

초고층 벽식 건축물의 수직부재 축소량 계측 및 보정

A Study on The Compensation Method of Vertical Members of Tall Building

김 우 재* 송 화 철** 박 호 선***
Kim, Woo Jae Song, Hwa Cheol Park, Hyo Seon

Abstract

The construction of high-rise buildings is increased. The Vertical Member of tall buildings is inherently shortened and it causes several seriously problems such as tilting of slab, crack within partition wall, deformation of curtain wall. This also affects structural stability by inducing unexpected stress to the structural members such as outrigger. In this study, the column shortening according to revised field information and to compare the analysis results the actual field measurement. Pusan The #, a 51-story apartment building which is currently under construction was chosen for the case study.

1. 서론

초고층 건물의 여러 현상들 중 재하된 하중 및 콘크리트의 비탄성 거동인 크리프나 건조수축에 의한 수직부재 축소(shortening)가 건물구조 및 사용성에 문제를 야기하는데 특히 기둥과 기둥, 코어와 기둥간의 하중 분담 면적 및 단면 성능의 차이로 인해 수직부재간 서로 다르게 축소되는 부등축소가 발생하는데 이런 수직 부재간에 발생된 부등축소량의 영향이 건물의 구조 및 비구조부재의 변형을 유발시킨다. 즉 건물외부의 커튼월, 수직배관덕트, 엘리베이터 레일 등에 영향을 주어 장애를 일으킬 수 있으며, 또한 인접 수직부재간의 부등축소량은 슬래브의 기울어짐. 간막이벽의 균열을 발생시켜 건축물의 하자를 발생 시킬 수 있다. 또 다른 문제는 부등축소량은 슬라브나 보에 전단력이나 휨모멘트와 같은 부가응력을 유발시켜 구조체를 손상 시킬 수 있으므로 초고층 구조물 시공시 반드시 기둥 축소량을 고려하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 현재 시공 중인 초고층 벽식아파트(51층)를 대상으로 시공단계에 따른 기둥 축소량을 예측하고, 현장계측을 통한 결과와 비교 분석하여 초고층건축물의 수직부재 축소량 현장 보정방법을 제안하기로 한다.

2. 수직부재 축소량 해석

수직부재 축소량 계측 및 보정 적용대상 건축물은 지하1층, 지상 51층 규모의 국내 최초 초고층 RC 벽식구조인 공동주택으로 횡저항요소인 아웃리저를 21층 및 51층 상부에 설치하였으며, 콘크리트 강도는 400kgf/cm^2 (B1~23F), 300kgf/cm^2 (24F~33F), 270kgf/cm^2 (34F~43F), 240kgf/cm^2 (44F~RF)를 사용하였다.

2.1 해석방법

현재 연구에 의해 제안된 많은 초고층 건물의 수직부재축소량 예측 모델식으로는 M. Fintel, S. K. Ghosh 그리고 H.Iyengar등에 의해 연구 제안된 PCA(portland cement association) 예측 모델식과 CEB-FIP 예측 모델식, 등이 있으나, 모델식들은 콘크리트의 비탄성거동을 정확히 예측 할 수 없는 실정이며, 현재까지 예측 모델식에 대한 연구가 많은 학자들에 의해 진행 중에 있다. 초고층 건축물에 발생하는 수직부재 축소량을 정확히 해석하기 위해서는 시공공정에 따른 하중이력, 재료실험을 통한 비탄성 콘크리트의 물성치(강도, 탄성계수, 특정 크리프 계수, 극한 건조수축값), 시공공정, 각종 환경변수 등이 반영되어야 한다. 따라서, 본 논문에서는 슬래브FEM 해석(MIDAS/SDS)를 통해 기둥과

* 포스코건설 기술연구소 건설기술연구원, 공학박사

** 한국해양대학교 해양공간건축학부, 교수

*** 연세대학교 건축도시공학부, 교수

WALL에 부담되는 하중을 산정하였으며, 재료물성치 및 현장으로부터 접수받은 공정표를 시공공정에 반영하여 시공단계해석을 수행하였다.

2.2 콘크리트 실험

축소량 보정을 위해 실험할 콘크리트는 강도 400,300 kgf/cm²로 시험항목은 압축강도, 탄성계수, 건조수축, 크리프 시험을 실시하였다.

표 1 압축강도와 탄성계수(kgf/cm²)

시험명	설계강도	7일	28일	90일
압축강도	300	295	408	414
탄성계수		293736	298170	323768
압축강도	400	378	479	512
탄성계수		328890	369185	364770

표 2 건조수축

강도(kgf/cm ²)	28일	120일
300	374×10 ⁻⁶	574×10 ⁻⁶
400	396×10 ⁻⁶	603×10 ⁻⁶

표 3 크리프

강도(kgf/cm ²)	28일	120일
300	665×10 ⁻⁶	1183×10 ⁻⁶
400	646×10 ⁻⁶	993×10 ⁻⁶

설계강도 300kgf/cm²은 28일강도가 408kgf/cm²로 설계기준강도 보다 36% 더 크게 나타났고 탄성계수는 한국콘크리트학회 기준보다 6~14% 큰 값을 가지며, ACI 기준과는 13% 오차를 보였다. 크리프변형 값은 120일 시점에서 1183×10⁻⁶으로 나타났고, 특정크리프는 887×10⁻⁶로 조사되었으며, 건조수축값은 574×10⁻⁶로 조사되었고, 극한 건조수축은 777×10⁻⁶로 조사되어 ACI-209의 극한 건조수축값과 근사한 값으로 조사되었다. 설계강도 400kgf/cm²은 28일강도가 479kgf/cm²로 설계기준강도 보다 20% 더 크게 나타났고 탄성계수는 한국콘크리트학회 기준보다 15~20%, ACI 기준 보다는 3~12% 정도 큰 값을 나타냈다. 크리프변형 값은 120일 시점에서 993×10⁻⁶으로 나타났고, 특정크리프는 336×10⁻⁶로 조사되었으며, 건조수축값은 603×10⁻⁶로 조사되었고, 극한건조 수축은 817×10⁻⁶로 조사되었고, ACI-209의 극한 건조수축값과 근사한 값으로 조사되었다. 따라서 현장에서 타설 될 콘크리트의 실험을 통한 비탄성 특성을 파악하여 수직부재 축소량 예측의 기본데이터로 사용하면 정밀한 축소량 예측 및 보정이 가능하다고 판단된다.

2.2 해석 결과

코어 벽체를 포함한 10개의 벽체와 3개의 기둥에 대해 축소량을 해석하였다. 사전해석시 선정된 벽체들은 모두 같은 층수로 지하 1층, 지상 51층과 2개의 PIT층(21층 상부, 51층 상부)으로 해석하였다. 해석 결과 선정된 벽체들은 슬래브 타설후 축소량이 33~37층에서 최대값을 보이는 것으로 나타났다. 슬래브 타설후의 축소량에서 Mega Column인 C1, C2, C8의 축소량과 코어벽체 W46, 최외측벽체 W1의 축소량이 2cm정도로 나왔으며, 내부의 벽체로 수직하중 부담이 많은 W51, W6이 4.2cm정도로 축소량이 크게 발생하는 것으로 검토되었다. 외측벽체인 W25, W59의 경우 단면적에 비해 슬래브 FEM 해석 결과 부담되는 하중이 큰 것으로 나타났으며, 그 결과 슬래브 타설후에 대한 축소량이 5.6cm로 가장 크게 발생하는 것으로 검토되었다.

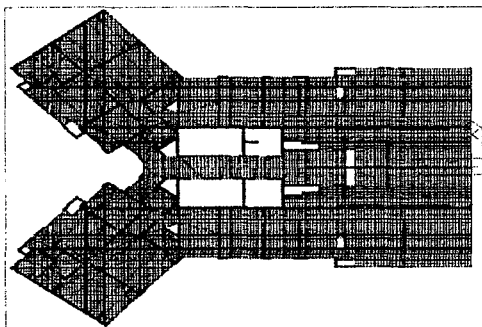


그림 1 유한요소 해석에 의한 슬래브 반력의 예

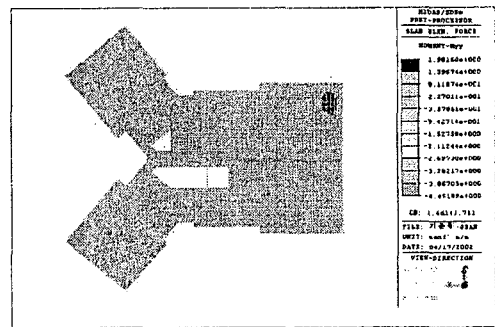


그림 2 유한요소 해석에 의한 슬래브 응력의 예

3. 현장계측

현장계측을 위해 사전해석을 통해 수직부재 축소량이 발생될 것이라고 예측되는 곳 17개소에 진동

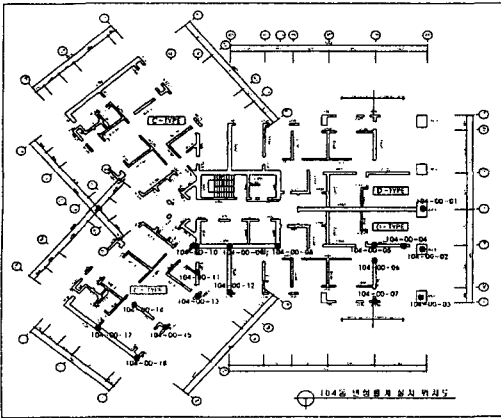


그림 3. 현장계측기 설치도

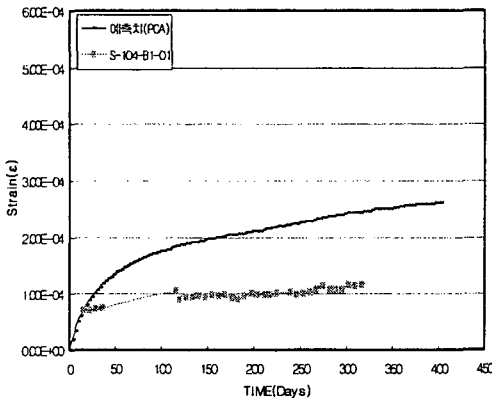


그림 4 C1 기둥의 예측 및 계측값비교

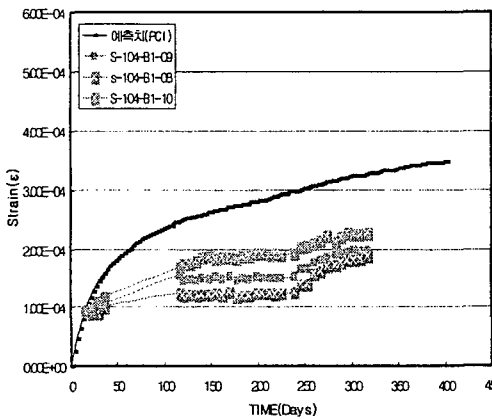


그림 5 지하1층 벽체의 예측 및 계측값비교

즉 보정치를 일정한 층수를 묶어 보정하고 있으며 이것은 각각의 기둥 전체를 보정하기는 어렵기 때문인데, 이를 해결하기 위해서는 구조설 계의 부재 grouping

현식 센서를 설치하였다. 센서 중 전기저항식은 정밀도가 뛰어나지만 습기 및 온도 변화에 취약함이 있고 센서의 수명이 진동현식에 비해 짧아 본 현장에 적용이 어려우며 진동현식은 정밀도 면에서 현장에서 계측하여야 할 데이터의 정밀도 기대치에 대해 완벽히 소화할 수 있고 습기는 물론 온도변화에 영향이 적어 진동 센서를 사용하였다.

4. 수직부재 축소량 계측결과 분석

현장계측은 2003년 1월부터 지하1층에 계측기를 설치하여 시작 하였으며, 2004년 3월 현재 450일 정도 진행 되었으며, 이시점 까지 30층 골조 및 마감동사가 계속진행 중이며, 본 논문은 400일 까지 진행된 지하층의 기둥과 벽체를 대상으로 계측치를 분석하였다. 실제 계측치는 해석을 통한 예측 축소량보다 작은 것으로 나타났다. 대체로, 각 수직부재별로는 전 구간에 걸쳐 일정 비율 만큼의 감소를 보였으며, 계측값에 대한 예측값의 비율은 40~90%의 넓은 편차를 보이고 있다. 각 동별 계측값은 예측값의 60~70% 비율 정도의 적은 값을 보이고 있다. 이런 편차를 보이고 있는 원인을 추정하면 다음과 같다.

① 축하중이 큰 경우는 해석에 의한 예측값과 계측값이 비슷하게 나타나고 있으나, 축하중이 작은 경우는 큰 편차를 보이고 있다.

② 탄성변형의 영향을 크게 받는 경우는 예측값과 계측값의 편차가 작게 나타나며, 건조수축과 크리프의 영향을 크게 받는 경우에는 편차가 크게 나타났다.

③ 건조수축과 크리프는 습도의 영향을 크게 받는데, 해석시 적용한 습도는 연평균값을 적용하였으나, 실제 시공현장의 여건은 습도가 높은 시기였으므로, 실제 측정값과 해석에 의한 예측값의 차이를 보일 수 있다고 판단된다.

또한, 해석에 의한 예측값과 실제 축소량인 계측값의 비교 그래프 양상이 비슷하므로 재해석시 계측값에 대한 예측값의 비율을 적용하여 일정하게 감소시켜 보정치를 산정하여도 무방하다고 판단되며, 계측하지 않은 부재는 하중 조건, 부재치수 및 주변 여건이 비슷한 수직부재와 같은 비율을 적용하여 보정치를 산정하면 가능하다고 판단된다.

5. 수직부재 축소량 현장 보정

축소량 예측모델링시 콘크리트 재료의 데이터(건조수축, 크리프 등)를 정확한 실험값을 사용한다면 정밀한 보정이 가능하다. 보정 방법은 PCA 연구 보고서 및 B.

S. Taranath의 Design of Tall buildings 과 V. Schueller 의 The vertical building structure에서는 기

둥축소량을 일정한 보정치로 묶어 보정 하는 "Lumped Column Correction"으로 보정하고 있다.

개념이 필요하다. 초고층 건물에서는 부재 grouping을 설계자의 직관 및 기술자의 경험에 의존하는 기존의 보정 과정으로는 합리적인 보정이 이루어지기에는 상당한 비용과 노력이 필요 하며, 이러한 과정을 통해 얻은 결과의 효율성 또한 기대하기 힘들다. 여러 가지 예측식을 통해 나온 기둥축소량을 어떻게 보정할 것인가에 대한 문제가 남아 있고 또한, 이 문제에 대한 명확한 답이 없어 사용자의 요구수준 및 설계 시방에서의 요구 정밀도 그리고 기술자의 독자적인 판단 등으로 보정치를 결정하고 grouping을 하여 적용하고있다. 축소량의 보정은 시공 과정에서 이루어지는데 예측된 축소량만큼 수직부재의 높이를 조절하여 보정한다. 코어 벽체와 내부 벽체의 부등축소량은 2cm 이하로 적게 나타났으며, 이때 처짐각은 최대 1/267로 나타나 허용오차의 범위를 만족한다. 그러나 내부 벽체와 발코니 벽체의 부등축소량은 2cm 이하로 적게 나타나고 있으나, 두 부재간의 스패인이 약 75cm에 불과해 처짐각이 최대 1/49까지 크게 나타나 허용오차의 범위를 초과한다. 이경우 확장형 발코니의 마감 및 조적 부분에서 균열등의 사용성 저하가 나타날 우려가 있다.그러므로 내부 벽체를 일정 수준 들어 올려 부등 축소에 대한 보정을 하고자 한다. 이때 보정의 대상은 과보정을 방지 하기 위하여 10층~21층으로 하고, 보정의 방법으로는 보정량 만큼 거푸집 하부에 FILLER를 끼워 거푸집의 높이를 높여 시공하도록 한다. 보정량을 10층부터 5mm로 하게되며 보정 오차가 허용처짐 1/240을 모두 만족하는 것으로 나타났다.

6. 결론

초고층 콘크리트 구조물인 부산 C 아파트의 수직부재 축소량을 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1)본 건축물의 최대부등 축소량은 30층에서 발생 할 것으로 조사되었고 축소량은 1.32 cm로, 이 부등축소량에 의한 최대 처짐각은 30층에서 1/62로 기준값인 1/240을 크게 초과하여 확장형 발코니의 마감 및 조적 부분에서 균열 등의 사용성 저하가 나타날 우려가 있으며, 이에 따라 보정이 반드시 필요하다.
- (2)보정방법으로는 현장의 시공성을 고려한다면, 10층에서 내부벽체를 5mm 들어올려 보정하는 것이 합리적인 방안으로 판단된다.
- (3)과다한 보정을 방지하기 위하여 20층 보정 이후의 보정여부 및 보정량은 재료실험 및 현장 계측 결과를 반영한 본 해석을 다시 실시한 후에 결정하는 것이 필요 하다고 사료된다.
- (4)수직부재 축소량 보정방법으로는 보정량 만큼 거푸집 하부에 FILLER를 끼워 거푸집의 높이를 높여 시공하는 것이 시공성 및 경제성에서 우수한 것으로 판단된다.

최근 국내에서도 초고층 대형 건물의 신축이 점차 증가하고 있으며, 그에 따라 건축구조물의 안전도에 대한 관심이 점차 증대되고 있다. 초고층 철근 콘크리트 벽식구조의 부등변형량의 계측 및 보정은 거주자의 사용성과 구조적인 측면에서 매우 중요한 요소이다. 따라서 국내 건설업 시장에서 품질 및 기술력 확보를 위해서는 수직부재 축소량에 관한 많은 정보 및 자료를 축적하고 장기적인 축소량을 조사하는 노력이 지속적으로 진행되어져야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 양극영, 초고층 기둥축소량 보정을 위한 측량기법에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 19권 5호, 2003.
2. 송화철, 초고층 콘크리트 건축물의 기둥축소량 효과, 대한건축학회 논문집, 13권 12호, 1997.
3. 대우건설, 초고층건물 구조시스템의 설계 및 해석에 관한 연구, 1998.
4. 건설교통부/한국건설기술연구원, 부등축소량 예측 기법과 최적 보정 기법의 개발 연구보고서, 2002.
5. 현대건설 기술연구소, 고층건물 기둥의 부등축소량 예측 및 모니터링 시스템 구축에 관한 연구, 1998.