

냉방시 시스템에어컨과 환기유닛 적용 강의실에서 실내 CO₂ 농도와 국소평균공기연령 연구

장 재 수, 노 광 철, 오 명 도*

서울시립대학교 기계정보공학과 대학원, *서울시립대학교 기계정보공학과

Study on the Relationship between Indoor CO₂ Concentration and Local Mean Air-age in the Lecture Room with System Air-conditioner and Ventilation Unit for Cooling Loads

Jae-Soo Jang, Kwang-Chul Noh, Myung-Do Oh**

School of Mechanical and Information Engineering, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

*Department of Mechanical and Information Engineering, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

(Received January 25, 2005; revision received June 1, 2005)

ABSTRACT: This study is undertaken to evaluate the relationship between the indoor CO₂ concentration and the local mean air-age in the lecture room with the occupants. We conducted the experiments to examine the indoor CO₂ concentration and the local mean air-age with respect to the supply airflow of the ventilation system and the discharge angle and airflow of the system air conditioner. Through the experiments, we found out that indoor CO₂ concentrations calculated by the prediction equation of Seidel are about 350 ppm lower than those measured by the experiments. The indoor CO₂ concentration is not related with the airflow and the discharge angle of the system air-conditioner, but with the ventilation airflow. From the numerical calculation, the indoor CO₂ concentration is not related with the ventilation effectiveness, but strongly with the local mean air-age. In case of our model, the indoor CO₂ concentration is likely to fall within the acceptable air quality when the local mean air-age is averagely predicted under 400 seconds.

Key words: CO₂ concentration(CO₂ 농도), Local mean air-age(국소평균공기연령), System air conditioner(시스템에어컨), Ventilation effectiveness(환기효율), Ventilation unit(환기유닛)

기 호 설 명

C_p : 실내 P점에서의 농도 [ppm]

C_∞ : 실내 정상상태 농도 [ppm]

LMA : 국소평균공기연령 [s]

Q : 환기량 [m^3/s]

t : 시간

V : 체적 [m^3]

† Corresponding author

Tel.: +82-2-2210-2756; Fax: +82-2-2248-5110

E-mail address: mdoh@uos.ac.kr

그리스 문자

- α : 환기효율
- τ_n : 명목시간상수 [s]

1. 서 론

에너지 절약이 중요한 문제였던 과거에는 건물의 에너지 소비를 줄이기 위하여 건물의 밀폐화와 단열화가 이루어졌다. 그러나 오늘날 국민들의 생활수준의 향상과 실내에서의 활동시간이 증가함에 따라 주거 및 사무공간에서 보다 안전하고 쾌적한 공기질이 요구되고 있다.⁽¹⁾ 특히 2004년 6월부터는 “다중이용시설등의 실내공기질관리법”이 시행됨에 따라 실내공기질에 대한 제도적 기준도 마련이 되었다. 이로 인하여 실내에서 발생하는 각종 오염물질을 제거하고 신선외기를 공급하여 쾌적시키기 위해 외기를 도입하는 방법이 이용되고 있다.

외기를 도입하여 환기할 경우 급기구 및 배기구의 위치와 실내기류의 형태에 따라 실내의 환기상태가 크게 달라진다. 이러한 재실영역의 환기효과를 평가하기 위하여 환기효율이라는 개념⁽²⁾을 도입하여 사용해 왔다. 이와 관련하여 Kim et al.⁽³⁾은 환기시스템을 적용한 사무실에서 환기특성을 국소급기지수 등을 통하여 실험 및 수치적인 방법으로 분석하였고, 급·배기구의 위치에 따른 환기효율을 평가하였다. Shin et al.⁽⁴⁾은 수원지역 초·중·고등학교 교실의 하계 및 동계 실내 공기오염도에 관한 측정 및 분석을 수행하였고, Shin et al.⁽⁵⁾도 환기장치가 설치된 고등학교 교실을 대상으로 CO₂ 농도를 측정하여 필요환기량을 산출하였다.

그러나 실내에 환기를 목적으로 급기를 행할 때 실내 평균적 개념의 환기성을 나타내는 환기효율만으로는 환기특성에 따른 실내 특정위치에서의 공기오염상태를 예측할 수 없다. 또한 지금까지 환기가 있을 때 신선공기 도달성능으로 공급특성을 나타내는 국소평균공기연령을 객관적이고 정량적으로 평가하기 위한 노력은 없었으며 국소평균공기연령과 실내 CO₂ 농도의 연관성을 연구한 경우도 없었다.

따라서 본 연구에서는 이러한 국소적 환기효과를 평가하기 위하여 시스템에어컨과 환기시스템

이 설치된 대학교 강의실을 대상으로 시스템에어컨의 토출풍량과 각도, 환기시스템의 급기풍량을 제어변수로 하여 추적가스를 이용한 국소평균공기연령을 산출하였고, 각 제어변수에 대하여 재실영역 내 CO₂ 농도를 구하였다. 또한 수치적 방법을 이용하여 국소평균공기연령과 환기효율, 그리고 재실영역 내 CO₂ 농도를 구였으며, 그 결과를 실험적 방법을 이용한 결과와 비교하여 국소평균공기연령과 재실영역 내 CO₂ 농도와의 연관성에 대한 연구를 수행하였다.

2. 환기 평가지표

2.1 국소평균공기연령

공기연령⁽²⁾이란 급기구를 통하여 실내로 유입된 공기가 실내의 임의의 점에 도달할 때까지 소요된 시간이다. Fig.1에서 보는 바와 같이 공기가 실내로 유입되는 시점의 공기연령을 0으로 하면 실내 임의의 점 P에서의 공기연령분포는 통계적으로 산출할 수 있다. 일반적으로 공기는 여러 가지 경로를 통하여 임의의 지점 P까지 도달할 수 있기 때문에 그 지점에서 도달하는 공기연령의 평균값을 국소평균공기연령(Local Mean Air-age)이라 한다.

이러한 국소평균공기연령을 실험적으로 구하기 위해서는 추적가스를 주입한 후 시간에 따른 비정상 농도변화를 관측하여야 한다. 추적가스 주입방법에 따라 체승법(step-up method), 체강법(step-down method), 그리고 펄스법(pulse method)이 있다. 그러나 어떠한 주입방법을 사용하더

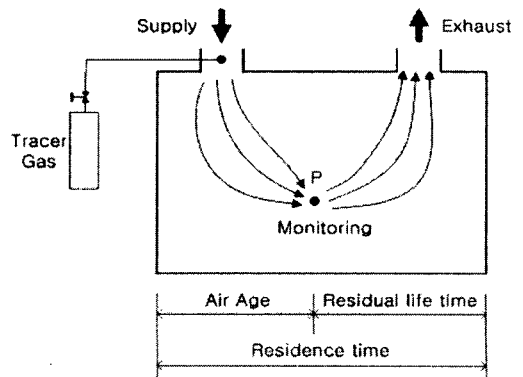


Fig. 1 Definition of different ages.

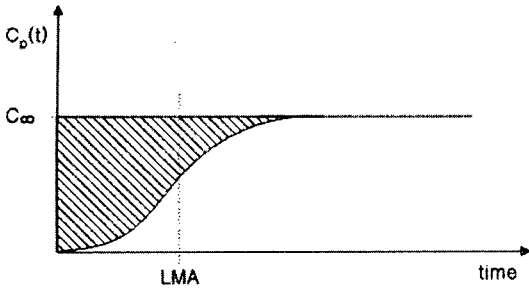


Fig. 2 Material balance of contaminant at time LMA.

라도 동일한 결과를 얻을 수 있다. 각각의 주입 방법에 따라서 연령이나 잔여체류시간의 계산을 위한 수식의 형태는 다르나 결과는 동일하여 본 연구에서는 체승법을 이용하였다. 실내의 점 P에서의 국소평균공기연령을 구하기 위해서는 Fig. 1에서와 같이 급기구에 추적가스를 주입하고 P점에서의 시간에 따른 농도변화를 측정하면 Fig. 2와 같은 농도변화를 보인다. 이때 국소평균공기연령은 Fig. 2에서 빗금친 면적을 실내 정상상태 농도로 나눈 값에 해당하므로 다음의 식과 같이 구해진다.⁽²⁾

$$LMA_p = \int_0^{\infty} \left(1 - \frac{C_p(t)}{C_{\infty}}\right) dt \quad (1)$$

2.2 환기효율

명목시간상수⁽²⁾는 실내 전체 체적만큼의 공기

를 급기하는데 걸리는 시간을 의미하며 공기교환율의 역수로서 식(2)와 같이 표현된다.

$$\tau_n = V/Q \quad (2)$$

실내 공기가 어느 정도 빨리 교체되는가를 나타내는 무차원 지표인 환기효율(Ventilation Effectiveness)은 명목시간상수와 실전체로 평균한 국소평균공기연령의 비로 식(3)과 같이 정의된다.⁽²⁾

$$\alpha = \tau_n / \langle LMA \rangle \quad (3)$$

3. 실험 및 수치해석

3.1 실험

3.1.1 연구대상

본 연구는 4-way cassette형 시스템에어컨이 설치된 Fig. 3과 같은 강의실을 대상으로 하였다. 전체 크기는 6.4m(W)×11.2m(L)×2.4m(H)이고 체적은 약 175m³이다. 그림에서 보는 바와 같이 강의실 중앙에 시스템에어컨을 설치하였고 재실영역의 환기를 위하여 4개의 급기구와 4개의 배기구를 설치하였다. 이때 급기구는 환기효율을 증가시키기 위하여 시스템에어컨의 대각선 방향에⁽³⁾ 배기구는 강의실 앞쪽과 뒤쪽에 설치하였다. 본 연구에서 사용한 시스템에어컨은 병렬형(parallel type)으로써 단지 재실영역의 공기를 순환시키는 역할만을 담당한다. 강의실에 제공되는 신선공기

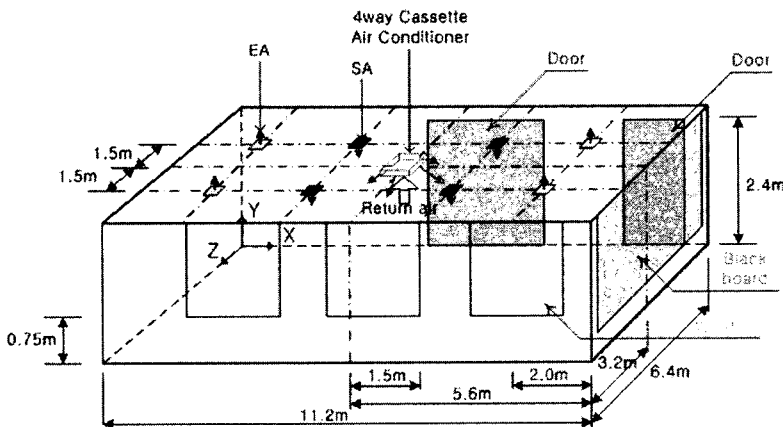


Fig. 3 Schematic design of the lecture room.

는 급기 디퓨저에 의한 급기풍량뿐이고, 이 양은 배기량과 동일하다. 그리고 실험시 재실인원은 피 실험자와 실험자를 포함 총 30명이다.

3.1.2 실험장치

재실영역의 CO₂ 농도분포를 측정하기 위하여 Gray-wolf 사의 IAQ-410을 사용하였다. 측정원리는 비분산 적외선 방식으로 분자가 자신의 고유 진동 에너지에 해당하는 에너지를 선택적으로 흡수하는 현상을 이용한 것이다. 장비의 측정오차는 ±1% 이내이다.

또한 재실영역에서의 국소평균공기연령과 환기 효율을 측정하기 위하여 INNOVA 사의 Multi-gas monitor를 사용하였고 추적가스로는 SF₆(Sulfur hexafluoride)를 사용하였다. SF₆의 밀도는 NPT 조건에서 공기밀도의 5.03배이고 공기 내에서의 확산계수는 $8.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 이다.⁽⁶⁾ 본 연구에서 SF₆ 가스의 발생량은 6L/min이다.

그리고 재실영역에서 여러 곳을 측정하기 위하여 Multi-point Sampler를 사용하였다. Multi-point Sampler는 한점의 샘플을 수집 후 측정기로 보내고 측정기에서 분석을 하는 동안 다른 측정점에서 샘플링을 수행하는 과정을 반복한다.

3.1.3 실험방법

본 연구에서는 국소평균공기연령을 측정하기 위하여 체승법으로 실험을 수행하였고, 실험시 급기구 4곳에서 급기풍량이 동일하도록 디퓨저를 조정하였다. 추적가스는 모든 급기구에서 동일한 양을 토출하기 위하여 급기구로 분지되기 전의 덕트에서 주입하였다. 이때 덕트에서 디퓨저까지의

Table 1 Control variables

Supply airflow [CMH]		Discharge angle [deg.]		Discharge airflow [CMH]	
800	1000	30	50	1380	1740

공급시간은 재실영역의 체류시간에 비하여 작으므로 무시하였다.⁽⁷⁾

측정위치는 Fig. 4에서 알파벳으로 표시된 곳과 같이 각각 급기구와 배기구의 사이 4점과 시스템에어컨 바로 아랫부분, 즉 강의실의 중앙부 1점을 포함하여 총 5점을 측정하였고, 측정높이는 앉은 상태에서의 사람의 호흡선 높이인 1.1m로 하였다. 실내 CO₂ 농도의 측정점은 총 13점으로 그 위치는 Fig. 4에서 숫자로 표시된 지점이다. 이때 측정점의 높이는 국소평균공기연령과 같은 높이인 1.1 m로 하였고 데이터는 매 10초 간격으로 측정하여 측정점마다 2분씩 측정하였다.

재실영역 CO₂ 농도에 영향을 미칠 수 있는 시스템에어컨의 토출풍량과 토출각도, 환기시스템의 급기풍량을 제어변수로 하여 각각의 조건변화에 따른 재실영역의 CO₂ 농도분포와 국소평균공기연령, 환기효율을 평가하였다. 이때 제어변수는 아래의 Table 1과 같다.

3.2 수치해석

본 연구에서는 3차원 강의실에서 급기가 이루어질 때 신선공기 도달성능을 예측하기 위하여 정상상태 농도방정식을 적용하였다. 농도방정식은 강의실 내부의 국소 공기속도가 표현되므로

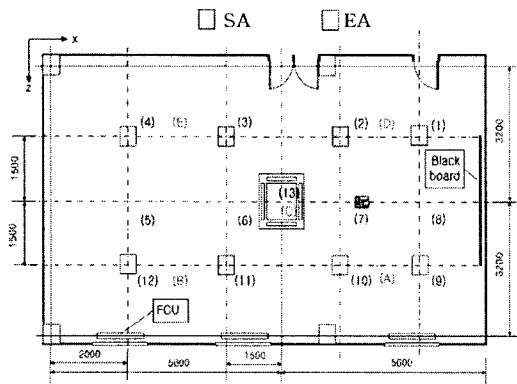


Fig. 4 Measuring points for the experiments.

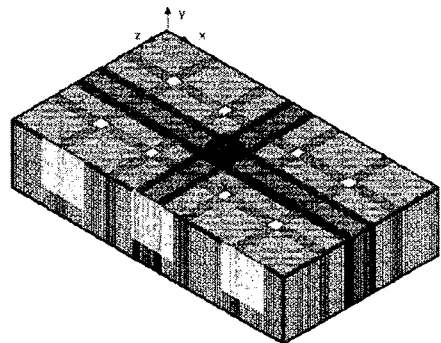


Fig. 5 3-D mesh structure for the numerical calculation.

공기유동에 관한 연속방정식, 운동량방정식, 난류 운동에너지방정식, 그리고 난류운동량 소산율방정식이 함께 적용되었다. 이들 지배방정식을 풀이하기 위하여 상용 프로그램인 STAR-CD를 사용하였다.

해석모델은 Fig. 5에서와 같이 약 450,000개의 비균일 격자를 사용하였고, 난류모델은 standard $k-\epsilon$ 모델을 사용하였다. 계산 알고리즘은 정상상태 SIMPLE를 사용하였으며 수렴판정은 운동량 및 연속방정식은 유수(residual)의 합이 10^{-3} 이하, 농도방정식은 유수의 합이 10^{-5} 이하를 조건으로 하였다.

수치해석시 강의실 내부의 채실인원은 실험과 동일한 30명이고 개인당 발생 CO_2 농도는 $0.018 m^3/h$ 로 하였으며, CO_2 의 발생위치는 채실자의 호흡선 높이인 1m에서의 제어체적을 채실자의 입의 위치로 가정하였다.⁽⁸⁾

4. 결과 및 고찰

4.1 실험

4.1.1 실내 CO_2 농도

먼저 건물 환기량 설계식에 의한 내부 CO_2 농도와 본 연구의 내부 CO_2 농도를 비교하여 보았다. 건물 환기량 설계시 내부 CO_2 농도는 이론적인 Seidel 식(4)에 의해 구해진다.⁽⁷⁾

$$C_i = C_o + \frac{0.018 \times 100}{Q} \quad (4)$$

여기서 C_i 는 내부 CO_2 농도 설계치[%], C_o 은 외부 CO_2 농도[%], Q 는 환기량[CMH/Person]을 나타낸다.

Table 2는 외부 CO_2 농도가 420 ppm이고, 시스템에어컨의 토출각도와 풍량이 각각 30° , 1,740

Table 2 Comparison of the theoretical CO_2 concentrations and the experimental ones in the lecture room

Supply airflow [CMH]	Seidel's equation [ppm]	Experiment [ppm]
800	1095	1470
1000	960	1243

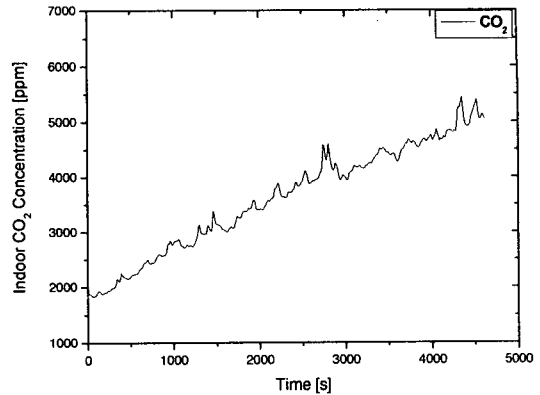


Fig. 6 Variation of indoor CO_2 concentration without system air-conditioner and ventilation unit.

CMH일 때 환기시스템의 풍량에 따라 식(4)로 계산한 내부 CO_2 농도와 실험에서 측정된 내부 CO_2 농도를 나타내고 있다. 값들을 비교해 보면 실험값이 식으로 구한 계산값보다 약 350 ppm 이상 높은 것으로 나타났다. 식에 의한 CO_2 농도 값이 낮은 것은 1차원적인 해석을 통하여 외부로부터 도입된 공기가 실내 CO_2 와 완전혼합된 후 배기구로 빠져나간다고 가정하기 때문이다. 반면에 실내로 유입된 공기는 내부의 유동조건에 따라 3차원 공간에서 이동하게 되고, 특히 채실영역의 정체구간에서 CO_2 가 축적되기 때문에 실험값이 높은 농도분포를 보이게 된다.

본 연구에서는 환기시스템의 가동 유무에 따라 실내 CO_2 농도를 명확하게 측정하기 위하여 시스템에어컨과 환기유닛이 가동하지 않을 경우 시간에 따른 내부 CO_2 농도변화를 먼저 측정하였다. Fig. 6은 그 결과를 보여주고 있다. 시스템에어컨과 환기유닛을 가동하지 않을 경우 내부 CO_2 농도가 5,000 ppm까지 올라가는 것을 알 수 있었다. 이는 채실영역에 외부의 신선외기가 공급되지 않고 채실자의 호흡에 의해 실내에서 CO_2 가 지속적으로 증가하기 때문이다.

Table 3은 조건을 환기시스템 급기풍량 800 CMH, 시스템에어컨 토출각도 30° , 토출풍량 1,740 CMH로 했을 경우 제어변수 변화에 따라 실측된 CO_2 농도를 보여준다. 측정실험시 외부 CO_2 농도는 최대 100 ppm 정도 차이가 났지만 대체로 평균값 ± 20 ppm의 범위 안으로 측정되어 강의실 내 실험 동안 외부 CO_2 농도의 변화는 크게 없

Table 3 Indoor CO₂ concentration with respect to the supply airflow, the discharge angle and the discharge airflow

Measuring point	Supply airflow [CMH]		Discharge angle [deg.]		Discharge airflow [CMH]	
	800	1000	30	50	1380	1740
	Indoor CO ₂ concentration [ppm]		Indoor CO ₂ concentration [ppm]		Indoor CO ₂ concentration [ppm]	
1	1474	1192	1474	1499	1448	1474
2	1468	1231	1468	1415	1441	1466
3	1485	1204	1485	1413	1376	1485
4	1514	1228	1514	1358	1443	1514
5	1414	1213	1414	1453	1393	1414
6	1383	1317	1383	1486	1377	1383
7	1526	1360	1526	1535	1502	1526
8	1496	1273	1496	1535	1571	1496
9	1503	1356	1503	1445	1563	1503
10	1471	1312	1471	1486	1500	1471
11	1448	1235	1448	1432	1433	1448
12	1445	1273	1445	1433	1312	1445
13	1487	1216	1487	1484	1414	1487
Mean	1470	1262	1470	1460	1444	1470
Outdoor CO ₂ concentration [ppm]	420	440	420	404	400	420

는 것으로 나타났다. 위의 조건에서 환기시스템의 급기풍량이 200 CMH 증가함에 따라 내부 CO₂ 농도가 약 200 ppm 정도 낮아지는 것을 알 수 있다. 이는 급기풍량이 증가할수록 재실영역으로 공급되는 신선외기의 양이 증가하기 때문이다. 그리고 재실영역 전체에서의 CO₂ 농도분포를 살펴보면 대부분의 재실자가 강의실 앞쪽에 위치하여 수업을 받아 CO₂ 발생량이 많기 때문에 강의실 앞쪽의 CO₂ 농도가 강의실 뒤쪽의 CO₂ 농도보다 약 100 ppm 정도 높은 것을 알 수 있다. 시스템에어컨의 토출각도만 30°에서 50°로 변화시키에 따라 실내 CO₂ 농도는 약 10 ppm 정도 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 이때 외기 CO₂ 농도가 16 ppm 정도 낮았던 것을 고려하면 토출각도에 따른 내부 실내 CO₂ 농도는 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 또한 토출풍량만을 변화시켰을 때 토출풍량이 증가함에 따라 실내 CO₂ 농도는 약 26 ppm 정도 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 이 경우에도 외부 CO₂ 농도의 변화가 약 20 ppm 증가된 상태였고 이러한 외부 CO₂ 농도의 영향을 고려하면 시스템에어컨 토출풍량에 따른

실내 CO₂ 농도변화는 거의 없다고 판단된다. 이상의 실험결과로부터 시스템에어컨과 환기시스템이 동시에 가동될 때의 국소적인 실내 CO₂ 농도는 시스템에어컨 토출각도와 토출풍량과는 무관한 것으로 나타났다.

4.1.2 국소평균공기연령

Table 4는 조건을 환기시스템 급기풍량 1,000 CMH, 시스템에어컨의 토출각도와 풍량을 각각 30°, 1,740 CMH로 했을 경우 제어변수 변화에 따른 국소평균공기연령을 보여준다. 위의 조건에서 환기시스템의 풍량이 1,000 CMH에서 800 CMH로 감소함에 따라 국소평균공기연령은 약 165초 정도 증가하는 것으로 나타났다. 이는 환기풍량이 감소할수록 유입되는 공기의 유속이 느려져서 재실영역에 도달하는 시간이 증가하기 때문이다. 그리고 시스템에어컨 토출각도의 변화에 따른 국소평균공기연령의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 또한 시스템에어컨의 토출풍량이 1,380 CMH에서 1,740 CMH로 증가함에 따라 국소평균공기연령은 약 60초 정도 감소하였다. 이는 시스템에

Table 4 Local mean air-age for the supply airflow, the discharge angle and the discharge airflow

Measuring point	Supply airflow [CMH]		Discharge angle [deg.]		Discharge airflow [CMH]	
	800	1000	30	50	1380	1740
	Local mean air-age [s]		Local mean air-age [s]		Local mean air-age [s]	
A	980.3	830.6	830.6	800.6	850.6	830.6
B	963.3	800.6	800.6	790.7	860.6	800.6
C	935.4	780.7	780.7	805.6	850.6	780.7
D	950.4	769.3	763.3	802.6	840.6	769.3
E	962.7	790.7	790.7	760.7	860.6	790.7
Mean	958.4	794.4	794.4	792.0	852.6	794.4

어컨의 토출기류가 외부의 신선공기를 유인하는 역할을 하기 때문에 토출풍량이 증가할수록 유인된 신선외기가 재실영역에 도달하는 시간이 감소하기 때문이다. 이 결과로부터 앞서 설명한 실내 CO₂ 농도변화와 같이 국소평균공기연령도 환기시스템의 급기풍량 변화에 따라 크게 달라지지만, 시스템에어컨 토출각도와 풍량에는 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

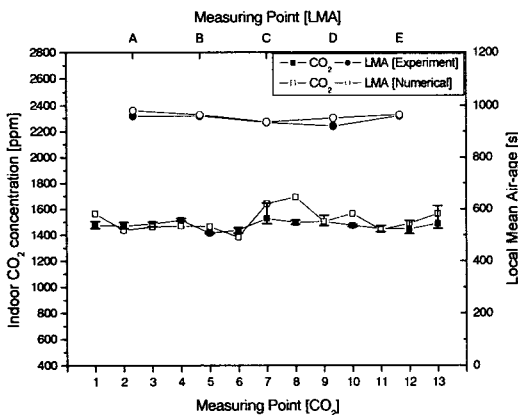
4.2 수치해석

4.2.1 수치해석결과의 타당성 검토

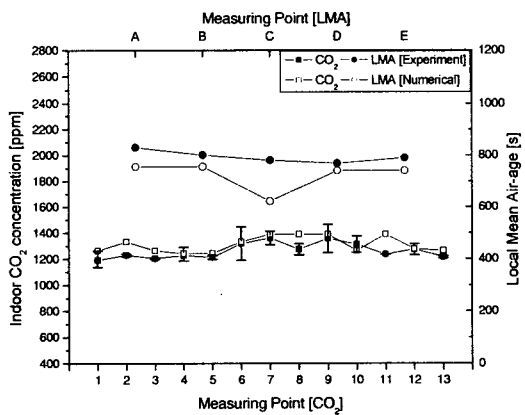
앞 절의 실험결과에서 실내 CO₂ 농도와 국소평균공기연령의 기준조건이 다르지만 시스템에어컨의 토출각도와 풍량을 각각 30°와 1,740 CMH로 하고 환기시스템 급기풍량을 변화시킨 경우에

서는 동일한 조건에서 실험이 이루어졌다. 따라서 본 연구에서는 동일한 조건에서 실내 CO₂ 농도와 국소평균공기연령의 상관관계를 평가하기 위하여 수치해석을 수행하였다. 수치해석결과에 대한 평가를 수행하기 전에 먼저 실험에서 측정된 실험값과 수치해석값을 비교하여 수치해석의 타당성을 검증하였다.

Fig. 7(a)는 동일조건 중 환기시스템 급기풍량이 800 CMH일 경우로서 실험결과와 수치해석결과를 비교해 보면 실내 CO₂ 농도의 경우에는 평균값으로 10~196 ppm 정도, 국소평균공기연령은 1~30초 정도의 절대오차가 나타났다. 그러나 이때 각각의 상대오차는 5% 이내로 수치해석결과가 실험결과와 잘 일치하는 것을 알 수 있다. Fig. 7(b)는 동일조건 중 환기시스템 급기풍량이 1,000 CMH일 경우로서 실내 CO₂ 농도는 4~153 ppm, 국소



(a) Supply airflow : 800 CMH



(b) Supply airflow : 1,000 CMH

Fig. 7 Comparison between the experimental value and the numerical one for the indoor CO₂ concentration and local mean air-age at the section of y=1.1 m.

평균공기연령은 30~75초 정도의 차이가 난다. 각각의 상대오차는 10% 이내로 수치해석결과가 실험결과와 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다.

4.2.2 제어변수 변화에 따른 실내 CO₂ 농도와 환기 평가지표와의 비교

Table 5는 제어변수 조건을 변화시킬 경우 높이 1.8m 아래의 재실영역에서 수치적으로 계산된 내부 CO₂ 농도와 국소평균공기연령, 환기효율의 평균값을 보여준다. 이 표로부터 환기시스템의 풍량만을 변화시켰을 경우 실내 CO₂ 농도와 국소평균공기연령 비교해 보면 환기시스템의 풍량이 증가할수록 실내 CO₂ 농도는 약 230 ppm, 국소평균공기연령은 약 180초 정도 감소하는 것으로 나타났다. 이는 환기시스템의 풍량이 증가할수록 외부에서 실내로 유입되는 신선공기의 양이 증가하므로 재실영역의 CO₂ 농도가 낮아지고 도입외기의 유동이 빨라져서 재실영역으로의 도달시간도 짧아지기 때문이다. 그러나 환기효율은 환기시스템의 풍량이 증가하더라도 값이 거의 변하지 않는 것을 알 수 있었다. 이는 환기효율이 명목시간상수를 국소평균공기연령으로 나눈 무차원수이기 때문에 환기시스템의 풍량이 증가함에 따라 국소평균공기연령이 감소하더라도 명목시간상수도 같이 감소하여 값이 거의 변하지 않기 때문이다.

시스템에어컨의 토출각도만을 변화시킨 경우에는 실내 CO₂ 농도의 변화량 최대 14 ppm을 초과하지 않았으며 국소평균공기연령은 50초, 환기효율은 0.07을 초과하지 않았다. 그리고 시스템에어컨의 토출풍량만을 변화시킨 경우에는 실내 CO₂ 농도와 국소평균공기연령, 환기효율의 변화량이

각각 최대 13 ppm, 38초, 0.05를 초과하지 않았다. 이 값들은 상대오차가 최대 8% 이내의 작은 값이다. 따라서 시스템에어컨의 토출각도와 풍량에 따른 실내 CO₂ 농도와 국소평균공기연령, 환기효율의 변화는 거의 없다. 이는 앞서 수행한 실험결과와 잘 일치하는 것으로서 결과적으로 실내 CO₂ 농도는 국소평균공기연령과 상관성이 높고, 환기효율과는 상관성이 낮은 것을 알 수 있었다.

4.3 CO₂ 농도와 국소평균공기연령의 상관관계

Fig. 8에서 실내 CO₂ 농도와 국소평균공기연령의 상관관계를 살펴보면 환기시스템 급기풍량의 변화에 따라 실내 CO₂ 농도와 국소평균공기연령의 증감이 유사하게 변화하는 것을 볼 수 있다.

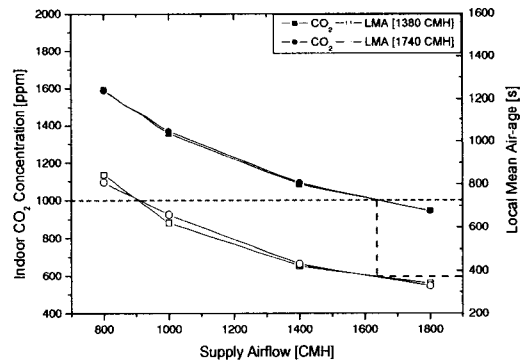


Fig. 8 Indoor CO₂ concentration and local mean air-age for the supply airflow and the discharge airflow when discharge angle is 30°.

Table 5 Numerical results with respect to the supply airflow, the discharge degree and the discharge airflow in the occupied zone (<1.8 m)

Variables			Indoor CO ₂ concentration [ppm]	Local mean air-age [s]	Ventilation effectiveness
Supply airflow [CMH]	Discharge degree [deg.]	Discharge airflow [CMH]			
1000	30	1380	1355	621	1.01
		1740	1368	659	0.96
	50	1380	1367	671	0.94
		1740	1354	670	0.94
800	30	1380	1592	844	0.94
		1740	1587	809	0.98
	50	1380	1596	848	0.93
		1740	1596	846	0.93

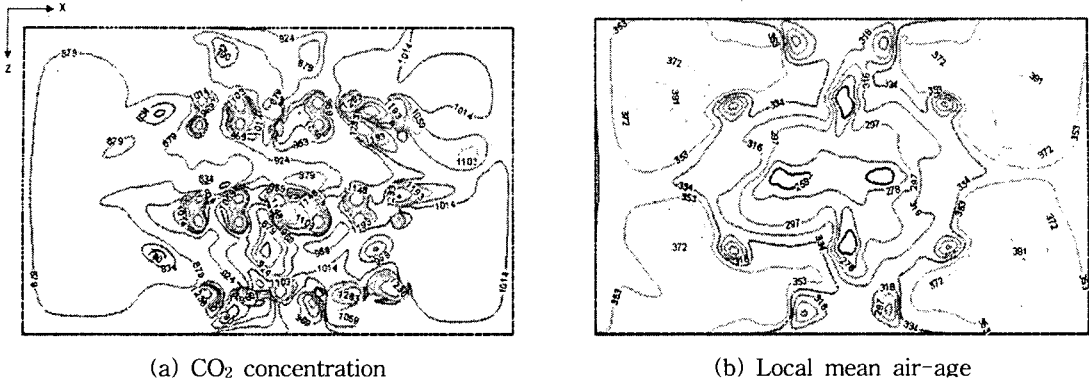


Fig. 9 Comparison of CO₂ concentration and LMA distribution at $y=1.1\text{m}$ when the supply airflow is 1,800 CMH, the discharge angle is 30° and the discharge airflow rate is 1,740 CMH.

또한 Fig. 8에서 보여준 결과로부터 높이 2.4 m, 체적이 175 m³, 재실인원이 약 30명인 강의실에서 CO₂의 실내 환경기준치인 1,000 ppm을 만족시키기 위해서는 국소평균공기연령이 약 400초 이하로 유지되어야만 한다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 9는 환기시스템의 급기풍량을 1,800 CMH로 하고 시스템에어컨 토출각도가 30°, 토출풍량이 1,740 CMH일 때 실내 CO₂ 농도와 국소평균 공기연령 분포를 나타낸 그림이다. 국소평균 공기연령이 약 400초보다 낮은 값을 나타내는 지역에서 CO₂ 농도는 실내 환경기준치인 1,000 ppm 이하를 만족하는 것으로 나타났다. 이때 소음에 대한 제품의 실험결과를 보면 강풍일 경우 KS 측정점인 1.5 m 아래위치에서 44 dB 이하로 실내 소음 기준치인 55 dB보다 낮았다. 따라서 시스템에어컨이 강풍으로 가동되더라도 소음에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구를 통해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 실험에서 측정된 내부 CO₂ 농도가 환기량 설계식으로 구한 내부 CO₂ 농도보다 약 350 ppm 이상 높게 나타나는데 이는 실제 유입공기는 내부의 유동조건에 따라 3차원으로 이동하게 되고 재실영역의 정체구간에서 CO₂가 축적되기 때문이다.

(2) 실내 CO₂ 농도변화와 같이 국소평균공기연령도 환기시스템의 급기풍량 변화에 따라 크게

달라지지만, 시스템에어컨 토출각도와 풍량에는 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

(3) 수치해석을 이용하여 실내 CO₂ 농도와 국소평균연령, 환기효율을 비교한 결과, 급기 풍량에 따라 실내 CO₂ 농도와 국소평균공기연령의 증감은 유사하게 나타나지만, 환기효율은 거의 일정한 값으로 나타났다.

(4) 높이 2.4 m, 체적이 175 m³, 재실인원이 약 30명인 강의실에서는 국소평균공기연령이 약 400초 이하로 유지되어야만 실내 CO₂ 기준치인 1,000 ppm을 만족하는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. Yoon, D. W., 1991, Standard for indoor air pollutant levels and ventilation rates, Architecture, Vol. 39, No. 6, pp. 12-18.
2. Han, H. T., 1999, On the definition of ventilation effectiveness, Magazine of the SAREK, Vol. 28, No. 1, pp. 38-47.
3. Kim, K. H., Choi, H. S., Lee, K. G., Han, H. T. and Kwon, Y. I., 2004, The characteristics of an indoor air environment in office with location of supply and exhaust diffuser, Proceedings of the SAREK 2004 Summer Annual Conference, pp. 734-738.
4. Shin, E. S. and Kim, J. W., 2002, A study on the indoor air pollution levels in the classrooms at public schools in Suwon, Korean Journal of Sanitation, Vol. 17, No. 1, pp. 20-27.

5. Shin, H. S., Yeo, C. S., Byun, S. H., Hou, U. I., Lee, J. K., Park, H. S., Kim, B. S., Lee, G. K. and Kang, T. W., 2004, Indoor air quality impact of ventilation with the existence of occupants in schools, Proceedings of the SAREK 2004 Summer Annual Conference, pp. 713-716.
6. Seo, S. Y., Kim, M. H., Han, H. T. and Kim, Y. I., 1997, Ventilation effectiveness measurements utilizing tracer gas in a thermal environmental chamber, Proceedings of the SAREK 1997 Winter Annual Conference, pp. 415-420.
7. Kim, Y. K., Jung, S. S., Kwon, Y. G. and Yee, J. J., 1999, A study on the calculation method of ventilation requirement using evaluation of ventilation effectiveness (Part I), Proceedings of the AIK Annual Conference, pp. 593-598.
8. KS F 2603, 1996, Method of Measuring Amount of Room Ventilation (Carbon Dioxide Method).