보의 最經濟 設計의 理論

申 鍾 淳*

目 次

1. 序 言

주어진 moment에 對해서 어떤 斷面에 어떤 量의 配筋을 할 때에 concrete, 鐵筋, 거푸집工事의 材料 및 勞賃의 會計가 最少가 되느냐 하는 問題를 究明하는 것은 重要하고도 意義있는 일이다.

concrete, 철근, 木材등의 材料代와 人件費는 나라에 따라 顯著한 差異가 있으며 우리나라의 特徵은 철근의 異常高價, 勞賃의 低廉, 豊富良質한 骨材, 相當規模의 國產 cement등으로 나타나고 있다. 이러한 우리나라 特徵에 가장 經濟的으로 잘 맞는 斷面의 決定法을 本 論文에서 提示해 보고저 한다.

오늘날 우리 나라 建築界에서는 거의 모든 境遇에 日本 建築學會 制定의 鐵筋 concrete 計算規準에 의하여 斷面算定을 하고 있다. 그러나 이것의 決定的인 後進性은 極限耐力 設計法을 그의 本條文에 採擇하고 있지 못한 것이다.

* 技術士(建設部門)
歐美建築研究所

A C I에서 制定한 보의 極限耐力 設計法을 사용하면 前者의 方法으로 設計할 때에 比하여 鐵筋이 平均 20% 程度 節約이 되면서도 安全率은 오히려 높아진다.

本 論文의 目的이 最經濟 斷面의 決定法이니 만큼 本 論文 展開의 基礎가 될 concrete 構造計算規準도 가장 經濟的인 것을 擇해야 함은 當然한 일이다. 이것이 ACI의 極限 設計法을 따를 때에 어떤 斷面이 가장 經濟的인 斷面이냐 하는 方向으로 本 論文을 展開시킨 理由이다.

2. ACI의 보의 極限設計法의 要約

ACI는 1601節에서 單配筋 矩形보 의 極限設計法을 다음과 같이 制定하고 있다.

a) 引張 鐵筋만이 配筋된 矩形보의. 極限 moment Mu는 다음 식으로 計算한다.

$$Mu=\phi[bd^2f_c'q(1-0.59q)=\phi[A_sf_y(d-\frac{a}{2}]\cdots(1)$$

여기서

A_s=引張鐵筋 斷面積

a=矩形 slress block의 깊이

b=휨材의 壓縮面의 폭

d=壓縮外緣으로 부터 引張鐵筋 中心까지의 거리

f_c'=concrete의 壓縮強度

f_y=鐵筋의 降伏強度

ϕ=capacity reduction factor 이며 보에서는 0.9

$q=pf_y/f_c'$

$p=A_s/bd$

$a=A_sf_y/0.85f_c'b$

b) **鐵筋比** p는 다음 式으로 주어지는 極限 強에서의 blanced condition을 이루게 하는 鐵筋比 p_b의 75%를 넘어서는 안된다.

$$p_b = \frac{0.85K_1 f_c'}{f_y} \cdot \frac{6300}{6300+f_y} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

여기서 K_1은 concrete 強度에 따라 決定되는 다음과 같은 數 이다.

表 1 K_1의 값

concrete 强度 psi	concrete 强度 kg/cm²	K_1
4000以下	282以下	0.85
5000 〃	353 〃	0.80
6000 〃	423 〃	0.75

以上이 ACI에서 制定한 單配筋 矩形보의 極限 設計法이다. 이 公式의 誘導는 本 論文에서는 하지 않고 P_b의 값과 設計 graph를 다음에 주는 것으로 끝이 겠다.

表 2 (b)式으로 주어지는 balanced steel ratio

f_c' \ f_y	2100 kg/cm²	2400 kg/cm²	3000 kg/cm²	3300 kg/cm²
180 kg/cm²	0.0465	0.0391	0.0293	0.0258
210 〃	0.0542	0.0457	0.0342	0.0301
280 〃	0.0723	0.0609	0.0457	0.0402
350 〃	0.0849	0.0717	0.0537	0.0473

이 表에서 우리가 注目할 점은 balanced steel ratio가 彈性設計法에서 생각할 때 보다 아주 높다는 것이다. 이것은 보의 長期 처짐(deflection)을 減少시킬 目的으로 複鐵筋配筋을 할 必要는 있겠지만 moment 耐力을 增加시키기 위해서 複筋으로 設計 할 必要에 다다를 境過는 거의 없음을 뜻한다.

다음 Fig. 1은 (a)式을

$$\frac{Mu}{bd^2} = \phi p f_y (1 - 0.59 p \frac{f_y}{f_c'}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

로 고쳐서 Mu/bd^2을 p의 2次 函數로 나타낸 graph 이다. p의 上限은 0.75 p_b(表2의 값) 이며 下限은 ACI 911節의 最少 鐵筋比 $p_{min}=14/f_y$ 이다.

그리고 graph 中×標가 붙은 點보다 위의 部分은 鐵筋比가 $0.18f_c'/f_y$를 넘는 部分이며 이 部分에서 設計된 部材는 比較的 많은 鐵筋을 配筋한 셈이며, 따라서 斷面이 작아지기 때문에 처짐의 check를 할것을 ACI 1508節에서 要求하고 있다.

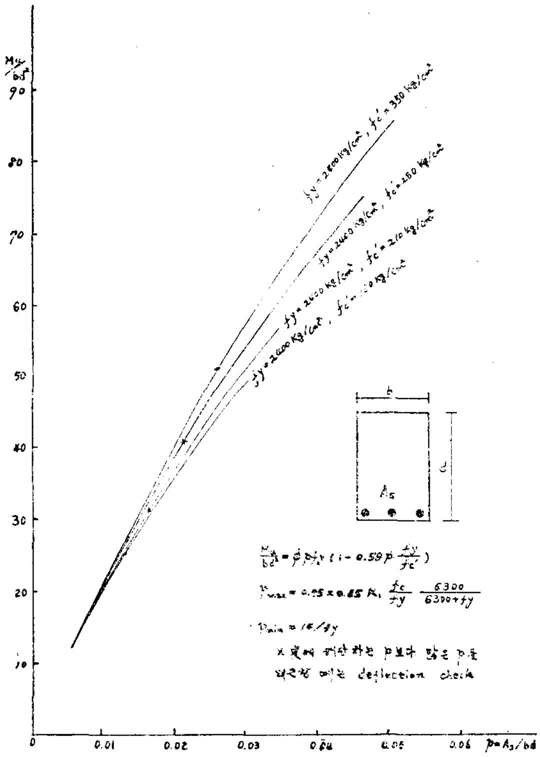

Fig. 1 矩形보의 극한 moment capacity

表 3 $p_{min}=14/f_y$

f_y kg/cm²	2100	2400	3000	3300
$Pmin$	0.00666	0.00583	0.00467	0.00424

表 4 $0.18f_c'/f_y$ 의 값

f_c' \ f_y	2100	2400	3000	3300
180	0.015	0.014	0.011	0.010
210	0.018	0.016	0.013	0.011
280	0.024	0.021	0.017	0.015
350	0.030	0.026	0.021	0.019

3. 建設單價의 方程式

1m의 길이의 보를 施工할 때에 所要되는 모든 經費의 會計 W가 아래 式과 같이 表現될 수 있다고 가정한다.

$$W = C_1[b(d+d') - A_s] + C_2 A_s + C_3[b + 2(d+d'-t)] \quad \cdots\cdots\cdots(4)$$

여기서 b, d, d', A_s t는 Fig. 1에 表示된 칫수들이며 C_1은 斷面積 1cm₂, 길이 1m의 concrete의,

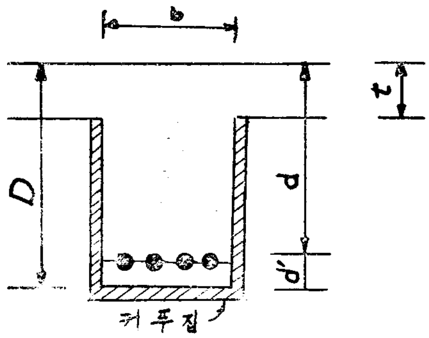

Fig. 2

C_2는 斷面積 1cm², 길이 1m의 철근의, C_3는 길이 1m, 폭 1cm의 거푸집의 材料代 人件費 雜費를 包含한 全工費이다. 따라서 (4) 式의 第一項은 길이 1m의 보를 시공할 때의 conrcete의, 第二項은 鐵筋의, 第三項은 거푸집의 費用이다.

(3) 式에서 p를 求하면

$$p=\frac{f_c'}{1.18f_y}-\frac{f_c'}{1.18f_y}\sqrt{1-2.36\frac{Mu}{f_c'bd^2\phi}}\cdots(5)$$

를 얻는다. 따라서

$$A_s=pbd=\frac{f_c'\,bd}{1.18f_y}\left[1-\sqrt{1-2.36\frac{Mu}{f_c'bd^2\phi}}\right]\cdots(6)$$

이것을 (4)式에 代入하면

$$W=C_1b(d+d')$$
$$+(C_2-C_1)\frac{f_c'\,bd}{1.18f_y}\left[1-\sqrt{1-2.36\frac{Mu}{f_c'bd^2\phi}}\right]$$
$$+C_3[b+2(d+d'-t)]\cdots\cdots(7)$$

을 얻는다. 이것이 그림 1과 같은 斷面積을 갖는 길이 1m의 보의 建設 單價를 다타내는 方程式이다.

W는 Mu, f_y, d,d',b, C_1,C_2,C_3 等의 多變數函數로 表示되고 있다. 이들中 C_1, C_2, C_3 는 市場價格, 社會의 經濟組織, 施工方法 等에 따라 f_y, f_c는 使用 材料에 따라, d'는 所要 concrete 피복두께에 따라 決定되는 數들이다. 남는것은 b와 d 뿐이다.

4. W의 最少値

(7)式을 (b)와 (d)에 關해서 微分한다.

$$\frac{\partial W}{\partial b}=C_1(d+d')$$
$$+(C_2-C_1)\frac{f_c'\,d}{1.18f_y}\left[-\sqrt{1-2.36\frac{Mu}{f_c'bd^2\phi}}\right]$$
$$+(C_2-C_1)\frac{f_c'bd}{1.18f_y}\left(\frac{1}{2}\,\frac{-2.36\dfrac{Mu}{f_c'b^2d^2\phi}}{\sqrt{1-2.36\dfrac{Mu}{f_c'bd^2\phi}}}\right)+C_3\cdots(8)$$

$$\frac{\partial W}{\partial b}=C_1b$$
$$+(C_2-C_1)\frac{f_c'b}{1.18f_y}\left[1-\sqrt{1-2.36\frac{Mu}{f_c'bd^2\phi}}\right]$$
$$+(C_2-C_1)\frac{fc'bd}{1.18f_y}\left(\frac{1}{2}\,\frac{-2.36\dfrac{2Mu}{f_c'bd^3\phi}}{\sqrt{1-2.36\dfrac{Mu}{f_c'bd^2\phi}}}\right)$$
$$+2C_3\cdots\cdots(9)$$

$\dfrac{\partial W}{\partial d}=0$, $\dfrac{\partial W}{\partial b}=0$ 을 聯立 시켜서 b, d에 關해서 푼다는 것은 거의 不可能이다. 그러나 여기서 $\partial W/\partial d=0$을 滿足시키는 Mu/bd^2을 求할 수 있다.

$$\sqrt{1-2.36\frac{Mu}{f_c'bd^2\phi}}=A\cdots\cdots(10)$$

$$(C_2-C_1)\frac{f_c'}{1.18\,f_y}=B\cdots\cdots(11)$$

로 놓으면 $\partial W/\partial d=0$ 에서

$$(C_1b+Bb+2C_3)A-Bb=0\cdots\cdots(12)$$

$$\therefore A=\frac{Bb}{C_1b+Bb+2C_3}$$

양변을 自乘하고 A를 환원하면

$$1-2.36\frac{Mu}{f_c'bd^2\phi}=\frac{1}{\left(\dfrac{C_1}{B}+1+\dfrac{2C_3}{Bb}\right)^2}$$

$$\therefore\frac{Mu}{bd^2}=\frac{f_c'\phi}{2.36}\left[1-\frac{1}{\left(\dfrac{C_1}{B}+1+\dfrac{2C_3}{Bb}\right)^2}\right]$$
$$\cdots\cdots(13)$$

或은

$$\frac{Mu}{f_c'bd^2\phi}=\frac{1}{2.36}\left[1-\frac{1}{\left(\dfrac{C_1}{B}+1+\dfrac{2C_3}{Bb}\right)^2}\right]$$
$$\cdots\cdots(14)$$

(12), (13)式이 W의 最少値를 주는 式이다.

5. W의 第 1 種 近似式

2項定理를 利用해서

$$\sqrt{1-2.36\frac{Mu}{f_c'bd^2\phi}}$$
$$\fallingdotseq 1-1.18\frac{Mu}{f_c'bd^2\phi}-\frac{1}{8}\times 2.36^2\frac{Mu^2}{f_c'^2b^2d^4\phi^2}$$
$$\cdots\cdots(15)$$

로 近似시키면

$$A_s = \frac{Mu}{f_y\phi d} + 0.59\frac{Mu^2}{f_y f_c' b d^3 \phi^2} \cdots\cdots\cdots\cdots (16)$$

을 얻는다. 이것을 (4)式에. 代入 하면

$$W = C_1 b(d+d')$$
$$+(C_2-C_1)\left(\frac{Mu}{\phi f_y d}+0.59\frac{Mu^2}{f_y f_c' b d^3 \phi^2}\right)$$
$$+C_3[b+2(d+d^1-t)] \cdots\cdots\cdots\cdots (17)$$

을 얻는다.

(17)式을 (b)와 (d)에 관해서 偏微分하면

$$\frac{\partial W}{\partial b} = C_1(d+d')$$
$$-(C_2-C_1)\left(0.59\frac{Mu^2}{\phi^2 b^2 d^3 f_c' f_y}\right)+C_3 \cdots (18)$$

$$\frac{\partial W}{\partial d} = C_1 b$$
$$-(C_2-C_1)\left[\frac{Mu}{\phi f_y d^2}+0.59\frac{3Mu^2}{\phi^2 b d^4 f_y f_c'}\right]$$
$$+2C_3 \cdots\cdots\cdots\cdots (19)$$

을 얻는다. 여기의 $\partial w/\partial b=0$, $\partial w/\partial d=0$ 으로하는 b, d를 求하는 것도 容易하지 않다. $\partial w/\partial d=0$으로 하는 Mu/bd^2만을 求해 둔다. (19)에서

$$C_1-(C_2-C_1)\left[\frac{Mu}{\phi f_y b d^2}+0.59\frac{3Mu^2}{\phi^2 b^2 d^4 f_y f_c'}\right]+2\frac{C_3}{b} = 0$$

이것을 Mu/bd^2에 關해서 풀면

$$\frac{Mu}{bd^2} = \frac{\phi f_c'}{3.54}\left[-1+\sqrt{1+\frac{7.08}{C_2-C_1}\frac{f_y}{f_c'}\left(C_1+\frac{2C_3}{b}\right)}\right] \cdots\cdots\cdots\cdots (20)$$

6. W의 第2種 近似式

式(3)은 Mu/bd^2이 p의 2次函數로 表示되고 있지만 이것의 graph인 Fig. 1의 各 曲線은 直線서 아주 가까운 原點을 지나는 抛物線임을 알 수 있다. 여기서 p의 1次函數로 表示되는 Mu/bd^2의 近似式을 만들자. 近似式을 만드는 方法은 여러가지가 있겠지만 여기서는 1次 近似式이 原點을 지나며 그의 方向係數는 Fig. 1의 ×標가 붙은 點에서의 接線의 方向係數를 取한다.

(3)式은 p에 關해서 微分하면

$$\tan\theta = \frac{d}{dp}\left(\frac{Mu}{bd^2}\right) = \phi f_y - 1.18\phi p\frac{f_y^2}{f_c'}$$

이된다. $p=0.18 f_c'/f_y$를 代入하면

$$\tan\theta = 0.788\phi f_y$$

따라서 (3)의 近似式으로

$$\frac{Mu}{bd^2} = 0.788\phi f_y p \cdots\cdots\cdots\cdots (21)$$

를 얻는다. 이것으로

$$A_s = pbd = \frac{Mu}{0.788\phi f_y d} \cdots\cdots\cdots\cdots (22)$$

를 얻으며 이것을 (4)式에 代入하면

$$W = C_1[b(d+d')]+(C_2-C_1)\frac{Mu}{0.788\phi f_y d}$$
$$+C_3[b+2(d+d'-t)] \cdots\cdots\cdots\cdots (23)$$

를 얻는다. 이것은 b와 d에 關해서 微分하면

$$\frac{\partial W}{\partial W} = C_1(d+d')+C_3 b \cdots\cdots\cdots\cdots (24)$$

$$\frac{\partial W}{\partial d} = C_1 b-(C_2-C_1)\frac{Mu}{0.788\phi f_y d^2}+2C_3 \cdots (25)$$

을 얻는다.

$\partial W/\partial b=0$, $\partial W/\partial d=0$으로 놓은 聯立方程式을 b, d에 關해서 풀기는 어렵다. 그러나 $C_1>0$, $C_3>0$, $d+d'>0$, $b>0$임으로 $\partial W/\partial b>0$ 인것을 (24)式에서 알 수 있다. 이것은 W는 $b>0$의 範圍에서 增加函數인 것을 뜻한다. 따라서 最少의 工費는 b를 될 수 있는 대로 적게 하므로 얻어지는 것을 알 수 있다. 實際의 建築施工에서 b는 20cm, 25cm, 30 cm, 35cm, 40cm 程度의 경우가 大部分일 것이다. 따라서 配筋上 不得已하거나 或은 其他의 理由가 없는 限 25cm 程度의 폭으로 設計하는 것이 가장 좋고, 폭이 30cm, 35cm 40cm로 늘어가는 것이 더 많은 경비를 要求하게 될 것이다.

다음 $\partial W/\partial d$의 符號를 살피자. C_1, C_2의 定義로 부터 $C_2-C_1>0$인 것은 알 수 있다.

(23)式으로

$$\left.\begin{aligned}
&0<d<\sqrt{\frac{(C_2-C_1)Mu}{0.788\phi f_y(C_1 b+2C_3)}} \text{ 이면 } \frac{\partial W}{\partial b}<0\\
&d>\sqrt{\frac{(C_2-C_1)Mu}{0.788\phi f_y(C_1 b+2C_3)}} \text{ 이면 } \frac{\partial W}{\partial b}>0\\
&d=\sqrt{\frac{(C_2-C_1)Mu}{0.788\phi f_y(C_1 b+2C_3)}} \text{ 이면 } \frac{\partial W}{\partial b}=0
\end{aligned}\right\} (26)$$

인 것을 안다. 이것으로 다음과 같은 結論을 얻을 수가 있다. 卽 b가 常數라고 보면 式(21)은

$$d = \sqrt{\frac{(C_2-C_1)Mu}{0.788\phi f_y(C_1+2C_3)}} \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

에서 最少값을 갖는다.

(25)式으로 d값을 計算하는 것 보다는 이 값을

Mu/bd^2에 代入해서

$$\frac{Mu}{bd^2}=\frac{0.788\phi f_y(C_1b+2C_3)}{b(C_2-C_1)} \cdots\cdots\cdots\cdots(28)$$

을 얻는다. 이式은 W의 最少값을 주는 Mu/bd^2의 값이며 (23)式을 零으로 놓고서 Mu/bd^2에 關해서 풀어도 얻을 수 있다.

7. W의 最少値에 關한 一般約 結論

1) b는 될 수 있는 대로 적게 하는 것이 經濟的이다. 그러나 配筋上 및 防火構造上의 理由로 b=25cm를 最經濟폭으로 추천한다. b가 이것에 未達 하면 配筋할 space가 좁아지며, 建築 法規에서 耐火構造物이 되지 못한다. b가 25cm 를 넘으면 部材는 經濟性을 잃기 始作한다. b는 施工 및 經濟性을 考慮하여 技士가 그의 判斷에 따라 決定하며 決定된 뒤는 常數로서 取扱한다.

2) 주어진 Mu와 決定된 d에 對해서 最經濟斷面은 式(28) (20) (13)에 의하여 計算되는 Mu/bd^2 값으로 設計할 수 있다. 即 윗式의 Mu/bd^2 값으로 d와 p가 計算되므로 가장 經濟的인 斷面의 크기와 거기에 所要되는 配筋을 算出할 수 가 있다.

8. C_1, C_2, C_3, 값의 決定

이들의 값은 施工 當時의 材料代 勞賃 施工方法 一般的으로 認定된 公課雜費等에 의하여 計算된다. 現在 서울市나 政府各 機關에서는 各己 一位 代價表를 가지고 있다. 이런 境遇는 이것을 利用하면 一義的으로 C_1 C_2 C_3 의 값을 定할 수 있다.

C_1의 결정例

concrete 1:2:4 m^3當

品名	數量	單位	單價	金額
cement	324	kg	6^{32}	2047^{68}
모래	0.47	m^3	150^{00}	70^{50}
자갈	0.83	m^3	1200^{00}	996^{00}
기계운반비	1	식	165^{00}	165^{00}
인부	1.2	인	380^{00}	456^{00}
				3770^{18}
공과잡비		20%		754
		計		4,524→4,500

$\therefore C_1=4524/100\times100=0.45$원/$cm^2\cdot m$

C_2의 계산例

品名	數量	單位	單價	金額
철근	1	t	35,000	35,000
결속선#20	8	kg	75	600
철근공	4	인	850	3,400
인부	2	인	400	800
				39,800
공과잡비		20%		7,960
		計	47,760	→48,000

$\therefore C_2=48,000\times7.87/100\times100=37.8$

7.87은 鐵의 比重

C_3의 計算例

15mm두께 合板, 3回 使用

品名	數量	單位	單價	金額
合板15mm	0.396	m^3	513	203^{14}
角材 육송	0.015	m^3	18,000	270^{00}
鐵線 #8	0.29	kg	55	15^{95}
못	1.11	kg	63^{20}	6^{95}
목수	0.25	인	550^{00}	137^{50}
인부	0.22	인	300^{00}	66^{00}
			計	700
재고처리 (회수금액)				−99
				601
공과 잡비	20%			120
	總計		721	→720

$\therefore C_3=720/100=7.2$

以上으로 $C_1=0.45$원/$cm^2\cdot m$, $C_2=37.8$원/$cm^2\cdot m$, $C_3=7.2$원/$cm\cdot m$를 얻었다. 이 산출에서 充分한 資料蒐集과 操心性 있는 判斷이 信頼度 높은 決論을 얻는데 大端히 必要하다.

9. 最經濟 Mu/bd^2 값의 數値 및 그 應用

(13), (20), (28)式의 Mu/bd^2 값을 $C_1=0.45$원/$cm^2\cdot m$, $C_2=37.8$원/$cm^2\cdot m$, $C_3=7.2$원/$cm\cdot m$ $f_c'=210$ kg/cm^2, $f_y=2400$kg/cm^2인 境遇에 該當하는 값을 計算한 것이 다음 表이다.

表5 最經濟 Mu/bd^2의 값 (kg/cm^2)

b cm	(13)式에의한	(20)式에의한	(28)式에의한
20	40.6	47.0	53.4
25	37.5	42.2	46.7
30	35.2	39.5	36.9
35	33.5	36.9	39.2
40	32.2	35.2	39.9

위 表에서 (20)式 (28)式에 의한 近似값이 (13)式에 의한 正確한 값하고 큰 差異가 있는 것을 알 수 있다. 이것은 經濟性을 따질 때는(20) (28)式의 價値가 그다지 크지 못한 것을 뜻한다.

例題 1. 그림 3의 固定端보의 端部에서의 最經濟 設計를 해라.

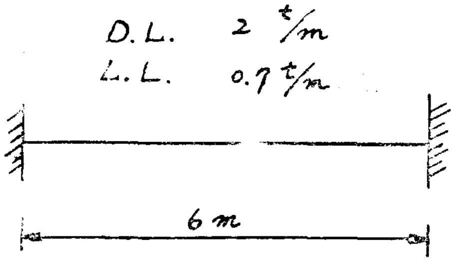

Fig. 3

〔解〕

$$\frac{1}{12}\times 2\times 1.5\times 6^2=9.00\ tm$$

$$\frac{1}{12}\times 0.7\times 1.8\times 6^2=3.78\ tm$$

$$Mu=12.78$$

最經濟 Mu/bd^2을 $b=25$cm일때 37.5kg/cm²

$$\therefore\ d^2=\frac{1278000}{b\times 37.5}=\frac{1278000}{25\times 37.5}=1360$$

$$d=36.8\text{cm}$$

$b=25$cm $d=35$cm로 設計하면 최경제 設計에 가까운 단면을 얻음.

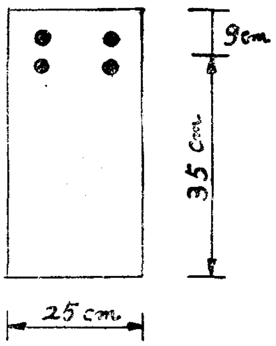

Fig. 4

$$\frac{Mu}{bd^2}=\frac{1278000}{25\times 32^2}=41.7$$

$p=0.023$, 例題 1에서

$A_s=0.023\times 25\times 35=20.1$cm², 4−D25配筋

例題 2. 例題 1에서 設計한 Fig. 3의 斷面을 갖는 concrete보 1m의 길이의 施工 總 經費를 계산하라. 단, C_1, C_2, C_3 는 本論文에서 주어진 값을 살 것.

〔解〕 (4)式에서 $C_1=0.45$원/cm²·m, $C_2=37.8$원/cm²·m, $C_3=7.2$원/cm·m, $As=20.28$cm²(4−D25) $b=25$cm, $d=35$cm, $d'=9$cm, $t=0$를 代入하면 stirrup代를 無視한 1m當의 總費가 나온다.

$$W=0.45[25\times 44-20.28]+37.8\times 20.28$$
$$+7.2[25+88]=485+767+814=2066\text{원}$$

例題 3. 그림3의 보의 端部를 $b=35$로 最經濟 設計를 하라.

〔解〕 表5 에서 $b=35$일 때의 最經濟 Mu/bd^2값은 33.5kg/cm²이다.

$$\therefore\ d^2=\frac{1278000}{35\times 33.5}=1088$$

$d=33$cm 로 定함

$$\frac{Mu}{bd^2}=\frac{1278000}{35\times 33^2}=33.5\text{kg/cm}^2$$

Chock 表에서 $p=0.0175$

$As=35\times 33\times 0.0175=20.2$cm²

Fig. 5와 같이 設計됨.

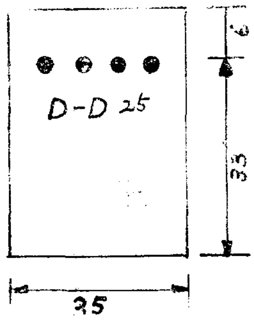

Fig. 5

例題 4. Fig. 4와 같은 斷面의 보 1m當의 工費를 算出하라.

	단면적	단가	금액
concrete	35×33−20.28=1134.72	0.45원	511원
철근	20.28	37.8	767
거푸집	35+2×39=113	7.2	813
		計	2091원

例題 5. 그림 2의 보를 $b=30$ $d=50$으로 設計하고 1m당의 工費를 산정하라.

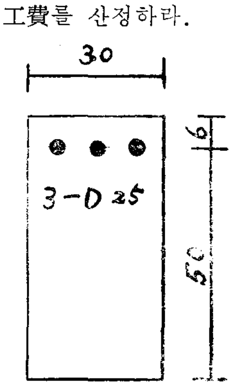

Fig. 6

〔解〕 $\frac{Mu}{bd^2}=\frac{1278000}{30\times50\times50}=17\text{kg/cm}^2$

表에서 $p=0.0085$

$As=0.0085\times30\times50=12.75\text{cm}^2$

$3-D25=15.21\text{cm}^2$를 그림 5와 같이 배근함.

concrete 代	$(30\times56-15.21)\times0.45=750$원
철근代	$15.21\times37.8=575$원
거푸집	$(11.2+30)\times7.2=1020$ 원
	2345 원

以上의 계산에는 計算尺의 誤差가 포함되고 있음.

10. 結　論

주어진 應力을 받을 수 있는 가장 經濟的인 鐵筋 concrete의 보의 설계는 conrete, 鐵筋 및 거푸집의 費用의 總計가 最少가 되도록 斷面을 決定하는 것이다. 보의 폭은 施工上, 防火構造上 必要한 最少의 칫수로 잡는 것이 經濟的이다. 보의 높이는 크게 하면 鐵筋量은 減少하나 concrete量과 거푸집의 表面積이 增加한다. 여기서 最經濟的인 보의 높이가 理論的으로 算出되고 이 算出된 높이에 對한 鐵筋量이 極限設計法에 의하여 計算 配筋된다. 이렇게 本論文이 提示하는 方法으로 設計된 보는 같은 耐力을 가지며 斷面이 다르게 設計된 다른 모든 보보다 施工費用이 적게 든다.