

제 8 장 종 합 결 론

8.1 개요

8.2 정밀안전진단 실시결과의 종합결론

8.3 유지관리시 특별한 관리가

 요구되는 사항

제 8 장 종합결론

8.1 개 요

본 과업대상 시설물인 백운4교(부산, 춘천)는 각각 중앙선 Sta. 303.67km, Sta. 303.70km에 위치하고 있는 고속도로 교량이다. ‘안전점검 및 정밀안전진단 세부지침’ 및 과업지시서에 따라 교량의 안전성, 사용성, 내구성을 종합적으로 평가하고, 물리적, 기능적 결함의 원인분석 및 안전성평가를 실시하여 보수·보강대책을 수립함으로써 시설물의 효율적인 관리 및 재해, 재난을 예방하는데 그 목적을 두고 정밀안전진단을 실시하였으며, 외관조사 및 내구성조사를 통한 시설물의 상태평가, 안전성평가 등 과업의 결과를 종합한 결론은 다음과 같다.

8.2 정밀안전진단 실시결과의 종합결론

8.2.1 백운4교(부산)

가. 현장조사 결과

현장조사 결과, 교량을 구성하고 있는 재료별로 조사된 주요 손상으로 콘크리트 부재는 균열, 망상균열, 백태, 단면손상, 앵커볼트노출, 잡철근노출, 강재 부재는 도장박리, 부식, 볼트부식, 변형 등의 결함이 국부적으로 관찰되었다. 주요 부재에 대한 현장조사 결과는 다음과 같다.

- 바닥판의 주요 결함은 균열, 백태, 들뜸, 녹물, 거푸집 미제거 및 잡철근노출의 결함이 경미한 규모로 조사되었으며, 내측 바닥판에 설치된 Deck Plate는 부식이 없는 양호한 상태로 조사되었다. 기 발생한 손상은 비구조적 결함으로 구조물의 안전성에 미치는 영향은 없으나 내구성 확보를 위해 백태부 표면처리, 들뜸 및 잡철근노출부에 대한 단면보수가 필요할 것으로 판단된다.
- 거더 및 2차부재의 주요 결함은 도장박리, 부식, 볼트부식 및 변형의 비구조적 결함이 조사되었으며, 그에 대한 보수방안으로 도장박리 및 부식부에 대한 도장보수를 시행한다면 거더의 내구성은 확보될 것으로 판단된다.
- 하부구조인 교대 및 교각의 주요 결함은 건조수축에 의한 균열, 백태, 균열 및 녹물, 철근노출, 앵커노출, 사면유실 등의 비구조적 결함이 조사되었으며, 균열부에 대한 표면처리($Cw < 0.3mm$) 및 주입보수($Cw \geq 0.3mm$), 단면손상 및 철근노출부에 대한 단면보수, 사면유실부 정비 등의 보수를 시행한다면 하부구조의 내구성은 확보될 것으로 판단된다.
- 받침장치의 주요 결함은 본체 부식, 볼트간섭 및 볼트길이부족, A2측 가동여유량 부족, 받침콘크리트의 건조수축에 의한 균열, 들뜸 및 박리의 결함이 조사되었으며, 내구성 확보를 위해 부식부에 대한 도장보수를 실시하고, A2측 가동여유량 부족은 신축거동에 이상이 없는 상태이므로 주의관찰토록 하며, 그 외 결함은 손상규모가 경미하여 내구성 저하 영향이

미미하므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

- 신축이음장치는 본체부식, 토사퇴적, 후타재 균열 및 망상균열, 파손, 덮개판 길이부족 및 변형의 결함이 조사되어 내구성 확보를 위해 각각 청소, 후타재 파손부 단면복구의 보수방안이 적합할 것으로 판단되며, 신축이음장치의 유간은 양호한 것으로 조사되었다.
- 교면포장은 재포장 보수가 실시되어 양호한 상태이나 접속슬래브의 미보수 구간에서 아스콘 망상균열, 패임, 융기 및 침하가 조사되어 내구성 확보를 위해 패임부 패칭보수가 적합할 것으로 판단된다.
- 기타부재로 배수시설은 상부의 배수구는 교체보수가 실시되어 양호한 상태이나 하부의 배수관에서 부식, 누수, 고정핀 부식 및 탈락의 결함이 조사되어 누수부 용접보수와 고정핀 재설치 보수방안이 필요할 것으로 판단되며, 방호벽은 건조수축에 의한 균열, 백태, 파손, 들뜸, 전선덮개판 탈락의 결함이 조사되어 백태부 표면처리, 들뜸부 단면복구, 전선덮개판 재설치의 보수를 실시하면 방호벽의 내구성은 확보될 것으로 판단된다.

기 진단(2011년)과의 비교 시 교면포장, 교대 균열(0.3mm이상), 받침콘크리트 균열부에 대한 보수가 실시되어 손상물량은 감소하였으나 그 외 결함은 다소 증가된 것으로 확인되었으며, 이는 구조적인 원인에 의한 것이 아닌 금회 진단 시 상세조사 및 공용중 발생한 추가손상에 따른 것으로 판단된다.

나. 내구성조사 결과

현장시험은 세부지침을 근거로 수량 및 위치를 선정하여 수행하였고, 시험 결과는 다음과 같다.

- 콘크리트 강도시험 결과, 설계강도 대비 상부구조(27.0MPa)는 25.7~31.6MPa (95.2~116.9%)이고, 하부구조(24.0MPa)는 22.7~29.0MPa (106.9~115.5%)로 전 개소에서 설계기준강도 대비 90%이상을 만족하고 있어 공용기간 증가에 따른 강도 저하 영향은 없는 것으로 판단된다.
- 철근탐사시험 결과, 피복두께가 설계치 보다 다소 두꺼운 것으로 나타났으나 외관조사결과 이로 인한 손상은 조사되지 않았으며 배근간격 등이 준공도면과 유사한 것으로 검토되었다.
- 콘크리트 품질 평가에 따른 탄산화 깊이 측정 및 염화물함유량시험 결과, 탄산화 잔여깊이가 전 개소에서 30mm이상으로 측정되어 양호한 “a” 상태로 평가되었으며, 염화물함유량은 전 개소에서 $0.2\text{kg/m}^3 \leq \text{염화물함유량} \leq 1.2\text{kg/m}^3$ 이하로 측정되어 철근부식이 발생할 우려가 없거나 낮은 a~b로 평가되었다.
- 교대(A1/홍벽)에 대하여 1개소에서 균열깊이 측정결과, 균열깊이는 39.3mm로 조사되어 측정 철근피복두께(107.0mm)를 초과하지 않는 것으로 조사되었고, 균열에 의한 구조물 손상이나 철근 부식 등의 내구성 저하는 조사되지 않았으나, 주기적인 점검을 통해 이로 인한 철근부식 등의 손상발생에 유의하여 주의 관찰해야 될 것으로 판단된다.
- 플레이트거더의 맞대기 용접부에 대한 초음파 탐사(UT)를 실시한 결과, 경간별, 거더별로 1개소씩 총 20개소에 대해 검사를 실시하였으며, 검사결과 총 20개소 모두 합격 판정되어 맞

대기이음부의 용접상태는 양호한 것으로 나타났다.

- 플레이트거더의 도장에 대한 도막두께 측정결과, 전 개소에서 229~548 μ m로 측정되어 기준 두께(215 μ m)를 상회하는 것으로 측정되어 거더의 도장두께는 양호한 것으로 조사되었다.

다. 상태평가

현장조사에 따른 부재별 상태평가 분석결과, 교대의 균열(0.3mm이상), 배수관 고정핀 탈락이 상태평가 기준 "c"로 평가되며, 그 외 콘크리트 부재의 균열(0.3mm미만), 파손, 강재부재의 부식, 도장박리, 변형 등의 결함은 "b"로 평가되었다.

현장시험에 따른 상태평가 분석결과, 탄산화 시험은 전 개소에서 잔여깊이 30mm이상으로 "a"로 평가되었으며, 염화물함유량은 상태평가 기준 "a~b"로 조사되었다.

현장조사 및 시험에 따른 전체 상태평가 결과는 "B" (F=0.217)로 평가되었다.

라. 안전성평가

백운4교(부산)에 대하여 허용응력설계법을 이용하여 거더의 안전성을 검토하고, 강도설계법을 이용하여 바닥판 및 하부구조에 대한 안전성을 검토한 결과, 최소 안전율이 1.0이상으로 안전성을 확보한 것으로 확인되었으며, 설계활하중 DB-24, DL-24에 대해 충분한 내하력을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

마. 종합평가 및 안전등급 지정

현장조사 및 시험 결과를 분석하여 평가된 상태평가 결과는 "B"(F=0.217), 해석적 검토를 통한 안전성평가를 실시한 결과는 "A"로 평가되었으며, 상태평가 및 안전성평가를 종합적으로 분석한 결과, 백운4교(부산)의 안전등급은 "양호한 상태" B등급으로 지정하였다.

바. 종합결론

백운4교(부산)에 대하여 현장조사, 시험 및 측정, 시설물 평가를 실시한 결과, 부재에 비구조적인 손상이 국부적으로 발생되어 내구성 확보차원에서 부분적 보수가 필요하나 비파괴 시험결과, 공용기간 증가에 따른 내구성 저하 영향은 없는 것으로 조사되었고, 받침장치 및 신축이음장치는 일부 결함이 있으나 교량 신축거동에 지장이 없는 상태이다. 또한 안전성검토 결과, 상·하부구조의 안전율은 1.0이상으로 안전성을 확보하였으며, 기본내하력은 설계내하력(DB-24)을 만족하는 것으로 평가되어 교량의 전체적인 상태는 특별한 문제점이 없는 건전한 상태로 시설물의 사용성 제한의 필요성은 없는 것으로 평가되었다.

조사된 결함에 대해서 제안한 공법대로 보수를 실시하고, 보수부 및 중점유지관리가 필요한 부위에 대하여 주기적인 점검 및 유지관리를 실시한다면 구조물의 안전성과 사용성은 확보될 것으로 판단된다.

8.2.2 백운4교(춘천)

가. 현장조사 결과

현장조사 결과, 교량을 구성하고 있는 재료별로 조사된 주요 손상으로 콘크리트 부재는 균열, 망상균열, 백태, 단면손상, 앵커볼트노출, 잡철근노출, 강재 부재는 도장박리, 부식, 볼트부식, 변형 등의 결함이 국부적으로 관찰되었다. 주요 부재에 대한 현장조사 결과는 다음과 같다.

- 바닥판의 주요 결함은 데크플레이트 및 강판 부식, 콘크리트 망상균열 및 백태, 강판 파손 및 콘크리트 박락, 기타부착시설물인 전선보호덮개 부식 및 탈락의 결함이 조사되었다. 기발생된 손상은 비구조적 결함으로 구조물의 안전성에 미치는 영향은 없으나 내구성 확보를 위해 망상균열 및 백태부 표면처리, 강판 파손 및 콘크리트 박락부에 대한 강판 제거 및 단면복구, 전선보호덮개 탈락부 재설치가 필요할 것으로 판단되며, 데크플레이트, 강판 및 전선보호덮개 부식부는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.
- 거더 및 2차부재는 국부적으로 바탕처리 및 도장불량에 의한 도장박리, 부식, 볼트부식과 시공미흡에 의한 볼트누락 및 풀림, 천공홀, 기공, 외부충격에 의한 변형의 결함이 조사되어 장기적인 내구성 확보를 위해 도장박리 및 부식부는 도장보수가 필요하며, 그 외 결함은 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.
- 하부구조인 교대 및 교각에서 조사된 균열은 시공초기 건조수축 및 수화열에 의한 비구조적 균열로 구조적인 영향은 없으나 내구성 확보를 위해 폭 0.3mm이상은 주입보수를 실시하고, 폭 0.3mm미만은 주의관찰토록 하며, 미세 균열부 수분접촉에 의한 백태는 표면처리, 신축이음 설치 시 외부충격에 의한 파손부는 단면복구, 교각 상면 몰탈 들뜸 및 박락은 몰탈보수가 필요할 것으로 판단된다. 그 외 시공미흡에 의한 재료분리, 잡철근노출 및 채수의 결함은 손상규모가 경미하거나 내구성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.
- 받침장치의 주요 결함은 본체 부식, 받침콘크리트 균열(0.2mm이하), 망상균열, 잡철근노출의 손상이 조사되어 장기적인 내구성 및 기능성 확보를 위해 부식부는 도장보수가 필요하며, 그 외 결함은 손상규모가 경미하거나 내구성 및 기능성 저하 영향이 미미한 손상으로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다. 받침장치의 연단거리 및 가동량 조사결과, 교대(A1, A2)측에서 허용 가동량 자체 부족 및 온도변화에 따른 설치오류에 의해 가동여유량 부족이 조사되었으나 1차 및 2차의 온도변화에 따른 신축거동 상태는 원활하며, 가동여유량 부족에 의한 결함은 관찰되지 않으므로 현 상태에서 주의관찰토록 하며, 향후 받침장치 교체 계획 시 보수하는 것이 적합할 것으로 판단된다. 그 외 연단거리는 전 개소 최소 연단거리를 상회하는 것으로 검토되었다.
- 신축이음장치의 유간거리는 신축여유량을 확보한 상태이나 공용중 적치된 토사퇴적, 건조수축에 의한 후타재균열 및 외부충격에 의한 덮개판 고정볼트 탈락의 결함이 조사되어 토사퇴적은 청소, 덮개판 고정볼트 탈락은 재설치가 필요하며, 후타재 균열은 내구성 및 기능성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

- 교면포장은 길어깨 및 갓길측은 기존 손상에 대한 재포장 보수가 실시되었으며, 아스콘 표면 및 방수층의 보수 상태는 양호한 것으로 조사되었으며, 차선구간의 일부 포장 망상균열 및 코어채취부 마감불량의 결함이 2개소씩 발생하였으나 손상규모가 경미하여 차량 주행성 및 포장 기능성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.
- 기타부재로 배수시설은 상부의 배수구와 하부의 배수관으로 구분되며, 배수구는 전 개소 교체 보수되어 양호한 상태이나 배수관에서 용접 연결부 누수(부식) 및 탈락과, 고정핀 부식 및 탈락의 결함이 조사되어 재용접 및 고정핀 재설치의 보수방안이 필요할 것으로 판단되며, 방호벽의 주요결함은 시공초기 건조수축에 의한 균열(0.3mm미만) 및 망상균열, 시공불량에 의한 표면박리, 외부충격에 의한 파손의 결함이 조사되었으며, 기 조사된 결함은 손상규모가 경미하여 방호벽의 기능성 및 내구성 저하 영향이 미미하므로 보수방안보다는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

기 진단(2011년)과의 비교 시 바닥판, 교면포장과 배수구, 교대 균열부에 대한 보수가 실시되어 손상물량은 감소하였으나 그 외 부재의 결함은 다소 증가된 것으로 확인되었으며, 이는 구조적인 원인에 의한 것이 아닌 금회 진단 시 상세조사 및 공용중 발생한 추가손상에 따른 것으로 판단된다.

나. 내구성조사 결과

현장시험은 세부지침을 근거로 수량 및 위치를 선정하여 수행하였고, 시험 결과는 다음과 같다.

- 콘크리트 강도시험 결과, 설계강도 대비 상부구조(27.0MPa)는 27.6MPa (102.2%)이고, 하부구조(24.0MPa)는 22.6~31.8MPa (94.2~109.9%)로 전 개소에서 설계기준강도 대비 90%이상을 만족하고 있어 공용기간 증가에 따른 강도 저하 영향은 없는 것으로 판단된다.
- 철근탐사시험 결과, 배근간격 및 피복두께가 설계기준에 따라 적절하게 배근된 것으로 측정되었으며, 외관조사결과도 피복부족 및 배근간격의 상이함에 따른 문제점은 없는 것으로 조사되어 배근간격은 양호한 것으로 검토되었다.
- 콘크리트 품질 평가에 따른 탄산화 깊이 측정 및 염화물함유량시험 결과, 탄산화 잔여깊이가 전 개소에서 30mm이상으로 측정되어 양호한 “a” 상태로 평가되었으며, 염화물함유량은 전 개소에서 $0.2\text{kg/m}^3 \leq \text{염화물함유량} \leq 1.2\text{kg/m}^3$ 이하로 측정되어 철근부식이 발생할 우려가 없거나 낮은 a~b로 평가되었다.
- 균열깊이 측정결과, 교각(P3)에서 피복두께의 1/2 이하로 조사되었고, 균열에 의한 구조물 손상이나 철근 부식 등의 내구성 저하는 조사되지 않았으나 주기적인 점검을 통해 이로 인한 철근부식 등의 손상발생에 유의하여 주의 관찰해야 될 것으로 판단되며, A1, A2홍벽에 발생된 균열에 대하여 균열심도 측정결과, 철근의 피복두께까지 진행된 상태이며, 향후 균열부위를 통한 이산화탄소 등의 유해물질이 유입되어 탄산화의 가속 및 철근 부식 등 내구성 저하의 우려가 되므로 균열보수를 통한 유지관리가 필요하다.

- 플레이트거더의 맞대기 용접부에 대한 초음파 탐사(UT)를 실시한 결과, 경간별, 거더별로 1개소씩 총 10개소에 대해 검사를 실시하였으며, 검사결과 총 10개소 모두 합격 판정되어 맞대기이음부의 용접상태는 양호한 것으로 나타났다.
- 플레이트거더의 도장에 대한 도막두께 측정결과, 거더의 건전부는 216~311 μ m로 측정되어 양호한 상태이나 도장박리부는 31 μ m로 측정되어 기준두께에 미달되므로 도장보수가 필요한 상태이다.

다. 상태평가

현장조사에 따른 부재별 상태평가 분석결과, 거더 및 2차부재의 부식(면적을 2.0%이상), 교각의 균열(0.3mm이상), 배수관 고정핀 탈락이 상태평가 기준 "c"로 평가되며, 그 외 콘크리트 부재의 균열(0.3mm미만), 파손, 강재부재의 부식, 도장박리, 변형 등의 결함은 "b"로 평가되었다.

현장시험에 따른 상태평가 분석결과, 탄산화 시험은 전 개소에서 잔여깊이 30mm이상으로 "a"로 평가되었으며, 염화물함유량은 상태평가 기준 "a~b"로 조사되었다.

현장조사 및 시험에 따른 전체 상태평가 결과는 "B" (F=0.257)로 평가되었다.

라. 안전성평가

백운4교(춘천)에 대하여 허용응력설계법을 이용하여 거더의 안전성을 검토하고, 강도설계법을 이용하여 바닥판 및 하부구조에 대한 안전성을 검토한 결과, 최소 안전율이 1.0이상으로 안전성을 확보한 것으로 확인되었으며, 설계활하중 DB-24, DL-24에 대해 충분한 내하력을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

마. 종합평가 및 안전등급 지정

현장조사 및 시험 결과를 분석하여 평가된 상태평가 결과는 "B"(F=0.257), 해석적 검토를 통한 안전성평가를 실시한 결과는 "A"로 평가되었으며, 상태평가 및 안전성평가를 종합적으로 분석한 결과, 백운4교(춘천)의 안전등급은 "양호한 상태"인 B등급으로 지정하였다.

바. 종합결론

백운4교(춘천)에 대하여 현장조사, 시험 및 측정, 시설물 평가를 실시한 결과, 콘크리트 부재에서 균열, 백태, 재료분리, 단면손상, 앵커볼트노출, 잡철근노출 등과 강재 부재에서 도장박리, 부식, 볼트부식 및 누락, 기공, 변형 등의 비구조적인 손상이 발생하여 부분적 보수가 필요하며, 교각의 $C_w=0.3\text{mm}$ 이상의 균열은 보수 후에도 재손상 여부에 대한 중점관리가 필요할 것으로 판단된다. 비파괴 시험결과, 공용기간 증가에 따른 내구성 저하 영향은 없는 것으로 조사되었고, 받침장치 및 신축이음장치는 일부 결함이 있으나 교량 신축거동에 문제점은 없는 상태이다. 또한 안전성검토 결과, 상·하부구조의 안전율은 1.0이상으로 안전성을 확보하였으며, 기본

내하력은 설계내하력(DB-24)을 만족하는 것으로 평가되어 교량의 전체적인 상태는 특별한 문제점이 없는 건전한 상태로 시설물의 사용성 제한의 필요성은 없는 것으로 평가되었다.

조사된 결함에 대해서 제안한 공법대로 보수를 실시하고, 보수부 및 중점유지관리가 필요한 부위에 대하여 주기적인 점검 및 유지관리를 실시한다면 구조물의 안전성과 사용성은 확보될 것으로 판단된다.

8.3 유지관리시 특별한 관리가 요구되는 사항

백운4교(부산, 춘천)은 일상점검 시 보수·보강 및 유지관리 방안에서 제안한 주요 손상에 대한 위치도 등을 활용한다면 효율적인 관리를 실시할 수 있을 것으로 판단된다.

금회 진단 시 본 교량의 특별한 관리 사항으로 교각 균열(0.3mm이상), 교대측 받침장치 가동여유량 부족, 바닥판 캔틸레버부 강판 부식파손 및 콘크리트 박락(춘천방향)의 결함이 해당된다. 교각 균열(0.3mm)부 보수 후 재손상 여부, 받침가동여유량 부족에 의한 신축거동 이상 여부, 강판 부식파손 및 콘크리트 박락부 추가손상 여부에 대한 지속적인 관찰이 필요할 것으로 판단된다.

