

기둥의 보강철근을 고려한 콘크리트 구조물의 거동 평가

Evaluation of Concrete Structures Considering Reinforcing Bars in Columns

송형수* 권지연** 차희연*** 민창식****
Song, Hyung Soo Gwon, Ji Youn Cha, Hee Youn Min, Chang Shik

ABSTRACT

In this study, we interpreted 20 story building by applying the modified modulus of elasticity considering the reinforcing steel proposed in previous literature, and analyzed the movement of the structure according to axial reinforcing steel ratio and lateral reinforcing steel volume ratio. Additionally, we tried to get the result similar to the actual movement considering the order of the construction by performing the analysis by construction stage. Finally, we tried to reduce the section of the column through the analysis considering the reinforcing steel of the column. When interpreting the 20 story building considering the reinforcing steel in the columns, we can reduce the column members up to 4.94% comparing to the general analysis. If we do the same for each construction stage, it is analyzed that we can reduce up to 19%.

요약

본 연구에서는 기존연구문헌에서 제시하고 있는 보강철근을 고려한 수정탄성계수 식을 적용하여 20층 건물 모델을 해석하였고, 축방향 철근비와 횡방향 철근체적비에 따른구조물의 거동을 분석하였다. 또한 시공단계별 해석을 수행함으로써 시공되는 순서를 고려하여 건물의 실제 거동과 유사한 결과값을 얻고자 하였다. 기둥의 보강철근을 고려한 해석을 통하여 최종적으로 기둥단면의 축소를 시도하였다. 20층의 빌딩 구조물을 기둥의 보강철근을 고려하여 해석을 수행할 경우, 일반해석시 구조물의 기둥부재를 최대 4.94%까지 감소시킬 수 있으며, 시공단계별 해석시에는 최대 19%를 감소시킬 수 있을 것으로 분석되었다.

*정회원, 동국대학교 사회환경시스템공학과 박사과정

**정회원, (주)도화구조 구조팀

***정회원, 동국대학교 사회환경시스템공학과 석사과정

****정회원, 동국대학교 사회환경시스템공학과 교수·공학박사

1. 서 론

최근에 건설되는 구조물들은 초고층화, 초대형화를 추구하고 있으며, 이에 대응할 수 있는 안전성 외에 친환경적, 합리적인 구조시스템으로 인한 경제성 등 건설기술이 다양한 방면에서 요구되고 있다. 현재 현장에서 설계를 위해 사용되고 있는 해석법은 단면에 철근과 콘크리트가 같이 설계되지만, 해석 시에는 해석상의 편의 및 철근의 고려방법 등의 어려움으로 인하여 콘크리트의 강성만을 고려하고 있다. 이러한 해석은 고층 빌딩이나 대형 교량의 교각 같은 부정정 구조물의 부재력 분포 등에 영향을 주고 있으며, 그 결과 모멘트나 전단력 등의 부재력이 과대평가 되거나, 경우에 따라서 과소평가 될 수 있다.

본 연구에서는 철근콘크리트 구조물의 설계를 위한 해석 시 기둥에 보강철근을 고려하고자 운동용 뿔이 제안한 식을 적용하여, 일반적으로 사용되는 해석방법인 보강철근을 고려하지 않은 경우와 비교하여, 기둥부재의 단면 합리화에 대한 검토를 수행하였다.

2. 기둥의 철근을 고려한 고층빌딩의 유한요소해석

2.1 횡방향 철근을 고려한 탄성계수 산정

본 연구에서는 기둥의 횡방향 철근이 심부콘크리트의 구속으로 인한 강성증가를 운동용 뿔이 제안한 기둥의 수정탄성계수를 적용하였다. 이 식은 횡방향 철근에 따른 심부콘크리트의 구속을 고려할 수 있도록 기존의 연구 결과들을 다중회귀분석을 통하여 제안된 식이며 다음과 같다.

$$E_m = E_{cc} \left(1 + c \times \frac{nA_s}{A_g} \right)$$

여기서, n = 탄성계수비 (E_s/E_c), c = 철근콘크리트 부착보정상수 (= 0.5)

$$E_{cc} = E_c \times K^{\rho_s}$$

여기서, K = 횡방향 보강재의 구속효과(나선철근 = 75, 띠철근 = 25)

ρ_s = 코아콘크리트에 대한 횡방향 보강재의 체적비

2.2 유한요소 해석모델 및 변수

본 연구에서 구조해석은 범용구조해석 프로그램인 Midas/gen을 이용하여 철근콘크리트 빌딩구조물을 해석하였으며, 해석에 적용된 구조물은 20층의 빌딩구조물로 층고는 3.6 m로 전체 높이는 72 m이다. 부재의 단면은 해석 편의상 모든 부재의 단면은 보 0.4(가로)×0.7(세로) m, 기둥 0.8×0.8 m로 일정하게 적용하였다. 또한 구조물에 적용된 하중은 실의 용도에 따라 상세히 적용해야 하지만 해석의 편의를 위해 구조물의 자중과 마감하중을 평면전체에 동일하게 적용하였고, 활하중은 구조물을 사무실로 가정하여 평면전체에 일반적인 사무실 하중을 재하하였다. 콘크리트의 설계기준강도는 30 MPa이고, 전체구조물의 형상과 구조물 평면도를 그림 1에 나타내었다.

종방향 철근비(ρ)는 콘크리트구조설계기준(2003)⁹⁾에서 제시한 1%~8%사이의 값인 3%를 사용하였고, 해석의 변수로 횡방향 철근비(ρ_s)를 0%~10% 나누어 탄성계수를 계산하여 적용하였으며, 이에 대한 내용을 표 1에 정리하였다.

표 1 철근비에 따라 적용한 탄성계수

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7
ρ (%)	0	3	3	3	3	3	3
ρ_s (%)	0	0	2	4	6	8	10
E_{cc} (MPa)	25,299	25,299	26,981	28,775	30,689	32,729	34,906
E_m (MPa)	25,299	28,299	30,181	32,188	34,328	36,611	39,044

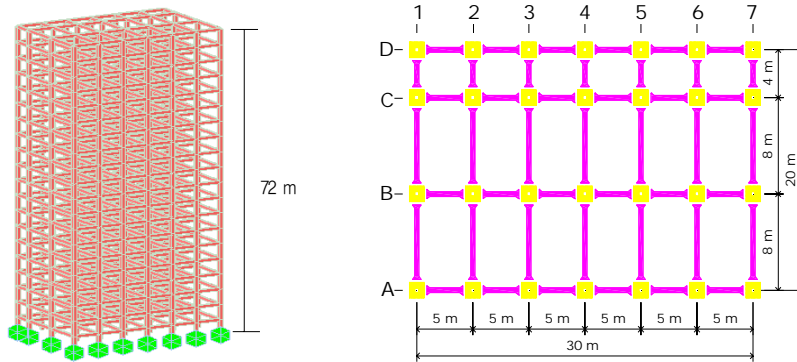


그림 1 전체구조물의 형상과 평면도

3. 기둥의 보강철근을 고려한 단면 합리화

철근콘크리트 구조물에서 기둥의 보강철근을 고려하여 기둥부재의 탄성계수를 제안된 식에 의해 적용함으로써 기둥 단면의 합리화 즉, 단면 축소가 가능할 것이다. 기둥의 단면을 줄임으로써 보 부재력의 증가는 보강철근을 고려하지 않은 경우 발생하는 보 부재의 부재력을 초과하지 않도록 하고, 기둥에서 발생하는 응력은 콘크리트구조 설계기준(2003)에서 제시하는 축강도가 만족하도록 하였으며, 단면 합리화는 다음과 같은 과정을 통해 산출하였다.

- Step 1. 보강철근을 고려하지 않은 경우의 부재력과 보강철근을 고려한 경우의 부재력을 산출한다.
- Step 2. Step 1의 결과 값을 비교하여 보강철근을 고려할 경우 기둥의 단면을 축소함에 따라 부재력의변화를 살펴본다.
- Step 3. 보강철근을 고려하여 기둥단면을 축소할 경우, 보 부재력이 보강철근을 고려하지 않은 경우의 보 부재력과 동일하도록 표 2와 같은 과정을 따른다.

표 2 기둥 단면축소 적용 시 Case 2의(Case 2M, 780×780 mm²) 보 부재력

	Case 1	Case 2	Case 2M (780×780)	Case 2 /Case 1	Case 2M /Case1
Axial (kN)	0	0	0	0	0
Shear-y (kN)	0	0	0	0	0
Shear-z (kN)	292.78	292.67	293.11	0.99	1.001
Torsion (kN · m)	1.73	1.55	1.70	0.90	0.98
Moment-y (kN · m)	630.47	621.68	625.46	0.98	0.99
Moment-z (kN · m)	0	0	0	0	0

- Step 4. 보강철근을 고려하여 기둥단면을 축소할 경우, 보 부재력을 만족한다면 $\phi P_n \geq P_u$ 을 만족하도록 기둥부재에서 발생하는 축력이 기둥의 축강도를 초과하지 않도록 한다.
- Step 5. 기둥부재의 응력을 검토하기 위해 콘크리트구조설계기준(2003)에 따라 $\phi P_n = 0.80 \Phi [0.85f_{ck}(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$ 에 의해 기둥의 축강도를 계산하였다.
- Step 6. 기둥단면 축소하여 수행한 해석결과 값에서 기둥부재의 발생하는 최대 축응력을 산출하여 최대 축하중을 계산한다. ($P_u = f_{axial} \times A_g$)
- Step 7. 위의 과정 Step 1을 모두 만족시키는 단면에 대해 구조물 전체 기둥부재의 감소량을 다음의 표3과 같이 산출한다.

표 3 기둥 단면축소 적용 시 Case 2의 전체 기둥부재 감소량

M.C.R.(mm)	M.C.V.(m ³)	C.V.(m ³)	R.R.(%)
780×780	1,227	1,290	4.94

여기서, M.C.R. : 단면합리화한 기둥부재의 단면
 C.V. : 구조물 전체의 기둥부재 체적
 M.C.V. : 구조물 전체의 단면합리화한 기둥부재 체적
 R.R. : 감소율 (M.C.V./C.V.)

4. 기둥의 보강철근을 고려한 단면 합리화의 결과

기둥의 보강철근을 고려한 철근콘크리트 구조물의 일반해석과 시공단계별 해석에 대한 단면합리화 평가결과는 표 4와 같다.

표 4 일반해석과 시공단계별 해석에 대한 단면합리화 평가결과

	General analysis				Analysis by construction stage			
	M.C.R.(mm)	M.C.V.(m ³)	C.V.(m ³)	R.R.(%)	M.C.R.(mm)	M.C.V.(m ³)	C.V.(m ³)	R.R.(%)
Case 2	780×780	1,227	1,290	4.94	780×780	1,227	1,290	4.94
Case 3	780×780	1,227	1,290	4.94	770×770	1,195	1,290	7.36
Case 4	780×780	1,227	1,290	4.94	750×750	1,134	1,290	12.11
Case 5	780×780	1,227	1,290	4.94	740×740	1,104	1,290	14.44
Case 6	780×780	1,227	1,290	4.94	730×730	1,074	1,290	16.73
Case 7	780×780	1,227	1,290	4.94	720×720	1,045	1,290	19.00

5. 결론

본 연구에서는 철근콘크리트의 압축부재에 배근되는 횡방향 철근의 구속효과와 축방향 철근비를 고려할 수 있는 탄성계수를 적용하여, 기둥의 철근비에 따른 구조물의 거동을 분석하였으며, 또한 기존의 해석방법과 비교분석하여 기둥 단면의 합리화에 대하여 검토하였다. 본 연구에서와 같이 20층의 빌딩 구조물을 기둥의 보강철근을 고려하여 해석을 수행할 경우, 일반해석시 구조물의 기둥부재를 최대 4.94%까지 감소시킬 수 있으며, 시공단계별 해석시에는 최대 19%를 감소시킬 수 있을 것으로 분석되었다. 아울러 이러한 연구결과를 통하여 현행 강도설계법에서 고려되고 있는 하중계수, 강도저감계수 등에 포함된 안전율과 기둥부재의 강성에 대한 과소평가로 인하여, 현재 설계되는 대부분의 빌딩 구조물은 과도한 안전율이 고려된 과다설계의 우려가 있으며, 본 연구에서 수행된 해석기법의 적용으로도 충분한 안전율이 반영된 경제적이고, 합리적인 설계가 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 포스코건설과 동국대학교의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 윤동용, 송형수, 장원석, 민창식, "철근을 고려한 콘크리트 기둥의 수정탄성계수", 구조물진단학회지 논문집, 제9권 제1호 통권31호 (2005. 1), pp.101-110
- 한국콘크리트학회, "콘크리트구조설계기준", 2003.