

# 전이층을 가진 초고층건물의 기둥축소량 예측 및 현장계측

## Column Shortening prediction and Field measurement of Tall building with Transfer floor

송 화 철\* · 조 용 수\*\* · 정 성 진\*\*\* · 윤 광 섭\*\*\*\* · 이 우 호\*\*\*\*\*

Song, Hwa-Cheol · Cho, Yong-Soo · Chung, Sung-Jin · Yoon, Kwang-Sup · Lee, Woo-Ho

### ABSTRACT

The prediction of time-dependent column shortening is essential for tall buildings considering both strength and serviceability aspects. The Column shortening of tall buildings with transfer floor should be calculated considering the long-term deflection of transfer girder.

In this study, both the column shortening and the deflection of transfer girder of 45-story tall concrete building are predicted. The column shortening considering deflection of transfer girder are compared with the actual column shortening by field measurement.

**Keywords:** transfer floor, transfer girder, column shortening, tall building, field measurement

### 1. 서 론

최근 산업의 발달과 인구증가로 인해 초고층 및 대형건물의 신축 등이 증가하고 있는 실정이다. 이에 따라 구조물의 안전에 대한 관심뿐만 아니라 입주자의 주거성능과 관련된 사용성에 대한 관심도 커지고 있다. 이러한 영향에 따라 현재 지어지는 고층건물의 기둥축소량에 대한 관심이 높아지고 있으며, 최근 몇 년간 기둥축소량에 대한 해석 및 보정에 대한 연구도 많은 발전을 하였다. 기둥축소량 해석을 하는 주요 이유는 기둥과 기둥 및 전단벽과 기둥 또는 전단벽과 전단벽의 부동변위에 대한 슬래브의 기울어짐과 커튼월 및 마감 부재의 비틀림 등과 같은 사용성 측면의 문제와 부동변위로 인한 변위차에 의한 부가응력의 발생과 같은 구조안전성에 관련된 문제로 나눌 수 있다.

일반적으로 현재 연구된 기둥축소량에 대한 해석은 전단벽식 구조에 대한 해석 및 보정에 대한 내용(장운성 등, 2003)과 SRC기둥에 대한 해석 및 보정(송화철 등 2005; 김한수 등, 2003), 그리고 일반적인 기둥식 구조물의 기둥축소량 해석(장운성 2004) 등으로 연구의 범위도 광범위하게 이루어졌다.

제한된 건축대지에 최대한의 시설수용 및 용적율을 내기위해서 일부 고층건물의 경우에는 하부층에 전이보(Transfer Girder)의 형태를 가지는 골조식과 상부에는 일반 주거를 위한 구조물의 형태를 결합한 주상복

\* 정회원 · 한국해양대학교 해양공간건축학부 부교수 E-mail: song@mail.hhu.ac.kr

\*\* 학생회원 · 한국해양대학교 해양공간건축학부 박사과정 E-mail: cys-eng@hanmail.net

\*\*\* (주)두산산업개발 현장소장 E-mail: sihye@doosan.com

\*\*\*\* (주)미래ISE 대표이사 E-mail: mirae2k@korea.com

\*\*\*\*\* (주)미래ISE 소장 E-mail: mirae2k@korea.com

합형대의 고층건물의 수요도 발생되었다. 이러한 주상복합식 고층건물의 주요문제는 상부층의 응력이 전이보를 통해서 전달되기 때문에 기둥축소량 해석에 있어서도 많은 문제점들이 발생한다. 특히 하부층의 기둥과 기둥사이에 전이보에 의해 상부층에 대한 기둥이 내려오는 경우에는 기둥의 축소량을 예측하는데 많은 문제가 있다. 따라서 이러한 부분에 대한 해석방법의 연구와 아울러 기둥간의 부등변위로 인한 전이보의 부가응력에 대한 연구가 거의 전무한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 하부층의 기둥과 전이보에 의한 상부층의 기둥이 연결되는 주상복합형 45층 초고층건물의 기둥축소량을 해석하고 계측결과와 비교한다. 그리고 전이보에 대한 장기처짐을 ACI 318-02 규준에 따라 해석하며 계측값과 비교하여 기둥축소량 해석에 반영한다.

## 2. 기둥축소량 해석의 일반사항

초고층 건물에서 기둥과 코어와의 축소량의 영향은 전체축소량에 대한 부등축소량과 시간의 영향을 받는 슬래브 타설이후의 부등축소량으로 나눌 수 있다. 이러한 부등축소량의 영향은 기둥과 코어를 연결하는 보와 슬래브에서 부가응력을 유발시키는 구조안전성에 대한 문제와 파티션이나 커튼월의 균열과 같은 사용성의 문제를 유발하기도 한다.(그림 1 참조) 또한, 사용성 이외의 부등축소량의 영향으로는 그림 2에서 나타난 부재의 부가모멘트에 의한 구조적 영향을 주게되며, 특히 아웃리거(Outrigger)가 설치된 구조물의 경우에는 부가모멘트가 과도하게 발생하기 때문에 반드시 고려해야하는 사항이다. 아웃리거가 설치된 부분의 부가모멘트를 줄이기 위해서는 설계단계에서 부등축소량을 최대한 줄이거나 시공단계에서 시공지연방법을 적용하는 등의 특별한 시공법이 필요하다. 특히 미국 시카고의 Two Prudential Plaza의 경우에는 시공지연방법을 적용한 건물로 알려져 있다.

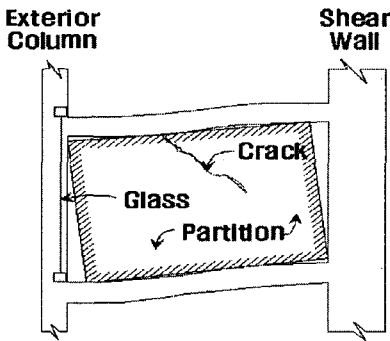


그림 1 부등축소의 영향(사용성)

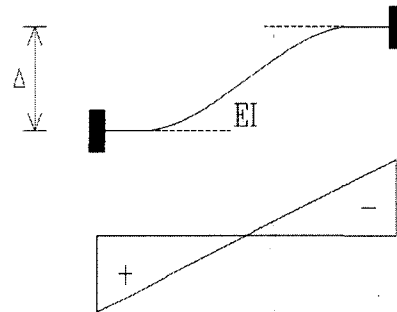


그림 2 부등축소의 영향(안전성)

### 2.1. 슬래브 타설이전에 발생한 축소량

슬래브 타설이전에 발생한 축소량은 수평부재에 부가하중을 유발하지 않으며, 특히 시공시 슬래브 레벨을 맞추는 과정에 저절로 보정이 이루어진다. 특히 철근콘크리트 공사의 경우 슬래브 타설시 거푸집의 높이를 설계위치로 조정하면서 보정할 수 있다. 그림 3에서 보는 바와 같이 슬래브 타설이전에 발생한 축소량은 각 층에서 발생한 축소량을 슬래브 타설시에 설계레벨로 맞추어줌으로써 보정이 된다.

2.2. 슬래브 타설이후에 발생한 축소량

슬래브 타설이후에 발생하는 축소량은 슬래브 설치이후의 추가적인 하중에 의한 축소량과 콘크리트의 비탄성축소에 의한 영향으로 발생하는 것이다. 이러한 슬래브 타설이후의 축소량은 수평부재에 부가응력을 발생시키므로 구조설계시 이에 대한 영향을 고려하여야 한다. 그림 4에서와 같이 슬래브 타설이후에 발생하는 축소량은 슬래브 시공시 미리 축소량을 예측하여 그 예측치만큼 시공시 치켜올려줌으로써 차후에 발생하는 축소량을 설계레벨로 맞추어주는 방법이다.

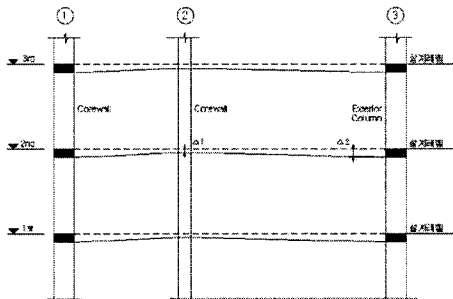


그림 3 슬래브 타설이전의 축소량 보정

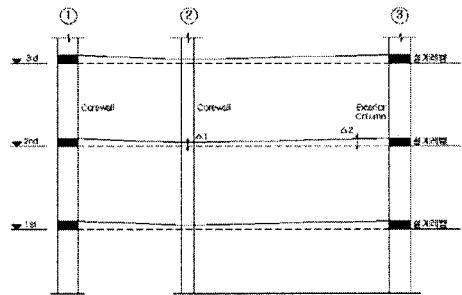


그림 4 슬래브 타설이후의 축소량 보정

3. 전이보가 있는 기둥축소량 모델

3.1. 전이보 상부기둥의 기둥축소현상 개념

그림 5에서 보는 바와 같이 전이보 상부기둥의 처짐은 전이보와 접합된 인접기둥의 처짐과 밀접한 관계가 있다. 또한 전이보 자체의 처짐도 상부 기둥의 축소량에 영향을 준다. 따라서 전이보 상부기둥의 기둥축소량을 산정하기 위해서는 그림 5와 같이 힘의 흐름에 따라 시공단계별로 전이보 하부기둥의 축소량을 산정하여야 한다.

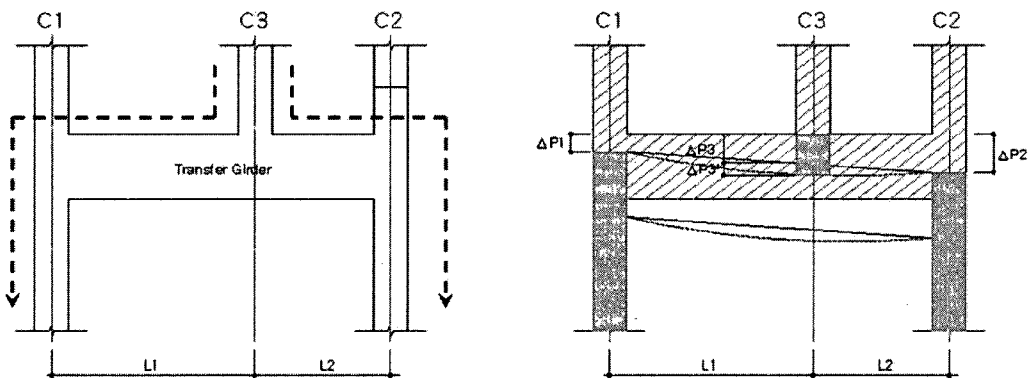


그림 5 전이보 상부 기둥축소 개념도

$\Delta P1$  : C1의 기동축소량,  $\Delta P2$  : C2의 기동축소량,  $\Delta P3$  : C1, C2의 에 의한 C3의 처짐

$\Delta P3'$  : 전이보에 의한 C3의 처짐

C3의 처짐 = C1과 C2에 의한 처짐 + 전이보의 처짐 + C3의 축소

### 3.2. 전이보 처짐의 산정방법

전이보 자체의 탄성처짐과 크리프 및 건조수축에 의한 비탄성 처짐을 계산하기 위해 'Note on ACI 318-02 Building Code'의 Alternate Method를 적용하였으며, 재료시험 결과에 의한 크리프와 건조수축계수 값을 이용하여 전이보의 처짐을 산정하였다. 아래 식은 보의 비탄성 처짐을 산정하기 위한 ACI 318-02에서 제시된 식이다.(Fanella 등, 2002)

$$\Delta_{cp} = \lambda_{cp} (\Delta_t)_{sus}, \quad \Delta_{sh} = K_{sh} \phi_{sh} l^2$$

여기서  $\Delta_{cp}$  : 크리프에 의한 비탄성 처짐,  $\Delta_{sh}$  : 건조수축에 의한 비탄성 처짐,  $\lambda_{cp} = k_r C_t$ ,

$k_r = 0.85 / (1 + 50\rho')$ ,  $\rho'$  : compression steel ratio,  $C_t$  : time dependent Creep coefficient,

$K_{sh}$  : shrinkage deflection constant,  $\phi_{sh} = A_{sh} (\epsilon_{sh})_t / h$ ,  $A_{sh}$  : shrinkage deflection multiplier,

$(\epsilon_{sh})_t$  : time dependent shrinkage strain,  $l$  : beam span length,  $h$  : beam depth

### 4. 해석모델

해석에 적용된 초고층 건물은 현재 부산시 해운대구 우동에 시공 중에 있는 두산 위브 포세이돈으로 용도는 아파트 및 업무시설, 근린생활시설로 이루어져 있다. 건물의 규모는 지상 45층, 지하 5층의 철근콘크리트구조로써 그림 6에 나타나 있다.

두산 위브 포세이돈에 사용된 재료의 특성은 표 1에 나타나 있다. 층별로 콘크리트의 강도가 다르게 시공되어 있으며, 또한 재료의 특성을 반영하기 위해서 본 건물에 사용된 콘크리트 강도에 따라 재료시험강도를 반영하여 실험을 하였다. 이에 따라 재료의 크리크 계수와 건조수축 계수 또한 실험치를 근거로 전이보의 처짐에 대한 예측값을 계산하였다.

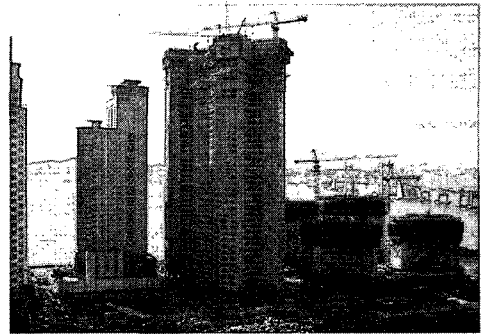


그림 6 두산위브 포세이돈 공사현장

표 1 입력 재료 정수

설계 기준강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	A동, B동	Concrete Strength		Shrinkage Coefficient (in/in)	Specific Creep (in/in/psi)	비고
		(kgf/cm <sup>2</sup> )	(psi)			
240	36F ~ Roof	240	3,414	792×10 <sup>-6</sup>	1.25×10 <sup>-6</sup>	설계강도
300	26F ~ 35F	300	4,267	792×10 <sup>-6</sup>	1.00×10 <sup>-6</sup>	설계강도
350	16F ~ 25F	492	6,998	938×10 <sup>-6</sup>	0.61×10 <sup>-6</sup>	재료시험2차
400	B5F ~ 15F	571	8,121	648×10 <sup>-6</sup>	0.23×10 <sup>-6</sup>	재료시험1차

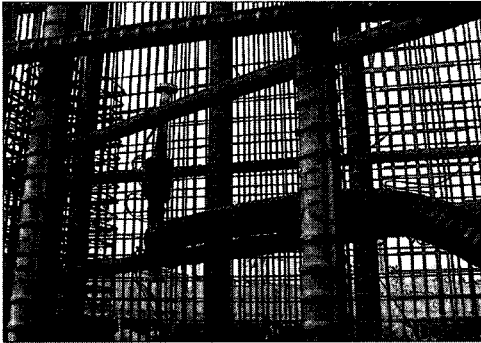


그림 7 진동현식 스트레인 게이지

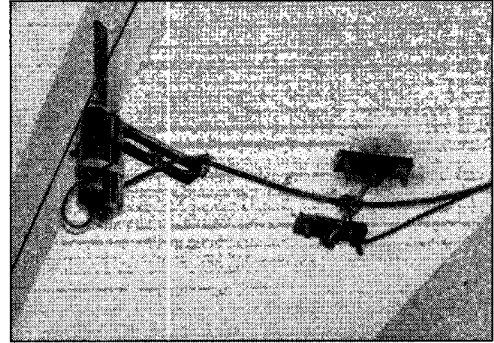


그림 8 ATG7 하부의 변위계와 변형률계 사진

본 건물에는 실제 시공공정에 따라 작용하는 하중에 의한 기둥축소량을 계측하기 위해 3개층에 걸쳐 총 60개소에 매입형 진동현식 스트레인 게이지(그림 7)가 설치되었다. 시간 변화에 따라 기둥축소량 계측값은 해석치와 비교검토되며, 상부층 보정시 결과값이 반영된다.

또한, 두산 위브 포세이돈의 전이보의 처짐을 검토하기 위해서 A동의 ATG7보에 LVDT(Displacement Sensor)와 Strain Gauge를 설치(그림 8)하여 전이보의 처짐을 계측하였다. 그림 9는 ATG7보의 계측위치를 나타내고 있다.

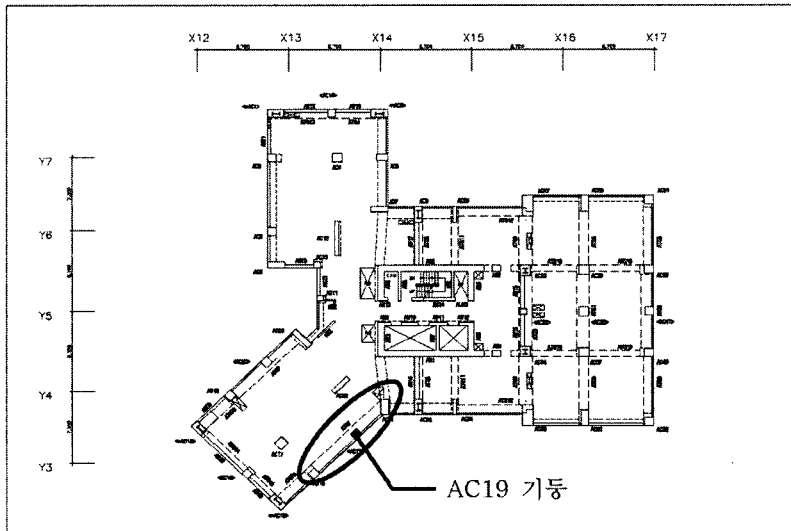


그림 9 두산위브 포세이돈 A동 ATG7보의 계측위치

#### 4.1. 검토 결과

다음의 두 그래프는 상부기둥 AC19 기둥의 처짐(그림 10)과 전이보 ATG7보의 처짐에 AC19 기둥의 처짐(그림 11)을 나타낸 그래프이다. 해석에 의한 추가 처짐이 1000day까지 최대 2mm 정도의 차이로 그 차이가 크지 않다. 이는 보의 크기가 B×D = 1200×2700의 큰 부재로 강성이 크기 때문인 것으로 판단된다.

4.2. 기둥의 축소량 계측 및 보의 처짐 계측 결과

10층의 AC19번 기둥에 대한 해석값과 계측값은 그림 12에 나타나 있으며, 계측값에 대한 해석값의 비율은 91%로 근사한 값을 나타낸다.

보의 처짐에 대한 변위계와 변형률계로 검토한 결과 다음 그림 13과 같은 양상으로 나타났다. 계측 시기는 2005년 5월말에서 2005년 8월 15일까지 계측된 그래프로 LVDT(변위계)와 변형률계가 비슷한 양상의 변화를 보이고 있음을 알 수 있다. 따라서 계측이 잘 이루어졌다고 보여지며, 신뢰할 수 있는 데이터를 얻은 것으로 판단된다.

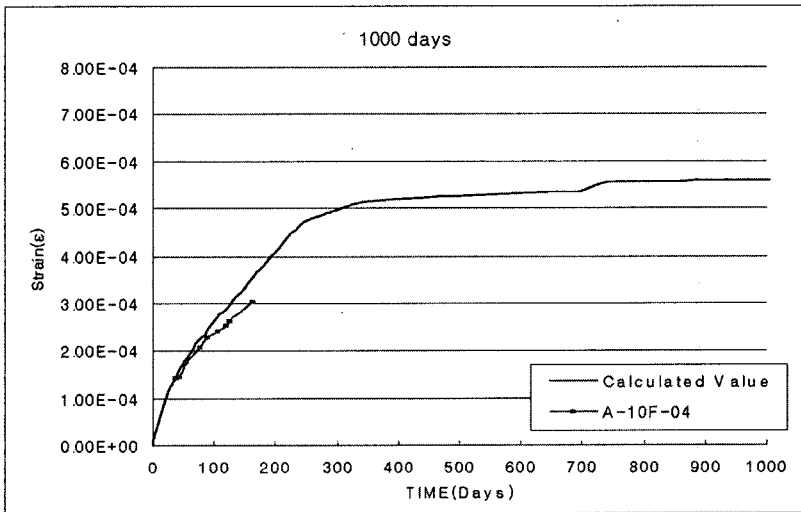


그림 12 AC19 기둥의 해석값과 계측값

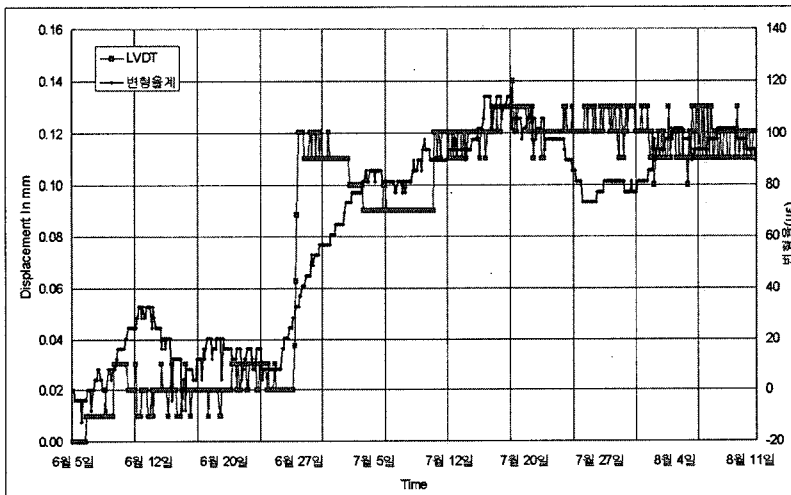


그림 13 전이보 처짐 계측 결과

계측결과를 살펴보면 2005년 6월 5일에서 6월 27일까지는 큰 변화를 보이지 않지만, 그 이후 급격한 보의 처짐이 있었다는 것을 LVDT와 변형률계를 통해서 알 수 있다. 계측 이후 최대 추가 처짐은 약 0.13mm로 해석에 의한 결과와 비교해보면 계측 최초시기(22층 시공시)의 해석값은 0.95mm이고, 32층 시공시 해석에 의한 보의 처짐은 1.29mm로 계측기 설치 이후 추가처짐이 0.34mm로 나타났다.

계측에 의한 보의 처짐은 해석에 의한 처짐의 약 38%를 보이고 있는데, 이는 바닥 마감이나 내부 칸막이 등이 시공이 되지 않아 추가하중이 계측에 반영되지 않은 것으로 판단되며, 이로 인해서 계측값이 비교적 작게 나타난 것으로 판단된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 하부층의 기둥과 전이보에 의한 상부층의 기둥이 연결되는 주상복합형 45층 초고층건물의 기둥축소량을 해석하고 계측결과와 비교하였다. 그리고 전이보에 대한 장기처짐을 해석하였으며 계측값과 비교하여 기둥축소량 해석에 반영하였다.

전위보가 설치된 초고층 건물 전이보 하부에 LVDT(변위계)와 변형률계를 설치하여 전이보에서 발생하는 변형을 계측하였으며 전이보의 처짐이 상부 기둥의 축소량에 영향을 줄 수 있음을 알 수 있었다.

전이층이 있는 경우 하부층의 기둥축소량값을 누적하여 계산할 수 있으며, 보다 정밀한 해석을 위해서는 전이보에 계측시스템을 적용하여 계측결과를 기둥축소량 해석에 반영해야 한다.

## 참고문헌

- 김한수, 조석희, 김도균 (2003) 초고층건물 RC코어와 SRC기둥의 기둥축소량 해석 및 현장계측, 대한건축학회 논문집, 19(11), pp.49~56.
- 송화철, 도근영, 조훈희 (2005) 37층 초고층주상복합건물 SRC기둥의 기둥축소량 현장계측 및 보정법, 한국건축시공학회 논문집, 5(4), pp.145~152.
- 장윤성 (2004) 초고층 건물의 기둥축소량에 대한 현장계측 및 확률론적 예측, 공학석사 학위논문, 한국해양대학교 대학원
- 장윤성, 송화철, 주영규, 김대영 (2003) 초고층 콘크리트 구조물의 기둥축소량에 대한 확률론적 예측 및 현장계측, 대한건축학회 부산경남지회 학술발표대회 논문집, 10(1), pp.195~200.
- David A. Fanella Basile G. Rabbat (2002) Note on ACI 318-02 Building Code Requirements for Structural Concrete, *Portland Cement Association*, U.S.A