

## 강섬유와 묶음철근 보강을 통한 고성능 연결보의 이력거동 평가

Hysteretic Behavior Evaluation of a RC Coupling Beam using a Steel Fiber and Diagonal Reinforcement

---

저자 (Authors)	오해철, 이기학, 한상환, 신명수, 조영욱 Hae Cheol Oh, Kihak Lee, Sang Whan Han, Myoungsu Shin, Yeong Wook Jo
출처 (Source)	<a href="#">콘크리트학회 논문집 27(3)</a> , 2015.6, 288-295(8 pages) <a href="#">Journal of the Korea Concrete Institute 27(3)</a> , 2015.6, 288-295(8 pages)
발행처 (Publisher)	<a href="#">한국콘크리트학회</a> Korea Concrete Institute
URL	<a href="http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE06366072">http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE06366072</a>
APA Style	오해철, 이기학, 한상환, 신명수, 조영욱 (2015). 강섬유와 묶음철근 보강을 통한 고성능 연결보의 이력거동 평가. 콘크리트학회 논문집, 27(3), 288-295
이용정보 (Accessed)	한양대학교 166.104.66.*** 2022/02/18 16:18 (KST)

---

### 저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

### Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.



## 강섬유와 묶음철근 보강을 통한 고성능 연결보의 이력거동 평가

오해철<sup>1)</sup> · 이기학<sup>1)\*</sup> · 한상환<sup>2)</sup> · 신명수<sup>3)</sup> · 조영욱<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>세종대학교 건축공학과 <sup>2)</sup>한양대학교 건축공학부

<sup>3)</sup>울산과학기술대학교 도시환경공학부 <sup>4)</sup>삼성물산 건설부문 주택기술부

# Hysteretic Behavior Evaluation of a RC Coupling Beam using a Steel Fiber and Diagonal Reinforcement

Hae Cheol Oh,<sup>1)</sup> Kihak Lee,<sup>1)\*</sup> Sang Whan Han,<sup>2)</sup> Myoungsu Shin,<sup>3)</sup> and Yeong Wook Jo<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Architectural Engineering, Sejong University, Seoul, 143-747, Korea

<sup>2)</sup>Department of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791, Korea

<sup>3)</sup>School of Urban and Environmental Engineering, UNIST, Ulsan, 689-798, Korea

<sup>4)</sup>Samsung C&T Structural ENG, Seoul, 137-956, Korea

**ABSTRACT** In this paper, a bundled diagonal reinforcement using high performance steel fiber was proposed to enhance the construct ability and seismic performance. Experiments of coupling beam was composed of four specimens and the hysteretic behavior evaluated for reverse cyclic loading to specimens using high performance steel fiber. The main variables of the experiment is a amount of stirrup and bundled reinforcement, depending on whether the mix of steel fiber. Specimen which criteria was applied 100% of stirrup and bundled diagonal reinforcement of ACI318 criteria. With this, by applying same diagonal reinforcement, two specimens were created by adjusting stirrup of 75%, 50%. So, a total of four specimens were produced. When coupling beam was placed concrete, this experiment was mixed in a content of steel fiber 1%. All the specimens were produced by aspect ratio 3.5( $l/h=1050/300$ ) to a half-scale. In this result, two specimens as reduced to stirrup of 75%, 50% was no significant difference in the strength, stiffness and energy dissipation capacity, respectively compared to the stirrup of 100%.

**Keywords** : coupling beam, steel fiber, diagonal reinforcement, energy dissipation capacity

## 1. 서 론

병렬 전단벽시스템이란, 독립된 전단벽을 연결보를 이용하여 연계시킴으로써 내진설계에 요구되는 강성/강도를 증가시켜 지진 발생 시 고층구조물의 횡력 저항에 효율적인 시스템이다. 연결보는 코어의 벽체 출입문 및 창문 등의 개구부에 설치가 이루어진다. 현재 여러 연구자들이 효율적이고 우수한 시공성 확보를 위해 대각철근으로 구성된 철근콘크리트 연결보를 제안하였으며 실험체 실험을 통해 수행하였다. 현재 ACI 318(2011)에서 연결보의 평균 전단응력을  $0.83\sqrt{f_{ck}}(MPa)$  이하로 제한하고 있으며 연결보에 적용하는 대각철근의 횡구속 철근상세를 다음 두 가지 경우에 대해 제시하고 있다.<sup>1-6)</sup> Fig. 1(a)

는 대각철근에 직접 스티럽을 기둥처럼 감아야 하기 때문에 철근이 교차하는 중앙부에 간섭이 심해져 벽의 두께가 충분하지 않을 때 시공이 어려운 단점이 존재한다. 이 상세에 비해 좀 더 완화되어 대안적으로 제시된 연결보의 상세도면이 Fig. 1(b)이다. 연결보의 대각철근에 직접 스티럽을 시공하지 않고 종방향 철근에 스티럽을 시공함으로써 연결보의 좌굴을 억제하는 효과를 기대할 수 있다. 그렇지만 여전히 과도한 스티럽 설치로 전단벽의 두께가 제한적인 시공이 어려운 단점이 있다.

강섬유 보강 시멘트 복합체는 시멘트매트릭스에 강섬유를 배합하여 콘크리트의 성질 개선을 주목표로 하며, 콘크리트의 강도와 균열에 대한 저항성 향상 및 내충격성을 가지도록 할 수 있다. 그리고 내진성능의 향상은 설계지진력 감소와 구조부재의 단면축소의 효과로 평면계획의 유연성을 확보할 수 있다.

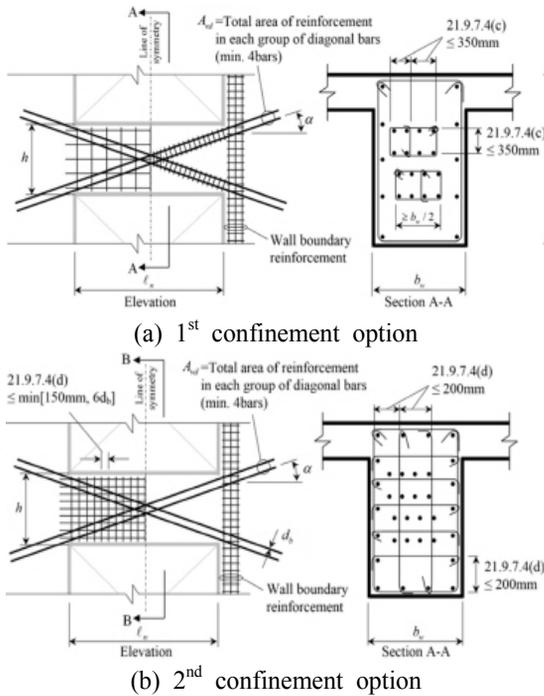
본 논문에서는 ACI318(2011)에서의 Fig. 1(b)를 횡구속 철근 상세 기초로 하여 형상비가 큰 연결보에서의 대각철근을 고려하였다. 이를 해결하기 위해 고성능 강섬유

\*Corresponding author E-mail : kihaklee@sejong.ac.kr

Received January 26, 2015, Revised March 2, 2015,

Accepted March 20, 2015

©2015 by Korea Concrete Institute



**Fig. 1** Two confinement options for diagonal reinforcement beams specified in ACI 318-11<sup>1)</sup>

를 적용한 철근상세를 제안하고자 하며, 또한 공장에서 생성하는 프리캐스트화하여 품질과 시공성을 향상하는 방법으로 현장에 적용하고자 한다. 따라서 본 연구에서는 오피스 건축물에 사용되고 있는 형상비 3.5를 고려하여 현행 기준의 전단응력을 만족하는 대각철근 고성능 강섬유 연결보에 스티럽 철근량의 감소에 따른 이력거동 및 강성 그리고 전단강도를 통해 에너지소산능력을 비교하여 분석하고자 한다. 이를 통해 최대변형률이 최소 4% 이상에서 강도저하 없이 발현할 수 있도록 강섬유 보강 시멘트 복합체를 적용한 연결보의 성능 평가를 실시하고자 한다.

## 2. 연결보 실험계획

### 2.1 강섬유 및 철근콘크리트 재료특성

재료시험으로 연결보에 적용된 고성능 강섬유의 압축 강도시험과 직접인장시험을 수행하였다. 연결보에 적용된 강섬유 재료의 특성에 대해서는 Table 1에 정리하였다. 그리고 실험체에 적용하는 강섬유의 체적을 1%로 하였고 재료의 배합비는 압축강도 45 MPa를 발현할 수 있도록 6번의 시험배합과 재료시험을 통하여 Table 2와 같이 결정하였다.

고성능 강섬유의 압축강도시험체로는 6개 만들었으며 100mm × 200mm 공시체를 사용하였으며, 압축강도, 변형률 및 할선법을 이용하여 구한 할선법은 Table 3에 정리하였다.

본 연구에서의 연결보 실험체에 적용되는 고성능 강섬

**Table 1** Steel fiber properties

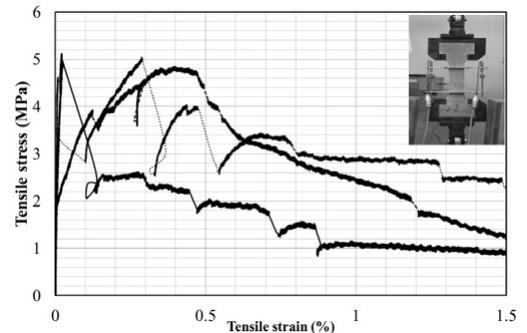
Tensile strength (MPa)	Elastic modulus (GPa)	Diameter (mm)	Length (mm)	Volume fraction (%)
3,070	210	0.38	30	1.0

**Table 2** Mixture proportion of cement composites

W/B (wt%)	S/a (Vol%)	Unitary quantity (kg/m <sup>3</sup> )				
		W	OPC	S	G	HPMC
28.8	60	223	543	699	466	0.4

**Table 3** Strength of cement composites

Spec.	Compressive strength (MPa)		Strain at comp. strength (x0.001)		Modulus of elasticity (GPa)		Tensile strength (MPa)	
	Ave.	St. dev.	Ave.	St. dev.	Ave.	St. dev.	Ave.	St. dev.
3D 1.0%	49.6	1.6	2.5	0.3	25.2	3.5	4.89	0.16



**Fig. 2** Direct tensile test of cement composites

유의 직접인장강도시험은 25mm × 50mm 단면의 도그본 (Dog-bone) 형태로써 3개의 시험체로 제작하였다. 파괴 양상 및 시험결과는 Fig. 2를 통해 확인할 수 있으며, 시험체는 변형률 1.5%까지 극한인장변형이 발생했다. 강섬유가 균열을 억제시키는 역할을 하여 다수의 미세균열이 형성되었으며, 변형경화 거동하는 것을 알 수 있었다. 압축강도 및 직접인장강도의 시험결과는 Table 3에 정리하였다.

연결보 실험체에 적용된 철근에 대해서는 D13, D22, D25를 배근하였으며, 각 철근의 항복강도와 인장강도는 D13은 506 MPa와 620 MPa이었으며, D22는 438 MPa와 587 MPa이었다. 그리고 D25는 442 MPa와 607 MPa로 측정되었다.

### 2.2 연결보 실험체 상세

본 실험에서는 대각철근 고성능 강섬유 연결보의 비교

평가를 위해 총 4개의 실험체를 제작 및 실험하였다. 실험체들은 ACI 318-11(2011)의 두 번째 철근상세를 바탕으로 제작되었다. 이 철근상세는 대각철근에 스티럽을 배근하지 않고 수직철근에 스티럽을 배근하여 연결보 전반에 걸쳐 스티럽을 배근하는 방식이다. 그리고 이번 실험의 주요 변수들로는 스티럽 철근량의 차이와 대각철근 형태이다.

기준 실험체로는 BD-SF1-S100으로 형상비는 3.5( $l/h$ , 1050/300)이며 연결보의 상하부로는 연결보 실험체가 시공되는 현장에서의 동일한 조건이 갖춰지도록 전단벽 벽체와 동일하도록 스티브(1390×1025×800)가 제작되었으며, ACI318-11(2011) 설계기준과 상세기준을 따라 묶음대각철근(bundled diagonal reinforcement)을 배근하도록 실험체를 제작하였다. 그리고 고성능 강섬유로는 강섬유를 1% 체적비로하여 타설하였다.

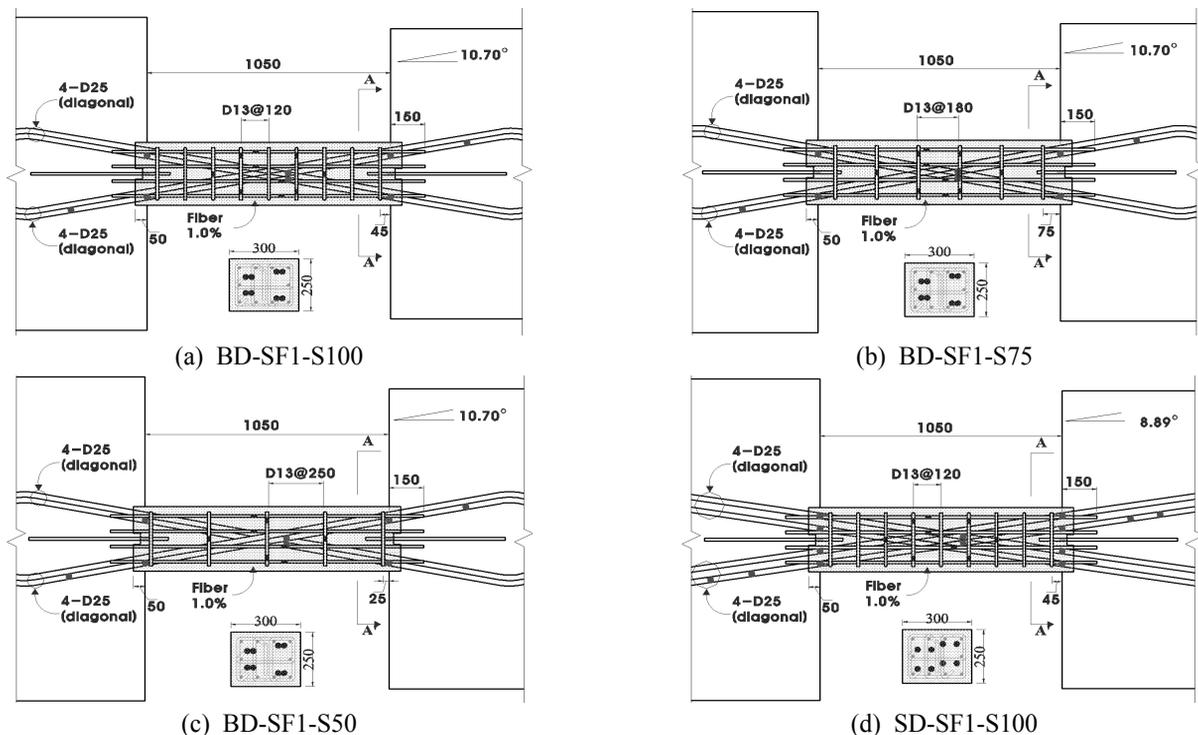
두 번째(BD-SF1-S75) 및 세 번째(BD-SF1-S50) 실험체는 스티럽 철근량을 기준 실험체에 대비 75%와 50%로 적용을 하였다. 여기서 기준 실험체(BD-SF1-S100)와 비교

하여 스티럽 철근량에 따른 이력거동, 전단강도 및 소산 에너지능력을 비교하고자 한다. 그리고 마지막으로 네 번째 실험체(SD-SF1-S100)은 일반대각철근을 적용하였으며, 4개의 실험체에 대한 주요 내용은 Table 4에 정리하였다. 모든 실험체의 대각 철근량은 최대평균전단응력이  $0.5\sqrt{f_{ck}}$  이상이 되도록 배근하였다. 그리고 연결보의 양 끝단에 전단에 의한 미끄러짐이 없도록 하기 위해서 U-bar형태로 전단키를 설치하였다. 이와 같이 실험체에 대한 형상 및 철근 배근의 상세는 Fig. 3에 도식화하였다.

이 실험에서는 연결보의 프리캐스트화 가능성을 알아보기 위해서 1차로 연결보 부분을 고성능 강섬유로 타설 후, 7일 뒤 연결보의 스티브를 제작하여 일반콘크리트로 2차 타설하였다. 또한, 실험 전 철근의 정착 길이에 대한 논의가 있으며 연결보의 수직철근은 연결보에서 150 mm 도출되도록 배근하여 스티브에 삽입이 되도록 배근하였다. 그리고 연결보와 스티브 간의 원활한 하중 전달을 위하여 연결보의 타설 부분이 50 mm씩 상하부 스티브에 삽입이 되도록 설계를 하였다.

**Table 4** Summary of test four specimens

Specimen	Width (mm)	Height (mm)	Span (mm)	Aspect ratio ( $L_n/h$ )	Angle $\alpha$ ( $^\circ$ )	Diagonal bars		Longitudinal bars		Transverse bars	
						Diameter (mm)	No. of bars	Diameter (mm)	No. of bars	Diameter (mm)	Spacing (mm)
BD-SF1-S100	250	300	1050	3.5	10.70	25.4	8	13	10	12.7	120
BD-SF1-S75	250	300	1050	3.5	10.70	25.4	8	13	10	12.7	180
BD-SF1-S50	250	300	1050	3.5	10.70	25.4	8	13	10	12.7	250
SD-SF1-S100	250	300	1050	3.5	8.90	25.4	8	13	10	12.7	120



**Fig. 3** Reinforcement details and strain gauge layout for four specimens

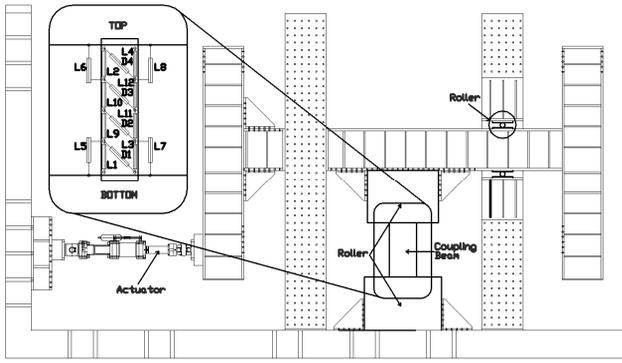


Fig. 4 The specimen test setup

### 2.3 실험 목적 및 계획

본 실험은 병렬 전단벽시스템에 적용되는 연결보에 일 반콘크리트 대신해서 강섬유 보강 시멘트 복합체(고성능 강섬유)를 적용시킴으로써 최대변형을 및 허용전단응력을 확인하고자 실험하였다.

Fig. 4는 연결보의 실험을 위해 제작된 계획도면이다. 연결보는 프리캐스트화하여 수직으로 세우며 스테르브를 통하여 고정시켰으며, 횡하중이 제대로 구현되기 위하여 도면과 같이 설치하였다. 그리고 횡하중이 작용할 때 스테르브가 회전하는 것을 방지하기 위해 연결보의 양쪽에 세워진 수직 철골프레임에 롤러를 사용하여 구속시켜서 수평 이동만 가능하도록 하였다. 그리고 상하부의 스테르브에 스토퍼를 설치함으로써 횡하중이 작용할 때 미끄러짐이 없도록 하였다.

가력방법은 준정적 반복하중(quasi static reversed cyclic loading)으로 변위각 0.25%에서 12%까지 사이클별 2회씩 적용하였다. 액츄에이터의 용량은 500kN으로 사용하였으며, 실험의 하중 측정은 액츄에이터에 로드셀을 부착하여 기록하였다. 연결보의 횡하중시 변위는 상부 스테르브에 LVDT를 설치하여 계측하였으며, 스테르브의 미끄러짐을 알기 위해 하부에도 LVDT를 설치하였다. 이 밖에도 연결보의 변형을 알아보기 위해서 수직과 대각선상에 LVDT를 설치하였다. 그리고 철근의 변형률을 알아보기 위해 대각 철근, 수직철근 및 스테르브 그리고 연결보와 스테르브를 구

속하기 위해 배근한 U-bar에 변형률게이지를 부착하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 이력곡선 평가

Fig. 5는 연결보 실험을 통해서 얻은 각 실험체별 하중-변위 이력곡선이다. 이 이력곡선을 통해 실험체에 대한 항복하중( $V_y$ ), 항복변위각( $\theta_y$ ), 최대하중( $V_u$ ), 최대변위각( $\theta_u$ ), 파괴하중( $V_f$ ), 파괴변위각( $\theta_f$ ), 연성비( $\mu$ )에 대한 데이터를 얻었다<sup>7-13</sup>. 항복변위각 및 최대변위각은 각각 최대하중의 75%, 80%지점의 변위각으로 구하였으며, 이를 통해 연성비에 대한 데이터는 다음 식(1)과 같은 과정을 통해 구하였다.

$$\mu = \theta_u / \theta_y \quad (1)$$

연결보 실험을 통해 얻은 데이터에 대한 정리는 Fig. 5의 이력곡선을 통해 Table 5와 같이 정리하였다.

Fig. 5(a)는 묽음대각철근에 강섬유 1%를 함유한 스테르브 100% 기준 실험체(BD-SF1-S100)는 ACI318-11(2011)의 두 번째 철근상세로 제작된 대각철근 고성능 강섬유 연결보로 항복변위각 1.38%, 항복강도는 344.38kN이고 최대변위각은 9.82%이며, 변위각 10%까지 강도의 감소없이 안정적인 이력거동을 보여주었다. 연성비는 3.66이고 변위각 10%지점에서 급격한 강도감소를 보이며, 변위각 12%에서 철근의 항복으로 인해서 실험을 종료하였다.

Fig. 5(b)는 기준실험체 대비 스테르브의 철근량을 75%로 감소시킨 실험체(BD-SF1-S75)의 이력곡선을 보여준다. 항복변위각 1.34%, 항복강도는 365.12 kN이고 최대변위각은 7.87%이며, 연성비는 3.44이다. 변위각 10%까지 강도의 큰 감소없이 안정적인 이력거동을 보여주었으나, 10%에서 철근의 항복으로 실험을 종료하였다.

Fig. 5(c)는 기준실험체 대비 스테르브의 철근량을 50%로 감소시킨 실험체(BD-SF1-S50)의 이력곡선을 보여준다. 항복변위각 1.32%, 항복강도는 343.96 kN이고 최대변위각은 9.84%이며, 연성비는 4.31이다. BD-SF1-S75 실험체와 마

Table 5 Cycle summary of experimental test results

Specimen		$V_y$ (kN)	$\theta_y$ (%)	$V_u$ (kN)	$\theta_u$ (%)	$V_f$ (kN)	$\theta_f$ (%)	$\mu$
BD-SF1-S100	+	362.11	1.38	482.36	9.61	352.77	11.68	4.88
	-	378.15	1.35	503.98	7.94	421.81	9.74	3.95
BD-SF1-S75	+	384.12	1.36	512.16	7.43	485.62	9.95	3.70
	-	379.12	1.36	505.49	7.08	446.93	8.70	2.87
BD-SF1-S50	+	356.22	1.28	474.96	9.38	391.40	11.02	4.71
	-	387.02	1.38	516.03	8.35	382.81	8.93	4.15
SD-SF1-S100	+	338.98	1.29	451.97	7.49	342.76	7.33	3.71
	-	357.81	1.42	477.08	9.36	319.15	9.90	4.66

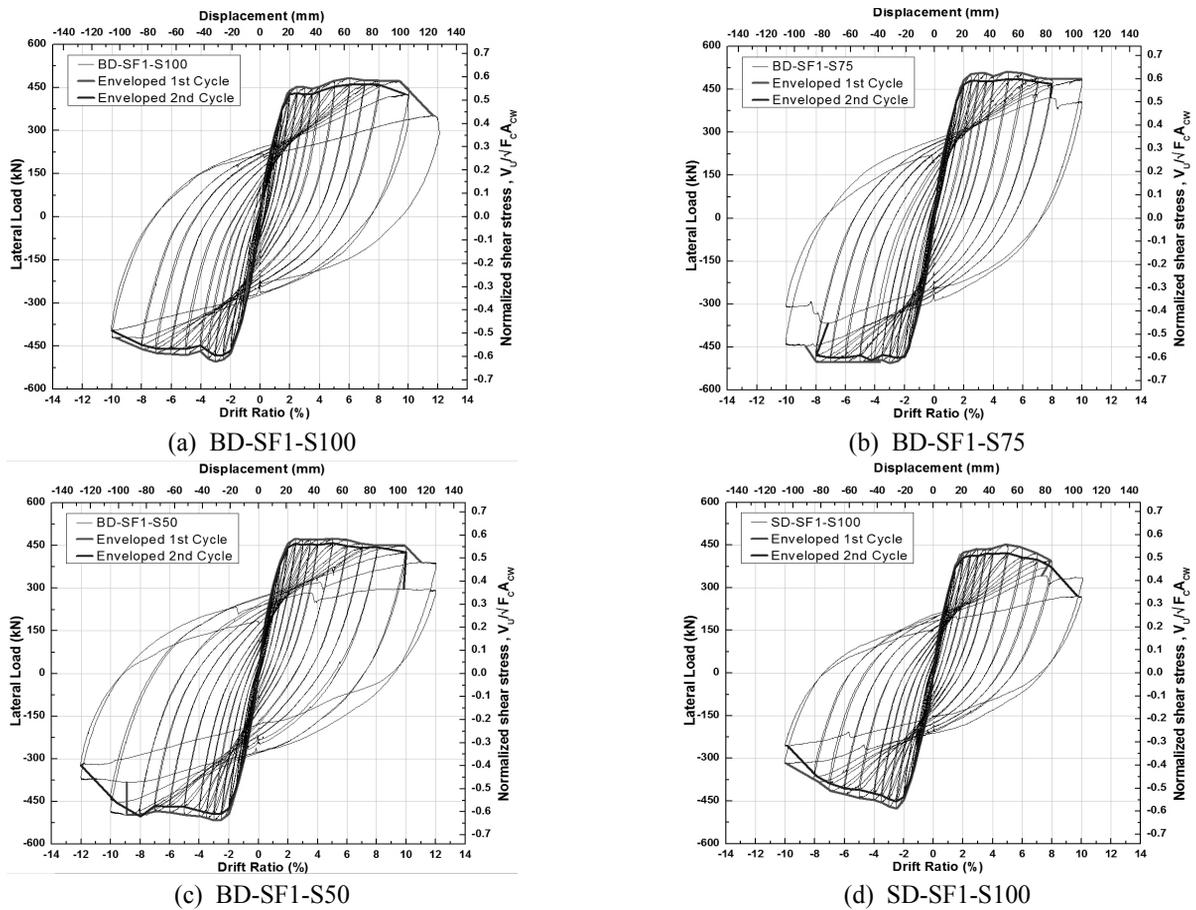


Fig. 5 Hysteretic curves of the four specimens

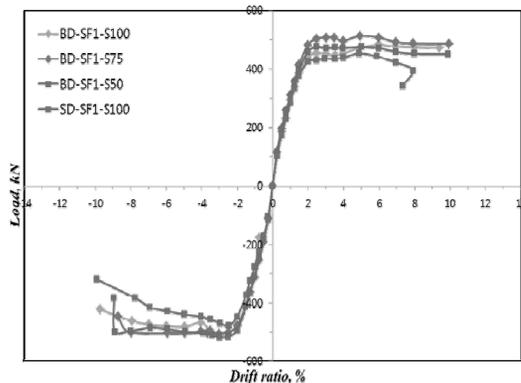


Fig. 6 Cycles of the envelope curves

찬가지고 변위각 10%까지 큰 강도감소 없이 안정적인 이력 거동을 보여주었다. 그리고 변위각 12%에서 철근의 항복으로 인하여 강도의 감소를 보이며, 실험을 종료하였다.

Fig. 5(d)는 기준실험체에 적용된 묶음대각철근이 아니라 일반대각철근을 적용한 실험체(SD-SF1-S100)의 이력 곡선을 보여준다. 일반대각철근은 묶음철근과 달리 대각철근의 각도가 8.90°로 묶음대각철근인 10.70°보다 더 작은 각도를 보여주었으며, 이를 통해 대각철근 시공 시, 많은 간섭이 일어남을 확인할 수 있었다. 그리고 또한, 항복 변위각 1.29%, 항복강도는 316.14%이고 최대변위각은

9.71%이며, 연성비는 4.43이다. 묶음대각철근을 이용한 실험체와 달리 일반대각철근을 이용한 실험체는 8%까지 큰 강도의 감소없이 안정적인 이력곡선을 보여주었으며, 8%에서 강도가 감소하며 10%에서 실험을 종료하였다.

그리고 Fig. 6은 실험체의 강도 변화를 확인하기 위해 각 실험체의 사이클에 따른 최대하중을 연결하였다. 묶음 대각철근(Bundle diagonal reinforcement)를 이용한 BD-SF1-S100, BD-SF1-S75와 BD-SF1-S50은 실험체를 비교 평가하였을 시, 정 및 부가력 모두 1.5% 이내의 적은 차이로 유사한 강도변화 그래프를 보여주었다. 실험체 모두 최대강도 발현 이후 강섬유의 가교작용으로 인해 강도의 큰 변화 없이 유지되는 현상을 보여주었다.

일반 대각철근(Standard diagonal reinforcement)를 이용한 SD-SF1-S100 실험체의 경우에 기준 실험체와 비교하여 최대강도가 정가력시 6.5% 감소하였으며, 부가력시에는 5.4% 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 제안한 묶음대각철근이 묶음을 통해 시공성을 향상시키는 동시에 연결보의 전단 강도를 유지하는데 효과적임을 알 수 있다.

### 3.2 최대강도 및 최대변위각 비교

각 연결보 실험체에 대한 최대강도 및 최대변위각은

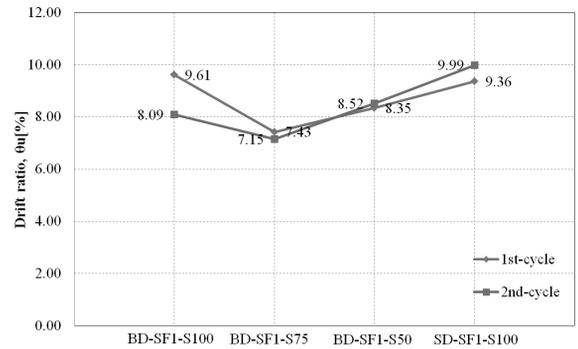
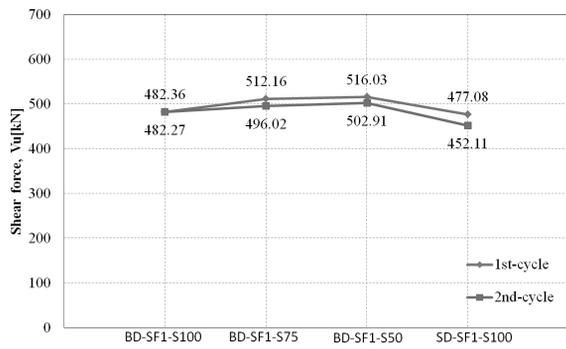


Fig. 7 Comparisons of the maximum shear strength and ultimate drift ratio

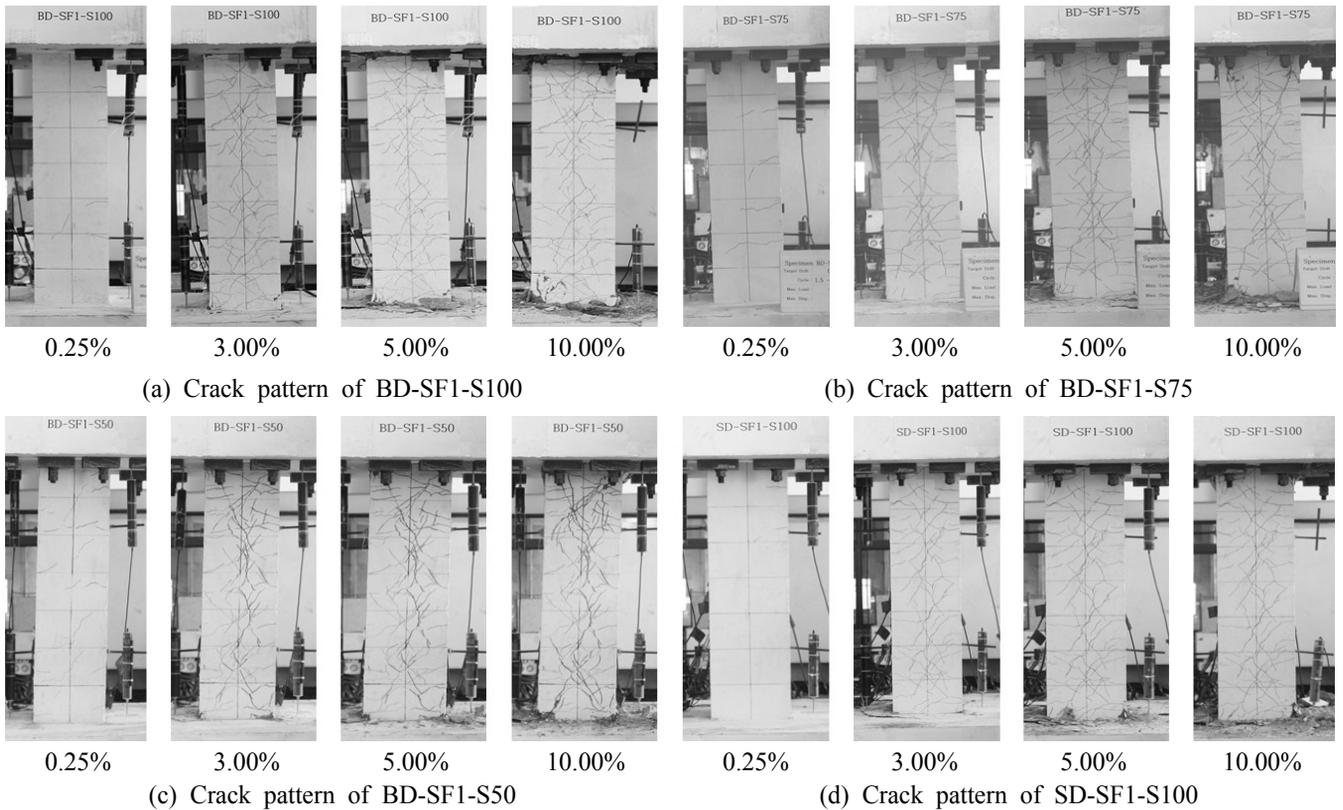


Fig. 8 Crack pattern and fractures of four specimens

Fig. 7과 같이 정리하였다.

1<sup>st</sup> cycle 기준으로 Fig. 7(a)에서는 기준 실험체 BD-SF1-S100에 대한 최대강도는 482.4 kN이 나왔다. 이 실험체를 기준으로 BD-SF1-S75의 경우는 512.2 kN으로 106.2%였으며, 실험체 BD-SF1-S50는 516.0 kN으로 107.0%를 보여주었다. 그리고 마지막으로 일반 대각철근을 이용한 SD-SF1-S100의 경우는 477.1 kN으로 99.0%를 보여주었다. 이를 통해 강섬유의 사용에 따른 스티럽에 소요되는 철근량을 줄였을 때도 실험체의 강도가 계속 유지하였음을 확인하였다.

Fig. 7(b)에서는 각 실험체별 최대변위각을 비교하였다. BD-SF1-S100은 9.6%, BD-SF1-S50는 7.4%으로 보여주었다. 그리고 BD-SF1-S50과 SD-SF1-S100은 각각 8.5%와 10.0%를 보여주었다.

### 3.3 각 실험체별 균열 및 파괴양상

Fig. 8에서 모든 실험체에 걸쳐 변위각 0.25%에서 초기 수평균열이 스티브와 연결보의 경계부분에서 발생하였다. 그리고 변위각이 증가함에 따라 수평균열이 대각균열로 발전하는 모습을 보여주었다.

Fig. 8(a)의 BD-SF1-S100 실험체 경우, 변위각 0.75%에서 대각균열이 연결보의 정면 및 측면에 걸쳐서 시작되어 발전하는 모습을 보였으며, 변위각 1.00%에서 급속하게 발전하는 모습을 보여주었다. 그리고 변위각 2.50%에서 스티브와 연결보의 접합부 대각균열이 벌어지기 시작하였으며, 변위각 5.00% 이후부터 스티브의 콘크리트 탈락이 일어나기 시작하였다. 그리고 변위각 12.00%의 실험 중 대각철근의 항복으로 인하여 실험이 종료되었다.

Fig. 8(b)인 BD-SF1-S75 실험체와 (c)의 BD-SF1-S50 실험체의 경우 비슷한 파괴양상을 보였으며, 변위각 0.50%에서 스티브와 연결보의 접합하는 상하부를 시작으로 대각균열이 발생하기 시작하였으며, 변위각 0.75%에서 연결보의 정면 및 측면부분을 시작으로 급속하게 발전하기 시작하였다. 그리고 기준 실험체와 같이 변위각 2.50%에서 대각균열이 벌어지기 시작하였다. 그러나, 변위각4.00% 이후부터는 BD-SF1-S50 실험체의 경우 대각균열이 멀러서 육안으로 확인이 가능할 정도의 벌어짐이 발생하였다. 이후 BD-SF1-S75 실험체의 경우 스티브 부분의 콘크리트 탈락과 변위각 10.00%에서 대각철근 항복으로 실험을 종료하였으며, BD-SF1-S50 실험체는 변위각 12.00%에서 대각철근 항복으로 실험을 종료하였다.

Fig. 8(d)의 SD-SF1-S100 실험체의 경우 변위각 1.00%에서 스티브와 연결보의 접합부의 수평균열이 대각균열로 발전하였으며, 변위각 1.50%에서 대각균열이 점차 연결보의 중앙부로 발전하는 모습을 보였다. 그리고 변위각 4.00%에서 스티브의 콘크리트가 탈락하는 모습을 보였다. 이후 연결보와 스티브의 균열이 진행되다 변위각 10.00%에서 종료하였다.

### 3.4 에너지 소산능력

각 실험체의 에너지 소산능력을 보여주도록 Table 6과 Fig. 9에 정리하였다.

연결보에 받는 하중에 증가함에 따라 연결보의 균열이 시작하는 변위각 0.75%에서 BD-SF1-S100, BD-SF1-S75,

BD-SF1-S50, SD-SF1-S100 실험체의 누적에너지 소산능력은 각각 7,287 kN·mm, 3,771 kN·mm, 3,846 kN·mm, 4,233 kN·mm으로 BD-SF1-S100의 에너지소산능력이 다른 실험체에 비해 2배가량 높은 것을 확인 할 수 있었다. 그리고 실험체 전반에 걸쳐 대각균열이 심해지는 변위각 3.00%에서는 각각 68,989 kN·mm, 60,516 kN·mm, 54,070 kN·mm, 54,192 kN·mm으로 묽음 대각철근을 사용한 연결보에서 스티럽 철근량에 따른 에너지 소산능력이 차이가 남을 확인할 수 있었으며, BD-SF1-S50 실험체와 SD-SF1-S100 실험체가 유사한 에너지 소산능력을 보여줌을 확인할 수 있었다. 그리고 마지막으로 연결보실험 전반에 걸쳐 마무리된 변위각 10.00%에서는 777,406 kN·mm, 764,304 kN·mm, 706,146 kN·mm, 594,499 kN·mm으로 나타났다. 이를 통해 기준 실험체인 BD-SF1-S100 실험체 대비 누적에너지 소산능력이 Table 6에 정리한 바와 같이 1.69%, 9.17%, 23.53% 감소함을 확인할 수 있었다. 이는 강섬유의 1% 혼입을 통해 기준에서 요구하는 연결보 스티럽 양을 50%로 줄여도 급격한 강도/강성의 감소 없이 연성적 거동을 통해 안정적으로 지진에너지를 소산하는 것을 보여주었다.

### 4. 결 론

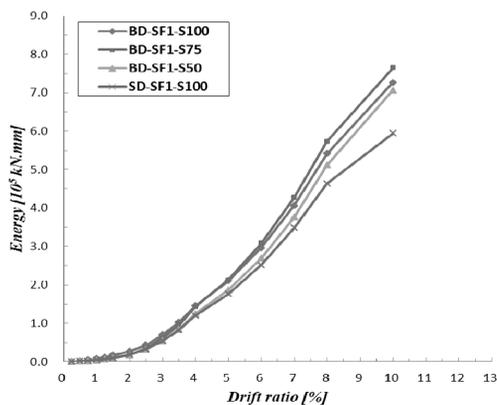
이 연구에서의 실험은 일반대각철근과 묽음대각철근의 성능차이를 확인하고 묽음대각철근에서 강섬유 1% 함유한 연결보의 스티럽 양에 따른 내진성능을 평가하기 위함이었다. 결론은 다음과 같다.

- 1) 연결보에서 대각철근을 묽음철근으로 사용한 경우 기준 일반대각철근 대비 실험체의 변형능력이 더 우수해지며, 이를 통해 대각철근의 경사각이 커지면 전단강도의 증가로 연결보의 성능이 향상되는 것을 확인하였다. 그리고 형상비가 큰 경우에 기준 일반대각철근 대비 묽음대각철근의 시공성이 더 우수할 것으로 보인다.
- 2) 묽음대각철근을 사용하고 강섬유를 1% 함유한 연결보에서 스티럽 철근량을 75%, 50%로 줄여서 실험한 결과, 스티럽 철근량을 50% 줄인 실험체에서 100%와 75%의 스티럽 철근량을 사용한 실험체와 유사한 전단강도와 변형 능력을 가졌으며 에너지소산능력이 유사함을 확인하였다.
- 3) 연결보 에너지 소산능력 실험에서 기준실험체(BD-SF1-SF100) 대비하여 비교한 결과, BD-SF1-S75 실험체는 1.69% 감소한 것으로 나타났으며, BD-SF1-S50과 SD-SF1-S100 실험체는 각각 9.17%와 23.52% 감소한 것으로 나타났다. 이를 통해 연결보의 대각철근배근에서 묽음 대각철근과 일반대각철근에 따라 소산에너지가 크게 감소함을 알 수 있었으며, 강섬유의 가교작용으로 인한 구속효과로 기준에서 요구하는 스티럽의

**Table 6** Energy dissipation of four specimens

Specimen	Accumulated dissipation energy $E_t$ (kN · mm)	Reduction ratio* (%)
BD-SF1-S100	777,406	-
BD-SF1-S75	764,304	1.69
BD-SF1-S50	706,146	9.17
SD-SF1-S100	594,499	23.53

\*Reduction ratio compared with the standard specimen



**Fig. 9** Cumulative dissipated energy of four specimens

량을 50%까지 대체할 수 있음을 본 실험을 통해 측정되었다.

## 감사의 글

이 논문은 한국연구재단의 연구비 지원 사업(2011-0010384 & 2012R1A2A2A06045129)에 의해 수행된 연구입니다. 이에 감사드립니다.

## References

1. ACI Committee 318. Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318-11). American Concrete Institute.
2. Paulay, T. and Binney, J. R., Diagonally reinforced concrete beams of shear walls. ACI special publication. 1974, 42: 579-598.
3. Barney, G. B., Shiu, K. N., Rabbat, B. G., Fiorato, A. E., Russell, H. G., and Corley, W. G., Behavior of coupling beams under load reversals: portland Cement Association; c1980.
4. Hong, S. G. and Jang, S. K., "The Mechanism of Load Resistance and Deformability of Reinforced Concrete Coupling Beams", Earthquake Engineering Society of Korea, 2006, 10(3):113-123.
5. Lee, Y. W. and Chae, J. Y., "Seismic Performance Evaluations of RC Bearing Wall Systems with Coupling Beams - For Apartment Buildings in 1990s", Earthquake Engineering Society of Korea, 2011, 15(4):23-31.
6. Kim, Y. G. and Cho, S. H., "Performance Based Design of Coupling Beam Considering Probability Distribution of Flexural and Shear Strength", Journal of the Korea Concrete Institute, 2013, 25(5):509-516.
7. FEMA-356 "Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Building", Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C. 2000
8. Hwang, S. K. and Yun, H. D., "Effects of transverse reinforcement on flexural behaviour of high-strength concrete columns", Engineering Structures 2004, 26(1):1-12.
9. Kwon, H. W., Jeon, Y. R., Lee, K. H., Shin, M. S. and Han, S. W., "Cyclic Behavior of High-Performance Fiber-Reinforced Cement Composite Coupling Beam Having Diagonal Reinforcement", Journal of the Korea Concrete Institute, 2013, 25(6):649-656.
10. Park, R., "Evaluation of ductility of structures and structural assemblages from laboratory testing", Bulletin of New Zealand Society for Earthquake Engineering 1989, 22(3): 155-166.
11. Kang, D. H., Jang, S. J., and Yun, H. D., "Reinforcement Detail Effects on Deformability of RC Coupling Beam for Special Shear Wall", Journal of the Korea Concrete Institute, 2014, 26(2):67-68
12. Priestley, M. J. N. and Park, R., "Strength and Ductility of Concrete Bridge Columns under Seismic Loading", ACI Structural Journal, 1987, 84(1):61-76.
13. Lee, H. H., "State of the Art of Coupling Beam in Coupled Wall System in Korea", Architectural Institute of Korea, 2012, 8(1):333.

**요약** 본 논문은 시공성과 내진성능을 증대하기 위해 고성능 강섬유를 혼합한 묽음대각철근 연결보를 제시한다. 연결보의 실험은 4개의 실험체로 구성하고 고성능 강섬유를 혼합한 실험체에 반복하중을 가하여 이력거동을 비교 평가하였다. 실험의 주요 변수는 강섬유의 혼합에 따라 대각철근의 묽음 여부와 스테럽의 철근량이다. 기준이 되는 실험체는 묽음대각철근에 ACI318에서 요구하는 스테럽의 철근량을 100% 적용하였다. 이와 함께, 동일한 묽음대각철근을 적용한 상태에서 스테럽의 철근량을 75%와 50%로 조절하여 두 실험체를 추가적으로 만들고 일반대각철근을 고려, 총 4개의 실험체가 제작되었다. 이번 실험에서 연결보의 콘크리트 타설시 고성능 강섬유를 함유율 1%로 혼합하였다. 모든 실험체는 1/2스케일로 형상비 3.5(l/h=1050/300)으로 이루어졌다. 본 실험결과에서 강섬유를 1% 혼합한 고성능 시멘트를 적용한 연결보는 스테럽 철근량을 75%, 50% 줄인 것과 기준 실험체로 적용된 스테럽 철근량 100%의 강도 및 강성, 에너지소산능력에서 큰 차이를 보이지 않았다.

**핵심용어** : 연결보, 강섬유, 대각철근, 에너지소산능력