

## 변형지배거동을 하는 철근콘크리트 기둥의 에너지소산계수에 미치는 축력비의 영향 고찰

### A Study on the Effect of Axial Force Ratio on the Energy Dissipation Factor of Reinforced Concrete Columns Subjected to Deformation Controlled Behavior

○고 관 옥\*      유 석 형\*\*  
Ko, Kwan-Wook      Yoo, Suk-Hyung

#### Abstract

In this study, we investigated the effect of the axial force ratio on the energy dissipation factor of reinforced concrete columns subjected to deformation controlled behavior, and checked how the energy dissipation ability is affected by the axial force ratio through the comparison of the energy dissipation factor of the fiber model and plastic hinge model. As a result, It was found that the energy dissipation factor of the plastic hinge model was higher when the axial force ratio was 0.1 and 0.15, when the axial force ratio was 0.2, the Y-L step showed a plastic hinge model, and the L-R step showed a high energy dissipation factor in the fiber element model.

키워드 : 철근콘크리트 기둥, 변형지배거동, 에너지소산계수, 축력비, 섬유요소모델, 소성힌지모델

Keywords : Reinforced concrete column, Deformation controlled behavior, Energy dissipation factor, Axial force ratio, Fiber model, Plastic hinge model

#### 1. 서론

이전 국내에 규모가 큰 지진이 발생하여 경주, 포항에 큰 피해가 발생하게 되었다. 그로 인해 내진설계 및 내진 성능 평가 등 지진과 관련된 규정이 추가, 조정이 되었다. 구조해석을 하기 위해서는 적절한 구조 모델 선택이 필요하다. 구조 모델링의 경우 탄성 모델과 비탄성 모델로 구분할 수 있다. 정밀한 해석을 하기 위한 비탄성 모델로서, 보, 기둥, 벽체, 연결부 등 구조부재를 세분화한 연속체 유한 요소 모델, 구조부재를 몇 개의 매크로 요소로 모델링 하는 분포 비탄성 모델, 양단 부스에 소성 힌지를 적용 하는 집중소성힌지모델 크게 3가지로 나눌 수 있다. 유한 요소 모델의 경우 실 구조물에 적용하게 되면 정밀한 해석을 얻을 수 있지만 많은 시간이 필요하게 되어 실무에서는 섬유요소모델 또는 집중소성힌지모델 2가지를 사용한다. 대한 건축 학회에서는 2021년에 ‘철근콘크리트 건축구조물의 성능기반 내진설계를 위한 비선형 해석 모델’ (이후 지침서)을 출간하였다. 이전까지 미국의 FEMA356에 제안된 모델을 사용하였다. 이 지침서의 경우

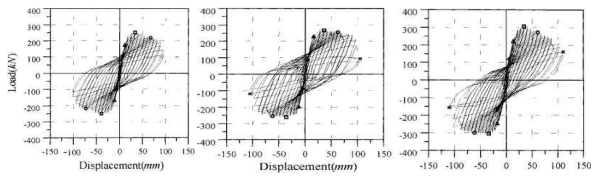
집중소성힌지모델(이후 지침서 모델)에 대한 변수를 새롭게 정의하였고, 지침서 모델에서 주기 하중에 대한 에너지 소산 능력과 강성 저하를 나타내기 위하여 주기 거동 모델을 제시하였다. 이때 섬유 요소 모델의 경우 콘크리트와 철근의 재료 모델을 이용하여 부재를 모델링 한다. 콘크리트 모델로는 주로 철근으로 구속된 콘크리트의 황구속효과를 고려한 재료 모델(Mander et al, 1988)을 사용한다. 철근의 경우 주로 에너지 소산을 고려할 수 있는 Energy Based Model을 사용한다. 지침서에서는 ‘섬유 요소 모델을 사용할 때 철근의 이력 거동에 대하여 에너지 소산 계수를 0.75로 적용한다.’라고 명시가 되어있다. 지침서 모델에 대한 에너지 소산 계수는 철근 항복강도, 철근비와 부재의 강도, 전단 경간 비 등 변수로 두어 계산한다. 하지만 섬유 요소의 모델의 경우 일정한 에너지 소산 계수를 사용하지만, 지침서 모델 계수 값과 섬유 요소 모델의 계수 값이 다르게 되어 부재 주기거동에 대한 에너지소산계수에 대한 검토가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 지침서모델과 섬유요소모델에 대한 에너지 소산 계수를 구하여 비교하기 위하여 구조해석 프로그램 Midas Gen 이용하여 각각의 모델링을 정의하였다. 하중의 경우 [Load]-[Dynamic Loads]-[Time history analysis Data]-[Time Varying Static Loads]을 이용하여 동적 하중을 정의하였다. 축력비를 변수로 두어 축력비에 따른 에너지 소산 계수를 비교하였다.

\* 경상국립대학교 건축공학부 석사과정

\*\* 경상국립대학교 건축공학부 교수, 공학박사

(Corresponding author : Department of Architectural Engineering,  
Gyeongsang National University, zpqmdk123@gnu.ac.kr)



(a)0.1 (b)0.15 (c)0.2  
 Fig. 1 Hysteretic Loops of Force-Displacement Relationships (Mo et al,2000)

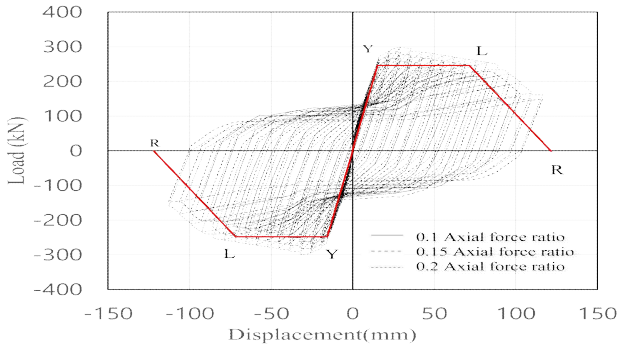


Fig.2 Envelope Curve from Fiber model according to Axial force ratio 0.1, 0.15, 0.2

## 2. 본론

### 2.1 기존연구

철근콘크리트의 기둥에 작용하는 축력비를 0.1, 0.15, 0.2로 변화를 주어 에너지 소산 계수 검토를 위해 이전에 철근콘크리트 기둥의 축력비를 변형해 주어 실험을 하였다.

구조물은 변위 제어장치를 이용하여 철근콘크리트 기둥을 흔들었다, 주기 거동 결과 Fig.1로 나타내었고 축력비가 증가함에 따라 항복변형점이 커진 것을 확인하였다.

### 2.2 에너지소산계수 검토

#### 2.2.1 지침서모델

지침서에서는 기둥을 집중소성형지 모델로 해석하기 위하여 비선형 해석 변수로 제시하고 있으며 단부 집중배근의 에너지 소산 계수를 다음 식.(1)과 같이 산정하도록 하고 있다.

$$\frac{3}{2} \frac{f_y A_s h_s}{M_p + M_N} \lambda \geq 0.15, \text{ and } \lambda = \frac{l_s}{3h} (\leq 1) \quad (1)$$

#### 2.2.2 섬유요소모델

기존 연구에 사용하였던 직사각형 철근콘크리트 기둥 실험체(Mo et al, 2000)를 섬유 요소 모델링 하였다. 힘-변형 관계 곡선을 구하기 위해 Fig.2와 같이 해석 결과의 포락곡선에서 Y-L-R 값을 구하였다. Y(Yielding Point)는 항복 변형 점, L(Ductile Limit Point)은 한계 변형점, R(Residual Strength Point)는 파괴 변형점으로 정의하였다.

섬유 요소 모델을 사용하여 해석한 포락곡선을 Fig.3은 Y-L 구간과, L-R 구간을 탄소성거동 에너지소산량과 실제 에너지 소산 양의 비율로 에너지소산계수를 구하였다.

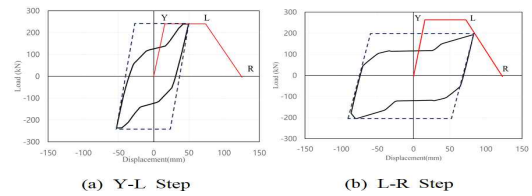


Fig.3 Energy Dissipation factor by Fiber model Result

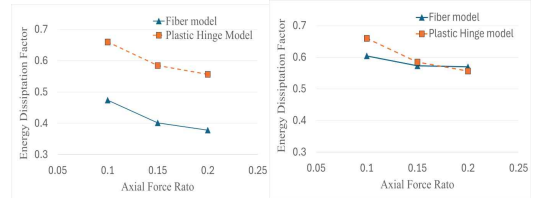


Fig.4 Y-L Step

Fig.5 L-R Step

Table. 1 Energy Dissipation factor of Axial force ratio to modeling

Axial ratio	0.1		0.15		0.2	
Y-L-R Step	Y-L	L-R	Y-L	L-R	Y-L	L-R
Plastic Hinge model	0.659		0.584		0.556	
Fiber model	0.474	0.604	0.401	0.573	0.378	0.57

## 3. 결론

지침서모델과 섬유요소모델에 대하여 축력비 0.1, 0.15, 0.2에 따른 에너지 소산 계수를 구하여 Table.1에 정리하였다. 지침서모델의 경우 이력 단계에 상관없이 일정한 값이 산출되었으며, 축력이 증가함에 따라서 감소하는 것을 확인하였다. 축력비가 증가함에 따라 철근콘크리트의 모멘트 강도가 달라지게 되는데 축력비가 증가하면 모멘트 강도가 크게 산정되어 에너지 소산 계수와 반비례 관계이므로 에너지 소산 계수가 작게 산출되었기 때문인 것으로 사료된다. 섬유 요소 모델의 경우 축력에 늘어남에 지침서모델과 같이 감소하였고, Y-L 구간보다 L-R 구간에서 높게 산출되었다. Fig.4 Fig.5를 통해 Y-L 구간과 L-R 구간에 대하여 Y-L 구간의 경우 지침서모델이 섬유 요소 모델보다 크게 산출되었다. 축력비가 커짐에 따라 에너지 소산 계수의 변화를 차이가 있는데, 이는 축력비가 균형 변형률에 근접하게 되어 모멘트 강도의 차이가 크게 없어지게 되어 차이가 줄어든 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- 유석형 강대영, 반복하중을 받는 철근콘크리트 보의 에너지소산계수 변화 특성 고찰, 한국구조물진단유지공학학회, Vol.27, No. 6, 2023, 86-93쪽
- 유석형, 연결보의 이력단계별 에너지 소산계수의 변화에 관한 연구, 대한건축학회, Vol.39, No.11, 2023, 227-234쪽
- 대한건축학회, 철근콘크리트 건축구조물의 성능기반 내진설계를 위한 비선형 해석모델, 2021
- Y. L. Mo & S. J. Wang. Seismic Behavior of RC Columns with Various Tie Configurations, Journal of Structural Engineering, October 2000