

일체형 가로보를 이용한 임시교량의 구조적 거동특성

주형종¹⁾ · 이영근²⁾ · 이동혁³⁾ · 윤순종^{4)*}

¹⁾ 대표이사, (주)아이시스이엔씨 ²⁾ 박사과정, 홍익대학교, 토목공학과
³⁾ 과장, 한라건설(주) ⁴⁾ 교수, 홍익대학교, 토목공학과

The Characteristics of Structural Behavior of Temporary Bridge Using Continuous Cross Beam

Joo, Hyung Joong¹⁾ Lee, Young Geun²⁾ Lee, Dong Hyuk³⁾ Yoon, Soon Jong^{4)*}

¹⁾ President, ISIS ENC, Seoul, 121-916, Korea

²⁾ Ph.D Candidate, Dept. of Civil Engineering, Hongik University, Seoul, 121-791, Korea

³⁾ Section Chief, Halla Engineering & Construction Corp., Seoul, 138-734, Korea

⁴⁾ Professor, Dept. of Civil Engineering, Hongik University, Seoul, 121-791, Korea

ABSTRACT : Cross-beam in the existing temporary bridge system is usually installed to prevent the lateral-torsional buckling of girders and to promote the construction efficiency. However, most of this cross-beams are connected to the girder web by bolts, and therefore, gravitational load resisting capacity of the cross-beams are negligibly small. In recent years, new temporary bridge system, in which the cross-beams and girders are connected to resist the external loads as a unit, was developed. In this paper, we present the experimental and analytical study results pertaining to the structural behavior and load carrying capacity of new temporary bridge system. From the results of study, it was found that the continuous cross-beam increased the flexural rigidity and reduced the maximum flexural stress in the girder. In addition, it was also found that the new temporary bridge system developed is more appropriate for the application in the long-span temporary bridge.

KEYWORDS : temporary bridge, continuous cross beam, load carrying capacity, lateral distribution, structural behavior

1. 서 론

산업이 발전하고 사회가 복잡해지면서 교통량 및 물동량이 증가되고 있으며, 이에 새로운 도로의 개설 및 확장 공사가 증가하고 있다. 또한, 고도성장과 더불어 다양하게 구축된 도로 및 교량 구조물이 노후화되고 있어 유지관리가 필요하게 되었다. 이러한 상황에서 임시교량은 일시적으로 신설교량 및 노후교량의 우회도로로 활용되거나 장비의 이동통로, 시공시

의 임시동바리로 활용되는 등 사용범위 또한 다양하며, 교통량의 지속적 증가에 따라서 교량의 개설 및 증설, 유지관리에 따른 임시교량의 수요 또한 지속적으로 증가할 것으로 예상된다¹⁾. 뿐만 아니라 이상기온으로 장마와 수해 및 홍수 등으로 인한 도로의 유실, 교량 파손 등의 문제점이 야기되고 있는 가운데 교량과 같은 구조물의 복구 지연은 사회적 직간접적 손실과 직결되는 주요 원인이 될 수 있다. 최근 건설경기의 둔화로 교량분야 시장이 위축될 것으로 우려되고 있으나 앞서 설명한 바와 같이 신설 교량 뿐만 아니라 유지관리, 임시교량 등의 활용측면에서 종합적으로 고려할 때 임시교량의 수요는 지속적으로 증가될 것으로 예상된다. 따라서, 구조적으로 안전하면서도 경제성을 확보할 수 있는 임시교량에 대한 기술개발 또한 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

건설산업은 노동집약적 산업에서 경제성이 보장되면서 양

Note.-Discussion open until April 30, 2013. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on March 20, 2012; revised July 12, 2012; approved on September 25, 2012.
© KSSC 2012

* Corresponding author

Tel. +82-2-320-1479; Fax. +82-2-3141-0774

E-mail: sjyoon@hongik.ac.kr

질의 품질을 확보할 수 있는 기술집약적 서비스 산업으로 발전하고 있으며, 신공법의 개발이 이러한 산업의 변화를 뒷받침하고 있다^[2]. 건설기술의 발전은 설계기술과 더불어 시공현장에서도 활발히 이루어지고 있다. 특히, 시공과정에서 필요에 따라 설치되는 임시구조물의 적용을 통해 품질의 안전성을 보다 증진시키기 위한 신공법의 지속적으로 개발되고 있다.

임시교량은 한시적 이용을 목적으로 축조되는 구조물인 만큼 운영기간 동안 구조적 안전성 및 사용성을 만족하면서도 시공 및 해체가 용이해야 한다. 이러한 조건에서 임시교량은 다양한 형태로 발전되고 있으며, 최근 일체형 가로보를 통해 차량하중을 상부구조에 고르게 분포시킬 수 있도록 구성된 임시교량이 개발되어 사용된 바 있다. 이 연구에서는 임시교량 공법에 대한 특성을 조사, 분석하였고, 새롭게 개발된 일체형 가로보를 이용한 임시교량에 대한 구조적 거동특성 및 하중전달능력을 평가하였다.

2. 임시교량 공법 현황

임시교량은 공사량의 증가에 따른 주변 환경과의 조화 및 소음 등에 의한 민원발생 등 사회적인 문제와 공사기간 및 공사비의 절감 등의 경제적인 문제점을 보완하고, 강성과 처짐에 유리한 새로운 임시교량을 개발함으로써 구조적인 안전성 및 경제성의 확보 효과를 동시에 얻을 수 있다^[3].

국내에서 시공되고 있는 임시교량은 단순 H형강 또는 외부 긴장된 H형강을 이용한 공법, 트러스 거더를 이용한 장경간 조립식 임시교량 공법 등이 사용되고 있다^[4]. 단순 H형강을 사용한 임시교량은 일반적으로 재래식 임시교량이라 하며, 단순한 구성을 통해 시공 및 해체가 용이하다. 그러나 최근 장경간 임시교량에 대한 요구가 증대되고 있는 가운데 이 재래식 임시교량은 장경간 임시교량에 사용할 경우 경제성이 저하되는 것으로 평가되고 있어 최근 임시교량은 대부분 거더에 미리 응력을 도입하여 항복을 지연시키는 프리스트레싱 공법이 활용되고 있다.

프리스트레싱 공법은 강선이나 강봉을 이용하여 거더에 직접적으로 프리스트레스를 도입하는 방법이나 강재와 콘크리트의 재료적 특성을 이용하여 합성거더를 제작함으로써 단면 개선효과를 얻는 방법, 강재 거더에 프리플렉션 하중을 재하하여 프리스트레스를 도입함으로써 거더의 효율을 증가시키는 방법 등 다양한 방법들이 개발, 적용되고 있다. 프리스트레스를 이용하여 내하성능을 향상시키는 방법은 주로 콘크리트교량에 적용되어 왔으며, 강교량에 대해서는 그 적용사례가 매우 적다. 강교량의 경우 교량 신설시 강연선이나 강봉 등을 이용하여 직접 프리스트레스가 도입되도록 설계된 사례는 거

의 없으며, 노후화된 강교량의 성능개선을 위한 방법으로 일부 적용된 바 있다^[5].

프리스트레싱을 이용한 임시교량은 재래식 임시교량에 비해 장경간 임시교량에 매우 유리하다. 그러나 임시교량의 거더에 프리스트레스를 도입하는 것은 하중에 대해 거더에 발생하는 휨응력을 저감시킬 수 있을 뿐 거더의 단면 강성증가 효과는 크게 기대할 수 없다. 따라서, 처짐과 같은 사용성 문제에 대해서는 거더의 단면증가는 불가피하며, 기존 공법과 비교할 때 프리스트레스를 도입하는 공정이 추가되어 시공성에서 비교적 불리하며, 짧은 경간에 적용할 경우 경제성을 확보하기 어렵다. 또한, 임시교량의 존치 기간이 증가될 경우 프리스트레스력의 손실 등이 발생할 수 있어 이에 대한 조사 및 재긴장 등의 유지관리가 필요할 수 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 최근 프리스트레스를 도입하지 않고 하중분배를 통해 거더에 발생하는 응력을 감소시켜 단경간 뿐만 아니라 장경간에서도 유리하도록 일체형 가로보를 이용한 임시교량 공법이 개발(CAP공법)된 바 있다.

3. 일체형 가로보를 이용한 임시교량

일체형 가로보를 이용한 임시교량은 프리스트레스의 도입 공정이 없이 H형강을 그대로 사용한다는 점에서 재래식 임시교량과 유사하게 매우 단순한 형태를 갖는다. 즉, 임시벤트 상부에 거더를 설치하고 가로보를 일체로 설치한 후 복공판을 설치하면 시공이 완료되는 공정이다. 이 임시교량은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 기존 임시교량과는 달리 거더 상부에 일체화된 가로보가 위치하고, 가로보 상부에 복공판이 설치된다. 따라서, 차량으로부터 복공판에 전달되는 하중이 일체화된 가로보를 통해 교축직각방향으로 분산되어 상대적으로 차량하중이 재하되는 부분의 거더에 발생하는 응력을 감소시킬 수 있다. 반면, 기존 임시교량의 경우 가로보는 주로 거더의 횡-비틀림좌굴(Lateral-torsional Buckling)을 방지하기 위한 비지지길이(Unbraced Length)를 감소시키기 위해 설치되며, 거더 복부의 수직보강재에 볼트로 조립되기 때문에 상부하중을 교축직각방향으로 분산시키는 능력은 상대적으로 매우 작다. ANSI(1995)^[6]에서도 5~7m정도의 가로보를 설치하지만 횡분배를 목적으로 하지 않는다^[7].

일체형 가로보를 이용한 임시교량 공법은 구조재의 효율적 구성을 통해 재래식 공법과 유사한 단순공정이 가능하면서도 거더에 발생하는 응력을 상대적으로 감소시킴으로써 장경간 임시교량 또한 가능케 하였다. 이 임시교량은 가로보를 일체화하기 위해 Fig. 2에 나타낸 바와 같은 가로보-거더 접합부 형태를 갖는다. Fig. 2에서 가로보 단면의 일부가 거더 상부

에 위치하며, 가로보의 하부플랜지는 거더 복부의 보강판과 볼트를 사용하여 연결된다. 즉, 가로보의 단면감소에 의한 휨강성의 감소를 최소화하기 위해 하부플랜지를 거더 복부의 수직보강재와 연결하였다.

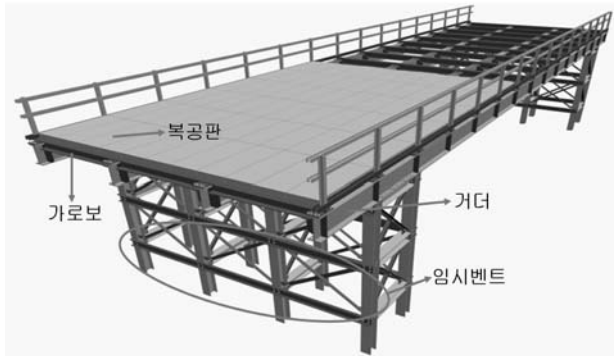


Fig. 1 Temporary Bridge Using Continuous cross-beam

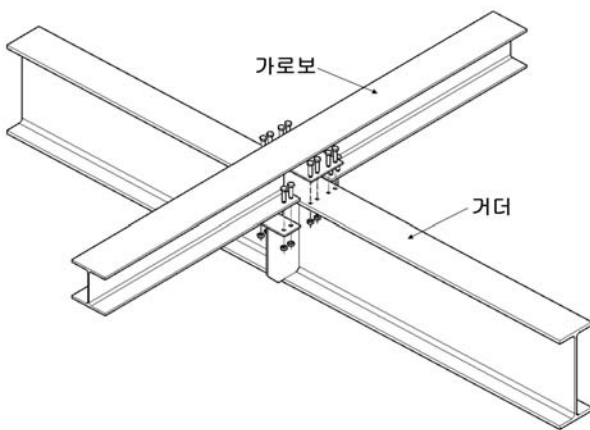


Fig. 2 Connection of Girder and Cross-beam

이 연구에서는 일체형 가로보를 이용한 임시교량의 가로보에 의한 하중분배효과를 확인하기 위해 Fig. 2에 나타난 접합부에 대한 휨성능평가 실험을 수행하였으며, 임시교량 상부구조에 대한 실물실험을 통해 거더의 구조적 특성 및 하중전달 능력을 평가하였다^[8]. 또한, 접합부 휨성능평가 실험의 결과로부터 구한 교축 직각방향에 대한 접합부 회전강성을 유한요소해석에 도입하여 해석하고, 이 해석결과를 실물실험 결과와 비교함으로써 구조적 거동을 예측할 수 있도록 하였다.

4. 연결부 휨성능 평가실험

4.1 실험체 제작

기존 임시교량과 일체형 가로보를 이용한 임시교량의 가장 큰 차이점은 상부구조의 구조재 구성이며, 특히, 가로보의 형

태와 거더와의 연결부의 형태이다. 일체형 가로보를 이용한 임시교량 및 기존 임시교량의 거더-가로보 접합형태는 Fig. 3에 나타내었다.

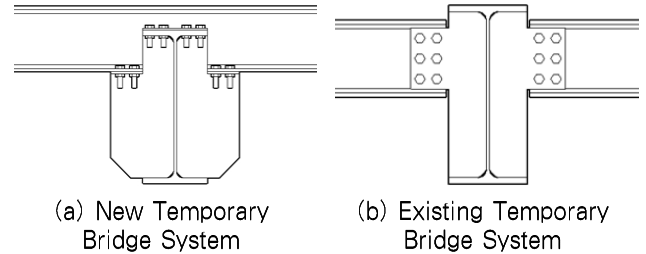


Fig. 3 Comparison of Connection Systems

이 연구에서는 일체형 가로보를 이용한 임시교량 및 기존 임시교량 연결부에 대한 휨성능을 비교하기 위해 Fig. 3에 나타난 연결부 실험체를 제작하였다. Fig. 3에 나타난 두 가지 연결부 실험체에 사용된 재료와 단면의 형태는 Table 1에 나타내었고, 제작된 실험체는 Figs. 4, 5에 나타내었다. 모든 실험체의 수직보강재는 10mm 두께의 SS400 강판을 사용하였으며, 볼트는 20mm 직경의 F10T를 사용하였다.

Table 1. Dimension of Test Specimen

	Girder Section (mm)	Cross-beam Section (mm)	No. of Specimen
New Temporary Bridge System	H-700×300 ×13×24 (SS400)	H-300×300 ×10×15 (SS400)	2
Existing Temporary Bridge System			2

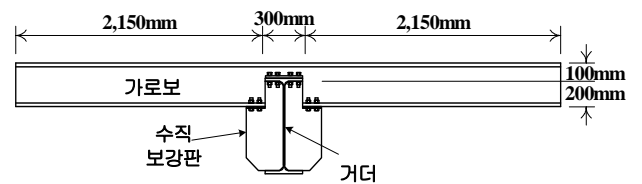


Fig. 4 Test Specimen of New Temporary Bridge system

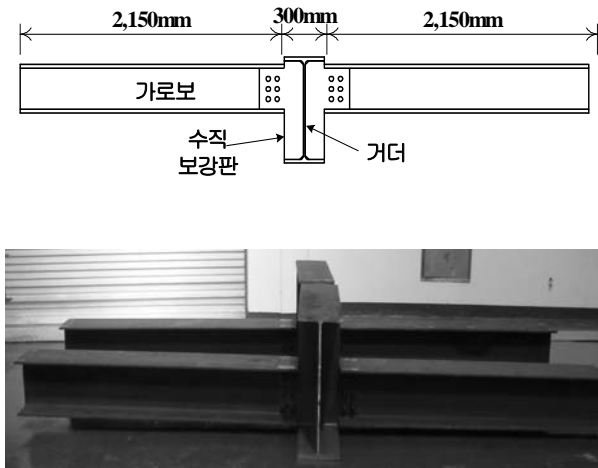


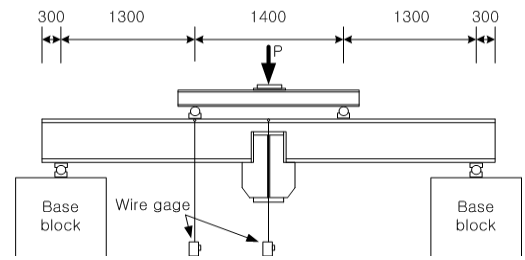
Fig. 5 Test Specimen of Existing Temporary Bridge system

4.2 연결부 휨성능평가 실험

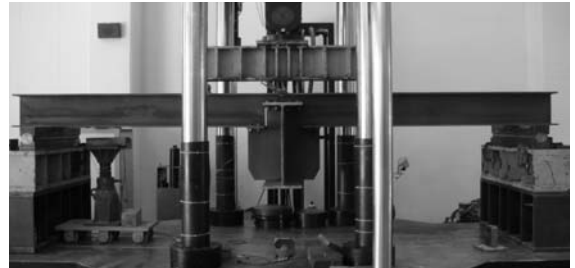
연결부 휨성능평가 실험은 2,000kN 용량의 UTM (Universal Testing Machine)을 사용하여 4점 재하방법으로 수행하였다. 계측기는 실험체 중앙과 하중재하위치의 상부플렌지에 와이어변위계(DP-1000C)를 설치하였다. 하중은 변위제어방식으로 5mm/min의 속도로 재하하였고, 재하된 하중과 변위계로 측정된 변위는 자료수집장치 (Data Logger, TDS-302)를 통해서 컴퓨터에 자동으로 전달, 기록, 저장되도록 하였다. 실험체 양단부의 경계조건은 단순보로 거동할 수 있도록 롤러를 설치하였고, 일체형 가로보를 이용한 임시교량의 연결부 실험 개요 및 실험체 설치 형태는 Fig. 6에 나타내었다. 기존 임시교량의 연결부 실험은 Fig. 6에 나타낸 방법과 동일한 방법으로 하였다.

4.3 실험결과

실험결과 각 실험체의 파괴형태는 Figs. 7, 8에 구분하여 나타내었다. 일체형 가로보를 이용한 임시교량 실험체의 최종 파괴는 과도한 변위가 발생한 후 거더에 용접된 수직보강판의 파괴로 나타났다. 실험체는 하중 87.69kN에서 보강판의 아래쪽 부위에서 항복이 발생된 것으로 추정되며, 가로보 복부 상부는 약 89.53kN의 하중에서 항복응력인 235MPa을 초과하는 것으로 나타났다. 기존 임시교량공법 연결부 실험체의 파괴는 Fig. 8에 나타낸 바와 같이 가로보와 연결된 거더의 보강판이 지압파괴되는 것으로 나타났으며, 하중은 크게 증가되지 않고 지속적인 변위를 허용하는 것으로 나타났다.



(a) Rotational Stiffness Evaluation Test



(b) Test Set-up

Fig. 6 Rotational Stiffness Evaluation by Experiment

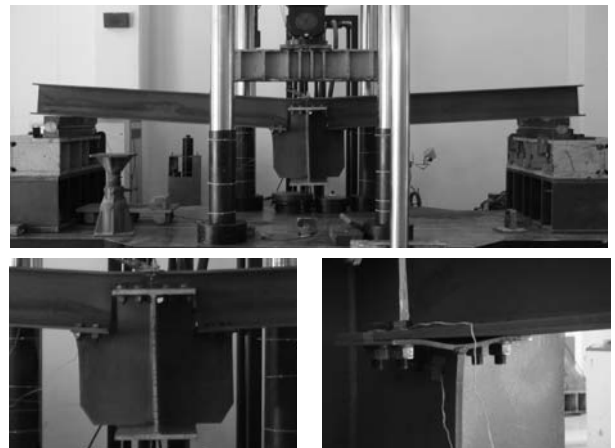


Fig. 7 Failure of Test Specimen (New Temporary Bridge System)

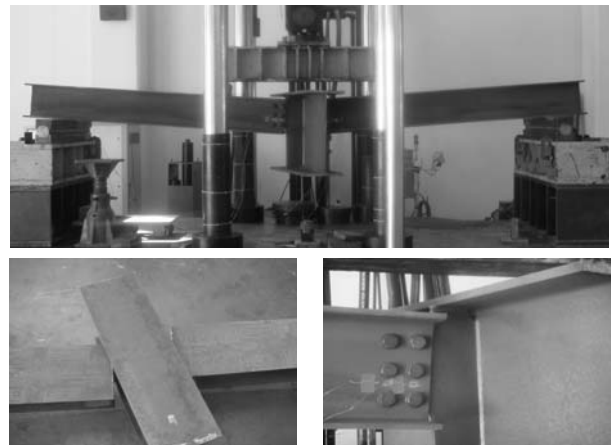


Fig. 8 Failure of Test Specimen (Existing Temporary Bridge System)

실험결과 하중-변위 관계는 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 9에서 CAP Spec.는 일체형 가로보를 이용한 임시교량 접합부 실험에 대한 하중-변위 곡선이며, Ex. Spec.는 기존 임시교량 접합부 실험체에 대한 하중-변위 곡선이다. Fig. 9에서 동일한 변위에 대해 일체형 가로보를 이용한 임시교량 접합부 실험체에 대한 하중저항능력이 매우 우수한 것으로 평가되었으며, 초기구간 곡선의 기울기로부터 접합부의 회전강성 또한 일체형 가로보를 이용한 임시교량 실험체에서 매우 큰 것으로 확인되었다.

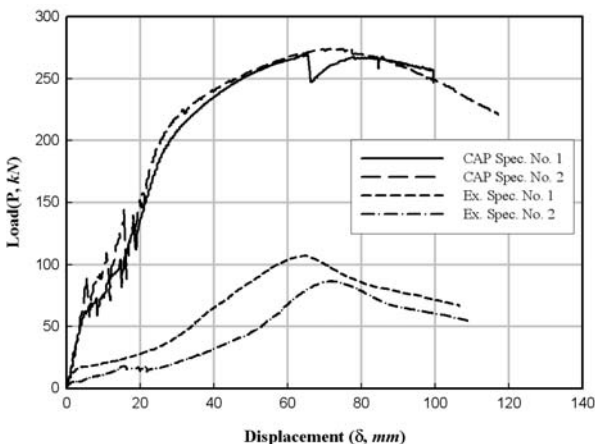


Fig. 9 Load and Displacement Relationship

Fig. 9에 나타낸 일체형 가로보를 이용한 가설교량 접합부의 하중-변위 관계에서 약 30mm의 변위까지 지속적으로 하중이 증가하고 있다. 이러한 현상은 하중초기 단계에서 가로보의 일부 연속화된 단면이 하중에 대해 저항하고, 일정 변위가 발생하면 가로보 하부플랜지 부분에 인장응력이 발생하면서 거더 보강판과 연결된 볼트의 지압에 의해 휨모멘트를 저항하는 것으로 판단된다. 따라서, 가로보의 단면감소에 대한 보강효과를 기대할 수 있다. 이러한 보강효과는 볼트 구멍과 볼트의 직경 차이로 발생하는 유격변위 등의 범위를 초과하면 서부터 발생하는 것으로 판단된다.

기존 임시교량 접합부 실험체의 하중-변위 관계에서는 하중의 증가현상이 일체형 가로보를 이용한 임시교량 실험체에 비해 작게 평가되고 있으며, 이는 볼트연결부의 유격 등으로 하중재하 초기단계에서는 하중의 큰 증가 없이 변위를 허용하고, 약 25kN의 하중이 재하되면서 볼트에 의한 지압으로부터 휨에 저항하는 것으로 판단된다. 그러나 Fig. 8의 볼트 배열로부터 판단하면, 휨모멘트가 볼트접합부에 작용할 경우 상하부 볼트 옆에 지압이 작용하게 되며, 유효한 모멘트 암(Moment Arm)의 길이가 비교적 짧다. 또한, 일체형 가로보를 이용한 임시교량 연결부 실험체는 상하부 플랜지 및 연속

화된 일부 복부가 구조요소로 작용하기 때문에 기존 임시교량 연결부 실험체는 일체형 가로보를 이용한 임시교량 연결부 실험체에 비해 하중저항능력이 비교적 작은 것으로 판단된다. 기존 임시교량 2개 실험체의 하중-변위 관계는 비교적 큰 차이를 보이고 있으나 볼트의 마찰, 유격 등에 의해 발생한 현상으로 매우 낮은 하중단계에서 비교적 큰 변위가 발생하고 있으며, 이러한 구조는 휨모멘트 전달구조라 판단하기 어렵다.

계측기로부터 측정된 각 실험체의 파괴하중과 변위, 선형구간의 하중과 변위, 회전강성을 Table 2에 정리하여 나타내었다. 기존 임시교량 연결부 실험체의 최대하중은 평균 96.915kN이며, 중앙부 최대변위는 평균 92.6mm로 나타났다. 일체형 가로보를 이용한 실험체의 최대하중은 평균 271.75kN, 중앙부의 최대변위는 평균 96.5mm로 기존 임시교량 연결부 실험체와 비교할 때 변위는 유사하지만 최대하중은 2.8배 큰 것으로 확인되었다. 또한, 연결부의 회전강성은 하중-변위 곡선의 선형구간의 기울기로 결정하였으며, 일체형 가로보를 이용한 임시교량 연결부가 기존 임시교량 연결부 보다 약 7.2배 큰 것으로 나타났다.

Table 2. Experimental Result of Rotational Stiffness

Description		Max. Load (kN)	Max. Disp. (mm)	Rotational Stiffness (k_c , kNm/rad)	
New Temporary Bridge System	Spec. No. 1	Max.	269.23	92.00	
		Linear Portion	62.34	4.90	33,078.01
	Spec. No. 2	Max.	274.27	101.00	-
		Linear Portion	87.70	6.70	34,031.41
Existing Temporary Bridge System	Spec. No. 1	Max.	107.14	84.10	-
		Linear Portion	17.58	6.40	7,143.52
	Spec. No. 2	Max.	86.69	103.90	-
		Linear Portion	17.90	21.40	2,215.97

$$k_c = \frac{PL_m}{2arctan\{\delta/(L/2)\}}$$

5. 구조적 거동평가

구조적 거동평가 실험은 일체형 가로보를 이용한 임시교량의 가로보-거더 연결부 형상으로 인한 하중분배효과 차이를

확인하고, 구조적 거동을 조사하기 위해 수행하였다. 또한, 앞서 설명한 연결부 성능평가 실험을 통하여 결정된 회전강성을 유한요소해석에 도입하여 실험결과와 해석결과를 비교, 분석하여 유한요소해석으로부터 상부구조의 구조적 거동을 예측할 수 있도록 하였다.

5.1 실험 계획

구조적 거동평가 실험은 총 16m 경간의 기존 임시교량과 일체형 가로보를 이용한 임시교량의 상부구조를 제작하여 수행하였으며 실험체에 사용된 거더, 가로보의 단면 치수, 길이 및 수를 Table 3에 나타내었다. 일체형 가로보를 이용한 임시교량 실험체와 기존 임시교량 실험체는 동일한 치수를 갖는 부재를 사용하였으며, 경간 또한 동일하게 계획하였다.

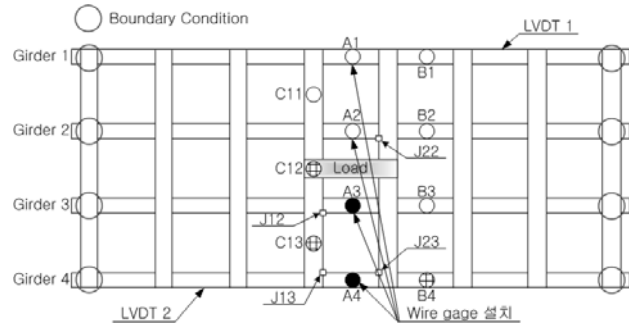
구조적 거동평가 실험에서 하중은 3,500kN 용량의 Actuator를 사용하여 재하하였으며, 와이어변위계와 LVDT를 통하여 변위를 측정하였다. 이러한 변위측정 개요는 Fig. 10에 나타내었고, 거더와 가로보에 Fig. 10에 나타낸 바와 같이 변형률 게이지를 부착하여 각 부분의 변형률을 측정하였다.

Table 3. Dimension of the Structural Behavior Test Specimen

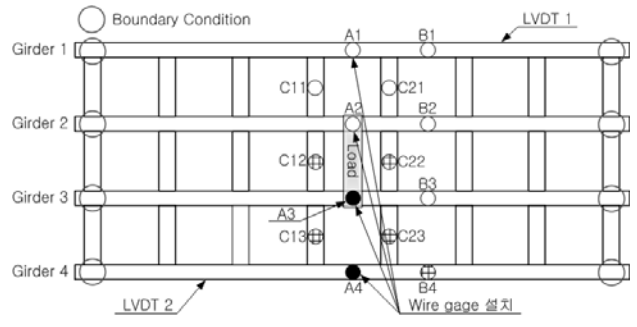
	Girder	Cross-beam	No. of Specimen
New Temporary Bridge System	H-588×300×13×24 (14.5m × 4EA)	H-300×300×10×15 (6.3m × 8EA)	1
Existing Temporary Bridge System	H-588×300×13×24 (14.5m × 4EA)	H-300×300×10×15 (4.68m × 24EA)	1

하중재하 위치는 Fig. 11에 나타낸 바와 같이 실제 임시교량에 재하되는 하중전달구조 및 구조재의 배치를 고려하여 재하하였다. 일체형 가로보를 이용한 임시교량은 거더 상부에 가로보가 위치하고, 이 가로보 상부에 복공판의 장변방향이 교축방향으로 설치된다. 그러나 기존 가설교량의 경우 거더 상부에 바로 복공판이 설치되므로 복공판의 장변방향이 교축 직각방향으로 향하게 된다. 이러한 복공판의 배치 방향은 Fig. 11에 나타내었다.

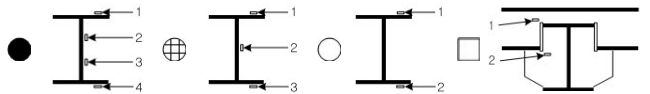
따라서, Fig. 11에 나타낸 바와 같이 일체형 가로보를 이용한 임시교량은 차량하중이 복공판을 통해 가로보로 전달, 분산되어 거더로 이어지지만, 기존 임시교량은 복공판에 전달된 하중이 바로 거더에 전달된다. 이러한 하중전달구조와 구조재의 배치 형태를 고려하여 Fig. 10(a), (b)에 나타낸 바와 같이 하중재하위치 및 방법을 결정하였다.



(a) New Temporary Bridge System

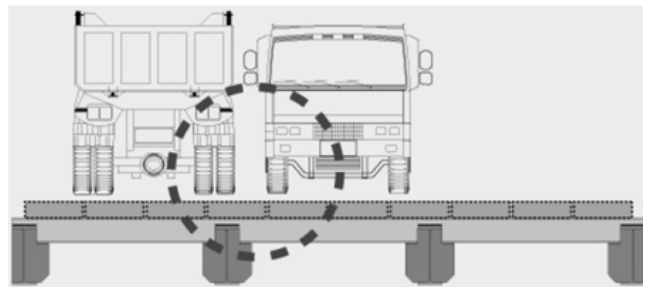


(b) Existing Temporary Bridge System

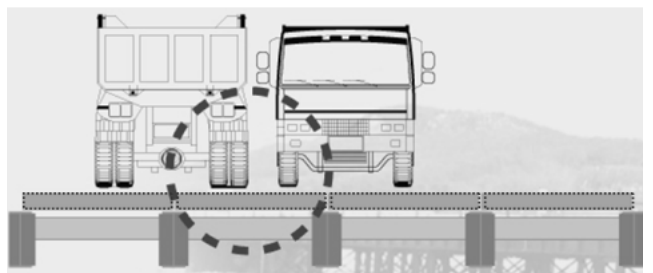


(c) Location for Strain Gage

Fig. 10 Experimental Scheme



(a) New Temporary Bridge System



(b) Existing Temporary Bridge System

Fig. 11 Truck Loading Direction on the Deck Panel

하중은 변위제어방식으로 2단계로 구분하여 재하하였다. 하중재하 첫 번째 단계(Case 1)에서는 설계하중인 DB-24 ($\approx 432\text{kN}$) 하중까지 재하하고, 제거하였다. 하중재하 두 번째 단계(Case 2)에서는 파괴시까지 하중을 지속적으로 재하하였다. 하중재하 1, 2단계의 하중재하속도는 각각 $2\text{mm}/\text{min}$, $5\text{mm}/\text{min}$ 이다. 임시교량 상부구조에 대한 구조적 거동평가 실험은 일체형 가로보를 이용한 임시교량과 기존 임시교량으로 구분하여 각각 Figs. 12, 13에 나타내었다.

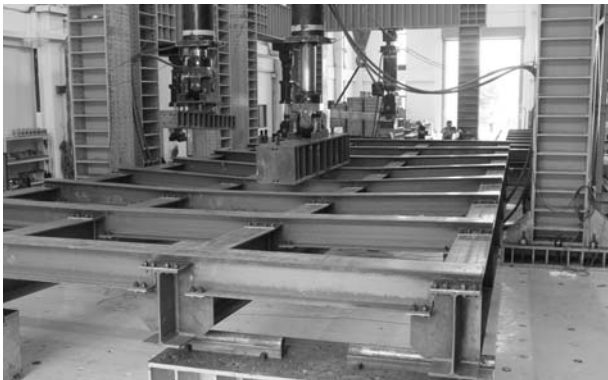


Fig. 12 Experiment on the Structural Behavior of New Temporary Bridge System

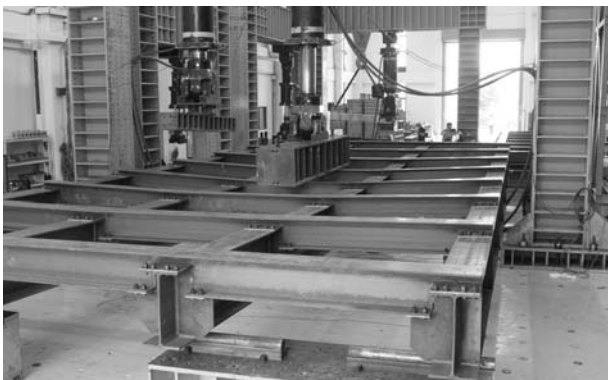
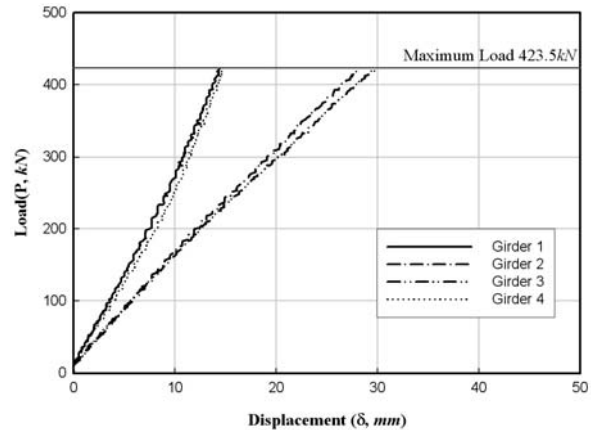


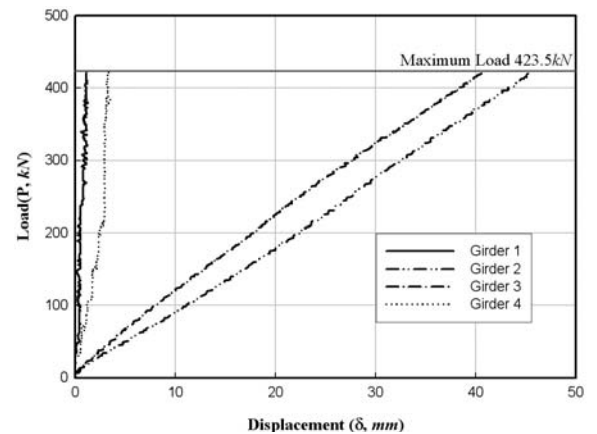
Fig. 13 Experiment on the Structural Behavior of Existing Temporary Bridge System

실험결과 각 하중단계 및 실험체에 대한 하중 변위 관계는 Figs. 14, 15에 나타내었다. Figs. 14, 15에서 각 거더에 발생한 변위는 거더 중앙부에 설치한 와이어변위계로부터 측정된 결과이다. Fig. 14의 Case 1 하중단계는 DB-24 하중까지 하중을 재하한 결과로서 하중 변위 관계가 모두 선형을 나타내고 있기 때문에 이 하중단계까지는 탄성거동을 한 것으로 예측된다. 그러나 일체형 가로보의 경우 하중이 직접 재하되는 내측거더 2, 3과 더불어 외측거더 3, 4에서도 변위가 비교적 크게 발생한 반면, 기존 임시교량의 경우 하중이 재하되지 않는 외측거더인 3, 4에서는 변위가 거의 발생하지 않았고, 하

중이 직접 재하되는 내측거더 1, 2에서만 과도한 변위가 발생하였다. 따라서, 일체형 가로보에 의해 하중이 외측거더로 더 크게 분배되는 것을 확인할 수 있다.



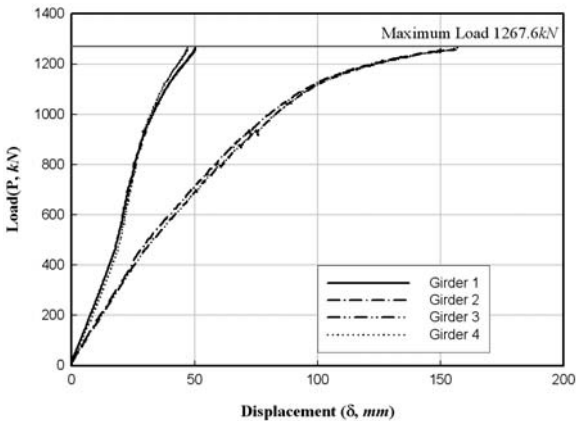
(a) New Temporary Bridge System



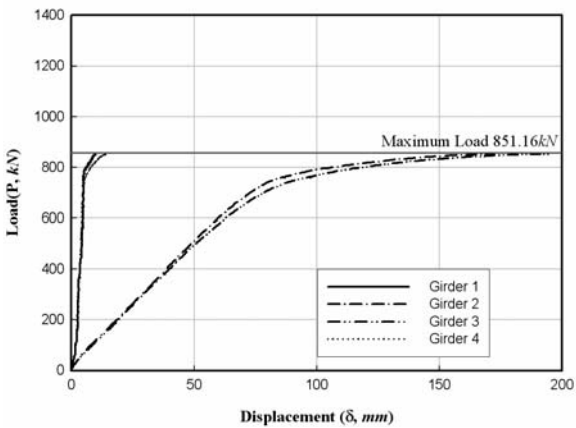
(b) Existing Temporary Bridge System

Fig. 14 Load and Displacement Relationship (Case 1)

또한, 하중단계 Case 2에서도 Fig. 14에 나타난 거동과 유사한 현상이 발생하였다. 즉, Fig. 15에서 기존 임시교량의 경우 실험체가 파괴될 때까지 하중이 직접 재하되지 않는 외측 거더 3, 4에서 발생한 변위는 매우 미소하여 하중에 대해 저항하지 못한 것으로 예측되고, 최대하중 근처에서는 하중 변위 곡선의 기울기가 "0"에 수렴하여 파괴에 이르는 것으로 나타나고 있다. 그러나 일체형 가로보를 이용한 임시교량은 모든 거더가 하중에 대해 일정한 변위를 발생시키고 있어 차량 하중으로부터 전달되는 하중이 거더 전체로 일정부분 전달되는 것으로 생각되며, 각 거더가 모두 하중에 대해 저항하는 것으로 판단된다. 즉, 일체형 가로보를 이용한 임시교량 상부 구조는 2방향 슬래브와 유사한 거동을 나타내고 있어 동일한 하중단계에서 하중전달능력이 우수한 것으로 평가되었다.



(a) New Temporary Bridge System



(b) Existing Temporary Bridge System

Fig. 15 Load and Displacement Relationship (Case 2)

5.2 유한요소해석

유한요소해석은 상용 구조해석프로그램인 MIDAS Civil 2009를 사용하였다. 유한요소해석 모델은 3D-프레임 요소를 사용하였으며, 구조거동평가 실험체와 동일한 치수로 Fig. 16에 나타낸 바와 같이 모델링하였다. Fig. 16에서 가로보의 거더가 연결되는 접합부는 실험적 연구결과로부터 기존 임시교량과 일체형 가로보를 이용한 임시교량에서 차이가 있는 것으로 확인되었다. 유한요소해석에서는 이러한 연결특성을 고려하여 가로보와 거더를 각각 프레임요소로 모델링하고 가로보 및 거더의 접합부는 실험결과로부터 결정한 회전강성을 도입하였다.

회전강성은 가로보 단부와 거더를 강접이 아닌 회전에 대해 탄성힌지로 가정하여 각각의 회전강성을 도입한 것이다. 즉, MIDAS에서 가로보 단부에 Beam End Release 기능을 사용하고, 회전강성을 일체형 가로보를 이용한 임시교량 및 기존 임시교량에 대해 각각 33,554.71 kNm/rad, 4,679.75 kNm/rad를 적용하였다. 경계조건은 Fig. 16에 나타낸 바와

같이 각 거더의 단부가 단순지지가 되도록 하였다. 하중은 Fig. 10에 나타낸 구조거동평가 실험과 유사하게 하중재하를 위해 Actuator에 부착된 프레임과 실험체가 만나는 부분에 Fig. 17과 같이 절점하중으로 재하하였으며, 각 임시교량의 하중전달구조를 고려하여 실험방법과 유사하게 재하하였다.

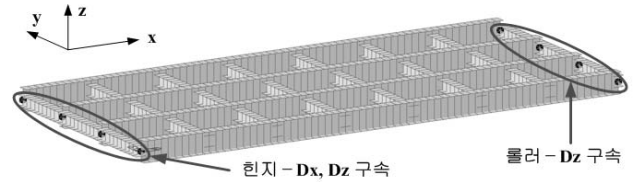
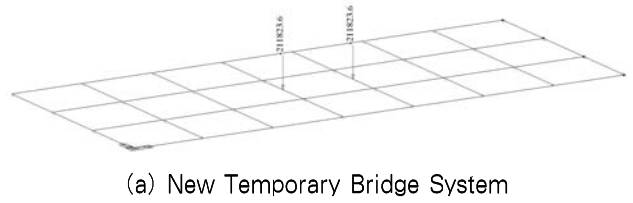
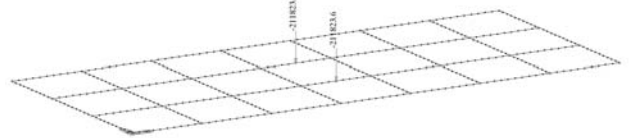


Fig. 16 Finite Element Model with Boundary Condition



(a) New Temporary Bridge System



(b) Existing Temporary Bridge System

Fig. 17 Loading Condition

5.3 결과 비교 및 분석

구조적 거동평가 실험의 변형률계이지로부터 측정된 응력 및 처짐과 유한요소해석결과에 의한 응력 및 처짐을 각 거더 별로 비교하여 Table 4에 정리하여 나타내었다. 또한, 각 거더의 활하중 횡분배율을 계산하여 횡분배 영향을 확인하였다. 활하중 횡분배율은 탄성구간내에서 해당되는 특정 거더에 발생하는 휨모멘트(또는 응력)를 각 거더에 발생하는 휨모멘트(또는 응력)의 합으로 나누어 계산하였다⁽⁹⁾. Table 4에서 하중이 직접 재하된 내측거더에 발생하는 구조적 현상은 외측거더에 비해 해석결과와 실험결과가 비교적 유사하게 나타나고 있다. 그러나 기존 임시교량에서 하중이 재하되지 않는 외측거더의 구조적 거동은 일체형 가로보를 이용한 임시교량에 비해 해석결과와 실험결과가 매우 큰 차이를 보이고 있다. 기존 임시교량의 경우 유한요소해석에서는 외측거더의 처짐은 가로보에 의해 전달되는 축방향력의 영향으로 발생하는 것으로 생각되며, 실험체 제작에서 발생하는 볼트의 유격 등을 고려하지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 실험에서

측정한 처짐이 매우 작아 실험에 의한 오차도 포함하고 있는 것으로 생각된다. 그러나 일체형 가로보를 이용한 임시교량의 경우 가로보의 휨강성에 의해 하중이 외측거더로 전달되어 유한요소해석 결과와 비교적 유사한 결과를 나타낸다.

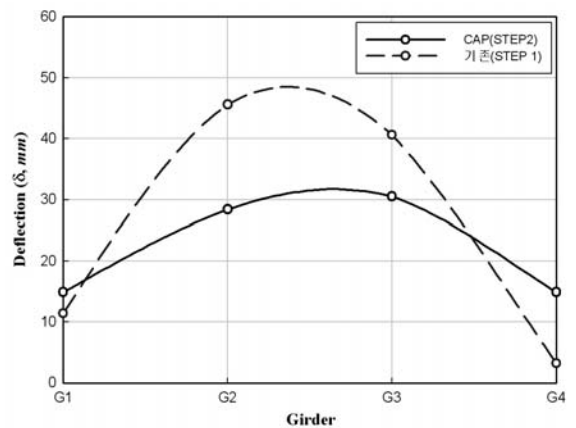
Table 4. Comparison of Experimental Result (Case 1)

		New Temporary Bridge System			Existing Temporary Bridge System		
		Exp. ①	FEM ②	②/①	Exp. ①	FEM ②	②/①
Girder 1	Stress (MPa)	48.3	59.4	1.23	11.4	45.9	4.03
	Disp. (mm)	14.9	19.8	1.33	1.1	15.2	13.8
	Ratio of Lateral Load Distribution	0.154	0.188	1.22	0.035	0.124	3.58
Girder 2	Stress (MPa)	104.5	99	0.95	163.7	138.8	0.85
	Disp. (mm)	28.4	28.7	1.01	45.6	35	0.77
	Ratio of Lateral Load Distribution	0.332	0.313	0.94	0.498	0.376	0.75
Girder 3	Stress (MPa)	111.8	99	0.89	138.2	138.8	1.00
	Disp. (mm)	30.5	28.7	0.94	40.6	35	0.86
	Ratio of Lateral Load Distribution	0.356	0.313	0.88	0.420	0.376	0.89
Girder 4	Stress (MPa)	49.7	59.3	1.19	15.6	45.9	2.94
	Disp. (mm)	14.9	19.8	1.33	3.2	15.2	4.75
	Ratio of Lateral Load Distribution	0.158	0.187	1.18	0.047	0.124	2.62

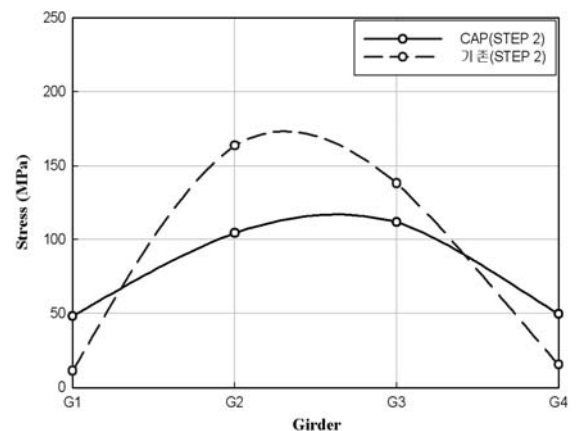
Table 4의 실험결과로부터, 하중이 직접 재하되지 않는 외측거더로 전달되는 하중분배 효과는 횡분배율로 판단하면, 일체형 가로보를 이용한 임시교량이 약 3.8배 이상 큰 것으로 확인되었으며, 처짐은 약 13배 이상 감소되는 것으로 확인되었다. 따라서, 교축 직각방향에 대한 일체형 가로보의 하중분배 효과를 확인할 수 있다. Table 4의 실험결과로부터 각 거더에 발생하는 최대 응력과 처짐을 비교하여 Fig. 18에 나타

내었다. Fig. 18에서 각 거더에 발생하는 최대 응력 및 처짐은 일체형 가로보를 이용한 임시교량에서 비교적 작게 발생하는 것을 알 수 있다. 따라서, 일체형 가로보를 이용한 임시교량은 상부구조의 효율적 개선으로 거더에 발생하는 응력을 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 처짐을 감소시켜 장경간 임시교량 적용할 경우 유리할 것으로 판단된다.

하중단계 Case 2 실험은 각 임시교량 실험체가 파괴될 때까지 하중을 재하한 실험으로 일체형 가로보를 이용한 임시교량 시편의 최대하중은 1,267.6kN이며, 기존 임시교량 시편의 최대하중은 851.16kN으로 나타났다. 따라서, 일체형 가로보를 이용한 임시교량은 기존 임시교량에 비해 극한상태에서 하중전달능력이 약 48.9% 향상되는 것으로 조사되었다. 또한, 최대 변위는 각각 156.8mm, 195.9mm로써 20.0% 감소하였다. 따라서, 상부구조 구조부재의 효율적 개선으로 하중이 재하되는 부근의 거더에 응력을 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 강성 증가에도 유리한 것으로 확인되어 장경간 임시교량으로 적용할 경우 효율적일 것으로 판단된다.



(a) Maximum Displacement at Each Girder



(b) Maximum Stress at Each Girder

Fig. 18 Maximum Displacement and Stress at Each Girder (Case 1)

Table 5. Comparison of Experimental Result (Case 2)

	New Temporary Bridge System		Existing Temporary Bridge System	
	Load (kN)	Disp. (mm)	Load (kN)	Disp. (mm)
Girder 1	1,267.6	50.2	851.16	9.7
Girder 2		155.5		172.4
Girder 3		156.8		195.9
Girder 4		46.9		14.3

5. 결론

기존 임시교량의 가로보는 대부분 거더의 횡-비틀림좌굴을 방지하고 시공의 효율성을 확보하기 위해 설치하고 있으며, 이 가로보는 거더 복부에 설치되는 수직보강재와 볼트로 연결하는 방법을 사용하고 있다. 또한, 중력방향 하중에 대한 저항성능은 매우 작은 것으로 평가되고 있다. 그러나 가로보의 휨강성을 통해 하중이 직접 재하되지 않는 측면 거더로 하중을 분산할 수 있도록 구성한 임시교량이 최근 개발된 바 있다. 이 연구는 새롭게 개발된 임시교량에 대한 구조적 거동 및 하중전달능력을 실험 및 구조해석 등을 통해 조사, 분석하였다. 일체형 가로보는 거더와 연결하기 위해 가로보 단면 일부를 절단하여 제작하고, 절단된 단면에 대한 하중전달능력을 보완하기 위해 가로보 하부플랜지를 거더의 수직보강재와 연결하는 방법을 사용하고 있다. 이 연결부의 회전강성은 볼트만으로 연결한 기존 방식에 비해 약 7.2배 큰 것으로 확인되었고, 일체형 가로보를 통한 하중분배 효과는 기존 방법에 비해 약 3.8배 이상 큰 것으로 확인되었다. 또한, 극한상태에서 하중전달능력은 약 48% 이상 향상되었고, 발생하는 변위로 판단하면 휨강성은 약 20% 증가하는 것으로 나타났다. 즉, 기존 임시교량과는 달리 일체형 가로보를 사용함으로써 상부구조를 2방향 슬래브와 유사한 구조적 거동을 유도하여 거더에 발생하는 최대휨응력을 감소시키고 동시에 강성증가에도 효과가 있는 것으로 조사되었다. 따라서, 일체형 가로보를 이용한 임시교량은 동일한 경간에 적용할 경우 기존 임시교량에 비해 발생하는 응력을 감소시킬 수 있어 단면의 감소가 가능하고, 동일한 단면의 사용시 경간의 증가가 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 한라건설(주), (주)네오브릿지, (주)동명기술공단 건축사사무소의 "CAP 장지간 가설교량 공법에 대한 구조적

거동평가 연구"의 연구비 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고 문헌(References)

- [1] 이강연, 최훈, 김의태, 이동혁, 윤순중(2011) 일체형 가로보를 이용한 가설교량의 구조적 거동, 2011년도 대한 토목학회 정기학술대회 논문집, 대한토목학회, pp.1072-1075. Lee, K.Y., Choi, H., Kim, E.T., Lee, D.H., and Yoon, S.J. (2011) Structural Behavior of Temporary Bridge Using Continuous Cross Beam, *Proceedings of Korean Society of Civil Engineers Conference*, KSCE, pp.1072-1075 (in Korean).
- [2] 이강연, 이영근, 주형중, 윤순중(2012) 일체형 가로보를 이용한 가설교량에 대한 실험적 연구, 2012년도 한국강구조학회 학술대회 발표집, 한국강구조학회, pp.35-36. Lee, K.Y., Lee, Y.G., Joo, H.J., and Yoon, S.J. (2012) An Experimentsl Investigation on the Temporary Bridge System Using Continuous Cross Beam, *Proceedings of Annual Conference of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, pp.35-36 (in Korean).
- [3] 황일훈(2007) Tall-Beam 가설교량의 구조거동에 관한 연구, 석사학위논문, 충주대학교. Hwang, I.H. (2007) A Study on the Structural Behavior of Tall-Beam Temporary Bridge, *Master Thesis*, University of Chungju, Korea (in Korean).
- [4] 강창구(2010) H-형강에 고강도 강판을 용접부착한 가설교량용 프리스트레스 거더 제작 기술, 한국강구조학회지, 한국강구조학회, 제22권, 제3호, pp.27-31. Kang, C.K. (2010) High Prestressed Plate Girder, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 22, No. 3, pp.27-31 (in Korean).
- [5] 장지훈, 이승재, 이상우, 김준환(2010) 다단계 온도프리스트레싱공법을 적용한 Heat 가설교량, 한국강구조학회지, 한국강구조학회, 제22권, 제3호, pp.9-14. Jang, J.H., Lee, S.J., Lee, S.W., and Kim, J.H.(2010) HEAT Temporary Bridge Using Multi-Stepwise Thermal Prestressing Method, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 22, No. 3, pp.9-14 (in Korean).
- [6] ANSI (1995) *Short Span Steep Bridge*, American Iron and Steel Institute.
- [7] 윤동용, 은성운(2006) 압연형강(H형강) 거더교의 가로보가 활하중 횡분배에 미치는 영향, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제18권, 제5호, pp.535-541. Yoon, D.Y. and Eun, S.W. (2006) Effect of Cross

- Beams on Live Load Distribution in Rolled H-Beam Bridge, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 18, No. 5, pp.535-541 (in Korean).
- [8] 윤순중(2012) CAP 장지간 가설교량 공법에 대한 구조적 거동평가 연구, 연구보고서, 홍익대학교 부설 과학기술연구소.
Yoon, S.J. (2012) A Study of Evaluation on the Structural Behavior of CAP Long Span Temporary Bridge, *Research Report*, Hongik University, Research Institute of Science and Technology, Korea (in Korean).
- [9] 강덕만(2001) 외부 후긴장 보강 공법의 적용에 따른 합성형교 횡분배 거동에 대한 연구, 석사학위논문, 서울산업대학교.
Kang, D.M. (2001) A study on the transverse distribution behavior of composite girder bridge in the applying the external post-prestressing method, *Master Thesis*, Seoul National University of Technology, Korea (in Korean).

요 약 : 기존 임시교량은 대부분 거더의 횡-비틀림좌굴을 방지하고 시공의 효율성을 확보하기 위해 가로보를 설치하고 있다. 이 가로보는 볼트로 연결되며, 중력방향 하중에 대한 저항성능이 매우 작은 것으로 평가되고 있다. 그러나 최근 일체화된 가로보를 사용함으로써 가로보를 하중저항요소로 이용한 임시교량이 최근 개발된 바 있다. 이 연구는 새롭게 개발된 임시교량에 대한 구조적 거동 및 하중전달능력을 실험 및 구조해석 등을 통해 조사, 분석하였다. 일체로 연속된 가로보를 이용한 임시교량은 가로보의 휨강성을 통해 하중을 인접거더로 분산하여 거더에 발생하는 최대휨응력을 감소시키고, 거더의 휨강성을 증대시키는 것으로 확인되어 장경간 임시교량에서도 유리할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 임시교량, 일체형 가로보, 하중전달능력, 횡분배, 구조적 거동
