Head로 횡구속된 편심하중을 받는 R/C기둥의 띠철근비의 영향

The Effect of Spacing of Transverse Steel on R/C Column Laterally Reinforced with Head Subjected to Eccentric Loading

윤승조* 이우진** 김상구*** 윤용대**** 서수연* 김성수*****
Yoon, Seung-Joe Lee, Woo-Jin Kim, Sang-Koo Yoon, Yong-Dae Seo, Soo-Yeon Kim, Seoung-Soo

ABSTRACT

This study investigated the behavior of R/C column confined with headed crossties subjected to eccentric loading. The 16 specimens are designed to have adequate confinement steel, determined by ACI seismic design. The variables studied in this research test are eccentricity to depth ratios, spacing of lateral steel and the anchor type of end of crossties. From the test results, all columns showed similar behavior up to the peak load but those columns laterally confined with head presented more ductile behavior after the peak load. The comparisons indicate that the flexural behavior of confined-concrete columns can be computed resonable accurately by P-M interaction curve.

1. 서론

강화된 내진설계기준을 포함하고 있는 KBC 2005기준에 따라 기둥의 횡구속력을 높이기 위해서는 보다 많은 띠철근의 보강이 필요하게 되었으며, 횡보강근의 단부정착은 내진갈고리를 사용하도록 권장하고 있다. 이러한 복잡한 철근배근이 현장에서 잘 시행되고 있는지는 의심하지 않을 수 없다. 따라서 기계적 정착장치를 사용할 경우, 정착길이 없이 시공이 가능하게 되므로 기둥에서의 철근 과밀배근을 해소하여 현장 시공성 및 경제성을 높이는데 효과적인 대체 방법이 될 수 있다. 본 연구에서는 편심을 받는 기둥의 띠철근 갈고리를 기계적 정착으로 대체 하였을 때에 미치는 영향과 배근간격, 편심거리비에 따른 영향 및 등가 직사각응력분포에 의한 강도해석을 통하여 실험값과 해석값을 비교 분석하고자 편심거리비(0.1, 0.2, 0.3)에 따른 횡보강근의 단부 정착에서 기계적 정착장치의 사용여부를 주요변수로 Head에 의한 기둥의 내력 및 연성에 미치는 영향을 평가하고자 편심축력을 받는 시험체에 대한 실험연구를 수행한다. 실험결과를 바탕으로 Head의 사용유무, 정착형태, 배근간격, 편심거리별로 ACI에서 등가직사각형 응력블럭변수 α_1, β_1값을 사용한 P-M상관곡선을 사용하여 Head의 적용성을 평가하고자 한다.

Fig. 1 Head형상 및 정착판 상세

2. 시험체의 계획 및 제작

2.1 시험체 계획

본 연구는 편심거리비, 횡보강근의 단부 정착에서 기계적 정착장치의 사용여부를 주요변수로 Head에 의한 기둥의 내력 및 연성에 미치는 영향을 평가하고자 Fig. 2과 같이 띠철근의 배근형태를 표준갈고리를 갖는 A형 시험체와 한쪽은 갈고리와 한쪽은 Head를 갖는 B형 시험체를 제작하였으며, 기본적으로 띠철근량은

*정회원, 충주대학교 건축공학과, 교수
**정회원, 충주대학교 건축공학과 시간강사, 공학박사
***정회원, 부원BMS 기술이사
****정회원, 청주대학교 건축공학부, 박사과정
*****정회원, 청주대학교 건축공학부, 교수

ACI 기준의 내진설계를 만족하도록 계획하였다. 또한 띠철근의 배근간격에 대한 영향을 평가하고자 배근간격을 10, 15cm로 달리하였다. Table 1에서 시험체 일람을 나타내었으며, 본 시험에 사용된 Head의 형상 및 상세는 Fig. 1과 같고, 시험체 형상 및 배근상세는 Fig. 2와 같다. 시험체는 띠철근의 배근간격에 따라 주근비와 띠철근의 체적비를 일정하게 하였으며, 띠철근의 간격, Head의 사용유무를 주요 변수로 하여 편심축력을 받는 총 16개의 시험체를 제작하여 평가하고자 한다.

2.2 시험체 설치 및 가력

본 실험은 4,900kN용량의 만능시험기(U.T.M)를 사용하여 하중제어 방식으로 편심거리에 따라 축력을 정적으로 가력하였다. 축변형도 측정은 Photo 1에서 보는 것과 같이 기둥의 길이방향으로 시험체 중앙부 40cm에서 측정하였고, 횡변위의 측정은 1면에 중앙부 60cm부분에 타설시 매립되어 있는 강봉에 고정철물을 이용하여 1개의 전기식 변위계 (L.V.D.T)로, 축변위는 2면에 전기식 변위계 (L.V.D.T) 2개씩 설치하여 측정하였다. 주근 및 띠철근의변형도는 매립된 Wire Strain Gage(W.S.G)로 콘크리트의 변형도는 Concrete Strain Gage(C.S.G)를 사용하여 측정하였으며 측정 데이터 값 기록은 Date Logger에 의해 자동 기록하였다.

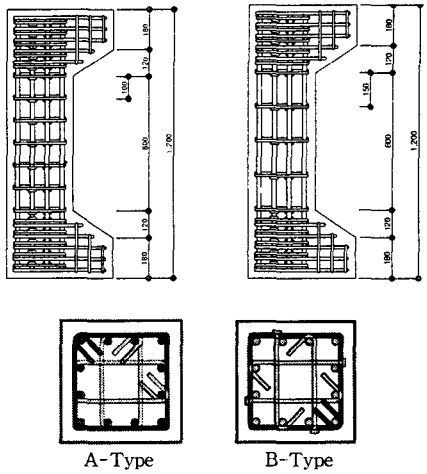

Fig. 2 시험체 형상 및 배근 상세

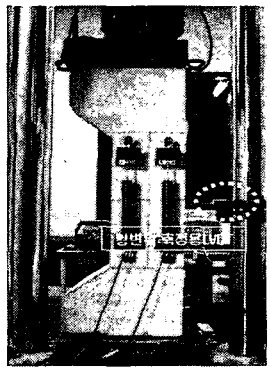

Photo 1 시험체 설치상황

3. 실험결과 및 분석

3.1 파괴양상

전반적인 시험체의 파괴양상을 살펴보면 초기균열 발생 전까지는 탄성적인 거동을 보이다가 인장측 단면의 중앙부 위치에서 휨 인장균열이 발생하였으며, 초기균열 발생 후 균열이 점점 진전되어 시험체 압축측 전체 혹은 측면으로까지 확산되었다. 대개 압축측 양단부에서 시작되는 균열의 진전은 수직균열 양상을 보이면서 압축측 피복콘크리트의 탈락이나 압괴를 유발하고, 이로 인해 단면감소를 가져와 인장측에 휨균열이 발생되면서 이에 따른 급속한 단면결손으로 인하여 최대하중 이후에 비탄성적인 거동을 보이면서 내력의 감소로 인하여 최종파괴 되었다. 압축측 콘크리트는 피복콘크리트의 분리현상이 압축면의 전면에 걸쳐 발생하였다. 파괴양상은 Head를 사용한 시험체와 기본시험체가 거의 유사한 파괴를 나타내었다. 주근의 좌굴은 기본 시험체에서 주근좌굴현상을 보면 기본시험체에서는 주근의 좌굴이 뚜렷하게 나타낸 반면 Head를 사용한 시험체에서는 주근의 좌굴이 일어나지 않은 것으로 보아 정착판이 주근 좌굴을 지연시키는데 영향을 미치는 것으로 사료된다.

Table 1 시험체 일람표

Specimen	f_{28} (MPa)	Size of Columns (mm)	Height (mm)	Longitudinal Reinforcement		Transverse reinforcement			
						Anchor type of end		Volumetric ratio	Spacing (mm)
						Hoop	Crosstie		
AL10A	26.2	300 ×300	1200	12-D19 (SD400)	0.0382	SH	SH+SH	0.0266	100
EL10A-1,2,3									
AL10B						SH	SH+MA		
EL10B-1,2,3									
AL15A						SH	SH+SH	0.0151	150
EL15A-1, 2, 3									
AL5B						SH	SH+MA		
EL15B-1, 2, 3									

AL10A: SC-Square Column A, B : Arrangement Type of Hoop
AL: Axial Load EL: Eccentrically Load 1, 2, 3: eccentricity to depth ratios(3cm, 6cm, 9cm)
SH: Standard Hoop MA: Mechanical Anchor

3.2 편심거리비 변화에 따른 최대내력비교

편심거리에 따른 기둥의 거동을 비교·분석하기 위하여 기본시험체와 기계적 정착장치를 사용한 시험체를 제작하여 편심거리를 다르게 하여 실험을 실시한다. ACI 규준에서 정하고 있는 최소 편심거리 e/h(=0.1h)가 3cm 인 시험체와 그 이상의 편심거리 e/h(=0.2), e/h(=0.3)로 가력한다. 또한 중심축력을 받는 기둥의 최대내력과 비교하여 편심거리비에 따른 역학적 거동을 파악하고자 한다. 콘크리트 압축강도가 26.2MPa인 EL10A 시험체의 최대하중의 비교로부터 편심거리가 3cm인 시험체의 경우 2954.09kN, 편심거리 6cm의 경우 최대하중 2360.09kN, 편심거리가 9cm의 경우 1776.79kN로 편심거리비가 0.1, 0.2, 0.3으로 증가함에 따라 그림에서 보여 주듯이 각각 축력을 받는 AL10A 시험체와 비교하면 최대내력이 16%, 33%, 50%로 감소하는 것으로 나타났다. EL10B 시험체의 편심거리별 최대하중의 비교로부터 편심거리가 3cm인 EL10A 시험체의 경우 2870.79kN, 편심거리 6cm의 경우 최대하중 2421.89kN, 편심거리가 9cm의 경우 1877.34kN로 편심거리비가 0.1, 0.2, 0.3으로 증가함에 따라 그림에서 보여 주듯이 각각 축력을 받는 AL10B 시험체와 비교하면 최대내력이 16%, 29%, 45%로 감소하는 것으로 나타났다. EL15A 시험체의 편심거리별 최대하중의 비교로부터 편심거리가 3cm인 EL10A 시험체의 경우 3071.02kN, 편심거리 6cm의 경우 최대하중 2310.45kN, 편심거리가 9cm의 경우 1686.54kN로 편심거리비가 0.1, 0.2, 0.3으로 증가함에 따라 그림에서 보여 주듯이 각각 축력을 받는 AL15A 시험체와 비교하면 최대내력이 5%, 29%, 48%로 감소하는 것으로 나타났다. EL15B 시험체의 편심거리별 최대하중의 비교로부터 편심거리가 3cm인 EL10A 시험체의 경우 2858.54kN, 편심거리 6cm의 경우 최대하중 2355.48kN, 편심거리가 9cm의 경우 1767.96kN로 편심거리비가 0.1, 0.2, 0.3으로 증가함에 따라 그림에서 보여 주듯이 각각 축력을 받는 AL15B 시험체와 비교하면 최대내력이 17%, 32%, 49%로 감소하는 것으로 나타났다. 이상에서 각 시험체의 거동을 최대내력면에서 살펴본 바와 같이 편심거리가 증가함에 따라 최대내력은 감소하였으나, Head로 횡구속된 B형 시험체의 경우 표준갈고리 시험체보다 내력감소가 적은 것으로 나타났다.

Table 2 실험결과

Specimen	Transverse reinforcement		e/h	P_{max} (kN)	M_{max} (kN·m) $=P_{max}(e/h+\delta)$	δ (mm)
	Spacing (mm)	ρ_s (%)				
AL10A	100	2.66	0	3493.24	-	1.23
EL10A-1			0.1	2954.09	99.14	3.56
EL10A-2			0.2	2360.09	152.83	4.73
EL10A-3			0.3	1776.79	169.63	5.47
AL10B			0	3386.70	-	1.29
EL10B-1			0.1	2870.79	99.04	4.55
EL10B-2			0.2	2421.89	157.76	5.14
EL10B-3			0.3	1877.34	180.49	6.14
AL15A	150	1.51	0	3211.99	-	1.12
EL15A-1			0.1	3071.02	108.31	5.27
EL15A-2			0.2	2310.45	147.61	3.89
EL15A-3			0.3	1686.54	160.93	5.42
AL15B			0	3431.83	-	1.13
EL15B-1			0.1	2858.54	93.85	2.83
EL15B-2			0.2	2355.48	151.39	4.27
EL15B-3			0.3	1767.96	167.07	4.56

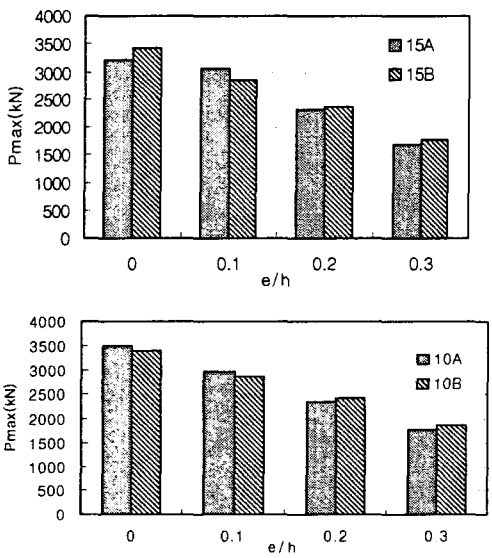

Fig. 3 편심거리비에 따른 최대내력비교

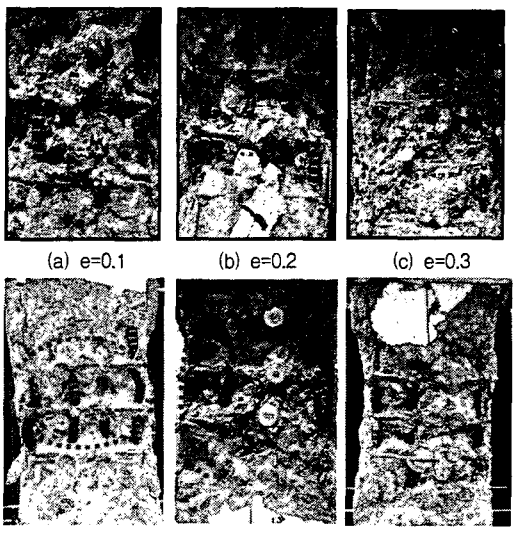

Photo 2 시험체별 파괴양상(주근 좌굴)

3.3 P-M상관 곡선

휨 이론에서 사용되어지는 응력블록에서의 알파와 베타를 응력블록의 변수를 나타내고 있습니다. 실험결과를 바탕으로 직사각형 등가응력블록의 α_1와 β_1을 변수로 하는 기준 및 제안식을 이용하여 다음과 같이 작성하였다. 앞에서 조사한 값들중 유사한 값들을 제외한 4가지를 사용하여 다음과 같이 P-M상관곡선으로 표시하였고, 그에 따른 실험값들을 나타내었다.

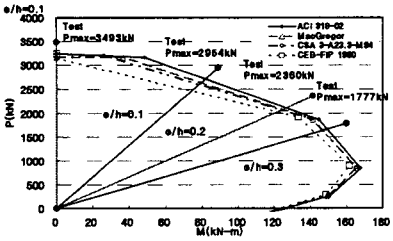

Fig. 4 P-M상관곡선(10A Series)

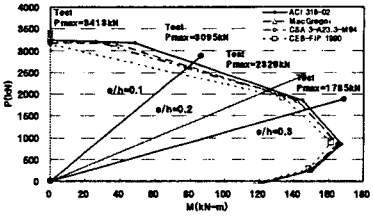

Fig. 5 P-M상관곡선(10B Series)

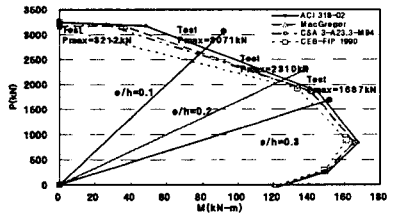

Fig. 6 P-M상관곡선(15A Series)

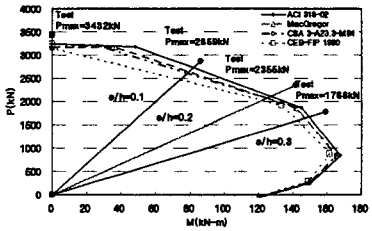

Fig. 7 P-M상관곡선(15B Series)

Fig. 4~7에서 살펴보면, 보통강도 콘크리트인 경우 CSA, CEB, Ibrahim and MacGregor, NZS 기준식의 경우 등가 직사각형 응력블록의 α1, β1의 값을 사용하였을 때 모든 기준식들이 안정적으로 예측하고 있다. 특히 ACI 기준이 가장 일치하며 CEB는 가장 낮게 나타나고 있다. A, B Series의 경우 ACI 등가 직사각형 응력블록에 의한 해석치보다 실험치가 모두 크므로 매우 안정적인 값을 나타내었으며, Head를 사용한 경우 기본 시험체보다 크게 나타났다. 편심거리가 증가할수록 휨강도는 증가함으로써 ACI 등가직사각형 응력블록에 의한 해석치에 근접하게 된다. 편심하중의 작용시 최대내력이 모두 상관곡선 바깥쪽에 위치하고 있어 극한강도 설계시 등가 응력블록에 대한 α1, β1 값들은 콘크리트 기둥의 강도해석시 안전한 것으로 판단된다.

4. 결론

편심거리비(0.1, 0.2, 0.3)에 따른 횡보강근의 단부 정착에서 기계적 정착장치 및 띠철근의 간격을 주요변수로 Head에 의한 편심축력을 받는 시험체에 대한 실험연구를 수행한 결과를 바탕으로 하여 ACI에서 등가 직사각형 응력블럭변수 α_1, β_1값을 사용한 P-M상관곡선을 비교·분석한 결과 .이상의 실험결과를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 시험체의 파괴양상은 초기에 단부부분에 수직균열이 발생한 후 항복 시 압축측에는 측정구간에 수직균열과 인장측에는 휨균열이 집중되었고, 최종파괴 시 취성적인 파괴를 나타냈으며, Head로 횡구속한 시험체와 기본 시험체의 파괴양상은 거의 유사한 파괴를 나타내고 있다.
2) 정착판(Head)으로 횡구속된 시험체에서는 기본시험체보다 주근좌굴이 거의 일어나지 않은 것으로 보아 횡보강근의 사이에서 정착판이 주근 좌굴을 지연시키는데 영향을 미치는 것으로 사료된다.
3) 압축이 지배적인 경우와 휨이 지배적인 경우 전반적으로 이론값과 해석값을 비교하면 해석값이 모두 상관곡선 바깥쪽에 위치한 것으로 나타났으며 콘크리트 기둥의 해석 시 응력블록변수 α_1와 β_1은 모두 안전한 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. Azizinamini, A., Kuska, S. S. B., Brungardt, P and Hatfield, E., "Seismic Behavior of Square High-Strength Concrete Column," ACI Structural Journal, V. 91, No. 3, May-June 1994, pp. 336~345
2. SungJin Bae., and Oguzhan Bayrak. "Stress Block Parameters for High-Strength Concrete Members," ACI Structural Journal, V. 100, No. 5, September-October 2003. pp. 625~636
3. Togay Ozbakkaloglu., and Murat Saatcioglu., "Rectangular Stress Block for High-Strength Concrete," ACI Structural Journal, V. 101, No. 4, July-August 2004. pp. 475~483
4. CAN 3-A23.3-M94, "Design of Concrete Structures in Buildings," Canadian Standard Association, Rexdale, Ontario, Canada, 1994.
5. NZS3101-1995, "The Design of Concrete Structures," Standards New Zealand, Wellington, New Zealand, 1995, 520.
6. ACI 318, 2002, "Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI318-02) and Commentary (318R-02)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich. 443 pp.