

[Research Paper]

## 송엽분과 질석을 포함한 준불연 단열복합보드의 개발

정창헌 · 유석형<sup>†</sup>

경남과학기술대학교 건축공학과

### Development of Semi-Incombustible Composite Insulating Board Containing Pine Leaf Powder and Vermiculite

Chang Heon Cheong · Seok Hyung Yoo<sup>†</sup>

Dept. of Architectural Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology

(Received March 2, 2018; Revised April 30, 2018; Accepted June 18, 2018)

#### 요 약

본 연구는 송엽분과 질석을 주 원료로 하여 건축용 및 선박용으로 적용될 수 있는 준불연 단열복합보드를 개발하고 불연성능, 준불연성능, 보드 전체의 열관류율을 평가하였다. 가연성 물질인 송엽분과 유연바인더의 비율에 따라 보드의 화재저항성능이 결정되었으며, 가연물질이 불포함된 보드의 경우 불연성능을 확보하였다. 송엽분 6%를 첨가한 보드는 준불연 성능을 확보할 수 있었으며, 그 이상의 송엽분이 포함되거나 가연성의 바인더가 첨가될 경우 준불연 성능을 확보할 수 없는 것으로 나타났다. 또한, 글래스울과 폴리우레탄 폼질을 단열층으로 하고 개발된 불연/준불연 보드를 이용하여 1차 마감한 복합벽체는 200 mm 두께에서 국내법규 상의 건축물 단열기준을 상회하여 만족하는 것으로 나타났다.

#### ABSTRACT

A Semi-Incombustible Composite Insulation Board (SICIB) that can be applied to building construction and ships was developed. The SICIBs comprised of pine leaf powder, vermiculite. The incombustibility, semi-incombustibility, and U-factor of the developed SICIBs were measured. The incombustibility of the each SICIB was determined by the proportion of combustible flexible binder and pine leaf powder. SICIB satisfied the incombustibility test without a combustible flexible binder and pine leaf powder. In addition, SICIB with 6% of pine leaf ensured its semi-incombustible performance. A combustible flexible binder or pine leaf powder over 6% failed the fire-resistant performance of SICIB. In addition, SICIBs with incombustible/semi-incombustible finishing and a 200 mm insulating layer (glass wool and sprayed poly urethane foam) met the U-factor of an external wall for buildings described in the Korean building code.

**Keywords :** Semi-Incombustible insulating board, Vermiculite, Pine leaf powder, Mineral loose wool, U-factor

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경

최근 건축물과 선박산업에서의 화재가 사회적인 문제로 대두되고 있다. 건설산업에서는 가연성 마감재 사용 증가에 따른 화재로 인한 건축물의 취약성 증가가 사회적 문제로 부각되고 있다. 우리나라에서는 이러한 문제에 대응하기 위하여, 2015년도에 6층 이상의 건물에 적용되는 외벽 마감에는 불연/준불연 마감재를 사용하도록 관련법규가 개정되었다(건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙, 국토교통부령, 2015. 10. 7.). 선박산업에서는 특히 LPG

탱크의 보온재 설치 과정 등에서 용접 중 발생하는 불꽃이 화재의 원인으로 작용한다.

이러한 사건들의 공통적인 원인은 건축물과 선박의 보온에 사용되는 가연성 유기단열재이다. 이러한 유기단열재는 화재에 매우 취약하며, 연소 시 유독성의 물질을 다량 배출한다는 특징을 가진다. 건축 및 선박 산업분야에서는 화재에 매우 취약한 유기단열재의 물성을 보완하기 위하여 종종 유기단열재의 표면을 화재에 강한 소재로 코팅하는 방법을 적용한다. 알루미늄박과 같은 금속재료가 화재의 확산을 막기 위하여 일반적으로 적용되고 있다. 그러나 알루미늄은 열전도율이 높은 금속이기 때문에 가열시 온도가

<sup>†</sup> Corresponding Author, E-Mail: [piter31@gntech.ac.kr](mailto:piter31@gntech.ac.kr), TEL: +82-55-751-3402, FAX: +82-55-751-3409

© 2018 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

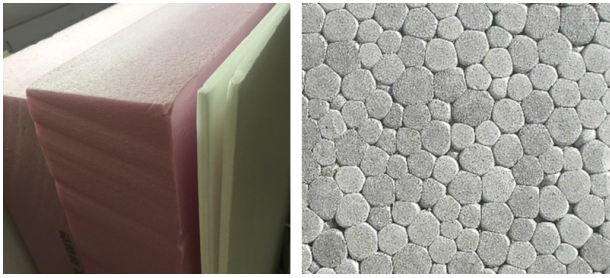


Figure 1. Combustible insulation materials (Left: XPS, Right: EPS).



Figure 2. LPG tank insulation (polyurethane spray, combustible).

급격하게 상승하고, 주변으로 열을 잘 전달 한다는 단점이 있다. 본 연구에서는 이러한 기존에 활용되던 시공방법 및 자재와는 차별된 준불연 단열복합보드(Semi-Incombustible Composite Insulation Board, SICIB)를 개발하고 성능을 평가 하였다. 질석과 송엽분을 주성분으로 하는 준불연 단열복합보드를 개발하여 건축 및 선박분야에 적용하는 것이 본 연구의 주된 목적이다. 질석은 일반적으로 단열재로 사용되는 재료인데, 무기질 광석이기 때문에 자체적으로 불연 성능을 갖고 있다. 그러나 건축분야에서 광범위하게 활용되고 있는 석고에 비해서는 내화성능이 다소 낮은 것으로 평가된다<sup>(1)</sup>. 질석은 팽창하여 사용하는 경우가 많은데, 팽창 시 단열성, 경량성, 흡음성을 개선할 수 있다는 유리한 특징을 가진다<sup>(2,4)</sup>. 이에 따라, 유기단열재의 상단에 질석을 주 원료로 한 보드를 적용할 경우, 알루미늄박에 비하여 열전도율은 낮으면서도 화재에 대한 저항성능을 확보한 보호층을 구성할 수 있다. 송엽분은 소나무의 잎을 채취·분쇄하여 만든 것으로 가연성이지만 천연 물질로 구성되어 있어 일반 화학물질에 비해 연소 시 유독가스를 적게 배출한다. 또한, 송엽분은 건강에 유익한 피톤치드를 배출하기 때문에 건축물의 실내측에 사용되었을 때 재실자에게 관능적, 건강상 유익함을 제공할 수 있다<sup>(5)</sup>.

1.2 연구의 범위

본 연구는 질석과 송엽분을 이용하여 건축물 외벽용 그리고 선박(LPG 탱크 단열) 용의 준불연성능을 가지는 단열복합보드를 개발하는 것을 목표로 한다. 이 보드는 가연성 단열층과 준불연성능을 부여하는 마감층의 복합체로 구성된다. 따라서 복합보드 개발에 있어 주된 초점은 준불연 성능을 부여하는 마감층의 개발에 두었다. 선박용과 건축용 복합보드는 각각의 시공 조건이 상이하기 때문에 이를 고려하여 개별적으로 설계하였다.

개발된 복합보드의 성능평가를 위하여 1차적으로 질석과 송엽분을 이용한 마감보드의 개발품이 불연/준불연 성능을 만족하는지 확인하였으며, 이후 단열층과 단열층 상단의 1차 마감을 포함한 복합구조의 열관류율 성능을 평가하였다. 전체 연구의 프로세스는 아래와 같다.



Figure 3. Pine leaf powder.



Figure 4. Mineral loose wool.



Figure 5. Mixture of pine leaf powder and vermiculite.

- ① 준불연 단열 보드 설계
- ② 마감보드/바탕보드의 불연·준불연 성능평가
- ③ 단열층의 열관류율 평가
- ④ 평가결과 분석

2. 준불연 단열복합보드 개발 방향

2.1 개발 준불연 단열복합보드의 주요 재료

Figure 3과 Figure 4는 개발 보드에 적용된 주요 원료의 이미지를 보여주고 있다.

주요 소재는 질석과 송엽분이며, 추가적으로 제품에 유연성을 부여하기 위한 섬유질로써 미네랄을 루즈울이 사용되었다. 상기 재료를 결합하기 위하여 내화성능을 가진 바인더와 유연성을 가진 바인더가 사용되었다. 내화 성능이 있는 바인더는 규산 나트륨, 규산칼슘 등을 주재료이며, 유연 바인더는 아크릴에멀전을 주재료이다. Figure 5는 원료를 혼합하여 시작품 보드를 찍어낼 틀에 삽입한 상태이며, Figure 6은 유연성이 있는 바인더를 이용하여 유연성/신축성이 있는 보드를 제작한 사례이다.



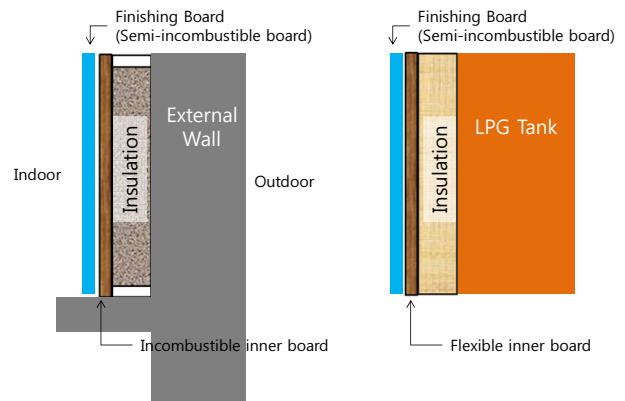
Figure 6. Flexible board sample.

2.2 건축용/LPG 선박용 단열복합보드의 구성

준불연 이상의 화재저항성능의 마감을 가진 단열복합보드의 개발을 위하여 먼저, 건축용 및 선박용 단열복합보드의 성능목표 수준을 검토하였다. 건축용 단열복합보드는 건축물의 외벽 열관류율 성능 기준에 부합하도록 하였으며, 화재에 강한 성능을 부여하기 위하여 국토교통부 고시 제2015-744호 등에서 규정하는 불연·준불연 재료의 성능을 만족할 수 있도록 하였다.

건축용 단열복합보드는 상단부터 준불연 마감보드(Finishing Board) + 바탕보드(Inner board) + 단열재(Insulation)의 구성으로 계획하였다. 단열재는 기본적으로 불연성능을 가진 소재인 글래스울을 적용하였다. 글래스울이 적용된 이유는 개발 보드가 내화구조체인 콘크리트의 내부에 부착되며, 글래스울이 미네랄울에 비하여 가볍기 때문에 활용성 및 시공성 측면에서 글래스울이 유리하다고 판단하였기 때문이다. 바탕재는 글래스울 상단에 부착되며, 준불연 이상 성능을 가질 수 있도록 하였다. 건축용 단열복합보드에서 준불연 마감보드와 바탕보드는 기본적으로 화재에 저항하는 성능을 가질 수 있도록 하며, 일반적으로 사용하는 방화석고 보드를 대신하여 사용할 수 있도록 하였다. 바탕보드는 기본적으로 미네랄울, 질석 및 불연성능을 가진 바인더를 이용하여 불연성능을 확보할 수 있도록 하였다. 미네랄울과 질석 모두 불연성능을 갖고 있기 때문에 마감보드에 연소에 강한 성능을 부여할 수 있다. 미네랄울과 질석을 결합하는 바인더 역시 불연성능을 가진 바인더를 선택하였다. 건축용 단열복합보드의 바탕보드는 그대로 마감으로 사용될 수도 있지만, 필요에 따라 바탕보드의 원료에 송엽분을 추가 적용한 마감보드로 제작할 수 있다. 단, 이 때 송엽분을 추가한 마감보드는 가연성 유기물인 송엽분을 포함하기 때문에 불연재료의 성능을 달성하기는 어렵다. 따라서, 최소 준불연 성능을 가질 수 있도록 보드의 성분비를 조절하였다.

선박용 단열복합보드의 경우 LPG 탱크 운반용 선박의 LPG 탱크용 단열시스템을 대상으로 하였다. 위해 선박용 단열복합보드는 준불연 마감보드(Finishing Board)+유연바탕보드(Inner board)+단열재(Insulation)의 구성을 갖고 있다. 현재 LPG 탱크 단열의 기존 시공방법은 해외 기술에 의존



a. For building envelope      b. for LPG tank in ship  
Figure 7. Developed SICIBs.

하고 있다. 특히 노르웨이의 T社의 기술을 많이 적용하고 있는데 LPG 탱크 표면에 접착용 폴리우레탄과 단열용 폴리우레탄 120 mm를 적용한 후 최상부에 알루미늄판 또는 폴리머 코팅을 1~3 mm 적용하는 것이 대상 기술의 개요이다. 이러한 기존 기술은 폴리우레탄(PU) 및 폴리머 코팅 자체 및 단열재 자체가 화재에 매우 취약하다는 단점을 가지고 있다<sup>6)</sup>. 또한, 알루미늄판 마감은 소재의 열전도율이 높다는 단점을 가진다. 따라서, 본 연구에서는 폴리우레탄 단열재를 보호하는 마감보드의 성능을 준불연 이상으로 강화하는 것을 개발방향으로 설정하였다. 또한, LPG 탱크의 극저온과 외부의 온도 차이로 발생하는 재료의 수축/팽창에 저항할 수 있는 유연성 바탕보드를 개발, 마감보드와 폴리우레탄 단열재 사이에 적용하도록 하였다. 선박용 단열복합보드의 마감보드는 건축용 단열복합보드의 마감보드 및 바탕보드로 적용되는 불연·준불연 보드의 활용이 가능하지만 유연성을 가져야 하는 선박용 단열복합보드의 유연 바탕보드는 별도 개발이 필요하다. 따라서 선박용 단열복합보드의 유연바탕보드는 미네랄 루즈울, 송엽분 및 유연 바인더를 이용하여 유연성을 가질 수 있도록 계획하였다. Figure 7에서는 건축용 단열복합보드 및 선박용 단열복합보드의 개요를 보여주고 있으며, Table 1에서 건축용 및 선박용 단열복합보드의 바탕보드와 마감보드의 재료를 보여주고 있다. Table 1에서 건축/선박 겸용 마감보드 1안은 건조 전 재료의 중량비로 12%의 송엽분이 포함되어 있는 안이며, 건축/선박 겸용 마감보드 2안은 동일조건에서 송엽분이 약 6% 함유되어 있는 안이다. 송엽분이 연소에 취약하기 때문에 전체 보드의 성분비를 줄여 총 발열량 및 발열 강도를 감소시키기 위하여 제시한 안이다. 선박용 유연바탕보드는 송엽분 비율을 28%로 높이고, 유연성을 가진 바인더를 적용하였다.

**Table 1.** Ingredients of the SICIBs

Items	Ingredients	Notes
Finishing Board 1 (for Building & LPG Tank in Ship)	Mineral Loose Wool + Pine Leaf Powder (12%) + Incombustible Binder	For Semi-Incombustible Board
Finishing board 2 (for Building & LPG Tank in Ship)	Mineral Loose Wool + Pine Leaf Powder (6%) + Incombustible Binder	
Inner Board (for Building)	Mineral Loose Wool + Vermiculite + Incombustible Binder	For Incombustible Board
Flexible Inner Board (for LPG Tank in Ship)	Mineral Loose Wool + Pine Leaf Powder (28%) + Combustible Flexible Binder	For Semi-Incombustible Board
Insulation (for Building)	Glass Wool	Incombustible Insulation Material
Insulation (for LPG Tank in Ship)	Polyurethane Foam	Conventional Insulation Material

**Table 2.** Incombustibility Test Method

Categories		Criteria	Test Method
Incombustibility Test	Mass Reduction Rate (%)	30% or Less	KS F ISO-1182 :2014
	Difference Between Maximum and Equilibrium Temperature (°C)	20 °C or Less	
Gas Hazard Test	Downtime (min)	9 min or More	KS F 2271:2006

### 3. 연구의 방법

#### 3.1 불연재료 시험방법

개발된 단열복합보드의 성능시험은 국가공인시험기관에 의뢰하여 수행하였다. 화재저항성능을 가지는 마감보드 부분과 1차 마감면(바탕보드)을 포함한 단열층을 별도로 시험하였다. 불연재료 시험은 불연성시험(KS F ISO-1182:2014)과 가스 유해성시험(KS F 2271:2006)으로 구성되어 있다. Table 2는 불연재료의 판정기준을 보여준다. 불연성시험은 시험체의 질량감소율과 최고온도와 최종평행온도의 차이로 평가한다. 이 두 항목은 시험체를 750 °C로 가열한 후 평가한다. 가스유해성 시험은 시험체 가열에 의해 발생하는 가스를 ICR계 마우스에 노출시키고 행동정지 시간을 관측 한다. 불연성 시험은 20분, 가스유해성 시험은 15분 시행하였다.

#### 3.2 준불연재료 시험방법

준불연재료 시험은 열방출시험(KS F ISO 5660-1:2008)과 가스유해성시험(KS F 2271:2006)에 의해 행하여진다. 열방출 시험은 콘히터 내의 복사열을  $50 \text{ kW/m}^2 \pm 1 \text{ kW/m}^2$ , 배출유량을  $0.024 \text{ m}^3/\text{s} \pm 0.002 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 설정하고 10 분 동안 가열한 이후에 평가한다. Table 3은 준불연재료의 판정기준을 보여준다. 열방출 시험에서는 총방출열량, 열방출율이 연속으로  $200 \text{ kW/m}^2$ 을 초과하는 시간, 시험체를 관통하는 방화상 유해한 균열과 구멍 및 용융 여부를 관찰하도록 한

다. 준불연재료 역시 가스유해성 시험을 실시한다.

#### 3.3 열관류율 시험방법

열관류율 시험은 KS F 2277:2017에 의해 수행되었다. 항온실 및 가열상자의 설정조건은  $20 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ , 상대습도 50% 조건이며 저온실은  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , 기류속도 1.2 m/s 조건이다. 열관류율은 단일한 소재의 성질을 평가하는 것이 아닌 복합적인 구성물의 단열 성능을 평가한다. 따라서 본 연구에서는 개발된 단일 보드를 조합하여, 건축용, 선박용으로 사용할 수 있는 단열복합보드 형태의 시험체의 성능을 평가하였다. 선박용 보드 역시 건축용 보드의 성능에 준하여 평가하였다. 열관류율 시험체는  $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$  로 제작하였다. 본 연구에서 참고한 국토교통부 고시 제2017-71호 “건축물의 에너지절약설계기준”에 제시된 외벽의 열관류율 기준은 Table 4와 같다. 단열재층과 개발 보드를 결합한 단열복합보드의 열관류율은 건축용·선박용 모두 중부지역 공동주택의 벽체 열관류율 기준인  $0.21 \text{ W/m}^2\text{K}$ 를 만족시키는 것을 목표로 하였다.

### 4. 시험체 제작

#### 4.1 불연·준불연 시험체

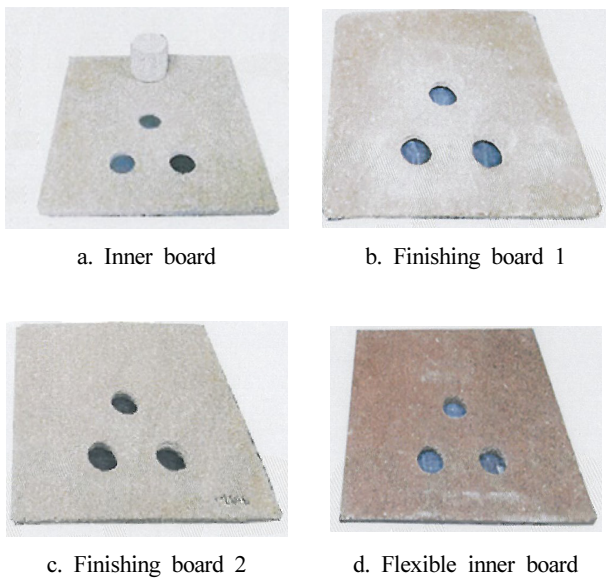
불연·준불연 시험체는 시험 기준에서 제시하는 시험체 규격을 제작하여 공인 시험기관에 의뢰하였다. KS 시험 기

**Table 3.** Semi-Incombustibility Test Method

Categories		Criteria	Test Method
Semi-Incombustibility Test	Gross Calorific Value (MJ/m <sup>2</sup> )	8 MJ/m <sup>2</sup> or Less	KS F ISO 5660-1 :2008
	Time Heat Release Rate Exceeds 200 kW/m <sup>2</sup> Successively	10 s or Less	
	Hazardous Cracks, Holes and Melting	Not Exist	
Gas Hazard Test	Downtime (min)	9 min or More	KS F 2271:2006

**Table 4.** U-factor Requirement of External Wall (W/m<sup>2</sup>K)

Building Component		Region	Middle Area	Southern Area	Jeju
		Multi-family Housing	≤ 0.21	≤ 0.26	≤ 0.36
External Wall of Living Space	Exposed to Outdoor Air Directly	Others	≤ 0.26	≤ 0.32	≤ 0.43

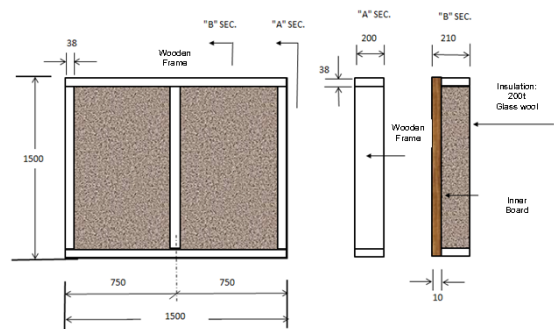


**Figure 8.** Incombustibility test samples.

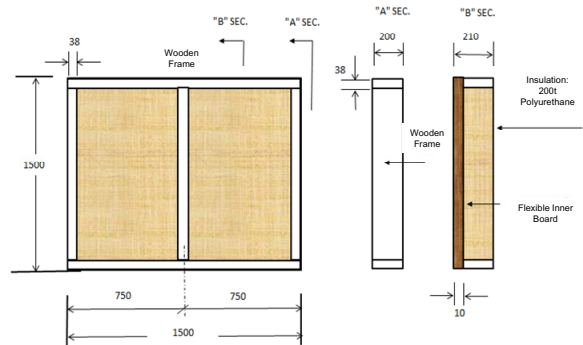
준에 맞추어 3 개의 시험체를 각각 시험하고 그 결과를 분석할 수 있도록 하였다. Figure 8은 준불연·불연 시험을 위하여 제작된 개별 보드의 시편 이미지이다. 불연성 시험에 사용된 시편의 크기는 지름 45 mm, 높이 50 mm이며, 시료를 적층하여 시험하였다. 가스유해성 시험에 사용된 시편은 220 mm × 220 mm × 10 mm의 규격이다. 준불연 시험 중 열방출 시험 시 시험편은 온도 23 ± 2 °C, 상대습도 50 ± 5% 조건에서 제작되었다. 전반적인 사항은 KS 시험기준에 따랐다.

**4.2 열관류율 시험체**

건축용 단열복합보드의 열관류율 시험체는 단열재는 50 mm 글래스울(열전도율 0.034 W/mK)을 적층하여 사용하였고, 단열재 상단에 건축용 바탕보드를 10 mm의 적용하였다. 선박용 단열복합보드는 폴리우레탄폼(일반적인 열전도



**Figure 9.** SICIB (for building) sample for U-factor test.



**Figure 10.** SICIB (for LPG tank) sample for U-factor test.

율 0.024~0.028 W/mK) 200 mm의 단열재를 사용하였고 그 상단에 선박 LPG 탱크용 유연바탕보드를 10 mm 적용하였다. 선박용 단열복합보드에서 폴리우레탄 보드는 기존 선박 LPG 탱크의 단열 시공 방식을 고려하여 폴리우레탄 뿔칠 방식을 적용하였다. 건축용 단열복합보드와 선박용 단열복합보드 시험체의 형상은 Figures 9-10과 같다.

열관류율 평가에 사용된 시험체들은 크기가 다소 크기 때문에 시험 제작, 운반, 시험체 설치 과정에서 형태를 유지하기 위한 목재 프레임을 적용하였다. 따라서 건축물의 시공 조건을 고려하여, 목재틀에 단열재, 바탕재 및 마감재

를 부착하는 방식으로 시험체를 제작하였다. 그러나, 이러한 제작 조건에서 시험체 면적 중 목재가 차지하는 비율이 약 13%로 높게 나타나 목재의 단열성능이 낮을 경우 전체 시험체의 평균 열관류율에 영향을 줄 수 있을 것으로 판단하였다.

이에 따라 목재의 열전도율을 0.14 W/mK 내외로 가정하고 단열재 두께를 200 mm로 산정하였다. “건축물의 에너지절약설계기준” 상 중부지방 공동주택 외기직면의 단열재 요구 두께는 155 mm로, 실제 시험체의 제작 두께는 이보다 두꺼워졌다. 목재의 열전도율에 따라 전체 보드의 열관류율은 달라지겠지만, 건축용 단열복합보드를 기준으로 각 부위의 단열성능을 면적대비 가중평균하여 전체 시험체의 열관류율을 평가해 보았을 때, 시험체의 평균 열관류율은 200 mm 두께에서 약 0.16~0.21 W/m<sup>2</sup>K 범위를 가지는 것으로 예측되었다.

이는 전적으로 목재의 열적 특성에 따라 결정되는 것으로, 실제 시공/제작 조건에 따라 달라질 수 있는 값이다. 열관류율 실험 시, 선박용 단열복합보드는 건축용 단열복합보드와 동일한 조건에서 시험하는 것으로 하였다. Figures 11-12는 건축용 단열복합보드 시험체와 선박용 단열복합보드 시험체의 열관류율 시험모습을 보여준다.

### 5. 성능시험 결과

#### 5.1 준불연·불연 성능시험 결과

Table 5는 선박 LPG 탱크용 유연바탕보드의 준불연 시험결과이다. 이 보드는 총 방출열량이 59.9~63.4 MJ/m<sup>2</sup>로 매우 높게 나타나 국토교통부 고시에서 제시하는 준불연 성능을 확보하지 못하는 것으로 확인되었다. 이는 보드에 포함되어 있는 송염분과 유연성을 부여하는 바인더가 연소하였기 때문으로 판단된다. 그러나 최대 열방출율이 200 kW/m<sup>2</sup>를 초과하는 시간이 나타나지 않았으며, 시험체를 관통하는 방화상 유해한 균열, 구멍 및 용융도 없는 것으로 나타났다. 가스유해성 평가 결과 역시 마우스의 행동정지 시간 기준인 9분을 초과하여 총 방출열량을 제외한 다른 성능은 준불연재료의 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

건축/선박 겸용 마감보드 1안과 2안의 시험결과는 Table 6, Table 7과 같다. 건축/선박 겸용 마감보드 1안은 보드 건조 전 전체 중량의 12%에 해당하는 송염분이 혼합되어 있고 2안은 6%의 송염분이 혼합되어 있다. 건축/선박 겸용 마감



Figure 11. U-factor test of SICIB (for building)  
(Left: glass wool, right: Inner board (for Building)).

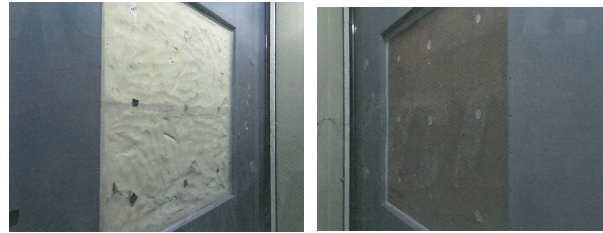


Figure 12. U-factor test of SICIB (for LPG tank)  
(Left: polyurethane, right: flexible inner board).

보드 1안의 시험결과 3개의 시료에 대하여 열방출율을 초과하는 시간은 없었으며, 시험체의 유해한 균열, 구멍 및 용융도 나타나지 않았다.

가스 유해성 시험에서 마우스의 행동정지 시간도 기준을 만족한 것을 확인할 수 있었다. 그러나, 총 방출열량에서 3개의 시료 모두 준불연재료의 기준을 초과하는 것으로 확인되었다. 해당 시료들의 총 방출열량은 기준치의 110~163%이며, 평균적으로 약 29%의 방출열량이 초과되는 것으로 확인되었다. 마감보드 1안에서 기준을 초과하였던 총 방출열량은 최대 7.8 MJ/m<sup>2</sup>로 나타나 근소하게 준불연재료의 성능 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

건축/선박 겸용 마감보드 2안의 전체 시험 결과는 Table 7에 제시되어 있다. 건축/선박 겸용 마감보드의 2안은 최대 열방출율 및 방화상 유해한 균열, 구멍 및 용융 유무, 가스 유해성 모두 준불연재료의 기준을 만족하였다. 건축/선박 겸용 마감보드의 경우 선박 LPG 탱크용 유연바탕보드와는 상이하게 송염분의 혼합 비율을 낮추고, 화재에 강한 바인더를 적용하여 준불연 성능을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 특히, 건축·선박 겸용 마감보드의 준불연 성능 시험 결과, 송염분을 전체 원료 비율의 6% 정도로 제한함으로써 총 방출열량의 감소를 유도하고 결과적으로 마감보드의 준

Table 5. Semi-Incombustibility Test Results of Flexible Inner Board (for LPG Tank in Ship)

Categories		Sample 1	Sample 2	Sample 3
Semi-Incombustibility Test	Gross Calorific Value (MJ/m <sup>2</sup> )	63.4	59.9	62.6
	Time Heat Release Rate Exceeds 200 kW/m <sup>2</sup> Successively	0	0	0
	Hazardous Cracks, Holes and Melting	Not Exist	Not Exist	Not Exist
Gas Hazard Test	Downtime (min)	14:34	12:37	-

**Table 6.** Semi-Incombustibility Test Results of Finishing Board 1

Categories		Sample 1	Sample 2	Sample 3
Semi-Incombustibility test	Gross Calorific Value (MJ/m <sup>2</sup> )	9.1	13.1	8.8
	Time Heat Release Rate Exceeds 200 kW/m <sup>2</sup> Successively	0	0	0
	Hazardous Cracks, Holes and Melting	Not Exist	Not Exist	Not Exist
Gas Hazard Test	Downtime (min)	14:27	14:14	-

**Table 7.** Semi-Incombustibility Test Results of Finishing Board 2

Categories		Sample 1	Sample 2	Sample 3
Semi-Incombustibility Test	Gross Calorific Value (MJ/m <sup>2</sup> )	5.9	7.8	7.8
	Time Heat Release Rate Exceeds 200 kW/m <sup>2</sup> Successively	0	0	0
	Hazardous Cracks, Holes and Melting	Not Exist	Not Exist	Not Exist
Gas Hazard Test	Downtime (min)	14:00	14:02	-

**Table 8.** Incombustibility Test Results of Inner Board (for Building)

Categories		Sample 1	Sample 2	Sample 3
Incombustibility Test	Mass Reduction Rate (%)	6.0	6.0	6.3
	Difference Between Maximum and Equilibrium Temperature (°C)	2.8	7.8	5.2
Gas Hazard Test	Downtime (min)	14:41	14:50	-

**Table 9.** U-factor Test Results (W/m<sup>2</sup>K)

Categories	test #1	test #2	test #3
SICIB (for Building) (Inner Board 10 mm (for Building)+Glass Wool 200 mm)	0.16	0.16	0.16
SICIB (for LPG Tank) (Flexible Inner Board 10 mm+Polyurethane Foam 200 mm)	0.10	0.10	0.10

불연 성능을 확보할 수 있음을 시험을 통하여 확인하였다.

Table 8은 건축용 바탕보드의 불연성능 시험결과이며, 질량감소율, 최고온도와 최종 평행온도의 차이, 가스유해성 시험 결과가 불연재료 평가기준을 만족하는 것으로 확인되었다. 준불연 시험결과와 비교하면, 단열재 상단에 1차적으로 시공되는 건축용/선박용 바탕보드의 시험결과 건축용 바탕보드는 불연성능을 확보하는 것으로 나타났으나, 선박용 유연바탕보드는 준불연재료의 성능을 만족하지 못하는 것으로 확인되었다. 결국 유연바탕보드 자체만으로 선박용 단열복합보드의 화재저항성능을 달성할 수 없음을 확인하였다. 따라서, 선박 LPG 탱크용 유연바탕보드는 신축성을 부여하는 기능에 한정적으로 활용되고, 그 상단에 화재저항성능이 존재하는 별도의 마감이 적용될 필요성이 있는 것을 확인하였다. 이에 따라, 준불연재료의 성능을 만족하는 건축/선박 겸용 마감보드 2안 또는 불연성능을 가진 건축용 바탕보드를 선박용 단열복합보드의 최종 마감보드로 활용할 필요성이 있는 것으로 판단된다.

## 5.2 열관류율 시험결과

Table 9는 최종마감보드를 제외한 건축용/선박용 단열복합보드 각각의 열관류율 시험결과를 보여준다. 그 결과 건축용 보드는 0.16 W/m<sup>2</sup>K, 선박용 단열복합보드는 0.10 W/m<sup>2</sup>K의 열관류율을 보였다. 이는 단열성능이 낮은 목재를 무시하고 단열재만으로 벽체 전체의 열관류율을 계산하였을 때의 값과 유사하였다. 건축용 단열복합보드에서 목재 프레임의 열전도율을 무시하고 전체 열관류율을 계산한 결과는 0.163 W/m<sup>2</sup>K이다. 선박용 단열복합보드의 경우에는 폴리우레탄폼의 열전도율을 0.024 W/mK로 가정하였을 때, 시험체의 열관류율은 0.116 W/m<sup>2</sup>K이다. 결과적으로 이번 연구의 열관류율 시험에 사용된 시험체에서 목재프레임의 단열성능이 전체 단열복합보드의 열관류율에 미치는 영향은 낮은 것으로 판단된다. 즉, 바탕보드 10 mm와 글래스울로 구성된 건축용 단열복합보드 개발품을 실제 시공 과정에서 목재들과 함께 적용하더라도 “건축물의 에너지절약설계기준”에서 제시하고 있는 155 mm 이상의 단열층을 확보하면 열관류율 0.208 W/m<sup>2</sup>K로 중부지역 공동주택 외

벽의 열관류율 요구치를 만족할 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 선박용 단열복합보드에 적용된 폴리우레탄 뿔칠의 열전도율을 열관류율 시험결과를 이용하여 역산하였을 때 0.023 W/mK 수준으로 나타나 뿔칠로 시공한 폴리우레탄 폼의 열전도율은 비교적 양호한 것으로 나타났다. 선박용 단열복합보드는 건축용 단열복합보드보다 동일두께에서 우수한 단열성능을 보여 주었으며, 이는 결과적으로 단열재의 성능에 기인한다고 보여진다.

최종마감보드를 제외한 건축용/선박용 단열복합보드의 열관류율 시험결과에 따르면, 단열층의 지지에 사용된 목재 프레임의 단열성능이 전체 단열 시스템의 열관류율에 미치는 영향이 작은 것으로 나타났다. 따라서 건축/선박 분야의 단열 설계 시, 이러한 사항을 고려할 수 있을 것으로 보인다. 단, 본 연구에서는 제한된 크기의 시제품을 대상으로 시험이 행해졌다는 한계를 가지며, 따라서 실제 건축현장 또는 선박 건조현장에서의 실제 시공법에 대한 추가적인 검토가 요망된다. 건축용 단열복합보드는 시험체 제작 시 실제 시공방식과 유사한 공법을 적용하기 때문에 큰 문제점이 발생하지 않을 것으로 예측되나, 선박의 LPG 운반 탱크에 적용되는 단열복합보드의 경우 Figure 2에서 나타난 것과 같이 매우 넓은 대형 면에 뿔칠 형태로 적용되기 때문에 면밀한 시공방법의 검토가 필요할 것으로 판단된다.

특히, 선박 LPG 탱크용 유연바탕보드 위에 시공되는 준불연성능의 보드는 신축성 및 유연성이 내부의 폴리우레탄 폼 및 유연바탕보드에 비하여 낮을 수 있기 때문에 실제 시공 시 개별 보드의 고정방법 및 접합방법을 면밀히 검토하여 온도 변화에 따른 선박용 단열복합보드 전체 구성품의 신축성을 확보하고 접합부의 준불연 성능을 확보해야 할 것으로 판단된다.

## 6. 결 론

본 연구는 송염분과 질석을 주 원료로 하여 건축용 및 선박용으로 적용될 수 있는 준불연 단열복합보드를 개발하고 각 요소의 성능을 평가하였다. 그 결과, 개발품 설계안의 타당성을 확인할 수 있었다. 전체 연구의 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

① 건축/선박 겸용 마감보드는 미네랄루즈울+송염분+불연바인더로 성분을 구성하였다. 송염분의 비율을 6%로 낮추었을 때 건축/선박 겸용 마감보드의 총방출열량이 준불연 자재 기준을 만족하는 수준으로 낮아졌음을 확인하였다.

② 건축용 바탕보드는 미네랄루즈울+질석+불연바인더의 조합으로 불연성능을 확보하였으나, 선박 LPG 탱크용 유연바탕보드(미네랄루즈울+송염분+유연바인더)는 총방출열량이 준불연재료 기준을 초과하였다. 이는 유연바탕보드에 과도하게 포함된 송염분과 유연 바인더가 원인으로 판

단되었다.

③ 개발보드의 열관류율 평가결과, 건축용 단열복합보드는 목재 프레임을 적용하더라도 “건축물의 에너지절약설계 기준”에서 제시하는 단열 두께 수준으로 중부지방 공동주택 외벽 단열성능을 만족시킬 수 있는 것으로 확인되었다.

본 연구에서는 건축용/선박용으로 활용이 가능한 단열복합보드 개발을 위한 기초적인 연구를 수행하였다. 특히, 최종 마감보드의 준불연 성능을 확보하기 위하여 필요한 적정 송염분 비율을 확인하여, 화재저항성능을 가진 단열복합보드의 구현이 가능할 수 있도록 한 것이 주요 연구결과로 제시될 수 있다. 향후, 개별 보드의 성능을 지속적으로 보완하는 동시에, 실제 시공방법에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 후 기

이 연구는 중소기업청에서 지원하는 2016년도 산학연협력 기술개발사업 (도약기술개발사업/과제번호: C0453507)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

## References

1. J. C. Lee, Y. C. Song, S. H. Lee, B. Y. Min and K. H. Kim, “The Fire Resistance of the Sprayed Fire Resistive Materials with Gypsum and Vermiculite aged in the Different Temperature and Humidity Conditions”, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 22, No. 8, pp. 109-116 (2006).
2. Y. S. Jang, “Vermiculite”, Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, Vol. 22, No. 8, pp. 77-82 (2005).
3. H. C. Kang, “The Development of Acoustic Adsorption, Adiabatic Interior materials Using Vermiculite”, Donga University (2002).
4. S. H. Yoo and C. H. Cheong, “Development of Vermiculite Board to Secure the Fire Resistance Performance of Light-Frame Wood Structural Wall”, Fire Science and Engineering, Vol. 32, No. 1, pp. 40-45 (2018).
5. Y. K. Lee, J. S. Woo, S. R. Choi and E. S. Shin, “Comparison of Phytoncide (monoterpene) Concentration by Type of Recreational Forest”, Korean Journal Of Environmental Health, Vol. 41, No. 4, pp. 241-248 (2015).
6. O. S. Kweon, Y. J. Yoo and H. Y. Kim, “The Study on the Fire Characteristic of Polyurethane” Proceedings of 2009 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 37-42 (2010).