

굴뚝의 설계 ②

張 起 仁
Ki-In Chang

Chimney Construction

This article discusses at a basic level the process of chimney construction. The concept, design, and operation can be understood easily. This, of course, is the first step to orderly construction.

The selection of the boiler as to type, capacity, etc., was summarized in brief. The over all planning of the boiler and chimney together was the main object of this article. The architectural books covering this subject are very technical and this article tries to make the understanding of the basic principles more easy for the beginner in architecture.

目 次

1. 준비 사항 (7월 호에 게재)
 - 1-1. 굴뚝의 종별
 - 1-2. 굴뚝의 높이, 지름
 - 1-3. 보일러 실
 - 1-4. 석탄고
2. 力學的 解法 (7월 호에 게재)
3. 各部 構造上의 注意 (〃)
4. 計算의 順序 (〃)
5. 굴뚝의 斷面形狀 (〃)
6. 設 計 例

6. 設計例 (續)

또 일본건축학회잡에는 截頭錘體의 重心높이 y 를 다음과 같이 나타내고 있다.

$$y = \frac{h}{2} \left(\frac{1 + \frac{m-1}{6}}{1 + \frac{m-1}{3}} \right) \dots \dots \dots (5)$$

이것은 (4)식의 $\frac{Ab}{At} = m$ 로 하여 변형한 것에 불과하다. 즉 (5)식의 ()내를 정리하면 다음과 같이 되어 전혀 (4)식과 같은 것이다.

$$y = \frac{h}{2} \left(\frac{(6+m-1)}{(6+2m-2)} \right) = \frac{h}{4} \left(\frac{m+5}{m+2} \right) = \frac{h}{4} \left(\frac{\frac{Ab}{At} + 5}{\frac{Ab}{At} + 2} \right)$$

이처럼 여러가지 형식으로 동일 공식을 달리 표현하고 있어 초학자로서는 이해하기가 어렵게 된다.

(1) 계산 순서

구조계산은 주어진 조건에 따라 단면을 가정하고 고경하중을 산정한다.

다음은 지진력과 풍압력에 대한 하중 및 응력을 계산하고 철근배근을 산정하여 안전 여부를 검토하면 된다. 이와같이 골목의 원통부의 계산이 되면 기초판의 계산을 한다.

여기에서는 알기 쉬움고 기계적으로 산출할 수 있도록 하였으니까 초학자로서도 번거로운 감이 있을 것이다. 이걸 선학 여러분은 양해하시고 다만 초학자를 위한 것이며 곱셈, 나눗셈이 지루하리 만큼 계속되니까 꾸준히 또 계속적인 노력을 해야 할 것이다.

(2) 계산

골목은 원통부의 높이를 적당한 구간으로 구분(예제 높이 30m를 5등분 1구간 높이 $h=6m$ 로 하였음)하여 각부 단면을 가정하면 각 구간별 고정하중을 산출한다.

[보기 1] A-B 구간

단면적 $A = \pi t D_m$ (m^2)

여기 t : 생각하는 단면의 콘크리트 두께(cm)

D_m : 생각하는 단면의 중심지름 (평균지름) 즉 (外徑+內徑)(cm).

고정하중 $P = A_m h p(t)$

여기 h : 1구간 높이 6m

표1. 단면가정 및 고정하중 계산표

구 간 높 이	단면가정(설계)				고정하중 계산			
	外 徑	벽 두께	內 徑	中 心 徑	단 면 적		두 무게	
	()내는 내화벽돌				구 간 별	평 균	구 간 별	누 계
h=6 (m)	D_o (cm)	t (cm)	D_i (cm)	$D_m = \frac{D_o + D_i}{2}$ (cm)	$A = \pi t D_m$ A_1 상부단면 A_2 하부단면 (m^2)	$A_m = \frac{1}{2}(A_1 + A_2)$ (m^2)	$W = A_m h p$ h=6m $p_c = 2.4'$ $p_s = 1.7'$	ΣW
A	184	12	160	172	0.65			
B	202	15	172	187	$\pi \times 12 \times 172$ 0.88	$12(0.65 + 0.88)$ 0.76	$0.76 \times 6 \times 24$ 11.0	11.0
C	(153) 220	(11.4) 18	(130) 184	(141.5) 202	(0.50) 1.14	1.01 (0.52)	14.84 (5.36)	25.84 (5.36) Σ 31.16
D	(159) 238	(11.4) 21	(136) 196	(147.5) 217	(0.53) 1.43	1.285 (0.54)	18.60 (5.50)	44.40 (10.86) Σ 55.26
E	(165) (188) 256	(11.4) (23) 24	(142) (142) 208	(153.5) (165) 232	(0.55) (1.18) 1.75	1.57 (1.21)	22.78 (12.40)	67.1 (23.26) Σ 90.36
F	(194) 274	(23) 27	(148) 220	(171) 247	(1.24) 2.09	1.92 (1.26)	27.60 (12.94)	94.7 (36.20) Σ 130.90
	(200)	(23)	(154)	(177)	(1.28)			

A_m : 1구간 평균 단면적 (m^2)

p : 단위체적당 중량.

콘크리트의 단위체적당 중량 $p_c = 2,400kg/cm^3$

내화벽돌의 단위체적당 중량 $p_b = 1,700kg/cm^3$

주기 $p_s = 1,900kg/cm^3$ 로 한 서적도 있다.

수직하중(고정하중) W 를 응력으로 생각할 때는 N 로 표시할 때가 있고 서적에 따라서는 P 로 표시된 것도 있다.

이렇게 점차 B-C, C-D.....E-F까지 각 구간을 계산하여 총집계하면 전체 고정하중이 결정된다. 이것을 정리하여 표로 작성한 것이 표 1이다. 앞으로의 계산은 이 표에 준하여 기계적으로 계산하면 되고 복잡한 것은 보조계산을 할 필요가 있다.

(3) 지진력에 의한 응력 및 단면산정

[보기 2] B-C 구간

지진력에 의한 수평하중 P_e 는 고정하중에 진도 K 를 곱하여 산출한다. 이때는 내화벽돌의 중량도 응력에 가산한다.

$P_e = KW (t)$

$= 0.3$

여기 $K=0.3$, W 는 고정하중

즉 $P_e = 0.3 \times 25.1 = 7.74 \dots$ (콘크리트)
 $P_e = 0.3 \times 5.36 = 1.68 \dots$ (내화벽돌)
 $\Sigma = 9.52$

구조체의 설계가정에 따라 截頭錘體의 중심(重心) 높이 Y 를 계산한다. 그 공식은 전호에서 말한 바와 같이 여러가지가 있지만 여기에서는 (3)식을 채용하여 다음과 같이 계산한다.

(3) 식에서

$$Y = \frac{h}{4} \left(\frac{1+2v+3v^2}{1+v+v^2} \right) \text{를 적용하여}$$

먼저 각 구간별로 v 및 v^2 를 계산하면 표 1에서

$$v = \frac{\text{상부중심지름}}{\text{하부중심지름}} = \frac{(D_{m1})}{(D_{m2})} = \frac{172}{202} = 0.85$$

$$\therefore v^2 = 0.725$$

$$y = 3 \times \frac{1+2 \times 0.85+3 \times 0.723}{1+0.85+0.72} = 5.7(m)$$

따라서 지진력에 의한 모멘트 M 은

$$M = \Sigma P_e Y$$

$$= 7.74 \times 5.7 = 44.2 (t.m) \dots \dots \text{(콘크리트)}$$

또 내화벽돌에 대한 M 을 求하면

$$M = 1.60 \times 2.95 = 4.97(t.m)$$

$$\Sigma M = 49.17(t.m)$$

이것을 정리하면 표 2와 같이 된다.

표 1에서 평균지름(D_m) 및 벽두께에 대한 D_{m1} , D_{m2} , $D_{m1}t$, $D_{m2}t$ 를 계산하여 두고, 압축력 N (고정하중 W 와 같다), 전단력 Q (지진력에 의한 수평하중 P_e , 또는 풍압력에 의한 하중 P_w 와 같다)로 $N/D_m t$, $M/D_m^2 t$ 를 계산하고 도표(철근콘크리트 계산표)에서 원통형기둥 단면표의 철근비 p 를 求한다.

[보기 3] C-D구간

$$N = 44.4, D_m = 217, t = 21, D_m t = 4560$$

$$\therefore \frac{N}{D_m t} = 9.75$$

$$M = 131.2, D_m^2 = 47,000, t = 21, D_m^2 t = 9,900$$

$$\therefore \frac{M}{D_m^2 t} = 13.33$$

표에서 철근비 $p = 0.4\%$

다음 소요철근 단면적 A_s 는 D-D 단면의 콘크리트 단면적 A (cm^2)에 p 를 곱하여

$$A_s = A p = 57.3(\text{cm}^2) \text{이 된다.}$$

$$16\phi - 29 \text{개} (A_s = 58.31 \text{cm}^2)$$

$$\text{또는 } 19\phi - 21 \text{개} (A_s = 59.34 \text{cm}^2)$$

또한 $16\phi - 19\phi$ 를 교대로 배근 한다면

$$\left[\begin{array}{l} 16\phi - 12 \text{개} \\ 19\phi - 12 \text{개} \end{array} \right] (A_s = 58.15 \text{cm}^2)$$

전단보강에 대한 철근(수평방향철근 hoop)은 전단응력도 τ 를 구하여 다음과 같이 계산한다.

$$\tau = 2 \times \frac{Q}{\pi D_m t} = 2 \times \frac{Q}{A}$$

$$= \frac{2 \times 13,320}{14,300} = 1.86 (\text{kg/cm}^2)$$

철근비 $p_s = \frac{\tau}{f_t}$ 여기 $f_t = 2400 \text{kg/cm}^2$ (단기).

따라서 $p_s = 0.078\%$ 이지만 보통 수평철근은 콘크리트 단면적의 2%이상으로 한다.

콘크리트 단면두께 t , 단위높이(보통 1m)에 대한 철근량(A_s)는 다음과 같다.

$$A_s = P_s t H$$

$$= 0.2\% \times 21 \times 100 = 4.2$$

$$(\text{cm}^2)$$

$$\text{철근개수 } n = \frac{A_s}{at}$$

$$12\phi \text{를 쓰면 } at = 1.13 \therefore n =$$

$$\frac{4.2}{1.13} = 3.75 \text{개}$$

$$\text{따라서 간격 } n = \frac{100 \text{cm}}{3.75} = 26.5$$

$$\text{cm} \rightarrow 20 \text{cm}$$

이것을 정리하여 표 4에 기재한다.

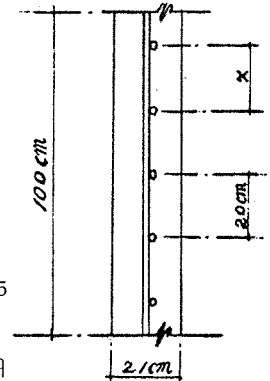


그림 8 철근간격

(4) 풍압력에 의한 응력 및 단면산정

풍압력은 일면적으로 각 구간의 수평투영면적을 산출하고 그 重心높이를 계산하여 둔다.

$$\text{수평투영면적 } A' = \frac{h}{2} (D_1 + D_2)$$

여기 h : 각 구간의 높이 $h = 6m$

D_1 : 한 구간의 상부徑

D_2 : 한 구간의 하부徑

속도압 q 는 생각하는 단면의 지반면에서의 높이에 대하여 정하고 풍압계수 C 는 원통형일 때 $C = 0.7$ 로 한다.

[보기 4] C-D구간

$$q = 60 \sqrt{h}$$

생각하는 단면 D-D의 높이는 18m이므로 $h = 18m$ 로 하면

$$q = 60 \times \sqrt{18} = 266 \text{kg/m}^2$$

$$\text{또 } qc = 266 \times 0.7 = 178 \text{kg/m}^2 \quad P_w = A' . q . c$$

풍압력(수평하중) P_w 는 각 구간별로 계산하고 생각하는 단면부에 대한 상부하중을累計하여 둔다. C-D구간에서는 D-D단면위치에서 생각하여 상부의 모든 구간의 P_w 를 集計하여 둔다.

$$\text{즉 } \Sigma P_w = P_{w1} + P_{w2} + P_{w3}$$

$$= 2.66 + 2.57 + 2.44 = 7.67(t)$$

모멘트는 각 구간의 수평투영면적의 중심높이를 계산하고 풍압력 P_w 를 곱하면 산정된다. 이때 생각하는 단면위치 D-D에 대하여 상부 각 구간의 풍압력에 대한 모멘트를 합산하여 그 구간의 모멘트로 한다.

표 2 지진력에 의한 응력 계산

구 간	수 경 력 $Pe=0.3W$ (t)	중심높이 $Y=\frac{h}{4}\left(\frac{1+2v+3v^2}{1+v+v^2}\right)$ (m)	계 산		모 멘 트 $M=PeY$ (tm)	적 압 력 $N=\Sigma W$ (t)	전 단 력 $Q=Pe$ $=KW$ (f)
			콘크리트 $v=\frac{r}{R}$ $=\frac{Dtm}{Dbm}$ (v ²)	내화벽돌 $v'=\frac{D'm}{Dom}$ (v' ²)			
A							
B	3.3	$h=6m$ 2.92	$Dtm=172cm$ $Dbm=187$ ($v=0.94$) ($v^2=0.886$)		9.35 (-) $\Sigma 9.35$	11	3.30
C	7.74 (1.60) $\Sigma 9.42$	$h=12,6$ 5.70 (2.95)	$Dtm=172$ $Dbm=202$ $v=0.85$ ($v^2=0.725$)	$Dtm=140.0$ $Dbm=152.0$ $v'=0.95$ $v'^2=0.90$	44.2 (4.97) $\Sigma 49.17$	25.8	7.74
D	13.32 (3.30) $\Sigma 16.66$	$h=18, 12$ 8.60 (5.60)	$Dtm=172$ $Dbm=217$ $v=0.81$ $v^2=0.63$	$Dtm=140$ $Dbm=165$ $v'=0.85$ $v'^2=0.72$	114.2 (17.0) $\Sigma 131.2$	44.4	13.30
E	20.13 (6.90) $\Sigma 26.94$	$h=24, 18$ 10.8 (6.50)	$Dtm=172$ $Dbm=232$ $v=0.74$ $v^2=0.57$	$Dtm=140$ $Dbm=165$ $v'=0.85$ $v'^2=0.72$	217 (45.2) $\Sigma 262.2$	67.1	20.13
F	28.41 (10.80) $\Sigma 39.58$	$h=30, 24$ 13.2 (11.50)	$Dtm=172$ $Dbm=247$ $v=0.70$ $v^2=0.48$	$Dtm=140$ $Dbm=177$ $v'=0.79$ $v'^2=0.63$	375 (135.0) $\Sigma 510.0$	94.7	28.41

표 3 지진력에 의한 단면산정 (1)

구 간	중심지름 Dm (Dm^2)	두 계 t	단 면 적 A	$\frac{N}{Dmt}$ ($N=W$)	$\frac{M}{Dm^2t}$	P 도표에서	소요철근 중단면적 As $=A \cdot p$	설계배근 n =개수 $=\frac{As}{at}$
	cm	cm	m ²	kg/cm ²	kg/cm ²	%	cm ²	개
A	172	12	0.65					
B	(29,700) 187	15	0.88	3.9	1.79	0	22	20-12f
C	(35,000) 202	18	1.14	7.1	6.80	(0.25) 0.13	28.5	[10~12f] 10~16f
D	(40,800) 217	21	1.43	9.75	13.33	(0.25) 0.40	57.3	24-16f
E	(47,000) 232	24	1.75	12.1	20.30	0.62	107	38-19f 內18 外20
F	(54,000) 247	27	2.09	14.2	31.30	1.10	230	1.2-22f 內30 外32

(61. 00)

표 4 지진력에 의한 단면산정 (2)

구	수평근 (hoof)				
	전단응력도	전단보강비	철근량	단위높이의 수평단면개수	철근간격
간	$\tau' = \frac{t}{A} = \frac{2Q}{A}$ (kg/cm ²)	$P_s = \frac{\tau}{f_t}$ (%)	$= \frac{A_s}{H} = \frac{P_s f_t H}{A}$ (H=100cm)	$n = \frac{A_s}{a_t}$ 개 (本)	$x = \frac{100cm}{\text{개수}}$ (cm)
A					
B	$\frac{2Q}{A} = \frac{2 \times 3,300}{8,800} = 0.75$	0.031	3.0	3.6-9f	27.5cm →20cm
C	$\frac{2Q}{A} = \frac{7740 \times 2}{11,400} = 1.36$	-0.2 0.057	3.6	5.7개 -9f 4.2개 -12f	17.5 -15 23.6 -20
D	$\frac{A}{1.86} = 11,400$	0.2 0.073	4.2	3.75-12f	26.5 -20
E	$\frac{A}{2.30} = 14,300$	-0.2 0.096	4.8	4.8-12f	20.7 -15
F	$\frac{A}{2.70} = 17,500$ $\frac{A}{20.900} = 2,70$	-0.2 0.112 -0.22	5.94	5.3-12f	19m -51

[보기 5] C-D구간

$$\begin{aligned} \Sigma M &= P_{w1}(x_1+2h) + P_{w2}(x_2+b) + P_{w3} \cdot x_3 \\ &= 2.66 \times (2.96+2 \times 6) + 2.57 \times (2.96+6) + 2.44 \\ &\quad + 2.97 = 70.2t_m \end{aligned}$$

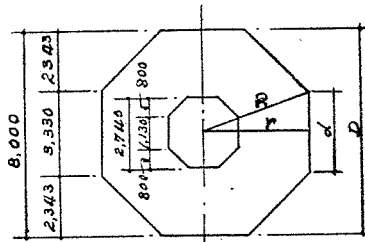
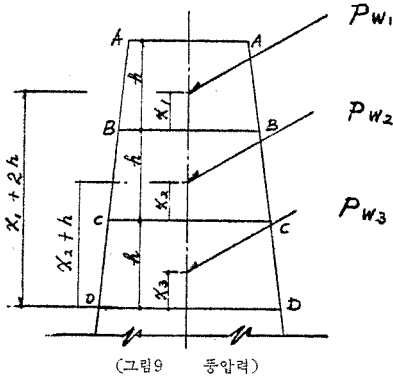
여기 $P_{w1}=2.66t$ A-B구간의 풍압력
 $x_1=2.96m$ (B-B위치에 대한 중심높이)
 $x_1+2h \dots$ (D-D 위치에 대한 P_{w1} 의 중심높이)

이것을 정리하여 표 5를 얻는다.

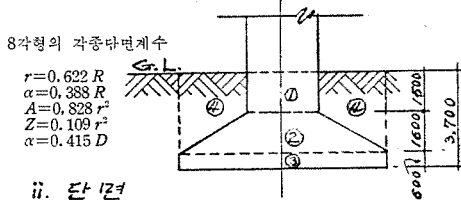
풍압력에 의한 단면산정은 지진력에 의한 단면산정 법과 동일하고, 전단력은 생각하는 단면부의 상부하중을 집계한 것을 쓴다.

이것으로 원통부의 단면 설계는 완료된다. 다만 풍압력과 지진력에 대한 응력을 비교하여 보면 M에 있어서는 풍압력에 의한 것은 지진력에 의한 것의 1/3내외이므로 철근계산은 규정상 최소단면적과 최대간격의 한도를 넘지않게 하면 충분하다. 일본기준에 의하면 철근 배근은 다음과

같이 최소한도를 정하고 있으나 지진이 없는 우리나라에서는 이를 수정할 필요가 있고 또 풍압력에 의하여 계산하여도 무방하나 인위적 진동을 고려하여야 할 것이다.



i. Z형 12f



ii. 단 12f

(그림 10 기초판)

<일본기준>

1. 철근에 대한 콘크리트의 피복두께는 5cm 이상으로 한다(ACI는 2in 이상, 또 두께는 6in 이상으로 하고 있다).

2. 굴뚝 콘크리트의 두께와 굴뚝의 지름(또는 일변 길이)의 비는 0.1정도로 한다. 즉 굴뚝지름이 2m 이면 벽두께는 그 10% 20cm정도로 한다.

3. 수직철근(鉛直方向)의 최소 철근량은 다음에 따른다.

$$P_g \geq 0.25\% \text{ 이상, 간격 } 30cm \text{ 이하}$$

4. 수평철근(水平方向)의 최소 철근량은 다음에 따른다.

$$P_g \geq 0.2\% \text{ 이상, 간격 } 20cm \text{ 이하}$$

(5) 기초판 설계

지내력 장기 $f_g=10t/m^2$, 단기 $f_s=20t/m^2$ 기초판의 크기는 일반으로 굴뚝높이의 1/4정도로 가정한다. 또 기초저면은 정 8각형으로 하고 內接하는 원의 지름을 8m로 정한다. (굴뚝원통의 최하부 外徑 274cm)

(가)하중계산

$$\text{저면적 } A=0.828 D^2 \approx 53m^2$$

$$\text{단면계수 } Z=0.109 D^2 \approx 55.9m^2$$

<기초용적 및 무게>

용적(m ³)	무게(t)
콘크리트 ① $v_1=9.15$	$w_1=22.0$
② $v_2=39.40$	$w_2=94.5$
③ $v_3=31.80$	$w_3=76.4$
④ $v_4=78.60$	$w_4=126.0$
기초부합계	$\Sigma w_1=318.9$
원통부합계	$\Sigma w=130.9$ (내화벽돌포함)
총합계	Total $w=449.8 \rightarrow 450t$

표 5 풍압력에 의한 응력산정표

구간	外徑	수평투영면적	속도압	풍압력	중심높이	모멘트
	D 상부 D_1 하부 D_2 (cm)	$A' \cdot h$ $= \frac{1}{2}(Dt + Db)$ 여기 $h=6m$ (m^2)	$q=60\sqrt{h}$ ($q \cdot c=42\sqrt{h}$ $c=0.7$ (kg/m^2))	$P_w = A'qc$ (l)	$x = \frac{3(2Dt + Db)}{h(Dt + Db)}$ (m)	$M = \sum P_w \cdot x$ (tm)
A						
B	$D184$ $D202$	$h=6m$ 11.58	$h=30$ $q=228$ $qc=328 \times 0.7$ $=230$	$Pw_1=2.66$	$x_1=2.96$	$M_1 = Pw_1 \cdot x_1$ 7.88 =7.88
C	$D220$	$h=6m$ 12.66	$h=24$ $q=293$ $qc(204)$	$Pw_2=2.57$ $\Sigma Pw = Pw_1 + Pw_2$ =5.23	$x_2=2.96$	$M_1 = Pw_1 \times (x_1 + h)$ =2.66 \times (2.96 + 6) = 24.0 $M_2 = Pw_2 \times x_2$ =2.57 \times 2.96 = 7.62 $\Sigma 31.62$
D	$D238$	$h=6m$ 13.74	$h=18$ $q=266$ $qc(178)$	$Pw_3=2.44$ $\Sigma Pw = 7.67$	$x_3=2.97$	$M_1 = Pw_1 \times (x_1 + 2h) = 40.0$ $M_2 = Pw_2 \times (x_2 + h) = 23.0$ $M_3 = Pw_3 \times x_3 = 7.2$ $\Sigma 70.2$
E	$D256$	14.82	$h=12$ $q=208$ $qc(145.6)$	$Pw_4=2.14$ $\Sigma Pw = 9.81$	$x_4=2.98$	$M_1 = Pw_1 \times (x_1 + 3h) = 45.5$ $M_2 = Pw_2 \times (x_2 + 2h) = 38.5$ $M_3 = Pw_3 \times (x_3 + h) = 19.5$ $M_4 = Pw_4 \times (x_4) = 6.5$ $\Sigma 110.0$
F	$D=274$	15.90	$h=6$ $q=146$ $qc(103)$	$Pw_5=1.66$ $\Sigma Pw = 11.47$	$x_5=2.98$	$M_1 = Pw_1 \times (x_1 + 4h) = 69$ $M_2 = Pw_2 \times (x_2 + 3h) = 54$ $M_3 = Pw_3 \times (x_3 + 2h) = 36.5$ $M_4 = Pw_4 \times (x_4 + h) = 19.2$ $M_5 = Pw_5 \times x_5 = 5.0$ $\Sigma 183.7$

표 6 풍압력에 의한 단면산정 (1)

구간 높이 6m	압축력	전단력	모멘트	중심지름	벽두께	단면적	N Dmt	M Dm^2t	P
	N (l)	Q (kg)	M tm	D_m cm (D_m^2) (cm^2)	t (cm)	A (cm^2)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	도표에서 %
A									
B	11	Pw_1 2.66	7.88	172 (29,300) 187 (35,000)	12 15	0.65 0.88	3.94	1.50	$\rightarrow 00.25$
C	25.8	ΣPw $= Pw_1 + Pw_2$ 5.23	31.62	202 (41,000)	18	1.14	7.1	4.28	0.05 $\rightarrow 0.25$
D	44.4	$\Sigma Pw = Pw_1$ $+ Pw_2 + Pw_3$ 7.67	70.2	217 (47,200)	21	1.43	9.45	7.08	0.15 $\rightarrow 0.25$
E	67.1	$\Sigma Pw = Pw_1$ $+ Pw_2 + Pw_3$ $+ Pw_4$ 9.81	110.0	232 (54,000)	24	1.75	11.95	8.50	0.15 $\rightarrow 0.25$
F	94.7	ΣPw 11.47	183.7	247 (61,200)	27	2.09	14.40	11.10	0.20 $\rightarrow 0.25$

표 7. 풍압력에 의한 단면산정(2)

구 간	수 직 철 근		수 명 철 근				
	총단면적 $As=A \cdot p$ (cm^2)	철근배근개수 $n=\frac{\Sigma at}{at}$ 개(本)	전단응력도 $\tau=\frac{2Q}{A}$ (kg/cm^2)	철 근 비 $P_s=\frac{\tau}{f_t}$ $f_t=2400 kg/m^2$ (%)	철근총단면적 $As=P_s \cdot t \cdot h$ $h=100cm$ (cm^2)	높이1m당 철근 개수 $n=\frac{As}{at}$ 개(本)	철근간격 $x=\frac{100cm}{n}$ (cm)
A	cm						
B	A=0.88 22	20~12f	0.60	0.025 →0.2	$t=15$ 3	9f~5개	20cm
C	A=1.14 28.4	10~12f 10~16f	0.92	0.038 →0.2	$t=18$ 3.6	9f~6개	15cm
D	A=1.43 35.8	20~16f	1.07	0.045 0.2	$t=21$ 4.2	9f~7개 12f~4	13cm 25cm →20cm
E	A=1.75 43.7	10~16f 10~19f	1.12	0.046 0.2	$t=24$ 4.8	12f~5	20cm
F	A=2.09 52.2	20~19f	1.10	0.046 0.2	$t=27$ 5.4	12f~5	20cm

(나) 모멘트 계산

모멘트 M 은 다음과 같이 원통부의 철근콘크리트 및 내화벽돌을 따로 계산하되 중심높이는 기초저면의 위치에서 잡는다.

원통부 철근콘크리트에 대한 모멘트
표 2의 EF 구간에서 $P_e=28.41t$

$$\Sigma y = y + h = 13.2^m + 3.7^m = 16.9^m$$

y 는 F-F의 위치에서의 중심높이
 h 는 F-F에서 기초저면까지의 높이

$$\therefore M = P_e \cdot y = 28.41 \times 16.9 = 480tm$$

원통부 내화벽돌에 대한 모멘트

$$M = P_e \times (y + h)$$

$$= 10.8(11.5 + 3.7) = 164.16tm$$

$$\Sigma M = 644.16tm$$

기초저면에 대한 진도 K 는 0.2로 하니 0.3으로 계산한 M 의 2/3를 기초계산 M 로 한다.

$$M_F = \frac{2}{3} M = \frac{2}{3} \times 644.16 = 430tm$$

(가) 지지력(접지압)검토

$$\frac{N}{A} = \frac{\text{총 무게}}{\text{기초저면적}}, \quad \frac{M_F}{Z} = \frac{\text{기초부모멘트}}{\text{기초저면단면계수}}$$

전단응력도

$$\sigma_e = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z} = \frac{450}{53} \pm \frac{430}{55.9} = 8.5 \pm 7.7$$

$$= 16.2 \text{ 또는 } 0.8t/m^2 < f_c = 20t/m^2 \text{ OK.}$$

(나) 전도(轉倒)의 검토

$$\text{단면의 핵 } e_0 = 0.132D = 0.132 \times 8 = 1.056m$$

D 는 기초판의 크기

$$e = \frac{M}{N} = \frac{430}{450} = 0.955m < e_0 = 1.056m \text{ OK}$$

(6) 기초판의 단면산정

$$N = 450t, M = 480tm \text{에}$$

대하여 설계한다.

$$\sigma_e = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z} = \frac{450}{53} \pm \frac{480}{55.9}$$

$$= 8.5 \pm 8.6 = \begin{matrix} +17.1 \\ -0.1 \end{matrix} tm$$

$$Q_F = \frac{2.63}{6} [1.13(2 \times 11.4$$

$$+ 17.1) + 3.33(11.$$

$$4 + 2 \times 17.1)]$$

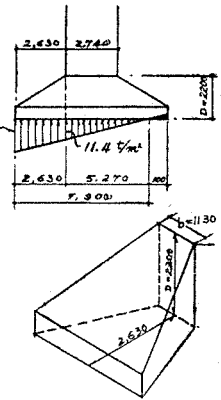
$$= 86.5t$$

$$M_F = \frac{2.63^2}{12} [1.13(11.4 +$$

$$17.1) + 3.33(11.4 \text{ 그림 11 기초 판단면산정}$$

$$+ 3 \times 17.1)]$$

$$= 137.0tm$$



$D=220\text{cm}$

$d=220-15=205\text{cm}$

$j=\frac{7}{8}d=\frac{7}{8}\times 205=179\text{cm}$

$\tau=\frac{Q_F}{b\cdot j}=\frac{86500}{113\times 179}=3.9\text{kg/cm}^2 < 9.0\text{kg/cm}^2$

$\phi=\frac{Q_F}{f_a\cdot j}=\frac{86500}{16.2\times 179}=29.8\text{cm}$

철근의 허용부착응력 f_a 는 다음과 같이 계산하였다.

$f_a=0.06F_c(\text{kg/cm}^2)$

여기 $F_c=135\text{kg/cm}^2$ 일때, $f_a(\text{장기})=8.1\text{kg/cm}^2$

$f_a(\text{단기})=16.2\text{kg/cm}^2$

철근 계산

$at=\frac{M_F}{f_s\cdot j}=\frac{137\times 10^5}{2400\times 179}=32\text{cm}^2$

16~16φ로 하면 $\left\{ \begin{array}{l} \phi=80\text{cm} \\ at=32.17\text{cm}^2 \end{array} \right.$

또는 12~19φ로하면 $\left\{ \begin{array}{l} \phi=71.63\text{cm} \\ at=34.02\text{cm}^2 \end{array} \right.$

※ 좌측은 풍압력에 의한 배근도
右側은 지진력에 의한 배근도.

