환경친화적인 섬유질 단열재

Environment - Friendly Cellulose Insulation

권영철 / 한라대 건축토목공학부 교수
by Kwon Young-Cheol

섬유질 단열재의 국내외 현황

정부는 2001년 1월 16일자로 건축물에 대한 에너지소비를 줄이기 위해 신축건축물에 대한 단열기준을 대폭 강화했다.

국내에서는 건물외피 단열을 위해 스티로폼, 우레탄폼, 유리면, 암면 등이 주로 사용되고 있다. 미국을 위시한 여러 나라에서는 이 외에도 섬유질 단열재라는 것이 활발히 보급되고 있다. 섬유질 단열재가 한국에 도입된 것은 몇몇 중소업체가 생산하기 시작한 1980년대이다. 한국에서의 섬유질 단열재 산업은 초기단계로 년간 1,000톤 정도를 생산하고 있다. 현재의 단열재 시장 점유율은 약 0.3%를 차지하고 있다. 국내 단열재 시장의 약 71%를 스티로폼, 우레탄 등의 유기단열재가 차지하고 있고, 나머지 29%는 유리섬유, 암면과 같은 무기질 단열재가 점유하고 있다. 반면, 북미의 경우, 1940년대부터 섬유질 단열재가 사용되어 왔으며, 단열재의 물성향상과 적용확대에 관한 많은 연구가 이루어져 왔다. 미국의 경우 최근 2년간 매년 약 750,000톤의 종이가 섬유질단열재로 재활용되고 있는데, 이는 년간 약 940,000톤의 섬유질 단열재가 생산되고 있음을 의미하는 것이다. 시장점유율로는 주거용 건물의 8~10%, 상업용 분사식 단열재 시장의 20~25%를 차지하고 있다. 미국의 경우, ASTM 기준에서 섬유질 단열재의 적용을 다루고 있다. ASTM C 739는 천장공간과 이와 유사한 수평단열에 주로 사용되는 공기분사식 섬유질 단열재의 표준시방을 다루고 있으며, ASTM C 1497에서는 안정화된 섬유질 단열재의 수평적용을 위한 표준시방을 다루고 있다. 안정화된 섬유질 단열재는 시공 후 가라앉음 현상을 줄이기 위해 공기분사식 단열재에 접착제를 첨가하여 분사하는 단열재이다. ASTM C 1149에 기술되어 있는 자립형 분사식 섬유질 단열재는 상업용 건물에 주로 이용되고 있다. 자립형 분사식 섬유질 단열재는 벽이나 천장에 지지물 없이 부착될 수 있을 만큼의 상당량의 접착제를 포함하고 있다.

섬유질 단열재의 생산

섬유질 단열재는 주로 폐신문지와 판지로부터 만들어진다. 섬유질 단열재는 중량의 80%가 섬유질이며 20%는 화학물질로 대부분은 붕산, 붕사와 황산암모늄과 같은 내화재이다.

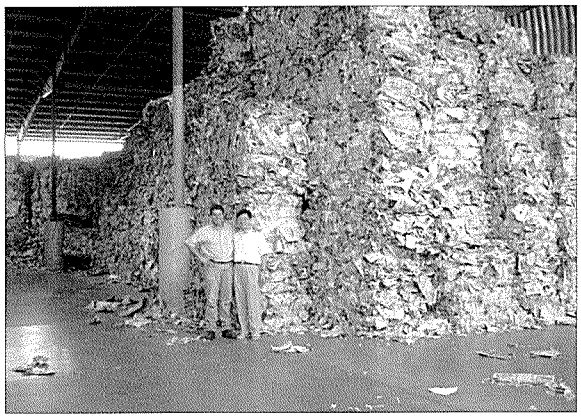

그림 1. 섬유질 단열재 생산을 위한 폐신문지 더미

전형적인 섬유질 생산 공장에는 대량의 폐지를 저장, 운송하고, 절단, 분쇄, 화학약품 첨가 및 포장하는 설비를 갖추고 있다. 종이처리와 가루 형태의 내화재를 첨가하는 과정에서 상당한 량의 먼지가 발생할 수 있으므로 현대식 섬유질 생산공장에는 먼지를 집진하는 장치도 있다.

내화재는 보통 분쇄나 섬유화 공정 전에 종이흐름 속으로 계량 투입된다. 이렇게 함으로써 종이와 건조한 화학첨가제가 서로 잘 섞이도록 하는 것이다.

섬유질 단열재의 환경친화성

국내의 단열재 시장은 유기질 단열재(스티로폼 55%, 압축보드 6%, 폴리우레탄 29%)가 71%를 차지하고 있으며, 무기질 단열재(유리면, 암면)는 29% 정도의 시장점유율을 나타내고 있다.

이와 같은 단열재들은 비교적 단열성능이 우수하고 화학적으로 비교적 안정되어 있고 물리적 강도나 흡수성, 시공성 등에서 성능이 우수하여 오랫동안 널리 사용되고 있다.

그러나 이들 기존의 단열재들은 환경친화적 측면에서 다음과 같은 몇 가지 커다란 문제점을 가지고 있다.

첫째, 기존 단열재들은 귀중한 자원을 사용함으로써 자원고갈 및 생태계파괴의 원인이 된다. 무기질단열재는 광석을 채취하여 생산함으로써 자연을 훼손할 수 있고, 화학합성단열재는 귀중한 석유자원을 사용하고 있다.

둘째, 기존 단열재는 생산을 위해 막대한 에너지가 소비된다. 즉, 제조과정에서 용해 및 압축에 많은 에너지가 사용됨으로써 재료자체에 내재에너지(embodied energy)가 이미 다량 함유되어 있다.

셋째, 기존 단열재는 건물의 해체시 재활용되지 못하고 전부 폐기물로서 매립됨으로써 환경오염의 원인이 된다.

넷째, 기존 단열재 중 가장 보편적인 화학합성단열재는 실내공기오염의 원인이 되고 동시에 화재시 유독화학가스를 발산하여 치명적 요인이 될 수 있다.

기존 단열재의 문제점을 해결하기 위하여 선진국에서는 이미 섬유질단열재의 사용이 활발히 이루어지고 있으며 다음과 같은 환경친화적인 특징을 지니고 있다.

1) 섬유질단열재는 원료의 대부분을 폐지에서 얻기 때문에 폐자재의 활용이라는 측면에서 매우 환경친화적이며, 동시에 건물의 해체시에도 쉽게 폐기하여 부식되므로 환경에 미치는 영향을 최소화 할 수 있다.

2) 기존의 단열재와 거의 동일한 단열성능을 확보할 수 있다. 심지어 섬유질단열재가 유리섬유에 비해 26.4%나 단열성능이 뛰어나다는 연구결과도 있다.

3) 제조과정에서 상대적으로 에너지사용이 적으므로 내재에너지가 적은 친환경제품이다. 캐나다 표준협회의 발표 자료에 따르면 동일 무게의 무기질 단열재를 만드는 데 소요되는 에너지는 섬유질 단열재 생산 에너지에 비해 59배나 필요하며, 동일 열저항을 얻기 위해서는 15에서 20배의 생산에너지가 소요된다고 한다.

4) 실내공기오염이 방지되고 내화재를 첨가함으로써 내화, 내연성을 지니게 된다. 스티로폼, 우레탄폼, 우레아폼 등에 비해 내화성과 내연성이 뛰어나다.

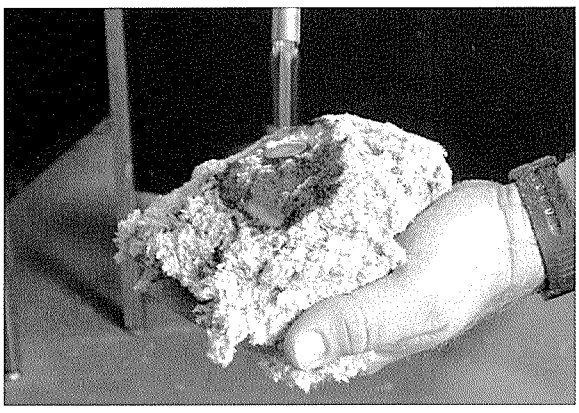

그림 2. 섬유질단열재의 내화성능 실험장면
(섬유질 단열재 위의 동전이 녹지만 불은 붙지 않음)

섬유질 단열재의 단열성능

공기분사식 섬유질 단열재의 열전도율을 종합평가하기 위해 ASTM C 518에 따라 제작된 Lasercomp FOX405와 FOX600모델을 이용하여 단열재의 열전도율을 실험하였다. 시편의 평균온도, 시편의 밀도, 시편의 두께, 내화재 함유량 등을 변수로 열전도율을 측정하였으며, 공기분사식 유리섬유와 단열성능을 비교하기 위해 유리섬유와 섬유질 단열재의 열전도율 실험을 실시하였다.

1) 열전도율 실험 결과

① 시편의 평균온도와 열전도율

시편의 밀도가 25.35 kg/cm3인

섬유질 단열재의 열전도율은 온도에 비례하며, 열전도율(λ, kcal/m · h · °C)과 온도(t, °C)와의 관계는 다음과 같았다.

λ= 0.02976 + 0.0001195t (R2 = 99.96%)

② 시편의 밀도와 열전도율

섬유질 단열재는 특정밀도를 중심으로 밀도가 작거나 클 경우 열전도율이 커지는 것을 알 수 있다.

③ 시편의 두께와 열전도율

밀도가 25.23kg/m3인 시편의 평균온도 24℃에서의 두께에 따른 열전도율실험을 한 결과, 9개의 실험결과가 모두 0.033kcal/m · h · ℃전후로 나타났으며, 두께에 따른 열전도율 실험결과는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

④ 내화재 함유량과 열전도율

내화재 함유량에 따른 섬유질 단열재의 열전도율은 내화재가 전혀 포함되어 있지 않은 경우에 비해 오히려 내화재를 함유하고 있을 경우에 열전도율이 더 낮은 것으로 나타났다.

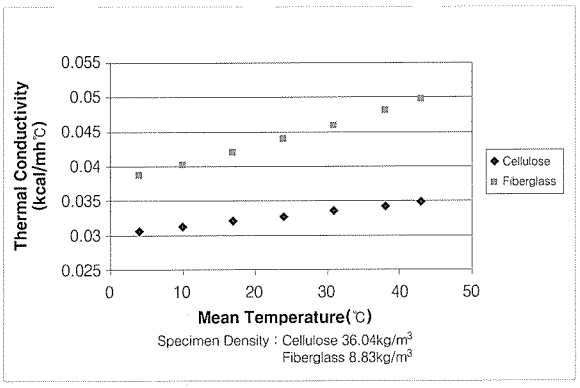

그림 3. 섬유질 단열재와 유리섬유의 단열성능 비교

⑤ 유리섬유와 열전도율 비교

분사식 섬유질 단열재 현재 사용되고 있는 분사식 유리섬유에 비해 측정 온도에 따라 약 25~43% 열전도율이 낮은 것으로 나타났다. 이는 유리섬유에 비해 밀도가 높아, 단열재를 통한 공기의 흐름이 차단될 수 있기 때문이다.

환경친화적인 섬유질 단열재의 경우, 20±5℃에서의 열전도율은 0.033~0.034kcal/m · h · ℃로 유리섬유에 비해서는 약 30% 열전도율이 낮고, 스티로폼과 거의 동등한 열전도율을 지니고 있는 것으로 나타났다.

섬유질 단열재의 건축적 적용 제안

환경친화형 섬유질 단열재는 크게 공기분사식과 습식 스프레이 방식으로 시공된다.

공기분사식의 경우, 천장과 지붕사이 공간, 벽체 중공층, 마루 아래공간 등에 Blower Machine으로 불어넣으면 된다. 이러한 단열시공이 가능한 건축구조는 주로 목구조와 철골조로 외피단열을 건식으로 할 경우에 매우 적절하게 이용될 수 있다. 섬유질 단열재의 낮은 열전도율과 훌륭한 내화성능으로 인해 외피를 글래스울보다 기밀하게 단열할 수 있고, 스티로폼이나 우레탄을 썼을 경우 우려되는 화재발생시의 유독가스에 의한 질식문제를 해결할 수 있어 기존 단열재의 대체재로서 사용이 가능하다.

습식 스프레이 방식의 경우, 주로 철근콘크리트구조나 철골조에서 단열과 차음 및 단열과 흡음이 동시에 요구되는 천장이나 벽체부위에 효과적으로 시공될 수 있다.

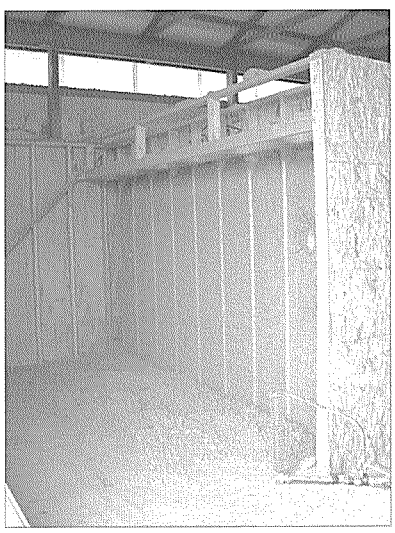

그림 4. 소량의 물을 이용한 벽면 분사