

# 溫突의 煉炭개스流量에 關한 研究(1)

(含濕低溫熱氣流의 굴뚝通風力)

岡 滿 基\*

## Study on the Flow of Briquette Gas in the Ondol Heating System

(Chimney Draft of Low Temperature Moist Air)

Man-Ki Min

### Abstract

Natural draft and flow which low temperature moist gas produces in the chimney of an Ondol heating system were numerically analysed.

Among several factors involved inlet gas temperature has the strongest influence on the chimney performance and then next specific humidity of the gas. Thermal conductivity of the chimney wall, however, has little influence on the performance of such a low temperature chimney.

Under given flow conditions there exists an optimum chimney height which gives a maximum flow rate for a given chimney diameter. This optimum value of chimney height increases with increase in chimney diameter, inlet gas temperature and specific humidity.

### 1. 序 論

우리 나라의 住宅은 大部分이 溫突構造로 되어 있고 燃料로서는 값이 싼 無煙炭을 태고 있다. 이 溫突에 依한 暖房에는 效率, 개스中毒으로 인한 人命被害等 研究해야 될 問題가 많이 있으며 近年에 와서 이에 對한 研究가 活發해지고 있다.

煉炭溫突에서의 痼疾의인 病弊는 流量이 매우 적다는 點, 流動이 持續的이 아니며 氣象과 外壁에 여러 條件에 따라 流量이 棼사리 變動하고 境遇에 따라 逆流도 일으킨다는 點 等이다. 煉炭溫突에서는 무엇보다도 流量의 增大를 期하고 外部 條件의 變化에 對해서도 流量의 變動없이 流量을 持續케 하는 것이 緊要하다. 溫突에서 개스를 流

動시키는 通風力은 煉炭內의 燃燒流路, 誘導管, 고래의 煙道 및 굴뚝 등에서 얻어지지만 여기서는 굴뚝의 通風力에 限定해서 굴뚝內 熱氣流에 依한 自然通風力, 流路의 抵抗 그리고 流量을 數值的인 方法으로 求한다.

煉炭개스溫突에서 굴뚝入口의 개스溫度는  $10^{\circ}\text{C}$  ~  $30^{\circ}\text{C}$  程度로서 매우 낮다. 굴뚝性能에 關한 從來의 研究資料는 모두  $100^{\circ}\text{C}$  以上  $600^{\circ}\text{C}$  程度까지의 高溫개스에 對한 것들이 있을 뿐이다. 따라서 低溫의 熱氣流가 흐르는 굴뚝의 性能을 調査하여 煉炭개스 溫突의 流量解析의 基礎를 세우고자 한다.

流動개스로서는 含濕된 空氣를 使用하여 煉炭개스 比重量의 計算에서 惹起되는 繁雜性을 排除하였다.

\* 正會員, 高麗大學校理工大學

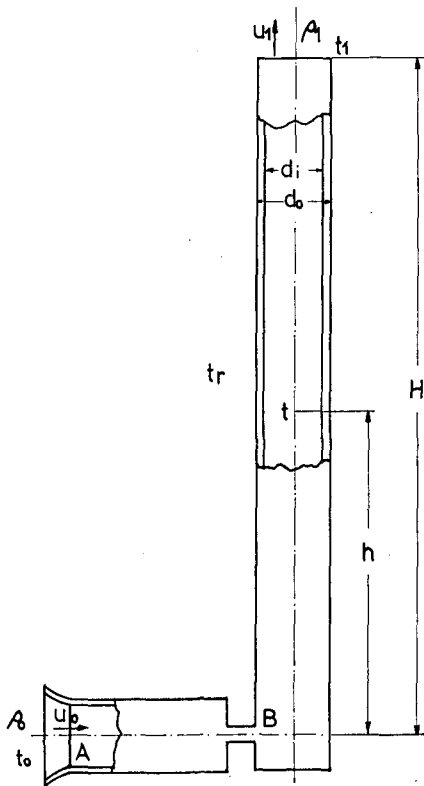


그림 1. 굴뚝과煙道의 等價流路 (A→B)

2. 굴뚝性能의 基礎算定式

굴뚝의 通風力은 굴뚝內外의 氣의 密度差에 依하여 發生한다. 마찰損失이나 熱損失이 없는 굴뚝의 理論通風力은

$$D_{th} = (\gamma_r - \gamma_o)H \quad (1)$$

$D_{th}$  : 理論通風力 mmAq

$\gamma_r, \gamma_o$ : 外氣와 굴뚝入口의 氣比重量  $kg/m^3$

$H$  : 굴뚝높이 m

그러나 이러한 理想流體의 斷熱流動은 實際에서는 얻을 수 없고 마찰損失과 熱損失 때문에 通風力은 減少한다. 따라서 實際의 通風力은 굴뚝入口의 氣溫度, 外氣溫度, 氣의 濕度, 流路의 마찰抵抗, 굴뚝의 冷却狀態, 굴뚝의 높이와 지름 등에 따라 달라진다. 여기서는 이들에 依한 굴뚝性能의 變化를 解析하고자 하며 이밖에도 通風

力에 影響을 주는 것으로는 굴뚝의 모양, 內部表面의 型, 漏洩, 굴뚝의 熱容量, 風速과 風向, 周圍의 構造, 그리고 굴뚝뚝개의 型 等<sup>1)</sup>의 因子가 있으나 여기서는 論議對象에서 除外한다.

2.1. 利用通風力과 要求通風力

그림 1과 같이 斷面積이 一定한 圓形의 垂直굴뚝이 無限의 熱容量을 갖인 受熱體中에 놓인 境遇 氣가 上昇하면서 冷却될 때 굴뚝流路內의 流動에 對한 力學的인 基礎式은

$$P_0 - P_1 - \int_0^H \gamma dh = \Sigma \Delta P + \Delta P_{in} + \Delta P_{ch} + \rho_1 \frac{u_1^2}{2} - \rho_0 \frac{u_0^2}{2} \quad (2)$$

$P_0, \rho_0, u_0$ : 流路入口에서의 氣壓力  $kg/m^2$ , 密度  $kg/m^3$  및 流速  $m/sec$

$P_1, \rho_1, u_1$ : 流路出口에서의 氣壓力  $kg/m^2$ , 密度  $kg/m^3$  및 流速  $m/sec$

$\Sigma \Delta P$  : 굴뚝을 除外한 全煙道內서의 壓力損失  $kg/m^2$

$\Delta P_{in}$  : 煙道入口에서의 壓力損失  $kg/m^2$

$\Delta P_{ch}$  : 굴뚝에서의 壓力損失  $kg/m^2$

이 때 굴뚝內 流動氣가 冷却되면서 發生하는 通風力은 다음과 같이 表示된다. 流路內의 壓力은 大氣壓  $P_0$  와의 差가 極히 적으므로 無視하여  $P_0$  와 같다고 하면

$$D = P_0 - P_1 - \int_0^H \gamma dh = \gamma_r H - \int_0^H \frac{P_0}{R_o T} dh \quad (3)$$

$D$ : 熱損失만을 갖는 굴뚝의 通風力 mmAq

$\gamma_r$ : 外氣의 比重量  $kg/m^3$

$T$ : 높이  $h$ 에서의 氣의 絕對溫度  $^{\circ}K$

$R_o$ : 含濕空氣의 氣體常數  $\frac{kg \cdot m}{kg^{\circ}K}$

굴뚝에서 氣가 上昇하면서 冷却될 때 굴뚝壁을 통한 全體熱傳達係數가 全流路길이에 걸쳐 一定하다고 보면 높이  $h$ 에서의 氣溫度는

$$T = (T_o - T_r) \exp\left(\frac{-D_p K h}{C_p G}\right) + T_r \quad (4)$$

$T_o, T_r, T$ : 流路入口, 外部 및 높이  $h$ 에서의 含濕空氣의 絕對溫度  $^{\circ}K$

$D_p$  : 굴뚝內 流路의 接水둘레 m

$K$  : 굴뚝壁의 全體熱傳達係數  $\frac{Kcal}{m^2 h^{\circ}C}$

\* 괄호안의 숫자는 參考文獻의 번호임

$h$ : 任意的 높이  $m$

$C_p$ : 含濕空氣의 定壓比熱  $\frac{Kcal}{kg^\circ K}$

$G$ : 개스의 流量  $kg/h$

(4)式을 (3)式에 代入하여 整理하면

$$D = \gamma_r H - \frac{P_o}{R_o} \frac{C_{p_a}(1+x)G}{D_p K T_r} \left[ \frac{D_p K H}{C_{p_a}(1+x)G} + \ln \frac{T_1}{T_o} \right] \quad (5)$$

$C_{p_a}$ : 乾燥空氣의 定壓比熱  $0.24 \frac{Kcal}{kg^\circ K}$

$[C_p = C_{p_a}(1+x)]$

$x$ : 含濕空氣의 比濕度  $\frac{kg}{kg}$

$T_1$ : 굴뚝出口에서의 개스의 絕對溫度  $^\circ K$

여기서

$$T_1 = (T_o - T_r) \exp\left(-\frac{D_p K H}{C_{p_a}(1+x)G}\right) + T_r \quad (6)$$

굴뚝流路內의 流路方向의 平均流速은 굴뚝流路內의 개스의 平均比重量을 使用하여 連續式에서 求한다. 굴뚝流路內의 개스의 平均溫度는

$$T_m = \frac{C_{p_a}(1+x)G}{D_p K H} (T_o - T_1) + T_r \quad (7)$$

$T_m$ : 굴뚝流路內 개스의 平均溫度  $^\circ K$

한편 굴뚝流路內의 마찰에 依한 壓力損失은 流路의 平均마찰係數를 取해서 求하면

$$\Delta P_{ch} = \frac{G^2 R_o}{2gA^2 P_o} \left(\frac{fH}{d} T_m\right)^{1.1} \quad (8)$$

$A$ : 流路의 斷面積  $m^2$

$g$ : 重力의 加速度  $\frac{m}{h^2}$

$d$ : 굴뚝의 안지름  $m$

$$\Delta P_{in} = \zeta_{in} \frac{\rho_o u_o^2}{2} \quad (9)$$

$\zeta_{in}$ : 煙道入口의 마찰損失係數

굴뚝에서 얻을 수 있는 有効한 利用通風力은 (5)式의 通風力  $D$ 에서 굴뚝流路內의 壓力損失을 빼 것이므로

$$D_{av} = \gamma_r H - \frac{P_o}{R_o T_r} \frac{C_{p_a}(1+x)G}{D_p K} \left[ \frac{D_p K H}{C_{p_a}(1+x)G} + \ln \frac{T_1}{T_o} \right] - \frac{G^2 R_o}{2gA^2 P_o} \frac{fH}{d} T_m \quad (10)$$

$D_{av}$ : 利用通風力  $mmAq$

굴뚝에서 發生한 有効한 利用通風力은 定常流

動下에서는 굴뚝 以外의 全流動抵抗과 均衡을 이루어야 하므로 (2)式의 右邊에서  $\Delta P_{ch}$ 를 빼면 다음과 같은 要求通風力을 얻는다.

$$D_{req} = \Sigma \Delta P + \Delta P_{in} + \rho_1 \frac{u_1^2}{2} - \rho_o \frac{u_o^2}{2} \quad (11)$$

$D_{req}$ : 要求通風力  $mmAq$

따라서

$$D_{av} = D_{req} \quad (12)$$

굴뚝을 除外한 煙道內 全流路抵抗의 增減에 따른 要求通風力의 變化가 굴뚝의 通風力等 性能에 주는 影響을 살펴보기 위하여 煙道內 全體流路抵抗을 다음 式으로 表示하고 여기서  $\lambda$ 의 값을 變化시키므로서 要求通風力을 變化시켰다.

$$D_{req} = \lambda \left( \rho_1 \frac{u_1^2}{2} - \rho_o \frac{u_o^2}{2} + \zeta_{in} \frac{\rho_o u_o^2}{2} + \Delta p_{ch} \right) \quad (13)$$

## 2.2. 基礎式의 無次元化와 無次元變數

(10)式의 兩邊을 理論通風力,  $(\gamma_r - \gamma_o)H$ 로 나누어 無次元化하면 굴뚝效率을 얻는다.

$$\eta = \frac{1+\theta}{(1+\theta)X-1} \left[ X-1 + \phi \ln \frac{1+\theta}{1+\theta e^{-\phi}} \right] \quad (14)$$

$\eta$ : 굴뚝效率

$$\left. \begin{aligned} \theta &= \frac{T_o - T_r}{T_r} \\ X &= \frac{1+x}{1+x} \frac{R_w}{R_o}, \text{ 但 } R_o = \frac{R_o + xR_w}{1+x} \\ \phi &= \frac{D_p K H}{C_{p_a}(1+x)G} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

$R_w$ : 水蒸氣의 氣體常數  $\frac{kg \cdot m}{kg^\circ K}$

(13)式의 兩邊을  $(\gamma_r - \gamma_o)H$ 로 나누어 無次元化하면

$$\xi = \lambda \alpha X^2 \frac{1+\theta}{(1+\theta)X-1} \left[ \zeta_{in}(1+\theta) + \frac{fH\pi}{D_p} \left\{ \phi \theta (1-e^{-\phi}) + 1 \right\} - \theta (e^{-\phi} - 1) \right] \quad (16)$$

$\xi$ : 要求通風力의 無次元數

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{8\pi^2 G^2}{g D_p^4 \gamma_r^2 H} \\ f &= \frac{16\mu D_p}{G} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

表 1. 굴뚝材質의 熱傳導率  $k$ 와 두께  $t$

	유리섬	벽 돌	슬레이트	4% 주철
$k \frac{\text{Kcal}}{\text{mh}^\circ\text{C}}$	0.036	0.48~0.93	1.1	45.0
$t \text{ mm}$	10~20	100	10	4.5~5.3
$k/t \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}}$	2.7*	7.0*	110*	10 <sup>6</sup> *

\* 計算에 使用한 選定值

$f$ : 굴뚝의 마찰係數

(15)式에서  $\theta$ 는 入口개스溫도와 外氣溫도의 差를 나타내는 無次元數,  $X$ 는 比濕도로부터 求한 無次元數,  $\phi$ 는 含濕空氣의 熱容量流量에 對한 굴뚝壁의 傳熱率의 比로서 冷却狀態를 表示하는 無次元數이다. (17)式의  $f$ 는 層流에서  $64/Re$ 가 되고 이것을 流路入口에서의 값으로 求한 것이다.

따라서 (12)式으로부터 다음의 無次元化된 關係式을 얻는다.

$$\eta = \xi \tag{18}$$

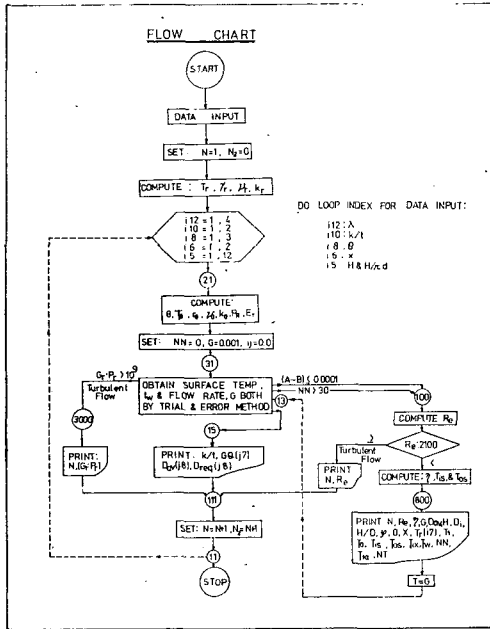
2.3. 計算에 使用된 條件과 空氣의 熱的 性質

앞에서와 같이 利用通風力과 全流動抵抗(要求

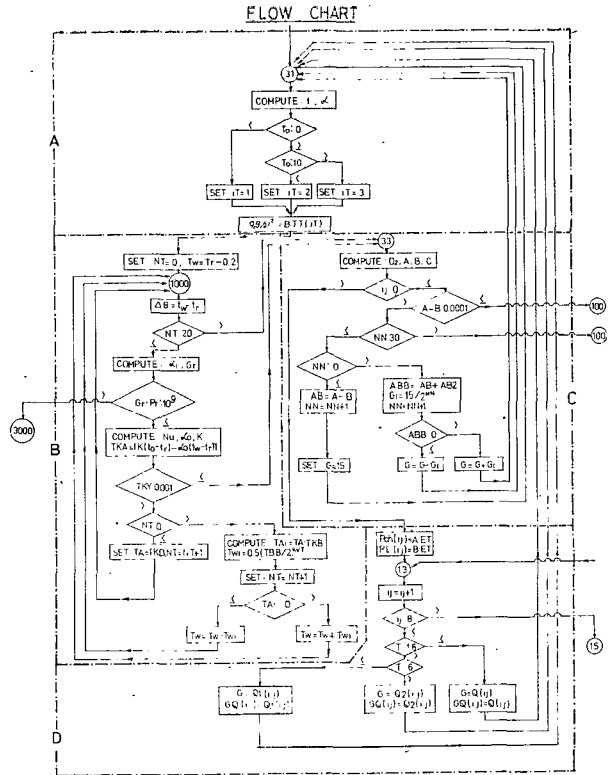
表 2. 空氣의 性質 및 傳熱特性值

傳熱特性 및 性質	溫度에 따른 數值 ( $t$ : 溫度 $^\circ\text{C}$ )
動粘性係數 $\nu$	$(0.891667t + 0.1380 \times 10^9) 10^{-7} \text{ m}^2/\text{sec}$
熱傳導率 $k$	$0.716667(10^{-4})t + 0.02070 \frac{\text{Kcal}}{\text{mh}^\circ\text{C}}$
比重量 $\gamma$	$352.9855/273.16 + t \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
$\beta g \nu^2$	$0.2428369 \times 10^9$ $0.1589247 \times 10^9 \frac{1}{\text{m}^3\text{C}}$ $0.1799027 \times 10^9$
乾空氣의 氣體常數 $R_a$	$29.27 \frac{\text{kgm}}{\text{kg}^\circ\text{K}}$
水蒸氣의 氣體常數 $R_w$	$47.05 \frac{\text{kgm}}{\text{kg}^\circ\text{K}}$
定壓比熱 $C_{p,d}$	$0.24 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$

通風力)이 굴뚝內外의 개스溫도差를 나타내는 變數  $x$ , 空氣의 比濕도  $x$ , 冷却狀態를 變化시키는 變數들 即 굴뚝壁의 熱傳導率  $k$ , 굴뚝의 높이  $H$  및 지름  $d$ , 그리고 流量  $G$  등에 따라 變化함을 나타내었다.



(a) 主流動圖



(b) 副流動圖

그림 2. 數值計算의 流動圖

이들 變數가 竈性能에 주는 影響을 計算하기 爲하여 表 1 과 表 2 의 條件들을 擇하였다.

(21)式에서 竈의 內外徑比  $\frac{d_i}{d_o}$  는 0.9로 一定하게 잡았고 煙道入口에는 벨마우스를 두고 (9)式에서 入口損失係數  $\zeta_{in}$  을 0.05로 하였다.

### 2.4. 竈內外壁表面의 表面熱傳達係數

煉炭溫突에서 氣의 流動은 그 레이놀즈數가 75~600 程度의 範圍에 있으므로 흐름은 層流다. 非確立의 層流흐름에 對한 竈壁內面의 表面熱傳達係數는 다음 式으로부터 求한다.

$$\frac{\alpha_i d}{k} = 0.664 \left( \frac{4G}{D_p \nu} \right)^{0.5} \left( \frac{C_p \mu}{k} \right)^{0.333} \quad (19)$$

$\alpha_i$ : 竈壁內面의 表面熱傳達係數  $\frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2\text{h}}$

여기서 프란틀數는 溫度에 關係없이 0.71(1+x)로 一定하게 보고 計算하였다.

竈外部의 表面熱傳達係數는 圓管外를 層流로 흐르는 自然對流에 關한 다음의 式에서 求한다.

$$\frac{\alpha_o d}{k} = 0.13 \left( \frac{C_p \nu}{k} \right)^{0.25} \left( \frac{g \beta \Delta \theta}{\nu^2} \right)^{0.25} \quad (20)$$

$\alpha_o$ : 竈壁外面의 表面熱傳達係數  $\frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2\text{h}}$

$\beta$ : 體積膨脹係數  $\frac{1}{^\circ\text{C}}$

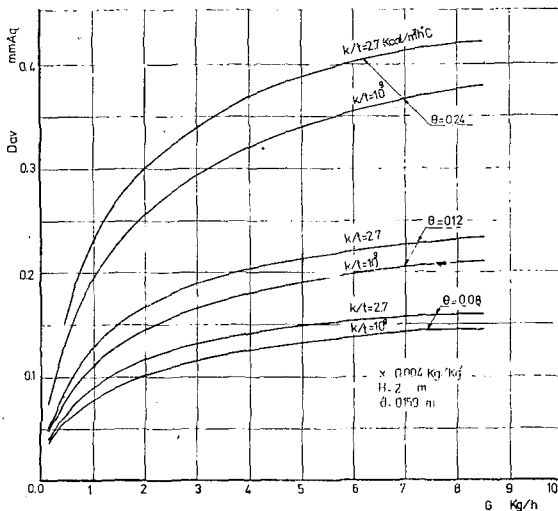


그림 3. 流量—利用通風力 曲線(助變數:  $\theta$  및  $k/t$ )

$\Delta\theta$ : 壁表面溫度와 熱境界層밖의 空氣溫度의 差  $^\circ\text{C}$

이들 값과 竈材의 熱傳導係數로부터 竈壁의 全體熱傳達係數는 다음 式에서 求한다.

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_i \frac{d_i}{d_o}} + \frac{1}{k/t} + \frac{1}{\alpha_o} \quad (21)$$

$K$  : 竈壁의 全體熱傳達係數  $\frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2\text{h}}$

$d_i, d_o, t$ : 竈의 內徑 m, 外徑 m 및 竈壁의 두께 m

### 3. 數值計算과 結果

通風力, 竈效率, 流動抵抗 및 流量等을 計算하기 爲한 流動圖를 그림 2에 보여 준다. 그림 2 (a)는 主流動圖를 나타내고 그림 2 (b)는 主流動圖中の ㉑番內에서 表面溫度  $t_w$  와 流量  $G$  를 算出하는 過程을 따로 나타낸 副流動圖이다. 計算內容은 다음의 두 가지로 分類된다.

1. 여러 流動條件( $\theta, x$  및  $\lambda$ )과 竈의 設計條件  $k/t, H$  및  $d_i$ 을 助變數로 하여 流量을 變化시키면서 利用通風力와 流動抵抗을 算出(그림 2 (a) ㉑ 및 ㉒, (b) D 參照)
2. 定하여진 流動條件과 設計條件에서 일어난는 定常流動의 流量算出, 그리고 이 때의 竈效率, 레이놀즈數, 利用通風力, 竈內에서의 氣溫, 竈壁內外表面의 溫度, 其他 等의 算出(그림 2. (a) ㉑ 및 ㉒, (b) C 參照)

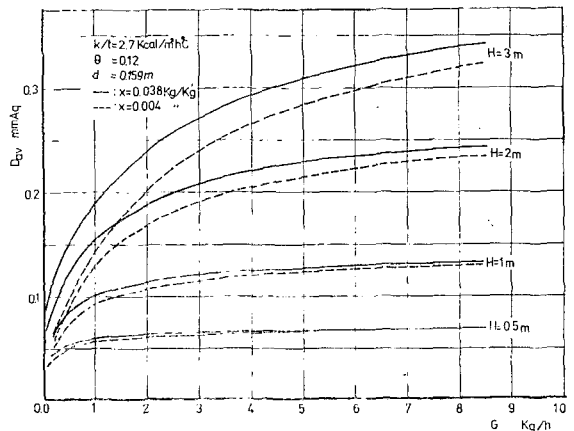


그림 4. 流量—利用通風力 曲線(助變數:  $H$  및  $x$ )

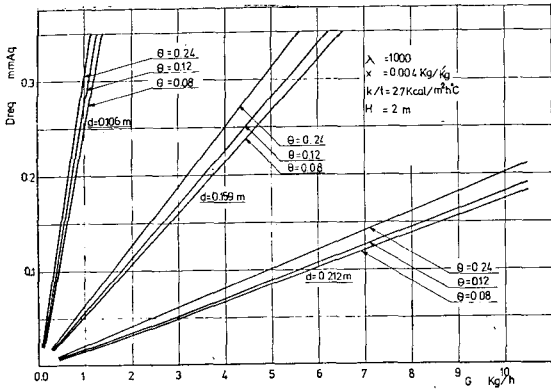


그림 5. 流量—流路抵抗 曲線(助變數:  $d$  및  $\theta$ )

두번째의 流量算出에서는 試行錯誤의 方法으로 解를 求하였다. (14)式~(18)式에서  $\phi$ ,  $\alpha$  및  $f$ 가 流量  $G$ 의 函數이며 더욱이  $\phi$ 內의  $K$ 도  $G$ 의 函數이어서 (12)式을  $G$ 에 關하여 直接 풀 수 없기 때문이다. 이 定常流動의 流量算出에서 (12)式의 誤差는 0.01%로 잡았다.

$K$ 의 값은 (21)式에서 算出된다. 그러나 (20)式에서  $\alpha_0$ 가 表面溫度  $t_w$ 와 外氣溫度  $t$ ,의 差의 函數임으로 다음의 定常熱傳導式(22)를 滿足하는  $t_w$ 의 값을 試行錯誤의 方法으로 求한다(그림 2 (b) B 參照)

$$K(t_w - t) = \alpha_0(t_w - t) \quad (22)$$

위 式의 誤差는 0.1%로 잡아 計算하였다.  $K$ 의 算出過程은 流量算出過程內에 들어가게 됨으로 流量算出過程에서 試行되는 每流量에 對해서 그 때마다  $t_w$ 를 求하여야 한다.

電算에서 計算은 extended precision으로 하였다.

그림 3과 그림 4는 流量에 對해서 利用通風力을 나타낸 것으로서 利用通風力은  $\lambda$ 와 아무런 相關이 없다. 어느 境遇건 流量增加에 따라 利用通風力이 增加하고 있으나 增加率은 漸次 減少하고 있다. 그림 3에서  $\theta$ 의 增加로 利用通風力이 相當히 커지고 있음을 볼 수 있고  $k/t$ 의 減少 即 保溫材의 使用은  $\theta$ 의 큰 값에서 더 效果의 임을 알 수 있다. 그림 4에서도 定하여진 流量에서 窟쪽 높이의 增加는 利用通風力을 相當히 增大시키고 있다. 比濕度의 增加로 因한 利用通風力의 增大

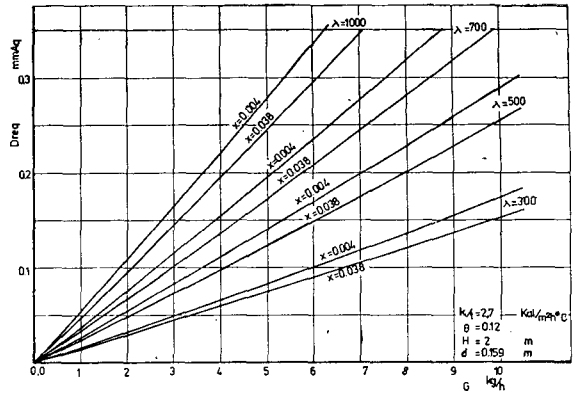


그림 6. 流量—流路抵抗 曲線(助變數:  $\lambda$  및  $x$ )

는 높은 窟쪽에서 效果의이며 또 同時에 작은 流量쪽에서 더 增大됨을 볼 수 있다.

그림 5와 그림 6은 流量에 對해서 流動抵抗을 나타낸 것이다. 流動이 層流인 까닭에 壓力降下는 거의 線型的으로 增加하고 있다. 그림 5는  $\theta$ 와  $d$ 를 助變數로 한 境遇인데 窟쪽지름의 增大는 流動抵抗을 濕著하게 減少시켜 주며  $\theta$ 의 增加로 因한 流動抵抗의 增加는 작은 지름에서 더 크다. 그림 6에서는  $\lambda$ 의 減少가 流動抵抗을 크게 減少시킴을 알 수 있다. 여기서  $\lambda$ 의 範圍는 레이놀즈數가 50~600 程度의 範圍에 오도록 取한 것이다.

그림 7은 어느 特定條件( $k/t=2.7$  Kcal/m²h°C,  $\theta=0.12$ ,  $x=0.004$  kg/kg',  $H=2$  m,  $d=0.159$  m)에서 流量에 따른 利用通風力과 또 같은 條件에서 流量에 따른 流動抵抗을 여러  $\lambda$ 의 값에 對하여 同時에 나타낸 것이다. 이들의 交點 A, B 및

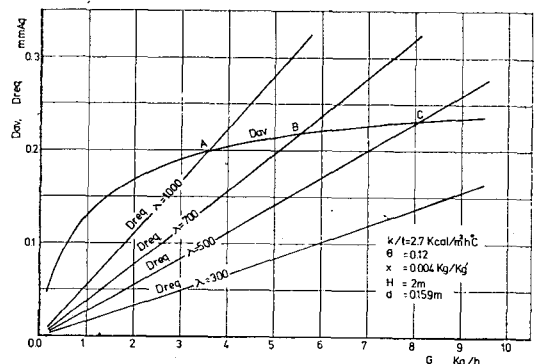


그림 7. 利用通風力 曲線, 流路抵抗 曲線 및 運轉點

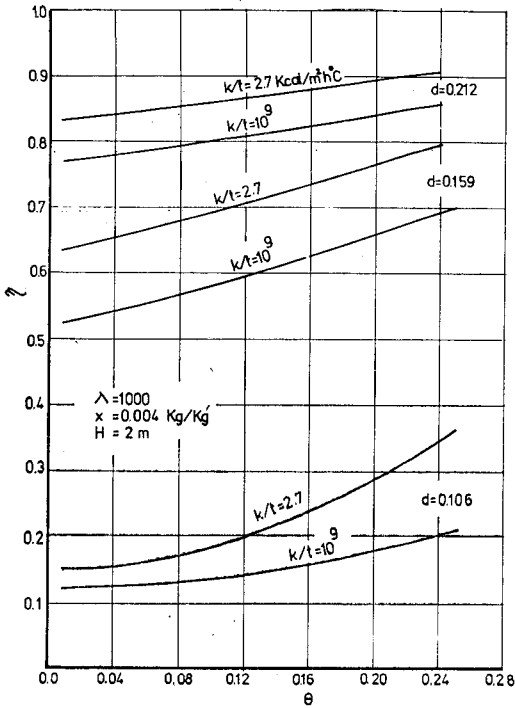


그림 8. 굴뚝의 效率曲線

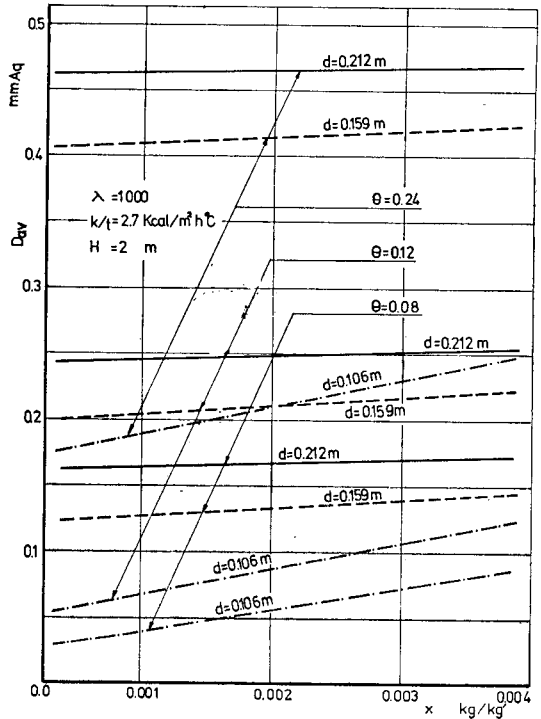


그림 9. 比濕度에 따른 通風力의 變化

C는 위의 特定條件에서 갖는 定常流動時의 運轉點이다. 이들을 보면  $\lambda$ 의 減少에 따라 流量과 利用通風力이 모두 增加하고 있지만 利用通風力은 漸次 어느 一定한 값에 收斂하여 그 以上 增加하지 않는다.

그림 8은 굴뚝效率를  $\theta$ 에 對해서 나타낸 것으로서  $k/t$ 와  $d$ 를 助變數로 하였다.  $k/t$ 의 增加로 效率이 減少하고  $d$ 의 減少는 效率을 顯著하게 減少시킬을 알 수 있다. 이것은  $k/t$ 의 增加와  $d$ 의 減少는  $\phi$ 를 增加시키며 이것은 冷却熱量의 增加를 意味하기 때문이다.

그림 9는 比濕度에 對해서 利用通風力을 나타낸 것이다.  $\theta$ 와  $d$ 를 助變數로 하였는데 比濕度の 增加에 따라 通風力은 어느 것이건 거의 線型的으로 增加하고 있다. 그 增加率은  $\theta$ 에 따라서는 別로 變動이 없으나  $d$ 를 減少시킬 때 많이 커짐을 알 수 있다.

그림 10은 굴뚝높이와 지름에 따른 流量의 變化를 보기 爲하여, 定하여진 流動條件( $\lambda=1000$ ,

$k/t=2.7 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}}$ )에서 助變數  $d$ ,  $x$  및  $\theta$ 를 變化시키면서  $H$ 에 따라 流量  $G$ 를 나타낸 것이다. 어느 曲線이건  $H$ 를 크게 할 때 流量은 처음에 커지나 어느 最大值에 이른 後에 流量은 도루 減少하기 始作한다. 即 各 曲線마다 流量의 最大值가 存在한다. 따라서 굴뚝높이를 無作定 높이는 것은 개스의 排出量을 오히려 減少시킬 뿐이다.  $\theta$ ,  $x$  및  $d$  등이 모두 커짐에 따라 最大流量을 주는  $H$ 는 높아지고 있다.

그림 11은  $\lambda$ 를 그림 9에서와 같이 1,000으로 하고  $k/t$ 만  $10^9 \text{Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ 로 바꾼 境遇다. 두 그림을 比較하면  $k/t$ 의 變化에 따른 流量變動은 거의 없다.

그림 12는  $\lambda$ 를 700으로 줄인 境遇로서 全體의 傾向은 그림 9 및 그림 10과 같다.  $\lambda$ 의 減少로 流量이 全般的으로 增加하고 있는데 그 增加量은  $\theta$ 나  $d$ 가 클수록 커지며 最大流量을 주는 굴뚝높이  $H$ 도 커지는 傾向에 있다.

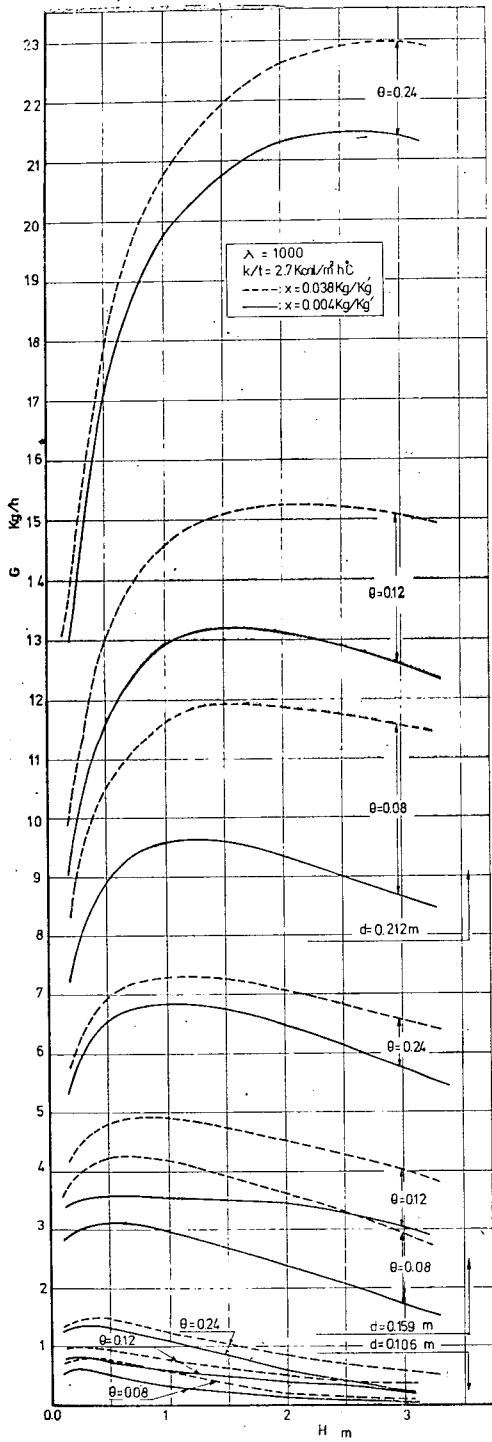


그림 10. 굴뚝을 흐르는 含濕低溫空氣의 流量 ( $\lambda=1,000, k/t=2.7 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ )

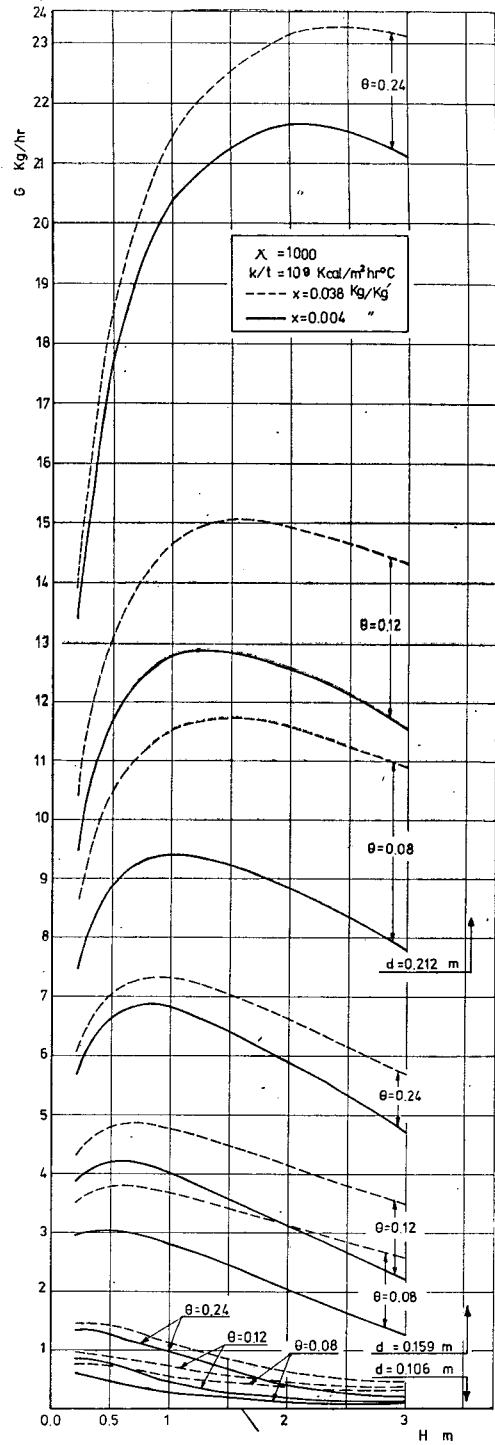


그림 11. 굴뚝을 흐르는 含濕低溫空氣流의 流量 ( $\lambda=1,000, k/t=10^9 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ )



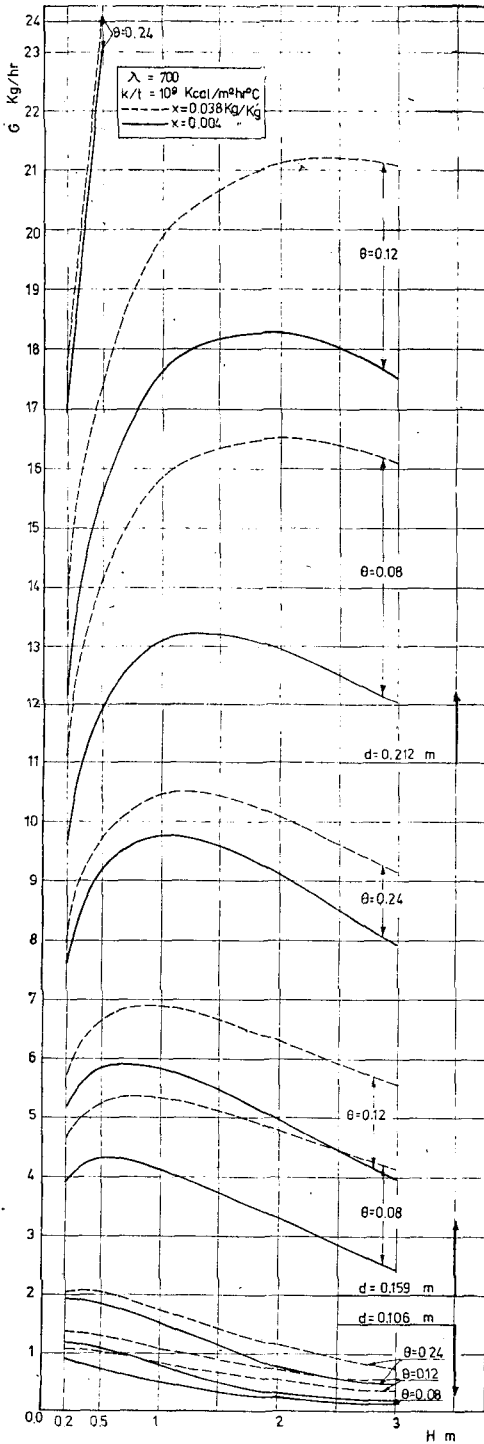


그림 12. 굴뚝을 흐르는 含濕低溫空氣流의 流量 ( $\lambda=700, k/t=10^9 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ )

#### 4. 結 論

습된 低溫의 熱氣流에 依해서 굴뚝에서 發生되는 自然通風力과 定常流動의 流量에 對하여 數值解析을 하였다. 이들을 要約하면 다음과 같다.

1. 定하여진 條件下에 굴뚝流路를 흐르는 含濕低溫氣流에 對한 層流흐름의 基礎式을 세워 通風力 및 流量을 求하였다.

2. 굴뚝의 通風力과 流量은 굴뚝入口의 氣溫도와 比濕度, 外氣溫度, 굴뚝壁材의 熱傳導率, 굴뚝의 높이와 지름 등에 關聯을 갖는다.

#### 流動條件

3. 굴뚝壁材의 熱傳導率  $k/t$ 의 減少는 通風力과 流量을 增加시키지만 그 增加量은 別로 크지 않으며 더구나 작은  $\theta$ 에서는 微少하다. 이에 對하여  $\theta$ 의 增加는 通風力과 流量을 顯著하게 增加시킨다. 따라서 煉炭溫突에서처럼 굴뚝入口溫度가 매우 낮은 境遇에는 保溫의 效果는 別로 期待할 수 없고 保溫보다는 굴뚝入口의 氣溫도의 上昇을 促求함이 바람직하다.

4. 比濕度の 增加는 通風力과 流量을 增加시킨다. 比濕度の 增加에 따르는 利用通風力의 增加率은 작은 굴뚝지름에서 더 크다.

#### 設計條件

5. 定하여진 流動條件下에 作用하는 定하여진 지름의 굴뚝에서는 最大流量을 갖는  $H$ 의 最適值가 存在한다. 그 最適值는 지름  $d$ 가 커질수록 커지고  $\theta$ 와 比濕度  $x$ 가 커질수록 커진다.

6.  $\lambda$ 의 減少(煙道內의 流動抵抗의 減少)는 通風力과 流量을 增加시키며 그 增加量은 굴뚝지름  $d$ 가 클 때 더 크다.

本 研究報告는 1974年度 產學協同財團의 研究費支給에 따라 遂行된 研究의 첫 報告다.

参 考 文 献

1. L. B. Schmitt, R. B. Engdahl: Performance of Residential Chimneys, No. 1363, ASHVE Transactions, Jan., 1949
  2. 林太郎, 辻克彦: 熱氣流の昇降流れに関する研究(1)  
空気調和・衛生工学 第47巻 第2號 1973年 2月
  3. 林太郎, 辻克彦: 熱氣流の昇降流れに関する研究(2)  
空気調和・衛生工学 第48巻 第3號 1974年 3月
-