



강재-콘크리트 하이브리드 보의 일축 전단 및 전단마찰 거동에서 장부철근의 영향평가

권혁진¹⁾ · 양근혁^{2)*} · 홍승현³⁾

¹⁾경기대학교 건축공학과 ²⁾경기대학교 플랜트·건축공학과 ³⁾(주)한주에스티

Evaluation of Dowel Bar on the One-way Shear and Shear Friction Behaviors of Hybrid Beams Composed of Steel and Reinforced Concrete Elements

Hyuck-Jin Kwon,¹⁾ Keun-Hyeok Yang,^{2)*} and Seung-Hyun Hong³⁾

¹⁾Architectural Engineering, Kyonggi University, Suwon, 16227, Rep. of Korea

²⁾Department of Plant·Architectural Engineering, Kyonggi University, Suwon, 16227, Rep. of Korea

³⁾Han-Ju ST Co., Ltd, Seoul, 08390, Rep. of Korea

ABSTRACT This study examined the one-way shear in concrete beam region and shear friction in joint region of a hybrid H-steel-reinforced concrete (HSRC) beam system with a simple ductile connection. One-way shear tests were conducted under overhanging beam system with a shear span-to-depth ratio of 1.6. Simple beams for shear friction were tested under two-point symmetrical top loads producing a clear shear span-to-depth ratio of 0.1. Test results showed that the dowel bars arranged in joint region insignificantly influence the propagation of shear cracks but enhances the shear strength of the HSRC beams by approximately 25%. The one-way shear strength and shear friction strength of HSRC beams can be conservatively evaluated using the design equations specified in ACI 318-14 and EC2 shear provisions.

Keywords : hybrid beam, rigid connection, dowel bar, one-way shear, shear friction

1. 서 론

최근 국내에서는 장경간 구조에 적합하면서 경제성과 시공성이 우수한 합리적인 구조시스템이 관심을 끌고 있다.¹⁾ 이에 따라 기존 공법과 구조시스템의 한계를 개선시키기 위해 서로 다른 재료 또는 구조 시스템을 합성하는 하이브리드 보 시스템에 대한 연구가 증가하고 있다. 하이브리드 보 시스템에서 조합되는 콘크리트와 강재의 합성은 단순히 콘크리트 속에 강재를 매립하거나 강재를 콘크리트 거푸집으로 사용하여 일체화하는 재료적 합성이 아닌, 철근 콘크리트 (reinforced concrete, RC) 보 시스템과 강재 보 시스템을 합성하는 구조적인 합성이다.²⁾

기존 하이브리드 보 시스템에서 RC 보와 강재 보의 접합은 대부분 볼트접합을 이용하는데, 이는 시공의 복잡함 및

크레인 양중 시간의 증가의 문제점이 있다. 또한 콘크리트에 매립된 강재와 콘크리트 보의 강성차이로 인한 분리현상, 합성율의 저하로 인한 할렬균열 및 전단균열이 발생할 수 있다.³⁾ Yang et al.⁴⁾은 볼트 접합에 기반한 기존 하이브리드 보의 문제점을 극복하기 위해 시공성이 비교적 단순하면서 부재의 연성능력이 향상된 하이브리드 보 시스템(hybrid H-steel-reinforced concrete, HSRC)을 개발하였다. 개발된 HSRC 보에서 RC 보는 프리캐스트 콘크리트(precaster concrete, PC)와 현장타설 콘크리트(cast-in-place concrete, CIP)를 함께 사용하는 half PC 공법⁵⁾을, 강재 보는 H-보를 사용하였다. RC 보에 배근된 철근은 H-보 단부에 용접된 L-형 연결재에 커플러를 통해 기계적으로 정착되며, RC 보와 H-보는 강접합으로 연결된다.

하중이 작용하는 보에는 휨 모멘트뿐만 아니라 보의 축에 연직 방향으로 작용하는 전단력도 동시에 발생한다. 일반적으로 전단경간비가 큰 보에서 전단력에 의해 발생하는 전단 응력은 휨에 의한 응력에 비해 작지만 전단력에 의한 파괴는 급격히 내력이 감소하는 취성파괴이기 때문에 보 부재에서 전단내력 검토는 매우 중요하다.⁶⁾ HSRC 보에서 복합공법

*Corresponding author E-mail : yangkh@kgu.ac.kr

Received November 21, 2016, Revised January 6, 2017,

Accepted January 18, 2017

©2017 by Korea Concrete Institute

으로 시공되는 RC 보는 PC와 CIP의 접촉면이 존재하는데, 이러한 접촉면 사이에서 수평 균열 및 수평 전단파괴의 발생은 보 부재의 휨 성능과 수직전단 성능을 저하시킨다.⁷⁾ 또한 연결절점 영역에 큰 하중이 발생하였을 경우에는 전단마찰 지배로 인한 직접전단에 의해 부재의 거동이 지배될 수 있다. 전단마찰 거동 시, 전단 파괴면에 수직으로 배근된 보강근에는 인장응력이 발생하며 전단면에 동일한 크기에 압축응력이 발생시키는데, 이는 전단마찰저항에 영향을 미친다. 따라서 제안된 HSRC 보에서 연결절점 상세에 따른 일축 전단 및 전단마찰에 대한 검토는 매우 중요하다.

이 연구의 목적은 HSRC 보에서 연결절점 부근의 RC 보 영역에서 일축 전단 및 전단마찰 지배가 발생하였을 때의 거동을 평가하는 것이다. 실험변수는 실험체의 파괴 거동을 결정하는 전단경간비와 두 부재의 일체화에 영향을 주는 장부철근의 배근유무이다. 일축 전단 및 전단마찰 내력은 ACI 및 EC2의 설계 기준식과 비교하였다.

2. 실험

2.1 실험체 상세

일축 전단 실험체의 상세는 Fig. 1에 나타내었다. 일축 전단 실험체는 건물내부 연속보의 변곡점에서 변곡점까지의 보를 모델링하였다. 또한 H-보와 RC 보가 연결되는 연결절

점 영역은 휨 모멘트가 발생하지 않도록 지점을 설계하여 휨 모멘트의 영향을 최소화하였다. H-보와 RC 보의 연결상세에 대해서는 Seo et al. (2015)²⁾에 자세히 나타내었다. 실험변수는 장부철근의 유무로써, S-C는 장부철근이 없는 기본실험체이고 S-A 실험체는 연결절점 영역에 장부철근이 배근된 실험체이다. S-A 실험체는 장부철근으로 2-D16을 PC 보 상·하부에 600 mm의 정착 길이를 확보하여 배근하였는데, 이는 설계기준에서 요구하는 인장철근의 소요 정착 길이 이상이다. 일축 전단 실험체의 전체 길이는 4,200 mm이다. H-보의 길이는 905 mm이고 RC 보의 길이는 3,295 mm이다. 단부 H-보는 H-400 × 300 × 10 × 16 (mm)를 사용하였으며 전단 파괴 및 국부좌굴을 방지하기 위하여 9 mm의 스티프너를 100 mm 간격으로 용접하였다. RC 보의 깊이는 300 × 500 mm인데, 여기서 PC 보의 깊이는 350 mm, CIP는 150 mm이다. H-보 단부에는 RC 보와의 연결절점 접합을 위한 25 mm 두께의 L-형 연결재를 용접 접합하였다. 장부철근이 없는 경우, L-형 연결재에는 콘크리트와 강재의 일체화를 위하여 직경 19 mm의 스티드 볼트를 설치하였다. RC 보의 상·하부 주철근 및 장부철근은 L-형 연결재에 커플러를 통하여 기계적 정착되었다. 상·하부 주철근은 SD600의 4-D25가 배근되었으며, 이때의 주철근비는 약 1.6%이다. 이는 최대철근비인 1.23%를 초과하는 값으로, 일축 전단파괴가 발생하기 이전에 발생하는 휨 파괴를 방지하기 위함이다. 전단철근은 SD400의 직경 10 mm 철근을 사용하였으며, 연결절점영역

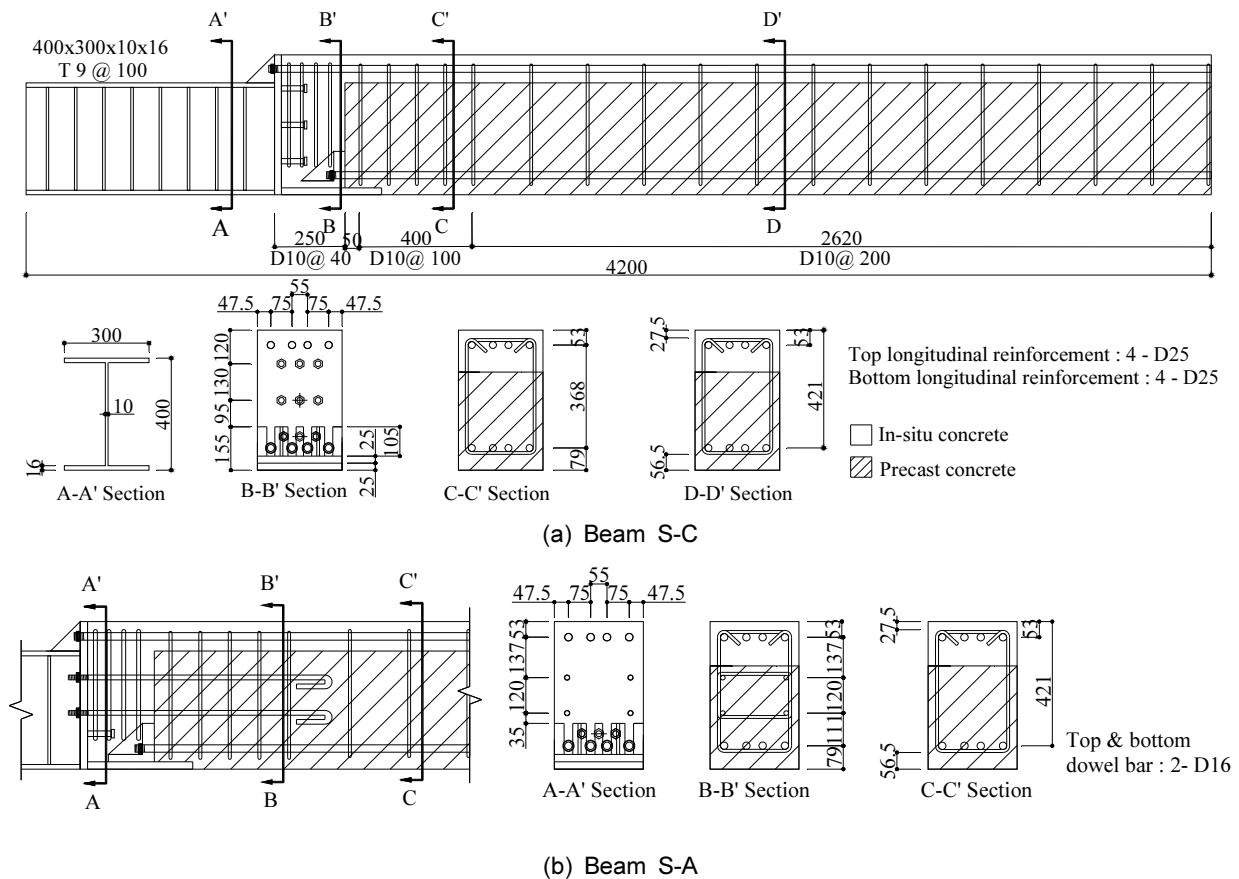
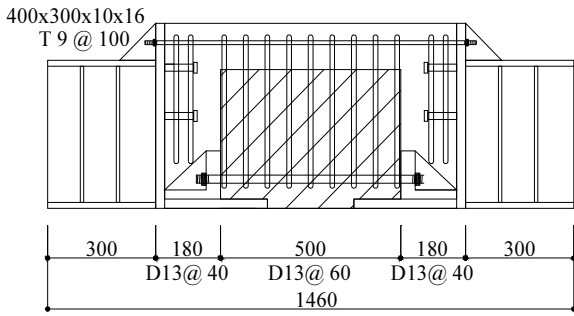
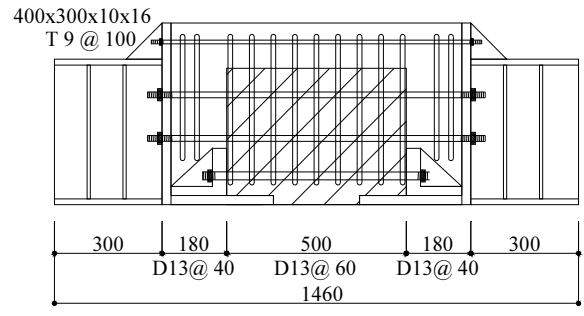


Fig. 1 Details of one-way shear specimen and reinforcement arrangement (unit: mm)



Top longitudinal reinforcement : 2 - D10
Bottom longitudinal reinforcement : 4 - D22

(a) Beam D-C



Top & bottom longitudinal reinforcement : 2 - D16
In-situ concrete
Precast concrete

(b) Beam D-A

Fig. 2 Details of shear friction specimen and reinforcement arrangement (unit: mm)

에서는 40 mm 간격으로, 연결절점영역에서 400 mm 구간에는 100 mm 간격으로, 이후 구간에는 200 mm 간격으로 배근하였다. 실험체는 L-형 연결재가 용접된 H-보와 PC 보를 각각 제작한 후에 PC 보에 배근된 철근을 L-형 연결재와 커플러로 강접합 하였다. 이후 상부 주철근을 배근 및 정착 후, CIP 부위인 연결절점 영역과 슬래브를 타설하였다. 실험체의 타설된 콘크리트는 모두 기건양생 하였다.

전단마찰 실험체는 강재 보와 PC 보가 연결되는 콘크리트 영역에서의 파괴를 유도하기 위하여 계획되었다. 전단마찰 실험체는 일축 전단 실험체와 동일한 실험변수, H-보 사이즈, RC 보 단면 사이즈 및 제작방법을 갖는다. L-형 연결재의 하부 길이는 일축 전단 실험체보다 70 mm 감소 시켰다. D-C 실험체는 장부철근이 없는 전단마찰 기본 실험체이며, D-A 실험체는 RC 보 전체길이에 장부철근이 배근된 실험체이다(Fig. 2). 전단마찰 실험체의 전체 길이는 1,460 mm이며 양단부 H-보의 길이는 325 mm, RC 보는 810 mm이다. 상부 주철근은 SD400의 2-D10, 하부 주철근은 SD400의 4-D22가 배근되었으며, 이때의 주철근비는 약 1.2%이다. 전단철근은 SD400의 직경 13 mm 철근을 사용하였으며, 배근 간격은 연결절점 영역에서 40 mm 이고, 나머지 구간에서 60 mm이다.

2.2 재료

설계 콘크리트 강도는 일축 전단 실험체의 경우 PC와 CIP 모두 35 MPa이며, 전단마찰 실험체의 경우에는 50 MPa이다. 설계 콘크리트 강도를 고려하여 결정된 배합표는 Table 1에 나타내었으며, 콘크리트 타설은 레미콘을 이용하였다. 콘크리트 압축강도와 응력-변형률 관계는 표준 원주 공시체 ($\phi 100 \times 200$ mm)를 이용하여 측정하였다⁸⁾. 부재 실험 전에 측정된 PC 및 CIP의 콘크리트 압축강도는 일축 전단 실험체에서 36.7 MPa와 35.3 MPa이고 전단마찰 실험체에서 59.0 MPa와 57.5 MPa이다. 응력-변형률 관계의 할선 기울기로부터 측정된 콘크리트의 탄성계수는 일축 전단 실험체에서 28,900 MPa, 전단마찰 실험체에서 33,700 MPa였다. 실험체에 사용된 H-형강과 철근의 역학적 특성평가는 KS 기준⁹⁾에 따라 수행하였다. Fig. 3 및 Table 2에는 강재의 응력-변형률 관계와 역학

Table 1 Mixture proportion of concrete

Designed compressive strength	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)			
			W	C	S	G
35	0.375	0.40	165	440	701	1049
50	0.295	0.43	166	563	699	935

Note) W/C = water/cement ratio, S/a = sand/aggregate ratio, W = water, C = cement, S = sand, G = gravel

Table 2 Mechanical properties of metallic materials

Type	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Modulus of elasticity (MPa)	Elongation (%)	
Reinforcing bar	D10	518	609	197,441	22
	D13	523	639	200,579	19
	D16	476	616	198,519	21
	D22	517	642	202,910	20
	D25	634	736	212,987	18
H-steel	SM490	412	531	205,548	17

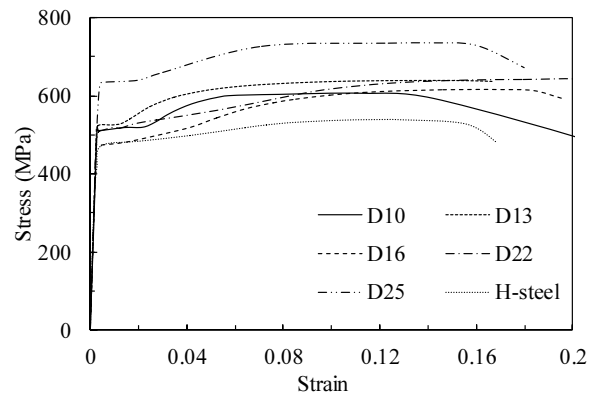


Fig. 3 Stress-strain curve of metallic materials

적 특성을 나타내었다. 일축 전단 실험체에서 주철근으로 사용된 25 mm 철근의 항복강도는 634 MPa였으며, 전단마

찰 실험체에서 주철근으로 사용된 10 mm와 22 mm 철근의 항복강도는 518 MPa와 517 MPa였다. 장부철근으로 배근된 16 mm 철근의 항복강도는 476 MPa였다. 실험체에 사용된 철근들의 탄성계수는 200,000 MPa 근처에 있었다. H-보에서 사용된 SM490 강재의 항복강도와 인장강도는 412 MPa와 531 MPa였다.

2.3 실험 및 측정방법

Fig. 4와 Fig. 5에는 일축 전단 및 전단마찰 실험에서의 가력과 측정 상세와 세팅 사진을 나타내었다. 일축 전단 실험체는 RC 보 가력지점에서 정모멘트가 발생하며 H-보에서 부모멘트가 발생하는 내민보 형태로 세팅하였는데, 이때 전단경간비는 1.6이다. 가력은 RC 보 가력지점에는 3,000 kN 용량의 오일잭을, H-보 끝단에는 2,000 kN 용량의 액추에이터를 세팅하여 2점 가력으로 각각 하중제어 하였다. RC 보 가력지점과 내민보 끝단의 하중비율은 0.75:0.25로 하였는데,

이 연결절점영역에 휨 모멘트를 발생시키지 않으며 RC 보의 휨 파괴 이전에 전단 파괴를 유도시키기 위함이다. 배근된 주철근, 장부철근, 전단철근 및 H-보에는 보의 전단 거동에 따른 변형률을 측정하기 위하여 RC 보 가력지점 하부 주철근, 장부철근, 예상 전단파괴면의 전단철근 및 강재 보 상부 플랜지에 와이어 스트레인 게이지(wire strain gauge, WSG)를 부착하였다. RC 보 가력지점과 강재 보 끝단의 처짐은 100 mm 용량의 변위계(linear variable differential transducers, LVDTs)를 이용하여 측정하였다.

전단마찰 실험체는 직접 전단거동을 모델링하여 양단 H-보를 힌지 지점에 세팅하였으며, 이때 순 전단경간비는 0.1로 하였다. 가력은 10,000 kN의 오일잭을 이용하였으며, 연결절점 영역에서 전단마찰 거동에 의해 지배받을 수 있도록 전단경간을 결정하였다. WSG는 예상 전단마찰 파괴면에 배근된 주철근과 장부철근에 부착하였다. RC 보 중앙부의 처짐은 100 mm 용량의 LVDTs를 힌지 지점과 RC 보 가력지점의 하부는 50 mm 용량의 LVDTs로 처짐을 측정하였다. 실험체의 중앙부에는 H-보와 RC 보에 50 mm 용량의 LVDTs를 설치하여 두 보의 연결절점에서 상대 미끄러짐 양을 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 균열진전 및 파괴모드

각 실험체의 균열진전 및 파괴영역은 Fig. 6에 나타내었다. 그림에 나타낸 숫자는 부재에 작용하는 전단력을 나타낸다. 일축 전단 실험체는 모두 전단 파괴에 의해 지배 받았으며 RC 보 가력지점과 힌지지점을 연결하는 경사면을 따라 파괴가 발생하였다. 일축 전단 실험체의 초기 휨 균열은 RC 보 가력지점 하부에 발생하였으며, 하중의 증가와 함께 가력지점으로부터 1,200 mm 범위에 있었다. 또한 RC 보 가력지점 하부에서 보 깊이의 0.5배까지 진전되었으며 파괴 시까지 추가적인 진전은 없었다. 경사 균열은 S-C 실험체와 S-A 실험체에서 비슷한 하중에 나타났으며 RC 보 가력지점과 힌지지점을 연결하는 경사면에 주로 발생하였다. 연결절점 영역에 장부철근이 배근된 S-A 실험체의 균열은 장부철근의 장부작용으로 인해 전단응력이 분산되어 S-C 실험체보다 폭이 작은 균열들이 더 많이 나타났으나, 전반적인 균열거동은 유사하였다. PC와 CIP 경계면을 따른 종방향 균열은 발생하지 않았으며 이는 실험체가 수평보다는 수직전단에 의해 파괴가 지배되었기 때문이다. 일축 전단 실험체는 RC 보의 경사 균열이 발생한 면의 콘크리트 파괴가 발생하였고 가력을 종료하였다.

전단마찰 실험체는 모두 가력점과 지점을 연결하는 절점 영역에서의 수직에 가까운 균열에 의해 파괴가 지배되었다. 휨 균열은 거의 발생하지 않았으며, 이는 휨에 의한 영향이 매우 작음을 의미한다. 전단마찰 실험체의 초기균열은 L-형 연결재 철근받침 상부에 발생하였으며 하중의 증가와 함께

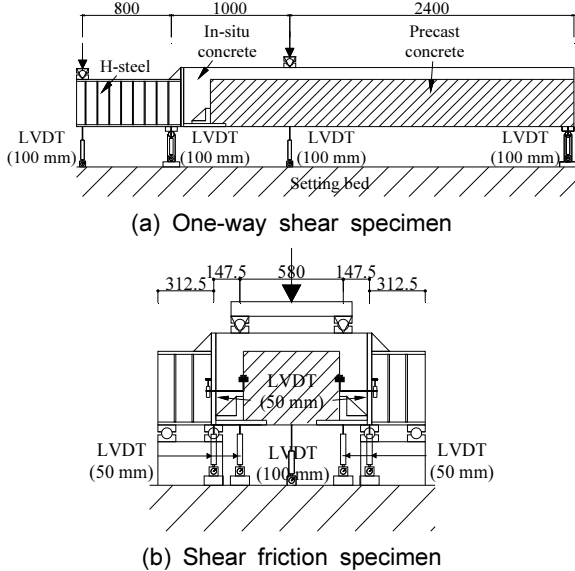


Fig. 4 Test set-up



Fig. 5 Test set-up (one-way shear specimen)

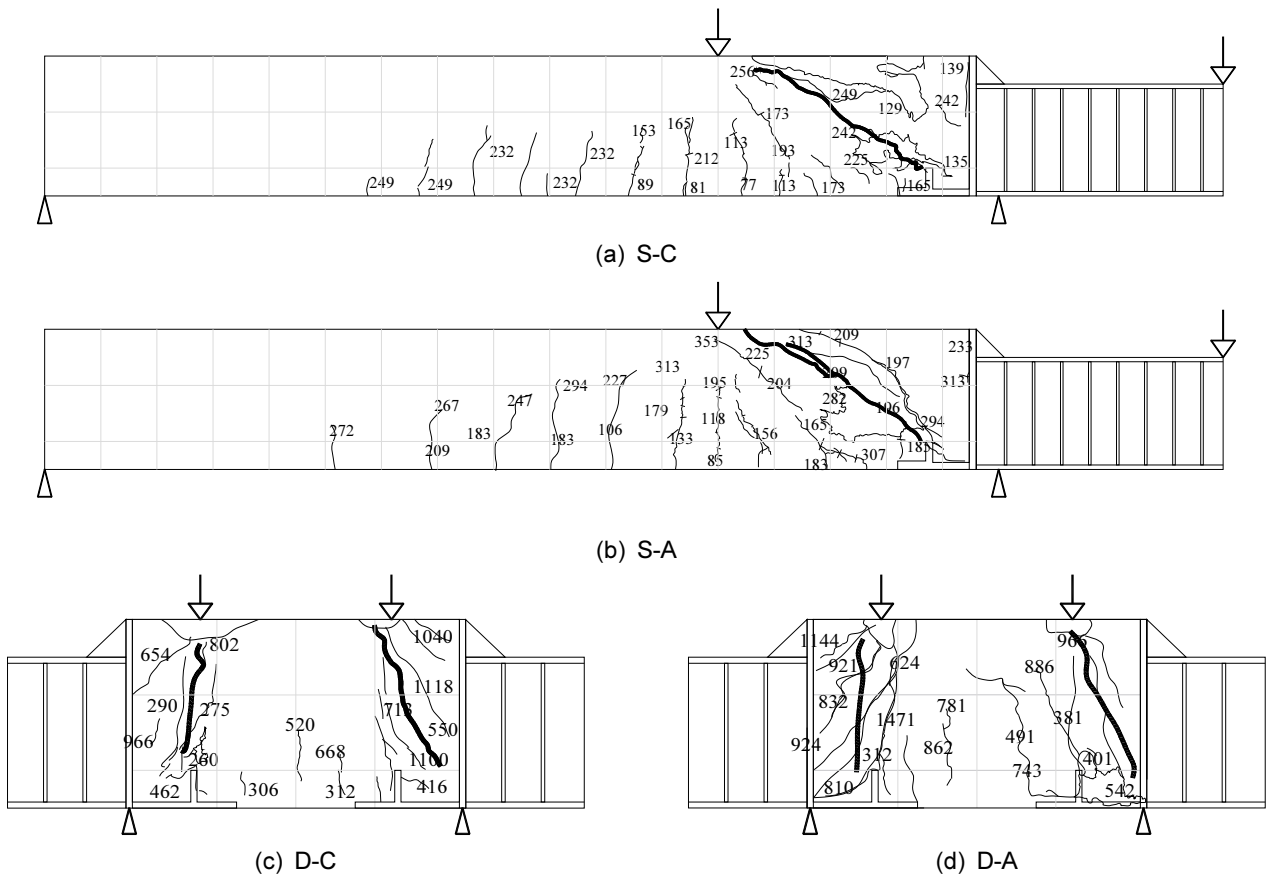


Fig. 6 Crack propagation of each specimen (The numbers in the figure indicate the shear force corresponding to the occurrence each crack)

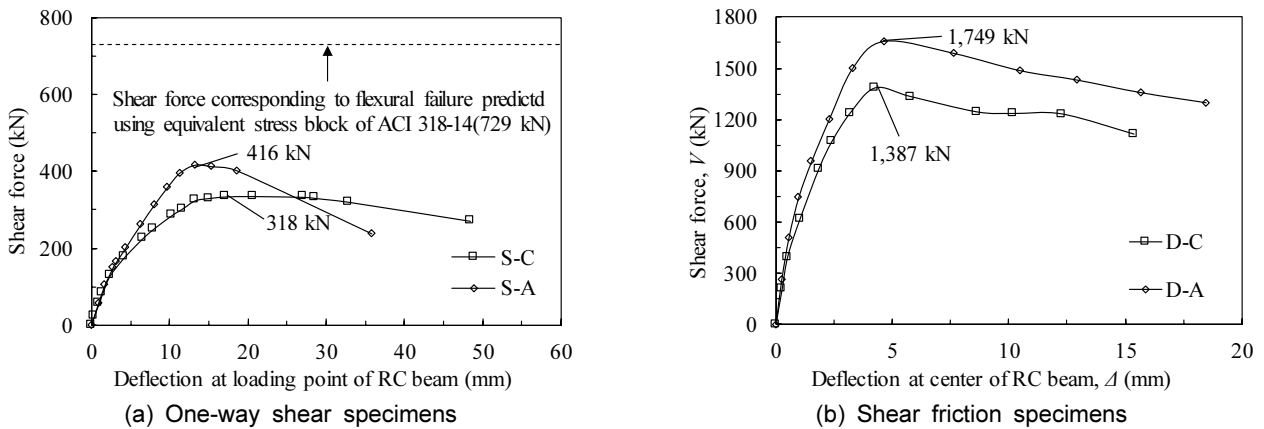


Fig. 7 Shear force-deflection relationship of each specimen

가력지점을 향해 진전하였다. D-C 실험체와 D-A 실험체의 균열진전은 균열 발생 시점의 하중 차이는 미미하게 있었지만 동일한 거동을 보였다. 최대내력 이후에는 상대 미끄러짐 양의 증가와 함께 연결절점 부근에서 콘크리트면의 전단마찰 파괴가 발생하였다.

3.2 파괴영역에서의 전단력과 처짐 관계

Fig. 7(a)에는 일축 전단 실험체의 파괴영역에서 전단력과

처짐 관계를 나타내었다. 보의 초기 강성은 장부철근의 영향을 받지 않았다. 보의 처짐은 사인장 균열의 발생과 함께 급격히 증가하였는데, 이후 강성의 저하는 장부철근이 배근된 S-A 실험체에서 덜 하였다. S-A 실험체는 연결절점 영역에 배근된 장부철근의 장부작용으로 인해 S-C 실험체보다 약 25% 높은 최대 전단내력을 보였다. 최대내력에 도달한 이후에는 RC 보의 파괴가 발생하였지만, L-형 연결재가 RC 보를 지지해주면서 최대내력 이후의 하중의 급격한 감소현상은 나타나지 않았다. ACI 318-14¹⁰⁾ 기준의 등가응력블록

을 이용한 휨 내력으로부터 산정한 전단력은 728 kN였는데, 이는 측정된 최대 전단내력의 약 1.7배이다. 따라서 일축 전단 실험체는 전단파괴에 지배받았음을 명백히 알 수 있다.

전단마찰 실험에서 두 실험체는 유사한 초기 강성을 보였으며 연결절점 영역의 균열 발생과 함께 처짐이 급격하게 증가하였다(Fig. 7(b)). 이후 강성은 일축 전단 실험체와 마찬가지로 장부철근이 배근된 D-A 실험체에서 더 높았다. 최대 내력 이후에는 연결절점 영역의 콘크리트 마찰면 파괴와 가력지점의 지압파괴로 인해 하중이 완만히 감소하였다. 전단마찰 실험에서 두 실험체의 전단하중-처짐 관계는 유사하였지만 D-A 실험체는 장부철근의 전단마찰 저항으로 인해 강성 및 최대내력이 증가하였다. 두 실험체의 최대 전단내력은 ACI 318-14 설계기준의 휨 내력으로부터 산정한 전단력의 약 80%였다. 결과적으로 전단마찰 거동을 파악하기 위한 보들은 절점영역에서의 전단마찰에 의해 그 거동이 지배되었으며 절점영역에서의 휨 모멘트 영향은 상대적으로 작게 있다.

3.3 전단마찰 지배에서의 전단력-상대 미끄러짐 관계

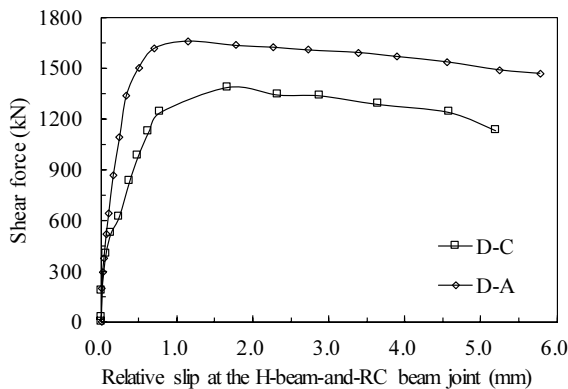


Fig. 8 Shear force-relative slip relationship of shear friction specimens

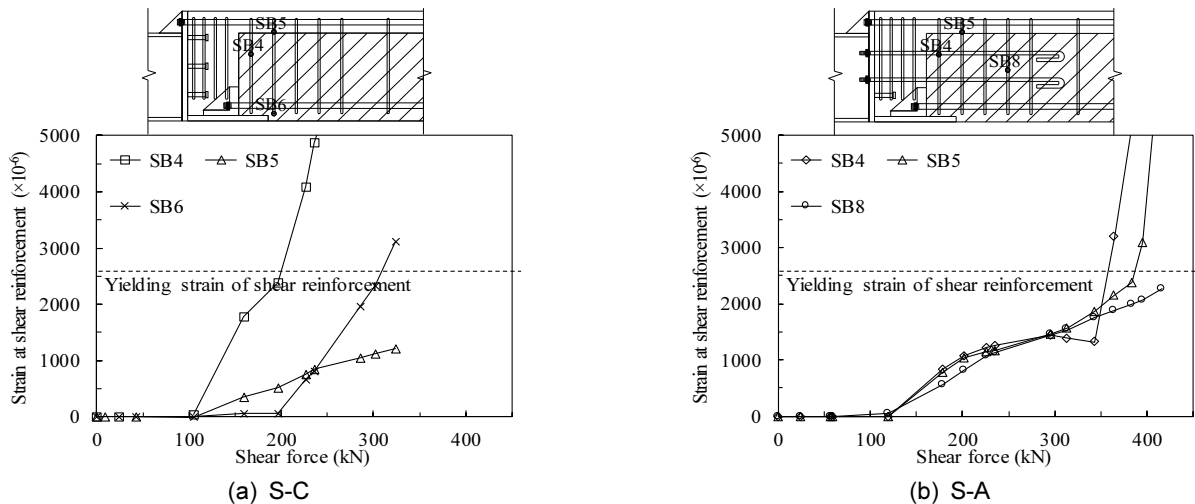


Fig. 9 Strain behavior of shear reinforcement in one-way shear specimens

전단마찰 실험체에서의 전단력-상대 미끄러짐 관계는 Fig. 8에 나타내었다. 그림에 나타난 전단력은 파괴영역에서의 전단력이며 상대 미끄러짐은 연결절점 영역에서 측정된 H-보와 RC 보의 상대 미끄러짐이다. 전단마찰 실험체는 파괴영역에서의 초기 균열이 발생하기 전까지 상대 미끄러짐이 발생하지 않았다. 초기 균열은 두 실험체에서 비슷한 시점에 발생하였으며 이와 함께 상대 미끄러짐이 발생하였다. 상대 미끄러짐 양은 장부철근이 있는 D-A 실험체에서 더 적었다. 최대내력에 도달한 이후의 상대 미끄러짐 양의 증가 속도에 대한 장부철근의 영향은 미미하였다.

3.4 일축 전단 실험체에서 전단철근의 거동

Fig. 9에는 일축 전단 실험체에서 사인장 균열과 교차하는 전단철근에서의 변형률 거동을 나타내었다. 전단철근의 변형률은 사인장 균열 발생과 동시에 급격히 증가하는데, 최대내력 시점에서 철근 항복변형률에 도달하였다. 전단철근 변형률의 증가기울기는 장부철근이 있는 실험체에서 다소 완만하였다.

3.5 전단마찰 실험체에서 장부철근의 거동

Fig. 10에는 전단마찰 파괴면에서 장부철근의 변형률 거동을 나타내었다. 연결절점 영역의 콘크리트 단면적에 대한 장부철근 면적의 비는 0.5%이다. 장부철근의 변형률은 연결절점 영역의 균열과 발생하여 함께 증가하였는데, 그 증가기울기는 하부 장부철근에서 컸다. 이는 연결절점 영역에서 작용하는 휨 모멘트의 영향이 부가적으로 작용된 것으로 판단된다. 부재의 최대내력 시 하부 장부철근은 항복하였다. 상부 장부철근은 부재의 최대내력 시 까지 항복하지 않았다.

3.6 전단내력에 대한 설계기준과의 비교

일축 전단 실험체에서 ACI 318-14¹⁰⁾ 및 EC2¹¹⁾ 설계기준

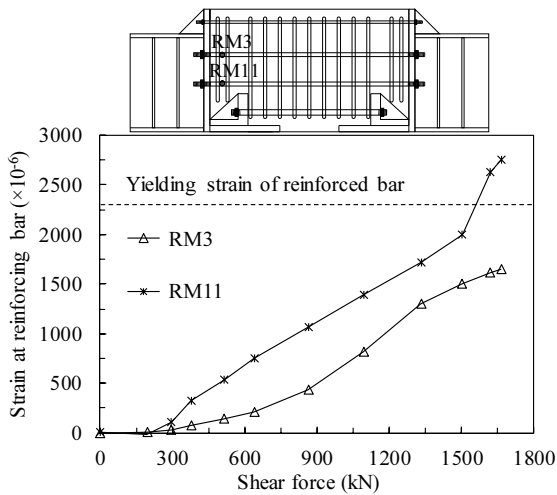


Fig. 10 Typical strain distributions measured in dowel bars within the shear friction region

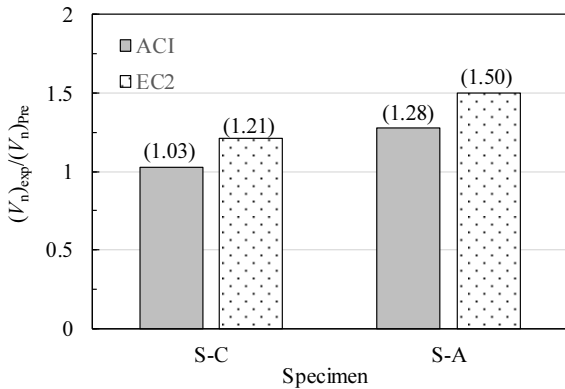


Fig. 11 Comparisons of measured shear strength and predictions obtained from code equations

전단내력과 실험값과의 비교는 Fig. 11에 나타내었다. 설계 기준으로부터 산정된 전단내력은 ACI 318-14 기준의 ‘22.5 One-way shear strength’절과 EC2 기준의 ‘6.2 Shear’절에서 제시된 식을 통해 산정하였다. 일축 전단 실험체에서 내력은 수직 전단에 의한 파괴모드를 고려하여 수평 전단내력은 고려하지 않았다. S-C와 S-A 실험체의 전단내력은 ACI 318-14의 예측 값보다 각각 3%와 28% 높았으며, EC2 예측 값보다 각각 21%와 50% 높았다. 즉, HSRC 보의 일축 전단내력은 ACI 318-14 및 EC2의 식을 이용하여 안전 측에서 평가될 수 있었다.

이 연구에서 수행된 전단마찰 실험체는 절점영역에서의 전단저항을 고려하였기 때문에 휨 모멘트의 영향이 있다. 하지만 순 전단경간비는 0.1로서 휨 모멘트의 크기는 매우 작게 있으므로 절점영역에서의 전단마찰 실험체로부터 측정된 최대 전단내력을 설계기준의 전단마찰내력과 비교하여 그 안전성을 평가하였다(Fig. 12). ACI 318-14과 EC2 기준은 콘크리트의 작용 축하중 및 횡보강근 등의 여러 가지 조건에 따라 전단마찰 예측 값을 제시하고 있다. HSRC 보의 연결절점 영역에 PC와 CIP의 경계면이 발생하며, 이는 거친 표면으로 분류될 수 있다. ACI 318-14 기준에서는 거친 표면

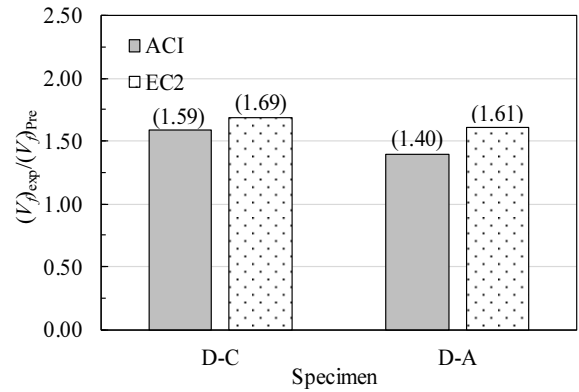


Fig. 12 Comparisons of measured shear friction strength and predictions obtained from code equations

의 경우, 전단마찰 메커니즘에 대해 콘크리트 부착력을 산정하지 않으며, 마찰계수만 1.0으로 제시하고 있다. EC2 기준에서는 부착계수를 0.45, 마찰계수를 0.7로 제시하고 있다. D-C와 D-A 실험체에서 실험값에 대한 예측 값의 비는 ACI 318-14 기준식을 사용한 경우 각각 1.59와 1.40이고, EC2 기준식을 사용한 경우 각각 1.69와 1.61이다. 즉, HSRC 하이브리드 보의 연결절점에서 전단마찰 저항은 비록 상부 장부철근이 항복에 도달하지 않았지만 ACI 318-14 및 EC2의 식을 이용하여 안전 측에서 평가될 수 있었다.

4. 결 론

HSRC 보의 전단 및 전단마찰 거동을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) HSRC 보가 전단 및 전단마찰 지배를 받을 때, 연결절점에서 배근된 장부철근이 보의 균열 진전에 미치는 영향은 미미하였지만, 부재의 전단내력은 장부철근이 배근된 보에서 약 25% 높았다.
- 2) 전단마찰 실험체에서 연결절점 영역의 상대 미끄러짐 양은 초기 균열과 함께 증가하였는데, 그때의 상대 미끄러짐 양은 장부철근이 배근된 D-A 실험체에서 더 적었다.
- 3) 전단마찰 파괴면에서 배근된 장부철근의 양이 0.5%인 경우 부재의 항복 시 까지 상부 장부철근은 항복에 도달하지 않았다.
- 4) HSRC 보의 일축 전단 및 전단마찰 내력은 ACI 318-14 및 EC2 설계식을 이용하여 안전 측에서 평가될 수 있었다.

감사의 글

이 연구는 2016년도 산업통상자원부의 재원으로 중소기업청(과제번호: S2298119)와 경기대학교 대학원 연구원장 학생 장학금 지원에 의하여 수행되었음.

References

1. An, J. H., and Park, C. S., "A Proposal for Estimating Method of Shear Strength on the Beam-Column Joints of Composite Structure", *Architectural Institute of Korea*, Vol.18, No.1, 2016, pp.225-232.
2. Seo, E. A., Yang, K. H. and Hong, S. H., "Evaluation on Flexural Behavior of Hybrid Beams with Rigid Joint Connecting Steel and Precast Concrete Elements", *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol.28, No.1, 2016, pp.13-21.
3. Seo, E. A., "Seismic Performance Evaluation of Hybrid System Composed of Steel-Reinforced Concrete Beams with Rigid Joint", MS Thesis, Kyonggi University, Korea, 2014.
4. Yang, K. H., Seo, E. A., and Hong, S. H., "Cyclic Flexural Tests of Hybrid Steel-Precast Concrete Beams with Simple Connection Elements", *Engineering Structures*, Vol.118, 2016, pp.344-356.
5. Choi, H. K., Yoo, C. H., Choi, Y. C., and Choi, C. S., "Structural Capacity Evaluation of Hybrid Precast Concrete Beam-Column Connections Subjected to Cyclic Loading", *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol.22, No.3, 2010, pp.325-333.
6. Min, C. S., "Reinforced Concrete Engineering 3rd Edition", *Goomi-Seogwan*, 2014.
7. Seo, J. I., Park, H. G., Hong, G. H., Kang, S. M., and Kim, C. G., "Evaluation of Horizontal Shear Strength for Concrete Composite Members", *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol.28, No.4, 2016, pp.407-417.
8. KS F 2405, "Method of Test for Compressive Strength of Concrete", *Korean Standards Association*, 2010.
9. KS B 0802, "Method of Tensile Test for Metallic Materials", *Korean Standards Association*, 2003.
10. ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary*, American Concrete Institute, USA, 2014.
11. EC2, *Eurocode 2: Design of Concrete Structures*, Eurocode2, UK, 2004.

요 약 이 연구에서는 시공성이 단순한 연성형 절점을 갖는 HSRC 하이브리드 보 시스템의 콘크리트 보 영역에서의 일축 전단 및 연결절점 영역에서의 전단마찰 거동을 평가하였다. 일축 전단의 실험은 내민보 시스템으로써 파괴경간의 전단경간비는 1.6이다. 연결절점 영역에서의 전단마찰 거동을 평가하기 위한 실험은 상부 2점 집중하중으로써 순 전단경간비는 0.1이다. 실험 결과, 연결절점에서 배근된 장부철근이 HSRC 보의 균열 진전에 미치는 영향은 미미하였지만, 부재의 전단내력은 약 25% 향상시켰다. HSRC 보의 일축 전단 및 전단마찰 내력은 장부철근의 유무와 상관없이 ACI 318-14 및 EC2 설계식을 이용하여 안전 측에서 평가될 수 있었다.

핵심용어 : 하이브리드 보, HSRC 보, 장부철근, 일축 전단, 전단마찰