평면 뼈대 구조물에 적용된 최적규준
An Optimality Criteria applied to The Plane Frames

정 영식*　　　　김 창규**
Chung, Young Shik　　Kim, Chang Kyu

ABSTRACT

This work proposes an optimality criteria applicable to the optimum design of plane frames. Stress constraints as well as displacement constraints are treated as behavioural constraints and thus the first order approximation of stress constraints is adopted. The design space of practical reinforced concrete frames with discrete design variables has been found to have many local minima, and thus it is desirable to find in advance the mathematical minimum, hopefully global, prior to starting to search a practical optimum design. By using the mathematical minimum as a trial design of any search algorithm, we may not fall into a local minimum but apparently costly design. Therefore this work aims at establishing a mathematically rigorous method (1) by adopting first-order approximation of constraints, (2) by reducing the design space whenever minimum size restrictions become "active" and (3) by the use of Newton-Raphson Method.

1. 서　론

최적규준(Optimality Criteria)을 이용한 최적설계 방법은 목적함수(Object Function)를 직접 최소화 하는 것이 아니라 설계가 어떠한 조건(Constraints)을 만족하도록 함으로써, 그 설계가 최적설계가 될 수 있도록 하는 간접적 방법이므로 대상 구조물의 최적설계를 위해서는 그 문제에 적합한 최적규준의 유도가 필수적이라 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 대상 구조물인 평면 뼈대 구조물에 있어서의 중량(Weight)을 최소화 시키기 위해서 처짐제약 뿐만 아니라 응력제약까지 거동적 제약(Behavioural Constraints)으로 처리하였으며, 이들 둘 모두를 1차 근사값(First-Order Approximation)으로 채택하였다.

제 2장에서 요약설명한 부재의 단면이나 철근량 등을 이산변수로 취급한 철근콘크리트 뼈대 구조물의 전 설계공간의 탐색[1]과 변수분리의 원리의 원리를 이용한 철근콘크리트 구조물의 최적설계의 결과[2]에서 다수의 국부 최소값(Local Minima)이 존재한다는 사실이 발견되었다. 따라서, 어떠한 실제적인 최적설계를 실시하기에 앞서서, 수학적으로 엄밀한 전 설계공간의 최소값(Global Minimum) 부근의 근사값을 미리 찾아내어 이를 여러가지 최적화 기법의 시안설계로서 사용함으로써 국부 최소값에 빠지는 우려를 해소하고 실질적인 전 설계공간의 최소값에 도달할 수 있다.

* 정회원, 울산대학교 토목공학과 교수
** 울산대학교 토목공학과 석사과정

본 연구에서는 제 3장에서 기술한 바와 같이 가상하중의 방법을 적용함으로써, 처짐제약과 응력제약 모두를 1차 근사값으로 채택한 최적규준을 정립하였으며, 제 4장에서 밝힌 부재단면의 최소높이에 대한 제약이 "Active" 제약이 될 경우에는 설계공간을 축소함으로써 그리고 Lagrange Multiplier의 개선을 위해 Newton-Raphson 방법을 적용함으로써, 수학적으로 엄밀한 최적설계를 얻을 수 있는 재설계 Algorithm을 확립하였다.

2. 평면 뼈대 구조물의 최적설계 방법

2.1 응력비에 의한 방법

철골 구조물의 최적설계에 있어서 응력비에 의한 방법(Fully Stressed Design)은 처짐과 같은 제약조건은 다룰 수 없고 단지, 구조물의 응력제약에 대한 설계에만 적용할 수 있으며 일반적으로, 평면 뼈대 구조물에 적용할 수 있는 방법은 다음과 같다.

$$\frac{M}{S} \le \sigma_{allow} \qquad \text{for Beam} \tag{2-1}$$

$$\frac{P}{A} + \frac{M}{S} \le \sigma_{allow} \qquad \text{for Column} \tag{2-2}$$

그러나 이 방법은 수학적으로 엄밀한 진정한 의미의 최적설계를 얻는 방법이 아니라 Computer가 출현하기 이전부터 오랫동안 사용되어 온 방법이다. 실제로, 참고문헌 [3]에서 10-Bar Truss에 이 방법을 적용한 결과, 이와 같은 사실(Non-Optimum Design)이 입증되었다.

2.2 직접탐색에 의한 방법

직접탐색(Direct Search)에 의한 방법은 어떠한 제약조건의 도함수를 이용해서 최적설계에 이르게 하는 방법이 아니라, n개의 설계변수(X_n)로서 각각의 설계변수에 대한 목적함수(Y(X))를 평가한 후 그 값들을 서로 비교하여 최적설계에 도달하게 하는 방법이다. 따라서, 직접탐색에 의한 방법에 있어서의 문제점은 어떠한 설계변수가 주어졌을 경우, 목적함수를 평가하고 이 결과를 이용하여 다음 단계의 설계변수를 규정하는 일이라고 할 수 있다. 이를 위해서 때때로 Gradient 방법 등을 이용하기도 한다. 직접탐색을 이용한 방법으로서는 Coordinate Descent, Rotating Coordinate Descent, Pattern Search 등의 방법이 있다.

2.3 변수분리의 원리에 의한 방법

철근콘크리트 구조물은 특성상 한 단면이 철근과 콘크리트의 2가지 재료로 구성되어 있기 때문에 이의 최적설계에는 많은 어려움이 따른다. 이러한 문제를 해결하기 위해 설계변수와 제약조건 분리의 원리를 사용하며 모든 설계변수 및 제약조건을 내부 설계변수 및 제약조건과 외부 설계변수 및 제약조건의 2개의 Group으로 분류한다. 일반적으로 최적화 문제는 다음과 같이 표현된다.

$$\text{Minimize} \quad Y(x_1,\ x_2,\ \cdots,\ x_m) \tag{2-3}$$

$$\text{subject to} \quad f_i(x_1,\ x_2,\ \cdots,\ x_n) \le 0 \quad , \quad i = 1,\ 2,\ \cdots,\ N \tag{2-4}$$

$$f_i(x_1,\ x_2,\ \cdots,\ x_m) \le 0 \quad , \quad i = 1,\ 2,\ \cdots,\ K \tag{2-5}$$

위의 변수분리의 원리를 철근콘크리트 구조물의 설계에 적용하여 내·외부 변수 및 제약조건을 분류하면 다음과 같다.

구 분	변 수	제 약 조 건
외 부	콘크리트 강도, 단면치수	최소치수 제한, 변위제한
내 부	철근 단면적	응력제한

최적화 역시 내·외부 최적화로 분류되는 데 내부 최적화는 외부변수들의 값을 확정해 놓은 상태에서 내부 제약조건을 만족하면서 목적함수를 최소가 되도록 하는 내부변수를 결정하는 과정이다. 외부 최적화는 이와 같이 구해진 다수의 내부 최적설계 중에서 최적설계를 구하는 과정을 나타낸다.

3. 평면 뼈대 구조물의 최적규준

3.1 목적함수(Objective Function)와 제약(Constraints)

본 연구에서 고려된 문제는 설계변수로서 해석변수의 함수, 즉 부재단면의 높이의 함수로서 표현되는 평면 뼈대 구조물의 중량을 최소화 하는 것이며 최적설계를 위해 거동적 제약으로서 절점의 횡변위와 부재의 응력을, 부차적 제약으로서 부재단면의 최소높이에 대한 조건을 만족하여야 한다. 이를 수학적으로 표현하면 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\text{Minimize} \qquad W = \sum_{i=1}^{l} h_i D_i^{\beta} \tag{3-1}$$

$$\text{subject to} \qquad u_k - \overline{u_k} \le 0 \quad , \quad k = 1, 2, \cdots, n \tag{3-2}$$

$$\sigma_j - \overline{\sigma_j} \le 0 \quad , \quad j = 1, 2, \cdots, m \tag{3-3}$$

$$\underline{D_i} - D_i \le 0 \quad , \quad i = 1, 2, \cdots, l \tag{3-4}$$

여기서, 식 (3-1)의 β는 단면이 증가한다고 해서 그에 따른 비용이 항상 비례적으로 증가하지는 않기 때문에 사용하였으며, 그 값은 1 보다 작은 어떤 수가 될 것이다.

또한, 본 연구에서 사용된 최적규준은 Kuhn-Tucker의 필요조건으로 부터 유도되었으며 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{\partial w}{\partial D_i} + \sum_{k \in u} \lambda_k \frac{\partial u_k}{\partial D_i} + \sum_{j \in s} \lambda_{n+j} \frac{\partial \sigma_j}{\partial D_i} - \gamma_i = 0 \tag{3-5}$$

$$\lambda_k \, (u_k - \overline{u_k}) = 0 \tag{3-6}$$

$$\lambda_{n+j} \, (\sigma_j - \overline{\sigma_j}) = 0 \tag{3-7}$$

$$\gamma_i \, (\underline{D_i} - D_i) = 0 \tag{3-8}$$

$$\lambda_k \, , \; \lambda_{n+j} \, , \; \gamma_i \ge 0$$

3.2 제약조건의 도함수(Gradients)

최적규준을 유도하기 위한 방안으로서, 가상일의 원리에 근거를 둔 가상하중의 방법을 사용하여 제약조건의 도함수를 설계변수의 함수로 나타낼 수 있도록 하였다. 처짐요소는 관련된 절점에 단위 가상하중을 작용하고, 휨에 의한 변형 뿐만 아니라 축방향력에 의한 변형까지를 고려하면 다음과 같다.

$$u_k = \sum_{i=1}^{l} \int_0^{L_i} \frac{12 \, M_i(x) \, M_i^{(k)}(x)}{E_i \, B_i \, D_i^3} dx + \sum_{i=1}^{l} \frac{F_i \, F_i^{(k)} \, L_i}{E_i \, B_i \, D_i} \tag{3-9}$$

설계변수에 대해 독립인 상수 c_{ik}, c_{ik}'를 이용하면, 처짐과 처짐제약 도함수의 1차 근사식은 다음과 같다.

$$u_k = \sum_{i=1}^{l} \frac{c_{ik}}{D_i^3} + \sum_{i=1}^{l} \frac{c_{ik}'}{D_i} \tag{3-10}$$

$$\frac{\partial u_k}{\partial D_i} = -\frac{3c_{ik}}{D_i^4} - \frac{c_{ik}'}{D_i^2} \tag{3-11}$$

응력제약의 경우에도 처짐제약과 동일한 방법으로 응력과 응력제약 도함수의 1차 근사식을 얻을 수 있다.

$$\sigma_j = \sum_{i=1}^{l} \int_0^{L_i} \frac{12\ M_i(x)\ M_i^{(j)}(x)}{E_i\ B_i\ D_i^3}\ dx + \sum_{i=1}^{l} \frac{F_i\ F_i^{(j)}\ L_i}{E_i\ B_i\ D_i} \frac{E_j}{L_j} \tag{3-12}$$

$$= \sum_{i=1}^{l} \frac{d_{ij}}{D_i^3} + \sum_{i=1}^{l} \frac{d_{ij}'}{D_i} \tag{3-13}$$

$$\frac{\partial \sigma_j}{\partial D_i} = -\frac{3d_{ij}}{D_i^4} - \frac{d_{ij}'}{D_i^2} + \delta_{ij} \frac{e_j}{D_j^3} \tag{3-14}$$

$$\text{where,} \quad e_j = \frac{6M_j}{B_j}$$

여기서, 식 (3-14) 우변의 마지막 항은 응력을 표현하기 위해 적용된 가상의 모멘트하중(ED/2b)이 설계변수(D_i)의 함수로 되어있기 때문에 첨가된 것이다.

3.3 설계변수 및 제약의 분류

설계변수와 제약은 재설계가 진행되는 동안에 그들의 역할에 따라 분류된다. 설계변수들은 두 분류로 나뉘어 지는 데, Group 1에 포함되는 변수들은 규정된 최소값 보다 큰 값을 가지는 경우이며 이들을 "Active" 변수라 하고 관련된 Lagrange Multiplier는 영이다. Group 2에 포함되는 변수들은 "Passive" 변수라 하고 규정된 최소값에 도달한 변수들의 집합으로서 이들과 관련된 Lagrange Multiplier는 영 보다 크거나 같다. 제약 역시 "Active" 제약과 "Inactive" 제약의 두 Group으로 구별되는 데 "Active" 제약과 관련된 Lagrange Multiplier는 영 보다 크거나 같고 "Inactive" 제약과 관련된 Lagrange Multiplier는 영이다. 이들을 요약하면 [표 3-1]과 같다.

[표 3.1] 설계변수 및 제약의 분류

구	분		내 용
설계변수	Active		$G1 = \{ i ; D_i > \underline{D_i} \}$, $\gamma_i = 0$
	Passive		$G2 = \{ i ; D_i = \underline{D_i} \}$, $\gamma_i \geq 0$
제 약	Active	처 짐	$U = \{ k ; u_k = \overline{u_k} \}$, $\lambda_k \geq 0$
		응 력	$S = \{ j ; \sigma_j = \overline{\sigma_j} \}$, $\lambda_{n+j} \geq 0$
	Inactive	처 짐	$\lambda_k = 0$
		응 력	$\lambda_{n+j} = 0$

3.4 최적규준(Optimality Criteria)의 유도

평면 뼈대 구조물의 비용을 최소화 하기 위해, 거동적 제약인 처짐과 응력제약 모두를 1차 근사값으로 채택한 최적규준을 사용했으며 식 (3-5)와 식(3-11) 그리고 식 (3-14)으로 부터 유도될 수 있다. 즉,

$$\frac{3}{D_i^{(3+\beta)}} \frac{1}{\beta h_i} \left[\sum_{k \in U} \lambda_k c_{ik} + \sum_{j \in S} \lambda_{n+j} d_{ij} \right] + \frac{1}{D_i^{(1+\beta)}} \frac{1}{\beta h_i} \left[\sum_{k \in U} \lambda_k c_{ik}' + \sum_{j \in S} \lambda_{n+j} d_{ij}' \right]$$

$$- \frac{1}{D_i^{(2+\beta)}} \frac{1}{\beta h_i} \sum_{j \in S} \lambda_{n+j} \delta_{ij} e_j + \frac{\gamma_i}{\beta h_i D_i^{(\beta+1)}} = 1 \tag{3-15}$$

식 (3-15)에서 좌변 마지막 항의 Lagrange Multiplier γ_i는 Group 1의 설계변수일 경우에는 영이고, Group 2의 설계변수일 경우에는 영 보다 크거나 같으므로

$$\frac{3}{D_i^{(3+\beta)}}\frac{1}{\beta h_i}[\sum_{k\in U}\lambda_k c_{ik}+\sum_{j\in S}\lambda_{n+j}d_{ij}]+\frac{1}{D_i^{(1+\beta)}}\frac{1}{\beta h_i}[\sum_{k\in U}\lambda_k c_{ik}'+\sum_{j\in S}\lambda_{n+j}d_{ij}']$$

$$-\frac{1}{D_i^{(2+\beta)}}\frac{1}{\beta h_i}\sum_{j\in S}\lambda_{n+j}\delta_{ij}e_j = 1 \quad \text{if } i\in G1 \tag{3-16}$$

$$\leq 1 \quad \text{if } i\in G2$$

과 같이 Group 1, 2 설계변수들에 대한 최적규준을 나타낼 수 있다. 또한, 식 (3-2) ~ (3-4) 그리고 식 (3-10)과 식 (3-13)에 의해 표현되는 제약조건은 다음과 같이된다.

$$\sum_{i=1}^{l}[\frac{c_{ik}}{D_i^3}+\frac{c_{ik}'}{D_i}]-\overline{u_k}\leq 0 \tag{3-17}$$

$$\sum_{i=1}^{l}[\frac{d_{ij}}{D_i^3}+\frac{d_{ij}'}{D_i}]-\overline{\sigma_j}\leq 0 \tag{3-18}$$

$$D_i \geq \underline{D_i} \tag{3-19}$$

4. 최적규준을 만족하는 구조물의 설계

4.1 Lagrange Multiplier의 초기치 설정

Lagrange Multiplier의 초기값을 설정하기 위해서, 식 (3-16)과 식 (3-10)에서 c_{ik}, d_{ij}가 포함되어 있지 않은 항은 배제하고 전체값에 대한 각 항의 값이 동일하면서 합이 1이 된다고 가정하고, n_a를 "Active" 제약의 수, λ_p를 p번째 처짐요소와 그리고 λ_q를 q번째 응력과 관련된 Lagrange Multiplier라 하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{3\lambda_p c_{ip}}{D_i^4 h_i}=\frac{1}{n_a} \tag{4-1.a}$$

$$\sum_{+i}\frac{c_{ip}}{D_i^3}=\overline{u_p}-\sum_{-i}\frac{c_{ip}}{D_i^3} \tag{4-1.b}$$

식 (4-1.b)의 좌변에 식 (4-1.a)를 대입함으로써 λ_p를, 동일한 방법으로 λ_q를 얻을 수 있다.

$$\lambda_p=\frac{1}{3n_a}\left[\frac{\sum_{+i}c_{ip}^{\frac{1}{4}}h_i^{\frac{3}{4}}}{\overline{u_p}-\sum_{-i}\frac{c_{ip}}{D_i^3}}\right]^{\frac{4}{3}},\quad \lambda_q=\frac{1}{3n_a}\left[\frac{\sum_{+i}d_{iq}^{\frac{1}{4}}h_i^{\frac{3}{4}}}{\overline{\sigma_q}-\sum_{-i}\frac{d_{iq}}{D_i^3}}\right]^{\frac{4}{3}} \tag{4-2}$$

4.2 새로운 설계변수의 결정

전 절에서 설정한 Lagrange Multiplier를 제약조건인 식 (3-17) ~ (3-19)에 대입하여 만족여부를 검사해야 하나, 이들 제약조건은 Lagrange Multiplier의 함수가 아닌 설계변수의 함수로 구성되어 있다. 따라서 Lagrange Multiplier의 함수로 이루어진 식 (3-16)으로 부터 새로운 설계변수를 규정해야 한다. 이를 위해서 식 (3-16)은 다음과 같은 형태로 다시 표현할 수 있다.

$$D^{(3+\beta)}-A_iD_i^2+B_iD_i-C_i=0 \tag{4-3}$$

$$\text{where, } A_i=\frac{1}{\beta h_i}[\sum_{k\in U}\lambda_k c_{ik}'+\sum_{j\in S}\lambda_{n+j}d_{ij}'],\quad B_i=\frac{1}{\beta h_i}\sum_{j\in S}\lambda_{n+j}\delta_{ij}e_j$$

$$C_i=\frac{3}{\beta h_i}[\sum_{k\in U}\lambda_k c_{ik}+\sum_{j\in S}\lambda_{n+j}d_{ij}]$$

식 (4-3)에 의해 계산된 설계변수가 규정된 최소값 보다 작더라도 당분간은 그대로 두며 만일 음의 값을 가지는 설계변수에 대해서는 일단 최소값을 주고 Lagrange Multiplier의 개선에는 배제하고 Newton-Raphson 반복과정에서 재계산 한다.

4.3 Lagrange Multiplier의 개선

4.2절의 식 (4-3)에 의해 계산된 설계변수가 식 (3-17) ~ (3-19)를 만족하지 않을 경우에는 새로운 Lagrange Multiplier로 부터 계산된, 보다 개선된 설계변수에 의해 만족되도록 개선되어져야 한다. 이러한 작업은 Newton-Raphson 방법에 의해서 이루어 지며, 다음의 관계가 사용되었다.

$$\underline{\lambda}^{(1)} = \underline{\lambda}^{(0)} - \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} \\ X_{21} & X_{22} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} u_k(\underline{\lambda}^{(0)}) - \overline{u_k} \\ \sigma_j(\underline{\lambda}^{(0)}) - \overline{\sigma_j} \end{bmatrix} \tag{4-4}$$

여기서, $X_{11} \cdot\cdot\cdot X_{22}$로 나타나는 Jacobian 행렬은 Group 2의 설계변수들은 규정된 최소값이 주어져 Lagrange Multiplier에 민감하지 못하기 때문에 Group 1의 설계변수들만의 합으로 구성되었으며 식 (4-5) ~ (4-8)과 같다.

$$X_{11} = \left\{ \sum_{i \in G1} \left(-\frac{3c_{ik}}{D_i^4} - \frac{c_{ik}'}{D_i^2} \right) \frac{(3c_{ip} + c_{ip}')/\beta h_i}{(3+\beta)D_i^{(2+\beta)} - 2A_iD_i + B_i} \right\} \tag{4-5}$$

$$X_{12} = \left\{ \sum_{i \in G1} \left(-\frac{3c_{ik}}{D_i^4} - \frac{c_{ik}'}{D_i^2} \right) \frac{(3d_{iq} + d_{iq}'D_i^2 - \delta_{iq}e_qD_i)/\beta h_i}{(3+\beta)D_i^{(2+\beta)} - 2A_iD_i + B_i} \right\} \tag{4-6}$$

$$X_{21} = \left\{ \sum_{i \in G1} \left(-\frac{3d_{ij}}{D_i^4} - \frac{d_{ij}'}{D_i^2} + \delta_{ij}\frac{e_j}{D_j^3} \right) \frac{(3c_{ip} + c_{ip}'D_i^2)/\beta h_i}{(3+\beta)D_i^{(2+\beta)} - 2A_iD_i + B_i} \right\} \tag{4-7}$$

$$X_{22} = \left\{ \sum_{i \in G1} \left(-\frac{3d_{ij}}{D_i^4} - \frac{d_{ij}'}{D_i^2} + \delta_{ij}\frac{e_j}{D_j^3} \right) \frac{(3d_{iq} + d_{iq}'D_i^2 - \delta_{iq}e_qD_i)/\beta h_i}{(3+\beta)D_i^{(2+\beta)} - 2A_iD_i + B_i} \right\} \tag{4-8}$$

$$\underline{\lambda} = \{ \lambda_1, \lambda_2, \cdot\cdot\cdot, \lambda_{n+m} \} \tag{4-9}$$

식 (4-4)를 통해서 개선된 Lagrange Multiplier 중에서 음의 값을 가지는 Lagrange Multiplier는 "Active"로 고려됐던 관련된 제약이 "Inactive"임을 나타내므로, 식 (4-4)와 식 (4-9)의 행렬로 부터 해당되는 행과 열을 삭제하고, 관련된 Lagrange Multiplier는 영으로 대체한다. 본 논문에서는 2회 연속해서 음의 값을 가지는 Lagrange Multiplier에 대해서 위와 같은 방법을 적용하였다.

4.4 설계공간의 축소 조정

1회의 Newton-Raphson 과정이 완료된 후, 식 (4-3)에 의해 얻어진 설계변수들과 지금까지 "Active"로 고려됐던 설계변수들이 반드시 규정된 최소값 혹은 응력비(Fully Stressed Design)에 의해 산출된 값 보다 더 큰 값을 가지는 것은 아니다. 만일, 모든 "Active" 설계변수가 Group 1에 포함될 만큼 충분히 큰 값을 가지고 있다면 재설계 과정이 종료되지만 그렇지 않을 경우에는 재설계 과정은 새로운 Newton-Raphson 과정을 필요로 하게 된다. 새로운 Newton-Raphson 과정을 진행하기에 앞서서, 규정된 최소값이나 응력비에 의해 산출된 값 보다 작은 값을 가지는 "Active" 설계변수들은 Group 2나 Group 3로 전환되어 "Passive" 설계변수로 취급되며 이때, 새롭게 실시되는 Newton-Raphson 과정은 "Active" 설계변수들의 좌표로 이루어진 원설계공간(Original Design Space)의 부설계공간(Subspace)에서 실행된다. "Passive" 설계변수는 고정된 값으로 주어지기 때문에, 재설계 과정에 있어서 더 이상 역할을 다하지 못하게 된다.

4.5 재설계 과정의 종료

Lagrange Multiplier의 값이나 신/구 설계변수 등의 각각의 차가 허용값 이내일 경우에, 1회의 Newton-Raphson 진행과정이 종료된다. 앞서 언급한 바와 같이, 종료 후에는 "Active" 설계변수들 중의 일부가 Group 2나 Group 3으로 전환되었는지를 조사하게 되고 만일, 그러한 설계변수들이 없다면 현재의 재설계 과정은 종료하게 된다. 그러나, 만일 그러한 설계변수들이 있다면, 새로운 Newton-Raphson 진행과정은, "Active" 설계변수의 Group으로 부터 그들을 제외하고 이전 단계의 값을 초기값으로 취한 후 다시 시작된다. 이러한 접근방법은 초기 설정치가 해의 참값에 근사할 경우 대단히 빠른 수렴속도를 보이는 Newton-Raphson 방법의 장점을 취하는 것이기 때문에 매우 유용하며 안정적이고 대단히 빠른 작업시간을 보인다.

본 연구에서 사용된 Allwood & Chung의 재설계 Algorithm[3][4][5]은 엄청난 계산량과 계산노력을 요구하지만, 수학적으로는 엄밀한 최적설계를 보장한다. 특히, "Passive" 설계변수들을 처리하는 방법은 보다 많은 Newton-Raphson 과정의 반복을 필요로 한다. 그러나, 본 장을 통해서 설명한 바와 같이 보다 나은 초기치의 설정을 위해서, 이전 단계의 Lagrange Multiplier의 최종값을 초기값으로 설정함으로써 실제적으로 계산노력과 시간을 줄일 수 있다.

5. 결　　론

최적설계란 구조물의 거동이나 기하학적인 제약 등의 설계변수에 부가된 모든 제약조건을 만족하면서 목적함수를 최소로 하는 설계변수들의 조합을 수학적인 기법에 의해 해석하는 설계방법을 말한다. 본 연구의 대상 구조물인 평면 뼈대 구조물을 최적화 시키기 위해서는 제 2장에서 기술한 바와 같은 여러가지 다양한 방법들이 존재하지만 이들을 통해서 얻어진 값들이 반드시 Global Optimum을 나타내는 것이 아니라 Local Optima를 나타내는 경우가 발생할 수도 있다.

본 연구에서는 이러한 단점을 극복하고 실질적인 Global Optimum을 얻는 데 주안점을 두고서 가상일의 원리에 근거를 둔 가상하중의 방법을 적용함으로써 처짐제약과 응력제약 모두를 1차 근사값으로 채택한 평면 뼈대 구조물에 적용시킬 수 있는 최적규준을 정립하였다. 또한, 최적규준을 만족하는 설계를 찾기 위해서 Newton-Raphson 방법을 이용한 Lagrange Multiplier의 개선과 설계공간의 축소 등과 같은 재설계 과정의 Algorithm을 확립하였다.

본 연구에서 정립한 최적규준과 재설계 Algorithm을 이용한 Computer Programming의 개발은 현재 진행중인 상태에 있으나 참고문헌 [3], [4], [5]에서 적용한 Truss와 변단면을 가진 Beam에서 입증된 바와 같이 수학적으로 엄밀한 최적설계를 이룰 것으로 판단된다.

※ 참고문헌

1. 정석준, "철근콘크리트(RC) 뼈대 구조물의 최적설계", 울산대학교 토목공학과 석사학위 논문, 1993. 12
2. 정영식, 정석준, 김봉익, "변수분리의 원리를 이용한 RC 구조물의 최적설계", 한국 콘크리트 학회 1994년도 가을 학술발표회 논문집, 제 6권 2호, pp 267~272, 1994. 11
3. Y. S. Chung, 'Optimal design of civil engineering structures using optimality criteria methods', Ph. D. Thesis, Department of Civil Engineering, Loughborough University of Technology, England, 1982.
4. R. J. Allwood and Y. S. Chung, 'Minimum-weight design of trusses by an optimality criteria method', International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 20, pp.

697~713, 1984.

5. R. J. Allwood and Y. S. Chung, 'An optimality criteria method applied to the design of continuous beams of varying depth with stress, deflection and size constraints', Computer & Structures, Vol. 20, No. 6, pp. 947~954, 1985.