

프리캐스트 바닥판 PSC 합성거더 교량의 거동

Behavior of PSC Composite Bridge with Precast Decks

정철현* · 현병학**

Chung, Chul Hun · Hyun, Byung Hak

Abstract

PSC composite bridge with precast decks which was designed by the proposed horizontal shear equation was fabricated. Fatigue test was performed to evaluate the endurance of shear connection and the behavior of PSC composite bridge. After all the fatigue loading were applied, no crack and no residual slip were occurred. The flexural stiffness of PSC composite bridge was maintained the initial value, and damage of shear connection was not occurred. To verify the applicability of horizontal shear equation and shear connection detail and to evaluate the strength of PSC composite bridges, static test was also executed. PSC composite bridges with precast decks had 2.08 safety factor which was the ratio of crack to serviceability load and showed ductile behavior after ultimate load. Test results showed that the proposed design equation of the shear connection gave reasonable horizontal shear connection design. Fast and easy construction would be achieved using the suggested precast system.

Keywords : horizontal shear equation, precast deck, PSC composite bridge, fatigue test, static test

요 지

본 논문에서는 기존의 수평전단 설계식을 적용하여 프리캐스트 바닥판 PSC 합성거더 교량을 설계, 제작하였다. 피로하중에 대한 바닥판과 거더 그리고 전단연결부의 내구성과 거동특성을 평가하기 위하여 피로실험을 수행하였다. 실험결과 200만회 반복하중을 재하한 후 바닥판과 거더의 균열 및 잔류처짐은 발생하지 않았으며, 휨강성의 감소없이 선형거동을 나타냈다. 그리고 전단연결부의 손상은 나타나지 않았다. 또한 정적실험을 수행하여 연결부의 거동과 설계식의 적용성을 평가하고, 극한하중 상태에서의 구조적 성능과 정적강도 등을 평가하였다. 프리캐스트 바닥판 PSC 합성거더 교량은 사용하중상태에서 균열에 대해 2.08의 안전율을 나타냈으며, 파괴 시 충분한 극한내력과 연성거동을 나타냈다. 수평전단 설계식을 프리캐스트 바닥판 PSC 합성거더 교량의 수평전단 설계에 적용할 경우 사용성 및 구조적 안전성에 문제가 없는 경제적이고 신속한 형태의 교량을 시공할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 수평전단 설계식, 프리캐스트 바닥판, PSC 합성거더 교량, 피로실험, 정적실험

1. 서 론

세계 각국의 지난 수년간 프리스트레스트 콘크리트 교량의 건설경향은 현장타설 공법보다는 공장에서 미리 콘크리트 부재를 생산하여 현장에서 가설하는 프리캐스트 공법이 경제적, 구조적, 안전성, 및 내구성 등 장점이 많아 선호되고 있다. 프리캐스트 공법은 공장 생산된 부재를 현장에서 조립하는 시스템으로 유럽에서 시작되어 국내를 비롯하여 일본, 미국, 뉴질랜드 등 많은 나라에서 널리 적용되어 온 교량가설 공법 중 하나이다.

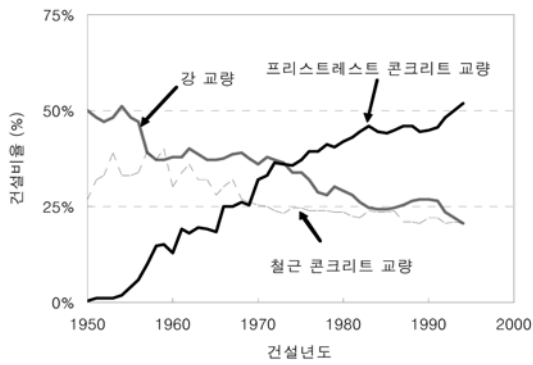
지금까지의 프리스트레스트 콘크리트 거더를 이용한 PSC 합성거더 교량은 PSC 거더에 교량바닥판을 현장타설하여 시공하였다. 그러나 교량바닥판을 현장타설로 시공하는 경우 시공기간이 길어지며 시공관리의 소홀로 인한 품질의 저하, 그리고 교통통제에 따른 문제점이 발생하는 등의 단점들이

있다. 이러한 문제점들에 대한 해결책으로 프리캐스트 바닥판은 하나의 유력한 대안이 될 수 있다. 프리캐스트 또는 프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 바닥판을 이용할 때의 주요 장점으로서는 공장제작으로 인한 제품의 품질유지와 관리, 바닥판 내구성 유지와 보수 필요성의 감소, 시공의 간편성과 공사기간의 단축, 그리고 교통흐름의 방해 없이 시공할 수 있다는 것 등이 있다.

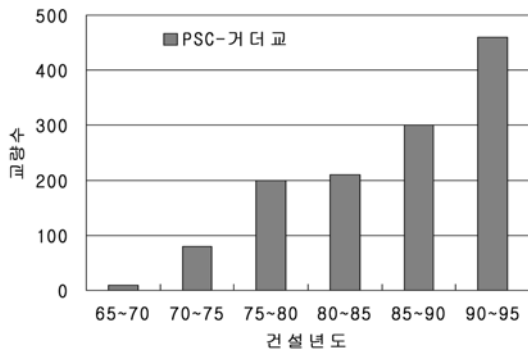
최근들어 국내에서 프리캐스트 바닥판과 강거더를 합성한 교량에 대한 실용화 연구(대우건설 등, 2000)가 완료되어 중부내륙고속도로에 시공되어짐으로서 향후 프리캐스트 바닥판을 이용한 합성거더 교량 분야에서 활발한 적용이 예상된다. 이러한 프리캐스트 바닥판은 강박스, 플레이트 또는 프리스트레스트 콘크리트 거더 등 여러가지 거더 형식에 의해 지지될 수 있으나, 선행연구에서 개발된 프리캐스트 바닥판은 강거더를 갖는 합성거더 교량에 적용이 제한되어 있다. 최근

*정희원 · 단국대학교 토목환경공학과 교수

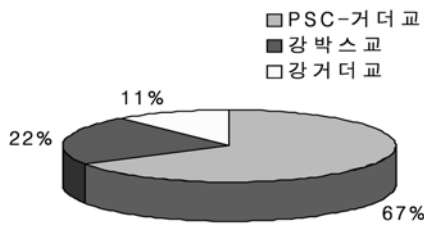
**정희원 · 단국대학교 토목환경공학과 공학박사 (E-mail : HBHYUN@dankook.ac.kr)



(a) 가설 교량 형식 비율 (미국)



(b) 국내 PSC 거더교 가설 현황



(c) 가설 교량 형식 비율 (국내)

그림 1. 가설 교량 형식

미국의 경우 프리스트레스트 콘크리트 교량의 장점을 이용하여 강교량을 프리스트레스트 교량으로 대체해 나가고 있으며, 그림 1(a)와 같이 교량건설에 있어서 다른 형식에 비해 프리스트레스트 콘크리트 교량이 건설되는 교량의 약 50% 정도를 차지할 정도로 증가하고 있다(오 등, 2004). 국내 교량에서도 그림 1(b)와 (c)에 나타난 바와 같이 PSC 교량의 건설이 계속 증가하고 있고, 박스거더나 플레이트거더와 같은 강 합성거더 교량에 비해 PSC 거더를 갖는 합성거더 교량의 시공이 더 많은 비중을 차지하고 있다. 따라서 국내에서 가장 많이 건설되고 있는 PSC 거더 교량에 대해 좀 더 시공성과 경제성 그리고 신속성 등을 갖춘 시스템의 개발이 요구되고 있다.

이 연구에서는 이러한 요구에 적합한 교량형태 중의 하나로 프리캐스트 바닥판을 갖는 PSC 합성거더 교량에 대한 연구를 수행하였다. 기 개발된 프리캐스트 바닥판과 PSC 거더 사이에 적합한 전단연결부 도입으로 소요의 전단강도가 확보되고 바닥판과 거더가 일체거동을 하게 된다면 프리캐스트 바닥판은 PSC 거더에도 효율적으로 적용이 가능할 것이다. 따라서 이러한 교량형태로 좀 더 시공이 용이하고 경제적이면서 신속성을 갖춘 교량을 시공할 수 있을 것으로 판단된다.

프리캐스트 바닥판을 PSC 거더에 적용 시 프리캐스트 교

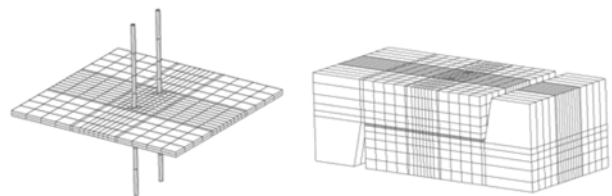
량 바닥판 이음부 형상, 바닥판간 연결방식등은 기 연구된(정 등, 1999) 프리캐스트 콘크리트 바닥판 시스템에 의해 PSC 합성거더 교량에 그대로 적용이 가능할 것으로 판단되지만 프리캐스트 콘크리트 바닥판과 PSC 거더의 합성을 위하여 몇가지의 추가 연구가 필요하다. 정 등(2004)은 프리캐스트 바닥판과 PSC 거더의 합성을 위한 전단연결 구조를 제시하고, 접합면의 수평전단강도를 평가하기 위해 수평전단 실험을 수행하였다. 이 연구에서 프리캐스트 부재가 합성되는 경우 수평전단에 대한 부착강도 특성에 관한 연구를 수행하였으며, Shim 등(2004)은 연결재 강도 특성에 관한 연구를 수행하여 전단 연결부에 대한 전단강도 평가식을 제안하였다. 현 등(2005)은 프리캐스트 바닥판과 PSC 합성거더 수평전단 연결구조에 대하여 설계 및 시공을 위한 구조상세 및 성능 평가를 통해 수평전단 설계식을 제안하였다. 또한 합성보 실험을 수행하여 제안된 수평전단 설계식의 타당성을 검증하였다(2005).

이 연구에서는 프리캐스트 바닥판 PSC 합성거더 교량에 대한 실험크기의 모형교량 부재를 제작하여 피로하중에 대한 내구성과 피로거동을 살펴보고, 전단연결부의 피로강도를 검토하기 위해 피로실험을 수행하였다. 그리고 정적과피실험을 통해 수평전단 연결부의 거동과 설계식의 적용성을 평가하였으며, 전체 교량에 대한 정적강도와 거동을 평가하였다.

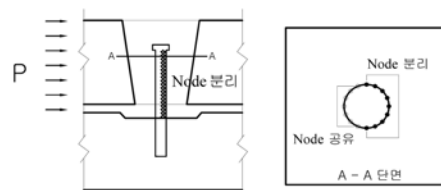
2. 프리캐스트 바닥판 PSC 합성거더 교량

2.1 수평전단 연결부에 대한 해석적 연구

범용 구조해석 프로그램인 DIANA(2002)를 이용하여 프리캐스트 바닥판과 PSC 합성거더 교량의 수평전단 연결부에 대한 유한요소해석을 수행하였다. 유한요소 해석결과를 주요 변수별로 분석하고 연결재의 손상정도와 응력분포 등을 평가하였다. 해석값의 정확도를 높이고 전단연결부의 국부거동을 파악하기 위하여 그림 2와 같이 무수축모터가 압축력을 받는 전단연결재의 전면은 연결재와 절점을 공유하고 인장을 받는 부분은 절점을 분리하여 수평전단 실험체의 거동을 보다 사실적으로 묘사하는데 중점을 두었다. 해석모델의 구성요소 및 재료모델은 표 1에 나타난 바와 같이 모두 3



(a) 전단 연결재와 베딩층 (b) 수평전단 실험체



(c) 전단연결재의 절점 분리

그림 2. 수평전단 실험체 모델링

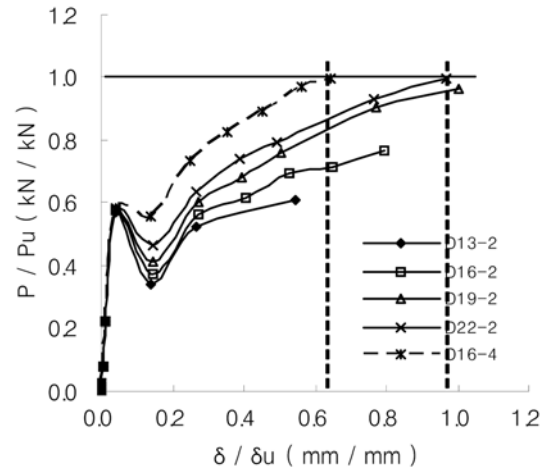
표 1. 해석모델의 구성요소 및 재료모델

재료	요소	비고
콘크리트 무수축모르터	3차원 SOLID	입축 : "Druker-Prager 항복이론 무수축모르터 탄성계수 (심 등, 1998) $E_m = 3256\sqrt{f_c}(MPa)$ 인장 : 분산균열모델
전단연결재	3차원 SOLID	von mise 항복이론 완전소성 모델
접촉면	INTERFACE	Colum-friction theory Gap 요소

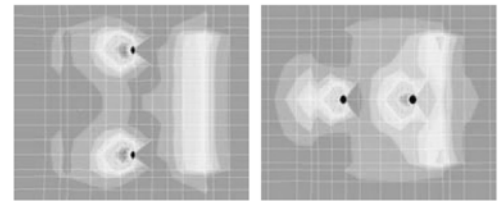
차원 Solid 요소로 구성하였고, 바닥판과 거더 사이에 존재하는 베딩층의 경계면은 3차원 8절점 계면요소(Interface element)를 사용하였다(Frits 등, 1998).

연결재 배치에 따른 강도평가를 위해 그림 3(a)와 같이 극한하중과 상대변위를 비교하였다. 해석결과 연결재 단면적이 증가 할수록 극한하중과 상대변위가 증가하지만 같은 연결재 단면적을 배치하더라도 2열 배치한 경우(D16-4)는 1열 배치한 경우(D22-2)보다 상대변위가 적게 발생하는 것으로 나타났다. 그리고 그림 6(b)와 같이 같은 하중단계에서도 응력분배가 원활하여 인장과 압축이 적게 발생하는 것을 알 수 있다. 따라서 연결재를 배치할 경우 2열 배치 하는 것이 상대변위가 적게 발생하여 완전합성거동을 보이며 응력분배 측면에서도 바람직할 것으로 판단된다.

유한요소 해석결과 연결재에 발생하는 응력분포를 그림 4에 나타냈다. 연결재에 발생하는 인장응력은 베딩층 상부접촉면에 집중되고 베딩층의 두께가 낮을 경우 응력집중현상이 크게 나타나며 두께가 증가 할수록 응력집중 현상은 완화되는 것을 알 수 있다. 그러나 베딩층 두께가 증가함에 따라 접촉면으로부터 합력의 위치가 증가하여 휨 인장에 의한 모멘트가 약 2.39배 증가하게 되며, 연결재에는 직접전단과 동시에 휨 모멘트가 작용하여 수평전단에 대한 저항을 하게 된다. 연결재에 발생하는 전단응력은 베딩층의 상부 접촉면에서 갑자기 변화하여 연결재의 하단에서 가장 크게 발생한다. 베딩층의 두께가 증가 할수록 하단에서 발생하는 전단응력의 크기는 감소하지만 인장응력과 유사하게 합력의 작용위치가 증가하여 편심에 의한 추가적인 휨모멘트를 유발



(a) 극한하중과 상대변위



최대인장 : 4.7 MPa 최대인장 : 4.3 MPa
최대압축 : 13.9 MPa 최대압축 : 12.1 MPa
1열 배치 2열배치

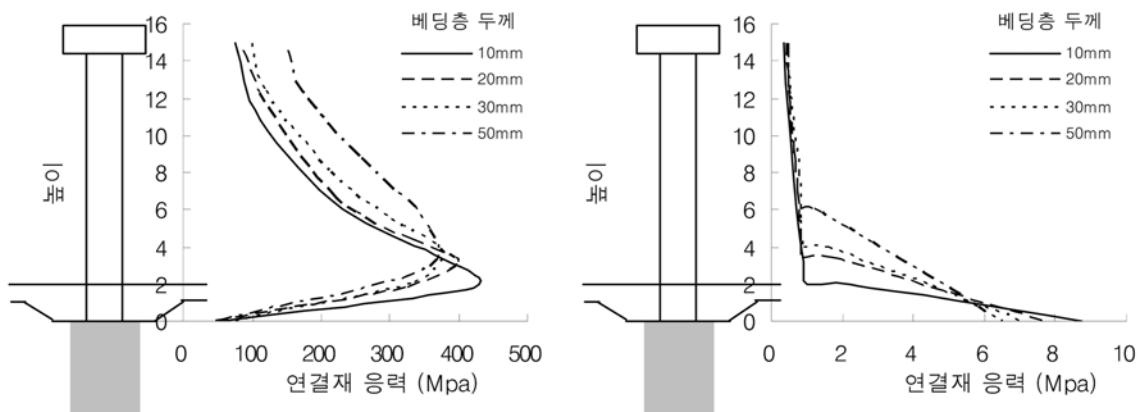
(b) 응력분포

그림 3. 연결재 배치형태에 따른 강도

하게 된다. 해석결과 베딩층의 두께가 증가함에 따라 연결재에 발생하는 휨모멘트가 증가하여 전단연결부의 강도가 감소하는 것을 알 수 있다. 연결재 응력분포에 대한 인장, 전단응력에 의한 모멘트 비를 표 2에 나타냈다.

2.2 모형교량 부재 및 수평전단 설계

모형교량 부재의 프리캐스트 바닥판은 폭 4.6m이고 도로 교설계기준 바닥판 최소두께 규정에 따라 그림 5(a)와 같이 두께 250 mm로 설계하였으며, 바닥판 마다 600 mm 간격으로 전단포켓을 설치하였다. 바닥판과 거더 이음부 베딩층 두께는 20 mm로 하였고, 종방향으로 긴장재를 설치하여 프리 캐스트 바닥판 간에 일체거동을 하도록 설계하였다. PSC 거



(a) 인장응력분포

(b) 전단응력분포

그림 4. 연결재에 발생하는 응력분포

표 2. 인장, 전단응력에 의한 모멘트 비

베딩층 (mm)	인장응력 (MPa)	편심 e (mm)	M_n/M_{10}	전단응력 (MPa)	편심 e (mm)	M_n/M_{10}
10	430	20	1.00	7.72	13	1.00
20	400	32	1.49	6.78	23	1.55
30	379	38	1.67	6.09	27	1.64
50	342	60	2.39	5.30	40	2.11

더는 그림 5(b)와 같이 중앙단면은 I형 단면, 단부 단면은 직사각형 단면으로 변단면 설계하였다. 모형교량 부재의 1차 긴장재는 다중 7연선을 2단배치 하였고, 2차 긴장재는 다중 7연선을 1단 배치하였다. 거더 상부 표면에는 240 mm×240 mm 정사각형 형상의 전단키를 600 mm 간격으로 설치하였다. 모형교량의 거더 지간은 3m, 경간을 17m로 설계하였고, 단부 지점과 중앙 지점에 각각 가로보를 설치하였다. 그림 5는 모형교량의 일반도를 나타낸 것이다.

프리캐스트 바닥판을 갖는 PSC 합성거더 교량의 수평전단 연결부를 설계하는 경우 바닥판과 거더 단면을 무한강성을

갖는 전단연결재로 연결된 완전합성 상태로 가정하게 된다. 그러나 완전합성을 기본 가정으로 설계된 합성보의 경우에도 전단연결재에 휨변형이 발생하여 바닥판과 거더 사이에서 상대변위가 발생하게 된다. 이러한 경우 완전합성으로 설계된 부재도 부분합성 상태의 거동을 나타내며 단면 휨강성이 작아짐에 따라 처짐과 상대변위가 증가하게 된다.

기존 현장타설 바닥판을 갖는 PSC 합성거더 교량은 수직 전단에 대해 설계된 스테럽을 거더 상부 표면까지 연장하여 수평전단에 저항하도록 설계하였으나, 프리캐스트 바닥판을 적용할 경우는 전단 스테럽을 거더 내에서 폐합하고 기존의 거더 상부 종방향 철근에 수평전단 연결구조(정 등, 2004)를 배치하여 프리캐스트 바닥판과 PSC 거더를 합성할 수 있다. 모형교량 부재의 수평전단 연결부는 다음과 같이 기존연구(현 등, 2005)에서 제안된 설계식을 적용하여 설계하였다.

$$v_n = \{c + 0.62(A_s f_y + P)/A_c\} R_t$$

$$R_t = 1.14 - 0.01t_b \tag{1}$$

여기서, v_n 은 프리캐스트 바닥판을 갖는 PSC 합성거더 교량

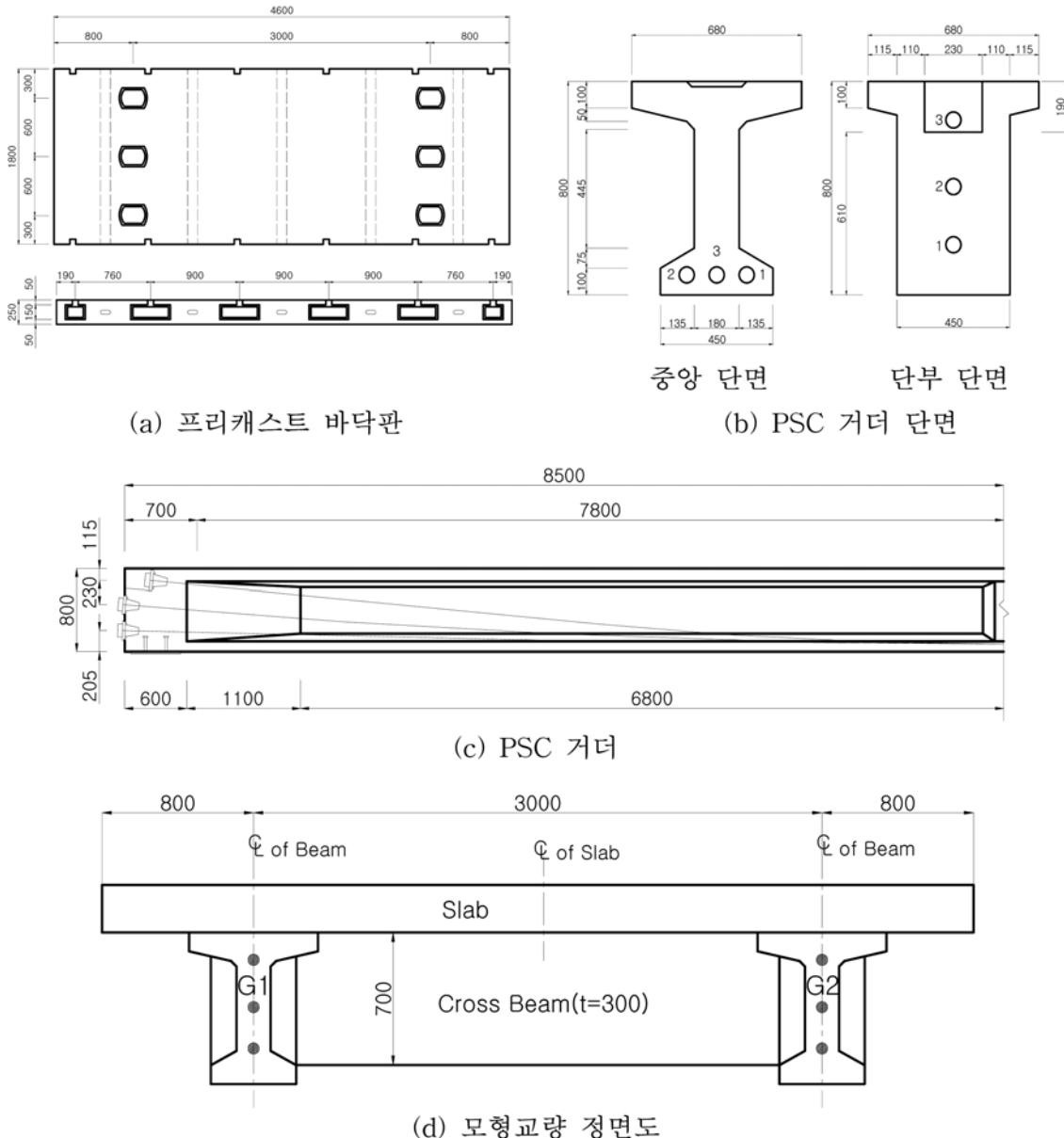


그림 5. PSC 모형교량 일반도

표 3. 모형교량 설계제원 및 수평전단 설계

설계제원	부착강도 $c = 0.53$ (전단키 형상) 연결재 간격 = 600 mm 수직하중 $P = 6$ kN 베딩층 두께 = 20 mm 감소계수 $R_f = 0.94$				
	직경	개수 (2열 배치)	$A_s f_y$ (kN)	V_n (kN)	V_n/V_u
D 16	4	318	380	0.78	N.G.
D 19	4	458	462	0.95	N.G.
D 22	4	619	556	1.14	O.K.

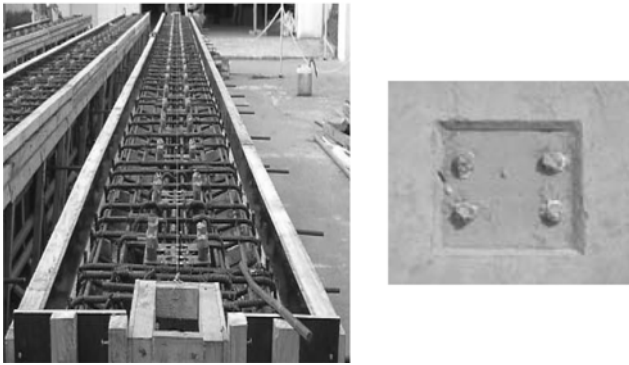


그림 6. 거더 연결부와 전단키 형상

의 공칭수평전단강도(MPa), c 는 접촉면 표면상태에 따른 상수(MPa)로서 전단키 형상을 갖는 부재는 0.53, 거친 면은 0.47, 그리고 매끈한 면은 0.42이다. A_s 는 수평전단 연결재의 면적(mm²), f_y 는 연결재의 항복강도(MPa), P 는 접촉면에 수직하중 압축력(N), 그리고 A_c 는 부재 접촉면의 면적(mm²)을 나타낸다. R_f 는 베딩층의 증가에 따른 강도 감소 계수이고, t_b 는 베딩층 두께(mm)를 나타낸다.

모형교량 부재 거더 상부 접촉면 표면 상태는 그림 6과 같이 전단키 형상으로 제작하였다. 설계식에서 부착강도 c 는 0.53 MPa, 스티드 전단연결재의 항복강도는 400 MPa, 간격은 600 mm, 접촉면의 폭은 640 mm, 그리고 수직하중은 바닥판의 지중 6 kN을 적용하였다. 바닥판과 거더 사이 베딩층의 두께는 20 mm로서 베딩층 두께에 따른 강도 감소를 고려하였다. 이러한 제원을 설계식에 적용하여 설계한 결과를 표 3에 나타냈다.

2.3 재료성질

모형교량의 프리캐스트 바닥판의 설계강도는 35 MPa, PSC 거더 설계강도는 40 MPa로 설계하였다. 압축강도 실험

표 4. 압축강도 실험결과

실험부재	강도 (MPa)	평균값 (MPa)
프리캐스트 바닥판	39.8 : 39.3 : 39.5	39.5
PSC 거더	39.6 : 40.7 : 39.0	39.8

결과 프리캐스트 바닥판의 평균 압축강도는 39.5 MPa이고, PSC 거더의 압축강도는 39.8 MPa로서 표 4와 같다. 프리캐스트 바닥판 간 이음부에 타설된 무수축모르타와 바닥판과 거더와의 합성을 위한 무수축모르타의 압축강도는 모두 60 MPa 이상의 강도를 나타냈다. 실험에서 사용된 수평전단 연결재인 스티드의 평균 항복강도는 441 MPa이다.

3. 프리캐스트 바닥판 PSC 합성거더 교량의 거동

3.1 피로실험 및 측정내용

피로하중은 중앙 바닥판 하면에 인장응력이 발생하는 하중에서 결정하였다. 모형교량 거더 중심간 간격은 3m이고 바닥판 두께는 250 mm, 바닥판간 도입된 압축응력은 2.6 MPa 인 경우 집중하중에 의해 바닥판 하면에 인장응력이 발생하는 하중은 108 kN이다. 따라서 피로하중의 크기는 최소 0 kN, 최대 108 kN으로 하였으며, 2.5~3 Hz의 속도로 거더

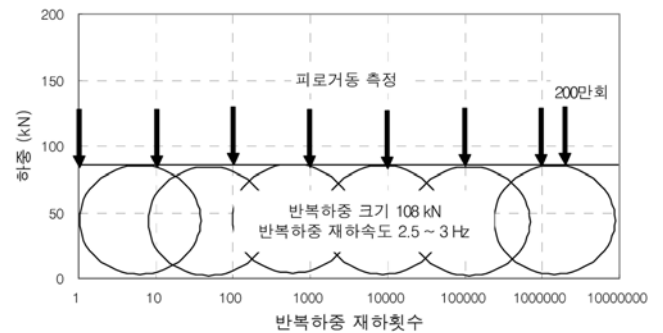


그림 7. 피로하중 재하 이력

표 5. 피로실험 측정내용 및 게이지 위치

측정 항목	게이지 위치	사용 게이지
처짐	각 거더 지간 중앙 하부 바닥판 중앙 하부	WG-DF, EG-DF D-DF
상대변위	각 지점부	SL 1~4
변형률	경간중앙 바닥판의 하 경간중앙 거더의 하 각 지점부 전단포켓 스티드	SS 1 SG 1, 2 SD 1~8
		철근 게이지

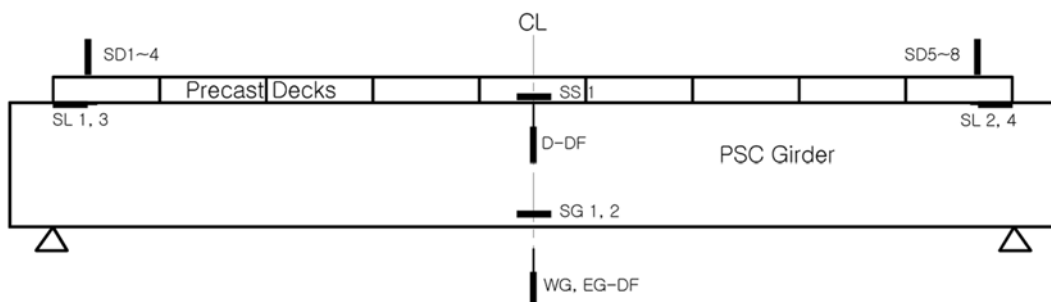


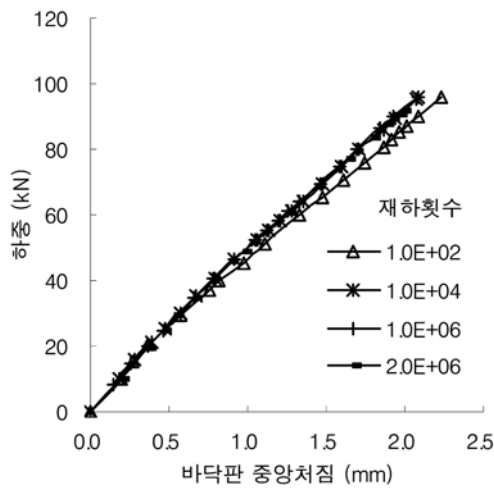
그림 8. 피로실험 측정 위치

시간 증상에 위치한 프리캐스트 바닥판에 200만회 재하하였다. 그리고 각 반복하중 단계별로 그림 7과 같이 피로거동을 측정하였다.

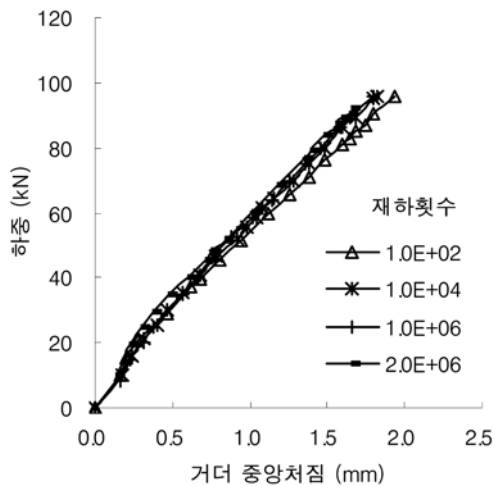
모형교량에서 PSC 거더와 프리캐스트 바닥판의 피로거동에 의한 잔류처짐을 평가하기 위해 거더 경간중앙과 바닥판 중앙에 LVDT를 설치하였다. 그리고 PSC 거더와 프리캐스트 바닥판과의 연결부에 대한 합성거동을 평가하기 위해 양지점에 LVDT를 설치하여 거더와 바닥판의 상대변위를 측정하였고, 지점부 전단연결재 하단에 변형률 게이지를 부착하였다. 또한, 피로하중에 의한 거더와 바닥판의 응력 평가를 위해 거더 중앙단면 및 바닥판에 철근게이지를 부착하였다. 측정내용을 항목별로 정리하면 표 5와 같고, 각 측정 항목별 게이지의 위치는 그림 8과 같다.

3.2 피로실험결과

프리캐스트 바닥판을 갖는 PSC 합성 거더 모형교량의 피로실험 결과는 다음과 같다. 200만회 피로실험이 완료될 때까지 하중반복횟수 증가에 따른 경간 중앙부 바닥판과 거더에서 측정된 피로하중-처짐 곡선은 그림 9와 같다. 강합성 거더교는 피로하중 재하 후 약 13%의 휨강성이 감소를 나타냈으며, 0.74 mm의 잔류 처짐이 발생하였다(Chung 등, 2001). 프리캐스트 바닥판 PSC 합성거더 교량은 반복횟수

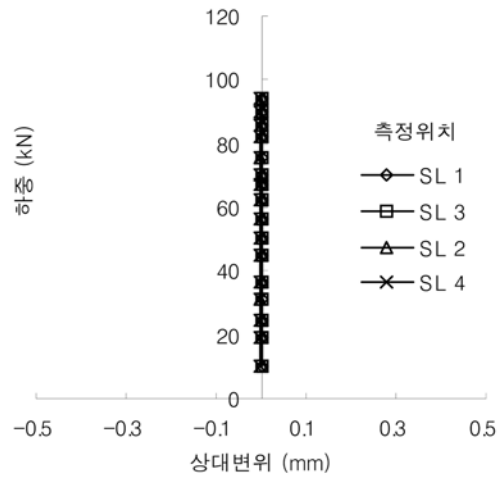


(a) 바닥판 중앙

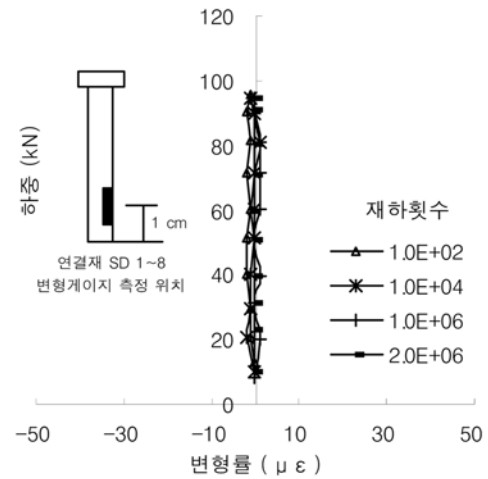


(b) 거더중앙

그림 9. 피로하중-처짐 곡선



(a) 거더와 바닥판의 상대변위



(b) 스티드 변형률

그림 10. 거더와 바닥판의 상대변위와 스티드 변형률

증가에 따라 균열과 잔류처짐은 발생하지 않았으며, 처짐 양상은 200만회 재하시까지 휨강성의 감소없이 선형거동을 나타냈다. 그리고 바닥판 중앙 하면에 인장응력이 발생하는 하중상태에서 거더의 처짐은 약 1.6 mm로서 활하중에 의한 한계처짐 2.1 mm보다 작은 값을 나타냈다.

피로하중 재하 후 바닥판과 거더의 상대변위와 전단 연결재의 변형률을 그림 10에 나타냈다. 강합성 거더교는 피로하중 재하 시 바닥판과 거더의 부착이 파괴되어 잔류슬립이 발생하고 전단시간내 연결재에 하중분배가 발생하였으나 (Chung 등, 2001), 모형교량 단부에서는 200만회 피로하중 재하 후에도 상대변위가 전혀 발생하지 않았으며, 부착면의 파괴 없이 완전합성거동을 나타냈다. 거더 단부에 배치된 전단연결재는 휨강성의 감소는 발생되지 않았으며 피로하중에 대한 수평전단 연결부의 손상은 없는 것으로 판단된다.

3.3 정적실험 및 측정내용

모형교량 실험부재는 거더 양단에 힌지와 롤러를 설치하여 단순지지로 하였으며, 하중은 그림 11과 같이 2000 kN 만능 시험기를 이용하여 각 거더 시간 중앙에 집중하중이 작용하도록 하였다. 하중재하 방식은 초기균열 발생 하중 전 단계까지는 하중제어 방식으로, 균열발생 후 파괴까지 0.05 mm/sec의 속도로 변위제어 방식으로 하중을 재하하여 최대하중

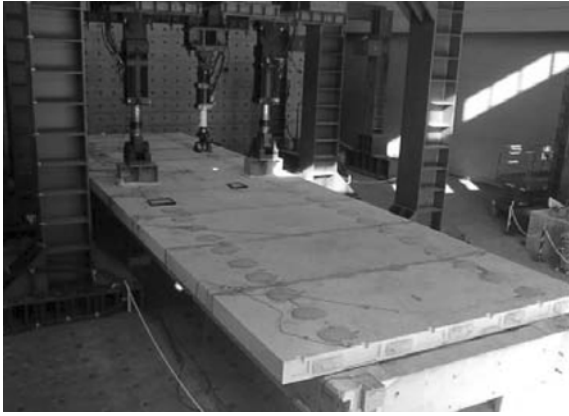


그림 11. 모형교량 정적실험 전경

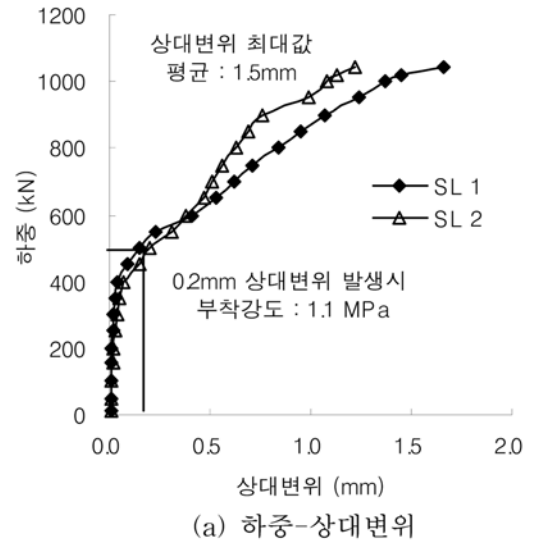
이후 연성거동을 규명하고자 하였다.

모형교량 지점부 바닥판과 거더에 LVDT를 설치하여 상대 변위를 측정하였고, 지점부 프리캐스트 바닥판 전단포켓부의 전단연결재에 변형률 게이지를 부착하여 하중증가에 따른 연결재 변형률을 측정하였다. 처짐은 지간중앙에서 측정하였고, 합성단면의 변형률 분포를 측정하기 위해 지간 중앙단면에서 콘크리트 바닥판 상, 하와 거더의 상, 중, 하에 콘크리트와 철근 게이지를 부착하였다.

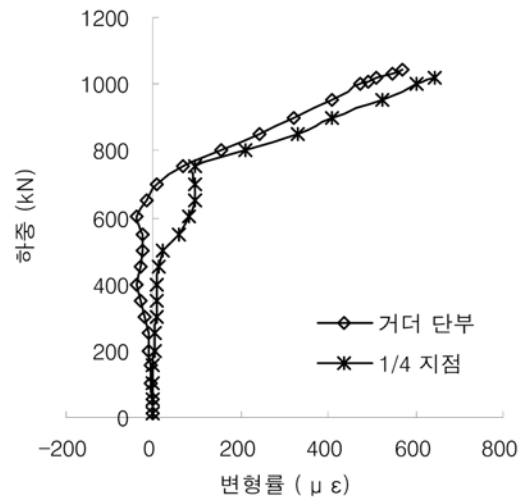
3.4 정적실험결과

모형교량 부재의 하중-상대변위 관계는 합성보 실험의 결과로부터 예상할 때 초기에는 부착의 영향으로 완전합성 거동을 보일 것이고, 하중이 증가함에 따라 프리캐스트 바닥판과 PSC 거더 사이의 상대변위, 즉 변위를 허용하는 거동을 보일 것이다. 그림 12(a)는 하중-상대변위 관계를 나타낸 곡선으로서 사용하중 수준에서는 상대변위의 크기도 작고 선형을 유지하였다. 거더에 균열이 발생하는 하중상태에서도 연결부 부착과파괴가 발생하지 않았으며 0.2 mm의 상대변위가 발생하는 경우 부착강도는 1.1 MPa으로 기존연구결과(정 등, 2004) 값보다 안전측의 결과를 나타냈다. 이후 하중이 증가함에 따라 바닥판과 거더 상부 플랜지 사이의 부착이 파괴되어 연결재가 저항하기 시작했다. 극한하중 상태에서 부재 단부의 상대변위는 1.5 mm 정도 발생하였으며 부착과파괴 이후 연결재의 파괴는 발생하지 않았다. 그림 12(b)는 수평전단 연결재의 변형률을 나타낸 것이다. 실험결과 사용하중이나 균열하중 단계에서 연결재의 변형률은 거의 발생하지 않았으며 부착과파괴하중 500 kN 이후 거더 단부쪽 연결재가 먼저 저항하여 변형을 나타냈다. 극한하중 상태에 연결재의 변형률은 항복변형률에 미치지 못했으며, 전단연결부의 손상은 없는 것으로 판단된다.

프리캐스트 바닥판을 갖는 PSC 합성거더 교량의 정적실험 결과 거더 중앙에서 하중-처짐관계는 그림 13과 같다. 모형교량 부재는 392 kN 하중에서 거더 중앙경간 하단에 초기균열이 발생하였으며 파괴하중은 1045 kN으로서 균열발생 이후 파괴에 대해 충분한 극한내력을 나타냈다. 부재 파괴 시 처짐은 235 mm이 발생하여 균열발생이후 연성거동을 나타냈다. 표 6은 모형교량 부재의 균열하중과 극한하중의 실험값과 이론값을 비교하여 나타낸 것이다. 실험결과 균열하중값과 극한하중 값은 이론값에 비해 1.2배 이상으로서 합성에



(a) 하중-상대변위



(b) 연결재 변형률

그림 12. 모형교량 연결부 거동

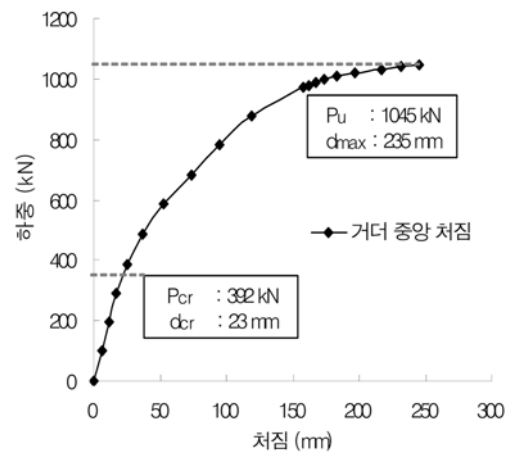


그림 13. 하중-처짐 곡선

따른 내하력 증가를 나타냈다.

모형교량부재의 균열모멘트는 표 7에 나타낸 바와 같이 충격계수를 고려한 설계활하중 모멘트보다 약 2.08배 큰 값으로 사용하중상태에서 균열에 대해 충분한 안전율을 나타냈다. 실험부재는 거더의 자중과 바닥판의 자중을 포함하고 있기 때문에 실험에서 얻은 균열모멘트는 자중의 영향을 포함하고 있다. 따라서 균열모멘트에서 고정하중에 의한 모멘트

표 6. 균열하중과 극한하중 비교

균열하중 (kN)			극한하중 (kN)			처짐 (mm)	
실험	이론	실험이론	실험	이론	실험이론	균열	최대
392	308	1.27	1045	810	1.29	23	235

표 7. 균열모멘트와 설계모멘트의 비교

		이론	실험	비고
		kN · m		
1	ϕM_n	3444	4441	총 설계 모멘트
2	M_d	725		고정하중 (거더 자중 + 바닥판 자중)
3	M_l	802		활하중 (DB-24 하중, 충격계수 포함)
4	M_{cr}	1308	1666	균열모멘트
5	M_{cr}/M_l	1.63	2.08	사용하중상태에서 균열이 발생하지 않음
6	(4-2)/3	0.73	1.17	활하중 작용시 균열에 대한 안전률

를 뺀 값과 활하중에 의한 모멘트 값을 비교함으로써 활하중 작용상태에서의 균열에 대한 안전율을 알 수 있고, 이와 같이 계산하면 1.17로서 활하중 작용 시 균열에 대해서도 안전한 것으로 판단된다.

4. 결 론

국내에서 가장 많이 건설되고 있는 PSC 거더 교량에 대해 시공성과 경제성 그리고 신속성 등을 갖춘 시스템의 개발이 요구되고 있다. 이러한 요구에 적합한 교량의 형태중의 하나가 프리캐스트 바닥판을 갖는 PSC 합성거더 교량이다. 이 연구에서는 기존에 제안된 수평전단 설계식을 프리캐스트 바닥판 PSC 합성거더 교량에 적용하여 제안된 설계식의 적용성 및 타당성을 검증하였다. 이를 위해 프리캐스트 바닥판 PSC 합성거더 교량에 대한 실험규모의 모형교량 부재를 제작하여 피로하중에 대한 내구성과 피로거동을 살펴보고, 전단연결부의 피로강도를 검토하기 위해 피로실험을 수행하였다. 그리고 정적과 피로실험을 통해 바닥판과 거더의 상대변위와 연결재 변형률 등을 측정하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

프리캐스트 바닥판 하면에 인장응력이 발생하는 크기의 반복하중을 재하하여 피로실험을 수행한 결과 프리캐스트 바닥판 PSC 합성거더 교량은 피로하중에 의한 균열과 잔류처짐은 발생하지 않는 것으로 나타났으며 휨강성의 감소 없이 선형거동을 나타냈다. 거더의 처짐은 1.6 mm로서 활하중에 의한 한계처짐보다 작은 값을 나타냈다. 거더와 바닥판의 상대변위는 거의 발생하지 않았으며 수평전단 연결재의 손상 또한 발생하지 않았다. 프리캐스트 바닥판 PSC 합성거더 교량은 피로하중에 대한 사용성 및 내구성에 대한 문제가 없

는 것으로 판단된다.

합성거더 교량 바닥판과 거더 사이의 베딩층 부착강도는 상재하중에 의해 접촉면의 마찰력이 증가하기 때문에 수평전단 실험에 의한 부착강도 0.7 MPa보다 큰 값을 나타냈다. 따라서 설계식을 적용하는데 있어 활하중에 의한 수직력의 영향을 고려하지 않음으로서 부착강도 증가에 의한 안전측 설계가 가능하다.

프리캐스트 바닥판을 갖는 PSC 합성거더 교량의 균열하중 값과 극한하중 값은 이론값에 비해 1.2배 이상으로서 합성에 따른 내하력 증가를 나타냈으며 균열발생 이후 파괴에 대해 충분한 극한내력과 연성거동을 나타냈다. 또한 사용하중상태에서 균열에 대해 2.08의 안전율을 나타냈다. 따라서 제안한 설계식을 프리캐스트 바닥판 PSC 합성거더 교량의 수평전단 설계에 적용할 경우 사용성 및 구조적 안전성에 문제가 없는 경제적이고 신속한 형태의 교량을 시공할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2005학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

대우건설, 한국도로공사, 서울대학교 (2000) 프리캐스트 콘크리트 교량 바닥판의 개발 및 실용화, 최종보고서, 건설교통부.
 오병환, 최영철 (2004) 프리스트레스트 콘크리트 구조물의 활용 현황과 전망, 한국콘크리트학회지, 한국콘크리트학회, 제16권 제1호, pp. 12-21.
 정철현, 심창수, 김영진, 장성욱 (1999) 프리캐스트 콘크리트 바닥판을 이용한 합성형 교량의 정적 및 피로 실험, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제19권 제1-5호, pp. 791-800.
 정철현, 심창수, 김인규, 박세진 (2004) 프리캐스트 바닥판과 PSC 거더 전단연결부의 부착 강도 평가, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제24권 제6A호, pp. 1183-1191.
 현병학, 정철현, 심창수, 마향욱 (2005) 프리캐스트 바닥판과 PSC 거더 전단연결부의 수평 전단설계, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제25권 제2A호, pp. 327-335.
 현병학, 정철현, 전귀현, 박세진 (2005) 프리캐스트 바닥판을 갖는 PSC 합성보의 정적거동, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제25권 제5A호, pp. 837-845.
 Chung, C.H., Shim, C.S., Jeong, U.Y. (2001) Experimental Study on Shear Connector for Precast Concrete Decks, *KCI Journal* Vol. 13, No. 1, pp. 61-67.
 DIANA (2002) User's Manual, Release 8.1, TNO.
 Frits, C.W. and Peter, H.F. (1998). *DIANA User's Manual : Nonlinear Analysis-Release 8.12*, TNO.
 Shim, C.S., Chung, C.H., Hyun, B.H., and Kim, Y.J. (2004) Experiments on shear connections of psc girders with prefabricated slabs, *KCI Journal* Vol. 16, No. 4, pp. 573-579.

(집수일: 2006.4.3/심사일: 2006.5.19/심사완료일: 2006.5.19)