

일반화 전달강성계수법과 유전알고리즘을 이용한 골조구조물의 최적설계 Optimum Design of Frame Structures Using Generalized Transfer Stiffness Coefficient Method and Genetic Algorithm

최 명 수
Myung-Soo Choi

Key Words : Optimum Design(최적설계), Graph Theory(그래프이론), Transfer Stiffness Coefficient Method(전달강성계수법), Frame Structure(골조구조물), Genetic Algorithm(유전알고리즘)

Abstract : The genetic algorithm (GA) which is one of the popular optimum algorithm has been used to solve a variety of optimum problems. Because it need not require the gradient of objective function and is easier to find global solution than gradient-based optimum algorithm using the gradient of objective function. However optimum method using the GA and the finite element method (FEM) takes many computational time to solve the optimum structural design problem which has a great number of design variables, constraints, and system with many degrees of freedom. In order to overcome the drawback of the optimum structural design using the GA and the FEM, the author developed a computer program which can optimize frame structures by using the GA and the generalized transfer stiffness coefficient method. In order to confirm the effectiveness of the developed program, it is applied to optimum design of plane frame structures. The computational results by the developed program were compared with those of iterative design.

1. 서 론

컴퓨터의 발달 및 대중적인 보급과 더불어 기계나 구조물의 설계분야에서도 많은 변화가 일어나고 있다. 초기 설계단계에서부터 적극적으로 컴퓨터를 활용함으로써 다양한 외부 환경에 따른 구조물의 거동을 예측할 수 있으므로, 구조물의 전체 공정기간을 단축시킬 수 있고 생산성면에서도 효과적이다. 그러나 종래의 단순하고 반복적인 계산 과정을 기반으로 한 설계 작업으로는 다양한 설계 변수와 제약조건을 갖는 복잡한 시스템에 대한 설계 문제를 만족스럽게 해결하기란 현실적으로 어려운 점이 많다.

따라서 많은 공학자들은 종래의 단순 반복적인 설계 작업에서 벗어나 최적설계 알고리즘을 개발하고 적용함으로써 더욱더 강력하고 효과적인 설계가 가능해졌다. 최적설계 알고리즘으로써 가장 많이 사용되는 방법 중의 하나가 유전알고리즘¹⁾이다. 이 방법은 미분 정보를 필요로 하지 않아 최적화 문제에

쉽게 적용할 수 있고, 미분 정보를 기초로 하는 다른 최적화 알고리즘에 비해 전역해를 구하기 쉬운 장점이 있지만, 계산 시간이 세대수 및 개체수에 비례해서 크게 늘어나는 단점이 있다.

전달강성계수법^{2),3)}은 효과적인 진동해석 알고리즘이지만, 다양한 형태의 구조물에 일괄적으로 적용하기에는 해석기법의 특성상 곤란한 점이 많았다. 따라서 전달강성계수법의 범용성을 향상시키기 위하여, 전달강성계수법의 계산 과정에 그래프이론⁴⁾을 적용한 알고리즘이 일반화 전달강성계수법이다. 이 방법은 기존의 진동해석기법인 유한요소법에 비해 적은 계산 메모리를 사용하고도 빠른 속도로 계산이 가능하고, 특히 구조물의 자유도가 커질수록 더욱 효과적인 해석기법임을 확인한 바 있다^{5),6)}.

본 연구에서는 일반화 전달강성계수법과 유전알고리즘을 효과적으로 결합한 최적설계 프로그램을 개발하였다. 이 방법은 일반화 전달강성계수법의 장점인 범용성 및 고속성을 가지면서 유전알고리즘의 장점을 모두 수용한다. 본 원고에서는 자유진동 해석에 적용될 일반화 전달강성계수법의 개념을 간단히 소개한 후, 일반화 전달강성계수법과 유전알고리즘을 결합하여 개발된 전산 프로그램을 이용하여

접수일 : 2005년 10월 27일
최명수(책임저자) : 여수대학교 해양경찰학과
E-mail : engine@yosu.ac.kr, Tel. 061-659-3184

다양한 제약조건을 갖는 평면 골조구조물의 최적화 문제에 적용한다. 그리고 종래의 반복적인 설계 방법과의 비교를 통해 제안된 방법의 유효성을 확인한다.

2. 그래프이론과 전달강성계수법을 이용한 자유진동 해석 알고리즘

평면 골조구조물을 해석 대상으로 하여 종래의 자유진동 해석 알고리즘을 간단히 살펴본 후, 일반화 전달강성계수법을 소개한다.

Fig. 1 Analytical model

2.1 해석 모델

평면 골조구조물은 Fig. 1과 같이 다수의 직선 보요소가 동일 평면 내에서 결합된 구조물이다. 골조구조물의 탄성지지부 및 경계조건은 구조물과 기초(base) 사이에 삽입된 수평방향과 수직방향 그리고 회전방향의 스프링요소(각각의 스프링상수는 k_x, k_y, k_θ)로 모델링한다. 예를 들어 경계조건이 고정인 경우에는 해당 스프링요소의 스프링상수에 무한대에 상당하는 아주 큰 값을 주고, 경계조건이 자유인 경우에는 스프링상수의 값을 0으로 한다. 구조물 내부의 보요소의 결합점 및 구조물과 스프링요소의 결합점을 모두 절점(node)으로 설정하고, 해석 모델은 총 n 개의 절점과 m 개의 보요소를 갖는 것으로 한다.

2.2 진동수방정식의 도출

구조물 중에서 임의의 i 번째 보요소의 좌측 절점과 우측 절점의 변위벡터($\mathbf{d}_i^r, \mathbf{d}_i^l = {}^t[x, y, \theta]^r, {}^l$)와 힘벡터($\mathbf{f}_i^r, \mathbf{f}_i^l = {}^t[F_x, F_y, M]^r, {}^l$) 사이의 관계를 전체좌표계로 나타내면 식(1)과 같이 나타낼 수 있다⁷⁾. 여기서 x 와 y 는 각각 X축과 Y축방향 변위를

나타내고, θ 는 각변위이다. 그리고 F_x 와 F_y 는 각각 X축과 Y축방향의 내력이고, M 는 내력 모멘트이다.

$$\begin{aligned} \mathbf{f}_i^r &= \mathbf{A}_i \mathbf{d}_i^r + \mathbf{B}_i \mathbf{d}_i^l \\ \mathbf{f}_i^l &= \mathbf{C}_i \mathbf{d}_i^r + \mathbf{D}_i \mathbf{d}_i^l \end{aligned} \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

절점 j 에서 힘의 평형식으로부터 다음 식을 구할 수 있다.

$$\sum \mathbf{f}_j + \mathbf{K}_j \mathbf{d}_j = \mathbf{0} \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

여기서 $\sum \mathbf{f}_j$ 는 절점 j 에 연결된 보요소들로부터 절점 j 에 가해지는 힘들의 합력이다. \mathbf{K}_j 는 절점 j 를 지지하는 스프링요소로 구성되는 강성행렬로써 $\text{diag}(k_x, k_y, k_\theta)$ 와 같은 대각행렬이다.

식 (1)을 식 (2)에 대입하여 보요소 좌측 및 우측의 힘벡터를 모두 제거한 후, 전체 강성행렬(\mathbf{S})과 변위벡터(\mathbf{d})로 정리하면 다음식과 같다.

$$\mathbf{S} \mathbf{d} = \mathbf{0} \quad (3)$$

여기서

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} \mathbf{S}_{11} & \mathbf{S}_{12} & \dots & \mathbf{S}_{1n} \\ \mathbf{S}_{21} & \mathbf{S}_{22} & \dots & \mathbf{S}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{S}_{n1} & \mathbf{S}_{n2} & \dots & \mathbf{S}_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\mathbf{d} = {}^t[\mathbf{d}_1, \mathbf{d}_2, \dots, \mathbf{d}_n]$$

단, 절점 a 와 절점 b 사이에 보 요소가 존재하지 않을 때는 $\mathbf{S}_{ab} = \mathbf{S}_{ba} = \mathbf{0}$ 이다. 식(3)으로부터 진동수방정식은 $\det \mathbf{S} = 0$ 로 되고, 자유도가 큰 해석 구조물은 전체 강성행렬 \mathbf{S} 의 크기가 커지며 따라서 유한요소법과 같은 종래의 해석기법으로서는 수치계산시에 많은 계산시간이 소요되는 문제점이 발생한다.

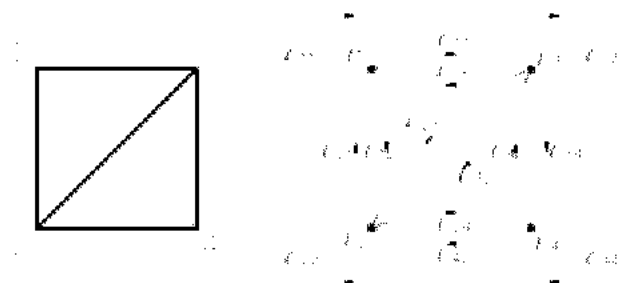
2.3 일반화 전달강성계수법

2.3.1 골조구조물의 그래프 표현

총 n 개의 절점을 갖는 골조구조물을 가중치를 갖는 신호흐름선도 G_n (이하에서는 그래프 G_n 이라 부른다)으로 표현할 수 있다. 여기서 가중치는 식 (4)

의 3×3의 부분 강성계수행렬 S_{ij} 에 해당한다. 그리고 식 (4)의 전체 강성행렬 S 를 그래프 G_n 에 대한 가중치행렬이라고 부르고, $S(G_n)$ 으로 나타낸다.

예를 들면, Fig. 2(a)와 같은 4절점 모델은 Fig. 2(b)와 같이 그래프 G_4 로 표현할 수 있다. 그래프에서는 구조물의 절점 j 를 점 v_j 로 나타내고, e_{ij} 는 점 v_i 로부터 나와서 점 v_j 로 들어가는 유향변이고, e_{ji} 는 점 v_j 로부터 나와서 점 v_i 로 다시 들어가는 자기루프이다.



(a) Four nodes model (b) Signal-flow graph G_4
Fig. 2 Graph expression

Fig. 2에서 알 수 있듯이 골조구조물을 그래프로 나타내면 그래프의 각 점에는 항상 자기루프가 존재하고, 골조구조물의 절점 i 와 절점 j 가 연결되어 있는 경우에는 그래프에서는 점 v_i 와 v_j 가 두개의 유향변 e_{ij} 와 e_{ji} 로 연결된다.

그래프에서 각 점의 접속관계를 행렬로 정리한 것이 인접행렬 $A(G_n)$ 이고, 이는 다음 식과 같다.

$$A(G_n) = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서 A_{ij} 는 점 v_i 로부터 나와서 점 v_j 로 들어가는 유향변의 개수를 나타내고, 대응하는 변이 없는 경우에는 0이 된다. 또한 점 v_j 로 들어가는 변의 수를 차수 $\delta(v_j)$ 라 부르고, 이 값은 식 (5)로부터 다음식과 같이 구할 수 있다.

$$\delta(v_j) = \sum_{i=1}^n A_{ij} \quad (6)$$

예를 들면, Fig. 2(b)의 그래프 G_4 의 인접행렬 $A(G_4)$ 는

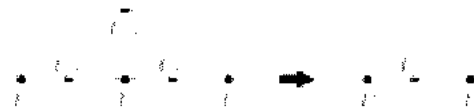
$$A(G_4) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

로 되고, 각 점의 차수는 각각 $\delta(v_1)=3$, $\delta(v_2)=4$, $\delta(v_3)=4$, $\delta(v_4)=3$ 이다.

2.3.2 그래프 축약 계산

점 v_i , v_j , v_k 가 Fig. 3(a)와 같이 직렬로 연결된 그래프는 점 v_i 와 v_j 를 직접 연결하는 새로운 변 e_{ij} 로 등가 변환할 수 있고, 이를 직렬 축약이라 한다. 점 v_k 를 소거하는 직렬 축약을 적용하면 그래프는 점 v_k 에 접속하는 모든 변이 소거된다. 그리고 점 v_k 에 인접했던 점(v_i , v_j)들에는 $(\delta(v_k)-1)^2$ 개의 새로운 변이 추가된다.

Fig 3(b)와 같이 점 v_i 와 점 v_j 의 사이에 동일 방향의 변이 여러 개 있을 때, 이들을 하나의 변으로 등가 변환시킬 수 있고, 이를 병렬 축약이라 한다.



(a) Series contraction rule



(b) Parallel contraction rule

Fig. 3 Contraction rules of graph

예를 들면, Fig. 2(b)의 그래프 G_4 로부터 직렬 축약이 행해져 점 v_1 이 소거된 그래프를 $G_4(\overline{v_1})$, 점 v_3 가 소거된 그래프를 $G_4(\overline{v_3})$ 라고 하면, 이들의 인접행렬 $A(G_4(\overline{v_1}))$ 및 $A(G_4(\overline{v_3}))$ 는

$$A(G_4(\overline{v_1})) = \begin{bmatrix} 2 & 2 & 1 \\ 2 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A(G_4(\overline{v_3})) = \begin{bmatrix} 2 & 2 & 1 \\ 2 & 2 & 2 \\ 1 & 2 & 2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

이고, 추가로 병렬 축약을 행하면 식 (9)와 같이 된다.

$$\mathbf{A}(G_4(v_1)) = \mathbf{A}(G_4(v_3)) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

따라서 식(8)과 (9)의 과정을 살펴보면, 점 v_1 을 소거하는 것이 점 v_3 를 소거하는 것보다 계산 속도의 면에서 효과적임을 알 수 있다.

2.3.3 최적의 축약 계산 순서

식(3)을 효과적으로 계산하기 위한 최적의 축약 계산 순서는 다음과 같다.

(1) 각 점의 차수 $\delta(v_j)$ 를 비교해서, 차수가 작은 점부터 먼저 소거한다.

(2) 최소 차수를 갖는 점이 여러 개 존재하는 경우에는 이 점과 연결된 인접점 사이의 접속 수가 높은 점부터 먼저 소거한다.

전산 프로그램에서는 상기 순서로 n 개의 절점을 갖는 해석 모델을 한 개의 최종점(점 r)으로 축약하는 최적의 축약 순서를 강성행렬을 축약하기 전에 미리 계산해 둔다.

2.4 강성행렬의 축약

그래프 G_n 에 대해서 $(m-1)$ 회의 축약 계산을 수행한 그래프를 G_n^{m-1} 이라고 하자. 그래프 G_n^{m-1} 중의 점 v_k 를 중간점으로 하는 3점 v_i, v_j, v_k 가 Fig. 3(a)와 같이 직렬 변으로 연결되어 있을 때, 이 직렬 변을 소거함에 따라서 점 v_i, v_j 사이에 추가로 생기는 변 e_{ij} 의 가중치 \mathbf{S}_{ij}^m 는 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$\mathbf{S}_{ij}^m = \mathbf{S}_{ij}^{m-1} + \mathbf{S}_{ik}^{m-1} \mathbf{V}_{kj}^m \quad (10)$$

여기서

$$\mathbf{V}_{kj}^m = -(\mathbf{S}_{kk}^{m-1})^{-1} \mathbf{S}_{kj}^{m-1} \quad (11)$$

이다. 점 v_k 를 포함하는 모든 직렬 변에 식 (10)을 적용하는 것으로부터, 인접행렬 $\mathbf{A}(G_n^{m-1})$ 과 가중치행렬 $\mathbf{S}(G_n^{m-1})$ 로부터 점 v_k 에 관한 성분을 축약할 수 있고, 그 결과 그래프 G_n^m 를 얻을 수 있다.

2.5 고유진동수와 고유모드

상기의 순서에 따라서 $m = 1, \dots, n-1$ 에 걸쳐서 축약계산을 순차적으로 행하면, 최종적으로 그래프 G_n^{n-1} 을 얻을 수 있다. 그래프 G_n^{n-1} 은 한 개의 점(v_r)과 자기루프(e_{rr})만의 고립점 그래프이다. 따라서 자기루프의 가중치를 \mathbf{S}_{rr}^{n-1} , 변위벡터를 \mathbf{d}_r 이라 하면,

$$\mathbf{S}_{rr}^{n-1} \mathbf{d}_r = 0 \quad (12)$$

가 된다. 따라서 진동수방정식은

$$\prod_{m=1}^{n-1} \det \mathbf{S}_{kk}^{m-1} \cdot \det \mathbf{S}_{rr}^{n-1} = 0 \quad (13)$$

가 되고, 여기서 $\prod_{m=1}^{n-1} \det \mathbf{S}_{kk}^{m-1}$ 항은 식(11)의 축소 과정에서 발생할 수 있는 거짓근을 해결하기 위함이다. 식(13)에 이분법을 적용하면 구조물의 고유진동수를 구할 수 있고, 행렬 \mathbf{S}_{kk}^{m-1} 과 \mathbf{S}_{rr}^{n-1} 의 크기가 3×3 의 작은 행렬이므로 계산시간을 줄일 수 있다.

식(13)으로부터 고유진동수를 구한 후, 고유모드를 구하는 과정은 다음과 같다. 우선, 고립점 v_r 의 변위벡터는 식(12)로부터 구한다. 나머지 절점의 변위벡터는 식(11)에서 구한바 있는 행렬 \mathbf{V}_{kj}^m 을 이용하여 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$\mathbf{d}_k = \sum_{j=1, j \neq k}^n (\mathbf{V}_{kj}^m) \mathbf{d}_j \quad (14)$$

3. 수치 계산 결과 및 고찰

3.1 계산 모델

최적설계에 이용된 수치 계산 모델은 평면 골조 구조물로서 Fig. 4 및 Fig. 5와 같다.

Fig. 4 Computational model I

Fig. 5 Computational model II

골조구조물은 전체 길이가 4m, 높이가 각각 0.4m (계산모델 I) 및 0.8m(계산모델 II)이고, 중앙에 25000kg의 집중질량을 가지며 이를 하중으로 고려하였다. 부재의 자중은 무시하였고, 경계조건은 좌측과 우측의 절점이 핀 지지되어 있는 것으로 하였다. 부재는 모두 사각단면으로 구성되며, 모든 부재의 밀도는 7860kg/m^3 , 종탄성계수는 206GPa이다.

3.2 유전 알고리즘의 적용

계산에 이용된 유전알고리즘의 순서도는 Fig. 6과 같다. 무작위 초기화(random initialization)법으로 초기 집단을 구성하였고, 재생산 방법은 룰렛휠 선택 (roulette wheel selection), 교배 방법은 다점교배 (multi-point crossover)를 채택하였다. 그리고 효율적인 계산을 위하여 설계변수를 그레이 코딩(gray coding)으로 표현하였고, 엘리트 전략(elitist strategy)을 도입하였다.

골조구조물의 최적화 계산 시에, 유전알고리즘의 파라메타인 개체수를 50, 세대수를 100, 교차 확률을 80%, 돌연변이 확률을 2%로 하여 계산을 수행하였다.

3.3 1층 평면 골조구조물의 최적설계

1층 평면 골조구조물인 Fig. 4의 계산모델 I에 대한 최적설계를 수행하였다. 목적함수는 구조물의 1차 고유진동수를 최대화하는 것으로 하였다. 제약 조건은 부재의 굽힘응력이 217MPa 이하, 전단응력이 125MPa 이하, 처짐량이 13.33mm 이하, 그리고 부재 구조물의 질량을 각각 600kg, 500kg, 400kg, 300kg 이하가 되도록 제한하여 계산하였다.

부재를 위치에 따라 상부, 하부 그리고 중간부분의 3종류로 나눈 후, 설계변수를 각 부재 단면의 폭으로 하였다. 부재 단면의 높이는 그 단면 폭의 2배로 설정하였다. 따라서 설계변수는 상부 부재의 사각단면의 폭(b_1), 하부 부재의 단면의 폭(b_2), 그리고 중간 부재의 단면의 폭(b_3)이 되고, 그 범위는 다음과 같다.

$$9\text{mm} \leq b_1 \leq 40\text{mm} \quad (\Delta b_1 = 1\text{mm})$$

$$9\text{mm} \leq b_2 \leq 40\text{mm} \quad (\Delta b_2 = 1\text{mm})$$

$$9\text{mm} \leq b_3 \leq 40\text{mm} \quad (\Delta b_3 = 1\text{mm})$$

본 연구에서 제안한 알고리즘에 바탕을 둔 전산 프로그램을 개발한 후, 수치계산을 수행한 결과는 다음과 같다.

부재 구조물의 질량을 600kg 이하로 제한하여 최적설계를 수행한 결과, 사각단면 부재의 폭은 각각 $b_1=40\text{mm}$, $b_2=40\text{mm}$, $b_3=40\text{mm}$ 이었다. 이 때 목적함수에 해당하는 골조구조물의 1차 고유진동수는 11.25Hz이었다. 제약조건 항목인 부재의 총 질량은 596.4kg, 최대 굽힘응력은 115.9MPa, 최대 전단응력은 5.343MPa, 최대 처짐량은 1.945mm이었고, 제약조건을 모두 만족하였다. 참고로, 이 경우는 부재 구조물의 질량을 600kg으로 제한하지 않은 경우와도 동일하다. 왜냐하면, 사각단면 부재의 폭이 최대가 되어도 부재 구조물의 질량은 600kg을 초과하지 않기 때문이다.

최적설계 계산 결과의 신뢰성을 확인하기 위하여 골조구조물에 대한 종래의 반복적인 설계 작업을 수행하였다. 즉, 3종류의 사각단면 부재로 구성할 수 있는 경우의 수는, 각 부재가 32 종류(9mm부터 40mm까지 1mm씩 증가)의 치수를 가지므로, 총 32768($32 \times 32 \times 32$)회의 계산을 수행하였다. 그 결과 모든 제약조건을 만족하면서 1차 고유진동수를 최대로 하는 계산 결과는 $b_1=40\text{mm}$, $b_2=40\text{mm}$, $b_3=40\text{mm}$ 이었고, 본 연구에서 개발된 전산 프로그램의 결과와 일치하였다.

Fig. 6 Flowchart of GA

부재 구조물의 질량을 500kg 이하로 제한하여 최적설계를 수행한 결과, 사각단면 부재의 폭은 각각 $b_1=40\text{mm}$, $b_2=39\text{mm}$, $b_3=35\text{mm}$ 이었다. 이 때 목적함수에 해당하는 골조구조물의 1차 고유진동수는 10.68Hz이었다. 제약조건 항목인 부재의 총 질량은 498.8kg, 최대 굽힘응력은 127.2MPa, 최대 전단응력은 4.445MPa, 최대 처짐량은 2.161mm이었고, 제약조건을 모두 만족하였다. 그리고 종래의 반복적인 설계 작업을 수행하여 계산한 결과와도 완전히 일치하였다.

부재 구조물의 질량을 400kg 이하로 제한하여 최적설계를 수행한 결과, 사각단면 부재의 폭은 각각 $b_1=40\text{mm}$, $b_2=40\text{mm}$, $b_3=28\text{mm}$ 이었다. 이 때 목적함수에 해당하는 골조구조물의 1차 고유진동수는 9.884Hz이었다. 제약조건 항목인 부재의 총 질량은 394.9kg, 최대 굽힘응력은 140.7MPa, 최대 전단응력은 4.273MPa, 최대 처짐량은 2.527mm이었다. 제약조건을 모두 잘 만족하였고, 종래의 반복적인 설계 작업을 수행하여 계산한 결과와도 완전히 일치하였다.

부재 구조물의 질량을 300kg 이하로 제한하여 최적설계를 수행한 결과, 사각단면 부재의 폭은 각각 $b_1=37\text{mm}$, $b_2=36\text{mm}$, $b_3=23\text{mm}$ 이었다. 이 때 목적함수에 해당하는 골조구조물의 1차 고유진동수는 8.577Hz이었다. 제약조건 항목인 부재의 총 질량은 298.2kg, 최대 굽힘응력은 175.6MPa, 최대 전단응력은 4.907MPa, 최대 처짐량은 3.361mm이었다. 제약조건을 모두 잘 만족하였고, 종래의 반복적인 설계 작업을 수행하여 계산한 결과와도 완전히 일치하였다.

3.4 2층 평면 골조구조물의 최적설계

2층 평면 골조구조물인 Fig. 5의 계산모델 II에 대하여 최적설계를 수행하였다. 목적함수 및 설계변수는 계산모델 I과 동일하고, 제약조건은 부재 구조물의 질량을 각각 1500kg, 500kg, 300kg 이하가 되도록 제한한 것을 제외하고는 계산모델 I의 제약조건과 일치한다.

부재 구조물의 질량을 1500kg 이하로 제한하여 최적설계를 수행한 결과, 사각단면 부재의 폭은 각각 $b_1=40\text{mm}$, $b_2=40\text{mm}$, $b_3=40\text{mm}$ 이었다. 이 때 목적함수에 해당하는 골조구조물의 1차 고유진동수는 19.97Hz이었다. 제약조건 항목인 부재의 총 질량은 1092kg, 최대 굽힘응력은 58.86MPa, 최대 전단응력은 2.607MPa, 최대 처짐량은 0.3576mm이었고, 제약조건을 모두 만족하였다. 그리고 종래의 반복적인

설계 작업을 수행하여 계산한 결과와도 완전히 일치하였다.

부재 구조물의 질량을 500kg 이하로 제한하여 최적설계를 수행한 결과, 사각단면 부재의 폭은 각각 $b_1=35\text{mm}$, $b_2=34\text{mm}$, $b_3=25\text{mm}$ 이었다. 이 때 목적함수에 해당하는 골조구조물의 1차 고유진동수는 14.05Hz이었다. 제약조건 항목인 부재의 총 질량은 497.8kg, 최대 굽힘응력은 109.5MPa, 최대 전단응력은 3.599MPa, 최대 처짐량은 0.6967mm이었다. 제약조건을 모두 잘 만족하였고, 종래의 반복적인 설계 작업을 수행하여 계산한 결과와도 완전히 일치하였다.

부재 구조물의 질량을 300kg 이하로 제한하여 최적설계를 수행한 결과, 사각단면 부재의 폭은 각각 $b_1=28\text{mm}$, $b_2=28\text{mm}$, $b_3=19\text{mm}$ 이었다. 이 때 목적함수에 해당하는 골조구조물의 1차 고유진동수는 10.869Hz이었다. 제약조건 항목인 부재의 총 질량은 299.6kg, 최대 굽힘응력은 177.2MPa, 최대 전단응력은 4.198MPa, 최대 처짐량은 1.154mm이었다. 이 경우, 최적설계 계산 결과의 신뢰성을 확인하기 위하여 골조구조물에 대한 종래의 반복적인 설계 작업을 수행한 결과와는 근소한 차이가 있었다. 반복설계의 결과는 사각단면 부재의 폭은 각각 $b_1=29\text{mm}$, $b_2=27\text{mm}$, $b_3=19\text{mm}$ 이었다. 이 때 목적함수에 해당하는 골조구조물의 1차 고유진동수는 10.871Hz이었다. 제약조건 항목인 부재의 총 질량은 299.8kg, 최대 굽힘응력은 177.7MPa, 최대 전단응력은 3.994MPa, 최대 처짐량은 1.155mm이었다.

조건에 따른 상기 7가지의 최적화 계산 결과를 종래의 반복적인 설계방법의 결과와 비교해 보면, 본 연구에서 제안한 방법이 상대적으로 적은 횟수(50개체×100세대)의 계산을 수행하고도 효과적으로 설계를 수행할 수 있음을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

최적화 알고리즘 중에서 유전알고리즘은 미분 정보를 필요로 하지 않고, 미분 정보를 기초로 하는 다른 최적화 알고리즘에 비해 전역해를 구하기 쉬우므로, 현재 다양한 분야의 최적화 문제에 폭 넓게 이용되고 있다. 그러나 유전알고리즘과 유한요소법을 접목하여, 자유도가 큰 복잡한 구조물에 대하여 다양한 설계변수와 제약조건을 갖는 최적설계 문제를 해결하기 위해서는 많은 시간이 소요되는 취약점이 있다. 저자는 이 문제를 해결하기 위하여 그래

프리온과 전달강성계수법의 개념을 조합하여 범용성과 고속성을 갖는 일반화 전달강성계수법을 유전알고리즘과 효과적으로 접목시킨 구조물의 최적설계 프로그램을 개발하였다. 본 논문에서는 다양한 제약조건을 갖는 평면 골조구조물을 대상으로 1차 고유진동수를 최대화하는 최적화 문제에 적용한 후, 종래의 반복적인 설계 방법과의 비교를 통해 제안된 방법의 유효성을 확인하였다.

후 기

이 논문은 한국과학재단의 해외 Post-doc. 연구 지원에 의하여 연구되었으며, 관계기관에 감사드립니다.

참고 문헌

1. M. Gen and R. Cheng, 1997, "Genetic Algorithms And Engineering Design", John wiley & Sons, New York.
2. T. Kondou, T. Ayabe and A. Sueoka. 1996, "Transfer Stiffness Coefficient Method Combined with the Concept of Substructure Synthesis Method(Linear Free and Forced Vibration Analyses of a Straight-line Beam Structure)", Trans. of the Japan Society of Mechanical Engineers(C), Vol. 62, No. 596, pp. 1277-1284.
3. D. H. Moon and M. S. Choi, 2000, "Vibration Analysis for Frame Structures Using Transfer of Dynamic Stiffness Coefficient Method", Journal of Sound and Vibration, Vol. 234, No. 5, pp. 725-736.
4. R. J. Wilson and J. J. Watkins, 大石恭彦(譯), "グラフ理論へのアプローチ", 日本評論社, 東京.
5. Y. Bonkobara, T. Kondou, T. Ayabe, K. Tsumagari and D. H. Moon, 2003, "Transfer Stiffness Coefficient Method Applying the Graph Theory", 日本機械學會 Dynamics & Design Conference 2003 講演論文集, CD-ROM.
6. Y. Bonkobara, T. Kondou, T. Ayabe and M. S. Choi, 2004, "Forced Vibration Analysis of a Frame Structure by the Transfer Stiffness Coefficient Method Applying the Graph Theory", 日本機械學會 Dynamics & Design Conference 2004 講演論文集, CD-ROM.
7. Y. W. Kwon and H. C. Bang, 2000, "The Finite Element Method Using MATLAB (2nd ed.)", CRC Press, New York, pp. 237-309.