

# 폐지를 이용한 섬유질 단열재의 활용에 관한 연구

## A Study on the Use of Cellulose Insulation Produced from Recycled Paper

○ 유형규\*, 권영철\*\*, 이언구\*\*\*  
Yu, Hyung Kyu Kwon, Young Chul Rhee, Eon Ku

### Abstract

It is known that about 25% of the national energy consumption is consumed in building sector, and that about 40% of building energy is caused by the heating and cool load through building envelopes. Therefore, above all, insulating building envelopes is important to reduce the heat flow through them.

In developed countries, cellulose insulation from recycled old newsprint has largely been used to settle the problems of existing insulations. As 80% of Cellulose insulation is made up of recycled newsprint, it is environmentally very friendly in view of reuse of waste material, and its impact against environment can be minimized thanks to the easy corrosion after building dismantling. Besides, little expense on raw material and simple manufacturing can make it economic insulation. Above all, it has almost same insulating properties as the existing insulations and less producing energy makes it have less embodied energy.

On the ground of above merits, in many countries like U.S., Japan and Germany cellulose insulation is widely used. However, it has rarely been used in Korea.

Therefore, this study investigates the state-of-arts of cellulose insulation using recycled newsprint and promotes its use in Korea.

키 워 드 : 폐지, 재활용, 섬유질, 단열재

Keywords : Recycled paper, Recycling, Cellulose, Insulation

### 1. 서 론

우리나라는 국가소비에너지의 대부분을 수입에 의존하는 자원빈국으로서 에너지수입이 국가경제에 미치는 영향이 지대하다.

우리나라의 에너지소비는 대개 산업부문 55%, 건물부문 25%, 교통부문 20% 등의 비율로 구성된다. 건물에서의 에너지소비 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 것은 외피를 통한 열손실/획득이며, 이는 대체로 건물의 냉/난방 부하의 40% 이상을 차지한다. 따라서 건물에서의 에너지 절약을 위해서는 외피의 적정단열 설계 및 시공이 가장 우선적으로 이루어져야 한다. 정부는 2001년 1월 16일자로 건축물에 대한 에너지소비를 줄이기 위해 신축건축물에 대한 단열기준을 대폭 강화하기로 했다. 건교부는 건축물의 에너지소비를 줄이기 위해 신축건축물에 대한 단열기준을 종전보다 20% 이상 강화하고 단열조치대상을 기존 4개 부위에서 13개 부위로 세분화하기로 했으며, 열관류율과 단열재 두께 기준으로 이원화 돼 있던 건축물의 단열기준을 열관류율 기준으로 일원화 해 고성능단열재 등의 개발을 유도하고 건축주의 불편해소를 위해 두께기준은 별도로 고시하기로 했다.<sup>1)</sup>

국내에서는 건물외피 단열을 위해 스티로폼, 우레탄폼, 유리면, 암면 등이 주로 사용되고 있다. 미국을 위시한 여러 나라에서는 이 외에도 섬유질 단열재라는 것이 활

발히 보급되고 있다. 그러나, 우리나라 건축계에서는 섬유질 단열재의 존재 자체도 잘 모르고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 우리나라에서 주로 사용되고 있는 기존 단열재들의 특성 및 사용실태와 함께 섬유질 단열재의 성능에 관한 선진국들의 연구현황, 그리고 섬유질 단열재의 특성 및 사용실태를 조사함으로써 국내에서의 섬유질 단열재의 활용가능성을 검토하고자 한다.

### 2. 기존 단열재의 특성 및 사용실태

건물 단열재는 크게 무기질단열재와 화학합성유기질단열재로 구분되며, 주로 많이 사용되는 것은 화학합성유기질단열재 중 발포폴리스티렌(스티로폼)과 발포폴리우레탄이 있고, 무기질단열재중에는 암면과 유리면 등을 들 수 있다. 그 외에 석면이나 우레아포름알데하이드 등이 사용되기도 하였으나 발암성분 등 인체에 유해하여 현재는 사용이 금지 또는 제한되고 있다. 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. 유리면의 전체 판매량을 연도별로 살펴보면 97년 4만6천톤, 98년 3만 2천톤, 99년에는 3만 6천톤으로 금강, 벽산, 한국하니스가 국내수요량의 거의 전량을 공급하고 있는데, 각 사별 점유율은 대략 5 : 2 : 3 정도인 것으로 알려져 있다. 암면은 최근 가장 널리 쓰이고 있는 단열재료, 금강과 벽산에서만 생산되고 있다. 전체 판매량은 97년 6만 9천톤, 98년 4만 9천톤, 99년 5만 4천톤이 판매되었

\* 정회원, 중앙대학교 건축학과 박사과정

\*\* 정회원, 한라대학교 건축토목공학부, 전임강사, 공학박사

\*\*\* 정회원, 중앙대학교 건축학과 교수, 건축학박사

다.<sup>2)</sup> 국내에서 주로 사용되고 있는 기존단열재들의 물리적인 성질 및 장단점을 비교하면 표 1, 2와 같다.

표 1 기존 단열재의 장단점 및 용도 비교<sup>2)</sup>

종류	품목	장점	단점	용도
유기질 단열재	스티로폼	단열성, 경량, 강도, 방습성, 방수성, 시공성, 내약품성 우수	내열온도가 낮다.	건물보온재, 완충포장재, 부양재, 아이스박스, 어(魚)상자, 장식용 구조용재
	우레탄폼	단열성과 흡음성 우수, 간편한 시공	사용기간 경과에 따라 부피가 줄어들, 산에 약함, 가격이 비싼 편임, 흡수로 인한 열특성의 경시 변화 심함.	단열재, 냉장고 시트·차량·공장기기 단열, 부력재, 항공기 방음재, 배관 보온
	우레아폼	내열성 우수, 저렴한 가격	수축이 심함 흡수성이 큼, 산·알칼리에 약함, 압축강도에 약함, 유독성 가스방출	건축물 보온재, 흡음재
무기질 단열재	암면	내열성이 높음, 안전사용 온도가 높음, 내화학성 우수	흡수성이 있음 시공이 어려움, 강도가 약해 바닥용으로 부적당	보온재, 건축내장재 및 제장심재 주택용 단열재, 건축물의 흡음·차음
	유리면	내풍성 및 전기절연성 우수, 산성에 강함, 탄력성 있음	흡수성이 강함, 별도로 방수처리를 해야 함	건물벽 보온단열 및 방음재, 산업용 열설비 보온 단열, 공조냉동설비 보온

표 2 기존 단열재의 물리적 성질<sup>2)</sup>

품 성	스티로폼	우레탄폼	우레아폼	암면	유리면
비중(kg/m <sup>3</sup> )	0.016~0.030	0.025~0.050	0.010~0.050	0.05~0.350	0.007~0.050
열전도율(km/mh <sup>2</sup> )	0.22~0.030	0.022~0.025	0.024~0.031	0.024~0.047	0.030~0.055
중기투과도(g/m <sup>2</sup> ·min)	아주 낮다	낮다	높다	100이상	100이상
흡수율(부피%)	1.5~3.0	0.5~1.0	10~20	높음	매우높음
모색관현상	없음	없음	없음	약간	약간심함
내화염성	난연성	난연성	난연성	불연성	불연성
온도에 의한 분해	190℃	-	210℃	600℃	350℃
습기에 의한 분해	없음	-	없음	없음	없음
해충박테리아 번식	번식치 낮음	번식치 낮음	번식치 낮음	번식치 낮음	번식치 낮음
기계적 강도	강함	약함	약함	약함	약함
최고사용온도	80℃	100℃	100℃	600℃	350℃
유연성	단단함	연함	연함	연함	연함

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 자원 고갈 및 생태계파괴의 원인이 된다. 무기질단열재는 광석을 채취하여 생산하고 함으로써 자연을 훼손할 수 있고, 화학합성단열재는 귀중한 석유자원을 사용하고 있다. 둘째, 기존 단열재는 생산을 위해 막대한 에너지가 소비

된다. 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.

### 3. 섬유질 단열재의 성능에 관한 선진국들의 연구현황

주거용 건물과 상업용 건물에 사용하기 위한 단열재를 만드는 데 재활용 신문지를 사용한 것은 거의 반세기보다 더 이상 거슬러 올라가 1925년부터였다.<sup>3)</sup> 섬유질 단열재에 대한 표준시방은 1973년 미국 재료시험협회(ASTM)에서 처음으로 발행되었고<sup>4)</sup>, 같은 해 미국 섬유질단열재 제조자 협회에서도 표준안을 발행하였다.<sup>5)</sup> 1979년 미국 소비자 제품 안전 위원회(CPSC)에서는 섬유질 단열재에 대한 제품안전 임시기준(HH-I-515d)을 두번째로 발간하였는데, 오늘날까지 쓰이고 있다.<sup>6)</sup> 1970년대에 와서 캐나다의 국립 연구 협의회로부터 섬유질 단열재에 대한 물성치가 출판되었으며,<sup>7,8)</sup> 미국에서는 1982년 섬유질 단열재에 대한 연구 결과가 나왔다.<sup>9)</sup>

1970년대와 1980년대에 나온 연구결과에는 열성능, 시공 후의 밀도, 연소성 등에 대한 실험 결과 등이 있다. 1982년 Yarbrough 연구팀에서는 51개 물질에 대한 실험을 통해 내화제로 쓰일 수 있는 9개의 화학물질을 밝혀냈다. 그 당시 제조된 섬유질 단열재의 절반 이상이 소비자 제품 안전 위원회(CPSC)에서 실시하는 화재 안전 시험에서 불합격될 정도로 내화 성능이 좋지 못했다. 절반 이상이 연기나 연소열이 기준치 이상 발생했다. 흔히 사용되는 내화제는 봉산, 봉사, 황산암모늄 그리고 이중 수소인산암모늄으로 밝혀졌다. 이 화학물질들은 섬유질 단열재의 내화제로 쓰이고 있다. Day연구팀<sup>10)</sup>에서는 1987년 내연 연소에 관한 중요한 연구결과를 발표했다. 주로 방화제로 사용되던 화학물질을 평가하여 내연성을 함께 갖출 수 있는 방화제의 적정량을 제안했다.

### 4. 섬유질 단열재의 특성 및 사용실태

#### 4.1 섬유질 단열재의 생산

섬유질 단열재는 주로 폐 신문지와 판지로부터 만들어진다. 섬유질 단열재는 중량의 80%가 섬유질이며 20%는 화학제품으로 대부분이 내화제로 되어 있다.

전형적인 섬유질 생산 공장에는 대량의 폐지를 저장, 운송하고, 절단, 분쇄, 화학약품 첨가 및 포장 설비를 갖추고 있다. 종이처리와 가루 형태의 내화제를 첨가하는 과정에서 상당한 량의 먼지가 발생할 수 있으므로, 현대

식 섬유질 생산 공장에는 먼지를 집진하는 장치도 있다.

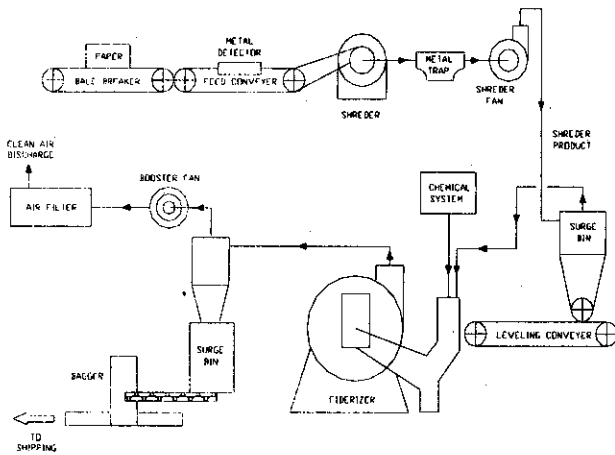


그림 1 섬유질 단열재 생산을 위한 섬유화 상세 공정

내화제는 보통 분쇄나 섬유화 공정 전에 종이흐름 속으로 계량 투입된다. 이렇게 함으로써 종이와 건조한 화학첨가제가 서로 잘 섞이도록 하는 것이다. 어떤 경우에는 액체성 화학첨가제가 사용되기도 한다. 액체성 내화제를 사용할 경우에는 출하를 위한 포장단계에서 단열재를 건조시키는 공정이 도입되어야 한다.

#### 4.2 섬유질 단열재의 활용

섬유질 단열재는 주로 다음과 같은 몇가지 형태로 사용된다. 다락공간 단열에 사용되는 공기분사식, 소량의 물을 사용하여 중공벽에 분사하는 형식, 건식 벽체 중공 단열, 그리고 상업용 건물의 벽체와 천정에 사용되는 습식 스프레이 방식 등이 있다. 천정단열에 사용되는 제품에는 전통적으로 사용되던 건식 공기분사식 단열재와 '안정된' 제품을 만들고 침적을 최소화하기 위해 접착제를 사용하는 단열재가 있다. 안정화된 제품은 접착성능을 돕기 위해 물을 사용하거나 접착제를 포함한 수용액을 사용하여 현장에 시공된다. 벽체에 시공되는 섬유질 단열재는 보통 단열재가 기계적으로 벽체에 안정되도록 하고 동시에 침적되는 것을 막기 위해 수용성 접착제를 포함한 분사식을 쓴다. 대개 3 lb/ft<sup>3</sup> 이상의 비교적 고밀도에서는 접착제 없이도 벽체 중공에 분사식 단열시공이 가능하다.

미국 에너지성 단열 성능 평가지<sup>11)</sup>에는 특정 R값을 얻기 위해 요구되는 단열재 두께표가 있다. 이 R값표가 표 3과 같이 재구성되어, 다른 단열재에 비해 섬유질 단열재가 어느 정도의 성능을 지니고 있는지를 보여주고 있다.

표 3의 섬유질 단열재 두께는 시공후의 두께이다. 표 3에 나타난 것처럼 섬유질 단열재는 분사식의 다른 단열재에 비해 열전도비저항이 비슷하거나 더 뛰어난 것을 알 수 있다.

표 3 DOE Fact Sheet의 열저항값별 단열재 두께

단위 : 인치

R-값	광물면	분사식 단열재			퍼어라이트 또는 질석
		유리섬유	암면	섬유질	
R-11	3 ¼ ~ 3 ¾	4 ~ 5 ¼	3 ½	3 ¾	3 ~ 4 ½
R-19	5 ¾ ~ 6 ¼	7 ~ 8 ¾	6 ¾	6 ¾	5 ½ ~ 7 ¾
R-30	9 ~ 9 ½	11 ~ 14	9 ¾	10 ½	8 ½ ~ 12 ¾
R-38	11 ½ ~ 12	14 ~ 17 ¾	12 ¾	13	10 ½ ~ 15 ¾
R-49	15 ~ 15 ½	18 ~ 23	16	17	13 ¾ ~ 20

주) 위의 값은 시공 후 통상 20%의 두께 감소를 감안한 초기두께임

#### 4.3 섬유질 단열재의 장점

기존 단열재의 문제점을 해결하기 위하여 선진국에서는 이미 섬유질단열재의 사용이 활발히 이루어지고 있으며 다음과 같은 장점을 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.<sup>12)</sup> 1,500ft<sup>2</sup>의 전형적인 농촌 주택을 섬유질 단열재로 단열하는 데에는 한 사람이 40년간 소비하는 만큼의 신문지가 필요하다. 만약 미국에서 새로 짓는 주택들을 섬유질 단열재로 단열한다면, 매년 폐기해야하는 물량 중 3,200만톤의 신문지를 재활용하는 효과가 있다.
- 2) 섬유질단열재는 원료구입을 위한 비용이 거의 들지 않고 제조과정이 비교적 단순하기 때문에 매우 경제적인 단열재가 될 수 있다.<sup>13)</sup>
- 3) 기존의 단열재와 거의 동일한 단열성능을 확보할 수 있다. 심지어 섬유질단열재가 유리섬유에 비해 26.4%나 단열성능이 뛰어나다는 연구결과도 있다.<sup>14)</sup>
- 4) 제조과정에서 상대적으로 에너지사용이 적으므로 내재 에너지가 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.<sup>15)</sup>
- 5) 실내공기오염이 방지되고 내화제를 첨가함으로써 내화, 내연성을 지니게 된다. 스티로폼, 우레탄폼, 우레아폼 등에 비해 내화성과 내연성이 뛰어나다.

#### 4.4 섬유질 단열재의 국내·외 사용실태

##### 1) 국내의 경우

우리나라의 경우 1980년대 이후 4-5개 업체에서 섬유질단열재를 개발 생산한 바 있으나 모두 입자형 분사식 단열재로 용도의 한계가 있고 또한 경쟁력이 떨어져 IMF 이후에는 생산하고 있는 업체가 줄어들어, 2001년 현재 화진실업, 세종, 신동방 등의 소규모업체에서 섬유질 단

열재를 소량 생산하고 있으며, 셀파산업에서 섬유질 단열재를 건축용으로 시공하고 있는 실정이며, 연간 소비량은 1,000톤에도 못 미치는 것으로 조사되었다.<sup>16)</sup>

2) 국외의 경우

섬유질 단열재의 사용이 활발히 이루어지고 있는 미국의 경우, 1940년대 말에 처음으로 섬유질 단열재가 개발되어 사용되기 시작하였고 1980년대에 이르러서는 거의 140개 업체가 섬유질 단열재를 생산하였다. 이때 대부분은 입자형 분사식 단열재로 주로 공중에 가루를 분사하는 방식이었다. 그러나 그후 에너지가격의 하락으로 업계가 쇠퇴하여 개발이 주춤해 졌고 업체 수도 크게 감소하였으나 1990년대 이후 환경보전에 대한 관심이 고조되면서 다시 각광을 받고 있으며 현재 약 80개 업체가 섬유질 단열재 생산자협회(CIMA, Cellulose Insulation Manufacturer's Association)를 조직하여 보급확산과 홍보에 주력하고 있다.<sup>17)</sup> 미국에서 연간 소비되는 천 3백만톤의 종이 중 약 3%가 재활용되어 50만톤의 섬유질 단열재가 생산되고 있다.<sup>18)</sup> 일본의 경우, 1978년부터 판매하여 그 사용기간도 길고 안정성도 뛰어난 것으로 나타나고 있다.<sup>19)</sup> 1992년 현재, 일본에서의 섬유질 단열재의 매출은 6,600톤인 것으로 조사되었다.<sup>20)</sup>

5. 결론

미국을 포함한 선진국에서 널리 이용하고 있으나 국내에서는 거의 활용되지 않고 있는 섬유질 단열재에 관한 연구결과 및 특성을 요약하면 다음과 같다.

1. 폐 신문지나 판지로부터 만들어지는 섬유질 단열재는 건물의 외피 단열에 효과적으로 이용될 수 있으며, 건물의 효과적인 단열은 물론 폐기물의 재활용 효과도 있어 적극적인 개발 및 활용이 요구된다.
2. 섬유질 단열재는 중량대비 20%에 해당하는 화학첨가제를 사용함으로써, 내화, 내연, 방충, 방식, 방습 등의 성질을 지니고 있다.
3. 내화, 불연, 방충을 위한 첨가제로는 황산암모늄과 붕산, 붕사 등이 사용된다.
4. 섬유질 단열재의 열전도비저항은 주로 사용되고 있는 밀도의 다른 분사식 단열재에 비해 비슷하거나 더 큰 것으로 나타났다.
5. 분사식 섬유질 단열재는 현재 사용되고 있는 분사식 유리섬유에 비해 자연대류에 대한 저항이 더 큰 것으로 나타났으며, 내재에너지는 유리섬유에 비해 1/15 ~ 1/20로 매우 작은 것으로 계산되었다.
6. 섬유질 단열재 산업에서 얻어지는 제품은 건물의 에너지절약은 물론 폐기물 감축에도 기여하고 있어 환경친화적인 건축자재라 할 수 있다.

- 1) 건설교통부, "건축물 설비기준규칙 개정", 건설교통부, 2001. 1.
- 2) 주택문화사 출판부, "주택건축자재백과", 주택문화사, 2000.1
- 3) Shirliffe, C. J. and M. Bomberg, "Blown Cellulose Fiber Thermal Insulations: Part 2 - Thermal Resistance", *Thermal Transmission Measurements of Insulation*, ASTM STP 660, R.P. Tye, Ed., American Society for Testing and Materials, 1978, p.105.
- 4) ASTM C739, "Standard Specification for Cellulosic Fiber(Wood-Base) Loose-Fill Thermal Insulation", 1995 Annual Book of ASTM Standards, Volume 4.06, 1995; p.344.
- 5) NCIMA N101-73, "Standard Specification for Cellulosic Fiber(Wood-Base) Loose-Fill Thermal Insulation", National Cellulose Insulation Manufacturers Association, Chicago, 1973.
- 6) Consumer Product Safety Commission, "Interim Safety Standard for Cellulose Insulation; Cellulose Insulation Labeling and Requirement", 44 FR 39938, 16CFR Part 1209 (1979) also General Services Administration Specification HH-1-515d.
- 7) Bomberg, M., and C. J. Shirliffe, "Blown Cellulose Fiber Thermal Insulations; Part 1 - Density of Cellulose Fiber Thermal Insulation in Horizontal Applications", *Thermal Transmission Measurements of Insulation*, ASTM STP 660, R. P. Tye, Ed., American Society for Testing and Materials, 1978, pp.82-103.
- 8) loc. cit. 3 pp.104-129.
- 9) Yarbrough, D. W., D. L. McElroy, and W. W. Harris, "Properties and Testing of Loose-Fill Cellulosic Insulation", ORNL/TM-6433, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, 1982.
- 10) Day, M., T. Suprunchuk, and D. M. Wiles, "A Combustibility Study of Cellulosic Insulation", *Journal of Thermal Insulation* 3, 260-224, 1987.
- 11) U.S. Department of Energy, "Insulation Fact Sheet", DOE/CE-0180, 1988.
- 12) <http://www.cellulose.com/English/news-sept99.htm>
- 13) NIST, "BEES 2.0 Building for Environmental and Economic Sustainability - Technical Manual and User Guide", National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce, 2000
- 14) University of Colorado Denver, "Cellulose Insulation : Naturally Better Thermal Protection", Brochure in Adobe PDF
- 15) <http://www.cellulose.org/builder.htm>
- 16) 셀파산업, "셀파, 렉스톤", 셀파산업주식회사, 2000
- 17) CIMA(Cellulose Insulation Manufacturer's Association). <http://www.cellulose.org/cima-members.htm>
- 18) David W. Yarbrough and Kenneth E. Wilkes, "Thermal Properties and Use of Cellulosic Insulation Produced from Recycled Paper", Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, 1996.
- 19) 신동소, 古紙 리사이클링, 서울대학교 출판부, 1995.8. p.256.
- 20) 테이코산업연구소, 국내 단열재 시장의 실태와 전망, 테이코산업연구소, 2000.9, p.33.