

환기 배열회수용 열교환기

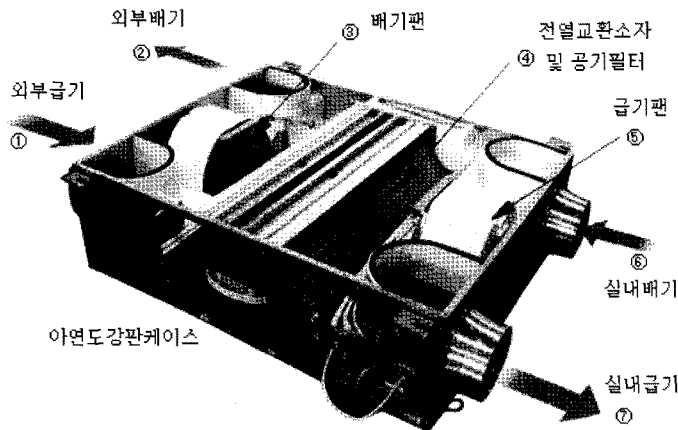
실내 공기질 관리를 위해 사용이 폭발적으로 증가하고 있는 환기장치에 사용되는 배기열 회수용 열교환기에 대해서 소개하고자 한다.

유성연

충남대학교 기계설계공학과(syyooh@cnu.ac.kr)

그동안 에너지 절약을 위해서 건축물이 점차 고단열화, 고기밀화되어 실내 공기환경은 상대적으로 악화되어 왔다. 그리고 실내에서는 재실자의 신진대사나 활동, 각종기구나 건축자재, 가구 등으로부터 방출되는 이산화탄소, 먼지, 냄새, 각종 휘발성 유기화합물질이 공기를 오염시키고, 이러한 물질이 실내공기 중에 정체되거나 재비산되어 재실자에게 질병이나 건물중후군 등을 유발하여 인체의 건강에 직접적인 영향을 미치고 있다. 마스크를 통해서 수차례 보도된 바와 같이 우리나라 아파트, 학교, 지하철, 지하상가 등의 실내공기 오염이 심각한 수준이다. 이

러한 건물들의 실내 공기질을 알맞게 유지하고 관리함으로써 국민의 건강을 보호하기 위하여 '다중이용시설 등의 실내 공기질 관리법'이 2004년 5월부터 시행되고 있으며, 100세대 이상 공동주택의 환기시설 '주택법' 개정안이 2006년 2월부터 시행되고, 환기량 21.6 CMH/인 이상을 요구하는 '학교보건법' 개정안이 2006년 3월부터 시행되고 있다. 이와 같이 환기가 법적으로 의무화됨에 따라 환기장치의 수요가 폭발적으로 증가할 것으로 예상된다. 환기장치에는 여러 가지 종류가 있고, 그 중에서 배기열 회수 환기장치는 그림 1에 보인 바와 같이 열교환기, 팬,



[그림 1] 배기열 회수 환기장치의 구조

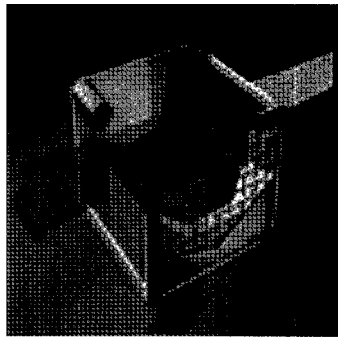
필터, 제어시스템 등으로 구성되어 있으며, 본 소고에서는 배기열 회수용 열교환기에 대해서 소개하고자 한다.

환기장치용 열교환기

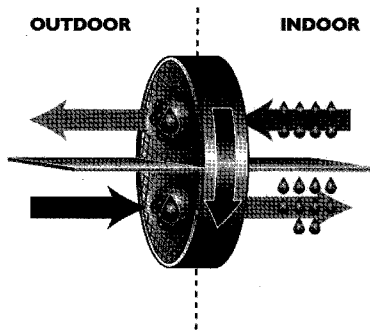
실내의 오염물질을 제거하기 위한 환기의 필요성은 그 어느 때 보다도 중요하게 인식되고 있지만, 환기량의 증가는 필연적으로 많은 에너지를 소비하게 된다. 따라서 실내공기환경의 개선과 에너지 소비량의 증가라는 상반된 두 가지 입장을 동시에 만족시킬 수 있는 에너지 절약형 환기장치의 개발이 요구되고 있다. 환기장치에서 도입공기와 배출공기 사이에 열교환기를 설치하면 배기열의 50 ~ 70%를 회수할 수 있으므로 여름철의 냉방에너지와 겨울철의 난방에너지를 절약할 수 있다.

환기 배기열 회수용 열교환기는 두 유체간의 온도

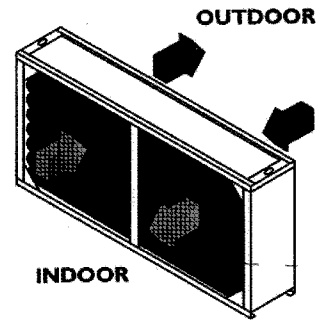
차에 의한 현열(sensible heat)만을 교환하는 현열 열교환기와 수증기의 잠열(latent heat)까지도 교환하여 회수할 수 있는 전열(total heat) 열교환기로 분류할 수 있다. 또한 형상에 따라 분류하면 그림 2에 보인 바와 같이 급기와 배기가 판과 판사이를 교대로 흐르면서 열을 전달하는 판형(plate type) 열교환기, 배기에 포함된 현열 및 잠열이 회전하는 로터에 흡수된 후 로터의 회전에 따라 급기쪽으로 이동하여 급기되는 공기에 열을 전달하는 회전형(rotary type) 열교환기, 배기에 포함된 열이 증발기 쪽의 작동 유체를 가열하여 증발시키면 증발된 작동유체가 응축기 쪽으로 이동하여 급기에 열을 전달하는 히트파이프형(heat pipe type) 열교환기 등이 있다. 그 중에서 판형 열교환기는 구조가 간단하여 상업용 건물(대형빌딩, 공장 등)의 공조기에 가장 많이 사용되고 있고, 회전형 열교환기는 급기와 배기가 섞이는 문제가 있고 로터의 회전으로 장치가 복잡하므로 공조



a) 판형 열교환기

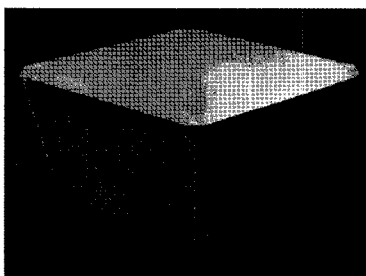


b) 회전형 열교환기

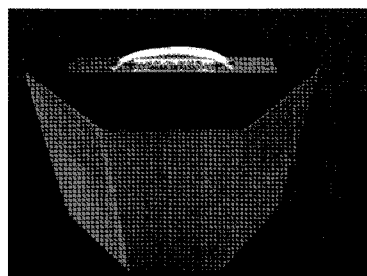


c) 히트파이프형 열교환기

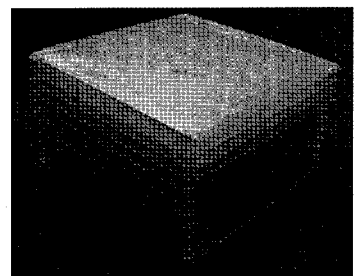
[그림 2] 환기장치용 열교환기의 종류



a) 알루미늄 열교환기



b) 종이 열교환기



c) 플라스틱 열교환기

[그림 3] 배열회수용 판형 열교환기의 종류



기에 제한적으로 사용되고 있으며, 히트파이프형 열교환기는 유지관리가 어렵고 가격이 고가이기 때문에 특수한 용도에만 사용되고 있다. 가정용 환기장치에는 소형화가 가능하고 용량조절이 용이한 판형 열교환기가 주로 적용되고 있으며, 회전형도 일부 사용되고 있다. 판형 열교환기는 전열판의 재질에 따라 알루미늄, 종이, 플라스틱 열교환기로 나눌 수 있으며(그림 3), 알루미늄과 플라스틱 열교환기는 현열 열교환기이고, 종이 열교환기는 전열 열교환기이다. 유럽에서는 현열 열교환기가 주로 사용되고 있으며, 여름철에 고온 다습한 한국과 일본에서는 전열 열교환기가 많이 사용된다.

알루미늄 열교환기

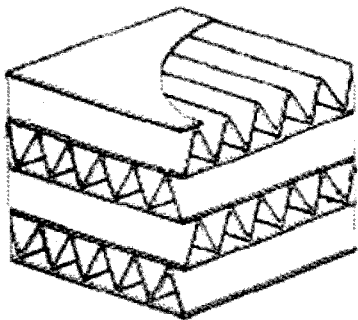
금속 전열판을 사용한 판형 열교환기는 1930년대에 최초로 상용화되었으며, 초창기에는 식품산업에서 열처리, 즉 우유의 저온살균 등과 같은 용도로 사용되었다. 1950년대 후반 Herringbone 형상이 도입되면서 식품산업뿐만 아니라 화학공업, 발전설비, 일반공업 등 거의 모든 산업 분야에 걸쳐 다양하고 광범위하게 응용되고 있다. 또한 설계기술의 발달로 Herringbone의 각도를 최적화함으로써 각-관(shell & tube) 열교환기보다 훨씬 높은 열전달 효율을 달성하게 되었다. 물과 같은 액체를 취급하는 열교환기는 고압에 견뎌야 하므로 스테인레스스틸 판을 사용하여 제작하고, 환기 배열회수용과 같이 공기를 취급하는 열교환기에는 열전도계수가 높고 가벼운

알루미늄 판이 사용된다.

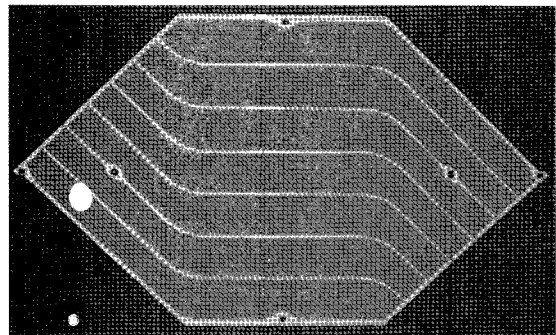
알루미늄 판형 열교환기에는 전열판과 물결모양의 간격유지판을 교대로 적층한 열교환기와 전열판에 여러 가지 모양의 돌기를 만들어 적층한 열교환기가 있다. 여기서 간격유지판은 환과 같은 역할을 하여 열전달 성능을 향상시키고, 돌기는 판과 판 사이의 간격유지와 열전달 촉진의 두가지 역할을 한다. 공조기 배기열 회수에 사용되는 알루미늄 열교환기는 독일의 Klingenburg와 Hoval이 대표적인 제조회사이며, 환기장치용 알루미늄 열교환기는 Klingenburg, 스웨덴의 Heatex 등 여러 회사에서 생산하고 있다. 국내에서는 대부분 수입되어 사용되고 있으며 서번 산업엔지니어링 등에서 일부 생산하고 있다.

종이 열교환기

종이 열교환기는 공기 중의 열과 수분, 즉 현열과 잠열을 모두 교환하는 열교환기로 사용과 유지관리가 용이하고, 에너지 절약효과가 매우 크므로 공공 건물, 주상복합아파트 등을 중심으로 보급이 급속하게 확대되고 있다. 종이 열교환기에는 투기성이 적은 반면에 투습성이 우수하면서 습강도가 높은 특수 펄프가 사용된다. 한가지 사용 예로 종이의 밀도는 930 kg/m^3 , 열전도계수는 $0.18 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, 일정량의 공기가 투과하는데 걸리는 시간인 기체 투기도는 $50,000 \text{ sec}/100\text{cc}$, 일정시간동안 습기가 통과하는 투습도는 $55 \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$ 이다. 수분이 전열막을 통과하는 메카니즘은 명확하지 않으나, 수분이 전열막



a) 직교류형



b) 대향류형

[그림 4] 종이 열교환기의 종류

표면에 흡착된 후 확산에 의해 반대편 표면으로 이동하여 대류물질전달에 의해 탈착되는 것으로 알려져 있다. 수분의 흡착을 강화하기 위해 표면에 염화칼슘이나 염화리튬과 같은 흡습제를 코팅하기도 한다. 대부분의 종이 열교환기는 어느 정도의 누설이 있어 급기와 배기의 일부가 섞이게 되며, 이러한 누설은 배기가스가 독성이 있을 경우에는 심각한 문제를 야기시키게 되므로 세심한 주의가 필요하다.

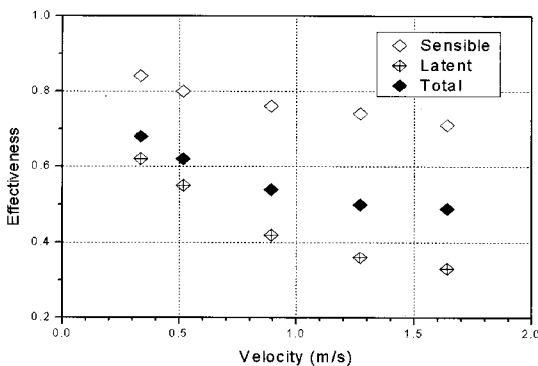
종이 열교환기는 그림 4에 보인 바와 같이 직교류형과 대향류형이 있으며, 대향류형이 효율은 좋지만 제작이 어렵다. 직교류형은 전열막과 간격 유지를 위해 사용되는 스페이서(spacer)가 교대로 적층되어 제작되며, 전열막과 스페이서 모두 종이 사용된다. 대향류형은 플라스틱 프레임의 사출성형 중에 종이를 삽입하여 프레임에 종이 부착된 하나의 전열면을 얻은 다음 이들을 적층하여 원하는 크기로 만든 것이다. 직교류형 종이 열교환기는 일본의 미쓰비시 전기, 린텍, 다이킨, 다이오제지 등에서 개발되었으며, 국내에서는 국일제지와 클린에어나노테크에서 개발 중에 있다. 대향류형 종이 열교환기는 에어화인을 비롯한 몇 개 회사에서 일본으로부터 종이 전열막을 수입하여 사출성형하여 제작하고 있다.

이 열교환기에서 수분 전달 효율은 냉방조건과 난방조건에서 다르게 나타난다. 그림 5 a)는 여름철 냉방조건에서 종이 열교환기의 유속 변화에 따른 현열과 잠열, 전열에 대한 유효성 변화를 나타낸 것이다. 공기의 유속이 증가하면서 가능한 최대 열전달

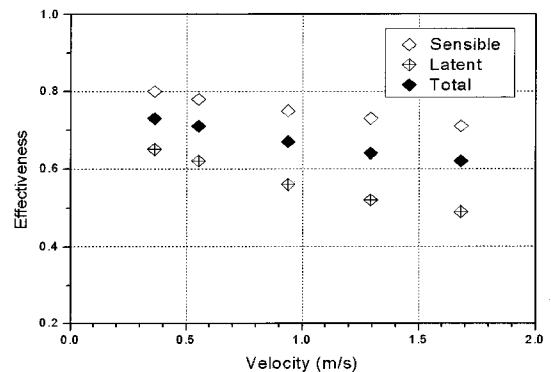
량의 증가보다 실제 열전달량의 증가가 작아지기 때문에 유효성은 감소하는 경향을 보이고 있으며, 면풍속 0.75 m/s에서 잠열, 현열, 전열의 유효성은 각각 47%, 77%, 57%이다. 그림 5 b)는 겨울철 난방조건에서 유속의 변화에 따른 유효성을 나타낸 것으로 현열에 대한 유효성은 여름철 냉방조건에서와 비슷한 경향을 보이고 있지만, 잠열에 의한 유효성과 전열에 대한 유효성은 냉방조건보다 상당히 높게 나타나고 있다. 면풍속 0.75 m/s에서 잠열, 현열, 전열의 유효성은 각각 59%, 77%, 69%로 냉방조건보다 잠열과 전열에서 약 12% 증가하였다.

플라스틱 열교환기

우리나라 주상복합아파트 등의 소형 환기장치에는 종이 열교환기가 주로 사용되고 있으며, 알루미늄 열교환기가 일부 사용되고 있다. 알루미늄 열교환기는 내구성이 우수하나 무겁고 가격이 고가이며, 종이 열교환기는 잠열까지 전달하는 장점이 있지만 전열면이 쉽게 오염되고 비오는 날과 같이 습도가 높을 때는 매우 취약한 구조를 가지고 있다. 반면 플라스틱 열교환기는 알루미늄 열교환기에 비해서 제조가격이 저렴하면서 열성능이 우수하고, 종이 열교환기에 비해서는 내구성이 훨씬 좋은 특징을 가지고 있다. 유럽에서는 가정용 환기장치에 플라스틱 열교환기가 주로 사용되고 있으며, 우리나라에서도 네델란드 Recair 제품 등이 수입되어 일부 사용되고 있다.

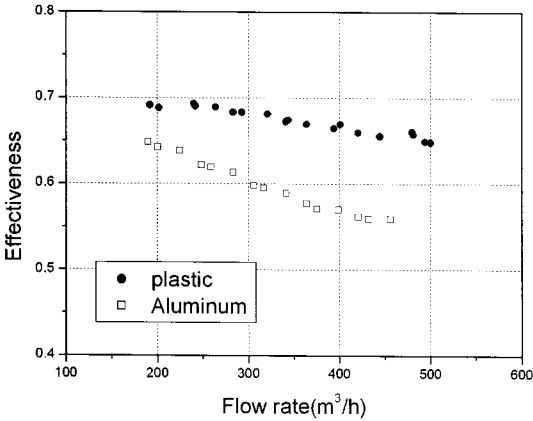
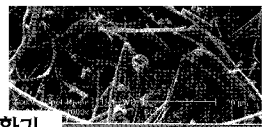


a) 여름철 냉방조건



b) 겨울철 난방조건

[그림 5] 종이 열교환기의 유효성 비교



[그림 6] 플라스틱 열교환기와 알루미늄 열교환기의 성능 비교

플라스틱은 알루미늄에 비해서 열전도계수가 매우 낮기 때문에 열전달 성능의 저하가 우려되나, 실제로 열교환기 판의 두께가 0.2 ~ 0.4 mm 정도로 매우 얇기 때문에 열전도계수의 차이에 의한 열저항의 증가는 3 ~ 5 % 정도에 불과하다. 전도열저항 증가의 단점을 극복하기 위해서 열교환기 판에 열전달 촉진기술을 접목하여 대류열저항을 감소시킴으로서 열전달 성능을 알루미늄 열교환기에 비해서 향상시

킬 수 있다. 그림 6은 스웨덴의 Heatex에서 개발한 알루미늄 열교환기와 비슷한 크기로 충남대학교에서 개발한 플라스틱 열교환기의 성능을 비교한 것으로 플라스틱 열교환기의 유효성이 알루미늄 열교환기에 비해서 10% 정도 높은 것을 알 수 있다. 물론 알루미늄 판에도 열전달 촉진기술을 적용할 수 있으나, 제조가 플라스틱과 같이 용이하지 않다.

플라스틱 판형 열교환기를 제조하는 방법은 열성형법과 사출성형법이 있다. 열성형은 압출 등에 의해 얻어진 얇은 판을 성형기에 공급하여 틀에 완전히 고정시키고, 성형온도까지 가열한 후 진공 또는 공기압 등에 의해 성형을 하는 방법이다. 성형이 완료되면 적절한 냉각과정과 후처리 공정을 거쳐서 성형품이 얻어진다. 판의 두께, 가열 온도, 가열 시간, 캐비티의 지름과 깊이의 비, 판의 열적 성질 등이 성형에 영향을 미친다. 사출성형은 분말 또는 펠렛상의 재료에 열을 가하여 유체상태로 만들고 압력을 가하여 금형에 압입한 후 냉각하여 최종적으로 필요한 제품을 얻는 방법이다. 금형의 종류, 금형의 재질, 캐비티 표면의 가공 상태, 금형의 온도를 조절하기 위한 냉각라인의 위치와 냉각방식 등이 사출성형에 영향을 미친다. ④