



강섬유 및 헤디드 바를 활용한 고강도 콘크리트 내민받침의 성능 향상

양준모¹⁾ · 이주하²⁾ · 신현오¹⁾ · 윤영수^{1)*}

¹⁾고려대학교 건축·사회환경공학부 ²⁾삼성물산(주) 건설부문 기술연구소

Enhancing the Performance of High-Strength Concrete Corbels Using Steel Fibers and Headed Bars

Jun-Mo Yang,¹⁾ Joo-Ha Lee,²⁾ Hyun-Oh Shin,¹⁾ and Young-Soo Yoon^{1)*}

¹⁾School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

²⁾Technology Research Center, Samsung C&T Corporation, Seoul 137-956, Korea

ABSTRACT High-strength concrete corbels with varying percentage of steel fibers and two different anchorage types (welding to transverse bar, headed) for the main tension tie were constructed and tested. The results showed that performance in terms of load carrying capacities, stiffness, ductility, and crack width was improved, as the percentage of steel fibers was increased. In addition, the corbel specimens in which headed bars were used as the main tension tie reinforcements showed superior load carrying capacities, stiffness, and ductility compared to the corbel specimens in which the main tension ties were anchored by welding to the transverse bars. From the test results, it is expected that load carrying capacities, durability, and constructibility of high strength concrete corbels would be improved by using steel fibers and headed bars. Experimental results presented in this paper were also compared with various prediction models proposed by researchers and presented in codes. The truss model proposed by Fattuhi provides fairly good predictions for fiber reinforced high-strength concrete corbels.

Keywords : corbels, steel fibers, headed bars, high strength concrete

1. 서 론

철근콘크리트 구조물, 특히 프리캐스트 구조물에 보편적으로 사용되고 있는 내민받침(corbel)은 보에 의해 전달되는 수직하중과 지지하고 있는 부재의 수축, 온도 변형, 크리프 변형에 의해 전달되는 수평하중에 저항하는 부재이다. 이러한 내민받침은 전단경간-깊이의 비가 1을 넘지 않는 캔틸레버로서 Bernoulli의 기본 가정인 평면 유지 법칙이 성립하지 않는 응력교란구역을 형성한다.

최근, 고강도 콘크리트의 사용이 날로 증가하고 있고, 철근콘크리트 구조물의 부식에 대한 관심이 높아지고 있다. 이 연구에서는 이러한 추세를 만족시키면서 내민받침의 성능을 향상시킬 수 있는 방법을 모색하고자 고강도 콘크리트 내민받침 시험체를 제작하고 구조실험을 실시하였다. 내민받침의 성능 향상을 위해 강섬유 혼입을 고려하였고, 주인장 철근의 정착 방법(횡방향 철근에 용접하여 정착하는 방법, 헤디드 바를 사용하여 정착하는 방법)의 변화를 주었다. 또한, 구조 실험 결과를 기존 설

계기준과 연구자들이 제시하였던 다양한 예측모델(ACI 318-08¹⁾, Mitchell 등²⁾, Solanki 등³⁾, Hagberg⁴⁾, Russo 등⁵⁾, Foster 등⁶⁾, Fattuhi⁷⁾)과 비교 하였다.

2. 실 험

2.1 실험체 상세

이 연구에서는 축소 크기의 양면 내민받침 6개 실험체를 제작하였고 강섬유 혼입률과 주인장 철근의 정착 방법을 주요 변수로 하였다. 모든 실험체는 폭 300 mm, 깊이 350 mm의 내민받침과 300 × 300 mm 정사각형 기둥으로 구성되었고, Fig. 1에 실험체 형상 및 철근 배근 상세를 나타내었다. 이들 실험체는 CW series, CH series로 구분할 수 있다. 4개의 15M 철근을 CW series 실험체의 주인장 타이 철근으로 사용하였고, ACI 318-08¹⁾ 및 콘크리트구조설계기준⁸⁾의 주인장 철근 정착 규정을 만족시켜주기 위해 15M 횡방향 철근에 용접하여 배근하였다 (Fig. 1(a)). 2개 10M 폐쇄스터립을 60 mm 간격으로 배근하였고, 수직하중만 재하하였다. CH series 실험체의 주인장 타이 철근은 4개의 15M 헤디드 바를 사용하였고, 그 헤디드 바의 헤드 폭은 50.8 mm, 헤드 두께는

*Corresponding author E-mail: ysyoon@korea.ac.kr

Received January 4, 2009, Revised May 26, 2009

Accepted June 5, 2009

©2009 by Korea Concrete Institute

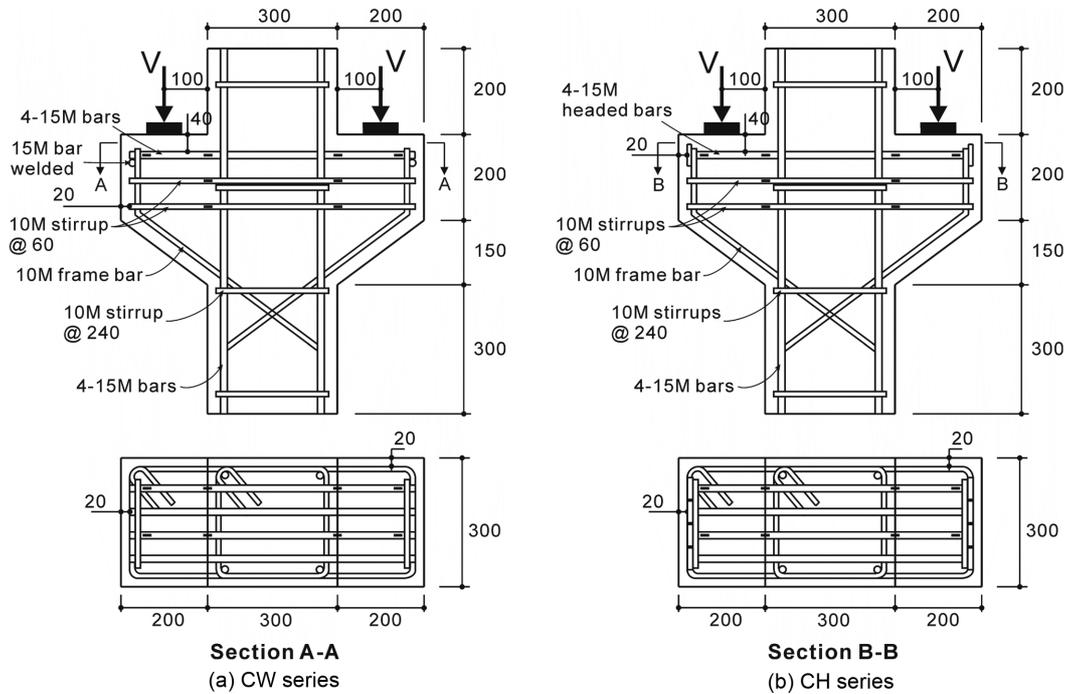


Fig. 1 Geometry of test specimens and layout of reinforcement and strain gauges (unit : mm)

12.7 mm로 하였다(Fig. 1(b)). ACI 318-08¹⁾ 및 콘크리트 구조설계기준⁸⁾에서(A_s-A_n)의 50% 이상의 폐쇄스터럽(균열제어 철근)을 유효깊이의 2/3 이내에 주인장 타이 철근에 평행하도록 균등하게 배치해야 한다고 규정하였기 때문에 2개 10 M 폐쇄스터럽을 60 mm 간격으로 배근하였고, 수직하중만 재하하였다.

실험체 명에 주요 변수를 나타내었는데, ‘C’는 내민받침(corbel)을 의미하고, ‘W’는 주인장 철근의 용접 배근을, ‘H’는 주인장 철근으로 헤디드 바가 사용된 것을, ‘0’, ‘50’, ‘75’는 강섬유 혼입률(v_f)을 의미한다. 예를 들어, ‘CH75’ 실험체는 주인장 철근으로 헤디드 바가 사용되었고, 강섬유가 0.75% 혼입된 내민받침 실험체를 의미한다. 강섬유가 혼입된 실험체의 경우, 길이 30 mm, 지름 0.5 mm, 인장강도 1,200 MPa인 양단 갈고리형 강섬유를 사용하였다.

2.2 재료 특성

모든 실험체의 콘크리트는 100 × 200 mm 공시체로 압축강도, 쪼갬 인장강도 시험이 수행되었으며, 3등분점 재하 시험을 통해 휨강도를 구하였다. Table 1에 콘크리트 배합표가, Table 2에 실험체에 사용된 콘크리트의 물성이 나타나있다. 섬유 보강 콘크리트의 인성을 결정하기 위해 Morgan 등⁹⁾이 제안한 인성 성능 등급(toughness performance level)을 사용하였고, 그 결과 CW50, CH50 실험체 콘크리트의 인성 성능 등급은 level II였고, CW75, CH75 실험체 콘크리트의 인성 성능 등급은 level III로 나타났다. 실험체 제작에 사용된 철근의 물성은 Table 3에 정리하였다.

Table 1 Concrete mix design

| | Unit weight (kg/m ³) | | | | | |
|----------------|----------------------------------|-----|----|-----|-----|----|
| | W | C | SF | S | G | SP |
| $v_f = 0\%$ | 160 | 655 | 73 | 574 | 875 | 14 |
| $v_f = 0.50\%$ | | | | | | 16 |
| $v_f = 0.75\%$ | | | | | | 17 |

Table 2 Concrete properties

| Specimen | f_{cu} (MPa) (st. dev.) | ϵ'_c (mm/mm) (st. dev.) | f_r (MPa) (st. dev.) | f_{sp} (MPa) (st. dev.) |
|---------------|------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| CW0, CH0 | 83.8 (2.59) | 0.0020 (0.0003) | 7.89 (0.33) | 5.82 (0.08) |
| CW50, CH50 | 75.1 (1.14) | 0.0020 (0.0001) | 8.81 (0.26) | 7.03 (0.06) |
| CW75, CH75 | 75.8 (3.39) | 0.0019 (0.0002) | 8.80 (0.03) | 8.28 (0.25) |

Table 3 Steel properties

| Designation | Area (mm ²) | f_y (MPa) | ϵ_y (%) | ϵ_{sh} (%) | f_u (MPa) |
|-------------|-------------------------|-------------|------------------|---------------------|-------------|
| 10M | 100 | 474 | 0.27 | 0.52 | 685 |
| 15M | 200 | 499 | 0.26 | 1.63 | 651 |

2.3 실험체 셋팅

Fig. 2와 같이 모든 실험체는 11,400 kN 용량의 UTM (universal testing machine)을 이용하여 실험하였다. 76.2 × 19.0 × 260 mm 강재 지지판을 양쪽 기둥 표면에서

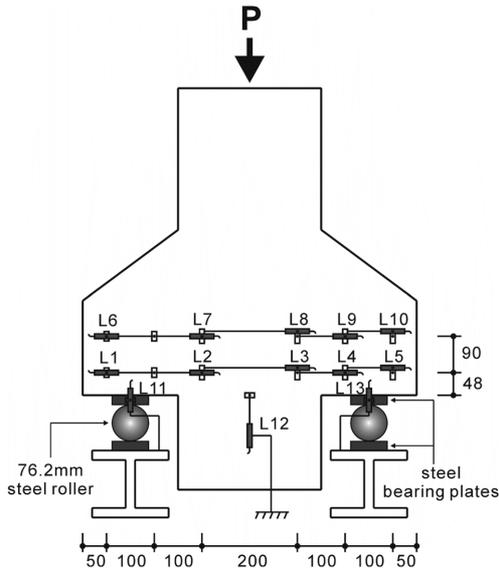


Fig. 2 Test setup and locations of LVDTs (unit : mm)

100 mm 거리에 위치시키고(전단지간-깊이 비, $a/d=0.33$), 수직하중만을 재하하였다. UTM 단조하중을 천천히 가

함과 동시에 하중, 처짐, 변형률을 자동으로 측정하였고, 각 하중 단계에서의 균열 양상 및 균열폭 역시 기록하였다. 균열폭은 주인장 타이 철근이 위치한 선과, 균열 제어 철근인 스테럽의 중간 높이의 수평선을 따라 측정하였다.

수직 처짐과 수평 변위를 측정하기 위해 Fig. 2에 나타난바와 같이 LVDTs(linear voltage differential transformers)를 설치하였다. 또한 Fig. 1과 같이 주인장 타이 철근의 양 끝단과 기둥 표면 위치, 스테럽의 기둥 표면 위치에 변형률게이지를 부착하여 철근의 변형을 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 하중-처짐 관계

Fig. 3은 총 전단하중과 중앙 처짐과의 관계를 나타낸 것이고, Table 4는 첫 균열 시, 주인장 타이 철근의 최하항복 시, 극한하중 시, 각각의 전단하중 및 중앙 처짐을 정리한 것이다. 먼저 강섬유 혼입률의 영향을 살펴보면,

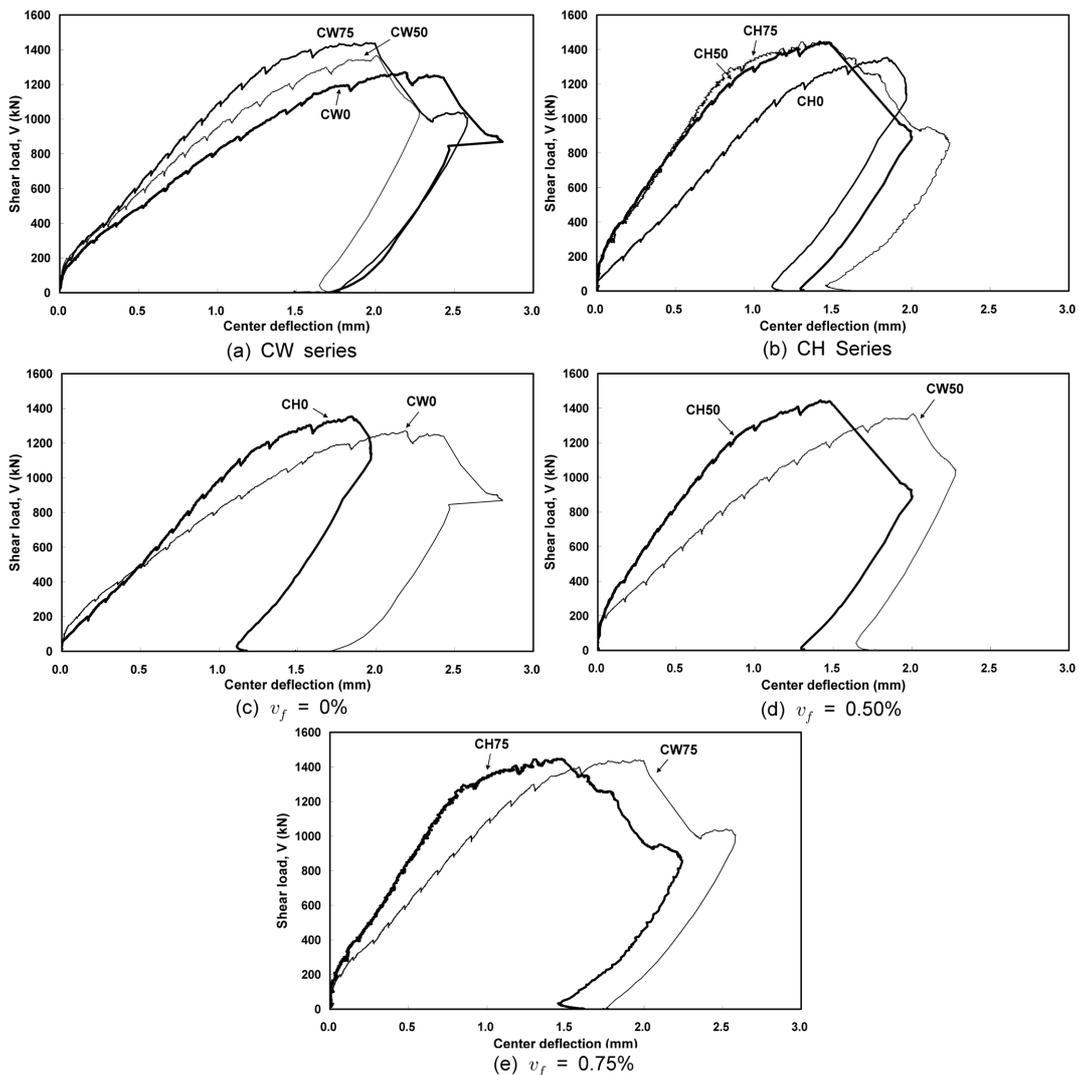


Fig. 3 Shear load versus center deflection responses

Table 4 Summary of test results

| | Specimen | V_{cr} (kN) | V_y (kN) | V_u (kN) | Δ_{cr} (mm) | Δ_y (mm) | Δ_u (mm) | Stiffness (kN/mm) | Ductility (Δ_u/Δ_y) |
|-----------|----------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| CW series | CW0 | 151 | 1115 | 1271 | 0.05 | 1.57 | 2.19 | 633 | 1.39 |
| | CW50 | 160 (1.06) ^a | 1125 (1.01) | 1367 (1.08) | 0.02 | 1.31 | 2.00 | 751 (1.19) | 1.53 (1.10) |
| | CW75 | 169 (1.12) | 1236 (1.11) | 1440 (1.13) | 0.04 | 1.22 | 1.94 | 910 (1.44) | 1.60 (1.15) |
| CH series | CH0 | 94 [0.62] ^b | 1121 [1.01] | 1354 [1.07] | 0.05 | 1.18 | 1.85 | 899 [1.42] | 1.57 [1.13] |
| | CH50 | 149 (1.59) [0.93] | 1198 (1.07) [1.06] | 1446 (1.07) [1.06] | 0.01 | 0.86 | 1.42 | 1240 (1.38) [1.65] | 1.65 (1.05) [1.08] |
| | CH75 | 146 (1.55) [0.86] | 1213 (1.08) [0.98] | 1447 (1.07) [1.00] | 0.01 | 0.77 | 1.42 | 1306 (1.45) [1.44] | 1.88 (1.20) [1.17] |

(^a) Rate of increase comparing to the result of the plain concrete corbel specimen (CW0, CH0) in each series

[^b] Rate of increase comparing to the result of the CW series having same dosage of steel fibers

CW series, CH series 모두 강섬유 혼입률이 0.5%, 0.75%로 높아짐에 따라 더 높은 극한 전단하중을 보였고, CW series에서는 1,440 kN의 극한 전단하중을 보인 CW75 실험체가, CH series에서는 1,447 kN의 극한 전단하중을 보인 CH75 실험체가 가장 큰 전단 저항 성능을 보였다. 이는 강섬유를 혼입하고 그 혼입률이 증가함으로 인해 CW50, CW75 실험체의 내하력이 CW0 실험체보다 각각 8%, 13% 증가했고, CH50, CH75 실험체의 내하력이 CH0 실험체보다 각각 7%, 7% 증가했다는 것을 나타낸다. 비록 CW50, CW75, CH50, CH75 실험체 콘크리트의 압축강도는 CW0, CH0 실험체 콘크리트의 압축강도보다 낮았지만, 강섬유의 혼입률이 증가함에 따라 높은 내하력을 보이는 것으로 나타났고, 이를 통해 내민받침의 강도는 콘크리트의 압괴 보다는 주인장 철근의 항복의 지배를 받기 때문에, CW50, CW75, CH50, CH75 실험체의 내하력 증가는 주로 강섬유의 혼입에 기인한다고 볼 수 있다.

섬유 보강 내민받침에 대해 연구한 기존 연구자들¹⁰⁻¹²⁾ 역시 섬유 혼입비의 증가에 따라 내민받침의 강도가 증가한다고 언급하였다. 또한, 강섬유의 혼입으로 인해 주인장 타이 철근이 최초로 항복했을 때의 전단하중 역시 CW50, CW75 실험체는 각각 1%, 11%, CH50, CH75 실험체는 각각 7%, 8% 증가되었다. 육안을 통한 관찰과 변형률게이지 측정 결과를 통해 측정된 첫 균열 발생 시의 전단하중은 섬유를 혼입함에 따라 증가하는 것으로 나타났다. CW50, CW75 실험체는 CW0 실험체보다 6%, 12%, CH50, CH75 실험체는 CH0 실험체보다 59%, 55% 증가된 첫 균열발생 시의 전단하중을 보였다.

주인장 철근의 정착 방법에 따른 차이를 살펴보면, 횡방향 철근에 용접하여 정착한 CW series 보다 헤디드 바를 사용하여 정착한 CH series가 더 높은 극한 전단하중을 보였다. CH0 실험체는 CW0 실험체보다 7%, CH50

실험체는 CW50 실험체보다 6% 높은 내하력을 나타내었고, CH75 실험체는 CW75 실험체와 유사한 내하력을 나타내었다. 이는 헤디드 바의 헤드를 통해 정착부에 압축력이 발생되고, 이로 인해 경사방향 스트럿의 폭이 크게 형성되었기 때문이라 판단된다.

Table 4는 모든 내민받침 실험체의 강성을 보여준다. 하중-처짐 관계 곡선에서 최초 균열점과 주인장 철근의 최초 항복점을 이은 직선의 기울기가 균열 후 강성(post cracking stiffness)을 나타낸다. Fig. 3과 Table 4에 나타난 바와 같이, 모든 실험체는 강섬유를 혼입함에 따라, 강성은 증가하는 것으로 나타났다. CW50, CW75 실험체는 CW0 실험체보다 19%, 44%, CH50, CH75 실험체는 CH0 실험체보다 각각 38%, 45% 증가된 강성을 보였다. 또한 헤디드 바를 사용하여 주인장 타이 철근을 정착시킨 CH series는 횡방향 철근에 용접하여 정착한 CW series 보다 훨씬 더 큰 강성을 보였다. CH0 실험체는 CW0 실험체보다 42%, CH50 실험체는 CW50 실험체보다 65%, CH75 실험체는 CW75 실험체보다 44% 높은 강성을 나타내었다.

Table 4는 또한 모든 내민받침 실험체의 연성을 포함하고 있다. 일반적으로 실험체의 연성은 주인장 철근의 최초 항복 시 처짐에 대한 최대 하중에서의 처짐의 비로 정량화할 수 있다. 섬유 보강 내민받침에 대한 기존 연구¹⁰⁻¹²⁾와 같이 강섬유의 혼입률이 증가함에 따라 연성이 증가하는 것으로 나타났다. CW50, CW75 실험체는 CW0 실험체보다 각각 10%, 15%, CH50, CH75 실험체는 CH0 실험체보다 각각 5%, 20% 높은 연성을 보였다. 또한, CH0 실험체는 CW0 실험체보다 13%, CH50 실험체는 CW50 실험체보다 8%, CH75 실험체는 CW75 실험체보다 17% 높은 연성을 보여 헤디드 바를 주인장 타이 철근으로 사용하는 것이 연성 측면에서 더욱 효과적인 것으로 나타났다. 이는 헤디드 바의 헤드를 통해 전

달된 압축력으로 인해 헤드드 바를 주인장 철근으로 사용한 실험체의 변형률이 상대적으로 작아졌기 때문으로 판단된다.

3.2 철근의 변형률 분포

Fig. 1과 같이 주인장 타이 철근의 양 끝단과 기둥 표면 위치, 스테럽의 기둥 표면 위치에 변형률게이지를 부착하여 철근의 변형을 측정하였다. Fig. 4는 CW, CH series 실험체의 전단하중과 각 위치에서의 변형률 분포 관계를 나타내고 있다. 첫 균열이 발생하기 전에 각 위치에서의 변형률은 거의 유사한 양상을 보이다가 첫 균열이 발생하고 나서 기울기가 급격하게 감소하였다. 모든 실험체의 주인장 타이 철근은 극한하중 근처에서 모두 항복하였고, 그 후에 균열 제어 철근인 스테럽도 항복하기 시작하였다. Fig. 4를 통해, 강섬유 혼입물이 증가함에 따라 주인장 철근이 최초 항복했을 때와 첫 균열이 발생했을 때의 전단하중이 증가함을 확인할 수 있다.

CW series 실험체는 주인장 타이 철근을 횡방향 철근에 용접하여 정착을 하였고, CH series는 헤드드 바를 주인장 타이 철근으로 사용하였다. 주인장 타이 철근의 양 끝단에서 측정된 변형률을 살펴보면, 초기에 변형이 거의 나타나지 않다가 양 끝단 부근에 균열이 발생하면서 변형률이 증가하기 시작하였고, 항복 변형률의 약 50% 정도의 최대 변형률을 나타내었다. 이처럼 주인장 타이 철근은 모든 실험체에서 뛰어난 정착을 보여주었고, 양

끝단 부근에서의 뚜렷한 인장 변형률을 나타냈다. 또한 헤드드 바가 사용된 CH series는 CW series 보다 동일하거나 다소 큰 인장 변형률을 나타내어 주인장 타이 철근으로 헤드드 바를 사용하는 것이 적합한 것으로 판단된다. 또한 헤드드 바를 주인장 타이 철근으로 사용하는 것이 ACI 318-08¹⁾ 및 콘크리트 구조설계기준⁸⁾에서 규정하고 있는 횡방향 철근에 용접하여 정착하는 방법 또는 수평 루프를 통하여 정착하는 방법보다 설치가 쉽고, 철근 밀집을 해소할 수 있다는 면에서 더 효율적일 것이라 판단된다.

3.3 균열 양상

Fig. 5는 모든 실험체의 극한상태에서의 균열 양상을 나타내고 있다. 모든 실험체의 첫 균열은 내민받침과 기둥의 경계에서 발생하였고, 스테럽의 중간 위치까지 진전하였다. 두 번째 균열은 강제 지점판 안쪽 모서리 부근에서 발생하였고, 기둥과 내민받침의 경사면의 경계까지 진전하여 파괴 시까지 가장 주요한 균열을 형성하였다. 모든 실험체는 초기에 휨 균열 양상을 보이다가 경사 전단 균열의 양상을 보이며 종국 파괴되는 보-전단 파괴모드(*beam-shear failure mode*)를 나타내었고, 이는 균열제어 스테럽을 가진 내민받침은 보-전단 파괴모드를 나타내는 경향이 있다는 Yong과 Balaguru¹³⁾의 결과와 부합한다. 모든 실험체는 주인장 타이 철근과 스테럽이 모두 충분히 항복한 후에 내민받침의 경사부와 기둥의 경계에서 콘크리트의 압괴가 발생하면서 파괴되었다.

Fig. 6은 모든 실험체의 최대 균열폭을 도시하고 있다. 주인장 타이 철근이 배근된 위치에서의 최대 균열폭은 CW series의 경우 CW0, CW50, CW75 실험체가 각각 0.24 mm, 0.14 mm, 0.09 mm를 보였고, CH series의 경우 CH0, CH50, CH75 실험체가 각각 0.19 mm, 0.09 mm, 0.09 mm를 보여 강섬유 혼입물이 증가함에 따라 균열폭은 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 헤드드 바를 주인장 타이 철근으로 사용한 CH series가 CW series 보다 더 작은 균열폭을 보였다. 이를 통해 심각한 부식 환경 하에서 헤드드 바를 주인장 타이 철근으로 사용하고, 스테인

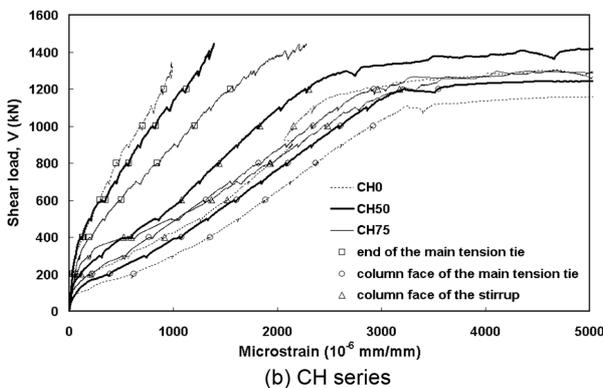
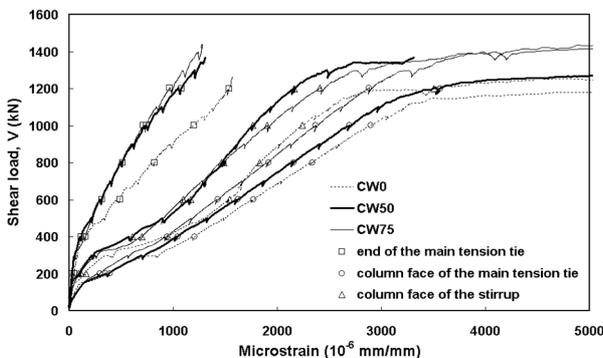


Fig. 4 Strains in the main tension tie and the secondary crack control reinforcement

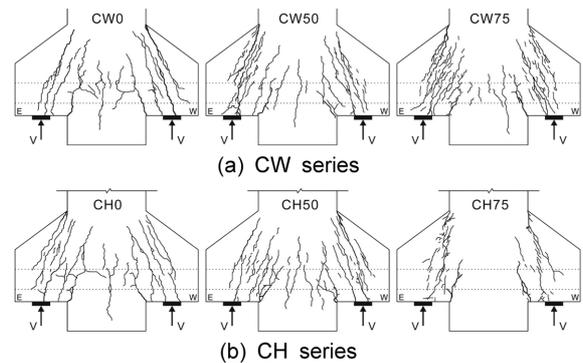
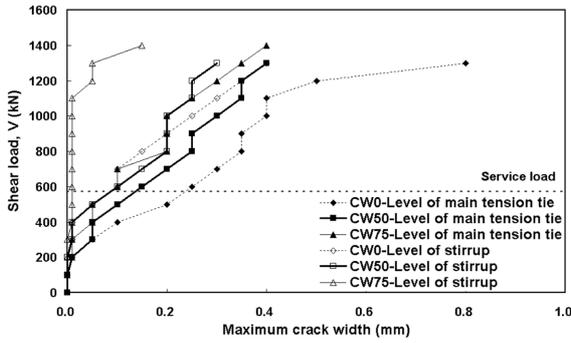
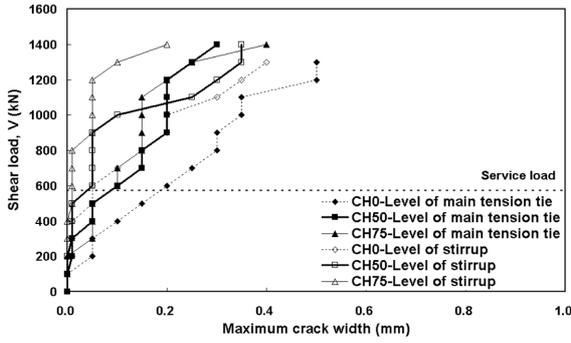


Fig. 5 Crack patterns at peak load



(a) CW series



(b) CH series

Fig. 6 Shear load versus maximum crack width

레스 강섬유를 혼입하는 것이 내민받침의 내구성을 향상시키고 철근 부식을 감소시켜줄 수 있을 것으로 판단된다.

3.4 예측모델과의 비교

이 연구에서 수행된 실험 결과를 ACI 318-08¹⁾ 규준식 및 여러 연구자들²⁻⁷⁾이 제안한 제안식과 비교해보았고, 그 비교 결과는 Table 5에 나타내었다.

ACI 318-08,¹⁾ CSA A23.3-04,¹⁴⁾ 콘크리트 구조설계기준⁸⁾의 부록에 채택되어 있는 단순 스트럿-타이 모델(simplified strut-and-tie model)에서는 실제 설계에서 추가적인 균열 제어 철근의 기여도를 무시하고 있어 매우 보수적인 예측을 하는 것으로 나타났다. Mitchell 등²⁾에 의해 제안된 정밀 스트럿-타이 모델(refined strut-and-tie model)에서는

균열 제어 철근의 기여도를 무시하지 않고, 주인장 타이 철근과 균열 제어 철근이 모두 항복한 후에 내민받침이 종국 파괴된다고 가정하고 있기 때문에 단순 스트럿-타이 모델보다 더 정확한 예측을 하고 있고, 섬유 혼입을 고려하지 않았음에도 매우 정확한 예측을 하는 것으로 나타났다.

ACI 318-08¹⁾과 콘크리트 구조설계기준⁸⁾에서 규정하고 있는 예측 과정은 전단마찰에 의한 파괴와 철근의 항복에 의한 파괴를 모두 고려하여 내민받침의 전단력을 계산하도록 하고 있다. 실제 실험 결과와는 달리, Table 5에 나타난 계산 결과, 모든 실험체는 전단 마찰 모드에서 파괴되는 것으로 예측되었다. 그러나 철근 항복에 의한 ACI 규준식은 실험 결과와 대체적으로 잘 부합하는 것으로 나타났다. Solanki 등³⁾의 예측모델은 전체적으로 정확하고 보수적인 예측을 하는 것으로 나타났고, Hagberg⁴⁾이 제안한 예측모델은 섬유 혼입을 고려하지 않은 예측식 중에서 가장 정확한 예측을 하는 것으로 나타났지만, 수평하중의 영향과 섬유 혼입의 영향을 고려할 수 있도록 예측식의 개선이 필요하다. 스트럿-타이 메커니즘의 평형 조건을 기본으로 하고 연화 근사 구성 법칙(softening approximate constitutive law)을 고려한 Russo 등⁵⁾의 예측모델은 다소 부정확한 예측을 보였다. 이는 간편한 예측모델을 만들기 위해 예측식의 몇 개 항이 실제 재료값이 아닌 설계규준에서 제안하는 식을 이용하여 계산되기 때문으로 판단된다. Foster 등⁶⁾ 예측식은 고강도 콘크리트를 고려한 내민받침의 예측식임에도 불구하고 가장 부정확한 예측 결과를 나타내었다. 섬유 혼입 효과를 고려한 Fattuhi⁷⁾의 두 가지 예측모델(휨 모델, 트러스 모델)은 매우 정확한 예측결과를 보여주었고, 실험값/예측값 비의 평균과 변동계수가 각각 1.08, 0.027으로 나타난 트러스 모델이 실험값/예측값 비의 평균과 변동계수가 각각 1.08, 0.038로 나타난 휨 모델 보다 더 정확한 것으로 나타났다.

4. 결 론

강섬유 혼입률과 주인장 철근의 정착 방법을 변수로

Table 5 Test-to-predicted ratios for all corbel specimens

| Specimen | V_{test} (kN) | Simplified STM | Refined STM | ACI, KCI | | Solanki | Hagberg | Foster | Russo | Fattuhi | |
|----------|-----------------|----------------|-------------|----------------|---------|---------|---------|--------|-------|----------------|-------------|
| | | | | Shear friction | Flexure | | | | | Flexural model | Truss model |
| CW0 | 1271 | 1.33 | 1.07 | 1.54 | 1.09 | 1.10 | 1.00 | 1.55 | 1.22 | 1.09 | 1.03 |
| CW50 | 1367 | 1.46 | 1.17 | 1.66 | 1.17 | 1.32 | 1.10 | 1.67 | 1.35 | 1.02 | 1.05 |
| CW75 | 1440 | 1.54 | 1.23 | 1.75 | 1.24 | 1.38 | 1.16 | 1.76 | 1.42 | 1.06 | 1.10 |
| CH0 | 1354 | 1.42 | 1.13 | 1.64 | 1.16 | 1.17 | 1.06 | 1.65 | 1.30 | 1.16 | 1.10 |
| CH50 | 1446 | 1.55 | 1.24 | 1.75 | 1.24 | 1.40 | 1.16 | 1.76 | 1.43 | 1.08 | 1.12 |
| CH75 | 1447 | 1.54 | 1.24 | 1.76 | 1.24 | 1.38 | 1.16 | 1.77 | 1.42 | 1.06 | 1.10 |
| Mean | | 1.47 | 1.18 | 1.68 | 1.19 | 1.29 | 1.11 | 1.67 | 1.36 | 1.08 | 1.08 |
| COV | | 0.054 | 0.056 | 0.046 | 0.048 | 0.089 | 0.055 | 0.046 | 0.055 | 0.038 | 0.027 |

한 고강도 콘크리트 내민받침의 구조실험 결과를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 강섬유의 혼입, 강섬유 혼입률의 증가에 따라 고강도 콘크리트 내민받침의 내하력, 강성, 연성은 증가하는 것으로 나타났다.
- 2) 횡방향 철근에 용접하여 주인장 타이 철근을 정착한 내민받침 보다 헤디드 바를 주인장 타이 철근으로 사용한 내민받침이 더 높은 내하력, 강성, 연성을 보였다.
- 3) 모든 실험체의 주인장 철근은 확실한 정착을 보였고, 헤디드 바를 주인장 타이 철근으로 사용한 실험체가 주인장 타이 철근을 횡방향 철근에 용접한 실험체와 동일하거나 다소 큰 인장변형률을 나타내었다.
- 4) 강섬유 혼입률이 증가함에 따라 균열폭은 감소하는 것으로 나타났고, 헤디드 바를 주인장 철근으로 사용한 실험체가 횡방향 철근에 용접하여 주인장 타이 철근을 정착한 실험체보다 더 작은 균열폭을 보였다.
- 5) 헤디드 바를 주인장 타이 철근으로 사용하고, 강섬유를 혼입함으로써 내민받침의 내하력을 향상시키고, 내구성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.
- 6) 섬유 혼입을 고려한 Fattuhi의 트러스 모델은 강섬유 보강 콘크리트 내민받침의 내력을 가장 정확히 예측하는 것으로 나타났다.

감사의 글

이 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설핵심기술연구개발사업(Center for Concrete Corea, 05-CCT-D11)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. American Concrete Institute, "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary," *ACI 318-08 and ACI318R-08*, Farmington Hills, Mich., 2008, 473 pp.

2. Mitchell, D., Cook, W. D., Uribe, C. M., and Alcocer S. M., "Experimental Verification of Strut-and-Tie Models," *Examples for the Design of Structural Concrete with Strut-and-Tie Models*, ACI SP-208, 2002, pp. 41~62.
3. Solanki, H. and Sabnis, G. M., "Reinforced Concrete Corbels-Simplified," *ACI Structural Journal*, Vol. 84, No. 5, 1987, pp. 428~432.
4. Hagberg, T., "Design of Concrete Brackets on the Application of the Truss Analogy," *ACI Journal Proceedings*, Vol. 80, No. 1, 1983, pp. 3~12.
5. Russo, G., Venir, R., Pauletta, M., and Somma, G., "Reinforced Concrete Corbels-Shear Strength Model and Design Formula," *ACI Structural Journal*, Vol. 103, No. 1, 2006, pp. 3~10.
6. Foster, S. J., Powell, R. E., and Selim, H. S., "Performance of High-Strength Concrete Corbels," *ACI Structural Journal*, Vol. 93, No. 5, 1996, pp. 555~563.
7. Fattuhi, N. I., "Strength of FRC Corbels in Flexure," *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 120, No. 2, 1994, pp. 360~377.
8. 한국콘크리트학회, 콘크리트 구조설계기준 해설, 한국콘크리트학회, 2007, 523 pp.
9. Morgan, D. R., Mindess, S., and Chen, L., "Testing and Specifying Toughness for Fiber Reinforced Concrete and Shotcrete," *Proc., 2nd Univ.-Industry Workshop on Fiber-Reinforced Concrete and Other Advanced Composites-Fiber-Reinforced Concrete-Modern Developments*, N. Banthia and S. Mindess, ed., Toronto, pp. 29~50.
10. Fattuhi, N. I., "Strength of SFRC Corbels Subjected to Vertical Load," *ACI Structural Journal*, Vol. 116, No. 3, 1990, pp. 701~718.
11. Fattuhi, N. I., "Reinforced Corbels Made with Plain and Fibrous Concretes," *ACI Structural Journal*, Vol. 91, No. 5, 1994, pp. 530~536.
12. 양준모, 이주하, 민경환, 윤영수, "강섬유 및 폴리프로필렌 섬유로 보강된 고강도 콘크리트 내민받침의 구조 거동 평가," 콘크리트학회 논문집, 20권, 6호, 2008, pp. 747~754.
13. Yong, Y. K. and Balaguru, P., "Behavior of Reinforced High-Strength-Concrete Corbels," *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 120, No. 4, 1994, pp. 1182~1201.
14. Canadian Standards Association, "Design of Concrete Structures," *CSA A23.3-04*, Mississauga, Ont., Canada, 2004, 249 pp.

요약 이 연구에서는 강섬유 혼입률과 주인장 철근의 정착 방법을 변수로 한 섬유보강 고강도 콘크리트 내민받침을 제작하고 구조실험을 실시하였다. 강섬유의 혼입, 강섬유 혼입률의 증가에 따라 고강도 콘크리트 내민받침의 내하력, 강성, 연성은 증가하는 것으로 나타났고, 최대 균열폭은 감소하였다. 또한, 횡방향 철근에 용접하여 주인장 타이 철근을 정착한 내민받침 보다 헤디드 바를 주인장 타이 철근으로 사용한 내민받침이 더 높은 내하력, 강성, 연성을 보였다. 따라서, 헤디드 바를 주인장 타이 철근으로 사용하고, 강섬유를 혼입함으로써 내민받침의 내하력, 내구성, 시공성 등을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 실험 결과를 설계기준의 규준식 및 여러 연구자들이 제안한 예측모델과 비교한 결과, Fattuhi가 제안한 트러스 모델은 섬유 보강 고강도 콘크리트 내민받침의 강도를 잘 예측하는 것으로 나타났다.

핵심어 : 내민받침, 강섬유, 헤디드 바, 고강도 콘크리트