

고강도 확대머리 인장철근을 가지는 SFRC 깊은 보의 전단강도

김영록¹, 이창용², 김승훈^{3*}

Shear Strength of SFRC Deep Beam with High Strength Headed Reinforcing Tensile Bars

Young-Rok Kim¹, Chang-Yong Lee², Seung-Hun Kim^{3*}

Abstract : Shear experiments were carried out to evaluate shear performance of SFRC deep beams with end-anchorage of SD600 high strength headed reinforcing tensile bars. The experimental variables include the end-anchorage methods of tensile bars (headed bar, straight bar), the end-anchorage lengths, and the presence of shear reinforcement. Specimens with a shear span ratio of 1 showed a pattern of the shear compression failure with the slope cracks progressed after the initial bending crack occurred. Specimens with end-anchorage of headed bars (H-specimens) showed a larger shear strengths of 5.6% to 22.4% compared to straight bars (NH-specimens). For H-specimens, bearing stress reached 0.9 to 17.2% of the total stress of tensile bars up to 75% of the maximum load, and reached 22.4% to 46%. This shows that the anchorage strength due to the bearing stress of headed bars has a significant effect on shear strength. The experimental shear strength was 2.68 to 4.65 times the theoretical shear strength by the practical method, and the practical method was evaluated as the safety side.

Keywords: Headed reinforcing bar, Deep beam, Shear strength, Steel Fiber Reinforced Concrete

1. 서 론

깊은보는 전단경간비(shear-span ratio)가 2를 넘지 않는 보 부재로 하중을 분산시키는 전이보, 기초벽, 절판구조 등에 널리 쓰인다. 깊은보는 Schlaich 등(1987)에 의해 제시된 응력교란영역인 D구역(Disturbed region)으로 분류되어, 비선형적인 변형을 분포를 보이며, 스트럿-타이 모델에 의하여 설계할 수 있다.

깊은보는 상부 구조체의 수직하중을 지지하는 구조요소로서 충분한 전단내력을 보유하여야 하며, 전단내력을 향상시키기 위해 단면크기를 증가시키는 방법 이외에 고강도 콘크리트 또는 프리스트레싱의 사용이 효과적인 해결책이 될 수 있다.

깊은보에서 철근의 정착길이 감소 및 접합부 배근상세의 간소화를 위하여 주철근 및 전단보강근에 확대머리 철근의 사용이 증가하고 있다. 그리고 콘크리트 부재의 강도 향상 및

재료비 절감을 위하여, 콘크리트의 설계기준압축강도와 철근의 설계기준인장강도가 증가하고 있는 추세이다.

현행 국내 건축물 콘크리트구조 설계기준 KDS 41 30 00 (2016)에 적용된 콘크리트구조기준인 KCI2012 (2012)에서 일자형 철근 및 갈고리 철근은 600MPa의 고강도를 쓸 수 있으나, 확대머리 철근은 400MPa를 초과하지 못하도록 규정하고 있다. 최근 콘크리트구조 학회기준인 KCI2017 (2018)이 개정되어 2020년 이후 건축물설계기준에 적용될 예정이다. 이에 따르면 확대머리 철근의 설계기준항복강도 600MPa까지 적용할 수 있도록 정착길이식이 제시되었다.

하지만, 부재에 작용하는 응력상황 및 콘크리트의 특성에 따라 정착성능이 달라질 수 있으므로 다양한 적용부위에 따라 그 성능을 파악할 필요가 있다.

강섬유보강 콘크리트(Steel Fiber Reinforced Concrete, 이하 SFRC)는 압축강도 증가효과에 비하여 쪼갬인장강도 및 휨인장강도 증가에 큰 영향을 미친다. 또한 강섬유보강에 따른 콘크리트의 전단강도도 크게 증가하며, 체적비로 대략 0.5% ~ 1.5%의 강섬유 혼입이 적절한 것으로 평가하고 있다.

본 연구에서는 SD600의 고강도철근을 인장 주철근으로 사용하고 확대머리로 단부에 기계적 정착한 SFRC 깊은보의 전단성능을 평가하고자 하였다. 이를 위하여 강섬유 1% 혼입한 SFRC 깊은보 실험체를 제작하고, 전단보강근 유무, 단부 정착방법, 단부 정착길이 등을 주 변수로 실험을 실시하고 전단

¹정회원, 한밭대학교 건축공학과 석사과정, 금강산업건설 대표이사

²학생회원, 한밭대학교 건축공학과 석사 과정

³정회원, 한밭대학교 건축공학과 교수

*Corresponding author: kimsh@hanbat.ac.kr

Dongseodaero 125, Department of Architectural Engineering, HanBat National University, Daejeon 3415, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2019년 10월 1일까지 학회로 보내주시면 2019년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

강도 및 변형성능을 분석하였다.

2. 기준식 분석

2.1 확대머리 철근 정착식

KCI2012 (2012)에서 인장력을 받는 확대머리 이형철근에 대하여 식 (1)과 같이 기본정착 길이(l_{dt})를 제시하고 있다.

$$l_{dt} = 0.19 \frac{\beta d_b f_y}{\sqrt{f_{ck}}} \quad (1)$$

식(1)에서 β 는 에폭시 도막 철근의 경우 1.2이고 다른 경우는 1.0, d_b 는 철근직경(단위: mm)으로 35mm 이하이어야 한다. f_y 는 철근의 설계기준항복강도(단위: MPa)로 400MPa 이하이고, f_{ck} 는 콘크리트 설계기준압축강도(단위: MPa)로 40MPa 이하이다. 확대머리의 순지압면적 A_g 는 철근단면적의 4배 이상이어야 하며, 순피복 두께 및 철근 순간격은 각각 $2d_b$, $4d_b$ 이상이어야 한다.

KCI2017 (2018)에서는 인장력을 받는 확대머리 이형철근에 대하여 식 (2)와 같이 기본정착 길이(l_{dt})를 제시하고 있다.

$$l_{dt} = 0.24 \frac{\beta d_b f_y}{\sqrt{f_{ck}}} \quad (2)$$

식(2)에서 β 는 에폭시 도막 철근의 경우 1.2이고 다른 경우는 1.0, d_b 는 철근직경(단위: mm, 35mm 이하), f_y 는 철근의 설계기준항복강도(단위: MPa, 400MPa 이하), f_{ck} 는 콘크리트 설계기준압축강도(단위: MPa, 40MPa 이하)이다. 확대머리의 순지압면적 A_g 는 철근단면적의 4배 이상이어야 하며, 순피복 두께 및 철근 순간격은 각각 $2d_b$, $4d_b$ 이상이어야 한다.

2.2 깊은 보의 실용식

깊은 보 단면의 비선형 변형율 분포를 고려한 깊은보의 전단강도를 평가하기 위하여 KCI2012에서는 비선형해석 또는 스트럿-타이모델에 따라 설계하도록 하고 있다. 하지만 실무에서는 구조 계획설계 단계에서 설계시간 단축을 위하여 식 (2)의 일반 보의 콘크리트 강도에 식 (3)의 수직 및 수평 전단 보강근에 의한 전단강도를 추가하여 실용식으로 사용하는 경우가 많다. 식 (3)은 2002년 스트럿-타이모델이 ACI318 기준에 적용되기 이전에 수직 및 수평 전단보강근의 전단강도 산정에 적용되어왔다.

이러한 깊은 보 실용식은 순경간 l_n 이 부재 깊이 4배 이하인 부재이거나 받침 부 내면에서 부재 깊이의 2배 이하인 위치에 집중하중이 작용하여 큰 전단력을 받는 집중하중과 받침부사이 구간에 해당 되어야 한다. 단순보의 경우 인장철근은 보 하단부에서 높이 $Y(=0.25 - 0.05l < 0.2h)$ 구간 내에 배치하여야 하며, 인장철근은 단부 지점에서 정착되도록 한다.

$$V_c = [0.16 \sqrt{f_{ck}} + 17.6 \rho_w \frac{V_u d}{M_u}] b_w d \quad (2)$$

$$V_s = \left[\frac{A_v}{s} \left(\frac{1 + \frac{l_n}{d}}{12} \right) + \frac{A_{vh}}{S_h} \left(\frac{11 - \frac{l_n}{d}}{12} \right) \right] f_y d \quad (3)$$

여기서, s 는 종방향 철근에 나란한 방향으로 전단 철근의 간격, S_h 는 종방향 철근에 수직방향으로 전단 철근의 간격, A_v 는 간격 s 내에 배근된 수직 전단 보강근의 단면적, A_{vh} 는 간격 s 내에 배근된 수평 전단 보강근의 단면적이다. 여기서 V_c 는 $0.29 \sqrt{f_{ck}} b_w d$ 를 초과하지 않아야 하며, 깊은보의 V_n 은 $(5 \sqrt{f_{ck}} / 6) b_w d$ 이하로 하여야 한다.

깊은보의 최소철근량 산정은 휨인장철근과 직간인 수직전단철근의 단면적 A_v 를 $0.0025b_w s$ 이상으로 하여야 하며 s 를 $d/5$ 이하 또한 300mm 이하로 하여야 한다. 휨인장철근과 평행한 수평전단철근의 단면적 A_{vh} 를 $0.0015b_w s_h$ 이상으로 하여야 하며, s_h 를 $d/5$ 이하 또한 300mm 이하로 하여야 한다.

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험체 계획

확대머리 철근의 기계적 정착을 사용한 깊은보의 전단 성능을 평가하기 위하여, 실험체는 Table 1과 같이 총 6개로 계획하였다. Fig. 1에 대표적인 실험체의 형상 및 배근 상황을 나타내었다.

모든 실험체의 크기는 300×600×3000(폭×높이×길이, 단위: mm)로 제작하였으며, Fig. 1과 같이 전단경간비가 1이 되도록 실험체의 유효춤 540mm, 전단경간 540mm으로 계획하였다. 실험체 제작비 감소를 위하여, 단부정착 방법만을 달리한 좌우 대칭으로 계획하여, 한 실험체 당 두 번의 실험을 할 수 있도록 하였다.

실험체 변수는 전단보강근 배근 유무(C0 계열: 전단보강근 없음, C1 계열: 전단보강근 배근), 단부 정착길이(L1 계열: 240mm, L2 계열: 150mm), 단부 정착방법(H 계열: 확대머리

에 의한 기계적 정착, NH 계열: 일자형 정착) 등이다.

인장을 받는 하부 주철근은 SD600의 고강도 이형철근 D22을 배근하고, 압축을 받는 상부 주철근은 SD400의 D13 철근을 배근하였다. 수평 및 수직 전단보강근은 KCI2012 기준에 제시하고 있는 최소 전단보강근 이상으로 계획하여, SD400

Table 1 List of specimens

Specimens	End-anchorage	Development length (mm)	Vertical and horizontal reinforcements
H-L2-C0	Headed bar	150	-
H-L1-C0	Headed bar	240	-
H-L1-C1	Headed bar	240	D10@100
NH-L2-C0	Straight bar	150	-
NH-L1-C0	Straight bar	240	-
NH-L1-C1	Straight bar	240	D10@100

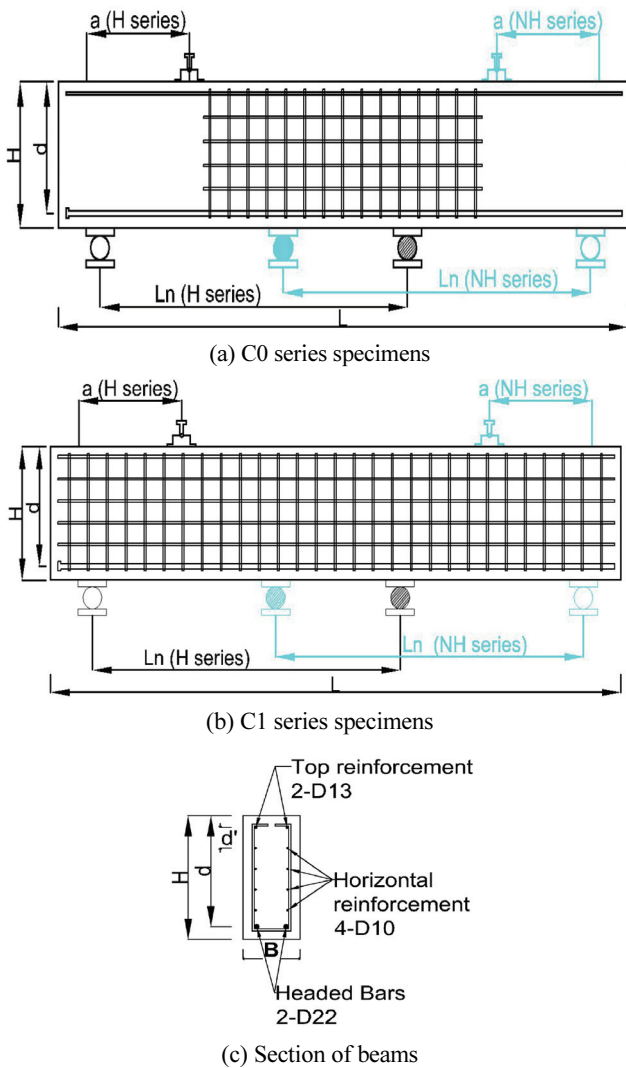


Fig. 1 Details of specimens

의 D10을 약 100mm 간격으로 배근하였다.

실험체에 사용된 콘크리트의 설계 압축강도(f_{ck})는 30MPa로 계획하였고, 강섬유는 1% 혼입하였다.

3.2 실험체 가력 및 계측방법

실험체는 Fig. 2와 같이 단순보 형태로 상단부 및 하단부에 150mm 지압판을 가지는 회전단을 설치하고 상단부에 설치된 지압판에서 UTM(Universal Transverse Mercator coordinate system)을 이용하여 3점 가력방식으로 가력하였다. 상단부의

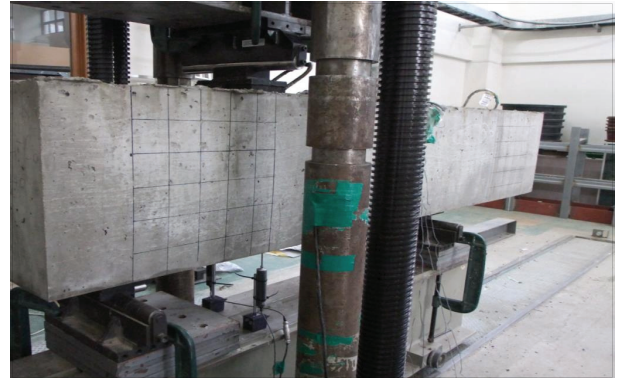


Fig. 2 Test set-up

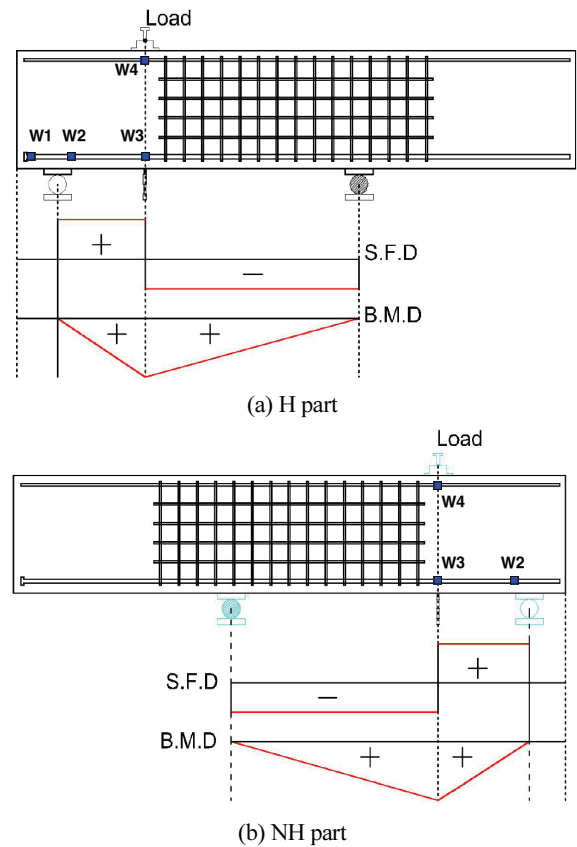


Fig. 3 Shear force diagram and bending moment diagram of specimens

가력점과 하단부의 지지점 거리는 좌측과 우측이 전단경간비 (a/d)가 각각 1, 2가 되도록 Fig. 3과 같이 비대칭으로 계획하여, 좌측의 전단파괴에 의하여 실험체 파단이 일어나도록 유도하였다. 다만, NH-L1-C0 실험체의 경우 실험체 설치 오류로 인하여 좌측의 a/d 가 1.16로 하중이 가력되었다.

변위계(LVDT)는 가력점 하부에 설치하여 수직변위를 측정하였다. 철근의 변형률을 측정하기 위하여, 인장을 받는 하부 확대머리 철근의 경우 철근 끝단(W1), 단부 정착길이 시작점(W2), 가력점(W3) 등 3개의 부위, 인장을 받는 하부 일자형 철근의 경우 단부 정착길이 시작점(W2), 가력점(W3) 등 2개의 부위에 철근 변형 게이지(Wire Strain Gauge, WSG)를 부착하였다. 압축철근의 경우 가력점(W4)에 부착하였고, 전단보강근은 최대전단응력이 작용하는 전단경간비 1/2지점의 중간 부위에 부착하였다.

4. 실험 결과

4.1 재료시험

콘크리트의 압축강도는 KS F 2403 기준에 따라 $\text{Ø}100 \times 200\text{mm}$ 의 원형 몰드로 제작하여 24시간 후 몰드를 탈형하고 수조에 수중양생을 실시하였다. 공시체의 28일 재령 후 KS F 2405 에 따라 UTM 기기로 분당 1mm로 변위제어 하여 압축강도 시험을 실시하였다. 압축강도 실험결과 공시체의 평균 압축강도는 36.06MPa로 나타났다.

Table 2에 실험체에 사용된 철근의 인장시험 결과를 나타내었다.

Table 2 Mechanical properties of reinforcing bars

Reinforcing bar	f_y (MPa)	f_u (MPa)	f_y/f_u (%)	E_s (GPa)	ϵ_{elo} (%)
D22 (SD600)	639	784	82	190	17
D13 (SD400)	491	629	78	249	30
D10 (SD400)	480	595	81	172	25

4.2 실험체 균열 및 파괴모드

각 실험체의 최종 파괴 시 균열상황을 Fig. 4에 나타내었다. 모든 실험체가 하중이 증가됨에 따라 먼저 가력점 아래 부분에 초기 휨 균열이 발생 이후 지점부분에서부터 경사균열이 진행되면서 최대내력에 도달한 후 압축전단파괴로 최종파괴되었다.

실험체들의 경사균열의 각도는 $41^\circ \sim 56^\circ$ 로 나타났다. 전단보강근이 배근되지 않은 C0 계열 실험체들은 가력점과 지지점 사이의 경사 하부에 주로 균열이 발생하였으나, 전단보강근이 배

근된 C1 계열 실험체들은 가력점에서 100mm~250mm 떨어진 상단부에서도 경사균열이 나타났다. 이는 수직 및 수평 전단보강근에 의하여 압축을 받는 스티럿 영역이 확대되면서 전단변형 성능에 영향을 미친 것으로 사료된다.

4.3 전단력-변위곡선 및 전단강도

Fig. 5에 실험하중으로부터 전단경간비를 고려하여 산정한 실험체 좌측의 전단력과 가력점의 실험체 하부면 수직-변위의 관계곡선을 나타내었다. Table 3에는 실험결과에 의한 최대하중(P_u), 최대전단력(V_u), 최대하중시 변위(δ_u) 등을 비교하여 나타내었다.

Table 3 Test results

Specimens	P_u (KN)	V_u (KN)	δ_u (mm)
H-L2-C0	1181.57	787.67	6.05
NH-L2-C0	965.42	643.61	3.67
H-L1-C0	1093.99	729.32	5.09
NH-L1-C0	1035.98	690.65	4.79
H-L1-C1	1373.33	915.55	5.64
NH-L1-C1	1265.21	843.47	5.27

Fig. 5에서 단부정착방법에 관계없이 전단보강근이 배근된 C1 실험체들이 전단보강근이 배근되지 않은 C0 실험체들에 비하여 초기강성 및 할렬강성이 크게 나타났다. 그리고 모든 실험체들이 최대전단내력 이후 전단파괴에 의한 취성적인 거동을 나타내었으며, C0 실험체들이 C1 실험체들에 비하여 강도감소기울기가 더 컸다.

Table 3에서 확대머리로 단부정착된 H 계열에서 전단보강근이 배근된 H-L1-C1 실험체가 전단보강근이 없는 실험체들에 비하여 전단강도가 16.2~25.5% 증가하였다. 반면에 일자형 철근으로 단부정착된 NH 계열에서 전단보강근이 배근된 NH-L1-C1 실험체가 전단보강근이 없는 실험체들에 비하여 전단강도가 22.1~31.0% 증가하였다. 이는 일자형 철근의 경우 단부정착 성능이 확대머리 철근에 비하여 저하되기 때문에 전단보강근에 의한 전단보강효과가 더 크게 나타난 영향인 것으로 사료된다.

깊은보 단부의 정착방법에 따른 전단강도를 비교한 결과, 확대머리 철근 정착이 일자형 철근정착에 비하여 5.6~22.4%의 전단강도를 나타내었다. 특히, 정착길이가 150mm로 적은 L2 계열 실험체의 전단강도 증가가 22.4%로 가장 큰 것으로 나타났다.

4.4 단부 정착응력

H 계열 실험체에 대하여 각 실험체별 최대하중의 25%,

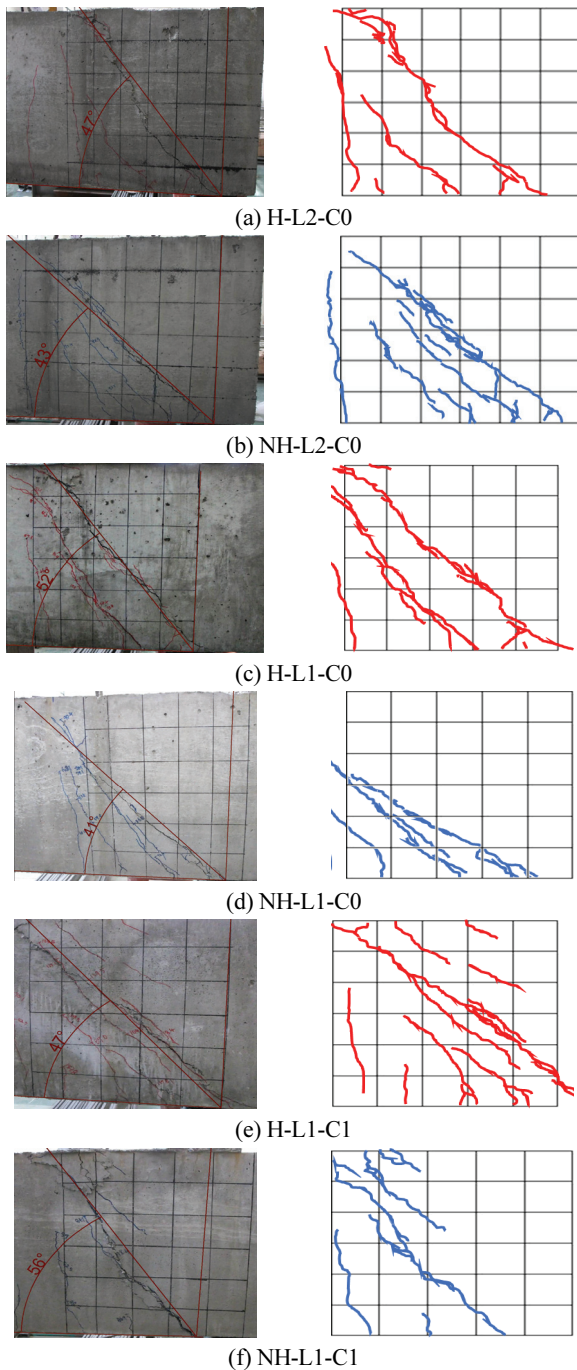
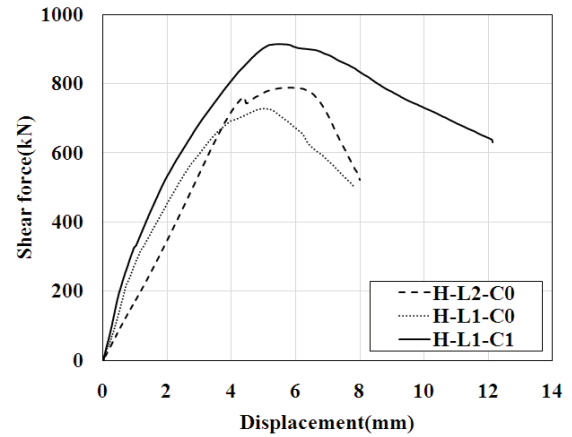
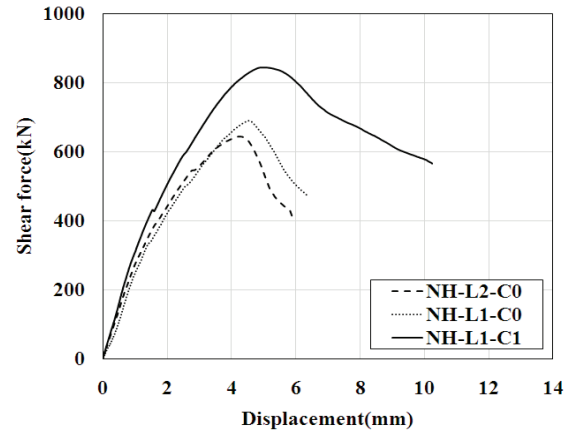


Fig. 4 Failure patterns of specimens

50%, 75%, 100%에 하중이 도달할 때, 확대머리 철근 끝단인 확대머리 체결부위에 부착된 WSG(W1)로부터 지압에 의한 철근변형률을 측정하고, 단부 정착길이 시작점에 부착된 WSG(W2)로부터 전체 정착에 의한 철근 변형률을 측정하여 재료시험결과를 토대로 지압응력과 전체 정착응력을 산정하였다. 또한 전체 정착응력에서 지압응력을 뺀 부착응력을 구하였다. 이와 같이 산정한 하중 단계별 응력을 Fig. 6에 비교하여 나타내었다.



(a) H series

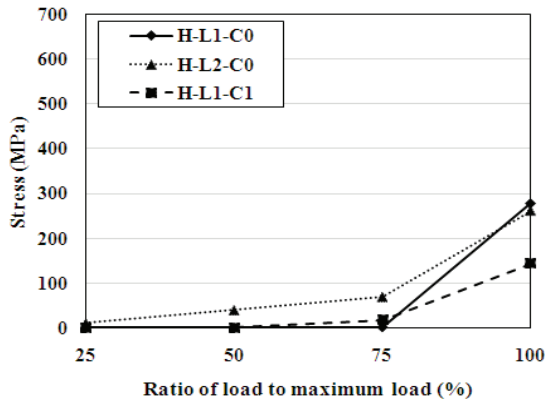


(b) NH series

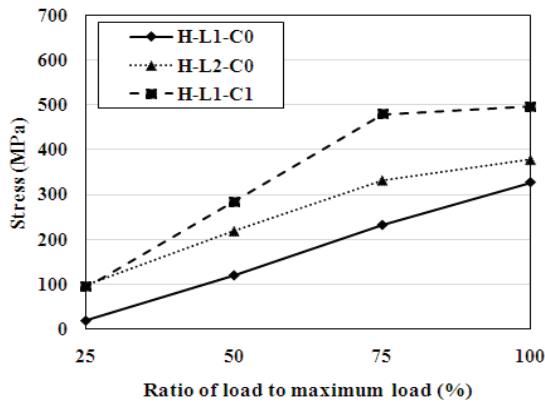
Fig. 5 Comparison of shear force-displacement curves

Fig. 6에서 최대하중의 75%까지는 정착길이 240mm인 실험체들의 지압응력이 전체 정착응력의 0.9~3.4%로 적게 나타났다, 정착길이 150mm인 H-L2-C0 실험체는 지압응력이 17.2%로 증가하였다. 이는 정착길이가 적을 경우 부착응력이 적어 확대머리 끝단에 인장응력이 빨리 도달한 영향인 것으로 사료된다. 최대하중 시점에서는 전단보강근이 배근되지 않는 실험체들은 지압응력이 전체 정착응력의 40.8~46%에 도달하였다. 전단보강근이 배근된 H-L1-C1 실험체는 수직 및 수평 전단철근의 단부 정착응력분배로 인하여 지압응력이 전체 정착응력의 22.4%로 나타났다. 이와 같이 최대하중에서 확대머리 지압응력에 의한 정착응력 증가가 전단강도에 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

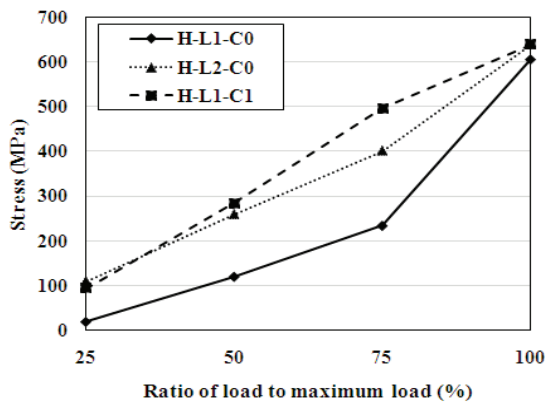
NH 계열 실험체는 일자형 철근으로 단부 정착되어 부착응력으로만 인장력에 저항한다. NH 계열 실험체에 대하여 각 실험체별 최대하중의 25%, 50%, 75%, 100%에 하중이 도달할 때, 단부 정착길이 시작점에 부착된 WSG(W2)로부터 철근 변형률을 측정하여 정착응력을 산정하여 하중 단계별 응력을 Fig. 7에 비교하여 나타내었다. Fig. 7에서 NH 계열 실험체들은 모두 하



(a) Bearing stress



(b) Bond stress (H series)



(c) Total stress

Fig. 6 Stress of headed bar anchorage (H series specimens)

중 증가에 따라 선형에 가까운 응력 증가를 나타내었다.

전단보강근이 있는 H-L1-C1 실험체와 NH-L1-C1 실험체는 수직 전단보강근 또는 수평 전단보강근이 최대하중에서 항복하였다. 모든 실험체들의 압축철근은 항복강도의 1/3 이하로 최대응력을 나타내었다.

4.5 이론 내력 비교

실험체의 전단강도를 추정하기 위하여 2.2절에 나타난 실

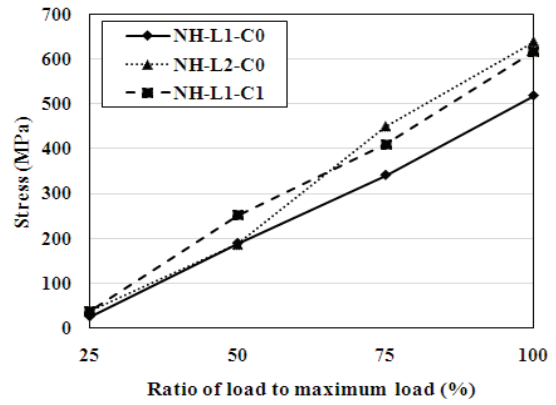


Fig. 7 Stress of straight bar anchorage (NH series specimens)

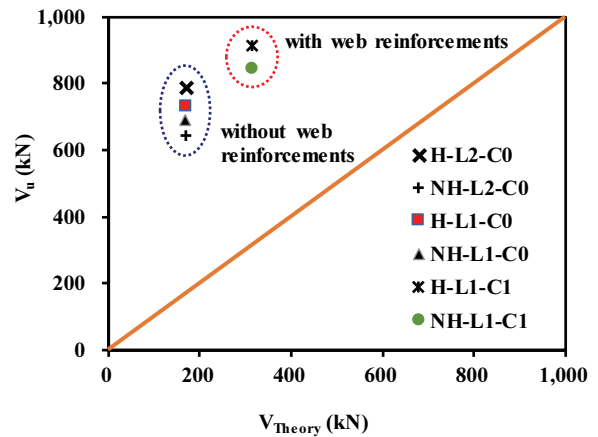


Fig. 8 Comparisons of shear strengths

용식을 사용하여 모든 실험체에 대한 공칭전단강도를 산정하였다. 식에 나타난 변수들은 재료시험과 전단실험 결과값을 사용하였다. 실용식에 의한 이론 전단강도(V_{Theory})와 실험 결과에 의한 전단강도(V_u)를 비교하여 Fig. 8에 나타내었다.

Fig. 8에서 실험 전단강도가 이론 전단강도를 크게 상회하여 이론식이 전단내력을 매우 안전측으로 평가하고 있으며, 확대머리로 단부 정착된 실험체들의 안전율이 더 큰 것으로 평가되었다. 전단보강근이 배근되지 않은 C0 계열 실험체들은 실험 전단강도가 이론 전단강도의 3.80~4.65 배로 나타났으며, 전단보강근이 배근된 C1 실험체들은 2.68~2.91 배로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 SD600의 고강도철근을 사용한 단부 정착 방법에 따른 SFRC 깊은보의 전단성능 평가를 위한 전단실험을 실시하였으며, 제한된 실험결과로부터 다음과 같은 결론

을 얻었다.

- (1) 모든 실험체는 초기 휨 균열 후 경사균열이 진행되면서 최종적으로 압축전단파괴되었다. 전단보강근이 배근된 실험체들이 전단보강근이 배근되지 않은 실험체들에 비하여 초기강성 및 활렬강성이 크게 나타났다.
- (2) 확대머리 철근으로 기계적 정착된 실험체들이 일자형 철근 정착에 비하여 5.6~22.4% 더 큰 전단강도를 나타내었다.
- (3) 깊은보에 대한 최소 수직 및 수평 전단보강근을 보강함으로써 보강되지 않은 실험체에 비하여, 확대머리 철근 정착 실험체는 16.2~25.5%, 일자형 철근 정착 실험체는 22.1~31.0%의 전단강도 증가를 나타내었다.
- (4) 확대머리 철근으로 기계적 정착된 실험체들에 대하여 최대하중의 75%까지는 지압응력이 전체 정착응력의 0.9~17.2%에 도달하였으나, 최대하중 시점에서 지압응력이 전체 정착응력의 22.4%~46%에 도달하여 큰 응력 부담률을 나타냄으로써 확대머리 지압응력에 의한 정착응력 증가가 전단강도에 큰 영향을 미침을 알 수 있다.
- (5) 깊은 보의 실용식을 이용하여 이론 전단강도를 산정하고 이를 실험 전단강도와 비교한 결과, 실험 전단강도가 이론 전단강도의 2.68~4.65 배로 평가되어, 이론식이 전단내력을 안전측으로 평가하고 있다. 그리고 확대머리 단부 정착된 실험체들의 안전율이 더 큰 것으로 평가되었다.

References

1. ACI Committee 318 (1999), Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-99)
2. KCI Committee. (2012), Concrete Design Code and Commentary, Korea Concrete Institute.
3. Korea Concrete Institute (2018), KCI Model Code 2017 (KCI M-18-006)
4. Schlaich, J., Schäfer, K., & Jennewein, M. (1987), Toward a Consistent Design of Structural Concrete, *Journal of the Prestressed Institute*, 32(3), 74-150.
5. Thompson, M. K., Ziehl, M. J., Jirsa, J. O. & Breen, J. E. (2005), CCT Nodes Anchored by Headed Bars- part 1, *ACI Structural Journal*, 102(6), 808-815.
6. Thompson, M. K., Jirsa, J. O., & Breen, J. E. (2006), CCT Nodes Anchored by Headed Bars-part 2: Capacity of Nodes, *ACI Structural Journal*, 103(1), 65-73.
7. Thompson, M. K., Ledesma, A., Jirsa, J. O., & Breen, J. E. (2006), Lap Splices Anchored by Headed Bars, *ACI Structural Journal*, 103(2), 271-279.
8. Won, D. Y. (2013), Failure Behaviour and Shear Strength Equations of Reinforced Concrete Deep Beams, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 25(6), 683-691.

Received : 01/11/2019

Revised : 01/20/2019

Accepted : 01/21/2019

요 지 : 확대머리 SD600 고강도 인장철근으로 단부 정착된 SFRC 깊은보의 전단성능을 평가하기 위해 전단 실험을 수행하였다. 실험 변수는 주인장 철근의 단부 정착방법(확대머리 철근, 일자형 철근), 단부 정착길이, 전단보강근 유무 등이다. 전단경간비는 1을 가지는 실험체에 대한 전단실험결과, 모든 실험체는 초기 휨 균열이 발생한 후 경사균열이 진행되면서 최종적으로 압축전단파괴되었다. 확대머리 철근으로 기계적 정착된 실험체들이 일자형 철근 정착에 비하여 5.6~22.4% 더 큰 전단강도를 나타내었다. 확대머리 철근으로 기계적 정착된 실험체들에 대하여 최대하중의 75%까지는 지압응력이 전체 정착응력의 0.9~17.2%에 도달하였으나, 최대하중 시점에서 지압응력이 전체 정착응력의 22.4%~46%에 도달하여 큰 응력 부담률을 나타내었다. 이를 통하여 확대머리 지압응력에 의한 정착응력 증가가 전단강도에 큰 영향을 미침을 알 수 있다. 실험 전단강도가 실용식에 의한 전단강도의 2.68~4.65 배로 평가되어, 실용식이 전단내력을 안전측으로 평가하였다.

핵심용어 : 확대머리 철근, 깊은보, 전단강도, 강섬유보강콘크리트
