

철근콘크리트 장주의 시간에 따른 구조거동

Time Effects on the Behavior of Reinforced Concrete Long Columns

김 수 만*

Kim, Su Man

최 재 원**

Choi, Jae Won

ABSTRACT

In a slender column under sustained eccentric compression, the deformations caused by creep and shrinkage can lead to an increase in the loads on the structure and a reduction in strength. This study presents a methodology and improved computer program for the analysis of time-dependent long column in considering slender effects and nonlinear behaviors. In this result, when slenderness ratio is greater than 80, we know that magnified moment methods may be not applied in long columns.

1. 서론

콘크리트 구조물은 사용기간 동안 탄성 및 비탄성 변형이 발생한다. 대부분의 구조부재에서 콘크리트의 크리프와 건조수축은 변형의 증가와 응력의 재분배를 발생시키지만 강도에는 영향을 미치지 않는다. 그러나 지속 편심하중을 받는 장주에서는 크리프와 건조수축에 의해 발생된 변형이 구조물에 하중을 증가시켜 강도를 감소시킨다. 특히 이러한 장기거동에서 크리프와 건조수축 현상은 콘크리트 구조물 내에서 응력 및 변형률의 변화를 발생시키며 처짐의 증가로 인한 사용성 문제를 야기시킨다. 철근콘크리트 장주 해석상의 문제는 처짐으로 인한 기하학적 비선형과 재료의 비선형적인 응력-변형률 관계에 기인한다. 이 두 가지 비선형성의 영향을 장주에 고려하기 위해 재료적 비선형과 시간에 따른 해석에는 Trost와 Bazant에 의해 제안된 AEMM(Age-Adjusted Effective Modulus Methods)을 사용하고, 크리프 및 건조수축 계수는 KCI(2003)모델을 사용하였다. 또한 기둥의 횡방향 변위, 즉 $P-\Delta$ 효과에 의한 기하학적 비선형 해석에는 처짐값법을 사용하여 보다 정밀하게 장주해석을 수행한다.

본 연구에서는 크리프, 건조수축을 포함한 시간에 따른 철근콘크리트 장주의 재료 및 기하학적 비선형해석을 수행할 수 있도록 기존 해석용 프로그램인 R. I. Gilbert가 제시한 'Slender Reinforced Concrete Column' 전산 프로그램을 개선하여 강도에 미치는 영향을 검토한 후 이를 현행콘크리트설계 기준의 설계방법에 대한 적합성을 검토하였다.

* 정희원, 수원대학교 토목공학과 교수

** 정희원, 수원대학교 토목공학과 석사과정

2. 철근콘크리트 장주

활절단으로 연결된 장주가 초기편심 e_0 에서 작용된 압축력 P 를 받으면 하중 P 가 시간 τ_0 에서 처음 작용할 때, δ_i 만큼 기둥은 단축되고 횡방향으로 처지게 된다. 기둥의 양 단부에서의 휨모멘트는 $P e_0$ 이다. 그러나 부재중양에서의 모멘트는 $P(e_0 + \delta_i)$ 이다. 그러므로 부재의 횡방향 처짐은 내력을 증가시키는 요인이 된다. 장주에서 2차모멘트 $P\delta_i$ 는 초기의 1차모멘트 $P e_0$ 보다 몇 배 더 클 수 있고 하중저항 능력이 같은 단면의 단주보다 훨씬 떨어질 것이다. 매우 긴 장주에서는 상대적으로 적은 압축하중 하에서 불안정 파괴가 발생할 수 있다. 즉, 부재중양단면의 강도에 이르기 전에 좌굴이 발생할 수 있다. 그림 2.1과 같이 지속하중을 받는 철근콘크리트 기둥은 크리프로 인해 추가의 횡방향 처짐을 받는다. 이러한 시간에 따른 변형은 부재에서 추가모멘트를 발생시키고 이 추가모멘트는 기둥을 더 처지게 하는 문제를 발생시킨다. 지속하중을 받는 동안 추가처짐 $\Delta\delta$ 는 경간중양에서 발생할 것이다. 시간에 따른 2차모멘트($P(\delta_i + \Delta\delta)$)의 점진적인 증가는 안전계수를 감소시켜 장주에서는 크리프 좌굴을 일으킬 수 있다.

활절지지된 기둥에서 2차모멘트($P\delta$)에 의해 발생된 기하학적 비선형성은 다음과 같은 방법으로 모델화하였다.

(1) 부재는 초기에 축하중 P 와 1차모멘트 $P e_0$ 를 받는다. 초기변형률의 분포와 곡률은 각 부재단부(A, B)와 부재중양(C)에서 단면에 따라 계산되어진다.

(2) 부재중양에서 부재의 횡방향 처짐 δ_0 는 (1)에서 계산된 초기곡률로부터 결정되어진다.

$$\delta_0 = \frac{L^2}{96} (\kappa_A + 10\kappa_C + \kappa_B)$$

(3) 부재중양에서 추가모멘트 증분($P\delta_0$)은 1차모멘트에 더해지고 C에서의 단면은 다시 해석한다. 새로 계산된 2차모멘트($P\delta_1$)을 1차모멘트에 합한 후 재계산하고 i 번째 반복 후 부재중양에서 횡방향 변위가 δ_i 에 수렴할 때까지 계산한다. 수렴은 i 번째 반복($\delta_i - \delta_{i-1}$)동안 부재중양에서 계산된 추가 횡방향 변위가 1차모멘트에 의해 발생된 변위보다 0.001보다 적을 때 발생하는 것으로 본다.

(4) 앞에서 결정된 초기거동에 따라 시간해석이 시작된다. A, B, C에서 곡률과 변형률의 시간에 따른 변화가 계산되고 초기에 C에서 P , $P(e_0 + \delta_i)$ 는 일정하게 유지된다고 가정한다. 각 단면에서 시간에 따른 변위의 증가($\Delta\delta_i$)는 부재중양에서 2차모멘트의 추가 증분 $P\Delta\delta_i$ 를 발생시키며 반복과정은 $\Delta\delta$ 에 수렴할 때까지 반복한다. 여기서 시간에 따른 2차모멘트의 증분은 부재중양에서 재령-보정된 단면에 적용하고 초기에 균열된 단면에 대해 중립축 깊이가 시간에 따라 일정하게 유지된다고 가정한다.

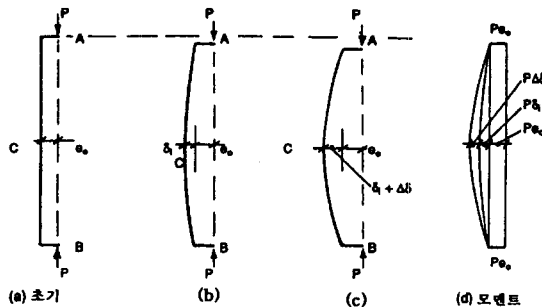
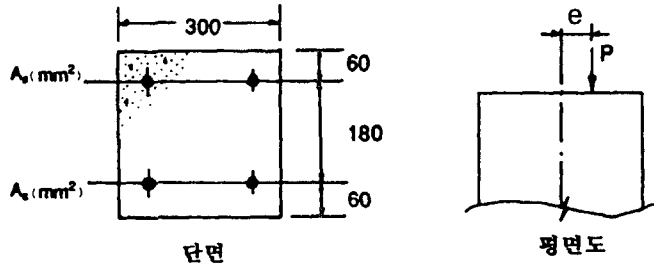


그림 2.1 활절 연결된 장주에서 변위와 모멘트

3. 선택된 모델의 해석



단면특성 : $E_c=25000Mpa$, $E_s=200000Mpa$, $f_{ck}=25Mpa$

그림 3.1 해석 단면

본 논문에서 사용한 건조수축 및 크리프 계수는 KCI(2003)모델이며 표 4.1과 같은 조건에서 각각의 계수를 추정된 결과 표 4.2와 같이 나타났다. 이 중 장기거동을 고려하기 위해 10000일에서의 계수 값을 적용하였다.

표 4.1 크리프와 건조수축 추정조건

양생조건	습윤양생
제하 일	15일
건조수축 발생일	7일
부재치수	150 mm
시멘트 종류	1종
상대습도	65 %
시간	0, 25, 100, 1000, 10000일

표 4.2 추정 계수

	ϕ (크리프)	χ (재령)	ϵ_{sh} (건조수축)
0일	0	1.0	0
25일	0.95	0.86	82×10^{-6}
100일	1.74	0.8	177×10^{-6}
1000일	2.72	0.8	407×10^{-6}
10000일	3.02	0.8	525×10^{-6}

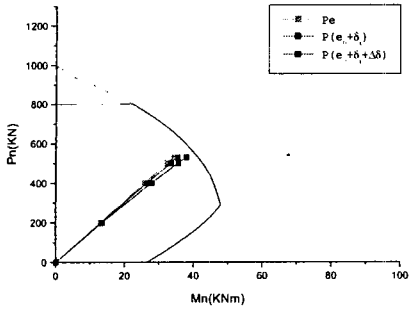
또한, P-M상관도는 강도설계법을 기본으로 한 뒤 안전을 2.5를 고려한 허용용력설계법으로 설계하였으며 기둥의 유효길이는 양단이 활절 지지되고 횡방향 상대변위가 방지된 경우로 $k=1$ 로 정하였다.

편심은 $e < e_b$ 인 구역으로서 기둥의 강도가 콘크리트의 압축으로 지배되는 II 구역의 편심을 선택하여 해석하였다.

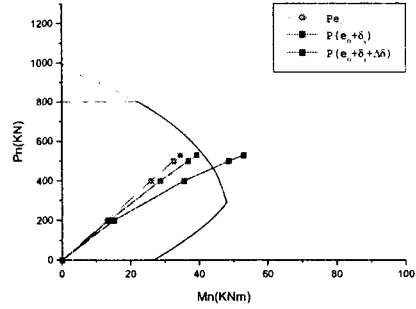
4. 결과 및 고찰

다음 결과는 그림 4.1의 단면에서 철근비가 2%이고 편심이 65mm인 경우 장주의 중앙단면에서 발생한 초기의 1차모멘트 $P e_0$, 1차모멘트와 2차모멘트의 합 $P(e_0 + \delta_i)$, 그리고 지속하중을 받는 동안 발생한 추가처짐 $\Delta\delta$ 를 포함한 시간에 따른 모멘트($P(e_0 + \delta_i + \Delta\delta)$)를 P-M상관도에 도시한 것이다.

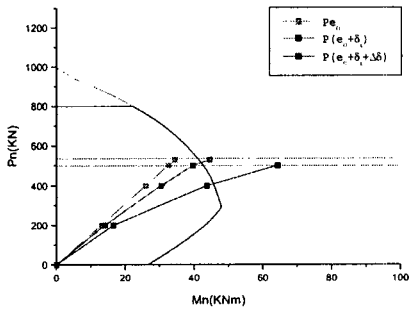
그림 4.1에 도시된 바와 같이 세장비 33.33(그림4.1a), 66.67(그림4.1b)에서는 시간효과를 고려하더라도 크리프 좌굴이 발생하지 않지만 세장비 83.33(그림4.1c), 100(그림4.1d)에서는 하중 530KN에서 시간에 따른 크리프 좌굴이 발생하였다.



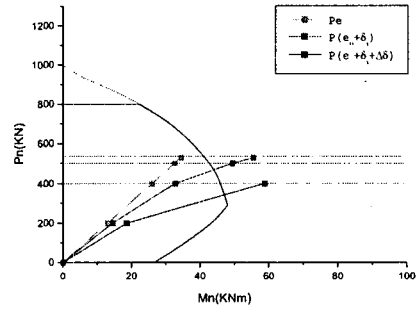
(a) $L/r = 33.33$



(b) $L/r = 66.67$



(c) $L/r = 83.33$



(d) $L/r = 100$

그림 4.1 세장비에 따른 RC 기둥의 저항력

5. 결론

장주효과를 고려한 근사적인 설계법인 모멘트 확대계수법은 세장비가 80이상인 경우에 적용하더라도 예기치 않은 좌굴을 발생할 우려가 있다. 설계기준에서는 유효세장비가 100을 초과하는 경우, 기둥 설계시 부재의 강성과 고정단모멘트에 미치는 축방향력과 단면2차모멘트의 영향, 모멘트의 힘에 의한 처짐의 영향, 하중의 “지속시간에 대한 영향을 고려하도록 되어있다. 그러나 본 연구에서는 세장비가 80이상에서도 크리프 좌굴이 발생하므로 현행설계기준에서 추천한 세장비 100이상인 경우 모멘트확대법을 적용할 수 없다는 규정은 재검토할 필요가 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, “콘크리트 구조 설계기준”, 2003.
2. 김수만, “철근콘크리트 구조공학”, 청문각, 2003.
3. R. I. GILBERT, “Time Effects in Concrete Structures”, ELSEVIER, 1988.
4. R. PARK and T. PAULAY, “Reinforced Concrete Structures”, A WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION, 1974.
5. 최성균, “재령 보정된 철근콘크리트 단·장주의 시간에 따른 해석”, 1996.
6. 박효경, 김진국, “철근콘크리트 장주의 장기거동 해석모델”, 대한토목학회논문집, 22권, 2-A호, 2002.