



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

기둥축소량 해석모델의 부등축소량 비교

Differential Shortening Comparison of
Column Shortening Analysis Models

지도교수 박 수 용



2009년 2월

한국해양대학교 대학원

해양건축공학과

백 재 학

本 論 文 을 白 宰 鶴 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로
認 准 함.

委 員 長 工 學 博 士 朴 同 天 (印)

委 員 工 學 博 士 朴 秀 鎔 (印)

委 員 工 學 博 士 都 根 永 (印)



2009年 2月

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

목 차

목 차	i
표목차	iii
그림목차	iv
ABSTRACT	vii
1. 서론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 연구동향	3
1.3 연구범위 및 방법	4
2. 기동축소량 계산식의 비교	6
2.1 기동축소량 일반사항	6
2.2 탄성 축소량	10
2.3 크리프 축소량	11
2.3.1 ACI 제안식과 PCA 제안식	11
2.4 건조수축 축소량	13
2.4.1 ACI 제안식과 PCA 제안식	13
3. 기동축소량 현장계측데이터	16
3.1 건물개요	16
3.2 현장계측도면	17
3.3 현장계측데이터	18

4. 기동축소량 해석모델	21
4.1 입력자료	21
4.1.1 기동축소량 해석위치	21
4.1.2 콘크리트 재료특성	22
4.1.3 입력하중 및 시공공정 일정표	24
4.2 기동축소량 해석결과	33
4.2.1 PCA 모델식에 의한 해석결과	33
4.2.2 ACI 모델식에 의한 해석결과	41
4.3 현장계측치와 비교분석	49
4.4 부등축소량 비교	52
4.4.1 PCA 모델식에 의한 부등축소량	52
4.4.2 ACI 모델식에 의한 부등축소량	56
4.4.3 PCA 모델식과 ACI 모델식의 부등축소량 비교	59
5. 결론	63
참고문헌	65



표 목 차

표 3.1 해운대 우동 L 건물 개요	17
표 3.2 센서 No.1~No.22 현장계측 DATA	19
표 3.3 센서 No.23~No.38 현장계측 DATA	20
표 4.1 콘크리트 압축강도	22
표 4.2 극한건조수축 계수	23
표 4.3 C1A기둥 하중의 크기	25
표 4.4 C4기둥 하중의 크기	26
표 4.5 C6기둥 하중의 크기	27
표 4.6 C9기둥 하중의 크기	28
표 4.7 C12기둥 하중의 크기	29
표 4.8 W1벽체 하중의 크기	30
표 4.9 시공 및 하중재하 계획	31
표 4.10 PCA 모델식에 의한 해석결과	34
표 4.11 ACI 모델식에 의한 해석결과	41
표 4.12 PCA 모델식에 의한 부등축소량	53
표 4.13 ACI 모델식에 의한 부등축소량	56
표 4.14 PCA 모델식과 ACI 모델식의 부등축소량 비교	60

그림 목 차

그림 2.1 기동축소량에 영향을 미치는 요인	7
그림 3.1 해운대 우동 L 건물 모델링	16
그림 3.2 기준층 계측기 설치위치도	17
그림 4.1 기동축소량 해석위치도(기준층)	21
그림 4.2 슬래브하중	24
그림 4.3 바닥마감하중	24
그림 4.4 칸막이마감하중	24
그림 4.5 활하중	24
그림 4.6 시공 및 하중재하 계획도	32
그림 4.7 C1A의 탄성축소량(PCA)	35
그림 4.8 C1A의 크리프축소량(PCA)	35
그림 4.9 C1A의 건조수축축소량(PCA)	35
그림 4.10 C1A의 전체축소량(PCA)	35
그림 4.11 C4의 탄성축소량(PCA)	36
그림 4.12 C4의 크리프축소량(PCA)	36
그림 4.13 C4의 건조수축축소량(PCA)	36
그림 4.14 C4의 전체축소량(PCA)	36
그림 4.15 C6의 탄성축소량(PCA)	37
그림 4.16 C6의 크리프축소량(PCA)	37
그림 4.17 C6의 건조수축축소량(PC)	37
그림 4.18 C6의 전체축소량(PCA)	37
그림 4.19 C9의 탄성축소량(PCA)	38
그림 4.20 C9의 크리프축소량(PCA)	38
그림 4.21 C9의 건조수축축소량(PC)	38

그림 4.22 C9의 전체축소량(PCA)	38
그림 4.23 C12의 탄성축소량(PCA)	39
그림 4.24 C12의 크리프축소량(PCA)	39
그림 4.25 C12의 건조수축축소량(PC	39
그림 4.26 C12의 전체축소량(PCA)	39
그림 4.27 W1의 탄성축소량(PCA)	40
그림 4.28 W1의 크리프축소량(PCA)	40
그림 4.29 W1의 건조수축축소량(PCA)	40
그림 4.30 W1의 전체축소량(PCA)	40
그림 4.31 C1A의 탄성축소량(ACI)	43
그림 4.32 C1A의 크리프축소량(ACI)	43
그림 4.33 C1A의 건조수축축소량(ACI)	43
그림 4.34 C1A의 전체축소량(ACI)	43
그림 4.35 C4의 탄성축소량(ACI)	44
그림 4.36 C4의 크리프축소량(ACI)	44
그림 4.37 C4의 건조수축축소량(ACI)	44
그림 4.38 C4의 전체축소량(ACI)	44
그림 4.39 C6의 탄성축소량(ACI)	45
그림 4.40 C6의 크리프축소량(ACI)	45
그림 4.41 C6의 건조수축축소량(ACI)	45
그림 4.42 C6의 전체축소량(ACI)	45
그림 4.43 C9의 탄성축소량(ACI)	46
그림 4.44 C9의 크리프축소량(ACI)	46
그림 4.45 C9의 건조수축축소량(ACI)	46
그림 4.46 C9의 전체축소량(ACI)	46
그림 4.47 C12의 탄성축소량(ACI)	47
그림 4.48 C12의 크리프축소량(ACI)	47

그림 4.49 C12의 건조수축축소량(ACI)	47
그림 4.50 C12의 전체축소량(ACI)	47
그림 4.51 W1의 탄성축소량(ACI)	48
그림 4.52 W1의 크리프축소량(ACI)	48
그림 4.53 W1의 건조수축축소량(ACI)	48
그림 4.54 W1의 전체축소량(ACI)	48
그림 4.55 지상 6층 C1A기둥의 변형률	49
그림 4.56 지상 6층 C6기둥의 변형률	50
그림 4.57 지상 6층 C12기둥의 변형률	50
그림 4.58 지상 6층 W1벽체의 변형률	51
그림 4.59 C4-C1A 부등축소량(PCA)	54
그림 4.60 C4-C6 부등축소량(PCA)	54
그림 4.61 C9-C6 부등축소량(PCA)	54
그림 4.62 C12-C9 부등축소량(PCA)	54
그림 4.63 C12-W1 부등축소량(PCA)	55
그림 4.64 C4-C1A 부등축소량(ACI)	57
그림 4.65 C4-C6 부등축소량(ACI)	57
그림 4.66 C9-C6 부등축소량(ACI)	57
그림 4.67 C12-C9 부등축소량(ACI)	57
그림 4.68 C12-W1 부등축소량(ACI)	58
그림 4.69 C4-C1A 부등축소량 비교	61
그림 4.70 C4-C6 부등축소량 비교	61
그림 4.71 C9-C6 부등축소량 비교	61
그림 4.72 C12-C9 부등축소량 비교	61
그림 4.73 C12-W1 부등축소량 비교	62

ABSTRACT

Differential Shortening Comparison of Column Shortening Analysis Models

Back, Jae-Hak

Dept. of Oceanic Architectural Engineering
Graduate School, Korea Maritime University

A related formula used in analyzing column shortening of tall buildings is classified into several types according to material property and environmental factor. There are some proposed formulas to calculate column shortening by ACI, PCA, CEB-FIP, B3, and so on.

Usually formulas by ACI and PCA are currently used for domestic tall buildings, but two models propose creep, which is inelastic property of concrete, and a formula for calculating drying shrinkage coefficient differently. This study performed a comparative analysis to investigate the influence on inelastic shortening using the formula by each model.

This study compared variation of formula by PCA with that of formula by ACI with variation of column and wall measured in tall buildings, and performed a comparative analysis of differential shortening between two formulas with material property of concrete applied to the field. The conclusions from this study are as follows.

1. This study presented shortenings of column and wall measured in field,

those values were compared with predictive formula of PCA and ACI models. The result showed that shortenings by field measurement was similar in value to ACI model.

2. As the result of analyzing column shortening by PCA model and ACI model, the analyzed value by ACI model was smaller than that by PCA model.

3. As the result of comparing differential shortening between PCA model and ACI model with accumulated differential shortening which was a area of differential shortening, the similarity between two formulas was about 84% ~ 95%. However, differential shortening between some columns was 48.6%, thus it was considered that there was considerably low similarity, but the shortening in two formulas was too small, so the similarity was considerably decreased owing to even a little change of shortening.

4. As the result of analyzing the differential shortening by two formulas, unlike the whole shortening, the similarity was higher, thus it is considered that it will not have great influence on compensation value of differential shortening even if other formulas are applied.

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

건물이 고층화됨에 따라 건축적으로 고려해야 될 요소와 구조적으로 고려해야 할 요소는 점점 많아진다. 특히 초고층 건물의 경우 건물의 안정성 및 사용성 확보를 위해 일반 건축물과는 다른 요소기술을 적용시켜야 할 경우가 있다. 그 중 건물의 사용성 및 구조 부재에 영향을 줄 수 있는 기동축소량 해석은 초고층 건물에 꼭 적용되어야 할 중요한 요소기술이 되고 있다.

초고층 건물의 기동축소량 해석은 건물의 구조적 안정성의 관점과 사용성 관점으로 나누어 볼 수 있다. 구조적인 관점에서 볼 때 기동축소량 해석은 기동과 기동 사이, 또는 코어벽체와 기동사이의 연결부에 발생할 수 있는 부등축소의 영향으로 인해 부가응력을 유발할 수 있다. 특히 이러한 부가응력은 건물이 높아짐에 따라 더 큰 문제를 발생시킬 수 있다. 또한 사용성 관점으로 볼 때 기동축소량은 칸막이 벽체의 기울어짐이나 커튼월의 균열, 그리고 엘리베이터의 레일 및 설비배관 등에 많은 영향을 줄 수 있다. 따라서 기동축소량에 의한 구조적 사용적인 문제에 대한 영향은 축소량을 정확히 예측하고 시공시 그 영향을 반영하여 문제를 없앨 수 있도록 하여야 한다.

초고층 건물의 기동축소량 해석시 사용되는 관련식은 재료의 특성 및 환경적인 요인에 따라 제안하는 식이 여러 가지로 나누어져 있다. 특히 기동축소량 해석시 비탄성 축소량에 영향을 미치는 크리프와 건조수축은 나라마다 또는 기준마다 약간씩의 차이가 있다. 따라서 초고층 건물의 시공시 사용되는 콘크리트의 재료는 동일한 재료를 사용하더라도 자연적인 요인 또는 인위적인 요인에 의해 재료의 성질에 차이가 날 수 있다.

기동축소량 해석시 사용되는 재료의 특성치는 여러 가지 제안식에 따라 차이가 발생하게 된다. 실제 재료의 특성을 정확히 측정하여 현장에서 적용되는 값

들에 대한 제안식을 현장에서 작성하여 반영한다면 시공시 발생할 수 있는 축소량과 재료의 특성이 반영된 기동축소량 제안식에 의한 해석오차를 줄일 수 있을 것이다. 하지만 초고층 건물에 사용되는 콘크리트는 물, 시멘트, 골재 및 여러 가지 혼화재에 의해 정확한 재료적 특성을 예측하기 힘들다. 따라서 이러한 재료적 성질을 통계적인 특성에 의해 여러 가지 표본을 조사하여 반영한 것이 기동축소량 제안식이다.

이러한 제안식은 크게 미국의 ACI(American Concrete Institution)에서 제안하는 제안식과 ACI모델의 기초인 PCA(Portland Cement Association)에 의한 제안식, 그리고 유럽에서 사용하는 CEB-FIP의 제안식 및 B3 모델에 의한 제안식 등 여러 가지가 있다. 특히 현재 국내의 초고층 건물에 사용하는 기동축소량 해석식은 ACI에서 제안하는 식과 PCA에서 제안하는 식을 주로 사용하고 있다.

기동축소량 해석에 사용되는 제안식 중 탄성축소에 사용되는 제안식의 경우에는 모두 콘크리트의 탄성계수를 산정하는 방식이 약간 다를 뿐 계산하는 방식에 대해서는 모두 동일한 식을 사용하고 있다. 하지만 비탄성 축소에 해당하는 건조수축 및 크리프 축소량의 경우에는 위에서 사용되는 제안식에 따라 해석결과가 차이나며, 이러한 콘크리트의 비탄성 특성에 대한 제안식은 건물의 부등축소량에도 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. 그리고 부등축소량값의 변화는 기동축소량 보정값에도 영향을 주게 된다. 따라서 각각의 제안식에 따라 동일한 위치에서의 해석결과가 어떻게 변화되는지 비교해 보아야 한다.

본 논문에서는 기 시공된 초고층 건물의 기동 및 전단벽의 계측치를 토대로 하여 국내에서 주로 사용하는 ACI 모델식과 PCA 모델식에서 제시하는 제안식에 따른 기동축소량의 해석을 실시한다. 그리고 기동축소량 해석결과에 따라 콘크리트의 비탄성특성이 기동축소량 해석에 어떤 영향을 주는지 고찰하며, 모델식과 현장계측치를 비교 검토하고 기동축소량 보정값에 영향을 주는 부등축소량의 변화도를 분석하고자 한다.

1.2 연구동향

초고층 건물에서 기둥축소현상은 콘크리트라는 재료의 발전과 더불어 같이 발전되어 왔다. 콘크리트라는 재료의 기둥축소현상의 발견은 콘크리트가 개발되자 바로 발견된 것은 아니다. 단지 초기에는 콘크리트라는 재료가 물, 시멘트, 골재라는 3가지의 재료를 적당한 배합비를 토대로 만들어진 재료로 이에 대한 재료적 특성을 연구하였으며, 이러한 재료가 고층건물에 적용되어지면서 수직하중에 대한 영향이 골재가 받음으로 인해 발생할 수 있는 여러 가지 영향에 대해 연구하게 되었다.

실제 기둥축소량에 대한 연구는 1960년대 미국의 Fintel과 Khan[1]에 의해 기둥의 비탄성 축소량을 소개되었다. Fintel과 Khan에 의해 연구된 기둥축소량은 시카고의 3150 Lake Shore Drive 34층 철근콘크리트 건물로써 19년동안 기둥축소에 대한 영향을 측정하였으며, 측정된 값을 알고리즘에 의해 비교하여 발표하였다. 또한 Fintel, Ghosh와 Iyengar[2]는 Water Tower Place 76층 건물을 5년여 동안 현장계측하여 기둥축소량 해석프로그램을 개발하였다.

국내에서도 1993년 삼성건설이 말레이시아의 KLCC에서 발주한 페트로나스트윈타워를 시공하며 기둥축소에 대한 연구를 하였으며, 1997년에는 송화철, 정석창[3][4]등에 의해 PCA(Portland Cement Association)의 재료특성을 기반으로 한 기둥축소량 프로그램인 CSA(Column Shortening Analysis)를 개발하였다. 개발된 CSA 프로그램을 통해서 Plaza Rakyat 오피스동에 대한 기둥축소에 대한 해석을 수행하여 그 적용성을 입증하였다.

2000년대를 넘어서면서 국내에서도 많은 초고층 건물이 지어지기 시작하였다. 2002년에는 조석희, 김한수, 김도균[5]에 의해 지하 6층, 지상 69층 규모의 목동 하이패리온 아파트의 SRC기둥과 코어월에 대한 현장계측 및 기둥축소해석을 수행하였으며, 2004년에는 김육중, 홍성현[6]이 37층 규모의 구의 아크로리버를 현장계측하여 기둥축소량 해석을 수행한 결과를 연구보고서로 제출하였

으며, 2005년에는 송화철, 도근영, 조훈희 [7]에 의해 37층 주상복합건물의 SRC 기둥에 대한 현장계측 및 보정법에 대한 논문을 제출하였다. 2007년에는 하태훈 [8]에 의해 부산의 해운대에 지어진 39층 건물에 대한 기둥축소량 계측 및 해석을 수행하여 발표하였다. 2000년 이후 우리나라에서도 여러 현장에서 기둥축소량에 대한 현장계측 및 해석을 실시하여 보정을 하고 있다. 실제 기둥축소량 해석에 사용되는 식은 여러 가지가 있다. 하지만 기둥축소량 해석식에 따라 기둥축소량에 영향을 미치는 값의 차이가 크게 혹은 작게 나타날 수 있으며, 이러한 영향은 건물의 안전성 및 사용성에 영향을 주는 부등축소량에서도 영향이 미칠수 있다.

기둥축소량의 해석에 사용되는 제안식은 여러 가지가 있다. ACI(American Concrete Institute)에서 제안하는 ACI모델식 [9]과 PCA(Portland Cement Association)에서 제안하는 PCA모델식 [2], 그리고 유럽에서 사용되는 CEB [10] 모델식이 있다. 그리고 Bazant와 Panula가 제안한 BP모델식 [11], Bazant와 Baweja가 제안한 B3모델식 [12] 등이 있다.

각 모델에 의해 제안된 해석식은 콘크리트의 특성을 연구하여 제안한 것으로 현재 국내에서는 ACI 모델식과 PCA 모델식을 주로 사용하고 있는 실정이다. 하지만 기둥축소량 해석의 경우 재료의 성향만을 가지고 예측식을 만들기 때문에 위에서 제안한 여러 가지 식에 따라 실제 기둥축소량의 해석치 결과에 상당한 영향을 미칠수 있다. 따라서 여러가지 모델식에 의한 축소량 비교를 통해 기둥축소량 해석에 어떠한 영향을 미치는지 비교고찰해 볼 필요가 있다.

1.3 연구범위 및 방법

본 논문은 초고층 건물의 기둥축소량 해석을 PCA 모델식과 ACI 모델식에 의한 기둥축소량 해석을 실시하여 기둥과 기둥, 기둥과 벽체에 발생하는 부등축소량의 영향을 살펴보기 해석을 수행하였다. 따라서 현장에 적용된 재료적

특성을 기초로 하여 기동축소량 해석을 수행하여 두 모델식간의 유사성이 어떻게 나타나는지 알아보기 위해 비교분석하였다.

본 논문의 내용을 간략히 정리하면 다음과 같다.

2장에서는 기동축소량의 일반적인 내용을 소개하며, PCA 모델식과 ACI 모델식에 대한 해석식을 소개한다.

3장에서는 기동축소량 해석을 하기 위한 건물에 대한 개요 및 현장에서 계측된 기동과 벽체의 변형량을 보여준다.

4장에서는 기동축소량 해석에 필요한 해석모델에 대한 입력자료 및 재료적 특성을 소개하고 현재 적용된 건물의 하중에 대한 소개한다. 또한 PCA 모델식과 ACI 모델식에 의한 기동축소량 해석결과와 현장계측치를 비교분석하였으며 두 모델식에 의한 유사성을 검토한다.

5장에서는 본 연구를 통해서 얻은 결론을 서술하였다.



2. 기동축소량 계산식의 비교

2.1 기동축소량 일반사항

초고층건물의 기동과 전단벽과 같은 수직부재에 발생하는 축소는 크게 탄성 축소와 비탄성축소로 나눌 수 있다. 비탄성축소는 다시 크리프 축소와 건조수축에 의한 축소로 나누어 해석한다. 비탄성축소를 일으키는 크리프와 건조수축은 골재의 형태와 입도, 시멘트의 양과 성분 등의 영향을 받는 콘크리트 강도와 상대습도 및 부재의 크기와 형상, 철근량과 배근상태, 타설시간 등에 많은 영향을 받는다. 이러한 비탄성축소는 구조물에 과도한 처짐을 발생시킬 수 있으며, 이러한 영향으로 슬래브의 기울어짐이나 균열, 그리고 커튼월의 파손, 설비 배관시설의 변형 및 구조부재에 부가응력을 유발하는 등 구조물의 안전성과 사용성에 많은 영향을 끼친다.

일반적으로 탄성 축소량보다 크리프변형과 건조수축변형을 합한 비탄성 축소량이 더 큰 것으로 나타난다. 따라서, 철근콘크리트 초고층 구조물에서는 비탄성 축소량은 탄성축소량과 달리 예측하기 어렵고 기동축소량 예측식을 통해 해석을 한다고 하더라도 물리적, 환경적 요인들에 의해 정확한 예측이 어렵다.

콘크리트에 발생하는 기동축소량의 영향 중 가장 중요한 요인은 부등축소량의 유발이다. 앞서 언급한 것과 같이 기동축소량은 탄성축소량과 비탄성축소량인 크리프 축소량과 건조수축 축소량의 나누어 나타내고 있다. 이러한 축소량은 타설시점에 따라 슬래브 타설 이전의 시점과 슬래브를 치고 난 이후인 슬래브 타설 이후의 시점으로 나누어 나타낸다. 슬래브 타설 이전의 시점이란 현장 시공시 슬래브 타설 이전에 각층의 바닥레벨을 수평으로 맞추기 위한 작업을 하는데 이때는 하부층의 기동에 축소가 발생하여도 상부층의 슬래브에서 수평레벨작업을 실시하므로 저절로 상부층에서는 보정이 되는 상태를 말한다. 하지만 슬래브 타설 이후에 발생하는 축소량은 슬래브 타설 이전시점에서 수평레벨

작업으로 저절로 보정이 된 이후에 발생하는 축소량으로 기동축소량 해석이나 보정시 가장 중요한 요소이다. 특히 탄성축소량의 슬래브 타설 이후의 축소량은 콘크리트의 탄성특징을 그대로 반영한 것으로 예측이 비교적 쉽고 간단하나 크리프 및 건조수축의 경우 여러 가지 요인에 의해 수축량이 결정되므로 예측이 까다롭고 어려운 실정이다.

따라서 기동축소량의 부등축소량을 유발하는 가장 큰 요인인 크리프와 건조수축 축소량에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이에 따라 기동축소량 예측식의 해석방법이 결정되고 있다.

그림 2.1은 기동축소량에 영향을 미치는 탄성축소량, 크리프 축소량, 건조수축 축소량의 영향요소를 나타낸 것이다.



그림 2.1 기동축소량에 영향을 미치는 요인

1) 작용 하중

기동에 작용하는 하중은 기동축소량 해석에 가장 큰 영향을 미친다. 탄성축소의 경우 콘크리트는 탄성한계 내에서 응력과 변형이 비례하므로 비교적 예측

이 쉽다. 탄성변형에 의한 부등축소를 줄이기 위해서는 작용하중에 따라 기둥의 단면적을 적절하게 세분화함으로써 작용응력을 맞추어 구조계획을 함으로써 부등축소량을 상당히 감소시킬 수 있다.

2) 콘크리트 강도

건축물의 초고층화는 기둥에 작용하는 수직하중은 콘크리트의 강도증가를 수반하게 되어 고강도 콘크리트의 사용이 불가피하게 된다. 콘크리트 강도는 탄성 축소량 뿐만 아니라 크리프 및 건조수축 축소량에도 큰 영향을 미치므로 정확한 강도 산정을 위하여 현장타설시 콘크리트의 재료시험을 통해 기둥축소량 해석시 강도값을 적용하며, 현장 강도시험이 이루어지지 않는 경우에는 설계기준강도를 기준으로 적용한다.

3) 극한 건조수축계수

극한 건조수축계수의 증가에 따라 총 축소량은 일정한 비율로 증가하게 된다. 이 값은 축소량을 결정하는 다른 매개변수에는 영향을 미치지 않고 독립적으로 작용하는 변수이다. 일반적으로 PCA에서는 $500\sim 800\mu\text{in/in}$ 값을 적용하도록 제안하고 있으며, 극한 건조수축계수는 타설된 콘크리트에 따라 큰 차이를 보이므로 시험을 통하여 얻어진 값을 적용하는 것이 일반적이다.

4) 특정 크리프계수

특정 크리프계수는 일반적으로 강도가 커질수록 작아진다. 특정 크리프계수가 커질수록 크리프에 의한 기둥 축소량은 커진다. ACI에서 제안하는 수치는 $3\sim 5/f_{ck} \text{ in/in/psi}$ 이나, 콘크리트의 재료시험을 통하여 얻어진 값을 적용하여 정확한 크리프 축소량을 예측하여야 한다.

5) 시공시점

시공 공정에 따라 골조는 상부로 올라가게 되고 각 기둥에 재하되는 하중은

변화하게 된다. 이것은 탄성축소와 크리프 축소에 영향을 미치게 된다. 또한, 콘크리트 타설 후의 축소량은 하중의 증가와 무관하게 시간이 경과함에 따라, 지속적으로 진행되므로 각 층간 시공시간 및 누적 시공시간은 기둥축소량 해석에 영향을 미치는 주요한 변수가 된다.

6) 체적-표면적비

체적-표면적비(v/s)는 탄성 축소량에는 영향을 미치지 않고, 비탄성 축소량에 영향을 미치며, 크리프에 의한 축소량보다는 건조수축에 의한 축소량에 더 큰 영향을 미치는 인자로서 작용한다. 체적-표면적비가 클수록 건조수축에 의한 수축값이 작아진다. 즉, 수직부재의 단면적이 같고 응력상태가 같을 경우 정방형 단면보다는 장방형 단면을 가진 부재가 더 큰 축소량을 갖게 된다.

7) 철근비

철근비는 탄성 축소량 및 비탄성 축소량 모두에 영향을 미친다. 기둥의 최대 철근비에서 최소철근비에 따라 총 축소량이 50% 이상이 차이가 나는 것으로 알려져 있다.

2.2 탄성 축소량

기동축소량의 탄성축소량은 식 2.1과 같다. 탄성 축소량은 건물이 건설되면서 누적되는 하중과 시간의 변화에 따른 기동의 변환단면적, 층고, 시간에 따른 콘크리트 탄성계수의 변화에 의해 구해진다.

$$\Delta_{EL} = \sum \frac{P \times h}{A_t \times E_{ct}} \quad (2.1)$$

여기서 P 는 작용하중, A_t 는 시간 종속적 기동의 변환단면적, h 는 층고, E_{ct} 는 콘크리트 탄성계수를 나타낸다.

시간 종속적 기동의 변환단면적과 콘크리트 탄성계수에 대한 값은 다음과 같이 계산된다.

$$A_t = A_g + A_s \times (n_t - 1) \quad (2.2)$$

$$n_t = \frac{E_s}{E_{ct}} \quad (2.3)$$

$$E_{ct} = 33w_c^{1.5} \sqrt{f_{ck}} \quad (2.4)$$

$$f_{ct} = f_{28} \times \frac{t_{la}}{4 + 0.85t_{la}} \quad (2.5)$$

여기서 A_g 는 기동의 전체단면적, A_s 는 철근의 단면적, E_s 는 철근의 탄성계수, n_t 는 시간 종속적 탄성계수비, w 는 콘크리트의 밀도(kg/m^3), f_{ct} 는 콘크리트의 강도(psi), f_{28} 는 콘크리트의 28일 재령강도(psi), t_{la} 는 콘크리트 재령일을 나타낸다.

2.3 크리프 축소량

크리프 축소량은 콘크리트가 지속적인 하중을 받을 때 시간의 경과에 따라 변형이 지속되는 현상으로 기본크리프와 건조크리프가 있다. 기본크리프는 수분 평형 상태에서 발생하는 것으로서 주위 환경과 어떠한 수분의 이동도 없을 때 발생하는 크리프를 의미한다. 반면 건조 크리프는 하중을 받는 부재와 주위 환경과의 수분교환에 의해 발생하는 것으로서 재하 초기에만 영향을 끼친다. ACI Model과 PCA Model의 식을 각각 사용하여 크리프 축소량 계산시 특정 계수를 각 Model에 맞는 식을 이용하여 계산한다.

2.3.1 ACI 제안식과 PCA 제안식

크리프 축소량을 계산하는 식은 슬래브 타설이전과 슬래브 타설이후의 크리프 축소량으로 나눈다. 식 2.6은 슬래브타설 이전, 식 2.7은 타설 이후의 크리프 축소량을 나타내며 ACI Model과 PCA Model에서 동일하게 사용된다. 각 계수 중에 하중작용시점의 재령효과와 체적-표면적비 효과 계수에 대해서만 다른 계산식을 사용하고 그 외의 계수들은 동일한 식을 사용한다.

$$\Delta_{CR}^{UPTO} = \sum (P/A_t) \times C_u \times CR_t \times h \times CR_{la} \times CR_{vs} \times CR_{RH} \times CR_s \quad (2.6)$$

$$\Delta_{CR}^{SUBTO} = \sum (P/A_t) \times C_u \times (1 - CR_t) \times h \times CR_{la} \times CR_{vs} \times CR_{RH} \times CR_s \quad (2.7)$$

여기서 P는 작용하중, A_t 는 시간 종속적 기둥의 변환단면적, C_u 는 특정크리프계수, CR_{la} 는 하중작용시점의 재령효과, CR_t 는 시간에 대한 크리프 비율, CR_{vs} 는 체적-표면적비 효과, CR_{RH} 는 상대습도 효과, CR_s 는 철근비 효과를 나타낸다.

각 계수들은 다음과 같이 계산된다.

$$CR_t = \frac{t^{0.6}}{10 + t^{0.6}} \quad (2.8)$$

$$\text{ACI Model : } CR_{la} = 1.25(t_{la})^{-0.118} \quad (2.9)$$

$$\text{PCA Model : } CR_{la} = 2.3(t_{la})^{-0.25} \quad (2.10)$$

$$\text{ACI Model : } CR_{vs} = \frac{2}{3}(1 + 1.13e^{-0.54v/s}) \quad (2.11)$$

$$\text{PCA Model : } CR_{vs} = \frac{0.044(v/s) + 0.934}{0.10(v/s) + 0.85} \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} CR_{RH} &= 1.0 && (RH < 40) \\ &= 1.40 - 0.01 \times RH && (RH \geq 40) \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$\begin{aligned} CR_s &= 1 - \exp[-\rho \times n_t \times C_u \times CR_{la} \times CR_{vs} \times E_{ct} / (1 + \rho \times n)] \\ & / [(C_u \times CR_{la} \times CR_{vs}) \times E_s \times \rho] \end{aligned} \quad (2.14)$$

여기서 E_s 는 철근의 탄성계수, E_{ct} 는 콘크리트의 탄성계수, t_{la} 는 콘크리트의 재령일, (v/s) 는 체적-표면적비, RH 는 상대습도, ρ 는 철근비를 나타낸다.

크리프에 대한 전체 축소량은 슬래브타설 이전과 타설 이후에 대한 합으로 ACI Model식과 PCA Model식에서 같이 사용되며 다음 식 2.15와 같다.

$$\Delta_{CR} = \Delta_{CR}^{UPTO} + \Delta_{CR}^{SUBTO} \quad (2.15)$$

2.4 건조수축 축소량

건조수축 축소량은 콘크리트 타설 후 부재내의 수분증발에 의해서 부재가 축소하는 현상으로 진행속도는 초기재령에서 높으며 재령이 증가함에 따라 진행속도가 느려진다. 또한 건조수축은 콘크리트 재령뿐만 아니라 주위환경의 상대습도, 부재크기, 콘크리트 배합비 등에 의해 많은 영향을 받는다. 크리프 축소량과 마찬가지로 ACI Model과 PCA Model의 식을 각각 사용하여 건조수축 축소량 계산시 특정 계수를 각 Model에 맞는 식을 이용하여 계산한다.

2.4.1 ACI 제안식과 PCA 제안식

건조수축 축소량을 계산하는 식은 크리프 축소량과 마찬가지로 슬래브 타설 이전과 슬래브 타설이후의 건조수축 축소량으로 나눈다. 식 2.16은 슬래브타설 이전, 식 2.17은 타설 이후의 건조수축 축소량을 나타내며 ACI Model과 PCA Model에서 동일하게 사용된다. 각 계수중에 체적-표면적비 효과 계수에 대해서만 다른 계산식을 사용하고 그 외의 계수들은 동일한 식을 사용한다.

$$\Delta_{SH}^{UPTO} = \sum \varepsilon_{shu} \times SH_t \times SH_{vs} \times SH_{RH} \times SH_{sr} \times h \quad (2.16)$$

$$\Delta_{SH}^{SUBTO} = \sum \varepsilon_{shu} \times (1 - SH_t) \times SH_{vs} \times SH_{RH} \times SH_{sr} \times h \quad (2.17)$$

여기서 ε_{shu} 는 극한건조수축 변형, SH_{vs} 는 체적-표면적비 효과, SH_{RH} 는 상대습도 효과, SH_{sr} 는 철근비 효과, SH_t 는 시간에 대한 건조수축 비율, h 는 층고를 나타낸다.

각 계수들은 다음과 같이 계산된다.

$$SH_t = \frac{t_s}{35 + t_s} \quad (2.18)$$

$$\text{ACI Model} : SH_{vs} = 1.2^{-0.12v/s} \quad (2.19)$$

$$\text{PCA Model} : SH_{vs} = \frac{0.037(v/s) + 0.944}{0.177(v/s) + 0.734} \quad (2.20)$$

$$\begin{aligned} SH_{RH} &= 1.0 && (RH < 40) \\ &= 1.40 - 0.01 \times RH && (40 \leq RH < 80) \\ &= 3.00 - 0.03 \times RH && (80 \leq RH) \end{aligned} \quad (2.21)$$

$$\begin{aligned} SH_{sr} &= 1 - \exp[-\rho \times n_t \times C_u \times CR_{la} \times CR_{vs} \times E_{ct} / (1 + \rho \times n_t)] \\ & \quad / [(C_u \times CR_{la} \times CR_{vs}) \times E_s \times \rho] \end{aligned} \quad (2.22)$$

여기서 RH 는 상대습도, (v/s) 는 체적-표면적비, t_s 는 타설 후 경과시간(일), ρ 는 철근비, C_u 는 특정크리프계수, CR_{la} 는 하중작용시점의 재령효과, CR_{vs} 는 체적-표면적비 효과, E_{ct} 는 콘크리트의 탄성계수, E_s 는 철근의 탄성계수를 나타낸다.

식 2.18의 시간에 대한 건조수축 비율을 나타내는 계수 SH_t 는 ACI 209에서 제시하는 식으로, PCA에서는 식 2.23과 같이 다른 식을 제안하고 있다. PCA에서는 체적-표면적비가 커짐에 따라 시간에 대한 건조수축의 진행이 느려지는 것을 고려한 Hansen-Mattock의 식을 사용하고 있다.

$$SH_t = \frac{t}{26e^{0.36v/s} + t} \quad (2.23)$$

Hansen-Mattock의 식은 체적-표면적비가 1in.~6in. 사이의 실험체를 대상으로 해 얻은 식으로써, 체적-표면적비가 초고층건물에서처럼 상당히 증가할 경

우 건조수축량은 비현실적인 값이 계산된다. 따라서 본 논문에서는 PCA Model에 의한 건조수축 축소량 계산시에도 시간에 대한 건조수축 비율에 대한 계수는 동일하게 ACI 209에서 제안된 식을 사용한다.

건조수축 축소량의 전체 축소량은 슬래브타설 이전과 타설 이후에 대한 합으로 ACI Model식과 PCA Model식에서 같이 사용되며 다음 식 2.24와 같다.

$$\Delta_{SH} = \Delta_{SH}^{UPTO} + \Delta_{SH}^{SUBTO} \quad (2.24)$$



3. 기둥축소량 현장계측데이터

3.1 건물개요

해운대 우동 L 건물은 철근콘크리트 구조로 지하 5층, 지상 38층의 타워 2동으로 구성되어 있다. 지하층 외부기둥은 SRC기둥, 내부기둥은 RC기둥의 구조형식을 가지며, 지상층은 일부 벽체구조형식이다. 또한 횡변위 제어를 위해 지하 5층부터 지상 4층까지는 보-기둥의 라멘구조를 도입하고, 지상 5층에서 지붕층까지는 FLAT SLAB구조로써 코어벽과 함께 횡력에 대한 구조적 안정성과 사용성을 확보하기 위한 시스템을 사용하였다. 그림 3.1은 기둥축소량 해석을 위한 건물의 모델링 모습이며, 하중 및 해석부분의 재료특성은 MIDAS GENw (ver 7.2.1) MODS[13]의 모델링 데이터를 이용하였다.

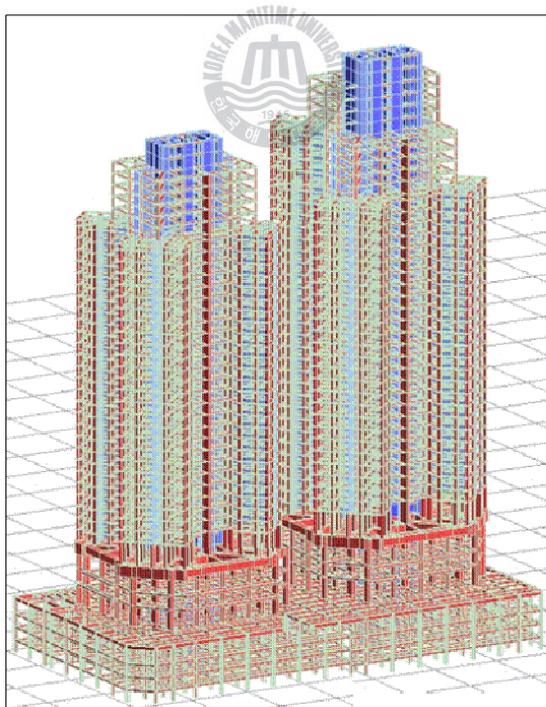


그림 3.1 해운대 우동 L 건물 모델링

표 3.1 해운대 우동 L 건물 개요

구조	철근콘크리트 구조
규모	지하 5층, 지상 38층 2개동
최고높이	131.90m

3.2 현장계측도면

본 현장계측을 위한 센서는 기둥과 코어에 진동현식을 매입하였으며 그림 3.2는 기준층의 센서 위치를 나타내고 있다. 센서는 지하 1층, 지상 3층, 지상 6층, 지상 10층등 크게 4개층으로 나누어 총 39개소를 설치하여 측정을 하였다. 그림 3.2는 기준층의 계측기 설치위치도를 나타낸다. 여기서 기준층은 지상 6층에 매입된 센서를 나타낸다.

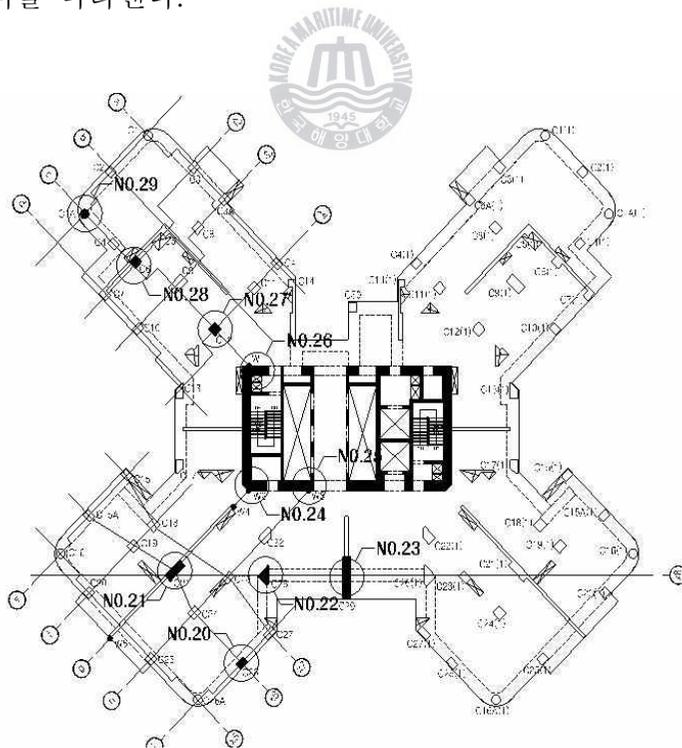


그림 3.2 기준층 계측기 설치위치도

3.3 현장계측데이터

현장계측을 위한 계측센서는 전기 저항식과 진동현식(Vibrating Wire Strain Gauge)으로 분류할 수 있다. 전기 저항식은 정밀도면에서는 뛰어나지만 습기 및 온도 변화에 민감하고 수명이 진동현식에 비해 짧다. 진동현식은 현장 계측 데이터를 수용할 수 있는 정밀도 기대치에 완벽 부합하며 습기, 온도 변화의 영향이 적어 건축 및 토목 현장 등과 같은 환경이 취약한 곳에서 주로 사용된다.

현장계측을 위한 계측기는 B동 지하1층, 지상3층, 지상6층, 지상10층에 총 39개소를 설치하였으나 계측관리 미비에 따른 파손으로 29개소의 계측기만이 계측관리가 가능하였다. 센서번호별 설치위치를 살펴보면 센서 No.1~No.10은 지하 1층에 설치되었고, 센서 No.11~No.19는 지상 3층, 센서 No.20~No.29는 지상 6층, 센서 No.30~No.39는 지상 10층에 설치되었다. 표 3.2와 표 3.3은 29개 센서의 시공현황별 현장계측데이터를 나타낸다. 현장계측은 2006년 7월 3일 시작하였으며, 2007년 8월 30일까지 약 270일간의 계측을 실시하였다. 초기 계측 데이터는 계측장비의 불량과 탑다운 시공과정으로 인해 기둥의 불확실한 지지 조건 및 복잡한 현장상황으로 매우 불규칙하였으나 수직부재의 압축이 진행됨에 따라 변형율은 전반적으로 시간이 흐르며 규칙적인 값이 나타났다.

본 논문에서 기둥축소량 해석에 사용될 계측데이터는 지상 6층에 매입된 기둥의 데이터를 사용한다.

표 3.2 센서 No.1~No.22 현장계측 DATA

계측일시	시공현황	수직부재별 계측기 번호(변형률(με))														
		C1	TC6 (1)	TC9 (1)	TC9 (4)	TC1 (1)	TC4 B	TC11	TC6 (1)	TC9 (1)	TC1 (1)	TC9 (4)	TC5 (1)	TC2 (1)	C21	C26
		NO 1	NO 2	NO 3	NO 5	NO 6	NO 9	NO 10	NO 11	NO 12	NO 14	NO 15	NO 17	NO 18	NO 21	NO 22
06.07.03	기초터파기, 1F 철근배근	2515		2631	2499	2386	2440	2353								
06.07.05	기초터파기, 1F 철근배근	2509	2409	2618	2499	2388	2424	2345								
06.07.07	기초터파기, 1F 철근배근	2507	2428	2617	2435	2388	2427	2337								
06.07.21	기초터파기, 1F 거푸집설치	2190	2428	2618	2498	2387	2426	2336								
06.07.25	기초터파기, 1F 거푸집설치	2507	2481	2618	2498	2390	2421	2339								
06.07.27	기초철근, 1F 거푸집설치	2501	2469	2615	2383	2495	2412	2339								
06.07.31	1F 거푸집해체	2501	2471	2615	2384	2495	2411	2339								
06.08.31	1F 슬라브 철근배근	2497	2468	2608	2383	2493	2407	2332								
06.09.30	3F 기동철근 및거푸집설치	2492	2465	2602	2383	2491	2407	2331								
06.10.25	3F 슬라브 철근배근	2789	2655	2941	2699	2359	2444	2300								
06.11.25	4F 형틀작업	2787	2650	2934	2681	2359	2444	2300								
06.12.04	6F 철근작업	2800	2648	2922	2677	2352	2443	2299	2338	2545	2501	2589	2494	2510		
06.12.18	7F 철근 및 거푸집작업	2800	2630	2927	2686	2345			2289	2510	2458	2553	2152	2473		
06.12.28	8F 철근 및 거푸집작업	2795	2619	2903	2659	2333	2441	2297	2266	2475	2514	2434	2122	2434		
07.01.03	9F 철근 및 거푸집작업	2795							2274	2495	2456	2546	2145	2467		
07.01.08	10F 철근작업	2795														
07.02.02	14F 철근작업	2286	2381		2629	2301	2758	2383	2218	2415	2406	2486	2102	2415		
07.02.28	18F 철근작업	2208	2358		2592	2283	2985	2486	2183	2375	2386	2456	2083	2384	2568	2687
07.03.20	22F 철근작업	2178	2311		2560	2242	3018	2519	2138	2315	2349	2390	2024	2345	2524	2641
07.04.30	27F 거푸집작업	2658	2385		2502	2195	2203	2160	2032	2201	2236	2243	1904	2256	2474	2503
07.05.29	30F 철근작업	2742	2394	2650	2445	2128	2164	2090	1954	2077	2179	2182	1884	2187	2398	2375
07.06.19	31F 철근작업	2736	2375	2630	2402	2109	2110	2047	1932	2050	2143	2150	1846	2150	2390	2351
07.07.23	35F 철근작업	2730	2354	2611	2365	2100	2099	2008	1916	2025	2137	2126	1824	2129	2383	2325
07.08.30	37F 철근작업	2713	2346		2324	2071	1991	2076	1887	1964	2104	2060	1784	2084	2361	2289

표 3.3 센서 No.23~No.38 현장계측 DATA

계측일시	시공현황	수직부재별 계측기 번호(변형률($\mu\epsilon$))														
		C29	W2	W3	W1	C12	C6	C1A	C21	C29	W2	W3	W1	C12	C6	
		NO 23	NO 24	NO 25	NO 26	NO 27	NO 28	NO 29	NO 31	NO 33	NO 34	NO 35	NO 36	NO 37	NO 38	
07.01.08	10F 철근작업									2340		2253	2317			
07.02.02	14F 철근작업															
07.02.28	18F 철근작업	2479	2563	2675	2571	2579	2591	2662	3807	2300	2492	2492	2310	2511	2612	
07.03.20	22F 철근작업	2425	2510	2616	2522	2494	2529	2605	3807	2255	2441	2467	2271	2472	2595	
07.04.30	27F 거푸집작업	2353	2436	2551	2436	2321	2491	2537	3807	2142	2356	2326	2176	2354	2523	
07.05.29	30F 철근작업	2280	2343	2448	2352	2280	2413	2433	3807	2053	2270	2292	2101	2230	2444	
07.06.19	31F 철근작업	2267	2321	2426	2322	2248	2399	2391	3767	2021	2244	2262	2130	2192	2416	
07.07.23	35F 철근작업	2257	2297	2405	2300	2220	2386	2349	3735	1987	2219	2238	2045	2163	2399	
07.08.30	37F 철근작업	2233	2259	2372	2262	2189	2360	2309	3695	1961	2179	2204	2007	2121	2367	



4. 기동축소량 해석모델

4.1 입력자료

기동축소량은 수직 구조부재에 작용하중 및 시간의 경과에 따른 재료특성에 따라 시공 이후에 점차적으로 변형이 생겨 줄어드는 현상으로 재료적 성질과 현장의 시공적 요인에 많은 받는다. 따라서 본 논문의 기동축소량 해석에 사용된 해운대 우동 L건물에 대한 재료적 특성 및 시공적 요인에 대해 살펴보면 다음과 같다.

4.1.1 기동축소량 해석위치

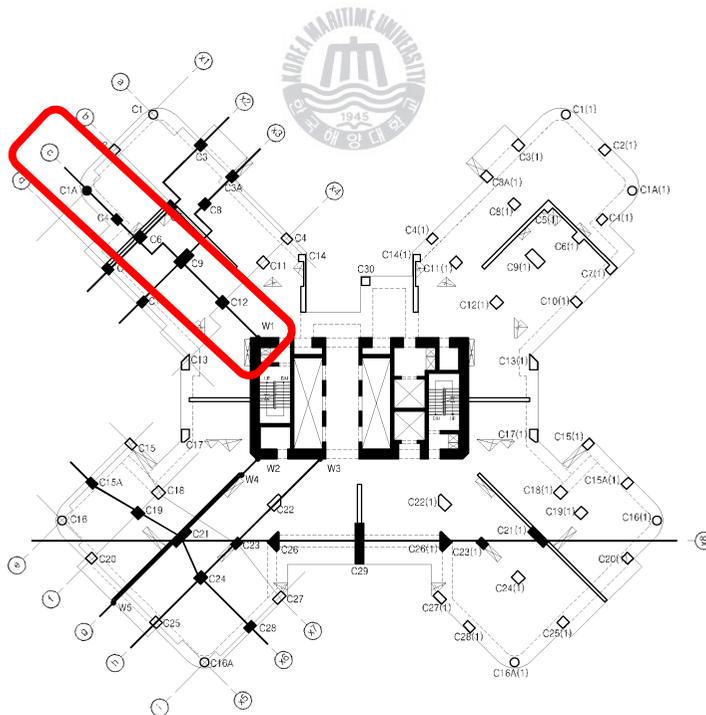


그림 4.1 기동축소량 해석위치도(기준층)

해운대 우동 L 건물에 대한 기동축소량 해석은 그림 4.1에 있는 C-LINE을 기준으로 C1A, C4, C6, C9, C12, W1을 대상으로 해석을 수행한다. 지상 4층에서 일부 기동이 보에 전이되는 전이층이 형성되는 주상복합 건물이다. 따라서 해석대상의 부재의 경우 4층 하부에서는 일부 부재가 없어지므로 본 해석은 4층 상부에서 기동축소량이 비교가 가능한 35층 하부층인 PIT-2까지의 기동축소량 해석에 대한 데이터를 비교한다. 또한 각 해석대상 부재에 대해서 ACI 모델식과 PCA 모델식에 의한 전체축소량 및 부등축소량에 대해서 비교고찰한다.

4.1.2 콘크리트 재료특성

철근콘크리트구조의 기동축소량은 주재료인 콘크리트가 양생됨에 따라 강도 및 탄성계수가 변화하므로 재령에 따라 콘크리트 강도와 탄성계수를 고려하여 탄성축소량을 구하고, 또한 장기간에 걸쳐 일어나는 크리프와 콘크리트 양생 후 발생하는 건조수축에 의한 축소량을 구하기 위해 특정크리프 계수와 건조수축 계수를 고려해야 한다.

1) 콘크리트 압축강도

해석모델에 적용한 콘크리트 압축강도는 현장실측 압축강도 결과를 적용하였으며, 주요 수직부재에 대한 압축강도가 층별로 다르게 적용되어 있다. 표 4.1에는 각 층별 적용된 콘크리트 강도를 나타내고 있다.

표 4.1 콘크리트 압축강도

층 수	설계기준강도 (kgf/cm ²)	현장실측 압축강도 (kgf/cm ²)
25F 이상	300	350
10F ~ 24F	400	450
B4F ~ 9F	500	570

2) 건조수축 계수

수직 부재 축소량 계산을 위한 입력자료인 극한 건조수축 계수는 재료실험에 의해 얻어진 값을 이용하는 것이 보다 정확한 해석이 가능하다. 일반적인 극한 건조수축계수는 $500 \sim 800 \mu \text{ in/in}$ 이지만, 콘크리트의 강도에 따라 차이가 날 수 있다. 해석모델의 경우 재료실험을 통하지 않고 ACI Committee 209 모델식을 사용하여 해석하였으며, 해석시 입력값은 표 4.2와 같다.

표 4.2 극한건조수축 계수

층 수	극한건조수축 (in/in)	비 고
25F 이상	600×10^{-6}	가정값
10F ~ 24F	700×10^{-6}	가정값
B4 ~ 9F	800×10^{-6}	가정값



3) 특정크리프 계수

일반적인 특정크리프는 $0.003 / f_{ck} \sim 0.005 / f_{ck}$ 이며, 해석모델은 ACI에서 추천하는 값으로 특정크리프 계수는 $0.004 / f_{ck}$ 를 사용하였다.

4.1.3 입력하중 및 시공공정 일정표

L 건물은 국내에서 상용되고 있는 MIDAS GENw (ver 7.2.1) MODS 프로그램 [13]을 이용하여 구조설계 되었으며 기둥축소량 해석에 입력된 하중 역시 위의 프로그램을 사용하여 그림 4.1~그림 4.4와 같이 추출하였다. 기둥골조하중은 각층의 기둥부피에 콘크리트 단위중량을 곱하여 나타내었고, 슬래브하중은 그림 4.2의 DL(S), 바닥마감하중은 그림 4.3의 DL(F), 칸막이마감하중은 그림 4.4의 DL(W), 그리고 활하중은 그림 4.5의 LL을 적용하였다.

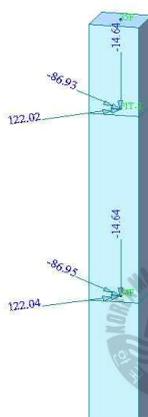
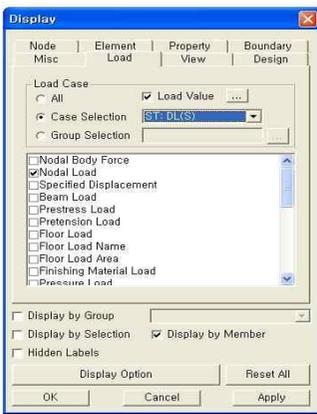


그림 4.2 슬래브하중

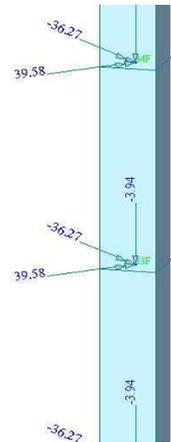
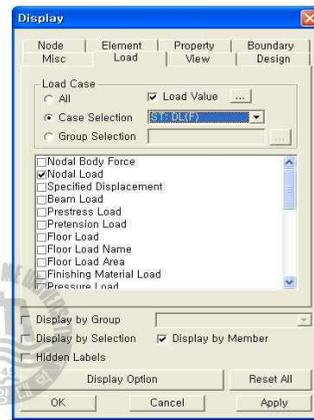


그림 4.3 바닥마감하중

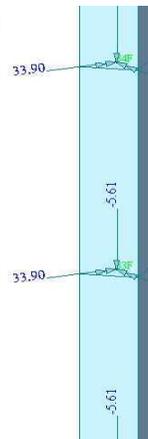
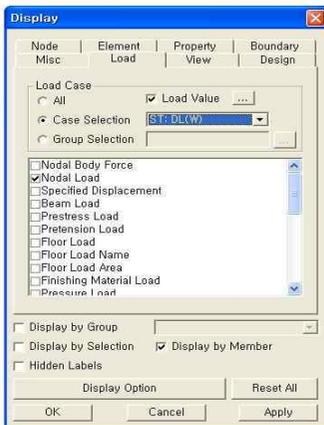


그림 4.4 칸막이마감하중

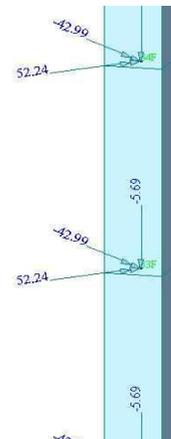
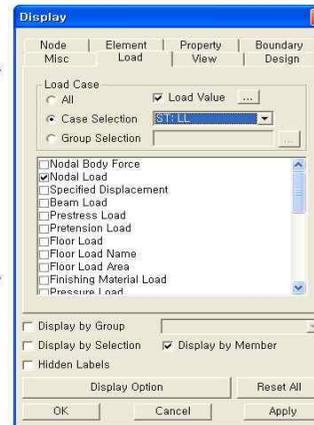


그림 4.5 활하중

해석모델인 C1A, C4, C6, C9, C12, W1의 각 층별 하중은 표 4.3에서 표 4.8과 같으며, 시공 및 하중재하 계획은 표 4.9, 그림 4.6과 같다.

표 4.3 C1A기동 하중의 크기

층 수	골조자중	슬래브하중	바닥마감하중	칸막이마감하중	활하중
35F	2.91	1.91	0.94	0.59	0.64
PIT-2	1.39	1.95	0.00	0.56	0.00
34F	2.91	1.95	0.60	1.17	0.81
33F	2.91	1.95	0.60	1.17	0.81
32F	2.91	1.95	0.60	1.17	0.81
31F	3.23	1.95	0.60	1.17	0.81
PIT-1	1.39	1.65	0.00	0.52	0.00
30F	2.91	1.65	0.51	1.09	0.69
29F	2.91	1.65	0.51	1.09	0.69
28F	2.91	1.65	0.51	1.09	0.69
27F	2.91	1.65	0.51	1.09	0.69
26F	2.91	1.65	0.51	1.09	0.69
25F	2.91	1.65	0.51	1.09	0.69
24F	2.91	1.65	0.51	1.09	0.69
23F	2.91	1.65	0.51	1.09	0.69
22F	2.91	1.65	0.51	1.09	0.69
21F	2.91	1.65	0.51	1.09	0.69
20F	2.91	1.65	0.51	1.09	0.69
19F	2.91	1.65	0.51	1.09	0.69
18F	2.91	1.65	0.51	1.09	0.69
17F	2.91	1.65	0.51	1.09	0.69
16F	2.91	1.65	0.51	1.09	0.69
15F	2.91	1.65	0.51	1.09	0.69
14F	2.91	1.65	0.51	1.09	0.69
13F	2.91	1.65	0.51	1.09	0.69
12F	2.91	1.65	0.51	1.09	0.69
11F	2.91	1.65	0.51	1.09	0.69
10F	2.91	1.65	0.51	1.09	0.69
9F	2.91	1.65	0.51	1.09	0.69
8F	2.91	1.65	0.51	1.09	0.69
7F	2.91	1.65	0.51	1.09	0.69
6F	2.91	1.65	0.51	1.09	0.69
5F	2.91	1.95	0.60	1.17	0.81
4F	2.91	1.95	0.60	1.17	0.81

표 4.4 C4기둥 하중의 크기

층 수	골조자중	슬래브하중	바닥마감하중	칸막이마감하중	활하중
35F	5.15	3.40	2.53	0.79	1.72
PIT-2	5.20	1.62	0.00	0.72	0.00
34F	5.20	3.40	1.60	1.62	2.16
33F	5.20	3.40	1.60	1.62	2.16
32F	5.20	3.40	1.60	1.62	2.16
31F	5.20	3.78	1.60	1.62	2.16
PIT-1	5.41	1.62	0.00	0.74	0.00
30F	5.41	3.40	1.67	1.67	2.25
29F	5.41	3.40	1.67	1.67	2.25
28F	5.41	3.40	1.67	1.67	2.25
27F	5.41	3.40	1.67	1.67	2.25
26F	5.41	3.40	1.67	1.67	2.25
25F	5.41	3.40	1.67	1.67	2.25
24F	5.41	3.40	1.67	1.67	2.25
23F	5.41	3.40	1.67	1.67	2.25
22F	5.41	3.40	1.67	1.67	2.25
21F	5.41	3.40	1.67	1.67	2.25
20F	5.41	3.40	1.67	1.67	2.25
19F	5.41	3.40	1.67	1.67	2.25
18F	5.41	3.40	1.67	1.67	2.25
17F	5.41	3.40	1.67	1.67	2.25
16F	5.41	3.40	1.67	1.67	2.25
15F	5.41	3.40	1.67	1.67	2.25
14F	5.41	3.40	1.67	1.67	2.25
13F	5.41	3.40	1.67	1.67	2.25
12F	5.41	3.40	1.67	1.67	2.25
11F	5.41	3.40	1.67	1.67	2.25
10F	5.41	3.40	1.67	1.67	2.25
9F	5.41	3.40	1.67	1.67	2.25
8F	5.41	3.40	1.67	1.67	2.25
7F	5.41	3.40	1.67	1.67	2.25
6F	5.41	3.40	1.67	1.67	2.25
5F	5.20	3.40	1.60	1.61	2.16
4F	5.20	3.40	1.60	1.61	2.16

표 4.5 C6기둥 하중의 크기

층 수	골조자중	슬래브하중	바닥마감하중	칸막이마감하중	활하중
35F	5.96	4.84	2.93	0.32	1.99
PIT-2	5.21	2.30	0.00	0.17	0.00
34F	5.21	4.84	1.61	0.81	2.17
33F	5.21	4.84	1.61	0.81	2.17
32F	5.21	4.84	1.61	0.81	2.17
31F	5.21	5.38	1.61	0.80	2.17
PIT-1	5.22	2.30	0.00	0.17	0.00
30F	5.22	4.84	1.61	0.80	2.17
29F	5.22	4.84	1.61	0.80	2.17
28F	5.22	4.84	1.61	0.80	2.17
27F	5.22	4.84	1.61	0.80	2.17
26F	5.22	4.84	1.61	0.80	2.17
25F	5.22	4.84	1.61	0.80	2.17
24F	5.22	4.84	1.61	0.80	2.17
23F	5.22	4.84	1.61	0.80	2.17
22F	5.22	4.84	1.61	0.80	2.17
21F	5.22	4.84	1.61	0.80	2.17
20F	5.22	4.84	1.61	0.80	2.17
19F	5.22	4.84	1.61	0.80	2.17
18F	5.22	4.84	1.61	0.80	2.17
17F	5.22	4.84	1.61	0.80	2.17
16F	5.22	4.84	1.61	0.80	2.17
15F	5.22	4.84	1.61	0.80	2.17
14F	5.22	4.84	1.61	0.80	2.17
13F	5.22	4.84	1.61	0.80	2.17
12F	5.22	4.84	1.61	0.80	2.17
11F	5.22	4.84	1.61	0.80	2.17
10F	5.22	4.84	1.61	0.80	2.17
9F	5.22	4.84	1.61	0.80	2.17
8F	5.22	4.84	1.61	0.80	2.17
7F	5.22	4.84	1.61	0.80	2.17
6F	5.22	4.84	1.61	0.80	2.17
5F	5.21	4.84	1.61	0.81	2.17
4F	5.21	4.84	1.61	0.81	2.17

표 4.6 C9기둥 하중의 크기

층 수	골조자중	슬래브하중	바닥마감하중	칸막이마감하중	활하중
RF	7.00	3.02	3.44	1.13	2.33
38	7.14	2.72	2.17	2.56	2.95
37	7.14	2.72	2.17	2.56	2.95
36	7.14	2.72	2.17	2.56	2.95
35	13.80	2.72	5.44	2.61	5.17
PIT-2	9.60	4.32	0.00	0.01	0.00
34	9.60	9.07	2.96	1.22	4.00
33	9.60	9.07	2.96	1.22	4.00
32	9.60	9.07	2.96	1.22	4.00
31	9.60	10.08	2.96	1.25	4.00
PIT-1	9.67	4.32	0.00	0.01	0.00
30	9.67	9.07	2.98	1.18	4.03
29	9.67	9.07	2.98	1.18	4.03
28	9.67	9.07	2.98	1.18	4.03
27	9.67	9.07	2.98	1.18	4.03
26	9.67	9.07	2.98	1.18	4.03
25	9.67	9.07	2.98	1.18	4.03
24	9.67	9.07	2.98	1.18	4.03
23	9.67	9.07	2.98	1.18	4.03
22	9.67	9.07	2.98	1.18	4.03
21	9.67	9.07	2.98	1.18	4.03
20	9.67	9.07	2.98	1.18	4.03
19	9.67	9.07	2.98	1.18	4.03
18	9.67	9.07	2.98	1.18	4.03
17	9.67	9.07	2.98	1.18	4.03
16	9.67	9.07	2.98	1.18	4.03
15	9.67	9.07	2.98	1.18	4.03
14	9.67	9.07	2.98	1.18	4.03
13	9.67	9.07	2.98	1.18	4.03
12	9.67	9.07	2.98	1.18	4.03
11	9.67	9.07	2.98	1.18	4.03
10	9.67	9.07	2.98	1.18	4.03
9	9.67	9.07	2.98	1.18	4.03
8	9.67	9.07	2.98	1.18	4.03
7	9.67	9.07	2.98	1.18	4.03
6	9.67	9.07	2.98	1.18	4.03
5	9.60	9.07	2.96	1.18	4.00
4	9.60	9.07	2.96	1.18	4.00

표 4.7 C12기둥 하중의 크기

층 수	골조자중	슬래브하중	바닥마감하중	칸막이마감하중	활하중
35F	14.64	4.84	0.00	0.00	0.00
PIT-2	14.64	2.30	0.00	0.09	0.00
34F	14.64	4.84	3.94	5.61	5.69
33F	14.64	4.84	3.94	5.61	5.69
32F	14.64	4.84	3.94	5.61	5.69
31F	14.72	5.38	3.93	5.69	5.69
PIT-1	14.71	2.30	0.00	0.09	0.00
30F	14.71	4.84	3.96	5.94	5.72
29F	14.71	4.84	3.96	5.94	5.72
28F	14.71	4.84	3.96	5.94	5.72
27F	14.71	4.84	3.96	5.94	5.72
26F	14.71	4.84	3.96	5.94	5.72
25F	14.71	4.84	3.96	5.94	5.72
24F	14.71	4.84	3.96	5.94	5.72
23F	14.71	4.84	3.96	5.94	5.72
22F	14.71	4.84	3.96	5.94	5.72
21F	14.71	4.84	3.96	5.94	5.72
20F	14.71	4.84	3.96	5.94	5.72
19F	14.71	4.84	3.96	5.94	5.72
18F	14.71	4.84	3.96	5.94	5.72
17F	14.71	4.84	3.96	5.94	5.72
16F	14.71	4.84	3.96	5.94	5.72
15F	14.71	4.84	3.96	5.94	5.72
14F	14.71	4.84	3.96	5.94	5.72
13F	14.71	4.84	3.96	5.94	5.72
12F	14.71	4.84	3.96	5.94	5.72
11F	14.71	4.84	3.96	5.94	5.72
10F	14.71	4.84	3.96	5.94	5.72
9F	14.71	4.84	3.96	5.94	5.72
8F	14.71	4.84	3.96	5.94	5.72
7F	14.71	4.84	3.96	5.94	5.72
6F	14.71	4.84	3.96	5.94	5.72
5F	14.65	4.84	3.94	5.94	5.69
4F	14.65	4.84	3.94	5.94	5.69

표 4.8 W1벽체 하중의 크기

층 수	골조자중	슬래브하중	바닥마감하중	칸막이마감하중	활하중
RH-1	0.42	11.79	0.07	0.73	0.36
RF	22.29	13.10	10.83	1.10	7.65
38	20.49	11.79	5.83	6.03	8.42
37	20.49	11.79	5.83	2.56	8.42
36	20.49	11.79	5.83	2.56	8.42
35	20.44	11.79	5.80	2.56	8.40
PIT-2	9.45	5.62	0.07	0.80	0.35
34	9.45	11.79	2.49	5.57	3.77
33	9.45	11.79	2.49	5.57	3.77
32	9.45	11.79	2.49	5.57	3.77
31	9.46	13.10	2.46	7.86	3.77
PIT-1	9.22	5.62	0.07	0.70	0.35
30	9.22	11.79	2.37	5.91	3.77
29	9.22	11.79	2.37	5.91	3.77
28	9.22	11.79	2.37	5.91	3.77
27	9.22	11.79	2.37	5.91	3.77
26	9.22	11.79	2.37	5.91	3.77
25	9.22	11.79	2.37	5.91	3.77
24	9.22	11.79	2.37	5.91	3.77
23	9.22	11.79	2.37	5.91	3.77
22	9.22	11.79	2.37	5.91	3.77
21	9.22	11.79	2.37	5.91	3.77
20	9.22	11.79	2.37	5.91	3.77
19	9.22	11.79	2.37	5.91	3.77
18	9.22	11.79	2.37	5.91	3.77
17	9.22	11.79	2.37	5.91	3.77
16	9.22	11.79	2.37	5.91	3.77
15	9.22	11.79	2.37	5.91	3.77
14	9.22	11.79	2.37	5.91	3.77
13	9.22	11.79	2.37	5.91	3.77
12	9.22	11.79	2.37	5.91	3.77
11	9.22	11.79	2.37	5.91	3.77
10	9.22	11.79	2.37	5.91	3.77
9	9.22	11.79	2.37	5.91	3.77
8	9.22	11.79	2.37	5.91	3.77
7	9.22	11.79	2.37	5.91	3.77
6	9.22	11.79	2.37	5.91	3.77
5	9.53	11.79	2.39	6.01	3.81
4	9.53	11.79	2.39	6.01	3.81

표 4.9 시공 및 하중재하 계획

층수	공정기간 (일)	총 공사기간 (일)	마감하중재하 (일)	
			칸막이하중DL(W)	바닥하중DL(F)
B3F	25	25		
B2F	25	50		
B1F	25	75		
1F	25	100		
2F	25	125		
3F	25	150		
4F	45	195		
5F	10	205		
6F	10	215		
7F	7	222		
8F	7	229		
9F	7	236		
10F	7	243		
11F	7	250		
12F	7	257		
13F	7	264		
14F	7	271		
15F	7	278		
16F	7	285		
17F	7	292		
18F	7	299		
19F	7	306		
20F	7	313		
21F	7	320		
22F	7	327		
23F	7	334		
24F	7	341		
25F	7	348		
26F	7	355		
27F	7	362		
28F	7	369		
29F	7	376		
30F	7	383		
PIT-1	7	390		
31F	7	397		
32F	7	404		
33F	7	411		
34F	7	418		
PIT-2	7	425		
35F	7	432		
36F	7	439		
37F	7	446		
38F	7	453		
RF	7	460		
RH-1	7	467		
RH-2	7	474		
-	-	-	470~499일	-
-	-	-	500~529일	500~529일
-	-	-	-	530~559일
-	-	-	-	560~589일
-	-	-	-	590~609일
-	-	864일 ~	-	-

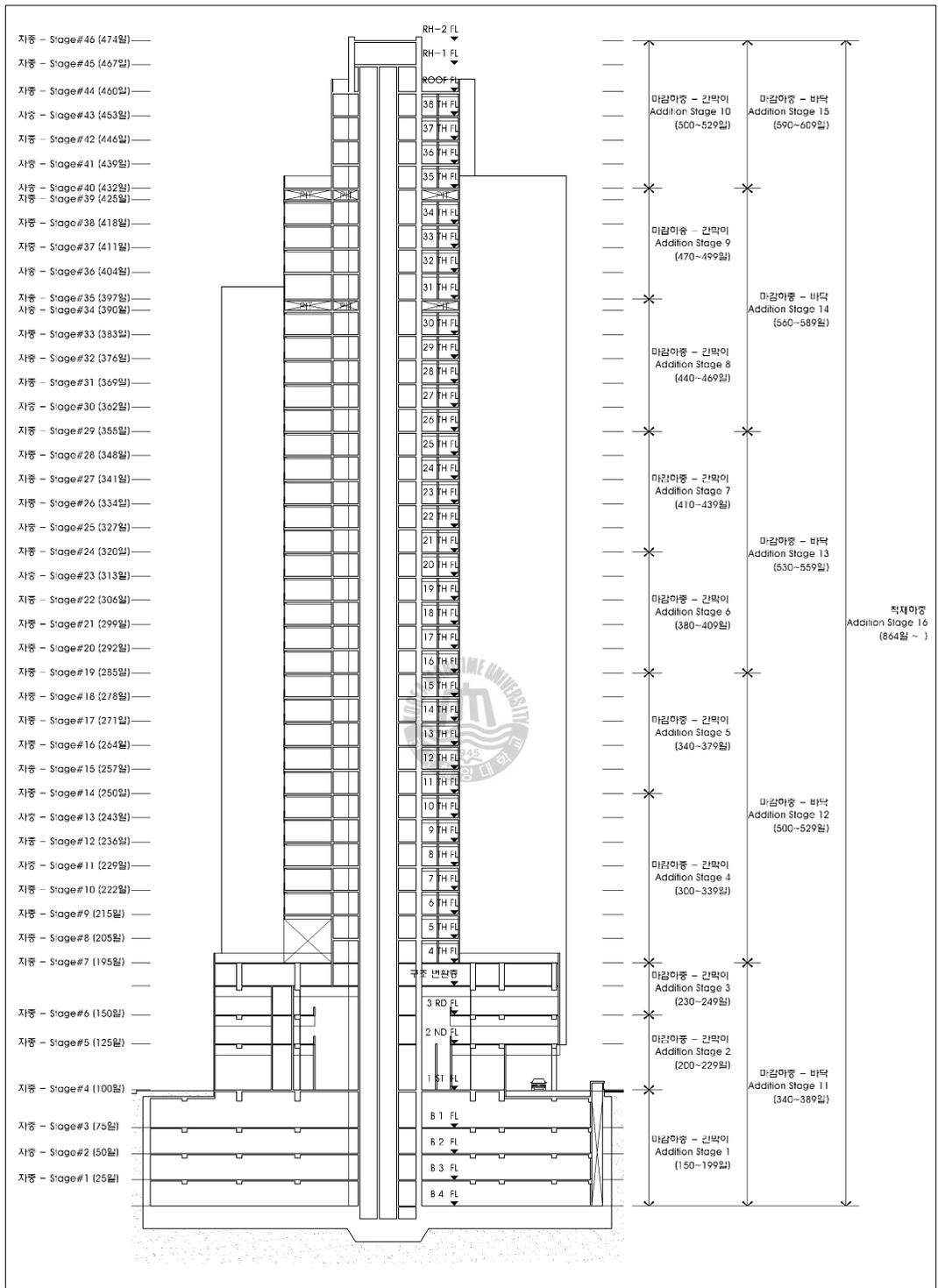


그림 4.6 시공 및 하중재하 계획도

4.2 기둥축소량 해석결과

해운대 우동 L 건물에 대한 기둥축소량 해석은 적용성이 입증된 CSA프로그램 [3][4]을 사용하여 기둥축소량 해석을 수행하였다. 해석에 수행된 CSA프로그램은 PCA모델식을 기준으로 하여 작성된 것으로 PCA모델식과 ACI모델식에 대한 해석결과를 도출하기 위해 프로그램의 일부를 수정하여 각 모델별 기둥축소량 해석을 수행할 수 있도록 하였다.

각 부재간의 비교를 위해 선정된 각 부재의 탄성축소량, 건조수축 축소량, 크리프 축소량 및 전체축소량을 계산하며, 각각의 축소량은 슬래브타설 이전의 축소량과 부등축소와 관련된 슬래브타설 이후의 축소량으로 나누어 나타낸다.

4.2.1 PCA 모델식에 의한 해석결과

5개 기둥과 1개의 벽체에 대한 PCA 모델식에 의한 해석결과는 다음의 표 4.10에 나타나 있다. 표에 나타난 해석결과는 탄성축소량, 크리프 축소량, 건조수축 축소량, 전체축소량의 해석값을 슬래브타설 이전의 축소량과 슬래브타설 이후의 축소량으로 나누어 나타내었다. 그리고 슬래브타설 이전의 축소량의 경우 최대 발생층은 대부분 건물의 최상층에 나타나지만 슬래브타설 이후의 축소량의 경우에는 중간층에서 발생된다. 대부분의 subto의 축소량의 경우 중간층 정도에서 가장 큰 값으로 나타났으며, 건조수축 축소량의 경우에는 최상층과 가까운 층에서 가장 큰 값이 나타났다. 표에서 나타난 발생층의 경우에는 축소량이 나타난 가장 큰 층에 대한 건축층수를 나타낸 것이다.

그림 4.7에서 그림 4.10은 C1A기둥에 대한 해석결과이며, 그림 4.11에서 그림 4.14는 C4기둥에 대한 해석결과를 나타낸다. 그림 4.15에서 그림 4.18은 C6기둥에 대한 해석결과이며, 그림 4.19에서 그림 4.22는 C9기둥에 대한 해석결과이다. 그리고 그림 4.23에서 그림 4.26은 C12기둥에 대한 해석결과를 나타내고 있

으며, 그림 4.27에서 그림 4.30은 W1벽체에 대한 해석결과를 보여주고 있다.

표 4.10 PCA 모델식에 의한 해석결과

(단위 : mm)

		탄성축소량		크리프 축소량		건조수축 축소량		전체축소량	
		upto	subto	upto	subto	upto	subto	upto	subto
C1A	축소량	6.946	3.982	5.002	4.949	23.055	8.874	35.003	16.798
	발생층	PIT2	20F	PIT2	26F	PIT2	34F	PIT2	26F
C4	축소량	11.441	7.140	8.368	8.202	23.454	9.023	43.263	23.204
	발생층	PIT2	21F	PIT2	26F	PIT2	34F	PIT2	25F
C6	축소량	4.825	2.686	3.832	3.751	26.473	10.356	35.130	15.668
	발생층	PIT2	20F	PIT2	26F	PIT2	34F	PIT2	26F
C9	축소량	9.769	6.028	6.803	6.259	22.308	7.674	38.881	19.096
	발생층	38F	22F	38F	27F	38F	38F	38F	27F
C12	축소량	19.278	12.189	13.407	13.126	21.436	8.228	54.120	32.315
	발생층	PIT2	21F	PIT2	25F	PIT2	34F	PIT2	23F
W1	축소량	15.457	9.291	9.715	8.505	30.875	8.195	56.047	25.016
	발생층	PIT2	20F	PIT2	28F	RH1	RH1	RH1	26F

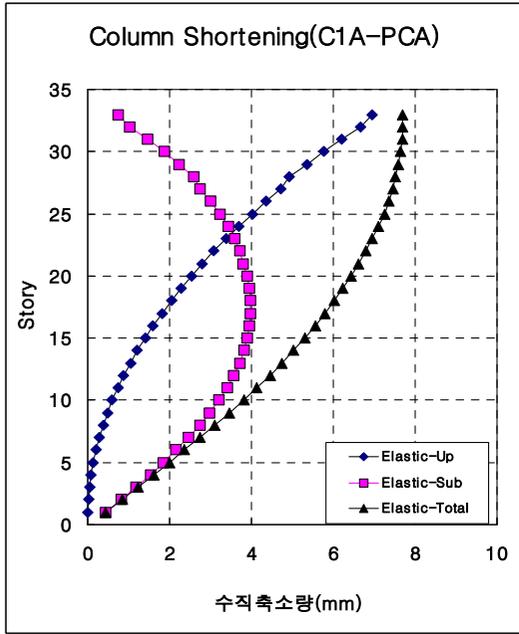


그림 4.7 C1A의 탄성축소량(PCA)

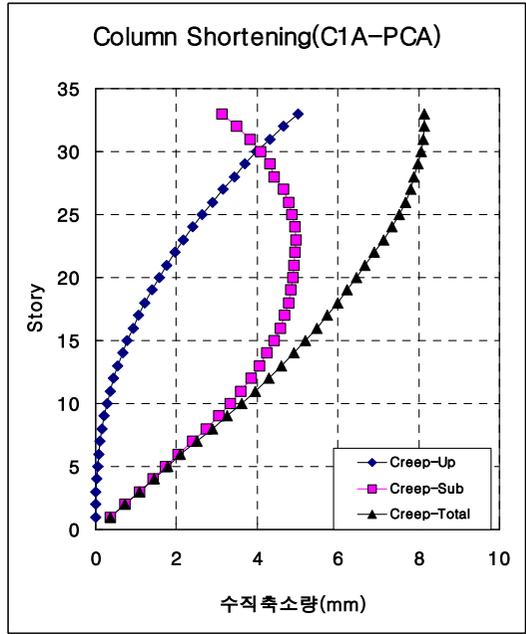


그림 4.8 C1A의 크리프축소량(PCA)

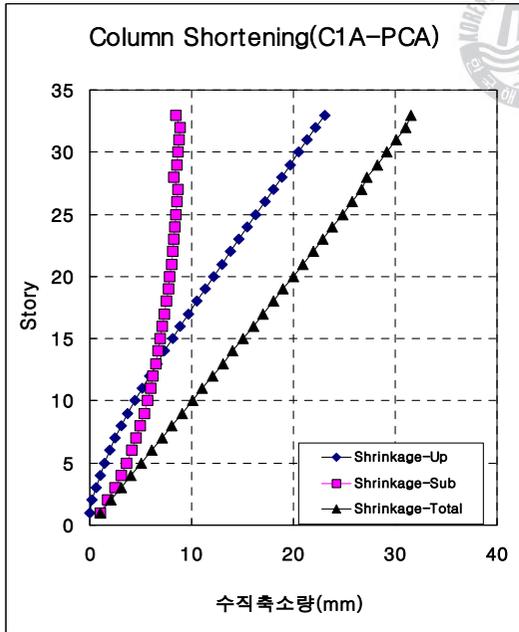


그림 4.9 C1A의 건조수축축소량(PCA)

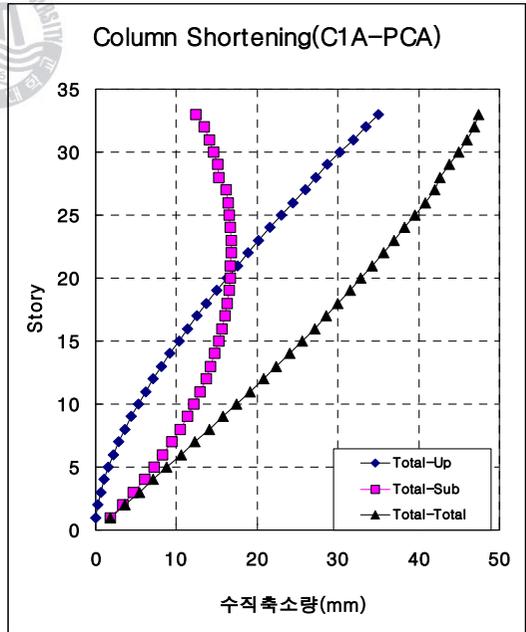


그림 4.10 C1A의 전체축소량(PCA)

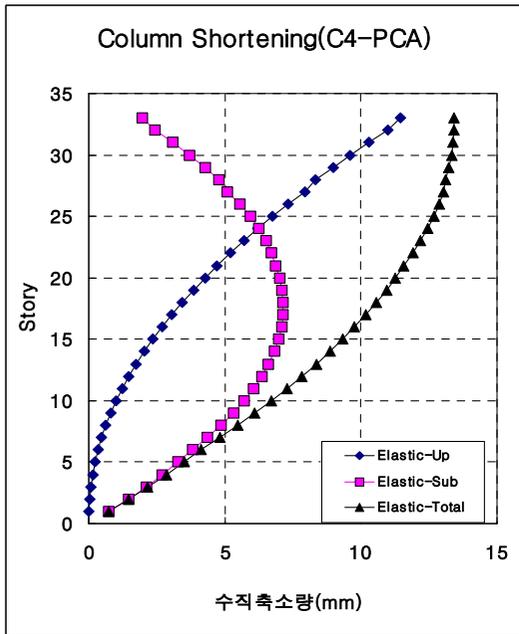


그림 4.11 C4의 탄성축소량(PCA)

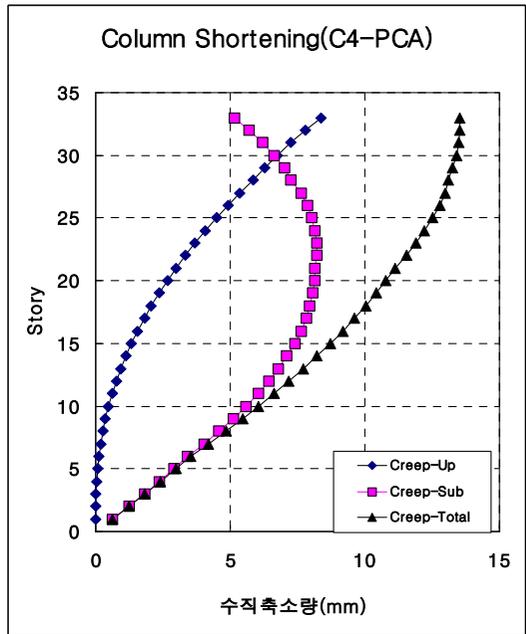


그림 4.12 C4의 크리프축소량(PCA)

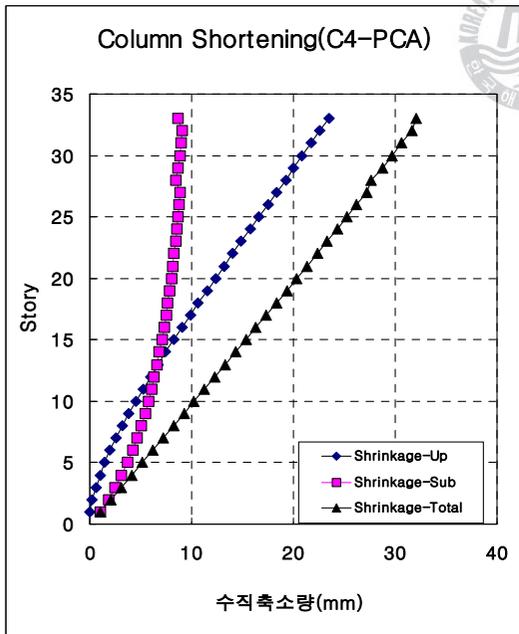


그림 4.13 C4의 건조수축축소량(PCA)

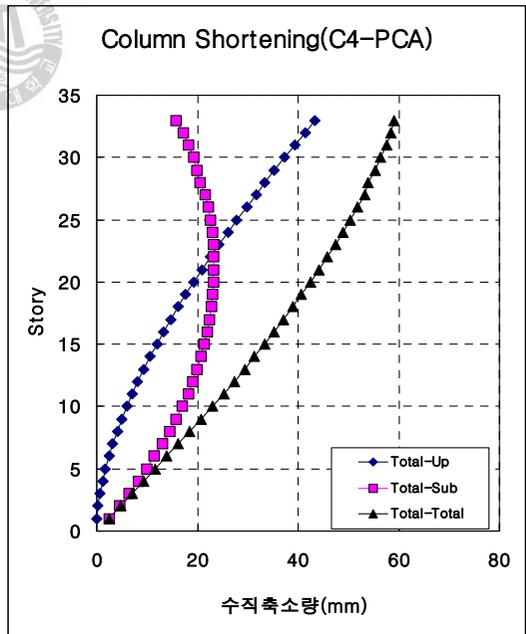


그림 4.14 C4의 전체축소량(PCA)

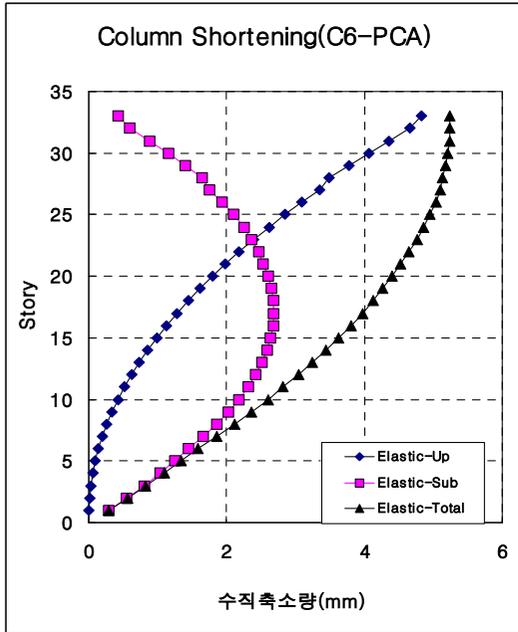


그림 4.15 C6의 탄성축소량(PCA)

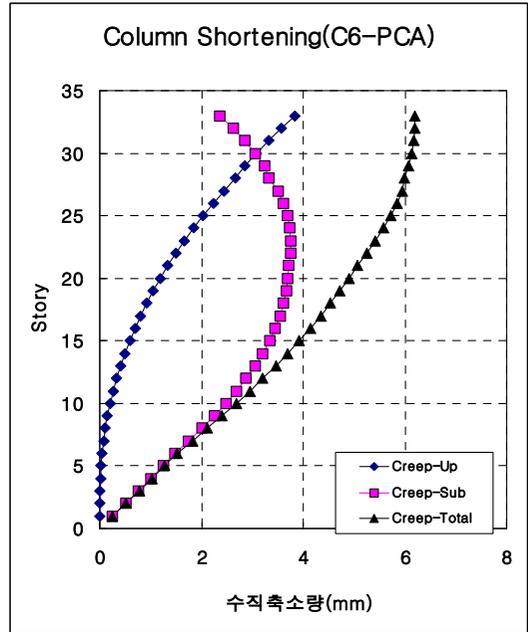


그림 4.16 C6의 크리프축소량(PCA)

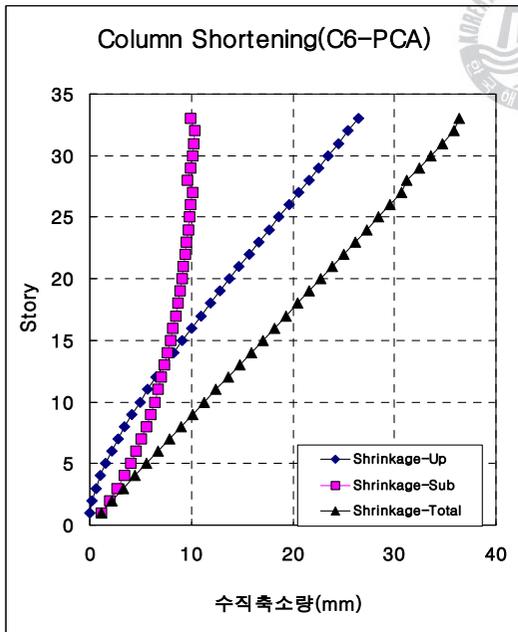


그림 4.17 C6의 건조수축축소량(PCA)

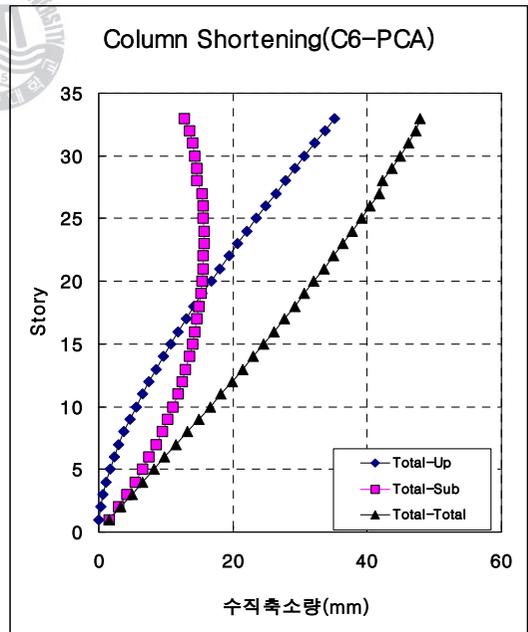


그림 4.18 C6의 전체축소량(PCA)

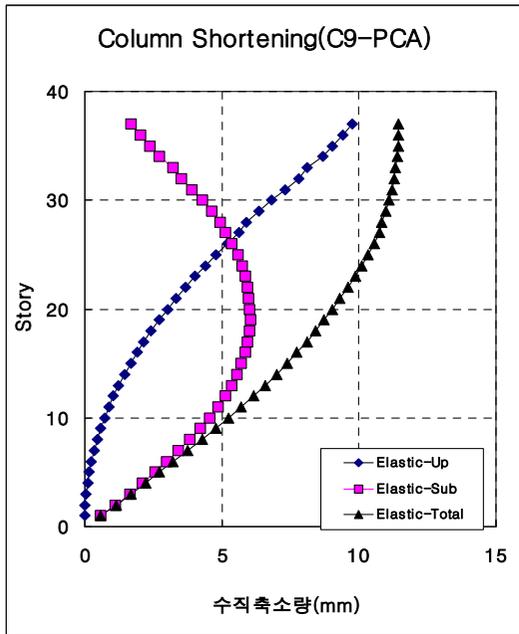


그림 4.19 C9의 탄성축소량(PCA)

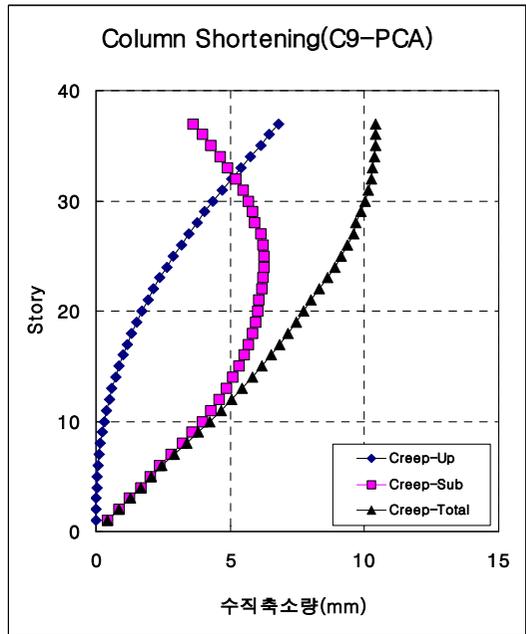


그림 4.20 C9의 크리프축소량(PCA)

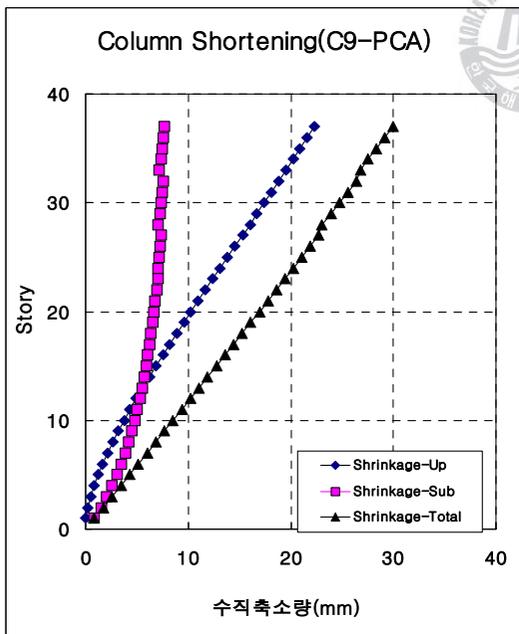


그림 4.21 C9의 건조수축축소량(PCA)

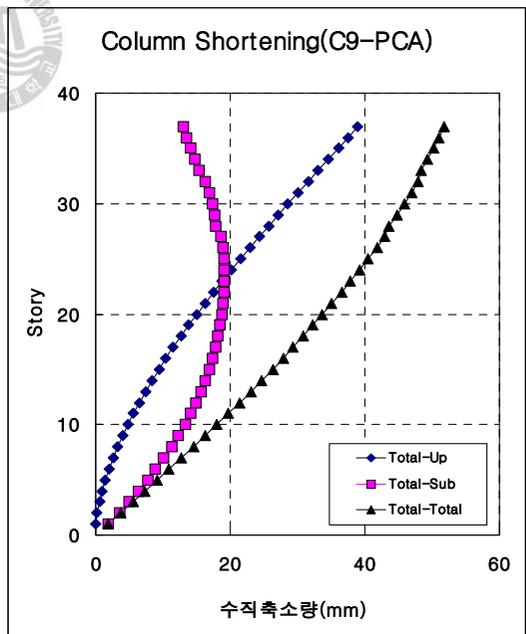


그림 4.22 C9의 전체축소량(PCA)

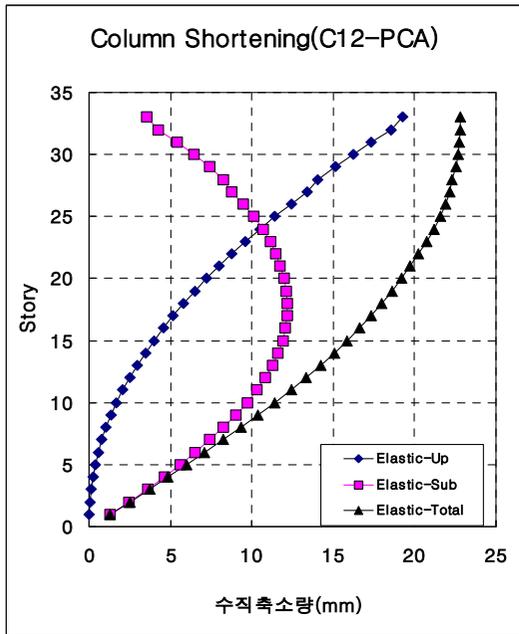


그림 4.23 C12의 탄성축소량(PCA)

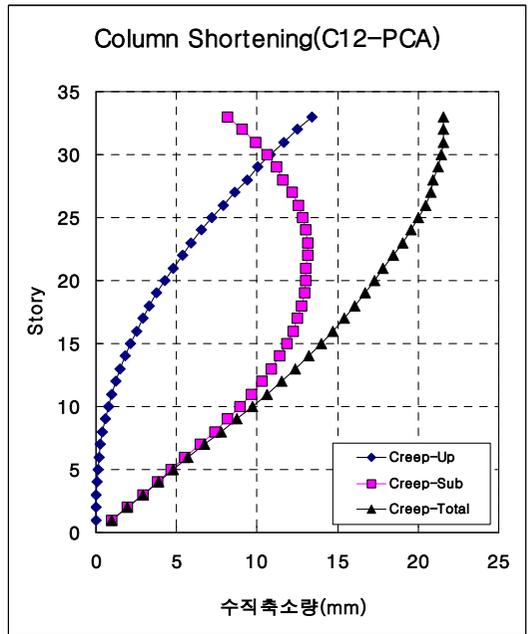


그림 4.24 C12의 크리프축소량(PCA)

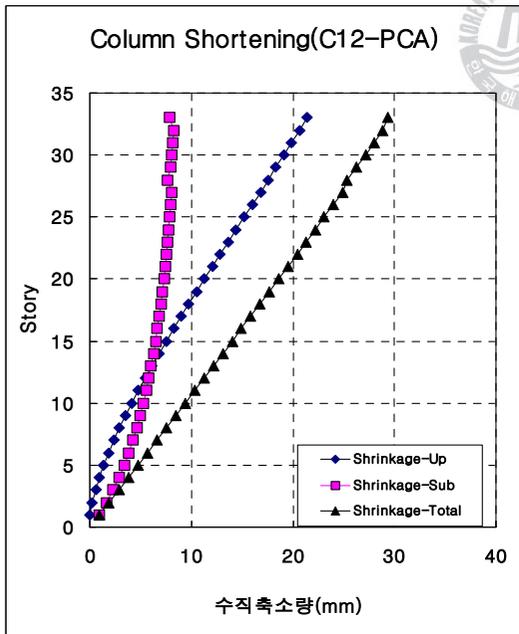


그림 4.25 C12의 건조수축축소량(PCA)

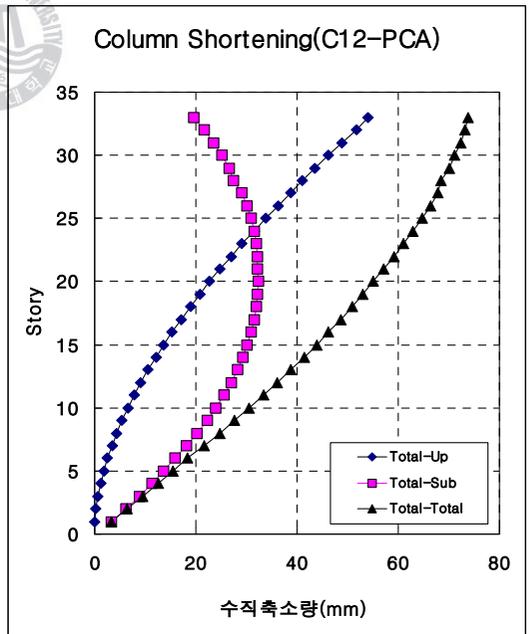


그림 4.26 C12의 전체축소량(PCA)

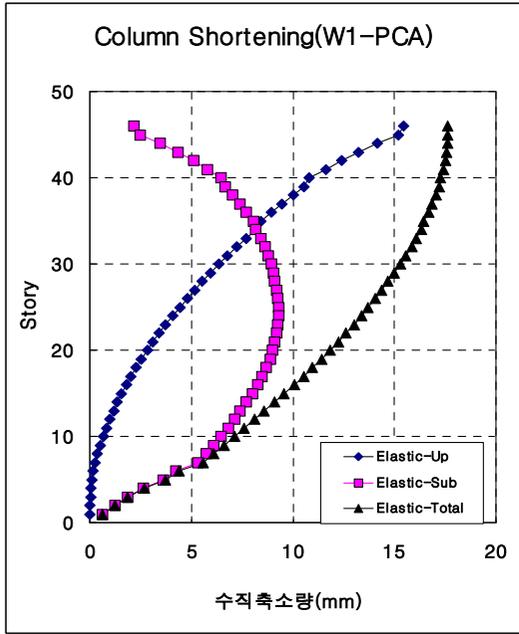


그림 4.27 W1의 탄성축소량(PCA)

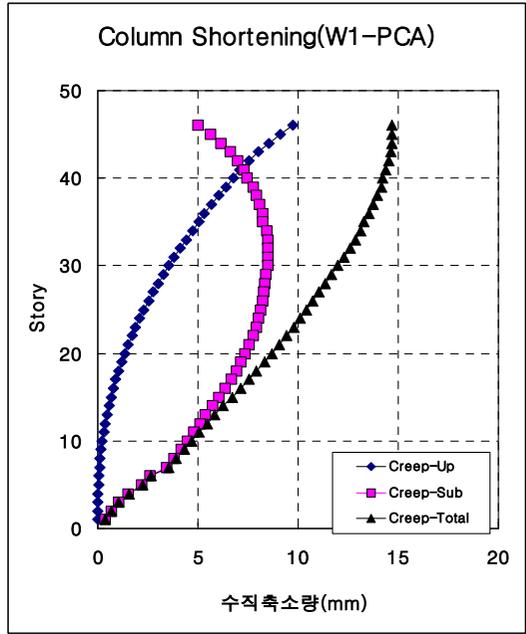


그림 4.28 W1의 크리프축소량(PCA)

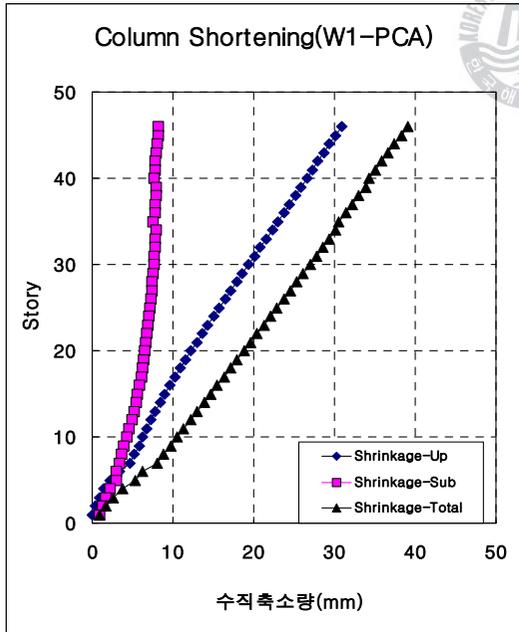


그림 4.29 W1의 건조수축축소량(PCA)

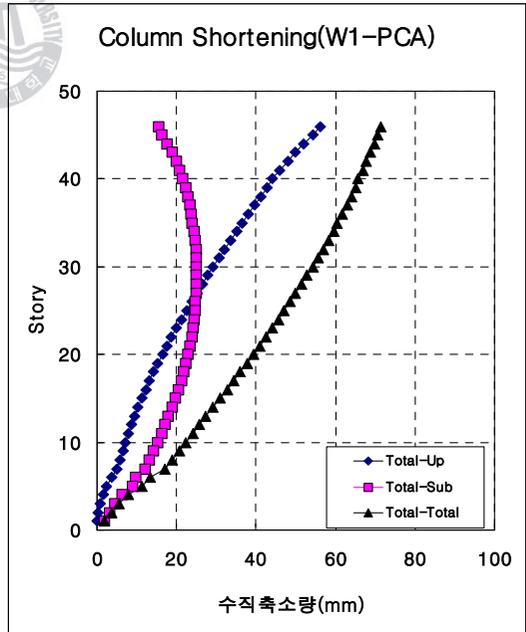


그림 4.30 W1의 전체축소량(PCA)

4.2.2 ACI 모델식에 의한 해석결과

ACI 모델식에 대한 해석결과를 얻기 위해 CSA프로그램의 일부를 수정하여 기동축소량 해석시 반영하였다. 반영된 결과는 표 4.11에 나타나 있다. 표 4.11에서는 앞서 비교한 바와 마찬가지로 5개 기둥과 1개 전단벽의 탄성축소량, 크리프 축소량, 건조수축 축소량, 전체축소량에 대한 최대값을 찾아서 정리하였다. 슬래브타설 이전의 축소량인 upto의 경우에는 건물의 최상층에서 그 값이 최대로 발생되었으며, 슬래브타설 이후의 축소량인 subto의 경우에는 축소량이 중간층에서 최대로 발생하는 것을 확인하였다. 하지만 건조수축 축소량의 경우 건물의 최상층 가까이에서 최대로 나타나고 있다.

표 4.11 ACI 모델식에 의한 해석결과

(단위 : mm)

		탄성축소량		크리프 축소량		건조수축 축소량		전체축소량	
		upto	subto	upto	subto	upto	subto	upto	subto
C1A	축소량	6.946	3.982	3.859	4.028	19.885	7.693	30.690	14.758
	발생층	PIT2	20F	PIT2	25F	PIT2	34F	PIT2	25F
C4	축소량	11.441	7.140	6.427	6.647	30.633	7.980	38.501	20.659
	발생층	PIT2	21F	PIT2	25F	PIT2	34F	PIT2	24F
C6	축소량	4.825	2.686	2.893	2.987	24.703	9.686	32.421	14.253
	발생층	PIT2	20F	PIT2	25F	PIT2	34F	PIT2	26F
C9	축소량	9.769	6.028	5.632	5.473	15.128	5.219	30.529	16.061
	발생층	38F	22F	38F	27F	38F	38F	38F	26F
C12	축소량	19.278	12.189	10.525	10.868	17.377	6.708	47.180	28.718
	발생층	PIT2	21F	PIT2	25F	PIT2	34F	PIT2	23F
W1	축소량	15.457	9.291	8.652	7.998	18.598	4.950	42.707	21.526
	발생층	RH1	20F	RH1	27F	RH1	RH1	RH1	25F

그림 4.31에서 그림 4.34는 C1A에 대한 해석결과를 나타내고 있으며, 그림 4.35에서 그림 4.38은 C4기둥에 대한 해석결과를 나타내며, 그림 4.39에서 그림 4.42는 C6기둥의 해석결과를 나타내고 있다. 그림 4.43에서 그림 4.46은 C9기둥의 해석결과를 보여주고 있으며, 그림 4.47에서 그림 4.50은 C12기둥의 해석결과를 나타내고 있다. 또한 그림 4.51에서 그림 4.54는 W1전단벽의 해석결과를 보여주고 있다.



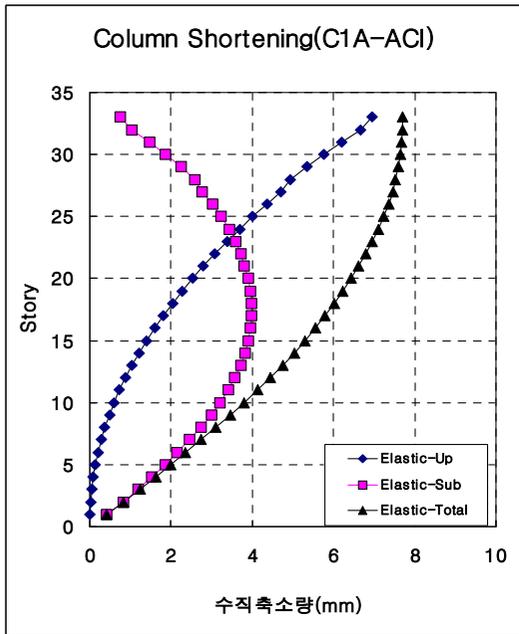


그림 4.31 C1A의 탄성축소량(ACI)

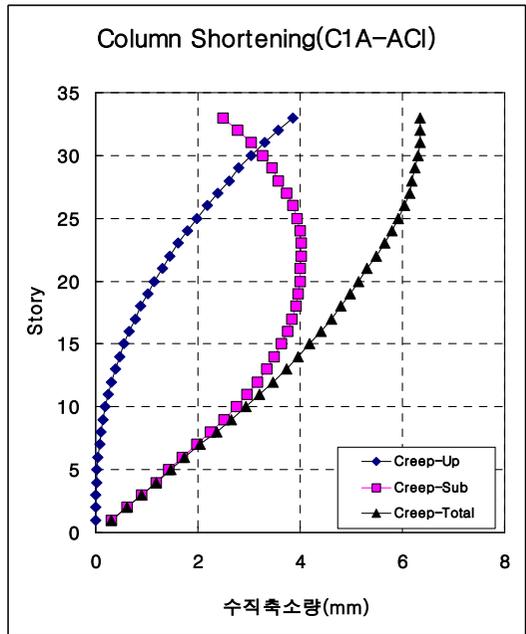


그림 4.32 C1A의 크리프축소량(ACI)

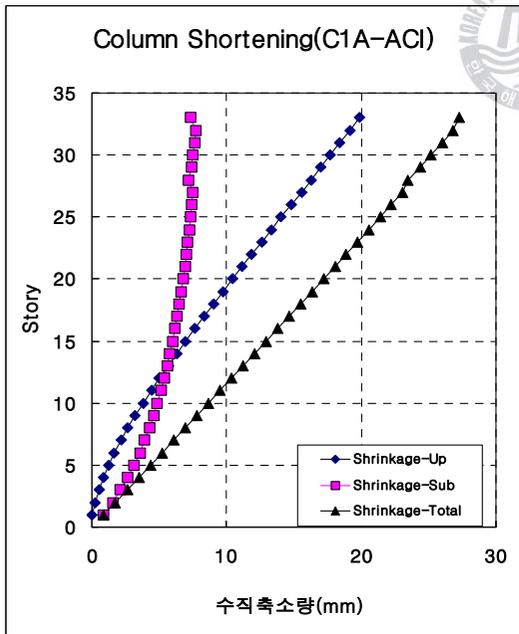


그림 4.33 C1A의 건조수축축소량(ACI)

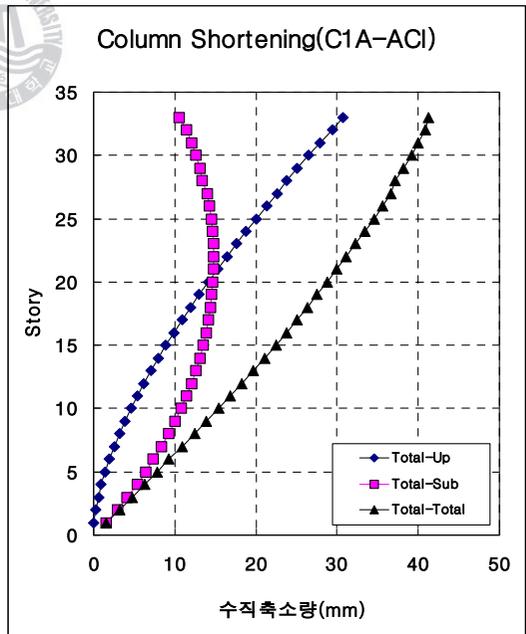


그림 4.34 C1A의 전체축소량(ACI)

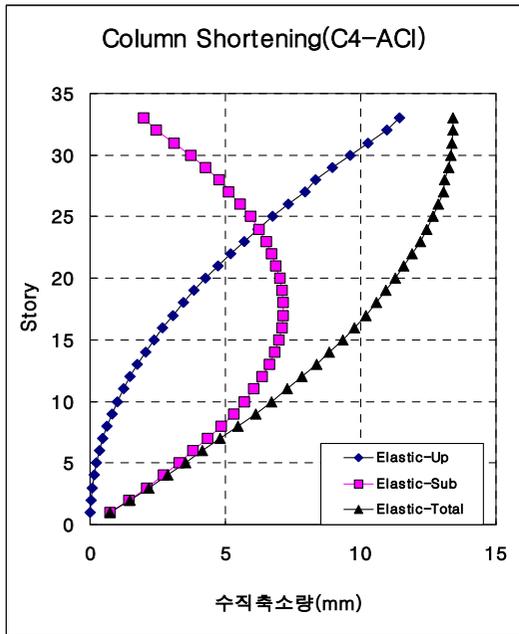


그림 4.35 C4의 탄성축소량(ACI)

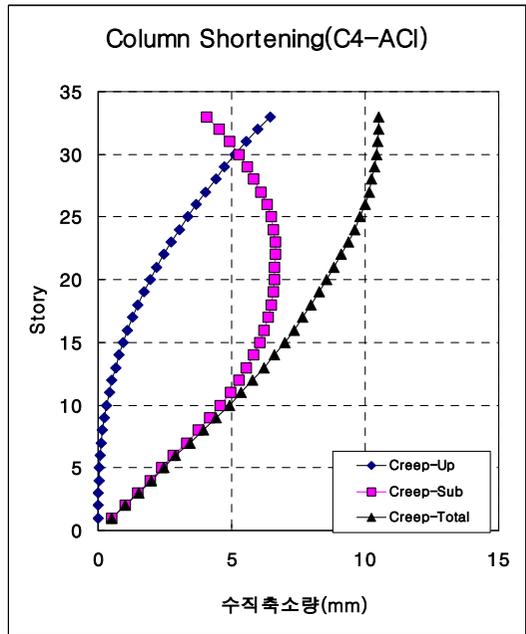


그림 4.36 C4의 크리프축소량(ACI)

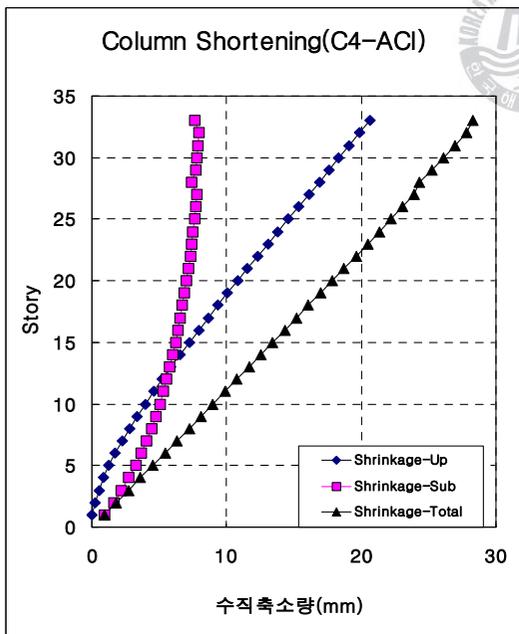


그림 4.37 C4의 건조수축축소량(ACI)

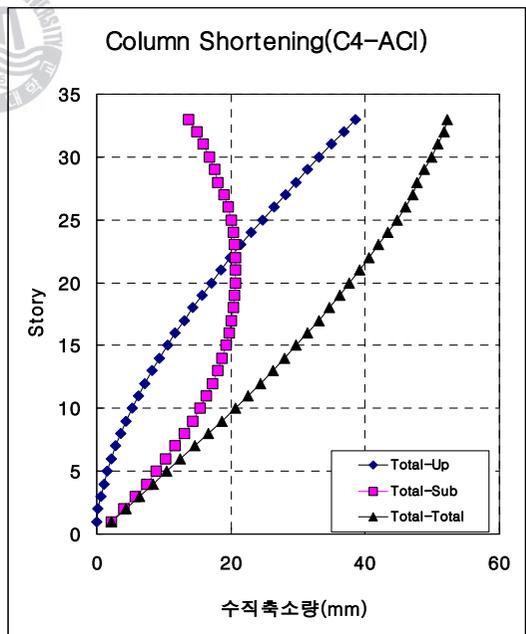


그림 4.38 C4의 전체축소량(ACI)

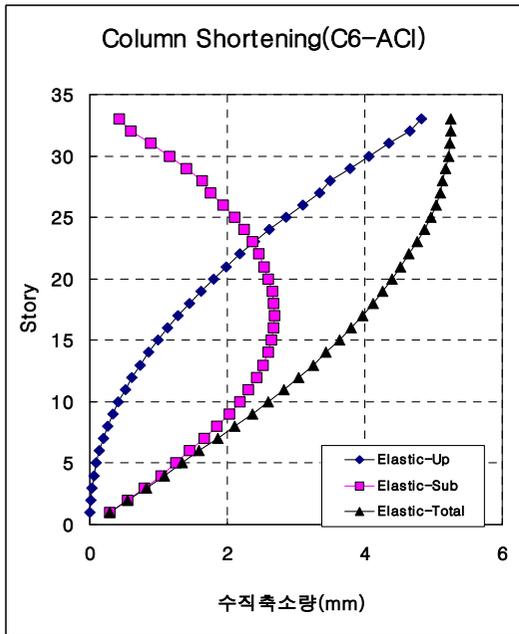


그림 4.39 C6의 탄성축소량(ACI)

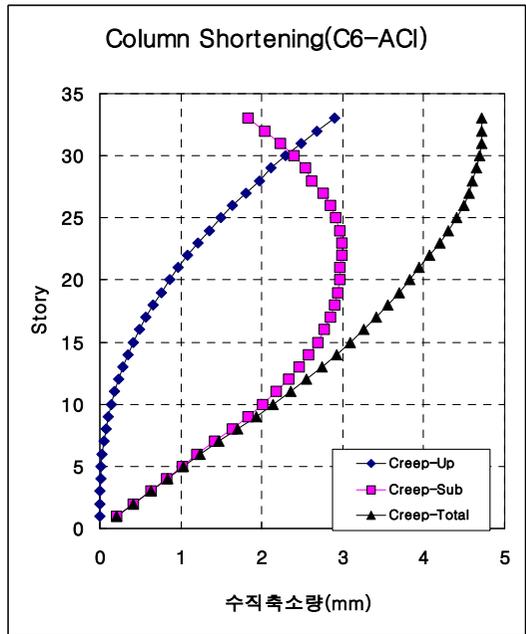


그림 4.40 C6의 크리프축소량(ACI)

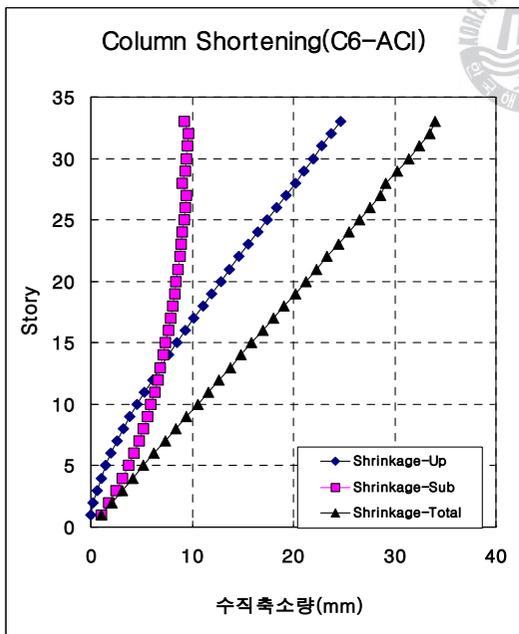


그림 4.41 C6의 건조수축축소량(ACI)

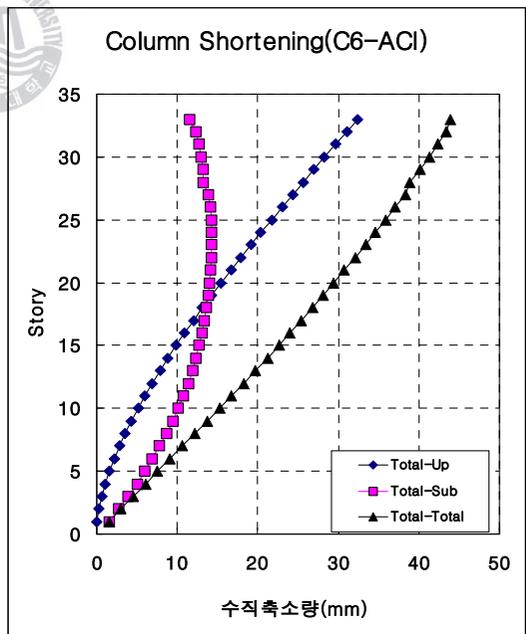


그림 4.42 C6의 전체축소량(ACI)

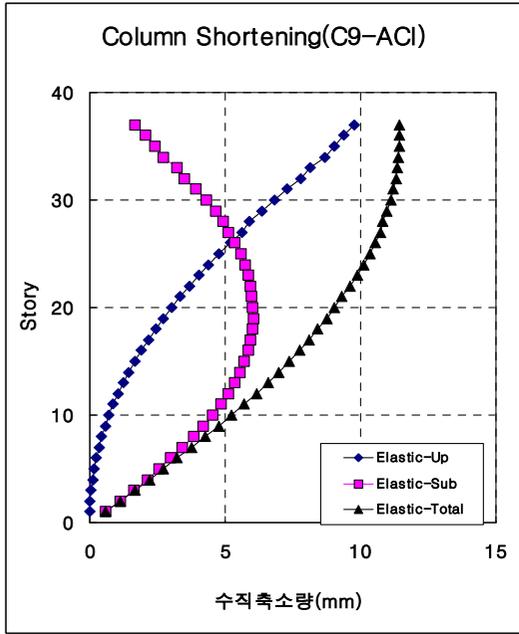


그림 4.43 C9의 탄성축소량(ACI)

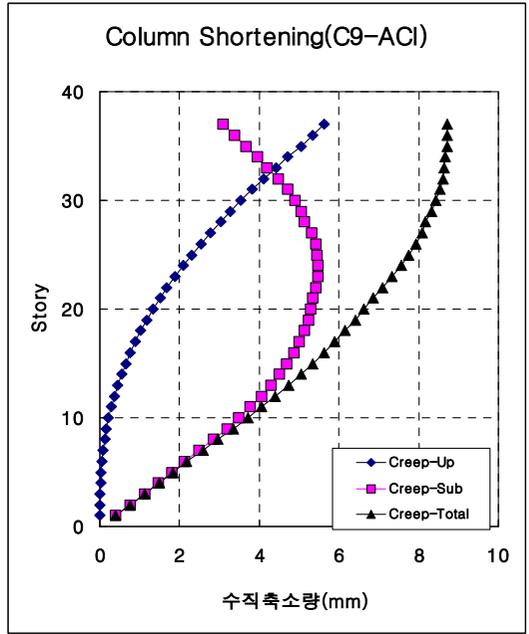


그림 4.44 C9의 크리프축소량(ACI)

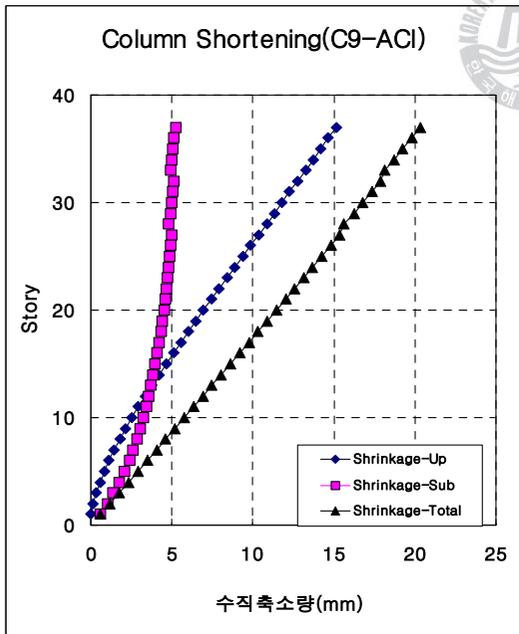


그림 4.45 C9의 건조수축축소량(ACI)

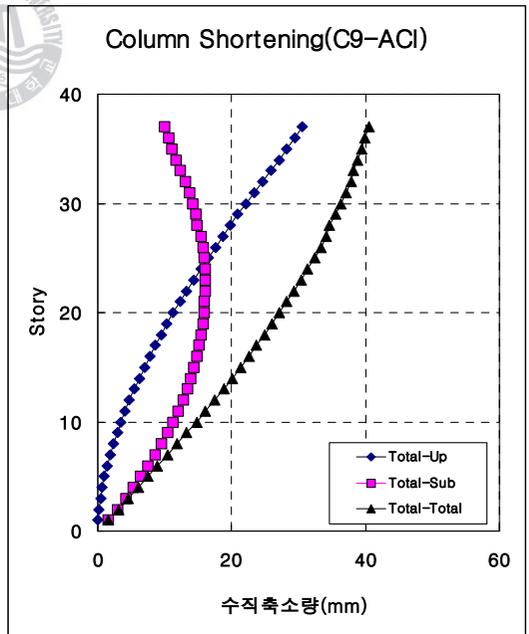


그림 4.46 C9의 전체축소량(ACI)

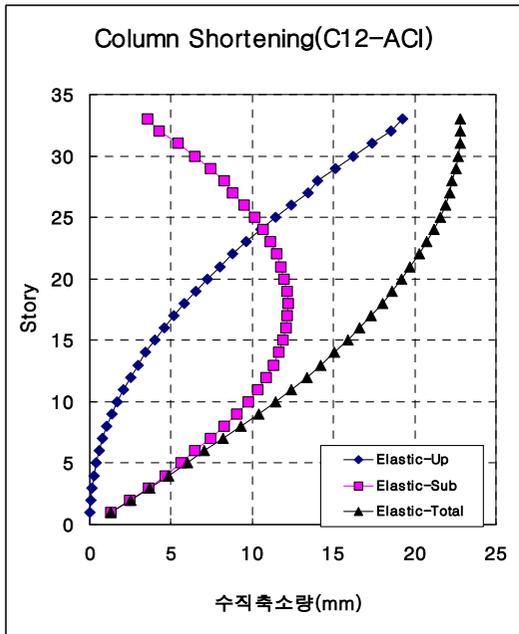


그림 4.47 C12의 탄성축소량(ACI)

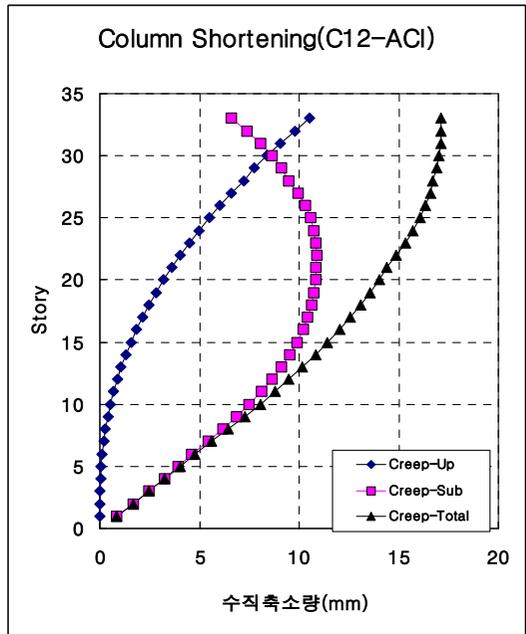


그림 4.48 C12의 크리프축소량(ACI)

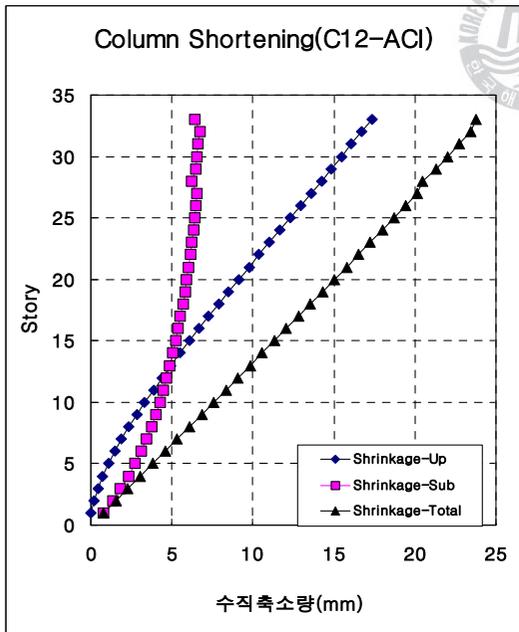


그림 4.49 C12의 건조수축축소량(ACI)

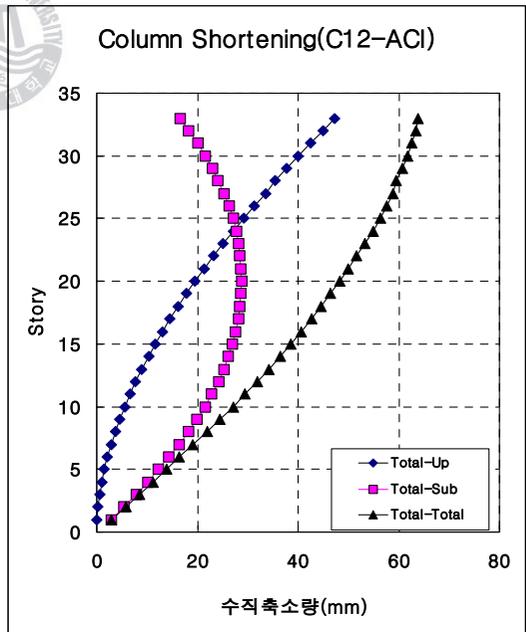


그림 4.50 C12의 전체축소량(ACI)

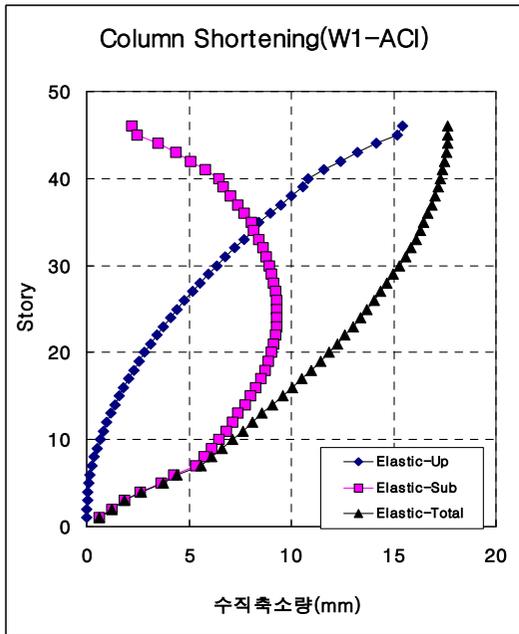


그림 4.51 W1의 탄성축소량(ACI)

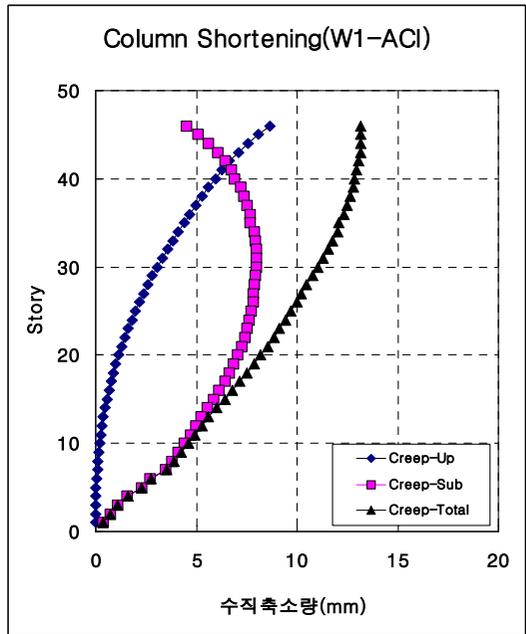


그림 4.52 W1의 크리프축소량(ACI)

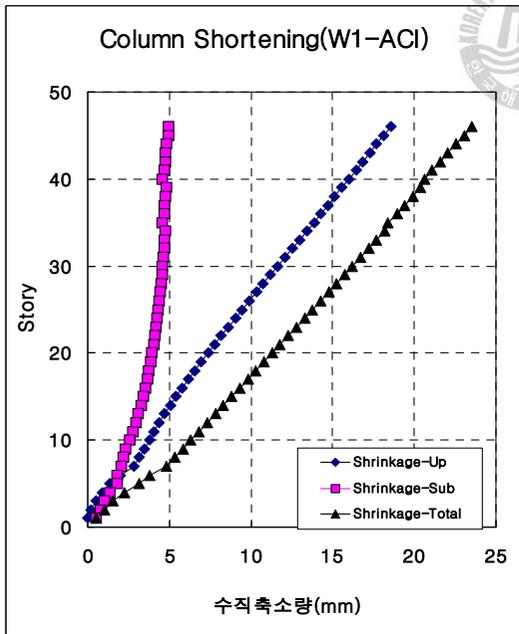


그림 4.53 W1의 건조수축축소량(ACI)

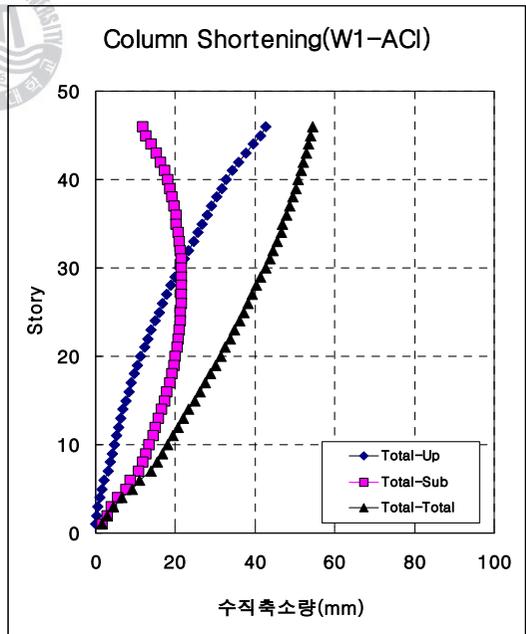


그림 4.54 W1의 전체축소량(ACI)

4.3 현장계측치와 비교분석

지상 6층의 현장계측데이터 중 C-Line에 위치한 C1A, C6, C12, W1 4개소를 선정하여 현장계측된 4개소의 위치에서 관찰된 변형률과 ACI 제안식과 PCA 제안식에 의한 각 해석값의 변형률을 비교하여 나타내었다.

그림 4.55와 같이 C1A의 관찰된 변형률과 ACI 제안식과 PCA 제안식을 비교해 볼 때, 관찰된 STRAIN의 값은 두 제안식의 값의 중간값을 나타내고 있으며, 그림 4.56과 같이 C6의 경우 ACI 제안식과 비슷한 변형률을 나타내고 있다. 또한 그림 4.57, 그림 4.58과 같이 C12와 W1의 경우에도 변형률이 ACI 제안식과 비슷한 값을 나타내고 있는 것으로 나타났다.

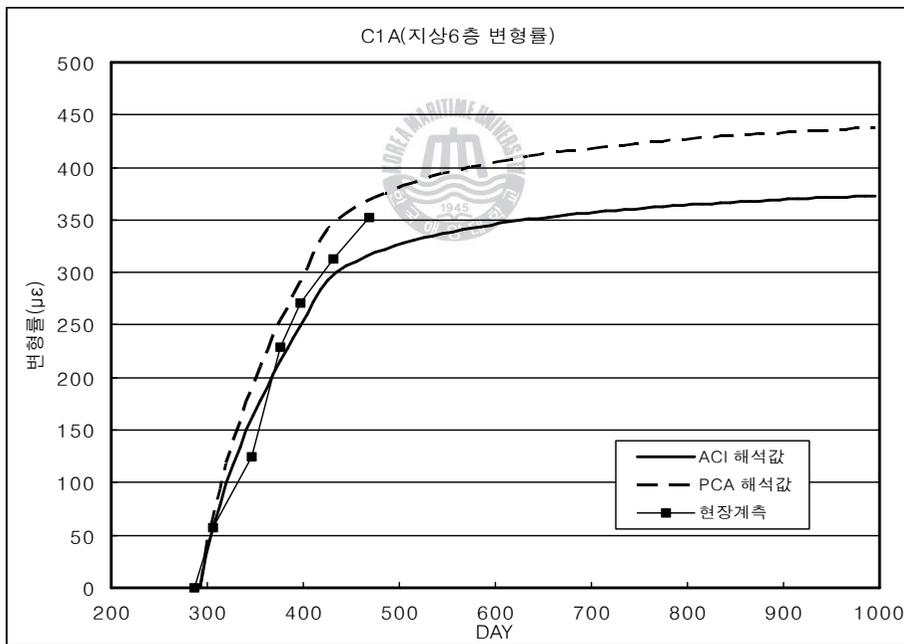


그림 4.55 지상 6층 C1A기둥의 변형률(센서 No.29)

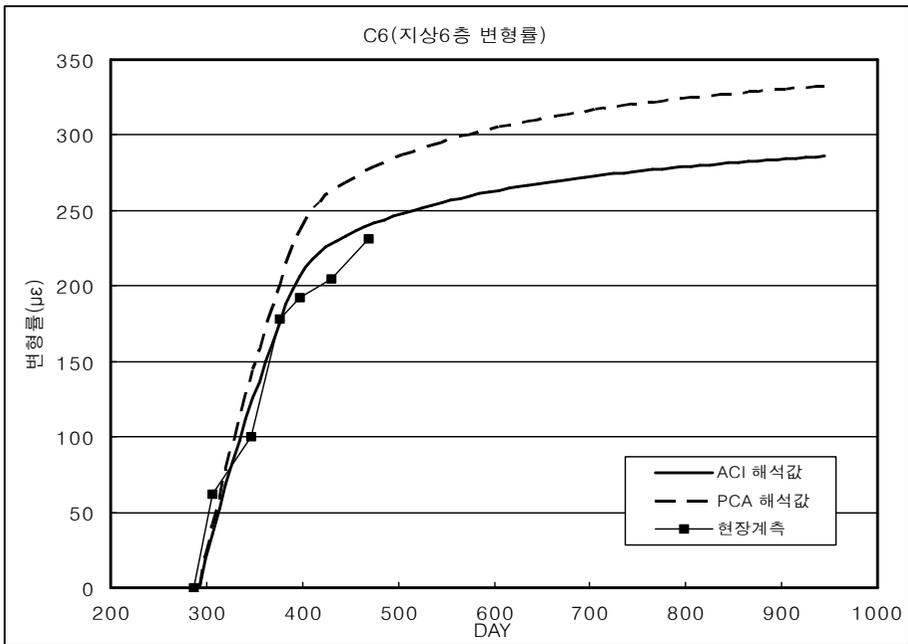


그림 4.56 지상 6층 C6기둥의 변형률(센서 No.28)

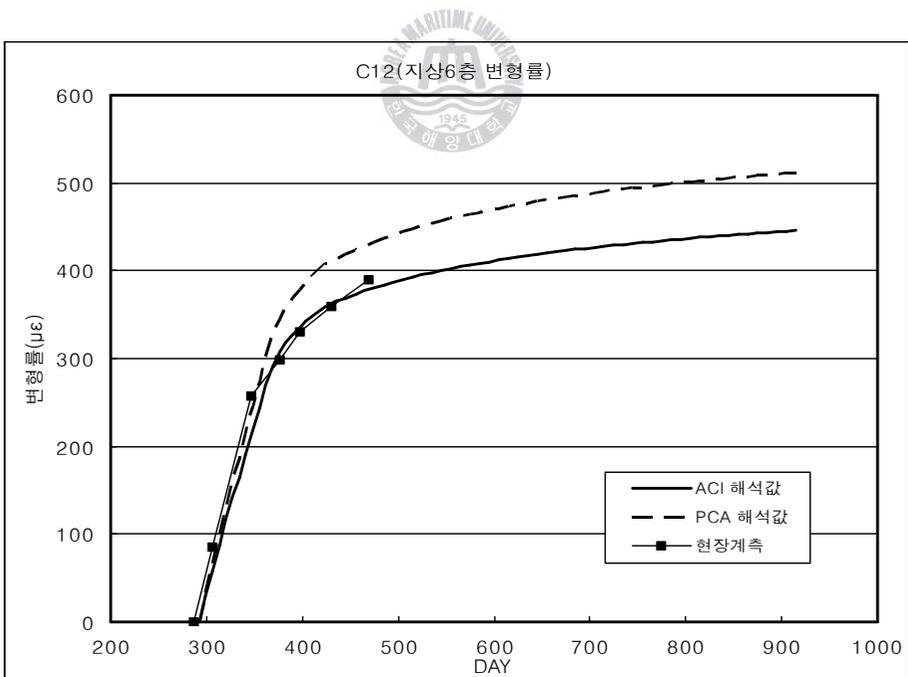


그림 4.57 지상 6층 C12기둥의 변형률(센서 No.27)

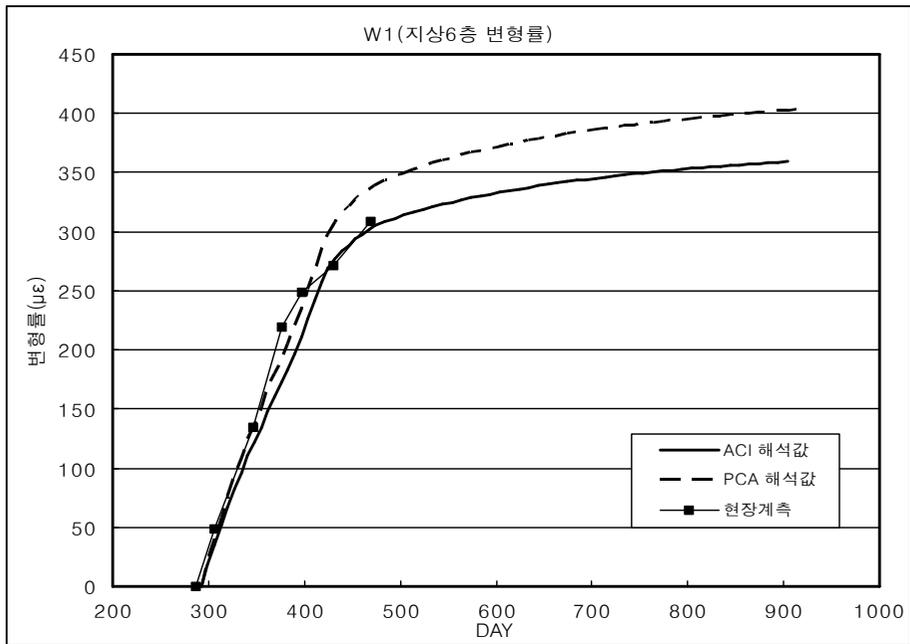


그림 4.58 지상 6층 W1벽체의 변형률(센서 No.26)



4.4 부등축소량 비교

부등축소량의 비교는 구조물의 보정방법과 밀접한 관계가 있다. 일반적으로 슬래브타설 이전의 축소량인 U_{pto} 축소량은 시공시 각 타설단계에서 수평레벨을 맞추는 과정에서 현장보정이 쉽게 이루어진다. 하지만 슬래브타설 이후에 발생하는 축소량인 부등축소량은 콘크리트의 비탄성 특성을 반영한 것으로 실제 발생할 축소량을 예측하여 시공시 반영하여야 하므로 현장타설시 일반적으로 보정되는 U_{pto} 축소량과는 다른 특징이 있다. 따라서 슬래브타설 이후에 발생하는 부등축소량의 정확한 예측이 필요하다.

일반적으로 구조물의 부등축소량의 보정여부 판단은 기둥과 기둥, 기둥과 전단벽 등 각 부재간에 부등축소가 발생했을 때 비구조부재에 영향이 미치지 않도록 수평부재의 허용처짐에 대한 기준을 적용하고 있다. 따라서 본 논문에서도 일반적인 기둥축소량의 허용처짐의 기준인 $L/240$ 을 적용하여 부등축소량을 비교하였다. 여기서 L 은 기둥간의 간격을 나타내는 값이다.

따라서 본 논문에서 PCA 모델식과 ACI 모델식에 의한 각 부재간에 발생한 부등축소량을 예측하며, 두 모델식에 의한 부등축소량을 통해 각 부재에 발생한 부등축소량이 PCA 모델식과 ACI 모델식에서 어떠한 변화가 나타나는지 살펴보고자 한다.

4.4.1 PCA 모델식에 의한 부등축소량

표 4.12는 PCA 모델식에 의해 발생한 인접한 각 부재간의 부등축소량을 비교한 결과이다.

C4와 C1A 기둥의 부등축소량은 6.510mm로 건축층수 22층에서 최대로 발생되었으며, C4와 C6 기둥의 경우 7.837mm로 건축층수 22층에서 최대로 발생하는 것으로 나타났다. C9와 C6 기둥의 경우 3.432mm로 26층에서 최대로 발생하

였으며, C12와 C9 기둥의 경우 13.754mm로 21층에서 최대로 발생하는 것으로 나타났다. 또한 C12 기둥과 W1 전단벽의 경우 17.442mm로 22층에서 부등축소량이 최대로 발생하는 것으로 나타났다. 각 부재간의 허용처짐각은 L/240으로 기둥간격을 나누어 허용부등축소량을 각 부재간에 나타내었다.

표 4.12 PCA 모델식에 의한 부등축소량

비교대상		Total Subto		기둥간격 (mm)	허용처짐각	허용부등 축소량
		최대부등축소량 (mm)	최대발생층 (층)			
C4	C1A	6.510	22F	3216	L/240	13.4
C4	C6	7.837	22F	2328	L/240	9.7
C9	C6	3.432	26F	4056	L/240	16.9
C12	C9	13.754	21F	4800	L/240	20.0
C12	W1	17.442	22F	4704	L/240	19.6

그림 4.59는 C4와 C1A 기둥간의 부등축소량을 나타낸 것으로 표 4.12에서 나타난 최대발생층과 차이가 있다. 이러한 차이는 건축층과 기둥축소량 해석층의 차이로 기둥축소량 해석시 시작층을 4층부터 해석을 실시한 결과이다.

그림 4.60은 C4 기둥과 C6 기둥간의 부등축소량 해석결과이며, 그림 4.61은 C9 기둥과 C6 기둥간의 부등축소량 해석결과를 나타내고 있다. 그림 4.62는 C12 기둥과 C9 기둥간의 부등축소량 해석결과이며, 그림 4.63은 C12 기둥과 W1 코어월의 부등축소량 해석결과를 나타내고 있다.

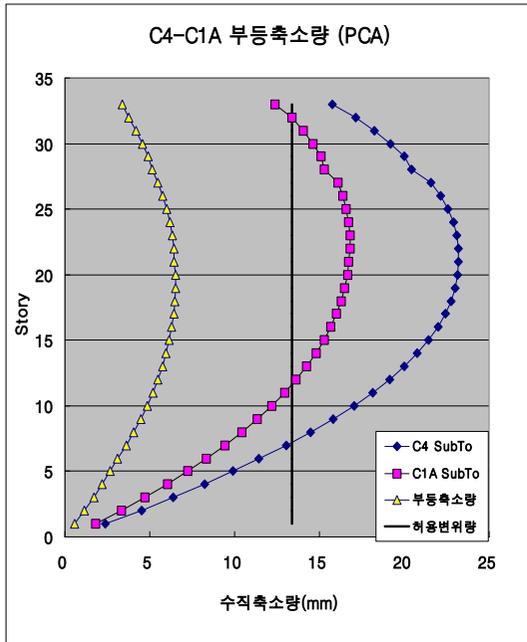


그림 4.59 C4-C1A 부등축소량(PCA)

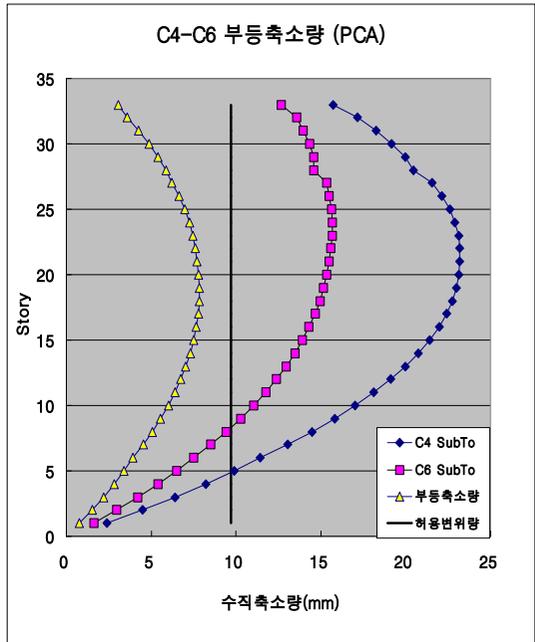


그림 4.60 C4-C6 부등축소량(PCA)

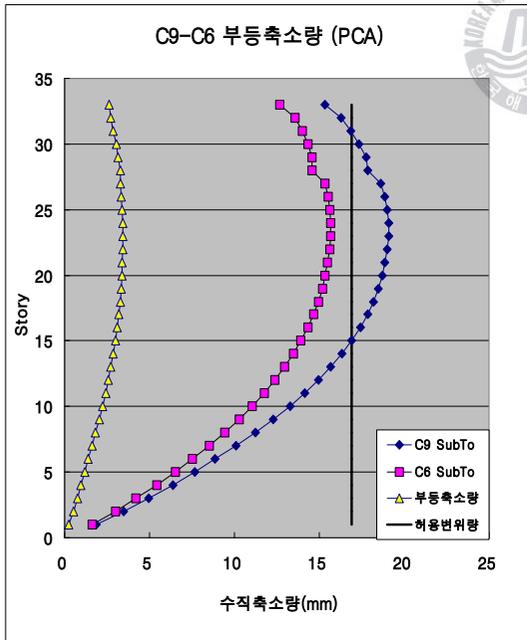


그림 4.61 C9-C6 부등축소량(PCA)

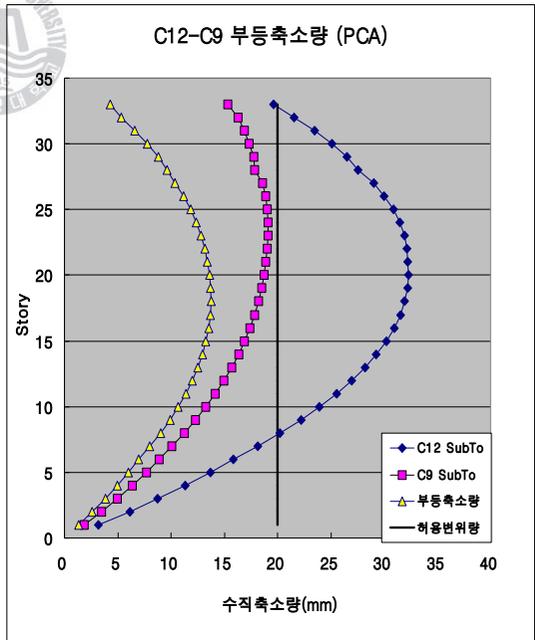


그림 4.62 C12-C9 부등축소량(PCA)

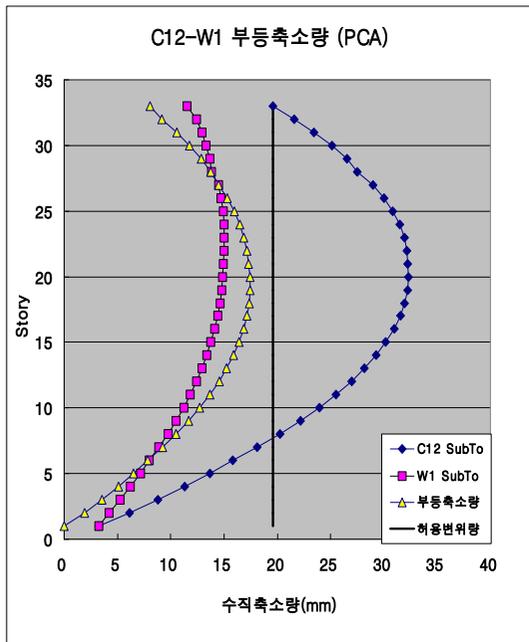


그림 4.63 C12-W1 부등축소량(PCA)



4.4.2 ACI 모델식에 의한 부등축소량

표 4.13은 ACI 모델식에 의해 발생된 인접한 각 부재간의 부등축소량을 비교한 결과이다.

C4와 C1A 기둥의 부등축소량은 6.004mm로 건축층수 19층에서 최대로 발생되었으며, C4와 C6 기둥의 경우 6.723mm로 건축층수 18층에서 최대로 발생하는 것으로 나타났다. C9와 C6 기둥의 경우 1.832mm로 20층에서 최대로 발생하였으며, C12와 C9 기둥의 경우 13.036mm로 18층에서 최대로 발생하는 것으로 나타났다. 또한 C12 기둥과 W1 전단벽의 경우 16.071mm로 19층에서 부등축소량이 최대로 발생하는 것으로 나타났다. 각 부재간의 허용처짐각은 L/240으로 기둥간격을 나누어 허용부등축소량을 각 부재간에 나타내었다.

표 4.13 ACI 모델식에 의한 부등축소량

비교대상		Total Subto		기둥간격 (mm)	허용처짐각	허용부등 축소량
		최대부등축소량 (mm)	최대발생층 (층)			
C4	C1A	6.004	19F	3216	L/240	13.4
C4	C6	6.723	18F	2328	L/240	9.7
C9	C6	1.832	20F	4056	L/240	16.9
C12	C9	13.036	18F	4800	L/240	20.0
C12	W1	16.071	19F	4704	L/240	19.6

그림 4.64는 C4와 C1A기둥, 그림 4.65는 C4와 C6 기둥, 그림 4.66은 C9과 C6 기둥간의 부등축소량 해석결과이며, 그림 4.67은 C12와 C9 기둥, 그림 4.68은 C12 기둥과 W1 코어월의 부등축소량 해석결과를 나타내고 있다.

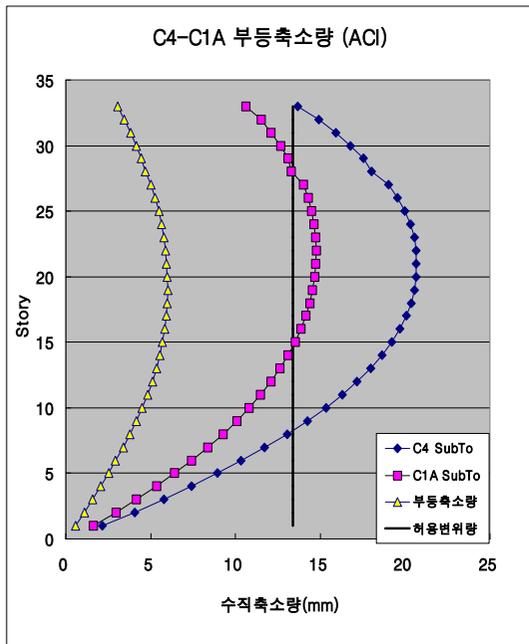


그림 4.64 C4-C1A 부등축소량(ACI)

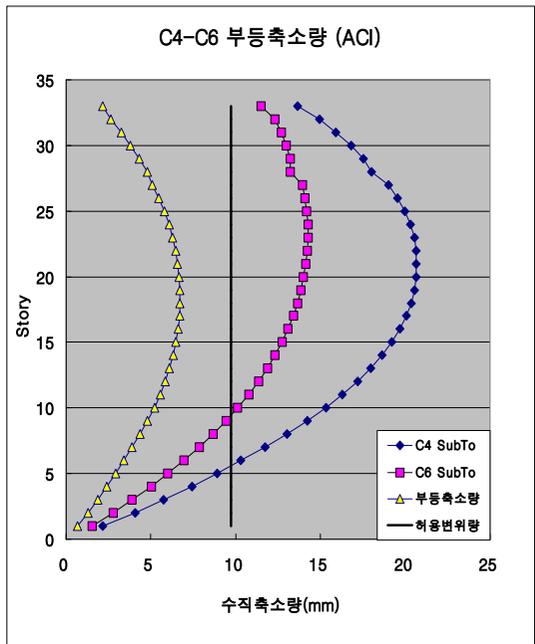


그림 4.65 C4-C6 부등축소량(ACI)

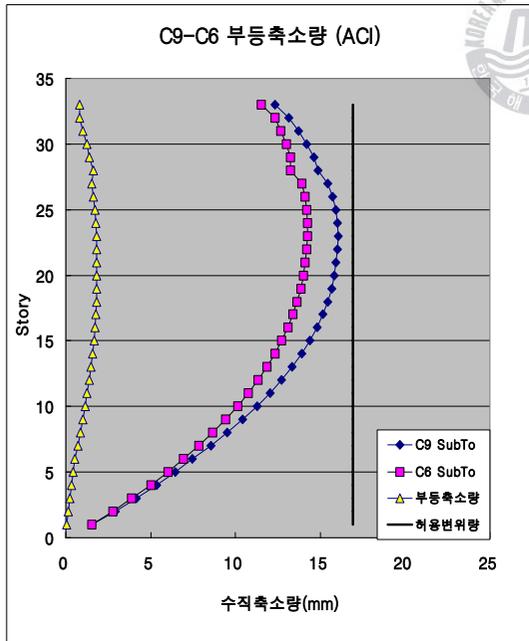


그림 4.66 C9-C6 부등축소량(ACI)

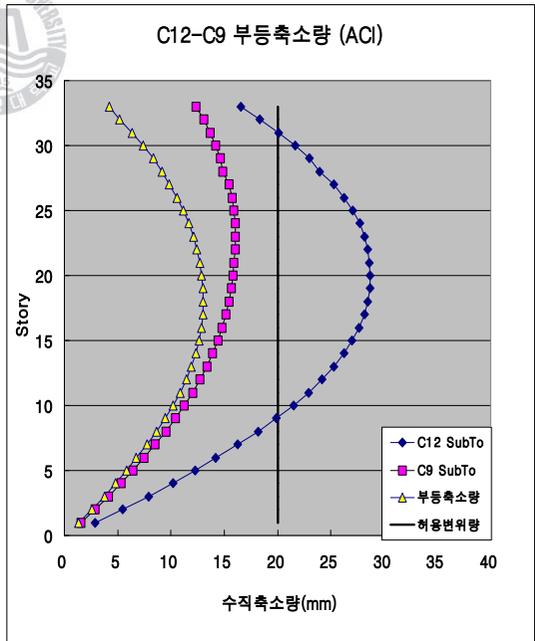


그림 4.67 C12-C9 부등축소량(ACI)

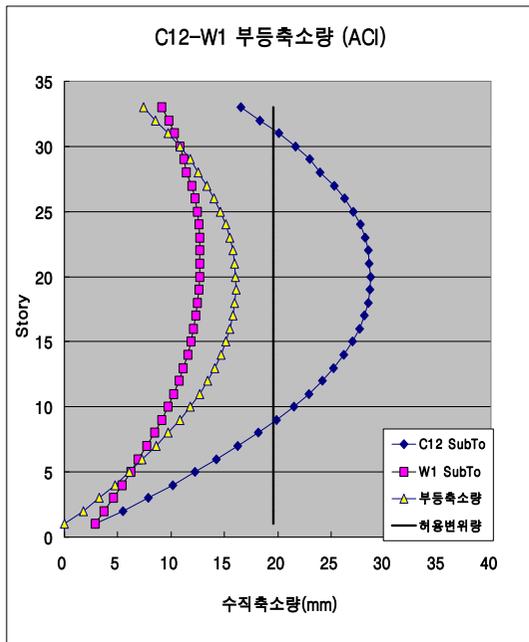


그림 4.68 C12-W1 부등축소량(ACI)



4.4.3 PCA 모델식과 ACI 모델식의 부등축소량 비교

PCA 모델식과 ACI 모델식의 부등축소량 비교를 위해 앞서 조사된 각 모델식의 부등축소량 Total값을 조사하였다. 조사한 값을 통해 각 부재간의 그래프를 도시하였으며, 도시된 상태를 통해 그래프상에서 두 모델식의 부등축소량을 비교한 결과 비슷한 결과를 나타내는 것을 알 수 있었다.

표 4.14에서는 PCA 모델식과 ACI 모델식에 대한 부등축소량의 비교를 나타내고 있다. 부등축소량의 비교를 위해 PCA 모델식에 의한 부등축소량의 누적치와 ACI 모델식에 의한 누적치를 계산하여 그 비를 계산한 경우 C4-C1A의 경우 92.2%의 일치성을 보이며, C4-C6의 경우 84.2%, C9-C6의 경우 48.6%, C12-C9의 경우 95.3%, C12-W1의 경우 92.2%의 일치성을 보이고 있다.

부등축소량 비교에서 대부분의 경우 높은 일치성을 보이고 있으나, C9-C6의 경우에는 그 비율이 48.6%로써 일치성이 많이 떨어지고 있는 것을 보여주고 있다. 이러한 이유는 두 기둥간의 부등축소량의 값이 너무 작아서 생긴 결과이다. 따라서 이러한 결과를 보정하기 위해 허용축소량의 누적값에 각 부등축소량의 누적값을 뺀 값으로 부등축소량의 비교를 해 보았다.

$$\text{비율} = \frac{(\text{허용축소량의누적값} - \text{PCA누적부등축소량})}{(\text{허용축소량의누적값} - \text{ACI누적부등축소량})} \quad (\text{식 4.1})$$

위와 같은 방법으로 두개의 축소량에 대한 일치성을 비교한 결과 C4-C1A의 경우 95.9%, C4-C6의 경우 81.9%, C9-C6의 경우 91.7%, C12-C9의 경우 95.7%, C12-W1의 경우 88.0%의 일치성을 보여주고 있다. 따라서 허용부등축소량에 대한 면적에 각 누적부등축소량의 면적을 뺀 값으로 두개의 값을 비교할 경우 높은 일치성을 보여주고 있다.

표 4.14 PCA 모델식과 ACI 모델식의 부등축소량 비교

비교대상		누적 축소량			ACI/PCA의 누적축소량 비교	비교2
		PCA (mm)	ACI (mm)	허용축소량 (mm)		
C4	C1A	157.688	145.456	442.2	0.922	0.959
C4	C6	186.557	157.091	320.1	0.842	0.819
C9	C6	83.866	40.799	557.7	0.486	0.917
C12	C9	321.444	306.401	660.0	0.953	0.957
C12	W1	410.908	378.837	646.8	0.922	0.880

그림 4.69는 C4-C1A 기둥간의 부등축소량 비교결과이며, 그림 4.70은 C4-C6 기둥간의 부등축소량 비교결과이며, 그림 4.71은 C9-C6 기둥간의 부등축소량 비교결과이며, 그림 4.72는 C9-C12 기둥간의 부등축소량 비교결과를 나타내고 있다. 그림 4.73은 C12기둥과 W1 벽체간의 부등축소량 비교결과를 보여주고 있다.

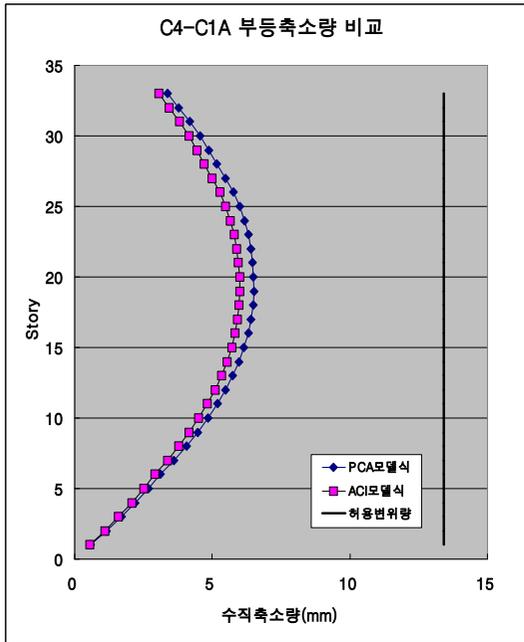


그림 4.69 C4-C1A 부등축소량 비교

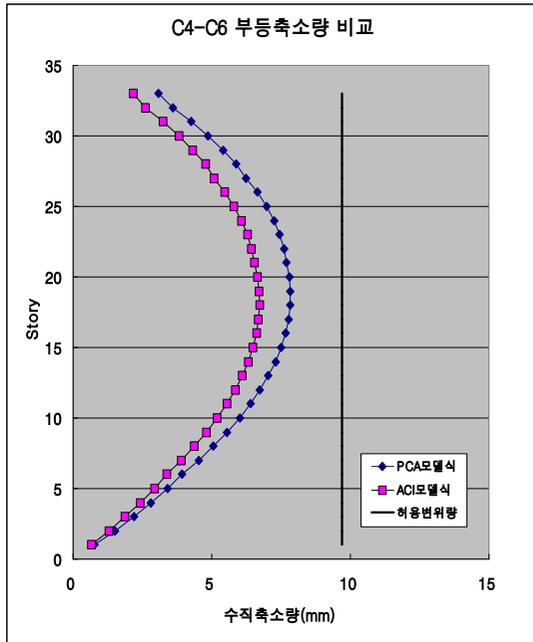


그림 4.70 C4-C6 부등축소량 비교

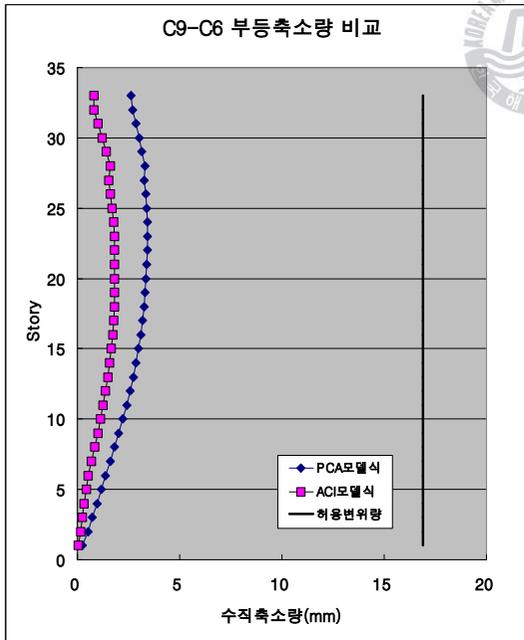


그림 4.71 C9-C6 부등축소량 비교

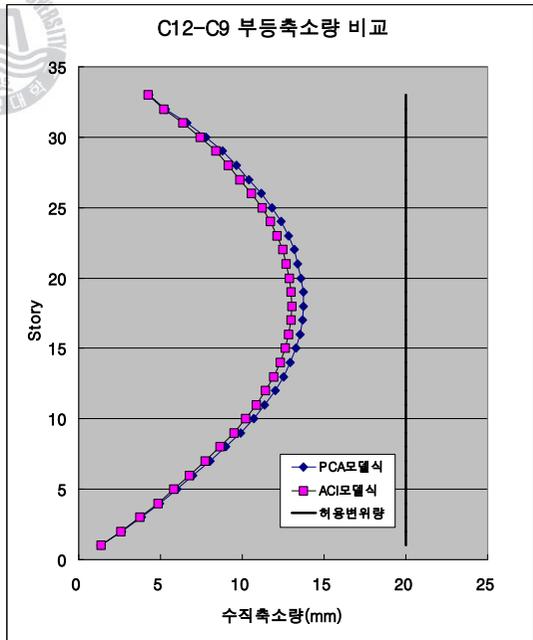


그림 4.72 C12-C9 부등축소량 비교

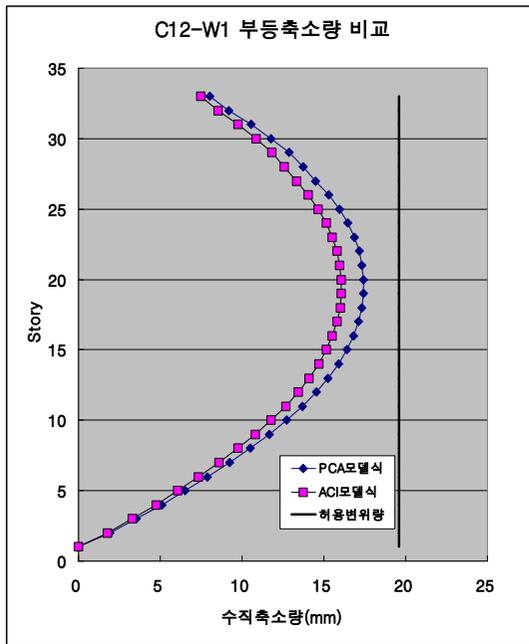


그림 4.73 C12-W1 부등축소량 비교



5. 결 론

본 연구에서는 기 시공된 초고층 건물에서 계측된 기둥 및 벽체의 변형량을 통해서 PCA 모델식과 ACI 모델식에 대한 변형량 비교를 실시하였으며, 현장에서 적용된 콘크리트의 재료적 특성을 이용하여 두 모델식간의 부등축소량을 비교분석한 결과는 다음과 같다.

1. PCA 모델식과 ACI 모델식의 비교를 위해 현장에 계측된 기둥 및 벽체의 변형량을 예측식과 비교하여 나타내었으며, 현장계측치의 변형량이 ACI 모델식과 비슷한 값을 나타내는 것으로 알 수 있었다.

2. PCA 모델식과 ACI 모델식에 의한 기둥축소량 해석결과 ACI 모델식에 의한 해석결과값이 PCA 모델식에 의한 해석결과값보다 작게 나오는 것을 알 수 있었다.



3. PCA 모델식과 ACI 모델식의 부등축소량 비교시 부등축소량의 면적인 누적 부등축소량으로 비교한 결과 두 모델식간의 유사성이 84%~95%정도인 것으로 나타났다. 하지만 일부 기둥간 부등축소량의 경우 48.6%로 유사성이 현저히 떨어지는 것으로 확인되었으나, 두 모델식의 축소량의 값이 너무 작아 축소량이 조금만 변동되어도 유사성이 크게 떨어지는 것으로 나타나고 있다.

4. 두 모델식에 의한 부등축소량의 결과를 분석한 결과 전체축소량과 달리 그 유사성이 높게 나타남에 따라 다른 모델식을 적용하여도 부등축소량의 보정값에는 큰 영향을 주지 않을 것으로 판단된다.

향후 폭넓은 데이터 확보를 통해 PCA 모델식 및 ACI 모델식의 부등축소량

해석시 유사성을 더 조사할 필요가 있으며, 또한 두 모델식 이외에 다른 기준에서 제시하는 모델식을 적용하여 각 모델식간의 부등축소량 유사성에 대한 심도있는 연구가 필요하다.



참 고 문 헌

1. Fintel M., Khan F. R., "Effects of Column Creep and Shrinkage in Tall Structures Prediction of inelastic Column Shortening", ACI Journal Proceedings, Vol. 6, No.12, American Concrete Institute, Detroit, Mich, December 1969, pp 957-967
2. Fintel, M., Ghosh, S.K. and Iyengar, H., "Column Shortening in Tall Structures - Prediction and Compensation", Portland Cement Association, 1986
3. 송화철, 유은중, 정석창, 주영규, 안재현, 박칠림, "비탄성효과를 고려한 Plaza Rakyat 오피스동의 기둥부등축소량", 한국콘크리트학회, Vol. 9, No. 2, 1997, 11
4. 송화철, 유은중, 정석창, 주영규, 박칠림, "초고층 콘크리트 건물의 기둥축소량 효과", 대한건축학회 논문집, 제13권, 12호, 통권110호, 1997, 12
5. 조석희, 김한수, 김도균, "초고층건물의 기둥축소량 예측 및 현장계측", 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, Vol. 22, No. 2, 2002, 10, pp 225-228
6. 김옥중, 홍성현, "초고층건축물에서의 수직부재 축소량 해석기법에 관한 연구", 대림산업기술연구소, 대림기술정보, 2004, 03, pp 32-43
7. 송화철, 도근영, 조훈희, "37층 초고층주상복합건물 기둥의 기둥축소량 현장계측 및 보정법", 한국건축시공학회, Vol. 5, No. 4, 통권 제18호, 2005, 12, pp 145-152
8. 하태훈, "기둥축소량 현장계측 및 재료시험", 대우건설기술연구소, 대우건설기술, 통권 제29호, 2007, 07, pp 163-166
9. ACI Committee 209, "Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structure, Manual of Concrete Practice", American

- Concrete Institute, Detroit, MI., 1999
10. CEB(Comite Euro-International Du Beton), CEB-FIP Model Code 1990, Thomas Telford Services Ltd., 1993
 11. Bazant, Z. P., Kim, Joong-Koo and Panula, L., "Improved Prediction Model for Time Dependent Deformations of Concrete", Part 1-Shrinkage", Ibid. 24, 1991 ; "Part 2-Basic Creep", Ibid. 24, 1991 ; "Part 3-Creep at drying", Ibid. 25, 1992 ; "Part 4-Temperature effects", Ibid. 25, 1992 ; "Part 5-Cyclic load and cyclic humidity", Ibid. 25, 1992
 12. Z. P. Bazant, and S. Baweja, "Justification and Refinements of Model B3 for Concrete Creep and Shrinkage, 2. Updating and Theoretical Basis", Materials and Structures, RILEM, Vol. 28, 1995
 13. (주)MIDAS IT, *MIDAS/GENw User's Manual Vol. I ~ III*, 2000



감사의 글

대학원생활 2년을 마치는 과정에서 참 많은 인연을 만나고 많은 일들을 겪었습니다. 세차게 불어오는 바람과 파도처럼 힘들고 지쳤던 적도 있었고, 잔잔한 바다위로 조용히 떠오르는 태양처럼 행복을 느꼈던 적도 많았습니다. 그런 시간들을 뒤로 하고 학교를 졸업한다고 생각하니 아쉬움과 홀가분한 마음이 공존합니다.

본 논문이 있기까지 2년이라는 대학원과정에서 구조를 선택하여 보람을 느낄 수 있게 많은 가르침과 관심으로 이끌어주신 송화철 교수님께 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

미흡한 논문을 좀 더 좋은 논문이 될 수 있도록 심사해주신 박수용 교수님과 도근영 교수님 그리고 박동천 교수님께 더 많은 노력으로 실력을 갖춘 제자가 될 것을 약속드립니다. 또한 대학원을 보내는 과정에서 많은 가르침을 주신 이한석 교수님, 이명권 교수님과 안윙희 교수님, 오광석 교수님, 조훈희 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

건축이라는 것을 조금씩 배워갈 수 있도록 이끌어줬던 많은 지인들, 못한 선배의 작은 충고에도 귀 기울이며 따라준 많은 동생들, 그리고 옆에서 묵묵히 힘이 되어준 친구들, 아이스터 이수환 차장, 정현정과 졸업이라는 기쁨을 함께 하였습니다. 2년이라는 시간을 연구실에서 동고동락한 조용수와 신영무, 김하현에게 고마움을 전합니다.

논문을 작성할 수 있도록 자료를 제공해주신 아이스터 관계자분들께도 감사의 말씀을 드립니다.

제가 이 자리에 있게끔 지켜주시고 가르쳐주신 존경하고 사랑하는 부모님과 늘 곁에서 응원을 아끼지 않았던 아내에게 저의 마음을 전합니다. 아들로써, 그리고 남편으로서 좀 더 나은 모습을 위해 노력하는 모습 보여드리도록 하겠습니다.

2009년 1월
백재학