

# 압거의 수리 및 응력계산

## Hydraulic Computation and Stress Analysis of Box Culvert.

함 준 호\* 류 기 송\*  
Jun Ho Ham Ki Song Ryu

### Summary

Hydraulic computations to determine the elevation of canal bottom and water surface for box type concrete culverts are discussed.

Velocity and cross sectional area of flow are computed from Manning's formula.

And then head loss and velocity head are considered to determine the elevation of bottom and water surface. For stress analysis, 13.5 ton live load and earth pressure are considered.

Also longitudinal stress of box culverts is checked.

요통수단면을 구하고 물이 압거를 통과할때 생기는 손실수두와 유속수두에 따라 수로의 바닥표고와 수면고를 결정하는 방법을 다루어 실무자가 수로계획을 하는데 참고가 되도록 하였다.

응력계산은 도로밀에 매설하는 압거로서 2등급(D-13.5)하중을 활하중으로 하여 휨모멘트와 전단력을 구하고 이에 대응하는 압거 부재의 두께 및 철근량계산과 압거 종방향응력도의 검토방법을 소개하기로 한다.

## II. 압거의 수리계산

### 1. 조 건

형식 : box culvert 1련( $b' \times h'$ ) = (2.0 × 1.5m)

길이 :  $l = 14m$

소요통수량 :  $Q = 4.71m^3/sec$

압거의 유입, 유출구는 직선형완화공으로 한다.

## I. 서 론

매닝(Manning)공식으로 압거 및 상하류수로의 소

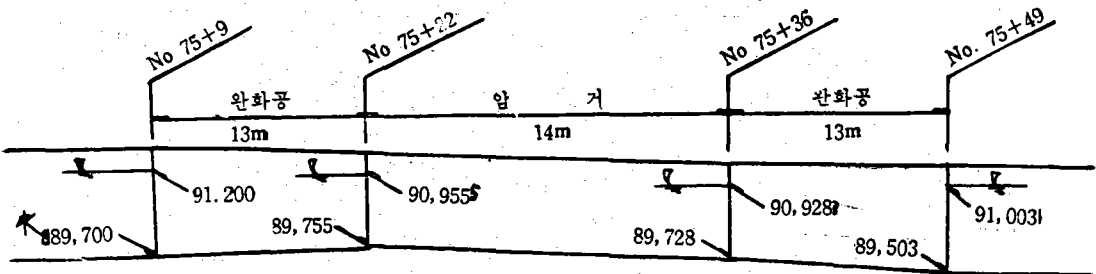


그림 1 수로계획고

계산 공식

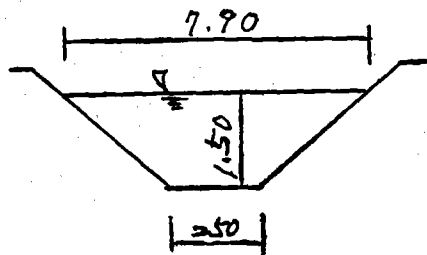
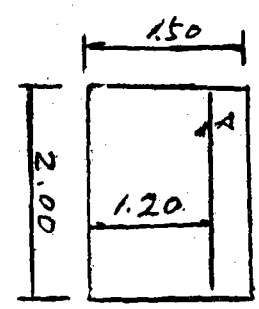
$$Q = A \cdot V \text{ (m}^3\text{/sec)}$$

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}$$

\*농업진흥공사

표 1

유량 계산표

구분	상류	하류	암거	하류
단면				상류와 같다
A(m <sup>2</sup> )	7.800		2.400	"
V(m/sec)	0.604		1.963	"
Hv(m)	0.019		0.197	"
R	0.899		0.545	"
N	0.025		0.015	"
I	0.000263		0.00195	"
Q(m <sup>3</sup> /sec)	4.711		4.711	"

2. 완화공의 길이

완화공의 길이는 다음 식으로 구한다.

$$l = \frac{B-b}{2} \cot \alpha$$

$$= \frac{7.90-2.00}{2} \cot 12^\circ - 30' \approx 13m$$

- 여기서  $l$  = 완화공의 길이 (m)
- $b$  = 암거의 수면나비 (m)
- $B$  = 암거상(하)류 수로의 수면나비 (m)
- $\alpha$  = 완화공 상하류수로의 수면나비를 연결한 직선과 수로중심선 사이의 각 ( $12^\circ - 30' \sim 25^\circ$ )

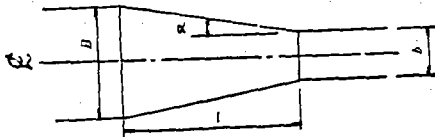


그림 2 완화공 길이

3. 손실수두

가. 입구 완화공

1) 마찰;  $L_1 \times \frac{I_1 + I_2}{2}$

$$= 13 \times \frac{0.000263 + 0.00195}{2} = 0.014m$$

2) 단면축소;  $f_1(hv_2 - hv_1) = 0.3(0.197 - 0.019) = 0.053m$

계 0.067m

여기서  $L_1$  = 입구완화공 길이 (m)

$I_1$  = 상류수로의 수면기울기

$I_2$  = 암거의 수면기울기

$f_1$  = 단면축소손실계수 (0.30, 그림 3. 참조)

$hv_2$  = 암거의 유속수두 (m)

$hv_1$  = 상류수로의 유속수두 (m)

나. 암거

마찰;  $L_2 \times I_2 = 14 \times 0.00195 = 0.027m$

여기서  $L_2$  = 암거의 길이 (m)

$I_2$  = 암거의 수면기울기 (m)

다. 출구완화공

1) 마찰;  $L_3 \times \frac{I_2 + I_3}{2}$

$$= 13 \times \frac{0.00195 + 0.000263}{2} = 0.014m$$

2) 단면확대;  $f_2(hv_2 - hv_3) = 0.5(0.197 - 0.019) = 0.103m$

계 0.103m

여기서  $L_3$  = 출구완화공 길이 (m)

$I_3$  = 하류수로의 수면기울기

$f_2$ =단면확대 손실계수(0.50, 그림. 3참조)

라. 전손실 수두

$$\Sigma \Delta h = 0.067 + 0.027 + 0.103 = 0.197m$$

4. 수로의 바닥표고 및 수면고계산

표 2

수로바닥 및 수면고 계산표

측점	길이	단면	손실수두	에너지선고	유속수두	수면고	수심	수로바닥고
No. 75+9	m	—	m	91.219	0.019m	91.200 <sup>m</sup>	1.500 <sup>m</sup>	89.700 <sup>m</sup>
—	13	완화공	0.067	—	—	—	—	—
No. 75+22	—	—	—	91.152	0.197	90.955	1.200	89.755
—	14	암거	0.027	—	—	—	—	—
No. 75+36	—	—	—	91.125	0.197	90.928	1.200	89.728
—	13	완화공	0.103	—	—	—	—	—
No. 75+49	—	—	—	91.022	0.019	91.003	1.500	89.503

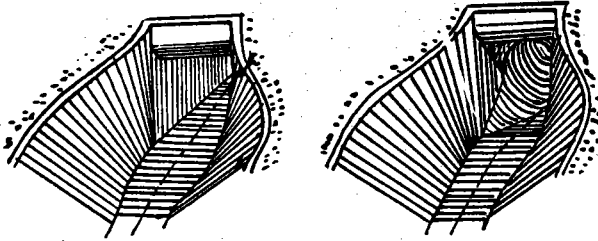
계산검토

가. 상하류 수면차 =  $\Sigma \Delta h + (h_{v2} - h_{v1}) = 0.197m$

나. 상하류 수면차 = (No. 75+9의 수면고)

— (No. 75+49의 수면고)

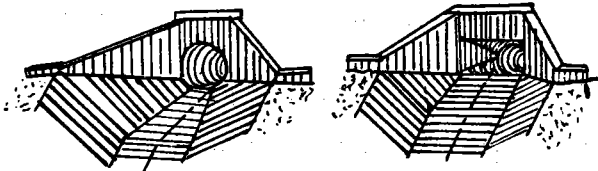
$$= 91.200 - 91.003 = 0.197m$$



Closed transition이 없을 때  
 단면 축소 손실계수  $f_1 = 0.10$   
 단면 확대 손실계수  $f_2 = 0.20$

Closed transition이 있을 때  
 단면 축소 손실계수  $f_1 = 0.10$   
 단면 확대 손실계수  $f_2 = 0.20$

(1) 유선형



(2) 직선형

Closed transition이 없을 때  
 단면 축소 손실계수  $f_1 = 0.40$   
 단면 확대 손실계수  $f_2 = 0.70$

Closed transition이 있을 때  
 단면 축소 손실계수  $f_1 = 0.30$   
 단면 확대 손실계수  $f_2 = 0.50$

그림 3. 완화공 형상에 따른 손실 계수(그림 2에서  $\alpha = 12^\circ - 30^\circ$  일 때 실험치)

### Ⅲ. 압거의 응력계산

#### 1. 설계조건

철근콘크리트 box culvert 1현 ( $l=2.00m$ ,  $h'=1.50m$ )으로 도로면에서 3m 깊이에 매설되어 있다, 지반의 허용 지내력은  $30t/m^2$ 이다.

표 3 허용 응력도

콘크리트	휨압축 응력도	$\delta_{ca}=65kg/cm^2$
	전단응력도(슬래브)	$\tau_a=7.40kg/cm^2$
	부착응력도	$\tau_{oa}=11.10kg/cm^2$
철근	인장응력도	$\delta_{sa}=1,300kg/cm^2$

#### 2. 단면 가정

box culvert의 단면가정은 다음과 같이 한다.

##### 가. 강비

그림 4. 참조

- 1) span  $l=l'$ (경간) $\times 1.1=2.0 \times 1.1=2.20m$
- 2) 측면높이  $h=h'$ (수평부재 내면간의 거리)  
 $\times 1.1=1.5 \times 1.1=1.65m$
- 3)  $t_1=t_2$

이상과 같이 가정하면

$I_1=I_2$ 이므로

$$\text{강비 } K = \frac{I_2}{I_1} \times \frac{h}{l} = \frac{1.65}{2.20} = 0.75$$

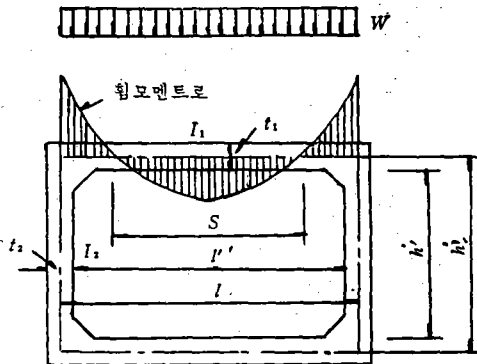


그림 4 등분포 하중을 받는 압거의 휨모멘트

##### 나. 슬래브의 두께

슬래브의 두께는 다음식으로 구한다.

$$S = l \sqrt{\frac{1+3k}{3(1+k)}} = 2.20 \sqrt{\frac{1+3 \times 0.75}{3(1+0.75)}} = 1.73m$$

span의 슬래브두께와 S의 관계는  $S < 4m$  일 때  $t = \left(\frac{1}{10} \sim \frac{1}{8}\right)S$ 이므로

$$t = \frac{1}{9}S = \frac{173}{9} = 19.2 \approx 20cm$$

여기서 S; 등분포 하중을 받는 box culvert 수평부재의 B.M.D.(그림 3. 참조)에서 모멘트가 0되는 절간의 거리(m)

$l$ ; span 길이(m)

$h$ ; 강비

$t$ ; 슬래브의 두께(cm)

이상과 같이 압거의 단면을 그림 5.와 같이 가정한다.

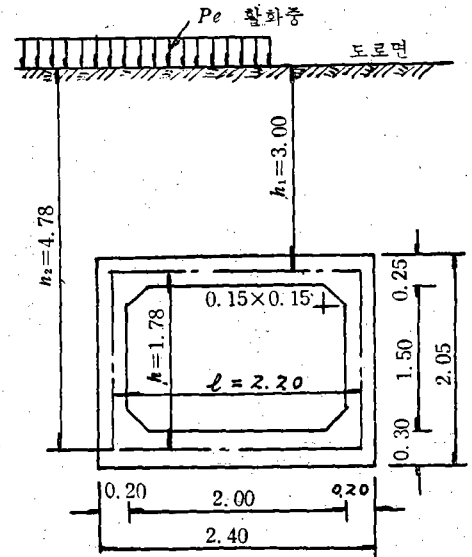


그림 5 압거의 하중재하도

#### 3. 작용하중

##### 가. 활하중

활하중은 대한토목학회 발행[강도로교 설계표준시방서](1964년)에 규정된 2등교의 하중을 사용하기로 한다. 하중의 도로면하 압력분포 상태는 토질, 밀도, 재하상태에 따라 다르나 그림 5와 같이 45°로 분포하는 것으로 본다.

$$\text{충격계수 } i = \frac{7}{20+l} = \frac{7}{20+2.2} = 0.315$$

$$h = \frac{1.80 - 0.375}{2} = 0.71m$$

$$L_1 = 0.20 + 2H(m)$$

$$L_2 = 0.375 + 2H_1(m)$$

13.5t 하중

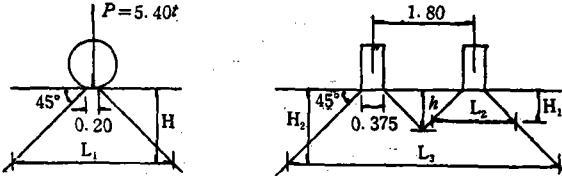
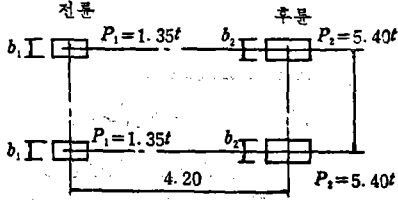


그림 6 자동차 하중 분포도

$$L_0 = (1.80 + 0.375) + 2H_2 = 2.175 + 2H_2 \text{ (m)}$$

$H \leq 0.71\text{m}$  일 때

$$P_e = \frac{P_2(1+i)}{L_1 \times L_2} = \frac{P_2(1+i)}{(2H+0.20)(2H+0.375)} \text{ (t/m}^2\text{)}$$

$H > 0.71\text{m}$  일 때

$$P_e = \frac{2P_2(1+i)}{L_1 \times L_2} = \frac{2P_2(1+i)}{(2H+0.20)(2H+2.175)} \text{ (t/m}^2\text{)}$$

여기서  $H = 3.0\text{m} > 0.71\text{m}$  이므로

$$P_e = \frac{2 \times 5.40\text{t}(1+0.315)}{(2 \times 3 + 0.20)(2 \times 3 + 2.175)} = 0.280 \text{ (t/m}^2\text{)}$$

나. 정하중

1) 정판에 작용하는 하중

$$\left. \begin{array}{l} \text{토사 } 1.600 \text{ t/m}^3 \times 3\text{m} \\ \quad = 4.800 \text{ t/m}^2 \\ \text{자중 } 2.400 \text{ t/m}^3 \times 0.25\text{m} \\ \quad = 0.600 \text{ t/m}^2 \end{array} \right\} 5.400 \text{ t/m}^2$$

정판에 작용하는 전하중

$$W_1 = P_e + D_e = 0.280 + 5.400 = 5.680 \text{ t/m}^2$$

2) 측벽에 작용하는 토압

본설계에서는 Rankine 공식으로 토압을 구하기로 한다.

흙의 내부 마찰각  $\theta = 30^\circ$

흙의 단위중량  $W = 1.600 \text{ t/m}^3$

$$\text{토압계수 } K = \frac{1 - \sin\theta}{1 + \sin\theta} = \frac{1 - \sin 30^\circ}{1 + \sin 30^\circ} = \frac{1}{3}$$

$$P_1 = KWH_1 = \frac{1}{3} \times 1.600 \times 3.00 = 1.600 \text{ t/m}^2$$

$$P_2 = KWH_2 = \frac{1}{3} \times 1.600 \times 4.78 = 2.549 \text{ t/m}^2$$

3) 저판에 작용하는 하중

저판에는 정판과 측벽의 자중이 등분포로 작용하는 것으로 보며 저판의 자중은 무시한다.

유수하중은 저판을 통하여 직접지반에 전달되므로 하중계산에서 생략한다.

$$W_2 = W_1 + \frac{\text{양측벽자중}}{l} = 5.680 + \frac{2 \times 0.2 \times 1.5 \times 2.4200}{2.20} = 6.335 \text{ t/m}^2$$

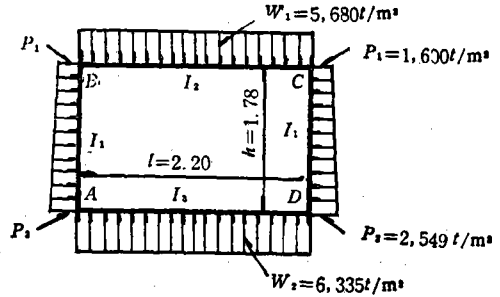


그림 7 압거의 작용하중

4) 온도변화 및 건조수축

본설계에서는 지하에 매설되는 구조물이므로 기온의 영향이 적은 것으로 보아 온도영향을 무시한다.

콘크리트 건조수축은 지하매설물로서 상하 또는 좌우 부재가 동일하게 수축을 이루는 것으로 보아 그 영향을 무시한다.

4. 라아멘 계산

압거에 작용하는 하중강도는 그림 7. 참조

가. 강 비

$$\alpha = \frac{I^2}{l} \times \frac{h}{I_1} = \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2 \times \frac{h}{l} = \left(\frac{0.25}{0.20}\right)^2 \times \frac{1.78}{2.20} = 1.580$$

$$\beta = \frac{I^2}{l} \times \frac{h}{I_1} = \left(\frac{t^2}{t_1}\right)^2 \times \frac{h}{l} = \left(\frac{0.30}{0.20}\right)^2 \times \frac{1.78}{2.20} = 2.730$$

나. 하중항

$$C_{AB} = \frac{h^2}{60} (3P_2 + 2P_1) = \frac{1.78^2}{60} (3 \times 1.600 + 2 \times 2.549) = 0.523 \text{ t} \cdot \text{m}$$

$$C_{BA} = \frac{h^2}{60} (2P_2 + 3P_1) = \frac{1.78^2}{60} (2 \times 1.600 + 3 \times 2.549) = 0.573 \text{ t} \cdot \text{m}$$

$$C_{BC} = \frac{W_1 l^2}{12} = \frac{5.680 \times 2.2^2}{12} = 2.291 \text{ t} \cdot \text{m}$$

$$C_{AD} = \frac{W_2 l^2}{12} = \frac{6.335 \times 2.2^2}{12} = 2.555 t \cdot m$$

다. 요약

$$\theta_A = \frac{(2+\alpha)(C_{AB}-C_{AD})-(C_{BC}-C_{BA})}{(2+\alpha)(2+\beta)-1}$$

$$= \frac{(2+1.580)(0.523-2.555)-(2.291-0.573)}{(2+1.580)(2+2.730)-1}$$

$$= -0.5643 \text{ (시계반대방향으로 휨)}$$

$$\theta_B = \frac{(2+\beta)(C_{BC}-C_{BA})-(C_{AB}-C_{AD})}{(2+\alpha)(2+\beta)-1}$$

$$= \frac{(2+2.730)(2.291-0.573)-(0.523-2.555)}{(2+1.580)(2+2.730)-1}$$

$$= 0.6375 \text{ (시계 방향으로 휨)}$$

라. 단휨모우멘트

$$M_{AB} = (2\theta_A + \theta_B) - C_{AB}$$

$$= 2 \times (-0.5643) + 0.6375 - 0.523$$

$$= -1.014 t \cdot m$$

$$M_{AD} = \beta\theta_A + C_{AD} = 2.730 \times (-0.5643) + 2.555$$

$$= -1.014 t \cdot m$$

$$M_{BA} = (2\theta_B + \theta_A) + C_{BA} = 2 \times 0.6375 + 0.573$$

$$= 1.284 t \cdot m$$

$$M_{BC} = \alpha\theta_B - C_{BC} = 1.580 \times 0.6375 - 2.291$$

$$= -1.284 t \cdot m$$

검산

$$M_{AB} + M_{AD} = -1.014 + 1.014 = 0$$

$$M_{BA} + M_{BC} = 1.284 - 1.284 = 0$$

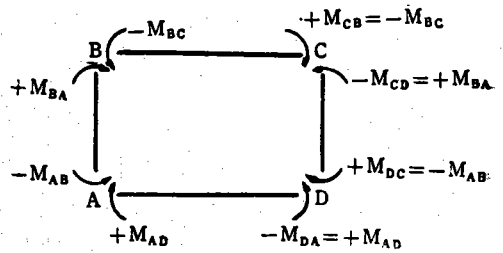


그림 8 단모우멘트 작용방향

마. 각 부재의 휨모우멘트 및 전단력

1) 정판

$$S_B = R_B = \frac{W_1 l}{2} = \frac{5.680 \times 2.20}{2} = 6.248 t$$

$$S_C = -R_C = -6.248 t$$

+M<sub>max</sub>가 생기는 위치

$$x = \frac{R_B}{W_1} = \frac{6.248}{5.680} = 1.10 m$$

$$M_{max} = \frac{W_1 l x}{8} + M_{BC} = \frac{5.680 \times 2.2^2}{8} - 1.284$$

$$= 2.152 t \cdot m$$

모우멘트가 0되는 위치

$$C = \frac{-M_{BC}}{W_1} = \frac{1.284}{5.680} = 0.226$$

$$\therefore x = \frac{\pm l \sqrt{l^2 - 8C}}{2} = \frac{2.2 \pm \sqrt{2.2^2 - 8 \times 0.226}}{2}$$

$$= \begin{cases} 0.23 m \\ 1.97 m \end{cases}$$

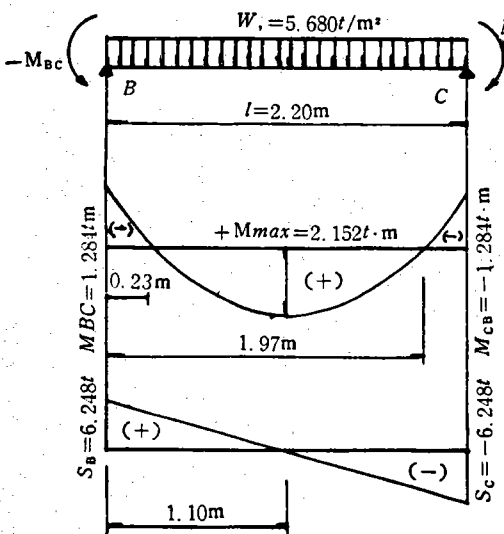


그림 9 정판의 모우멘트 및 전단력도

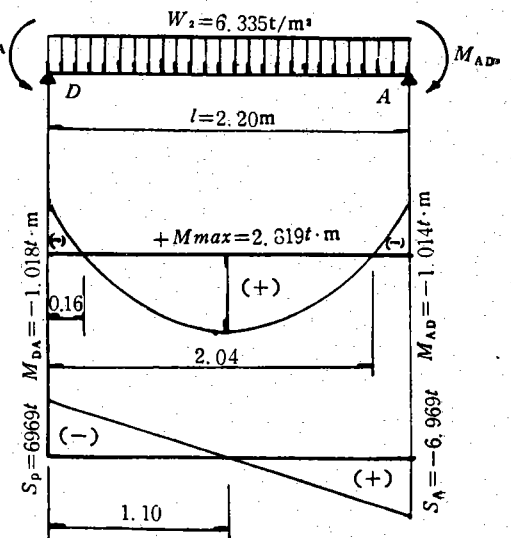


그림 10 저판의 모우멘트 및 전단력도

2) 저 판

$$S_D = R_D = \frac{W_1 l}{2} = \frac{6.335 \times 2.20}{2} = 6.969t$$

$$S_A = -R_A = -6.969t$$

$$M_{max} = \frac{W_1 l^2}{8} + M_{DA} = \frac{6.335 \times 2.20^2}{8} - 1.014 = 2.819t \cdot m$$

모멘트가 0되는 위치

$$C = \frac{-M_{DA}}{W_1} = \frac{1.014}{6.335} = 0.160$$

$$x = \frac{l \pm \sqrt{l^2 - 8C}}{2} = \frac{2.20 \pm \sqrt{2.20^2 - 8 \times 0.160}}{2} = \begin{cases} 0.16m \\ 2.04m \end{cases}$$

3) 축 벽

$$S_A = R_A = \frac{P_1 h}{2} + \frac{(P_2 - P_1)h}{3} - \frac{M_{AB} + M_{BA}}{h}$$

$$= \frac{1.600 \times 1.78}{2} + \frac{(2.549 - 1.600)1.78}{3} - \frac{-1.014 + 1.284}{1.78}$$

$$= 1.835t$$

$$S_B = -R_B = -\frac{P_1 h}{2} - \frac{(P_2 - P_1)h}{6}$$

$$-\frac{M_{AB} + M_{BA}}{h} = -\frac{1.600 \times 1.78}{2}$$

$$-\frac{(2.549 - 1.600)1.78}{6}$$

$$-\frac{-1.014 + 1.284}{1.78} = -1.858t$$

+  $M_{max}$  ( $-M_{min}$ )의 위치

$$A = \frac{P_2 - P_1}{h} = \frac{2.549 - 1.600}{1.78} = 0.533$$

$$x = \frac{P_2 - \sqrt{P_2^2 - ZAR_A}}{A} = \frac{2.549 - \sqrt{2.549^2 - 2 \times 0.533 \times 1.835}}{0.533}$$

$$= 0.78m$$

$$-M_{min} = R_A x + \frac{P_2 - P_1}{6h} x^3 - \frac{P_2}{2} x^2 + M_{AB}$$

$$= 1.835 \times 0.78 + \frac{2.549 - 1.600}{6 \times 1.78}$$

$$\times 0.78^3 - \frac{2.549}{2}$$

$$\times 0.78^2 - 1.014$$

$$= -0.327t \cdot m$$

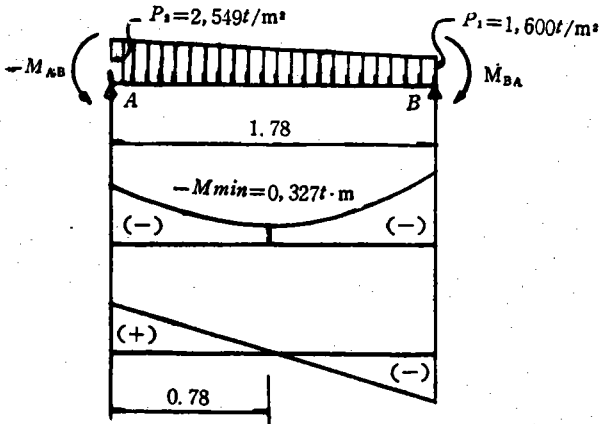


그림 11 축벽의 모우먼트 및 전단력도

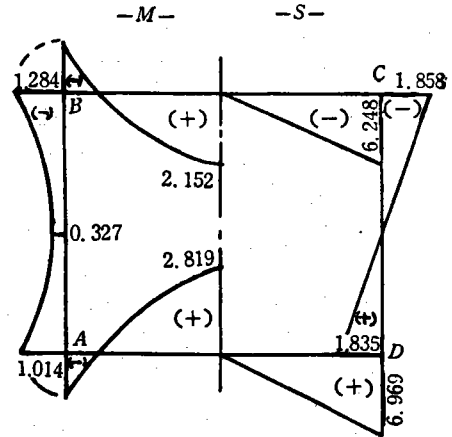


그림 12 모우먼트 및 전단력도

4) 휨모멘트도 및 전단력도

이상의 계산결과 각부재의 휨모멘트 및 전단력은 그림 12와 같다.

5. 부재단면의 검토

본설계에서는 축방향력을 무시하고 계산하기로 한다.

가. 정판(B~C)

1) span 중앙

$$M = 2.152t \cdot m \text{ (그림 12참조)}$$

$$\delta_{ca} = 65kg/cm^2, \delta_{sa} = 1300kg/cm^2, n = 10 \text{일때}$$

$$C_1 = 0.322, C_2 = 0.00268$$

$$d = C_1 \sqrt{\frac{M}{b}} = 0.322 \sqrt{\frac{215200}{100}} = 14.9cm$$

가정두께를 사용하면 유효고는

$$d = t - d' = 25 - 5 = 20 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{M}{\delta_{sajd}} = \frac{215200}{1300 \times 7/8 \times 20} = 9.46 \text{ cm}^2$$

$D_{16}(A_s = 1.986 \text{ cm}^2)$ 을 사용하면 철근간격은

$$S = \frac{1.986}{9.46} = 0.21 \div 0.20 \text{ m}$$

철근을 0.20m 간격으로 배근하면

$$A_s = 1.986 \times \frac{1}{0.20} = 9.93 \text{ cm}^2$$

철근의 중심간격은 최대 휨모멘트가 생기는 단면에서 슬라브 두께의 2배 이하 또는 30cm 이하로 하며 철근과 콘크리트가 일체로 작용하도록 시공이 가능한 범위내에서 철근간격을 좁인다.

본설계에서 압축철근은 필요 없으나 안전상 상층에 정철근의  $\frac{1}{3}$ 을 배근한다.

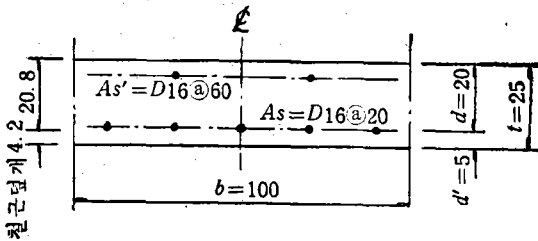


그림 13 정판슬라브의 중앙단면

그림 13과 같이 휨모멘트만을 받는 복철근 구형단면으로 응력도를 구하면

$$P = \frac{A_s}{bd} = \frac{9.93}{100 \times 20} = 0.0050,$$

$$P' = \frac{P}{3} = 0.0017, \quad d = 20 \text{ cm}, \quad d' = 5 \text{ cm},$$

$$\frac{d'}{d} = 0.25, \quad n = 10$$

$$K = \sqrt{2n(P + P' \frac{d'}{d}) + n^2(P + P')^2} - n(P + P') = 0.269$$

$$L_c = \frac{k}{2} \left(1 - \frac{k}{3}\right) + \frac{np'}{k} \left(k - \frac{d'}{d}\right) \left(1 - \frac{d'}{d}\right) = 0.123$$

$$\delta_c = \frac{M}{bd^2 L_s} = \frac{215200}{100 \times 20^2 \times 0.123} = 43.7 \text{ kg/cm}^2 < 65 \text{ kg/cm}^2$$

$$\delta_s = \frac{n\delta_c(1-k)}{k} = \frac{10 \times 43.7(1-0.269)}{0.269} = 1188 \text{ kg/cm}^2 < 1300 \text{ kg/cm}^2$$

압축철근을 무시하고 휨모멘트만을 받는 단철근 구형단면으로 응력도를 구할 때는 다음과 같이 구한다.

$$P = \frac{A_s}{bd} = \frac{9.93}{100 \times 20} = 0.0050$$

$$P = 0.0050, \quad n = 10 \text{ 일 때 표에서}$$

$$k = 0.271, \quad j = 0.910$$

$$\delta_c = \frac{2M}{kjb d^2} = \frac{2 \times 215200}{0.271 \times 0.910 \times 100 \times 20^2} = 43.6 \text{ kg/cm}^2 < 65 \text{ kg/cm}^2$$

$$\delta_s = \frac{M}{A_s j d} = \frac{215200}{9.93 \times 0.910 \times 20} = 1191 \text{ kg/cm}^2 < 1300 \text{ kg/cm}^2$$

## 2) B 점

설계의 안전상 아아멘부재의 접합부인 B 지점의 설계단면 및 휨모멘트는 그림 14와 같이 축변전면 및 정판의 하면까지 이동하여 계산한다.

가정두께를 사용하면 유효고는

$$d = 25 + \frac{15}{3} - 5 = 25 \text{ cm (haunch 가산)}$$

$$A_s = \frac{M}{\delta_{sajd}} = \frac{128400}{13000 \times 7/8 \times 25} = 4.51 \text{ cm}^2$$

$D_{16}$ 을 0.20m 간격으로 배근한다

$$A_s = 9.93 \text{ cm}^2$$

휨모멘트만을 받는 복철근 구형단면으로 응력도를 구하면

$$P = \frac{9.93}{100 \times 25} = 0.0040, \quad P' = \frac{P}{3} = 0.013$$

$$d = 25 \text{ cm}, \quad d' = 5 \text{ cm}, \quad \frac{d'}{d} = 0.20$$

정판의 span 중앙에서와 같이  $K$ 와  $L_c$ 를 구하면

$$K = 0.244, \quad L_c = 0.114$$

$$\delta_c = \frac{128400}{100 \times 25^2 \times 0.114} = 18.0 \text{ kg/cm}^2 < 65 \text{ kg/cm}^2$$

$$\delta_s = \frac{10 \times 18.0(1-0.244)}{0.244} = 557 \text{ kg/cm}^2 < 1300 \text{ kg/cm}^2$$

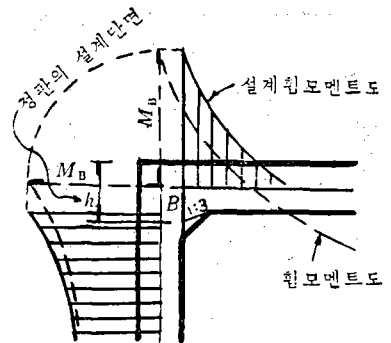


그림 14 B 지점의 설계단면 및 휨모멘트도

나. 저판(A~D)

1) span 중앙

$$M = 2.819 \text{ t} \cdot \text{m (그림 12. 참조)}$$



$$d = 0.322 \sqrt{\frac{281900}{100}} = 17.1 \text{ cm}$$

가정 두께를 사용하면

$$d = 30 - 5 = 25 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{281900}{1300 \times 7/8 \times 25} = 9.91 \text{ cm}^2$$

$D_{10}$ 을 사용하면 철근간격은

$$S = \frac{1.986}{9.91} = 0.20 \text{ m}, A_s = 9.93 \text{ cm}^2$$

여유를 보아 압축축에 정철근의  $\frac{1}{3}$ 을 배근한다.

휨모멘트만을 받는 복철근 구형단면으로 응력도를 구하면

$$P = \frac{9.93}{100 \times 25} = 0.004, P' = 0.0015$$

$$d = 25 \text{ cm}, d' = 5 \text{ cm}, \frac{d'}{d} = 0.20$$

정판의 span 중앙에서와 같이  $K$ 와  $L_c$ 를 구하면  $K = 0.244, L_c = 0.114$

$$\delta_c = \frac{281900}{100 \times 25^2 \times 0.114} = 39.6 \text{ kg/cm}^2 < 65 \text{ kg/cm}^2$$

$$\delta_s = \frac{10 \times 39.6(1 - 0.244)}{0.244} = 1227 \text{ kg/cm}^2 < 1300 \text{ kg/cm}^2$$

#### 2) A 점

$$M = 1.014 \text{ t} \cdot \text{m} \text{ (그림 12 참조)}$$

가정 두께를 사용하면

$$d = 30 + \frac{15}{3} - 5 = 30 \text{ cm (haunch 포함)}$$

$$A_s = \frac{101400}{1300 \times 7/8 \times 30} = 2.97 \text{ cm}^2$$

$D_{10}$ 을 0.20m 간격으로 배근한다.

$$A_s = 9.93 \text{ cm}^2$$

휨모멘트만을 받는 복철근 구형단면으로 응력도를 구하면

$$P = \frac{9.93}{100 \times 30} = 0.0033, P' = 0.0011$$

$$d = 30 \text{ cm}, d' = 5 \text{ cm}, \frac{d'}{d} = 0.17$$

정판의 span 중앙에서와 같이  $K$ 와  $L_c$ 를 구하면  $K = 0.224, L_c = 0.107$

$$\delta_c = \frac{101400}{100 \times 30^2 \times 0.107} = 10.5 \text{ kg/cm}^2 < 65 \text{ kg/cm}^2$$

$$\delta_s = \frac{10 \times 10.5(1 - 0.224)}{0.224} = 364 \text{ kg/cm}^2 < 1300 \text{ kg/cm}^2$$

#### 다. 측 벽

##### 1) B 점

$$M = 1.284 \text{ t} \cdot \text{m} \text{ (그림 12. 참조)}$$

$$d = 0.322 \sqrt{\frac{128400}{100}} = 11.5 \text{ cm}$$

가정 두께를 사용하면

$$d = 20 + \frac{15}{3} - 5 = 20 \text{ cm (haunch)}$$

$$A_s = \frac{128400}{1300 \times 7/8 \times 20} = 5.64 \text{ cm}^2$$

$D_{10}$ 로 0.20m 간격으로 배근한다.

$$A_s = 9.93 \text{ cm}^2$$

휨모멘트만을 받는 복철근 구형단면으로 응력도를 구하면

$$P = \frac{9.93}{100 \times 20} = 0.005, P' = 0.0017$$

$$d = 20 \text{ cm}, d' = 5 \text{ cm}, \frac{d'}{d} = 0.25$$

정판의 span 중앙에서와 같이  $K$ 와  $L_c$ 를 구하면  $K = 0.269, L_c = 0.123$

$$\delta_c = \frac{128400}{100 \times 20^2 \times 0.123} = 26.1 \text{ kg/cm}^2 < 65 \text{ kg/cm}^2$$

$$\delta_s = \frac{10 \times 26.1(1 - 0.269)}{0.269} = 709 \text{ kg/cm}^2 < 1300 \text{ kg/cm}^2$$

#### 2) 중간점

$$M = -0.327 \text{ t} \cdot \text{m} \text{ (그림 12. 참조)}$$

측벽 중간점의 내측에서는 인장력이 생기지 않아 철근이 필요없으나 여유를 보아 부철근의  $\frac{1}{3}$ 을 배근한다.

$$A_s = 3.31 \text{ cm}^2$$

#### 3) A 점

$$M = 1.014 \text{ t} \cdot \text{m} \text{ (그림 12. 참조)}$$

$$A_s = \frac{101400}{1300 \times 7/8 \times 20} = 4.46 \text{ cm}^2$$

$D_{10}$ 을 간격으로 0.20m 간격으로 배근한다.

$$A_s = 9.93 \text{ cm}^2$$

휨모멘트만을 받는 복철근 구형단면으로 응력도를 구하면

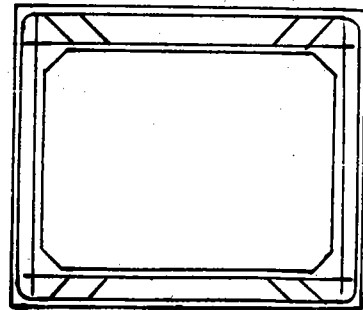


그림 15 배근도

$$P = \frac{9.93}{100 \times 20} = 0.0050, P' = 0.0017$$

$$d = 20\text{cm}, d' = 5\text{cm}, \frac{d'}{d} = 0.25$$

정판의 Span 중앙에서와 같이  $K$ 와  $L_c$ 를 구하면  $K = 0.269, L_c = 0.123$

$$\delta_c = \frac{101400}{100 \times 20^3 \times 0.123} = 20.6\text{kg/cm}^3 < 65\text{kg/cm}^3$$

$$\delta_s = \frac{10 \times 20.6(1 - 0.269)}{0.269} = 560\text{kg/cm}^3 < 1300\text{kg/cm}^3$$

## 6. 전단응력도 및 절곡철근

### 가. 정 판

B 점

$$S_{BC} = 6.118 (\text{그림 12. 참조})$$

$$P = \frac{A_s}{bd} = \frac{9.93}{100 \times 25} = 0.0040 (0.0050), n = 10$$

표에서  $j = 0.918 (0.910)$

$$\tau_B = \frac{S_{BC}}{bjd} = \frac{6248}{100 \times 0.918 \times 25} = 2.72\text{kg/cm}^2 < 7.40\text{kg/cm}^2 \quad (3.43)$$

여기서 ( )의 숫자는 haunch를 무시했을 때. (그림 16. 참조)

계산결과 절곡철근은 필요없으나 정철근의  $\frac{1}{2} \sim$

$\frac{1}{3}$ 을 구부러 올려 슬래브의 전단저항을 크게하고 부철근의 배근을 유리하게 한다.

본설계에서는 정철근의  $\frac{1}{3}$ 씩 2개소에서 구부러올린다.

구부리는 위치는 그 위치의 휨모멘트가 구부리고 남는 철근의 저항모멘트보다 적은점을 택한다.

최대휨모멘트를 받는 span 중앙단면의 저항모멘트  $M_r$ 은

$$M_r = \delta_{sa} A_s j d = 1300 \times 9.93 \times 0.910 \times 20 = 234900\text{kg} \cdot \text{cm}$$

최초구부리는 위치의 저항모멘트  $M_{r1}$ 은

$$M_{r1} = M_r \times \frac{A_{s1}}{A_s} = 2.349 \times \frac{6.62}{9.93} = 1.566\text{t} \cdot \text{m}$$

여기서  $A_s$  = 인장주철근단면적( $\text{cm}^2$ )

$A_{s1}$  = 구부리는 점에서 구부러 올리고 남는 인장주철근단면적( $\text{cm}^2$ )

그림 16의 휨모멘트도에서  $M_{r1} = 1.566\text{t} \cdot \text{m}$ 의 위치는 span 중앙에서 약 0.45m 지점이 되나 여유를 보아 최초 구부리는 위치를 0.55m로 한다.

다음 구부리는 위치의 저항모멘트  $M_{r2}$ 는

$$M_{r2} = M_r \times \frac{3.31}{9.93} = 0.783\text{t} \cdot \text{m}$$

그림 16의 휨모멘트도에서  $M_{r2} = 0.780\text{t} \cdot \text{m}$ 의 위치는 span 중앙에서 약 0.70m 지점이나 여유를 보아 0.80m에서 구부러 올린다.

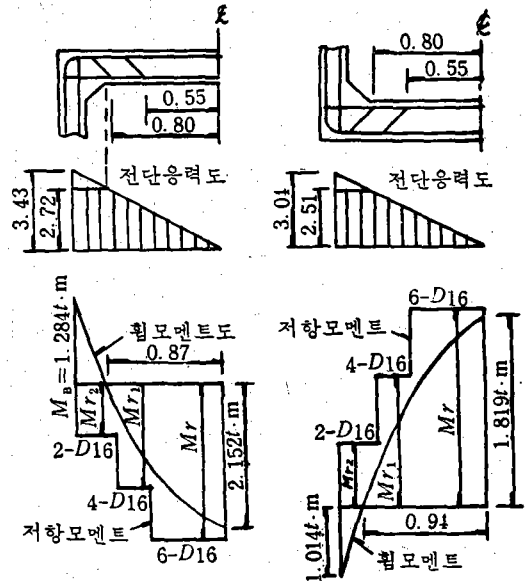


그림 16 정판의 전단 응력도 및 저항모멘트

그림 17 저판의 전단 응력도 및 저항모멘트

### 나. 저 판

A 점

$$S_{AD} = 6.969 (\text{그림 12. 참조})$$

$$P = \frac{A_s}{bd} = \frac{9.93}{100 \times 30} = 0.0033 (0.0040), n =$$

10표에서  $j = 0.924 (0.918)$

$$\tau_A = \frac{S_{AD}}{bjd} = \frac{6.969}{100 \times 0.924 \times 30} = 2.51\text{kg/cm}^2 < 7.40\text{kg/cm}^2 \quad (3.40)$$

여기서 ( )의 숫자는 haunch를 무시했을 때. (그림 17. 참조)

계산결과 절곡철근은 필요없으나 정판과 같이 정철근의  $\frac{1}{3}$ 씩 2개소에서 구부린다.

span 중앙단면의 저항모멘트  $M_r$ 은

$$M_r = 1300 \times 9.93 \times 0.918 \times 25 = 296300\text{kg} \cdot \text{cm}$$

최초 구부리는 위치의 저항모멘트  $M_{r1}$ 은

$$M_{r1} = 2.963 \times \frac{2}{3} = 1.975\text{t} \cdot \text{m}$$

그림 17의 휨모멘트도에서  $M_{r1}=1.975t \cdot m$ 의 위치는 span 중앙에서 약 0.45m이나 여유를 보아 0.55m 지점에서 구부린다.

다음구부리는 위치의 저항모멘트는 그림의 휨모멘트  $M_{r2}$ 는

$$M_{r2}=2.963 \times \frac{1}{3}=0.988t \cdot m$$

그림 17의 휨모멘트도에서  $M_{r2}=0.988t \cdot m$ 의 위치는 Span 중앙에서 약 0.75m이나 여유를 보아 0.80m 지점에서 구부린다.

#### 다. 축 변

##### B점

$$S_{BA}=1.858'(\text{그림 12. 참조})$$

$$P=0.0050, n=10 \text{ 포에서 } j=0.910$$

$$r_B = \frac{1.858}{100 \times 0.910 \times 20}$$

$$=1.02kg/cm^2 < 7.40kg/cm^2$$

### 7. 압거 종방향응력도의 검토

압거위에 흙쌓기를 하거나 지반의 지내력이 약한 곳 또는 지내력이 불균등한 지반은 압거나 종방향의 휨모멘트를 받는다. 고로 이에 맞는 철근량을 종방향으로 배근하여 보강하여야 하며 아래와 같이 가정하여 계산을 간단히 한다.

(가정)

- 1) 하중과 지반의 반력은 같다.
- 2) 하중에 따른 반력의 분포는 직선으로 변화한다.

#### 가. 지반의 반력

그림 18. 참조

$$W=(2.4 \times 2.05 - 2.0 \times 1.5) \times 2.4 + 2.0 \times 1.5 \times 1 = 7.608t/m$$

$$P_1=W+BWH_1=7.608+2.4 \times 1.6 \times 0.3 = 8.760t/m$$

$$P_1=P_2=8.760t/m$$

$$P_3=W+BWH_2=7.608+2.4 \times 1.6 \times 3.0 = 19.128t/m$$

여기서

$W$ =압거의 단위 길이당 중량(압거내 물중량 포함)(t/m)

$B$ =압거의 나비(m)

$W$ =흙의 단위중량(t/m<sup>3</sup>)

하중과 지반의 반력이 같다는 가정하에서 다음식이 성립된다.

$$\frac{P_1+P_2}{2} \times l_1 + P_3 \times l_2 \cdot \frac{P_3+P_2}{2} \times l_3 = \frac{q_1+q_2}{2} \times l$$

위식에 각수치를 대입하여 압거의 단위길이당 지반의 반력( $q$ )를 구한다.

좌우대칭이므로  $q_1=q_2$

$$\frac{8.760+19.128}{2} \times 4 + 19.128 \times 6$$

$$+ \frac{8.760+19.128}{2} \times 4 = 9 \times 14$$

$$q = \frac{226.320}{14} = 16.165t/m$$

$q$ 는 압거의 단위 길이당 지반의 반력이므로 단위면적당 지반의 반력 강도를 구하면

$$\delta = \frac{q}{B} = \frac{16.165}{2.40} = 6.74t/m^2 < 30t/m^2(\text{지반의 허용 지내력})$$

#### 나. 종방향 휨모멘트

##### 1) AB 구간

그림 18에서 A점으로 부터의 거리를  $x$ 라 하면  $x$ 점

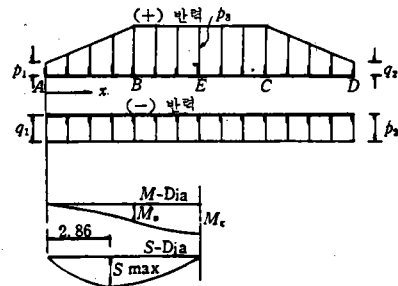
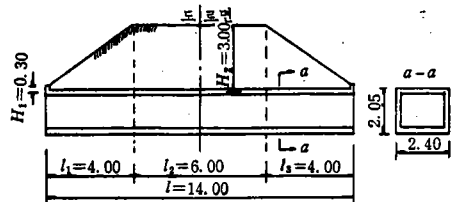


그림 18 압거의 종단하중분포도

의 휨모멘트는

$$\begin{aligned} M_x &= \frac{P_1}{2} x^2 + (P_3 - P_1) \frac{x}{e_1} \cdot \frac{x}{2} \cdot \frac{x}{3} - 4 \frac{x^2}{2} \\ &= \frac{x^2}{2} (\rho_1 - q) + \frac{x^3}{6} (P_3 - P_1) \frac{1}{e_1} \\ &= \frac{x^2}{2} (8.760 - 16.165) \\ &\quad + \frac{x^3}{6} (19.128 - 8.760) \times \frac{1}{4} \\ &= -3.703x^2 + 0.432x^3 \end{aligned}$$

위식에  $l_1=4m$ 를 대입하여  $M_B$ 를 구한다.

$$M_B = -3.703 \times 4^2 + 0.432 \times 4^3 = -31.60t \cdot m$$

2) BC 구간

그림 18에서 B점으로 부터의 거리를 x라하면 x점의 휨모멘트는

$$M_x = (P_1 - 4) \frac{(l_1 + x)^2}{2} + (P_2 - P_1) \frac{x^2}{2} + \frac{(P_2 - P_1)l_1}{2} \left( \frac{l_1}{3} + x \right)$$

위 식에 x=3m를 대입하여 중앙점의 휨모멘트  $M_E$ 를 구한다.

$$M_E = 7.405 \times \frac{(4+3)^2}{2} + 10.368 \times \frac{3^2}{2} + \frac{10.368 \times 4}{2} \left( \frac{4}{3} + 3 \right) = -44.912 \text{ t} \cdot \text{m}$$

다. 종방향 전단력

AB 구간

$$S_x = \frac{dM_x}{dx} = 1.296x^2 - 7.405x$$

$$\frac{dS_x}{dx} = 2.592x - 7.406 = 0$$

$$x = 2.86 \text{ m}$$

$$\therefore S_x = 2.861 \cdot 2.96 \times 2.86^2 - 7.406 \times 2.86 = 10.581 \text{ t}$$

라. 종방향 응력도 계산

위에서 구한 종방향휨모멘트 및 전단력에 대하여 box알거를 가운데가 빈 구형보로 계산하여야 하지만 계산을 간단히 하기 위하여 그림 19와 같이 box측벽두께의 2배를 복부나비로 하고 box의 전나비를 플랜지나비로 하는 단철근 T형보로 계산한다.

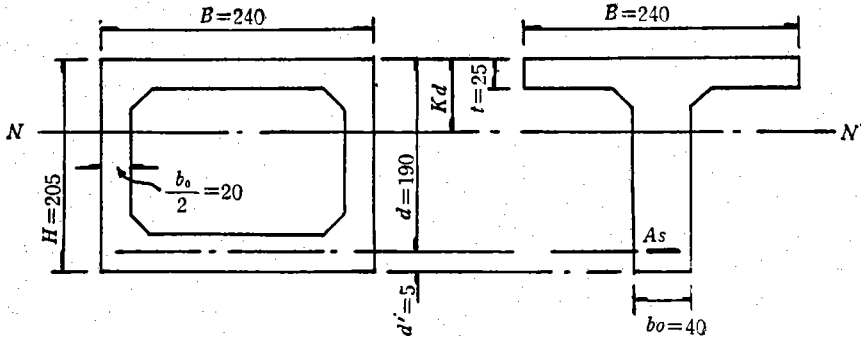


그림 19 단철근 T형보

$$M_{max} = M_E = 44.912 \text{ t} \cdot \text{m}$$

$$d = H - d' = 205 - 15 = 190 \text{ cm}$$

$$j = 7/8$$

$$A_s = \frac{M}{\delta_{saj} d} = \frac{4491200}{1300 \times 7/8 \times 190} = 20.78 \text{ cm}^2$$

위에 계산한 철근량을 정판의 상단 및 하단에 배근한다.

$$\tau = \frac{S}{b_o j d} = \frac{10581}{40 \times 7/8 \times 190} = 1.59 \text{ kg/cm}^2 < 7.40 \text{ kg/cm}^2$$

9. 배력철근

배력철근은 정판, 저판, 측벽에 하중이 균등히 분

포하도록 철근중심 간격을 슬래브두께는 5배이하 또는 45cm이하로 배근하며 철근비율 0.002 이상(이형철근을 사용할 때)하여야 한다.

haunch에는 안전을 고려하여 용심철근으로 주철근과 동일한 철근을 사용한다. 그 길이는 단면중심을 넘어서 충분히 정착시킨다.

9. 배근순서

본설계에서는 그림 15의 배근도와 같이 철근량을 가정하여 응력도를 검토한다. 철근의 배근은 그림 20에 표시된 바와 같이 ①, ②, ③의 순서로한다.

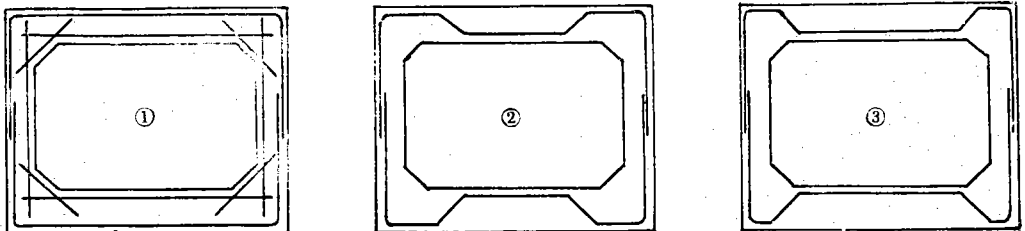


그림 20 배근순서

#### IV. 결 론

#### <引用文獻>

위의 계산한 내용으로 부터 다음과 같은 결론을 내려 보았다.

1. 물이 토공수로에서 구조물을 통과하여 흐를 때 손실수두 및 유속수두에 따라 수로계 획고를 결정할 필요가 있다.

2. 암거의 철근배근에 있어 암거의 횡단방향은 물론 종방향응력을 검토하여 부등침하나 지내력이 약한 지반에서 암거구조물이 안정을 이룰 수 있게 하여야 할 것이다.

(1) 대한土木學會; 철근콘크리트 설계편람(1970)

(2) 高田武雄;

新版 稿りよう構造設計例集(1971)山海堂刊

(3) 愛知用水公團;

愛知用水技術誌 幹線水路編

(4) 日本 農林省農地局;

土地改良 事業設計基準 水路工編



72년도 정기총회 관경