

이동 평균법을 이용한 고층 건물의 부등축소량 보정 기법

Average Correction for Compensation of Differential Column Shortening in High-rise Buildings

박 성 우† 최 세 운** 박 효 선*
Park, Sung-Woo Choi, Se-Woon Park, Hyo-Seon

요 지

시간이 지남에 따라 건물의 수직부재가 수축하는 것을 기둥축소라고 한다. 건물의 고층화 및 비정형화 추세 때문에 수직 부재들에 작용하는 축하중 크기 간의 차이를 피할 수 없게 되며, 이의 영향으로 인접 수직부재 간의 축방향 축소량이 차이가 나게 된다. 이러한 부등축소량은 수직부재와 수평부재의 접합부에 추가적인 응력을 유발시키거나 슬래브의 기울어짐 또는 간벽이나 창호 등 비구조재의 사용성에 문제를 초래하게 된다. 이러한 부등축소량의 영향을 감소시키기 위하여 시공 중 수직부재의 설치 시 예측된 보정을 하게 된다. 보정의 합리성은 각 부재별 축소량의 정확한 예측과 예측된 축소량을 이용한 각 부재들의 합리적 보정량 산정에 있다. 부등축소량의 예측은 점점 더 정확해지고 있으나 보정 기법에 관한 연구는 거의 없다. 따라서 본 논문에서는 이동 평균법을 사용한 보정 기법과 보정하면서 발생하는 오차에 대한 합리적인 제한조건을 제시하였으며, 제한조건의 변화와 보정 그룹 수의 관계를 살펴봄으로써 제한조건 설정의 객관적인 판단 기준이 되었다. 그리고 이전에 연구되어진 SA 알고리즘을 사용한 최적 보정 기법과 결과를 비교해 봄으로써 이동 평균법 보정 기법의 효과를 검증하였다.

핵심용어 : 기둥축소, 보정, 이동 평균법

Abstract

The vertical members of structures are shortened as time goes on. Because structures have been high-rising and atypical there should be different axial loads among vertical members and it causes differential column shortenings. The differential column shortening add stresses to connections, make slab tilt, and damage to non-structural components. To reduce these influences compensation is need. The rational compensation means the exact expectation of amounts of column shortenings and the reasonable corrections. The expectation of column shortenings are more exact as researched, however, there is little research about the compensation. This paper presents the average correction method and the constraints for differential column shortenings considering errors due to the construction precision. The relations between constraints and the number of correction groups give an objective criterion for decision of constraints.

Keywords : column shortening, compensation, average correction

1. 서 론

건물의 높이가 증가할수록 수직부재의 기둥축소량 또한 증가하며 이러한 기둥축소 현상의 요인으로는 2가지가 있다. 하나는 수직하중에 의해 발생하는 탄성 기둥축소이고 다른 하나는 건조수축과 크리프에 의하여 발생하는 비탄성 기둥축

소이다. 건물의 고층화 및 비정형화 추세 때문에 수직 부재들에 작용하는 축하중 크기 간의 차이를 피할 수 없게 되며, 이의 영향으로 인접 수직부재 간의 축방향 축소량이 차이가 나게 되는데, 이를 부등축소량이라고 한다.

이러한 부등축소량은 수직부재와 수평부재의 접합부에 추가적인 응력을 유발시키거나 슬래브의 기울어짐 또는 간벽이

† 책임저자, 학생회원 · 연세대학교 건축공학과 석사과정

* 교신저자, 정회원 · 연세대학교 건축공학과 교수
Tel: 02-2123-2794 ; Fax: 02-365-4668

E-mail: hspark@yonsei.ac.kr

** 연세대학교 건축공학과 박사과정

• 이 논문에 대한 토론을 2010년 10월 30일까지 본 학회에 보내주시면 2010년 12월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

나 창호 등 비구조재의 사용성에 문제를 초래하게 된다. 이러한 부등축소량의 영향을 감소시키기 위하여 시공 중 수직 부재의 설치 시 예측된 보정을 하게 된다. 이러한 보정의 합리성은 각 부재별 축소량의 정확한 예측과 예측된 축소량을 이용한 각 부재들의 합리적 보정량 산정에 있다(Park, 2003).

수직부재들 간 부등축소량을 예측하기 위한 연구는 꾸준히 진행되어 왔다(1992, ACI). Seol 등(2008)은 철골-콘크리트 합성 수직부재가 서로 다른 습도의 환경에 있을 경우 부등축소를 예측하는 기법을 발표하였으며, Yang과 Yi(2007)는 인공신경망 알고리즘을 사용하여 고층건물의 부등축소량을 예측하는 기법에 대하여 발표하였다. Fintel과 Khan(1969)은 고층 건물의 기둥에 발생하는 크리프와 건조수축을 고려한 비탄성 수축량에 관하여 연구하였고, Fintel 등(1984)은 고층 건물의 기둥축소량과 보정에 관하여 연구하였으며, Gao(1993)는 세장한 RC 기둥축소량에 관한 연구를, 그리고 Elnimeiri (1997)는 콘크리트와 합성구조로 이루어진 고층 건물의 장기 기둥축소에 관한 연구를 하였다.

이처럼 예측 기법들은 점점 더 많은 요인을 고려하면서 정확해 지고 있으나, 이를 보정하는 기법에 관한 연구는 많지 않다. 공사의 정밀도와 공사기간, 비용에 한계가 있기 때문에 매 층마다 정확히 보정을 할 수는 없다. 대신 모든 층을 몇 개의 그룹으로 나누어 같은 그룹 내에서는 적당한 값으로 똑같이 보정하는 방법을 사용하고 있다. 따라서 기둥의 부등축소 예측량과 보정량에는 차이가 발생할 수밖에 없다.

따라서 이러한 보정과 예측량의 차이가 커질수록 건물에 발생하는 피해는 커지기 때문에 제한을 하게 되는데, 이는 엔지니어의 경험에 비추어 이루어지고 있는 실정이며, 정해진 어떠한 기준도 없다. 일반적으로 예측량과 보정량의 차이에 대한 제한조건이 작을수록 더 많은 그룹의 수가 필요할 것이다. 따라서 부등축소량의 최적 보정 기법이란 보정량과 기둥축소 예측량 사이의 최대 보정 오차값이 제한조건을 만족함과 동시에 시공성 향상을 위하여 최소의 보정 그룹 수를 갖는 것을 뜻한다.

본 논문에서는 이동 평균법을 사용한 보정량 설정 기법과 제한조건을 제시하였으며, 시공의 정확도를 고려하고 또한 그룹의 수와 보정 오차와의 관계를 파악해 보았다.

2. 기둥축소 예측 기법과 부등축소량

수직 부재의 축소의 요인으로는 크게 2가지로 나누어 생각할 수 있다. 첫 번째는 수직하중에 의하여 발생하는 탄성 축소이다. 콘크리트 건물의 경우 시간이 지남에 따라 재료의 성질이 변하기 때문에 부재의 전체 수축량은 부재의 적당한 강성의 대표값과 하중값을 사용하여 구할 수 있다. 두 번째는 비탄성 축소로서 이는 건조수축과 크리프에 의해 발생한다. 건조 수축과 크리프는 재료의 여러 환경적 요소인 온도, 습도, 그리고 콘크리트 배합, 표면적과 부피의 비에 따라 달라지며 이는 예측하기 매우 어렵다.

기둥의 축소량을 정확히 예측하기 위해서는 시공 과정을 반드시 고려해야 한다. 한 층에 수직하중이 작용하는 시점은 그 층의 슬래브 타설이 끝나고 그 위층의 공사가 시작하는 시점과 동일하기 때문이다. 비록 슬래브가 시공되기 전에도 수직 부재에 수축이 발생하지만 콘크리트 건물의 경우 위층을 시공하면서 자연스럽게 보정이 되기 때문에 크게 문제되지 않는다. 따라서 슬래브 타설 후 부재에 발생하는 수축량이 건물에 영향을 미치게 된다.

본 논문의 예제로 사용된 부등축소량은 높이 70층인 콘크리트 건물로써 슬래브 타설 후 발생한 외곽 기둥과 전단벽 사이의 부등축소량 값을 사용하였다. 이 예측값은 Fintel(1984)의 예측 모델로써 구해진 값으로 모든 데이터는 슬래브 타설 후에 발생한 수축량이며, 외곽 기둥과 전단벽의 특성은 각각 표 1과 2에 나타나 있으며 두 부재의 부등축소량 그래프는 그림 1과 같다.

건물의 수직 부재에 수축이 발생했을 경우 이를 보정하는 방법에는 2가지가 있다. 설계대로의 높이를 맞추는 절대 보정 방법과 부재 상호간의 높이를 맞추어 건물의 층 높이가

표 1 외곽 기둥의 속성(Fintel 등, 1984)

Floors	Concrete strength (ksi)	Column size (in.×in.)	Gross area (in. ²)	Steel area (in. ²)	Floor load (kips)	V/S ratio (in.)	Ultimate shrinkage (10 ⁻⁶ in.in. ⁻¹)	Specific creep (10 ⁻⁶ in.in. ⁻¹ psi ⁻¹)
1-10	8	72×72	5184	128.0	254.7	18.0	500	0.175
11-20	8	72×72	5184	63.8	254.7	18.0	500	0.175
21-30	8	60×60	3600	79.2	254.7	15.0	500	0.175
31-40	7	60×60	3600	64.1	254.7	15.0	500	0.200
41-50	6	60×60	3600	47.9	254.7	15.0	500	0.250
51-62	6	44×44	1936	31.9	254.7	11.0	500	0.250
63-67	6	32×32	1024	12.5	254.7	8.0	500	0.250
68-70	6	32×32	1024	12.5	196.8	8.0	500	0.250

표 2 전단벽의 속성(Fintel 등, 1984)

Floors	Concrete strength (ksi)	Wall thickness (in.)	Gross area (in. ²)	Steel area (in. ²)	Floor load (kips)	V/S ratio (in.)	Ultimate shrinkage (10 ⁻⁶ in.in. ⁻¹)	Specific creep (10 ⁻⁶ in.in. ⁻¹ psi ⁻¹)
1-14	6	24	9936	109.2	245.6	11.34	500	0.250
15-18	6	20	8280	88.9	231.6	9.54	500	0.250
19-30	6	20	8280	88.9	237.0	9.54	500	0.250
31-40	6	16	6624	70.0	222.6	7.70	500	0.250
41-46	4.5	12	6624	70.0	222.6	7.70	500	0.350
47-72	4.5	12	4968	42.0	208.6	5.83	500	0.350

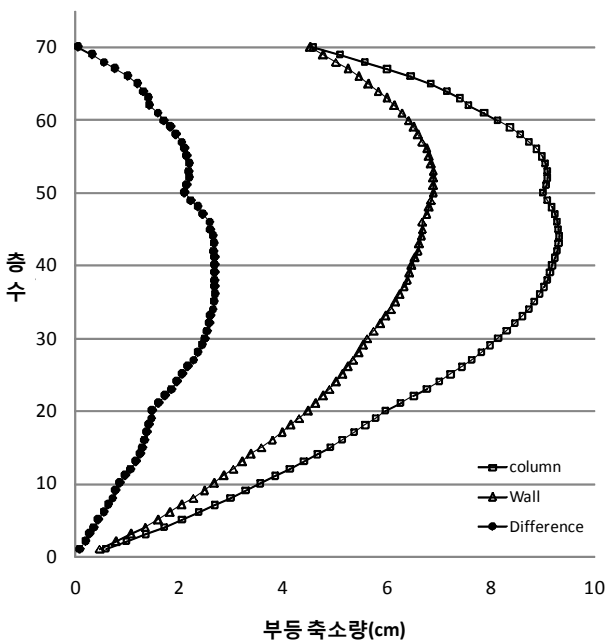


그림 1 외곽기둥과 전단벽의 부등축소량

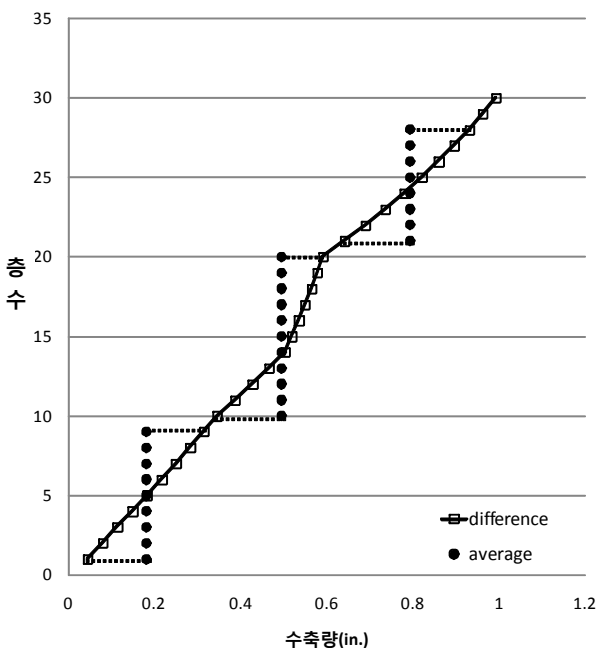


그림 2 이동 평균법을 이용한 보정

같아지도록 하는 상대 보정 방법이 있다. 본 논문에서 제시하는 이동 평균 보정 기법은 상대 보정 방법에 적용하기로 한다. 따라서 이후에 제시되는 예측 수축량 값은 하나의 수직 부재를 기준으로 하여 그 부재와 인접한 다른 수직부재에 발생하는 부등축소량 값을 의미하며, 이는 어느 한 수직 부재를 기준으로 다른 수직 부재의 예측된 수축량과의 차이로 구할 수 있다.

3. 기존 연구의 한계점

공사비용, 공사기간의 한계로 인하여 매 층마다 정확히 보정하며 시공하는 것은 실질적으로 불가능하다. 따라서 몇 개의 층을 하나의 그룹으로 하여 같은 양만큼 보정을 하는 것이 일반적이다. 그러나 그룹을 몇 개로 나누어야 하는지 하나의 그룹에서는 얼마만큼의 보정량을 사용해야 하는지에 대한 객관적인 판단 기준은 존재하지 않으며 엔지니어의 경험에 의하여 직관적으로 정해지고 있다.

Park(2003)은 SA 알고리즘을 사용한 최적의 부등축소량 보정 기법을 제시하였다. 최적의 보정 기법이란 보정량과 부등축소 예측량 사이의 제한된 오차값에 대하여 시공성 향상을 위해 최소의 그룹 수를 갖도록 그룹을 나누고 그에 따른 보정량을 결정하는 것을 의미한다. 그러나 SA 알고리즘을 사용하는 과정에서 랜덤하게 결과가 나오므로써 여러 번 시행착오를 거쳐 최적 보정값을 얻어야 하는 단점이 있었다.

기존의 최적 보정 기법의 제한조건으로는 다음의 두 가지가 있다. 첫 번째는 매 층의 오차값이 엔지니어의 경험에 의해 제시된 제한 값을 넘지 않는 것, 그리고 두 번째는 그룹 내 오차값의 합이 제한 값을 넘지 않는 것이다. 그러나 이러한 제한조건은 합리적이지 못하다.

그림 3과 같이 만약 1층의 기둥에서 1만큼의 수축량이 발생한다면 (b) 그 위층도 영향을 받아 모든 층이 본래 건물의 높이(a)보다 1만큼 낮아진다. 그리고 2층의 기둥에서 1만큼 추가적인 수축량이 발생한다면 (c) 2층 이상으로는 본래 건물의 높이(a)보다 2만큼 낮은 상태가 된다.

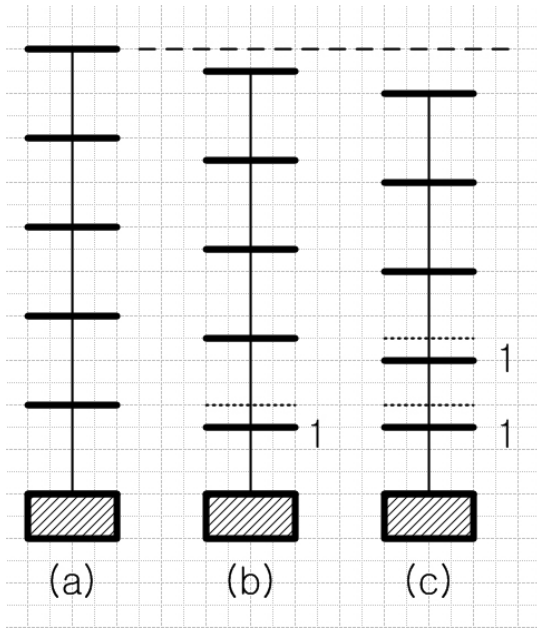


그림 3 기둥의 누적된 축소량 개념도

이와 같은 방식으로 5층의 건물에서 매층마다 1만큼씩 수축량이 발생한다면 결국 최상층에서는 5만큼의 수축량이 발생하는 것으로, 따라서 부등축소량의 최적 기법에서는 이러한 특성이 반영된 보다 합리적인 제한조건이 필요하다.

4. 이동 평균 보정 기법

4.1 이동 평균과 보정 그룹

본 논문에서는 그룹을 나누고 그룹에 적용될 보정량을 결정하기 위하여 이동 평균법을 제시하였다. 아래층에서부터 보정이 이루어지므로 1층부터 부등축소값의 평균값을 구해 간다. 평균값에 적용된 데이터의 수가 늘어날수록 평균값과 데이터간의 차이는 커질 것이며, 만약 1층부터 i 번째 층까지의 부등축소 데이터 평균값과 어느 데이터와 오차가 주어진 제한조건을 넘어간다면 i 번째 층은 다음 그룹에 속하게 된다 (그림 2). 따라서 1층부터 $i-1$ 번째 층까지가 첫 번째 보정 그룹으로 1층부터 $i-1$ 번째 층까지의 부등축소 데이터 평균값을 사용하여 일정하게 보정을 하게 되며 다시 i 번째 층에서부터 같은 방법으로 보정값과 그룹을 결정하게 된다.

이동 평균법의 보정값은 평균을 사용하며 그룹을 나누는 기준은 제한조건이 된다. 제한조건의 한계치까지 오차를 허용하며 보정이 이루어지기 때문에 결국 최소한의 보정그룹을 가지게 되며 이는 앞서 제시한 최적의 보정방법이라 할 수 있다.

보정그룹을 나누는 기준이 되는 제한조건은 법적 기준이 없으며 엔지니어가 경험에 비추어 결정하고 있다. 따라서 이

동평균을 사용한 보정기법을 적용되기 위해서는 합리적인 제한조건이 필요하다.

4.2 제한조건

그룹 내에서 이동 평균에 의한 보정값의 합과 부등축소 예측량 값의 합은 같으며, 따라서 기존의 보정 기법의 제한조건 중 하나였던 그룹 내 보정값과 부등축소값의 오차값의 합에 관한 조건은 무의미해 졌음을 알 수 있다.

아래층의 수축이 그보다 위층에 끼치는 영향을 고려하기 위하여 누적된 오차값을 사용하였으며, 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\left| \sum_{k=1}^i \delta_k^P - \sum_{k=1}^i \delta_k^C \right| \leq \theta \quad (i=1 \text{ to } n) \quad (1)$$

여기서, n 은 총 층수를 의미하고, δ_k^P 는 k 층에서 발생하는 부등축소값을 뜻하며, δ_k^C 는 k 층에 적용되는 보정값을, 그리고 θ 는 오차의 제한값을 의미한다. 따라서 누적된 부등축소값과 누적된 보정값과의 차이를 제한조건과 비교함으로써 수직 부채간 실제 층 높이의 오차값을 제한조건으로 제시하게 되었다.

4.3 제한조건과 그룹 수의 관계

지금까지 보정 그룹을 나누고 보정값을 결정하는 방법과 제한조건식을 제시하였으며 따라서 정해진 제한조건, 즉, 어느 하나의 θ 에 대한 보정값과 그룹을 결정할 수 있게 되었다. 그러나 θ 값을 얼마로 정해야 하는지는 정해진 기준이 없으며 현재 엔지니어의 경험에 비추어 결정되고 있다. 그러나 그룹 수와 제한조건의 관계를 구한다면 엔지니어가 θ 값을 결정하는데 객관적인 판단 자료로 활용될 수 있을 것이다.

일반적으로 제한조건이 까다로울수록 더 많은 보정 그룹이 필요할 것이다. 따라서 본 논문에서는 θ 값을 0.1cm부터 그룹의 수가 1개가 될 때까지 θ 값을 키워가면서 70층 건물의 예제에 이동 평균법을 적용하여 제한조건과 그룹수의 관계를 나타내 보았다.

5. 70층 건물의 예제

5.1 기존 연구 결과와 비교

본 논문에서 제시하는 이동 평균 보정 기법의 효율성을 입증하기 위하여 기존에 연구 되었던 SA 알고리즘을 이용한

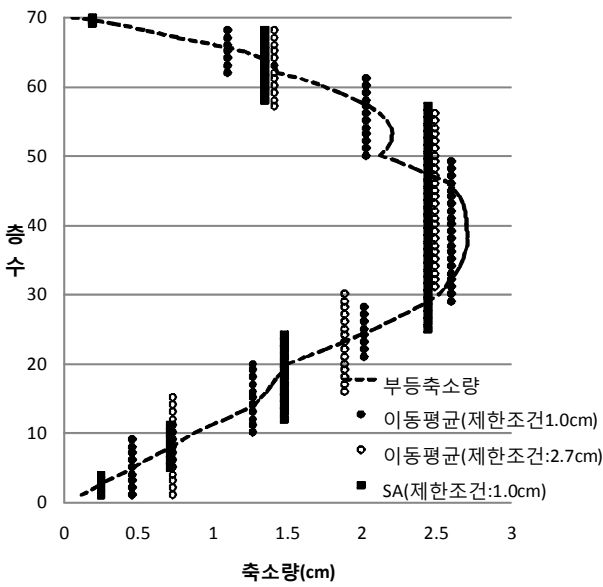


그림 4 SA 알고리즘을 이용한 최적 보정과 이동평균 기법을 이용한 보정 결과

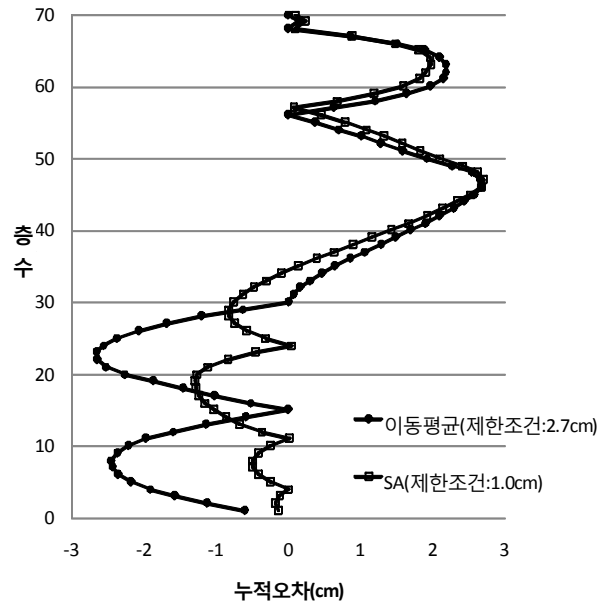


그림 6 SA 알고리즘을 이용한 최적 보정과 이동평균 기법을 이용한 보정(제한조건:2.7cm)에 따른 누적오차그래프

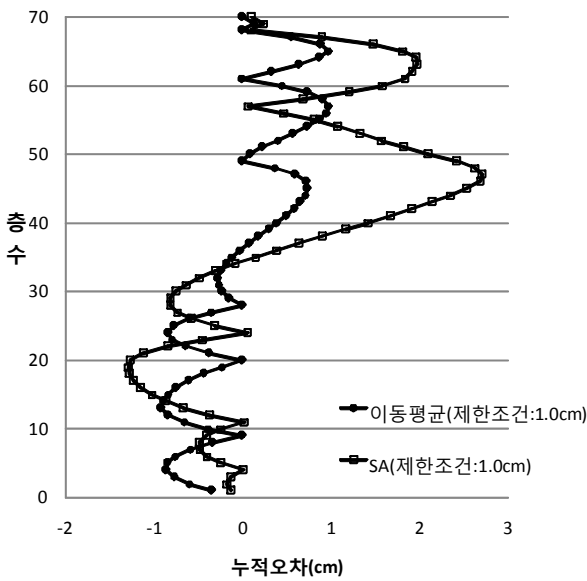


그림 5 SA 알고리즘을 이용한 최적 보정과 이동평균 기법을 이용한 보정(제한조건:1.0cm)에 따른 누적오차그래프

최적 부등축소량 보정 기법(Park, 2003)과 비교해 보았다. 예제로 사용된 건물은 70층으로 2장에 설명한 외곽기둥과 전단벽의 부등축소량을 사용하였으며 부등축소량 그래프는 그림 1과 같다.

SA 알고리즘을 이용한 최적 부등축소량 보정 기법에서 제한조건은, 각 층의 부등축소값과 보정값의 차이가 1.0cm 이하, 그리고 각 그룹 내의 보정값의 합과 부등축소값의 합과의 차이가 1.0cm이하가 되도록 하였다. 그리고 이동 평균 보정 기법에서는 제한조건으로 보정값의 합과 누적된 부등 축소값의 차이가 1.0cm이하가 되도록 하였다.

표 3 SA 알고리즘과 이동 평균의 보정 결과

보정 방법	제한조건	그룹 수	최대 누적 오차(cm)
SA 알고리즘	각 층의 오차값 $\leq 1.0\text{cm}$ 그룹 내 오차값의 합 $\leq 1.0\text{cm}$	6	2.7
이동 평균	각 층의 누적 오차값 $\leq 1.0\text{cm}$	7	0.97
이동 평균	각 층의 누적 오차값 $\leq 2.7\text{cm}$	5	2.67

각 기법에 대한 보정 결과는 그림 4와 같으며 보정에 따른 누적오차의 분포는 그림 5와 같다. SA 알고리즘을 이용한 보정 기법의 그룹 수가 6개이고, 이동 평균 보정 기법의 경우에는 그룹의 수가 7개로 SA 알고리즘을 이용한 보정 기법이 더 적은 그룹 수를 나타내고 있다. 그러나 그림 5에서 볼 수 있듯이 SA 알고리즘의 경우에는 누적 오차가 2.7cm로 이동 평균 보정 기법의 경우보다 더 큰 값을 가진다.

따라서 SA 알고리즘을 이용한 보정 기법의 제한조건은 2.7cm로 볼 수 있으며, 만약 이동 평균 기법의 경우 제한조건을 누적 오차가 2.7cm이하가 되도록 할 경우 그룹의 수는 5개로 더 적음을 알 수 있다. 이에 대한 보정 결과는 그림 4에 나타나 있으며 누적 오차 그래프는 그림 6에 나타나 있다. 각 보정 방법과 제한조건에 따른 결과는 표 3과 같다.

이동평균을 적용한 경우 그룹의 처음과 끝의 층에서는 누적오차 값이 0이며, 그룹의 중간층에서 누적 오차값이 가장 큰 경향이 나타남을 확인할 수 있다. 이는 앞에서 설명한 바와 같이 평균값을 보정값으로 사용하기 때문이며 제한조건을 최대한 활용하면서 보정 그룹 수를 최소한으로 줄이고 있음을 나타낸다.

5.2 제한조건과 그룹 수의 관계

제한조건과 그룹 수의 관계를 알아보기 위하여 70층 예제 건물에 제한조건을 바꾸어 가며 이동 평균 보정 기법을 적용시켜 보았다. 제한조건은 누적 오차가 0.1cm부터 시작하여 그룹의 개수가 하나로 될 때까지 제한조건을 0.1cm 씩 증가시켜 보았으며 결과는 그림 7과 표 4와 같다.

그림 7과 표 4는 각 그룹 수에 대하여 이동 평균 보정 기법이 가질 수 있는 최소의 제한조건을 나타내고 있다. 제한조건이 0.1cm에서 시작하여 점점 증가 할수록 그룹의 수는 감소하고 있다. 제한조건이 0.5cm일 때의 그룹 수가 나타나 있지 않은데, 이는 제한조건이 0.5cm일 때 그룹의 수가 10개로 제한조건이 0.4cm일 때와 그룹 수가 같기 때문이다. 즉, 그룹 수를 8개로 보정을 한다면 건물의 품질을 가장 높일 수 있는 최소의 제한조건은 0.6cm이며, 그 이하의 조건-0.5cm이하로 하기 위해서는 10개의 그룹 수가 필요함을 의미한다.

그림 7과 표 4는 시공자가 부등축소량 보정시 제한조건을 좀 더 합리적으로 설정할 수 있는 객관적인 판단 자료로 사용될 수 있다. 예를 들어 표 4에서 보다시피, 제한조건은

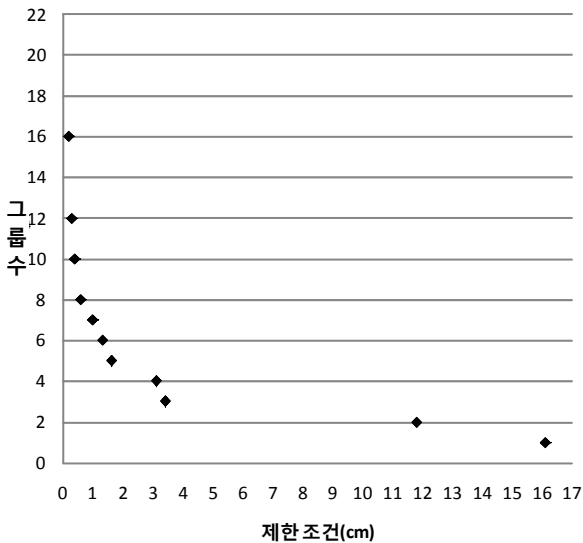


그림 7 제한조건과 그룹 수의 관계

표 4 제한조건과 그룹 수의 관계

제한조건 (cm)	그룹 수	제한조건 (cm)	그룹 수
0.1	28	1.3	6
0.2	16	1.6	5
0.3	12	3.1	4
0.4	10	3.4	3
0.6	8	11.8	2
1	7	16.1	1

0.1cm에서 0.6cm로 제한조건이 변할 때에는 그룹의 수가 급격히 감소했으므로 제한조건을 완화시킬 경우 시공의 편리성을 크게 향상시킬 수 있으나 그 이후부터는 그룹의 수가 비교적 완만히 줄어들고 있다. 제한조건과 그룹 수의 관계는 건물의 질과 공사기간의 관계로 볼 수 있다. 따라서 비록 본 논문에서 누적 오차의 제한조건을 제시할 수는 없으나 엔지니어가 좀 더 합리적인 결정을 내릴 수 있는 참고자료가 될 수 있을 것이다.

6. 결 론

본 연구에서는 이동 평균법과 누적 오차를 고려한 제한조건을 사용하여 건물의 수직부재 상호간 부등축소량 보정 기법에 대하여 제시하였다. 이동 평균법을 사용하여 합리적이고 간단히 보정값과 그룹의 수를 나눌 수 있었으며, 이는 기존의 연구와의 결과 비교를 통해 그 효과를 입증하였다. 또한 기존에 사용되었던 2개의 제한조건을 하나로 줄이면서 부등축소량 사이의 오차가 상충부에 미치는 영향을 고려함으로써 실질적인 층별 오차를 효율적으로 제한할 수 있었으며 제한조건과 그룹 수의 관계는 시공자가 보정 오차 제한을 설정하는 객관적인 판단 자료로 쓰일 수 있을 것이다.

본 연구의 한계점은 다음과 같다.

- 시공정밀도 한계를 고려하지 않았다. 보정값이 유리수로 제시되기 때문에 보정값 그대로 시공을 할 수는 없다. 따라서 시공정밀도 한계에 따른 오차 또한 고려해 주어야 할 것이다.
- 본 연구에서는 건물의 전 층에 똑같은 제한조건이 적용되어 평균값을 사용하여 그룹의 중간에 누적오차가 가장 큰 경향을 나타내었다. 주상 복합과 같이 건물의 용도가 다양한 건물에서는 건물의 층마다 제한조건이 다를 수 있으므로 보다 유연한 보정기법이 필요하다고 생각된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2009년도 첨단도시개발사업 (과제번호:09CHUD-A052272-01)의 지원사업으로 이루어진 것으로 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

ACI(American Concrete Institute) (1992) Prediction of Creep, Shrinkage and Temperature Effects in

Concrete Structures, ACI209 R-92, ACI, Detroit, MI.

Elnimeiri M., Patel D. (1997) Long-Term Vertical Shortening of Reinforced Concrete and Composite High-Rise Structures, Proceedings of 7th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Seoul, Korea: 2329-2353, Techno-Press.

Fintel M., Ghosh S.K., Iyengar H. (1984) Column Shortening in Tall Buildings-Prediction and Compensation, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, USA.

Fintel M., Khan F.R. (1969) Effects of Column Creep and Shrinkage in Tall Structures-Prediction of Inelastic Column Shortening, *ACI Journal*, 66(12), pp.957~967.

Gao Z., Bradford M.A. (1993) Time-Dependent Shortening of Slender RC Columns, *Journal of Engineering Mechanics*, ASECE, 119(10), pp.2036~2051.

Park H.S. (2003) Optimal Compensation of Differential

Column Shortening in High-rise Buildings, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 12(4), pp.317~333.

Seol H.C., Kwon S.H., Yang J.K., Kim H.S., Kim J.K. (2008) Effect of Differential Moisture Distribution on the Shortening of Steel-Reinforced Concrete Columns, *Magazine of Concrete Research*, 60(5), pp.313~322.

Wonjick Yang, Waonho Yi (2007) Development of a Prediction Algorithm for Column Shortening in High-Rise Buildings Using a Neural Network, *Key Engineering Materials*, Vols. 348~349, pp.901~904.

- 논문접수일 2010년 7월 9일
- 논문심사일
 - 1차 2010년 7월 14일
 - 2차 2010년 8월 10일
- 게재확정일 2010년 8월 10일