 없이 부분적으로 조사되었다. 또한, 균열 발생형태 및 위치상으로 전단균열 형태를 보이고 있으나, 이 손상은 상·하부 정착단에서 프리스트레스 도입 초기(강선 인장시) 긴장력과 시공초기 가설 후에 발생한 시공초기 균열로 판단된다. • 캔틸레버 바닥판에 균열, 박리, 박락, 백태, 누수흔적이 발생하였으며, 외측 캔틸레버하면 국부적으로 조사되었다. • 일부 기 보수된 보수부 상태 점검결과 보수부 재균열 등은 발생하지 않은 양호한 상태로 확인되었다.
PSC 박스거더 격벽	• 격벽은 교량의 각 지점부에 총 17개소(A1측:1개소, P1측:3개소, P2측:4개소, P3측:4개소, P4측:4개소, A2측:1개소)가 설치되어 있다. • 현장조사 및 유지관리 자료 검토결과, 전차진단시 조사된 손상에 대해서는 대부분 12년 하자보수가 실시된 상태인 것으로 확인되었다.

【표 3-77】 춘천방향 - 금회 진단 외관조사 결과요약(계속)

구 분	주요결함 및 외관조사 결과
교 대	• 교대에 발생한 균열은 미세균열(폭 0.3㎜미만, 이상)로써, 대부분의 균열의 유형은 수직 균열 형태를 나타내고 있다. • 교대의 기타 손상으로는 백태, 재료분리, 파손 및 철근노출(A1), 박리, 박락 등이 조사되었다.
교 각	• 상부구조를 지지하는 구조물인 교각은 4기로 구성되어있다. 교각의 형식은 구주식(P1~P4)으로 시공되어져 있다. • 교각에 대한 외관조사는 도보 및 사다리를 이용하였으며, 장비 접근이 가능한 P1, P4, 교각에 대해서는 고소점점차를 이용하였으며, 그 외에 장비접근이 곤란한 교각에 대해서는 드론을 활용하여 손상 여부를 확인하였다.
교량받침	• 교량 받침장치는 상부구조에서 발생된 하중을 하부구조로 전달하고 상부구조의 신축 및 회전에 능동적으로 대응하는 부재이며, 본 조사에서는 과반력 및 부반력 발생 여부, 온도변화 및 활하중에 의한 신축거동 여부 뿐만 아니라 강재 부식, 콘크리트 손상 여부 등 내구성, 기능성, 사용성 등에 대한 현장조사를 시행하였다. • 점검결과 미끄럼흔적이 조사되어 받침장치의 기능상 문제는 없으나, 일부구간에서 받침몰탈 균열(0.3㎜미만, 8개소) 등이 조사되었다.
신축이음장치	• 신축이음장치에 대한 외관조사 결과, 전반적인 신축거동은 원활한 상태로 조사되었으며, A1:EXP. 400, A2:EXP. 240의 신축이음장치 양끝단(갓길 구간)에서 본체 부식 및 유간부 이물질 퇴적이 조사되었다. 또한, A1:EXP. 400, A2:EXP. 240의 후타재의 전 폭에 걸쳐서 후타재 균열이 일부 발생된 것으로 확인되었으며, A2:EXP. 240에서 후타재 파손이 국부적으로 2개소 조사되었다. • 신축이음하부에 대한 조사결과, Rail의 등 변형 및 파손이 없는 대부분 양호한 것으로 조사되었다.
교면포장	• 본 교량의 포장은 아스팔트포장으로 기 2012년 정밀안전진단에서 S1경간 포장부에 대한 코어채취결과 방수층 및 바닥판의 손상은 없는 것으로 조사되었다. • 포장두께의 측정결과는 각각 t=80mm로 측정되어 설계두께인 t=80mm와 유사한 것으로 조사되었다.
배수시설	• 배수시설에 대한 외관조사 결과, 배수시설의 설치상태 및 교면의 배수상태는 전반적으로 양호한 상태이며 우수시 배수상태는 양호한 것으로 판단되며 부식이 조사되었다.
방호벽	• 방호벽에 대한 외관조사 결과, 전반적인 설치상태는 침하 및 변형 등이 없는 양호한 상태를 유지하고 있으나, 방호벽에 발생한 균열 및 균열부 백태는 대부분 c/w=0.1~0.2mm의 균열로 조사되었다. 손상원인은 선시공된 바닥판에 난간이 후타설되면서 발생한 구속응력에 기인한 부등건조수축균열과 타설시 내부에 수화반응을 하고 남은 잉여수가 증발함에 따라 발생한 수축균열에 기인한 것으로 판단된다.
점검로	• 본 교량의 하부구조 점검시설은 받침장치 설치부인 교대(A2)와 교각(P1)에 설치되어 코핑부 및 받침장치에 대해서 점검이 가능하도록 이루어져있다. • 외관조사결과, 교대 및 교각점검로의 상태는 비교적 양호하며 A2교대의 점검로에 국부적인 부식이 확인되어, 부식방지를 위한 재도장이 이루어져야 할 것이다.

다. 기 진단결과 비교

1) 부산방향

【표 3-78】 부산방향 - 기 진단결과 비교표

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		비 고
			수량	개소	수량	개소	
바닥판 하면	균열(Cw=0.3㎜미만)	m	10.30	6	2.70	2	기존손상 수량조정
	균열부백태	m	0.30	1	0.30	1	-
	망상균열	㎡	0.16	1	0.16	1	-
	누수 및 백태(열화)	㎡	0.55	8	2.01	5	일부 추가손상
	박리	㎡	-	-	0.15	2	신규손상
	백태	㎡	-	-	2.84	21	신규손상
PSC Box 내부 (격벽 포함)	균열(Cw=0.3㎜미만)	m	7.30	9	8.10	5	일부 손상 보수 및 기존손상 수량조정
	균열(Cw=0.3㎜이상)	m	0.30	1	0.30	1	-
	망상균열	㎡	1.50	1	1.50	1	-
	박리	㎡	-	-	1.00	1	신규손상
	백태	㎡	0.75	1	0.25	1	기 진단 오차 및 추가손상
	등망실	EA	5	5	5	5	-
	배선받침 파손	m	18.00	6	18.00	6	-
	배선받침 부식	㎡	0.24	1	0.24	1	-
PSC Box 외부	균열(Cw=0.3㎜미만)	m	47.04	38	217.40	202	일부 추가손상
	균열(Cw=0.3㎜이상)	m	-	-	51.00	24	신규손상
	망상균열	㎡	0.16	1	0.16	1	-
	균열 및 백태	㎡	1.00	1	2.30	3	일부손상추가
	백태	㎡	0.05	1	0.43	6	일부손상추가
	박리	㎡	-	-	0.15	1	신규손상
	재료분리	㎡	0.53	3	0.53	3	-
거더 진·출입구	균열(Cw=0.3㎜미만)	m	0.80	1	0.80	1	-
	균열(Cw=0.3㎜이상)	m	2.70	2	2.70	2	-
	백태	㎡	0.01	1	0.01	1	-

【표 3-78】 부산방향 - 기 진단결과 비교표(계속)

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		비 고
			수량	개소	수량	개소	
하부 구조	균열(0.3㎜미만)	m	35.10	71	25.80	18	일부 손상 보수
	균열(0.3㎜이상)	m	13.80	7	3.00	2	
	망상균열	㎡	30.54	12	6.74	4	
	박리, 박락	㎡	0.42	15	1.31	13	
	백태	㎡	0.70	2	0.40	1	
	재료분리	㎡	1.35	2	1.20	1	기존손상 수량수정
	철근노출	㎡	-	-	0.20	5	신규손상
	앵커홀/앵커볼트 마감불량	㎡	20	20	20	20	-
	강판/점검로부식	㎡	3.59	5	1.02	4	일부 손상 보수
	바닥콘크리트침하	㎡	3.75	1	3.75	1	-
	계단파손	EA	7	7	3	3	기존 수량 조정
	법면 토사유출	㎡	-	-	180.00	1	신규손상
기초	균열(0.3㎜미만)	m	428.70	71	-	-	균열이 망상균열로 진전
	균열(0.3㎜이상)	m	1.00	1	-	-	
	망상균열	㎡	-	-	240.00	2	신규손상
교량 받침	받침콘크리트균열 (0.3㎜미만)	m	1.70	13	12.70	49	일부 추가손상
	받침콘크리트균열 (0.3㎜이상)	m	0.50	1	-	-	보수
	도장박리	㎡	0.05	1	-	-	보수
	눈금바늘파손	EA	1	1	1	1	-
신축 이음	후타재균열(0.3㎜미만)	m	14.30	29	29.10	60	기존손상 수량조정 및 추가손상
	후타재균열(0.3㎜이상)	m	12.44	29	-	-	기존 수량 조정 (0.2㎜균열로 점검)
	후타재 파손	㎡	0.16	1	0.16	1	-
	본체 부식	㎡	3.75	4	6.37	2	기존 수량 조정
	이물질퇴적	㎡	10.00	4	3.20	4	
	차수덮개 볼트탈락	EA	7	7	7	7	-
교면 포장	보수부 소성변형	㎡	2.00	1	2.00	1	-
	아스콘 균열	m	-	-	72.70	13	신규손상
	아스콘 망상균열	㎡	0.64	1	21.00	2	일부 손상추가
	표면마모	㎡	-	-	55.50	9	누락손상
	포트홀	㎡	0.02	1	0.99	99	일부 손상추가
배수 시설	배수관 끝단 부식	EA	11	11	7	7	기존 수량 조정
	배수관 지지대 탈락	EA	5	5	5	5	-
	배수관 파손	EA	-	-	1	1	누락손상
	배수관 이음부 누수	EA	-	-	4	4	
	막힘	EA	-	-	3	3	

【표 3-79】 부산방향 - 기 진단결과 비교표

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		비 고
			수량	개소	수량	개소	
방호벽	균열(0.3㎜미만)	m	34.50	36	38.40	36	기존 수량 조정
	균열(0.3㎜이상)	m	-	-	1.00	1	누락손상
	균열 및 백태	m	659.70	215	692.50	177	기존 수량 조정
	망상균열	㎡	4.54	5	2.37	2	기존 수량 조정 및 일부 손상추가
	박리, 박락	㎡	0.50	3	0.30	2	기존 수량 조정
	철근노출	㎡	-	-	1.51	12	신규손상
	백태, 오염	㎡	0.60	2	0.60	2	-
	조인트 이격	m	1.40	1	1.40	1	-
기타 부대 시설	가로등 덮개 부식	㎡	-	-	0.04	1	누락손상
	가로등받침대 열화	㎡	-	-	3.50	5	신규손상
	방풍벽 받침부식	㎡	0.06	1	0.06	1	-
	표지판부식	㎡	0.01	1	0.01	1	-
	방호망변형	m	-	-	0.08	2	누락손상
검토 의견	→ 보수이력 및 현장조사 결과, 받침장치의 일부보수가 완료되었으며, 보수상태 또한 양호한 것으로 판단되나 대부분의 부재의 손상은 미 보수된 상태로 조사됨 → 기 진단과 비교결과, 대부분의 손상은 미세균열 및 콘크리트의 일반적인 손상들로 조사결과 누락손상 및 신규손상(아스콘 균열, 하부구조 철근노출, 방호벽 철근노출)등으로 인해 손상물량이 다소 증가함						

2) 춘천방향

【표 3-80】 춘천방향 - 기 진단결과 비교표

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		비 고
			수량	개소	수량	개소	
바닥판	균열(0.3㎜미만)	m	1.80	2	3.00	1	기 진단 오차 및 기존 손상 수량조정
	백태	㎡	0.08	4	0.97	9	
	균열 및 백태	m	-	-	0.50	1	신규손상
	박락	㎡	-	-	0.15	1	
	누수흔적	㎡	-	-	1.77	2	누락손상
PSC Box 내부 (격벽 포함)	균열(0.3㎜미만)	m	2.40	8	10.96	21	일부 추가손상
	망상균열	㎡	-	-	0.08	1	신규손상
	박락	㎡	0.27	3	0.02	2	기존손상 수량조정
	철근절단부	EA	24	24	24	24	-
	강재부식	㎡	0.36	1	0.36	1	-
	조류배설물 퇴적	㎡	0.25	1	0.25	1	-
	백태	㎡	-	-	0.01	1	신규손상
	파손	㎡	-	-	0.01	1	
PSC Box 외부	균열(0.3㎜미만)	m	8.70	15	20.3	27	일부 추가손상
	백태	㎡	0.07	2	0.05	1	기존손상 수량조정
	재료분리	㎡	0.05	1	0.05	1	-
거더 진·출입구	균열(0.3㎜미만)	m	1.20	1	1.20	1	-
	균열 및 백태	m	2.00	2	2.00	2	-
	백태	㎡	0.37	3	0.37	3	-
	재료분리	㎡	0.02	1	0.02	1	-
하부 구조	균열(0.3㎜미만)	m	34.30	27	42.36	36	일부 추가손상
	균열(0.3㎜이상)	m	13.05	11	9.30	6	일부 손상 보수 및 추가손상
	망상균열	㎡	2.55	5	2.93	4	
	균열 및 백태	m	5.60	3	5.60	3	-
	재료분리	㎡	-	-	0.02	1	신규손상
	박리, 박락	㎡	1.48	7	1.89	6	기존손상 수량조정
	백태	㎡	0.06	1	1.86	3	일부 추가손상
	표면오염	㎡	1.25	1	-	-	표면처리
	강판/점검로부식	㎡	3.75	2	1.51	3	기존손상 수량조정
	덮개판 탈락	EA	1	1	1	1	-
	앵커볼트미제거(철근노출)	EA	6	6	6	6	-
	파손	㎡	-	-	0.25	1	신규손상
	철근노출	㎡	-	-	0.16	7	
	법면 토사유출	㎡	-	-	180.00	1	

【표 3-80】 춘천방향 - 기 진단결과 비교표(계속)

구 분	손상내용	단위	2012년 전차진단		2016년 금회진단		비 고
			수량	개소	수량	개소	
기초	균열(0.3㎜미만)	m	443.90	74	-	-	망상균열로 진전
	균열(0.3㎜이상)	m	62.00	12	-	-	
	망상균열	㎡	-	-	240.00	2	신규손상
교량 받침	콘크리트 균열(0.3㎜미만)	m	6.90	63	2.40	18	기존손상 수량조정
	모르타르 균열(0.3㎜이상)	m			7.50	55	
	도장박리	㎡	0.01	1	0.01	1	-
신축 이음	후타재균열(0.3㎜미만)	m	14.03	35	17.18	40	일부 추가손상
	후타재균열(0.3㎜이상)	m	10.75	23	10.46	22	기존손상 수량조정
	후타재 파손	㎡	0.04	1	0.14	2	일부 추가손상
	본체 부식	㎡	11.44	4	10.08	2	기존손상 수량조정
	이물질퇴적	m	-	-	4.02	5	누락손상
교면 포장	아스콘 균열	m	-	-	13.20	3	신규손상
	아스콘 망상균열	㎡	-	-	21.50	2	
	아스콘 파손	㎡	-	-	3.00	1	
	포장불량	㎡	1.05	4	1.05	4	-
	포장부 마모	㎡	7.50	1	65.50	10	일부 추가손상
	포장부 소성변형	㎡	10.50	1	10.50	1	-
배수 시설	배수관 이음부 부식	EA	2	2	15	15	일부 추가손상 및 부식으로 통일
	배수관끝단 부식	EA	10	10			
	배수관 접합부 누수	EA	2	2	2	2	-
방호벽	균열(0.3㎜미만)	m	500.30	256	355.80	93	일부 손상 보수 및 기존손상 수량조정
	균열(0.3㎜이상)	m	3.90	5	3.90	5	-
	균열 및 백태(0.3㎜미만)	m	4.40	4	265.00	4	방호벽 외측 정밀조사로 신규손상
	균열 및 백태(0.3㎜이상)	m	3.90	3	3.90	3	-
	망상균열	㎡	6.02	16	4.37	6	일부 손상 보수 및 기존손상 수량조정
	박락	㎡	1.20	5	0.40	1	기존손상 수량조정
	백태	㎡	3.44	5	3.44	5	-
기타 부대 시설	압성토 공동/파손	㎡	12.00	1	12.00	1	-
	방호망 부식	㎡	-	-	0.14	7	-
	방호망 파손	㎡	-	-	2.00	1	누락손상
	가로등 받침대 열화	㎡	-	-	1.50	6	
	가로등 받침대덮개 탈락	EA	-	-	1	1	
검토 의견	→ 보수이력 및 현장조사 결과, 하부구조 및 방호벽 등에 일부 보수가 완료되었고 보수상태 또한 양호한 것으로 판단되며 그 외 손상은 미 보수된 상태로 조사됨 → 기 진단과 비교결과, 대부분의 손상은 미세균열 및 콘크리트의 일반적인 손상들로 손상수량이 다소 증가되었으며 누락손상(하부구조 누수흔적, 신축이음 이물질 퇴적)과 신규손상(균열 및 백태, 박락, 방호망 파손)등이 조사되어 손상물량이 소폭 증가함						

3.5.2 내구성조사 결과요약

가. 부산방향

【표 3-81】 부산방향 - 내구성조사 결과 요약

시 험 명		시험부위		시험 결과	비 고
콘크리트	비파괴 강도시험 (MPa)	상부구조		42.4~50.6	• 설계기준강도(40MPa)를 상회함.
		하부구조		29.4~44.4	• 설계기준강도(24MPa, 40MPa)를 상회함.
	철근탐사 시험(㎜)	상부 구조	배근간격	140~153	• 전반적으로 철근배근간격 및 피복두께는 준공도면과 거의 일치함.
			피복두께	48~66	
		하부 구조	배근간격	100~250	
			피복두께	60~100	
	탄산화 잔여깊이 (㎜)	상부 구조		44.0~54.0	• 상태평가 a
		하부 구조		58.0~81.0	
	염화물 함유량 시험 (kg/m³)	상부 구조		0.0339	• 상태평가 b
		하부 구조		0.0634~0.3621	• 상태평가 a~b
	균열깊이 (㎝)	상부 구조		4.25~4.68	• 주입보수 필요
		하부 구조		5.47	• 주입보수 필요
종합 평가	■ 비파괴강도 측정결과, 측정값은 설계기준강도를 상회하는 것으로 조사되었으며, 기 점검과의 비교·분석 결과, 부재별로 측정 위치가 달라 다소 차이가 있지만, 구조물의 강도저하는 없는 것으로 평가됨. ■ 탄산화 깊이측정결과, 전반적으로 양호한 상태인 것으로 조사되어 상태등급 “a” 로 판정됨. 염화물 함유량 시험결과 상부구조는 "b"로 평가되었고, 하부구조는 “a~b"로 평가됨. ■ 하부구조의 탄산화 깊이는 전차진단과 비교할 때, 다소 증가한 사유는 측정위치가 동일하지 않은 결과에 의한 편차로 판단됨. ■ 균열깊이 측정결과, 전반적으로 피복두께를 초과하여 내구성 저하 방지를 위한 주입보수가 요구됨. ■ 금회 진단결과, 비파괴 강도, 철근배근상태, 탄산화 깊이 시험결과, 대부분 양호한 수준으로 측정됨.				

나. 춘천방향

【표 3-82】 춘천방향 - 내구성조사 결과 요약

시 험 명		시험부위		시험 결과	비 고
콘크리트	비파괴 강도시험 (MPa)	상부구조		44.4~50.5	• 설계기준강도(40MPa)를 상회함.
		하부구조		29.3~45.4	• 설계기준강도(24MPa, 40MPa)를 상회함.
	철근탐사 시험(mm)	상부 구조	배근간격	140~158	• 전반적으로 철근배근간격 및 피복두께는 준공도면과 거의 일치함.
			피복두께	48~61	
		하부 구조	배근간격	95~245	
			피복두께	68~96	
	탄산화 잔여깊이 (mm)	상부 구조		48.0~61.0	• 상태평가 a
		하부 구조		68.0~96.0	
	염화물 함유량 시험 (kg/m³)	상부 구조		0.0453	• 상태평가 a
		하부 구조		0.0204~0.0226	• 상태평가 a
	균열깊이 (cm)	상부 구조		4.69	• 주입보수 필요
		하부 구조		5.80	• 주입보수 필요
종합 평가	■ 비파괴강도 측정결과, 측정값은 설계기준강도를 상회하는 것으로 조사되었으며, 기 점검과의 비교·분석 결과, 부재별로 측정 위치가 달라 다소 차이가 있지만, 구조물의 강도저하는 없는 것으로 평가됨. ■ 탄산화 깊이측정결과, 전반적으로 양호한 상태인 것으로 조사되어 상태등급 “a” 로 판정됨. 염화물 함유량 시험결과 상부구조 및 하부구조는 "a"로 평가됨 ■ 하부구조의 탄산화 깊이는 전차진단과 비교할 때, 다소 증가한 사유는 측정위치가 동일하지 않은 결과에 의한 편차로 판단됨. ■ 균열깊이 측정결과, 전반적으로 피복두께를 초과하여 내구성 저하 방지를 위한 주입보수가 요구됨. ■ 금회 진단결과, 비파괴 강도, 철근배근상태, 탄산화 깊이 시험결과, 대부분 양호한 수준으로 측정됨.				