한국산업위생학회지 제 5 권 제 2 호
Korean Ind. Hyg. Assoc. J
Vol. 5, No. 2, November, 1995

환기구 위치별 실내오염물질의 환기효과 변동에 관한 연구

용인대학교 환경보전학과 · 서울시립대학교 환경공학과*

이정주 · 이주상* · 김신도*

— Abstract —

A Study on the Variation of Ventilation Effect for Indoor Air Pollutants by Ventilation Hole Sites

Jeong Joo Lee, Ju Sang Lee*, Shin Do Kim*

Department of Environmental Health, Youngin University
**Department of Environmental Engineering, Seoul City University*

This research has a purpose to achieve experimental data used for design of ventilation systems necessary for indoor air quality control and their operation and management. For the study, spatial concentration distribution of indoor air quality according to pollutant site in a simplified model chamber.

In low flow ventilation, flow pattern of indoor air was mainly influenced by diffusion and additionally, spatial distribution was formed by convection. Distribution of ventilation efficiency according to each pattern of model chamber was evaluated.

It was confirmed that diffusion patterns of a pollutant among sites were formed, centering around main stream areas of supply and exhaust outlets.

Key Words : Indoor Air Quality, Ventilation Efficiency, Model Chamber

Ⅰ. 서 론

산업화된 사회는 거주환경을 점차 도시화시키며 인구의 집중화하여 현대인은 실내공간에서의 체류시간의 증가하게 되었으며 현대인은 하루중 80%이상을 실내공간에서 보낸다고 보고되고 있다(일본건축학회 1990;ASHRAE 1993). 일반적으로 실내공기질은 자연적인 확산 희석이 외기보다 떨어져 폐쇄된 실내공간의 공기질은 악화되기 쉬운 조건이다. 특히 에너지절감 효과를 목적으로한 냉난방에너지 부하절감을 위해 대형건물의 밀폐화 추세에 있어 실내공기오염에 대한 새로운 인식이 요구되는 실정이다(김윤신 1994;Godish 1991).

실내공기는 한정된 공간에서 인공적인 공기조화 설비를 통해 어느 정도의 공기가 계속적으로 순환되나 실내에서의 발생하는 오염물질과 실외오염물질이 누적되어 재실자의 호흡기 질환등의 건물증후군(sick-building syndrome;SBS)을 발생시키기도 한다(池田耕一 1992;Hitoshi 1989).

실내오염물질의 증가요인은 흡입외기 및 환기에 의한 외기오염과 실내에서의 발생등이 있으며 저하요인으로는 신선한 외기의 공급과 순환풍량, 정화설비를 들 수 있다(藤井正一 1979). 이러한 실내 오염물질은 외기의 오염물질이 실내로 유입되거나 실내 자체에서 발생 또는 인위적인 활동 결과로 인하여 발생되는데 이로 인하여 거주자의 쾌적도 저하 및 건강질환에 미치는 영향이 크다고 할 수 있다(Wadden 1983). 실내의 오염수준에 대해서는 만성적인 장애사례들이 나타나고 있는데 이것은 대기오염에 의한 건강의 영향으로 유추될 수 있는데 주로 호흡기계통의 질환이 대부분이다(吉澤 晋 1979).

그런데 국내에서는 일부의 연구자가 이러한 실내공기질 문제를 제기하는 실정의 기초적 연구를 수행하고 있다(백남원 1989;김신도 1993;김윤신 1991; 이명호 1992). 따라서 단순히 실내대기질의 평가를 보다 공학적 접근방법에 의한 정량적 오염농도 파악 및 평가가 개선안 도출을 위해서는 반드시 필요하다.

본 연구는 양질의 실내공기질을 유지하면서 에너지 절감효과도 얻을 수 있는 기계적 환기제어 특성을 파악하기 위하여 단순화된 모형실을 이용하여 환기량 변화, 공기급배기구 위치에 따른 실내대기질의 공간적 분포변화를 도출하여 공기조화에서 환기시설의 설계, 운영 관리에 이용할 자료를 실험적으로 얻는데 목적이 있다.

II. 실험 장치 및 방법

1. 실험장치 모형의 구성

실험대상 모형은 Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 실제실의 1/5의 축소형으로 직방체형(1000×1000×500㎜)로서 천정 중앙에 직경이 30㎜ 의 급기구를 설치하고 배기구를 천정에 접한 수직벽 중앙 상단과 하단에 설치한 것이 A-type, B-type이며 급기구를

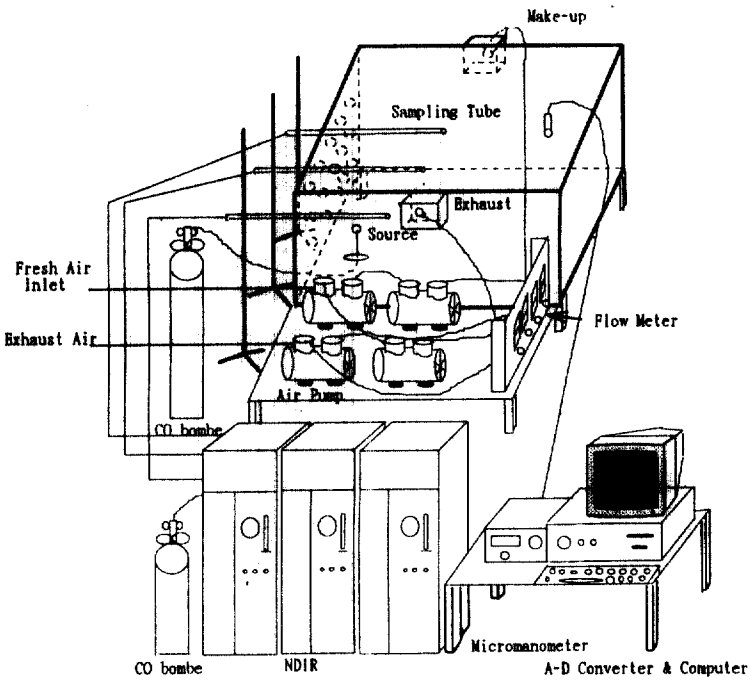


Fig. 1. Schematic diagram of experiment unit

좌측 상단에 (30×30㎜)설치하고 배기구는 하단 및 상단에 동일한 재원과 형태로 설치하였다. 모형은 5㎜ 및 10㎜ 아크릴로 제작하고 급기구, 배기구에 수직한 한쪽 벽면에 측정관의 삽입구를 등간격으로 다수 설치하였다. 급기구 및 배기구 상류에는 급기류 및 배기류의 등분포를 목적으로 믹싱챔버(mixing chamber)를 접속하였다.

기류의 운전은 급기·배기pump의 동시운전에 의한 push-pull방법을 채택하였다. 풍량은 급기 및 배기구에 연결된 곳에 유량계를 설치하여 유량을 정량적으로 조절하였다. 급기·배기의 유량을 안정적으로 유지시키기 위하여 비교적 저유량에 공기를 안정적으로 제공할 수 있는 다이아프램 펌프를 이용하였다. 또한 모형실 내부가 실험실과 같거나 미세한 양압을 유지하도록 미차압계를 이용하여 유지조정하여 누기에 의한 누출입이 없도록 제어하였다. 급기구와 배기구의 위치에 따라 Fig. 2와 같이 4가지 유형으로 구분하여 각각 실험을 수행하였다. 추적가스는 전체 모형실에서의 오염물질의 확산 및 제거를 알아보기 위하여 일반대기중의 농도는 낮고 비교적 안정성이 있으며 분자량이 공기와 비슷한 일산화 탄소를 추적가스로 이용하였다(寺部本次 1966). 추적가스의 분석은 비분산적외선법을 이용한 일산화탄소 분석기(nondisperse infrared analyzer:NDIR)를 사용하였다. 본 측정기의 원리는 일산화 탄소의 적외선 흡수를 이용하여 시료가스 중에 포함되는 일산화탄소 농도를 비분산형 적외선분석기로 측정하는 것이다. 본 방법은 다른 공존가스에 의한 적외선 흡수를 무시할 수 있는 경우 이 간섭이 광학적으로 제거할 수 있는 경우와 간섭을 미리 제거할 수 있는 경우의 연속측정에 적합하다. 측정범위는 0 - 100 ppm이며 재현정밀도는 눈금의 + 1-2%로 정밀측정에 적합하다. 그러므로 본연구에 순간농도와 미세농도변화 측정이 가능하였다. 다음의 Table 1에서는 본연구에 사용된 측정장치들이다.

2. 실험장치의 운전조건

정확한 환기량과 오염물질 발생제어를 위해 축소모형을 이용하여 환기량과 오염원의 위치를 변화시켜 가면서 수행하여 환기량의 변화에 따른 추적가스의 이동과 농도변화를 측정, 분석하였다.

환기를 위한 개구부는 Fig. 2에서 보는 바와 같이

Table 1. Instruments list

Item	Instrument Name	Model No.	Manufacture
CO	NDIR(non-disperse infrared analyzer)	ZAL	KIMOTO(JAPAN)
Pressure	Micromanometer	DP-50A	OKANO(JAPAN)
Flow rate	Flow meter	50-100 LPM	Dwyer(USA)
Pump	Diaphram	2107CA16	THOMAS(USA)
		DA-15D	ULVAC(JAPAN)
Data logging	A-D converter &	PCL-718	LAB-DAS(TAIWAN)
	Personal computer	286 PC	IBM(KOREA)

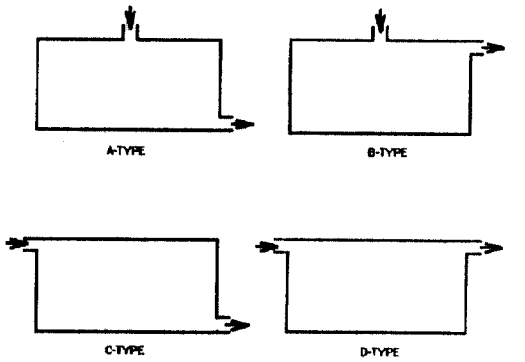


Fig. 2. Type of model chamber

4가지 유형으로 구분하여 실험을 수행하였다. A-type은 급기구를 천정 중앙에, 배기구를 측벽의 하단에 설치하였으며 B-type은 급기구를 천정중앙에, 배기구를 측벽 상단에 위치하였으며 C-type에서는 좌측상단에 급기구를, 우측하단에 배기구를 위치토록 하였으며 D-type은 좌측상단에 급기구를, 우측상단에 배기구를 위치한 형태이다. 또한 급기시 기류가 한곳으로 편중되는 것을 방지하기 위하여 원형확산기및 사각형 그릴(grill)을 설치하였다. 환기량은 유량계가 부착된 펌프를 이용하여 정량적으로 정확하게 제어 하였으며 환기시 급.배기량의 균형은 미차압계를 이용하여 모형의 실내외를 측정해가면서 유량을 조절하여 맞추도록 하였다. 환기방식은 일반적인 건물의 환기에 적용되고 있는 환기량의 70%를 재순환시키고, 30% 는 외기를 급기하는 방법을 이용하였다.

모형내의 환기효과를 알아보기 위한 실험에서는 측정점 및 오염물질 발생지점은 모형이 기하학적인 대칭구조를 갖고 있으므로 1-15번 까지의 측정점만

을 이용해서 실험하였다. 또한 실내에서의 오염물질 발생을 고려한 실험에서는 1- 25번 측정점 전수를 측정하여 분석하였다.

실험에서 고려된 인자는 환기량과 오염원의 위치로 환기량은 일반 거주공간에 적용되고 있는 범위를 포함한 2, 4, 6 AER(air exchange rate)로 하였다.

1) 환기량 제어

환기효율을 조사하는 방법으로는 크게 3가지로 분류되고 있으며 각각 다음과 같은 특징이 있다. 이에서 본연구에서는 실내공간에서 오염물질의 농도변화를 이용하여 환기량을 추정하는 방법을 채택하였다. 환기효율 추정의 경험식에서 이용된 식은 김등의 연구(김신도등 1993;일본건축학회 1988)에서 이용된 식으로서 다음과 같다.

$$\text{Ventilation Efficiency}(\%) = \frac{\text{(Calculated Ventilation Rate by Equation)}}{\text{(Controlled Ventilation Rate)}} \times 100$$

실험에서 환기량은 유량계가 부착된 펌프를 이용하여 정확하게 제어하였으며 사용전 유량계의 정확성 유지를 확인하기 위하여 건식가스메타를 이용하여 정밀성을 검토한 후의 유량계를 사용하였다. 또한 환기시 급.배기량의 균형은 미차압계를 이용해서 모형실의 내부,외부의 차압이 거의 없도록 유량을 조절하였다.

특히 본 실험에서는 공기의 저유량 범위에서 유량공급에 가장 안정적인 것으로 알려져 있는 공기용 다이아프램 펌프(diaphram pump for air)와 공기용 유량계를 이용하여 환기량을 2, 4, 6 AER로 변화시키면서 실험을 실시하였다. 실제 건물들의 환기량은 대부분이 4 AER로 설계되어 있다. 환기방식은 일반적인 건물 환기에 적용되는 환기량의 70%는 재순환으로, 30%는 외기를 급기하는 방법을 이용하였다.

3. 측정 지점

모형실에서의 측정지점은 모형내의 공간적인 분포를 파악하기 위하여 수평면과 수직면으로 측정지점을 선정하였다. 또한 실공간에서의 거주자의 활동영역 및 호흡영역을 고려하여 중간영역에 대하여 중점적으로 측정지점을 선정하였다. 다음은 모형실의 수평면과 수직면의 측정지점을 표시한 것으로 Fig 3, Fig. 4 와 같다.

III. 결과 및 고찰

본 연구에서는 환기장치에 의해 제어되는 환기량과 이 환기에 의해 나타나는 농도변화를 이용해서 식에 의해 계산되는 값과 실제환기량과의 비로써 구한 결과 수평면에서의 환기효율은 Fig. 5에서 Fig. 8까지 나타 내었으며 수직면에 대해서는 Fig. 10에서 Fig. 13까지 나타내었다.

1. 수평 단면

수평면에 대한 유형별 특성을 살펴보면 다음과 같다. Fig. 5는 A-type의 환기효율을 보여준 것으로 기류 공급영역인 중심지역의 영역의 환기효율이 높음을 보이고 있으며 환기율이 증대될 수록 환기효율은 증가함을 나타내고 있다. Fig. 6은 B-type의 환기효율의 분포를 등농도선으로 표시한 것으로 2 AER에서 기류 공급영역인 중심부에서 50 - 60%의 효율을 보이고 있는 반면 구석영역의 농도는 43%로서 상대적으로 낮은 효율을 보이고 있다. 4 AER에서는 전체적인 효율이 높은 곳은 60%정도범위와 낮은 곳은 40%정도의 범위를 보이고 있다. 6 AER에서는 기류공급 및 배기구의 중심영역부에서 80%정도로 높게 나타나고 있으며 구석영역은 60% 정도로 낮은 값을 보이고 있다. 이것은 A-type에서의 환기효율에 비해 구석부와 중심부간의 농도값의 차이가 큼을 알 수 있다.

Fig. 7은 C-type의 환기효율의 분포를 나타낸 것으로 2 AER 에서는 주기류 형성대인 중간부분은 53%의 효율을 보인 반면 구석영역은 43%정도의 효율을 나타내고 있다. 4 AER 에서는 주기류영역의 부분 특히 배기구부근의 효율이 60%정도이며 구석부근에서는 48%정도를 나타내고 있다. 6 AER에서는 급기구에서 배기구로 연결되는 주기류 영역이 80에서 83% 로 높은 효율을 유지하며 구석영역에서는 58%정도의 효율을 나타내고 있다.

Fig. 8은 D-type의 환기효율을 나타낸 것으로 2 AER 에서는 주기류의 중심부를 중심으로 좌우면에서 오히려 높은 값을 보이고 있으며 이것의 형태는 4, 6 AER 에서도 이러한 특성을 보이고 있는데 이

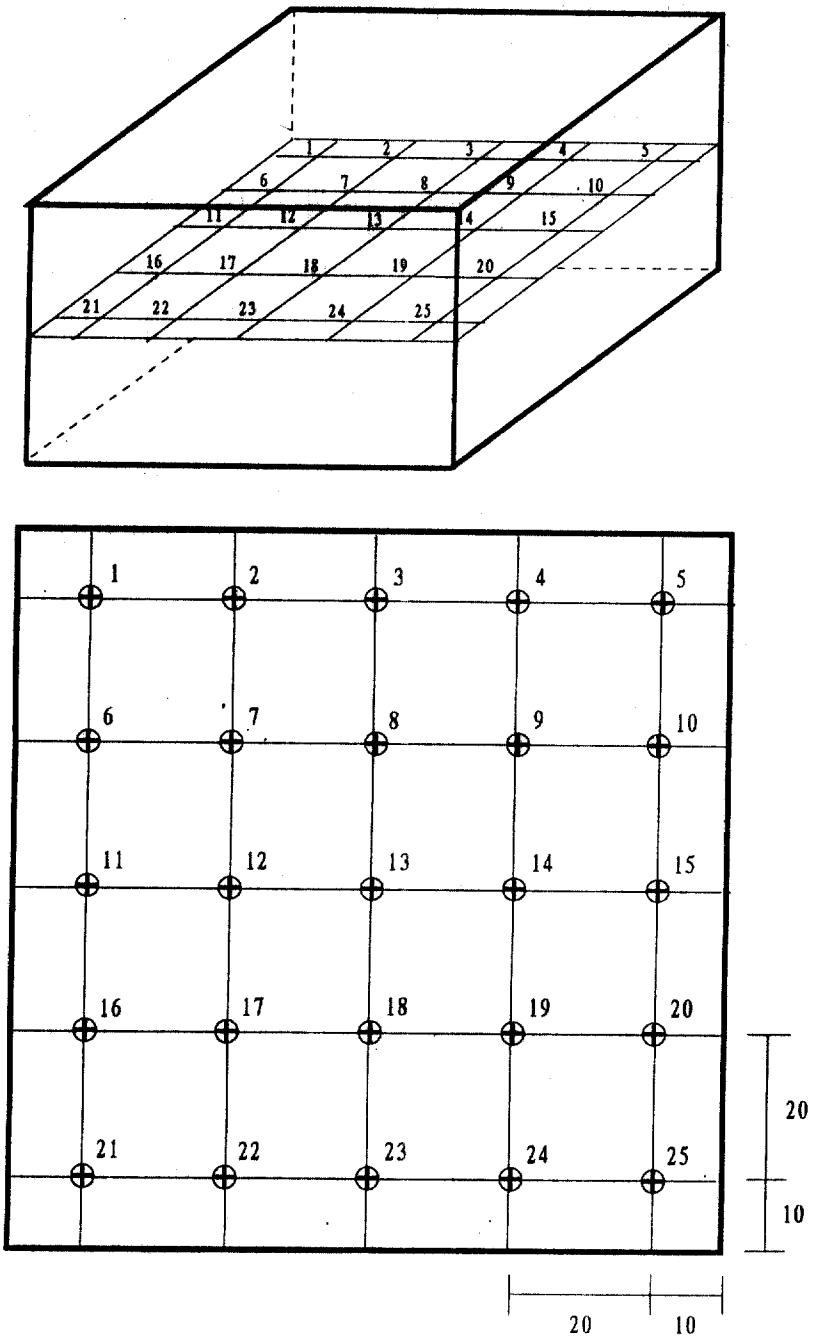


Fig. 3. Sampling point in the model chamber at horizontal section

것은 주기류의 형성이 상부영역에서 형성되며 중간 영역에서의 순환류에 의한 영향으로 추정된다. 다음은 수평면에서의 조건별 환기효율을 정리한 것으로 Table 2와 같이 나타났다. A - type에서 보면 전반적으로는 환기율 증가에 따라 환기효율이 약 2% 정도씩 증가함을 보이고 있으며 6 AER 에서는 표준편차가 20%정도로 크게 나타나고 있는데 이것은 환기효율이 지점간에 크게 나타남을 보여주고 있는

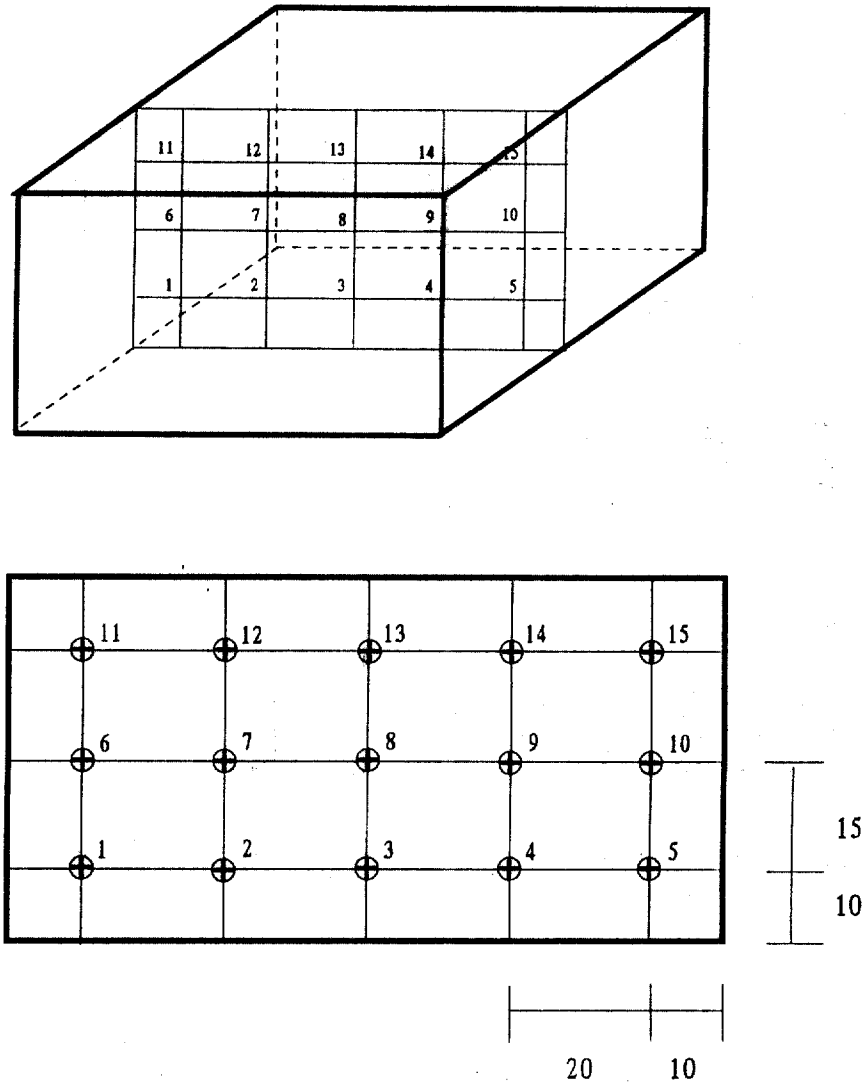


Fig. 4. Sampling point in the model chamber at vertical section

것이다. B-type 에서는 2 AER에서와 4 AER이 비슷한 효율을 보이고 있으며 오히려 약간 감소함을 보이고 있었다. 이것은 실험적 변동요인, 즉 측정의 오차로 인한 것으로 추정된다. C-type 에서는 환기율이 증가하면서 약 4%정도씩 증가함을 보이고 있다. D-type에서는 2 AER 에서는 45% 로 낮게 나타나고 있으나 4 AER, 6 AER에서는 78%, 84%로 비교적 높게 나타났다.

Fig. 9는 Table 2중에서 평균, 표준편차를 나타낸 그림으로서 편차가 큰것은 수평면에서의 농도차가 큰 것임을 나타낸 것으로 A-type의 환기율 6회(A6) 와 같은 조건에서는 농도차가 38% 에서 96%로 지점간 농도차이가 극심함을 보여주고 있다. 또한 전반적으로 볼 때 2 AER에서는 A>B>C>D순으로 효율이 높으며, 4 AER에는 D>A>C>B순으로 나타났으며 , 6 AER에서는 D>A>B>C 순으로 효율이 높음을 알 수 있다.

2. 수직 단면

수직면에 대한 유형별 특성을 살펴보면 다음과 같다. 수직면에서의 등농도선의 분포상황은 수평면에서 보다 지점간의 차이가 뚜렷하게 나타남을 보이고

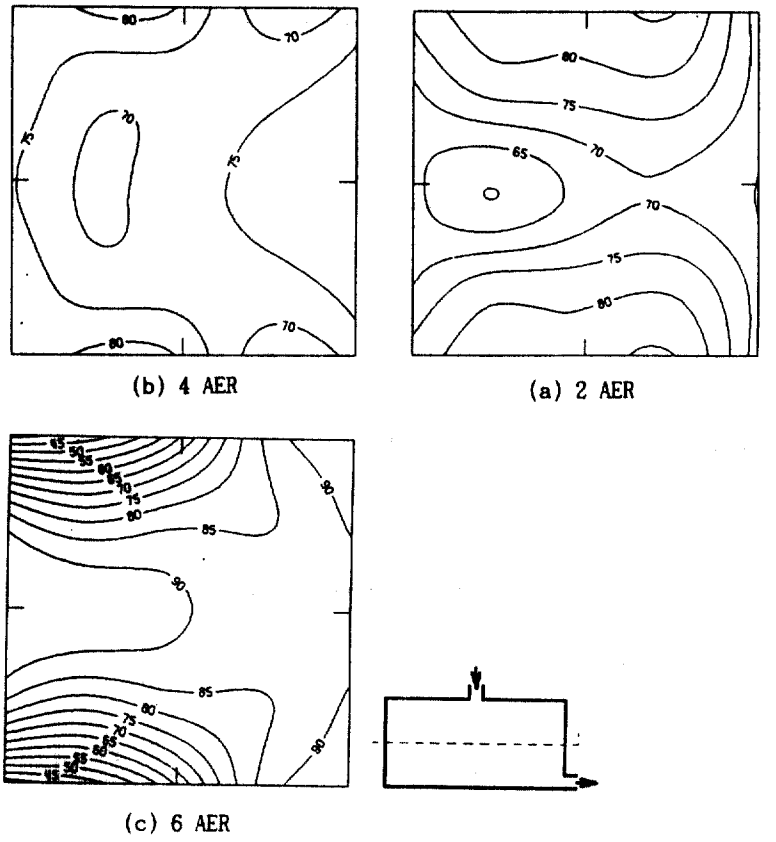


Fig. 5. Distribution of ventilation efficiency in horizontal section according to the air exchange rate at A-TYPE

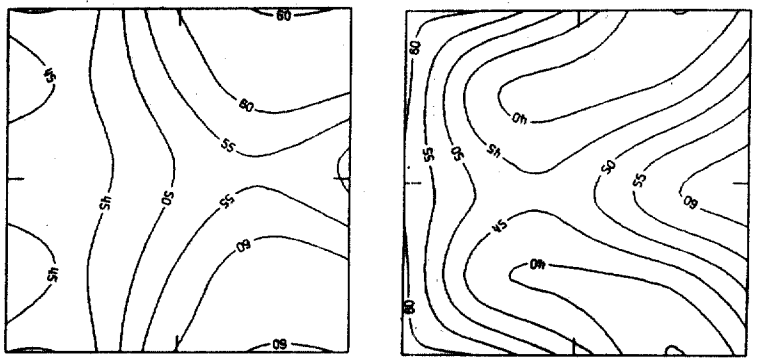
Table 2. Distribution of ventilation efficiency in hori zontal section

Type \ Statistics	AER	M ± SD*	MIN	MAX
A	2	73.22± 9.45	47.00	88.00
	4	75.00± 6.01	65.00	85.00
	6	77.72±20.61	38.00	96.00
B	2	51.49± 9.66	35.47	67.17
	4	49.20±12.53	31.88	70.00
	6	76.17±10.85	54.93	89.96
C	2	49.23± 6.05	39.00	57.84
	4	53.20± 6.41	41.66	66.69
	6	68.34±12.09	50.31	94.92
D	2	45.56± 8.81	35.18	62.59
	4	78.20± 4.40	68.66	84.28
	6	84.32± 8.27	68.70	94.16

* M ± SD : Mean ± Standard Deviation

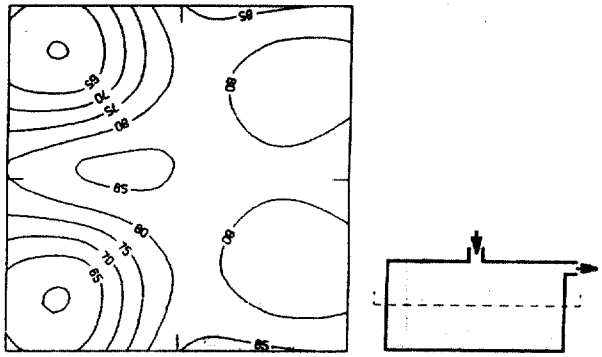
있다.

Fig. 10은 A-type의 수직면에 대한 등환기효율선을 보여준 것으로 기류공급 영역인 상하방향의 중심지역 영역의 환기효율이 높음을 보이고 있으며 환기율이 증대될 수록 환기효율은 증가함을 나타내고 있다. Fig. 11은 B-type의 수직면 환기효율의 분포를 등농도선으로 표시한 것으로 2 AER에서 기류공급 영역인 중심부에서 60%정도의 효율을 보이고 있는 반면 배기구 반대면인 구석영역의 농도로서 상대적으로 낮은 효율을 보이고 있다. 4 AER에서는 전체적인 효율이 높은 곳은 73% 정도 범위와 낮은 곳은 68%정도의 범위를 보이고 있다. 6 AER에서는 기류 공급 및 배기구의 중심 영역부에서 93%정도로 높게 나타나고 있으며 구석영역은 70% 정도로 낮은 값을 보이고 있다. 이것은 2 AER 인 경우와 비교할 때 환기효율에 비해 구석부와 중심부간의 농도값의 차이가 큼을 알 수 있다.



(a) 2 AER

(b) 4 AER



(c) 6 AER

Fig. 6. Distribution of ventilation efficiency in horizontal section according to the air exchange rate at B-TYPE

Fig. 12는 C-type의 환기효율의 분포를 나타낸 것으로 전반적으로 배기구방향의 중심기류를 축으로 환기효율이 높아짐을 보이고 있다. 2 AER 에서는 주기류 형성대의 배기구 부근에서 53%의 효율을 보인 반면 구석영역은 50%정도의 효율을 나타내고 있다. 4 AER 에서는 주기류영역의 부분 특히 배기구 부근의 효율이 83%정도이며 구석부근에서는 58% 정도를 나타내고 있다. 6 AER에서는 급기구에서 배기구로 연결되는 주기류 영역이 90에서 98% 로 높은 효율을 유지하며 구석영역에서는 80%정도의 효율을 나타내고 있다.

Fig. 13은 D-type의 환기효율을 나타낸 것으로 주기류가 형성되는 상층부 영역에서 비교적 높은 효율을 보이고 있음을 보이고 있다. 2 AER 에서는 주기류의 중심부를 중심으로 좌우면보다 높은 값을 보이고 있으며 이것의 형태는 4, 6 AER 에서도 이러한 특성을 보이고 있는데 이것은 주기류의 형성이 상부영역에서 형성되며 구석 부분보다 중간영역에서 환기효과가 높음을 보여주고 있다. 다음은 수직면에서의 조건별 환기효율을 정리한 것으로 Table 3과 같이 나타났다. A- type에서 보면 전반적으로는 환기율 증가에 따라 환기효율이 증가함을 보이고 있으며 6 AER 에서는 특히 효율이 81%정도로 높게 나타났다. B-type 에서는 2 AER보다 4 AER이 다소 높은 효율을 보이고 있으며 6 AER 에서는 85% 정도의 효율을 보이고 있다. C-type 에서는 환기율이 증가하면서 약 10%정도씩 증가함을 보이고 있다. D-type에서는 2 AER 에서는 48% 로 낮게 나타나고 있으나 4 AER, 6 AER에서는 80%, 85% 로 비교적 높게 나타났다. 이런한 경향은 수평면에서도 나타난 결과이다.

Fig. 14는 Table 3 중에서 평균, 표준편차를 나타낸 그림으로서 편차가 큰것은 수직평면에서의 농도차가 큰것인을 나타낸 것으로 수평면과 비교할 때

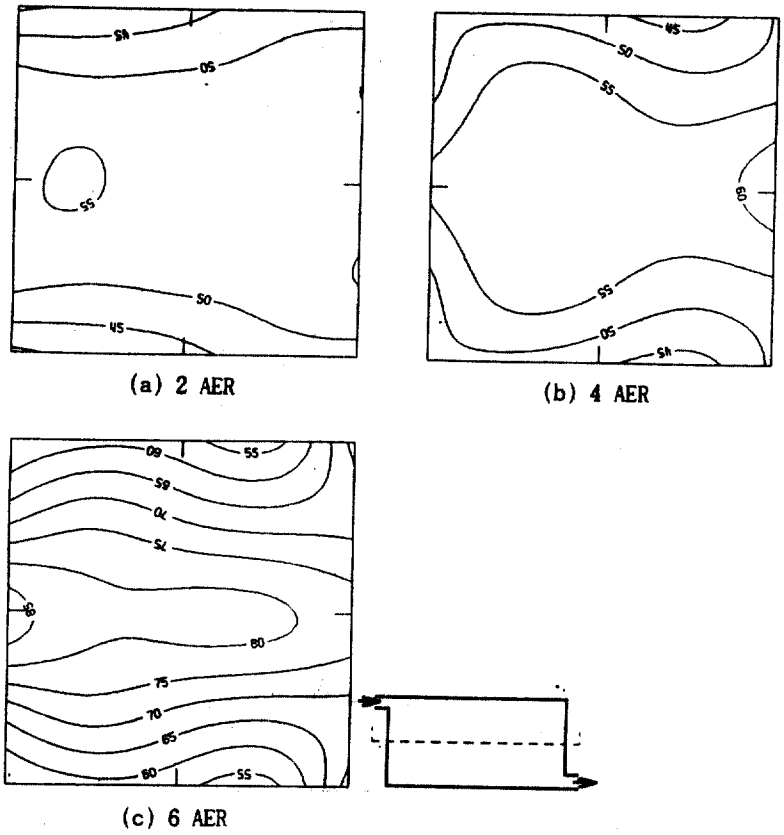


Fig. 7. Distribution of ventilation efficiency in horizontal section according to the air exchange rate at C-TYPE

Table 3. Distribution of ventilation efficiency in vertical section

Type \ Statistics	AER	M ± SD*	MIN	MAX
A	2	58.59±12.00	42.91	78.86
	4	59.94± 9.25	43.61	72.77
	6	81.70±11.30	6.00	98.23
B	2	62.40±12.23	40.00	81.60
	4	67.32± 8.01	51.35	84.89
	6	85.29±10.63	70.04	99.82
C	2	59.29±11.60	45.31	84.75
	4	70.62±11.66	52.03	89.38
	6	86.03± 7.21	78.00	99.14
D	2	48.77± 6.93	39.96	64.81
	4	80.99± 4.65	74.09	92.83
	6	85.17± 8.03	71.38	99.91

* M ± SD : Mean ± Standard Deviation

편차가 작게는 5% 정도에서 많은 경우는 12% 정도로 나타났다.

또한 전반적으로 볼 때 2 AER에서는 B〉C〉A〉D 순으로 효율이 높으며, 4 AER에는 D〉C〉B〉A 순으로 나타났으며 , 6 AER에서는 B〉C〉D〉A 순으로 효율이 높음을 알 수 있는데 6 AER 에서는 80%에서 85% 정도로 비슷한 효율을 보이고 있다.

이러한 상기의 결과로 볼 때 건축구조물의 대형화 및 기밀화 추세에 따라 실내환경 요소 중 실내공기질의 관리가 수반되어야 하는데 현재까지의 경험과 실내오염물질이 존재하면 완전혼합 된다고 가정하여 환기량 추정을 하고 있다. 이러한 것은 공기조화 설비비 증가 및 운전유지비 증가를 유발시키면서도 국부적으로는 고농도 실내공기질 상태로 효율적이지 못한 경우가 발생되므로 단순히 환기량만 증대시킨다고 공기질개선이 실내공기 전체에 대하여 동일하게 효과적이지 않음을 알 수 있으며 환기구 위치에

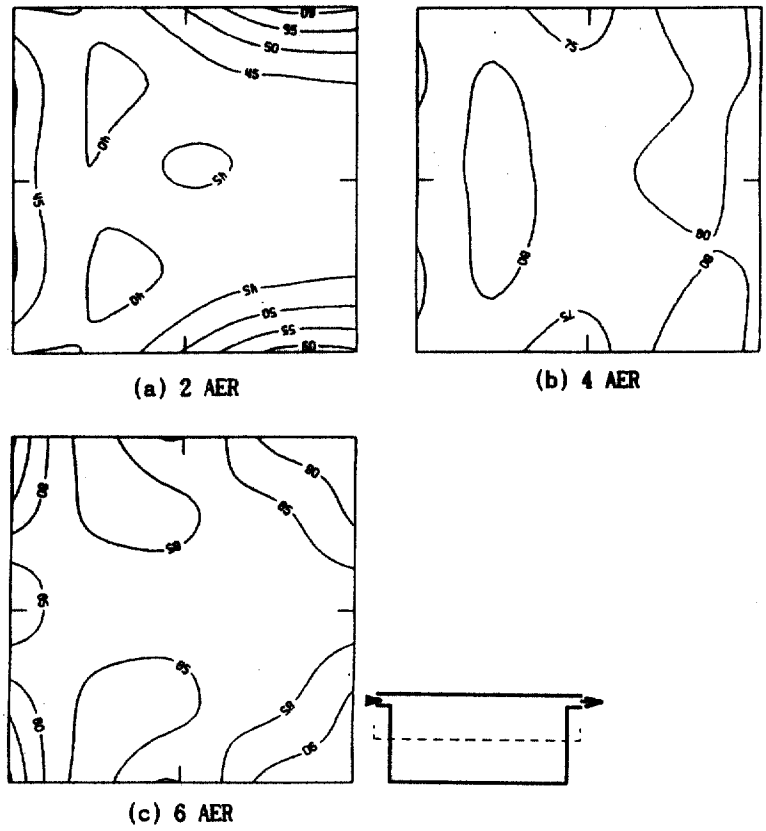


Fig. 8. Distribution of ventilation efficiency in horizontal section according to the air exchange rate at D-TYPE

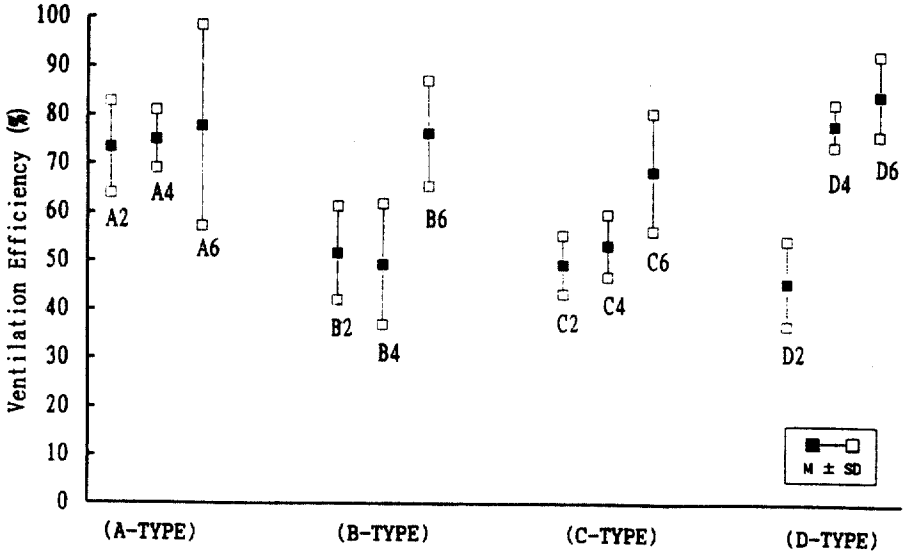
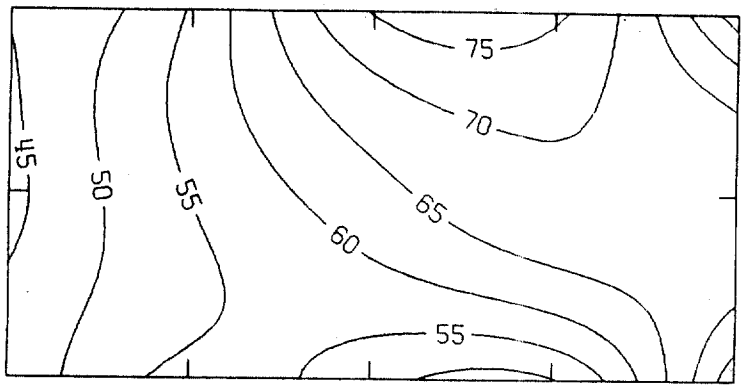
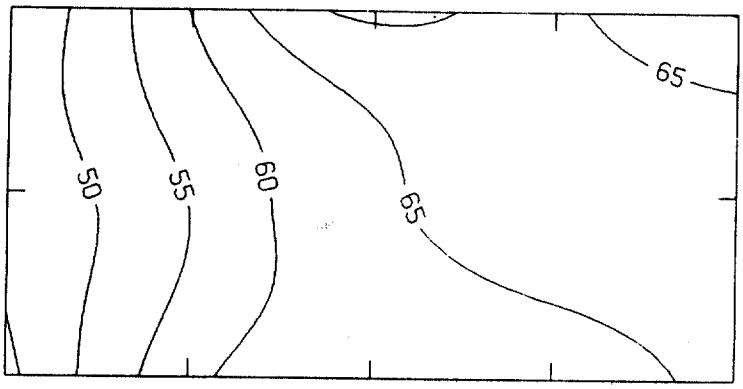


Fig. 9. Plot of ventilation efficiency each type in horizontal section

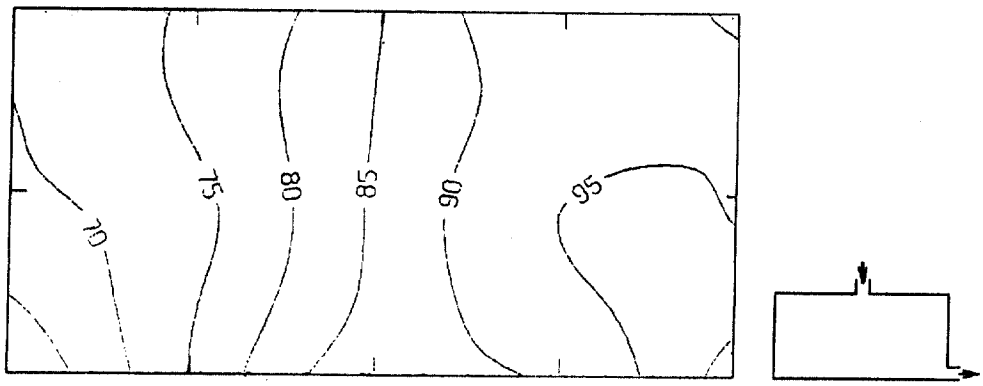
따라서도 차이가 많음을 보이고 있어 이에 대한 대책이 요구됨을 확인할 수 있었다. 더우기 실내오염 물질은 공간적인 분포가 균질(homogeneous)하지 않으며 실내의 구조적 요인과 기류분포 요인에 의해



(a) 2 AER



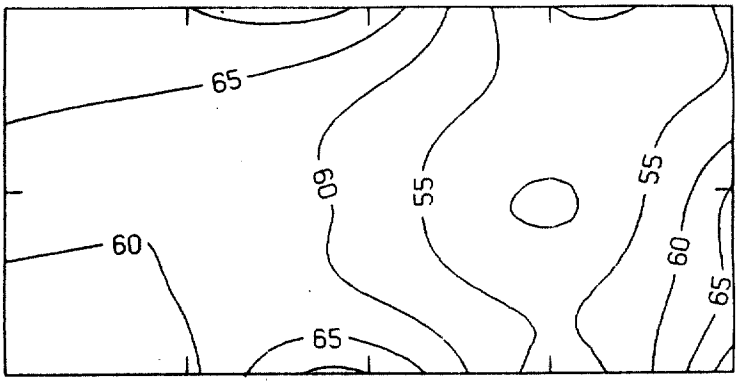
(b) 4 AER



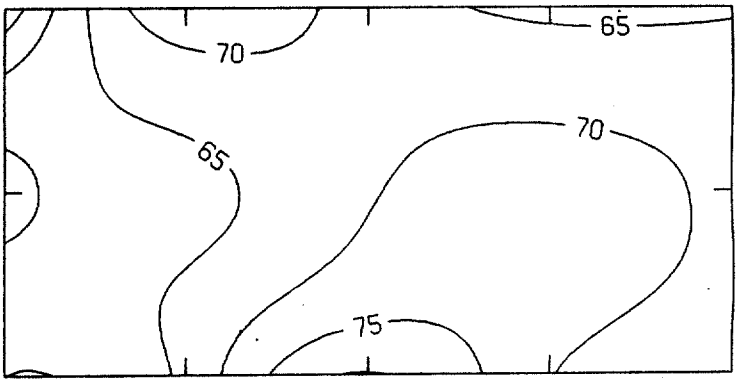
(c) 6 AER

Fig. 10. Distribution of ventilation efficiency in vertical section according to the air exchange rate at A-TYPE

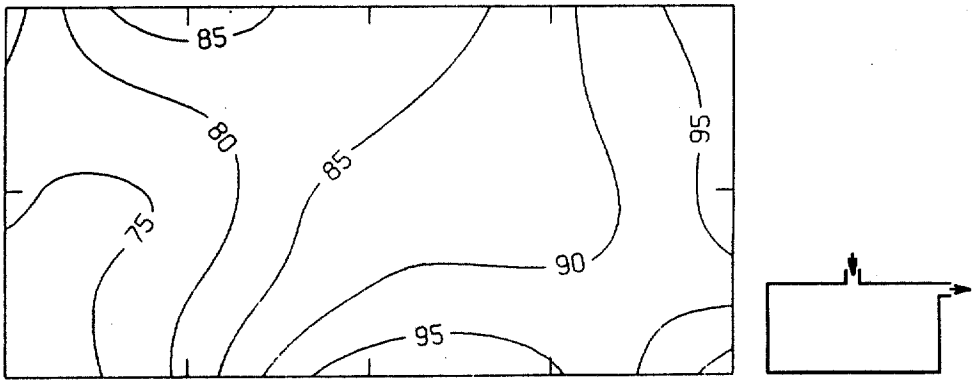
서 많은 차이를 갖는 것이므로 이에 대한 해석도 필 요할 것으로 사료된다.



(a) 2 AER



(b) 4 AER



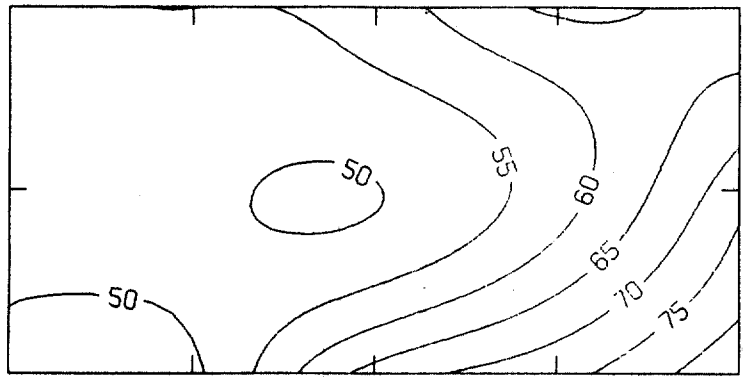
(c) 6 AER

Fig. 11. Distribution of ventilation efficiency in vertical section according to the air exchange rate at B-TYPE

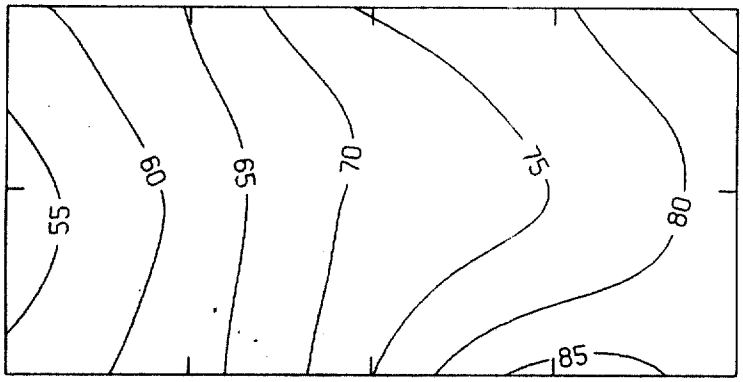
IV. 결 론

전체환기의 모형실을 대상으로 환기에 의한 실내 공기질의 변동을 분석, 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

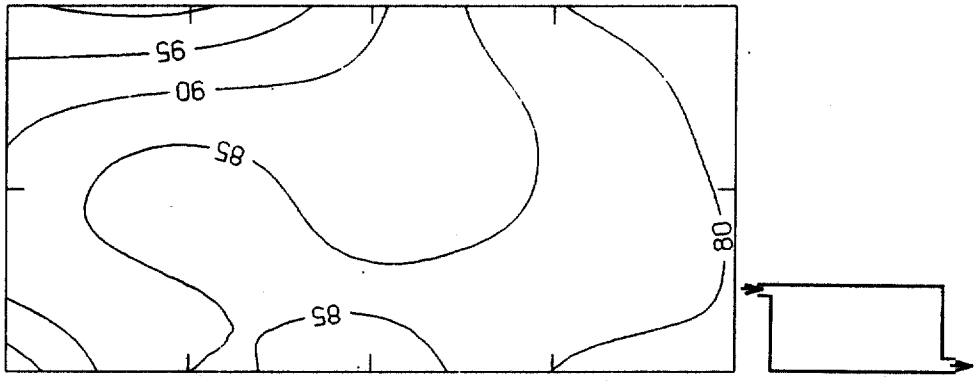
1) 각 모형실의 유형별로 지점간의 오염물질의 공



(a) 2 AER



(b) 4 AER

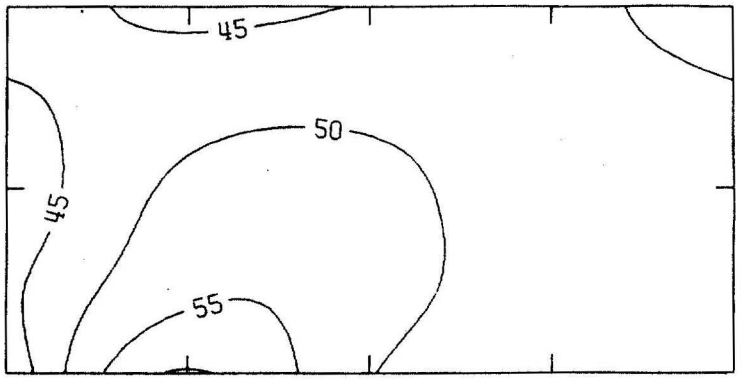


(c) 6 AER

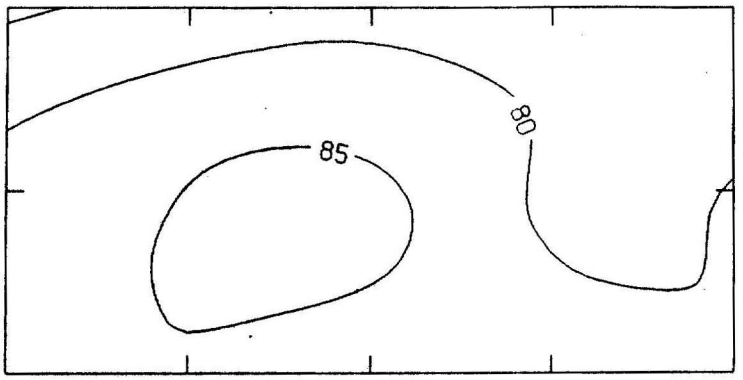
Fig. 12. Distribution of ventilation efficiency in vertical section according to the air exchange rate at C-TYPE

간분포 형태는 급배기구의 주기류 영역을 중심으로 확산류가 형성되어 급배기구의 위치가 실내대기질 농도에 중요함을 확인할 수 있었다.

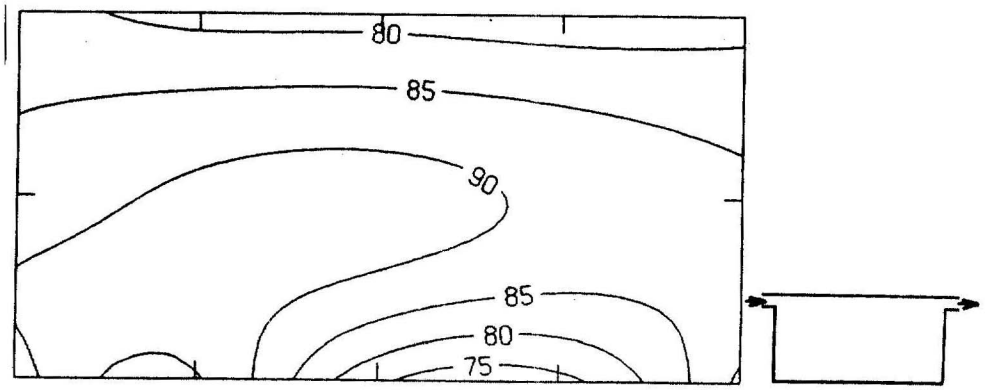
2) 급배기구 유형별 환기효율의 분포는 다음과 같이 나타났다. 수평면에 서의 25개 지점별로 환기율이 2 AER 에서 6 AER로 변화할 때의 환기효율의



(a) 2 AER



(b) 4 AER



(c) 6 AER

Fig. 13. Distribution of ventilation efficiency in vertical section according to the air exchange rate at D-TYPE

값으로 A-type에서는 환기율별로 73 - 77%의 값을 보이고 있으며, B-type에서는 49 - 76% 정도를 나타내고 있으며, C-type에서는 49 - 68%, D-type에서는 45 - 84% 범위의 환기효율을 나타났다.

3) 수직면의 15개지점별로 환기율은 2 AER 에서

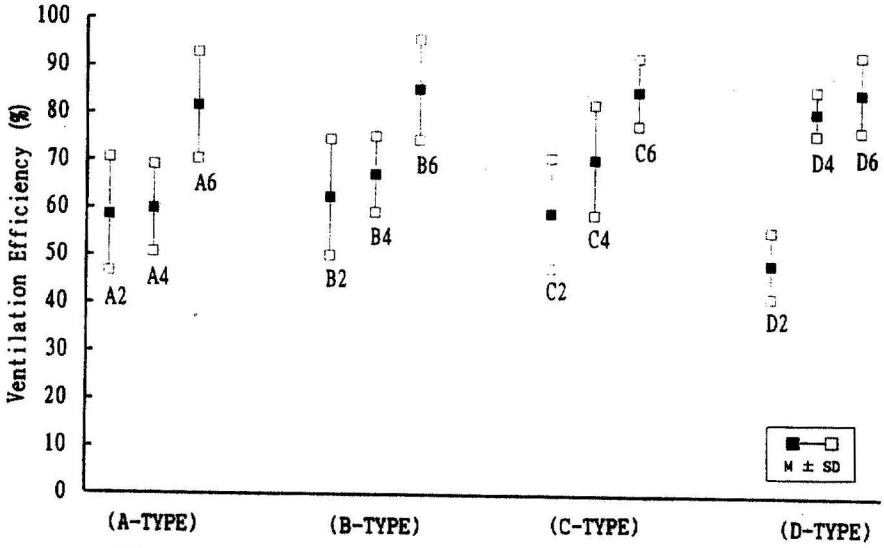


Fig. 14. Plot of ventilation efficiency each type in vertical section

6 AER 범위로 환기시킬 때의 환기효율값의 분포는 A-type에서는 환기율별로 58 - 81%의 값을 보이고 있으며, B-type에서는 62 - 85% 정도를 나타내고 있으며, C-type에서는 59 - 85%, D-type에서는 48 - 85% 범위의 환기효율을 나타났다.

참 고 문 헌

김신도. 가죽제조업 사업장의 작업환경 개선을 위한 환기시스템에 관한 연구. 노동부직업병예방을 위한 학술연구용역사업. 1993

김신도, 김태식, 이희관, 이정주. 실내환기효율의 공간적 변화특성에 관한 연구. 한국대기보전학회지. 제9권 제3호, pp. 236-241. 1993

김윤신. 실내의 공기질의 유해평가 관리 및 기준치 개발에 관한 연구. 한국과학재단, KOSEF 89-0705-03. 1991

김윤신. 지하공간등 실내대기질 관리방안. 환경처 대기정책방향 토론회. pp. 53-83. 1994

백남원. 지하공간의 공기오염 및 공기중 미량유해물질에 관한 연구. 한국환경과학연구협의회. 1989

이명호. 발전소 운전원 근무환경에 관한 기초조사(II). 한국전력공사기술연구원, KRH-91H-JO2. 1992

寺部本次. 空氣汚染の化學. 技報堂. 東京. pp. 31-32, 38. 1966

日本建築學會. 建築環境工學用教材 -環境編-, 東京, p. 65. 1988

日本建築學會 譯. 室內空氣汚染. 井上書院, 東京, 1990

池田耕一. 室內空氣汚染のメカニズム. 鹿島出版社, pp. 160-173. 1992

藤井正一. 室內空氣清淨. 空氣調和. 衛生工學, 第52卷 第3號. pp 251-255. 1979

ASHRAE. *1993 ASHRAE Handbook FUNDAMENTALS SI Edition. ASHRAE(USA). 1993*

Godish T. *Indoor Air Pollution Control. LEWIS PUBLISHERS Michigan(USA). 1991*

Hitoshi Kasuga. etd. *Indoor Air Quality. Springer-Verlag. International Archives of Occupational and Environmental Health Supplement. Kanagawa(JAPAN). 1989*

Wadden RA, Peter A. *Scheff. Indoor Air Pollution. John Wiley & Sons. New York(USA). 1983*