

초고층 RC구조의 기둥축소량 해석 및 현장계측

Calculation and Measurement of Column Shortening High-Rise RC Structure

이 성 원* 박 현 일** 김 원 식*** 오 정 근****
Lee, Seong Won Park, Hyun Il Kim, Weon Sig Oh, Jung Keun

ABSTRACT

Axial shortenings of wall and columns were measured on level 2 and precise leveling between wall and columns were surveyed on level 5 at the Galleria Palace structure. Measured and surveyed shortening values were compared with the analysis results at the earlier stage on the process of construction for evaluating the predicted values. Though measured values represent relatively low and scattered values at earlier construction stage, probably they show similar slope curves to predicted ones with the progress of time.

1. 서 론

초고층 구조물의 해석, 설계 및 시공에 있어서 구조물의 사용성 및 안정성에 영향을 미치는 중요한 요소의 하나가 기둥축소 현상이다. 전단벽 및 기둥부재의 절대축소에 의해 발생하는 마감재료의 수직 방향 응력과 좌굴, 인접부재와의 부등축소에 의한 간막이벽과 커튼월 등의 비틀림, 바닥의 부등처짐, 수평부재의 2차 응력 발생 등이 기둥축소에 의해 발생하는 주요 문제이다.

기둥축소량 해석값을 현장에 적용할 경우 제시된 보정값 만큼 축소량이 발생하는 가에 대한 검증작업을 통하여 공사과정에서 재보정 여부를 판단해야 하며, 이와 같은 평가작업은 현장에서 계측 및 측량 등 현장 모니터링에 의존할 수 밖에 없다. 본 연구에서는 제시된 보정값의 재평가를 위해 스트레인 게이지에 의한 계측값, 벽체와 기둥의 부등축소량 측량값 그리고 해석 결과를 비교 분석하여 재보정 여부를 판단하고자 하였다.

2. 기둥축소량 계측 및 측량

2.1 계측위치

현재 서울시 송파구에 시공되고 있는 지하5층, 지상 46층, 최고 높이 149.5m의 초고층 RC구조인 갤러리아 팰리스 현장의 A동을 대상으로 전단벽과 5개소의 기둥에 스트레인 게이지를 설치하였다. 또 전단벽과 기둥의 부등축소 변화를 파악하기 위해 전단벽과 5개소의 기둥에 철판을 설치하고 일정한 간격으로 측량을 통하여 그 변화를 측량하였다.

*정회원, 삼성물산(주) 건설부문 갤러리아 팰리스 현장 구조담당 차장

**정회원, 삼성물산(주) 건설부문 갤러리아 팰리스 현장 소장

***정회원, 삼성물산(주) 건설부문 갤러리아 팰리스 현장 총괄소장, 상무

****정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 수석연구원

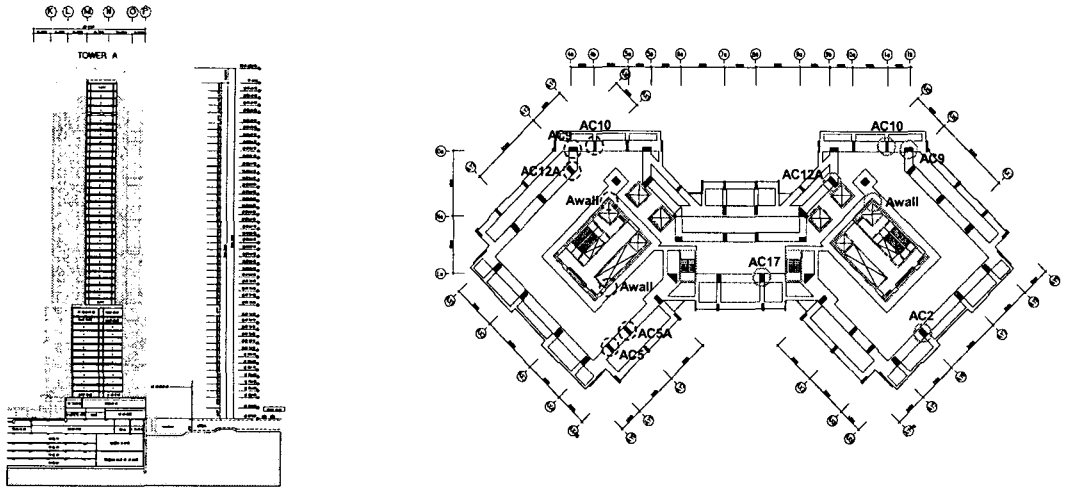


그림1 갤러리아 팰리스 A동 단면도, 평면도, 게이지위치 및 측량위치

2.2 게이지 설치 및 측정

그림 1에서와 같이 평면도내 우측부분은 해당층 축소량 계측을 위해 진동현식 스트레인 게이지 (Model EDS 11V)를 설치하였으며, 전단벽과 기둥에는 부등변형 측량을 위해 철판을 설치하였다. 축소량 계측을 위한 게이지설치, 측정 그리고 측량 등은 호승시스템에서 수행하였다.

표 1 스트레인 게이지 및 측량 위치

Strain Gauge for Axial Shortening		Survey for Precise Leveling	
설치 층	2, 10, 20F	측량 층	5, 10, 15, 20, 25, 30
설치 위치	Wall, AC2, AC10, AC12A, AC17	측량 위치	Wall, AC2, AC9, AC10, AC12A, AC17
계측 기간	공정별 설치후 ~ 입주전	측량 기간	해당층골조시공 직후~마감작업 전

3. 기둥축소량 해석

3.1 해석 이론

축소량 해석방법은 기존의 많은 연구^{(1),(4),(5)}에서 이미 제시되었으며, 부재의 축소량에 영향을 미치는 주요변수를 고찰하면 다음과 같다.

3.1.1 탄성 변형률

부재의 탄성변형은 콘크리트의 탄성계수에 의해 결정되며, 탄성계수값은 시간에 따라 변화하는 콘크리트의 압축강도에 의존한다.

$$f_{ct} = \frac{t}{4 + 0.85t} f_{ck} \quad (1)$$

$$E_{ct} = 33 w^{1.5} \sqrt{f_{ck}} \quad (2)$$

위식에서 f_{ct} 는 재령 t 에서의 콘크리트 압축강도(psi)를 t 는 재령(일), f_{ck} 는 재령 28일에서의 콘크리트 압축강도(psi)를 나타내며, w 는 콘크리트의 단위중량(lb/ft³)값이다.

3.1.2 크리프 변형률

시간경과에 따른 크리프 변형에 대하여 ACI 209 위원회에서는 다음과 같은 식을 제시하였다.

$$CR_t = \frac{\epsilon_{ct}}{\epsilon_{c\infty}} = \frac{t^{0.6}}{10 + t^{0.6}} \quad (3)$$

위식에서 ϵ_{ct} 는 시간 t 까지의 단위응력당 크리프 변형률, t 는 하중이 작용한 후 경과시간을 나타내며, $\epsilon_{c\infty}$ 는 $3/1000f_{ck}$ 에서 $5/1000f_{ck}$ 까지의 값이며, 본 연구에서는 $4/1000f_{ck}$ 의 값을 적용하였다.

3.1.3 건조수축 변형률

일반적으로 건조수축 변형률은 ACI, CEB-FIP(78) 그리고 Hansen-Mattock식이 주로 적용되고 있으며, 시간경과에 따른 건조수축 진행을 SH_t 는 다음과 같이 표현된다.

$$SH_t(ACI) = \frac{\epsilon_{sh,t}}{\epsilon_{sh,\infty}} = \frac{t}{35 + t} \quad (4)$$

$$SH_t(CEB-FIP, 78) = \frac{\epsilon_{sh,t}}{\epsilon_{sh,\infty}} = \frac{t^{0.8}}{0.25h_o + t^{0.8}} \quad (5)$$

$$SH_t(Hansen-Mattock) = \frac{\epsilon_{sh,t}}{\epsilon_{sh,\infty}} = \frac{t}{26.0e^{0.36(u.s)} + t}, \quad h_o = \lambda \cdot 2A_c/u \quad (6)$$

위식에서 $\epsilon_{sh,t}$ 는 시간 t (days)에서의 건조수축 변형률, $\epsilon_{sh,\infty}$ 는 극한 건조수축(ultimate shrinkage) 변형률을 나타내며, A_c 는 콘크리트의 단면적, u 는 외기와 면하는 부재의 둘레길이, λ 는 상대습도 계수값이다. 아래 그림 2는 15×30 cm 공시체를 대상으로 각 제안식의 건조수축 특성을 나타내고 있다. 초기에는 CEB-FIP식이 다소 높게 나타나고 있지만, 그림 3에서와 같이 부재가 큰 경우 (80×150 cm)에는 ACI식에 의한 초기 축소량이 다소 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

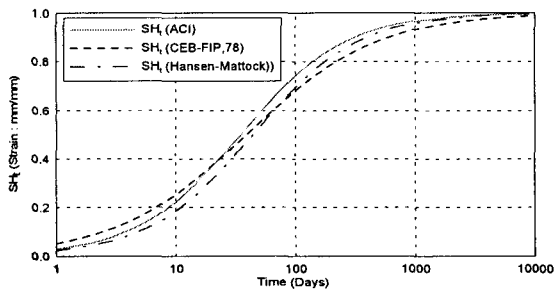


그림 2 시간경과에 따른 건조수축 변화

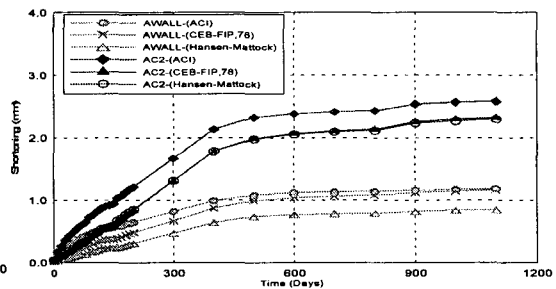


그림 3 시간경과에 따른 부재축소량 변화

3.2 주요 변수

3.2.1 재료 특성

갤러리아 펠리스 A동의 경우 그림<1>과 같이 내부 전단벽과 주변 기둥으로 계획되어 있으며, 콘크리트 압축강도는 전단벽과 기둥 모두 지하5층에서 9층까지는 500kgf/cm^2 , 10층에서 19층까지는

400kg/cm², 20층에서 PH층까지는 350kg/cm²을 적용하고 있다. 내부전단벽은 지하5층에서 40층까지는 450mm, 41층에서 PH층까지는 350mm의 두께로 시공되었다. 기둥의 크기는 아래 표 2와 같다.

표 2 층별 기둥 크기

층 수	AC2	AC9	AC10	AC12A	AC17
B5~1F	1,200×1,500	1,000×1,500	600×1,800	1,000×1,500	800×1,900
2F	850×1,950	700×1,500	450×1,800	800×1,500	550×1,900
3F~15F			450×1,800		
16F~42F	900×1,850	700×1,850	-	-	350×5,900
43F~46F	900×1,850	-	-	-	350×1,325

3.2.2 현장 공정 및 부가하중

A동의 경우 지하층과 지상 2층까지는 다소 불규칙한 공기를 나타내지만, 3층 이후부터는 약 6일에 1개층을 타설하였다. 단 아웃리거가 있는 16층의 경우에는 약 1개월 정도가 소요되었다.

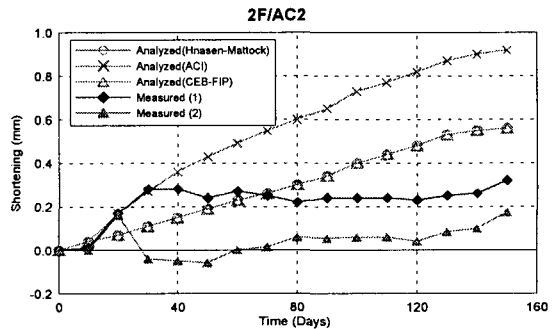
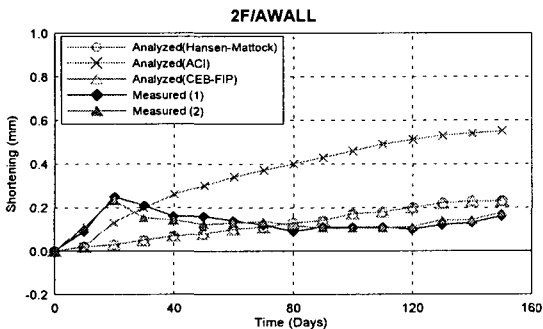
부재의 축소량에 영향을 미치는 부가하중은 현장내 공정을 기준으로 적용하였으며, 갤러리아 팰리스 현장의 경우 구조체 완료후 커튼월, 천정배관, 천정과 간막이벽, 바닥미장 그리고 입주 등으로 구분하여 단계적으로 하중이 작용하는 것으로 가정하여 해석하였다.

4. 해석 및 예측결과 분석

4.1 축소량 예측값과 해석값의 비교분석

스트레인 게이지는 2층, 10층, 20층에 설치하였으나 본 연구에서는 2층의 전단벽과 기둥의 축소량 측정치와 해석치를 비교분석하고자 한다. 측정값의 경우, 콘크리트 타설후 발생하는 수화열에 의한 부피팽창에 의해 일시적으로 급격하게 증가된 값을 나타내고 있으며 부재가 상온으로 되는 시점에서는 다시 감소하고 있다. 이와 같은 과정에서 초기값이 다소 많은 편차를 나타내고 있다.

해석값의 경우 서로 다른 건조수축 제안식에 의해 다소 차이를 나타내고 있다. CEB-FIP식과 Hansen-Mattock식에 의한 해석값은 비교적 일치하는 값을 나타내고 있으나 ACI식과는 다소 높은 차이를 나타낸다. 측정값의 경우 CEB-FIP식과 Hansen-Mattock식에 의한 해석값과 다소 차이는 있지만 초기값 이후 기울기는 유사하게 나타나고 있으며, 전단벽과 기둥 모두 수화열 발생 이후 다소 높은 편차를 보이고 있으나 시간이 경과하면서 축소량의 증가양상은 해석값과 비교적 일치하고 있다.



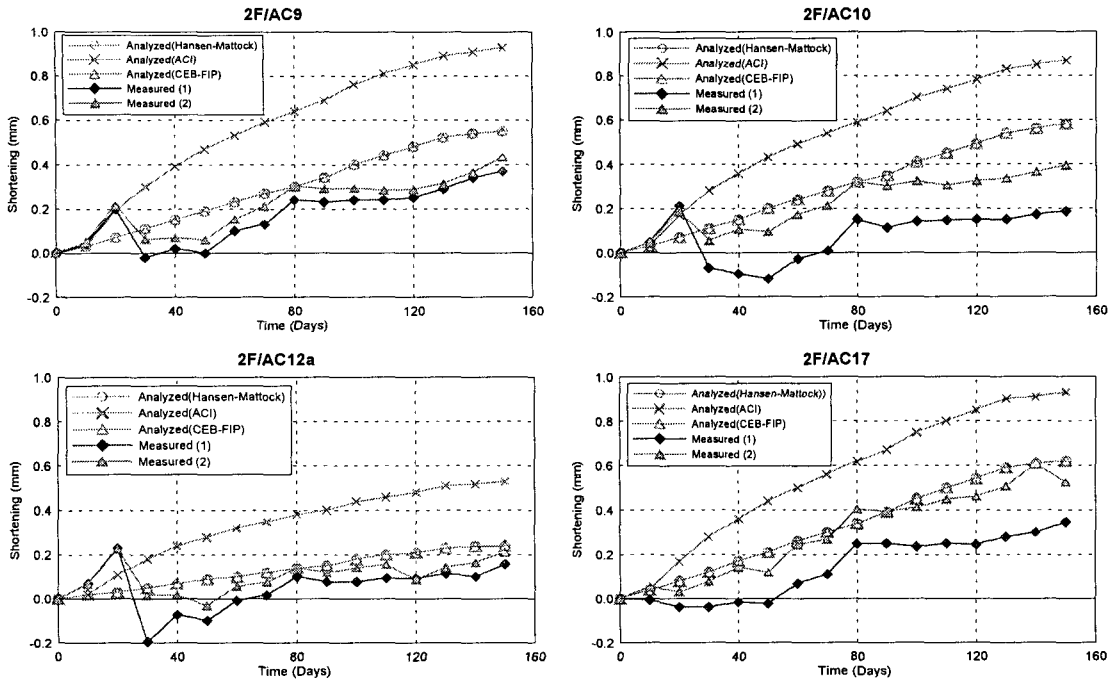
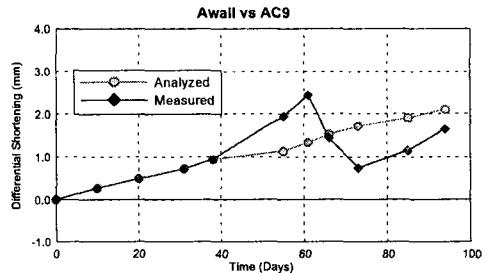
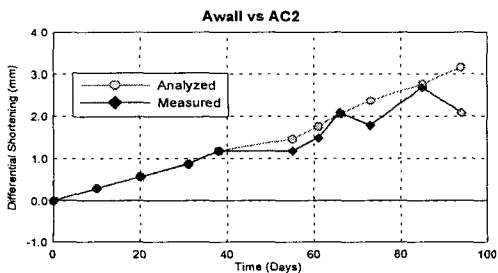


그림 4 전단벽과 기둥축소량의 예측값과 해석값의 비교

4.2 부등축소량 측량값과 해석값의 비교분석

A동 5층 전단벽과 기둥의 시간경과에 따른 부등변형(differential shortening)을 측량하였으며 해석값과 비교분석하였다. 해당층의 콘크리트 타설 후 슬래브를 지지하는 형틀 및 가설재 등에 의해 초기 측량이 불가능하였으며, 약 1개월 정도 경과한 후부터 측량이 가능하였다. 따라서 그림<5>에서와 같이 초기 약 1개월 정도는 해석에 의한 부등변형값을 적용하였다.

전단벽에 대하여 AC2, AC17 기둥의 경우 측량값과 해석값이 비교적 정확하게 일치하고 있으며, 전단벽에 대하여 AC9, AC10, AC12A 기둥은 초기측량 후 다소 높은 오차를 나타내고 있지만 시간이 경과하면서 증가추세는 어느 정도 일치하고 있는 것으로 판단된다. AC9기둥과 AC10기둥간의 부등축소량 또한 해석값과 비교적 정확하게 일치하고 있음을 알 수 있다. 부등축소량 측정은 자동 레벨 장치(Automatic Levels C32)를 적용하였으나 측량 일자, 위치 및 개인적 측량방법 등에 의해 측량과정에서 다소 오차를 나타내고 있으며, 높은 정밀도를 요구하는 부등축소량의 측량을 위해서는 이와 같은 오차를 최소화 할 수 있는 방법이 도출되어야 할 것으로 판단된다.



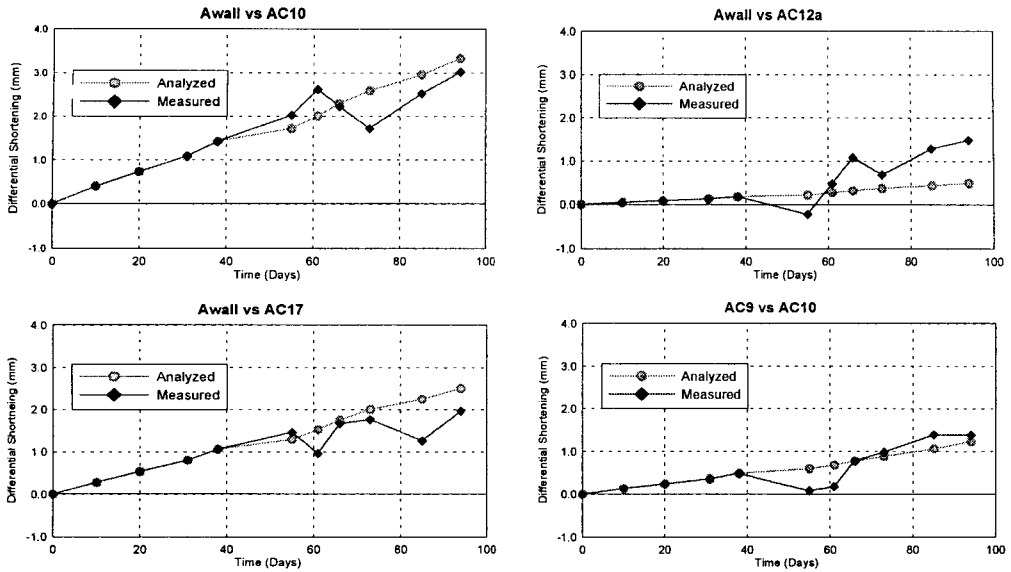


그림 5 전단벽과 기둥의 부등축소량 측량값과 해석값의 비교

5. 결 론

- (1) 초고층 RC구조의 기둥축소량 예측값은 콘크리트 타설 후 수화열에 의해 다소 높은 편차를 나타내고 있으며, 이와 같은 편차에 의해 해석값과 다소 차이를 나타내고 있다. 하지만 시간이 경과함에 따라 증가추세는 해석값과 비교적 유사한 것으로 판단된다.
- (2) 전단벽과 기둥의 부등축소량에 대한 측량값은 다소 편차를 나타내고 있지만, 비교적 해석값과 유사한 기울기를 나타내고 있다.
- (3) 초고층 RC구조에서 초기의 기둥축소량 예측값 및 부등축소량 측량값은 다소 편차를 나타내고 있지만, 재보정 여부를 판단할 수 있는 자료로서 활용이 가능하다고 판단된다.

참고문헌

1. ACI Committee 209, "Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures", Manual of Concrete Practice, American Concrete Institute, Detroit, Mich., 1999.
2. Mark Fintel, S. K. Ghosh, and Hal Iyengar, "Column Shortening in Tall Structures-Prediction and Compensation", PCA, 1987.
3. "CEB-FIP Model Code for Concrete Structure", Comite Euro-International Du Beton, Paris, 1978.
4. 송화철 외, "초고층 철근콘크리트 건물의 기둥축소량 효과", 대한건축학회 논문집 제13권 12호, 1997, pp.289~297.
5. 김원상, 조한욱, 오정근, 염경수, "고층 콘크리트 건물의 기둥축소량 예측연구", 콘크리트 학회 논문집, 제11권3호, 1999. 6. pp.161~170.