5. 지진하중 (E, Earthquake Load)

건축물은 한 번 설계되면 짧게는 30년 정도 길게는 70년 이상 동안 사용되도록 계획된다. 지진의 경우 활하중이나 풍하중처럼 일상적으로 작용하는 하중은 아니지만, 발생될 경우 많은 인명피해와 재산피해를 유발하게 되고 국내의 경우에도 지진에 대해 안전지대가 아닌 것으로 나타나고 있으므로 반드시 고려해야 하는 항목이다.

[표6] 지역계수

주요 하중조합	하중 종류
1.4D + 1.7L	D : 고정하중, L : 활하중
0.75(1.4D + 1.7L + 1.7W)	W : 풍하중
0.9D + 1.3W	W : 풍하중
0.75(1.4D + 1.7L + 1.8E)	E : 지진하중
0.9D + 1.4E	E : 지진하중
1.4D + 1.7L + 1.8H	H : 수압/토압
1.4D + 1.7L + 1.5F	F : 유체압

지진의 특성은 발생할 때마다 다르기 때문에 미리 예측하기 어려우므로 지진을 정적인 하중으로 환산한 방법을 적용하거나 유사한 모형을 하중으로 적용하는 방법을 주로 사용한다.
국내 기준에서는 지진구역을 2가지로 나누어 지진의 위험도를 구분하고 있다.

6. 토압 및 수압 (H, Soil and Hydraulic Pressure)

(1) 토압은 주로 지하구조물의 외부벽체에 작용하는데 이 경우 벽체의 수평이동과 회전이 없는 것으로 보는 정지토압이 된다. 토목옹벽과 같이 벽체를 전방으로 밀어내면서 배면토가 파괴되는 상태의 토압은 주동토압이라 한다.

(2) 수압은 지하구조물이 지하수위의 높이내에 존재할 때 발생하며 지하 외부벽체와 최종바닥판에 작용하게 된다. 그러나, 시공시에 경험하는 바와 같이 지하수위가 낮더라도 우수가 유입되고 적절히 배수되지 않으면 일시적으로 수위가 높아져 부력이 과다하게 발생하는 경우가 발생한다.
따라서, 지하수위는 구조물 완성후 사용시에 대한 설계도 필요하지만, 공사중 과도한 수위가 발생하지 않도록 관리하는 작업도 매우 중요하다.

7. 기타

이 외에도 온도변화에 따른 하중(구조물의 신축에 의해 발생함), 수조나 기름탱크와 같이 내부에 유체를 담을 경우에 작용하는 유체압 하중, 구조물에 설치된 기계나 장비에서 발생하는 진동, 충격과 같은 반복하중 등이 있다.

8. 하중의 조합

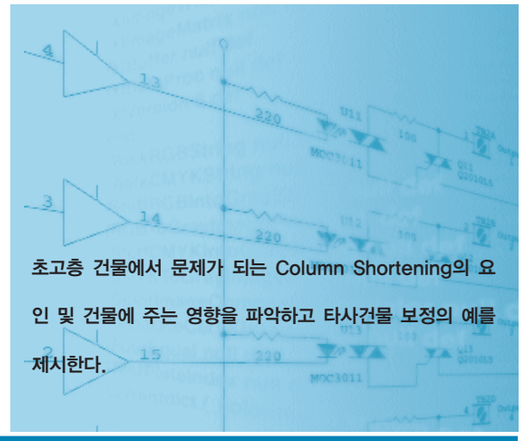
구조물에 작용하는 하중은 위에서 언급한 각각의 하중이 개별적으로 작용하는 것이 아니라 동시에 몇 가지가 복합되어 작용하게 된다. 예를 들어 고정하중과 활하중은 건물이 존재하면 반드시 존재하는 하중이며 이에 부가적으로 다른 하중들이 작용하게 된다. 따라서, 설계시에는 이러한 복합현상을 고려하여 설계하도록 규정하고 있다.
콘크리트의 강도설계법이나 철골의 한계상태설계법에서 제시하는 하중계수는 각 하중별로 서로 다른 하중계수(load factor)를 적용하고 있는데 이는 하중의 중요도와 발생확률을 근거로 하고 있다. 예를 들면, 고정하중은 변동성이 작으므로 1.4를 적용하고 활하중은 변동성이 크므로 1.7을 적용하여 구분하고 있다.
강도설계법에서 다루는 하중계수의 조합을 몇 가지 들면 다음과 같다.

구분	주요 지역	기본풍속
서울	서울, 인천, 부천, 오산, 송탄, 수원, 안성	30
경기	성남, 용인, 광주, 기흥, 포천, 의정부	25
강원도	속초, 강릉, 양양, 주문진	40
	거진, 간성, 동해, 삼척 원덕	35
	춘천, 화천, 양구, 철원, 인제, 태백	25
충청도	장항	40
	태안, 서산, 청주, 조치원, 천안, 아산	35
	대전, 당진, 진천, 증평, 온양	30
	음성, 금산, 공주, 제천, 충주, 단양	25
경상도	포항, 울릉도, 구룡포, 오천, 홍해	45
	부산, 기장, 장안, 연일, 외동, 가덕도	40
	울산, 통영, 거제, 마산, 창원, 경주	35
	건천, 가야, 삼랑진, 영덕, 사천	30
	대구, 구미, 김천, 안동, 경산, 진주	25
전라도	군산, 미성	40
	목포, 여수, 진도, 해남, 대덕, 고흥	35
	광주, 나주, 순천, 광양, 무안, 영광	30
	전주, 진안, 무주, 남원, 순창, 고창	25
제주도	전지역	40

참고로, 구조물의 사용성에 관련된 수치의 경우(예를 들면, 처짐)에는 하중계수를 모두 1.0으로 적용하여 산정한다.

철근 콘크리트 구조물의 Column Shortening (기둥축소)

글 | 유 창 은 기술개발부 사원 02-3433-7728 | E-mail : ycu1213@ssyenc.com

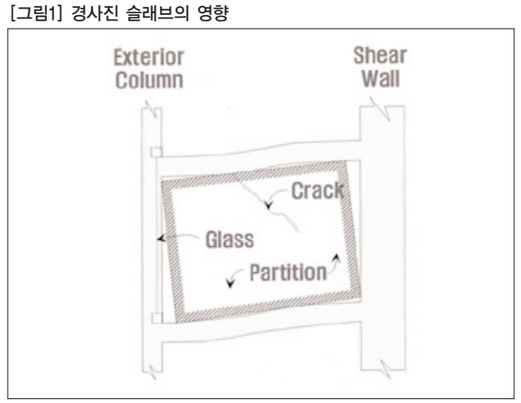


초고층 건물에서 문제가 되는 Column Shortening의 요인 및 건물에 주는 영향을 파악하고 타사건물 보정의 예를 제시한다.

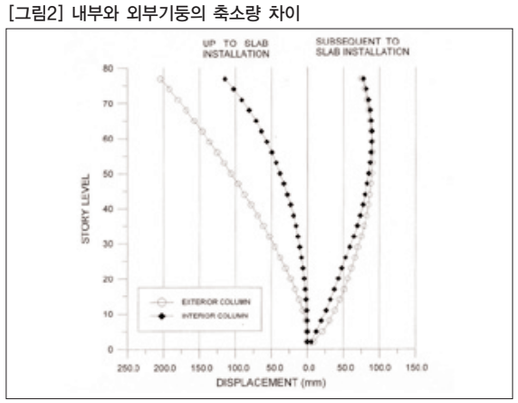
1. 개요

건물의 초고층화는 한정된 부재 내에 많은 인구를 수용할 수 있으며, 복합적이고 다양한 용도의 기능을 보유할 수 있는 이점을 지닌 반면, 구조적 측면에서 고려해야 할 많은 문제를 안고 있다. 건물이 초고층화 되어짐에 따라 기둥은 수직 및 횡하중의 증가로 인해 큰 압축력을 받게 되어 축소로 인한 기둥간의 변위차를 유발시킨다. 특히 철근콘크리트의 기둥의 경우에는, 내부기둥이 외부기둥보다 하중부담면적이 크므로 더 큰 축력을 받아 축소량이 크고 내부 전단벽과 외부기둥의 경우에는 외부기둥의 축소량이 더 커지게 되며 건물이 고층화 될수록 차이가 누적되어 구조적 안정성 및 사용성에 대한 영향이 커진다. 이러한 큰 축소현상의 잠재적인 유해효과는 초기의 슬래브의 위치를 변화시켜 칸막이, 기계적인 장비, 외장재 등에 영향을 미친다. 또한 수직요소에 의해 지탱된 슬래브가 원래 계획된 위치로부터 비틀어지게 되어 연결재인 보와 슬래브에 구조설계시에 고려되지 않는 전단력과 모멘트 등의 2차 응력을 발생시킬 뿐만 아니라 브레이스, 아웃리거, 벨트트러스 및 해트트러스 등의 횡력의 제어를 위해 사용되는 구조부재의 기능 저해를 초래할 우려가 크기 때문에 구조적으로 중대한 영향을 미칠 수 있다. 따라서 초고층 건물의 설계에서 기둥축소에 대한 효과는 필수적으로 반영되어야 한다. 일반적으로 철근콘크리트 수직요소의 축소현상은 탄성수축, 크리프, 건조수축등의 다양한 영향요소의 조합으로 구성되지만, 철골 수직요소는 탄성수축에 의해서만 영향을 받으므로 탄성 축소량만을 산정하여 그 축소량을 용이하게 계산할 수 있다. 본 자료에서는 초고층 건물중 철근콘크리트 구조물의 기둥축소현상에 대해 간단히 분석을 하고 이를 해결하는 몇가지 보정법에 대해 살펴보기로 한다.

[그림1] 경사진 슬래브의 영향



[그림2] 내부와 외부기둥의 축소량 차이



2. 기둥 축소량의 영향

한 층내에서 기둥의 축소는 간막이벽, 외장재, 마감배관 등에 영향을 주며 이러한 비구조 요소는 수직하중을 지지하도록 설계되지 않았으므로 수축에 저항하지 못한다. 오히려 간막이벽과 마감재는 습기 흡수로, 파이프는 높은 온도의 내부액체로, 커튼월은 태양열로 인하여 늘어날 것이다. 그러므로 구조체에 부착되는 이러한 요소들이 구조체에 대한 상대적이동으로 인하여 피해가 발생하지 않도록 세부계획이 수립되어야 한다.

2.1 공사진행에 따른 기둥 축소량

① 슬래브를 설치할 때 까지 발생한 축소량

슬래브가 미리 결정된 위치에 설치되도록 지지점의 높이를 조절하는데 필요

② 슬래브를 설치한 후 발생한 축소량

모든 건조수축과 크리프가 발생한 후 정해진 위치에 슬래브가 설치되도록 보정이 이루어 지기 위해서는 이러한 축소량에 대한 해석적 예측이 요구

2.2 기둥의 부등축소에 대한 부정적 영향

① 건물 사용성의 영향

수직부재에 발생한 축소량은 건물의 커튼월, 수직배관덕트, 엘리베이터 레일 등에 영향을 주어 기능에 장애를 일으킬수 있으며, 또한 인접한 수직부재간의 부등축소량은 슬래브의 기울어짐, 간막이벽의 균열을 발생

② 건물 구조기능의 영향

부등축소량은 슬래브나 보에 전단력이나 휨모멘트와 같은 부가응력을 유발시키는데 특히 초고층 건물에서 횡방향 강성을 증가시키기 위하여 아웃리거(Outrigger)가 사용될 경우 부등축소에 따른 지점침하에 따라 아주 큰 부가응력이 발생하므로 심각한 문제가 될 수 있다.

3. 기둥축소량에 영향을 미치는 요인

기둥축소량은 재하순간 응력의 크기에 비례하여 발생하는 탄성축소량과 시간이 경과함에 따라 추가적으로 발생하는 크리프와 건조수축에 의한 축소량으로 구성된다.

3.1 탄성축소량 (ELASTIC)

콘크리트 강도와 탄성계수가 재령에 따라 변화하는 것을 고려하였다.

탄성축소량 $\Delta_e = \Sigma \dfrac{P \times h}{A_t \times E_{ct}}$

P = 작용하중

A_t = 층고

h = 시간종속적인 기둥의 변환단면적

E_{ct} = 시간의 경과에 따른 탄성계수

3.2 크리프 축소량 (CREEP)

크리프는 콘크리트가 지속적인 하중을 받을 때 시간의 경과에 따라 변형이 지속되는 현상으로서 이 크기는 작용하는 응력에 비례한다.

크리프 축소량 $\Delta_{cr} = \Sigma (P/A) \times C_u \times CR_t \times h \times CR_{ia} \times CR_{vs} \times CR_{RH} \times CR_{Sr}$

C_u = 공칭 creep

CR_{vs} = 시간의 경과에 따른 효과

CR_t = 하중을 가했을 당시의 콘크리트 재령 효과

CR_{RH} = 체적대 표면적의 비율에 따른 효과

CR_{ia} = 상대습도에 따른 효과

CR_{Sr} = 잔여 creep 계수

3.3 건조수축에 의한 축소량 (SHRINKAGE)

건조수축은 콘크리트 부재내의 수분증발에 의하여 부재가 축소하는 현상으로 크리프와 함께 시간의 경과에 따라 지속적으로 발생하는 콘크리트의 성질이다.

건조수축에 의한 축소량 $\Delta_{sh} = \Sigma \varepsilon_{shu} \times SH_t \times SH_{vs} \times SH_{RH} \times SH_{Sr} \times h$

ε_{shu} = 7일동안 수분양생후 40% 상대습도하에 노출하여 양생된 직경 6in. 표준시린더의 극한건조수축값

SH_t = 시간의 경과에 따른 효과

SH_{RH} = 체적대 표면의 비율에 따른 효과

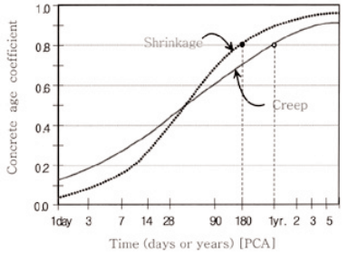
SH_{vs} = 상대습도에 따른 효과

SH_{Sr} = 잔여 건조수축 요소에 따른 효과

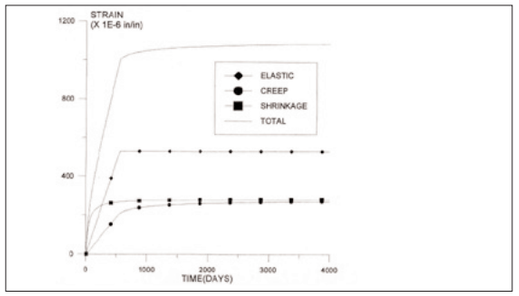
3.4 탄성수축, 크리프 및 건조수축에 의한 축소량 비교

예상되는 기둥축소량을 계산하는 가장 큰 이유는 슬래브가 최종적으로 수평을 유지하도록 하기 위하여 시공과정내에 부등축소량을 보정하자는 것이다. 슬래브 설치시 두 슬래브의 지지점은 이미 어느정도 축소되었을 것이다. 슬래브 타설후 지지점은 공사진행에 따른 작용하중과 크리프 및 건조수축에 의하여 점점 침하할 것이다. 일반적으로 초기 2년동안에 크리프와 건조수축의 약 85~90%가 발생한다. [그림4]를 보면 초기3년이 지나면 탄성, 크리프 및 건조수축에 의한 변형이 거의 이루어 졌음을 알 수 있다.

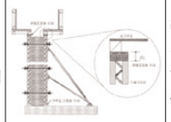
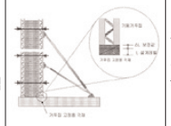
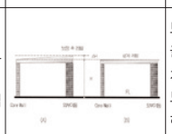
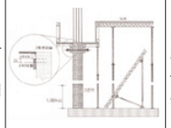
[그림3] creep 및 건조수축의 진행



[그림4] 기둥축소량 계산결과 예



4. 철근콘크리트 기둥 축소량 보정법

항 목			개념도		시공성	공기	정확도	경제성
상대보정법	동시치기	기둥 상부 보정법		레벨조정방법 거푸집고정용 각재의 높이 조절	용이	단축	다소 높다	○
		기둥 하부 보정법		각재, 철재를 기둥 거푸집 하부에 덧댐	이중 작업	지연	높다	×
		슬래브 상부 보정법		보정높이만큼 올려 콘크리트 치기 모르터를 이용하여 조정	용이	단축	매우 적다	×
	분리치기	슬래브 하부 보정법		기둥콘크리트 치기 완료후 슬래브 거푸집 설치시 보정	용이	단축	매우 높다	○
절대보정법			거푸집발주시 보정값을 고려하여 거푸집을 제작 현장에 반입하여 적용 어려움		어려움	지연	매우 낮다	○

5. 타사 기둥축소량 예측 및 보정의 예

● 현대건설 목동 하이페리온

① 건물개요 - 연면적 : 115,399평 / 최고높이 : 256m

- 구조형식 : 철근콘크리트코어+ 아웃리거+포디움 전단벽

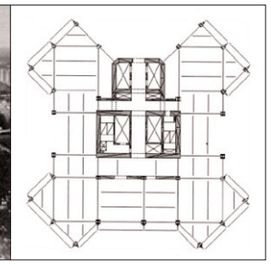
② 목동 하이페리온 기둥축소량 설계검토 항목

- 코어벽체의 외부 노출로 인하여 부등 축소량을 고려한 조인트 설계로 축소량을 흡수함.

(잔류 축소량으로 인한 추후문제 발생 소지가 있음.)

- 기둥의 위치가 코어 벽체와 근접하여 부등축소의 세밀한 관리를 요함.

[그림5] 목동 하이페리온 조감도 [그림6] 목동 하이페리온 평면도



③ 축소량 해석 및 보정

초고층 건물의 합리적인 설계 및 시공품질의 향상을 위해서는 현장의 실제상황을 반영한 해석과 시공단계에서 건물에 발생한 변형을 계측하여 이를 종합적으로 검토하여 합리적인 보정값을 결정하고 이를 현장에 적용해야 한다.

개 요		설 명
축소량 재해석	재료시험	● 6개월동안 건조수축변형시험 및 크리프 변형시험
	시공공정	● 항목에 따른 시공공정에 따라 재해석이 필요
	재해석결과	● 아웃리거 층의 바닥 시공시점, 골조 완성시점, 입주시점, 그리고 10,000일이 경과했을때는 최종시점으로 하여 재해석 수행
축소량	계측방법	● 스트레인지 게이지를 설치하여 변형량을 구한 후 이를 재해석 변위로 환산하여 축소량을 계산
	계측기	● 코어에는 매립형 게이지, SRC기둥에는 부착형 게이지설치
	계측계획	● 평면상 : 코어 4개소, SRC 기둥와 연결되는 곳 6개소
		● 수직상 : 시공상황을 고려 10층 단위로 설치
계측결과	300일경과시점	● 전반적으로 해석결과보다 적은 변형을 보여준다.
		● 코어벽체보다 SRC기둥의 변형 발생량이 더 적다.
	결과분석	코어벽체 : 예상치와 비교적 유사한 변형발생 SRC기둥 : 변형발생이 훨씬 적게 발생 해석의 기둥축소량은 실제보다 크게 계산 되었으므로 현장에서 반영하는 축소량 보정값은 코어벽체의 경우 해석값의 80%, SRC기둥의 경우에는 해석값의 50%정도를 합리적이라 판단됨.

6. 소결

초고층 건물은 Column Shortening에 의한 부등침하 현상으로 슬래브 및 보를 기울어지게 하거나 부가응력을 유발시킨다. 즉, 건물의 사용성 및 구조적 안전성 영향을 주게 되는 것이다.

따라서 초고층 건물 시공현장에서 수직부재 축소량의 차이에 따른 보정방법은 반드시 고려되어야 하며 사용성과 안정성에 관한 부정적인 문제를 줄이도록 노력해야 한다. 앞에서 살펴본 바와 같이 구조시스템과 재료성능을 감안한 구조해석 및 설계와 현장계측으로 정밀한 보정량을 관리하고 산정하여 이를 시공시에 적절한 보정법을 이용하여 대응하면 기둥 축소량의 차이에 따른 문제를 최소화 할 수 있을 것이다.