

# 학교 교실의 창호 환기 조절 모드에 따른 자연형 냉방효과 연구

이효석\* · 김순호\*\* · 최정민\*\*

\*창원대학교 건축공학과

\*\*창원대학교 산학협력단

## A Study on the Natural Cooling Effect by Ventilation Control Mode of Window at School Classroom

Lee Hyo-Seok\* · Kim Soon-Ho\*\* · Choi Jeong-Min\*\*

\*Department of Architectural Engineering, Changwon National University

\*\*Industry-University Cooperation Foundation, Changwon National University

†Corresponding author: jmchoi@changwon.ac.kr

### Abstract

Cooling the building by natural ventilation is one of the passive methods widely used from ancient times. It can be effectively applied especially in case of cooling load during the intermediate season of the year. In this study, the effect of 4 cases of window ventilation control mode which are 'Always Close', 'Temperature', 'Enthalpy' and 'Always Open' is simulated by Energyplus program and analyzed to improve the comfort of occupants and reduce energy consumption of the school classroom.

**Keywords:** 자연환기(Natural ventilation) 냉방효과(Cooling effect), 창호(Window), 환기 조절 모드(Ventilation control mode), 학교 교실(School classroom)

### 1. 서론

자연환기를 이용한 건물 냉방 기법은 고대로부터 널리 활용되는 패시브(passive) 기법의 하나로, 연중 중간기 냉방부하 발생시 유효하게 적용할 수 있으며 건물 에너지 절약 및 탄소배출 저감에도 기여가 가능하다.

중간기 자연환기의 냉방효과는 외기의 풍향, 풍속 조건과 함께 건물 개구부의 형태나 창호의 유형, 개폐면적 등 여러 요인에 의해 달라질 수 있지만, 실내와 외기의 온도와 습도 조건을 고려하여 적절한 시간에 외기를 도입하는 창호 개폐 방식(이하, 창호 환기 조절 모드)에 따라서도 차이가 크게 나타날 수 있다. 예를 들면, 일반적으로 실내외의 온도만을 고려한 창호 개폐(이하, Temperature control mode)방식이 있으며, 온도외에 습도도 고려



OPEN ACCESS

Journal of the Korean Solar Energy Society  
Vol.38, No.4, pp.67-76, August 2018  
<https://doi.org/10.7836/kses.2018.38.4.067>

pISSN: 1598-6411

eISSN: 2508-3562

Received: 19 July 2018

Revised: 13 August 2018

Accepted: 17 August 2018

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

하여 실내외의 엔탈피를 이용한 개폐 방식(이하, Enthalpy control mode)도 적용해 볼 수 있을 것이다. 그러나, 현재까지 기존 연구는 주로 창호의 적정 개방면적<sup>1,2)</sup>이나 외기의 풍속, 풍향<sup>3)</sup>과 관련하여 진행되어 왔으며, 창호 환기 조절 모드에 대한 연구는 미비한 실정이다.

이에 본 연구에서는 건물 유형중 동일 실의 연속 배치로 일반화가 수월한 학교 교실을 대상으로 창호 개폐 방식에 따른 중간기 자연형 냉방 효과에 대해 분석을 실시하고자 하며, 이를 통해 창호 환기 조절 모드의 적정 선정에 의한 건물 거주자의 쾌적성 향상 및 건물 에너지 절감에 기여할 수 있는 기초자료를 제시하고자 한다.

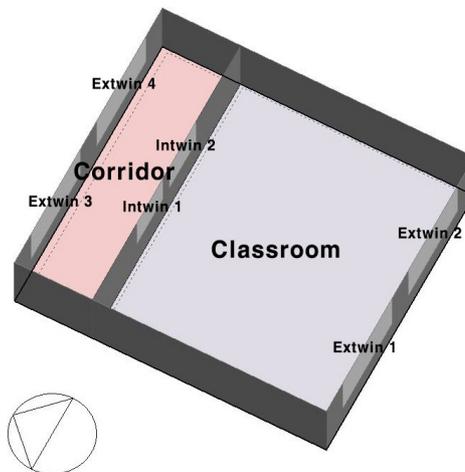
## 2. 창호 환기 조절 모드의 유형 및 시뮬레이션 모델 설정

본 연구에서는 앞서의 2가지 환기 조절 모드와 함께 창호를 상시 개방(이하, Always open control mode) 또는 상시 폐쇄(이하, Always close control mode) 방식도 포함하여, Table 1과 같은 4가지 환기 조절 모드가 학교 교실 열환경에 미치는 영향을 검토하고자 한다. 성능 평가는 에너지 해석 프로그램인 Energyplus를 이용하여 시뮬레이션 분석을 실시하였다. 대상 건물 모델은 상하좌우에 동일한 실들이 위치하여 열교환이 이루어지지 않는다고 가정 한(Adiabatic condition) 중간층 학교 교실로서, Fig. 1과 같이 복도를 포함한 2개 존(zone)으로 구성하였다. 자연 환기가 이루어지는 교실 외벽 창(Extwin 1, 2)에 자연 환기 조절 모드를 적용하고, 교실과 복도 사이의 창(Intwin

**Table 1** Types of ventilation control mode

Case	Description
1 Always Close	· All of classroom external windows are closed at all times independent of indoor or outdoor conditions
2 Temperature	· All of classroom external windows are opened if $T_{zone} > T_{out}$ and $T_{zone} > T_{set}$
3 Enthalpy	· All of classroom external windows are opened if $H_{zone} > H_{out}$ and $T_{zone} > T_{set}$
4 Always Open	· All of classroom external windows are opened independent of indoor or outdoor conditions

※  $T_{out}$  : Outdoor air temperature,  $T_{zone}$  : The previous timestep's zone air temperature,  
 $T_{set}$  : The temperature above which all the openable windows in the zone will be opened(here 23°C is set),  
 $H_{zone}$  : The specific enthalpy of zone air from the previous time step,  $H_{out}$  : The specific enthalpy of outdoor air



**Fig. 1** Example building

1, 2)과 복도 외벽 창(Extwin 3, 4)은 수업 시간대는 상시 개방, 방과 후 시간대는 폐쇄하는 것으로 하였다.

모든 창호는 슬라이딩 타입으로 전체 창호 면적의 50% 개방이 가능하며, Case 2와 3 적용시 실내외 온도차나 엔탈피차에 따라 창호의 개방 정도, 즉 면적(Venting open factor)을 정하는 모듈레이션(Modulation)을 적용하였으며(Table 2 참조), 시뮬레이션 모델시의 입력 조건은 Table 3과 같이 설정하였다. 4가지 환기 조절 모드에 대한 평가는 Fig. 2와 같이 평일 수업 시간대(08:00~18:00)를 대상으로 시뮬레이션으로 계산된 교실 작용온도(Operative temperature)가 ASHRAE Standard 55-2010 adaptive comfort model의 교실 재실 인원수의 80% 수준을 만족시키는 구간(80% acceptability range)안에 포함되는 시간수(Number of hours) 비율<sup>1</sup>로 하였으며, 자연 환기로 인해 저감이 예상되는 교실 이산화탄소 농도레벨도 함께 평가하였다. 평가 기간은 일년중 냉방장치를 가동하지 않는 춘계 4~5월, 추계 9~10월이며, Table 4는 해당 기간의 외기 온습도와 풍속, 풍향 데이터 값이다.

**Table 2** Window opening modulation variables<sup>4)</sup>

Variables	Value	Example of venting area modulation according to inside-outside temperature difference
Minimum venting Open Factor	0.0	
Indoor and outdoor temperature difference lower limit for maximum venting open factor	0°C	
Indoor and outdoor temperature difference upper limit for minimum venting open factor	10°C	
Indoor and outdoor enthalpy difference lower limit for maximum venting open factor	0.0 J/kg	
Indoor and outdoor enthalpy difference upper limit for minimum venting open factor	300 kJ/kg	

**Table 3** Simulation model condition

Input category	Input values
Site	Ulsan
Dimension	Classroom : 7.5 × 9 × 2.6 m, hall : 7.5 × 9 × 2.5 m
Construction	K-Value External wall : 0.307 W/m <sup>2</sup> · K, Internal wall : 1.775 W/m <sup>2</sup> · K Others : Adiabatic condition as a intermediate class
	Size External window : 3 × 1.7 m × 2 ea (sliding type, openable area 50%) Internal window : 1.6 × 1.4 m × 2 ea (sliding type openable area 50%)
	Occupancy 0.44 W/m <sup>2</sup> , 30 persons, CO <sub>2</sub> generation rate per unit of activity level : 0.000000382 m <sup>3</sup> /s · W CO <sub>2</sub> outdoor level 400 ppm (yearly constant)
Indoor condition	Light 8 W/m <sup>2</sup> , Illuminance 300 lux
Operation schedule	Monday - Friday : 8~18 on condition, Saturday, Sunday : off condition

1 총 10시간(평일 08:00~18:00)중 ASHRAE Standard 55-2010의 80% 수준 만족 시간 수가 5시간인 경우 50%로 산정한다.

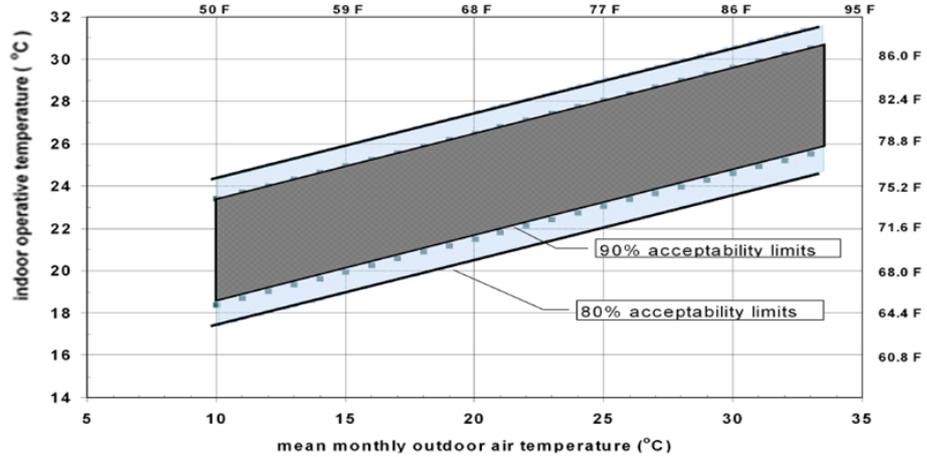


Fig. 2 Acceptable operative temperature ranges for naturally conditioned spaces (ANSI/ASHRAE Standard 55-2010)<sup>5)</sup>

Table 4 Outdoor weather condition

Item		Apr.	May	Sept.	Oct.
Outdoor drybulb temp. (°C)	Avg.	13.3	17.7	21.7	15.9
	Max.	25.9	29.3	30.8	27.1
	Min.	1.5	7.3	12.5	4.6
Outdoor dewpoint temp (°C)	Avg.	5.0	11.6	17.8	8.7
	Max.	17.3	18.4	25.0	17.8
	Min.	-11.1	1.7	6.1	-2.6
Wind speed (m/s)	Avg.	2.1	2.0	1.7	2.0
	Max.	6.6	5.5	7.2	6.9
	Min.	0.0	0.0	0.0	0.0
Wind direction percentages (%)	N	40	32	39	47
	NE	5	3	11	8
	E	15	15	11	3
	SE	12	15	3	4
	S	7	8	4	2
	SW	7	9	6	4
	W	8	11	12	10
NW	5	7	14	22	
ASHRAE Standard 55-2010	Upper limit	25.4	26.8	28.0	26.2
80% acceptability range operative temp.(°C)	Lower limit	18.4	19.8	21.0	19.2

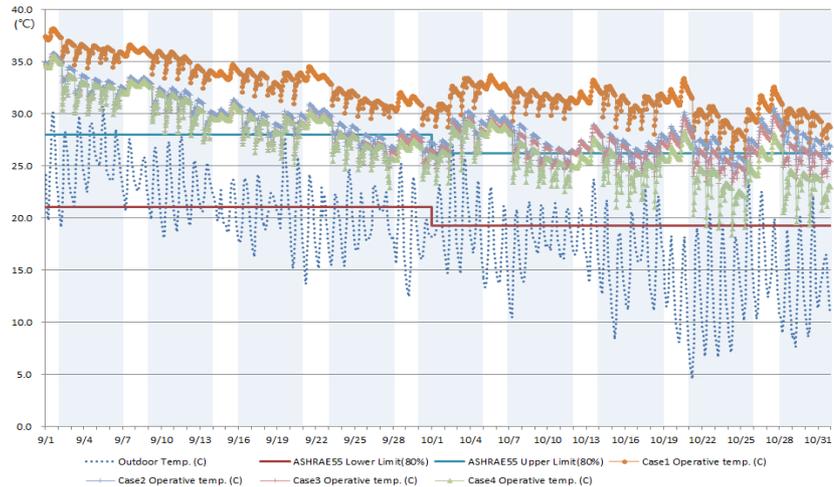
### 3. 분석 및 결과 비교

Fig. 3은 4가지 환기 조절 모드(Case)에 따른 춘계(Apr. 1 to May 31) 및 추계(Sept. 1 to Oct. 31) 중간기의 교실 작용온도(OT)와 ASHRAE Standard 55-2010 adaptive comfort model의 교실 재실 인원수 80% 수준을 만족시키는 각 월별 상한 및 하한 구간과 함께 나타낸 것이다. 예상한 바와 같이 춘계와 추계에서 교실 창호를

상시 폐쇄하는 Case 1 (Always close control mode)이 가장 높은 교실의 작용온도 분포를 보이고 있으며, 다음으로 실내외 온도차를 고려하는 Case 2 (Temperature control mode), 온도외에 습도도 고려하여 엔탈피차로 개폐하는 Case 3 (Enthalpy control mode)와 교실 창호를 상시 개방하는 Case 4 (Always open control mode)의 순서로 낮은 실내 온도 분포를 보여주고 있으며, 창호를 상시 개방하는 Case 4의 경우에는 4월, 5월 및 10월의 일부 기간중 ASHRAE Standard 55-2010의 80% 쾌적구간 아래로 내려가는 것을 보여주고 있다.



(a) From April 1 to May 31



(b) From September 1 to October 31

**Fig. 3** Temperature distributions for 4 cases (  : school day)

평일 주간 수업시간(08:00~18:00)대에 각 월별 평균 작용온도를 살펴보면 4월에는 Case 1 (26.4°C)을 제외한 Case 2 (24.6°C), Case 3 (23.8°C), Case 4 (20.3°C)에서 80% 쾌적구간내 수준(18.4~25.4°C)을 만족시키고 있으며, 5월에도 Case 1 (29.5°C)을 제외한 Case 2 (26.1°C)와 Case 3 (25.5°C), Case 4 (24.2°C)에서 80% 이내의 수준(19.8~26.8°C)을 보이고 있다. 그러나, 9월에는 4가지 Case 모두 80% 쾌적구간의 upper limit인 28.0°C를

초과하여 Case 1 (33.3°C) > Case 2 (29.4°C) > Case 3 (28.6°C) > Case 4 (28.5°C)의 순서로 보이고 있으며, 10월에는 Case 1 (30.1°C)과 Case 2 (26.4°C)가 80% 쾌적구간 upper limit인 26.2°C를 초과하며, Case 3 (25.2°C), Case 4 (23.7°C)가 80% 이내의 수준을 만족시키는 것으로 나타났다.

Fig. 4는 Case 2와 Case 3의 창호 환기 조절 모드가 작동되는 시간 및 해당 시간에서의 창호의 개방 정도를 나타내는 Venting open factor를 나타낸 것이다. 실내외 온도차로 개폐가 이루어지는 Case 2의 경우 4개월간의 수업시간대에서 온도차에 의한 환기 조절 모드가 작동되는 시간수 비율은 평균 91.3%이며, 이때의 Venting open factor는 평균 41.7%로 나타났다. 실내외 엔탈피차로 개폐하는 Case 3의 경우에는 주간 작동 시간수 비율은 97.2%, Venting open factor는 66.2%를 보이고 있어, Case 3의 경우가 Case 2 보다 환기 조절 모드 작동 시간수 비율은 5.9%, Venting open factor는 24.5% 더 높은 것으로 나타났다.

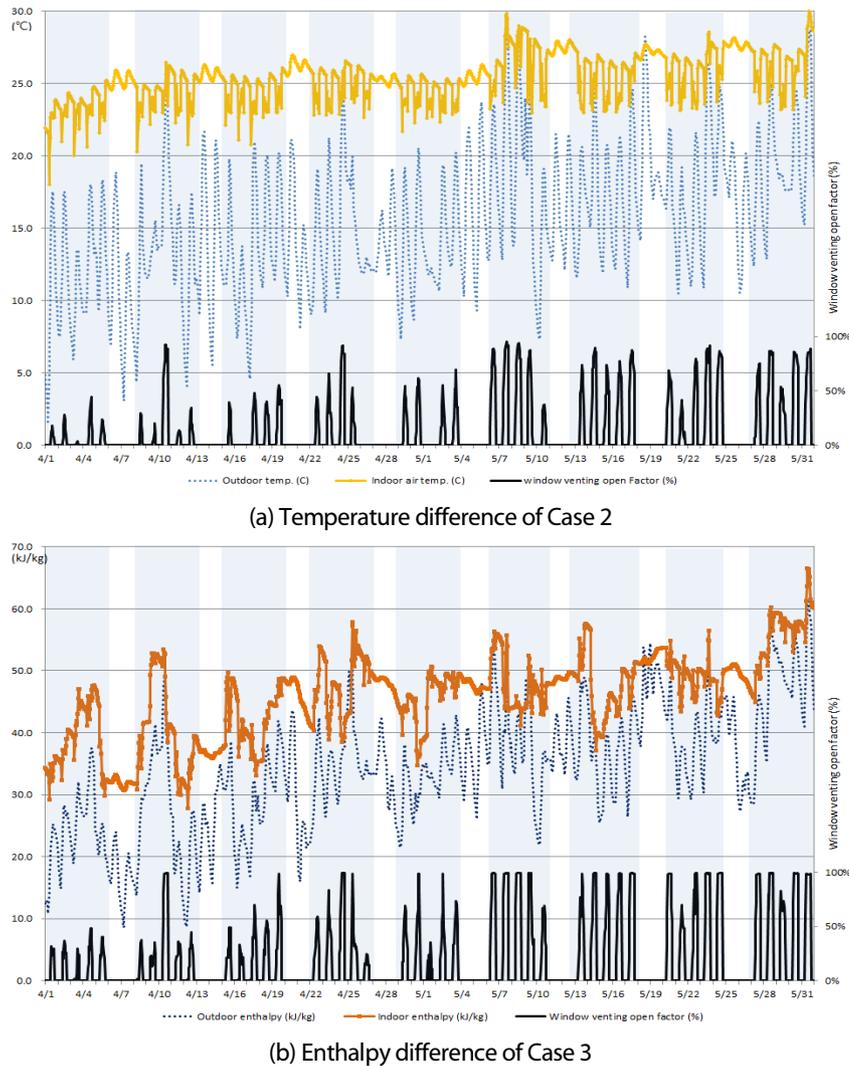


Fig. 4 Temperature & enthalpy difference and venting open factors ( : school day)

춘계와 추계의 중간기 수업시간시 80% 쾌적구간 안에 들어오는 시간수 비율은 Fig. 5와 같이 각 Case 및 월 별로 그 특성이 다르게 나타나고 있다. 4개월의 중간기 동안 평균하여 검토해 보면 창호를 상시 폐쇄하는 Case 1의 경우 90.6%의 주간 시간대에서 80% 쾌적구간의 상한(upper limit) 온도를 초과하며, 9.4%의 주간 시간대에서 쾌적구간안에 포함되며, 80% 쾌적구간 하한(lower limit) 온도 이하로 내려가는 시간대는 없는 것으로 나타났다. 반면에 실내외 온도차에 의한 환기 조절 모드인 Case 2의 경우에는 38.8%의 주간 시간대에서 쾌적구간의 상한 온도를 초과하고, 61.2%의 주간 시간대에서 쾌적구간내에 포함되며, 80% 쾌적구간의 하한 온도 이하로 내려가는 시간대는 없는 것으로 나타났으며, 엔탈피차에 의한 환기 조절 모드인 Case 3의 경우에는 23.0%의 주간 시간대에서 쾌적구간의 상한 온도를 초과하고, 77.0%의 주간 시간대에서 쾌적구간안에 포함되며, 80% 쾌적구간의 하한 온도 이하로 내려가는 시간대는 없는 것으로 나타났다. 반면에 창호를 상시 개방하는 Case 4의 경우에는 18.9%의 주간 시간대에서 쾌적구간의 상한 온도를 초과하고, 75.1%의 주간 시간대에서 쾌적구간안에 포함되며, 4가지 Case중 유일하게 80% 쾌적구간의 하한 온도 이하로 내려가는 시간대도 6.0% 수준으로 나타나고 있다.

Fig. 6은 각 Case별 교실과 복도의 주간시간대 평균 자연환기 풍량( $m^3/hr$ ) 및 방향을 나타낸 것으로, 4월과 5월에는 자연환기가 외기에서 교실을 거쳐 복도측으로 이루어지며, 9월과 10월에는 Case 1을 제외한 나머지

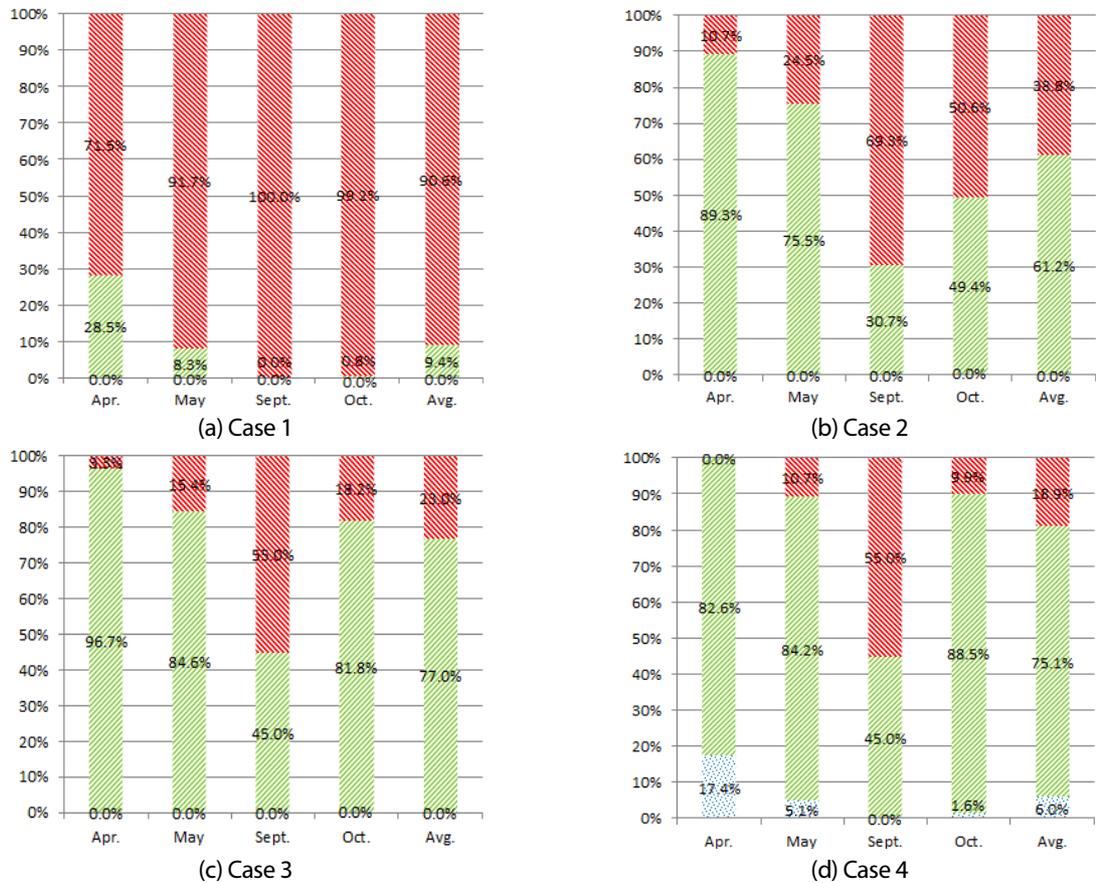


Fig. 5. Hours percentage to meet ASHRAE Standard 55-2010 (■ >80%, ■ Within 80%, ■ <80%)

Case 2, 3, 4에서 자연환기가 북측 복도를 거쳐 교실 및 외기로 이동하는 패턴을 보여주고 있다. 자연환기 풍량은 다소 차이가 있지만 일반적으로 Case 4 > Case 3 > Case 2 > Case 1의 순서로 나타나고 있다.

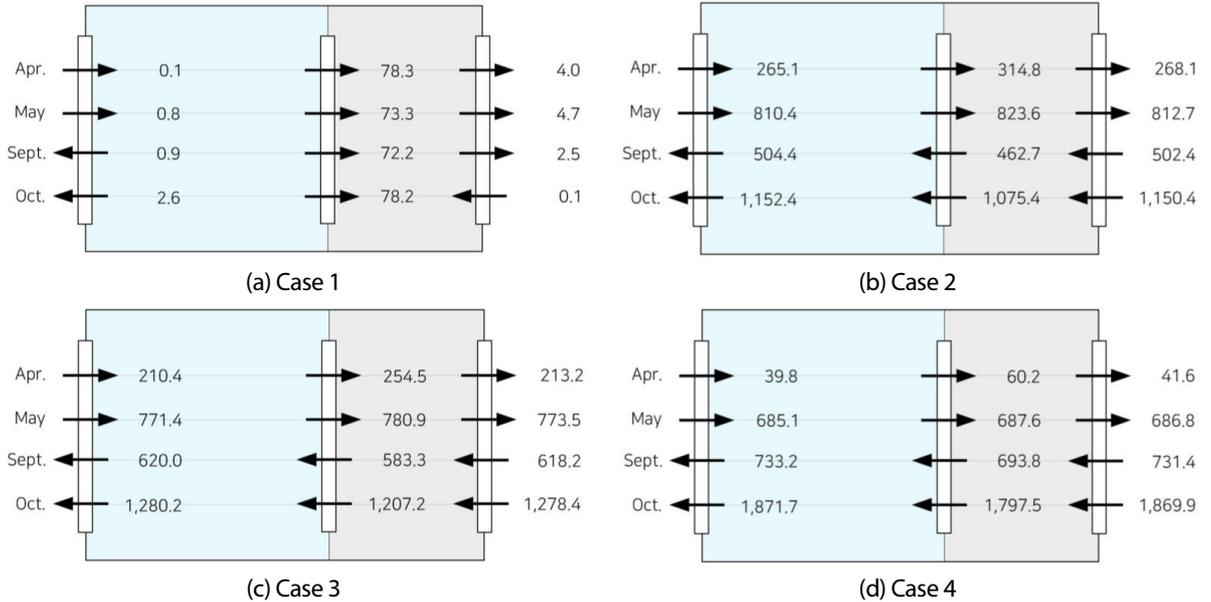


Fig. 6 Monthly average volume flow rate (m³/hr) and direction ( Classroom, Corridor)

Fig. 7은 자연환기를 이용한 냉방시 실내 재실자의 호흡에 의한 이산화탄소의 농도 저감 효과를 나타낸 것으로 외기 CO<sub>2</sub> 농도를 400 PPM으로 가정한 경우 Case 1의 CO<sub>2</sub> 평균 농도는 1,023 PPM(992~1,055 PPM), Case 2는 658 PPM (586~769 PPM), Case 3은 601 PPM (536~700 PPM), Case 4는 524 PPM (521~530 PPM)를 보이고 있어, 실내의 온도차 또는 엔탈피차 자연환기시 1,000 PPM 이하를 유지할 수 있는 것으로 나타났다.

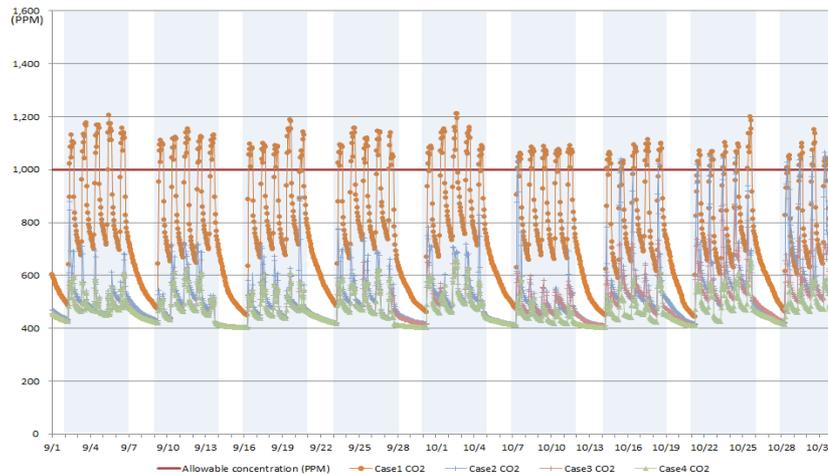


Fig. 7 CO<sub>2</sub> concentration from September 1 to October 31 ( School day)

## 4. 결론

본 연구에서는 중간기 창호 환기 조절 모드에 따른 자연환기가 학교 교실의 냉방효과에 미치는 영향을 살펴 보았으며, 연구의 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 건물 창호의 환기 조절 모드를 Table 1과 같이 4가지 Case로 구분하여 건물 에너지 해석 프로그램인 Energyplus 시뮬레이션을 실시하였으며, 교실 작용온도(Operative temperature) 및 ASHRAE Standard 55-2010 adaptive comfort model의 재실 인원수 80% 수준을 만족시키는 구간(80% acceptability range)을 기준으로 평일 수업 시간대(08:00~18:00)의 시간수(Number of hours) 비율로 평가하였다.
- (2) 이상의 4가지 창호 환기 조절 모드 가운데 Fig. 6과 같은 자연환기량 차이로 인하여, 중간기 평일 수업시간 창호를 상시 개방하는 Case 4의 실내 평균 작용온도가 가장 낮은 23.7°C (쾌적구간내 포함되는 주간 시간수 비율은 75.1%)를 나타내고 있으며, 다음으로 실내외 엔탈피차로 개폐하는 Case 3이 25.2°C (쾌적구간내 시간수 비율 77.0%), 실내외 온도차로 개폐하는 Case 2가 26.4°C (쾌적구간내 시간수 비율 61.2%), 상시 폐쇄하는 Case 1이 30.1°C (쾌적구간내 시간수 비율 9.4%)의 순서로 나타나 온도차나 엔탈피차에 의한 자연환기 패시브 기법의 적용시 학교 교실의 중간기 쾌적성 향상에 도움을 줄 수 있음을 확인할 수 있었다(Figs. 3, 5 참조).
- (3) 창호를 상시 개방하는 Case 4의 경우, ASHRAE Standard 55-2010 adaptive comfort model 80% 쾌적 구간내 포함되는 시간수 비율 평균값 75.1%가 실내외 엔탈피차로 개폐하는 Case 3의 평균값 77.0% 보다 낮은 것은 중간기중 4월과 5월, 10월에 차가운 외기의 자연환기가 제어되지 않고 그대로 실내로 유입되어 재실자가 불쾌하게 느끼는 시간수 비율이 전체 주간 시간중 6.0%를 차지하기 때문이다(Fig. 5(d) 참조).
- (4) 이상에서 살펴본 창호의 환기 조절에 의한 냉방효과 외에 Case 2 또는 Case 3와 같은 적정 창호 환기 계획이 이루어질 경우, 학교보건법의 ‘공기 질 등의 유지·관리기준’에서 요구하는 교실의 이산화탄소 저감에도 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다(Fig. 7 참조).

본 연구에서는 창호 환기 조절 모드 적용시 눈, 비, 풍속, 미세 먼지 농도 등의 기타 요인과 창호의 개방 정도 면적 (Venting open factor)의 각 변수 설정값(Table 2 참조) 변화에 따른 영향을 고려하지 않았으나, 추후 평가에서는 이러한 점들도 고려한 연구가 진행되어야 할 것이며, 이를 토대로 창호 조절 모드에 의한 창호(또는 환기구) 개방 장치가 개발된다면 교실 재실자의 중간기 쾌적성 향상 및 건물 에너지 절감에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 후기

이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(과제번호 : 2017R1A2B4008473).

## REFERENCES

1. Cho, J. K., Hong, M. H., and Yoo, C. W., Effective Openable Area and Position of Windows for High-rise Residences with (Single-sided) Natural Ventilation, *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, Vol. 26, No. 8, pp. 247-254, 2010.
2. Cho, S. Y. and Choi, J. M., Analysis of Airflow and Cooling Effect according to Opening Area of Building Natural Ventilation, *Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, Vol. 12, No. 2, pp. 121-129, 2018.
3. Kim, Y. H., Kim, T. J., and Park, J. S., Effect of Long-Term Variation of Wind Velocity and Wind Direction on Natural Ventilation in Mock-Up Rooms, *Proceeding of Spring Annual Conference of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, pp. 173-176, 2010.
4. U.S. Department of Energy, *EnergyPlus Version 8.6 Documentation Input Output Reference*, 2016, pp. 1057-1061.
5. ASHRAE Standard 55—*Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, ASHRAE Inc, pp. 4-13, 2010.