

# 經濟的인 아파트 設計에 대한 研究

## A Study on the Economical Design of Apartment House

강 문 명\*

Kang Moon Myung

---

### ABSTRACT

This paper describes on the economical design of apartment house.

- \* The optimal problems are made by considering the objective function which minimize the construction cost of frame.
- \* The object functions are taken as the coefficient equations of the cost function for a unit area.
- \* Constraints are the design limits defined by the ultimate flexural strength, the ultimate shear strength, the minimum thickness, and the ratio of steel in accordance with ACI 318-89 Code.
- \* Optimization is achieved by optimum nonlinear GINO(General Interactive Optimizer) program.

In design examples, it is compared with the optimum design results of apartment house and underground parking lot for structural systems.

---

## 1. 序 論

現在 주로 建立되고 있는 耐力壁式構造시스템의 아파트가 地下空間을 駐車 및 福祉空間으로 活用할 수 없는 점과 아파트와 같이 同一平面으로 高層화된 建物에 대하여 工事費를 줄일 수 있는 方法은 내부 칸막이벽을 工場生産에 의한 輕量化와 組立化를 하여 시공의 迅速性 및 信賴性을 도모하고, 設計荷重을 줄이는데 있다는 점을 감안 建設經費를 줄일 수 있는 새로운 Slab-Band 시스템을 도입, 最適 뼈대設計 및 最適化 問題形成을 하고, 建設 經費를 最小化 시킬 수 있는 最適設計의 結果를

考察함으로써, 庶民의 住宅마련에 기여하고자 한다.

그리고 아파트 團地內的 地下停車場에 대한 經濟的인 뼈대 計劃과 最適設計 研究도 한다. 最適設計를 위한 目的函數式은 公式의 一般化를 위하여 骨組 工事費 係數式으로 세웠고, 制約 條件式은 極限強度 設計法에 의한 ACI 318-89 設計示方書를 근거로 휨強度, 剪斷強度, 軸荷重強度, 처짐 및 鐵筋比制約事項들에 의하여 유도한다. [1]-[4]

設計變數는 각 部材의 鐵筋比와 斷面의 有效높이를 취하였고, 應力解析은 ETABS 프로그램으로 해석하고, 最適化는 非線形 最適化

---

\* 경북대학교 건축공학과 교수

에 적합한 GINO 프로그램을 사용하였다.

## 2. 最適化 解法의 흐름도

GINO는 LINDO社에 의해 개발된 컴퓨터 소프트웨어로서 非線形計劃問題를 풀 수 있는 강력한 非線形最適化 소프트웨어이다.<sup>[5]</sup>

GINO에 의한 최적화 문제의 풀이과정을 나타내는 흐름도는 그림1과 같다.

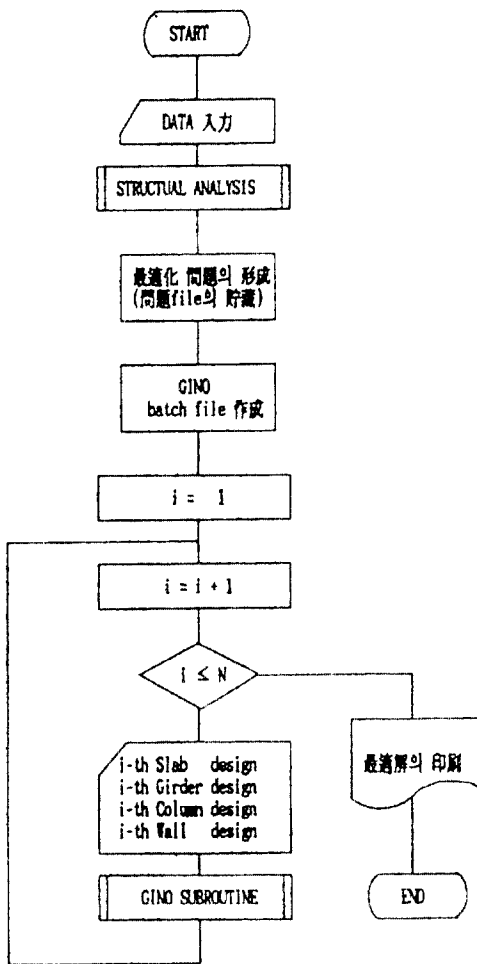


그림1. 最適化解法의 흐름도

## 3. 目的 函數式과 制的條件式

### 3.1 目的函數式

아파트의 單位面積에 대한 콘크리트, 鐵筋 및 거푸집 工事に 대한 骨組工事費를 구하는 식은 다음과 같다.<sup>[8],[9]</sup>

$$\text{Cost}(i) = V_c(i)C_c + V_s(i)C_s + A_f(i)C_f \quad (i=1, \sim, 4) \quad (4)$$

여기서,  $C_c$ ,  $C_s$  : 單位 體積에 대한 콘크리트 및 鐵筋 價格

$C_f$  : 單位 面積에 대한 거푸집 價格

$A_f$ ,  $V_c$ ,  $V_s$  : 거푸집 面積, 콘크리트 및 철근 體積

(4)式에서  $C_c$ ,  $C_f$ ,  $C_s$  가 常數이므로  $C_c$ 로 나누면, 다음 식과 같다.<sup>[6]</sup>

$$Z(i) = V_c(i) + V_s(i)G_1 + A_f(i)G_2 \quad (i=1, \sim, 4) \quad (5)$$

$$G_1 = C_s/C_c, \quad G_2 = A_f/C_c \quad (5a)$$

(5)式은 骨組工事費 係數式으로써 本 研究의 目的函數式이고,  $i=1,2,3,4$  는 슬래브, 보, 기둥 및 벽을 각각 지칭한다

### 3.2 制約條件式

ACI 318-89 設計示方書의 規定을 근거로 彎 強度, 剪斷強度, 壓縮強度, 처짐 및 鐵筋比 制約 事項들에 대하여 制約條件式을 구하면 다음과 같다.<sup>[1]-[4],[7]</sup>

$$\phi_1 M_{nx}(i) - M_{ux}(i) \geq 0 \quad (6)$$

$$\phi_1 M_{ny}(i) - M_{uy}(i) \geq 0 \quad (7)$$

$$\phi_2 V_{nx}(i) - V_{ux}(i) \geq 0 \quad (8)$$

$$\phi_2 V_{ny}(i) - V_{uy}(i) \geq 0 \quad (9)$$

$$\phi_3 P_n(i) - P_u(i) \geq 0 \quad (10)$$

$$d(i) - l(i)/\beta(i) \geq 0 \quad (11)$$

$$p_{max}(i) > p(i) > p_{min}(i)(i=1,2,3,4) \quad (12)$$

여기서,  $M_{nx}, M_{ny}$  : x,y방향의 極限 공칭 휨  
強度

$M_{ux}, M_{uy}$  : x,y방향의 極限 係數 휨모  
멘트

$V_{nx}, V_{ny}$  : x,y방향의 極限 공칭 剪斷  
強度

$V_{ux}, V_{uy}$  : x,y방향의 極限 係數 剪斷  
力

$P_n$  : 極限 공칭 軸 荷重強度

$P_u$  : 極限 係數 軸 荷重

$d$  : 斷面の 유효높이

$p$  : 引張鐵筋比

$p_{min}, p_{max}$  : 最小 및 最大 引張鐵筋比

$\phi_1, \phi_2, \phi_3$  : 휨, 剪斷 및 軸荷重強度  
저감 係數

$\beta$  : 처짐을 고려한 보 및 한방향 슬  
래브의 지지 상태에 따라 최소  
두께를 결정하는 係數

#### 4. 設計例

[最適設計例1]에서는 18.5평형 15層 아파트에 대하여 동일한 設計條件으로 그림2a와 같이 우리 나라에서 주로 設計되고 있는 耐力壁式시스템과 그림2b와 같이 새로운Slab-Band 시스템으로 아파트의 뼈대를 計劃하고, 두 構造시스템에 대하여 각각 最適設計를 하고, 그 結果를 比較하였고, [最適設計例2]에서는 아파트 團地 내에 있는 동일한 設計條件의 地下 駐車場을 그림3a와 같이 우리나라에서 주로 設計되고 있는 라멘 시스템과 그림3b와 같은 Slab -Band 시스템에 대하여 각각 最適設計를

하고, 그 結果를 比較하였다.

그리고 [設計例 3]에서는 26평형 15層 아파트에 대하여 동일한 設計條件으로 그림4a와 같은 耐力壁式 시스템과 그림4b와 같은 Slab-Band 시스템 아파트에 대하여 一般設計 方法으로 각각 設計를 하고, 그 結果를 比較하였다.

[最適設計例1] 그림 2a,b 와 같은 아파트에 대한 設計條件들은 다음과 같다.

$$F_c = 210\text{kg/cm}^2 \sim 240 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_y = 3,000\text{kg/cm}^2 \sim 4,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$G_1 = 60 \sim 80, G_2 = 0 \sim 1,$$

$$\text{層數} = 15\text{層}, \text{層高} = 2.7\text{m}$$

내부 칸막이용 組立式 輕量 壁板 무게 :

$$\begin{cases} t=10\text{cm} : \omega = 80 \text{ kg/m}^2 \\ t=20\text{cm} : \omega = 160 \text{ kg/m}^2 \end{cases}$$

初期置 :

(1) 슬래브 :

$$\begin{cases} \text{내력벽식 시스템} & ; t=13\text{cm} \\ \text{Slab-Band 시스템} & ; t=12\text{cm} \end{cases}$$

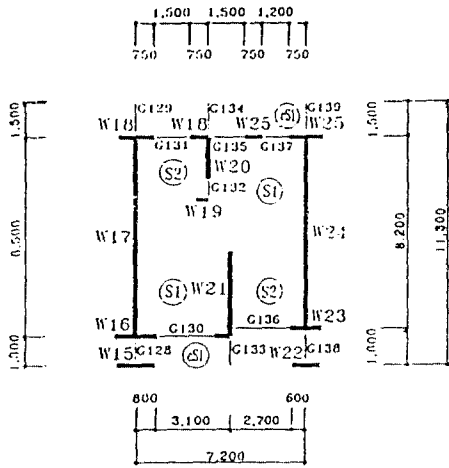
(2) 보 :

$$\begin{cases} \text{테두리보} : b \times D = 25 \times 60\text{cm} \\ \text{밴드보} : 180\text{cm} \times 25\text{cm} \end{cases}$$

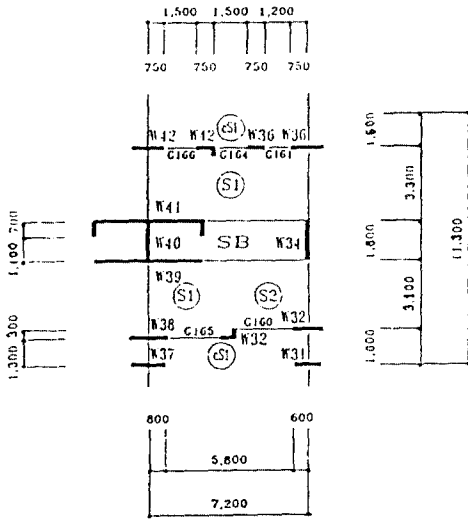
(3) 벽 :

$$\begin{cases} (1\text{층} \sim 5\text{층}) & : t=25\text{cm} \\ (6\text{층} \sim 10\text{층}) & : t=20\text{cm} \\ (11\text{층} \sim 15\text{층}) & : t=18\text{cm} \end{cases}$$

이상의 設計條件에 대하여 耐力壁式 시스템과 Slab-Band 시스템에 의한 아파트 最適設計의 結果는 표 1과 같다. 여기서는 보의 스트럽 鐵筋은 고려하지 않았다.



(a) 耐力壁시스템



(b) Slab-Band시스템

그림 2. 아파트의 單位 平面圖(18.5평형)

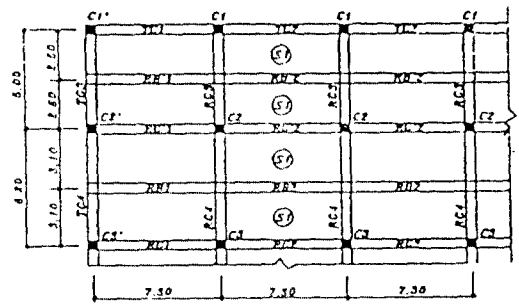
[最適設計例2] 그림 3a,b와 같은 아파트 단지내의 地下駐車場에 대한 設計條件은 다음과 같다.

- Dead Load = 860 kg/m<sup>2</sup>,
- Live Load = 1,000 kg/m<sup>2</sup>,
- F<sub>c</sub> = 210 kg/cm<sup>2</sup> ~ 240 kg/cm<sup>2</sup>,
- F<sub>y</sub> = 3,000 kg/cm<sup>2</sup> ~ 4,000 kg/cm<sup>2</sup>
- G<sub>1</sub> = 60 ~ 100, G<sub>2</sub> = 0 ~ 1

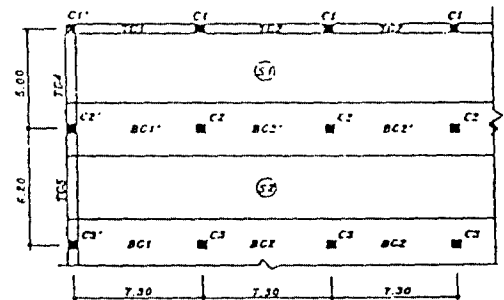
初期值 :

- 슬래브 두께 : t = 20cm,
- Band보 : b×D = 180cm × 40cm,
- 테두리보 : b×D = 40cm × 90cm,
- 기둥 : b×D = 45cm × 45cm

이상의 設計條件에 대하여 Slab-Band시스템과 라멘시스템에 대한 地下駐車場의 最適設計의 結果는 표 2와 같다. 여기서는 보의 스트립鐵筋 및 기둥의 띠鐵筋은 포함되지 않았다.



(a) 라멘 시스템



(b) Slab-Band 시스템

그림 3. 地下 駐車場의 보복도

표 1. 耐力壁式 시스템에 대한 Slab-Band 시스템 아파트의 最適 骨組 工事費 감소비(CR) (단, CR=Slab-Band 시스템 最適 骨組 工事費/耐力壁 시스템 最適 骨組 工事費)

Fc (kg/cm <sup>2</sup> )	Fy (kg/cm <sup>2</sup> )	G <sub>1</sub> = 60		G <sub>1</sub> = 80		G <sub>1</sub> = 100	
		G <sub>2</sub>					
		0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
210	3,000	0.8961	0.8665	0.9203	0.8946	0.9439	0.8931
	3,500	0.8953	0.8606	0.9065	0.8614	0.9270	0.8839
	4,000	0.8951	0.8564	0.8525	0.8606	0.9141	0.8767
240	3,000	0.9362	0.8609	0.9143	0.8583	0.9126	0.8739
	3,500	0.8804	0.8516	0.9009	0.8567	0.9118	0.8714
	4,000	0.8716	0.8509	0.8967	0.8510	0.9082	0.8709

표 2. 라멘 시스템에 대한 Slab-Band 시스템 地下駐車場의 最適 骨組 工事費의 감소비(CR)

Fy (Fc) (kg/cm <sup>2</sup> )	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	Z						CR=F/C
			라멘 시스템			Slab-Band 시스템			
			A	B	C	D	E	F	
			슬래브	보	A+B	슬래브	보	D+E	
3,000 (210)	60	0.5	0.7190	0.7190	1.4380	0.8558	0.2744	1.1302	0.7860
		1.0	1.2190	1.2724	2.4914	1.3558	0.4837	1.8395	0.7785
	80	0.5	0.7462	0.7707	1.5169	0.9034	0.2947	1.1981	0.7898
		1.0	1.2462	1.3241	2.5703	0.4334	0.5040	1.9074	0.7421
3,500 (210)	60	0.5	0.7091	0.6965	1.4056	0.8381	0.2655	1.1036	0.7851
		1.0	1.2091	1.2498	2.4589	1.3381	0.4749	1.8130	0.7373
	80	0.5	0.7339	0.7407	1.4746	0.8813	0.2829	1.1642	0.7895
		1.0	1.2340	1.2942	2.5282	1.3813	0.4923	1.8736	0.7411

표 3. 아파트 部材 斷面의 크기

[設計例 3] 그림 4a,b와 같은 아파트에 대한 設計 條件은 다음과 같다.

F<sub>c</sub> = 210 kg/cm<sup>2</sup>, F<sub>y</sub> = 3000 kg/cm<sup>2</sup>  
 組立式 輕量 內壁(Dry Wall) 무게 :  
 w = 40 kg/m<sup>2</sup>

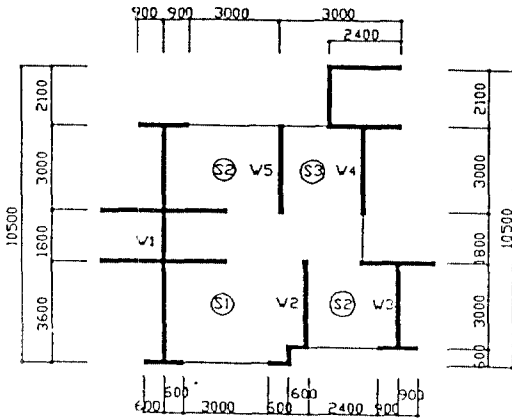
구분	層數	耐力壁 시스템(cm)	Slab-Band 시스템(cm)
벽	6-15	15	15
	1-5	18	20
보	6-15	15×110	테두리 보: 20×60
	1-5	18×110	밴드보: 180×20
슬래브	1-15	13.5	13.5

이상의 設計條件에 대하여 一般設計 方法으로 設計한 結果는 표 4와 같다.

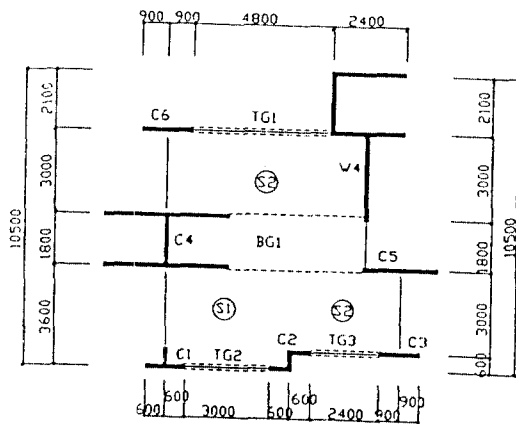
여기서는 材料의 損失 및 基礎 部分은 고려하지 않았다.

표 4. 아파트의 單位 面積( $m^2$ )에 대한 骨組量

종류	시스템		A/B
	A Slab-Band 시스템	B 耐力壁 시스템	
콘크리트 ( $m^2$ )	0.942	1.031	0.91
철근량 (t)	0.075	0.088	0.86
거푸집 ( $m^2$ )	8.886	9.797	0.91



(a) 耐力壁 시스템



(b) Slab-Band 시스템

그림 4. 아파트의 單位 平面圖(26평형)

## 5. 結 論

보다 經濟的인 아파트의 設計를 위하여 設計荷重을 줄이고, 施工의 迅速性 및 信賴度를 높일 수 있는 組立式 輕量 壁體 사용이 가능한 Slab-Band 시스템構造에 의한 아파트 및 地下 駐車場의 設計例를 통한 本 研究의 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 아파트의 뼈대를 Slab-Band 시스템으로 하여 内部칸막이 壁을 組立式 輕量壁板으로 設計한 경우는 耐力壁 시스템으로 設計한 경우보다 骨組工事費가 約 10%以上 節減됨을 알 수 있다.

특히 아파트를 Slab-Band 시스템으로 設計하면, 장차 아파트 内部 空間을 변경할 수 있을 뿐만 아니라, 地下空間을 駐車 및 福祉 空間으로 活用할 수 있는 利點이 있다.

2. 地下駐車場을 Slab-Band 시스템으로 設計한 경우는 라멘시스템으로 設計한 경우

보다 骨組工事費가 約 20%程度 節減됨을 알수있다. 그리고, Slab-Band 시스템으로 地下 駐車場을 설계하면, 換氣는 물론 거푸집 및 配管 工事가 용이하고, 層高를 낮출 수 있어 土工事を 줄일 수 있는 利點이 있다.

## 參考 文獻

- [1] American Concrete Institute, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary on Building Code-ACI 318-89" Committee Report, Detroit, Michigan, 1989
- [2] American Concrete Institute, "Design Handbook in Accordance with the Strength Design Method of ACI 318-89, Vol.1", ACI Committee Report, Detroit Michigan, (1991)
- [3] American Concrete Institute, "Design Handbook in Accordance with the Strength Design Method of ACI 318-89, Vol.2", ACI Committee Report, Detroit, Michigan, (1991)
- [4] Ghosh S. K. and B. G. Rabbat, "Notes on ACI 318-89, Building Code Requirement for Reinforced Concrete with Design Applications", PCA, (1990)
- [5] Liebman J., L. S. Lasdon, L.Schrage & A. D. Waren, "Modeling and optimization with GINO, " The Scientific Press, 1986.
- [6] Chou, T., "Optimum Reinforced Concrete T-Beam Sections", Journal of the Structural Division, Proceeding of ASCE, Vol.103, No.ST8., 1605-1617, 1977
- [7] Yang, Ming-F, "Optimization of Reinforced Concrete Structures", Dept. of Civil Eng., Univ. of Illinois, Ph. D. Thesis, (1982)
- [8] Kang M. M. and Y. Choi, "Minimum Cost Design of the Reinforced Concrete T-Beam Sections", Proceeding of the 3rd Colloquium on Shell and Spatial Structures, 461-466, (1990)
- [9] 강 문명, 김 정재, 김 중성, 정 충영, " 庶民用 아파트의 最適設計 " 대한 건축학회 논문집, 제 10권, 제 5호 159-171, 1994