

# 굴뚝의 설계 ①

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
  - 1-1. 굴뚝의 종별
  - 1-2. 굴뚝의 높이, 지름
  - 1-3. 보일러 실
  - 1-4. 석탄고
2. 力學的 解法
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

### 1. 준비 사항

#### 1-1. 굴뚝의 종별

굴뚝은 독립굴뚝과 건물에 붙어 頂上部만이 屋上에 突出한 것이 있다. 굴뚝의 구성재는 철근 콘크리트 조(R.C조), 철판조, 벽돌조가 주로 쓰이고 이외에 경미한 것도 있으나 여기에서는 제외한다.

#### 1-2. 굴뚝의 높이·지름(口徑)

굴뚝의 높이, 지름 기타의 치수는 보일러의 종류 및 용량과 연료의 종류 및 소비량에 따라 결정된다. 보일러의 제조회사의 카탈로그에 사용보일러에 대한 굴뚝 기타의 치수가 기재되어 있다.

이론적으로는 다음 식으로 굴뚝 높이를 산정한다.

$$Q = (147A - 27\sqrt{A})\sqrt{H}$$

여기에서 Q=석탄 소비량(kg/h)

A=굴뚝 안의 단면적(m<sup>2</sup>)

H=굴뚝의 높이(m)

이 식을 수표 및 도표로 한 것이 1표 및 그림 1이다.

#### 1-3. 보일러의 선택 및 보일러실의 면적

석탄의 소비량은 보일러(汽罐)의 크기를 산정하면 결정된다. 보일러의 크기는 각실마다 그 용적에 대한 소

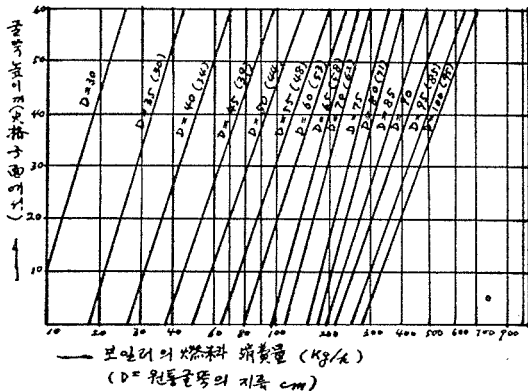
표 1 굴뚝의 높이와 지름

원형 굴뚝 지름 (cm)	단면적 (m <sup>2</sup> )	유 효 면 적 E (m <sup>2</sup> )	굴뚝 높이(m)															
			15	16	17	18	20	22	24	27	30	33	38	45	55			
			석탄의 소비량 (kg/h)															
35	0962	0383	22.5	23.2	24.0	24.6	26.0	27.4	28.5									
40	1257	0602	35	36.2	37.0	38.3	40.0	42.5	44.2									
45	159	0853	49.8	51.2	53.0	54.4	57.2	60.0	62.7									
50	196	144	66	68.5	70.5	72.3	76.5	80.5	84.0									
55	238	148	86	89.0	91.5	94.0	99.5	104	109	115								
60	283	185	107	110	114	117	124	130	135	144	152							
65	332	226	131	135	140	144	151	159	166	176	186	194						
70	385	274	159	164	169	174	184	193	201	213	225	236	254					
80	503	372	216	225	230	235	250	262	273	290	307	320	344	374				
90	630	489		293	308	318	328	344	360	380	402	420	452	481	543			
100	785	621			334	395	416	437	456	484	510	535	575	625	690			
120	1,131	935				595	625	660	686	730	770	805	865	940	1,040			
140	1,540	1,310					880	925	960	1,020	1,075	1,130	1,210	1,316	1,450			
160	2,011	1,748						1,230	1,280	1,360	1,435	1,500	1,620	1,755	1,940			
180	2,545	2,251							1,650	1,750	1,850	1,935	2,080	2,260	2,500			
200	3,142	2,814								2,180	2,310	2,420	2,600	2,820	3,120			
240	4,524	4,130									3,400	3,560	3,820	4,150	4,580			
280	5,309	4,884										4,200	4,500	4,900	5,420			
320	8,043	7,518										6,450	6,950	7,550	8,350			
360	10,179	9,589										8,250	8,860	9,630	10,630			
400	12,566	11,911										10,200	11,000	12,000	13,200			

표 2 건축 연면적에 대한 보일러실 면적

(단위 m<sup>2</sup>)

건축 연면적	1,000	2,000	3,000	5,000	10,000	20,000	30,000
보일러실 소요면적 개산	50	65	80	120	160	180	250



→ 보일러의 燃料 消費量 (kg/h)  
(D = 원통굴뚝의 지름 cm)

그림 1 굴뚝의 지름 및 높이의 算定圖表

요 방열면적을 산출, 총합계하여 이에 대응하는 보일러를 선정하면 되지만 건축면적으로 개산할 때는 다음과 같다.

i. 증기 난방일 때

방열면적  $A=0.8\sim 1$  (m<sup>2</sup>/坪)

[ $A=0.242\sim 0.3025$  (m<sup>2</sup>/건물 m<sup>2</sup>)]

ii. 온수 난방일 때

방열면적  $A=1\sim 1.2$  (m<sup>2</sup>/坪)

[ $A=0.3\sim 0.363$  (m<sup>2</sup>/건물 m<sup>2</sup>)]

단 실내 온도 20°C, 外氣溫度 0°C~5°C 일 때이다.

보일러의 상당방열면적 Ab

증기  $Ab=(0.8\sim 1)\times$ 건물연면적 $\times 1.5$

온수  $Ab=(1\sim 1.2)\times$ 건물연면적 $\times 1.5$

1-3. 보일러실

全放熱面積에 1.5배한 것은 배관손실 및 보일러에 여

표 3 보일러의 종류

	보일러의 종류	증발량 kg/h	효 율 (%)	사용압력 kg/cm <sup>2</sup>	사 용 방 법	열 연
高 壓 用	立 型 보 일 러	70~ 900	40~45	0~7	온 수 증 기	중유·석탄·가스
	爐 筒 보 일 러	300~3,000	50~60	0~7	〃	〃
	橫 型 多 管 式 보 일 러	200~3,000	60~70	0~7	〃	〃
	橫 型 多 管 式 페 케 이 지 보 일 러	200~4,500	55~70	0.3~0.7	〃	〃
低 壓 用	주 철 제 색 소 려	50~2,500	55~70	0.3~0.7	〃	〃
溫 水 罐	금 탕 용 러 立 型 보 일 러	發 熱 量 20,000kcal/h	50~55	水 頭 壓 3.0~0.4	溫 水	〃
		2100,000 〃				

표 4 각종 보일러의 適性

보 일 러 形 式	사 무 소 건 축		주 배 · 규 장 · 온 행 (지 점) · 레 스투 량	병 원 호 텔				비 고
	100~300	200~30,000		1,000~3,000	2,000~30,000	1,000~3,000	2,000~40,000	
세 로 型 爐 筒 〃		○		○		○		
가 로 型 多 管 式 〃		○			○		○	
가 로 型 페 케 이 지		○			○		○	
溫 水 보 일 러	○		○					
색 소 려 보 일 러	○	○	○	△	△	△	△	

○표는 採用, △표는 暖房用으로만 採用한다.

分 類		發 熱 量 kcal/kg	燃 料 比	粘 結 性	비 고
炭 質	區 分				
無 煙 炭 (A)	A <sub>1</sub>	—	4.0 이상	非 粘 結	火 山 岩 的 作 用 으로 生 成 된 石 炭
	A <sub>2</sub>				
瀝 青 炭 (B. C)	B <sub>1</sub>	8,400 이상	1.5 이상	强 粘 結	
	B <sub>2</sub>	8,100 이상	1.5 미만	粘 結	
	C	8,400 미만			
亞 瀝 青 炭 (D. E)	D	7,800 이상	—	弱 粘 結	
	E	8,100 미만	—	非 粘 結	
		7,300 이상 7,800 미만			
褐 炭 (F)		5,800 이상	—	非 粘 結	
		6,800 미만	—		

유를 본 것이다.

[보기] 연령 600坪 (2,000m<sup>2</sup>)의 증기 보일러는 보일러의 방열용량=0.8×600×1.5=720m<sup>2</sup> 따라서 보일러의 카탈로그에서 Rating 352.6m<sup>2</sup>짜리 2대, 또는 Rating 805.1m<sup>2</sup> 짜리 1대로 한다.

보일러실의 면적 기타는 표 2~4와 같다.

1-4. 석탄고

석탄고의 용적은 석탄 소비량의 5~10일분(日分)을 저장할 수 있으면 된다. 석탄 1 ton의 용적은 1.26~1.33m<sup>3</sup>이고, 건물 연면적 100坪當 1일분의 저탄용적은

0.081~0.108m<sup>3</sup>(3~4ft.<sup>3</sup>), 석탄고 용적은 0.27m<sup>3</sup>(10 ft.<sup>3</sup>)이다.

갯간(灰間, 灰置場)은 석탄고의 1/4~1/5의 용적이면 충분하다.

2. 力學 的 解 法

2-1. R.C.조 獨立 柱 是 力學 的 으로 地 中 에 固 定 (fix)된 칸티레버 빔으로 생각한다. (그림 2 참조)

2-2. 따라서 設計 用 應 力 是 主 로

① 固 定 荷 重 으로 生 起 是 壓 縮 應 力 N

② 風 壓 力, 地 震 力(水 平 荷 重)에 따 라 生 起 是 彎 應 力

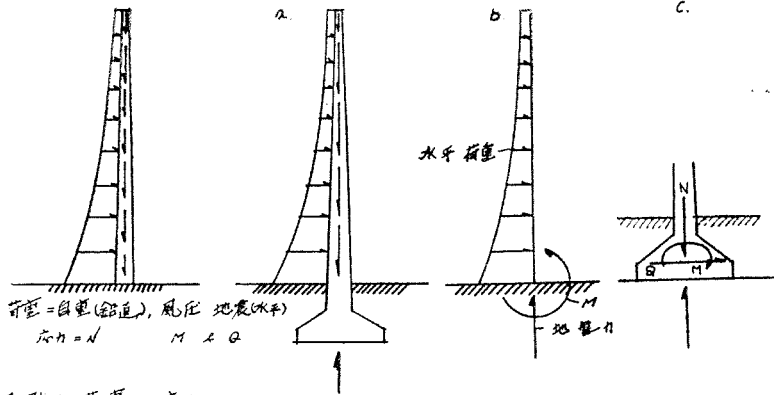


그림 2. 荷重 及 応力

M와, 剪斷力 Q이다.

2-3. 굴뚝이 지중에 고정된 칸티레버 빔으로 생각하기 위해서는 基礎는 충분히 안정되어야 한다. 즉 전도하지 않으며, 接地壓(地壓)이 許用地耐力度 以下라야 하고 또한 設計用 地盤反力에 對하여 斷面이 安全하여야 한다.

2-4. 設計用 應力

i. 鉛直荷重에 의한 應力

鉛直荷重에 의한 應力은 壓縮뿐이고, Bending Moment는 생기지 않는다. 5~6m마다 구분하여 각 구분에 대한 그 하면까지의 압축력을 계산하면 된다.

耐火벽들은 鉛直荷重에 對하여서는 自立하는 것으로 하고 직접 기초에 전달하고 굴뚝 중간에는 鉛直荷重이 걸리지 않는 것으로 한다.

ii. 地震力에 의한 應力

지진력 및 풍하중에 대해서는 칸티레버 보로써 B.M.을 계산한다. 설계용 응력은 압축력과 지진력 또는 풍하중에 의한 B.M.의 큰 것을 채용한다.

연직하중과 같이 5~6m 구간으로 구분하고 각 구간의 콘크리트 및 내화벽들의 무게의 0.3배의 크기의 水平力을 각 구간의 重心點에 加하여 B.M.을 산출하면 된다.

단, 地盤面下의 부분의 지진력은 주위 지반에 직접 전달하는 것으로 한다.

地震力을 計算할 때는 震度  $k=0.3$ 으로 하되 基礎의 顛倒와 地耐力의 檢訂에는  $k=0.2$ 로 한다.

[주] 우리나라에서는 지진이 거의 없으므로 大型貨物車, 重量物運搬路, 鐵路沿邊이나 特殊工場, 發破作業이 豫想되는 地域外에는 고려할 필요조차 없을 것이다. 따라서 上記의 震度  $k$ 는 調節되어야 할 것이다.

iii. 風壓力에 의한 應力

각 구간의 원통부 수평투영 面積(A)에  $P=60\sqrt{h}\times 0.7$  ( $\text{kg/m}^2$ )을 곱하여 水平力을 구하면 된다. 이것은 地震力에 의한 수평력에 比하면 대단히 작은 것이다.

[참고] 風壓力은 速度壓과 風力係數에 따라 다음 식으로 計算한다.

$$P=C+Q$$

여기에서 P; 風壓力度( $\text{kg/m}^2$ )

C; 風力係數( $c=0.7$ )

Q; 速度壓 ( $\text{kg/m}^2$ )

上記의 速度壓 Q는 다음 식에 의한 값을 標準으로 한다.

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

여기에서 h; 地盤面에서의 높이(m)

단, 普通일 때는 段形分布로 보고 다음 表의 값으로 할 수 있다.

태풍, 旋風 또는 海岸 高地帶 등의 바람채이는 位置에 있는 것은 별도로 고려하여야 한다.

표 5 지반면에서의 높이에 따른 속도압

지반면에서의 높이 m	속도압( $\text{kg/m}^2$ )	비	고
0~8	120		
8~15	210		
15~30	300		

iv 기 타

熱應力은 特殊한 것 외에는 應力計算에서 除外한다. 長方形斷面굴뚝의 對角線方向 水平力에 對하여서는 檢訂을 하거나 應力の 增加함을 고려한다.

2-5. 기 초

i. 地耐力은 기초상부 되메운 흙의 무게를 가산한 것에 對하여 計算한다.

ii. 굴뚝의 전도 및 기초바닥판

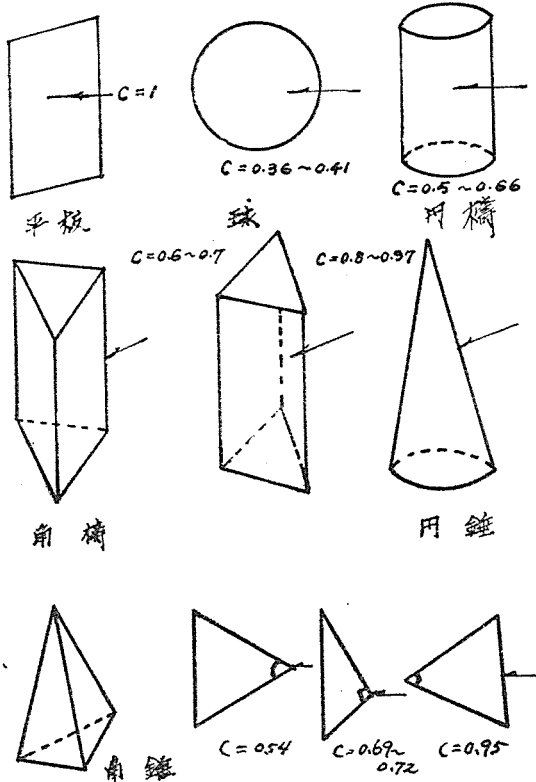


그림3 物體의 形에 따른 模係數表 C

저면의 크기의 결정에 대한 진도는  $0.3 \times \frac{2}{3} = 0.2$ 로 한다. 기초바닥판의 단면산정에 대한 진도는 0.3으로 한다.

iii. 기초바닥판 배근에는 빗방향 응력에 대한 증가를 고려하여 철근을 넣는다.

iv. 기초바닥판 상면은 인장력을 받을 때를 고려하여 대비철근을 배치한다.

### 3. 各部 構造上의 注意

3-1. 굴뚝은 熱과 가스 등으로 콘크리트 自體의 風化損滅이 甚하므로 굴뚝은 一般構造物 보다 耐久力이 적은 것이다.

① 여기에 대비하여 굴뚝 내부에는 耐火벽돌을 쌓지만 또한 콘크리트의 外皮두께를 보통보다 크게(5cm 이상으로) 한다.

② 콘크리트의 強度  $F_c \leq 135 \text{kg/cm}^2$ 으로 하여 충분한 안전율을 보아야 한다.

3-2. 굴뚝 圓筒內部에 耐火벽돌 등을 쌓는 일을 라이닝(Lining)이라 한다.

① 라이닝(耐火벽돌)은 R.C.圓筒과 空間을 두기 쌓아 斷熱性을 높이고 圓筒과 圓錐間에 連結하며 自立할

수 있게 한다.

② 圓筒內部에 라이닝하는 높이는 굴뚝 높이의  $\frac{2}{3} \sim \frac{4}{5}$ 정도로 한다.

③ 라이닝은 自體固定荷重(鉛直荷重)은 自體가 支持할 수 있게 하고 水平力은 支持하지 않으며 地震時의 수평력에 대하여서는 각 높이에 있어서 R.C.와 一體가 되어 作用하는 것으로 한다. 즉 R.C.圓筒이 수평력을 專擔하는 것으로 設計한다.

### 4. 計算의 順序

4-1. 보일러의 형식·용량(연료의 단위 시간당 소비량)에 따라 굴뚝 높이 H와 頂部內徑을 정한다.

4-2. 굴뚝의 높이와 頂部內徑에 따라 各部斷面의 치수를 가정한다.

#### ① 頂部の 圓筒두께

철근에 대한 피복두께는 5cm 이상으로 한다. 따라서 콘크리트의 최소 두께는 12cm 이상으로 한다. 굴뚝 지름 또는 최소일변길이에 대한 콘크리트 두께의 비는 0.1진후로 한다. 보통 12cm로 하고 높이 1m마다 단면의 두께를 3~5mm씩 증가한다.

#### ② 圓筒의 外面의 경사는 $\frac{1}{30} \sim \frac{1}{20}$ 로 한다.

4-3. 構成材料의 重量, 強度 및 許容耐力度를 정하고 地盤의 地質, 重量 및 許容耐力度를 정한다.

4-4. 굴뚝의 全높이를 적당한 區間(5~6m)으로 區分하여 自重, 風力, 地震 등의 外力을 산출한다.

4-5. 外力에 의하여 各部應力(N, M, Q)을 구한다.

4-6. 各部應力에 대응하는 許容強度를 檢訂하여 各部斷面을 산정한다.

4-7. 圓筒의 斷面算定에 이어 라이닝의 重量, 構造, 各部 치수를 정한다.

4-8. 上記의 圓筒과 地盤反力 등에 의하여 基礎의 斷面을 산정한다.

### 5. 굴뚝의 斷面形狀

5-1. ①圓筒의 斷面形狀은 圓形, 正四角形 등이 주로 쓰이고 때로는 正八角形, 長方形이 채택될 때도 있다.

②基礎의 形狀은 圓筒形狀에 따라 圓形 또는 正多角形으로 하지만 보통 正八角形이 많이 쓰인다. (그림 4 참조)

③ 굴뚝 圓筒모양을 正方形, 長方形 또는 八角形으로 할 때에는 水平荷重의 作用方向에 따라 中立軸에 대한 斷面 2次 모멘트가 變化되니까 注意해야 한다.

5-2. 各部斷面의 鐵筋量은 計算하면 결정되지만 計算上 적을 때라도 그림 5와 같이 安全을 보아 配筋하는 것이 좋다.

① 鐵筋比  $P_g = a_s / A_s \times 100\% \geq 0.25\%$  여기서  $P_g$

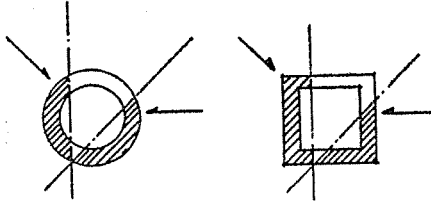


그림4 荷重作用方向에 따라 軸의 변화

는 콘크리트 全斷面積에 대한 鐵筋斷面積의 比.

$a_s$  = 굴뚝斷面 單位幅(1m)內的 鐵筋의 全斷面積

$A_s$  = 굴뚝斷面 單位幅(1m)內的 콘크리트 全斷面積

② 세로근은 지름 12φ 이상, 간격 30cm 이하

③ 가로근

연직방향의 최소 철근량은 다음에 의한다. (전단보강에 필요한 量) + (세로 단면의 0.1%) 또  $P_s \geq 0.2\%$ , 철근지름 9φ 또는 이형철근  $D_{10}$  이상, 간격 20cm 이하 장방향 굴뚝의 모서리에는 모서리근으로 16φ 이상의 세로근을 넣는다.

### 6. 設計例

#### 6-1. 例題 1

높이 30m, 頂部內徑 1.6m의 철근 콘크리트 獨造 圓筒 굴뚝을 設計하라. (그림 6 참조)

단 構成材料의 強度 기타는 다음과 같다.

① 鐵筋 長期  $f_t = 1,600 \text{ kg/cm}^2$

短期  $f_t = 2,400 \text{ kg/cm}^2$

② 콘크리트 長期  $f_c = 135 \text{ kg/cm}^2$

短期  $f_c = 45 \text{ kg/cm}^2$

③ 許容地耐力度  $F = 10 \text{ t/m}^2$

④ 震度  $K = 0.3$ ,  $K = 0.2$  (轉倒 및 地耐力 檢討用)

⑤ 材料重量

철근 콘크리트  $W_1 = 2.4 \text{ t/m}^3$

耐火벽돌  $W_2 = 1.7 \text{ t/m}^3$

(치수  $250 \times 109 \times 60$ )

土重量  $W_3 = 1.6 \text{ t/m}^3$

#### 6-2. 解法

圓筒의 두께, 內徑, 外徑은 높이에 따라 變化하므로 應力을 連續的으로 구하기는 變잡하며 또 鐵筋配筋上 連續的으로 구할 필요도 없다. 따라서 어느 一定한 高

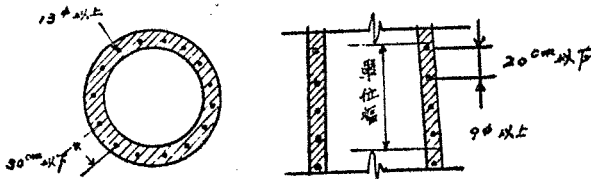


그림5 鐵筋量

이 마다 區劃(보통 5~6m로 구획한다)하여 圓錐形으로 各部應力을 구한다.

① 斷面積  $A = \pi \cdot D_m \cdot t \text{ (cm}^2\text{)}$

② 體積  $V = h/3 \times (Ab + At + \sqrt{AbAt})$

③ 圓錐體의 中心 높이 (加力點高)

$$y = \frac{h}{4} \left( \frac{Ab + 2\sqrt{AbAt} + 3At}{Ab + \sqrt{AbAt} + At} \right)$$

여기  $D_m$  = 원통의 內徑과 外徑의 平均徑(cm)

$t$  = 원통의 두께 (cm)

$At$  = 원통上部 斷面積( $\text{cm}^2$ )

$Ab$  = 원통下部 斷面積( $\text{cm}^2$ )

[참고] 截頭錐體의 重心은 다음과 같이 冊字마다 표현을 달리하고 있다. (그림 6 참조)

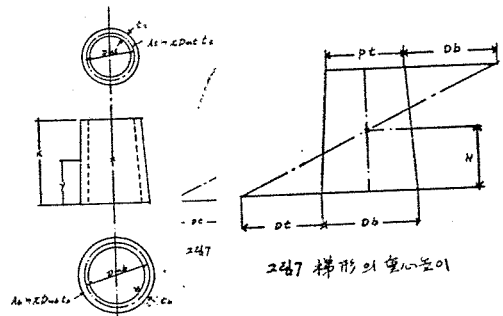


그림6 截頭錐體의 重心 높이

$$y = \frac{h}{4} \left( \frac{R^2 + 2Rr + 3r^2}{R^2 + Rr + r^2} \right) \dots \dots \dots (1)$$

여기에서 上部 및 下部 단면적을 각각  $At \cdot Ab$ 라 하면

$$At = \pi r^2 \quad Ab = \pi R^2 \quad \sqrt{At \cdot Ab} = \sqrt{\pi^2 R^2 r^2} = \pi Rr$$

$$\therefore y = \frac{h}{4} \left( \frac{Ab + 2\sqrt{Ab \cdot At} + 3At}{Ab + \sqrt{Ab \cdot At} + At} \right) \dots \dots \dots (2)$$

또 (1) 式에서  $\frac{r}{R} = v$ 라 하면

$$y = \frac{h}{4} \left( \frac{1 + 2v + 3v^2}{1 + v + v^2} \right) \dots \dots \dots (3)$$

또 (2) 式에서

$$y = \frac{h}{4} \left( \frac{Ab + 2\sqrt{Ab \cdot At} + 3At}{Ab + \sqrt{Ab \cdot At} + At} \right) \\ = \frac{h}{4} \left( \frac{\frac{Ab}{At} + 2\sqrt{\frac{Ab}{At}} + 3}{\frac{Ab}{At} + \sqrt{\frac{Ab}{At}} + 1} \right)$$

여기에서  $At$ 와  $Ab$ 는 높이에 비하면 근소한 차이므로

$$\sqrt{\frac{Ab}{At}} = 1 \text{로 보면}$$

$$y = \frac{h}{4} \left( \frac{\frac{Ab}{At} + 5}{\frac{Ab}{At} + 2} \right) \dots \dots \dots (4)$$

梯形 (굴뚝보임면)의 重心높이(그림 7참조)

$$x = \frac{h}{3} \left( \frac{Db + 2Dt}{Db + Dt} \right)$$

(다음 號에 계속)