

복공판과 주형을 일체화한 가설교량에 대한 합성효과 검토 사례연구

윤우현[†] · 정지승^{*} · 이종순^{**} · 윤용석^{***} · 양성돈^{****}

가천대학교 토목환경공학과, ^{*}동양대학교 철도토목학과, ^{**}(주)교량과고속철도 부설연구소,
^{***}(주)다음기술단, ^{****}(주)포스코건설 토목기술그룹
(2011. 9. 15. 접수 / 2012. 3. 8. 채택)

A Case study on Effect of Compositeness for Temporary Bridge Integrated Lining Board and Girder

Woo-Hyun Yoon[†] · Jee-Seung Chung^{*} · Jong-Soon Lee^{**} · Yong-Seok Yoon^{***} · Sung-Don Yang^{****}

Department of Civil and Environmental Engineering, Gachon University

^{*}Department of Railroad Civil Engineering, Dongyang University

^{**}R&D Group, Bridges & Rails Engineering Consultants

^{***}Daum Engineering Co. Ltd.

^{****}Civil Engineering Group, POSCO Engineering & Construction Co., Ltd.

(Received September 15, 2011 / Accepted March 8, 2011)

Abstract : In this study, it has been proposed the new type of temporary bridge which is structural performance maximization to integrated cover plate and girder as well as roll of lining board. Of all temporary bridge integrated cover plate and main girder in the form of a new type of structure is advantageous for the judge, but to the field of transport difficulties and challenges due to high altitude operations to take advantage of this challenge and deliver a structured, easy transport, and the synthesis of lining board possible was proposed. Lining board proposed in this study through experimental synthesis and analysis of the factors that influence the effectiveness of the construction and economic development in the construction method was superior, compared to the conventional lining board.

Key Words : temporary bridge, integrated, lining board and main girder, effect of connection, bolts

1. 서론

현대사회는 인구의 증가와 산업의 발달로 인하여 교통량 및 물동량이 증가하고 있으며, 이에 새로운 도로의 개설 및 확장공사가 급격히 증가하고 있다. 하지만 최근 국내에서 여름철 장마와 수해 및 홍수 등으로 인한 도로의 유실, 교량 파손 등의 문제점이 야기되고 있으며, 특히 교량과 같은 구조물의 복구 지연은 사회적 직, 간접 손실과 직결되는 주요한 요인이다. 일반적으로 가설교량은 자연재해로 인한 교량 또는 도로 파손시 신속한 복구공사를 위한 장비의 운반로 확보 및 차량 또는 보행자들의 통행로 확보를 목적으로 주형과 복공판을 이용하여 한시적 이용을 목적으로 건설되는데, 재래식 가설교량은 주형

과 복공판이 비합성 단면으로서 지간 거리가 짧아 많은 교각 설치로 공사비 증대, 그 형상이 복잡하여 시공성 저하 및 장마철 빠른 유속에 의해 전도의 위험성 등의 문제점이 있다. 이러한 문제점을 극복하고자 최근 국내에서는 장시간 가설교량을 만들기 위해서 주로 강봉이나 강선을 활용한 프리스트레스 시공법이 주로 사용되고 있다¹⁾. 프리스트레스 시공법은 재래식 가설교량에 비하여 장시간 가설교량이 가능해진다. 그러나 가설교량의 주형에 프리스트레싱을 도입하는 것은 하중에 대한 주형의 하중저항 성능이나 작용응력을 저감시킬 수 있을 뿐, 주형의 단면강성의 증가효과는 없으므로 처짐이나 시공 효율성은 떨어지는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 복공판과 주형을 합성화하고자 하는 연구는 최근에 시도되고 있다²⁾.

본 연구에서는 단지 차량하중을 주형으로 전달해주는 역할만 하고, 구조적 성능없이 고정하중으

[†] To whom correspondence should be addressed.
uu5000@gachon.ac.kr

로만 작용하는 복공판을 주형과 합성화 방안 및 재래식 가설교량과의 구조적 성능을 비교하고자 한다. 또한, 합성화 방안으로 가교의 특성상 해체가 용이한 볼트를 사용하였으며, 합성효과를 평가하기 위해 볼트 간격과 직경을 변화시킨 다양한 경우에 대해 실험을 실시하였고, 이를 완전합성으로 가정한 수치해석값과 비교하여 제안한 방안에 대해 합성효과를 평가하였다.

2. 기존 가설교량의 문제점

재래식 가설교량 설치도를 Fig. 1에 나타내었으며, 가설교량의 하중전달 메커니즘을 Fig. 2에 나타내었다. 일반적인 가설교량은 교각(가설벤트) 주형, 복공판으로 이루어지며 복공판은 차량의 통행방향과 직교 되도록 설치된다. 차량 또는 보행자에 의한 하중이 전달되는 메커니즘을 분석해보면 차량하중이 복공판에 우선 전달되고 복공판에 전달된 하중은 주형을 통하여 교각으로 전달되게 된다. 이때 복공판은 주형의 상부면에 거치 되어 있어 하중을 전달하기만 하며, 주형과 복공판이 일체로 합성되어 차량하중

등의 외부하중에 저항하지 못하며 오히려 복공판의 자중으로 인하여 주형과 교각에 부담만 주는 측면이 있다. 이러한 특성 때문에 재래식 가설교량은 구조적으로 매우 비효율적이며 장경간으로 시공하는데 어려움이 있다.

국내의 가설교량 가설공법의 경우, 강선의 외부간장방식을 응용 및 도입한 가설 공법이 주된 기술 개발내용으로써, DHB(우경건설), ATOM공법(스틸코리아), B.T.B공법(GL건설)등은 신속한 시공보다는 주형 간격의 장지간화를 목표로 각 업체별로 개발된 공법을 적용하고 있다. 현재 실용화되어 사용되고 있는 가설교량공법은 우경건설의 장지간 가설교량(Double H-beam 공법, 특허 449231호), 스틸코리아의 장지간 가설교량(ATOM 공법, 신기술 304호), 리트브리지의 장지간 가설교량(사장가설교량 공법, 특허 0512663호), 휴먼 브리지의 장지간 가설교량(HIPP 공법, 특허 0473454호), 케이알의 장지간 가설교량(TRIAS 공법, 특허 0223442호), 지엔건설의 장지간 가설교량(BTB 공법, 특허 0569028호)가 있다. 이 공법들 주로 강봉이나 강선을 활용한 프리스트레스 시공법이 주로 사용되고 있으며, 프리스트레스 시공법은 대략 30 m-35 m 정도의 장지간 가설교량이 가능하나 가설교량의 주형에 프리스트레스를 도입하는 것은 하중에 대한 주형의 하중저항 성능이나 작용응력을 저감시킬 수 있을 뿐, 주형의 단면강성의 증가 효과는 없으므로 처짐이나 시공 효율성은 떨어지는 문제점이 있다. 또, PS강봉으로 프리스트레스를 주어 장지간 주형을 생산하는 공법은 정착구 설치 및 긴장작업 등으로 시공성에서 불리하며, 정착구가 주형외부에 설치되어 차량 및 온도하중 등에 의한 피로응력에 의해 강봉이 절단되는 사례도 발생한 사례가 있으며, 폭서기에 강봉의 이완으로 도입된 프리스트레스력의 현격한 감소가 나타나는 등의 단점이 있다. 태양의 직사위치에 따른 온도에 의한 내측주형과 외측주형의 프리스트레스 격차 등의 문제점이 발생하기도 한다. 트러스 형태로 신속복구를 목표로 개발된 TRIAS공법의 경우 트러스의 단면이 커지기 때문에 시공 효율성이 떨어지는 문제가 있으며, 형고가 높아 시공지역에 따른 제약이 많고 도로 및 철도 횡단시 형하공간을 확보하기가 불리하다. 반면, 외국 특허공법으로 트러스형의 가설교량이 사용되고 있으나 전술한 바와 같이 시공 효율성 및 형하공간 등의 문제가 있다. 따라서, 본 연구에서는 가설교량에 사용할 부재를 조립식 교량부재 형태로 공장에서 미리 생산, 제작

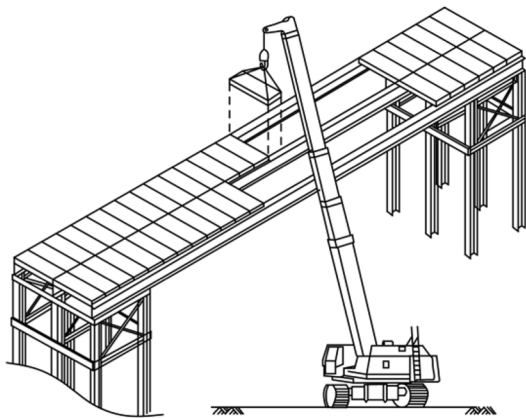


Fig. 1. Installation of conventional temporary bridge.

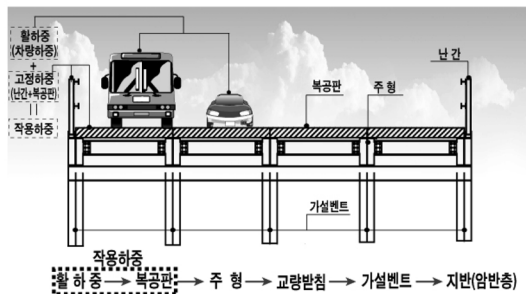


Fig. 2. Construction bridge load transfer mechanism.

되어 현장에서는 간단한 조립만으로 가설이 가능하고 해체시에도 신속하게 해체할 수 있는 형식, 가설교량의 지간을 장경간화하여 가능한 수위상승을 제한하며 가설벤트 설치 최소화로 하부공사비도 최소화하는 가설교량 형식, 기존의 복공판이 차량하중을 단순 전달하는 형식으로 구조적으로도 불리하여 강재량도 증가되므로 복공판과 주형을 합성화하여 강재량을 감소하여 경제성에서 유리한 형식을 검토하고자 한다.

3. 합성형 가설교량의 설치 및 제작방법

상기와 같은 문제점을 해결하고자 다음과 같이 복공판과 주형이 합성 방안을 제안한다. 합성방안에 대해 Fig. 3에 나타내었고, 제작순서를 Fig. 4에 나

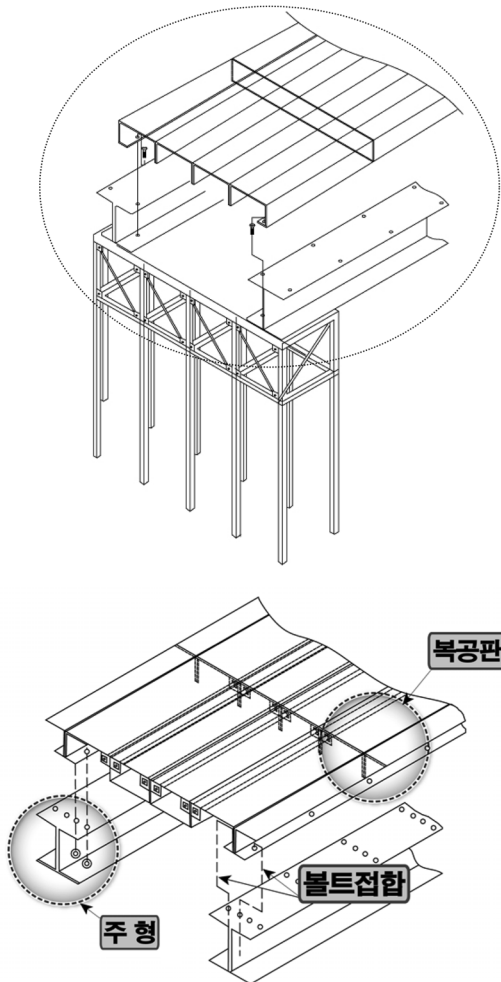
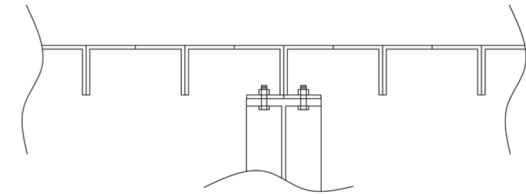
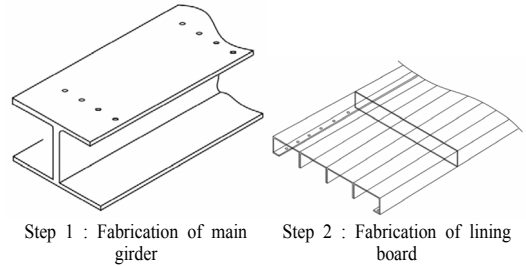


Fig. 3. Installation of composited temporary bridge.



Step 3 : Composition of main girder and lining board
Fig. 4. Fabrication sequence of composited temporary bridge.

타내었다. 합성형 가설교량은 주형(H-형강)과 주형의 상부에 거치 되어 차량의 주행면을 제공하는 복공판(Γ-형강)이 볼트로 합성되어 일체구조로 거동하며 복공판의 양단부는 주형과 합성을 위한 하부 플랜지를 포함하는 강재로 이루어져 있고, 그 각각의 하부플랜지는 서로 인접한 한 쌍의 주형의 상부플랜지에 볼트에 의해 각각 분리 가능하게 결합하여 있는 가설교량이다.

4. 합성형 가설교량의 구조검토 예

4.1. 대상 구조물의 일반사항

Fig. 5와 Fig. 6은 구조검토 대상 구조물로서 교량제원은 총연장 30m, 폭 8m의 교량이며 재래식

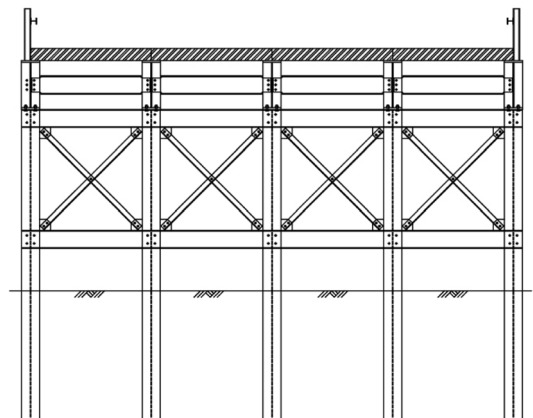


Fig. 5. Cross-section of conventional temporary bridge.

Table 1. Specification of steel

Description		Used Steel(mm)	E(MPa)	A(cm ²)	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)
Conventional temporary bridge	Girder	H-808×302×16×30	210,000	307.6	339,000.0	13,800.0
	Lower column of Cross-beam	H-300×300×10×15		119.8	20,400.0	6,750.0
	Bracing	L-90×90×10×10		17.0	125.0	125.0
	Lining Board	일반복공판(Channel형)		w= 750mm, L=1,990mm, H=200mm		
Composited temporary bridge	Girder	H-808×302×16×30	210,000	307.6	339,000.0	13,800.0
	Lower column of Cross-beam	H-300×300×10×15		119.8	20,400.0	6,750.0
	Bracing	L-90×90×10×10		17.0	125.0	125.0
	Lining Board	Γ-200×200×15		57.8	2,180.0	2,180.0

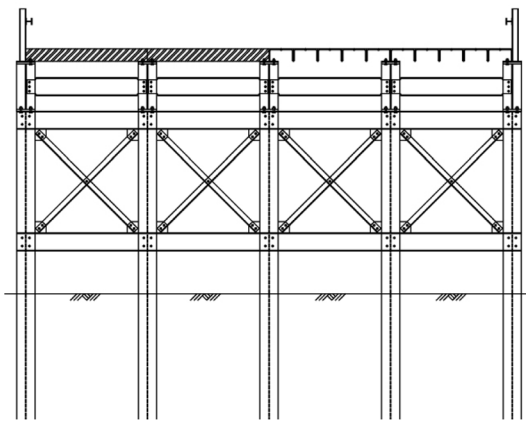


Fig. 6. Cross-section of composited temporary bridge.

가설교량과 합성형 가설교량의 사용강재는 주형, 복공판 모두 SM490을 사용하였다. 재래식 가설교량은 차량 통행을 위해 복공판을 거치만 시켜놓은 형식으로 주형과 비합성이며, 합성형 가설교량은 복공판과 주형이 합성된 형식이며 구조검토를 위한 강재 제원은 Table 1에 정리하였다.

4.2. 모델링 및 구조해석 결과

합성형 가설교량은 구조적으로 강상판교의 특성을 지니고 있다. 본 연구에서는 조효남외³⁾가 제안한 주형과 상판을 분리 해석하는 해석법을 적용하였으며 Table 2에 주형의 단면력을 집계하였다. Fig. 7, 8에 활하중 편측재하시 주형의 활하중 처짐을 나타내었다. 주형단면력에 의한 응력의 판정기준은 도로교설계기준⁴⁾을 적용하였다. 결과에서와 같이 복공판과 주형을 합성화할 경우가 구조적 성능이 우수한 것으로 나타내었다. 그러나 실제 복공판과 주형이 모델링과 같이 강절로 연결될지에 대해서는 신뢰할 수 없으므로 실험을 통해 입증하고자 한다.

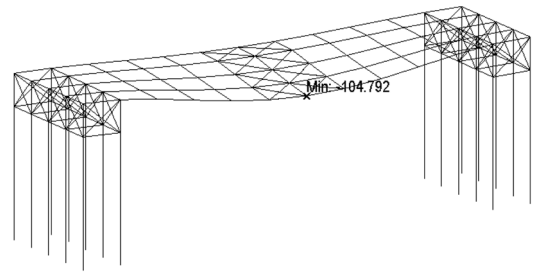


Fig. 7. Deflection of conventional temporary bridge for live load.

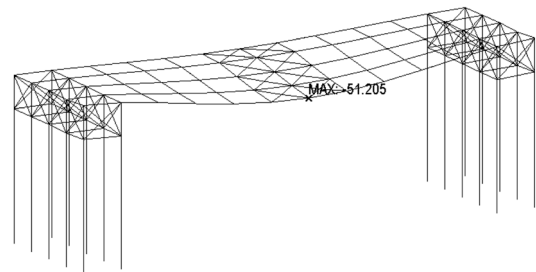


Fig. 8. Deflection of composited temporary bridge for live load.

4.3. 복공판 구조성능 검토

본 연구에서는 복공판의 바닥판 및 바닥틀의 안전성을 검토하기 위하여 Fig. 9와 같이 모델링 하였으며, 적용하중으로는 DB-24의 뒷바퀴 축하중에 충격을 고려하여 윗하중 재하폭을 고려하여 면하중으로 재하 하였다. Fig. 10은 해석결과를 나타낸 응력도이다. 이때 발생된 단면력은 허용응력(190MPa) 이내로 나타났으며 강상판은 구조적으로 안전하다고 판단된다.

5. 합성 복공판에 대한 실험적 검증

합성 복공판에 대한 합성효과를 검증하기 위해 합성 복공판의 수치해석과 볼트를 이용한 주형과 복

Table 2. Results of Girder analysis

Load Case	Conventional temporary bridge						Composited temporary bridge				
	Bending stress (MPa)				Shear stress (MPa)	Bending stress (MPa)				Shear stress (MPa)	
	Center		Support			Center		Support			
	Top	Bottom	Top	Bottom	Support	Top	Bottom	Top	Bottom	Support	
1 Selfweight	15.7	-15.7	-20.9	20.9	5.7	6.5	-20.6	-14.4	14.4	7.5	
2 Guardrail+ Lining board	1.3	-1.3	-1.69	1.69	0.5	0.02	-0.05	-0.4	1.2	0.03	
3 Live load	245.6	-245.6	-224.1	224.1	70.9	46.2	-146.1	-53.7	169.8	68.2	
Combined stress	262.6	-262.6	-246.7	246.7	77.1	52.7	-166.8	-58.7	185.4	75.2	
Allowable stress (SM490)	190.0		190.0		110.0	190.0		190.0		110.0	
Result	NG!	NG!	NG!	NG!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	
Deflection	-104.792 mm						-51.205 mm				

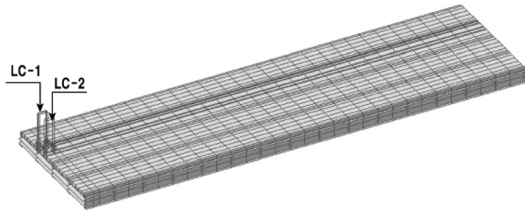


Fig. 9. Model of Structural analysis.

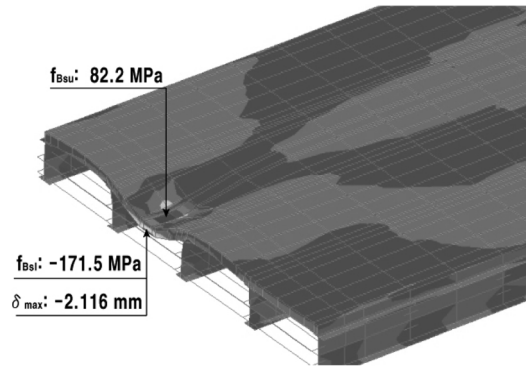


Fig. 10. Structural analysis result of lining board.

공판 체결 후 합성효과 실험을 수행하였으며, 볼트의 간격 및 직경을 변화시켜 주형과 복공판의 합성효과에 대해 고찰하였다. 본 연구에서는 주형과 복공판의 합성효과를 식(1)과 같이 제안하였다. 합성계산에 의한 처짐값은 주형과 복공판을 강절로 모델링하여 산정한 값을 의미하며, 비합성계산에 의한 처짐값은 주형과 복공판을 활절로 모델링하여 계산한 값을 의미한다. 실험에 의한 처짐값이 합성계산에 의한 처짐값에 근접할수록 합성효과는 1에 가까워지고, 실험에 의한 처짐값이 비합성계산에 의한 처짐값에 근접할수록 합성효과는 0에 근접하여 복공판과 주형의 합성정도를 평가할 수 있도록 하였다.

$$\text{합성효과(C.F)} = \frac{\text{처짐비합성계산값} - \text{처짐실험값}}{\text{처짐비합성계산값} - \text{처짐합성계산값}} \quad (1)$$

복공판과 주형의 형상은 합성이 용이하면서 복공판의 역할을 수행할 수 있는 대상의 단면형상 및

제원은 Fig. 11에 나타내었다.

5.1. 합성 복공판의 수치해석

구조해석은 Beam을 이용하여 모델링을 하였으며 하중재하는 Dummy부재를 이용하여 집중하중으로 적용하였다. 비합성 및 합성을 고려한 수치해석 모델링과 해석결과는 Fig. 12와 같다.

해석결과에서 알 수 있듯이 복공판과 주형이 합성되었을 경우 처짐은 39.5%로 감소하고, 주형하부의 응력측면에서도 62.3%로 감소하는 것을 알 수 있었다.

5.2. 합성 복공판의 실험적 검증

주형과 복공판을 합성하기 위해서는 두 부재간 일체화가 필요하며, 두 부재의 일체화를 위해서는 용접과 볼트가 사용되는데, 가교의 특성상 해체가 용이하여야 하므로 본 연구과제에서는 볼트 연결을 실시하였다. 가교를 실용화하기 위해서는 합성

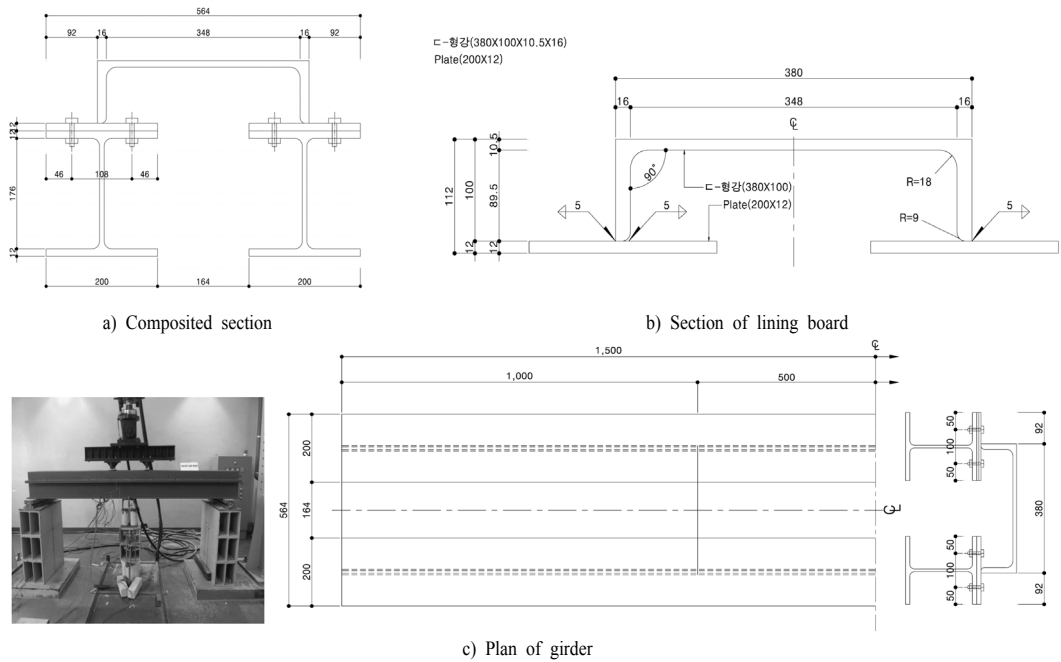


Fig. 11. Specification and shape for specimens.

Description	Non-Compositeness	Compositeness
Modelling		
Result of Analysis (Moment diagram)		
Deflection(mm)	6.40	2.53
Strain($\times 10^{-6}$)	827.28	515.73

Fig. 12. Results of numerical analysis.

이 가능한 볼트의 최소 개수(최대 간격)에 대해 실험을 통해 추정하고자 하였고, 볼트의 직경이 합성에 미치는 영향에 대해서도 실험을 통해 검토하고자 하였다. 또한, 복공판과 복공판의 연결을 위해 강봉을 적용할 경우 강봉의 사용이 복공판간의 일체화에 효과적인 방법인지에 대해서도 실험을 통해 추정하고자 하였다. 다음 Table 3은 본 실험

에서 고려한 실험수행 Case를 정리하였다.

(1) Case 1 (볼트 D10)

Case 1의 경우 체결볼트 간격 변화에 대한 합성효과를 고찰하였다. 체결볼트 간격에 대한 처짐과 합성효과를 Table 4에 정리하였다.

Table 4의 결과에서 알 수 있듯이 체결볼트 간

Table 3. Cases of experiment analysis

Type	Diameter of bolt	Space of bolt (a/L)	Connection of steel bar	Remarks
Case 1-1	D10	0.1	No	
Case 1-2	D10	0.2	No	
Case 1-3	D10	0.3	No	
Case 1-4	D10	0.5	No	
Case 1-5	D10	-	No	비합성
Case 2-1	D10	0.1	Yes	
Case 2-2	D10	0.1	No	
Case 3-1	D22	0.1	No	
Case 3-2	D22	0.1	No	용접추가

Table 4. Displacement for space of bolt

Type	Space of bolt (a/L)	Experiment result(mm)	Numerical result(mm)		Compositeness Effect
			Composition	Non-Composition	
Case 1-1	0.1	5.70	2.53	6.40	0.18
Case 1-2	0.2	5.62			0.20
Case 1-3	0.3	5.59			0.21
Case 1-4	0.5	6.05			0.09
Case 1-5	비합성	6.50			-
Case 2-1	0.1	6.43	2.53	6.40	-
Case 2-2	0.1	6.35			0.01
Case 3-1	0.1	3.29			0.80
Case 3-2	0.1 + 용접	3.76	2.53	6.40	0.69

격이 a/L=0.1, 0.2, 0.3이 Case1-1, 1-2, 1-3의 경우가 합성효과 0.18 - 0.21로 동일한 합성효과를 나타내었고, 체결볼트 간격이 a/L=0.5인 Case1-4의 경우는 합성효과가 0.09로 상대적으로 작은 합성효과를 나타내었다. 따라서 볼트간격은 a/L을 0.3까지 적용하여도 a/L이 0.1, 0.2 인 경우와 동일한 효과를 나타낼 수 있다. 복공판과 주형을 비합성시킨 Case 1-5의 경우 계산값과 유사한 처짐값을 나타내고 있어 전반적으로 계산에 의한 값과 실험값은 유사함을 알 수 있다. 따라서 Case 1-1~1-4의 경우 실험에 오차가 있는 것이 아니라 합성효과를 발생하지 않은 것으로 판단되며, 이는 볼트직경(D10)이 작아 주형과 복공판의 완벽한 일체화가 되지 않은 것이라 판단되며, 또한 볼트는 직경이 D10인 볼트를 사용하여도 볼트구멍(Hole)은 12 mm로 제작하여 상대적인 이격이 발생한 것도 합성효과가 부족한 원인이라 판단된다.

(2) Case 2 (볼트 D10 + 강봉)

Table 4의 결과에서 알 수 있듯이 강봉의 유·무와 상관없이 Case 2-1, 2-2의 합성효과는 없는 것

으로 나타났으며, 분절없이 사용한 Case 1-1의 합성효과가 0.18인 것을 고려할 경우 복공판을 분절할 경우 합성효과는 감소함을 알 수 있었다. 이는 D10을 적용하여 합성효과가 적은 상태에 분리된 복공판간에 미소한 유격으로 인해 적은 합성효과마저도 발휘하지 못한 것으로 판단된다. 이는 향후 실용화하여 현장에서 적용할 경우 복공판을 분절없이 이동하기에는 불가하므로, 복공판을 분절하여 사용할 경우 복공판간 이격이 발생되지 않는 형상을 제작하거나, 설계시 이러한 유격을 고려하여 설계하여야 할 것으로 판단된다.

(3) Case 3 (볼트 D22)

Case 1의 경우 볼트의 체결력이 부족하여 합성효과가 부족한 것으로 판단되어, 이를 검증하기 위해서 Case 3에서는 볼트 직경을 D22로 변경하여, Case 1 경우에서 볼트간격(a/L=0.1)에 해당되는 Case 1-1의 체결볼트 간격조건과 동일하게 하여 실험을 실시하였다. 또한 Case1-1조건에 추가로 복공판과 주형을 용접하여 일체화한 경우에 대해서도 실험을 실시하였던 결과 합성효과는 Case 3-1이 0.80로 Case 1-1의 합성효과 0.18에 비해 합성효과가 우수한 것으로 판단되었다. 특히 용접을 추가로 실시한 Case 3-2와 비교할 경우, Case 3-2의 합성효과가 0.69로 Case 3-1의 합성효과 0.80보다 다소 작은 값을 나타내었으나, 실험오차 등을 고려할 경우 유사한 값을 나타낸 것으로 판단된다. 즉, 볼트직경이 충분할 경우 볼트만으로도 복공판과 주형은 합성될 것이라 판단된다. 그럼에도 불구하고 실험값의 처짐이 계산값보다 크게 발생하는 것, 즉 합성효과가 1.0이 되지 않는 것은 볼트에 의한 합성이 이루어지지 않은 것이 아니라, 체결 볼트에 유격이 있어 초기에 충분한 합성효과를 발휘하지 못하는 것이라 판단된다. 이는 초기에 볼트를 체결하더라도 볼트의 유격에 의해 볼트유격이 채워질 때까지 이동하는 것으로 판단되며, 향후 가교의 실용화를 위해서는 이러한 볼트유격을 고려하여 설계하거나, 볼트의 유격이동을 방지하는 방안을 모색하여야 할 것으로 판단된다.

6. 결론

본 연구에서는 구조적 성능 없이 단지 하중으로만 작용하던 복공판을 구조재의 역할도 함께 수행할 수 있는 합성형 가설교량을 제안하였고, 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본 연구에서 수행한 실험체의 경우, 볼트 직경을 D10를 적용할 경우 볼트간격을 작게 하여도 합성효과는 거의 없었으며(0.09~0.20), 직경을 D22로 크게 할 경우 합성효과가 증가(0.80)되는 것을 알 수 있었다.

2. 본 연구에서 검토한 합성형 가설교량의 구조해석 결과 발생응력이 허용응력 이내이며, 처짐의 경우 재래식 가설교량에 비하여 감소됨 알 수 있었다.

3. 본 연구에서 검토한 복공판의 경우, 복공판의 바닥판 및 바닥틀 작용 발생응력이 허용응력 이내임을 알 수 있었다.

참고문헌

- 1) (주)스틸코리아, “고강도 강봉에 편향부를 부착하고 프리스트레스를 도입한 가설교량의 설계 및 제작기술”, pp. 5~8, 2001.
- 2) 윤용석, “복공판과 주형이 일체화된 가설교량 최적 설계”, 동양대학교 석사학위논문, pp. 1~11, 2008.
- 3) 조효남, 정지승, 민대홍, “자동화설계를 위한 강상판교의 해석모델”, 한국강구조학회 논문집, 제 11권, 제5호, pp. 363~372, 1999.
- 4) (사)대한토목학회, “도로교 설계기준”, pp. 123~128, 2008.