

52층 아마타푸라 아파트의 기둥 부등축소량 예측 및 보정에 관한 연구

Prediction and Compensation of Differential Column Shortening in 52 story Amatapura Apartment Building

조석희^{*} 송진규^{**} 정하선^{***} 이상순^{****} 이태규^{*****} 김진근^{*****}
Cho, Suk Hee Song, Jin Gyu Jeung, Hasun Lee, Sang Soon Lee, Tae Gyu Kim, Jin Keun

ABSTRACT

The objectives of this paper are to estimate differential column shortening and to determine appropriate compensation amount in 52 story Amatapura Apartment in Indonesia. For this, a computer program based on PCA and CEB-FIP code is developed. The results show that Elastic and Creep strain are the main factors of column shortening and the maximum differential shortening is appeared near the middle of the building height. The results between field survey and estimation have some difference, the most influential factor of the difference can be lateral restraints provided by horizontal members, which cannot be handled in this developed program. Hence introducing the modification factors from various field survey, this program can be used properly in design and construction procedures.

1. 서론

최근 고층건물에 대한 관심과 수요가 증가하면서 고층건물의 시공시 발생하는 기둥간 부등변형으로 인한 수평 레벨링, 칸막이벽과 외부 마감재의 변형, 설비배관 변형 등의 문제가 대두되어 이를 설계와 시공시 반영하는 경우가 늘고 있다. 이러한 고층건물의 부등축소는 주로 기둥에 작용하는 수직응력의 차이에서 기인하며 구조물과 여기에 부착되는 비구조재의 강도와 사용성을 모두 만족시키기 위해서는 수직 콘크리트 부재에서 발생하는 탄성축소, 크립, 건조수축의 효과를 특별히 고려해야 한다. 그러나 기둥 축소량의 크기와 그 영향에 대한 정확한 평가방법은 매우 복잡하므로 실무에 적용하기 위해서는 정확도는 다소 떨어지더라도 해석이 용이한 약산해법에 의한 접근이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 1987년 PCA¹⁾에 소개되었던 약산해법과 CEB-FIP '90 코드²⁾를 바탕으로 한 예측식을 사용하여 기둥을 구조체에서 분리하여 따로 장기변형을 계산한 후 기둥간 발생한 축소량의 차이를 구하는 방법을 이용, 탄성해석과 유사한 정도의 계산량으로 임의의 시간단계에서의 거동을 예측할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 이 방법은 기둥의 변형에 대한 골조의 구속효과를 고려하지 못하는 단점이 있으나 다양한 건물들에 대한 실측 데이터와 실험자료를 통한 보정이 이루어 진다면 건물의 설계단계에서 충분히 합리적인 축소량 예측이 가능하리라 판단된다. 본 고에서는 인도네시아 아마타푸라에 있는 RC조 아파트에 적용한 사례를 중심으로 하여 고층건물의 기둥간 부등축소량 예측 및 시공단계에서의 실질적인 보정이 가능하도록 하는데 연구의 초점을 두었다.

* 현대건설 기술연구소 사원
*** 현대건설 기술연구소 이사
***** 우송산업대학교 토목환경공학과 교수

** 현대건설 기술연구소 과장
**** 한국과학기술원 토목공학과 박사과정
***** 한국과학기술원 토목공학과 교수

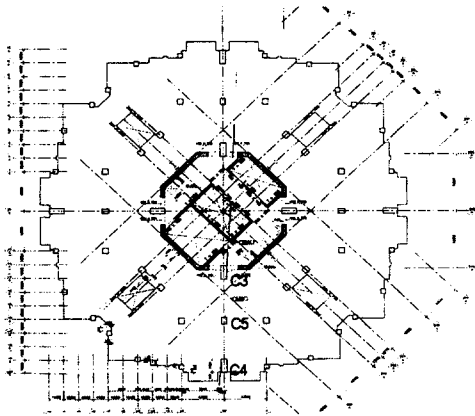
2. 아마타푸라 아파트

2.1 개요

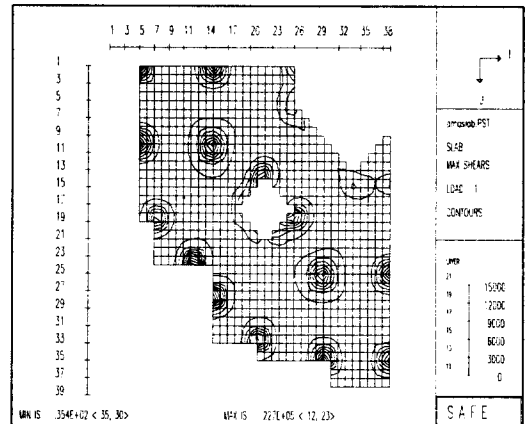
아마타푸라 아파트는 인도네시아에 건설된 지상 52층(타워 A), 42층(타워 B)의 타워형 철근콘크리트 플랫 슬래브 골조로서 중력하중은 플랫 슬래브와 RC기둥이 부담하고 횡력하중에 대해서는 골조와 전단벽이 수평 슬래브(Rigid Diaphragm)에 의해 연결된 것으로 이상화 하였으며, 건물 중간 3개 층에 outrigger wall을 배치하여 횡강성을 증대시킨 구조시스템으로 되어있다.

2.2 하중산정 및 재료성능

장기변형에 의한 축소량 예측시 중요한 요소중의 하나는 예측하고자 하는 기둥에 작용하는 하중을 정확하게 산정하는 것으로 이를 위하여 슬래브 해석 전용 프로그램인 SAFE를 이용하였다([그림 2]). 작용하중은 각 층에서의 슬래브 및 기둥자중(Dead Loads)과 내·외부 마감재등 골조공사 과정중에 설치되는 부가하중(Suspended Dead Loads: 140kg/m²), 가설재 등의 시공하중(Construction Live Loads: 200kg/m²)을 고려하였다. 대상기둥은 C3(코아측 내부기둥), C4(외부기둥), C5(내부기둥)이며([그림 1] 참조) 기둥의 재료성능은 [표 1]~[표 3]과 같다. 해석을 위해 층당 시공일수는 5일, 습도는 80%로 가정하였으며 또한 부가하중은 건설 최상층의 20층 하부에서 부터 작용하는 것으로 하였다.



[그림 1] 아마타푸라 아파트 평면도



[그림 2] 바닥슬래브 1/4 해석모형

3. 부등축소량 예측 및 분석

3.1 모델식에 따른 기둥별 축소량 예측 결과

52층 골조공사가 끝나는 시점(255일)까지의 예측결과를 보면 [표 4]와 같이 C5 기둥의 축소량이 가장 크고 C3의 축소량이 가장 작은것으로 나타났다. 이는 내부기둥인 C5가 단면에 비해 부담해야 하는 하중이 큰 반면 C3기둥은 내부 코아에 인접해 있기 때문에 부담하중이 상대적으로 적기 때문인 것으로 판단된다. 또한 PCA와 CEB-FIP 모델식에 따른 예측값의 차이는 그다지 크지 않았으며 두 모델식 모두 탄성변형량에 의한 축소량이 가장 큰 영향을 차지하며 크립, 건조수축의 순으로 나타났다. 그러나 PCA모델식에서는 탄성축소량이 크립과 건조수축에 비해 상대적으로 큰 영향을 차지하지만 CEB-FIP모델에서는 탄성축소량과 크립축소량이 비슷하며 건조수축의 영향은 작은 것으로 계산되었다([그림 4], [그림 5]). 따라서 시공완료이후 시간이 지날수록 장기변형에서 크립과 건조수축의 영향이

[표 1] 아마타푸라 C-3기동의 재료성능

LEVEL	Design F'c (psi)	Gross area (in ²)	Steel area (in ²)	Floor dead load (kips)	Suspended dead load (kips)	V/S Ratio (in)	Basic Strain of Creep ($\times 10^{-4}$)	Basic Strain of Shrinkage
0-1	8520	2480	31.2	55.35	2.07	12.45	4.69	0.0008
1-5		1860	24.95	25.84		10.78		
5-7	7100	1860	24.95	25.84		10.78	5.63	
7-23			18.7	25.84				
23-24			18.7	27.19				
24-25			21.83	25.84				
25-26			21.83	27.19				
26-29	5680	1395	31.2	20.89		9.34	7.04	
29-31			24.95	20.89				
31-34			15.6	20.89				
34-39	4260	1395	15.6	20.89	9.34	9.39		
39-50			9.8	20.89		9.39		
50-51			9.8	22.24		15.49		

* Construction live load= 2.96kips

[표 2] 아마타푸라 C-4기동의 재료성능

LEVEL	Design F'c (psi)	Gross area (in ²)	Steel area (in ²)	Floor dead load (kips)	Suspended dead load (kips)	V/S Ratio (in)	Basic Strain of Creep ($\times 10^{-4}$)	Basic Strain of Shrinkage
0-1	8520	2480	37.44	66.29	5.13	12.45	4.69	0.0008
1-2		1860	31.2	35.38		10.78		
2-5		1860	24.95	35.38		10.78		
5-10	7100	1860	24.95	35.38		10.78	5.63	
10-16			31.2	35.38				
16-23			37.44	35.38				
23-24			37.44	38.13				
24-25			37.44	35.38				
25-26	37.44	38.13						
26-31	5680	1395	18.72	30.43		9.34	7.04	
31-34			15.6	30.43				
34-39	4260	1395	15.6	30.43	9.34	9.39		
39-50			9.8	30.43		9.39		
50-51			9.8	33.18		15.49		

* Construction live load= 7.33kips

[표 3] 아마타푸라 C-5기동의 재료성능

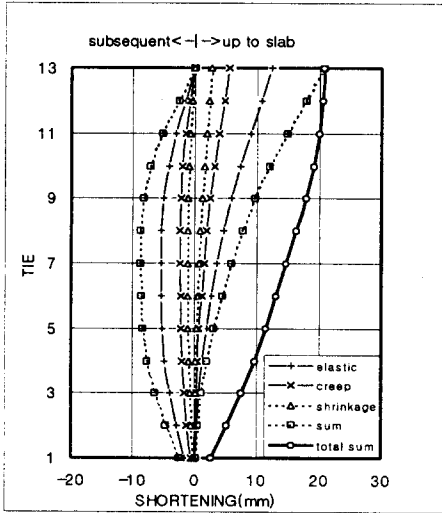
LEVEL	Design F'c (psi)	Gross area (in ²)	Steel area (in ²)	Floor dead load (kips)	Suspended dead load (kips)	V/S Ratio (in)	Basic Strain of Creep ($\times 10^{-4}$)	Basic Strain of Shrinkage	
0-1	8520	1256	12.48	46.87	6.33	8.86	4.69	0.0008	
1-5		837	12.48	28.12		7.23	4.69		
5-23	7100	837	9.36	28.12		7.23	5.63		
23-24				31.50					
24-25				28.12					
25-26				31.50					
26-34	5680	543	12.48	24.99		5.83	7.04		
34-39				9.36					24.99
39-44	4260	543	5.3	24.99		5.83	9.39		
44-50				388			4		23.34
50-51				388	4		26.72	4.92	9.39

* Construction live load= 9.04kips

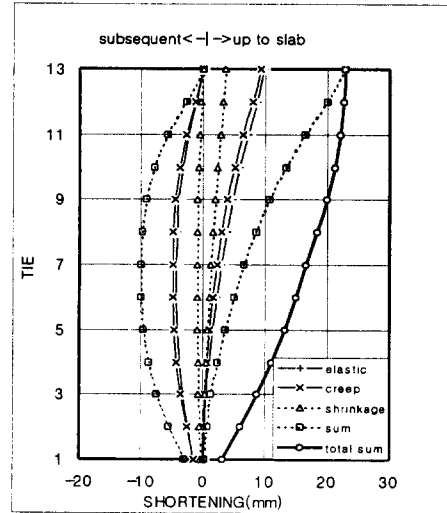
더욱 중요해 질 것으로 생각된다.

[표 4] 상부층에서의 최대 축소량(TIER 13)

	C3	C4	C5
PCA	20.63mm	30.51mm	68.83mm
CEB	22.82mm	33.64mm <td 69.54mm	



[그림 4] C3 기둥의 축소량(PCA)



[그림 5] C3 기둥의 축소량(CEB-FIP)

3.2 기둥간 부등축소량 예측 결과

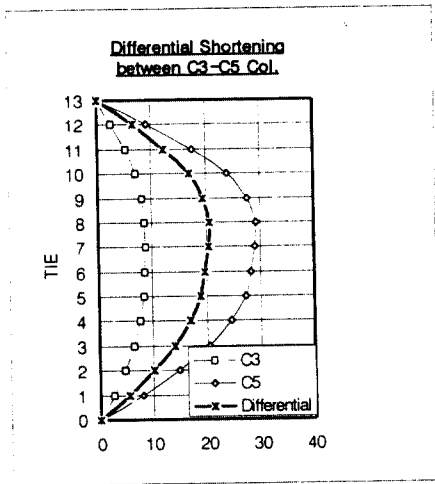
RC기둥에 발생하는 특정층의 변형에 있어서 그 층의 슬래브가 타설되기 이전에 발생한 축소량(Up to slab shortening)은 거푸집 설치시 수평보정을 하게 되므로 큰 의미가 없다. 따라서 기둥간 부등축소량은 슬래브 타설이후 발생하는 축소량(Subsequent shortening)으로 결정되며 이 값이 필요한 보정량이 된다. C3-C5 및 C4-C5기둥간 부등축소량의 계산결과([그림 6]~[그림 9]) 최대 보정량은 모두 중간층 근처인 TIER 8(29-32층)에서 발생하였다([표 5]).

[표 5] 최대 보정량(TIER 8)

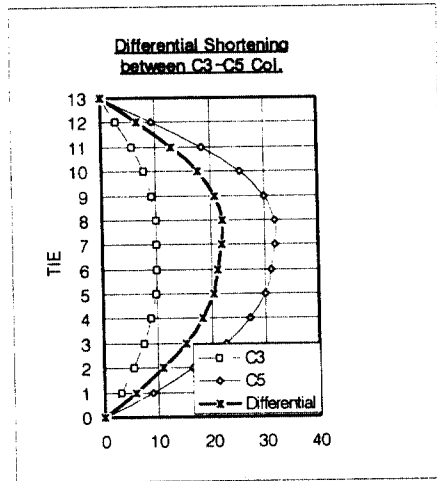
	C3-C5	C4-C5
PCA	20.69mm	16.12mm
CEB	22.22mm	16.77mm

3.3 예측-실측 결과비교

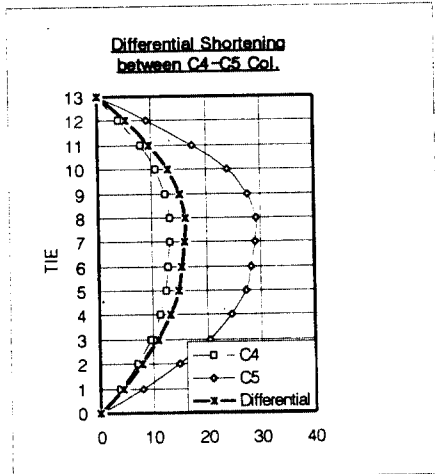
아마타푸라 현장에서 실측한 기둥축소량 자료와 예측결과를 비교하였다. 실측값은 편의상 건물 골조가 완성된 후에 계측된 Total shortening값을 사용하였으며 지상 1층을 기준으로 계측된 결과이므로 예측값에서도 이를 보정하여 비교하였다. 실측결과, 세 기둥은 모두 비슷한 정도의 축소량을 갖는 것으로 나타나 예측결과가 내부코아 부근의 기둥(C3)과 외부기둥(C4)에서는 15~30mm정도 과소평가 되



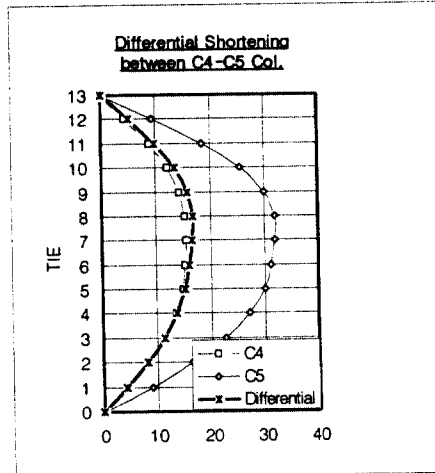
[그림 6] C3-C5 기둥간 부등축소량(PCA)



[그림 7] C3-C5 기둥간 부등축소량(CEB)



[그림 8] C4-C5 기둥간 부등축소량 (PCA)

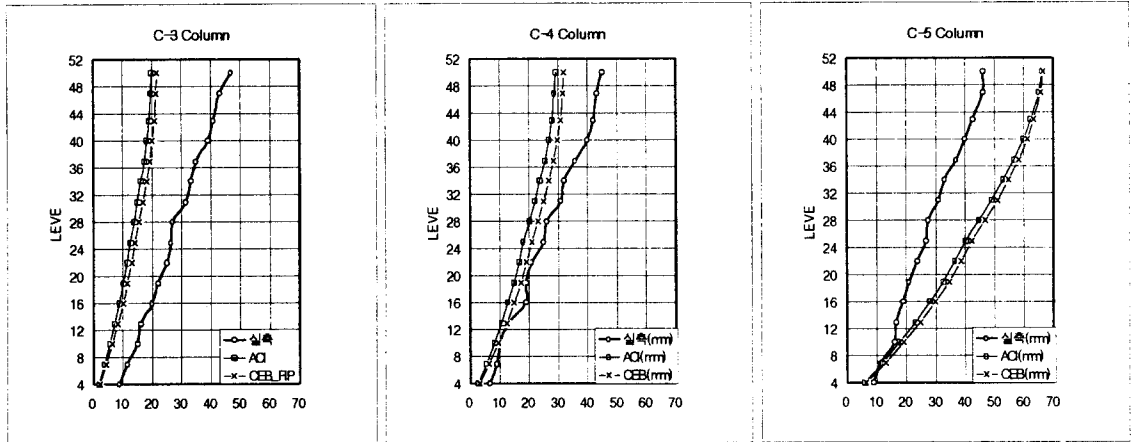


[그림 9] C4-C5 기둥간 부등축소량 (CEB)

고 내부기둥(C5)에서는 20mm정도 과대평가 되었음을 알 수 있었다. 이러한 차이는 실제 구조물의 기둥은 보나 슬래브, outrigger wall 등으로 상호 연결되어 어느정도 상호간의 구속효과가 있으나 약산해법에서는 이를 반영하지 못했기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 실측결과와의 차이는 Total shortening값의 차이므로 실제로 시공단계에서 보정해야할 값의 차이는 그렇게 크지 않으리라 생각되며 다양한 건물들에 대한 실측을 통해 적절한 보완과정을 거친다면 약산해법을 실무에서 적절히 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

[표 6] 최상부층에서의 실측-예측값 비교

	실측	PCA	CEB-FIP
C3	47mm	19.73mm	21.72mm
C4	45mm	29.18mm	32.02mm
C5	46mm	66.19mm	66.62mm



[그림 10] 예측-실측값 비교(C3 기둥) [그림 11] 예측-실측값 비교(C4 기둥) [그림 12] 예측-실측값 비교(C5 기둥)

4. 결론

본 연구에서는 인도네시아 아마타푸라의 RC조 아파트를 대상으로 건설과정에서 발생하는 시간의 진행에 따른 기둥의 변형량을 예측하고 시공중 필요한 보정치를 제시하였으며 또한 현장에서의 실측 결과와 약산해법 예측결과를 비교, 분석하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 52층 RC건물에 대해 PCA와 CEB-FIP모델을 적용한 결과 전체적인 축소량은 유사하였다. PCA모델의 경우 탄성변형에 의한 효과가 크립, 건조수축에 의한 효과보다 상대적으로 컸으나 CEB-FIP모델의 경우에는 탄성변형과 크립변형이 거의 비슷하게 나타났다. 따라서 장기변형이 지속될 경우에는 크립변형의 영향이 매우 중요할 것으로 판단된다.
- 2) 고층의 RC건물인 경우 시공시 필요한 보정량은 바닥슬래브가 타설된 이후 상층부의 하중으로 인한 변형량이며 기둥간 부등축소량의 최대치, 즉 최대 시공오차는 중간층 근처에서 발생하는 것으로 나타났다.
- 3) 아마타푸라 아파트에 대한 현장실측 결과는 예측치와 최대 30mm정도 차이가 있으나 이는 약산해법이 골조효과를 무시한 독립기둥에 대해 이루어졌기 때문이며 적절한 보정을 거친다면 실무에서 사용 가능하리라 판단된다.

감사의 글: 실측자료를 제공해 주신 현대건설 아마타푸라 현장의 안웅영 소장님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Mark Fintel, S.K. Ghosh and Hal Iyengar, "Column Shortening in Tall Structures-Prediction and Compensation", PCA, 1987
2. "CEB-FIP MODEL CODE", Comite Euro-International Du Beton, Tomas Telford, 1991
3. Building Code Requirements for Reinforced Concrete, ACI 318-83
4. 조창휘, 송진규, 이현호, 조석희, "고층건물 기둥의 부등축소량 예측 및 시공오차 보정에 관한 연구", 전산구조공학회 가을 학술발표회 논문집, 1996. 10