

## 제 3 장 현장조사 및 시험

---

3.1 개요

3.2 백운1교(부산) 외관조사

3.3 백운1교(춘천) 외관조사

3.4 콘크리트 내구성조사

3.5 강재 내구성조사

3.6 현장조사 및 시험 결과요약





## 제 3 장 현장조사 및 시험

### 3.1 개 요

#### 3.1.1 대상구조물의 개요

##### 가. 백운1교(부산)

- 백운1교(부산)은 총연장 180.93m, 총폭 12.6m의 Steel Arch교량으로서, 강원도 원주시 판부면 금대리에 위치(중앙선 Sta. 301.8km)한다. 평면선형은 사각이 없는 직선교이며, 종단경사는 시점(부산측)에서 종점(춘천측)으로 2.78%의 하향경사를 이루고 있다.
- Bent공법으로 시공된 3경간 강아치교(상로식 로제교)는 좌, 우측의 주거더와 가로보, 아치리브와 브레이싱 및 행어가 복합적으로 구성된 2힌지의 3경간 연속교이며, 하부구조는 직접(전면)기초 위에 벽식교각과 역T형 교대로 시공되었다.
- 백운1교(부산)는 1등교(DB-24)로써 2000년도에 준공되어 현재까지 약 16년이 경과되었으며, 최대 경간장이 79.97m인 1종 시설물이다.

##### 나. 백운1교(춘천)

- 백운1교(춘천)는 총연장 151.4m, 총폭 12.51m의 AR 거더 교량으로서, 강원도 원주시 판부면 금대리에 위치(중앙선, Sta. 301.9km)한다. 평면선형은 사각이 없는 직선교이며, 종단경사는 시점(부산측)에서 종점(춘천측)으로 2.78%의 하향경사를 이루고 있다.
- 상부구조는 3경간 연속의 AR거더이며, 하부구조는 역T형 교대 2기 및 구형 교각 2기이며, 기초형식은 A1, P1은 직접기초, P2, A2는 강관파일 말뚝기초로 시공되었다.
- 백운1교(춘천)은 1등교(DB-24)로서 1995년도에 준공되어 현재까지 약 21년이 경과되었으며, 최대 경간장이 80.0m인 1종 시설물이다.

#### 3.1.2 현장조사 개요

진단대상 교량의 외관조사는 손상현황 및 결함의 상태를 파악하여 시설물의 건전성을 저해시키는 위험요인을 사전에 발견하여 보다 적절한 보수대책 수립을 위한 기본자료를 얻기위함이며, 현장조사는 도보조사, 점검통로, 점검차량 등 접근장비를 이용하여 대상 부위에 가능한 근접하여 조사를 실시하였다.

현장조사는 정밀 육안관찰을 기본으로 하여 실시하였으며, 필요한 경우 균열게이지, 균열확대경, 줄자 등을 이용하고 카메라를 이용하여 손상위치를 파악하였다.

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

외관조사시 손상 또는 결함의 정도는 육안이나 간단한 도구에 의하여 실시하였는바, 조사자의 주관적인 판단에 의해 발생하는 차이를 최소화하기 위하여 『시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 지침(국토교통부고시 제2013-200호)』, 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 해설서(2012.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』를 기준으로 평가하였으며, 구조물에 발생한 손상의 정도는 a~d 4단계, a~e 5단계로 분류하여 적용하였고, 점검항목의 체계화를 위하여 구조물 항목별로 평가를 실시하였다.

### 3.1.3 현장조사 진행방향

【표 3.1】 현장조사 진행방향

| 구 분       | 조사내용                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 비고 |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 답사 및 예비조사 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 현장조사 여건파악, 부재별 조사방법 및 접근장비 계획</li> <li>• 주변 상태변화 파악</li> <li>• 이력사항 검토를 통하여 부재별 주요 결함, 보수·보강 부재, 부위 파악</li> <li>• 결함, 손상의 발생원인을 추정하고 조사방향 결정</li> <li>• 조사인원 구성, 진단장비, 교통통제 계획 및 유관기관 협의, 기타 일정 계획</li> </ul>                                                                                                                        | -  |
| 본조사       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 바닥판, 강거더, 교대, 교각 등 주부재 손상 보수여부, 균열, 열화 및 손상</li> <li>• 받침장치, 신축이음장치 보수여부, 외관 및 기능상태 육안점검, 측정</li> <li>• 교면 아스콘포장 보수여부, 주행로 균열, 열화 및 손상 발생여부</li> <li>• 배수시설 상태변화 및 기능상태</li> <li>• 방호울타리 손상 보수여부, 균열, 열화 및 손상</li> <li>• 콘크리트 부재 및 강부재 내구성조사</li> </ul> <p>⇒ 상기사항을 중점 점검하여 손상의 원인을 판단하고, 원인에 따른 적절한 보수·보강방안 및 범위, 효율적인 유지관리방안 제시</p> | -  |

【표 3.2】 현장조사 기간

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

### 3.1.4 교량 점검 및 접근방법

백운1교는 치악 2터널과 치악 3터널 간의 골짜기를 연결하는 교량으로 외관조사는 교량 상부 및 교대 및 교각은 도보를 이용하여 실시하였고, 거더, 바닥판 하면, 행거 등 접근이 난이한 부재는 교량점검차, 이가점검차(다굴절차), 고소점검차, 디지스코프, 망원경 및 점검통로를 이용하였다.



도보를 이용한 외관조사



교량점검차 및 이가점검차(다굴절차)를 이용한 외관조사



고소점검차 및 디지스코프를 이용한 외관조사

【사진 3.1】 외관조사 전경

## 3.1.5 일반적 부재별, 손상별 발생원인 및 조사방향

【표 3.3】 일반적 부재별, 손상별 발생원인 및 조사방향

| 손상내용                              |                                | 발생원인                                                                                                                        | 조사방향                                                                                                   |
|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 교면포장                              | 신축이음 후타재<br>균열, 파손 등           | <ul style="list-style-type: none"> <li>중차량 통과</li> <li>노후화 및 시공불량</li> </ul>                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>발생위치 및 규모</li> </ul>                                            |
| 바닥판<br>하면                         | 횡방향 균열                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>건조수축에 의한 균열</li> </ul>                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>균열폭, 방향 및 연속성</li> <li>균열부 누수, 백태 유무</li> </ul>                 |
|                                   | 망상균열                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>건조수축에 의한 균열</li> </ul>                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>균열폭, 방향 및 연속성</li> <li>균열부 누수, 백태 유무</li> </ul>                 |
|                                   | 누수, 백태                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>교량상면 균열</li> </ul>                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>구체를 통한 누수 여부</li> </ul>                                         |
| 교대, 교각                            | 균열                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>건조수축에 의한 균열</li> <li>수화열에 의한 균열</li> <li>시공이음부 균열</li> </ul>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>균열폭, 방향 및 연속성</li> <li>균열의 시·종점</li> </ul>                      |
| 철근 비노출 손상<br>(재료분리, 박리, 박락, 들뜸 등) |                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>다짐불량</li> <li>인위적인 손상</li> <li>탄산화로 인한 내부철근 부식</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>발생 규모 및 위치</li> <li>청음조사</li> </ul>                             |
| 철근 노출 손상<br>(재료분리, 파손, 박락 등)      |                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>피복두께 부족</li> <li>내부철근 부식으로 인한 피복박리</li> <li>인위적인 큰 단면 손상</li> </ul>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>발생 규모 및 위치</li> <li>청음조사</li> <li>부식으로 인한 철근단면 감소 여부</li> </ul> |
| Steel Box<br>Girder 및<br>2차 부재    | 강재본체                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>기 변형된 부재 사용</li> <li>인위적인 절단, 충격(하중)</li> </ul>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>발생위치 및 규모</li> <li>2차적인 손상발생 유무</li> </ul>                      |
|                                   | 용접부                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>피로균열, 받침 지지상태 불량</li> <li>시공시 누락</li> <li>용접전류, 용접속도 불량</li> <li>미숙련자의 용접</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>발생위치 및 규모</li> <li>2차적인 손상발생 유무</li> </ul>                      |
|                                   | 연결볼트                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>연결부 제작오차로 인한 단차 발생</li> <li>볼트 구멍 어긋남(불일치)</li> </ul>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>발생위치 및 규모</li> <li>2차적인 손상발생 유무</li> </ul>                      |
|                                   | 부식 및 도장박리                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>오랜 공용기간으로 인한 도장 열화</li> <li>도막두께 부족</li> <li>신축이음부 누수 및 빗물 유입</li> </ul>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>발생위치 및 규모</li> <li>2차적인 손상발생 유무</li> </ul>                      |
| 교량받침                              | 가동 여유량 부족<br>및 밀착 발생 등         | <ul style="list-style-type: none"> <li>온도변화를 정확히 미고려함</li> <li>시공오차에 따른 가동 여유량 부족</li> </ul>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>현 가동여유량 조사</li> <li>발생 위치 및 개소</li> <li>2차 손상 발생 유무</li> </ul>  |
|                                   | 연단부 및<br>받침 콘크리트 파손            | <ul style="list-style-type: none"> <li>받침장치 가동불량에 따른 전단 파괴</li> </ul>                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>교각 연단부 균열발생 여부 및 받침부 강재 변형여부 관찰</li> </ul>                      |
|                                   | 고정앵커 볼트<br>미조임, 길이부족<br>설치불량 등 | <ul style="list-style-type: none"> <li>볼트 나사선 청소불량</li> <li>앵커 볼트 편심 시공</li> <li>제작오차로 인한 조임시 하답과 밀착</li> </ul>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>발생 위치 및 개소</li> <li>2차 손상 발생 유무</li> </ul>                      |
|                                   | 녹 및 부식                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>오랜 공용기간으로 인한 도장열화</li> <li>신축이음부 누수</li> </ul>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>발생 위치 및 개소</li> </ul>                                           |
|                                   | 무수축 몰탈<br>균열 및 들뜸              | <ul style="list-style-type: none"> <li>시공불량</li> <li>건조수축에 의한 균열</li> </ul>                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>발생 규모 및 위치</li> <li>청음조사</li> </ul>                             |

### 3.1.6 부재제원 확인

백운1교의 부재제원 확인을 위해 줄자 및 디스토(거리측정기)를 이용하여 각각의 부재별로 실측을 실시하고, 이를 준공도와 비교·검토하여 주요 부재의 규격을 확인하였다.



【사진 3.2】 부재제원 확인

【표 3.4】 부재제원 확인

| 구 분          |          |            | 부재제원 | 실측결과     | 비 고      |    |
|--------------|----------|------------|------|----------|----------|----|
| 백운1교<br>(부산) | 상부<br>구조 | 바닥판 B      |      | 12.600 m | 12.606 m | 일치 |
|              |          | 보강거더       | 높이 H | 1.250 m  | 1.250 m  | 일치 |
|              |          |            | 간격 B | 0.900 m  | 0.900 m  | 일치 |
|              |          | 아.리치브      | 높이 H | 1.300 m  | 1.300 m  | 일치 |
|              |          |            | 간격 B | 0.900 m  | 0.900 m  | 일치 |
|              |          | 행거         | 간격 W | 0.500 m  | 0.500 m  | 일치 |
|              |          |            | 간격 B | 0.900 m  | 0.900 m  | 일치 |
|              |          | 상부<br>브레이싱 | 간격 W | 0.300 m  | 0.300 m  | 일치 |
|              |          |            | 간격 B | 0.300 m  | 0.300 m  | 일치 |

【표 3.4】 부재제원 확인(계속)

| 구 분          |                                                                                                                             |                |      | 부재제원     | 실측결과     | 비 고 |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------|----------|----------|-----|
| 백운1교<br>(부산) | 상부<br>구조                                                                                                                    | 하부<br>브레이싱     | 간격 W | 0.300 m  | 0.300 m  | 일치  |
|              |                                                                                                                             |                | 간격 B | 0.300 m  | 0.300 m  | 일치  |
|              | 하부<br>구조                                                                                                                    | 교 대<br>(A1/구체) | 폭 B  | 14.200 m | 14.150 m | 일치  |
|              |                                                                                                                             |                | 상면 L | 1.200 m  | 1.200 m  | 일치  |
|              |                                                                                                                             | 교 각<br>(P1/코핑) | 폭 B  | 12.800 m | 12.800 m | 일치  |
|              |                                                                                                                             |                | 상면 L | 3.000 m  | 3.000 m  | 일치  |
|              | 기타                                                                                                                          | 방호벽            | 높이 H | 1.080 m  | 1.070 m  | 일치  |
|              |                                                                                                                             | 포장(재포장)        | 두께 T | 0.080 m  | 0.080 m  | 일치  |
| 백운1교<br>(춘천) | 상부<br>구조                                                                                                                    | 바닥판 B          |      | 12.510 m | 12.500 m | 일치  |
|              |                                                                                                                             | 아.리치브          | 간격 B | 2.000 m  | 2.000 m  | 일치  |
|              | 하부<br>구조                                                                                                                    | 교 대<br>(A1/구체) | 폭 B  | 12.510 m | 12.400 m | 일치  |
|              |                                                                                                                             |                | 상면 L | 1.600 m  | 1.600 m  | 일치  |
|              |                                                                                                                             | 교 각<br>(P1/코핑) | 폭 B  | 7.000 m  | 7.000 m  | 일치  |
|              |                                                                                                                             |                | 상면 L | 5.600 m  | 5.610 m  | 일치  |
|              | 기타                                                                                                                          | 방호벽            | 높이 H | 1.080 m  | 1.090 m  | 일치  |
|              |                                                                                                                             | 포장             | 두께 T | 0.050 m  | 0.050 m  | 일치  |
| 측정<br>결과     | • 부재 제원의 실측결과, 전반적으로 백운1교(부산)은 「중앙고속도로 제천-원주간 확장공사 제16공구 실시설계도」, 백운1교(춘천)은 「대구-춘천간 고속도로 건설공사 제7공구 준공도」 준공도상의 제원과 전반적으로 일치함. |                |      |          |          |     |

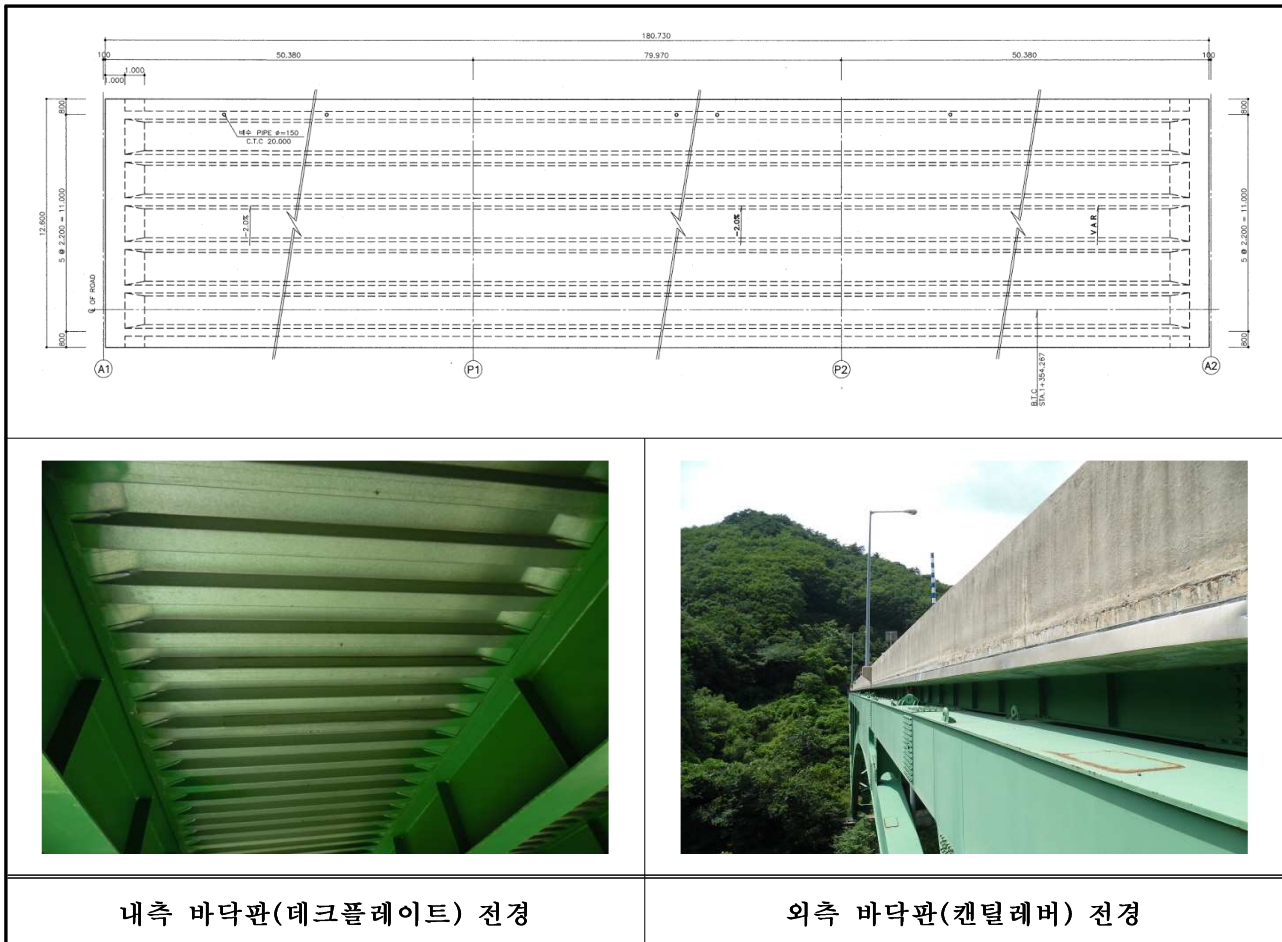


## 3.2 백운1교(부산) 외관조사

### 3.2.1 상부구조

#### 가. 바닥판

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



【사진 3.3】 백운1교(부산) 바닥판 전경

#### 1) 외관조사 결과

바닥판 하면에서 발생한 주요 결함은 도장박리, 박리, 백태, 볼트부식, 데크플레이트 부식, 철그노출, 파손 등이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.5】 과 같다.

【표 3.5】 백운1교(부산) 바닥판 외관조사 결과

| 구분 | 박리<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 백태<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 부식<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 철근노출<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 파손<br>(m <sup>2</sup> /EA) |
|----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|
| S1 | -                          | 5.62/15                    | 5.01/11                    | 0.08/4                       | -                          |
| S2 | -                          | 5.52/6                     | 27.07/56                   | -                            | -                          |
| S3 | 0.2/1                      | 8.5/4                      | 37.44/59                   | -                            | 0.16/1                     |
| 합계 | 0.2/1                      | 19.64/25                   | 69.52/126                  | 0.08/4                       | 0.16/1                     |

## 2) 손상현황

|                                                                                     |                                          |                                                                                      |                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
|   |                                          |   |                                         |
| 현 황                                                                                 | • S3 우측 캔틸레버하면 박리(A=0.20m <sup>2</sup> ) | 현 황                                                                                  | • S3 좌 캔틸레버하면 백태(A=4.00m <sup>2</sup> ) |
| 원 인                                                                                 | • 우수 유입 표면열화                             | 원 인                                                                                  | • 우수 유입                                 |
| 대 책                                                                                 | • 단면보수                                   | 대 책                                                                                  | • 표면처리                                  |
|  |                                          |  |                                         |
| 현 황                                                                                 | • S3 바닥판 하면 부식(A=4.00m <sup>2</sup> )    | 현 황                                                                                  | • S2 바닥판 하면 부식(A=0.30m <sup>2</sup> )   |
| 원 인                                                                                 | • 우수 유입                                  | 원 인                                                                                  | • 우수 유입                                 |
| 대 책                                                                                 | • 재도장                                    | 대 책                                                                                  | • 재도장                                   |

【사진 3.4】 백운1교(부산) 바닥판 손상발생 현황



|                                                                                   |                            |                                                                                    |                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
|  |                            |  |                          |
| 현 황                                                                               | • S1 바닥판 하면 철근노출(A=0.08m²) | 현 황                                                                                | • S3 바닥판 하면 파손(A=0.16m²) |
| 원 인                                                                               | • 시공 미흡                    | 원 인                                                                                | • 우수 유입 후 동결융해           |
| 대 책                                                                               | • 단면보수(방청)                 | 대 책                                                                                | • 단면보수                   |

【사진 3.4】 백운1교(부산) 바닥판 손상발생 현황(계속)

## 3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

## ① 박리

캔틸레버부에 조사된 박리는 우수유입에 의한 콘크리트부 재질열화로 우수유입 차단 후 단면보수가 필요할 것으로 판단된다.

## ② 백태

강우 시 우수유입에 의한 백태가 발생한 것으로 우수 유입 차단 후 표면처리 보수가 필요할 것으로 판단된다.

## ③ 부식

바닥판 하면 캔틸레버를 타고 강우 시 유입된 우수에 의해 발생한 부식은 내구성 확보를 위한 부식 제거 후 도장보수가 적합할 것으로 판단된다.

## ④ 철근노출

S1 바닥판 하면에 조사된 철근노출은 피복부족 또는 파손에 의한 손상이 아닌 시공 시 마감미흡에 의한 손상으로 구조적인 문제점은 없으나 내구성 확보를 위해 제거 및 단면보수가 바람직할 것으로 판단된다.

## ⑤ 파손

S3 바닥판 하면 캔틸레버측 콘크리트가 신축이음부 누수에 의한 반복적인 우수유입 및 동절기 동결융해를 거치면서 파손 된 것으로 조사되었으며 내구성 확보를 위한 단면보수 및 근본원인인 신축이음부 누수에 대한 신축이음 교체 또는 신축이음하부 유도배수를 통한 우수유입을 차단하여야 할 것으로 판단된다.

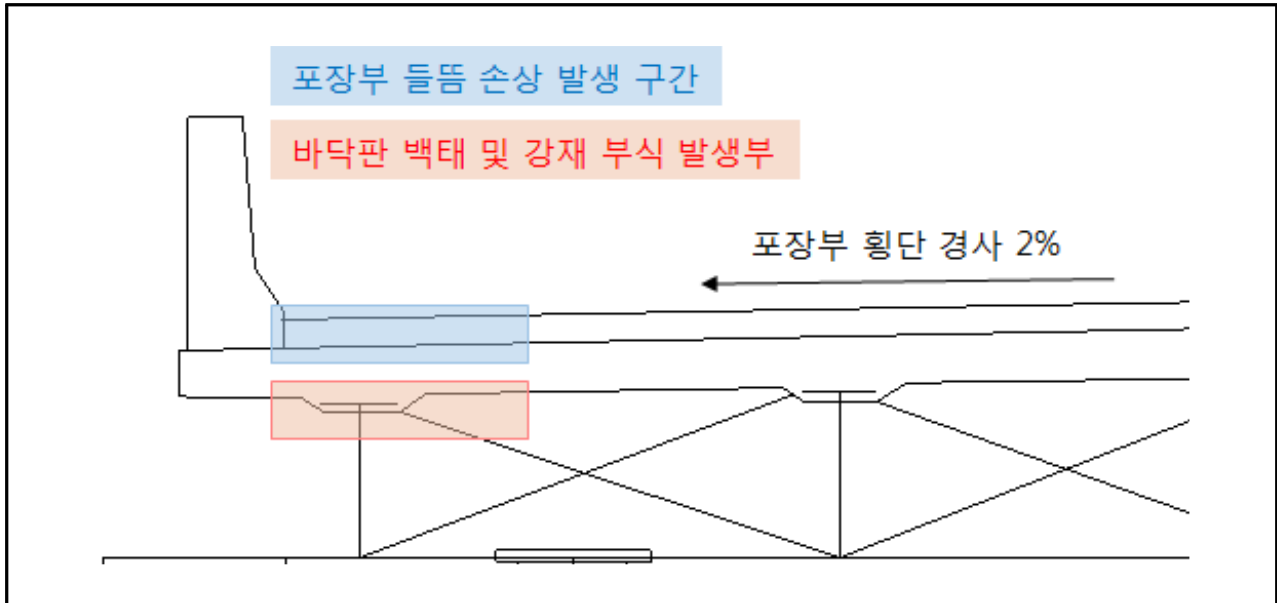
## ⑥ 바닥판(데크플레이트, 캔틸레버) 및 교면 방수층

바닥판 하부는 데크플레이트로 마감되어 있으며, 좌·우측 캔틸레버부는 약 0.8m로 콘크리트로 노출되어 있는 상태이다. 본 교량은 겨울철 제설제가 다량 살포되는 적설한랭지역에 위치하고 있으며, 외관조사 결과 데크플레이트 부식 및 캔틸레버부 백태 등 우수의 영향으로 인한 손상들이 조사되었다. 상부 포장부 외관조사 결과 포장 길어깨부 들뜸, 균열, 마모 등의 손상 및 일부 주행차로부 백태 손상 등이 조사되어, 포장 내부의 바닥판 열화손상이 우려된다. 포장부 상태 및 방수층 손상여부 등을 확인하기 위하여 길어깨부 들뜸 손상부위에 포장 코어채취를 실시하였으며, 포장 코어채취 결과 별도의 방수층은 확인되지 않았으며, 바닥판 상부는 습윤 상태로 조사되었다.



【사진 3.5】 백운1교(부산) 포장부 코어채취 현황

포장부 코어채취 결과, 바닥판 하면의 손상이 단순 강우 시 습기에 노출되어 발생하는 손상이라기 보다는 일부 포장 열화부위를 통하여 포장 내부로 우수 및 제설염화물과 같은 유해물질의 침투가 발생하여 아스팔트 콘크리트와 콘크리트 바닥판의 경계면에서 장기체류하면서 동결기동안 동결융해를 거쳐 바닥판 콘크리트의 열화손상을 유발시키고 있는 것으로 판단된다.



【그림 3.1】 백운1교(부산) 포장부 손상 발생부와 바닥판 하면 손상 발생부 개요도

바닥판 콘크리트 하면의 표면처리, 강재 녹제거 및 재도장은 근본적인 원인인 포장손상 및 방수층 손상에 대한 보수 및 바닥판 콘크리트 상면 열화부에 대한 단면보수가 우선 실시되지 않으면 보수부에 대한 재손상 발생 가능성이 높을 것으로 판단된다. 또한 겨울철 기온 하강 시 포장내부 미배출된 노면 유입수의 동결융해 반복으로 손상부위는 점진적으로 확대될 것으로 판단됨으로 동절기 이전에 재포장 및 방수층 재시공, 바닥판 상면 열화부 단면보수 등으로 시설물의 내구성 확보가 필요하다고 판단된다.

#### 4) 기 진단결과와의 비교·분석

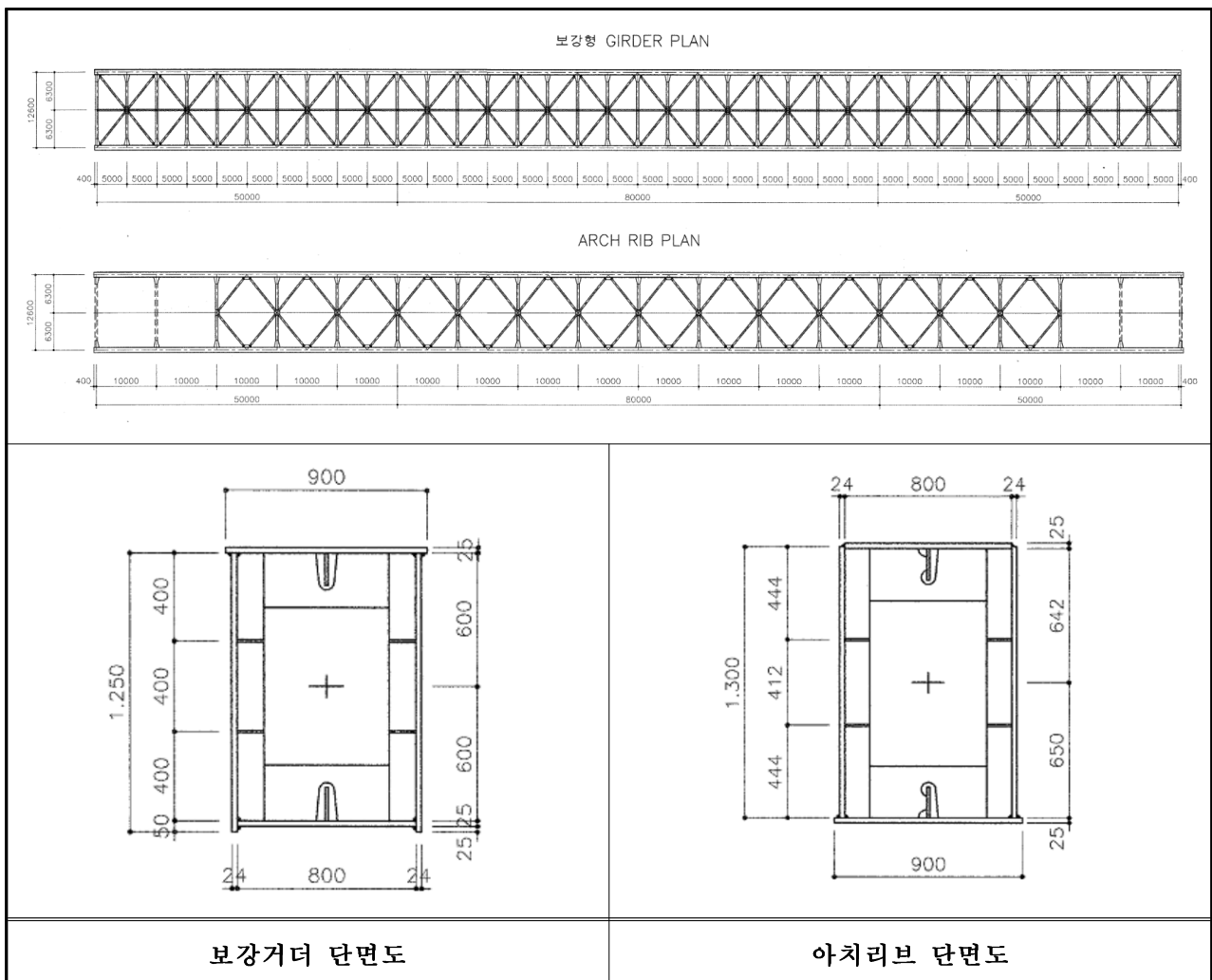
기 진단(2011년 시행)과의 비교·분석 결과, 박리, 백태, 부식 등의 결함은 공용 중 발생한 추가손상으로 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 철근노출은 바닥판과 거더 홍벽의 접합부로 상세조사에 의한 신규손상으로 조사되었으며, 파손은 기 진단과 동일하게 손상의 진전은 없는 것으로 조사되었다.

【표 3.6】 백운1교(부산) 바닥판의 기 진단과의 비교, 검토

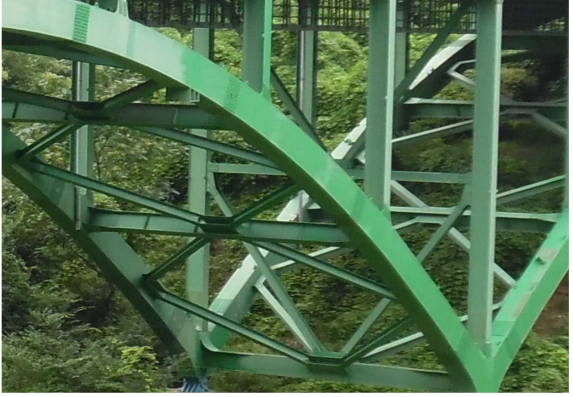
| 손상내용 | 단위             | 손상현황  |       | 물량 비교<br>(+:증가, -:감소) |       | 검토결과            |
|------|----------------|-------|-------|-----------------------|-------|-----------------|
|      |                | 2011년 | 2016년 |                       |       |                 |
| 박리   | m <sup>2</sup> | -     | 0.20  | +                     | 0.20  | • 공용 중 발생한 추가손상 |
| 백태   | m <sup>2</sup> | 19.20 | 19.64 | +                     | 0.44  | • 공용 중 발생한 추가손상 |
| 부식   | m <sup>2</sup> | 22.90 | 69.52 | +                     | 46.62 | • 공용 중 발생한 추가손상 |
| 철근노출 | m <sup>2</sup> | -     | 0.08  | +                     | 0.08  | • 상세조사에 의한 신규손상 |
| 파손   | m <sup>2</sup> | 0.16  | 0.16  |                       | -     | -               |

### 나. 보강거더 및 아치리브

바닥판으로부터 전달되는 하중을 지지하고 교량받침을 통하여 하부구조로 하중을 전달해 주는 역할을 하는 거더는 보강거더와 아치리브로 구성되어 있고, 강박스 거더의 형식으로 시공되었으며, 조사방법은 도보 및 교량점검차를 이용한 근접조사를 실시하였다. 또한 P1, P2에 설치되어있는 점검구를 통하여 아치리브 내부 진입 후 보강거더 및 아치리브 내부를 조사하였다. 장기간 밀폐되어있는 부재의 조사라 점검자의 안전을 위하여 송풍기 및 주름관을 이용하여 거더 내부로 공기를 유입시키고, 출입 전 이산화탄소 농도측정기를 이용하여 거더 내부 이산화탄소 농도를 측정하였으며, 이산화탄소 농도측정기를 점검자에게 소지하도록하여 이상 여부를 바로 확인할 수 있도록하여 안전사고가 발생하지 않도록 주의를 기울였다.



【그림 3.2】 백운1교(부산) 보강거더 및 아치리브 일반도 및 단면도

|                                                                                    |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |
| <p>보강거더 외부</p>                                                                     | <p>아치리브 외부</p>                                                                      |
|  |  |
| <p>보강거더 내부</p>                                                                     | <p>아치리브 내부</p>                                                                      |

【사진 3.6】 백운1교(부산) 보강거더 및 아치리브 전경

|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| <p>점검 전 이산화탄소 농도 측정</p>                                                             | <p>이산화탄소농도 측정기 점검자 휴대</p>                                                            |

【사진 3.7】 백운1교(부산) 거더내부 조사 전 이산화탄소 농도 측정





【사진 3.8】 백운1교(부산) 거더 내부 공기 유입 장치

## 1) 외관조사 결과

보강거더 및 아치리브에 내·외부에 대한 현장조사 결과, 부식, 스플라이스 볼트 부식, 도장 박리, 점검구 볼트 부식, PIT, 실리콘 마감불량, 언더컷, 이물질퇴적 등의 손상이 조사되었으며, 손상현황은 【표3.7】과 같다.

【표 3.7】 백운1교(부산) 보강거더 및 아치리브 외관조사 결과

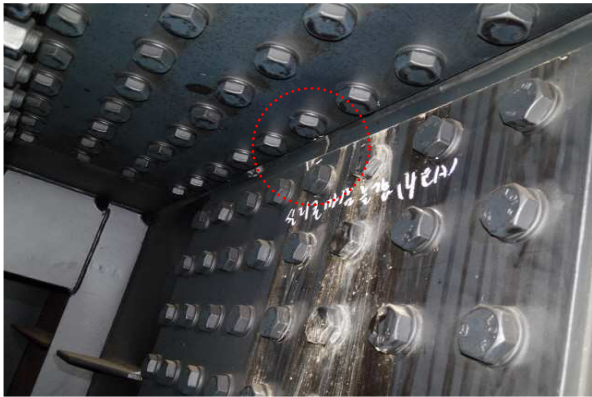
| 구분 |    | 부식<br>(㎡/EA) | SP볼트<br>부식<br>(㎡/EA) | 도장박리<br>(㎡/EA) | 점검구<br>주위 볼트<br>부식<br>(㎡/EA) | PIT<br>(개소) | 실리콘<br>마감불량<br>(개소) | 언더컷<br>(m/개소) | 이물질<br>퇴적<br>(㎡/EA) |
|----|----|--------------|----------------------|----------------|------------------------------|-------------|---------------------|---------------|---------------------|
| S1 | G1 | 5.52/16      | 1.80/180             | -              | -                            | 2           | 11                  | 0.10/1        | 1.69/3              |
|    | G2 | 1.62/18      | 3.12/312             | -              | -                            | 4           | 10                  | -             | 2.54/3              |
| S2 | G1 | 15.75/28     | 3.47/347             | 11.78/5        | -                            | 9           | 41                  | -             | 1.77/3              |
|    | G2 | 4.95/29      | 7.11/711             | 0.03/1         | -                            | -           | 48                  | -             | -                   |
| S3 | G1 | 3.02/25      | 2.27/227             | 7.83/4         | -                            | -           | 19                  | -             | 0.05/1              |
|    | G2 | 2.69/34      | 2.60/260             | 0.49/3         | 0.05/5                       | -           | 23                  | -             | -                   |
| 합계 |    | 33.55/150    | 20.37/2037           | 20.13/13       | 0.05/5                       | 15          | 152                 | 0.10/1        | 6.05/10             |

## 2) 손상현황

|                                                                                     |                                       |                                                                                      |                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
|    |                                       |    |                                             |
| 현 황                                                                                 | • S3-G1-외부 좌측면(내측) 부식( $A=0.10m^2$ )  | 현 황                                                                                  | • S2-2-G1 외부 우측면(외측) SP볼트 부식( $A=0.40m^2$ ) |
| 원 인                                                                                 | • 장기공용, 우수접촉                          | 원 인                                                                                  | • 장기공용, 우수접촉                                |
| 대 책                                                                                 | • 재도장                                 | 대 책                                                                                  | • 재도장                                       |
|   |                                       |   |                                             |
| 현 황                                                                                 | • S2-2-G1 우측면(외측) 도장박리( $A=2.50m^2$ ) | 현 황                                                                                  | • S2-G2 외부 볼트부식( $A=0.03m^2$ )              |
| 원 인                                                                                 | • 장기공용, 우수접촉                          | 원 인                                                                                  | • 장기공용, 우수접촉                                |
| 대 책                                                                                 | • 재도장                                 | 대 책                                                                                  | • 재도장                                       |
|  |                                       |  |                                             |
| 현 황                                                                                 | • S1-3-G1(아치리브) 내부 PIT(1개소)           | 현 황                                                                                  | • S1-3-G1(아치리브) 내부 언더컷( $L=0.10m$ )         |
| 원 인                                                                                 | • 용접불량                                | 원 인                                                                                  | • 용접불량                                      |
| 대 책                                                                                 | • 유지관리                                | 대 책                                                                                  | • 유지관리                                      |

【사진 3.9】 백운1교(부산) 보강거더 및 아치리브 외관조사 결과



|                                                                                     |                                  |                                                                                      |                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
|    |                                  |    |                                     |
| 현 황                                                                                 | • S2-3-G2(보강거더) 내부 실리콘 마감불량(4개소) | 현 황                                                                                  | • S1-3-G1(아치리브) 내부 이물질 퇴적(A=1.50m²) |
| 원 인                                                                                 | • 시공불량                           | 원 인                                                                                  | • 환기구 유입                            |
| 대 책                                                                                 | • 실링재 보수                         | 대 책                                                                                  | • 청소                                |
|   |                                  |   |                                     |
| 현 황                                                                                 | • 종리브 및 수평 보강재 양호                | 현 황                                                                                  | • 스킵 상태 양호                          |
|  |                                  |  |                                     |
| 현 황                                                                                 | • 용접부 목두께 측정 (준공도와 전반적 일치)       | 현 황                                                                                  | • 볼트 체결부 타격 조사(양호)                  |

【사진 3.9】 백운1교(부산) 보강거더 및 아치리브 외관조사 결과(계속)

## 3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

## ① 부식

보강거더 및 아치리브에서 발생한 부식은 공용 중 우수접촉 등에 의해 발생한 결함으로 판단되며, 부식에 따른 단면 감소는 없는 것으로 조사되었다. 따라서 내구성 확보를 위한 재도장이 적합할 것으로 판단된다.

## ② 볼트부식(SP볼트 부식, 점검구주위 볼트 부식)

현장이음부는 전반적으로 양호한 상태이나 일부 볼트부식이 발생한 상태로 이는 바탕처리 및 도장불량에 의한 결함과 거더 내부 실리콘 마감불량부로의 우수유입에 의한 손상으로 판단되며, 재도장 및 실링보수가 적합할 것으로 판단된다.

## ③ 도장박리

보강거더 및 아치리브에서 발생한 부식은 공용 중 우수접촉이 원인으로 판단되며, 장기적인 내구성 확보를 위해 재도장이 필요할 것으로 판단된다.

## ④ PIT

보강거더 및 아치리브 내부 용접부에서 조사된 PIT는 시공당시 용접불량에 의한 손상으로 판단되며, 그 손상규모가 작고 그 분포 또한 산발적으로 주의관찰을 통한 유지관리가 적절한 것으로 판단된다.

## ⑤ 언더컷

S1-G1에 조사된 언더컷은 공장 제작 시 용접불량에 의한 손상으로 판단되며, 그 손상규모가 경미한 수준으로 별도의 보수보다는 현 상태를 주의관찰을 통한 유지관리가 적절한 것으로 판단된다.

## ⑥ 이물질 퇴적

보강거더 및 아치리브 내부에서 조사된 이물질 퇴적은 환기구 및 스플라이스 연결부 실리콘 마감 불량부를 통해 유입된 것으로 실리콘 마감부에 대한 실링보수를 실시 한 후 청소를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

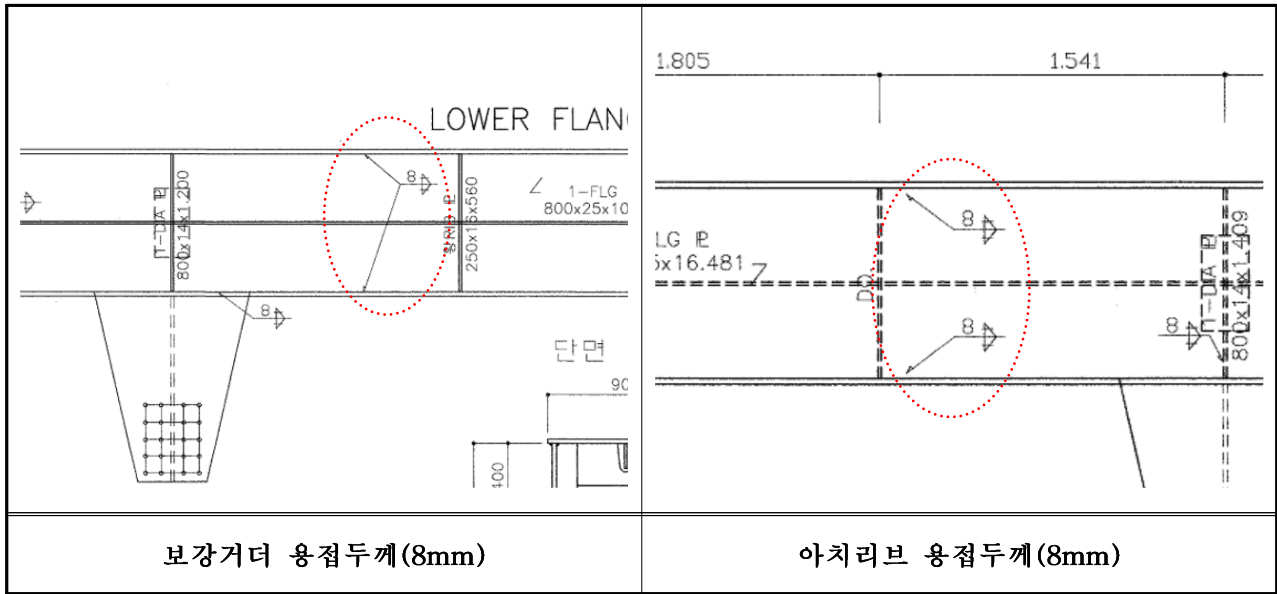
## ⑦ 실링재 마감불량

시공미흡으로 실링재 마감이 누락된 것으로 판단되며, 실링재 마감불량 부위로 우수유입 흔적이 있는 상태이므로, 실링재 보수를 실시하여 추가손상을 미연에 방지하는게 바람직하다고 판단된다.

## ⑧ 용접부 목두께 측정

보강거더 및 아치리브 내부 외관조사 시 용접각장게이지를 활용하여 용접부 목두께를 측정하였으며, 그 결과를 “중앙고속도로 제천-원주간 4차로 확장공사 제16공구(판부-원주)

준공도“의 용접두께와 비교·검토 한 결과 전반적으로 양호한 것으로 나타났다.

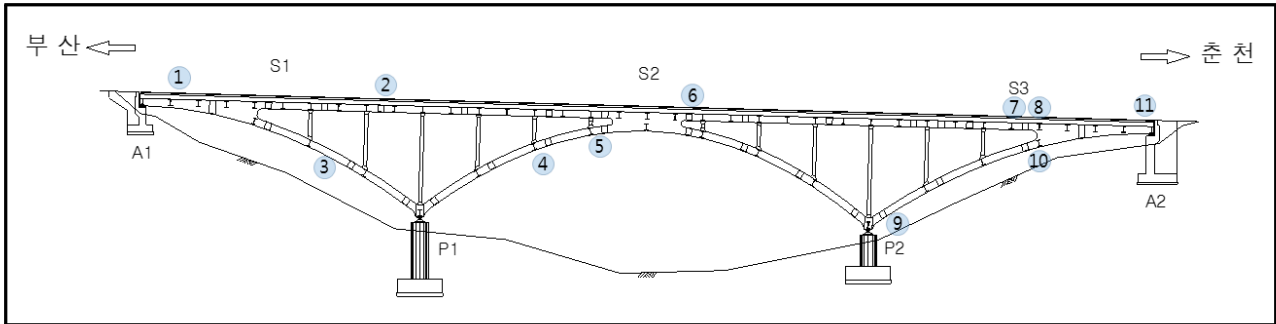


【그림 3.3】 백운1교(부산) 보강거더 및 아치리브 용접두께

【표 3.8】 백운1교(부산) 보강거더 및 아치리브 용접두께 측정값

| 구 분              | 측정값(mm) | 설계값(mm) | 비 고 |
|------------------|---------|---------|-----|
| 1 S1-1-G2(보강거더)  | 7.6     | 8.0     |     |
| 2 S1-2-G2(보강거더)  | 8.1     | 8.0     |     |
| 3 S1-3-G1(아치리브)  | 8.0     | 8.0     |     |
| 4 S2-2-G1(아치리브)  | 8.1     | 8.0     |     |
| 5 S2-2-G2(아치리브)  | 8.0     | 8.0     |     |
| 6 S2-4-G2(보강거더)  | 8.2     | 8.0     |     |
| 7 S3-1-G1(보강거더)  | 7.9     | 8.0     |     |
| 8 S3-1-G2(보강거더)  | 8.3     | 8.0     |     |
| 9 S3-2-G1(아치리브)  | 7.8     | 8.0     |     |
| 10 S3-2-G2(아치리브) | 8.3     | 8.0     |     |
| 11 S3-3-G1(보강거더) | 8.4     | 8.0     |     |

주) 도로교표준시방서(국토해양부, 2013) 참조



【그림 3.4】 백운1교(부산) 보강거더 및 아치리브 용접두께 측정위치

## ⑨ 기타

보강거더 및 아치리브 내부의 리브 및 수평보강재 등의 외관조사 결과 외력에 의한 변형은 없는 상태이며, 스켈럽의 상태는 양호한 것으로 조사되었다. 스플라이스 볼트 체결부에 대해서 점검망치를 활용한 타격 조사를 실시한 결과 볼트 풀림 등의 손상은 없는 것으로 조사되었다.

## ⑩ 도막두께 측정

현장조사 시 강재의 도장 박리 및 변색 등이 조사되어 도막두께 측정 시험을 통하여 도장 상태를 확인하고자 하였다.

【표 3.9】 백운1교(부산) 도막두께 측정

|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 적용<br>목적 | <ul style="list-style-type: none"> <li>도막측정은 정상적인 도장시공이 되어 있는지를 확인하는 작업으로 방청·방식 도장에서는 절대적인 요소이며, 도장상태가 구조물에 미치게 될 영향에 대해 평가할 필요가 있음.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                  |
| 측정<br>원리 | <ul style="list-style-type: none"> <li>측정 Gage는 Magnetic Gage로서 자석의 원리를 이용하여 탐침끝에서 표면조도(Profile)의 Peak로 자기장을 보내서 돌아오는 속도를 감지하여 도막두께를 인지함. 자기장이 가장 먼저 도달되는 부위는 Peak이며, Magnetic 탐침끝에는 여러개의 Peak들이 존재하며 이들의 평균을 계산하여 나타낸 값이 도막두께임.</li> <li>도막에 도포되지 않은 피검체(자성체)에 전자석 또는 영구자석을 접촉시켜 지시계 눈금을 영점조정 함. 영점조정 후 확인하고자 하는 두께와 유사한 표준도막을 이용하여 각 도막의 두께에 따른 자력차를 이용하여 검사하는 방법임.</li> </ul> |
| 측정<br>방법 | <ul style="list-style-type: none"> <li>도막두께를 측정할 부위에 Random 하게 5곳을 선정.</li> <li>선정된 측정장소 1곳당 3회 측정하여 1곳의 평균을 구함.</li> <li>같은 방식으로 나머지 4곳도 동일하게 측정.</li> <li>측정한 면적에 대한 5곳의 평균을 구함.</li> </ul>                                                                                                                                                                                    |
| 평가<br>기준 | <ul style="list-style-type: none"> <li>건도막의 판정은 SSPC-PA2를 기준으로 함.</li> <li>- 각각의 측정장소(Spot)의 평균치를 규정된 건조도막 두께의 80% 이상임.</li> <li>- 5곳의 평균치를 규정된 건조도막 두께와 같거나 높아야 함.</li> <li>- 5곳의 평균치를 최대 120%를 초과해서는 안됨.</li> </ul>                                                                                                                                                            |

【표 3.9】 백운1교(부산) 도막두께 측정(계속)

| 평가<br>기준 | ※ 도장계열에 따른 도막두께 기준 |          |      |                |     |
|----------|--------------------|----------|------|----------------|-----|
|          | 구 분                | 도장<br>계열 | 도장위치 | 기준<br>도막두께(μm) | 비 고 |
|          | 일반환경               | 재래식      | 교량외부 | GEA            | 140 |
|          |                    |          | 교량내부 | GIA            | 70  |
|          |                    | 중방식      | 교량외부 | GEB            | 215 |
|          |                    |          | 교량내부 | GIB            | 175 |
|          |                    | 세라믹      | 교량외부 | GED            | 160 |
|          |                    |          | 교량내부 | GID            | 140 |
|          | 특수환경               | 중방식      | 교량외부 | SED            | 255 |
|          |                    |          | 교량외부 | SEE            | 225 |
|          |                    |          | 교량내부 | SID            | 275 |
|          |                    |          | 교량내부 | SIE            | 225 |
|          |                    |          | 교량내부 | SIF            | 375 |
|          |                    | 세라믹      | 교량외부 | SEH            | 200 |
|          |                    |          | 교량내부 | SIG            | 180 |

주) 1. 일반환경 : 전원, 산간계곡 및 도시 : 강재의 부식이 경미하다고 예측되는 지구  
 2. 특수환경  
 - 해안지구 : 해염입자의 영향으로 강재의 부식이 빠른 지구  
 - 공장지구 : 공장과 근접한 지구로 질산화물 등의 영향으로 강재의 부식이 빠른 지구  
 - 대기오염지구 : 도시 등에서 대기오염도가 대단히 높아서 강재의 부식이 빠른 지구  
 - 해상지구 : 해상에 설치된 강구조물 또는 이와 동등한 부식환경에 놓여 있는 지구  
 - 해안공업지구 : 해안과 공장의 환경조건이 중복된 지구

※ 『도로교표준시방서, 2013년』 참조

※ 『콘크리트 및 강재비파괴 시험 매뉴얼(2006.12, 한국시설안전공단)』 참조

도막두께 측정은 총 41개소에서 실시하였으며, 측정결과를 도로교 표준시방서에 제시된 도막두께 기준과 비교함으로써 적정 도막두께 확보 여부를 검토하였다.



【표 3.10】 백운1교(부산) 도막두께 측정결과

| 측 정 위 치 |      |                | 측정값(μm) |         |         | 기준값<br>(μm) | 판 정 | 비 고 |
|---------|------|----------------|---------|---------|---------|-------------|-----|-----|
|         |      |                | 최소값(μm) | 최대값(μm) | 평균값(μm) |             |     |     |
| S1      | 보강거더 | G1 우측면 A1측     | 367     | 446     | 410.2   | 215         | 적정  |     |
|         |      | G1 우측면 중앙부     | 430     | 523     | 483.6   |             | 적정  |     |
|         |      | G1 우측면 P1측     | 431     | 510     | 470.4   |             | 적정  |     |
|         |      | G2 좌측면 A1측     | 410     | 482     | 439.2   |             | 적정  |     |
|         |      | G2 좌측면 중앙부     | 465     | 520     | 493.0   |             | 적정  |     |
|         |      | G2 좌측면 P1측     | 432     | 513     | 481.2   |             | 적정  |     |
|         | 아치리브 | G1 우측면 A1측     | 367     | 510     | 442.4   |             | 적정  |     |
|         |      | G1 우측면 P1측     | 399     | 486     | 433.6   |             | 적정  |     |
|         |      | G2 좌측면 A1측     | 382     | 451     | 415.2   |             | 적정  |     |
|         |      | G2 좌측면 P1측     | 396     | 453     | 426.2   |             | 적정  |     |
|         | 브레이싱 | U1 상부브레이싱      | 396     | 472     | 442.8   |             | 적정  |     |
|         |      | U3 상부브레이싱      | 421     | 512     | 466.8   |             | 적정  |     |
|         |      | U4 상부브레이싱      | 401     | 453     | 426.4   |             | 적정  |     |
|         | 행거   | G1측 U4         | 423     | 561     | 506.4   |             | 적정  |     |
|         |      | G1측 U4(변색)     | 427     | 523     | 481.4   |             | 적정  |     |
| S2      | 보강거더 | G1 우측면 P1측     | 398     | 511     | 462.2   | 215         | 적정  |     |
|         |      | G1 우측면 중앙부     | 418     | 481     | 442.2   |             | 적정  |     |
|         |      | G1 우측면 P2측     | 398     | 486     | 439.6   |             | 적정  |     |
|         |      | G2 좌측면 P1측     | 428     | 491     | 457.0   |             | 적정  |     |
|         |      | G2 좌측면 중앙부     | 430     | 513     | 470.6   |             | 적정  |     |
|         |      | G2 좌측면 P2측     | 446     | 487     | 464.0   |             | 적정  |     |
|         | 아치리브 | G1 우측면 시점측 중앙부 | 415     | 498     | 461.0   |             | 적정  |     |
|         |      | G1 우측면 종점측 중앙부 | 410     | 468     | 438.8   |             | 적정  |     |
|         |      | G2 좌측면 시점측 중앙부 | 468     | 513     | 486.4   |             | 적정  |     |
|         |      | G2 좌측면 종점측 중앙부 | 461     | 520     | 486.0   |             | 적정  |     |
|         | 브레이싱 | 시점측 U5 상부브레이싱  | 415     | 473     | 444.4   |             | 적정  |     |
|         |      | 종점측 U6 상부브레이싱  | 470     | 531     | 491.4   |             | 적정  |     |
|         | 행거   | G1측 U5         | 384     | 438     | 419.8   |             | 적정  |     |
|         |      | G1측 U7         | 416     | 483     | 450.4   |             | 적정  |     |
| S3      | 보강거더 | G1 우측면 P2측     | 427     | 495     | 466.2   | 215         | 적정  |     |
|         |      | G1 우측면 중앙부     | 429     | 510     | 480.0   |             | 적정  |     |
|         |      | G1 우측면 A2측     | 423     | 483     | 459.8   |             | 적정  |     |
|         |      | G2 좌측면 P2측     | 439     | 530     | 481.2   |             | 적정  |     |
|         |      | G2 좌측면 중앙부     | 423     | 476     | 449.2   |             | 적정  |     |
|         |      | G2 좌측면 A2측     | 468     | 532     | 488.4   |             | 적정  |     |
|         | 아치리브 | G1 우측면 P2측     | 410     | 483     | 451.4   |             | 적정  |     |
|         |      | G1 우측면 A2측     | 472     | 534     | 497.2   |             | 적정  |     |
|         |      | G2 좌측면 P2측     | 410     | 483     | 444.0   |             | 적정  |     |
|         | 브레이싱 | 시점측 U5 상부브레이싱  | 420     | 493     | 467.2   |             | 적정  |     |
|         |      | 종점측 U6 상부브레이싱  | 487     | 520     | 502.8   |             | 적정  |     |
|         | 행거   | G1측 U4         | 429     | 483     | 460.8   |             | 적정  |     |

교량 외부의 도막두께 측정위치는 책임기술자 판단하에 임의의 위치를 선정하여 실시하였으며, 측정결과 도막두께가 측정개소 모두 도로교 표준시방서의 기준 값을 상회하는 것으로 조사되어 도장상태는 양호한 것으로 판단된다.



【사진 3.10】 백운1교(부산) 도막두께 측정 전경

## 4) 기 진단결과와의 비교·분석

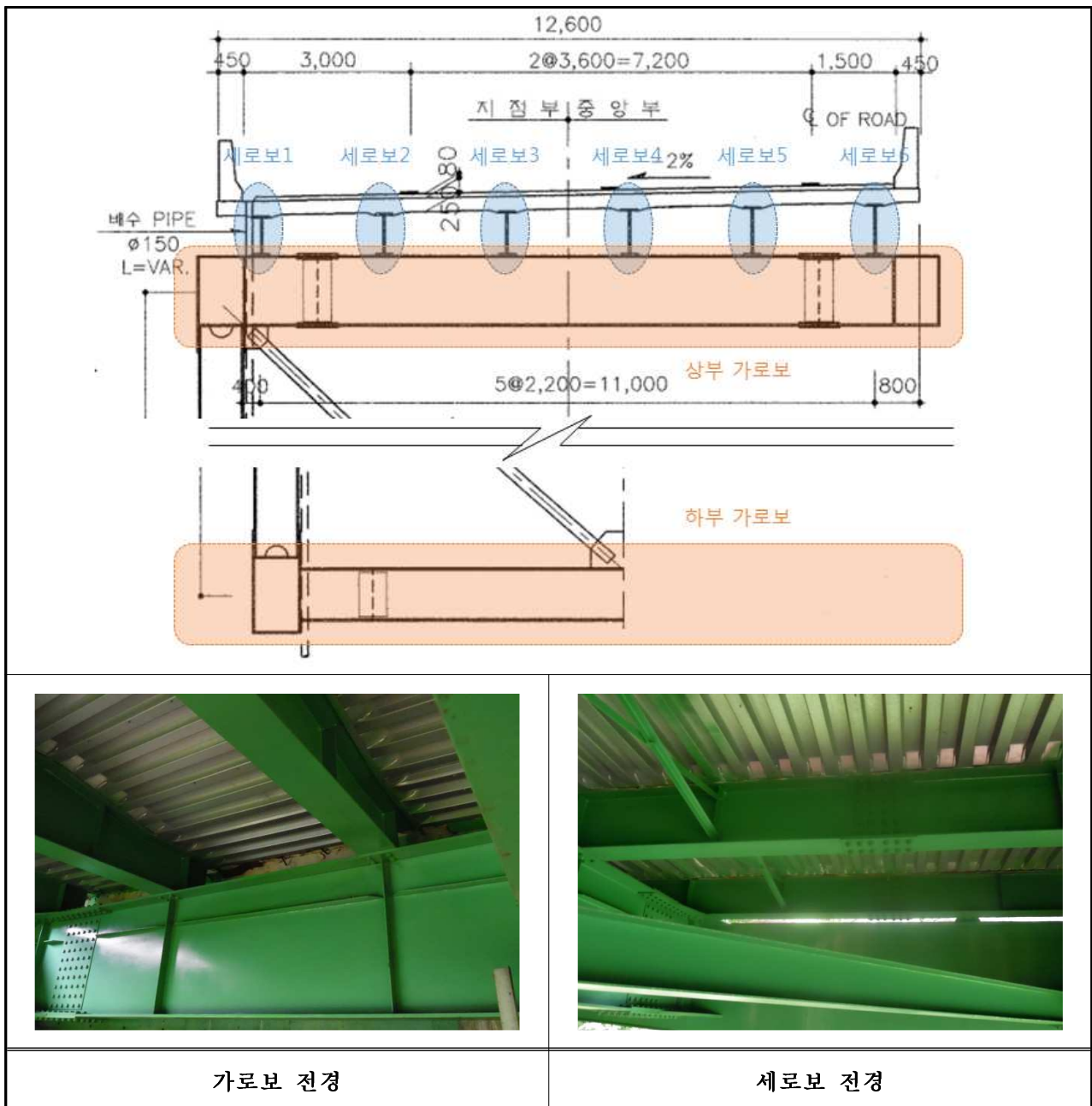
기 진단(2011년 시행)과의 비교·분석 결과, 부식, SP볼트 부식, 도장박리, 점검구주위 볼트 부식 등의 결함은 공용기간 증가에 따른 추가손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 보강거더 및 아치리브 내부 조사를 실시하여 PIT, 실리콘 마감 불량, 언더컷, 이물질 퇴적 등의 추가손상으로 인한 물량의 증가가 있었다.

【표 3.11】 백운1교(부산) 보강거더 및 아치리브의 기 진단과의 비교, 검토

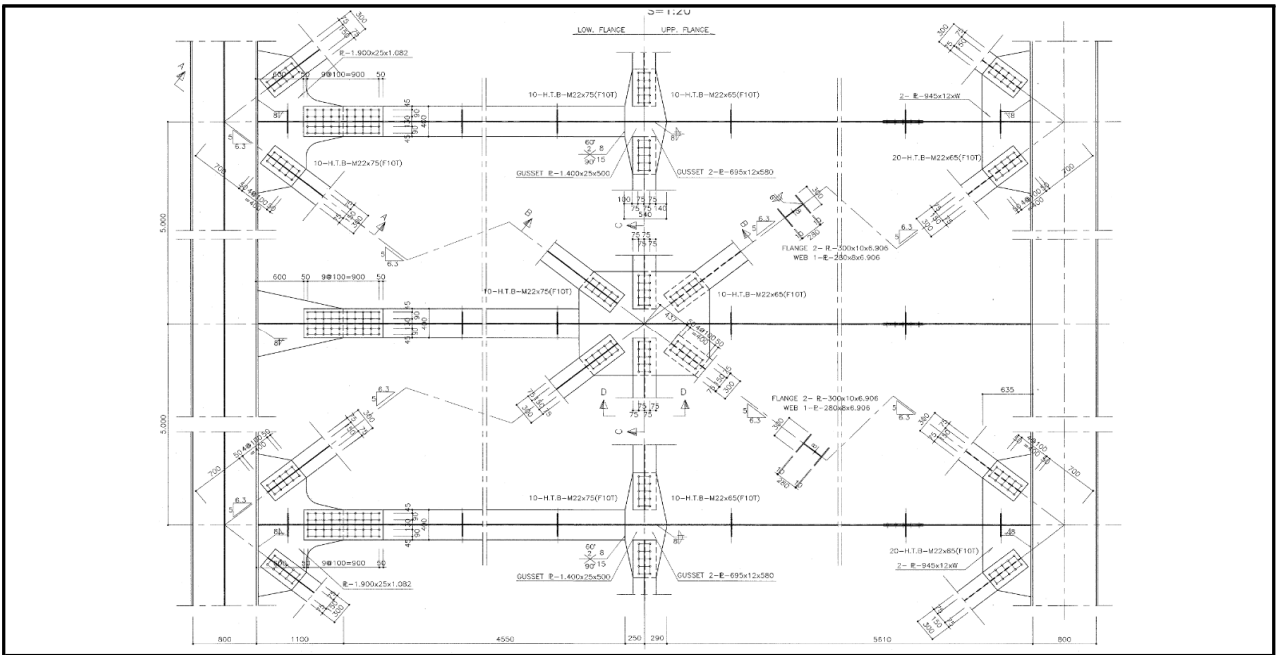
| 손상내용        | 단위             | 손상현황  |       | 물량 비교<br>(+:증가, -:감소) |       | 검토결과             |
|-------------|----------------|-------|-------|-----------------------|-------|------------------|
|             |                | 2011년 | 2016년 |                       |       |                  |
| 부식          | m <sup>2</sup> | 7.63  | 33.55 | +                     | 25.92 | • 공용 중 발생한 추가손상  |
| SP볼트 부식     | m <sup>2</sup> | 16.99 | 20.37 | +                     | 3.38  | • 공용 중 발생한 추가손상  |
| 도장박리        | m <sup>2</sup> | 0.03  | 20.13 | +                     | 20.10 | • 공용 중 발생한 추가손상  |
| 점검구주위 볼트 부식 | m <sup>2</sup> | 0.04  | 0.05  | +                     | 0.01  | • 공용 중 발생한 추가손상  |
| PIT         | 개소             | -     | 15    | +                     | 15    | • 내부 조사를 통한 추가손상 |
| 실리콘 마감 불량   | 개소             | -     | 152   | +                     | 152   | • 내부 조사를 통한 추가손상 |
| 언더컷         | m              | -     | 0.10  | +                     | 0.10  | • 내부 조사를 통한 추가손상 |
| 이물질 퇴적      | m <sup>2</sup> | -     | 6.05  | +                     | 6.05  | • 내부 조사를 통한 추가손상 |

### 다. 가로보, 세로보, 브레이싱, 행거

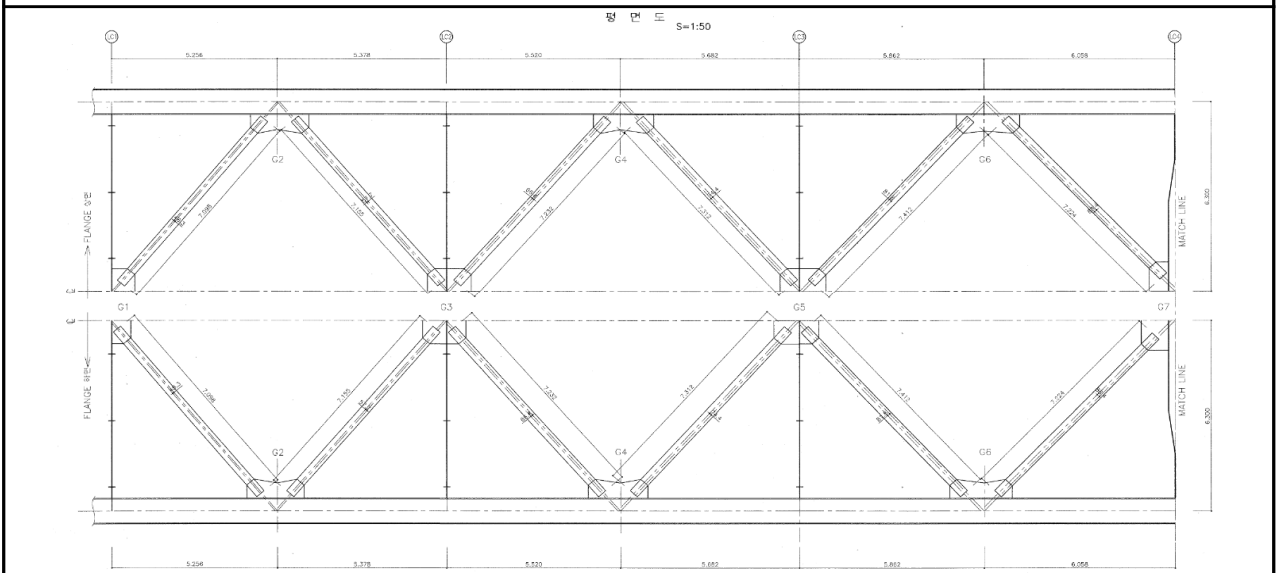
거더의 횡변형을 방지해주며, 상부에 작용하는 하중을 분배시켜주는 역할을 하는 가로보 및 세로보는 강재로 시공되어 있다. 가로보와 병행하여 거더의 횡변형을 방지시켜주는 역할을 하는 브레이싱은 거더 측면에 용접이음된 연결판(Gusset)과 볼트로 연결되어 있다. 행거는 바닥 판에 작용하는 차륜하중을 행거를 이용하여 등분포하게 아치리브에 전달하는 기능을 하고 있으며, 보강거더와 아치리브에 볼트로 연결되어 있다. 점검은 바닥판 하면 중앙의 점검통로를 이용한 도보조사와 고소점검차를 활용하여 조사를 실시하였다.



【사진 3.11】 백운1교(부산) 가로보 및 세로보 전경



상부 브레이싱 상세도



하부 브레이싱 상세도



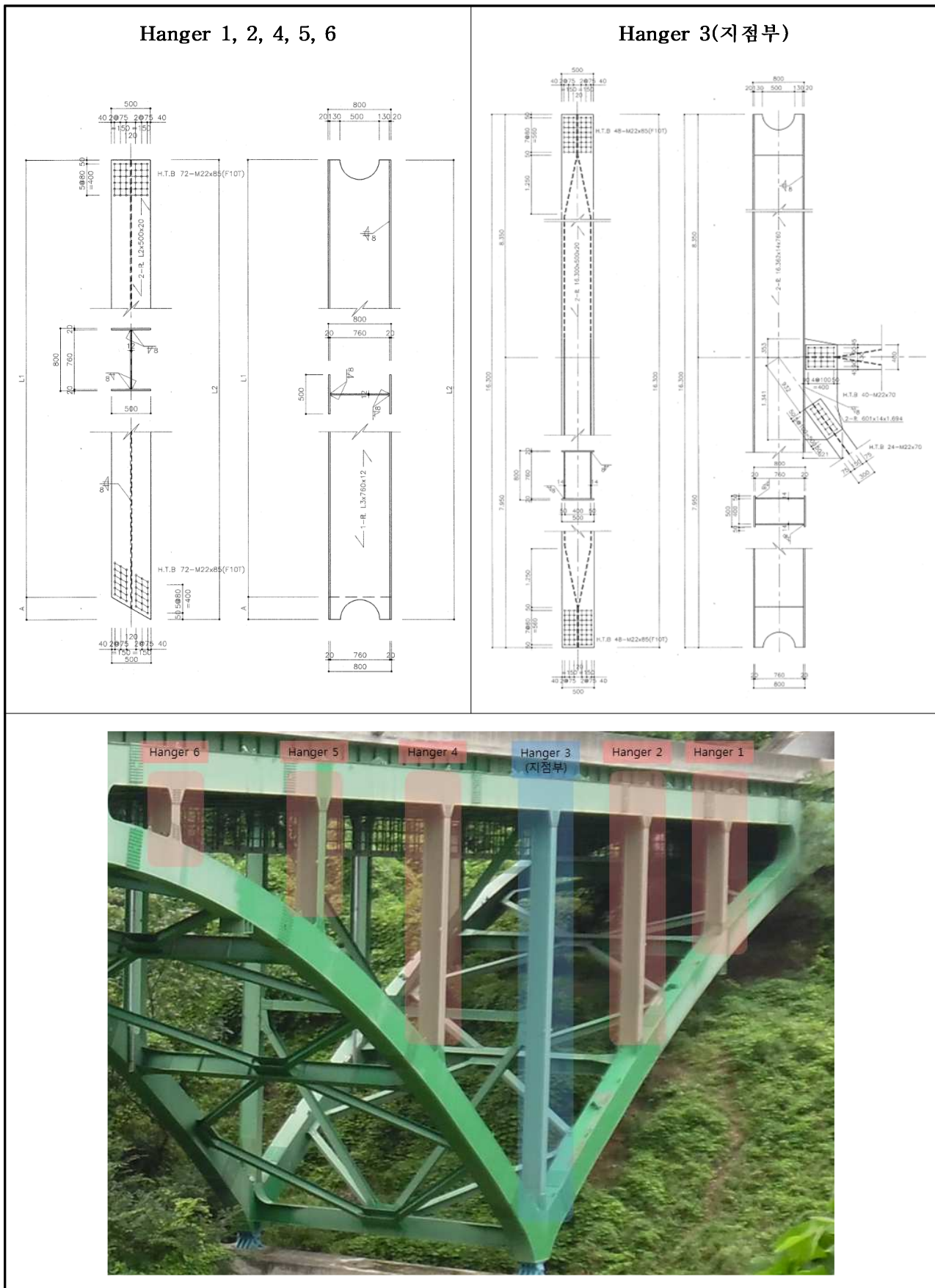
상부 브레이싱 전경



하부 브레이싱 전경

【사진 3.12】 백운1교(부산) 브레이싱 전경





【사진 3.13】 백운1교(부산) 행거 전경



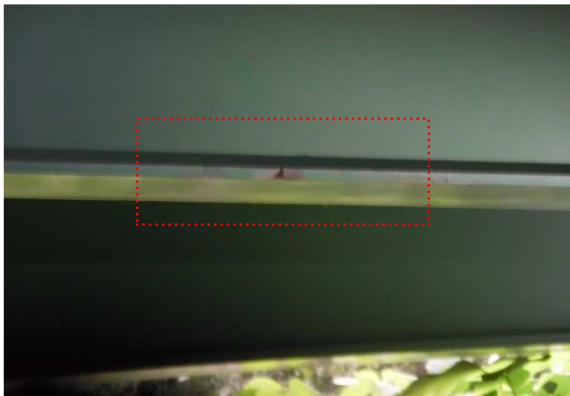
## 1) 외관조사 결과

외관조사 결과, 가로보, 세로보, 브레이싱, 행거에서 볼트 부식, 도장박리, 브레이싱 변형, 볼트 도장박리, 부식 등의 손상이 조사되었다. 손상현황은 【표 3.12】 과 같다.

【표 3.12】 백운1교(부산) 가로보, 세로보, 브레이싱, 행거의 손상현황

| 구분 | 볼트 부식<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 도장박리<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 변형<br>(m/EA) | 부식<br>(m <sup>2</sup> /EA) |
|----|-------------------------------|------------------------------|--------------|----------------------------|
| S1 | 2.71/268                      | 0.11/11                      | 0.30/2       | 8.60/123                   |
| S2 | 6.16/554                      | 7.37/19                      | 0.40/2       | 29.02/356                  |
| S3 | 4.14/414                      | 0.03/3                       | 0.80/5       | 11.97/212                  |
| 합계 | 13.01/1236                    | 7.51/31                      | 1.50/9       | 49.59/691                  |

## 2) 손상별 현황

|                                                                                     |                                         |                                                                                      |                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
|   |                                         |   |                                          |
| 현 황                                                                                 | • S1-G2 행거 볼트 부식(A=0.48m <sup>2</sup> ) | 현 황                                                                                  | • S3 상부브레이싱 볼트 부식(A=0.05m <sup>2</sup> ) |
| 원 인                                                                                 | • 장기공용, 우수접촉                            | 원 인                                                                                  | • 장기공용, 우수접촉                             |
| 대 책                                                                                 | • 재도장                                   | 대 책                                                                                  | • 재도장                                    |
|  |                                         |  |                                          |
| 현 황                                                                                 | • S1 상부브레이싱 도장박리(A=0.02m <sup>2</sup> ) | 현 황                                                                                  | • S2-2-U6 행거 부식(A=1.60m <sup>2</sup> )   |
| 원 인                                                                                 | • 장기공용, 우수접촉                            | 원 인                                                                                  | • 장기공용, 우수접촉                             |
| 대 책                                                                                 | • 재도장                                   | 대 책                                                                                  | • 재도장                                    |

【사진 3.14】 백운1교(부산) 가로보, 세로보, 브레이싱, 행거 손상발생 현황

|                                                                                    |                                        |     |                        |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----|------------------------|
|  |                                        |     |                        |
| 현 황                                                                                | • S2-1-U6 행거 부식(A=1.25m <sup>2</sup> ) | 현 황 | • S2 상부브레이싱 변형(L=0.2m) |
| 원 인                                                                                | • 장기공용, 우수접촉                           | 원 인 | • 기 변형된 자재 사용 및 설치시 변형 |
| 대 책                                                                                | • 재도장                                  | 대 책 | • 유지관리                 |

【사진 3.14】 백운1교(부산) 가로보, 세로보, 브레이싱, 행거 손상발생 현황(계속)

### 3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

#### ① 볼트 부식

현장이음부는 전반적으로 양호한 상태이나 일부 볼트부식이 발생한 상태로 이는 바탕처리 및 도장불량에 의한 결함으로 판단되며, 재도장이 적합할 것으로 판단된다.

#### ② 도장 박리

도장박리는 장기공용이 원인으로 판단되며, 장기적인 내구성 확보를 위해 재도장이 필요할 것으로 판단된다.

#### ③ 변형

브레이싱에서 발생한 변형은 이는 시공 당시 기 변형된 자재의 사용 또는 현장 설치 시 외부 충격에 의해 발생한 결함으로 판단되며, 손상규모가 미소하며 전차 진단(2011년 진단)과 비교하여 손상물량의 변화는 없는 것으로 보아 구조적인 문제점은 없는 것으로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

#### ④ 부식

부식은 장기공용 및 공용 중 우수접촉 등에 의해 발생한 결함으로 판단되며, 부식에 따른 단면 감소는 없는 것으로 조사되었다. 따라서 내구성 확보를 위한 도장보수가 적합할 것으로 판단된다.

## 4) 기 진단결과와의 비교·분석

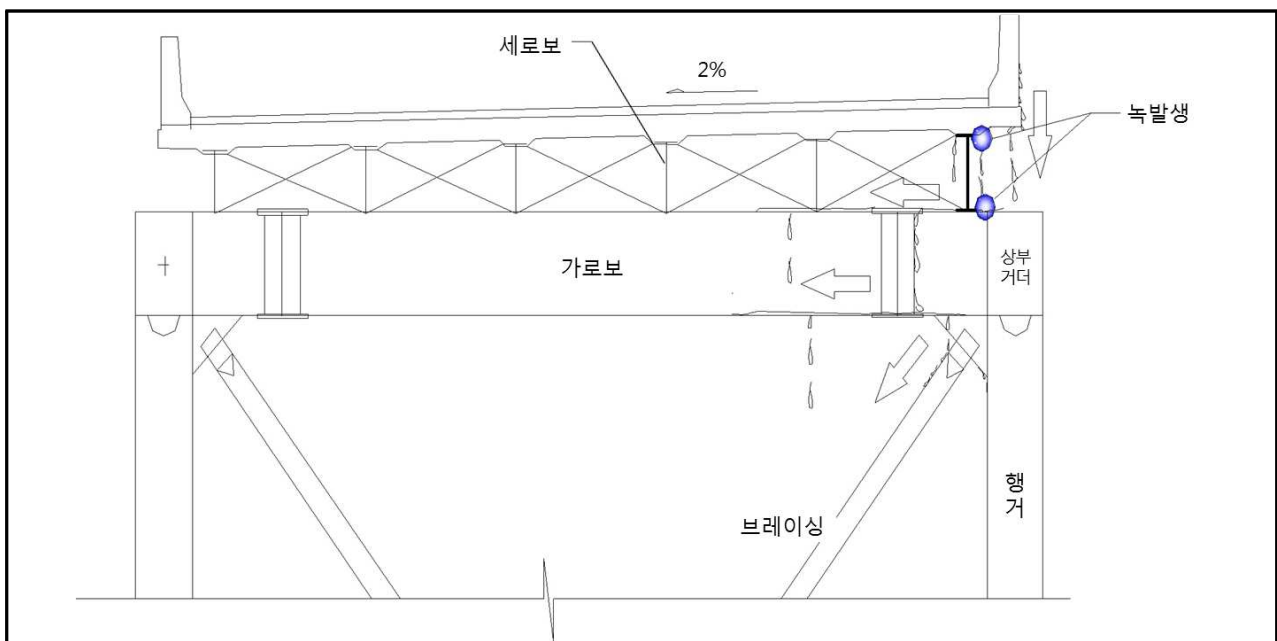
기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 볼트부식, 도장박리, 부식 등의 손상은 공용기간 증가에 따른 추가손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 강재 변형은 기 진단 손상과 비교시 손상의 진전은 없는 것으로 평가되었다.

【표 3.13】 백운1교(부산) 가로보, 세로보, 브레이싱, 행거의 기 진단과의 비교, 검토

| 손상내용 | 단위             | 손상현황  |       | 물량 비교<br>(+:증가, -:감소) |       | 검토결과             |
|------|----------------|-------|-------|-----------------------|-------|------------------|
|      |                | 2011년 | 2016년 |                       |       |                  |
| 볼트부식 | m <sup>2</sup> | 7.33  | 13.01 | +                     | 5.68  | • 공용 중 발생한 추가손상  |
| 도장박리 | m <sup>2</sup> | 0.29  | 7.51  | +                     | 7.22  | • 공용 중 발생한 추가손상  |
| 변형   | m              | 1.50  | 1.50  | -                     |       | • 손상변화 없음 (동일손상) |
| 부식   | m <sup>2</sup> | 39.31 | 49.59 | +                     | 10.28 | • 공용 중 발생한 추가손상  |

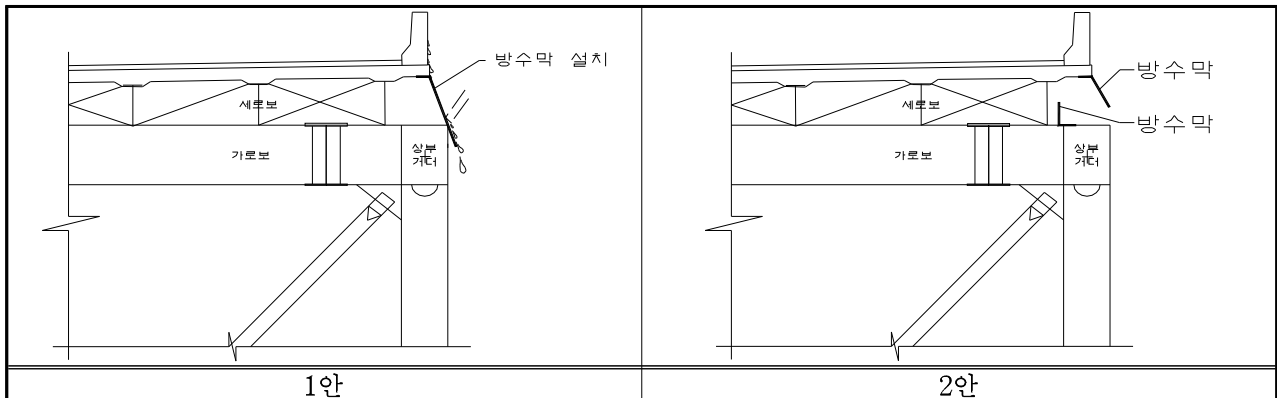
## 5) 우수 차단 대책

금회 조사된 강재의 부식 및 도장박리는 장기간의 공용기간 중 우수접촉에 의해 발생한 결함으로 판단되는 부분으로 내구성 유지를 위해서 원천적으로 우수의 접촉을 차단하는 것이 바람직하나 교량의 위치한 곳이 계곡부로 바람이 심하게 부는 곳임을 감안한 대책이 필요하다.



【그림 3.5】 백운1교(부산) 강재부 우수유입 경로

2011년 실시한 정밀안전진단 시 우수 차단 대책으로 당초 제안사항으로 바닥판 하면 및 상부거더 상단에 가림막을 설치하여 우수를 차단하는 것으로 제안하였었다.



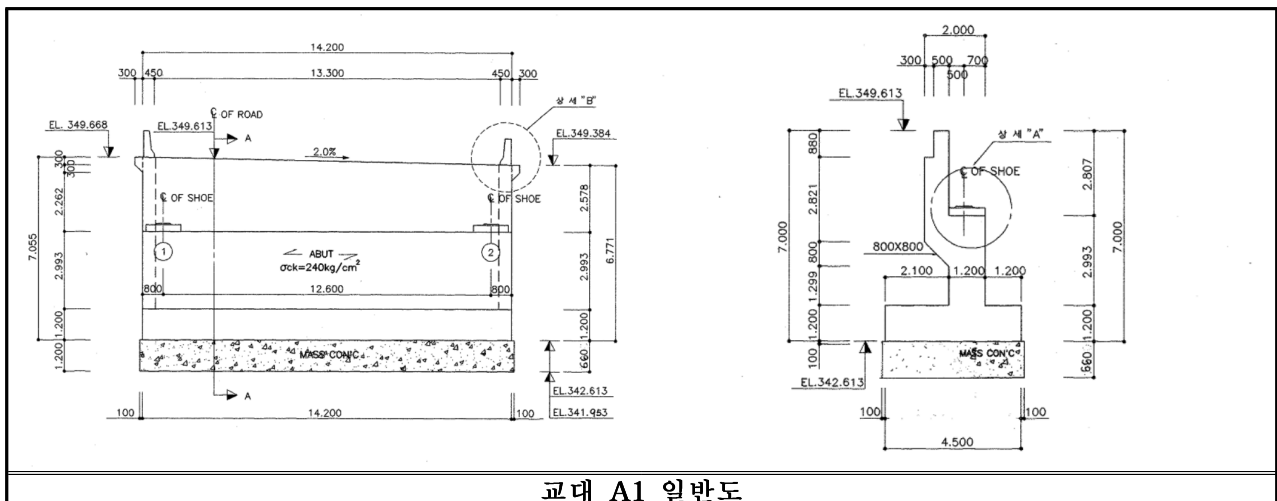
【그림 3.6】 백운1교(부산) 강재부 우수유입 차단 제안사항(2011년도)

이에 관할지사 및 지역본부 담당자와 효율적인 유지관리방안을 모색한 결과, 해당 교량의 설치 위치가 바람이 심한 계곡부임을 감안하고, 미관을 고려하여 방수막 설치 보다는 밀실하게 채도장 하는 것이 유리할 것이라 판단하여 채수로 인한 부식 발생부위에 밀실한 채도장을 실시하는 것으로 판단하였다. 이에 금회 외관조사 결과 발생한 부식 및 도장박리에 대해서도 별도의 부속시설을 설치하는 것 보다는 손상부위에 대한 녹제거 및 채도장이 바람직할 것으로 판단된다.

### 3.2.2 하부구조

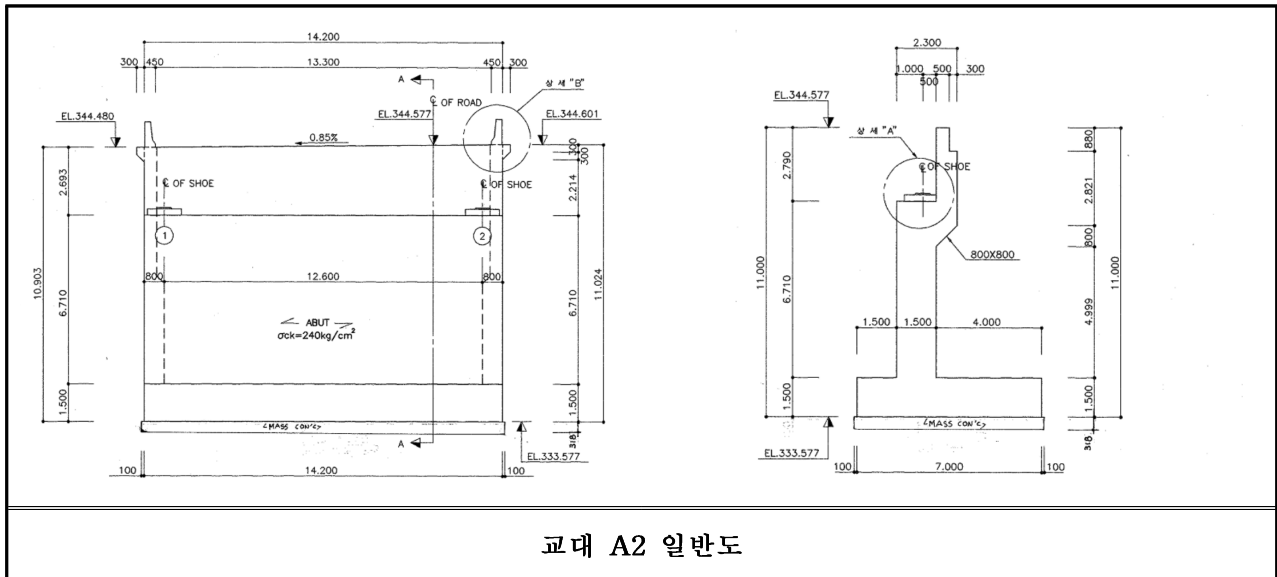
#### 가. 교대

본 교량의 교대는 A1, A2 2기로 구성되어 있으며, 역T형 교대로 기초형식은 직접기초로 시공되어 있다.



교대 A1 일반도

【그림 3.7】 백운1교(부산) 교대 일반도



【그림 3.7】 백운1교(부산) 교대 일반도(계속)



【사진 3.15】 백운1교(부산) 교대 전경

## 1) 외관조사 결과

교대의 홍벽 및 구체에 대한 현장조사 결과, 계단침하, 건조수축에 의한 균열, 마감불량, 망상균열, 박리, 백태, 체수 및 파손 등의 결함이 조사되었으며, 기초는 노출되지 않은 상태로 손상현황은 【표 3.14】과 같다.

【표 3.14】 백운1교(부산) 교대의 손상현황

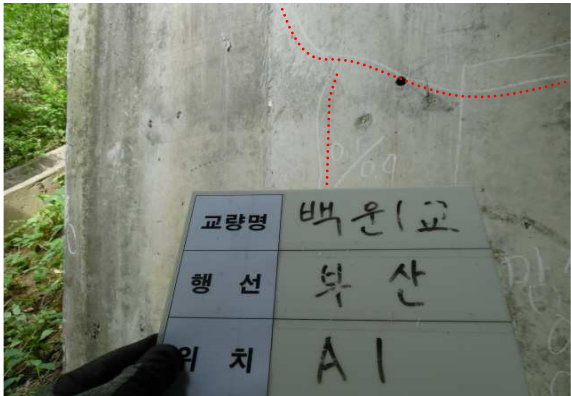
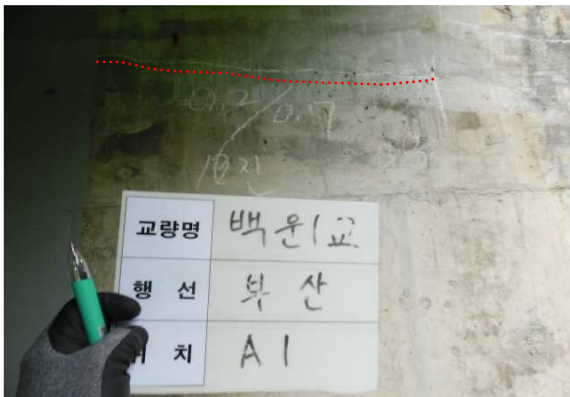
| 구분 | 계단침하<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 균열(cw=0.2mm 이하)<br>(m/EA) | 균열(cw=0.3mm 이상)<br>(m/EA) | 마감불량<br>(m <sup>2</sup> /EA) |
|----|------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|
| A1 | 1.00/1                       | 16.60/18                  | -                         | 0.30/1                       |
| A2 | -                            | 3.90/8                    | 4.10/4                    | -                            |
| 합계 | 1.00/1                       | 20.5/26                   | 4.10/4                    | 0.30/1                       |



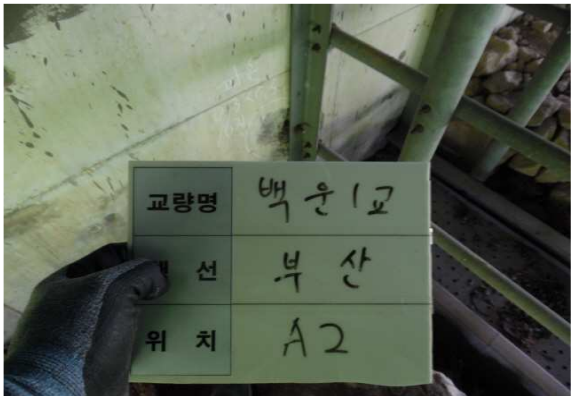
【표 3.14】 백운1교(부산) 교대의 손상현황(계속)

| 구분 | 망상균열<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 박리<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 백태<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 체수<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 파손<br>(m <sup>2</sup> /EA) |
|----|------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| A1 | 6.56/6                       | -                          | 1.49/5                     | -                          | 1.30/4                     |
| A2 | -                            | 0.61/2                     | 20.80/1                    | 3.75/1                     | 0.09/1                     |
| 합계 | 6.56/6                       | 0.61/2                     | 22.29/6                    | 3.75/1                     | 1.39/5                     |

## 2) 손상별 현황

|                                                                                     |                                  |                                                                                      |                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
|   |                                  |   |                                  |
| 현 황                                                                                 | • A1/계단침하(A=1.00m <sup>2</sup> ) | 현 황                                                                                  | • A1/홍벽 균열(cw=0.1mm, L=0.9m)     |
| 원 인                                                                                 | • 시공 후 사면 안정화                    | 원 인                                                                                  | • 건조수축                           |
| 대 책                                                                                 | • 유지관리                           | 대 책                                                                                  | • 유지관리                           |
|  |                                  |  |                                  |
| 현 황                                                                                 | • A1/균열(cw=0.2mm, L=0.7m)        | 현 황                                                                                  | • A1/망상균열(A=4.20m <sup>2</sup> ) |
| 원 인                                                                                 | • 건조수축                           | 원 인                                                                                  | • 건조수축                           |
| 대 책                                                                                 | • 유지관리                           | 대 책                                                                                  | • 유지관리                           |

【사진 3.16】 백운1교(부산) 교대의 손상현황

|                                                                                    |                                |                                                                                     |                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
|   |                                |   |                                     |
| 현 황                                                                                | • A2/박리(A=0.16m <sup>2</sup> ) | 현 황                                                                                 | • A1/홍벽 백태(A=0.80m <sup>2</sup> )   |
| 원 인                                                                                | • 시공미흡 및 공용 중 열화               | 원 인                                                                                 | • 신축이음부 누수                          |
| 대 책                                                                                | • 유지관리                         | 대 책                                                                                 | • 표면처리                              |
|  |                                |  |                                     |
| 현 황                                                                                | • A1/파손(A=0.12m <sup>2</sup> ) | 현 황                                                                                 | • A2/홍벽 재료분리(A=0.09m <sup>2</sup> ) |
| 원 인                                                                                | • 점검로 설치시 충격                   | 원 인                                                                                 | • 점검로 설치시 충격                        |
| 대 책                                                                                | • 유지관리                         | 대 책                                                                                 | • 유지관리                              |

【사진 3.16】 백운1교(부산) 교대의 손상현황(계속)

## 3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

## ① 계단침하

교대에서 상부 포장부로 접근이 가능하게 설치된 점검계단이 교량 준공 후 사면의 안정화 단계에서 일부 침하되어 발생한 손상으로 현 상태에서의 주의관찰을 통한 유지관리가 바람직할 것으로 판단된다.

## ② 균열 및 망상균열

교대에서 조사된 균열 및 망상균열의 형상 및 발생 위치 등을 검토한 결과, 건조수축에

의한 비구조적 균열로 구조적인 영향은 없으나 내구성 확보를 위해 균열폭 0.3mm 이상의 균열에 대해서는 주입보수를 실시하고, 균열폭 0.2mm 이하의 균열 및 망상균열은 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

### ③ 박리

박리는 시공 시 마감불량 또는 공용 중 열화에 의해 발생한 손상으로 손상깊이가 깊지 않아 보수보다는 주의관찰이 바람직 할 것으로 판단된다.

### ④ 백태

교대 흉벽부에서 조사된 백태는 신축이음부 누수로 유입된 우수가 미세균열부 틈새로 침투하여 수산화칼슘 용해로 발생한 결함으로 내구성 확보를 위해 표면처리 보수가 필요할 것으로 판단된다.

### ⑤ 체수

교대 상면에서 조사된 체수는 신축이음부 누수로 인해 발생한 손상으로 체수에 대한 별도의 보수보다는 근본 원인인 신축이음 누수부에 해해서 신축이음 교체 또는 신축이음 하부 유도배수로 설치를 통하여 상부에서 유입되는 우수를 차단하는 게 바람직 할 것으로 판단된다.

### ⑥ 파손

교대 구체에서 조사된 파손은 바닥판 하면의 종방향 점검통로의 고정용 앵커볼트 설치과정에서 발생한 손상으로 판단되며, 내구성 확보를 위해 단면보수 보수방안이 바람직 할 것으로 판단된다.

### ⑦ 마감불량

시공미흡에 의해 발생한 손상으로, 별도의 보수보다는 현 상태에서의 유지관리가 바람직 할 것으로 판단된다.

## 4) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 상세조사에 의한 추가손상 및 공용기간 증가에 의한 추가손상이 조사되었으며, 균열폭 0.3mm 이상 균열은 상세조사에 의해 손상길이를 실측하여 물량을 수정하였다.

【표 3.15】 백운1교(부산) 교대의 기 진단과의 비교, 검토

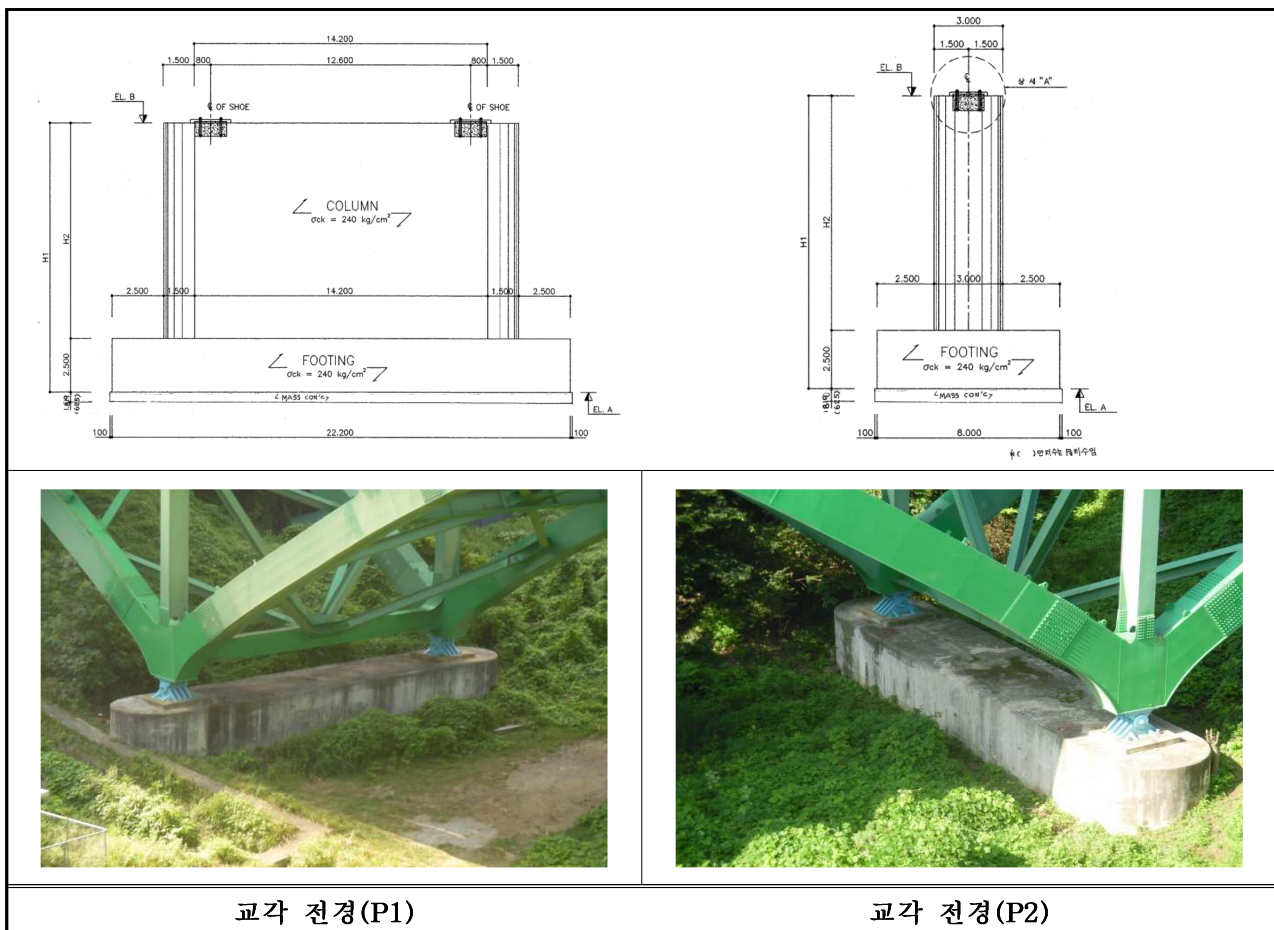
| 손상내용            | 단위 | 손상현황  |       | 물량 비교<br>(+:증가, -:감소) |       | 검토결과            |
|-----------------|----|-------|-------|-----------------------|-------|-----------------|
|                 |    | 2011년 | 2016년 |                       |       |                 |
| 계단침하            | m' | -     | 1.00  | +                     | 1.00  | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 균열(cw=0.2mm 이하) | m  | 2.30  | 20.50 | +                     | 18.20 | • 상세조사에 의한 추가손상 |

【표 3.15】 백운1교(부산) 교대의 기 진단과의 비교, 검토(계속)

| 손상내용            | 단위             | 손상현황  |       | 물량 비교<br>(+:증가, -:감소) |       | 검토결과            |
|-----------------|----------------|-------|-------|-----------------------|-------|-----------------|
|                 |                | 2011년 | 2016년 |                       |       |                 |
| 균열(cw=0.3mm 이상) | m              | 4.20  | 4.10  | -                     | 0.10  | • 상세조사에 의한 물량변경 |
| 마감불량            | m <sup>2</sup> | -     | 0.30  | +                     | 0.30  | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 망상균열            | m <sup>2</sup> | -     | 6.56  | +                     | 6.56  | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 박리              | m <sup>2</sup> | -     | 0.61  | +                     | 0.61  | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 백태              | m <sup>2</sup> | -     | 22.29 | +                     | 22.29 | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 체수              | m <sup>2</sup> | -     | 3.75  | +                     | 3.75  | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 파손              | m <sup>2</sup> | -     | 1.39  | +                     | 1.39  | • 상세조사에 의한 추가손상 |

#### 나. 교각

상부구조를 지지하는 구조물인 교각은 벽식으로 되어있으며, 기초는 직접기초로 시공되어있다. 도보조사를 통한 근접조사를 실시하였다.



【사진 3.17】 백운1교(부산) 교각 일반도 및 전경



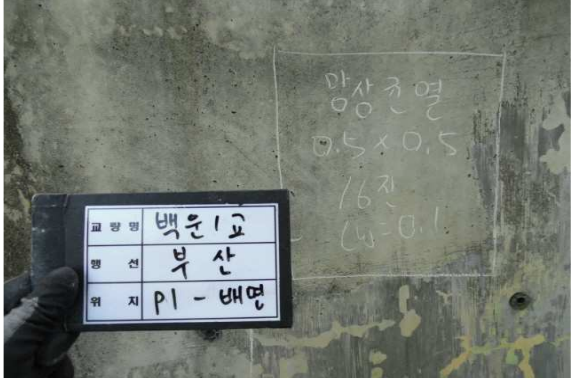
## 1) 외관조사 결과

교각에 대한 현장조사 결과, 건조수축 균열, 망상균열, 박리, 재료분리, 파손 등의 결함이 조사되었고, 손상현황은 【표 3.16】 과 같다.

【표 3.16】 백운1교(부산) 교각의 손상현황

| 구분 | 균열(cw=0.2mm 이하)<br>(m/EA) | 망상균열<br>(m²/EA) | 박리<br>(m²/EA) | 재료분리<br>(m²/EA) | 파손<br>(m²/EA) |
|----|---------------------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| P1 | 9.40/12                   | 0.41/3          | 6.22/6        | 0.04/4          | 0.12/4        |
| P2 | 7.90/12                   | 0.44/2          | 43.94/3       | 0.17/2          | 0.08/3        |
| 합계 | 17.3/24                   | 0.85/5          | 50.16/9       | 0.21/6          | 0.20/7        |

## 2) 손상별 현황

|                                                                                     |                            |                                                                                      |                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
|   |                            |   |                        |
| 현 황                                                                                 | • P1/균열(cw=0.1mm, L=1.30m) | 현 황                                                                                  | • P1/망상균열(A=0.25m²)    |
| 원 인                                                                                 | • 시공초기 건조수축                | 원 인                                                                                  | • 시공초기 건조수축            |
| 대 책                                                                                 | • 유지관리                     | 대 책                                                                                  | • 유지관리                 |
|  |                            |  |                        |
| 현 황                                                                                 | • P1/박리(A=0.12m²)          | 현 황                                                                                  | • P1/박리(보수재)(A=4.80m²) |
| 원 인                                                                                 | • 공용 중 열화                  | 원 인                                                                                  | • 공용 중 열화              |
| 대 책                                                                                 | • 유지관리                     | 대 책                                                                                  | • 유지관리                 |

【사진 3.18】 백운1교(부산) 교각의 손상현황



|                                                                                   |                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| <b>현 황</b> • P2/재료분리(A=0.09m <sup>2</sup> )                                       | <b>현 황</b> • P2/파손(A=0.06m <sup>2</sup> )                                          |
| <b>원 인</b> • 시공불량                                                                 | <b>원 인</b> • 시공초기 외부충격                                                             |
| <b>대 책</b> • 유지관리                                                                 | <b>대 책</b> • 유지관리                                                                  |

【사진 3.18】 백운1교(부산) 교각의 손상현황(계속)

## 3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

## ① 균열 및 망상균열

교각에서 조사된 균열 및 망상균열은 건조수축 및 수화열에 의해 발생한 비구조적 균열로 구조적인 영향은 없으며, 균열폭도 0.1mm이하의 미세균열로 허용균열폭( $C_w=0.3\text{mm}$ ) 미만이므로 표면처리 또는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

## ② 박리

박리는 시공 시 마감불량 또는 공용 중 열화에 의해 발생한 손상으로 손상깊이가 깊지 않아 보수보다는 주의관찰이 바람직 할 것으로 판단된다.

## ③ 재료분리

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

## ④ 파손

파손은 외부충격, 거푸집 제거 시 탈락 및 마감불량 등에 의해 발생한 결함으로 판단되며, 그에 따른 단면감소 및 내구성 저하 영향은 미미한 상태이므로 보수방안보다는 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

## 4) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 균열발생비율은 일반적으로 콘크리트 타설 이 후 지속기간 3개월에 50%, 1년에 거의 85~90%가 되는 것으로 보고(건설재료학, 문한영)되

고 있는 점을 고려하여 신규발생보다는 기존 점검 시 손상에 포함되지 않은 것으로 판단되며, 금회 상세조사 및 공용기간 증가에 의한 추가손상이 조사된 것으로 분석되었다.

【표 3.17】 백운1교(부산) 교각의 기 진단과의 비교, 검토

| 손상내용            | 단위             | 손상현황  |       | 물량 비교<br>(+:증가, -:감소) |       | 검토결과            |
|-----------------|----------------|-------|-------|-----------------------|-------|-----------------|
|                 |                | 2011년 | 2016년 |                       |       |                 |
| 균열(cw=0.2mm 이하) | m              | -     | 17.30 | +                     | 17.30 | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 망상균열            | m <sup>2</sup> | -     | 0.85  | +                     | 0.85  | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 박리              | m <sup>2</sup> | -     | 50.16 | +                     | 50.16 | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 재료분리            | m <sup>2</sup> | -     | 0.21  | +                     | 0.21  | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 파손              | m <sup>2</sup> | -     | 0.20  | +                     | 0.20  | • 상세조사에 의한 추가손상 |

#### 다. 교대 및 교각의 상대변위(기초침하 검측)

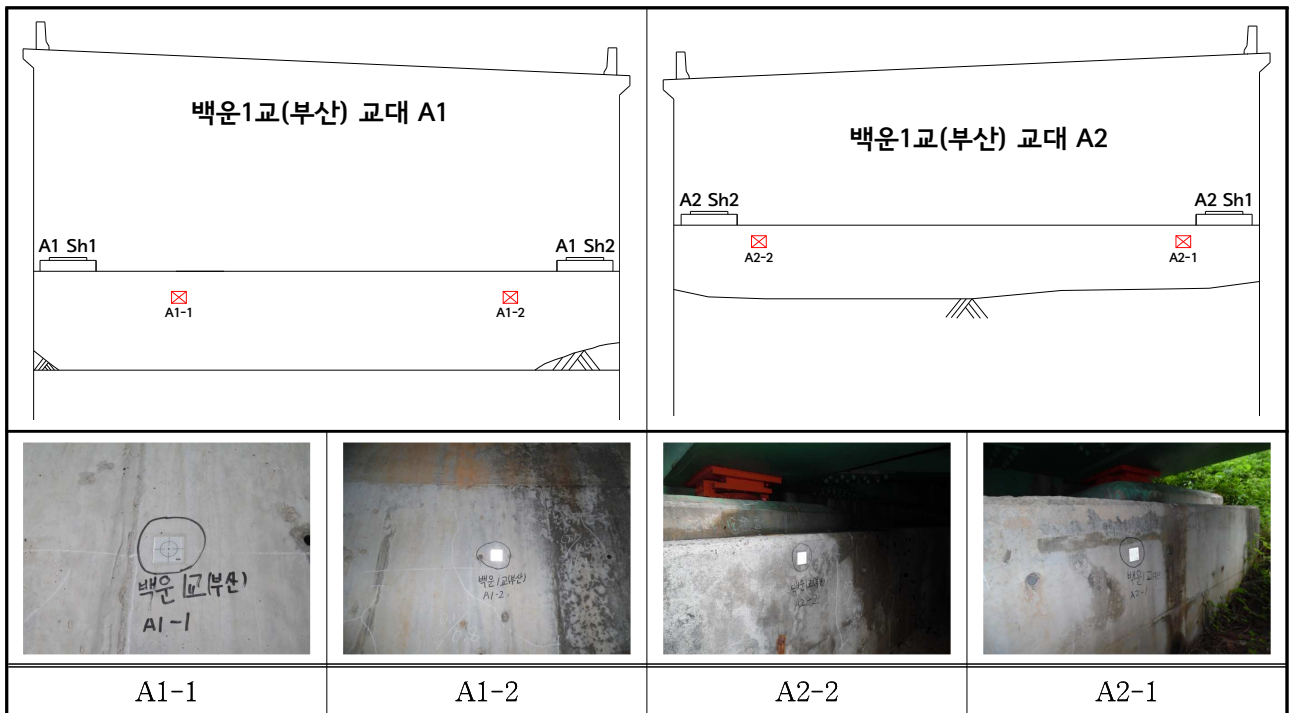
과업대상인 백운1교(부산)의 기초형식은 직접기초로 시공되어 있는 상태로서, 금회 현장조사 시 직립도 및 처짐 등의 이상징후가 조사되지 않은 상태이지만, 향후 기초침하 변화부에 측량 타켓(반사시트 및 측량 표시못)을 설치하여 변화를 확인 할 수 있도록 검측을 실시하였다.



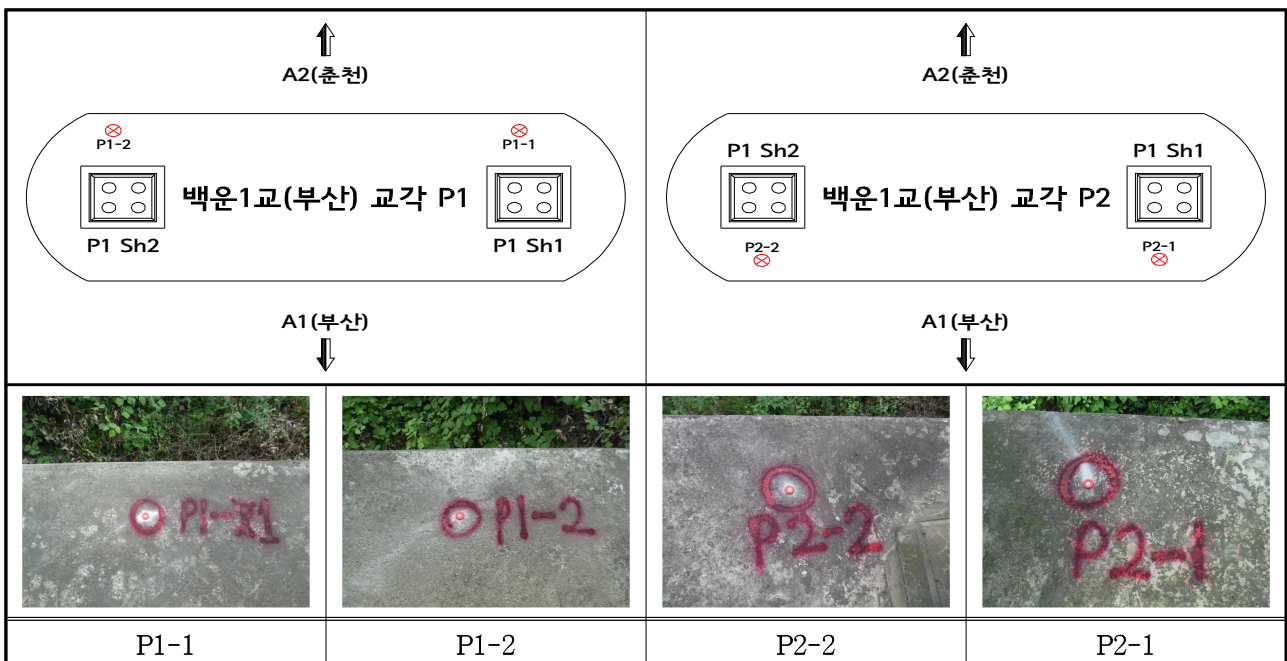
【사진 3.19】 백운1교(부산) 측량기준점 및 측량 전경

1) 상대변위 측정 방법

상대변위 측정은 각 교대 및 교각의 좌·우측 전면부에 관측이 용이하도록 측량타겟(반사시트, 측량 표시못)을 설치하고, 측량기준점을 임의 점(N : 1,000.000, E : 1,000.000, Z : 100.000)에 설치하여, 각 교대, 교각에 설치된 측량타겟을 측정하였다.



【그림 3.8】 백운1교(부산) 교대 측량 타겟 위치도 및 설치현황



【그림 3.9】 백운1교(부산) 교각 측량 타겟 위치도



## 2) 상대변위 측정 결과 및 분석

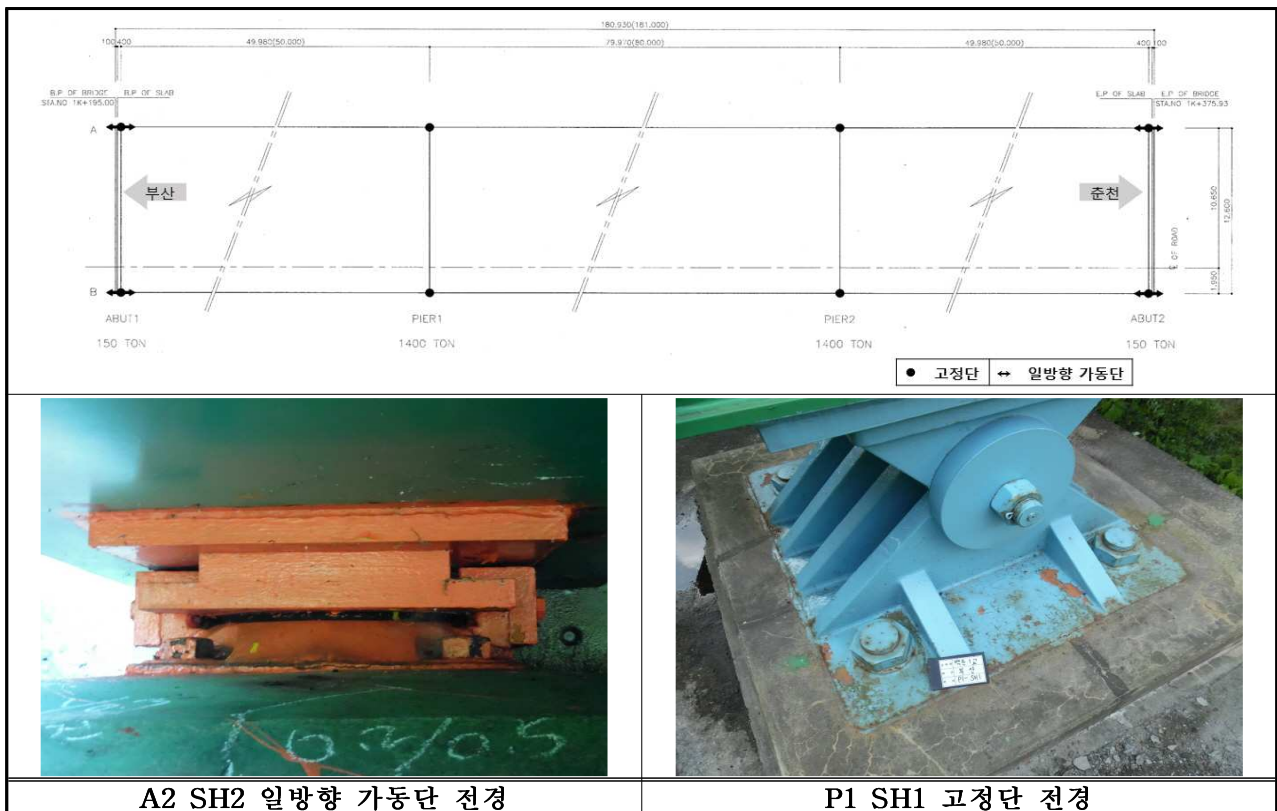
【표 3.18】 백운1교(부산) 교대 및 교각 측량 결과

| 구분  |      | X         | Y         | Z       | 비고 |
|-----|------|-----------|-----------|---------|----|
| 기준점 |      | 1,000.000 | 1,000.000 | 100.000 |    |
| 교대  | A1-1 | 1,079.375 | 942.617   | 126.743 |    |
|     | A1-2 | 1,077.485 | 937.119   | 126.758 |    |
| 교각  | P1-1 | 1,026.546 | 955.413   | 107.413 |    |
|     | P1-2 | 1,023.862 | 949.822   | 107.414 |    |
|     | P2-1 | 965.444   | 1,024.466 | 103.832 |    |
|     | P2-2 | 968.787   | 1,032.643 | 103.835 |    |
| 교대  | A2-1 | 915.204   | 979.600   | 122.046 |    |
|     | A2-2 | 913.235   | 967.847   | 122.439 |    |

금회 측정치는 전차에 실시하지 않아 비교값이 없는 상태이므로, 이번 결과를 초기치로 활용하여 향후 기초침하 및 변화 유무에 대한 지속적인 관리가 필요할 것으로 판단된다.

## 3.2.3 교량받침

백운1교(부산)의 교량받침은 고력활동받침 및 핀받침으로 일방향 가동단 4개소(A1, A2), 고정단 4개소(P1, P2) 설치되어 있으며, 점검은 도보로 근접하여 조사를 실시하였으며, 받침배치 현황은 다음과 같다.



【사진 3.20】 백운1교(부산) 교량받침 전경

## 가. 받침장치 외관상태 조사결과

## 1) 외관조사 결과

받침장치에 대한 현장조사 결과, 받침장치에서 부식, 스텐레스 부식, 받침콘크리트 균열 (cw=0.1mm), 받침콘크리트 균열부 백태, 받침콘크리트 망상균열, 거푸집 미제거 등의 손상이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.19】 과 같다.

【표 3.19】 백운1교(부산) 받침장치의 손상현황

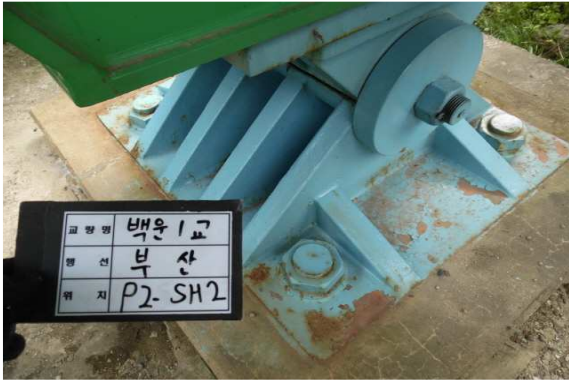
| 구분 | 받침 본체        |                   | 받침 콘크리트                       |                                   |                |                   |
|----|--------------|-------------------|-------------------------------|-----------------------------------|----------------|-------------------|
|    | 부식<br>(㎡/개소) | 스텐레스 부식<br>(㎡/개소) | 균열<br>(cw=0.2mm 이하)<br>(m/개소) | 균열부 백태<br>(cw=0.2mm 이하)<br>(m/개소) | 망상균열<br>(㎡/개소) | 거푸집 미제거<br>(㎡/개소) |
| A1 | 0.98/2       | -                 | 0.50/1                        | -                                 | 0.98/1         | 0.60/1            |
| P1 | 0.72/2       | 0.98/2            | 6.80/17                       | 0.20/1                            | -              | -                 |
| P2 | 0.72/2       | 0.98/2            | -                             | -                                 | 8.00/2         | -                 |
| A2 | 0.58/2       | -                 | 0.90/3                        | -                                 | 0.45/3         | -                 |
| 합계 | 3.00/8       | 1.96/4            | 8.20/21                       | 0.20/1                            | 9.43/6         | 0.60/1            |

## 2) 손상별 현황

|                                                                                     |                        |                                                                                      |                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
|  |                        |  |                        |
| 현 황                                                                                 | • A2/SH1 본체부식(A=0.49㎡) | 현 황                                                                                  | • A2/SH2 본체부식(A=0.09㎡) |
| 원 인                                                                                 | • 도장열화 및 외측부 우수접속      | 원 인                                                                                  | • 도장열화 및 외측부 우수접속      |
| 대 책                                                                                 | • 도장보수                 | 대 책                                                                                  | • 도장보수                 |

【사진 3.21】 백운1교(부산) 받침장치의 손상현황



|                                                                                     |                                    |                                                                                      |                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
|    |                                    |    |                                         |
| 현 황                                                                                 | • P2/SH2 부식(A=0.72m <sup>2</sup> ) | 현 황                                                                                  | • P1/SH1 부식(A=0.98m <sup>2</sup> )      |
| 원 인                                                                                 | • 도장열화 및 외측부 우수접속                  | 원 인                                                                                  | • 도장열화 및 외측부 우수접속                       |
| 대 책                                                                                 | • 재도장                              | 대 책                                                                                  | • 재도장                                   |
|   |                                    |   |                                         |
| 현 황                                                                                 | • P1/SH2 균열(cw=0.1mm, L=0.80m)     | 현 황                                                                                  | • P1/SH1 균열부 백태(cw=0.1mm, L=0.20m)      |
| 원 인                                                                                 | • 시공초기 건조수축                        | 원 인                                                                                  | • 건조수축 및 수분접촉                           |
| 대 책                                                                                 | • 유지관리                             | 대 책                                                                                  | • 표면처리                                  |
|  |                                    |  |                                         |
| 현 황                                                                                 | • P2/SH2 망상균열(A=)                  | 현 황                                                                                  | • A1/SH1 거푸집 미제거(A=0.60m <sup>2</sup> ) |
| 원 인                                                                                 | • 시공초기 건조수축                        | 원 인                                                                                  | • 시공미흡                                  |
| 대 책                                                                                 | • 유지관리                             | 대 책                                                                                  | • 유지관리                                  |

【사진 3.21】 백운1교(부산) 받침장치의 손상현황(계속)

## 3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

## ① 받침장치 부식 및 솔플레이트 부식

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

## ② 균열, 망상균열 및 균열부 백태

받침콘크리트 균열 및 망상균열은 시공초기 건조수축에 의해 발생한  $C_w=0.2\text{mm}$ 이하의 비구조적 균열로 구조물의 안전성 미치는 영향은 없으며, 허용균열폭( $0.3\text{mm}$ ) 미만이므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단되며, 균열부 백태는 균열부 틈새로 우수유입에 의한 수산화칼슘 용해로 발생한 결함으로 내구성 확보를 위해 표면처리 보수가 필요할 것으로 판단된다.

## ③ 거푸집 미제거

거푸집 미제거는 시공미흡에 의한 결함으로 내구성 저하 영향은 없는 결함이므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

## 4) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 받침장치 본체 부식은 공용기간 증가에 따른 추가(신규) 손상이 조사되어 물량이 증가된 것으로 조사되었고, 솔플레이트 부식은 동일손상으로 손상변화가 없는 상태이며, 받침콘크리트 균열 및 균열부 백태, 망상균열, 거푸집 미제거 손상은 상세조사에 의한 추가(신규) 손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었다.

【표 3.20】 백운1교(부산) 받침장치의 기 진단과의 비교, 검토

| 손상내용                                 | 단위             | 손상현황  |       | 물량 비교<br>(+:증가, -:감소) |      | 검토결과             |
|--------------------------------------|----------------|-------|-------|-----------------------|------|------------------|
|                                      |                | 2011년 | 2016년 |                       |      |                  |
| 받침부식                                 | m <sup>2</sup> | 2.42  | 3.00  | +                     | 0.58 | • 공용 중 발생한 추가손상  |
| 솔플레이트 부식                             | m <sup>2</sup> | 1.96  | 1.96  | -                     | -    | • 손상변화 없음 (동일손상) |
| 받침콘크리트<br>균열( $c_w=0.2\text{mm}$ 이하) | m              | 6.80  | 8.20  | +                     | 1.40 | • 상세조사에 의한 추가손상  |
| 받침콘크리트<br>균열부 백태                     | m              | -     | 0.20  | +                     | 0.20 | • 공용 중 발생한 추가손상  |
| 망상균열                                 | m <sup>2</sup> | -     | 9.43  | +                     | 9.43 | • 상세조사에 의한 추가손상  |
| 거푸집 미제거                              | m <sup>2</sup> | -     | 0.60  | +                     | 0.60 | • 상세조사에 의한 추가손상  |

### 나. 받침장치 연단거리 검토결과

교좌면은 받침을 통해서 상부구조로부터 하중을 받는 곳이고 또한 지진시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 따라서 받침 끝에서 정부 연단까지의 거리가 작으면 고정단에서는 전단면에 연해서 콘크리트 구체 또는 받침이 파손될 수 있고, 가동단에서는 최악의 경우 받침이 벗어나 거더가 낙하할 수도 있다. 따라서 도로교 설계기준에서 정한 연단거리의 최소값과 각 지점별 실측 연단거리를 비교·검토하였다.

#### 1) 최소 연단거리 산정결과

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

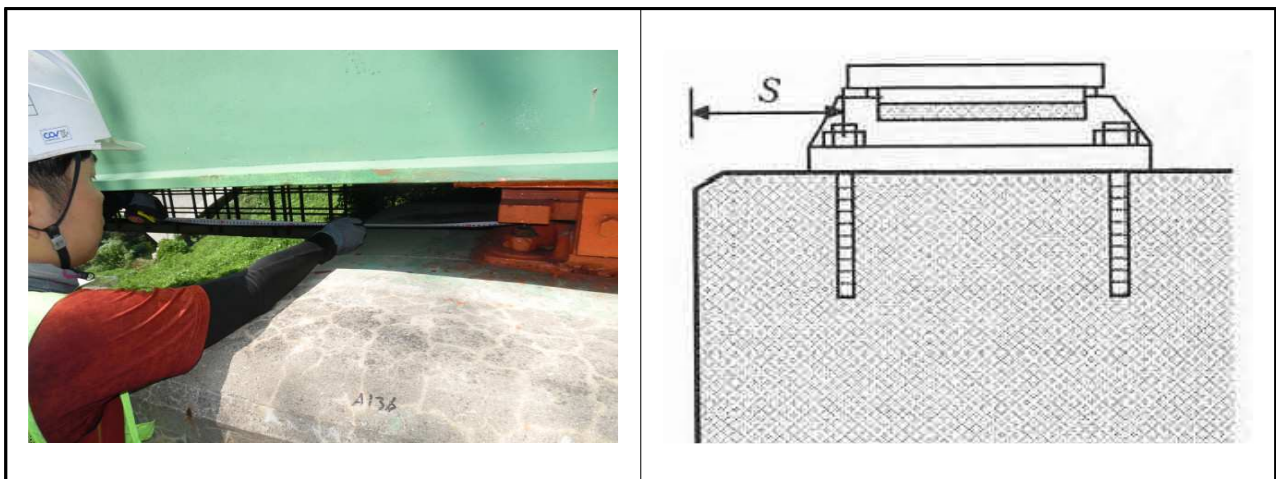
여기서, S : 받침연단거리(mm), L : 거더의 경간길이(m)

【표 3.21】 백운1교(부산) 최소 연단거리 산정결과

| 구분         | A1   | P1   |      | P2   |      | A2   |
|------------|------|------|------|------|------|------|
|            |      | A1   | A2   | A1   | A2   |      |
| 경간길이(m)    | 50.4 | 50.4 | 80.0 | 80.0 | 50.4 | 50.4 |
| 최소연단거리(mm) | 452  | 452  | 600  | 600  | 452  | 452  |

주) 최소연단거리(mm)의 계산값은 소수 첫째 자리에서 반올림하여 수록함.

- ② 연단거리-콘크리트면의 가장자리로부터 가장 가까운 앵커중심까지의 거리



【그림 3.10】 백운1교(부산) 연단거리 측정 개요도

#### 2) 연단거리 검토결과

실측 연단거리와 최소 연단거리를 비교·검토한 결과, 전 개소에서 실측 연단거리가 최소 연단거리를 상회하는 것으로 평가되었다.

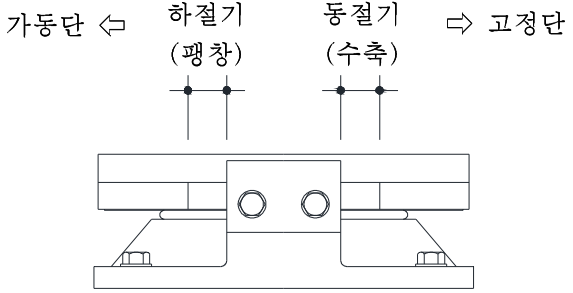
【표 3.22】 백운1교(부산) 연단거리 측정결과

| 위치 |    | 최소 연단거리<br>(mm) | 실측 연단거리(mm) |      | 검토<br>결과 |
|----|----|-----------------|-------------|------|----------|
|    |    |                 | Sh1         | Sh2  |          |
| A1 |    | 452             | 525         | 544  | O.K      |
| P1 | A1 | 452             | 1070        | 1015 | O.K      |
|    | A2 | 600             | 1045        | 1070 | O.K      |
| P2 | A1 | 600             | 1060        | 1060 | O.K      |
|    | A2 | 452             | 1040        | 1055 | O.K      |
| A2 |    | 452             | 855         | 830  | O.K      |

#### 다. 교량받침 가동량 검토결과

본 교량의 받침형식은 스페리컬받침으로 1차, 2차에 걸쳐 받침장치 가동량을 검토함으로써 온도변화에 따른 받침 신축거동상태 및 가동여유량을 평가하여 교량받침의 기능저하를 방지하고자 한다. 받침 가동여유량 평가기준은 【표 3.23】과 같다.

【표 3.23】 백운1교(부산) 교량받침 가동량 평가기준

|                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>가동단 ⇐ 하절기 (팽창)      동절기 (수축) ⇐ 고정단</p>                                                                                                                                                                   |
|                                                                                     | <p>■ 온도에 의한 가동량</p> <p><math>\Delta l_t = \Delta T \times \alpha \times L</math> (신축거리 길이)</p> <p><math>\Delta T</math> = 온도변화(<math>-20^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}</math>) → 강교(한랭지방) : 강아치교</p> <p><math>\alpha</math> = 선팽창계수(<math>1.2 \times 10^{-5}</math>) → 강교 : 강아치교</p> |

【표 3.23】 백운1교(부산) 교량받침 가동량 평가기준(계속)

평가  
기준

※ 한랭지방 적용근거

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

■ 활하중에 의한 보의 처짐에 의한 가동량

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

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

$\theta_i$  : 보의 회전각(강교 1/150)

■ 계산 가동량 산정

|                               |                                           |           |                          |  |
|-------------------------------|-------------------------------------------|-----------|--------------------------|--|
| 온도변화 범위                       | -20℃ ~ +40℃                               | 선팅창 계수(a) | 강재: $1.2 \times 10^{-5}$ |  |
| 점검시 기온(℃)                     | 1차 (08.08)                                | 29.5℃     |                          |  |
|                               | 2차 (09.29)                                | 19.4℃     |                          |  |
| 온도에 의한 가동량( $\Delta l_t$ )    | $\Delta l_t = \Delta T \times a \times L$ |           |                          |  |
| 보의 중립축까지 높이 2h/3( $h_i$ )     | $\frac{2}{3} \times 1,250$                |           |                          |  |
| 보의 회전각( $\theta_i$ )          | 1/150(강합성교)                               |           |                          |  |
| 보의 처짐에 의한 가동량( $\Delta l_r$ ) | $\Delta l_r = \sum (h_i \times \theta_i)$ |           |                          |  |

|           |      |     |     |      |
|-----------|------|-----|-----|------|
| 신축거더길이(L) | A1   | P1  | P2  | A2   |
| (m)       | 50.4 | 고정단 | 고정단 | 50.4 |

※ 처짐에 의한 신축량은 팽창시만 고려하여 계산

## 1) 온도변화에 따른 받침 신축거동상태 검토결과

교량받침의 이동량은 2회(1차 : 29.5℃(08월08일), 2차 : 19.4℃(09월29일))에 걸쳐 측정하였으며, 변동량 측정결과는 【표 3.24】와 같으며 본 교량받침의 온도변화에 따른 신축거동상태는 양호한 것으로 판단된다.

【표 3.24】 백운1교(부산) 계산가동량 산정결과

| 구 분 |     | 실측 이동량(mm) |         | 변동량(mm) |     | 비 고 |
|-----|-----|------------|---------|---------|-----|-----|
|     |     | 1차         | 2차      | 실측치     | 이론치 |     |
| A1  | Sh1 | 30 (A1)    | 25 (A1) | 5       | 6   |     |
|     | Sh2 | 40 (A1)    | 25 (A1) | 15      |     |     |
| P1  | -   | 고 정 단      |         |         |     |     |
| P2  | -   | 고 정 단      |         |         |     |     |
| A2  | Sh1 | 44 (A2)    | 28 (A2) | 16      | 6   |     |
|     | Sh2 | 60 (A2)    | 39 (A2) | 21      |     |     |



## 2) 계산가동량 산정결과

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

【표 3.25】 백운1교(부산) 계산가동량 산정결과

| 구 분 | 위 치 | 측정시 온도 (℃) | 온도변화(ΔIt) |         | 선팅창 계수               | 신축거더 길이 (m) | 처짐(Δlr) (mm) | 계산 가동량(mm)  |             |
|-----|-----|------------|-----------|---------|----------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
|     |     |            | 동절기 (℃)   | 하절기 (℃) |                      |             |              | 동절기 (최대수축시) | 하절기 (최대팽창시) |
| A1  | 1차  | 29.5       | 49.5      | 10.5    | $1.2 \times 10^{-5}$ | 50.4        | 5.6          | 29.9        | 12.0        |
|     | 2차  | 19.4       | 39.4      | 20.6    | $1.2 \times 10^{-5}$ | 50.4        | 5.6          | 23.8        | 18.1        |
| P1  |     | 고 정 단      |           |         |                      |             |              |             |             |
| P2  |     | 고 정 단      |           |         |                      |             |              |             |             |
| A2  | 1차  | 29.5       | 49.5      | 10.5    | $1.2 \times 10^{-5}$ | 50.4        | 5.6          | 29.9        | 12.0        |
|     | 2차  | 19.4       | 39.4      | 20.6    | $1.2 \times 10^{-5}$ | 50.4        | 5.6          | 23.8        | 18.1        |

주) 처짐에 의한 신축량은 교대(A1, A2) 단부에서 팽창시에만 고려

## 3) 교량받침 가동여유량 검토결과

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

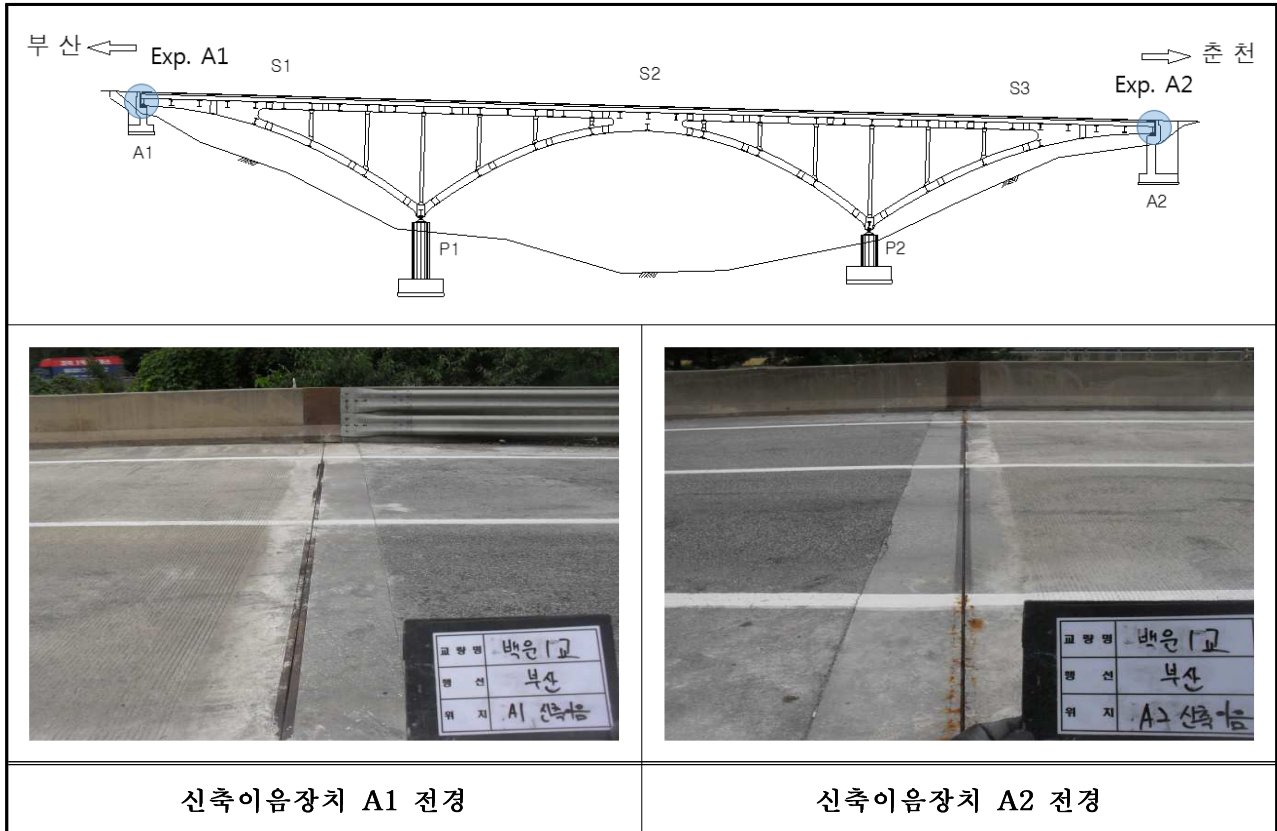
【표 3.26】 백운1교(부산) 교량받침 가동여유량 검토결과

| 구 분 |     | 최대 수축시 가동량 검토(mm) |      |     |              |      |     | 최대 팽창시 가동량 검토(mm) |      |     |              |      |     |
|-----|-----|-------------------|------|-----|--------------|------|-----|-------------------|------|-----|--------------|------|-----|
|     |     | 1차 측정(08.08)      |      |     | 2차 측정(09.29) |      |     | 1차 측정(08.08)      |      |     | 2차 측정(09.28) |      |     |
|     |     | ①                 | ②    | 평가  | ①            | ②    | 평가  | ①                 | ②    | 평가  | ①            | ②    | 평가  |
| A1  | Sh1 | 51                | 29.9 | O.K | 56           | 23.8 | O.K | 106               | 12.0 | O.K | 100          | 18.1 | O.K |
|     | Sh2 | 49                |      | O.K | 50           |      | O.K | 111               |      | O.K | 110          |      | O.K |
| P1  |     | 고 정 단             |      |     |              |      |     |                   |      |     |              |      |     |
| P2  |     | 고 정 단             |      |     |              |      |     |                   |      |     |              |      |     |
| A2  | Sh1 | 35                | 29.9 | O.K | 53           | 23.8 | O.K | 125               | 12.0 | O.K | 107          | 18.1 | O.K |
|     | Sh2 | 63                |      | O.K | 42           |      | O.K | 97                |      | O.K | 118          |      | O.K |

① : 실측여유량, ② : 계산가동량

### 3.2.4 신축이음장치

신축이음은 A1, A2 지점부에 Rail Joint 형식으로 2개소 설치되어 있으며, 신축이음 배치 현황은 다음과 같다.



【그림 3.11】 백운1교(부산) 신축이음장치 배치도

#### 가. 신축이음장치 외관상태 조사결과

##### 1) 현장조사 결과

신축이음 현장조사 결과, 본체 부식, 백태, 토사퇴적, 후타재 균열(0.2mm이하), 후타재 파손의 결함이 조사되었으며, 손상 현황은 【표 3.27】와 같다.

【표 3.27】 백운1교(부산) 신축이음장치 손상 발생 현황

| 구분 | 강재부식<br>(㎡/개소) | 백태<br>(㎡/개소) | 토사퇴적<br>(㎡/개소) | 후타재균열<br>(cw=0.2mm 이하)<br>(㎡/개소) | 후타재 파손<br>(㎡/개소) |
|----|----------------|--------------|----------------|----------------------------------|------------------|
| A1 | 0.50/3         | -            | 0.48/2         | 5.60/14                          | -                |
| A2 | 0.48/2         | 1.50/1       | 0.48/2         | 10.00/24                         | 0.05/1           |
| 합계 | 0.98/5         | 1.50/1       | 0.96/4         | 15.60/38                         | 0.05/1           |

## 2) 손상별 현황

|                                                                                     |                                       |                                                                                      |                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
|    |                                       |    |                                        |
| 현 황                                                                                 | • A2 신축이음 본체부식(A=0.18m <sup>2</sup> ) | 현 황                                                                                  | • A2 신축이음 백태(A=1.50m <sup>2</sup> )    |
| 원 인                                                                                 | • 우수접촉                                | 원 인                                                                                  | • 아스콘과 바닥판 상면 침출수 유출                   |
| 대 책                                                                                 | • 유지관리                                | 대 책                                                                                  | • 유지관리                                 |
|   |                                       |   |                                        |
| 현 황                                                                                 | • A2 신축이음 토사퇴적(A=0.18m <sup>2</sup> ) | 현 황                                                                                  | • A1 신축이음 후타재균열(Cw=0.2mm)              |
| 원 인                                                                                 | • 공용중 우수 등에 의해 퇴적                     | 원 인                                                                                  | • 건조수축 및 차량반복 하중                       |
| 대 책                                                                                 | • 청소                                  | 대 책                                                                                  | • 유지관리                                 |
|  |                                       |  |                                        |
| 현 황                                                                                 | • A1 신축이음 후타재균열(Cw=0.2mm)             | 현 황                                                                                  | • A2 신축이음 후타재파손(A=0.05m <sup>2</sup> ) |
| 원 인                                                                                 | • 건조수축 및 차량반복 하중                      | 원 인                                                                                  | • 재포장 시 외부충격 및 중차량통행                   |
| 대 책                                                                                 | • 유지관리                                | 대 책                                                                                  | • 단면보수                                 |

【사진 3.22】 백운1교(부산) 신축이음장치 손상 현황

## 3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

## ① 본체부식

신축이음 본체부식은 공용기간 중 우수접촉 및 채수에 의해 발생한 손상으로 부식에 의한 기능저하 영향은 없기에 보수보다는 현 상태에서 지속적인 관리가 바람직할 것으로 판단된다.

## ② 백태

백태는 기존 아스콘 포장과 바닥판 사이로 침투한 우수가 신축이음부로 유출되면서 발생한 손상으로 판단되며, 별도도의 보수보다는 금회 실시한 재포장 공사 후 후타재 백태의 손상 진전여부를 지속적인 관리를 하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

## ③ 토사퇴적

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

## ④ 후타재 균열 및 파손

후타재 균열은 공 용중 차량반복 하중에 의해 발생한 결함으로  $cw=0.3mm$  미만으로 주의 관찰토록 하며, 파손은 재포장 시 장비에 의한 외부충격 및 중차량 통행에 의해 발생한 결함으로 통행차량의 안전성 확보를 위해 단면보수가 필요할 것으로 판단된다.

## 4) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 신축이음 강재부식, 토사퇴적, 후타재 균열, 백태, 의 결함은 동일손상으로 손상변화가 없는 상태이며, 후타재 파손은 금회 진단 시 상세조사 및 공용기간 증가에 따른 추가(신규)손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었다.

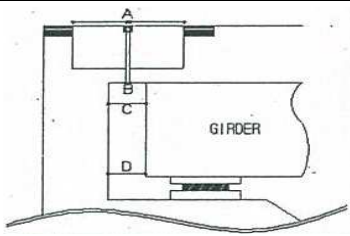
【표 3.28】 백운1교(부산) 신축이음장치의 기 진단과의 비교, 검토

| 손상내용     |             | 단위             | 손상현황  |       | 물량 비교<br>(+:증가, -:감소) | 검토결과            |
|----------|-------------|----------------|-------|-------|-----------------------|-----------------|
|          |             |                | 2011년 | 2016년 |                       |                 |
| 신축<br>이음 | 강재부식        | m <sup>2</sup> | 0.98  | 0.98  | -                     | • 손상변화 없음(동일손상) |
|          | 토사퇴적        | m <sup>2</sup> | 0.96  | 0.96  | -                     | • 손상변화 없음(동일손상) |
| 후타재      | 균열(0.2mm이하) | m              | 15.60 | 15.60 | -                     | • 손상변화 없음(동일손상) |
|          | 백태          | m <sup>2</sup> | 1.50  | 1.50  | -                     | • 손상변화 없음(동일손상) |
|          | 파손          | m <sup>2</sup> | -     | 0.05  | + 0.05                | • 공용중 발생한 신규손상  |

## 나. 신축이음장치 거동상태 검토결과

## 1) 계산 신축량 산정방법

【표 3.29】 백운1교(부산) 계산 신축량 산정

|  | A1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1차                                                                                 | 2016년 08월 08일                                                                       | 29.5℃      | 원주기상대 |            |         |             |                    |                      |                                                          |                       |       |                                       |            |       |  |                            |                                                |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------|------------|---------|-------------|--------------------|----------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------|-------|---------------------------------------|------------|-------|--|----------------------------|------------------------------------------------|--|
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 2차                                                                                 | 2016년 09월 29일                                                                       | 19.4℃      |       |            |         |             |                    |                      |                                                          |                       |       |                                       |            |       |  |                            |                                                |  |
|                                                                                   | A2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1차                                                                                 | 2016년 08월 08일                                                                       | 29.5℃      |       |            |         |             |                    |                      |                                                          |                       |       |                                       |            |       |  |                            |                                                |  |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 2차                                                                                 | 2016년 09월 29일                                                                       | 19.4℃      |       |            |         |             |                    |                      |                                                          |                       |       |                                       |            |       |  |                            |                                                |  |
|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |  |            |       |            |         |             |                    |                      |                                                          |                       |       |                                       |            |       |  |                            |                                                |  |
| 신축이음 유간(A)                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 바닥판 유간(B)                                                                          |                                                                                     | 거더상단 유간(C) |       | 거더하단 유간(D) |         |             |                    |                      |                                                          |                       |       |                                       |            |       |  |                            |                                                |  |
| 평가<br>기준                                                                          | <div>■ 온도에 의한 신축량</div> <div><math>\Delta l_t = \Delta T \times \alpha \times L</math>(신축거더 길이)</div> <div><math>\Delta T</math> = 온도변화(-20℃ ~ +40℃)→ 강아치교 : 한랭지방</div> <div><math>\alpha</math> = 선팽창계수(<math>1.2 \times 10^{-5}</math>)→ 강아치교</div> <div>※ 한랭지방 적용근거</div> <table><thead><tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</th></tr></thead><tbody><tr><td>보통지방</td><td>- 대전 구미, 대구, 강릉, 논산, 전주, 광주, 순천, 진주, 마산, 창령, 고령, 동서울, 부산</td><td rowspan="2">도로공사 연구보고서<br/>(1993년)</td></tr><tr><td>한랭지방</td><td>- 인천, 수원, 천안, 영동, 이천, 원주, 대관령, 정안, 진천</td></tr></tbody></table> |                                                                                    |                                                                                     |            |       |            | 구 분     | 내 용         | 비 고                | 보통지방                 | - 대전 구미, 대구, 강릉, 논산, 전주, 광주, 순천, 진주, 마산, 창령, 고령, 동서울, 부산 | 도로공사 연구보고서<br>(1993년) | 한랭지방  | - 인천, 수원, 천안, 영동, 이천, 원주, 대관령, 정안, 진천 |            |       |  |                            |                                                |  |
|                                                                                   | 구 분                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 내 용                                                                                | 비 고                                                                                 |            |       |            |         |             |                    |                      |                                                          |                       |       |                                       |            |       |  |                            |                                                |  |
|                                                                                   | 보통지방                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | - 대전 구미, 대구, 강릉, 논산, 전주, 광주, 순천, 진주, 마산, 창령, 고령, 동서울, 부산                           | 도로공사 연구보고서<br>(1993년)                                                               |            |       |            |         |             |                    |                      |                                                          |                       |       |                                       |            |       |  |                            |                                                |  |
|                                                                                   | 한랭지방                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | - 인천, 수원, 천안, 영동, 이천, 원주, 대관령, 정안, 진천                                              |                                                                                     |            |       |            |         |             |                    |                      |                                                          |                       |       |                                       |            |       |  |                            |                                                |  |
|                                                                                   | <div>■ 계산 신축량 산정</div> <table><thead><tr><th>온도변화 범위</th><td>-20℃ ~ +40℃</td><th>선팽창 계수(<math>\alpha</math>)</th><td><math>1.2 \times 10^{-5}</math></td></tr></thead><tbody><tr><td rowspan="2">점검시 기온(℃)</td><td>1차 (08.08)</td><td colspan="2">29.5℃</td></tr><tr><td>2차 (09.29)</td><td colspan="2">19.4℃</td></tr><tr><td>온도에 의한 신축량(<math>\Delta l_t</math>)</td><td colspan="3"><math>\Delta l_t = \Delta T \times \alpha \times L</math></td></tr></tbody></table>                                                                                                    |                                                                                    |                                                                                     |            |       |            | 온도변화 범위 | -20℃ ~ +40℃ | 선팽창 계수( $\alpha$ ) | $1.2 \times 10^{-5}$ | 점검시 기온(℃)                                                | 1차 (08.08)            | 29.5℃ |                                       | 2차 (09.29) | 19.4℃ |  | 온도에 의한 신축량( $\Delta l_t$ ) | $\Delta l_t = \Delta T \times \alpha \times L$ |  |
| 온도변화 범위                                                                           | -20℃ ~ +40℃                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 선팽창 계수( $\alpha$ )                                                                 | $1.2 \times 10^{-5}$                                                                |            |       |            |         |             |                    |                      |                                                          |                       |       |                                       |            |       |  |                            |                                                |  |
| 점검시 기온(℃)                                                                         | 1차 (08.08)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 29.5℃                                                                              |                                                                                     |            |       |            |         |             |                    |                      |                                                          |                       |       |                                       |            |       |  |                            |                                                |  |
|                                                                                   | 2차 (09.29)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 19.4℃                                                                              |                                                                                     |            |       |            |         |             |                    |                      |                                                          |                       |       |                                       |            |       |  |                            |                                                |  |
| 온도에 의한 신축량( $\Delta l_t$ )                                                        | $\Delta l_t = \Delta T \times \alpha \times L$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                    |                                                                                     |            |       |            |         |             |                    |                      |                                                          |                       |       |                                       |            |       |  |                            |                                                |  |
| 신축거더 길이<br>(L)                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | A1                                                                                 |                                                                                     | A2         |       |            |         |             |                    |                      |                                                          |                       |       |                                       |            |       |  |                            |                                                |  |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 50.4m                                                                              |                                                                                     | 50.4m      |       |            |         |             |                    |                      |                                                          |                       |       |                                       |            |       |  |                            |                                                |  |
| ※ 공용기간이 16년이상인 교량이므로 건조수축 및 크리프의 영향은 고려하지 않음                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                    |                                                                                     |            |       |            |         |             |                    |                      |                                                          |                       |       |                                       |            |       |  |                            |                                                |  |



## 2) 계산 신축량 산정결과

【표 3.30】 백운1교(부산) 계산 신축량 산정결과

| 위치 |    | 측정시 온도 (℃) | 온도변화(ΔT) |         | 선팅창 계수               | 신축거더 길이 (m) | 최대 신축량(mm)  |             |
|----|----|------------|----------|---------|----------------------|-------------|-------------|-------------|
|    |    |            | 동절기 (℃)  | 하절기 (℃) |                      |             | 동절기 (최대수축시) | 하절기 (최대팽창시) |
| A1 | 1차 | 29.5       | 49.5     | 10.5    | 1.2×10 <sup>-5</sup> | 50.4        | 30          | 6           |
|    | 2차 | 19.4       | 39.4     | 20.6    | 1.2×10 <sup>-5</sup> | 50.4        | 24          | 13          |
| A2 | 1차 | 29.5       | 49.5     | 10.5    | 1.2×10 <sup>-5</sup> | 50.4        | 30          | 6           |
|    | 2차 | 19.4       | 39.4     | 20.6    | 1.2×10 <sup>-5</sup> | 50.4        | 24          | 13          |

## 3) 신축이음 유간거리 측정결과

신축이음 유간거리에 대한 실측값은 【표 3.31】과 같으며, 1차, 2차의 실측 변동량을 이론치와 비교검토한 결과, 온도변화에 따른 신축거동은 원활한 것으로 판단된다.

【표 3.31】 백운1교(부산) 신축이음 유간거리 측정결과(단위 : mm)

| 구 분 |        | 실측 이동량(mm) |     | 변동량(mm) |     | 비 고 |
|-----|--------|------------|-----|---------|-----|-----|
|     |        | 1차         | 2차  | 실측치     | 이론치 |     |
| A1  | 신축이음장치 | 5          | 15  | 10      | 6   |     |
|     | 바닥판    | 105        | 112 | 7       |     |     |
|     | 거더 상단  | 48         | 61  | 13      |     |     |
|     | 거더 하단  | 43         | 54  | 11      |     |     |
| A2  | 신축이음장치 | 9          | 17  | 8       | 6   |     |
|     | 바닥판    | 28         | 38  | 10      |     |     |
|     | 거더 상단  | 20         | 36  | 16      |     |     |
|     | 거더 하단  | 24         | 36  | 16      |     |     |

## 4) 신축이음 가동여유량 검토결과

신축이음 가동여유량 검토결과는 【표 3.32】와 같으며, A1 신축이음장치를 제외한 모든 부재에서 계산 신축량을 만족하는 것으로 평가되었다.

【표 3.32】 백운1교(부산) 신축이음 유간거리 검토결과

| 부 재        |    |   | 측정유간<br>(mm) | 계산 신축량(mm) |    | 허용신축량<br>(mm) | 신축 여유량(mm) |    | 평가   |
|------------|----|---|--------------|------------|----|---------------|------------|----|------|
|            |    |   |              | 수축         | 팽창 |               | 수축         | 팽창 |      |
| Exp.J1(A1) | 1차 | A | 5            | 30         | 6  | 80<br>(±40)   | 45         | -1 | N.G. |
|            |    | B | 105          |            |    |               |            | 99 |      |
|            |    | C | 48           |            |    |               |            | 42 |      |
|            |    | D | 43           |            |    |               |            | 37 |      |
|            | 2차 | A | 15           | 24         | 13 |               | 41         | 2  | 양호   |
|            |    | B | 112          |            |    |               |            | 99 |      |
|            |    | C | 61           |            |    |               |            | 48 |      |
|            |    | D | 54           |            |    |               |            | 41 |      |
| Exp.J2(A2) | 1차 | A | 9            | 30         | 6  | 80<br>(±40)   | 41         | 3  | 양호   |
|            |    | B | 28           |            |    |               |            | 22 |      |
|            |    | C | 20           |            |    |               |            | 14 |      |
|            |    | D | 24           |            |    |               |            | 18 |      |
|            | 2차 | A | 17           | 24         | 13 |               | 39         | 4  |      |
|            |    | B | 38           |            |    |               |            | 25 |      |
|            |    | C | 36           |            |    |               |            | 23 |      |
|            |    | D | 36           |            |    |               |            | 23 |      |

※ 신축여유량(팽창)=측정유간-계산신축량(팽창), 신축여유량(수축)=허용신장량-측정유간-계산신축량(수축)

※ 신축여유량 > 0인 경우 양호

※ A : 신축이음장치, B : 바닥판, C : 거더상단, D : 거더하단

신축이음 가동여유량 검토결과 A1 신축이음부에서 계산 신축량이 최고 온도(40℃)까지 도달한 경우에 여유량이 약 1mm 부족한 것으로 분석되었다.

이에 신축이음부 외관조사 시 확인되었던 손상들에 대한 분석을 실시한 결과 신축이음부 유간 폐쇄에 의한 신축이음부 강재 변형, 단차 및 강재와 맞닿은 후타재 파손 등의 손상은 조사되지 않았으며, 공용기간 장기화에 의한 강재부식 및 토사퇴적, 시공초기 건조수축 및 차량반복 하중에 의한 균열폭 0.2mm 이하의 후타재 균열 등이 조사되었다.

【표 3.33】 백운1교(부산) 신축이음장치(A1) 손상 발생 현황

| 구분 | 강재부식<br>(㎡/개소) | 토사퇴적<br>(m/개소) | 후타재균열<br>(cw=0.2mm 이하)<br>(㎡/개소) |
|----|----------------|----------------|----------------------------------|
| A1 | 0.50/3         | 0.48/2         | 5.60/14                          |



A1 신축이음 전경

A1 신축이음 후타재 균열

【사진 3.23】 백운1교(부산) 신축이음(A1) 손상 전경

원주기상대의 21년간의 일평균 최고 기온 자료를 분석한 결과, 일평균 최고기온 중 최고값은 2012년 08월 06일의 30.9℃로 나타났다.

【표 3.34】 백운1교(부산) 일평균 최고 기온(원주기상대)

| 일자         | 일 평균 최고 기온(℃) | 일자                | 일 평균 최고 기온(℃) |
|------------|---------------|-------------------|---------------|
| 1996-08-02 | 28.9          | 2007-08-02        | 28.9          |
| 1997-08-01 | 28.9          | 2008-08-10        | 27.7          |
| 1998-08-05 | 27.5          | 2009-08-19        | 27.7          |
| 1999-08-08 | 29.2          | 2010-08-20        | 29.7          |
| 2000-07-21 | 27.6          | 2011-07-18        | 29.1          |
| 2001-08-04 | 28.8          | <b>2012-08-06</b> | <b>30.9</b>   |
| 2002-07-27 | 28.7          | 2013-08-08        | 29.3          |
| 2003-08-22 | 27.6          | 2014-08-02        | 30.4          |
| 2004-08-10 | 29.0          | 2015-08-07        | 30.7          |
| 2005-07-23 | 30.3          | 2016-08-12        | 30.3          |
| 2006-08-05 | 29.6          |                   |               |

온도변화 범위의 최고 온도를 30.9℃로 신축이음 가동여유량 검토결과 전체 부재에서 계산 신축량을 만족하는 것으로 평가되었다.

【표 3.35】 백운1교(부산) 계산 신축량 산정결과(최고온도 30.9℃)

| 위치 |    | 측정시 온도 (℃) | 온도변화(ΔT) |                 | 선팅창 계수             | 신축거더 길이 (m) | 최대 신축량(mm)  |             |
|----|----|------------|----------|-----------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|
|    |    |            | 동절기 (℃)  | 하절기 (30.9℃) (℃) |                    |             | 동절기 (최대수축시) | 하절기 (최대팽창시) |
| A1 | 1차 | 29.5       | 49.5     | 1.4             | $1.2\times10^{-5}$ | 50.4        | 30          | 1           |
|    | 2차 | 19.4       | 39.4     | 11.5            | $1.2\times10^{-5}$ | 50.4        | 24          | 7           |
| A2 | 1차 | 29.5       | 49.5     | 1.4             | $1.2\times10^{-5}$ | 50.4        | 30          | 1           |
|    | 2차 | 19.4       | 39.4     | 11.5            | $1.2\times10^{-5}$ | 50.4        | 24          | 7           |

【표 3.36】 백운1교(부산) 신축이음 유간거리 검토결과(최고온도 30.9℃)

| 부 재        |    |   | 측정유간<br>(mm) | 계산 신축량(mm) |    | 허용신축량<br>(mm) | 신축 여유량(mm) |     | 평가 |
|------------|----|---|--------------|------------|----|---------------|------------|-----|----|
|            |    |   |              | 수축         | 팽창 |               | 수축         | 팽창  |    |
| Exp.J1(A1) | 1차 | A | 5            | 30         | 1  | 80<br>(±40)   | 45         | 4   | 양호 |
|            |    | B | 105          |            |    |               |            | 104 |    |
|            |    | C | 48           |            |    |               |            | 47  |    |
|            |    | D | 43           |            |    |               |            | 42  |    |
|            | 2차 | A | 15           | 24         | 7  |               | 41         | 8   |    |
|            |    | B | 112          |            |    |               |            | 105 |    |
|            |    | C | 61           |            |    |               |            | 54  |    |
|            |    | D | 54           |            |    |               |            | 47  |    |
| Exp.J2(A2) | 1차 | A | 9            | 30         | 1  | 80<br>(±40)   | 41         | 8   | 양호 |
|            |    | B | 28           |            |    |               |            | 27  |    |
|            |    | C | 20           |            |    |               |            | 19  |    |
|            |    | D | 24           |            |    |               |            | 23  |    |
|            | 2차 | A | 17           | 24         | 7  |               | 39         | 10  |    |
|            |    | B | 38           |            |    |               |            | 31  |    |
|            |    | C | 36           |            |    |               |            | 29  |    |
|            |    | D | 36           |            |    |               |            | 29  |    |

※ 신축여유량(팽창)=측정유간-계산신축량(팽창), 신축여유량(수축)=허용신장량-측정유간-계산신축량(수축)

※ 신축여유량 > 0인 경우 양호

※ A : 신축이음장치, B : 바닥판, C : 거더상단, D : 거더하단

1996년부터 2016년까지 21년간의 원주기상청 일 평균 최고온도 자료를 분석하여 기간 중 최고 온도였던 30.9℃(2012년 08월 06일)를 적용한 결과 신축이음 A1, A2 모두 계산 신축량을 만족한 상태이며, 외관조사 상 신축이음부에 유간폐쇄로 인한 손상 징후가 없는 점들을 종합적으로 분석한 결과, 현 상태에서의 주의관찰을 통한 유지관리를 실시하고 추후 점검 시 유간 폐쇄로 인한 손상 징후가 나타날 시 신축이음 교체를 고려하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

### 3.2.5 교면포장

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



【사진 3.24】 백운1교(부산) 교면포장 전경

#### 1) 외관조사 결과

기존 포장은 아스팔트 콘크리트로 시공되어 있었으나, 2016년 08월29일~09월02일 기간동안 전면 재포장(LMC) 공사를 실시하여 현재는 콘크리트 포장으로 재포장 공사가 완료된 상태이다.



【사진 3.25】 백운1교(부산) 재포장 공사 전·후 전경

재포장 공사 이전 2016년 07월 13일 교통통제 후 기존 아스팔트 포장부 외관조사 결과, 소성변형, 균열, 들뜸, 마모, 망상균열, 백태, 파손 등의 포장부 손상이 조사되었다. 현장조사 시 일부 포장부에 백태를 동반하고 있어 포장 하부 바닥판 열화손상이 우려되어, 포장부 상태, 방수층 손상여부 등을 확인하기 위하여 길어깨부 들뜸 손상부위에 포장 코어채취를 실시하



였다. 포장부 코어채취 결과 기존 아스팔트 포장두께는 약 80mm로 나타났으며, 상면으로부터 40mm 정도는 코어형성이 되었으나, 이후 약 40mm는 열화되어 코어형성이 되지 않은 것으로 조사되었다. 바닥판 상면은 별도의 방수층은 확인되지 않았으며, 습윤상태로 조사되었다.

|                                                                                    |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |
| 길어깨 포장부 들뜸 손상 확인                                                                   | 바닥판 백태 및 강재 부식                                                                      |
|  |  |
| 코어채취(포장두께 약 80mm)                                                                  | 바닥판 상부 습윤상태                                                                         |

【사진 3.26】 백운1교(부산) 포장코어 채취 전경

이는 공용기간 장기화에 의한 전반적인 포장층의 내구성 저하와 더불어 배수구 막힘에 의한 체수 발생으로 포장열화부위를 통하여 포장 내부로 우수 및 제설염화물과 같은 유해물질의 침투가 발생하여 아스팔트 콘크리트와 콘크리트 바닥판의 경계면에 장기체류하면서 동결기동간 동결융해를 거쳐 바닥판 콘크리트의 열화손상을 유발시키고 있는 것으로 판단된다.

금회 전면 재포장 공사를 통하여 기존에 조사되었던 포장부 손상은 모두 제거되었고, 현재 포장면의 상태는 양호한 것으로 조사되었다.

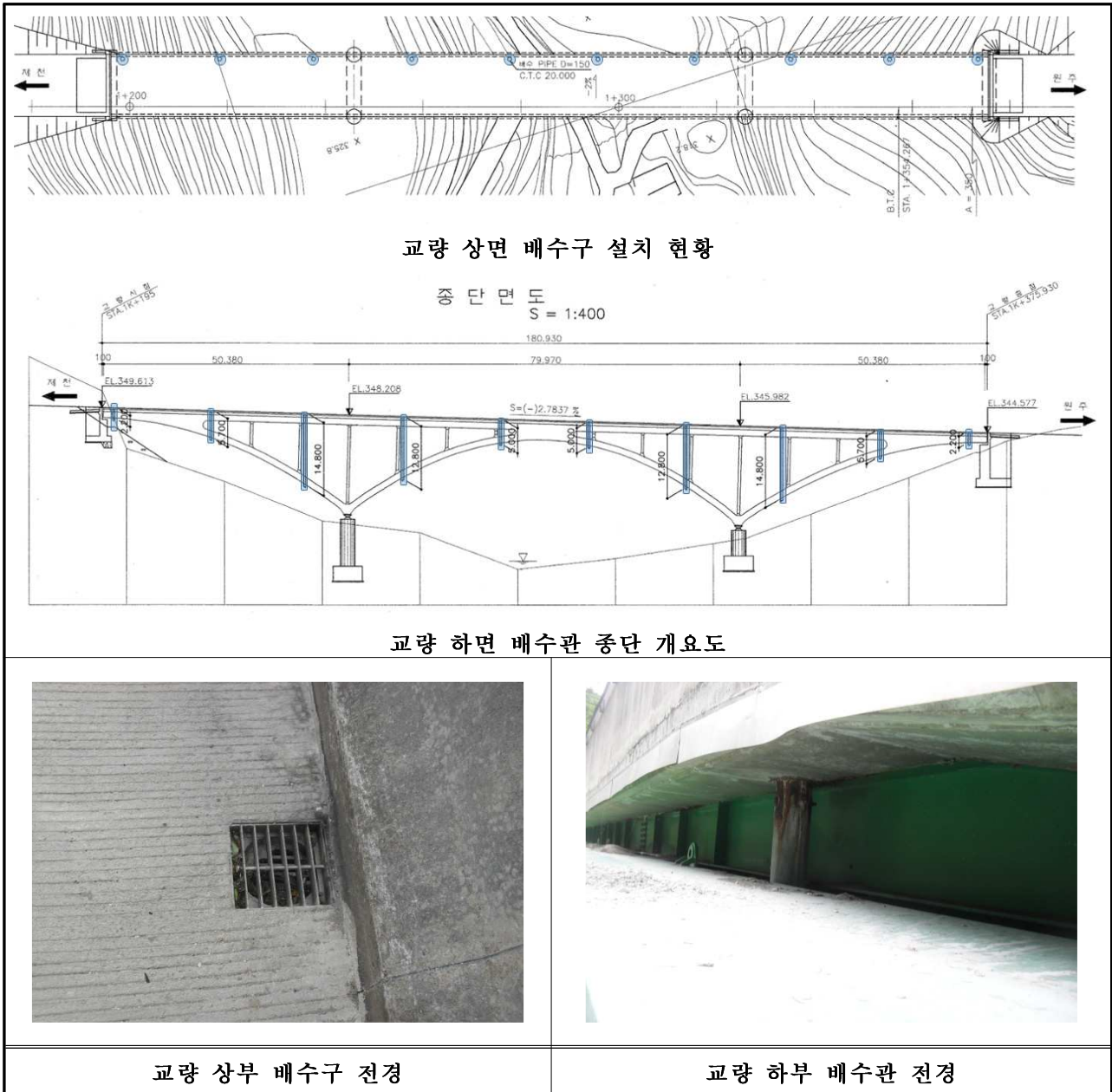
|                                                                                    |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |
| 기존 아스콘 포장 제거                                                                       |                                                                                     |
|  |  |
| 1차로측 포장 완료 후 부분 개통                                                                 | 신규 포장 두께 약 80mm                                                                     |

【사진 3.27】 백운1교(부산) 재포장 전경

### 3.2.6 기타부재

#### 가. 배수시설

배수시설은 우천 시 포장부의 교면수를 배출하기 위한 시설로서, 백운1교(부산)의 배수시설은 횡단경사가 2차로측으로 2%로 설계되어 교량 상부의 2차로측 우측 길어깨에 약 20.0m 간격으로 설치된 배수구(10개소)를 통하여 아연도강관  $\phi 150$  배수관을 따라 하부로 배수되도록 설치되어 있으며, 시점에서 종점으로 종단경사( $S=2.7837\%$ )가 설계되어 교면수가 자연배수 되도록 시공되었다.



【사진 3.28】 백운1교(부산) 배수시설 설치 현황 및 전경

1) 외관조사 결과

배수시설 외관조사 결과, 배수관 부식 및 포장부 배수구 막힘이 조사되었으며, 손상 현황은 【표 3.37】 와 같다.

【표 3.37】 백운1교(부산) 배수시설 손상 발생 현황

| 구분 | 부식<br>(㎡/개소) | 막힘<br>(개소) |
|----|--------------|------------|
| S1 | 0.10/2       | 3          |



【표 3.37】 백운1교(부산) 배수시설 손상 발생 현황(계속)

| 구분 | 부식<br>(㎡/개소) | 막힘<br>(개소) |
|----|--------------|------------|
| S2 | 0.19/4       | 4          |
| S3 | 0.01/1       | 2          |
| 합계 | 0.30/7       | 9          |

## 2) 손상별 현황

|                                                                                    |                  |                                                                                     |                      |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
|  |                  |  |                      |
| 현 황                                                                                | • S1 배수구 막힘(1개소) | 현 황                                                                                 | • S2 배수관 부식(A=0.01㎡) |
| 원 인                                                                                | • 공용장기화          | 원 인                                                                                 | • 공용장기화              |
| 대 책                                                                                | • 청소             | 대 책                                                                                 | • 유지관리               |

【사진 3.29】 백운1교(부산) 배수시설 손상발생 현황

## 3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

## ① 배수구 막힘

배수구 막힘은 공용장기화에 의해 강우 시 노면의 토사 등의 이물질이 퇴적된 것으로 원활한 노면서 배출을 위하여 주기적인 청소를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

## ② 배수관 부식

배수관 부식은 공용장기화에 의해 바닥판 접합부 및 하단 토출부에 발생된 손상으로, 배수에는 문제가 없는 상태로 별도의 보수보다는 주의관찰 후 배수기능에 문제가 발생 시 교체가 바람직 할 것으로 판단된다.

## 4) 기 진단결과와의 비교·분석

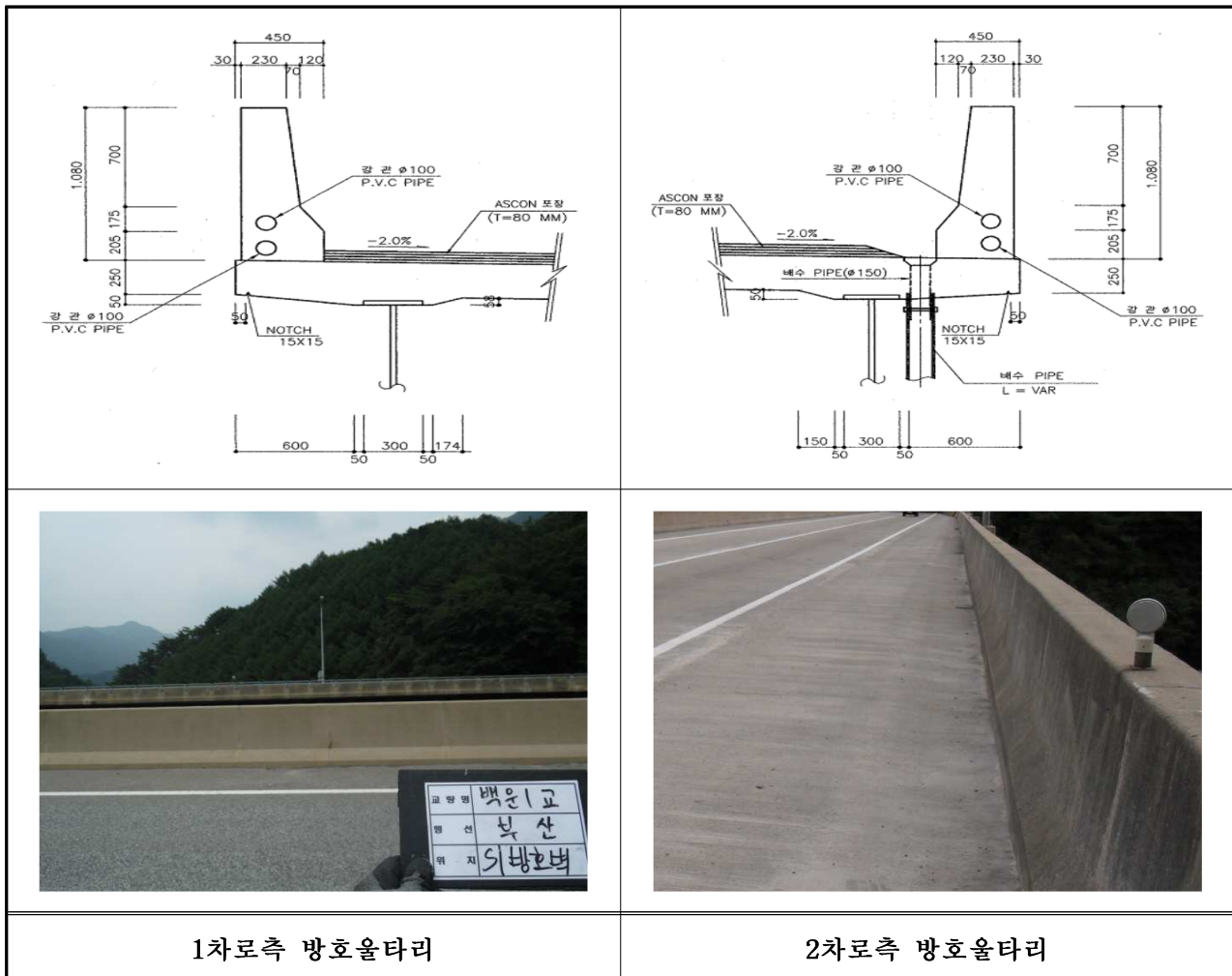
기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 배수구 막힘, 배수구 부식은 공용기간 증가에 따른 추가손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 분석되었다.

【표 3.38】 백운1교(부산) 배수시설의 기 진단과의 비교, 검토

| 손상내용 | 단위             | 손상현황  |       | 물량 비교<br>(+:증가, -:감소) |      | 검토결과            |
|------|----------------|-------|-------|-----------------------|------|-----------------|
|      |                | 2011년 | 2016년 |                       |      |                 |
| 막힘   | 개소             | 8.00  | 9.00  | +                     | 1.00 | • 공용 중 발생한 추가손상 |
| 부식   | m <sup>2</sup> | 0.04  | 0.30  | +                     | 0.26 | • 공용 중 발생한 추가손상 |

## 나. 방호울타리

자동차의 차도이탈 방지 및 사고시 완충작용 등의 기능을 하는 방호울타리는 철근콘크리트 구조로 이루어져 있으며, 도면상의 방호울타리의 높이는 1.080mm 였으며 실측 높이는 약 1,070mm로 도면과 유사한 것으로 측정되었다.



【그림 3.12】 백운1교(부산) 방호울타리 일반도 및 전경



## 1) 외관조사 결과

방호울타리에서 발생한 주요 결함은 강판부식, 균열, 균열부 백태, 덮개판 변형, 망상균열, 박리, 백태, 보호덮개 탈락, 철근노출 파손 등의 손상이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.39】과 같다.

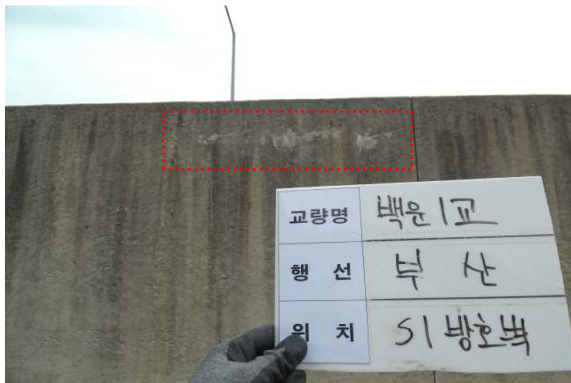
【표 3.39】 백운1교(부산) 방호울타리 외관조사 결과

| 구분 | 강판 부식<br>(개소) | 균열                    |                       | 균열부 백태<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 덮개판 변형<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 망상 균열<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 박리<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 백태<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 보호 덮개 탈락<br>(개소) | 철근 노출<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 파손<br>(m <sup>2</sup> /EA) |
|----|---------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------|-------------------------------|----------------------------|
|    |               | cw=0.2mm 이하<br>(m/EA) | cw=0.3mm 이상<br>(m/EA) |                                |                                |                               |                            |                            |                  |                               |                            |
| S1 | 1             | 5.20/6                | 0.80/1                | 9.10/8                         | 0.01/1                         | 0.49/1                        | -                          | 0.01/1                     | 2                | -                             | 0.10/1                     |
| S2 | 2             | 6.60/7                | 0.40/1                | 6.90/13                        | -                              | -                             | -                          | 0.72/8                     | 1                | 0.05/5                        | -                          |
| S3 | 1             | 5.70/5                | 0.40/1                | 3.75/11                        | 0.04/1                         | -                             | 1.50/1                     | 0.21/2                     | -                | -                             | -                          |
| 합계 | 4/4           | 17.50/18              | 1.60/3                | 19.75/32                       | 0.05/2                         | 0.49/1                        | 1.50/1                     | 0.94/11                    | 3                | 0.05/5                        | 0.10/1                     |

## 2) 손상현황

|                                                                                     |                       |                                                                                      |                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
|  |                       |  |                                     |
| 현황                                                                                  | • S2 방호울타리 강판 부식(1개소) | 현황                                                                                   | • S1 방호울타리 균열(cw=0.2mm 이하, L=1.70m) |
| 원인                                                                                  | • 공용장기화 및 우수접촉        | 원인                                                                                   | • 건조수축                              |
| 대책                                                                                  | • 유지관리                | 대책                                                                                   | • 유지관리                              |

【사진 3.30】 백운1교(부산) 방호울타리 손상발생 현황

|                                                                                     |                                 |                                                                                      |                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
|    |                                 |    |                                    |
| 현 황                                                                                 | • S1 방호울타리 균열부백태( $A=0.15m^2$ ) | 현 황                                                                                  | • S3 접속슬래브 방호울타리 박리( $A=1.50m^2$ ) |
| 원 인                                                                                 | • 건조수축 및 수분접촉                   | 원 인                                                                                  | • 시공미흡 및 공용 중 열화                   |
| 대 책                                                                                 | • 표면처리                          | 대 책                                                                                  | • 단면보수                             |
|   |                                 |   |                                    |
| 현 황                                                                                 | • S1 방호울타리 백태( $A=0.01m^2$ )    | 현 황                                                                                  | • S3 방호울타리 보호덮개 탈락(1개소)            |
| 원 인                                                                                 | • 미세균열부 수분접촉                    | 원 인                                                                                  | • 공용 중 외부충격 망실                     |
| 대 책                                                                                 | • 표면처리                          | 대 책                                                                                  | • 재설치                              |
|  |                                 |  |                                    |
| 현 황                                                                                 | • S2 방호울타리 철근노출( $A=0.01m^2$ )  | 현 황                                                                                  | • S1 방호울타리 파손( $A=0.10m^2$ )       |
| 원 인                                                                                 | • 시공미흡 피복부족                     | 원 인                                                                                  | • 공용 중 외부충격                        |
| 대 책                                                                                 | • 단면보수(방청)                      | 대 책                                                                                  | • 단면보수                             |

【사진 3.30】 백운1교(부산) 방호울타리 손상발생 현황(계속)

## 3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

## ① 강판부식

강판부식은 공용 장기화에 따른 우수접촉에 의해 발생한 손상으로 사용성 확보를 위한 강재 재도장을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

## ② 균열

방호울타리에 발생한 균열은 시공초기 건조수축에 의해 발생한 손상으로 판단되며, 내구성 확보차원의 주입보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

## ③ 균열부 백태

균열부 백태는 균열부 틈새로 우수유입에 의한 수산화칼슘 용해로 발생한 결함으로 내구성 확보를 위한 표면처리 보수가 필요할 것으로 판단된다.

## ④ 덮개판 변형

신축이음부에 설치된 덮개판은 외부충격 또는 온도차에 의한 신축거동 시 발생한 손상으로 시설물의 원활한 관리를 위하여 재설치가 필요할 것으로 판단된다.

## ⑤ 망상균열

시점측 접속슬래브 부근의 방호울타리에서 발생한 망상균열은 시공초기 건조수축에 의한 손상으로 내구성 확보를 위한 표면처리보수가 필요할 것으로 판단된다.

## ⑥ 박리

박리는 시공 시 마감불량 또는 공용 중 열화에 의해 발생한 손상으로 내구성 확보를 위한 단면보수가 필요할 것으로 판단된다.

## ⑦ 백태

공용 중 강우 시 미세균열부 틈새로 수분이 침투하여 수산화칼슘 용해로 발생한 결함으로 내구성 확보를 위해 표면처리 보수가 필요할 것으로 판단된다.

## ⑧ 보호덮개 탈락

방호울타리 측에 설치된 가로등의 전선 유지보수를 위하여 설치된 시설로 공용 중 외부 충격 또는 차량 진동에 의해 탈락 후 망실된 상태로 시설물의 원활한 관리를 위하여 재설치가 필요할 것으로 판단된다.

## ⑨ 철근노출

철근노출은 시공미흡에 의한 피복부족에 의해 발생한 손상으로 판단되며 내구성 확보차원의 단면보수(방청)가 바람직할 것으로 판단된다.

## ⑩ 파손

파손은 시공 시 거푸집 탈형 시 충격 또는 주행차량에 의한 충격 등으로 발생한 손상으로 판단되며, 내구성 확보를 위한 단면보수가 바람직할 것으로 판단된다.

## 4) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 강판부식 및 덮개판 변형은 동일손상으로 손상 변화가 없는 상태이며, 균열, 망상균열, 박리, 철근노출 등의 손상은 금회 진단 시 상세조사 및 공용기간 증가에 따른 추가(신규)손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었고, 균열부 백태, 백태, 보호덮개 탈락, 파손 등의 손상은 공용기간 장기화에 의한 것으로 조사되었다.

【표 3.40】 백운1교(부산) 방호울타리의 기 진단과의 비교, 검토

| 손상내용            | 단위             | 손상현황  |       | 물량 비교<br>(+:증가, -:감소) |       | 검토결과            |
|-----------------|----------------|-------|-------|-----------------------|-------|-----------------|
|                 |                | 2011년 | 2016년 |                       |       |                 |
| 강판부식            | 개소             | 4     | 4     |                       | -     | • 손상변화 없음(동일손상) |
| 균열(cw=0.2mm 이하) | m              | 8.30  | 17.50 | +                     | 9.20  | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 균열(cw=0.3mm 이상) | m              | 0.80  | 1.60  | +                     | 0.80  | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 균열부 백태          | m <sup>2</sup> | 5.31  | 19.75 | +                     | 14.44 | • 공용 중 발생한 신규손상 |
| 덮개판 변형          | m <sup>2</sup> | 0.05  | 0.05  |                       | -     | • 손상변화 없음(동일손상) |
| 망상균열            | m <sup>2</sup> | -     | 0.49  | +                     | 0.49  | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 박리              | m <sup>2</sup> | -     | 1.50  | +                     | 1.50  | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 백태              | m <sup>2</sup> | 0.62  | 0.94  | +                     | 0.32  | • 공용 중 발생한 신규손상 |
| 보호덮개 탈락         | 개소             | -     | 3     | +                     | 3.00  | • 공용 중 발생한 신규손상 |
| 철근노출            | m <sup>2</sup> | 0.04  | 0.05  | +                     | 0.01  | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 파손              | m <sup>2</sup> | -     | 0.10  | +                     | 0.10  | • 공용 중 발생한 신규손상 |

### 3.3 백운1교(춘천) 외관조사

#### 3.3.1 상부구조

##### 가. 바닥판

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



【사진 3.31】 백운1교(춘천) 바닥판 전경

##### 1) 외관조사 결과

바닥판 하면에서 발생한 주요 결함은 균열( $cw=0.2mm$  이하), 균열부 백태, 누수흔적, 망상 균열, 박리, 백태, 재료분리, 철근노출, 거꾸집 미제거, 물뚫기흠 미설치, 파손 등이 조사되었으며, 내측 바닥판의 Deck Plate에는 부식 및 변형이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다. 손상현황은 【표 3.41】과 같다.

【표 3.41】 백운1교(춘천) 바닥판 외관조사 결과

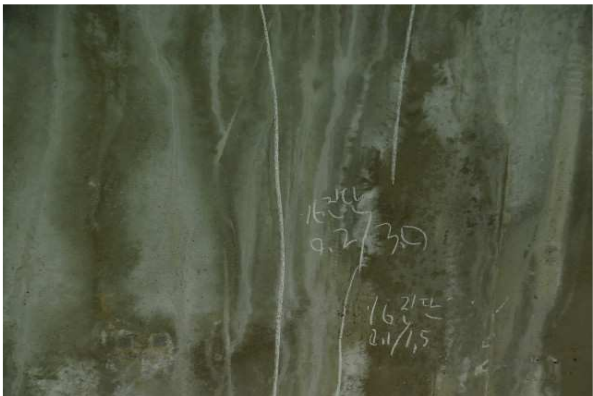
| 구분 | 균열<br>( $cw=0.2mm$<br>이하)<br>(m/EA) | 균열부<br>백태<br>(m/EA) | 누수<br>흔적<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 망상<br>균열<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 박리<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 백태<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 재료<br>분리<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 철근<br>노출<br>(녹물<br>흔적)<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 거꾸집<br>미제거<br>(m/EA) | 물뚫기흠<br>미설치<br>(m/EA) | 파손<br>(m <sup>2</sup> /EA) |
|----|-------------------------------------|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------------|
| S1 | 15.80/12                            | 0.70/1              | 61.00/5                          | 2.80/1                           | -                          | -                          | 4.56/3                           | 0.07/3                                         | 2.00/1               | 1.50/1                | 1.50/1                     |
| S2 | 32.0/20                             | 2.30/3              | 237.50/5                         | -                                | -                          | 0.08/1                     | 2.00/2                           | -                                              | -                    | -                     | -                          |
| S3 | 15.00/14                            | 3.10/3              | 97.80/3                          | 0.30/1                           | 0.51/3                     | 0.75/4                     | 0.20/1                           | 2.80/3                                         | -                    | -                     | -                          |
| 합계 | 62.80/46                            | 6.10/7              | 396/13                           | 3.10/2                           | 0.51/3                     | 0.83/5                     | 6.76/6                           | 2.87/6                                         | 2.00/1               | 1.50/1                | 1.50/1                     |



## 2) 손상현황

|                                                                                     |                                                        |                                                                                      |                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|    |                                                        |    |                                                          |
| 현 황                                                                                 | • S1 좌측 캔틸레버하면<br>균열(cw=0.1mm, L=1.5m)                 | 현 황                                                                                  | • S2 좌측 캔틸레버하면<br>균열부 백태(cw=0.1mm, L=1.5m)               |
| 원 인                                                                                 | • 건조수축                                                 | 원 인                                                                                  | • 건조수축 및 수분접촉                                            |
| 대 책                                                                                 | • 유지관리                                                 | 대 책                                                                                  | • 표면처리                                                   |
|   |                                                        |   |                                                          |
| 현 황                                                                                 | • S1 캔틸레버하면 망상균열<br>(A=0.4m×0.7m=0.28m <sup>2</sup> )  | 현 황                                                                                  | • S3 바닥판하면 박리<br>(A=0.4m×0.5m=0.20m <sup>2</sup> )       |
| 원 인                                                                                 | • 건조수축                                                 | 원 인                                                                                  | • 우수유입에 의한 재질열화                                          |
| 대 책                                                                                 | • 유지관리                                                 | 대 책                                                                                  | • 유지관리                                                   |
|  |                                                        |  |                                                          |
| 현 황                                                                                 | • S2 좌측 캔틸레버하면 백태<br>(A=0.1m×0.8m=0.08m <sup>2</sup> ) | 현 황                                                                                  | • S1 우측 캔틸레버하면 재료분리<br>(A=1.5m×1.5m=2.25m <sup>2</sup> ) |
| 원 인                                                                                 | • 미세균열부 수분접촉                                           | 원 인                                                                                  | • 시공미흡                                                   |
| 대 책                                                                                 | • 표면처리                                                 | 대 책                                                                                  | • 유지관리                                                   |

【사진 3.32】 백운1교(춘천) 바닥판 손상발생 현황

|                                                                                    |                                                                                                              |                                                                                     |                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                                                                                              |   |                                                                                                               |
| 현 황                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>S1 좌측 캔틸레버하면 철근노출(<math>A=0.1m \times 0.1m^2</math>)</li> </ul>       | 현 황                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>S1 좌측 바닥판 측면 파손(<math>A=0.3m \times 5.0m=1.50m^2</math>)</li> </ul>    |
| 원 인                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>시공미흡</li> </ul>                                                       | 원 인                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>시공미흡</li> </ul>                                                        |
| 대 책                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>단면보수(방청)</li> </ul>                                                   | 대 책                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>단면보수</li> </ul>                                                        |
|  |                                                                                                              |  |                                                                                                               |
| 현 황                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>S1 캔틸레버하면 누수흔적 (<math>A=1.7m \times 25.0m=42.50m^2</math>)</li> </ul> | 현 황                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>S2 좌측 캔틸레버하면 균열(<math>cw=0.2mm</math>, <math>L=3.0m</math>)</li> </ul> |
| 원 인                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>강우 시 우수유입</li> </ul>                                                  | 원 인                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>건조수축</li> </ul>                                                        |
| 대 책                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>유지관리</li> </ul>                                                       | 대 책                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>유지관리</li> </ul>                                                        |

【사진 3.32】 백운1교(춘천) 바닥판 손상발생 현황(계속)

## 3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

## ① 균열

발생된 균열은 시공초기 건조수축에 의한 비구조적 균열로 폭 0.2mm이하의 미세균열이므로 보수방안보다는 표면처리 또는 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

## ② 균열부 백태

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

## ③ 망상균열

조사된 망상균열은 건조수축에 의한 비구조적 균열로 균열폭 0.2mm이하의 미세균열이므로 별도의 보수방안보다는 주의관찰을 통한 유지관리가 적합할 것으로 판단된다.

## ④ 박리

박리는 공용 중 우수접촉에 의한 열화로 손상깊이가 깊지 않아 보수보다는 주의관찰이 바람직 할 것으로 판단된다.

## ⑤ 백태

미세균열부 수분접촉에 의한 수산화칼슘 용해로 발생한 결함으로 내구성 확보를 위해 표면처리 보수가 필요할 것으로 판단된다.

## ⑥ 재료분리

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

## ⑦ 철근노출(녹물흔적)

철근노출 및 녹물흔적은 시공미흡 및 장기 우수접촉에 의해 발생한 손상으로 내구성 확보차원의 단면보수(방청)을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

## ⑧ 거꾸집 미제거

시공미흡에 의해 발생한 손상으로 별도의 보수보다는 현 상태에서의 유지관리가 바람직 할 것으로 판단된다.

## ⑨ 물끊기흙 미설치

시공미흡에 의해 발생한 손상으로 물끊기흙 설치를 통하여 강우시 캔틸레버 하면으로의 우수접촉 차단이 적절할 것으로 판단된다.

## ⑩ 파손

시공미흡에 의해 발생한 손상으로 내구성 확보차원의 단면보수가 바람직할 것으로 판단된다.

## ⑪ 누수흔적

캔틸레버 하면의 누수흔적은 강우 시 방호벽 측면으로부터 유입된 우수에 의해 발생한 손상으로 현 상태에서의 보수보다는 주의관찰을 통한 유지관리가 바람직할 것으로 판단된다.



## ⑫ 바닥판 상면 포장부 코어채취 결과

|                                                                                   |                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| S3 코어채취(포장 손상부)                                                                   | 포장 일부 열화(t=50mm)                                                                   |

【사진 3.33】 백운1교(춘천) 포장 손상부 코어채취 현황

상부 포장부 외관조사 결과 우측 길어깨부 망상균열 및 포장 들뜸 부위에 대해서 코어채취를 실시하여 포장상태 및 바닥판 상면 상태를 확인하고자 하였다. 코어채취 결과 포장 두께는 약 50mm 정도로 설계도면 상의 포장두께 50mm와 유사하며, 포장부 상태는 바닥판 콘크리트와 맞닿은 곳에서 열화되어 일부 코어 형성이 안된 상태로 나왔으며, 바닥판 상면은 표면부가 열화된 것으로 조사되었다.

|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| S2 코어채취(포장 양호부)                                                                     | 포장 및 바닥판 상태 양호                                                                       |

【사진 3.34】 백운1교(춘천) 포장 양호부 코어채취 현황

비교·분석을 위하여 S2의 포장상태 양호부위에 대해서 추가 코어채취를 실시하였으며, 그 결과 포장부 및 바닥판 상태 모두 양호한 것으로 조사되었다. 본 교량은 겨울철 제설염화물이 다량 살포되는 적설한랭지역에 위치하고 있으며, 포장 손상부위로 제설염화물, 강우 및

강설 시 바닥판 상면의 경계면에서 장기체류하면서 동절기 동안 동결융해를 거쳐 바닥판 콘크리트의 열화손상을 유발시키고 있는 것으로 판단된다. 이는 단순히 포장 손상부위에 대한 지엽적인 소파보수 또는 실링보수 보다는 재포장 보수시 바닥판 상면의 열화부 제거 후 방수층 재설치를 통해서 포장 상면으로부터의 우수 및 제설제와 같은 원인인자의 유입을 차단하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

#### 4) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교·분석 결과, 균열, 균열부 백태, 박리, 재료분리, 철근노출(녹물흔적), 파손 등의 손상은 상세조사 및 공용 중 발생한 추가손상으로 조사되었으며, 망상균열, 거푸집 미제거, 물끓기흙 미설치는 기 진단과 동일하게 손상의 진전은 없는 것으로 조사되었다. 누수흔적 및 백태는 상세조사에 의한 물량의 수정 변경으로 전차 대비 물량은 감소한 것으로 분석되었다.

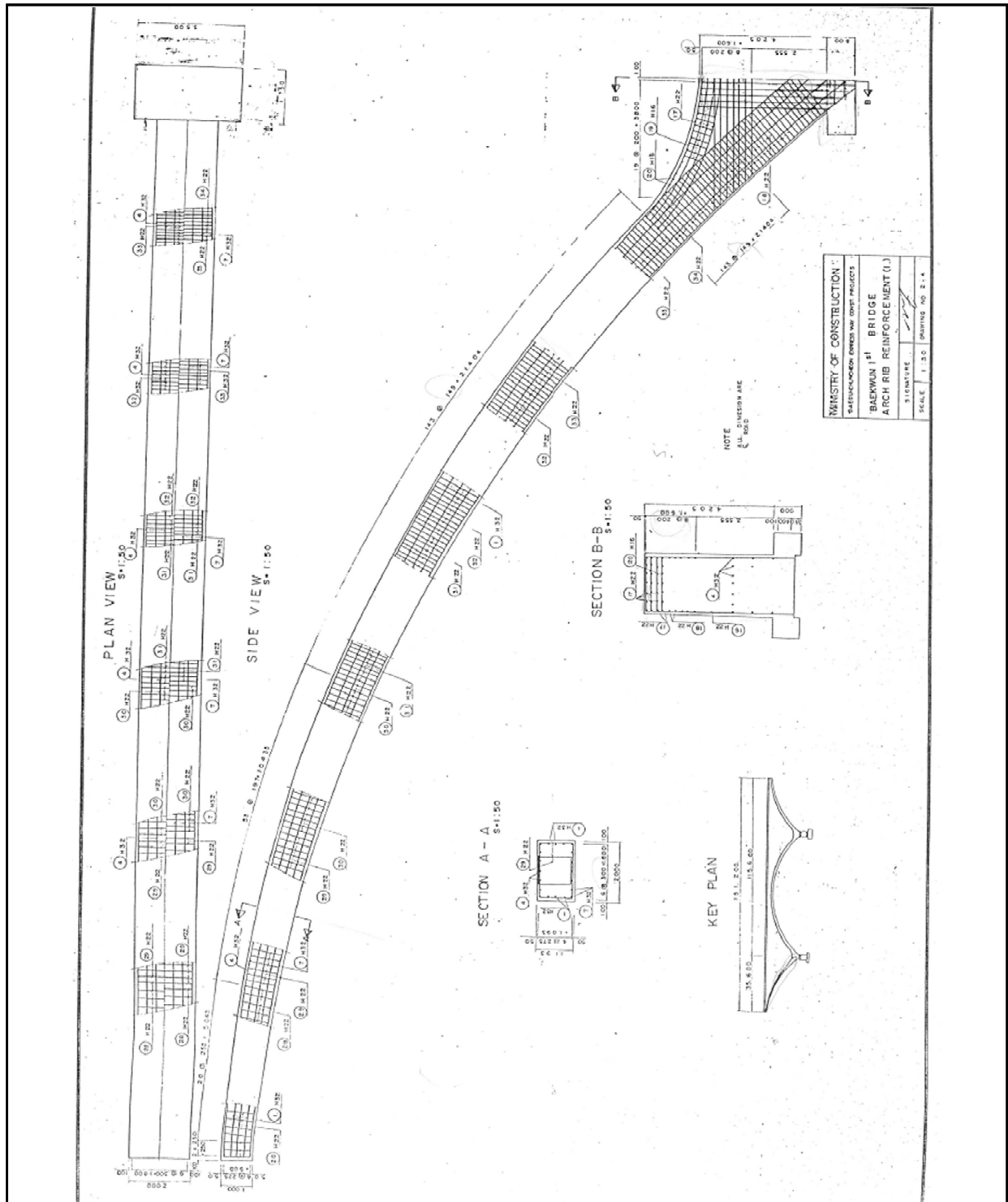
【표 3.42】 백운1교(춘천) 바닥판의 기 진단과의 비교, 검토

| 손상내용            | 단위             | 손상현황   |        | 물량 비교<br>(+:증가, -:감소) |       | 검토결과            |
|-----------------|----------------|--------|--------|-----------------------|-------|-----------------|
|                 |                | 2013년  | 2016년  |                       |       |                 |
| 균열(cw=0.2mm 이하) | m              | 48.70  | 62.80  | +                     | 14.10 | ● 상세조사에 의한 추가손상 |
| 균열부 백태          | m              | 3.00   | 6.10   | +                     | 3.10  | ● 공용 중 발생한 추가손상 |
| 누수흔적            | m <sup>2</sup> | 399.30 | 396.00 | -                     | 3.30  | ● 상세조사에 의한 물량수정 |
| 망상균열            | m <sup>2</sup> | 3.10   | 3.10   | -                     |       | ● 손상변화 없음(동일손상) |
| 박리              | m <sup>2</sup> | 0.42   | 0.51   | +                     | 0.09  | ● 상세조사에 의한 추가손상 |
| 백태              | m <sup>2</sup> | 4.30   | 0.83   | -                     | 3.47  | ● 상세조사에 의한 물량수정 |
| 재료분리            | m <sup>2</sup> | 5.80   | 6.76   | +                     | 0.96  | ● 상세조사에 의한 추가손상 |
| 철근노출(녹물흔적)      | m <sup>2</sup> | 2.61   | 2.87   | +                     | 0.26  | ● 상세조사에 의한 추가손상 |
| 거푸집 미제거         | m              | 2.00   | 2.00   | -                     |       | ● 손상변화 없음(동일손상) |
| 물끓기흙 미설치        | m              | 1.50   | 1.50   | -                     |       | ● 손상변화 없음(동일손상) |
| 파손              | m <sup>2</sup> | -      | 1.50   | +                     | 1.5   | ● 상세조사에 의한 신규손상 |

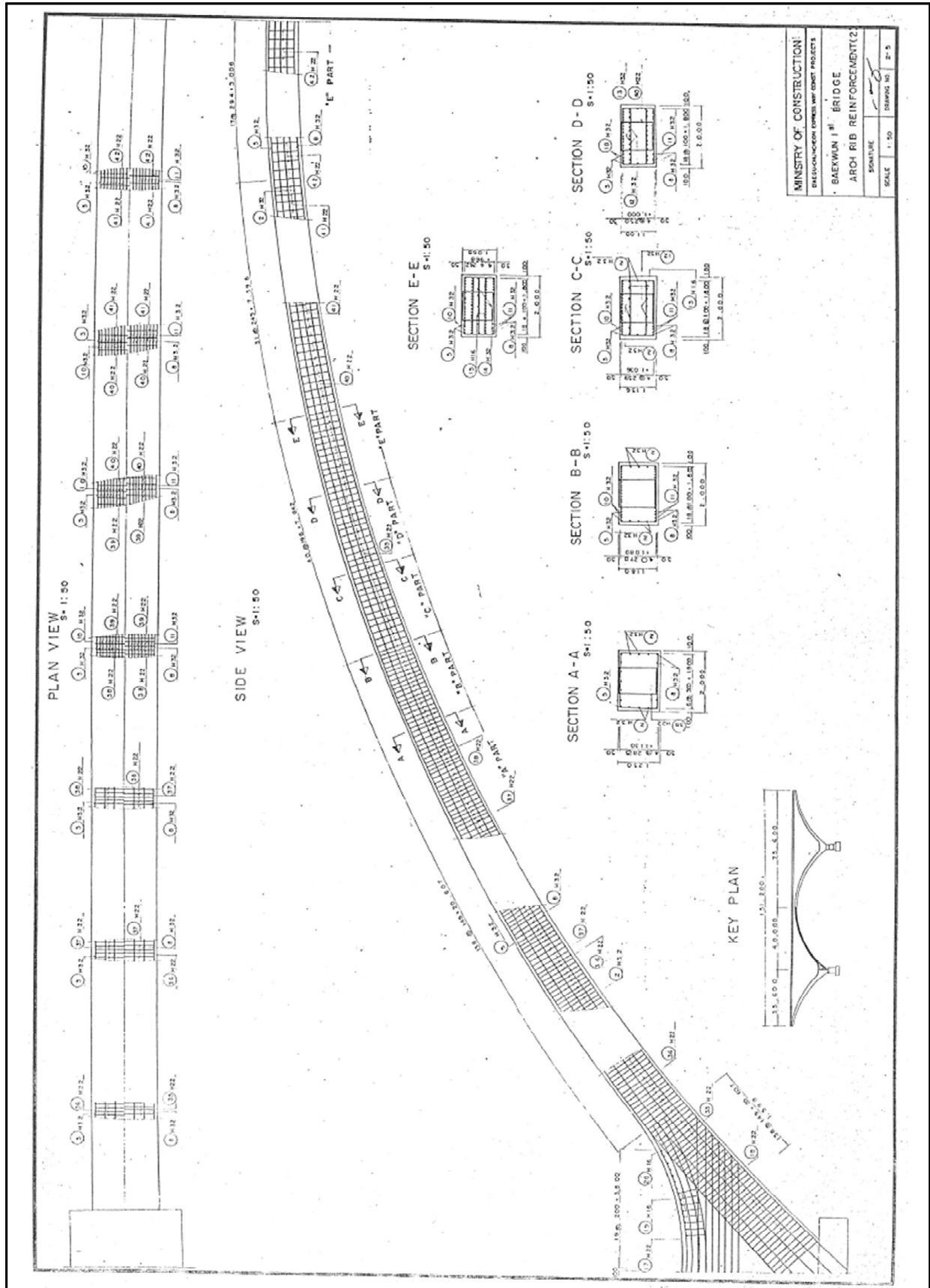


### 나. AR Girder

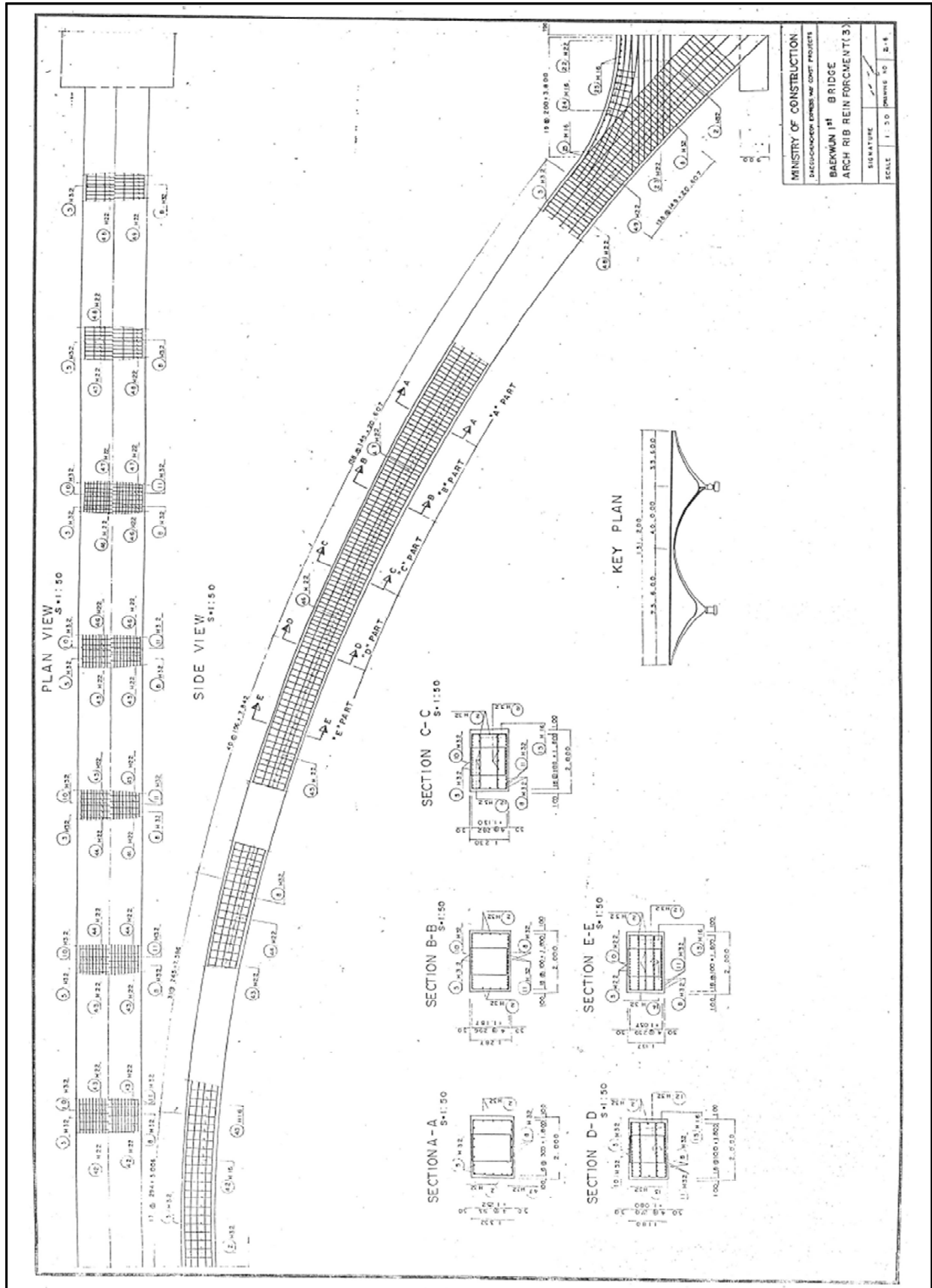
바닥판으로부터 전달되는 하중을 지지하고 교량받침을 통하여 하부구조로 하중을 전달해 주는 역할을 하는 부재로서 경간구성은 S1, S3는 35.7m, S2는 80.0경간으로 구성되어 있다. 거더에 대한 조사방법은 도보, 디지스코프, 고소점검차, 교량점검차 등을 이용한 근접조사를 실시하였다.



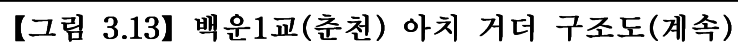
【그림 3.13】 백운1교(춘천) 아치 거더 구조도



【그림 3.13】 백운1교(춘천) 아치 거터 구조도(계속)



【그림 3.13】 백운1교(춘천) 아치 거더 구조도(계속)





【사진 3.35】 백운1교(춘천) AR Girder 전경

## 1) 외관조사 결과

AR Girder에 대한 현장조사 결과, 거푸집 미제거, 균열, 균열부 백태, 누수흔적, 망상균열, 박리, 볼트미제거, 파손, 철근미제거, 재료분리, 철근노출, 이물질 삽입 등의 손상이 조사되었으며, 손상현황은 【표3.43】과 같다.

【표 3.43】 백운1교(춘천) AR Girder 외관조사 결과

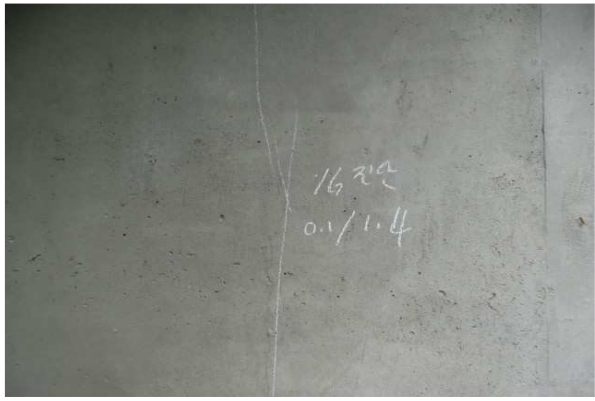
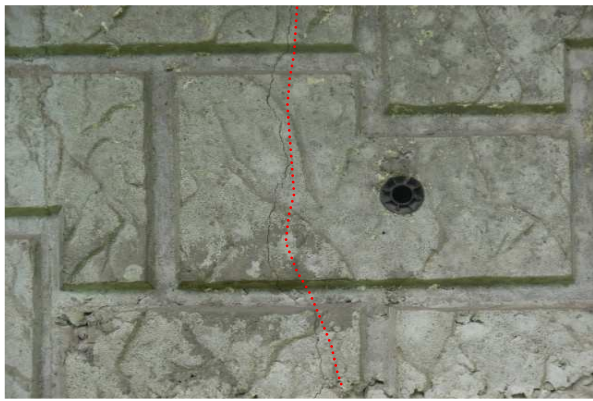
| 구분 | 거푸집미제거<br>(㎡/EA) | 균열(cw=0.2mm 이하)<br>(m/EA) | 균열(cw=0.3mm 이상)<br>(m/EA) | 균열부 백태<br>(m/EA) | 누수흔적<br>(㎡/EA) | 망상균열<br>(㎡/EA) |
|----|------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|----------------|----------------|
| S1 | -                | 47.10/28                  | 82.90/24                  | -                | -              | 27.00/2        |
| S2 | -                | 229.40/109                | 119.50/51                 | -                | 4.00/1         | -              |
| S3 | 3.60/10          | 33.67/30                  | 45.70/14                  | 0.30/1           | -              | 34.50/2        |
| 합계 | 3.60/10          | 310.80/167                | 248.10/89                 | 0.30/1           | 4.00/1         | 61.50/4        |

| 구분 | 박리<br>(㎡/EA) | 볼트미제거<br>(개소) | 파손<br>(㎡/EA) | 철근미제거<br>(개소) | 재료분리<br>(㎡/EA) | 철근노출<br>(㎡/EA) | 이물질삽입<br>(㎡/EA) |
|----|--------------|---------------|--------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|
| S1 | 2.45/1       | 5             | 0.19/9       | -             | 45.50/17       | 3.25/9         | 0.62/57         |
| S2 | -            | -             | 0.01/1       | -             | 19.60/8        | 9.09/44        | 0.10/10         |
| S3 | -            | -             | 0.20/1       | 12            | 31.05/10       | 11.65/14       | 1.08/108        |
| 합계 | 2.45/1       | 5             | 0.40/11      | 12            | 96.15/35       | 23.99/67       | 1.80/175        |



## 2) 손상별 현황

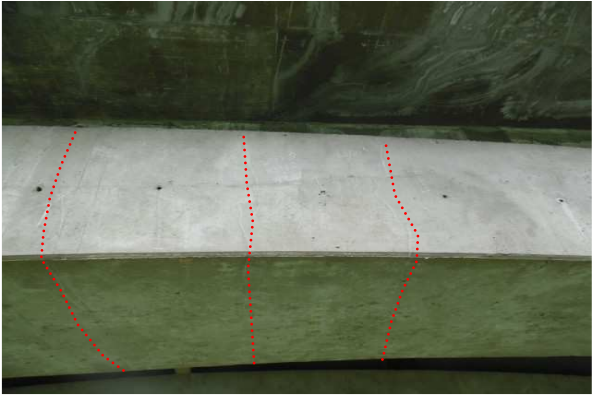
|                                                                                     |                                        |                                                                                      |                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|    |                                        |    |                                               |
| 현 황                                                                                 | • S3 G1 거푸집 미제거(A=1.80m <sup>2</sup> ) | 현 황                                                                                  | • S1 G1 균열(cw=0.1mm, 1.4m)                    |
| 원 인                                                                                 | • 시공미흡                                 | 원 인                                                                                  | • 건조수축                                        |
| 대 책                                                                                 | • 유지관리                                 | 대 책                                                                                  | • 유지관리                                        |
|   |                                        |   |                                               |
| 현 황                                                                                 | • S1 G1 균열(cw=0.4mm, L=3.0m)           | 현 황                                                                                  | • S3 G1 균열부 백태(L=0.3m)                        |
| 원 인                                                                                 | • 건조수축                                 | 원 인                                                                                  | • 건조수축 및 수분접촉                                 |
| 대 책                                                                                 | • 주입보수                                 | 대 책                                                                                  | • 표면처리                                        |
|  |                                        |  |                                               |
| 현 황                                                                                 | • S2 G1 누수흔적(A=4.00m <sup>2</sup> )    | 현 황                                                                                  | • S1 G1 망상균열(A=5.0m×2.9m=14.5m <sup>2</sup> ) |
| 원 인                                                                                 | • 우수접촉                                 | 원 인                                                                                  | • 건조수축                                        |
| 대 책                                                                                 | • 유지관리                                 | 대 책                                                                                  | • 유지관리                                        |

【사진 3.36】 백운1교(춘천) AR Girder 손상발생 현황

|                                                                                     |                                                               |                                                                                      |                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|    |                                                               |    |                                                                 |
| 현 황                                                                                 | • S1 G2 박리( $A=3.5\text{m}\times0.7\text{m}=2.45\text{m}^2$ ) | 현 황                                                                                  | • S1 G2 볼트미제거(5개소)                                              |
| 원 인                                                                                 | • 공용 중 열화                                                     | 원 인                                                                                  | • 시공미흡                                                          |
| 대 책                                                                                 | • 단면보수                                                        | 대 책                                                                                  | • 유지관리                                                          |
|   |                                                               |   |                                                                 |
| 현 황                                                                                 | • S1 G1 이물질삽입( $A=0.06\text{m}^2$ )                           | 현 황                                                                                  | • S2 G1 재료분리( $A=2.00\text{m}^2$ )                              |
| 원 인                                                                                 | • 시공미흡                                                        | 원 인                                                                                  | • 시공미흡                                                          |
| 대 책                                                                                 | • 유지관리                                                        | 대 책                                                                                  | • 단면보수                                                          |
|  |                                                               |  |                                                                 |
| 현 황                                                                                 | • S3 G2 철근미제거                                                 | 현 황                                                                                  | • S3 G1 철근노출( $A=0.3\text{m}\times0.5\text{m}=0.15\text{m}^2$ ) |
| 원 인                                                                                 | • 시공미흡                                                        | 원 인                                                                                  | • 시공미흡                                                          |
| 대 책                                                                                 | • 유지관리                                                        | 대 책                                                                                  | • 단면보수(방청)                                                      |

【사진 3.36】 백운1교(춘천) AR Girder 손상발생 현황(계속)



|                                                                                     |                                                             |                                                                                      |                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|    |                                                             |    |                                                                 |
| 현 황                                                                                 | • S3 파손( $A=0.1\text{m}\times 2.0\text{m}=0.20\text{m}^2$ ) | 현 황                                                                                  | • S2 G1 균열( $cw=0.1\text{mm}$ , $L=3.0\text{m}$ )               |
| 원 인                                                                                 | • 공용 중 열화                                                   | 원 인                                                                                  | • 건조수축                                                          |
| 대 책                                                                                 | • 단면보수                                                      | 대 책                                                                                  | • 유지관리                                                          |
|   |                                                             |   |                                                                 |
| 현 황                                                                                 | • S2 G1 균열( $cw=0.5\text{mm}$ , $L=5.00\text{m}$ )          | 현 황                                                                                  | • S3 G2 균열( $cw=0.1\text{mm}$ , $L=1.2\text{m}$ )               |
| 원 인                                                                                 | • 건조수축                                                      | 원 인                                                                                  | • 건조수축                                                          |
| 대 책                                                                                 | • 주입보수                                                      | 대 책                                                                                  | • 유지관리                                                          |
|  |                                                             |  |                                                                 |
| 현 황                                                                                 | • S3 G1 재료분리( $A=2.00\text{m}^2$ )                          | 현 황                                                                                  | • S2 G2 철근노출( $A=1.0\text{m}\times 2.0\text{m}=2.0\text{m}^2$ ) |
| 원 인                                                                                 | • 시공미흡, 다짐부족                                                | 원 인                                                                                  | • 시공미흡                                                          |
| 대 책                                                                                 | • 단면보수                                                      | 대 책                                                                                  | • 단면보수(방청)                                                      |

【사진 3.36】 백운1교(춘천) AR Girder 손상발생 현황(계속)

## 3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

## ① 거푸집 미제거

거더 S3측에 조사된 거푸집 미제거는 시공미흡에 의한 결함으로 내구성 저하 영향은 없는 결함이므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

## ② 균열 및 망상균열

거더에서 조사된 균열 및 망상균열의 형상 및 발생 위치 등을 검토한 결과, 거더 북부측 문양거푸집에서 발생된 0.3mm 이상의 균열은 본 구조물의 특성상 대단면 구조물로서 단계별 시공과정에 따른 선타설 콘크리트와 후타설 콘크리트 간의 구속력에 의해 발생하는 온도 및 건조수축에 의한 비구조적인 균열로 내구성 확보차원의 주입보수가 필요할 것으로 판단된다. 거더 하면 및 측면에 발생된 균열폭 0.2mm 이하의 균열 및 망상균열은 건조수축에 의한 비구조적 균열로 구조적인 영향은 없으며 표면처리 또는 주의관찰을 통한 유지관리가 바람직할 것으로 판단된다.

## ③ 균열부 백태

균열부 백태는 균열부 틈새로 우수유입에 의한 수산화칼슘 용해로 발생한 결함으로 내구성 확보를 위해 표면처리 보수가 필요할 것으로 판단된다.

## ④ 누수흔적

강우시 거더 측면으로 유입된 우수에 의해 발생한 손상으로 현 상태에서 별도의 보수보다는 주의관찰을 통한 유지관리가 바람직할 것으로 판단된다.

## ⑤ 박리

박리는 시공미흡 및 공용 중 우수접촉에 의한 열화로 내구성 확보차원의 단면보수가 바람직할 것으로 판단된다.

## ⑥ 볼트미제거 및 철근미제거

볼트미제거 및 철근미제거는 시공미흡에 의해 발생한 손상으로 별도의 보수보다는 주의관찰을 통한 유지관리가 바람직할 것으로 판단된다.

## ⑦ 파손

파손은 시공 시 시공미흡 및 공용 중 지속적인 우수접촉 등에 따른 열화로 발생한 손상으로 판단되며, 내구성 확보차원의 단면보수가 바람직할 것으로 판단된다.

## ⑧ 재료분리

시공 시 다짐부족에 의한 손상으로 내구성 확보차원의 단면보수가 적절할 것으로 판단된다.

## ⑨ 철근노출

철근노출은 시공미흡에 의한 피복부족 및 간격재(스페이서) 설치 미흡에 의해 발생한 손상으로 판단되며 내구성 확보차원의 단면보수(방청)이 바람직할 것으로 판단된다.

## ⑩ 이물질 삽입

시공미흡에 의한 손상으로 별도의 보수보다는 현 상태에서의 유지관리가 적절할 것으로 판단된다.

## 4) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 거푸집 미제거, 볼트미제거, 철근미제거 등의 손상은 동일손상으로 손상변화가 없는 상태이며, 균열, 균열부 백태, 망상균열, 박리, 파손, 재료분리, 철근노출, 이물질 삽입은 금회 진단 시 상세 조사 및 공용기간 증가에 따른 추가(신규) 손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었다.

【표 3.44】 백운1교(춘천) AR Girder의 기 진단과의 비교, 검토

| 손상내용            | 단위             | 손상현황   |        | 물량 비교<br>(+:증가, -:감소) |       | 검토결과            |
|-----------------|----------------|--------|--------|-----------------------|-------|-----------------|
|                 |                | 2013년  | 2016년  |                       |       |                 |
| 거푸집 미제거         | m <sup>2</sup> | 3.60   | 3.60   |                       | -     | • 손상변화 없음(동일손상) |
| 균열(cw=0.2mm 이하) | m              | 276.00 | 310.80 | +                     | 34.80 | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 균열(cw=0.3mm 이상) | m              | 235.50 | 248.10 | +                     | 12.60 | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 균열부 백태          | m              | -      | 0.30   | +                     | 0.30  | • 공용 중 발생한 신규손상 |
| 누수흔적            | m <sup>2</sup> | 9.00   | 4.00   | -                     | 5.00  | • 상세조사에 의한 물량수정 |
| 망상균열            | m <sup>2</sup> | 14.50  | 61.50  | +                     | 47.00 | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 박리              | m <sup>2</sup> | -      | 2.45   | +                     | 2.45  | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 볼트미제거           | 개소             | 5      | 5      |                       | -     | • 손상변화 없음(동일손상) |
| 파손              | m <sup>2</sup> | 0.25   | 0.40   | +                     | 0.15  | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 철근미제거           | 개소             | 12     | 12     |                       | -     | • 손상변화 없음(동일손상) |
| 재료분리            | m <sup>2</sup> | 10.81  | 96.15  | +                     | 85.34 | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 철근노출            | m <sup>2</sup> | 14.74  | 23.99  | +                     | 9.25  | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 이물질삽입           | m <sup>2</sup> | -      | 1.80   | +                     | 1.80  | • 상세조사에 의한 추가손상 |



### 다. 가로보

공용기간중 거더의 횡변형을 방지해주며, 상부에 작용하는 하중을 분배시켜주는 역할을 하는 가로보는 콘크리트로 시공되어 있다. 조사는 거더의 중앙부의 가로보는 고소점검차 및 굴절차를 활용하여 조사를 실시하였으며, 지점부에 위치한 가로보에 대해서는 도보 접근하여 조사를 실시하였다.



【사진 3.37】 백운1교(춘천) 가로보 전경

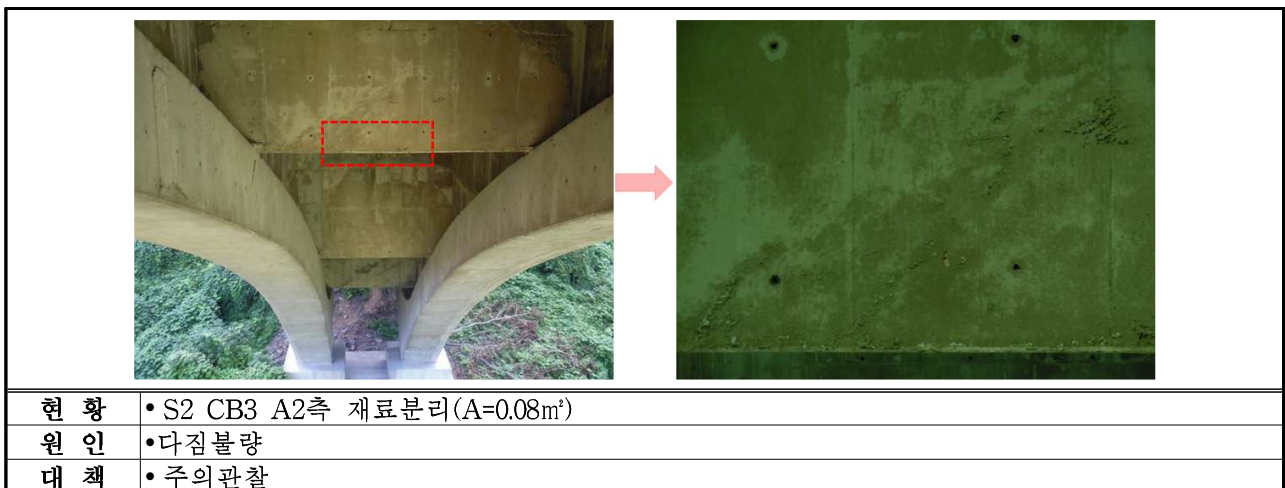
#### 1) 외관조사 결과

외관조사 결과, 재료분리 2개소가 조사되었다. 손상현황은 【표 3.45】 과 같다.

【표 3.45】 백운1교(춘천) 가로보의 손상현황

| 구분 | 재료분리<br>(m <sup>2</sup> /EA) |
|----|------------------------------|
| S1 | -                            |
| S2 | 0.08/2                       |
| S3 | -                            |
| 합계 | 0.08/2                       |

#### 2) 손상별 현황



|    |                                          |
|----|------------------------------------------|
| 현황 | • S2 CB3 A2측 재료분리(A=0.08m <sup>2</sup> ) |
| 원인 | • 다짐불량                                   |
| 대책 | • 주의관찰                                   |

【사진 3.38】 백운1교(춘천) 가로보 손상발생 현황

## 3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

## ① 재료분리

가로보에 발생한 재료분리는 콘크리트 타설 시 시공불량에 의해 발생한 결함으로 판단되며, 그에 따른 단면감소 및 내구성 저하 영향은 미미한 상태이므로 보수방안보다는 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

## 4) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 상세 조사에 의한 추가 손상으로 신규물량이 발생한 것으로 분석되었다.

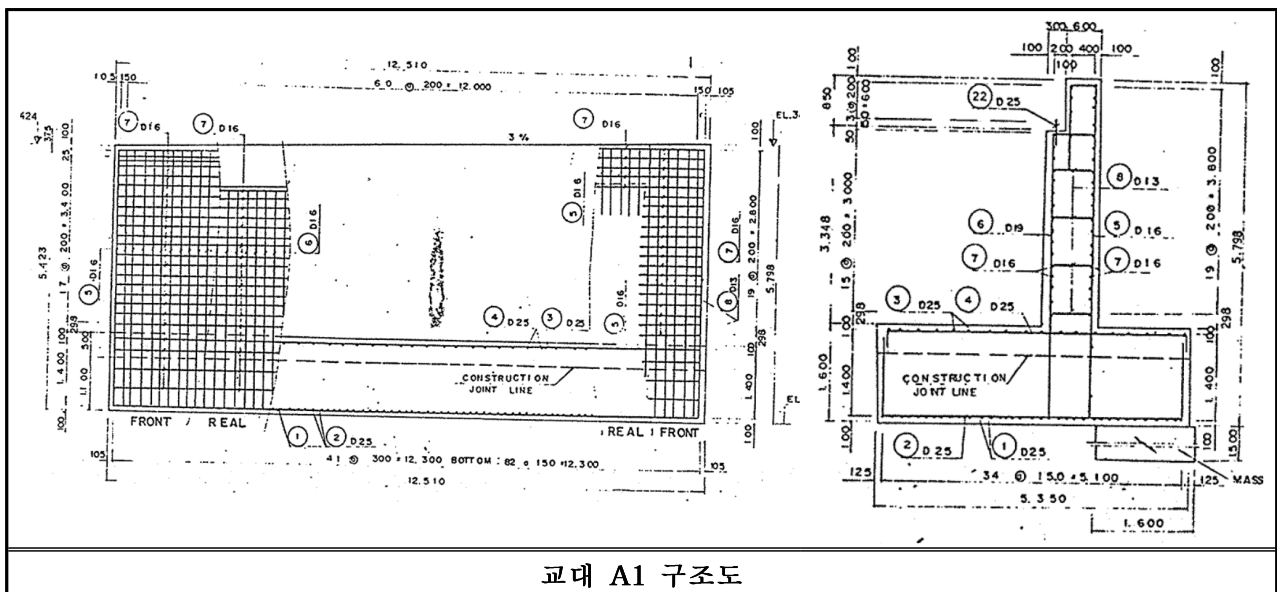
【표 3.46】 백운1교(춘천) 가로보의 기 진단과의 비교, 검토

| 손상내용 | 단위 | 손상현황  |       | 물량 비교<br>(+:증가, -:감소) |      | 검토결과            |
|------|----|-------|-------|-----------------------|------|-----------------|
|      |    | 2013년 | 2016년 |                       |      |                 |
| 재료분리 | m  | -     | 0.08  | +                     | 0.08 | • 상세조사에 의한 추가손상 |

## 3.3.2 하부구조

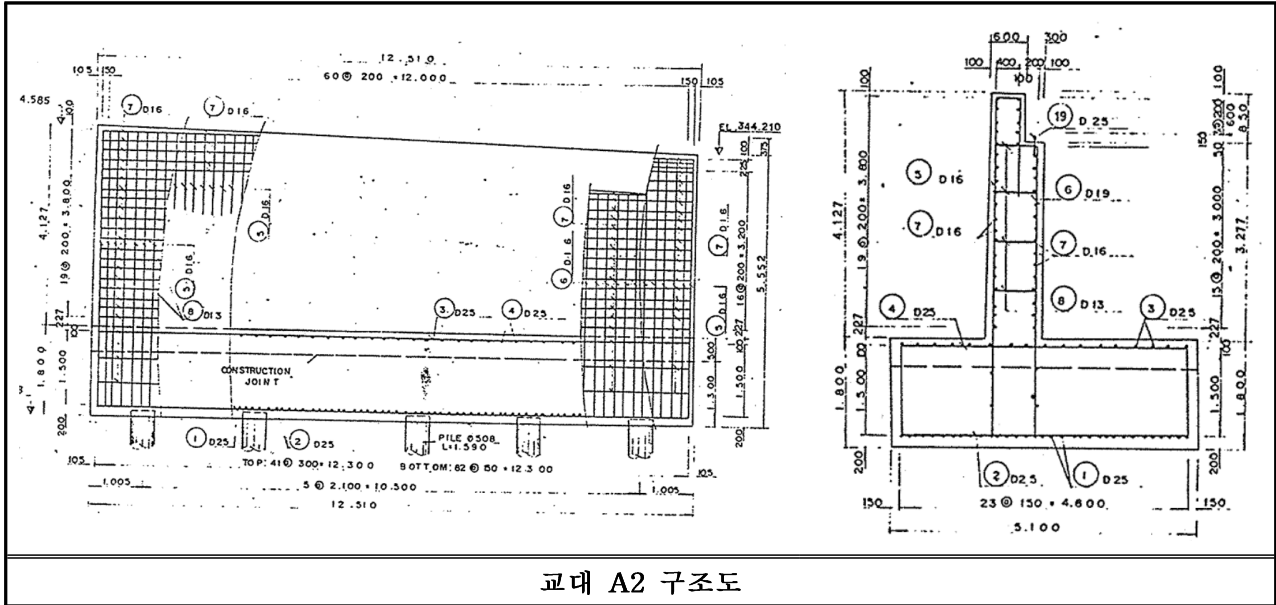
## 가. 교대

본 교량의 교대는 A1, A2 2기로 구성되어 있으며, 형식은 역T형이며, 기초는 직접기초(A1), 강관파일기초(A2)로 시공되어있다. 조사는 도보로 접근하여 실시하였다.



교대 A1 구조도

【그림 3.14】 백운1교(춘천) 교대 구조도



【그림 3.14】 백운1교(춘천) 교대 구조도(계속)



【사진 3.39】 백운1교(춘천) 교대 전경

## 1) 외관조사 결과

교대의 홍벽 및 구체에 대한 현장조사 결과, 계단침하, 건조수축에 의한 균열, 마감불량, 망상균열, 박리, 백태, 채수 및 파손 등의 결함이 조사되었으며, 기초는 노출되지 않은 상태로 손상현황은 【표 3.47】 과 같다.

【표 3.47】 백운1교(춘천) 교대의 손상현황

| 구분 | 균열<br>(cw=0.2m<br>m 이하)<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 균열<br>(cw=0.3m<br>m 이상)<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 녹물흔적<br>(잠철물)<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 망상균열<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 파손<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 박리<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 백태<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 재료분리<br>(m <sup>2</sup> /EA) |
|----|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| A1 | 17.10/15                                        | -                                               | -                                     | 27.87/7                      | 2.26/6                     | 0.28/1                     | -                          | 0.92/19                      |
| A2 | 9.40/14                                         | 0.80/2                                          | 1.19/253                              | 14.28/4                      | 0.10/1                     | 1.10/2                     | 5.15/6                     | -                            |
| 합계 | 26.50/29                                        | 0.80/2                                          | 1.19/253                              | 43.20/11                     | 2.36/7                     | 1.38/3                     | 5.15/6                     | 0.92/19                      |

【표 3.47】 백운1교(춘천) 교대의 손상현황(계속)

| 구분 | 와이어매쉬노출<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 이물질삽입<br>(잡철물)<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 접합부이격<br>(m/개소) | 체수<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 누수흔적<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 토사퇴적<br>(m <sup>2</sup> /EA) |
|----|---------------------------------|----------------------------------------|-----------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| A1 | 3.30/2                          | 0.52/59                                | 11.00/2         | 5.60/1                     | 0.48/1                       | -                            |
| A2 | -                               | -                                      | 10.00/1         | 9.36/4                     | -                            | 0.28/1                       |
| 합계 | 3.30/2                          | 0.52/59                                | 21.00/3         | 15.00/5                    | 0.48/1                       | 0.28/1                       |

## 2) 손상별 현황

|                                                                                     |                                  |                                                                                      |                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
|   |                                  |   |                                  |
| 현 황                                                                                 | • A1 균열(cw=0.1mm, L=0.8m)        | 현 황                                                                                  | • A2 녹물흔적(A=0.06m <sup>2</sup> ) |
| 원 인                                                                                 | • 건조수축                           | 원 인                                                                                  | • 시공미흡(잡철물)                      |
| 대 책                                                                                 | • 유지관리                           | 대 책                                                                                  | • 단면보수(방청)                       |
|  |                                  |  |                                  |
| 현 황                                                                                 | • A1 누수흔적(A=0.48m <sup>2</sup> ) | 현 황                                                                                  | • A1 망상균열(A=0.28m <sup>2</sup> ) |
| 원 인                                                                                 | • 신축이음부 누수                       | 원 인                                                                                  | • 건조수축                           |
| 대 책                                                                                 | • 유도배수                           | 대 책                                                                                  | • 유지관리                           |

【사진 3.40】 백운1교(춘천) 교대 손상발생 현황



|                                                                                     |                                            |                                                                                      |                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
|    |                                            |    |                                          |
| 현황                                                                                  | • A2 백태(A=1.80m <sup>2</sup> )             | 현황                                                                                   | • A1 파손 (A=0.10m <sup>2</sup> )          |
| 원인                                                                                  | • 신축이음부 누수                                 | 원인                                                                                   | • 외부충격                                   |
| 대책                                                                                  | • 표면처리, 유도배수                               | 대책                                                                                   | • 단면보수                                   |
|   |                                            |   |                                          |
| 현황                                                                                  | • A1 사면보호공 와이어매쉬노출 (A=3.00m <sup>2</sup> ) | 현황                                                                                   | • A1 이물질삽입(잡철물 등)(A=0.07m <sup>2</sup> ) |
| 원인                                                                                  | • 시공미흡                                     | 원인                                                                                   | • 시공미흡                                   |
| 대책                                                                                  | • 단면보수                                     | 대책                                                                                   | • 유지관리                                   |
|  |                                            |  |                                          |
| 현황                                                                                  | • A1 접합부 이격(L=5.00m)                       | 현황                                                                                   | • A2 상면 체수(A=3.00m <sup>2</sup> )        |
| 원인                                                                                  | • 공용 기간 중 사면안정화                            | 원인                                                                                   | • 신축이음부 누수                               |
| 대책                                                                                  | • 쉐링보수                                     | 대책                                                                                   | • 유도배수                                   |

【사진 3.40】 백운1교(춘천) 교대 손상발생 현황(계속)



|                                                                                   |                                                                                         |                                                                                    |                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
|  |                                                                                         |  |                                                                                |
| 현 황                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>A2 점검로(바닥콘크리트) 균열 (cw=5.0mm, L=0.5mm)</li> </ul> | 현 황                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>A2 녹물흔적(A=0.72m<sup>2</sup>)</li> </ul> |
| 원 인                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>공용 기간 중 사면안정화</li> </ul>                         | 원 인                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>시공미흡(잡철물)</li> </ul>                    |
| 대 책                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>주입보수</li> </ul>                                  | 대 책                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>유지관리</li> </ul>                         |

【사진 3.40】 백운1교(춘천) 교대 손상발생 현황(계속)

## 3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

## ① 균열 및 망상균열

교대 구체에 발생한 균열폭 0.2mm 이하 균열 및 망상균열은 시공초기 건조수축에 의해 발생한 손상으로 현상상태에서의 주의관찰을 통한 유지관리가 바람직 할 것으로 판단된다. 균열폭 0.3mm 이상 균열은 교대 전면의 점검로 바닥콘크리트에서 발생한 손상으로 내구성 확보차원의 주입보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

## ② 녹물흔적(잡철물 및 이물질 삽입)

시공 시 이물질 삽입 및 철근 결속선 마감 불량에 의해서 발생한 손상으로 내구성 확보차원의 단면보수(방청)을 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

## ③ 박리

박리는 공용 중 우수접촉에 의한 열화로 손상깊이가 깊지 않아 보수보다는 주의관찰이 바람직 할 것으로 판단된다.

## ④ 백태

교대 신축이음부 하부에서 조사된 손상으로 신축이음부 누수로 인한 콘크리트 구체의 미세균열부 수분접촉에 의한 수산화칼슘 용해로 발생한 결함으로 판단된다. 금회 외관조사 시 신축이음하부의 교대홍벽과 거더 및 바닥판의 유간이 협소하여 조사자의 육안으로 점검이 불가능한 상태라 내시경 카메라를 활용하여 구조물의 상태를 확인하였다.



【사진 3.41】 백운1교(춘천) 교대부 내시경 카메라 활용 조사

내시경 카메라를 활용한 외관조사 결과, 신축이음하부의 유간부는 일부 습윤한 상태로 조사되었으며, 표면부 백태가 조사되었다. 내구성 확보를 위한 표면처리 보수를 실시하고 누수 차단을 위해 신축이음부 하부 유도배수로를 설치하여 우수 유입 차단을 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

#### ⑤ 재료분리

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

#### ⑥ 파손

파손은 시공 시 시공미흡 및 공용 중 외부충격에 의해 발생한 손상으로 판단되며, 내구성 확보차원의 단면보수가 바람직 할 것으로 판단된다.

#### ⑦ 와이어매쉬 노출

교대 사면보호공의 와이어매쉬 노출은 시공미흡에 의해 발생한 손상으로 부재에 끼치는 영향은 미미한 것으로 판단되므로 별도의 보수보다는 현 상태에서의 유지관리가 적절할 것으로 판단된다.

## ⑧ 접합부 이격

교대와 교대 점검로 및 사면보호공 사이의 접합부가 시공 후 사면안정화 단계에서 발생한 이격으로 강우 시 이격부위로 우수유입되어 사면부 토사 유실 및 동결융해에 의한 파손 등의 손상을 방지하기 위하여 쉐링재 주입을 통한 보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

## ⑨ 체수 및 누수흔적

체수 및 누수흔적은 신축이음부 누수로 발생한 손상으로 체수 및 누수흔적의 근본 원인인 신축이음부 누수에 대한 유도배수로 설치 또는 신축이음 교체와 같은 보수를 실시하지 않는다면 지속적인 포장부 우수유입으로 겨울철 강설 시 사용하는 제설제의 영향으로 부재에 염화물함유량 상승 등에 의한 추가적인 손상(재질열화, 철근부식 등)이 발생할 수 있으므로 1차적으로 유도배수로를 설치하여 상부 노면수의 유입을 차단하고, 장기적인 관점에서 신축이음부 교체를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

## ⑩ 토사퇴적

교대 사면보호공의 끝단에 조사된 손상으로 부재에 끼치는 영향은 미미한 것으로 판단되므로 별도의 보수보다는 현 상태에서의 유지관리가 적절할 것으로 판단된다.

## 4) 과업기간 중 백운1교(춘천) 교대 보수현황

## ① 보수현황 확인결과

유지관리기관인 한국도로공사 제천지사에서 2016년 12월에 관내 보수공사를 시행하면서 백운1교(춘천) 교대 A2에 백태 보수를 시행하였으며, 이에 보수된 손상을 제외한 최종적인 손상현황은 다음과 같다.

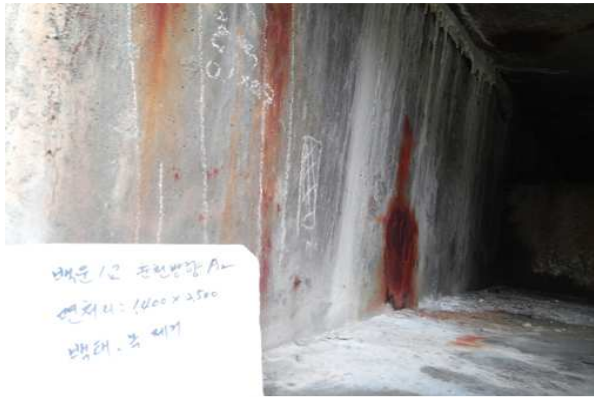
【표 3.48】 백운1교(춘천) 교대의 보수후 손상현황

| 구분 | 균열<br>(cw=0.2m<br>m 이하)<br>(m/EA) | 균열<br>(cw=0.3m<br>m 이상)<br>(m/EA) | 녹물흔적<br>(잡철물)<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 망상균열<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 파손<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 박리<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 백태<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 재료분리<br>(m <sup>2</sup> /EA) |
|----|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| A1 | 17.10/15                          | -                                 | -                                     | 27.87/7                      | 2.26/6                     | 0.28/1                     | -                          | 0.92/19                      |
| A2 | 9.40/14                           | 0.80/2                            | 1.19/253                              | 14.28/4                      | 0.10/1                     | 1.10/2                     | 0.20/1                     | -                            |
| 합계 | 26.50/29                          | 0.80/2                            | 1.19/253                              | 43.20/11                     | 2.36/7                     | 1.38/3                     | 0.20/1                     | 0.92/19                      |

| 구분 | 와이어매쉬노출<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 이물질삽입<br>(잡철물)<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 접합부이격<br>(m/개소) | 체수<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 누수흔적<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 토사퇴적<br>(m <sup>2</sup> /EA) |
|----|---------------------------------|----------------------------------------|-----------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| A1 | 3.30/2                          | 0.52/59                                | 11.00/2         | 5.60/1                     | 0.48/1                       | -                            |
| A2 | -                               | -                                      | 10.00/1         | 9.36/4                     | -                            | 0.28/1                       |
| 합계 | 3.30/2                          | 0.52/59                                | 21.00/3         | 15.00/5                    | 0.48/1                       | 0.28/1                       |

## ② 보수 손상별 현황

|                                                                                                                                       |                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>백운 1교 주천방랑 A-<br/>면적: 1000x3500<br/>백태, 중 제기</p> |  |
| 교대 A2 흉벽부 백태 보수전 전경                                                                                                                   | 교대 A2 흉벽부 백태 보수후 전경                                                                |

【사진 3.42】 백운1교(춘천) 교대 A2 흉벽부 백태 보수 현황

## 5) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 균열( $cw=0.3\text{mm}$  이상), 와이어매쉬 노출, 토사 퇴적은 손상변화가 없는 동일 손상으로 분석되었고, 균열( $cw=0.2\text{mm}$  이하), 녹물흔적 및 이물질 삼입, 망상균열, 백태, 재료분리, 파손 등의 손상은 상세조사 및 공용 중 발생한 추가 손상으로 손상물량의 증가가 있는 것으로 분석되었으며, 박리, 접합부 이격, 체수 및 누수 흔적은 상세조사에 의한 물량 수정으로 손상물량의 감소가 있는 것으로 분석되었다.

【표 3.49】 백운1교(춘천) 교대의 기 진단과의 비교, 검토

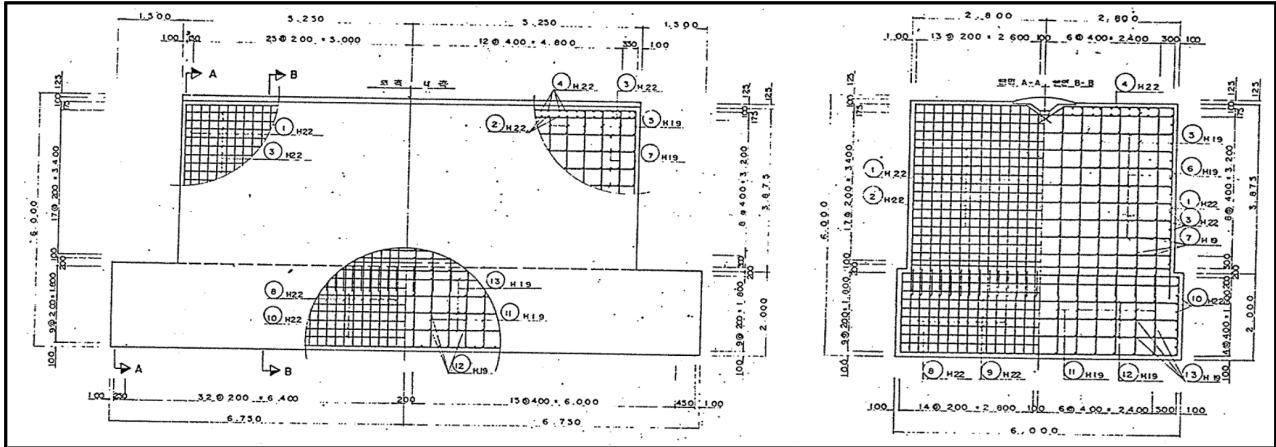
| 손상내용                      | 단위             | 손상현황  |       | 물량 비교<br>(+:증가, -:감소) |       | 검토결과            |
|---------------------------|----------------|-------|-------|-----------------------|-------|-----------------|
|                           |                | 2013년 | 2016년 |                       |       |                 |
| 균열( $cw=0.2\text{mm}$ 이하) | m              | 19.00 | 26.50 | +                     | 7.50  | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 균열( $cw=0.3\text{mm}$ 이상) | m              | 0.80  | 0.80  | +                     | 0.80  | • 손상변화 없음(동일손상) |
| 망상균열                      | m <sup>2</sup> | 31.61 | 43.20 | +                     | 11.59 | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 박리                        | m <sup>2</sup> | 1.44  | 1.38  | -                     | 0.06  | • 상세조사에 의한 물량수정 |
| 박리                        | m <sup>2</sup> | 1.44  | 1.38  | -                     | 0.06  | • 상세조사에 의한 물량수정 |
| 백태                        | m <sup>2</sup> | 2.45  | 0.20  | +                     | 2.25  | • 보수에 의한 손상감소   |
| 재료분리                      | m <sup>2</sup> | -     | 0.92  | +                     | 0.92  | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 파손                        | m <sup>2</sup> | 1.02  | 2.36  | +                     | 1.34  | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 와이어매쉬 노출                  | m <sup>2</sup> | 3.30  | 3.30  |                       | -     | • 손상변화 없음(동일손상) |
| 녹물흔적 및 이물질 삼입(잡철물 등)      | m <sup>2</sup> | 0.75  | 1.71  | +                     | 0.96  | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 접합부 이격                    | m <sup>2</sup> | 29.00 | 21.00 | -                     | 8.00  | • 상세조사에 의한 물량수정 |
| 체수 및 누수흔적                 | m <sup>2</sup> | 25.59 | 15.48 | -                     | 10.11 | • 상세조사에 의한 물량수정 |
| 토사퇴적                      | m <sup>2</sup> | 0.28  | 0.28  |                       | -     | • 손상변화 없음(동일손상) |

주) 기 진단과의 비교, 검토는 보수가 시행된 손상현황을 적용하였음.

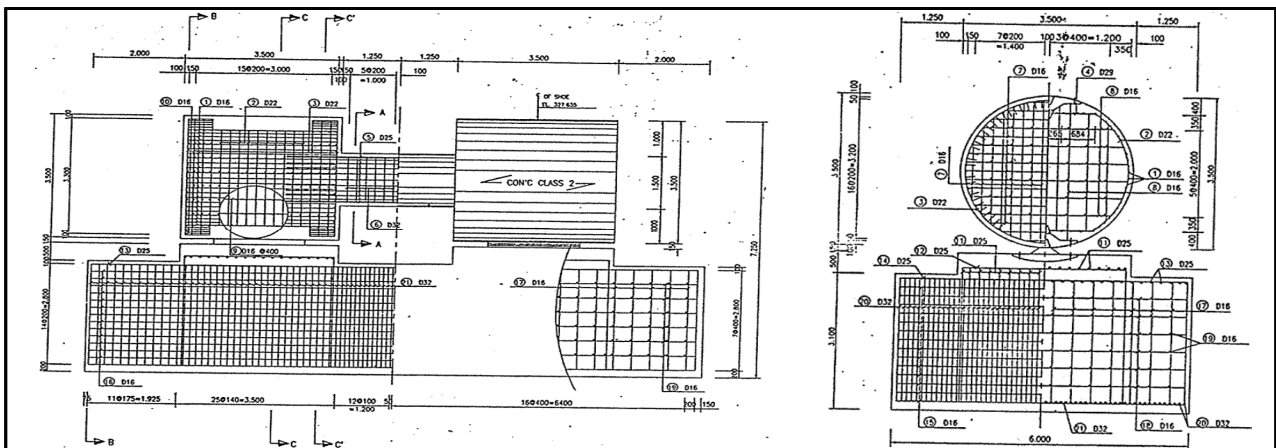


## 나. 교각

상부구조를 지지하는 구조물인 교각은 구형으로 되어있으며, 기초는 직접기초(P1)과 강판파일기초(P2)로 시공되어있다. 조사는 도보로 접근하여 실시하였다.



교각 P1 구조도



교각 P2 구조도

【그림 3.15】 백운1교(춘천) 교각 구조도



교각 P1

교각 P2

【사진 3.43】 백운1교(춘천) 교각 전경



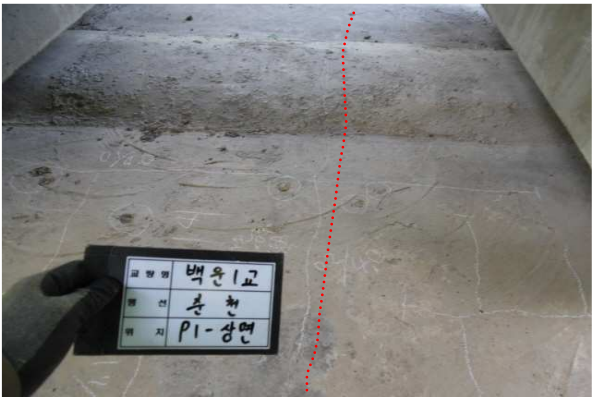
## 1) 외관조사 결과

교각에 대한 현장조사 결과, 거푸집 미제거, 균열, 망상균열, 재료분리, 철근노출, 파손, 박락, 이물질 노출 등의 결함이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.50】 과 같다.

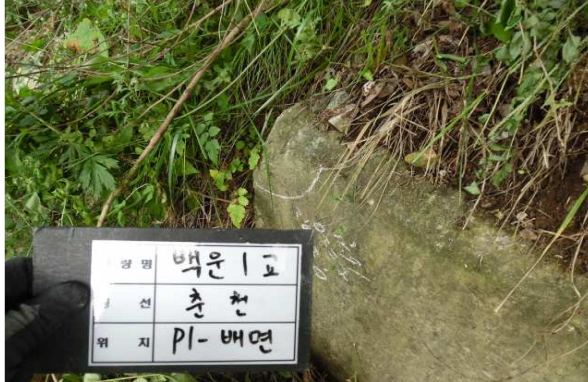
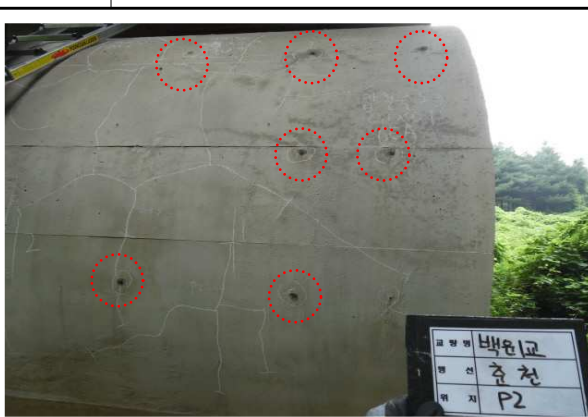
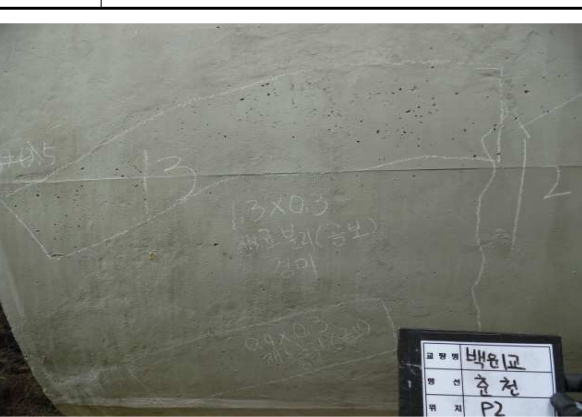
【표 3.50】 백운1교(춘천) 교각의 손상현황

| 구분 | 거푸집<br>미제거<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 균열<br>(cw=0.2mm<br>이하)<br>(m/EA) | 균열<br>(cw=0.3mm<br>이상)<br>(m/EA) | 망상균열<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 재료분리<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 철근노출<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 파손<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 박락<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 이물질<br>노출<br>(m <sup>2</sup> /EA) |
|----|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| P1 | -                                  | 72.10/60                         | 2.80/1                           | 8.26/4                       | 17.41/13                     | 1.07/40                      | 0.95/44                    | 0.04/1                     | 0.93/89                           |
| P2 | 0.01/1                             | 15.10/16                         | -                                | 16.42/4                      | 30.77/11                     | -                            | 0.07/4                     | -                          | 0.71/71                           |
| 합계 | 0.01/1                             | 87.20/76                         | 2.80/1                           | 24.68/8                      | 48.18/24                     | 1.07/40                      | 1.02/48                    | 0.04/1                     | 1.64/160                          |

## 2) 손상별 현황

|                                                                                     |                                    |                                                                                      |                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
|   |                                    |   |                                  |
| 현 황                                                                                 | • P2 거푸집미제거(A=0.01m <sup>2</sup> ) | 현 황                                                                                  | • P1 균열(cw=0.2mm, L=4.00m)       |
| 원 인                                                                                 | • 시공미흡                             | 원 인                                                                                  | • 건조수축                           |
| 대 책                                                                                 | • 유지관리                             | 대 책                                                                                  | • 유지관리                           |
|  |                                    |  |                                  |
| 현 황                                                                                 | • P1 균열(cw=0.3mm, 2.8m)            | 현 황                                                                                  | • P2 망상균열(A=0.90m <sup>2</sup> ) |
| 원 인                                                                                 | • 건조수축                             | 원 인                                                                                  | • 건조수축                           |
| 대 책                                                                                 | • 주입보수                             | 대 책                                                                                  | • 유지관리                           |

【사진 3.44】 백운1교(춘천) 교각 손상발생 현황

|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |
| <b>현 황</b> • P1 재료분리( $A=0.40m^2$ )                                                 | <b>현 황</b> • P1 철근노출( $A=0.65m^2$ )                                                  |
| <b>원 인</b> • 다짐부족                                                                   | <b>원 인</b> • 시공미흡(피복부족)                                                              |
| <b>대 책</b> • 유지관리                                                                   | <b>대 책</b> • 보수완료(2016. 12)                                                          |
|   |   |
| <b>현 황</b> • P1 파손( $A=0.04m^2$ )                                                   | <b>현 황</b> • P1 박락( $A=0.04m^2$ )                                                    |
| <b>원 인</b> • 외부충격                                                                   | <b>원 인</b> • 시공미흡(피복부족)                                                              |
| <b>대 책</b> • 유지관리                                                                   | <b>대 책</b> • 단면보수(방청)                                                                |
|  |  |
| <b>현 황</b> • P2 이물질노출(철물)( $A=0.04m^2$ )                                            | <b>현 황</b> • P2 재료분리( $A=0.27m^2$ )                                                  |
| <b>원 인</b> • 시공미흡                                                                   | <b>원 인</b> • 다짐부족                                                                    |
| <b>대 책</b> • 단면보수(방청)                                                               | <b>대 책</b> • 유지관리                                                                    |

【사진 3.44】 백운1교(춘천) 교각 손상발생 현황(계속)



## 3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

## ① 거푸집 미제거

거푸집 미제거는 시공미흡에 의해 발생한 손상으로 별도의 보수보다는 현 상태에서의 유지관리가 바람직 할 것으로 판단된다.

## ② 균열 및 망상균열

교각에서 조사된 균열 및 망상균열의 형상 및 발생 위치 등을 검토한 결과, 건조수축에 의한 비구조적 균열로 구조적인 영향은 없으나 내구성 확보를 위해 균열폭 0.3mm 이상의 균열에 대해서는 주입보수를 실시하고, 균열폭 0.2mm 이하의 균열 및 망상균열은 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

## ③ 재료분리

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

## ④ 철근노출 및 박락

철근노출은 P1 배면에서 조사된 것으로 외관조사 시 철근배근간격과 유사한 간격으로 균열 손상이 조사되어 점검망치를 이용하여 타격 조사를 실시한 결과 피복부족 구간의 콘크리트가 탈락하여 철근이 노출된 손상이다.

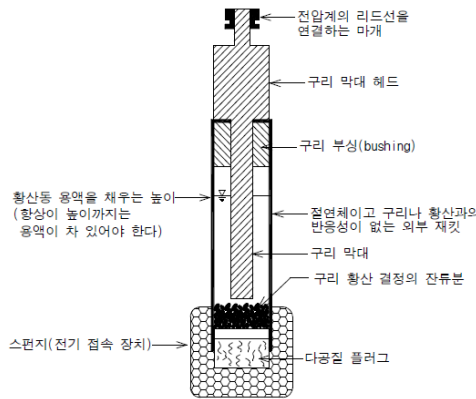
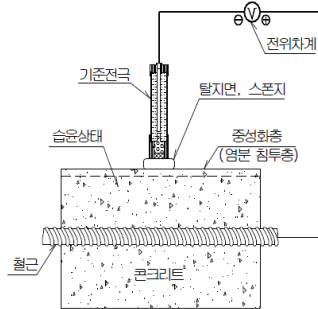
|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| 점검망치 활용한 철근노출 확인                                                                    | 철근노출 현황                                                                              |

【사진 3.45】 백운1교(춘천) P1배면 철근노출 손상현황

철근노출 손상에 대한 추가 시험으로 철근부식도 시험을 실시하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

【표 3.51】 백운1교(춘천) 철근부식도 시험

|    |                                                                                                                                                                                                                                            |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 개요 | <ul style="list-style-type: none"> <li>금회 과업시 외관조사를 선행 후 철근콘크리트에 매입되어 있는 철근부식 우려구간에 대해서 철근부식도시험을 실시함.</li> <li>본 시험시 자연전위법으로 시험을 실시하였으며, 보다 정확한 철근부식 진단을 실시하기 위해 철근의 피복두께, 염화물함유량, 탄산화 깊이, 구조물의 균열 상황 등을 종합적으로 고려하여 철근부식도를 판단함.</li> </ul> |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 시험 방법 | <ul style="list-style-type: none"> <li>콘크리트는 강알칼리성으로 철근은 부동태로 전위는 - 100~-200mV(CSE)를 나타내지만, 염화물의 침투와 탄산화(중성화)로 철근이 활성상태로 되어 부식이 진행하면 전위는 부(-)방향으로 진행함.</li> <li>측정전 사전 철근탐사를 실시하여 주철근에 대해 노출을 시킨 후 클립코드를 노출철근에 접속시킴.. 시험면까지 살수 작업을 통해 내부철근까지 습윤상태를 유지시킨 후 측정기(막대형전극)를 격자모양으로 임의의 점을 개별적으로 측정을 실시함.</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>&lt;동-황산동 반전지의 단면&gt;</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>&lt;자연전위 측정방법&gt;</p> </div> </div> |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| 평가 기준 | <ul style="list-style-type: none"> <li>철근부식 유무 판정은 KS F 2712에서 제시하고 있는 기준을 참고하여 다음 표와 같이 판단함.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                   |                   |  |             |           |   |        |                   |    |             |     |     |        |                   |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|--|-------------|-----------|---|--------|-------------------|----|-------------|-----|-----|--------|-------------------|
|       | <table> <tr> <th data-bbox="335 1538 517 1666" rowspan="2">부식등급</th><th colspan="2" data-bbox="517 1538 1404 1601">KS F 2712 규격</th></tr> <tr> <th data-bbox="517 1601 821 1666">자연전위 E (mV)</th><th data-bbox="821 1601 1404 1666">부식확률 P(%)</th></tr> <tr> <td data-bbox="335 1666 517 1729">I</td><td data-bbox="517 1666 821 1729">E&gt;-200</td><td data-bbox="821 1666 1404 1729">90% 이상의 확률로 부식 없음</td></tr> <tr> <td data-bbox="335 1729 517 1792">II</td><td data-bbox="517 1729 821 1792">-200≥E&gt;-350</td><td data-bbox="821 1729 1404 1792">불명확</td></tr> <tr> <td data-bbox="335 1792 517 1854">III</td><td data-bbox="517 1792 821 1854">-350≥E</td><td data-bbox="821 1792 1404 1854">90% 이상의 확률로 부식 있음</td></tr> </table> | 부식등급              | KS F 2712 규격      |  | 자연전위 E (mV) | 부식확률 P(%) | I | E>-200 | 90% 이상의 확률로 부식 없음 | II | -200≥E>-350 | 불명확 | III | -350≥E | 90% 이상의 확률로 부식 있음 |
|       | 부식등급                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                   | KS F 2712 규격      |  |             |           |   |        |                   |    |             |     |     |        |                   |
|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 자연전위 E (mV)       | 부식확률 P(%)         |  |             |           |   |        |                   |    |             |     |     |        |                   |
|       | I                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | E>-200            | 90% 이상의 확률로 부식 없음 |  |             |           |   |        |                   |    |             |     |     |        |                   |
| II    | -200≥E>-350                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 불명확               |                   |  |             |           |   |        |                   |    |             |     |     |        |                   |
| III   | -350≥E                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 90% 이상의 확률로 부식 있음 |                   |  |             |           |   |        |                   |    |             |     |     |        |                   |

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조

※콘크리트 내구성 평가절차 수립(한국시설안전공단, 1999.12) 참조

※안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(한국시설안전공단, 2010.12) 참조





【사진 3.46】 백운1교(춘천) 철근부식도시험 전경

## ㉠ 철근부식도 시험결과

【표 3.52】 백운1교(춘천) P1 철근부식도 시험결과 및 평가

| 측정위치        |      |      |      |      |      |      | 부식등급 |      |      |      |      | 부식확률 P(%)        |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|
| P1 기둥 철근노출부 |      |      |      |      |      |      | I    |      |      |      |      | 90%이상의 확률로 부식 없음 |
| 구분<br>(cm)  | 0    | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   | 100  | 자연전위 E(mV)       |
| 100         | -140 | -140 | -140 | -140 | -162 | -123 | -165 | -156 | -145 | -145 | -137 |                  |
| 90          | -146 | -198 | -195 | -199 | -188 | -180 | -111 | -123 | -132 | -131 | -130 |                  |
| 80          | -157 | -155 | -156 | -153 | -152 | -188 | -186 | -190 | -191 | -180 | -186 |                  |
| 70          | -164 | -168 | -170 | -171 | -171 | -174 | -169 | -175 | -173 | -173 | -185 |                  |
| 60          | -176 | -177 | -174 | -173 | -175 | -180 | -182 | -185 | -176 | -165 | -164 |                  |
| 50          | -164 | -160 | -171 | -167 | -170 | -173 | -169 | -168 | -165 | -160 | -167 |                  |
| 40          | -160 | -161 | -165 | -166 | -167 | -169 | -174 | -175 | -173 | -172 | -180 |                  |
| 30          | -165 | -177 | -180 | -181 | -184 | -182 | -181 | -188 | -187 | -178 | -176 |                  |
| 20          | -190 | -191 | -191 | -180 | -185 | -190 | -195 | -197 | -189 | -188 | -170 |                  |
| 10          | -150 | -142 | -150 | -145 | -144 | -142 | -150 | -151 | -152 | -133 | -138 |                  |
| 0           | -139 | -138 | -137 | -140 | -140 | -149 | -148 | -141 | -143 | -150 | -151 |                  |

## ㉡ 시험결과 분석

교각(P1) 기둥 철근노출부에 실시한 철근부식도 시험결과 철근노출 부위 주변에 90% 이상의 확률로 부식 없음으로 평가되어 철근노출 및 박락부에 대한 보수를 실시한다면 내구성 저하의 영향은 적을 것으로 판단된다.

## ⑤ 파손

파손은 시공 시 시공미흡 및 공용 중 외부충격에 의해 발생한 손상으로 판단되며, 경미한 수준의 손상이므로 별도의 보수보다는 현 상태로 유지관리 하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

## ⑥ 이물질 노출

시공 시 이물질 삽입 및 철근 결속선 마감 불량에 의해 발생한 손상으로 판단되며, 경미한 수준의 손상이므로 별도의 보수보다는 현 상태로 유지관리 하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

## 4) 과업기간 중 백운1교(춘천) 교각 보수현황

## ① 보수현황 확인결과

유지관리기관인 한국도로공사 제천지사에서 2016년 12월에 관내 보수공사를 시행하면서 백운1교(춘천) 교각 P1에 0.3mm이상 균열, 철근노출, 박락을 보수를 시행하였으며, 이에 보수된 손상을 제외한 최종적인 손상현황은 다음과 같다.

【표 3.53】 백운1교(춘천) 교각의 보수후 손상현황

| 구분 | 거푸집<br>미제거<br>(㎡/EA) | 균열<br>(cw=0.2mm<br>이하)<br>(m/EA) | 균열<br>(cw=0.3mm<br>이상)<br>(m/EA) | 망상균열<br>(㎡/EA) | 재료분리<br>(㎡/EA) | 철근노출<br>(㎡/EA) | 파손<br>(㎡/EA) | 박락<br>(㎡/EA) | 이물질<br>노출<br>(㎡/EA) |
|----|----------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|--------------|---------------------|
| P1 | -                    | 72.10/60                         | -                                | 8.26/4         | 17.41/13       | 0.38/32        | 0.95/44      | -            | 0.93/89             |
| P2 | 0.01/1               | 15.10/16                         | -                                | 16.42/4        | 30.77/11       | -              | 0.07/4       | -            | 0.71/71             |
| 합계 | 0.01/1               | 87.20/76                         | -                                | 24.68/8        | 48.18/24       | 0.38/32        | 1.02/48      | -            | 1.64/160            |

## ② 보수 손상별 현황

|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| 교각 P1 0.3mm이상 균열 보수전 전경                                                             | 교각 P1 0.3mm이상 균열 보수후 전경                                                              |

【사진 3.47】 백운1교(춘천) 교각 P1 0.3mm이상 균열 보수 현황



【사진 3.48】 백운1교(춘천) 교각 P1 철근노출 및 박락 보수 현황

## 5) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 거푸집 미제거, 균열, 망상균열, 재료분리, 철근노출, 파손, 이물질 노출 손상은 상세조사에 의한 추가손상으로 손상물량의 증가가 있는 것으로 분석되었다.

【표 3.54】 백운1교(춘천) 교각의 기 진단과의 비교, 검토

| 손상내용            | 단위             | 손상현황  |       | 물량 비교<br>(+:증가, -:감소) |       | 검토결과            |
|-----------------|----------------|-------|-------|-----------------------|-------|-----------------|
|                 |                | 2013년 | 2016년 |                       |       |                 |
| 거푸집 미제거         | m <sup>2</sup> | -     | 0.01  | +                     | 0.01  | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 균열(cw=0.2mm 이하) | m              | 23.60 | 87.20 | +                     | 63.60 | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 망상균열            | m <sup>2</sup> | 4.75  | 24.68 | +                     | 19.93 | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 재료분리            | m <sup>2</sup> | 10.75 | 48.18 | +                     | 37.43 | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 철근노출            | m <sup>2</sup> | 0.06  | 0.38  | +                     | 0.32  | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 파손              | m <sup>2</sup> | 0.26  | 1.02  | +                     | 0.76  | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 이물질노출           | m <sup>2</sup> | -     | 1.64  | +                     | 1.64  | • 상세조사에 의한 추가손상 |

주) 기 진단과의 비교, 검토는 보수가 시행된 손상현황을 적용하였음.



### 다. 교대 및 교각의 상대변위(기초침하 검증)

과업대상인 백운1교(춘천)의 기초형식은 직접기초(A1, P1,) 및 강관파일기초(P2, A2)로 시공되어 있는 상태로서, 금회 현장조사 시 직립도 및 처짐 등의 이상징후가 조사되지 않은 상태이지만, 향후 기초침하 변화부에 측량타겟(반사시트 및 측량 표시못)을 설치하여 변화를 확인할 수 있도록 검측을 실시하였다.

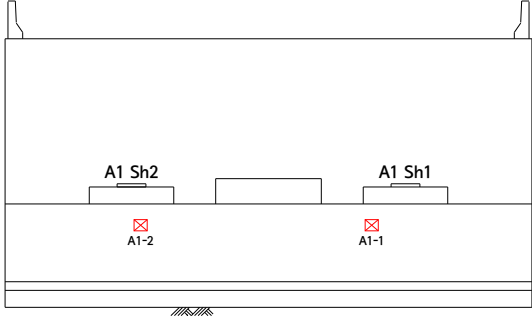
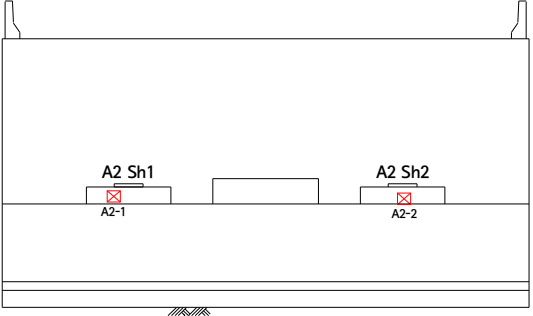
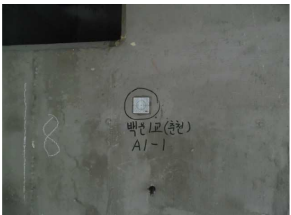
|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |
| 측량 기준점 전경                                                                           | 측량 기준점 위치도                                                                           |
|  |  |
| 측량 기준점                                                                              | 측량 전경                                                                                |

【사진 3.49】 백운1교(춘천) 측량기준점 및 측량 전경

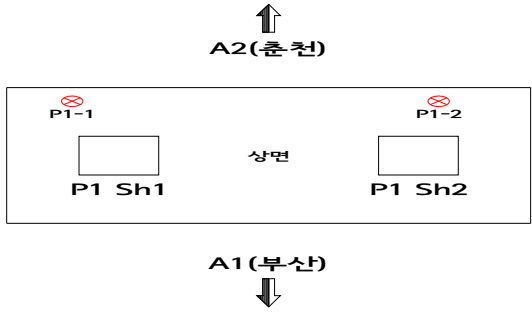
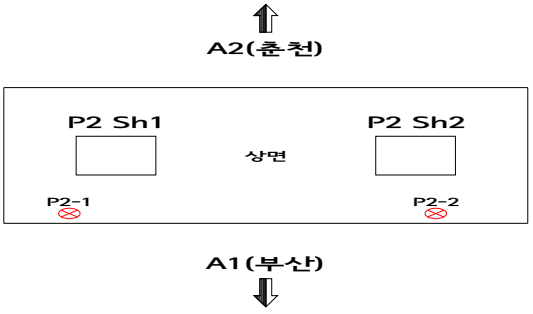
#### 1) 상대변위 측정 방법

상대변위 측정은 각 교대 및 교각의 좌·우측 전면부에 관측이 용이하도록 측량타겟(반사시트, 측량 표시못)을 설치하고, 측량기준점을 임의 점(N : 1,000.000, E : 1,000.000, Z : 100.000)에 설치하여, 각 교대, 교각에 설치된 측량타겟을 측정하였다.



| 백운1교(춘천) 교대 A1                                                                    |                                                                                   | 백운1교(춘천) 교대 A2                                                                     |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |                                                                                   |  |                                                                                     |
|  |  |  |  |
| A1-2                                                                              | A1-1                                                                              | A2-1                                                                               | A2-2                                                                                |

【그림 3.16】 백운1교(춘천) 교대부 측량 타겟 위치도 및 설치현황

| 백운1교(춘천) 교각 P1                                                                      |                                                                                     | 백운1교(춘천) 교각 P2                                                                       |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |                                                                                     |  |                                                                                       |
|  |  |  |  |
| P1-1                                                                                | P1-2                                                                                | P2-1                                                                                 | P2-2                                                                                  |

【그림 3.17】 백운1교(춘천) 교각 측량 타겟 위치도 및 설치현황

## 2) 상대변위 측정 결과 및 분석

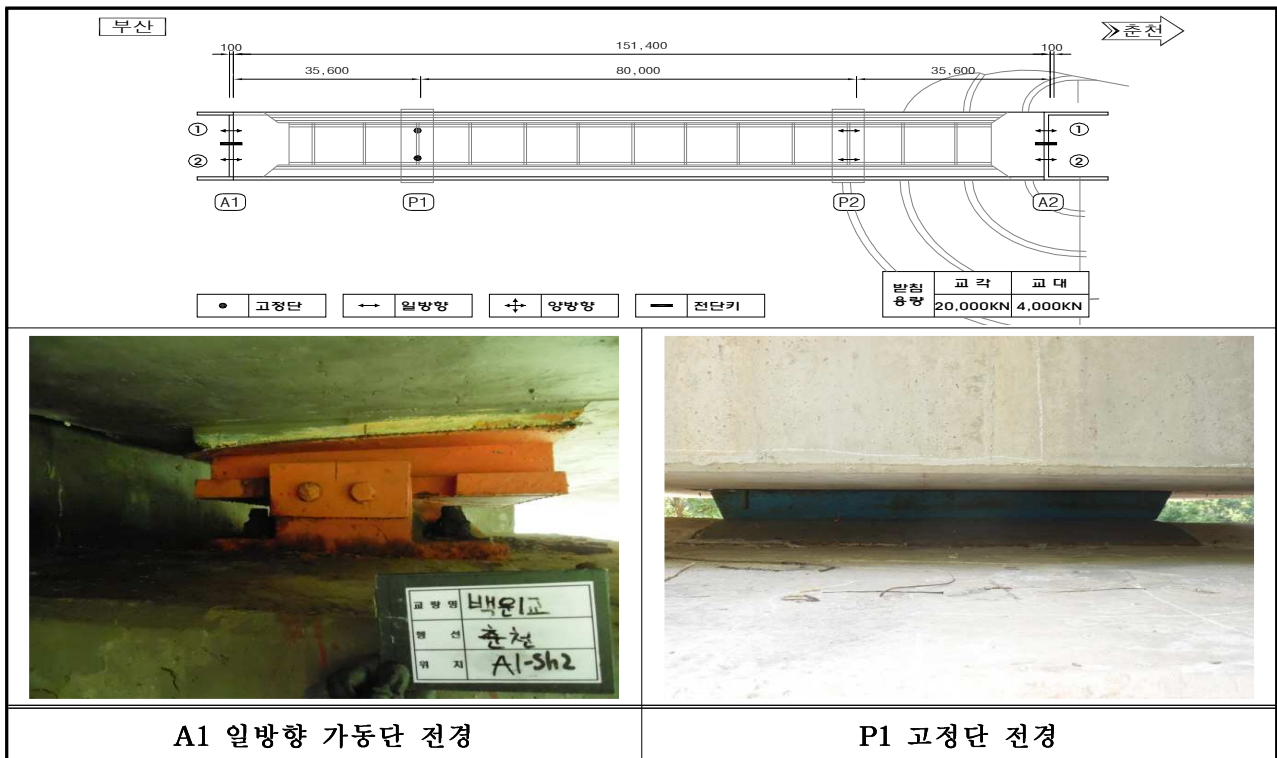
【표 3.55】 백운1교(춘천) 교대 및 교각 측량 결과

| 구분  |      | X         | Y         | Z       | 비고 |
|-----|------|-----------|-----------|---------|----|
| 기준점 |      | 1,000.000 | 1,000.000 | 100.000 |    |
| 교대  | A1-1 | 928.825   | 985.521   | 125.368 |    |
|     | A1-2 | 929.128   | 980.480   | 125.432 |    |
| 교각  | P1-1 | 1,037.235 | 1,000.104 | 107.396 |    |
|     | P1-2 | 1,038.867 | 1,004.663 | 107.374 |    |
|     | P2-1 | 957.439   | 991.257   | 105.198 |    |
|     | P2-2 | 953.203   | 982.526   | 105.204 |    |
| 교대  | A2-1 | 929.009   | 968.391   | 121.922 |    |
|     | A2-2 | 925.739   | 973.925   | 121.488 |    |

금회 측정치는 전차에 실시하지 않아 비교값이 없는 상태이므로, 이번 결과를 초기치로 활용하여 향후 기초침하 및 변화 유무에 대한 지속적인 관리가 필요할 것으로 판단된다.

## 3.3.3 교량받침

백운1교(춘천)의 스페리컬받침 및 콘크리트받침으로 구성되어있으며, “2009년도 내진성능 향상 대상교량 세부조사 및 보강설계(2공구)에 따라 교대(A1, A2)에 대하여 내진보강(전단키 설치)을 실시한 것으로 확인되었다. 점검은 도보로 근접하여 조사를 실시하였으며, 받침배치 현황은 다음과 같다.



【사진 3.50】 백운1교(춘천) 교량받침 전경

## 가. 받침장치 외관상태 조사결과

## 1) 외관조사 결과

받침장치에 대한 현장조사 결과, 받침본체의 부식, 볼트부식, 상부플레이트변형이 조사되었으며, 받침콘크리트의 균열, 망상균열, 탈락, 파손, 이물질 노출, 재료분리 등의 손상이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.56】과 같다.

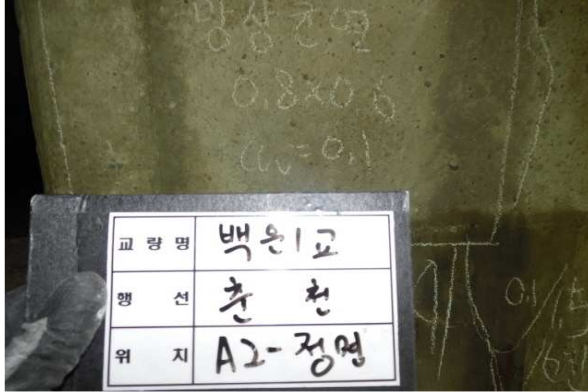
【표 3.56】 백운1교(춘천) 받침장치의 손상현황

| 구분 | 받침 본체                      |                              |                          | 받침 콘크리트                              |                              |                                    |                            |                                   |                              |
|----|----------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
|    | 부식<br>(m <sup>2</sup> /개소) | 볼트부식<br>(m <sup>2</sup> /개소) | 상부<br>플레이트<br>변형<br>(개소) | 균열<br>(cw=0.2<br>mm<br>이하)<br>(m/개소) | 망상균열<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 콘크리트<br>탈락<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 파손<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 이물질<br>노출<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 재료분리<br>(m <sup>2</sup> /EA) |
| A1 | 0.43/1                     | 0.08/8                       | 1                        | 0.50/1                               | -                            | 0.0018/2                           | -                          | 0.10/10                           | 2.04/3                       |
| P1 | -                          | -                            | -                        | -                                    | -                            | -                                  | -                          | -                                 | -                            |
| P2 | 6.00/3                     | 0.15/15                      | -                        | 2.20/2                               | -                            | -                                  | 0.02/2                     | 0.06/6                            | -                            |
| A2 | 2.17/5                     | 0.16/4                       | -                        | 2.60/6                               | 0.48/1                       | -                                  | -                          | -                                 | 1.00/1                       |
| 합계 | 8.60/9                     | 0.37/27                      | 1                        | 5.30/9                               | 0.48/1                       | 0.0018/1                           | 0.02/2                     | 0.16/6                            | 3.04/4                       |

## 2) 손상별 현황

|                                                                                     |                                    |                                                                                      |                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
|  |                                    |  |                                      |
| 현 황                                                                                 | • A2 SH1 부식(A=0.50m <sup>2</sup> ) | 현 황                                                                                  | • A1 SH1 볼트부식(A=0.04m <sup>2</sup> ) |
| 원 인                                                                                 | • 외측부 우수접속                         | 원 인                                                                                  | • 외측부 우수접속                           |
| 대 책                                                                                 | • 재도장                              | 대 책                                                                                  | • 재도장                                |

【사진 3.51】 백운1교(춘천) 받침장치 손상발생 현황

|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |
| <b>현 황</b> • A1 SH2 상부플레이트변형(1EA)                                                   | <b>현 황</b> • P2 받침콘크리트 균열 (cw=0.1mm, L=0.60m)                                        |
| <b>원 인</b> • 시공미흡                                                                   | <b>원 인</b> • 건조수축                                                                    |
| <b>대 책</b> • 유지관리                                                                   | <b>대 책</b> • 유지관리                                                                    |
|   |   |
| <b>현 황</b> • A2 SH2 망상균열(A=0.48m <sup>2</sup> )                                     | <b>현 황</b> • P1 콘크리트 탈락(A=0.0009m <sup>2</sup> )                                     |
| <b>원 인</b> • 건조수축                                                                   | <b>원 인</b> • 시공미흡                                                                    |
| <b>대 책</b> • 유지관리                                                                   | <b>대 책</b> • 유지관리                                                                    |
|  |  |
| <b>현 황</b> • P2 받침콘크리트 파손(A=0.01m <sup>2</sup> )                                    | <b>현 황</b> • A2 SH1 볼트부식(A=0.16m <sup>2</sup> )                                      |
| <b>원 인</b> • 시공미흡 및 외부충격                                                            | <b>원 인</b> • 외측부 우수접속                                                                |
| <b>대 책</b> • 유지관리                                                                   | <b>대 책</b> • 재도장                                                                     |

【사진 3.51】 백운1교(춘천) 받침장치 손상발생 현황(계속)



## 3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

## ① 받침장치 부식 및 볼트부식

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

## ② 상부플레이트 변형 및 콘크리트 탈락

받침거치시 시공미흡에 의한 외부 충격에 의한 손상으로 판단되며, 받침의 거동에는 문제가 없는 상태이므로, 별도의 보수보다는 현 상태에서의 유지관리가 바람직 할 것으로 판단된다.

## ③ 균열 및 망상균열

받침콘크리트 균열 및 망상균열은 시공초기 건조수축에 의해 발생한  $cw=0.2\text{mm}$ 이하의 비구조적 균열로 구조물의 안전성 미치는 영향은 없으므로, 현 상태에서의 주의관찰을 통한 유지관리가 적절할 것으로 판단된다.

## ④ 파손

시공 중 거푸집 제거 시 시공미흡에 의한 파손 또는 공용 중 외부충격 등에 의한 손상으로 판단되며, 손상규모가 미소한 정도로 별도의 보수보다는 현상태에서의 유지관리가 적절할 것으로 판단된다.

## ⑤ 재료분리

시공 시 다짐불량 등의 시공미흡으로 발생한 손상으로 손상의 정도가 경미한 수준으로 별도의 보수보다는 현 상태에서의 유지관리가 적절할 것으로 판단된다.

## ⑥ 이물질 노출

시공 시 이물질 삽입에 의해서 발생한 손상으로 내구성 확보차원의 단면보수(방청)을 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

## 4) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 상부플레이트 변형은 손상의 변화가 없는 동일 손상으로 분석되었으며, 받침부식, 볼트부식은 공용 중 발생한 추가 손상으로 손상물량의 증가가 있는 것으로 분석되었으며, 받침콘크리트의 탈락은 상세조사에 의한 물량 수정으로 손상물량의 감소가 있는 것으로 조사되었으며, 균열, 망상균열, 파손, 이물질 노출, 재료분리 등의 손상은 상세조사에 의한 추가 손상으로 손상물량의 증가가 있는 것으로 분석되었다.

【표 3.57】 백운1교(춘천) 받침장치의 기 진단과의 비교, 검토

| 손상내용       | 단위             | 손상현황   |        | 물량 비교<br>(+:증가, -:감소) |        | 검토결과            |
|------------|----------------|--------|--------|-----------------------|--------|-----------------|
|            |                | 2013년  | 2016년  |                       |        |                 |
| 받침 부식      | m <sup>2</sup> | 1.85   | 8.60   | +                     | 6.75   | • 공용 중 발생한 신규손상 |
| 볼트 부식      | m <sup>2</sup> | 0.015  | 0.37   | +                     | 0.355  | • 공용 중 발생한 신규손상 |
| 상부 플레이트 변형 | 개소             | 1      | 1      |                       | -      | • 손상변화 없음(동일손상) |
| 받침콘크리트 균열  | m              | -      | 5.30   | +                     | 5.30   | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 망상균열       | m <sup>2</sup> | -      | 0.48   | +                     | 0.48   | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 탈락         | m <sup>2</sup> | 0.0059 | 0.0018 | -                     | 0.0041 | • 상세조사에 의한 물량수정 |
| 파손         | m <sup>2</sup> | -      | 0.02   | +                     | 0.02   | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 이물질 노출     | m <sup>2</sup> | -      | 0.16   | +                     | 0.16   | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 재료분리       | m <sup>2</sup> | -      | 3.04   | +                     | 3.04   | • 상세조사에 의한 추가손상 |

#### 나. 받침장치 연단거리 검토결과

교좌면은 받침을 통해서 상부구조로부터 하중을 받는 곳이고 또한 지진시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 따라서 받침 끝에서 정부 연단까지의 거리가 작으면 고정단에서는 전단면에 연해서 콘크리트 구체 또는 받침이 파손될 수 있고, 가동단에서는 최악의 경우 받침이 벗어나 거더가 낙하할 수도 있다. 따라서 도로교 설계기준에서 정한 연단거리의 최솟값과 각 지점별 실측 연단거리를 비교·검토하였다.

##### 1) 최소 연단거리 산정결과

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

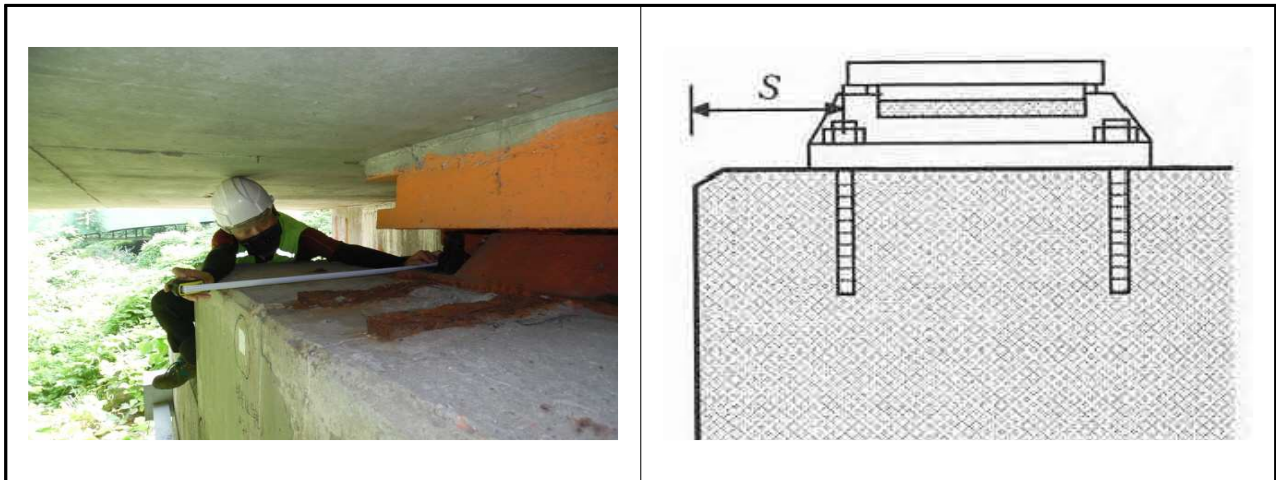
여기서, S : 받침연단거리(mm), L : 거더의 경간길이(m)

【표 3.58】 백운1교(춘천) 최소 연단거리 산정결과

| 구분         | A1   | P1   |      | P2   |      | A2   |
|------------|------|------|------|------|------|------|
|            |      | A1   | A2   | A1   | A2   |      |
| 경간길이(m)    | 35.7 | 35.7 | 80.0 | 80.0 | 35.7 | 35.7 |
| 최소연단거리(mm) | 379  | 379  | 600  | 600  | 379  | 379  |

주) 최소연단거리(mm)의 계산값은 소수 첫째 자리에서 반올림하여 수록함.

## ② 연단거리-콘크리트면의 가장자리로부터 가장 가까운 앵커중심까지의 거리



【그림 3.18】 백운1교(춘천) 연단거리 측정 개요도

## 2) 연단거리 검토결과

실측 연단거리와 최소 연단거리를 비교·검토한 결과, 전 개소에서 실측 연단거리가 최소 연단거리를 상회하는 것으로 평가되었다.

【표 3.59】 백운1교(춘천) 연단거리 측정결과

| 위치 |    | 최소 연단거리<br>(mm) | 실측 연단거리(mm) |      | 검토<br>결과 |
|----|----|-----------------|-------------|------|----------|
|    |    |                 | Sh1         | Sh2  |          |
| A1 |    | 379             | 610         | 555  | O.K      |
| P1 | A1 | 379             | 2130        | 2195 | O.K      |
|    | A2 | 600             | 2150        | 2110 | O.K      |
| P2 | A1 | 600             | 1420        | 1445 | O.K      |
|    | A2 | 379             | 1480        | 1415 | O.K      |
| A2 |    | 379             | 555         | 550  | O.K      |

## 다. 교량받침 가동량 검토결과

본 교량의 받침형식은 스페리컬받침으로 1차, 2차에 걸쳐 받침장치 가동량을 검토함으로써 온도변화에 따른 받침 신축거동상태 및 가동여유량을 평가하여 교량받침의 기능저하를 방지하고자 한다. 받침 가동여유량 평가기준은 【표 3.60】과 같다.

【표 3.60】 백운1교(춘천) 교량받침 가동량 평가기준

평가  
기준

■ 온도에 의한 가동량

$$\Delta l_t = \Delta T \times \alpha \times L \text{ (신축거더 길이)}$$
$$\Delta T = \text{온도변화} (-15^{\circ}\text{C} \sim +35^{\circ}\text{C}) \rightarrow \text{콘크리트교(한랭지방)}$$
$$\alpha = \text{선팽창계수} (1.0 \times 10^{-5}) \rightarrow \text{콘크리트교}$$

평가  
기준

※ 한랭지방 적용근거

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

■ 활하중에 의한 보의 처짐에 의한 가동량

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

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

$\theta_i$  : 보의 회전각(콘크리트교 1/300)

■ 계산 가동량 산정

| 온도변화 범위                           | -15℃ ~ +35℃                                           | 선팽창 계수(α) | 콘크리트: 1.0×10 <sup>-5</sup> |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------|----------------------------|
| 점검시 기온(℃)                         | 1차 (08.08)                                            | 29.5℃     |                            |
|                                   | 2차 (09.29)                                            | 19.4℃     |                            |
| 온도에 의한 가동량(Δl <sub>t</sub> )      | Δl <sub>t</sub> = ΔT×α×L                              |           |                            |
| 보의 중립축까지 높이 2h/3(h <sub>i</sub> ) | $\frac{2}{3} \times 2.575$                            |           |                            |
| 보의 회전각(θ <sub>i</sub> )           | 1/300(콘크리트교)                                          |           |                            |
| 보의 처짐에 의한 가동량(Δl <sub>r</sub> )   | Δl <sub>r</sub> = ∑(h <sub>i</sub> × θ <sub>i</sub> ) |           |                            |

| 신축거더길이(L) | A1   | A2   |
|-----------|------|------|
| (m)       | 35.6 | 35.6 |

※ 처짐에 의한 신축량은 팽창시만 고려하여 계산



## 1) 온도변화에 따른 받침 신축거동상태 검토결과

교량받침의 이동량은 2회(1차 : 29.5℃(08월08일), 2차 : 19.4℃(09월29일))에 걸쳐 측정하였으며, 변동량 측정결과는 【표 3.61】와 같으며 본 교량받침의 온도변화에 따른 신축거동상태는 양호한 것으로 판단된다.

【표 3.61】 백운1교(춘천) 계산가동량 산정결과

| 구 분 |     | 실측 이동량(mm) |         | 변동량(mm) |     | 비고 |
|-----|-----|------------|---------|---------|-----|----|
|     |     | 1차         | 2차      | 실측치     | 이론치 |    |
| A1  | Sh1 | 22 (A1)    | 15 (A1) | 7       | 3.6 |    |
|     | Sh2 | 73 (A1)    | 65 (A1) | 8       |     |    |
| A2  | Sh1 | 19 (A2)    | 15 (A2) | 4       | 3.6 |    |
|     | Sh2 | 28(A2)     | 22 (A2) | 6       |     |    |

## 2) 계산가동량 산정결과

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

【표 3.62】 백운1교(춘천) 계산가동량 산정결과

| 구 분 | 위 치 | 측정시 온도(℃) | 온도변화(ΔIt) |        | 선팅창 계수               | 신축거더 길이(m) | 처짐(Δlr)(mm) | 계산 가동량(mm) |            |
|-----|-----|-----------|-----------|--------|----------------------|------------|-------------|------------|------------|
|     |     |           | 동절기(℃)    | 하절기(℃) |                      |            |             | 동절기(최대수축시) | 하절기(최대팽창시) |
| A1  | 1차  | 29.5      | 44.5      | 5.5    | $1.0 \times 10^{-5}$ | 35.7       | 5.7         | 15.9       | 7.7        |
|     | 2차  | 19.4      | 34.4      | 15.6   | $1.0 \times 10^{-5}$ | 35.7       | 5.7         | 12.3       | 11.3       |
| A2  | 1차  | 29.5      | 44.5      | 5.5    | $1.0 \times 10^{-5}$ | 35.7       | 5.7         | 15.9       | 7.7        |
|     | 2차  | 19.4      | 34.4      | 15.6   | $1.0 \times 10^{-5}$ | 35.7       | 5.7         | 12.3       | 11.3       |

주) 처짐에 의한 신축량은 교대(A1, A2) 단부에서 팽창시에만 고려

## 3) 교량받침 가동여유량 검토결과

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

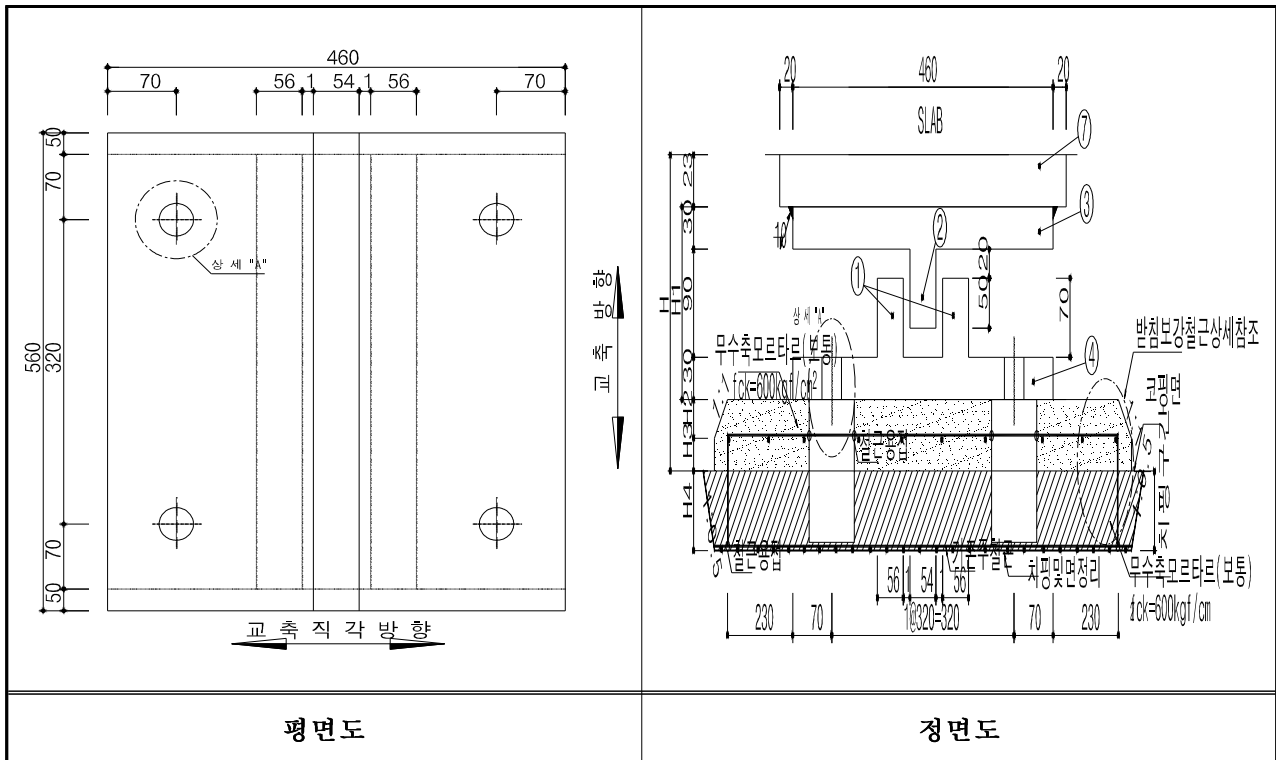
【표 3.63】 백운1교(춘천) 교량받침 가동여유량 검토결과

| 구 분 |     | 최대 수축시 가동량 검토(mm) |      |     |              |      |     | 최대 팽창시 가동량 검토(mm) |     |     |              |      |     |
|-----|-----|-------------------|------|-----|--------------|------|-----|-------------------|-----|-----|--------------|------|-----|
|     |     | 1차 측정(08.08)      |      |     | 2차 측정(09.29) |      |     | 1차 측정(08.08)      |     |     | 2차 측정(09.28) |      |     |
|     |     | ①                 | ②    | 평가  | ①            | ②    | 평가  | ①                 | ②   | 평가  | ①            | ②    | 평가  |
| A1  | Sh1 | 72                | 15.9 | O.K | 65           | 12.3 | O.K | 23                | 7.7 | O.K | 30           | 11.3 | O.K |
|     | Sh2 | 105               |      | O.K | 97           |      | O.K | 27                |     | O.K | 65           |      | O.K |
| A2  | Sh1 | 39                | 15.9 | O.K | 35           | 12.3 | O.K | 64                | 7.7 | O.K | 68           | 11.3 | O.K |
|     | Sh2 | 43                |      | O.K | 37           |      | O.K | 68                |     | O.K | 74           |      | O.K |

① : 실측여유량, ② : 계산가동량

## 라. 전단키 외관조사 결과

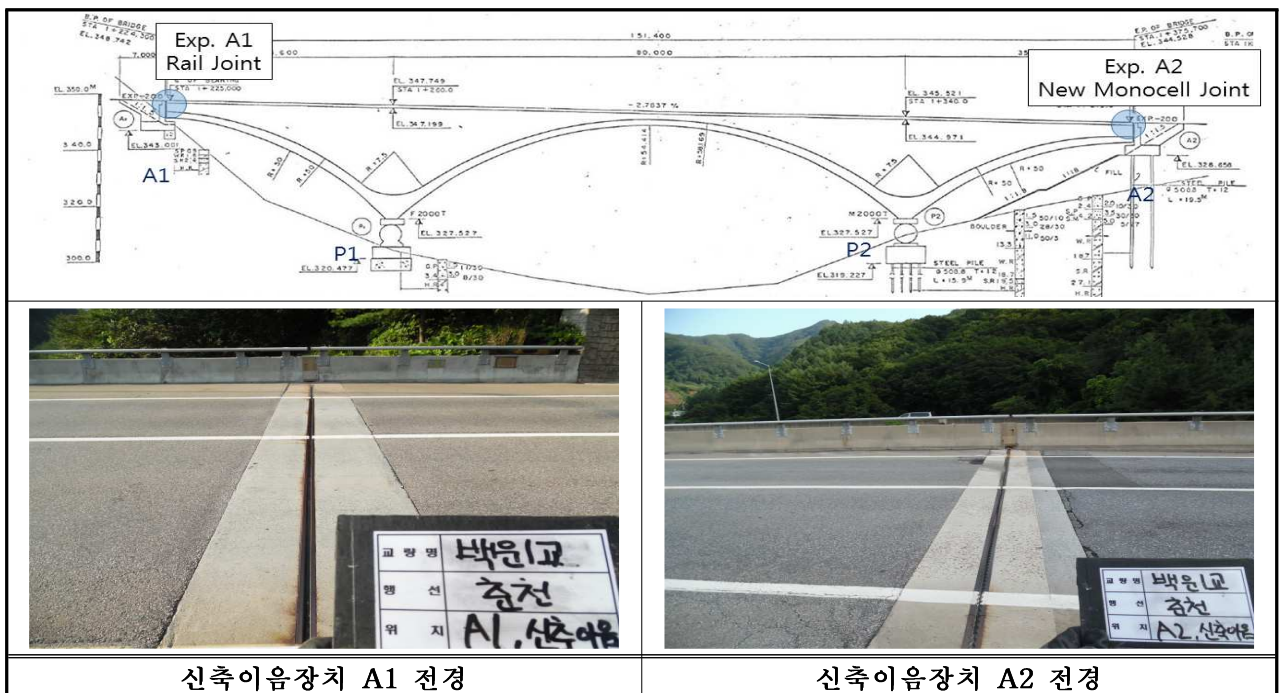
교대 A1, A2 코핑 상면 중앙부에 설치된 전단키에 대한 외관조사 결과, 별도의 손상은 없는 것으로 조사되었으며, 제원은 설계도면과 일치하며, 유격거리는 확보하고 있는 것으로 검토되어 내진보강되어 설치된 전단키의 기능성은 확보된 것으로 판단된다.



|               |                                                                |
|---------------|----------------------------------------------------------------|
|               |                                                                |
| 전단키 전경 A1(양호) | 상부 전단키 두께 : 54.4mm ≒ 설계치 : 54mm<br>하부 유간 : 55.8mm ≒ 설계치 : 56mm |
|               |                                                                |
| 전단키 전경 A2(양호) | 상부 전단키 두께 : 54.2mm ≒ 설계치 : 54mm<br>하부 유간 : 56.4mm ≒ 설계치 : 56mm |

### 3.3.4 신축이음장치

신축이음은 A1 지점의 Rai. Joint, A2 지점부에 New Monocell Joint 형식으로 2개소 설치되어 있으며, 신축이음 배치 현황은 다음과 같다.



【그림 3.19】 백운1교(춘천) 신축이음장치 배치도

## 가. 신축이음장치 외관상태 조사결과

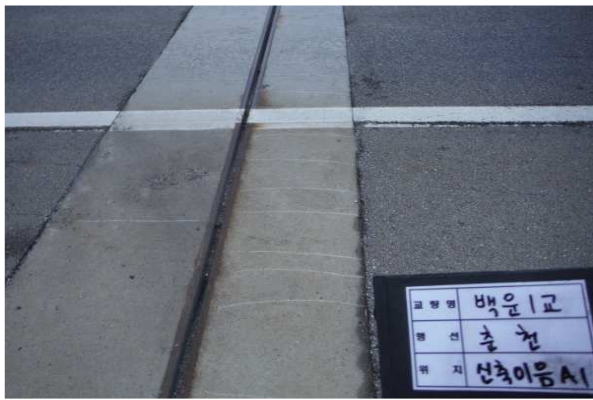
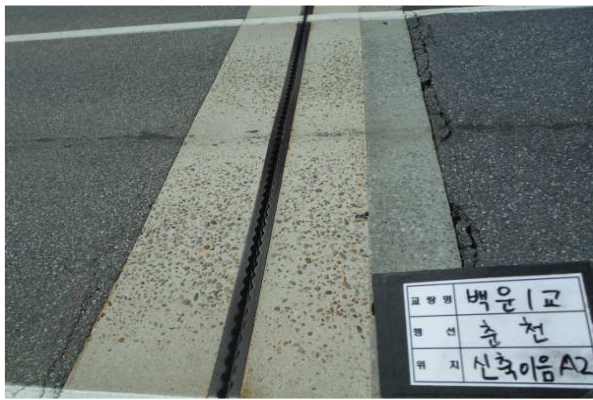
## 1) 현장조사 결과

신축이음 현장조사 결과, 본체 부식, 토사퇴적, 후타재 균열(0.2mm이하), 후타재 마모, 단차, 후타재 박리의 결함이 조사되었으며, 손상 현황은 【표 3.64】와 같다.

【표 3.64】 백운1교(춘천) 신축이음장치 손상 발생 현황

| 구분 | 후타재 균열<br>(m/EA) | 후타재 마모<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 본체 부식<br>(m/EA) | 토사퇴적<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 단차<br>(m/EA) | 후타재 박리<br>(m <sup>2</sup> /EA) |
|----|------------------|--------------------------------|-----------------|------------------------------|--------------|--------------------------------|
| A1 | 36.45/57         | 1.41/2                         | 2.00/1          | 12.00/3                      | 3.00/1       | -                              |
| A2 | 3.85/20          | 2.11/2                         | 3.00/2          | 4.00/2                       | -            | 0.02/1                         |
| 합계 | 40.3/77          | 3.52/4                         | 5.00/3          | 16.00/5                      | 3.00/1       | 0.02/1                         |

## 2) 손상별 현황

|                                                                                     |                               |                                                                                      |                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
|   |                               |   |                                    |
| 현 황                                                                                 | • A1 후타재 균열(cw=0.2mm, L=0.6m) | 현 황                                                                                  | • A2 후타재 마모(A=1.24m <sup>2</sup> ) |
| 원 인                                                                                 | • 건조수축 및 차량반복 하중              | 원 인                                                                                  | • 차량반복 하중                          |
| 대 책                                                                                 | • 유지관리                        | 대 책                                                                                  | • 유지관리                             |
|  |                               |  |                                    |
| 현 황                                                                                 | • A1 본체 부식(L=2.00m)           | 현 황                                                                                  | • A1 토사퇴적(L=2.00m)                 |
| 원 인                                                                                 | • 우수접촉                        | 원 인                                                                                  | • 공용 중 우수                          |
| 대 책                                                                                 | • 유지관리                        | 대 책                                                                                  | • 청소                               |

【사진 3.52】 백운1교(춘천) 신축이음장치 손상 현황



|                                                                                   |                 |                                                                                    |                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
|  |                 |  |                               |
| 현 황                                                                               | • A1 단차(L=3.0m) | 현 황                                                                                | • A2 후타재 균열(cw=0.1mm, L=0.5m) |
| 원 인                                                                               | • 시공미흡 및 중차량 통과 | 원 인                                                                                | • 건조수축 및 차량반복 하중              |
| 대 책                                                                               | • 유지관리          | 대 책                                                                                | • 유지관리                        |

【사진 3.52】 백운1교(춘천) 신축이음장치 손상 현황(계속)

## 3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

## ① 후타재 균열

후타재 균열은 공 용중 차량반복 하중에 의해 발생된 결함으로  $cw=0.2mm$  이하로 주의관찰에 의한 유지관리가 적절할 것으로 판단된다.

## ② 후타재 마모

시공초기 시공미흡 및 중차량 반복 통행에 의해 발생된 손상으로 판단되며, 현 단계에서의 별도의 보수보다는 주의관찰을 통한 유지관리가 적절할 것으로 판단된다.

## ③ 본체부식

신축이음 본체부식은 공용기간 중 우수접촉 및 체수에 의해 발생된 손상으로 부식에 의한 기능저하 영향은 없기에 보수보다는 현 상태에서 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

## ④ 토사퇴적

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

## ⑤ 단차

시공초기 시공미흡 또는 중차량 반복통과로 발생된 손상으로 판단되며, 단차 높이는 최대 7mm 정도로 차량통과시 안전에는 문제가 없는 수준이므로 현 상태로 주의관찰을 통한 유지관리가 적절할 것으로 판단된다.

## ⑥ 후타재 박리

후타재 박리는 A2측 접속슬래브와 접하는 후타재에서 발생한 손상으로 내구성 확보 및 우수 유입 방지를 위한 단면보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

## 4) 과업기간 중 백운1교(춘천) 신축이음장치 보수현황

## ① 보수현황 확인결과

유지관리기관인 한국도로공사 제천지사에서 2016년 12월에 관내 보수공사를 시행하면서 백운1교(춘천) 신축이음장치 A1, A2 후타재 균열, 유도배수시설 설치하는 보수를 시행하였으며, 이에 보수된 손상을 제외한 최종적인 손상현황은 다음과 같다.

【표 3.65】 백운1교(춘천) 신축이음장치 보수후 손상현황

| 구분 | 후타재균열<br>(m/EA) | 후타재 마모<br>(㎡/EA) | 본체 부식<br>(m/EA) | 토사퇴적<br>(㎡/EA) | 단차<br>(m/EA) | 후타재 박리<br>(㎡/EA) |
|----|-----------------|------------------|-----------------|----------------|--------------|------------------|
| A1 | -               | 1.41/2           | 2.00/1          | 12.00/3        | 3.00/1       | -                |
| A2 | -               | 2.11/2           | 3.00/2          | 4.00/2         | -            | 0.02/1           |
| 합계 | -               | 3.52/4           | 5.00/3          | 16.00/5        | 3.00/1       | 0.02/1           |

## ② 보수 손상별 현황

|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |
| 교대 A1 신축이음장치 후타재균열 보수전 전경                                                           | 교대 A1 신축이음장치 후타재균열 보수후 전경                                                            |
|  |  |
| 교대 A2 신축이음장치 후타재균열 보수전 전경                                                           | 교대 A2 신축이음장치 후타재균열 보수후 전경                                                            |

【사진 3.53】 백운1교(춘천) 교대 신축이음장치 후타재균열 보수 현황

신축이음부에 누수로 인하여 교대 홍벽부 백태 및 누수흔적 조사되어 이를 보수하고자 현재 유도배수시설을 설치하였다.

【표 3.66】 신축이음장치 유도배수시설 보수개요도

|                    |                                                                                                                                                                                                |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                    | <p><b>공<br/>법<br/>개<br/>요</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 신축이음 하부에 탈·부착식의 투명한 PVC비닐을 설치하여 침투수를 차단하는 방식임.</li> <li>• 공사비 저렴함.</li> <li>• 이물질 퇴적 여부 확인 가능함.(유지관리 용이)</li> </ul> |
| <p>투명 배수시설 개요도</p> |                                                                                                                                                                                                |

|                                  |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|
|                                  |                                  |
| <p>교대 A1 신축이음 유도배수시설 설치 전 전경</p> | <p>교대 A1 신축이음 유도배수시설 설치 후 전경</p> |

|                                  |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|
|                                  |                                  |
| <p>교대 A2 신축이음 유도배수시설 설치 전 전경</p> | <p>교대 A2 신축이음 유도배수시설 설치 후 전경</p> |

【사진 3.54】 백운1교(춘천) 교대 신축이음 유도배수시설 보수 현황



## 5) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 본체 단차, 후타재 마모 및 박리는 손상변화가 없는 동일 손상으로 분석되었으며, 강재부식, 토사퇴적은 공용 중 발생한 신규손상에 의해 손상물량의 증가가 있는 것으로 분석되었으며, 균열은 보수로 인하여 물량이 감소된 것으로 분석되었다.

【표 3.67】 백운1교(춘천) 신축이음장치의 기 진단과의 비교, 검토

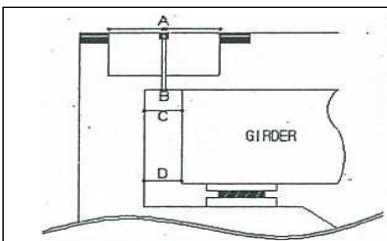
| 손상내용 |             | 단위             | 손상현황  |       | 물량 비교<br>(+:증가, -:감소) |       | 검토결과            |
|------|-------------|----------------|-------|-------|-----------------------|-------|-----------------|
|      |             |                | 2013년 | 2016년 |                       |       |                 |
| 후타재  | 균열(0.2mm이하) | m              | 7.35  | -     | -                     | 7.35  | • 보수로 인한 손상감소   |
|      | 마모          | m <sup>2</sup> | 3.52  | 3.52  | -                     | -     | • 손상변화 없음(동일손상) |
|      | 박리          | m <sup>2</sup> | 0.02  | 0.02  | -                     | -     | • 손상변화 없음(동일손상) |
| 신축이음 | 강재부식        | m              | 4.00  | 5.00  | +                     | 1.00  | • 공용중 발생한 신규손상  |
|      | 토사퇴적        | m <sup>2</sup> | 2.00  | 16.00 | +                     | 14.00 | • 공용중 발생한 신규손상  |
|      | 단차          | m              | 3.00  | 3.00  | -                     | -     | • 손상변화 없음(동일손상) |

주) 기 진단과의 비교, 검토는 보수가 시행된 손상현황을 적용하였음.

## 나. 신축이음장치 거동상태 검토결과

## 1) 계산 신축량 산정방법

【표 3.68】 백운1교(춘천) 계산 신축량 산정

|                                                                                     |    |    |               |       |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|----|---------------|-------|-------|
|  | A1 | 1차 | 2016년 08월 08일 | 29.5℃ | 원주기상대 |
|                                                                                     |    | 2차 | 2016년 09월 29일 | 19.4℃ |       |
|                                                                                     | A2 | 1차 | 2016년 08월 08일 | 29.5℃ |       |
|                                                                                     |    | 2차 | 2016년 09월 29일 | 19.4℃ |       |

|                                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  |
| 신축이음 유간(A)                                                                          | 바닥판 유간(B)                                                                           | 거터상단 유간(C)                                                                           | 거터하단 유간(D)                                                                            |



【표 3.68】 백운1교(춘천) 계산 신축량 산정(계속)

평가  
기준

■ 온도에 의한 신축량

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

$\Delta T$  = 온도변화(-15℃ ~ +35℃) → 콘크리트교 : 한랭지방

$\alpha$  = 선팽창계수( $1.0 \times 10^{-5}$ ) → 콘크리트교

※ 한랭지방 적용근거

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

■ 계산 신축량 산정

|                            |                                                |                    |                      |
|----------------------------|------------------------------------------------|--------------------|----------------------|
| 온도변화 범위                    | -15℃ ~ +35℃                                    | 선팽창 계수( $\alpha$ ) | $1.0 \times 10^{-5}$ |
| 점검시 기온(℃)                  | 1차 (08.08)                                     | 29.5℃              |                      |
|                            | 2차 (09.29)                                     | 19.4℃              |                      |
| 온도에 의한 신축량( $\Delta l_t$ ) | $\Delta l_t = \Delta T \times \alpha \times L$ |                    |                      |
| 신축거더 길이<br>(L)             | A1                                             | A2                 |                      |
|                            | 35.7m                                          | 35.7m              |                      |

※ 공용기간이 21년이상인 교량이므로 건조수축 및 크리프의 영향은 고려하지 않음

## 2) 계산 신축량 산정결과

【표 3.69】 백운1교(춘천) 계산 신축량 산정결과

| 위치 |    | 측정시<br>온도<br>(℃) | 온도변화(ΔT)   |            | 선팽창<br>계수            | 신축거더<br>길이<br>(m) | 최대 신축량(mm)     |                |
|----|----|------------------|------------|------------|----------------------|-------------------|----------------|----------------|
|    |    |                  | 동절기<br>(℃) | 하절기<br>(℃) |                      |                   | 동절기<br>(최대수축시) | 하절기<br>(최대팽창시) |
| A1 | 1차 | 29.5             | 44.5       | 5.5        | 1.0×10 <sup>-5</sup> | 35.7              | 16             | 2              |
|    | 2차 | 19.4             | 34.4       | 15.6       | 1.0×10 <sup>-5</sup> | 35.7              | 12             | 6              |
| A2 | 1차 | 29.5             | 44.5       | 5.5        | 1.0×10 <sup>-5</sup> | 35.7              | 16             | 2              |
|    | 2차 | 19.4             | 34.4       | 15.6       | 1.0×10 <sup>-5</sup> | 35.7              | 12             | 6              |

## 3) 신축이음 유간거리 측정결과

신축이음 유간거리에 대한 실측값은 【표 3.70】과 같으며, 1차, 2차의 실측 변동량을 이론치와 비교검토한 결과, 온도변화에 따른 신축거동은 원활한 것으로 판단된다.

【표 3.70】 백운1교(춘천) 신축이음 유간거리 측정결과(단위 : mm)

| 구 분 |        | 실측 이동량(mm) |     | 변동량(mm) |     | 비 고 |
|-----|--------|------------|-----|---------|-----|-----|
|     |        | 1차         | 2차  | 실측치     | 이론치 |     |
| A1  | 신축이음장치 | 27         | 33  | 6       | 4   |     |
|     | 바닥판    | 75         | 80  | 5       |     |     |
|     | 거더 상단  | 94         | 100 | 6       |     |     |
|     | 거더 하단  | 147        | 151 | 4       |     |     |
| A2  | 신축이음장치 | 26         | 31  | 5       | 4   |     |
|     | 바닥판    | 63         | 70  | 7       |     |     |
|     | 거더 상단  | 64         | 70  | 6       |     |     |
|     | 거더 하단  | 92         | 98  | 6       |     |     |

## 4) 신축이음 가동여유량 검토결과

신축이음 가동여유량 검토결과는 【표 3.71】와 같으며, A1, A2 신축이음장치 모두에서 계산 신축량을 만족하는 것으로 평가되었다.

【표 3.71】 백운1교(춘천) 신축이음 유간거리 검토결과

| 부 재        |    |   | 측정유간<br>(mm) | 계산 신축량(mm) |    | 허용신축량<br>(mm) | 신축 여유량(mm) |     | 평가 |
|------------|----|---|--------------|------------|----|---------------|------------|-----|----|
|            |    |   |              | 수축         | 팽창 |               | 수축         | 팽창  |    |
| Exp.J1(A1) | 1차 | A | 27           | 16         | 2  | 80<br>(±40)   | 37         | 21  | 양호 |
|            |    | B | 75           |            |    |               |            | 69  |    |
|            |    | C | 94           |            |    |               |            | 88  |    |
|            |    | D | 147          |            |    |               |            | 141 |    |
|            | 2차 | A | 33           | 12         | 6  |               | 35         | 20  |    |
|            |    | B | 80           |            |    |               |            | 67  |    |
|            |    | C | 100          |            |    |               |            | 87  |    |
|            |    | D | 151          |            |    |               |            | 138 |    |
| Exp.J2(A2) | 1차 | A | 26           | 16         | 2  | 80<br>(±40)   | 38         | 20  | 양호 |
|            |    | B | 63           |            |    |               |            | 57  |    |
|            |    | C | 64           |            |    |               |            | 58  |    |
|            |    | D | 92           |            |    |               |            | 86  |    |
|            | 2차 | A | 31           | 12         | 6  |               | 37         | 18  |    |
|            |    | B | 70           |            |    |               |            | 57  |    |
|            |    | C | 70           |            |    |               |            | 57  |    |
|            |    | D | 98           |            |    |               |            | 85  |    |

※ 신축여유량(팽창)=측정유간-계산신축량(팽창), 신축여유량(수축)=허용신장량-측정유간-계산신축량(수축)

※ 신축여유량 > 0인 경우 양호

※ A : 신축이음장치, B : 바닥판, C : 거더상단, D : 거더하단

### 3.3.5 교면포장

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



교면포장 전경

【사진 3.55】 백운1교(춘천) 교면포장 전경

#### 1) 외관조사 결과

교면포장 현장조사 결과, 포장균열, 망상균열, 시공이음부 균열, 소성변형(들뜸), 포장마모, 포트홀 결함이 조사되었으며, 2016년10월17일~21일 간 1, 2차로 길어깨 측 폭 3.00m 구간에 재포장 보수를 실시하였으며, 손상 현황은 【표 3.72】와 같다.

【표 3.72】 백운1교(춘천) 교면포장 손상 발생 현황

| 구분 | 포장균열<br>(m/개소) | 망상균열<br>(m <sup>2</sup> /개소) | 시공이음부 균열<br>(m/개소) | 포장마모<br>(m <sup>2</sup> /개소) | 포트홀<br>(m <sup>2</sup> /개소) |
|----|----------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|-----------------------------|
| S1 | 19.00/12       | 15.40/3                      | 59.60/3            | 0.25/1                       | 0.10/2                      |
| S2 | 4.50/3         | -                            | 80.00/1            | 9.00/1                       | -                           |
| S3 | -              | -                            | 35.00/1            | -                            | -                           |
| 합계 | 23.50/15       | 15.40/3                      | 174.60/5           | 9.25/2                       | 0.10/2                      |

## 2) 손상별 현황

|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |
| <b>현 황</b> • S1 포장 균열(L=0.5m)                                                       | <b>현 황</b> • S1 포장 망상균열(A=35.0m <sup>2</sup> )                                       |
| <b>원 인</b> • 차륜하중 및 중차량 통과                                                          | <b>원 인</b> • 차륜하중 및 중차량 통과                                                           |
| <b>대 책</b> • 실링보수                                                                   | <b>대 책</b> • 소파보수(절삭후 오버레이)                                                          |
|   |   |
| <b>현 황</b> • S1 시공이음부 균열(L=35.60m)                                                  | <b>현 황</b> • S1 소성변형(들뜸)(A=0.90m <sup>2</sup> )                                      |
| <b>원 인</b> • 차륜하중 및 중차량 통과                                                          | <b>원 인</b> • 공용기간 장기화에 의한 열화                                                         |
| <b>대 책</b> • 실링보수                                                                   | <b>대 책</b> • 소파보수(절삭 후 오버레이)(보수완료)                                                   |
|  |  |
| <b>현 황</b> • S2 포장마모(A=9.00m <sup>2</sup> )                                         | <b>현 황</b> • S1 포트홀(A=0.01m <sup>2</sup> )                                           |
| <b>원 인</b> • 공용기간 장기화에 의한 열화                                                        | <b>원 인</b> • 공용기간 장기화에 의한 열화                                                         |
| <b>대 책</b> • 소파보수(절삭 후 오버레이)                                                        | <b>대 책</b> • 소파보수(절삭 후 오버레이)                                                         |

【사진 3.56】 백운1교(춘천) 교면포장 손상발생 현황



|                                                                                   |                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| 기존 아스팔트 포장                                                                        | 재포장 후 상태 양호(1, 2차로 길어깨 측)                                                          |

【사진 3.57】 백운1교(춘천) 재포장 공사 전·후 전경

## 3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

## ① 포장균열 및 망상균열

금회 조사된 포장부 균열 및 망상균열은 공용기간 장기화에 의해 차륜하중 및 중차량 반복 통과와 같은 원인에 의해 발생한 손상으로 판단된다. 주행차로의 단차, 요철, 파손과 같은 차량 주행 안전성에 문제가 될만한 손상은 아니나 1차적으로 균열부 실링보수를 통한 내구성 확보가 필요할 것으로 판단되며, 장기적으로 전면재포장 보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

## ② 시공이음 균열

공용 중인 고속도로 교량의 특성상 재포장 보수 시 교량 전체를 전면 통제 후 보수를 실시 할 수 없는 관계로 구간을 분할하여 보수를 실시하는 과정에서 시공이음부가 발생을 하게된다. 이에 공용기간이 장기화됨에 따라 시공이음부 열화에 의한 균열이 발생한 것으로 판단되며, 1차적으로 실링보수를 실시하여 내구성을 확보하고 장기적인 관점에서 재포장 보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

## ③ 소성변형(들뜸)

길어깨측 재포장 보수 전 조사된 손상으로 공용기간 증가에 따른 열화 손상으로 판단되며, 손상부위로의 우수 유입에 따른 바닥판 콘크리트의 열화를 의심해 볼 수 있는 상황으로 S3 포장부의 소성변형(들뜸), 망상균열 발생부위에 포장 코어를 채취하여 포장상태 및 바닥판 상면 상태를 확인하였으며, 비교·분석을 위하여 S2 포장상태 양호부위에 추가 코어채취를 실시하였다.

|                                                                                    |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |
| S3 코어채취(포장 손상부)                                                                    | 포장 일부 열화(t=50mm)                                                                    |
|  |  |
| S2 코어채취(포장 양호부)                                                                    | 포장 및 바닥판 상태 양호                                                                      |

【사진 3.58】 백운1교(춘천) 포장 코어채취 현황

포장부 코어채취 결과, S3 포장손상부는 바닥판 콘크리트 및 그와 맞닿은 아스콘포장부도 일부 열화된 것으로 조사되었으며, 바닥판은 일부 습윤상태인 것으로 나타났다. 비교·분석하기 위해 추가 코어 채취를 실시한 S2 포장 양호부는 S3 포장손상부와 비교하여 바닥판 콘크리트 및 포장 상태도 양호한 것으로 나타났다. 두 번의 포장 코어채취 결과로 보아 포장 손상부로 우수 유입 및 그에 따른 포장 열화 및 바닥판 콘크리트 열화가 발생하는 것을 확인 할 수 있었다. 본 교량은 겨울철 제설염화물이 다량 살포되는 적설한랭지역에 위치하고 있으며, 포장 손상부위로 제설제, 강우 및 강설 시 바닥판 상면의 경계면에서 장기체류하면서 동절기 동안 동결융해를 거쳐 바닥판 콘크리트의 열화손상을 유발시키고 있는 것으로 판단된다. 이는 단순히 포장 손상부위에 대한 지엽적인 소파보수 또는 실링보수 보다는 재포장 보수시 바닥판 상면의 열화부 제거 후 방수층 재설치를 통해서 포장 상면으로부터의 우수 및 제설염화물과 같은 원인인자의 유입을 차단하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

## ④ 포장마모

공용기간 장기화에 의해 발생한 손상으로 판단되며, 추가적인 손상의 진전을 막기 위하여 소파보수(절삭 후 오버레이)를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

## ⑤ 포트홀

공용기간 장기화에 의한 노후화 및 차량하중에 의해 발생한 손상으로 소파보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

## 4) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교·분석 결과, 접속포장 균열(탈락) 및 보수부 탈락은 기 진단과 동일하게 손상의 진전은 없는 것으로 분석되었다. 접속부 단차는 상세조사에 의한 추가 손상으로 손상물량이 추가되었으며, 포장균열, 망상균열, 시공이음 균열, 소성변형(들뜸), 포장마모, 포트홀 손상은 공용 중 발생한 추가손상에 의해 손상물량의 증가가 있는 것으로 분석되었다.

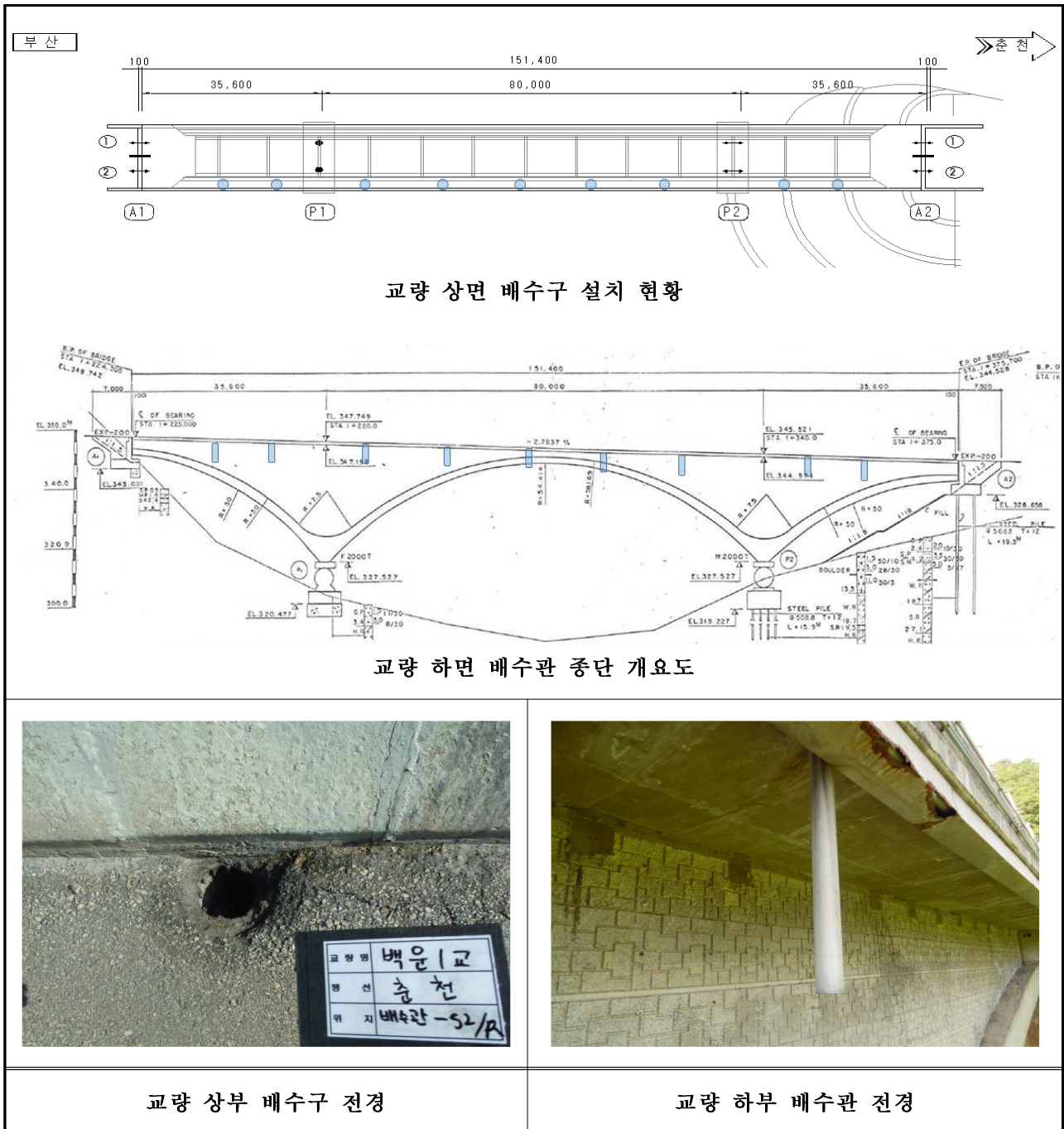
【표 3.73】 백운1교(춘천) 교면포장의 기 진단과의 비교, 검토

| 손상내용        | 단위             | 손상현황   |        | 물량 비교<br>(+:증가, -:감소) |       | 검토결과            |
|-------------|----------------|--------|--------|-----------------------|-------|-----------------|
|             |                | 2013년  | 2016년  |                       |       |                 |
| 포장균열        | m              | 7.00   | 23.50  | +                     | 16.50 | • 공용 중 발생한 추가손상 |
| 망상균열        | m <sup>2</sup> | 8.95   | 15.40  | +                     | 6.45  | • 공용 중 발생한 추가손상 |
| 접속포장 균열(탈락) | m <sup>2</sup> | 0.60   | -      | -                     | 0.60  | • 재포장보수         |
| 시공이음 균열     | m              | 266.80 | 174.60 | -                     | 92.20 | • 재포장보수         |
| 보수부 탈락      | m <sup>2</sup> | 0.05   | -      | -                     | 0.05  | • 재포장보수         |
| 소성변형(들뜸)    | m <sup>2</sup> | 41.10  | -      | -                     | 41.40 | • 재포장보수         |
| 포장마모        | m <sup>2</sup> | 9.50   | 9.25   | -                     | 0.25  | • 재포장보수         |
| 포트홀         | m <sup>2</sup> | -      | 0.10   | +                     | 0.10  | • 공용 중 발생한 추가손상 |

### 3.3.6 기타부재

#### 가. 배수시설

배수시설은 우천 시 포장부의 교면수를 배출하기 위한 시설로서, 백운1교(춘천)의 배수시설은 횡단경사가 2차로측으로 2%로 설계되어 교량 상부의 2차로측 우측 길어깨에 S1 2개소, S2 5개소, S3 2개소, 총 9개의 집수구가 설치되어있다.



【사진 3.59】 백운1교(춘천) 배수시설 설치 현황 및 전경



## 1) 외관조사 결과

배수시설 1차 외관조사 결과, 배수구 그레이팅 덮개 파손, 배수구 막힘, 배수관 부식 등의 손상이 조사되었으나, 1, 2차로 길어깨 측 재포장 보수와 함께 배구수 막힘 청소 및 그레이팅 재설치 보수를 실시하였다. 손상 현황은 【표 3.74】와 같다.

【표 3.74】백운1교(춘천) 배수시설 손상 발생 현황

| 구분 | 배수관 부식<br>(개소) |
|----|----------------|
| S1 | -              |
| S2 | 2              |
| S3 | -              |
| 합계 | 2              |

## 2) 손상별 현황

|                                                                                     |                  |                                                                                      |                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
|   |                  |   |                      |
| 현황                                                                                  | • S2 배수관 부식(1개소) | 현황                                                                                   | • S2 그레이팅 덮개 파손(1개소) |
| 원인                                                                                  | • 공용장기화          | 원인                                                                                   | • 공용장기화 및외부충격        |
| 대책                                                                                  | • 유지관리           | 대책                                                                                   | • 재설치                |
|  |                  |  |                      |
| 현황                                                                                  | • 배구수 막힘 청소      | 현황                                                                                   | • 그레이팅 재설치           |
| 원인                                                                                  | -                | 원인                                                                                   | -                    |
| 대책                                                                                  | -                | 대책                                                                                   | -                    |

【사진 3.60】백운1교(춘천) 배수시설 손상발생 현황

## 3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

## ① 배수구 막힘

배수구 막힘은 공용장기화에 의해 강우 시 노면의 토사 등의 이물질이 퇴적된 것으로 원활한 노면서 배출을 위하여 주기적인 청소를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

## ② 그레이팅 덮개 파손

공용장기화에 따른 이물질 퇴적 및 부식 등에 의해 파손된 것으로 판단되며, 배수구로의 이물질 유입 차단을 위해 재설치 하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

## ③ 배수관 부식

배수관 부식은 공용장기화에 의해 바닥판 접합부 및 하단 토출부에 발생한 손상으로, 배수에는 문제가 없는 상태로 별도의 보수보다는 주의관찰 후 배수기능에 문제가 발생 시 교체가 바람직 할 것으로 판단된다.

## 4) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 그레이팅 덮개 파손 및 배수구 막힘은 손상변화가 없는 동일 손상으로 조사되었으며, 배수관 부식은 공용기간 장기화에 의해 추가 발생한 손상으로 조사되었다.

【표 3.75】 백운1교(춘천) 배수시설의 기 진단과의 비교, 검토

| 손상내용       | 단위 | 손상현황  |       | 물량 비교<br>(+:증가, -:감소) |   | 검토결과            |
|------------|----|-------|-------|-----------------------|---|-----------------|
|            |    | 2013년 | 2016년 |                       |   |                 |
| 그레이팅 덮개 파손 | 개소 | 9     | -     | -                     | 9 | ● 재설치           |
| 배수구 막힘     | 개소 | 3     | -     | -                     | 9 | ● 청소            |
| 배수관 부식     | 개소 | 1     | 2     | +                     | 1 | ● 공용 중 발생한 추가손상 |

## 나. 방호울타리

자동차의 차도이탈 방지 및 사고시 완충작용 등의 기능을 하는 방호울타리는 철근콘크리트 구조로 이루어져 있으며, 방호울타리의 실측 높이는 약 1,090mm로 도면과 유사한 것으로 측정되었다.



【사진 3.61】 백운1교(춘천) 방호울타리 전경

## 1) 외관조사 결과

방호울타리에서 발생된 주요 결함은 균열, 균열부 백태, 굽힘, 망상균열, 철근노출, 파손 등의 손상이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.76】 과 같다.

【표 3.76】 백운1교(춘천) 방호울타리 외관조사 결과

| 구분 | 균열                    |                       | 균열부 백태<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 굽힘<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 망상균열<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 철근노출<br>(m <sup>2</sup> /EA) | 파손<br>(m <sup>2</sup> /EA) |
|----|-----------------------|-----------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|
|    | cw=0.2mm 이하<br>(m/EA) | cw=0.3mm 이상<br>(m/EA) |                                |                            |                              |                              |                            |
| S1 | 24.30/35              | 20.50/16              | 1.10/1                         | -                          | -                            | -                            | 0.02/2                     |
| S2 | 35.40/45              | 24.60/14              | -                              | 0.10/1                     | 0.25/1                       | 0.07/7                       | 0.01/1                     |
| S3 | 25.70/37              | 21.40/15              | 8.30/8                         | -                          | 1.00/1                       | -                            | 0.09/1                     |
| 합계 | 85.40/117             | 66.50/45              | 9.40/9                         | 0.10/1                     | 1.25/2                       | 0.07/7                       | 0.12/4                     |

## 2) 손상현황

|                                                                                    |                           |                                                                                     |                       |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
|   |                           |   |                       |
| 현황                                                                                 | • S1 균열(cw=0.3mm, L=2.0m) | 현황                                                                                  | • S1 균열부 백태(A=1.10m²) |
| 원인                                                                                 | • 건조수축                    | 원인                                                                                  | • 건조수축 및 수분접촉         |
| 대책                                                                                 | • 주입보수                    | 대책                                                                                  | • 표면처리                |
|  |                           |  |                       |
| 현황                                                                                 | • S1 굽힘(A=0.10m²)         | 현황                                                                                  | • S1 파손(A=0.01m²)     |
| 원인                                                                                 | • 차량충돌                    | 원인                                                                                  | • 시공미흡 및 외부충격         |
| 대책                                                                                 | • 단면보수                    | 대책                                                                                  | • 단면보수                |

【사진 3.62】 백운1교(춘천) 방호울타리 손상발생 현황

## 3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

## ① 균열

방호울타리에 발생한 균열은 시공초기 건조수축에 의해 발생한 손상으로 판단되며, 내구성 확보차원의 주입보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

## ② 균열부 백태

균열부 백태는 균열부 틈새로 우수유입에 의한 수산화칼슘 용해로 발생한 결함으로 내구성 확보를 위한 표면처리 보수가 필요할 것으로 판단된다.



## ③ 망상균열

망상균열은 시공초기 건조수축에 의한 손상으로 균열폭 0.1mm 이하의 미세균열로서, 내구성 확보차원의 표면처리를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

## ④ 긁힘

긁힘은 주행차량의 방호벽 충돌로 인한 손상으로 보이며, 내구성 확보차원의 단면보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

## ⑤ 철근노출

철근노출은 시공미흡에 의한 피복부족에 의해 발생한 손상으로 판단되며 내구성 확보차원의 단면보수(방청)이 바람직할 것으로 판단된다.

## ⑥ 파손

파손은 시공 시 거푸집 탈형 시 충격 또는 주행차량에 의한 충격 등으로 발생한 손상으로 판단되며, 내구성 확보차원의 단면보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

## 4) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 균열, 망상균열, 철근노출, 파손 등의 손상은 상세조사에 의한 추가손상으로 손상물량이 증가된 것으로 분석되었으며, 균열부 백태는 공용기간 장기화에 의한 추가 손상으로 조사되었고, 긁힘은 상세조사에 의한 손상물량의 수정으로 물량의 증가가 있는 것으로 조사되었다.

【표 3.77】 백운1교(춘천) 방호울타리의 기 진단과의 비교, 검토

| 손상내용            | 단위             | 손상현황  |       | 물량 비교<br>(+:증가, -:감소) |       | 검토결과            |
|-----------------|----------------|-------|-------|-----------------------|-------|-----------------|
|                 |                | 2013년 | 2016년 |                       |       |                 |
| 균열(cw=0.2mm 이하) | m              | 21.30 | 85.40 | +                     | 64.10 | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 균열(cw=0.3mm 이상) | m              | 54.10 | 66.50 | +                     | 12.40 | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 균열부 백태          | m              | -     | 9.40  | +                     | 9.40  | • 공용 중 발생한 신규손상 |
| 긁힘              | m <sup>2</sup> | 0.04  | 0.10  | +                     | 0.06  | • 상세조사에 의한 물량수정 |
| 망상균열            | m <sup>2</sup> | 1.00  | 1.25  | +                     | 0.25  | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 철근노출            | m <sup>2</sup> | -     | 0.07  | +                     | 0.07  | • 상세조사에 의한 추가손상 |
| 파손              | m <sup>2</sup> | 0.01  | 0.12  | +                     | 0.11  | • 상세조사에 의한 추가손상 |

### 다. 전선관 보호덮개

바닥판 우측 캔틸레버 하면으로 가로등 조명을 위한 전선관이 지나가며, 그 전선관을 보호하기 위하여 보호덮개가 설치되어있다.

#### 1) 외관조사 결과

전선관 보호덮개에서 발생한 주요 결함은 전선관 보호덮개 부식 및 파손 등의 손상이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.78】 과 같다.

【표 3.78】 백운1교(춘천) 전선관 보호덮개 외관조사 결과

| 구분 | 전선관 보호덮개 부식<br>(m/개소) | 전선관 보호덮개 파손<br>(m/개소) |
|----|-----------------------|-----------------------|
| S1 | 1.00/2                | 0.30/1                |
| S2 | -                     | -                     |
| S3 | 6.70/3                | 10.00/1               |
| 합계 | 7.70/5                | 10.30/2               |

#### 2) 손상현황

|                                                                                     |                          |                                                                                      |                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
|  |                          |  |                          |
| 현 황                                                                                 | • S1 전선관 보호덮개 파손(L=0.30) | 현 황                                                                                  | • S3 전선관 보호덮개 부식(L=4.00) |
| 원 인                                                                                 | • 공용열화                   | 원 인                                                                                  | • 공용열화                   |
| 대 책                                                                                 | • 재설치                    | 대 책                                                                                  | • 재설치                    |

【사진 3.63】 백운1교(춘천) 전선관 보호덮개 손상발생 현황

## 3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

## ① 전선관 보호덮개 파손 및 부식

공용기간 장기화에 의한 열화로 부식 및 파손이 발생한 것으로 판단되며, 내구성 확보를 위한 재설치가 바람직 할 것으로 판단된다.

## 4) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 공용 중 열화에 의해 손상물량의 증가가 있는 것으로 분석되었다.

【표 3.79】 백운1교(춘천) 전선관 보호덮개의 기 진단과의 비교, 검토

| 손상내용        | 단위 | 손상현황  |       | 물량 비교<br>(+:증가, -:감소) |      | 검토결과            |
|-------------|----|-------|-------|-----------------------|------|-----------------|
|             |    | 2013년 | 2016년 |                       |      |                 |
| 전선관 보호덮개 부식 | m  | 2.00  | 7.70  | +                     | 5.70 | • 공용 중 발생한 신규손상 |
| 전선관 보호덮개 파손 | m  | 10.00 | 10.30 | +                     | 0.30 | • 공용 중 발생한 신규손상 |

## 3.4 콘크리트 내구성조사

### 3.4.1 개 요

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

#### 가. 시험 측정일자 및 조사자

【표 3.80】 백운1교 현장시험 측정일자 및 조사자

| 구 분       | 일 자                         | 조 사 자    | 비 고          |
|-----------|-----------------------------|----------|--------------|
| 콘크리트 현장시험 | 2016. 07. 11 ~ 2016. 08. 19 | 안파현 외 8명 | 도보, 교량점검차 사용 |

#### 나. 백운1교(부산)

백운1교(부산)는 연장 180.93m, 폭 12.6m, 교대 2기, 교각 2기로 공용중인 강아치 교량으로 비파괴시험은 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침[교량편](2010.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』에 근거하여 위치 및 수량을 결정하였으며, 현장여건, 외관조사 결과를 고려하여 조사위치를 선정하였다.

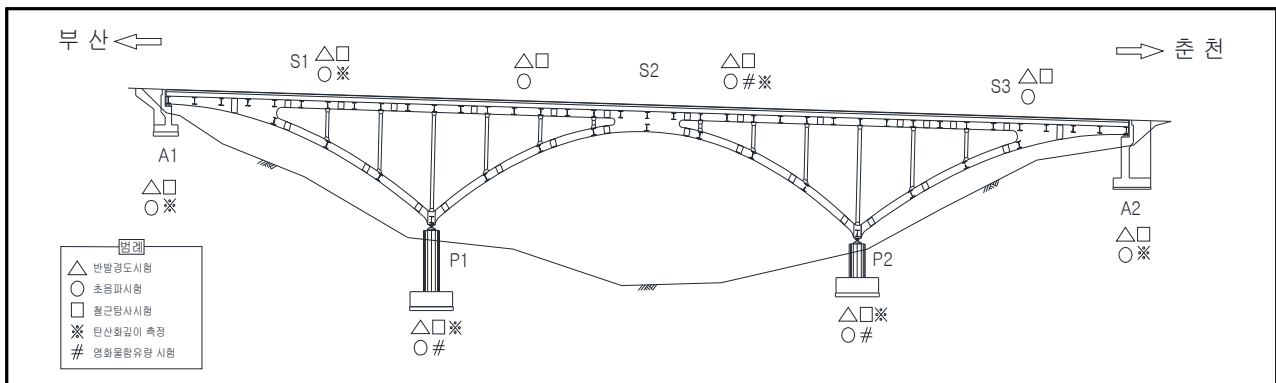
【표 3.81】 백운1교(부산) 기준수량 및 실시수량

| 구 분         | 항 목      |                | 세부지침 기준                                                                                |                                          | 기준수량     |          | 실시수량     |          |
|-------------|----------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
|             |          |                | 상부구조                                                                                   | 하부구조                                     | 상부<br>구조 | 하부<br>구조 | 상부<br>구조 | 하부<br>구조 |
| 콘크리트<br>구조물 | 기본<br>과업 | 반발경도시험         | • 철근콘크리트 :<br>2개소/50m<br>• 강합성교 :<br>1개소/50m                                           | • 1개소/50m<br>• 교대, 교각 개소수<br>(경간장 50m이상) | 4개소      | 4개소      | 4개소      | 4개소      |
|             |          | 초음파시험          |                                                                                        |                                          | 4개소      | 4개소      | 4개소      | 4개소      |
|             |          | 철근탐사시험         |                                                                                        |                                          | 4개소      | 4개소      | 4개소      | 4개소      |
|             |          | 탄산화깊이<br>측정    | • 5경간 이내 : 4~6개소<br>(상부구조에서 최소 2개소 이상 실시)<br>• 5경간 이상 : 6~9개소<br>(상부구조에서 최소 3개소 이상 실시) | 2개소                                      | 2개소      | 2개소      | 4개소      |          |
|             |          | 염화물함유량<br>시험   | • 3개소 이상<br>(상부구조에서 최소 1개소 이상 실시)                                                      | 1개소                                      | 2개소      | 1개소      | 2개소      |          |
| 강재<br>구조물   |          | 강재용접부<br>비파괴시험 | • 플레이트거더교 : 1개소/경간별 거더<br>• 박스거더교 : 2개소/경간별 거더                                         |                                          | 12개소     |          | 12개소     |          |





【그림 3.20】 백운1교(부산) 현장시험 전경



【그림 3.21】 백운1교(부산) 재료시험 조사 위치도

【표 3.82】 백운1교(부산) 조사위치 선정사유

| 구 분      | 항 목         | 조사위치 선정사유                                                                            | 비 고 |
|----------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 콘크리트 구조물 | 반발경도시험      | • 콘크리트 비파괴강도 측정을 위하여 실시하였으며, 기 진단과 비교하고자 동일 단면 상부구조 4개소, 하부구조 4개소를 선정하여 실시하였음.       |     |
|          | 초음파시험       |                                                                                      |     |
|          | 철근탐사시험      |                                                                                      |     |
|          | 탄산화깊이 측정    | • 탄산화에 의한 철근부식 발생 영향을 검토하기 위한 시험으로 기 진단과 비교하고자 동일 단면 상부구조 2개소, 하부구조 4개소를 선정하여 실시하였음. |     |
|          | 염화물함유량 시험   | • 철근 깊이까지의 염화물 분포 파악을 위한 시험으로 기 진단과 비교하고자 동일 단면 상부구조 1개소, 하부구조 2개소를 선정하여 실시하였음.      |     |
| 강재 구조물   | 균열깊이 조사     | • 금회 조사된 균열이 미세하여 측정을 제외함.                                                           |     |
|          | 강재용접부 비파괴시험 | • 용접부 내부에 존재하는 기공, 슬래그, 용합불량 등의 결함사항에 대한 조사로 하부브레이싱 맞대기 용접부에 12개소를 선정하여 실시하였음.       |     |

## 다. 백운1교(춘천)

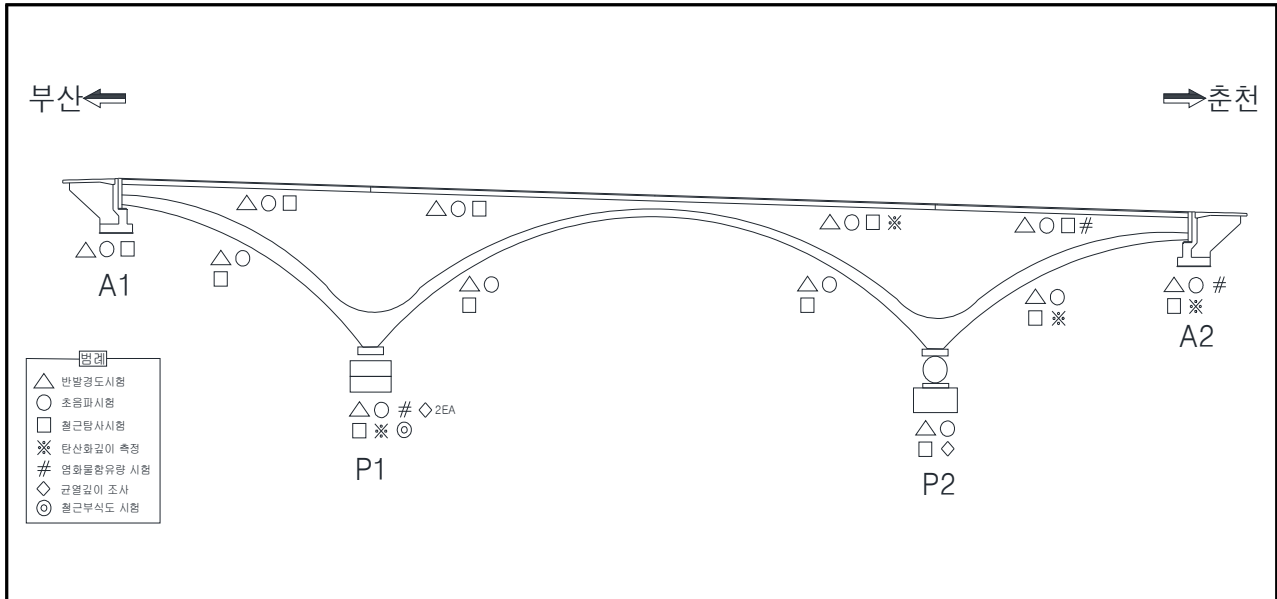
백운1교(춘천)는 연장 151.4m, 폭 12.5m, 교대 2기, 교각 2기로 공용중인 AR Girder 교량으로 비파괴시험은 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침[교량편](2010.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』에 근거하여 위치 및 수량을 결정하였으며, 현장여건, 외관조사 결과를 고려하여 조사위치를 선정하였다.

【표 3.83】 백운1교(춘천) 기준수량 및 실시수량

| 구 분         | 항 목      |              | 세부지침 기준                                                                                |                                          | 기준수량     |          | 실시수량     |          |
|-------------|----------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
|             |          |              | 상부구조                                                                                   | 하부구조                                     | 상부<br>구조 | 하부<br>구조 | 상부<br>구조 | 하부<br>구조 |
| 콘크리트<br>구조물 | 기본<br>과업 | 반발경도시험       | • 철근콘크리트 :<br>2개소/50m<br>• 강합성교 :<br>1개소/50m                                           | • 1개소/50m<br>• 교대, 교각 개소수<br>(경간장 50m이상) | 8개소      | 4개소      | 8개소      | 4개소      |
|             |          | 초음파시험        |                                                                                        |                                          | 8개소      | 4개소      | 8개소      | 4개소      |
|             |          | 철근탐사시험       |                                                                                        |                                          | 8개소      | 4개소      | 8개소      | 4개소      |
|             |          | 탄산화깊이<br>측정  | • 5경간 이내 : 4~6개소<br>(상부구조에서 최소 2개소 이상 실시)<br>• 5경간 이상 : 6~9개소<br>(상부구조에서 최소 3개소 이상 실시) |                                          | 2개소      | 2개소      | 2개소      | 2개소      |
|             |          | 염화물함유량<br>시험 | • 3개소 이상<br>(상부구조에서 최소 1개소 이상 실시)                                                      |                                          | 1개소      | 2개소      | 2개소      | 3개소      |
|             |          | 균열깊이<br>조사   | • 부재의 중요도를 고려 책임기술자의 판단<br>에 따라 수량 결정                                                  |                                          | -        |          | 3개소      |          |



【그림 3.22】 백운1교(춘천) 현장시험 전경



【그림 3.23】 백운1교(춘천) 재료시험 조사 위치도

【표 3.84】 백운1교(춘천) 조사위치 선정사유

| 구 분      | 항 목       | 조사위치 선정사유                                                                                              | 비 고 |
|----------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 콘크리트 구조물 | 반발경도시험    | • 콘크리트 비파괴강도 측정을 위하여 실시하였으며, 기 진단과 비교하고자 동일 단면 상부구조 8개소, 하부구조 4개소를 선정하여 실시하였음.                         |     |
|          | 초음파시험     |                                                                                                        |     |
|          | 철근탐사시험    |                                                                                                        |     |
|          | 탄산화깊이 측정  | • 탄산화에 의한 철근부식 발생 영향을 검토하기 위한 시험으로 기 진단과 비교하고자 동일 단면 상부구조 2개소, 하부구조 2개소를 선정하여 실시하였음.                   |     |
|          | 염화물함유량 시험 | • 철근 깊이까지의 염화물 분포 파악을 위한 시험으로 상부구조 1개소, 하부구조 2개소를 선정하여 실시하였고, 결과자료를 근거로 상부구조 1개소, 하부구조 1개소 추가조사 실시하였음. |     |
|          | 균열깊이 조사   | • 외관조사 결과를 토대로 책임기술자 판단 하에 철근까지의 진행여부 판단을 위해 3개소를 선정하여 실시하였음.                                          |     |

## 3.4.2 시험내용 및 평가기준

## 가. 콘크리트 강도시험

## 1) 반발경도시험

【표 3.85】 반발경도시험

| 개 요            | <ul style="list-style-type: none"><li>콘크리트 표면의 반발경도를 측정하여, 콘크리트의 압축강도를 추정하는 검사방법임.</li><li>슈미트해머는 경화된 콘크리트 표면을 타격시, 반발도(R)와 콘크리트의 압축강도(<math>f'_c</math>)와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 적용함.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |      |                            |      |      |       |       |       |      |    |   |   |      |      |                            |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |    |     |     |     |      |      |      |       |       |       |                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------|----------------------------|------|------|-------|-------|-------|------|----|---|---|------|------|----------------------------|----|------|------|------|------|----|------|------|------|------|----|------|------|------|------|----|------|------|------|------|----|------|------|------|------|----|----|-----|-----|-----|------|------|------|-------|-------|-------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 시험 방법          | <ul style="list-style-type: none"><li>반발경도 측정은 선정된 부위에 그라인딩 작업으로 표면 정리를 한 다음 타격점 상호간의 종·횡 간격을 30mm기준으로 그어 직교되는 부위에 20점 이상을 타격하여 반발경도 값의 산술 평균값을 구하고, 각 반발경도 값이 평균값의 <math>\pm 20\%</math>범위를 벗어나는 값들은 제외시키고 나머지 값들을 다시 산술평균하여 반발경도를 결정함.</li><li>측정점간의 최소간격은 보, 기둥 등 모서리로부터 30~60mm 이상 떨어진 장소에서 측정 하고, 측정 부재의 최소두께는 반발도의 영향을 고려하여 100 mm 이상을 원칙으로 함.</li><li>측정치는 원칙적으로 정수값을 읽고, 표면 건조상태의 부위를 선정, 측정하여 건조에 따른 보정, 압축응력에 따른 반발도의 보정과 타격 방향에 대한 보정 및 재령에 따른 보정을 적용함.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <div><div>측정기의 기종 선정</div><div>↓</div><div>점검기에 의한 정도확인</div><div>↓</div><div>측정 장소의 확인, 요철제거</div><div>↓</div><div>Marker 등에 의한 측정점의 표시</div><div>↓</div><div>측정, 20점 이상의 평균</div><div>↓</div><div>타격 방향, 습윤 및 재령의 보정</div><div>↓</div><div>강도추정식에 의한 압축강도 산출</div><div>↓</div><div>압축강도의 추정</div></div> <p>&lt;반발경도법에 의한 강도추정 흐름도&gt;</p> |            |      |                            |      |      |       |       |       |      |    |   |   |      |      |                            |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |    |     |     |     |      |      |      |       |       |       |                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 보정 방법          | <ul style="list-style-type: none"><li>타격방향에 따른 보정(<math>\Delta R_1</math>)</li></ul> <table><tr><th rowspan="2">반발경도 (R)</th><th colspan="4">수평과 이루는 각도</th><th rowspan="2">비고</th></tr><tr><th>+90°</th><th>+45°</th><th>-45°</th><th>-90°</th></tr><tr><td>10</td><td>-</td><td>-</td><td>+2.4</td><td>+3.2</td><td rowspan="6">상향수직 : +90°<br/>하향수직 : -90°</td></tr><tr><td>20</td><td>-5.4</td><td>-3.5</td><td>+2.5</td><td>+3.4</td></tr><tr><td>30</td><td>-4.7</td><td>-3.1</td><td>+2.3</td><td>+3.1</td></tr><tr><td>40</td><td>-3.9</td><td>-2.6</td><td>+2.0</td><td>+2.7</td></tr><tr><td>50</td><td>-3.1</td><td>-2.1</td><td>+1.6</td><td>+2.2</td></tr><tr><td>60</td><td>-2.3</td><td>-1.6</td><td>+1.3</td><td>+1.7</td></tr></table> <ul style="list-style-type: none"><li>콘크리트의 습윤상태에 따른 보정(<math>\Delta R_3</math>)<br/>기건상태 : <math>\Delta R_3 = 0</math>, 습윤상태 <math>\Delta R_3 = +5</math></li><li>콘크리트 재령에 따른 보정(<math>\alpha</math>)</li></ul> <table><tr><th>구분</th><th>7일</th><th>14일</th><th>21일</th><th>28일</th><th>100일</th><th>500일</th><th>750일</th><th>1000일</th><th>2000일</th><th>3000일</th></tr><tr><td>재령(<math>\alpha</math>)</td><td>1.72</td><td>1.36</td><td>1.12</td><td>1.00</td><td>0.78</td><td>0.67</td><td>0.66</td><td>0.65</td><td>0.64</td><td>0.63</td></tr></table> <p>• <math>R_o = R + \Delta R</math> (<math>\Rightarrow \Delta R = \Delta R_1 + \Delta R_2 + \Delta R_3</math>)<br/>여기서, <math>\Delta R_1</math> : 타격방향에 따른 보정값<br/><math>\Delta R_2</math> : 압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정값<br/><math>\Delta R_3</math> : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값</p> | 반발경도 (R)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 수평과 이루는 각도 |      |                            |      | 비고   | +90°  | +45°  | -45°  | -90° | 10 | - | - | +2.4 | +3.2 | 상향수직 : +90°<br>하향수직 : -90° | 20 | -5.4 | -3.5 | +2.5 | +3.4 | 30 | -4.7 | -3.1 | +2.3 | +3.1 | 40 | -3.9 | -2.6 | +2.0 | +2.7 | 50 | -3.1 | -2.1 | +1.6 | +2.2 | 60 | -2.3 | -1.6 | +1.3 | +1.7 | 구분 | 7일 | 14일 | 21일 | 28일 | 100일 | 500일 | 750일 | 1000일 | 2000일 | 3000일 | 재령( $\alpha$ ) | 1.72 | 1.36 | 1.12 | 1.00 | 0.78 | 0.67 | 0.66 | 0.65 | 0.64 | 0.63 | <ul style="list-style-type: none"><li>압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정(<math>\Delta R_2</math>)<br/>압축응력 1.0kgf/cm<sup>2</sup> 인 경우 <math>\Delta R_2 = -0.015R</math>, 2.5kgf/cm<sup>2</sup> 인 경우 <math>\Delta R_2 = -0.05R</math> 정도임. 그러나 현실적으로 측정부위에 작용하는 응력을 산정하는 것이 용이하지 않으므로 보정은 제외함.</li></ul> <p>&lt;압축응력에 따른 반발경도 보정곡선&gt;</p> |
| 반발경도 (R)       | 수평과 이루는 각도                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |      | 비고                         |      |      |       |       |       |      |    |   |   |      |      |                            |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |    |     |     |     |      |      |      |       |       |       |                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                | +90°                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | +45°                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | -45°       | -90° |                            |      |      |       |       |       |      |    |   |   |      |      |                            |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |    |     |     |     |      |      |      |       |       |       |                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 10             | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | +2.4       | +3.2 | 상향수직 : +90°<br>하향수직 : -90° |      |      |       |       |       |      |    |   |   |      |      |                            |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |    |     |     |     |      |      |      |       |       |       |                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 20             | -5.4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | -3.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | +2.5       | +3.4 |                            |      |      |       |       |       |      |    |   |   |      |      |                            |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |    |     |     |     |      |      |      |       |       |       |                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 30             | -4.7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | -3.1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | +2.3       | +3.1 |                            |      |      |       |       |       |      |    |   |   |      |      |                            |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |    |     |     |     |      |      |      |       |       |       |                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 40             | -3.9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | -2.6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | +2.0       | +2.7 |                            |      |      |       |       |       |      |    |   |   |      |      |                            |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |    |     |     |     |      |      |      |       |       |       |                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 50             | -3.1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | -2.1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | +1.6       | +2.2 |                            |      |      |       |       |       |      |    |   |   |      |      |                            |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |    |     |     |     |      |      |      |       |       |       |                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 60             | -2.3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | -1.6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | +1.3       | +1.7 |                            |      |      |       |       |       |      |    |   |   |      |      |                            |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |    |     |     |     |      |      |      |       |       |       |                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 구분             | 7일                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 14일                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 21일        | 28일  | 100일                       | 500일 | 750일 | 1000일 | 2000일 | 3000일 |      |    |   |   |      |      |                            |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |    |     |     |     |      |      |      |       |       |       |                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 재령( $\alpha$ ) | 1.72                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 1.36                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 1.12       | 1.00 | 0.78                       | 0.67 | 0.66 | 0.65  | 0.64  | 0.63  |      |    |   |   |      |      |                            |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |    |     |     |     |      |      |      |       |       |       |                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 압축 강도 추정식      | <ul style="list-style-type: none"><li>기 진단 시험결과와의 비교·검토를 동일한 방법을 산정함.</li><li>- ①식 : <math>F_c = -18.0 + 1.27 \times R_o</math> (MPa) <math>\Rightarrow</math> 일본 재료학회 강도 추정식</li><li>- ②식 : <math>F_c = (7.3R_o + 100) \times 0.098</math> (MPa) <math>\Rightarrow</math> 일본 건축학회 강도 추정식</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |      |                            |      |      |       |       |       |      |    |   |   |      |      |                            |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |    |     |     |     |      |      |      |       |       |       |                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조

※콘크리트 내구성 평가절차 수립(한국시설안전공단, 1999.12) 참조

※안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(한국시설안전공단, 2010.12) 참조



## 2) 초음파시험

【표 3.86】 초음파시험

|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 개 요       | <ul style="list-style-type: none"> <li>초음파법은 초음파 (주파수 50~100 kHz 정도)의 투과속도가 콘크리트의 밀도 및 탄성 계수에 따라서 변화한다는 것을 이용하여 이 투과속도로부터 콘크리트의 강도, 균열상태, 내부결함 등을 조사하는 방법임.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 영향 인자     | <ul style="list-style-type: none"> <li>콘크리트의 특성을 정확히 재현할 수 있는 펄스 속도 시험을 위해서는 펄스속도에 영향을 미치는 요인 및 콘크리트의 다양한 물리적 특성과의 상관관계를 고려해야 하며, 영향인자로는 함수량, 콘크리트의 온도, 시험체의 형상, 내부 철근의 유무 등이 있음.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 시험 방법     | <ul style="list-style-type: none"> <li>초음파속도를 측정하기 위한 탐촉자의 배열은 직접법, 간접법 및 표면법이 있음.</li> <li>직접법에서 구한 초음파 전달속도(종파)를 강도 추정치에 이용하나 보통 현장에서 직접법으로 적용할 수 없는 측정부분들에 대해서는 간접법(표면법)으로 초음파속도를 측정함.</li> <li>타격법과 동일부재 동일위치에서 측정하는 것을 원칙으로 하여 초음파속도를 측정함.</li> <li>간접법을 직접법으로 환산<br/> <math display="block">V_d \approx 1.05 V_i</math> 여기서, <math>V_d</math> : 직접법에 의한 초음파속도<br/> <math>V_i</math> : 간접법에 의한 초음파속도 </li> </ul> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> <p>&lt;직접법&gt;                      &lt;간접법&gt;</p> <p style="text-align: center;">&lt;표면법&gt;</p> </div> <div style="flex: 1; border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">측정 장소의 선정</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">측정 장소의 확인, 요철제거</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Marker 등에 의한 측정점의 표시</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">측정기의영점 조정</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">진동자와 측정면 사이 공극이 생기지 않도록 그리스로 밀착</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">전달속도 측정 및 산출</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">압축강도의 추정 또는 품질평가</p> <p style="text-align: center;">&lt;초음파법에 의한 강도추정 흐름도&gt;</p> </div> </div> |
| 초음파 전달 속도 | <ul style="list-style-type: none"> <li>전달속도 (Velocity, mm/μsec) = <math>\frac{\text{전달길이 (PathLength, } L : \text{mm)}}{\text{전달시간 (TransitTime, } T : \mu\text{sec)}}</math></li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 압축 강도 추정식 | <ul style="list-style-type: none"> <li>기 진단 시험결과와의 비교·검토를 동일한 방법을 산정함.</li> <li>③식 : <math>F_c = (102V_d - 117) \times 0.098 \text{ (MPa)} \Rightarrow</math> 일본재료학회 강도 추정식</li> <li>④식 : <math>F_c = (215V_d - 620) \times 0.098 \text{ (MPa)} \Rightarrow</math> 일본건축학회 강도 추정식</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조

※콘크리트 내구성 평가절차 수립(한국시설안전공단, 1999.12) 참조

※안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(한국시설안전공단, 2010.12) 참조

## 나. 철근탐사시험

【표 3.87】 철근탐사시험

| 개 요        | <ul style="list-style-type: none"> <li>본 탐사는 시공 상태평가를 위하여 설계도서에 기록된 배근간격과의 동일 시공여부를 비교하여 구조체 배근상태의 적정성을 판단하며, 철근피복두께를 조사하여 탄산화로 인한 구조물의 내구성 평가와 장기적인 내구성 확보를 위한 대책마련을 위해 실시함.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            |             |          |                  |          |     |            |                        |            |        |    |  |        |    |  |      |             |    |                  |             |    |  |          |  |  |    |  |                 |  |  |     |  |                   |  |  |    |  |                            |  |           |    |  |           |    |  |            |    |  |         |            |            |           |       |       |           |       |       |  |  |  |  |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|----------|------------------|----------|-----|------------|------------------------|------------|--------|----|--|--------|----|--|------|-------------|----|------------------|-------------|----|--|----------|--|--|----|--|-----------------|--|--|-----|--|-------------------|--|--|----|--|----------------------------|--|-----------|----|--|-----------|----|--|------------|----|--|---------|------------|------------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|--|--|--|--|
| 탐사 조건      | <div> <div> <ul style="list-style-type: none"> <li>적용 가능한 조건 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 탐사심도 200mm 이내</li> <li>- 탐사대상 철근지름이 6mm 이상</li> <li>- 콘크리트의 질이 균일한 곳</li> <li>- 철근이 안테나 진행 방향에 직교한 곳</li> </ul> </li> </ul> </div> <div> <ul style="list-style-type: none"> <li>적용 곤란한 조건 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 표면에 금속 등 전파를 반사하는 것이 있고, 그 밑에 철근이 위치한 경우</li> <li>- 100mm 이하의 피치에서 배근된 경우</li> <li>- 철근이 안테나 진행 방향과 평행한 경우</li> </ul> </li> </ul> </div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            |             |          |                  |          |     |            |                        |            |        |    |  |        |    |  |      |             |    |                  |             |    |  |          |  |  |    |  |                 |  |  |     |  |                   |  |  |    |  |                            |  |           |    |  |           |    |  |            |    |  |         |            |            |           |       |       |           |       |       |  |  |  |  |
| 측정 방법      | <div> <ul style="list-style-type: none"> <li>철근탐사장비 RC-Radar의 측정원리는 전자파를 콘크리트의 표면에서 내부로 방사하여 콘크리트와 전기적 성질이 다른 철근이나 공동 등의 대상물로부터 반사되는 전파를 다시 안테나에서 수신하여 철근의 배근상태나 공동 등의 위치 및 깊이를 화상으로 기록하는 장비로 레이더 방식(화면 모니터 방식)이며, 측정가능심도는 5~200mm임.</li> </ul> </div> <div> </div> <div> <p style="text-align: center;"><b>&lt;RC-Radar 측정 원리&gt;</b></p> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |             |          |                  |          |     |            |                        |            |        |    |  |        |    |  |      |             |    |                  |             |    |  |          |  |  |    |  |                 |  |  |     |  |                   |  |  |    |  |                            |  |           |    |  |           |    |  |            |    |  |         |            |            |           |       |       |           |       |       |  |  |  |  |
| 평가 기준      | <div> <ul style="list-style-type: none"> <li>철근의 피복두께는 콘크리트 표면에서 철근 최외측면까지의 거리로 함.</li> <li>철근의 피복두께 및 배근상태를 준공도면과 비교하여 적정성 여부를 판단함.</li> <li>실측된 철근배근 간격과 피복두께는 평균적인 개념으로 판단함이 바람직함.</li> </ul> </div> <div> <p style="text-align: center;"><b>&lt;철근의 피복두께 기준&gt;</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>구 분</th><th>조 건</th><th>부재종류</th><th>철근직경/구분</th><th>피복두께(mm)</th><th>비 고</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="10">현장 타설 콘크리트</td><td rowspan="5">옥외 공기나 흙에 직접 접하지 않는 부위</td><td rowspan="2">슬래브 벽체, 장선</td><td>D35 초과</td><td>40</td><td></td></tr> <tr> <td>D35 이하</td><td>20</td><td></td></tr> <tr> <td rowspan="2">보 기둥</td><td>fck ≥ 40MPa</td><td>30</td><td>규정값에서 10mm 저감 가능</td></tr> <tr> <td>fck &lt; 40MPa</td><td>40</td><td></td></tr> <tr> <td colspan="2">셀, 절판 부재</td><td></td><td>20</td><td></td></tr> <tr> <td colspan="2">수중에서 타설 되는 콘크리트</td><td></td><td>100</td><td></td></tr> <tr> <td colspan="2">흙에 영구히 묻혀 있는 콘크리트</td><td></td><td>80</td><td></td></tr> <tr> <td rowspan="3">흙에 접하거나 옥외공기에 직접 노출되는 콘크리트</td><td rowspan="3"></td><td>D29 이상 철근</td><td>60</td><td></td></tr> <tr> <td>D25 이하 철근</td><td>50</td><td></td></tr> <tr> <td>D16 이하의 철근</td><td>40</td><td></td></tr> </tbody> </table> </div> <div> <p>※콘크리트 구조기준(한국콘크리트학회, 2012) 참조</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>유효깊이(d)</th><th>유효깊이의 허용오차</th><th>피복두께의 허용오차</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>d ≤ 200mm</td><td>±10mm</td><td>-10mm</td></tr> <tr> <td>d &gt; 200mm</td><td>±13mm</td><td>-13mm</td></tr> </tbody> </table> <p>※피복두께의 허용오차는 도면 또는 설계기준에서 요구하는 최소 피복두께의 -1/3로 하여야 함.</p> </div> | 구 분        | 조 건         | 부재종류     | 철근직경/구분          | 피복두께(mm) | 비 고 | 현장 타설 콘크리트 | 옥외 공기나 흙에 직접 접하지 않는 부위 | 슬래브 벽체, 장선 | D35 초과 | 40 |  | D35 이하 | 20 |  | 보 기둥 | fck ≥ 40MPa | 30 | 규정값에서 10mm 저감 가능 | fck < 40MPa | 40 |  | 셀, 절판 부재 |  |  | 20 |  | 수중에서 타설 되는 콘크리트 |  |  | 100 |  | 흙에 영구히 묻혀 있는 콘크리트 |  |  | 80 |  | 흙에 접하거나 옥외공기에 직접 노출되는 콘크리트 |  | D29 이상 철근 | 60 |  | D25 이하 철근 | 50 |  | D16 이하의 철근 | 40 |  | 유효깊이(d) | 유효깊이의 허용오차 | 피복두께의 허용오차 | d ≤ 200mm | ±10mm | -10mm | d > 200mm | ±13mm | -13mm |  |  |  |  |
| 구 분        | 조 건                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 부재종류       | 철근직경/구분     | 피복두께(mm) | 비 고              |          |     |            |                        |            |        |    |  |        |    |  |      |             |    |                  |             |    |  |          |  |  |    |  |                 |  |  |     |  |                   |  |  |    |  |                            |  |           |    |  |           |    |  |            |    |  |         |            |            |           |       |       |           |       |       |  |  |  |  |
| 현장 타설 콘크리트 | 옥외 공기나 흙에 직접 접하지 않는 부위                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 슬래브 벽체, 장선 | D35 초과      | 40       |                  |          |     |            |                        |            |        |    |  |        |    |  |      |             |    |                  |             |    |  |          |  |  |    |  |                 |  |  |     |  |                   |  |  |    |  |                            |  |           |    |  |           |    |  |            |    |  |         |            |            |           |       |       |           |       |       |  |  |  |  |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |            | D35 이하      | 20       |                  |          |     |            |                        |            |        |    |  |        |    |  |      |             |    |                  |             |    |  |          |  |  |    |  |                 |  |  |     |  |                   |  |  |    |  |                            |  |           |    |  |           |    |  |            |    |  |         |            |            |           |       |       |           |       |       |  |  |  |  |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 보 기둥       | fck ≥ 40MPa | 30       | 규정값에서 10mm 저감 가능 |          |     |            |                        |            |        |    |  |        |    |  |      |             |    |                  |             |    |  |          |  |  |    |  |                 |  |  |     |  |                   |  |  |    |  |                            |  |           |    |  |           |    |  |            |    |  |         |            |            |           |       |       |           |       |       |  |  |  |  |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |            | fck < 40MPa | 40       |                  |          |     |            |                        |            |        |    |  |        |    |  |      |             |    |                  |             |    |  |          |  |  |    |  |                 |  |  |     |  |                   |  |  |    |  |                            |  |           |    |  |           |    |  |            |    |  |         |            |            |           |       |       |           |       |       |  |  |  |  |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 셀, 절판 부재   |             |          | 20               |          |     |            |                        |            |        |    |  |        |    |  |      |             |    |                  |             |    |  |          |  |  |    |  |                 |  |  |     |  |                   |  |  |    |  |                            |  |           |    |  |           |    |  |            |    |  |         |            |            |           |       |       |           |       |       |  |  |  |  |
|            | 수중에서 타설 되는 콘크리트                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |            |             | 100      |                  |          |     |            |                        |            |        |    |  |        |    |  |      |             |    |                  |             |    |  |          |  |  |    |  |                 |  |  |     |  |                   |  |  |    |  |                            |  |           |    |  |           |    |  |            |    |  |         |            |            |           |       |       |           |       |       |  |  |  |  |
|            | 흙에 영구히 묻혀 있는 콘크리트                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |             | 80       |                  |          |     |            |                        |            |        |    |  |        |    |  |      |             |    |                  |             |    |  |          |  |  |    |  |                 |  |  |     |  |                   |  |  |    |  |                            |  |           |    |  |           |    |  |            |    |  |         |            |            |           |       |       |           |       |       |  |  |  |  |
|            | 흙에 접하거나 옥외공기에 직접 노출되는 콘크리트                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            | D29 이상 철근   | 60       |                  |          |     |            |                        |            |        |    |  |        |    |  |      |             |    |                  |             |    |  |          |  |  |    |  |                 |  |  |     |  |                   |  |  |    |  |                            |  |           |    |  |           |    |  |            |    |  |         |            |            |           |       |       |           |       |       |  |  |  |  |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |            | D25 이하 철근   | 50       |                  |          |     |            |                        |            |        |    |  |        |    |  |      |             |    |                  |             |    |  |          |  |  |    |  |                 |  |  |     |  |                   |  |  |    |  |                            |  |           |    |  |           |    |  |            |    |  |         |            |            |           |       |       |           |       |       |  |  |  |  |
|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |            | D16 이하의 철근  | 40       |                  |          |     |            |                        |            |        |    |  |        |    |  |      |             |    |                  |             |    |  |          |  |  |    |  |                 |  |  |     |  |                   |  |  |    |  |                            |  |           |    |  |           |    |  |            |    |  |         |            |            |           |       |       |           |       |       |  |  |  |  |
| 유효깊이(d)    | 유효깊이의 허용오차                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 피복두께의 허용오차 |             |          |                  |          |     |            |                        |            |        |    |  |        |    |  |      |             |    |                  |             |    |  |          |  |  |    |  |                 |  |  |     |  |                   |  |  |    |  |                            |  |           |    |  |           |    |  |            |    |  |         |            |            |           |       |       |           |       |       |  |  |  |  |
| d ≤ 200mm  | ±10mm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | -10mm      |             |          |                  |          |     |            |                        |            |        |    |  |        |    |  |      |             |    |                  |             |    |  |          |  |  |    |  |                 |  |  |     |  |                   |  |  |    |  |                            |  |           |    |  |           |    |  |            |    |  |         |            |            |           |       |       |           |       |       |  |  |  |  |
| d > 200mm  | ±13mm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | -13mm      |             |          |                  |          |     |            |                        |            |        |    |  |        |    |  |      |             |    |                  |             |    |  |          |  |  |    |  |                 |  |  |     |  |                   |  |  |    |  |                            |  |           |    |  |           |    |  |            |    |  |         |            |            |           |       |       |           |       |       |  |  |  |  |

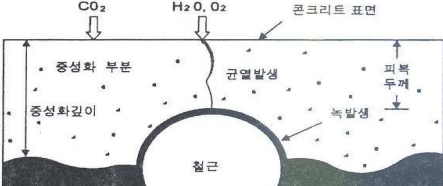
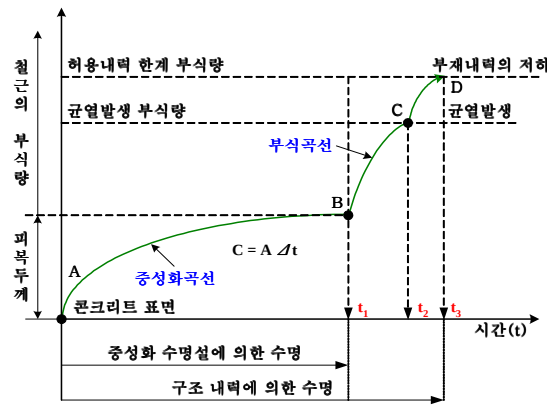
※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조

※진단장비 활용·관리 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조

※안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(한국시설안전공단, 2010.12) 참조

## 다. 탄산화깊이 측정

【표 3.88】 탄산화깊이 측정

| <b>개요</b>         | <p>• 경화콘크리트는 표면에서 서서히 탄산화 하여 pH값은 12~13에서 8~10 이하로 감소함. 이 과정을 콘크리트의 탄산화라고 함.</p> $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$ $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$  <p>• 콘크리트는 탄산화에 의해 직접적으로 성능이 저하되는 것은 아니며, 단지 탄산화가 문제가 되는 이유는 탄산화가 피복두께를 넘어서 철근의 표면에 도달하게 되면 철근표면을 감싸고 있던 부동태 피막이 파괴되면서 철근표면에 부식이 시작되기 때문임.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>◆ 1단계<br/>미세균열</p> <p>◆ 2단계<br/>철근</p> <p>◆ 3단계</p> <p>◆ 4단계<br/>철근</p> <p>◆ 5단계</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>재질 및 강도상의 변화는 거의 없다(약간의 건조수축에 의한 균열)</p> <p>녹의 발생에 의한 팽창압이 콘크리트 내부에 발생하여 미세한 균열이 발생</p> <p>철근의 원면이 팽창하여 균열이 표면까지 연장되고 동해 등의 다른 열화를 유발시킴. 녹물이 보임</p> <p>철근 외면의 피복이 탈락되기 시작하고 철근노출이 시작됨. 철근의 단면적 감소</p> <p>철근의 피복이 탈락하여 철근은 공기과 풍우에 직접 노출됨. 내구성능 저하 가속</p> </div> </div> <p style="text-align: center;"><b>&lt;탄산화에 의한 콘크리트 성능저하 과정&gt;</b></p> |                      |           |   |   |   |   |           |         |                    |                   |        |   |           |                     |                         |                      |           |   |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------|---|---|---|---|-----------|---------|--------------------|-------------------|--------|---|-----------|---------------------|-------------------------|----------------------|-----------|---|
| <b>측정 위치 및 방법</b> | <p>① 코어 공시체 표면 또는 햄머드릴을 이용하여 직경 1~2 cm 정도의 구멍을 뚫고 청소 후에 페놀프탈레인 용액을 분무하여 탄산화 깊이를 측정 또는 채취된 코어에 시험함.</p> <p>② 페놀프탈레인 1% 용액 : 페놀프탈레인 1g + 에탄올 90cc(순도 95%) + 증류수 = 100ml로 제조함.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |           |   |   |   |   |           |         |                    |                   |        |   |           |                     |                         |                      |           |   |
| <b>시험 순서</b>      | <p>① 햄머드릴을 이용 콘크리트 구조체의 표면에 직경 1~2 cm 정도의 구멍을 천공함.</p> <p>② 콘크리트를 긁어낸 면을 붓, 솔 등으로 깨끗이 청소함.</p> <p>③ 페놀프탈레인 1% 용액을 콘크리트를 벗겨낸 면에 분무기로 분무함.</p> <p>④ 탄산화되지 않은 부분은 자주색으로 변하며, 탄산화된 부분은 착색되지 않음.</p> <p>⑤ 콘크리트 표면으로부터 색이 변화되지 않은 깊이(mm)를 측정, 평균값 산정함.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |           |   |   |   |   |           |         |                    |                   |        |   |           |                     |                         |                      |           |   |
| <b>평가 기준</b>      | <p style="text-align: center;"><b>&lt;탄산화 상태평가 기준&gt;</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th>구분</th><th>a</th><th>b</th><th>c</th><th>d</th><th>e</th></tr> <tr> <td>탄산화 잔여 깊이</td><td>30mm 이상</td><td>10 mm 이상 ~ 30mm 미만</td><td>0 mm 이상 ~ 10mm 미만</td><td>0mm 미만</td><td>-</td></tr> <tr> <td>철근부식의 가능성</td><td>탄산화에 의한 부식발생 우려 없음.</td><td>향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음.</td><td>탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음.</td><td>철근부식 발생함.</td><td>-</td></tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 구분                   | a         | b | c | d | e | 탄산화 잔여 깊이 | 30mm 이상 | 10 mm 이상 ~ 30mm 미만 | 0 mm 이상 ~ 10mm 미만 | 0mm 미만 | - | 철근부식의 가능성 | 탄산화에 의한 부식발생 우려 없음. | 향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음. | 탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음. | 철근부식 발생함. | - |
| 구분                | a                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | b                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | c                    | d         | e |   |   |   |           |         |                    |                   |        |   |           |                     |                         |                      |           |   |
| 탄산화 잔여 깊이         | 30mm 이상                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 10 mm 이상 ~ 30mm 미만                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 0 mm 이상 ~ 10mm 미만    | 0mm 미만    | - |   |   |   |           |         |                    |                   |        |   |           |                     |                         |                      |           |   |
| 철근부식의 가능성         | 탄산화에 의한 부식발생 우려 없음.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음. | 철근부식 발생함. | - |   |   |   |           |         |                    |                   |        |   |           |                     |                         |                      |           |   |
| <b>내구 수명 평가</b>   | <div style="display: flex;"> <div style="width: 45%;"> <p>• <math>t_1</math> : 탄산화가 철근표면에 도달하는 시점<br/> <math>t_2</math> : 철근 부식, 콘크리트 균열 발생 시점<br/> <math>t_3</math> : 부재내력이 한계에 달하는 시점</p> <p>• 탄산화속도 식 : <math>C = A\sqrt{t}</math><br/> 여기서, <math>C</math> : 탄산화깊이(mm)<br/> <math>t</math> : 경과년수(년)<br/> <math>A</math> : 탄산화 속도계수(mm/<math>\sqrt{\text{년}}</math>)</p> <p>• 탄산화가 철근에 도달하는 시간(<math>t_d</math>) :</p> <math display="block">t_d = \frac{D_c^2}{A^2} - t_0</math> <p>여기서, <math>D_c</math> : 철근까지의 피복두께(mm)<br/> <math>t_0</math> : 현재의 구조물 경과시간(년)</p> </div> <div style="width: 55%;">  <p style="text-align: center;"><b>&lt;콘크리트 내부에서 철근부식의 개념&gt;</b></p> </div> </div> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |           |   |   |   |   |           |         |                    |                   |        |   |           |                     |                         |                      |           |   |

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조

※안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(한국시설안전공단, 2010.12) 참조

## 라. 염화물 함유량 시험

【표 3.89】 염화물 함유량 시험

개요

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

시험 방법

- 본 진단 대상구조물의 콘크리트 재료 중에 함유된 염화물함유량 정도를 추정하기 위하여 현장에서 채취한 분말시료를 이용하여 실내시험을 실시하였음.
- 이미 굳은 콘크리트의 총 염화물 이온량에 대한 검토가 이루어질 경우에는 대상시설물의 시료를 채취한 후 산-가용성 염화물 이온농도 시험 KS F 2713 (콘크리트 및 콘크리트의 재료의 염화물 분석 시험 방법)에 따라 시행한 후 산출된 염화물량(%)에 22.63kg/m<sup>3</sup>을 곱하여 전염화물 이온량을 구함.
- 전염화물 이온량은 아래 염화물 상태평가 기준 및 노출등급에 따른 내구성 허용기준에 의거 평가함.

1. 시료채취 및 분쇄

2. 염화물 추출

a) 산-가용성 염화물 (acid-soluble chloride)

b) 수용성 염화물 (water-soluble chloride)

3. 염화물 이온 측정 (전위차 측정법)

<염화물 함유량 시험방법>

평가 기준

<염화물 상태평가 기준>

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

<노출등급에 따른 내구성 허용기준>

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

※ 노출등급 ⇒ C0 : 건조하거나 또는 수분으로부터 보호되는 콘크리트

C1 : 수분에 노출되지만 외부의 염화물에 노출되지 않는 콘크리트

C2 : 제빙화학제, 소금, 염수, 해수 또는 해수 물보라 등과 같은 염화물에 직접적으로 노출되는 콘크리트

※ 콘크리트 내구성 평가절차 수립(국토해양부, 한국시설안전공단, 1999.12) 참조

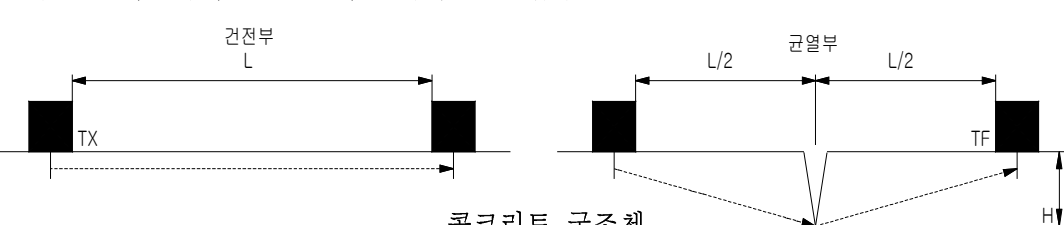
※ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토해양부, 한국시설안전공단, 2010.12) 참조

※ 콘크리트 구조기준 해설(콘크리트학회, 2012.12) 참조



## 마. 균열깊이 조사

【표 3.90】 균열깊이 조사

| 개 요   | <ul style="list-style-type: none"><li>본 과업에서는 외관조사를 바탕으로 대표적인 균열부를 선정하였으며, 초음파를 이용한 <math>T_c</math>-<math>T_o</math>법을 적용하여 측정함.</li><li><math>T_c</math>-<math>T_o</math>법은 측정대상인 콘크리트 부재에서 균열부와 건전부에서 각각 측정하고, 양자의 데이터 비교에 의해 균열깊이를 산출함.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                |             |        |   |                       |                                                                                              |    |                                |                                                                                                                                |     |                        |                                                                                                                      |    |   |                                                                                            |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------|---|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|---|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 조사 방법 | <div><div><ul style="list-style-type: none"><li>균열부분을 중심으로 송신탐촉자(<math>T_X</math>)와 수신탐촉자(<math>T_R</math>)를 등간격으로 배치하고, 송신탐촉자로부터 발신된 종파초음파가 그림 중의 점선과 같이 콘크리트 내를 전파하고 균열선단부를 경유해서 수신탐촉자에 도달하기까지의 시간 <math>T_c</math>를 구함.</li><li>균열이 없는 부분을 대상으로 동일 방법으로 송신탐촉자와 수신탐촉자의 거리 <math>L</math>과 초음파가 전파하는 시간 <math>T_o</math>를 구해서 균열깊이(<math>H</math>)를 평가함.</li><li>콘크리트에 균열 있는 경우 그림과 같이 초음파의 전달경로가 균열을 따라 진행하기 때문에 초음파의 전달시간이 건전부의 전달시간보다 상대적으로 길어지게 됨. 이러한 특성을 이용하여 균열 깊이를 측정할 수 있음.</li></ul></div><div><p style="text-align: center;">콘크리트 구조체</p><p style="text-align: center;">&lt;초음파속도법을 이용한 균열깊이 측정방법&gt;</p><math display="block">\text{균열깊이}(H) = \frac{L}{2} \sqrt{\left(\frac{T_c}{T_o}\right)^2 - 1}</math><p style="text-align: center;">여기서, <math>T_o</math> : 균열이 없는 건전부의 초음파 전달속도<br/><math>T_c</math> : 균열면 주위의 초음파 전달속도</p></div></div> |                                                                                                                                |             |        |   |                       |                                                                                              |    |                                |                                                                                                                                |     |                        |                                                                                                                      |    |   |                                                                                            |
| 평가 기준 | <div><p style="text-align: center;">&lt;균열깊이의 손상도 판정기준&gt;</p><table><tr><th>손상도</th><th>균열깊이(<math>H</math>)</th><th>구조물 상황</th></tr><tr><td>I</td><td><math>D_c/2 &gt; \text{균열깊이}</math></td><td><ul style="list-style-type: none"><li>콘크리트 중 강재 부식 없음.</li><li>일반적인 정기점검으로도 충분한 단계</li></ul></td></tr><tr><td>II</td><td><math>D_c &gt; \text{균열깊이} \geq D_c/2</math></td><td><ul style="list-style-type: none"><li>콘크리트 중 강재의 부식 시작</li><li>구조물의 중요도, 내구연한 등 유지관리의 수준에 따라서 정밀한 내구성 진단의 실시가 필요한 단계</li></ul></td></tr><tr><td>III</td><td><math>\text{균열깊이} \geq D_c</math></td><td><ul style="list-style-type: none"><li>콘크리트 중 강재의 부식 진행</li><li>정밀한 내구성 진단을 실시하여 구조물의 상황을 확실히 파악할 필요가 있는 단계</li></ul></td></tr><tr><td>IV</td><td>-</td><td><ul style="list-style-type: none"><li>콘크리트 중 강재 부식</li><li>즉시 정밀한 내구성 진단이 필요한 단계</li></ul></td></tr></table><p>※여기서, <math>D_c</math>는 피복두께(mm)를 의미함.</p></div>                             | 손상도                                                                                                                            | 균열깊이( $H$ ) | 구조물 상황 | I | $D_c/2 > \text{균열깊이}$ | <ul style="list-style-type: none"><li>콘크리트 중 강재 부식 없음.</li><li>일반적인 정기점검으로도 충분한 단계</li></ul> | II | $D_c > \text{균열깊이} \geq D_c/2$ | <ul style="list-style-type: none"><li>콘크리트 중 강재의 부식 시작</li><li>구조물의 중요도, 내구연한 등 유지관리의 수준에 따라서 정밀한 내구성 진단의 실시가 필요한 단계</li></ul> | III | $\text{균열깊이} \geq D_c$ | <ul style="list-style-type: none"><li>콘크리트 중 강재의 부식 진행</li><li>정밀한 내구성 진단을 실시하여 구조물의 상황을 확실히 파악할 필요가 있는 단계</li></ul> | IV | - | <ul style="list-style-type: none"><li>콘크리트 중 강재 부식</li><li>즉시 정밀한 내구성 진단이 필요한 단계</li></ul> |
| 손상도   | 균열깊이( $H$ )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 구조물 상황                                                                                                                         |             |        |   |                       |                                                                                              |    |                                |                                                                                                                                |     |                        |                                                                                                                      |    |   |                                                                                            |
| I     | $D_c/2 > \text{균열깊이}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"><li>콘크리트 중 강재 부식 없음.</li><li>일반적인 정기점검으로도 충분한 단계</li></ul>                                   |             |        |   |                       |                                                                                              |    |                                |                                                                                                                                |     |                        |                                                                                                                      |    |   |                                                                                            |
| II    | $D_c > \text{균열깊이} \geq D_c/2$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"><li>콘크리트 중 강재의 부식 시작</li><li>구조물의 중요도, 내구연한 등 유지관리의 수준에 따라서 정밀한 내구성 진단의 실시가 필요한 단계</li></ul> |             |        |   |                       |                                                                                              |    |                                |                                                                                                                                |     |                        |                                                                                                                      |    |   |                                                                                            |
| III   | $\text{균열깊이} \geq D_c$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"><li>콘크리트 중 강재의 부식 진행</li><li>정밀한 내구성 진단을 실시하여 구조물의 상황을 확실히 파악할 필요가 있는 단계</li></ul>           |             |        |   |                       |                                                                                              |    |                                |                                                                                                                                |     |                        |                                                                                                                      |    |   |                                                                                            |
| IV    | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <ul style="list-style-type: none"><li>콘크리트 중 강재 부식</li><li>즉시 정밀한 내구성 진단이 필요한 단계</li></ul>                                     |             |        |   |                       |                                                                                              |    |                                |                                                                                                                                |     |                        |                                                                                                                      |    |   |                                                                                            |

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조

※콘크리트 내구성 평가절차 수립(건설교통부, 시설안전기술공단, 1999.12) 참조

※안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토해양부, 한국시설안전공단, 2010.12) 참조

### 3.4.3 시험결과 및 분석

#### 가. 백운1교(부산)

##### 1) 콘크리트 강도시험

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

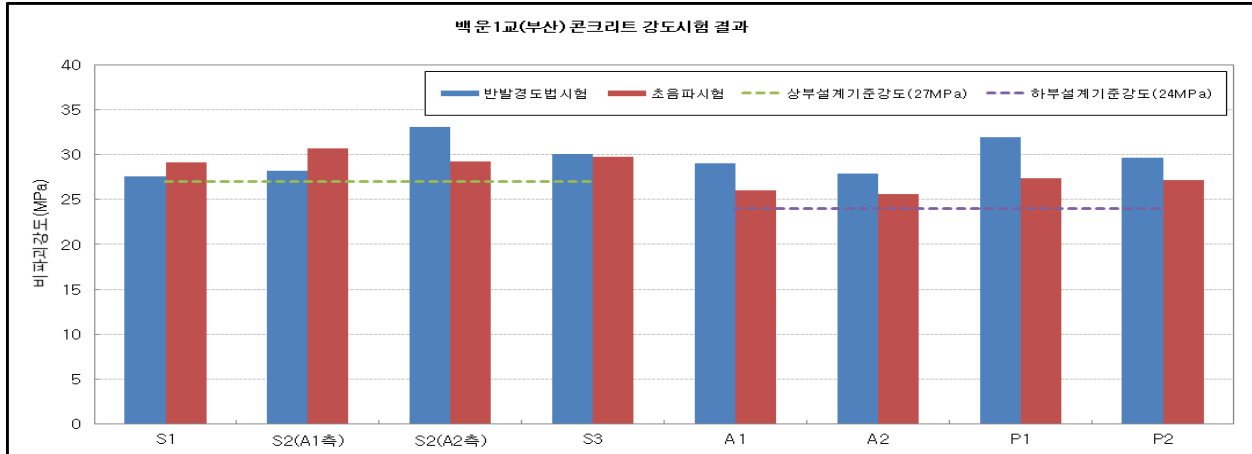
초음파시험은 반발경도시험을 수행한 동일부위를 선정하여 그라인딩을 실시하고 그리스를 도포 한 후, 발신자와 수신자의 측정거리를 10cm간격으로 증가시키면서 간접법에 의한 초음파 전달속도를 측정하였으며, 이를 직접법 속도로 환산하였다.

본 과업에서 대상 구조물의 콘크리트 비파괴강도를 평가하기 위하여 반발경도시험, 초음파 시험의 결과를 비교하였고, 각 시험방법에 의한 비파괴강도를 【표 3.91】에 나타내었다.

##### ① 비파괴강도 시험결과

【표 3.91】 백운1교(부산) 부재별 콘크리트 비파괴강도 시험결과

| 시험위치             |                 | 비파괴시험                 |                        | 반발경도시험(MPa)      |                  |       | 초음파시험(MPa)       |                  |       | 설계<br>기준<br>강도<br>(MPa) |
|------------------|-----------------|-----------------------|------------------------|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|-------|-------------------------|
|                  |                 | 반발<br>경도<br>( $R_0$ ) | 초음파<br>속도<br>( $V_d$ ) | ①식<br>일본<br>재료학회 | ②식<br>일본<br>건축학회 | 평균    | ③식<br>일본<br>재료학회 | ④식<br>일본<br>건축학회 | 평균    |                         |
| 상<br>부<br>구<br>조 | S1 캔틸레버 우측      | 48.2                  | 4.197                  | 27.2             | 27.9             | 27.6  | 30.5             | 27.7             | 29.1  | 27.0                    |
|                  | S2 캔틸레버 우측(A1측) | 49.2                  | 4.301                  | 28.0             | 28.4             | 28.2  | 31.5             | 29.9             | 30.7  |                         |
|                  | S2 캔틸레버 우측(A2측) | 57.0                  | 4.208                  | 34.3             | 31.9             | 33.1  | 30.6             | 27.9             | 29.2  |                         |
|                  | S3 캔틸레버 우측      | 52.2                  | 4.234                  | 30.4             | 29.7             | 30.1  | 30.9             | 28.5             | 29.7  |                         |
|                  | 평균              |                       |                        | 30.0             | 29.5             | 29.8  | 30.9             | 28.5             | 29.7  |                         |
|                  | 표준편차            |                       |                        | 3.2              | 1.8              | 2.5   | 0.5              | 1.0              | 0.7   |                         |
|                  | 변동계수            |                       |                        | 0.106            | 0.061            | 0.083 | 0.015            | 0.035            | 0.025 |                         |
| 하<br>부<br>구<br>조 | A1 구체           | 52.2                  | 4.070                  | 30.4             | 29.7             | 30.1  | 29.2             | 25.0             | 27.1  | 24.0                    |
|                  | A2 구체           | 52.8                  | 4.139                  | 30.9             | 30.0             | 30.4  | 29.9             | 26.5             | 28.2  |                         |
|                  | P1 기둥           | 44.9                  | 4.028                  | 24.6             | 26.4             | 25.5  | 28.8             | 24.1             | 26.5  |                         |
|                  | P2 기둥           | 44.7                  | 4.001                  | 24.4             | 26.3             | 25.3  | 28.5             | 23.5             | 26.0  |                         |
|                  | 평균              |                       |                        | 27.6             | 28.1             | 27.8  | 29.1             | 24.8             | 27.0  |                         |
|                  | 표준편차            |                       |                        | 3.6              | 2.0              | 2.8   | 0.6              | 1.3              | 0.9   |                         |
|                  | 변동계수            |                       |                        | 0.129            | 0.072            | 0.101 | 0.021            | 0.053            | 0.035 |                         |



【그림 3.24】 백운1교(부산) 콘크리트 강도시험 결과

【표 3.92】 백운1교(부산) 비파괴강도 시험결과 분석

| 구 분  | 시험방법   | 평균강도(A)(MPa) | 설계기준강도(B)(MPa) | A/B×100(%)  |
|------|--------|--------------|----------------|-------------|
| 상부구조 | 반발경도시험 | 27.6~33.1    | 27.0           | 102.2~122.6 |
|      | 초음파시험  | 29.1~30.7    |                | 107.8~113.7 |
| 하부구조 | 반발경도시험 | 25.3~30.4    | 24.0           | 105.4~126.7 |
|      | 초음파시험  | 26.0~28.2    |                | 108.3~117.5 |

비파괴강도 시험(반발경도시험, 초음파시험)에 의한 콘크리트 강도시험 결과, 상부구조 반발경도시험 27.6~33.1MPa, 초음파시험 29.1~30.7MPa로 설계기준강도(27.0MPa)를 상회하는 것으로 측정되었으며, 하부구조 반발경도시험 25.3~30.4MPa, 초음파시험 26.0~28.2MPa로 설계기준강도(24.0MPa)를 상회하는 것으로 측정되어 콘크리트 강도는 건전한 것으로 판단된다.

## ② 기 진단결과와의 비교

【표 3.93】 백운1교(부산) 비파괴강도 측정결과 전차 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석

| 구 분  | 전차 정밀안전진단(2011년) |            | 금회 정밀안전진단   |            | 설계강도 (MPa) |
|------|------------------|------------|-------------|------------|------------|
|      | 반발경도시험(MPa)      | 초음파시험(MPa) | 반발경도시험(MPa) | 초음파시험(MPa) |            |
| 상부구조 | 26.1~30.4        | 27.7~31.6  | 27.6~33.1   | 29.1~30.7  | 27.0       |
| 하부구조 | 30.2~34.2        | 24.1~30.5  | 25.3~30.4   | 26.0~28.2  | 24.0       |

전차 정밀안전진단(2011년)과 금회 측정한 비파괴 압축강도 측정값을 비교·분석한 결과, 측정위치에 따라 다소 차이는 발생하고 있으나 전반적으로 전차 정밀안전진단 결과와 유사한 경향을 보이고 있으며, 측정개소 모두 설계기준강도를 상회하는 것으로 측정되어 콘크리트 강도는 전반적으로 양호하며, 강도저하는 발생되지 않은 것으로 판단된다.

## 2) 철근탐사시험

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

철근탐사시험은 상부구조 4개소, 하부구조 4개소에서 RC-Rader를 이용하여 실시하였다. 상부구조의 철근탐사는 바닥판 캔틸레버부에서 조사를 실시하였으며, 하부구조의 경우 교대 및 교각구체에서 조사를 실시하였다.

## ① 철근탐사 시험결과

【표 3.94】 백운1교(부산) 철근탐사 시험결과

| 시험위치 |                 | 철근종류  | 측정치(mm)     |             | 설계치(mm) |       | 비 고 |
|------|-----------------|-------|-------------|-------------|---------|-------|-----|
|      |                 |       | 배근간격        | 피복두께        | 배근간격    | 피복두께  |     |
| 상부구조 | S1 캔틸레버 우측      | 횡방향철근 | 112.5       | 41.0~43.0   | 125.0   | 42.0  |     |
|      | S2 캔틸레버 우측(A1측) | 횡방향철근 | 107.5~112.5 | 40.0~41.0   | 125.0   | 42.0  |     |
|      | S2 캔틸레버 우측(A2측) | 횡방향철근 | 127.5~132.5 | 43.0~46.0   | 125.0   | 42.0  |     |
|      | S3 캔틸레버 우측      | 횡방향철근 | 110.0~135.0 | 43.0~48.0   | 125.0   | 42.0  |     |
| 하부구조 | A1 구체           | 수직철근  | 115.0~120.0 | 96.0~97.0   | 125.0   | 90.5  |     |
|      |                 | 수평철근  | 150.0~155.0 | 110.0~111.0 | 150.0   | 109.5 |     |
|      | A2 구체           | 수직철근  | 95.0~110.0  | 85.0~92.0   | 100.0   | 87.5  |     |
|      |                 | 수평철근  | 140.0       | 110.0~111.0 | 150.0   | 112.5 |     |
|      | P1 기둥           | 수직철근  | 90.0~110.0  | 87.0~88.0   | 100.0   | 87.5  |     |
|      |                 | 수평철근  | 145.0~155.0 | 113.0~116.0 | 150.0   | 112.5 |     |
|      | P2 기둥           | 수직철근  | 105.0~115.0 | 86.0~91.0   | 100.0   | 87.5  |     |
|      |                 | 수평철근  | 140.0~145.0 | 113.0       | 150.0   | 112.5 |     |

주) 피복두께는 설계도서를 참고하여 순피복두께를 적용함.

철근탐사 시험결과, 상부구조(캔틸레버)의 철근배근간격은 종방향철근의 경우 측정부재의 길이 부족으로 인해 미실시하였으며, 횡방향철근 107.5~135.0mm 및 피복두께 40.0~48.0mm로 조사되었으며, 하부구조의 철근배근간격은 수직철근 90.0~120.0mm, 수평철근 140.0~155.0mm 및 피복두께 85.0~116.0mm로 조사되었다.

철근탐사 결과를 “중앙고속도로 제천-원주간 확장공사 제16공구 실시설계도”를 기준으로 비교·검토 한 결과, 철근의 배근간격은 각각의 철근간의 간격이 다소 편차를 보이고 있으나 전체적인 평균 간격은 설계 간격과 유사한 것으로 조사되었다.

피복두께는 시공시 작업하중, 피복두께 유지재의 설치 차이 등으로 인해 일부 차이를 보이고 있지만, 설계값은 사용피복(철근중심까지의 거리)인 점을 고려할 때 설계도면에 따라 적정하게 배근된 것으로 판단된다.



## ② 기 진단결과와의 비교

【표 3.95】 백운1교(부산) 철근탐사결과 전차 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석

| 시험위치 |      | 철근종류  | 전차 정밀안전진단   |           | 금회 정밀안전진단   |             | 설계치(mm) |              | 비 고 |
|------|------|-------|-------------|-----------|-------------|-------------|---------|--------------|-----|
|      |      |       | 배근간격        | 피복두께      | 배근간격        | 피복두께        | 배근간격    | 피복두께         |     |
| 상부   | 캔틸레버 | 횡방향철근 | 105.0~140.0 | 31.0~57.0 | 107.5~135.0 | 40.0~48.0   | 125.0   | 50.0(42.0)   |     |
|      |      |       | 215.0~250.0 | 50.0~56.0 | -           | -           | 250.0   | 50.0         |     |
| 하부   | A1   | 수직철근  | 225.0~270.0 | 116.0     | -           | -           | 250.0   | 100.0        |     |
|      |      | 수평철근  | 145.0~170.0 | 116.0     | -           | -           | 150.0   | 100.0        |     |
|      |      | 수직철근  | -           | -         | 115.0~120.0 | 96.0~97.0   | 125.0   | (90.5)       |     |
|      |      | 수평철근  | -           | -         | 150.0~155.0 | 110.0~111.0 | 150.0   | (109.5)      |     |
|      | A2   | 수직철근  | 160.0~220.0 | 111.0     | -           | -           | 200.0   | 100.0        |     |
|      |      | 수평철근  | 130.0~175.0 | 111.0     | -           | -           | 150.0   | 100.0        |     |
|      |      | 수직철근  | -           | -         | 95.0~110.0  | 85.0~92.0   | 100.0   | (87.5)       |     |
|      |      | 수평철근  | -           | -         | 140.0       | 110.0~111.0 | 150.0   | (112.5)      |     |
|      | 교각   | 수직철근  | 95.0~120.0  | 75.0~81.0 | 90.0~115.0  | 86.0~91.0   | 100.0   | 100.0(87.5)  |     |
|      |      | 수평철근  | 140.0~175.0 | 75.0~81.0 | 140.0~155.0 | 113.0~116.0 | 150.0   | 100.0(112.5) |     |

주) 피복두께는 설계치 중 ( )값은 순피복두께임.

동일 부재여도 측정부위에 따른 설계 배근간격이 상이하어 직접적인 비교·분석이 가능하지 않은 측정개소가 발생하였으나, 전차 정밀안전진단(2011년)과 금회 측정한 철근탐사결과 배근간격 및 피복두께가 설계기준에 따라 적정하게 배근된 것으로 검토되었다.

## 3) 탄산화 깊이 측정

구조물의 탄산화 진행 정도는 구조부재에 대해 드릴로 천공하여 1% 페놀프탈레인 용액을 분무하여 콘크리트 색의 변색여부로 평가한다. 지시약을 분무하면 탄산화가 진행된 면에서는 색의 변화가 나타나지 않고 그 변화가 없는 정도를 곧 탄산화 진행 깊이로 판단하게 된다.

탄산화 시험은 상부구조 2개소, 하부구조 4개소를 선정하여 실시하였다.

## ① 탄산화 깊이 측정결과

【표 3.96】 백운1교(부산) 탄산화 깊이 측정결과 및 평가

| 시험위치  |                 | 탄산화 깊이 (mm) | 실측 피복두께 (mm) | 탄산화 잔여깊이 (mm) | 평가 결과 | 탄산화 속도계수 (A) | 잔존 수명 (년) | 비 고 |
|-------|-----------------|-------------|--------------|---------------|-------|--------------|-----------|-----|
| 상부 구조 | S1 캔틸레버 우측      | 2.0         | 41.0         | 39.0          | a     | 0.50         | 100년 이상   |     |
|       | S2 캔틸레버 우측(A2측) | 2.0         | 43.0         | 41.0          | a     | 0.50         | 100년 이상   |     |
| 하부 구조 | A1 구체           | 1.0         | 96.0         | 95.0          | a     | 0.25         | 100년 이상   |     |
|       | A2 구체           | 3.0         | 85.0         | 82.0          | a     | 0.75         | 100년 이상   |     |
|       | P1 기둥           | 5.0         | 87.0         | 82.0          | a     | 1.25         | 100년 이상   |     |
|       | P2 기둥           | 12.0        | 86.0         | 74.0          | a     | 3.00         | 100년 이상   |     |

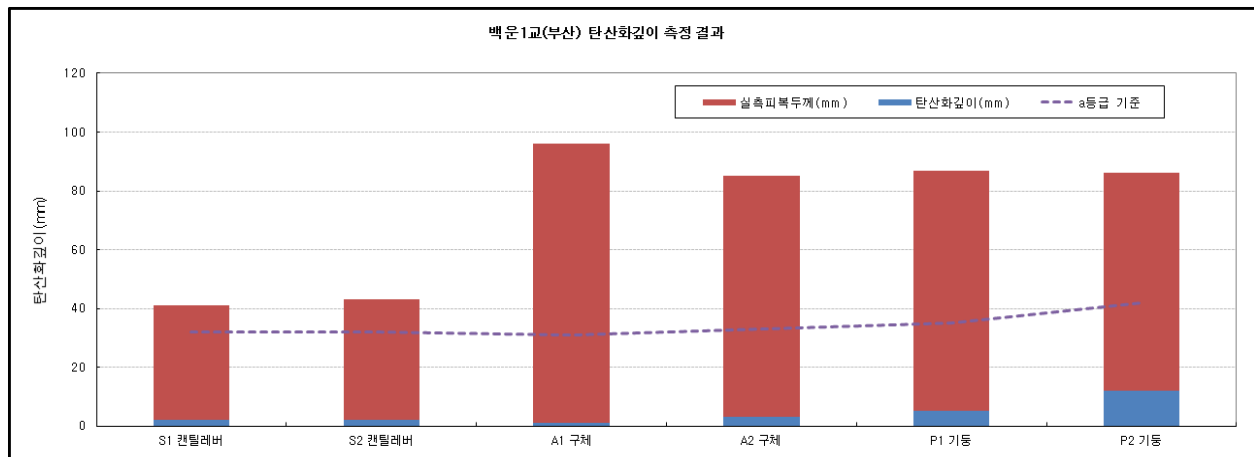
※실측 피복두께는 철근탐사 시험결과 중 해당 부재의 최소피복두께를 적용함

※탄산화 속도계수(A) = 탄산화깊이 / √재령(년)

※수명예측(년) = (철근피복 / 탄산화속도 계수)<sup>2</sup>

※잔존수명 예측(년) = 수명예측년수 - 경과년수(2000년 준공, 경과년수 : 16년)

※안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토해양부, 한국시설안전공단, 2010.12) 참조



【그림 3.25】 백운1교(부산) 탄산화깊이 측정결과

상부구조의 탄산화 깊이는 2.0mm, 하부구조는 1.0~12.0mm로 조사되었다. 실측 탄산화 깊이 및 철근탐사 피복두께에 의한 탄산화 잔여깊이는 상부구조 39.0~41.0mm, 하부구조 74.0~95.0mm로 측정개소 모두 잔여깊이 30mm 이상으로 철근부식의 우려가 없는 a로 평가되었다. 또한, 현재의 탄산화 깊이를 철근 피복과 비교하여 내구성측면에서의 잔존수명을 계산하면 100년 이상을 나타내고 있으므로 탄산화에 의한 철근부식 등 내구성 저하는 없는 것으로 판단된다.

## ② 기 진단결과와의 비교

【표 3.97】 백운1교(부산) 탄산화 깊이 측정결과 전차 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석

| 구 분  | 전차 정밀안전진단(2011년) |            | 금회 정밀안전진단 |           | 비 고           |
|------|------------------|------------|-----------|-----------|---------------|
|      | 탄산화깊이(mm)        | 잔여깊이(mm)   | 탄산화깊이(mm) | 잔여깊이(mm)  |               |
| 상부구조 | 2.0~4.0          | 29.0~52.0  | 2.0       | 39.0~41.0 | 철근부식<br>우려 없음 |
| 하부구조 | 12.0~18.0        | 63.0~104.0 | 1.0~12.0  | 74.0~95.0 |               |

전차 정밀안전진단(2011년) 결과 상부구조(S2)에서 b로 평가된 1개소는 탄산화깊이 2.0mm로 측정되었으나, 실측 피복두께가 31.0mm로 탄산화 진행정도에 비해 잔여깊이(29.0mm)가 부족한 상태로 평가되었으나 탄산화 속도계수에 의한 잔존수명이 100년 이상을 나타내어 탄산화에 의한 철근부식 우려가 없는 것으로 평가되었다.

기 진단 결과와 비교·분석한 결과, 측정위치 차이에 의해 측정 결과 값에 다소 차이가 있으나, 측정개소 모두 탄산화에 의한 철근부식 및 콘크리트 내구성 저하의 영향은 적을 것으로 판단된다.

## 4) 염화물 함유량 시험

염화물 함유량 시험은 상부구조(S2) 1개소와 하부구조(A1, P1) 2개소에서 시료를 깊이별로 채취하여 공인기관에 의뢰하여 시험을 실시하였다.

## ① 염화물 함유량 시험결과

【표 3.98】 백운1교(부산) 염화물 함유량 시험결과 및 평가

| 시험위치     |                    |         | 실측<br>피복두께<br>(mm) | 콘크리트 구조기준<br>(Cl <sup>-</sup> (%)) |      | 상태평가 기준<br>(Cl <sup>-</sup> (kg/m <sup>3</sup> )) |      | 비 고 |
|----------|--------------------|---------|--------------------|------------------------------------|------|---------------------------------------------------|------|-----|
|          |                    |         |                    | 함유량                                | 평가결과 | 함유량                                               | 평가결과 |     |
| 상부<br>구조 | S2 캔틸레버<br>우측(A2측) | 0~20mm  | 43.0               | 0.0131                             | 적합   | 0.296                                             | a    |     |
|          |                    | 20~40mm |                    | 0.0060                             |      | 0.135                                             |      |     |
|          |                    | 40~철근부  |                    | 0.0047                             |      | 0.106                                             |      |     |
| 하부<br>구조 | A1 구체              | 0~20mm  | 96.0               | 0.0845                             | 적합   | 1.912                                             | b    |     |
|          |                    | 20~40mm |                    | 0.0710                             |      | 1.606                                             |      |     |
|          |                    | 40~60mm |                    | 0.0548                             |      | 1.240                                             |      |     |
|          |                    | 60~80mm |                    | 0.0370                             |      | 0.837                                             |      |     |
|          |                    | 80~철근부  |                    | 0.0257                             |      | 0.581                                             |      |     |
|          | P1 기둥              | 0~20mm  | 87.0               | 0.0249                             | 적합   | 0.563                                             | a    |     |
|          |                    | 20~40mm |                    | 0.0222                             |      | 0.502                                             |      |     |
|          |                    | 40~60mm |                    | 0.0177                             |      | 0.400                                             |      |     |
|          |                    | 60~80mm |                    | 0.0085                             |      | 0.192                                             |      |     |
|          |                    | 80~철근부  |                    | 0.0070                             |      | 0.158                                             |      |     |

주) 염화물 함유량 평가는 철근부식을 평가하는 항목으로 철근위치의 값을 기준으로 평가함.

시험결과, 염화물 함유량은 상부구조 0.106kg/m<sup>3</sup>, 하부구조 0.158~0.581kg/m<sup>3</sup>로 분석되어 상태평가 “a~b”로 부식발생 가능성이 낮은 것으로 평가되었다. 금회 현장조사 결과 철근부식에 의한 박락은 발생되지 않은 상태로 염화물에 의한 구조물의 손상은 없는 것으로 조사되었다.

## ② 기 진단결과와의 비교

【표 3.99】 백운1교(부산) 염화물 함유량 시험결과 전차 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석

| 구 분  | 전차 정밀안전진단(2011년)    |                                      | 금회 정밀안전진단           |                                      | 비 고 |
|------|---------------------|--------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|-----|
|      | Cl <sup>-</sup> (%) | Cl <sup>-</sup> (kg/m <sup>3</sup> ) | Cl <sup>-</sup> (%) | Cl <sup>-</sup> (kg/m <sup>3</sup> ) |     |
| 상부구조 | 0.0311              | 0.705                                | 0.0047              | 0.106                                |     |
| 하부구조 | 0.0138~0.0261       | 0.313~0.592                          | 0.0070~0.0257       | 0.158~0.581                          |     |

전차 정밀안전진단(2011년)과 금회 측정한 염화물 함유량 시험결과를 비교·분석한 결과, 재료 시험 특성 및 시험위치의 차이 등에 의해 미소한 차이가 발생하였으나, 측정개소 모두 염화물 함유량 1.2kg/m<sup>3</sup>이하로 염화물에 의한 부식발생 가능성이 낮은 것으로 분석되었다.

## 나. 백운1교(춘천)

## 1) 콘크리트 강도시험

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

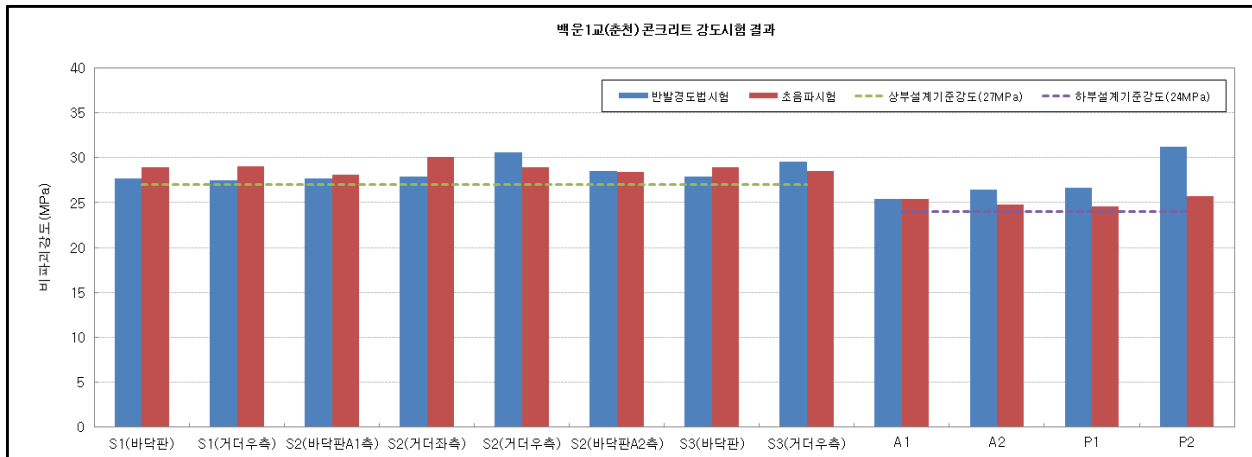
초음파시험은 반발경도시험을 수행한 동일부위를 선정하여 그라인딩을 실시하고 그리스를 도포 한 후, 발신자와 수신자의 측정거리를 10cm간격으로 증가시키면서 간접법에 의한 초음파 전달속도를 측정하였으며, 이를 직접법 속도로 환산하였다.

본 과업에서 대상 구조물의 콘크리트 비파괴강도를 평가하기 위하여 반발경도시험, 초음파 시험의 결과를 비교하였고, 각 시험방법에 의한 비파괴강도를 【표 3.100】에 나타내었다.

## ① 비파괴강도 시험결과

【표 3.100】 백운1교(춘천) 부재별 콘크리트 비파괴강도 시험결과

| 시험위치             |               | 비파괴시험                 |                        | 반발경도시험(MPa)      |                  |       | 초음파시험(MPa)       |                  |       | 설계<br>기준<br>강도<br>(MPa) |
|------------------|---------------|-----------------------|------------------------|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|-------|-------------------------|
|                  |               | 반발<br>경도<br>( $R_0$ ) | 초음파<br>속도<br>( $V_d$ ) | ①식<br>일본<br>재료학회 | ②식<br>일본<br>건축학회 | 평균    | ③식<br>일본<br>재료학회 | ④식<br>일본<br>건축학회 | 평균    |                         |
| 상<br>부<br>구<br>조 | S1 바닥판하면      | 48.4                  | 4.184                  | 27.3             | 28.0             | 27.7  | 30.4             | 27.4             | 28.9  | 27.0                    |
|                  | S1 거더 우측      | 48.2                  | 4.190                  | 27.2             | 27.9             | 27.5  | 30.4             | 27.5             | 29.0  |                         |
|                  | S2 바닥판하면(A1측) | 48.5                  | 4.137                  | 27.4             | 28.0             | 27.7  | 29.9             | 26.4             | 28.1  |                         |
|                  | S2 거더 좌측      | 48.8                  | 4.264                  | 27.7             | 28.2             | 27.9  | 31.2             | 29.1             | 30.1  |                         |
|                  | S2 거더 우측      | 53.1                  | 4.188                  | 31.1             | 30.1             | 30.6  | 30.4             | 27.5             | 28.9  |                         |
|                  | S2 바닥판하면(A2측) | 49.8                  | 4.156                  | 28.5             | 28.6             | 28.5  | 30.1             | 26.8             | 28.4  |                         |
|                  | S3 바닥판하면      | 48.8                  | 4.184                  | 27.7             | 28.2             | 27.9  | 30.4             | 27.4             | 28.9  |                         |
|                  | S3 거더 우측      | 51.5                  | 4.157                  | 29.8             | 29.4             | 29.6  | 30.1             | 26.8             | 28.5  |                         |
|                  | 평 균           |                       |                        | 28.3             | 28.6             | 28.4  | 30.4             | 27.4             | 28.9  |                         |
|                  | 표준편차          |                       |                        | 1.4              | 0.8              | 1.1   | 0.4              | 0.8              | 0.6   |                         |
|                  | 변동계수          |                       |                        | 0.050            | 0.028            | 0.039 | 0.013            | 0.030            | 0.021 |                         |
| 하<br>부<br>구<br>조 | A1 구체         | 44.8                  | 3.959                  | 24.5             | 26.3             | 25.4  | 28.1             | 22.7             | 25.4  | 24.0                    |
|                  | A2 구체         | 46.3                  | 3.921                  | 25.7             | 27.0             | 26.4  | 27.7             | 21.9             | 24.8  |                         |
|                  | P1 기둥         | 46.7                  | 3.910                  | 26.0             | 27.2             | 26.6  | 27.6             | 21.6             | 24.6  |                         |
|                  | P2 지점부롤러      | 54.1                  | 3.980                  | 31.9             | 30.5             | 31.2  | 28.3             | 23.1             | 25.7  |                         |
|                  | 평 균           |                       |                        | 27.0             | 27.8             | 27.4  | 27.9             | 22.3             | 25.1  |                         |
|                  | 표준편차          |                       |                        | 3.3              | 1.9              | 2.6   | 0.3              | 0.7              | 0.5   |                         |
|                  | 변동계수          |                       |                        | 0.123            | 0.068            | 0.094 | 0.012            | 0.031            | 0.020 |                         |



【그림 3.26】 백운1교(춘천) 콘크리트 강도시험 결과

【표 3.101】 백운1교(춘천) 비파괴강도 시험결과 분석

| 구 분  | 시험방법   | 평균강도(A)(MPa) | 설계기준강도(B)(MPa) | A/B×100(%)  |
|------|--------|--------------|----------------|-------------|
| 상부구조 | 반발경도시험 | 27.5~30.6    | 27.0           | 101.9~113.3 |
|      | 초음파시험  | 28.1~30.1    |                | 104.1~111.5 |
| 하부구조 | 반발경도시험 | 25.4~31.2    | 24.0           | 105.8~130.0 |
|      | 초음파시험  | 24.6~25.7    |                | 102.5~107.1 |

비파괴강도 시험(반발경도시험, 초음파시험)에 의한 콘크리트 강도시험 결과, 상부구조 반발경도시험 27.5~30.6MPa, 초음파시험 28.1~30.1MPa로 설계기준강도(27.0MPa)를 상회하는 것으로 측정되었으며, 하부구조 반발경도시험 25.4~31.2MPa, 초음파시험 24.6~25.7MPa로 설계기준강도(24.0MPa)를 상회하는 것으로 측정되어 콘크리트 강도는 건전한 것으로 판단된다.

## ② 기 진단결과와의 비교

【표 3.102】 백운1교(춘천) 비파괴강도 측정결과 전차 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석

| 구 분  | 전차 정밀안전진단(2013년) |            | 금회 정밀안전진단   |            | 설계강도(MPa) |
|------|------------------|------------|-------------|------------|-----------|
|      | 반발경도시험(MPa)      | 초음파시험(MPa) | 반발경도시험(MPa) | 초음파시험(MPa) |           |
| 상부구조 | 28.2~30.6        | 28.3~33.2  | 27.5~30.6   | 28.1~30.1  | 27.0      |
| 하부구조 | 26.6~27.9        | 25.3~27.3  | 25.4~31.2   | 24.6~25.7  | 24.0      |

전차 정밀안전진단(2013년)과 금회 측정한 비파괴 압축강도 측정값을 비교·분석한 결과, 측정위치에 따라 다소 차이는 발생하고 있으나 전반적으로 전차 정밀안전진단 결과와 유사한 경향을 보이고 있으며, 측정개소 모두 설계기준강도를 상회하는 것으로 측정되어 콘크리트 강도는 전반적으로 양호하며, 강도저하는 발생되지 않은 것으로 판단된다.



## 2) 철근탐사시험

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

철근탐사시험은 상부구조 8개소, 하부구조 4개소에서 RC-Rader를 이용하여 실시하였다.

## ① 철근탐사 시험결과

【표 3.103】 백운1교(춘천) 철근탐사 시험결과

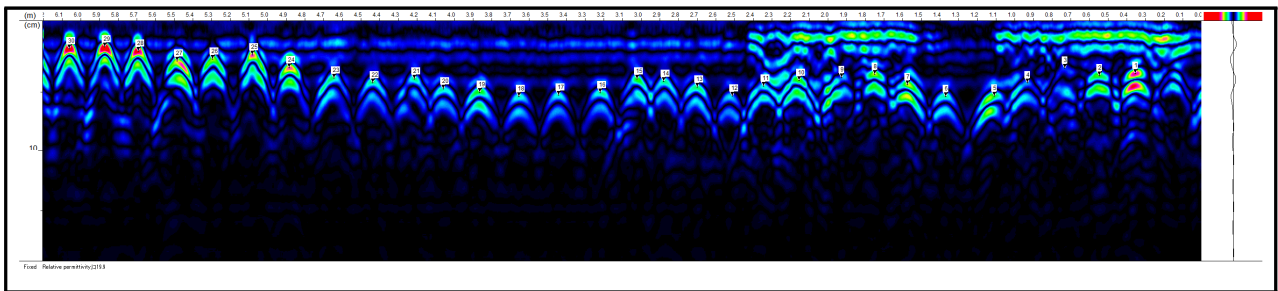
| 시험위치             |               | 철근종류  | 측정치(mm)     |             | 설계치(mm) |       | 비 고 |
|------------------|---------------|-------|-------------|-------------|---------|-------|-----|
|                  |               |       | 배근간격        | 피복두께        | 배근간격    | 피복두께  |     |
| 상<br>부<br>구<br>조 | S1 바닥판하면      | 종방향철근 | 125.0~137.5 | 36.0~37.0   | 125.0   | 37.5  |     |
|                  |               | 횡방향철근 | 195.0~205.0 | 63.0~68.0   | 200.0   | 62.5  |     |
|                  | S1 거더 우측      | 수직철근  | 144.0       | 45.0~48.0   | 149.0   | 39.0  |     |
|                  |               | 수평철근  | 300.0       | 60.0~63.0   | 300.0   | 61.0  |     |
|                  | S2 바닥판하면(A1측) | 종방향철근 | 112.5~140.0 | 31.0~34.0   | 125.0   | 37.5  |     |
|                  |               | 횡방향철근 | 200.0~222.0 | 60.0~65.0   | 200.0   | 62.5  |     |
|                  | S2 거더 좌측      | 수직철근  | 144.0~149.0 | 40.0~42.0   | 149.0   | 39.0  |     |
|                  |               | 수평철근  | 300.0       | 60.0        | 300.0   | 61.0  |     |
|                  | S2 거더 우측      | 수직철근  | 134.0       | 37.0~40.0   | 149.0   | 39.0  |     |
|                  |               | 수평철근  | 265.0~300.0 | 58.0~60.0   | 300.0   | 61.0  |     |
|                  | S2 바닥판하면(A2측) | 종방향철근 | 125.0~142.5 | 36.0        | 125.0   | 37.5  |     |
|                  |               | 횡방향철근 | 180.0~205.0 | 65.0~68.0   | 200.0   | 62.5  |     |
|                  | S3 바닥판하면      | 종방향철근 | 110.0~144.0 | 37.0~40.0   | 125.0   | 37.5  |     |
|                  |               | 횡방향철근 | 190.0~195.0 | 69.0~70.0   | 200.0   | 62.5  |     |
|                  | S3 거더 우측      | 수직철근  | 134.0~144.0 | 41.0~48.0   | 149.0   | 39.0  |     |
|                  |               | 수평철근  | 280.0~320.0 | 63.0~67.0   | 300.0   | 61.0  |     |
| 하<br>부<br>구<br>조 | A1 구체         | 수직철근  | 185.0~200.0 | 90.0~97.0   | 200.0   | 90.5  |     |
|                  |               | 수평철근  | 190.0~210.0 | 108.0~111.0 | 200.0   | 109.5 |     |
|                  | A2 구체         | 수직철근  | 216.0~221.0 | 91.0        | 200.0   | 90.5  |     |
|                  |               | 수평철근  | 200.0       | 117.0       | 200.0   | 109.5 |     |
|                  | P1 기둥         | 수직철근  | 215.0~220.0 | 90.0~92.0   | 200.0   | 89.0  |     |
|                  |               | 수평철근  | 210.0       | 110.0       | 200.0   | 111.0 |     |
|                  | P2 지점부틀러      | 수직철근  | 190.0~205.0 | 92.0~96.0   | 200.0   | 92.0  |     |
|                  |               | 수평철근  | 195.0~210.0 | 105.0~108.0 | 200.0   | 108.0 |     |

주) 피복두께는 설계도서를 참고하여 순피복두께를 적용함.

철근탐사 시험결과, 상부구조 바닥판하면 종방향철근 110.0~144.0mm, 횡방향철근 180.0~222.0mm 및 피복두께 31.0~70.0mm로 조사되었으며, 거더 수직철근 134.0~149.0mm, 수평철근 265.0~320.0mm 및 피복두께 37.0~67.0mm로 조사되었다. 하부구조의 철근배근간격은 수직철근 185.0~221.0mm, 수평철근 190.0~210.0mm 및 피복두께 90.0~117.0mm로 조사되었다.

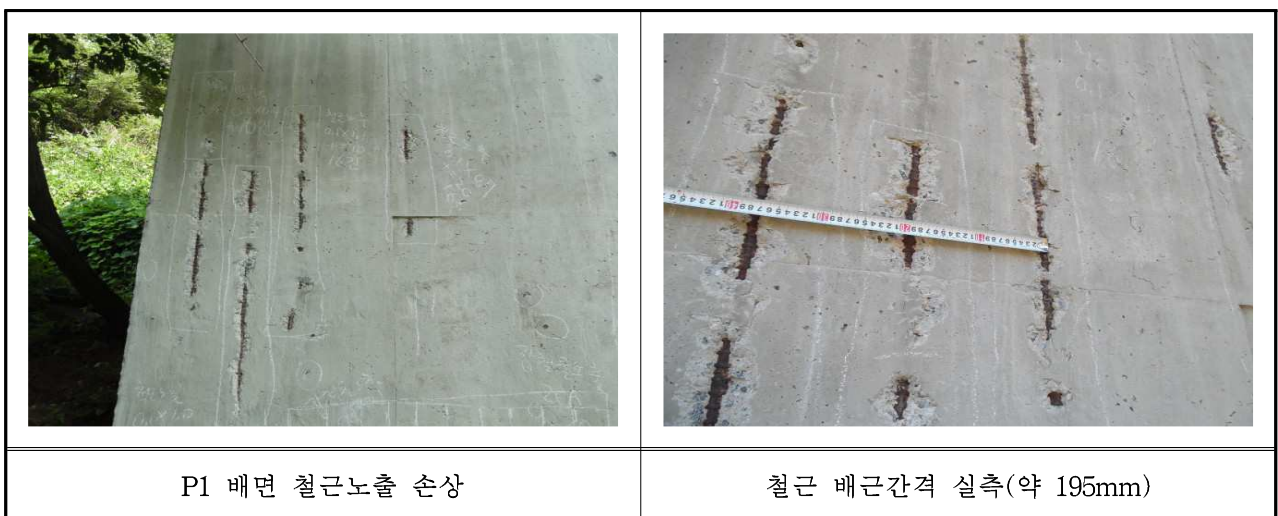
철근탐사 결과, 일부 설계도의 배근간격과 차이를 보이는 구간이 발생하여 추가 철근탐사 시험 및 외관조사를 실시하였다.

P1 배면부 수직철근에 대한 추가 철근탐사 결과, 배근간격은 전반적으로 설계치 인 200mm와 유사한 평균 197mm로 나타났다. 각각의 개별 철근의 간격은 설계치와 일부 상이한 경우도 있으나 이는 국부적으로 발생한 시공미흡 또는 콘크리트 타설 시 유동에 의한 오차로 판단된다.



【그림 3.27】 백운1교(춘천) P1 배면 철근탐사

추가적으로 P1 배면 철근피복 부족에 의한 철근노출 손상부위에서 노출된 철근 간격을 실측한 결과 설계치와 유사한 배근간격을 가지고 있는 것으로 확인되었다.



【사진 3.64】 백운1교(춘천) P1 배면 철근 배근간격 실측

철근탐사 결과를 “대구-춘천간 고속도로 건설공사 제7공구 구조도(준공도)”를 기준으로 비교·검토 한 결과, 철근의 배근간격은 각각의 철근간의 간격이 다소 편차를 보이고 있으나 전체적인 평균 간격은 설계 간격과 유사한 것으로 조사되었다.

피복두께는 시공시 작업하중, 피복두께 유지재의 설치 차이 등으로 인해 일부 차이를 보이고 있지만, 설계값은 사용피복(철근중심까지의 거리)인 점을 고려할 때 설계도면에 따라 적정하게 배근된 것으로 판단된다.

## ② 기 진단결과와의 비교

【표 3.104】 백운1교(춘천) 철근탐사결과 전차 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석

| 시험위치 |         | 철근종류  | 전차 정밀안전진단   |            | 금회 정밀안전진단   |             | 설계치(mm) |       | 비 고 |
|------|---------|-------|-------------|------------|-------------|-------------|---------|-------|-----|
|      |         |       | 배근간격        | 피복두께       | 배근간격        | 피복두께        | 배근간격    | 피복두께  |     |
| 상부   | 바닥판 하면  | 종방향철근 | 200.0       | 31.0~65.0  | 110.0~144.0 | 31.0~40.0   | 125.0   | 37.5  |     |
|      |         | 횡방향철근 | 200.0~223.0 | 53.0~75.0  | 180.0~222.0 | 60.0~70.0   | 200.0   | 62.5  |     |
|      | 거더      | 수직철근  | 200.0~300.0 | 59.0~92.0  | 134.0~149.0 | 37.0~48.0   | 149.0   | 39.0  |     |
|      |         | 수평철근  | 100.0~200.0 | 74.0~115.0 | 265.0~320.0 | 58.0~67.0   | 300.0   | 61.0  |     |
| 하부   | 교대      | 수직철근  | 150.0~200.0 | 86.0~102.0 | 185.0~221.0 | 90.0~97.0   | 200.0   | 90.5  |     |
|      |         | 수평철근  | -           | -          | 190.0~210.0 | 108.0~117.0 | 200.0   | 109.5 |     |
|      | P1기둥    | 수직철근  | 185.0       | 47.0       | 215.0~220.0 | 90.0~92.0   | 200.0   | 89.0  |     |
|      |         | 수평철근  | 200.0       | 94.0       | 210.0       | 110.0       | 200.0   | 111.0 |     |
|      | P2지점 롤러 | 수직철근  | 200.0       | 53.0       | 190.0~205.0 | 92.0~96.0   | 200.0   | 92.0  |     |
|      |         | 수평철근  | 200.0       | 75.0       | 195.0~210.0 | 105.0~108.0 | 200.0   | 108.0 |     |

전차 정밀안전진단(2013년)과 금회 측정한 철근배근상태를 비교·분석한 결과, 동일 부재여도 측정부위에 따른 설계 배근간격이 상이하여 직접적인 비교·분석이 가능하지 않은 상태로 금회 측정한 철근배근상태를 기준으로 평가를 실시한 결과 배근간격 및 피복두께가 설계기준에 따라 적정하게 배근된 것으로 검토되었다.

## 3) 탄산화 깊이 측정

구조물의 탄산화 진행 정도는 구조부재에 대해 드릴로 천공하여 1% 페놀프탈레인 용액을 분무하여 콘크리트 색의 변색여부로 평가한다. 지시약을 분무하면 탄산화가 진행된 면에서는 색의 변화가 나타나지 않고 그 변화가 없는 정도를 곧 탄산화 진행 깊이로 판단하게 된다.

탄산화 시험은 상부구조 2개소, 하부구조 2개소를 선정하여 실시하였다.

## ① 탄산화 깊이 측정결과

【표 3.105】 백운1교(춘천) 탄산화 깊이 측정결과 및 평가

| 시험위치     | 탄산화<br>깊이<br>(mm) | 실측<br>피복두께<br>(mm) | 탄산화<br>잔여깊이<br>(mm) | 평가<br>결과 | 탄산화<br>속도계수<br>(A) | 잔존<br>수명<br>(년) | 비 고     |
|----------|-------------------|--------------------|---------------------|----------|--------------------|-----------------|---------|
| 상부<br>구조 | S2 바닥판하면(A2측)     | 4.5                | 36.0                | 31.5     | a                  | 0.98            | 100년 이상 |
|          | S3 거더 우측          | 6.1                | 41.0                | 34.9     | a                  | 1.33            | 100년 이상 |
| 하부<br>구조 | A2 구체             | 4.3                | 91.0                | 86.7     | a                  | 0.94            | 100년 이상 |
|          | P1 기둥             | 4.0                | 90.0                | 86.0     | a                  | 0.87            | 100년 이상 |

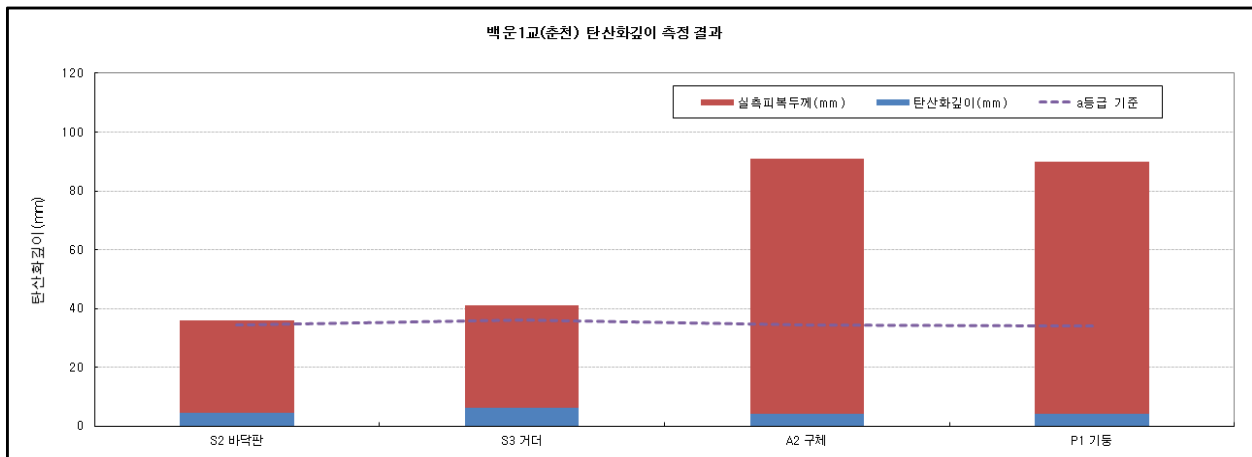
※ 실측 피복두께는 철근탐사 시험결과 중 해당 부재의 최소피복두께를 적용함

※ 탄산화 속도계수(A) = 탄산화깊이 /  $\sqrt{\text{재령(년)}}$

※ 수명예측(년) = (철근피복 / 탄산화속도 계수)<sup>2</sup>

※ 잔존수명 예측(년) = 수명예측년수 - 경과년수(1995년 준공, 경과년수 : 21년)

※ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토해양부, 한국시설안전공단, 2010.12) 참조



【그림 3.28】 백운1교(춘천) 탄산화깊이 측정결과

상부구조의 탄산화 깊이는 4.5~6.1mm, 하부구조는 4.0~4.3mm로 조사되었다. 실측 탄산화 깊이 및 철근탐사 피복두께에 의한 탄산화 잔여깊이는 상부구조 31.5~34.9mm, 하부구조 86.0~86.7mm로 측정개소 모두 잔여깊이 30mm 이상으로 철근부식의 우려가 없는 a로 평가되었다. 또한, 현재의 탄산화 깊이를 철근 피복과 비교하여 내구성측면에서의 잔존수명을 계산하면 100년 이상을 나타내고 있으므로 탄산화에 의한 철근부식 등 내구성 저하는 없는 것으로 판단된다.

## ② 기 진단결과와의 비교

【표 3.106】 백운1교(춘천) 탄산화 깊이 측정결과 전차 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석

| 구 분  | 전차 정밀안전진단(2013년) |           | 금회 정밀안전진단 |           | 비 고           |
|------|------------------|-----------|-----------|-----------|---------------|
|      | 탄산화깊이(mm)        | 잔여깊이(mm)  | 탄산화깊이(mm) | 잔여깊이(mm)  |               |
| 상부구조 | 4.2~5.3          | 26.8~53.7 | 4.5~6.1   | 31.5~34.9 | 철근부식<br>우려 없음 |
| 하부구조 | 3.4~3.6          | 43.6~98.4 | 4.0~4.3   | 86.0~86.7 |               |

전차 정밀안전진단(2013년) 결과 상부구조(S1)에서 b로 평가된 1개소는 탄산화깊이 4.2mm로 측정되었으나, 실측 피복두께가 31.0mm로 탄산화 진행정도에 비해 잔여깊이(26.8mm)가 부족한 상태로 평가되었으나 탄산화 속도계수에 의한 잔존수명이 100년 이상을 나타내어 탄산화에 의한 철근부식 우려가 없는 것으로 평가되었다.

기 진단 결과와 비교·분석한 결과, 측정위치 차이에 의해 측정 결과 값에 다소 차이가 있으나, 측정개소 모두 탄산화에 의한 철근부식 및 콘크리트 내구성 저하의 영향은 적을 것으로 판단된다.

## 4) 염화물 함유량 시험

염화물 함유량 시험은 깊이별로 시료를 채취하여 공인기관에 의뢰하여 시험을 실시하였고, 그 위치는 상부구조 1개소(S3), 하부구조 2개소(P1, A2)에서 시료를 채취하였다. 1차 시험 중 상부구조 S3 바닥판 하면 및 하부구조 A2의 시료채취 위치는 신축이음부 누수로 상부 노면수가 유입되어 제설제의 영향이 의심되는 구간(누수혼적 구간)을 선정하여 시료를 채취하였다. 2차 시험은 신축이음부 누수의 영향이 없는 구간(바닥판 중앙부, 교대 전면 중앙부)에 대해서 추가시료 채취를 실시하여 시험 의뢰하였다.

## ① 염화물 함유량 시험결과

【표 3.107】 백운1교(춘천) 염화물 함유량 시험결과 및 평가

| 시험위치     |          |         | 실측<br>피복두께<br>(mm) | 콘크리트 구조기준<br>(Cl <sup>-</sup> (%)) |      | 상태평가 기준<br>(Cl <sup>-</sup> (kg/m <sup>3</sup> )) |      | 비 고         |
|----------|----------|---------|--------------------|------------------------------------|------|---------------------------------------------------|------|-------------|
|          |          |         |                    | 함유량                                | 평가결과 | 함유량                                               | 평가결과 |             |
| 상부<br>구조 | S3 바닥판하면 | 0~20mm  | 37.0               | 0.3149                             | 적합   | 7.126                                             | d    | 누수혼적<br>구간  |
|          |          | 20~40mm |                    | 0.2814                             |      | 6.368                                             |      |             |
|          |          | 40~철근부  |                    | 0.1935                             |      | 4.378                                             |      |             |
|          | S3 바닥판하면 | 0~20mm  | 37.0               | 0.0262                             | 적합   | 0.592                                             | b    | 건전부<br>추가조사 |
|          |          | 20~40mm |                    | 0.0209                             |      | 0.472                                             |      |             |
|          |          | 40~철근부  |                    | 0.0167                             |      | 0.377                                             |      |             |



【표 3.107】 백운1교(춘천) 염화물 함유량 시험결과 및 평가(계속)

| 시험위치     |       |         | 실측<br>피복두께<br>(mm) | 콘크리트 구조기준<br>(Cl <sup>-</sup> (%)) |      | 상태평가 기준<br>(Cl <sup>-</sup> (kg/m <sup>3</sup> )) |      | 비 고         |
|----------|-------|---------|--------------------|------------------------------------|------|---------------------------------------------------|------|-------------|
|          |       |         |                    | 함유량                                | 평가결과 | 함유량                                               | 평가결과 |             |
| 하부<br>구조 | P1 기둥 | 0~20mm  | 90.0               | 0.0211                             | 적합   | 0.477                                             | b    |             |
|          |       | 20~40mm |                    | 0.0209                             |      | 0.472                                             |      |             |
|          |       | 40~60mm |                    | 0.0174                             |      | 0.393                                             |      |             |
|          |       | 60~80mm |                    | 0.0152                             |      | 0.343                                             |      |             |
|          |       | 80~철근부  |                    | 0.0142                             |      | 0.321                                             |      |             |
|          | A2 구체 | 0~20mm  | 91.0               | 0.5608                             | 적합   | 12.690                                            | d    | 누수혼적<br>구간  |
|          |       | 20~40mm |                    | 0.5448                             |      | 12.328                                            |      |             |
|          |       | 40~60mm |                    | 0.4547                             |      | 10.289                                            |      |             |
|          |       | 60~80mm |                    | 0.3286                             |      | 7.436                                             |      |             |
|          |       | 80~철근부  |                    | 0.1917                             |      | 4.338                                             |      |             |
|          | A2 구체 | 0~20mm  | 91.0               | 0.2206                             | 적합   | 4.992                                             | c    | 건전부<br>추가조사 |
|          |       | 20~40mm |                    | 0.1677                             |      | 3.795                                             |      |             |
|          |       | 40~60mm |                    | 0.1676                             |      | 3.792                                             |      |             |
|          |       | 60~80mm |                    | 0.1064                             |      | 2.407                                             |      |             |
|          |       | 80~철근부  |                    | 0.0638                             |      | 1.443                                             |      |             |

염화물함유량 1차 조사결과 상부구조 4.378kg/m<sup>3</sup>, 하부구조 0.321~4.338kg/m<sup>3</sup>로 측정되었으며 염화물함유량 1.2kg/m<sup>3</sup> 미만으로 측정되어 상태평가 “b”로 부식발생 가능성이 낮은 것으로 분석된 교각(P1)을 제외한 2개소에 대해서는 추가조사를 실시하였다.

신축이음부와 접하는 바닥판하면 및 교대 구체의 경우 강설시 제설대책인 동결방지제(염화칼슘)의 영향을 받아 염화물 측정치가 크게 분석된 것으로 판단되어 측정위치를 변경하여 2차 시험을 실시하였으며, 측정결과 바닥판하면(S3, 0.377kg/m<sup>3</sup>), 교대(A2, 1.443kg/m<sup>3</sup>) 측정값의 차이가 발생되어 교대 신축이음부 하부, 배수구 주변 등 노면수 유입이 되는 부위에 대해서는 염화물에 의한 철근부식 등의 구조물 손상 발생여부를 지속적으로 주의 관찰하여야 할 것이다.

## ② 기 진단결과와의 비교

【표 3.108】 백운1교(춘천) 염화물 함유량 시험결과 전차 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석

| 구 분  | 전차 정밀안전진단(2013년)    |                                      | 금회 정밀안전진단           |                                      | 비 고 |
|------|---------------------|--------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|-----|
|      | Cl <sup>-</sup> (%) | Cl <sup>-</sup> (kg/m <sup>3</sup> ) | Cl <sup>-</sup> (%) | Cl <sup>-</sup> (kg/m <sup>3</sup> ) |     |
| 상부구조 | 0.002               | 0.071                                | 0.0167~0.1935       | 0.377~4.378                          |     |
| 하부구조 | 0.001~0.003         | 0.024~0.047                          | 0.0142~0.1917       | 0.321~4.338                          |     |

전차 정밀안전진단(2013년)과 금회 측정한 염화물 함유량 시험결과를 비교·분석한 결과, 일반적으로 재료시험 특성 및 시험위치, 공용기간 증가, 동결방지제인 염화칼슘의 영향으로 염화물 함유량의 증가가 있을 수 있으며, 특히 신축이음 장기 공용에 따른 노후화로 차수 기능이 저하됨에 따라 동결기 제설제가 함유된 노면수 유입량 증가가 주된 원인으로 판단된다.

## 5) 균열깊이 조사

균열깊이 조사는 책임기술자 판단 하에 철근까지의 진행여부를 판단하기 위해 폭 0.2~0.3mm 이상의 균열 중 대표 개소를 선정하여 시험을 실시하였다. 측정 시 발·수신자의 거리를 200mm로 하였으며, 측정된 속도는 동일 위치에서 3회를 측정한 후 그 평균값을 적용하였다.

## ① 균열깊이 조사결과

【표 3.109】 백운1교(춘천) 균열깊이 조사결과 및 평가

| 시험위치     |          | 균열폭<br>(mm) | 초음파 전달시간( $\times 10^{-6}$ sec) |              | 균열깊이<br>(mm) | 피복두께<br>(mm) | 비 고 |
|----------|----------|-------------|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|-----|
|          |          |             | 건전부( $T_o$ )                    | 균열부( $T_c$ ) |              |              |     |
| 하부<br>구조 | P1 기둥    | 0.2         | 45.2                            | 47.7         | 33.7         | 89.0         |     |
|          |          | 0.3         | 43.2                            | 45.6         | 33.8         | 89.0         |     |
|          | P2 지점부틀러 | 0.2         | 41.1                            | 43.2         | 32.4         | 92.0         |     |

## ② 조사결과 분석

하부구조 균열폭 0.2~0.3mm에 대하여 균열깊이 조사를 실시한 결과, 균열깊이는 32.4mm~33.8mm로 측정되었다. 균열깊이는 하부구조 피복두께(90.0~92.0mm)에 미치지 않는 것으로 측정되어 철근부식에 의한 내구성 저하는 미미할 것으로 판단된다.

## 3.5 강재 내구성조사

### 3.5.1 개 요

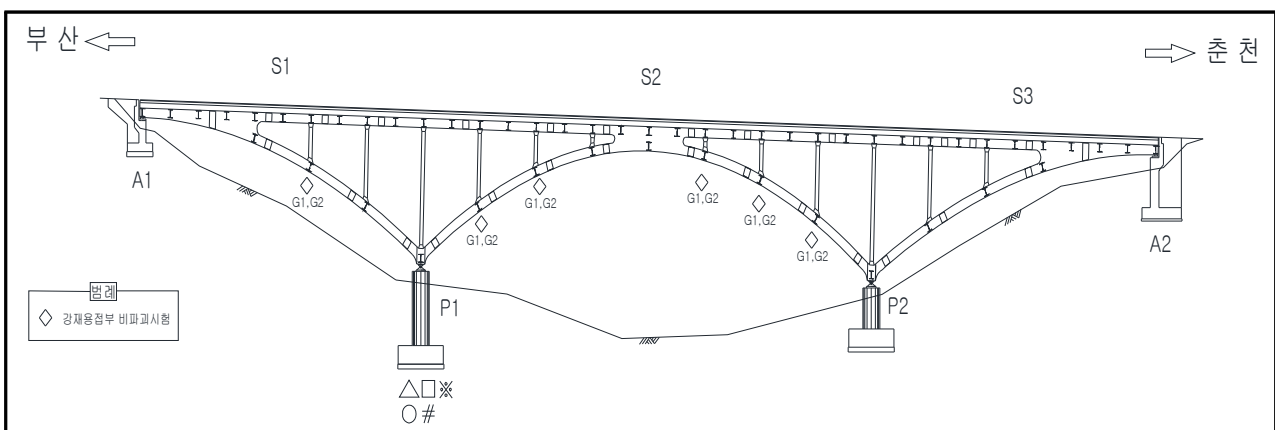
본 구조물의 상태평가를 적절히 수행하기 위해서 정밀안전진단의 목적에 부합하는 비파괴 시험을 실시하였으며, 이를 통해 위에서 언급한 외관조사 내용과 함께 구조물의 사용성, 안전성을 검토하고 보수·보강공법 및 유지관리 방안 제시의 기초 자료로 활용할 수 있도록 하였다. 현장 시험은 구조물의 특성을 간접적으로 측정하는 방법으로 사용장비 및 측정방법, 적용한계 등을 고려하여 사용법을 충분히 숙지한 자가 검·교정을 필한 장비를 사용하여 실시하였다.

#### 가. 백운1교(부산)

백운1교(부산)는 연장 180.93m, 폭 12.6m, 교대 2기, 교각 2기로 공용중인 강아치 교량으로 강재 부재에 대한 비파괴시험은 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침[교량편](2010.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』에 근거하여 위치 및 수량을 결정하였다.

【표 3.110】 백운1교(부산) 강재 재료시험항목 및 조사 전경

| 구 분          | 강재구조물              | 조사내용 및 전경                                                                            |
|--------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 항 목          | 기본과업               |  |
|              | 용접부 결함탐사(초음파탐상)    |                                                                                      |
| 세부지침<br>기준수량 | 박스거더교 : 2개소/경간별 거더 |                                                                                      |
| 조사수량         | 12개소               |                                                                                      |
| 비 고          | 맞대기용접부             | 초음파탐상시험(강재)                                                                          |

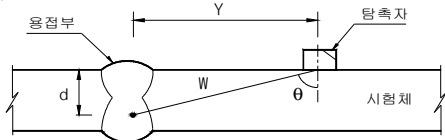


【그림 3.29】 백운1교(부산) 강재 재료시험 조사 위치도

## 3.5.2 시험내용 및 평가기준

## 가. 초음파탐상시험(UT: Ultrasonic Testing)

【표 3.111】 초음파탐상시험

| 개 요       | <ul style="list-style-type: none"><li>가청 주파수 이상의 주파수를 갖는 초음파(20,000Hz이상)를 시험체 내에 전달하여 초음파 진행경로상에 존재하는 결함부로부터 반사하는 초음파 신호를 수신하여 탐상기 CRT 스크린상에서 에코파형을 확인함으로써 결함의 존재여부 및 결함정보를 알아내는 검사 방법임.</li><li>초음파법의 종류는 크게 수직법과 사각법으로 대별되며, 수직법은 탐촉자를 시험체에 접촉하여 시험체에 수직으로 전달하는 방법으로 통상적으로 판재 및 봉재, 주·단강품 결함 검사와 부재의 부식두께 측정 등에 이용되며, 사각법은 시험체에 임의의 일정각으로 초음파를 전파시켜 검사하는 방법으로 주로 강구조물 용접부 검사에 적용됨.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |             |       |      |  |  |  |      |  |  |   |  |  |           |      |       |      |      |       |      |     |     |       |      |     |       |      |     |     |       |      |     |       |      |     |      |      |      |     |       |      |     |            |  |  |  |  |  |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------|-------|------|--|--|--|------|--|--|---|--|--|-----------|------|-------|------|------|-------|------|-----|-----|-------|------|-----|-------|------|-----|-----|-------|------|-----|-------|------|-----|------|------|------|-----|-------|------|-----|------------|--|--|--|--|--|
| 시험 방법     | <ul style="list-style-type: none"><li>일반적으로 강교 용접부의 사각탐상에는 주로 용접부 내부에 존재하는 기공, 슬래그, 용합 불량, 용입부족 등의 결함과 균열에 대한 조사가 실시되고 있으며, 각각의 결함부로부터 반사한 에코파형의 펄스형태(펄스폭 &amp; 높이), 반사체(결함)까지의 진행거리, 초음파 입사각도, 에코의 반사패턴 등을 종합적으로 분석하여 결함의 입체적인 위치를 산출하고 결함 종류 및 길이 등을 측정함. 본시험에서는 70°로 초음파를 입사함.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <div></div> <ul style="list-style-type: none"><li>계산식 <math>Y = W \cdot \sin\Theta</math><br/><math>d = W \cdot \cos\Theta</math><br/>여기서 Y : 입사점-결함거리<br/>d : 결함깊이<br/>w : 초음파 이동거리<br/><math>\Theta</math> : 입사각(70°)</li></ul> |      |             |       |      |  |  |  |      |  |  |   |  |  |           |      |       |      |      |       |      |     |     |       |      |     |       |      |     |     |       |      |     |       |      |     |      |      |      |     |       |      |     |            |  |  |  |  |  |
| 평가 기준     | <div>&lt; 결함의 등급분류 &gt;</div> <table><tr><th rowspan="2">영역</th><th colspan="6">결함의 크기 (mm)</th></tr><tr><th colspan="3">Ⅱ, Ⅲ</th><th colspan="3">Ⅳ</th></tr><tr><th>판두께<br/>등급</th><th>18이하</th><th>18~60</th><th>60이상</th><th>18이하</th><th>18~60</th><th>60이상</th></tr><tr><td>1 급</td><td>6이하</td><td>t/3이하</td><td>20이하</td><td>4이하</td><td>t/4이하</td><td>15이하</td></tr><tr><td>2 급</td><td>9이하</td><td>t/2이하</td><td>30이하</td><td>6이하</td><td>t/3이하</td><td>20이하</td></tr><tr><td>3 급</td><td>18이하</td><td>t 이하</td><td>60이하</td><td>9이하</td><td>t/2이하</td><td>30이하</td></tr><tr><td>4 급</td><td colspan="6">3급을 초과하는 것</td></tr></table> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 영역   | 결함의 크기 (mm) |       |      |  |  |  | Ⅱ, Ⅲ |  |  | Ⅳ |  |  | 판두께<br>등급 | 18이하 | 18~60 | 60이상 | 18이하 | 18~60 | 60이상 | 1 급 | 6이하 | t/3이하 | 20이하 | 4이하 | t/4이하 | 15이하 | 2 급 | 9이하 | t/2이하 | 30이하 | 6이하 | t/3이하 | 20이하 | 3 급 | 18이하 | t 이하 | 60이하 | 9이하 | t/2이하 | 30이하 | 4 급 | 3급을 초과하는 것 |  |  |  |  |  |
| 영역        | 결함의 크기 (mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |             |       |      |  |  |  |      |  |  |   |  |  |           |      |       |      |      |       |      |     |     |       |      |     |       |      |     |     |       |      |     |       |      |     |      |      |      |     |       |      |     |            |  |  |  |  |  |
|           | Ⅱ, Ⅲ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      | Ⅳ           |       |      |  |  |  |      |  |  |   |  |  |           |      |       |      |      |       |      |     |     |       |      |     |       |      |     |     |       |      |     |       |      |     |      |      |      |     |       |      |     |            |  |  |  |  |  |
| 판두께<br>등급 | 18이하                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 18~60                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 60이상 | 18이하        | 18~60 | 60이상 |  |  |  |      |  |  |   |  |  |           |      |       |      |      |       |      |     |     |       |      |     |       |      |     |     |       |      |     |       |      |     |      |      |      |     |       |      |     |            |  |  |  |  |  |
| 1 급       | 6이하                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | t/3이하                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 20이하 | 4이하         | t/4이하 | 15이하 |  |  |  |      |  |  |   |  |  |           |      |       |      |      |       |      |     |     |       |      |     |       |      |     |     |       |      |     |       |      |     |      |      |      |     |       |      |     |            |  |  |  |  |  |
| 2 급       | 9이하                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | t/2이하                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 30이하 | 6이하         | t/3이하 | 20이하 |  |  |  |      |  |  |   |  |  |           |      |       |      |      |       |      |     |     |       |      |     |       |      |     |     |       |      |     |       |      |     |      |      |      |     |       |      |     |            |  |  |  |  |  |
| 3 급       | 18이하                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | t 이하                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 60이하 | 9이하         | t/2이하 | 30이하 |  |  |  |      |  |  |   |  |  |           |      |       |      |      |       |      |     |     |       |      |     |       |      |     |     |       |      |     |       |      |     |      |      |      |     |       |      |     |            |  |  |  |  |  |
| 4 급       | 3급을 초과하는 것                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |             |       |      |  |  |  |      |  |  |   |  |  |           |      |       |      |      |       |      |     |     |       |      |     |       |      |     |     |       |      |     |       |      |     |      |      |      |     |       |      |     |            |  |  |  |  |  |

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조

※도로교표준시방서(건설교통부, (사)한국도로교통협회, 2005) 참조

※안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(한국시설안전공단, 2010.12) 참조

### 3.5.3 시험결과 및 분석

#### 가. 백운1교(부산)

##### 1) 초음파탐상시험

강거더의 용접상태를 검사하기 위해 맞대기 용접부에 대해 거더별로 6개소씩 총 12개소에 대해 검사를 실시하였으며, 검사결과 총 12개소 모두 합격 판정되어 맞대기이음부의 용접상태는 양호한 것으로 나타났다.

##### ① 초음파탐상 시험결과

【표 3.112】 백운1교(부산) 초음파탐상 시험결과

| 시험위치 |            | 시험개소 | 결함등급 | 검사결과 |     | 결함종류<br>및 개소 | 비 고 |
|------|------------|------|------|------|-----|--------------|-----|
|      |            |      |      | 합격   | 불합격 |              |     |
| G1   | S1-U4(A1측) | 1    | 1급   | 1    | -   | 결함없음         |     |
|      | S2-U6(A1측) | 1    | 1급   | 1    | -   | 결함없음         |     |
|      | S2-U7(A1측) | 1    | 1급   | 1    | -   | 결함없음         |     |
|      | S2-U6(A2측) | 1    | 1급   | 1    | -   | 결함없음         |     |
|      | S2-U7(A2측) | 1    | 1급   | 1    | -   | 결함없음         |     |
|      | S2-U8(A2측) | 1    | 1급   | 1    | -   | 결함없음         |     |
| G2   | S1-U4(A1측) | 1    | 1급   | 1    | -   | 결함없음         |     |
|      | S2-U6(A1측) | 1    | 1급   | 1    | -   | 결함없음         |     |
|      | S2-U7(A1측) | 1    | 1급   | 1    | -   | 결함없음         |     |
|      | S2-U6(A2측) | 1    | 1급   | 1    | -   | 결함없음         |     |
|      | S2-U7(A2측) | 1    | 1급   | 1    | -   | 결함없음         |     |
|      | S2-U8(A2측) | 1    | 1급   | 1    | -   | 결함없음         |     |

주) 합격기준 : 2급 이상(인장 및 교번하중 적용부재), 3급 이상(압축 및 전단응력 작용부재)

##### ② 기 진단결과와의 비교

【표 3.113】 백운1교(부산) 초음파탐상 시험결과 전차 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석

| 구 분   | 전차 정밀안전진단(2011년) | 금회 정밀안전진단 | 비 고 |
|-------|------------------|-----------|-----|
|       | 초음파 이상유무         | 초음파 이상유무  |     |
| 거더 G1 | 합격 : 6개소         | 합격 : 6개소  |     |
| 거더 G2 | 합격 : 6개소         | 합격 : 6개소  |     |

전차 정밀안전진단(2011년) 결과와 금회 맞대기 용접부 결함 유무 측정 결과, 용접부의 결함지시가 없는 상태로서 결함이 발생되지 않은 것으로 판단된다.



### 3.6 현장조사 및 시험 결과요약

#### 3.6.1 외관조사 결과요약

##### 가. 백운1교(부산)

【표 3.114】 백운1교(부산) 외관조사 결과요약

| 부재                       | 손상내용                | 단위             | 기 진단<br>(2011년) | 금회 진단<br>(2016년) | 손상원인         | 대책           | 증·감<br>(▲·▽) |       | 증감사유               |
|--------------------------|---------------------|----------------|-----------------|------------------|--------------|--------------|--------------|-------|--------------------|
| 바닥판                      | 박리                  | m <sup>2</sup> | -               | 0.20             | 우수유입<br>재질열화 | 단면보수         | ▲            | 0.20  | 공용 중 발생한<br>추가 손상  |
|                          | 백태                  | m <sup>2</sup> | 19.20           | 19.64            | 우수유입<br>재질열화 | 표면처리         | ▲            | 0.44  | 공용 중 발생한<br>추가 손상  |
|                          | 부식                  | m <sup>2</sup> | 22.90           | 69.52            | 우수유입         | 재도장          | ▲            | 46.62 | 공용 중 발생한<br>추가 손상  |
|                          | 철근노출                | m <sup>2</sup> | -               | 0.08             | 시공미흡         | 단면보수<br>(방청) | ▲            | 0.08  | 상세조사에<br>의한 신규 손상  |
|                          | 파손                  | m <sup>2</sup> | 0.16            | 0.16             | 우수유입         | 단면보수         | -            | -     | -                  |
| 보강거더<br>및<br>아치리브        | 부식                  | m <sup>2</sup> | 7.63            | 33.55            | 도장불량<br>우수접촉 | 재도장          | ▲            | 25.92 | 공용 중 발생한<br>추가손상   |
|                          | SP볼트 부식             | m <sup>2</sup> | 16.99           | 20.37            | 도장불량<br>우수접촉 | 재도장          | ▲            | 3.38  | 공용 중 발생한<br>추가손상   |
|                          | 도장박리                | m <sup>2</sup> | 0.03            | 20.13            | 도장불량<br>우수접촉 | 재도장          | ▲            | 20.10 | 공용 중 발생한<br>추가손상   |
|                          | 점점구주위<br>볼트 부식      | m <sup>2</sup> | 0.04            | 0.05             | 도장불량<br>우수접촉 | 재도장          | ▲            | 0.01  | 공용 중 발생한<br>추가손상   |
|                          | PIT                 | 개소             | -               | 15               | 용접불량         | 유지관리         | ▲            | 15    | 내부 조사를<br>통한 추가 손상 |
|                          | 실리콘 마감<br>불량        | 개소             | -               | 152              | 시공불량         | 실링보수         | ▲            | 152   | 내부 조사를<br>통한 추가 손상 |
|                          | 언더컷                 | m              | -               | 0.10             | 용접불량         | 유지관리         | ▲            | 0.10  | 내부 조사를<br>통한 추가 손상 |
|                          | 이물질 퇴적              | m <sup>2</sup> | -               | 6.05             | 환기구 유입       | 청소           | ▲            | 6.05  | 내부 조사를<br>통한 추가 손상 |
| 가로보<br>세로보<br>브레이싱<br>행거 | 볼트부식                | m <sup>2</sup> | 7.33            | 13.01            | 도장불량<br>우수접촉 | 재도장          | ▲            | 5.68  | 공용 중 발생한<br>추가손상   |
|                          | 도장박리                | m <sup>2</sup> | 0.29            | 7.51             | 도장불량<br>우수접촉 | 재도장          | ▲            | 7.22  | 공용 중 발생한<br>추가손상   |
|                          | 변형                  | m              | 1.50            | 1.50             | 시공불량         | 유지관리         | -            | -     | -                  |
|                          | 부식                  | m <sup>2</sup> | 39.31           | 49.59            | 도장불량<br>우수접촉 | 재도장          | ▲            | 10.28 | 공용 중 발생한<br>추가손상   |
| 교대                       | 계단침하                | m <sup>2</sup> | -               | 1.00             | 사면안정화        | 유지관리         | ▲            | 1.00  | 상세조사에<br>의한 물량 변경  |
|                          | 균열<br>(cw=0.2mm 이하) | m              | 2.30            | 20.50            | 건조수축         | 유지관리         | ▲            | 18.20 | 상세조사에<br>의한 물량 변경  |
|                          | 균열<br>(cw=0.3mm 이상) | m              | 4.20            | 4.10             | 건조수축         | 주입보수         | ▽            | 0.10  | 상세조사에<br>의한 물량 변경  |
|                          | 마감불량                | m <sup>2</sup> | -               | 0.30             | 시공미흡         | 유지관리         | ▲            | 0.30  | 상세조사에<br>의한 물량 변경  |
|                          | 망상균열                | m <sup>2</sup> | -               | 6.56             | 건조수축         | 유지관리         | ▲            | 6.56  | 상세조사에<br>의한 물량 변경  |
|                          | 박리                  | m <sup>2</sup> | -               | 0.61             | 시공미흡         | 유지관리         | ▲            | 0.61  | 상세조사에<br>의한 물량 변경  |

【표 3.114】 백운1교(부산) 외관조사 결과요약(계속)

| 부재         | 손상내용                | 단위             | 기 진단<br>(2011년) | 금회 진단<br>(2016년) | 손상원인         | 대책   | 증·감<br>(▲·▽) |       | 증감사유              |
|------------|---------------------|----------------|-----------------|------------------|--------------|------|--------------|-------|-------------------|
| 교대         | 백태                  | m <sup>2</sup> | -               | 22.29            | 신축이음부<br>누수  | 표면처리 | ▲            | 22.29 | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|            | 체수                  | m <sup>2</sup> | -               | 3.75             | 신축이음부<br>누수  | 유도배수 | ▲            | 3.75  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|            | 파손                  | m <sup>2</sup> | -               | 1.39             | 외부충격         | 단면보수 | ▲            | 1.39  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
| 교각         | 균열<br>(cw=0.2mm 이하) | m              | -               | 17.30            | 건조수축         | 유지관리 | ▲            | 17.30 | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|            | 망상균열                | m <sup>2</sup> | -               | 0.85             | 건조수축         | 유지관리 | ▲            | 0.85  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|            | 박리                  | m <sup>2</sup> | -               | 50.16            | 재질열화         | 유지관리 | ▲            | 50.16 | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|            | 재료분리                | m <sup>2</sup> | -               | 0.21             | 시공불량         | 유지관리 | ▲            | 0.21  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|            | 파손                  | m <sup>2</sup> | -               | 0.20             | 외부충격         | 유지관리 | ▲            | 0.20  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
| 반침장치       | 반침부식                | m <sup>2</sup> | 2.42            | 3.00             | 도장불량<br>우수접촉 | 재도장  | ▲            | 0.58  | 공용 중 발생한<br>추가손상  |
|            | 솔플레이트<br>부식         | m <sup>2</sup> | 1.96            | 1.96             | 도장불량<br>우수접촉 | 재도장  | -            | -     | -                 |
|            | 균열<br>(cw=0.2mm 이하) | m              | 6.80            | 8.20             | 건조수축         | 유지관리 | ▲            | 1.40  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|            | 균열부 백태              | m              | -               | 0.20             | 건조수축<br>수분접촉 | 표면처리 | ▲            | 0.20  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|            | 망상균열                | m <sup>2</sup> | -               | 9.43             | 건조수축         | 유지관리 | ▲            | 9.43  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|            | 거푸집 미제거             | m <sup>2</sup> | -               | 0.60             | 시공미흡         | 유지관리 | ▲            | 0.60  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
| 신축이음<br>장치 | 강재부식                | m <sup>2</sup> | 0.98            | 0.98             | 우수접촉         | 유지관리 | -            | -     | -                 |
|            | 토사퇴적                | m <sup>2</sup> | 0.96            | 0.96             | 강우시<br>이물질퇴적 | 청소   | -            | -     | -                 |
|            | 균열(0.2mm이하)         | m              | 15.60           | 15.60            | 건조수축         | 유지관리 | -            | -     | -                 |
|            | 백태                  | m <sup>2</sup> | 1.50            | 1.50             | 침출수 유출       | 유지관리 | -            | -     | -                 |
|            | 파손                  | m <sup>2</sup> | -               | 0.05             | 외부충격         | 단면보수 | ▲            | 0.05  | 공용 중 발생한<br>신규 손상 |
| 배수시설       | 막힘                  | 개소             | 8.00            | 9.00             | 강우시<br>이물질퇴적 | 청소   | ▲            | 1.00  | 공용 중 발생한<br>추가손상  |
|            | 부식                  | m <sup>2</sup> | 0.04            | 0.30             | 공용 중<br>열화   | 유지관리 | ▲            | 0.26  | 공용 중 발생한<br>추가손상  |
| 방호<br>울타리  | 강판부식                | 개소             | 4               | 4                | 공용 중<br>열화   | 재도장  | -            | -     | -                 |
|            | 균열<br>(cw=0.2mm 이하) | m              | 8.30            | 17.50            | 건조수축         | 표면처리 | ▲            | 9.20  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|            | 균열<br>(cw=0.3mm 이상) | m              | 0.80            | 1.60             | 건조수축         | 주입보수 | ▲            | 0.80  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|            | 균열부 백태              | m <sup>2</sup> | 5.31            | 19.75            | 건조수축<br>수분접촉 | 표면처리 | ▲            | 14.44 | 공용 중 발생한<br>추가손상  |

【표 3.114】 백운1교(부산) 외관조사 결과요약(계속)

| 부재        | 손상내용    | 단위                                                                                                                                                                 | 기 진단<br>(2011년) | 금회 진단<br>(2016년) | 손상원인         | 대책           | 증·감<br>(▲·▽) |      | 증감사유              |
|-----------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------|--------------|--------------|--------------|------|-------------------|
| 방호<br>울타리 | 덮개판 변형  | m <sup>2</sup>                                                                                                                                                     | 0.05            | 0.05             | 외부충격         | 재설치          | -            | -    | -                 |
|           | 망상균열    | m <sup>2</sup>                                                                                                                                                     | -               | 0.49             | 건조수축         | 표면처리         | ▲            | 0.49 | 상세조사에 의한<br>추가 손상 |
|           | 박리      | m <sup>2</sup>                                                                                                                                                     | -               | 1.50             | 공용 중<br>열화   | 단면보수         | ▲            | 1.50 | 상세조사에 의한<br>추가 손상 |
|           | 백태      | m <sup>2</sup>                                                                                                                                                     | 0.62            | 0.94             | 우수유입<br>재질열화 | 표면처리         | ▲            | 0.32 | 공용 중 발생한<br>신규 손상 |
|           | 보호덮개 탈락 | 개소                                                                                                                                                                 | -               | 3                | 외부충격         | 재설치          | ▲            | 3.00 | 공용 중 발생한<br>신규 손상 |
|           | 철근노출    | m <sup>2</sup>                                                                                                                                                     | 0.04            | 0.05             | 시공미흡         | 단면보수<br>(방청) | ▲            | 0.01 | 상세조사에 의한<br>추가 손상 |
|           | 파손      | m <sup>2</sup>                                                                                                                                                     | -               | 0.10             | 외부충격         | 단면보수         | ▲            | 0.10 | 상세조사에 의한<br>추가 손상 |
| 결과분석      |         | • 기 진단(2011년 시행)과의 비교·분석 결과, 균열, 박리, 백태, 파손 등의 결함은 공용 중 발생한 추가 및 간파된 손상으로 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 금회 진단 시 손상들은 전반적으로 경미한 수준이며, 일부 보수가 필요하나 구조적인 손상은 없는 것으로 조사됨. |                 |                  |              |              |              |      |                   |

## 나. 백운1교(춘천)

【표 3.115】 백운1교(춘천) 외관조사 결과요약

| 부재  | 손상내용                | 단위             | 기 진단<br>(2013년) | 금회 진단<br>(2016년) | 손상원인           | 대책           | 증·감<br>(▲·▽) |       | 증감사유              |
|-----|---------------------|----------------|-----------------|------------------|----------------|--------------|--------------|-------|-------------------|
| 바닥판 | 균열<br>(cw=0.2mm 이하) | m              | 48.70           | 62.80            | 건조수축           | 유지관리         | ▲            | 14.10 | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|     | 균열부 백태              | m              | 3.00            | 6.10             | 건조수축<br>수분침투   | 표면처리         | ▲            | 3.10  | 공용 중 발생한<br>추가손상  |
|     | 누수흔적                | m <sup>2</sup> | 399.30          | 396.00           | 우수유입           | 유지관리         | ▽            | 3.30  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|     | 망상균열                | m <sup>2</sup> | 3.10            | 3.10             | 건조수축           | 유지관리         | -            | -     | -                 |
|     | 박리                  | m <sup>2</sup> | 0.42            | 0.51             | 우수유입           | 유지관리         | ▲            | 0.09  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|     | 백태                  | m <sup>2</sup> | 4.30            | 0.83             | 미세균열부<br>수분침투  | 표면처리         | ▽            | 3.47  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|     | 재료분리                | m <sup>2</sup> | 5.80            | 6.76             | 시공미흡           | 유지관리         | ▲            | 0.96  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|     | 철근노출<br>(녹물흔적)      | m <sup>2</sup> | 2.61            | 2.87             | 시공미흡 및<br>수분접촉 | 단면보수<br>(방청) | ▲            | 0.26  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|     | 거푸집 미제거             | m              | 2.00            | 2.00             | 시공불량           | 유지관리         | -            | -     | -                 |
|     | 물끓기흡<br>미설치         | m              | 1.50            | 1.50             | 시공미흡           | 물끓기흡<br>설치   | -            | -     | -                 |
|     | 파손                  | m <sup>2</sup> | -               | 1.50             | 시공불량           | 단면보수         | ▲            | 1.5   | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |

【표 3.115】 백운1교(춘천) 외관조사 결과요약(계속)

| 부재           | 손상내용                | 단위 | 기 진단<br>(2013년) | 금회 진단<br>(2016년) | 손상원인           | 대책           | 증·감<br>(▲·▽) |       | 증감사유              |
|--------------|---------------------|----|-----------------|------------------|----------------|--------------|--------------|-------|-------------------|
| AR<br>Girder | 거푸집 미제거<br>균열       | m² | 3.60            | 3.60             | 시공미흡           | 유지관리         | -            | -     | -                 |
|              | (cw=0.2mm 이하)       | m  | 276.00          | 310.80           | 건조수축           | 유지관리         | ▲            | 34.80 | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|              | 균열<br>(cw=0.3mm 이상) | m  | 235.50          | 248.10           | 건조수축           | 주입보수         | ▲            | 12.60 | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|              | 균열부 백태              | m  | -               | 0.30             | 건조수축<br>수분접촉   | 표면처리         | ▲            | 0.30  | 공용 중 발생된<br>추가손상  |
|              | 누수흔적                | m² | 9.00            | 4.00             | 우수접촉           | 유지관리         | ▽            | 5.00  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|              | 망상균열                | m² | 14.50           | 61.50            | 건조수축           | 유지관리         | ▲            | 47.00 | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|              | 박리                  | m² | -               | 2.45             | 시공미흡<br>재질열화   | 단면보수         | ▲            | 2.45  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|              | 볼트미제거               | 개소 | 5               | 5                | 시공미흡           | 유지관리         | -            | -     | -                 |
|              | 파손                  | m² | 0.25            | 0.40             | 시공미흡           | 단면보수         | ▲            | 0.15  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|              | 철근미제거               | 개소 | 12              | 12               | 시공미흡           | 유지관리         | -            | -     | -                 |
|              | 재료분리                | m² | 10.81           | 96.15            | 시공미흡           | 단면보수         | ▲            | 85.34 | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|              | 철근노출                | m² | 14.74           | 23.99            | 시공미흡<br>피복부족   | 단면보수<br>(방청) | ▲            | 9.25  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|              | 이물질삽입               | m² | -               | 1.80             | 시공미흡           | 유지관리         | ▲            | 1.80  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
| 가로보          | 재료분리                | m² | -               | 0.08             | 시공미흡           | 유지관리         | ▲            | 0.08  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
| 교대           | 균열<br>(cw=0.2mm 이하) | m  | 19.00           | 26.50            | 건조수축           | 유지관리         | ▲            | 7.50  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|              | 균열<br>(cw=0.3mm 이상) | m  | 0.80            | 0.80             | 건조수축           | 주입보수         | ▲            | 0.80  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|              | 녹물흔적 및<br>이물질 삽입    | m² | 0.75            | 1.71             | 시공미흡<br>재질열화   | 단면보수<br>(방청) | ▲            | 0.96  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|              | 망상균열                | m² | 31.61           | 43.20            | 건조수축           | 유지관리         | ▲            | 11.59 | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|              | 박리                  | m² | 1.44            | 1.38             | 시공미흡<br>재질열화   | 유지관리         | ▽            | 0.06  | 손상범위 수정           |
|              | 백태                  | m² | 2.45            | 0.20             | 신축이음부<br>누수    | 표면처리         | ▽            | 2.25  | 보수로 인한<br>손상감소    |
|              | 재료분리                | m² | -               | 0.92             | 시공미흡           | 유지관리         | ▲            | 0.92  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|              | 파손                  | m² | 1.02            | 2.36             | 외부충격           | 단면보수         | ▲            | 1.34  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|              | 와이어매쉬노출             | m² | 3.30            | 3.30             | 시공미흡           | 단면보수         | -            | -     | -                 |
|              | 접합부 이격              | m² | 29.00           | 21.00            | 사면안정화          | 실링보수         | ▽            | 8.00  | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|              | 체수 및 누수흔적           | m² | 25.59           | 15.48            | 신축이음부<br>누수    | 유도배수         | ▽            | 10.11 | 상세조사에<br>의한 추가 손상 |
|              | 토사퇴적                | m² | 0.28            | 0.28             | 공용 중<br>이물질 퇴적 | 유지관리         | -            | -     | -                 |

【표 3.115】 백운1교(춘천) 외관조사 결과요약(계속)

| 부재   | 손상내용                | 단위 | 기 진단<br>(2013년) | 금회 진단<br>(2016년) | 손상원인          | 대책           | 증·감<br>(▲·▽) |        | 증감사유           |
|------|---------------------|----|-----------------|------------------|---------------|--------------|--------------|--------|----------------|
| 교각   | 거푸집 미제거             | m² | -               | 0.01             | 시공미흡          | 유지관리         | ▲            | 0.01   | 상세조사에 의한 추가 손상 |
|      | 균열<br>(cw=0.2mm 이하) | m  | 23.60           | 87.20            | 건조수축          | 유지관리         | ▲            | 63.60  | 상세조사에 의한 추가 손상 |
|      | 망상균열                | m² | 4.75            | 24.68            | 건조수축          | 유지관리         | ▲            | 19.93  | 상세조사에 의한 추가 손상 |
|      | 재료분리                | m² | 10.75           | 48.18            | 시공미흡          | 유지관리         | ▲            | 37.43  | 상세조사에 의한 추가 손상 |
|      | 철근노출                | m² | 0.06            | 0.38             | 시공미흡<br>피복부족  | 단면보수<br>(방청) | ▲            | 0.38   | 상세조사에 의한 추가 손상 |
|      | 파손                  | m² | 0.26            | 1.02             | 시공미흡<br>외부충격  | 유지관리         | ▲            | 0.76   | 상세조사에 의한 추가 손상 |
|      | 이물질노출               | m² | -               | 1.64             | 시공미흡          | 단면보수<br>(방청) | ▲            | 1.64   | 상세조사에 의한 추가 손상 |
| 받침장치 | 받침 부식               | m² | 1.85            | 8.60             | 우수접촉          | 재도장          | ▲            | 6.75   | 공용 중 발생한 추가손상  |
|      | 볼트 부식               | m² | 0.015           | 0.37             | 우수접촉          | 재도장          | ▲            | 0.355  | 공용 중 발생한 추가손상  |
|      | 상부 플레이트<br>변형       | 개소 | 1               | 1                | 시공미흡          | 유지관리         | -            | -      | -              |
|      | 받침콘크리트<br>균열        | m  | -               | 5.30             | 건조수축          | 유지관리         | ▲            | 5.30   | 상세조사에 의한 추가 손상 |
|      | 망상균열                | m² | -               | 0.48             | 건조수축          | 유지관리         | ▲            | 0.48   | 상세조사에 의한 추가 손상 |
|      | 탈락                  | m² | 0.0059          | 0.0018           | 시공미흡          | 유지관리         | ▽            | 0.0041 | 상세조사에 의한 추가 손상 |
|      | 파손                  | m² | -               | 0.02             | 시공미흡<br>외부충격  | 유지관리         | ▲            | 0.02   | 상세조사에 의한 추가 손상 |
|      | 이물질 노출              | m² | -               | 0.16             | 시공미흡          | 단면보수<br>(방청) | ▲            | 0.16   | 상세조사에 의한 추가 손상 |
|      | 재료분리                | m² | -               | 3.04             | 시공미흡          | 유지관리         | ▲            | 3.04   | 상세조사에 의한 추가 손상 |
| 신축이음 | 강재부식                | m  | 4.00            | 5.00             | 우수접촉          | 유지관리         | ▲            | 1.00   | 공용 중 발생한 추가손상  |
|      | 토사퇴적                | m² | 2.00            | 16.00            | 강우 시<br>이물질퇴적 | 청소           | ▲            | 14.00  | 공용 중 발생한 추가손상  |
|      | 단차                  | m  | 3.00            | 3.00             | 시공미흡<br>중차량통과 | 유지관리         | -            | -      | -              |
|      | 균열<br>(cw=0.2mm 이하) | m  | 7.35            | -                | 건조수축<br>중차량통과 | -            | ▽            | 7.35   | 보수로 인한<br>손상감소 |
|      | 마모                  | m² | 3.52            | 3.52             | 시공미흡<br>중차량통과 | 유지관리         | -            | -      | -              |
|      | 박리                  | m² | 0.02            | 0.02             | 재질열화          | 단면보수         | -            | -      | -              |



【표 3.115】 백운1교(춘천) 외관조사 결과요약(계속)

| 부재          | 손상내용                | 단위                                                                                                                                                                                                                         | 기 진단<br>(2013년) | 금회 진단<br>(2016년) | 손상원인          | 대책           | 증·감<br>(▲·▽) |       | 증감사유              |
|-------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------|---------------|--------------|--------------|-------|-------------------|
| 교면포장        | 포장균열                | m                                                                                                                                                                                                                          | 7.00            | 23.50            | 중차량통과<br>차륜하중 | 실링보수         | ▲            | 16.50 | 공용 중 발생한<br>추가손상  |
|             | 망상균열                | m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                             | 8.95            | 15.40            | 중차량통과<br>차륜하중 | 소파보수         | ▲            | 6.45  | 공용 중 발생한<br>추가손상  |
|             | 접속포장<br>균열(탈락)      | m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                             | 0.60            | -                | -             | -            | ▽            | 0.60  | 재포장 보수            |
|             | 시공이음 균열             | m                                                                                                                                                                                                                          | 266.80          | 174.60           | 중차량통과<br>차륜하중 | 실링보수         | ▽            | 92.20 | 재포장 보수            |
|             | 보수부 탈락              | m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                             | 0.05            | -                | -             | -            | ▽            | 0.05  | 재포장 보수            |
|             | 소성변형(들뜸)            | m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                             | 41.10           | -                | -             | -            | ▽            | 41.40 | 재포장 보수            |
|             | 포장마모                | m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                             | 9.50            | 9.25             | 재질열화          | 소파보수         | ▽            | 0.25  | 재포장 보수            |
|             | 포트홀                 | m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                             | -               | 0.10             | 재질열화          | 소파보수         | ▲            | 0.10  | 공용 중 발생한<br>추가손상  |
| 배수시설        | 그레이팅 덮개<br>파손       | 개소                                                                                                                                                                                                                         | 9               | -                | -             | -            | ▽            | 9     | 재설치               |
|             | 배수구 막힘              | 개소                                                                                                                                                                                                                         | 3               | -                | -             | -            | ▽            | 3     | 청소                |
|             | 배수관 부식              | 개소                                                                                                                                                                                                                         | 1               | 2                | 재질열화          | 유지관리         | ▲            | 1     | 공용 중 발생한<br>추가손상  |
| 방호<br>울타리   | 균열<br>(cw=0.2mm 이하) | m                                                                                                                                                                                                                          | 21.30           | 85.40            | 건조수축          | 표면처리         | ▲            | 64.10 | 상세조사에 의한<br>신규 손상 |
|             | 균열<br>(cw=0.3mm 이상) | m                                                                                                                                                                                                                          | 54.10           | 66.50            | 건조수축          | 주입보수         | ▲            | 12.40 | 상세조사에 의한<br>신규 손상 |
|             | 균열부 백태              | m                                                                                                                                                                                                                          | -               | 9.40             | 건조수축<br>수분접촉  | 표면처리         | ▲            | 9.40  | 상세조사에 의한<br>신규 손상 |
|             | 긁힘                  | m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                             | 0.04            | 0.10             | 차량충격          | 단면보수         | ▲            | 0.06  | 상세조사에 의한<br>신규 손상 |
|             | 망상균열                | m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                             | 1.00            | 1.25             | 건조수축          | 단면보수         | ▲            | 0.25  | 상세조사에 의한<br>신규 손상 |
|             | 철근노출                | m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                             | -               | 0.07             | 시공미흡<br>피복부족  | 단면보수<br>(방청) | ▲            | 0.07  | 상세조사에 의한<br>신규 손상 |
|             | 파손                  | m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                             | 0.01            | 0.12             | 시공미흡<br>외부충격  | 단면보수         | ▲            | 0.11  | 상세조사에 의한<br>신규 손상 |
| 전선관<br>보호덮개 | 전선관<br>보호덮개 부식      | m                                                                                                                                                                                                                          | 2.00            | 7.70             | 재질열화          | 재설치          | ▲            | 5.70  | 공용 중 발생한<br>추가손상  |
|             | 전선관<br>보호덮개 파손      | m                                                                                                                                                                                                                          | 10.00           | 10.30            | 재질열화          | 재설치          | ▲            | 0.30  | 공용 중 발생한<br>추가손상  |
| 결과분석        |                     | • 기 진단(2013년 시행)과의 비교·분석 결과, 균열, 박리, 백태, 파손 등의 결함은 공용 중 발생한 추가 및 간파된 손상으로 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 포장부는 과업기간 중 1, 2차로 길어깨 측 재포장보수를 통하여 손상물량이 감소한 것으로 나타났다. 금회 진단 시 손상들은 전반적으로 경미한 수준이며, 일부 보수가 필요하나 구조적인 손상은 없는 것으로 조사됨. |                 |                  |               |              |              |       |                   |

## 3.6.2 내구성조사 결과요약

## 가. 백운1교(부산)

백운1교(부산)는 연장 180.93m, 폭 12.6m, 교대 2기, 교각 2기로 공용중인 강아치 교량으로 비파괴시험은 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침[교량편](2010.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』에 근거하여 콘크리트 강도시험, 철근탐사시험, 탄산화깊이 측정, 염화물함유량 시험, 강재용접부 비파괴시험을 실시하였다. 금회 시험결과와 전차 정밀안전진단(2011년)과 비교, 분석한 결과는 【표 3.116】과 같다.

【표 3.116】 백운1교(부산) 내구성조사 결과요약

| 구 분       | 시험위치 |     | 전차 정밀안전진단                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                      | 금회 정밀안전진단   |             | 설계강도<br>(MPa) |              |     |
|-----------|------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|---------------|--------------|-----|
|           |      |     | 반발경도시험(MPa)                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 초음파시험(MPa)                                                                                                                                                                                                           | 반발경도시험(MPa) | 초음파시험(MPa)  |               |              |     |
| 비파괴<br>강도 | 상부구조 |     | 26.1~30.4                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 27.7~31.6                                                                                                                                                                                                            | 27.6~33.1   | 29.1~30.7   | 27.0          |              |     |
|           | 하부구조 |     | 30.2~34.2                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 24.1~30.5                                                                                                                                                                                                            | 25.3~30.4   | 26.0~28.2   | 24.0          |              |     |
|           | 고 찰  |     | • 상부구조에서 27.6~33.1MPa, 하부구조에서 25.3~30.4MPa로 설계기준강도(상부 : 27.0MPa, 하부 : 24.0MPa)를 상회하는 것으로 나타남..<br>• 전차 정밀안전진단(2011년)과 금회 측정한 비파괴 압축강도 측정값을 비교·분석한 결과, 측정위치에 따라 다소 차이는 발생하고 있으나 전반적으로 전차 정밀안전진단 결과와 유사한 경향을 보이고 있으며, 측정개소 모두 설계기준강도를 상회하는 것으로 측정되어 콘크리트 강도는 전반적으로 양호하며, 강도저하는 발생되지 않은 것으로 판단됨. |                                                                                                                                                                                                                      |             |             |               |              |     |
| 구 분       | 시험위치 |     | 전차 정밀안전진단                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                      | 금회 정밀안전진단   |             | 설계치(mm)       |              | 비 고 |
|           |      |     | 배근간격                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 피복두께                                                                                                                                                                                                                 | 배근간격        | 피복두께        | 배근간격          | 피복두께         |     |
| 철근<br>탐사  | 캔틸레버 | 횡방향 | 105.0~140.0                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 31.0~57.0                                                                                                                                                                                                            | 107.5~135.0 | 40.0~48.0   | 125.0         | 50.0(42.0)   | 양호  |
|           |      |     | 215.0~250.0                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 50.0~56.0                                                                                                                                                                                                            | -           | -           | 250.0         | 50.0         | 양호  |
|           | A1   | 수직근 | 225.0~270.0                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 116.0                                                                                                                                                                                                                | -           | -           | 250.0         | 100.0        | 양호  |
|           |      | 수평근 | 145.0~170.0                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 116.0                                                                                                                                                                                                                | -           | -           | 150.0         | 100.0        | 양호  |
|           |      | 수직근 | -                                                                                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                                                                                                                                                    | 115.0~120.0 | 96.0~97.0   | 125.0         | (90.5)       | 양호  |
|           |      | 수평근 | -                                                                                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                                                                                                                                                    | 150.0~155.0 | 110.0~111.0 | 150.0         | (109.5)      | 양호  |
|           | A2   | 수직근 | 160.0~220.0                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 111.0                                                                                                                                                                                                                | -           | -           | 200.0         | 100.0        | 양호  |
|           |      | 수평근 | 130.0~175.0                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 111.0                                                                                                                                                                                                                | -           | -           | 150.0         | 100.0        | 양호  |
|           |      | 수직근 | -                                                                                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                                                                                                                                                    | 95.0~110.0  | 85.0~92.0   | 100.0         | (87.5)       | 양호  |
|           |      | 수평근 | -                                                                                                                                                                                                                                                                                             | -                                                                                                                                                                                                                    | 140.0       | 110.0~111.0 | 150.0         | (112.5)      | 양호  |
|           | 교각   | 수직근 | 95.0~120.0                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 75.0~81.0                                                                                                                                                                                                            | 90.0~115.0  | 86.0~91.0   | 100.0         | 100.0(87.5)  | 양호  |
|           |      | 수평근 | 140.0~175.0                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 75.0~81.0                                                                                                                                                                                                            | 140.0~155.0 | 113.0~116.0 | 150.0         | 100.0(112.5) | 양호  |
|           | 고 찰  |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                               | • 철근탐사결과, 각각의 철근간의 간격은 다소 편차를 보이고 있으나, 전체적인 평균 간격은 설계 간격과 유사한 것으로 조사됨.<br>• 동일 부재여도 측정부위에 따른 설계 배근간격이 상이하여 직접적인 비교·분석이 가능하지 않은 측정개소가 발생하였으나, 전차 정밀안전진단(2011년)과 금회 측정한 철근탐사결과 배근간격 및 피복두께가 설계기준에 따라 적정하게 배근된 것으로 검토됨. |             |             |               |              |     |

【표 3.116】 백운1교(부산) 내구성조사 결과요약(계속)

| 구 분              | 시험위치  | 전차 정밀안전진단                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                      | 금회 정밀안전진단           |                                      | 비 고           |
|------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------|
|                  |       | 탄산화깊이(mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 잔여깊이(mm)                             | 탄산화깊이(mm)           | 잔여깊이(mm)                             |               |
| 탄산화<br>깊이<br>측정  | 상부구조  | 2.0~4.0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 29.0~52.0                            | 2.0                 | 39.0~41.0                            | 철근부식<br>우려 없음 |
|                  | 하부구조  | 12.0~18.0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 63.0~104.0                           | 1.0~12.0            | 74.0~95.0                            |               |
|                  | 고 찰   | • 실측 탄산화깊이 및 철근탐사 피복두께에 의한 탄산화 잔여깊이는 상부구조 39.0~41.0mm, 하부구조 74.0~95.0mm로 측정되어 측정개소 모두 잔여깊이 30mm이상으로 철근부식의 우려가 없는 a로 평가됨.<br>• 전차 정밀안전진단(2011년) 결과와 비교·분석한 결과, 측정위치 차이에 의해 측정 결과 값에 다소 차이가 있으나, 측정개소 모두 탄산화에 의한 철근부식 및 콘크리트 내구성 저하의 영향은 적을 것으로 판단됨.                                                                                            |                                      |                     |                                      |               |
| 구 분              | 시험위치  | 전차 정밀안전진단                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                      | 금회 정밀안전진단           |                                      | 비 고           |
|                  |       | Cl <sup>-</sup> (%)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Cl <sup>-</sup> (kg/m <sup>3</sup> ) | Cl <sup>-</sup> (%) | Cl <sup>-</sup> (kg/m <sup>3</sup> ) |               |
| 염화물<br>함유량<br>시험 | 상부구조  | 0.0311                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 0.705                                | 0.0047              | 0.106                                |               |
|                  | 하부구조  | 0.0138~0.0261                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0.313~0.592                          | 0.0070~0.0257       | 0.158~0.581                          |               |
|                  | 고 찰   | • 상부구조 0.106kg/m <sup>3</sup> , 하부구조 0.158~0.581kg/m <sup>3</sup> 로 분석되어 상태평가 a~b로 부식발생 가능성이 낮은 것으로 평가됨. 현장조사 결과 철근부식에 의한 박락은 발생되지 않은 상태로 염화물에 의한 구조물의 손상은 없는 것으로 조사됨.<br>• 전차 정밀안전진단(2011년)과 금회 측정한 염화물 함유량 시험결과를 비교·분석한 결과, 재료시험 특성 및 시험위치의 차이 등에 의해 미소한 차이가 발생하였으나, 측정개소 모두 염화물 함유량 1.2kg/m <sup>3</sup> 이하로 염화물에 의한 부식발생 가능성이 낮은 것으로 분석됨. |                                      |                     |                                      |               |
| 구 분              | 시험위치  | 전차 정밀안전진단                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                      | 금회 정밀안전진단           |                                      | 비 고           |
|                  |       | 초음파 이상유무                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                      | 초음파 이상유무            |                                      |               |
| 강재<br>초음파<br>탐상  | 거더 G1 | 합격 : 6개소                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                      | 합격 : 6개소            |                                      |               |
|                  | 거더 G2 | 합격 : 6개소                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                      | 합격 : 6개소            |                                      |               |
|                  | 고 찰   | • 맞대기 용접부에 대해 거더별로 6개소씩 총 12개소에 대해 검사를 실시하였으며, 탐사결과 조사된 모든 위치에서 용접부에 대한 결함지시가 발생하지 않아 구조물의 용접상태는 양호한 것으로 평가됨.<br>• 전차 정밀안전진단(2011년) 결과와 금회 맞대기 용접부 결함 유무 측정 결과, 용접부의 결함지시가 없는 상태로서 결함이 발생되지 않은 것으로 판단됨.                                                                                                                                       |                                      |                     |                                      |               |

## 나. 백운1교(춘천)

백운1교(춘천)는 연장 151.4m, 폭 12.5m, 교대 2기, 교각 2기로 공용중인 AR Girder 교량으로 비파괴시험은 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침[교량편](2010.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』에 근거하여 콘크리트 강도시험, 철근탐사시험, 탄산화깊이 측정, 염화물함유량 시험, 균열깊이 조사를 실시하였다. 금회 시험결과와 전차 정밀안전진단(2013년)과 비교, 분석한 결과는 【표 3.117】과 같다.

【표 3.117】 백운1교(춘천) 내구성조사 결과요약

| 구 분       | 시험위치           |     | 전차 정밀안전진단                                                                                                                                                                                                                                                                                    |            | 금회 정밀안전진단   |             | 설계강도<br>(MPa) |       |     |
|-----------|----------------|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|-------------|---------------|-------|-----|
|           |                |     | 반발경도시험(MPa)                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 초음파시험(MPa) | 반발경도시험(MPa) | 초음파시험(MPa)  |               |       |     |
| 비파괴<br>강도 | 상부구조           |     | 28.2~30.6                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 28.3~33.2  | 27.5~30.6   | 28.1~30.1   | 27.0          |       |     |
|           | 하부구조           |     | 26.6~27.9                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 25.3~27.3  | 25.4~31.2   | 24.6~25.7   | 24.0          |       |     |
|           | 고 찰            |     | • 상부구조에서 27.5~30.6MPa, 하부구조에서 24.6~31.2MPa로 설계기준강도(상부 : 27.0MPa, 하부 : 24.0MPa)를 상회하는 것으로 나타남.<br>• 전차 정밀안전진단(2013년)과 금회 측정한 비파괴 압축강도 측정값을 비교·분석한 결과, 측정위치에 따라 다소 차이는 발생하고 있으나 전반적으로 전차 정밀안전진단 결과와 유사한 경향을 보이고 있으며, 측정개소 모두 설계기준강도를 상회하는 것으로 측정되어 콘크리트 강도는 전반적으로 양호하며, 강도저하는 발생되지 않은 것으로 판단됨. |            |             |             |               |       |     |
| 구 분       | 시험위치           |     | 전차 정밀안전진단                                                                                                                                                                                                                                                                                    |            | 금회 정밀안전진단   |             | 설계치(mm)       |       | 비 고 |
|           |                |     | 배근간격                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 피복두께       | 배근간격        | 피복두께        | 배근간격          | 피복두께  |     |
| 철근<br>탐사  | 바닥<br>판<br>하면  | 종방향 | 200.0                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 31.0~65.0  | 110.0~144.0 | 31.0~40.0   | 125.0         | 37.5  | 양호  |
|           |                | 횡방향 | 200.0~223.0                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 53.0~75.0  | 180.0~222.0 | 60.0~70.0   | 200.0         | 62.5  | 양호  |
|           | 거더             | 수직근 | 200.0~300.0                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 59.0~92.0  | 134.0~149.0 | 37.0~48.0   | 149.0         | 39.0  | 양호  |
|           |                | 수평근 | 100.0~200.0                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 74.0~115.0 | 265.0~320.0 | 58.0~67.0   | 300.0         | 61.0  | 양호  |
|           | 교대             | 수직근 | 150.0~200.0                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 86.0~102.0 | 185.0~221.0 | 90.0~97.0   | 200.0         | 90.5  | 양호  |
|           |                | 수평근 | -                                                                                                                                                                                                                                                                                            | -          | 190.0~210.0 | 108.0~117.0 | 200.0         | 109.5 | 양호  |
|           | P1<br>기둥       | 수직근 | 185.0                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 47.0       | 215.0~220.0 | 90.0~92.0   | 200.0         | 89.0  | 양호  |
|           |                | 수평근 | 200.0                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 94.0       | 210.0       | 110.0       | 200.0         | 111.0 | 양호  |
|           | P2<br>지점<br>롤러 | 수직근 | 200.0                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 53.0       | 190.0~205.0 | 92.0~96.0   | 200.0         | 92.0  | 양호  |
|           |                | 수평근 | 200.0                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 75.0       | 195.0~210.0 | 105.0~108.0 | 200.0         | 108.0 | 양호  |
|           | 고 찰            |     | • 철근탐사결과, 각각의 철근간의 간격은 다소 편차를 보이고 있으나, 전체적인 평균 간격은 설계 간격과 유사한 것으로 조사됨.<br>• 전차 정밀안전진단(2013년)과 금회 측정한 철근배근상태를 비교·분석한 결과, 동일 부재여도 측정부위에 따른 설계 배근간격이 상이하여 직접적인 비교·분석이 가능하지 않은 상태로 금회 측정한 철근배근상태를 기준으로 평가를 실시한 결과 배근 간격 및 피복두께가 설계기준에 따라 적정하게 배근된 것으로 검토됨.                                       |            |             |             |               |       |     |

【표 3.117】 백운1교(춘천) 내구성조사 결과요약(계속)

| 구 분              | 시험위치    | 전차 정밀안전진단                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                      | 금회 정밀안전진단           |                                      | 비 고           |
|------------------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------|
|                  |         | 탄산화깊이(mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 잔여깊이(mm)                             | 탄산화깊이(mm)           | 잔여깊이(mm)                             |               |
| 탄산화<br>깊이<br>측정  | 상부구조    | 4.2~5.3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 26.8~53.7                            | 4.5~6.1             | 31.5~34.9                            | 철근부식<br>우려 없음 |
|                  | 하부구조    | 3.4~3.6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 43.6~98.4                            | 4.0~4.3             | 86.0~86.7                            |               |
|                  | 고 찰     | • 실측 탄산화깊이 및 철근탐사 피복두께에 의한 탄산화 잔여깊이는 상부구조 31.5~34.9mm, 하부구조 86.0~86.7mm로 측정되어 측정개소 모두 잔여깊이 30mm이상으로 철근부식의 우려가 없는 a로 평가됨.<br>• 전차 정밀안전진단(2013년) 결과와 비교·분석한 결과, 측정위치 차이에 의해 측정 결과 값에 다소 차이가 있으나, 측정개소 모두 탄산화에 의한 철근부식 및 콘크리트 내구성 저하의 영향은 적을 것으로 판단됨.                                                                                                                                                                                           |                                      |                     |                                      |               |
| 구 분              | 시험위치    | 전차 정밀안전진단                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                      | 금회 정밀안전진단           |                                      | 비 고           |
|                  |         | Cl <sup>-</sup> (%)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Cl <sup>-</sup> (kg/m <sup>3</sup> ) | Cl <sup>-</sup> (%) | Cl <sup>-</sup> (kg/m <sup>3</sup> ) |               |
| 염화물<br>함유량<br>시험 | 상부구조    | 0.002                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 0.071                                | 0.0167~0.1935       | 0.377~4.378                          |               |
|                  | 하부구조    | 0.001~0.003                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0.024~0.047                          | 0.0142~0.1917       | 0.321~4.338                          |               |
|                  | 고 찰     | • 1차 조사(상부구조 4.378kg/m <sup>3</sup> , 하부구조 0.321~4.338kg/m <sup>3</sup> ), 2차 조사(상부구조 0.377kg/m <sup>3</sup> , 하부구조1.443kg/m <sup>3</sup> )로 조사되었으며, 측정값의 차이는 신축이음부와 접하는 바닥판하면 및 교대 구체의 경우 강설시 제설대책인 동결방지제(염화칼슘)의 영향으로 염화물 측정치가 크게 분석된 것으로 판단됨. 노면수 유입이 되는 부위에 대해서는 염화물에 의한 철근부식 등의 구조물 손상 발생여부를 지속적으로 주의 관찰 필요함.<br>• 전차 정밀안전진단(2013년)과 금회 측정한 염화물 함유량 시험결과를 비교·분석한 결과, 재료시험 특성 및 시험위치, 공용기간 증가, 동결방지제인 염화칼슘의 영향으로 염화물 함유량의 증가가 있는 것으로 분석됨. |                                      |                     |                                      |               |
| 구 분              | 시험위치    | 금회 정밀안전진단                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                      |                     | 비 고                                  |               |
|                  |         | 균열폭(mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 균열깊이(mm)                             | 피복두께(mm)            |                                      |               |
| 균열<br>깊이<br>조사   | P1 기둥   | 0.2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 33.7                                 | 89.0                |                                      |               |
|                  |         | 0.3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 33.8                                 | 89.0                |                                      |               |
|                  | P2 지점롤러 | 0.2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 32.4                                 | 92.0                |                                      |               |
|                  | 고 찰     | • 균열깊이는 32.4~33.8mm로서 하부구조 피복두께(89.0~92.0mm)에 미치지 않는 것으로 측정되어 철근부식에 의한 내구성 저하는 미미할 것으로 판단됨.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                      |                     |                                      |               |



