

3차원 프린터를 이용한 환기용 판형 현열교환기 제작 및 평가

Manufacturing and evaluation of plate-type sensible heat exchanger for ventilation using 3D printer

노 상 태*

No, SangTae

Abstract

Recently indoor air pollution of building is becoming more serious. Unlike new apartments, existing apartments often do not have enough ventilation. To vent the polluted air out of the room, occupants have no choice but to open a window and ventilate it. The cost of installing heat-exchange ventilation system in existing apartments will increase. In this study, plate heat recovery devices were modeled and manufactured directly with a 3D printer to review their performance. Plates are manufactured using PLA and ABS. The plate is 100×100×60mm in width, length and height. The hole sizes were 3mm, 4mm and 5mm respectively, with a difference of 1mm in size. The experiments were conducted emulating the duct method of KS B 6879. Performance shows heat exchange efficiency of at least 35.29% to at most 54.06%. Smaller holes indicate better efficiency. This is not a bad efficiency compared to paper heat exchanger. These results show that plates made using 3D printers can also be used.

키워드 : 3D 프린터, 열교환 환기장치, 판형 열교환기

Keywords : 3D Printer, Heat Exchange Ventilation System, Plate Heat Exchanger

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 사람들의 활동이 실내에서 많이 이루어지고 있다. 더욱이 코로나바이러스 감염증-19의 확산에 따라 전 세계적으로 사회적 문제가 되고 있다. 우리나라에서는 사회적 거리 두기를 시행하면서 많은 사람이 외출을 자제하고 오랜 시간을 실내에서 보내고 있다. 외출의 횟수가 적어질수록 사람들은 실내에서 많은 활동을 하게 되며, 이에 따라 실내공기가 오염되기 쉽다. EPA에선 실내공기 오염이 실외보다 2~5배 더 심하다는 발표가 있었으며, WHO에 따르면 전 세계 사망자 중 700만 명이 대기오염으로 인한 사망이고 그 중 실내공기 오염으로 인한 사망자가 430만 명에 달한다는 보고가 있었다. 약 61%로 절반 이상의 수치를 나타낸다. 국내에서는 미세먼지, 초미세먼지를 포함하여 이산화탄소, 포름알데히드, 라돈 등 12가지의 유해성 물질 및 발암 물질을 한국표준협회 실내공기 질 측정 기준으로 정하여 시행할 정도로 실내공기 오염이 심각하다는 것을 알 수 있다.

건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 제11조가 2006년 2월 13일에 신설되어 100세대 이상 신축 또는 리모델링하는 공동주택의 경우 시간당 0.5회 이상의 환기가 이루어질 수 있도록 자연 환기설비 또는 기계 환기설비를 설치해야 한다. 하지만 2020년 4월 9일에 100세대에서 30세대로 기준이 더욱 높아졌다. 이는 실내공기를 환기하는 것이 얼마나 중요해졌는지를 보여주는 것이다. 이전에 신축 또는 리모델링 된 공동주택은 자연 환기설비 또는 기계 환기설비가 제대로 설치되어 있지 않아 창을 열어 환기하는 방법이 대부분이다. 여름철과 겨울철에는 실내를 냉·난방하기 때문에 창을 열어 자연 환기할 경우 열 손실이 크게 일어나므로 환기 시 열 손실을 줄일 필요성이 있다. 실내 활동이 많아짐에 따라 실내공기 오염이 심각해지고 있다. 신축 공동주택에는 대부분 열교환 방식의 강제 환기장치가 설치되어 있으나, 기존 공동주택에는 환기설비가 제대로 설치되어 있지 않은 경우가 많으므로, 실내의 오염된 공기를 밖으로 배출하기 위해서는 창을 열어 환기를 실시할 수밖에 없다. 이 경우 열 손실을 방지하는 방안이 필요하지만, 기존 공동주택에 열교환 환기장치를 설치할 경우 비용 부담이 커지게 된다.

최근 일선 학교에서는 4차 산업 시대에 대비하기 위해 각종 코딩, 3D 프린터 강좌를 실시하고 있는데, 이를 활용한다면 비용이 적게 드는 구조가 간단한 열교환 환기장치를 제작 가능할 것이다.

* 한국교통대학교 건축공학과 교수, 공학박사

(Corresponding author : School of Architecture, Korea National University of Transportation, stno@ut.ac.kr)

2021년 한국교통대학교 지원을 받아 수행하였음

따라서 본 연구에서는 3D 프린터로 직접 모델링, 제작 가능하며, 3D 프린터를 보유하지 않더라도 제작을 의뢰하여 구매할 수 있고, 일반인들이 쉽게 접근할 수 있는 3D 프린터를 사용하여 제작 가능한 판형 열 회수 장치를 제작하여 그 성능을 검토하고자 한다.

2. 문헌고찰

2.1 기존 문헌 검토

열 회수 환기장치 관련 기존 연구를 검토한 결과는 다음과 같다. 열 회수 환기장치에서 같은 체적 내에서 골 높이만 줄여 실제 열교환이 이루어지는 접촉면적을 증가시키는 방법으로 냉난방 열교환 효율을 향상시킬 수 있었다. 골 높이가 감소 되면 통과 풍속이 빨라짐에도 불구하고 냉난방 효율이 향상된다는 것은 통과 풍속의 감소에 따른 효율의 증대보다 접촉면적의 증가로 얻는 효율 증대가 더 큰 것으로 판단했다. (Park, 2009). 전열 교환기 소자의 일반형, 마름모형으로 다르게 하여 이에 따른 효율 변화의 실험하였으며 전열 교환 소자의 형상에 따라 효율의 변화가 있음을 증명하였다. (Park, 2008). 열교환 소자의 유지관리 측면에서 종이 재질의 소자에서 시스템의 운전 상태에 따른 결로 발생에 관한 원인 분석과 개선 방안을 제시하였다. (Jeon, 2013). 판형 종이 재질의 열교환 소자의 5년 사용 후 성능 변화에 대하여 추적하였다. (Kim, 2016). 우주 발사체에 적용되는 열교환기를 기계 가공 방식과 3D 프린터 방식을 사용하여 비교한 결과 열교환 성능에 큰 차이가 없음을 확인하였다 (Oh, 2018).

기존 연구에서는 열교환 소자 내부에서의 접촉면적에 따른 효율에 관한 내용이 대부분이었으며 종이 재질의 열교환 소자 사용에 관한 연구가 이루어졌다. 3D 프린터를 이용한 열교환기의 건축물 적용에 관한 연구는 아직까지 많이 이루어지지 않고 있다. 하지만 우주 발사체에 적용되는 열교환기에 3D 프린터를 이용한 연구에서 성능에 큰 차이가 없다는 것을 확인하였다. 이에 본 연구에서는 실제 공동주택에 적용할 수 있도록 3D 프린터를 이용, 종이 재질 대비 강성이 있는 열교환 환기 장치용 플레이트를 제작하고, 성능을 평가하였다.

3. 연구내용

3.1 열교환 플레이트 개요

열교환 플레이트는 열교환 접촉면에 따라 크게 3가지로 구분할 수 있다. Figure 1과 같이 Vertical flat panel의 열교환 접촉면은 세로로 Horizontal flat panel은 가로로 되어있으며 Cellular는 가로, 세로 모든 면이 접촉된다.

본 연구에서는 쉽게 접근할 수 있도록 3D 프린터를 이용하여 Vertical flat panel형 열교환 환기 장치용 플레이트를 제작하였다. 플레이트 가로, 세로, 높이는 Figure 3과 같이 100×100×60mm이며 골 높이는 각각 3mm, 4mm, 5mm로 1mm의 크기 차이를 두었다. 열교환이 이루어지는 접촉면의 판 두께는 0.5mm로 하였다. 사용된 필라멘트는

저렴한 가격에서 쉽게 구입할 수 있는 PLA(Poly Lactic Acid)와 ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene)가 사용되었다. PLA는 옥수수 전분에서 추출한 원료로 만든 친환경 수지이고, ABS는 스타이렌, 아크릴로니트릴, 부타다이엔의 성분으로 이루어진 혼합수지다.

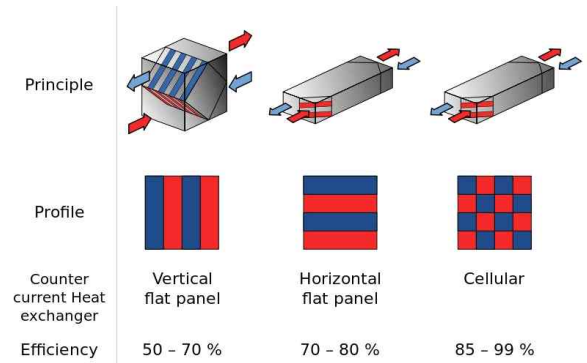


Figure 1. Efficiency depending on the contact surface

열교환 플레이트 제작 시 컴퓨터 소프트웨어를 사용하여 3D 프린터 출력용 모델링을 우선 실시해야 한다. 본 연구에서는 일반적으로 널리 사용되고 있는 소프트웨어인 Autodesk Fusion 360을 이용하여 모델링을 실시하였다. 각 모델의 치수는 Figure 2와 같이 좌측부터 3mm, 4mm, 5mm의 크기로 하고 벽의 폭은 0.8mm와 골 사이의 판 두께는 0.5mm로 하였다.

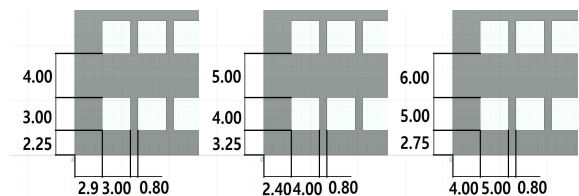


Figure 2. Show modeling dimensions

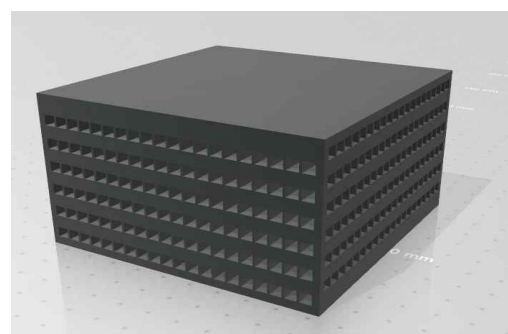


Figure 3. Heat Exchange Plate Modeling

열교환 플레이트를 설치할 프레임은 아크릴, MDF 합판 등 여러 가지 강성이 있는 재료를 이용하여 제작할 수 있다. 이 중 재단 치수만 입력하면 인터넷상에서 쉽게 필요 치수의 재료를 구입할 수 있는 아크릴 재료를 사용하

였다. 넓은 판 2개와 옆면과 사이에 공기가 혼합되는 것을 막아줄 벽 역할의 판을 사용하여 제작하였다.

3.2 3D 프린터 열교환 플레이트 제작

열교환 플레이트 제작에 사용된 3D 프린터는 단일 노즐을 사용하여 한 가지의 필라멘트만 사용할 수 있으며 출력 속도는 10~200mm/s로 열교환 플레이트 제작 시 골 높이 5mm는 17시간 33분, 4mm는 20시간 16분, 3mm는 24시간이 소요된다. Figure 4은 3D 프린팅 성공 및 실패 사례이다. 실패 사례에서는 제작과정에서 갈라짐과 수축 현상이 일어났다. 갈라짐 현상의 원인으로는 출력 층간 높이(Layer height)가 너무 높거나, 출력 온도가 너무 낮기 때문으로 판단된다. 수축 현상은 3D 프린터의 패드 온도가 낮거나 챔버가 없는 경우 온도가 쉽게 내려가 필라멘트의 굳는 속도가 빨라져 발생하는 것으로 판단된다.



Figure 4. Success and failure stories

갈라짐과 수축 현상을 없애기 위해 노즐의 출력 온도를 높이고 층간 높이를 낮추었다. 또한, 외부 온도 저하로 인한 수축을 막기 위해 외부 공기를 차단할 수 있는 챔버를 적용하여 출력하였다. Figure 4의 실패 사진은 Figure 5의 좌측의 3D 프린터를 사용하여 출력한 것이다. 출력되는 필라멘트가 외기의 영향을 받기 쉬운 오픈된 구조이다. 그렇기에 실험에 사용될 열교환 플레이트는 Figure 5의 우측의 3D 프린터를 사용하였으며 장비의 성능은 Table 1과 같다.



Figure 5. 3D printer used

Table 1. 3D Printer Overview

명칭	Guider II
압출기 수	1
프린트 방법	Fused Filament Fabrication(FFF) 용융 필라멘트 제조
출력부피	280×250×300mm
레이어 해상도	0.05 - 0.4 mm
프린트 정확성	± 0.2 mm
위치 정확성	XY axis 0.011mm, Z axis 0.0025mm
필라멘트 직경	1.75 mm (± 0.07)
노즐 직경	0.4 mm
제작 속도	10 ~ 200mm/s
소프트웨어	FlashPrint, Support Simplify3D
지원형식	Input : 3MF/STL/OBJ/FPP/BMP/PNG/JPG/JPEG Output : GX/G
운영 체제	Win XP/Vista/7/8/10, Mac OS, Linux
기기 용적	490×550×560mm
총 중량	30kg
모델 연결방법	USB 케이블, USB, 이더넷(랜선), Flash Cloud, Polar Cloud

3.3 열교환 플레이트 성능 측정

KS B 6879에서 열교환 환기장치 시험 방법을 정의하고 있다. 열교환 효율 측정 방법에는 2실 방법과 덕트 방식이 있다. 이 중 덕트 방식을 이용하여 실험을 진행하였다. 온·습도의 측정점은 판로 내의 평균적인 값이 얻어지는 위치로서 모든 측정점은 시험 품 판경의 3배 이상 거리에서 실시하였다. 급기량과 환기량을 동일하게 조정 한 후($\pm 10\%$ 이내) 수행하였다.

공기 조건은 냉방 시 실내 건구온도 $24 \pm 0.3^\circ\text{C}$, 실외 건구온도 $35 \pm 0.3^\circ\text{C}$ 를 기준으로 하며, 난방 시에는 실내 $22 \pm 0.3^\circ\text{C}$, 실외 $2 \pm 0.3^\circ\text{C}$ 를 기준으로 한다. 본 연구서는 냉방 조건을 기준으로 열교환 장치의 성능 평가를 진행하였다. 온도와 풍량을 측정하기 위해서 Figure 6의 T-Type 열전대와 데이터 로거. 풍속 측정기를 사용하였으며 기기들의 성능은 다음의 Table 2와 같다.

Table 2. Measuring Instrument Overview

명칭	testo 435-4	
열전대 K타입	측정 범위	-200~+1370°C
	정확도	$\pm 0.3^\circ\text{C}$ (-60~+60°C) $\pm (0.2^\circ\text{C} + 0.5 \text{ 측정값 } \%)$ (나머지 범위)
	분해능	0.1°C
열전대 T타입	측정 범위	-200~+400°C
	정확도	$\pm 0.3^\circ\text{C}$ (-60~+60°C) $\pm (0.2^\circ\text{C} + 0.5 \text{ 측정값 } \%)$ (나머지 범위)
	분해능	0.1°C
베인 풍속계	측정 범위	0~60m/s
	분해능	0.01m/s($\phi 60\text{mm}$ vane + $\phi 100\text{mm}$ vane) 0.1m/s($\phi 16\text{mm}$ vane)
크기	220*74*46mm	
작동 온도	-20~+50°C	

명칭	testo 410-1
센서	플라스틱 바람개비, NTC 온도 센서
변수	m/s, km/h, fpm, mph, kts, Beaufort(보퍼트 풍속 등급), °C, °F, 체감온도
측정 범위	0.4~20m/s, 80~4000fpm, -10~50°C, 14~122°F
분해능	0.1m/s, 1fpm, 0.1°C, 0.1°F
측정 정확도	정격 온도 22°C, ±1 자리수: 표시값의 ±0.2m/s +2%, 표시값의 ±40fpm +2%, ±0.5°C, ±0.9°F
측정율	0.5초



(a) T-Type 열전대 (b) 데이터 로거 (c) 풍속 측정기

Figure 6. measuring instrument

실험은 K대학의 연구실에서 진행되었다. 시험품의 프레임은 5mm 두께의 아크릴로 제작하였고, 중앙부에 열교환 플레이트를 교체할 수 있도록 공간을 두었다.(Figure 7) 그 외의 이음부 부분은 실리콘을 사용하여 기밀하게 하였다. 열교환 플레이트로부터 3D(관경의 3배) 이상의 거리에 열전대를 Figure 8의 표시된 부분과 같이 4곳에 설치하여 온도를 측정할 수 있도록 하며 환기와 외기를 불어넣는 용도로 동일한 제품의 220V의 풍량 0.7CMM의 소형 슬리브 팬 2개를 끝단에 설치하여 고정시켰다. 이후 냉방 시에 외기온도를 높이기 위해 외기를 불어넣는 팬의 뒷부분에 가열온풍기를 설치하여 온풍을 발생시켰다.

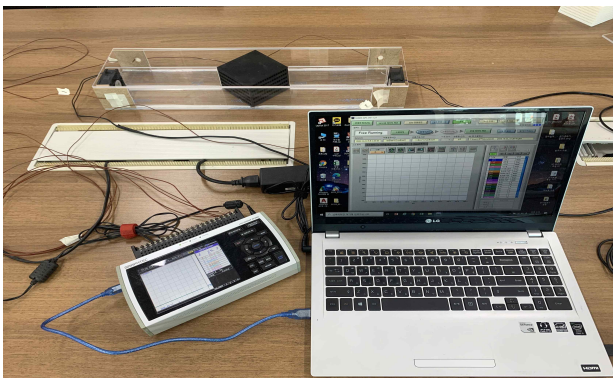


Figure 7. Heat recovery device performance test

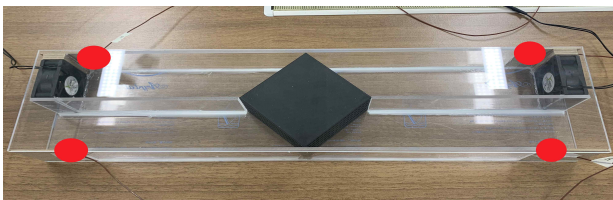


Figure 8. Test item with thermocouple installed

PLA 재질의 골 높이 3mm, 4mm, 5mm, ABS 재질의 골 높이 3mm, 5mm 총 다섯 가지의 열교환 플레이트를 사용하여 효율을 측정하였다. 10분 동안 5초 간격으로 120회의 온도측정을 하였고, 풍속은 골의 높이별로 3회 측정하였다.

4. 연구 결과

4.1 열교환 성능 실측 결과

본 연구에서는 DIY 열교환 환기 장치용 플레이트의 성능을 평가하기 위하여 3D 프린터를 이용하여 플레이트를 제작, 열교환 효율을 측정하였다. Figure 7~11은 PLA와 ABS를 사용하여 제작한 크기별 열교환 플레이트 적용 시 외기(OA), 급기(SA), 환기(RA), 배기(EA)의 온도를 열전대로 측정한 결과를 나타낸 그래프이다. 10분간 온도를 측정하였으며 열교환 효율 측정 기준에는 냉방 시에 외기가 $35 \pm 0.3^\circ\text{C}$ 를 유지해야 하나 온풍기 발열로 인한 온도 상승으로 최대 1.4°C 의 추가 온도 상승이 발생하였다. 측정 시작 후 3분부터 10분까지의 값이 정상상태를 보이는 것으로 판단하여 그 값들의 평균으로 효율을 계산하였으며 환기, 외기, 급기의 온도는 Table 3과 같은 값을 나타낸다.

Table 3. Measurement result of dry bulb temperature by material/valley height

구분	건구온도 [°C]				
	환기 (RA)	외기 (OA)	급기 (SA)	배기 (EA)	풍량 (CMM)
PLA 5mm	23.99	35.83	31.66	26.84	0.28~0.35
PLA 4mm	24.99	35.53	31.28	27.32	0.23~0.3
PLA 3mm	25.86	35.56	30.83	28.64	0.2~0.28
ABS 5mm	23.98	36.70	31.9	26.67	0.28~0.35
ABS 3mm	25.55	35.76	30.76	28.37	0.2~0.28

외기는 $35 \sim 36^\circ\text{C}$, 환기는 $24 \sim 25^\circ\text{C}$ 에서 실험이 진행되었다. 열교환 효율은 KS B 6879 열 회수형 환기장치 온도 교환 효율 계산식인 Equation 1을 이용하여 계산하였다.

$$\eta_T = \frac{t_{OA} - t_{SA}}{t_{OA} - t_{RA}} \times 100 \quad (1)$$

여기서 η_T 는 현열 교환 효율(%), t 는 온도($^\circ\text{C}$), 아래 첨자 OA는 외기, SA는 급기, RA는 환기를 나타낸다.

Table 4. Calculation of contact area of heat exchange element

구분	골 높이 [mm]		
	5	4	3
라이너 수 [장]	4	5	6
접촉면적 [m^2]	0.04	0.05	0.06
증가율 [%]	0	25	50

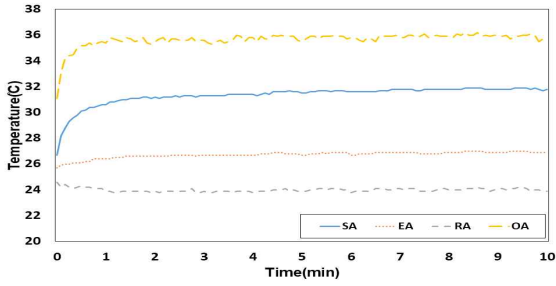


Figure 9. PLA 5mm

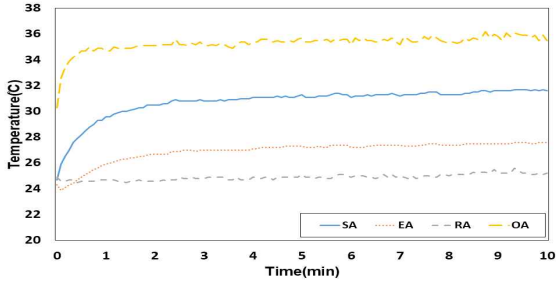


Figure 10. PLA 4mm

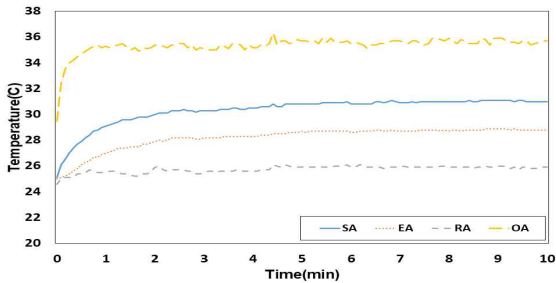


Figure 11. PLA 3mm

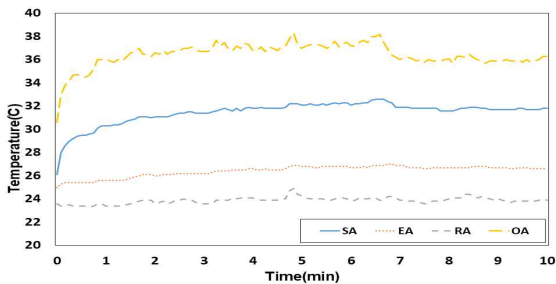


Figure 12. ABS 5mm

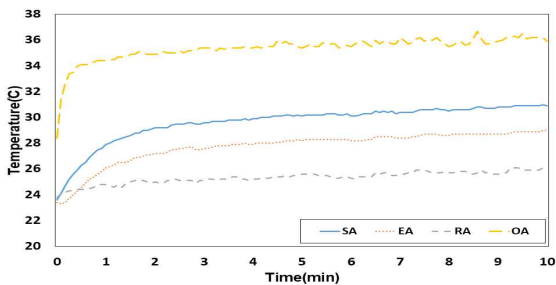


Figure 13. ABS 3mm

Table 5. Characteristics of heat exchange element and heat exchange efficiency

구분	필라멘트 재료				
	PLA			ABS	
열전도율 [W/mk]	0.25			0.19~0.36	
골 높이 [mm]	5	4	3	5	3
통과 풍속 [m/s]	1.1~1.4	0.9~1.2	0.8~1.1	1.1~1.4	0.8~1.1
효율 [%]	35.29	40.44	48.91	37.66	54.06

PLA 재료의 열교환 플레이트 중 골 높이 5mm는 35.29%, 4mm는 40.44%, 3mm는 48.91%의 온도 교환 효율을 나타냈으며 ABS 재료의 열교환 플레이트 중 골 높이 5mm는 37.66%, 3mm는 54.06%의 온도 교환 효율을 나타냈다. PLA보다 ABS 재료의 열전도율이 더 높아 같은 골 높이라도 ABS의 효율이 더 높게 나타난 것을 알 수 있다. 골 높이에 따른 접촉면적의 계산은 고효율 열 회수 환기장치 개발 및 평가(Park, 2009)에 따라 바닥면적과 라이너 수를 곱한 값으로 사용하였고 Table 4와 같다. 모두 골 높이가 낮아질수록 높은 효율을 보였다. 1mm가 낮아지는데 약 5%에서 크게는 13% 정도의 효율 차이가 나는데, 이는 골 높이에 따른 접촉면적에 따라 달라진 것으로 보인다. 열교환 플레이트의 크기 $100 \times 100 \times 60\text{mm}$ 의 경우 골 높이가 5mm에서 3mm로 낮아지게 되면 접촉면적은 50%가 증가한다. 같은 골 높이 3mm의 열교환 소자를 비교했을 때 PLA 필라멘트를 사용한 열교환 소자보다 ABS 필라멘트를 사용하여 만든 열교환 소자가 열교환 효율이 5.15% 더 우수한 것으로 나타났다. 종이 재료의 열교환 소자는 골 높이 2.6mm일 때 69.1%로 종이 재료보다는 낮은 효율이다. (Table 5)

5. 결 론

본 연구에서는 기존 공동주택의 실내공기 질 개선 및 대책의 일환으로 자가제작형 열교환 환기장치 플레이트를 개발하고, 열교환 성능 평가를 통해 적용성을 확인하고자 하였다. 고효율의 열교환 소자의 설계를 위해서는 통과 풍속의 감소와 접촉면적의 증가가 중요 요인이다. 하지만 접촉면적의 증가는 공기가 통과하는 유입 면적을 줄이게 되어 상당한 압력 손실이 발생하므로 환기 유닛 전체로 평가할 때 비효율적으로 될 수 있다. 결국, 코어 설계 시 적정 풍량과 접촉면적의 상관관계를 고려하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 3D 프린터로 열교환 환기 플레이트를 제작하여 환기 플레이트의 골의 크기 별 성능 평가를 통해 나타나는 특성을 파악하고 현열 교환 효율을 도출하여 에너지 절약적 플레이트 설계를 위한 자료로 활용하고자 한다. 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

열교환 플레이트의 효율을 높이는 설계를 위해서는 실질적인 요소를 고려한 접촉면적 및 풍속과 효율의 관계에서 최적점을 찾아 이를 토대로 열교환 플레이트의 형상을 결정할 필요가 있다. 골 높이 5mm, 4mm, 3mm 별 효율 변화 검토 결과 골의 높이가 낮아질수록 효율이 크게 나타나는 것을 알 수 있었다. 이는 공기의 접촉면적 증가에 따른 것으로 판단된다. 골 높이가 3mm인 ABS 열교환 플레이트의 냉방 시 현열 효율은 54.06%로 나타났다. PLA보다 ABS가 열전도율이 높기 때문에 PLA를 사용한 플레이트보다 ABS를 사용한 열교환 플레이트가 효율이 5.15% 더 높았다.

본 연구에서는 장비 제약으로 인해 난방 효율을 측정하지 못하였다. 온풍 온도 또한 기준값을 일정하게 유지하지 못하고 최대 1.4℃ 가량의 온도 상승이 있었다. 향후 연구에서는 시험 규격을 만족하는 장비를 활용하여 냉방, 난방 시의 효율을 모두 측정하여 3D 프린터로 제작할 수 있는 최적 플레이트 구조를 결정할 필요가 있다. 아울러 실제 공동주택 외기 창문에 설치하여 장기간 환기 효율을 측정할 필요가 있을 것이다.

REFERENCES

1. American Public Health Association, United States Environmental Protection Agency, (2004). Characterization of Indoor and Outdoor Air Pollution Exposures and Sources
2. World Health Organization, (2014). Indoor Air Quality Guidelines: Domestic Fuel Combustion
3. Article 7, of the Enforcement Regulations of the National Legal Information Center. (2018). Indoor Air Quality Management Act
4. Article 11, of the National Legal Information Center. (2020). the Rules on Facility Standards for Buildings.
5. Integrated Information Center for Apartment Houses in Seoul. (2018). Seoul, "Are you using the "fine dust ventilation system" properly?"
6. Park, S. (2009). Development and evaluation of a high-efficiency heat recovery ventilation system, Dankook University Graduate School of Education.
7. Park, M., Kim, G. & Lee, J. (2008). Performance evaluation according to the shape design of the element core for the heat exchange ventilation unit - *Korean Society of Architecture and Environmental Facilities* No. 4, 153-156,
8. Jeon, B., Kim, J., Kim, J., Lee, S., Lee, Y. & Ahn, Y. (2013). A study on the occurrence of condensation according to the operating state of the electric heat exchange ventilation system. - *Facilities Engineering Association's Facilities Engineering Paper*, 529-533
9. Kim, N. (2016). An Experimental Study on the Long-Term Performance Change of Plate Paper Total

Heat Exchange Device - *Facilities Engineering Association's Facilities Engineering Paper*, 165-170.

10. Oh, J., Yu, I., Shin, M., Seung, ah., Koh, Y. & Kim, K. (2018). Comparison of the performance of heat exchangers made with machining and 3D printers, - *Journal of the Korean Society of Promotion Engineering*, 574-579.
11. Commons.Wikimedia.org. (2008). File:Heat Exchanger.jpg
12. National Institute of Technology and Standards, KS B 6879. (2017). Heat Recovery Ventilation System
13. Kang, I., Shin, C., Jung, J., Park, J., Lee, H. & Park, T. (2015). Simulation study of the efficiency of the HVAC system for electric heat exchanger.