

# 패시브하우스에서의 환기성능 특성에 대한 연구

패시브하우스의 개념과 환기의 성능에 영향을 미치는 요소를 알아보고 환기성능 향상을 위한 방법을 알아보려고 한다.

## 서론

오늘날 세계적으로 에너지 절감을 위하여 여러 활동이 이루어지고 있다. 교토의정서 발효 이후 전 세계적으로 온실가스 배출 감소를 위해 다양한 분야에서 노력을 해왔다. 또한, 각종 에너지절감정책과 프로젝트 등의 활동이 이루어지고 있으며, 이에 따라 에너지 절약을 위한 건축 활동이 진행되고 있다. 현재 우리나라의 연간 총에너지소비량 중 건축물에서 사용되는 에너지 소비는 국가 전체 소비량의 25%를 차지하고 있고, 이러한 건축물의 에너지를 절감하기 위한 저에너지 건축이 활성화되고 있다. 최근 국내에서는 고층 건물 및 에너지 절약형 건물의 관심이 커가면서 그에 따른 건축물에 적용시켜야 할 요소들이 존재한다. 특히 특정장소 공기의 질을 개선하기 위해 자연적, 강제적으로 환기를 하게 되는데 이에 따라 집안의 열이 실내 안팎으로 통과하여 내부의 열에너지 손실을 야기하고 냉·난방 비용이 발생하게 되므로 패시브하우스 개념으로 볼 때 비효율적이며 에너지 낭비이다. 이 장에서는 패시브하우스 개념을 이해하고 에너지손실을 최소화하여 열을 회수하면서 내부를 환기시킬 수 있는 전열교환기의 개념, 전열교환기 소자, 전열교환기 결로방지 방법, 기밀과 환기와의 관계 등을 알아보고 이를 통해 환기성능을 높여 에너지손실을 줄일 수 있는 방법에 대해서 살펴보고자 한다.

박근태

한라건설(주) 기술연구소

P13545@halla.co.kr

### 환기에 관한 이론적 고찰

환기는 “실내의 공기정화” 또는 “온열환경조건의 개선” 등의 명확한 환경 개선을 목적으로 거주자가 의도적으로 실내외의 공기를 교체하는 행위를 나타내는 용어이다. 그것을 기계의 힘에 의할 경우에는 기계환기 또는 강제환기라고 한다.

특히, 공기조화설비를 가진 건물의 경우, 실내 공기질을 개선하기 위한 목적으로 수행하는 환기를 외기도입, 그 때문에 도입하는 외기를 도입외기라고 한다. 일반적으로, 공조설비에서 실내 공기조화를 행하고 있는 경우에는 에너지절약을 위하여 공조대상 실내에 완전히 도입외기를 하지 않고, 실내로부터의 배기를 도입외기에 일정비율을 섞어서 급기하는 방법을 사용하는데 이를 환기라 하고 그 양을 환기량이라 한다.

통풍은 실의 창을 크게 여는 등의 방법을 이용하여, 통상 자연환기의 경우보다 실내를 빠른 속도의 기류가 통과하도록 하는 것을 말한다. 통풍은 실내 공기질의 개선보다 기류에 의하여 체감온도를 낮추는 온열환경개선이 주목적이다. 이 경우 일반적으로 공기질은 외기와 같은 수준이 된다고 본다.

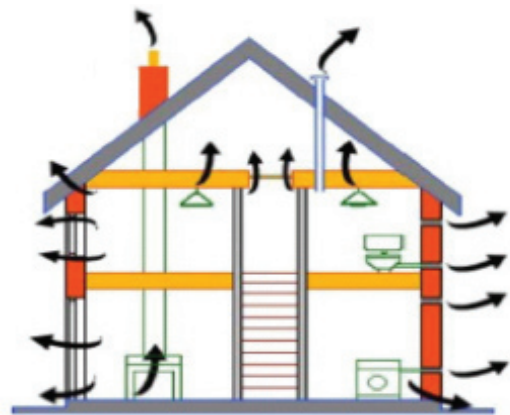
침기와 누기는 환기와 달리, 거주자의 의도와는 무관하게 단순히 공기가 실내에 침입하거나, 실내로부터 누출되는 현상을 말한다. 단, 환기와 의미상의 차이는 공기의 유동이 눈에 보이지 않는 건물 구조체의 균열, 단한 환기구나 창의 틈새, 통기구 등 거주자가 의도하지 않는 개구부를 통해 발생하는 경우를 의미한다는 점이다. 침기와 누기를 통칭하여 누기라고도 하며 그 결과로 실내 공기질이 개선되거나 냉감이 높아지거나 하는 현상이 발생하지만, 그러한 공기교환이 의도를 가지고 행해진 것이 아니라면 환기라고 하지 않는다. 침기와 누기는 결과적으로 실내 공기질 개

선에 도움이 되나, 그 양 자체도 매우 적고 침기와 누기에 의하여 발생하는 열손실 및 결로와 같은 부작용도 있을 수 있다.

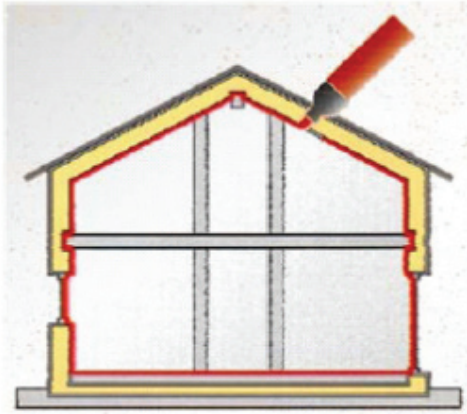
실내의 공기가 대류의 형태로 건물의 외피로 유출되거나 실내로 유입되는 것을 막는 기능으로 조적에는 실내의 미장마감이 되고, 경량의 스틸이나 목구조에서는 보통 방습지가 기밀층이 된다.

**그림 1**은 침기가 발생하는 주요 틈새를 보여주고 있다. 대부분 창호 주변과 전선관(콘센트), 설비관통부위 등에서 나타나고 있다. **그림 2**는 침기나 누기로부터의 기밀성 파괴를 최소화하기 위한 건축물의 기밀구조를 보여주고 있다. **그림 3**은 기밀성능 향상을 위해 창호, 배관, 콘센트에 기밀테이프로 시공한 그림이다.

패시브하우스에서는 건물의 기밀성에 대한 조건이 더 까다롭다. 기밀성이 보장되지 않으면 정확한 계산에 맞추어 설정된 환기장비의 성능이 저하되기 때문이다. 즉 사용된 공기(배기구)를 빨아들이는 공간에 상대적으로 더운 폐공기(배기)가 열교환기에서 회수되어야 하는데 기밀하지 못한 경우는 실내에서 사용된 공기보다 외부에서 혹은 설비 덕트의 틈으로 찬 공기가 유입되며 기대한 열회수를 얻을 수 없다. 더불어 신선한



[그림 1] 침기 경로



[그림 2] 기밀확보 구조

공기가 유입(급기)되는 공간에서 중간의 복도를 통한 공기의 흐름이 방해되므로 전체적인 시스템에 문제가 생기게 된다. 따라서 기밀과 환기는 밀접한 관계가 있는 것이다.

### 환기의 필요성

최근 에너지 절감 건축물의 활성화로 고기밀화 고단열화되고 있으며 이로 인해 실내 공기질이 악화되어 각종 질병을 초래하고 있다. 따라서 생활수준의 향상과 함께 수요자들의 쾌적환경에 대한 요구가 증가함에 따라 오염물질 제거를 위한 환기가 중요하게 되었다.

- 실내 오염된 공기의 교체를 통한 공기의 정화  
환기는 건축자재에서 발생하는 포름알데히드, 주방에서 발생하는 연소가스, 화장실에서 발생하는 악취 등을 제거하여 공기를 정화한다.

### - 산소공급

밀폐된 공간에서 사람이 생활할 때 산소를 소비하게 되어 산소가 부족하게 된다. 따라서 신선한 산소 공급을 위해 환기는 반드시 이루어져야 한다.

### - 실온조절

사람과 생활가전에서 발생하는 열로 인하여 실내의 온도가 올라가면 미생물 번식에 유리한 환경을 조성할 수 있기 때문에 환기가 필요하다.

### - 제습

밀폐된 실내에서 빨래, 목욕 등 물을 사용하게 되면 습도가 올라가 세균 및 곰팡이 증식을 유발할 수 있으므로 습기 제어를 위해 필요하다.

## 패시브하우스에서의 환기

### 패시브하우스

패시브하우스는 주거용 건물이나 비주거용 건물에 상관없이 에너지 수요가 대단히 적은 건축물을 말한다. 전기, 석유, 가스 같은 에너지를 외부에서 끌어다 사용하는 액티브하우스의 반대 개념으로 첨단 기밀, 단열공법을 이용해 에너지



[그림 3] 기밀확보를 위한 시공사례

낭비를 최소화한 건물을 말한다. 일반적으로 생각할 때 태양열 집이나 생태주의에 따른 친환경 주택이 떠오르지만 패시브하우스는 집안의 에너지 절감에 더 집중한다. 패시브하우스는 건물 안으로 들어오는 햇빛과 내부에서 발생하는 에너지(기기발열, 인체발열, 조명발열)를 최대한 이용하여 난방을 하고 발생 총 열량을 계산하여 이 열들을 가두어 둘 수 있는 단열과 기밀조건을 계산함으로써 난방설비를 최소화하여 겨울을 보낼 수 있는 주택을 생각하여 탄생하였다.

패시브하우스는 단위면적( $m^2$ )당 연간 난방에너지 소비가 15 kWh이하, 1차에너지 소비가 120 kWh이하인 건물을 말하며 기준은 표 1과 같다.

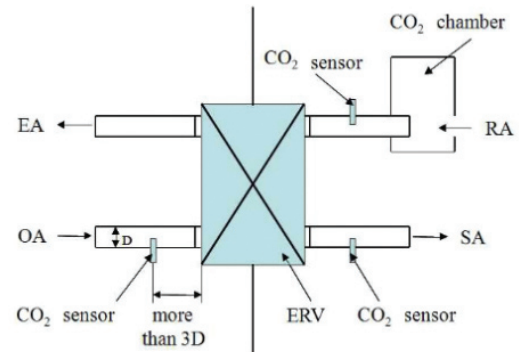
난방수요는 각 국가의 기후자료를 토대로 실 천적인 값을 제시한 것이므로 패시브하우스 인스티튜트의 에너지 계산 프로그램인 PHPP(Passive House Planning Package)를 이용하여 난방수요 값을 보정할 수 있는 여지를 두고 패시브하우스를 결정하게 된다. 다시 말하면 “단위면적당 난방에너지 소비가 연간 1.5 l, 1차 에너지 소비가 12 l 이하인 건축물”로 패시브하우스를 정의할 수 있는데 여기서 l 란 실내 온도 20℃를 유지하기 위한 난방 등유의 양으로, 1년 동안 1 m<sup>2</sup>의 면적을 1.5 l 로 지낼 수 있는 집이면 패시브하우스라 부른다. 그 이유는 단위 면적당 난방비가 그 이하로 떨어져야 난방기나 에어컨의 사용을 최소화할 수 있기 때문이다. 일반주택이 1 m<sup>2</sup>당 1년 동안 17 l 의 난방등유가 필요하므로 패시브하우스는 일반주택에 10분의 1수준인 것이다.

### 패시브하우스에서의 환기장치

패시브하우스는 단열과 기밀의 성능이 좋기 때문에 에너지의 손실이 적다. 그러나 반대로 말하면 공기가 순환할 수 있는 공간이 없기 때문에 환기를 하지 않을 때 실내 공기의 질이 현격히 나



[그림 4] 패시브하우스 환기



[그림 5] 누설 시험 장치

<표 1> 패시브하우스 기준

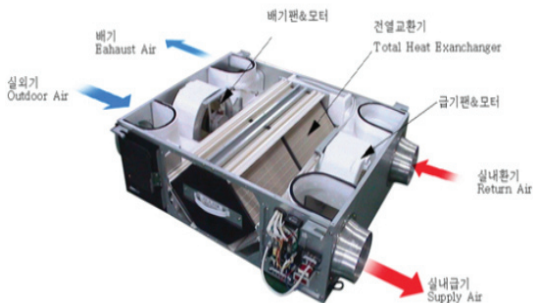
단열	- 지붕부터 바닥까지 끊긴 부분 없는 외단열 - U값은 0.15 W/m <sup>2</sup> K 이하
열교	- 열교열손실계수 0.01 W/mK
밀폐	- 건물 전체에 끊긴 부분 없이 n50 값이 0.6/h 이하 (n50값 = 실내외의 압력차가 50파스칼인 상태에서의 시간당 공기교체율)
전열교환기	- 효율 75% 이상 - 소비전력 0.45 W/(m <sup>2</sup> /h), 누설률 3% 이하 - 설치공간에서의 소음 < 35 dB, 주거공간에서의 소음 < 25 dB
열창호	- 3중 유리, 아르곤 또는 크립톤 충전 - 단열창틀 Ug<0.6, Uw<0.85 이하

빠지게 되며 창 개방이나 환풍기로 환기를 할 경우 에너지 손실을 가져오기 때문에 이를 최소화하여 환기를 할 수 있는 전열교환기의 성능이 매우 중요하다. **그림 4**는 패시브하우스에서 환기를 보여 주고 있으며 성능을 높이기 위해서는 전열교환기의 기체 차폐성을 높여 배기와 급기가 섞이지 않아야 한다. 차폐성은 **그림 5**의 실험장치를 통해 누설률로 구할 수 있다. 환기(RA)부에 고농도 이산화탄소를 공급하고 누설로 인한 외기(OA)부와 급기(SA)부의 이산화탄소 농도 변화를 측정하여 누설률을 구할 수 있으며 누설률은 전열교환기의 효율과 직접적인 관계가 있기 때문에 누설률을 줄이는 것이 전열교환기 효율을 높일 수 있는 방법이다. 또한, 고기밀화 된 패시브하우스 공간에서 소음은 민감하게 느낄 수 있기 때문에 전열교환기 설치된 공간에서 35 dB, 방에서의 소음 25 dB로 기준을 정하고 있으며 팬이 소모되는 전력보다 열교환하는 비율이 높아야 하므로 유입되는 공기당 0.45 W/(m<sup>2</sup>/h)이하가 되어야 한다.

## 전열교환기

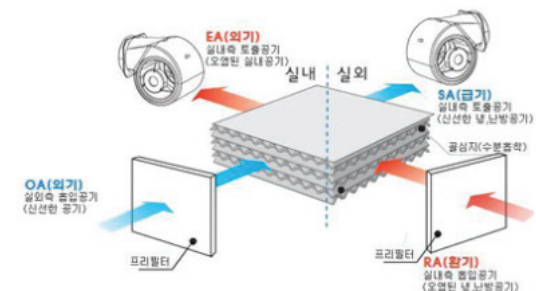
### 전열교환기 개념

주택이 기밀해지면 에너지 절감과 벽체 내 결



[그림 6] 전열교환기 내부 구성

로 현상 감소시킬 수 있지만 환기량이 부족해진다. 그래서 기밀을 극대화한 패시브하우스에서 기계식 환기장치를 사용하게 되며 유입되는 공기와 유출되는 공기의 열을 서로 열교환하여 사용하는 것이다. 전열교환기는 **그림 6**에서 보는 바와 같이 내부에서 열을 발생시키는 것이 아니라 **그림 7**의 전열교환 소자라는 부분에서 실내공기와 실외공기를 섞이지 않게 교차시키면서 열을 교환하는 것이다. 즉 열교환 소자에서 공기를 구성하는 기체의 열량인 현열과 공기 속의 수분이 가지고 있는 열량인 잠열의 열량을 교환하여 온도와 습도를 교환하는 것이다. 겨울철 실내온도가 20℃ 실외온도가 0℃일 경우 환기를 시키게 되면 실외의 0℃의 차가운 공기가 실내로 유입되게 된다. 이때 온도교환효율 75%의 성능을 가진 열교환기를 이용할 경우 15℃의 신선한 공기가 실내로 유입되므로 난방 시 5℃를 올릴 수 있을 에너지만큼의 에너지가 필요하게 되며 이에 따라 0℃에서 15℃까지 올릴 만큼의 에너지가 절약할 수 있다. 일반주택에서 창 개방이나 환풍기를 사용하여 환기를 하게 되는 경우 열손실은 주택에서 소모되는 에너지 소비량의 20%가 넘기 때문에 실내 열에너지 손실을 최소화하여 환기시킬 수 있는 전열교환기가 패시브하우스에서 중요한 이 유라 하겠다.



[그림 7] 전열교환 소자

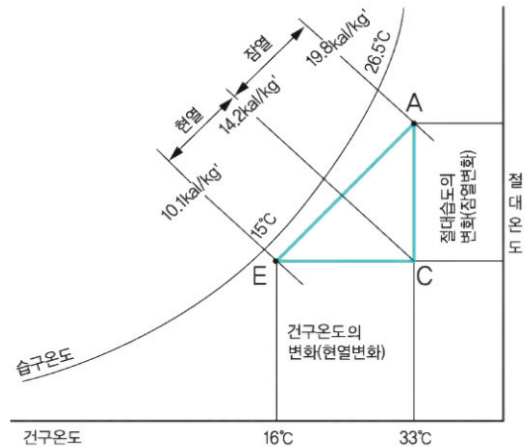


### 전열교환 소자

환기를 할 때 실내공기의 온도를 최대한 유지하고 환기를 하는 것이 열 손실을 줄일 수 있는 방법이기 때문에 열교환 소자의 특성 및 성능을 파악하는 것이 중요할 것이다. 열교환 소자는 그 형상과 재질에 따라 교환되는 에너지와 효율이 달라진다. 종류로는 현열교환소자와 전열교환소자가 있으나 우리나라와 같이 다습한 지역에서는 온도와 습도를 제어할 수 있는 전열(현열+잠열) 교환소자가 유리하다. 전열교환 소자는 급·배기를 구분시키는 종이류의 라이너를 사이에 두고 직·교류의 형태로 현열과 잠열을 교환한다. 실제 전열교환이 이루어지는 라이너 위에 일정 모듈의 주름형상을 한 스페이서에서 실내배기와 외기가 분압차에 의해 전열면에서 교차하면서 전열과 잠열이 교환되는 것이다.

**그림 8**은 전열교환기가 열교환할 수 있는 에너지(엔탈피)량을 공기선도 상에서 표시한 것이다. 실외 공기조건을 E점이라 하고 전열교환되는 공기조건을 A점이라 한다면 E점의 공기가 현열교환기를 통과한 후에 공기의 상태량은 C점이 되지만 전열교환기에서 열교환을 행한 공기는 A점이 되므로 전열(엔탈피)회수량은 현열 수량에 비해 탁월하다. 즉 현열교환은 열만 교환하는 것이고 전열교환은 현열+잠열을 교환하여 열교환과 습도교환이 가능하다.

전열교환소자는 크게 로터리 방식과 판형 방식으로 구분할 수 있다. 로터리 방식은 열교환기 소자가 휠 형태로 제작되어 회전하면서 급기와 배기 사이에 열교환을 하는 방법으로 판형 방식에 비해 열교환 효율은 높으나 급기와 배기가 섞이는 문제가 있고 모터가 장착되므로 장치가 복잡해지는 단점을 가지고 있다. 판형 방식은 고정식으로 제작되어 열교환을 하는 방법으로 구조가 간단하여 소용량의 환기 장치에 널리 사용된다.



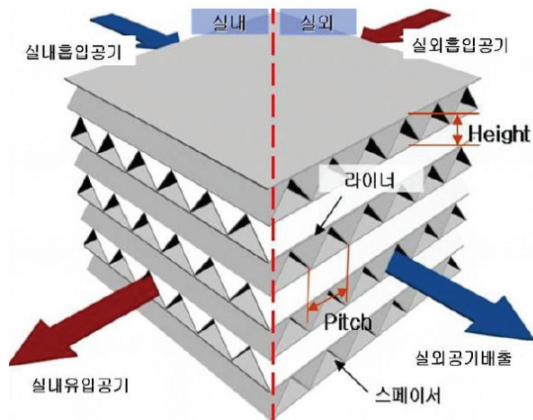
[그림 8] 공기선도상의 에너지 이동

판형 열교환기 재질로는 알루미늄, 폴리프로필렌, 기능성 종이, 고분자 멤브레인 등이 사용된다. **그림 9**는 판형방식 형태의 종이재질 소자를 나타낸 것이다. 전열막과 스페이서가 교대로 적층되어 급기와 배기 사이의 열과 수분을 전달하게 된다. 이때 소자의 표면에 미세한 공간이 있으면 실내의 오염물질이 밖으로 배출되지 않고 실내로 들어올 수 있기 때문에 소자는 치밀도가 높아야 한다. 소자조직의 치밀도는 전열막의 전단과 후단의 압력차이를 두어 일정한 양의 공기가 통과하는 시간을 통해 측정할 수 있으며 일반적인 종이에 비해 100배 이상의 차폐성을 가지고 있다. 하지만 실제로는 전열교환기의 전열막을 통하여 누설이 발생하며 이를 고려한 유효전열교환효율은 다음과 같다.

$$\text{유효전열교환효율} : n_{ie} = \frac{n_i - n_q}{100 - n_q} \times 100$$

$$\ast n_i (\text{전열교환효율}) : n_i = \frac{i_{OA} - i_{SA}}{i_{OA} - i_{RA}} \times 100$$

$$n_q (\text{누설률}) : \frac{\text{누설량}}{\text{급기량}} \times 100$$



[그림 9] 전열교환소자 개요

전열교환효율은 외기와 급기, 환기와의 엔탈피의 값으로 구할 수 있으며 유효전달효율은 누설률과 관련이 있음을 알 수 있다. 즉 전열막의 치밀도를 높여 누설률을 줄이는 것이 효율을 높일 수 있는 방법이다.

전열교환기 소자의 치밀도와 함께 중요한 것이 소자의 투습도(수분투과율)가 좋아야 한다. 고온 다습한 공기가 소자의 상부를 통할때 대항류로 저온 건조한 공기가 소자의 아래쪽으로 흘러가게 된다. 이때 소자를 통해 고온의 공기로부터 저온의 공기로서 에너지가 전달되며 이때 소자의 온도는 중간 온도가 되고 소자의 온도가 고온 다습한 공기의 이슬점보다 낮게 되면 소자의 상부의 고온다습한 공기 쪽으로 수분이 응축되며 응축된 수분은 소자를 통해 상대적으로 수분 효율이 적은 저온의 건조한 공기 쪽으로 이동하여 수분을 전달하는 것이다.

기능성종이와 고분자 멤브레인은 조직이 치밀하고 투습성능을 가지고 있기 때문에 급기와 배기 사이에 현열교환은 물론 수분교환도 가능하며 우리나라 여름철의 고온다습한 지역에서 적합

한 재질로 평가되고 있으며 특히 종이재질은 가격도 저렴하여 전열교환기 소자로 널리 사용되고 있다.

### 결로방지

실내의 따뜻한 공기와 외부의 찬 공기가 서로 교차하면서 열교환기 내부의 열교환 소자에 결로가 발생할 수 있다. 결로가 발생할 경우, 열교환 효율이 떨어지고 열교환 소자에 결빙 현상이 발생할 수도 있으므로 외기 쪽 덕트 중간에 프리히터를 설치하여야 한다. 프리히터를 설치하면 기기로 유입되는 외기를 미리 데워주기 때문에 온도가 높아져 결로를 방지하게 된다. 프리히터는 전기형, 브라인형, 쿨튜브형이 있다. 쿨튜브형이란 지열을 이용하여 지하 1.5 m 이하에 설치하고 열회수 환기장치와 연동시키는 것이다. 지열을 이용하기 때문에 추가적인 전기요금이 발생하지 않으나 시공비가 많이 발생하고 결로로 인한 곰팡이 발생이 우려 된다. 브라인형이란 물이 쉽게 고이고 이로 인한 곰팡이 등 불결한 공기를 실내로 유입시킬 수 있는 쿨튜브형을 한 단계 발전시킨 시스템이다. 공기가 아닌 결빙방지제를 섞은 물을 펌프로 순환시켜 유입되는 공기와 열교환하기 때문에 곰팡이 발생을 줄일 수 있다. 전기형은 유입되는 외기를 전기 히터로 데우는 방식이며 설치가 간단하고 곰팡이 발생우려가 적은 장점을 가지고 있지만 추가적인 요금이 가장 많이 발생하는 단점을 가지고 있다. 결로방지시스템의 장단점은 표 2와 같다.

브라인형은 유지관리가 적게 들지만 시공비가 많이 드는 단점을 가지고 있고 쿨튜브형은 여름철에 덥고 건조한 유럽 기후에는 적합하나 덥고 습한 한국 기후에는 결로의 우려가 크고 파이프 내에 결로가 발생하여 곰팡이 증식의 원인이 될 수 있으며 결로의 역류를 방지하기 위한 파

이프경사를 정밀하게 시공해야 하는 어려움을 가지고 있다. 국내에 설치되어 있는 대부분의 전열교환기는 프리히터시스템을 사용하고 있지 않아 장비내에 결로가 발생할 가능성이 많아져 곰팡이 증식에 따른 쾌적성을 확보할 수 없고 에너지 손실을 가져올 수 있기 때문에 프리히터시스템 설치를 고려해야 한다. 또한 전열교환기 외기쪽 취입 덕트의 결로를 방지하기 위해 보온해야 하며 배기 덕트에 대해서도 동절기에 외기와의 열교환에 의해 배기온도가 저하하는 경우가 있으므로 외기온도, 열교환 효율을 고려한 상에서 결로 가능성이 있는 경우에 보온을 하여 결로를 방지해야 한다.

## 결론

패시브하우스는 기후변화와 에너지고갈 문제를 해결하는 데 기여할 수 있으며 난방에너지 소비량을 줄여 에너지 낭비를 최소화하는 건축물로 열에너지 손실을 최소화하면서 환기를 해야 한다. 따라서 실내의 공기와 외기와의 열교환을 통해 열의 손실을 최소화하면서 환기시킬 수 있는 전열교환기의 역할이 중요하며 그에 대한 원리 및 특징을 살펴보았다. 또한 환기성능에 영향을 미치는 기밀과 환기와의 관계와 전열교환기 소자 및 결로방지 시스템 등에 대해서 알아보았으며 그 결론은 다음과 같다.

1) 계획했던 패시브하우스에서 요구되는 환

〈표 2〉 결로방지시스템 장·단점

형태	개념도	장점	단점
전기형		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 설치 간단</li> <li>- 곰팡이 우려 없음</li> <li>- 유입되는 온도가 가장 높다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 추가적인 전기요금 발생</li> <li>- 난방에만 사용 가능</li> </ul>
액상 브라인인젝션		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 냉난방 겸용 가능</li> <li>- 곰팡이 발생 우려 적음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 추가적인 전기요금 발생</li> <li>- 설치비 고가</li> </ul>
액상 브라인투입		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 추가적인 요금 발생 없음</li> <li>- 냉 · 난방 겸용 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 결로로 인한 곰팡이 발생 가능</li> <li>- 유입되는 외기온도 보통</li> </ul>



기성능을 유지시키기 위해 기밀성능이 높아져야 하며 건물의 기밀 성능이 높아질수록 환기를 통한 에너지 손실의 비중은 높아지기 때문에 열교환을 통한 에너지 손실을 최소화하는 전열교환기가 필수적이다.

2) 전열소자의 치밀도 및 투습도는 환기성능에 영향을 미치며 성능향상을 위해서는 흡습제, 강화제 등을 첨가하고 칼렌더링을 하는 등 기술개발이 필요하다. 그러나 이에 대한 국내 기술이 개발이 미미한 수준이며, 전열교환기 설계에 있어서도 현열 부분은 가능하나 잠열 전달 메카니즘에 대한 이해가 부족하고 데이터가 확보되지 않아 이 부분에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

3) 예열 시스템 설치 및 보온을 통해 결로 발생을 최소화하여 실내의 쾌적성을 향상시키고 전열교환기의 성능을 높일 수 있다.

패시브하우스는 기존주택 대비 난방에너지의 90%, 전체에너지 사용량의 60% 이상 절감할 수 있는 개념의 건축물이다. 그러나 패시브하우스는 일반주택에 비해 초기 투자비용이 높기 때문에 소비자들은 당장 앞의 비용만을 생각하고 친환경 건축에 관심을 가지고 있지 않는다. 비용만을 생각하지 않은 미래지향적인 에너지 절감 건축물에 대한 소비자의 인식변화가 수요로 이어질 것이며 이는 다시 기업의 기술력 향상을 가져 올 것이기 때문에 패시브하우스에 대한 인식변화가 중요할 것이다.

## 참고문헌

1. 홍도영, “건축물의 기밀성(패시브하우스)”, 그린빌딩(한국그린빌딩협회지) 제 12권 제3호, 2011
2. 문현준, “고기밀 · 고단열 주거건물의 환기”, 공기청정기술 제23권 제1호, 2010
3. 김주환, 이태구, 조경민, 김주수 “독일 패시브하우스 단열 기준을 통한 국내 패시브하우스 사례비교 분석, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집, 2010
4. 안태경, “아파트의 환기 및 기밀수준 성능에 관한 연구”, 대한건축학회지 pp197-205, 1999
5. 김경록, 김지혜, 김환영 “원룸의 기밀성능측정에 따른 환기상태의 분석”, 대한건축학회지회연합회 학술발표대회 논문집, 2008
6. 김동환, “전열교환기의 성능평가 및 연구”, 명지대학교 학위논문(석사), 2009
7. 이을중, “종이재질 전열교환기의 열 및 수분전달에 대한 연구”, 인천대학교 학위논문(석사), 2010
8. 정창현, 이윤규, 김태연, 이승복 “실내공기질을 고려한 유치원 보육실의 필요환기량 산정에 관한 연구”, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, 2006
9. 이필렬, “에너지 효율적 건축물 및 에너지 효율적 건축기술 연구” KNOU논문 총 제 21집 PP.451-479, 2011 