

강재 클립형 연결장치로 결속된 90도 갈고리를 갖는 띠철근으로 구속된 철근콘크리트 기둥의 압축거동

박경언¹⁾ · 윤현도^{2)*} · 홍성걸³⁾

¹⁾(주)계룡건설산업 부장 ²⁾충남대학교 건축공학과 교수 ³⁾서울대학교 건축학과 교수

Effect of a Steel Clip-Type Binding Implement on the Axial Compressive Behavior of Reinforced Concrete (RC) Columns Confined by 90-Degree End-Hooked Hoops

Kyoung-Yeun Park,¹⁾ Hyun-Do Yun,^{2)*} and Sung-Gul Hong³⁾

¹⁾Manager, Kyeryong Construction Industry, Daejeon 35262, Rep. of Korea

²⁾Professor, Department of Architectural Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Rep. of Korea

³⁾Professor, Department of Architecture and Architectural Engineering, Seoul National University, Seoul 08826, Rep. of Korea

ABSTRACT An experimental study was conducted to investigate the compressive performance of reinforced concrete (RC) columns confined by transverse reinforcement with 90-degree hooks tied with a steel clip-type binding implement. The steel clip-type binding implement was proposed to replace lateral reinforcement with 135-degree standard hooks required by KDS 14 20 50 in RC columns. Ten full-scale square RC columns with different strengths of concrete, different details of hooks in lateral bars and different diameters of lateral bar were tested under uniaxial compressive loading. The RC column specimens were confined by standard hoops with 135-degree hooks at both ends and 135-degree, 90-degree hooks at each end or 135-degree hooks, 90-degree-hooks with steel clip-type binding implements at each end. The effectiveness of the proposed steel clip-type binding implement was evaluated by comparing the compressive behaviors of each RC column. Results indicated that the 90-degree-hooked lateral bars tied with the steel clip-type binding implement proposed in this study could be used effectively as an alternative to transverse reinforcement with 135-degree standard hooks in rectangular RC columns.

Keywords : compressive behavior, RC column, confinement, lateral reinforcement, steel clip-type binding implement

1. 서 론

철근콘크리트 기둥에서 횡보강근은 크게 띠철근과 나선 철근으로 구분하고 있다. 횡보강근은 주근의 위치 고정과 축하중에 의하여 팽창하는 콘크리트를 횡구속시켜 기둥의 연성을 증진시키는 역할을 한다.

철근콘크리트 기둥에서 원형단면 기둥보다는 사각단면 기둥의 사용이 많아 대부분 띠철근으로 횡방향 보강을 하게 된다. 원형단면 기둥에서도 시공상 어려움으로 인하여 나선 철근 보다는 사각단면 띠철근을 사용하는 경우도 있다. 사각 단면 띠철근에서 Fig. 1과 같이, 국내·외 콘크리트기준(ACI 318, KDS 14 20 50)의 표준갈고리 상세인 양단 135° 교차 시

공은 띠철근 직경의 6배($6d_b$)로서 내진갈고리(seismic hook)인 경우, 갈고리 길이를 75 mm 이상으로 규정하고 있다. 이는 철근콘크리트 기둥의 피복 콘크리트 탈락 후에도 띠철근이 항복될 때까지 충분히 정착되어 띠철근의 역할을 할 수 있도록 하기 위한 것이다. 그러나 양끝에 135° 표준갈고리를 갖는 띠철근을 현장에서 기둥에 배근하는 과정은 단순하지 않다.

실제 현장에서는 띠철근의 한쪽 끝은 135° 표준갈고리로 가공하고 다른 한쪽 끝은 90° 갈고리로 가공한 상태에서 기

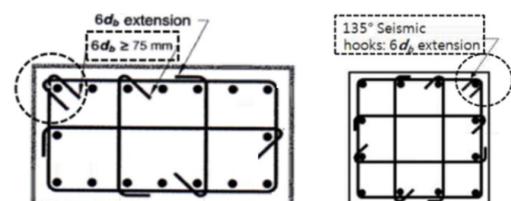


Fig. 1 135° standard hooks in RC column hoops

*Corresponding author E-mail : wiseroad@cnu.ac.kr

Received February 09, 2021, Revised March 09, 2021,

Accepted March 12, 2021

©2021 by Korea Concrete Institute

등에 설치 후 90° 갈고리 부분을 구부려 135° 표준갈고리로 변형시켜 설치하는 방식을 취하고 있다.

그러나, 추가 공정이 발생하고 90° 갈고리 부분을 변형시키는 작업이 쉽지 않기 때문에 현장에서는 띠철근의 한쪽 끝을 135°, 다른 쪽 끝은 90° 갈고리 상태로 기둥에 설치하는 경우가 빈번하게 발생하고 있다. 90° 갈고리를 갖는 띠철근은 135° 표준갈고리 상세를 갖는 띠철근에 비하여 기둥의 전단 강도 및 연성증진에 효과적이지 못한 것으로 보고되고 있다 (Hakuto 2000). 따라서, 띠철근의 표준갈고리 상세(양단 135° 갈고리 및 여장 $6d_b$)와 대등한 정착성능을 갖으며, 시공성을 개선할 수 있는 대안이 요구되고 있다. 이러한 이유로 최근까지 표준갈고리 상세의 시공성 개선을 위하여 연속후프 보강(Eom et al. 2013), 분리형 띠철근(Choi et al. 2018), 90° 갈고리를 갖는 이중 띠철근(Castro and Imai 2004), ‘U’자 형태의 갈고리 클립(Lukunaprasit and Sittipunt 2003) 등이 제안되었으며, 단면확대 기둥에서 보강공법으로 V-타이와 V-클립(Hwang et al. 2019)가 제안되기도 하였다.

그러나, 부품 제작, 현장 여건을 고려한 성능검증, 시공성 및 경제성 평가 등에 따른 다양한 이유로 실제 건설현장에서 적용되지 못하고 있는 실정이다.

최근 저자는 부품 제작이 용이하고 현장에서 쉽게 설치가 가능한 강제 클립형 연결장치를 개발하였다(Park and Kim 2020). 개발된 강제 클립형 연결장치로 결속한 90° 갈고리를 갖는 띠철근에 대한 인발실험에 의하여 정착성능 평가결과 135° 표준상세를 갖는 갈고리와 대등한 정착성능을 확보한 것으로 평가되었다(Park and Yun 2020).

이 연구에서는 제안된 연결장치로 결속된 90° 갈고리를 갖는 띠철근으로 횡구속된 중심축력을 받는 기둥의 압축성능과 135° 표준갈고리 상세를 갖는 띠철근으로 구속된 기둥의 성능을 비교 평가하여 제안된 강제 클립형 연결장치의 유효성을 검증하고자 한다.

이 연구에서는 중심축력을 받는 기둥에서 90° 갈고리에 개발된 강제 클립형 연결장치로 결속한 띠철근의 횡구속 효과 평가를 위한 연구로 띠철근 이외에 기둥의 횡구속에 기여하는 내부 보조근(cross-tie)을 배제한 실규모 크기의 기둥 단면을 갖는 실험체를 대상으로 하였다.

실제 건설현장에서 띠철근의 배근 현황을 고려하고 또한 90° 갈고리 부분의 변형 현상을 파악하기 위하여 띠철근의 한쪽 단부는 135°, 다른 쪽 단부는 90° 갈고리를 갖도록 가공하여 배근하였다. 실험 주요 변수는 기둥 콘크리트의 압축강도, 띠철근 직경 및 띠철근 갈고리 형태로 구성된다. 이러한 변수에 따른 기둥의 균열 및 파괴 양상, 90° 갈고리를 강제 클립형 연결장치로 결속시 하중에 따른 해당 갈고리의 변형(폴립) 상태 조사, 기둥의 압축내력 및 변형능력 평가, 강도 증가계수(K_s) 평가를 실험에서 평가하고자 한다.

2. 강제 클립형 연결장치

2.1 강제 클립형 연결장치 제안 및 개선

사각단면 철근콘크리트 기둥에서 외부띠철근(hoops)의 양단 135° 표준갈고리 교차 시공을 대처하려는 방안으로 한쪽 단부 135°와 다른 쪽 단부 90° 갈고리에 결속하여 사용하는 ‘ㄷ’자 형태의 강제 클립형 연결장치를 고안하였다. 초기에 제작한 강제 클립형 연결장치는 Fig. 2에 제시된 바와 같이 나사와 클립형 및 클립형 2가지 형태로 제작하였다. Fig. 2(a)와 같은 나사와 클립을 혼합한 복합형 연결장치는 결속력을 증진하기 위하여 조임용 나사를 설치하였다. 그러나, 설치가 복잡하고 나사를 조임하는 공정이 요구되며 클립 제작용 강판의 두께가 두꺼워지는 문제점이 확인되었다. Fig. 2(b)의 강제 클립형 연결장치는 Fig. 2(a)와 다르게 원터치 방식으로 제작 및 설치가 용이하다는 장점을 갖고 있다. 따라서 강제 클립형 연결장치의 시공성 및 연결장치로 결속한 띠철근의 횡구속 성능을 평가하기 위하여 총 5개의 실험체를 제작하여 중심축압을 받는 기둥의 압축성능을 평가하였다.

2.2 강제 클립형 연결장치의 성능검증 예비실험

Fig. 2(b)와 같은 초기에 제안된 강제 클립형 연결장치를 사용하여 90° 갈고리를 결속한 띠철근으로 횡구속된 철근콘크리트 기둥에 대한 중심축력 재하실험을 실시하였다. 예비실험을 위하여 띠철근의 갈고리 형상을 주요 변수로한 실규모의 총 5개 기둥 실험체가 제작되었다. 실험체에 사용된 콘크리트 압축강도 27 MPa, 주근(D25)의 항복강도는 649 MPa이며 실험체 형상, 치수 및 배근 상세는 띠철근의 단부 상세를 제외하고 Fig. 5의 본 실험의 실험체와 동일하다. 실험변수에 따른 각 실험체의 압축응력-축방향 변형률 관계는 Fig. 3(a)와 같고 실험 종료 후 띠철근의 90° 갈고리에 결속된 강제 클립형 연결장치의 파괴양상을 Fig. 3(b)에 나타내었다.

Fig. 3(a)에 나타난 바와 같이 각 기둥 실험체의 축강도는

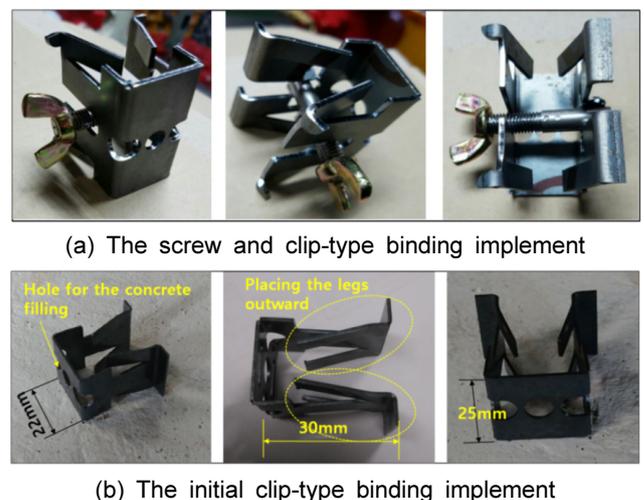
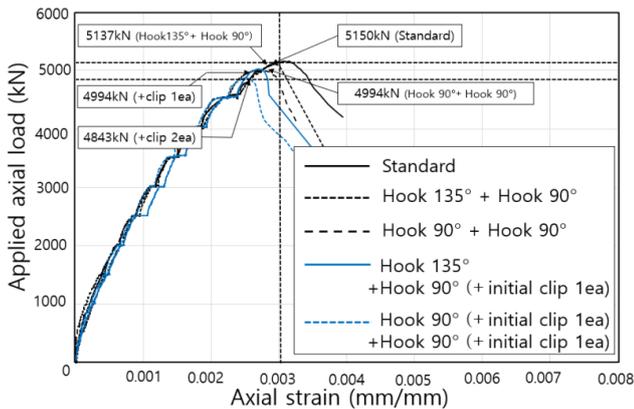


Fig. 2 The clip-type binding implement

KDS 14 20 20(MOLIT 2016b)에서 규정하는 공칭축강도(P_n) 식에 의한 계산결과 4,652 kN를 모두 상회하고 있는 것으로 나타났다. 띠철근 상세가 상이한 각 실험체의 축강도는 표준 갈고리 상세를 갖는 띠철근으로 확보강된 표준 실험체에 비하여 2.6~6.0 % 범위로 낮게 나타났다. 갈고리 상세가 상이한 띠철근으로 확보강된 각 실험체의 축방향 변형률도 표준 실험체에 비하여 낮게 나타났다.

Fig. 3(a)에 나타난 바와 같이 중심 축력하에서 띠철근의 갈고리 형상에 따른 전체적인 압축거동 특성은 큰 차이를 보이지 않으나 띠철근의 갈고리 상세에 따라 파괴 시점이 상이하게 나타났다. 특히 Fig. 2(b)와 같은 형상과 치수를 갖는 초기에 제안된 강제 클립형 연결철물은 90° 갈고리를 결속하는데 크게 기여하지 못하는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 Fig. 3(b)와 같이 강제 클립형 연결장치가 심부 콘크리트에 충분히 매립되어 띠철근이 외부로 팽창하는 것을 구속하지 못하였고 일부 연결장치는 파단되는 현상이 나타났다.

따라서, 초기 강제 클립형 연결장치의 매립 길이를 더 길게 하고 파단을 방지하기 위하여 전반적인 형상의 개선이 요

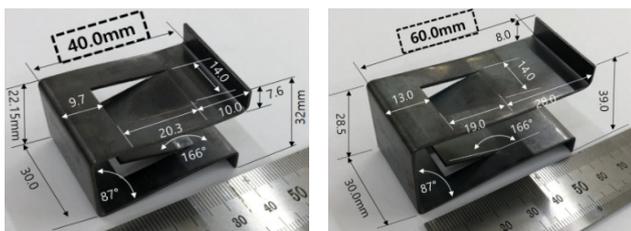


(a) Compressive behavior



(b) Failure mode of the initial clip-type binding implement

Fig. 3 Compressive behavior of RC columns with a lateral bar tied with the initial clip-type binding implement



(a) Clip for D10

(b) Clip for D13

Fig. 4 The final form of the clip-type binding implement

구되어 띠철근 D10용으로 매립 길이 각각 30, 40 mm 2가지 종류, 띠철근 D13용으로 매립 길이 각각 40, 60 mm 2가지 종류를 제작하였다. 이러한 4종류의 강제 클립형 연결장치에 대한 인발실험(Park and Yun 2020)을 통하여 Fig. 4와 같은 강제 클립형 연결장치의 최종적인 형상을 결정하고 이를 활용하여 3장에서 논의되는 총 10개 기둥 실험체를 제작하여 중심축하중 재하실험을 실시하였다.

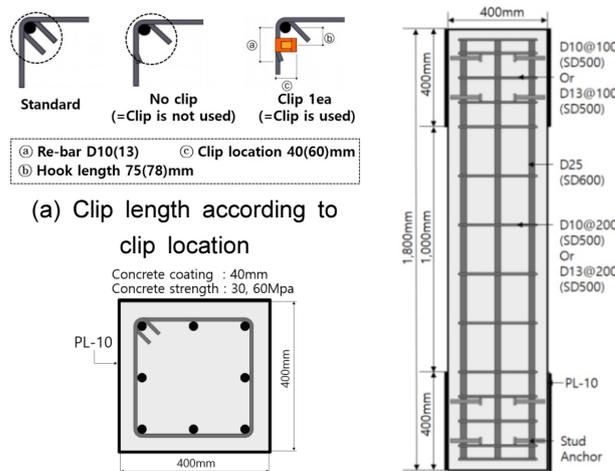
3. 중심축하중 실험 계획 및 방법

3.1 실험 계획

2장에서 기술한 바와 같이 예비 중심축력 및 정착실험 결과를 근거로 최종적인 형상이 결정된 강제 클립형 연결장치의 유효성을 평가하기 위하여 총 10개의 실규모 철근콘크리트 기둥 실험체가 계획되었다. 실험체 개요 및 형상은 Table 1 및 Fig. 5에 제시된 바와 같다. 콘크리트 압축강도(30, 60 MPa), 띠철근의 직경(D10, D13), 띠철근의 양단 갈고리 형상 등을 주요 실험 변수로 설정하였다. 실험에 적용한 강제 클립형 연결장치의 설치 위치는 Fig. 5(a)와 같다. 실험체 형상 및 치수는 Fig. 5(b)와 같이 400 mm×400 mm의 정사각형 단면으로 주근은 직경 25 mm(D25) 8개, 띠철근으로 실험 변수에 따라 직경 10과 13 mm을 200 mm 간격으로 배치하였다.

Table 1 Designation of specimen name

Name	Content
N10NC1	① Concrete strength; N: Normal $f_{ck}=30$ MPa, H: High $f_{ck}=60$ MPa
	② Hoop bar diameter; 10: 10 mm, 13: 13 mm
③	NC1 New clip 1 ea implement
	CH Criterion of hoop detail (standard) =Hooks 135° cross
	H 1 One hook 135°, another hook 90°



(b) Specimen configuration and dimensions

Fig. 5 Details of RC column specimens

기둥의 상·하단 응력 집중 부위가 실험 구간보다 조기에 파괴되는 것을 방지하기 위하여 두께 10 mm의 철판을 기둥 상·하부에 높이 400 mm 구간을 감싸서 보강하였다. 실험 구간은 기둥 실험체 중앙부 1,000 mm 구간으로 중심축력의 작용시 해당 구간에서 축방향 변위를 측정하여 축방향 변형률을 산정하였다.

3.2 재료 특성

콘크리트는 레미콘을 이용하여 타설하였으며 굵은 골재와 잔골재로서 각각 최대 직경 20 mm의 화강석과 5 mm의 천연 모래를 사용하였다. 콘크리트 압축강도는 $\phi 100 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ 의 원주공시체를 이용하여 측정하였다. 콘크리트 공시체는 기건 양생 후, 부재 실험 직전과 실험 종료할 때에 압축

강도를 측정하였고, 각각의 공시체 3개로부터 얻은 평균 압축강도는 각각 31.5와 61.4 MPa이다.

철근의 인장시험 결과는 Fig. 6에 나타난 바와 같이 락철근과 주철근으로 사용된 D10, D13, D25의 항복강도는 각각 546, 580, 649 MPa로 나타났다.

3.3 가력 및 측정 상세

중심축하중은 Fig. 7에 나타난 바와 같이 10,000 kN 용량의 만능시험기(UTM)을 이용하여 제어속도 0.0002/min로 재하하였다. 축방향 변위는 기둥 중앙부 실험구간에서 50 mm 용량의 와이어형 LVDT를 실험체 정면과 각 양측면, 총 3면에 설치하여 평균값으로 산정하였다. 실험체의 주철근 및 락철근의 변형률은 Fig. 7(b)에 표기된 위치에 철근변형률 게이지(wire strain gauge)를 부착하여 측정하였다.

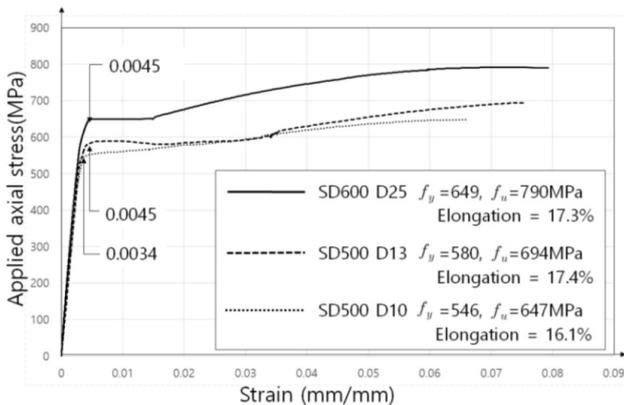


Fig. 6 Tensile stress-strain curves of steel bars

4. 중심축하중 실험 결과 및 분석

4.1 균열 진전 및 파괴 양상

4.1.1 강재 클립형 연결장치의 영향

Fig. 8은 모든 실험체의 최종 파괴 양상 및 주철근 변형 상태를 비교하여 나타낸 것이다. 실험체의 균열 진전 과정은 실험 변수 특히, 압축강도에 따라 다소 상이하게 나타났다. 다만 각 실험체의 파괴 양상은 실험 변수별로 큰 차이를 보이지는 않았다. 그러나, 2.2절의 예비실험결과와 다르게 파괴 시까지 락철근의 90° 갈고리를 결속한 개선된형상의 강재 클립형 연결장치는 파단되거나 파괴 이전에 심부 콘크리트에서 분리되는 현상은 나타나지 않았다.

Fig. 9는 콘크리트 설계기준 압축강도 30 및 60 MPa이고 직경 10 mm인 락철근으로 황구속된 기둥 실험체의 최종 파괴 시 주철근 좌굴 형상을 비교하여 나타낸 것이다. Fig. 9에 나타난 바와 같이 양단 135° 표준갈고리 상세를 갖는 락철근으로 황보강된 실험체(N10CH 및 H10CH)와 한쪽 끝단에 135° 갈고리, 다른 쪽은 강재 클립형 연결장치로 결속한 90° 갈고리를 갖는 락철근으로 구속된 기둥 실험체(N10NC1, H10NC1)의 주철근 좌굴길이는 락철근 간격으로 나타났다. 이는 표준상세를 갖는 갈고리와 이 연구에서 제안된 연결장치로 결속한 90° 갈고리의 주철근 좌굴에 대한 구속효과가 대등하기 때문인 것으로 판단된다. 반면, 90° 갈고리에 강재 클립형 연결철물이 결속되지 않은 락철근으로 구속된 실험체(N10H1, H10H1)에서는 기둥 중앙부 심부 콘크리트의 팽창시 90° 갈고리 부분이 벌어지며 충분히 심부 콘크리트를 구속하지 못하여 주철근이 좌굴되는 현상이 나타났다. 이는 강재 클립형 연결장치를 사용하지 않고, 한쪽 끝은 135°와 다른 쪽 끝은 90° 갈고리를 갖는 락철근으로 황구속된 기둥 실험체의 경우, 락철근 구속효과가 저하되어 주철근 좌굴길이가 길어지고 이로 인하여 주철근 좌굴이 조기에 발생된 것으로 판단된다. 이러한 경향은 직경 13 mm인 락철근으로 황구속된 기둥 실험체에서

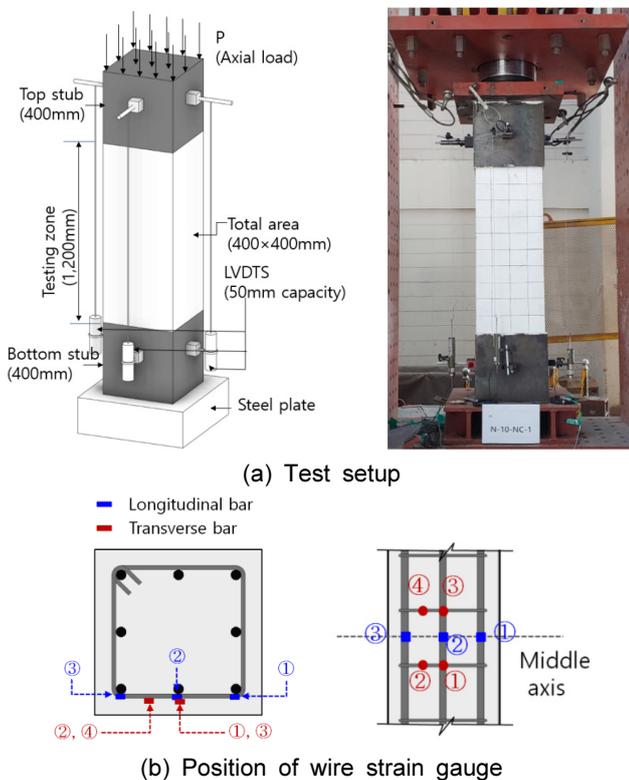


Fig. 7 Test setup for uniaxial loading

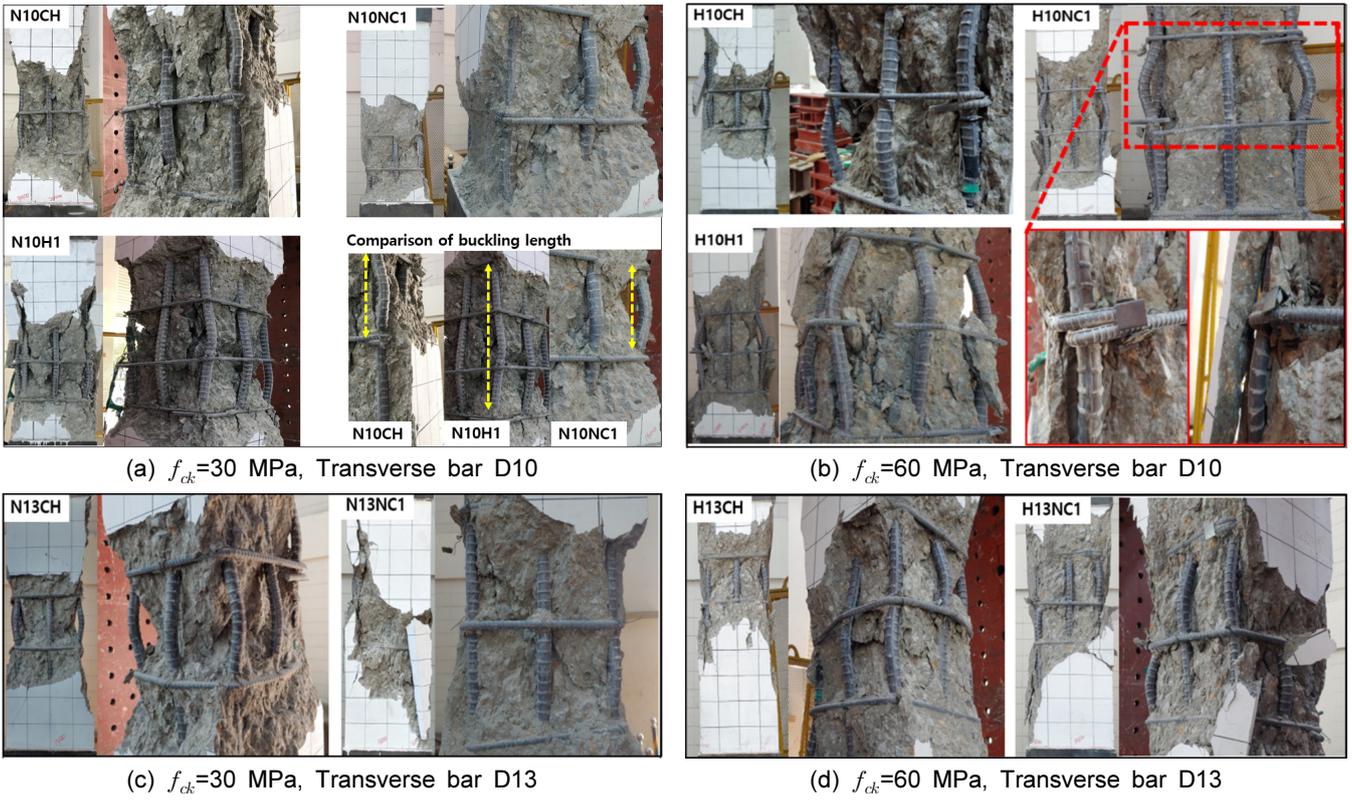


Fig. 8 Final failure mode of RC column specimens

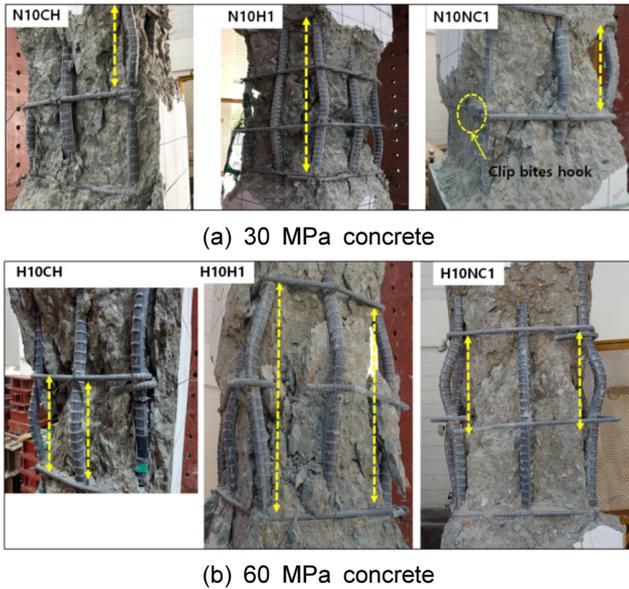


Fig. 9 Buckling pattern of longitudinal bars at the final failure of RC columns

도 나타났다.

이러한 결과로 볼 때, 이 연구에서 제안된 형상의 강재 클립형 연결장치는 기둥 콘크리트 압축강도 및 띠철근 직경과 무관하게 135° 갈고리와 대등한 정착성능을 확보하도록 하고 있는 것으로 판단된다. 따라서 135° 표준갈고리 상세를 갖는 띠철근에 대해 90° 갈고리 부분을 강재 클립형 연결장치로 결속한 띠철근으로 대체하더라도 135° 표준갈고리 상

세를 갖는 띠철근과 대등한 구속성능을 발휘할 수 있을 것으로 판단된다.

4.1.2 콘크리트 압축강도 및 띠철근 직경의 영향

모든 기둥 실험체에서 초기 균열은 기둥의 중앙부에서 길이 방향으로 축강도의 약 80%에 이르러 발생하였으며, 하중이 증가됨에 따라 이러한 수직 균열은 점진적으로 상부로 진전되었다.

초기 균열 특성은 콘크리트 압축강도와 띠철근 직경에 따라 큰 영향을 받지 않았다. 그러나, 축강도에 이르러 피복 콘크리트 박리는 기둥 콘크리트의 압축강도에 따라 다소 차이를 보였다. 콘크리트 강도가 증가됨에 따라 피복 콘크리트가 급격하게 탈락되었고 상대적으로 넓은 범위에서 콘크리트가 탈락되었다. 띠철근의 직경에 따른 균열 진전은 큰 차이를 보이지 않았다.

Fig. 8(a)와 8(b), Fig. 8(c)와 8(d)의 비교로부터 기둥의 콘크리트 압축강도가 증가됨에 따라 심부 콘크리트의 피해가 다소 폭넓고 심각하게 나타나고 있는 것으로 판단된다. 이는 콘크리트의 압축강도 증가에 따라 파괴 시 발산되는 파괴에너지가 크기 때문인 것으로 사료된다. 이러한 이유로 파괴 시 띠철근의 손상도 고강도 콘크리트 기둥에서 심각하게 나타났다. 또한 Fig. 8(b)와 8(d)로부터 콘크리트 설계기준 압축강도 60 MPa인 기둥에서 띠철근의 직경이 기둥의 최종 파괴 양상에 끼치는 영향을 파악할 수 있다. 고강도 콘크리트 기둥에서 직경 13 mm인 띠철근으로 구속된 경우 기둥 콘크리트 파괴 및 띠철근의 손상은 상대적으로 직경이 작은 직경

10 mm인 띠철근으로 구속된 기둥에 비하여 심각하지 않은 것으로 나타났다. 연결장치의 손상도 직경이 큰 띠철근이 사용된 경우 기둥의 최종 파괴 시에도 큰 손상이 발견되지 않았다.

Fig. 9(a)와 9(b)의 비교로부터 콘크리트의 압축강도가 증가됨에 따라 최종 파괴 시 피복 및 심부 콘크리트의 손상범위가 낮은 강도의 콘크리트 기둥에 비하여 크게 나타났다. 이러한 이유로 띠철근의 손상도 상대적으로 콘크리트의 압축강도 높은 기둥에서 심각하게 나타났다.

이상과 같은 결과로부터 띠철근의 직경에 따른 강제 클립형 연결장치의 매입 길이 40, 60 mm 제안한 것은 합리적인 것으로 판단된다. 아울러 콘크리트의 압축강도 증가에 따라 띠철근의 직경을 증가시키는 것이 최종 파괴 시 기둥의 심부 콘크리트 및 띠철근의 손상을 저감할 수 있는 방안으로 고려될 수 있을 것으로 사료된다.

4.2 최종 파괴 후 갈고리 형상 비교

Fig. 10은 각 실험체의 최종 파괴 시 띠철근의 갈고리 부분 및 강제 클립형 연결장치에 대한 변형 형상을 비교하여 나타낸 것이다.

Fig. 10(a)와 10(c)는 띠철근의 직경 10 mm이고 콘크리트 설계기준 압축강도 30 및 60 MPa인 기둥의 갈고리 부분의 파괴 및 변형 형상을 비교하여 나타낸 것이다. 표준 갈고리 상세를 갖는 띠철근으로 구속된 두 표준 실험체(N10CH, H10CH)는 파괴 후에도 심부 콘크리트에 135° 갈고리 부분이 정착되어 있는 것으로 나타났다. 또한 90° 갈고리 부분이 강제 클립형 연결장치로 결속한 띠철근으로 구속된 두 실험체(N10C1, H10C1)도 표준갈고리 상세 실험체와 동일하게 파괴 시까지 90° 갈고리 부분이 기둥 심부 외측으로 변형되는 현상을 보이지 않고 연결장치가 심부 콘크리트에 매입되어 있는 것

로 나타났다. 반면, 90° 갈고리 부분이 강제 클립형 연결철물로 결속되지 않은 띠철근으로 횡구속된 두 실험체(N10H1, H10H1)의 경우, 최종 파괴시 띠철근의 90° 갈고리 부분이 기둥 심부 외측으로 벌어지며 주근으로부터 분리되는 현상을 보였다. 특히, 콘크리트의 압축강도 60 MPa인 실험체에서 갈고리 부분 심부 콘크리트의 손상 범위가 상대적으로 넓게 나타났다.

Fig. 10(b)와 10(d)의 비교로부터 띠철근 직경 13 mm인 기둥에서 콘크리트 압축강도에 따른 갈고리 부분의 파괴 양상은 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있다.

Fig. 10에 나타난 바와 같이 이 연구에서 제안된 강제 클립형 연결장치로 띠철근 90° 갈고리 부분을 결속한 띠철근으로 횡구속된 실험체(N10NC1, N13NC1, H10NC1, H13NC1)는 최종 파괴 시에도 심부 콘크리트에 묻혀 90° 갈고리가 주근을 감싸고 있는 상태를 유지하고 있다. 이와 같이 강제 클립형 연결장치로 결속한 90° 갈고리 부분과 135° 갈고리 부분의 파괴 양상의 비교로부터 강제 클립형 연결장치로 결속한 갈고리는 135° 표준갈고리와 대등한 구속효과를 발휘하고 있다는 것을 알 수 있다.

이상과 같은 최종 파괴 후 갈고리 형상의 비교로부터, 이 연구에서 제안한 강제 클립형 연결장치로 90° 갈고리를 결속한 띠철근에 의해 횡구속된 기둥은 135° 표준갈고리 상세를 갖는 띠철근으로 횡구속된 기둥과 대등한 횡구속 성능을 보유한 것으로 판단된다.

4.3 기둥의 축강도와 압축연성비 비교

4.3.1 강제 클립형 연결장치의 영향

중심축력 실험으로부터 측정된 기둥의 축강도(P_{test})와 KDS 14 20 20(MOLIT 2016b)에서 제시하는 $0.8 \times (P_0)_{KDS} = P_n$ 를 산정 후, 측정된 실험값과의 비를 Table 2에 나타내었다.

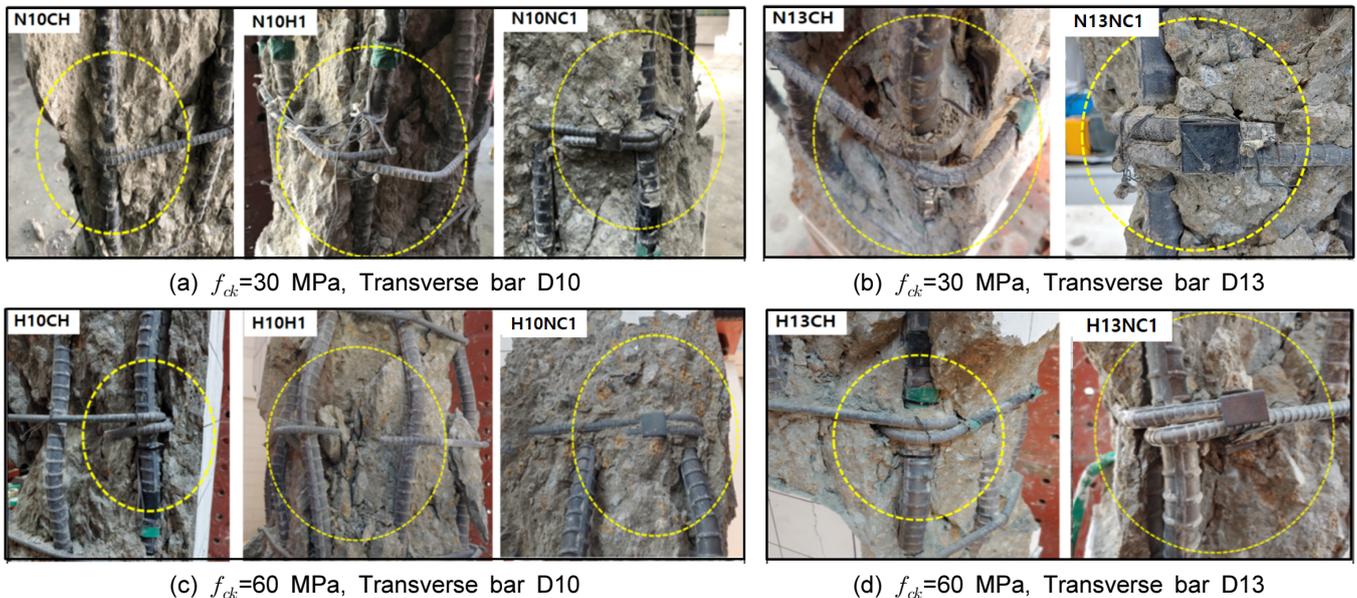


Fig. 10 Hook deformation patterns of lateral reinforcements at the final failure of RC columns

Table 2 Test results overview of RC columns under concentric axial loads

Specimen	f_{cu} (MPa)	d_b (mm)	ρ_v (%)	Ultimate strength		P_{conc} (kN)	$P_n = 0.8 \times (P_o)_{KDS}$ (kN)	f_{cc} (MPa)	$0.85f_{cu}$ (MPa)	Strength gain factor (K_s)		$\frac{P_{test}}{P_n}$			
				P_{test} (kN)	Compare % to standard					K_s	Compare % to standard				
1. N10CH	31.5	10	0.276	5,642	100	3,700	5,128	29.66	26.8	1.11	100	1.100			
2. N10H1				5,153	91					3,206	0.96		86	1.005	
3. N10NC1				5,817	103					3,870	1.18		106	1.134	
4. N13CH		13	0.497	6,751	120 (100)					4,804	38.51		1.47	132 (100)	1.316
5. N13NC1				6,976	124 (103)					5,029	40.31		1.50	135 (102)	1.360
6. H10CH	61.4	10	0.276	8,726	100	6,779	8,309	54.34	52.2	1.04	100	1.050			
7. H10H1				8,645	99					6,698	1.03		99	1.040	
8. H10NC1				9,004	103					7,057	1.08		104	1.084	
9. H13CH		13	0.497	8,995	103 (100)					7,048	56.49		1.08	104 (100)	1.083
10. H13NC1				8,556	98 (95)					6,609	53.00		1.04	98 (94)	1.030

Note: f_{cu} : 28-day average compressive strength of concrete; d_b : diameter of tie; ρ_v : volumetric ratio; P_{test} : experimental result load (ultimate strength); P_{ST} : calculated forces of the longitudinal bars; P_{conc} : $P_{test} - P_{ST}$; $(P_o)_{KDS}$: nominal strength predicted by KDS 14 20 20 (MOLIT 2016b); f_{cc} : each $(P_{conc}) / (A_g - A_{ST})$; K_s : strength gain factor by confinement effect of transverse reinforcement

KDS에 규정하고 있는 0.8은 재료 및 철근콘크리트 부재의 특성상 유발되는 최소편심량을 고려한 값이다. 강제 클립형 연결장치로 결속된 띠철근으로 횡구속된 실험체의 축강도는 콘크리트 압축강도와 띠철근 직경과 무관하게 135° 표준갈고리 상세를 갖는 띠철근으로 횡구속된 기둥 실험체보다 3% 이상 높은 값을 보였다. 반면, 90° 갈고리 부분을 강제 클립형 연결장치로 결속되지 않은 띠철근으로 횡구속된 기둥 실험체의 경우, 콘크리트 압축강도와 무관하게 표준갈고리 상세를 갖는 띠철근으로 구속된 기둥의 축강도보다 1~9% 작은 값을 보였다.

제안된 강제 클립형 연결장치로 결속한 띠철근의 적용에 따라 기둥의 축강도는 30 MPa급 압축강도와 직경 13 mm인 띠철근으로 횡구속된 기둥에서 양단 135° 표준갈고리 상세 실험체보다 3.3% 높은 강도를 보이며 가장 크게 상승되었다.

압축연성비는 Sattcioglu and Razvi(1992)이 제안한 모델을 이용하여 평가하였다. 기둥의 축강도 이후 강도가 축강도의 85%에 이른 시점의 축방향 변형률을 0.004로 나눈 값으로 압축연성비는 정의된다. Fig. 10은 콘크리트 압축강도 30 MPa에서 직경 10 mm인 띠철근으로 횡구속된 기둥의 축하중-축방향 변형률 관계를 나타낸 것이다.

135° 표준갈고리 상세를 갖는 표준 실험체(N10CH 실험체)와 강제 클립형 연결장치로 결속한 90° 갈고리를 갖는 띠철근으로 횡보강된 기둥(N10NC1 실험체)은 전체적인 압축거동에서 대등하게 나타났다. 반면, 강제 클립형 연결장치로 결속되지 않은 90° 갈고리를 갖는 띠철근으로 횡보강된 기둥(N10H1 실험체)은 표준상세 실험체와 비교할 때, 표준상세 실험체의 축강도의 약 1/2에 이른 시점에서부터 점진적인 강성저하를 보이다 표준상세 실험체의 축강도보다 약 10% 낮은 강도를 보이며 최종 파괴되었다. Fig. 11에 나타난 바와 같이 압축연성비에 있어서 N10CH와 N10NC1 실험체는 대등하

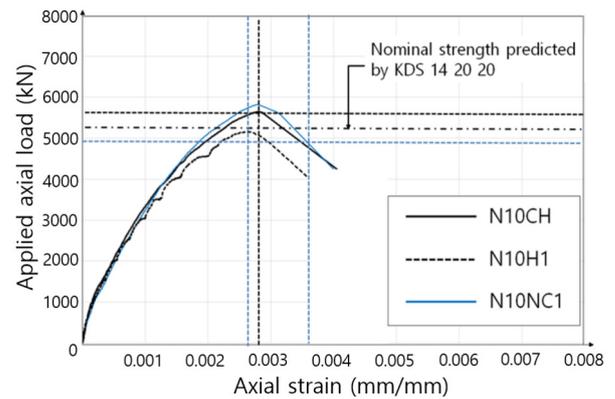


Fig. 11 Axial load-strain relationships of RC columns

게 나타났으나 N10H1 실험체는 상대적으로 낮게 나타났다.

이상과 같이 띠철근의 갈고리 상세가 상이한 실험체의 축강도 및 압축연성비의 비교 결과로부터 철근콘크리트 기둥 띠철근에서 이 연구에서 제안된 강제 클립형 연결장치를 결속한 90° 갈고리는 135° 표준갈고리 상세와 대등한 횡구속 효과를 기대할 수 있는 것으로 평가할 수 있다.

띠철근 직경 13 mm, 콘크리트 압축강도 30 및 60 MPa인 기둥 실험체에서도 전술한 띠철근 직경 10 mm이고 콘크리트 압축강도가 30 MPa인 기둥에서 강제 클립형 연결장치 구속효과는 유사한 특성을 보였다.

4.3.2 콘크리트 압축강도와 띠철근 직경의 영향

Table 2의 모든 실험체에 관한 실험 결과에 나타난 바와 같이 띠철근의 직경이 증가됨에 따라 기둥의 축강도 및 연성은 증가되는 경향을 보이고 있다. 이러한 경향은 60 MPa급 고강도 콘크리트 기둥에 비하여 30 MPa급 보통강도 콘크리트 기둥에서 현저하게 나타났다. 또한, 60 MPa급 고강도 콘

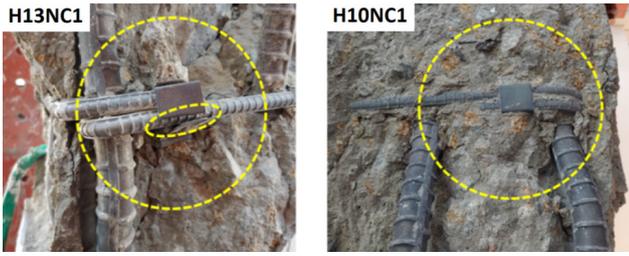


Fig. 12 Deformation of the clip-type implement in high-strength concrete column specimens

콘크리트 기둥에서 직경 13 mm인 띠철근으로 횡보강된 기둥(H13NC1)을 제외하고 각 조건의 표준갈고리 실험체 상세에 비하여 강제 클립형 연결장치로 결속한 90° 갈고리를 갖는 띠철근으로 구속된 기둥의 축강도가 높게 나타났다.

Fig. 12는 60 MPa급 고강도 콘크리트 기둥에서 띠철근 직경 13 mm(H13NC1) 및 10 mm(H10NC1)인 띠철근에서 90° 갈고리를 클립형 연결장치로 결속된 부분에 대한 파괴 상황을 비교하여 나타낸 것이다. Fig. 12에 나타난 바와 같이 H13NC1 실험체에서 최종 파괴시 일부 강제 클립형 연결장치가 손상되어 띠철근이 심부 콘크리트를 충분히 구속하지 못하는 결과를 초래하여 갈고리 형상을 제외하고 동일한 조건의 표준갈고리 상세 실험체(H13CH)에 비하여 축강도 및 연성이 낮게 나타난 것으로 판단된다.

4.4 강제 클립형 연결장치 영향에 따른 강도증가계수

철근콘크리트 기둥의 띠철근 구속효과에 의하여 향상된 콘크리트 강도는 식 (1)의 강도증가계수(K_s)를 이용하여 평가하였다.

$$K_s = \frac{f_{cc}}{0.85f_{cu}} \quad (1)$$

$$P_{conc} = P_{test} - P_{ST} \quad (2)$$

여기서, f_{cc} 는 띠철근에 의하여 구속된 콘크리트의 최대응력이다. 식 (1)의 구속된 콘크리트 최대 응력값(f_{cc}) 산정을 위한 식으로 기둥의 전체 축하중(P_{test})에서 주근의 축하중(P_{ST})에 대한 기여분을 제외하여 심부 콘크리트만이 부담한 하중(P_{conc})을 산정하였다. 강도증가계수는 산정된 P_{conc} 로부터 f_{cc} 를 산정한 후, $0.85f_{cu}$ 값의 비로 산출하여 Table 2와 나타내었다.

각 실험체의 강도증가계수에 대한 비교 결과, 30 MPa급 보통강도 콘크리트 기둥 실험체에서 띠철근 직경에 무관하게 표준갈고리 상세를 갖는 띠철근으로 구속된 경우 연결장치를 사용한 실험체에 비하여 6% 이상 낮은 값을 보였다. 30 MPa급 보통강도 콘크리트 기둥에서 띠철근 직경이 10 mm인 경우보다 13 mm인 경우 강도증가계수의 상승효과가 현저하게 나타났다. 60 MPa급 고강도 콘크리트 기둥 실험체의

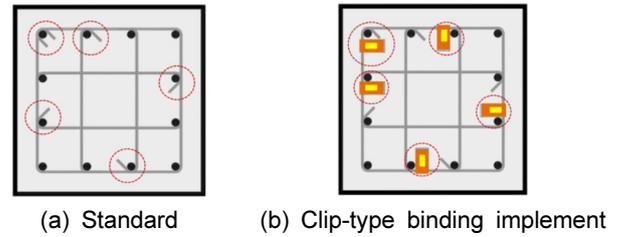


Fig. 13 Additional experiment column section

경우, 띠철근 직경과 무관하게 표준갈고리 상세를 적용한 실험체와 강제 클립형 연결장치를 사용한 실험체의 강도증가계수는 유사한 수준을 보였다.

이상과 같은 강도증가계수의 비교로부터 135° 표준갈고리 상세를 갖는 띠철근과 90° 갈고리를 강제 클립형 연결장치로 결속한 띠철근의 횡구속에 의한 축강도 증진 효과는 대등한 것으로 판단된다.

강도증가계수와 관련하여 사각단면 철근콘크리트 기둥에서 띠철근의 갈고리 형상 비교를 평가하였기 때문에 기존 콘크리트 구속모델들을 이용하여 평가하는 데에는 무리가 있다. 그러나, 실험 결과에서 135° 표준갈고리 상세를 적용한 경우와 비교하여 강제 클립형 연결장치를 사용하는 경우, 강도증가계수가 콘크리트 압축강도와 띠철근 직경에 무관하게 4-6% 증가되는 것으로 나타났다.

이 연구에서 제안한 강제 클립형 연결장치 사용에 따른 강도증가계수의 증가를 고려하기 위하여 Kim et al.(2015)이 제시하는 구속모델의 K_s 를 식 (3)과 같이 제안할 수 있다.

$$K_{s,dip} = \left[1 + \alpha_{dip} 1.10 \frac{k_1 \rho_s f_{hcc}^{0.72}}{f_{ck}} \right] \quad (3)$$

여기서, $K_{s,dip}$ 는 강제 클립형 연결장치를 단부 90° 갈고리에 결속함에 따라 증가된 강도증가계수이며, α_{dip} 는 강제 클립형 연결장치를 단부 90° 갈고리에 결속함에 따라 구속지수에 반영된 계수이다.

기존 연구 구속모델과 비교하여 띠철근에 대한 구속효과를 검증하기 위해서는 Fig. 13과 같이 반드시 기존 구속모델에서 사용된 실험 상세 즉 내부 보조근이 배치된 상세를 이용하여 추가 실험이 수행되어야 할 것이다.

4.5 하중-변형률 관계

4.5.1 주근 변형률

Fig. 14는 기둥에 작용된 축력과 주근에 부착된 3개소에서 측정된 변형률 관계를 비교하여 나타낸 것이다. 주근에 변형률을 계측하기 위하여 부착된 변형률 게이지의 부착 위치는 Fig. 7(b)와 같다. 30 MPa급 보통강도 콘크리트를 사용하고 직경 10 mm인 띠철근으로 횡보강된 기둥의 주근 변형률 거동을 나타내는 Fig. 14(a)~14(c)의 비교로부터 표준갈고리 상세를 갖는 띠철근으로 구속된 기둥에 작용된 축력과 이에 따

큰 주근 변형 특성은 90° 갈고리를 강재 클립형 연결장치로 결속된 띠철근으로 보강된 기둥의 주근 변형과 유사한 특성을 보이고 있다. 반면, 90° 갈고리를 연결장치로 결속하지 않은 띠철근으로 확보된 기둥의 주근은 전술한 두 실험체의 주근에 비하여 낮은 축하중에서 큰 변형 특성을 보였다. 이는 띠철근의 갈고리 부분이 충분히 결속되지 않은 N10H1 실험체에서 조기에 띠철근이 주근으로부터 분리됨에 따라 주근의 좌굴장이 증가되고 낮은 하중하에서 변형이 증가된 것으로 판단된다. Fig. 14(d) 및 14(e)에 나타난 바와 같이 13 mm 직경을 갖는 띠철근의 경우에 있어서도 직경 10 mm 띠철근

을 사용한 기둥 실험체와 유사한 경향을 보이고 있다.

60 MPa급 고강도 콘크리트를 사용하고 직경 10 mm인 띠철근으로 확보된 기둥의 주근 변형률 거동을 나타내는 Fig. 14(f)~14(h)의 비교로부터 보통강도 콘크리트 기둥에서와 유사한 경향을 보이고 있다는 것을 인지할 수 있다. 직경 13 mm인 띠철근을 사용한 기둥 주근 변형 특성을 나타낸 Fig. 14(i) 및 14(j)는 90° 갈고리 부분을 이 연구에서 제안한 강재 클립형 연결장치로 결속한 띠철근의 사용시 135° 표준 갈고리 상세를 갖는 띠철근에 의한 횡구속과 대등한 효과를 얻을 수 있다는 것을 나타내고 있다.

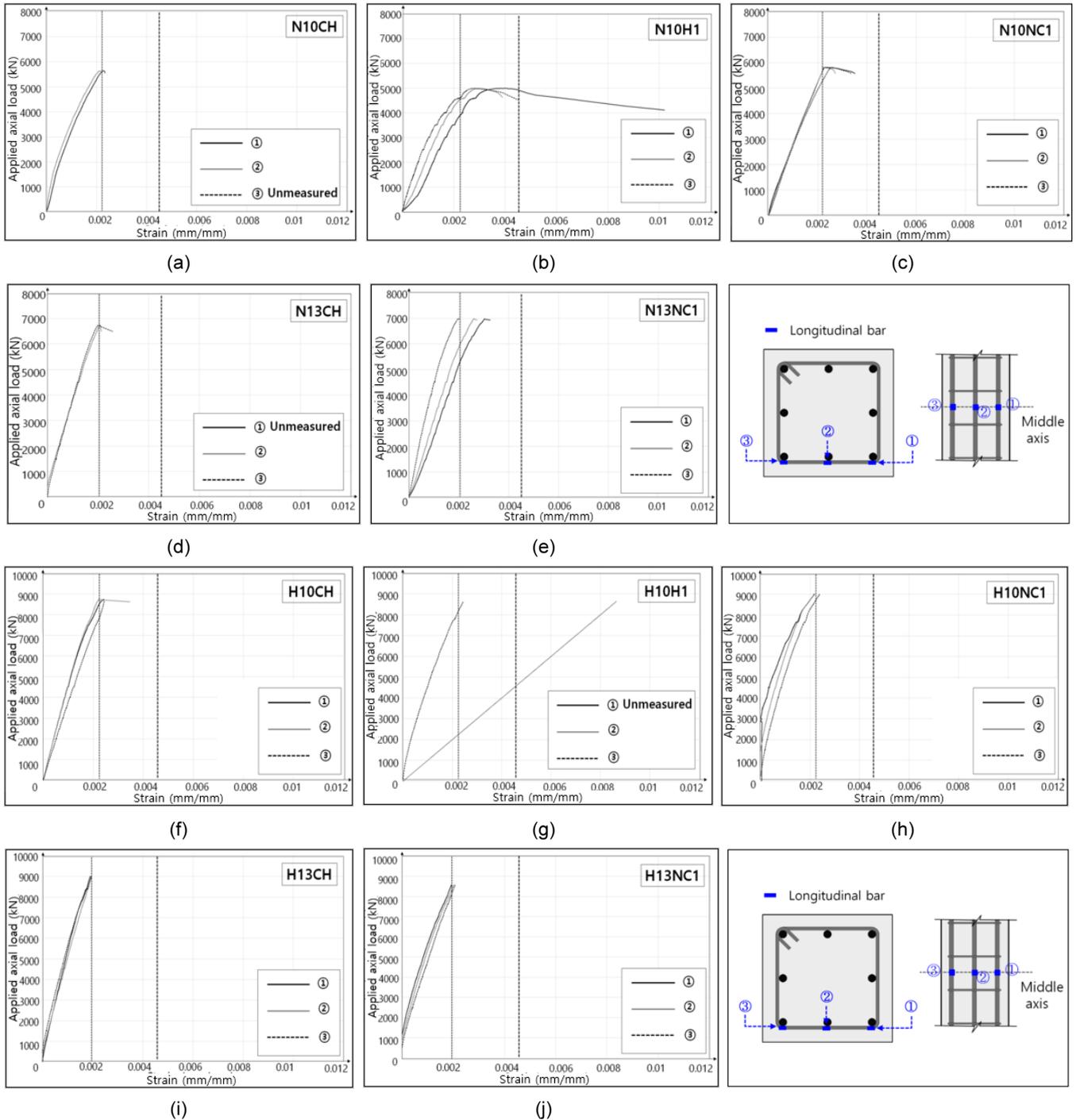


Fig. 14 Axial load-strain curves of longitudinal bars in RC columns

이상과 같이 30 및 60 MPa급 압축강도의 콘크리트를 사용하고 갈고리 상세가 상이한 10 및 13 mm 띠철근으로 횡구속된 기둥 주근의 변형 거동특성에 대한 비교로부터 이 연구에서 제안한 90° 갈고리의 강제 클립형 연결장치는 135° 표준갈고리 상세와 대등한 구속성능을 보유하고 있다고 판단할 수 있다.

4.5.2 띠철근 변형률

Fig. 15는 기둥에 작용된 축하중과 띠철근 4개소에 부착된 변형률 게이지로부터 측정된 변형률 관계를 비교하여 나타

낸 것이다. 띠철근의 변형률을 계측하기 위하여 부착된 변형률 게이지의 부착 위치는 Fig. 7(b)와 같다.

Fig. 15(a)~15(c)는 30 MPa급 보통강도 콘크리트를 사용하고 직경 10 mm인 직경의 띠철근으로 횡보강된 표준갈고리 상세 실험체(N10CH), 90° 갈고리 부분을 강제 클립형 연결장치로 결속된 띠철근이 사용된 실험체(N10NC1) 및 90° 갈고리 부분을 연결장치로 결속하지 않은 띠철근으로 횡보강된 기둥(N10H1)의 띠철근 변형률 나타낸다. Fig. 14의 주근 변형률 특성과 유사하게 표준갈고리 상세 실험체와 N10NC1 실험체의 띠철근의 변형 특성은 유사한 경향을 보이고 있다.

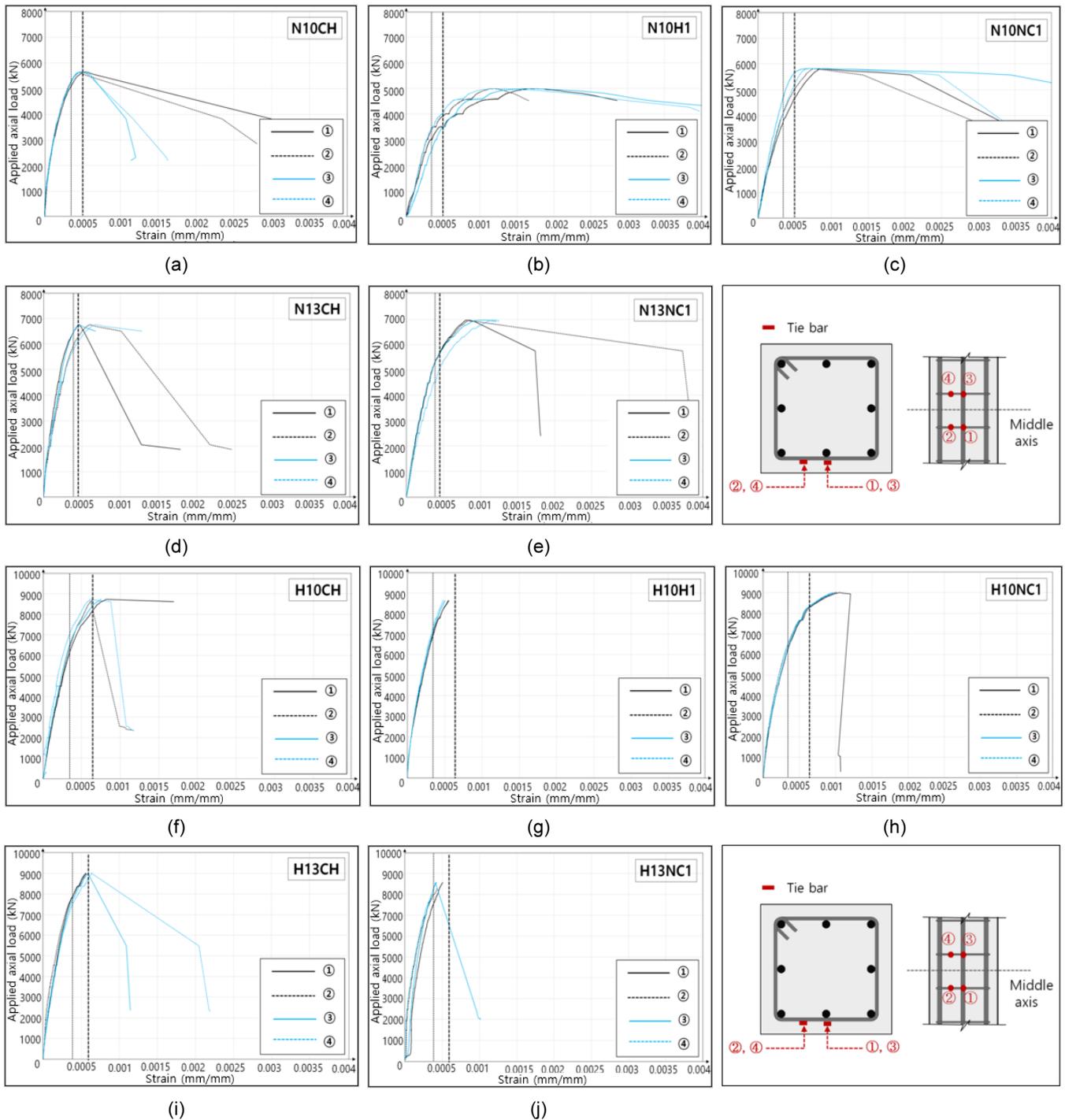


Fig. 15 Axial load-strain of transverse bars in RC columns

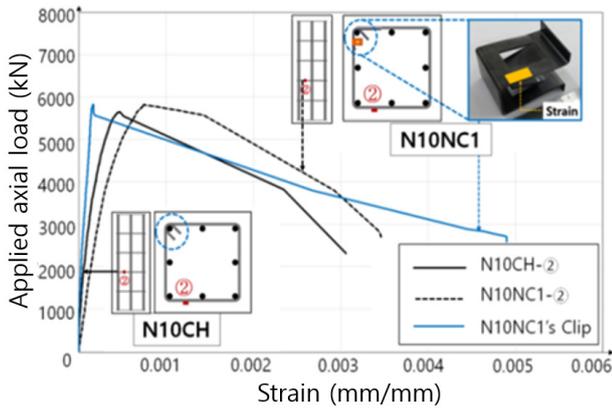


Fig. 16 Axial load-strain curves of clip-type implements

반면 N10H1 실험체의 띠철근 변형률은 전술한 두 실험체 띠철근 변형률에 비하여 초기강성에서 변형률 0.0001 기준으로 N10CH는 2,915 kN 도달하고 N10NC1은 2,121 kN에 도달한 반면, N10H1은 931 kN에 도달하여 다소 완만하게 변형이 증가되는 특성을 보이고 있다.

Fig. 15(d) 및 15(e)와 같은 직경 13 mm 띠철근으로 보강된 N13CH 및 N13NC1 실험체에서 작용 축하중에 따른 띠철근 변형률 거동은 직경 10 mm인 띠철근이 사용된 기둥 실험체에서와 전반적으로 유사한 경향을 보이고 있으나, 연결장치가 사용된 실험체에서 축강도의 약 80% 이후 축하중 증가에 따른 띠철근 변형률 증가 추이가 다소 완만하게 나타났다.

Fig. 15(f)~15(h)는 60 MPa급 고강도 콘크리트 및 직경 10 mm인 띠철근을 사용된 기둥에서 축하중에 따른 띠철근 변형률 거동을 나타낸 것이다. 강제 클립형 연결장치를 사용하는 경우(H10NC1), 양단 135° 표준갈고리 상세를 적용한 H10CH 실험체의 축하중이 축강도에 이를 때까지의 변형률과 유사한 특성을 보이고 있다. 강제 클립형 연결장치를 사용하지 않고, 한단 135°와 타단 90° 갈고리로 마무리된 H10H1 실험체는 Fig. 15(g)에 나타난 바와 같이 축강도에 이르기 전에 띠철근이 분리되며 실험이 종료되었다. 직경 13 mm인 띠철근을 사용한 기둥 띠철근 변형 특성을 나타낸 Fig. 15(i) 및 15(j)는 90° 갈고리 부분을 이 연구에서 제안한 강제 클립형 연결장치로 결속된 띠철근의 변형률 거동은 양단 135° 표준갈고리 상세를 갖는 띠철근과 유사하게 나타났다.

Fig. 16은 N10NC1 실험체에서 강제 클립형 연결장치 축하중에 따른 변형률 관계 곡선을 표준갈고리 상세 실험체 및 해당 실험체의 띠철근 변형률과 비교하여 나타낸 것이다. 이로부터 강제 클립형 연결장치가 띠철근의 90° 갈고리 부분을 결속하여 띠철근과 일체로 주근 및 심부 콘크리트를 횡구속하고 있는 것으로 판단된다.

5. 결 론

철근콘크리트 기둥의 띠철근 상세 단순화를 위하여 이 연구에서 제안된 강제 클립형 연결장치로 90° 갈고리를 결속한 띠철근으로 횡구속된 기둥에 대한 중심축력 재하실험을

근거로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 균열 진전 및 파괴 양상, 특히 주근의 좌굴길이, 띠철근 갈고리의 변형 형상 등에 대한 비교 결과, 이 연구에서 제안된 강제 클립형 연결장치로 90° 갈고리를 결속한 띠철근으로 횡구속된 기둥은 표준갈고리를 갖는 띠철근으로 구속된 기둥과 유사한 특성을 보여, 파괴양상 측면에서 135° 표준갈고리를 갖는 띠철근 상세의 대처가 가능하다.
- 2) 각 실험체의 실험결과로 얻은 축강도(P_{test}) 및 압축연성비(μ)은 콘크리트 압축강도 및 띠철근 직경과 무관하게 강제 클립형 연결장치로 단부 90° 갈고리를 결속한 띠철근을 사용한 실험체가 표준갈고리 상세를 갖는 띠철근을 적용한 실험체와 대등하거나 3% 이상 높게 나타났다.
- 3) 강도증가계수(K_s)는 콘크리트 압축강도와 띠철근 직경과 무관하게 강제 클립형 연결장치로 단부 90° 갈고리를 결속한 띠철근을 사용한 기둥이 표준갈고리 상세를 갖는 띠철근을 적용한 기둥보다 4~6% 높게 나타났다.
- 4) 적용된 축력에 따른 각 실험체의 주근과 띠철근 변형률 특성은 콘크리트 압축강도와 띠철근 직경에 무관하게 강제 클립형 연결장치로 단부 90° 갈고리를 결속한 띠철근을 보강한 기둥과 표준갈고리 상세를 갖는 띠철근을 적용한 기둥은 파괴시까지 유사한 거동 특성을 보였다.

이상과 같은 실험 결과로부터 정사각형 철근콘크리트 기둥에서 띠철근의 상세를 단순화하기 위하여 이 연구에서 제안된 90° 갈고리를 강제 클립형 연결장치로 결속한 띠철근 상세는 기존 135° 표준갈고리를 갖는 띠철근 상세와 대등한 주근 및 심부 콘크리트의 구속성능을 보유한 것으로 평가할 수 있다.

또한, 건설현장에서 양단에 135° 표준갈고리를 설치해야 하는 띠철근 상세를 준수하지 않고, 시공의 편리성 때문에 한쪽 끝은 135°, 다른 쪽 끝은 90° 갈고리로 가공한 띠철근이 빈번하게 적용되고 있다. 이러한 띠철근으로 구속된 기둥은 중심 축력하에서 양단 135° 표준갈고리 상세를 갖는 띠철근으로 보강된 기둥에 비하여 주근 좌굴과 피복 콘크리트 탈락이 조기에 발생되었다. 이로 인하여 표준갈고리 상세를 따르지 않은 띠철근을 사용한 기둥의 축강도 및 압축연성도 저하됨을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 성과는 CH건설기술의 재원으로 지원을 받아, 실험은 (주)페트라텍에서 수행된 연구로 이에 감사드립니다.

References

- ACI Committee 318 (2014) *Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-14) and Commentary (ACI*

- 318R-14). Farmington Hills, MI; American Concrete Institute (ACI).
- Castro, J. J., and Imai, H. (2004) Structural Performance of RC Columns Using Double Right Angle Anchorage Hoops with High Strength Bars. In Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver (Heidebrecht, A. (ed.)). Mira Digital, St Louis, MO, USA.
- Choi, Y. H., Lee, Y. K., and Shin, Y. S. (2018) Seismic Behavior of RC Columns with Separated Hoop Details. *KCI 2018 Fall Conference*. 7-9 November 2019. Pyeongchang, Korea; Korea Concrete Institute (KCI). 30(2), 250-260. (In Korean)
- Eom, T. S., Choi, T. W., Park, H. G., Kang, S. M., and Jin, J. M. (2013) Seismic Tests on Reinforced Concrete Columns Confined with Continuous Hoops. *Journal of Korea Institute of Building Construction* 29(2), 99-107. (In Korean)
- Hakuto, S. (2000) Seismic Performance of Reinforced Concrete Columns with 90 Degree end Hooks for Shear Reinforcement under High Speed Loading. In Proceedings 12th World Conference on Earthquake Engineering (12WCEE 2000), Auckland, New Zealand, Paper(N0. 1-7).
- Hwang, Y. H., Yang, K. H., Sim, J. I., and Choi, Y. S. (2019) Evaluation of Axial Compressive Performance of Section Enlargement Strengthening Columns with Supplementary V-ties and V-clips in the Jacket Section. *Journal of the Korea Concrete Institute* 31(5), 429-436. (In Korean)
- Kim, W. W., Mun, J. H., and Yang, K. H. (2015) Simplified Model for the Stress-Strain Relationship of Confine Concrete. *Journal of the Achitectural Institute of Korea: Structure & Construction* 31(4), 79-86. (In Korean)
- Lukkunaprasit, P., and Sittipunt, C. (2003) Ductility Enhancement of Moderately Confined Concrete Tied Columns with Hook-Clips. *ACI Structural Journal* 100(4), 422-429.
- MOLIT (2016a) *Shear and Torsion Design for Concrete Structures (KDS 14 20 22)*. Sejong, Korea: Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (In Korean)
- MOLIT (2016b) *Flexure and Compression Design for Concrete Structures (KDS 14 20 20)*. Sejong, Korea: Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (In Korean)
- Park, K. Y., and Kim, Y. J. (2020) *Band Steel Locking Device (Patent Public Number 10-2148235)*. Korean Intellectual Property Office (KIPO).
- Park, K. Y., and Yun, H. D. (2020) Clip-Type Binding Implement Effect on Anchorage Behavior of 90-Degree End-Hooked Transverse Reinforcement in Reinforced Concrete Columns. *Journal of the Korea for Structural Maintenance and Inspection (JKSMI)* 24(4), 72-80. (In Korean)
- Saatcioglu, M., and Razvi, S. R. (1992) Strength and Ductility of Confined Concrete. *Structural Engineering* 118(6), 1590-1607.

요 약 90° 갈고리를 이 연구에서 제안한 강제 클립형 연결장치로 결속된 띠철근으로 횡구속된 기둥의 압축성능에 대한 실험이 수행되었다. 강제 클립형 연결장치는 철근콘크리트 기둥에서 KDS 14 20 20의 135° 표준갈고리를 갖는 띠철근을 대체하기 위하여 제안되었다. 콘크리트 압축강도, 횡보강근 직경 및 띠철근의 갈고리 상세를 주요 변수로 하는 총 10개의 실규모 정사각형 철근콘크리트 기둥에 대한 중심축하중 재하실험을 실시하였다. 철근콘크리트 기둥의 띠철근은 양단 135° 표준갈고리 상세를 갖는 띠철근, 한쪽 끝은 135° 갈고리와 다른 한쪽은 90° 갈고리를 갖고 90° 갈고리가 클립형 연결장치로 결속한 띠철근, 강제 클립형 연결장치로 결속하지 않은 띠철근으로 구성된다. 이 연구에서 제안된 강제 클립형 연결장치의 유효성을 평가하기 위하여 철근콘크리트 기둥의 압축거동을 비교하여 평가하였다. 실험 결과로부터 강제 클립형 연결장치로 결속된 90° 갈고리를 갖는 띠철근은 상대적으로 상세가 복잡한 135° 표준갈고리 상세를 갖는 띠철근의 대안으로 적용될 수 있다는 결론을 도출할 수 있다.

핵심용어 : 압축거동, 철근콘크리트 기둥, 구속, 횡보강근, 강제 클립형 연결장치