鐵筋콘크리이트 보의 設計 (2)

曺 鐵 鎬
한양대학교 공과대학 강사
한국건축콤퓨터응용연구소 대표

鐵筋콘크리이트 보에서 設計用 휨모멘트가 M_d 일 경우 斷面算定은

$$k=\frac{nf_c}{nf_c+f_s} \quad (6\cdot1)$$

$$j_0=1-\frac{k}{3} \quad (6\cdot2)$$

$$M_b=A_{b0}\ f_s j_0 d \quad (6\cdot3)$$

$$M'=M_d-M_b \quad (6\cdot4)$$

$$M'=A_{s1} f_s (d-d') \quad (6\cdot5)$$

$$M'=A'_s\ f'_s (d-d') \quad (6\cdot6)$$

$$f'_s=f_s\alpha \quad (6\cdot7)$$

$$\alpha=\frac{1-k}{k-d'/d} \quad (6\cdot8)$$

$$A_{b0}=P_{b0} jd \quad (6\cdot9)$$

$$A_{s1}=M'/f_s(d-d') \quad (6\cdot10)$$

$$A_s=A_{b0}+A_{s1} \quad (6\cdot11)$$

$$A'_s=M'\alpha/f_s(d-d') \quad (6\cdot12)$$

$f'_c=180\text{kg/cm}^2$, $n=15$, $f_c=72\text{kg/cm}^2$일 경우

$$k=\frac{nf_c}{nf_c+f_s}=0.402$$

$$P_{b0}=\frac{1}{2}k\frac{f_c}{f_s}=0.908\%$$

$$j_0=1-\frac{k}{3}=0.866$$

$A_{b0}=P_{b0}bd$

$M_{b0}=P_{b0}f_s j_0 bd^2$

$=0.908\times1,600\times0.866\times10^{-2}\ bd^2$

$=12.60bd^2$

$r=1.0$, $d'/d=0.1$

$$j_{1\cdot0}=j_0-r\frac{(k-d'/d)\ (3d'/d-k)}{3\ (1-k)}$$

$=0.866+0.017$ $r=0.883$

$$\alpha=\frac{1-k}{k-d'/d}=1.975$$

$$P_b=\frac{P_{b0}}{1-r/\alpha}=1.842\%$$

$M_r=P_b f_s j_{1\cdot0}\ bd^2$

$=1.842\times1,600\times0.883\times10^{-2}\ bd^2$

$=26.20\ bd^2$

略算法의 比較를 위하여 $M_d=262.00\text{t}\cdot\text{m}$, $b=1,000$, $d=1,000$, $d'=100$인 보를 조사해 보면

$M_b=12.60\times100\times100^2\times10^{-5}=126.0\ \text{t}\cdot\text{m}$

$M'=M_d-M_b=262.0-126.0=136.0\ \text{t}\cdot\text{m}$

$A_{b0}=P_{b0}\ bd=0.908\times100\times100\times10^{-2}$

$=90.8\text{cm}^2$

$A_{s1}=M'/f_s(d-d')$

$=136.0/1.6\times(1.00-0.10)=93.4\text{cm}^2$

$A_s=A_{b0}+A_{s1}=90.8+93.4=184.2\text{cm}^2$

$$P_b=\frac{A_s}{bd}=1.842\%$$

$P'=(P_b-P_{b0})\ \alpha=(1.842-0.908)1.975$

$=1.842\%$

$A'_s=P'\ bd=1.842\times100\times100\times10^{-2}$

$=184.2\text{cm}^2$

$r=A'_s/A_s=184.2/184.2=1.0$로 계산된다.

【例】 (6·1)에서 계산한 方法에 依한다면

$j=0.875$

引張鐵筋 $A_s=M/f_s jd=262.0/1.4\times1.0$

$=187.0\text{cm}^2>184.2\text{cm}^2$

$$\frac{187.0}{184.2}=1.015\ (1.5\%\text{증가})$$

$r=0$인 평형철근비의 許容휨모멘트는

$M_b=P_{b0}f_s j\ bd^2$

$=0.908\times1,600\times0.875\times100\times100^2\times10^{-7}$

$=126.5\text{t}\cdot\text{m}$

圧縮鐵筋

$A'_s=(M-M_b)\alpha/f_s jd$

$=(262.0-126.5)1.975/1.4\times1.0$

$=268.0/1.4=191.0\text{cm}^2>184.2\text{cm}^2$

$\frac{191.0}{184.2}=1.03$(3%증가)

$r=\frac{A'_s}{A_s}=\frac{191.0}{187.0}=1.02$(2%증가)

$r=1.0$인 경우 安全側으로 誤差가 생기는 理由는 実際 응력중심거리비

$j_{1.0}=0.883$인 경우 $j=0.875$로 計算했으므로 生기는 誤差다.

$\frac{0.883}{0.875}=1.01$(1%증가)

다시 $j=0.875$ 대신 $j_{1.0}=0.883$으로 計算하면

引張鐵筋

$A_s=M/f_s j_{1.0}d=262.0/1.6\times0.883\times1.0$

$=184.2\text{cm}^2$

$M_b=P_{b0}f_s j_{1.0}bd^2$

$=0.908\times1,600\times0.883\times100\times100^2\times10^{-7}$

$=128.0\text{t}\cdot\text{m}$

圧縮鐵筋

$A'_s=(M-M_b)\ \alpha/f_s j_0 d$

$=(262.0-128.0)1,975/1.6\times0.883\times1.0$

$=264.5/1,415=184.2\text{cm}^2$

$r=\frac{A'_s}{A_s}=\frac{184.2}{184.2}=1.0$로 정확해 지지만 一般的으로 r을 알기 전에 정확한 j값을 알 수 없어 2번 計算해야 할 것이다.

한편 $r=0$인 경우는 $j_0=0.866$으로 $j=0.875$에 비해

$\frac{0.866}{0.875}=0.99$(1%감소)가 된다.

그러나「韓國 鐵筋콘크리이트 構造計算規準」에 依하면『5.2.3. 보의 인장철근비가 평형철근비 이하일 때는 허용휨모멘트는 (5·16)식으로 산정할 수 있다.

$M=A_s f_s jd$ ····· (5·16)

다만 $j=7/8$로 한다.』로 규정되어 있으므로 $r=0$인 경우는 계산상 압축철근이 필요없지만 배근상 필요하여 평형철근비는 인장철근비 이상이 되어 $j=0.875$로 계산해도 일반적으로 지장이 없다.

인장철근비가 평형철근비와 같은 경우라 가정하고 $M_b=126.0\text{t}\cdot\text{m}$, $b=1,000$, $d=1,000$인 보에서 檢討해 보면 実際 引張筋은

$M_b=126.0\text{t}\cdot\text{m}$이므로

$A_{b0}=90.80\text{cm}^2$ $A_s=90.80\text{cm}^2$가 되는데 $j=0.875$로 計算한 引張鐵筋

$A_s=M_d/f_s jd=126.0/1.4\times1.0=90.0\text{cm}^2$

$\frac{90.0}{90.8}=0.99$(1%감소)가 된다.

$j=0.875$가 되는 r은

$j=jo-r\frac{(k-d'/d)\ (3d'/d-k)}{3\ (1-k)}$

$=0.866+0.017\ r=0.875$

$r=\frac{0.875-0.866}{0.017}=0.53$ 이므로

$r\geqq0.53$일 경우는 $j\geqq0.875$가 되어 安全側으로 計算되며

$r<0.53$일 경우는 圧縮鐵筋을 計算된 断面積보다 더 배근하여 引張鐵筋比가 평형철근비 이하가 되도록 하면 된다.

보다 더 安全한 보의 略算式을 제시하면 다음과 같다.

$r=(1-M_b/M_d)\alpha$ ····· (6·13)

$A_s=M_d/f_s j_0 d$ ····· (6·14)

$A'_s=rA_s$ ····· (6·15)

단 $\begin{cases}M_b=P_{b0}f_s j_0 bd^2\\ M_d=\text{설계용 휨모멘트}\end{cases}$

$M_d=262.0\text{t}\cdot\text{m}$, $b=1,000$, $d=1,000$, $d'=100$경우로 증명해 보면

$M_b=126.0\text{t}\cdot\text{m}$

$r=(1-M_b/M_d)\alpha$

$=(1-126.0/262.0)1.975=1.02$(2%증가)

$A_s=M_d/f_s j_0 d=262.0/1.6\times0.866\times1.0$

$=189.0\text{cm}^2$

$A_s/A_{sr}=189.0/184.2=1.02$(2%증가)

$A'_s=rA_s=1.02\times189.0=193.0\text{cm}^2$

$A'_s/A'_{sr}=193.0/184.2=1.04$(4%증가)

좀 더 正確히 보를 断面算定하자면

$m=\frac{(k-d'/d)\ (3d'/d-k)}{3\ (1-k)}$ ····· (6·16)

$$r_1=(1-M_b/M_d)\alpha \quad \cdots\cdots (6\cdot17)$$
$$j_1=j_0-r_1 m \quad \cdots\cdots (6\cdot18)$$
$$A_s=M_d/f_s j_1 d \quad \cdots\cdots (6\cdot19)$$
$$r_2=(1-A_{b0}/A_s)\alpha \quad \cdots\cdots (6\cdot20)$$
$$j_2=j_0-r_2 m \quad \cdots\cdots (6\cdot21)$$
$$A_s=M_d/f_s j_2 d \quad \cdots\cdots (6\cdot22)$$
$$A'_s=r_2 A_s \quad \cdots\cdots (6\cdot23)$$

에 의하면 된다.

引張鐵筋比가 평형철근비이하가 되도록 하면 보의 斷面算定의 略算式은 다음과 같다.

$$M_b=P_{b0} f_s j b d^2 \quad \cdots\cdots (6\cdot24)$$
$$r=(1-M_b/M_d)\alpha \quad \cdots\cdots (6\cdot25)$$
$$A_s=M_d/f_s jd \quad \cdots\cdots (6\cdot26)$$
$$A'_s=rA_s \quad \cdots\cdots (6\cdot27)$$

단, $j=0.875$

지난호 (2,3월호)의 예(6·1)은 圧縮鐵筋 計算에서 $M=17.00$t·m를 18.00t·m로 잘 못 계산된 것이므로 紙面을 通해 謝過드리며, 정정하면 다음과 같다.

【例】 (6·1) 휨모멘트 $M=17\cdot0$t·m를 받는 단면이 350×600인 鐵筋콘크리이트 보를 設計하라.

단, $f_s=1{,}600$kg/cm²

【해】 (6·1)

ㄱ) $f'_c=180$kg/cm²인 경우 $\alpha=1.97044$이므로 $r=0$인 평형철근비의 許容휨모멘트는 $M_b=A_{sb}\cdot f_s\cdot jd=P_{b0}\cdot bd\cdot f_s\cdot jd$

$=(0.0090672\times35\times52.5)\cdot1.600\times0.875\times0.525$

$=16.6\times1.4\times0.525=12.30$t·m

$r=(1-M_b/M_d)\alpha$

$=(1-12.30/17.00)\ 1.97044$

$=(1-0.723)\ 1.97044$

$=0.548$

引張鐵筋

$A_s=M/f_s\cdot jd=17.0/1.4\cdot0.525$

$=23.2$cm²

圧縮鐵筋

$A'_s=r\cdot A_s=0.548\times23.2$

$=12.70$cm² 4.0−D22(15.52cm²)

배근된 $r=4/6=0.66$ 이므로 평형철근비는 인장철근비 이상되어 $j=0.875$로 계산해도 되는 것이다.

ㄴ) $f'_c=210$kg/cm²인 경우 $\alpha=1.645$이므로

$r=0$인 평형철근비의 許容휨모멘트는

$M_b=A_{sb}\cdot f_s\cdot jd=(0.01158\times35\times52.5)\times1{,}600\times0.875\times0.525$

$=21.2\times1.4\times0.525=15.60$t·m

$r=(1-M_b/M_d)\ \alpha$

$=(1-15.60/17.00)\ 1.645$

$=(1-0.918)\ 1.645=0.135$

引張鐵筋은 마찬가지로

$A_s=M/f_s jd=17.0/1.4\times0.525=23.2$cm²

$\therefore$ 6−D22

圧縮鐵筋

$A'_s=rA_s=0.135\times23.2=3.13$cm²

$\therefore$ 2−D22(7.76cm²)

2−D16(3.96cm²)로 한다면

$r=3.96/23.2=0.17>0.139$로

평형철근비는 인장철근비 이상이 된다.

ㄷ) $f'_c=225$kg/cm²인 경우

$\alpha=1.520$이므로 $r=0$인 평형철근비의 許容휨모멘트는

$M_b=A_{sb}\cdot f_s\cdot jd$

$=(0.01285\times35\times52.5)\times1{,}600\times0.875\times0.525$

$=23.7\times1.4\times0.525=17.40$t·m

$M=17.00$t·m$>M_b=17\cdot40$t·m 이므로

圧縮鐵筋은 計算上 없어도 된다.

다만 스티럽(Stirrup)을 감기 위해 최소한 2대의 鐵筋만 圧縮側에 배근하면 된다. 引張鐵筋은 마찬가지로

$A_s=23.2$cm² $\quad\therefore$ 6−D22

한편 $r=0$인 평행철근비의 許容휨모멘트를 M_b라 하면 圧縮鉄筋 A'_s가 담당하는 許容휨모멘트는

$$M_\triangle=A'_s f_s jd/\alpha \quad \cdots\cdots (6.14)$$

따라서 許容저항휨모멘트

$$M_c=M_b+M_\triangle \quad \cdots\cdots (6.15)$$

로 된다.

단, M_c은 引張鉄筋의 許容저항휨모멘트를 초과할 수 없다.

$$M_t=A_s f_s jd$$

【例】 (6.2) 단면이 350×700인 鉄筋콘크리트보에 引張鉄筋은 8−D22, 圧縮鉄筋은 2−D22가 배근되

었다. 許容저항휨모멘트를 求하라.
단 $f_s=1600kg/cm^2$

【해】 (6.2)

ㄱ) $f'c=180kg/cm^2$인 경우 $\alpha=1.975$

$r=0$인 평형철근비의 許容휨모멘트는

$$M_b=A_{sb}\cdot f_s\cdot f_s\cdot jd=P_{bo}\cdot bd\cdot f_s\cdot jd$$
$$=(0.00908\times35\times62.5)\times1.600\times0.875\times0.625$$
$$=19.86\times1.4\times0.625=17.38t\cdot m$$

$$M_\triangle=A'_sf_s\,jd/\alpha$$
$$=2\times3.88\times1.4\times0.625/1.975$$
$$=7.76\times0.875/1.975$$
$$=3.44t\cdot m$$

$$M_c=17.38+3.44=20.82t\cdot m$$

$$M_t=8\times3.88\times1.4\times0.625$$
$$=31.04\times0.875=27.16t\cdot m>M_c$$

따라서 許容저항 휨모멘트

$$M=20.82\ t\cdot m$$

ㄴ) $f'_c=210kg/cm^2$인 경우 $\alpha=1.645$이므로 $r=0$인 평형철근비의 許容휨모멘트는

$$M_b=A_{sb}\cdot f_s\cdot jd=(0.01158\times35\times62.5)\times1.600\times0.875\times0.625$$
$$=25.33\times1.4\times0.625=22.16t\cdot m$$

$$M_\triangle=A'_s\ f_s\,jd/\alpha$$
$$=7.76\times0.875/1.645$$
$$=6.79/1.645=4.13t\cdot m$$

$$M_c=22.16+4.13=26.29t\cdot m<M_t$$

따라서 許容저항휨모멘트

$$M=26.29\,t\cdot m$$

ㄷ) $f'_c=225kg/cm^2$인 경우 $\alpha=1.520$이므로 $r=0$인 평행철근비의 許容휨모멘트는

$$M_b=A_{sb}\cdot f_s\cdot jd=(0.01285\times35\times62.5)\times1.600\times0.875\times0.625$$
$$=28.11\times1.4\times0.625=24.60t\cdot m$$

$$M_\triangle=A'_s\,f_s\,jd/\alpha$$
$$=7.76\times0.875/1.520$$
$$=6.79/1.520=4.47t\cdot m$$

$$M_c=24.60+4.47=29.07t\cdot m>M_t=27.16t\cdot m$$

따라서 許容저항휨모멘트

$$M=27.16t\cdot m$$

【例】(6.3) 보의 춤이 700mm인 鉄筋콘크리트 보에 引張鉄筋을 8－D22, 圧縮鉄筋을 4－D22 배근하여 許容저항 휨모멘트를 最大로 하기 위한 보의 폭 b를 求하라.

【해】 (6.3)

ㄱ) $f_c'=180kg/cm^2$

$r=4/8=0.5$ 일 때

$P=1.218\%$ 이므로

$A_s=Pbd$에서 $b=A_s/Pd$

$b=8\times3.88/(0.1218\times62.5)$

$=31.04/0.76125=40.77cm\rightarrow408mm$

許容저항휨모멘트

$M=8\times3.88\times1.4\times0.625=27.16t.m$

ㄴ) $f_c'=210kg/cm^2$

$r=4/8=0.5$ 일 때

$P=1.660\%$이므로

$b=A_s/Pd=8\times3.88/(0.01660\times62.5)$

$=31.04/1.0375=30.26cm\rightarrow303mm$

許容저항휨모멘트

$M=8\times3.88\times1.4\times0.625=27.16t.m$

ㄷ) $f_c'=225kg/cm^2$

$r=0.5$ 일 때

$P=1.920\%$이므로

$b=A_s/Pb=8\times3.88/(0.01920\times62.5)$

$=31.04/1.200=26.17cm\rightarrow262mm$

許容저항휨모멘트 $M=8\times3.88\times1.4\times0.625=27.16t\cdot m$,

보의 폭 262mm에는 4－D22가 배근될 수 없어 3단 배근이 되므로 가급적 4－D22가 배근될 수 있는 폭으로 하여 2단 배근하는 것이 좋겠다.

【例】 (6.4) 휨모멘트 $M=27.10t\cdot m$를 받는 단면이 350×700인 鉄筋콘크리트보를 設計하라.
단 $f_s=1600kg/cm^2$

【해】 (6.4)

ㄱ) $f_c'=180kg/cm^2$ 인 경우

$\alpha=1.975$이므로 引張鉄筋

$A_s=M/f_s\,jd=27.10/1.4\cdot0.625=30.97cm^2$

$\therefore8.0-D22$

$r=0$ 인 평행철근비의 許容휨모멘트는 $M_b=A_{sb}\cdot f_s\cdot jd=P_{bo}\,bd\cdot f_s\cdot jd$

$=(0.00908\times35\times62.5)\times1.600\times0.875\times0.625$

$=19.86\times1.4\times0.625=17.38t\cdot m$

圧縮鉄筋 $A'_s=(M-M_b)\alpha/f_s\cdot jd$

$=(27.10-17.38)\cdot1.975/1.4\times0.625$

$=19.197/0.875=21.94cm^2$

$\therefore5.7-D22$

$r = A_s' - A_s = 21.94/30.97 = 0.702$

ㄴ) $f_c' = 210 kg/cm^2$ 인 경우 $\alpha = 1.645$이므로 引張鉄筋은 마찬가지로

$A_s = M/f_s \cdot jd = 27.10/1.4 \cdot 0.625 = 30.97 cm^2$

$\therefore 8.0 - D22$

$r = 0$ 인 평형철근비의 許容휨 모멘트는

$M_b = A_{sb} \cdot f_s \cdot jd = P_{bo} \cdot bd \cdot f_s \cdot jd$

$= (0.01158 \times 35 \times 62.5) \times 1.600 \times 0.875 \times 0.625$

$= 25.33 \times 1.4 \times 0.625 = 22.16 t \cdot m$

圧縮鉄筋 $A_s' = (M - M_b)\alpha / f_s jd$

$= (27.10 - 22.16) \cdot 1.645/1.4 \times 0.625$

$= 8.126/0.875 = 9.32 cm^2$

$\therefore 2.4 - D22$

$r = A_s'/A_s = 9.32/30.97 = 0.304$

ㄷ) $f_c' = 225 kg/cm^2$ 인 경우 $\alpha = 1.520$이므로 引張鉄筋은 마찬가지로

$A_s = 30.97 cm^2$ $\therefore 8.0 - D22$

$r = 0$ 인 평행철근비의 許容휨 모멘트는

$M_b = A_{sb} \cdot f_s \cdot jd = (0.01285 \times 35 \times 62.5) \times 1.600 \times 0.875 \times 0.625$

$= 28.11 \times 1.4 \times 0.625 = 24.60 t \cdot m$

圧縮鉄筋 $A_s' = (M - M_b)\alpha / f_s jd$

$= (27.10 - 24.60) \cdot 1.520/1.4 \times 0.625$

$= 3.80/0.875 = 4.33 cm^2$

$\therefore 1.2 - D22$

$r = A_s'/A_s = 4.33/30.97 = 0.141$

7. 日本舊規準에 依한 평형철근비

日本建築学会 規準(1962)에 依하면 弾性係数比 n이 콘크리트의 強度에 따라, 長期 短期에 따라 다르므로, 평형철근비도 韓国規準과는 差異가 생긴다.

$f_c' = 180 kg/cm^2$, $f_c' = 210 kg/cm^2$, $f_c' = 225 kg/cm^2$인 콘크리트의 평형철근비를 引張鉄筋과 圧縮鉄筋의 比 $r = 0$, 0.1~1.0일 때 (5.11)식에 依해 求해 보면 다음과 같게 된다.

허용휨압축 응력도는 $f_c = 1/3 f_c'$이므로

$f_c = 60 kg/cm^2$, $f_c = 70 kg/cm^2$, $f_c = 75 kg/cm^2$가 된다.

r	$f_c' = 180$	$f_c' = 210$	$f_c' = 225$
0	0.888	1.070	1.163
0.1	0.956	1.160	1.261
0.2	1.034	1.266	1.379
0.3	1.128	1.400	1.521
0.4	1.240	1.540	1.695
0.5	1.376	1.740	1.915
0.6	1.547	1.990	2.200
0.7	1.765	2.330	2.584
0.8	2.055	2.810	3.131
0.9	2.460	3.510	3.972
1.0	3.062	4.630	5.430

【例】 (7.1) 휨모멘트 $M = 27.10 t \cdot m$를 받는 단면이 350×700인 鉄筋콘크리트보를 設計하라.

단, $f_s = 1{,}600 kg/cm^2$

【해】 (7.1)

ㄱ) $f_c' = 180 kg/cm^2$ 인 경우

$\alpha = 1.410$이므로 引張鉄筋

$A_s = M/f_s jd = 27.10/1.4 \cdot 0.625 = 30.97 cm^2$

$\therefore 8.0 - D22$

$r = 0$ 인 평형철근비의 許容휨 모멘트는

$M_b = A_{sb} \cdot f_s \cdot jd = P_{bo} \cdot bd \cdot f_s \cdot jd$

$= (0.00888 \times 35 \times 62.5) \times 1.600 \times 0.875 \times 0.625$

$= 17.20 \times 1.4 \times 0.625 = 15.05 t \cdot m$

圧縮鉄筋 $A_s' = (M - M_b)\alpha / f_s \cdot jd$

$= (27.10 - 15.05) \cdot 1.410/1.4 \times 0.625$

$= 17.00/0.875 = 19.45 cm^2$

$\therefore 5.0 - D22$

$r = A_s'/A_s = 19.45/30.97 = 0.629$

ㄴ) $f_c' = 210 kg/cm^2$ 인 경우 $\alpha = 1.300$이므로 引張鉄筋은 마찬가지로

$A_s = M/f_s \cdot jd = 27.10/1.4 \cdot 0.625 = 30.97 cm^2$

$\therefore 8.0 - D22$

$r = 0$ 인 평형철근비의 許容휨 모멘트는

$M_b = A_{sb} \cdot f_s \cdot jd = P_{bo} \cdot bd \cdot f_s \cdot jd$

$= (0.01070 \times 35 \times 62.5) \times 1.600 \times 0.875 \times 0.625$

$= 23.40 \times 1.4 \times 0.625 = 20.50 t \cdot m$

圧縮鉄筋 $A_s' = (M - M_b)\alpha / f_s \cdot jd$

$= (27.10 - 20.50) \cdot 1.300/1.4 \times 0.625$

$= 8.58/0.875 = 9.80 cm^2$

$\therefore 2.6 - D22$

$r=A_s'/A_s=9.80/30.97=0.317$

ㄷ) $f_c'=225\text{kg/cm}^2$인 경우 $\alpha=1.270$

引張鉄筋은 마찬가지로

$A_s=30.97\text{cm}^2$ $\therefore 8.0-\text{D}22$

$r=0$인 평형철근비의 許容휨 모멘트는

$M_b=A_{sb}\cdot f_s\cdot jd=(0.01163\times35\times62.5)\times1.600\times0.875\times0.625$

$=25.40\times1.4\times0.625=22.20t\cdot m$

圧縮鉄筋 $A_s'=(M-M_b)\alpha/f_s jd$

$=(27.10-22.20)\cdot1.270/1.4\times0.625$

$=6.22/0.875=7.12\text{cm}^2$

$\therefore$ 1.9−D22

$r=A_s'/A_s=7.12/30.97=0.231$

【例】,(7.2) 단면이 350×700인 鉄筋콘크리트 보에 引張鉄筋은 8−D22, 圧縮鉄筋은 2−D22가 배근되었다. 許容저항휨 모멘트를 求하라.

단, $f_s=1600\text{kg/cm}^2$

【해】 (7.2)

ㄱ) $f_c'=180\text{kg/cm}^2$인 경우 $\alpha=1.410$

$r=0$인 평형철근비의 許容휨 모멘트는

$M_b=A_{sb}\cdot f_s\cdot jd=P_{bo}\cdot bd\cdot f_s\cdot jd$

$=(0.00888\times35\times62.5)\times1.600\times0.875\times0.625$

$=17.20\times1.4\times0.625=15.05\ t\cdot m$

$M_\triangle=A_s\ f_s jd/\alpha$

$=2\times3.88\times1.4\times0.625/1.410$

$=7.76\times0.875/1.410$

$=4.82t\cdot m$

$M_c=15.05+4.82=19.87t.m$

$M_t=8\times3.88\times1.4\times0.625$

$=31.04\times0.875=27.16t.m>M_c$

따라서 許容저항휨 모멘트

$M=19.87t\cdot m$

ㄴ) $f_c'=210\text{kg/cm}^2$인 경우 $\alpha=1.300$이므로

$r=0$인 평형철근비의 許容휨 모멘트는

$M_b=A_{sb}\cdot f_s\cdot jd=(0.01070\times35\times62.5)\times1,600\times0.875\times0.625$

$=23.40\times1.4\times0.625=20.50t\cdot m$

$M_\triangle=A_s'f_s jd/\alpha$

$=7.76\times0.875/1.300$

$=6.79/1.300=5.21t\cdot m$

$M_c=20.50+5.21=25.71t\cdot m<M_t$

따라서 許容저항휨모멘트

$M=25.71t\cdot m$

ㄷ) $f_c'=225\text{kg/cm}^2$인 경우 $\alpha=1.270$이므로

$r=0$인 평형철근비의 許容휨 모멘트는

$M_b=A_{sb}\cdot f_s\cdot jd=(0.01163\times35\times62.5)\times1.600\times0.875\times0.625$

$=25.40\times1.4\times0.625=22.20t\cdot m$

$M_\triangle=A_s'f_s jd/\alpha$

$=7.76\times0.875/1.27$

$=6.79/1.270=5.33t\ m$

$M_c=22.20+5.33=27.53t\cdot m>M_t=27.16t\cdot m$

따라서 許容저항휨 모멘트

$M=27.16t\cdot m$

【例】 (7.3) 보의 춤이 700mm인 鉄筋콘크리트 보에 引張鉄筋을 8−D22, 圧縮鉄筋을 4−D22 배근하여 許容저항휨모멘트를 最大로 하기 위한 보의 폭 b를 求하라.

【해】 (7.3)

ㄱ) $f_c'=180\text{kg/cm}^2$

$r=4/8=0.5$일 때

$P=1.376\%$이므로

$A_s=Pbd$에서 $b=A_s/P_d$

$b=8\times3.88/(0.01376\times62.5)$

$=31.04/0.86=36.09\text{cm}\rightarrow361\text{mm}$

許容저항휨모멘트

$M=8\times3.88\times1.4\times0.625=27.16t\cdot m$

ㄴ) $f_c'=210\text{kg/cm}^2$

$r=4/8=0.5$일 때

$P=1.740\%$이므로

$b=A_s/P_d=8\times3.88/(0.01740\times62.5)$

$=31.04/1.0875=28.54\text{cm}\rightarrow286\text{mm}$

許容저항휨 모멘트 $M=8\times3.88\times1.4\times0.625=27.16t\cdot m$

이 경우도 2단 배근이 될 수 있도록 보의 폭을 늘이는 것이 좋겠다.

ㄷ) $f_c'=225\text{kg/cm}^2$

$r=0.5$ 일 때

$P=1.915\%$이므로

$b=A_s/P_d=8\times3.88/(0.01915\times62.5)$

$=31.04/1.190=26.10\text{cm}\rightarrow261\text{mm}$

許容저항휨 모멘트 $M=8\times3.88\times1.4\times0.625$

$=27.16t\cdot m$