

# 제 9장 결 언





# 제 9 장 결 언

본 교량은 과거의 정밀점검 및 정밀안전진단 실시 결과에 따라 결함발생 부위에 대하여 콘크리트 균열보수, 강재의 부분 채도장등 부분적인 보수를 실시하였다. 이에 금번 조사는 보수의 적정성 여부, 누락된 결함 및 결함의 진전여부 등에 집중하였으며 조사결과 구조적 안전성에 문제가 될 만한 결함은 조사되지 않았다.

## 가. 외관조사

### 1. 본교

#### 가) 상부 지장물

- 외관조사결과 차량충돌이나 비정상적인 신축거동에 따른 변형은 조사되지 않았다.
- 높이 측정결과 도로교설계기준을 만족하는 것으로 조사되었으며, 연석 및 중분대 일부구간에서 제설제 및 노후화에 따른 박리, 박락, 균열 등이 조사되었다.

#### 나) PSC 박스외부

- 전차진단 손상들은 대부분 보수가 되지 않은 상태이며 노후화로 인해 균열(망상), 균열, 철근노출, 캔틸레버 하부 및 접합부에서 누수 및 백태 등이 조사되었다.
- PC강봉으로 구성된 외부강선의 정착단 상태는 주로 미세균열들과 시공불량에 의한 철근노출(정착단) 1개소가 조사되어 내구성 확보차원에서 단면복구(방청)가 필요한 것으로 판단된다.

#### 다) PSC 박스내부

- 특이한 구조적 손상들은 조사되지 않았으며 균열은 대부분 균열폭 0.3mm이하의 균열 철근노출, 박락, 누수 및 백태 등이 조사되었다.
- 하부 정착단에서는 건조수축 등에 의한 콘크리트 정착단의 균열(Cw 《0.3mm), 보수 불량 및 강봉부식에 의한 들뜸, 박락, 국부적인 강봉노출 등이 조사되었다.
- 측면 정착단의 강선 및 강봉 끝단 캡 상태는 양호하였으며 대부분 기존 PSC Box와 콘크리트 앵커 블록의 시공이음부에서 틈이 조사되었으나 이상거동은 없었고, 콘크리트 앵커 블록에서 건조수축에 의한 망상균열이 조사되었다.
- 누수는 주로 슬래브, 헌치부, 복부(Web)에서 조사되었으며 상부플랜지 하면에서는 세그먼트(Segment) 접합부 및 인양홀, 헌치부는 헌치부 및 시공이음부 주변, 복부쪽에서는 하단부 주변에서 조사되었다.

- 2015년 10월말 본교 박스 내부 바3-W-용-Seg10, 12 상부플랜지 하부에서 철근 및 PC강봉 연결부(Coupler)가 노출된 콘크리트 박락(0.5×0.5) 2개소가 신규로 조사되었으나 검토결과 이는 노후화 및 시공불량에 의한 일반적인 손상이며 보수 후 유지관리 시 주기적인 확인이 필요한 것으로 판단된다.

#### 라) PSC 박스내부-힌지부

- 특이한 구조적 손상은 없으나 노후화, 신축이음부 누수 등에 의한 박락, 들뜸, 균열, 강봉노출 등이 조사되었다.
- 측면힌지의 탄성고무패드 및 외부보강강관이 빠진 부위를 포함한 7개소에 온도변화에 따른 힌지부 거동 확인 결과 바2-E-상부힌지(고착화)를 제외하고는 정상적인 거동이 확인되었다.

#### 마) 신축이음

- 주요 손상으로는 후타재 콘크리트 박리, 박락 등이 조사되었고 차수판이 설치되어있지 않은 일부 구간에서는 우천시 신축이음 양 끝단에서 체수가 되는 것으로 조사되었다.
- 하절기 및 동절기 신축량 검토결과 신축거동은 양호한 것으로 조사되었다.

#### 바) 하부구조

- 주요 손상으로는 노후화 및 피복부족 등에 의한 수직균열(망상), 철근노출, 보수재 박리, 재료분리 등으로 기존 손상에 대한 진행성은 없는 것으로 조사되었다.
- 기초 상면에는 주로 노후화로 인해 국부적인 균열(망상), 철근노출, 침식, 박락, 들뜸 등이 조사되었다.

## 2. 남단접속교

### 가) 상부 지장물

- 높이 측정결과 도로교설계기준을 만족하는 것으로 조사되었으며, 연석 및 중분대 일부구간에서 제설제 및 노후화에 따른 박리, 박락, 균열 등이 조사되었다.

### 나) 상부구조

- PSC 슬래브교 바닥판의 전체적인 상태는 양호하였으며 국부적으로 노후화에 따른 망상균열, 캔틸레버 끝단 하부 철근노출 및 들뜸 등이 주요 손상으로 조사되었다.
- 강판형교 바닥판 콘크리트 하면 일부구간에 망상균열, 강제 바닥틀에서는 조류 배설물 퇴적, 바8 경간의 배수관 연결부위 중 7개소에서 누수가 조사되었다.
- PSC I빔 구간 바닥판 하면에서는 일부구간에서 망상(백태)균열, 백태(망상), 재료분리 및 들뜸 등이 조사되었으며, 가로보에서는 균열, 철근노출 및 박락이 조사되었고, 주거더(I빔)에서는 철근노출, 재료분리, 균열(Cw=0.1mm), 국부적인 백태 및 박락 등이 조사되었다.

#### 다) 신축이음

- 주요 손상으로는 후타재 콘크리트 박리, 박락 등이 조사되었고 차수판이 설치되어있지 않은 일부 구간에서는 우천시 신축이음 양 끝단에서 체수가 되는 것으로 조사되었다.
- 하절기 및 동절기 신축량 검토결과 신축거동은 양호한 것으로 조사되었다.

#### 라) 하부구조

- 일부 교각에서는 기존 진단에서 조사된 균열, 보수부 들뜸, 철근노출, 박리, 망상(백태) 균열이 조사되었다.

#### 마) 받침

- PSC 슬래브구간은 내진받침으로는 교체되지 않았으며 선받침 대부분이 부식 및 압착되어 있는 상태로 조사 되었으나 이로 인한 지점부위의 추가적인 손상은 없는 것으로 조사되었다.
- 강관형 및 PSC I빔구간 받침 설치 상태는 양호하고 주요 손상으로는 일부구간 볼트 및 받침하부 강재플레이트 부식 등이 조사되었다.
- 일부 받침(SP6-중, SP7-시,중, SP12-중, SP14-시,중)에서 연단거리 부족이 조사되었으나 파괴면 검토 결과 양호하였고, 외관조사시 코핑부 파손등 특이한 구조적 변상은 조사되지 않았으나 유지관리 시 주의관찰이 필요한 것으로 판단된다.

### 3. 북단접속교

#### 가) 상부 지장물

- 연석 및 중분대 일부구간에서 균열, 박리, 박락 등이 조사되었으며, B, D, E 램프 진출·입구쪽 충격흡수대의 콘크리트 블록 하단 우측부위가 파손되어 보수(단면복구)가 필요한 것으로 조사되었다.

#### 나) 상부구조

- 강관형교 구간 콘크리트 바닥판은 일부구간에서 망상(백태)균열이 조사되었으며, 거더 및 바닥틀은 양호한 상태이나 국부적인 강재부식, 굽힘, 볼트누락 등이 조사되었다.
- PSC I 빔 구간 중 보강구간에서는 정착단의 벌어짐이나 파단, 쉬스판 손상 등의 구조적인 변상은 조사되지 않았으며, 일부 정착단에서 소량의 누유흔적 및 국부적 점부식, 조류서식, 변곡점 새들(Saddle)부위의 점부식 등이 조사되었다.
- PSC I빔 구간 중 화재가 발생되었던 바11 주거터, 바닥판 하면, 교각 NP11중 손상된 부위는 단면복구가 실시되었고, 금번 외관조사결과 보수부 부착상태는 양호하였으나 건조수축에 의한 망상균열이 일부 조사되었다.

#### 다) 신축이음

- 주요 손상으로는 후타재 콘크리트 박리, 박락 등이 조사되었고 차수판이 설치되어 있지 않은 일부 구간에서는 우천시 신축이음 양 끝단에서 체수가 되는 것으로 조사되었다.
- 하절기 및 동절기 신축량 검토결과 신축거동은 양호한 것으로 조사되었다.

#### 라) 하부구조

- 교각별로 특이한 구조적인 손상은 없으며 일부 기둥부 및 코핑부에서 수직균열(망상), 철근노출, 들뜸, 코핑부 누수 등이 조사되었다.

#### 마) 받침

- 받침 설치 상태는 양호하고 본체의 파손, 편기 등의 특별한 결함이 없는 양호한 상태이며 구조적 손상에 의한 특이사항은 조사되지 않았다.
- 받침 이동량 검토결과 모든 받침들이 허용이동량 이내로 신축거동을 하는 것으로 조사되었다.

### 4. 남단 램프 구간(O, N램프)

#### 가) 상부 지장물

- 연석 및 중분대 일부구간에서 제설제 및 노후화의 영향으로 박리, 균열, 박락등이 조사되었으며, 갈매기 표지판의 경우 N램프는 3번째 표지에서 기둥 지주부 앵커볼트 1개소 누락이 조사되어 재체결이 필요한 것으로 조사되었다.

#### 나) 바닥판하면

- 캔틸레버 끝단에서 일부 철근노출, 박락, 바닥판하면 배수구 주변 백태, 망상균열, 주거더 스프라이스에서 볼트체결불량, 국부적인 부식 등이 조사되었다.

#### 다) 박스내·외부

- 전체적인 상태는 구조적 손상이 없는 양호한 상태이며 국부적으로 실링처리 불량, 용접불량 및 누락, 볼트체결불량, 도장불량, 강제부식, 조류배설물 적치등이 조사되어 재용접, 재도장, 볼트 재체결등의 보수가 필요한 것으로 판단된다.

라) 신축이음

- 주요 손상으로는 후타재 콘크리트 박리, 박락 등이 조사되었고 차수판이 설치되어 있지 않은 일부 구간에서는 우천시 신축이음 양 끝단에서 체수가 되는 것으로 조사되었다.
- 하절기 및 동절기 신축량 검토결과 신축거동은 양호한 것으로 조사되었다.

마) 하부구조

- 교대는 누수에 의한 백태가 일부 조사되었으며, 교각부에서는 대부분 보수재 표면균열 등이 조사되었다.

바) 받침

- 주요 손상으로는 볼트 및 받침하부 강재플레이트 부식 등이 조사되었으며 교대측에 누수가 발생되어 받침 하부 강재플레이트 부식을 유발하고 있으므로 신축이음 교체가 필요하며, 부식부위에 대해서는 블라스팅 후 재도장이 필요한 것으로 판단된다.
- 받침 이동량 검토결과 모든 받침들이 허용이동량 이내로 신축거동을 하는 것으로 조사되었다.

## 5. 북단램프(강변복로) 구간(B, C 램프)

가) 상부 지장물

- 연석에서는 기존 손상들이 대부분 보수가 되어 있으며 기존 손상인 국부적인 보수재 박리, 박락, 방호울타리 지주 앵커볼트 부식 등이 조사되었다.
- 갈매기 표지판의 경우 B램프는 4번째 갈매기, C램프 4, 5번째 갈매기 표지판 하부 앵커볼트에서 풀림이 조사되어 재체결이 필요한 것으로 조사되었다.

나) 바닥판하면

- B램프 바2, C램프 바1~바3 콘크리트 바닥판 하면에서는 망상(백태)균열, 배수구 주변 누수 및 박락(부식), 바닥판과 주거터 접합부에서는 백태 및 부식 등을 유발하고 있는 것으로 조사되었으며 상태가 심한 C램프는 바닥판 치환 등 근본적인 보수가 필요하다.

다) 박스내·외부

- 전체적인 상태로는 국부적인 실링처리 불량, 용접불량 및 누락, 볼트체결불량, 도장 박리, 강재부식, 단면감소, 리브변형 등이 조사되었다.
- C램프 강재박스 3-G2-D14~15 하부플랜지와 접한 복부판, 종·횡리브의 일부 단면 감소부, 필렛용접부 천공부위에 대한 외관조사 및 자분탐상(MT)조사결과 단면감소 부위 및 용접불량 부위, 인접 용접부위에서 단면부족으로 인한 추가손상(복부판의 좌굴, 응력집중에 의한 용접부위에 대한 인장 및 피로균열)은 조사되지 않았다.

#### 라) 신축이음

- 주요 손상으로는 후타재 콘크리트 박리, 박락 등이 조사되었고 차수판이 설치되어 있지 않은 일부 구간에서는 우천시 신축이음 양 끝단에서 체수가 되는 것으로 조사되었다.
- 하절기 및 동절기 신축량 검토결과 신축거동은 양호한 것으로 조사되었다.

#### 마) 하부구조

- 교대 측에서는 일부 누수가 조사되었으며 코핑부 및 기둥부 일부에서 균열, 박락, 백태, 철근노출 등이 조사되어 균열보수 및 단면(방청)복구 등의 보수가 필요한 것으로 판단된다.

#### 바) 받침

- 받침 설치 상태 및 외관상태는 양호하였으며 주요 손상으로는 국부적인 볼트 및 받침하부 강제플레이트 부식 등이 조사되었다.
- 받침 이동량 및 연단거리 검토결과 모두 양호하였으며 일부 연단거리 부족한 부위는 외관조사 및 파괴면 검토결과 양호한 것으로 조사되었다.

### 6. 북단램프(원효로) 구간(D, E램프)

#### 가) 상부 지장물

- 연석에서는 기존 손상들이 대부분 보수가 되어 있으며 기존 손상인 국부적인 보수재 박리, 박락, 방호울타리 지주 앵커볼트 부식 등이 조사되었다.
- 가로등 설치 상태는 양호하였으며 D램프쪽 콘크리트 구조물(충격흡수시설)의 하단에 박락이 발생되어 단면복구가 필요한 것으로 조사되었다.

#### 나) 상부구조

- 바닥판 하면의 경우 누수에 따른 백태를 동반한 망상(백태)균열, 가로 하단 철근노출 등이 주로 조사되었다.
- 주거터(I빔) 및 가로보에서는 국부적인 박락, 재료분리, 피복부족에 따른 국부적인 철근노출 및 균열 등이 조사되었다.
- E램프 바1, 바3에 설치된 외부강선의 설치상태는 양호하였으며 양끝 정착단의 파단 및 슬립 등 구조적 손상은 없으며, 국부적인 누유흔적 및 중앙변곡점 새들(Saddle) 강판 부식 등이 조사되었다.



#### 다) 신축이음

- D램프는 '12년도에 신축이음 재설치를 실시하여 상태가 양호하였으며, E램프에서는 노후화로 인해 후타재 박리 등이 조사되었다.
- 온도 변화에 따른 신축량 검토결과와 실측유간을 비교하였을 때 양호한 것으로 조사되었다.

#### 라) 하부구조

- 외관조사결과 E램프-P2 및 D램프-P2의 여의도측 코핑부에서는 중앙 받침부 양측에 균열폭 0.6~1.2mm, 길이 0.5~0.7mm의 수직균열이 조사되었으며, 구조 안전성 평가 결과 안전한 것으로 분석되어 보수·보강 후 유지관리 시 보수부에 대한 주기적인 확인이 필요한 것으로 판단된다.

#### 마) 받침

- 주요 손상으로서는 국부적으로 볼트 및 받침하부 강재플레이트 부식 등이 조사되었으며 받침 이동량은 양호하나 받침에서 연단거리 부족이 조사되었으나 외관조사 결과 특이한 구조적 변상은 조사되지 않았으나 유지관리 시 주의관찰이 필요한 것으로 판단된다.

## 7. 측량

#### 가) 금회 종단측량 측정결과

- 종단측량 측정결과를 분석한 결과 추가 장기처짐량이 1.0mm로 수렴되고 있다는 기존 진단보고서(2010년)의 언급에 따라, '10년 측량결과와 비교하였으며, 현재의 포장 상면고에서는 평균 2.9mm 정도 차이가 있는 것으로 나타났다.

#### 나) 처짐원인 분석 및 평가

- '05년 이후 종단측량값(1회/5년)을 기준으로 산정하는 처짐분석 방식은 통행차량으로 인한 교량의 진동, 아스팔트 포장의 평탄성, 측정자의 오차 등으로 인한 차이를 동반하는 다양한 오차를 포함하고 있어 PSC 구조형식의 교량 처짐값 분석이 아닌 경향분석으로서 정밀도에서는 미흡한 방식으로 판단된다.
- 따라서 향후에는 현재 상시 계속되고 있는 온라인 안전감시시스템을 활용하여 분기별/년도별 처짐량을 지속적으로 분석하고 문제발생시 즉각 대처할 수 있는 시스템으로 운영하여야 할 필요성이 있으며, 계측시스템도 정밀도가 높은 방식으로 점차 개선해야 될 것으로 판단된다.

- 또한 현재의 누적처짐값(105mm)은 설계시 예측하지 못한 시공 및 재료적인 여러 가지 요인과 시공후 반영된 추가하중(강선보강, 포장, 중분대 신설 등)으로 인한 크리프, 건조수축, PS강재의 릴렉세이션의 변화 등의 복합적인 요인으로 발생된 것으로 판단되나 허용값(159mm) 및 관리기준치(125mm)이내로서 교량의 구조적인 안전성에 미치는 영향은 미흡한 것으로 판단되며, 향후 유지관리시 추가 고정하중 증가시에는 장기처짐량의 증가를 유발할 수 있으므로 가급적 고정하중의 증가를 피하고 필요시 철저한 검토 및 분석을 수행하여야 하겠다.

## 8. 바닥판 상면 GPR탐사

### 가) 아스팔트 포장두께

- 아스팔트 포장두께 평균은 용산방향이 87mm, 여의도 방향이 86mm로 설계기준(50mm) 이상으로 조사되었으며 각 경간 중앙에 설치된 신축이음 주변으로는 처짐으로 인한 평탄성 조절을 위해 두꺼워 지는 양상(최대 용산방향 198mm, 여의도방향 196mm)으로 조사되었다.

### 나) 포장내부 바닥판 상면 조사

- GPR탐사결과와 코어채취결과를 종합한 결과, 열화가 전반적으로 높게 나타났으며, 그 원인으로는 열화된 콘크리트슬래브 상면의 수분함유량과 체수에 의한 것으로 추정된다. 다만 최근 1달간(11.6~12.6) 강우량이 평년에 비해 2배이 상 많았고(125.2mm/31일), 강우발생빈도도 높아(16일/31일) 장비특성상 바닥판내 수분함유량이 높은 점도 영향을 준 것으로 판단된다.
- 또한, GPR조사를 통해 확인된 바닥판 콘크리트 상면의 결함들에 대해서는 향후 교면 재포장 시 반드시 보수(단면복구)공사를 동반하여 개선되어야 할 것으로 판단된다.

## 나. 내구성 조사

### 1. 콘크리트 비파괴 조사

- 콘크리트 추정강도는 상·하부 구조에서 대체적으로 설계기준 강도를 만족한다.
- 부재별 철근배근간격은 설계도면과 유사한 것으로 측정, 피복두께는 다소 편차가 있는 것으로 조사되었으나 전반적으로 피복두께를 확보하고 있는 것으로 나타났다.
- 균열폭 0.3mm이상 균열발생 부위의 균열깊이가 최소피복두께를 초과하여 발생된 것으로 측정되어 철근부식 유발 등 내구성유지에 문제가 될 수 있으므로 주입보수(방청처리)를 실시하여야 한다.
- 탄산화 및 염화물 평가결과는 'a~b'등급으로 양호한 것으로 분석되었다.

### 2. 강재 비파괴 조사

- 본 교량의 접속교인 Steel Plate Girder, 램프교인 Steel Box Girder의 하부플랜지 맞대기 용접이음부에 대한 초음파탐상시험(67개소), 자분탐상검사(5개소) 조사결과 용입부족 결함이 다수 발견되었으나 이는 과년도 결과와 유사하며 특이사항은 없는 것으로 판단된다.
- 금회조사에서도 단면감소량의 최대 발생 부위는 과년도에 코어채취한 부위로 나타났으며, 이 부위는 균열발생 가능성이 상대적으로 높은 부위이므로, 천공부 결함에 대하여 자분탐상을 실시하였으며, 균열의 발생은 없는 것으로 확인되었다.
- 용접결함이 강 주형 전체에 폭넓게 분포하고 있으나, 교량 준공 후부터 현재까지 결함부에서 균열이 발생되지 않았고 초기 용접결함 상태를 유지하고 있으므로, 현재와 같은 재하 조건에서는 별도의 용접보수는 필요하지 않을 것으로 판단된다. 따라서 용접결함부는 향후 점검 및 정밀안전진단 시에 정기적인 비파괴검사 실시를 통하여 주기적으로 유지관리 하는 것이 바람직할 것으로 보인다.

## 다. 재하시험 결과

- 남단접속교 구간(강관형)에 대한 변형률, 처짐, 가속도 등을 계측하여 이론치와 비교, 분석한 결과 정적·동적 거동특성은 양호한 것으로 판단된다.
- 변형률 및 처짐에 대한 계측결과 하중의 대칭성 및 중첩성은 양호하고 이상 거동이 없는 것으로 판단되며 의사정적·동적재하시험결과에 대한 비교 또한 양호하였다.
- 고유진동수를 비교한 결과 거동상에 문제는 없는 것으로 나타났다.

## 라. 안전성 검토 및 내하력평가

- 안전성 검토결과 모두 허용응력 범위 내에 존재하므로 적용하중에 대해서는 구조적으로 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.
- 재하시험 결과를 반영한 공용내하력 평가 결과 설계하중(DB, DL-18) 이상을 만족하며 구조적인 안전성과 사용성은 문제가 없는 것으로 확인되었다.
- 설계하중에 의한 교각 코핑부의 위험단면에 대하여 검토한 결과, 균열부의 인장응력은 콘크리트의 허용 휨인장강도 내로 평가되었고, 사용철근량에 대해 기본내하력은 설계하중 DB(DL)-18 이상을 유지하고 있는 것으로 평가됨.

전술한 바와 같이 육안조사에 의한 상태평가 결과는 『B』, 안전평가 결과는 『A』로 평가되어 2015년 원효대교 안전등급은 전차진단(2010년)과 동일한 『B』 등급으로 평가되었으나, 본교인 PSC박스교의 상태등급이 "C"로서 균열부, 철근노출부 등에 대한 적극적인 보수·보강이 이루어져야 향후 상태등급도 향상될 것으로 판단된다. 또한, 나머지 구간도 결함이 발생되어 보수·보강을 제시한 주요 부재에 대하여 보수·보강을 실시하고 향후 지속적인 점검 및 진단을 통하여 유지관리가 시행된다면 본 교량은 사용성 및 건전성에서 보다 안정적인 상태를 유지할 수 있을 것으로 판단된다.