

제9장 종합결론

9.1 개요

9.2 정밀안전진단 결과

9.3 종합결론 및 건의사항

제9장 종합결론

9.1 개 요

본 과업대상 교량인 연인교는 경기도 여주시 상동~천송동에 위치하여 남한강을 횡단하는 지방도345호선상의 「여주대교」와 나란한 보도교로서, 구조형식은 Steel Plate 및 RC BOX Girder로 총연장 500.0m(20+6@40+12@20=500.0m), 교폭 9.4m, 설계하중 DB(DL)-18로 설계되어 1964년에 준공된 교량이다.

준공 후 도로교(구 여주교, 보·차도 공용)로 사용되었으나 인접한 「여주대교(자동차 전용교량)」가 1996년 09월 준공·개통됨에 따라 「보도교」로 용도가 변경되어 현재까지 사용 중이다.

본 과업은 시설물의 재해예방과 안전성 확보를 위한 정밀안전진단 용역으로서, 시설물의 물리적·기능적 결함을 발견하여 신속하고 적절한 조치를 취하고, 구조적 안전성 및 결함의 원인 등을 조사·측정·평가하여 장·단기 보수계획 수립 등 유지관리에 활용코자 실시하는 용역이다.

9.2 정밀안전진단 결과

9.2.1 외관조사 결과

가. 교량상면

외관조사결과 보도교로 사용하는데 있어서 안전성에 영향을 줄만한 구조적인 결함은 조사되지 않았으며, 사용기간 증가에 따른 포장면 열화와 배수불량으로 인해 전 경간에 걸쳐 전반적인 골재노출이 조사되었고 국부적인 포장균열(횡방향 0.3~0.5mm)이 발생한 것으로 조사되었다.

교량상면 배수불량은 지장물인 한전관로 하부 교면과 맞닿는 부분에 설치된 유도배수공과 양측에 설치된 배수구가 토사잡물에 의해 막혀있어 교량상면 체수와 추가적인 토사퇴적을 초래하고 상면열화를 가속시키는 요인으로 조사되어, 유도배수공 및 배수구주변에 대한 정기적인 청소를 통해 상면 배수능력을 확보하고 국부적으로 발생한 포장균열에 대해서는 주입보수를 통해 바닥판으로의 우수침투를 방지하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

나. 배수시설

배수시설은 교면의 체수로 인한 사고방지 및 우수 유입으로 인한 교량의 노후화방지를 위해 일정한 곳으로 물을 배출하기 위한 시설이며, 본 연인교의 배수구는 SPG구간 경간 당 16개소, RC BOX구간 경간당 8개소로 총 200개가 교량 좌·우측 연석 접합부에 설치되어 있는 것으로 조사되었다

외관조사결과 상부 전 개소의 배수구와 한전관로 하부 유도배수공이 토사잡물 퇴적에 의해 막혀있는 것으로 조사되었다.

이러한 상부 배수구 막힘은 교량상면의 체수와 더불어 재료열화 및 방수층 열화를 촉진시키게 되므로 주기적인 청소를 통한 유지관리가 필요하며, 하부 배수관의 상태는 전반적으로 양호한 것으로 조사되어 교량상면의 배수능력만 확보된다면 원활한 기능유지에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

다. 난간 및 연석

정밀안전진단 외관조사결과, 건조수축에 따른 국부적인 균열($cw=0.2\sim0.3mm$)과 구조물 표면의 동결융해 및 사용기간 증가에 따른 재료열화에 의해 콘크리트 파손, 그에 따른 국부적인 철근노출 등의 손상이 전 경간에 걸쳐 발생되어 있는 것으로 조사되었으나, 기존 점검 및 진단 시 조사되어 미보수 상태로 유지되고 또한 장기공용에 따른 재료열화에 기인하여 일부 추가 발생한 손상들이고, 변상의 규모가 경미하며 시설물의 안전성에는 영향을 주지 않는 비구조적인 손상들이다.

본 시설물이 「보도교 전용」으로 사용 중이며 보행구간 좌·우측에 별도의 강재난간이 설치되어 있고 조사된 손상의 규모가 경미하여 잠재적인 위험요소는 없는 것으로 판단되나, 시설물의 장기적인 내구성과 사용성 확보차원의 적절한 보수를 실시하고 지속적인 유지관리가 필요하다.

라. 신축이음

본 연인교의 신축이음은 맞댐식(A1, P1, P8~A2, RC BOX구간 14개소) 및 트랜스플렉스(P3, P5, P7, SPG구간 3개소) Joint로 총 17개소가 설치되어 있다.

외관조사결과, 장기사용에 따른 재료열화로 인해 후타재의 골재노출과 일부 구간 본체 부식이 진행 중이며 방수기능 상실로 인한 누수로 하부구조의 재료열화를 촉진시키고 있는 것으로 조사되었고, 국부적인 유간 토사퇴적과 경미한 파손 등이 조사되었다.

현재 「보도교」로 사용되고 있으며, 차량주행에 따른 직접적인 충격이 없고 공용 상 문제점이나 안전을 저해할만한 요인은 없는 것으로 판단되므로, 주의관찰을 통한 지속적인 유지관리를 실시한다면 부재의 기능발휘에는 문제가 없을 것으로 사료된다.

마. SPG(Steel Plate Girder)구간 바닥판

상부의 하중을 직접 지지하며 거더로 전달해주는 SPG구간(6경간, 경간 길이 $L=40.0m$) 바닥판에 대한 외관조사결과, 기존 점검(2014년) 시 조사된 횡방향 균열($cw=0.1\sim0.3mm$) 및 균열·백태 손상들은 규모 확대 또는 진전 없이 유지되고 있으며, 추가적으로 국부적인 콘크리트 박리 및 재료분리, 경미한 파손, 철근노출, 거푸집미제거, 백태 등의 손상들이 발생되어 있는 것으로 조사되었다.

1) 손상에 대한 원인 검토

횡방향 균열($cw=0.1\sim0.3mm$)들은 초기 재료적 특성과 온도영향에 의해 발생된 것이며, 이러한 균열손상부에 습윤환경 및 우수 등이 영향을 주어 백태(균열·백태)가 발생된 것으로 판단된다.

또한 재료분리 및 거푸집미제거, 경미한 파손 손상들은 초기 손상들이며, 콘크리트 박리 및 그에 따른 철근노출 등은 시설물의 장기사용과 외기영향에 따른 재료열화가 주된 원인으로 비구조적인 공용 중 손상들로 사료된다.

2) 외관조사 결과 분석

SPG구간 바닥판의 3경간 및 6경간 일부에 「강판보강」이 실시되어 있는 것으로 조사되었으며, 보강부의 상태는 보강판 들뜸 및 도장박리 등이 없이 전반적으로 양호한 것으로 확인되었다.

또한 시설물의 안전에 영향을 줄만한 구조적인 손상은 없는 것으로 조사되었으며, 일부 손상에 대해 적절한 보수를 실시하고 지속적인 유지관리를 실시한다면 「보도교」 공용 상 부재의 내구성 및 안전성 확보에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

바. 강재 및 RC BOX 거더

본 연인교의 거더는 용접을 하지 않은 『리벳접합방식』의 Steel Plate Girder(2경간 연속, 1경간 길이 $L=40.0m$) 6경간과 RC BOX Girder(단 경간, 1경간 길이 $L=20.0m$) 13경간으로 구성되어 있으며, RC BOX Girder의 경우 정모멘트부 전 구간에 대하여 「강판보강」이 시행된 것으로 조사되었다.

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

1) Steel Plate Girder

강재 거더에 대한 외관조사결과, 전차년도(2014년) 점검에서 조사된 도장박리 및 부식, 리벳탈락 등은 진전 없이 유지되고 있는 것으로 확인되었고 기존조사 시 누락된 하부플랜지 변형(L=0.6m) 1개소와 수직보강재 변형(L=2.7m) 2개소, 리벳폴립 및 탈락 9개소 등이 추가로 조사되었다.

또한, 강재거더 전반에 걸쳐 「점부식」이 진행되고 있는 것으로 조사되어 녹 제거 후 강재두께를 측정하여 건전부의 실측값과 비교한 결과, 부식에 의한 강재의 단면감소는 경미한 것으로 분석되었으며 준공 후 51년의 사용기간을 감안할 때, 강재거더의 상태는 전반적으로 양호한 것으로 판단된다.

① 손상원인에 대한 검토

강재거더 하부플랜지 및 수직보강재의 국부적인 변형은 인접한 『여주대교(1996년 준공)』 건설공사 시 장비 등의 충격에 의해 발생한 것으로 판단되고 개소별 변상의 규모 및 형상은 경미한 것으로 확인되었으며, 리벳폴립 및 탈락은 시설물의 장기공용에 따른 리벳머리 부분의 노후화로 인해 발생한 비구조적인 손상으로 사료된다.

② 외관조사 결과 분석

강재거더에 대한 조사결과 구조적인 결함은 발견되지 않았으나, 전 경간에 걸쳐 발생한 도장열화 및 박리, 표면부식, 점부식 등은 부재의 단면감소를 초래하고 장기적으로 내구성 저하의 원인이 되므로 강재 표면처리 및 도장보수를 실시한 후 지속적인 유지관리가 필요한 것으로 판단되며, 보수 시에는 『상수원보호구역』인 남한강의 강상교량임을 감안하여 「오염물질유출 방지대책」에 대한 충분한 검토가 필요하다.

2) RC BOX Girder

외관조사결과, 전차년도(2014년) 점검에서 조사된 국부적인 보강판 도장박리 및 부식, 캔틸레버 하면 백태, 박리, 철근노출 등의 손상들은 규모의 확대 및 진전 없이 유지되고 있는 것으로 확인되었고, 기존 보수부의 상태는 재손상이 없이 양호한 것으로 조사되었다.

거더 하부플랜지 및 복부에서는 기존조사 시 누락된 일부 미세균열($cw=0.1\sim0.2mm$)과 신축이음부 누수 및 재료열화 영향에 의한 지점부의 경미한 파손, 국부적인 보강판 들뜸 등이 추가 조사되었다.

이전 점검·진단에서 조사되지 않았던 BOX 내부에서는 국부적인 균열($cw=0.1\sim0.3mm$) 및 균열부백태, 재료분리, 조류서식 등에 의한 이물질 및 토사퇴적, 백태 등의 손상이 발생되어 있는 것으로 조사되었다.

또한 캔틸레버는 시설물의 사용기간 증가와 우수 등의 환경적 요인에 의해 전반적인 재료 열화가 진행 중이며, 일부 국부적인 콘크리트 박리 및 백태 등의 손상들이 추가로 조사되었으나 변상의 규모는 경미한 것으로 확인되었다.

① 손상원인에 대한 검토

RC BOX Girder에서 조사된 균열($cw=0.1\sim0.3mm$) 손상들은 초기 재료적 특성과 온도영향에 의해 발생된 후 진전 없이 유지되고 있는 비구조적인 손상들이며 이러한 균열손상부에 외기영향이 더해져 백태(균열·백태)가 발생된 것으로 판단되고, 콘크리트 박리 및 그에 따른 철근노출 등은 시설물의 장기사용에 따른 재료열화가 주된 원인으로 비구조적인 공용 중 손상들로 사료된다.

또한 보강부 타격·청음조사에서 나타난 일부 보강판 들뜸은 외부 고정앵커의 탈락이나 접합부 이격 등이 없는 것으로 조사되어 초기 시공불량이 원인으로 판단되며, 들뜸 면적은 경미한 것으로 확인되었다.

② 외관조사 결과 분석

RC BOX Girder에 대한 조사결과, 시설물의 안전에 영향을 줄만한 구조적인 손상은 없는 것으로 조사되었고 보강판의 상태도 전반적으로 양호한 것으로 판단되며, 일부 손상에 대해 적절한 보수를 실시하고 지속적인 유지관리를 실시한다면 「보도교」 공용 상 부재의 내구성 및 안전성 확보에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

사. 2차 부재

본 연인교의 2차 부재는 SPG구간(S2~S7) 보강재(‘ㄴ’형강 Stiffener - 수직 및 수평, 격자 Bracing)와 RC BOX구간(S1, S8~S19) 격벽으로 구성되어 있다.

1) 손상원인에 대한 검토

SPG구간(S2~S7) 2차 부재(Stiffener)에 대한 외관조사결과, 전차년도(2014년) 점검에서 조사된 도장박리 및 부식, 리벳탈락 등은 진전 없이 유지되고 있는 것으로 확인되었고 접합부 및 ‘ㄴ’형강의 변형은 없는 것으로 조사되었으며, 추가로 전 경간 도장열화 및 박리에 의한 점부식과 신축이음 유입수 영향에 의한 국부적인 강재 표면부식이 진행되고 있는 것으로 조사되었다.

RC BOX구간(S1, S8~S19) 격벽은 이전 점검 및 진단에서 접근성의 사유로 조사가 실시되지 않은 구간이며, 본 정밀안전진단 외관조사결과 일부 구간에서 시공 시 거푸집 내부 콘크리트의 다짐불량에 의한 철근노출이 발생되어 있는 것으로 조사되었다.

2) 외관조사 결과 분석

2차 부재에 대한 조사결과 시설물의 안전성에 영향을 미치는 구조적인 결함은 발견되지 않았으나, RC BOX구간 격벽의 철근노출 손상과 SPG구간(S2~S7)에 발생된 도장열화 및 박리, 표면부식, 점부식 등은 시간이 경과함에 따라 부재의 단면감소를 초래하고 장기적으로 내구성 저하의 원인이 되므로 강재 「표면처리 및 도장보수」와 콘크리트 「철근방청+단면보수」를 실시한 후 지속적인 유지관리가 필요한 것으로 판단되며, 보수 시에는 『상수원보호구역』인 남한강의 강상교량임을 감안하여 「오염물질유출 방지대책」에 대한 충분한 검토가 필요하다.

또한 P1 배면(A2측)과 P7 전면(A1측) 코핑부에 RC BOX 내부 조사에 필요한 점검로가 설치되어 있지 않아 유지관리 시 위험한 상태이므로, 점검로를 설치하여 시설물 유지관리 시 안전성을 확보하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.

3) RC BOX Girder구간 조류방지망 설치 검토

조류배설물은 산성도가 강하여 콘크리트의 열화를 촉진시킬 수 있으므로 제거가 필요하며, 근본적으로 거더 내부에 조류가 서식하지 못하도록 하는 조류방지망을 RC BOX Girder구간 단부측 격벽(경간별 2개소)에 설치하는 것이 바람직하다.

설치 방법은, 격벽에 클립형 고정 핀을 설치하고 조류방지망을 거치하여 유지관리 시의 효율성을 도모하여야 하며, 현장조사 시 관찰된 서식조류의 크기를 감안하여 격자망의 크기는 3cm×3cm(B×H) 정도가 적당하다.(제3장 그림 3.4, 상세도 참조)

아. 교대

본 연인교의 교대는 중력식으로 2개소(A1, A2)가 시공되어 있으며, 종점측 A2 상단 전면과 측면에는 일부 「강판보강」이 시행되어 있는 것으로 조사되었다.

교대에 대한 외관조사결과, 흥벽부에서 골재노출과 박리, 수직균열(cw=0.2mm), 마감불량 등이 조사되었고 전면벽체의 망상균열과 보강판 도장박리 및 부식, 누수흔적 및 오염, 재료열화 등과 국부적인 「호안블록」침하·유실이 발생되어 있는 것으로 조사되었다.

1) 손상원인에 대한 검토

흥벽부 수직균열(cw=0.2mm, 1개소)과 전면 망상균열은 메스콘크리트의 수화열 및 건조수축 등 재료적 특성에 따른 손상으로 판단되며, 기타 손상들 또한 신축이음 누수에 따른 유입수와 환경적 요인, 시설물의 장기공용에 따른 재료열화에서 기인된 비구조적인 공용 중 손상들로 판단된다.

또한 A1 전면 유수지와 맞닿아 시공된 「호안블록」 일부가 국부적으로 침하·유실된 것은 강우 시 교량 상부로부터 유입된 우수가 A1 좌측면을 통해 「호안블록」 쪽으로 흘러 배출됨에 따라 「호안블록」 배면 채움재의 침식·유실을 초래하였고, 그에 따라 「호안블록」 일부가 유실·함몰된 것으로 조사되었다.

A2 상단 전면과 측면에 시행된 「강판보강」 부분은 신축이음부 유입수와 환경적 요인, 장기공용에 따른 표면 도장박리 및 부식이 발생되어 있을 뿐 보강판 들뜸이나 강판접합부 이격, 고정앵커 탈락 등이 없이 양호한 것으로 조사되었고, A1 좌측면과 A2 우측면 제방접속부에 시공된 석축(골쌓기)구간 또한 견칫돌 탈락이나 줄눈부 채움재 박리 등이 없이 양호한 상태로 조사되었다.

2) 외관조사 결과 분석

전도 및 부등침하, 측방이동 등 시설물의 안전성에 영향을 미치는 구조적인 결함은 발견되지 않았으며, 조사된 손상들은 규모가 경미한 공용 중 또는 시공 초기 발생한 국부적인 손상들이다. 따라서 교대 A1 상부 교량과 접속되는 부분에 교축 직각방향으로 「유도배수로(측구수로관)」를 설치하여 교대로 집중되는 우수를 접속도로로 유도 배수시키고, 일부 손상들에 대해서 적절한 보수 후 지속적인 유지관리를 실시한다면, 「보도교」 공용 상 부재의 내구성 및 안전성 확보에는 문제가 없을 것으로 판단된다.(제3장 그림 3.7, 설치상세도 참조)

자. 교각

본 연인교의 교각은 중력식 및 우물통기초에 가로보가 설치된 문형식으로 총 18기가 시공되어 있으며, 전차년도(2014년) 점검에서 조사된 국부적인 코핑부 하면 백태와 재료분리, 경미한 파손 등의 손상들은 규모의 확대 및 진전 없이 유지되고 있는 것으로 확인되었고, 기존 보수부는 일부에서 경미한 보수재 들뜸 및 탈락이 발생되어 있는 것으로 조사되었다.

기존조사 시 누락된 일부 균열($cw=0.1\sim0.3mm$)과 신축이음부 누수 영향에 의한 누수흔적 및 오염, 균열·백태, 망상균열, 박리, 철근노출, 재료분리 등이 가로보 및 코핑부에서 조사되었고, 유수침식에 의한 기둥부 하단의 골재노출과 경미한 파손, 기초부 덧댐판 부식 등이 추가로 조사되었으나 변상의 규모는 경미한 것으로 확인되었다.

1) 손상원인에 대한 검토

조사된 균열($cw=0.1\sim0.3mm$) 및 망상균열 손상들은 초기 재료적 특성과 온도영향에 의해 발생한 후 미보수 상태로 진전 없이 유지되고 있는 손상들이며 이러한 균열손상부에 외기의 영향으로 백태(균열·백태)가 발생한 것으로 판단된다.

1장

2장

3장

4장

5장

6장

7장

8장

9장

또한 콘크리트 박리 및 그에 따른 국부적인 철근노출 등은 시설물의 장기사용에 따른 재료 열화가 주된 원인으로 비구조적인 공용 중 손상들로 사료된다.

2) 외관조사 결과 분석

유수의 흐름에 직접적으로 영향을 받는 교각(P2~P7)에는 기초의 세굴대책으로 「돌망태 보호공」이 시공되어 있는 것으로 조사되었으며, 시공 폭은 국부세굴의 영향 폭을 고려해 교각 폭(1.48m)의 2배 이상인 B=3.0m 수준으로 「그물형망태」의 파손 및 사석유실 등이 없이 양호한 것으로 조사되었다.

초기 손상 및 일반적인 공용 중 손상 외에 시설물의 안전에 영향을 줄만한 구조적인 손상은 없는 것으로 조사된 바, 일부 손상에 대한 적절한 보수와 더불어 재손상에 대한 지속적인 유지관리를 실시한다면 「보도교」 공용 상 부재의 내구성 및 안전성 확보에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

차. 교량받침

본 연인교의 교량받침은 RC BOX구간(A1~P1, P7~A2) 탄성받침 78개와 SPG구간 지점부 가동단(P1, P3, P5, P7) 핀롤러받침 18개, 연속구간 고정단(P2, P4, P6) 핀받침 9개로 총 105개가 설치되어 있다.

전차년도(2014년) 점검에서 조사된 핀롤러받침의 윤활제 고착 및 롤러덮개 파손, 일부 받침몰탈 들뜸 등은 규모의 확대 및 진전 없이 유지되고 있는 것으로 확인되었고, 이후 사용기간 동안 별도의 보수는 실시되지 않은 것으로 조사되었다.

추가로 기존조사 시 누락된 SPG구간 강재받침의 앵커볼트 풀림과 국부적인 도장박리 및 표면부식, RC BOX구간 탄성받침의 상·하 Plate 부식 등이 조사되었으나, 일반적인 공용 중 손상 외에 시설물의 안전에 영향을 줄만한 구조적인 손상은 없는 것으로 조사되었다.

1) 외관조사 결과 분석

교량받침 및 Plate의 부식은 습도 등 환경적인 요인과 신축이음 누수에 의한 손상으로 판단되며, 장기공용에 따른 강재받침 볼트체결부 부식으로 롤러덮개 파손이 발생된 부분은 이물질 침착으로 간섭이 우려되므로 볼트체결부 교체를 통해 받침의 원활한 기능발휘에 문제가 없도록 하는 것이 바람직하다.

현재 「보도교」 공용 상 교량받침의 전반적인 성능에는 문제가 없는 것으로 판단되므로 일부 조사된 손상에 대해서 적절한 보수를 실시하고, 강재받침 본체 및 탄성받침 상·하 Plate 부식, 볼트 탈락 및 부식 등에 대한 주의관찰과 지속적인 유지관리가 필요하다.

9.2.2 측정 및 시험결과

가. 신축이음 유간검토 결과 분석

신축이음장치의 상부유간을 측정하여 계산에 의한 이론 신축량과 비교한 결과, 온도변화에 따른 계산유간이 현재의 실측유간 내에 있고, 1, 2차 유간측정결과 온도에 따른 교축방향 신축거동은 양호한 것으로 분석되었다.

그러나 신축이음장치 노후화(열화)에 의해 하부의 방수기능이 상실된 상태이며 하부로 누수로 인해 교대 및 교각, 교량받침의 재료열화를 촉진시키고 있는 것으로 조사되었다.

현재 본 교량이 「보도교 전용」으로 사용되고 있고 신축이음장치 교체에 따른 유지관리비용 증가 등을 감안할 때, 신축이음 누수로 인한 하부구조의 재료열화 변화추이를 지속적으로 주의관찰하고 향후 유동성 신축이음덮개 설치를 통해 우수 등의 유입을 차단하는 방안을 검토하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

나. 교대 흙벽부 기울기측정 및 검토결과 분석

교대 흙벽부 기울기에 대한 측정결과 ($\pm$) $0.10^{\circ} \sim 0.35^{\circ}$ 의 기울기를 나타내고 있는 것으로 측정되었으며, 시공 콘크리트 표면의 평탄성 및 측정 시 오차 등을 감안할 때 연직에 가까운 양호한 상태로 분석되었다.

다. 교량받침 연단거리 검토결과 분석

『도로교설계기준(국토해양부, 2010)』에서 제시한 거더의 경간 길이에 따른 연단거리 검토를 위해 실제 시공된 연단거리를 측정하여 기준 연단거리와 비교·검토한 결과, 측정 전 개소에서 기준을 만족하고 있는 것으로 분석되었다.

라. 교량받침 신축거동상태 검토결과 분석

본 연인교 교량받침의 이동량에 대한 검토는 「준공도서」의 부재로 설치된 받침의 정확한 허용이동량은 알 수 없었으나 탄성받침의 경우 각 부재에 설치된 교량받침의 치수값을 측정하여 『KS표준규격』에 등록되어 있는 동일규격의 기준과 비교하여 검토를 실시하였다.

설치된 탄성받침의 적용하중(25.0ton)과 받침고무두께(T=30.0mm)를 기준으로 『KSF 4420-98(KS표준규격 B형)』을 적용하였으며, 「설계허용변위량」은 다음과 같다.

- ▷ 적용 탄성받침 고무층수 2개, 유효고무두께 = 16.0(mm)
- ▷ 적용 탄성받침 설계허용변위량 : ± 11.2 (mm, 상시 기준 유효고무두께의 70%)

검토결과, 온도변화에 따른 신축거동상태는 전반적으로 양호하며 최대 신장 및 수축 시의 받침여유량 또한 확보되어 있는 것으로 분석되었다. 따라서 받침 본체부식에 대해 지속적인 주의관찰을 통해 유지관리를 실시한다면 「보도교」 공용 상 교량받침의 전반적인 성능에는 문제가 없을 것으로 사료된다.

마. 콘크리트 강도시험 결과 분석

1) 반발강도시험 결과 분석

본 연인교 구조물에 대한 부재별 반발강도시험 결과, 측정 전 구간에서 추정기준강도 (24.0MPa)를 상회하는 것으로 평가되었으며 이전 자료(2010년 정밀안전진단 및 2014년 정밀점검)와의 측정값 비교·분석 결과도 전반적으로 유사하게 나타났다.

강도비 또한 추정기준강도를 모두 만족하고 있는 것으로 평가되어, 시설물의 공용 상 콘크리트의 강도부족에 의한 구조적 불안전요소는 없을 것으로 분석되었다.

2) 초음파강도시험 결과 분석

본 연인교 구조물에 대한 부재별 초음파강도시험 결과, 측정 전 구간에서 추정기준강도 (24.0MPa)를 상회하는 것으로 평가되었으며 이전 자료(2010년 정밀안전진단)와의 측정값 비교·분석 결과도 전반적으로 유사하게 나타났다.

강도비 또한 추정기준강도를 모두 만족하고 있는 것으로 평가되어, 시설물의 공용 상 콘크리트의 강도부족에 의한 구조적 불안전요소는 없을 것으로 분석되었다.

3) 코어시료 채취에 의한 압축강도시험 결과 분석

본 연인교의 코어시료에 의한 압축강도시험 결과 강도는 22.9~23.4(MPa) 분포로 측정되었으며, 콘크리트 구체의 강도는 추정기준강도(24.0MPa)의 95.42~97.50(%) 강도비를 나타내고 있는 것으로 분석되었다.

또한 비파괴강도 보정계수(C_t)를 산정한 결과 「초음파시험법」에 의한 일본건축학회식으로 결정되었으며, 보정계수(C_t) 적용에 따른 압축강도는 추정기준강도의 90.7~150.3%(평균 113.58%)로 평가되어 본 연인교는 콘크리트 강도에 대한 건전성을 확보하고 있는 것으로 분석되었다.

바. 철근탐사시험 결과 분석

본 연인교에 대한 부재별 철근탐사시험 결과 설계도면의 부재로 설계값과의 비교·분석은 할 수 없었으나, 배근간격은 전반적으로 양호하게 분포되어 있는 것으로 사료된다.

피복두께 또한 『콘크리트구조기준(국토해양부, 한국콘크리트학회, 2012, 제5장 철근상세, 제3절 철근배치)』편 콘크리트 최소 피복두께에 대한 허용오차를 기준으로 분석한 결과, 전반적으로 양호한 피복두께를 보이고 있는 것으로 분석되었다.

사. 탄산화깊이측정시험 결과 분석

본 연인교 구조물에 대한 부재별 탄산화시험 결과, 측정 전 개소에서 철근까지의 탄산화 잔여깊이는 10.7~117.0(mm, 평가 : a~b등급)로 평가되었다.

탄산화속도계수 산정에 따른 철근깊이 도달시간 분석에서도 측정 전 개소에서 양호한 것으로 분석되었으며, 본 연인교 구조물에 대한 사용기간 중 탄산화에 의한 철근부식 영향 및 그에 따른 콘크리트의 내구성 저하 영향은 없을 것으로 사료된다.

이전 자료(2010년 정밀안전진단 및 2014년 정밀점검)와의 측정값 비교·분석 결과에서도 측정 평균값 및 탄산화에 대한 평가등급(잔여깊이 기준) 산출결과를 전반적으로 양호한 것으로 분석되었다.

아. 염화물함유량시험 결과 분석

본 연인교 구조물에 대한 염화물함유량시험 결과 0.066~0.222(kg/m³, 전 염화물함유량 기준, a등급)의 값으로 측정 전 개소에서 양호한 것으로 분석되었으며, 탄산화 잔여깊이 및 철근피복 등을 고려할 때 시설물의 사용기간 중 염화물에 의한 철근부식의 영향은 없을 것으로 판단된다.

자. 균열깊이측정시험 결과 분석

본 연인교 구조물의 외관조사 시 조사된 균열 폭(cw) 0.2mm이상 균열 중 책임기술자의 판단에 의해 3개소를 선정하고 초음파법(직접법)에 의한 균열깊이를 측정한 결과, 계산된 균열깊이는 15.1~48.0mm이며 측정 전 개소에서 철근피복두께 이하로 측정되었고, 『콘크리트 구조기준(국토해양부, 2012)』에서 정한 허용균열폭(부식성환경, 0.004 t_c) 기준에도 만족하고 있는 것으로 분석되었다.

1장

2장

3장

4장

5장

6장

7장

8장

9장

차. 철근부식도시험 결과 분석

본 연인교 구조물의 외관조사 시 조사된 철근노출 개소(S11 우측 캔틸레버)에 대하여 실시한 철근부식도시험 결과, 자연전위 최소값은 $-190.0(\text{mV})$ 로 측정되었고 평가등급은 II단계($0 \geq E > -200$, 10% 이하의 확률로 부식 발생)로서 부식발생 확률은 전반적으로 낮게 분석되었다.

따라서 외관조사 시 조사된 「철근노출 손상부」에 대해서 단면보수(철근방청)를 실시하고 지속적인 유지관리(재손상 발생유무 확인)를 실시한다면, 공용기간 중의 재료적 건전성 확보에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

카. 강재도막두께측정시험 결과 분석

본 연인교 구조물의 Steel Plate Girder에 대한 도막두께 측정결과 $256.0 \sim 394.0(\mu\text{m})$ 사이의 값으로 측정되었고, 현 『도로교표준시방서(국토해양부, 2013)』의 도막방식 최소값 기준(외부 $215.0\mu\text{m}$)을 만족하고 있는 것으로 분석되었다.

타. 초음파강재두께측정시험 결과 분석

본 연인교 Steel Plate Girder에 대한 강재두께측정시험 결과 하부플렌지 및 복부판, 수직보강재의 두께는 $10.70 \sim 11.05(\text{mm})$, 평균값 기준) 범위로 측정되었으며, 부식손상부와 건전부의 평균 강재두께 차이는 최대·최소값 기준 $0.30 \sim 0.50\text{mm}$ 로 측정되었다.

준공도면이 없어 정확한 부식에 의한 부재 단면감소를 측정할 수 없었으나, 금회 실시한 건전부 강재의 평균두께와 비교·분석한 결과 부식에 의한 단면감소의 영향은 경미한 것으로 사료된다.

따라서 「도장보수」를 통한 부식진행 방지가 필요하며, 향후 점검 및 진단 시 지속적으로 강재두께를 측정해 단면감소 변화추이를 주의 관찰하여야 하고 측정기록 및 보수기록 유지를 통한 효과적인 유지관리가 필요한 것으로 판단된다.

9.2.3 시설물의 상태평가 결과

가. 전체 교량의 상태평가 결과

【표 9.1】 연인교 상태평가 결과표

구 분	구조형식	환산 결함도점수	상태평가 결과	연장(M)	차선	연장 × 차선	연장비	환산결함도 점수×연장비
RC-BOX구간	RC-BOX형교	0.255	b	260.0	2	520	0.520	0.133
SPG구간	강 거터교	0.261	c	240.0	2	480	0.480	0.125
합계(Σ)						954	1.000	0.258
1. 상태평가 지수 =								0.258
2. 상태평가 결과 =								B

1) 연인교 시설물 상태평가결과 : B등급(0.258) (결함도 범위 : $0.13 \leq X < 0.26$)

2) 본 연인교 시설물의 발생손상 중 ‘c등급’ 분류는 바닥판 및 하부구조의 균열(0.3mm이상)과 철근노출, 균열·백태, 재료열화에 따른 콘크리트 박리 등이고 ‘d등급’ 분류는 재료열화에 따른 콘크리트 박리 및 골재노출의 심화가 주된 요인으로 분석되었으며, 상태평가 등급은 「B등급」으로 최종 평가되었다.

나. 상태평가 결과 분석

1) 최근(2014년) 정밀점검 결과와 비교하여, RC BOX 및 SPG구간 모두 손상물량의 증가로 인해 상태평가지수가 증가한 것으로 분석되었고, RC BOX구간의 평가결과 등급에는 변화가 없으나 SPG구간은 상태평가지수 증가에 따라 평가등급이 하락(b등급 → c등급)되었으며 이는 강재 거더 도장박리 및 부식, 도장열화에 따른 점부식 손상의 증가에 기인한 것으로 판단된다.

2) 유지관리 자료에 대한 분석결과, 2010년 정밀안전진단 이후 일부 손상에 대한 보수 영향으로 평가지수 및 등급의 상향이 이루어졌으나 시설물의 사용기간이 증가함에 따라 점차 하락하는 변화추이를 나타내고 있는 것으로 분석되었다.

3) 시설물의 안전에 영향을 줄만한 구조적인 손상은 없는 것으로 조사되었으므로, 장기적인 사용성과 내구성 확보를 위해 적절한 보수를 실시하고 지속적인 유지관리가 필요한 것으로 사료된다.

9.2.4 현장재하시험 결과

가. 정적재하시험 결과 분석

본 연인교에 대한 정적재하시험 결과, Steel Plate Girder구간 정모멘트 최대 처짐은 LC2일 때 DT2에서 3.093(mm), 부모멘트의 최대 변형률은 LC2일 때 ST2에서 26.157($\mu\epsilon$)로 측정되었고, RC BOX Girder구간 정모멘트부에 부착된 변형률 값은 LC2일 때 ST2에서 23.772($\mu\epsilon$), 최대 처짐은 LC2일 때 DT2에서 0.584(mm)로 각 각 측정되었다.

정적재하시험 시 교량상부에 설치된 관로시설물 등으로 인하여 횡방향 대칭성은 정확하게 확인할 수는 없었으며, 전차(2010년) 정밀안전진단 시 측정값과 비교할 때 차량하중 증가(약 20% 증가)에 따른 계측값의 증가추이가 기존과 비슷한 경향을 보이고 있는 것으로 분석되었다.

나. 동적재하시험 결과 분석

1) 최대 충격계수 산정에 의한 분석

본 교량의 노면상태 및 차량의 주행속도, 지간장, 고정하중과 활하중의 비, 구조적 특성 등 다양한 인자들에 의하여, 정적하중보다 교량에 더 큰 영향을 줄 수 있는 활하중에 의한 충격 영향정도를 파악하기 위해 동적주행시험 시 측정된 처짐값을 이용하여 충격계수를 구하였다.

처짐값의 측정치가 작을 때는 노이즈의 영향이 크므로 차량 주행위치에 인접해 있는 처짐 게이지를 사용해 충격계수를 산정하였으며, 실측 최대충격계수는 SPG구간 0.230(5km/hr 주행 시 DT2), RCB구간 0.211(5km/hr 주행 시 DT2)로 각 각 측정되었다.

Steel Plate Girder 구간은 설계기준에 따른 이론 충격계수($i=0.188$)를 초과하는 것으로 측정되었으나 이는 대상교량 노면 열화로 인한 골재노출 및 단차 등의 영향으로 판단되며, 현재 차량통행이 없는 「보도전용」 교량으로 사용되고 있는 점을 감안할 때 안전성 저하 요인으로 작용될 만한 사항은 아닌 것으로 사료된다.

그러나 유지관리 측면에서 유사 시 차량통행이 발생할 수 있고 노면열화가 진행 중이므로 바닥판의 2차적인 손상을 유발시킬 수 있기 때문에, 향후 연성포장(아스콘포장)에 의해 노면 평탄성과 보행자 및 자전거 등의 주행성 확보에 대한 고려가 필요하다.

RC BOX Girder구간은 설계기준에 따른 이론 충격계수값($i=0.250$) 이내로 측정되었고 단순 콘크리트교인 본 RC BOX Girder구간의 충격에 대한 저항성은 양호한 것으로 분석되었다.

다. 고유진동수 측정결과 분석

본 연인교의 동적 특성에 대한 고유진동수 분석 결과, 실측 고유진동수는 Steel Plate Girder구간 2.551(Hz), RC BOX Girder구간 8.264(Hz)로 측정되었다.

RC Box Girder구간은 이론 고유진동수 해석결과보다 실측값이 크게 측정됨에 따라 구조물의 강성은 설계강성을 확보하고 있는 것으로 분석되었지만, Steel Plate Girder구간은 실측값이 이론 진동수보다 작게 측정되어 구조물의 강성이 다소 저하된 것으로 분석되었다.

그러나 준공 후 51년의 사용기간과 현재 차량통행이 없는 「보도교」 전용으로 사용되고 있는 점을 감안할 때 본 시설물의 사용성에는 문제가 없을 것으로 판단되며, 향후 점검 및 진단 등의 유지관리 시 중차량의 통행에는 주의가 필요하다.

9.2.5 안전성평가 및 내하력평가 결과

가. 안전성평가 결과

【표 9.2】 RC BOX Girder구간 종방향 안전성평가 결과

구 분	ϕMn (모멘트강도)	Mu (계수모멘트)	안전율 (SF)	안전성 평가등급
휨모멘트 (중앙부)	16545.60	14148.35	1.17	A
구 분	ϕVn (전단강도)	Vu (계수전단력)	안전율 (SF)	안전성 평가등급
전단력 (지점부)	3237.90	2536.94	1.28	A

【표 9.3】 RC BOX Girder구간 횡방향 안전성평가 결과

구 분	ϕMn (모멘트강도)	Mu (계수모멘트)	안전율 (SF)	안전성 평가등급
상부 지점부	101.21	68.81	1.47	A
상부 중앙부	67.46	43.47	1.55	A
내측 복부	57.03	30.63	1.86	A
외측 복부	57.03	30.88	1.85	A

【표 9.4】 Steel Plate Girder구간 휨응력 검토 결과

구 분		고정하중 (MPa)		활하중 (MPa)	합계 (MPa)	허용응력 (MPa)	안전율	안전성 평가등급
		합성 전	합성 후					
중 앙 부	바닥판 상연	—	1.36	0.96	2.32	10.80	4.66	A
	강형 상연	77.11	5.42	3.83	86.37	190.00	2.20	A
	강형 하연	-54.30	-33.76	-23.88	-111.93	-190.00	1.70	A
지 점 부	바닥판 상연	—	-39.98	-17.23	-57.21	-160.00	2.80	A
	강형 상연	-105.53	-33.00	-14.22	-152.75	-190.00	1.24	A
	강형 하연	77.87	53.43	23.03	154.33	190.00	1.23	A

【표 9.5】 Steel Plate Girder구간 전단응력 검토 결과

구 분		고정하중 (MPa)		활하중 (MPa)	합계 (MPa)	허용응력 (MPa)	안전율	안전성 평가등급
		합성 전	합성 후					
지 점 부		18.14	15.85	7.48	41.46	110.00	2.65	A

나. 내하력평가 결과

【표 9.6】 연인교 내하력평가 결과표

RC BOX Girder구간				
구 분	내하율 (R.F)	응답보정계수	공용내하율	공용내하력
RCB	1.737	0.988	1.717	DB-18 이상

Steel Plate Girder구간				
구 분	내하율 (R.F)	응답보정계수	공용내하율	공용내하력
중앙부	2.549	0.879	2.240	DB-18 이상
지점부	4.269	0.879	3.751	DB-18 이상

9.2.6 종합평가 및 안전등급 지정 결과

가. 종합평가 결과 분석

외관조사 및 측정·시험에 따른 상태평가 결과와 안전성검토에 근거한 안전성평가 결과 중 낮은 결과를 시설물의 종합평가 결과로 결정하게 되며, 본 교량의 종합평가 결과는 「B등급」으로 최종 평가되었다.

나. 안전등급 지정 결과

정밀안전진단을 실시한 책임기술자는 당해 시설물에 대한 종합적인 평가 결과로부터 안전 등급을 지정하게 된다.

종합적인 평가 결과에 따른 본 연인교의 안전등급은 「보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능발휘에는 지장이 없으며, 내구성 증진을 위하여 일부 보수가 필요한 상태인 “B(양호)”」로 지정되었다.

1장

2장

3장

4장

5장

6장

7장

8장

9장

9.3 종합결론 및 건의사항

9.3.1 정밀안전진단 실시결과의 종합결론

본 연인교에 발생한 주요 손상으로는 배수구 막힘, 난간 파손 및 철근노출, 바닥판 균열 및 균열·백태, 재료분리, 파손, 받침Plate 부식, 강 거더 도장손상·부식 및 리벳손상, 교대 및 교각 균열, 백태, 재료분리, 콘크리트 파손 등이다.

금회 안전진단에서 조사된 일부 손상에 대해서는 내구성 확보 차원의 보수를 시행하고 제시된 중점 유지관리사항에 따른 지속적인 유지관리를 실시한다면 시설물의 장기적인 내구성 및 안전성의 확보에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

9.3.2 유지관리 시 특별한 관리가 요구되는 사항

본 연인교의 중점유지관리 사항으로는 Steel Plate Girder 및 2차 부재의 도장박리·부식과 Steel Plate Girder구간 리벳풀림 및 탈락, 바닥판하면 균열·백태, 바닥판하면 및 지점부의 콘크리트 박리와 철근노출 등이다.

주부재에 발생한 손상들로서, 방치 시 내구성 저하와 내하력 감소를 야기할 수 있으므로 적절한 보수를 실시한 후 주기적인 점검을 통한 유지관리가 필요할 것으로 사료된다.

