

고층건물 변위설계 자동화 모델

Automation model for drift design of high-rise buildings

서 지 현* 박 효 선**
Seo, Ji Hyun Park, Hyo Seon

Abstract

In this paper, an automation model for drift design of high-rise buildings using resizing algorithms is proposed. Drift, in the model, includes the maximum lateral displacement at the top and inter-story drifts of a high-rise building subjected to both wind and seismic load. Resizing algorithms for high-rise buildings in various systems and material developed in previous researches are used as a drift control module. As an input to drift control algorithms, member forces for calculation of member displacement participation factors are obtained from commonly-used commercial softwares. The automation model is composed of 4 modules: initial modeling, drift control, stress check, and final verification modules. Each module in the model is described in detail in this paper.

1. 서론

고층건물의 구조설계는 크게 강도설계와 강성설계로 이루어진다. 강도 설계는 부재에 작용되는 힘 보다 더 큰 내력을 가지도록 부재 단위로 단면을 선택하는 과정으로서 기존의 상용 소프트웨어를 이용하면 쉽고 편리하게 이루어 질 수 있다. 반면, 처짐, 진동 등과 관련된 강성설계는 구조물을 구성하고 있는 모든 부재가 관련이 있으므로, 강성설계는 강도설계보다 복잡하고 보다 특별한 기술이 요구된다.

특히, 고층건물의 변위설계는 구조 시스템과 구조 설계의 효율성 및 경제성을 결정짓는 요소가 되므로 고층건물의 변위를 조절하고자 하는 많은 연구가 진행되었다. 구조 최적화를 이용한 변위 설계법은 민감도 해석이나 반복적인 구조해석으로 인한 과도한 계산량과 어려운 이론적 배경 및 알고리즘 자체의 안정성 문제로 인해 현 실무설계에 직접 사용되기는 힘든 상태이며, 최적화 기법을 이용한 일부 방법들이 개발자 입장에서 한정적으로 사용되고 있다.^{1,2)} 현재 대부분의 현 실무설계에서는 설계자의 경험과 직관에 의존하여 반복적인 부재 선택과 반복적인 구조해석 과정을 거치며, 또는 초기 구조계획 단계로 돌아가서 구조시스템 자체를 수정하기도 한다. 이러한 구조설계의 경험한 직관에 의존한 feed-back 방식으로는 많은 수의 부재로 이루어진 고층건물의 변위설계에서는 효과적일 수가 없다.

이러한 문제점을 보완하기 위하여 에너지 기법을 이용한 재분배 기법이 고층건물의 변위를 제어하기 위한 실용적인 방법으로 인식되고 있다.^{3,4,5)} 재분배 기법은 상용 구조해석 프로그램에서 얻어진 구조해석 결과를 이용하여 간단한 계산만으로 변위를 효과적으로 제어할 수 있는 방법으로 풍하중과 지진하중에 대해서 변위를 제어할 수 있는 알고리즘이 개발되었다.^{5,6,7,8,9,10,11)} 본 논문에서는 기 개발된 재분배 알고리즘과 강도 모듈 및 구조해석 모듈이 결합된 고층건물 변위설계 자동화 모델에 대해서 소개하고자 한다. 고층건물 변위설

* 연세대학교, 건축공학과 박사과정

** 정회원, 연세대학교, 건축공학과 부교수

계 자동화 모델은 기존의 상용 소프트웨어와 데이터를 호환하며 구조 모델링, 강도설계, 구조해석 및 자동 변위설계가 가능하다.

2. 재분배 기법

재분배 기법은 에너지 기법을 이용하여 건물 최상층 변위에 대한 각 부재의 변위 기여도를 구한 후 이를 구조 최적화 문제로 치환한 후 부재들의 에너지 밀도가 비슷하도록 물량을 분배함으로써 변위를 제어하는 방법이다. 이 방법은 민감도 계수의 계산이나 반복적인 구조해석이 필요치 않으며 정식화에서 구해진 수정계수를 단면적과 같은 설계변수에 단순히 곱함으로써 물량이 분배 되어 진다. 이제까지 재분배 기법은 여러 가지 구조시스템과 재료의 종류를 고려하여 개발되었다. 구조시스템별로는 순수 골조 시스템,⁴⁾ 가새-골조 시스템,⁴⁾ 프레임-전단벽 시스템,⁶⁾ 아웃리거 시스템⁶⁾ 등과 같은 고층건물에서 주로 이용되는 구조시스템에 적용할 수 있는 재분배 기법이 개발되었다. 또한, 재료별로는 철골 구조,⁴⁾ RC 구조, 철골-RC 전단벽^{6,7)} 등과 같은 재료별로 적용 가능한 재분배 기법이 개발되었다.

3. 변위설계 자동화 모델 순서 및 내용

그림 1은 고층건물 변위설계 자동화 모델을 나타내는 것으로서 고층건물 변위설계 자동화 모델은 크게 네 단계로 구성된다. 첫 번째(MODULE I) 단계는 초기 모델을 결정짓는 단계로서 기존 상용 소프트웨어와 데이터를 호환할 수 있으며, 강도설계를 만족하는 초기 모델을 결정 짓는다. 두 번째(MODULE II) 단계는 재분배 기법에 의해서 변위 및 층간변위가 제어되는 단계이며 풍하중에 대한 정적 재분배 알고리즘과 지진하중에 대한 동적 재분배 알고리즘으로 구성되었다. 또한, 초기 모델의 변위 및 층간변위가 허용치를 만족하는 경우((MODULE II-1)과 만족하지 못하는 경우(MODULE II-2)로 나뉜다. 세 번째(MODULE III) 단계는 강도 체크 단계로서 재분배 기법을 이용하여 변위를 제어한 후 강도 체크 단계를 거치게 된다. 네 번째(MODULE IV) 단계는 최종 결정된 모델을 상용 구조해석 소프트웨어를 이용하여 재해석함으로써 변위 설계된 결과를 검증하는 단계이다. 또한, 이 단계에서는 이제까지 진행된 변위설계에 따른 변위, 층간 변위, 변위기여도, 물량, 주기, 질량 참여율 등을 그래프나 표 및 text 파일로 비교 검증할 수 있는 단계이다.

3. 1. 초기 모델 결정 단계 (MODULE I)

첫 번째 단계인 MODULE I 에서는 구조물의 모델링, 강도설계와 구조해석으로 이루어지며, 이러한 작업은 기존의 상용 소프트웨어를 이용하거나 변위조절 자동화 모델에서 내장하고 있는 모델링 기능, 강도설계 기능 및 구조해석 기능을 이용할 수도 있다. 또한 상용 소프트웨어와 변위조절 자동화 모델은 node 정보, element 정보, material 정보 및 section 정보와 같은 모델링 정보를 호환할 수 있으므로 상용 소프트웨어로 모델링하더라도 이를 변위조절 자동화 모델에서 직접 불러들일 수 있도록 구성된다. 그림 2는 MODULE I에서 변위설계 자동화 모델과 기존 상용 소프트웨어와의 데이터 호환에 대한 개념도 이다.

3. 2. 변위제어 단계 MODULE II-1

고층건물 구조 설계에서 횡하중은 크게 풍하중과 지진하중으로 나눌 수 있으며, 일반적으로 횡 변위는 풍하중에 대해서는 건물 높이의 1/400~1/500이하로 제한하고 있으며, 지진하중에 대해서는 층간 변위가 층 높이의 0.15%를 넘지 못하도록 제한하고 있다. MODULE I 단계에서 변위 제어대상 하중이 풍하중인 경우에는

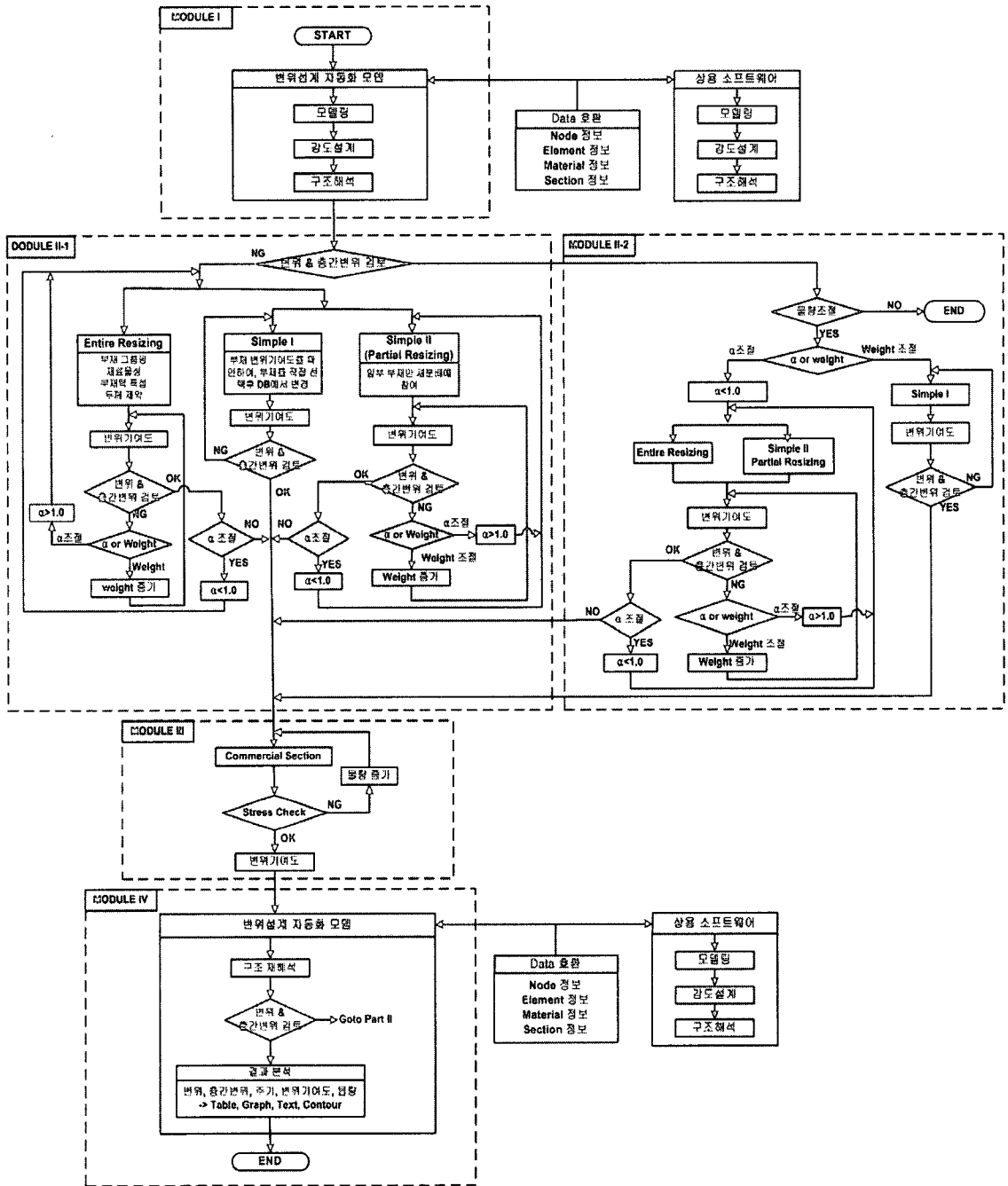


그림 1. 고층건물 변위설계 자동화 모델

최상층 변위가, 지진인 경우에는 층간변위가 허용치를 만족하지 못할 경우 MODULE II-1이 적용된다. 또한 위배율을 초기치/허용치로 정의하고, 설계자가 정한 특정 위배율을 넘을 경우는 전체 재분배 기법(Entire Resizing)이 사용되고 그렇지 않을 경우에는 간단한 재분배 기법(Simple I, Simple II)이 사용된다. 전체 재분배 기법(Entire Resizing)에는 부재 그룹핑 고려하는 알고리즘⁸⁾, 재료물성을 설계 변수로 사용하는 알고리즘⁸⁾, 부재력 특성을 고려하는 알고리즘⁹⁾, 전단벽 두께를 제어하는 알고리즘⁶⁾이 포함되어 있으며 그 구성은 그림 3과 같다.

재분배 후 변위 또는 층간변위 허용치를 검토하게 되는데, 허용치를 만족하지 못하는 경우에는 전체 구조물량을 증가시키게 된다. 전체 구조물량을 증가시키는 방법은 두 가지로서 첫 번째는 중량 조절계수를 이용하여 물량을 조절하는 것인데 이 경우에 중량 조절 계수를 1.1로 하면 물량은 초기 물량의 110%로 증가하게 된다. 중량 조절 계수 α 를 사용하는 경우 변위와 물량과의 관계를 구하고 이를 이용하여 적절한 α 값을 선택하여 목표 변위를 만족시킬 수 있다.¹⁰⁾ 두 번째 방법은 증가될 물량을 결정한 후 증가된 물량을 각 부재의 변위기여도의 비율만큼 부재별로 분배하는 방법이다. 재분배 후 변위 또는 층간변위가 허용치를 만족한다는 것은 물량의 절감의 여지가 있다는 의미이므로 중량 조절계수 α 를 사용하여 물량을 감소시킬 수도 있다. 초기 모델에 대한 변위 및 층간변위의 위배율이 특정 범위를 초과하지 않는 경우에는 간단한 변위제어기법을 적용한다. Simple I 방법은 구조해석 결과를 이용하여 변위기여도를 구하고, 변위기여도가 큰 부재를 설계자가 직접 선택하여 Data Base에서 더 큰 단면 성능을 가지는 부재로 교체하는 방식으로 이루어진다. Simple II 방법은 전체 재분배기법(Entire Resizing) 방법과 유사하나 변위기여도가 상대적으로 크거나 작은 부재들만 재분배에 참여하는 부분 재분배 기법(MODULEial Resizing)이다. 부분 재분배 기법 후의 물량 증감의 과정은 전체 재분배 후의 물량 증감 과정과 동일하다.

3. 3. 변위제어 단계 MODULE II-2

MODULE I 단계에서 초기 모델에 대한 변위 또는 층간변위가 허용치를 만족하는 경우에는 단순히 변위 설계를 종료할 수도 있으나 MODULE II-2 부분을 이용하여 구조물량을 절감할 수도 있다. 특히 초기설계가 과도한 경우 이러한 물량절감 알고리즘은 반드시 필요하다. MODULE II-2에서도 물량의 조절은 두 가지 방법으로 이루어진다. 먼저 중량 조절계수 α 를 이용하여 전체 물량을 설계자가 정해준 만큼 물량을 줄이면서 전체 재분배 기법이나 부분 재분배 기법을 사용하는 것으로서 재분배 후의 과정은 앞에 설명한 재분배 후의 과정과 비슷하다. 두 번째 방법은 Simple I 방법으로 부재별 변위기여도에 근거하여 변위기여도가 낮은 부재를 설계자가 직접 선택하여 Data Base에서 더 작은 단면 성능을 가지는 부재로 바꾸어 주는 방법이다. 초기 모델의 변위 및 층간 변위를 만족할 때 물량을 절감하기 위한 MODULE II-2는 그림 4와 같이 표현된다.

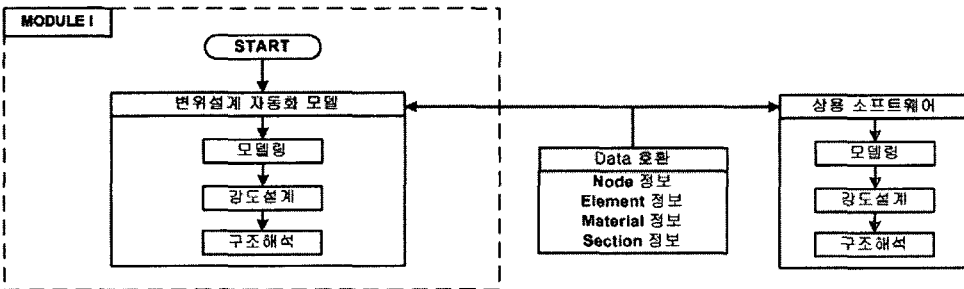


그림 2. 모듈 I

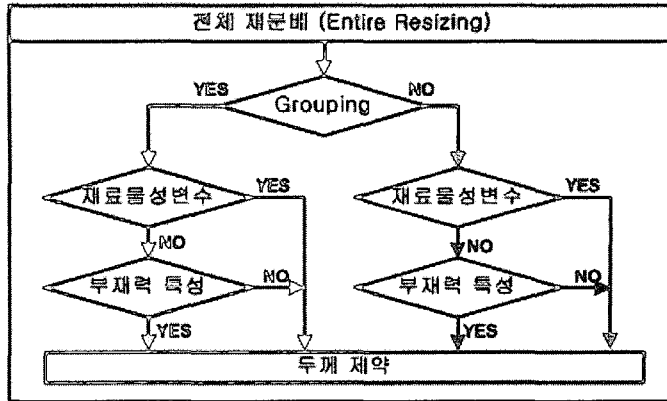


그림 3. 재분배 알고리즘 종류

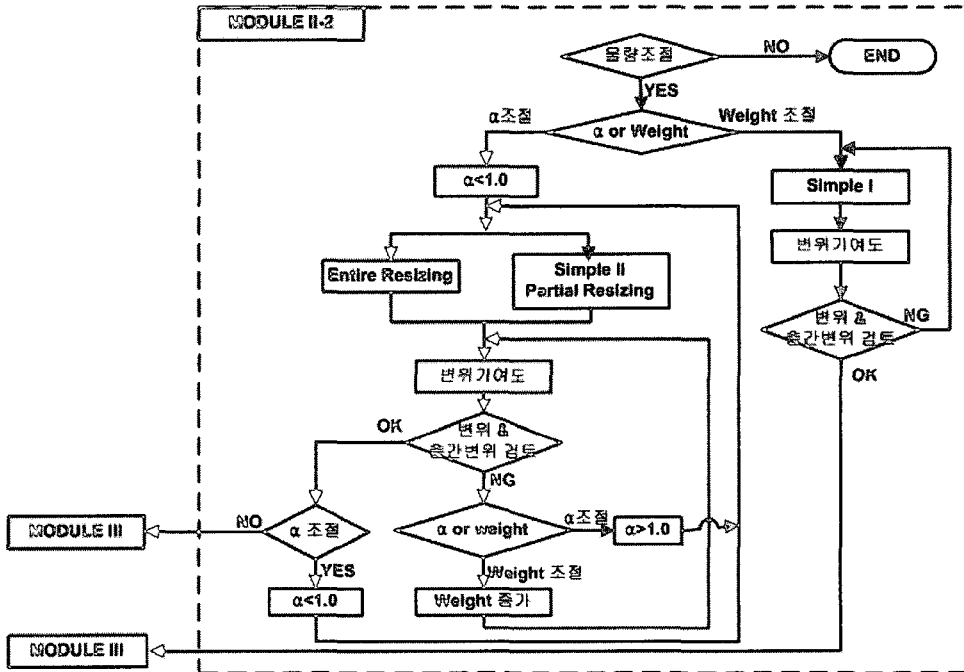


그림 4. 물량 절감 알고리즘(MODULE II-2)

3. 4. 강도 체크 단계 (MODULE III)

MODULE II-1 및 MODULE II-2 단계에서 변위를 제어한 후 강도체크 단계를 거친다. 재분배 과정에서 설계변수가 단면적인 경우 재분배 과정에서 얻은 단면적은 수치해석으로 구한 값이므로, 상업용 Data Base로부터 부재별로 현재의 단면 성능과 가장 근사한 단면은 선택한 후 강도 설계 과정을 거친다. 이 과정에서 구조물의 물량이 증가할 수도 있다.

3. 5. 검증 단계 (MODULE IV)

앞선 MODULE I~MODULE III를 통해서 얻어진 결과를 검증하기 위해 최종 얻어진 모델을 재해석하여 변위 및 층간변위를 최종적으로 검토하고 최종 강도 설계를 수행한다. 재해석 과정은 변위조절 설계 자동화 모델에 내장되어 있는 구조해석 모듈을 사용할 수도 있고, MODULE I에서와 같이 Data 호환기능을 통해 상용 소프트웨어의 입력 데이터 파일을 생성하고, 상용 소프트웨어에서 검증을 할 수 있도록 구성된다. 또한 이 단계에서는 이제까지 진행된 변위설계 과정에서 변위, 층간변위, 변위기여도, 물량, 주기, 모드형상, 질량 참여율 등과 같은 결과를 그래프, 표 혹은 text 파일 형태로 변위설계에 따른 결과 정보를 설계자에게 보여 줌으로서 설계자의 이해를 도울 수 있도록 한다.

4. 결론

고층건물의 구조해석 및 강도설계는 기존의 상용 구조해석 프로그램을 이용하면 쉽고 편리하게 이루어 질 수 있으나, 고층건물의 변위제어와 같은 강성설계에 관한 범용 소프트웨어는 아직 개발되어 있지 못하므로 설계자의 직관과 경험에 의존한 변위설계가 이루어지고 있다. 본 논문에서는 실용적인 고층건물의 변위설계 법으로 인식되고 있는 재분배 기법을 이용하여 고층건물의 변위 및 층간변위를 제어하는 고층건물 변위설계 자동화 모델을 소개하였다. 소개된 고층건물 변위 설계 모델은 기존의 상용 소프트웨어와 호환하며 구조 모델링에서부터 구조해석, 변위설계 및 강도설계를 일괄적으로 처리할 수 있으므로 현 실무에서 쉽게 사용할 수 있는 방법으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 산학연 공동연구개발사업 (과제번호: C102A1000004-03A0200-00410)의 일부로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. Chan, C. M. Optimal lateral stiffness design of tall buildings of mixed steel and concrete construction. *The Structural Design of Tall Buildings*, 10: 155-177.
2. Panagiotis A. Makris, Christopher G. Probatidis. 2002. Weight minimization of displacement-constrained truss structures using a strain energy criterion, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 191: 2159-2177
3. Park, H. S., and Park, C. L., "Drift control of high-rise buildings with unit load method", *The Structural Design of Tall Buildings*, Vol. 6, No. 1, 1997, pp. 23-35.
4. Park, H. S. and Ahn, S. A. "Resizing Methods for Drift Control of Tall Steel Structures", *Structural Steel PSSC' 98 Vol 2*. pp 1017-1022.
5. 서지현, 박효선 "재분배기법을 이용한 고층 구조물의 수평변위 설계법", 대한 건축학회 논문집, 제17권 제9호, 2001, pp3-80.
6. Park, H. S., Hong, K. P., and Seo, J. H., "Drift Design of Steel-Frame Shear-Wall Systems for Tall Buildings", *The Structural Design of Tall Buildings*, Vol. 11, 2002, pp. 35-49.
7. 서지현, 박효선 "실용적인 철골 프레임-전단벽 시스템의 변위조절법 개발", 한국 강구조학회 학술발표대회 논문집, 2003, pp578-583.
8. 서지현, 박효선. "RC 전단벽의 재료 물성과 부재 그룹핑을 고려한 고층건물 변위조절설계법 개발", 한국 전산구조공학회 학술발표대회 논문집, 제17권 제1집, 2004, pp487-494

9. 서지현, 박효선.. “부재력 특성을 고려한 변위조절설계법 개발”, 한국 전산구조공학회 학술발표대회 논문집, 제16권 제2집, 2003, pp123-129.
10. 서지현, 박효선.. “중량 수정계수를 고려한 변위조절설계법 개발”, 한국 전산구조공학회 학술발표대회 논문집, 제16권 제2집, 2003, pp161-167.
11. 서지현, 박효선.. “프레임-전단벽 구조물의 동적 변위조절설계법 개발에 관한 기초 연구”, 한국 강구조학회 학술발표대회 논문집, 제 15권 1호, 2004, pp306-313.