

철근상세에 따른 고강도 철근이 사용된 철근콘크리트 연결보의 구조성능

장석준¹, 정권영², 김선우³, 윤현도^{4*}, 천영수⁵

Effect of Reinforcement Layout on Structural Performance of Reinforced Concrete Coupling Beams with High-strength Steel Bar

Seok-Joon Jang¹, Gwon-Young Jeong², Sun-Woo Kim³, Hyun-Do Yun^{4*}, Young-Soo Chun⁵

Abstract: This paper describes the experimental results for the structural performance of full-scale coupling beams with different reinforcement layout (diagonal and horizontal). For the reinforcements of the coupling beams, high-strength steel bars(SD500 and SD600) were used in order to improve workability and economic feasibility. The rigid steel frames and linked joints were used to maintain the clear span length (distance between both shear walls) of the coupling beam during the cyclic loading. Experimental results indicated that the diagonally reinforced coupling beam specimen could exhibit more ductile behavior compared to horizontally reinforced specimen. ACI318-14 code is applicable to design of coupling beam with diagonally reinforcement, however, that is overestimating the strength of horizontally reinforced coupling beam. It is remarkable that effective elastic stiffness values of both reinforcement details coupling beam significantly less than ASCE 41-13.

Keywords: Coupling beam, Structural performance, Reinforcement layout, High-strength steel bar

1. 서 론

전단벽은 고층건물에서 풍하중 및 지진하중에 저항하는 효율적인 요소로 사용되고 있다. 전단벽은 출입구 및 창문 등, 다양한 기계설비적 이유로 인해 개구부가 발생할 수 있으며, 두 전단벽이 보로 연결된 구조시스템을 병렬전단벽이라고 한다. 연결보는 병렬전단벽 시스템에서 두 벽체를 연결하는 구조 부재로써, 연결보의 성능은 병렬전단벽의 구조성능을 결정하는 중요한 요인으로 평가되고 있다. 현행기준(KCI-12, ACI318-14)에서는 연결보의 성능확보를 위하여 세장비 및 작용하는 전단력에 따라 연결보 상세를 규정하고 있다. 특히 세장비가 작은 연결보의 경우 전단에 지배적인 파괴양상을 나타낼 수 있으므로 이에 대한 특별상세를 제시하고 있다.

Lim et al.(2016.b)의 연구에는 세장비 1 및 2를 갖는 연결보

의 배근상세에 따른 내진성능 평가를 수행하였으며, 대각선 보강 상세가 전단이 지배적인 연결보의 구조성능에 미치는 영향을 실험적으로 평가하였다. 실험결과 대각선철근으로 보강된 연결보가 수평철근을 배근한 경우에 비해 높은 변형능력을 나타내었다. 유사한 연구결과로는 Galano and Vignoli(2000)의 연구에서도 보고되었으며, 세장비 1.5의 연결보에서 대각선 철근을 보강함에 따라 수평 철근상세에 비해 변형능력 및 에너지 소산능력이 향상되는 것으로 나타났다. 이는 전단벽과 연결보 접합면에 발생하는 미끄러짐 전단균열을 대각선 철근이 효과적으로 제어하기 때문으로 판단된다. 따라서 현행기준에서도 세장비 2 미만의 연결보의 경우 반드시 대각선 철근을 보강하도록 규정하고 있으며, 이를 통해 연결보와 벽체의 경계면에서 발생하는 미끄러짐 전단균열에 의한 급격한 전단파괴를 예방하고 있다.

현행기준에서 세장비 2이상 4미만의 연결보 설계는 대각선 및 수평 철근상세를 모두를 허용하고 있으나, Lim et al.(2016.a)의 연구에 나타난 바와 같이 대각선 보강근을 사용하는 것이 연결보의 변형능력 및 에너지소산능력 향상에 효과적인 것으로 나타났다. 또한 대각선 및 수평철근이 혼용된 경우에도 대각선 철근이 연결보의 변형능력 향상에 기여하는 것으로 나타났다. 세장비가 4 이상인 연결보에서는 대각선 철근이 경사각이 작아 효율성이 감소함으로 현행기준에서는 수평 철근상세로 설계하도록 규정하고 있다.

¹정회원, 충남대학교 건축공학과 박사과정

²학생회원, 충남대학교 건축공학과 석사과정

³정회원, 충남대학교 건설공학교육과 조교수

⁴정회원, 충남대학교 건축공학과 교수, 교신저자

⁵정회원, 한국토지주택공사 토지주택연구원 연구위원

*Corresponding author: wiseroad@cnu.ac.kr

Department of Architectural Engineering, Chungnam National University, 99 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon, 34430, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2017년 4월 1일까지 학회로 보내주시면 2017년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

고강도 철근의 사용은 배근되는 철근량 감소를 통해 경제성 및 시공성 향상이 가능하며, 부재의 단면 및 구조체 자중 감소를 통한 경제적 설계가 가능한 장점이 있다. KCI-12에서는 주철근과 전단철근에 각각 600 및 500 MPa의 철근을 사용하도록 허용하고 있다. 고강도 철근의 경우 일반강도에 비해 연신율이 감소하는 특성이 있으며, 구조부재 적용을 위한 실험적 연구가 요구된다. 하지만 연결보 부재에서 고강도 철근을 사용한 사례 및 실험적 연구는 미비한 실정이다.

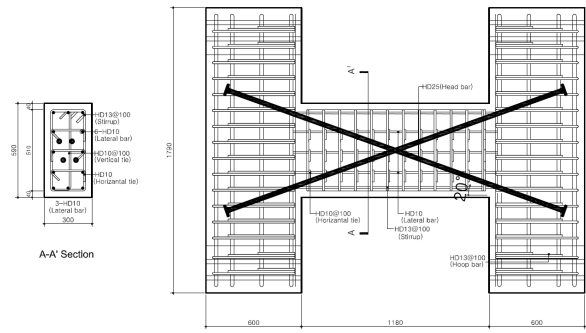
따라서 최근 고강도 철근을 연결보의 주철근 및 대각선 보강철근으로 사용하는 연구가 활발하게 수행되고 있다(LH, 2015). 상기연구에서는 세장비 1.5의 연결보에 대하여 실험을 진행하였으며, 대각선 보강근으로 SD600급 철근을 사용하였다. 주요 실험변수는 대각선 보강근을 다발철근으로 사용한 경우와 대구경철근을 사용한 경우를 변수로 실험을 수행하였다. 실험결과 대구경 철근을 사용할 경우 변형능력이 다소 감소하나 다발철근과 유사한 이력거동을 나타내는 것으로 보고되었다.

본 연구에서는 현행기준에서 대각선 및 수평 철근상세를 모두 허용하고 있는 최소 세장비인 세장비 2의 실규모 연결보에 대한 실험을 수행하였으며, 철근상세에 따른 이력거동을 평가하고자 한다. 또한 대구경 및 고강도 철근을 사용한 연결보의 구조성능 평가를 실시하였으며, 실험결과를 근거로 하여 현행기준의 설계법과의 비교 및 연결보의 이력모델을 제시하고자 한다.

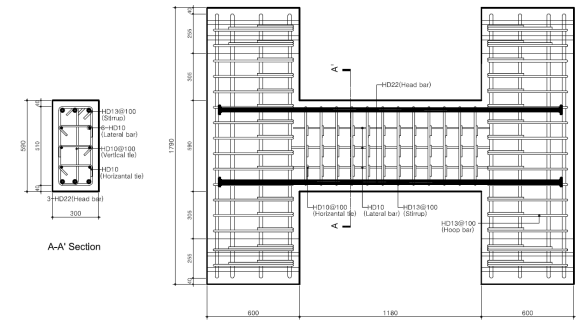
2. 실험

2.1 실험계획 및 실험체상세

본 연구에서는 실제구조물의 응력조건을 고려하여 연결보를 실규모로 설계하였으며, 실험체상세를 Fig. 1에 나타내었다. 연결보의 세장비는 2로 설정하였으며, 주요변수는 철근상세로 설정하였다. Fig. 1(a)는 대각선 철근으로 보강된 연결보의 상세를 나타낸 것으로, 대각선 철근은 HD25 철근을 2열로 배근하였다. 대각선 보강근의 정착길이를 확보를 위하여 양단 헤드바(headed bar)를 사용하였다. KCI-12에 따라 12-HD10의 길이방향철근을 배근하였으며, 양단의 정착을 실시하지 않았다. 전단보강근은 HD13 철근을 100 mm 간격으로 배근하였으며, HD10 철근의 레그바(legbar)를 동일한 간격으로 배근하였다. 연결보의 양단은 특수전단벽의 경계요소를 묘사한 것으로 벽체 두께는 300 mm로 설정하였으며, 철근상세는 KCI-12에서 제시된 상세에 준하여 제작되었다. 벽체의 양단부는 가력 중 예상치 못한 접합부 파괴를 방지하기 위하여 두께를 560



(a) Layout D specimen



(b) Layout H specimen

Fig. 1 Configuration and detail of coupling beams

mm로 설정하였다. Fig. 1(b)는 수평철근으로 보강된 연결보의 상세를 나타낸 것으로, 주근은 3-HD25로 설정하였다. 주근의 정착을 위해 양단에 헤드바를 사용하였으며, 대각선 보강근 실험체와 동일하게 전단철근 및 레그바를 배근하였다.

2.2 사용재료

본 연구에서는 설계기준강도 24 MPa의 일반 레디믹스트 콘크리트를 사용하였다. 압축강도 평가를 위하여 KS F 2403 (2010)에 따라 $\phi 100 \times 200$ mm의 원주형 공시체를 제작하였으며, KS F 2405(2014)에 준하여 2000 kN 용량의 만능재료시험기를 사용하여 하중제어방식으로 실험을 실시하였다. 공시체는 $20(\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 의 수중조건에서 양생을 실시하였다. 실험결과 Table 1에 나타낸 바와 같으며, 콘크리트의 압축강도는 29.7 MPa로 나타났으며, 탄성계수는 22.8 GPa로 나타났다.

본 연구에서 사용된 철근의 역학적특성을 Table 2에 정리하여 나타내었으며, 길이방향 및 전단보강근, HD10 및 HD13 철근의 항복강도는 549 및 522 MPa로 나타났으며, 인장강도는 650 및 687 MPa로 나타났다. 대각선 보강근으로 사용된 HD25 철근의 항복강도는 670 MPa로 설계기준강도를 상회하는 것으로 나타났으며, 인장강도는 783 MPa로 나타났다. 수평 철근상세 실험체의 주근으로 사용된 HD22 철근의 항복

Table 1 Mechanical properties of concrete

Mixture	f'_c [MPa]	ϵ_c [mm/mm]	E_c [GPa]
Concrete	29.7	0.0026	22.8

f'_c : Compressive strength, ϵ_c : Strain at peak stress,
 E_c : Elastic modulus of concrete

Table 2 Mechanical properties of steel bars

Specimens	f_y [MPa]	ϵ_y [mm/mm]	f_u [MPa]	E_s [GPa]	Elong. [%]
D10	549	0.0028	650	195	15.2
D13	522	0.0025	687	205	15.0
D16	632	0.0029	750	195	10.6
D22	709	0.0027	817	199	12.7
D25	670	0.0025	783	201	10.4

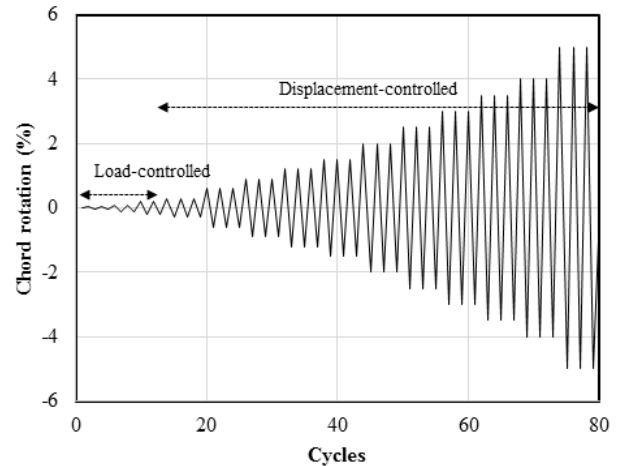
f_y : Yield strength, ϵ_y : Yield strain, f_u : Tensile strength
 E_s : Elastic modulus of steel, Elong.: Elongation

강도 및 인장강도는 709 및 817 MPa로 나타났다. SD500급 철근의 연신율을 약 15%로 나타냈으며, SD600급 철근의 경우 SD500급에 비해 다소 연신율이 감소하는 것으로 나타났으나, KS D 3504에서 제시된 값을 만족하는 범위로 판단된다.

2.3 실험방법

Fig. 2은 실험체 설치현황을 나타낸 것으로, 실험체는 벽체와 보를 90° 회전시킨 상태로 실험을 수행하였다. 연결보에 발생하는 복곡률을 구현하기 위하여 연결보의 길이방향 중심과 유압 액츄에이터(actuator)의 중심을 같게 실험체를 설치하였다. 프레임과 링크조인트(link joint)를 이용하여 보의 발생되는 길이방향의 변화 및 벽체의 회전을 구속하였으며, 실험 중 수평이동만 발생하도록 하였다.

구조성능 평가를 위해 하중제어 및 변위제어를 이용한 준정적 반복가력을 실시하였으며, 초기 하중제어의 경우 설계 내력의 5, 10, 15%에 대하여 각 사이클별 2회씩 반복가력을 실시하였다. 변위제어의 경우 변위각 1.5%까지는 0.3%로 증가시키며 사이클별 3회의 반복가력을 실시하였으며, 이후 변위각 4%까지는 0.5% 증가시키며 3회의 반복가력을 실시하였다. 그 후에는 실험체 파괴 시 까지 변위각을 1%씩 증가시키며 실험을 실시하였다. Fig. 3은 실험체의 제어이력을 나타낸 것이다. 연결보의 회전각을 측정하기 위하여 양단 전단벽에 선형변위계를 설치하였으며, 차분을 통해 상대변위를 측정하였다. 또한 대각선보강근 및 수평주근 등 중요 철근에 변형계 이지를 부착하여 철근의 변형을 측정하였다.

**Fig. 2** Test set-up for coupling beam**Fig. 3** Loading protocol

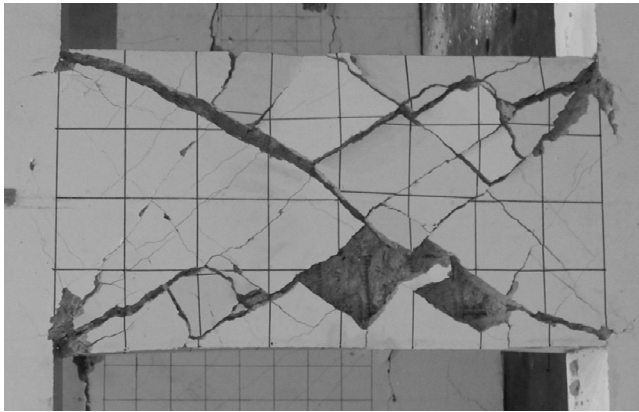
3. 실험결과 및 분석

3.1 연결보의 파괴양상

Fig. 4는 연결보 실험체의 최종 파괴양상을 나타낸 것으로, 철근 상세에 따라 파괴양상이 크게 상이함을 알 수 있다. 대각선 철근상세를 적용한 연결보의 경우 Fig. 4(a)에 나타난 바와 같이 보 양단에 발생하는 미끄러짐 전단균열과 함께 양단부의 압축파괴 및 인장균열이 발생하였다. 예상된 바와 같이 미끄러짐 전단균열은 실험초기 부재회전각 0.3% 이전에 발생하였으며, 실험이 진행됨에 따라 균열 폭이 점차적으로 증가하였다. 부재회전각 0.6% 부터는 보의 양단을 중심으로 전단균열이 발생하였으며 이후 보 전면으로 확대되는 양상을 나타내었다. 하지만 연결보 내부의 전단균열 폭의 진전은 관찰되지 않았으며, 대부분의 균열진전 및 파괴가 연결보 양단에 발생하는 미끄러짐 전단균열에 집중되었다. 부재회전각 2.5%에서는 전단벽과 연결보 접합부에서 압축파괴에 의한 콘크리트 박리가 관찰되었으며, 부재회전각 5.0%에서 미끄러짐 전



(a) Layout D specimen



(b) Layout H specimen

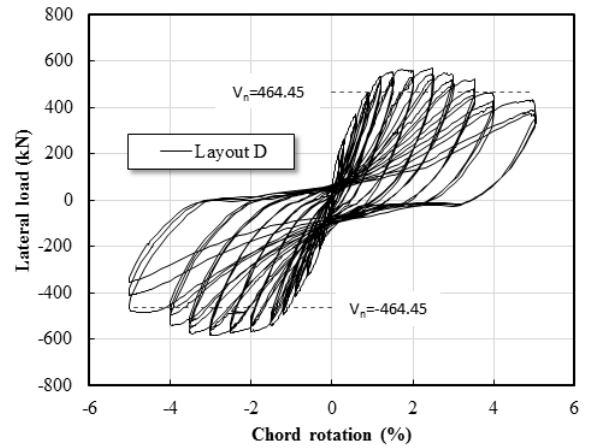
Fig. 4 Failure mode of coupling beams

단균열 폭 증가와 콘크리트 피복 탈락으로 내력이 저하되며 최종 파괴되었다.

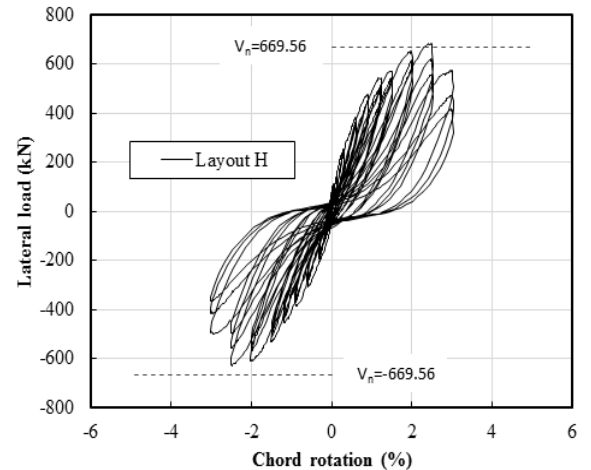
수평 철근상세 연결보의 경우 Fig. 4(b)에 나타난 바와 같이 보 전면에 걸쳐 급격한 전단균열이 발생하였다. 전단균열은 부재회전각 0.3%에서 연결보 양단에 처음 발생하였으며, 부재회전각 0.6%에서는 연결보 전면의 분포되는 경향을 나타내었다. 이후 전단균열의 폭이 증가하였으며, 부재회전각 1.5%에서는 연결보 양단에서 압축파괴와 함께 내부의 전단균열 폭의 급격한 증가가 관찰되었다. 부재회전각 2.5%에서는 연결보 내부의 전단균열이 급격하게 증가하면서 일부 피복콘크리트의 박리가 발생하였으며, 부재회전각 3.0%에서는 내력이 급격하게 감소하며 파괴되는 양상을 나타내었다. 대각선 및 수평 철근상세를 적용한 연결보 모두 초기에는 연결보와 전단벽이 접합부에 미끄러짐 전단균열이 발생하였다. 대각선 상세의 경우에는 대각선 철근이 미끄러짐 전단균열에 저항하며 단부에 소성힌지가 형성된 반면, 수평 철근상세는 연결보 내부에 파괴가 발생하며 변형능력이 감소한 것으로 판단된다.

3.2 하중-부재회전각 관계

Fig. 5(a)는 대각선 철근상세 연결보의 하중-부재회전각 관계를 나타낸 것으로, 부재회전각은 연결보 양단 전단벽의



(a) Layout D specimen



(b) Layout H specimen

Fig. 5 Lateral load-rotation relationship of coupling beams

상대변위를 연결보의 순경간 나누어 산정하였다. 그림에 나타난 바와 같이 정가력 시 최대내력은 568.9 kN으로 나타났으며, 부가력 시에는 585.7 kN으로 나타났다. 최대내력 시 부재회전각은 정가력 및 부가력에서 각각 2.5 및 3.0%로 나타났다. 이후 하중이 서서히 감소하며, 부재회전각 5%까지 최대내력의 80%의 하중을 부담하는 것으로 나타났다.

KCI-12에서는 대각보강된 연결보의 설계내력을 식 (1)에 따라 산정하도록 규정하고 있다.

$$V_n = 2A_{vd}f_y \sin \alpha \leq (5\sqrt{f_{ck}}/6)A_{cp} \quad (1)$$

여기서, V_n 는 연결보의 전단강도(kN), A_{vd} 는 대각선 철근의 단면적(mm^2), f_y 는 대각선 철근의 항복강도(MPa), α 는 대각선 철근과 연결보의 길이방향 축 사이의 각, f_{ck} 는 콘크리트의 설계기준 압축강도(MPa), A_{cp} 는 전단에 저항하는 콘크리트의 단면적(mm^2)을 나타낸다.

Fig. 5(a)에 나타난 바와 같이 대각선 철근상세 연결보의 최대내력은 식 (1)에 따른 현행기준의 공칭강도를 상회하는 것으로 나타났다. 따라서 고강도철근을 대각선 보강근으로 사용할 경우에도 현행기준의 설계 식 사용에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

Fig. 5(b)는 수평 철근상세 연결보의 하중-변형관계를 나타낸 것으로, 앞서 기술한 바와 동일한 방법으로 부재회전각을 산정하였다. 최대내력은 정가력시 684.1 kN을 나타내었으며, 부가력시 629.7 kN의 내력을 나타내었다. 최대내력 시 부재회전각은 정가력 및 부가력에서 모두 2.5%로 나타났으며, 최대 하중 이후 다소 급격하게 파괴되는 양상을 나타내었다. 이는 양단의 미끄러짐 전단균열을 효과적으로 제어한 대각선 철근상세와는 달리 수평 철근상세의 경우 연결보 내부에 다수의 전단균열이 발생되었기 때문으로 판단된다.

현행기준에서 제시된 연결보의 휨 내력을 산정하여 식 (2)를 통해 연결보의 전단내력을 산정하였으며(Park and Paulay, 1975), 식 (3)를 통해 계산된 전단내력 중 적은 값을 산정하여 내력을 산정하였다.

$$M_n = \frac{V_n l_n}{2} \quad (2)$$

$$V_n = A_{cv} (\alpha_e \sqrt{f_{ck}} + \rho_n f_y) \quad (3)$$

여기서 M_n 은 연결보의 휨 강도(kN·m), l_n 은 연결보의 순경간(mm), A_{cv} 는 전단력을 고려하는 방향의 단면 길이와 복부 두께로 이루어지는 콘크리트의 단면적(mm²), ρ_n 은 A_{cv} 면에 평행하게 분포된 철근의 철근비를 나타낸다. α_e 는 콘크리트 강도의 상대적 기여도를 나타내며, 연결보 세장비가 2이상인 경우에 대하여 1/6을 사용하였다.

Fig. 5(b)에 나타난 바와 같이 다소 내력이 부족한 것으로 나타났다. 이는 전단내력 산정 시 수평철근의 항복을 조건으로 한 휨 내력 산정법과 연결보의 파괴양상이 상이하기 때문으로 판단된다. 따라서 세장비 2인 연결보에서 고강도 철근을 수평철근으로 배근할 경우 내력에 대한 추가적인 고려가 필요할 것으로 판단된다.

3.3 포락선 비교

Fig. 6은 현행기준의 공칭강도로 무차원화 포락선을 나타낸 것으로, Chang(2012)의 실험결과와 비교하여 나타내었다. 본 연구에서 수행된 대각선 및 수평 철근상세를 적용한 연결보의 실험결과에서는 앞서 기술한 바와 같이 수평 철근상세의 경우 연결보 내부에 급격한 전단파괴가 발생하며, 대각선

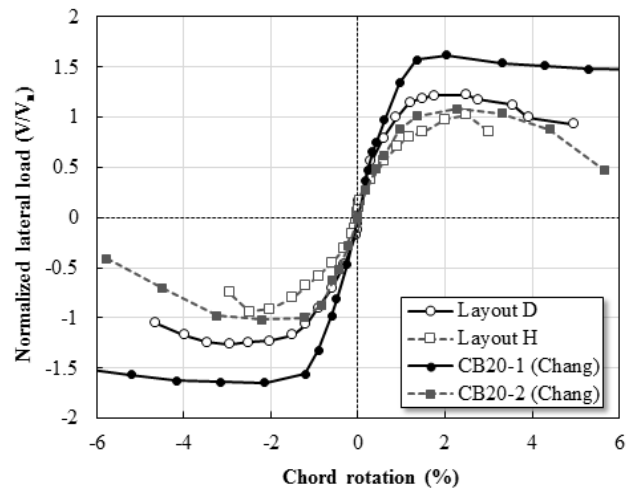
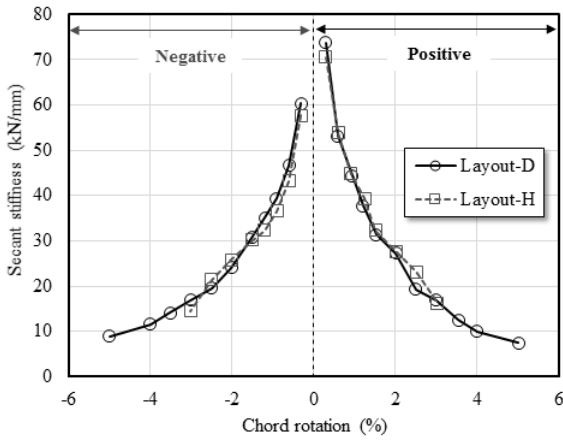


Fig. 6 Envelope of the cbeams

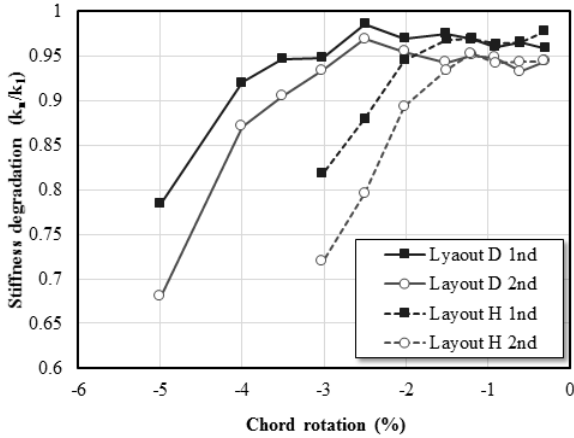
상세 연결보에 비해 변형능력 및 내력이 감소하는 것으로 판단된다. 실험방법 및 대각선 철근의 철근비가 상이하여 본 연구의 실험결과와 직접적인 비교는 어려우나, 철근상세에 따른 유사한 거동특성은 Chang의 실험결과에서도 보고되었다. 상기연구에서는 세장비 2인 연결보의 경우 대각선 철근상세를 사용한 경우 수평 철근상세에 비해 변형능력이 크게 증가하는 것으로 나타났다. 현행기준에서는 세장비 2인 연결보에 대하여 대각선 및 수평 철근상세를 모두 허용하고 있으나, 병렬전단벽 구조에서 연결보에 요구되는 변형능력이 높을 경우 세장비 2인 연결보에서도 대각선 철근상세가 필요할 것으로 판단된다.

3.4 강성저하특성

대각선보강 상세를 적용한 연결보의 초기강성은 정가력 및 부가력에서 각각 73.8 및 60.4 kN/mm로 나타났으며, 수평상세를 적용한 연결보의 초기강성은 정가력 및 부가력에서 각각 70.5 및 57.6 kN/mm로 나타났다. Fig. 7(a)은 철근상세에 따른 강성저하 특성을 비교하여 나타낸 것으로, 연결보의 철근상세가 초기강성 및 부재회전각 3.0%까지의 성저하에 미치는 영향은 미소한 것으로 나타났다. 하지만 수평철근을 배근한 경우 부재회전각 3%에서 반복가력에 의한 강성저하가 급격하게 발생하였다. Fig. 7(b)는 동일 부재회전각에서 반복가력에 따른 강성저하를 나타낸 것으로, 대표적으로 부가력에서의 결과를 나타내었다. 강성저하율은 1 사이클의 강성을 기준으로 2 및 3 사이클에서의 강성저하를 나타낸 것이다. 대각선 철근상세 연결보의 경우 부재회전각 3.0% 이후에 강성저하가 크게 발생한 반면, 수평 철근상세를 적용한 연결보는 부재회전각 1.5%부터 급격한 강성저하를 나타내었다.



(a) Chord rotation



(b) Repeated cycle at chord rotation

Fig. 7 Stiffness degradation of coupling beams

3.5 에너지 소산능력

Fig. 8은 철근상세에 따른 연결보의 누적에너지 소산능력을 비교하여 나타낸 것으로, 대각선 및 수평 철근상세를 적용한 연결보의 동일 부재회전각에서 에너지 소산능력은 유사한 것으로 나타났다. 부재회전각 3%에서의 누적에너지 소산능력은 대각선 및 수평 철근상세에 각각 121 및 108 kN·m를 나타내었으며, 대각선보강상세 연결보의 경우 부재회전각 5.0%에서 296 kN·m의 누적에너지 소산능력을 나타내었다.

4. 연결보의 이력거동

4.1 유효강성평가

Fig. 9는 실험결과를 통해 얻은 유효강성과 보 전단면에 대한 강성을 비교하여 나타낸 것이다. 유효강성은 양단이 고정된 보로 가정하고, 식 (3)에 따라 산정하였다.

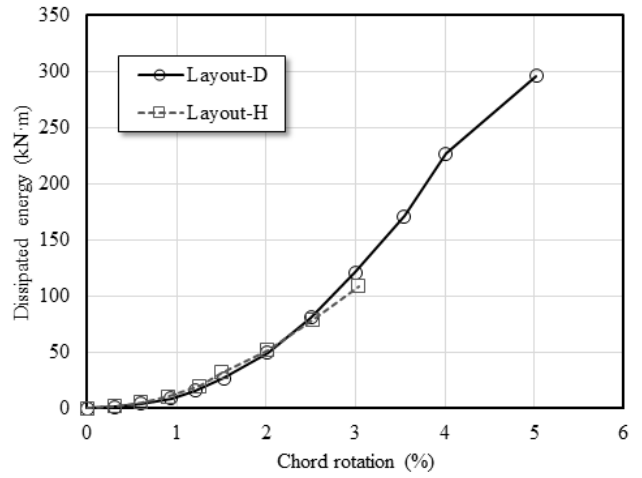


Fig. 8 Energy dissipation capacity of coupling beams

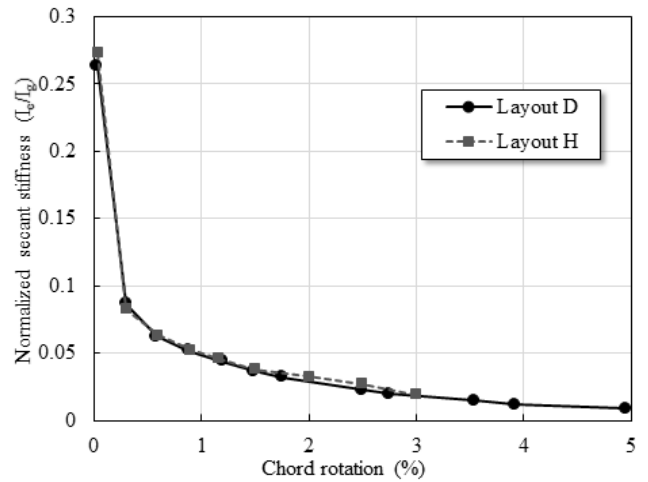


Fig. 9 Effective stiffness of coupling beams

$$E I_c = \frac{V \times l_n^3}{12 \times \Delta} \quad (3)$$

여기서, I_c 는 유효단면2차모멘트(mm^4), l_n 은 보부재의 순경간(mm), Δ 는 해당 전단력에서 발생한 변위(mm)를 나타낸다. 초기 대각선보강 상세를 적용한 연결보의 유효강성은 $0.26 E I_g$ 로 평가되었으며, 수평상세를 적용한 연결보의 유효강성은 $0.27 E I_g$ 로 평가되었다. 본 연구에서는 Fig. 10에 나타낸 나와 같이 Pan and Moehle(1986)의 연구에서 제시된 항복점 규정방법에 준하여 연결보의 항복변위를 산정하였다. 대각선보강 및 수평상세를 적용한 연결보의 항복하중에서 유효강성은 $0.053 E I_g$ 및 $0.048 E I_g$ 로 평가되었으며, ASCE 41-13에서 제시된 $0.30 E I_g$ 에 비해 크게 감소되는 것으로 평가되었다. 유사한 연구결과와 Naish et al.(2013)의 연구에서도 보고되었으

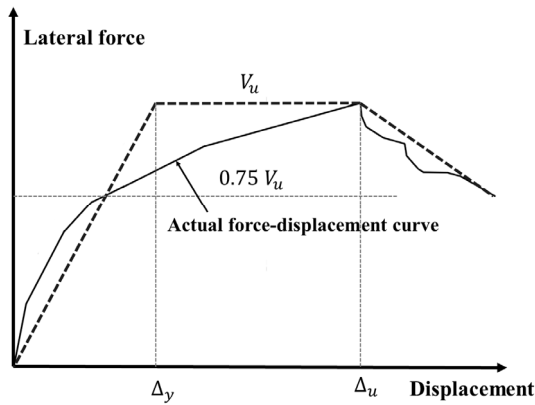


Fig. 10 Definition of yield point of coupling beam

며, 세장비 2.4인 대각선상세를 적용한 실규모 연결보에서 유효강성은 12~15%까지 감소하는 것으로 보고되었으며, 항복 하중까지의 유효강성 비를 $0.14E_cI_g$ 로 제시하였다. 따라서 현재 제시된 유효강성을 적용할 경우 연결보의 강성을 과대평가할 수 있을 것으로 판단되며, 실험결과에 근거한 이력모델이 필요할 것으로 사료된다. 또한 연결보의 변형에 영향을 주는 전단, 철근의 슬립 및 연결보 단부 균열의 확장을 고려한 강성제시가 필요할 것으로 판단된다.

4.2 연결보의 이력모델

Fig. 11은 실험결과를 통한 산정된 이력모델과 ASCE 41-13에서 제시된 연결보의 이력모델을 비교하여 나타낸 것이다. ASCE 41-13에서는 연결보의 상세에 따라 모델링 계수를 제시하고 있다. 대각선 철근상세 연결보의 경우에는 세장비와 무관하게 a 및 b를 각각 3.0 및 5.0%로 제시하고 있으며, 수평 철근상세 연결보의 경우 세장비 3이하일 때 a 및 b를 각각 2.5 및 4.0%로 규정하고 있다. 여기서 a 항복 시 부재회전각과 최

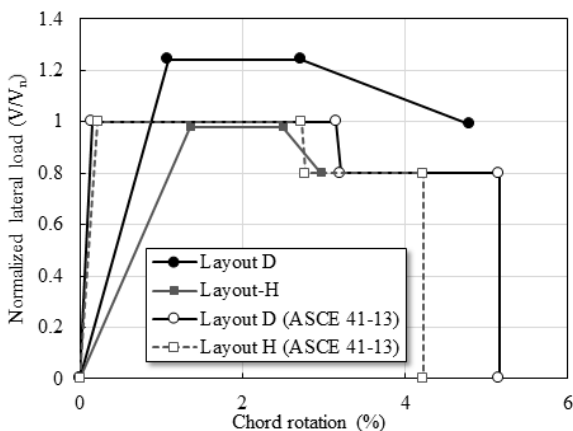


Fig. 11 Backbone load-rotation of coupling beams

대내력 시 부재회전각의 차이를 나타내며, b 항복 시 부재회전각과 최대하중 이후 항복 하중의 80%에서의 부재회전각의 차이를 나타낸다. Fig. 11에 나타난 바와 같이 현행 ASCE 41-13에서는 연결보의 초기강성을 과대평가 하는 것으로 판단된다. 특히 수평 철근상세 연결보의 경우 제시된 이력모델이 실험결과에서의 최대하중 및 80% 내력저하 시의 부재회전각을 과대평가하고 있는 것으로 판단된다. 따라서 고강도철근을 사용한 세장비 2인 연결보의 이력모델 제시를 위한 해석적 연구가 추가적으로 요구되며, 이를 통해 요구되는 변형능력에 따른 연결보의 합리적 설계가 가능할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 고강도 철근을 사용한 세장비 2인 연결보의 구조성능을 실험적으로 평가하기 위하여 실시되었으며, 이를 위해 대각선 및 수평 철근상세 실규모 연결보에 대한 구조성능 평가를 실시하였다. 제한된 실험체의 결과를 근거로 하여 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 대각선 및 수평 철근상세를 적용한 연결보의 파괴양상을 비교한 결과 대각선 철근상세 연결보의 경우 보 양단에 발생한 미끄러짐 전단균열을 대각선 철근이 효과적으로 제어하면서, 단부의 소성힌지가 형성되는 것으로 판단된다. 반면 수평 철근상세 연결보는 파괴가 보 내부에 집중되면서 급격한 전단파괴가 발생하였다.
- 2) 현행기준에서 제시된 강도설계법과 실험에서 나타난 내력을 비교한 결과, 고강도 대각선 철근상세 연결보의 경우 현행기준의 강도산정 방법을 사용하여 문제가 없을 것으로 판단된다. 반면 수평 철근상세의 연결보의 경우 현행기준의 내력에 비해 최대내력이 감소하는 것으로 나타났으며, 고강도 철근을 적용한 세장비 2의 수평 철근상세 연결보의 경우 내력산정 식 추가적인 고려가 필요할 것으로 판단된다.
- 3) 본 연구 및 기준연구의 결과에서 나타난 바와 같이 세장비 2의 수평 철근상세 연결보의 경우 변형능력이 대각선 철근상세에 비해 급격하게 감소하는 것으로 판단된다. 현행 기준에서는 세장비 2인 연결보에 대하여 대각선 및 수평 철근상세를 모두 허용하고 있으나, 연결보에 요구되는 변형능력에 따라 대각선 철근상세가 병렬전단벽 구조성능 향상에 효과적일 것으로 판단된다.
- 4) 실험을 통해 나타난 연결보의 유효강성은 ASCE 41-13에서 제시된 유효강성에 비해 크게 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 전단변형 및 미끄러짐 전단균열의 확장 등과 관련이 있는 것으로 판단된다. 따라서 향후 연결보의 유효강

성 산정을 위한 추가적인 실험이 요구된다.

- 5) 실험을 통해 제시된 연결보의 이력모델의 경우에도 ASCE 41-13에서 제시된 모델과 상이한 결과를 나타내었으며, 고강도 철근을 사용한 대각선 및 수평 철근상세의 이력모델 구성을 위한 해석적 연구가 추가적으로 요구된다.

감사의 글

본 연구는 2015년 충남대학교 CNU 학술연구지원사업의 지원을 받아 수행된 연구이며, 지원에 감사드립니다.

References

ACI Committee 318 (2014), Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary, American Concrete Institute.

ASCE/SEI 41-13 (2013), Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers.

Chang, Y. H. (2012), Study on Detailing for Reinforced Concrete Coupling Beam of Shear Wall, Master's thesis, Department of Civil Engineering, National Taiwan University (in Chinese).

Galano, L., and Vignoli, A. (2000), Seismic behavior of short coupling beams with different reinforcement layouts, *Structural Journal*, 97(6), 876-885.

KCI (2012), Design Code for Concrete Structural, Korean Concrete Institute (in Korean).

KCI and LH (2015), Test of Shear Wall and Coupling Beam for Calibration of Nonlinear Modeling Parameters (in Korean).

KS D 3504 (2016), Steel Bars for Concrete Reinforcement, Korean Standards Association (in Korean).

KS F 2403 (2014), Standard Test Method of Making and Curing Concrete Specimens, Korean Standards Association (in Korean).

KS F 2405 (2010), Standard Test Method for Compressive Strength of Concrete, Korean Standards Association (in Korean).

Lim, E., Hwang, S. J., Cheng, C. H., and Lin, P. Y. (2016), Cyclic Tests of Reinforced Concrete Coupling Beam with Intermediate Span-Depth Ratio, *ACI Structural Journal*, 113(3), 515-524.

Lim, E., Hwang, S. J., Wang, T. W., and Chang, Y. H. (2016), An Investigation on the Seismic Behavior of Deep Reinforced Concrete Coupling Beams, *ACI Structural Journal*, 113(2), 217-226.

Naish, D., Fry, A., Klemencic, R., and Wallace, J. (2013), Reinforced concrete coupling beams-part II: modeling, *ACI Structural Journal*, 110(6), 1067-1075.

Pan, A., and Moehle, J. P. (1989), Lateral displacement ductility of reinforced concrete flat plates, *Structural Journal*, 86(3), 250-258.

Park, R., and Paulay, T. (1975), Reinforced Concrete Structural, JOHN WILEY and SONS.

Received : 11/18/2016

Revised : 01/23/2017

Accepted : 02/03/2017

요 지 : 본 연구는 철근상세(대각선 및 수평 철근상세)가 실규모 연결보의 구조성능에 미치는 영향을 평가하기 위하여 실시되었다. 연결보의 시공성 및 경제성을 향상시키기 위하여 고강도 철근(SD500 및 SD600)을 사용하였다. 반복하중이 작용하는 동안 연결보의 순경간(양쪽 전단벽 사이의 간격)을 유지하기 위하여 강제 프레임 및 링크조인트를 설치하였다. 실험결과 대각선 철근상세를 적용한 연결보가 수평 철근상세 연결보에 비해 높은 연성을 나타내었다. ACI318-14 기준은 대각선 철근상세의 연결보 설계에는 적용이 가능할 것으로 판단되나, 수평 철근상세 연결보의 최대내력은 과대평가하는 것으로 나타났다. ASCE 41-13에서 제시된 연결보의 유효강성은 대각선 및 수평 철근상세를 적용한 연결보의 실험결과를 과대평가하고 있는 것으로 판단된다.

핵심용어 : 연결보, 구조성능, 철근상세, 고강도 철근