

그린빌딩을 위한 고효율 단열재

1. 서론

지난 1 ~ 200백년에 걸친 엄청난 양의 화석연료 사용은 지구온난화로 이어져 예전에 없던 대형 자연재해가 세계각지에서 발생하고 있다.

BP(영국석유)의 자료에 따르면 화석연료의 가채연수가 석유는 약 40년, 천연가스는 약 65년, 석탄은 약 155년으로 전망하고 있어 에너지자원 고갈에 대한 위기감으로 인해 에너지절약을 위한 노력이 그 어느 때보다 심화되고 있다.

우리나라는 국내 에너지수요의 97% 이상을 해외에 의존하고 있다. 2006년의 에너지총수입액은 855.7억 달러, 2007년은 907.8억 달러였으며, 2008년은 1,047.8억 달러로 예상하고 있다. 석유수입은 세계 7위, 에너지소비는 세계 10위이고, 온실가스 배출량도 2005년 기준 연간 5억 9,000만 톤으로 세계 10위의 온실가스 배출국이다. 1990년 2억 8천만 톤 기준으로 보면 2005년까지 CO₂ 배출 증가율이 년 평균 4.7%로 중국에 이어 세계 2위의 증가율을 보이고 있다. 2013년부터 우리나라도 온실가스 의무감축국으로 될 것으로 확실시 되고 있는 현 시점에서 정부에서도 '저탄소 녹색성장'에 총력을 기울이고 있는 실정이다.

2008년 12월 15일에 발표된 '에너지이용 합리화 기본계획'에 따르면 1012년까지 에너지효율을 11.3% 높이는 것



권영철

- ▶ 1964년
- ▶ 한라대학교 건축학부 교수
- ▶ 관심분야 : 건축환경/친환경건축, 건물에너지 절약

을 목표로 각 부문별 구체적인 계획을 수립하고 있다.

부문별 에너지 소비를 보면 산업부문 55%, 건물부문 24%, 수송부문 21% 정도를 차지하고 있다. 건물에서의 에너지소비 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 것은 외피를 통한 열손실/획득이며, 이는 대체로 건물의 냉/난방부하의 40% 이상을 차지한다. 따라서 건물에서의 에너지절약을 위해서는 외피의 적정단열 설계 및 시공이 가장 우선적으로 이루어져야 한다.

최근 정부에서 추진하고 있는 그린홈 100만호 사업이나 Zero Energy Building, Energy Plus Building 등을 성공적으로 달성하기 위해서는 무엇보다 먼저 건물외피의 고단열이 이루어져야 한다. 따라서 본고에서는 단열재의 역사를 개 하고, 단열재가 갖추어야 할 성질을 살펴본 후, 그린빌딩을 위한 고효율 단열재를 집중 소개하고자 한다.

2. 단열재의 역사

동굴에서부터 초단열 주택에 이르기까지 인류는 혹독한 자연으로부터 자신을 보호하기 위해 여러 방식으로 단열을 해왔다. 단열기술에 대한 정확한 근원을 찾기는 어렵지만, 단열재의 자연적인 원형으로 짐승의 털이나 새의 깃털, 솜, 양털, 짚, 머리카락 등의 유기물질들이 거론되고 있다. 역사이전의 인류는 동물의 털이나 가죽으로 옷을 만들어 입었고 나무, 돌, 흙 그리고 다른 재료들을 이용해서 집을 지어 겨울의 추위와 여름의 더위를 피했다.

수 천년 동안 건물은 그 지역의 기후 특성에 알맞게 지어졌는데, 이집트인들이 흙의 단열성을 이용하여 지중주택을 지었으며, 그리스 로마인들은 석면을 내화단열재로 사용했으며, 로마인들과 초기 스페인 거주자들은 코르크를 지붕의 단열재로 사용하기도 했고, 북미 원주민들은 코르크를 진흙과 섞어 집의 벽체단열을 했다.

기술의 발전과 쾌적함에 대한 요구와 함께 12세기와 13세기에 걸쳐 노르웨이와 아이슬란드인에 의해 벽난로와 굴뚝이 도입되었는데, 이것이 조절가능한 인공난방의 효시라 할 수 있다. 이때 어떻게 열을 실내에 가두고 밖으로 배출할 것인가에 대한 작업이 이루어졌다. 이 당시 북유럽의 밀짚오두막은 짚을 엮어 60cm 두께의 지붕을 만들었고, 짚과 진흙을 섞어 벽체를 만들었다. 미

국남서부 지방에 지어졌던 초기 스페인 선교사들의 집은 짙을 섞은 진흙으로 60 ~ 90cm 두께의 벽을 만들어 외기온이 50 ~ 60℃까지 올라가는 환경에서도 실내는 상당히 시원했다고 한다. 광물질의 섬유가 처음으로 쓰인 것은 하와이 원주민들에 의해서 인데, 화산폭발로 인해 만들어진 화산지역에서 화산증기가 빠져나오면서 현무암이 솜털모양의 섬유로 만들어졌으며, 이것을 오두막 단열재로 사용했었다.

19세기 후반 산업혁명의 도래와 함께 상업적인 단열재 사용이 본격화 되었다. 미네랄울은 1840년 영국의 Wales 지방에서 처음으로 상업생산되어 파이프 단열재로 사용되었으며, 미국에서는 약 60년 후인 1897년 화공기술자인 C.C. Hall이 암면을 처음으로 생산했다.

유리섬유는 고대 이집트에서 그 기원을 찾을 수 있는데, 뜨거운 유리로부터 섬유를 뽑아 용기장식으로 사용했었다. 유리섬유 단열재를 만드는 현대적인 기술은 1931년도에 개발되었는데, 녹인 유리를 조그만 가온 노즐을 통해 고속분사함으로써 길고 가느다란 섬유를 뽑아낼 수 있었다. Owens-Illinois에 의해 개발되어 1949년 독점판매금지법이 제정될 때까지, 후에 Owens-Coming 유리섬유사가 된, Coming Glass사가 독점 생산공급하였다.

밝은 금속표면을 이용한 반사형 단열재는 1804년 처음으로 특허등록 되었다. 알루미늄이 결국 주요 반사재로 되었으며, 1930년대에 와서야 상업적으로 인기를 얻게 되었다.

일반인들에게 단열재의 가치가 알려진 것은 1920년대인데, 그 당시 화이버 보드가 가장 경제적인 단열재로 광고되면서 batts 타입 단열재들도 함께 인기가 올라갔다. 알루미늄과 구리가 batts 타입단열재의 반사재로 쓰이기도

했다. 돌을 녹여 슬래그 울을 만들었으며, 암면으로 알려진 이 제품은 후에 석면으로 대체되었다. 유리섬유의 생산은 1930년대에 시작되었다.

가벼운 건축재료가 인기를 얻어가며 많이 사용되면서 단열재에 대한 요구가 증대되었다. 집에 냉방시스템이 서서히 도입되면서 단열에 대한 요구가 더욱 커지게 되었다.

1928년 텍사스주 San Antonio에 지어진 Milam Building이 전 공조방식의 최초의 고층사무소 건물이 되었다. 같은 해 Willis Carrier가 처음으로 주택용 공조기를 설치하여 냉난방과 함께 습도, 기류, 청정도를 함께 조절하였다. 이 해인 1929년에 General Motors가 처음으로 룸쿨러를 소개했고, 곧이어 많은 제조사들이 룸쿨러를 공급했다. 창문형 에어컨은 1930년대에 개발되어 20여년간 계속 인기를 얻었으며, 1950년대에는 수냉식 소형 중앙냉방시스템으로 발전하였다.

2차 세계대전 중에 미국에서는 냉난방장치에 들어가는 금속과 연료를 절감하기위해 건물단열재 사용이 의무화되었다.

발포 폴리스티렌 단열재는 원래 1940년대 초 미국 Dow Chemical 사에 의해 개발되었다. Styrofoam으로 알려진 이 단열재는 처음에는 높은 내습수성으로 인해 구멍조끼나 구멍보트의 뜨개로 사용되었다. Styrofoam의 단열성능으로 인해 초기에는 냉동창고의 바닥, 벽체, 천정 패널과 파이프 단열재로 사용되다가 1950년대에 와서 상업용 건물과 주거용 건물의 단열재로 사용범위가 확장되었다.

한편 독일에서도 최대 종합화학회사인 BASF사에서 1952년 Styropor(스치로폴)이라는 특허 상표명으로 상업생산하여 전세계적으로 파급되었으며 일

반적인 단열재 및 완충포장재의 고유명사가 되어버렸다.

1970년대에 두 차례에 걸친 에너지파동을 거치면서 에너지절약에 대한 일반인들의 관심이 매우 높아지면서 단열재 산업도 크게 성장하였다. 우리나라에 발포폴리스티렌이 소개된 것은 1974년이다.

1980년대와 1990년대의 에너지절약 관련 법규강화와 함께 대량 생산 판매되고 있으며, 현재 국내 단열재 시장은 스티로폴과 우레탄 등의 유기질 단열재가 약 70%, 암면, 유리면 등의 무기질 단열재가 약 30%의 비율로 사용되고 있다.

앞으로 에너지절약을 통한 화석연료 사용 저감과 지구온난화 방지를 위한 범세계적인 노력과 함께 고효율 단열재에 대한 시장의 요구가 늘어날 전망이다.

본고에서 집중 소개될 고효율 단열재는 2000년 독일 바스프사에서 개발된 친환경 발포폴리스티렌인 네오폴(Neopor)과 1999년 미국 Aspen Aerogel사에 의해 개발되어 2003년부터 대량생산되고 있는 에어로젤(Aerogel)이다.

3. 단열재가 갖추어야 할 성질

건물로부터 열 손실을 방지하려면 열이 통과하기 어려운 물질(단열재)로 건물을 둘러싸야 할 것이다. 단열재를 쪼개서 보면 작은 기공이 많이 있다. 즉, 기공을 많이 함유한 물질은 열을 통과하기 어려운 물질이기 때문이다.

공기와 철의 열전도율을 비교해보면, 공기는 0.022kcal/mh℃이며, 철은 58kcal/mh℃로 공기의 약 2,600배나 크다. 그러므로 공기는 매우 작은 열전도율을 갖고 있으며, 또한 공기는 복사

열을 흡수할 수 없다. 따라서 공기는 대류를 일으키지 않도록 작은 공간에 가두어 두면 이상적인 단열효과를 얻을 수 있다.

단열재가 갖추어야 할 일반적인 성질은 1) 열전도율이 작을 것, 2) 흡수율이 작을 것, 3) 투기성이 낮을 것, 4) 비중이 낮을 것, 5) 가공, 접착 등 시공성이 좋을 것, 6) 내화성 또는 난연성일 것, 7) 어느 정도 기계적 강도가 있고, 탄력성이 있을 것, 8) 내약품성일 것, 9) 시공 후 유독성 가스가 발생하지 않을 것, 10) 균일한 품질일 것 등이 있다.

3.1 단열성

단열재의 단열성은 두께가 일정할 경우 열전도율에 의해 좌우되며, 열전도율이 낮을수록 우수한 단열성을 갖는다. 평균온도 약 30℃에서, 무기 섬유질 단열재는 0.03 ~ 0.04 kcal/m · h · °C, 유기질 발포 단열재는 0.022 ~ 0.039 kcal/m · h · °C의 범위를 가지고 있다. 대체로 유기 발포 단열재의 열전도율이 무기 섬유질보다 낮으며, 현재 시판되고 있는 단열재 가운데 열전도율이 가장 낮은 재료는 경질 폴리우레탄폼이다. 이는 열전도율이 매우 낮은 프레온 가스(열전도율 약 0.006 kcal/m · h · °C)를 발포제로 사용하기 때문이다.

그러나 경질폴리우레탄 폼은 열전도율의 경시변화를 일으키므로 주의가 필요하다. 대기 중에 7개월 동안 방치한 후의 열전도율은 초기보다 30%정도 상승하는데, 그 원인은 공기가 기포막을 통하여 매우 느린 속도로 기포 내로 침입하여 기포 내의 프레온 가스의 농도를 변화시키기 때문이다.

열전도율을 검토할 때 주의해야 할 몇 가지 점을 열거하면 다음과 같다.

- ① 단열재의 열전도율은 일반적으로 온도에 비례하여 증가하므로 단열

재의 열전도율은 반드시 사용온도에서 비교되어야 한다.

- ② 밀도와 열전도율은 서로 함수관계가 있으므로 단열재의 품목과 필요한 열전도율이 정해지면 밀도에 따라서 정해진다. 또한 필요한 열전도율과 밀도를 앞으로서 이것을 만족하는 품목을 찾을 수 있다. 단열재의 열전도율은 일반적으로 밀도에 비례하지만 단열재의 종류에 따라서는 최소점을 보이기도 한다. 따라서 단열재의 열전도율이 최소가 되는 밀도에서 비교해야 할 것이다.

- ③ 열전도율은 함수량에 따라 달라진다.

3.2 흡수성

단열재의 단열성을 저하시키는 최대의 원인은 수분으로 단열재가 물을 흡수하게 되면 재료의 열전도율은 급격하게 증가된다. 따라서 단열재가 흡수 상태에 있다는 것은 바람직하지 못하며, 이는 단열재 내의 공기가 흡수량 만큼 열전도율이 큰 물과 치환되기 때문이다. 상온에서 공기의 열전도율은 약 0.02 kcal/m · h · °C인데 비하여 물은 약 0.5 kcal/m · h · °C이다.

뿐만 아니라 단열재 중의 수분은 심할 경우 단열재와 접촉되어 있는 내장 및 외장재의 표면을 부식시키며, 특히 유기질 단열재의 경우는 단열재 자체도 부식시킬 우려가 있다. 흡수량은 무기질 단열재가 유기 발포 단열재보다 월등히 높으며, 이것은 섬유상 물질이 모세관 현상에 의하여(발수제품 제외) 수분을 흡수하는 반면, 발포상 물질은 대부분 기포가 독립되어 있어 수분의 통과를 저지하기 때문이다.

현재 시판되는 유기질 단열재 가운데 발포폴리에틸렌 및 압출 발포폴리스티

렌이 가장 내습수성이 좋으며, 그 다음이 폴리스티렌 폼, 경질폴리우레탄 폼의 순이다.

3.3 투습성

단열 구조체를 사이에 두고 양측의 수증기압이 서로 다를 때 투습 현상이 일어나며, 이때 수증기가 저온의 표면에서 과포화 상태에 이르면 수분이 응축되어 단열성능을 저하시킨다. 이러한 수분 응축량은 단열재의 내구성과 관련하여 매우 중요한 성능이다.

단열재의 투습성은 열전도율과 같이 반드시 두께에 비례하지 않으므로 대부분의 경우 투습도를 사용한다. 투습도는 일반적으로 유리면, 암면 등 무기질 단열재가 발포상 단열재보다 훨씬 높게 나타나고 있는데, 이는 유리면과 암면이 섬유상인 반면에 발포상 단열재는 미세한 독립기포로 구성되어 있어 수증기의 투과를 차단하기 때문이다.

투습도가 크거나 시공 이음매의 틈이 큰 단열재를 시공할 때에는 방습재의 겸용이 필요하며, 방습재는 반드시 고온측, 즉 실내 측에 설치해야 한다. 수분은 항상 고온 측에서 저온 측으로 이동하는 경향이 있기 때문이다.

방습재로는 일반적으로 약 0.05mm 이하 두께의 폴리에틸렌 필름이 많이 사용되나 시공 중 찢어지거나 파손되는 일이 많아 0.1mm 두께 이상의 사용이 권장된다.

3.4 강도

단열재의 성능을 표시하는 강도의 종류로서 곡 강도와 압축강도가 있다. 곡 강도는 단열재의 판이 구부러뜨리려는 힘에 어느 정도 견딜 수 있는지를 표시하는 지수로서 압력(kg/cm²)으로 나타낸다. 압축 강도는 단열재의 판에 수직으로 가하는 힘에 얼마나 견딜 수 있는지

를 표시하는 지수로서 역시 압력(kg/cm²)으로 나타낸다.

- 곡 강도 : 발포 폴리스티렌 > 경질 폴리우레탄 폼 > 페놀발포
- 압축 강도 : 경질 폴리우레탄 폼 > 페놀발포 > 발포 폴리스티렌

3.5 내열성

내열성이란 고온에서 단열재가 물리적, 화학적으로 안정한 정도를 말하며, 단열재의 역할 자체가 온도차의 유지에 있기 때문에 큰 중요성을 갖는다. 또한 내열성은 단열재의 수명과도 밀접한 관련이 있으며, 단열자체의 목적으로 시공되는 경우 특히 그렇다.

단열재의 내열성은 사용온도의 한계를 나타내는 최고 사용온도로 표현되며, 이 온도를 초과한 상태에서 사용하게 되면 단열재는 수축, 용융 등을 일으켜 이로 인한 단열성능의 저하를 가져온다. 단열재의 일반적인 사용온도 범위를 살펴보면, 건축 및 주거용으로 -50℃ ~ 50℃의 온도범위에서 사용할 수 있는 단열재로서는 무기단열재의 유리면과 암면이 있으며, 유기단열재로는 발포폴리스티렌, 경질폴리우레탄 폼, 페놀발포, 발포폴리에틸렌 등이 있다.

3.6 물리적 및 화학적 안정성

유리면, 암면 등은 흡수력이 강하며, 흡수한 상태에서는 비중이 높아진다. 특히 수직벽 공간에서 이러한 현상이 일어나면 자체의 무게로 내려앉으므로 단열효과는 상실되고 만다. 그러므로 암면을 수직 벽체에 사용하고자 할 경우에는 칸막이를 하고 지지대 및 방수층을 설치하는 것이 바람직하다.

유리면의 경우 Na₂O, K₂O 등을 함유하여 알칼리성을 띄울 때는 수분에 이러한 성분들이 용해하여 섬유상 구조를 열화시킴으로서 단열성능을 저하시킨

다. 특히 폐유리를 원료로 하여 만든 유리면은 대부분 알칼리성을 띄므로 수분과의 접촉에 특별히 주의해야 한다.

유기질 단열재는 발포제에 의해 발포되는데 기포 중에 있는 발포제 기체가 시간이 경과함에 따라 열전도율이 높은 공기로 대체되므로 단열성이 저하된다. 그러므로 발포 단열재의 선택시 열전도율의 경시변화를 고려하여 사용해야 한다.

단열재가 흡수 또는 흡습 상태에서 산성, 알칼리성 또는 중성을 나타내는데, 이에 따라 피보온체를 부식하게 되므로 피보온체의 물성에 따라 단열재의 선택도 달라져야 할 것이다. 예를 들면 강재에는 알칼리성 혹은 중성 단열재를, 알루미늄 면에는 중성 또는 약산성 단열재를, 그리고 오오스테나이트계 스테인레스강에는 대체로 가용성 염소의 농도가 낮은 단열재를 사용해야 한다.

- 유리면 : 8.0~10.5 PH
- 암면 : 7.0~10.0 PH
- 발포폴리스티렌 : 6.5~7.5 PH
- 경질폴리우레탄폼 : 6.5~7.5 PH

3.7 불연성

무기단열재인 암면, 유리면 등은 연소하지 않으며, 화재시 연기의 발생량도 거의 없는 상태이다. 반면에 유기단열재인 발포폴리스티렌, 경질폴리우레탄 폼 등은 연소한다. 시판되는 난연성 유기단열재는 자기소화성을 말하는 것이며, 불연성을 뜻하는 것은 아니다. 따라서 이러한 유기단열재를 주택의 내부 단열재로 사용할 시에는 불연성 마감재로 시공하는 것이 바람직하다.

3.8 유해성

무기질 단열재인 유리면, 암면, 석면 등은 피부와 접촉하면 자극을 일으킨다. 석면은 폐암 등을 유발할 우려가 있

어, 생산 판매를 금지하고 있다.

유기질 단열재는 Cellulose, 경질폴리우레탄, 요소수지, 폴리에틸렌 및 폴리스티렌 등이 있으며, 연소 및 열분해 시에 발생하는 유해가스가 위험하다. 특히, 요소 발포제는 사용도중 인체에 해로운 포름알데히드 가스를 방출한다고 하여 캐나다와 미국에서는 사용을 금지하고 있다.

3.9 시공성

단열재의 시공성은 작업능률에는 물론, 시공 후의 단열효과에도 영향을 미친다. 시공성이란 취급하기 쉬운 정도를 말하는 것으로, 다음과 같은 사항을 종합적으로 고려하여 시공성을 판단해야 한다.

- ① 가공하기 쉬운 것
- ② 쉽게 파손되지 않을 것
- ③ 가벼울 것
- ④ 타 재료와의 접착성이 좋을 것
- ⑤ 보관이 용이할 것

4. 그린빌딩을 위한 고효율 단열재

4.1 친환경 발포 폴리스티렌(네오폴)

(1) 발포 폴리스티렌 단열재의 특성

발포 폴리스티렌은 폴리스티렌 수지에 발포제를 넣은 다공질의 기포플라스틱이다. 1ℓ 당 3백 ~ 6백만 개의 완전 독립된 기포로 구성되어 있으며 체적의 약 97%가 공기이므로 열이나 냉기를 효과적으로 차단한다. 완전 독립기포로 구성되어 있으므로 다른 단열재처럼 모세관 현상으로 흡수되는 경우가 없으며 수증기의 투과 차단효과도 우수하다. 특성은 용적당 중량이 목재의 1/20 정도로 가벼우며 상당한 중량에도 견딜 수 있으며 시공시 파손이 적고 쉽게 자를 수 있어서 가공성이 우수한 것이 장



[그림 1] 네오폴 원료비드 및 발포비드

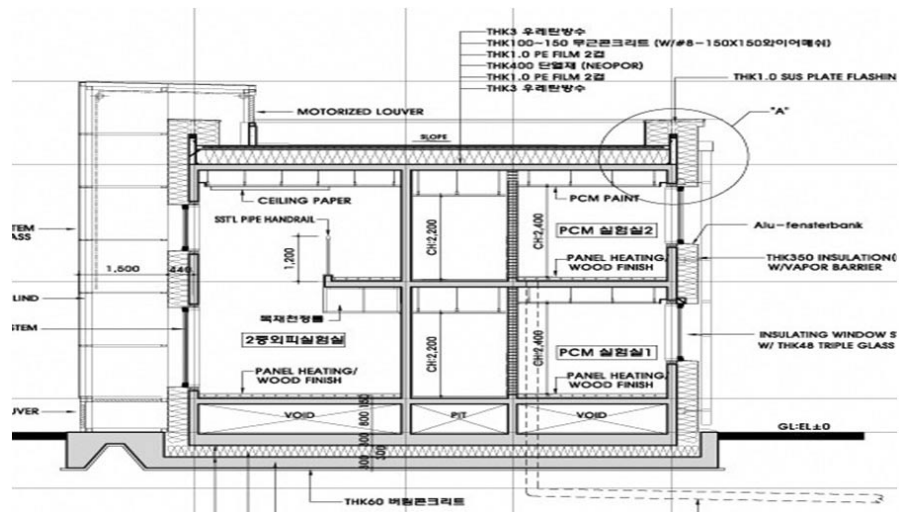


[그림 2] 친환경 발포 폴리스티렌

점이다. 화학반응에는 약점이 있어서 알코올을 용제로 하는 초산비닐계의 집착제만을 사용해야 한다. 국내에서 생산되는 난연성 발포폴리스티렌은 폴리스티렌 수지에 난연재를 첨가하여 자기소화성을 갖게 한 것인데 가열을 해도 불꽃을 내지 않고 녹는다.

발포 폴리스티렌은 전기절연성이 우수하고 다른 단열재에 비해 단열효과가 비교적 크며 흡수율 및 비중이 작을 뿐만 아니라 시공성이 우수하고 곰팡이와 벌레들의 서식이 불가능하여 위생상의 문제도 발생하지 않아 단열재로 가장 많이 사용된다. 국내에서는 스티로폼, 스티로폼 등의 이름으로 사용되고 있다. 제조방법에 따라 비드법과 압출법으로 나뉘는데, 일반적인 스티로폼이 비드법에 의한 것이며, 아이소핑크가 압출법으로 생산된 것이다. 폴리스티렌수지와 발포제를 압출기 내에서 용융 혼합하여 연속적인 진공 압출발포방식으로 생산하는 아이소핑크는 일반적인 스티로폼보다 그 성능이 훨씬 뛰어나다.

아이소핑크는 독립기포구조로 다양한 압축강도를 가지고 있어 각종 건축물의 시공부위에 따라 적절한 압축강도를 선택하여 사용할 수 있으며 기포구조 내에 기체 중 열전도율이 가장 낮은 불화탄소를 충전하여 열전도율을



[그림 3] 3리터 하우스의 외피단열

최대한 낮추어 단열성능이 뛰어나다.

(2) 친환경 발포 폴리스티렌

발포 폴리스티렌 단열재는 여러 가지 장점이 있는 반면 비드법과 압출법에 의한 단열재의 단점으로는 단열재의 부피가 너무 커 공사 시 보관, 운반에 어려움이 많고, 압출법의 경우에는 장기 경시변화에 따른 단열성능의 저하가 있어 생산초기의 단열성능이 1,000일의 시간 경과에 따라 20 ~ 35% 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 단점을 보완하여 사용자재의 저감과 함께 기능성을 향상

시킨 친환경 폴리스티렌 단열재가 개발되어 사용 중이다. 이러한 친환경 폴리스티렌 단열재에는 독일 바스프사에서 개발한 Neopor가 있다.

비드법 1종의 제조방법과 유사하나 Graphite(흑연) 등의 첨가제를 함침하여 Foam 주위를 Graphite가 에워싸서 Graphite의 적층판이 적외선 복사열의 반사기로 작용 열을 분산하는 원리이다.

Neopor 단열재는 대림산업의 3L 하우스(패시브 하우스)에서 슈퍼단열재로 사용되었다. 3L 하우스는 외피를 통한 열손실을 최소화하기 위해 지붕, 외

벽, 바닥의 단열을 각각 400, 350, 300mm두께로 설치하여 외벽의 열관류율값이 0.083W/m²K로 지어져 있다.

(3) 환경친화적인 특징

친환경 발포 폴리스티렌 단열재는 열전도율 비교시 기존 EPS(발포 폴리스티렌) 대비 동일한 밀도에서 단열성능이 20 ~ 30% 이상 향상되는 것으로 나타났으며 다음과 같은 환경친화성을 지니고 있다.

- ① 복합 단열 시스템에 사용되는 Neopor의 경우 원료사용량을 기존

EPS 대비 50%까지 절감할 수 있어 석화원료 사용량을 상당히 줄일 수 있다. 따라서 환경에 대한 부담을 그만큼 경감시킬 수 있으며 기존의 발포 폴리스티렌과는 달리 그라파이트 함침공법을 적용하여 단열효율이 개선되었다.

- ② 기존 EPS와 동일한 물리적 성질을 가지며, 무기질 함유에 따라 상대적으로 우수한 자기소화성과 월등한 난연성을 보유하고 있다. 또한 단열재로서 가장 중요한 단열성능의 지속성은 어떠한 단열재보다 우

수한 것으로 보고되고 있다.

- ③ Neopor에 포함되어 있는 음이온 농도가 기존 EPS 대비 약 2배 이상 외부로 방출됨으로써 바이오기능이 추가되어, 친환경 자재로써 예코하우스 등에 적용될 수 있어 친환경 주택을 구성할 수 있다.

4.2 에어로젤

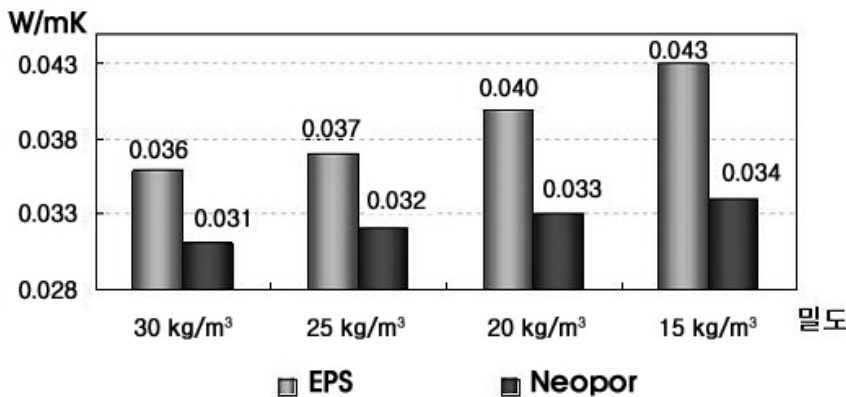
(1) 에어로젤(Aerogel)의 개요

에어로젤은 신소재로서 이를 그대로 공기로 된 젤을 말한다. 98%가 기체로 채워졌기 때문에 지구상에 존재하는 고체 중 가장 가볍다. 이와같은 에어로젤은 충격에 매우 약한 취약성을 지니고 있어, 내구성을 보완한 Blanket 타입의 에어로젤이 1999년 미국 Aspen Aerogel사에 의해 개발되어 2003년부터 양산체제를 갖추고 대량 생산 판매되고 있다.

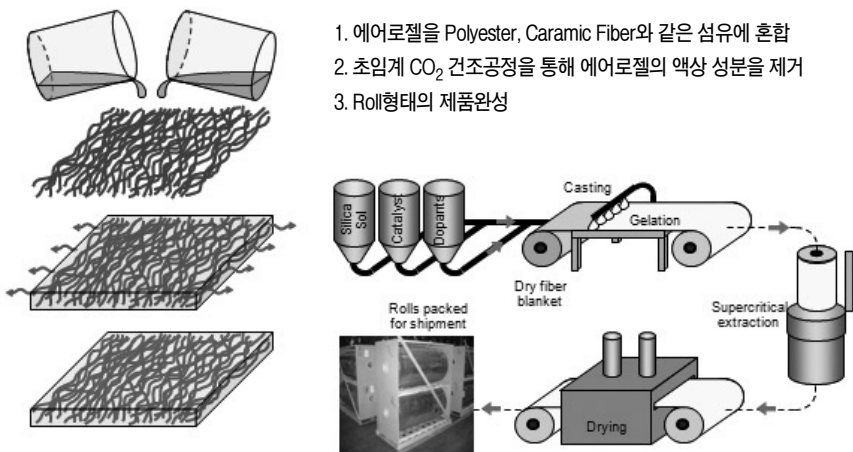
(2) 에어로젤의 물리적 특성

에어로젤의 열전도율은 0.011 ~ 0.015W/mK로 우레탄과 공기의 열전도율의 거의 절반밖에 되지 않는 현존 최고의 단열성능을 보이고 있다.

에어로젤은 사용가능 온도범위가 -200 ~ 650℃까지여서 극저온에서부터 초고온까지 보냉과 보온을 동시에 할 수 있다.



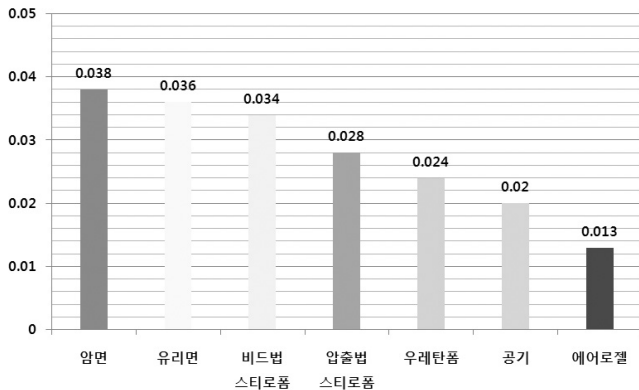
[그림 4] EPS와 네오폴의 열전도율 비교



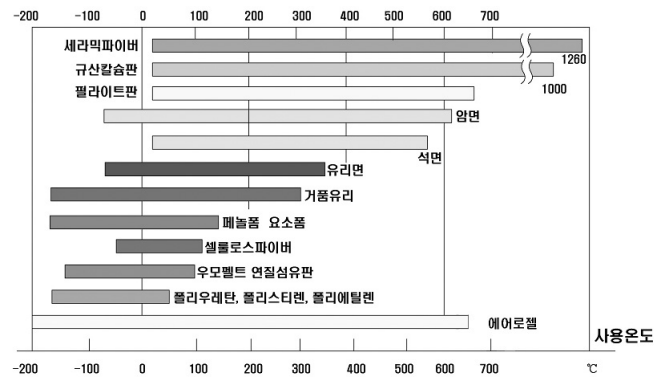
[그림 5] Blanket 타입 에어로젤의 생산과정



[그림 6] Blanket 타입의 에어로젤



[그림 7] 주요 단열재의 열전도율(kcal/mh°C)



[그림 8] 주요 단열재의 사용 온도범위

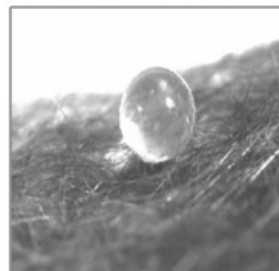
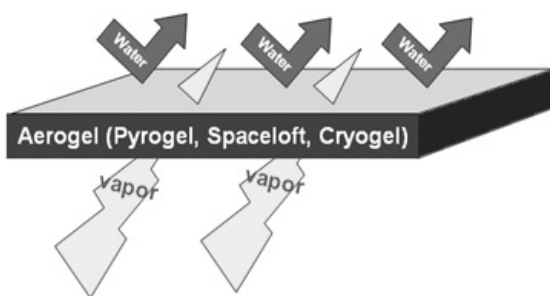
<표 1> 에어로젤의 일반적인 특성

열전도율	11 ~ 15 mW/m-K(38°C/1atm 기준)
사용가능온도	-200°C ~ 650°C
밀도	0.10 ~ 0.17 g/cm ³
기공사이즈형태	오픈셀 구조 / 평균 기공사이즈 = 10 nm(2 ~ 50 nm)
유연성	두께가 2 mm ~ 10 mm로 매우 유연한 소재
압축강도	타 보온재 대비 높은 압축강도 보유
발수성 부력	부력 보유 / 6주 동안 750psi 수압 유지 후에도 수분 흡수 없음
무독성	비경정질(amorphous) 실리카겔(Silicagel) 성분으로 무독성이고 안전함



[그림 9] 에어로젤의 불연성능

- ✓ 수증기 분자 크기: 0.25 nm,
- ✓ 에어로젤 기공크기: 10~50nm,
- ✓ 액상 물 입자 크기: 100nm 이상



[그림 10] 에어로젤의 발수성 및 공기투과성

에어로젤의 밀도는 0.10 ~ 0.17g/cm³로 가벼운 특성을 지니고 있으며, 비결정질의 실리카겔 성분으로 인체에 무해한 것으로 나타났다.

에어로젤은 유연한 구조로 시공이 용이하고 높은 압축강도를 지니고 있어 바닥 단열재로도 사용이 가능하다. 또한 물리화학적으로 안정되어 있고

1,200°C의 가스불꽃에도 타지 않는 불연성을 지니고 있다.

에어로젤은 물속에 담가 두어도 물에 젖지 않는 높은 발수성을 지니고 있으며 공기는 투과시키는 성질을 갖고 있다.

(3) 에어로젤의 건축적 활용

지금까지 에어로젤은 주로 우주항공 분야와 산업용 단열재로 사용되어 왔다. 하지만 건물분야에서도 고효율 단열재가 요구되면서 그린빌딩의 단열재로 이용될 수 있을 것이다. 몇 달 전 디스커버리 채널의 “Eco Polis”라는 다큐멘터리 프로그램에서 2050년 지구를 살릴 건물단열기술로 에어로젤이 소개되었는데, 에어로젤을 건물의 단열재로 사용함으로써 온실가스저감이 29%가

Passive House의 부위별 열관류율

- 벽 0.09 ~ 0.15 W/m²K
- 바닥 0.08 ~ 0.15 W/m²K
- 지붕 0.07 ~ 0.15 W/m²K
- 창호 0.8 ~ 1.0 W/m²K
- 현관문 0.4 ~ 0.8 W/m²K

Passive House의 외벽, 바닥, 지붕의 경우,
스티로폼 25 ~ 40cm 두께의 단열필요
에어로젤 9 ~ 15cm 두께 소요
⇒ 외벽두께 감소로 인한 유효공간의 확대, 고가토지의 효율적
활용, 시공용이, 공사비 절감 효과



[그림 11] Passive House의 단열재 소요 두께

능한 것으로 보도된 적이 있다.

고효율 단열로 인한 에너지절감 및 온실가스 저감효과로 인해 에어로젤은 국내건설시장은 물론 전 세계적으로 인기 있는 범용 단열재로 자리매김할 가능성이 매우 높다.

최근 냉난방에너지 절약을 위한 초에너지절약 건물로 Passive House, Zero Energy Building 등이 지어지고 있는데, Passive House의 외피단열을 위해 기존 단열재를 25 ~ 40cm를 사용하고 있으나, 에어로젤을 사용할 경우 9 ~ 15cm면 충분하여 이로 인한 유효 공간 확대와 함께 시공비 절감 등의 효과가 기대된다.

타단열재 대비 추종을 불허하는 에어로젤의 초저열전도율(0.013W/mK), 놀라운 사용온도범위(-200℃ ~ 650℃), 1,200℃ 불꽃에서도 타지 않는 뛰어난 불연성, 완벽한 발수성, 높은 압축강도와 낮은 밀도 등을 고려한다면 21세기 단열재 역사를 다시 쓰게 될 것으로 예상된다.

앞으로 전 세계적으로 에너지절약을

통한 기후변화대책 마련과 함께 고효율 단열재 수요는 점차 늘어날 전망이다. 국내에서도 2008년 12월 15일에 발표한 에너지이용합리화 기본계획에 따라 2012년까지 에너지이용효율을 11.3% 높이겠다는 계획이 마련되어 시행중이며, 이에 따라 건물의 외피 단열기준이 매 5년마다 10%씩 강화되도록 되어있어 에어로젤의 수요는 계속 늘어날 가능성이 매우 크다고 볼 수 있다.

5. 맺는말

건물분야에서의 에너지 절약을 위한 가장 근본적인 접근이 바로 건물외피의 고단열 고기밀이라 할 수 있다. 특히 그린빌딩으로 대표되어지는 그린홈 등의 친환경 초에너지 절약형 건물의 경우에는 고효율 단열재의 활용이 필수적이라 할 수 있다. 최근 신재생에너지의 활용이 강조되면서 자칫 이러한 건물부하저감과 같은 기본적인 내용이 간과될까 우려된다. 네오폴과 에어로젤 외에도 구조체와 부위에 따라 효과적

으로 적용할 수 있는 고효율 단열재가 있지만 본고에서는 최근에 개발되어 대량 공급되고 있는 두 단열재를 집중 소개하였다. 아무쪼록 고효율 단열재를 찾고 있는 기술자 및 연구자들에게 많은 도움이 되길 바란다.

참고문헌

1. 권영철, “환경친화형 고단열 기술”, 그린빌딩 Vol.9 No.3, 그린빌딩협회, 2008.9
2. 권영철, “건물에너지 절약을 위한 친환경 단열”, 2009 그린빌딩 설계 기술 강습회, 2009.2
3. 권영철, “고효율 단열재의 건축적 적용”, 한국생태환경건축학회 산학부 세미나, 2009.5
4. 데이코산업연구소, “국내 단열재 시장의 실태와 전망”, 데이코산업연구소, 2000.9
5. 유우현, “환경친화성 고효율 단열재의 개발사례”, 그린빌딩 2006.12, Vol.7 No.4
6. 이강후, “새로운 성장동력 대체에너지”, 북스힐, 2008.6
7. 이경재, “친환경 폴리스티렌 단열재 개발”, 삼성건설기술, 2008.6
8. Richard T. Bynum, Jr., “INSULATION HANDBOOK”, McGraw-Hill, 2001
9. Margit Pfundstein, Ronarl Gellert, Martin H. Spitzner, Alexander Rudolphi, “Insulating Materials”, Birkhauser, 2008
10. www.neopor.co.kr
11. www.aerogel.co.kr
12. www.aerogel.com 