

# 전·후면판 공용방식 접합부를 갖는 강-PSC 혼합구조의 휨 및 전단거동

## The Flexural and Shear Behaviors of Steel-PSC Mixed Structural System with Front-Rear Plate Connection

노 병 철\*      조 성 용\*\*      박 현 철\*\*\*      김 문 겸\*\*\*\*  
Lho, Byeong Cheol    Cho, Sung Yong    Park, Hyun Chul    Kim, Mun Kyum

### Abstract

This study presents experimental results of Steel-PSC mixed structural system having front-rear plate connection between Steel and Prestressed Concrete. Two kinds of Steel-PSC mixed structural system of 5.4m length were tested to evaluate flexural behaviors under four point loading, and 4 kinds of specimens with and without prestressing force at R & L type connection were tested to observe the shear behavior. Based on the test results of load-deflection curves and failure modes of specimens, it is found that the proposed L shape connection with front-rear plate connection between Steel and Prestressed Concrete has higher strength and stiffness. From the study, Steel-PSC mixed structural system with L shaped connection has a better structural performance in connection part.

### 요 지

본 연구에서는 전·후면판 공용방식의 접합부를 갖는 강-PSC 혼합구조의 휨모멘트와 처짐의 관계 및 하중과 변위의 관계 특성을 파악하기 위해 기존 접합부(R형) 방식과 개선된 접합부 방식에 대하여 실험을 수행하였으며, 프리스트레싱력이 강-PSC 혼합구조의 하중과 변위에 미치는 영향을 파악하기 위해 접합부 형상에 따라 프리스트레싱력을 도입한 경우와 도입하지 않은 경우에 대하여도 실험을 수행하였다. 개선된 L형 전·후면판 공용 접합부 방식의 하중-처짐 및 파괴모드를 비교·분석한 결과, 프리스트레싱을 가한 개선된 접합부 방식이 기존 접합부 방식에 비해 보다 우수한 하중저항능을 나타냈으며, 강도 및 강성 측면에서도 우수한 것으로 나타났다. 따라서 개선된 접합부 방식을 강-PSC 혼합구조에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

**Keywords** : Mixed structural system, Prestressing force, Flexure, Shear

**핵심 용어** : 혼합구조, 프리스트레싱력, 휨, 전단

\* 정희원, 상지대학교 건설시스템공학과 부교수

\*\* 정희원, GS 건설

\*\*\* 정희원, 상지대학교 토목공학과 석사과정

\*\*\*\* 정희원, 연세대학교 사회환경시스템공학과 교수

E-mail : bclho@sangji.ac.kr 011-365-0520

•본 논문에 대한 토의를 2007년 12월 31일까지 학회로 보내 주시면 2008년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서론

복합구조는 강과 콘크리트의 재료적 장점을 최대한 활용하면서 단일재료로는 얻을 수 없는 우수한 구조특성을 만들고자 하는 구조이다. 따라서 복합구조를 활용하여 구조물의 안전성 확보와 건설경비의 절감 효과가 기대되므로 이에 대한 많은 연구들이 진행되고 있다. 특히 혼합구조는 일반적으로 중앙과 측간의 현저한 자중의 차이로 인하여 불필요하게 발생하는 하중의 불균형 현상을 저감하기 위하여 주로 사용되며, 시간 내에서 강과 콘크리트를 접합시킨 혼합구조는 사장교를 중심으로 발전하여 왔으며 측경간이 콘크리트이고 중앙경간이 강인 경우가 대부분이다. 대표적인 시공 사례로서 독일의 Emscherschnellweg교와 일본의 이구치교(生口橋)가 있으며, 각각 1990년과 1991년에 완공된 바 있다. 접합부의 형식에는 금속판 방식, 후면판 방식, 전·후면판 공용방식 등이 사용되고 있다. 한편, 접합부에서의 원활한 하중전달과 경제성을 고려한 혼합구조 개선을 위해서는 혼합구조 접합부에 대한 연구가 필수적이며, 개선공법의 시공성 또한 충분히 고려되어야 한다.

국내에서는 정연주 등(2002)은 샌드위치식 합성구조에 대해 강-콘크리트 경계면의 슬립을 고려한 완전합성(full-composite), 부분합성(partial-composite), 비합성(non-composite) 등 합성거동 특성을 구명하였으며, 김광수 등(2004)은 강구조와 PSC구조의 연결부재에 대해 강-콘크리트 경계면의 슬립을 고려한 3차원 비선형해석과 정적재하실험을 통해 접합방법에 따라 다른 거동이 발생함을 연구한 바 있다. 따라서 Matsuiishi et al. (1985)는 SCSS(steel-concrete-steel sandwich)구조체로 알려져 있는 샌드위치식 합성구조체의 슬립을 고려한 연구를 하였다. Bangs (1988)은 Masuishi 모델에 대해 콘크리트는 인장경화를 고려하여 강-콘크리트 경계면에서의 완전부착을 가정하여 비선형 해석을 수행한 바 있다. 또한 Link (1992)와 Zimmerman(1993)은 전단연결재를 갖지 않는 샌드위치식 시험체에 대해 강-콘크리트 복합구조에 대한 비선형 해석을 수행한 바 있다. 현재 많이 시공되고 있는 전·후면판 공용방식의 접합부를 갖는 강

-PSC 혼합구조에 대한 비선형 해석을 근거로 개선된 강-PSC 혼합구조 접합부(L형)에 대하여 실험체를 제작하고, 이에 대한 정적 실험을 수행함으로써 개선된 접합부의 성능과 시공성을 비교·분석하여 새로운 접합부 형식을 제안하고자 한다.

## 2. 혼합구조의 접합부 거동

강-PSC 혼합구조의 거동특성은 균열과 같은 콘크리트 상태에 의해 지배되고 이 조건은 최대하중 상태에서도 유효하다. 이때, 강-콘크리트 혼합구조의 경계면 특성에 대한 탄성적 접근은 콘크리트가 최대 인장응력에 도달하여 균열이 발생하는 시점까지만 유용하므로, 전체 거동특성을 구명하기 위해서는 콘크리트 균열 등의 재료적 비선형성을 고려한 접근이 필요하다.

일반적으로 접합부는 전단연결재로 강-콘크리트의 두 재료를 연결하고 있으며, 강-콘크리트로 연결된 혼합부재는 하중에 의해 변형되고 파괴에 이른다. 혼합부재가 변형함에 따라 강-콘크리트 연결부위는 분리되거나 슬립이 일어나며, 그 결과 합성작용이 저하되고 하중이 점점 증가되면서 접착면은 파괴된다. Fig. 1은 구조물의 연결부가 완전합성일 경우, 부분합성일 경우 및 합성작용이 없을 경우의 단면내의 변형률 분포를 나타낸 것이며, Fig. 2는 경계면에서 예상되는 거동을 도시한 것으로, 경계면에 접한 콘크리트와 강재의 상대적 움직임이 발생하고, 경계면에서의 슬립( $s$ )과 슬립 변형률( $ds/dx$ )은 콘크리트와 강재의 변형률( $\epsilon_c$ ,  $\epsilon_s$ )로부터 구할 수 있다.(Veljkovic, 1996)

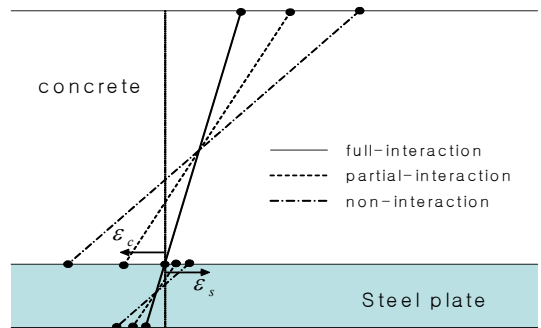


Fig. 1 강-콘크리트 경계면 거동

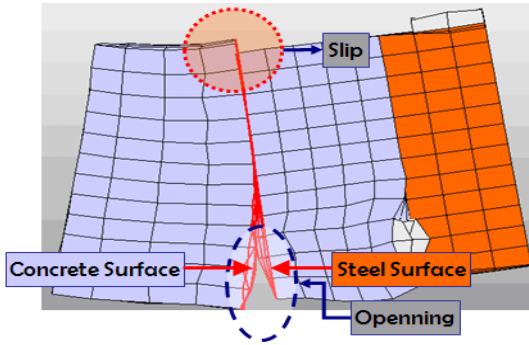


Fig. 2 경계면의 거동 특성 (개구와 슬립)

### 3. 시험체 제작 및 실험 계획

#### 3.1 사용재료

본 연구를 위하여 사용된 재료는 콘크리트의 경우 설계 강도 30MPa의 콘크리트를 사용하였으며, 콘크리트의 물성값은 Table 1에 나타내었다. 강재는 인장 강도가 400MPa인 구조용 H형강을 사용하였으며, PSC형부에 배근된 철근은 항복강도 400MPa인 고강도 철근을 사용하였다. PSC형부와 복합형부의 프리스

Table 2 혼합구조 접합부 실험 모형

구분	모형 종류	접합부 형상	단면 (mm)	길이 (mm)	P(KN)
FRP	휨	직사각형	300×600	5,400	560
FLP	휨	L형	300×600	5,400	560
SRNP	전단	직사각형	300×600	1,520	-
SLNP	전단	L형	300×600	1,520	-
SRP	전단	직사각형	300×600	1,520	200
SLP	전단	L형	300×600	1,520	200

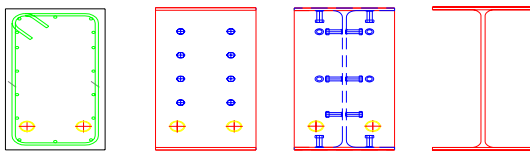
트레싱은 극한강도가 1,900MPa인 강선 및 강봉을 사용하였다. 또한 복합형부에 응력의 흐름을 원활하게 직경 16mm, 길이 50mm의 스티드 전단연결재를 사용하였다.

#### 3.2. 실험체 제원

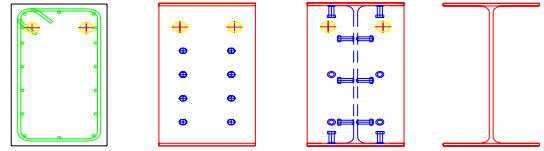
실험에 사용된 실험체는 Table 2에 나타난 바와 같이 해석의 종류와 접합부의 형상으로 구분하였다. 전·후면판 공용방식의 접합부를 갖는 혼합구조의 휨 모멘트와 처짐의 관계 특성과 하중과 변위의 관계 특성을 구명하기 위해 2개의 휨 모형(F)과 4개의 전단 모형(S)을 설계·제작하였으며, 접합부 형상이 혼합구

Table 1 콘크리트 배합표

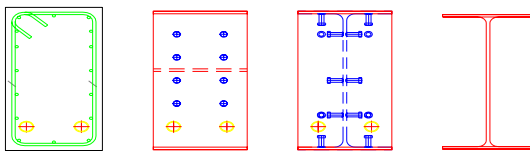
굵은골재 최대 치수 (mm)	설계 기준 강도 (MPa)	슬럼프 범 위 (mm)	공기량 범 위 (%)	물-시멘트비 W/C (%)	잔골재율 S/a (%)	단 위 량 ( N/m <sup>3</sup> )				
						물 W	시멘트 C	잔골재 S	굵은 골재 G	혼화 재료 AD
25	30	150±25	45.±1.5	43.4	49.1	1,430	4,000	9,120	8,820	34.2



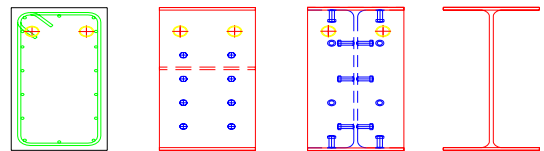
(a) FRP



(a) SRNP or SRP



(b) FLP



(b) SLNP or SLP

Fig. 3 휨 실험체의 단면형상

Fig. 4 전단 모형의 단면형상

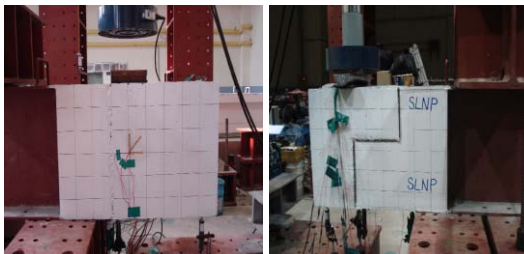
조 접합부의 거동과 성능에 미치는 영향을 규명하기 위해 접합부의 형상을 직사각형인 경우(R)와 L형인 경우(L)로 실험체를 제작하였다. 또한 전단 모형의 경우 프리스트레싱력이 하중과 변위의 관계 성능에 미치는 영향을 규명하기 위해 프리스트레싱력을 가한 경우(P), 프리스트레싱력을 가하지 않은 경우(NP)로 구분하여 실험을 실시하였다. Fig. 3과 Fig. 4는 휨 및 전단 실험체의 단면 형상을 나타내고 있다.

### 3.3 휨 및 전단 실험

전·후면판 공용방식의 접합부를 갖는 혼합구조에 대하여 하중에 따른 휨모멘트와 처짐의 관계 특성을 평가하기 위하여 순경간 4,800mm의 실험체를 제작



(a) FRP (b) FLP  
Fig. 5 강-PSC 혼합구조의 휨 실험



(a) SRNP (b) SLNP



(c) SRP (d) SLP  
Fig. 6 강-PSC 혼합구조의 전단 실험

하여 Fig. 7과 같이 양단을 힌지와 롤러로 단순지지하여 휨 성능 실험을 수행하였으며, 하중에 따른 하중과 변위의 관계 특성을 평가하기 위하여 길이 1,520mm의 시험체를 제작하여 Fig. 6과 같이 한단은 자유, 한단은 고정된 캔틸레버 형태의 실험체에 대하여 전단 성능 실험을 수행하였다.

#### 3.3.1 휨 실험

휨 실험은 Fig. 7과 같이 200tonf 용량의 유압식 가력을 사용하여 변위제어 방식으로 실험을 수행하였다.

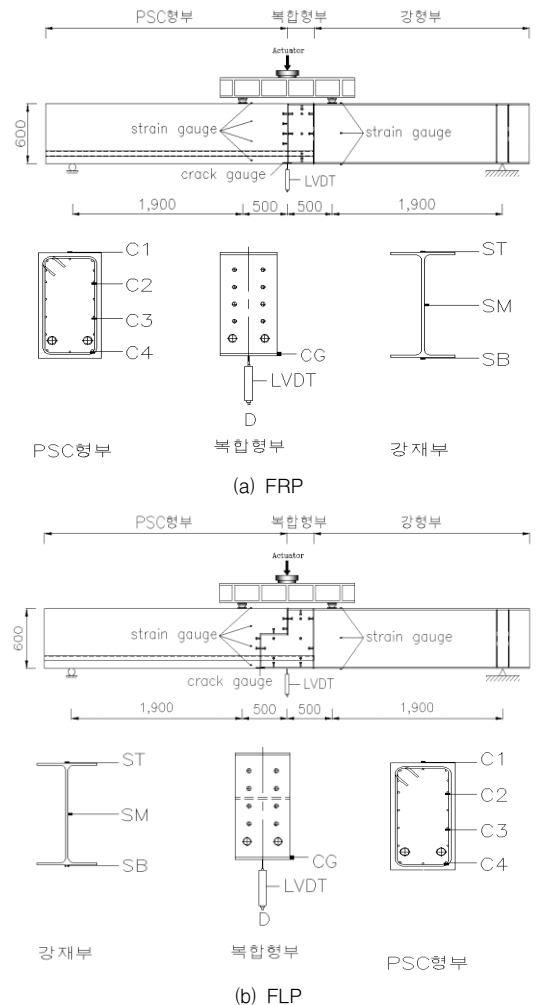


Fig. 7 휨 실험 하중재하도 및 계측센서부착 위치

하중재하방법은 강-PSC 혼합구조의 휨모멘트와 처짐의 관계 특성을 파악하기 위하여 4점 지지방식으로

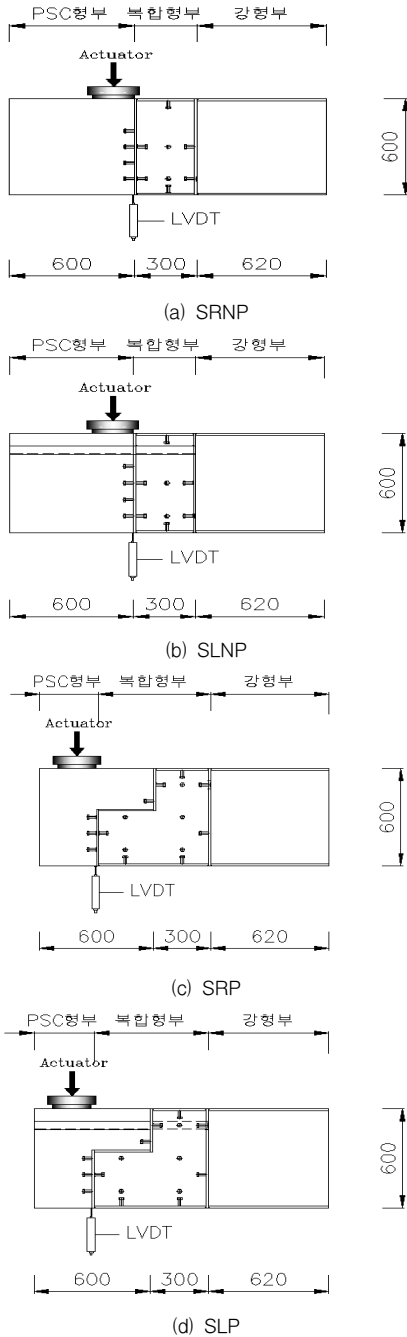


Fig. 8 전단실험하중재하도 및 계측센서부착위치

가력보를 사용하여 중앙부에서 각각 500mm씩 떨어진 위치에 하중을 가력하였다. 실험체의 변위를 측정하기 위하여 실험체의 L/2지점(중앙부)에 변위계(LVDT)를 설치하여 하중에 따른 변위를 측정하였다. 또한 PSC형부와 강형부의 변형률을 측정하기 위하여 Fig. 7과 같이 변형률 게이지(strain gauge)를 부착하여 각각의 변형률을 측정하였으며, 접합부의 개구폭을 측정하기 위해 실험체의 L/2지점인 PSC형부와 복합형부의 접합면 하단에 균열게이지를 설치하였다.

### 3.3.2 전단 실험

전단 실험은 Fig 8과 같이 200tonf 용량의 유압식 가력기를 사용하여 접합부 형상이 직사각형인 경우는 PSC형부와 복합형부가 접합하는 위치에 접합부 형상이 L형인 경우는 PSC형부와 복합형부가 접합하는 위치 중 전면 접합부 위치에 하중을 가력하였다. 실험체의 변위 측정을 위하여 PSC형부의 끝단에 변위계(LVDT)를 설치하여 하중에 따른 변위를 측정하였다.

## 4. 정적실험 결과

### 4.1. 휨 실험 결과

#### 4.1.1 하중-처짐

강-PSC 혼합구조 접합부의 휨 실험에 따른 하중-처짐 관계는 Fig. 9와 Table 3에 나타낸 바와 같다. 접합부 형상에 따른 휨 실험 결과 FRP실험체와 FLP 실험체의 극한하중은 각각 634kN과 624kN으로 강도측면에서는 거의 비슷하게 나타났으나 극한하중에서

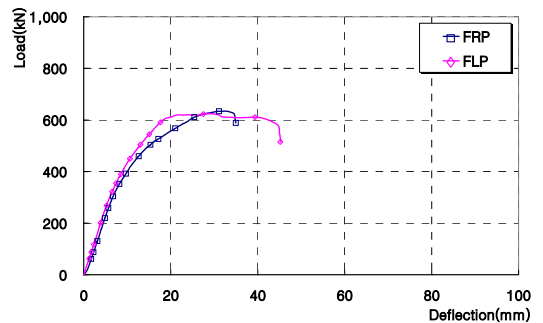


Fig. 9 휨 실험에 따른 하중-처짐

Table 3 힘 실험에 따른 하중 및 처짐

구 분	접합부 형상	균열하중	극한하중	처 짐
FRP	직사각형	290kN	634kN	32.6mm
FLP	L형	320kN	624kN	28.6mm

FLP실험체의 처짐은 28.6mm로 FRP실험체의 처짐 32.6mm에 비해 약 12.4%정도(4.0mm) 낮게 나타났으며, 파괴까지의 처짐은 접합부 형상을 L형으로 한 FLP실험체의 경우가 구조물 붕괴 전 충분한 경고를 줄 수 있음을 확인하였다.

#### 4.1.2 변형률

강-PSC 혼합구조의 구성 요소 중 PSC형부는 측경간의 역할로서 하중을 저항하는데 있어서 가장 큰 역할을 담당하는 부재이다. 따라서 하중단계에 따른 PSC형부의 변형률 이력을 바탕으로 강-콘크리트 혼합구조의 거동 특성을 분석하였다. PSC형부의 변형률 측정 위치는 Fig. 10(a)와 같으며, 실험결과 각 실험체별 PSC형부의 변형률은 Fig. 11에 나타내었다. 실험결과 하중이 증가함에 따라 인장영역과 압축영역 모두 전형적인 변형률 분포를 나타냈으며, FRP실험체의 경우 압축영역에서 특정하중에 이르렀을 때 변형률이 급격하게 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 FRP실험체 압축영역의 균열 및 부분 파손에 의한 것으로 판단된다.

FRP실험체와 FLP실험체의 압축영역은 거의 비슷한 변형률 분포를 나타내고 있으나, 인장영역의 경우 FRP실험체의 변형률이 FLP실험체의 변형률 보다 높은 변형률로 증가하는 거동 특성을 나타내고 있다. 이것은 접합부 형상이 L형인 경우가 직사각형인 경우

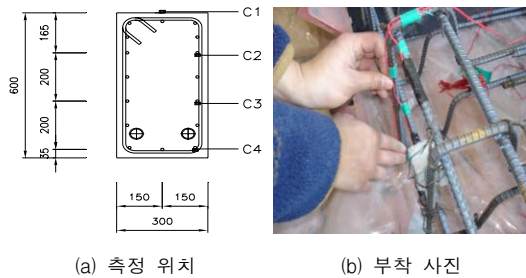
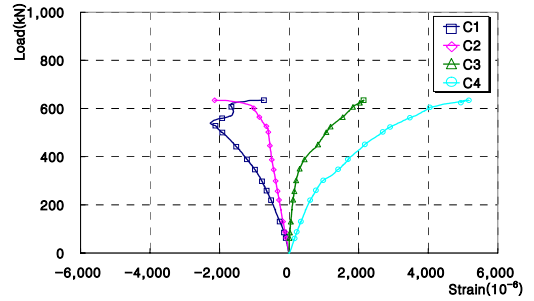
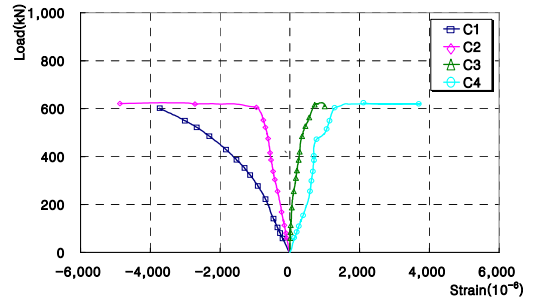


Fig. 10 PSC형부의 변형률 측정



(a) FRP



(b) FLP

Fig. 11 PSC형부의 변형률

보다 더 우수한 하중저항성능을 나타내는 것으로 판단할 수 있다.

강-PSC 혼합구조의 구성 요소 중 강형부는 강구조로서 중앙경간의 역할을 담당하는 부재이다. 따라서 하중단계에 따른 강형부의 변형률 이력을 바탕으로 강-콘크리트 혼합구조의 거동 특성을 분석하였다. 강형부의 변형률 측정 위치는 Fig. 12(a)와 같으며, 실험결과 각 실험체별 강형부의 변형률은 Fig. 13에 나타낸 바와 같다.

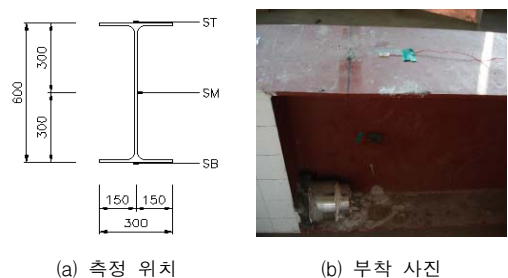
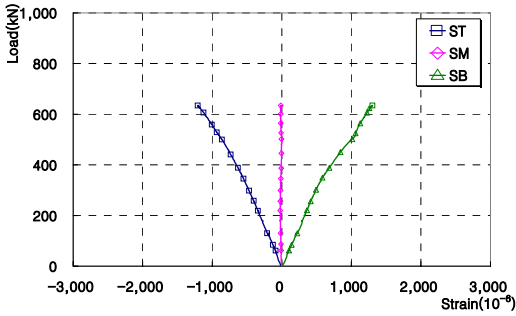
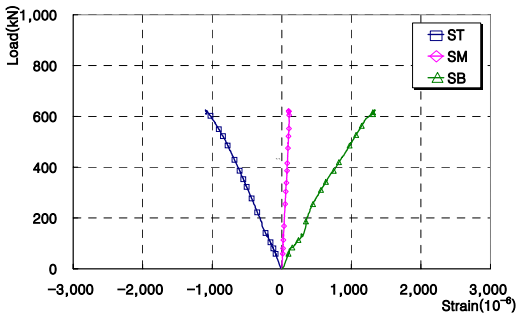


Fig. 12 강형부의 변형률 측정



(a) FRP



(b) FLP

Fig. 13 강형부의 변형률

실험결과 강형부의 변형률은 하중이 증가함에 따라 FRP실험체와 FLP실험체의 인장영역과 압축영역은 전형적인 변형률 분포를 나타냈으며, 거의 동일한 거동 특성을 나타내고 있다. 이것은 강-PSC 혼합구조에서 접합부 형상이 중앙공간을 담당하는 강형부의 거동에는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 판단할 수 있다.

#### 4.1.3 단면변형률

강-PSC 혼합구조의 거동 특성을 분석하기 위해 PSC형부와 강형부의 단면변형률을 분석하였다. Fig. 14는 접합부 형상이 직사각형인 FRP실험체의 PSC형부 단면변형률을 나타낸 것으로 200kN일 때 중립축의 위치는 약 290mm로 나타났으며, 하중 증가에 따라 중립축 위치의 상승을 보였다. 600kN의 하중에 도달할 때 중립축의 위치는 약 360mm까지 상승하였고, 이때 PSC형부의 상부 콘크리트가 파괴되었다.

Fig. 15는 접합부 형상이 L형인 FLP실험체의

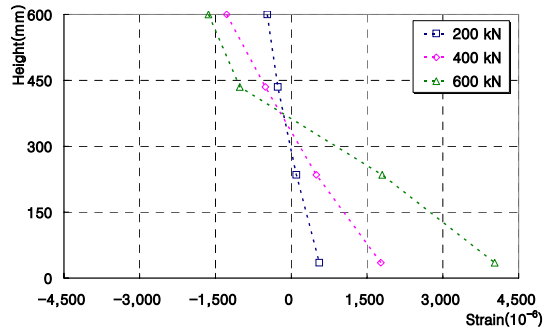


Fig. 14 FRP실험체의 PSC형부 단면변형률

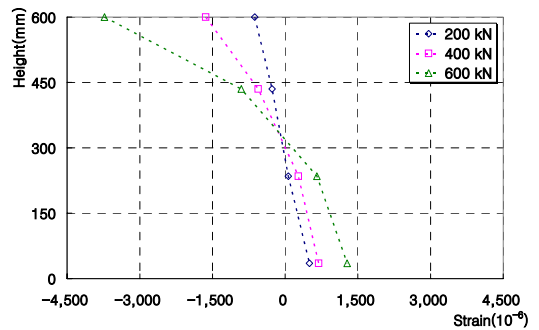


Fig. 15 FLP실험체의 PSC형부 단면변형률

PSC형부 단면변형률을 나타낸 것으로 200kN일 때 중립축의 위치는 약 270mm지점인 것으로 나타났다. 재하하중 400kN에서는 중립축이 300mm로 유지되었으며, 중립축의 위치는 하중이 증가에 따라 지속적으로 압축 축으로 이동하는 것을 볼 수 있다. 재하하중이 600kN에 도달할 때 중립축의 위치는 약 320mm까지 상승하였으며, 이때 FRP실험체의 경우와 마찬가지로 PSC형부의 상부 콘크리트가 파괴되었다.

Fig. 16과 Fig. 17은 접합부 형상이 직사각형인 FRP실험체 접합부 형상이 L형 FLP실험체의 강형부 단면변형률을 나타낸 것으로 FRP실험체의 경우 중립축의 위치는 약 300mm로 나타났으며, 하중 증가에 관계없이 중립축의 위치가 계속 유지되고 있는 것을 확인할 수 있었다. FLP실험체의 경우 중립축의 위치는 약 320mm로 나타났으며, FRP실험체와 마찬가지로 하중 증가에 관계없이 중립축의 위치가 계속 유지되고 있는 것을 확인할 수 있었다.

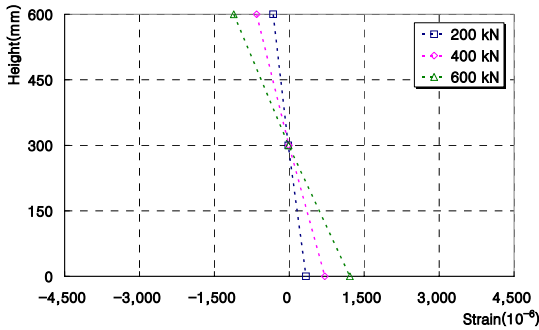


Fig. 16 FRP실험체의 강형부 단면변형률

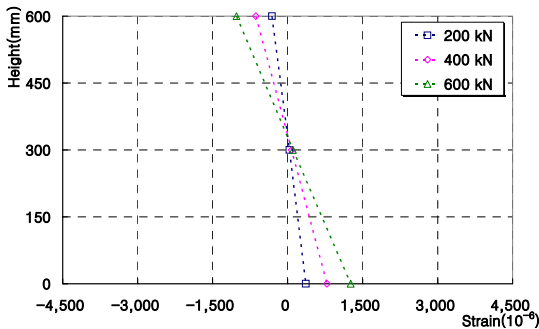


Fig. 17 FLP실험체의 강형부 단면변형률

따라서 강-PSC 혼합구조의 거동 특성을 분석하기 위해 PSC형부와 강형부의 단면변형률을 비교·분석한 결과, 강-PSC 혼합구조의 전체 거동 특성에 미치는 영향은 강형부의 거동보다는 PSC형부의 거동이 더 많은 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다.

#### 4.1.4 접합부 개구폭

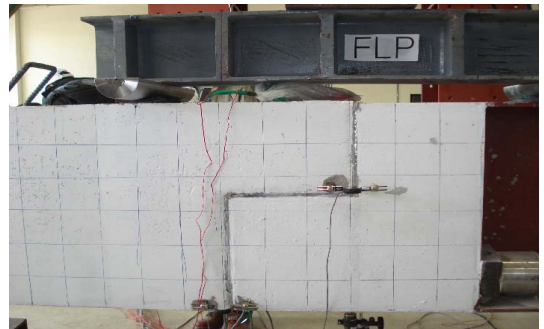
강-PSC 혼합구조는 이종 재료인 강과 PSC로 접합되어 있기 때문에 하중 재하에 따라 접합부에서 개구폭이 발생하며, 개구폭 측정을 통해 접합부의 합성거동을 파악할 수 있다. Fig. 18은 하중 재하에 따라 발생하는 접합부의 개구폭을 측정하기 위해 부착된 균열계이지를 나타낸 것이며, Table 4는 휨 실험에 따른 접합부 개구폭을 정리하여 나타낸 것이다. 균열하중과 극한하중에서 FRP실험체의 개구폭은 0.26mm, 4.73mm로 FLP실험체의 개구폭 0.31mm, 4.98mm와 유사하게 나타났으며, 극한하중에 가까운 600

Table 4 휨 실험에 따른 접합부 개구폭

구 분	접합부 형상	균열 하중	600 kN하중	극한 하중
FRP	직사각형	0.26mm	2.96mm	4.73mm
FLP	L형	0.31mm	2.34mm	4.98mm



(a) FRP



(b) FLP

Fig. 18 균열계이지 부착 사진

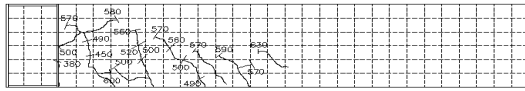
kN하중에서는 FLP실험체의 개구폭이 약 20% (0.62mm) 정도 적게 측정되었다. 이를 통해 L형 형상의 접합부가 직사각형 형상의 접합부 보다 우수한 접합부 합성거동을 나타내는 것을 알 수 있다.

#### 4.1.5 균열 및 파괴모드

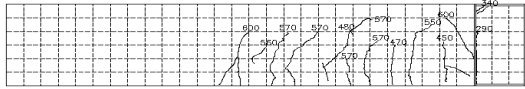
하중 재하시 실험체에 발생된 균열을 Fig. 19~20에 나타내었으며, 균열은 최초 균열이 발생된 시점부터 실험체가 파괴되는 시점까지 측정하여 나타내었다.

FRP실험체의 경우 초기 균열은 PSC형부와 복합형부가 접합하는 접합부 하단에서 290kN 하중에서 발생하였으며, 이후 상단으로 균열이 진행되었다.



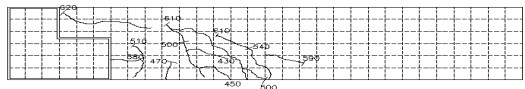


(a) 좌측면

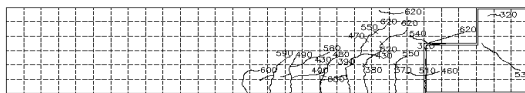


(b) 우측면

Fig. 19 FRP실험체의 균열도



(a) 좌측면



(b) 우측면

Fig. 20 FLP실험체의 균열도

420kN 이후부터 PSC형부 하단에서 휨 균열이 발생하여 하중이 증가함에 따라 균열이 계속 진행되었으며, 634kN의 하중에 이르러 하중이 재하되는 위치의 접합부 주변 PSC형부에서 압축파괴 되었다.

FLP실험체의 경우 초기 균열은 FRP실험체 초기 균열과 마찬가지로 PSC형부와 복합형부가 접합하는 접합부 하단에서 320kN 하중에 의해 발생하였으며, 복합형부 내부에도 미세균열이 발생하였다. 370kN 하중 이후부터 PSC형부 하단에서 휨 균열이 발생하여 하중이 증가함에 따라 균열이 계속 진행되다가 634kN의 하중에 이르러 하중이 재하 되는 위치의 접합부 주변 PSC형부에서 압축파괴 되었다. FRP실험체와 FLP실험체의 경우 접합부 주변 PSC형부 상단에서 압축파괴 되는 것은 PS강선과 철근에 의한 과보강효과가 나타나, 향후 설계시 이를 보완하여야 할 것으로 판단된다.

## 4.2 전단 실험

### 4.2.1 전단 하중-처짐

강-PSC 혼합구조 접합부의 전단 실험에 따른 하중-처짐 관계는 Table 5 및 Fig. 21~22에 나타나 바

Table 5 전단 실험체에 따른 하중 및 처짐

구 분	접합부 형상	균열 하중	극한 하중	처 짐
SRNP	직사각형	140kN	225kN	2.88mm
SLNP	L형	125kN	562kN	1.88mm
SRP	직사각형	365kN	463kN	4.40mm
SLP	L형	250kN	1116kN	3.23mm

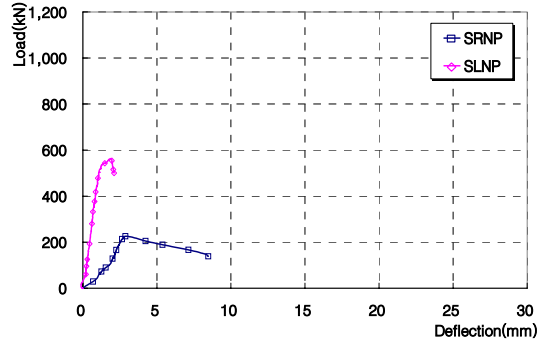
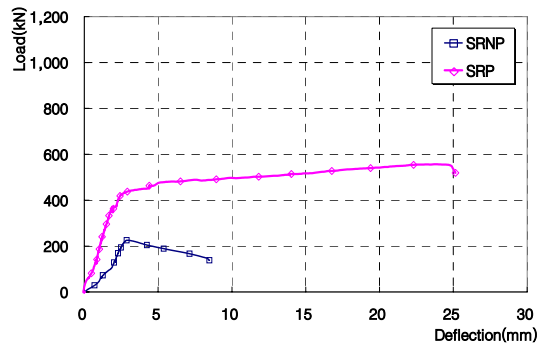
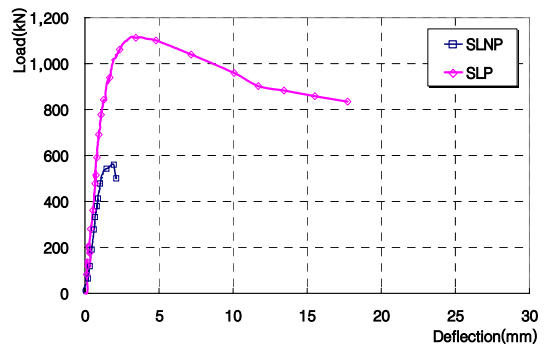


Fig. 21 접합부 형상에 따른 전단 하중-처짐



(a) 접합부 형상이 직사각형인 경우



(b) 접합부 형상이 L형인 경우

Fig. 22 PS 도입 유무에 따른 전단 하중-처짐

와 같다. 실험결과, 프리스트레싱력을 도입하지 않은 SRNP실험체와 SLNP실험체의 극한하중은 각각 225 kN, 562 kN으로 나타났으며, 극한하중에서 갑작스럽게 파괴되는 양상을 보였다. 이때 처짐은 각각 2.88 mm, 1.88mm로 나타났으며, 취성적인 전단파괴거동이 발생함을 확인하였다. 프리스트레싱력을 도입한 SRP실험체와 SLP실험체의 극한하중은 각각 463kN, 1,116kN으로 나타났다. SLP실험체의 경우 극한하중에서 PSC형부가 갑작스럽게 파괴되는 양상을 보였으나 SRP실험체의 경우는 PSC형부의 파괴 이후 하중 증가에 따라 PS강봉의 영향으로 인해 하중이 증가하여 최종 파괴되는 양상을 나타내었다. 이때 처짐은 각각 4.40mm, 3.23mm로 나타났으며, SRNP실험체와 SLNP실험체의 실험결과와 마찬가지로 취성적인 전단파괴거동이 발생하였다.

접합부 형상에 따라 비교하였을 때 강도측면에서 L형인 실험체가 직사각형 실험체보다 약 2.5배 정도의 우수한 전단저항성을 나타냈으며, 프리스트레싱력을 도입하는 경우가 도입하지 않은 경우보다 강도측면에서 약 2배 정도 우수한 전단저항성을 나타내었다. 이는 프리스트레싱력에 따라 상시 변화할 수 있는 값으로 설계시 충분히 고려하여야 할 것으로 판단된다.

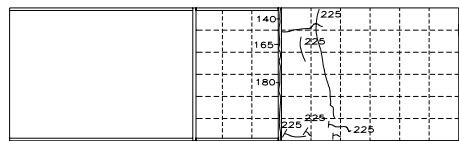
#### 4.2.2 전단 균열 및 파괴모드

하중 재하시 실험체의 PSC형부에 발생된 균열을 Fig. 23~24에 나타내었다. SRNP실험체의 경우 초기 균열은 복합형부 내부의 접합부 경계면 상부에서 140kN하중에 의해 발생되었으며, 하중 증가에 따라 경계면 하부로 균열이 진행되었다. 또한 초기 균열 이후에 PSC형부 상부에서 하부방향으로 균열이 발생하였으며, 225kN의 극한하중에 도달하였을 때 취성적인 급격한 전단파괴가 발생하였다.

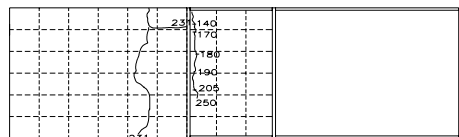
SRNP실험체의 초기균열은 SRNP실험체와 유사하게 복합형부 내부의 접합부 경계면 상부에서 125kN 하중에 의해 발생되었으며, 하중 증가에 따라 경계면 하부로 균열이 진행되다가 L형으로 꺾기는 부분에서 사선방향으로 균열이 발생하였다. 이후 하중이 재하되는 전면 전면판 상부의 PSC형부 주변에서 균열이 발생하여 하부방향으로 균열이 진행되었으며, 562

kN의 극한하중에 이르렀을 때 PSC형부 및 접합부에서 취성적인 전단파괴가 발생하였다.

SRP실험체의 초기 균열은 하중이 재하되는 접합부 주변 PSC형부 상부에서 365kN에 의해 균열이 발생하였다. 하중이 증가하면서 초기 균열이 발생한 부분의 콘크리트 표면이 일부 탈락되었으며, 균열은 접합부 경계면을 따라 하부로 진행되었다. 극한하중에 도달할 때에는 접합부 주변 PSC형부 하부에서 균열이 발생하여 PSC형부 상부로 균열이 진행되었으며, 접합부 및 PSC형부 상부에서 전단파괴가 발생하였다. SRP실험체의 경우 전단파괴 양상은 나타내었으나 급격한 취성파괴를 보이지는 않았다. 이는 프리스트레싱을 도입한 PS강봉에 의하여 연성이 확보되었기 때문이라고 판단된다. SLP실험체의 초기균열은 하중을 재하되는 전면 전면판 상부의 PSC형부 주변에서 250kN 하중에 의해 발생되었다.

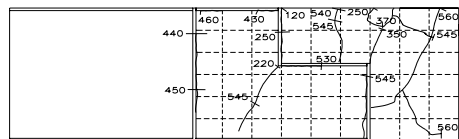


(a) 좌측면

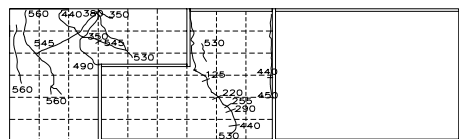


(b) 우측면

Fig. 23 SRNP실험체의 균열도

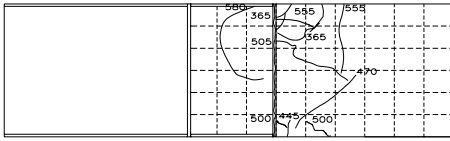


(a) 좌측면

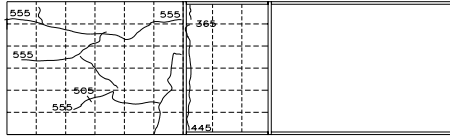


(b) 우측면

Fig. 24 SLNP실험체의 균열도

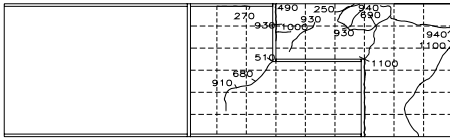


(a) 좌측면

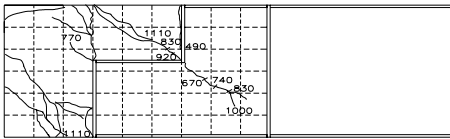


(b) 우측면

Fig. 25 SRP실험체의 균열도



(a) 좌측면



(b) 우측면

Fig. 26 SLP실험체의 균열도

이후 하중이 증가하면서 발생한 균열은 SLNP실험체의 균열과 거의 유사한 경향을 나타냈으며, 하중이 재하되는 전면판과 PSC형부에서 전단파괴가 발생하였다.

## 5. 결론

본 연구를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 강-PSC 혼합구조의 접합부 형상에 따른 하중저항 성능은 L형이 직사각형에 비하여 강도 측면에서는 FRP의 경우가 높게 나타났으나, 강성 및 연성 측면에서는 FLP의 경우가 보다 우수한 하중저항 성능을 나타냈다.
- 2) 강-PSC 혼합구조의 접합부 형상에 따른 하중저항 성능은 L형이 직사각형 보다 약 2.5배 정도 우수

한 것으로 나타났다. 또한 강-PSC 혼합구조의 프리스트레싱력 도입 유무에 따른 하중저항 성능은 프리스트레싱력을 도입한 접합부가 도입하지 않은 접합부에 비해 약 2배 정도 높은 하중저항 성능을 나타냈다.

- 3) 휨 및 전단에 대한 해석 결과로 미루어 볼 때 개선된 접합부 방식이 기존 접합부 방식보다 합성거동에 보다 유리한 것으로 판단되며, 개선된 접합부 방식을 강-PSC 혼합구조에 적용할 경우 구조적 성능 향상이 가능할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 GS건설 “Steel-Concrete Hybrid 교량의 접합부 연구”지원으로 이루어졌으며 이에 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

1. 김광수, 정광희, 심정욱, 유성원, “PSC-강 혼합거더의 연결부 거동 해석”, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회논문집, 제16권 제1호(통권 제30호), 2004, pp. 766~769.
2. 김광수, 정광희, 심정욱, 유성원, “프리스트레스트 콘크리트-강 혼합구조를 갖는 복합거더의 정적 휨거동”, 대한토목학회 정기학술대회논문집, 2004, pp. 48~53.
3. 김문겸, 노병철, 김정훈, 박현철, “강-콘크리트 혼합거더 접합부의 정적 거동에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회논문집, 제18권 제1호(통권 제 34호), 2006, pp. 426~429.
4. 정원기, 박상우, 구형선, “복합교량의 설계 사례”, 한국강구조학회지, Vol. 15, No. 1, 2003, pp. 90~99.
5. 정철원, 김광수, 심창수, “복합구조 교량의 시공과 기술 동향”, 한국콘크리트학회지, 제17권 제2호, 2005, pp. 12~21.
6. 허택녕, 윤익중, 김문겸, 조성용, “개선된 접합부 방식을 갖는 혼합구조의 3차원 비선형해석”, 대한토목학회 정기학술대회논문집, 2006, pp. 702~705.
7. Jeong, Y.J. Partial-Interaction Behavior of Steel-Concrete Composite Bridge Deck., Ph.D. Thesis Dept. of Civil Eng., Yonsei University, Korea, 2005.

- 
8. Link, R.A., "Finite Element Analysis of Composite Ice Resisting Walls", thesis of Ph.D., Univ. of Alberta, Canada, 1992.
  9. Soh, C.K., Chiew, S.P. and Dong, Y.X.. "Concrete-Steel Bond Behavior under Repeated Loading."

Magazine of Concrete Research, Vol. 54, No. 1, 2002, pp. 35~46.

급행 (접수일자 : 2007년 7월 14일)