초고층 건축물의 수직부재 보정 방법에 관한 연구

A Study on The Compensation Method of Vertical Members for High-rise building

○ 이 재 옥* 소 광 호** 유 인 근*** 양 극 영****
Lee, Jea-Ok Sho, Kwang-Ho Yoo, In-Keun Yang, Keek-Young

Abstract

Time-dependent axial shortening in the cores and columns of tall concrete buildings requires special attention to ensure proper behavior for strength of the structure and the nonstructural element. The effects of column shortening, both elastic and inelastic, take on added significance and need special consideration in design and construction with increased height of structures. In this paper, the compensation method of column shortening are introduced. It could be conclued that the survey is a significant factor for the compensation of column shortening.

키워드 : 수직부재축소, 보정방법, 초고층건축
Keywords : Column Shortening, Compensation Method, High-rise Building

1. 서 론

1.1 연구의 목적

초고층 건물의 벽체나 기둥과 같은 수직부재는 연직하중에 의해 탄성 축소량이 발생하며, 철근콘크리트 기둥의 경우에는 탄성축소와 함께 크리프(Creep)와 건조수축(Shrinkage)과 같은 비탄성효과에 의한 축소가 장기간에 걸쳐 일어나며, 크리프와 건조수축은 콘크리트의 시간의존적인(Time-dependent) 성질에 의한 것으로 콘크리트의 강도와 종류, 부재의 크기, 철근비, 상대습도에 따라 달라진다. 특히 크리프의 경우는 하중의 크기와 재하시의 콘크리트 강도 및 재하 기간에 따라 변화하는 성질이 있으므로 기둥의 축소량은 시공공정에 따라서도 달라지게 된다.

이렇게 복잡한 요인에 의해 발생한 비탄성 축소량을 예측하고 설계 및 시공에 반영하기 위한 많은 노력이 수행되었다. 특히 초고층 건물에서의 누적 축소량은 사용성 뿐만 아니라 구조적 문제를 발생시키기 때문에 이와 같은 기둥축소량을 예측하여 설계 및 시공시 반영한 기술은 초고층 건물 건립시 중요한 요소기술 중의 하나이다. 이와 같은 복잡한 요인에 의해 발생한 비탄성 축소량의 계산을 위한 상용프로그램을 최근 국내에서도 개발 사용하고 있으며, 국외의 경우 몇몇 구조설계사무소에서 내부용 프로그램을 소유하고 있다.

기둥축소량 연구는 특성상 크리프 및 건조수축에 대한 재료연구, 축소량 해석에 대한 구조 연구, 보정방법에 대한 시공 연구가 서로 연관되어 이루어져야 한다. 축소량 해석에 대한 연구는 대우건설기술연구소의 C_SAP, MIDAS GEN/W 등이 사용되고 있으며, 외국에서는 SOM의 ECS가 신뢰성 있는 방법으로 사용되고 있다. 그러나 보정방법에 있어서는 실용적인 방법이 체계적으로 정립되어 있지 못한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 초고층 건물의 수직부재(벽체, 기둥 등) 축소량 보정 방법을 정리하고 시공성이 우수한 보정방법을 제시하는데 그 목적이 있다.

1.2 연구의 방법 및 절차

일반적으로 저층 건물에는 수직부재에 가해지는 응력이 적고 그 층수가 작아 고정하중에 의한 수직부재의 축소량은 무시할 수 있을 정도로 작다. 그러나 건물이 고층화됨에 따라 수직부재에 작용하는 과도한 하중으로 인하여 과도하게 축소하게 되고 이는 건물의 높이가 설계레벨에서 벗어나게 할 것이다. 더욱이 각 수직부재에 작용하는 연직하중의 차이에 따른 수평부재의 기울어짐은 사용성 문제를 발생시키며, 슬래브 타설 후에 발생하는 부등 축소량은 구조체에 부가응력을 유발할 것이므로 초고층 건물에서는 이러한 기둥축소량의 영향이 반드시 고려되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 일반 저층 공사에서 중요시되지 않으나 초고층 건물에서는 매우 중요한 수직 그룹과 수평그룹을 이용한 그룹설정 방법, 코아부위 보정방법, 수직부재 보정방법, 수직부재 축소량 보정방법을 위한 수직부위 측정방법 그리고 기둥 축소량 보정방법 등을 단계별로 분석하였다. 연구 범위는 코아월과 기둥 부위로 한정하였다.

* 정회원, 원광대 대학원 석사과정
** 정회원, (주)대우건설, 공학박사
*** 정회원, 원광대 박사과정
**** 정회원, 원광대 건축공학과 교수, 공학박사

2. 수직부재 보정 기본개념

수직부재 축소에 따라 발생하는 문제는 슬래브 타설 전 축소량(Up to Slab Installation)과 슬래브 타설 후 축소량(Subsequent to Slab Installation)으로 분류할 수 있다.

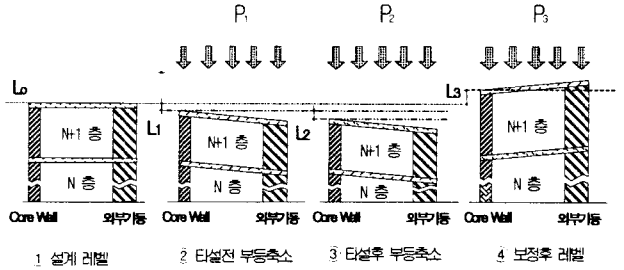

그림 1. 슬래브 타설 전후의 축소량

그림 1은 임의의 N층에서 발생하는 슬래브 타설 전·후 축소량을 설명하기 위한 그림이다. 그림 1에서 설계레벨은 Lo 이다. 콘크리트 타설 전 N층에서의 부등 축소량은 L1으로 표시할 수 있으나, 슬래브 타설 후 모든 하중이 재하될 경우는 L2만큼 부등축소가 발생될 것이다. 따라서 철근콘크리트 구조 건축물인 경우 이러한 부등 축소를 고려하여 L3(L1+L2) 값만큼 보정하면 되고, 철골구조일 경우 다음에 반입하는 철골 부재길이를 제작단계부터 보정량만큼 길게 제작하여 반입하여 설치하거나, 현장에서 끼움판(Shim Plate)을 설치하여 보정하면 된다.

3. 수직부재 축소량 보정기법

3.1 보정방법 선정

수직부재 보정방법 선정에는 다음과 같다.

1) 절대보정

계산된 값을 기둥 및 벽체에 일정하게 적용하여 축소량 값을 보정하는 방법을 절대보정이라 한다.

2) 상대보정

어떤 기준을 정하여 상대적으로 발생하는 보정값만 적용하여 축소량값을 보정하는 방법을 상대보정이라 한다. 예를 들면 코아벽체의 축소량 설계값을 정하여 적용하고 이에 따른 기둥의 축소량값을 더하여 적용하는 방법을 상대보정이라 한다.

3.2 보정 Group 설정

축소량 보정은 시공과정에서 수행되는데 수직부재 축소량을 정확하게 보정하려면 기둥과 벽체를 각 층에 따라 보정 설계 값을 적용하면 최상의 보정 방법이라 할 수 있다. 그러나 실제적으로 보정 설계값이 매우 작아 시공적으로 관리 허용오차 범위 내에 축소량 설계보정값이 존재한다면 수직부재 축소에 대한 보정의 의미는 존재하지 않을 것이며, 또한 개별 축소량 보정에 따른 공기 지연 발생 원인을 제공함으로서 많은 문제점을 제공할 것이다.

특히 극히 작은 축소량 보정 설계값이 시공적 관리 허용값과 한계허용값 이내에 존재한다면 시공적으로 적용하기 어렵기 때문에 층수가 증가함에 따라 누적 오차에 따른 커다란 문제점이 발생할 것이며, 기둥과 벽체의 개별 축소량 보정 작업에 따른 공기 지연으로 전체공기에 커다란 악영향을 미쳐 경제적으로 커다란 손실을 초래할 것이다. 따라서 시공성을 고려한 관리 허용 축소값 및 한계허용 축소값을 그룹화하여 보정함으로써 시공의 효율성을 효과적으로 적용하기 위한 방법은 다음과 같다.

1) 수직그룹

일정한 층을 그룹화하여 축소량 보정 설계누적 값을 수직그룹단위로 묶어서 허용 범위 내에서 한 개층에서 보정하는 방법을 말한다.

현재 PCA 연구 보고서 및 Taranath의 Design of Tall building 과 Scheller 의 The vertical building Structure에서도 "Lumped Column Correction Method" 를 제안하고 있다.

2) 수평그룹

시공적인 효율성을 높이기 위한 보정방법으로서 한 개 층에서 그룹화하여 보정그룹 내에서 층별로 동일하게 보정하는 방법으로 그림 2와 같다.

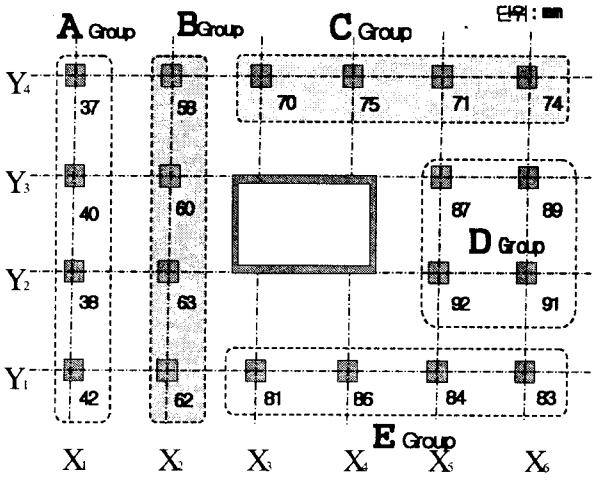

그림 2. 수평그룹 보정방법

그림 2에서 축소량을 5㎜ 이내로 수평그룹화 하면 A그룹~E그룹과 같이 평면적으로 그룹화할 수 있으며, 그룹별 축소량의 최소값은 표 1과 같다.

따라서 평면적으로 보정 설계값을 기준으로 골조 작업시 1개층에서 보정을 실시하면 된다. 표 1에서 그룹별 축소량값 분석결과 D그룹 기둥이 골조공사 수행에 있어서 시공에 따른 누적오차가 보정 설계값보다 높게 시공되었고 E그룹이 오차범위내의 보정설계값이라고 가정하면 E그룹을 기준으로 A그룹, B그룹, C그룹, D그룹을 보정하면 된다.

표 1. 그룹별 축소량

단위 (㎜)

그룹명	C1	C2	C3	C4	C5	최소값
A	37	40	38	42	42	37
B	58	60	63	62	62	58
C	70	75	71	74		70
D	87	89	92	91		87
E	81	86	84	83		81

3) 최적화 보정기법

수직재 보정 기법을 수학적으로 표현으로 정식화하여 기둥 축소량 값을 최적의 알고리즘으로 예측함으로서 위치별로 보정값을 제시하여 주는 기법으로 수직부재의 실제 축소량과 그룹화를 통해 형성된 각 그룹별 실제 보정량을 결정하는 방법으로 연세대에서 개발했다.

3.3 수직부재 축소량 보정방법

수직부재 축소량 보정방법에 대한 일반사항은 다음과 같다.

1) 일반사항

(1) 축소량 보정은 매층마다 보정하는 것을 원칙으로 한다. 그러나 각층의 축소량이 적은 경우에는 시공상 보정이 어렵기 때문에 몇 개층을 그룹핑하여 보정값을 결정한다.

(2) 위치별, 층별 정확한 축소량을 예측하기 위하여 일정한 간격으로 보고서를 작성하여 원설계자에게 통보하고, 정기적으로 Up date된 보정값을 현장에 적용한다.

(3) 실측된 축소량 값은 한 장에 표기하고, 상호 비교 분석된 보정값 선정을 할 수 있도록 한다.

(4) 축소량 보정 방법은 시공성 및 시공오차를 고려한 공법을 선정하여야 한다.

(5) 수직도 및 층별 레벨 값 측량시 발생되는 오차는 보정값 결정에 커다란 악영향을 주기 때문에 오차가 발생하지 않도록 오차 범위를 최소화하여야 한다.

(6) 건설현장에서 보정값 산정을 위한 측량팀을 운영하여야 하며, 오차를 최소화하기 위하여 처음부터 골조공사가 끝나는 시점까지 한 사람이 일괄적으로 수행하여야 한다.

(7) 자연환경 요소에 따른 보정 오차를 최소화하기 위하여 풍향계, 풍속계를 설치하여 바람의 방향과 속도를 측정 후 데이터를 분석 관리함으로서 수직도 관리와 보정값 산정 오차를 최소화하여야 한다.

(8) 저층부, 중층부 및 고층부 일정 층에서 최소 1회 이상 바닥에 격자 그리드 형태의 먹을 놓아 기둥과 벽체의 위치 및 수평레벨 측량을 실시함으로서 그 결과 값을 고려한 축소량 보정 방법을 설정하여야 한다.

(9) 일정 층에 대한 기둥 및 코어에 정규적인 모니터링을 실시하여야 한다.

(10) 골조공사중 구조물에 반입되는 중량장비는 하중 및 설치 위치를 사전에 파악하여 수직부재 보정값을 산정하는데 적용하여야 한다.

3.4 코아 부위 보정방법

1) 초고층 시공에서는 일반적으로 코아 선시공을 수행하기 때문에 축소량은 먼저 코어에서 발생하는 것으로 한다.

2) 코어시공은 축소량을 고려하여 설계도서에서 제시한 층 높이보다 조금 높게 시공하되 슬래브 조인트를 고려한다.

3) 코어 수직도 관리를 위하여 매층마다 바닥에 일정한 크기의 Hole을 두어 지하바닥에서부터 수직도 및 층별 레벨 값을 측량할 수 있도록 하기 위하여 일정한 크기의 Hole(∅100㎜~∅200㎜)은 각층 코어의 모서리 4곳에 설치한다.

4) 코어의 벽체에는 축소량을 정기적으로 측정하기 위하여 거푸집 탈형 후 1시간 내에 수평 기준선을 각 층에 둔다.

5) 코아의 기준선은 보정값을 더한 값을 기준으로 매층의 기둥에 기준선을 설치한다.

3.5 수직부위 기준점 측정방법

수직부위 기준점 설정 및 수직도 관리는 초고층 건물 시공에 있어서 절대적으로 중요한 시공 요소이다.

기준선은 시공단계에서는 보정값 적용에 대한 기준점을 제공하며, 시공이 완료된 층에 대한 축소량 값을 계산하는 지표가 된다. 따라서 정확한 측정이 될 수 있도록 관리하여야 한다.

수직도 및 레벨값 설정을 위한 측량은 구조물 내부에 최초로 설치된 기준점에서 매번 측량을 수행하는 것이 원칙으로 되어 있다. 그러나 현장에서 저층부에서는 매번 측정이 가능하나, 중층부 및 고층부에서는 매번 측정에 따른 인력투입과 경제성을 고려하여 그룹화하여 측정하여 기준점 설정을 원한다.

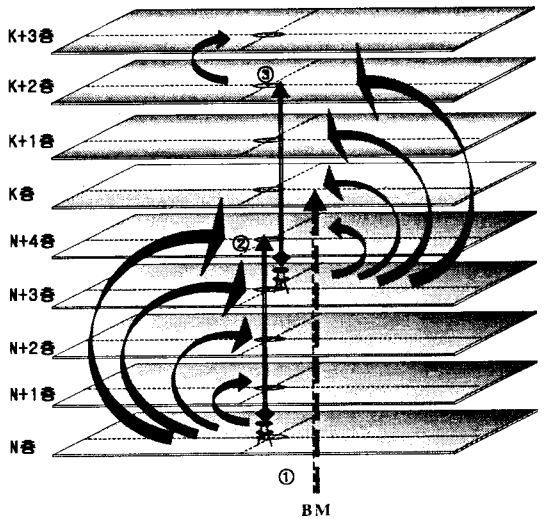

그림 3. 수직부위 그룹화 기준점 측정방법

수직도 측량기기는 일반적으로 재래식 방법인 내림 추와 측량기기 즉 데오도라이트, 연직기 등으로 측정한다. 그러나 초고층 건물의 경우 중층부에서 고층부로 갈수록 수직도를 측정하기란 결코 쉬운 일이 아니다. 특히 바람에 의한 영향으로 구조물의 흔들림이 발생할 때는 사실상 측량이 불가능하다. 따라서 자연환경에 영향을 최소화할 수 있는 시간대를 선정하여 측정하여야 하며, 측량기기를 이용하여 측정이 완료된

후 건물의 자연환경에 의한 건물의 기울임 정도를 육안으로 측정하기 위하여 PVC 비닐관을 이용하여 내림추를 사용함으로서 작업중 재확인을 수행하기도 한다.

이러한 기준점 측정방법은 그림 3과 같다. 그림 3에서 5개층을 그룹화(Group 1, Group 2)하여 N층을 기준으로 N+1층, N+2층, N+3층, N+4층 거리를 측량하여 보정값을 산정하여 적용하며, 다음 그룹 층으로 이동할 경우에는 N+3층, N+4층의 기준점을 중심으로 측량하여 보정값을 산출하여 기준점을 설정한다.

K층에서는 그림 3의 ①과 같이 지하 기준점에서부터 수직도 및 보정값을 재 측량하여 기준점을 설정하여야 한다.

3.6 기둥 축소량 거푸집 보정방법

기둥 축소량 보정을 위한 레벨 조절 방법은 표 2와 같다.

표 2. 기둥 축소량 보정 방법

항 목	레 벨 조 절 방 법	비 고
기둥 하부	-. 레벨조정용 각재의 높이 조절	
기둥 상부	-. 각재를 기둥 거푸집 상부에 덧댐	
슬래브 바닥	-. 보정 높이만큼 올려 콘크리트 타설 -. 몰탈을 이용하여 조정	

1) 기둥하부 보정방법

기둥 거푸집 하부에 레벨 조정용 각재를 사용하여 보정하는 방법으로서 바닥 콘크리트 타설 품질에 절대적인 영향을 받기 때문에 레벨 조정이 다소 어려운 점은 있으나 가장 경제적인 방법이다.

2) 기둥 상부 보정방법

기둥 거푸집 상부에서 각재나 판재를 이용하여 보정하는 방법으로서 일정한 레벨을 보정할 때는 매우 용이하나 기둥 및 거푸집 긴결시 위험 부담 및 많은 노력을 기울여야 할 필요성이 요구된다.

3) 슬래브 바닥 보정방법

슬래브 바닥에서 수직부재 축소량을 보정하는 방법에는 고강도 몰탈 보정 방법과 콘크리트 올려치기 방법이 있다. 고강도 몰탈은 조인트가 발생하고 골조공사에 따른 후속공정의 지연을 초래할 수 있으며, 콘크리트 올려치기 방법은 정밀 시공이 불가능하며, 기둥 주변까지 영향을 주어 슬래브 두께 및 콘크리트 올려치기에 따른 구조물에 하중 증가를 초래하는 원인이 된다.

4) 보정량 계측 확인 방법

기둥축소량의 적절한 보정량 확인을 위한 계측에 있어서 수직 철근 배근 후 보정량의 적정성을 계측하고 콘크리트 타설 후 거푸집 제거 즉시 보 또는 슬래브 하부를 계측하여 보정을 확인하여야 한다. 그림 4는 Trump World I에 적용되었던 계측 확인 위치의 사례이다.

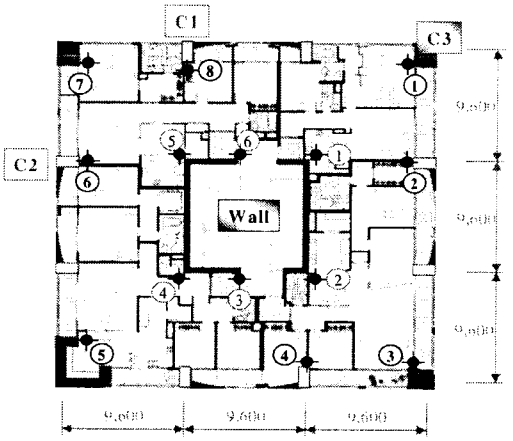

그림 4. 기준층 정밀 계측 (Trump World I)

4. 결 론

중저층공사에서 중요시되지 않으나 초고층 건물에서 요구되는 요소기술중 하나인 수직부재 축소 보정을 위한 시공방법은 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 보정 그룹설정 방법, 수직부재 축소량 보정 방법을 연구문헌 및 공사지를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 수직부재 축소량 보정값을 구조물 수직부재의 시공시 적용시키기 위하여 수직 및 수평적 보정 그룹을 설정하여 적용함으로서 원활한 공사를 수행할 수 있다.
2) 초고층 시공을 위해서는 코아 선시공에 따른 축소량 보정방법 선정을 위한 기준점 설정 및 수직부위 그룹화 측정방법 및 수직도 측량 방법을 제시하였다.
3) 기둥 축소량 보정방법을 분석한 결과 기둥하부 레벨조정용 각재에서 조절하는 방법이 가장 효과적인 것으로 나타났다.

초고층건물 시공현장에서 수직부재 축소량에 따른 보정 방법은 반드시 고려되어야 하며, 축소량 보정 시공 방법이 전체 공기를 지연시키는 부정적인 원인을 제공해서는 안된다고 판단한다. 따라서 본 논문이 현장 작업 수행에 어려움이 없이 적용되어 공사 마감공사는 물론 추후 초고층 공사를 수행하는데 더욱 연구되어 발전할 수 있었으면 한다.

참 고 문 헌

1. ACI Committee 209 "Prediction of Creep, Shrinkage and Temperature Effect in Concrete Structure", ACI209-R92, American Concrete Institute, 1997.
2. Mark Funtel, S.K. Ghost, Hal Iyengar, "Column Shortening in Tall Structure-Prediction and Compensation",Engineering Bulletin No. EB108D PCA, 1987
3. Comite Euro-International Du Beton, CEB-FIP Model Code, Thomas Telford Services Ltd, 1993
4. 대우건설, 초고층건물 구조시스템의 설계 및 해설에 관한 연구- 기둥 축소량 예측 및 보정법 개발에 관한 연구-, 1997.