



대학교 기숙사 수면 시간대의 환기여부에 따른 실내공기질 차이분석

Difference Analysis on Indoor Air Quality

by Ventilation during Sleeping Time in University Housing

최윤정* · 이기연 · 백광현 · 강나은
충북대학교 주거환경학과

Choi, Yoon Jung* · Lee, Gi Yeon · Baek, Gwang Hyeon · Kang, Na Eun
Dept. of Housing & Interior Design, Chungbuk National University

Abstract

The purpose of this study was to find out the how ventilation affected the condition of indoor air quality during sleeping time in university housing and to propose plans for improving that air quality. Air quality measurements were taken in six rooms occupied by male students in university housing. Three sets of two rooms each on the same floor were studied, three with ventilation (control group) and three without ventilation (comparison group). CO, CO₂, PM₁₀, HCHO were measured, as well as background readings for indoor temperature and relative humidity. Each field measurement was taken simultaneously in one set of two rooms on one night during the winter of 2016. The results showed that the CO₂ concentrations of the subjects were generally higher than the standard, but CO, PM₁₀ and HCHO concentrations were lower than standards. When the rooms were ventilated by opening the window, indoor temperature, relative humidity, and CO, CO₂ and HCHO levels dropped, but PM₁₀ concentration became higher. These results indicate that the installation of a ventilation system is needed for energy efficiency and residents' health.

Key words: Indoor Air Quality, Ventilation, Sleeping Time, University Housing

I. 서론

1. 연구의 목적 및 필요성

대학 기숙사는 단순히 숙식을 제공받는 공동생활시설 이상으로 학생에게는 개인위생과 재충전을 위한, 강

의실만큼이나 학교생활에서 많은 비중을 차지하는 매우 중요한 공간이다. 본 연구의 조사대상인 C대학교에는 총 4,132명의 기숙사 거주자가 생활하고 있는데 이는 총 학생 수의 약 27%에 해당된다.(dorm.chungbuk.ac.kr) 그런데 기숙사에 거주하고 있는 학생들은 대체로 아침식사 후 등교하여 수업, 과제, 아르바이트 등을 마

이 논문은 2017년도 한국생활과학회 하계학술발표대회의 발표내용을 확장한 것임.

* Corresponding author: Choi, Yoon Jung
Tel: +82-43-261-2714, Fax: +82-43-276-7166
E-mail: ychoi@cbnu.ac.kr

© 2017, Korean Association of Human Ecology. All rights reserved.

치고 낮은 귀가를 한다. 따라서 학생들이 기숙사 내에 머물러 있는 시간 중 실내환경에 가장 오랫동안 노출되는 시간은 수면시간으로 볼 수 있다.

수면의 질을 확보하기 위해서는 적절한 온도조건, 침입 광과 소음의 차단과 함께 건강한 실내공기질의 조성이 매우 중요하다. 건강한 실내공기란 오염물질을 포함하지 않을뿐 아니라 충분한 산소를 포함하고 있으며, 탄산가스 농도가 외기중의 농도보다 낮고 정상적인 공기이온을 포함하고 있는 공기를 의미한다. 기숙사 생활실은 좁은 면적으로 인해 공기체적이 적고 환기시스템이 설치되어 있지 않은 경우가 일반적이며, 거주자가 의식적으로 계획적인 환기를 실시한다고 보기 어려우므로, 기숙사 실내공기질의 조성에는 적절한 환기가 중요하다. 그리고 실내공기질 관리에 환기와 더불어 가장 기본적인 것은 정리와 청소이며, 이는 미세먼지 제거에도 관계된다. 하지만 기숙사 거주중인 학생들 중 특히, 남학생들은 생활 습관상 정리와 청소에 미진할 가능성이 있다.

이에 남학생 기숙사 생활실의 실내공기질은 어떠한지 그 실태를 파악하고 개선이 필요한지 검토하는 것은 매우 의미가 있다고 생각된다. 실태파악을 위해서는 기본적으로 학생들의 생활을 그대로 수용한 상태에서의 조사가 필요하며 개선방안 도출을 위해서는 실내공기질의 실태에 가장 크게 영향을 주는 환기에 따른 차이를 살펴 볼 필요가 있다. 지금까지 수면 시간대의 실내공기질에 대한 연구는 소수 진행되었는데 측정공간은 공동주택의 침실(Ahn, 2003; Kim et al., 2007; Ryu et al., 2013), 공조연구실(Kim et al., 2011), 수면검사실(Na et al., 2012)이었고 기숙사 생활실을 대상으로 한 연구는 없었다.

따라서 본 연구는 대학교 남학생 기숙사 생활실 수면 시간대의 실내공기질 실태에 대해 창호개방환기에 따른 차이를 파악하여 개선방안을 제안하는 것을 목적으로 한다.

II. 문헌고찰

1. 선행연구

‘기숙사’, ‘수면’, ‘실내공기질’, ‘환기’를 키워드로 2017년 3월까지 검색한 선행연구를 고찰하여, 본 연구에 직접 관련되는 주요결과를 요약하면 다음과 같다.

수면 시간대의 공동주택 침실을 측정공간으로 한 연구로써, Ahn(2003)은 25평형, 30평형 아파트 침실의

실내 CO₂농도를 측정된 결과, 1인 취침시 1,600ppm, 2인 취침시 2,500ppm으로 실내공기질 권고기준인 1,000ppm을 초과하였고 측정 중 방문을 열었을 때는 실내 CO₂농도가 1,000ppm으로 감소하는 것으로 측정되었으며, 주방과 화장실의 배기구의 성능 측정결과 실내공기질 유지에 도움이 되는 것으로 나타났다. Kim et al.(2007)은 공동주택 침실에서 수면 시간대의 실내공기환경을 측정하였는데 2인 수면 중의 22m², 33m²의 침실에서 실내 CO₂농도는 최고 3,384ppm, 2,557ppm으로 기준치를 초과하였고 실내 CO, HCHO, PM₁₀농도는 기준치를 초과하지 않았다. 결과적으로, 높은 실내 CO₂농도를 낮추기 위하여 적극적인 환기 또는 실의 체적에 대한 고려가 필요하다고 하였다. Ryu et al.(2013)은 아파트에서 크기가 다른 공간에서 환기여부를 달리하여 수면 시간대의 실내 CO₂농도를 측정하였다. 그 결과 같은 방에서 창을 개방하여 환기를 하였을 경우 실내 CO₂농도가 평균 700ppm으로 기준치를 초과하지 않았지만, 환기를 하지 않았을 경우 CO₂농도가 최대 2,160ppm으로 기준치를 초과하였다. 또한 공간의 확대에 따라 CO₂농도가 감소한 것을 확인할 수 있지만 가장 큰 96m² 측정공간에서도 CO₂농도가 최대 1,284ppm으로 기준치를 초과하였다.

실험공간에서의 연구로, Kim et al.(2011)은 공조연구실 환경챔버에서 2명이 취침시 환기 횟수에 따라 CO₂변화를 확인한 결과, 환기를 실시하지 않은 실험의 실내 CO₂농도는 최대 2,068ppm으로 환기를 0.3회, 0.7회를 실시한 실험의 실내 CO₂농도인 1,321ppm, 982ppm을 합한 농도와 비슷할 정도로 높은 CO₂농도를 나타내었고 온도에 따라 인체에서 방출하는 CO₂는 큰 차이가 없었다. 환기횟수가 커짐에 따라 쾌적성은 높게 평가 되었다. 온열감에 대해서는 바닥온도 20℃에서는 바닥에 닿은 신체의 부위는 따뜻하고 실내공기에 노출된 머리와 발은 다소 춥다는 경향이 있었고, 30℃일 때는 바닥을 뜨겁게 느끼고 잠을 설치는 경향이 있었으므로 적절한 온도를 유지하는 것이 필요하다고 하였다. Na et al.(2012)은 수면검사실에서 환기팬에 의해 실내 CO₂농도가 조절되는 환경과 그렇지 않은 환경에서 피험자 1인이 수면할 때 3일씩 CO₂농도를 측정된 후 수면다원검사를 통해 분석하였다. 그 결과 실내 CO₂농도가 환기팬을 가동하였을 때는 평균 699ppm으로 환기팬을 가동하지 않았을 때 평균 2,482ppm보다 낮았으며, 피험자는 총 깨어나있는 시간이 감소하였고 안정적인

인 수면단계와 NREM Sleep이 증가하였다.

이상에서, 수면 시간대의 실내공기질에 관한 논문은 5편이 있었지만, 기숙사 생활실을 측정공간으로 한 논문은 없었다. 또한, 이들 연구는 주로 CO₂를 측정항목으로 하였고, 미세먼지를 측정한 논문은 1편뿐이었으며, 창호를 개방하여 환기여부에 따라 실내공기질을 파악한 논문도 1편뿐이었다. 이들 연구의 주요결과를 종합해보면, 수면 시간대의 CO₂농도는 대체로 기준치를 초과하였고 CO₂농도를 감소시키기 위해서는 공간의 체적보다는 환기가 더 큰 영향을 주는 것으로 파악되었다.

2. 관련법규 및 측정평가기준

현재, 공동주택의 실내공기질 관련법규는 「실내공기질 관리법」(2016. 3. 29)에서 신축공동주택의 입주전 공기오염물질의 농도를 측정하도록 규정하고 있고, 이의 측정기준은 ‘실내공기질공정시험기준’(2010. 3. 5)의 신축공동주택 실내공기질 시험방법을 따른다. 그러나 거주중인 주택의 실내공기질 관련 법규는 전혀 없는 상태이다. 하지만 다중이용시설의 경우 사용중인 상태의 실내공기질을 측정점검하도록 규정되어 있으므로, 본 연구에서 거주중인 기숙사의 측정은 ‘실내공기질공정시험기준’의 다중이용시설 실내공기질 시험방법을 원칙적으로 적용하였다.

측정항목의 평가기준은 「실내공기질 관리법 시행규칙」 [별표2] (2015. 11. 18)의 실내공기질 유지기준 중 공동주택과 유사한 의료기관·산후조리원·노인요양시설·어린이집 시설군 기준인 CO₂ 1,000ppm이하, CO 10ppm이하, PM₁₀ 100µg/m³ 이하, HCHO 0.08ppm 이하를 적용하였다.

Ⅲ. 연구방법

1. 조사대상

본 연구는 남학생 기숙사에서 수면 시간대 창호개방에 따른 실내공기질 차이를 분석하는 것을 목적으로 하여, 조사대상은 C대학교 남학생 기숙사 6개실로써, 같은 층의 동일형태의 2개실을 환기실시조건(조절군: 밤 1시 환기시작)과 미실시조건(대조군: 평소 그대로)의 페어로 하여 3세트를 측정하였다. 측정 협조 의사 이외의 다른 조건은

고려하지 않았으며, 조사대상인 기숙사는 대부분 2인실이므로 2인실을 조사대상으로 하였다.

2. 조사내용 및 방법

현장측정은 1개 세트의 2개실을 동일한날 동시에 2016. 11. 17-18, 2017. 1. 1-2 2017. 1. 25-26일에 측정을 진행하였다. 측정시간은 사전 협조 의사 탐색시 수면시간으로 조사된 오전 1시부터 오전 6시 30분까지와 취침시작시간 전 2시간을 포함하여 오후 11시부터 오전 6시 30분까지로 하였다. 측정요소는 CO, CO₂, PM₁₀, HCHO농도와 배경요소로써 실내온도, 상대습도를 측정하였으며, 측정기기는 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Measuring elements and instruments

Elements	Instruments
Indoor temperature, Relative humidity, CO ₂ Concentration, CO Concentration	Direct Sense™ IAQ LAP, KANOMAX IAQ Monitor Model 2211-01
PM ₁₀ Concentration	KANOMAX-Model 3442
HCHO Concentration	Formaldehyde Multimode Monitor FM-801

현장측정의 진행은 측정일 오후 10시에 측정자가 측정 공간에 도착하여 방의 중앙부에 측정기기를 설치하여 안정화시키는 동안 거주자에게 연령, 건강상태, 흡연여부, 환기정도, 저녁시간의 주된 생활행위를 질문하고 기록하였다. 또한 거주자에게 평소대로 생활하면서 관련요인을 기록해줄 것을 설명한 후 퇴실하였다. 측정은 오후 11시부터 30분 간격으로 자동기록하였고 측정조건인 환기는 실제 취침 직전인 오전 1시에 조절군 3개실에서 창문을 약 1/4 개방하고 나머지 대조군 3개실은 창문을 닫은 상태로 취침하였다.

배경항목으로 일산화탄소 농도와 미세먼지의 외부 농도는 한국환경공단 에어코리아에서 측정대상과 가장 근접한 장소의 측정일 자료를 검색하여 이용하였다. 건축적 특성, 설비특성, 리모델링 여부 등은 조사대상 기숙사 행정실에 문의하여 조사하고 거주공간을 사진촬영 및 관찰하여 확인하였다.

3. 분석방법

현장조사 자료는 각 공간별 측정치와 영향요인을 표로 작성하였으며, 각 실별 측정치를 관련법규의 기준치와 비교, 환기여부에 따른 비교, 실간 비교, 시간변동 특성 및 원인분석, 선행연구 측정결과를 참고로 해석을 통해 남학생 기숙사의 환기여부에 따른 실내공기질 차이를 분석하였다.

IV. 조사결과 및 해석

1. 조사대상의 특성

조사대상의 특성과 모습은 <Table 2>~<Table 3>와 같이 A~D실이 위치한 기숙사는 1991년 3월 개관하였고 지상 5층 규모의 콘크리트 라멘조이다. A와 B실은 4층, C와 D실은 1층에 위치하고 있다. 이 거주동은 교내에 위치하여 동·남·북쪽 방향으로 수립대가 있고 서쪽 약 30m 거리에는 생활관리동, 이로부터 50m 거리에는 상업지구가 위치해있다. 그리고 2012년 6~9월에 단열성과 기밀성의 개선을 위한 그린리모델링을 실시하였고, 각 실의 면적은 13.5m², 환기설비는 없으며, 난방설비는 동관삽입형 고효율알루미늄 온수방열기로 관리실

에 의해 실외온도가 일정온도이하일 때 난방이 되는 방식이다.

E실과 F실이 위치한 기숙사는 2015년 3월 개관한 지상 14층 규모의 거주동으로, E실과 F실은 4층에 위치해있다. 교내에 위치하여 동·남·북쪽 방향으로 수립대가 있고, 서쪽 방향으로 대학건물이 다수 위치해 있다. 생활실마다 화장실과 발코니가 있고, 화장실 내에 환기팬이 설치되어 있다. 난방방식은 개별 온도조절방식으로 바닥난방이고, 실의 면적은 19m²이다.

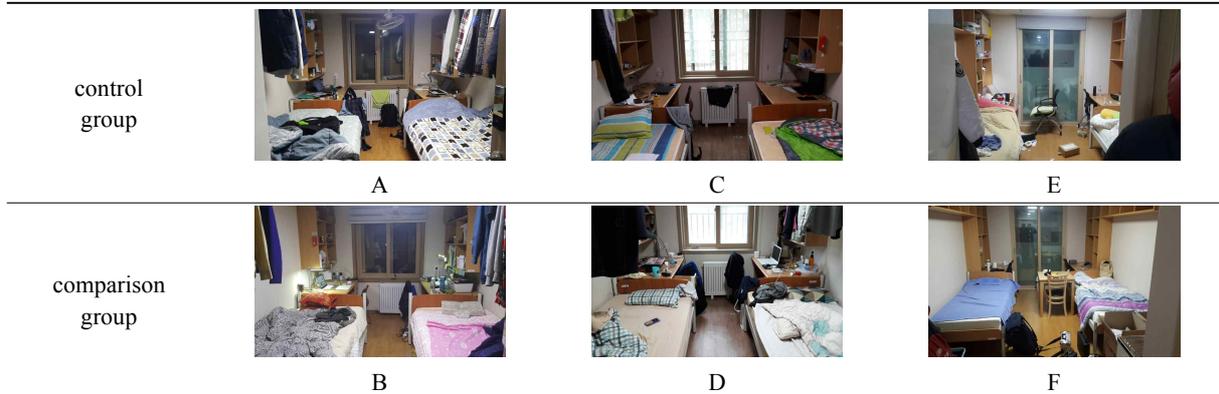
측정실의 거주자들은 20~28세 남학생으로서, 기숙사 내 저녁시간대 주된 생활행위는 대부분 컴퓨터 사용이었으며, B실과 E실, F실의 경우 과제, 약속, ROTC 훈련으로 인하여 밤늦게 귀가하는 경우가 잦았다. 휴먼자는 B실과 C실, E실에 각 1명씩 거주하고 있었다.

측정 당일, A실은 거주자 2명 모두 샤워실 사용시간을 제외하고 실에 재실하고 있었고, B실은 거주자 중 1명이 측정시작전 외출하여 1시에 귀가 후 취침하였다. C실은 거주자 중 1명이 23시 15분 외출하여 1시에 귀가 후 취침하였고, D실은 거주자 중 1명이 측정시작전 외출한 후 23시 20분에 귀가하였다. 귀가 직후 약 40분간 창문개방을 통한 환기를 실시하였고, 24시 30분에 섬유탈취제를 사용 후 취침하였다. E실은 거주자 2명 모두 측정시간동안 재실하고 있었고, F실은 거주자 중 1명이 측정시작전 외출

<Table 2> Characteristics of the subjects

	A	B	C	D	E	F
Measuring date	2016.11.17-18		2017.1.1-2		2017.1.25-26	
Measurement condition	control group	comparison group	control group	comparison group	control group	comparison group
Building completed year	1991. 03 Green remodeling in 2012				2015. 03	
Floor	4F	5F	1F	4F	4F	14F
Area	13.5m ²				19m ²	
Ventilator	None				Ventilator in bathroom	
Heating system	Radiator heating control by management office				Floor heating by individual control	
Building exterior						

<Table 3> Indoor appearance of the subjects



하여 12시 10분에 귀가하였으며, 실내방향제가 비치되어 있었다. 흡연자가 B실, C실과 E실에 1명씩 거주하고 있었지만, 실내에서 흡연하지 않았다.

2. 측정요소별 분석결과

배경요소인 실내온도 측정결과, A실은 환기전 23.2~24.6(평균 24.2)℃, 환기후 21.5~24.0(평균 22.5)℃이었으며, B실은 23.3~24.0(평균 23.6)℃, C실은 환기전 23.9~24.9(평균 24.6)℃, 환기후 16.4~25.0(평균 19.7)℃, D실은 24.4~27.1(평균 26.6)℃, E실은 환기전 21.1~21.7(평균 21.4)℃, 환기후 20.7~22.2(평균 21.2)℃, F실은 26.9~28.2(평균 27.6)℃으로 나타났다. 상대습도는 A실은 환기전 45.8~48.3(평균 47.6)%, 환기후 36.2~38.1(평균 36.7)%이었으며, B실은 35.6~42.6(평균 39.9)%, C실은 환기전 39.4~40.7(평균 40.2)%, 환기후 33.9~42.5(평균 37.8)%, D실은 25.6~35.8(평균 31.4)%, E실은 환기전 26.0~30.7(평균 27.3)%, 환기후 22.4~24.9(평균 23.0)%, F실은 27.4~32.7(평균 30.9)%으로 나타났다. 대체로 겨울철의 실내온도와 상대습도의 일반적 범위에 해당한다고 볼 수 있으나 창문개방을 통한 환기에 의해 실내온도와 상대습도가 저하되는 것을 확인할 수 있었다.

측정결과의 요약은 <Table 4>와 같고 측정요소별 분석 결과는 다음과 같다.

1) 이산화탄소

① 평가기준과의 비교

이산화탄소 농도 측정결과, A실은 환기전 2,265~2,794(평균 2,515)ppm, 환기후 705~1,030(평균 772)

ppm이었으며, B실은 1,250~2,422(평균 1,722)ppm, C실은 환기전 1,250~1,320(평균 1,292)ppm, 환기후 610~938(평균 717)ppm, D실은 705~2,048(평균 1,585)ppm, E실은 환기전 1,058~1,230(평균 1,124)ppm, 환기후 765~1,021(평균 849)ppm, F실은 954~1,731(평균 1,389)ppm으로 나타났다. 모든 실의 최고치는 1,230~2,794ppm으로 평가기준을(1,000ppm)을 모두 초과하였고, 이는 이론상(Yoon & Choi, 2014) 호흡기, 순환기, 대뇌기능에 영향을 주기 시작하는 농도~매우 불량하다고 인정되는 양이다. 실별 평균치는, 조절군(환기를 실시한 3개실)의 환기전 평균치는 1,124~2,515ppm으로 모두 기준치를 초과하였으나, 환기후에는 717~849ppm으로 기준치를 초과하지 않았다. 대조군(환기를 실시하지 않은 3개실)의 평균치는 1,389~1,722ppm으로 모두 기준치를 초과하였고, 최고치는 1,731~2,422ppm으로, 기준치의 2배에 육박하는 것으로 나타났다. 즉, 기숙사 생활실 이산화탄소 농도는 대체로 기준치를 초과한 상태였고, 환기미실 시시간의 농도가 환기실시 시 농도에 비해 훨씬 높은 것으로 나타났다. 이는 앞의 선행연구 고찰에서 LINA 외 4인(2012)의 연구에서 환기팬을 가동하지 않았을 때, 이산화탄소 농도가 평균 2,482ppm으로 나타난 것과 유사한 이산화탄소 농도이다. 이 연구에서는 이러한 환경에서 수면하는 경우 총 깨어있는 시간이 증가하고 안정적인 수면 단계와 NREM Sleep이 감소한다는 결과를 보였다. 이로 볼 때 본 연구 조사대상 거주자의 수면의 질도 영향을 받을 수 있는 환경으로 생각된다.

② 환기여부에 따른 비교

동일 실에서 환기전과 후의 이산화탄소 농도를 비교하면, A실의 경우 평균치는 환기전 2,515ppm에서 환기후 772ppm으로 1,743ppm이 감소하였다. 최소치는 2,265

〈Table 4〉 Summary of measured results

		A	B	C	D	E	F	
		control group	comparison group	control group	comparison group	control group	comparison group	
Outside CO(ppm)*		1.0		1.2		1.1		
Outside PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)*		152		92		54		
The number of occupant	23:00 ~ 24:00	2	1	2 (23:15)	1 (23:20)	0	1	
	24:00 ~ 01:00	2	1	1	2	2	2	
	01:00 ~ 06:00	2	2	2	2	2	2	
	06:00 ~ 06:30	2	1	2	2	2	1	
Special note		·Using cosmetics	·Using cosmetics		·Opening the window for 40 minutes ·Using fabric deodorizer	·Ventilator in bathroom	·Ventilator in bathroom ·Using diffuser	
CO ₂ (ppm)	Before control	Max	2,794	1,815	1,320	1,425	1,230	1,162
		Min	2,265	1,250	1,250	705	1,058	954
		Avg	2,515	1,442	1,292	1,023	1,124	1,006
	After control	Max	1,030	2,422	938	2,048	1,021	1,731
		Min	705	1,282	610	1,612	765	1,288
		Avg	772	1,849	717	1,840	849	1,563
CO (ppm)	Before control	Max	1.6	0.0	0.7	0.0	0.1	0.0
		Min	1.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
		Avg	1.5	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0
	After control	Max	1.3	0.0	0.1	0.0	0.3	0.0
		Min	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Avg	0.8	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Before control	Max	59	51	36	48	21	11
		Min	31	48	28	28	14	9
		Avg	37	50	30	37	17	10
	After control	Max	68	52	50	27	34	12
		Min	57	45	36	22	25	10
		Avg	62	49	44	24	29	11
HCHO (ppm)	Before control	Max	0.027	0.022	0.009	0.016	0.009	0.040
		Min	0.009	0.020	0.009	0.009	0.009	0.037
		Avg	0.020	0.021	0.009	0.011	0.009	0.038
	After control	Max	0.015	0.021	0.015	0.025	0.009	0.038
		Min	0.009	0.018	0.009	0.019	0.009	0.034
		Avg	0.010	0.019	0.011	0.024	0.009	0.036

Note. : Higher concentration than the other's in one set.

* Source : <http://www.airkorea.or.kr/realSearch> at 23 o'clock

ppm에서 705ppm으로 1,560ppm이 감소하였고 최대치는 2,794ppm에서 1,030ppm으로 1,764ppm이 감소하였다. 환기전의 최대·최소·평균치는 모두 기준치를 초과하였고, 환기후에는 최소치와 평균치는 기준치 이하로 감소하였고 최대치는 기준치와 비슷한 정도로 감소하였다. C실의 경우

평균치는 환기전 1,292ppm에서 환기후 717ppm으로 575ppm이 감소하였다. 최소치는 1,250ppm에서 610ppm으로 640ppm이 감소하였고 최대치는 1,320ppm에서 938ppm으로 382ppm이 감소하였다. 즉, 환기전의 최대·최소·평균치는 모두 기준치를 초과하였고, 환기후에는 모두 기준

치 이하로 감소하였다. E실의 경우 평균치는 환기전 1,124ppm에서 환기후 849ppm으로 275ppm이 감소하였다. 최소치는 1,058ppm에서 765ppm으로 293ppm이 감소하였고 최대치는 1,230ppm에서 1,021ppm으로 209ppm이 감소하였다. 환기전의 최대·최소·평균치는 모두 기준치를 초과하였고, 환기후에는 최소치와 평균치는 기준치 이하로 감소하였고 최대치는 기준치와 비슷한 정도로 감소하였다. 즉, 동일 실에서 창이 1/4정도 개방하여 환기를 하면 기준치 이하의 이산화탄소 농도가 유지되는 것으로 판단된다.

환기시작 이후의 세트별 이산화탄소 농도를 비교하면, 조절군 중 A실과 대조군 중 B실의 경우 평균치는 각각 772ppm과 1,849ppm으로 1,077ppm의 차이가 나타났고 최소치는 705ppm과 1,282ppm으로 577ppm의 차이, 최대치는 1,030ppm과 2,422ppm으로 1,392ppm의 차이가 나타났다. A실은 최소치와 평균치는 기준치 미만이었으나 최대치는 기준치와 비슷한 정도였다. B실의 최대·최소·평균치는 모두 기준치를 초과하였다. 조절군 중 C실과 대조군 중 D실의 경우 평균치는 각각 717ppm과 1,840ppm으로 1,123ppm의 차이가 나타났고 최소치는 610ppm과 1,612ppm으로 1,002ppm의 차이, 최대치는 938ppm과 2,048ppm으로 1,110ppm의 차이가 나타났다. C실의 최대·최소·평균치는 모두 기준치 이하였고 D실의 최대·최소·평균치는 모두 기준치를 초과하였다. 조절군 중 E실과 대조군 중 F실의 경우 평균치는 각각 849ppm과 1,563ppm으로 714ppm의 차이가 나타났고 최소치는 765ppm과 1,288ppm으로 523ppm의 차이, 최대치는 1,021ppm과 1,731ppm으로 710ppm의 차이가 나타났다. E실은 최소치와 평균치는 기준치 이하였고, 최대치는 기준치와 비슷한 정도였다. F실의 최대·최소·평균치는 모두 기준치를 초과하였다. 즉, 대조군은 모두 이산화탄소 측정치가 기준치 이상이고 조절군은 기준치와 근접한 농도 이하로 유지되는 것으로 판단된다. 거주자의 생활을 수용한 상태에서 측정하여, 측정시간 중 B, D, F실의 재실자가 1명이었거나 늦은 시간부터 2명인 상태에서의 결과이므로, 저녁시간대 부터 2인이 재실 중에 수면하게 되는 경우 이번 측정결과보다 더 높은 이산화탄소 농도가 될 수 있다고 생각된다.

③ 실간 비교

환기시작 전까지 동일한 조건에서 6개실의 농도를 비교하면, A실은 평균 2,515ppm으로 가장 높았다. A실은 1시전 거주자 2명이 약 20분간 번갈아 샤워실에 간 것을 제외하면 2명이 계속해서 재실했다. B실은 23시 이전 거주자 중 1명 외출해 1시까지 1명이 재실했고, C실 또한

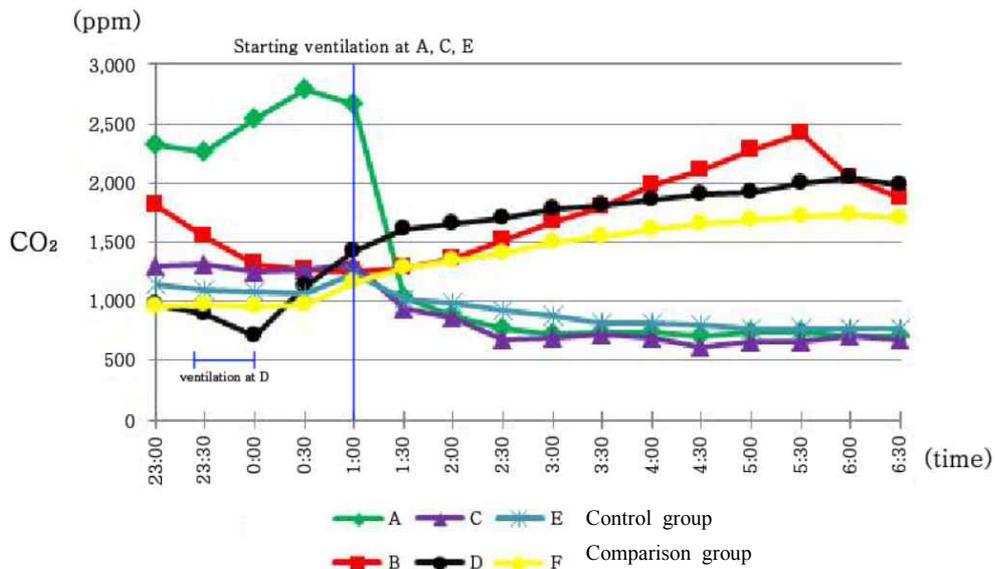
1명이 23시 15분 외출해 1시까지 1명이 재실했다. D실은 23시 이전 거주자 중 1명이 외출해 24시에 귀가하기 전까지 1명이 재실했고, 이후 2명이 재실하였다. E실은 거주자 2명이 모두 23시 이전에 외출해 24시 30분 귀가하기 전까지 재실자가 없었다. F실은 23시 이전 거주자 중 1명이 외출해 1명이 재실했다. 이외에 이산화탄소가 발생할 수 있는 다른 원인, 예를 들어 주택 내 이산화탄소 발생원인으로 알려져 있는 가스레인지 사용, 보일러 가동 등은 본 조사대상이 기숙사이므로 전혀 없다고 파악되었다. 따라서 A실의 농도가 가장 높았던 것은 거주자들의 재실시간과 관련이 있는 것으로 판단된다.

가장 농도가 낮은 공간은 D실과 E, F실이었는데, 각각 평균 1,023ppm과 1,124ppm, 1,006ppm이었다. D실은 거주자 스스로 23시 20분부터 40분간 창문개방 환기를 실시했고, E, F실은 욕실 내 환기팬이 설치되어 있었던 것이 영향요인으로 생각된다. E, F실의 관련요인 기록에 환기팬 가동은 남아있지 않아 거주자에게 추가질문을 하였는데 욕실 출입시 자주 가동한다고 하였다.

④ 시간변동 특성 및 원인분석

<Figure 1>과 같이, A실의 경우, 측정시작시간인 23시의 이산화탄소 농도는 2,317ppm이었고, 30분 후의 농도는 2,265ppm으로 소폭 감소했다. 감소원인으로는 거주자 중 1명이 샤워실에 가서 실내에 재실하지 않았기 때문으로 생각된다. 이후 24시 30분에 2,794ppm까지 증가하였는데 이는 재실자의 호흡만으로 이산화탄소의 농도가 증가한다는 것을 보여준다. 30분 후 2,661ppm으로 소폭 감소한다. 이는 거주자 중 다른 1명이 샤워실에 가서 실내에 재실하지 않았기 때문으로 생각된다. 측정조건에 따라 1시부터 환기를 실시하고 30분 후, 이산화탄소 농도는 1,030ppm으로 1,631ppm 감소하였다. 창 면적의 약 1/4 개방 후 30분 만에 기준치에 근접하게 감소함을 알 수 있다. 이후 1시간 후부터 측정종료시까지 이산화탄소 농도가 705~875(ppm)으로 큰 변동을 보이지 않았다.

B실의 경우, 23시의 이산화탄소 농도는 1,815ppm이었고 24시에 1,320ppm까지 감소하였는데, 이는 거주자 중 1명이 22시 30분부터 1시까지 외출했고, 다른 거주자가 약 20분간 샤워실에 가서 실내에 아무도 재실하지 않았기 때문으로 생각된다. 1시까지 비교적 일정하게 유지되었고, 외출했던 거주자가 귀가하고 2인이 취침한 후 5시 30분까지 꾸준히 증가하여 2,422ppm까지 상승하였다. 이는 재실자들의 호흡으로 인한 이산화탄소 발생이 원인이라고 생각된다. 이후 6시 30분에 1,870ppm까지 감소하였



〈Figure 1〉 CO₂ Concentration

는데, 이는 거주자 2명이 각각 5시 40분, 6시 15분에 외출하였기 때문으로 생각된다.

C실의 경우, 23시의 이산화탄소 농도는 1,297ppm이었고, 24시에 1,250ppm으로 소폭 감소했다. 이는 거주자 중 1명이 23시 15분부터 1시까지 외출하여 재실자가 1명이었기 때문이라 생각된다. 1시에 환기 실시 후 30분만에 938ppm으로 기준치 이하가 되었고 계속 감소하여 2시 30분에 677ppm까지 감소하였다. 이후 측정종료시까지 610~724ppm으로 유지되었다.

D실의 경우, 23시의 이산화탄소 농도는 967ppm이었고 1시간 후 705ppm으로 감소했는데, 감소원인은 23시 20분부터 24시까지 약 40분간 창문개방을 통한 환기를 실시한 것으로 생각할 수 있다. 창을 닫은 후 1시간 30분만에 1,612ppm까지 큰 폭으로 증가하였고, 새벽 6시에 2,048ppm까지 증가하였다. 증가원인은 재실자들의 호흡으로 인한 이산화탄소 발생으로 볼 수 있다.

E실의 경우, 23시의 이산화탄소 농도는 1,144ppm이었다. 24시 30분에 1,058ppm까지 감소했는데, 이는 거주자 2명이 모두 22시 30분부터 24시 30분까지 외출하여 재실하지 않았기 때문으로 생각된다. 이후 1시까지 1,230ppm으로 소폭 증가하였다. 1시부터 환기 실시 후 이산화탄소 농도는 30분 만에 기준치에 근접했고, 이후 2시간 동안 계속해서 감소하여 3시 30분부터 종료시까지 765~823ppm으로 유지되었다.

F실의 경우, 23시의 이산화탄소 농도는 954ppm이었고, 24시 30분까지 977ppm으로 일정수준유지 되었다. 이는 거주자 중 1명이 외출하여 실내 1명이 재실했기 때문으로 생각된다. 1시에 1,162ppm으로 비교적 큰 폭이 증가하였는데, 이는 24시 10분에 외출하였던 거주자 1명이 귀가함으로써 호흡을 통한 이산화탄소 발생량이 많아진 것을 원인으로 볼 수 있다. 이후 이산화탄소 농도는 지속적으로 증가하여 6시에 1,731ppm까지 증가했다. 이후 6시 30분에 소폭 감소하였는데, 이는 6시에 거주자 중 1명이 외출했기 때문으로 판단된다.

이상에서 남학교 기숙사에서 거주자가 재실 중에 이산화탄소 농도는 시간이 지남에 따라 서서히 상승하며 상승 정도에 차이를 주는 요인으로는 외출에 의한 재실자의 감소가 있었고, 급격한 농도 저하의 요인으로는 환기가 있었다. 본 측정결과는 측정일에 거주자에게 평소대로 생활해 줄 것을 안내하였기 때문인지 측정시간 중 외출이 잦았고 대조군에서 거주자 스스로 환기를 한 상태의 측정결과이므로, 2인이 환기하지 않고 계속 재실하는 경우, 본 측정결과보다 이산화탄소 농도가 높은 상태가 될 수 있을 것으로 생각된다. 반면 창 면적의 약 1/4 개방을 통한 환기 후 30분만에 기준치 근접 또는 이하로 감소되었고, 일정 수준까지 감소한 후 610~875ppm으로 유지되었다. 따라서 환기의 효과를 확인할 수 있었고, 겨울에는 1/4보다 적은 면적을 개방하여 환기해도 기준치 이하로 유지되

며, 이는 수면의 질에도 영향을 줄 것으로 생각된다.

2) 일산화탄소

① 평가기준과의 비교

일산화탄소 농도 측정결과 A실은 환기전 1.3~1.6(평균 1.5)ppm, 환기후 0.3~1.3(평균 0.8)ppm이었으며, B실은 0ppm, C실은 환기전 0.3~0.7(평균 0.5)ppm, 환기후 0~0.1ppm, D실은 0ppm, E실은 환기전 0~0.1ppm, 환기후 0~0.3(평균 0.1)ppm, F실은 0ppm으로 나타났다. 모든 실의 최고치는 0~1.6ppm으로 모든 측정치가 평가기준(10ppm) 미만일 뿐만 아니라 거의 미검출에 가까운 정도였다.

② 환기여부에 따른 비교

동일 실에서 환기전과 후의 일산화탄소 농도를 비교해 보면, A실의 경우, 평균치는 환기전 1.5ppm에서 환기후 0.8ppm으로 0.7ppm이 감소하였다. C실의 경우, 평균치는 환기전 0.5ppm에서 환기후 0ppm으로 0.5ppm이 감소하였다. E실의 경우, 평균치는 환기전 0ppm에서 환기후 0.1ppm으로 거의 차이가 없었다. 따라서 A, C실의 경우로부터 동일 실에서의 환기효과는 있는 것으로 생각된다.

환기시작 이후의 세트별 일산화탄소 농도를 비교하면, 조절군 중 A실과 대조군 중 B실의 경우 평균치는 각각 1.0ppm과 0ppm으로, 예상 밖으로 A실이 1.0ppm 더 높았다. 조절군 중 C실과 대조군 중 D실의 경우 평균치는 각각 0.2ppm과 0ppm으로 거의 차이가 없었다. 조절군 중 E실과 대조군 중 F실의 경우 평균치는 각각 0.1ppm과 0ppm으로 거의 차이가 없었다.

③ 실간 비교

환기시작 전까지 동일한 조건에서 6개실의 농도를 비교하면, A실은 일산화탄소 농도가 평균 1.5ppm으로 가장 높았고, B, D, F실은 전혀 측정되지 않았다. 실내에는 가스레인지 사용이나 흡연 등의 일산화탄소가 발생할 수 있는 행위가 없었고, B, C, E실에 흡연자가 각 1명씩 거주했지만, B실은 일산화탄소가 전혀 측정되지 않았다. C실과 E실의 경우 각각 평균 0.5ppm, 0.0ppm으로 측정되어 흡연자의 거주 여부는 영향이 미미한 것으로 판단된다. 따라서 실 간 일산화탄소 농도 차이는 미미했고 그 미미한 차이도 실내 발생원에 의한 것은 아니라고 판단된다.

3) 미세먼지

① 평가기준과의 비교

미세먼지 농도 측정결과, A실은 환기전 31~59(평균

37) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 환기후 57~68(평균 62) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, B실은 45~52(평균 49) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, C실은 환기전 28~36(평균 30) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 환기후 36~50(평균 44) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, D실은 22~48(평균 28) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, E실은 환기전 14~21(평균 17) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 환기후 25~34(평균 29) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, F실 9~12(평균 11) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 즉 기숙사 생활실의 미세먼지 농도는 모든 측정치가 기준치 미만이었는 데, 환기실시시간의 미세먼지 농도가 환기미실시시간의 미세먼지 농도보다 더 높았다. 이는 외부의 미세먼지가 유입되는 것으로 보이는데, 측정시간의 외부 미세먼지 농도는 보통에서 매우 나쁨 수준이었다. 측정 당일 측정시작시간인 23시의 외부 미세먼지 농도는 152 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 농도에서 1년간 폭로 시 만성 기관지염 유발률이 증가하는 농도(Yoon & Choi, 2014)임을 감안할 때 미세먼지 농도가 높은 날 장시간 창문개방을 통한 환기를 실시할 경우, 건강에 미세먼지의 영향을 받을 수 있을 것으로 보인다.

② 환기여부에 따른 비교

동일 실에서 환기전과 후의 미세먼지 농도를 비교하면, A실의 경우 평균치는 환기전 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 환기후 62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 증가하였다. 최소치는 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 증가하였고, 최대치는 59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 증가하였다. C실의 경우, 평균치는 환기전 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 증가하였다. 최소치는 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 증가하였고, 최대치는 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 증가하였다. E실의 경우, 평균치는 환기전 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 증가하였다. 최대치는 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 증가하였고, 최소치는 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 증가하였다.

환기시작 이후의 세트별 미세먼지 농도를 비교하면, 조절군 중 A실과 대조군 중 B실의 경우 평균치는 각각 62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났고, 최소치는 57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 최대치는 68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. A실이 최대·최소·평균치 모두 높게 나타났다. 조절군 중 C실과 대조군 중 D실의 경우, 평균치는 각각 44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났고, 최소치는 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 최대치는 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. C실이 최대·최소·평균치 모두 높게 나타났다. 조절군 중 E실과 대조군 중 F실의 경우, 평균치는 각각 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났고, 최소치는 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 최대치는 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. E실이 최대·최소·평균치 모두 높게 나타났다.

따라서, 동일 실에서 창문개방 환기를 했을 때 외부 미세먼지의 유입으로 인해 실내 미세먼지 농도가 증가하는 것으로 분석된다. 또한 하나의 측정세트에서 조절군의 미

세먼지 농도가 대조군에서보다 높았다. 이는 외부 미세먼지 농도가 실내 미세먼지 농도증가에 영향을 줄 수 있다는 것을 보여주며, 이를 방지하기 위해서는 계획적인 환기 또는 환기설비의 설치가 필요하다고 생각된다.

③ 실간 비교

환기시작 전까지 동일한 조건에서 6개실의 농도를 비교하면, B실이 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았고, 다음으로 A, D, C, E실 순이었으며 F실이 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 낮았다. 모든 실에서 실내 미세먼지 농도에 크게 영향을 줄만한 먼지발생행위가 없었던 것으로 기록되었고, 다른 조건으로는, A~D실이 동일건물, E, F실이 건축경년이 훨씬 짧은 동일 건물이었으며, 욕실 내 환기팬이 설치되어 있었다. 측정 당일의 A, B실의 외부 미세먼지 농도는 $152\mu\text{g}/\text{m}^3$, C, D실이 $92\mu\text{g}/\text{m}^3$, E, F실이 $54\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로, A, B실의 외부 미세먼지 농도가 가장 높았다. 환기전 실내 미세먼지 농도의 평균은 B, A, D, C, E, F실 순이었고, 환기후 실내 미세먼지 농도의 평균은 A, B, C, E, D, F실 순이었다. 즉, 외부 미세먼지 농도가 높은 날의 환기실시가 실내 미세먼지 농도증가의 원인이 되는 것으로 보이며, 외부의 미세먼지 농도가 높을수록 실내 미세먼지 농도 또한 높게 분석되었다. 또한 미세먼지 농도가 가장 높은 A, B실은 이산화탄소, 일산화탄소 농도도 높은 편으로 실내공기질 관리가 가장 되지 않고 있는 것으로 보인다.

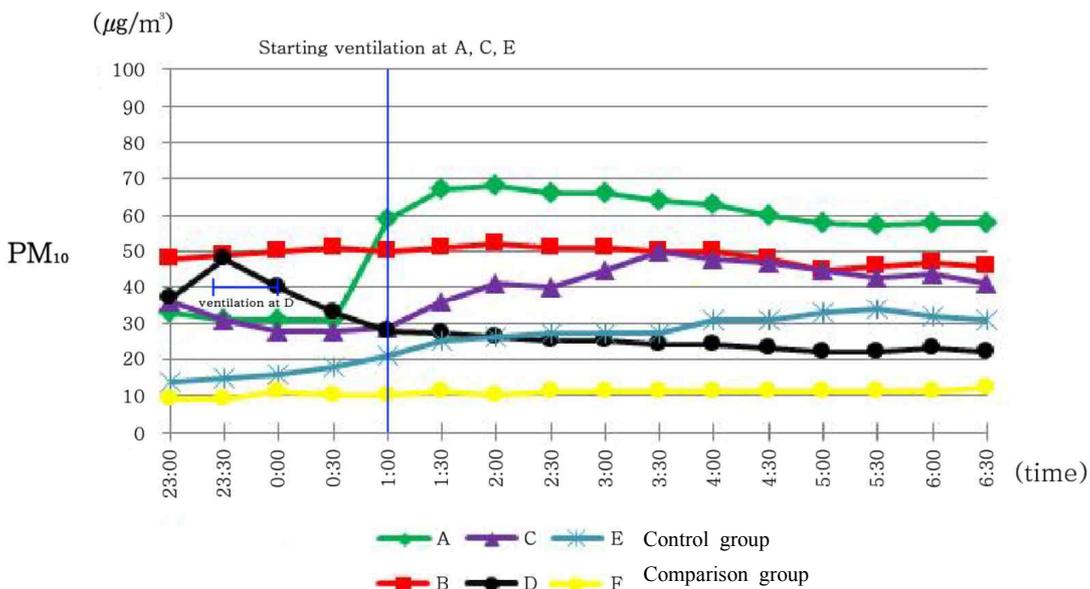
④ 시간변동 특성 및 원인분석

<Figure 2>와 같이, A실의 경우 측정시작시간 23시의 미세먼지 농도는 $33\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 환기시작 전 시간인 12시 30분까지 $31\sim 33\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 유지되었다. 환기시작 직후 1시에 미세먼지 농도는 $59\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 증가했다. 이는 외부 미세먼지 농도가 23시 기준 $152\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 외부 미세먼지가 실내로 유입되며 농도가 급격하게 증가한 것으로 생각된다. 1시간 후, 2시의 농도는 $68\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 증가했고, 이후 농도는 $57\sim 66\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 유지되었다.

B실의 경우, 측정시작시간인 23시의 미세먼지 농도는 $48\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 측정종료시까지 45~ $52\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 범위 내에서 유지되었다.

C실의 경우, 측정시작시간인 23시의 미세먼지 농도는 $36\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 이후 환기 시작 전 시간인 24시 30분까지 $28\sim 31\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 유지되었다. 측정조건에 따라 1시에 환기 실시 후, 3시 30분에 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 지속적으로 증가하였다. 이는 외부 미세먼지 농도가 $92\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로, 외부의 미세먼지가 실내로 유입되며 농도가 증가한 것으로 생각된다. 이후 측정종료시까지 농도는 $41\sim 48\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 유지되었다.

D실의 경우, 23시의 미세먼지 농도는 $37\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 23시 30분에 $48\mu\text{g}/\text{m}^3$, 24시에 $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 증가하였는데, 이는 거주자가 스스로 23시 20분부터 24시까지 창문 개방 환기를 하여 실내로 유입된 외부 미세먼지가 원인으로 생각된다. 창을 닫은 24시 이후, 미세먼지 농도는 측정 종료시까지 $22\sim 33\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 유지되었다.



<Figure 2> PM₁₀ Concentration

E실의 경우, 23시의 미세먼지 농도는 $14\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 환기시작 전 시간인 12시 30분까지 $14\sim 18\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 범위로 유지되었다. 측정조건에 따라 1시에 환기실시 후, 농도는 측정종료시까지 $31\sim 34\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 서서히 증가하였다. 이는 외부 미세먼지의 농도가 1시 기준 $54\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 외부 미세먼지가 실내에 유입되었기 때문으로 생각된다.

F실의 경우, 23시의 미세먼지 농도는 $9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 측정종료시까지 $9\sim 12\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 유지되었다.

이상에서 남학생 기숙사 수면시간에, 이론상 미세먼지 농도에 영향을 주는 요인인 거주자의 활동, 청소, 취사 등이 없는 상태의 동일 실에서 시간변동 특성과 원인을 분석한 결과, 창 개방을 통한 외부 미세먼지의 유입이 실내의 미세먼지 농도증가의 원인으로 파악되었고, 실내의 환기팬 가동은 실내 미세먼지 감소요인으로 파악되었다.

4) 포름알데히드

본 연구에서 사용한 포름알데히드 측정기기는 측정범위가 0.01ppm부터이므로, 0.01ppm 미만의 농도는 <10ppb로 표시된다. <10ppb의 포름알데히드 농도를 분석결과에서 제외하면 낮은 농도가 측정된 시간대의 측정치가 모두 제외되므로 평균 등의 분석치가 사실과 다르게 정리 될 우려가 있어, 이 경우는 측정치를 9ppb로 간주하고 분석하였다.

① 평가기준과의 비교

포름알데히드 농도 측정결과, A실은 환기전 <0.01~0.027(평균 0.020)ppm, 환기후 <0.01~0.015(평균 0.010)ppm이었으며, B실은 0.018~0.022(평균 0.020)ppm, C실은 환기전에는 모든측정치가 측정범위 미만(<0.01)(평균 0.009)ppm, 환기후 <0.01~0.015(평균 0.011)ppm, D실은 <0.01~0.025(평균 0.020)ppm, E실은 환기전과 환기후 모두 모든 측정치가 측정범위 미만(<0.01)(평균 0.009)ppm, F실은 0.034~0.040(평균 0.037)ppm으로 나타났다. 모든 실의 모든 측정치는 <0.01~0.040ppm로 평가기준(0.08ppm) 미만이었으나, 이는 이론상(Yoon & Choi, 2014) 0.01~1.6ppm의 농도에서 눈의 자극이 시작되며 0.040ppm을 초과하게 되면 신경조직의 자극이 시작되는 농도에 해당된다.

② 환기여부에 따른 비교

동일 실에서 환기전과 후의 포름알데히드 농도를 비교하면, A실의 경우 평균치는 환기전 0.020ppm에서 환기후 0.010ppm으로 감소하였다. 최소치는 측정범위 미만(<0.01ppm)으로 동일하였고 최대치는 0.027ppm에서

0.015ppm으로 감소하였다. 즉, 환기후 최대·평균치가 감소하였다. C실의 경우, 평균치는 환기전 0.009ppm에서 0.011ppm으로 증가하였다. 최소치는 <0.01ppm으로 동일하였고 최대치는 <0.01ppm에서 0.015ppm으로 증가하였다. 즉, 환기후 최대·평균치가 증가하였다. E실의 경우, 환기 전·후 최대·최소·평균치는 모두 <0.01ppm으로 동일하였다. 동일 실에서의 환기에 의한 포름알데히드 농도저하 효과는 A실에서 확인되었다.

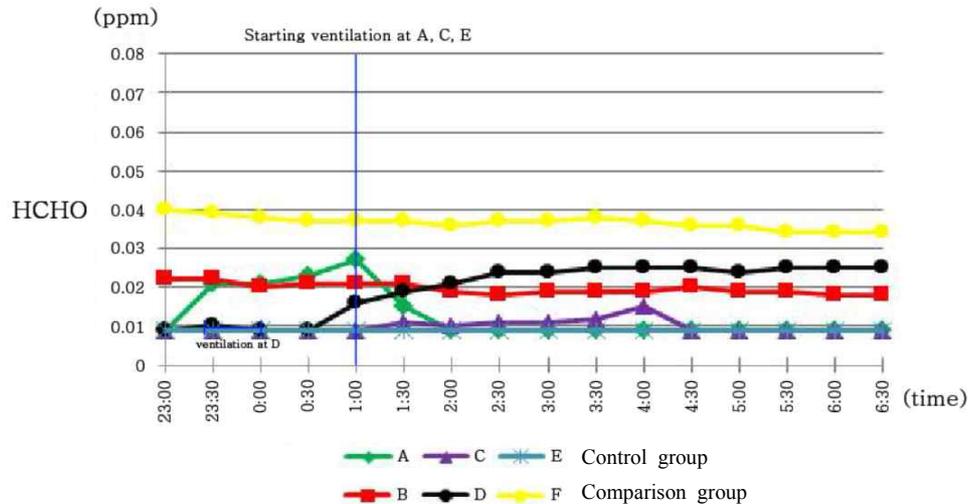
환기시작 이후의 세트별 포름알데히드 농도를 비교하면, 조절군 중 A실과 대조군 중 B실의 경우 평균치는 각각 0.010ppm과 0.019ppm으로 나타났고, 최소치는 <0.01ppm과 0.018ppm, 최대치는 0.015ppm과 0.021ppm으로 나타났다. 조절군 중 C실과 대조군 중 D실의 경우, 평균치는 각각 0.011ppm과 0.024ppm으로 나타났고, 최소치는 <0.01ppm과 0.019ppm, 최대치는 0.015ppm과 0.025ppm으로 나타났다. 조절군 중 E실과 대조군 중 F실의 경우, 평균치는 각각 0.009ppm과 0.036ppm으로 나타났고, 최소치는 <0.01ppm과 0.034ppm, 최대치는 <0.01ppm과 0.038ppm으로 나타났다. 따라서 조절군의 포름알데히드 농도가 대조군보다 낮았고, C실과 E실은 동일 실에서의 농도감소가 미미하여 환기에 의한 효과를 판단하기 어려우나, A실의 경우에는 동일 실에서 환기에 의한 포름알데히드 농도 감소효과를 확인할 수 있었다.

③ 실간 비교

환기시작 전까지 동일한 조건에서 6개실의 농도를 비교하면, F실의 농도가 가장 높았고, C실과 E실이 가장 낮았다. 이론상 건축자재에서 발생된 포름알데히드는 일반적으로 신축 후 방출되는 기간은 4.2년 정도로 추정(Yoon & Choi, 2014)되므로 준공 후 약 2년밖에 되지 않은 F실의 벽지, 접착제, 가구 등에서 발생하는 포름알데히드가 원인일 수도 있다. 그러나 동일건물의 E실이 환기 전·후 모두 다른 실들과 비교하여 포름알데히드 농도가 가장 낮았으므로, F실의 포름알데히드 농도는 건물의 영향보다는 F실의 거주자가 평상 시 비치해 두고 있는 디퓨저·실내방향제가 원인으로 생각되고, 다음으로 높았던 A, B, D실의 경우, A실과 B실은 화장품 사용, D실은 섬유탈취제가 원인으로 생각된다.

④ 시간변동 특성 및 원인분석

<Figure 3>과 같이, A실의 경우, 측정시작시간인 23시에 <0.01ppm이던 포름알데히드 농도가 환기시작 전인 1시에 0.027ppm까지 상승하였다. 이는 23시 30분과 1시에 거주자가 스킨, 로션 등의 화장품을 사용하였기 때문으로



(Figure 3) HCHO Concentration

생각된다. 측정조건에 따라 1시에 환기실시 후, 30분 만에 0.015ppm으로 감소하였다. 이후 포름알데히드 농도는 <0.01ppm을 유지하였다.

B실의 경우, 측정시작시간인 23시에 포름알데히드 농도는 0.022ppm이었고, 이후 측정종료시까지 0.018~0.022ppm으로 유지되었다. 이는 측정 이후 거주자의 포름알데히드 농도에 영향을 줄만한 행동이나 창문개방 등이 없었기 때문으로 생각된다.

C실의 경우, 측정시작시간인 23시부터 01시까지 <0.01ppm으로 포름알데히드 농도가 유지되었다. 측정조건에 따라 1시의 환기실시 이후, 1시 30분부터 3시까지 유지되었고, 3시부터 4시까지 0.015ppm으로 상승한 후 하강하였다. 이 때 실내에서 거주자가 취침 중이었고, 포름알데히드가 발생할 만한 행위가 없어서 원인이 명확치 않다. 이후 측정종료시까지 농도는 <0.01ppm을 유지하였다.

D실의 경우, 측정시작시간인 23시부터 24시 30분까지 포름알데히드 농도가 <0.01ppm으로 유지되었다. 이는 실내에 포름알데히드 농도의 영향을 줄만한 요인이 없었던 점과 거주자가 23시 20분부터 약 40분간 창문개방 환기를 실시한 점이 포름알데히드 농도를 감소·유지 시킨 것으로 판단된다. 이후 1시부터 측정종료시까지 0.016~0.025ppm로 측정되었다. 이는 귀가한 거주자가 취침 전 섬유탈취제를 사용한 것이 원인으로 생각되며 측정종료시까지 동일한 농도가 계속 유지된 것을 알 수 있다.

E실의 경우, 측정시작시간인 23시부터 측정종료시까지

포름알데히드 농도가 <0.01ppm이었다.

F실의 경우, 23시부터 측정종료시까지 0.034~0.040 (평균 0.037)ppm으로 유지되었다. F실의 포름알데히드 농도는 비치된 디퓨저에 의한 것으로 보이며, 이론상 0.01~1.6ppm의 농도에서는 눈의 자극이 시작되고, 0.040ppm을 초과시 신경조직의 자극이 시작되는 농도이므로 재실자의 주의가 필요하다고 생각된다.

이상에서 남학생 기숙사의 포름알데히드 농도는 거주자의 스킨, 로션 등의 화장품, 섬유탈취제, 실내방향제 사용에 의한 상승, 환기에 의한 감소사례를 확인하였다.

V. 결론 및 제언

본 연구는 대학교 남학생 기숙사 생활실의 수면 시간대의 실내공기질 실태에 대해, 창호개방환기에 따른 차이를 파악하여 개선방안을 제안하는 것을 목적으로 하였다. 조사대상은 C대학교 남학생 기숙사 6개실로써, 같은 층의 2개실을 환기실시조건(조절군: A·C·E실)과 미실시조건(대조군: B·D·F실)의 페어로 하여 3세트를 측정하였다. 2016년 11월~2017년 1월, 1개 세트의 2개실을 동일한 날 하루씩 수면시간에 해당하는 오후 11시부터 오전 6시 30분까지 CO, CO₂, PM₁₀, HCHO농도와 배경요소로써 실내 온도, 상대습도를 측정하였다.

조사결과를 요약하면 다음과 같다.

1) A~D실이 위치한 거주동은 1991년 3월 개관하였고 2012년 6~9월에 그린리모델링을 실시하였다. 각 실의 면적은 13.5m², 환기설비는 없으며, 난방설비는 동관삽입형 고효율알루미늄 온수방열기로 실외온도가 일정온도 이하일 때 난방이 되는 방식이다. E실과 F실이 위치한 거주동은 2015년 3월 개관하였다. 생활실마다 화장실과 발코니가 있고 화장실 내 환기팬이 설치되어 있다. 개별 온도 조절방식으로 바닥난방이고, 실의 면적은 19m²이다. 측정 당일 거주자의 생활행위는 대부분 늦은 귀가 후 취침이었고, 흡연자는 B실과 C실, E실에 각 1명씩 거주하고 있었으며, D실과 F실에서는 탈취제와 방향제 등의 화학물질 사용이 있었다.

2) 이산화탄소 농도 측정결과, 실별 최고치는 1,230~2,794ppm으로 평가기준(1,000ppm)을 모두 초과하였다. 실별 평균치는 조절군의 환기전 평균치는 1,124~2,515ppm으로 모두 기준치를 초과하였으나, 환기후에는 717~849ppm으로 기준치를 초과하지 않았다. 대조군의 평균치는 1,389~1,722ppm으로 모두 기준치를 초과하였고, 최고치는 1,731~2,422ppm로 기준치의 2배에 육박하는 것으로 나타났다. 즉, 기숙사 생활실의 수면 시간대 이산화탄소 농도는 대체로 기준치를 초과한 상태였고, 환기를 실시했을 때 이산화탄소 농도가 감소하는 것으로 나타났다. 이산화탄소 농도의 상승요인으로 재실자 수, 감소요인으로는 환기, 실내 환기팬 가동으로 보인다.

3) 일산화탄소 농도 측정결과, 모든 실의 측정치가 평가기준(10ppm) 미만이었으며, 실내 발생원인은 아닌 것으로 보이나, 동일 실에서의 환기효과는 있는 것으로 분석되었다.

4) 미세먼지 농도 측정결과, 실별 최고치는 12~68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 기준치를 초과하지 않았다. 조절군의 환기전 평균치는 17~37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으나 환기후 29~62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 증가하였다. 대조군의 평균치는 11~49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 이중 거주자 스스로 환기를 실시한 생활실의 평균치는 26~54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 더 높았다. 즉, 기숙사 생활실 내 미세먼지 농도는 기준치 미만이었지만, 환기를 실시하지 않았을 때보다 환기를 실시했을 때 더 높았다. 이는 창 개방을 통한 외부의 미세먼지가 실내로 유입되었기 때문으로 생각된다. 또한 외부 미세먼지 농도가 높은 날의 환기실시는 실내 미세먼지 농도를 더욱 증가시키는 것으로 보이며, 외부 미세먼지 농도가 높은 날 실내 미세먼지 농도 또한 높은 것으로 보인다. 실내 미세먼지 농도의 감소요인으로는 실내 환기팬 가동으로 보인다.

5) 포름알데히드 농도 측정결과, 모든 실의 측정치가 평가기준(0.080ppm) 미만이었다. 동일 실에서의 환기효과는 A실에서 확인할 수 있었고, 포름알데히드 농도의 영향요인으로는 거주자의 스킨, 로션 등의 화장품, 실내방향제, 섬유탈취제 사용에 의한 상승, 환기로 인한 감소 사례를 확인하였다.

이상에서, 대학 기숙사 남학생 생활실의 수면 시간대의 실내공기질 실태는 이산화탄소 농도는 기준치 이상, 일산화탄소 농도와 미세먼지 농도, 포름알데히드 농도는 기준치 미만이었으며, 환기시 실내온도와 상대습도, 이산화탄소 농도는 저하, 일산화탄소와 포름알데히드 농도는 일부 실에서 저하, 미세먼지 농도는 오히려 상승하였다. 실내공기요소의 농도가 높은 실은 재실자 수, 화학물질 사용, 외부 미세먼지 농도가 높은 날이었으며, 낮은 실은 환기팬 가동이 영향요인으로 분석되었다. 따라서 기숙사 생활실의 실내공기질을 개선하기 위해 다음과 같이 제안한다.

1) 기숙사 거주자 측면에서는 환기시스템이 없는 기숙사의 경우 수면시 창을 개방하는 환기를 하되, 외부 공기질에 문제가 있는 날은 환기를 자제하는 등의 계획적인 환기가 필요하며 실내에서 섬유탈취제, 방향제 등의 화학물질 사용을 자제할 필요가 있다. 본 연구에서는 겨울철 측정시, 창 면적의 약 1/4 개방을 통한 환기후 30분만에 기준치 근접 또는 이하로 감소 후 기준치보다 확연히 낮은 농도로 유지되었다. 환기효과는 실내외온도차에 따라 다르므로 본 측정결과를 감안한 환기 실시를 기대한다.

2) 기숙사 관리자 측면에서는 환기의 중요성, 환기방법, 외부 미세먼지에 따른 주의, 재실자의 화학물질 사용 자제 등에 대해 거주자 교육을 실시하고, 관련 게시물을 제작해 부착함으로써 거주자들에게 일상적 인지가 가능하도록 할 필요가 있다.

3) 공급자 측면에서는 기숙사 설계 혹은 리모델링시, 에너지 절약 및 재실자의 건강 유지를 위해 반드시 환기시스템을 설치할 필요가 있다.

4) 제도적 측면에서는, 현재 건축법상 기숙사는 공동주택에 포함되며, 공동주택에서의 실내공기질 관련 제도로 「건축물의 설비기준 등에 관한 규칙」(2015. 7. 9 개정)의 환기설비기준에서 100세대 이상의 공동주택을 규정하고 있는데, 100세대 미만의 공동주택에도 적용하는 것으로 개정할 필요가 있다. 또한 주택의 실내공기질 기준은 현재 「실내공기질 관리법」(2016. 12. 27 개정)의 신축 공동주택의 새집증후군 관련 물질에 대한 권고기준만 있

는 상태로 거주중인 공동주택의 실내공기질 유지기준을 마련하는 것이 필요하다.

REFERENCES

- Ahn, T. K. (2003). Level of Indoor Air Environment for the Health House. *Journal of Korean Living Environment System*, 10(1), 33-40.
- Kim, D. G., Kim, S. U., & Kim, S. H. (2007). A Study on the Assessment of the IAQ during Nighttime. *Journal of Korea Institute of Ecological Architecture and Environment*, 7(5), 93-98.
- Kim, S. H., Kim, Y. O., & Lee, D. H. (2011). CO₂ change and evaluation of comfortableness according to the number of when sleeping. *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 2011(7), 1249-1252.
- Na, L., Han, J. K., Choi, Y. R., & Chun C. Y. (2012). Influence of the CO₂ Concentration level on Sleep Quality. *The Korean Society of Living Environmental System*, 19(4), 479-488.
- Ryu, Y. S., Park, M. L., Kim, J. W., & Joo, H. J. (2013). Indoor CO₂ Measurement and Analysis by Varying Room Area during Nighttime. *Jouranl of The Korean Solar Energy Society*, 2013(11), 137-140.
- Yoon, C. S., & Choi, Y. J. (2014). *Housing and Environment. revised edition*. Paju: Kyomunsa.
- Air Korea. (2017). Retrieved February 19, 2017, from <http://www.airkorea.or.kr>
- Chungbuk National University. (2017). Retrieved March 3, 2017, from <https://dorm.chungbuk.ac.kr/>

Received 15 September 2017;

Accepted 3 October 2017