

구속 철근콘크리트 기둥의 극한강도와 거동해석

Behavior and Ultimate Strength of Restrained
Reinforced Concrete Columns

박 재 운*

Park, Jae Woon

Abstract

In this study, Behavior of Eccentrically Loaded Restrained Concrete Slender Columns⁽¹⁾ are investigated the continuation. The paper is : nonlinear constitutive relations of reinforced concrete columns are formulated, the multivariable nonlinear equation formulated in this study is solved by the incremental iterative method, the solution scheme is suitable for computer application, the proposed method has been compared with the numerical examples and other research results and is shown to be in good agreement.

Accordingly, the objectives of this investigation are to use the method developed to conduct a parametric study of the different variable (Rotational Restraints, Ratio of End Restraints, End Eccentricity, Ratio of End Eccentricities, Lateral Restraint, Concrete Strength, Ratio of Reinforcement, Yield Point of Reinforcement) influencing the behavior and the ultimate strength for columns. Chosen values for different parameters and their variations are based on values encountered in practice and on results of other analytical studies.

요 지

본 연구는 편심축하중을 받는 구속 RC 장주의 거동해석⁽¹⁾에 대한 계속연구로서, 참고문헌(1)에서 철근콘크리트기둥의 비선형성을 고려한 이론해석방법을 도출하고, 이 이론해석방법에 의한 비선형 해석프로그램을 개발하였다. 이 프로그램을 이용하여 정해에 보다 근접한 기둥의 극한강도를 해석하였으며, 만족한 결과를 이미 얻었다. 이 논문에서는 개발한 프로그램을 이용하여 구속 철근콘크리트 기둥의 극한강도와 거동에 영향을 주는 단부회전구속, 단부구속비, 단부편심거리, 단부 편심거리비, 단부횡방향 구속, 콘크리트의 압축강도, 기둥의 철근비, 철근의 항복강도 등 각종 매개변수의 특성을 심도있게 연구, 분석하였다.

1. 서 론

철근콘크리트 구조의 기둥부재는 횡하중과 구조의

연속성 때문에 축방향 하중과 휨모멘트를 겸해 받는 부재로 다루는 것이 일반적이다. 기둥은 기둥의 구성재료, 축하중의 편심거리, 기둥 양단의 단부조건, 세장비 등의 영향을 받는 비선형거동을 하게 된다.

* 경희원 · 관동대학교 이공대학 토목공학과 교수

이런 기둥의 극한강도는 영향인자들을 고려하면서 실제거동에 부합하도록 비선형 해석에 의하여 결정되어야 한다. 본 연구는 편심축하중을 받는 구속 RC장주의 거동해석⁽¹⁾의 계속연구로서, 참고문헌(1)에서 철근콘크리트 뼈대구조물의 기둥에 대한 기하학적 비선형(P-δ), 재료적 비선형(σ-ε), 기둥단부의 비선형(M-θ, H-δ)을 고려한 실제 거동과 부합하는 해석모델을 구성하고, 이 해석모델을 이용하여 이론해석방법을 도출하였다. 또한 이 해석방법으로 비선형 프로그램을 개발하였으며, 이 프로그램을 이용, 실제 거동을 고려한 정해에 근사한 철근콘크리트 기둥의 극한강도를 해석한 바, 비교적 만족한 결과를 얻었다. 따라서, 본 연구에서는 이론해석과정을 통하여 기둥의 극한강도와 거동에 영향을 주는 단부회전구속(K), 단부구속비(K_r), 단부편심거리(e_a, e_b), 단부편심거리비(e_r), 단부횡방향구속(S), 콘크리트의 압축강도(σ_c'), 기둥의 철근비(P_g), 철근의 항복강도(σ_y) 등의 매개변수들이 기둥의 거동에 미치는 역학적 특성을 연구하였다. 본문에서 매개변수의 수치 값의 선택은 철근콘크리트 기둥해석과 설계에서 주로 많이 사용되는 전형적인 값들이며, 일정한 범위를 정하여 선택하였다.

2. 매개변수

철근 콘크리트기둥의 극한강도와 거동을 해석하기 위한 해석모델은 그림 1과 같다.

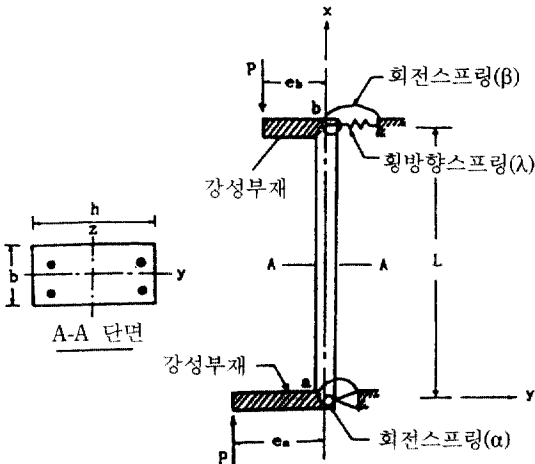


그림 1. 해석 모델

이 해석모델은 뼈대구조물의 실제 거동을 고려한 해석조건으로, 기둥단부의 회전에 대한 구속저항을 기둥의 상단부와 하단부에 회전스프링으로 대치하고, 수평변위에 대한 상단부의 횡방향 상대변위의 구속저항을 횡방향 스프링으로 대치하였다. 하중은 기둥의 소성중심에서부터 e_a 및 e_b 거리(e_a>e_b)에서 강성부재를 통해 기둥에 작용하는 것으로 한다. 기둥의 단면은 직사각형 단면으로 가정하고, 단면의 두 주축에 대해 철근의 위치, 면적, 갯수는 대칭으로 가정하였다.⁽¹⁾

기둥의 이론해석⁽¹⁾을 통한 각종 매개변수의 대수해는 다음과 같다.

$$K = \frac{M_{ru}}{\sigma_c'' b_b h_b^2} : \text{단부회전구속}$$

$$K_r = \frac{K_b}{K_a} \leq 1.0 : \text{단부 구속비}$$

$$K_a = \frac{M_{aru}}{\sigma_c'' b_b h_b^2} : \text{단부 A의 회전구속}$$

$$K_b = \frac{M_{bru}}{\sigma_c'' b_b h_b^2} : \text{단부 B의 회전구속}$$

e/h : 단부의 편심거리

$$e_r = \frac{e_b}{e_a} \leq 1.0 : \text{편심거리비}$$

$$S = \frac{H_u}{\sigma_c'' b h \left(\frac{0.25}{L/h} + 0.002 \right)} : \text{횡방향 구속}$$

여기서,

σ_c'' : 콘크리트의 최대압축강도

P_g : 기둥의 철근비

σ_y : 철근의 항복강도

M_{ru} : 회전스프링의 극한모멘트

M_{aru} : 기둥단부 A의 회전스프링의 극한모멘트

M_{bru} : 기둥단부 B의 회전스프링의 극한모멘트

σ_c' : 콘크리트 원통공시체의 재령 28일 압축강도

H_u = 0.5σ_c'bh(0.25/L/h + 0.002) : 기둥단부 B의 횡방향 스프링의 극한강도

b_b : 보의 폭

h_b : 보의 깊이

표 1. 철근콘크리트 기둥의 매개변수

매개변수		전형적인 값	취급범위
기호	기호명		
K	단부회전구속	0.35	0, 0.35, 0.7, 1.0
K _r	단부회전구속비	1.0	0, 0.5, 1.0
e/h	단부편심거리	0.2	0, 0.05, 0.1, 0.2 0.3, 0.5
e _r	단부편심거리비	1.0	0, 0.5, 1.0
S	단부횡방향구속	∞	0.25, 0.5, 1.0, 1.5, ∞ (e/h=0.2, 0.5와 e _r =0, 0.5에 대하여)
σ _c '	콘크리트 공시체의 재령28일 압축강도	280kg/cm ²	210, 280, 350, 420
p _g	기둥의 철근비	0.04	0.02, 0.04, 0.06, 0.08
σ _y	철근의 항복강도	3500kg/cm ²	2800, 3500, 4200

표 1에 보인 매개변수(제 1란)와 그들의 수치(제 3란)는 실제문제의 범위를 고려한 값들이며, 기존 해석연구^(3,4,5,6)를 참고로 하여 결정하였다. 특별한 검토가 필요한 매개변수 S(제 2란)를 제외하고는 모든 매개변수의 수치값은 기둥의 전형적인 값에 해당된다. 그리고, 횡방향 구속의 영향에 대한 분석은 기둥단부에 전단력을 발생시키기 위하여 단부편심거리를 다르게 선택하였다.

단부편심거리비 e_r=0과 0.5는 기둥거동을 고려할 때, 극단적인 경우와 중간적인 경우를 나타낸다. 횡방향구속의 영향은 전형적인 편심거리 e=0.2h 뿐만 아니라, 횡방향구속의 영향을 확대하기 위하여 e=0.5h를 선택하였다.

실제로 철근 콘크리트 뼈대구조물에서 기둥단부는 다른 부재에 구속되어 있다.

본 연구에서 기둥단부에 있어서 K=0.35의 값은 회전구속의 전형적인 하한치를 표시한다.⁽¹⁾ 반면에 불구속 기둥은 기둥거동 연구에 이용되는 기본 모델이며, 여러 연구^(3,5,7,8)에서 광범위하게 사용하였기 때문에 본 연구에서는 포함시키지 않았다.

3. 구속기둥과 불구속기둥의 모멘트

기둥의 어떤 단면에서 모멘트 M_m은 다음과 같이 나누어 생각할 수 있다.^(9,10)

$$M_m = M_e + M_d - M_r - M_s \quad (3-1)$$

여기서, M_e : 외력에 의한 단모멘트

M_d : 처짐에 의한 모멘트

M_r : 구속 모멘트

M_s : 기둥단부의 전단력에 의한 모멘트

양단부 조건이 같은 불구속 기둥의 경우에는 M_r=M_s=0이다. 이 경우의 변수는 M_d와 M_e만 남게 되는데 이들의 방향은 같은 방향이므로(즉, 기둥 어느 단면에서 전체 모멘트는 이 두 매개변수만에 의해서 표시되므로) 이들의 변화에 대한 기둥의 거동이나 기둥의 극한강도의 예측은 비교적 쉽게 할 수 있게 된다. 이 경우 작용하중이 증가함에 따라 M_d와 M_s가 증가하게 되고 기둥의 전 모멘트 M_m은 단주(M_m=M_e)의 모멘트보다 크게 된다.

기둥 양단의 조건이 다른 일반적인 경우에는 M_s와 M_r도 고려해야 하는데 이들의 방향은 M_e와 M_d의 방향과 반대가 되므로 이들 매개변수의 크기에 따라서 기둥의 거동은 여러가지로 변하여 그 기둥의 거동에 대한 예측이 복잡하게 된다.

4. 기둥의 매개변수에 대한 고찰

해석모델의 극한강도와 거동에 영향을 주는 표 1에서 취급한 매개변수를 논하고자 한다. 그림 2에서부터 그림 17은 기둥에 대한 매개변수의 전형적인 값은 물론, 본 연구에서 선택한 여러 값에 대하여 고찰하였다.

4.1 단부회전구속의 영향

해석모델의 극한강도와 거동에 단부회전구속이 미치는 영향을 그림 2와 그림 3에 나타내었다.

그림 2와 그림 3에서 보면 회전스프링의 구속효과는 K가 클수록 재하능력이 더욱 커짐을 알 수 있다. 회전스프링의 구속이 기둥강도에 미치는 영향은 그 기둥의 세장비 L/h에 따라서도 달라짐을 알 수 있다. 그림 3에서 보면 구속이 없을 때는 세장비 L/h의 증가에 따라 강도는 계속 감소하지만 구속이 약간이라도 있거나 하면 세장비 L/h=20 정도까지는 그 구속의 영향으로 기둥의 강도가 증가하나, 세장비 L/h가 그 이상이 되면 강도가 감소함을 알 수 있다.

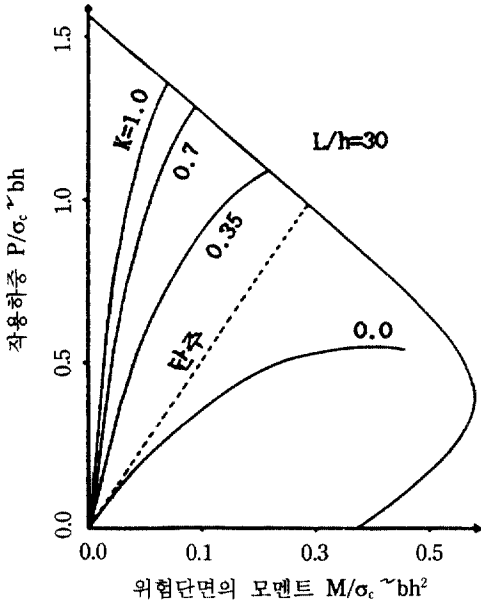


그림 2. 기둥거동에 대한 단부회전구속의 영향

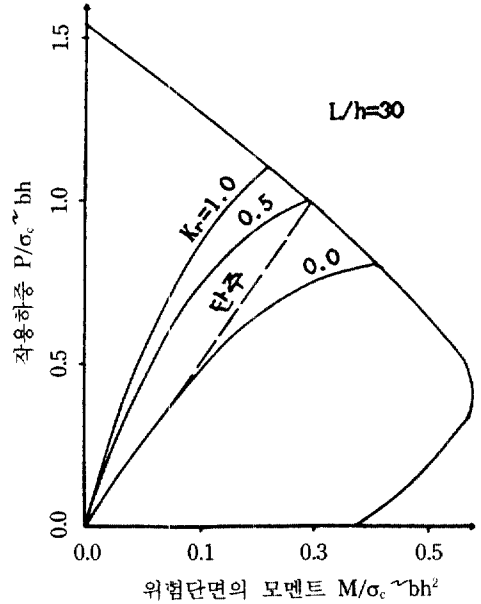


그림 4. 기둥거동에 대한 단부회전구속의 영향

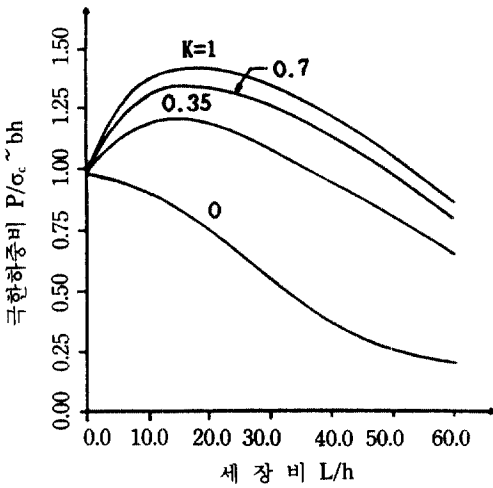


그림 3. 기둥강도에 대한 단부회전구속의 영향

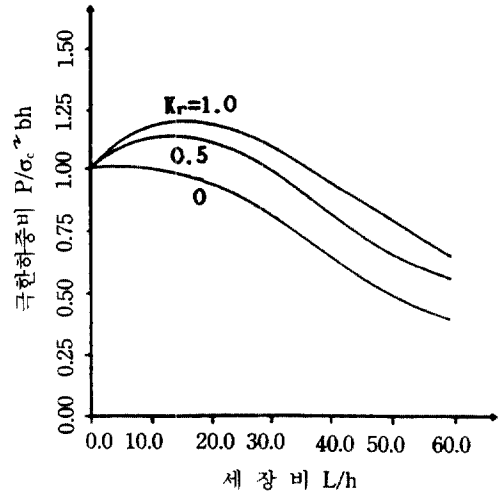


그림 5. 기둥강도에 대한 단부구속비의 영향

구속기둥($K=0.35$)의 경우, 그림 3에서 보면 세장비 $L/h=20$ 이 될 때까지는 세장비 L/h 가 작을 때보다 오히려 기둥의 강도가 커지는 것을 알 수 있다. 세장비 L/h 가 작을 때보다 클 때 기둥의 강도가 커지는 현상은 단부가 탄성구속되어 있는 기둥의 특성이다. 단부의 구속모멘트는 기둥의 강도를 향상시키는 역할을 한다.

식 (3-1)에서 보면 M_r 이 클수록 좌측의 M_m 은 값이

작아지고 상대적으로 P 값은 커진다. M_r 은 단부회전각 θ 의 함수이다.⁽¹¹⁾ θ 가 클수록 M_r 은 크게 계산된다. 그러나 M_r 이 생길 때에는 기둥의 처짐으로 인한 모멘트 M_d 도 함께 발생한다. M_d 의 그 크기는 세장비 $L/h=20$ 이 될 때까지는 M_r 보다 작다. 따라서 M_m 은 작아지고 P 는 크게 되므로 이 때의 구속기둥의 강도는 단주의 강도보다 크게 된다. 그리고 세장비 L/h 가 더 커지게 되면 $M_d > M_r$ 이 되어 M_m

값은 커지고 상대적으로 P값은 작아져 그림 3에서와 같이 하강선을 그리게 된다.

4-2 단부구속비의 영향

그림 4와 그림 5는 단부구속비의 영향을 보인 것이다. 기둥단부의 한 쪽에서 구속강성이 감소하면 큰 모멘트(M_e-M_r)을 일으키므로 큰 변형이 일어나고 보다 큰 M_d 가 발생하게 된다.

하중이 작용하는 동안 기둥단부의 전단력에 의한 M_e 의 발생에도 불구하고 전 기둥모멘트는 증가하며 (그림 4 참고) 결국은 기둥의 극한강도는 상대적으로 감소한다(그림 5 참고). 그림 4에서 단부회전구속비 $K_r=0$ 인 경우, 기둥단부의 전단력은 $K_r > 0$ 인 경우의 기둥단부의 전단력에 비하여 일반적으로 크게 발생한다. 이와 같은 경우는 하중이 작용하는 동안에 M_e 가 M_d 를 초과하게 된다. 따라서 기둥의 최대모멘트는 단주의 모멘트($M_m=M_e$)와 같게 되며 불구속 단부에 남게 된다. 그러나 하중이 점차 증가하면 처짐이 증가하여 M_d 는 M_s 를 초과한다. 따라서 $M_m > M_e$ 값을 가지며 최대모멘트의 발생위치는 기둥단부로부터 기둥중심으로 이동한다.

4.3 단부편심거리의 영향

여기에서 논한 단부편심거리는 외력에 의한 모멘트 M_e 와 관계있는 최대편심거리를 의미한다. 이 편심거리는 일정하며, 하중의 크기에 무관하다. 반면에, 전기둥모멘트에 대응되는 실제 편심거리는 기둥의 하중크기와 휨변형에 따른 위치변화에 따라 다르다.

기둥의 극한강도와 거동에 미치는 단부편심거리의 영향을 그림 6과 그림 7에 나타내었다.

그림 7에서 $\frac{e}{h}=0$ 일 때, 기둥의 극한강도가 세장비 $L/h=30$ 까지는 일정하다.

이 것은 중심축하중을 받는 단주와 같이 재료파괴에 의하여 강도가 지배되는 구역내에 기둥의 하중강도가 실제로 존재함을 의미한다.

불구속 기둥의 경우, 편심거리가 비교적 클 때에는 큰 기둥 모멘트를 일으키며 기둥의 극한강도는 세장비 L/h 의 효과가 감소하기 때문에 보와 같은 거동을 하게 된다.⁽⁶⁾

위의 사실은 식 (3-1)에서 검토해보면 $M_r=0$ 이며,

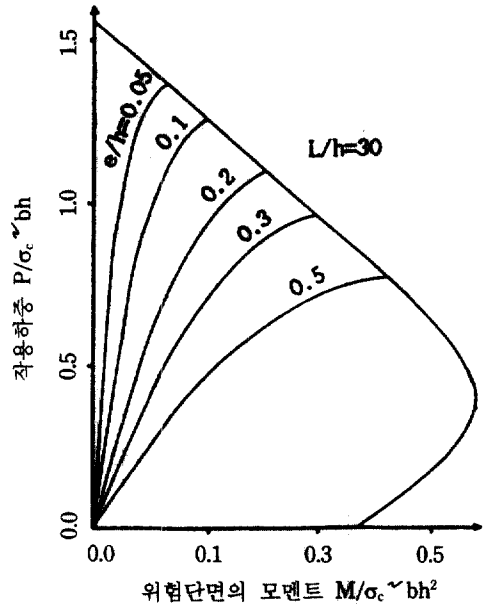


그림 6. 기둥거동에 대한 단부편심거리의 영향

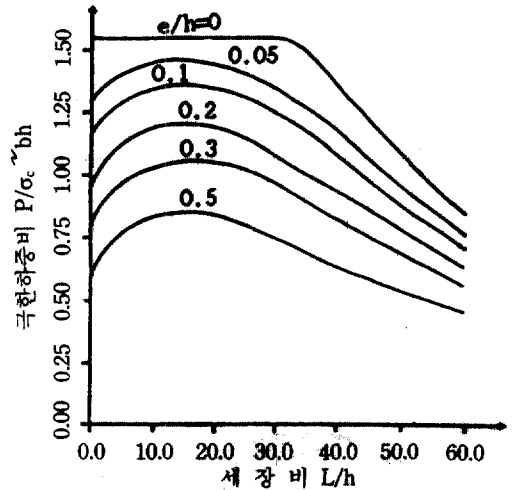


그림 7. 기둥강도에 대한 단부편심거리의 영향

M_d 는 비교적 작기 때문에 M_e 가 기둥모멘트를 지배한다. 반면에, 단부편심거리가 비교적 큰 구속기둥의 경우는 M_r 의 발생으로 불구속기둥만큼 기둥모멘트가 증가하지 못한다. 이런 경우는 M_d 가 최종기둥모멘트에 비하여 상당히 크게 나타난다. 또한 기둥의 극한강도에 작은 편심거리뿐만 아니라 큰 편심거리에 대하여도 세장비 L/h 가 상당한 영향을 미친다.

4.4 단부편심거리비의 영향

기둥의 극한강도와 거동에 단부편심거리비 e_r 의 영향은 불구속기둥과 구속기둥이 전혀 다르다. 그 이유는 불구속기둥의 e_r 의 감소는 기둥모멘트를 감소시키고, 기둥의 극한강도를 증가시키기 때문이다. 그러나, 구속기둥의 경우는 그림 8과 그림 9에 보인 것과 같이 기둥의 극한강도와 거동에 미미한 영향을 준다.

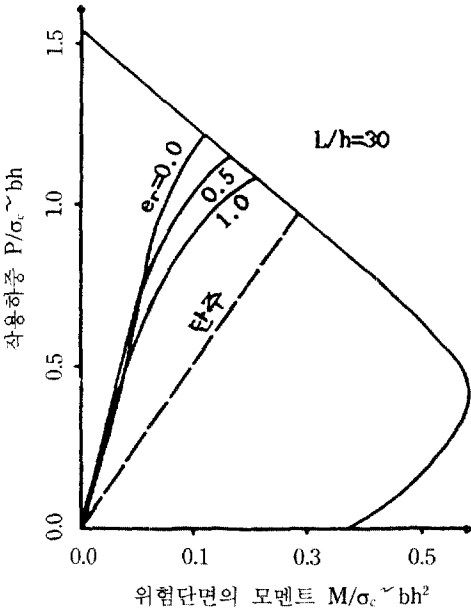


그림 8. 기둥거동에 대한 단부편심거리비의 영향

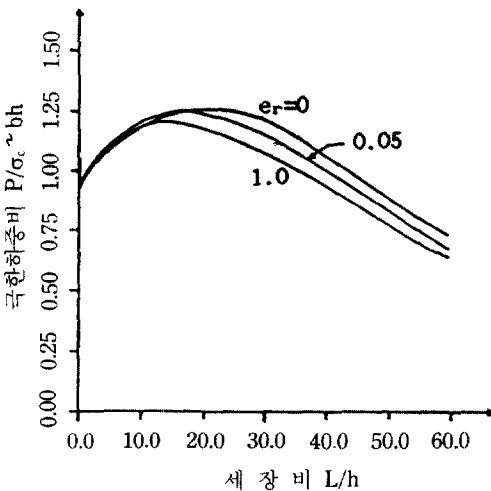


그림 9. 기둥강도에 대한 단부편심거리비의 영향

e_r 의 감소는 기둥의 처짐과 단부회전을 감소시키므로 M_d 와 M_r 가 감소된다. M_s 의 발생에도 불구하고 최종 기둥모멘트는 하중의 크기와 세장비 L/h 에 의하여 좌우된다.

작은 하중과 작은 세장비 L/h 일 경우 M_d 는 비교적 작게 일어나고 e_r 의 감소는 M_d 의 감소보다 M_s 가 더 감소된다. 따라서 기둥모멘트는 약간 증가하고, 극한강도는 감소한다. 큰 하중과 큰 세장비 L/h 일 경우는 위의 상반된 원인에 의하여 큰 M_d 가 발생하지만 e_r 의 감소는 결과적으로 작은 기둥 모멘트를 일으키므로 기둥의 극한강도는 증가한다.

4.5 횡방향구속의 영향

뼈대구조물에서 전형적인 횡방향변위를 일으키는 기둥의 거동에 대한 횡방향 구속의 영향을 그림 10에 보였다. 그림에서 S 값이 다른 기둥의 P-M 상관곡선도 파괴가 일어날 때까지 횡방향변위가 방지된 기둥의 P-M 상관곡선과 동일한 곡선상에 있음을 알 수 있다.

위의 관계를 식 (3-1)을 이용하여 설명하면, S 가 변할 때 식 (3-1)에 영향을 주는 항은 $(M_d - M_s)$ 이다. 이 항은 H 와 δ 값에 직접 좌우된다. 그런데 $M_s = H \cdot x$ 이고, 여기서 H 는 횡방향 스프링에 작용하는 힘

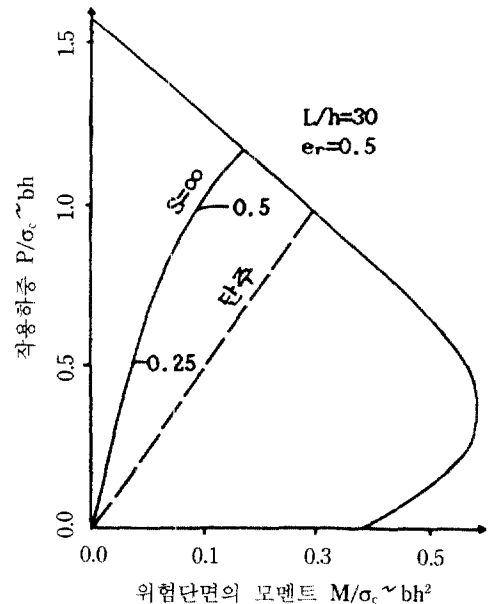


그림 10. 기둥거동에 대한 횡방향구속의 영향

으로 $H = S\sigma_c \cdot bh \left(\frac{0.25}{L/h} + 0.002 \right) (1)$ 로 표시할 수 있다. 따라서 M_s 는 S 에 비례함을 알 수 있다. 여기서 S 는 횡방향 구속정도를 나타낸다.

한편, $M_d = P \cdot y$ 로 처짐 y 는 δ 의 함수이고 $\delta = H\lambda$ 이므로 결국 M_d 도 S 에 비례하게 된다. 그러나 S 의 변화에 따른 M_d 와 M_s 의 변화량은 다르다. S 가 작을 때는 y 는 커지나 H 는 작아지므로 $(M_d - M_s)$ 값은 커지고, S 가 클 때는 y 는 작아지고 H 는 커지므로 $(M_d - M_s)$ 의 값은 작아진다. $(M_d - M_s)$ 항의 값이 커지면 M_m 값은 커지므로 기둥의 강도는 작아지고, $(M_d - M_s)$ 값이 작게 되면 M_m 값은 작게 되므로 기둥의 강도는 크게 된다. 따라서 S 값이 작을 때는 기둥의 강도는 떨어지고 클 때는 기둥의 강도는 증가한다고 볼 수 있다.

그림 11에 보인 $S=0.5$ 인 전형적인 횡방향 변위가 일어나는 기둥의 극한강도는 횡방향변위가 방지된 기둥에 비하여 90% 이상의 극한강도를 나타낸다.

횡방향 구속이 증가하여 $S=1.0$ 일 때, 기둥의 극한강도는 횡방향변위가 방지된 기둥과 동일하다. 따라서 수직하중만을 받는 전형적인 뼈대구조물의 기둥은 어느정도 횡방향변위에 대하여 저항할 수 있다고 판단된다. e_r 은 횡방향변위가 방지된 기둥의 극한강도에는 큰 영향을 주지 못하지만(4.4절 참고), 횡방향변위를 일으키는 기둥의 극한강도에는 상당한 영향을 준다.

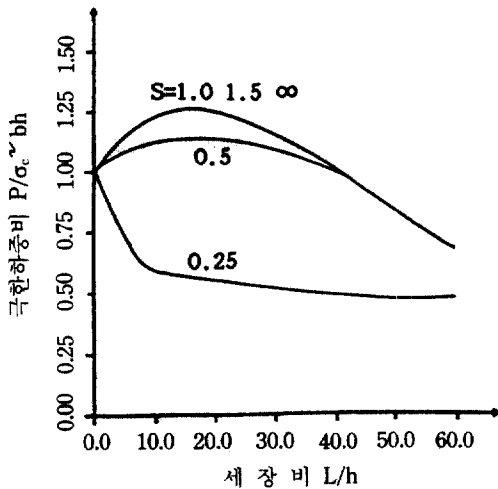


그림 11. 기둥강도에 대한 횡방향구속의 영향, $e_r=0.5$

e_r 가 0.5에서 0으로 줄었을 때, 그림 4-10과 그림 4-11을 비교하면 횡방향변위가 일어나는 기둥의 강도는 크게 줄어든다. $e/h=0.5$ 일 때, 그림 13과 그림 14를 비교해도 같은 결과를 알 수 있다.

이와같은 극한강도의 감소는 δ 의 증가와 M_d 가 증가하는 반면 e_r 가 감소되는 원인에 기인한 것이다. 결과적으로 기둥모멘트는 증가하고, 기둥의 극한강도는 감소한다. 기둥의 극한강도는 세장비 L/h 의 영향을 무시할 수 있는 기둥 하단부에서 최대모멘트가 발생하고, 그 모멘트는 $M_c - M_s$ 의 모멘트가

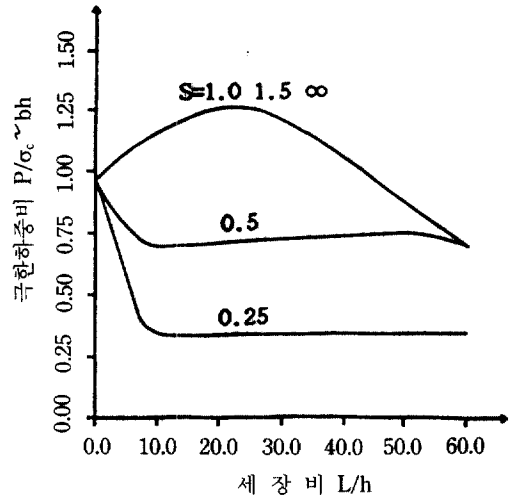


그림 12. 기둥강도에 대한 횡방향구속의 영향, $e_r=0$

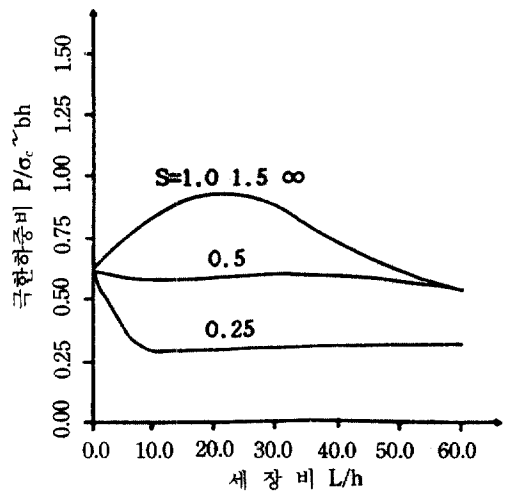


그림 13. 기둥강도에 대한 횡방향구속의 영향 $e/h=0.5, e_r=0.5$

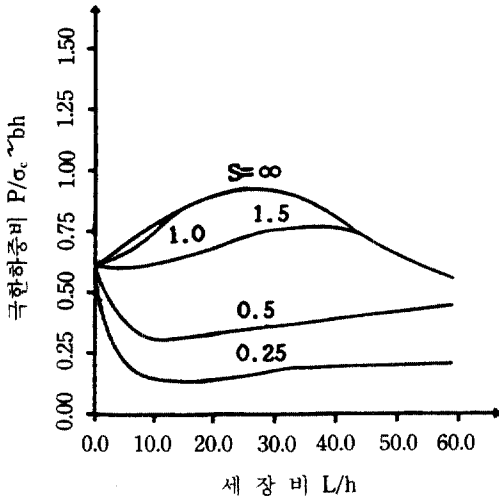


그림 14. 기동강도에 대한 횡방향구속의 영향
e/h=0.5, er=0

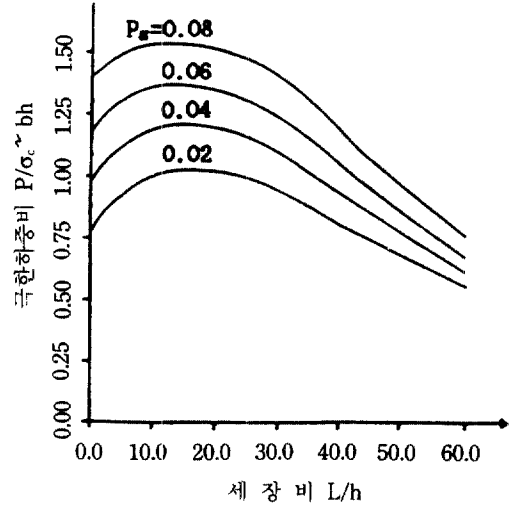


그림 16. 기동강도에 대한 철근비의 영향

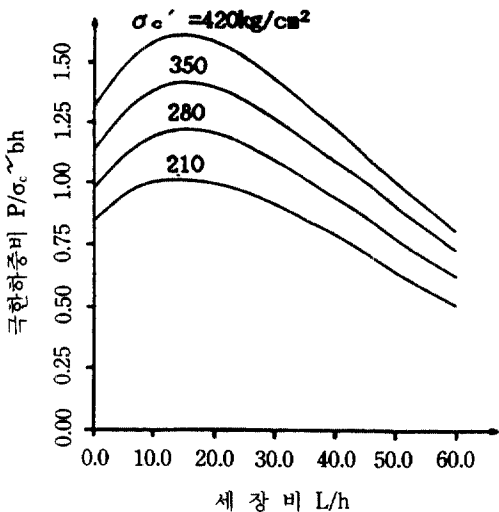


그림 15. 기동강도에 대한 콘크리트 강도의 영향

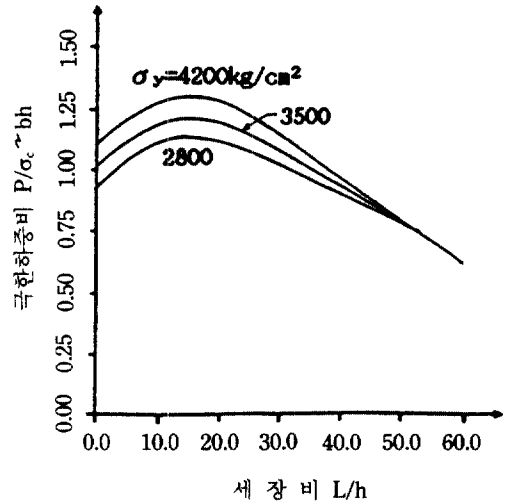


그림 17. 기동강도에 대한 철근의 항복강도의 영향

된다. 이 것은 횡방향 구속이 비교적 약할 경우, 기동의 극한강도가 세장비 L/h의 다양한 값에 대하여 거의 일정함을 그림 11에서부터 그림 13까지 보여준다.

그림 14에서 큰 편심거리를 가지는 기동은 단부 회전을 증가시키고, 단부회전의 증가는 단부에 존재하는 구속 모멘트를 증가시킨다. 또한 세장비 L/h가 증가하면 단부회전은 더욱 증가하며 따라서 최대모멘트는 감소한다. 결과적으로 횡방향구속이

약하거나 중간정도의 기동은 세장비 L/h의 증가에 따라 기동의 극한강도가 증가한다.

4.6 콘크리트 강도의 영향

그림 15에 기동강도에 미치는 콘크리트강도의 영향을 나타내었다. 그림에서 콘크리트강도가 증가하면 기동의 극한강도가 증가함을 나타내며, 세장비 L/h=20까지는 극한강도의 곡선이 상승함을 보이고 세장비 L/h=20-60까지는 극한강도의 곡선이 하강

함을 나타낸다.

4.7 기둥의 철근비의 영향

그림 16은 기둥강도에 대한 기둥 철근비 P_g 의 영향을 보였다. 그림에서 철근비가 증가함에 따라 기둥의 극한강도가 증가함을 나타낸다. 세장비 $L/h = 15$ 까지는 극한강도를 나타내는 곡선이 증가하고, $L/h = 15-60$ 까지는 곡선이 하강함을 보인다.

4.8 철근의 항복강도의 영향

그림 17에 철근의 항복강도 σ_y 의 영향을 보였다. 작은 세장비($L/h = 10$ 이하)와 중간 세장비($L/h = 10-20$)를 가지는 기둥의 극한강도는 철근의 용력이하 항복강도에 도달하는 재료파괴가 거동을 지배한다. 이와 같은 경우는 철근의 항복강도가 증가하면 기둥의 극한강도가 상대적으로 증가한다. 반면에, 큰 세장비 L/h 를 가지는 기둥의 극한강도는 불안정에 의하여 기둥의 거동이 지배된다.

그림 17에 나타난 바와 같이 철근의 항복강도의 증가는 세장비 $L/h = 30-40$ 정도에서는 기둥의 극한강도를 어느정도 증가시켰으며 $L/h = 50-60$ 에서는 무시할 정도로 증가함을 보인다.

5. 결 론

철근콘크리트 기둥의 해를 구할 수 있는 비선형 해석 프로그램을 이용하여⁽¹⁾ 기둥의 거동에 영향을 주는 매개변수를 분석한 중요한 결과는 다음과 같다.

1) 단부구속 기둥은 구속효과로 인하여 기둥의 극한강도가 상당히 증가하는 것으로 분석되었으며, 특히 세장비 $L/h \leq 20$ 범위의 기둥은 구속효과에 의하여 단부보다 극한강도가 증가하는 것으로 나타났다.

2) 큰 하중편심거리를 갖는 구속기둥은 세장비 L/h 의 영향을 받으므로 하중의 편심거리 증가는 기둥의 극한강도를 감소시키는 것으로 평가되었다.

3) 횡방향구속에 대한 강성의 감소는 기둥의 극한강도를 감소시키고, 이와같은 기둥의 극한강도는 세장비 L/h 의 영향이 줄어든다. 고강도철근을 사용하면, 작은 세장비 L/h 에서 중간 세장비 L/h 까지는 기둥의 극한강도가 증가하며, 큰 세장비 L/h 을 가지는 기둥의 극한강도는 아주 적게 혹은 무시할

정도의 강도가 미미하게 부가되는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 박재운, 정경희, "편심축하중을 받는 구속 RC 장주의 거동해석", **대한토목학회논문집** 제 10권 제 4호, 1990년 12월, pp.11-24.
2. 박재운, 김진성: 중심축하중을 받는 구속철근콘크리트 장주의 극한강도해석, **한국전산구조공학회지** 제 4권 제 1호, 1991.3, pp.121-132.
3. Broms, B. and Viest, I. M., "Ultimate strength Analysis of Long Hinged Reinforced Concrete Columns," *Journal of Structural Division*, ASCE, Vol.84, No.ST1, Proc. Paper 1510, Jan. 1958, pp.1-38.
4. Broms, B. and Viest, I. M., "Ultimate strength Analysis of Long Hinged Restrained Reinforced Concrete Columns," *Journal Structural Division*, ASCE, Vol.84, No.ST3, Proc. Paper 1635, May. 1958, pp.1-29.
5. Chang, W.F. and Ferguson, P.M., "Leng Hinged Reinforced Concrete Columns", *ACI Journal. proc.* Vol. 60, No.1 Jan. 1963, pp.1-25.
6. Pfrang, E.O. and Siess, C.P., "Predicting Structure Behavior Analytically", *Journal. of Structural Division*, ASCE, Vol.90, No.ST5, Oct. 1964, pp.99-111.
7. Pfrang, E.O. and Siess, C.P., "Behavior of Restrained Reinforced Concrete Columns", *Journal of Structural Division*, ASCE, Vol.90, No.ST5, Oct. 1964, pp.113-135.
8. Zid, P. and Moreadith, F.L., "Ultimate Load Capacity of Prestressed Concrete Columns", *ACI Journal* July 1966, pp.767-788.
9. Adel Mohamed Elwefati, "Ultimate Strength Analysis of Columns with Unequal End Conditions", ph.D. North Carolina State University at Raleigh 1981.
10. 박재운, "단부구속효과를 고려한 철근콘크리트 기둥의 극한강도해석", **홍익대학교 대학원 박사학위논문**, 1991. 6. 30.
11. MacGregor, J., Breen, J. and Pfrang, E., "Design of Slender Concrete Columns", *ACI Journal, Proc.* Vol. 67, No. 1, Jan. 1970, pp. 6-28.
12. Pfrang, E.O., Behavior of Reinforced Concrete Columns with Side Sway, *Journal of the Structural Division*, ASCE, Vol. 92, NO. ST3, June 1966, pp. 225-250.

(接受 : 1992. 4. 3)