DBpia

묶음 대각철근을 갖는 세장한 철근콘크리트 연결보의 이력거동

Cyclic Behavior of Slender Reinforced Concrete Coupling Beams with Bundled Diagonal Reinforcement

저자
(Authors)

한상환, 유경환, 이기학, 신명수
Sang-Whan Han, Kyoung-Hwan Yoo, Ki-Hak Lee, Myoung-Su Shin

출처
(Source)

콘크리트학회 논문집 27(6), 2015.12, 661-668(8 pages)
Journal of the Korea Concrete Institute 27(6), 2015.12, 661-668(8 pages)

발행처
(Publisher)

한국콘크리트학회
Korea Concrete Institute

URL

http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE06571299

APA Style

한상환, 유경환, 이기학, 신명수 (2015). 묶음 대각철근을 갖는 세장한 철근콘크리트 연결보의 이력거동. 콘크리트학회 논문집, 27(6), 661-668

이용정보
(Accessed)

한양대학교
166.104.66.***
2022/02/18 15:37 (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.

Journal of the Korea Concrete Institute
Vol. 27, No. 6, pp. 661~668, December, 2015
http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2015.27.6.661

pISSN 1229-5515
eISSN 2234-2842

묶음 대각철근을 갖는 세장한 철근콘크리트 연결보의 이력거동

한상환 [1)*] · 유경환 [1)] · 이기학 [2)] · 신명수 [3)]

[1)]한양대학교 건축공학부 [2)]세종대학교 건축공학부 [3)]울산과학기술대학교 도시환경공학부

Cyclic Behavior of Slender Reinforced Concrete Coupling Beams with Bundled Diagonal Reinforcement

Sang-Whan Han,[1)]* Kyoung-Hwan Yoo,[1)] Ki-Hak Lee,[2)] and Myoung-Su Shin[3)]

[1)]Dept. of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul 04763, Rep. of Korea
[2)]Dept. of Architectural Engineering, Sejong University, Seoul 05006, Rep. of Korea
[3)]School of Urban and Environment Engineering, Unist, Ulsan 44919, Rep. of Korea

ABSTRACT Coupled shear walls are effective lateral force resisting system in which coupling beams link individual walls. For improving the energy dissipation capacity of coupling beams, diagonal reinforcement details were developed. However, it is difficult to construct diagonal reinforced coupling beams due to the congestion of reinforcement in the beam. For resolving the problem, this study developed precast coupling beams with bundled diagonal reinforcement. To reduce the reinforcement congestion, bundled diagonal reinforcement were placed in the coupling beam. To evaluate the cyclic performance of coupling beams with bundled diagonal reinforcement, experimental test were conducted. For this purpose, two slender specimens with an aspect ratio of 3.5 were made and tested. It was observed that the cyclic performance of the coupling beam with bundled diagonal reinforcement was similar with that of the coupling beam with normal diagonal reinforcement placed according to design code to ACI 318-11.

Keywords : coupled shear wall, bundled, slender coupling beams, cyclic performance, precast

1. 서 론

구조용 콘크리트 벽체는 건물 평면 중심 부근, 개구부, 창문 등이 요구되는 곳에 배치되고 이로 인해 연결보로 연결된 전단벽 시스템(coupled shear wall system)은 개별 벽체들보다 추가 수평강성 등을 얻을 수 있어 높은 강성과 내진성능을 보유하고 있기 때문에 횡력 저항에 효율적이다. 특히 지진이 발생하였을 경우 병렬전단벽 시스템의 변형이 증폭되어 연결보에서 큰 전단변형이 발생하게 된다. 연결보는 병렬 전단벽 시스템의 내진성능을 결정짓는 중요한 요소 중 하나로써, 독립벽체 하부에서 소성힌지가 발생하기 이전에 건물 높이 전체에 걸쳐 연결보에서 소성힌지가 발생하도록 적당한 철근 상세를 통해 충분한 강도와 강성을 확보해야 한다.[1)] 지진 발생 시 일반 보의 형태로 배근된 연결보는 벽체와의 접합면에서 미끄러짐 전단 파괴(sliding shear failure)가 발생할 수 있다.[2)] 이를 방지하기 위한 연구가 활발히 이루어져 왔으며, 그 중 대각 철근을 이용한 연결보(Paulay and Binney, 1974)[3)]가 미끄러짐 전단 파괴의 방지는 물론, 일반적인 보 배근을 한 연결보 보다 우수한 이력거동을 보유하고 있는 것이 입증되었다.[3-6)]

이와 같은 선행연구자들의 다양한 실험적 연구를 바탕으로 ACI 318 (2008)[7)]에서는 대각 보강된 연결보에 대해 두 가지 철근 상세를 Fig. 1과 같이 제시하였다. 첫 번째 상세에서는 각각의 대각철근 요소가 Fig. 1(a)와 같이 각 대각철근 그룹에 후프(hoop)근으로 고정시키고 보 전체에도 횡구속 철근을 배치하도록 규정하였다. 이 철근 상세는 대각철근 그룹이 교차되는 중앙부에서 철근의 혼잡으로 인해 배근이 매우 복잡하다. 또한, Harries et al.(2005)[8)]는 연결보의 전단요구수준이 $0.5\sqrt{f'_c}$ (MPa) 이상이면 대각철근의 배근이 현실적으로 어렵다고 보고하였다.

위와 같이 대각철근이 적용된 철근콘크리트 연결보의 시공적인 단점을 개선하고자 ACI 318 (2008)에서는 Fig. 1(b)와 같이 연결보 전체 둘레에 특수모멘트 골조의 보-기둥에서 요구하는 횡구속 철근을 적용하여 구속효과를 확보하는 철근 상세가 추가적으로 규정되었다. 이 상세는 보의 전 단면에 횡구속 철근을 배근함으로써 첫 번째

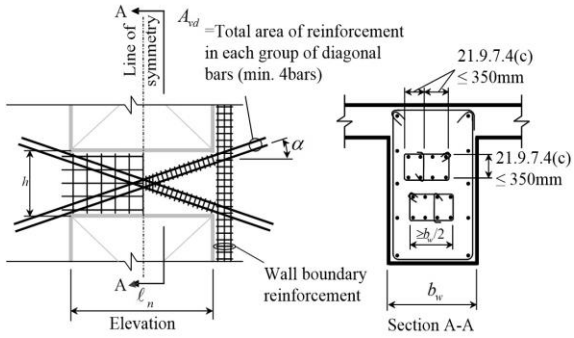
*Corresponding author E-mail : swhan@hanyang.ac.kr
Received June 1, 2015, Revised July 17, 2015,
Accepted September 9, 2015
ⓒ2015 by Korea Concrete Institute

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

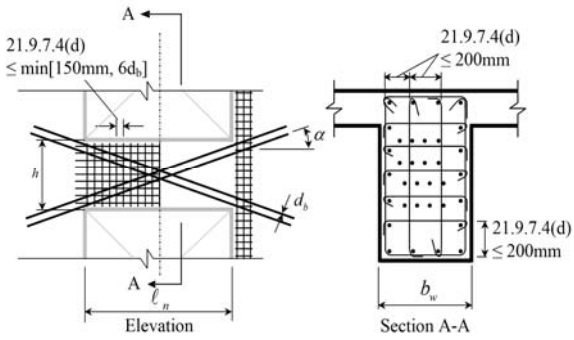
한양대학교 | IP:166.104.66.*** | Accessed 2022/02/18 15:37(KST)

대각철근 상세에 비해 시공성이 다소 완화되었지만, 횡철근과 스터럽(stirrup)의 과다한 배근으로 인해 철근의 간섭이 심화되어 여전히 시공에 어려운 단점이 존재한다.

Naish et al.(2009)[9]는 일반 사무실 건물의 연결보 형상비(span-to-depth ratio)를 3.3으로 보고하였다. 또한, 2000년대에 들어서면서 사무실이나 초고층 건물과 같이 상대적으로 세장한 연결보가 요구되는 추세와 맞물려 시공성이 더욱 악화된다. 이것은 보의 순 경간이 일정한 경우, 형상비가 클수록 보의 춤이 낮아지기 때문에 대각철근의 배근이 혼잡해지기 때문이다. 또한 병렬 전단벽 시스템에 적용되는 연결보의 경우, 일반적으로 벽체 두께와 동일한 폭(width)으로 설계되어 현장에서 횡보강근과 대각철근을 배근함에 있어 시공상의 복잡함을 발생시킨다. 또한 연결보의 품질에 있어서 현장의 시공능력에 따라 철근 배근 오차 및 콘크리트 품질 등의 저하 우려를 불러일으킬 수 있다.



(a) Confinement of individual diagonals



(b) Full confinement of diagonally coupling beam section

Fig. 1 Two diagonally reinforcement layout of coupling beam in ACI 318(2011)

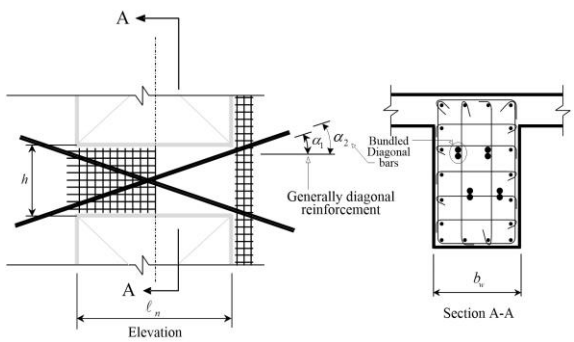


Fig. 2 Bundled diagonal reinforcement

위와 같은 연결보 시공의 어려움을 해결하고자 다양한 철근 상세가 개발되고 있다.[10-11] 국내에서는 권현욱 등[12]이 두 번째 대각철근 상세(Fig. 1(b))에 대해 묶음대각철근을 이용하여 형상비 2.0의 연결보 실험을 통해 단순화된 철근상세를 갖는 연결보의 성능을 평가하였다.

따라서 본 연구에서는 대각보강을 적용한 철근콘크리트 연결보의 내진거동을 평가하기 위해 형상비 3.5의 연결보에 대해 ACI 318 (2011)[13]의 두 번째 대각철근 상세(Fig. 1(b))를 갖는 연결보를 대상으로 시공성 및 내진성능 향상을 위해 묶음대각 철근(Bundled diagonally reinforcement)을 사용하여 ACI 318-11의 Fig. 1(b)에 따라 제작된 연결보와의 내진성능을 비교하고자 실험을 수행하였다. 묶음대각 철근을 사용하였을 경우, Fig. 2와 같이 대각철근 그룹의 철근 간격이 줄어들어 보 내부 유용공간이 확보되고, 크로스타이의 간섭이 감소되어 철근 배근 시 간섭이 줄어들어 시공성이 개선된다. 또한, 대각철근 그룹(cage)안에서 대각철근의 상하 간격을 고려할 필요 없기 때문에 대각철근 경사각(α_1)보다 묶음대각 철근 사용 시 경사각(α_2)이 증가하면서 연결보의 전단 강도가 증가하게 된다.

연결보를 프리캐스트(precast) 부재로 제작함으로써 공장 생산의 장점을 부각시킬 수 있게 되고 연결보의 품질 유지 및 시공성 개선을 통해 연결보의 프리캐스트 부재 생산 가능성을 평가하고자 한다.

2. 실 험

2.1 실험체 계획

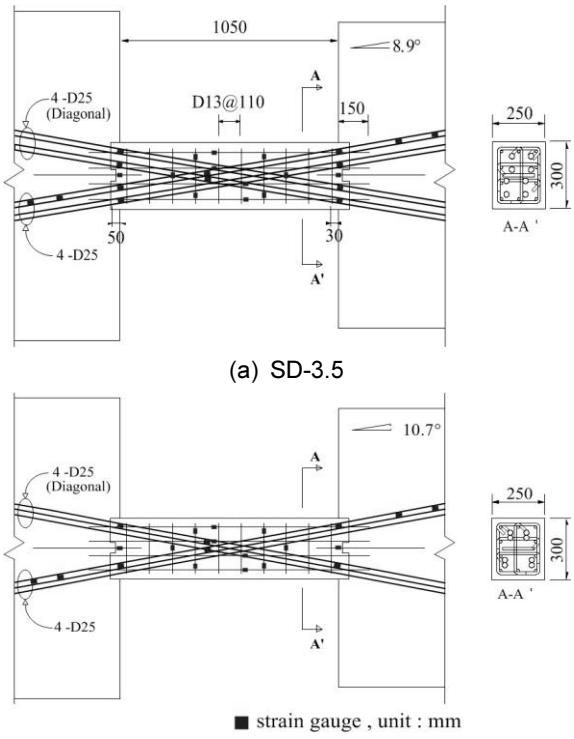
형상비가 2에서 4 사이인 연결보는 대각보강 및 수평보강을 둘 다 허용하고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 ACI 318-11에서 제시하는 Fig. 1(b)에 나타난 배근 방법에 따라 수평 및 횡구속 철근을 기초로 하여 2개의 실험체를 제작하였다. 실험체 변수는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 실험체의 대각철근을 묶음대각 철근으로 설정하였다. 두 개의 실험체는 모두 형상비 3.5로 제작되었으며, 기준 실험체인 SD-3.5는 ACI 318-11의 설계 기준에 따라 제작하였다.

SD-3.5 실험체는 형상비(L_n/h) 3.5, 폭(width) 250 mm, 높이(height) 300 mm, 연결보 길이(L_n) 1050 mm이고, 실험체 제작에 사용된 횡철근 및 횡구속 철근은 D13 (12.7 mm)을 사용하였다.

BD-3.5 실험체는 SD-3.5 실험체의 대각철근과 같은 직경의 철근을 상하로 결속한 묶음대각 철근을 사용한 실험체이다. 묶음대각 철근을 적용한 실험체를 통하여 ACI 318-11의 기준에 따라 제작된 연결보와의 이력거동 차이 및 내진성능에 대해 비교 및 평가하였다. 실험체에 사용된 대각철근량은 평균전단응력이 $0.5\sqrt{f'_c}$ (MPa)가 되도록

한양대학교 | IP:166.104.66.*** | Accessed 2022/02/18 15:37(KST)

D25 (25.4 mm) 철근을 사용하여 결정하였다. SD-3.5 실험체의 대각철근 경사각은 8.9°이고 BD-3.5 실험체는 10.7°로써 묶음대각 철근 사용 시 경사각이 약 20% 증가하였다. 이에 따라 대각철근을 사용한 연결보의 공칭전단강도 또한 20%가 증가하는 것으로 나타났다. 대각철근의 정착 길이는 ACI 318-11 규정에 따라 철근의 정착 길이를 계산하였지만, 실험 시에는 정착 길이로 인해 실험에 다른 변수가 발생하는 것을 방지하기 위해 계산된 정착 길이보다 약 2배 정도 길게 정착시켰다. 연결보는 현장에서의 작업 능력에 따라 철근 배근의 오차가 발생할 수 있고, 복잡한 상세로 인해 공기가 길어지는 점을 보완하기 위해 프리캐스트 부재로 생산하였다. 실제 현장에서 프리캐스트 공법을 이용할 경우, 공장에서 미리 생산된 보 부재를 벽체 타설시 조립 후 벽체를 타설하게 된다. 이 경우, 보와 벽체의 접합부 부분이 일체화되지 않아 미끄러짐이 발생할 수 있다. 프리캐스트 제작 가능성을 평가하기 위해 연결보 부분을 1차로 타설하고 양단의 모사 전단벽인 스터브(stub)를 2차로 타설하였다. 연결보와 스터브 접합면의 미끄러짐 방지와 일체화를 통해 원활한 하중을 전달되도록 하기 위해 연결보 양 끝단에 50 mm의 전단 키(shear key)를 설치하고, 단면 중심에 'U' 형 철근을 추가로 배치하여 접합부를 보강하였다. 실험 시 스터브가 연결보보다 먼저 항복하여 실험체 지장이 생길 경우를 방지하기 위해 스터브 부분에 충분한 철근 보강을 하였고, 연결보 부분의 압축강도는 40 MPa, 스터브 부분은 60 MPa로 제작하였다.



(a) SD-3.5

(b) BD-3.5

Fig. 3 Reinforcement details and strain gauge layout of test specimens

2.2 실험 및 계측 방법

실험체 설치는 Fig. 4와 같이 실험의 편의를 위해 연결보 실험체를 수직으로 회전시켜 세운 상태에서 연결보의 상대적인 변형 및 중앙부에서 모멘트가 발생하지 않도록 엑츄레이터의 가력선이 연결보의 중심부가 되도록 설치하였다. 하부 스터브는 앵커를 사용하여 실험실 바닥판(strong floor) (Fig. 4(a))에 고정하고, 상부 스터브(Fig. 4(c))는 수평 프레임에 고정하였다. 하중 가력 시 상부 스터브가 회전하여 발생할 수 있는 연결보의 국부적인 파괴를 방지하기 위해 수평 프레임의 양단에 롤러(roller) (Fig. 4(b))를 이용하여 회전을 구속하고 수평 이동만 가능하게 하였다. 롤러의 설치로 수평이동만 가능한 프레임에 의해 수직으로 세워진 연결보는 횡하중을 받는 상태의 거동을 재현할 수 있었다. 그리고 실험체의 미끄러짐(slip)을 방지하기 위해 상, 하부 스터브 양쪽에 스토퍼(stopper) (Fig. 4(d))를 설치하였다.

Fig. 5와 같이 가력방법은 변위제어를 통한 준정적 반복가력(quasi-static reversed cyclic loading)하에서 변위각 1.5%까지는 0.25%의 간격, 4%까지는 0.5%의 간격, 변위각 4% 이상에서는 1.0%의 간격, 변위각 8% 이후에는 2%의 간격으로 사이클별 2회씩 가력하였다. 횡하중의 계측은 엑츄레이터에 장착된 로드셀을 통하여 확보하였다. 상부 스터브에 설치된 LVDT는 실험체의 변위각을 계측

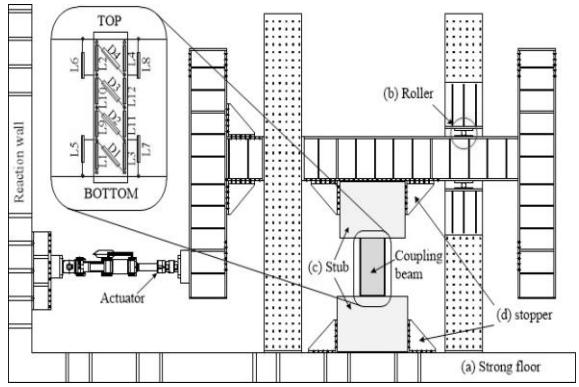


Fig. 4 Test setup

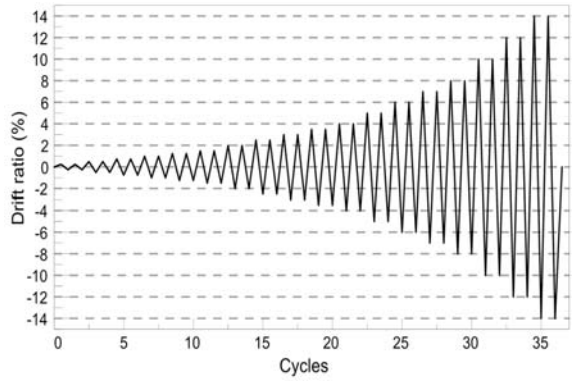


Fig. 5 Loading protocol

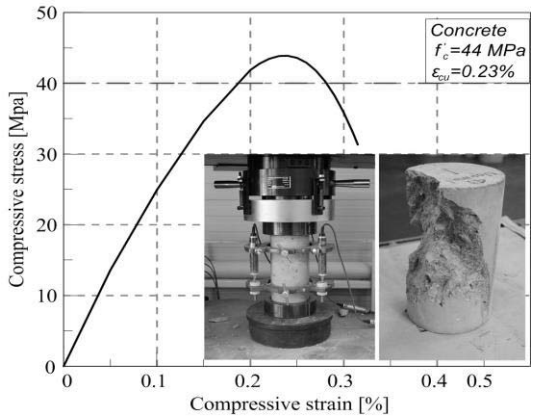
한양대학교 | IP:166.104.66.*** | Accessed 2022/02/18 15:37(KST)

하기 위해 실시하였다. 하부 스터브에 설치된 LVDT는 하부 스터브의 미끄러짐(slip)을 확인하기 위해 설치하였다. 연결보의 휨 및 전단 변형을 측정하기 위해 수직 및 대각 LVDT는 스터브 접합면에서의 미끄러짐 및 회전을 측정하였다.

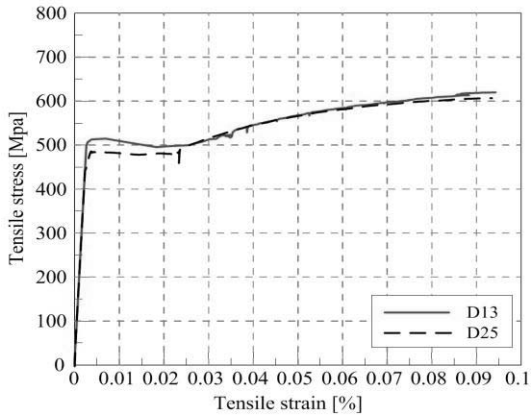
2.3 재료시험

압축강도 공시체는 직경 100 mm, 높이 200 mm로 제작하였다. 압축강도 시험은 KS F 2405에 따라 진행하였으며, 연결보 실험체와 동일한 조건 하에서 현장 양생하였다.

압축강도는 설계강도인 40 MPa를 넘는 것으로 나타났고, Fig. 6(a)에 압축강도 시험 결과의 평균값으로 얻은 응력-변형률 곡선을 나타내었다. 연결보 실험체에 사용한 철근은 설계항복강도 420 MPa의 D13 (12.7 mm), D25 (25.4 mm) 철근이고, 인장 시험결과를 통하여 얻은 기계적 특성을 Fig. 6(b)와 Table 1에 정리하였다.



(a) Concrete



(b) Reinforcing bar

Fig. 6 Result of material test

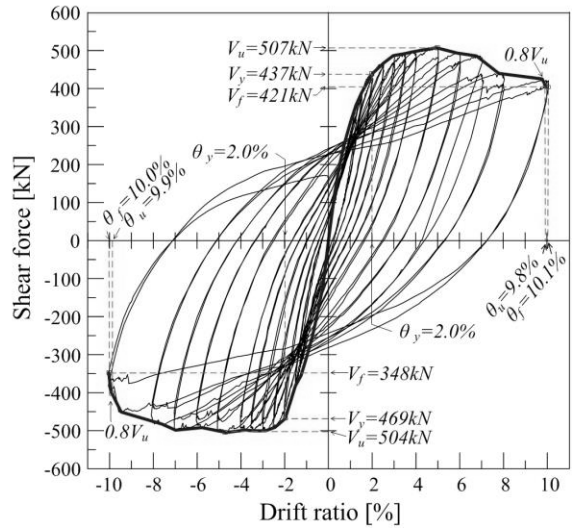
Table 1 Mechanical properties of reinforcing bars

Re-bar	Diameter (mm)	Yield stress f_y(MPa)	Tensile stress f_{cu}(MPa)
D13	12.7	506	620
D25	25.4	482	607

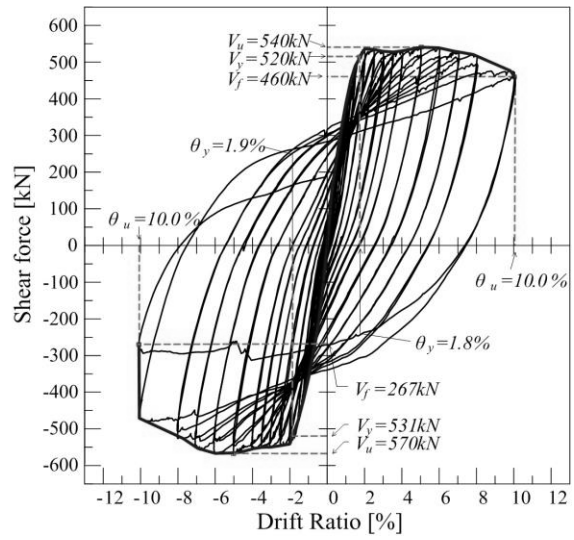
3. 실험결과 및 분석

3.1 하중-변위 곡선

실험을 통하여 얻는 각 실험체의 하중-변위곡선은 Fig. 8에 나타내었다. 이력곡선의 가로축은 변위각으로 LVDT의 계측을 통해 얻은 연결보의 횡변위를 연결보의 길이로 나눈 값($\theta = \Delta/L$)이고, 세로축은 연결보에 엑츄레이터가 작용한 하중 값이다. 실험을 통해 얻은 각 실험체별 이력곡선을 분석하여 얻은 항복하중(V_y), 항복변위각(θ_y), 최대하중(V_u), 최대변위각(θ_u), 파괴시 하중(V_f), 파괴시 변위각(θ_f), 연성비(μ)를 Table 2에 정리하였다. 항복변위각과 파괴변위각은 Pan and Moehle (1989)[14]가 산정한 방법에 따라 하중-변위 곡선 관계에서 항복변위각은 원점과 최대하중의 2/3에 해당하는 점을 잇는 직선이 최대강도의 값과 접하는 교점에 해당하는 변위각으로 산정하였다. 최대변위각은 최대하중 이후 80% 감소할 때의 하중



(a) SD-3.5



(b) BD-3.5

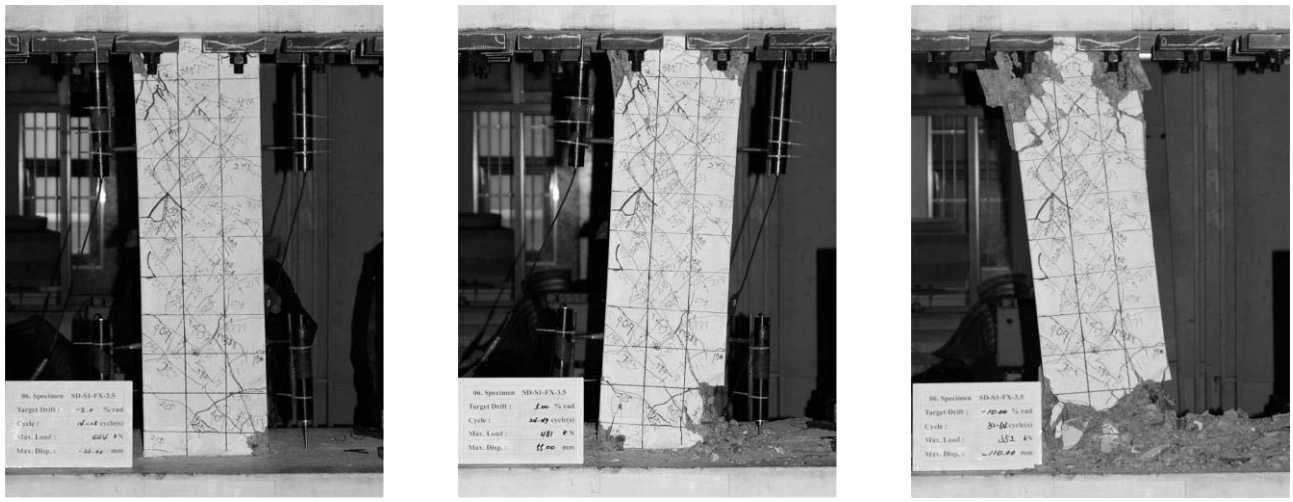
Fig. 7 Hysteretic curve

한양대학교 | IP:166.104.66.*** | Accessed 2022/02/18 15:37(KST)

Table 2 Summary of experiment test result

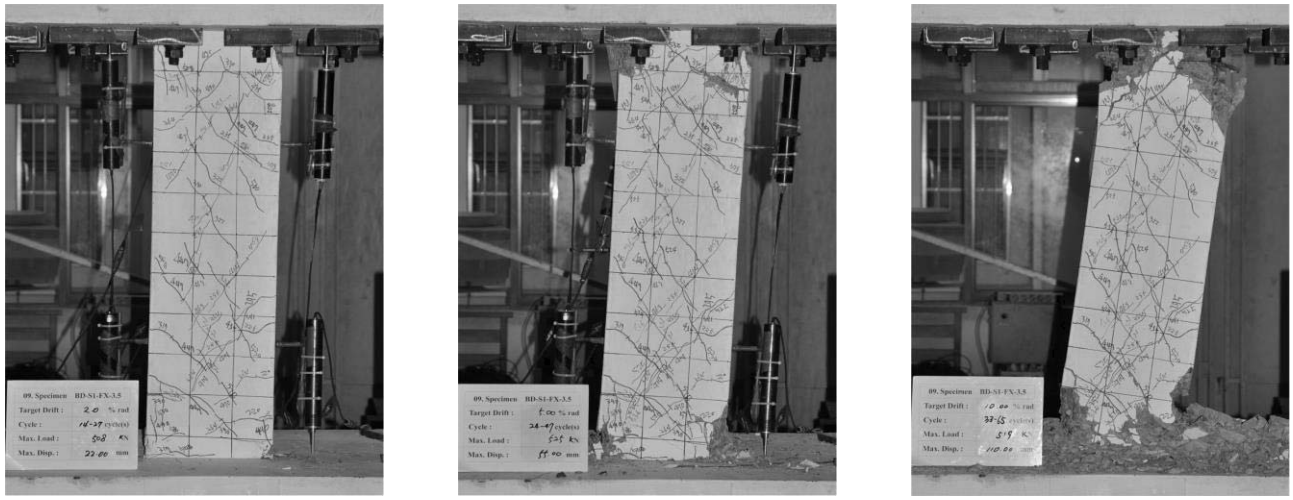
Specimen		V_y (kN)	θ_y (%)	V_u (kN)	θ_u (%)	V_f (kN)	θ_f (%)	Ductility ratio $\mu\ (=\theta_u/\theta_y)$
SD-3.5	(+)	437	2.0	507	10.1	421	10.1	5.0
	(-)	469	2.0	504	9.9	348	10.0	5.0
BD-3.5	(+)	532	1.8	540	10.0	460	10.0	5.7
	(-)	531	1.9	570	10.0	267	10.0	5.3

Note : V_y : yield load (measured), V_u : maximum (peak) load (measured), V_f : failure load (measured) θ_y : yield drift (measured)



(a) $\theta = 2\%$ (b) $\theta = 5\%$ (c) $\theta = 10\%$

SD-3.5



(d) $\theta = 2\%$ (e) $\theta = 5\%$ (f) $\theta = 10\%$

BD-3.5

Fig. 8 Crack progression

에 대한 변위각을 나타내었으며, 파괴변위각은 실험체가 최종파괴 되어 하중이 급격히 감소할 때의 변위각으로 산정하였다. 연성비는 최대변위각을 항복변위각으로 나눈 값(θ_u/θ_y)으로 산정하였다. Fig. 2(b)와 같이 ACI318-11의 두 번째 상세를 적용한 기준 실험체인 SD-3.5의 하중-변위 관계는 Fig. 7(a)에 나타내었다. SD-3.5는 변위각 5%까지 강도의 저감 없이 안정적인 이력거동을 보였다. 최대강도인 540 kN 이후로 강도가 감소되는 거동을 보였으며, 변위각 10%에서 최종파괴가 발생하였다. 일반대각철근을 묶음대각철근으로 대체하고 나머지 상세는 동일한 실험체인 BD-3.5의 하중-변위 곡선 관계는 Fig. 7(b)에 나타내었다. BD-3.5는 변위각 6%까지 강도의 저감 없이 안정적인 이력거동을 나타냈고, 최대강도 540 kN 이후에 강도의 감소가 나타났으며, 변위각 10%에서 최종파괴가

한양대학교 | IP:166.104.66.*** | Accessed 2022/02/18 15:37(KST)

발생하며 기준 실험체인 SD-3.5와 매우 유사한 이력거동을 보였다.

3.2 균열 및 파괴 양상

실험체의 균열 및 파괴 양상을 Fig. 8에 나타내었으며, 모든 실험체는 초기 수평균열 발생 후 사인장 균열의 발생 및 균열의 폭이 증가하고, 단부에 휨 균열이 다수 발생하였다. SD-3.5 실험체의 경우, 변위각 0.25%에서 초기 수평균열이 연결보와 스터브의 경계부분에서 발생하였다. 이후 하중의 증가에 따라 변위각 0.75%에서 사인장 균열이 발생하였다. Fig. 8(a)는 변위각 2% 때의 모습으로 대각철근이 항복하며 균열의 폭이 2 mm정도 발생하였다. Fig. 8(b)는 변위각 5%로써 균열폭이 5 mm정도로 증가하였고, 변위각 8%에서는 연결보 단부의 콘크리트 피복이 완전히 박리되어 축방향 철근의 좌굴을 확인하였다. Fig. 8(c)는 변위각 10%로써 최종적으로 주근이 파단되어 실험이 종료되었다. 실험결과 소성힌지부분인 연결보의 양단에서 휨 균열이 심하게 나타났으며, 실험체가 주근인 대각철근이 파단될 때까지 저항한 것으로 확인하였다. 묶음대각철근을 적용한 실험체 BD-3.5는 SD-3.5와 유사한 균열 및 파괴 양상을 보인 것으로 관측되었다. SD-3.5와 마찬가지로 변위각 0.25%에서 초기 수평균열이 발생하였으며, Fig. 8(d)와 같이 변위각 2%에서 대각철근이 항복하며 균열의 폭이 2 mm정도 발생하였다. Fig. 8(e)에 나타났듯이 변위각 5%에서의 균열은 SD-3.5 실험체와 매우 유사한 결과를 나타내었다. Fig. 8(f)는 변위각 10%로써 최종적으로 연결보 양단의 콘크리트 피복이 박리되고, 대각철근과 횡보강근의 파단으로 인해 실험이 종료되었다. Fig. 8의 SD-3.5 실험체와 BD-3.5 실험체의 최종 균열 형태를 비교하면 묶음대각철근을 적용한 연결보는 ACI318-11에서 제시하는 상세에 따른 연결보와 매우 유사한 균열 패턴을 나타냈다.

3.3 최대강도 및 강성저하

Fig. 9는 연결보 실험체의 강도 변화를 비교하기 위해 하중-변위 곡선에서 각 사이클 별 최대하중을 연결하여 포락선(envelope curve)으로 나타내었다. 묶음대각철근을 적용한 실험체 BD-3.5의 최대 전단강도는 Fig. 10(a)에 나타난 바와 같이 정(+)가력과 부(-)가력 시 540 kN, 570 kN으로 기준 실험체인 SD-3.5보다 6%, 13% 증가한 것을 확인하였으며, 최대강도 이후 파괴 시까지 80% 이상의 강도를 유지하였다. 이는 일반대각철근을 묶음대각철근으로 대체함으로써 대각철근의 경사각(α)이 증가하였기 때문으로 판단된다. 최대하중의 80%까지 감소되었을 때의 변위각인 최대변위각을 비교하여 Fig. 10(b)에 나타내었다. SD-3.5와 BD-3.5는 정(+)가력 시에는 각각 10.05%, 10.04%, 부(-)가력 시에는 9.88%, 10.02%로 실험체 간 유사한 변위각을 보였다. Table 2과 같이 묶음대각철근을 적용한 실험체가 전단강도, 변위각, 연성비에서 모두 기준 실험체와 유사한 것을 확인하였다. Fig. 11은 변위 증가에 따른 실험체의 강성저하 특성을 나타내었다. 강성값은 이력곡선의 각 사이클에서 측정된 정, 부 가력의 최대하중 절대값의 합을 해당 변위의 정, 부 가력의 절대값의 합으로 나눈 값(peak-to-peak stiffness)로 산정하고, 초기 강성에 대한 비율로 평가하였다. 변위각 1% 이전의 초기 변위각에서는 묶음대각을 적용한 실험체 BD-3.5가 기준실험체 SD-3.5보다 급격한 강성저하를 나타냈으나, 변위각 1% 이후에는 두 실험체 모두 완만한 강성저하 상

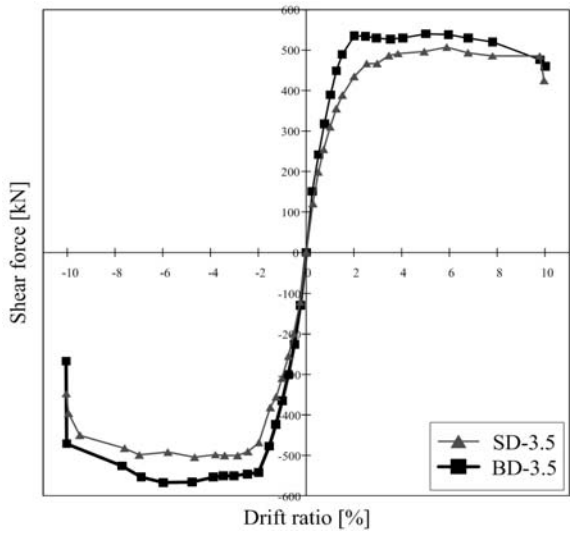
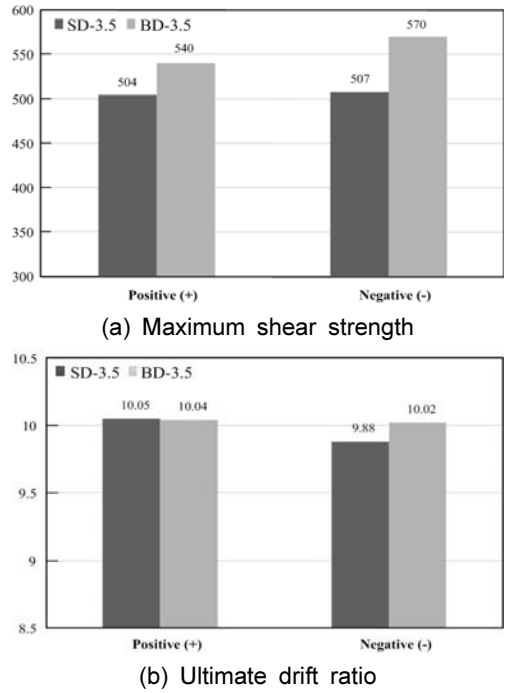


Fig. 9 Envelopes of the cyclic load-displacement curves



(a) Maximum shear strength

(b) Ultimate drift ratio

Fig. 10 Comparison of maximum shear strength and ultimate drift

한양대학교 | IP:166.104.66.*** | Accessed 2022/02/18 15:37(KST)

태를 나타내었다. 묶음대각철근을 적용한 실험체는 강성 변화에 큰 영향을 미치지는 않았지만, 기준 실험체와 유사한 성능을 나타내며 철근 상세 대체 가능성을 확인하였다.

3.4 에너지 소산능력

에너지소산능력은 내진 성능을 평가하는 척도로써 에너지 소산능력의 크기는 구조물의 내진 성능과 밀접한 관계가있다고 표현할 수 있다. 누적 에너지는 하중-변위 곡선에 의해 둘러싸인 면적의 합으로 Fig. 12에서는 누적 에너지를 비교하였다. 초기 변위각에서 두 실험체는 유사한 에너지 소산능력을 보였지만 변위각 4% 이후부터는 묶음대각철근을 사용한 BD-3.5 실험체는 기준 실험체인 SD-3.5 실험체보다 더 많은 에너지 소산능력을 보였다. 누적에너지가 하중-변위 곡선의 곡선이 둘러싸고 있는 면적의 합으로 산정되기 때문에 동일한 변위에서 전단강도가 클수록 소산에너지양이 증가하는 경향이 있다. BD-3.5 실험체는 기준실험체인 SD-3.5보다 약 17% 큰 에너지 소산능력을 나타냈다. 이는 묶음대각철근을 사용한 실험체 BD-3.5의 경사각이 실험체 SD-3.5보다 증가하였고 그 결과로 전단강도 및 에너지소산능력이 증가된 것으로 판단된다. 이와 같은 이유로 묶음대각철근을 사용한 BD-3.5 실험체는 기준실험체보다 높은 에너지소산능력을 나타낸 것으로 판단된다.

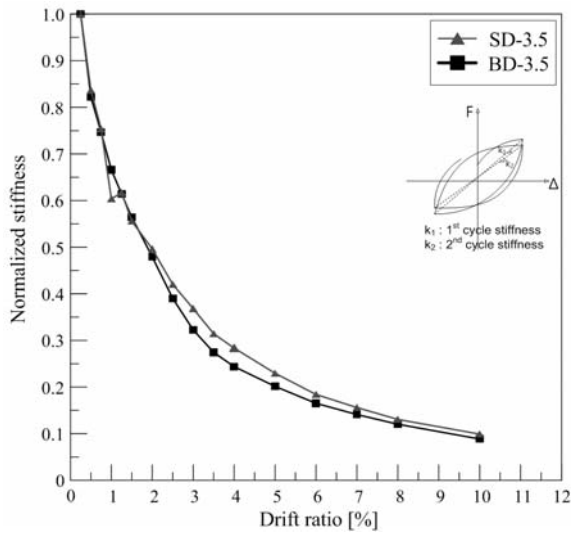


Fig. 11 Stiffness degradation

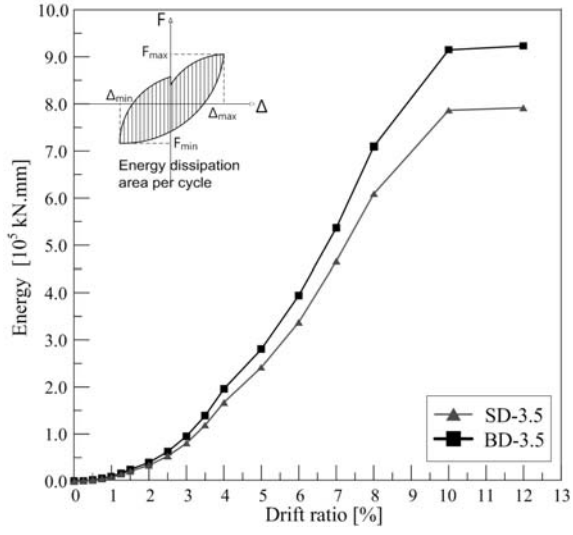


Fig. 12 Cumulative energy dissipation

4. 결 론

본 연구에서는 현행 ACI 318 (2011)에 따르는 대각철근을 갖는 철근콘크리트 연결보의 시공성을 개선하기 위해 묶음대각철근을 갖는 연결보를 제안하였다. 세장한 연결보의 묶음대각철근 상세의 적용 가능성을 확인하고자 실험을 통하여 성능을 비교평가 하였다. 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1) ACI318-11에서 요구하는 상세에 따른 철근콘크리트 연결보 실험체 SD-3.5는 ACI 318-11에서 제시하는 공칭전단강도 이상의 전단강도를 나타냈고, 변위각 5%까지 강도의 저감 없이 안정적인 변형능력을 보유하며 우수한 내진성능을 나타내었다.
2) 대각철근을 묶음대각철근으로 적용한 BD-3.5 실험체 역시 변위각 6%까지 심각한 강도의 저감 없이 안정적인 변형능력을 보유하였고, 기준실험체 SD-3.5보다 정(+) 가력시 6%, 부(-) 가력 시 13% 높은 전단강도를 확인하였다. 이는 묶음대각철근의 사용으로 인한 대각철근의 경사각(α)이 증가하며 연결보의 전단강도 증가에 영향을 미친 것으로 판단된다.
3) 묶음대각철근을 적용한 BD-3.5 실험체는 기준실험체인 SD-3.5 실험체와 비교하여 유사한 이력거동 및 강성저하의 특성을 나타냈고, 더 우수한 에너지 소산능력을 보여주었다. 형상비가 큰 연결보는 상대적으로 더 복잡한 철근배근으로 인해 시공상 어려움이 많지만, 묶음대각철근을 사용할 경우 강도 및 연성은 유지되고 시공성은 개선될 것이라 판단된다.
4) 현장생산에서의 시공성 및 연결보의 품질 문제점을 해결하기 위해 프리캐스트 부재로 생산함으로써 공기단축 및 연결보의 품질 확보 가능성을 확인하였다. 따라서 본 연구에서 제안하는 묶음대각철근 상세를 적용한 철근콘크리트 연결보는 내진성능 및 시공성을 개선할 수 있다고 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단(No.2014R1A2A1A11049488)과 한국연구재단

한양대학교 | IP:166.104.66.*** | Accessed 2022/02/18 15:37(KST)

(No.2012R1A2A2A06045129)의 지원으로 수행된 연구입니다.

References

1. Lee, J. H., Park, W. S., and Yun, H. D., “Methods of Analysis of Reinforced Concrete Coupling beam and Behavior Comparison of Coupled Shear Wall”, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol.23, No.2, 2003, pp.47-51.
2. Berg, G. V., and Stratta, J. L., “Anchorage and the Alaska earthquake of March 27”, *America Iron and Steel Institute*, 1964, p.63.
3. Paulay, T., and Binney, J. R., “Diagonally reinforced concrete beam of shear walls”, *ACI special publication*, Vol.42, 1974, pp.579-598.
4. 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(RD068.01B)”, Skokie, Illinois, USA: Portland Cement Association, 1980.
5. Tassios, T. P., Moretti, M., and Bezas, A., “On the behavior and ductility of reinforced concrete coupling beams of shear walls”, *ACI Structural Journal*, Vol.93, No.6, 1996, pp.711-720.
6. Galano, L., and Vignoli, A., “Seismic behavior of short coupling beams with different reinforcement layouts”, *ACI Structural Journal*, Vol.97, No.6, 2000, pp.876-885.
7. ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318-08), American Concrete Institute, 2008.
8. Harries, K. A., Fortney, P. J., Shahrooz, B. M., and Brienen, P. J., “Practical design of diagonally reinforced concrete coupling beams-critical review of ACI 318 requirements”, *ACI Structural Journal*, Vol.102, No.6, 2005, pp.876-882.
9. Naish, D., Wallace, J. W., Fry, J. A., and Klemencic, R., “Reinforced concrete link beams : Alternative details for improved construction”, UCLA-SGEL Report 2009-06, Structural & Geotechnical Engineering Laboratory, University of California at Los Angeles, 2009.
10. Monthian Setkit. “Seismic behavior of slender coupling beams constructed with high-performance fiber-reinforced concrete” Ph.D of Civil Engineering in The University of Michigan, 2012.
11. Fortney, P. J., Rassati, G. A., and Sharzooz, B. M., “Investigation of effect of transverse reinforcement on performance of diagonally reinforced coupling beams”, *ACI Structural Journal*, Vol.105, No.6, 2008, pp.781-788.
12. Han, S. W., Kwon, H. W., Lee, K. H., and Shin, M. S., “Cyclic Behavior of Reinforced Concrete Coupling Beams with Bundled Diagonal Reinforcement”, *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, Vol.18, No.3, 2014, pp.117-124.
13. ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318-11), American Concrete Institute, 2011.
14. Pan, A., and Moehle, J. P., “Lateral displacement ductility of reinforced concrete flat plates”, *ACI Structural Journal*, Vol.86, No.3, 1989, pp.250-258.

요 약 병렬전단벽시스템은 횡력저항에 있어서 효율적인 구조시스템이지만, 각 독립벽체를 연결하는 연결보의 복잡한 철근상세로 인해 시공상의 어려움이 있다. ACI-318에서는 개선된 철근상세를 제안했지만, 이 또한 과도한 횡보강근으로 인해 대각철근의 중심부의 철근 배근 혼잡으로 인해 현장 적용에 어려움이 따른다. 본 연구에서는 프리캐스트를 통하여 철근 배근 오차 및 콘크리트 품질 등의 저하를 줄이고 ACI 318-11의 개선된 상세에 따른 기준 실험체와 일반대각철근을 묶음대각철근으로 대체한 철근콘크리트 연결보의 이력거동을 비교 평가하였다. 그 결과, 묶음대각철근을 적용한 실험체는 현행기준에 따른 연결보와 비교하여 유사한 이력거동을 나타냈고, 더 우수한 에너지소산능력을 나타냈다. 묶음대각철근을 적용한 철근콘크리트 연결보가 현행기준에 따르는 연결보를 대체하여 현장적용이 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 연결보, 병렬전단벽 시스템, 묶음대각철근, 프리캐스트

한양대학교 | IP:166.104.66.*** | Accessed 2022/02/18 15:37(KST)