

슬래브-밴드 시스템에 의한 地下駐車場の 最適設計

Optimum Design of The Underground Parking Place By Slab-Band System

조인기*, 박기홍*, 강문명**
Cho, In-Gee, Park, Ki-Hong, Kang, Moon-Myung

ABSTRACT

The purpose of this investigation is to find the optimum values of the steel ratio, the effective depth, and the width of band for an economical design of the underground parking place by SB(slab-band) System. To simplify the optimization procedure, the final optimum ultimate strength design of SB system is obtained by combining the optimum design of each of the three component parts of SB system, namely : slab, band, and marginal beam.

In this paper, nonlinear optimum GINO(General Interactive Optimizer) programming used in optimization procedure is described. Example is included to illustrate the application of the algorithm presented herein.

1.序論

地下駐車場 建立이 날로 增加하고 있으므로 보다 適合한 構造시스템에 대한 比較, 研究가 必要하다고 생각된다. 建立되고 있는 대부분의 地下駐車場이 라멘(rahmen)으로 設計하는것을 많이 보게 된다. 라멘 構造는 換氣가 잘 안될뿐 만 아니라, 層高가 높게 되므로 흙파기 工事が 增加되어 工期가 더 길어지는 短點이 있다.

그림 1과 같은 SB 시스템은 한방향으로만 幅이 넓고 높이가 낮은 밴드보가 있는 構造 시스템이므로 換氣의 圓滑化는 물론 層高를 낮출수 있어 많은 長點이 있는 地下駐車場 構造시스템으로써 적합한 構造라 할수 있다.^{[4][5]} 따라서 本研究에서는 SB시스템으로 地下駐車장을 計劃하고, 時代に 대한 最適設計를 하고자 한다.

目的函數式은 公式의 一般化를 위하여 價格係數式으로 하였고, 價格係數는 콘크리트 價格에 대한 鐵筋과 거푸집 價格의 比로 하였다.^{[3][4]} 制約條件式은 ACI 318-89 Code^{[1][2]}에 根據로 極限 彎強度, 極限 剪斷強度, 最小두께 및 最小, 最大鐵筋比로 하였고, 設計變數로는 그림 1의 (b)의 슬래브, 밴드보 및 테두리보의 有效층과 鐵筋比 그리고 使用材料의 強度, f_c 와 f_y 로 하였다.

最適化 過程은, 非線形 最適化에 適合한 GINO 프로그램을 사용하였고,^[6] 應力 解析은 有限要素法에 의한 SMAP 프로그램을 사용하였다.^[7] 그리고 設計例를 들어 最適 設計가 在來式 設計보다 經濟的인을 考察하였다.

* 경북대학교 건축공학과 석사과정, 학생회원
** 경북대학교 건축공학과 교수, 정회원, 공학박사

2. 目的 函數式

價格 函數는 骨組에 대한 鐵筋, 콘크리트 그리고 거푸집 價格으로 定義된다. 이들 價格은 材料 및 組立 單價도 포함되어 있다. 그림1에 나타낸 슬래브-밴드 시스템의 슬래브, 밴드보 및 테두리보의 斷面으로 부터, 單位 面積에 대한 骨組의 價格은 다음 式과 같다.^{[3][4]}

$$C = \sum_{i=1}^3 C_i = (V_c + V_s G_1 + A_f G_2) C_c / l_x \quad (1)$$

$$G_1 = C_s / C_c \quad (2)$$

$$G_2 = C_f / C_c \quad (3)$$

여기서, C : 단위 면적당 SB시스템 골조의 가격
 C_c : 단위 체적당 콘크리트의 가격
 C_s : 단위 체적당 철근의 가격
 C_f : 단위 면적당 거푸집의 가격
 V_c : 콘크리트의 단위 체적
 V_s : 철근의 단위 체적
 A_f : 거푸집의 단위 면적

方程式 (1)에서 單位 面積當 슬래브의 骨組의 價格은 슬래브의 柱列帶, 柱間帶의 平均價格이다. 그리고 方程式 (1)에서 C_c / l_x 項이 常數이므로, C 를 最小化 하는것은 다음의 Z 값을 最小化 하는 것과 같다.

$$Z = \sum_{i=1}^3 Z_i = V_c + V_s G_1 + A_f G_2 \quad (4)$$

따라서 方程式 (4)는 SB시스템의 目的 函數式이고, $i = 1, 2, 3$ 은 슬래브, 밴드보 및 테두리보를 指稱한다.

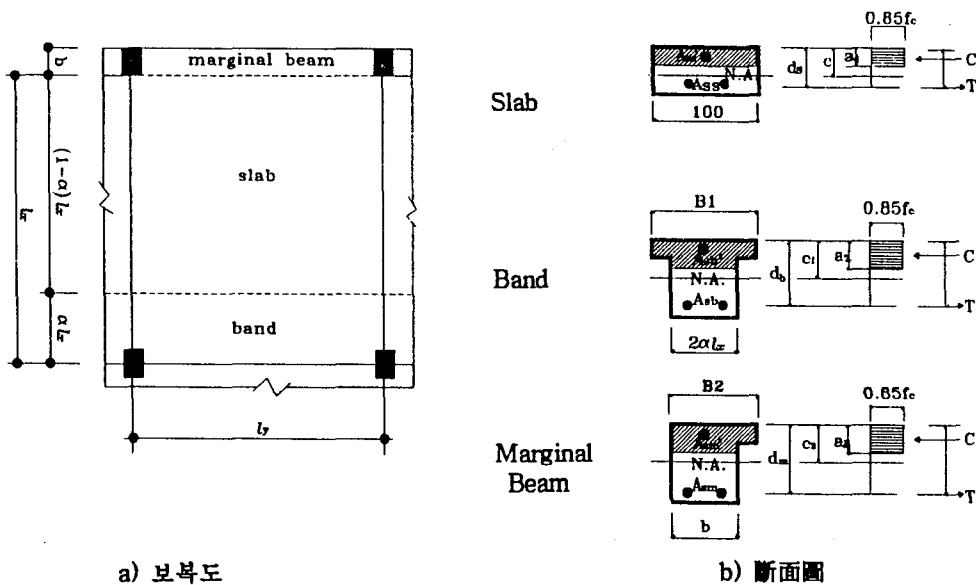


그림 1. SB시스템에 의한 地下駐車場의 보복도와 斷面圖

3. 制約 條件式

SB시스템의 制約條件式은 ACI 318-89 Code에 의한 極限 彎 強度, 極限 剪斷強度, 最小 두께 그리고 最小, 最大 鐵筋比 制約에 의하여 다음 式과 같다.^{[1][2][3]}

$$\phi M_n(i) - M_u(i) \geq 0 \quad (i=1,2,3) \quad (5)$$

$$\phi V_n(i) - V_u(i) \geq 0 \quad (i=1,2,3) \quad (6)$$

$$d(i) \geq l_y/\beta \quad (i=1,2,3) \quad (7)$$

$$p_{\min}(i) \leq p_t(i) \leq p_{\max}(i) \quad (i=1,2,3) \quad (8)$$

$$p_t(1) \geq 0.0018 \text{ or } 0.0020 \quad (9)$$

$$d(1) \geq 10 \quad (10)$$

$$p_{\min}(2) = 14.06 W_2/f_y \quad (11)$$

$$p_{\min}(3) = 14.06 W_3/f_y \quad (12)$$

$$W_2 = 2\alpha l_x/B_1 \quad (13)$$

$$W_3 = b/B_2 \quad (14)$$

(a) $a_i > t$ ($i=2,3$) :

$$p_{\max}(i) = 0.75 W_i [p_b + p_f(i)] + \frac{r p_t(i)(f_s' - 0.85f_c)}{f_y} \quad (i=2,3) \quad (15)$$

$$p_b = 0.85k_1 \frac{6120f_c}{f_y(6120+f_y)} \quad (16)$$

$$f_s' = 6120 - \frac{d'(i)}{d(i)}(6120+f_y) \leq f_y \quad (i=2,3) \quad (17)$$

(b) $a_i \leq t$ ($i=2,3$):

$$p_{\max}(i) = 0.75W_i p_b + \frac{r p_t(i)(f_s' - 0.85f_c)}{f_y} \quad (i=2,3) \quad (18)$$

여기서, $a_i(i=1,2,3)$: 슬래브, 밴드보 및 테두리보의 등가 장방향 압축용력 불력의 층

f_c : 콘크리트 기준 압축 강도

f_s' : 압축철근의 항복강도

f_y	: 철근의 기준 항복강도
t	: 슬래브 두께
T	: 인장력
C	: 압축력
A_{ss}, A_{sb}, A_{sm}	: 슬래브, 밴드보 및 테두리보의 인장 철근 단면적
B_1, B_2	: 밴드보와 테두리보의 유효폭
$d(i)(i=1,2,3)$: 슬래브, 밴드보 및 테두리보의 유효층
$d'(i)(i=2,3)$: 밴드보 및 테두리보의 피복 두께
$M_n(i)(i=1,2,3)$: 슬래브, 밴드보 및 테두리보 단면의 공칭 휨모멘트 강도
$M_u(i)(i=1,2,3)$: 슬래브, 밴드보 및 테두리보 단면에서의 계수 모멘트
$P_{min}(i)(i=1,2,3)$: 슬래브, 밴드보 및 테두리보의 최소 철근비
$P_{max}(i)(i=1,2,3)$: 슬래브, 밴드보 및 테두리보의 최대 철근비
$P_t(i)(i=1,2,3)$: 슬래브, 밴드보 및 테두리보의 인장 철근비
P_b	: 평형 철근비
$P_r(i)(i=2,3)$: 밴드보 및 테두리보의 플렌지 철근비
$V_n(i)(i=1,2,3)$: 슬래브, 밴드보 및 테두리보의 공칭 전단강도
$V_u(i)(i=1,2,3)$: 슬래브, 밴드보 및 테두리보 단면에 작용하는 계수전단력
r	: 압축 철근비
β	: 처짐을 계산하지 않아도 될 휨부재의 최소 두께

4. 設計 例題

그림 2와 같은 SB 시스템에 의한 地下駐車場의 最適設計를 하자.
設計 條件은 다음과 같다.

[設計條件] $f_c=210\text{kg/cm}^2\text{-}240\text{kg/cm}^2$, $f_y=3,000\text{kg/cm}^2\text{-}3,500\text{kg/cm}^2$, $r = 0.2 - 0.6$,
固定荷重(D.L)= 860kg/cm^2 , 積載荷重(L.L)= $1,000\text{kg/cm}^2$, $G_1=60$, $G_2=10 - 20$ 이다.

以上の 設計 條件에 대하여 (5)式 - (18)式과 같은 制約 條件式들을 滿足하고, 目的 函數式 (4)式을 最小로 하는 最適設計를 非線形 最適化에 適合한 GINO 프로그램에 의하여 計算 한 結果를 정리하면, 그림 3, 그림 4 및 Table 1과 같다.

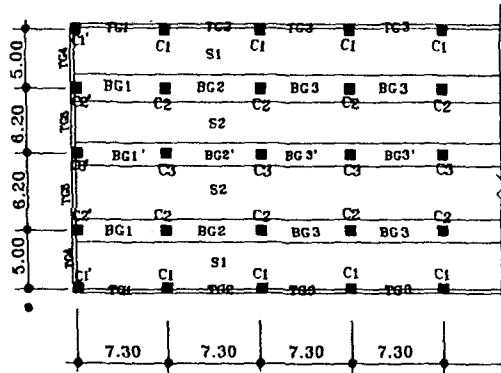


그림 2. 設計例의 地下駐車場 보폭도

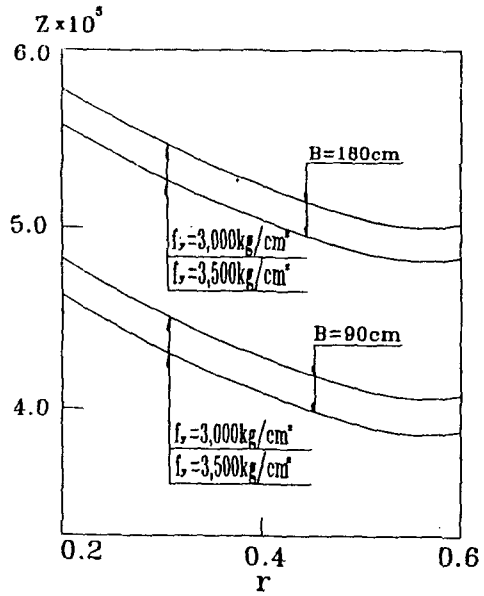


그림 3. $G_1=60, G_2=10, f_c=210\text{kg/cm}^2$ 일 때 r 와 Z 의 關係

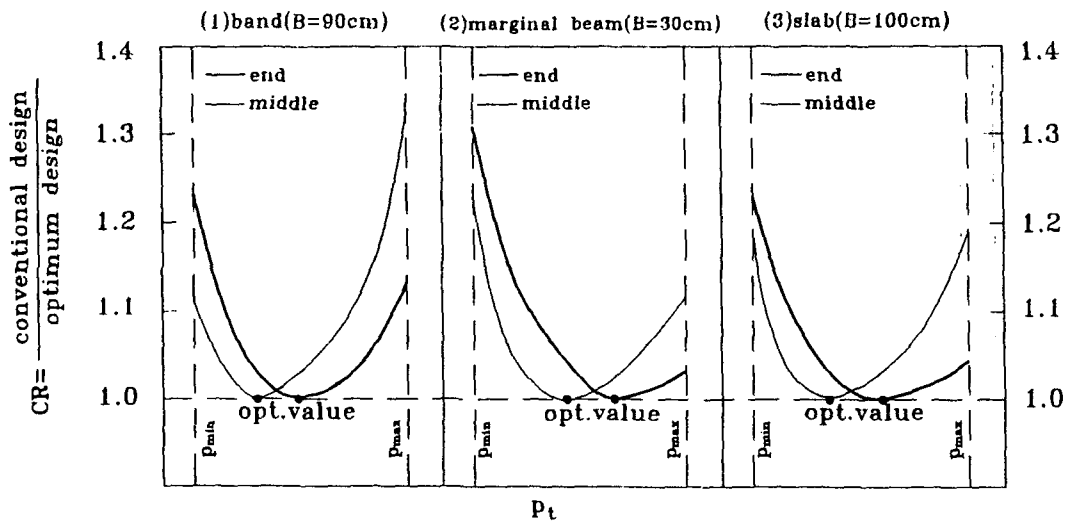


그림 4. $f_c=210\text{kg/cm}^2, f_y=3500\text{kg/cm}^2, G_1=60, G_2=10, r=0.4$ 일 때 p_t 와 CR 의 關係

Table 1. 地下駐車場の最適設計結果 및 工事費減少率(CR)

f_y (f_c) (kg/cm^2)	G_1	G_2	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	0.0	0.2190	0.1645	0.3829	0.3558	0.0650	0.4208	1.0990
		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	0.0	0.2462	0.2158	0.4620	0.4034	0.0854	0.4888	1.0580
		0.5	0.7462	0.7707	1.5169	0.9034	0.2947	1.1981	0.7898
		1.0	1.2462	1.3241	2.5703	1.4034	0.5040	1.9074	0.7421
	100	0.0	0.2723	0.2672	0.5395	0.4489	0.1057	0.5546	1.0280
		0.5	0.7723	0.8222	1.5945	0.9489	0.3151	1.2640	0.7927
		1.0	1.2723	1.3760	2.6483	1.4489	0.5244	1.9733	0.7451
3,500 (210)	60	0.0	0.2091	0.1422	0.3505	0.3381	0.0562	0.3943	1.1256
		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	0.0	0.2340	0.1860	0.4200	0.3813	0.0736	0.4549	1.0831
		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
	100	0.0	0.2578	0.2301	0.4879	0.4228	0.0910	0.5138	1.0531
		0.5	0.7580	0.7850	1.5430	0.9228	0.3004	1.2232	0.7927
		1.0	1.2578	1.3384	2.5962	1.4228	0.5097	1.9325	0.7444

그림 4를 考察하면, 在來式 設計보다 最適設計가 約 5% - 30% 程度 骨組工事費가 節減되는 것을 考察할수 있고, Table 1에서는 SB시스템이 라멘 시스템보다 骨組 工事費가 約 20%程度 節減됨을 또한 考察할수 있다. 그리고 그림 3을 考察하면, 밴드보의 幅이 90cm일때가 180cm일때보다 더욱 經濟的인 斷面인 것을 알수 있고, 콘크리트의 壓縮強度나 鐵筋의 降伏強度를 나타내는 材料強度는 큰값이 더 經濟的임을 알수 있다.

그리고 SB시스템은 換氣가 잘될 뿐 아니라, 거푸집 및 鐵筋 工事를 規格化 할수 있고, 層高를 낮출수 있어 工期短縮은 물론 工事費 節減을 위한 適合한 地下停車場 構造시스템이라 할수 있다.

5. 結論

本研究에서는 公式의 一般化를 위하여, 그리고 目的函數式을 骨組 工事費 係數式으로 誘導하기 위하여 콘크리트 工事費에 대한 鐵筋 및 거푸집 工事費의 價格比를 目的函數式에 사용하였고, 最適化는 非線形 最適化에 適合하고 計算이 迅速한 GINO 프로그램을 사용하였다.

本研究의 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 밴드보의 幅이 작을수록, 유효층은 높을수록 더 經濟的이다.
2. 콘크리트 基準 壓縮強度, f_c 와 鐵筋의 降伏強度, f_y 는 클수록 經濟的이다.
3. 在來式 設計보다 最適設計에 의한 骨組工事費가 적어도 5%-30%로 節減됨을 알 수 있다.
4. 슬래브-밴드 시스템에 의한 最適설계는 라멘시스템보다 골조공사비가 약 20%정도 經濟적임을 알 수 있다.

參考 文獻

- [1] ACI Committee 318, "Commentary on building code requirements for reinforced concrete (ACI 318-89)", ACI, Detroit, 1990.
- [2] ACI Committee 340, "Design handbook in accordance with the strength design method of ACI 318-89, Vol.1, 2", ACI, Detroit, 1990.
- [3] Takashi C., "Optimum reinforced concrete T-beam sections", J. of the Struct. Div., ASCE, Vol. 103, No. ST8, Aug., pp.1605-1617, 1977.
- [4] Kang, M.M., "The optimum design on the reinforced concrete Slab-Band Floor", Res. Rev. of Kyungpook National University, Vol. 42, pp.333 - 343, 1986.
- [5] Fred N. Severud, "Why 'Slab-Band' Floors are economical?", Engineering News-Record, Oct. 17, pp.526-528, 1946.
- [6] 青沼龍雄, 新村秀一(共譯), "GINOによるモデリングと最適化", 共元出版株式會社, 1991.
- [7] Kabaila A.P., Lawther R., Tin Loi F., "SMAP user manual ", Ver.1.1, A.P.Kabaila, 1983.