

철근콘크리트 기둥에서 반복횡력에 대한 헤드형 횡보강근의 구속효과에 대한 실험연구

Experimental Study on the Confinement Effect of Headed Cross Tie in RC Column Subjected to Cycling Horizontal Load

서수연^{1)*} 함주호²⁾
Seo, Soo Yeon Ham, Ju Ho

Abstract

This paper presents an experimental result and suggests the confinement effect of headed cross tie in reinforced concrete(RC) columns subjected to cycling horizontal loads under constant axial load. Five RC columns specimens were manufactured, taking confined type of transverse reinforcement, whether or not using cross tie, end detail of cross tie (hooked or headed), and axial stress in column as major variables, Cyclic horizontal load applied to the columns under constant axial stress and the effect of cross tie to structural capacity of column was evaluated from the test.

The column without cross tie failed showing bending deformation of hoop with crack in core concrete at low horizontal load while the column with cross tie showed quite improved strength and ductility by suppressing bending deformation of hoop as well as buckling of longitudinal bar at once even after crack in core concrete. At high lateral displacement, the column with hooked cross tie showed the failure pattern losing the confining force of cross tie since the 90° hooked part of cross tie was stretched out and the cracked core concrete lumps were came off. However, the column with headed cross tie showed very stable behavior since the head of cross tie effectively confined the hoop and longitudinal bars even at high lateral displacement.

Keywords : RC column, Cross tie, Headed, Hooked, Horizontal reversal load

1. 서론

철근콘크리트 건물의 내진성능을 높이기 위해서는 수직부재인 기둥에 횡보강근의 역할이 중요하다. 횡보강근의 증가 및 형태 등에 따라 기둥의 내력과 연성은 변하게 된다. 현행기준에서는 기둥의 횡구속력을 높이기 위하여 횡보강근의 정착을 위하여 갈고리 철근을 사용하도록 권장하고 있으며 최근에는 기계적 정착장치를 활용할 수 있도록 하고 있다. 이는 기계적 정착장치를 사용할 경우 정착 길이 없이 시공이 가능하게 되므로 부재내 철근의 과밀배근을 해소하여 현장 시공성 및 경제성을 높일 수 있기 때문이다.

기계적 정착장치는 주로 주철근이 과밀배근되기 쉬운 접합부에 비교적 널리 사용되고 있으며, 우리나라 구조설계기준(2009)에서도 기계적 정착장치를 사용할 수 있도록 정하고 있다.

철근의 기계적 정착에 관한 연구는 미국의 Wallace (1998)가 보-기둥 접합부에 헤드철근 적용 후 내진성능을 평가한 이래로, 많은 연구자들(Thompson 등, 2006; Kang 등, 2009)에 의해서 연구되어 왔다. 현재는 ACI 기준(2011)에서 헤드철근의 사용을 위한 설계법이 반영되어 있다.

우리나라의 경우에는 천성철 등(2001)이 헤드철근의 정착성능을 규명하기 위한 실험연구를 실시한 이래로 서수연 등(2007) 그리고 신현오 등(2011)에 의해서 보-기둥 접합부에 헤드철근 적용시의 구조성능평가 및 설계방안을 연구하여 왔다.

이들 연구는 대부분 보와 기둥이 교차함에 따라 상대적으로 철근이 과밀되는 접합부를 대상으로 하고 있지만, 헤드철근은 전술한 바와 같이 전단보강근으로 사용될 경우에도 시공성의 개선과 구조성능을 효율을 높일 수 있다. 전단보강근의 경우에는 폐쇄형 단면형상이 되는 경우

1) 정회원, 한국교통대학교 건축공학과 교수, 교신저자

2) 정회원, ㈜청란엔지니어링 공무부 대리

* Corresponding author : syseo@ut.ac.kr 043-841-5205

• 본 논문에 대한 토의를 2012년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 2012년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

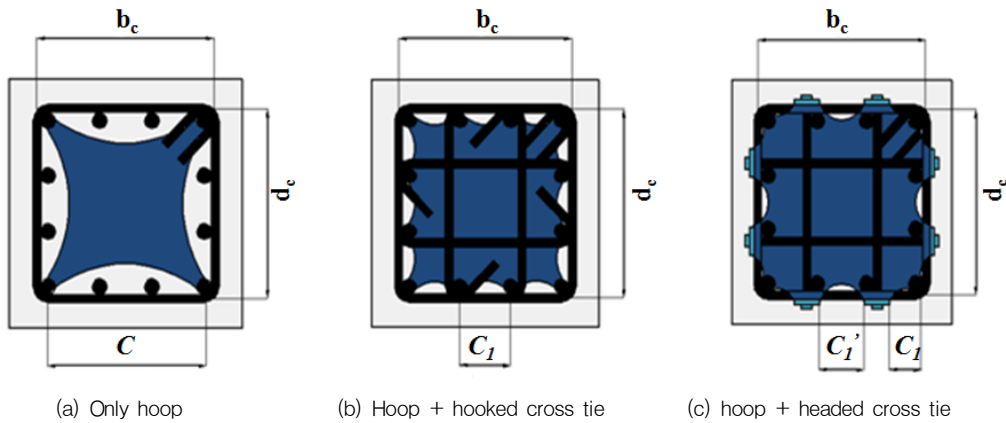


Fig. 1 Core area corresponding to detail of later confinements

가 대부분이며 이때 철근 단부의 갈고리 부분을 기계적 정착장치로 처리할 경우, 시공성과 횡구속성능을 높일 수 있기 때문이다. 특히 기둥부재에 적용될 경우 횡구속효과를 높일 수 있음으로 인하여 지진 등과 같은 반복된 하중에 대하여 내력 뿐만아니라 연성 등의 상승을 기대할 수 있다.

윤승조 등(2009)은 기계적 정착장치가 있는 헤드형 크로스타이를 사용한 기둥에 대하여 압축성능 평가 실험을 실시하여 헤드형 크로스타이를 횡보강근으로 사용할 경우 기둥의 횡구속 효과가 상승됨을 밝혔다. 그러나 이 연구는 단지 연직압축응력을 받는 경우만을 대상으로 하고 있어, 실제 지진과 같이 반복된 횡력이 작용할 경우는 그 효과의 유무와 정도에 대해서 추가적인 연구가 필요한 상황이다.

이에 따라 본 연구에서는 축하중과 반복된 횡력 작용시 헤드형 크로스타이의 기둥 횡보강 효과를 실험적으로 연구하고자 한다. 또한 철근콘크리트 기둥의 횡보강근 형태를 변수로 하여 이러한 요인이 작용할 때 구조성능에 미치는 영향을 규명하고자 한다.

2. 헤드형 크로스타이의 횡구속 효과

Fig. 1은 기둥의 횡보강근 형태에 따른 코어면적을 개념적으로 나타낸 그림이다. Fig. 1(a)와 같이 띠철근만 있고 크로스타이(Cross tie)가 없는 기본 횡보강형태인 경우에는 중앙부에 있는 콘크리트의 구속정도가 낮아 횡구속면적이 작은 반면에 크로스타이가 있는 경우에는 구속면적이 증가하게 된다.

Fig. 1(b)는 단부가 각각 90°와 135°의 갈고리 형태로

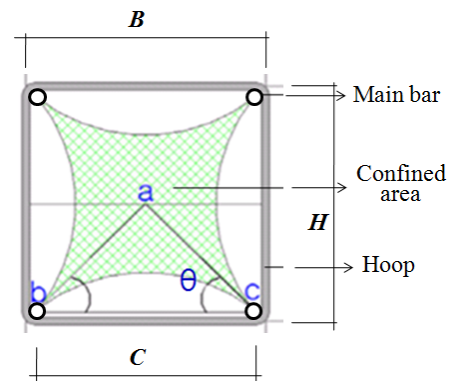


Fig. 2 Confined core concrete in conventional hoop detail

된 크로스타이의 횡구속면적을 나타내고 그림 (c)는 단부가 헤드형태인 크로스타이인 경우를 나타낸다. 크로스타이의 단부형태가 갈고리형일 경우에는 단순히 주근의 좌굴을 방지함에 따른 횡구속효과가 발생하지만 헤드형 상세일 경우에는 헤드면적에 의한 횡구속효과가 추가적으로 발생한다.

띠철근만으로 횡보강된 기둥에서 횡단면과 입면상의 띠철근 사이에 존재하는 입계단면에서의 구속된 코어콘크리트 면적은(Fig. 2의 음영 부분) Sheikh 등(1982)에 의하면 다음과 같다.

$$S = C \times \frac{C}{2} \tan \theta \times \frac{1}{2} = \frac{C^2}{4} \tan \theta \quad (1)$$

$$S' = \int_0^C \left(-\frac{\tan \theta}{C} x^2 + \tan \theta x \right) dx = \frac{C^2}{6} \tan \theta \quad (2)$$

포물선의 형태를 고려한 계수 a 를 도입하면 비구속면적은 Eq.(3)과 같이 쓸 수 있다.

$$S'' = \frac{C^2}{a} \tan\theta \quad (3)$$

$$A_{eh} = A_{co} - \sum S'' = BH - \left(\sum_{i=0}^{\infty} C_i^2 \tan\theta \right) / a \quad (4)$$

여기서, S : Fig. 2의 삼각형 abc의 면적(mm²), S' , S'' : 비 구속면적(mm²), A_{eh} : 기둥의 횡단면에서 효과적으로 구속되는 코어콘크리트 면적(mm²), A_{co} : 외부띠철근의 중심선으로 둘러싸인 코어 콘크리트 면적(mm²), C_i : 주근 사이의 중심길이(mm), n : 띠철근에 의해 횡변위가 구속되어진 주근의 수

크로스타이가 있는 경우에도 동일한 방법으로 구속면적을 계산할 수 있다. 물론 이때에는 Eq.(1)과 Eq.(2)의 C 대신에 Fig. 1의 C_i 를 사용하여 크로스타이에 의하여 산정되는 각각의 구속면적을 계산하면 된다.

갈고리형과 헤드형 크로스타이를 사용한 경우를 비교하면, 헤드가 있는 경우에는 일반 띠철근과 달리 주근에서부터 구속되는 것이 아니라 크로스타이 단부에 있는 헤드의 머리에서부터 횡구속이 되는 것으로 간주하여 면적을 산정할 수 있다. 즉 C_i 에 헤드 직경을 공제한 거리, C_i' 를 사용하여 계산한다. 모서리에 있는 주근사이에서의 구속면적 계산시에는 헤드가 한쪽에만 있기 때문에 C_i 로 계산한다.

기둥의 단면이 300mm × 300mm인 기둥에 대하여 상기의 계산과정으로 구속면적을 산정하면, 띠철근으로 배근된 경우에 비하여 갈고리형 및 헤드형 크로스타이가 있는 경우가 각각 약 1.5배와 1.7배 높은 값을 보인다. 이와 같은 구속면적의 증가는 실제 내력의 상승을 유도할 뿐만 아니라, 반복된 횡력작용시 연성능력을 향상시킨다.

전술한 구속면적은 크로스타이의 단부가 주근 및 콘크리트를 구속할 수 있는 상태를 전제로 하고 있다. 그러나 시공성을 고려하여 갈고리형 크로스타이의 한쪽 단부는 135° 갈고리로 되어 있으나 다른 한쪽은 90° 갈고리로 되어 있다. 실제 기둥에 과도한 응력이 발생하거나 대변형이 발생할 경우, 이 90° 갈고리가 퍼지고 이에 의해 구속효과가 상실되는 경우가 종종 발생한다. 반면에 헤드형

크로스타이를 사용하는 경우에는 헤드가 주근과 콘크리트를 최후과피시까지 구속하게 됨으로 인하여 높은 횡력 지지능력을 보일 수 있다.

본 연구에서는 구조실험을 통하여 헤드형 크로스타이의 횡구속기여도와 실제 기둥의 이력거동에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

3. 실험계획

3.1 실험체 계획

일정 축력이 작용하는 상태에서 반복된 집중횡력에 대한 기둥의 거동을 관찰하기 위한 실험을 계획하고 횡보강근 상세와 축응력을 변수로 하여 총 5개의 기둥 실험체를 제작하였다. 횡보강으로서 띠철근만 있는 경우, 띠철근과 갈고리형 크로스타이 그리고 띠철근과 헤드형 크로스타이가 있는 세가지의 경우로 계획하였으며 축력은 축응력이 콘크리트 압축강도의 10%와 20%인 경우로 계획하였다. Table 1은 실험체 일람을 나타내며, 실험체의 형상 및 배근상세는 Fig. 3과 같다.

Table 1에서 횡구속면적은 Eq.(4)에 의해 산정한 면적을 말하여 코어 콘크리트강도는 Mander Model (1987)로서 횡구속면적을 고려하여 산정한 강도를 나타낸다.

본 연구에서 구조실험용으로 제작된 실험체는 실험장치의 용량을 고려하여 크기 300mm × 300mm × 1050mm로 제작하였으며 주근은 12-D19(SD400), 띠철근은 D10을 사용하였다. 기둥의 접합부 파괴를 방지하기 위해 기초를 제작하고, 횡력이 작용하는 상부에는 띠철근을 70mm 간격으로 배근하여 가력부를 보강하였다. 주근의 체적비는 모든 실험체가 동일하도록 계획하였다.

Table 1 Specimen list

Specimen name	Detail of lateral confinement	Axial stress	Confined area* (mm ²)	Compressive strength of core concrete ⁺ (MPa)
A-01N	Hoop	0.1 f_{ck}	35,566	26.13
B-01N	Hoop + hooked Cross Tie		53,522	28.63
C-01N	Hoop + headed Cross Tie		60,280	29.2
B-02N	Hoop + hooked Cross Tie	0.2 f_{ck}	53,522	28.63
C-02N	Hoop + headed Cross Tie		60,280	29.2

* Calculated value by Eq. (4), ⁺ Calculated by Mander Model

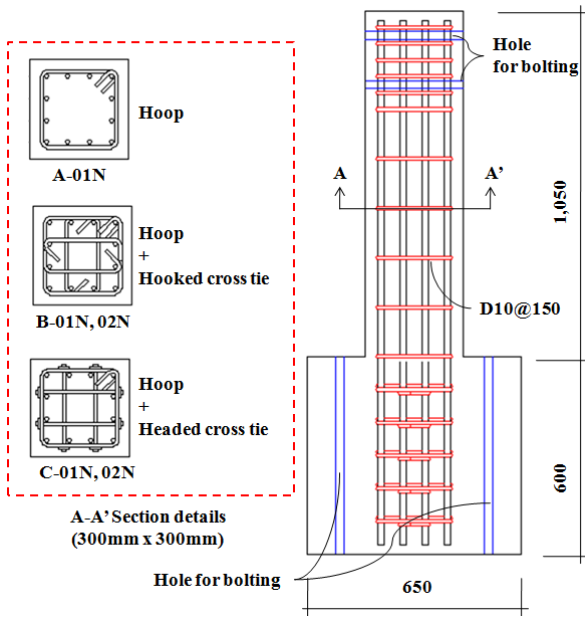


Fig. 3 Details of specimen

3.2 실험방법

실험은 한국교통대학교 소재 국제공인시험연구센터 구조 실험실에서 실시하였으며, 실험체에 작용하는 가력은 반복 하중 500kN 용량의 스크류 액츄에이터(Screw Actuator)를 사용하고, 축력은 1000kN 용량의 액츄에이터를 이용하여 일정하게 축력을 유지하도록 하였다. 하중제어를 하면서 500kN 액츄에이터에 의해 서로 반대로 정(+), 부(-)의 반복 횡하중을 가력하였다. 기초 콘크리트의 국부적인 파괴를 방지하기 위하여 실험체의 기초부에 철판으로 제작된 보강철물을 씌워서 단부보강을 하였고, 기둥이 횡력과 축력에 의해 실험체가 움직이지 않도록 기둥하단 부분을 고정하였다. 점증하는 횡력작용시 면외방향의 변형을 방지하기 위하여 실험체의 양측면에 베어링을 설치하여 한방향으로 변형이 발생하도록 하였다. Fig. 4는 실험체의 설치 상황을 나타낸다.

본 실험에 사용된 변위이력은 Fig. 5와 같은 변위이력에 따라 이전 변위각의 5/4이상, 최대 3/2를 넘지 않도록 최초 변위각 0.1%에서 시작하여 최대 변위각 5%까지 총 12 Step으로 계획하고 각 Cycle별 동일 최대 변위를 3회씩 점증반복가력 하였다. 변위각 5%까지 반복가력한 뒤에도 파괴되지 않는 경우에는 정방향 단조가력형태로 최종파괴에 이를 때까지 횡변위를 증가시켰다.

기둥에 발생하는 횡변위를 측정하기 위하여 실험체의 가력점에 LVDT 1개를 설치하여 횡변위를 측정하였으며,



Fig. 4 Test Setup

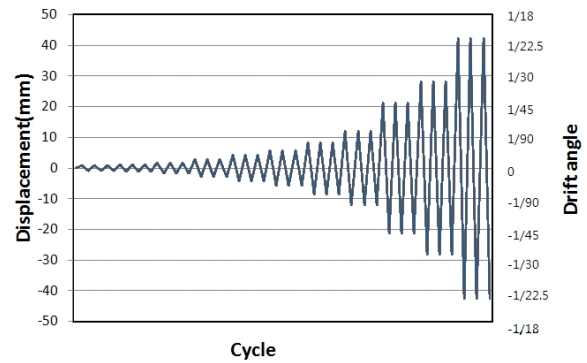


Fig. 5 Loading history

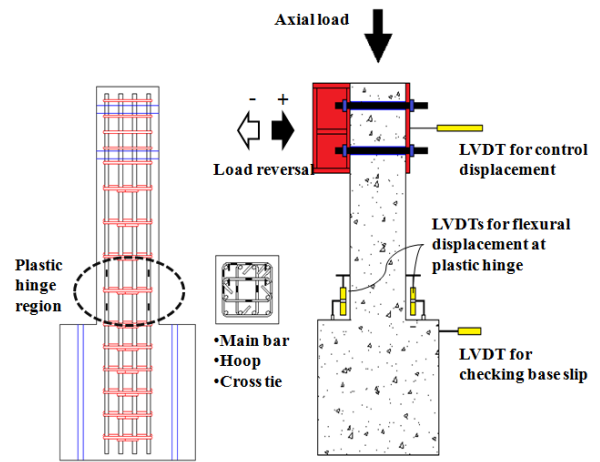


Fig. 6 Locations of LVDTs and gauges

소성힌지가 발생하는 지점의 기둥 양단에 2개의 LVDT를 설치하여 소성힌지 부분에서의 곡률을 측정하였다. 소성힌지 내의 주철근과 횡보강근의 변형률은 실험체 제작시 미리 매설된 변형도 게이지(Wire Strain Gauge)로부터 측정하였다. Fig. 6은 변위 및 변형도 측정을 위한

LVDT와 변형도 게이지 부착위치를 나타낸다.

3.3 재료시험

실험체 제작에 사용된 콘크리트에 대한 재료시험을 실시한 결과 콘크리트는 28일 표준압축강도가 21MPa로 나타났으며, 탄성계수는 2.4×10^4 MPa로 나타났다. 철근의 인장강도 시험결과는 Table 2에 나타낸 바와 같다.

4. 실험결과

4.1 최종 파괴 양상

띠철근만 있는 A-01N실험체의 최종적인 파괴양상은 Fig. 7(a)에서 볼 수 있듯이, 소성힌지 구간의 띠철근이 바깥쪽으로 볼록해지면서 주근이 활대 모양으로 좌굴이 일어났으며, 최종파괴시에는 135° 띠철근의 갈고리가 퍼지면서 주근의 좌굴현상이 발생되었다. 피복 콘크리트는 거의 탈락이 되었으며, 띠철근에 의한 구속콘크리트 또한 탈락이 되어 구속면적이 상당히 줄어든 파괴양상을 보였다.

크로스타이의 양단부에 135°와 90° 갈고리를 가진 B시리즈 실험체는 크로스타이가 횡구속을 함으로써 A-01N

실험체에 비하여 상대적으로 코아 콘크리트의 구속상태와 주근좌굴 정도가 Fig. 7(b)와 같이 양호하게 나타났다. 그러나 최종 파괴양상은 소성힌지 구간의 크로스타이 단부 갈고리가 퍼져 주근을 구속하지 못함으로써 주근좌굴 현상이 국부적으로 발생하였다.

헤드형 크로스타이를 사용한 C시리즈 실험체의 최종적인 파괴양상은 소성힌지 구간의 크로스타이가 주근 및 코아 콘크리트를 효과적으로 구속함에 따라 주근좌굴현상이 심각하지 않고 또한 피복콘크리트의 박리도 심하지 않은 것으로 나타났다. 최종 파괴시까지 크로스타이의 헤드부분이 콘크리트를 효과적으로 구속하여, 상하 띠철근 사이의 주근이 좌굴되어 파단되면서 파괴되는 양상을 보였다.

축응력이 $0.2f_{ck}$ 인 B-02N과 C-02N 실험체는 축응력이 $0.1f_{ck}$ 인 실험체들과 기본적인 파괴양상은 유사하나 높은 축응력에 의하여 코아콘크리트의 손상상태가 다소 심각한 것으로 나타났다.

4.2 하중-변위 관계

Fig. 8부터 Fig. 12는 각 실험체의 하중-변위 곡선을 나타낸다. A-01N실험체를 제외한 모든 실험체가 변위각 5% ($R=42.5\text{mm}, 1/20$) 이후 최대하중에 도달하여 우수한 구조성능을 보였음을 알 수 있다. 특히 헤드형 크로스타이가 있는 C시리즈 실험체가 높은 내력 및 변형능력을 나타내었다.

A-01N실험체의 경우 정방향으로는 12.64mm ($R=1/67, 1.5\%$), 부방향 16.08mm ($R=1/53, 1.9\%$)에서 항복한 뒤 변형경화강성을 보였고 약 28.34mm ($R=1/30, 3.3\%$)에서 최대내력에 도달하였다. 최대내력에 도달한 뒤에는 코아 콘크리트가 박리되면서 급격한 하중저하를 나타내었다.

Table 2 Tensile strength of reinforcements

Type	E_s ($\times 10^5$, MPa)	f_y (MPa)	ϵ_y ($\times 10^{-6}$)	f_u (MPa)
D19	2.13	429	5288	690
	2.11	418	4450	640
D10	1.97	434	4988	672
	1.91	425	4890	630
D10 Headed bar	2.05	427	5188	655
	1.97	408	5209	638



(a) A-01N



(b) B-01N



(c) C-01N

Fig. 7 Failure shapes of specimen

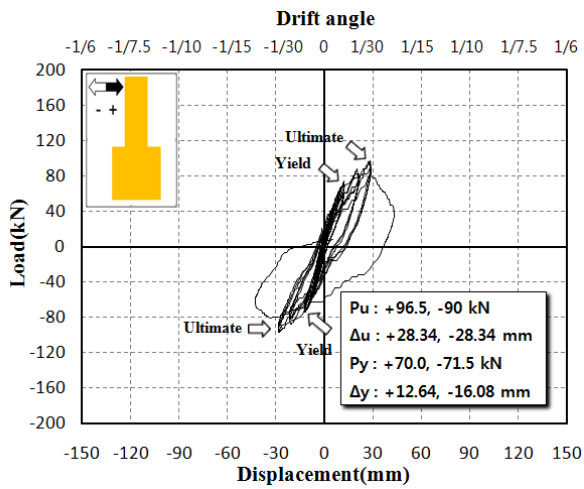


Fig. 8 Lad-displacement curve of A-01N

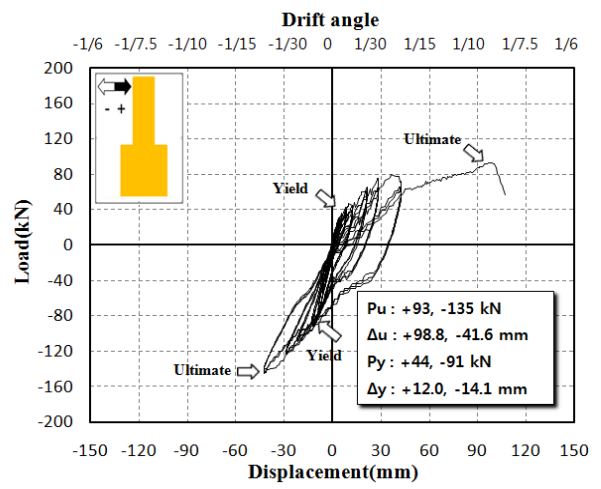


Fig. 11 Lad-displacement curve of B-02N

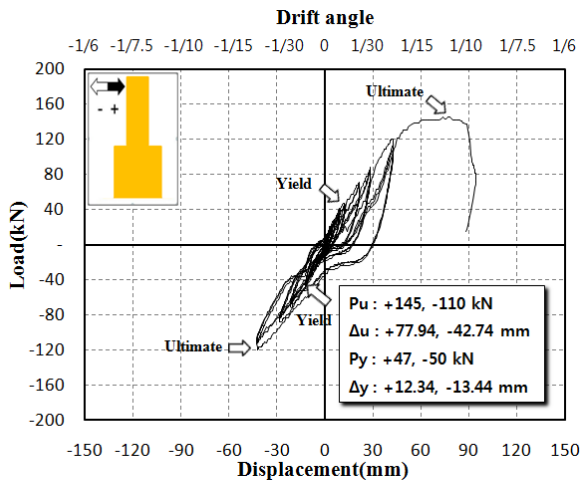


Fig. 9 Lad-displacement curve of B-01N

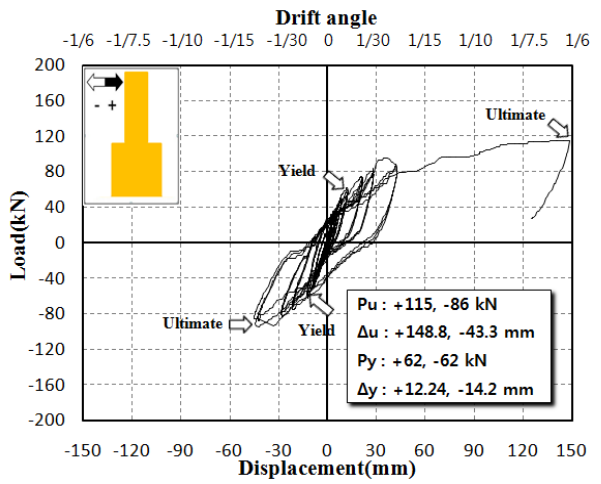


Fig. 12 Lad-displacement curve of C-02N

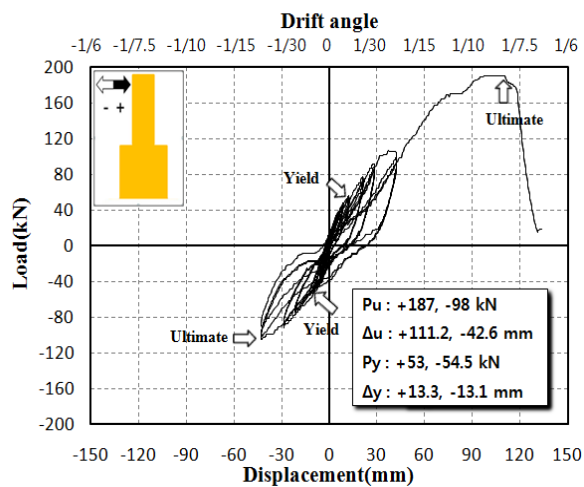


Fig. 10 Lad-displacement curve of C-01N

B-01N 실험체는 A-01N 실험체와 유사한 변위인 정방향 12.34mm (R=1/69, 1.5%), 부방향 13.44mm (R=1/63, 1.6%)에서 항복하였으나 이때의 내력은 A-01N 실험체에 비하여 30% 낮은 것으로 나타났다. 그러나 항복 이후에도 강성저하가 거의 발생하지 않은 상태로 최대내력에 도달하였으며 최대내력에 도달한 뒤에도 급격한 내력저하를 보이지 않고 일정변위 동안 하중을 지지한 뒤 내력이 저하되는 안정된 이력양상을 보였다.

헤드형 크로스타이를 사용한 C-01N 실험체의 항복은 정방향 13.3mm (R=1/64, 1.6%), 부방향 13.1mm (R=1/65, 1.5%)로 역시 A-01N 실험체와 유사한 변위에서 항복에 도달하였으며 항복내력은 B-01N 실험체보다는 다소 높은 양상을 보였다. 항복이후 정, 부방향 모두 강성저하 없이 최대내력에 도달하였으며, 최대내력은 B-01N 실험

체에 비하여 약 1.3배 이상 높은 값으로 나타났다. 최대 내력에 도달한 뒤에도 소정의 비탄성 변형을 보인 뒤 파괴에 도달하였다.

축응력이 $0.1f_{ck}$ 인 실험체들 사이에서 정방향 최대내력 시의 변형능력을 보면, 크로스타이가 없는 A-01N 실험체가 3.3%로 가장 낮고 헤드형 크로스타이가 있는 C-01N이 11.6%로서 A-01N에 비하여 4배, B-01N 실험체는 9.2%로서 약 3.5배 가량 높은 것으로 나타났다. 이로부터 띠철근과 크로스타이로 확보강될 경우 코아 콘크리트의 효과적인 구속에 의해 내력 및 변형능력이 향상될 수 있음을 알 수 있다. 특히 헤드형 크로스타이를 사용할 경우 코아 콘크리트의 탈락을 방지할 수 있어 구속효과는 더욱 높은 것으로 사료된다.

축응력이 $0.1f_{ck}$ 에서 $0.2f_{ck}$ 로 증가함에 따라 B 시리즈 실험체에서는 약 12%의 내력저하가 발생하였으나, C 시리즈 실험체에서는 약 40%의 내력저하가 발생하였다. 실제 파괴상황을 관찰한 결과 C-02N 실험체의 코아 콘크리트에 비록 균열이 발생하였지만 크로스타이에 의해 적절히 구속되어 있는 것으로 나타났다. 따라서 이와 같은 내력저하는 사용된 콘크리트의 재료적 오차 등에 기인한 것으로 예측될 수 있기 때문에 추후 보완적인 연구 등이 필요한 것으로 판단된다.

4.3 실험체 별 최대 내력 및 연성능력

각 실험체의 하중-변위 곡선에서 최대 내력시와 항복시 횡력 및 변위, 그리고 연성비를 정리하면 Table 3과 같고 Fig. 13은 각 실험체의 정방향 가력에 대한 항복과

Table 3 Test result

Specimen name	Loading	Ultimate state		yield state		Ductility
		Load (kN)	Dis. (mm)	Load (kN)	Dis. (mm)	
A-01N	(+)	96.5	28.34	70	12.64	2.24
	(-)	90	28.34	71.5	16.08	-
B-01N	(+)	145	77.94	47	12.34	6.32
	(-)	110	42.74	50	13.44	-
C-01N	(+)	93	111.2	44	13.3	8.36
	(-)	135	42.6	91	13.1	-
B-02N	(+)	187	98.8	53	12	8.23
	(-)	98	41.6	54.5	14.1	-
C-02N	(+)	115	148.8	62	12.24	12.16
	(-)	86	48.3	62	14.2	-

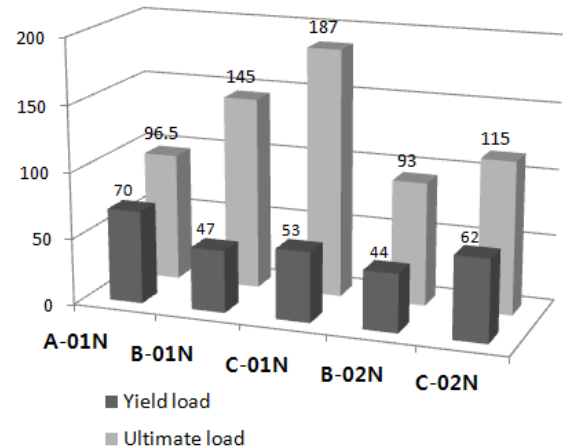


Fig. 13 Comparison of strengths (Positive dir.)

최대내력을 나타낸다.

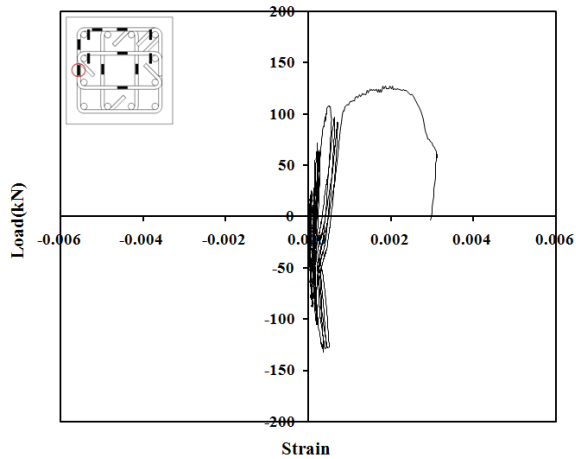
최종파괴시 까지 가력한 정방향에 대한 최대내력의 경우 헤드형 크로스타이를 사용한 C-01N 실험체가 A-01N 실험체의 1.94배, 갈고리형 크로스타이를 사용한 B-01N 실험체는 A-01N 실험체의 1.5배 높은 내력을 보여, 크로스타이가 있음으로 기둥의 횡력에 대한 내력을 상승시킬 수 있음을 알 수 있다.

철근콘크리트 부재의 변위 연성도는 일반적으로 극한 변위(Δ_u)와 항복변위(Δ_y)의 비율로 정의한 부재의 변위연성도(Displacement ductility, μ_Δ)로 나타낼 수 있다. 이 변위 연성도는 탄성변형에 대한 비탄성변형의 비로서 초과하중 작용시 부재의 비탄성 변형능력을 평가하는 지표로 활용하고 높은 연성도일 경우에는 내진저항능이 우수함을 나타낸다.

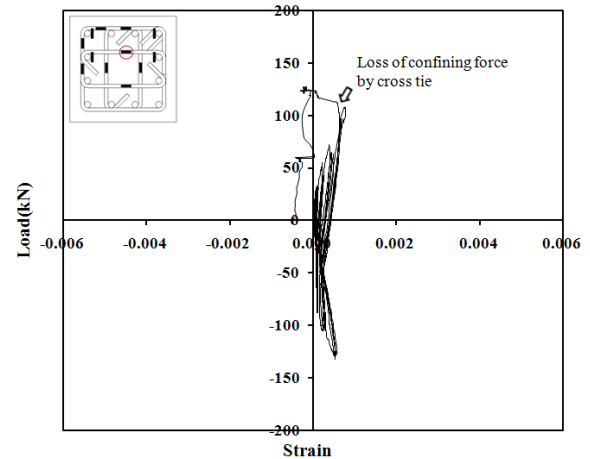
각 실험체의 정방향 가력에 대한 연성비의 경우에는 크로스타이가 없는 A-01N 실험체에 비하여 B-01N 실험체는 2.7배, 그리고 C-01N 실험체는 3.7배 높은 것으로 나타났다. 세 실험체의 항복변위가 유사하기 때문에 결국 크로스타이가 있음으로서 비탄성변형 능력이 향상되는 것으로 볼 수 있으며, 특히 헤드형 크로스타이를 사용할 경우 변형능력이 현저히 향상됨을 알 수 있다. 이와 같은 관계는 축응력이 $0.2f_{ck}$ 인 실험체에서도 확인할 수 있다.

4.4 확보강근의 변형도

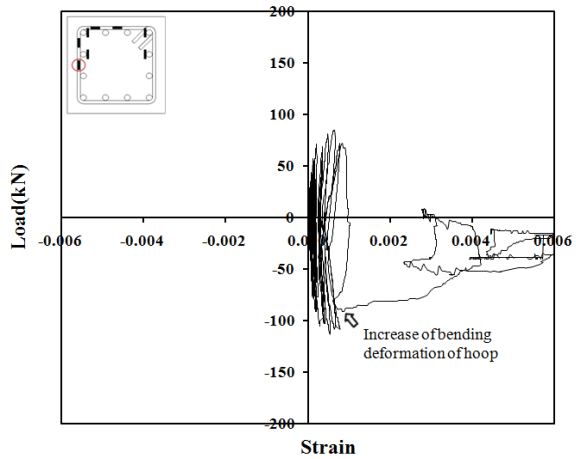
축응력이 $0.1f_{ck}$ 인 세 실험체의 띠철근의 변형도를 Fig. 14에 나타내었다. 크로스타이가 없는 A-01N 실험



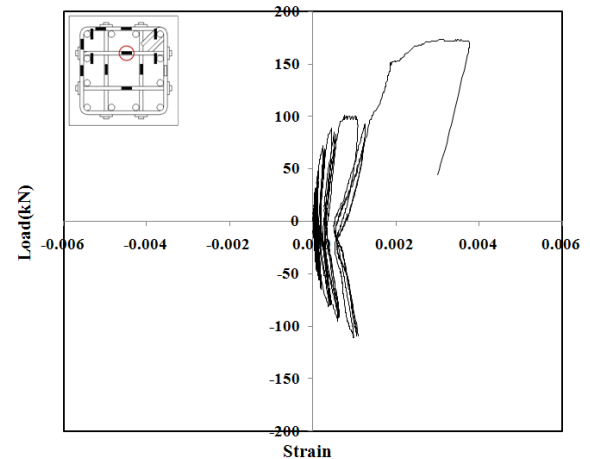
(a) A-01N



(a) B-01N

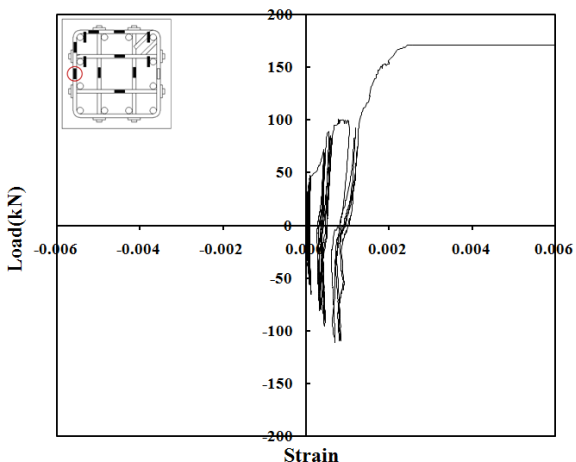


(b) B-01N



(b) C-01N

Fig. 15 Load-strain curve of cross tie



(c) C-01N

Fig. 14 Load-strain curve of hoop

체의 경우, 최대내력에 도달한 이후 구속응력의 작용유무에 상관없이 급격히 변형이 증가함을 알 수 있다. 반면에

B-01N과 C-01N 실험체는 정방향가력시 크로스타이에 의해 지지되는 후프근이 지속적으로 증가하는 콘크리트 측압에 대하여 꾸준히 변형을 일으킴으로써 효과적으로 저항하고 있음을 알 수 있다. 특히 C-01N 실험체의 띠철근이 최종단계에는 높은 변형율을 보이는 것으로 보아, 최종과피시 매우 효과적으로 코어 콘크리트를 구속한 것으로 사료된다.

이와 같은 구속효과는 Fig. 15의 크로스타이 변형도로 부터 확인할 수 있다. B-01N 실험체의 크로스타이는 최대내력에 도달 한뒤 전체적인 횡변위가 증가함에도 불구하고 변형도가 저감되는 양상을 보이는 반면에 C-01N 실험체는 지속적으로 변형도가 증가되고 있다. 이는 C-01N 실험체의 헤드형 크로스타이가 기둥의 최종과피시까지 띠철근과 주근을 구속하였음을 의미하는 반면에 B-01N 실험체의 갈고리형 크로스타이는 90° 갈고리 부분이 퍼

지면서 변형도가 감소하였기 때문이다. 즉 높은 횡변형이 발생할 경우, 갈고리형 크로스타이는 효과적으로 코아 콘크리트를 구속하는데 한계가 있음을 의미한다.

5. 결론

- (1) 크로스타이가 없이 띠철근만으로 횡보강된 기둥은, 낮은 횡력에서 균열과 함께 띠철근이 휨변형한 뒤 코아 콘크리트가 탈락되는 파괴양상을 보인 반면에 크로스타이가 있는 기둥은 균열이 발생한 이후에도 코아 콘크리트를 효과적으로 구속하여 내력 및 연성을 증진시키는 것으로 나타났다.
- (2) 횡방향 대변형시, 갈고리형 크로스타이는 90° 갈고리 부분이 퍼지면서 코아 콘크리트가 탈락되는 양상을 보이지만 헤드형 크로스타이는 대변형 시에도 헤드가 매우 효과적으로 띠철근과 주근을 구속하여 높은 내력과 연성능력을 발휘하는 것으로 나타났다.
- (3) 크로스타이가 있음으로서 기둥의 내력과 연성비는 각각 1.5배와 2.7배 이상 상승되며 특히 갈고리형에 비하여 헤드형 크로스타이를 사용할 경우, 내력과 연성비가 각각 1.2배와 1.3배 이상 증진되는 것으로 나타났다. 이로부터 헤드형 크로스타이가 코아 콘크리트의 횡구속에 매우 효과적임을 알 수 있다.
- (3) 헤드형 크로스 타이는 기둥의 최종과괴시, 즉 횡방향 대변형이 발생하는 경우에도 헤드가 띠철근 및 코아 콘크리트를 효과적으로 구속하기 때문에 높은 축응력이 작용하는 고강도 콘크리트 등에 매우 효과적일 것으로 사료되므로 추후 이에 대한 지속적인 연구가 요망된다. 또한 추가적인 실험을 통하여 헤드에 의한 횡구속효과를 적절히 반영할 수 있는 구속모델의 개발이 필요한 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 지역컨소시엄사업 지원에 의하여 수행된 연구의 일부로서 헤드형 크로스타이는 ㈜부원비엠에스에서 제작되었음. 실험과 관련하여, 실험체제작과 실험과정에 많은 도움을 준 김민식, 최기철군에게 감사드립니다.

참고문헌

1. 대한건축학회, “건축구조기준 및 해설”, 2009, p.365.
2. 서수연, 윤승조, 김병철, “헤드철근을 사용한 철근콘크리트 모서리 접합부의 이력거동에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 제23권 8호, 2007. 8, pp.27-34.
3. 신현오, 양준모, 윤영수, “헤드 바를 사용한 외부 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 내진성능 향상”, 구조물진단학회지, 제15권 3호, 2011. 5, pp.186-194.
4. 윤승조, 김성수, 서수연, 이대교, “헤드형 크로스타이로 횡구속된 R/C 기둥의 내력에 관한 실험연구”, 대한건축학회논문집, 제11권 3호, 2009. 9, pp.185-192.
5. 천성철, 김대영, “철근 기계적 정착장치의 설계 고려사항과 인발특성”, 한국콘크리트학회논문집, 제13권 6호, 2001. 11, pp.593-601.
6. ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11) and Commentary”, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI. 2011, pp.216-218.
7. Kang, T. H.-K, Shin, M., Mitra, N. and Bonacci, J. F., “Seismic Design of Reinforced Concrete Beam-Column Joints with Headed Bars”, ACI Structural Journal, vol. 106, No. 6, Nov.-Dec. 2009, pp.868-877.
8. Mander, J. B., Prestly, M. J. N. and Park, R., “Theoretical Bridge Columns under Seismic Loading”, ACI Structural Journal, vol. 84, No. 1, Jan-Feb, 1987, pp.61-67.
9. Sheikh, Shamin A. and Uzumeri, S. M., “Analytical Model for Concrete Confinement in Tied Columns”, proceeding, ASCE, vol. 108, ST12, Dec. 1982, pp.2703-2722.
10. Thompson, M. K., Jirsa, J. O. and Breen, J. E., “Behavior and Capacity of Headed Reinforcement”, ACI Structural Journal, vol. 103, No. 4, July-Aug. 2006, pp.522-530.
11. Wallace, J. W., McConnell, S. W., Gupta, P. and Cote, P. A., “Use of Headed Reinforcement in Beam-Column Joints Subjected to Earthquake Loads”, ACI Structural Journal, vol. 95, No. 5, Sept.-Oct., 1998, pp.590-606.

(접수일자 : 2012년 2월 2일)

(수정일자 : 2012년 5월 25일)

(심사완료일자 : 2012년 5월 30일)

요 지

본 연구는 철근콘크리트 기둥 횡보강근의 형태 특히 크로스타이의 유무 및 단부 정착형태에 따른 내진성능을 평가하기 위한 실험연구이다. 계획된 실험변수인 크로스타이의 유무, 크로스타이의 단부 정착형태(헤드형 또는 갈고리형), 그리고 기둥 축응력의 크기에 따라 총 5개의 기둥 실험체를 제작한 뒤 일정 축력하에 횡방향 반복가력 실험을 수행한 후, 크로스타이가 철근콘크리트 기둥의 구조성능에 미치는 영향을 평가하였다.

실험으로부터, 크로스타이가 없이 띠철근만으로 횡보강된 기둥은, 낮은 횡력에서 균열과 함께 띠철근이 휨변형한 뒤 코어 콘크리트가 탈락되는 파괴양상을 보인 반면에 크로스타이가 있는 기둥은 균열이 발생한 이후에도 띠철근이 휨변형과 주근좌굴을 억제하고 코어 콘크리트를 효과적으로 구속하여 내력 및 연성을 증진시키는 것으로 나타났다. 횡방향 대변형시, 갈고리형 크로스타이는 90° 갈고리 부분이 퍼지면서 코어 콘크리트가 탈락되는 양상을 보이지만 헤드형 크로스타이는 대변형 시에도 헤드가 매우 효과적으로 띠철근과 주근을 구속하여 높은 내력과 연성능력을 발휘하는 것으로 나타났다.

핵심 용어 : 철근콘크리트 기둥, 크로스타이, 헤드형, 갈고리형, 횡방향 반복가력
