

규격부재를 사용한 구조물 최적설계

Optimal Design of Structures with Standardized Structural Members

유	영	면*
Yoo,	Yung	Myun
이	항	섭**
Lee,	Hang	Sup

Abstract

In this paper research results of developing a method of selecting design variables of an optimization problem from a finite set of pre-specified numbers, which can be utilized for the structural optimization with standardized structural members, is presented.

The method first finds a continuous optimum under the assumption that design variables can be varied continuously. Then a pseudo-optimum is determined by selecting numbers from the set that are near to the continuous optimum and do not violate constraints. The pseudo-optimum is further improved to obtain the final discrete optimum from the set which minimizes cost function of the problem. In this research, the method is combined with the gradient projection optimization algorithm.

The method is applied to several minimum weight truss optimization problems with constraints on the stresses, displacements, and design variables. As the results, it is found that the method can be efficiently applied to various optimization problems of which design variables must be chosen from a standard.

요 지

본 논문에는 최적설계 시 설계변수를 미리 정해진 유한 개의 숫자로 구성된 집합에서 선택함으로써 규격부재를 사용하여 구조물을 최적설계하는 방법에 대한 연구 결과가 수록되었다.

본 연구에서는 일차로 설계변수가 연속적으로 변할 수 있는 경우의 연속최적해를 구한 후 이로부터 가까이 있으며 제한조건을 위배하지 않는 가최적해(Pseudo-optimum)을 주어진 설계변수의 집합으로부터 선택하고, 이를 개선하여 목적함수를 최소화하는 최종 불연속최적해를 찾는 방법을 사용하였으며, 이를 최적화 기법의 하나인 미분벡터 투영법(Gradient Projection Method)과 결합하여 문제 해결을 시도하였다.

개발된 방법을 이용하여 응력, 변위 및 설계변수 제약조건들이 포함된 각종 트러스 구조물을 설계한 결과 이 방법이 설계변수가 규격을 만족시켜야 하는 최적설계 문제에 광범위하게 적용될 수 있음이 밝혀졌다.

* 정회원 · 한국과학기술원 기계공학과

** 정회원 · 코리아엔지니어링(주)

1. 서 론

구조물의 최적설계 문제는 주어진 용력 및 변위 등에 대한 제한조건들을 만족시키며 요구되는 성능을 나타내는 최적의 구조물을 찾는 문제로, 약 20 여년 전부터 연구가 시작되어 오늘날 컴퓨터와 유한요소법의 급속한 발전에 힘입어 활발히 연구가 진행되고 있다.

그러나 대부분의 연구는 최적설계 문제의 설계변수가 연속적으로 변할 수 있다는 가정 하에 최적치를 찾는 방법에 대해 수행되었다. 이와 같은 최적 설계 결과는 수학적인 최적해는 될 수 있으나 이 결과를 실제 구조물 설계에 적용하기 위해서는 수학적인 최적설계치와 같은 제품을 특별 사양으로 주문하거나 최적설계치에서 가장 큰 규격의 부재를 설계치로 선택해야 한다. 전자의 경우 최적설계를 통한 원가감소보다 특별 주문사양에 의한 원가상승이 크게 되며, 후자의 경우 이미 최적해가 아니거나 경우에 따라서는 제한조건을 위배하게 된다. 이런 어려움으로 인해 규격부재를 사용하여 구조물을 설계해야 하는 산업현장에서 최적설계 기술의 활용이 많은 제약울 받게 되었으며, 다목적 대형 최적설계 컴퓨터 프로그램의 개발을 지연시키는 원인 중의 하나인 것으로 판단된다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 Toakley⁽¹⁾는 Gomory's Algorithm 을 이 분야에 응용하였다. 이 방법은 큰 규모의 구조물에서는 수렴의 보장이 어렵고 부정정 구조물을 다루기가 곤란한 문제점이 있다. Reinschmidt⁽²⁾는 Integer Programming, 또 Cella,^(3,4) Hua⁽⁵⁾는 Branch and Bound Algorithm 을 이용한 Combinatorial Algorithm Technique 을 사용하여 구조물을 최적설계 하였다. 이 방법들은 부정정 구조물도 다룰 수 있는 비교적 일반화된 기법이지만 큰 규모의 구조물을 설계하는데 막대한 계산시간이 필요하며 구조물이 정상거동한다는 가정을 포함하고 있다. 또한 Liebman⁽⁶⁾은 Integer Gradient Direction Method 를 이용하여 SUMT 로 불연속해를 구하였다. 이 방법은 비교적 큰 구조물에도 적용할 수 있는 기법으로 AISC 규격에 의하여 용력제한 조건을 설계변수의 직접적인 함수

로 표현하여 수식화하였다. 그러나 일반적으로 구조물의 각종 제한조건식을 설계변수의 직접적인 함수로 수식화하기 어렵고 또 문제마다 사용자가 제한조건식을 수식화해야하는 어려움이 있다. 이상의 문헌 검토에 의하면 지금까지 연구되어 온 방법들을 실제 구조물 설계에 응용하는데 있어서 부정정 구조물, 고려할 수 없는 제한조건, 혹은 계산소요시간 등 때문에 구조물 설계에 일반적으로 적용하는데 제약을 받아왔다. 본 연구에서는 연속최적해를 구할 수 있는 설계조건의 구조물 문제이면 같은 설계조건 하에서 불연속해를 구할 수 있는 일반화된 방법을 제안하고 트러스 구조물에 이 방법을 적용하여 기존 문헌에 발표된 예제와 비교함으로써 적용범위, 효용성 등을 비교 검토하였다.

2. 최적설계 문제설정 및 해석

연속 설계변수 공간에서의 구조물 최적 설계 기법으로는 선형계획법(LP), SUMT, Fully Stressed Design, 미분벡터 투영법(Gradient Projection Method) 등이 많이 사용되고 있는데 본 연구에서는 구조물 문제의 비선형도, 여러 종류의 제한조건식 등을 무난히 처리할 수 있고 비교적 일반성과 효용성이 널리 알려진 미분벡터 투영법과 상태변수를 정의한 상태공간법⁽⁷⁾을 이용하여 문제를 수식화 하였다. 이 방법은 주어진 설계점에서 목적함수와 제한조건식을 설계변수만의 공간에서 1차 미분치를 유도하여 위배된 제한조건식을 보정하면서 목적함수를 감소시키는 개선된 설계변수를 반복적으로 찾아가는 방법이다.

2.1 문제설정 및 수식화

일반적으로 유한요소법을 이용한 구조물의 최적설계 문제는 다음과 같이 수식화 할 수 있다.

$$\text{Minimize } \phi_0(b, z) \quad (1)$$

$$\text{Subject to } \phi_j(b, z) \leq 0, \quad j=1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$h(b, z) = K(b)z - p(b) = 0 \quad (3)$$

$$b' \in T \quad (4)$$

여기서 ϕ_0 ; 목적함수

ϕ_j ; j 번째 부등 제한조건식

h ; 상태방정식

K ; 구조물 강성행렬

- p ; 절점 하중 벡터
- b ; 설계변수 벡터
- b^s ; 설계변수의 최종 불연속해
- T ; 사용 가능한 불연속 설계변수의 집합
- z ; 상해변수 벡터

2.2 미분벡터 투영법

연속 설계변수 공간에서 어떤 설계점에서 ϵ -active⁽⁷⁾한 제약조건식의 집합을

$$\psi = \{\psi_i | \psi_i \geq -\epsilon, i=1, \dots, k \leq m\} \quad (5)$$

으로 표시하면 그 설계점에서 수치적으로 설계를 개선하기 위해 수정된 최적설계 문제는 목적함수와 식(5)의 설계민감도 벡터를 이용하여 설계변수의 변화량 δb 를 찾는 선형화된 문제로 다음과 같이 정리된다.

$$\text{Minimize } \delta\phi_0 = l^T \delta b \quad (6)$$

$$\text{Subject to } \delta\dot{\psi} = \dot{\ell}^T \delta b \leq \Delta\dot{\psi} \quad (7)$$

$$\delta b^T W \delta b \leq \xi^2 \quad (8)$$

여기서 상첨자 \sim 는 ϵ -active 제한조건을 의미하고 k 는 ϵ -active 제한조건 수이며 $\Delta\dot{\psi}$ 는 위배된 제한조건식의 필요 보정치이다. ξ 는 비선형 제한조건식을 선형화하기 때문에 δb 의 크기에 제한을 두는 step size parameter 이고 W 는 이를 위한 가중행렬을 뜻한다.

식 (6), (7), (8)로 표시되는 선형화 문제에 Kuhn-Tucker의 필요조건을 도입하여 δb 를 구하면 다음과 같다⁽⁷⁾.

$$\delta b = -\frac{1}{2\gamma} \delta b^1 + \delta b^2 \quad (9)$$

$$\delta b^1 = W^{-1}(l^0 + \dot{\ell} \mu^1) \quad (10)$$

$$\delta b^2 = -W^{-1} \dot{\ell} \mu^2 \quad (11)$$

여기서 δb^1 은 목적함수의 미분벡터를 위배된 제한조건식의 접평면에 투영한 설계변수 변화량 벡터이고 δb^2 는 위배된 제한조건식을 보정하는 설계변수 변화량 벡터이다. γ 는 식(8)에 대한 Lagrange Multiplier 인데 $-\frac{1}{2\gamma}$ 은 δb^1 벡터의 크기를 결정하는 Step Size Parameter 이다.

μ^1 과 μ^2 는 식(7)에 대한 Lagrange Multiplier 벡터로서 다음식에서 구한다.

$$M_{\phi\phi} \mu^1 = -M_{\phi\phi_0} \quad (12)$$

$$M_{\phi\phi} \mu^2 = -\Delta\dot{\psi} \quad (13)$$

$$M_{\phi\phi} = \dot{\ell} W^{-1} l^0 \quad (14)$$

$$M_{\phi\phi_0} = \dot{\ell}^T W^{-1} l^0 \quad (15)$$

$$\Delta\dot{\psi} = -\dot{\psi}(b) \quad (16)$$

따라서 주어진 설계점에서 미분벡터 투영법을 적용하여 구한 새로운 설계변수는

$$b^{i+1} = b_i + \delta b \quad (17)$$

가 되며 i 는 그때의 반복회수를 나타낸다. 본 연구에서는 최적설계 문제의 실제민감도 해석을 위해 Adjoint Variable Method⁽⁷⁾를 사용하였다.

3. 불연속 설계변수의 결정

2장에서는 연속설계변수 공간에서 연속최적해를 구하는 과정에 관해서 설명하였고 이 장에서는 (4)식으로 주어진 제한조건식을 만족하기 위하여 설계변수가 미리 정해진 규격부재의 값을 갖는 불연속 최적해를 구하는 방법을 설명한다. 이 방법은 먼저 연속 최적해를 구한 다음 두개의 과정으로 나누어 불연속 최적해를 구하는 방법으로 편의상 2단계 방법(Two Phase Method)이라고 명명하였다. 첫번째 과정에서는 연속최적해 근방의 Infeasible한 불연속 설계점에서 Feasible한 불연속해를 구하고, 두번째 과정에서는 이미 구한 불연속해를 개선하여 최종 불연속해를 구한다.

그림 1은 이 방법을 간략하게 설명하기 위하여 두개의 독립 설계변수를 갖는 2차원 공간 ($b \in R^2$)에서 두개의 제한조건식 $\psi_1(b)$, $\psi_2(b)$ 가 선형인 경우를 나타낸다. A 점은 연속 최적해이며 B, C, D, E, F, G 점은 불연속 설계변수의 격자점이다. 그림에서 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ 의 과정이 Phase-I 과정이고 D 점이 첫번째 불연속해에 해당되며 $D \rightarrow E$ 의 과정이 Phase-II의 과정으로서 E 점이 최종 불연속해를 나타낸다. 두과정

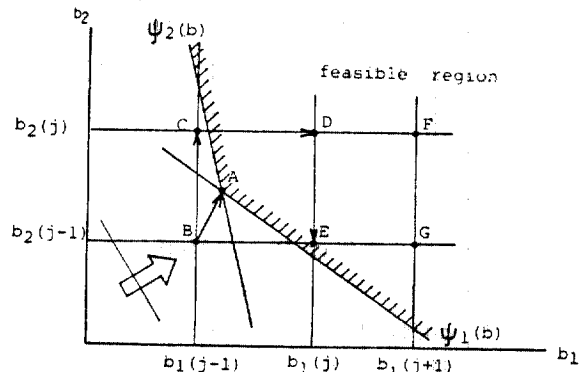


그림 1. Schematic of the Two Phase Method

을 나누어 단계적으로 설명하면 다음과 같다.

3.1 Phase-I

(1) 2장의 식(4)에서 집합 T (이하 규격표라고 칭함)를 단면적이 작은 것에서 큰 것 순서로 배열하여 Database화 한다.

(2) 각 설계변수 별로 2장에서 구한 연속 최적해보다 한단계 작은 규격표의 값을 Phase-I의 설계 초기치로 정한다. 그림에서 B점에 해당한다.

(3) 2장의 수식화 과정에서 δb^2 를 계산한다. 그림 1에서 벡터 \vec{BA} 가 미분벡터 투영법에 의해서 계산한 δb^2 에 해당한다.

(4) δb^2 성분중에서 최대의 陽의 값을 갖는 설계변수를 선정하여 규격표에서 한단계 큰 값을 해당 성분의 설계변수로 한다(그림 1, $B \rightarrow C$ 과정).

(5) 새로 구한 불연속 설계 격자점에서 모든 제한조건을 만족하면 그때의 설계점을 Phase-I의 解로 정하고 다음과정인 Phase-II 과정을 계속하고, 그렇지 않으면 과정(3)으로 되돌아간다(그림 1, $C \rightarrow D$ 과정).

3.2 Phase-II

이 과정은 Phase-I에서 얻은 불연속해가 경우에 따라 과도하게 Feasible Set 내부의 격자점으로 될 때가 있으므로 이를 점검하여 개선된 불연속 최적해를 구하는 과정이다.

(1) Phase-I의 불연속해에서 각각의 설계변수를 차례로 규격표에서 한단계씩 감소시켜 제한조건식의 만족여부를 점검한다.

(2) 모든 제한조건을 만족하는 경우에 대해서 목적함수를 가장 최소화하는 설계치를 Phase-I의 解로 대치한 후 (1)의 과정으로 되돌아간다. 만약 모든 경우에 대해서 제한조건을 전부 만족하지 않으면 Phase-I의 解를 Phase-II의 최종 불연속해로 선정한다.

4. 예 제

본 논문에 제시된 Two Phase Method를 사용하여 3종류의 트러스 구조물에 대한 최적설계를 수행하였다. 이 예제들은 결과를 기존의 방법들과 비교하기 위해 참고문헌에서 선택하였다. 이 구조물들을 설계하는데 사용된 알루미늄

표 1. Specified Member Sizes

Nominal Dia (in)	Section Area (in ²)	Nominal Dia (in)	Section Area (in ²)
3/8	0.11	3	7.069
1/2	0.196	3.1/4	8.296
5/8	0.307	3.1/2	9.621
3/4	0.442	3.3/4	11.04
7/8	0.601	4	12.57
1	0.785	4.1/4	14.19
1.1/4	1.227	4.1/2	15.9
1.1/2	1.767	4.3/4	17.72
1.3/4	2.405	5	19.64
2	3.142	5.1/2	23.76
2.1/4	3.976	6	28.27
2.1/2	4.909	6.1/2	33.18
2.3/4	5.94	7	38.48

부재의 규격은 표 1에 주어져 있다.

4.1 트러스 외팔보 구조물

이 문제는 참고문헌^(5,7,8)에 수록된 전형적인 예제이며 최근 Hua⁽⁵⁾가 이 문제의 불연속해를 구하였다. 구조물의 형상은 그림 2에 보인 바와 같고 하중조건은 절점 2 및 4에 x_2 좌표방향으로 -100 kips씩 작용하고 있으며 절점변위 제한조건 ± 2 inch 및 설계변수 하한치제한 0.1 inch² 응력제한조건 ± 25 ksi을 고려하였다. 이 구조물의 최적설계 결과는 표 2에 나타나 있다. 연속 최적해에 의해 계산된 구조물 중량은 5066.98 lbs 이고 이를 절상한 불연속해는 5655.72 lbs 이며

표 2. Optimization Results of Example 1

Design Variable	Continuous Solution	Discrete Solution	This Paper	Reference (5)
1	30.98	33.18	28.27	38.48
2	0.1	0.11	0.11	0.11
3	24.169	28.27	23.76	19.64
4	14.805	15.9	12.57	12.57
5	0.1	0.11	0.11	0.11
6	0.406	0.442	0.11	0.11
7	7.547	8.296	8.296	9.62
8	21.046	23.76	23.76	19.64
9	20.937	23.76	23.76	23.76
10	0.1	0.11	0.11	0.11
Weight (lb)	5066.98	5655.72	5184.77	5261.7

상한 불연속해는 616.54lbs, 그리고 Two Phase Method를 사용한 결과는 571.73lbs이다.

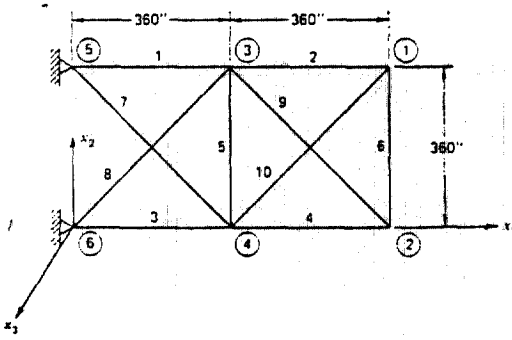


그림 2. Ten-member cantilever truss

참고문헌 5의 결과는 5261.7 lbs이다. 한편 Two Phase Method를 사용한 결과는 5184.77 lbs이다.

4.2 전송탑 트러스 구조물

이 문제는 참고문헌(7)에 수록되어 있는 예제이며 구조물의 형상은 그림 3에 보인바와 같고, 설계조건과 하중조건 및 제한조건들은 표 3에 표시한 바와 같다. 이 구조물의 최적설계 결과는 표 4에 나타나 있다. 연속최적해에 의해 계산된 구조물 중량은 545.04 lbs 이고 이를 절

표 3. Design Data for Example 2

Modulus of elasticity	= 10 ⁴ ksi
Material density	= 0.1 lb/in ³
Stress limits	= ±40 ksi
Displacement limits	= ±0.35 in
Lower limit on design variable	= 0.01 in ²
Upper limit on design variable	= None
No. of loading condition	= 2

Loading Data

Load Condition	Node	Direction of Load		
		x ₁	x ₂	x ₃
1	1	0.5	0	0
	2	0.5	0	0
	3	1.0	10.0	-5.0
	4	0	10.0	-5.0
2	3	0	20.0	-5.0
	4	0	-20.0	-5.0

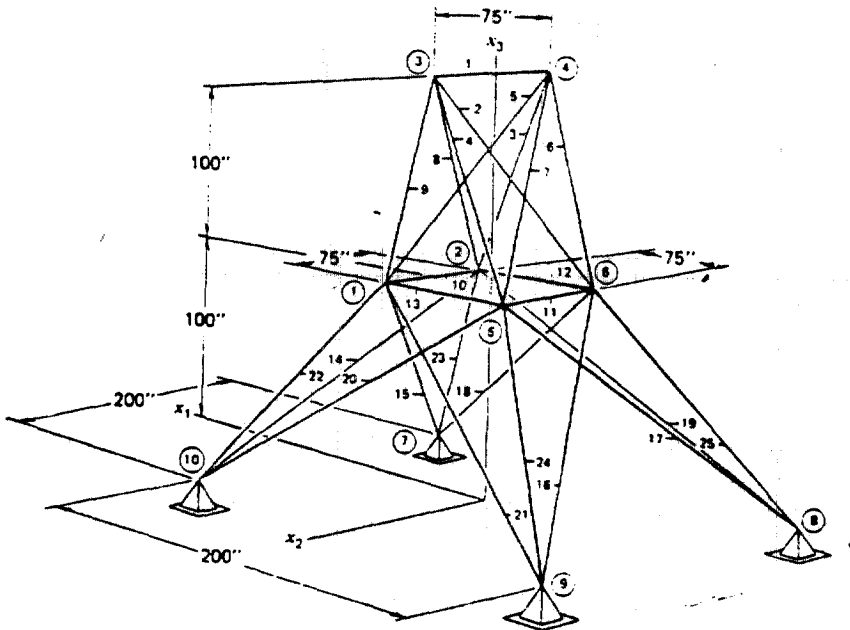


그림 3. 25-member transmission tower

표 4. Optimization Results of Example 2

Design Variable	Element Number	Continuous Solution	Discrete Solution	This Paper
1	1	0.01	0.11	0.11
2	2, 3, 4, 5	2.0476	2.405	2.405
3	6, 7, 8, 9	2.9965	3.142	2.405
4	10, 11, 12, 13	0.01	0.11	0.11
5	14, 15, 16, 17	0.6853	0.785	0.801
6	18, 19, 20, 21	1.6217	1.767	1.767
7	22, 23, 24, 25	2.6712	3.142	3.142
Weight (lb)		545.04	616.543	571.726

4.3 2차원 평면 트러스 구조물

이 문제 역시 참고문헌(7)에 수록되어 있으며 구조물의 형상은 그림 4에 보인 바와 같고 설계 조건과 하중조건 및 제한조건들은 위 참고문헌에 수록된 바와 같이 표 5에 정리 수록하였다. 연속최적해에 의해 계산된 구조물 중량은 28963 lbs 이고 이를 절상한 불연속해는 31480.5 lbs, 그리고 2단계 방법을 사용한 결과는 29892.2 lbs 이다. 이들 결과에 대한 상세한 내용은 표 6에 수록되어 있다. 이 문제에서는 96개의 설계변수가 채택되었는데 이 문제의 연속최적해를 구하는 데는 PRIME 750 전자계산기에서 약 1,500 초의 CPU 시간이 소요되었으나 그 후 2단계 방법을 사용하여 불연속해를 구하는 데는 약 3,200 초가 소요되어 이 방법이 실용적인 최적설계 문제에도 어려움 없이 사용될 수 있음이 밝혀졌다.

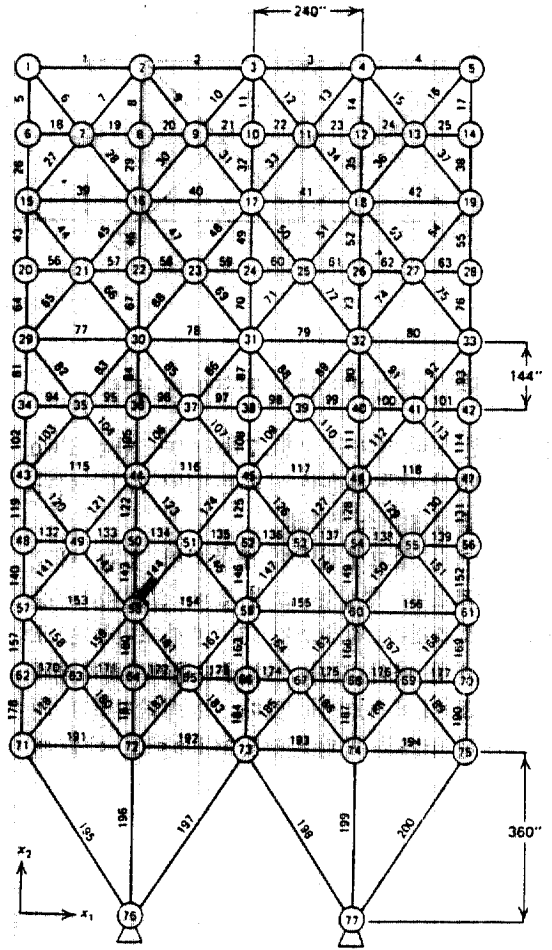


그림 4. 200-member plane truss

표 5. Design Data for Example 3

Modulus of elasticity	= 30,000 kips/in ²
Material density	= 0.283 lb/in ³
Stress limits	= ±30 ksi
Displacement limits	= ±0.5 in
Lower limit on design variable	= -0.1 in ²
No. of loading condition	= 3

Loading Condition 1. One kip acting in positive x_1 -direction at node points 1, 6, 15, 20, 29, 34, 43, 48, 57, 62, 71.

Loading Condition 2. 10kips acting in negative x_2 -direction at node points 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 24, ..., 71, 72, 73, 74, 75.

Loading Condition 3. Loading Conditions 1 and 2 acting together.

II 6. Optimization Results of Example 3

Design Variable	Element Number	Continuous Solution	Discrete Solution	This Paper
1	1, 4	0.1878	0.196	0.196
2	2, 3	0.1	0.11	0.11
3	5, 17	4.7832	4.909	3.976
4	6, 16	0.1703	0.196	0.11
5	7, 15	0.1	0.11	0.11
6	8, 14	2.3462	2.405	2.405
7	9, 13	0.1876	0.196	0.11
8	10, 12	0.1	0.11	0.442
9	11	2.8809	3.142	2.405
10	18, 25, 56, 63, 94 101, 132, 139, 170, 177	0.1	0.11	0.11
11	19, 20, 23, 24	0.1	0.11	0.11
12	21, 22	0.1	0.11	0.11
13	26, 38	6.7767	7.069	5.94
14	27, 37	0.1	0.11	0.11
15	28, 36	0.2361	0.307	0.196
16	29, 35	3.3133	3.976	3.142
17	30, 34	0.1732	0.196	0.442
18	31, 33	0.2227	0.307	0.196
19	32	4.1473	4.909	3.976
20	39, 42	0.1	0.11	0.11
21	40, 41	0.1	0.11	0.196
22	43, 55	8.1292	8.296	7.069
23	44, 54	0.2476	0.307	0.196
24	45, 53	0.1	0.11	0.11
25	46, 52	4.4206	4.909	4.909
26	47, 51	0.2802	0.307	0.196
27	48, 50	0.2673	0.307	0.307
28	49	4.7929	4.909	3.976
29	57, 58, 61, 62	0.1	0.11	0.11
30	59, 60	0.1002	0.11	0.11
31	64, 76	9.3889	9.621	8.296
32	65, 75	0.1	0.11	0.11
33	66, 74	0.3362	0.442	0.307
34	67, 73	5.0733	5.94	4.909
35	68, 72	0.3008	0.307	0.307
36	69, 71	0.3096	0.442	0.196
37	70	5.5744	5.94	4.909
38	77, 80	0.4967	0.601	0.442
39	78, 79	0.3865	0.442	0.307
40	81, 93	9.5196	9.621	8.296
41	82, 92	0.9366	1.227	0.785
42	83, 91	0.1	0.11	0.11
43	84, 90	6.2617	7.069	5.94
44	85, 89	0.3508	0.442	0.307
45	86, 88	0.4835	0.601	0.442

46	87	5.8679	5.94	4.909
47	95, 96, 99, 100	0.1	0.11	0.11
48	97, 98	0.1	0.11	0.11
49	102, 114	10.48	11.04	9.621
50	103, 113	0.1108	0.169	0.11
51	104, 112	1.0313	1.227	0.785
52	105, 111	6.8203	7.069	5.94
53	106, 110	0.5012	0.601	0.442
54	107, 109	0.3754	0.442	0.307
55	108	6.4768	7.069	5.94
56	115, 118	1.9807	2.405	1.767
57	116, 117	1.4784	1.767	1.767
58	119, 131	9.1546	9.621	8.296
59	120, 130	3.1979	3.976	3.142
60	121, 129	0.1	0.11	0.11
61	122, 128	9.0271	9.621	8.296
62	123, 127	0.2074	0.307	0.196
63	124, 126	0.9717	1.227	0.785
64	125	6.5338	7.069	5.94
65	133, 134, 137, 138	0.1	0.11	0.11
66	135, 136	0.1219	0.196	0.11
67	140, 152	9.9624	11.04	9.621
68	141, 151	0.1341	0.196	0.11
69	142, 150	3.3	3.976	3.142
70	143, 149	9.5771	9.621	8.296
71	144, 148	0.9814	1.227	0.785
72	145, 147	0.2269	0.307	0.196
73	146	7.0561	7.069	5.94
74	153, 156	2.55	3.142	2.405
75	154, 155	0.6074	0.785	0.785
76	157, 169	7.5376	8.296	7.069
77	158, 168	4.1216	4.909	3.976
78	159, 167	0.1	0.11	0.11
79	160, 166	13.329	14.19	12.57
80	161, 165	1.8691	2.405	1.767
81	162, 164	0.3045	0.307	0.196
82	163	7.4246	8.296	7.069
83	171, 172, 175, 176	0.1	0.11	0.11
84	173, 174	0.1	0.11	0.11
85	178, 190	8.2183	8.296	7.069
86	179, 189	0.1	0.11	0.11
87	180, 188	4.1916	4.909	3.976
88	181, 187	13.833	14.19	12.57
89	182, 186	0.3354	0.442	0.307
90	184	1.9082	2.405	1.767
91	184	7.884	8.296	7.069
92	191, 194	5.8649	5.94	5.94
93	192, 193	3.4248	3.976	3.142
94	195, 200	10.656	11.04	12.57

95	196, 199	17.777	19.64	23.76
96	197, 198	7.714	8.296	11.04
Weight(lb)		28963	31480.5	29892.2

5. 결 론

본 연구에서는 규격화된 부재를 사용하여 구조물을 최적설계 하기 위한 방법으로 연속최적해를 구한 후 본 논문에 제시된 2 단계 방법을 사용하여 안정적으로 해를 구할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 설계변수의 수가 96인 실용적인 최적설계 문제에서 2 단계 방법을 사용하여 불연속최적해를 구하기 위해서는 연속최적해를 얻기 위해 소모되는 계산시간의 약 2 배가 필요하고, 소형문제에서는 이보다 훨씬 적은 시간이 필요함을 알 수 있었다. 본 연구에서는 트러스 구조물을 대상으로 최적설계를 수행하였으나 2 단계 방법은 이에 국한되지 않고 설계변수가 주어진 규격을 만족해야 하며 연속최적해를 구할 수 있는 여러 종류의 최적화 문제에 효율적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. A.R. Toakley, "Optimum Design Using Available Sections," *J. of Str. div., ASCE*, Vol. 94, No. ST5, 1968, pp. 1219~1241.
2. F. Reinschmidt, "Discrete Structural Optimization," *J. of Str. div., ASCE*, Vol. 97, No. ST1, 1971, pp. 133~156.
3. A. Cella, Robert D. Logcher, "Automated Optimum Design from Discrete Components," *J. of Str. div., ASCE* Vol. 97, No. ST1, 1971, pp. 175~189.
4. A. Cella, "Properties of Discrete Optima in Structural Optimization," *J. of Str. div., ASCE*, Vol. 98, No. ST3, 1972, pp. 787~792.
5. H.M. Hua, "Optimization for Structures of Discrete-Size Element," *J. of Computer & Str.* Vol. 17, No. 3, 1983, pp. 327~333.
6. J.S. Liebman, N. Khachaturian, "Discrete Structural Optimization," *J. of Str. div., ASCE*, Vol. 107, No. ST11, 1981, pp. 2177~2197.
7. E.J. Haug, J.S. Arora, "Applied Optimal Design; Mechanical and Structural System," John Wiley & Sons, New York, 1979.
8. V.B. Venkayya, "Design of Optimum Structures," *J. of Computers & Str.* Vol. 1, No. 1~2, Aug., 1971, pp. 265~309.
9. H.S. Lee, "Optimal Design of Structures with Specified Member Sizes," M.S. thesis, KAIST, Seoul, 1985.

(接受: 1986. 4. 23)