



# **KIEAE Journal**

Korea Institute of Ecological Architecture and Environment

119

# 기존 주택용 창문 부착형 현열교환 환기장치 제안 및 성능 평가

Proposal and Performance Evaluation of a Window-mounted Sensible Heat Exchange Ventilator for Existing Houses

노상태\*

Sang-Tae No\*

\* Professor, School of Architecture, Korea National Univ. of Transportation, South Korea (stno@ut.ac.kr)

#### ABSTRACT

**Purpose:** Air pollution is becoming serious around the world, and indoor air quality in buildings is also deteriorating. For energy-saving ventilation and good indoor air environment, this research proposed and made a window type heat exchange ventilation system that can be installed easily in an existing house, and examined its performance. A plate type heat exchange element for ventilator was made by a 3D printer. **Method:** According to the Korean Industrial Standard KS B 6879:2020 Test Method for Heat Recovery Ventilator, the ventilator was tested four times in a real environment. Two experiments were measured for 10 minutes, and the remaining two were measured for 11 hours and 10 hours, respectively. Ventilation, supply air, exhaust air, and outside air dry-bulb temperatures were measured every 5 seconds. After that, the temperature exchange efficiency was calculated for ventilation, supply air, exhaust air, and outside air average temperature using the temperature exchange efficiency formula described in KS B 6879:2020. **Result:** The performance was 70.97% in the first experiment, 68.11% in the second experiment, 56.47% in the third experiment, and 64.16% in the fourth experiment.

© 2023. KIEAE all rights reserved.

#### KEYWORD

열교환 소자 3차원 프린터 창문부착형 환기장치 자가제작형 기존 주택

Heat Exchanger Element 3-Dimensional Printer Window-Mounted Ventilation DIY(Do It Yourself) Existing House

#### ACCEPTANCE INFO

Received Jan. 9, 2023 Final revision received Jan. 20, 2023 Accepted Jan. 26, 2023

# 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

최근 세계보건기구(WHO)가 미세먼지, 초미세먼지 기준을 강화했다. 매년 대기오염으로 인한 조기 사망자수가 700만 명이 사망하는 등 대기 오염이 공중 보건에 위협이 될 수 있다는 전망이 대두되고 있다[1]. 또한 최근 전세계로 확산 된 COVID-19는 호흡기 감염 질환으로 주된 감염경로는 비말에 의한 전파이지만 WHO가 COVID-19의 공기전파 가능성을 인정했다[2]. 아울러 미세먼지를 줄이고자 하는 세계적인 흐름을 발맞춰 국내 기준 강화가 불가피하다는 목소리가 나오고 있는 추세이다. 특히 우리나라는 황사와 미세먼지의 영향을 많이 받는 시기에 창문을 열어 실시하는 환기가 어렵고, 환기에 의한 냉난방 손실이 크다. 따라서 환기를 통해 실내 공기환경를 청정하게 유지하면서도 에너지 손실을 줄일 수 있는 적절한환기 장치의 도입이 필요하다.

일반적인 주거 건물의 환기 방식은 창문을 개방하는 자연환기가 있지만, 앞서 언급한 이유인 공기질이 좋지 않은 상황이거나 실내를 냉난방하는 여름이나 겨울에는 자연환기에 따른 열손실을 막기 위해 열교환(열회수)이 가능한 기계환기설비를 적용할 필요가 있다. 환기장치가 설치되어 있는 신축 공동주택과 달리 기존주택은 환기 장치가 설치되어 있지 않아 별도 설치가 필요하지만 열교환 환기장 치를 설치하는 데에는 덕트설치, 열교환장비 구매, 구조 변경 등 시 간, 공간, 비용 부담이 발생한다. 따라서 본 연구에서는 기존주택 창 문에 간단하게 설치할 수 있도록 사용자가 쉽게 제작할 수 있는 자가 제작형 창문형 열교환 환기장치를 제안, 제작하여 그 성능을 검토하 고자 한다.

# 2. 열교환 환기장치 관련 이론

# 2.1. 선행연구 고찰

열교환 환기장치 관련 선행연구 조사 결과를 요약하면 다음과 같다. 기존 연구에서는 창호 부착형 환기시스템은 실별로 설치가 가능하여 실별 제어가 가능하고 실의 특징에 따른 에너지절감 효과가 있다고 기술하였다[1]. 창문형 하이브리드 환기시스템이 설치된 모델건물에서 기계환기 모드와 자연환기 모드의 환기 효율에 관한 실험을 농도 감쇠법을 이용해 수행하였다. 자연환기 모드의 경우 49.8[±0.07]%~52.7[±0.15]%의 환기효율을 얻을 수 있었으며, 기계환기모드의 경우는 자연환기 모드 보다 적게는 10.5%에서 많게는 26% 정도의 더 많은 효율을 나타내는 것을 도출할 수 있었다[3]. 트레이서 가스법(KS F603)을 이용하여 새로운 형태의 창호(원형창호)의 환기 성능을 평가하였다. 환기장치 2개를 설치한 경우에는 최소 환기 기준을 만족하였고, 수평배치보다 수직배치가

효율적인 것으로 나타났다. 또한, 필터 종류에 따른 Ublo(원형창 호)의 환기량(CMH)을 측정하고자 자연환기설비의 환기성능 시 험(KS F2921)을 수행하였다[4]. 일반 가정에서 많이 사용하고 있 는 공기청정기와 해당 연구에서 개발한 공기청정 환기시스템의 실 내 미세먼지 농도를 분석하였다. 거실을 기준으로 한 국부적인 성 능은 공기청정기가 우수하나 단위세대 전체를 기준으로 평가하면 개발된 공기청정 환기시스템의 오염물질 제거효율이 보다 우수한 것으로 평가되었다[5]. 실제 공동주택에 적용할 수 있도록 3D프린 터를 이용하여 종이 재질 대비 강성이 있는 열교환 환기 장치용 열 교환 플레이트를 몇몇 재료와 형태별로 제작하고 그 성능을 평가하 였다[6].

본 연구에서는 3D프린터로 제작된 평판형 열교환 소자를 이용해 자가제작형 환기장치를 제작해 실내온도 변화와 열교환 환기 성능 을 평가하였다. 시판용 환기장치와 다르게 사용자가 제작 가능할 수 있는 재료를 이용하였고, 열교환이 가능한 다른 시판용 환기장치에 비해 가격이 저렴하고, 창문부착형 방식을 적용하여 대중적인 접근 성을 높였다는 관점에서 기존 연구와 차별성이 있다.

### 2.2. 환기관련 규정 및 기준

국내 규정으로 건축물의 설비 등에 관한 규칙(국토교통부령 제 882호, 2021. 8. 27.) 제 11조에서 신축 또는 리모델링 하는 주택 또는 건축물은 시간당 0.5회 이상의 환기가 이루어질 수 있도록 자 연환기설비 또는 기계환기설비를 설치하도록 규정하고 있다. 대 상 규모는 30세대 이상의 공동주택을 말하며, 자연환기설비는 동 규칙 별표 1의 4, 기계환기설비는 동 규칙 별표 1의5의 기준에 적 합해야 한다. 별표 1의 5에서는 기계환기설비의 체계, 소음기준, 여과기의 포집률, 열회수환기장치의 유효환기량 기준 등을 다루 고 있다[7].

이 외에도 건강친화형 주택건설기준, 녹색건축 인증기준, 건축물 의 에너지 절약설계기준, 학교보건법 시행규칙, 실내공기질 관리법 시행규칙, 공중위생관리법 시행규칙 등 산재된 법령에서 제각기 환 기설비를 일정부분 다루고 있다.

설계기준으로는 건설교통부가 2002년에 제정한 건축기계설비설 계기준이 있고, 여러차례 개정, 보완을 거듭하고 있으며 환기설비에 서 열회수 환기장치를 다루고 있다. 최근 제정된 기계설비법 제 14 조에 따른 기계설비 기술기준(국토교통부고시 제2021-851호, 2021. 6. 7.)의 별표 3에서 환기설비를 다루고 있다.

시방서로는 국가건설기술표준시방서의 KDS 25.20에서 환기설 비설계기준을 다루고 있다.

# 2.3. 열교환 환기장치 성능 평가 표준

KS B 6879:2020(열회수형 환기장치)에서는 열회수환기장치의 전기적 안전성, 풍량, 정압손실, 순급기 풍량, 열교환 효율, 에너지 계수, 결로, 결로수 배출, 전압변동 특성, 소비 전력, 소음, 급배기 풍 량 비율, 먼지 누설률에 대한 시험 방법을 규정하고 있다[8].

본 연구의 대상인 열회수 환기장치의 현열효율 측정에 대한 방법 을 요약하면 다음과 같다. 온습도 측정점은 덕트내의 평균값이 얻어 지는 위치로, 시험품에서 덕트 지름의 3배 이상 거리에서 실시한다. 열교환 시험은 풍량 시험에서 적용한 기외 정압과 풍량으로 급기 풍 량과 환기 풍량을 ±5% 이내로 조정한 후 시행한다. 공기조건은 냉 방시 실내 건/습구 온도 24±0.3 / 17±0.2℃, 실외 건/습구 온도 35±0.3 / 24±0.2℃, 난방시 실내 건/습구 온도 22±0.3 / 13.9±0. 2°C, 실외 건/습구 온도 2±0.3 / 0.4±0.2°C로 설정한다. 열회수형 환기 장치 유닛의 경우 정격전압, 정격주파수의 최대 풍량에서 운전 하고, 측정점의 온습도가 안정된 후 온도 및 습도를 동시에 측정하여 현열교환 효율 계산을 실시한다. 열교환 효율의 최소 기준은 현열: 냉방 60% 이상, 난방: 80% 이상, 전열: 냉방 45% 이상, 난방 70% 이상으로 명시하고 있다. 아울러 KS B 6141에서는 화기용 공기필터 유닛에 대한 표준을 다루고 있다.

# 3. 창문부착형 열교환 환기장치 제안과 제작

### 3.1. 기존 열교환 소자 열교환 성능

몇몇 기존 선행 연구에서도 여러 가지 형상 및 재질로 열교환 소자 를 제작하여 열교환 효율을 실험한 사례가 있다. Table 1.에 선행 연 구의 열교환 소자의 재질, 형상 및 효율을 정리하여 나타내었다. 열 교환 소자 재질은 폴리머(Polymer), PLA(Poly Lactic Acid), ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) 등이었고, 열교환 소자 내부 형상 은 사각형, 물결무늬 였으며, 현열 효율은 냉방기준 48.91~74.46% 난방기준 54.06~81.07% 범위였다.

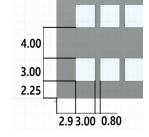
# 3.2. 평판형 현열교환 소자 제작

본 연구에서는 환기장치용 열교환 소자로 가장 일반적인 방식인 평판형 현열교환 소자를 채택하였다. 열교환 소자를 제작하기 위해 3D 툴로 형상을 모델링하고, 이를 3D 프린터(Flashforge Guider2;

Table 1. Previous research cases of sensible heat exchange elements

Research Case		Kang et al., 2018 [9]	Lim et al., 2021 [10]	Park et al., 2020 [6]
Sensible heat	Cooling	62.54	74.46	48.91
exchange efficiency (%)	Heating	79.1	81.07	54.06
Material		Polymer	PLA	PLA, ABS
Shape		Wave	Rectagular	Rectagular
Measurement method		KS	KS	In-situ





(1) Heat exchanger element

(2) Internal dimensions(mm)

Fig. 1. 3D printing of plate type sensible heat exchanger

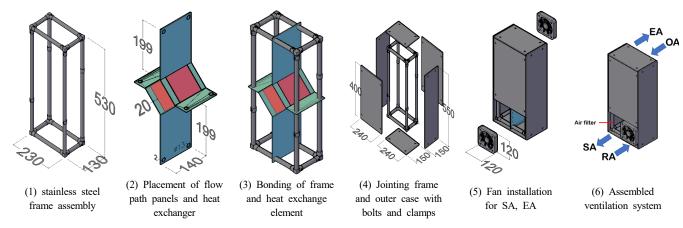


Fig. 3 Assembly sequence and device overview of window-mounted ventilation system (mm)

FDM 방식, 최대출력크기 280×250×300mm, 최대속도 100mms)로 출력하였다. 선행 연구[박용석]의 재료 및 형상별 열교환 효율 결과를 기초로 열교환 소자의 소재는 PLA로, 열교환 소자 내부 골의 형상은 정사각형, 내부 골의 치수는 3×3mm로 정하였다. 열교환 소자의 전체 크기는 창문부착형 열교환 장치의 크기를 고려하여 100×100×100mm 정육면체로 모델링하였다. Fig. 1.에 평판형 현열교환 소자의 출력물 결과와 내부 골 치수, 골간 간격 치수를 나타내었다.

# 3.3. 창문부착형 열교환 환기장치 제작

본 연구에서는 Fig. 1.의 평판형 현열교환 소자를 이용, Fig. 2.의 부품과 재료를 이용하여 Fig. 3.과 같은 순서로 창문부착형 환기장치 를 제안, 제작하였다.

본 연구에서 제안하는 환기 장치는 기존 주택의 창문 프레임 을 해체하지 않고 설치할 수 있는 구조로 하였다. 외기에 접한 미 닫이 창문의 일부를 화기장치 폭만큼 개방, 개방된 창문 공간 창 틀에 환기장치를 세워 놓고 창문을 닫아 설치하는 구조이다. 창 문을 닫을 때 환기장치와 창문간 기밀성과 강성이 필요하기 때 문에 환기장치를 구조적으로 지지할 수 있도록 Fig. 2.와 같은 스 테인리스 재질의 봉과 커넥터(엘보)를 이용해 직육면체 형태의 프레임을 제작하였다. (Fig. 3. (1)) 장치내부에 공기 유로를 만들 기 위해 연성 재질인 포멕스로 내부 칸막이를 만들고, 여기에 열 교환 소자를 부착하였다. (Fig. 3. (2)) 스테인리스 프레임과 열교 환소자를 연결하고, (Fig. 3. (3)) 경도가 높은 아크릴 패널을 프 레임에 부착하여 외부 케이스화 하였다. 내부 포맥스 매털과 외 부 아크릴 패널 및 열교환 소자의 기밀성을 높이기 위해 마스킹 테이프로 마감처리를 실시하였다. (Fig. 3. (4)) 120×120mm 크 기의 팬을 RA와 OA 측에 부착하였다. (Fig. 3. (5)) Fig. 3.의 (6) 는 최종 완성된 환기장치의 형태와 실내외측 급기, 배기, 환기, 외기 방향을 나타낸다. Fig. 3.의 (6)에 외부로부터의 미세먼지를 제거하기 위한 에어필터를 설치하도록 나타내었는데, 본 연구의 실험은 현열교환 효율만을 대상으로 하여 에어필터를 설치하지 않았다.

완성된 환기장치 설치시 환기장치 측면과 창문/문틀이 맞닿는 면에 유격이 발생하는데, 틈새를 막기 위해 창문 프레임 기밀용으로 시

Parts Name Picture		Size and number (mm)		
Cramps		20×25 (2ea)		
Fans		120×120×25 (2ea)		
Bolts / Nuts	Se	4×24 (36ea) / 4×7 (36ea)		
Acrylic panels (3T)		240×400 (2ea) 240×150 (2ea) 150×550 (2ea)		
Fomex panels (3T)		50×145 (2ea) 200×145 (2ea) 100×20 (4ea) 96×20 (4ea)		
Stainless elbows / Rods		(8ea) / 230×1.5 (4ea) 130×1.5 (4ea) 530×1.5 (4ea)		

Fig. 2. Overview of the parts used in the developed ventilator

Table 2. Overview of the developed window-mounted heat exchange ventilator

Туре	Vertical type with window	
Size of Venitlator (mm)	240×150×550 (W×D×H)	
Size of Fan (mm)	120×120×25 (W×D×H)	
Operation Noise (dB)	45	
Fan Air Volume (CMM)	0.28	
Size of Heat Exchager (mm)	100×100×100	

중에 판매되는 우모를 끼워넣었다. 아울러 환기장치를 창문에 설치하면 환기장치 윗부분에 열린 공간이 남게 되는데, 아크릴 패널을 개방공간에 맞추어 재단하고, 패널 테두리에 우모를 설치하여 기밀화를 도모하였다.

Table 2.에 본 연구에서 제안, 제작된 창문부착형 열교환 환기장 치의 형태, 크기, 작동 소음, 풍량을 나타내었다.

# 4. 창문부착형 열교환 환기장치 성능 현장 실험

### 4.1. 실험방법

실험은 충북 충주시에 위치한 K대학교의 한 강의실의 외기에 면한 창에 환기장치를 설치하여 진행했다. 한국산업표준 열회수형 환기장치 KS B 6879에서 열교환 환기장치 시험 방법을 정의하고 있다. 열교환 효율 측정 방법에는 2실 방법과 덕트 방식이 있는데, 이중 덕트 방식을 이용하여 실험을 진행하였다. 온·습도의 측정점은 관로 내의 평균적인 값이 얻어지는 위치로서 모든 측정점은 시험품 관경의 3배 이상 거리에서 실시하였다. KS B 6879에서 공기조건은 Table 3.에서와 같은 건습구 온도를 기준으로 하고 있으나, 본 연구에서는 현장 실험을 진행하였기 때문에 Table 3.과 같은 실내외 온도를 설정할 수 없는 조건이었다. 따라서 난방조건과 유사한 시기인 10월에 열교환 장치의 성능 평가를 진행하였다.

온도와 풍속, 소음을 측정하기 위해 Table 5.와 같은 데이터 로 거와 T-type 열전대, 풍속 측정기, 소음계를 사용하였다. Fig. 4.와 같이 외기에 면한 창문에 본 연구에서 제안된 창문부착형 열교환 환기장치를 설치하고, 외기(OA), 급기(SA), 환기(RA), 배기(EA)의 온도를 4차에 걸쳐 측정하였다. 각기 다른 실내외 온도 조건 및 측정 간격을 설정하여 1차(2022년 10월 15일, 17:40~17:50시), 2차(2022년 10월 16일 00:00~11시), 3차(2022년 10월 18일 06:51~07:01시), 4차(2022년 10월 18일 22:00~08:00시)에 걸쳐 측정하였다.

Table 3. KS B 6879 Indoor and outdoor conditions of measurement criteria for heat exchange ventilators

	Indoor		Outdoor		
	DB Temp. (°C)	WB Temp.	DB Temp. (°C)	WB Temp.	
Cooling	24±0.3	17±0.2(49.6%)	35±0.3	24±0.2(40.3%)	
Heating	22±0.3	13.9±0.2(40%)	2±0.3	0.4±0.2(75.1%)	

Table 4. Overview of measuring instruments

Name	Data logger GL820	Wind speed meter testo 410-1	Sound level meter testo 815
Range	$-200 \le TS \le -100$	0.4~20m/s	32~130dB
Accuracy	±(0.1% + 1.5°C)	±0.2m/s +2%	±1.0dB





Fig. 4. Installation and experiment of window-mounted heat exchanging ventilator (left: indoor side, right: outdoor side)

아울러 KS B 6879 기준에서 제시하고 있는 열회수형 환기장치온도교환 효율 계산식(식 1)을 통해 열교환 환기장치의 현열효율  $(\eta_T,\%)$ 을 계산할 수 있다[8].

$$\eta_T = \frac{t_{O\!A} - t_{S\!A}}{t_{O\!A} - t_{R\!A}} \times 100 \tag{1}$$

 $t_{\mathit{OA}}$  = 외기 건구온도 ,  $t_{\mathit{SA}}$ = 급기 건구 온도,

 $t_{RA}$  = 환기 건구 온도

# 4.2. 실험결과

4차에 걸쳐 측정된 온도값들과 식(1)에 의해 계산된 열교환 효율을 Fig. 5.에 나타내었다. Fig. 5.에서 좌측 축은 온도를 나타내며, 우측 축은 해당 측정시의 온도교환 효율을 나타낸다. 1차 실험은 2022년 10월 15일 17:40~17:50 시까지 총 10분을 5초 간격으로 120회 측정하였고, 평균 열교환 효율은 70.97%였고, 최소 65.04, 최대 85.52%였다. 10분간의 짧은 측정시간으로 인해 온도 및 효율값의 변동이 다른 실험에 비해 비교적 컸다. (Fig. 5.-a) 2차 실험은 2022년 10월 16일 00:00~11시까지 총 11시간을 5초 간격으로 7,920회를 측정하였다. 평균 열교환 효율은 68.11%였고, 최소 57.14, 최대 75.75%였다. (Fig. 5.-b) 3차 실험은 2022년 10월 18일 06:51~07:01 시까지 총 10분을 5초 간격으로 120회 측정을 하였다. 평균 열교환 효율은 56.47%였고, 최소 53.01, 최대 60.24%였다.(Fig. 5.-c)

4차 실험은 2022년 10월 18일 22:00~08:00 시까지 총 10시간 5초 간격으로 7,200회를 측정하였다. 평균 열교환 효율은 64.18%였고, 최소 49.35, 최대 77.46%였다. (Fig. 5.-d), (Fig. 5.-c) 측정시간이 짧으며 외기 온도의 변화가 큰 1차실험(Fig. 5.-a)에서는 열교환효율 변동이 컸으나, 동일하게 측정시간이 짧고 외기 온도의 변화가 크지 않은 3차실험(Fig. 5.-c) 에서는 열교환효율이 일정한 결과를 나타내는 것을 볼 수 있다. 측정시간이 긴 2차(Fig. 5.-b), 4차(5-d) 실험에서도 실내외 건구 온도변화 폭이 컸지만 열교환효율 은 일정한 결과를 보여, 열교환효율의 현장 측정시 충분한 측정시간의 확보가 필요한 것으로 판단된다.

Table 5.에는 총 4차에 걸친 실험 데이터의 평균값과 표준편차를 정리하여 나타내었다. 고효율에너지 기자재 데이터베이스 조사 연구를 통해 열회수형 환기장치 959건의 제품성능 현황을 조사한 선행 연구에 따르면, 열회수형 환기장치의 고효율에너지 기자재 인증이 활성화되었던 2004년~2017년의 주요 제품군은 덕트형으로 공동주택 적용제품이었다. 풍량별 냉방시 열교환효율은 그룹1(2004~2017년 788개) 평균 54.2%, 그룹 2(2018~2020년 171개) 평균 59.7%이며, 난방시 열교환효율은 그룹 1에서 평균 73.4%, 그룹 2에서 평균 74.3%였다[11]. 본 연구에서의 실험 조건을 난방 조건으로 가정하고, 기존 제품의 난방 온도교환 효율과본 연구의 2차, 4차 실험의 결과값인 68.11%, 64.18% 비교해보면 본 연구에서 제안된 환기장치의 난방시 열교환효율은 최소 5.2% 최대 10.1% 낮은 것으로 나타났다.

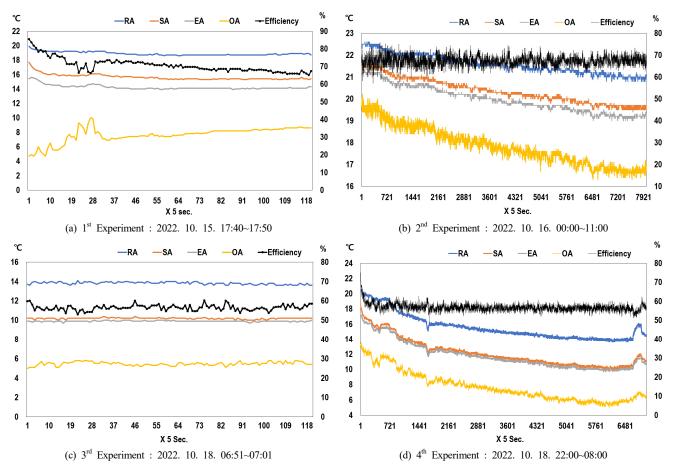


Fig. 5. Ventilator test results (temperature, sensible heat exchange efficiency)

Table 5. Developed ventilator temperature and average heat exchange efficiency

Experimental	DB Temp.(°C) (Standard Deviation)				Sensible heat
order	(RA)	(SA)	(EA)	(OA)	exchange efficiency (%)
1st	18.88	15.62	14.23	7.64	70.97
	(0.24)	(0.39)	(0.31)	(1.09)	(3.86)
2nd	21.64	20.56	20.27	18.25	68.11
	(0.43)	(0.56)	(0.60)	(0.85)	(2.12)
3rd	13.80	10.17	9.90	5.46	56.47
	(0.13)	(0.07)	(0.05)	(0.18)	(1.40)
4th	20.02	17.37	16.66	12.64	64.18
	(0.23)	(0.52)	(0.37)	(0.38)	(3.97)

# 5. 결론

본 연구에서는 환기장치가 설치되지 않은 기존주택에 거주자가 쉽게 제작, 적용하는 것을 목적으로 창문부착형 현열교환 환기장치 를 제안, 제작하였다. 환기장치를 구성하는 부품의 재료와 치수를 규격화하여 제작이 용이하도록 하였으며, 3D프린터를 이용해 PLA (Poly Lactic Acid) 재료로 평판형 열교환 소자를 제작하여 소자의 내구성과 열교환 성능을 높이고자 하였다.

제작된 환기장치를 실제 건축물 외피 창에 부착하여 열교환 효율을 현장 측정하였다. 장시간 측정시 열교환 효율의 변동폭 이 작았으며, 본 연구에서 제안된 창문부착형 현열교환 환기장 치의 난방시 현열교환 효율은 64~68% 내외로 판단된다. 기존 상업용 열교환 환기장치 및 KS B 6879 현열 교환율 최소기준 80%와 비교하였을 경우 최대 10% 정도 낮은 것으로 나타났으 나, 본 연구의 현장 실험 실내외 공기 온도 조건이 KS B 6879의 난방시 실내외 건습구 공기 온도 조건과 다소 상이하고, 환기장 치의 내부 기밀성의 문제로 열교환 효율이 다소 낮게 나타난 것 으로 파악되나 일반적인 주거환경 조건에서는 충분히 적용 가능 할 것으로 판단된다.

향후 지속적인 개발을 통해 기밀 성능과 풍량 상향 및 풍량 조절 보완, 결로 테스트, 미세먼지 대응 및 IoT 제어 등을 보완할 필요가 있다.

# **Acknowledgement**

이 논문은 2019년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019R1A2C100609912).

이 논문은 2022년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원 을 받아 수행된 연구임(No.2022R1I1A30641961130382068210101).

### References

- [1] 최광주, 창문형 하이브리드 환기시스템, 한국: 설비저널, 2018, p.56. // (G.J. Choi, Crime window type hybrid ventilation system, Korea: Journal of SAREK, 2018, p.56.)
- [2] Korea Disease Control and Prevention Agency, https://ncv.kdca.go.kr/menu.es?mid=a30102000000, 2022.12.01.
- [3] 권오현 외 3인, 창문형 하이브리드 환기시스템의 자연환기성능평가에 대한 연구, 한국: 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제31권 제2호, 2011, pp.405-406. // (O.H. Kwon et al., An experimental study on the ventilation effectiveness of window shaped ventilator system Korea: Proceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea, 31(2), 2011, pp.405-406.)
- [4] 박한결 외 5인, 창문 부착형 자연환기 장치의 환기성능 평가, 한국: 한국에너지학회 학술발표회 논문집, 제5호, 2019, pp.91-92. // (H.G. Park et al., Evaluation of ventilation performance in window-attached natural ventilation system, Korea: Proceeding of KOSEE, 5, 2019, pp.91-92.)
- [5] 정민호 외 3인, 공동주택 실내환경 개선을 위한 공기청정 환기시스템 연구, 한국: 대한설비공학회 학술발표대회 논문집, 제6호, 2016, pp. 987-989. // (M.H. Jeong et al., A study on the heat recovery ventilation system with air purifier for indoor air quality in apartment housing, Korea: Proceeding of SAREK, 6, 2016, pp. 987-989.)
- [6] 박용석, 김태윤, 노상태, 3차원 프린터를 이용한 판형 열회수 장치 제작 및 성능 평가, 한국: 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집, 제20권 제2호, 2020, pp.104-105. // (Y.S. Park, T.Y. Kim, S.T. No, Manufacturing and performance evaluation of a plate-type heat recovery device using a 3D printer, Korea: Proceeding of KIEAE, 20(2), 2020, pp.104-105.)
- [7] 국토교통부, 건축물의 설비기준에 관한 규칙, 국토교통부 고시 제 2021-882호 // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Rules on the building equipment standards, Koream MOLIT, 2021.)
- [8] 국가기술표준원, KS B 6879, 열 회수형 환기장치, 2020.12.30. // (Korean Agency for Technology and Standards, Heat recovery ventilators, Korea: KATS, 2020.)
- [9] 강인성, 안태경, 박진철, 열 교환 소자 형상의 CFD 시뮬레이션을 통한 판형 전열 교환기 성능평가, 한국: 설비공학논문집, 제29권 제1호, 2017, pp.1-6. // (I.S. Kang, T.K. Ahn, J.C. Park, A performance evaluation of plate type enthalpy exchanger through CFD analysis of elements, Korea: Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 29(1), 2017, pp.1-6.) [10] 양수광 외 4인, 공조용 전열교환소자의 설계인자에 따른 열교환 성능
- [10] 양수광 외 4인, 공조용 전열교환소자의 설계인자에 따른 열교환 성능 분석, 한국: 대한설비공학회 학술발표대회 논문집, 2021, pp.9-11. // (S.K. Yang et al., Analysis of heat exchange performance according to design factors of total heat exchange element for air conditioning, Korea: Proceeding of SAREK, 2021, pp.9-11.)
- [11] 박병용, 조진균, 오병철, 열회수형환기창치의 성능 현황 및 평가방법에 관한 연구, 한국: 설비공학논문집, 제34권 제3호, 2022, pp.145-153. // (B.Y. Park, J.K. Cho, B.C. Oh, A study on performance status and test standard of heat recovery ventilator, Korea: Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 34(3), 2022, pp.145-153.)