# 低温가스 연돌의 보온이 연돌의 최적높이에 미치는 영향

## The Effects of an Insulation of Low Temperature Gas Chimney on the Optimum Chimney Height

金 永 得*, 閔 滿 基**
Y. D. Kim, M. K. Min

**ABSTRACT**

This paper presents that in the Korean Ondol Heating System using hard coal as an usual fuel, what effects an insulation of chimney with the low temperature gas flow has on the optimum chimney height which gives a maximum gas weight flowrate under the general weather data and actual design condition of chimney is compared with the bared chimney and studied. And also, the effects of chimney materials and diameter, dimensionless temperature difference, insulating materials and thickness which have on the optimum chimney height were researched and a good results increasing a maximum gas weight flowrate is obtained by insulating the chimney.

### 記 號 說 明

〈영 문 자〉

$A$ : 流路의 단면적〔$m^2$〕
$d$ : 煙突의 직경〔m〕
$D_{av}$ : 利用 通風力〔mmAg〕
$D_p$ : 煙突內 流路의 接水길이〔m〕
$D_{req}$ : 要求 通風力〔mmAg〕
$f$ : 煙突의 마찰계수〔$=16\mu D_p/G$〕
$G, G^*$ & $G_{max}$ : 가스流量 및 최대 가스유량〔kg/h〕
$H, H^*$ & $H_{OPT}$ : 煙突의 높이 및 最適높이〔m〕
$M$ : 煙突의 가스流量에 대한 煙突의 높이의 比〔m/(kg/h)〕
$\Sigma \Delta P$ : 煙突을 제외한 全 煙道內에서의 壓力損失〔$kg/m^2$〕
$\Delta P_{in}$ & $\Delta P_{ch}$ : 煙道入口 및 煙突에서의 壓力損失〔$kg/m^2$〕
$T_m$ : 煙突 流路內 가스의 평균온도〔°K〕
$x$ & $X$ : 含濕空氣의 比濕度〔kg/kg'〕 및 無次元 比濕度

〈그리스 문자〉

$\theta$ : 無次元 溫度差(煙突入口 가스온도와 外氣溫度의 差를 나타내는 無次元數)
$\phi$ : 含濕空氣의 熱容量에 대한 煙突壁의 傳熱率의 比(冷却狀態

* 仁德工業專門大學, 機械科
** 高麗大學校, 機械工學科

를 나타내는 無次元數)

$\zeta_{in}$ : 煙道入口의 마찰 損失係數

$\xi$ : 要求 通風力의 無次元數

〈하 첨 자〉

0 : 流路入口

1 : 流路出口

i : 內 面

o : 外 面

r : 外 氣

## 1. 序 論

주택난방의 대부분이 온돌구조로 되어 있는 우리나라에서는 서민용 연료로서 값이 싸고 매장량이 많은 무연탄을 아직도 많이 사용하고 있지만 이 온돌난방의 효율 및 가스중독으로 인한 인명피해 등 연구해야 할 문제가 많이 있다.

재래식 온돌 고래에 의한 온돌난방에서의 통풍력은 연소流路, 流道管, 고래의 煙道 및 煙突 등에서 발생하지만 이 중에서 煙突에서 발생하는 통풍력은 연돌의 높이, 연돌입구의 가스온도, 가스의 비습도 및 연돌의 冷却狀態에 따라 달라진다.

연돌은 연돌의 높이를 무조건 높일수록 통풍력이 증가하여 가스유출이 좋아지는 것으로 일반적으로 알고 있지만, 온돌난방에서의 연돌의 流入 가스온도는 100℃ 이상의 일반 산업용 연돌과는 달리 10℃ 정도 밖에 되지 않아 겨울철 우리나라 서울의 표준 외기온도 −14℃를 고려하면 연돌의 높이를 무조건 높임으로써 오히려 연돌내에서의 가스의 역류현상으로 가스가 잘 유출되지 않아 온돌의 효율을 저하시킨다.

1970年代 初와 末 두번의 기름파동 후 에너지의 중요성과 더불어 에너지원이 절대적으로 부족한 우리나라에서는 에너지 절약이 불가피하므로 에너지 절약이 가능한 모든 분야에 그 영역을 점차 넓혀 나가야 한다. 따라서 본 논문은 연돌을 보온함으로써 연돌의 통풍력을 최대로 하는 연돌의 최적높이에 어떠한 영향을 미치는 가를 조사하여 연돌의 효율적 이용에 의한 온돌의 효율을 더욱 높히고 아울러 에너지 절약을 꾀하고자 한다.

연돌에 관한 연구로는 林·辻[1-3]이 역 U字形 유로에서 流路가 자연 冷却되는 경우에 입구 가스온도, 유로형상 및 가스유량과 통풍력과의 관계를 이론적으로 구하였고 Schmitt & Engdahl[4]은 벽돌로 된 연돌, 경량물질로 된 연돌, 실험용 이중벽 연돌의 3가지에 대해 연돌의 성능을 실험적으로 연구하였다. Colborne & Hoffatt[5,6]은 연돌에 관한 일반 방정식을 실험적으로 연구하였으며 Beamont, Fitzgerald & Sewell[7]은 피복되지 않은 연돌, 광물성 보온재로 피복된 강판연돌 그리고 알루미늄 보온된 강판연돌의 3가지에 대해 산화물 응축과 연돌개량에 관해 연구하였다. 그러나 이들은 모두 연돌입구의 가스온도가 100～600℃ 정도의 높은 온도범위에서 연구한 내용들이며 비교적 저온의 가스 流動을 갖는 연돌에 대해서는 閔[8]이 연구한 含濕空氣가 연돌내에서 冷却되면서 통풍되는 流動을 수치해석한 것과 金[9]의 최대 통풍력을 갖는 연돌의 최적높이를 컴퓨터 시뮬레이션으로 구한 것이 있으며, 실험적 연구로는 張[10]의 연탄가스의 연돌특성에 관한 연구와 吳[11]의 低溫 熱氣流의 연돌특성에 관한 연구 그리고 李·金[12]의 연돌의 열전연이 연돌효율에 미치는 영향에 관한 연구 등을 들 수 있다. 그 외 배[13,14]는 온돌난방 개량연구 계획에서 연돌에 관한 열손실 해석을 하였다.

## 2. 基本 理論 및 方程式

연돌의 通風力은 연돌내의 가스온도와 外氣溫度의 差에 의해서 연돌내의 가스와 주위 空氣의 密度에 差가 발생하여 일어난다. 따라서 열손실 및 마찰손실이 없는 경우의 이상적인 연돌의 理論 通風力은

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

으로 나타낼 수 있다. 그러나 실제의 연돌에서는 연돌표면을 통한 열손실과 연돌내에서

생기는 마찰손실에 의한 가스流動에 대한 저항때문에 통풍력은 감소한다. 그러므로 주어진 設計 및 流動條件下에서의 연돌내에서는 이들 압력강하의 총합을 이겨내는 평형상태에서 임의의 일정한 가스유량이 결정된다.

Fig. 1과 같은 단면적이 일정한 원형의 수직연돌이 무한의 열용량을 갖는 受熱則 유체속에 놓여 있는 경우에 가스가 상승하면서 冷却될 때의 연돌 및 연도내에서의 유동에 대한 기본 방정식은 다음과 같다.

$$P_o - P_1 - \int_0^H \gamma\, dh$$

$$= \Sigma \Delta P + \Delta P_{in} + \Delta P_{ch} + \rho_1 \frac{U_1^2}{2} - \rho_0 \frac{U_0^2}{2} \cdots (2)$$

여기서 좌변은 연돌내 유동가스가 冷却되면서 생기는 통풍력이므로 이를 $D$라 두면

$$D = P_0 - P_1 - \int_0^H \gamma\, dh = \gamma_r H - \int_0^H \frac{P_0}{R_0 T}\, dh \quad \cdots\cdots (3)$$

이 된다. 따라서 연돌에서 얻을 수 있는 利用 通風力은 煙突壁을 통한 冷却熱量만을 고려한 경우의 통풍력에서 연돌내의 마찰손실을 뺀 것이므로 이용 통풍력은[8]

$$D_{av} = \gamma_r H - \frac{P_0}{R_0 T_r} \frac{C_{pa}(1+x)G}{D_p K} \left\{ \frac{D_p K H}{C_{pa}(1+x)G} + ln \frac{T_1}{T_0} \right\} - \frac{G^2 R_0}{2gA^2 P_0}$$

$$\frac{fH}{d} T_m \quad \cdots\cdots (4)$$

으로 나타내진다. 또한 연돌에서 생기는 有效 通風力은 定常流動下에서는 연돌 이외의 全 流動抵抗과 균형을 이루므로 要求 通風力은 다음과 같다.

$$D_{reg} = \Sigma \Delta P + \Delta P_{in} + \rho_1 \frac{U_1^2}{2} - \rho_0 \frac{U_0^2}{2} \quad \cdots\cdots (5)$$

그리고 연돌에 대한 연돌을 제외한 煙道內

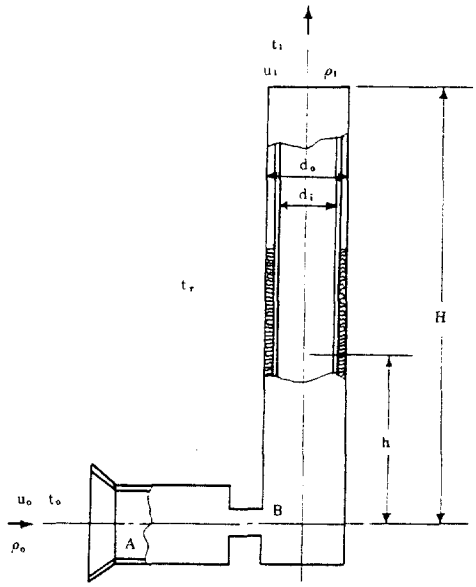


Fig. 1 Schematic Diagram of Chimney and Flue

全 流路抵抗의 比인 $\lambda$를 사용하여 要求 通風力을 나타내면

$$D_{reg} = \lambda \left( \rho_1 \frac{U_1^2}{2} - \rho_0 \frac{U_0^2}{2} + \zeta_{in} \cdot \rho_0 \frac{U_0^2}{2} + \Delta P_{ch} \right) \quad \cdots\cdots (6)$$

이 된다. 아울러 要求 通風力과 利用 通風力 사이엔

$$D_{av} = D_{reg} \quad \cdots\cdots (7)$$

의 관계가 있다. 즉, 요구 통풍력보다 이용 통풍력이 크면 流路內 가스는 加速을 받으며 요구 통풍력보다 이용 통풍력이 작으면 流路內 가스는 감속을 하게 되어 새로운 유량에서 두 통풍력은 균형을 이루게 된다.

## 3. 數値解析 및 計算順序

이용 통풍력 式(4)와 요구 통풍력 式(6)의 양변을 이론 통풍력 式(1)로 나누어 무차원화하여 정리하면 연돌효율의 무차원수 $\eta$와 요구 통풍력의 무차원수 $\xi$를 다음과 같이 얻을 수 있다.[8,13]

$$\eta = \frac{(1+\theta)}{(1+\theta)X-1}\left(X-1+\frac{1}{\phi}\,ln\,\frac{1+\theta}{1+\theta e^{-\phi}}\right) \quad \cdots\cdots (8)$$

$$\xi = \lambda \alpha X^2\ \frac{1+\theta}{(1+\theta)-1}\left\{\zeta_{in}(1+\theta)+\frac{f\cdot H\pi}{D_p}\left\{\frac{\theta}{\phi}(1-e^{-\phi})+1\right\}-\theta\,(e^{-\phi}-1)\right\} \cdots (9)$$

여기서, $\theta = \dfrac{T_0-T_r}{T_r}$, $\phi = \dfrac{D_p K H}{C_{pa}(1+x)G}$

$$X = \frac{1+x\dfrac{R_w}{R_0}}{1+x} \quad 단,\ R_0 = \frac{R_a+xR_w}{1+x}$$

$$\alpha = \frac{8\pi^2 G^2}{g D_p^4 \gamma_r^2 H}$$

따라서 式(7)로부터 $\eta=\xi$의 관계가 성립되므로 등식으로 놓고 정리하면 다음과 같은 무차원화된 관계식을 얻는다.

$$\left(X-1+\frac{B}{PM}\right) - \lambda X^2 \frac{8\pi^2}{g D_p^4 \gamma_r^2}\ \frac{G}{M} A = 0 \quad \cdots\cdots (10)$$

여기서, $A = \zeta_{in}(1+\theta)+16\mu_0\pi M\left\{\dfrac{\theta}{PM}(1-e^{-PM})+1\right\}+\theta(e^{-PM}-1)$

$$B = ln\,\frac{1+\theta}{1+\theta e^{-PM}}$$

$$P = \frac{D_p K}{C_{pa}(1+x)}$$

$$M = \frac{H}{G}$$

式(10)을 流量 $G$에 관해 정리하면 $G$(kg/h)는 연돌높이 $H$(m)의 함수가 되고 $\eta$ 및 $\xi$는 변수 $G$와 $H$의 음함수이다. 따라서 유량 $G$(kg/h)를 최대로 하는 연돌의 최적높이 $H_{OPT}$를 얻기 위해서는 $\eta=\xi$의 관계를 만족시키고 $\dfrac{dG}{dH}=0$의 조건을 만족하는 연돌의 높이 $H$(m)를 구하면 된다.

$$G = \frac{M\left(X-1+\dfrac{B}{PM}\right)}{\lambda X^2\left(\dfrac{8\pi^2}{g D_p^4 \gamma_r^2}\right)A} \quad \cdots\cdots (11)$$

式(11)에서 $H$에 대해 미분하여 $\dfrac{dG}{dH}=0$의 형태로 정리하여 좌변을 $Y(M)$으로 치환하면

$$Y(M) = \left(X-1+\frac{B}{PM}\right)\left\{-\frac{A}{M}+16\mu_0\pi\,(\theta e^{-PM}+1)-P\theta e^{-PM}\right\} + \frac{A}{M}\left(\frac{B}{PM}-\theta c\right) \quad \cdots\cdots (12)$$

이 된다.

$Y(M)=0$의 비선형 방정식을 Newton Raphson Method에 의해 푼다. 그리고 이 이후의 계산순서를 요약하면 다음과 같다.

1) 式(12)에 의해 주어진 설계조건 및 유동조건에서 $M$값에 따른 $Y(M)$의 변화를 알아본다.

2) 1)의 결과로부터 $Y(M)$의 값의 부호를 변화시키는 $M$의 최소값($M>0$)을 초기값으로 해서 Newton Raphson Method에 의하여 다음의 초기값을 얻는다.

3) 얻어진 값을 式(11)에 대입하여 구한 유량 $G$(kg/h)는 주어진 연돌의 설계조건 및 가스의 유동조건에서 임의의 전체 열전달계수 $K$값을 초기값으로 한 최대유량 $G^*$를 얻는다.

4) $\alpha_0$는 표면온도 $t_w$와 외기온도 $t_r$의 差의 함수이므로 정상 熱傳導式 $K(t_0-t_r)=\alpha_0(t_w-t_r)$를 만족하는 $t_w$의 값을 Trial and Error Method로 구한다. 이때 오차는 0.1%로 잡아 계산하였다.

5) 벽의 전체 열전달계수 $K$의 산출과정은 유량 계산과정에 포함되므로 임의의 $K$초기값에 대해 유량을 산출하고 그때마다 각 유량에 대해 $t_w$를 구한다. 그리하여 $K$ 값을 수정해 나가는 방법을 택했다.

6) 최종 수정된 $K$값으로 최대 유량 $G^*$를 구한다.

Table 1. Thermal Conductivity $k$ and Thickness $t$ of Chimney and Insulating Materials

| | BRICK | SLATE | STYROFORM | | ROCKWOOL | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $k$ kcal/mh ℃ | 0.48 — 0.93 | 1.1 | 0.033 | | 0.027 | |
| $t$ mm | 100 | 10 | 20 | 25 | 25 | 35 |
| $k/t$ kcal/m² h ℃ | 70 | 110 | 1.65 | 1.32 | 1.08 | 0.90 |

Table 2. Physical Properties of Air at atmospheric pressure

| Physical Properties | Values depending on temperature $t$ ℃ |
|---|---|
| Kinematic Viscosity $\nu$ | $(0.891667t + 0.1380 * 10^3) * 10^{-7}$ m²/sec |
| Thermal Conductivity $k$ | $0.716667(10^{-4})t + 0.02070$ kcal/m h ℃ |
| Specific Weight $\gamma$ | $352.9855/(273.16+t)$ kg/m³ |
| $\frac{\beta g}{\nu^2}$ | $0.2428369 * 10^9$ 0 ℃ and below<br>$0.1589247 * 10^9$ 1/m³ ℃ 0 ℃ — 10 ℃<br>$0.1799027 * 10^9$ 10 ℃ and above |
| Gas Constant of Dry Air, $R_a$ | 29.27 kg m/kg °K |
| Gas Constant of Vapor, $R_w$ | 47.05 kg m/kg °K |
| Specific Heat at Constant Pressure $C_{pa}$ | 0.24 kcal/kg ℃ |

7) 이때 $M = \frac{H_{OPT}}{G^*}$ 의 관계식이 성립되고 따라서 연돌의 최적높이 $H_{OPT}$ 의 값을 구할 수 있다.

Table 1과 2의 값들이 본 계산에 사용되었고 연돌의 內·外徑比 $d_i/d_o$는 0.75로 일정하게 잡았으며 연도입구 손실계수는 연도입구를 Bell Mouth로 보고 $\zeta_{in} = 0.05$로 하였다.

## 4. 計算의 結果 및 考察

계산에 사용된 기상자료 및 설계조건은 우리나라의 일반적인 기상조건과 실제로 이용하고 있는 연돌에 관한 자료를 사용하였다. 즉, 습공기의 절대습도 $x = 0.0025$ kg/kg'는 金[15]의 우리나라 서울의 동계(12월~3월) 평균건구온도와 상대습도로부터 구했고 연돌저항에 대한 연도의 총저항의 比 $\lambda = 500$은 배[13]에 의하면 $\lambda = 330$ 정도임을 나타내고 있으나 연탄온돌에서의 가스유동은 레이놀즈 수가 50 ~ 600 정도의 범위에 있으므로 층류[13,16]이고 이 레이놀즈 수의 범위에서 $\lambda$가 다소 증가하므로 $\lambda = 500$으로 정하였다. 또한 연돌의 재질은 가정에서 주로 사용해 왔던 벽돌 및 슬레이트를, 보온재료는 스티로폼과 암면을 사용했으며 연돌의 직경, 두께 및 열관류값은 제조업체의 값을 이용하였다. 이상의 값을 사용하여 연돌에 보온한 경우와 보온하지 않은 경우에 대해 최대 가스유량을 주는 연돌의 최적높이를 계산하여 비교·검토하였다.

Fig. 2의 (a), (b)는 벽돌 및 슬레이트 연돌의 보온되지 않은 경우와 25mm 스티로폼으로 보온된 경우에 대해 무차원 온도차에 따른 최대 가스유량을 연돌의 직경별로 나타낸 것으로 온도차가 클수록 가스의 최대 유량은 증가하며 연돌의 직경이 클수록 유량의 증가율은 더욱 급격하다.

Fig. 3의 (a), (b)는 벽돌과 슬레이트 연돌의 보온되지 않은 경우와 25mm 스티로폼으

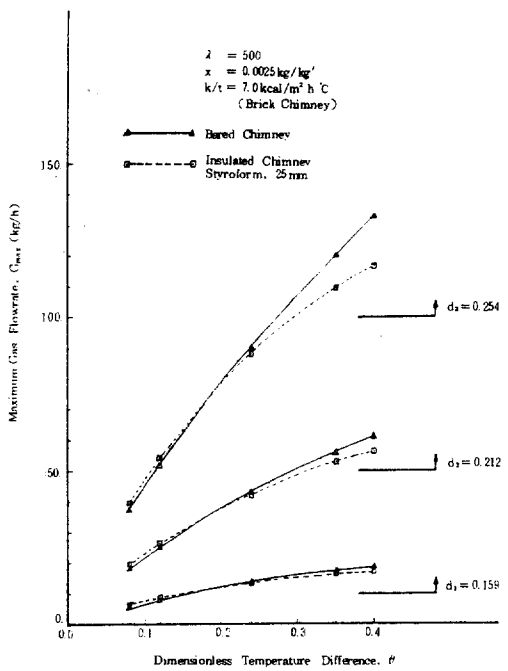


Fig.2a Curve of The Max. Gas Flowrate (Parameter : k/t & d)

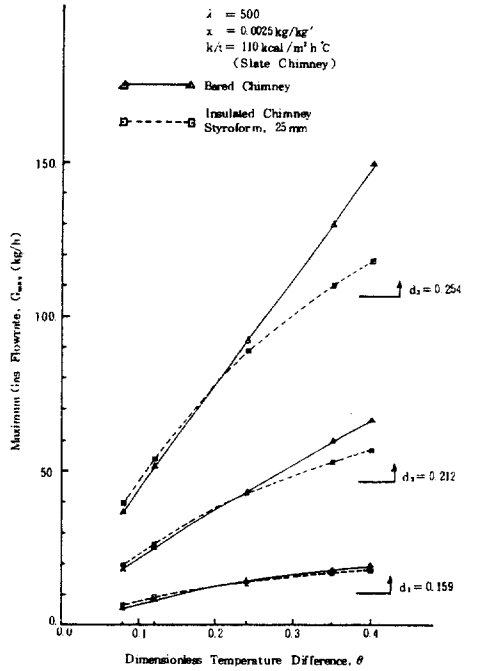


Fig.2b Curve of The Max. Gas Flowrate (Parameter : k/t & d)

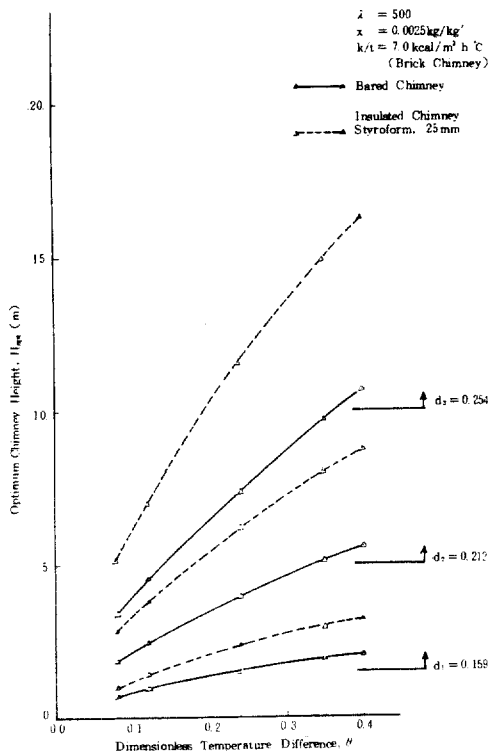


Fig.3a Curve of The Optimum Chimney Height ( Parameter : k/t & d )

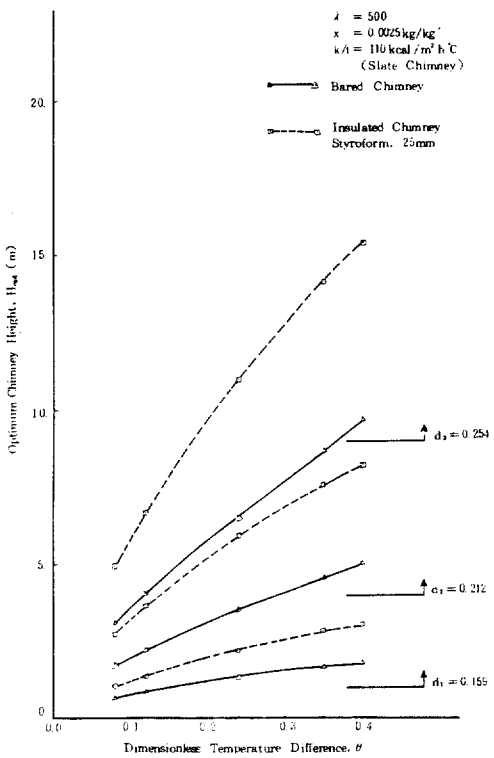


Fig.3b Curve of The Optimum Chimney Height ( Parameter : k/t & d)

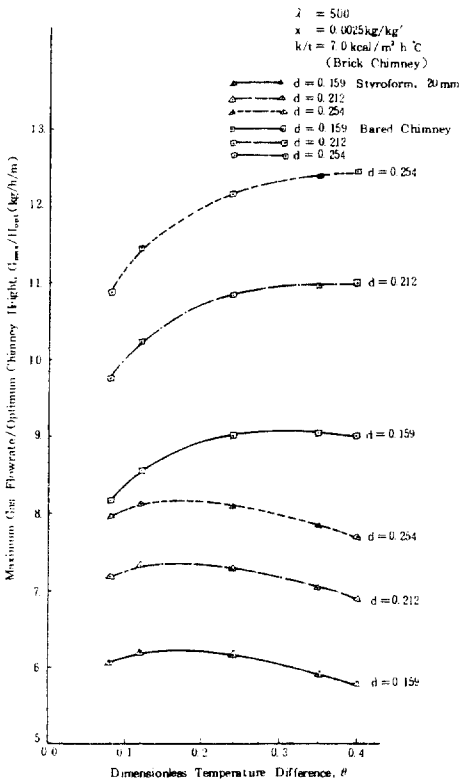


Fig. 4 a Curve of $G_{max}/H_{opt}$ (Parameter : k/t & d)

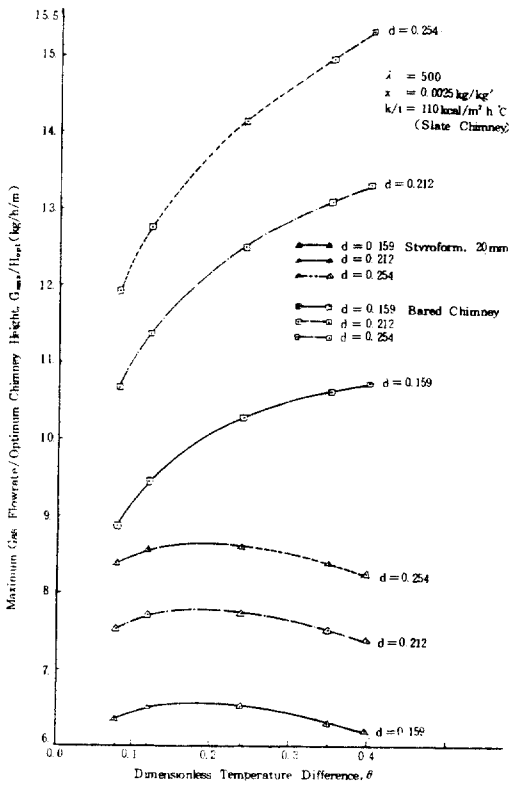


Fig. 4 b Curve of $G_{max}/H_{opt}$ (Parameter : k/t & d)

로 보온된 경우에 대해 무차원 온도차 변화에 따른 연돌의 최적높이를 연돌의 직경별로 나타낸 것으로, 온도차가 크고 연돌의 직경이 클수록 보온되지 않은 경우보다 보온된 경우가 연돌의 최적높이가 더 크고 연돌의 직경이 클수록 연돌의 최적높이의 온도차에 따른 증가율은 더욱 크다.

Fig. 4 의 (a), (b)는 벽돌 및 슬레이트 연돌의 보온되지 않은 경우와 20 mm 스티로폼으로 보온된 경우에 대해 무차원 온도차에 따른 연돌의 최적높이에 대한 가스의 최대유량의 比를 연돌의 직경별로 나타낸 것으로, 20 mm 스티로폼으로 보온된 경우의 연돌이 보온되지 않은 연돌에 비해 연돌의 최적높이에 대한 가스의 최대유량의 比가 작으며, 보온된 연돌의 경우 무차원 온도차 변화 $\theta = 0.18$을 기준으로 그 이하에선 점차 연돌의 최적높이에 대한 최대 가스유량의 比가 증가하다가 그 이상에선 점차 감소하며 이때 증가율이 감소율보다 무차원 온도차 변화에 따라 더욱 크게 변함을 알 수 있다. 또한 연돌의 직경별 온도차에 따른 그 比는 대체로 비슷한 증·감의 현상을 나타내나 연돌의 직경이 클수록 그 값은 크다. 반면에 보온된 경우엔 온도차 변화에 따른 그 比의 변화가 비슷하긴 하나 연돌의 직경이 클수록 그 比는 점차 뚜렷이 증가하는 모양을 나타낸다.

Fig. 5 의 (a), (b) 및 Fig. 6 의 (a), (b)는 벽돌 및 슬레이트 연돌의 보온되지 않은 경우와 스티로폼 및 암면 보온재로 보온된 경우에 온도차 변화에 따른 연돌의 직경별 연돌의 최적높이를 나타낸 것으로 선형적이다. 보온된 경우의 연돌이 보온되지 않은 연돌의 경우보다 온도차 변화에 따른 최적높이는 더욱 증

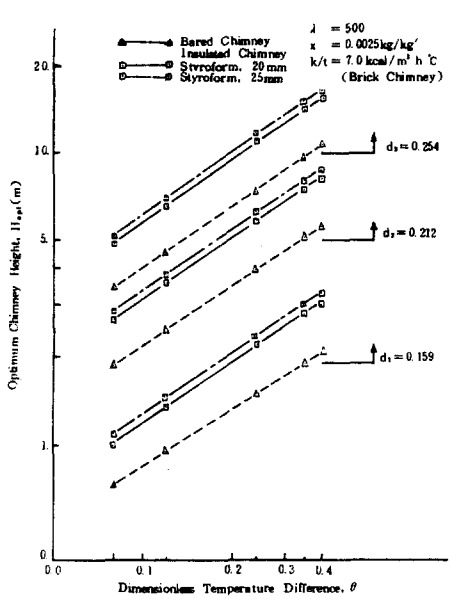


Fig.5a Curve of The Optimum Chimney Height ( Parameter : k/t & d )

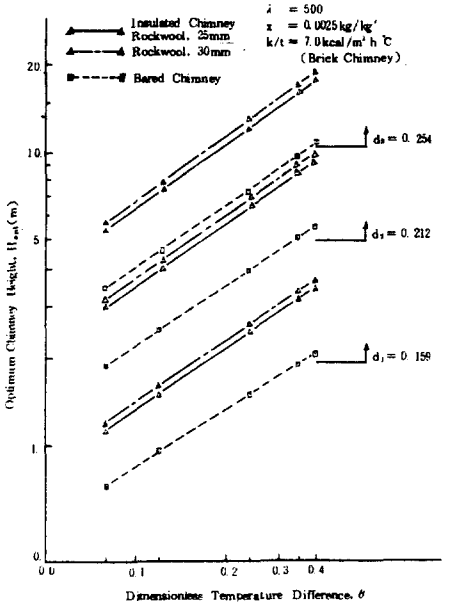


Fig.5b Curve of The Optimum Chimney Height ( Parameter : k/t & d )

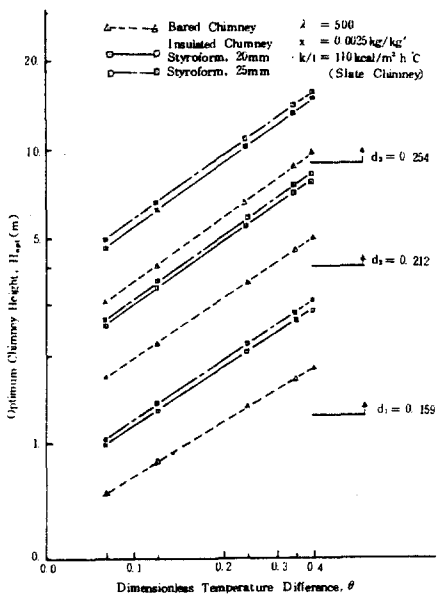


Fig.6a Curve of The Optimum Chimney Height (Parameter : k/t & d)

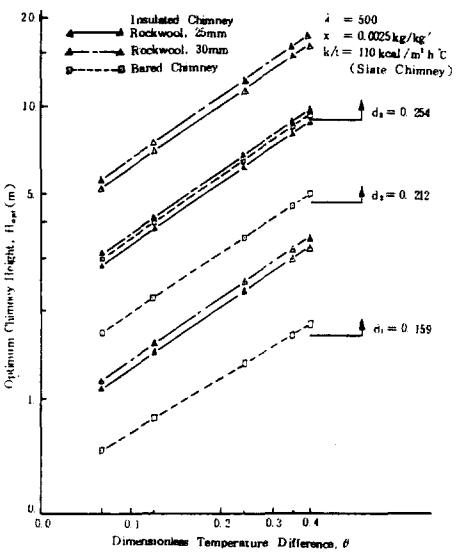


Fig.6b Curve of The Optimum Chimney Height (Parameter : k/t & d)

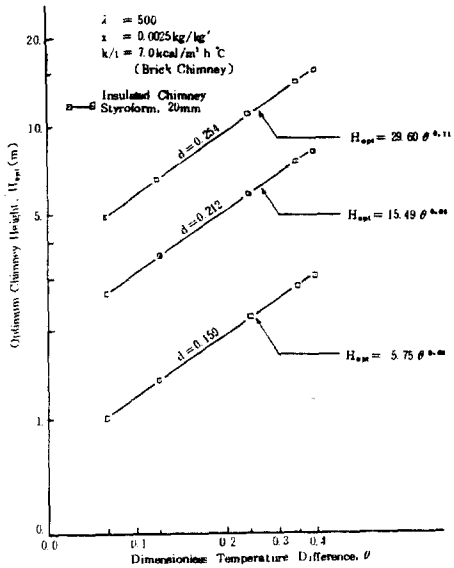


Fig.7a The Optimum Height Formula of The Brick Chimney

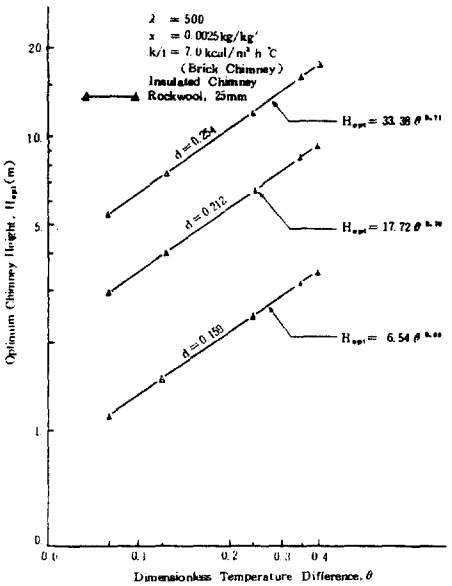


Fig.7b The Optimum Height Formula of The Brick Chimney

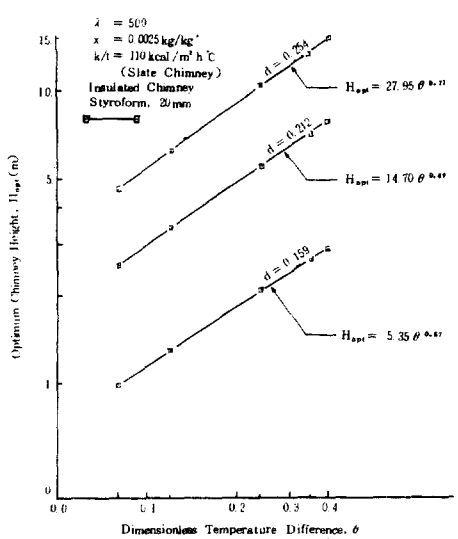


Fig.8a The Optimum Height Formula of The Slate Chimney

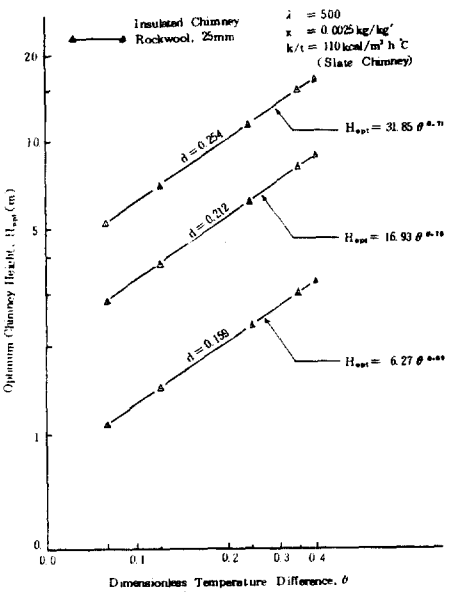


Fig.8b The Optimum Height Formula of The Slate Chimney

가하며 보온재 두께가 클수록, 연돌의 직경이 클수록 연돌의 최적높이는 더욱 크다. 따라서 Fig. 4의 (a), (b)의 결과와 함께 고찰해 볼 때 연돌을 보온한 경우가 보온하지 않은 경우보다 연돌의 최적높이 및 최대 가스유량이 더욱 크나 연돌의 최적높이에 대한 가스의 최대유량의 比는 작다.

Fig. 7의 (a), (b) 및 Fig. 8의 (a), (b)는 벽돌 및 슬레이트 연돌에 20mm 스티로폼과 25mm 암면 보온재로 연돌을 보온했을 때 무차원 온도차에 따른 직경별 연돌의 최적높이를 수식화하여 나타낸 것으로 연돌의 직경이 클수록 관계식의 기울기 및 온도차 $\theta$ 값의 지수값이 증가한다. 그리고 이들 관계식에 의한 최적높이는 계산결과와 평균 상대오차 1.5% 이내로 비교적 잘 일치한다.

## 5. 結 論

이상과 같은 계산결과 및 고찰로부터 우리나라의 일반적 기후조건과 연돌의 실제 설계조건하에서 연돌을 보온하였을 때 연돌의 최적높이에 미치는 영향에 대해서 해석한 결과 다음과 같이 요약할 수 있다.

1) 연돌을 보온하였을 때 연돌의 최대 가스유량을 갖는 연돌의 최적높이를 시뮬레이션 하였다.

2) 연돌의 최적높이는 연돌을 보온한 경우가 연돌을 보온하지 않은 경우보다 온도차 및 연돌의 직경이 클수록 더 증가하며 연돌의 직경이 클수록 그 증가율은 더 크다.

3) 연돌의 최적높이에서 갖는 가스의 최대유량은 온도차 $\theta$가 0.18보다 작을 땐 연돌을 보온한 경우가, $\theta$가 0.18보다 클 땐 연돌을 보온하지 않은 경우가 더 크다. 또한 그 증가율은 연돌의 직경이 클수록 더 크다.

4) 연돌의 최적높이에 대한 최대 가스유량의 比, $G_{max}/H_{OPT}$는 연돌을 보온한 경우가 보온하지 않은 경우보다 더 작으나 연돌의 최적높이의 증가에 비해 최대 가스유량의 증가가 다소 더 크므로 보온하지 않은 연돌에 비해 더 많은 최대 가스유량을 갖는다.

5) 우리나라의 일반적인 기후조건 및 설계조건하에서 무차원 온도차에 따른 연돌의 직경, 보온재의 종류 및 두께 그리고 연돌의 재질에 따라 연돌의 최적높이를 나타내는 관계식을 구할 수 있다.

## 參 考 文 獻


1. 林太郎, 辻克彦, "熱氣流の昇降流れに關する研究(1)", 日本空氣調和·衛生工學, 第47卷, 第2號, 1973.
2. 林太郎, 辻克彦, "熱氣流の昇降流れに關する研究(2)", 日本空氣調和·衛生工學, 第8卷, 第3號, 1974.
3. 林太郎, 辻克彦, "熱氣流の昇降流れに關する研究(3)", 日本空氣調和·衛生工學論文集, No. 6, 1980.
4. L. B. Schmitt, R. B. Engdahl, "Performance of Residential Chimneys", Trans. of ASHVE, No. 1363, 1949.
5. W. G. Colborne, W. C. Moffat, "Fundamental Analysis of Chimney Performance", Trans. of ASHRAE, No. 1675, 1959.
6. W. G. Colborne, W. C. Moffat, "A New Method of Chimney Design and Performance Evalution", Trans. of ASHRAE, No. 1676, 1959.
7. M. Beamont, D. Fitzgerald, D. Sewell, "Comparative Observation on the Performance of Three Steel Chimneys", H & VE, 1970.
8. 閔滿基, "溫突의 연탄가스 流量에 관한 연구(1)", 空氣調和·冷凍工學, 第4卷, 第2號, 1975.
9. 金永得, "低溫가스 溫突의 最適높이", 高麗大學校 碩士學位 論文, 1981.
10. 張成弼, "연탄가스의 煙突特性에 관한 實驗的 研究", 高麗大學校 碩士學位 論文, 1983.
11. 吳載春, "低溫 熱氣流의 煙突特性에 관한 實驗的 研究", 高麗大學校 碩士學位

論文, 1983.
12. 이관, 김기현, "연돌의 열전연이 연돌효율에 미치는 영향", 研究論文集, 第3卷, 第1號, 1972.
13. 배순훈, "溫突 改良設計에 관한 研究", 科學技術處, R-74-50, pp. 14～22, pp. 64～75, 1974.
14. 배순훈, "溫突暖房의 熱效率 改善에 관한 연구", 科學技術處, R-75-40, 1975.
15. 金孝徑, "한국의 空氣調和 設計用 外氣條件에 관한 研究", 大韓機械學會誌, Vol. 4, No. 1, 1964.
16. 강신형, "주택난방의 열효율에 관한 研究", 한국과학원 碩士學位 論文, pp. 5～14, 1975.