복합 트러스교 힌지형 격점 구조의 피로 성능 평가

정광회^{1,2)} · 이종원¹⁾ · 이상휴¹⁾ · 김장호^{2)*}

¹⁾현대건설(주) 연구개발본부 ²⁾연세대학교 사회환경시스템공학부

Fatigue Capacity Evaluation of Hinge Type Connection System for a Hybrid Truss Bridge

Kwang-Hoe Jung,^{1,2)} Jong-Won Yi,¹⁾ Sang-Hyu Lee,¹⁾ and Jay Jang-Ho Kim^{2)*}

¹⁾R&D Group, Hyundai Engineering & Construction, Seoul 110-920, Korea

²⁾School of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, Seoul 120-794, Korea

ABSTRACT To replace a steel box bridge for constructions of medium span bridges in Korea, the Hybrid Truss Bridge (HTB) is being considered as an alternative bridge type. The core technology of HTB is the connection joint that links the concrete slabs and steel truss pipes. Various construction companies in Japan have developed unique connection systems and applied to the real bridge constructions after verifying their performances through the experimental evaluation. In this study, the fatigue test of a hybrid truss girder has been performed in order to verify the newly proposed hinge type connection joint's static and fatigue capacities. Through this fatigue test results, it is founded that the structural detail to improve the fatigue capacity should be developed. The hinge connection system with circular ribs has been proposed by means of structural finite element analyses. And then the fatigue test for this connection joint has been performed and it is proved that this connection joint has enough fatigue capacity. Finally, it is expected that the hinge connection system with circular ribs developed by in this study can be easily applied to the real bridge.

Keywords : hybrid truss bridge, fatigue capacity, hinge type connection joint, structural detail, circular rib

1. 서 론

우리나라에서 준공된 교량을 최대 지간별로 구분하여 그 연장을 합하여 보면 Fig. 1과 같다.^{1,2)} Fig. 1을 살펴보면 2004년부터 2009년까지 가장 많이 건설된 교량은 최대 지간장이 40~60 m인 중지간 교량이라는 것을 쉽게 알 수 있으며, 5년간 무려 332 km가 신설되어 매년 평균 74.5 km가 새로 건설되었다. 또한 최대 지간장이 60~80 m인 중지간 교량은 5년간 50 km가 신설되어 매년 평균 10.0 km가 새로 건설되고 있는 셈이다. 이와 같이 국내 교량 건설 수요는 주로 중지간 교량에 집중되고 있기 때문에 중지간에 적용 가능한 다양한 교량 구조 형식을 제안하는 것은 사회적으로 볼 때 매우 의미 있는 일이라고 할 수 있다.

또한 Fig. 2는 최대 지간장이 40~80 m인 중지간 교량의 형식을 2004년과 2009년으로 각각 나누어 분석한 것이다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 강재 박스(steel box)교량이 약 65%를 차지하고 있으며 프리스트레스 박스(PSC

box)교량이 약 20%를 차지하고 있다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 중지간 교량의 형식 편중성을 개선하기 위한 대안으로 제시할 수 있는 교량이 바로 복합 트러스 교량(HTB : hybrid truss bridge)이다.

복합 트러스 교량은 Fig. 3에서 보는바와 같이 프리스트레스 박스 교량에서 콘크리트 복부를 강관 트러스로 교체한 교량을 의미한다. 이러한 교량의 장점은 우선 콘크리트 복부를 상대적으로 가벼운 강관 트러스로 대체하였기 때문에 교량 상부 구조의 자중이 약 20%정도 절감되어 지간을 늘릴 수가 있을 뿐만 아니라 하부 구조도 축소시킬 수 있다. 또한 복부 개방 구조로서 경관성이 뛰어나다는 것은 프리스트레스 박스 교량이나 강재 박스 교량에서는 생각할 수 없는 매우 큰 장점이라고 할 수 있다.

이러한 구조적 장점을 가진 복합 트러스교의 핵심 기술은 바로 강관 트러스와 콘크리트 슬래브를 연결하는 격점 구조이다. 격점 구조는 정적 하중에 대한 저항 성능 뿐만 아니라 반복 하중에 대한 피로 성능에 대한 검증이 필수적이며, 그 동안 일본에서는 시공 회사별로 각기 다른 격점 구조를 개발하여 성능 검증을 통해 적용해 오고 있다.³⁻⁷⁾

이 연구에서도 Fig. 4와 같은 힌지형 격점 구조를 개

*Corresponding author E-mail: jjhkim@yonsei.ac.kr

Received January 4, 2011, Revised February 15, 2011,

Accepted February 24, 2011

©2011 by Korea Concrete Institute

Fig. 1 Summation of the bridge lengths in Korea

Fig. 2 Bridge types of medium span bridges (40~60 m) in Korea

Fig. 3 HTB (hybrid truss bridge)

Fig. 4 Hinge type connection system for HTB

발하여 정적 하중에 대한 저항 성능을 이미 검증하였으며,⁸⁻¹¹⁾ 피로 거동 분석을 위해서 복합 트러스 거더에 대한 피로 실험을 수행하였다. 또한 피로 실험 결과를 토대로 격점부 피로 성능 개선을 위한 격점부 상세를 제안하고 이에 대한 격점부 피로 실험을 수행하여 피로 성능을 검증하였다.

2. 정적 재하 실험

2.1 실험 개요

이 연구에서 개발된 힌지형 격점 구조를 적용한 복합 트러스 거더의 정적 재하 실험을 통해서 격점 구조의 하중 저항 성능을 검증하였다. 복합 트러스 거더 실험체는 3점 재하 휨실험(3-point bending test)으로 계획하여 Fig. 5와 같이 강관 트러스 5쌍으로 구성하였다.

실험체는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 길이 6,350 mm, 높이 1,300 mm 그리고 폭이 500 mm로 제작되었으며, 상·하부 콘크리트 슬래브 높이는 250 mm, 힌치 높이는 150 mm이다. 또한 하부 슬래브에는 SWPC 7B 15.22 mm 텐던 2개를 배치하여 항복 강도(f_{py})의 70%인 1,120 MPa (155 kN)까지 긴장력(prestressing force)을 도입하였다. 한편, 강관은 직경이 165 mm, 두께가 9 mm이며 기타 상세한 재료 물성은 Table 1과 같다.

2.2 실험 결과

정적 재하 실험은 탄성 거동(elastic behavior) 한계점을 찾기 위해 400 kN과 800 kN에서 제재하(unloading)와 재재하(reloading)를 반복하였으며 변위 제어 방식(displacement control)으로 최대 하중까지 가력하였다. 실험 결과 복합 트러스 거더는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 일반적인 프리스트레스 보와 같이 전형적인 휨 거동(flexural behavior)을 나타내었으며 800 kN까지는 탄성 거동을 나타내었다.

Fig. 5 Dimensions of a HTB girder (unit: mm)

Table 1 Material properties

Index	Concrete (f_{ck})	Steel truss (f_y)	Rebar (f_y)	Tendon (f_y, f_u)
Type	OPC	SM490	SD40	SWPC 7B
Diameter	-	165 mm ($t = 9$ mm)	D13, D16	15.2 mm
Strength (MPa)	40	490	400	Yield: 1,600 Ultimate: 1,900

Fig. 6 Static test results (load-displacement)

3. 복합 트러스 거더 피로 성능 실험

3.1 실험 개요

이 연구에서 개발된 힌지형 격점 구조의 피로 성능을 검증해 보기 위해 Fig. 5와 동일한 복합 트러스 거더 실험체를 한개 더 제작하여 Fig. 7과 같이 피로 실험(fatigue test)을 수행하였다. 이 피로 실험의 재하 하중 변동폭은 정적 재하 실험 결과로 확인된 탄성한계점 800 kN의 30%인 240 kN으로 결정하고 최소 10 kN부터 최대 250 kN까지 3 Hz로 반복 하중을 재하하였다. 반복 하중은 200만 회까지 재하하도록 계획하였으며 매 10만회마다 반복하중 재하를 중지하고 250 kN까지 하중을 재하하면서 강성의 변화와 최대 변위를 측정하였다.

이와 같이 피로 하중을 산정한 것은 모든 교량이 안전성을 확보하기 위해 거더 단면의 탄성 한계 내에서 설계되고, 폭 12.125 m 왕복 4차선 DB-24 도로교 설계시 사하중 대비 활하중의 비율은 대략 7:3 정도가 된다. 따라서 이 연구에서는 탄성 한계 하중의 30%가 실험체에 가해질 수 있는 최대 활하중으로 산정하였다.

3.2 실험 결과

Fig. 8은 복합 트러스 거더에 대한 피로 실험 결과로

Fig. 7 Testing set-up for the hybrid truss girder

Fig. 8 Fatigue test results (N- Δ max)

재하 하중 반복 횟수와 그 때 거더 중앙과 거더 1/4지점의 최대 변위를 나타낸 것이다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 반복 하중이 약 50만회 미만일 때에는 거더 중앙과 거더 1/4지점의 최대 변위 차이가 약 1.5 mm 정도 되었으며 3지점에서 측정된 최대 변위가 모두 5 mm 미만으로 나타났다. 하지만 반복 하중이 약 50만회 이상 가해진 이후에 최대 변위가 크게 증가하였으며, 거더 중앙과 거더 1/4지점의 최대 변위 차이도 약 5 mm 이상 발생하여 복합 트러스교 거더 전체가 한 개의 부재로 거동하는 것이 아니라 슬래브와 트러스 부재가 각각 거동하기 시작했다.

한편 도로교 설계기준에 제시된 콘크리트 교량의 처짐 한계는 지간의 1/800로 이 실험체에 이를 적용해 보면 처짐 한계는 약 7.2 mm가 된다. 이를 토대로 보면 반복 하중이 약 60만회 이상 가해진 이후에는 처짐 한계를 초과하여 이미 사용성 한계를 이미 넘어섰다는 것을 알 수 있다.

또한 반복 하중이 약 100만회 이상 가해진 이후에는 Fig. 9에서 보는 바와 같이 격점부 콘크리트의 심한 균열 및 탈락 현상과 함께 슬래브 콘크리트와 강관의 이격 현상이 분명하게 나타났다. 이와 같은 피로 파괴가 일어난 이후에도 최종적인 파괴 거동을 알아보기 위해서 200만회까지 하중을 계속 재하하였으며 200만회 하중 재

Fig. 9 Failure of concrete at the connection joint due to the cyclic loading

Fig. 10 Failure of connection plates due to the cyclic loading

하로 실험이 종료된 이후 격점부 콘크리트를 파쇄한 뒤 연결판의 건전성을 확인하였다. 그 결과 Fig. 10과 같이 반복 하중에 의한 피로 파괴로 연결판이 완전히 절단된 모양을 확인할 수 있었다.

복합 트러스 거더 피로 실험 결과로 한지형 격점 구조는 연결판 및 강관의 단부가 콘크리트 내부에 매립되어 갑작스러운 취성 파괴(brittle failure)는 발생하지 않았지만 반복 하중에 피로 파괴의 위험성이 높으며 연결판에 매우 큰 응력이 집중되고 있다는 사실을 알 수 있었다. 따라서 이러한 피로 성능의 문제점을 보완하기 위하여 격점부 상세 개선 방안에 대해 연구하게 되었다.

4. 격점 구조 상세 개선

4.1 상세 개선 제안

한지형 격점 구조의 피로 성능을 확보하기 위해서 강관의 매입 깊이를 충분히 확보함과 동시에 강관에 발생하는 인장력을 콘크리트 슬래브 및 현치에 골고루 분산시켜 연결판에 집중되는 응력을 분산시켜 주기 위한 상세 구조가 필요하다는 결론에 도달하였다.

이를 위해서 Fig. 11(a)와 같이 연결판을 확장하고 다수의 구멍을 만들어 Perfobond 형태로 콘크리트와의 합성력을 향상시키는 방법과 Fig. 11(b)와 같이 콘크리트에 삽입되는 강관 주변에 원형 돌기(circular rib)를 두어 강관에 작용하는 인장력이 콘크리트 슬래브로 보다 잘 전달되도록 하는 방법이 제안되었다.

4.2 응력 전달 메커니즘 분석

Fig. 11에서 제안된 두 가지 상세 개선 방안에 대하여 응력 전달 메커니즘과 응력 분포를 분석하기 위하여 상용 구조 해석 프로그램인 ABAQUS¹²⁾을 이용하여 3차원 선형 탄성(linear elastic) 유한 요소 해석을 실시하였다. 이 구조 해석은 동일한 하중이 작용하는 경우에 대하여 각 격점부 상세별로 콘크리트 안에 삽입된 강재의 응력 분포가 어떻게 다른지를 분석하는데 초점을 두었기 때문

Fig. 11 Newly proposed details for the hinge type connection system

에, 강재와 콘크리트 모두 선형 재료(elastic material)로 가정하였다.

또한 콘크리트와 강재는 모두 3차원 연속체 요소(solid element)사용하여 모델링(modeling)하였으며, 경계면 요소(interface element)를 사용하여 콘크리트와 강관 경계면사이의 부착 강도와 슬립(slip)을 고려하여 정밀하게 해석하는 것이 타당하지만 모델링이 매우 난해하고 이 해석이 상세한 유한 요소 해석이 목적이 아니라 콘크리트에 삽입된 강재의 응력 분포가 초점이기 때문에 경계면 요소는 사용하지 않고 콘크리트 슬래브와 삽입된 강관이 분리되어 응력 전달이 이루어지지 않는 것으로 가정하게 되었다.

아울러 이 해석에서는 두 개의 트러스 끝단에서 변위와 회전을 완전히 고정시켰으며, 강재의 응력 분포가 잘 나타나는 하중을 찾기 위해 콘크리트 슬래브에 수평 방향으로 하중을 50 kN씩 증가시켜가며 해석을 수행하였다. Fig. 12는 유한 요소 해석 결과로 250 kN이 콘크리트 슬래브에 수평 하중으로 작용하였을 때의 응력 분포 나타낸 것이고 Table 2는 기존 격점 구조와 두 가지 격점부 상세 개선 방법의 최대 응력 차이를 비교한 것이다.

Fig. 12와 Table 2를 종합해 보면 Fig. 11(b)와 같이 원형 리브를 사용하는 것이 Fig. 11(a)와 같이 perfobond를 사용하는 것 보다 연결판 강재의 응력 집중 현상을 완화하는데 효과가 더 큰 것으로 나타났다. 물론 실제 거동은 강관과 콘크리트의 부착과 슬립을 고려한다면 크게 달라질 수 있지만 원형 리브를 사용하는 것이 격점부 강재 물량도 크게 감소시킬 수 있기 때문에 더 좋은 구조 상세 개선 방안으로 판단되었다.

(a) Conventional type

(b) Perfobond type

(c) Circular rib type

Fig. 12 FE analysis results

Table 2 Maximum stress of connection plates

Index	Conventional type	Perfobond type	Circular rib type
Max. stress (MPa)	104.6	37.9	16.3
Reduction ratio of max. stress (%)	-	63.8	84.4

5. 격점 구조 피로 실험

5.1 실험 개요

Fig. 11(b)과 같은 원형 리브를 갖는 복합 트러스 격점 구조의 피로 성능을 평가하기 위하여 Fig. 13과 같이 복합 트러스 거더 실험체에서 1개의 격점부를 떼어내어 동일

Fig. 13 Dimensions of the connection joint specimen (unit: mm)

Fig. 14 Shape of the connection joint

한 제원과 강종으로 격점부 실험체를 제작하였다. 다만 강관에 설치한 리브가 충분히 매입되도록 콘크리트 현치의 높이를 150 mm에서 200 mm로 증가시켰으며, Fig. 14에서 보는 바와 같이 강관 둘레에 두께 10 mm, 폭 10 mm인 리브 두 개를 순간격 60 mm로 설치하였다. 또한 강관과 연결판이 결합되는 부분은 보다 곡선화하여 피로로 인한 응력 집중이 최대한 완화될 수 있도록 하였다.

이렇게 하여 제작된 격점부 실험체를 Fig. 15에서 보는 바와 같이 실험체를 바닥에 견고히 고정하고 뒤 수평 하중을 반복적으로 작용시켜서 피로 실험을 수행하였다. 재하 하중의 결정은 2차원 해석을 통해서 복합 트러스 거더 피로 실험과 동일한 조건이 되도록 계획하였으며 최소 25 kN에서 최대 125 kN까지로 4 Hz로 반복 하중을 재하하여 복합 트러스 거더 피로 실험과 동일한 하중 변

Fig. 15 Testing set-up for the connection joint

동쪽으로 피로 실험을 수행하였다.

이 연구에서 제안한 힌지형 격점 구조는 콘크리트 슬래브에 매입되어 완전한 힌지 구조도 아니고, 용접 연결이 없기 때문에 완전한 고정 구조도 아니기 때문에 2차원 해석을 토대로 사재에 전달되는 축력을 산정하였다. Fig. 16은 거더 중앙에 60 kN의 수직 하중이 작용할 때 격점 구조를 완전한 힌지 구조로 가정하여 축력만 작용하는 트러스 해석(truss analysis)과 격점 구조를 완전히 고정 구조로 가정하여 축력과 모멘트가 동시에 작용하는 뼈대 해석(frame analysis)에 의한 사재의 축력을 비교한 것이다. 트러스 해석에 의한 최대 축력은 28.8 kN으로 수직 하중의 약 48% 였으며, 뼈대 해석에 의한 최대 축력은 30.6 kN으로 수직 하중의 약 51%였다.

이와 같은 해석 결과를 토대로 이 연구에서 제안한 힌지형 격점 구조가 완전한 고정 구조도 완전한 힌지 구조도 아니기 때문에 수직 하중의 약 50%가 강관 트러스에 최대 축력으로 작용하는 것으로 보는 것이 합리적이라고 판단하였다. 따라서 복합 트러스 거더 피로 실험에서 최대 가력하중이 250 kN이었으므로 2차 트러스 격점부 피로 실험에서는 트러스에 작용하는 축력을 125 kN으로 선정하게 되었다.

5.2 실험 결과

반복 하중은 200만회까지 재하하도록 계획하였으며 매 10만회마다 반복 하중 재하를 중지하고 125 kN까지 하중을 재하하면서 최대 수평 변위를 측정하였다. 측정한 수평 변위는 그 차이가 약 0.15 mm이하로 200만회 재하시까지 거의 변동이 없었다. 또한 200만회 재하 후 콘크리트 슬래브 하면에는 Fig. 17과 같이 전혀 균열이 발생하지 않았다.

한편 200만회의 반복 하중을 재하한 후에도 아무런 파괴가 일어나지 않아서 극한 파괴 거동을 알아보기 위해 재하 하중을 2배로 높여 최소 50 kN에서 최대 250 kN까지 3 Hz로 반복 하중을 10만회씩 추가로 피로 실험을 실시하였다. 그 결과 약 20만회 추가 재하 후 격점부가 아니라 Fig. 18에서 보는 바와 같이 강관과 하부 거세트

Fig. 16 2D analysis results for the hybrid truss girder

Fig. 17 No crack in the concrete hunch after the 200,000 cycle fatigue test

Fig. 18 Failure of steel truss pipe after the additional 20,000 cycle fatigue test

판 연결부에서 강관에 균열이 발생하여 더 이상 실험을 진행할 수 없는 상황이 되었다. 결과적으로 격점 구조가 극한 파괴 상태에 이르는 못하였지만 이와 같은 실험 결과로 강관 리브를 도입한 격점 구조는 충분한 피로 성능이 확보되었다는 것이 입증되었다.

또한 이 격점부 피로 실험에는 격점부 연결판에 변형률 게이지를 매설하여 피로 실험이 진행되는 동안 연결판의 변형률을 측정하였다. Fig. 19는 Fig. 14에서 보는

Fig. 19 Stress variation of the connection plate during the fatigue test

바와 같이 연결판에 부착된 변형률 게이지(strain gauge)에 의해 측정된 연결판의 변형률을 응력으로 환산하여 나타낸 그래프이다. Fig. 19에서 보는 바와 같이 연결판의 응력은 3단계의 변화를 보였다. 1단계는 반복 하중이 약 135만회 가력할 때까지로 연결판의 응력은 약 20 MPa부터 약 50 MPa까지 변화하였다. 2단계는 반복 하중이 약 135만회부터 200만회 가력할 때 까지로 이때 연결판의 응력은 약 35 MPa부터 약 65 MPa까지 변화하였다. 1단계와 비교할 때 2단계에서는 약 15 MPa 응력이 증가하였지만 응력 변동폭은 1단계와 유사한 약 30 MPa 정도로 나타났다. 또한 3단계는 반복 하중이 200만회부터 실험체 지점부 강관에 균열이 발생하여 실험이 중단되었던 약 220만회 가력시 까지로 이때 연결판의 응력은 약 47 MPa부터 약 80 MPa까지 변화하였다. 3단계에는 최대 하중 125 kN의 반복 하중을 200만회 재하시까지 아무런 실험체에 아무런 피로 파괴가 발생하지 않았기 때문에 재하 하중을 250 kN까지 증가시킨 단계로 최대 응력이 약 80 MPa로 약 15 MPa 증가하였으나 응력 변동폭은 약 33 MPa 정도로 1단계, 2단계에 비해 크게 증가하지 않은 것을 볼 수 있다.

전체적으로 볼 때 1단계에서 누적되었던 피로 하중이 2단계에서 약 15 MPa의 응력 증가를 가져왔다고 볼 수 있으며, 계속해서 반복 하중을 재하한다면 단계적인 응력 증가를 보이다가 피로 파괴로 이어졌을 것으로 추정된다. 한편 3단계에서 최대 하중을 크게 높였는데도 응력 변동폭은 크게 증가하지 않았기 때문에 이 격점 구조는 매우 안정적인 피로 성능을 갖는 것을 입증하는 것으로 판단된다.

또한 이 연구에서 제안한 격점 구조는 도로교설계기준¹³⁾ '3.3 허용 응력'에 제시된 '그림 3.3.4 범주의 분류 예'에서 '21'과 가장 유사한 형태로 상세 범주 'B'에 해당될 수 있다. 200만회 하중재하시 상세 범주 'B'에 대한 허용 피로 응력 범위는 112 MPa이며, Fig. 17에서 보는 바와 같이 피로 실험 동안 연결판의 실제 응력 범위는 약 30 MPa로 충분히 피로 성능을 만족하고 있다는 것을 확인하였다.

6. 결 론

이 연구에서는 복합 트러스교의 격점 구조로 새롭게 제안한 힌지형 격점 구조에 대한 피로 성능을 평가하고 그 구조 상세를 개선하고 검증하였다.

- 1) 복합 트러스 거더에 대한 피로 실험을 통하여 제안된 힌지형 격점 구조의 극한 피로 파괴 거동을 분석하였다.
- 2) 피로 실험 결과 정적인 구조 성능이 입증된 격점 구조라고 하더라도 매입된 연결판이 충분히 피로 파괴를 나타낼 수 있으며 이를 방지하지 하기위한 격점부 상세 구조 개선 방안을 도출하였다.
- 3) 힌지형 격점 구조의 피로 성능 개선을 위한 상세 개선 방안으로 perfobond 강재를 사용하는 방법과

강관에 리브를 부착하는 방법을 제시하였으며 유한 요소 해석을 통해서 응력 분포를 분석하였다. 그 결과 강관에 리브를 부착하는 방법이 격점 구조 강재 물량을 크게 증가시키지 않으면서도 피로 성능 개선에 더 효과적임을 입증하였다.

- 4) 강관에 원형 리브를 부착하는 격점 구조에 대하여 추가적인 피로 실험을 통해 200만회 반복 하중에 대해 충분히 안전한 피로 성능을 가지고 있음을 입증하였다.
- 5) 따라서 이 연구에서 제안된 힌지형 격점 구조는 리브를 부착하고 충분한 매입 깊이를 확보해 준다면 정적 구조 성능 뿐만 아니라 피로 성능도 확보되어 실제 복합 트러스 교량에서 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 연구는 현대건설(주) 연구개발과제(10ADIT07)와 국토해양부 건설핵심사업(05건설핵심C14)의 지원을 받아서 수행되었으며, 국토해양부의 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 국토해양부, 교량현황조사, 2004, pp. 130~169.
2. 국토해양부, 교량현황조사, 2009, pp. 134~173.
3. Miwa, H., Nagasawa, T., Yoda, T., Suzuki, T., and Kumagai, Y., "Experimental Study on the Mechanical Behavior of Panel Joints in PC Hybrid Truss Bridges," *J. of Structural Eng.*, JSCE, Vol. 44A, 1998, pp. 1475~1484.
4. Hiroo, M., Masato, Y., Yohei, T., and Kosuke, F., "Design of the Kinokawa Viaduct Composite Truss Bridge," *Proceedings of the 1st FIB Congress*, Osaka, Japan, Composite Structures, 2002, pp. 371~380.
5. Keiichi, A., Yuhei, T., Hideki, N., Yasuhiro, U., Toshiake, K., and Takashi, Y., "Design and Construction of Sarutagawa Bridge and Tomoegawa Bridge," 2005, pp. 5~11.
6. Hiroyuki, F., Akio, S., Hiroshi, S., Shoichi, U., Yoko, K., and Tadayuki, N., "Design and Construction of Shitsumi Ohashi Bridge," *Bridge and Foundation*, pp. 5~11.
7. Takashi, T., Akio, S., Tadayuki, N., and Shinji, M., "Experimental Study on a Joint in Prestressed Concrete Bridge with Steel Truss Web," *Proceedings of the 1st FIB Congress*, Osaka, Japan, Composite Structures, 2002, pp. 347~352.
8. 정광희, 김광수, 정철현, 심창수, "연결구조 시스템에 따른 복합 트러스 연결부의 수평전단강도에 대한 실험적 연구," 대한토목학회 정기학술대회 논문집, 2007, pp. 130~133.
9. Jung, K. H., Kim K. S., and Chung, W. S., "Flexural Behavior of Prestressed Concrete Hybrid Girder with Steel Webs," *Proceedings of 4th International Conference on the Conceptual Approach to Structural Design*, Venice, Italy, 2007, pp. 297~305.
10. 심창수, 박재식, 김광수, "복합 트러스 교량의 연결구조에 대한 실험적 연구," 한국강구조공학회 논문집, 19권,

- 3호, 2007, pp. 303~312.
11. Shim, C. S., Park, J. S., Chung, C. H., and Kim, K. S., "Design and Experiments on Connection of Composite Truss Bridges," *Proceedings of 6th International Conference Steel and Aluminium Structures*, Oxford, 2007, pp. 963~970.
 12. ABAQUS Standard User's Manual v6.2, Hibbit, Karsson & Sorensen Inc., 2001, pp. 11.5.1~14.
 13. 한국도로교통협회, 도로교설계기준, 2005, pp. 300~303.

요 약 복합 트러스교는 강재 박스 교량이 주류를 이루고 있는 우리나라 중지간 교량의 형식적 대안이 될 수 있는 구조 형식이다. 이러한 복합 트러스교의 핵심 기술은 강관과 콘크리트 슬래브를 연결하는 격점 구조이며 일본 등에서는 시공 회사별로 고유의 격점 구조를 개발하여 실험적 검증을 통해서 실교량에 적용해 오고 있다. 이 연구에서도 힌지형 격점 구조를 제안하고 이에 대한 정적인 구조 성능을 이미 검증한바 있으며 피로 실험을 통해 구조 상세를 개선하고 피로 성능을 검증하였다. 복합 트러스 거더에 대한 피로 실험 결과 정적인 구조 성능이 입증된 격점 구조라고 하더라도 매입된 연결판이 충분히 피로 파괴를 나타낼 수 있으며 이를 방지하지 하기 위한 구조 상세 개선 방안으로 perfobond 강재를 사용하는 방법과 강관에 원형 리브를 부착하는 방법을 제시하였다. 그리고 해석적 방법을 통해 강관에 원형 리브를 부착하는 방법이 격점부 강재 물량 증가시키지 않으면서도 피로 성능 개선에 효과적이라는 것을 입증하게 되었으며, 추가적인 격점 구조 피로 실험을 통해 피로 성능을 검증하였다. 따라서 이 연구에서 제안된 힌지형 격점 구조는 원형 리브를 부착하고 충분한 매입 깊이를 확보해 준다면 정적 구조 성능 뿐만 아니라 피로 성능도 확보되어 실제 복합 트러스 교량에서 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

핵심용어 : 복합 트러스교, 피로 성능, 힌지형 격점 구조, 구조 상세, 원형 리브