

# 연결 플레이트를 사용한 프리캐스트 콘크리트 모듈러 보의 전단성능

## Shear Behaviour of Precast Concrete Modular Beam Using Connecting Plate

조 창 근\*  
Chang Geun Cho

노 경 민\*\*  
Kyong Min Ro

이 영 학\*\*\*  
Young Hak Lee

### Abstract

The Precast concrete(PC) modular structures are a method of assembling pre-fabricated unit modules in the construction site. The essential aim of modular structures is to introduce a connection method that can ensure splicing performance and effectively resist shear strength. This study proposed PC module using a connecting plate that can replace splice sleeves and shear keys used in the conventional PC modular structures. To evaluate the splicing performance and shear capacity of the proposed method, the shear test was conducted by fabricating one monolithic reinforced concrete(RC) beam and two PC modular beams with a shear span-to-depth ratio as variables. The experimental results showed that the shear capacity of the PC modular beam was about 89% compared to that of the RC beam, and showed a failure of the RC beam according to the shear span-to-depth ratio. Therefore, it was considered that the connecting plate effectively transferred the stress between each PC module through the joint and ensure integrity. In addition, the applicability of shear strength equation of ACI 318-19 and Zsutty's equation to PC modular beams were evaluated. Results demonstrated that the improved shear strength equations are needed to consider reduction of shear strength in PC modules.

*Keywords : precast concrete, monolithic beam, shear span-to-depth ratio*

## 1. 서론

모듈러 건축물은 공장에서 선 제작된 단위 모듈을 현장에서 조립하여 시공되기 때문에 공사기간을 효과적으로 단축할 수 있으며 공사 폐기물을 저감하여 친환경적인 이점이 있다. 모듈러 공법의 핵심은 단위 모듈 간 응력을 전달하여 단일 부재로 거동할 수 있도록 일체성을 확보하는 것이다. 또한 모듈러 부재의 연결부는 전단력에 매우 취약하기 때문에 전단력에 효과적으로 저항할 수 있는 연결 방법의 도입이 필수적이다. 프리캐스트 콘크리트(Precast Concrete, 이하 PC) 모듈을 사용하는 모듈러 공법에서는 일반적으로 겹침 이음 또는 스플라이

스 슬리브(Splice sleeve)와 같은 방법으로 철근을 연결하고 모듈 사이 간극에 모르타르를 주입하여 일체성을 확보하며 전단키를 통해 전단 성능을 확보한다<sup>1,2)</sup>. 스플라이스 슬리브를 통한 연결 방법은 모듈 내의 철근을 슬리브에 정착시키고 슬리브 내부에 모르타르를 주입하기 때문에 현장 작업이 많고, 슬리브 내부를 제대로 충전하지 못할 경우 철근이 정착되지 않는 문제가 발생하게 된다.

본 연구에서는 겹침 이음 또는 스플라이스 슬리브와 같은 기존 PC 모듈러 공법의 철근 이음 방식 대신, 콘크리트 모듈에 삽입된 플레이트를 볼트로 체결하는 방식의 PC 모듈 상세를 제안하였다. 이러한 상세는 선행연구<sup>3)</sup>의 상세와 유사하나 압축철근은 겹침 이음으로 연결하고 인장 측은 연결 플레이트를 삽입하였던 선행연구의 상세와 달리, 본 연구의 상세는 보의 압축 측과 인장 측에 모두 연결 플레이트가 삽입되어 기존 철근이음방식의 시공오차를 해결할 수 있으며 삽입된 플레이트가 전단키 역할을 대신할 수 있을 것으로 기대된다. 제안된

\* 정회원, 조선대학교 건축학부, 교수  
School of Architecture, Chosun University  
\*\* 학생회원, 경희대학교 건축공학과, 박사과정  
Architectural Engineering, Kyung Hee University  
\*\*\* 교신저자, 정회원, 경희대학교 건축공학과, 교수  
Architectural Engineering, Kyung Hee University  
Tel: 031-201-3815 Fax: 031-204-3815  
E-mail: leeyh@khu.ac.kr

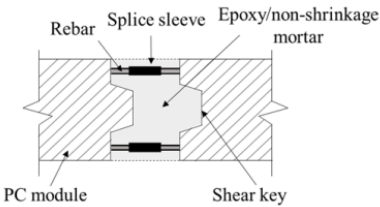
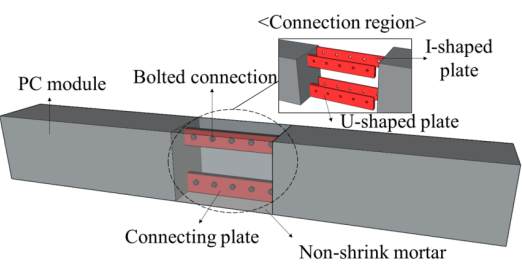
시스템의 일체화 거동 및 전단 성능을 평가하기 위하여 철근콘크리트 보(Reinforced Concrete, 이하 RC) 시험체 1개와 본 연구에서 제안된 PC 모듈러 상세가 적용된 PC 모듈러 시험체 2개를 제작하여 전단실험을 수행하였다.

RC 보의 전단 경간비에 따라 균열 및 파괴 양상이 다르다. 전단 경간비가 2.5이상 6이하면 사인장 파괴를 보이고, 전단 경간비가 2.5 미만이면 전단 압축 파괴를 보인다<sup>4)</sup>. 일반적으로 전단 경간비가 작아질수록 전단 강도가 증가하는 경향을 보이거나 ACI 318-19<sup>5)</sup>와 같은 현행 설계 기준에서는 전단강도 산정 시 전단 경간비를 고려하고 있지 않다<sup>6)</sup>. 다수의 선행 연구들을 통해 PC 모듈러 보와 RC 보의 구조성능이 유사함이 확인되었으나, 전단 경간비에 따른 PC 모듈러 보의 거동 및 현행설계 기준의 적용가능성에 대한 연구는 미비하다. 따라서 본 연구에서는 PC 모듈러 시험체의 전단 경간비를 변수로 하여 전단거동을 평가하였다. 이후 ACI 318-19와 같은 현행설계기준과 전단 경간비를 고려한 선행연구자의 제안식<sup>7)</sup>을 PC 모듈러 보에 적용이 가능한지 확인하였다.

## 2. 연결 플레이트를 사용한 PC 모듈러 보 상세 제안

본 연구에서는 기존 PC 모듈러 공법에서 사용되는 철근이음 방식과 전단키를 대신할 수 있는 연결 플레이트가 삽입된 PC 모듈러 부재를 제안하였다. 본 연구의 제안 공법과 기존의 PC 부재간의 상세를 비교하여 <Table 1>에 나타내었다. 연결 플레이트는 U자형과 I자형 플레이트가 한 쌍으로 구성되며, I자형 플레이트는 U자형 플레이트의 슬롯으로 끼워진다. 이는 기존 PC 모듈러 공법에서의 전단키가 전단력에 저항하는 원리와 동일하다. 연결 플레이트는 볼트로 조립되며 연결 플레이트로 인해 생긴 간극은 무수축 모르타르를 주입하여 접합된다. I자형 플레이트가 U자형 플레이트의 위에서 아래로 끼워지는 형태이기 때문에 PC 모듈을 양중한 상태에서 곧바로 연결이 가능하고 시공오차를 줄일 수 있다. 또한 연결 플레이트 간은 볼트로 접합되기 때문에 작업자의 숙련도와 무관하게 균일한 품질을 보장할 수 있으며, 시공이 용이하다는 장점이 있다.

<Table 1> Comparison with PC modular beam type

Type	Section	Connection method for rebar	Shear resistance method
Typical PC modular beam		Splice sleeve	Shear key
Proposed PC modular beam		Connecting plate	

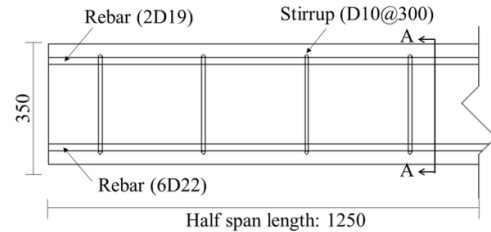
### 3. 실험 개요

#### 3.1 시험체 상세

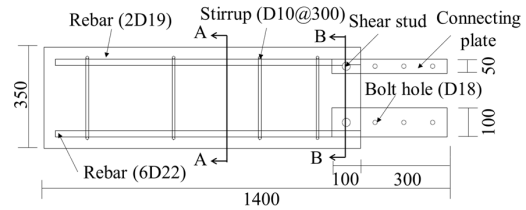
제안 공법이 적용된 PC 모듈러 보가 일반적인 RC 보와 유사한 구조 성능을 보유하고 있다면 제안 공법의 일체화 거동을 보장할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구는 RC 보 시험체 1개와 제안 공법이 적용된 PC 모듈러 보 시험체 2개를 제작하여 전단실험을 수행하였다. 전단경간비에 따른 PC 모듈러 보의 전단성능을 분석하고자 전단경간비를 변수로 설정하였다. 일반적으로 전단경간비는 2.5 기준으로 파괴 양상이 달라지므로 본 연구에서는 전단경간비가 2와 3인 시험체를 고려하였다. 전단경간비가 3이고 RC 보인 시험체는 RCB-3, PC 모듈러 보 시험체는 PCB-3, 전단경간비가 2인 PC 모듈러 보 시험체는 PCB-2로 명명하였다. 시험체 상세를 (Fig. 1)에 나타내었다.

시험체 크기는 폭 300mm, 높이 350mm이며, 총길이는 2400mm이다. PC 보 시험체의 경우 연결 플레이트의 길이는 400mm이며 각 모듈 내부로 100mm가 삽입되어 있어 연결 플레이트로 인한 간극은 300mm이다. 모든 시험체는 전단파괴 이전에 휨 파괴 되는 것을 방지하기 위하여 지름 22mm의 주 철근 6개를 배근하였다. 시험체 제작에 사용된 콘크리트, 모르타르, 강재의 물성은 각각 국내 재료시험 기준인 KS F2405(2017)<sup>8)</sup>, KS L 5105(2017)<sup>9)</sup>, KS B 0802(2013)<sup>10)</sup>로 측정되었다. 재료 시험 기준은 3개 이상의 공시체 실험결과의 평균으로 재료 물성을 결정한다고 명시되어 있어 모든 재료는 각 3개의 공시체를 제작하여 실험을 수행하였다. 실험결과 콘크리트의 28일 압축강도는 24MPa, 무수축 모르타르의 압축강도는 61MPa, 철근 및 스티럽의 항복강도는 402MPa, 연결 플레이트의 항복강도는 276MPa이다.

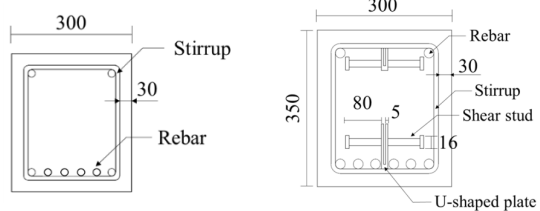
연결 플레이트를 사용한 PC 모듈러 보의 조립과정은 (Fig. 2)와 같다. 먼저 공장에서 제작된 PC 모듈 중 I자형 플레이트가 삽입된 PC 모듈이 양중된 상태에서 U자형 플레이트가 삽입된 PC 모듈의 위에서 아래로 끼워진다. 이후 플레이트간은 볼트로 접합되며, 플레이트로 인한 모듈 간극에 무수축 모르타르를 주입하여 접합하였다.



(a) Side view of RCB-3



(b) Side view of PCB-2 and PCB-3



(c) A-A section (d) B-B section  
(Fig. 1) Drawings of specimens (mm)



(a) Assembling connecting plate



(b) Injection of non-shrink mortar

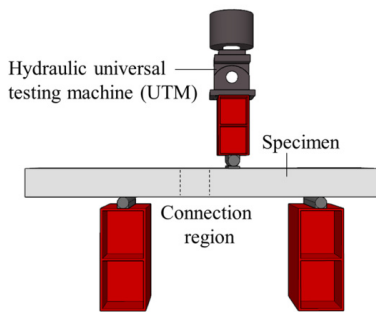


(c) Removal of concrete form

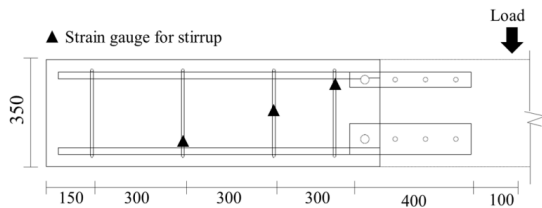
(Fig. 2) Construction process of proposed PC modular beam

### 3.2 실험 방법

제안 공법이 적용된 PC 모듈러 보의 전단성능을 평가하기 위하여 <Fig. 3>과 같이 전단실험을 수행하였다. 하중은 5000kN 용량의 유압식 만능시험기(Hydraulic universal testing machine, 이하 UTM)를 사용하여 단순 지지된 시험체에 2mm/min의 속도로 재하하였다. 전단경간비는 지점 간격으로 제어하였다. 시험체의 전단저항성능을 평가하기 위하여 <Fig. 4>와 같이 스티럽에 변형률 게이지를 부착하였다.



<Fig. 3> Test setup



<Fig. 4> Location of strain gauges (mm)

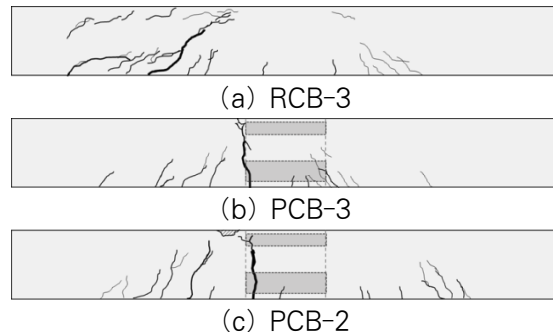
## 4. 실험 개요

### 4.1 균열 및 파괴양상

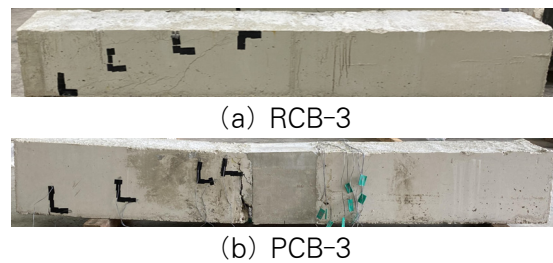
실험결과 관찰된 균열 및 파괴양상을 <Fig. 5>에 나타내었다. 모든 시험체는 지점부에서 가력지점까지에 이르는 전단 균열이 진전되며 파괴되었다. 전단경간비가 3인 RCB-3과 PCB-3 시험체는 각각 최대하중의 30%, 40%에 도달하였을 때 휨 균열이 발생하였으며 이후 두 시험체 모두 최대하중이 60%에 도달하였을 때 전단균열이 발생하고 최대하중의 80%에 도달하였을 때 전단균열이 보의 압축영역까지 진전되며 파괴되었다. 전단경간비가 2인 PCB-2 시험체는 최대하중의 30%에 도달하였을 때 휨 균열이 발생하였으며 하중이 증가함에 따라 전단균열이 발생하다

가 이후 60%에 도달하였을 때 가파른 전단균열이 발생하며 전단균열의 폭이 크게 증가하다가 보의 압축영역까지 진전되며 취성적으로 파괴되었다.

PC 보 시험체는 모두 지점에서 가력지점까지 이르는 전단 균열이 발생하고, 이후 하중이 증가함에 따라 연결부 형상에 따라 수직 균열이 발생하며 파괴되었다. 다수의 선행연구에 따르면, PC 수평부재에서 연결부 형상에 따라 균열이 진전되는 것은 일반적이다<sup>11)</sup>. 또한 PC 보 시험체는 철근콘크리트 보인 RCB-3과 초기 균열 양상 및 파괴거동이 유사하였으며, PCB-2 시험체의 경우 전단경간비가 1이상 2.5 이하인 일반적인 RC 보에서의 전단압축파괴 거동을 보임을 확인하였다. <Fig. 6>은 실험 종료 후 RCB-3과 PCB-3 시험체의 파괴 양상이다. PC 보 시험체인 PCB-3과 PCB-2의 파괴양상이 유사하므로 식별의 편의를 위해 PCB-3의 파괴양상만을 나타내었다.



<Fig. 5> Crack propagation and failure mode



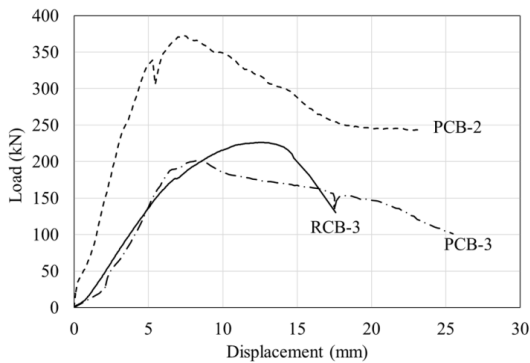
<Fig. 6> Failure after a shear test

### 4.2 하중 변위 및 변형률 관계

각 시험체의 실험 결과를 <Table 2>에 정리하였으며, 하중-변위 곡선을 <Fig. 7>에 나타내었다. <Table 2>에서  $P_{max}$ 는 최대하중,  $\delta_{max}$ 는 최대하중일 때의 변위값을 의미한다. RCB-3 시험체의 최대하중은 226.25kN이며, 연결 플레이트가 삽입된 PC 모듈러 보인 PCB-3시험체의 최대하중은 RCB-3의 89%인 200.96kN이었다. 탄성구간 내에서 두 시험체의 강성은 유사하였으나, PCB-3에서 RCB-3 대비 상대적으로 균열이 적게 발생하여 최대하중 발생이후 PCB-3시험체의 강성이 완만하게 감소함을 확인하였다. 이는 모듈 내에 삽입된 연결 플레이트가 전단력에 효과적으로 저항하였으며 우수한 연성을 보유했기 때문인 것으로 판단된다. 전단경간비가 2로 RCB-3과 PCB-3의 전단경간비 대비 약 67%인 PCB-2의 최대하중은 372.88kN이다. 이는 같은 상세를 가진 PCB-3의 최대하중 대비 1.85배에 해당한다. 전단경간비가 감소함에 따라 전단강도가 증가하여 PCB-2는 PCB-3에 비하여 최초균열시점부터 최대하중까지 취성적으로 거동함을 확인하였다.

<Table 2> Test results

Specimen	Shear span-to-depth ratio (a/d)	$P_{max}$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)
RCB-3	3	226.25	12.7
PCB-3	3	200.96	8.21
PCB-2	2	372.88	7.4

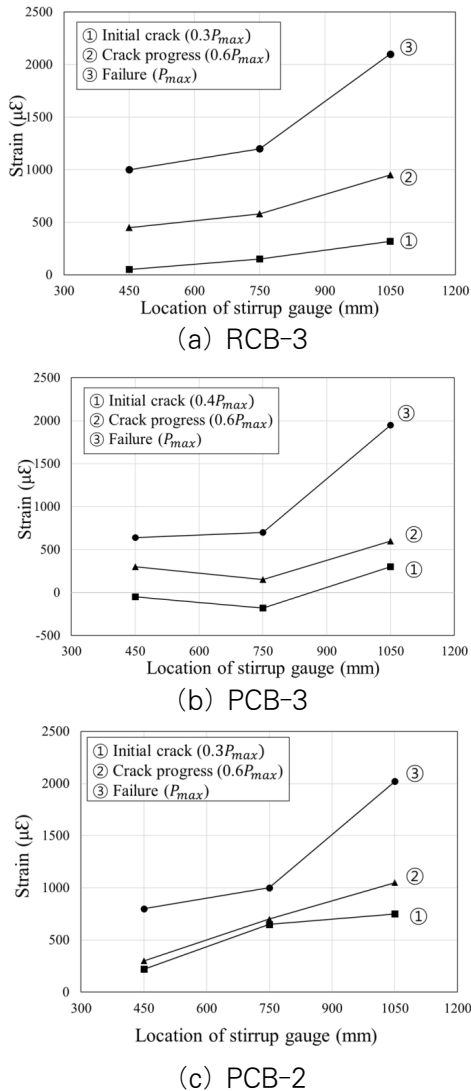


<Fig. 7> Load-displacement curve

철근콘크리트 보에서 스테럽은 전단력에 저항하는 역할을 한다. 따라서 하중 증가에 따른 스테럽의 변형률은 보의 전단성능을 분석하는데 주요 요소이다. 각 시험체의 전단 거동을 확인하기 위하여 <Fig. 8>과 같이 스테럽의 변형률을 분석하였다. <Fig. 8>에는 균열진전에 따른 전단거동을 확인하고자 초기 균열 발생, 균열이 압축영역으로 진전되는 시점, 그리고 최대하중에 도달하였을 때의 변형률을 나타내었다. 일반적으로 철근콘크리트 보에서는 지점에서 하중가력지점으로 가까워질수록 변형률이 증가한다. 그러나 PCB-3의 경우 다른 시험체와 달리 보의 단부로부터 750mm 떨어진 스테럽의 변형률이 450mm에서의 스테럽의 변형률보다 작게 관찰되었다. 이는 PCB-3은 지점과 가력지점을 잇는 전단균열보다는 PC 접합부에서 시작된 균열이 파괴에 더 지배적이었던 것으로 판단된다.

모든 시험체는 보의 단부로 부터 1050mm에 위치하여 가력지점과 가장 가까운 스테럽에서 최대하중에 도달함에 따라 변형률이 가장 급격하게 증가하고 항복변형률인 0.002를 초과하였다. 이는 일반적으로 철근콘크리트 보에서 전단균열은 지점에서 가력지점까지 진전되며, 일반적으로 변형률은 하중이 최대 전단저항에 근접함에 따라 급격하게 증가하기 때문이다. 따라서 일반적인 철근콘크리트 보인 RCB-3 시험체와 본 연구에서 제안한 PC 모듈러 보 시험체의 변형률 분포 양상이 유사하고 이는 철근콘크리트 보에서 보이는 일반적인 전단거동이므로 연결 플레이트는 전단응력을 PC 모듈로 전달해주어 부재의 일체화 거동을 확보하는 것으로 판단된다.





〈Fig. 8〉 Strain distribution

### 4.3 전단 설계 기준 검토

모듈과 모듈의 접합으로 구성되는 PC 모듈러 보의 접합부로 인해 일체화된 RC 보 대비 약 70~85%의 휨 및 전단성능을 보유하는 것으로 기존 연구를 통해 규명되었다<sup>12)</sup>. 그러나 아직까지 ACI 318-19(5)을 비롯한 현행 설계기준에서는 PC 모듈러 보의 설계시 접합부에 대한 고려 없이 일반적인 RC보와 동일한 방식을 사용한다. 따라서 본 연구에서는 ACI 318-19의 전단강도식을 통해 연결 플레이트로 접합된 PC 모듈러 보의 전단설계가 가능한지 평가하였다. 추가적으로 ACI 318-19는 전단경간비를 고려하고 있지 않으므로, 전단경간비를 고려하고 있는 Zsutty의 전단강도 산정식<sup>7)</sup>도 함께 평가하였다.

이때 PC 모듈러 보 내부에 삽입된 연결 플레이트는 보 중앙에만 위치하여 모듈과 모듈 사이에서 응력을 전달해 주는 역할이므로 휨 및 전단성능에 기여하는 정도가 미미하다고 판단하여 전단강도 산정식에서 연결 플레이트의 기여분을 고려하지 않았다.

ACI 설계기준에서 제시하는 철근콘크리트 보의 전단강도 산정식 식(1)~(3)과 같으며 전단경간비를 고려하여 콘크리트의 전단강도를 산정하는 Zsutty의 제안식은 식(4)와 같다.

$$V_{aci} = V_c + V_s \quad (1)$$

$$V_c = \frac{\lambda}{6} \sqrt{f_{ck}} b_w d \quad (2)$$

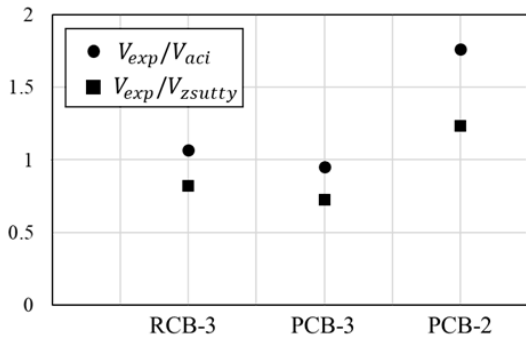
$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (3)$$

$$V_{c, zsutty} = 2.13 (f_{ck} \rho \frac{d}{a})^{1/3} b_w d \quad (4)$$

여기서  $V_c$ 는 콘크리트의 전단강도,  $V_s$ 는 스테럽의 전단강도,  $\lambda$ 는 경량콘크리트계수,  $f_{ck}$ 는 콘크리트 압축강도,  $b_w$ 는 복부의 폭,  $d$ 는 인장철근의 중심에서 압축콘크리트 연단까지의 거리,  $A_v$ 는 간격  $s$  내의 전단철근의 단면적,  $f_y$ 는 철근의 항복강도,  $s$ 는 전단철근의 간격,  $\rho$ 는 인장철근비,  $a$ 는 전단경간으로 하중점과 지점사이의 거리를 나타낸다.

실험결과와 ACI 318-19, 그리고 Zsutty의 제안식으로 산정한 전단강도를 비교하여 〈Table 3〉에 나타내었다. 〈Fig. 9〉은 ACI 318-19와 Zsutty의 전단강도 산정식으로 산정한 값 대비 실험결과를 비교한 그래프이다.

실험결과, PC 모듈러 보인 PCB-3의 전단강도는 123.67kN으로 ACI 318-19와 Zsutty의 산정식으로 예측된 전단강도 대비 각각 94%, 73%로 나타났다. 이는 PC 모듈러 보의 접합부로 인해 일체화된 RC보 대비 약 70~85% 구조 성능을 보이지만, 전단강도 산정식에서는 이를 고려하고 있지 않기 때문이다. 다만 PCB-2의 경우 설계 값 보다 큰 전단강도를 보였는데 이는 다른 시험체에 비해 작은 전단경간비를 갖기 때문이다. 따라서 PC 모듈러 보의 합리적인 전단설계를 위해서는 기존 전단강도 산정식에서 접합부로 인한 강도감소를 고려할 수 있는 계수를 적용해야 할 것으로 판단된다.



〈Fig. 9〉 Comparison between shear equations and experiment results

〈Table 3〉 Shear strength of specimens

Specimen	$V_{exp}$ (kN)	$V_{aci}$ (kN)	$V_{zsutty}$ (kN)
RCB-3	139.23		170
PCB-3	123.67	130	170
PCB-2	229.46		186

## 5. 결론

본 연구에서는 기존 PC 모듈의 철근이음방식의 단점을 개선하고 구조 성능 및 일체성이 우수한 연결 플레이트로 접합된 PC 모듈러 보 상세를 제안하였다. 철근콘크리트 보 시험체와 전단경간비를 변수로 한 PC 모듈러 보 시험체를 제작하고 전단실험을 수행하여 일체성 및 전단성능을 평가하였다. 연구의 주요 결론은 다음과 같다.

1) PCB-3, PCB-2 시험체는 모두 지점에서 가력지점까지 이르는 전단 균열이 발생하고, 이후 연결부 형상에 따라 수직 균열이 발생하며 파괴되었다. 이는 일체형 철근콘크리트 보인 RCB-3과 초기균열 및 파괴거동 측면에서 유사한 양상이다.

2) PCB-3의 최대하중은 철근콘크리트 보인 RCB의 최대하중의 89%였다. 탄성구간내에서 두 시험체의 강성은 유사하였으나, 최대하중 발생이후 PCB-3의 강성이 RCB-3 대비 완만하게 감소함을 확인하였다. 이는 모듈 내에 삽입된 연결 플레이트가 전단력에 효과적으로 저항하였으며 우수한 연성을 보유했기 때문인 것으로 판단된다. 전단경간비가 2인

PCB-2의 최대하중은 전단경간비가 3인 PCB-3의 최대하중 대비 1.85배로, 일반적인 철근콘크리트 보에서 전단경간비가 감소할수록 최대하중이 증가하는 경향과 동일하다. 스티럽 변형률을 분석한 결과, RCB-3과 PC 모듈러 보 시험체의 변형률 분포 양상이 유사하고 이는 철근콘크리트 보에서 보이는 일반적인 전단거동이므로 연결 플레이트는 전단응력을 PC 모듈로 전달해주어 부재의 일체화 거동을 확보하는 것으로 판단된다. 따라서 제안상세는 일반적인 PC 모듈에서의 전단기 역할을 수행하는 것으로 판단된다.

3) 실험결과와 ACI 318-19, 그리고 Zsutty의 제안식으로 산정한 전단강도를 비교하였다. PC 모듈러 보는 접합부로 인해 일체화된 RC 보 대비 구조성능이 저하되나 두 전단강도 식은 이를 고려하고 있지 않은 것을 확인하였다. 따라서 PC 모듈러 보의 합리적인 전단설계를 위해서는 기존 전단강도 산정식에서 접합부로 인한 강도 감소를 고려할 수 있는 계수를 적용해야 할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 교과부 한국연구재단의 지원에 의해 수행된 2021년도 기초연구실사업 (NRF-2019R1A4A1028116) 결과의 일부입니다.

## References

1. Shin, D. H., Seo, S. Y., & Kim, K. S., "Experiment on the hysteretic behavior of a hollow PC column-half PC beam exterior joint", Journal of the Korea Concrete Institute, Vol.29, No.5, pp.515~524, 2017
2. Yan, Q., Chen, T., & Xie, Z., "Seismic experimental study on a precast concrete beam-column connection with grout sleeves", Engineering Structures, Vol.155, pp.330~344, 2018
3. Ro, K. M., Cho, C. G., & Lee, Y.H., "An experimental study on flexural performance

- of precast concrete modular beam systems”,  
Journal of Korean Association for Spatial  
Structures, Vol.21, No.3, pp. 69~76, 2021
4. MacGregor, J. G., Wight, J. K., Teng, S., &  
Irawan, P., “Reinforced concrete: Mechanics  
and design”, NJ: Prentice Hall, Vol. 3, 1997.
  5. ACI 318-19, ACI Committee 318, American  
Concrete Institute, 2019
  6. Cho, G. Y., Park, Y. C., & Choi, C. S., “An  
experimental study on the one-way shear  
strength of void slabs with automatic  
prefabrication of welded wire truss”, Journal  
of the Korea Concrete Institute, Vol.30, No.3,  
pp.305~314, 2018
  7. Zsutty, T. C., “Beam shear strength  
prediction by analysis of existing data”, In  
Journal Proceedings, Vol. 65, No.11,  
pp.943~951, 1968
  8. KS F 2405, Korea Standard, Korean Agency  
for Technology and Standards, 2017
  9. KS L 5105, Korea Standard, Korean Agency  
for Technology and Standards, 2017
  10. KS B 0802, Korea Standard, Korean Agency  
for Technology and Standards, 2013.
  11. Kankeri, P., & Prakash, S.S., “Experimental  
evaluation of bonded overlay and NSM  
GFRP bar strengthening on flexural  
behavior of precast prestressed hollow core  
slabs”, Engineering Structures, Vol.120,  
pp.49~57, 2016
  12. Breccolotti, M., Gentile, S., Tommasini, M.,  
Materazzi, A. L., Bonfigli, M. F., Pasqualini,  
B., & Giancesini, M., “Beam-column joints in  
continuous RC frames: Comparison between  
cast-in-situ and precast solutions”, Engineering  
Structures. Vol.127, pp.129~144, 2016

- Received : October 13, 2021
- Revised : November 1, 2021
- Accepted : November 8, 2021