

# 창호 일체형 환기 시스템의 환기 성능 평가 방법 연구

박 상 훈\*

## A Study on the Ventilation Performance Evaluation Method of the Window-Integrated Ventilation System

Sanghoon Park\*

**ABSTRACT** : This study is a preliminary study to establish the criteria for evaluating the performance of the window-integrated ventilation system. This study analyzed various references that can evaluate the performance of the ventilation system and established the evaluation method. In addition, the performance evaluation method was quantitatively evaluated by conducting a pilot experiment to verify and supplement the performance evaluation method of the ventilation system. The performance of the ventilation system was categorized into ventilation, air quality, airtightness, noise, visibility and view according to the evaluation category. In particular, according to the ventilation and air quality evaluation, it was found that the indoor carbon dioxide concentration can be reduced by about 14 % when the window-integrated ventilation system is applied. The ventilation performance evaluation method and experimental data of this study will serve as basic data for subsequent studies to establish comprehensive performance evaluation criteria for similar ventilation systems.

**키 워 드** : 창호 일체형 환기 시스템, 환기 성능, 성능 평가 방법, 이산화탄소법, 공동 주택

**Key words** : Window-integrated ventilation system, ventilation performance, performance evaluation method, carbon dioxide method, apartment house

### 1. 서론

최근 국내외 대기 환경 요인으로 인한 미세먼지 발생 및 COVID-19와 같은 공기 전염 바이러스에 대한 우려가 높아지면서 쾌적한 공기 환경에 대한 요구가 증대되고 있다. 전열교환 환기장치의 의무화와 공기 청정기의 보급이 이루어지고 있으나 공기 청정기의 필터로 포집할 수 없는 유해 입자 또는 바이러스로 인한 실내 공기 오염은 해결이 어렵다. 이를 해결하기 위해서는 실내 공기를 실외 공기와 치환하는 환기를 수행해야 하지만 실외 공기질이 악화됨에 따라 적절한 환기 대책이 필요하다.

기계 환기는 자연 환기보다 실외 공기질에 영향

을 상대적으로 덜 받으면서 환기를 수행할 수 있다. 기계 환기 장치 중 창호에 결합한 형태의 제품은 기존에 창호 개방을 통한 자연 환기 뿐만 아니라 창호가 닫힌 상태에서 기계 환기가 가능하다. 현재 다양한 회사에서 창호 환기 장치를 개발 및 출시하고 있으나, 제품마다 성능에 대한 평가 항목과 근거가 상이하여 제품 간 성능 비교판단이 어렵다. 앞으로 창호 일체형 환기 시스템이 더욱 적극적으로 개발되고 현장에 적용되기 위해서는 이러한 현실을 반영한 환기 시스템의 평가 방법을 구체적으로 마련해야 할 것이다.

본 연구에서는 창호 일체형 환기 시스템의 성능을 평가하기 위한 평가 방법과 근거를 마련하고자 한다. 이를 위해 현재 출시된 다양한 환기 시스템의 평가 인자와 항목을 도출하였다. 이후 각 항목에 대해 정량적 평가가 이루어질 수 있는 평가 방법의 근거를 마련하고, 항목 별로 실험을 통한 성능 평가를 수행하였다.

\* 인천대학교 도시건축학부 조교수

본 연구는 한국건축환경설비학회 논문집 2022년 10월호(Vol.16 No.5) pp.400-411에 수록된 연구논문 내용을 수정, 보완한 것임

최종적으로 평가 방법에 따른 파일럿 실험 결과를 분석함으로써 추후 환기 시스템에 대한 종합적인 성능 평가 기준을 수립하기 위한 기초 연구 자료를 마련하고자 한다.

## 2. 환기 시스템 평가 인자 및 항목 도출

### 2.1 기존 환기 시스템 종류 및 주요 성능

2000년대 들어 활발하게 개발된 자연식 및 기계식 환기 장치는 창호 개방이 원활하지 못한 경우를 대비하여 주로 자연 환기를 돕기 위한 제품이 대다수였다가 최근에는 실외 오염 물질은 차단하여 신선 외기를 도입하고, 실내 오염 물질을 배출하는 기계식 환기 장치가 주목받고 있다. 이 과정에서 ‘건축물의 설비기준 등에 관한 규칙’에 따라 2006년부터 기계 환기 설비 장치의 설치가 의

무화 되었다. 또한 2020년부터 환기 설비 설치 대상 기준이 30세대 이상의 공동주택 및 주상복합건축물로 강화되고, 다중이용시설에 대한 환기설비 설치가 의무화되는 등 기계식 환기 장치에 대한 정책적 기준이 지속적으로 강화되고 있다.

국내외에 출시된 제품도 이러한 시장과 정책적 요구 상황을 반영하고 있으며, 다음 Table 1과 같이 국내외 제품 및 주요 특징을 정리할 수 있다. 각 제조사에서는 환기 방식에 따라 제품의 특징이 부각될 수 있도록 제품 성능을 제시하고 있다. 특히 제품의 성능을 정량적으로 나타내기 위해 성능 평가 시 성능 평가 경계 조건(Boundary Condition)에 대하여 밝히고 있는 경우가 많다.

국내의 업체에서 개발 또는 출시한 13 개의 환기 시스템을 조사한 결과 자연 환기와 기계 환기 방식을 사용한 제품 모두 환기량에 대한 성능을 제시하고 있었다.

기계 환기 방식을 이용한 제품은 자연 환기 방

Table 1. Ventilation system product analysis

No.	Model	Feature	Ventilation type
1	Automatic ventilation window	Hybrid window-mounted ventilation system combining mechanical and natural ventilation	Hybrid
2	HAV-01	Hybrid Clean Ventilation Window	
3	Hybrid ventilator	Combined mechanical and natural hybrid ventilation windows	
4	Brewell500	Mechanical ventilation window with fan installed in ventilation kit	Mechanical
5	VentoLife	Aluminum system window combined mechanical ventilation system	
6	C-100CMH	Ductless type window frame type total heat ventilation device	
7	TWINFRESH	Wall-mounted house air supply and exhaust fan	
	AIRFRESHER	Window-mounted outdoor air purifier	
8	Smart ventilation purifier	Window replacement type (window type) mechanical ventilation device	
9	Automatic ventilation window PTT237V	Window frame integrated mechanical ventilation device	
	Smart ventilation system	IoT interlocking window-integrated multi-functional mechanical ventilation system, constant conversion of supply and exhaust by Twist operation	
	window ventilation system	Window-mounted ventilation system	
10	HRD-70C	Window-mounted heat recovery mechanical ventilation system	
11	Ventolife	All-in-one mechanical ventilation system using windows	
12	Endura Twist	Upper and lower module and Twist operation type mechanical ventilation system	
13	Smart ventilation (GENEO Inovent system plus)	A mechanical ventilation system that uses all four sides of the window frame as a duct to supply and exhaust air	

식을 이용한 제품보다는 더욱 정량적인 성능 평가 데이터를 제공하고 있다. 기계 환기 방식은 급·배기 시 필터의 등급에 따라 저항이 발생하며 이로 인해 소음, 환기 효율 저하, 팬의 내구성 저하가 발생할 수 있으므로, 필터의 등급을 함께 제시하고 있는 경우가 많다. 공통적으로는 풍량, 소비전력, 소음을 제시하고 있으며, 열회수를 위한 전열교환 소자 등이 적용된 경우 열회수 효율을 함께 표기하고 있다. 실내 CO<sub>2</sub> 제거 성능뿐만 아니라 산소 농도의 변화와 이에 따른 제어 방법을 제시하고 있는 제품도 존재한다.

## 2.2 국외 환기 시스템의 성능 평가 방법

국외에서 창호형 환기시스템을 제조 및 생산하는 회사로는 S사와 R사가 대표적이다. 해당 제조사의 제품에서도 필터에 따른 환기 성능을 중요하게 제시하고 있다는 것을 확인할 수 있으며, R사의 제품은 환기 성능 평가 결과에서 사용한 필터의 종류를 구체적으로 제시하고 있다. 또한 풍량에 따른 운전 모드를 3 단계로 구분하여 각 풍량 별로 세 가지 필터와 결합한 총 9가지 조합(필터 종류 3종 × 풍량 3 가지)에 대한 성능 평가 결과를 제시하고 있다. 소음 측정은 창호의 환기부에서 2 m 이격된 지점의 측정 결과를 제시하며, 운전 모드 별로 데이터를 제공한다. 특히 기계에서 발생하는 소음과 시스템이 발휘하는 차음성능을 구분하여 제시하고 있다.

## 2.3 설치 대상 공간 관련 선행 연구 고찰

다양한 선행 연구에서 환기 장치의 성능에 영향을 줄 수 있는 인자들을 제시하고 평가하였다. 본 연구에서는 환기 장치에 대한 연구 뿐만 아니라 환기 장치가 적용되는 공간에서 재실자가 느낄 수 있는 영향 인자에 대해 평가한 연구까지 고찰하여, 환기 장치의 건물 적용 시 성능 평가 및 제시 방법을 도출하고자 하였다.

강동화(2013)의 연구에서는 공기교환율(AER; Air Exchange Rate)로써 환기 성능을 나타내고 있다. 이는 환기와 침기를 모두 포함하는 실내 공기 치환 산정 개념이며 특히 재실자로 인한 CO<sub>2</sub> 가스 발생량 산정(농도 측정 구간, 농도 감소 구간)에 있어서 농도 감소 구간에서의 추정이 재실자 발생 CO<sub>2</sub>법에 더욱 적합하다는 것을 확인하고 있다.

전정운(2015)의 연구에서는 환기 장치가 설치될 수 있는 국내 침실의 평균 CO<sub>2</sub> 농도가 기준치인

1000ppm을 크게 웃돌고 있으며, 침실은 주택 내에서 CO<sub>2</sub> 농도가 가장 높은 곳으로 나타났음을 밝혔다. 이러한 결과는 김민희(2008a)의 연구와도 일치하는 것으로 해당 연구에서는 동절기 수면 환경 중 CO<sub>2</sub> 농도 평균 값이 1279ppm이며, 최대값은 4156ppm으로 나타났다.

이와 유사하게 이병수(2006)의 연구에서도 공동 주택의 실내 CO<sub>2</sub> 농도는 평균 1354ppm으로 나타남을 알 수 있었는데, 이를 통해 환기 장치의 필요성과 CO<sub>2</sub> 농도 측정을 통한 환기 성능 평가가 매우 중요함을 알 수 있다. 장재수 외(2004)의 연구에서는 추적가스법을 활용한 국소 평균 연령을 공기질 평가에 활용하였다.

한편 환기 장치 설치로 인해 발생할 수 있는 소음과 관련해서는 전정운(2015)의 연구에서 소음으로 인한 수면 방해가 일어날 수 있음을 지적하였다. 이 경우 ‘시간당 뒤척임 횟수’, ‘중도 각성 횟수’, ‘수면 단계 변화’를 파악하였다. 이외에도 배경 소음 레벨이 낮은 밤에 더욱 영향을 많이 받으며, 특정 소음원의 등가 소음 레벨이 충분히 낮더라도 최대 소음레벨이 높다면 수면 방해를 유발할 수 있다는 기초적인 연구 결과가 있다.(Berglund et al, 1999) 마찬가지로 높은 배경 소음보다 낮은 레벨의 간헐적 소음이 더욱 수면에 방해가 된다는 연구가 존재한다.(오사다, 1974)

그 밖에도 김민희(2008b)의 연구에서는 재실 환경 요소(등가소음레벨, 조도, 공기온도, 상대습도, 흑구온도, CO<sub>2</sub>농도)의 평균값 측정하였으며, 김비나(2005)의 연구에서는 수면 시 가장 큰 영향을 받는 실내 환경 요소를 소음 > 온도 > 밝기 > 습도 > 공기질 순으로 제시하였다.

## 2.4 평가 인자 및 평가 항목

앞서 고찰한 국내·외 환기 시스템 및 선행 연구를 통해 평가 인자를 도출하였다. 또한 평가 인자를 항목으로 구분함으로써 환기시스템의 성능을 입체적으로 평가할 수 있을 뿐만 아니라 추후 누락된 평가 인자를 도출할 수 있도록 하였다.

분석한 결과를 바탕으로 평가 인자의 항목을 ASHRAE 55의 분류를 참조하여 환기, 공기질, 기밀, 소음, 시야 및 조망으로 구분하였다. 이 항목에 포함되지 않는 평가 인자를 그 외에도 쾌적 및 기타 요소가 별도의 항목으로 분류하였으며, 모든 항목은 참고한 기준에 근거하였으므로, 향후 환기 시스템의 성능 평가 시 활용할 수 있도록 하였다.(Table 2)

Table 2. Evaluation elements and reference standards for each evaluation category

Category	Element	Unit	Reference standards
Ventilation	Volume flow rate	m <sup>3</sup> /h	<ul style="list-style-type: none"> <li>KS F 2603: Standard test method for measuring indoor ventilation rate(carbon dioxide method)</li> <li>SPS-KACA 016-0146: Testing methods for fine dust removal efficiency of range hoods</li> <li>SPS-KACA 010-0140: Fan Filter Unit</li> <li>KS B 6141: Air filter units for ventilation</li> <li>KS F 2807: Standard test method for measuring air volume flow rate of ventilation and air conditioning system</li> </ul>
	CO <sub>2</sub> Concentration	ppm	<ul style="list-style-type: none"> <li>KS F 2921: Testing method for airflow rate of natural ventilation system</li> <li>KS I ISO 16000-8: Indoor air — Part 8: Determination of local mean ages of air in buildings for characterizing ventilation conditions</li> <li>KS L ISO 12569: Thermal performance of buildings — Determination of air change in buildings — Tracer gas dilution method</li> </ul>
Air quality	Outdoor and indoor PM10 concentration	µg/m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ASHRAE 62.1 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality</li> <li>ASHRAE 62.2 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality in Residential Buildings</li> </ul>
	Indoor TVOCs concentration	ppm	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ministry of Environment 4th Basic Indoor Air Quality Management Plan (~'24)</li> </ul>
Airtightness	Airtightness	CFM50	<ul style="list-style-type: none"> <li>KIAEBS C-1: Building Airtightness Criteria</li> <li>KS L ISO 9972: Thermal insulation-Determination of building airtightness- Fan pressurization method</li> <li>ASTM E779-03 2004: Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization</li> <li>ASTM E283-04 2004: Standard Test Method for Determining Rate of Air Leakage Through Exterior Windows, Curtain Walls, and Doors Under Specified Pressure Differences Across the Specimen</li> </ul>
Noise	Noise emission(min, nom, max)	dB(A)	<ul style="list-style-type: none"> <li>KS F ISO 16032: Measurement of sound pressure level from service equipment in buildings - Engineering method</li> <li>KS B 6879: Heat recovery ventilators</li> <li>SPS-KACA 016-0146: Testing methods for fine dust removal efficiency of range hoods</li> <li>SPS-KACA 010-0140: Fan Filter Unit</li> <li>KS F 2862: Rating of airborne sound insulation in buildings and of building elements</li> <li>ISO 10140-2: Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 2: Measurement of airborne sound insulation</li> </ul>
Quality view	Ratio of transparent area to window installation area	%	<ul style="list-style-type: none"> <li>LEED BD+C EQ Credit. Quality View</li> </ul>

### 3. 환기 시스템의 성능 평가 방법

본 장에서는 환기 시스템의 성능 평가를 위해 앞서 도출한 환기, 공기질, 기밀, 소음 차단, 시야 및 조망, 기타 항목에 대하여, 항목 별 평가 인자에 따라 각 항목을 정량적으로 평가할 수 있는 근거 기준을 해석하고 Pilot 실험실 및 실제 공간에 환기 시스템 적용 시 응용할 수 있는 평가 방법으로 정리하고자 하였다.

또한 현행 기준은 실험실 상황에서의 평가이므로 환기 시스템이 실제 공간에 적용되었을 경우의 경계 조건이 반영되지 못하고 있으므로 근거 기준에서 제시한 주요 평가 방법을 환기 시스템의 실제 공간 적용 시 경계 조건에 대해 정리하여 추후 평가 기준 수립에 활용할 수 있도록 하였다.

#### 3.1 환기 성능 평가 방법

환기 시스템의 환기 성능 평가는 CO<sub>2</sub>법(KS F 2603 이산화탄소법)을 중심으로 수행할 수 있다. 수직 방향의 측정점은 바닥으로부터 1.2 m 부근의 호흡선 위치로 하며, 평가 대상 환기 시스템이 충분한 성능을 발휘하지 못하여 공기가 정체하고 있는 경우 농도 분포 차이가 발생할 수 있으므로, 측정점을 충분히 많게 하여 평균값을 사용하도록 한다. 그 외에도 농도 감소법과 일정 가스 방출법을 적용할 수 있다.

#### 3.2 공기질 성능 평가 방법

환기 시스템의 공기질 성능은 ASHRAE 62.1과 62.2에 따라 평가할 수 있다. 공기질 성능에 중요한 영향을 미치는 필터는 MERV11 이상을 사용했음을 밝혀야 하며, 환기 시스템의 흡기 공기에서 배기 공기가 차지하는 비율이 10 % 이하가 되어야 한다. 추후 환경부 제 4차 실내공기질관리 기본계획에 따라 라돈 농도에 대한 규정이 신설되고 미세먼지 농도가 강화될 것으로 예상되므로 해당 인자에 대한 측정을 추가적으로 고려해야 한다.

#### 3.3 기밀 성능 평가 방법

공간 단위 평가법 중 기밀 성능은 한국건축친환경설비학회 기준인 KIAEBS C-1: 2013 건축물의 기밀성능에 따라 평가할 수 있다. 기준에 따르면 1.5@ACH50 이하의 기밀성을 확보한 건물은 환기 성능 보장을 위해 환기 시스템 설치를 권장한다. 이 때 환기 시스템이 설치된 상태에서 적절한 기

밀 성능을 만족할 수 있도록 기밀 테스트를 수행하여야 하며 블로어도어테스트 방법을 활용한다.

#### 3.4 소음 차단 평가 방법

환기 시스템의 소음 차단 성능은 KS F 16032 및 KS B 6879에 따라 실험을 구성하고 평가할 수 있다. 소음 측정 시 모서리와 벽에서 마이크로폰을 0.5 m 이격하여야 하며, 1 Cm 두께의 차음판을 설치하여 가상벽이 측정에 영향을 미치지 않도록 유의해야 한다.

#### 3.5 시야 및 조망 확보 성능 평가 방법

시야 및 조망 확보 성능은 주관적이라고 판단할 수 있으나 USGBC의 기준인 LEED Building Design and Construction(BD+C)에 따라 제실자 관점에서 외부 조망을 극대화하기 위한 면적을 산정할 수 있다. 환기 시스템을 설치하는 경우, 설치 전과 대비하여 줄어든 면적을 View Factor 또는 View Level 등으로 표현할 수 있다.

#### 3.6 쾌적 및 기타 요소 평가 방법

앞서 정립한 평가 항목에는 해당되지 않지만 환기 시스템의 성능 평가에 있어서 필수적이라고 판단되는 항목을 쾌적 및 기타 요소로 구분하였다. 쾌적 및 기타 요소는 제실자의 온열 환경, 기류속도, 개인적 인자, 환경적 인자 등에 영향을 받으며, 쾌적 및 기타 요소는 ASHRAE55에서 제시하고 있는 다양한 쾌적 기준을 만족시킬 수 있도록 해야 한다.

### 4. 환기 시스템 평가 방법에 따른 성능 평가

본 장에서는 환기 시스템의 성능 평가 방법의 검증과 보안을 위한 데이터 마련을 위해 앞서 정립한 평가 방법에 따라 파일럿 실험을 수행하여 환기 시스템의 성능을 정량적으로 평가하였다. 실제 공간의 경계 조건을 반영한 실험을 위해 공동주택에 환기 시스템을 파일럿 시공하였으며 경계 조건은 Table 3과 같다. 성능 평가 Case는 평가 방법의 항목에 따라 환기 시스템과 관련된 다양한 인자를 조합하여 각 인자의 변화에 따라 환기 시스템의 성능을 정량적으로 평가할 수 있도록 Table 4과 같이 구성하였다.

Table 3. Boundary conditions for pilot experiments

Contents	Boundary condition	Notes
Location and Building type	Apartment houses located in Seoul	Southeast
Area (Volume)	13.8 m <sup>2</sup> (31.6m <sup>3</sup> )	Bedroom
Occupancy	2 Adults, 1 Child	
Schedule	Check out@9:00, check in @18:00	23:00 sleep
Period	Jul 1 to Sep 30 2022	Jul 1 to Jul 30: No ventilation system Aug 3 to Sep 30: Ventilation system installed
Measurement item	Temperature, RH, PM10, TVOCs, CO <sub>2</sub> , Odor etc.	-

Table 4. Experimental cases

Case	System		HRV	Window	Category
	on/off	Operation mode			
Case 1	On	20 (Sleep)	Off	Close	
Case 2	Off	-	Off	Open	
Case 3	Off	-	On	Close	Ventilation
Case 4	Off	-	Off	Close	
Case 5	On	20 (Sleep)	On	Close	
Case 6	On	20 (Sleep)	On	Close	
Case 7	On	20 (Sleep)	Off	Close	Air quality
Case 8	Off	-	Off	Close	
Case 9	Off	-	Off	Close	Airtightness
Case 10	Off	-	Off	Open	
Case 11	Off	-	Off	Close	
Case 12	On	20 (Sleep)	Off	Close	Noise
Case 13	On	30	Off	Close	
Case 14	On	40	Off	Close	
Case 15	On	50	Off	Close	
Case 16	Off	-	Off	Close	Quality view

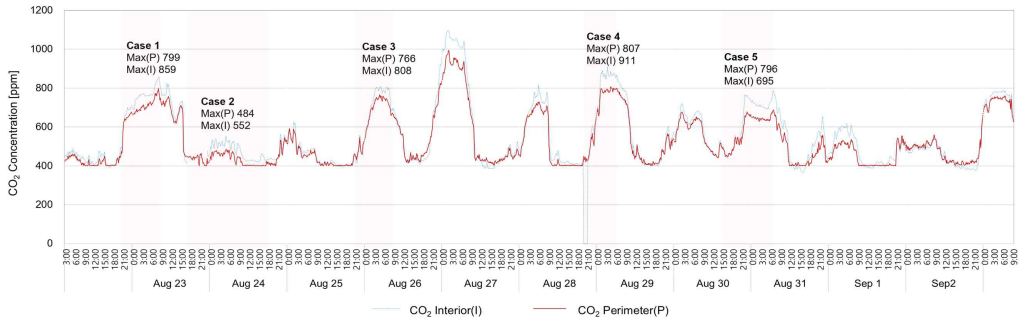


Figure 1. Indoor CO2 concentration trend

#### 4.1 환기: CO2 배출 성능 평가

환기 시스템 가동 여부에 따른 CO<sub>2</sub> 배출 성능을 평가하기 위해 수면 시 환기 미수행, 자연 환기, 환기 시스템 가동 시 각각 실내 CO<sub>2</sub> 농도를 측정하였다. 평가 결과 미환기(911 ppm) > 환기 시스템 가동(859 ppm) > 자연 환기(552 ppm)의 순으로 최대 CO<sub>2</sub> 농도가 높게 나타났다. 환기 시스템 가동 시 환기 미수행의 경우 대비 최대 CO<sub>2</sub> 농도를 약 14 % 낮출 수 있으며, 급격한 CO<sub>2</sub> 농도 상승을 방지할 수 있다. 특히 환기 시스템과 함께 에어컨 송풍 및 공기청정기(약) 동시 가동 시 최대 CO<sub>2</sub> 농도를 47 % 낮출 수 있으며, 공기청정기(강) 가동 시 71 % 까지 농도 저감 비율이 높아진다. 모든 Case에 대하여 내주부가 외주부보다 CO<sub>2</sub> 농도가 높은 것으로 나타났다.(Figure 1)

#### 4.2 공기질: 미세먼지 차단 및 실내공기질 유지 성능 평가

환기 시스템 가동에 따른 외부 미세먼지 차단 및 실내 공기질 유지 성능을 평가하기 위해 자연 환기 및 환기 시스템 가동 시 재실 상태에서 실내외 미세먼지 농도를 측정하여 환기 시스템 설치 및 운전으로 인한 외부 미세먼지의 실내 유입 가능성을 평가하였다.

자연 환기 시 실내와 실외의 미세먼지 농도가 매우 유사한 패턴을 나타내었다. 한편 환기 시스템 가동 시 실외 미세먼지 농도가 20 ~ 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 임에도 불구하고 실내는 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 매우 좋음 수치를 보였다. 특히 실험 대상 세대는 HEPA필터가 설치된 전열교환 환기장치가 시공되어 있으나, 전열교환 환기장치 작동 시 장치 누기 등으로 인해 실내 미세먼지 농도가 높아지는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 전열교환 환기장치가 의무 설치

된 신축 세대에서도 본 환기 시스템의 적용 가능성을 보여준다고 해석할 수 있다.

#### 4.3 공기질: 실내 유해 물질 배출 성능 평가

환기시스템 가동에 따른 휘발성 유기화합물(TVOC) 배출 성능을 평가하기 위해 일반 생활 상태와 특정 활동 상태의 실내 TVOC 농도를 측정하였다. 우선 일반 생활 상태에서 TVOC 농도를 측정 후 실내 특정 활동 상태를 가정하고 페인트 150 ml(약 2 m<sup>2</sup> 도장 용량)를 파렛트에 도포한 상태를 유지하고 TVOC 농도를 측정하였다. 평가 결과 자연환기 > 전열교환 환기장치 > 환기창 > 미환기의 순으로 TVOC 배출 능력이 우수하게 나타났으며, 환기 시스템 가동 시 TVOC의 최대값이 미환기 시와 비교하여 약 50 % 수준이었다.(Figure 2)

#### 4.4 기밀 성능 평가

환기시스템 가동 시 외부 오염 물질의 실내 유입 방지 성능을 평가하기 위해 기존 창호(발코니용 단창)에서 환기 시스템(이중창)으로 교체한 세대를 대상으로 블로어도어테스트를 수행하였다. 환기 시스템의 시공에 따른 기밀 성능 변화만 파악할 수 있도록 전열교환 환기장치 디퓨저, 욕실 배기팬 등은 모두 밀폐하였다. 평가 결과 기존 발코니용 단창 228@CFM50, 환기 시스템 148@CFM50으로써 환기 시스템을 설치한 경우에 기밀도가 향상되었다.(Figure 3) 이 결과는 환기 시스템 설치 여부보다는 창호 교체에 따른 기밀도 향상에 주로 기인하였다고 판단된다.

#### 4.5 소음: 외부 소음 유입 차단 및 설비 소음, 기류 평가

환기 시스템 가동 조건에 따른 외부 소음 유입

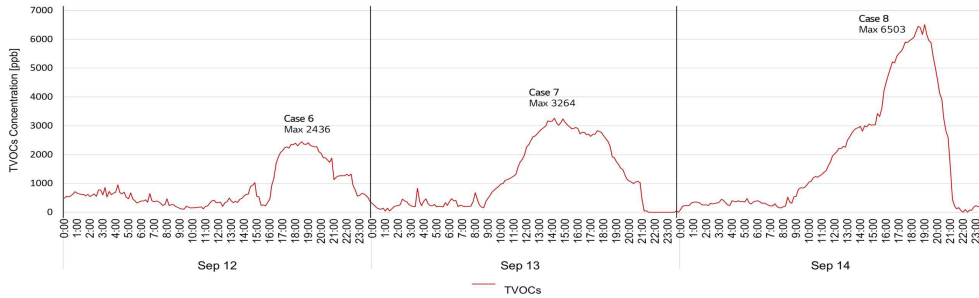


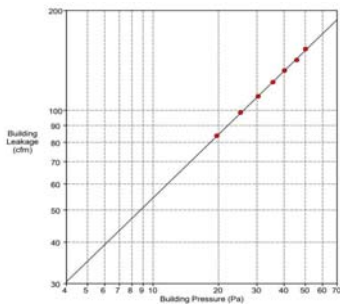
Figure 2. Changes in indoor TVOC concentration

차단 성능 및 환기창의 설비 소음/기류 속도를 평가하기 위해 자연 환기(창호 개방), 환기 시스템 가동 및 미가동 시 소음 레벨을 측정하였다. 자연 환기 시 불규칙한 외부 소음이 실내로 유입되었으며(최대 68.3dB), 환기 시스템 가동 시 발생하는 설비 소음은 최대 36.2dB로써 수면에 방해가 되지 않는 수준이다. 환기 시스템 가동 시 토출 기류 속도는 운전 모드에 따라 0.08 ~ 0.33 m/s이며, 거주역에서는 기류가 느껴지지 않았다.

과 창호 일체형 환기 시스템의 전체 창호 설치 가능 면적 대비 투명 면적을 산정하였다. 전체 창호 설치 가능 면적은 5.53 m<sup>2</sup>이며, 투명 면적이 4.15 m<sup>2</sup>인 기존 창호 시스템의 투명 면적 비율은 75.1%인 반면 창호 일체형 환기 시스템의 투명 면적 비율은 55.1%이다. 기존 창호 시스템 대비 투명 면적 비율이 약 20% 가량 줄어들어 View level이 낮아질 수 있으므로 주의해야 한다.



(a) Test configuration



(b) Result chart

Figure 3. Blower Door Test result

#### 4.6 시야 및 조망: 시야 및 조망 확보 및 우수성 평가

환기 시스템 설치에 따라 시야 및 조망에 미치는 영향을 정량 평가하기 위해 기존 창호 시스템

#### 5. 성능 평가 주요 결과에 따른 항목 별 논의 사항

창호 일체형 환기 시스템의 성능 평가 방법에 따라 다양한 항목에 대한 정량적 데이터를 확보할 수 있었다. 환기와 공기질 평가에 있어서 내주부와 외주부의 CO<sub>2</sub> 농도 차이가 발생하였는데 성능 평가 시 기류 교번 장치의 설치, 급기구와 배기구의 이격 거리 측정 등을 고려하는 것이 필요하다. 기밀 성능 평가에 있어서 창호 일체형 환기 시스템은 창호 교체가 동시에 이루어지는 특성이 있으므로, 기존 창호 시스템과의 비교 평가보다는 환기 시스템 자체의 기밀도와 대상 공간의 환기율 증축 여부 측면에서 성능 평가가 필요하다.

소음은 운전 모드에 따라 편차가 크다. 따라서 특정 운전 모드를 평가 경계 조건으로 지정하고 해당 모드에서의 소음을 평가해야 시스템 간 비교가 가능하다. 또한 소음은 환기 시스템이 침실에 설치될 경우 중요도가 높을 것으로 예상되므로 적용 공간에 따라 평가 기준을 달리할 필요가 있으며, 추후 소음 크기뿐만 아니라 특정 주파수의 변화 빈도를 평가해야 한다. 기류 측면에서는 흡·배기구의 높이에 따라 거주역에서 기류로 인한 불쾌적 발생 가능성이 확인되었다. 추후 급·배기구의 위치 역시 평가할 필요가 있다.



## 6. 결론

본 연구에서는 창호 일체형 환기 시스템의 성능을 평가하기 위해 평가 항목 별 평가 인자를 도출하고 다양한 근거 기준에 따라 평가 방법을 정립하였다. 환기 시스템의 성능 평가를 수행한 결과 환기, 공기질, 기밀, 소음, 시야 및 조망 항목에 대한 성능을 정량적으로 평가할 수 있었다. 특히 환기와 공기질 측면에서 창호 일체형 환기 시스템을 적용하여 대상 공간의 CO<sub>2</sub> 농도를 약 14 % 이상 저감시킬 수 있었다. 이와 동시에 실외 미세먼지 농도가 높은 경우에도 환기 시스템을 이용하여 실내 미세먼지 농도를 낮게 유지하면서 환기하는 것이 가능한 것으로 판단된다.

본 연구에서 정립한 평가 방법은 실제 공간에 환기 시스템이 적용된 상황에서의 성능을 평가하는 것을 목적으로 하였다. 또한 평가 방법의 검증 및 보완을 위해 파일럿 실험을 수행하였다. 이를 바탕으로 근거 기준의 실험실 상황에서의 평가 결과와 비교에 관한 후속 연구가 이루어져 유사한 방식을 사용하는 다양한 창호 일체형 환기 시스템에 대한 종합적인 성능 평가 기준이 마련되어야 한다.

## REFERENCES

1. ASNI/ASHRAE 62.1. (2022). Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality
2. ASNI/ASHRAE 62.2. (2022). Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality in Residential Buildings
3. ASTM E779-03. (2004) Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization
4. ASTM E283-04. (2004) Standard Test Method for Determining Rate of Air Leakage Through Exterior Windows, Curtain Walls, and Doors Under Specified Pressure Differences Across the Specimen
5. Berglund B., Kindvall T., Schwela D.H. (1999). Guidelines for community noise, WHO, Geneva.
6. Chun, C.Y. (2015). Bedroom Environment for Healthy Sleep. Review of Architecture and Building Science, 43-46.
7. ISO 10140-2. (2021). Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 2: Measurement of airborne sound insulation
8. Jang, J.S., Noh, K.C., Oh, M.D. (2004). Experiment on the Relationship between the Indoor CO<sub>2</sub> Concentration and Local Mean Air Age. Paper presented at the Conference of the AIK 2004: AIK, 351-356.
9. Kim, B.N., Chun, C.Y. (2008). A study on sleep environment in bedroom and segmentation of sleepers in Korea. Paper presented at the Conference of the KHA 2008: KHA, 291-296.
10. Kang, D.H. (2013). Estimation of Air Exchange Rate of a Residential Building by Using Occupant-generated Carbon Dioxide Gas. J. of AIK, 29(10), 293-300.
11. KIAEBS C-1. (2013). Building Airtightness Criteria
12. Kim, M.H., Kim, M.J., Chun, C.Y. (2008a). The Research on Sleep Environment and Sleep Quality — In Case of Winter and Spring—. Paper presented at the Conference of the KIAEBS 2008: KIAEBS, 125-128.
13. Kim, M.H., Kim, M.J., Chun, C.Y., Han, J.K. (2008b). A study on the relationship between sleeping environment in the bedroom and obstructive sleep apnea syndrome through ApneaLink Test. J. of KSLES, 15(4), 612-620.
14. KS F 2603. (2021). Standard test method for measuring indoor ventilation rate(carbon dioxide method)
15. KS B 6141. (2020). Air filter units for ventilation
16. KS F 2807. (2021). Standard test method for measuring air volume flow rate of ventilation and air conditioning system
17. KS F 2921. (2018). Testing method for airflow rate of natural ventilation system
18. KS I ISO 16000-8. (2020). Indoor air — Part 8: Determination of local mean ages of air in buildings for characterizing ventilation conditions
19. KS L ISO 12569. (2021). Thermal performance of buildings — Determination of air change in buildings — Tracer gas dilution method
20. KS L ISO 9972. (2021). Thermal insulation-Determination of building airtightness-Fan pressurization method
21. KS F ISO 16032. (2021). Measurement of sound pressure level from service equipment in buildings - Engineering method
22. KS B 6879. (2021). Heat recovery ventilators
23. KS F 2862. (2022). Rating of airborne sound insulation in buildings and of building elements
24. LEED BD+C: New Construction v4.1. (2019). EQ

Credit. Quality View

25. Lee, B.S., Park, J.K. (2006). Comparison about Time Serial Change of Carbon Dioxide's Concentration and Ventilation at Apartment Room. J. of KSEA, 12(1), 27-36.
26. Ministry of Environment. (2020). 4th Basic Indoor Air Quality Management Plan (~'24)
27. Osada Y., Ogawa S., Ohkuno C., Miyazaki K. (1974). Experimental study on the sleep interference by train noise, Bulletin of the institute of public health, Tokyo, Japan, 23, 171-177.
28. SPS-KACA 010-0140. (2014). Fan Filter Unit
29. SPS-KACA 016-0146. (2021). Testing methods for fine dust removal efficiency of range hoods