

# 초고층 건축물의 기둥축소량 해석 및 현장계측 - 해운대 아이파크

## Column Shortening Analysis and Field Measurement of Haeundae I'Park

정 광 량\*                      이 대 용\*\*                      송 호 범\*\*\*                      박 광 민\*\*\*\*  
Chung, Kwang-Ryang      Lee, Dae-Yong              Song, Ho-Beom              Park, Kwang-Min

### Abstract

The effect of column shortening is a major consideration in design and construction of tall buildings, especially in concrete and composite structural systems. To avoid unexpected damage in structural and nonstructural elements, differential shortening between vertical members resulting from differing stress levels, loading histories, volume-to-surface ratios and other factors in a high-rise building must be properly considered in the design process. This paper represents analyzed and measured shortening results of RC cores and columns at the 72 story Haeundae I'Park. It shows that WACS program based on ACI and PCA material model is effective for the prediction of column shortening.

키 워 드 : 초고층 건물, 기둥축소량, 현장계측  
Keywords : high-rise building, Column Shortening, Analysis, Field

## 1. 서 론

### 1.1 논문의 목적

사회적, 산업적 수요에 반영되어 초고층건물은 화두가 되고 있으며, 동남아시아 및 아랍의 각 도시에서는 경제성장에 따른 국력을 과시하기 위함으로써 초고층 건축물을 건설하기 시작하였다. 국내에서도 국가위상과 경제력에 부합한 국제적 도시를 건설하기 위하여 수도권 정비법이 완화되어 초고층 건축에 대한 건립계획이 많이 보도되고 있다.

건물이 고층화됨에 따라 연직부재인 기둥 및 코어의 축소량은 커튼월 및 엘리베이터의 사용성에 악영향을 미치며, 인접부재간의 부등축소량은 간막이벽, 유리창호, 방통 등의 거주사용성 및 수평구조부재에 발생하는 추가응력으로 인한 구조적 문제까지도 야기되고 있다.

본 논문의 목적은 현대산업개발 해운대 우동 아이파크 프로젝트에 적용한 기둥축소량 해석 및 계측값 분석을 함으로써 해석의 정확성을 검토하는데 있다.

### 1.2 해석프로그램 특징

기둥축소량 해석프로그램인 WACS(Wall And Clumn Shortening)프로그램은 일반적인 ACI 모델과 PCA 모델에 근거하여 철골 부재, 콘크리트 부재, 합성 부재(철골 + 콘크리트)에 대해 탄성, 비탄성 기둥축소량 해석을 수행할 수 있다. 각각의 부재에 대해 기둥축소량 상세 해석결과(탄성, 크리프, 건조수축 축소량의 슬래브 타설 전/후 축소량)를 확인할 수 있으며 시공 공정에 따른 다양한 목표일(Target Day)에 대해서 동시에 해석을 수행할 수 있다.

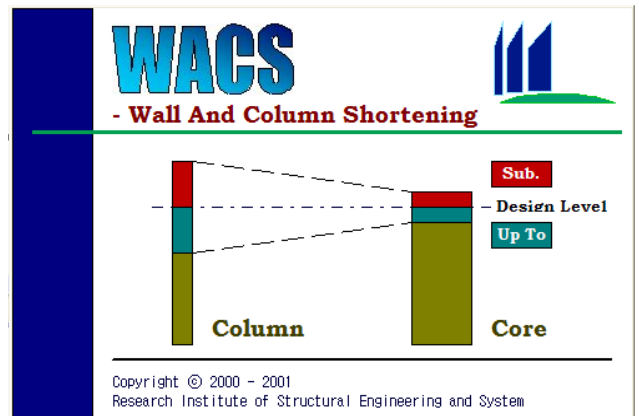


그림 1. WACS(동양구조안전기술 개발 해석프로그램)

\* (주)동양구조안전기술 대표이사, 공학박사  
\*\* (주)현대산업개발 구조설계팀 팀장  
\*\*\* (주)동양구조안전기술 과장, 공학박사  
\*\*\*\* (주)동양구조안전기술 대리, 공학석사

## 2. 프로젝트 개요



그림 2. 해운대 아이파크, 부산, 한국, 2008

- ① 용 도 : 공동주택
- ② 설 계 : Studio Daniel Libeskind, 건원건축
- ③ 시공사 : 현대산업개발
- ④ 구조설계 : 동양구조안전기술, ARUP
- ⑤ 규 모 : Tower1 : 지상 66층, 지하 5층  
Tower2 : 지상 72층, 지하 5층  
Tower3 : 지상 46층, 지하 5층
- ⑥ 구조방식 : RC 코어 및 기둥, SRC기둥, 벨트트러스+아웃리저

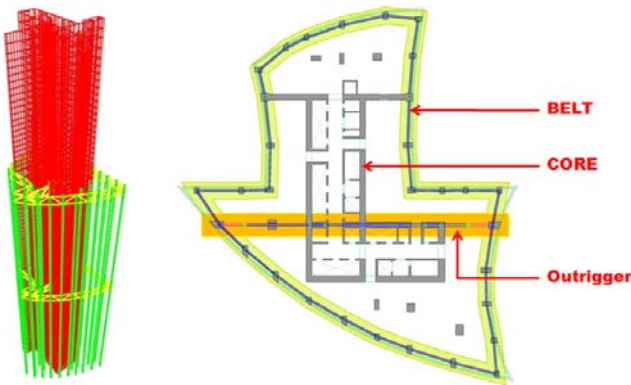


그림 3. Tower 2 구조시스템

## 3. 기둥축소량 해석결과

### 3.1 해석 진행 과정

본 프로젝트는 부산 해운대 우동에 시공되고 있는 초고층 주택으로 Tower 2의 경우 높이 292.7m의 RC코어 및 RC, SRC기둥의 건물이다. 25F 및 50F에 Outrigger와 Belt Truss로 횡력에 대응하고 있다. 전체 수직부재를 대상으로 기둥축소량 해석을 실시하였으며, Tower 2의 경우 141개의 스트레인게이지를 6개층에 걸쳐 축소량이 상대적으로 크게 발생할 것으로 예상되는 곳에 설치하였다. 기둥축소량 해석 및 계측값 분석의 진행과정은 그림 4와 같다.

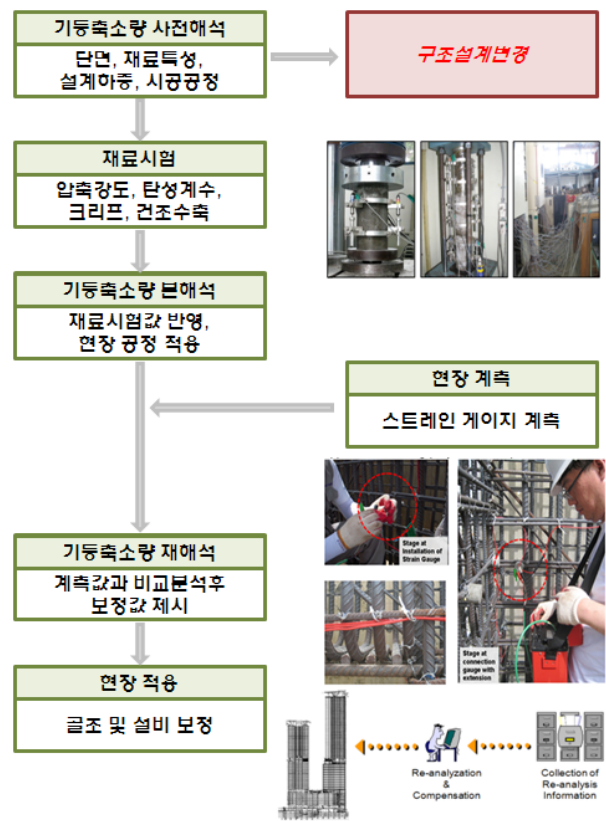


그림 4. 기둥축소량 진행 과정

### 3.2 계측값 분석

진동형식 변형을 게이지를 주요 수직부재에 매립하여 기둥축소량의 계측을 실시하였다. 시간이 경과함에 따라 변화율이 감소하므로, 매립 후 1개월간은 1회/1일, 1개월~6개월은 1회/1주, 6개월 이후는 1회/월의 빈도로 측정을 수행하였다. 실측된 자료를 토대로 3차례의 재해석을 수행하였으며, 해석값과 실측값을 비교 검증하여 보정값을 제시하였다. 본 논문에서는 Tower 2의 지하2층 기둥에 매립한 게이지의 결과값을 예로 들어 설명하도록 한다. 그림 5와 같이 해석값 및 계측값 비교에서 해석값은 WACS 프로그램의 결과값이고 계측값은 현장변형을 게이지값이며 보정값은

계측값/해석값을 검토하여 제안하였다. 보정값 및 패턴 분석은 표 1과 같다.

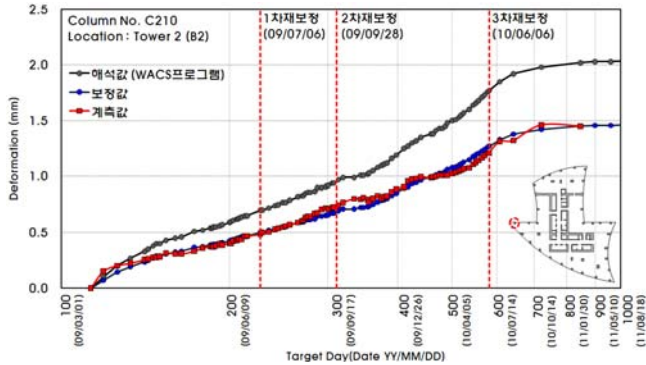


그림 5. 해석값 및 계측값 분석

표 1. 보정값 및 발생패턴 분석

| 구 분             | 보정값  | 계측패턴 특징   |
|-----------------|------|---|
| 매립 후~<br>1차 재보정 | 0.71 | 해석값 곡선과 동일한 패턴으로 계측값 진행.                                  |
| 1차~2차 재보정       | 0.74 | 본해석과 동일하게, 기울기가 커짐.                                       |
| 2차~3차 재보정       | 0.73 | 해석값과 동일하게 Target Day 300일 부근에서 공사지연으로 발생값이 수평진행 후 기울기 커짐. |
| 3차 재보정~최종       | 0.73 | 해석값과 동일하게 Target Day 600일 이후 발생기울기가 작아짐.                  |

[주] 보정값 산정은 매립 후 초기값부터 각 단계까지 반영함. 즉, 3차 보정값 0.73은 초기값부터의 분석값.

계측값은 해석값과 동일한 형태의 발생패턴을 보였으며, 보정값은 시간경과에 따라 계측값이 증가하여도 초기값과 크게 변동이 없는 결과이기 때문에 초기 매립 후 2~3개월간의 계측값 분석을 통하여 시공전반에 걸친 축소량발생 예측이 가능하다고 생각된다. 또한, 시공 중 발생하는 모든 환경변수를 해석 시에 반영하는 것으로써, 발생패턴의 정확도를 향상시킬 수 있을 것이다.

실제 현장계측을 실시하여 나온 Tower 2의 총 141개의 계측값과 해석값은 신뢰수준 약 85%에 해당하는 값으로, 해석값과 계측값에서 큰 차이가 없었다.

### 3.3 보정계획

계측값을 고려하였을 경우 기동의 슬래브 타설 후 축소량 중 가장 큰 곳은 69.28mm, 코어는 31.23mm가 발생하였다. 보정방법에서 슬래브 타설 전 축소량은 설계레벨에 맞추어 시공하는 것으로 계획되었으며, 기동의 경우 보정대상을 거푸집계획을 고

려하여 4개 그룹으로 나누어 보정값을 제시하였고 실제 현장에서는 캠버를 주어 보정하는 방법을 취하였다.

표 2. Tower 2 보정계획

| Story | 코어 (mm) | 기동보정(mm) |     |     |     |
|-------|---------|----------|-----|-----|-----|
|       |         | 그룹1      | 그룹2 | 그룹3 | 그룹4 |
| 71F   | 15      | 15       | 15  | 15  | 20  |
| 66F   | 15      | 25       | 20  | 25  | 30  |
| 61F   | 20      | 25       | 20  | 25  | 30  |
| 56F   | 25      | 25       | 20  | 25  | 30  |
| 51F   | 25      | 25       | 25  | 25  | 30  |
| 46F   | 30      | 30       | 25  | 25  | 30  |
| 41F   | 30      | 30       | 25  | 25  | 35  |
| 36F   | 30      | 30       | 25  | 25  | 35  |
| 31F   | 30      | 25       | 20  | 20  | 30  |
| 26F   | 25      | 25       | 20  | 20  | 30  |
| 21F   | 25      | 20       | 15  | 15  | 25  |
| 16F   | 25      | 15       | 10  | 10  | 20  |
| 11F   | 20      | 15       | 10  | 10  | 20  |
| 6F    | 15      | 10       | 10  | 10  | 15  |
| 2F    | 10      | 5        | 5   | 5   | 10  |

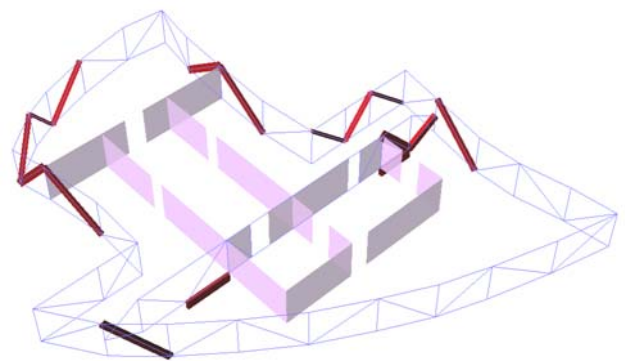


그림 6. Tower 2 (25F O/T, B/T 설치일 기준 NG부재)

### 3.4 구조성 및 사용성 검토

기동과 코어월의 부동축소량에 따른 Outrigger Truss 및 Belt Truss의 부가응력을 산정하고, 이에 따른 구조안전성을 확보하기 위하여 설치시기 및 접합부에 대한 검토를 시행하였다. 그 결과, Outrigger Truss의 경우 약 220일을 Delay Joint를 적용하는 것이 바람직하다는 결과가 나타났으며, Belt Truss는 NG가 나는 부재별로 약 135일의 Delay Joint를 적용하는 것이 구조안전성에 문제가 없는 것으로 나타났다.

커튼월, 경량벽체, 천정, 방수, 바닥단방, 도장, 아트월, Door, 도배 및 온돌마루 공사에 걸쳐 사용성 검토를 실시하였다. 이 가운데 커튼월과 경량벽체에 대해 설명을 하고자 한다.

### 3.4.1 커튼월

외부 마감 패널인 커튼월은 건물의 외부를 둘러싸는 마감재이므로 외부 기동의 축소량에 대한 검토가 필요하다. 외부 마감 패널의 설계단계에서부터 각 제작업체에서 기동축소량을 흡수할 수 있는 허용치를 고려하여 디테일을 설계하여야 하며, 수직적인 축소량 뿐만이 아니라 기동간 부등축소량이 크게 발생하는 부재에 서는 부등축소량에 대한 검토도 중요시 된다.

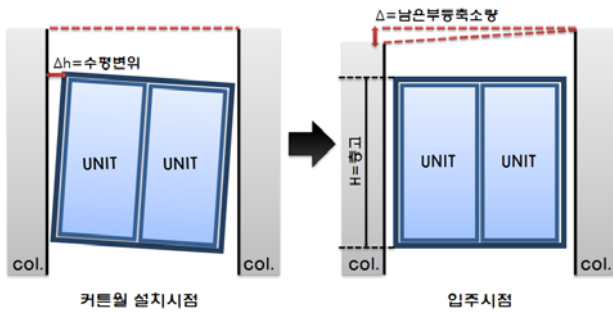


그림 7. 커튼월 경사설치

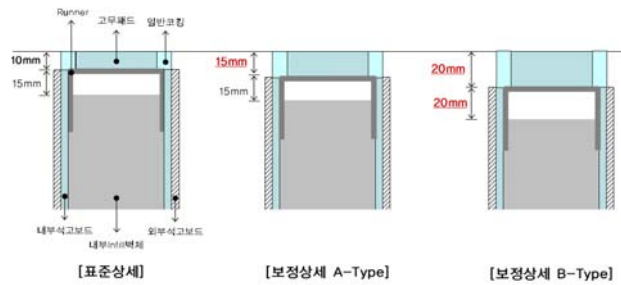


그림 8. 경량벽체 수직변위 보정



그림 9. 경량벽체 수평변위 보정

커튼월 유닛의 수직축 갭은 예상되는 기동별 수직축소량을 흡수, 수평축 갭은 부등축소량을 흡수할 수 있는 설계가 요구된다. 해운대 아이파크 프로젝트의 경우, 발생하는 수직축소량은 수직축갭의 허용값에 수용되는 값으로 외부 마감 패널에서는 문제가 되지 않았다. 그러나 외부 기동간의 부등축소량의 경우 허용값을 일부 초과하여 발생할 수 있을 것으로 해석하였다. 따라서 본 프

젝트의 일부구간에 대해서 경사설치 및 부재간 부등축소량이 기준치 이하가 될 때까지 커튼월 설치를 보류하여 설치하도록 계획하였다.

### 3.4.2 경량벽체

경량벽체의 경우 벽체상부에 10mm 고무패드를 설치하였고 C-Stud Frame과 구조체(수직부재 및 커튼월)사이 에 2장의 댐핑패드 설치하여 수직 및 수평방향으로 10mm의 허용치를 설치하였으나, 해석결과, 일부 수직방향으로 10mm 허용치를 초과하는 범위에는 고무패드를 15mm 및 20mm로 상향조정하여 경량벽체를 충분히 보정하였다. 부재간 부등축소량 및 슬래브 장기치짐 등을 고려하여 수평축 허용치를 초과하는 범위에 대해서는 고무패드를 추가적으로 설치하도록 계획하였다.

## 4. 결 론

본 연구에서 검토한 해운대 아이파크의 기동축소량 해석 및 현장계측의 결과를 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) ACI 및 PCA 재료 모델에 근거한 WACS 해석프로그램은 기동축소량 해석 및 예측에 효과적이다.
- 2) 초기 2~3개월의 계측값으로 시공전반에 걸친 보정값을 제시할 수 있다. 단, 시공시에 발생하는 재료물성치 등의 모든 변수를 반영하여야 정확한 해석값을 얻을 수 있다.
- 3) 일반적으로 초고층 건물의 경우 기동의 부등축소량은 건물의 구조 및 사용성에 변형거동을 유발할 수 있으므로 아웃리거나 벨트트러스와 같이 강성이 큰 부재에 대해서는 설계 단계에서부터 기동축소량에 대한 영향을 고려해야 한다.
- 4) 기동축소량값을 근거로 커튼월, 경량벽체 및 설비배관 등의 사용성문제의 사전고려가 가능하다.

본 프로젝트에 적용한 WACS 프로그램의 시간경과에 따른 수직부재의 축소량 예측값은 실제 발생값에 근접한 해석이 가능하다. 재료시험을 통한 콘크리트 물성치 확보 및 일정변경 등의 시공 중에 발생하는 변수를 해석에 반영한다면 더욱 정확한 예측이 가능하다. 향후 지속적인 개선과 보완이 이루어질 수 있도록 실제 프로젝트를 통한 검증은 진행할 예정이다.