

## 강섬유 보강 순환골재 콘크리트 충전 각형강관의 전단성능 실험

이승우<sup>1</sup> · 김정연<sup>1</sup> · 김태현<sup>2</sup> · 민정기<sup>3</sup> · 최성모<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>석사과정, 서울시립대학교, 건축공학과, <sup>2</sup>주임, 한국건설기술연구원, 건축자재인증센터,  
<sup>3</sup>책임연구원, 한국건설생활환경시험연구원, 실화재센터, <sup>4</sup>교수, 서울시립대학교, 건축학부

## Experimental Study on Shear Performance of Recycled Aggregate Concrete-Filled Square Steel Tubes Reinforced with Steel Fibers

Lee, Seung Woo<sup>1</sup>, Kim, Jeong Yeon<sup>1</sup>, Kim, Tae Hyun<sup>2</sup>, Min, Jeong Ki<sup>3</sup>, Choi, Sung Mo<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate Student (Master Course), Dept. of Architectural Engineering, University of Seoul, Seoul, 02504, Korea

<sup>2</sup>Administrative Manager, Building Materials Accreditation Center, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang, 10223, Korea

<sup>3</sup>Principal Researcher, Real-Scale Fire Testing & Research Center, Korea Conformity Laboratories, Samcheok, 25913, Korea

<sup>4</sup>Professor, Dept. of Architectural Engineering, University of Seoul, Seoul, 02504, Korea

**Abstract** - Recycled aggregates generally have low density of aggregates because their cement paste is not totally removed, and their structural performance is degraded due to increased absorption rate. In order to improve these drawbacks, in this paper, the structural properties of recycled aggregate concrete was improved by suppressing drying shrinkage, stress distribution, and reinforcing steel fibers that serve as crack dispersion, and the unstable physical properties were prevented by filled steel tubes. In addition, shear experiments were conducted with respect to major variables (recycled aggregate replacement rate, end plate, and shear span-to-depth) by mixing steel fibers useful in enhancing strength and ductility of concrete to utilize recycled aggregate concrete as structural members. The shear experiments showed that the load and displacement of all experimental specimens filled in steel tubes increased proportionally, indicating a plastic behavior.

**Keywords** - Recycled aggregate concrete, Steel fiber, Shear performance, CFT, Shear span ratio

### 1. 서론

#### 1.1 연구배경 및 목적

건설산업 규모의 증가로 인해 재개발 및 재건축과 같은 사회적 요인뿐만 아니라 건물의 기능저하로 인한 기존 구조물의 철거 및 해체과정 등으로 건설폐기물이 발생하고 있다.<sup>[1]</sup> 건설폐기물은 양도 많이 차지하고 있을뿐더러 환경오염을 발생시키는 무단투기 등 처리방법에 있어 많은 어려움

을 겪고 있으며, 일반골재의 고갈상태가 발생할 우려로 인해 건설폐기물을 골재로 재사용하는 순환골재의 이용이 더욱 중요해지는 시점이다. 그러나 순환골재를 안정적으로 사용하기 위한 구체적인 설계 및 시방에 관한 지침이 부족하며, 구조물에 적용 시 불안정한 구조성능과 사회적 인식 부족으로 인하여 활용성이 미흡한 실정이다. 순환골재를 활용하여 구조체로 활용하는데 제한적인 이유는 파·분쇄 과정에서 미탈거된 시멘트 페이스트로 인하여 골재의 밀도가 낮아지고 흡수율이 증가하게 됨으로써 일반골재 대비 밀도, 압축강도, 초기강도 등이 저하되기 때문이다. 또한, 시간의존성 영구변형인 건조수축 및 크리프가 증대되는 경향이 있다.<sup>[2]</sup>

Choi et al.<sup>[3]</sup>은 순환골재 전량치환한 고강도 50 MPa급 순환골재 레미콘 배합비 추출 및 압축강도 발현을 확인하였고, 강관 내부에 충전한 순환골재 콘크리트 충전 강관기둥의 축내력 및 구속효과를 규명하였다. 이러한 기계적인 물성저하를 방지하기 위해 강섬유를 활용함으로써 콘크리트

Note.-Discussion open until February 28, 2022. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on June 25, 2021; revised on August 06, 2021; approved on August 09, 2021.

Copyright © 2021 by Korean Society of Steel Construction

\*Corresponding author.

Tel. +82-2-6490-2759 Fax. +82-2-6490-2749

E-mail. smc@uos.ac.kr

골재 내에 매트릭스로 가교작용하여 건조수축 억제, 응력분배와 연성능력 증진 그리고 균열분산역할을 하는 강섬유 보강 콘크리트(steel fiber reinforced concrete, 이하 SFRC)를 이용한 개선안을 제시하였다.<sup>[4]</sup> 또한, Kim<sup>[5]</sup>은 순환골재 콘크리트의 강도와 거동 특성 개선을 위해 강섬유 보강 유무와 순환골재 치환율, 인장철근비를 변수로 총 21개의 고강도콘크리트 보의 전단실험을 수행하였다. 순환골재 콘크리트의 강섬유 보강 효과는 순환골재 치환율이 증가할수록 강도 특성이 우수하며 연성능력이 크게 증진되는 것으로 평가하였으며, 이는 순환골재 표면의 취약으로 인하여 계면의 부착력이 저하되어 발생하는 순환골재 콘크리트의 문제점을 강섬유의 가교작용 효과로 개선된 것으로 판단하였다.

이를 바탕으로 순환골재의 부정적인 인식과 기계적 물성 저하를 개선하고자 구조체로서 검증된 콘크리트 충전 강관 (concrete filled steel tube, 이하 CFT)에 충전하였다.<sup>[3]</sup> 또한, 합성기둥 중 용접조립 각형강관은 리브를 통해 좌굴내력을 향상시키며 콘크리트와 일체화함에 따라 뭉침현상이 발생하지 않는 1%이내의 강섬유를 혼입하여, 좌굴 시 리브의 변형에 저항될 콘크리트와의 합성효과를 극대화한 충전형 합성기둥이다.<sup>[6]</sup>

Xu *et al.*<sup>[7]</sup>은 전단스팬비와 엔드 플레이트 부착 유무를 변수로 CFT 전단성능을 평가하였다. 실험체 양 끝단의 엔드 플레이트 부착 시 강관의 슬립 방지 및 부착응력의 감소를 막을 수 있어 CFT의 전단성능을 증진시킬 수 있다. Fig. 1은 엔드 플레이트 부착 유무에 따른 하중-변위 관계곡선이며, Sc-2는 엔드 플레이트 부착 실험체이며, Uc-2는 미부착 실험체로 두 실험체를 비교하였을 때, 초기강성에서는 차이가 없

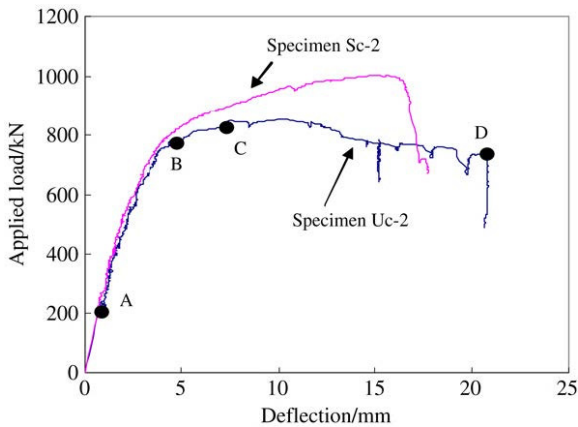


Fig. 1. Comparison of applied load-deflection curves with end plate by Xu *et al.*<sup>[7]</sup>

었지만, 콘크리트 파괴가 발생한 B점 이후로 강성과 강도에 차이를 나타내어 단부 엔드 플레이트가 CFT 부착강도에 미치는 영향을 규명하였다.

## 1.2 연구내용 및 방법

순환골재 콘크리트에 강섬유가 보강되었을 때 엔드 플레이트 부착에 따른 강관과 콘크리트의 부착응력 감소로 인한 전단거동과 전단스팬비가 증가함에 따른 강섬유의 전단저항 성능에 미치는 영향을 규명하고자 실험체의 좌굴형상과 하중-변위 그래프를 분석하고 예측내력과 실험결과를 비교하여 구조성능을 확인하고자 하였으며, 본 연구에서는 선행 연구를 바탕으로 강섬유 보강 순환골재 콘크리트 충전 용접조립 각형강관의 전단성능 실험을 통하여 강섬유 혼입 유무에 따른 거동을 분석하였다. 또한, 전단성능을 평가하기 위해 순환골재의 강섬유 보강에 따른 초기강성과 전단강도를 분석하고 엔드 플레이트 부착에 따른 강관과 콘크리트의 전단거동, 전단스팬비가 증가함에 따른 강섬유의 전단저항 성능을 평가하였다.

## 2. 전단성능 평가실험

### 2.1 개요

골재별 특성과 강섬유 혼입, 엔드 플레이트 부착 유무, 전단스팬비를 변수로 하여 총 9개의 전단실험을 수행하였다. 선행연구 결과에 의하면 혼입율이 전체 체적에 1% 이상일 경우 비경제적이며 강섬유 뭉침현상으로 인해 시공성이 떨어지므로, 0.5%의 강섬유를 혼입하여 변형성능과 최대내력 이후 거동을 분석하고자 한다. 또한, 엔드 플레이트 유무에 따라 콘크리트와 강관의 슬립을 방지시켜 부착응력의 감소를 확인하고자 하였으며, 콘크리트 충전 용접조립 각형강관의 전단특성을 파악하기 위하여 전단스팬비를 변수로 설정하여 실험을 진행하였다.

### 2.2 실험계획

실험체 일람은 Table 1과 같이 골재별(일반골재, 순환골재, 강섬유 보강 순환골재), 강섬유보강(0%, 0.5%), 엔드 플레이트(유, 무), 전단스팬비( $a/d=0.7, 1.3$ )를 변수로 설정하였다. Fig. 3에서 실험체 단면과 형상을 나타내었다. 강관은

ACT Partner사의 용접조립 각형강관을 사용하였으며, 단면은 300×300 mm, 길이는 1,800 mm, 강재 두께는 6 mm이다. 엔드 플레이트는 콘크리트 충전을 위하여  $\varnothing 150$  mm의 타설 구멍을 제작하였고 용접조립 각형강관과 모살용접을 하였다. 또한, Fig. 4와 같이 강섬유는 Bekaert사의 Dramix 3D 제품으로 길이( $l_f$ ) 60 mm, 직경( $D_f$ ) 0.90 mm로 형상비( $l_f/D_f$ ) 65

의 양단 hooked end 타입을 사용하였으며, 0.5 % 혼입하였다. Table 2에 실험에 사용된 콘크리트 배합비를 나타냈으며 순환골재 콘크리트의 목표 압축강도인 50 MPa 강도 발현을 위하여 일반골재 콘크리트의 60 MPa급 배합비를 사용하였다. 제작된 실험체 모두 현행규준에서 제시하고 있는 폭두께비 한계치는 55이며 폭두께비는 범위 내 만족하고 있다.

**Table 1.** List of specimens

Specimen*	Section (mm)	Length (mm)	Steel fiber (%)	End status	Shear span ratio (a/d)
NNAC1-0.7	300×300×6T	1,800	-	Open	0.7
NRAC1-0.7			-	Open	0.7
SRAC1-0.7			0.5	Open	0.7
NNAC2-0.7			-	Close	0.7
NRAC2-0.7			-	Close	0.7
SRAC2-0.7			0.5	Close	0.7
NNAC2-1.3			-	Close	1.3
NRAC2-1.3			-	Close	1.3
SRAC2-1.3			0.5	Close	1.3

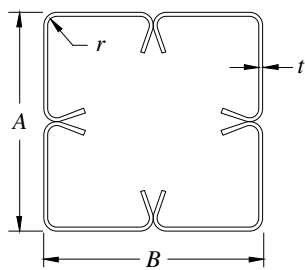
\*S: steel fiber; NA: natural aggregate; RA: recycled aggregate; C: concrete; 1: open; 2: close; 0.7: 0.7D; 1.3: 1.3D

**Table 2.** Concrete mixing ratio

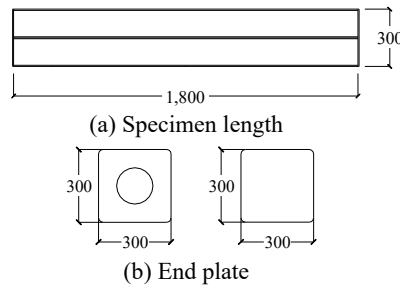
(Unit: kg/m<sup>3</sup>)

Specimen	Binder			Water	Natural coarse aggregate	Natural fine aggregate	Recycled coarse aggregate	Recycled fine aggregate	AE agent	Admixtures	Steel fiber
	Cement	F/A	S/P								
NAC	420	60	120	210	815	641	0	0	7.2	0.0015	-
RAC					0	0	815	641			-
SRAC					0	0	815	641			39.25

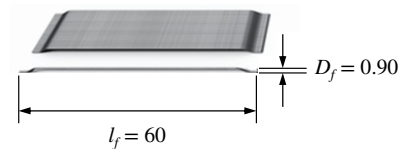
Cement: Portland cement; F/A: fly ash; S/P: silica powder; NAC: natural aggregate concrete; RAC: recycled aggregate concrete; SRAC: steel fiber reinforced recycled aggregate concrete



**Fig. 2.** Dimension of the steel tube



**Fig. 3.** Specimens details (Unit: mm)



**Fig. 4.** Shape and size of steel-fiber ( $l_f/D_f = 65$ , hooked end type)

**Table 3.** Section property

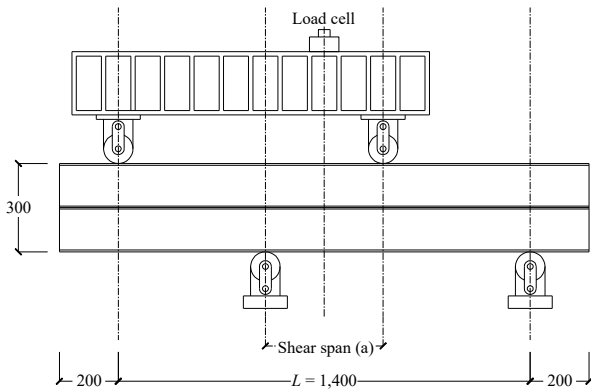
Sectional dimension (cm)			Section area $S$ (cm <sup>2</sup> )	Unit weight $W$ (kg/m)	Moment of inertia $I_x, I_y$ (cm <sup>4</sup> )	Section modulus $Z_x$ (cm <sup>3</sup> )
$B$	$t$	$r$				
30	0.6	1.2	90.4	70.96	11,895	739

2.3 실험 및 계측방법

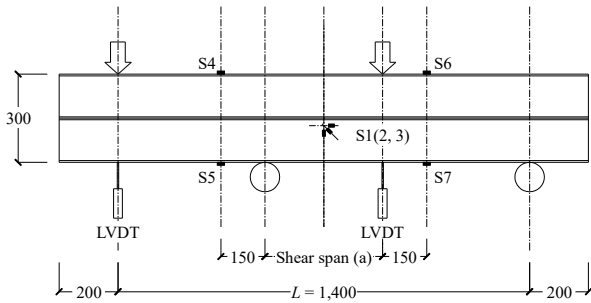
전단실험에 포스코 R&D 센터 강구조실험동의 3,000 kN UTM(universal test machine, Fig. 5 참조)를 이용하여 실험체의 기계적 특성을 평가하였다. 가력속도는 0.05 mm/sec로 진행하였으며, 실험체의 중앙부에서 전단파괴를 유도하기 위해 Fig. 5(b)와 같이 하부 2점과 상부 2점 가력하였다. 이때 전단스팬비에 따라 전단경간(a)을 조정하였다. 실험체의 전단변형률 측정을 위해서 실험체 중앙부 측면에 3축 변형률 게이지(S1 - S3)를 부착하였으며, 중앙부에서 양단 250 mm



(a) Specimens setting



(b) Loading method



(c) Measurement method

Fig. 5. Setting and measurement method (Unit: mm)

(0.7D)와 350 mm(1.3D)의 상·하부(S4 - S7)에 각각 1개씩 총 7개의 변형률 게이지(strain gauge)를 부착하였다. 또한 수직변위를 측정하기 위해 LVDT를 하중 가력점 하부에 각각 1개씩 총 2개 설치하였다. Fig. 6에서 나타낸 바와 같이 하중 (P) 작용 시 발생하는 최대전단력은 0.7D에서 0.88P, 1.3D에서 0.78P이다.

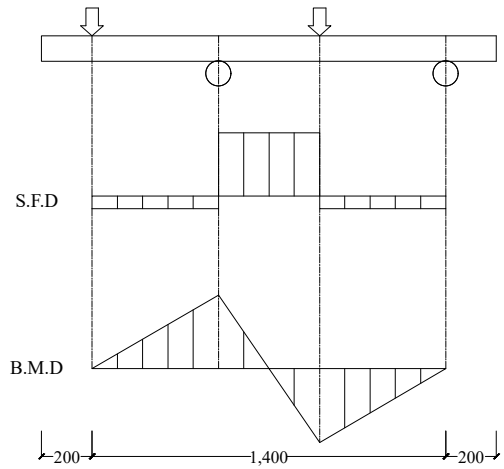


Fig. 6. Shear force diagram and bending moment diagram for specimens (Unit: mm)

2.4 재료시험

실험체 제작에 사용된 단부 엔드 플레이트와 용접조립 각형강관은 동일한 두께의 SM355 강종을 사용하여 제작하였다. 강재의 기계적 성질을 파악하기 위하여 KS B 0801 1A 호<sup>[8]</sup>에 준하여 6 mm 강재시편을 3개 제작하여 시험을 수행하였다. 강재 두께가 6 mm인 시편의 경우 SM355의 설계항복강도인 355 MPa보다 높은 평균 435 MPa의 항복강도로 평가되었으며, 인장강도는 평균 529 MPa로 평가되었다.

콘크리트의 경우 골재별 역학적 특성을 알아보기 위하여 KS F 2405를 참고하여 시험을 수행하였다. 콘크리트의 압축강도는 7, 14, 28일 재령에 측정하였으며, 재령에 비례하여 증가하는 일반적인 거동을 나타내었다. 28일 양생 후 일반골재 콘크리트의 압축강도는 목표강도인 60 MPa를 상회하였으나 순환골재와 강섬유 보강 순환골재 콘크리트의 경우 목표강도 50 MPa에 미치지 않는 각각 43 MPa, 47 MPa의 압축강도를 나타내었다. 이는 순환골재 원재료의 성상 불균형과 품질의 편차 등에 기인하는 것으로 보인다. 또한, 시멘트 페이스트로 인하여 일반골재에 비해 낮은 밀도와 골재의 부착성 감소 때문으로 판단된다. 강재 및 콘크리트의 압축 소재시험결과를 Table 4에 나타내었다.

**Table 4.** Mechanical properties of steel and concrete

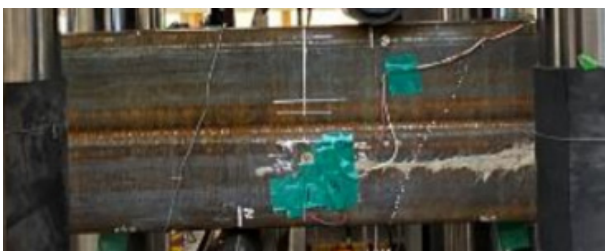
Steel (SM355)			Concrete								
Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	$f_{ck}$ on Day 7 (MPa)			$f_{ck}$ on Day 14 (MPa)			$f_{ck}$ on Day 28 (MPa)		
			NAC	RAC	SRAC	NAC	RAC	SRAC	NAC	RAC	SRAC
435	529	24.3	49	33	33	56	37	41	61	43	47

2.5 파괴모드

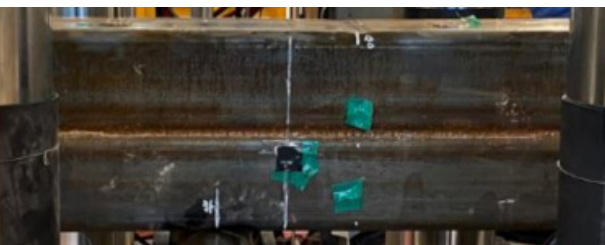
용접조립 각형강관 실험체의 전단실험 후 양상을 비교하기 위하여 Fig. 7에 나타내었다. 실험은 재하장비의 하중용량인 2,900 kN을 초과하여 파괴 이전에 실험을 종료하였다. 그로 인해 모든 실험체에서는 강관에 국부좌굴이 발생하지 않았으며 파괴조짐을 확인할 수 없었다. 내부적으로 강관과 콘크리트는 소성상태로 진입하는 단계부터 가력점에 위치하는 일부 강관 단면에서 눌림현상을 확인하였다.



(a) NNAC1-0.7



(b) NRAC1-0.7



(c) SRAC1-0.7

**Fig. 7.** Failure mode

2.6 실험결과

각 실험체의 전단강도와 초기강성은 Table 5와 같으며, 실험체의 하중-변위 관계를 Fig. 8에 나타내었다. 초기강성은 항복내력의 1/3까지의 지점과 원점을 이은 직선의 기울기로 평가하였으며, 전단강도는 하중-변위 곡선에서의 항복점으로 산정하였다.

**Table 5.** Shear performance of experimental results

Specimen	Shear strength (kN)	Initial stiffness (kN/mm)
NNAC1-0.7	2,530.0	532.6
NRAC1-0.7	2,415.2	528.2
SRAC1-0.7	2,509.2	550.5
NNAC2-0.7	2,562.0	558.9
NRAC2-0.7	2,418.5	531.6
SRAC2-0.7	2,482.4	587.2
NNAC2-1.3	2,352.6	466.4
NRAC2-1.3	2,182.9	444.6
SRAC2-1.3	2,337.6	503.6

강섬유 보강 순환골재 콘크리트 충전 실험체의 경우 전단스팬비 0.7과 1.3 모두 강섬유 보강에 따라 전단강도와 초기강성이 상승하는 것으로 평가되었으며, 전단스팬비가 증가함에 따라 전단강도의 감소를 보이고 있다.

하중-변위 관계에서 점선은 KDS 41 31 00: 2019<sup>[9]</sup>에서 제시하는 강관 단면에 대한 설계전단강도로서 실험값과 비교하였을 때 실험체 모두 설계전단강도를 상회하는 값으로 나타났다. 또한, 하중-변위 곡선에서는 항복 이전까지 비례하게 증가하는 탄성상태를 보였으며, 항복 이후 점진적으로 강성이 저하하며 안정적인 거동을 하는 것으로 확인되었다.

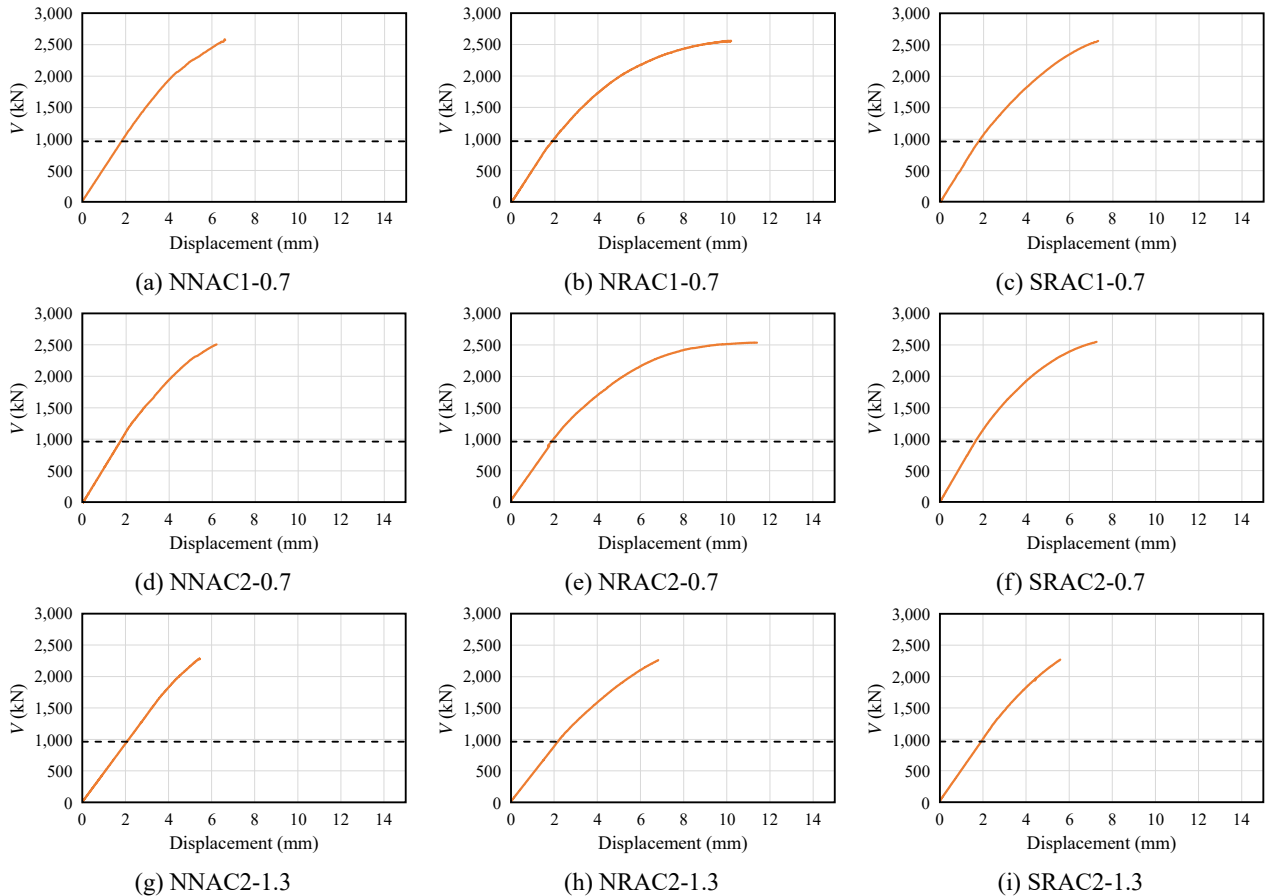


Fig. 8. Load-deflection curves

### 3. 분석 및 고찰

#### 3.1 강섬유 보강 효과

전단성능에 영향을 미치는 주요 변수 중 하나는 강섬유 보강 유무이다. 강섬유를 순환골재 콘크리트에 보강하였을 때 강섬유 보강에 따라 전단성능에 미치는 영향을 파악하고자 전단강도를 비교하였다. Fig. 9에서는 각 변수별 강섬유 보강 실험체와 강섬유 무보강 실험체의 전단강도를 나타내었다.

일반골재 콘크리트 충전 실험체를 기준으로 순환골재와 강섬유 보강 콘크리트 충전 실험체를 비교하였다. 전단스팬 비 0.7일 경우 순환골재 콘크리트 충전 실험체에서는 일반골재 콘크리트 충전 실험체에 비해 0.94배 - 0.95배의 전단강도가 감소하였으며, 강섬유 보강 순환골재 콘크리트 충전 실험체에서는 0.97배 - 0.99배의 전단강도가 감소하였다. 또한, 전단스팬비 1.3의 경우 순환골재 콘크리트 충전 실험체에서는 일반골재 콘크리트 충전 실험체에 비해 전단강도는 0.93배 감소하였지만, 강섬유 보강 순환골재 콘크리트 충전

실험체에서는 0.99배의 감소를 나타내어 전체적으로 강섬유 보강 시 전단강도가 증진되는 경향을 보였다. 이는 강섬유 보강 시 콘크리트 속에서 매트릭스와 섬유의 가교작용으로 인하여 미세균열을 억제하고 응력을 재분배하여 전단성능이 증진되는 것으로 판단된다.<sup>[4]</sup>

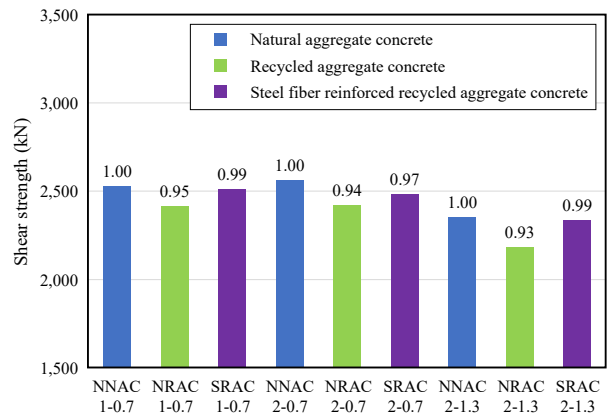
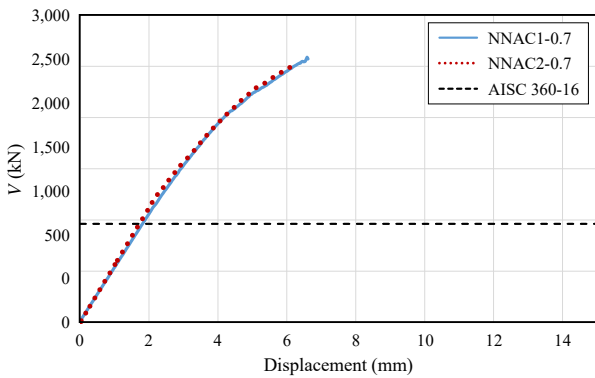


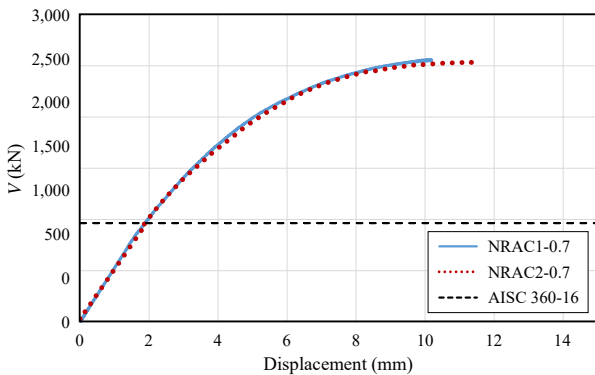
Fig. 9. Comparison of shear strength for steel fiber reinforcement

### 3.2 엔드 플레이트의 영향

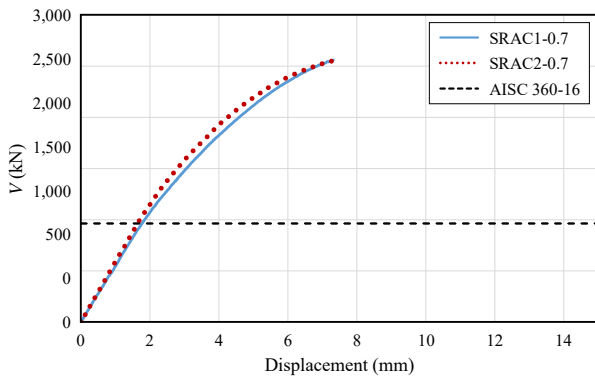
실험체 양 끝단의 엔드 플레이트 부착 시 콘크리트 파괴 이후 강관과 콘크리트의 슬립을 방지하여 부착응력이 증진되며 최대강도까지 연성적인 거동을 기대할 수 있다. 엔드 플레이트 부착 유무에 따른 하중-변위 관계는 Fig. 10에서 보는 바와 같이 각 실험체의 전단거동이 유사하게 나타났다. 엔드 플레이트 부착 유무에 따른 동일 조건의 전단강도의 변화를 Fig. 11에 나타내었다. 일반골재 콘크리트 충전 실험체의 경



(a) NNAC-0.7



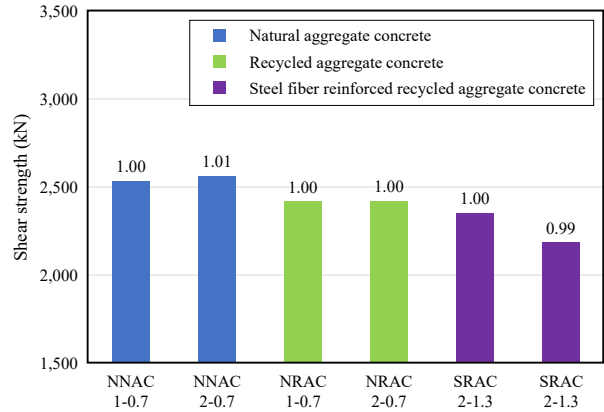
(b) NRAC-0.7



(c) SRAC-0.7

**Fig. 10.** Comparison of load-deflection curves with end plate

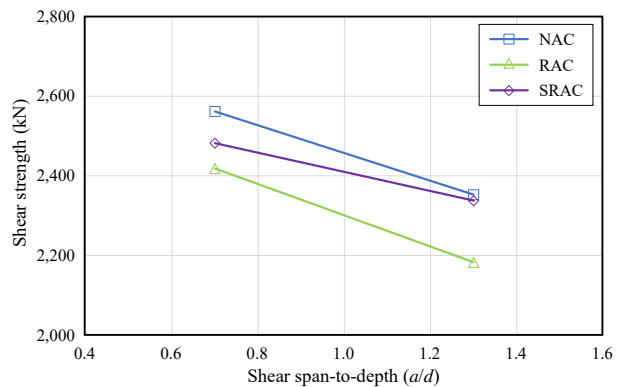
우 엔드 플레이트 부착 시 전단강도는 1.01배로 나타났으며, 순환골재 콘크리트 충전 실험체에서 1.00배, 강섬유 보강 순환골재 콘크리트 충전 실험체에서 0.99배로 나타났다. 이는 재하장비의 용량초과로 실험을 중단하여 강관과 콘크리트의 슬립이 발생되지 않은 것으로 판단되며, 그로 인해 엔드 플레이트 부착 유무에 따른 전단성능의 영향이 미미한 것으로 판단된다.



**Fig. 11.** Comparison of shear strength for end plate

### 3.3 전단스팬비의 영향

전단거동에 영향을 미치는 전단스팬비에 따른 강섬유 보강 효과를 확인하기 위하여 전단스팬비 0.7을 기준으로 전단스팬비 1.3인 실험체와 비교하여 Fig. 12에 나타내었다. 일반골재 콘크리트 충전 실험체의 경우 전단강도는 0.92배 감소하였으며, 순환골재 콘크리트 충전 실험체에서는 0.90배, 강섬유 보강 순환골재 콘크리트 충전 실험체에서는 0.94배 감소하는 것으로 나타났다. 강섬유 보강 시 일반골재 콘크리트 충전 실험체와 순환골재 콘크리트 충전 실험체보다 전단성능의 감소율은 줄어드는 것으로 평가된다.



**Fig. 12.** Comparison of test results for shear span-to-depth

### 3.4 전단강도 내력식 비교

합성구조는 다른 재료를 혼합하여 사용하며 각각의 재료가 가지고 있는 특성을 살려 전체적인 성능을 향상시키는 구조 형태이다. 국내 건축구조기준인 KDS 41 31 00의 CFT 전단설계식은 식 (1)과 식 (2)의 강관과 콘크리트의 전단강도 중 큰 값으로 산정하도록 설계지침을 제시하고 있다. 하지만, 기존 연구자들의 제안식에서는 강관과 콘크리트를 모두 고려한 전단강도로 산정하고 있다. 이를 기반으로 식 (3)과 같이 강관과 콘크리트의 전단강도를 합산한 값과 실험값을 비교하였으며, Table 6와 Fig. 13에 비교한 결과를 나타내었다.

$$V_n = V_{s(tube)} = 0.6F_y A_v C_v \quad (1)$$

여기서,  $F_y$ : 강재 항복강도(MPa)  
 $A_v$ : 강관의 총단면적(mm<sup>2</sup>)  
 $C_v$ : 웨브 전단좌굴강도계수.

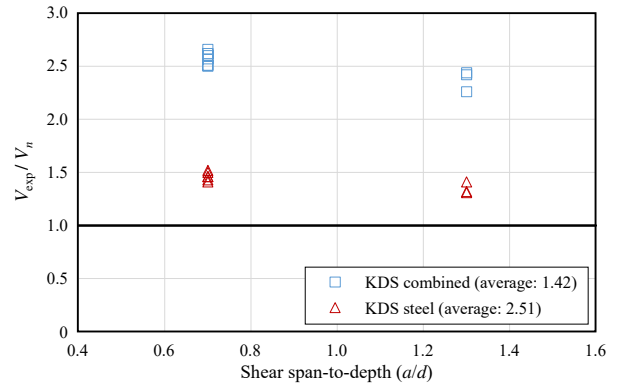
$$V_n = V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}} b_w d \quad (2)$$

여기서,  $f_{ck}$ : 콘크리트 압축강도(MPa)  
 $b_w$ : 부재 폭(mm)  
 $d$ : 부재 깊이(mm).

$$V_{combined} = 0.6A_v F_y + \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_w h \quad (3)$$

**Table 6.** Comparison of test results with theoretical values

Specimen	Test results $V_{exp}$ (kN)	KDS $V_{steel}$ (kN)	KDS $V_{combined}$ (kN)	$V_{exp}/V_{steel}$	$V_{exp}/V_{combined}$
NNAC1-0.7	2,530.0	964.7	1,793.5	2.62	1.41
NRAC1-0.7	2,415.2		1,655.3	2.50	1.46
SRAC1-0.7	2,509.2		1,655.3	2.60	1.52
NNAC2-0.7	2,562.0		1,793.5	2.66	1.43
NRAC2-0.7	2,418.5		1,655.3	2.51	1.46
SRAC2-0.7	2,482.4		1,655.3	2.57	1.50
NNAC2-1.3	2,352.6		1,793.5	2.44	1.31
NRAC2-1.3	2,182.9		1,655.3	2.26	1.32
SRAC2-1.3	2,337.6		1,655.3	2.42	1.41



**Fig. 13.** Comparison of  $V_{exp}/V_n$  values

강관의 전단강도 예측값과 실험값의 비교에서는 실험값이 2.26배 - 2.66배 높은 것으로 나타났으며, 강관과 콘크리트의 전단강도를 합산한 값과 실험값의 비교에서는 실험값이 1.31배 - 1.50배 높은 것으로 나타났다. 강관의 전단강도만을 고려한 설계식보다 모든 재료의 강도를 고려한 식에서 실험값과 더 유사한 값을 나타내고 있으며, CFT 전단강도 산정 시 모든 재료의 강도에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

## 4. 결론

강섬유 보강 순환골재 콘크리트 충전 용접조립 각형강관의 전단성능을 평가하기 위해 강섬유 보강, 전단스팬비, 엔드 플레이트 유무를 변수로 전단실험을 수행하였으며, 실험값과 설계식을 비교하여 구조체로서 안정성을 평가하였다.

- (1) 모든 실험체의 하중-변위 관계 곡선은 하중과 변위가 비례하게 증가하는 탄성거동을 나타내었으며, 항복 이후에도 완만한 소성거동을 나타내었다. 실험체의 실험값과 설계식을 비교한 결과, 강관의 전단강도만을 고려하였을 때 실험값이 2.26배 - 2.66배 높은 값이 나타났으며, 강관과 콘크리트의 전단강도의 합으로 하였을 때 실험값이 1.37배 - 1.54배 높은 값을 나타내었다. 이는 강관과 콘크리트의 전단강도를 모두 고려하였을 때 실험값과 더 유사한 결과를 보여 CFT 전단강도 산정 시 콘크리트의 전단강도를 일부 반영함이 합리적인 설계가 가능할 것으로 판단된다.
- (2) 순환골재 콘크리트 충전 실험체에 강섬유 보강 시 무보강 실험체에 비해 전단강도가 증진되는 것을 알 수



있으며, 일반골재 콘크리트 충전 실험체와 거의 유사한 전단강도를 나타내었다. 골재 내에서 가교작용으로 인하여 미세균열을 억제하는 강섬유 보강 효과에 기인한 것으로 판단된다.

- (3) 실험체 양 끝단의 엔드 플레이트 부착 시 강관의 슬립을 방지하여 전단강도에 미치는 영향으로 엔드 플레이트 부착 유무를 변수로 비교하였을 때, 일반골재 콘크리트 충전 실험체의 경우 1.01배, 순환골재 콘크리트 충전 실험체의 경우 1.00배, 강섬유 보강 순환골재 콘크리트 충전 실험체에서 0.99배로 나타나 엔드 플레이트가 전단강도에 미치는 영향은 미미한 것으로 판단된다.
- (4) 순환골재 콘크리트 충전 실험체는 일반골재 콘크리트 충전 실험체와 동일하게 전단스팬비가 증가할수록 전단강도가 낮아지는 경향을 보였다. 전단스팬비가 증가할 때 일반골재 콘크리트 충전 실험체는 0.93배, 순환골재 콘크리트 충전 실험체는 0.91배, 강섬유 보강 순환골재 콘크리트 충전 실험체는 0.96배 감소하여 순환골재 콘크리트에 강섬유 보강 시 전단성능의 감소율은 현저히 줄어드는 것으로 나타났다. 이는 전단경간비가 증가할 때 전단파괴에서 휨-전단파괴로 유도됨에 따라서 강섬유 보강 시 전단강도 증진 효과가 향상된 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국연구재단 이공분야기초연구사업의 연구비 지원(2017R1D1A1B0503628214)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌(References)

- [1] Oh, J.-H., Kim, M.-S., Shin, H.-D., and Min, J.-W. (2008) Recent Status on the Recycling of Construction Waste and Research Trends - The Current Situation of Recycling Technology for Waste Resources in Korea (4), *Journal of the Korean Institute of Resources Recycling*, KOREC, Vol.17, No.2, pp.16-29 (in Korean).
- [2] ACI Committee 209 (1992) *Prediction of Creep, Shrinkage and Temperature Effects in Concrete Structures* (209R-92, Reapproved 2008), American Concrete Institute, USA, p.47.
- [3] Choi, W.-H., Lee, J.-H., Park, Y.-P., Kim, S.-H., and Choi, S.-M. (2018) Compressive Performance of 50 MPa Concrete Filled Square and Circular Steel Tubes (CFT) Columns Using Recycled Aggregate, *Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures*, KOSACS, Vol.9, No.2, pp.72-80 (in Korean).
- [4] Thomas, J., and Ramaswamy, A. (2007) Mechanical Properties of Steel Fiber-Reinforced Concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol.19, No.5, pp.385-392.
- [5] Kim, Y.-I. (2016) The Effects of Steel-Fiber Reinforcement on High Strength Concrete Replaced with Recycled Coarse Aggregates More Than 60%, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, KOREC, Vol.4, No.4, pp.404-417 (in Korean).
- [6] Kim, S.H. (2014) *Improving Structural and Fire Performance with Steel-Fibers for Internally Anchored Square Composite Columns*, Ph.D Dissertation, University of Seoul, Korea, p.283 (in Korean).
- [7] Xu, C., Haixiao, L., and Chengkui, H. (2009) Experimental Study on Shear Resistance of Self-Stressing Concrete Filled Circular Steel Tubes, *Journal of Constructional Steel Research*, Elsevier, Vol.65 No.4, pp. 801-807.
- [8] Korean Agency for Technology and Standards (2017) *Test Pieces for Tensile Test for Metallic Materials* (KS B 0801: 2007), Korea (in Korean).
- [9] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2019) *Korean Building Code for Steel Structures* (KDS 41 30 00: 2019), Korea (in Korean).
- [10] Mansouri, A. (2020) Shear Strength of Concrete-Filled Steel Tubes Based on Experimental Results, *Journal of Structural Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol.146, No.6, 04020097.
- [11] Jung, E.B., Yeom, H.J., and Yoo, J.H. (2015) Investigation of Shear Design Expressions of Large-Diameter Concrete-Filled Steel Tubes (CFT), *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.27, No.4, pp.399-410 (in Korean).
- [12] Kim, S., Jeong, J., and Kim, S. (2018) Shear Performance on SFRC Beam Using Recycled Coarse Aggregate, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, KSMI, Vol.22, No.6, pp. 189-196 (in Korean).
- [13] Kim, S.H., Yom, K.S., and Choi, S.M. (2015) An Experimental Study on Structural Performance of SFRC

- Filled Built-up Square Columns, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.27, No.1, pp.13-22 (in Korean).
- [14] Lee, S.H., and Seo, C.H. (2001) A Study on the Mechanics Properties of High Strength Recycled Aggregate Concrete, *Journal of the Architectural Institute of Korea - Structure & Construction*, AIK, Vol.13, No.6, pp.575-583 (in Korean).
- [15] Shin, J.-L., Kim, W.-S., Baek, S.-M., Kang, T.H.-K., and Kwak, Y.-K. (2015) Structural Performance Evaluation of Steel Fiber-Reinforced Concrete Beams with Recycled Coarse Aggregates, *Journal of the Korea Concrete Institute*, KCI, Vol.27, No.3, pp.215-227 (in Korean).
- [16] Sim, J.S., Park, C.W., Park, S.J., and Kim, Y.J. (2006) Characterization of Compressive Strength and Elastic Modulus of Recycled Aggregate Concrete with Respect to Replacement Ratios, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers A*, KSCE, Vol.26, No.1A, pp.213-218 (in Korean).
- [17] Xiao, C., Cai, S., Chen, T., and Xu, C. (2012) Experimental Study on Shear Capacity of Circular Concrete Filled Steel Tubes, *Steel and Composite Structures*, Techno-Press, Vol.13, No.5, pp.437-449.
- [18] Yang, Y.F., Han, L.H., and Wu, X. (2008) Concrete Shrinkage and Creep in Recycled Aggregate Concrete-Filled Steel Tubes, *Advances in Structural Engineering*, Sage, Vol.11, No.4, pp.383-396.

---

**요 약**: 순환골재는 일반적으로 미탈거된 시멘트 페이스트로 인하여 골재의 밀도가 낮고, 흡수율이 증가하게 됨으로써 구조성능이 저하되는 특성이 있다. 이러한 단점을 개선하기 위해서 본 연구에서는 건조수축 억제와 응력분배, 균열분산역할을 하는 강섬유보강을 통해 순환골재 콘크리트 구조적 특성을 개선하고, 강관에 충전하여 불안정한 물성저하를 방지하였다. 또한, 순환골재 콘크리트를 구조 부재로 활용하기 위해 콘크리트의 강도 및 연성증진에 효과적인 강섬유를 혼입하여 주요 변수(순환골재 치환율, 엔드 플레이트, 전단스팬비)에 따른 전단실험을 수행하였다. 전단실험 결과 강관에 충전한 모든 실험체의 하중-변위 관계곡선에서 하중과 변위가 비례하게 증가하며, 완만한 소성거동을 나타내었다.

**핵심용어**: 순환골재 콘크리트, 강섬유, 전단성능, 콘크리트 충전 강관, 전단스팬비

---