

# 다단계 다목적함수 최적화를 이용한 구조물의 최적설계

## Multilevel Multiobjective Optimization for Structures

한 상 훈\*    최 홍 식\*\*    조 홍 동\*\*\*  
 Han, Sang Hoon    Choi, Hong Shik    Cho, Hong Dong

### 요 약

본 논문에서는 다단계다목적함수 최적화(MLMO)를 통해 철근콘크리트대구조의 최적해를 일단계단일 목적함수 최적화(SLSO)에 의한 결과와 비교하였다. MLMO방법에 의해서 간단히 가중치(Weighting factor)를 도입함으로써 경비와 처짐의 두가지 목적함수를 만족시키는 것이 가능했으며, 단계별로 제약조건식의 수를 감소시키고, 문제형성의 비선형성을 감소시킴으로써 최적화의 과정을 효율적으로 수행할 수 있었다. 또한 각 부구조물간의 설계변수의 변화에 의한 부재력의 변화를 제약조건에 반영하기 위하여 부재력변화량추정을 하였고 부구조물의 최적화시 부재간 결합(coupling)이 가능하도록 하였다. 부구조물의 최적화시 선형화된 구조시스템의 선형화된 목적함수와 제약조건식을 사용하여 재해석과정을 효과적으로 감소시킬 수 있었다. 최적화 과정에서 초기에는 설계변수에 대한 비교적 큰 이동한계의 사용이 가능하였으며, 반복회수 4회 정도에 최적해로의 효율적인 수렴이 이루어졌다.

### Abstract

Multi-level Multi-objective optimization(MLMO) for reinforced concrete framed structure is performed, and compared with the results of single-level single-objective optimization. MLMO method allows flexibility to meet the design needs such as deflection and cost of structures using weighting factors. Using Multi-level formulation, the numbers of constraints and variables are reduced at each levels, and the optimization formulation becomes simplified. The force approximation method is used to reflect the variation in design variables between the substructures, and thus coupling is maintained. And the linear approximated constraints and objective function are used to reduce the number of structural analysis in optimization process. It is shown that the developed algorithm with move limit can converge effectively to optimal solution.

### 1. 서 론

근래에 효율적인 최적화기법이 다양하게 개발

되어 구조물의 최적화에 사용되고 있으나, 설계변수가 과다하고 고차의 비선형제약조건을 갖는 철근콘크리트구조물 등에 대해서는 사용상의 제약

\* 정희원, 충북대학교 토목공학과 부교수  
 \*\* 정희원, 충청전문대학 토목공학과 조교수  
 \*\*\* 충북대학교 대학원 토목공학과 석사과정

이 논문에 대한 토론을 1994년 9월 30일까지 본 학회에 보내 주시면 1995년 3월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

을 갖는다. 다단계다목적함수 최적화(Multilevel multiobjective optimization)는 복잡한 구조물을 여러개의 부구조물로 분할하여 각각에 대하여 최적해를 구한 후 전체구조물로 결합하는 한편, 최소중량, 또는 최소경비 외에 처짐 또는 진동 등을 목적함수로 취할 수 있게 한다. 이는 최적화의 목표로서 최소중량설계, 또는 최소경비설계 뿐 아니라 구조의 용도 및 중요도에 따라 진동이나 처짐 등의 제약조건이 중요한 역할을 하는 경우에 적용 가능하며, 구조물의 복잡성과 요구조건의 다양성을 동시에 만족시키는 최적화의 도구로서 사용된다. 따라서 본 연구에서는 복잡성과 다양한 요구조건을 갖는 철근콘크리트 뼈대구조에 대하여 다단계다목적함수 최적화를 시도하였다. 철근콘크리트 뼈대구조물의 최적화를 위하여 시도되는 방안으로 종래에는 주로 재해석법에 의해 부재의 요소최적화를 반복하는 방법이 이용되어 왔으며, 최근에는 부재를 분할하여 전체 구조물에 대한 최적화와, 부구조물(substructures)에 대한 최적화를 분리 수행하는 다단계분할법(Multilevel Decomposition)에 의한 최적설계방법이 연구되고 있다. 그러나 전자는 진정한 의미의 최적해를 구하기 보다는 전용력설계와 유사하게 되어 국부적인 최적해를 구하는 데 지나지 못하는 단점을 지니게 된다. 한편 후자의 분할법에 의한 방법은 대규모 구조물을 최적화하는데 있어 효과적이며 필수적인 방안으로서 연구가 계속되고 있는 주제이다. 1972년 Vanderplaats, Moses<sup>(1)</sup> 등은 트러스의 형상최적화에 대해 다단계최적화를 적용하는 최적화과정을 발표하였다. 같은 해 Kirsch<sup>(2)</sup> 등은 대규모구조를 여러개의 부구조물로 나누어 최적해를 구하였으며, 이때 전체구조물의 구조해석과정을 통하여 얻어진 부재력은 설계변수가 변한 후에도 변하지 않는다고 가정하여 전용력설계를 실시하였다. 1982년 Sobieski<sup>(3)</sup> 등은 전체구조를 여러개의 부구조물로 분할한 후 최적민감도(optimum sensitivity)를 설계에 반영하여 구조시스템과 부구조물 간의 역학적 특성이 유지되도록 하였다. 이 때 설계민감도는 Taylor 급수의 1차항을 이용하였다. 또한 Sobieski<sup>(4)</sup> 는 위의 방법을 강재 뼈대구조에 적용가능함을 제시하였다. 한편 국내에

서는 1982년 구조해석 및 요소최적화의 반복에 의한 아파트골조구조의 최적화알고리즘의 개발 등이 시작되었고 대규모구조물에 대한 최적설계에 대한 연구가 논의되기 시작하였다. 다단계최적화에 의한 최적화의 시도는 1989년 최홍식<sup>(5)</sup> 등은 다단계분할법에 의해 철근콘크리트 뼈대구조의 최적화에 설계민감도와 부재력변화량 추정기법을 도입하여 국부해의 방지 및 단계간의 결합을 시도하였다.

다목적함수를 갖는 경우의 최적화를 주로 구조물의 용도, 사용환경 요인 등에 의한 다양한 제약을 최적화의 수행 과정에서 만족시킬 수 있는 기법으로서 연구되고 있으며, 본 연구에서는 이를 철근콘크리트 뼈대구조에 적용하고, 최소경비 설계와 동시에 처짐을 목적함수로 도입하여 최적해를 구하고자 한다. 일반적인 다목적함수의 최적화는 단순가중치법(simple weighting method) 등을 비롯하여 여러가지의 가중치모델이 제시되고 있다. 다목적함수를 갖는 최적화문제는 1896년 Pareto<sup>(6)</sup>에 의해 처음 행해졌다. 1963년 Zadeh<sup>(7)</sup>는 비교적 근대적의미의 다목적함수를 갖는 최적화문제의 최적화를 시도하였다. 처짐 및 자중등 2가지 이상의 다양한 최적성 기준을 갖는 최적화의 시도는 1984년 Koski<sup>(8)</sup> 등이 트러스구조에 시도하였으며, 1987년 Jendo<sup>(9)</sup> 등은 휨부재요소와 트러스구조에 대하여 적용한 바 있다. 1989년 김은<sup>(10)</sup> 강재단순라멘의 최적화에 2개의 목적함수를 갖는 2단계 최적화를 실시하였다.

철근콘크리트 뼈대구조는 구조해석상의 부정정성 외에 설계변수가 많고, 재료적인 비선형성으로 인하여 제약조건식의 형성이 매우 복잡한 특성을 가지고 있다. 다단계분할법에 의한 철근콘크리트 구조물의 최적설계는 구조물이 그 역학적인 성질은 유지하면서도, 여러개의 부분구조물로 분할이 가능하여 각 단계간의 목적함수와 설계변수를 달리 취할 수 있다는 점이다. 그 외에도 구조물의 특성에 따라, 필요한 경우 각각의 부구조물은 다시 여러개의 부구조물로 분할이 가능하다는 것이 특징이다. 본 연구에서는 특히 최적해가 국부해에 머무는 현상을 방지하기 위하여 전체구조물과 부구조물의 최적화시 각 단계별 선형화된 목적함수

및 제약조건식이 이용되도록 하여 전체적인 결합이 유지되도록 하였다. 부재력변화량추정에 의해 제약조건식 내에 설계변수의 변화에 의한 부재력의 변화를 Taylor급수의 1차항을 이용하여 반영함으로써 구조물의 반복적인 재해석과정을 감소시켰다.

2. 최적화 문제형성

(1) 일반적인 최적화의 문제형성

일반적인 일단계단일목적함수(single level single objective : SLSO) 최적화의 문제는 다음과 같이 형성된다.

$$\text{Minimize } F=f(X_i), i=1, NDV \tag{2.1}$$

$$\text{subject to } G_j(X_i) \leq 0 \tag{2.2}$$

$$H_k(X_i) = 0$$

여기서 F : 목적함수

G : 부등제약조건식

H : 등제약조건식

NDV : 설계변수의 갯수

본 연구에서는 MLMO최적화 문제의 해와 비교하기 위하여 SLSO문제의 해를 Feasible Direction Method를 이용하여 구하도록 하였다.

(2) 다단계분할법(Multilevel decomposition)에 의한 최적화의 문제형성

가. 부구조물의 최적화 문제 형성

먼저 전체적인 구조시스템(system)은 여러 개의 부구조물(substructure)로 나누어진다. 각각의 부구조물은 각기 한 개의 목적함수 즉 경비함수를 갖고며 구조시스템과 독립된 제약조건식이 형성된다. 그러나 이 때 구조시스템의 설계변수와 부구조물의 설계변수는 상호간에 영향을 주거나 종속되어지므로 이를 부구조물의 최적화시 구조시스템의 변화를 반영할 수 있는 결합(coupling)방법이 요구된다. 부구조의 최적화 문제는 다음과 같이 형성된다.

$$\text{Minimize } F_i(X_i) \quad i=1, \dots, p \tag{2.3}$$

$$\text{subject to } G_{ij} \leq 0 \quad i=1, \dots, p \quad j=1, (NCON)_i \tag{2.4}$$

여기서  $F_i$ 는 부구조물의 목적함수이며,  $X_i$ 는  $i$ 번째 부구조물의 설계변수이다. 또 전체구조는  $p$ 개로 분할된다.  $X_i$ 에는 결합에 필요한 설계변수(coupling variables)가 포함되며, 구조시스템의 설계변수와 일치한다.  $G_{ij}$ 는  $i$ 번째 부구조의  $j$ 번째 제약조건식을 의미하며,  $(NCON)_i$ 는  $i$ 번째 부구조의 제약조건식의 수를 의미한다.

나. 구조시스템의 최적화 문제형성

각각의 부구조물이 최적해에 도달한 후 상위 단계에서는 시스템의 목적함수, 즉 처짐에 대하여 최적화를 한다. 구조시스템에 대한 최적화의 문제는 다음과 같이 형성된다.

$$\text{Minimize } F(\delta) \tag{2.5}$$

$$\text{subject to } G_{ij} \leq 0 \quad j=1, \dots, NCONs \tag{2.6}$$

여기서  $\delta$ 는 처짐을,  $F(\delta)$ 는 구조시스템의 목적함수이고,  $G_{ij}$ 는  $i$ 번째 부구조의  $j$ 번째 제약조건식을 의미하며,  $NCONs$ 는 구조시스템의 제약조건식의 수를 의미한다.

이 때 구조시스템의 최적화시 구조시스템의 설계변수의 변화에 따른 부구조물의 설계변수 모두가 새로 구해질 수 있다. 이는 부구조물의 설계변수에 대한 시스템의 목적함수의 선형화된 설계민감도가 부최적화시 구해지므로 가능하게 된다.

시스템의 목적함수 및 제약조건식에 대한 선형화는 다음과 같이 이루어진다.

$$F(x) = F(x_0) + \frac{\partial F}{\partial X}(x - x_0) \tag{2.7}$$

$$G(x) = G(x_0) + \frac{\partial G}{\partial X}(x - x_0) \tag{2.8}$$

이때  $x_0$ 는 매 반복시 초기값이고,  $x$ 는 현재의 변수값을 나타내며 시스템변수에 의해 구해진  $\frac{\partial F}{\partial X}$ 는 매 반복의 초기에 구해진다.

또 부구조물의 설계변수에 대한 시스템의 제약조건식의 선형화된 설계민감도도 부최적화시 구해져서 구조해석의 반복을 줄일 수 있게 된다.

시스템 최적화에서는 부구조물의 부최적화에서 구해진 부최적화의 선형화된 목적함수를 반영한다. 즉

$$f(X_i) = f(X_i) + \frac{\partial f(X_i)}{\partial X} (X_i - X_i^0) \quad (2.9)$$

$\frac{\partial f(X_i)}{\partial X}$ 는 매 반복의 시점에서 전방향유한차분법에 의해 구해진 것이 사용된다.

(3) 다목적함수를 갖는 최적화 문제형성

한편, 구조물의 기능상 최적화의 목표가 다양해짐에 따라 다단계다목적최적화방법이 요구되고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 단순가중치법을 보완하여 불록조건을 만족하는 문제와 불록조건을 만족하지 않은 문제에 모두 적용가능한 Compromize programing method를 사용하였다. 이 방법은  $l_p$  norm method에 속하는 방법으로서 norm  $l_p$ 에 의하여 구해지는 길이의 함수  $d_p$ 를 통하여 구해지는 방법이다. 이 때  $l_p$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$l_p(x) = \left[ \sum_{i=1}^k w_i^p \left| \frac{f_i(x) - \min f_i}{\max f_i - \min f_i} \right|^p \right]^{\frac{1}{p}} \quad (2.10)$$

이때  $w_i$ 는 가중치이며,  $\min f_i$ 는 목적함수의 최소치,  $\max f_i$ 는 얻을 수 있는 목적함수의 최대치이다. 이때  $p$ 는 거리  $l_p$ 의 특성을 나타내는 값으로서  $p=1$ 이면  $\min f_i$ 로 부터의 편차가 모두 실제의 크기를 가중치의 크기대로 반영하게 되며 이는 단순가중치법과 동일하게 된다. 또  $2 \leq p \leq \infty$ 이면 편차가 클수록 가중치를 주게 되어  $p$ 가  $\infty$ 에 가까울수록 가장 큰 편차를 가진 것만 고려되는 것을 의미한다. 즉 minimax approach에 수렴한다. 본 연구에서는  $p=2$ 로 하여  $f_i(x) - \min f_i$ 가 음일 때 도 양이 될 수 있도록 하였다.

(4) 부재력 변화량 추정

뼈대구조물의 단면치수를 최적화하는 단계에서 설계변수의 값이 변화하면 구조해석단계에서 구한 모멘트의 설계영역이 변하게 된다. 따라서 전

체구조에 대한 최적해로의 수렴을 위하여 다시 추가적인 반복과정을 가져야 한다. 그러므로 본 연구에서는 단계 1과 단계 2를 연결할 수 있도록 하기 위하여 단계 2에서 설계변수의 변화에 따른 부재력의 변화를 부재력 변화량 추정을 이용하여 반영하였다. 구조해석에 의하여 얻어진 부재력은 아래 식(2.11)과 같이 제약조건식에 포함된다.

$$g_j = P_j - P_{uj} \leq 0, \quad j=1, \dots, m \quad (2.11)$$

여기서  $g_j$ 는 부등식제약조건식이고,  $m$ 은 설계단면의 수를,  $P_j$ 는  $j$ 번째 설계단면에서의 극한부재력이며,  $P_{uj}$ 는  $j$ 번째 설계단면에서의 극한저항강도이다. 이때 부재력  $P_j$ 는 설계변수  $X$ 의 함수이므로 Taylor급수에 의하여 전개한 후 1차항까지만을 취하면  $X_0$  근방에서 식(2.12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P_j(\bar{X}) &= P_j(\bar{X}_0) + \left[ \frac{\partial P_j}{\partial \bar{X}_k} \right]_{x_i} \delta d\bar{x} \quad (2.12) \\ &= P_j(\bar{X}_0) + \sum_{k=1}^{NDV} \left[ \frac{\partial P_j}{\partial \bar{X}_k} \right]_{x_i} (\bar{X}_k - \bar{X}_{k0}) \end{aligned}$$

- 여기서,  $P_j(\bar{X}_0)$  :  $i$ 번째 반복시 구조해석에 의하여 구한  $j$ 번째 단면의 초기 부재력
- $P_j(\bar{X}_i)$  : 부재력 변화량 추정에 의한  $j$ 번째 단면의 부재력
- $\left[ \frac{\partial P_j}{\partial \bar{X}_k} \right]$  : 부재의 단면설계변수의 변화에 대한 부재력의 변화율
- $\bar{X}_{k0}$  :  $i$ 번째 반복시 구조해석에 사용된 단면설계변수의 초기치
- $\bar{X}_k$  : 단면설계변수  $k=1, \dots, NDV$
- $\delta d\bar{x}$  : 단면설계변수의 변화량 벡터
- $NDV$  : 단면설계변수의 갯수

식(2.12)를, 식(2.11)에 대입하면 제약조건식(2.13)의 형태로 나타낼 수 있다.

$$g_j = P_j(\bar{X}_0) + \sum_{k=1}^{NDV} \left[ \frac{\partial P_j}{\partial \bar{X}_k} \right]_{x_i} (\bar{X}_k - \bar{X}_{k0}) - P_{uj} \leq 0 \quad (2.13)$$

이와 같이 제약조건식에 부재력변화량추정이 포함되므로서 구조해석단계와 단면치수 최적화단계를 합리적으로 결합할 수 있게 된다.

한편, 설계변수가 최적해로 수렴하는 과정에서 급격히 변화하면 수치적으로 구한 설계민감도의 정확도가 떨어지므로 이동한계(move limit)를 주어 일정범위까지 변수가 변화하면 그 점에서의 필요한 정보를 구하도록 하였다. 설계변수  $X_1, X_2$ 의 이동은  $i$ 번째의 수렴과정 중에는 이동한계  $r^i$ 의 범위 내에서 이루어지며,  $i+1$ 번째의 수렴에서는 아래의 식에 의하여 수정후  $r^{i+1}$ 의 범위 내에서 움직이도록 하였다.

$$\bar{X}^L(r^i) \leq \bar{X} \leq \bar{X}^U(r^i) \quad (2.14)$$

$$r^{i+1} = c(r^i)$$

여기서  $\bar{X}$  : 설계변수

$\bar{X}^L$  : 설계변수의 하한치

$\bar{X}^U$  : 설계변수의 상한치

$r$  : 반복횟수  $i$ 에 따라 변화하는 이동한계 매개변수

$c$  :  $r$ 값의 변화를 결정하는 상수

### 3. 수치에 및 결과분석

개발된 다단계다목적함수 최적화알고리즘을 그림 3.1 및 그림 3.2와 같은 연속보와 단경간 철근콘크리트 뼈대구조에 적용하였고 극한강도설계법에 의해 다단계다목적함수 최적화문제를 형성하여 최적화를 시도하였다. 이때 사용한 재료의 설계강도 및 각 재료의 경비 상수는 다음과 같다.

- 콘크리트의 설계기준강도 :  $\sigma_{ck} = 210 \text{ kg/cm}^2$
- 철근의 항복강도 :  $\sigma_y = 4,000 \text{ kg/cm}^2$
- 콘크리트의 탄성계수 :  $E_c = 2.17 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
- 철근의 탄성계수 :  $E_s = 2.04 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
- 콘크리트의 경비 :  $C_c = 44,440 \text{ 원/m}^3$
- 철근의 경비 :  $C_s = 1,820,000 \text{ 원/m}^3$

- 거푸집의 경비 :  $C_f = 3,298 \text{ 원/m}^3$
- 등분포사하중 :  $W_D = 4.0 \text{ ton/m}$
- 등분포활하중 :  $W_L = 5.0 \text{ ton/m}$

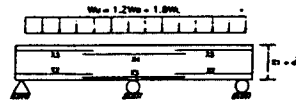


그림 3.1 철근콘크리트 연속보

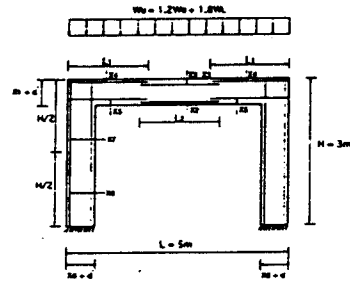


그림 3.2 철근콘크리트 단순뼈대구조

철근콘크리트 연속보와 뼈대구조에 대하여 다단계다목적함수 최적화를 적용한 수치예의 결과는 각각 표 3.1 및 3.2와 같으며, 처짐과 경비의 두 목적함수에 대한 trade-off곡선은 그림 3.3 및 3.4와 같다. 이때  $C_{COST}$ 와  $C_{DEF}$ 는 각각 경비 및 처짐에 대한 가중치를 나타내며, 본 결과에서 알 수 있듯이 연속보의 경우는 가중치  $C_{COST}$ 와  $C_{DEF}$ 의 변화에 따라 거의 직선적으로 나타내며 처짐과 경비가 서로 상호작용하는 것을 알 수 있다. 뼈대구조의 경우에는 경비에 대한 가중치  $C_{COST}$ 가 0.9에서 0.6까지는 경비의 변화가 비교적 적은 것을 알 수

표 3.1 철근콘크리트 연속보의 MLMO 최적화결과

$C_{COST}$	$C_{DEF}$	경비 (원)	처짐 (cm)	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
1.0	0.0	170526	0.39	55.18	17.30	0.00	28.48	0.00
0.9	0.1	175339	0.32	59.27	15.79	0.00	25.50	0.00
0.8	0.2	175427	0.32	59.35	15.76	0.00	25.45	0.00
0.7	0.3	175470	0.32	59.39	15.75	0.00	25.42	0.00
0.6	0.4	175825	0.31	59.69	15.65	0.00	25.23	0.00
0.5	0.5	176863	0.30	60.58	15.37	0.00	24.70	0.00
0.4	0.6	177455	0.29	61.07	15.21	0.00	24.42	0.00
0.3	0.7	182306	0.25	64.85	14.15	0.00	22.47	0.00
0.2	0.8	208148	0.13	81.87	10.83	0.00	16.78	0.00
0.1	0.9	207888	0.13	81.88	10.83	0.00	16.77	0.00

\*  $C_{COST} = 1.0, C_{DEF} = 0.0$ 의 결과는 SLSO에 의한 결과임.

표 3.2 철근콘크리트 연속보의 MLMO 최적화결과

$C_{COST}$	$C_{DEF}$	경비 (원)	처짐 (cm)	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
1.0	0.0	146967	1.28	55.86	18.44	0.00	6.84	0.00	30.00	29.26	10.50
0.9	0.1	156524	1.22	52.13	14.93	0.00	12.03	0.00	37.53	36.36	12.76
0.8	0.2	155530	1.16	55.18	15.03	0.00	10.19	0.00	37.16	32.50	12.65
0.7	0.3	157292	1.04	58.87	14.16	0.00	9.19	0.00	39.31	28.07	13.29
0.6	0.4	157104	0.92	65.88	14.12	0.00	6.92	0.00	39.01	20.37	13.20
0.5	0.5	160663	0.79	74.17	13.44	0.00	6.24	0.00	40.41	13.62	13.62
0.4	0.6	176205	0.62	82.03	11.15	0.00	6.67	0.00	49.39	16.38	16.38
0.3	0.7	191640	0.52	85.00	9.18	0.00	8.40	0.00	61.45	19.94	19.94
0.2	0.8	215164	0.42	85.00	8.93	0.00	8.93	0.00	81.90	26.07	26.07
0.1	0.9	218710	0.40	85.00	8.93	0.00	8.93	0.00	85.00	27.00	27.00

\*  $C_{COST}=1.0, C_{DEF}=0.0$ 의 결과는 SLSO에 의한 결과임.

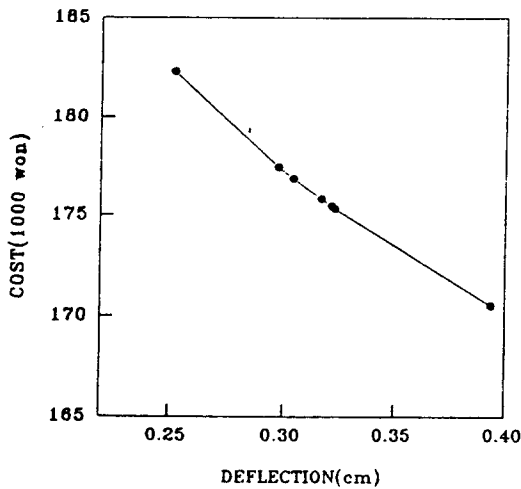


그림 3.3 다단계 다목적함수최적화에 의한 처짐 경비 상관 곡선(연속보의 경우)

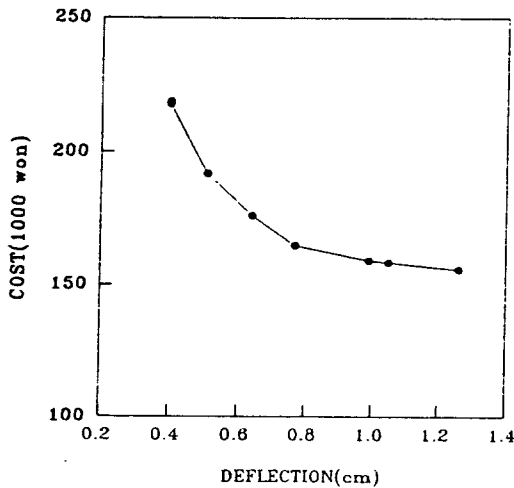


그림 3.4 다단계 다목적함수최적화에 의한 처짐 경비 상관 곡선(뺨대구조의 경우)

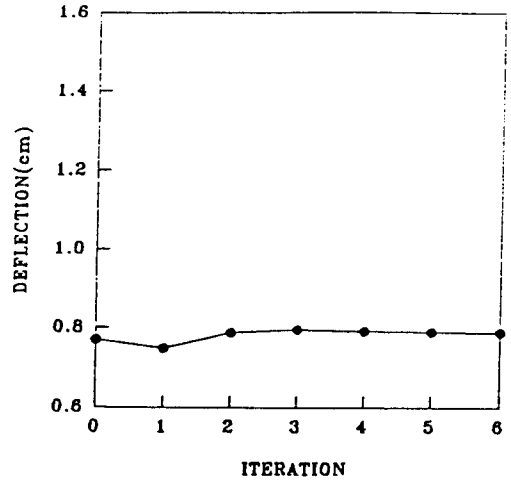


그림 3.5 처짐에 대한 수렴곡선(뺨대구조의 경우)

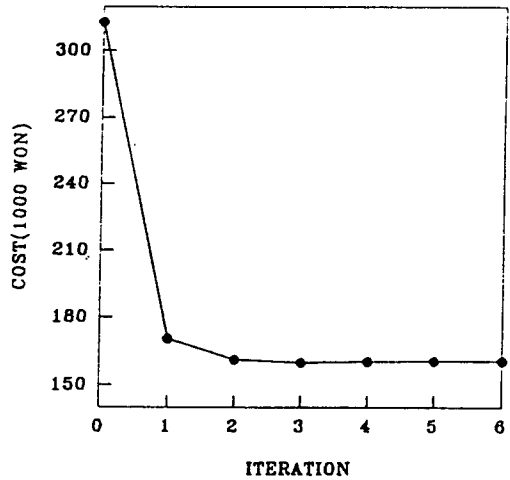


그림 3.6 경비에 대한 수렴곡선(뺨대구조의 경우)

있었으며, 특히  $C_{COST}$ 가 0.9일 때는 거의 경비에 편중된 최적해를 갖는 경향을 보임을 알 수 있었다. 아래의 결과에서  $C_{DEF}$ 가 0인 경우는 일단계일 목적함수 최적화의 결과이다. 그림 3.5 및 그림 3.6은 경비 및 처짐에 대한 가중치를 각각 0.5로 취하였을 때의 처짐 및 경비에 대한 수렴곡선을 나타낸다. 이 때 처짐과 경비 모두 약 4회 정도의 반복횟수에서 비교적 양호한 수렴이 이루어지는 것을 알 수 있었다. 그림 3.7은 같은 조건에 대해 처짐 및 경비의 수렴을 동시에 나타낸 것이며 두개

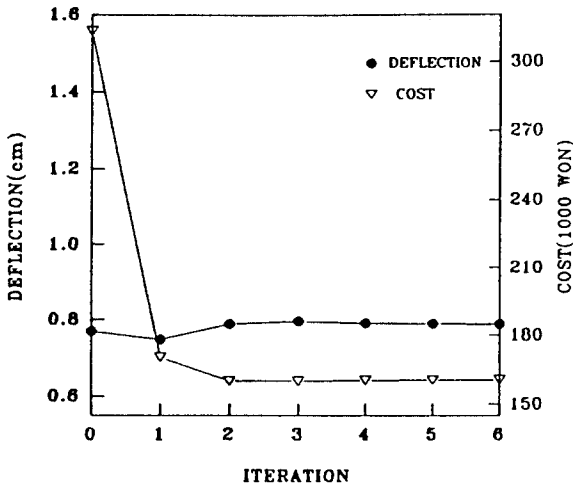


그림 3.7 경비 및 처짐에 대한 수렴곡선(뿔대구조의 경우)

의 서로 다른 성질을 갖는 2개 이상의 목적함수가 서로 상충하는 수렴조건 속에서 수렴해 나가는 과정을 보여주고 있다.

4. 결 론

본 논문에서 제안한 다단계다목적함수 최적화 알고리즘(MLMO)을 연속보와 단순뿔대구조에 적용하여 얻어진 결과를 일단계단일목적함수 최적화(SLSO)에 의한 결과와 비교하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) MLMO방법에서 간단히 가중치(Weighting factor)를 도입함으로써 경비와 처짐의 두가지 목적함수를 만족시키는 것이 가능했다.
- (2) MLMO방법에 의해 단계별로 제약조건식의 수를 감소시키고, 문제형성의 비선형성을 감소시킴으로써 최적화의 과정을 효율적으로 수행할 수 있다.
- (3) 부재력변화량추정은 각 부구조물간의 설계 변수의 변화에 의한 부재력의 변화를 제약 조건식에 반영하므로써 부구조물의 최적화시 부재간 결합(coupling)이 가능하도록 하였다.
- (4) 부구조물의 최적화시 선형화된 구조시스템

의 목적함수를 반영하여 단계간의 결합이 가능하도록 하였으며, 구조시스템의 최적화시 시스템의 선형화된 목적함수와 제약조건식을 사용하여 재해석과정을 효과적으로 감소시킬 수 있었다.

- (5) 최적화 과정에서 설계변수에 대한 이동한계(move limit)를 사용하여 수렴성을 개선하였으며, 반복회수 4회 정도에 최적해로의 수렴이 이루어졌다.

감사의 글

본 연구는 1992년도 교육부지원 한국학술진흥재단의 자유공모(지방대학육성)과제 학술연구조성비에 의하여 지원되었으며 이에 심심한 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

1. Vanderplaats, G.N. and Moses, F., "Automated Design of Trusses for Optimum Geometry", J. of Structural Division, ASCE, No. ST3, 1972, pp.671-690.
2. Kirsch, U., Reiss, M., and Shamir, U., "Optimum Design by Partitioning into Substructures", Journal of Structural Engineering, ASCE Vol.98, No 1, Jan. 1972, pp.249-261.
3. Sobieszanski-Sobieski, J., Barthelmy, J. F., and Riley, K. M., "Sensitivity of Optimum Solution to Problem Parameters", AIAA Journal, Vol. 20, Sept., 1982, pp.1291-1296.
4. Sobieszanski-Sobieski, J., James, B. B., and Dovi, A. R., "Structural Optimization by multilevel Decomposition", AIAA Journal, Vol., 1985, pp. 1775-1782.
5. 최홍식, 다단계분할법에 의한 철근콘크리트뿔대구조의 최적화에 관한 연구, 연세대학교 박사학위 논문, 1989
6. Pareto, V., "Cours d'Economie Politique," Vols., I, II, F.Rouge, Lausanne, 1896.
7. Zadeh, L., "Optimality and non-scalar-valued performance criteria", IEEE Trans, Autom. Control, AC-8, 1963.
8. Koski, J. "Multicriteria Optimization in Opti-

- mum Structural Design", in New Directions in Optimum Structural Design(Atrek, E. et al., Ed.), Wiley, New York, 1984, pp.483-503.
9. Jendo, S., and Marks, W., "Muticriteria Optimization in Civil Engineering Design", Proceedings of the ICOTA, Singapore, 1987, pp.998-1006.
  10. Kim, D. S., Multilevel Multiobjective Optimization for Engineering Synthesis thesis submitted to University of California, Santa Barbara, in Partial fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Science, 1989.
  11. Han, S. H., Vanderplaats, G. N., Arch Shape Optimization Using Force Approximation, Structural Optimization, Vol.2 No.4, 1990, 193-201.
  12. Beers, M., A Practical Multilevel Optimization Method, thesis submitted University of California, Santa Barbara, in Partial fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science, 1986.

(접수일자 : 1993. 9. 4)