

고등해석과 유전자 알고리즘을 이용한 강뼈대 구조물의 직접설계시스템의 최적화

Optimization of Direct Design System of Steel Frames
using Advanced Analysis and Genetic Algorithm

최 세 휴* 노 우 혁** 김 종 인** 박 경 식**
Choi, Se-Hyu Roh, Woo-Hyuk Kim, Jong-In Park, Kyung-Sik

Abstract

In this paper, the optimization of direct design system of steel frames by genetic algorithm involving advanced analysis are performed. For the analysis of steel frames advanced analysis accounting for geometric nonlinearity and material nonlinearity are executed. The genetic algorithm was used as optimization technique. The weight of structures is treated as the objective function. The constraint functions are defined by load-carrying capacities, deflections, inter-story drifts, and ductility requirement. The effectiveness of the proposed method are verified by comparing the results of the proposed method with those of other method.

요 지

본 연구에서는 고등해석과 유전자 알고리즘을 이용한 강뼈대 구조물의 직접설계시스템의 최적화를 수행하였다. 본 연구에서 사용한 고등해석은 기하학적 비선형과 재료적 비선형을 동시에 고려한다. 직접설계 시스템의 최적화를 위해 유전자 알고리즘을 사용하였다. 목적함수로 구조물의 중량을 사용하였으며, 제약조건식은 구조시스템의 하중-저항능력, 처짐, 층간 수평변위 및 연성요구 조건을 고려하였다. 제안된 방법에 의해 나타난 결과를 다른 방법에 의한 것들과 비교해서 그 효율성을 증명하였다.

Keywords : Advanced analysis, Optimal design, Genetic algorithm, Steel frames

핵심 용어 : 고등해석, 최적설계, 유전자 알고리즘, 강뼈대구조물

* 정희원, 경북대학교 토목공학과 조교수

** 경북대학교 토목공학과 석사과정

E-mail : shchoi@knu.ac.kr 053-950-7582

•본 논문에 대한 토의를 2006년 10월 31일까지 학회로 보내 주시면 2007년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

현재 널리 사용되고 있는 설계방법인 허용응력설계법(ASD), 소성설계법(PD) 및 하중저항계수설계법(LRFD)에서는 탄성해석을 통해 구조시스템의 해석을 실행하고 유효길이계수(K-factor)를 이용하여 구조시스템이 개별 부재의 강도에 끼치는 영향을 고려한다. 하지만, 비탄성 비선형 거동을 하는 구조시스템의 실제 파괴모드는 유효길이계수를 기반으로 하는 설계방법의 좌굴모드와 일반적으로 일치하지 않는 문제점을 가지고 있으며, 또한 구조시스템과 개별부재간의 강도와 안정에 대한 상호작용을 정확하게 고려하지 못하고 있다. 이런 문제점을 해결하기 위해서는 구조시스템과 부재의 강도와 안정을 직접 고려하는 고등해석을 실행해야한다(Chen과 Kim, 1997).⁽⁵⁾ 최근 컴퓨터 기술의 발전으로 고등해석이 가능하게 되었으며 Liew와 Tang(1998)⁽¹⁰⁾ 및 박문호 등(2000)⁽²⁾ 등에 의하여 여러 가지 고등해석 기법이 개발 및 검증되었다.

구조물의 최적설계는 많은 연구자들에 의해 연구되어왔으며, 실용적인 측면을 위해 규격화된 부재를 사용한 이산화 최적설계에 대한 관심이 높아지고 있다. Rajeev와 Krishnamorthy(1992),⁽¹³⁾ Pantelides와 Tzan(1997)⁽¹¹⁾ 등은 이산화 최적화 기법으로 유전자 알고리즘(GA)을 소개한 바 있다. 최근 고등해석 기법에 기반을 둔 설계방법에 유전자 알고리즘을 도입한 최적설계에 대한 연구가 Pezeshk 등(2000),⁽¹²⁾ 김승억과 마상수(2003)⁽¹⁾ 및 윤영목과 김병헌(2004)⁽³⁾ 등에 의해 활발히 진행되었다. 하지만, 김승억과 마상수(2003)⁽¹⁾의 연구에서는 적합도 함수를 구성함에 있어서 구조물 전체에 대한 적합도 함수가 아닌 가장 위험한 한 개의 부재에 대한 적합도 함수를 사용함으로써 전역최적화를 보장할 수 없는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 개선하기 위하여 윤영목과 김병헌(2004)⁽³⁾의 연구에서는 전체구조물에 대한 적합도 함수를 사용했지만, 2차원에 한정된 문제점을 가지고 있다. 따라서, 본 논문에서는 고등해석과 유전자알고리즘을 이용한 3차원 강구조물의 최적설계를 수행하고자 한다.

2. 실용적인 고등해석

2.1 기하학적 비선형을 고려한 안정함수

본 논문에서는 안정함수를 이용하여 기하학적인 비선형성을 고려하였다. 3차원 보-기둥 요소에서 안정함수를 이용한 힘-변위의 관계는 식(1)과 같다(박문호 등 2000).⁽²⁾

$$\begin{bmatrix} P \\ M_{yA} \\ M_{yB} \\ M_{zA} \\ M_{zB} \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_1 \frac{EI_y}{L} & S_2 \frac{EI_y}{L} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_2 \frac{EI_y}{L} & S_1 \frac{EI_y}{L} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_3 \frac{EI_z}{L} & S_4 \frac{EI_z}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_4 \frac{EI_z}{L} & S_3 \frac{EI_z}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GI}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta \\ \theta_{yA} \\ \theta_{yB} \\ \theta_{zA} \\ \theta_{zB} \\ \phi \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, M_{yA} , M_{yB} , M_{zA} , M_{zB} , P 및 T 는 각각 부재의 A단 및 B단에 작용하는 단부 휨모멘트 및 축력과 비틀림을 나타낸다. θ_{yA} , θ_{yB} , θ_{zA} , θ_{zB} , θ_{yA} , δ 및 ϕ 는 절점의 회전각, 축변형 및 비틀림각을 나타낸다. S_1 , S_2 , S_3 및 S_4 는 안정 함수로서 식 (2a)-(2h)에 정의되어 있다.

(1) 인장인 경우

$$S_1 = \frac{\pi^2 \rho_y \cosh(\pi\sqrt{\rho_y}) - \pi\sqrt{\rho_y} \sinh(\pi\sqrt{\rho_y})}{2 - 2\cosh(\pi\sqrt{\rho_y}) + \pi\sqrt{\rho_y} \sinh(\pi\sqrt{\rho_y})} \quad (2a)$$

$$S_2 = \frac{\pi\sqrt{\rho_y} \sinh(\pi\sqrt{\rho_y}) - \pi^2 \rho_y}{2 - 2\cosh(\pi\sqrt{\rho_y}) + \pi\sqrt{\rho_y} \sinh(\pi\sqrt{\rho_y})} \quad (2b)$$

$$S_3 = \frac{\pi^2 \rho_z \cosh(\pi\sqrt{\rho_z}) - \pi\sqrt{\rho_z} \sinh(\pi\sqrt{\rho_z})}{2 - 2\cosh(\pi\sqrt{\rho_z}) + \pi\sqrt{\rho_z} \sinh(\pi\sqrt{\rho_z})} \quad (2c)$$

$$S_4 = \frac{\pi\sqrt{\rho_z} \sinh(\pi\sqrt{\rho_z}) - \pi^2 \rho_z}{2 - 2\cosh(\pi\sqrt{\rho_z}) + \pi\sqrt{\rho_z} \sinh(\pi\sqrt{\rho_z})} \quad (2d)$$

(2) 압축인 경우

$$S_1 = \frac{\pi\sqrt{\rho_y} \sin(\pi\sqrt{\rho_y}) - \pi^2 \rho_y \cos(\pi\sqrt{\rho_y})}{2 - 2\cos(\pi\sqrt{\rho_y}) - \pi\sqrt{\rho_y} \sin(\pi\sqrt{\rho_y})} \quad (2e)$$

$$S_2 = \frac{\pi^2 \rho_y - \pi\sqrt{\rho_y} \sin(\pi\sqrt{\rho_y})}{2 - 2\cos(\pi\sqrt{\rho_y}) - \pi\sqrt{\rho_y} \sin(\pi\sqrt{\rho_y})} \quad (2f)$$

$$S_3 = \frac{\pi\sqrt{\rho_z}\sin(\pi\sqrt{\rho_z}) - \pi^2\rho_z\cos(\pi\sqrt{\rho_z})}{2 - 2\cos(\pi\sqrt{\rho_z}) - \pi\sqrt{\rho_z}\sin(\pi\sqrt{\rho_z})} \quad (2g)$$

$$S_4 = \frac{\pi^2\rho_z - \pi\sqrt{\rho_z}\sin(\pi\sqrt{\rho_z})}{2 - 2\cos(\pi\sqrt{\rho_z}) - \pi\sqrt{\rho_z}\sin(\pi\sqrt{\rho_z})} \quad (2h)$$

여기서, $\rho_y = P/(\pi^2 EI_y/L^2)$, $\rho_z = P/(\pi^2 EI_z/L^2)$ 이다.

2.2 축력에 의한 점진적인 소성화

본 논문에서는 잔류응력에 의한 점진적인 항복을 고려하기 위하여 CRC(Column Research Council) 접선탄성계수를 사용하였다. CRC 접선탄성계수는 식 (3a) 및 식(3b)처럼 축력의 함수로 나타낼 수 있다 (Chen and Lui, 1992).

(1) $P \leq 0.5P_y$ 인 경우

$$E_t = 1.0E \quad (3a)$$

(2) $P > 0.5P_y$ 인 경우

$$E_t = 4 \frac{P}{P_y} E \left(1 - \frac{P}{P_y}\right) \quad (3b)$$

2.3 축력과 휨에 의한 점진적인 소성화

본 논문에서는 축력과 휨에 의한 점진적인 소성화를 고려하기 위하여 연화소성힌지(softening plastic hinge)개념을 사용하였으며, 식(4a) 및 식(4b)와 같다(Chen and Lui, 1992).

(1) $\alpha \leq 0.5$ 인 경우

$$\eta = 1 \quad (4a)$$

(2) $\alpha > 0.5$ 인 경우

$$\eta = 4\alpha(1-\alpha) \quad (4b)$$

여기서, α 는 단면에 작용하는 부재력의 크기를 나타내는 함수로서 AISC-LRFD(1993)⁽⁴⁾의 완전소성면을 활용하여 식(5)에 정의되어 있다.

(1) $\frac{P}{P_y} \geq \frac{2}{9} \frac{M_y}{M_{y\phi}} + \frac{2}{9} \frac{M_z}{M_{z\phi}}$ 인 경우

$$\alpha = \frac{P}{P_y} + \frac{8}{9} \frac{M_y}{M_{y\phi}} + \frac{8}{9} \frac{M_z}{M_{z\phi}} \quad (5a)$$

(2) $\frac{P}{P_y} < \frac{2}{9} \frac{M_y}{M_{y\phi}} + \frac{2}{9} \frac{M_z}{M_{z\phi}}$ 인 경우

$$\alpha = \frac{P}{2P_y} + \frac{M_y}{M_{y\phi}} + \frac{M_z}{M_{z\phi}} \quad (5b)$$

3차원 보-기둥 부재의 연화 소성힌지를 고려하는 힘-변위의 관계는 식 (6)과 같다.

$$\begin{bmatrix} P \\ M_{yA} \\ M_{yB} \\ M_{zA} \\ M_{zB} \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E_t A}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{iyY} & k_{iyZ} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{iyZ} & k_{iyY} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{izZ} & k_{izY} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{izY} & k_{izZ} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GI}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta \\ \theta_{yA} \\ \theta_{yB} \\ \theta_{zA} \\ \theta_{zB} \\ \phi \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서,

$$k_{iyY} = \eta_A \left[S_1 - \frac{S_2^2}{S_1} (1 - \eta_B) \right] \frac{E_t I_y}{L} \quad (7a)$$

$$k_{iyZ} = \eta_A \eta_B S_2 \frac{E_t I_y}{L} \quad (7b)$$

$$k_{jyY} = \eta_B \left[S_1 - \frac{S_2^2}{S_1} (1 - \eta_A) \right] \frac{E_t I_y}{L} \quad (7c)$$

$$k_{izZ} = \eta_A \left[S_3 - \frac{S_4^2}{S_3} (1 - \eta_B) \right] \frac{E_t I_z}{L} \quad (7d)$$

$$k_{izZ} = \eta_A \eta_B S_4 \frac{E_t I_z}{L} \quad (7e)$$

$$k_{jizZ} = \eta_B \left[S_3 - \frac{S_4^2}{S_3} (1 - \eta_A) \right] \frac{E_t I_z}{L} \quad (7f)$$

여기서, η_A 와 η_B 는 단부조건에 따른 부재의 거동 현상을 나타내며 다음과 같다.

(1) $0 < \eta_A < 1$ 그리고 $0 < \eta_B < 1$ 일 때, 부재의 양쪽 단부에서 부분적으로 항복되었다.

(2) $\eta_A = \eta_B = 1$ 일 때, 보-기둥 부재의 양쪽 단부는 완전히 탄성이다.

(3) $\eta_A = 1$ 이고 $0 < \eta_B < 1$ 일 때, A점에서는 탄성이고 B점은 부분적으로 항복되었다.

(4) $0 < \eta_A < 1$ 이고 $\eta_B = 1$ 일 때, A점은 부분적으로 항복되었고 B점은 탄성이다.

2.4 기하학적 불완전 모형

2.4.1 횡변위가 지지된 뼈대 구조물

ECCS(1991),⁽⁸⁾ AS(1990)⁽¹⁴⁾ 및 CSA(1994)⁽⁷⁾에서는 직선도에 대한 불완전성으로 부재의 중간부에 최대 처짐이 발생하는 포물선 형상을 추천하고 있으나 실용적이지 못한 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 직선도에 관한 불완전성을 고려하기 위하여 한개의 부재를 부재의 중간에서 최대 변형(수직오차) $L_c/1000$ 을 갖는 두개의 요소로 모델링하였다. 이 방법에 대한 정확도는 2차원 구조에 대하여 이미 검증이 된 바 있다(Kim과 Chen, 1996a).⁽⁵⁾

2.4.2 횡변위가 발생하는 뼈대 구조물

CSA(1994)⁽⁷⁾와 AISC(1993)⁽⁴⁾에서는 시공시 발생하는 수직오차를 $L_c/500$ 로 제한하고 있으므로 본 연구에서도 수직도에 대한 불완전성을 $L_c/500$ 으로 하였다. 이 값은 횡변위가 지지된 경우의 비직선도 $L_c/1000$ 과 개념적으로 같다(Kim과 Chen, 1996b).⁽⁵⁾

3. 최적설계 문제형성

3.1 마이크로 유전자 알고리즘

본 논문에서는 최적화 기법으로 마이크로 유전자 알고리즘을 사용하였다. Krisnakumar(1989)⁽⁹⁾이 제안한 마이크로 유전자 알고리즘은 연산시간을 줄이기 위하여 집단을 크기를 작게 함으로서 발생할 수 있는 유전정보의 결핍과 탐색능력의 저하를 극복한 알고리즘으로서 본 연구에서 사용한 연산자와 전략은 다음과 같다. 모집단의 수렴성은 각 개체의 유전자형을 비교하거나 표현형을 비교하는 방법이 있으나, 본 연구에서는 최적개체와 나머지 개체들의 염색체 비트끼리 비교하여 서로 다른 비트의 수가 5% 미만이면 수렴조건에 만족된 것으로 판정하였다.

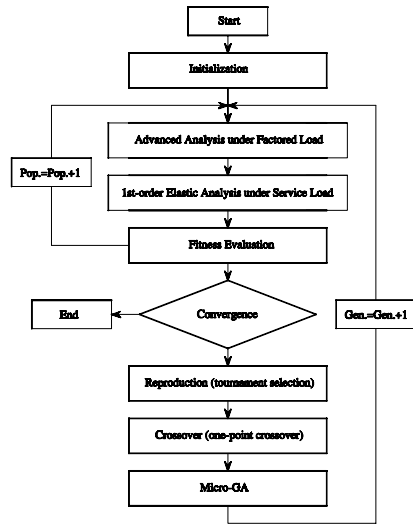


Fig. 1 최적화 알고리즘

3.1.1 재생산

자연에서 환경은 더 적합한 생물들이 더 높은 생존 기회를 갖도록 이들의 생존을 조절하는 기능을 가진다. 이런 환경을 통하여 생물들은 생존경쟁에 이기면 살아남고 지면 도태하게 된다. 재생산은 이러한 적자생존과 자연도태 현상을 알고리즘 형태로 나타낸 것으로 룰렛-휠 선택법과 토너먼트 선택법 등이 있다. 본 연구에서는 작은 집단을 효율적으로 관리하기 위하여 토너먼트 선택법을 사용하였다. 토너먼트 선택법은 개체 집단 중에서 임의로 두 개의 개체를 선택한 다음, 적합도가 높은 개체는 생존시키고 적합도가 낮은 개체는 소멸시키는 방법이다.

3.1.2 교배

자연계의 생물들은 그들의 유전자를 서로 섞는 유성생식을 통하여 자손을 생산하게 된다. 교배는 이런 성적 재생산을 알고리즘 형태로 나타낸 것으로 탐색공간상의 가능한 새로운 점을 찾기 위하여 개체 집단 중에서 임의로 두 개의 개체를 선택하고, 교배점 이후의 비트들을 서로 교환 결합함으로써 다음 세대의 개체를 생성한다. 유전자를 절단하는 교배점은 염색체 내에서 임의로 선택되며, 다음 세대의 개체수가 모두 채워질

때까지 반복된다. 교배에는 일점교배법, 다점교배법, 균등교배법 등이 있으나, 본 연구에서는 일점교배법을 사용하였으며, 개체간의 정보교환을 위하여 반드시 교배가 일어나도록 교배확률을 1.0으로 하였다.

3.1.3 엘리트 전략

엘리트 전략은 각 세대에서 가장 좋은 최적개체가 재생산을 위하여 선택되어지지 않거나 교배 등에 의해 소멸되는 것을 방지하기 위하여 최적개체를 강제로 유지시키기 위한 알고리즘이다. 마이크로 유전자 알고리즘에서 반드시 필요한 전략은 아니지만 본 연구에서는 좋은 유전자의 확률적 손실을 방지하기 위하여 엘리트 전략을 사용하였다.

3.2 최적화 문제의 정식화

본 논문에서 사용된 강제는 A36인 AISC 부재 256 개(2의 8승개)의 WF형강을 사용하였다. 따라서, 구조물의 총 염색체수는 설계변수의 총수와 각 설계변수 당 염색체수인 8의 곱으로 정의된다. 설계집단의 크기는 10으로 하였으며, 세대수는 고정시키지 않고 수렴 기준을 5회 만족될 때 프로그램이 종료되도록 하였다.

3.2.1 적합도 함수

자연계의 생물들은 끊임없는 생존경쟁을 통하여 환경에 적응해 나가는데, 한 생물의 생존능력은 그 환경에 대한 적응능력을 반영한다. 적합도 함수는 환경에 대한 생물의 적응능력을 알고리즘으로 표현한 것으로 일반적으로 목적함수로부터 계산된다. 환경에 대한 생물의 적응능력이 클수록 생존능력이 강하기 때문에 유전자 알고리즘에서도 적합도 함수는 최대화 문제형태로 기술되어야 한다. 많은 공학적인 문제에서 목적함수는 최소화 문제로 기술되기 때문에 최소화 문제로 기술되는 목적함수를 최대화 문제로 기술되는 적합도 함수로 변환할 필요가 있다. 본 논문에서는 적합도 함수로 정규화된 제약조건의 위배를 근거로 식(8)과 같이 변환된 적합도 함수를 적용하였다.

$$F(x) = K - OBJ(1 + rC) \quad (8)$$

여기서 $F(x)$ 는 적합도 함수이고, K 는 최소화 문제로 기술된 목적함수를 최대화 문제로 기술되는 적합도함수를 얻기 위해서 필요한 충분히 큰 수를 나타낸다. OBJ 는 목적함수, r 은 벌칙함수의 증가계수를 나타내며 C 는 위배계수로써 식(9)와 같다.

$$C = \sum_{i=1}^m \max(0, g_i^+(x)) \quad (9)$$

여기서 $g_i^+(x)$ 는 정규화 된 제약조건으로 양의 값을 가지는 i 번째 제약함수의 값이다.

3.2.2 목적함수

본 연구에서 사용된 목적함수는 구조물의 전체중량을 사용하였으며, 식(10)과 같다.

$$OBJ = \sum_{i=1}^N W_i L_i \quad (10)$$

여기서 W_i 는 i 번째 부재의 단위길이당 무게이며, L_i 는 부재의 길이이다.

3.2.3 하중저항능력에 의한 제약조건식

고등해석을 적용한 직접설계시스템의 설계형식은 기본적으로 LRFD 설계형식과 비슷하다. 본 논문에서는 구조시스템에 작용하는 하중비를 이용하여 하중저항능력에 대한 제약조건식을 고등해석에 적용하기 위한 제약조건식으로 나타내었다.

$$g_1 = \frac{1.0}{\phi} - \lambda \leq 0 \quad (11)$$

여기서 ϕ 는 구조시스템에 대한 저항계수로서 0.9를 사용하였다. λ 는 구조시스템 해석에 적용되는 설계하중에 대한 비를 나타낸다.

3.2.4 사용성에 의한 제약조건식

본 논문에서는 사용성에 대한 제약조건으로 처짐과 층변위를 사용하였으며, 처짐과 층변위에 대한 제약조

건식은 AISC-LRFD 규정을 참고하여 식(12)과 식(13)과 같이 정식화하였다.

$$g_2 = \frac{(\Delta_{bw})_i}{L_i/360} - 1.0 \leq 0 \quad (12)$$

$$g_3 = \frac{(\Delta_{cv})_j}{H_j/300} - 1.0 \leq 0 \quad (13)$$

여기서 식(12)은 처짐에 대한 제약조건식이고 식(13)은 층변위에 대한 제약조건식이다. L_i 와 $(\Delta_{bw})_i$ 는 i -번째 보의 지간길이와 처짐을 나타낸다. H_j 와 $(\Delta_{cv})_j$ 는 j -번째 기둥의 층고와 층간 수평변위를 나타낸다.

4. 설계예제

4.1 3층 2경간 구조물

본 논문에서는 설계예제로서 Fig. 2와 같은 3층 2경간 평면 강뼈대 구조물을 사용하였다. 3층 2경간 평면 강뼈대 구조물은 Pezeshk 등(2000)⁽¹²⁾ 및 운영목과 김병헌(2004)⁽³⁾에 의하여 설계된 바 있다. 설계 변수는 보와 기둥의 크기를 선택하였고 Fig. 3에 나타내었다. 기둥길이의 1/500에 해당하는 비수직도를 채택하여 기하학적 불완전성을 고려하였다.

최적설계결과를 Pezeshk 등(2000)⁽¹²⁾의 연구결과 및 운영목과 김병헌(2004)⁽³⁾의 연구결과와 비교하여 Table 1에 제시하였다. Table 1에서 보는 바와 같이 본 연구에서 제안한 알고리즘을 사용했을 경우 최적설계된 구조물의 총중량은 62.29 kN(14,004 lb)로서 기하학적 비선형 해석을 이용한 Pezeshk 등의 최적설계 결과인 86.79kN(19,512lb)보다는 약 28.2%

정도, 2차 비탄성 해석을 이용한 운영목과 김병헌의 최적설계 결과인 67.74kN(15,228lb)보다는 약 8.0% 정도 중량감소 효과를 얻을 수 있었다. 또한, 제안한 알고리즘을 사용했을 경우 최적설계된 구조물의 하중-저항능력은 1.12로서 운영목과 김병헌의 연구결과인 1.074보다 큼으로서 전체 중량은 감소하면서 하중-저항능력은 4.3%정도 증가함을 보임으로서 제안한 알고리즘이 매우 효율적임을 알 수 있었다.

Pezeshk 등은⁽¹²⁾ 최적해를 구하기 위하여 집단수를 60, 세대수를 30을 사용하였다. 또한, 유전자 알고리즘을 이용한 최적설계를 수행함에 있어서 발생하는 난수에 따라 설계결과들이 다르게 나타날 수 있기 때문에 최적설계를 30회를 수행하였다. Pezeshk 등⁽¹²⁾은 최적해를 구하기 위해서 54,000회의 비선형 해석을 수행하였다.

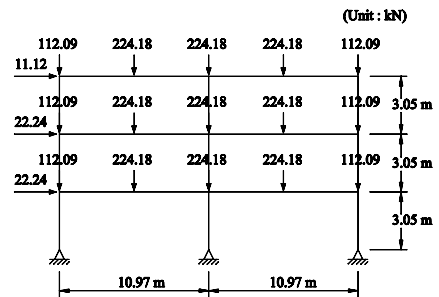


Fig. 2 3층 2경간 평면 강뼈대 구조물

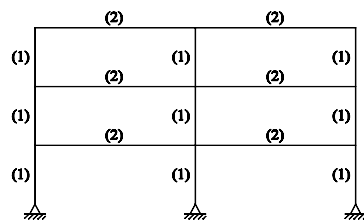


Fig. 3 3층 2경간 평면 강뼈대 구조물의 설계변수

Table 1 3층 2경간 평면 강뼈대 구조물의 최적설계 결과

설계변수	방법	제안된 방법	Pezeshk 등(2000)	운영목과 김병헌(2004)
기둥		W12×50	W10×68	W10×54
보		W21×44	W24×62	W21×48
총중량		62.29 kN(14,004 lb)	86.79 kN(19,512 lb)	67.74 kN(15,228 lb)
하중저항능력		1.12	1.455	1.074
비선형해석수		960 회	54,000 회	7,500 회

윤영목과 김병헌은 집단수를 50, 세대수를 50, 난수발생을 3회 실행함으로써 최적해를 구하기 위해서 7,500번의 비선형 해석을 수행하였다. 본 연구에서는 난수 발생을 3회, 집단수를 10으로 하였으며, 프로그램의 종료기준을 세대 수가 아닌 마이크로 유전자 알고리즘의 수렴조건을 5회 만족하면 종료되는 것으로 코딩하였다. 본 예제에서는 32번째 세대에서 종료하였다. 따라서, 최적해를 구하기 위하여 960회 비선형 해석을 수행하게 되었다. 본 연구에서 제안한 알고리즘을 사용했을 경우 Pezeshk 등의 연구결과보다는 약 56배, 윤영목과 김병헌의 연구결과보다는 약 8배의 시간을 절약할 수 있음을 알 수 있었다.

4.2 3차원 강뼈대 구조물

본 논문에서 제안한 알고리즘의 타당성과 효율성을 검증하기 위한 설계예제로서 김승억과 마상수(2003)⁽¹⁾에 의하여 설계된 바 있는 3차원 강뼈대 구조물을 사용하였다. 구조물에 작용하는 설계하중은 Fig. 4와 같다. 설계변수는 부재 크기로 하였으며 Fig. 5에 나타내었다. 기둥길이의 1/500에 해당하는 비수직도를 채택하여 기하학적 불완전성을 고려하였다.

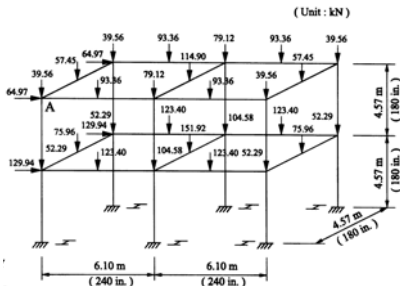


Fig. 4 3차원 강뼈대 구조물

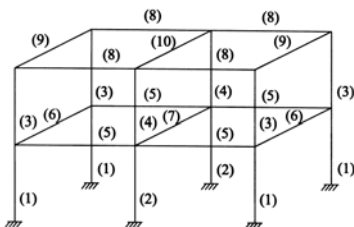


Fig. 5 3차원 강뼈대 구조물의 설계변수

Table 2 3차원 강뼈대 구조물의 최적설계 결과

설계변수	제안된 방법	김승억(2003)
1	W14×34	W14×145
2	W33×291	W16×67
3	W12×72	W10×112
4	W10×49	W12×65
5	W8×40	W24×68
6	W14×22	W16×31
7	W10×49	W12×30
8	W18×35	W10×68
9	W6×15	W8×18
10	W14×34	W12×30
총중량	110.83 kN (24,915 lb)	145.58 kN (32,727 lb)
하중저항능력	1.20	1.93
해석수	840 회	200,000 회

최적설계결과를 김승억과 마상수(2003)의 연구결과와 비교하여 Table 2에 제시하였다. Table 2에서 보는 바와 같이 본 연구에서 제안한 알고리즘을 사용했을 경우 최적설계된 구조물의 총중량은 110.83 kN(24,915 lb)로서 김승억과 마상수의 최적설계 결과인 145.58 kN(32,727 lb)보다 약 23.9% 정도 중량감소 효과를 얻을 수 있었다. 본 연구에서 제안한 알고리즘을 사용했을 경우 최적설계된 구조물의 하중-저항능력은 1.20로서 김승억과 마상수의 하중-저항능력인 1.93보다 설계하중에 저항계수를 고려한 1.11에 훨씬 가까운 값을 보임으로서 제안한 알고리즘이 매우 효율적임을 알 수 있었다.

김승억과 마상수는 최적해를 구하기 위하여 집단수를 10, 세대수를 20,000을 사용함으로써 최적해를 구하기 위하여 200,000회의 비선형 해석을 수행하였으나, 본 연구에서는 840회(집단수 10, 난수발생을 3회, 평균 수렴 세대수 28회)의 비선형 해석을 수행함으로써 최적해를 구할 수 있었다. 따라서, 본 연구에서 제안한 알고리즘을 사용했을 경우 김승억과 마상수의 연구결과보다 238배의 시간을 절약할 수 있음을 알 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 고등해석과 유전자 알고리즘을 이용

하여 강뿔대 구조물의 최적설계를 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 제안된 방법으로 3층 2경간 평면 강뿔대 구조물에 대하여 최적설계를 수행한 경우 최적설계된 구조물의 총중량은 Pezeshk 등의 최적설계보다 약 28.2%, 윤영목과 김병현의 최적설계보다는 약 8.0% 정도 중량감소 효과를 얻을 수 있었으며, 3차원 구조물인 경우에는 김승익과 이상수의 최적설계보다 23.9% 정도 중량감소 효과를 얻을 수 있었다.
- 2) 제안된 방법으로 2차원 구조물에 대하여 최적설계를 수행한 경우 비선형 해석수는 Pezeshk 등의 비선형해석 수보다는 56배, 윤영목과 김병현의 비선형해석수보다는 8배, 3차원 구조물인 경우에는 김승익과 이상수의 비선형해석수보다는 238배 정도 해석수 즉 설계시간을 대폭 줄일 수 있음을 알 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었습니다(과제번호 : KRF-2004-003-D00400). 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김승익, 이상수(2003) 유전자 알고리즘을 이용한 비선형 비탄성 최적설계, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제23권 5A호, pp.841-850.
2. 박문호, 김승익, 최세휴(2000) 3차원 강뿔대 구조물의 실용적인 고등해석기법 개발, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제20권 1-A호, pp.69-76.
3. 윤영목, 김병현(2004) 2차 비탄성해석과 유전자 알고리즘을 이용한 평면 강골조 구조물의 최적설계, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제24권 1-A호,

pp.87-100.

4. AISC(1993) Load and resistance factor design specification, 2nd ed., AISC, Chicago.
5. Chen, W.F. and Kim, S.E.(1997) LRFD steel design using advanced analysis, CRC Press, Boca Raton, Florida.
6. Chen, W.F. and Lui, E.M.(1992) Stability design of steel frames, CRC Press.
7. CSA(1994) Limit states design of steel structures, CAN/CAS -S16.1-M94, Canadian Standards Association.
8. ECCS(1991) Essentials of Eurocode 3 design manual for steel structures in building, ECCS-Advisory Committee 5, No. 65, p.60.
9. Krishnakumar, K.(1989) Micro-genetic algorithms for stationary and non-stationary function optimization, SPIE, Intelligent Control and Adaptive Systems, Vol. 1196.
10. Liew, J.Y. and Tang, L.K.,(1998) Nonlinear refined plastic hinge analysis of space frame structures, Research Report No. CE027/98, Department of Civil Engineering, National University of Singapore, Singapore.
11. Pantelides C.P. and Tzan S.R.(1997) Optimal design of dynamically constrained structures, Comput. Struct., 62, pp.141-149.
12. Pezeshk, S., Camp, C.V. and Chen, D.(2000) Design of nonlinear framed structures using genetic optimization, J. Struct. Eng., ASCE, 126(3), pp.382-388.
13. Rajeev, S. and Krishnamorthy, C.S.(1992) Discrete optimization of structures using genetic algorithms, J. Struct. Eng., ASCE, 118, pp.1233-1250.
14. Standards Australia(1990) AS4100-1990, Steel structures, Sydney, Australia.

급행 (접수일자 : 2006년 6월 8일)