

# LSD에 의한 鐵筋콘크리트 뼈대 構造의 最適設計

## Optimal Design of Reinforced Concrete Frame Structure by Limit State Design Method

金 勇 熙\* · 柳 泓 烈\*\* · 朴 文 浩\*\*\*  
Kim, Yong Hee · Lyu, Hong Leal · Park, Moon Ho

### Summary

This study is concerned with the optimum design of reinforced concrete frame structure with multi-stories and multi-bays by Limit State Design Method aimed to establish a synthetical optimal method that can simultaneously accomplish structural analysis and sectional design.

For optimum solution, the Successive Linear Programming known as effective to non-linear optimization problem including both multi-design variables and multi-constrained condition was applied.

The developed algorithm was applied to an actual structure and reached following results.

- 1) The developed algorithm was very effective converging to an optimal solution with 3 to 5 iteration.
- 2) An optimal solution was showed when bending moment redistribution factor  $\alpha$  was 0.80.
- 3) The column was, regardless of story, controlled by the long column when unbraced, while in case of braced column, it is designed with 3 short column controlled by thrust and bending moment, and the supporting condition had little effect on the optimization results.

### I. 序 論

鐵筋콘크리트 構造物의 最適化問題는 斷面力의 決定에 彈性理論을 이용하고, 斷面의 設計에 許容應力設計法이나 極限強度設計法을 이용하여 最適斷面을 數值的으로 구하는 것이 대부분이었다<sup>1,2)</sup>.

현재의 主設計概念인 極限強度設計法에서는 構造解析은 彈性理論으로 斷面設計는 極限強度概念을 이용하기 때문에 理論的인 不一致가 존재한다<sup>3)</sup>. 이를 극복하기 위하여 開發된 設計概念이 限界狀態設計法(Limit State Design, LSD)으로서<sup>4)</sup>, 構造解析過程과 設計過程이 塑性理論概念과 破率的인 信賴性에 기초를 두었으며, 1960年代 이후부터 구라과,

\*慶南大學校 工科學

\*\*慶南工業專門大學

\*\*\*慶北大學校 工科學

캐나다 등을 중심으로 활발히 研究되어 왔다<sup>5,6)</sup>.

文獻調查結果 LSD에 의한 鐵筋콘크리트 뼈대構造物의 最適化는 國內外를 막론하고 平面뼈대構造物에 관한것이 대부분이고 보나 거더, 기둥, 슬래브가 一體로된 하나의 構造體로 취급한 研究는 거의 찾아볼 수 없다. 그 主된 이유는 構造體로서의 뼈대構造物은 平面뼈대에 비해 解析技法이 복잡 다양하고 設計變數가 많아 상당한 電算容量을 필요로 하는등 작업에 어려움이 많기 때문이다.

이에 착안하여 本研究에서는 장차의 導入에 對備하고자 이미 사용하고 있는 英國의 鐵筋콘크리트 示方書 BSI CP 110<sup>7)</sup>을 이용하여 多層, 多徑間 뼈대構造體를 대상으로 構造解析은 副뼈대 構造解析法(Subframe Analysis), 斷面設計는 界限狀態設計法을 導入하여 構造解析과 斷面設計를 同時에 自動的으로 遂行할 수 있는 綜合的인 最適化를 試圖하였다.

最適化 解析技法으로는 多設計變數, 多制約條件을 갖는 非線型 最適化 問題解決에 效果의이라고 알려져 있는 逐次線型計劃技法(Successive Linear Programming)을 適用하였다<sup>8,9,10)</sup>.

## II. 最適化 問題의 形成

### 1. 目的函數

最少經費設計를 위한 目的函數는 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$C = C_c V_c + C_s V_s + C_f A_f \dots\dots\dots(1)$$

式(1)에서

$$C = F\{(d_B)_{N,i}, (d_c)_{N,i}, (b)_{N,i}, (A_{SB})_{N,i,j}, (A_{SB}')_{N,i,j}, (A_{SV})_{N,i}, (A_{ST})_{N,i}, (A_{STT})_{N,i}, (A_{SC})_{N,i}\} \dots\dots\dots(2)$$

$$V_c = F\{(d_B)_{N,i}, (b)_{N,i}, (d_c)_{N,i}\} \dots\dots\dots(3)$$

$$V_s = F\{(A_{SB})_{N,i,j}, (A_{SB}')_{N,i,j}, (A_{SV})_{N,i}, (A_{ST})_{N,i}, (A_{STT})_{N,i}, (A_{SC})_{N,i}\} \dots\dots\dots(4)$$

$$A_f = F\{(d_B)_{N,i}, (b)_{N,i}, (d_c)_{N,i}\} \dots\dots\dots(5)$$

여기서

C: 뼈대 構造體의 任意徑間의 全 建設經費

C<sub>c</sub>, C<sub>s</sub>: 單位體積當 콘크리트 및 鐵筋의 經費

C<sub>f</sub>: 單位面積當의 거푸집經費

V<sub>c</sub>, V<sub>s</sub>: 콘크리트 및 鐵筋의 全體積

A<sub>f</sub>: 거푸집의 全面積

(d<sub>B</sub>)<sub>N,i</sub>, (b)<sub>N,i</sub>: N연속 i번째 보의 유효깊이 및 유효폭

(d<sub>c</sub>)<sub>N,i</sub>: N연속 l번째 기둥의 유효깊이

(A<sub>SB</sub>)<sub>N,i,j</sub>: N연속 i번째 보의 j번째 設計斷面의 引張鐵筋斷面積

(A<sub>SV</sub>)<sub>N,i</sub>, (A<sub>ST</sub>)<sub>N,i</sub>, (A<sub>STT</sub>)<sub>N,i</sub>: N연속 i번째 보의 剪斷鐵筋, 길이방향 비틀림鐵筋 및 비틀림鐵筋斷面積

(A<sub>SC</sub>)<sub>N,i</sub>: N연속 l번째 기둥의 引張鐵筋斷面積

### 2. 制約條件式의 誘導

#### 가. 보의 制約條件式

##### 1) 휨모멘트 制約條件式

$$(G_A)_{N,i,j} = (M_u)_{N,i,j} - (M_{act})_{N,i,j} \geq 0 \dots\dots(6)$$

$i = 1, 2, 3, 4 \quad j = 1, 2, 3$

式(6)에서

$$(M_u)_{N,i,j} = \frac{f_y}{\gamma_m} \left\{ (A_{SB})_{N,i,j} - \frac{200\gamma_m}{200\gamma_m + f_y} (A_{SB}')_{N,i,j} \right\} \left[ (d_B)_{N,i} - \frac{f_y}{0.8f_{cu}(b)_{N,i}\gamma_m} \left\{ (A_{SB})_{N,i,j} - \frac{200\gamma_m}{200\gamma_m + f_y} (A_{SB}')_{N,i,j} \right\} \right] + \frac{200f_y}{200\gamma_m + f_y} (A_{SB}')_{N,i,j} \{ (d_B)_{N,i} - d_B' \} \dots\dots\dots(7)$$

여기서

(M<sub>u</sub>)<sub>N,i,j</sub>, (M<sub>act</sub>)<sub>N,i,j</sub>: N연속 i번째 보의 j번째 設計斷面의 極限抵抗모멘트 및 作用모멘트

f<sub>y</sub>: 鐵筋의 降伏應力

f<sub>cu</sub>: 立方型 供試體의 特性強度

γ<sub>m</sub>: 強度에 대한 部分安全係數

##### 2) 中立軸距離의 制約條件式

$$(G_B)_{N,i,j} = (\alpha - 0.4)(d_B)_{N,i} - X_{N,i} \geq 0 \dots\dots(8)$$

式(8)에서

$$X_{N,i} = \frac{f_y(A_{SB})_{N,i,j}}{0.4f_{cu}\gamma_m(b)_{N,i}} \dots\dots\dots(9)$$

여기서

α: 絕對最大 휨모멘트 再分配率

X<sub>N,i</sub>: N연속 i번째 보의 壓縮端으로부터 中立軸까지의 距離

##### 3) 剪斷抵抗에 대한 制約條件式

$$(G_c)_{N,i} = v_c(b)_{N,i}(d_B)_{N,i} + \frac{(d_B)_{N,i}}{S_v} (A_{SV})_{N,i}$$

$$\frac{f_{yv}}{\gamma_m} - S \geq 0 \dots\dots\dots(10)$$

여기서

v<sub>c</sub>, S: 보의 極限剪斷應力 및 前斷力

$f_{yv}$  : 剪斷鐵筋의 降伏應力

$S_V$  : 剪斷鐵筋의 간격

4) 비틀림抵抗에 대한 制約條件式

$$(G_D)_{N,i} = \frac{0.8(A_{STT})_{N,i}}{S_{VT}} \{ (b)_{N,i} - d'' \} \{ (H)_{N,i} - d'' \} 0.87f_y - B_{MT} \geq 0 \dots\dots\dots(11)$$

$$(G_E)_{N,i} = (A_{ST})_{N,i} - \frac{\{ (b)_{N,i} + (H)_{N,i} - 2d'' \} B_{MT}}{0.696 \{ (b)_{N,i} - d'' \} \{ (H)_{N,i} - d'' \} f_y} \geq 0 \dots\dots\dots(12)$$

여기서

$S_{VT}$  : 비틀림 鐵筋의 間격

$H$  : 보의 높이

$d''$  : 보의 壓縮端에서 비틀림鐵筋 중심까지의 距離

$B_{MT}$  : 비틀림 모멘트

5) 鐵筋比에 대한 制約條件式

$$(G_F)_{N,i,j} = (A_{SB})_{N,i,j} - P_m (b)_{N,i} (d_B)_{N,i} \geq 0 \dots\dots\dots(13)$$

$$(G_G)_{N,i,j} = 0.04(b)_{N,i} \{ (d_B)_{N,i} + d_B' \} - (A_{SB})_{N,i,j} \geq 0 \dots\dots\dots(14)$$

여기서

$P_m$  : 보의 最少鐵筋比

6) 처짐 및 斷面形狀의 制約條件式

$$(G_H)_{N,i} = \beta \gamma_B (d_B)_{N,i} - L \geq 0 \dots\dots\dots(15)$$

$$(G_I)_{N,i} = 2.5(b)_{N,i} - (d_B)_{N,i} \geq 0 \dots\dots\dots(16)$$

여기서

$\beta, \gamma_B$  : 처짐限界係數 및 처짐補正係數

나. 기둥의 制約條件式

1) 短柱의 制約條件式

가) 軸力支配

$$(G_J)_{N,l} = (N_u)_{N,l} - (N_{col})_{N,l} \geq 0 \dots\dots\dots(17)$$

$l = 1, 2, 3, 4$

式 (17)에서

$$(N_u)_{N,l} = \frac{0.00161E_s}{0.006325E_s + f_y} \{ (d_c)_{N,l} + d_c' \} \{ (d_c)_{N,l} f_{cu} \} + \frac{1}{2} \left( \frac{200f_y}{230 + f_y} + \frac{f_y}{\gamma_m} \right) (A_{SC})_{N,l} \dots\dots\dots(18)$$

여기서

$(N_u)_{N,l}$  :  $N$ 연속  $l$ 번째 기둥의 極限抵抗軸力

$E_s$  : 鐵筋의 彈性係數

나) 軸力과 휨모멘트支配

$$(G_K)_{N,l} = (N_u)_{N,l} - (N_{col})_{N,l} \geq 0 \dots\dots\dots(19)$$

$$(G_L)_{N,l} = (M_u)_{N,l} - (M_{col})_{N,l} \geq 0 \dots\dots\dots(20)$$

式(20)에서

$$(M_u)_{N,l} = 0.2f_{cu} \{ (d_c)_{N,l} + d_c' \} \frac{0.004025E_s}{0.006325E_s + f_y} (d_c)_{N,l} \{ (d_c)_{N,l} + d_c' \} - \frac{0.004025E_s}{0.006325E_s + f_y} (d_c)_{N,l} \} + \frac{1}{2} \left( \frac{100f_y}{230 + f_y} + \frac{f_y}{\gamma_m} \right) \{ (d_c)_{N,l} + d_c' \} (A_{SC})_{N,l} \dots\dots\dots(21)$$

다) 휨모멘트支配

$$(G_M)_{N,l} = (M_u)_{N,l} - (M_{col})_{N,l} - \frac{1}{2}(N_{col})_{N,l} \{ (d_c)_{N,l} - d_c' \} \geq 0 \dots\dots\dots(22)$$

2) 長柱의 制約條件式

$$(G_N)_{N,l} = (N_u)_{N,l} - (N_{col})_{N,l} \geq 0 \dots\dots\dots(23)$$

$$(G_O)_{N,l} = (M_u)_{N,l} - (M_T)_{N,l} \geq 0 \dots\dots\dots(24)$$

여기서

$M_T$  : 기둥設計斷面의 主軸에 대한 全作用모멘트

3) 鐵筋比 및 使用性限界狀態

$$(G_P)_{N,l} = (A_{SC})_{N,l} - P_{cmin} \{ (d_c)_{N,l} + d_c' \}^2 \geq 0 \dots\dots\dots(25)$$

$$(G_Q)_{N,l} = (A_{SC})_{N,l} - a_{SC} \geq 0 \dots\dots\dots(26)$$

$$(G_R)_{N,l} = P_{cmax} \{ (d_c)_{N,l} + d_c' \}^2 - (A_{SC})_{N,l} \geq 0 \dots\dots\dots(27)$$

$$(G_S)_{N,l} = (d_c)_{N,l} - (d_{cmin})_{N,l} \geq 0 \dots\dots\dots(28)$$

$$(G_T)_{N,l} = (d_{cmax})_{N,l} - (d_c)_{N,l} \geq 0 \dots\dots\dots(29)$$

$$(G_U)_{N,l} = \gamma \{ (d_c)_{N,l} + d_c' \} - l_e \geq 0 \dots\dots\dots(30)$$

여기서

$a_{SC}$  : 기둥의 最少鐵筋斷面積

$\gamma$  : Unbraced 기둥의 처짐限界係數

### 3. 最適化 問題形成

앞절에서 誘導한 目的函數와 制約條件式들을 要約하여 鐵筋콘크리트 階대構造體의 最適化 問題를 形成하면 다음과 같다.

$$\begin{array}{l} \text{Minimize } C \\ \text{Subject to} \\ \left\{ \begin{array}{l} (G_A)_{N,i,j} \\ (G_B)_{N,i,j} \\ \vdots \\ (G_U)_{N,l} \end{array} \right\} \geq 0 \end{array} \dots\dots\dots(31)$$

### Ⅲ. 鐵筋콘크리트 뼈대構造의 最適化

#### 1. 遂次的 線型化

$$\left. \begin{array}{l} \text{Minimize } C(\vec{X}) \\ \text{Subject to } G(\vec{X}) \geq 0 \\ \vec{X} \geq 0 \end{array} \right\} \dots\dots\dots(32)$$

여기서

$C(\vec{X})$  : 目的函數

$G(\vec{X})$  : 制約條件式

$\vec{X}$  : 設計變數

各設計點에서 非線型的 目的函數와 制約條件式을 Taylor 級數展開에 의하여 線型化하고 이 變形된 線型問題에 線型計劃 Algorithm을 適用하므로서 近似解를 구하고 다시 初期設計點을 修正하는 過程을 되풀이 한다.

#### 2. 目的函數의 線型化

非線型인 目的函數를 Taylor 級數展開理論에 따라 設計點  $\vec{X}^k$  주위에서 線型化하면 다음과 같다.

$$C(\vec{X}) = \left[ \frac{\partial C(\vec{X}^k)}{\partial \vec{X}} \right]_{1 \times \delta} [\vec{X}^k]_{\delta \times 1} - C(\vec{X}^k) \dots\dots\dots(33)$$

여기서

$\delta$  : 設計變數의 總數

#### 3. 制約條件式的 線型化

$$[J(\vec{X}^k)]_{m \times \delta} [\vec{X}]_{\delta \times 1} \geq [J(\vec{X}^k)]_{m \times \delta} [\vec{X}^k]_{\delta \times 1} - [G(\vec{X}^k)]_{m \times 1} = [B(\vec{X}^k)]_{m \times 1} \dots\dots\dots(34)$$

$$[J(\vec{X}^k)]_{m \times \delta} = \left\{ \left[ \frac{\partial G(\vec{X}^k)}{\partial \vec{X}} \right]_{m \times \delta} \right\} \dots\dots\dots(35)$$

여기서

$[J(\vec{X}^k)]$  :  $\vec{X}^k$ 에 관한  $G(\vec{X})$ 의 Jacobian 매트릭스  
 $m$  : 制約條件式的 總數

式(34), (35)에서  
 $G(\vec{X}^k) = \text{Set of } \{ (G_A)_{N_i, i, j}, (G_B)_{N_i, i, j}, \dots, (G_U)_{N_i, i} \} \dots\dots\dots(36)$

### Ⅳ. 計算例

限界狀態設計法에 의한 鐵筋콘크리트 뼈대構造體의 最適化의 妥當性과 실제의 活用性, 經濟性 및

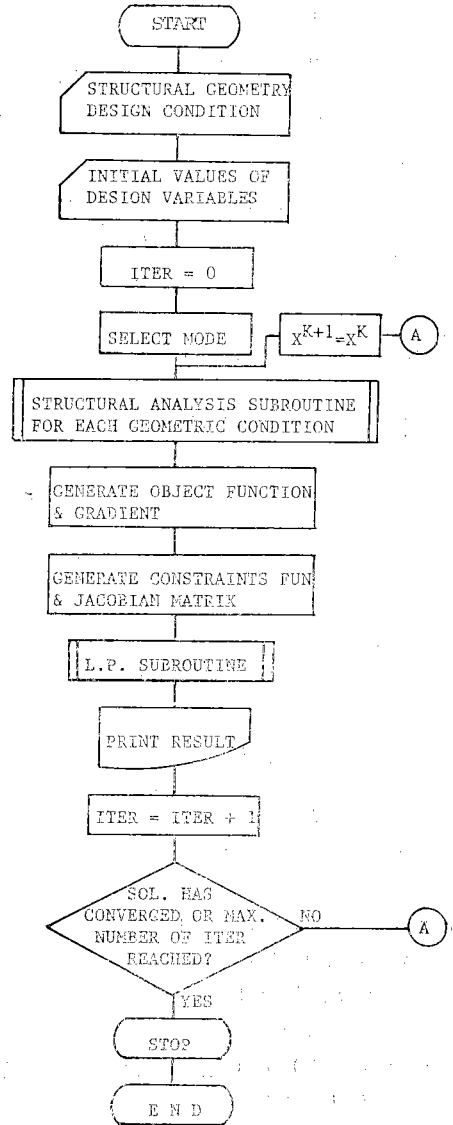
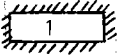
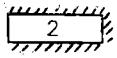
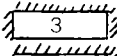
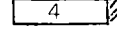


Fig. 1. Optimum Limit State Design Algorithm

의 連續條件과 層數의 變化에 대한 기동과 構造體의 最適化 傾向등을 分析하기 위하여 앞章에서 開發한 本論文의 最適化 알고리즘을 이용하여 最適解를 구했다. 對象構造物은 3層間 4層으로서 各層과 各 경우( $N=1 \sim 4$ )로 했고 기동은 braced와 unbraced로 區分하는 등 많은 數值의 最適化를 試行하였으나 代表的인 것만을 수록하면 Table-2 와3.

Table-1. Design Condition

| N Condition  | Size (cm) | Strength & Loading (KN/cm <sup>2</sup> ) | General Design Condition                                   |
|--|-----------|--|--|
|  | $l_x=500$ | $f_{cu}=2.5$<br>$f_y=42.5$               | $C_g=0.0397\text{won/cm}^3$<br>$C_s=2.2460\text{won/cm}^3$ |
|  | $l_y=650$ | $f_{y_s}=42.5$<br>$g_h=0.000024t$        | $C_f=0.463\text{won/cm}^2$<br>$d_B'=6\text{cm}$            |
|  | $l_c=360$ | $q_h=0.0005$                             | $d''=6\text{cm}$   |
|  |           | $E_s=20000$                              | $d_c'=6\text{cm}$  |

※  $C_g, C_s, C_f$ 는 1985年 6日 “物價資料”에서 引用한 數值임

Fig.2~4와 같다.

① 휨모멘트 再分配率  $\alpha$ 가 最適解에 미치는 영향을 검토 하기 위하여 初期值를 同一하게 취하고 BSI CP 110 示方規定대로 階대 構造物의 4層이하에서는 0.7부터 1.0사이를 任意로 취하도록 되어있는 것을 例題에서는 0.05씩 增加시켜가며 最適解를 구했다. 그 結果 Fig. 2에서와 같이  $\alpha$ 가 0.80일때 最少經費를 나타내었고 最適解와 가장 먼  $\alpha$ 일때와의 經費의 比는 약 2.52%의 영향을 나타내었다.

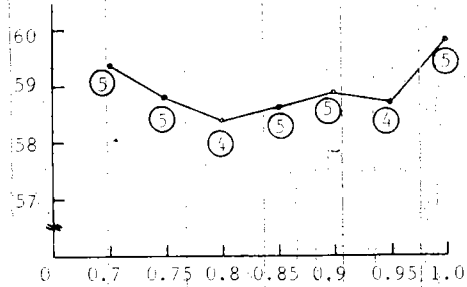


Fig. 2. Cost- $\alpha$  space

② Fig. 3은 初期值의 選定이 最適化에 미치는 영향을 分析하기 위하여 初期假定值를 각각 달리했을 때의 경향을 나타낸다.

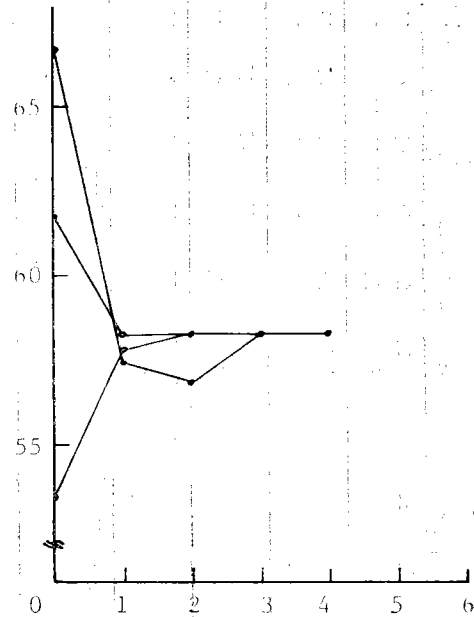


Fig. 3. Optimal tendency According to Initial Value (N=1, 3th floor)

그 結果 上限, 下限, 初期값에 관계없이 모두 2~4回에서 收斂했고, 다른 경우에 있어서도 대개 3~5回의 反復試行으로 最適解에 收斂되었다.

Donald E. Grierson의 文獻<sup>11)</sup>에서는 立體鋼 階대 構造物에 LP最適化 알고리즘을 適用하여 8~10回에 收斂되었는데 비하여 本研究의 알고리즘이 매우 效率的이라는 것이 立證된다.

③ Table-3은 層數가 달라짐에 따라 軸力의 變化로 인하여 일어나는 기둥의 最適化傾向과 기둥支配 領域을 나타내고 있다.

層數에 관계없이 unbraced 기둥인 경우는 모두 長柱의 制約으로 支配되며, braced인 경우는 대부분 軸力과 휨모멘트로 設計되는 短柱의 制約으로 支配되었다. 또 軸力과 휨모멘트로 支配되는 경우의 短柱와 長柱의 最適解 結果는 대부분이 동일하였다. 이는 braced 기둥, unbraced 기둥의 支持條件은 階대 構造體의 最適化 結果에는 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 보여준다.

④ Fig. 4는 3區間 이상인 보스팬의 連續條件에 따라 組合되어지는 각 경우에 대한 것을 나타내는데 N=2, 1, 4, 3順으로 經費가 낮아진다. 이는 대부

분 보에 관한 영향보다 기둥의 斷面치수에 관한 영향이 밝혀졌다.

⑤ 限界狀態設計法에 의한 階대 構造物의 主制約

Table-2. Optimum Values ( $\alpha=0.8$ , 3th floor)

| Mode | $(b_1)_1$<br>(cm) | $(b_1)_2$<br>(cm) | $(d_1)_1$<br>(cm) | $(d_1)_2$<br>(cm) | $(b_2)_1$<br>(cm) | $(b_2)_2$<br>(cm) | $(d_2)_1$<br>(cm) | $(d_2)_2$<br>(cm) | $\sum A_1/6$<br>(cm <sup>2</sup> ) | $\sum A_1/4$<br>(cm <sup>2</sup> ) | $(d_e)_1$<br>(cm) | $(d_e)_2$<br>(cm) | $(d_e)_3$<br>(cm) | $(d_e)_4$<br>(cm) | $\sum A_e/4$<br>(cm <sup>2</sup> ) | Iter. | Cost<br>(won) |
|------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------------------------|-------|---------------|
| N=1  | IDV               | 20                | 20                | 38                | 23                | 23                | 40                | 40                | 23.33                              | 3                                  | 30                | 30                | 30                | 30                | 25                                 | 4     | 583,842       |
|      | ODV               | 18                | 18                | 32.81             | 20                | 20                | 44.23             | 44.23             | 14.23                              | 1.79                               | 25.54             | 25.54             | 25.54             | 25.54             | 29.84                              |       |               |
| N=2  | IDV               | 20                | 18                | 40                | 23                | 23                | 45                | 45                | 19.67                              | 1.83                               | 30                | 30                | 30                | 30                | 10                                 | 4     | 588,441       |
|      | ODV               | 18                | 20                | 35                | 22                | 22                | 48                | 48                | 10.82                              | 1.71                               | 25.67             | 25.67             | 20                | 20                | 22.28                              |       |               |
| N=3  | IDV               | 20                | 20                | 40                | 25                | 23                | 18                | 45                | 35                                 | 20                                 | 30                | 30                | 30                | 30                | 10                                 | 4     | 554,246       |
|      | ODV               | 18                | 18                | 40                | 40                | 23                | 23                | 45                | 32                                 | 11.01                              | 1.52              | 26                | 20                | 20                | 22.33                              |       |               |
| N=4  | IDV               | 20                | 17                | 40                | 32                | 23                | 18                | 45                | 35                                 | 18.67                              | 3                 | 30                | 30                | 30                | 10                                 | 3     | 562,832       |
|      | ODV               | 18                | 20                | 36                | 32                | 22                | 22                | 46                | 35                                 | 9.63                               | 1.34              | 25.62             | 20                | 15                | 16.42                              |       |               |

※ IDV : Initial Design Values, ODV : Optimum Design Values.

Table-3. Optimum Proportionings of Columns (N=4,  $\alpha=0.80$ )

| Story | Column Condition | Value | $D_{e1}$ | $A_{e1}$ | $D_{e2}$ | $A_{e2}$ | $D_{e3}$ | $A_{e3}$ | $D_{e4}$ | $A_{e4}$ | Cost<br>(won) | Column |    |    |    | Iter. |
|-------|------------------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------|--------|----|----|----|-------|
|       |                  |       |          |          |          |          |          |          |          |          |               | 1      | 2  | 3  | 4  |       |
| 1     | —                | IDV   | 30       | 10       | 30       | 10       | 30       | 10       | 30       | 10       | 222,514       | TM     | TM | TM | T  | 5     |
|       | braced           | ODV   | 34.85    | 50.06    | 23.97    | 26.95    | 23.80    | 26.64    | 18       | 12.41    | 317,491       | TM     | TM | TM | TM |       |
|       | unbraced         | ODV   | 34.85    | 50.06    | 23.97    | 26.95    | 23.80    | 26.64    | 18       | 12.41    | 317,491       | LC     | LC | LC | LC |       |
| 2     | —                | IDV   | 30       | 10       | 30       | 10       | 30       | 10       | 30       | 10       | 222,514       | TM     | TM | TM | T  | 5     |
|       | braced           | ODV   | 30.50    | 39.97    | 20.81    | 21.56    | 20.66    | 21.32    | 15       | 10.18    | 260,482       | TM     | TM | TM | LC |       |
|       | unbraced         | ODV   | 30.50    | 39.97    | 20.81    | 21.56    | 20.66    | 21.32    | 15       | 10.18    | 260,482       | LC     | LC | LC | LC |       |
| 3     | —                | IDV   | 30       | 10       | 30       | 10       | 30       | 10       | 30       | 10       | 222,514       | TM     | T  | TM | T  | 3     |
|       | braced           | ODV   | 25.62    | 30       | 20       | 14.71    | 20       | 14.44    | 15       | 6.53     | 206,792       | TM     | TM | TM | LC |       |
|       | unbraced         | ODV   | 25.62    | 30       | 20       | 14.71    | 20       | 14.44    | 15       | 6.53     | 206,792       | LC     | LC | LC | LC |       |
| 4     | —                | IDV   | 30       | 10       | 30       | 10       | 30       | 10       | 30       | 10       | 222,514       | TM     | T  | M  | M  | 5     |
|       | braced           | ODV   | 20       | 20.08    | 16       | 9.61     | 16       | 8.20     | 14       | 3.35     | 148,104       | TM     | TM | M  | M  |       |
|       | unbraced         | ODV   | 20       | 20.08    | 16       | 9.61     | 16       | 9.45     | 14       | 3.35     | 150,113       | LC     | LC | LC | LC |       |

※ T : Thrust, M : Moment, TM : Thrust & Moment, LC : Long Column.

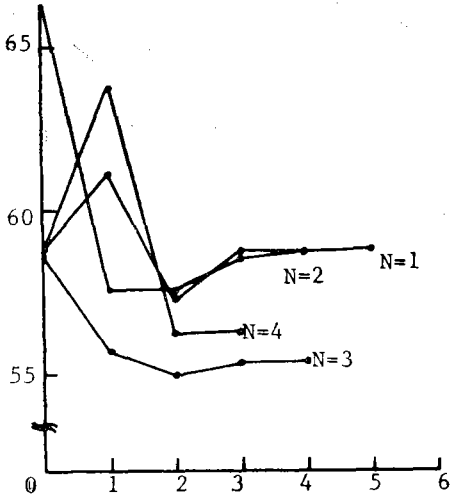


Fig. 4. Iteration History ( $\alpha=0.80$ , 3th floor)

事項을 관찰해본 결과 대부분이 보에 있어서의 應力制約이며 이는 휨모멘트의 制約이 가장 큰 영향을 미친다는 것을 나타내고 있다.

### V. 結論

本研究에서는 鐵筋콘크리트 階대構造의 最適化問題를 限界狀態設計法의 塑性理論概念에 의하여 形成하고. 이를 逐次線型計劃技法을 導入하여 構造解析과 斷面設計를 동시에 처리할 수 있는 綜合的인 알고리즘을 開發하고. 開發된 알고리즘을 통하여 실제 構造物에 適用하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 初期假定値에 관계없이 3~5회의 反復試行으로 最適解에 收斂되므로 開發된 本研究의 알고리즘이 效率的이라고 생각된다.

2) 휨모멘트 再分配率  $\alpha$ 가 最適解에 미치는 영향이 2% 이상이므로 限界狀態設計法으로 最適設計를 시도할 때에는  $\alpha$ 를 設計變數로 고려해야 될 것으로 생각된다.

3) 層數에 관계없이 unbraced 기둥일 때는 長柱로 支配되고 braced인 경우는 軸力과 휨모멘트 支配인 短柱의 制約으로 支配되지만 支持條件은 最適解結果에 거의 영향을 미치지 않으므로 고려하지 않아도 된다고 생각된다.

### 參 考 文 獻

1. Friel, Leroy, L., "Optimum Singly Reinforced Concrete Section", ACI Journal, Proc. Vol. 71, No. 37, Nov., 1974, pp.556-641

2. Chou, Takashi, "Optimum Reinforced Concrete T-Beam Section", Journal of Structural Division, ASCE, Vol. NO. ST. 8, Aug., 1977 pp.1605-1617

3. Sargin, M., "Stress-Strain Relationships of Concrete and the Analysis of Structural Concrete Sections", Univ of Waterloo, Canada, 1971, pp.1-4

4. Mattock, A.H. and Corley, W.G., "Progress Report on Code Clauses for Limit Design", Journal of ACI, Vol. 65, No. 9, Sep., 1968, pp. 713-720

5. Chon, M.Z. "Limit Design for Reinforced Concrete Structures: An Annotated Bibliography", Solid Mechanics Division, Univ. of Waterloo, Ontario, Canada, Report No. 12, Aug., 1969, pp.1-89

6. Rowland, R.J. and Angel L.L., "Limit Analysis of A Reinforced Concrete Frames", ACI Journal, Title NO. 68-65, Oct., 1971, pp. 748-755

7. BSI, Code of Practice for the Structural Use of Concrete; BSI CP-110, British Standards Institution, Nov., 1980, pp.1-50

8. Reinschmidt, Kenneth F. and Russell, M.D., "Linear Method in Structural Optimization", The Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Research Report R 70-41, July, 1970, pp. 1-8

9. Nakamura, Y., Cornell, C.A. and Reinschmidt, K.F., "Optimum Design of Framed Structures Using Linear Programming", Research Report R 664, Dep. of Civil Engineering, M.I.T., Cambridge, Mass., Jan., 1966, pp.14-18

10. 金勇熙. "슬래브를 고려한 階대構造物의 限界狀態最適設計에 관한研究" 博士學位 論文. 1984, pp.1~12

11. Grierson, D.E. and Aly, A.A., "Plastic Design Under Combined Stresses", Journal of Mechanics Division, ASCE, Vol. No. EM4, Aug., 1980, pp.585-607