

# 스페이서의 재질변화에 따른 전열교환기 성능변화에 관한 연구

안 영 철

부산대학교 건축공학과(ycahn@pusan.ac.kr)

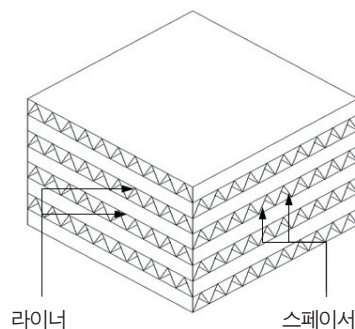
## 연구배경

최근 수십 년 동안 인간생활은 농업 중심의 사회에서 공업화 중심의 사회로 급격히 변화하면서 인간이 하루 중 오래 머무는 공간 역시 실외에서 실내로 이동되었다. 이러한 변화들로 인해 인간은 80% 이상의 시간을 사무실, 주택, 학교 등의 실내 공간에서 보내고 있으며 더욱 쾌적한 환경을 만들기 위해 많은 노력을 기울이게 되었다. 특히, 실내 공기 질의 향상은 매우 중요한 요소로 부각되고 있는데 실내에서 발생하는 각종 유해화학 물질로 인한 부정적 영향을 개선하기 위해 건물 내에 적절한 환기설비의 정착이 의무화되고 있다. 또한, 공동주택 및 사무실을 포함한 초고층건축물들은 에너지 손실을 최소화하기 위하여 점점 기밀성과 단열성이 높아지는 추세이어서 실내에 유해화학물질이 상당 부분 축적되므로 환기설비설치의 중요성이 더욱더 높아지고 있다.

환기설비란 실내의 오염된 공기를 외부의 신선한 공기로 교체하는 것을 의미하므로 외부와의 온도 차가 큰 하·동절기에는 건물에 엄청난 냉·난방 부하를 증가시키게 된다. 이러한 문제점들은 에너지 소비를 줄여 냉·난방 부하를 감소시키면서도 쾌적한 실내공기환경을 확보할 수 있는 친환경

환기설비장치의 필요성을 대두시켰다. 전열교환기는 환기 시 배출되는 오염된 공기와 외부로부터의 신선한 공기 간의 열교환을 적용한 환기장치이다. 건물의 냉·난방을 통해 발생하는 열에너지를 회수하여 재활용하기 때문에 에너지 절감과 동시에 외부공기를 정화하여 공급하므로 간단한 장치만으로 신선한 공기를 실내로 공급할 수 있는 효과적인 환기장치라 할 수 있다.

전열교환기에서 전열교환소자는 실질적으로 열교환이 일어나는 핵심 부품이며, 전열교환소자는 그림 1과 같이 라이너와 스페이서로 구성되어 있다. 라이너를 통하여 내·외기 간의 온도 및 수분 전달을 통한 열교환이 일어나며 스페이서는 기체



[그림 1] 전열교환 소자의 개략도

유로를 형성하고 전열교환소자의 전체적인 형상이 유지되도록 하는 역할을 한다.

전열교환소자에서 라이너에 사용되는 종이는 표면의 흡습 능력 향상을 위하여 흡습제를 코팅하기도 한다. 또한, 급·배기가 섞이는 것을 막기 위하여 종이를 원통형 롤러를 통해 압축시킴으로써(켈린더링) 섬유 간격을 치밀하게 만들기도 한다. 하지만 스페이서는 기체의 유로 및 소자의 형상 유지가 주된 목적이므로 이러한 특수 가공의 과정을 거치지 않은 종이를 사용하여 왔었다.

이와 같은 이유로 과거에는 직접 열교환이 일어나는 라이너의 재질에 따른 성능평가에 대한 연구가 주로 진행되었으나, 최근들어 스페이서에 대한 연구도 활발히 진행되고 있는 상황이다. 따라서 본 연구에서는 일반 종이용 스페이서(일반 스페이서로 명명)로 제작된 전열교환소자와 가공을 거처 라이너로 주로 사용되는 특수 종이용 스페이서(특수 스페이서로 명명)로 제작된 전열교환소자를 비교 분석하여 스페이서의 재질변화에 따른 효율 변화 및 원인을 분석하고자 한다. 또한 본 연구를 통하여 전열교환소자의 열 및 수분 전달 메커니즘에 대한 이해도를 높이고 향후 고효율 전열교환소자의 생산기술 구축을 위한 자료로 활용하고자 한다.

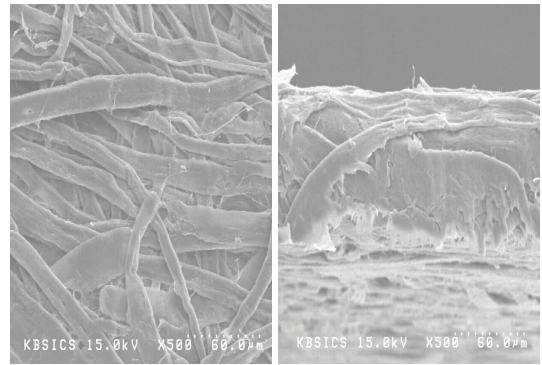
## 연구방법 및 결과

### 전열교환소자

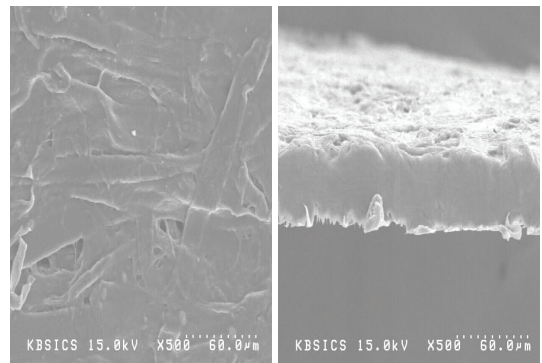
표 1에는 분석에 사용된 두 종류의 전열교환소

(표 1) 전열교환 소자의 제원

	Normal	High Efficiency
Size (mm)	350 × 350 × 350	350 × 350 × 350
Pitch (mm)	2	2
Height (mm)	2	2
Liner	Special Paper	Special Paper
Spacer	Normal Paper	Special Paper



a) 일반 스페이서



b) 특수 스페이서

[그림 2] 일반 및 고효율 스페이서의 형상

자의 제원을 나타내었다. 전열교환소자의 가로, 세로 폭과 높이는 각 350 mm × 350 mm × 350 mm로 일정하다. 각 스페이서 공간의 폭과 높이 역시 2 mm로 일정하게 제작되어, 스페이서의 재질을 제외한 다른 사항은 동일하게 제작하였다.

그림 2는 일반 스페이서와 특수 스페이서를 500배 확대한 전자현미경 사진이다. a)는 일반 스페이서를 확대한 사진으로 표면이 거칠고, 각 섬유 간의 간격이 넓은 것을 확인할 수 있다. 반면, b) 특수 스페이서는 표면이 매끄럽고 섬유 간의 간격이 매우 치밀한 것을 확인할 수 있다.

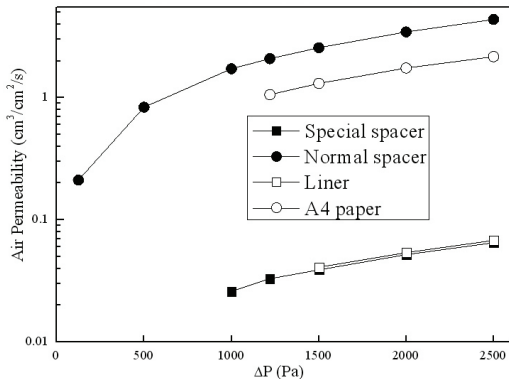
우측의 전자현미경 사진은 스페이서의 측면 사진으로 일반 스페이서와 특수 스페이서의 두께는 각각 약 60 μm, 30 μm로 일반 스페이서가 2배 이상 두꺼운 것으로 확인된다.

스페이서의 재질특성분석

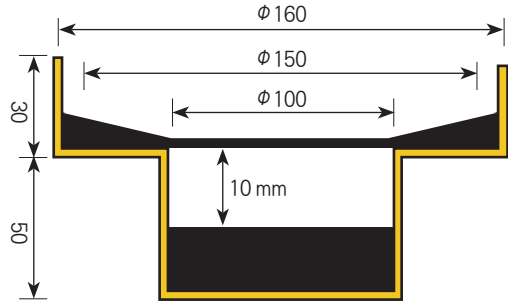
통기도 측정

소자를 구성하는 스페이서의 투습도, 흡습도 및 통기도 측정은 스페이서의 재질 변화가 전체 전열교환기의 성능에 미치는 영향을 파악하는 데 중요한 요소이다. 소자의 열 회수효율은 온·습도 교환 효율 및 열교환 효율에 의해 결정되며 스페이서의 재질에 따른 투습도, 흡습도 및 통기도의 변화를 전열교환기의 성능변화와 비교한다면 상관관계를 도출할 수 있을 것으로 판단된다. 스페이서의 통기도 측정은 ASTM D 737 "Standard Test Method for Air Permeability of Textile Fabrics"에 의해 TEXTEST사의 FX 3300장치를 이용하여 측정하였다.

통기도 측정 시료 면적은 38 cm<sup>2</sup>이며 시료 전·후에 압력차를 주어 단위면적당 같은 시간에 어느 정도 부피의 공기가 투과되는지를 측정하였다. 그림 3은 각 스페이서의 통기도 측정 결과 값이다. 일반 스페이서가 특수 스페이서에 비해 월등히 높은 통기도 값을 가짐을 확인할 수 있으며 그 차이는 압력차에 따라 약간의 차이는 있지만, 평균적으로 약 66배 정도 일반 스페이서의 통기도가 높은 것으로 분석되었다. 이는 그림 2에서 확인된 바와 같이 섬유 간의 넓은 간격과 거친 표면으로 인하여



[그림 3] 각 스페이서 재질의 공기투과도



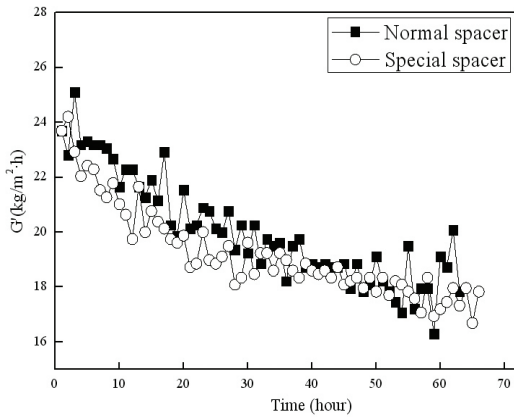
[그림 4] 투습성 측정용 투습컵

공기가 쉽게 통과하기 때문인 것으로 판단된다.

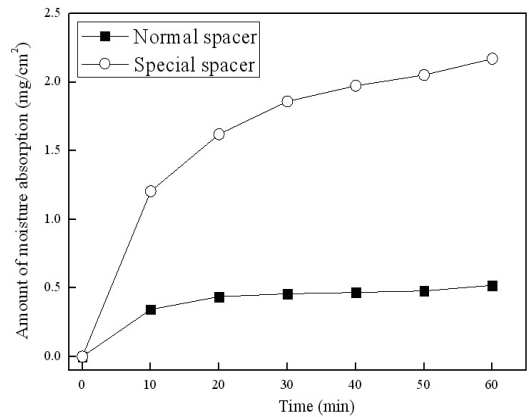
투습량 및 흡습량 측정

스페이서의 투습량 측정은 KS F 2607 "건축 재료의 투습성 측정 방법"에 의해 측정하였다. 시료 면적은 78.5 cm<sup>2</sup>이며 그림 4와 같이 실험용 컵의 바닥에 흡습재 100 g을 투입하였다. 측정용 저울에 컵을 올려두고 무게를 0 g으로 조정 한 뒤 전체 무게가 흡습재 무게의 10%인 10 g에 도달하는 시점까지 온도 23°C, 상대 습도 50%의 조건에서 무게변화를 측정하였다.

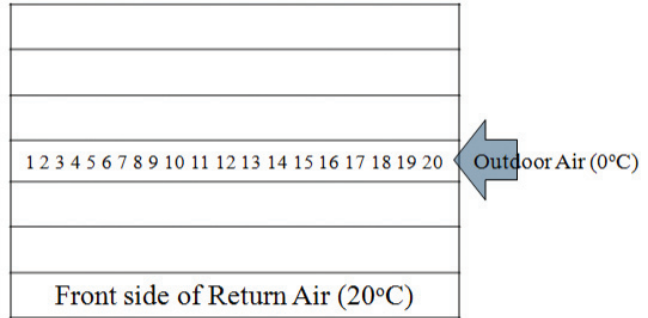
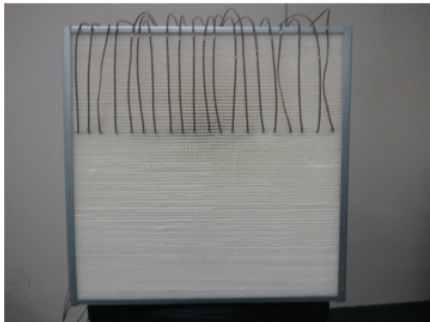
그림 5는 시료의 시간당 단위 면적의 투습량 측정값이다. 일반 스페이서의 투습량이 특수 스페이서보다 높다는 것을 알 수 있다. 이는 소재 자체의 특성으로 인해 높은 통기성을 가지는 일반 스페이서가 수분의 통과량 또한 높게 측정된 것으로 판단된다. 그림 6은 두 스페이서 시료의 단위 면적당 흡습량을 측정 한 것이다. 투습량이 수분의 통과로 인한 흡습재와 시료의 무게를 측정 한 것이라면 흡습량 측정은 시료가 습기를 얼마나 빨리 그리고 많이 흡입할 수 있는지에 관한 실험이다. 시료는 직경 3.5 cm인 원형이며 온도 20°C, 상대습도 90%의 환경에서 실험하였다. 최초 10분 동안의 단위 면적당 증가량은 일반 스페이서가 0.34 mg, 특수 스페이서가 1.2 mg로 약 4배의 차이가 났으며 시간이 경과할수록 두 스페이서간의 누적 흡습량의 차이는



[그림 5] 각 시료별 투습량



[그림 6] 각 시료의 흡습량



[그림 7] 전열교환 소자 내부의 온도측정 사진

증가하였다.

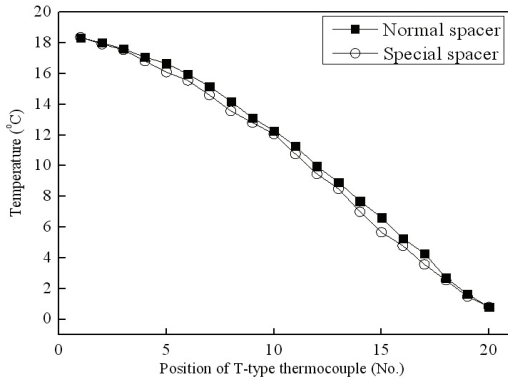
이는 특수 스페이스의 단위 면적당 흡습량이 많다는 것을 알려주며, 결론적으로 특수 스페이스가 습기를 빨리 흡입하는 대신 많은 양의 습기를 통과시키지는 못한다는 것을 의미한다. 일반 스페이스에 비해 수분을 많이 흡입하는 특수 스페이스는 종이 내에 함유된 수분이 모세관 현상에 의해 라이너로 이동되고 이로 인해 흡입된 다량의 수분이 라이너에서의 습도교환을 촉진 시키는 것으로 판단된다.

### 전열교환소자 내부온도구배 측정

전열교환소자는 그림 1과 같이 얇은 라이너를 사이에 두고 다른 두 방향의 스페이스가 교대로 적층된 구조를 가진다. 이로 인해 공기가 소자 내로

투입되는 입구로부터 빠져나가는 출구에 이르기 까지 스페이스 상하로 흐르는 급·배기 간의 온도 차이로 인해 각 스페이스 간에는 온도구배가 존재 하게 된다. 이에 대한 정략적 분석을 위해 그림 7과 같이 한쪽 열의 스페이스 내부에 5칸 간격으로 일정하게 T형 열전대를 설치하고 전열교환기를 작동 시켰다. 전열교환소자에서 하나의 가로 열에 위치한 여러 칸의 스페이스에는 0°C의 외기(Outdoor Air)가 동시에 들어가지만 스페이스를 통과하면서 상·하에 위치한 20°C의 실내로부터 환기(Return Air)로 인해 각 스페이스마다 평균 약 0.4°C의 온도 차이가 존재하였다.

그림 8은 두 소자의 스페이스 간 온도 차이를 나타낸 것으로 그래프 상에는 특수 스페이스 내부의 온도가 전체적으로 낮은 것으로 나타난다. 소자



[그림 8] 각 스페이서 내부 온도분포 측정결과

내부온도가 낮은 이유는 실내의 따뜻한 공기를 외기를 통하여 열교환을 그만큼 활발히 시켰기 때문이다. 소자 내부의 활발한 열교환은 소자 및 전체 전열교환기의 온도교환효율 상승에 효과를 줄 수 있다고 예상된다.

### 전열교환 성능 평가

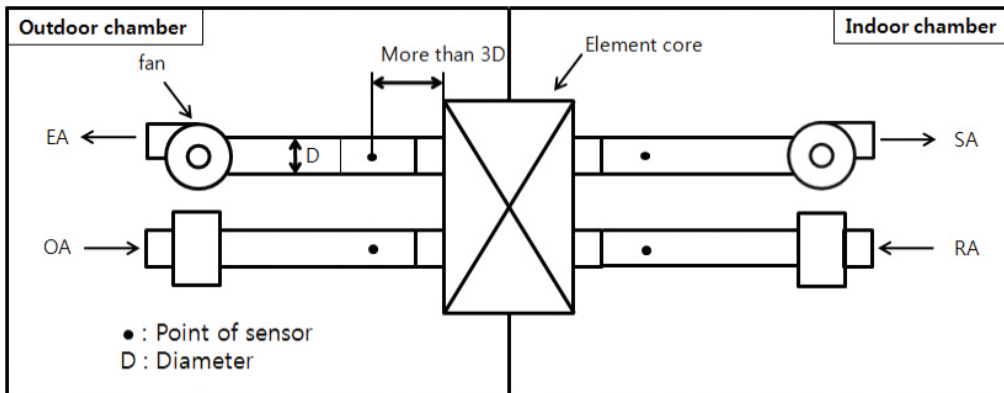
위와 같은 소자의 특성을 바탕으로 전열교환기의 성능평가를 시행하였다. 그림 9는 성능시험장치의 개략도이며, 실험은 KS B 6879 “열 회수형 환기 장치”(7)에 의해 이행되었다. 냉·난방 두 조건으로 실험을 진행하였고 실내·외 온·습도(냉방 조

<표 2> 전열교환기 효율 측정 결과 (단위: %)

Exchange Efficiency	Heating		Cooling	
	Normal	Special	Normal	Special
Temperature	79.44	81.07	73.84	74.46
Humidity	41.54	61.31	32.13	49.56
Enthalpy	69.38	74.14	51.57	61.49

건 시 실내 온도 24°C, 습도 49.6%, 실외 온도 35°C, 습도 40.3%, 난방 조건 시 실내 온도 22°C, 습도 40%, 실외 온도 2°C, 습도 75.1%)를 제외한 모든 조건은 동일하게 적용하였다.

표 2는 냉·난방 시 일반 스페이서와 특수 스페이서의 온·습도 및 열교환 효율을 비교하여 나타낸 것이다. 스페이서 변화에 따른 냉·난방 조건에서 전열교환효율은 특수 스페이서를 사용한 소자가 각각 약 4.74%, 9.92% 높았다. 이는 스페이서의 재질변화가 전열교환기 효율에 상당한 영향을 끼친다는 것을 의미한다. 전열교환효율에 큰 영향을 주는 온·습도 교환효율 역시 특수 스페이서를 사용한 소자가 온도 교환효율은 약 1.63%, 0.62%, 습도 교환효율은 약 19.77%, 17.43% 높게 측정되었다. 이로 미루어 볼 때 스페이서의 재질변화는 온도 교환효율보다 습도 교환효율에 많은 영향을 미



[그림 9] 전열교환기 성능 시험장치 개략도

친다고 볼 수 있다.

## 결 론

본 연구에서는 스페이서의 재질변화에 따른 전열교환기의 성능 변화 및 그 원인을 알아내고자 한다. 이를 통해 전열교환소자의 열 및 수분 전달 메커니즘에 대한 이해도를 높이고 향후 고효율 전열교환소자의 생산기술 구축을 위한 자료로 활용하고자 한다.

(1) 일반 스페이서는 특수 스페이서에 비해 약 66배 공기 투과가 잘 되었다. 이는 섬유 간의 넓은 간격과 거친 표면으로 인하여 공기가 쉽게 통과하는 것으로 판단된다. 각 스페이서 간에는 약간씩의 온도차가 존재하였다. 두 소자의 스페이서 간 온도 차이를 비교한 결과 특수 스페이서 내부의 온도가 전체적으로 낮은 것으로 나타났다. 소자 내부온도가 낮은 이유는 실내의 따뜻한 공기를 외기를 통하

여 열교환을 그 만큼 활발히 시켰기 때문이다. 소자 내부의 활발한 열교환은 소자 및 전체 전열교환기의 온도교환효율 상승에 효과를 줄 수 있다고 예상된다.

(2) 특수 스페이서는 습기를 빨리 흡입하는 대신 많은 양의 습기를 통과시키지 못하는 것으로 확인되었다. 습기를 일반 스페이서에 비해 많이 흡입하는 특수 스페이서는 종이 내에 함유된 습기가 모세관 현상에 의해 라이너로 이동되고 이로 인해 흡입된 다량의 습기가 라이너에서의 습도교환을 촉진 시키는 것으로 판단된다.

(3) 2종류의 전열교환소자를 사용하여 전열교환기 성능평가를 시행한 결과 스페이서의 재질변화에 의하여 전열교환기의 효율에 많은 영향을 끼치는 것으로 확인되었다. 그리고 스페이서의 재질 변화는 온도 교환효율보다 습도 교환효율에 더욱 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. ❄️