

# 중공사각단면 기둥에 있어서 횡철근과 Cross-tie의 횡방향 구속 효과에 대한 해석적 연구

## An Analytical Study on Confinement Effect of Transverse Reinforcement and Cross-Tie in Hollow Rectangular Sectional Columns

김 익 현\*      정 영 식\*\*      신 원 철\*\*\*      선 창 호\*\*\*\*  
Kim, Ick Hyun    Chung, Young Sik    Sin, Weon Cheol    Sun, Chang Ho

### ABSTRACT

This paper presents the confinement effect of transverse reinforcement and cross-tie in hollow rectangular sectional columns. 20 analytical models with different amounts of transverse reinforcement and cross-tie in a plastic hinge region were analyzed by 3D nonlinear FEM. The analytical results show that the higher ductility can be achieved by the reasonable combination of transverse re-bar and cross-tie providing sufficient lateral confinement.

#### 1. 서론

중공단면 기둥은 횡구속이 어렵다는 단점을 지니고 있지만, 중실단면에 비해 자중이 작고 단면 2차 모멘트가 커서 설계시에 유리한 면이 있다. 그러나 중공단면 기둥의 거동 특성에 관한 연구는 중실 단면에 비하여 적게 수행되어 온 것이 현실이다. 이에 본 연구에서는 해외에서 수행된 중공단면 기둥의 실험 데이터<sup>(1)</sup>를 기본으로 하여 횡철근 및 Cross-tie의 횡구속 효과와 중공단면 기둥의 거동특성에 대한 해석적 연구(3D 비선형 해석)를 수행하였다.

#### 2. RC기둥의 비선형 해석

##### 2.1 해석모델의 상세

해외 실험모델<sup>(1)</sup>을 기본으로 소성힌지영역에서의 횡철근비, Cross-tie비와 전단경간비를 변수로 하여 모델을 작성하였다(표1 참조). 모델의 단면은 26×26(cm) 크기의 중공을 가진 50×50(cm) 크기의 사각형단면(그림1 참조)으로 콘크리트 강도는 300(kgf/cm<sup>2</sup>), 주철근 강도는 4857(kgf/cm<sup>2</sup>), 횡철근은 4132(kgf/cm<sup>2</sup>) 그리고 Cross-tie 강도는 3570(kgf/cm<sup>2</sup>)이다. 축력비( $P/f_c'A_g$ )는 18.5%이며 주철근비는

\* 정회원, 울산대학교 건설환경공학부 조교수

\*\* 정회원, 울산대학교 건설환경공학부 교수

\*\*\* 정회원, 울산대학교 건설환경공학부 석사과정

\*\*\*\* 정회원, 울산대학교 건설환경공학부 박사수료

1.9%이다. 횡철근과 Cross-tie의 간격은 50(cm)이다. 해석에서의 기본모델(모델명 LS1C1)은 높이 180(cm)로 소성힌지영역에서의 횡철근량과 Cross-tie량은 ACI(1995) Code 기준의 각각 44%와 51%이다. 본 논문에서는 이 모델을 기본모델로 하여 횡철근비·Cross-tie비를 기본모델의 3배까지 변화 시켜 10개의 해석모델을 작성하였다. 또한 높이가 125(cm)인 경우에 대해서도 동일한 10개의 모델을 작성하였다. 모델명에서 숫자 0의 의미는 철근이 없음을 나타내며 1은 기본모델과 동일한 철근비, 3은 기본모델의 철근비보다 3배 많다는 것을 의미한다.

## 2.2 해석 방법

3차원 입체(solid)요소를 사용하여 유한요소(분산균열모델) 해석을 수행하였다. 해석단면의 요소분할은 그림 2와 같다. 주철근, 횡철근 및 Cross-tie는 해석요소에 분산되어 모델링 되므로 요소 내에서의 해석결과 값(응력, 변형률)은 평균적인 값을 주게 된다.

적용한 재료구성모델은 콘크리트와 철근의 구성방정식으로 구성되며 콘크리트는 압축, 인장 및 전단모델로 구성된다. 콘크리트의 압축모델은 탄소성 파괴(Elasto-Plastic Fracture)모델<sup>(2)</sup>, 인장모델은 콘크리트와 철근의 부착특성에 의해 균열 이후에도 작용하중을 균열이 발생하지 않는 이웃 단면으로 전달될 수 있도록 인장경화(Tension Stiffening)모델<sup>(3)</sup>을 적용하였다. 전단모델은 접촉밀도 함수를 가정한 모델(Contact Density Model)<sup>(4)</sup>을 채용하였다. 철근모델은 콘크리트 내에 묻힌 철근의 평균적인 응력특성을 고려할 수 있도록 평균응력-평균변형도 관계<sup>(5)</sup>를 적용하였다.

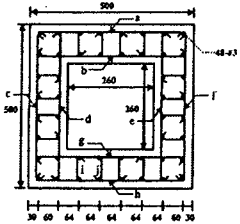


그림1. 모델 단면

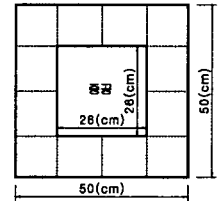


그림2. 해석모델 단면요소

## 2.3 해석 결과

그림 3은 주요 해석모델에 대한 수평하중-변위 곡선이다. 기본모델(LS1C1)에 대해서는 실험결과도 함께 나타내었다. 해석에서의 극한 하중은 실험과 매우 유사하며 변위는 실험에 비하여 다소 적다. 이는 그림에서 보듯이 실험모델과 해석모델의 초기강성의 차이에 기인하는 바가 크다. 모든 해석모델에 대한 해석결과는 표1과 같다. 항복하중은 극한하중의 75(%)로 가정하였다.

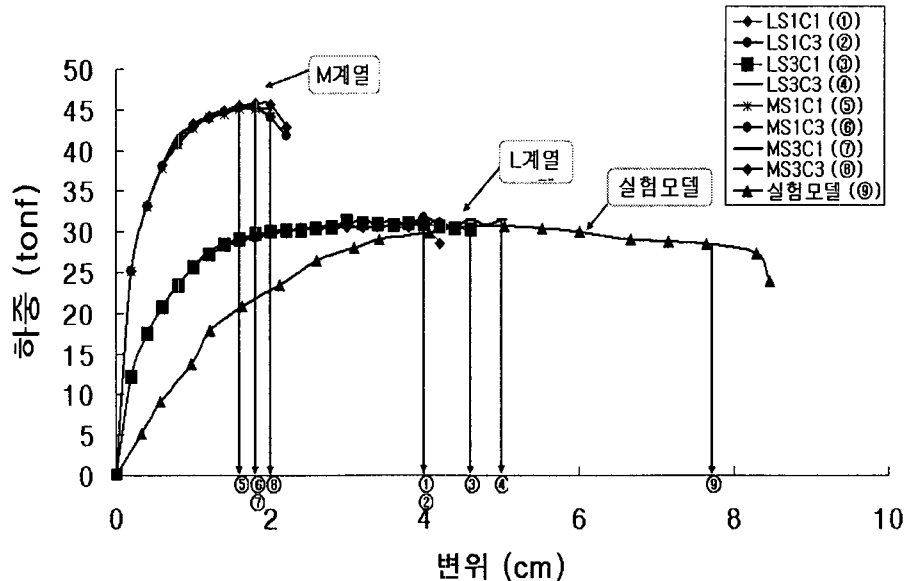


그림3. 수평하중-변위 곡선

표 1. 모델해석 결과

모델명	높이 (cm)	횡철근 (소성힌지영역) Ratio(%)	Cross-tie (소성힌지영역) Ratio(%)	구체의 변위		항복하중 (tonf)	극한하중 (tonf)	연성도	비고
				항복변위 (cm)	총변위* (cm)				
LS0C0	180	0.0000	0.0000	0.61	2.40	20.84	27.78	4.0	
LS0C1		0.0000	0.1481	0.59	2.60	20.63	27.50	4.4	
LS0C3		0.0000	0.4443	0.60	2.60	20.76	27.68	4.3	
LS1C0		0.0997	0.0000	0.75	4.14	22.71	30.28	5.5	
LS1C1		0.0997	0.1481	0.78	4.60	23.09	30.78	5.9	수치해석결과
LS1C1 (기본모델)		0.0997	0.1481	1.79	7.74	21.00	30.78	4.4	해의실험결과
LS1C3		0.0997	0.4443	0.83	5.00	23.79	31.72	6.0	
LS3C0		0.2990	0.0000	0.76	4.65	22.86	30.48	6.2	
LS3C1		0.2990	0.1481	0.75	5.40	22.70	30.26	7.2	
LS3C1.5		0.2990	0.0222	0.76	5.40	22.98	30.64	7.1	
LS3C3		0.2990	0.4443	0.82	5.91	23.63	31.50	7.2	
MS0C0		125	0.0000	0.0000	0.27	0.60	27.75	37.00	2.2
MS0C1	0.0000		0.1481	0.28	0.60	27.99	37.32	2.2	
MS0C3	0.0000		0.4443	0.28	0.60	27.93	37.24	2.2	
MS1C0	0.0997		0.0000	0.42	1.63	33.57	44.76	3.9	
MS1C1	0.0997		0.1481	0.44	1.64	33.87	45.16	3.8	
MS1C3	0.0997		0.4443	0.44	1.83	33.95	45.26	4.2	
MS3C0	0.2990		0.0000	0.39	1.60	32.76	43.68	4.1	
MS3C1	0.2990		0.1481	0.44	1.88	33.95	45.26	4.3	
MS3C1.5	0.2990		0.0222	0.44	1.88	34.05	45.40	4.3	
MS3C3	0.2990		0.4443	0.44	2.14	34.19	45.58	4.8	

\* Pull-out<sup>(6)</sup>량 포함

3. 해석결과 분석

3.1 횡철근, Cross-tie, 전단경간비(a/d)에 따른 연성도 변화

그림 4는 횡철근비 · Cross-tie비와 연성도와와의 관계를 나타낸다. 횡철근과 Cross-tie의 증가로 전단경간비(a/d)가 3.6인 모델(이하 L계열)과 2.5인 모델(이하 M계열)에서 변위연성도가 1.6~2.2배 증가하여 효과적인 횡구속을 제공하고 있음을 알 수 있다. 그림 5는 동일한 Cross-tie비에서 횡철근의 변화에 따른 연성도의 변화를 나타낸 것이다. 그림4와 유사한 경향을 나타내고 있어 횡구속은 대부분 횡철근에 의하여 제공되는 것을 알 수 있다. 그림 6은 동일한 횡철근비에서 Cross-tie의 변화에 따른 연성도의 변화이다. Cross-tie의 증가에 따른 연성도 증가의 효과가 크지 않아 횡철근의 횡구속효과를 증진하는데 보조하는 역할을 한다는 것을 알 수 있다.

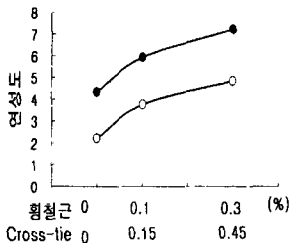


그림 4. 횡철근비 · Cross-tie비와 연성도

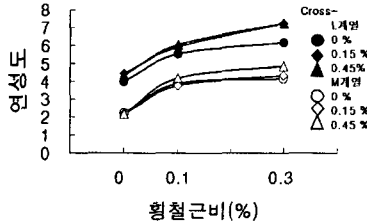


그림 5. 횡철근비와 연성도

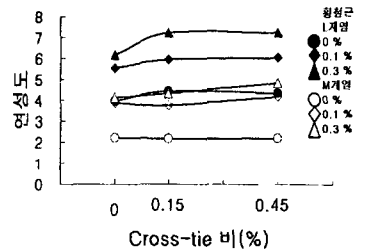


그림 6. Cross-tie비와 연성도

### 3.2 횡철근 변형도 분포 특성

대표적인 3개의 모델의 압축영역의 횡철근의 변형률분포를 그림7에 나타내었다. 해석모델의 단면이 대칭(X축)이어서 하중직각방향으로 단면의 1/2에 대해서 나타내었다. 위치①의 횡철근은 중립축 근처에 위치하고 횡방향 변형도가 크지 않다. 위치②의 횡철근의 중간부분의 변형률이 모서리 부분의 변형률이 보다 작아 작은 횡구속을 제공하고 있다. 한편, 모서리 부분의 파괴시 변형률은 1.2(%)~1.6(%) 수준으로 횡철량과 Cross-tie량이 많은 모델에서 상대적으로 낮은 변형률레벨을 나타내었다.

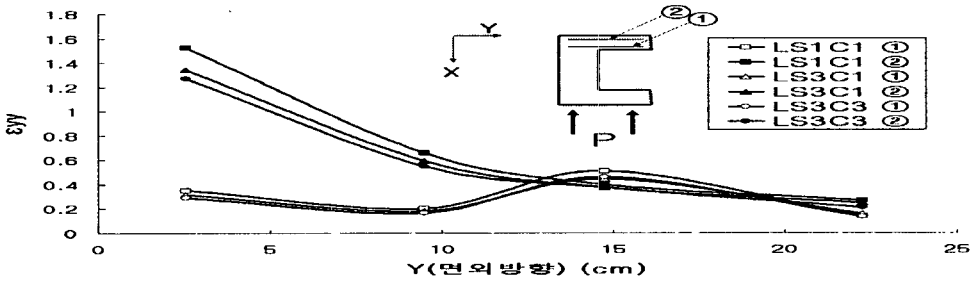


그림 7. 횡철근 변형률

### 4. 결론

본 논문의 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 횡철근량과 Cross-tie량의 증가로 전단경간비가 큰 모델( $a/d=3.6$ )과 작은 모델( $a/d=2.5$ )에서 각각 1.8배, 2.2배의 연성도가 증가하여 효과적으로 횡구속을 제공할 수 있음 알 수 있었다.
- (2) 동일한 Cross-tie비에서 횡철근량의 증가로 전단경간비가 큰 모델( $a/d=3.6$ )에서는 1.5~1.7배, 작은 모델( $a/d=2.5$ )은 1.9~2.0배의 연성도 증가의 효과가 나타나 횡철근량이 횡구속 효과에 크게 기여함을 알 수 있었다.
- (3) 동일한 횡철근비에서 전단경간비가 큰 모델( $a/d=3.6$ )에서는 Cross-tie량 증가에 따른 약간의 연성도 증가가 있었으나, 작은 모델( $a/d=2.5$ )에서는 연성도 증가가 없었다. 즉, Cross-tie는 횡철근의 횡구속 효과 증가에 보조역할을 한다는 것을 알 수 있었다.
- (4) 해석모델의 파괴시 횡철근의 변형률분포는 중앙부가 모서리부 보다 낮아 상대적으로 작은 횡구속을 제공하였다. 효율적인 횡구속을 위해서는 중앙부의 횡구속을 향상시킬 수 있는 상세가 필요함을 알 수 있었다.

### 참고문헌

1. Y.L.Mo and chyuan-Hwan Jeng, "Seismic shear behavior of rectangular hollow bridge columns", (Structural Engineering and Mechanics, Vol. 12, No. 4 (2001) 429-448).
2. Maekawa, K., Takemura, J., Irawan, P., and Irie, M. (1993), "Triaxial-elasto-plastic and fracture model for concrete", *Proc. of JSCE*, No.460, V18, 131-138, 1993.
3. Shima, H., Chou, L. and Okamura, H., "Micro and Macro Models for Bond Behavior in Reinforced Concrete," *Journal of the Faculty of Engineering*, University of Tokyo (B), Vol. 39, No. 2, 1987, pp. 134-194.
4. Li, B., Maekawa, K. and Okamura, H. (1989), "Contact density model for stress transfer cracks in concrete", *Journal of the Faculty of Engineering*, University of Tokyo(B), Vol40, No1, pp.9-52, 1989.
5. Kato, B., "Mechanical Properties of Steel under Load Cycles Idealizing Seismic Actions," *CEB Bulletin D'information*, 131, 1979, pp. 7-27.
6. 김태훈, 신현목 "지진시 철근콘크리트 기둥-기초 접합부의 불연속 변위에 관한 해석적 연구" 콘크리트학회 논문집 제 12권 6호 2000.12.