

## 교육시설 실내공간의 이산화탄소 농도분포 특성 연구

### The Distribution Characteristics of Carbon Dioxide in Indoor School Spaces

조영민\* · 이지윤 · 권순박 · 박덕신 · 박재형 · 조기철<sup>1)</sup>

한국철도기술연구원 철도환경연구실, <sup>1)</sup>동남보건대학 바이오환경과  
(2010년 11월 26일 접수, 2010년 12월 7일 수정, 2010년 12월 17일 채택)

Youngmin Cho\*, Ji-Yun Lee, Soon-Bark Kwon, Duck-Shin Park,  
Jae-Hyoung Park and Ki-Chul Cho<sup>1)</sup>

*Railroad Environment Research Department, Korea Railroad Research Institute*  
<sup>1)</sup>*Department of Bio & Environmental Science, Dongnam Health University*

(Received 26 November 2010, revised 7 December 2010, accepted 17 December 2010)

#### Abstract

There are many studies reporting the average carbon dioxide levels in various indoor spaces. However, there have been a few studies showing how carbon dioxide concentration varied at many measurement points in one indoor space. In this study, the changes of indoor carbon dioxide concentration at classroom, library, and kindergarten were reported to find its carbon dioxide distribution change at various locations and altitudes. The maximum carbon dioxide concentration of the 3 sites were measured as 2,684, 2,295, and 1,526 ppm, respectively. These values exceeded the guideline concentration of 1,000 ppm for public places. The concentration of carbon dioxide was higher at upper area than lower area, and this is probably due to the rise of warm breathing air generated from students. In the upper area, the carbon dioxide concentration was higher at center area than four corners. However, in the lower area, the carbon dioxide concentration was higher at four corners than center area. Therefore, it could be concluded that the center of upper area is the best place for the installation of ventilation or carbon dioxide removal system.

**Key words** : Indoor air quality, Carbon dioxide, School, Spatial distribution, Breath

#### 1. 서 론

기존에는 미세먼지와 부유미생물 등이 실내공간에서 가장 중요한 오염물질이었으나, 최근에는 이산화탄소에 대한 관심이 급격히 증대하고 있다. 지난

2005년에 환경부에서는 ‘다중이용시설 등에 대한 실내공기질 관리법’을 제정하면서 이산화탄소를 유지기준 항목으로 명시한 바 있다(Korean Ministry of Environment, 2006). 2006년 12월에는 지하철과 열차, 버스 등 단기간에 많은 승객이 밀집하는 대중교통수단에 대해서는 ‘대중교통수단 실내공기질 관리 가이드라인’을 정하였다. 여기에서도 미세먼지와 이산화탄소의 농도를 규제하는 등(Korean Ministry of Environ-

\*Corresponding author.

Tel : +82-(0)31-460-5362, E-mail : ymcho@krri.re.kr

ment, 2006) 이산화탄소 관리의 중요성은 점점 커지고 있다. 이산화탄소는 사람이 많이 밀집되어 있는 실내공간에서 그 농도가 올라가기 쉬운데, 이산화탄소 농도가 매우 높아지면 호흡에 필요한 산소량이 낮아진다. 따라서 재실자의 불편감을 유발하고 생산성을 저하시킬 수도 있다. 특히, 이러한 상황은 노약자 및 임산부 등의 경우에는 건강을 위협할 우려도 있다(Park, 2005). 또한, 학교 교실에서 이산화탄소 농도가 1,000 ppm 증가할 때 학생들의 결석률이 10~20% 증가했음을 보고한 경우도 있다(Shendell, 2004).

현재 우리나라에서는 ‘다중이용시설 등에 대한 실내 공기질 관리법’에 의하여 보육시설, 도서관 등 다중이용시설의 실내공기 중 이산화탄소 농도를 1,000 ppm 이하로 관리하도록 하고 있다(Korean Ministry of Environment, 2006). 그러나, 사람이 많이 밀집되어 있는 학교, 도서관, 보육시설 등의 실내공간의 경우 이산화탄소의 농도를 낮은 상태로 장기간 유지하기가 매우 어렵다(Kim *et al.*, 2009; Yang, 2009; Sohn *et al.*, 2006; Yang *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2004; Shendell, 2004). 특히 하절기나 동절기와 같이 냉방 또는 난방 에너지가 소요되는 경우에는 에너지 절감 때문에 환기가 더욱 어려워진다. 또한 황사나 도로교통수단에서 발생하는 오염물질 등에 의하여 외기가 오염되어 있는 경우와 같이 환기가 어려운 경우에도 이산화탄소 농도의 제어가 쉽지 않다. 지하철이나 버스와 같이 다수의 승객이 밀집한 경우에도 이산화탄소 농도 제어를 위해서는 현재 환기에 의존할 수밖에 없다. 지하철의 경우 철도차량이 운행하는 터널의 공기질이 좋지 않기 때문에 환기가 쉽지 않다. 버스의 경우도 교통수단에서 발생하는 오염물질에 의하여 도로상의 공기가 심하게 오염되어 있다. 따라서 환기를 할 경우 이러한 오염물질이 그대로 유입되어 승객의 건강을 위협할 우려가 있다. 이와 같은 여러 가지 상황을 동시에 감안할 때 이산화탄소를 일정 수준 이하로 유지할 수 있도록 하는 기술의 개발이 시급히 요구된다. 이에 다양한 실내공간용 이산화탄소 저감 기술 연구가 진행되고 있다(Lim *et al.*, 2010; Lee and Jo, 2009; Jo *et al.*, 2008).

본 연구에서는 이산화탄소 저감장치 개발을 위한 기초 연구로 대학 강의실과 도서관의 실내공간의 공간별 이산화탄소 농도 분포를 알아보고 이를 바탕으

로 이산화탄소 저감장치의 적절한 설치 위치 등에 대한 기초자료를 수집하고자 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 측정장치

총 10개 지점에서 이산화탄소 농도를 동시에 측정할 수 있도록 하는 시스템을 제작하였다. 측정한 데이터는 2.4 GHz, IEEE 802.15.4 Zigbee dongle을 통해 무선으로 수집 및 자동 저장하도록 하였다. 측정에 사용한 이산화탄소 센서는 ECOT-LP10000으로 측정 가능한 최대 이산화탄소 농도는 1%였다. 사용한 10개의 이산화탄소 농도 센서는 측정에 사용하기 전에 1 m<sup>3</sup> 챔버를 이용하여 보정하였다. 보정방법은 측정에 사용한 10개의 이산화탄소 센서를 넣어둔 챔버에 고순도 질소와 탄산가스를 일정하게 흐르도록 함으로써 챔버 내부의 이산화탄소 농도를 일정하게 유지시킨 후에 교정한 이산화탄소 측정기(Thermoscientific)를 이용하여 챔버 내부의 이산화탄소 농도를 측정하는 방법을 이용하였다. 챔버 내부의 이산화탄소 농도를 0, 1,790 ppm, 4,250 ppm로 맞춘 후 센서에서 읽은 값을 통해 각 센서별로 보정곡선을 만들어 참값을 취하였다. 측정 후에도 마찬가지로 1 m<sup>3</sup> 챔버를 이용하여 동일한 농도에서의 이산화탄소 농도를 읽은 결과 각 센서별로 측정 전과 측정 후의 차이는 3% 이내였다.

### 2.2 챔버공간 측정방법

그림 1과 같이 5 m<sup>3</sup> 챔버에서 성인 피시험자의 호흡에 의한 실내공간의 이산화탄소 농도 변화를 알아보았다. 성인 남성 2인이 있는 경우와 성인 여성 2인이 있는 두 가지 시험 조건에서 호흡에 의한 이산화탄소 농도 증가를 측정하였다. 챔버는 환기가 가능하지만, 측정이 이루어지는 동안 외부와 완전히 차단하여 공기가 통하지 않도록 하였다. 이로써 호흡에 의한 이산화탄소 발생량을 정확히 측정할 수 있도록 하였다. 측정은 2인이 실험에 참가한 조건에서 실내 이산화탄소 농도가 5,000 ppm에 이를 때까지 지속하였다.

### 2.3 실내공간 측정방법

이산화탄소 분포와 확산경로 측정 및 분석을 위하

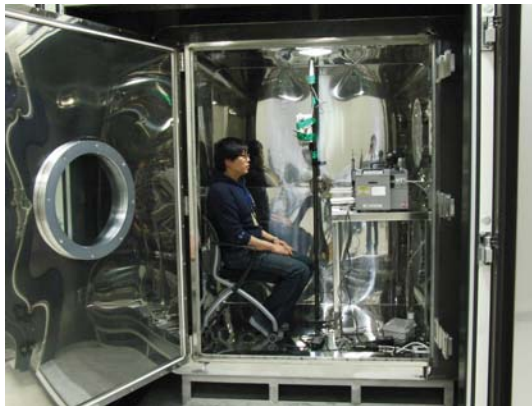


Fig. 1. Monitoring of CO<sub>2</sub> concentration change induced by human breathing in a non-ventilated 5 m<sup>3</sup> chamber.

여 대학 강의실과 대학 도서관 및 유치원을 대상으로 시간에 따른 이산화탄소의 농도 변화를 측정하였다. 측정은 2010년 4월에 실시하였고, 측정 장소의 창문 및 출입문이 모두 닫혀있는 상태를 유지하였다. 그러나, 도서관의 경우 학생들의 출입이 빈번하여 어느 정도 출입문을 통한 자연환기가 이루어지는 상황이었다. 유치원 또한 원생들의 출입이 빈번한 상황에서 실험을 측정하였다. 강의실과 도서관, 유치원 모두 천장 매립형 냉난방 장치가 설치되어 있었으나, 측정 당시에는 모두 가동하지 않았으며, 출입문과 창문 외의 별도의 환기시설은 없었다.

2.3.1 대학 강의실

대학 강의실에서는 학생들이 입실하기 전부터 강의 진행 중, 그리고 강의 종료 후까지 5초 간격으로 지속적으로 10개 지점의 이산화탄소 농도를 모니터링 하였다. 강의실 내 5개 지점에 대하여 바닥면에서 각각 260 cm 높이와 10 cm 높이에서 이산화탄소를 측정하였다. 측정기간 중 학생의 수는 40명이었으며, 그림 2에 강의실에 이산화탄소 센서의 위치를 도식화하였다. 측정은 학생 입실 전부터 수업이 진행 중인 1시간 및 학생 퇴실 후까지 총 약 5시간 가량 진행되었다.

2.3.2 대학 도서관

대학 강의실과 마찬가지로 방법으로 대학 도서관 내의 이산화탄소 농도를 측정하였다. 측정 기간 중 도서관에는 평균 70명의 학생이 있었으며, 이산화탄소

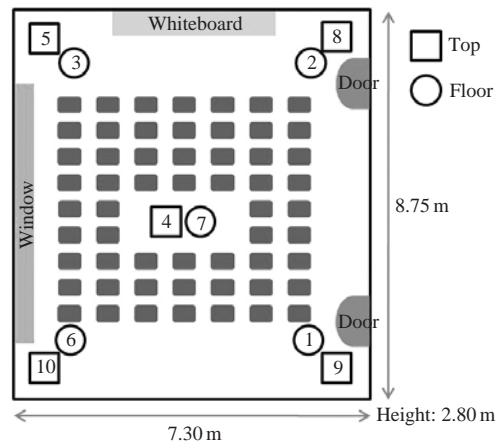


Fig. 2. Installation of CO<sub>2</sub> sensors (top), and its installation location at a college classroom (bottom).

센서를 강의실과 유사하게 5개 지점에 대하여 바닥면에서 각각 290 cm 높이와 10 cm 높이에서 이산화탄소 농도를 측정하였다. 도서관의 이산화탄소 센서의 위치는 그림 3에 도식화하였다. 측정은 학생 수 및 농도의 변화가 거의 없었기 때문에 1시간 가량 진행되었다.

2.3.3 유치원

유치원에 대해서도 마찬가지로 10개 지점에서 이산화탄소 농도를 동시에 측정하였다. 측정 기간 중 유치원에는 7세 이하 어린이 30명이 있었으며, 이산화탄소 센서를 강의실과 유사하게 5개 지점에 대하여 상부 250 cm 높이와 하부 10 cm 높이에서 이산화탄소 농도를 측정하였다. 유치원의 이산화탄소 센서의 위치는 그림 4에 도식화하였다. 유치원생들의 입실 전에 센서를 설치하고, 입실 후 이산화탄소 농도 증가가 크지 않아 측정은 총 30분 동안만 진행되었다.

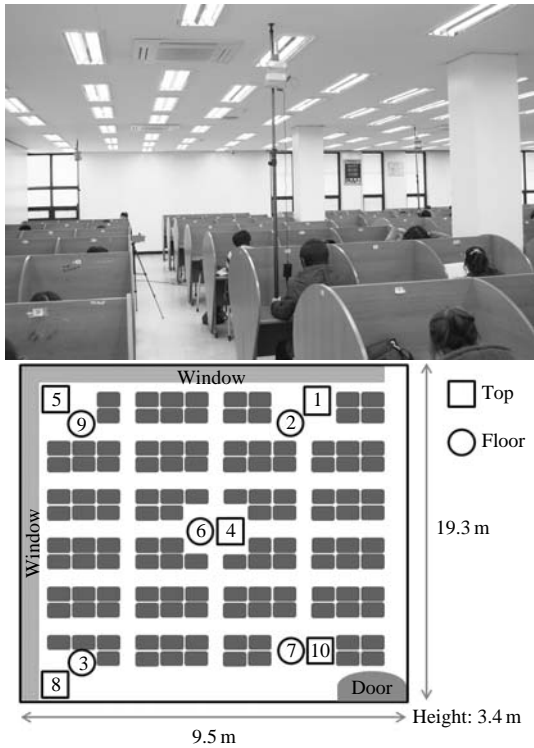


Fig. 3. Installation of CO<sub>2</sub> sensors (top), and its installation location at a college library (bottom).

### 3. 결과 및 고찰

5 m<sup>3</sup> 챔버에서 재실자가 호흡함에 따른 이산화탄소 농도 변화를 그림 5에 나타내었다. 성인 여성 2인이 있을 경우 이산화탄소 농도가 증가하기 시작하여 1,000 ppm에서 5,000 ppm에 이르는 시간이 37.6분, 성인 남성 2인이 있을 경우에는 이보다 4.9분이 짧은 32.7분으로 측정되었다. 따라서, 여성보다 남성의 경우 이산화탄소 농도가 더 빨리 증가하는데, 이는 남성의 호흡량이 여성보다 크기 때문이다. 재실자의 부피를 무시하면 이산화탄소 농도 증가율을 쉽게 계산할 수 있는데, 성인 여성 1인의 경우 264.0 ppm · m<sup>3</sup>/min 이고, 성인 남성 1인의 경우 305.3 ppm · m<sup>3</sup>/min이므로 성인 1인 평균은 약 268.9 ppm · m<sup>3</sup>/min으로 계산할 수 있다. 따라서, 공간의 크기를 알면 환기가 이루어지지 않는 조건에서 공간의 부피, 재실자의 성별

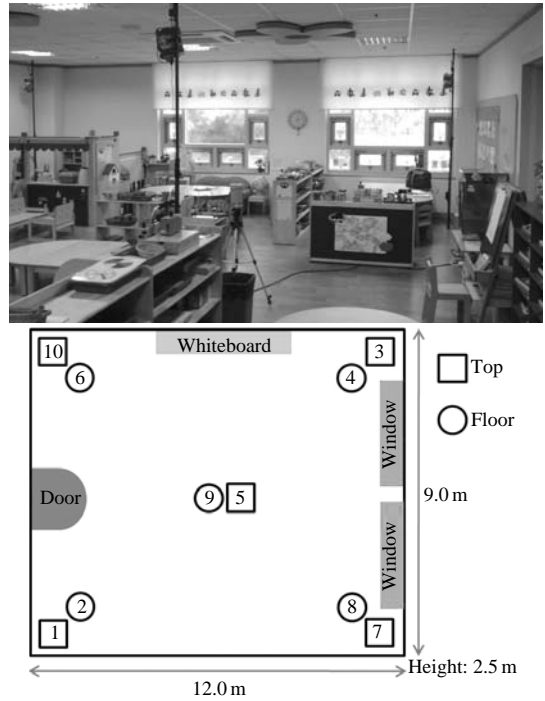


Fig. 4. Installation of CO<sub>2</sub> sensors (top), and its installation location at a kindergarten classroom (bottom).

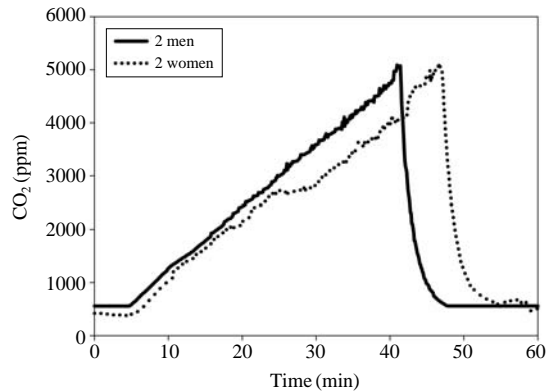
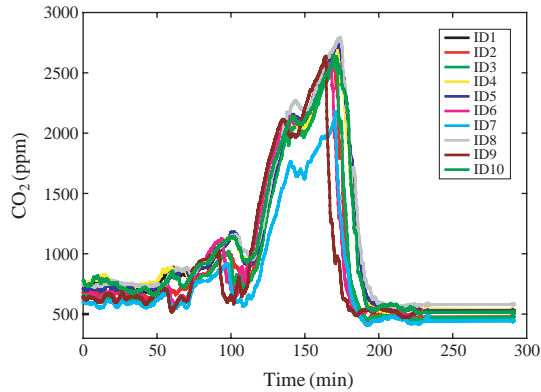


Fig. 5. CO<sub>2</sub> concentration in a 5 m<sup>3</sup> chamber with two men and two women as a function of time.

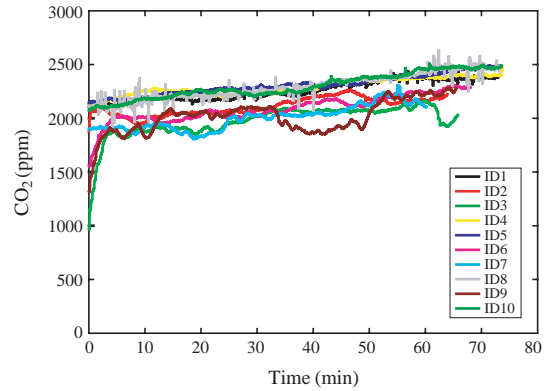
및 수에 따른 실내공간의 이산화탄소 농도 증가량을 계산할 수 있다. 재실자의 성별을 알 경우에는 다음의 식(1)을 이용하여 환기가 전혀 일어나지 않고 재실자의 부피가 없다고 가정할 때 일정부피 공간에서

**Table 1. Carbon dioxide concentration measured at a college classroom, a college library, and a kindergarten classroom.**

	CO <sub>2</sub> (ppm)	Average	Maximum	Minimum
Location	College classroom	1,707	2,684	806
	College library	2,158	2,295	1,973
	Kindergarten classroom	967	1,526	788



**Fig. 6. Change of carbon dioxide concentration at various locations of a college classroom as a function of time.**



**Fig. 7. Change of carbon dioxide concentration at various locations of a college library as a function of time.**

일정시간이 흐른 후에 실내공간의 이산화탄소 농도 증가량을 계산할 수 있다.

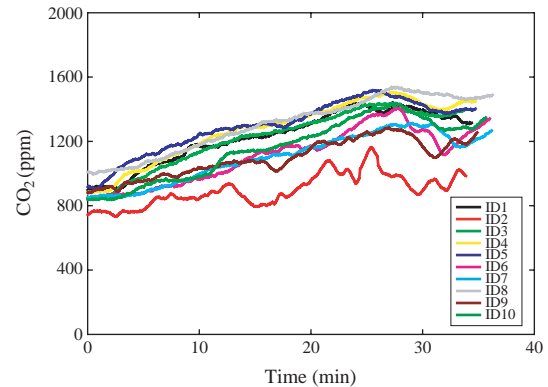
$$\text{CO}_2 \text{ 농도변화량 (ppm)} = \frac{(264.2 \times \text{여성재실자수}) + (305.3 \times \text{남성재실자수})}{\text{실내공간부피 (m}^3\text{)}} \times \text{시간 (min)} \quad (1)$$

재실자의 성별을 알 수 없는 경우에는 식(2)와 같이 계산할 수 있다.

$$\text{CO}_2 \text{ 농도변화량 (ppm)} = \frac{(268.9 \times \text{재실자수})}{\text{실내공간부피 (m}^3\text{)}} \times \text{시간 (min)} \quad (2)$$

위 식(1)과 식(2)를 이용하여 실내공간의 이산화탄소 농도를 각각 다른 시간에 두 번 이상 측정하면 실내공간의 이산화탄소 농도 증가치를 이용하여 환기여부를 알 수 있다.

대학 강의실과 대학 도서관, 유치원에서 측정한 이산화탄소 농도의 최소값과 최대값 및 평균값을 표 1에 나타내었다. 또한 시간에 따른 각 지점별 이산화



**Fig. 8. Change of carbon dioxide concentration at various locations of a kindergarten classroom as a function of time.**

탄소 농도 변화를 그림 6~8에 나타내었다.

대학 강의실의 경우 학생들이 입실을 시작한 이후 이산화탄소 농도가 급격하게 증가하여 수업이 진행되는 1시간 동안 최고 2,684 ppm에 이르렀다(그림 6). 측정기간 중 이산화탄소의 평균 농도는 1,707 ppm으로 일반적인 실내 환경보다 높게 나타났다. 수업 시

작 전 100분 동안은 이산화탄소의 농도가 대략 700 ppm을 유지하였다. 이는 일반 대기 중 이산화탄소 농도에 비하여 다소 높은 것으로 측정자에서 발생한 이산화탄소에 기인한 것이다. 이후 학생들이 입실을 시작하면서 이산화탄소 농도가 급격히 증가하기 시작하여 약 60분 후에는 최대 2,684 ppm까지 상승하였다. 수업이 그 이상 진행되었을 경우 농도가 3,000 ppm 이상으로 증가할 것으로 예상할 수 있다. 그러나, 수업 종료 후 학생들이 퇴실하고, 출입문이 열리면서 자연환기에 의하여 이산화탄소 농도가 급격히 감소하여 일반 대기 수준의 400 ppm까지 내려갔다.

식(2)를 적용하면 강의실의 실내 공간 이산화탄소 농도 변화량을 계산할 수 있다. 강의실의 부피는  $170.9 \text{ m}^3$  ( $8.75 \text{ m} \times 7.30 \text{ m} \times 2.80 \text{ m}$ )이고, 재실자의 수는 40명이므로, 분당 이산화탄소 농도 변화량(ppm/min)은 62.9 ppm/min이다. 측정결과를 보면 이산화탄소 농도가 1,000 ppm에서 2,000 ppm까지 총 1,000 ppm이 증가하는데 18.5분이 소요되었는데, 식(2)에 따르면 18.5분 동안의 이산화탄소 농도 증가량은 1,163.7 ppm으로서 그 차이는 163.7 ppm에 불과하였고, 실제 이산화탄소 농도 증가량이 환기하지 않는 조건의 85.9%까지 증가하는 것으로 나타났다. 따라서, 본 측정이 이루어지는 동안의 강의실의 환기는 거의 이루어지지 않았음을 알 수 있었다.

대학 도서관의 경우는 도서관에 있는 학생들의 수가 일정하고, 출입이 빈번함에 따라 이산화탄소 농도가 강의실에 비하여 비교적 일정하게 유지되었다(그림 7). 학생들이 있는 상태에서 측정 장치를 설치하였기 때문에 최대 이산화탄소 농도는 2,295 ppm에 불과하였지만, 최소 이산화탄소 농도도 1,973 ppm으로 최대값과 최소값의 차이가 미미한 것으로 나타났다. 그러나, 이산화탄소의 평균 농도는 2,158 ppm으로 강의실보다 더 높게 나타났다. 시간에 따른 이산화탄소의 농도 변화를 보면 시간에 따라 다소 증가하는 경향이 나타났지만, 강의실에 비하여 그 증가량이 크지 않았다. 이는 도서관의 특성상 학생들의 출입이 빈번하여 출입문 개폐에 의하여 자연환기가 이루어졌기 때문인 것으로 보인다.

강의실과 마찬가지로 식(2)를 적용하여 도서관 실내 공간의 이산화탄소 농도 변화량을 계산하였다. 도서관의 부피는  $623.4 \text{ m}^3$  ( $19.3 \text{ m} \times 9.5 \text{ m} \times 3.4 \text{ m}$ )이고, 재실자의 수는 72명이므로, 식(1)에 의한 분당 이산화

탄소 변화량(ppm/min)은 31.1 ppm/min이다. 측정결과를 보면 이산화탄소 농도가 2,100 ppm에서 2,200 ppm까지 총 100 ppm 증가하는데 7.4분이 소요되었다. 식(2)에 의하면 7.4분간 이산화탄소의 농도 증가량은 230.1 ppm으로 예측치의 43.4%에 불과하다. 따라서 실제로 환기가 어느 정도 이루어지고 있음을 확인할 수 있었다.

유치원의 경우 빈 강의실 측정 15분 후 원생들의 출입이 시작되면서 이산화탄소 농도가 1,000 ppm을 초과하였다(그림 8). 따라서 강의실이나 도서관 등에 비하여 이산화탄소 농도가 비교적 낮게 나타났다. 최소 및 최대 이산화탄소 농도는 각각 788 ppm과 1,526 ppm이었고, 평균 농도도 967 ppm으로 강의실 및 도서관에 비하여 낮게 나타났다. 이처럼 낮게 나타나는 이유는 재실인원의 밀도가 상대적으로 낮았고, 1인당 배출하는 이산화탄소의 양도 강의실이나 도서관의 성인에 비하여 낮기 때문인 것으로 보인다. 시간에 따른 이산화탄소 농도 변화를 보면 수업 시작 후 10분 동안 1,526 ppm으로 이산화탄소의 농도가 증가하였으나, 대학 강의실에 비하여 증가하는 정도가 그리 크지 않았다. 수업 시작 10분 이후에는 큰 변화 없이 일정하게 나타났다.

유치원의 경우에도 식(2)를 적용하여 실내 공간 이산화탄소 농도 변화량을 계산하였다. 유치원 교실의 부피는  $270 \text{ m}^3$  ( $12.0 \text{ m} \times 9.0 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$ )이고, 재실자의 수는 30명이었다. 재실자가 성인일 경우의 분당 이산화탄소 농도 변화량(ppm/min)은 식(1)에 의하여 29.9 ppm/min이 되는데, 실제 측정결과를 보면 이산화탄소 농도가 1,000 ppm에서 1,400 ppm까지 증가하는데 18.3분이 소요되었다. 식(2)에 따르면 18.3분 동안의 환기가 일어나지 않을 때 이산화탄소 농도 증가량은 547.2 ppm인데, 실제 증가량은 400 ppm으로 예측값의 73.1%로 나타났다. 그러나, 재실자들의 연령이 6~7세에 불과하여 성인에 비하여 분당 이산화탄소 발생량이 적기 때문에 실제로 예측되는 이산화탄소 증가량은 그 이하이어야 한다. 만약 이산화탄소 발생량이 사람의 체중에 비례한다고 가정할 경우 성인의 평균 체중은 56.5 kg이고, 6~7세 어린이의 평균체중은 21.9 kg이다(Korean Agency for Technology & Standards, 2003). 이 경우 이산화탄소 발생량은 38.7%로 가정할 수 있으며, 이 경우 예측되는 이산화탄소 농도 증가량은 211.8 ppm이다. 이 경우 실제 증가량 400 ppm

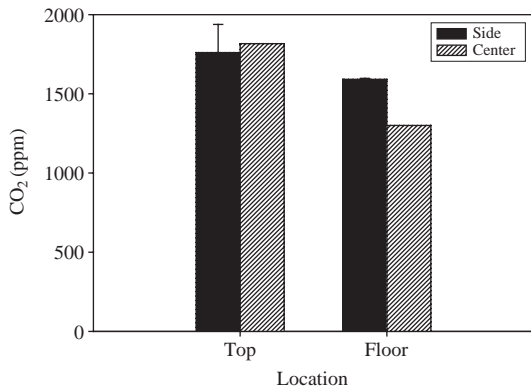


Fig. 9. Comparison of average carbon dioxide concentration between top and floor at a college classroom.

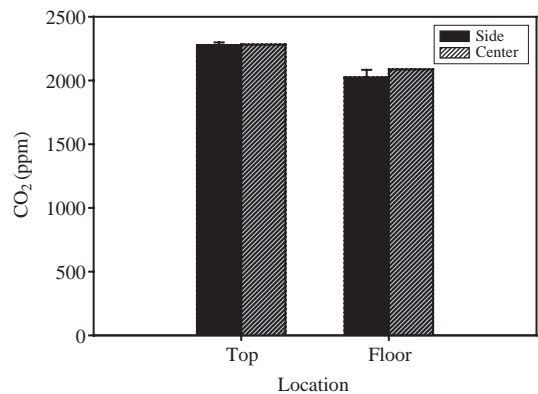


Fig. 10. Comparison of average carbon dioxide concentration between top and floor at a college library.

은 예측값의 189%에 해당하여 실제 증가량이 예측값보다 크게 나타났다. 그 이유로는 두 가지를 추측할 수 있다. 한 가지 이유는 이산화탄소 발생량이 체중에 정비례하지 않기 때문인데, 실제로 어린이의 단위 체중당 공기 흡입량이 어린이가 성인보다 2배 이상 크다는 보고가 있다(Seoul City, 2008; Faustman *et al.*, 2000; Landigan, 1998). 본 실험결과를 바탕으로 다른 조건이 동일하다고 가정하고, 측정치인 400 ppm을 역으로 계산하면 어린이의 1인당 호흡량은 성인의 약 73%에 해당된다. 이는 어린이에 의한 이산화탄소 발생량이 성인의 73%보다 적을 경우에는 환기가 충분히 이루어지지 않음을 의미한다.

실제 증가량이 예측값보다 큰 다른 한 가지 이유는 측정하는 동안 어린이들이 울동 활동을 하면서 평상시보다 호흡량이 증가하였기 때문이다. 이 경우 운동량을 정확히 계산할 수 없기 때문에 실내 이산화탄소 농도 증가치를 예측하기가 어렵다. 따라서 위의 식(1)과 식(2)는 성인이 가만히 앉아있는 상태에만 적용이 가능하며, 어린이가 울동 등의 활동을 하는 경우에는 적용하기가 어려움을 알 수 있었다.

그림 9~11은 각 실내공간에 대하여 측정위치의 높이 및 측정위치의 공간분포별 평균 이산화탄소 농도를 나타낸 것이다. 측정결과, 강의실, 도서관, 유치원 모두 이산화탄소 농도는 상부에서 더 높게 나타남을 알 수 있었다. 일반적으로 상온 상압 조건에서 이산화탄소의 밀도(1.96 kg/m<sup>3</sup>)는 공기(1.29 kg/m<sup>3</sup>)에 비하여 약 1.5배 정도 무거우므로 아래쪽으로 내려가야

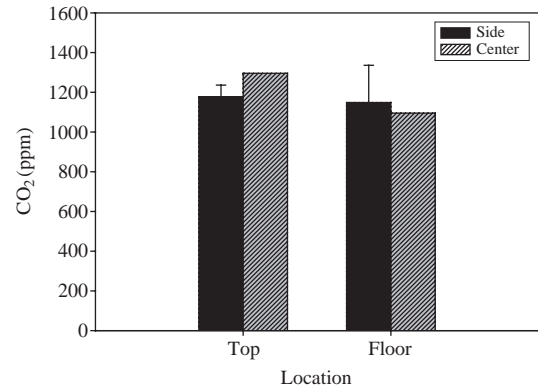


Fig. 11. Comparison of average carbon dioxide concentration between top and floor at a kindergarten classroom.

한다. 그러나, 실제로 호흡 시 발생하는 날숨 중의 이산화탄소 농도는 4% 정도로 전체 공기 중에서 차지하는 비율이 높지 않고, 공기 중에 고르게 섞여 있는 상태이다. 그리고 날숨의 온도는 사람의 체온과 유사하여 주변 공기에 비하여 더 높고, 이에 따라 날숨의 밀도는 주변 공기에 비하여 더 낮게 된다. 이에 따라 재실자의 호흡에 의하여 배출되는 공기는 위쪽으로 이동하게 되며, 이산화탄소의 농도도 위쪽이 아래쪽보다 높게 된다.

강의실의 상부에서는 중앙부가 주변부보다 이산화탄소 농도가 높았는데, 이는 강의실의 중앙부에 밀집

한 학생들에게서 발생한 이산화탄소를 포함한 공기가 중앙부로 올라간 후에 천정 벽을 타고 사방으로 퍼지는 것으로 볼 수 있다. 또한, 주변부에는 출입문 및 창문 등이 있어 외부공기가 유입되므로 중앙부에 비하여 이산화탄소가 희석되는 효과가 크다고 할 수 있다. 반대로 강의실 하부에서는 중앙부의 이산화탄소 농도가 주변부보다 더 낮게 나타났다. 이는 상부의 주변부를 통해 희석된 공기가 냉각하면서 하부의 중앙부로 모이기 때문인 것이다. 이는 유치원에서도 마찬가지로 형태로 나타나는 것을 볼 수 있었다. 그러나, 도서관에서는 이러한 경향이 약하게 나타났다. 이는 도서관이 강의실이나 유치원에 비하여 학생들이 밀집하지 않고 모든 지점에 고르게 분포하고 있어 상부에서의 이산화탄소 농도가 중앙부나 주변부에 상관없이 거의 일정하게 나타났으며, 하부에서도 중앙부에서 오히려 농도가 더 높게 나타났다. 이는 도서관에서는 학생들의 출입이 빈번하여 실내의 공기가 지속적으로 섞이고, 출입문이 열릴 때마다 계속해서 공기가 희석되기 때문인 것으로 보인다.

#### 4. 결 론

대학 강의실, 대학 도서관, 유치원을 포함하는 실내 공간을 대상으로 여러 지점에서 이산화탄소의 농도 변화를 동시에 측정한 결과, 실내공간의 이산화탄소 농도가 시간이 지남에 따라 증가하여 결국에는 모두 1,000 ppm을 초과하는 것으로 나타났다. 또한, 이산화탄소 농도 분포를 알아본 결과, 측정된 공간에서 상부의 이산화탄소 농도가 하부보다 더 높게 나타났다. 따라서, 환기시설이나 이산화탄소 저감장치를 이용하여 실내공간의 이산화탄소를 제어할 경우, 이들의 설치위치는 실내공간 하부보다는 상부, 가장자리보다는 가운데가 이산화탄소 농도 제어에 더욱 효율적임을 알 수 있었다. 또한 환기가 일어나지 않을 경우의 이산화탄소 농도 변화율을 통해 강의실, 도서관, 유치원의 환기상태를 확인할 수 있었다. 강의실과 유치원의 경우 환기가 거의 이루어지지 않아 이산화탄소 농도가 크게 증가함을 확인할 수 있었다. 이러한 건물에 대한 적절한 환기를 통한 공기질 관리가 필요함을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

본 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 휴먼인지 환경사업본부-신기술융합형 성장동력 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010K001142).

#### 참 고 문 헌

- Faustman, E.M., S.M. Silbernagel, R.A. Fenske, T.M. Burbacher, and R.A. Ponce (2000) Mechanisms underlying children's susceptibility to environmental toxicants, *Environmental Health Perspectives*, 108 (Suppl. 1), 13-21.
- Jo, Y.M., H.K. Kim, and Y.K. Park (2008) Preparation of composite adsorbent for low level CO<sub>2</sub>, *J. Korean Oil Chem. Soc.*, 25(2), 257-264. (in Korean with English abstract)
- Kim, Y.-S., Y.-M. Roh, S.-C. Hong, C.-M. Lee, H.-J. Jeon, J.-C. Kim, and J.-H. Cho (2004) A Survey of indoor air quality in public facilities, *J. Korean Society for Indoor Environment*, 1(2), 144-155. (in Korean with english abstract)
- Kim, H.-J., S.-S. Kim, K.-S. Lee, S.-K. Jung, and J.-K. Cho (2009) A survey on the indoor air quality of some schools in Goyang city, *J. Korea Society of Environmental Administration*, 15(2), 85-90. (in Korean with english abstract)
- Korean Ministry of Environment (2006) Indoor air quality management act for public spaces.
- Korean Agency for Technology & Standards (2003) Report for human size.
- Landrigan, P.J. (1998) Environmental hazards for children in USA, *Int. J. Occup. Med. Environ. Hea.*, 11, 189-194.
- Lee, K.M. and Y.M. Jo (2009) Ambient adsorption of low level carbon dioxide by metal treated activated carbon, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 25(4), 316-3324. (in Korean with English abstract)
- Lim, Y.H., K.M. Lee, H.S. Lee, and Y.M. Jo (2010) Adsorption capacity of CO<sub>2</sub> adsorbent with the pretreatment temperature, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 26(3), 286-297. (in Korean with English abstract)
- Park, Y.-S. (2005) Indoor air quality monitoring results and strategies for children day care centers, *J. Korea Inst. Ind. Technol.*, 4, 1-131.



- Seoul City (2008) Indoor air quality management of children day care centers.
- Shendell, D.G. (2004) Association between CO<sub>2</sub> concentrations and student attendance in Washington and Idaho, *Indoor Air*, 14, 333-341.
- Sohn, J.-R., Y.-M. Roh, and B.-S. Son (2006) The assessment of survey on the indoor air quality at schools in Korea, *Korea J. Environ. Hea.*, 32(2), 140-148. (in Korea with English abstract)
- Yang, W.-H., J.-R. Sohn, J.-H. Kim, B.-S. Son, and J.-C. Park (2005) Assessment of indoor air quality of classroom in school by means of source generation-case study, *J. Environ. Sci.*, 14, 979-983.
- Yang, W.-H. (2009) School indoor air quality and health effects, *J. Environ. Hea. Sci.*, 35, 143-152. (in Korean with English abstract)