초고층 건물에서 콘크리트의 장기거동이 부재내력에 미치는 영향

Effects of Long Term Deformation of Concrete on Internal Member Forces of Tall Buildings

신 승 학* • 김 한 수**
Shin, Seung-Hak • Kim, Han-Soo

요 약

본 논문에서는 일반적인 해석, 시공단계를 고려한 해석, 시공단계와 장기거동을 고려한 해석의 3가지 해석방법을 사용하여 수평부재의 설계에 적합한 해석방법을 제안하였다. 80층의 2D 구조모델에 3가지 해석방법을 적용하여 각 해석방법에 따라 부등축소량, 수직부재에 작용하는 축력, 수평부재의 단부에 작용하는 내력의 해석결과를 얻어 비교하였다. 또한 부재의 내부에서 철근과 콘크리트의 하중분담율의 시간에 따른 변화양상을 알아보았다.

해석결과 시공단계에 의한 영향은 수평부재에 작용하는 축력과 부등축소량 예측, 부재 내력 해석에 있어서 반드시 고려되어야 함을 알 수 있었다. 장기거동의 효과는 기둥축소에는 크게 영향을 미치지만 수직부재의 축력, 수평부재의 내력에는 변형만큼의 영향은 보이지 않는다. 시공시의 보정량을 결정하기 위해서는 장기거동이 반드시 고려되어야 하지만 부재의 단면설계의 목적으로는 제외되어도 무방할 것으로 판단된다.

keywords : 기둥축소, 시공단계, 장기거동, 균열, 내력, 초고층건물

1. 서 론

지금까지의 연구들은 주로 기둥축소량의 정확한 예측과 시공단계에서의 보정 기술에 관한 것들이 대부분이며 기둥의 부등축소가 부재 내력에 미치는 영향에 대해서는 연구가 부족한 상황이다.

본 논문에서는 시공단계, 시간에 따른 콘크리트의 강성 변화, 크리프와 건조수축에 의한 시간 효과가 부등축소에 의한 부재의 내력에 얼마만큼의 영향을 미치는지를 알아보고 내력 해석에 적합한 해석방법을 제시하였다.

2. 철근콘크리트 초고층건물의 장기거동 해석

2.1 구조물의 시공단계 해석

철근콘크리트 건물은 가장 아래층부터 순차적으로 시공되므로 하부 층의 기둥축소는 아직 시공되지 않은 상부층의 수평부재의 내력에 영향을 주지 않는다. 또한 각층의 시공단계 이전에 발생한 부등축소는 콘크리트 타설을 통하여 자동 보정되므로 시공 후 축소량만이 수평부재의 내력에 영향을 미친다. 시공단계마다 순차적인 해석을 수행하고 그 각각의 해석 결과를 합산하는 방법으로 시공단계를 고려한다. 시공단계를 고려한 해

* 학생회원 • 건국대학교 건축공학과 석사과정 wertt132@hanmail.net
** 정회원 • 건국대학교 건축공학부 교수 hskim@konkuk.ac.kr

석 방법과 그 영향은 기존의 연구 결과를 참고할 수 있다. (김한수, 2008; Choi C.K., Chung H.K., Lee D.G. and Wilson E.L, 1987; Kwak H.G. and Kim J.K., 2006; Maru S., Sharma R.K. and Nagpal A.K., 2003)

2.2 철근콘크리트 구조의 장기거동 해석

시점 t_0에 응력 $\sigma(t_0)$가 작용하였을 때, 콘크리트에 발생하는 전체 변형률은 재하시의 즉시 변형률, 크리프에 의한 변형률 그리고 건조수축에 의한 변형률의 합으로 주어진다. 구속에 의하여 내부 응력이 재분배되어 변화하는 경우의 변형률과 응력 관계는 다음 식과 같다.

$$\epsilon(t) = \frac{\sigma(t_0)}{E_c(t_0)}[1+\phi(t,t_0)] + \int_{t_0}^{t} \frac{1+\phi(t,\tau)}{E_c(\tau)} \frac{\partial\sigma(\tau)}{\partial\tau} d\tau + \epsilon_{sh}(t) \quad (1)$$

여기서$E_c(t_0)$는 하중이 작용하는 시점의 콘크리트의 탄성계수이며 $\phi(t,t_0)$는 크리프계수, $\epsilon_{sh}(t)$은 건조수축 변형률이다. (1)식에서의 적분항은 응력증분에 의한 변형률을 나타내는 항이며 응력증분이 미지수이므로 적분 결과를 수식으로 나타낼 수 없다. (1)식의 해를 얻기 위하여 여러 가지 장기응력해석법이 개발되어 왔으며 수치적분을 이용한 축차적분법(Step by Step Method, 이하 SSM)이 가장 정확한 해석법으로 평가되고 있다. SSM은 해석대상 시간을 여러 개의 구간으로 나누어 각각의 해석결과를 누적해 가는 방법으로 그 계산과정이 복잡하지만 이론해에 가장 가까운 결과를 얻을 수 있는 방법이다(김한수, 2008; Bazant Z.P. and Wittmann F.H, 1982).

3. 예제해석

3.1 해석 모델

기둥부등축소가 부재 내력에 미치는 영향을 분석하기 위하여 80층의 철근콘크리트 평면골조를 해석하였다. 해석 모델은 내부 전단벽과 외부 기둥으로 구성된 평면골조로 기둥과 전단벽을 연결하는 보는 강접합으로 연결되어 있다. 기둥과 전단벽의 크기, 철근비, 재료의 특성, 하중 등은 표 1에 나타낸 바와 같다. 시간에 따른 콘크리트의 탄성계수와 크리프 및 건조수축을 나타내는 콘크리트 모델은 CEB모델을 사용하였다.

3.2 해석 방법

기둥부등축소가 부재 내력에 미치는 영향을 분석하기 위하여 시공단계, 장기거동의 영향을 순차적으로 포함하는 3가지의 해석 방법을 적용하여 해석을 수행하였다.

첫 번째 해석방법(이하 method-A)은 완성단계만을 대상으로 해석하는 방법이다. 콘크리트의 탄성계수는 설계강도를 기준으로 계산된 값이며 하중은 일시에 재하된다.

두 번째 해석방법(이하 method-B)은 시공단계를 고려한 방법으로 점진적으로 구조체가 완성되고 하중이 재하된다. 시공단계를 고려하기 때문에 각 층의 시공 전에 발생한 탄성 기둥축소량은 자동 보정된다.

세 번째 해석방법(이하 method-C)은 시공단계와 부재의 시간에 따른 성능변화를 모두 고려하는 구조해석 방법이다. 시공 중 발생한 기둥축소량과 더불어 시간에 따른 탄성계수의 변화와 크리프와 건조수축에 의한 변형이 고려된다. 크리프와 건조수축해석을 위하여 매 시공단계를 로그스케일로 다시 나누어 해석한다.

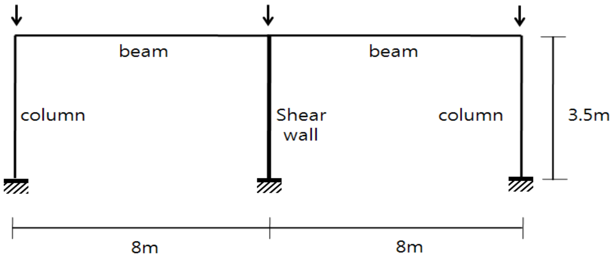

그림 1. 80층 예제에 사용된 해석모델

표 1. 3가지 구조해석방법

CASE	Analysis Method
method-A	One-step Analysis for Completed Structure
method-B	Construction Sequence Analysis
method-C	Construction Sequence Analysis + Long-term Analysis

4. 해석결과의 분석

4.1 층 별 부재내력

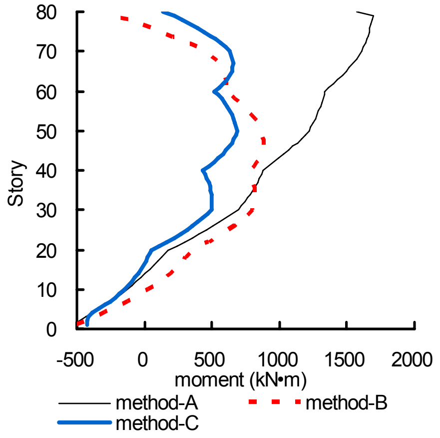

그림 2. 10,000일의 수평부재 단부 휨모멘트

method-A에서는 수평부재의 강성변화를 고려하지 않기 때문에 상층부로 갈수록 휨모멘트가 증가하는 결과를 보여주고 있다.

method-B 또한 수평부재의 강성변화를 고려하지 않기 때문에 층별 부등축소량과 유사한 층별 분포를 보여준다. 내력의 크기는 부등축소량에 의하여 결정되며 크리프와 균열에 의한 유효강성감소가 고려되지 않기 때문에 휨모멘트에서의 최대값은 3가지 해석방식 중 method-A 다음으로 큰 결과를 나타낸다.

method-C의 해석결과는 method-B의 시공단계만을 고려한 해석결과에 비하여 작은 값을 보인다. 부등축소량은 시공단계만을 고려한 해석결과에 비하여 크지만 비탄성성분에 의하여 보의 유효강성이 감소되어 부등축소량과 휨강성에 의해 결정되는 각 층의 휨모멘트의 크기는 method-B에 비하여 보다 작은 해석결과를 얻게 된다.

4.2 시간에 따른 부재단면 내력분담률의 변화

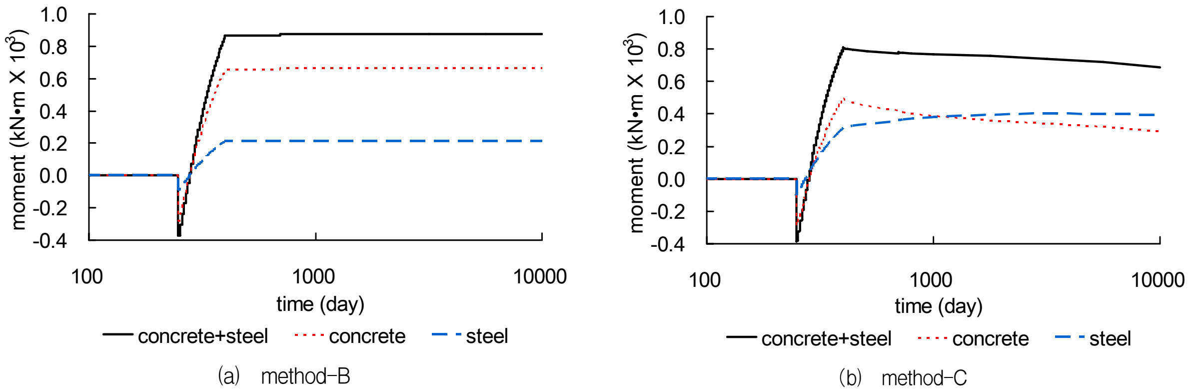

그림 3. 시간에 따른 좌측기둥 50층에서 10000일 까지 발생한 내력

시공단계만 고려한 method-B의 해석결과에서는 시공이 완료된 후 철근-콘크리트간의 응력분배는 시간의 경과와 무관하게 일치하였는데 이는 콘크리트의 시간에 따른 부재성능의 변화가 반영되지 않기 때문이다

시간에 따른 부재성능의 변화를 고려한 method-C를 통한 내력해석은 method-B의 해석결과와 다른 경향을 보인다. 비탄성성분에 의한 부재성능의 변화는 콘크리트에서만 일어나며 콘크리트의 유효강성감소는 내력을 철근으로 이동시키는 결과를 얻게 된다. 이를 통하여 시간의 흐름에 따라 철근에 작용하는 내력이 증가하게 된다.

4. 결론

80층의 2경간 평면골조에서 3가지 해석방법에 의한 각 층에서 발생하는 부등축소량과 수평부재의 내력을 비교하였고 부등축소량이 가장 크게 발생하는 50층에서의 10,000일까지의 시간에 따른 부등축소량과 수평부재에 발생하는 휨모멘트를 비교하였다. 이 과정을 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 초고층 건물의 부등축소량 예측과 이로 인한 부재 내력 해석에 있어서 시공단계는 반드시 고려되어야 한다. 시공단계를 고려하지 않으면 변형뿐만 아니라 부재 내력에 있어서도 대단히 큰 오류를 지닌 결과를 얻게 된다.

2) 시간에 따른 콘크리트의 탄성계수의 변화와 크리프와 건조수축에 의한 효과를 포함하는 장기거동의 효과는 기둥축소에는 크게 영향을 미치지만 내력에는 변형만큼의 영향은 보이지 않는다. 기둥축소량을 예측하여 시공시의 보정량을 결정하기 위해서는 장기거동이 반드시 고려되어야 하지만 부재의 단면설계의 목적으로는 제외되어도 무방할 것으로 판단된다.

감사의 글

“이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (2009-0075023)”

참고문헌

김한수, (2008) **수평부재와 철근의 구속효과를 고려한 고층건물 기둥축소해석**, 대한건축학회논문집-구조계 24(6), pp.35~42

Bazant Z.P. and Wittmann F.H., (1982) *Creep and Shrinkage in Concrete Structures*, John Wiley & Sons

Choi C.K., Chung H.K., Lee D.G. and Wilson E.L., (1987) *Simplified Building Analysis with Sequential Dead Loads-CFM*, J. of Struct. Eng. ASCE, Vol.118, pp.944~954

Kwak H.G. and Kim J.K., (2006) *Time-dependent analysis of RC frame structures considering construction sequences*, Building and Environment, Vol.41, p.p. 1423~1434

Maru S., Sharma R.K. and Nagpal A.K., (2003) *Effect of Creep and Shrinkage in Reinforced Concrete Frame-shear Wall with High Beam Stiffness,* Structural Design of Tall and Special Buildings, Vol.12, pp. 93~108