

## 실내환기효율의 공간적 변화특성에 관한 연구

### The Spatial Characteristics of Ventilation Efficiency

김 신 도 · 김 태 식 · 이 희 관 · 이 정 주\*

서울시립대학교 환경공학과

\*충청전문대학 환경공학과

(원고접수 : 1993. 7. 13)

Shin-Do Kim, Tae-Sik Kim, Hee-Kwan Lee and Jeong-Joo Lee\*

Dept. of Environmental Engineering, Seoul City University

\*Dept. of Environmental Engineering, Chung-Cheong College

(Received 13 July 1993)

#### Abstract

Recently, with the outdoor air pollution, the indoor air pollution divided into living environment and working environment are raised as the problem of indoor space. Also, the more time lived in indoor space, the larger the influence of indoor air pollution. Therefore in this study, the spatial variation of ventilation efficiency was estimated through the experiment using a physical model. The experiment was conducted in two category; the central zone of ventilated air flow and the corner zone. As the result of experiment, high ventilation efficiency (90~108%) was shown in the central zone of ventilated air flow. Whereas low ventilation efficiency (46~77%) was shown in the corner zone. In conclusion, when the designing of ventilation was planned, the zone showed low ventilation efficiency should be considered.

#### 1. 서 론

최근 들어 대기오염과 더불어 실내공기오염의 문제가 심각한 문제로 대두되고 있다. 문제가 되고 있는 실내공간은 크게 일반생활환경과 작업환경으로 분류할 수 있다. 이 중 일반생활환경의 공기오염은 실내에서 생활하는 시간이 길어지고, 문명의 발달로 각종 사무자동화기기의 등장으로 인한 실내오염원의 다양화, 에너지절약을 위한 건물의 기밀화 등에 의해 사람들에게 더 많은 영향을 미치고 있다(Wadden et al., 1982). 또한 작업환경의 경우에는 작업공정이나 작업장의 여건에 따라 특정오염물질의 오염정도가 심각해질 가능성을 내재하고 있어 더욱 관심이 고조되고 있다(Leslie et al., 1993;

Sidhu et al., 1993).

현재 우리가 생활하고 있는 실내공간 내에는 대부분 크고 작은 환기장치가 설치되어 있고 이에 의해 실내공기의 온·습도 및 오염물의 농도가 적절히 제어되고 있다.

이러한 환기설비에 의한 환기가 실제로 실내에서 발생된 오염물의 희석 및 제거에 나타내는 효율을 환기효율로써 나타내며, 실내에서의 오염물의 농도 변화에 의해 계산되는 실질적 환기량과 환기설비에 의해 제어되는 환기량의 비로써 표현된다. 이러한 환기효율은 환기설비에 의한 환기량, 급배기구의 상대적 위치, 실내거주자의 활동 등에 의해 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Wadden et al., 1982; Mecker, 1991).

본 연구에서는 작업환경 내에 설치된 실물모형을 대상으로 추적가스의 농도변화를 측정하여, 각 위치에서의 환기효율을 파악하였으며 실내공간에 대한 환기계획시 도움이 되는 기초자료를 얻고자 하였다.

2. 오염농도변화를 이용한 실제환기량의 추정

실내에서 발생한 오염물의 회석 및 제거를 위해 환기를 하는 경우, 발생한 오염물의 농도변화를 이용해서 환기량을 추정하는 방법이 있다.

먼저 아래 Fig. 1과 같은 일반적인 환기시스템에서의 오염물질에 대한 물질수지에서부터 환기량을 추정할 수 있다.

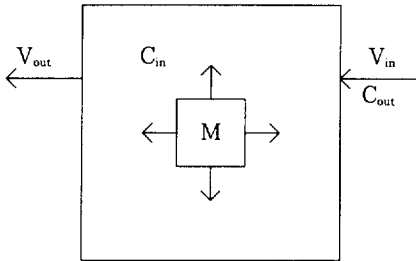


Fig. 1. Schematic diagram of ventilation system used in mass balance of pollutants.

- $V_{in}$  : 급기량 ( $m^3/hr$ )
- $V_{out}$  : 배기량 ( $m^3/hr$ )
- $C_{in}$  : 실내오염농도 ( $m^3/m^3$ )
- $C_{out}$  : 외기오염농도 ( $m^3/m^3$ )
- $M$  : 실내오염 발생량 ( $m^3/hr$ )
- $R$  : 실용적 ( $m^3$ )

일반적으로 실내에서는 여러 가지 오염물질이 공기 중으로 발생되고 있으며, 또한 환기를 목적으로 실내로 도입되는 외기 중에도 오염물질이 포함되어 있고, 외부로 배출되는 공기 중에도 오염물질이 포함되어 있다. 그러므로 이와 같은 오염물질을 대상으로 한 물질수지는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$V_{in}C_{out}dt + Mdt - V_{out}C_{in}dt = RdC_{in} \quad (1)$$

Fig. 1에서와 같이 급·배기를 목적으로 설치된 개구부를 제외한 다른 경계를 통한 침기 및 누기가 없다고 가정하면, 실내가 대기압을 유지하고 있으므로 실내로 유입되는 공기량은 유출되는 공기량과 같아져서 ( $V_{in} = V_{out} = V$ ), 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\{M - V(C_{in} - C_{out})\}dt = RdC_{in} \quad (2)$$

이를 다시 시간과 농도의 변화에 따라 적분하면 식 (3), (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\int \frac{dt}{R} = \int \frac{dC_{in}}{M - V(C_{in} - C_{out})} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} M - V(C_{in} - C_{out}) \\ = \{M - V(C_0 - C_{out})\} \exp\left(-\frac{Vt}{R}\right) \end{aligned} \quad (4)$$

여기에서 실내에서의 오염물질의 발생이 없는 경우 ( $M = 0$ ), 식(4)는 식(5)이 된다.

$$\begin{aligned} V(C_{in} - C_{out}) \\ = \{M - V(C_0 - C_{out})\} \exp\left(-\frac{Vt}{R}\right) \end{aligned} \quad (5)$$

식(5)를 정리하여 식(6)으로 변환한 후, 시간에 따른  $C_{in}$ ,  $C_{out}$ 을 측정하여 실제환기량 ( $V$ )을 계산하여 환기효율을 구하는데 이용하였다.

$$V = -2.303 \frac{R}{t} \log \frac{C_{in} - C_{out}}{C_0 - C_{out}} \quad (6)$$

3. 실험장치 및 방법

실험에는 작업환경 내에 설치된 실물모형을 이용하였으며, 모형의 조건은 Fig. 2에 나타낸 바와 같다.

Fig. 2에서도 볼 수 있는 바와 같이 모형에서 급기구는 상단에, 배기구는 그 대각선 방향의 하단에 설치하였다. 대부분의 환기를 위한 급기구에는 급기된 공기의 확산효과를 높이기 위해 확산기(Diffuser)가 설치되어 있으나 본 모형에는 설치되어 있지 않았으며, 환기량은 일반건물에서 적용되고 있는 환기회수를 감안하여  $1.2 m^3/min$  ( $3.2$ 회/hr)로 하였

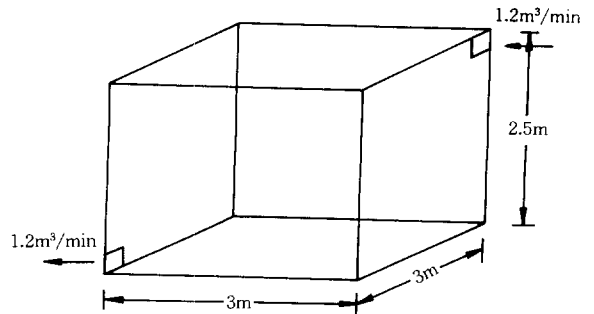


Fig. 2. Model structure used in experiment.

다. 또한 이론식의 전개과정에서 전제되었던 환기시 급배기의 균형은 미차압계에 의한 차압측정으로 확인하였다.

일반적으로 실내공기오염에 있어서 주로 문제가 되는 오염원 중의 하나가 흡연이므로 추적가스는 흡연 중에서 다량 발생하는 것으로 알려지고 있는 일산화탄소를 이용하였다(Committee of indoor pollutants, 1981; Ecobichon et al., 1982).

추적가스의 측정에는 비분산적의선 분석기(NDIR, KIMOTO社, ZAL, JAPAN)를 이용하였으며 측정기로부터의 결과는 아날로그-디지털 변환기(Analog to Digital Converter)가 장착된 컴퓨터를 이용하여 정리하였다(Fig. 3 참조).

실험은 1차실험과 2차실험으로 나누어 실시하였다. 1차실험에서는 환기흐름의 중심선상에서의 환기효율을 알아보기 위해 급기구, 모형의 정중앙, 배기구 부근의 3지점을 선정하여 실험하였다. 2차실험에서는 1차실험에서 고려되었던 환기흐름의 중심선상에서 떨어져 있는 12지점, 즉 모형의 구석이나 벽면에 가까운 지점을 3차원 공간에 선정하였다. 12지점은 바닥에서 0.8m, 1.2m, 1.8m 높이에 Fig. 3과 같이 각각 4지점씩 선정하였다(Fig. 3 참조).

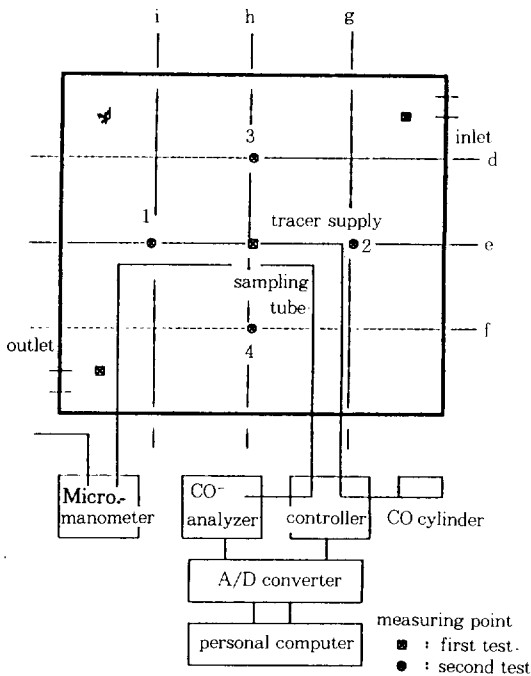


Fig. 3. Plane schematic diagram of the experimental model and analyzer

#### 4. 실험결과 및 고찰

1차 실험에 의한 환기흐름의 중심선상 3지점에서 실험결과를 Fig. 4와 같으며 환기량 및 그에 따른 환기효율은 Table 1에 나타낸 바와 같다. 여기에서 환기효율은 농도변화에 의해 계산된 실제환기량과 환기시설에 의한 제어환기량의 비로써 계산되었다.

$$\text{환기효율(\%)} = \frac{\text{실제환기량}(\text{m}^3/\text{hr})}{\text{제어환기량}(\text{m}^3/\text{hr})} \times 100$$

이와 같이 정의된 환기효율을 구하는데 필요한 실제환기량은 모형 내의 추적가스를 주입한 후, 환기가 시작되는 순간의 추적가스농도를 초기농도( $C_0$ )로 하고, 그로부터의 경과시간( $t$ )과 모형 내의 추적가스농도( $C_m$ )를 측정해서 식(6)에 대입하여 계산하였다. 이때 외기농도( $C_{out}$ )는 모형 주위의 실측농도를 이용하였다.

Fig. 4에서도 볼 수 있듯이 초기에는 모형 내의 농도가 일정하게 상승되었으나 환기가 시작됨에 따라 급기구에서 가장 큰 농도변화가 나타났으며, 다음으로 중앙, 배기구의 순을 농도변화가 나타났다. 이로써 모형 내에 주입된 추적가스가 환기에 의해 급기구에서 중앙으로, 중앙에서 배기구로 이동되면서 희석되는 것을 확인할 수 있다. 또한 이러한 결과를 앞에서의 식(6)을 이용하여 실제환기량을 계산하고 환기효율을 구해보면 급기구 부근에서는 108%, 중앙에서는 100%, 배기구 부근에서는 90%의 높은 효율을 나타내고 있다. 이것은 실내공간에서 발생된 오염물이 환기설비에 의해 도입되는 외기와 이론적 상태 이상으로, 즉 환기설비에 의해 제어되는 환기량 이상의 환기효과를 나타내고 있음을 의미한다. 바꾸어 말하면 환기가 중심축을 따라서

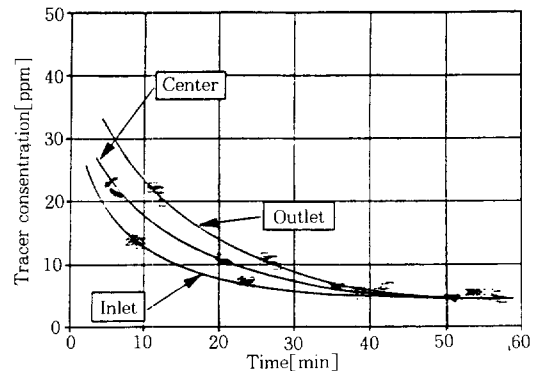


Fig. 4. Variation of tracer concentration in central zone.

Table 1. Ventilation efficiency at the central area of ventilated air stream.

	Calculated Vent. Rate (m <sup>3</sup> /min)	Vent. Effi. (%)	Note
Inlet	1.3	108	Controlled Vent. Rate 1.2m <sup>3</sup> /min
Center	1.2	100	
Outlet	1.1	90	

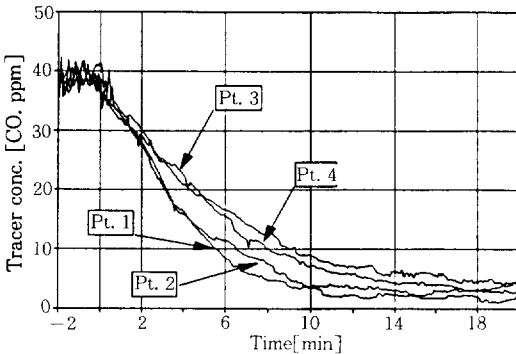


Fig. 5. Variation of concentration in lower level.

대량 이동하고 있으나, 실 전체로는 환기가 잘 이루어지지 않고 있다고 추정되었다. 따라서 이러한 점을 관찰하기 위하여 2차실험으로 환기흐름의 중심선에서 떨어진 지점에서의 농도변화를 측정하였다. 결과는 Fig. 5, Fig. 7과 같으며 환기량 및 그에 따른 환기효율은 Table 2에 나타난 바와 같다.

Fig. 5는 모형의 바닥면으로부터 0.8m 높이의 4개 지점에서의 추적가스의 농도변화를 나타내고 있다. 환기효율을 계산해 보면 52~77%의 범위를 갖고 있다. Fig. 6은 일반적으로 실내에서 생활하는 사람들의 호흡기 즉 코의 높이를 가정한 바닥면에서 1.2m 높이에서 실험한 결과이다. 환기효율은 57~76%로 나타났으며, 결과 중 정상화에 이르는 과정이 달리 나타난 것은 동일량의 추적가스를 다른 유량으로 주입하였기 때문이다. Fig. 7은 바닥면으로부터 1.8m 높이에서 실험한 결과로 환기효율은 46~63%로 나타나고 있다.

이러한 결과를 종합해 보면 전반적으로 환기흐름 중심의 측정점에서 보다는 낮은 환기효율을 나타내고, 환기효율 자체도 위치에 따라 Table 2에서도 볼 수 있듯이 46~77%로 크게 다른 것으로 나타나고 있다. 따라서 환기흐름의 중심에서와는 달리 환기가 잘 안되고 정체되는 영역이 상당히 존재하고 있음을 알 수 있다.

이상에서와 같은 실험결과를 바탕으로 모형 내에

Table 2. Ventilation efficiency at the area with vicinity to wall or coner.

[unit : %]						
level	Pt.1	Pt.2	Pt.3	Pt.4	Avg.	ete
upper	61	46	80	67	63	12 m <sup>3</sup> /min
middle	47	46	76	57	69	
lower	60	52	64	77	64	

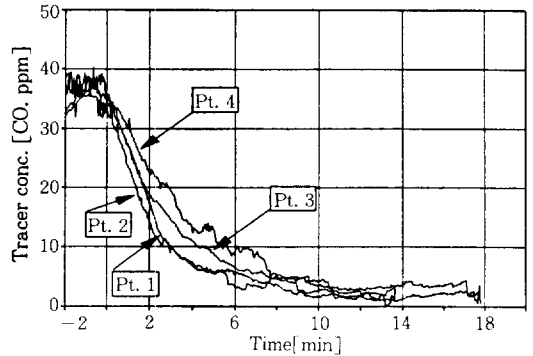


Fig. 6. Variation of concentration in middle level.

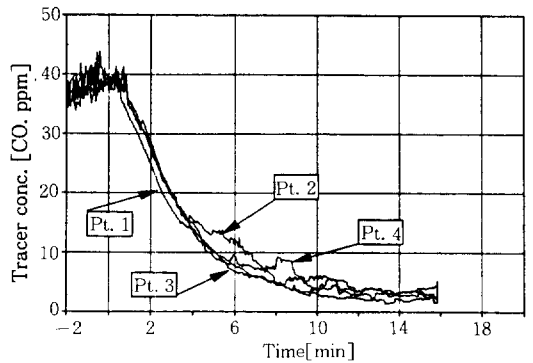


Fig. 7. Variation of concentration in upper level.

서의 등환기효율곡선의 분포를 나타내 보면 Fig. 8과 같다. 여기에서 Fig. 8은 수평면의 높이에 따른 환기효율, 즉 (a)는 1.8m, (b)는 1.2m, (c)는 0.8m 높이에서의 평면적인 등환기효율의 분포를 나타내고 있다. Fig. 8의 (a)에서는 모형의 상단에 설치되어 있는 급기구 부근에서 높은 환기효율이 나타나고 중간위치인 (b)에서는 중앙에서 높은 환기효율이, (c)에서는 모형의 하단에 설치되어 있는 배기구 부근의 높은 환기효율이 나타나고 있다. 이 세 그림을 종합해 보면 급기구에서 모형의 정중앙을 지나 배기구로 연결되는 영역에서 환기효율이 높은 것을

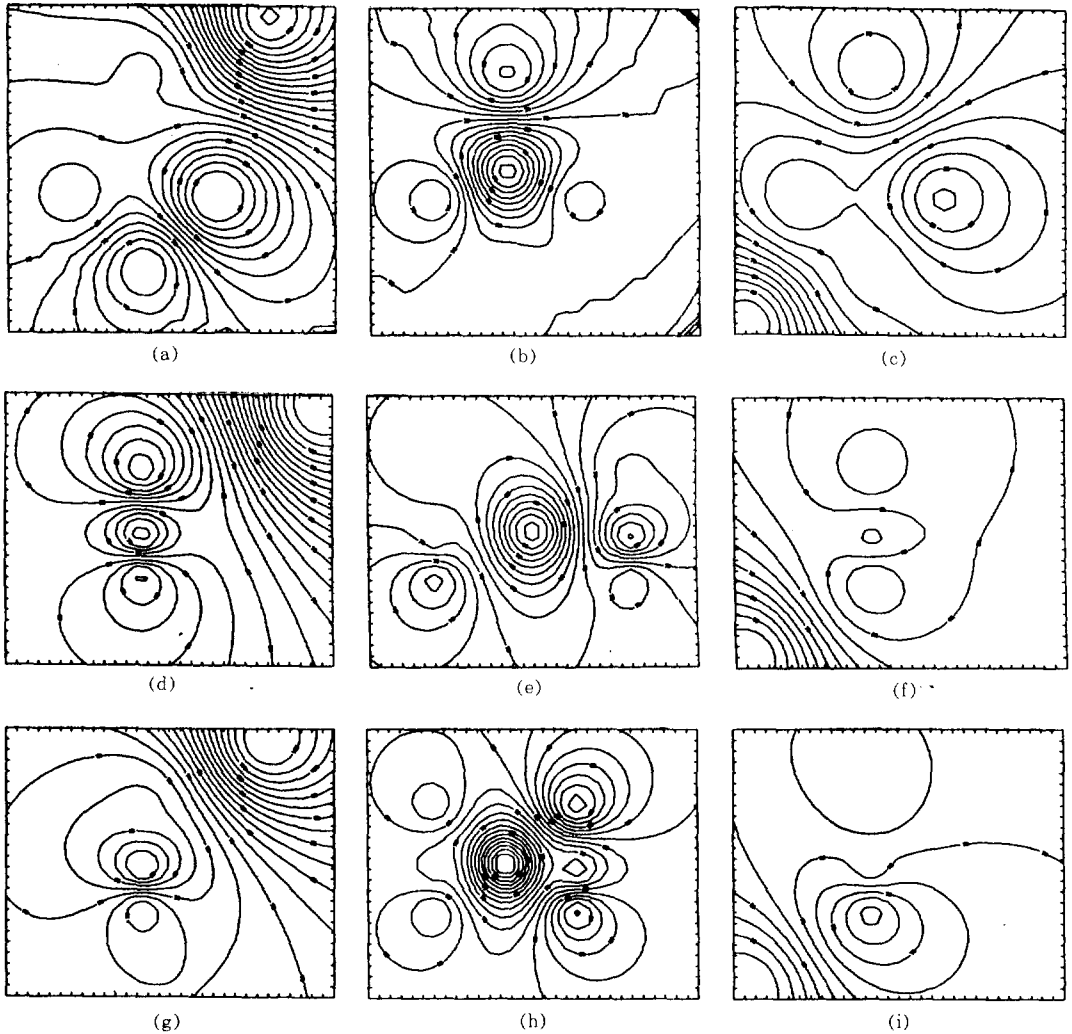


Fig. 8. Three dimensional analysis of ventilation efficiency.

알 수 있다. 즉, 공기의 흐름이 실의 전체로 퍼지지 않고 주로 중앙에서만 환기되고 있음을 의미한다. 또한 Fig. 8에서 (d)는 후면, (e)는 중앙, (f)는 전면에서의 횡단면적인 등환기효율을 나타낸 것이며 (g)는 우측, (h)는 중앙, (i)는 좌측면에서의 종단면적인 등환기효율을 나타낸 것이다. 이상의 평면에서도 높은 환기효율을 갖는 부분은 실의 일부에만 국한되고 있음을 알 수 있다.

이와 같이 실내공간에서 오염물의 회석 및 제거를 고려한 환기를 고려하는 경우, 급기구, 중앙부, 배기구 부근은 환기의 흐름에 의해 환기효율이 좋

으나 벽이나 구석에서 가까운 영역은 실질적으로 충분한 환기가 이루어지지 않고 있음을 알 수 있다. 따라서 실내오염을 측정할 경우, 중앙부에서의 측정은 실내의 공기질을 대표하기에 곤란하므로 해당공간의 여러 가지 특성을 충분히 고려하여 측정지점을 선정하여야 할 것이다.

## 5. 결 론

이상에서와 같이 모형을 이용하여 환기시 위치에 따른 환기효율을 실험하여 다음과 같은 결과를 얻

었다.

환기흐름의 중심선상에서는 90~108%의 높은 환기효율을 나타내고 있어 환기설비에 의해 도입된 외기가 오염물의 회석 및 제거에 유효하게 작용하는, 즉 이론적 상태 이상의 환기효율을 나타내고 있다. 그러나 모형내의 구석이나 벽면에 가까운 영역에서는 Table 2에서와 같이 낮은 환기효율을 나타내고 있어서 환기계획시 이에 대한 고려가 있어야 할 것이다.

따라서 실내공기질 관리를 위한 측정시 환기흐름의 중심에서의 측정만으로 실내공간 전체를 평가하는 것은 적절하지 못하다고 생각된다.

앞으로 환기량의 변화, 환기구의 위치변화, 가구 등의 실내기류의 장애물 등에 관한 연구를 추진할 예정이다.

### 참 고 문 헌

김신도 외 9인 (1993) 건축환경계획론, 태림문화사, 111~113.  
 김윤신 (1993) 실내공기오염에 관한 소고, 한국대기보전학회지, 9(1), 33~43.  
 渡邊要 編 (1985) 建築計劃原論 III, 丸善株式會社, 235~237.  
 日本建築學會 譯 (1990) 室內空氣污染, 上書院, 171~185.  
 池田耕一 (1992) 室內空氣污染의 메카니즘, 鹿島出版會, 160~170.  
 ACGIH (1992) Industrial ventilation, 21st Ed., 2-2~2-6.  
 Committee on indoor pollutants, Board on toxicology and environmental health hazards, As-

sembly of life sciences, National Research Council (1981) Indoor pollutants, National academy press, 149~167.

Ecobichon, D. J. and J. M. Wu (1982) Environmental tobacco smoke, Proceedings of the international symposium at McGill University, 53~64.

Leslie, G. B. and V. Haraprasad (1993) Indoor air pollution from combustion sources in developing countries, J. Indoor Environment, Vol. 2, No.1, 4~13.

Sidhu, K. S., J. L. Hesse and A. W. Bloomer (1993) Indoor air : potential health risks related to residential wood smoke, as determined under the assumption of the US EPA risk assessment model, J. Indoor Environment, Vol. 2, No. 2, 92~97.

Mecker, M. (1991) Indoor air quality design guidebook, The Fairmont Inc., 135~166.

Richard, A. Wadden, Peter A. Scheff (1982) Indoor air pollution, John Wiley & Sons, 148~152

Robert, J. Heinsohn (1991) Industrial Ventilation : engineering principles, A Wiley-Interscience Publication, 249~252.

Parker, S. P. and A. Corbitt (1992) Encyclopedia of environmental science & engineering, 3rd Ed., McGraw-Hill Inc., 311-314.

William A. Burgess, Michael J. Ellenbecker and Robert D. Treitman (1989) Ventilation for Control of the work environment, A Wiley-Interscience Publication, 87~104.