

초고층 건물에서 철골철근콘크리트(SRC) 기둥의 축소량 예측에 관한 연구

정은호^{1)*} · 김점한²⁾

¹⁾극동정보대학 건축과 ²⁾(주)크로스구조기술연구소

(2003년 5월 23일 원고접수, 2003년 12월 1일 심사완료)

A Study on the Prediction of Shortening for Steel-Reinforced Concrete(SRC) Column in the High-Rise Buildings

Eun-Ho Jeong^{1)*} and Jeom-Han Kim²⁾

¹⁾Dept. of Architecture, Keuk-Dong College, Chungbuk-Do, 369-703, Korea

²⁾Cross Structural Engineering Co., Ltd, Seoul, 110-120, Korea

(Received May 23, 2003, Accepted December 1, 2003)

ABSTRACT

Although steel-reinforced concrete(SRC) is widely used in a high-rise building, a methods used to predict the column shortening of SRC structural members has many problems in applying a theoretical equation which considers only the material characteristics of reinforced concrete. In this study, the degree of accuracy of the existing method calculating the column shortening of a high-rise building is examined. For this, first, the actual measurement data are chosen about the column shortening of a high-rise building established with SRC structural members. Then the column shortening of a SRC structural member is calculated through computer program. Finally, the comparison between the measurement data and the analytical ones is executed. According to this study, it can be concluded that there is little difference between the former and the latter. Therefore, the existing method can be used to evaluate the column shortening of a high-rise building using a SRC structural members.

Keywords : steel-reinforced concrete, high rise building, column shortening

1. 서 론

건물이 고층화되어짐에 따라 기둥은 수직 및 횡하중의 증가로 인하여 큰 압축력을 받게 되며, 축소(shortening)로 인한 기둥간의 변위차를 유발시킨다. 초고층 건물에서 사용되는 기둥의 경우 각 층에서의 응력 수준이 유사하다면 변형은 비슷하게 나타나지만, 결국 기둥축소현상이 누적되어서 구조물의 전체적인 높이에 영향을 미치게 된다.

예를 들면 80층 철골 구조물에 있어서 탄성적인 기둥 축소는 현재 고강도 철골의 설계 응력 수준에 따라 180mm에서 225mm에 이른다. 한편, 80층 철근콘크리트 건물에 있어서 탄성적인 기둥축소는 65mm에 이르나 철근콘크리트 기둥의 총 길이변화는 건조수축(shrinkage)과 크리프(creep) 현상으로 인하여 약 180mm에서 230mm에 해당하게 된다⁵⁾. 이러한 큰 축소현상의 잠재적인 유해 효과는 초기의 슬래브의 위치를 변화시켜 칸막이, 기계적인 장비, 클래딩, 건축적 마감, 그리고 기성제작마감 등에 영향

을 미칠 뿐만 아니라 수직요소에 의해 지탱된 슬래브가 원래 계획된 위치로부터 비틀어지게 되며 연결재인 보와 슬래브에 구조설계 시에 고려되지 않은 전단력과 모멘트 등의 2차 응력을 발생시켜, 구조적으로 중대한 영향을 미칠 수 있다³⁾. 따라서 초고층 건물의 설계에 있어 기둥축소효과에 대한 효과는 필수적으로 반영되어야 하며, 이는 구조물의 설계단계에서부터 고려되어 시공에 직접 반영되어야 한다.

초고층 건물 기둥을 포함한 수직구조 부재의 축소량에 관한 연구는 1960년대 중반부터 미국에서 수행되기 시작하였다. 초고층 건물의 구조설계 분야에서 대가라고 불리는 Fazlur Kahn (Skidmore, Owings & Merrill: 이하 SOM) 및 콘크리트의 거장인 Mark Fintel (Portland Cement Association: 이하 PCA)의 연구결과는 American Concrete Institute(ACI) 논문집에 발표되는 것을 시점으로 많은 연구가 이루어졌다⁵⁾ 이러한 연구결과들은 1970년대와 80년대에 고층 건물 기둥의 축소량을 예측하는 이론적인 배경을 제공하였으며 차이진 축소량의 보정에 대한 기술을 발전시켰다. 1980년대에 중반에 들어 미국의 SOM을 비롯한 대규모의 설계사무실에서는 자체의 연구진 및

* Corresponding author

Tel : 043-879-3449 Fax : 043-883-2446

E-mail : nalsan@unitel.co.kr

PCA 연구진의 도움을 얻어 고층건물 기둥의 축소량을 산출하기 위한 프로그램의 개발로 이어지게 된다. 그러나 이러한 연구결과는 철근콘크리트 기둥의 재료적인 특성만을 고려하여 구성된 것이 전부였음에도 불구하고 현재까지 이를 합성기둥에 대해 그 적용범위를 확대하여 사용하고 있는 실정이다. 예를 들면 철골철근콘크리트 기둥의 축소량 산출의 경우, 합성재료의 특성을 고려하지 않고 단지 콘크리트에서 발생하는 탄성 및 비탄성 축소량과 철골에서 발생하는 탄성 축소량만을 계산하여 단순히 합하는 방법으로 축소량을 예측하고 보정을 위한 자료로 사용되어 오고 있는 실정이다.

이상의 배경으로 초고층 건물에 있어 매우 중요한 요소로 인식되고 있는 기둥축소량 예측에 대해 단지 철근콘크리트의 재료적인 특성만을 배경으로 구성된 이론식을 적용하고 있는 문제를 안고 있다. 따라서 본 연구는 SRC 재료를 사용하여 시공된 초고층 건물의 기둥축소에 대한 실측자료를 선정하고, 이에 대해 기존까지 연구되어온 축소량 예측을 위한 전산해석 프로그램을 적용하여 그 해석 결과를 측정값과 비교·분석함으로써 SRC 재료를 사용하는 초고층 건물의 축소량 산출을 위해 적용하는 기존의 방법에 대한 정확성을 평가하고자 하는 데 그 목적이 있다.

2. 해석모델에 대한 축소량 측정

2.1 해석모델에 대한 개요

본 해석모델은 서울시에 위치한 주상복합 건물로서 지하 6층 지상 55층의 규모이며, 32층에 2.5m 높이의 아웃리거가 설치되어 있고, 내부에 철근콘크리트 코어와 철골 철근콘크리트 기둥 그리고 철골 보로 구성되어있다. Fig. 1 에서 보는 바와 같이 코어월 2개소(W1, W2) 및 기둥 3개소(C1, C2, C3)에 대하여 13층, 33층, 48층에서 각각 계측장치를 통하여 축소량 실측을 실시하였다.

본 해석모델에서 축소량을 측정하기 위해 사용된 계측장치는 KM100-BT와 PML-60-2L로써 KM100-BT는 코어월에 매립하여 사용하였으며, PML-60-2L는 SRC기둥에 매립하여 측정하였다. 또한 축소량 측정 방법은 콘크리트 타설 후 4개월 동안은 매 1일 마다 측정하였으며 3개월 동안은 매 3일마다 그리고 3개월 동안은 7일 간격으로 측정하여 총 1년 동안의 축소량을 계측하였다. 특정크리프 계수와 극한건조 수축값에 대한 측정은 다음과 같은 방법으로 진행하였다. 크리프 시험의 경우, 4개의 공시체를 $\varnothing 15\text{cm} \times 30\text{cm}$ 의 원통형으로 KS F2403에 따라 제작하였으며, 양생방법은 표준양생방법을 사용하였다. 우선 몰드를 떼어 내기 전에 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 온도를 유지하여 증발을 방지하기 위하여 습윤 상태를 유지하였고, 성형 후 24 ~ 48시간 몰드에서 떼어내어 재령 7일까지 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 습윤

양생하였다. 습윤양생이 끝난 후, 공시체는 실험이 끝날 때까지 온도가 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 이고, 상대 습도가 $50 \pm 4\%$ 인 상태에서 저장의 방법을 적용하여 양생하였다. 또한 하중재하의 방법은 크리프 공시체에 재하하기 직전에 KS F2405에 따라 압축강도를 측정하였으며, 피복하지 않은 크리프 공시체에 재하 장치를 놓을 때, 수분의 증발을 방지하기 위해 공시체의 양끝을 덮고 재하재령 압축강도의 40%까지 재하

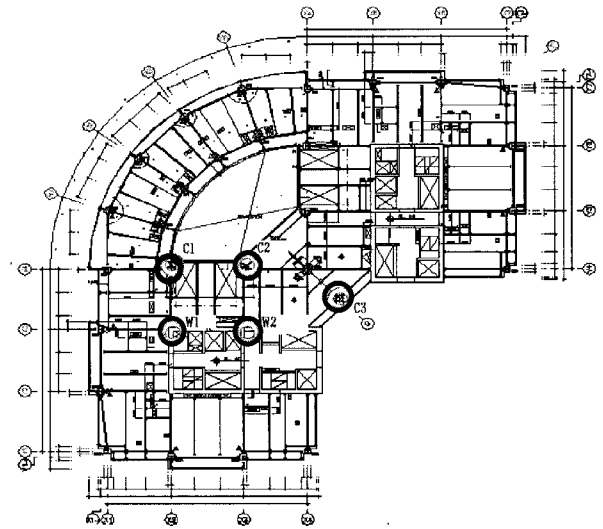


Fig. 1 Plan of model

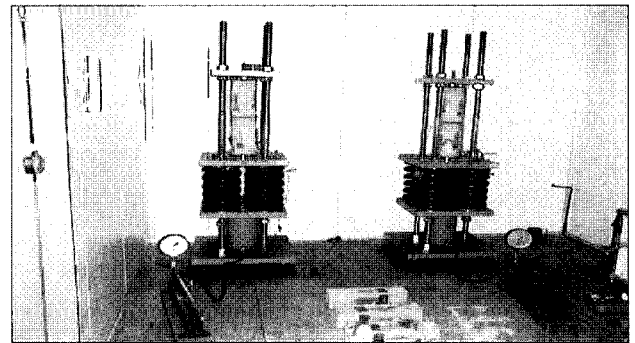


Fig. 2 Creep testing



Fig. 3 Shrinkage testing

하였다. 또한 변형측정은 재하 직전, 직후 및 2~6시간 후, 그리고 처음 1주일 간은 매일, 처음 1개월은 매주, 1년까지는 매달 측정하였다. 아래 Fig. 2는 크리프 공시체에 스트레인 게이지 부착 및 크리프 하중 재하를 나타낸 것이다. 극한건조 수축값을 측정하기 위한 건조수축 시험은 4개의 공시체를 10×10×40cm의 각형으로 KS F2403에 따라 제작하였으며, 양생방법은 크리프를 시험하기 위해 이용하였던 방법과 동일한 표준양생방법을 사용하였다. 또한 시험방법은 7일 수중양생을 시킨 후 각 면에 스트레인 게이지를 부착하고 시험이 끝날 때까지 온도가 23±2℃이고, 상대 습도가 50±4%인 상태의 항온 항습실에서 보관하며 변형량을 측정하였다. Fig. 3은 건조수축 시험체에 스트레인 게이지 부착을 나타낸 것이며, Fig. 4~5는 시험 결과에 따른 크리프 변형과 건조수축 변형을 각각 나타낸 것이다.

2.2 해석모델에 대한 축소량 측정

다음 Table 1~3은 층별마다 설치되어진 계측기를 통하여 날짜별 축소량 결과를 나타낸 것이다.

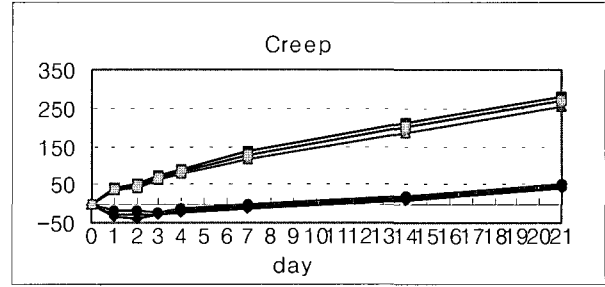


Fig. 4 Strain of creep

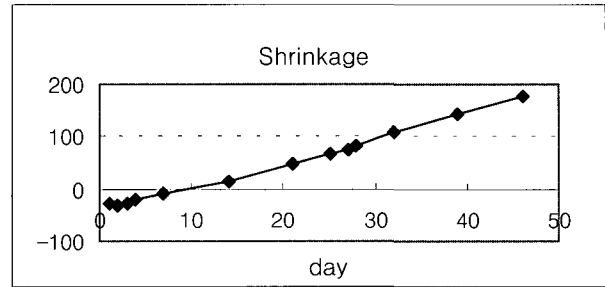


Fig. 5 Strain of shrinkage

Table 1 Measurement data of column shortening in 13th floor (mm)

Date (y-m-d)	C1		C2		C3		W1		W2	
	Reclaim	Stick	Reclaim	Stick	Reclaim	Stick	Reclaim	Stick	Reclaim	Stick
00-11-07	-	0	-	0	-	0	0.159	0.115	0.203	0.218
00-11-10	-	0.187	-	0.195	-	0.213	0.171	0.118	0.257	0.167
00-11-13	-	0.049	0	0.023	0	0.026	0.210	0.148	0.244	0.205
00-11-15	0	0.036	0.014	0.002	0.006	-0.003	0.200	0.129	0.262	0.244
00-11-17	0.003	0.031	0.028	0.007	0.019	0.003	0.235	0.157	0.260	0.256
00-11-24	0.049	0.099	0.075	0.085	0.052	0.066	0.201	0.143	0.285	0.276
00-12-01	0.100	0.174	0.136	0.162	0.118	0.138	0.281	0.200	0.353	0.352
00-12-08	0.149	0.208	0.179	0.181	0.148	0.187	0.332	0.237	0.390	0.381
00-12-15	0.213	0.298	0.225	0.199	0.163	0.189	0.326	0.244	0.405	0.372
00-12-22	0.241	-	0.282	0.282	0.231	0.247	0.355	0.257	0.403	0.401
00-12-29	0.271	-	0.299	0.312	0.235	0.254	0.353	0.248	0.390	0.388
01-01-05	0.303	-	0.356	0.363	0.270	0.317	0.387	0.246	0.402	0.377
01-01-12	0.324	-	0.344	0.391	0.252	0.294	0.426	0.322	0.450	0.419
01-01-19	0.343	-	0.374	0.392	0.249	0.277	0.319	0.258	0.393	0.385
01-01-26	0.347	-	0.408	0.388	0.296	0.317	0.409	0.300	0.448	0.459
01-02-19	0.486	0.537	0.537	0.517	0.365	0.388	0.576	0.473	0.557	0.594
01-03-05	0.566	0.645	0.597	0.602	0.424	0.451	0.736	0.614	0.679	0.718
01-04-06	0.821	0.918	0.729	0.868	0.613	0.629	0.963	0.840	0.846	0.898
01-05-07	1.024	1.152	0.817	1.130	0.799	0.840	1.156	1.036	1.006	1.027
01-06-04	1.035	1.318	0.889	1.335	0.960	1.024	1.224	1.190	1.139	1.127
01-07-02	1.073	1.328	0.906	1.424	0.984	1.053	1.259	1.250	1.184	1.158
01-08-06	1.106	1.442	0.898	1.478	1.051	1.129	1.287	1.304	1.252	1.166
01-09-03	1.182	1.526	0.981	1.557	1.152	1.223	1.357	1.407	1.317	1.246
01-10-01	1.246	1.589	1.048	1.609	1.179	1.252	1.468	1.559	1.407	1.342
01-11-05	1.277	1.631	1.087	1.635	1.206	1.282	1.528	1.618	1.451	1.390
01-12-03	1.356	1.680	1.136	1.689	1.229	1.306	1.589	1.667	1.480	1.428
02-01-07	1.372	1.718	1.147	1.714	1.248	1.334	1.587	1.670	1.501	1.443
02-02-04	1.397	1.753	1.155	1.741	1.271	1.364	1.586	1.673	1.520	1.472
02-03-04	1.418	1.787	1.167	1.770	1.296	1.373	1.583	1.675	1.544	1.496
02-04-01	1.440	1.812	1.144	1.815	1.266	1.354	1.626	1.750	1.590	1.531

Table 2 Measurement data column shortening in 33th floor (mm)

Date (y-m-d)	C1		C2		C3		W1		W2	
	Reclaim	Stick	Reclaim	Stick	Reclaim	Stick	Reclaim	Stick	Reclaim	Stick
01-03-16	-0.233	-0.318	-0.636	-0.636	-0.432	-0.480	0.039	-0.277	-0.104	-0.262
01-03-23	-0.124	-0.204	-0.482	-0.682	-0.390	-0.424	0.095	-0.194	-0.038	-0.153
01-03-30	-0.089	-0.112	-0.235	-0.635	-0.322	-0.346	0.130	-0.124	-0.003	-0.102
01-04-06	-0.052	-0.073	-0.125	-0.645	-0.287	-0.371	0.187	-0.041	0.004	-0.059
01-04-13	-0.050	-0.041	-0.091	-0.491	-0.269	-0.289	0.209	0.033	0.050	-0.010
01-04-20	-0.002	0.009	0.001	-0.481	-0.234	-0.301	0.247	0.051	0.083	0.026
01-04-27	0.014	0.029	0.057	-0.507	-0.166	-0.325	0.280	0.088	0.114	0.080
01-05-07	0.094	0.129	0.130	-0.430	-0.082	-0.250	0.340	0.106	0.146	0.168
01-05-14	0.109	0.195	0.144	-0.414	0.019	-0.164	0.347	0.155	0.204	0.209
01-05-21	0.131	0.285	0.185	-0.285	-0.025	-0.191	0.384	0.175	0.193	0.190
01-05-28	0.169	0.300	0.235	-0.084	0.026	-0.109	0.390	0.179	0.208	0.200
01-06-04	0.199	0.324	0.237	-0.037	0.065	-0.107	0.431	0.173	0.240	0.194
01-07-02	0.231	0.351	0.244	0.044	0.109	0.122	0.587	0.210	0.352	0.252
01-08-06	0.208	0.387	0.246	0.085	0.157	0.167	0.663	0.226	0.393	0.285
01-09-03	0.268	0.431	0.248	0.179	0.234	0.254	0.746	0.329	0.479	0.3990
01-10-01	0.310	0.456	0.251	0.223	0.273	0.297	0.818	0.442	0.567	0.504
01-11-05	0.360	0.474	0.312	0.296	0.336	0.354	0.958	0.552	0.696	0.598
01-12-03	0.399	0.499	0.325	0.313	0.392	0.403	0.935	0.535	0.680	0.600
02-01-07	0.437	0.524	0.333	0.333	0.401	0.451	1.031	0.600	0.810	0.666
02-02-04	0.449	0.549	0.351	0.360	0.412	0.521	1.015	0.592	0.782	0.660
02-03-04	-	-	-	-	-	-	1.006	0.583	0.755	0.655
02-04-01	-	-	-	-	-	-	-	-	0.739	0.651

Table 3 Measurement data of column shortening in 48th floor (mm)

Date (y-m-d)	C1		C2		C3		W1		W2	
	Reclaim	Stick	Reclaim	Stick	Reclaim	Stick	Reclaim	Stick	Reclaim	Stick
01-05-14	0	0	0	0	0	0	0.470	0.107	0.797	0.865
01-05-21	-0.145	-0.199	-0.190	-0.267	-0.168	-0.244	0.425	0.134	0.850	0.902
01-05-28	0.054	0.067	-0.026	0.114	0.036	0.166	0.446	0.163	0.878	0.959
01-06-04	0.028	0.039	0.039	0.208	0.114	0.194	0.488	0.195	0.923	0.970
01-07-02	0.101	0.074	0.175	0.401	0.231	0.267	0.430	0.228	0.954	0.990
01-08-06	0.157	0.117	0.228	0.476	0.343	0.324	0.490	0.197	0.916	0.950
01-09-03	0.228	0.220	0.322	0.481	0.437	0.479	0.574	0.276	1.001	1.036
01-10-01	0.278	0.275	0.349	0.484	0.457	0.483	0.658	0.346	1.086	1.118
01-11-05	0.348	0.352	0.406	0.534	0.510	0.575	0.758	0.417	1.147	1.162
01-12-03	0.359	0.341	0.422	0.522	0.538	0.594	0.706	0.381	1.137	1.170
02-01-07	0.371	0.368	0.428	0.537	0.541	0.611	0.736	0.402	1.143	1.195
02-02-04	0.381	0.388	0.436	0.548	0.545	0.631	0.712	0.379	1.131	1.173
02-03-04	-	-	-	-	-	-	0.684	0.358	1.115	1.154
02-04-01	-	-	-	-	-	-	0.743	0.414	1.139	1.154

Table 1은 13층에서의 축소량 측정결과를 나타낸 것이며, Table 2, Table 3은 본 해석모델의 33층 그리고 48층에 대한 축소량 측정결과를 나타낸 것이다. Table 1 ~ 3에서여백 부분은 공사 진행 일정에 의해 구조부재 미설치에 따른 축소량 미 측정을 나타낸 것이다. Table 1 ~ 3에서 보는 바와 같이 매립형 측정 장치를 통하여 측정한 축소량과 부착형 측정 장치를 통하여 측정한 축소량의 경우 서로 다른 차이를 나타내고 있다. 이는 공사 진행에 따른 주변 환경의 영향에 의한 것으로 판단된다.

따라서 축소량 측정값은 부착형 측정 장치를 통하여 측정된 결과와 매립형 측정 장치를 통한 결과의 평균값을 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 우선 Table 1은 본 해석모델의 13층에서 기둥 C1, C2, C3 그리고 코어 월 W1과 W2에 대해 2000년 11월 부터 2002년 4월 까지 축소량 측정 결과를 나타낸 것으로, 기둥 C1의 경우 1.626 mm의 절대 축소량을 나타냈으며, 기둥 C2의 경우 1.480 mm, 기둥 C3의 경우 1.310 mm, 코어월 W1의 경우 1.688 mm, 그리고 W2의 경우 1.561 mm의 절대 축소량을 나타

내고 있다. Table 2는 본 해석모델의 33층에서 기둥 C1, C2, C3 그리고 코어월 W1과 W2에 대해 2001년 3월부터 2002년 4월 까지 축소량 측정결과를 나타낸 것으로써 기둥 C1의 경우 0.499 mm의 절대 축소량을 나타냈으며, 기둥 C2의 경우 0.356 mm, 기둥 C3의 경우 0.467 mm, 코어월 W1의 경우 0.795 mm, 그리고 W2의 경우 0.695 mm의 절대 축소량을 나타내고 있다. Table 3은 해석모델의 48층에서 기둥 C1, C2, C3 그리고 코어월 W1과 W2에 대해 기둥의 경우 2001년 5월부터 2002년 4월 까지 그리고 코어월의 경우 2001년 2월부터 2002년 4월 까지 축소량 측정 결과를 나타낸 것으로써 기둥 C1의 경우 0.385 mm의 절대 축소량을 나타냈으며, 기둥 C2의 경우 0.492 mm, 기둥 C3의 경우 0.588 mm, 코어월 W1의 경우 0.579 mm, 그리고 W2의 경우 1.147 mm 절대 축소량을 나타내고 있다.

3. 해석모델에 대한 전산해석

3.1 해석모델에 대한 입력자료

해석모델에 대한 축소량 예측을 수행하기 위해 사용된 전산해석 프로그램은 최근 ACI-CODE를 토대로 개발된 축소량 예측 프로그램인 CSCP(Column Shortening Calculating Program)¹⁾을 이용하였다. 또한 전산해석을 위해 적용된 하중 및 재료에 대한 변수는 실제 해석모델에 사용된 값을 이용하였으며, 특히 극한건조 수축값과 특정 크리프 계수값은 현장에서 실제 사용한 재료에 대한 측정값을 사용하였다. 측정값과 비교하기 위한 축소량 해석은 탄성 축소량과 비탄성 축소량을 더한 총 축소량으로 하였다. 적용된 시공기간은 하중 재하 시점부터 축소량 측정 완료 시점으로 하여 각각 축소량을 산출하였으며 실제 해석모델에 사용된 변수값을 토대로 하여 축소량을 해석하였다. 다음은 CSCP를 이용하여 축소량을 예측하기 위한 수직 구조부재의 적용 변수들을 나타낸 것이다.

- 1) 수직 구조부재가 부담하는 축하중은 설계하중을 토대로 구조부재별 하중 분담면적을 고려하여 산출하였다.
- 2) 콘크리트의 설계강도는 49 N/mm²(코어월, 지하6층~지상22층의 기둥), 39 N/mm²(지상23층~34층의 기둥), 23.5 N/mm²(지상35층~최상층의 기둥)에 사용되었으나 전산해석시에는 현장에서 실시한 압축실험 결과인 54.8 N/mm², 42.1 N/mm² 그리고 25.4 N/mm²를 반영하였다.
- 3) 공사기간은 현장의 여건에 따라 실제 적용된 공사일정을 적용하였다.
- 4) 상대습도는 현장의 상대습도 65%를 적용하였다.
- 5) 극한건조 수축값은 시험실에서 시험체 시험강도와 현장에서 측정된 실제 공사체 시험강도와와의 차이를 고려하여 ACI-Code값과 시험결과를 직선 보간하여 0.000437을 적용하였다⁴⁾.

- 6) 특정 크리프 계수(specific creep value) 또한 시험 결과를 통하여 측정된 값과 ACI-Code에서 제시하는 최소값 ($\epsilon_{c,j} = 3.0 / f_{ck}$)을 직선 보간하여 적용하였다⁴⁾.

3.2 전산해석 결과

아래 Fig. 6~9는 2002년 5월 현재 시점을 기준으로 기둥 C1, C2, C3 및 코어월(W1 & W2)에 대하여 전체 층에 대해 누적된 총 축소량의 해석결과를 나타낸 것이다. 따라서 해당 층에 대한 절대 축소량은 해당 층의 축소량에서 인접한 아래층의 축소량을 뺀 값으로써 쉽게 구할 수 있다.

Fig. 6~9에서 보는 바와 같이 13층에서 발생한 축소량을 살펴보면 기둥 C1의 절대 축소량은 1.41 mm, C2의 절대 축소량은 1.42 mm, C3의 절대 축소량은 1.3 mm, 코어월(W1 & W2)에서 발생한 절대 축소량은 1.56 mm로 나타났다. 또한 32층에서 발생한 부재별 절대 축소량을 살펴보면, 기둥 C1의 절대 축소량은 1.55 mm, C2의 절대 축소량은 1.54 mm, C3의 절대 축소량은 1.47 mm, 코어월(W1 & W2)에서 발생한 절대 축소량은 1.86 mm로 나타났다. 33층에서 발생한 부재별 절대 축소량은, 기둥 C1의 절대 축소량의 경우 0.88 mm, C2의 절대 축소량은 0.88 mm, C3의 절대 축소량은 0.84 mm, 코어월(W1 & W2)에서 발생한 절대 축소량은 1.1 mm로 나타났다. 또한 48층에서 발생한 부재별 절대 축소량은, 기둥 C1의 절대 축소량의 경우 0.41 mm, C2의 절대 축소량은 0.56 mm, C3의 절대 축소량은 0.69 mm, 코어월(W1 & W2)에서 발생한 절대 축소량은 0.8 mm로 나타났다. 위에서 알 수 있듯이 콘크리트 부재인 코어월의 축소량과 SRC기둥의 축소량이 큰 차이를 나타내고 있지 않음을 볼 수 있다. 이는 코어월과 기둥의 작용 하중의 차이와 부재의 크기를 고려할 때 그 차이는 매우 미소한 것으로 판단된다. 이러한 현상은 콘크리트가 고강도로 인하여 축소현상 중에서 상당 부분을 차지하는 비탄성축소량이 탄성 축소량에 비해 큰 차이가 발생하지 않았기 때문으로 추정된다.

4. 실측값과 전산해석에 대한 비교·분석

4.1 측정결과와 해석결과에 대한 비교

SRC 재료를 사용하는 초고층 건물의 축소량 산출을 위해 적용하는 기존의 방법에 대한 정확성을 평가하고자 SRC 재료를 사용하여 시공된 초고층 건물을 대상으로 해석모델을 선정하고 기둥 축소량에 대해 실측을 실시하였으며, 이에 대한 실제 매개변수를 적용하여 전산해석을 실시하였다. 아래 Table 4는 해석모델의 기둥 C1, C2, C3 그리고 코어월에 대한 13층, 33층 그리고 48층에서의 절대 축소량에

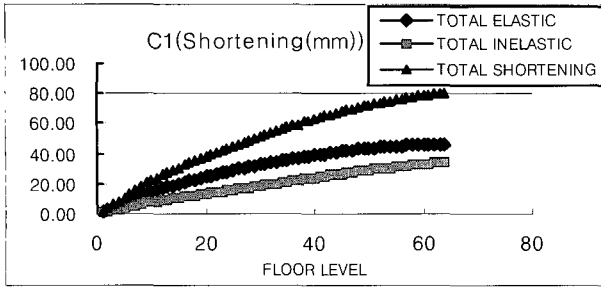


Fig. 6 Analytical results of column shortening(C1)

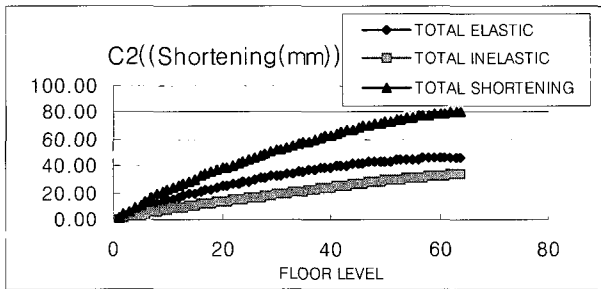


Fig. 7 Analytical results of column shortening(C2)

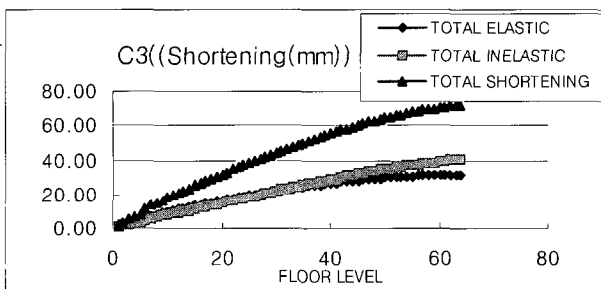


Fig. 8 Analytical results of column shortening(C3)

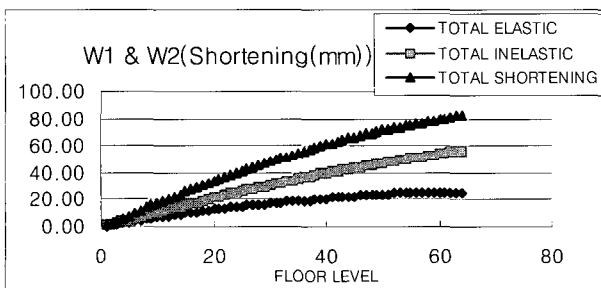


Fig. 9 Analytical results of column shortening (W1 & W2)

대해 측정값과 전산해석 결과를 각각 비교한 것이다.

한편 코어월의 경우, 축소량 측정은 코어월의 양측 단부에 대해서 실시하였으나 전산해석은 본 측정대상의 단부를 포함하는 코어월에 대해 해석을 실시하였는바, 측정결과와 해석결과를 상호 비교하기 위해서는 부득이 W1과 W2에 대한 측정값의 평균값을 적용하였다. Table 4에서 보는 바와 같이 우선 13층과 48층의 경우, 기둥 C1, C2, C3 그리고 코어월은 측정결과와 해석결과가 매우 근사하게 나타난 것을 알 수 있다. 그러나 33층의 경우, 코어월은 측정결과와 해석결과가 근사한 결과를 나타낸 반면, 기둥 C1, C2, 그리고 C3는 측정결과와 해석결과가 다소 차이를 나타냄을 알 수 있다.

4.2 분석결과

아래 Table 4에서 나타낸 비율은 측정결과를 해석결과로 나눈 값(측정결과/해석결과)을 의미한다. Table 4에서 보는 바와 같이 기둥 C1의 경우는 13층과 48층에서 각각 115%, 94%의 차이로써 매우 근사한 결과를 나타낸 반면, 33층에서는 57%로써 다소 큰 차이를 나타냈다.

기둥 C2와 기둥 C3의 경우 또한 기둥 C1에서와 마찬가지로 13층과 48층에서는 각각 104%, 88%와 101%, 86%를 나타낸 반면 33층에서는 41%, 56%로써 다소 큰 차이를 나타냈다. 한편 코어월의 경우는 13층, 33층 그리고 48층에서 104%, 68%, 108%로써 절대 축소량이 매우 미소한 값을 고려할 때 매우 근사한 결과를 나타낸 것임을 알 수 있다.

이를 정리해 보면 기둥 C1, C2, C3 그리고 코어월의 경우는 13층과 48층에서는 매우 근사한 결과를 보이는 한편 초고층의 횡 변위를 제어하기 위해 아웃리거가 설치된 33층에서는 다소 큰 차이를 나타낸 것을 알 수 있다. 이는 초고층 건물에 있어서 횡 변위를 제어하기 위해 설치된 아웃리거의 큰 강성으로 인한 골조거동이 기둥 축소현상과 같은 장기 변형을 억제하는 것으로 판단되며, 한편 측정결과와 해석결과에 대한 큰 차이는 전산해석을 통한 축소량 산출시 구조물의 골조거동을 고려하지 않고 단지 개별 부재 단위에 대해서 축소량을 산출하는 방법으로 인해 실제 구조물의 거동을 고려하지 못함에서 발생하는 오류인 것으로 판단된다.

Table 4 Comparison with measurement data and analytical results about column shortening (mm)

Member	C1			C2			C3			Core wall (W1 & W2)		
	Measurement data	Analytical results	Difference (%)	Measurement data	Analytical results	Difference (%)	Measurement data	Analytical results	Difference (%)	Measurement data	Analytical results	Difference (%)
13 Floor	1.626	1.410	115 %	1.479	1.420	104 %	1.310	1.300	101 %	1.624	1.560	104 %
33 Floor	0.499	0.880	57 %	0.356	0.880	41 %	0.467	0.840	56 %	0.745	1.100	68 %
48 Floor	0.385	0.410	94 %	0.492	0.560	88 %	0.588	0.690	86 %	0.863	0.800	108 %

5. 결 론

SRC 재료를 사용하는 초고층 건물의 축소량 산출을 위해 적용하는 기존의 방법에 대한 정확성을 평가하고자, 해석모델을 선정하여 축소량을 측정하고, 이에 대해 기존까지 연구되어온 축소량 예측을 위한 전산해석 프로그램을 적용하여 그 해석결과를 측정값과 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 기둥 C1~C3, 그리고 코어월(W1 & W2)에 대해 측정 결과와 해석결과를 비교한 결과, 13층에서는 1% ~ 15% 범위의 축소량 차이를 나타냈고 48층에서는 6% ~ 14% 범위의 축소량 차이를 나타냈다. 이는 축소량이 상대적으로 미소한 값을 감안할 때 비교적 근사한 결과를 나타낸 것으로 판단된다.
- 2) 그러나 아웃리거가 설치되어 있는 33층의 경우, 기둥 C1~C3, 그리고 코어월(W1 & W2)에 대한 측정결과와 해석결과를 비교한 바, 32% ~ 59%에 이르는 비교적 큰 축소량 차이를 나타냈다. 이는 전산해석을 통한 축소량 산출시 구조물의 골조거동을 고려하지 않고 단지 개별 부재 단위에 대해서 축소량을 산출하는 방법으로 인해 발생하는 오류인 것으로 판단된다.

- 3) 따라서 기존의 철근콘크리트를 토대로 구성된 축소량 예측 알고리즘은 SRC 부재의 축소량 산출을 위해 적용되어도 큰 무리가 없을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 정은호, 김희철, “초고층 구조물 기둥축소량 계산을 위한 프로그램 개발에 관한 연구”, 대한건축학회논문집 제 13권 11호, 1997, 11, pp.311~322.
2. 정은호, 김희철, “초고층 구조물의 수직구조부재 축소량에 영향을 미치는 요소에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 제14권 1월, 1998, 1, pp.277~288.
3. 정은호, 김희철, “지진하중에 의한 초고층 건물의 기둥 축소효과와 구조적 영향”, 한국지진공학학회논문집 제1권 3호, 1997. 12, pp.59~68.
4. American Concrete Institute, “Building Code Requirements for Reinforced Concrete,” ACI 318- 89, American Concrete Institute, 1992.
5. Fintel M, Iyengar S H, and Gosh, S K, “Column shortening in tall structures prediction and compensation,” Publication EB108D, Portland Cement Association, Skokie, IL, 1986.

요 약

철골철근콘크리트(SRC)가 초고층 건물에서 광범위하게 사용되고 있음에도 불구하고 SRC 구조부재에 대해 축소량 예측을 위한 도구는 철근콘크리트에 대한 재료적인 특성만으로 구성된 이론식을 적용하는 많은 문제를 안고 있다. 따라서 본 연구는 초고층 건물의 기둥 축소량을 계산하는 기존의 방법에 대해 정확성을 평가하였다. 연구의 진행 방법은 다음과 같다. 우선 SRC 구조부재를 사용하여 만들어진 초고층 건물의 기둥축소에 대한 실측자료를 선정하였다. 다음으로는 전산해석 프로그램을 이용하여 SRC 구조부재에 대해 기둥 축소량을 계산하였다. 끝으로 측정자료와 해석자료를 비교하였다. 결론적으로 측정자료와 해석자료는 매우 근사한 차이를 나타냈다. 그러므로 기존의 방법은 SRC 구조부재를 사용하는 초고층 건물의 기둥 축소량을 평가하기 위해 사용되어도 될 것으로 사료된다

핵심용어 : 철골철근콘크리트, 초고층 건물, 기둥축소량