



RESEARCH ARTICLE

공동주택 거주자들의 창문개방행위에 따른 연간 자연환기량 분포와 환기부하에 관한 연구

유지현¹ · 박준석^{2*}

¹한양대학교 건축공학부 건축공학전공 박사과정, ²한양대학교 건축공학부 건축공학전공 교수

Annual Natural Ventilation Rates and Heat and Cooling Load in Relation to Occupant's Window Opening Behavior in Residential Building

Yoo, Ji-Hyun¹ · Park, Jun-Seok^{2*}

¹Ph.D. Candidate, Division of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul, Korea

²Professor, Division of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul, Korea

*Corresponding author: Park, Jun-Seok, Tel: +82-2-2220-1743, E-mail: junpark@hanyang.ac.kr

ABSTRACT

Recently, due to sick house syndrome, the importance of indoor air quality is emerging. The method of managing the indoor air quality includes mechanical ventilation and natural ventilation. However, the majority of occupants prefer using natural ventilation rather than mechanical ventilation and even don't know the existence of mandatory mechanical ventilation in residential building. Therefore, recent studies have focused on natural ventilation, which can easily manage the indoor air quality, and propose a ventilation guideline by developing a ventilation module due to the opening of the window. However, hot and cold outdoor air through the window opening affects the indoor temperature, which in turn has a big impact on energy consumption. Previous studies researched the window opening behavior (opening frequency and hours) with outdoor factors and found that the outdoor temperature had the greatest effect on window opening behavior. However, with this only window opening behavior, we couldn't predict the precise energy consumption and couldn't purpose the natural ventilation guideline because we don't know the accurate volume of the outdoor air comes into the building. Therefore, in this study, field measurement is conducted for 4 complexes and 30 samples. we analyze the window opening behavior as same as previous study and the ventilation rates through carbon dioxide decay method. As a result, the measurement period could represent the outdoor temperature of Korea. However, despite that outdoor temperature was similar, the distribution of indoor temperature was different by all the samples, especially in heating period. The window opening behavior and ventilation rates have correlation with outdoor temperature. The ventilation load was low in heating period, because of the lack of ventilation behavior. In contrast, the ventilation load in cooling period was greater than that in heating period.

주요어 : 실내공기질, 거주자행동, 창문개방행위, 자연환기량, 환기부하

Keywords: Indoor Air Quality, Occupant behavior, Window opening, Ventilation rates, Ventilation load

OPEN ACCESS

Journal of KIAEBS 2022 June, 16(3): 193-205
<https://doi.org/10.22696/jkiaeb.20220017>

pISSN : 1976-6483
eISSN : 2586-0666

Received: May 4, 2022
Revised: May 12, 2022
Accepted: May 13, 2022

© 2022 Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

연구의 배경

1970년대에 중동의 오일쇼크로 인해 전 세계는 심각한 인플레이션을 겪었으며, 이로 인한 경제 불황으로 전 세계는 에너지소비량을 줄이기 위해 각 분야마다 에너지 정책을 만들었다. 건축물의 에너지 소비량이 전체 에너지 소비량의 30% 이상을 차지하는 것으로 나타났고 (MOLIT, 2018), 각국은 이를 줄이기 위해 건물의 외피를 고기밀화하고 고단열화를 진행하였다. 우리나라에서도 건축물의 에너지절약 설계기준을 통하여 꾸준히 외피의 단열기준을 강화해왔다. 그러나 외피의 열성능이 강화된 이후, 일부 거주자들은 만성적 호흡기질환이 발생하였으며, 이는 불박이장, 실내마감재에서 발생하는 오염물질에 따른 결과였다.

이에 따라 실내오염물질이 포함된 오염된 실내 공기를 실외의 신선한 공기로 교체하는 환기의 중요성이 대두되고 있다. 또한 세계 보건기구(WHO)에 따르면 현재 유행하고 있는 코로나 바이러스는 실내의 오염된 공기를 순환시키지 않을 경우 감염위험성은 40% 까지 상승했지만, 1시간에 약 0.5회/h의 공기만 순환시켜도 감염위험은 약 5%수준으로 떨어지는 것으로 나타났다. 국토교통부의 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 제 11조에 따르면, 공동주택의 경우 시간당 약 0.5회 이상의 환기가 이루어질 수 있도록 자연환기 설비 또는 기계환기 설비를 설치할 수 있도록 규정하고 있다(MOLIT, 2017). ASHRAE (2016)에서는 건축물의 필요환기량을 1인당 25.5 CMH 이상 혹은 실의 체적에 비례하여 0.35회/h 이상으로 권장하고 있다. 그러나 Park and Kim (2012)의 연구에 따르면, 대부분의 공동주택 거주자들은 기계환기를 이용하지 않았으며, 기계환기의 유무도 모르는 경우가 대다수였으며, 대부분 창문개방행위로 환기를 진행하는 것으로 나타났다.

거주자의 행동은 실내 환경에 영향을 주며, 이는 실내의 냉난방 부하로 이어진다. Turner and Frankel (2008)에 따르면 거주자의 환경에 따른 조절행동은 건물에너지 소비량에 영향을 주며, 에너지 소비량의 예측을 하기 위해서는 거주자의 행동이 분석 및 규명 되어야 한다고 밝혔다. Raja et al. (2001)에 따르면 거주자의 행동 중 하나인 창문개방행위는 외기의 온도에 따라 환기행위 시 실내온도에 영향을 주며, 이는 에너지소비량에 영향을 미친다고 분석하였다. 또한 Lee (2017)에 따르면 에너지시뮬레이션 결과 창문개방행위를 한 그룹의 경우가 창문개방행위를 하지 않은 경우보다 난방비용이 24원/m²에서 30원/m²의 증가가 되는 것으로 분석하였다.

연구의 목적

본 연구에서는 거주자의 행동 중에 창문개방행위에 집중했으며, 그 이유는 창문개방행위를 통한 환기행위가 실내공기질을 개선하지만, 시기에 따라 실내에 환기부하를 발생시켜 냉·난방 부하와 밀접한 관계가 있기 때문이다. Verbruggen et al. (2021)은 실내의 부하를 정확히 분석하기 위해 창문개방행위의 예측의 필요성을 강조하였다. 따라서 선행연구인 Jeong (2016)에서는 거주자들의 창문개방행위는 실외온도에 따라 변화하는 것으로 분석하였으며,

Change-point model을 사용하여 실외온도에 따른 logistic regression을 도출하였다. Pei (2017)의 연구에서는 환기관련 행동과 함께 창문개폐의 확률모델식을 도출하였고 이를 바탕으로 거주자의 창문개폐행위 예측 알고리즘을 구축하였다. Jeong et al. (2016)에서는 거주자의 창문개방행위를 모든 환경인자에 따라 분석하였고 이를 알고리즘화 하였다. 또한 Zhou et al. (2022)에서는 여러 환경인자(미세먼지, 실외온도 등)들을 통해 창문개방예측모델 3가지를 개발하였다. 그러나 정확한 에너지 소비량을 예측하기 위해서는 창문의 열고 닫는 알고리즘만 중요한 것이 아니라, 창문을 열었을 때 들어오는 차갑거나 뜨거운 외기의 양이 중요하다. Morrison et al. (2021)에 따르면 건축물에서의 예측모델을 구성하기 위해서는 자연환기량을 필수적 요소라고 분석하였다. 본 연구에서는 창문개방을 통한 맞통풍시 발생하는 외기도입의 양을 발생하는 외기의 양을 자연환기량(m^3/h)으로 정의하여 창문개방행위와 이에 따른 거주자들의 자연환기량의 추정방법을 검토하고 자연환기량이 실내에 부하를 얼마나 발생시키는지 분석하였다.

측정개요

모니터링 세대 개요

분석에 사용된 측정대상 공동주택 및 기간을 관련 연구와 함께 Table 1에 나타냈다. 분석 데이터의 A,B,C 단지(23세대)는 2014년 12월부터 2015년 9월까지 측정하였으며, 이 데이터에 추가로 D단지(7세대)는 2017년 12월부터 2018년 3월까지 측정된 데이터를 사용하였다. 측정 세대들의 특성을 Table 2에 나타냈다. 측정 대상들의 바닥면적분포는 $72 m^2 \sim 172 m^2$ 로, 층수 분포는 1층에서 25층으로 고르게 분포하였다. 가족 수는 A1세대를 제외하고 한 세대당 4명의 가족(2명의 성인과 2명이 자녀)으로 구성되었으며, 환경인자에 따른 거주자의 환기조절행동을 능동적으로 분석하기 위해, 집에 대부분 거주하는 전업주부가 포함된 세대들을 선정하였다. 각각 단지의 환기 설비는 A단지 강제급기만 가능, B단지 강제 급·배기 가능, C단지 강제배기만 가능, D 단지는 강제 급·배기 가능한 것으로 이루어져있었다.

Table 1. Source of measurement data

Samples	Source	Measurement period	Location
Complex A,B	Jeong (2016)	2014.12~2015.09	Gyeonggi
Complex C	Pei (2017)		Seoul
Complex D	Yoo (2020)	2017.12~2018.03	Gyeonggi

Table 2. The characteristics of all samples

Samples	Floor Area [m ²]	Floor level [F]	The number of family [n]	Measurement period**	Location***
A1	109	4	3	H/NH/C	S
A2	109	8	4	H/NH/C	SW
A3	130	14	4	H/NH/C	S
A4	172	8	4	H/NH/C	S
A5	109	16	4	H/NH/C	S
A6	109	5	4	NH	SW
B1	147	4	4	H/NH/C	S
B2	137	2	4	H/NH/C	SE
B3	147	13	4	H/NH/C	SE
B4	163	12	4	H/NH/C	SE
B5	163	4	4	H/NH/C	SE
B6	163	10	4	H/NH	SE
B7	163	6	4	NH	SE
B8	163	5	4	NH	SE
B9	163	1	4	NH/C	SE
C1	72	14	4	H/NH/C	SW
C2	108	9	4	NH/C	SE
C3	80	7	4	H/NH	SE
C4	80	19	4	H/NH/C	SW
C5	80	6	4	H/NH/C	SW
C6	108	9	4	H/NH	SE
C7	80	25	4	NH/C	SW
C8	163	15	4	NH	SE
D1	112	6	4	H	SW
D2	112	25	4	H	SW
D3	113	3	4	H	SE
D4	131	28	4	H	SE
D5	131	6	4	H	SW
D6	127	21	4	H	SW
D7	146	6	4	H	SE

* H: Heating period, NH: mid-period, C: Cooling period.

** The direction of the building is based on the living room window.

실내외 측정 항목 및 기기

Table 3은 측정항목과 측정에 사용된 기기들 및 측정시간의 정보를 나타내고, 측정위치 및 해당 세대의 대표도면(112 m²)을 Figure 1에 나타냈다. 실외측정인자로는 실외건구온도 상대습도를 TR-72ui를 통해 10분단위로 측정하였다. 실내 측정인자로는 MCH-383SD를 통해 건구온도, 상대습도, 이산화탄소를 측정하였고, 창문개방상태는 UX90-001을 통해 10분 간격으로 측정하였다. 실내온열환경을 대표할 수 있게 거실의 중앙에서, 복사의 영향을 최소화 하기위해 바닥으로부터 1.2 m 떨어진 높이에서 측정은 진행되었다. 창문개방상태는 맞통풍이 가능한 위치에 측정기를 설치하였고, 센서를 통해 맞통풍을 실시했을 때를 자연환기 하는

것으로 가정하였다. 풍속과 풍향은 기상자료 개방포털을 이용하여 해당지역과 가까운 지역에 위치한 데이터를 10분 간격으로 분석하였다.

Table 3. Measurement parameter and devices

	Parameter	Device	Interval	Measurement location
Indoor/out door	Temp,RH,CO ₂	TR-76UI	10 min	The center of living room
	window opening	UX90-001	10 min	
	wind velocity/direction	Korea Meteorological Administration	10 min	-

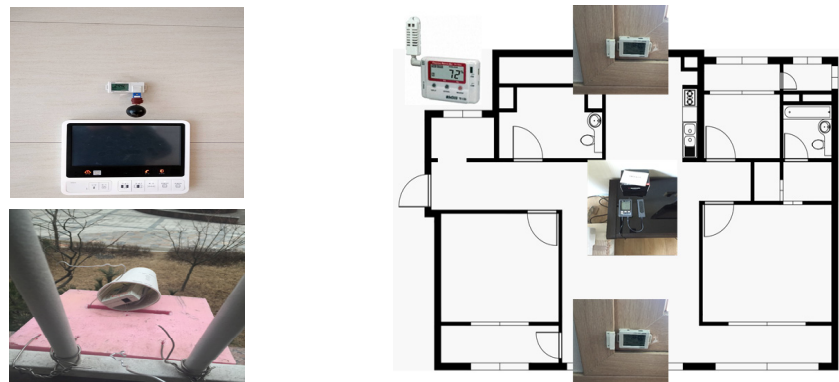


Figure 1. Floor plan of samples and devices

맞통풍시 자연환기량 추정방법

창문개방빈도 및 창문개방시간만으로는 외기가 실내에 얼마나 유입되는지 판단할 수 없으며, 이는 곧 실내의 환기 부하와 함께 실내공기질을 위한 정확한 환기량도 계산할 수 없음을 의미한다. 따라서 연구에서는 질량보존방정식에 의거한 이산화탄소 감쇠법을 이용하여 자연 환기량을 도출하였다. 자연환기량 계산을 Figure 2에 나타냈고 관련된 식은 식 (1)과 식 (2)에 나타냈으며, 관련된 기호 및 각각의 설명을 Table 4에 나타냈다.

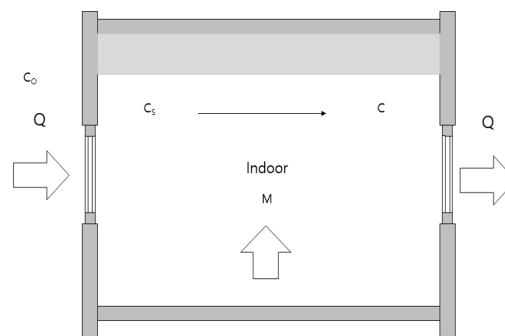


Figure 2. Mechanism of calculating the ventilation rates using carbon dioxide decay method

$$C = C_o + (C_s - C_o * e^{(-\frac{Q * \Delta t}{V})}) + \frac{M}{Q} (1 - e^{-\frac{Q \Delta t}{V}}) \tag{1}$$

$$Q = \frac{V}{\Delta t} [\ln(C_s - C_o) - \ln(C - C_o)] \tag{2}$$

Table 4. Symbol and description of carbon dioxide decay method

	Description
Q	Ventilation rates [m ³ /h]
C	Indoor Carbon dioxide concentration [ppm]
C _o	412 ppm
C _s	Carbon dioxide concentration when the windows open
M (Indoor emission)	-
V (volume)	Floor area *2.5 m
Δt	Window opening time to closing time

창문개방시간과 자연환기량

자연환기량은 창문개방 시 이산화탄소 감소 농도의 기울기를 이용하여 도출하였다. 창문개방은 단시간 개방과 장시간 개방으로 나뉠 수 있으며, 이에 대한 설명을 Figure 3에 나타냈다. 단시간 창문개방에 대한 도출방법은 Figure 3의 (a)에 나타냈으며, 하얀색 동그라미는 이산화탄소의 분포를 나타내고 빨간색 선은 창문이 닫힌 시간을 나타낸다. 단시간 창문개방은 (a)와 같이 실내의 이산화탄소가 실외의 이산화탄소 수렴하기 이전에 열고 닫히는 행위가 끝난 것을 의미한다. 이때 이산화탄소의 감소 기울기는 ①번만 존재하므로 ① 기울기를 통해 자연환기량을 도출하였다.

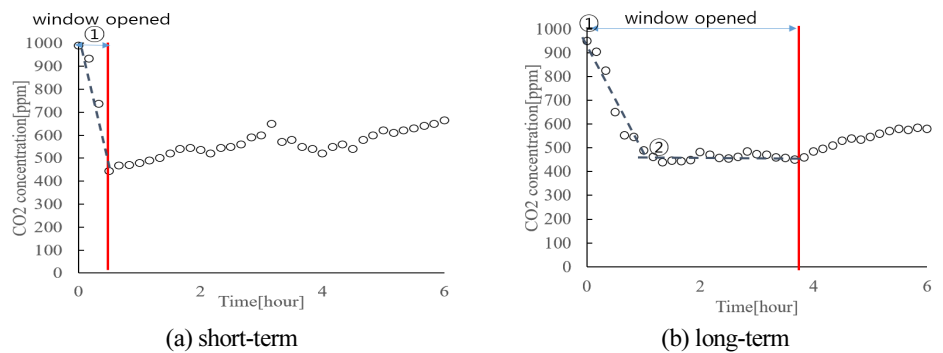


Figure 3. Method of calculating the ventilation rates

Figure 3의 (b)는 장시간 창문개방의 자연환기량 도출법을 나타낸다. 장시간 창문개방이란 (b)와 같이 실내 이산화탄소 농도가 실외에 수렴하면서 기울기가 2개 이상 존재하는 경우를 나타낸다. 장시간 개방도 단시간 개방과 동일하게 ①번 기울기를 사용해도 되는지 확인을 위해 Figure 4에 풍속의 절대값 변화량을 나타냈다. 창문개방당시(0 h)의 풍속을 0으로 두고 이

후의 창문개방시간에 따른 풍속의 변화량의 평균값과 표준편차를 나타낸다. 분석결과 창문개방시간이 4시간 미만일때는 약 0.5 m/s 이하의 변화량을 나타냈으며, 편차도 작은 것으로 분석되었다. 이후 시간대에서는 변화량과 편차가 증가하는 것으로 나타났다. 어느 정도 풍속의 변화량의 차이는 있었지만, 세대의 평균 창문개방시간이 4시간 미만인 것을 미루어 보았을 때, 장시간 개방 시에도 기울기 ①번을 이용하여 자연환기량을 도출하였다.

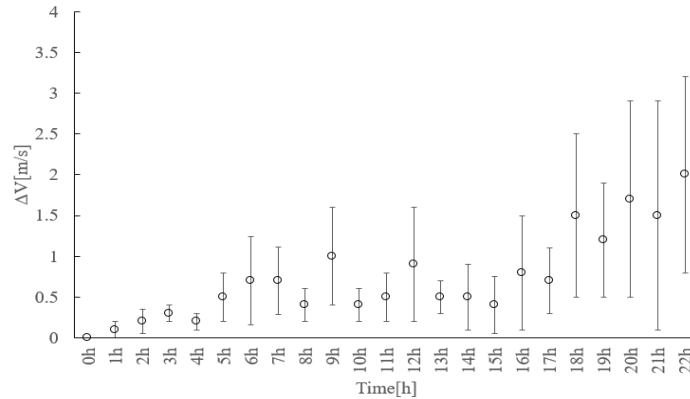


Figure 4. Changes of wind speed while opening the window

환기부하 추정방법

도출한 자연환기량을 토대로 환기에 따른 냉·난방부하 도출에 관련된 식을 수식 (3)에 나타냈다. 도출된 자연환기량을 1일동안 체적에 비례하여 환기한 수치를 나타낸 1일 자연환기횟수를 대입하여 전열량 q 값을 도출하였다.

$$q = 0.33 * n * V * \Delta t \quad (3)$$

[q]: 전열량

[n]: 1일 자연환기횟수[회/day]

[V]: 세대의 체적

[Δt]: 창문개방시 실내외 온도차

결과 및 토의

실외 환경

해당 측정기간이 우리나라의 기상조건을 대표할 수 있는지를 분석하기 위해 Figure 5에 측정 기간중 외기온도를 나타냈다. Figure 5의 (a)는 해당지역 수원시의 표준기상데이터의 일평균 외기온도와 A,B,D 단지의 일평균 외기온도를 비교한 그림이며, (b)는 해당지역 서울의 표준기상데이터와 일평균 외기온도를 나타낸 그림이다. 두 그림 모두 측정시기의 측정단지가 표준기상데이터와 비교하였을 때 패턴이 비슷하게 분포되어있는 것으로 분석되었으며, 이는 측정한 시기의 일평균 실외온도가 한국의 실외온도를 대표할 수 있는 시기라고 판단된다.

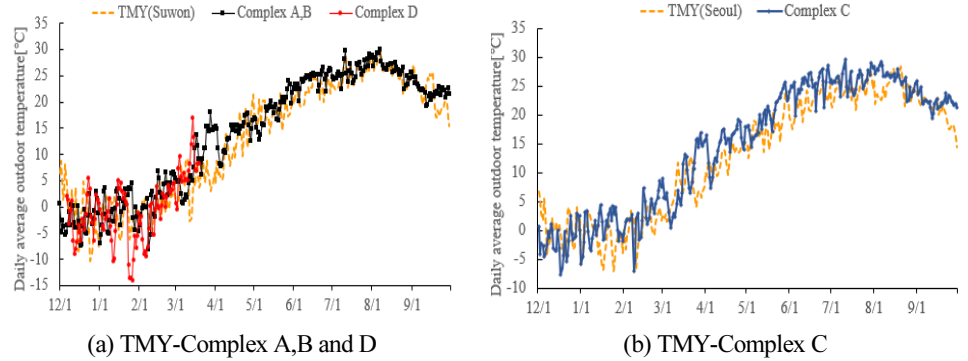


Figure 5. The comparison of Typical Meteorological Year (TMY) of outdoor temperature with measurement period

실내 환경

Figure 6의 (a)는 전체 세대의 실내온도 분포를 나타낸다. 검은색 점은 전체 30세대의 평균을 나타내고, 분홍색 범위는 30세대 중 최대 실내온도 값과 최소 실내온도 값을 나타낸다. 난방기의 기준으로 보는 3월까지의 데이터를 분석해보면 세대는 평균 21°C을 나타냈지만, 세대별 실내온도의 편차가 큰 것으로 나타났고, 중간기와 냉방기에는 세대별 편차가 크지 않은 것으로 나타났다. 이를 통해 유사한 기후조건에서도 거주자들은 환경조절행동을 통해 실내 온도를 다르게 유지하는 것으로 나타났으며, 특히 난방기의 편차가 큰 것으로 분석되었다.

Figure 6의 (b)는 실내 이산화탄소의 분포를 나타낸다. 검은색 점은 세대별 평균을 의미하고 초록색 범위는 실내 이산화탄소의 최대값과 최소값을 나타낸다. 세대의 이산화탄소 수치는 난방기에 평균 1000 ppm을 초과하였으며, 중간기에서 냉방기로 갈수록 수치 자체가 외부 이산화탄소 412 ppm에 거의 수렴하는 것으로 나타났다. 이는 추운 난방기에는 창문개방 및 환기행위를 거의하지 않아 실내 이산화탄소가 포화되어 높게 유지되는 것이며, 중간기와 냉방기에는 환기행위를 통한 냉각효과를 기대하고 자주 길게 환기행위를 함으로써 이산화탄소가 낮게 유지되는 것으로 판단된다.

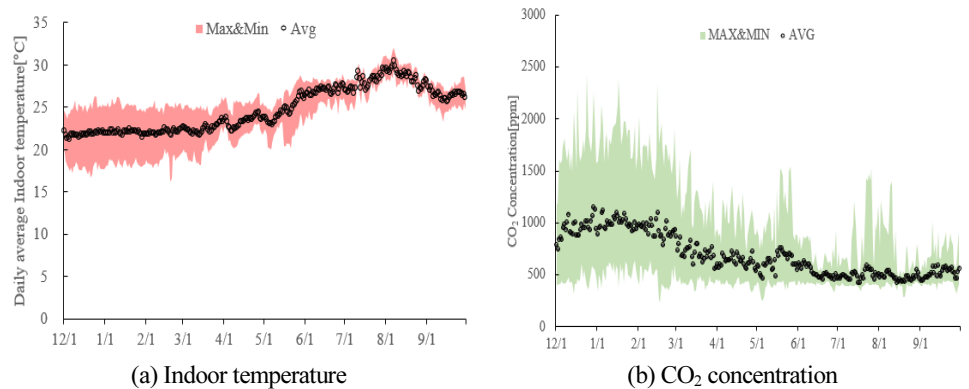


Figure 6. The distribution of indoor environment

거주자의 창문개폐행위와 자연환기량 분포

창문개방행위 모니터링

일평균 실외온도에 따른 거주자의 창문개방행위를 Figure 7에 나타냈다. Figure 7에서의 하얀색 동그라미는 일평균 실외온도에 따른 창문개방 시간을 검은색 동그라미는 개방빈도를 나타낸다. 선행연구들과 마찬가지로 거주자들의 창문개방시간과 창문개방빈도는 외기온도에 영향을 받고 있으며, 난방기에는 현저히 적게, 중간기 약 일평균온도 17°C 이후로는 급격하게 증가하였다가 냉방기 약 일평균온도 약 26°C 이후로 다시 줄어드는 추세인 것을 알 수 있었다. 이는 거주자들이 실외의 환경조건에 따라 실내의 쾌적함을 위해 환경조절 행동을 하는 것이라고 판단된다.

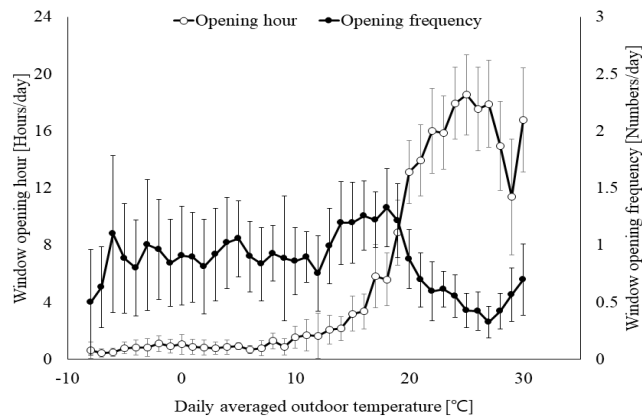


Figure 7. Window opening hours and window opening frequency in relation to daily averaged outdoor temperature

자연환기량 분포

이산화탄소 농도 감쇠법을 이용하여 자연환기량을 도출하였고, 그 결과를 Figure 8에 나타냈다. Figure 8(a)는 월별 공동주택 거주자들의 창문개방시 평균 자연환기량(m^3/h)을 나타낸다. 분석 결과 난방기와 냉방기에서의 자연환기량의 수치는 중간기와 비교하였을 때, 편차가 비교적 작았으며, 이는 국내기후의 뚜렷한 계절풍 때문이라고 판단된다.

Figure 8(b)에서는 공동주택 거주자들의 일평균 외기온에 따른 평균 1일 자연환기횟수(회/day)를 나타내며, ASHRAE (62.2-2016)와 국토교통부(MOLIT)의 환기 기준과의 비교를 실시하였다. 여기서 1일 자연환기 횟수란 1일동안 체적에 비례하여 몇회의 환기를 행하였는가를 나타낸다. 실외온도 18°C 이하에서 거주자들은 환기량을 ASHRAE 및 국토교통부 권장 기준 이하로 실시하였으며, 세대별 환기횟수 편차가 작게 나타났다. 실외온도 19°C 이상에서는 ASHRAE 환기권장 기준 이상으로 실시하였으며, 22°C 이상에서는 국토교통부 기준 이상으로 환기행위를 실시하는 것으로 나타났다. 그러나 환기횟수의 편차는 난방기 보다 심한 것으로 나타났다.

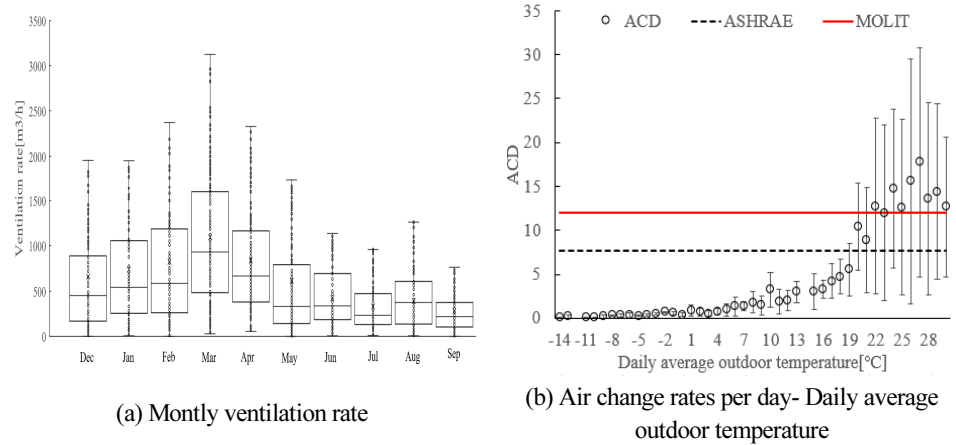


Figure 8. Ventilation behavior of all samples

국내외 공동주택에서의 자연환기량 비교

우리나라 거주자들이 행하는 환기횟수와 국외에서의 환기횟수를 비교한 그림을 Figure 9에 나타냈다. (a)는 냉방기의 환기횟수를 (b)는 난방기의 환기횟수를 나타낸다. 우리나라의 냉방기의 환기횟수는 약 15회/day를, 타 유럽 국가들은 10회/day를 나타냈다. 이는 우리나라의 기후특성상 냉방기의 높은 실외온도에 따라 거주자들이 냉각효과를 기대해 장시간 환기를 행하는 것으로 판단된다. 이에 반해 난방기 경우 우리나라는 약 0.4회/day를 보였으며, 이는 유럽에서 한대성 기후에 속하는 유럽 국가인 핀란드, 노르웨이, 스웨덴과 비슷한 수준의 환기를 하는 것으로 나타났다.

Figure 10은 냉방기와 난방기의 평균 외기온에 따른 1일 자연환기횟수 분포를 나타낸다. 냉방기 (a)의 외기온에 따른 1일 자연환기횟수의 상관관계는 크게 나타나지 않았는데, 이는 Figure 10(a)에 나타났듯이, 실외온도가 20°C이상에서는 세대별 1일 자연환기횟수 편차가 크기 때문에 상관관계를 찾기 어려운 것으로 판단된다. 반면에 난방기에서는 어느정도 실외온도에 따른 자연환기횟수의 패턴은 유의미한 패턴을 나타내는 것으로 조사되었다.

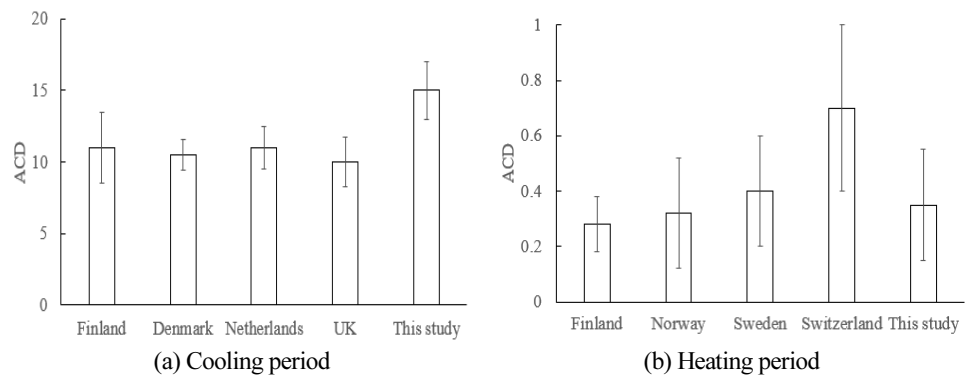


Figure 9. The Comparison of Air change rate per day (ACD) in this study with Europe countries

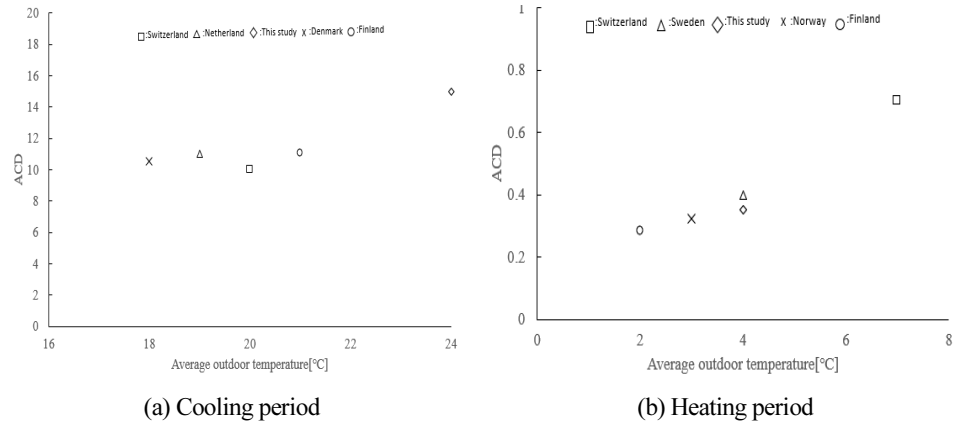


Figure 10. The Air change rate per day (ACD) in relation to average outdoor temperature

환기부하

1일 자연환기횟수에 따른 거주자들의 연간 환기부하를 Figure 11에 나타냈다. (a)는 난방기에서의 열 손실이며, 빨간색 영역표시는 거주 세대들 중 환기를 통한 최대 및 최소의 열손실의 범위를 나타내며, 세모표식은 해당 세대들의 평균 열손실을 나타낸다. 거주세대들의 난방에너지 소비량이 최소 18 kWh, 최대 60 kWh를 소비한 결과와 비교하여, 열손실은 최소 0 kWh, 최대 1.5 kWh를 나타내는 것으로 보아 난방기에서의 열손실은 거주자들의 미비한 환기행동으로 인해 거의 나타나지 않았다.

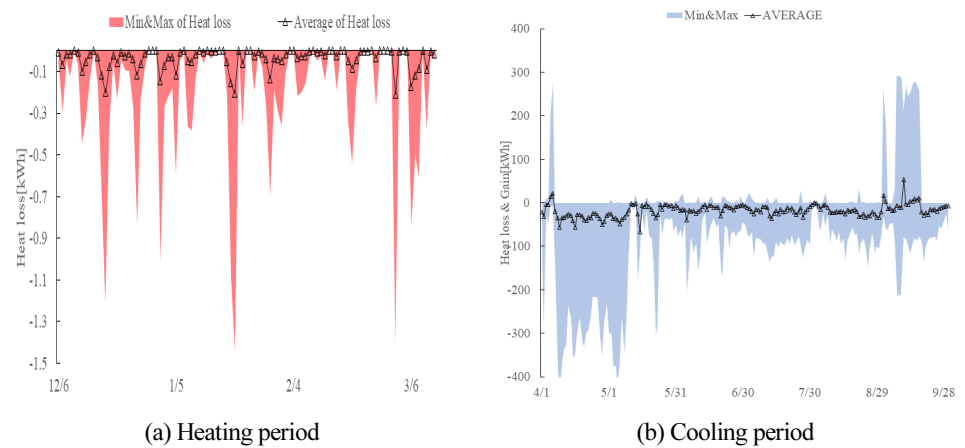


Figure 11. The Heat and loss in relation to ventilation rates in residential building

Figure 11(b)는 중간기-냉방기의 1일 환기횟수에 따른 열손실 및 열취득을 나타낸다. 난방기와 비교하였을 때, 중간기-냉방기의 환기행위는 난방기보다 자주, 길게 행한 결과로 인해 열손실 및 열취득량의 수치가 크게 나타났다. 중간기에서의 대부분의 세대들은 창문 개방을 통해 열 손실을 유발하였으며, 이는 세대들이 냉각효과를 기대하여 창문개방을 실시하는 것으로 판단된다. 그러나 냉방기에 같은 시기임에도 불구하고 세대별 열손실 및 열취득량이 편

차가 큰 것으로 나타났다. 최대 편차를 나타내는 9월 13일 분석결과 A1 세대의 경우 오후 17시부터 24시까지 개방하였고 이때의 실외온도의 평균은 약 20°C를 나타냈다. 반면에 B3세대의 경우 오후 13시부터 16시까지 개방하였고 이때의 실외온도의 평균은 약 25.7°C를 나타냈다. 이는 개방되는 시간대에 따라 열손실이 되거나 열취득이 되는 것을 의미한다. 따라서 하이브리드 환기시스템을 구성할 경우 실외의 온·습도에 따른 자연환기 및 기계환기를 선제적으로 예측하고 행한다면 실내의 냉·난방 부하를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 실내공기질 측면에서 큰 효과를 발휘할 것이라고 판단된다.

결론

본 연구에서는 공동주택을 대상으로 창문개방행위에 따른 자연환기량을 분석하고 이에 따른 환기로 인한 부하발생을 분석하였다.

실외 환경 분석 결과 해당 측정기간이 우리나라의 날씨를 대표할 수 있는 것으로 나타났다. 거주자의 창문개방행위는 선행연구와 마찬가지로 일평균 실외온도에 따라 조절하는 것으로 나타났으며, 도출된 1일 자연환기횟수 역시 실외온도에 따라 조절하는 것으로 나타났다. 거주자들은 난방기로 판단되는 실외온도 18°C이하에서는 ASHRAE 및 국토교통부 권장기준에 미치지 못하는 환기행위를 보여주었고, 중간기 및 냉방기로 판단되는 실외온도 19°C 이상에서는 기준 이상으로 실시하였지만 거주자들의 환기행위에 대한 편차가 큰 것으로 나타났다. 우리나라 거주자들의 환기행위를 유럽국가들과 비교하였을 때, 냉방기에서는 보다 활발하게 행하였고, 난방기에서는 스위스를 제외한 추운 국가와 비슷한 수준으로 행하는 것으로 나타났다.

국내 거주자들의 창문개방으로 인해 환기부하는 난방기에서는 모두 열손실을 초래하였지만, 난방에너지 소비량이 최소 18 kWh에서 최대 60 kWh 분포함과 비교하여, 환기부하는 최소 0 kWh에서 최대 1.5 kWh 분포하는 것으로 나타났다. 이는 국내 거주자들이 추운 난방기에서의 환기행위가 크게 부족함을 나타낸다고 볼 수 있다. 반면에 냉방기에서는 냉각효과를 기대하여 보다 자주 길게 환기행위를 행하였으나, 세대별로 열손실 및 열취득량이 차이가 나타났다. 추후 연구에서는 장시간 창문개방 시의 자연환기량을 정도 높게 예측할 수 있는 방법과 함께 창문개폐 알고리즘을 에너지 시뮬레이션 프로그램에 탑재하여 자연환기에 따른 냉·난방 부하를 도출하고자 하며, 이는 더 정확한 에너지소요량의 예측과 쾌적한 실내공간을 제공하여 친환경 건축물 구축에 기여할 것이라고 판단된다.

후기

이 논문은 2022년도 한국연구재단의 지원(No. 2020R1A2C2011260)지원으로 수행한 연구임.

References

1. Jeong, B.C., Jeong, J.W., Park, J.S. (2016). Occupant behavior regarding the manual control of windows in residential buildings, *Energy and Buildings*, 127, 206-216.
2. Morrison, G., Cagle, J., Date, G. (2021). A national survey of window-opening behavior in United States homes. *Indoor Air*, 32, 1-15.
3. Park, J.S., Kim, H.J. (2012). A field study of occupant behavior and energy consumption in apartments with mechanical ventilation. *Energy and Buildings*, 50, 19-25.
4. Raja, I.A., Nicol, J.F., McCartney, K.J., Humphreys, M.A. (2001). Thermal comfort : use of controls in naturally ventilated buildings. *Energy and Buildings*, 33, 235-244.
5. Verbruggen, S., Delghust, M., Laverge, J., Janssens, A. (2021). Habitual window opening behaviour in residential buildings. *Energy and Buildings*, 252.
6. Zhou, P., Wang, H., Li, F., Dai, Y., Huang, C. (2022). Development of window opening models for residential building in hot summer and cold winter climate zone of China. *Energy and Built Environment*, 3, 363-372.
7. Ministry of Land, Infra structure and Transport (MOLIT). (2017). The regulation on building mechanical facilities, article 11.
8. Ministry of Land, Infra structure and Transport (MOLIT). (2018). The service of building energy data (2017).
9. Turner, C., Frankel, M. (2008). *Energy Performance of LEED for New Construction Buildings*. Vancouver, WA: New Buildings Institute, Council UGB.
10. Jeong, B.C. (2016). Occupant behavior regarding the manual control of windows in residential buildings. Master thesis, Hanyang University.
11. Lee, J.R. (2017). Effects of occupants' window opening on heating energy consumption in residential building. Master thesis. Hanyang University.
12. Pei, Y.L. (2017). Modeling for occupant window opening behavior in residential buildings. Master thesis, Hanyang University.
13. Yoo, J.H. (2020). Natural cross ventilation rates by occupants' window opening behavior in residential buildings. Master thesis. Hanyang University, Korea.
14. ASHRAE. (2016). Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, ASHRAE 62.2.