

# 수요기반 환기량 조절법 (DCV)의 다중이용시설 적용방안

정재원\*, 노상태\*\*

\*세종대학교 건축공학과(jjwarc@sejong.ac.kr), \*\*고려대학교 건축학과(nst1123@empal.com)

## The Use of Demand Controlled Ventilation in Multi-Purposed Facility

Jeong, Jae-Weon\*, No, Sang-Tae\*\*

\*Dept. of Architectural Engineering, Sejong University(jjwarc@sejong.ac.kr),

\*\*Dept. of Architecture, Korea University(nst1123@empal.com)

### Abstract

---

The objective of this paper was to show the possibility of demand-controlled ventilation (DCV) using the current Korean ventilation standard for multi-purposed facilities. Two attractive DCV approaches; CO<sub>2</sub>-DCV and RFID-DCV were applied to DCV simulations for a theoretical public assembly space served by a dedicated outdoor air system (DOAS) with enthalpy recovery device. A numerical model for predicting realtime occupant number, ventilation rate, and CO<sub>2</sub> concentration under given conditions was developed using a commercial equation solver program. It was found that the current ventilation standard causes unstable ventilation system control in DCV applications, especially under CO<sub>2</sub>-DCV. It is because the ventilation rate (per person) used in Korea is the sum of the outdoor air required to remove or dilute air contaminants generated by both occupant and building itself, and not a pure function of occupant numbers. Finally, it makes DCV control unstable when ventilation flow is regulated only by the number of occupants. In order for solving this problem, current Korean ventilation standard was modified as a form of ASHRAE Standard 62.1-2007 showing good applicability to various DCV approaches. It was found that this modification enhances applicability of the current ventilation standard to DCV significantly.

Keywords : 환기량 기준(Ventilation Standard), 수요기반 환기량 조절법(Demand Controlled Ventilation), 외기전담시스템(Dedicated Outdoor Air System), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 전자태그(RFID)

---

## 기 호 설 명

$C$	: 실내 CO <sub>2</sub> 농도 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )
$C_s$	: 급기의 CO <sub>2</sub> 농도 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )
$dC/dt$	: CO <sub>2</sub> 농도 변화 (1/min)
$G$	: 1인당 CO <sub>2</sub> 방출량 (m <sup>3</sup> /min·인)
$Q_s$	: 급기량 (m <sup>3</sup> /min)
$P$	: 재실자 수
$V$	: 실의 체적 (m <sup>3</sup> )
$\Delta t$	: time interval
$n, n-1$	: current, previous time step

### 1. 연구배경 및 목적

건설교통부는 2006년 2월 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 제11조에서 다양한 다중이용시설들에 대한 1인당 환기량 기준을 개정 공포하였다<sup>1)</sup>. 구체적인 필요환기량 도출 방법에 대해 공개된 자료는 부족하나 여러 국가들의 다중이용시설 환기량 기준을 비교, 검토하고 현장 검증을 통해 실내 폼알데하이드 (HCHO) 농도를 허용치(100 $\mu$ g/m<sup>3</sup>-120 $\mu$ g/m<sup>3</sup>) 이하로 유지할 수 있는 환기량을 1인당 필요 환기량으로 환산하여 규정한 것이라고 판단된다.

현행 환기량 기준하에서 기계환기에 소비되는 에너지는 전열교환기 등을 적용한 고효율 환기장치의 사용을 통해 상당히 줄일 수 있으나, 설치된 환기시스템을 효율적으로 운전하는 것도 무엇보다 중요하다. 특히 시간에 따른 재실자 수 변화가 심한 다중이용시설의 경우, 실시간으로 측정된 정확한 환기 수요에 따라 공급 환기량을 조절하는 수요기반 환기량 조절법 (Demand Controlled Ventilation, DCV)을 적용하면 건강한 실내 공기질 유지 뿐 아니라 높은 에너지 소비절감 효과도 함께 기대할 수 있어<sup>2)</sup> 현재 선진국들을 중심으로 활발한 연구가 진행되고 있

다.

이에 본 연구에서는 현행 우리나라 다중이용시설 환기량기준을 이용한 DCV를 가상의 모델공간을 대상으로 시뮬레이션 해보고 현행 기준의 DCV에 대한 적용성 향상 방안을 제시하고자 한다.

### 2. 현행 다중이용시설 환기량 기준의 DCV 적용성

본 연구에서는 가상의 다중이용시설을 대상으로 “CO<sub>2</sub> 농도 변화를 이용하는 DCV법”과 “정확한 재실자 수 측정을 통한 DCV법”을 적용하여 환기량 조절 시뮬레이션을 수행하였다. DCV 시뮬레이션에 적용된 환기량 기준으로는 현행 우리나라 기준 외에 현재 많은 국가들이 환기량 기준 제정 또는 건물환기 관련 연구수행 시 인용하고 있는 ASHRAE Standard 62.1-2007<sup>3)</sup>의 필요환기량 기준을 적용하고 그 결과를 상호 비교하였다.

#### 2.1 시뮬레이션 조건

다중이용시설로 분류되는 미술관 또는 박물관 내 가상의 10m×10m×4m 공간이 전열교환기를 사용하는 외기전담시스템 (Dedicated Outdoor Air System, DOAS)에 의한 기계환기가 이루어진다고 가정하였다 (그림 1). 재실밀도는 ASHRAE 기준을 참조하여 40인/100m<sup>2</sup>로 설정하였으며, 모델공간은 내주부에 위치한 공간으로 가정하여 외피를 통한 침기는 고려하지 않았다. 외기의 CO<sub>2</sub> 농도는 300ppm 으로 가정하였으며, 급기량과 배기량은 같고, 필요환기량 기준으로 현행 우리나라 기준인 29m<sup>3</sup>/인·h과 ASHRAE Standard 62.1-2007이 규정한 13.7m<sup>3</sup>/인·h (people component), 1.1m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·h (building component)를 사용하였다.

모델공간의 재실자 수는 임의의 하루 동안 그림 2와 같이 변화한다고 가정하였다.

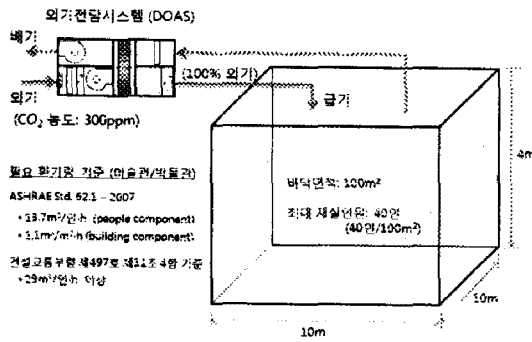


그림 1. 시뮬레이션 공간

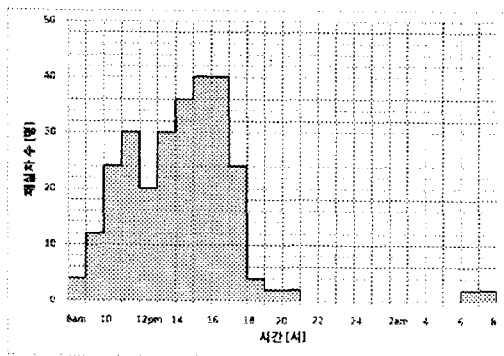


그림 2. 하루 중 시간에 따른 재실자 수 변화

## 2.2 실내 CO2 농도 변화를 이용한 DCV

실내 CO<sub>2</sub> 농도 변화를 이용한 DCV법(이하 CO<sub>2</sub>-DCV)은 실시간으로 변화하는 실내 CO<sub>2</sub> 농도를 추적하여 간접적으로 실내 재실자 수를 예측한 후, 이를 바탕으로 환기장치에서 도입하는 외기의 양을 조절하는 방법이다.

CO<sub>2</sub>-DCV 시뮬레이션을 위해 그림 1의 모델 공간을 제어체적(control volume)으로 하여 시간에 따른 CO<sub>2</sub> 농도 변화를 표현하는 편미분방정식을 유도하면 식 1이 얻어진다.

$$V \frac{dC}{dt} = -Q_s(C - C_s) + G \times P \quad (1)$$

유도한 지배방정식의 수치해를 구하기 위해 유한차분법을 적용하면 식 2를 얻을 수 있으며, 이 식으로 부터 시간에 따른 실내 CO<sub>2</sub> 농도변화의 비정상상태 해석을 통한 재

실자 수를 산정한다.

$$P^n = \frac{1}{G} \left[ V \frac{(C^n - C^{n-1})}{\Delta t} + Q_s^n (C^n - C_s^n) \right] \quad (2)$$

1인당 CO<sub>2</sub> 배출량( $G$ )은 일반 성인이 평범한 작업 상태에서 방출하는 양인 0.0003m<sup>3</sup>/min으로 설정 하였으며, 재실자가 유일한 실내 CO<sub>2</sub> 발생원인 것으로 가정하였다. 실내의 CO<sub>2</sub> 농도는 모델 공간의 중앙에 설치한 CO<sub>2</sub> 센서에 의해 1분 간격으로 측정되며, 실내공기는 항상 well-mixed condition을 유지하는 것으로 가정하였다.

## 2.3 정확한 재실자 수 측정을 통한 DCV

본 연구에서는 모델 공간에 출입하는 재실자들이 RFID 태그가 부착된 출입증(또는 입장권)을 소지하고 있어 실시간으로 재실자 수를 정확하게 파악할 수 있다고 가정하였다(이하, RFID-DCV). RFID-DCV 시뮬레이션에는 특별히 복잡한 수학적 모델링은 필요하지 않으며 그림 2의 시간별 재실자 수 변화를 정확하게 RFID 기술을 이용하여 측정하였다고 가정하고, 실시간 재실자 수에 맞는 환기량이 DOAS를 통해 모델 공간으로 공급 되도록 하였다.

## 2.4 DCV 시뮬레이션

### (1) ASHRAE 기준을 적용한 DCV

ASHRAE 기준을 적용한 공급 환기량은 실시간 재실자 수에 1인당 필요환기량 13.7m<sup>3</sup>/인·h (0.23m<sup>3</sup>/인·min)을 곱한 “재실자를 위한 환기량”과 재실자 수에 상관없이 해당공간의 바닥면적에 따라 공급되는 “건물자체를 위한 환기량” 110m<sup>3</sup>/h (1.83m<sup>3</sup>/min)의 합이 된다. 이중 재실자를 위한 환기량은 각각의 DCV 방법에 의해 예측된 재실자 수에 따라 실시간으로 조절된다. 한편, 본 시뮬레이션에서는 비 재실 시간대(21시-6시)에는 에너지 절감을 위해 DOAS의 운전을 인위적으로 중단하는 것으로 가정하였다.

그림 3의 DCV 시뮬레이션 결과를 보면, CO<sub>2</sub>-DCV도 시간에 따라 변화하는 재실자 수를 비교적 정확하게 추적할 수 있으며 (그림 3a), 이에 따른 공급환기량 조절도 (그림 3b) 정확한 재실자 수를 바탕으로 하는 RFID-DCV의 경우처럼 매우 효과적인 것을 알 수 있다. 다만, 실내 CO<sub>2</sub> 농도변화는 항상 재실자 수 변화를 뒤따라 일어날 수 밖에 없다는 한계 때문에 CO<sub>2</sub>-DCV의 경우 그림 3b에서 보는 바와 같이 재실자 수가 증가할 때에는 공급환기량이 실제 필요한 양 보다 조금 적게 되어 실내 CO<sub>2</sub> 농도가 RFID-DCV에 비해 조금 높게 나타나고 (그림 3c), 반대로 재실자 수가 감소될 때는 실제 재실자 수에 따른 필요환기량 보다 조금 많은 환기량이 공급되면서 (그림 3b) 실내 CO<sub>2</sub> 농도가 RFID-DCV의 경우 보다 다소 낮게 나타나는 것을 볼 수 있다 (그림 3c).

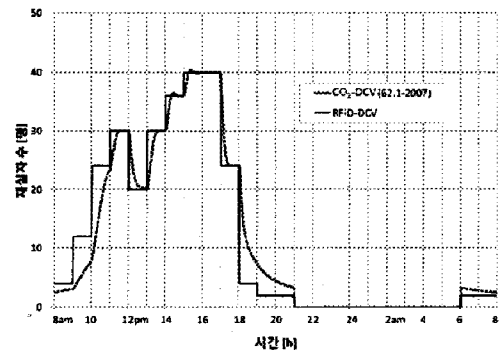
## (2) 현행 우리나라 환기량 기준을 적용한 DCV

현행 우리나라 다중이용시설 환기량 기준은 재실자 및 건물자체에서 독립적으로 방출되는 오염물질들을 함께 처리할 수 있는 총 환기량을 도출한 후 이것을 재실자 1인당 환기량으로 환산하여 규정하고 있다.

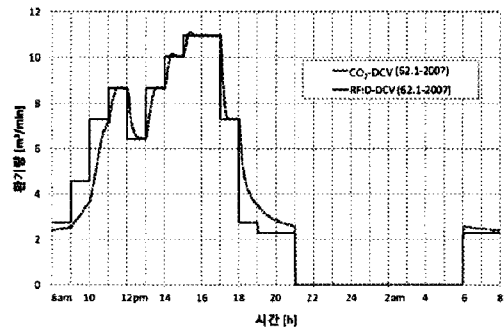
현행 기준을 적용한 DCV를 실시할 경우, 공급 환기량은 실시간 재실자 수에 현행 1인당 필요환기량 29m<sup>3</sup>/인·h (0.48m<sup>3</sup>/인·min)을 곱하여 얻는다.

그림 4의 시뮬레이션 결과를 보면 CO<sub>2</sub>-DCV의 경우 예측된 재실자 수가 매우 부정확하고 변동이 심한 overshooting 문제가 발생됨을 알 수 있다 (그림 4a). 공급되는 환기량도 RFID-DCV의 경우는 정확히 측정된 재실자 수에 맞춰 안정적으로 공급되는 반면, CO<sub>2</sub>-DCV는 예측된 재실자 수만큼 극심하게 변화하는 것을 볼 수 있다 (그림 4b).

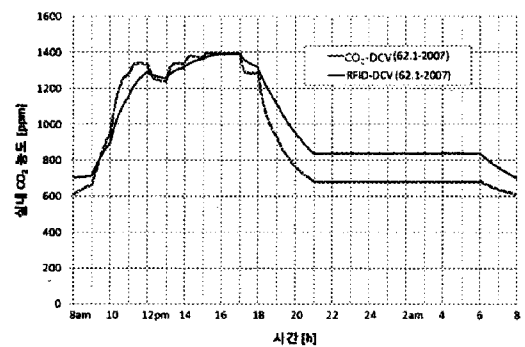
CO<sub>2</sub>-DCV에서 나타나는 이러한 환기시스템 제어의 문제점은 현행 기준이 제시하고



(a) 재실자 수 변화



(b) 환기량 변화

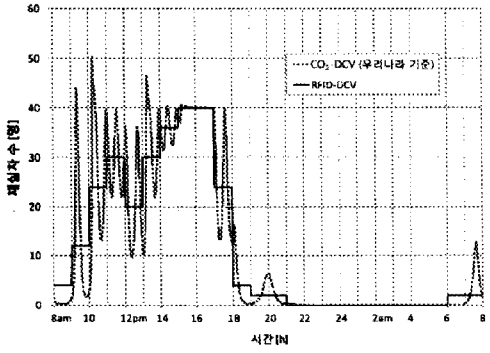


(c) 실내 CO<sub>2</sub> 농도 변화

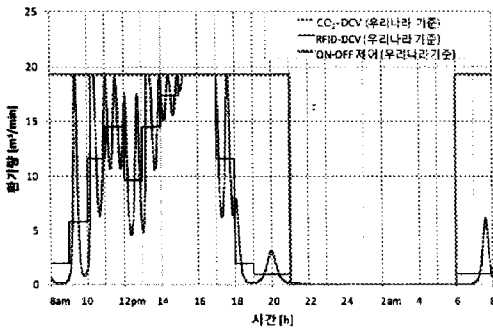
그림 3. CO<sub>2</sub>-DCV와 RFID-DCV (Standard 62.1)

있는 1인당 필요환기량이 인체와 건물에서 방출되는 오염물질을 동시에 처리하는데 필요한 총량으로 규정되어 있어 재실자 수의 증감이 있을 때 공급환기량의 변동폭이 커지고, 결국 이것이 CO<sub>2</sub>-DCV에서 재실자 수를 산정하는 지표로 사용되는 실내 CO<sub>2</sub> 농도의 잦은 증감으로 이어지면서 (그림 4c) 식 2를 통한 재실자 수 예측 시 overshooting 문제가 발생하는 것이다 (그림 4c).

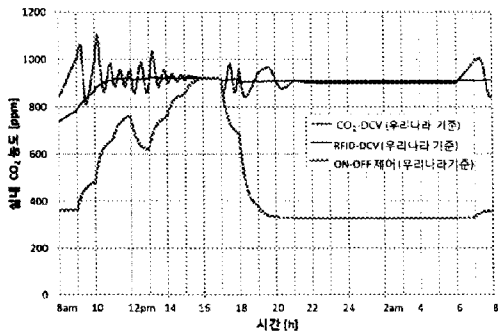
한편, 재실 여부에 따라 단순히 환기 시스



(a) 재실자 수 변화



(b) 환기량 변화



(c) 실내 CO<sub>2</sub> 농도 변화

그림 4. CO<sub>2</sub>-DCV와 RFID-DCV (국내기준)

템을 ON-OFF 제어할 경우 전체 시간대에 걸쳐 over ventilation이 이루어지고 (그림 4b), 따라서 실내 CO<sub>2</sub> 농도도 DCV 경우들 보다 훨씬 낮게 유지됨을 볼 수 있다 (그림 4c). 그러나 DCV를 사용해도 실내 CO<sub>2</sub> 농도를 허용치인 1,000ppm이하<sup>4)</sup>로 유지시킬 수 있는 것으로 보아 DCV 제어가 ON-OFF 제어보다 효율적으로 환기를 공급한다고 할 수 있다.

## 2.5 현행 환기량 기준의 CO<sub>2</sub>-DCV에 대한

### 적용성 개선

2.4절에서 수행한 시뮬레이션 결과를 분석해보면 우리나라의 현행 1인당 필요환기량 기준이 인체뿐만 아니라 건물로부터 방출되는 오염물질을 동시에 처리하는데 필요한 총량으로 규정되어 있다는 것이 CO<sub>2</sub>-DCV에 대한 적용성을 악화시킨다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 모델 건물에 적용한 현행 환기량 기준을 ASHRAE 기준과 유사하게 변형시켜 DCV 시뮬레이션에 적용해 보고, 이러한 변형이 현행 기준의 CO<sub>2</sub>-DCV에 대한 적용성을 향상시키는지 살펴보았다.

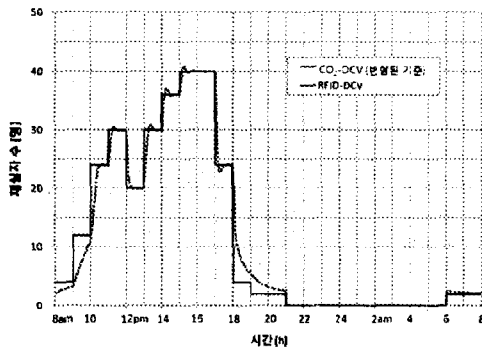
#### (1) 현행 환기량 기준의 변형

그림 1의 모델공간에서 최대 재실인원을 가정한 설계용 환기량은 ASHRAE 기준을 적용할 경우 658m<sup>3</sup>/h이며, 이중 16.7%에 해당하는 110m<sup>3</sup>/h는 건물자체로부터 발생하는 오염물질 처리를 위해 재실자 수에 상관없이 일정하게 유지되는 환기량이다.

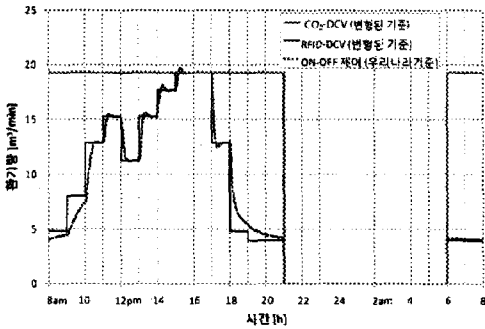
한편, 우리나라 현행 다중이용시설 환기량 기준을 적용하면 설계용 환기량은 1160m<sup>3</sup>/h가 되는데, 본 연구에서는 이중 16.7%에 해당되는 194m<sup>3</sup>/h를 ASHRAE 기준처럼 건물 자체의 오염물질 처리를 위해 유지되는 환기량으로 설정하고 나머지 996m<sup>3</sup>/h를 최대 재실자 수 40명으로 나누어 재실자 1인당 환기량(people component)을 24m<sup>3</sup>/h·인으로 설정하였다.

#### (2) 변형된 기준을 적용한 CO<sub>2</sub>-DCV

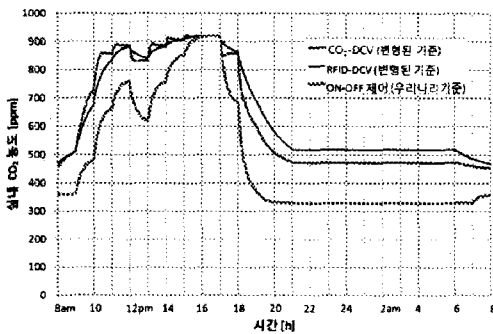
모델공간에 대해 변형된 환기량 기준을 적용한 CO<sub>2</sub>-DCV와 RFID-DCV를 실시할 경우 그림 5에서 보는 바와 같이 현행 환기량 기준의 CO<sub>2</sub>-DCV에 대한 적용성이 크게 개선됨을 알 수 있다. 이것은 변형된 기준을 적용할 경우 재실자 수 증감이 있을 때 공급 환기량의 변동폭이 현행 기준을 그대로 적용할 때 보다 작아지고, 결국 재실자 수 산정의 지표로 사용되는 실내 CO<sub>2</sub> 농도의 안정적



(a) 재실자 수 변화



(b) 환기량 변화



(c) 실내 CO<sub>2</sub> 농도 변화

그림 5. CO<sub>2</sub>-DCV와 RFID-DCV (변형된 기준)

변화로 인해 식 2를 이용한 재실자 수 예측의 안정성 또한 크게 향상되기 때문이다 (그림 5a) 한편, 그림 5b, 5c에서 보듯이 변형된 기준에 따른 DCV 제어를 수행할 경우도 단순 ON-OFF 제어에 비해 적은 환기량으로 실내 CO<sub>2</sub> 농도를 허용치 이하로 유지시키는 효율적인 환기장치 운전이 가능함을 알 수 있다.

### 3. 결론

우리나라의 현행 다중이용시설 환기량 기준은 재실자와 건물자체로부터 서로 독립적으로 방출되는 오염물질들을 동시에 처리하는데 필요한 총 환기량을 1인당 환기량으로 환산하여 규정하고 있는데, 이것이 현행 기준의 DCV법에 대한 적용성을 떨어뜨리는 원인으로 판단되었다. 이러한 문제점에 대한 해결방안으로, 본 연구에서는 DCV에 대한 적용성이 뛰어난 것으로 판명된 미국 ASHRAE Standard 62.1-2007을 참조하여 현행 기준을 인체로부터 방출되는 오염물질 처리를 위한 환기량(people component)과 건물자체 발생 오염물질 처리를 위한 환기량(building component)으로 나누어 규정한 후 DCV에 적용해 본 결과, 현행 우리나라 다중이용시설 환기량 기준의 DCV에 대한 적용성이 크게 향상됨을 보여주었다.

### 참고 문헌

1. 건설교통부, 한국건설기술연구원. 새집 증후군 저감을 위한 공동주택 및 다중이용시설의 환기설비 설치기준 해설서. 2006
2. Persily, A.K., A. Musser, S.J. Emmerich, M. Taylor. Simulations of Indoor Air Quality and Ventilation Impacts of Demand Controlled Ventilation in Commercial and Institutional Buildings. NISTIR 7042, National Institute of Standards and Technology(NIST), 2003.
3. ASHRAE. Standard 62.1-2007: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, 2007
4. 환경부령 제189호. 다중이용시설등의 실내공기질관리법 시행규칙. 2005.