

배기열회수 알루미늄 열교환기의 공조시스템 적용에 관한 연구

박용효, 김동규*, 김근오, 정용환, 금종수*, 정석권*
서번산업엔지니어링(주), *부경대학교 기계공학부

The Study on the Application of Heat Recovery Aluminium Heat Exchanger in HVAC System

Yong-Hyo Park, Dong-Gyu Kim*, Geun-Oh Kim,
Yong-Hwan Jung, Jong-Soo Kum*†, Seok-Kwon Jeong*
Seo Bun Engineering Co.LTD, Busan 618-817, Korea

*Department of Mechanical Engineering, Pukyung National University, Busan 608-738, Korea

ABSTRACT: The purpose of this study is to introduce wasted heat recovery heat exchanger for different kind of material in HVAC systems in field. For the purpose of estimating the large volume rotary heat exchanger and cross flow plate heat exchanger in heat recovery ventilator.

Key words: Heat recovery(열회수), Heat exchanger(열교환기), Indoor air quality(실내공기질), HVAC system(HVAC 시스템)

기 호 설 명

l : 엔탈피 [kcal/kg(DA)]
 t : 온도 [°C]

그 리 스 문 자

η_T : 온도교환효율 [%]
 η_t : 열교환효율 [%]

하 첨 자

OA : 실외
RA : 실내
SA : 급기

1. 서 론

최근에 실내 생활공간이 고기밀화, 고단열화 되고 냉난방기기의 보급 확대 및 성능향상으로 창을 닫고 지내는 시간이 길어짐에 따라 절대적인 환기량 부족에 의한 실내공기질 악화 등의 문제점이 제기되고 있다. 이를 해결하기 위한 방안으로 적절한 환기 시스템의 설치와 에너지 절약을 위한 급기공기(실외공기)와 배기공기(실내공기)간의 열교환을 적용시킨 배기열회수 시스템의 개발이 필요하다. 배기열회수용 열교환기로 판형(Plate) 열교환기, 회전형(rotary) 열교환기, 히트파이프형(heat pipe) 열교환기, 썬모싸이폰형(thermosyphon) 열교환기 등이 공장, 대형 빌딩 상업용 건물 등에 사용되고 있다.

소형 환기 시스템 내의 판형 열교환기 중 펄프 열교환기는 공기 중의 열과 수분, 즉 현열(sensible heat)과 잠열(latent heat)을 모두 교환하는 열교환기로 급배기 엔탈피(enthalpy)차의 60~70%를 회수할 수 있어서, 냉·난방 에너지를 20~30% 이상 절약할 수 있다는 장점이 있으나,

† Corresponding author
Tel.: +82-51-629-6178; fax: +82-51-629-6178
E-mail address: jskum@pknu.ac.kr

기밀성이 나쁜 경우에 오염된 공기가 재순화됨으로써 오히려 재실자에게 역효과⁽¹⁾를 나타내기도 한다. 대형 환기 시스템의 경우 펄프 판형 열교환기는 사용되지 않으며 알루미늄 판형 열교환기, 회전형 열교환기가 주로 사용되고 있다.

중앙집중식 공조방식에 있어서는 공기조화기에 신선외기를 도입하고 실내의 오염된 공기를 버리는 기능을 가지고 있어, 기존에 설치되어 있는 공조기에 간단한 추가로 장치를 설치하여 냉·난방 부하를 줄여 연간 운전경비를 절감할 수 있다. 실내공기질과 환기풍량 그리고 HVAC 관련 비용은 서로 밀접한 관계가 있으며 배기열회수 열교환기를 적용하는 데 있어, 가장 중요한 요소는 열교환기 재질, 열교환기 성능변수, 누설률, 사용기간, 유지보수 그리고 운전기간 등이다.

이에 본 연구에서는 배기열회수 열교환기의 재질에 따른 공조시스템 적용에 대하여 고찰하고 소용량 알루미늄 판형 열교환기 및 회전형 열교환기에 대한 성능 시험과 대용량 알루미늄 판형 열교환기 및 회전형 열교환기에 대한 성능 시험을 통하여 공조 시스템 적용에 성능자료를 제공하는 것을 목적으로 하고자 한다.

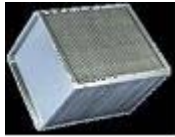

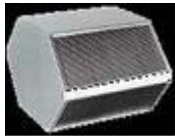



2. 배기열회수 열교환기 재질 비교

환기 시스템은 강제환기를 하기 위한 시스템으로, 현재 많이 사용되고 있는 소형 열회수 환기 장치의 구조는 FAN, 배기열회수 열교환기, 공기여과기, 케이싱으로 크게 구성되며, 내장된 열교환 소자에 의해 구별된다. 열교환 소자는 판형과 회전형 타입이 있으며 판형은 얇은 판의 적층구조로 판의 형상에 의한 유로로 공기가 교차하면서 공기의 열교환이 이루어지며 회전형 타입은 열교환 소자로 구성된 휠이 회전하면서 공기의 열 교환이 이루어진다.

회전형 타입은 현열교환기에 비하여 운전기간이 매우 길다. 이코노마이저가 사용되는 중간기에는 급기를 바이패스 시킨다. 여기서 모든 열교환기에 대하여 엔탈피가 교환되는 것이 아니고 에너지가 보존되는 것이므로 회전형(엔탈피) 휠이라고 한다. 에너지 휠은 열과 물질전달이 복합되어 일어나기 때문에 현열교환기에 비하여 그 특성이 매우 복잡하다.

회전형 타입은 판형보다 효율은 높으나 FAN

Table 1 Comparison of heat exchanger.

구분	알루미늄	펄프
직교류형		
대향류형		
적층구조		

운전 동력 이외에 열교환 소자를 회전시키기 위한 동력이 필요하며, 회전에 의한 열교환이 이루어지므로 외기와 내기가 서로 섞이게 되어 오염된 공기가 환기시 실내로 유입되므로 많이 사용되지 않는다. 현재 많이 사용하고 있는 열회수 환기장치는 판형 열교환기가 내장된 것으로 판과 판사이로 외기와 내기가 교차하므로 오염된 공기가 섞이지 않게 된다.

판형 열교환기는 열교환 소자 재질에 따라 크게 알루미늄, 펄프, 폴리프로필렌 등이 있다. 각 재질에 따라 장단점을 가지고 있으며, 판의 박판 형태도 다양하게 나타나고 있다.

판형 열교환기의 성능은 판의 열전도율, 판의 두께, 판 사이 간격, 박판 형태에 따른 유로에 의해서 성능이 다르게 나타난다. 열교환기의 성능은 열교환 효율이 높을수록 환기에 의한 냉난방 열량 손실을 최소화 할 수 있고 냉난방기 부하를 줄임으로써 에너지를 절약할 수 있다.

Table 1.과 같이 판형열교환기는 크게 알루미늄과 펄프재질로 되어 있으며 공기의 흐름에 따라 직교류형과 대향류형으로 구분되어 지며, 적층 구조도 재질에 따라 차이를 나타내고 있다. 동일 재질의 판으로 이루어진 열교환기도 직교류형보다 대향류형이 유로에 의하여 열교환 효율이 높게 나타나고 있다.

Table 2.는 열회수 환기장치의 열교환기 소자에 따라 알루미늄 열교환기와 펄프 열교환기로 나누어 정성적 평가를 한 것으로 각 소재의 특·

Table 2 Characteristic of heat exchanger.

항목	알루미늄 판형 열교환기	필프 판형 열교환기
특징	1.소용량 : 대항류, 직교류 2.대용량 : 직교류 3.공기 누설이 없음	1.소용량 : 대항류, 직교류 2.대용량 : 사용불가 3.차압 발생시 공기 누설
에너지 절감	1.난방시 우세(온도교환)	1.냉방시 우세하나 수분교환에 따른 열교환기 수명 단축
쾌적성	1.난방시 유입공기: 20 ℃ 2.후환기 동파 우려 없음	1.난방시 유입공기: 12 ℃ - Cold Draft 발생 2.외기온도 -5℃이하 : 동파우려 3.저온 사용 시 히터 장착 - 부가적인 에너지 소요
유지 보수	1.열교환 소자 : 반영구적 2.분진적층 최소 3.열교환 효율 유지 4.유분적층최소 5.유로 폐쇄 우려 없음	1.열교환소자 : 주기적 교체 2.분진 적층 3.열교환 효율 감소 4.유분적층 - 유로 폐쇄
화재시	1.불연소	1.연소 - 화재에 취약

장점을 비교하였다.

알루미늄 열교환기는 필프 열교환기보다 사용 범위가 넓으며, 난방시 열교환 성능의 우수함과 내구성이 뛰어나다. 그러나 필프 열교환기보다 잠열에 대한 열교환 효율이 다소 부족한 것으로 나타나고 있다. 이는 필프 재질의 특성으로 공기 내 수분이나 열교환에 의한 응축수를 필프가 흡수되기 때문이다.

그러나 필프 열교환기의 이러한 특성으로 전체 엔탈피 효율이 향상되거나 반복된 수분의 흡수와 건조를 통하여 판의 결합 구조가 손상되어 누기의 원인이 되며 열교환 효율의 저하로 일정한 주기마다 열교환기의 교체가 필요하다. 또한 Table 2.에서 설명한바와 같이 대용량에는 필프 열교환기가 사용될 수 없으므로 알루미늄 재질의 열교환기에 대하여 성능평가를 실시하였다.

3. 배기열회수 열교환기 성능 시험

본 장에서는 배기열회수 열교환기의 성능시험 기준에 대하여 조사하고 대용량 배기열회수 열교환기의 평가방법에 대하여 고찰한다.

세계를 3개 영역권으로 구분하여 미주권의 미국 기준, 아시아권의 일본의 기준, 마지막으로 유럽권의 유럽(EN)기준에 대하여 비교 검토하였다.

유럽의 기준은 일찍이 영국 기준인 BS기준이 통용되었으나 점차 유럽연합기준인 EN기준으로 바뀌었다.

Table 3 The code of heat recovery ventilator and heat exchanger.

	규격
국내	-KS B 6879
국외	-ANSI/ASHRAE Standard 84-2008
	-ARI, 2005, Standard
	-HVI-Tested/Cerified
	-JIS B 8620(2003년판)
	-EN-305, 306, 307
	-UL

이들 각 기준들 상호 간의 비교가 JIS에 실려 있고, 이 기준이 비교적 가장 최신의 기준인 점으로 미루어 현 단계에서는 가장 신뢰할 수 있는 기준으로 판단된다.

Table 3.에 각 기준들을 열거하였으며 상세한 내용은 본 논문에서는 생략한다.

대부분의 성능시험기준은 수 천 CMH급에 대한 기준일 뿐, 수 만 CMH급의 대용량에 대한 기준은 찾아볼 수 없었다. 다만, JIS의 경우 현행 JIS에 정의되어 있지 않은 대용량급에 대한 시험방법에 대해서도 일부 언급이 되어 있으므로 향후 이를 참고함이 바람직할 것으로 사료된다.

이를 토대로 회전형 및 판형 열교환기의 온도 및 열교환 효율 분석을 위해 아래의 식을 사용하여 분석하였다.

- 온도교환효율

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

η_T : Temperature efficiency(%)

t_{OA} : Outdoor air dry bulb temperature(℃)

t_{SA} : Supply air dry bulb temperature(℃)

t_{RA} : Return air dry bulb temperature(℃)

- 열교환 효율

$$\eta_t = \frac{l_{OA} - l_{SA}}{l_{OA} - l_{RA}} \times 100 \quad (2)$$

η_t : Heat Exchange efficiency(%)

l_{OA} : Outdoor air Enthalpy (kcal/kg(DA))

l_{SA} : Supply air Enthalpy (kcal/kg(DA))

l_{RA} : Return air Enthalpy (kcal/kg(DA))

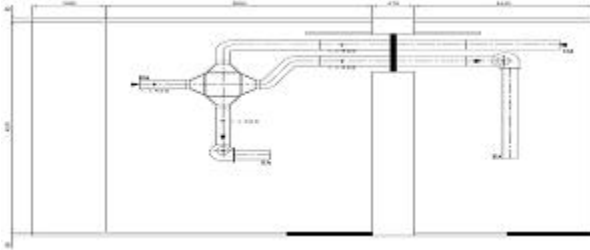


Fig. 1 Schematic Diagram of Plate heat exchanger performance test.

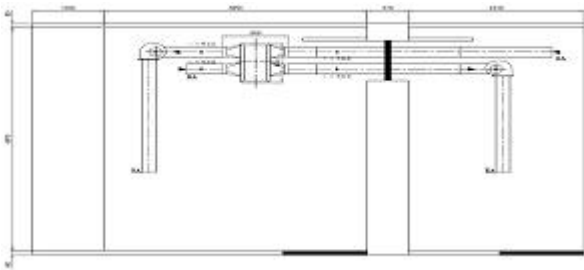


Fig. 2 Schematic diagram of rotary heat exchanger performance test.

3.1 소용량 배기열회수 열교환기 시험

소용량 배기열회수 열교환기의 성능을 평가하기 위한 실험장비와 설치도면을 Fig. 1, Fig. 2에 나타내었다. 시험을 위한 장치는 항온항습실 내부에 설치하였으며, 실내와 실외로 구분되는 두 개의 Room으로 구성하였다. 그리고 각각의 Room은 항온항습기로 실내의 온습도 및 실외의 기온을 조절하도록 하였다.

배기열회수 열교환기 성능과 관련된 인증기준은 KS B 6879 이다. KS B 6879규격은 적용풍량이 3,000CMH이고, 규정된 성능평가항목은 풍량, 정압손실, 유효환기량 및 누설률, 열교환 효율, 결로 시험, 소비 전력, 절연 저항, 소음 등이다. 따라서 본 연구에서는 KS B 6879규정 등을 참조하여 실물실험을 통해 개발된 폐열회수 열교환기의 겨울철 실험을 수행하였다.

3.2 대용량 배기열회수 열교환기 시험

성능실험은 S사 본사 실험동에 설치된 배기열회수 열교환기 시험장비에서 판형과 회전형 배기열회수 열교환기를 실험하였다. 실험기간은 2009년 2월 15일에서 3월 13일 까지 오후 10시부터

Table 4. Test results of small size heat recovery heat exchanger(plate and rotary)

		Cooling	Heating
Plate Type	Temperature Efficiency	57.5% ±0.91%	57.5% ±1.7%
	Heat Exchange Efficiency	28.5 ±3.7%	39.3% ±3.6%
Rotary Type	Temperature Efficiency	80.9% ±0.9%	78.9% ±0.8%
	Heat Exchange Efficiency	63.5% ±4.7%	63.0% ±2.1%

익일 05시 까지 실험을 진행하였다.

회전형 및 판형 열교환기의 온도 및 열교환 효율 분석을 위해 Fig. 3과 같은 시험장비를 사용하여 측정하였다.



Fig. 3 Experimental apparatus of heat exchanger performance test.

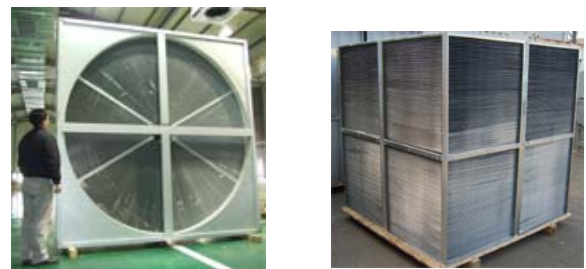


Fig. 4 Rotary heat exchanger and plate heat exchanger.

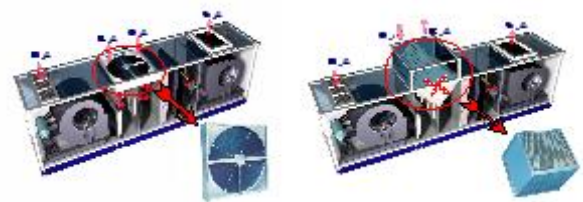


Fig. 5 Application of heat exchanger in HVAC system.

Fig. 4는 실제 실험에 사용된 회전형 및 판형 알루미늄 배기열회수 열교환기 모습이다. 풍량은 30,000 CMH용으로 회전형 배기열회수 열교환기는 3,000mm × 3,000mm × 440mm의 크기이며 판형 배기열회수 열교환기는 1,600mm × 1,600mm × 3,000mm 크기이다.

Fig. 5는 회전형 및 판형 배기열회수 열교환기가 공조기에 실제 적용되는 모습을 보여주고 있다. 회전형 배기열회수 열교환기는 기존 공조기의 사이즈를 변화시키지 않고서도 적용이 가능하며 개보수 현장에도 적용이 편리한 이점이 있다.

판형 배기열회수 열교환기 성능측정 시 도입외기, 실내로부터 환기, 실내로의 급기 측에서 측정된 온도 변화 추이를 바탕으로 하여 평균, 최대, 최소치를 구하여 Table. 5에 나타내었다. 온도교환 효율은 평균적으로 78%, 열교환 효율은 88.8%로 기존 제품보다 우수한 것으로 나타났으며, 회전형 배기열회수 열교환기 성능측정도 동일한 방법으로 수행하여 Table. 6에 나타내었다. 온도교환 효율은 평균 79.9%, 열교환 효율은 86.0%로 기존 제품보다 우수한 것으로 나타났다.

4. 결론

배기열회수 열교환기를 사용하는 것은 냉난방 부하를 감소시켜 초기설치비용을 감소시킬 뿐만 아니라 냉난방 운전비용 면에서도 유리하다. 소용량 배기열회수 열교환기의 성능은 형태 및 재질에 따라 실제 많은 성능 검증이 이루어지고 있는 실정이다. 그러나 대용량 배기열회수 열교환기에 대하여서는 성능의 신뢰성을 확보하기가 상당히 어려운 실정이다. 본 연구에서는 동일한 형상을 가진 소용량 배기열회수 열교환기와 대용량 배기열회수 열교환기의 성능 시험을 함으로써 대용량 배기열회수 열교환기에 대한 신뢰성 확보 가능성을 타진하고자 한다.

소용량 배기열회수 열교환기 중 판형 열교환기는 40%정도, 회전형 열교환기는 63%정도의 열교환효율을 나타냈다.

대용량 배기열회수 열교환기 중 판형 열교환기는 최소 78.7%, 회전형은 최소 82.7% 정도의 열교환효율을 나타냈다.

대용량 배기열회수 열교환기 성능 시험 시 측정에 대한 오차에 의한 불확실성을 얼마나 제거

Table 5 Test results of large size heat recovery heat exchanger(plate)

	Average±SD [%]	Max. [%]	Min. [%]
Temperature Efficiency	78.3±1.1	79.8	73.1
Heat Exchange Efficiency	88.8±2.5	94.1	78.7

Table 6 Test results of large size heat recovery heat exchanger(rotary)

	Average±SD [%]	Max. [%]	Min. [%]
Temperature Efficiency	79.9±2.1	83.7	76.8
Heat Exchange Efficiency	86.0±2.1	90.8	82.7

하는가가 신뢰성 확보에 주안점을 알 수 있었으며, 대용량 측정에 대한 불확실성을 감소시키는 방법에 대한 추가적인 연구가 있어야 한다.

후 기

본 연구는 2006년 지역산업기술개발(중점기술개발사업)의 일환으로 수행되었으며, 이에 대해 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. Jun-Won Song, Il-Kyung Kang, Tae-Hee Kim, Yong-Sup Shin, Jae-Sung Park, Won-Young Choi, 2006, "Consideration of Heat Recovery Ventilator from Ventilating Standpoint", Proceedings of the SAREK, pp. 417-422.
2. EN 308, Heat exchangers-Test procedures for establishing the performance of air to air and flue gases heat recovery devices.
3. ASHRAE Handbook, 2000, HVAC System and Equipment, Air-to-Air Energy Recovery.
4. Shah, R. K., 1981, "Compact heat exchanger design procedures, Heat exchangers: thermal-hydraulic fundamentals and design," Hemisphere Publishing Corp., pp. 495-536.