(옆면)

19CTAP-130213-03

국토교통기술촉진연구사업 최종보고서

2020

국토교통과학기술진흥원

도시건축실

(앞면)

보안 과제( ), 일반 과제(√) / 공개(√), 비공개( )발간등록번호()
국토교통기술촉진연구사업 제3차 연도 최종보고서

R&D / 19CTAP-130213-03

유무기 함침구조를 활용한 열전도도 0.051W/mK 이하의 준불연 유무기 융합 단열재 개발 최종보고서

2020. 03. 03.

주관연구기관 / 한국산업기술시험원
협동연구기관 / 주식회사 원준하이테크

국 토 교 통 부

(전문기관) 국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

'유무기 함침구조를 활용한 열전도도 0.051W/mK이하의 준불연 유무기 융합 단열재 개발'(연구개발 기간 : 2017. 04. ~ 2019. 12.) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2020 . 03 . 03

주관연구기관명 : 한국산업기술시험원 (대표자) 정 동 희 (인)
협동연구기관명 : 주식회사 원준하이테크 (대표자) 이 정 우 (인)

주관연구기관책임자: 신 민 철
협동연구기관책임자: 김 기 웅

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	19CTAP-C130213-03	해당 단계 연구 기간	2019.01.01. - 2019.12.31.	단계구분	3/3
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	국토교통기술촉진연구사업			
연구과제명	대과제명	대과제가 있을 경우 기재합니다(단위과제일 경우에는 아래에 기재합니다)			
	세부과제명	유무기 함침 구조를 활용한 열전도도 0.051W/mK이하의 준불연 유무기 융합 단열재 개발			
연구책임자	신 민 철	해당단계 참여연구원 수	총: 7 명 내부: 7 명 외부: 0 명	해당단계 연구비	정부: 200,000 천원 민간: 67,000 천원 계: 267,000 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 14 명 내부: 14 명 외부: 0 명	총 연구비	정부: 600,000 천원 민간: 201,000 천원 계: 801,000 천원
연구기관명 및 소속 부서명	한국산업기술시험원 재료기술센터			참여기업명 주식회사 원준하이테크	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호	1	4	3								

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)

○ 유무기 함침구조를 활용한 열전도도 0.051W/mK 이하 준불연급 단열재 개발
- 유기계 기재 선정 및 무기계 함침 소재 개발
- 유무기 융합화 공정 최적화 연구
- 내구성 향상을 위한 소재 개선 연구

○ 상용화를 위한 시제품 제작 및 Pilot plant(50㎡/day) 구축

○ 개발 제품에 대한 인증규격 제정 및 인증 지원

보고서 면수
184면

요약문

연구의 목적 및 내용	○ 연구개발 목표 : 균일한 기공제어가 용이하고 형상제어가 자유로운 유기계 단열소재 구조와 화재 안전성과 기계적 강도를 확보할 수 있도록 무기계 소재기술을 적용한 유무기 융합형 형상 제어 단열재의 상용화 소재 및 공정기술을 개발하고, 상용화 기반 및 신뢰성 확보를 위하여 개발 품질 인증 규격을 제정하고 인증 확보를 목표로 함 ○ 연구개발 내용 - 정량적 목표를 만족하는 유무기 융합 형상제어 단열재 공정 개발과 연속 방식 공정 기술 개발 및 최적화 연구 • 형상제어용 유기계 소재 평가 및 선정 / 무기계 함침 소재의 선정 및 원료 처리 • 유무기 소재 융합화를 위한 공정 최적화 및 상용화 연구 • 시제품 제작 및 Mock-up test에 의한 feedback 연구 • 개발 시제품에 대한 내구성 및 신뢰성 평가 • 개발제품에 대한 인증규격 제정 - 상용화를 위한 시제품 제작 및 Pilot plant 구축 - 개발 제품에 대한 인증규격 제정 및 인증 지원
연구개발성과	○ 최종 성과물 : 유무기 융합 소재에 의한 열전도율 0.051 W/mK 이하의 준불연 단열재 - 유기계 단열재 수준의 경제성, 준불연 이상의 화재 안정성, EPS 수준의 형상제어 가능성, 우수한 시공성을 갖는 단열재
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 활용계획 : 기존 유기계 단열재 수준의 단열성능을 가지는 준불연급 유무기 융합 소재에 대한 원천기술 확보로 각종 건축자재 활용 가능 (단열 마감패널, 복합패널, 샌드위치 패널 심재 등) ○ 기대효과 : 유기 및 무기소재로 양분되어 있는 단열재 시장에서 유무기 복합 단열재라는 경제성 있고 단열효과가 우수한 신규 시장을 생성시켜 주거 환경 개선이 가능함

국문핵심어 (5개 이내)	준불연	단열재	유기계	무기물	융합
영문핵심어 (5개 이내)	Semi-fireproof	Insulator	Organic	Inorganic	Hybrid

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ·····5
가. 연구개발의 개요 ·····5
나. 연구개발 대상의 국내외 현황 ·····8
다. 연구개발의 중요성 ·····10
2. 연구수행내용 및 성과 ·····11
가. 열전도율 0.07W/mK 이하의 준불연 유무기 융합 단열재 개발(1차년도 연구내용) ·····11
나. 열전도율 0.051W/mK 이하의 준불연 유무기 융합 단열재 개발(2차년도 연구내용) ···35
다. 유무기 융합 단열재 소재 개선 연구 ·····68
라. 유무기 융합 단열재 내구성 평가 기술 개발 및 표준화 연구 ·····97
마. 용도별 Pilot Plant급(50 m^2/day) 공정 구축 및 시제품 제작 ·····118
바. 단열재의 실환경 적용 및 시공성 연구 ·····124
사. 유무기 함침 구조를 활용한 준불연 유무기 융합 단열재의 품질인증 ·····154
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ·····162
가. 목표 ·····162
나. 목표 달성여부 ·····167
4. 연구개발성과의 활용 계획 등 ·····174
가. 연구 개발 성과의 활용 방안 ·····174
나. 기대효과 ·····176
붙임. 참고 문헌 ·····182

<별첨 1> 주관연구기관 자체평가의견서

<별첨 2> 연구개발계획과 집행실적의 대비표

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발의 개요

○ 건축물 및 플랜트 등에서 에너지 절감 및 단열을 목적으로 한 소재들은 지속적으로 사용량이 증가 하고 있으며, 관련 정책 및 선진국 추이를 고려할 때 향후 증가 추세가 계속될 것으로 예상된다.

- 국토교통부에서는 2017년 패시브하우스, 2025년 제로에너지 주택건설 의무화를 목표로 녹색 건축물 조성지원법, 에너지절약설계기준 등을 통해 건축물의 에너지저감 대책을 강화하고 있어 단열재 시장의 급속한 확대가 예상된다.

○ EPS, PUR 등의 유기계 단열재는 단열성능이 우수함에도 불구하고, 화재 취약성, 환경 유해성 및 구조적 취약성 등의 단점을 가지고 있어 점차 사용상 제한을 하고 있는 추세이다.

- 국내에서는 2010년부터 “건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙”에서 건축물의 외벽 마감재료는 불연재료 또는 준불연재료를 사용하도록 하고 있으며, 2015년 1월 의정부 아파트 화재사고를 계기로 외부 마감재료의 불연・준불연재료의 사용 의무가 기존 30층 이상에서 6층 이상의 건축물로 확대 되었을 뿐만 아니라 안전 기준에 대한 사회적 인식증대에 따라서 화재 안전성에 대한 기준이 점차로 강화되는 추세이다.

○ **유기계 소재**는 단열특성, 경제성, 시공성 등이 우수함에도 불구하고, 화재취약성 및 연소시 유해가스(일산화탄소) 등의 문제로 인해 무기계 소재의 접근이 이루어지는 추세이다.

○ 하지만 **무기계 소재**는 단열성능이 유기계 단열재에 크게 못 미치고, 매우 고가이거나 글라스울 및 미네랄울 등처럼 섬유 **분진에 의한 유해성** 논란, **다양한 형태 생산(판상형 위주)의 어려움**, **높은 흡수율**로 성능 저하 및 변질 등의 문제가 제기되고 있다. 또한 중량이 나가 시공성이 나쁘다.

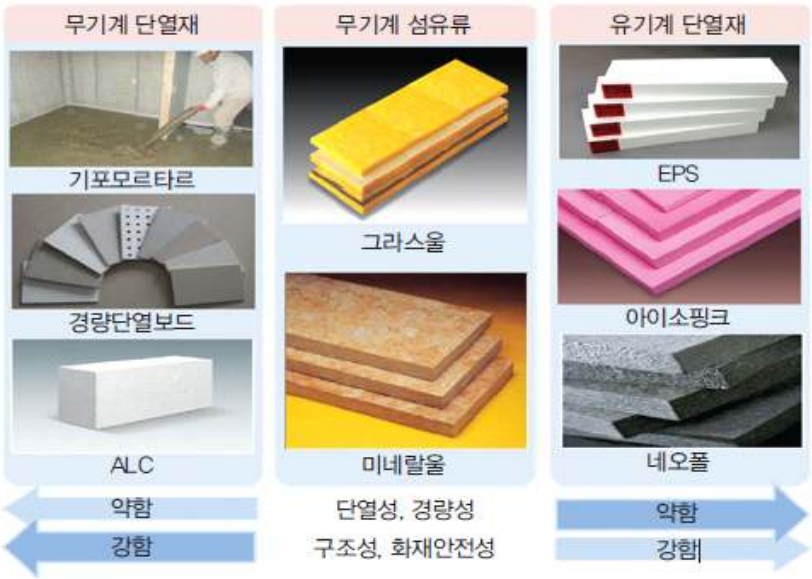


그림 1-1. 건축용 단열제품 및 문제점

표 1-1. 기존 단열재의 성능 비교

구분	유기계		무기계		무기계 단열패널		
	스티로폼 (EPS)	폴리우레탄 (PUR)	글라스울 (Glass wool)	미네랄울 (Rock wool)	기포몰탈	EPS몰탈	ALC
열전도율 (W/mk)	≒ 0.035	0.023 ~0.035	0.041 ~0.071	0.045 ~0.081	0.15~0.23	0.154 ~0.697	0.116 ~0.235
강도특성	매우 불량	매우 불량	극히 불량	극히 불량	보통	보통	우수
내열특성	극히 불량	극히 불량	우수	우수	우수	약간 불량	우수
시공특성	불량	불량	매우 불량	매우 불량	우수	보통	보통
유해성	연소시 CO 가스 발생	연소시 CO 가스 발생	접착제 연소로 약간 유해	유해	거의 없음	거의 없음	거의 없음

○ 기존 유기계 소재를 대체하기 위해 화재 취약성에 대한 해결 뿐 아니라 단열재로서의 낮은 열전도율, 낮은 흡수율, 시공 용이성, 형상제어, 경제성 등을 만족하는 소재의 개발이 필요한 상황이다.

○ 본 개발에서는 균일한 기공제어가 용이하고 **형상제어가 자유로운 유기계 단열소재 구조**와 **화재 안전성과 기계적 강도를 확보할 수 있도록 무기계 소재기술을 적용**한 유무기 융합형

형상제어 단열재의 상용화 소재 및 공정기술을 개발하고, 상용화 기반 및 신뢰성 확보를 위하여 개발 품질 인증 규격을 제정하고 인증 확보를 목표로 한다.

○ 본 개발을 통하여 1) **유기계 수준의 경제성**을 확보하고, 2) **준불연 이상의 화재 안전성을 확보**하며, 3) EPS, 스폰지 수준의 **형상제어가 가능**하며, 4) 균일한 기공제어를 통한 안정적 **단열성능 확보**가 가능하며, 5) 현장에서 특별한 도구 없이 절단, 가공이 용이한 수준의 **시공성 확보**가 가능한 신제품 기술 개발을 목표로 한다.

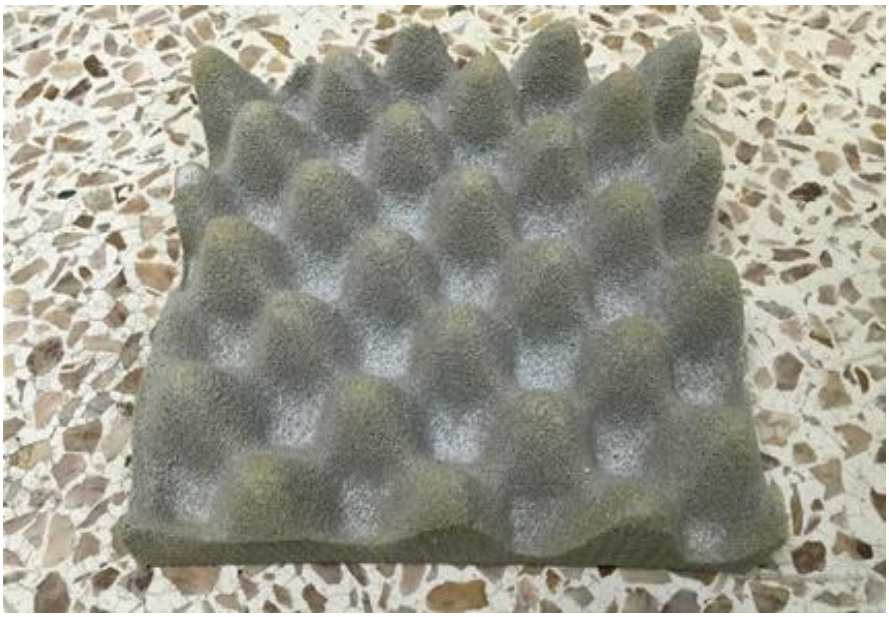


그림 1-2. 몰딩이나 절단 공정 없이 계란판형 모양으로 제작한
유무기 융합 구조의 형상제어 아이디어 구현 단열재

나. 연구개발 대상의 국내외 현황

(1) 국내 현황

○ 무기질 단열 소재의 단열성 향상 및 경량화 기술

- 현재 국내에서의 무기단열소재는 글라스울, 락울 등이 사용되어지고 있고. 이들 소재를 활용하여 바인더를 함침시켜 샌드위치형 패널 제품으로의 활용이 증대되고 있다.
- 무기단열 소재는 제품 특성상 단독으로는 패널 형태로 가공하기 힘들뿐만 아니라 내수성이 약하고, 여전히 단열성능이 유기단열소재에 크게 못 미치고, 또한 무게가 무겁기 때문에 시공성이 나쁘다. 최근 비중이 낮은 인공경량소재(0.2~0.3 g/cc)를 사용한 단열보드 제조에 대한 연구가 있었으나 보드의 열전도율이 0.08 kcal/mh℃ 정도로 일반 유기단열재 보다 여전히 성능이 많이 떨어진다.
- 무기소재의 단열재로서 수열합성 방법을 이용한 토버모라이트 및 조노토라이트계 단열소재가 있다. 일본 등을 중심으로 경량성의 조노토라이트계의 단열소재가 많이 사용되고 있고 최근 무기경량소재 및 섬유가 함유된 조노토라이트계 단열소재가 개발되고 있으나, 아직 유기단열소재의 단열성, 경량성 및 시공성에는 미치지 못한다.

○ 에어로젤소재 및 진공단열재

- 최근 많은 연구가 진행되고 있는 단열소재 중의 하나가 진공단열재이고 이 진공단열재는 대부분 냉장고 등 가전제품의 단열소재로 활용되어지고 있음. 건축용 진공단열재에 대한 연구도 일부 진행되고 있으나, 대형화의 어려움이 있으며, 시공성 및 경제성이 많이 떨어진다.

○ 유기 단열재 : EPS, 난연 EPS, Polyurethane(PIR, PUR), 네오폴

- 유기단열재로는 EPS폼, PIR, PUR 폼 및 페놀 폼 등이 사용되고 있다. 정도의 차이는 있지만 이들 유기단열소재는 모두 가연성인 물질이기 때문에 화재에 취약하며 화재 시 유독가스가 발생한다. 이를 완화시키기 위하여 다양한 방법의 난연화 기술이 활용되고 있지만 유기단열재로는 일부 재료적인 한계가 있다.

○ 국내의 기술 수준은 다양한 재료를 통해 유무기 복합 재료 등을 연구하고는 있지만 기술 자체는 아직 태동기에 머물고 있다. 국내 업체에서 이러한 신개념의 단열재는 개발 및 생산한 경험이 전무한 상황이다.

(2) 국외 현황

○ 무기질 단열소재의 단열성 향상 및 경량화 기술

- 미국, 독일, 일본을 중심으로 무기소재를 중공체로 만드는 연구가 활발히 진행되고 있으며 실제로 일부 상용화 되어 있다. 이 경우도 마찬가지로 소재의 단열성능은 우수하나 대량으로 사용하는 건축용 단열재 및 패널 형태의 제품으로는 적용하기 어렵다.

○ 에어로젤소재 및 진공단열재

- 무기단열소재로 에어로젤 소재가 미국 Aspen사를 중심으로 연구 개발되고 있으며 에어로젤 소재의 단열성능은 유기단열소재보다 우수하나 제조단가가 매우 높아 일부 특수용도에 사용되고 있고, 건축용 단열소재에 적용하기는 아직 어려운 점이 많다.

(3) 기술개발 성숙도

구분		연구 착수	연구 종료	단계별 설명
기초연구 단계	TRL 1	□	□	TRL 1 이론적 연구단계
	TRL 2	□	□	TRL 2 기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	□	□	TRL 3 실험적 증명 단계
	TRL 4	□	□	TRL 4 실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	■	□	TRL 5 유사환경 시험 단계
	TRL 6	□	□	TRL 6 유사환경 기술시범 단계
실용화 단계	TRL 7	□	■	TRL 7 실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	□	□	TRL 8 시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	□	□	TRL 9 현장적용/사업화 단계

다. 연구개발의 중요성

○ 건축물 및 플랜트 등에서 에너지 절감 및 단열을 목적으로 한 소재들은 지속적으로 사용량이 증가하고 있으며, 관련 정책 및 선진국 추이를 고려할 때 향후 증가추세가 계속될 것으로 예상된다.

○ EPS, PUR 등의 유기계 단열재는 단열성능이 우수함에도 불구하고, 화재 취약성, 환경 유해성 및 구조적 취약성 등의 단점을 가지고 있어 점차 사용상 제한을 하고 있는 추세이다

○ 유기계 소재는 단열특성, 경제성, 시공성 등이 우수함에도 불구하고, 화재취약성 및 연소시 유해가스(일산화탄소) 등의 문제로 인해 무기계 소재의 접근이 이루어지는 추세이다

○ 기존 유기계 소재를 대체하기 위해 화재 취약성에 대한 해결 뿐 아니라 단열재로서의 낮은 열전도율, 낮은 흡수율, 시공 용이성, 형상제어, 경제성 등을 만족하는 소재의 개발이 필요한 상황이다

따라서 본 연구개발에서는 균일한 기공제어가 용이하고 형상제어가 자유로운 유기계 단열소재 구조와 화재 안정성과 기계적 강도를 확보 할 수 있도록 무기계 소재 기술을 적용한 유·무기 융합형 형상제어 단열재의 상용화 소비 및 공정기술을 개발하고, 상용화 기반 및 신뢰성 확보를 위하여 품질 인증규격을 제정하고 인증 확보를 목표로 하고 있으며, 본 개발로 인하여 건축물의 외단열 공법 및 산업시설의 단열보강 공법 등 연계 신기술의 개발 촉진을 기대할 수 있으며 우수한 화재 안전 성능을 보유한 단열재의 경제적 생산기술 확보로 건축물의 적용 및 시공비용과 에너지 절감비용 증대를 기대 할 수 있을 뿐 아니라, 건축물의 화재 안정성 확보 및 국민의 주거 안정 향상을 기대할 수 있다.

2. 연구수행내용 및 성과

가. 열전도율 0.07 W/mK 이하의 준불연 유무기 융합 단열재 개발 (1차년도 연구내용)

(1) 유기계 소재 평가 및 선정

유기물과 무기물은 그 특성에 있어 명확한 차이를 나타내는 것으로 알려져 있으며, 단열재의 경우에도 유기계 단열재는 구조상 단열성능이 우수하고 경제성과 시공성에 장점을 가지고 있으나 화재 취약성 및 연소시 유해성 등의 치명적인 단점을 가지고 있으며, 무기계 단열재는 단열 성능이 유기계 단열재에 크게 못 미치고, 매우 고가이거나 글라스울 및 미네랄울 등처럼 분진에 의한 유해성 논란, 다양한 형태 생산의 어려움, 높은 흡수율에 의한 성능저하 등의 문제점을 안고 있으나 화재 안전성 및 유해성이 유기계 단열재에 비해 월등히 우수하여 안전이 중요시되고 있는 근래에 들어 관심이 커지고 있는 상황이다[1-4].

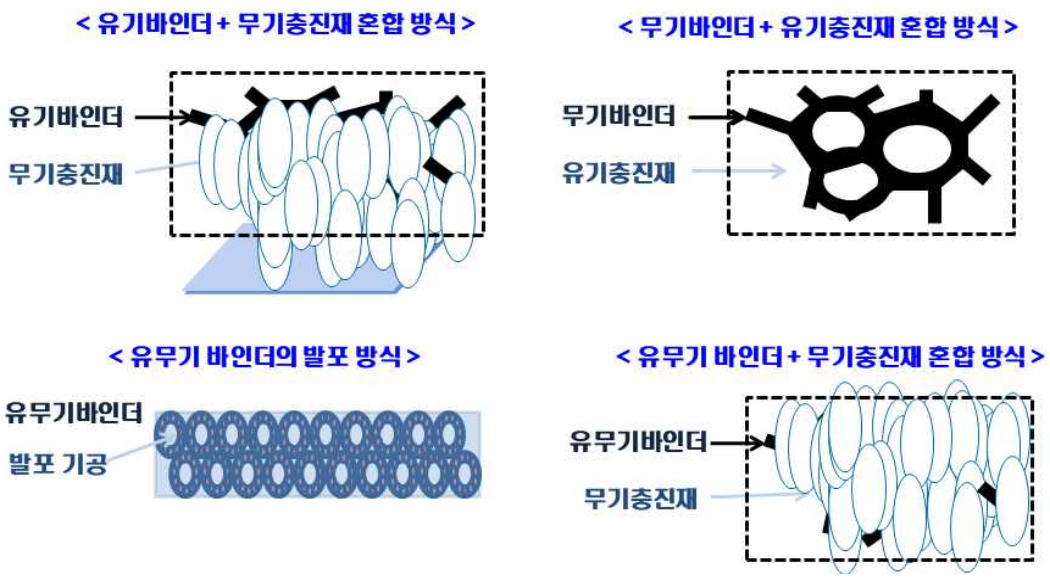


그림 2-1. 유무기 융합 구조 관련 기존 연구

본 개발에서는 균일한 기공확보가 용이하고 형상제어가 자유로우며 준불연 이상의 화재안전성 및 단열성을 확보하기 위한 유무기 융합 단열재 개발을 목표로 하고 있으며, 이에 적합

한 기재로 활용 가능한 유기계 소재를 선정하기 위한 연구를 진행하였다. 유무기 융합 구조와 관련해서 그림 2-1과 같이 여러 가지 방식의 연구가 이루어져 왔으나[5, 6], 본 연구에서는 형상제어 및 경제성 등의 문제 해결을 위해 기공이 제어되어 있고 무기계 물질의 함침이 용이한 유기계 소재를 선택하여 연구를 진행하고자 하였다.

무기계 물질의 함침을 위해서는 유기계 기재가 열린 기공을 가지고 있어야 하며, 함침 및 압착 공정 후 기존의 형태를 복원할 수 있는 복원력이 필수적으로 필요하다. 그림 2-2에 개발품의 모식도와 제조공정을 개념적으로 표시하였는데, 일정 크기로 제어된 기공을 가지는 유기계 다공성 구조체에 무기계 함침제가 코팅 또는 막형태로 융합되어 있는 구조이다. 유기계 기재에 무기계 물질을 함침시킨 후 압착 또는 감압 공정을 통해 일정량의 무기계 물질을 제거시킨 후 형상복원, 건조 공정을 거쳐 최종 시제품으로 제조된다.

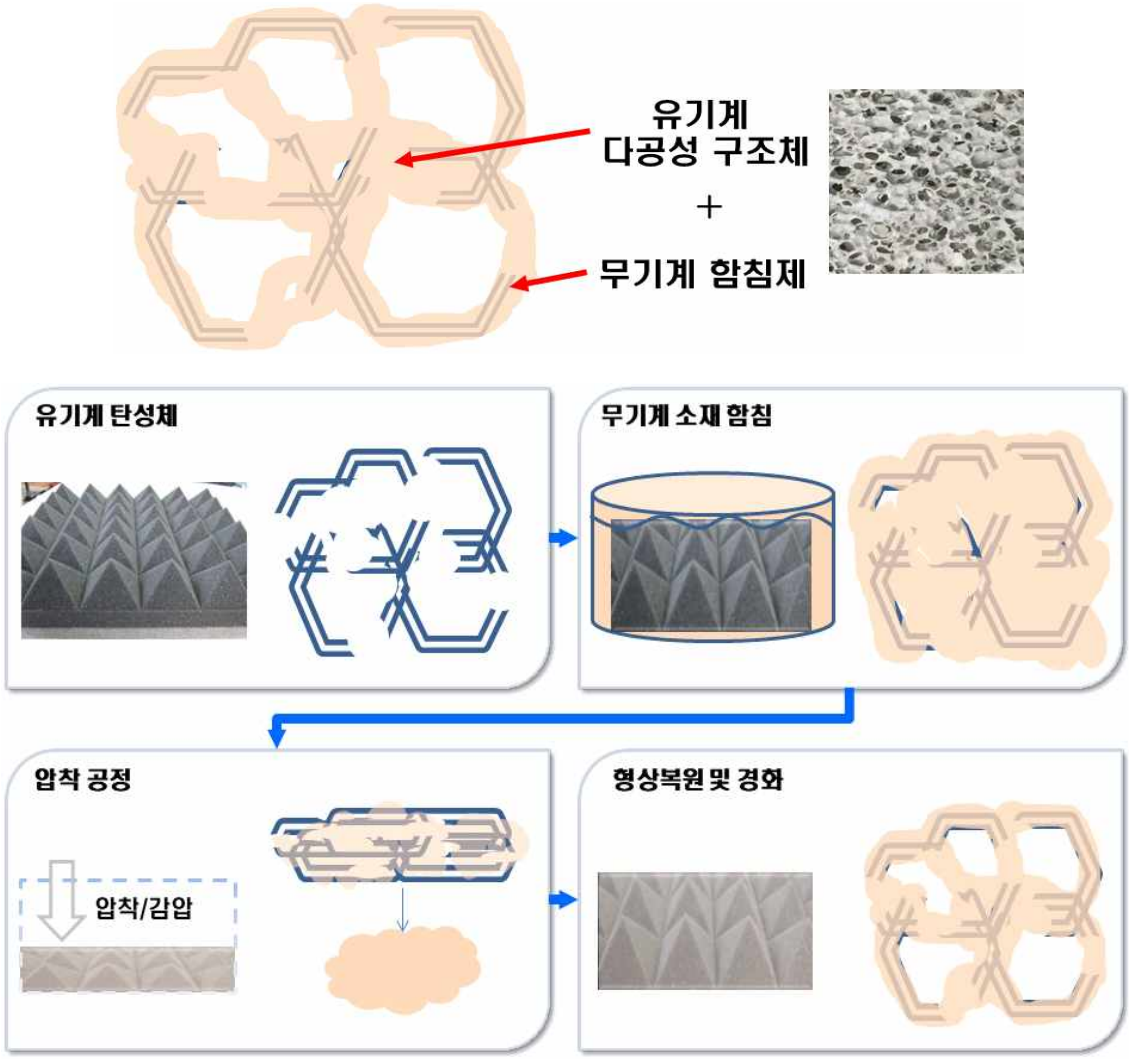
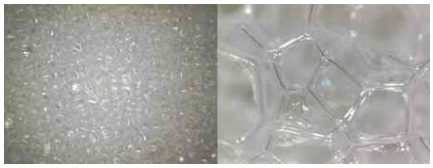


그림 2-2. 유무기 융합 단열재의 개념도 및 제조 공정

형상제어, 기공제어, 형상 복원력, 함침 용이성 등의 특성을 만족하는 유기계 소재로는 다공질의 합성수지류 중 열린 기공을 가지고 있는 폴리우레탄 계열의 폼을 사용하는 것으로 결정하였다. 폴리우레탄 계열의 폼도 여러 가지 종류가 있어, 각 소재에 대한 특성 및 무기계 소재 함침 등을 통하여 단열재 용도로서의 적합성을 판단하고자 하였다.

표 2-1에 유무기 융합 단열재용 유기계 기재로 사용 가능한 소재의 후보군을 표시하였다. 일반적으로 스펀지로 불리는 폴리우레탄 폼은 기계적 교반에 의한 발포나 발포제 등을 이용한 제조가 가능하며 제조 방법에 따라 기공의 크기나 밀도를 제어할 수 있는 것으로 알려져 있으나, 본 연구에서는 유기계 기재에 대한 제조를 연구내용에 포함시키지 않아 시중에서 구매가 가능한 제품들 중 다른 특성을 가지는 소재를 종류별로 연구하였다. 일반형은 폴리우레탄 100%의 15 kg/㎥의 밀도를 가지는 소재로 가정용이나 산업에 가장 널리 사용되는 기본적인 소재이며, 밀도가 약해 부드러우나 탄성이 적어 하중이 받지 않는 분야에 사용된다. 고탄성 및 고경도형은 밀도가 25~35 kg/㎥로 일반형에 비해 경도 및 복원력이 우수하여 하중을 받는 고급 소파, 침구류, 의자 등에 사용되는 소재이다. 해면체형은 20 kg/㎥의 밀도를 가지며 일반형과는 달리 기공의 구조가 불규칙한 것이 특징으로 세차용 또는 산업용 인테리어 등 다양하게 사용되고 있는 소재이다. 재생마블형은 일반형 소재 재단 후 남은 조각들을 이용하여 제조한 재생 제품으로 별도의 접착 성분이 사용되어 사용 중 부서질 수 있는 단점이 있으나 비교적 고탄성으로 우수한 가성비를 갖는 소재이다. 필터형 소재는 일반형에 비해 기공이 매우 큰 형태로 ppi(Pore Per Inch)라는 단위로 기공의 분포를 표시한다. 주로 여과용으로 많이 이용되고 있으며 일반 폴리우레탄 소재와 달리 제조 방법이 상이하여 가격이 약 5~8배가량 높은 소재이다. 특수 형상 소재는 일반 소재와 성분 및 밀도는 동일하지만 별도의 가공 공정을 통하여 제조되는 형태로, 향후 다양한 형태의 단열재가 요구되는 상황에서 유용한 기재의 역할이 가능할 것으로 판단되는 소재이다.

표 2-1. 유무기 융합 단열재용 유기계 소재

구분	밀도 (kg/㎥)	형상	미세구조
일반형	15		
고탄성 및 고경도형	25, 28, 35		

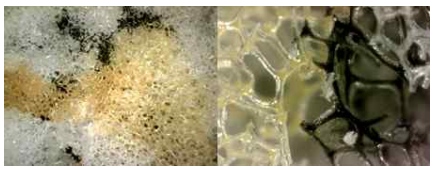
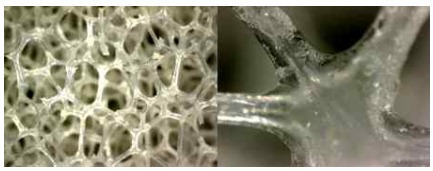
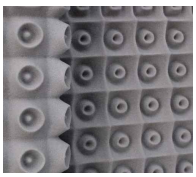
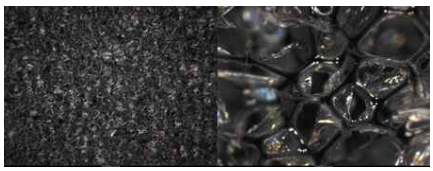
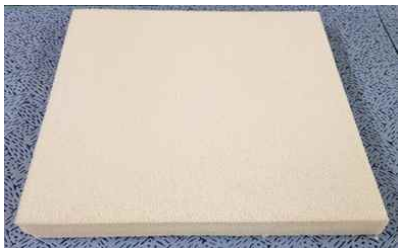
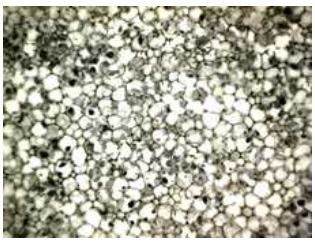
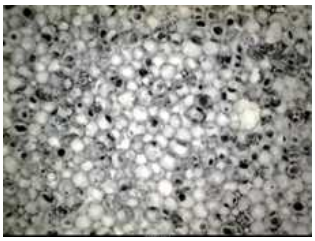
해면체형	20		
재생마블형	25		
필터형	10~80 ppi		
특수 형상형	15-25	 	

표 2-2에는 각 종류별 유기계 기재를 사용하여 무기계 물질을 함침시켜 제조한 시제품의 사진 및 미세구조를 나타내었다. 일반형의 경우 밀도가 낮아 복원력이 약한 것으로 알려져 있으나, 함침 및 압착 과정 후 복원되는 과정에서는 다른 소재들과 차이 없이 동일한 복원력을 나타내는 것으로 확인되었다. 단, 밀도가 낮아 일정한 무기물의 농도 이하에서는 함침되는 양이 줄어들어 적정 점도의 함침재의 농도를 맞추어야 하는 것으로 파악되었다. 고경도 및 고탄성형 소재의 경우 일반형에 비해 높은 밀도를 가지고 있기 때문에 동일한 조건으로 무기계 물질을 함침시킨 경우 일반형에 비해 높은 밀도를 나타내는 것으로 확인되었다. 일반형과 고탄성형 소재의 경우 무기계 물질의 점도 및 농도에 따라 함침 후 건조 과정에서의 경화 양상이 유사하게 나타났으나, 일반형의 경우가 무기계 물질의 제어에 따라 넓은 범위의 최종 밀도를 구현하기에 용이한 것을 확인할 수 있었다. 최종 시제품이 높은 밀도를 요구하고 준불연 이상의 불연 성능이 필요한 경우에는 고탄성/고경도의 유기계 소재를 택하는 것이 유리할 것으로 판단된다. 해면체형의 경우도 앞의 두 경우와 유사한 경향을 나타내었으며, 특히 최종 시제품의 경우 표면 상태가 기존 천장재(마이톤, 아미텍스 등)와 유사한 형태를 가지는 것으로 확인되어 천장재 형태의 마감재로 응용이 가능할 것으로 판단된다. 재생마블형은 고경도 25 kg/㎥ 정도의 밀도를 가지고 있으나, 밀도가 다른 조각들이 결합되어 있는 형태이기 때문에 단열 성능에 있어서 균일한 특성을 내지 못할 것으로 판단된다. 또한 함침 및 압착 과정에서 일부 파단이 발생되는 경우가 있어 상용 제품으로 적용하기에는 어려움이 있을 것으로 판단된다. 필

터형의 경우 위에 언급된 소재들과 달리 무기계 물질의 점도 및 농도에 따라 매우 다양한 양상의 함침 양상이 나타남을 확인하였다. 60 ppi 이하의 필터형 소재에서는 일정 점도 이하의 무기계 물질 함침 시 압착 공정이 이루어지기 전부터 불균일하게 흘러내려 균일한 함침을 시키기가 어려운 상태였으며, 최종 제품의 경우에도 균일하지 못한 밀도 및 미세구조를 가지는 것으로 확인되었다. 필터형 유기계 소재를 활용하기 위해서는 현재 적용되는 무기계 물질 시스템에 막 형성 및 기공 발생 등을 위한 처리가 필수적으로 필요할 것으로 판단된다. 특수형상의 경우 일반 유기소재와 유사한 경향을 보이는 것으로 확인되었으며, 원래 가지고 있는 특수 형상을 유지한 상태로 최종 시제품을 제조 할 수 있었다. 본 연구의 장점 중 하나인 형상제어 단열재 제조가 적합한 것을 확인할 수 있었다.

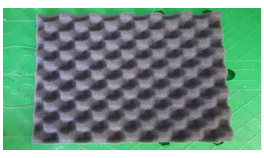
표 2-2. 무기계 물질이 함침된 유기계 기재

구분	함침 후 형상	미세구조(×30)	미세구조(×250)
일반형			
고탄성 및 고경도형			
해면체형			
재생 마블형			

필터형			
특수 형상형			

유무기 융합 단열재의 유기계 기재는 단열성, 형상제어, 무기계 물질과의 함침 경향 등을 종합적으로 고려하여 선정되어야 하는데, 본 연구에서는 크게 준불연용, 유사 불연용, 천장재용, 특수 형상용으로 구분하여 표 2-3에 나타낸 바와 같이 특성별로 유기계 기재를 선택하였다.

표 2-3. 시제품 종류별 유기계 기재

종류	형태	특성
준불연용		기재 밀도 15-20 kg/㎥ 무기계 물질 제어에 의한 밀도 및 성능 조절 시제품 밀도 150-350 kg/㎥ (0.15-0.35 g/㎤)
유사 불연용		기재 밀도 25-32 kg/㎥ 함침 무기계 물질 함량 높아 불연성 구현 가능 시제품 밀도 400-700 kg/㎥ (0.4-0.7 g/㎤)
천장재 및 벽체용		기재 밀도 18-20 kg/㎥ 기재 자체의 문양으로 기존 천장재와 유사(디자인,성능) 시제품 밀도 200-450 kg/㎥ (0.2-0.45 g/㎤)
특수 형상용		기재 밀도 15-20 kg/㎥ 유기계 기재 가공에 따라 다양한 형상 제조 가능 시제품 밀도 150-350 kg/㎥ (0.15-0.35 g/㎤)

(2) 무기계 함침 소재 개발

무기계 함침재는 유기계 기재에 함침된 후 코팅 또는 막을 형성하여 표면과 내부에 난연성을 부여하고 열린 기공의 일부를 닫힌 기공으로 만들어 단열성능을 향상시키는 역할을 하며, 대표적으로는 실리케이트계 무기바인더, 유무기 복합 도료, 상온 경화형 석고계 바인더 등의 소재를 사용할 수 있다. 실리케이트계 무기 바인더의 경우 점도가 낮고 침투력이 우수하며 환경적으로도 안정한 물질로 내열성 및 난연성을 지니고 있으나, 수분에 취약하며 종류에 따라 고온에서 경화를 시켜야하기 때문에 내구성과 경제성 확보가 어려울 것으로 판단하였다. 유무기 복합 도료의 경우 주제 및 경화제로 이루어진 이액형으로 코팅성과 막 형성 등에 장점이 있으나 난연성 확보를 위해 난연제를 다량으로 사용해야하며 유독성 가스 발생 등의 문제가 있다. 상온 경화형 석고계 바인더는 주로 물을 이용한 경화소재로 우수한 난연 성능 및 경제성이 장점이나 상온 경화형이므로 생산 공정에서의 경화 시간에 따른 고려 사항이 많으며, 최종 시제품의 밀도가 일정 수준 이상으로 될 가능성이 높다. 본 연구에서는 일정 수준 이상의 단열 성능 이 외에 준불연 이상의 난연성을 가지고 경제성이 있으며 생산성이 우수한 기준을 목표로 하고 있으며, 사회이슈형 과제로 시제품의 상용화에 중점을 두고 있기 때문에, 1차 년도 연구에서는 경제성 및 생산성을 우선순위로 두어 비교적 조건 선정이 용이하고 경제성 및 생산성에 유리한 석고계 무기계 소재를 함침용 기본 물질로 선정하였다.

무기계 함침제의 혼수량에 따른 점도 및 응결시간을 그림 2-3에 나타내었다. 점도 측정은「ASTM D1200-10: Standard Test Method for Viscosity by Ford Viscosity Cup」규격을 참조하여 Ford Cup을 사용하여 측정하였다. 그림 2-3 결과에서 알 수 있듯이 40% 혼수량 기준으로 혼수량이 증가할수록 점도가 낮아져 동일한 크기의 Ford cup을 통과하는 시간이 짧아지는 경향을 볼 수 있다. 혼수량 60%부터 점도의 차이가 크지 않아 60%의 점도가 적절할 것으로 판단된다.

혼수량(%)별로 딱딱하게 굳는 응결시간은 약 30-45분으로 물의 양 차이는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다. 응결시간의 경우 함침에서 압착 후 건조까지의 시간은 3-5분 이내로 짧지만, 제조된 함침액을 이용해 제조하는 단열재의 개수가 10-20개 정도 이기 때문에 최소 30분에서 길게는 1시간 정도의 작업시간이 요구되어 작업이 용이한 농도를 유지할 수 있는 적정한 혼수량 및 첨가제가 필요하며, 유기계 기재 함침을 위한 점도와의 상관관계도 파악하여야 한다.

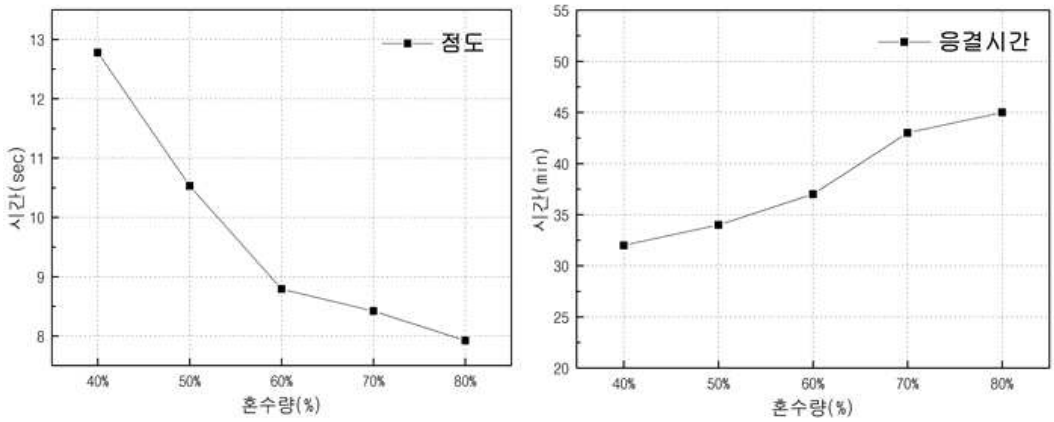


그림 2-3. 혼수량에 따른 함침액의 점도 및 응결시간

응결 시간 및 유기계 기재로의 함침 작업을 고려하여 혼수량 60%인 함침액을 제조하여 유기계 기재에 함침시킨 경우 예상한 바와 같이 조기 경화로 인한 작업시간 부족과 균일하지 못한 내부 함침 상태, 건조 후 표면 분진 발생 등의 문제가 발생하여 소재 차원에서의 연구를 진행하였다. 조기 경화로 인한 작업시간은 경화 지연제를 첨가하여 개선하였는데, 그림 2-4에서 혼수량 60%의 경우 경화 지연제의 비율에 따라 함침 작업이 가능한 시간이 약 37분에서 88분까지 늘어나는 것을 확인할 수 있었으며, 본 연구에서는 1회 작업량 15장을 기준으로 하여 60분 이상의 경화시간을 가지게 할 수 있는 약 0.5% 정도의 경화지연제를 사용하는 것으로 정하였다. 내부 함침의 경우 함침액의 농도 조절만으로는 한계가 있을 것으로 판단하여, 일반적으로 입자를 강하게 분산시키고 혼수량을 줄임으로써 콘크리트 및 몰탈 등의 작업성을 개선시키고 강도를 증진시키기 위한 첨가제로 알려진 유동화제를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 유동화제 종류와 동일한 역할을 하는 다른 종류의 유동화제로 Na 리그닌계, Ca 리그닌계 등이 있다. 리그닌은 목재의 구성 요소 중 하나로 셀룰로스 및 헤미셀룰로오스와 함께 목재의 실질을 이루고 있는 성분으로 간략하게 말하면 리그닌은 목재에서 딱딱한 줄기의 역할을 하는 구성요소로 구조 유지를 위한 역할을 한다. 그림 2-5는 유동화제의 첨가 비율을 0.3~1% 범위로 조절하여 첨가량에 따른 건조 후 개발품의 밀도 차이를 비교해 최적의 비율 선정을 나타낸 그림이다. 혼수량 60%를 기준으로 유동화제의 비율이 증가할수록 밀도가 커지는 양상을 보이는데 이는 무기계 함침액이 유기계 소재 내부로의 분산을 향상시키고 유기계 기공 사이에 고르게 분포 및 함침되는 효과를 가져와 밀도가 높아짐을 알 수 있다.

건조 후 표면의 분진은 경화된 석고입자가 유기계 기재와 결합이 이루어지지 않아 나타나는 현상으로, 내부의 경우 유기계 기재의 구조가 치밀하여 외부로 나오지 않지만 표면서 경화된 입자는 별도의 결합기재가 없어 분진형태로 존재하게 된다. 이 같은 경우 함침 건조 과정

후 별도의 코팅처리를 할 수 있지만, 1차 년도 연구에서는 함침액에 건조 후 유기계 기재와 무기계 입자의 결합력을 증진시키는 역할을 할 수 있는 고분자류의 첨가제를 넣어 분진발생을 줄이고자 하였다. 분진발생에 대해 정량적인 평가 방법이 없어 측정을 하지는 못하였으나, 육안 관찰시 첨가제를 넣기 이전에 비해 확연히 분진이 줄어든 것을 확인할 수 있었으며, 그림 2-6에 나타낸 바와 같이 수지류 첨가 시 표면에 발생하는 분진이 거의 없어진 것을 확인할 수 있다.

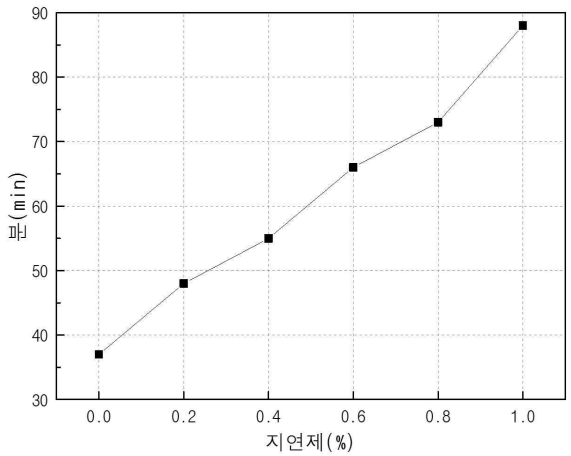


그림 2-4. 경화 지연제 함량에 따른 응결시간

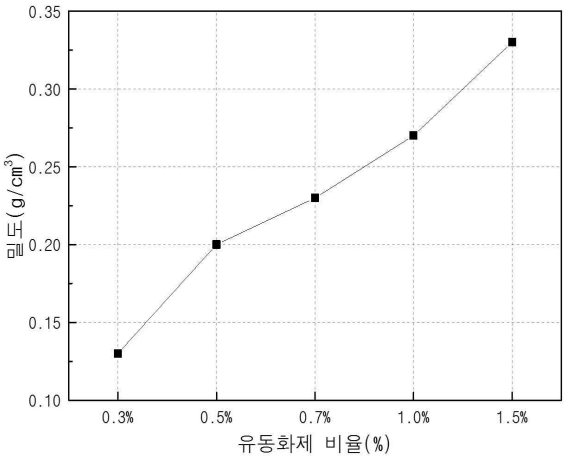


그림 2-5. 유동화제 농도별 밀도 변화

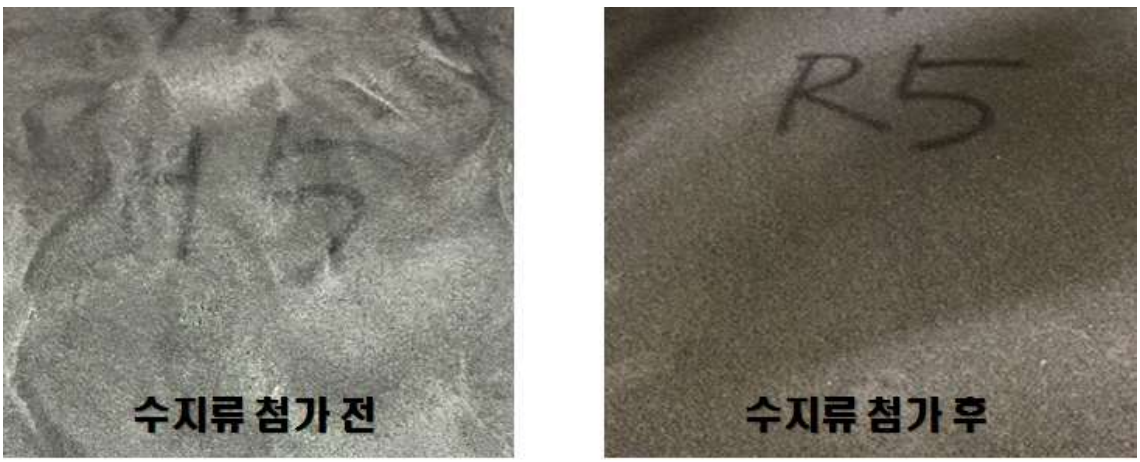


그림 2-6. 수지류에 의한 표면 상태

본 연구에 사용된 석고계 물질은 알파형 반수석고로 상용 제품을 사용하였으나, 국내 화력 발전소의 탈황시설에서 발생되는 탈황석고를 이용하여 베타형 반수석고를 제조하여 적용할 경우 원가 절감에 상당 부분 기여를 할 것으로 판단된다. 사업장 일반폐기물로 분류되는 폐탈황석고는 국내에서 연간 400만톤 이상이 발생되고 있으며 이와 관련된 연구가 진행되고 있

어 폐자원 재활용 측면에서도 긍정적인 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 단, 알파형 석고의 경우 표 2-4에 나타낸 바와 같이 결정 크기, 표면적, 격자 안정성이 베타형에 비해 우수하고 약 5-10배 정도의 압축강도를 가지며 경화속도도 빠른 것으로 알려져 있어 이에 대한 고려를 해야 한다[7]. 본 시제품의 경우 강도 및 결정 크기 등의 영향이 미비하고 경화속도 역시 일정 시간 지연 되는 것이 오히려 장점으로 작용할 가능성이 있기 때문에 충분한 연구 및 적용을 해 볼 필요가 있을 것으로 사료된다. 첨가제의 경우도 2차 년도 열전도율 목표인 0.051 W/mK를 달성하기 위해 AE제, 단열성능 향상용 세라믹 과립, 유기계 구조체 기공의 막형성제, 난연제 등을 첨가하여 단열성능 향상 및 밀도 제어 등에 대한 연구를 진행할 예정에 있다.

표 2-4. 알파형 및 베타형 석고의 물리적 특성

구분			알파형 석고	베타형 석고
Molecular weight			145.15	
color			Colorless	
Specific gravity			2.74	2.64
Mixed water contents (%)			35	90
Curing time (min.)			15-20	25-35
Linear expansion rate of curing(%)			0.28-0.35	0.16
Strength	After 1 hr	Tensile	35	7
		Compressive	280	28
	Drying	Tensile	70	14
		Compressive	560	53
Use			High density, Gypsum of high strength	Art material of statue

(3) 유무기 융합화를 위한 최적 배합비 및 액상 반응 연구

유무기 융합 단열재는 유기계 기재에 무기계 함침재를 함침시킨 후 압착 등의 공정을 통해 일정량의 무기계 물질만이 함침될 수 있도록 제어한 후 상온 또는 일정 온도 하에서 건조 과정을 거쳐 제품화가 이루어진다. 그림 2-7에 전체 제조 공정을 나타내었는데, 함침, 압착, 건조의 간단한 공정을 거치게 되지만 유기계 기재와 무기계 함침재라는 서로 다른 특성을 가지

는 물질을 융합해야하는 공정이므로 고려해야할 변수가 여러 가지로 구분될 수 있는데 각 공정별로 구분하여 연구를 진행하였다.



그림 2-7. Lab. scale 유무기 융합 단열재 제조 공정

(가) 함침공정

함침공정에서 유기계 기재와 무기계 함침액 간의 함침 정도, 즉 균일한 함침과 압착 이후의 균일한 함침액 유지가 중요한 인자라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 무기계 함침액의 농도 및 점도, 원재료 분산 및 함침방법을 인자로 선정하여 각 방법에 대한 연구를 진행하였다. 유기계 기재는 기본이 되는 15 kg/㎥ 밀도를 가지는 일반 폴리우레탄 기재를 사용하였으며, 첨가제 양은 동일하게 하여 혼수량 만을 변화하며 실험을 진행하였다. 앞서 언급된 석고계 무기 함침재의 경우 혼수량이 증가함에 따라 점도가 감소되는 것을 확인할 수 있었는데, 그림 2-8에 혼수량에 따른 함침 양상을 단면으로 나타내었다(수동 함침 후 압착하지 않음). 혼수량이 작아짐에 따라 유동도 및 농도의 증가에 따라 내부까지 균일한 함침이 이루어지지 않는 것을 확인할 수 있었으며, 80% 수준에서도 내부의 일정 부분은 함침이 되지 않은 것으로 확인되었다. 혼수량의 변화에 따른 밀도의 경우 경향성을 나타내지는 못했으며 이는 시료 내부까지 균일한 함침이 이루어지지 않아 나타나는 결과라 할 수 있다(그림 2-9).

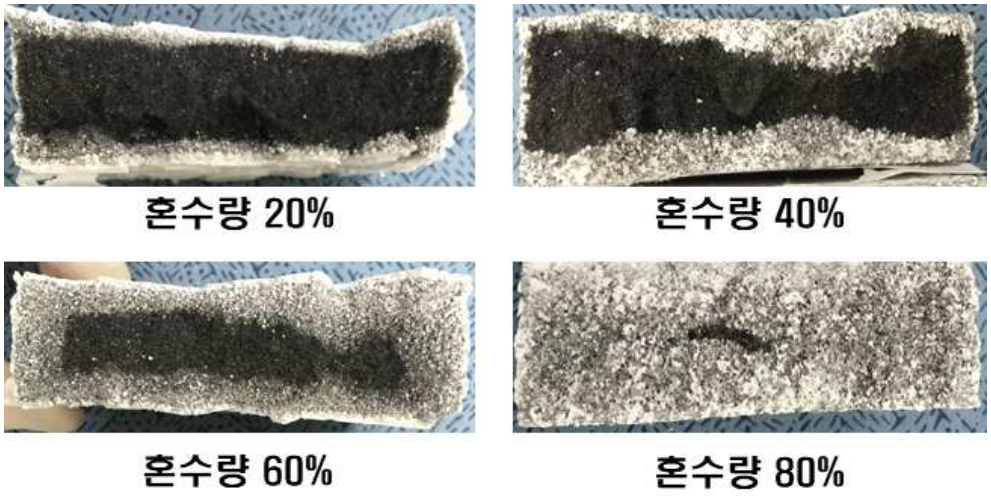


그림 2-8. 혼수량에 따른 함침 시료의 단면 (압착 전)

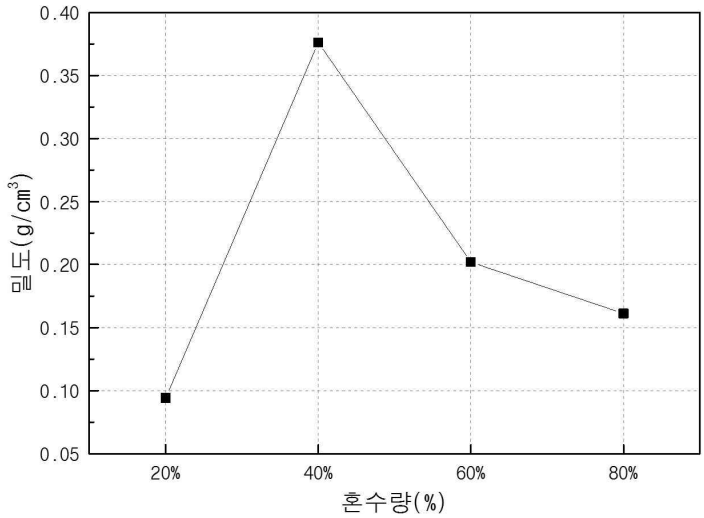


그림 2-9. 혼수량에 따른 함침 시료의 밀도

분체 형태의 석고계 무기물 및 첨가제의 경우 물과 혼합할 경우 충분한 교반이 이루어지지 않으면 그림 2-10에 나타난 바와 같이 석고계 분체간 뭉침 현상이 일어날 수 있고 첨가제의 경우에도 분산이 이루어지지 않아 함침 시 불균일한 결과가 나타날 수 있다. 뭉침 현상이 발생되면 함침액 전체의 농도가 달라지고, 함침 시에서도 뭉친 부분이 유기계 기재의 표면에 흡착되어 함침액의 내부 함침을 원활하지 못하게 할 가능성도 있기 때문에 교반기 등을 사용하여 육안 또는 손으로 뭉침이 없을 때 까지 교반시켜줘야 하며, 향후 상용화 시에는 필터링 등의 공정을 추가하는 방안도 고려해야 한다. 함침액 제조시 무기계 물질을 칭량 후 물을 첨가하면서 교반시키는 경우에 비해 물을 일정량 준비하고 칭량된 무기계 물질을 소량씩 투입하며 교반하는 경우가 우수한 분산성을 가지는 것으로 확인되었다.



그림 2-10. 뭉침 현상이 일어난 함침액 및 불완전 교반에 의한 함침 형태

수동 함침의 경우 혼수량이 작아짐에 따른 점도 증가로 인해 내부 함침이 균일하지 않은 것으로 확인이 되었기 때문에 50% 이하의 혼수량에 대해 내부 균일 함침이 가능한 방안으로 진공함침 공정을 도입하였다. 그림 2-11에 보이는 바와 같이 소형 시편을 대상으로 한 진공함침을 위해 진공 데시케이터를 활용하였다. 진공함침은 함침대상 물질을 함침액에 넣고 진공상태를 유지시켜 시료 내부의 공기를 빼내고 그 공간에 함침액을 밀어 넣어 주는 원리로, 일정 수준 이하의 혼수량에 의해 높은 점도의 함침액을 시료 내부까지 균일하게 함침시킬 수 있는 방법으로 도입하였다.



그림 2-11. 진공함침 개념 및 간이 진공함침용 데시케이터

진공 함침을 이용하여 유기계 기재에 무기계 함침재를 함친시킨 경우 그림 2-12에 나타난 바와 같이 수동 함침에서 균일하지 못한 내부 상태를 보였던 40% 혼수량인 경우에도 균일

하게 함침시킬 수 있는 것을 확인할 수 있었으며, 낮은 혼수량의 함침액인 경우 향후 고밀도 유사불연 유무기 융합 단열재 제조를 위해 필수적으로 필요한 조건이기 때문에 2, 3차 년도에 보다 심도 있는 연구가 필요할 것으로 판단된다. 진공설비를 이용해야하기 때문에 장비제작 및 경제성 등에 애로사항이 있을 수 있으나, 특수한 목적의 고부가가치 제품에 응용이 가능한 분야로 판단하기 때문에 진공함침 조건 확립 및 관련 장비에 대한 연구를 지속적으로 진행하여 상용화에 적용할 필요성이 있을 것으로 판단된다.



그림 2-12. 수동 및 진공함침에 의해 시료 비교 (혼수량 40%, 압착 전)

(나) 압착공정

압착공정은 유기계 기재에 함침된 무기계 함침액을 빼내고 일정량만 기재에 남기도록 해주는 공정으로 최종 제품의 밀도, 강도, 난연성 및 열전도율을 제어해 주는 중요한 공정이라 할 수 있다. 압착공정을 거치지 않은 시료는 건조 운반 과정에서부터 과량의 함침액이 하부로 흘러나오고, 최종 경화 후 밀도가 석고 자체만을 경화시킨 경우와 유사할 정도로 높으며, 건조 과정에서도 두께에 따른 밀도 구배가 발생하는 등 여러 가지 문제점이 발생될 수 있기 때문에 필수적으로 필요한 공정이다. 그림 2-13에 압착에 의한 탈수를 시키지 않은 시료와 수동 압착에 의해 탈수를 시킨 시료를 나타내었다. 압착공정을 거치지 않은 시료는 표면에 과량의 함침제가 경화되어 불규칙한 면을 형성하고 있었으며 내부에도 함침되지 않은 부분이 있는 것을 확인할 수 있었다. 수동 압착을 거친 시료의 경우 비교적 균일한 내부상태를 보이는 것으로 확인되었으나, 표면의 경우 불균일한 함침으로 표면 상태가 얼룩져 보이고 건조 후에도 표면의 경도가 얼룩에 따라 차이를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 이는 수동 함침에 의해 압착 과정이 균일하게 이루어지지 못하기 때문에 일어나 현상이었으며, 균일한 압착을 위한 방법이 필수적으로 적용되어야 함을 확인하였다.

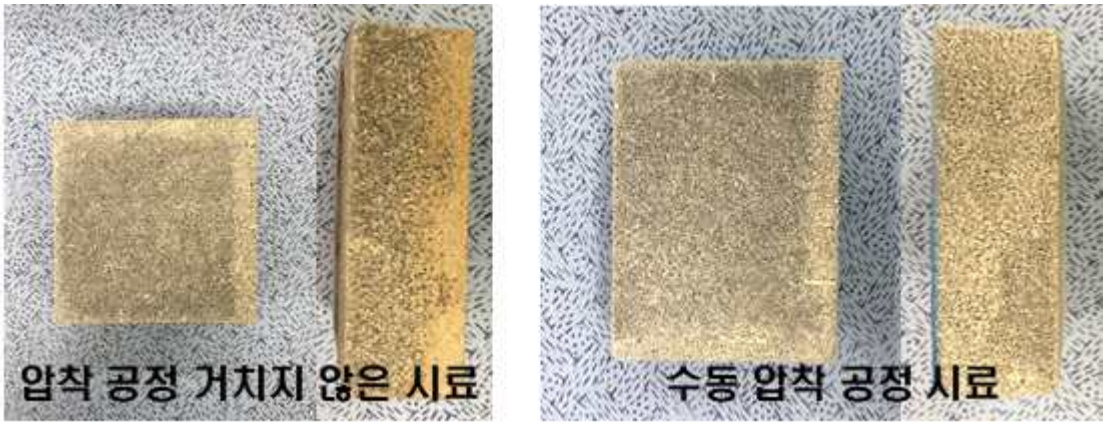


그림 2-13. 압착 공정 유무에 따른 시료 비교

일반적으로 탈수 방법에는 원심분리, 하중에 의한 가압 방식 등이 있는데 함침된 유무기 융합 시제품의 경우 함침 후 압착 전 무게가 약 5 kg으로 중량이고(300×600×30 mm 기준) 대면적화가 될 가능성도 있기 때문에 두 가지 방법으로는 접근하기에는 문제점이 있어, 참여기관에서 기존 타 연구에 사용하던 롤러 장치를 개조하여 제작한 롤링 방식을 이용하였다. 이 방법은 그림 2-14에 나타낸 바와 같이 함침시킨 시료를 상하로 위치한 2개의 롤러 사이를 통과시킴으로써 함침액을 제거시키는 방식으로 롤러 사이의 간격을 조절함으로써 유기계 기재에 잔존하는 무기계 함침제의 양을 제어할 수 있다는 장점이 있다.



그림 2-14. 롤러를 이용한 함침 시료 압착 공정

롤러를 이용한 압착 공정에서는 롤러의 간격과 롤링속도, 롤러의 직경이 변수로 작용할 수 있다. 롤링의 속도에 따른 특성의 변화는 크게 나타나지 않았으나 작업 중 유기계 기재를 수동으로 밀어 넣어주는 과정이 있기 때문에 안전성을 고려하여 약 10 rpm의 속도(수동)로 고정하여 실험을 진행하였다. 롤러의 직경에 따라서도 특성변화는 없었으나, 직경이 커질수록 롤링속도 조절이 가능하여 향후 상용화를 위한 설비에 대해서 적정한 롤링 속도 및 직경에 대

한 선정이 필요할 것으로 판단된다. 그림 2-15에 압착 롤러 간격에 따른 밀도변화를 표시하였다. 롤러 사이의 간격은 3 mm에서 20 mm까지 변화시켰으며, 혼수량 40%, 60%, 80% 3가지 종류의 함침액을 제조하여 100×100×30 mm의 유기계 기재를 대상으로 함침, 압착 및 건조를 진행하였다.

혼수율	롤러 간격	건조 후 무게(g)	밀도(g/cm^3)
40%	3 mm	94.51	0.32
	5 mm	112.86	0.38
	7 mm	138.56	0.46
	10 mm	171.21	0.57
	15 mm	183.37	0.61
	20 mm	192.71	0.64
60%	3 mm	50.53	0.17
	5 mm	60.56	0.20
	7 mm	92.02	0.31
	10 mm	114.55	0.38
	15 mm	129.02	0.43
	20 mm	173.71	0.58
80%	3 mm	34.15	0.11
	5 mm	48.35	0.16
	7 mm	59.19	0.20
	10 mm	85.10	0.28
	15 mm	109.08	0.36
	20 mm	149.86	0.50

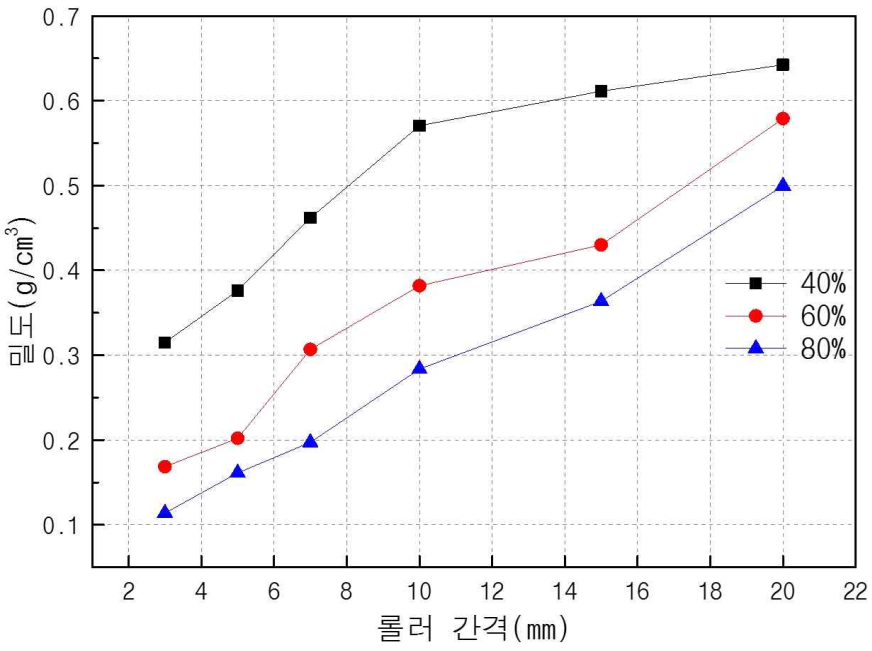


그림 2-15. 압착 롤러의 간격에 따른 밀도 변화

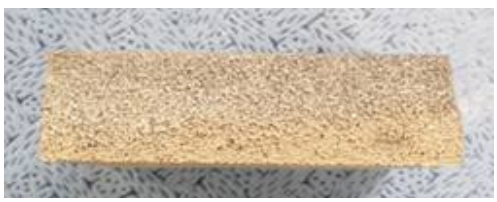
혼수량 (%)	롤러 간격 (mm)	단면 형상
50	0.5	
	1	
	1.5	
	2	
60	0.5	
	1	
	1.5	
	2	

그림 2-16. 압착 롤러 간격에 따른 최종 시제품의 단면 비교 (혼수량 50, 60%)

혼수량 및 롤러 간격에 따라 최소 0.11 g/cm^{3}에서 0.64 g/cm^{3}의 밀도를 가지는 시료를 제조할 수 있었으며, 각 시료는 혼수량의 차이에 따라 건조 후 단면의 밀도구배에 변화를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 그림 2-16에 롤러 간격 및 혼수량에 따라 제조된 시료의 단면을 나타내었다. 그림에 보여 지듯이 혼수량 60%인 시료의 경우 롤러 간격이 넓어짐에 따라 깊이 방향으로 함침된 무기계 물질의 양이 많아지는 것을 확인할 수 있었으며, 혼수량 50%인 경우 상대적으로 그 정도가 덜 한 것을 확인할 수 있었다. 이는 함침된 무기계 물질의 점도에 의한 영향으로 건조 시 중력에 의해 시료가 놓여진 수직 방향으로 쏠림 현상이 일어나 발생되는 것으로 판단하고 있으며, 60% 함침액의 점도가 50% 함침액에 비해 낮기 때문에 밀도 구배가 더 나타난 것으로 판단된다. 이러한 현상은 함침액의 혼수량 뿐 아니라 힘침 대상인 유기계 기재의 밀도나 기공의 형상 및 분포 등에 의해서도 변화될 소지가 많은 실험 변수이기 때문에 각 케이스에 대한 D/B화가 필수적으로 수반되어 관리되어야 할 것으로 판단된다.

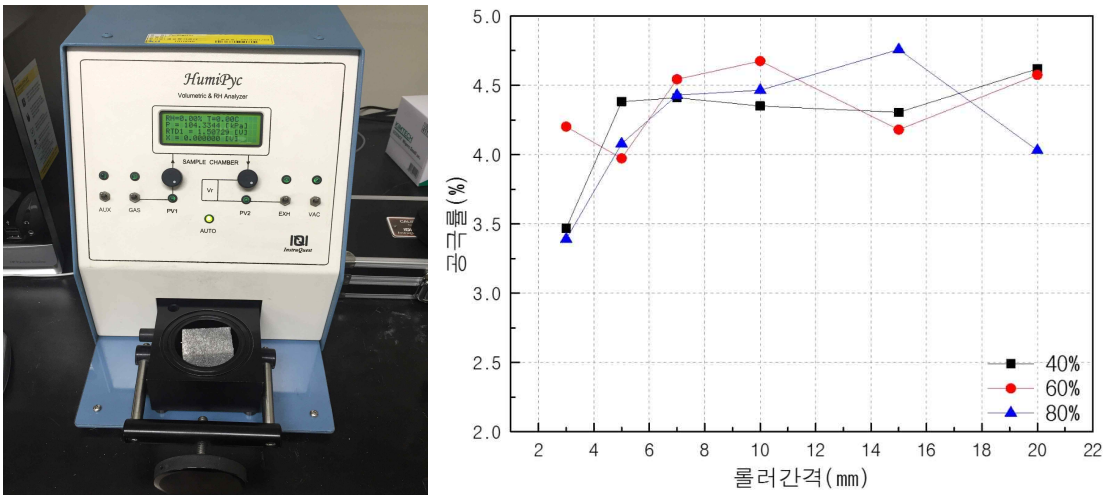


그림 2-17. 가스 피크노미터 장비와 압착 롤러 간격에 따른 시제품의 공극률

그림 2-17에는 위의 시료를 대상으로 한 공극률을 나타내었다. 공극률은 시험편의 겉으로 보이는 길이를 측정한 기하하적 부피를 측정한 후 시험편에 공기가 침투되지 않은 부분을 제외한 부피를 측정하여 개방기포와 독립기포의 부피 백분율을 측정한 결과를 말한다. 가스 피크노미터(Gas Pycnometer)는 무게를 측정한 시료를 측정 용기에 넣을 때 용기 내에서 대체되는 기체의 부피를 측정하여 밀도를 계산해준다. 부피는 기체를 대체시킴으로써 상승되는 압력 차이를 같게 만들어서 측정하는 원리를 이용하여 밀도를 확인하는데, 이는 개체의 오픈된 부분까지 침투하여 밀도를 측정하기 때문에 기하학적으로 측정한 부피와 차이를 갖는다. 기하하적으로 측정한 부피와 가스 피크노미터를 사용하여 측정된 결과 비율을 계산하여 그림 2-15

에 제시된 혼수율(%)별로 밀도를 다르게 제작한 기재를 대상으로 공극률을 구하였다. 그림 2-17의 결과 그래프를 보면 밀도가 커짐에 따른, 혼수율(%)에 따른 특별한 경향성이 보이지 않는다. 전체적으로 4~5% 내외의 공극률을 보이는데, 이는 유기계 기재 내부에 함침된 무기계 함침액으로 인해 내부에 닫힌 공간을 만들어 가스가 침투되지 못해 전체적으로 비슷한 공극률을 보이고 있다고 판단된다. 하지만 그림 2-18에서 알 수 있듯이 유기계 기재 내부에 존재하는 무기계 함침액 차이로 인한 열전도율에는 큰 차이를 보이고 있다. 밀도가 높아질수록 열전도율의 값도 커지는 경향을 볼 수 있다. 밀도가 높아질수록 내부에 열을 전달할 수 있는 매개체의 수가 증가하는 것을 의미하여 열전도율이 높아진다고 판단된다.

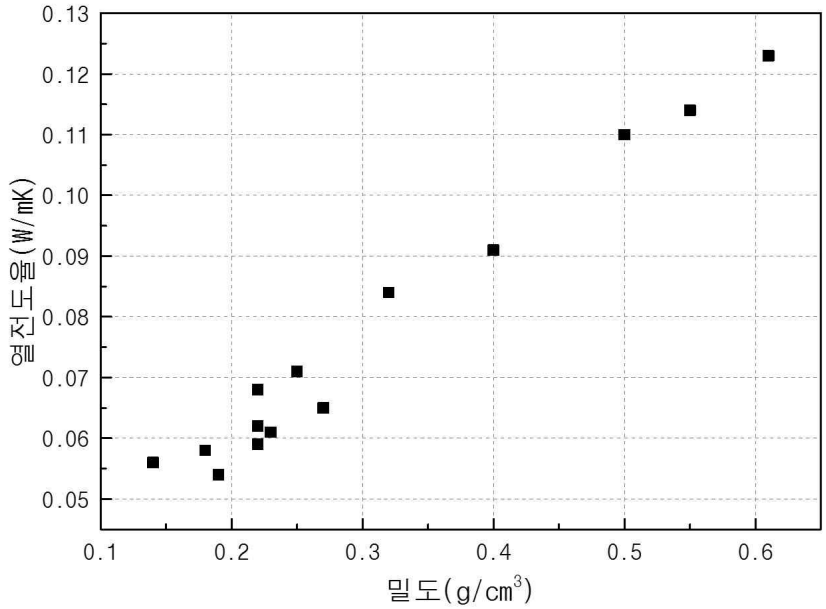


그림 2-18. 밀도 롤러 간격에 따른 열전도율 변화

(다) 건조 공정

무기계 함침용 기본 소재로 사용되는 석고계 물질은 기본적으로 혼수량에 따라 수분에서 수십분 내에 상온에서 경화되는 특성을 가지고 있기 때문에 온도를 가하여 건조를 시킬 필요성은 적으나, 본 연구에서는 앞서 언급된 바와 같이 생산 시 편의성 및 작업성을 고려하여 지연제 등을 사용해 경화시간을 의도적으로 늘려서 사용하기 때문에 일정 시간 내의 경화를 위해서는 온도를 가하여 건조시킴으로써 경화시간을 제어할 필요성이 있다. 실제 지연제 및 첨가제가 혼합된 함침액으로 함침시킨 시료의 경우 상온에서 완전한 건조까지 걸리는 시간이 8시간 이상 소요되는 것으로 확인되었으며, 온도 및 습도의 영향으로 건조 시간이 지연되고 계절 및 주위

환경에 따라 결과물의 차이가 발생할 가능성이 높은 것으로 판단된다. 시험품은 100×100×30 mm 대상으로 혼수량 60%로 함침 후 롤러 간격은 5 mm로 탈수 후 70~100℃ 사이 온도 영역에서 시간에 따른 건조 양상을 확인하였다. 그림 2-19에서 보여주듯 전체 온도 영역에서 3시간을 기점으로 무게감량의 기울기가 완만해지는 것을 확인하였으며, 온도 영역대에 따라 건조 후 무게에 차이가 있는 것으로 확인되. 향후 대량 생산 과정에서는 생산량, 작업 공정, 시료 적재 공간 등을 고려하여 건조 온도 및 시간을 선정해야 할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

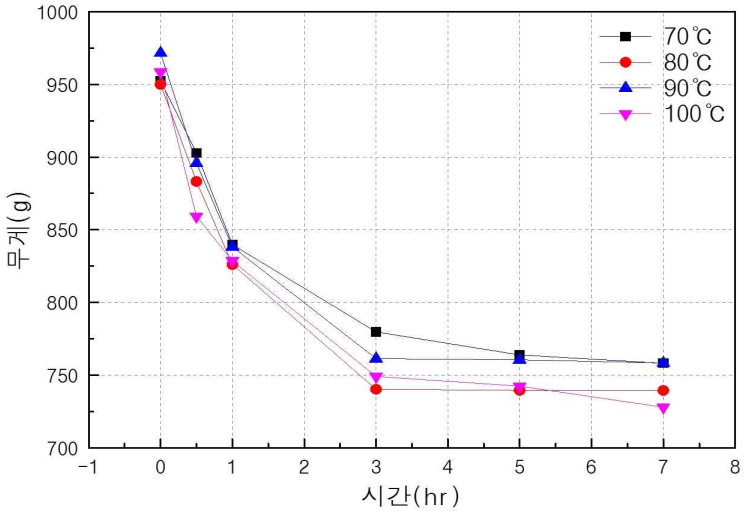


그림 2-19. 건조 온도에 따른 경화 시간

유무기 융합 단열재의 경우 액상의 무기계 함침재를 사용하기 때문에 압착 이후의 표면에 액상이 코팅되어 있는 상태로 일반적인 바닥면 또는 건조기의 바닥에 놓을 경우 경화가 된 후에 바닥면과 붙어 탈착이 어렵게 된다. 그림 2-20에 나타낸 바와 같이 기존 건조기의 받침이 아닌 4종류의 받침대를 적용하여 건조를 시켜본 결과 망으로 된 건조 받침이 가장 효율적으로 탈착이 되고 함침액의 손실이 발생하지 않는 것으로 확인 되었다. 하지만 그림에 나타난 바와 같이 방침대의 문양이 시료에 그대로 나타나는 문제가 있어 철사 형태로 이루어진 받침 또는 석고 이형제를 이용한 방안 등을 고려하여 연구를 진행할 예정에 있다.

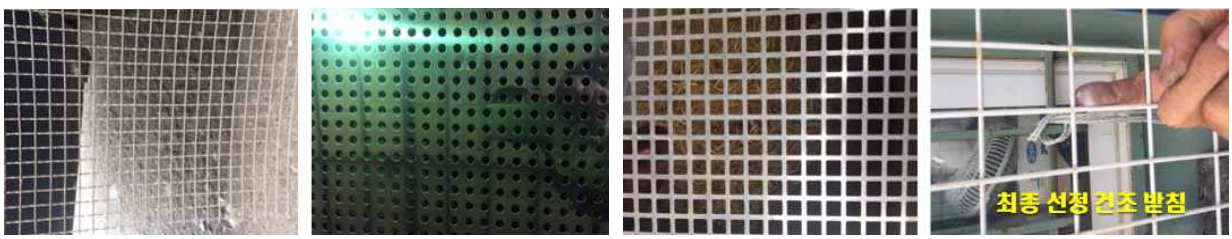


그림 2-20. 유무기 융합 단열재 건조용 받침

(4) 무기계 함침재 조절을 통한 난연성 향상 연구

본 연구에서 개발하고자 하는 유무기 융합 단열재는 국토해양부 고시 제 2015-744호 건축물 마감재료의 난연성능 및 화재확산 방지구조 기준에 명시된 준불연 재료로써, 한국산업규격 KS F ISO 5660-1[연소성능시험-열 방출, 연기 발생, 질량 감소율-제1부:열 방출률(콘칼로리미터법)]에 따른 가열시험 개시 후 10분간 총방출열량이 8 MJ/㎡ 이하이며, 10분간 최대 열방출률이 10초 이상 연속으로 200 kW/㎡를 초과하지 않으며, 10분간 가열 후 시험체를 관통하는 방화상 유해한 균열, 구멍 및 용융(복합자재의 경우 심재가 전부 용융, 소멸되는 것을 포함한다) 등이 없어야 하고 한국산업규격 KS F 2271 중 가스유해성 시험 결과, 실험용 쥐의 평균행동정지 시간이 9분 이상이어야 하는 기준을 만족하는 소재이다. 시제품 밀도 0.3 g/㎤인 단열재의 경우 준불연 기준을 만족하여 정량적 목표를 만족하였으나, 그림 2-21에 나타난 바와 같이 토치에 의한 간이 시험결과 기존 불연 소재로 알려진 미네랄울과 유사한 양상을 나타내는 것으로 확인되어 난연성 향상을 위한 연구를 진행하였다.



그림 2-21. 시제품 및 불연 단열재에 대한 간이 토치 시험

유무기 융합 단열재의 난연성 향상을 위해 사용된 유기계 기재는 앞서 유기계 소재의 선택에서 언급되었던 고경도 유기계 소재를 선택하였으며, 무기계 함침재의 경우 일반 함침용

소재에 비해 점도를 높게 하여 유기계 기재에 많은 양의 함침이 될 수 있도록 조절하였다. 국토해양부 고시에 의하면 불연 재료는 한국산업규격 KS F ISO 1182(건축 재료의 불연성 시험방법)에 따른 시험결과, 가열시험 개시 후 20분간 가열로 내의 최고온도가 최종평형온도를 20 K 초과 상승하지 않아야 하며(단, 20분 동안 평형에 도달하지 않으면 최종 1분간 평균온도를 최종평형온도로 한다), 가열종료 후 시험체의 질량 감소율이 30% 이하여야 하고, 한국산업규격 KS F 2271(건축물의 내장 재료 및 구조의 난연성 시험방법) 중 가스유해성 시험 결과, 실험용 쥐의 평균행동정지 시간이 9분 이상이어야 한다. 본 연구에서 개발된 유무기 융합 단열재의 경우 최종 시제품의 유기계 기재 중량비가 10%를 넘지 않기 때문에 가열 종료 후 질량 감소율 30% 이하라는 기준에 적합하며, 준불연용 단열재의 경우 가스 유해성 시험을 통과하였기 때문에 가열시험 시 최고 온도와 최종평형온도를 20K 초과 상상하지 않을 경우 불연 재료로 사용이 가능할 것으로 판단되어 불연시험을 실시한 결과 표 2-5에 나타낸 바와 같이 불연 재료의 성능에 적합한 것을 확인할 수 있었다.

표 2-5. 유무기 융합 단열재 불연시험 결과

질량감소율 (30% 이내)	온도차 (20K 이내)	비고
24.2%	**11.9K**	**불연 재료 적합**

불연성 시험은 열처리에 따른 중량 및 온도변화 시험과 가스유해성 시험으로 구성되어 있는데, 본 시제품의 경우 성능 평가 결과 준불연 시험에서 가스유해성 적합 판정을 받았기 때문에 불연성 시험에서 제시하는 시험 방법 중 일정 온도에서의 중량 변화율에 대한 간접적인 방법을 적용하여 혼수량 별로 밀도가 다르게 제조된 시제품 6종을 대상으로 시험을 진행 하였다. 시험체는 50×50×30 mm 크기로 절단하여 실제 불연성 테스트에서 사용하는 지름 45 mm, 높이 50 mm의 원형 시료와 비슷한 부피로 만들어 불연 시험에 사용되는 온도인 750℃로 가열된 로에서 20분간 유지 후 전과 후의 중량을 측정하여 질량 감소율을 확인하였다. 불연성 시험 성능을 만족시키기 위한 평가 기준은 시험체의 질량 감소가 30% 이하여야 하는데, 그림 2-22에 나타난 바와 같이 본 시제품의 경우 질량 변화율이 16.68~37.13% 범위로 확인되어 평균 25%로 이하의 수치를 보이는 것으로 확인되었다. 이 방법은 불연성 측정 방법과 동일하지 않지만, 간접적으로 불연성을 확인할 수 있는 방법으로, 앞서 언급된 불연성 시험결과와 유사한 것으로 나타나 향후에도 불연성 확인을 위한 방법으로 활용 가능할 것으로 판단된다. 불연성 시험 중 다른 기준은 20분간 가열로 내의 최고 온도가 최종평형온도를 20K 초과 상승 여부에 대한 기준을 충족시켜야 하는데, 앞선 불연성 시험 결과 11.9K의 결과를 나타내었고, 본 시제품

에는 유사한 유기계 기재가 사용되기 때문에 20K를 넘지는 않을 것으로 판단하여 가열 종료 후의 형태 유지 및 질량 감소의 부분에서는 불연성능을 만족시키는 결과를 통해 불연성능을 갖는 단열재로의 개발 가능성을 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

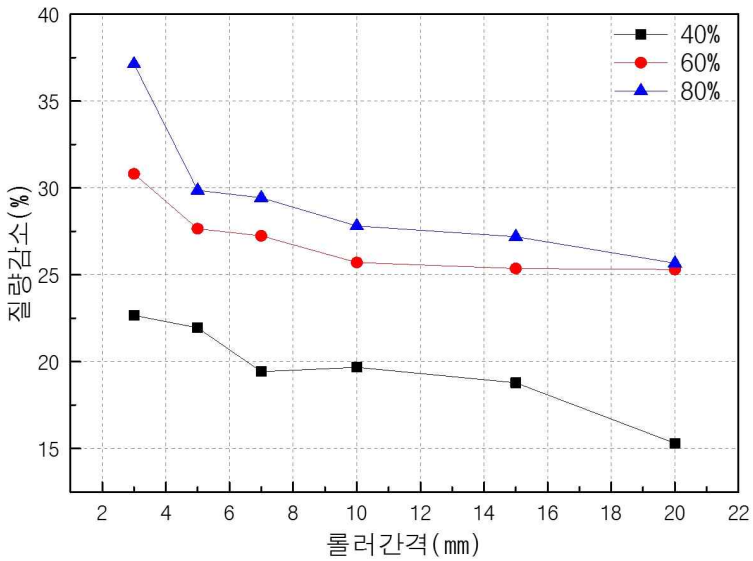


그림 2-22. 750℃ 불연성능 시험 질량 변화 그래프

그림 2-23은 열처리 시험 전과 후의 형태를 나타낸 사진이다. 750℃에서 시험 후에도 시험체의 형태가 유지됨을 확인하였으나, 혼수량에 따라 시험 후 잔여물의 강도가 상이한 것을 확인할 수 있었다. 불연성 시험의 경우 중량변화를 확인하기 때문에 시험 후 중량 측정을 위한 운반 과정에서 시료의 파손 등이 발생할 있어 일정 수준 이상의 강도 유지 또는 시험 지그에 대한 개선이 필요할 것으로 판단된다.

차년도 연구에서는 또한「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제24조 제5항에서 "국토해양부장관이 정하여 고시하는 화재 확산 방지구조"의 경우 수직 화재확산 방지를 위하여 외벽마감재와 외벽마감재 지지구조 사이의 공간을 일정 기준 이상의 재료로 매 층마다 최소 높이 400 ㎜ 이상 밀실하게 채운 것을 말하는데, 그 기준 중 하나인 한국산업표준 KS F 2257-8(건축 부재의 내화 시험 방법－수직 비내력 구획 부재의 성능 조건)에 따라 내화성능을 시험한 결과 15분의 차염성능 및 이면온도가 120K 이상 상승하지 않는 재료로도 사용이 가능할 것으로 판단되어 향후 관련 시험을 진행할 예정이다.

40%	
60%	
80%	

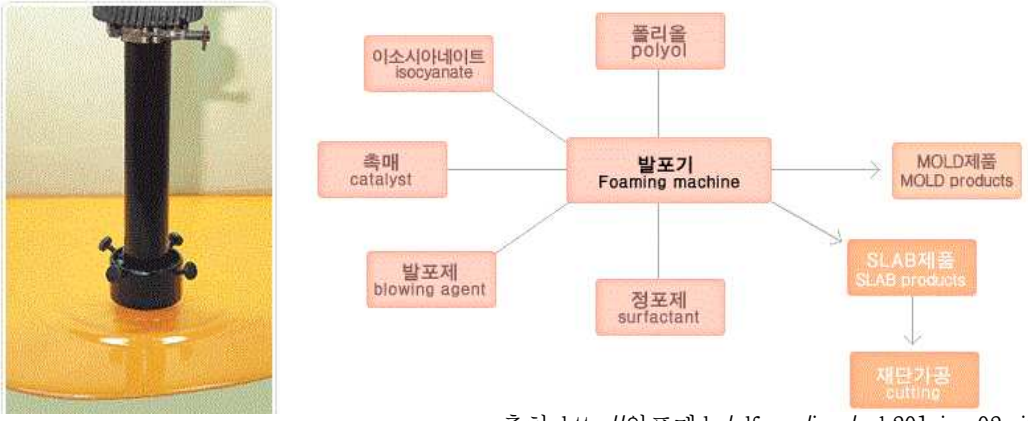
그림 2-23. 750℃ 불연성능 시험(전 후 비교)

나. 열전도율 0.051 W/mK 이하의 준불연 유무기 융합 단열재 개발 (2차년도 연구내용)

(1) 유기계 기재를 통한 유무기 융합 단열재의 물성 제어

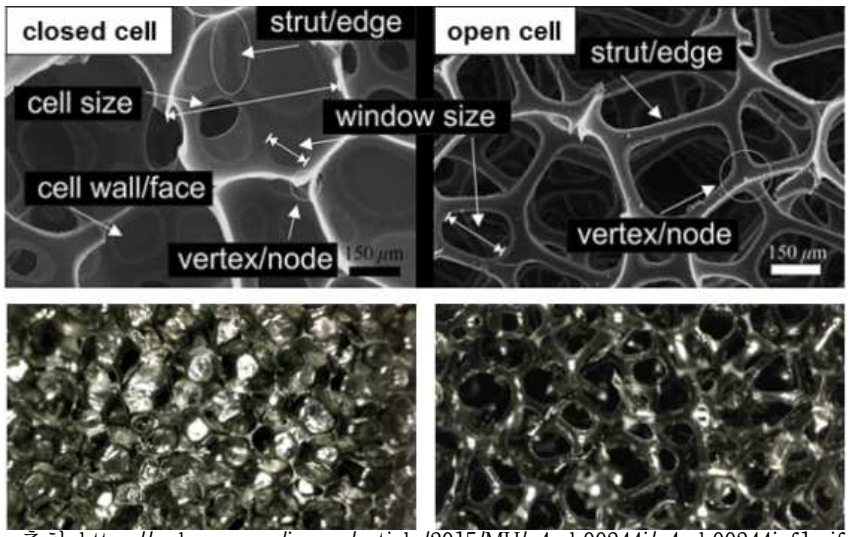
본 연구에서 개발한 유무기 융합 구조의 단열재는 일정 크기로 제어된 기공을 가지는 유기계 다공성 구조체에 무기계 함침제가 코팅 또는 막 형태로 융합되어 있는 구조로, 유기계 기재에 무기계 물질을 함침 시킨 후 압착 또는 감압 공정을 통해 일정량의 무기계 물질을 제거시킨 후 형상복원, 건조 공정을 거쳐 제조한다. 따라서 1차 년도에는 형상제어, 기공제어, 형상 복원력, 함침 용이성 등의 특성을 만족하는 유기계 기재로써 다공질의 합성수지류 중 열린 기공을 가지고 있는 폴리우레탄 계열의 폼을 선정하였고, 시판 폴리우레탄 폼을 대상으로 유무기 융합화를 위한 무기계 함침 소재의 최적 배합비 및 액상 반응 연구를 통해 단열재의 성능을 확보하였다. 하지만 그 이상의 성능 확보에 있어 무기계 함침 소재 및 공정의 제어만으로는 한계가 있으며, 폴리우레탄 폼의 물성 특히 기공 제어의 역할이 매우 크다고 판단되어, 2차 년도에서는 보다 다양한 종류의 폴리우레탄 폼을 적용하여 유기계 기재의 물성이 단열재의 성능에 미치는 영향을 확인하고자 하였다.

일반적으로 스펀지라고 불리는 폴리우레탄 폼은 폴리올, 이소시아네이트, 촉매, 발포제, 계면활성제 등의 배합으로 제조되며(그림 2-24), 그 조성비 및 발포방법에 따라 폼의 역학적 성질을 변화시켜 스펀지의 특성을 결정한다. 단열특성의 경우 폼 내부에 형성된 기공(cell)의 크기, 형상 및 그 분포에 큰 영향을 받는데, 본 연구에서는 폴리우레탄 폼에 대한 제조를 연구내용에 포함시키지 않아 국내 스펀지 회사 중 자체 생산 공장을 보유하고 있는 A 업체로부터 발포 공정 과정에서 기공이 제어되어 cell type 및 size별로 제조된 폴리우레탄 폼을 수급하여 유무기 융합형 단열재에 적용하였다. 스펀지는 기공의 형상에 따라 개기공 형태인 open cell, 폐기공 형태인 closed cell type으로 나뉘며(그림 2-25), 기공의 크기에 따라서는 ppi(pore per inch) 별로 구분할 수 있다[8]. 따라서 open/closed cell type별로 25, 35, 45, 60, 80 ppi의 cell size를 가지는 폴리우레탄 폼을 대상으로 동일한 함침 및 압착 조건을 적용하여 유무기 융합화 실험을 진행하였으며, 각 시료에 대한 미세구조와 열전도율을 측정하여 그 상호 연계성을 확보하였다.



출처 http://알포메.kr/alfome/img/sub201_img02.gif

그림 2-24. 폴리우레탄 폼 제조원료 및 방법



출처 https://pubs.rsc.org/image/article/2015/MH/c4mh00244j/c4mh00244j-f1.gif

그림 2-25. 기공 형상(closed/open cell type)에 따른 폴리우레탄 폼 미세구조

개기공을 갖는 다공체의 열전도도는 $K_{total}=K_s+K_r+K_g+K_c$의 식으로 표현할 수 있다. 여기에서 K_{total}은 다공체의 열전도도, K_s는 고체골격을 통한 열전도도, K_r은 복사에 의한 열전도도, K_g는 기체 분자들의 충돌에 의한 열전도도, 그리고 K_c는 대류에 의한 열전도도이다(그림 2-26). 개기공을 갖는 다공체의 열전달은 $K_s+K_r+K_g+K_c$에 의하여 지배되나 기공 크기가 작을 경우에는 K_r 및 K_g에 의한 영향이 적으며, 일반적으로 대류에 의한 열전도도 K_c는 1기압 하에서 개기공의 크기가 1 mm 이하일 경우 다공체의 전체 열전도도에 큰 영향을 미치지 않는다고 알려져 있다. 폐기공을 갖는 다공체의 열전도도의 경우 K_s+K_r에 의하여 주로 지배되고 K_g 및 K_c는 무시됨으로써 기공율이 크고 기공 크기가 작을수록 열전도도가 낮아진다. 따라서 함침 공정을 통해 기공이 감소되고 폐기공이 다량으로 형성된 유무기 융합 단열재의 열전도도는 $K_{total}=K_s$로

대부분 고체골격을 통한 열전도도에 지배된다고 분석할 수 있으며, 특히 함침량이 많아 밀도가 높은 시료일수록 고형 매개체를 통한 열전달 효과가 높아져 단열특성은 저하된다[9-11].

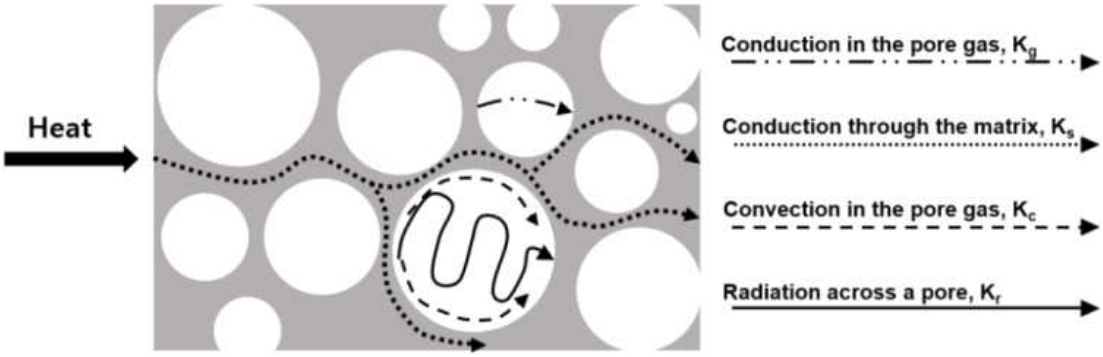


그림 2-26. 다공성 단열재의 열전달 메커니즘

표 2-6와 그림 2-27은 cell type 및 size별 폴리우레탄 폼을 이용하여 제조한 유무기 융합 단열재 시료의 밀도와 열전도율을 측정한 결과이며, 표 2-7은 광학현미경을 이용하여 30, 250 배율에서 미세구조 분석을 실시한 결과이다. 표 2-6과 그림 2-27에서 나타난 바와 같이 전체적으로 ppi가 커질수록 즉 cell size가 작은 시료일수록 열전도율이 낮아지는 즉 단열특성이 향상되는 경향을 보였다. 이는 폼을 구성하는 cell size가 작아짐에 따라 복사에 의한 열전달(K_r)이 억제되어 열전도도가 낮아지는 것으로, 이에 기인한 단열성능 향상 연구는 활발히 이루어지고 있다. 그러나 open cell type의 경우 60 ppi 이상에서 오히려 열전도율이 증가하는 경향을 보이는데, 이는 cell size가 일정 크기 이하로 미세해짐에 따라 함침공정 과정에서 무기계 함침제가 유기계 구조체에 코팅된 후 탈수 공정을 통해 일정량 제거되지 못하고 기공 내부에 잔류하게 되어 열을 전달할 수 있는 매개체(K_s)의 수가 증가했기 때문으로 판단된다. 표 2-7의 open cell type 미세구조 사진을 보면 무기 바인더가 구조체에 균일하게 코팅되어 있는 25, 45 ppi 시료와 달리 80 ppi의 경우 구조체가 아닌 기공 내부에 다량으로 분포되어 있으며, 이에 따라 60 ppi 이상에서 무기계 바인더의 함침량 및 밀도가 급격히 증가되어 열전도율이 커지는 것을 확인할 수 있다. 또한 동일한 ppi에서 cell type별로 비교했을 때 closed cell type 시료에서 열전도율이 훨씬 크게 나타나는데, 표 2-7의 기공 미세구조를 보면 구조체를 감싸고 있는 폐기공막 위에 무기 바인더가 다량으로 적층됨을 알 수 있으며 이로 인해 open cell type보다 훨씬 많은 양의 함침량을 가짐으로써 열을 전달할 수 있는 경로가 더 많아 열전도도가 큰 것으로 판단할 수 있다.

표 2-6. 유기계 기재의 기공물성에 따른 유무기 융합 단열재의 단열특성

기공형상 (cell type)	기공크기 (ppi)	무게 (g)		함침량 (g)	밀도 (g/cm^2)	열전도율 (W/mK)
		함침 전	함침 후			
Open	25	73.60	344.26	270.66	0.13	0.06003
	35	77.98	437.25	359.27	0.16	0.05845
	45	**93.73**	**452.62**	**358.89**	**0.17**	**0.04846**
	60	88.53	582.88	494.35	0.22	0.05678
	80	80.45	620.81	540.36	0.23	0.05983
Closed	25	72.87	724.93	652.06	0.37	0.08129
	35	73.60	701.50	627.90	0.35	0.08000
	45	90.80	683.53	592.73	0.25	0.07156
	60	91.95	513.82	605.77	0.24	0.06881
	80	95.80	937.03	841.23	0.26	0.06795

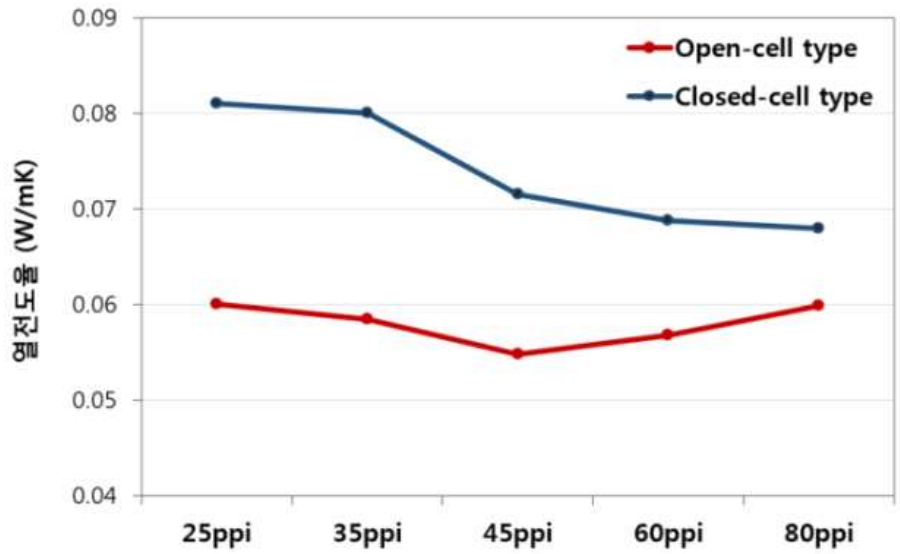
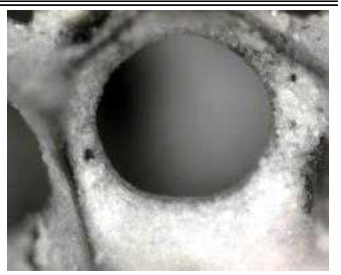
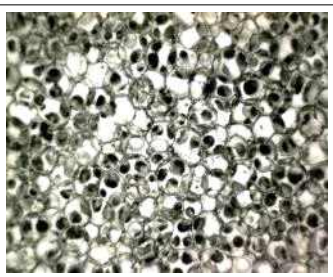
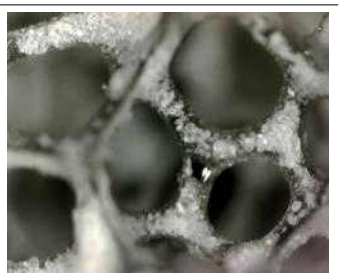
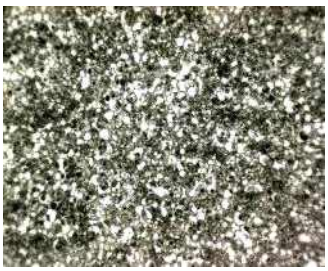
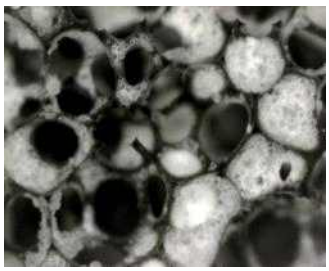


그림 2-27. 유기계 기재의 기공물성에 따른 유무기 융합 단열재의 단열특성

표 2-7. 유기계 기재의 기공물성에 따른 유무기 융합 단열재의 미세구조 특성

Cell type	ppi	함침 전	함침 후	
		30×	30×	250×
Open	25			
	45			
	80			
Closed	25			
	45			
	80			

Devision of Foams			Grade name 제품명	Application					
Production Type 생산 유형	Main Function 주기능	Additional Function 부기기능		Furniture	Automobile	Construction	Electronics	Package	House Holds
Slab	General Foam 일반		A	•				•	•
			AD	•				•	•
			AY	•				•	•
	High Hardness Foam 고경도 제품		AH					•	•
	Soft Foam	Soft HR Foam	ASH	•					•
		Super Soft	ASS	•					•
		Hyper Soft	AHS	•					•
		Extreme Soft	AES	•					•
	Visco Elastic, Slow Recovery	General	ASR	•				•	
		Flame Retardance(난연성)	AFSR	•				•	
		Antibacterial(항균)	ABSR	•					
		High Hardness	ASRH	•				•	
		Temperature Insensitive (온도둔감형)	ALR	•					
			ALRH	•					
			AMSR	•					
		Soft SR Foam	ASRS	•					
	Flame Retardance (난연)	General	AF		•	•	•		
		Soft HR	AFSH		•		•		
		Vehicle	AFV		•		•		
		Soft	AFS		•		•		
		Flame Retardance	AHF		•	•	•		
	Flame Laminate (화염 부착)	Flame Retardance(난연성)	AFL		•	•			
		Non-Flame Retardance(비난연)	ALF		•				•
	High Ventilation(통기성)		AV	•					•
	Low Ventilation(저통기)		AAC		•	•			
			ANP		•	•			
	Green(천연소재)		AHSG	•					•
			AG	•					•
			ASG	•					•
	Reticulated (Large Cell, Filter)	General	ALC	•	•	•			•
		Soft	ASLC	•	•	•			•
		High Hardness	AHLC	•	•	•			•
		Flame Retardance(난연성)	AFLC	•	•	•			•
	Cool	Powder Type	AHSC	•					
			ASRC	•					
		Liquid Type	G2	•					
	Sponge(해면)		ANS	•				•	•
			ASNS	•				•	•
	ANti Static(대전방지)		AAS	•	•	•		•	•
	High frequency Welding(고주파 부착)		AW		•				•
	Brassiere(열성형)		ABA						•
			ABAS						•
	Like Latex		AT	•					
	Cosmetic Carrier(화장품 담지체)		APU						•
Marble			AMB	•					

출처 http://알포메.kr/alfome/sub204.html

그림 2-28. A업체에서 생산 및 시판 중인 기능성 폴리우레탄 폼 제품 리스트

폴리우레탄 폼의 제조 과정에서 원료 배합 시 기능성 첨가제들을 혼합 반응시킴으로써 다양한 종류의 기능성 스펀지의 제조가 가능하다. 보편적으로 가장 많이 사용되는 밀도 및 경도 증진을 위한 첨가제를 비롯하여 통기성, 친수성, 난연성, 방수성 등의 다양한 기능성을 부여하는 첨가제들이 폴리우레탄 폼에 적용되고 있다. 그림 2-28은 국내 3대 스펀지 생산 업체 중 하나인 A업체에서 생산 및 시판 중인 기능성 스펀지의 종류별 기능과 용도를 나타낸 표이다. 본 연구에서는 이러한 다양한 종류의 기능성 폴리우레탄 폼을 수급하여 유무기 융합형 단열재에 적용함으로써 밀도, 미세구조 및 열전도도 등의 물성을 비롯한 함침성 및 작업성 등의

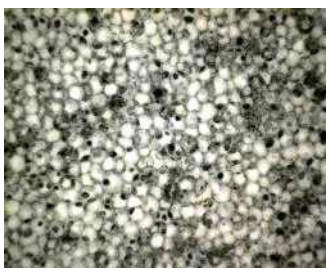
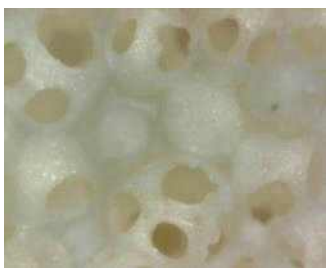
특성들을 비교하고 유기계 기재로써의 적용 가능성을 검토하고자 하였다. 아래 표 2-8은 기능성 폴리우레탄 폼에 따른 유무기 융합 단열재의 함침전후 무게, 함침량, 밀도 및 열전도율을 나타낸 표이며, 표 2-9는 광학현미경을 이용하여 30, 250배율에서 측정한 미세구조 사진이다. 본 연구에서 대상으로 한 기능성 폴리우레탄 폼은 발포 과정에서 촉매와 발포제 및 충진제를 이용하여 밀도를 저, 중, 고밀도로 제어한 20K, 28K, 50K 일반형 스펀지, 경도 증진 첨가제를 이용하여 제조한 고경도 18K 스펀지, 실리콘 정포제의 함량 조절을 통해 기공의 개방 여부를 제어한 통기성, 저통기, 무통기, 메모리형 스펀지, 친수성기 첨가제를 통한 친수성 스펀지 제품이다. 첨가제를 제외한 모든 제조 조건이 동일하게 적용되어 생산된 폴리우레탄 폼이 아닌 시판되고 있는 기성품 위주로 선정한 기능성 폴리우레탄 폼 종류이므로, 유무기 융합 단열재 시제품의 특성 차이를 폴리우레탄 폼의 기능성에만 기인한다고는 볼 수 없으며, 대상으로 한 기능성 폴리우레탄 폼 제품들의 적용 가능성 검토 정도로만 활용할 수 있다.

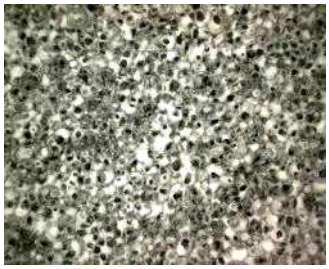
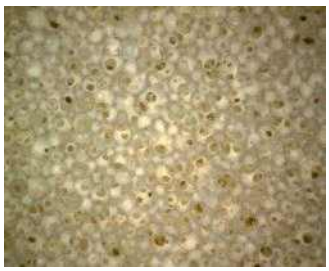
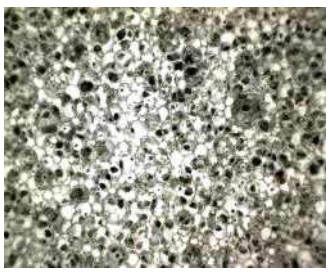
표 2-8을 보면 일반형 스펀지에서 고밀도일수록 함침량이 많고 열전도율이 높게 나타남을 알 수 있다. 밀도가 높다는 것은 폴리우레탄 폼 내부에서 구조체가 차지하는 비중이 크다는 것을 의미하며 이는 무기계 바인더가 코팅될 수 있는 부분이 많다는 것을 의미한다. 표 2-9의 미세구조를 비교해보면 크게 차이나진 않지만 일반 20K, 28K에 비해 50K의 구조체가 더 굵고 촘촘하며 이에 따라 함침 후의 미세구조상 기공율이 낮게 나타남을 확인할 수 있다. 통기성 모델군의 경우 첨가제를 이용하여 개기공율의 비율을 조절한 모델로 통기성, 저통기, 무통기, 메모리 순으로 개기공율이 감소하고 폐기공율이 증가함에 따라 공기의 침투성 및 통기성이 감소되도록 제어한 폴리우레탄 폼 제품군이다. 이와 같은 개기공율의 감소 경향은 표 2-9의 함침전 미세구조 사진을 통해 확인할 수 있으며, 기공 형상에 따른 단열특성에서 고찰했듯이 개기공율이 감소하고 폐기공이 형성됨에 따라 폐기공 막 위에 무기 바인더의 적층으로 인한 함침량 및 열전도율의 증가를 표 2-8에서도 확인할 수 있다. 표 2-9의 무통기 및 메모리 스펀지에 대한 함침 후 미세구조를 보면 표 2-7의 closed cell type의 함침 후 미세구조와 같은 양상을 보인다. 마지막으로 친수성 모델은 무기계 액상 바인더의 함침 공정을 고려하여 폴리우레탄 폼 구조체에 친수성기를 부여한 모델로 기성품이 아닌 본 연구를 통해 개발한 스펀지 모델이다. 유무기 함침 공정에 적용한 결과 의도한 바와 같이 다른 모델들과 비교했을 때 가장 함침성이 우수했으며, 이에 따라 건조 후 최종 시료의 상태에 있어 전체적으로 함침이 균일하게 이루어져 바인더의 구배가 없고 구조가 단단하게 유지되어 있어 제품으로써의 완성도가 가장 높았다. 표 2-9의 함침 후 사진을 보면 무기계 바인더가 구조체에 균일하게 코팅되어 있는 미세구조를 확인할 수 있으며, 표 2-8의 단열특성 또한 0.051 W/mK 급의 양호한 열전도율을 나타냈다.

표 2-8. 기능성 유기계 기재에 따른 유무기 융합 단열재의 단열특성

구분	무게 (g)		함침량 (g)	밀도 (g/cm^2)	열전도율 (W/mK)
	함침 전	함침 후			
일반 20K	**57.7**	**542.65**	**542.65**	**0.201**	**0.05808**
일반 28K	84.7	826.29	826.29	0.306	0.06401
일반 50K	137.7	934.76	934.76	0.346	0.07515
고경도 18K	52.8	642.99	642.99	0.238	0.07059
통기성 30K	**83.85**	**654.25**	**654.25**	**0.242**	**0.04468**
저통기	96.3	892.42	892.42	0.331	0.06323
무통기	70.9	580.91	580.91	0.215	0.06588
메모리 35K	98.00	974.24	974.24	0.361	0.07734
친수성 25K	**55.4**	**623.68**	**623.68**	**0.231**	**0.05196**

표 2-9. 기능성 유기계 기재에 따른 유무기 융합 단열재의 미세구조 특성

기능성	함침 전	함침 후	
	250×	30×	250×
일반 20K			
일반 28K			
일반 50K			

고경도 18K			
통기성 30K			
저통기			
무통기			
메모리 35K			
친수성 25K			

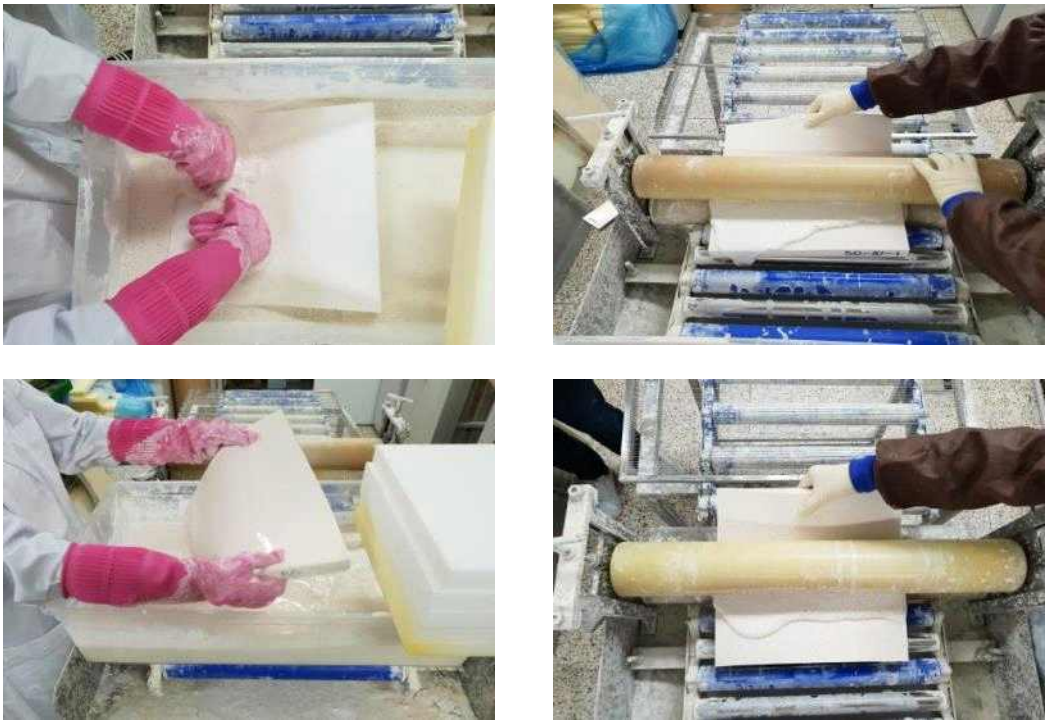
다양한 종류의 폴리우레탄 폼을 대상으로 유무기 융합 단열재의 유기계 기재로써 적용 가능성을 종합 검토해 보면, 밀도 및 열전도율을 비롯한 단열재 물성을 고려하여 open cell type 45ppi, 일반 20K, 통기성 30K, 친수성 25K의 4개의 스펀지 모델을 적용 가능 후보군으로 추릴 수 있다. 1차년도에서 일반형 스펀지를 대상으로 최적화시킨 함침 조건을 동일하게 적용했을 때 각각 0.04846, 0.05808, 0.04468, 0.05196 W/mK의 열전도율을 가진다. 여기서 통기성 스펀지를 적용했을 때 가장 우수한 단열특성을 나타내지만 함침 공정상 구조체의 형상이 유지되지 않아 제품의 치수안정성에 매우 취약한 반면, 친수성 스펀지는 함침성이 우수하여 작업성 및 제품의 품질 상 가장 적합한 유기계 기재로 판단된다. 본 연구의 개발 목표 성능인 0.051 W/mK의 열전도율을 기준으로 각 4개의 후보군 스펀지에 대한 조건 실험을 통해 함침 및 압착 공정 최적화 연구를 진행하였다.

(2) 무기계 함침 소재 적용

무기계 바인더는 유기계 기재에 함침되어 표면과 내부에 난연성을 부여하고 기공을 중심으로 코팅 또는 막을 형성하여 단열성능을 향상시키는 역할을 한다. 이에 1차년도 연구에서는 조건 선정이 비교적 용이하고 경제적, 생산적으로 유리한 상온 경화형 석고계 소재를 기본물질로 선정하였고 소재 차원의 연구로 경화지연제, 유동화제, 수지류를 첨가하여 작업성을 개선하여 혼수량을 줄임으로써 강도를 증진시키고자 하였다. 하지만 연구 결과, 석고계 무기 함침재의 경우 혼수량이 감소할수록 점도가 증가하여 내부까지 균일한 함침이 이루어지지 않았으며 기존에 사용한 유기계기재에서 혼수량의 변화에 따른 밀도의 경향성이 나타나지 않았다. 이에 본 연구의 (1) 유기계 기재를 통한 유무기 융합 단열재의 물성 제어에서 다양한 종류의 유기계 기재에 무기계 함침을 통해 난연성을 부여했지만, 함침량이 증가함에 따라 단열특성이 떨어지는 것을 확인하였다. 따라서 난연성능을 유지할 수 있는 최적의 함침량 및 밀도를 찾는 것이 필요하다고 판단되어, 본 연구에서 앞서 선정된 4종류의 유기계 기재(일반스펀지 AHSM-3W, 친수성 스펀지 AHP, 통기성스펀지 AV-8W, Open cell 45ppi스펀지 ALC9-45)를 대상으로 함침 및 압착 공정을 최적화는 연구를 진행하였다. 이를 통해 밀도, 열전도율, 미세구조, 생산성을 비교하였고, 난연성능을 부여하고 단열 특성을 유지시키는 함침량 및 밀도 조건을 확인하고자 하였다.

(가) 함침 및 압착 공정 최적화

그림 2-29에 함침 및 압착공정을 나타내었다. 함침 시 혼수량은 무기계 함침용액의 점도, 응결시간 및 유기계 기재로의 함침 작업 용이성을 고려한 60%와 80%로 설정하였다. 그 외, 경화지연제와 유동화제는 1차년도 결과에 따라 각각 0.5%씩 첨가했으며, 유기계 기재와 무기계 입자의 결합력을 증진시켜 분진발생을 줄이는 수지류 또한 모든 조건에서 일정하게 5%를 첨가하여 연구를 진행하였다. 압착 공정은 1차년도와 마찬가지로 함침 시킨 시료를 상하로 위치한 2개의 롤러 사이를 통과시킴으로써 함침액을 제거하는 방식을 이용하였으며, 롤러 사이의 간격을 1mm, 3mm, 5mm, 7mm, 10mm로 조절함으로써 밀도 최적화 연구를 진행하였다.



(a) 함침 공정 (b) 압착 공정

그림 2-29. 함침 및 압착공정

① 유기계 기재 종류별 혼수량 및 롤러간격 적용

각 유기계 기재에 적용한 무기계 함침제의 혼수량 및 롤러간격에 따른 밀도와 열전도율을 표 2-10에 나타내었다. 롤러 간격을 1mm로 하였을 때, 일반스펀지의 열전도율은 혼수량 60%일 때 0.04559W/mK, 혼수량 80%일 때 0.04034W/mK로 측정되었다. 친수성스펀지의 열전도율은 혼수량 60%일 때 0.05888W/mK, 혼수량 80%일 때 0.0438.W/mK로 확인되었다. 하지만 롤러간격이 1mm인 경우, 간격이 너무 좁아 압착 공정에서 유기계 기재가 롤러사이를 통과하는데 어려움이 있었고 밀도가 제대로 컨트롤되지 않아 경향이 나타나지 않았다. 또한, 롤러간격이 10mm인

경우에는 일반스펀지의 열전도율은 혼수량에 따라 각각 0.1045W/mK와 0.07182W/mK로 측정되었으며 친수성스펀지의 열전도율은 0.09507W/mK과 0.08900W/mK으로 확인되었다. 10mm 역시 2차년도 목표인 0.051W/mK를 달성하고자 계속 연구를 진행하기에 적합하지 않아 이후 롤러간격은 3mm, 5mm, 7mm로 조정하여 연구를 진행하였다.

표 2-10. 혼수량 및 롤러간격에 따른 시료의 밀도와 열전도율

스펀지 종류	혼수량 / 롤러간격	60%		80%	
		밀도 (g/㎤)	열전도율(W/mK)	밀도 (g/㎤)	열전도율(W/mK)
일반	3mm	0.132	0.04838	0.098	0.04284
	5mm	0.191	0.06071	0.130	0.04891
	7mm	0.270	0.07741	0.219	0.05883
친수성	3mm	0.170	0.04738	0.133	0.04895
	5mm	0.226	0.05098	0.149	0.04980
	7mm	0.313	0.06641	0.242	0.06510
통기성	3mm	0.206	0.04468	0.146	0.04443
	5mm	0.242	0.04772	0.191	0.04322
	7mm	0.337	0.05058	0.254	0.04891
Open cell 45ppi	3mm	0.104	0.04695	0.076	0.04410
	5mm	0.168	0.04846	0.118	0.04642
	7mm	0.277	0.05887	0.229	0.0578

혼수량 및 롤러간격에 따라 일반스펀지의 경우 최소 0.098g/㎤에서 최대 0.270g/㎤의 밀도를 가지는 시료를 제조하였으며 열전도율은 최소 0.04284W/mK에서 최대 0.07741W/mK로 측정되었다. 친수성스펀지의 경우, 0.146g/㎤에서 0.313g/㎤의 밀도를 가지며 열전도율은 최소 0.04738W/mK에서 최대 0.06641W/mK로 일반스펀지보다 밀도는 높고 열전도율은 낮은 결과를 얻을 수 있었다. 이는 유기계 소재의 기능차이로 친수성 스펀지의 경우, 원료 자체의 분자 조직 내 친수기인 OH기가 있어 흡습성과 보수성이 우수하여 밀도가 높은 것으로 판단된다. 통기성스펀지는 혼수량 80%, 롤러간격 3mm에서 가장 낮은 열전도율 0.04443W/mK을 나타내었으며 최대 0.05058W/mK로 가장 좋은 열전도율을 갖는 것으로 확인되었다. Open cell 45ppi의 스펀지로는 최소 0.04410W/mK에서 0.05887W/mK의 열전도율을 갖는 시료를 제조할 수 있었다. 이를 통해서 스펀지의 종류에 상관없이 혼수량이 많을수록, 롤러간격이 좁을수록 밀도와 점도가 낮아 열

전도율이 좋아졌음을 알 수 있었다.

② 최적 유기계 기재 선정

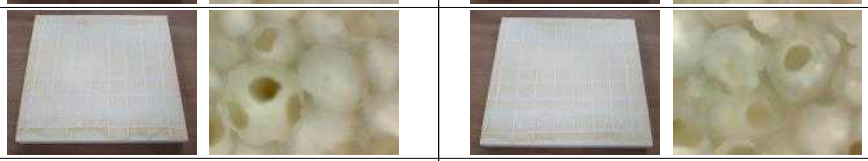
혼수량 및 롤러간격으로 조건실험을 수행한 결과뿐만 아니라 시료의 외관, 작업의 용이성은 유기계 기재를 선정하는데 있어서 중요하다. 따라서 이를 비교하기 위해 표 2-11에 일반스펀지, 친수성스펀지, 통기성스펀지, Open cell 45ppi 스펀지에 혼수량 및 롤러간격을 적용한 조건실험결과 시료의 외관 사진을 나타내었다. 일반 스펀지의 경우, 표 2-10에서 알 수 있듯이 혼수량 60%, 롤러간격 5mm 조건일 때부터 열전도율이 0.06W/mK로 목표로 하는 열전도율 값을 초과하였다. 또한, 1차년도 연구와 같이 밀도 구배가 나타나 롤러의 간격이 커질수록 건조받침대의 자국이 심하게 나타났다. 이는 현미경 사진을 통해서도 확인이 가능하였다. 3mm의 롤러간격으로 압착한 경우, 혼수율 60%, 80% 모두 유기계 기재 전체에 함침이 되지 않고 골격에만 코딩된 모습을 나타났다. 5mm, 7mm로 롤러간격이 커질수록 유기계 기재 전체에 무기계 물질이 함침된 것을 확인하였다. 밀도 구배 현상은 함침액의 혼수량 및 함침 대상인 유기계 기재의 밀도나 기공의 형상 및 분포에 영향을 받으며, 유기계 기재 4종류 중에서는 일반 스펀지에서만 나타나 유기계 기재로 선정하기에 적합하지 않다고 판단된다. 통기성 스펀지의 경우에는 모든 혼수량 및 롤러간격 조건에서 가장 좋은 밀도와 열전도율을 나타내었다. 이는 개기공율이 높아 열전달의 매개체 역할을 하는 고체 골격과 폐기공 막 위에 적층되는 무기 바인더의 양이 적어 열전달 효과가 떨어지기 때문으로 현미경 사진을 통해 파악할 수 있다. 그러나 함침 공정 시 유기계 기재가 늘어나기 시작하여 압착 공정을 거치면서 휨 현상이 발생하고 타 스펀지와 비교하여 약 1.25배 정도 늘어남을 확인하였다. 함침 및 압착 후 통기성 스펀지의 외관이 변형된 모습과 및 친수성 스펀지와의 크기 비교 사진을 그림 2-30에 나타내었다. 이와 같이 통기성 스펀지의 경우 치수안정성에 취약한 단점이 있어 유기계 기재로 선정하기에 부적합 하다고 판단된다.



그림 2-30. 통기성 스펀지의 외형변화

표 2-11에서 Open cell 45ppi 스펀지의 경우, 무기계 함침액이 균일하게 함침 되지만 동시에 많은 양이 개기공을 통해 빠져나와 밀도가 낮고 바닥부분의 쏠림현상이 가장 심하게 나타났다. 롤러간격 7mm, 혼수량 60%의 현미경 사진을 보면, 무기계 함침액이 유기계 기재의 골격까지 모두 덮어 응집되어있는 모습을 확인할 수 있다. 또한 가격측면에서 경제성이 좋지 않아 유기계 기재로 선정하기 부적합하다고 판단하였다. 마지막으로 친수성 스펀지의 경우, 혼수량 60%, 롤러간격 5mm 조건에서도 열전도율이 목표치인 약 0.051W/mK로 함침 및 압착공정 최적화에서 고찰했듯이 일반스펀지와 비교하여 밀도는 높으면서 열전도율은 낮게 나타났다. 이는 폴리우레탄 폼 구조체에 친수성기를 부여하여 작은 기공 조직에 의해 강한 모세관 현상이 발생하며, 이로 인해 무기계 함침액을 더 잘 흡수하기 때문으로 판단된다. 현미경으로 확인한 결과 친수성 스펀지는 타 스펀지 대비 기공의 크기가 균일하며, 롤러간격 5mm, 7mm에서 함침 또한 균일하게 이루어졌다. 시료의 외관상으로도 함침이 균일하게 이루어져 무기 바인더의 구배가 나타나지 않았으나 유기계 기재의 색이 검은색이기 때문에 얼룩이 많은 것처럼 나타났다. 이는 스펀지 자체의 색을 화이트로 변경하여 해결할 수 있을 것으로 판단하였으며, 화이트 친수성 스펀지를 대상으로 혼수율 60%, 롤러간격 5mm로 제작한 유무기 융합 단열재의 최종 제품을 그림 2-31에 나타내었다.

표 2-11. 유기계 기재별 무기계 물질이 함침된 형상

스펀지 종류	혼수량 / 롤러간격	60%	80%
일반	3mm		
	5mm		
	7mm		
통기성	3mm		

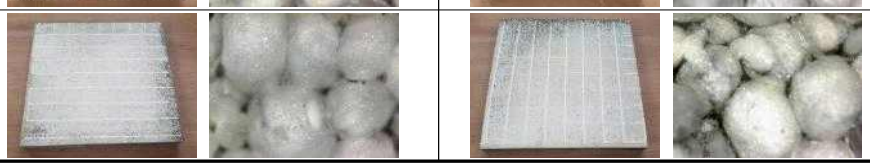
	5mm		
	7mm		
Open cell 45ppi	3mm		
	5mm		
	7mm		
친수성	3mm		
	5mm		
	7mm		



그림 2-31. 친수성 스펀지를 이용하여 제작한 시제품 사진

③ 친수성 스펀지의 밀도에 따른 열전도율

앞선 연구에서 시편의 밀도 및 열전도율, 시료의 외관, 경제성 모두를 종합하였을 때, 유·무기 복합 단열재로 개발하기에 가장 적합한 유기계 기재로 친수성 스펀지를 선정하였다. 본 연구에서는 선정된 친수성 스펀지 50개를 대상으로 혼수량을 60%로 고정한 채 롤러간격을 1mm, 3mm, 5mm, 7mm, 9mm로 조절하여 압착 조건을 최적화 하는 연구를 진행하였다. 표 2-12에 롤러간격에 따른 밀도 및 열전도율을 나타내었으며, 이를 바탕으로 그림 2-32에 밀도에 따른 열전도율의 변화를 나타내었다. 롤러간격이 커질수록 유기계 기재에 함침되는 무기계 함침액의 양이 많아지고 밀도가 증가하였다. 또한 무기계 함침액은 유기계 기재 내부에서 열을 전달하는 매개체 역할을 하여 밀도가 증가할수록 열전도율도 증가하는 경향이 나타났다. 롤러간격을 1mm로 설정할 경우 0.087g/㎤에서 0.133g/㎤ 범위의 밀도로 최소 0.04021W/mK에서 최대 0.04908W/mK의 열전도율을 갖는 시료를 생산할 수 있었다. 하지만 앞선 연구에서 언급하였듯이 롤러간격이 너무 좁아 무기계가 함침된 유기계 소재를 압착하는 공정에 어려움이 있고 밀도가 제대로 컨트롤되지 않아 밀도에 따른 경향을 파악할 수 없었다. 롤러간격을 3mm로 설정할 경우 밀도는 0.142g/㎤에서 0.179g/㎤로 나타났고 열전도율은 평균 0.04840W/mK으로 측정되었다. 하지만 3mm의 경우도 1mm보다는 개선되었지만 작업성이 떨어지고, 특히 무기계 함침량이 부족하여 경도 및 치수안정성이 떨어져 시료가 휘어지는 등 외관상 품질이 미흡하였다. 롤러간격을 5mm로 설정할 경우에는 0.184g/㎤에서 0.195g/㎤의 밀도를 갖는 시료를 생산할 수 있으며, 이때의 열전도율은 평균 0.05005W/mK로 개발목표 기준치인 0.051W/mK 이하로 나타났다. 롤러의 간격을 7mm로 설정할 경우 밀도는 0.207g/㎤에서 0.257g/㎤이며 열전도율은 최소 0.05241W/mK에서 최대 0.06950W/mK로 넓은 분포로 나타났다. 롤러간격을 10mm로 설정할 경우에도 마찬가지로 열전도율의 분포가 넓으며 평균 0.06521W/mK, 밀도는 0.275g/㎤에서 0.333g/㎤을 갖는 것을 확인하였다. 그림 2-32에 나타난 바와 같이 0.051W/mK 이하의 열전도율 값(빨간색 실선)을 가지는 시료는 0.20g/㎤ 이하의 밀도를 가지며, 밀도가 너무 낮을 경우 무기계 바인더 함침량이 부족하여 난연성 및 강도의 성능뿐만 아니라 공정상의 작업성 및 외관상의 품질이 떨어짐을 확인하였다. 따라서 친수성 스펀지를 대상으로 혼수량 60%일 때 최적 밀도 범위는 약 0.18g/㎤-0.20g/㎤이며, 이를 제조하기 위한 롤러간격은 5mm가 적합하다고 판단된다.

표 2-12. 롤러간격에 따른 밀도 및 열전도율

롤러간격		밀도(g/㎤)	열전도율(W/mK)
1mm	1	0.087	0.04187
	2	0.095	0.04021
	3	0.111	0.04380

	4	0.114	0.04908
	5	0.119	0.0479
	6	0.122	0.04173
	7	0.125	0.04120
	8	0.129	0.04705
	9	0.131	0.04395
	10	0.133	0.04217
3mm	1	0.142	0.04664
	2	0.149	0.04519
	3	0.155	0.04895
	4	0.162	0.04782
	5	0.165	0.0479
	6	0.166	0.05308
	7	0.17	0.05035
	8	0.171	0.04554
	9	0.175	0.05114
	10	0.179	0.04736
5mm	1	0.184	0.05101
	2	0.188	0.05012
	3	0.19	0.0456
	4	0.193	0.04895
	5	0.193	0.05294
	6	0.196	0.05170
	7	0.199	0.04790
	8	0.201	0.05087
	9	0.202	0.05034
	10	0.195	0.05104
7mm	1	0.207	0.05241
	2	0.222	0.05490
	3	0.226	0.05613
	4	0.231	0.05308
	5	0.235	0.06162
	6	0.239	0.05705
	7	0.242	0.06544
	8	0.245	0.05294
	9	0.25	0.06383
	10	0.257	0.06950
9mm	1	0.275	0.06510
	2	0.277	0.05901
	3	0.283	0.06274
	4	0.296	0.07105
	5	0.306	0.06383
	6	0.307	0.06950
	7	0.314	0.06510
	8	0.325	0.06311
	9	0.329	0.06544
	10	0.333	0.06720

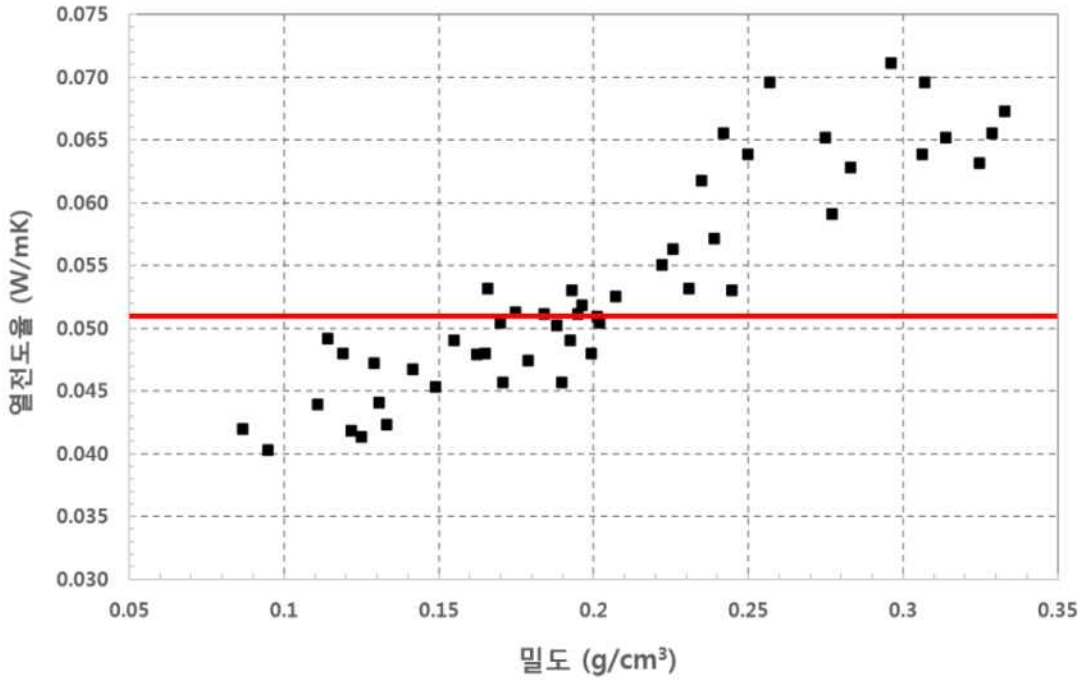


그림 2-32. 밀도에 따른 열전도율 변화

(나) 소재 기능성 부여를 위한 첨가제 적용

함침 및 압착조건 최적화 연구를 통해 유무기 융합 단열재의 밀도 즉, 함침된 무기계 바인더의 양에 따라 열전도율이 변하는 것을 확인하였다. 이에 본 연구의 목표 열전도율인 0.051W/mK에 맞추어 혼수율 및 압착조건을 60%, 5㎜로 선정하였다. 사실상 열전도율은 혼수율 80%일 때가 더 좋게 측정되었으나 경도 및 강도가 낮아 제품으로서의 형상유지가 되지 않는 문제점이 있었다. 이처럼 개발한 유무기 복합 소재는 무기계 함침재의 함침양이 적을수록 열전도율이 좋지만 경도가 낮았다. 또한, 난연성을 부여하고 경도를 높이고자 무기 함침재의 양을 늘리면 열전도율이 높아지는 문제가 있다. 이에 첨가제를 적용하여 무기 함침재의 함량은 줄이되 경도와 밀도는 유지시키는 연구를 진행하였다. 첨가제로는 주로 건물의 내・외장 마감, 타일시공 등에 사용되는 백시멘트로 선정하였다.

백시멘트는 고순도의 원료를 사용하여 조기강도가 높고 내구성이 우수하여 개발한 무기 함침재에 추가로 혼합하여 소재의 기능성을 부여하고자 하였다. 따라서 본 연구에서는 무기계 함침재의 기본 물질과 경화지연제, 유동화제의 혼합비율은 유지한 채 혼수량을 80%로 설정하고, 백시멘트의 첨가량을 증가시켜 실험을 진행하였다. 백시멘트의 함량은 2%에서 30%까지 변화시켰으며 100×100×30㎜의 유기계 기재를 대상으로 함침, 압착 및 건조를 진행하였다. 먼

저, 백시멘트 함량이 2%, 5%, 10%일 때에는 기존 유무기 융합 단열재와 비교하여 강도 및 경도가 크게 증진되지 않아 형상유지가 되지 않았다. 또한, 백시멘트의 함량이 30% 이상일 경우 혼수율 60%일 때와 무기계 바인더의 양과 같아지기 때문에 첨가제로서의 의미가 없어진다. 이에 백시멘트 첨가량을 15%, 20%, 25%로 조정하여 300×300×30m 크기의 유기계 기재에 적용하였고, 열전도율을 측정하여 백시멘트 첨가 전 혼수율 80%일 때와 비교하여 실제로 경도는 높이면서 열전도율은 유지시키는지 확인하였다. 그림 3-10을 통해 백시멘트 첨가 전 후의 유무기 융합 단열재의 경도를 알 수 있다. 혼수율 80%일 경우, 기존 무기물질의 함량이 낮아 그림 2-33의 왼쪽사진과 같이 무거운 공을 올려두었을 때 형상이 유지되지 않는다. 하지만 오른쪽 사진과 같이 백시멘트를 첨가할 경우, 같은 혼수율에도 단열재의 강도 및 경도가 증진되어 형상이 유지되는 것을 확인하였다. 열전도율은 백시멘트를 15% 첨가하였을 때 0.04689W/mK, 20% 첨가하였을 때는 0.05069W/mK, 25%첨가하였을 때는 0.04880W/mK로 측정되었다. 이는 함침 및 압착 공정 최적화 연구에서 친수성스펀지를 대상으로 무기계 함침액을 적용한 혼수율 80%일 때의 열전도율 약 0.049W/mK와 유사한 결과이다. 따라서 혼수율을 80%로 선정하여도 백시멘트를 15~25%까지 첨가하면 경도 및 강도는 증진시킬 수 있으며 목표인 열전도율 약 0.051W/mK를 달성할 수 있음을 확인하였다.



그림 2-33. 백시멘트 첨가에 따른 경도 및 강도 증진효과

(3) 유무기 융합화 공정 업그레이드 연구

(가) 진공함침장치의 적용

1차년도에서 일정 수준 이하의 혼수량에 의해 높은 점도의 함침액을 시료 내부까지 균일

하게 함침시킬 수 있는 방안으로 진공함침 공정을 제안하였고, 진공 데시케이터를 활용하여 소형 시료를 대상으로 한 간이 실험 결과를 통해 진공함침의 가능성을 제시하였다. 2차년도에서는 함침 대상 물질을 함침액에 넣고 진공 상태를 유지시켜 시료 내부의 공기를 빼내고 그 공간에 함침액을 밀어 넣어 주는 진공함침 개념에 기인하여 300×600×30 mm 크기의 시제품 연속생산이 가능한 용량의 함침챔버 및 진공설비를 갖춘 진공함침장치를 설계 및 제작하여 실제 유무기 융합형 단열재 생산 공정 적용성에 대한 연구를 진행하였다.

그림 2-34은 본 연구를 통해 직접 설계하고 자체 제작한 진공함침장치를 도시한 그림 및 사진을 나타낸다. 진공함침장치는 양쪽 2개의 함침챔버와 함침챔버 상호 간 진공을 잡아주는 감압 진공펌프로 구성된다. 먼저 제1함침챔버에 유기계 기재를 넣고 제2함침챔버에는 무기계 함침액을 투입하여 밸브들을 모두 잠근 다음, 유기계 기재가 장입된 제1함침챔버에 진공펌프로 압력을 가하여 진공상태로 만들고 연결관의 개폐밸브를 열면 제2함침챔버에 있는 함침용액이 연결관을 통해 제1함침챔버로 이동하면서 유기계 기재 내부로 무기계 바인더가 침투하여 균일하게 분포되도록 하는 시스템이다. 함침 이후에는 제2함침챔버에 유기계 기재를 장입하여 제2함침챔버에 압력을 가하면 제1함침챔버에 남아있던 함침액을 재사용 할 수 있으며, 이로써 함침의 연속성 공정이 가능해지면서 제품 생산 시간의 단축과 폐액의 최소화가 가능해질 수 있도록 설계하였다.

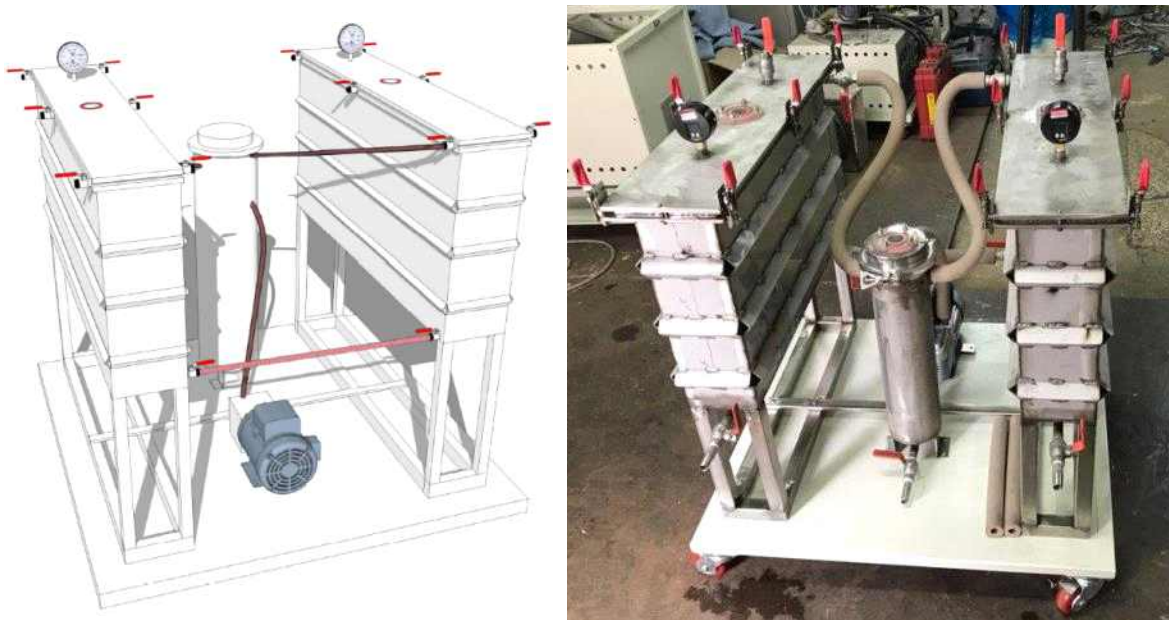


그림 2-34. 진공함침장치 도식도 및 사진

그림 2-35는 이와 같은 진공함침장치를 이용하여 실제 함침공정을 진행한 사진이다. 함침챔버는 300×600×30 mm 크기의 유기계 기재가 5개까지 장입 가능한 용량을 가지므로, 1 batch당 5개 유기계 기재의 동시 함침이 가능하였다. 또한 양쪽 2개의 함침챔버 상호 간 진공을 잡아주는 감압 진공펌프를 통해 번갈아가며 진공을 걸어줌에 따라 함침액이 양쪽의 함침챔버를 오고가며 함침의 연속성 공정이 가능하였다. 하지만 함침챔버에 완전히 진공을 잡는데 걸리는 시간과 무기계 함침액이 유기계 기재 내부까지 충분히 침투되는 데 걸리는 시간, 진공을 역으로 걸어 함침액을 이동시키는 시간 등을 포함하여 1 cycle에 약 30분 이상 소요됨으로써 무기계 함침액의 경화 문제로 연속식 공정을 원활하게 진행하는 데에는 한계가 있었다. 그러나 이러한 공정시간의 경우 감압 진공펌프의 성능에 좌우되는 인자이므로 설비 보완 등을 통해 충분히 개선될 수 있는 부분이라고 판단되며, 또한 혼수량에 따른 함침액의 점도와 유기계 기재의 기공 물성에 따라서도 큰 영향을 받는 만큼 이에 대한 조건 최적화 연구는 앞으로 진공함침장치를 활용하는 데 있어 필수적으로 수반되어야 한다. 진공함침장치는 수동함침이 어려운 낮은 혼수량의 함침조건을 가지는 고밀도 유사불연 제품 응용의 목적뿐만 아니라 제품의 대량 생산 및 양산화 단계에서 동시함침 및 연속공정을 통한 생산시간 절감 및 폐액 재활용의 가능성을 고려했을 때 생산효율 향상의 목적으로도 그 활용가치가 충분하다고 판단된다. 2차년도에서 진공함침장치 사전시험을 통해 함침챔버 내부로의 함침액 충진, 연결관 내부 세척, 압착공정 단계로의 효율적인 이동 등 실제 공정에 적용했을 때 나타나는 문제점들을 파악하였고, 3차년도에서는 해당 문제점들을 개선함으로써 진공함침장치의 조건을 확립하고 진공함침 공정조건 최적화 연구를 진행할 예정이다.

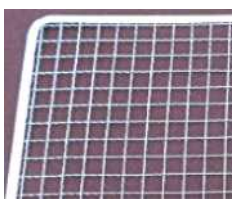
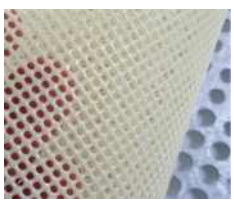


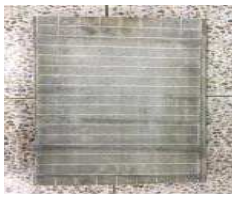
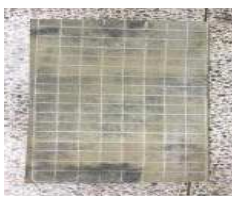
그림 2-35. 진공함침장치를 이용한 함침공정 시험

(나) 건조공정 개선

함침, 압착 공정을 거친 시료는 액상의 무기계 함침액이 유기계 기재 표면에 코팅된 상태로 건조기 받침대에 놓아 건조시킨다. 따라서 건조 시 중력에 의해 함침액에 쏠림현상이 발생하여 구배가 생기며 완전히 경화된 후에도 시료가 받침대와 붙어 탈착에 어려움이 있었다. 이는 1차년도 연구에서도 언급되었던 문제점으로 이를 개선하고자 본 연구에서는 기존에 사용한 격자철망의 소재를 실리콘으로 변경하여 연구를 진행하였다. 격자의 유무 및 크기 또한 결과에 영향을 줄 것이라 판단하여 기존에 사용하던 격자철망과 시판되고 있는 격자가 없는 실리콘시트, 1mm × 2mm의 격자가 있는 실리콘메쉬망, 2mm × 3mm의 격자가 있는 실리콘메쉬망 총 4종류를 대상으로 연구를 진행하였다. 또한, 유기계 기재에 함침되는 무기계 함침액의 양이 많을수록 쏠림현상이 강하게 발생하므로 이를 극대화하여 영향을 확인하고자 롤러간격을 5mm에서 20mm로 조절하였다. 실험결과는 표 2-13에 나타내었다. 예상했던 바와 같이 롤러간격이 증가함에 따라 유기계 기재에 함침된 무기계 함침액의 양이 많아졌고, 건조 받침대의 영향을 크게 받았다. 격자철망의 경우 롤러간격이 커질수록 건조된 시료가 철망에 붙어 탈착이 어려웠으며 쏠림현상으로 바닥면에 무기계 함침액이 고여있는 현상이 나타났다. 실리콘 소재의 받침대의 경우 롤러간격을 20mm로 설정하여도 건조된 시료가 붙지 않아 탈착이 쉬웠다. 하지만 바닥면에 고인 무기계 함침액의 탈수가 제대로 진행되지 않아 구배가 심하고, 특히 실리콘 소재의 특성상 실리콘 받침만으로는 스펀지의 형상유지에 어려움이 있었다. 실리콘 건조받침 아래로 지지대 역할을 해주는 받침이 필요하며, 받침대의 문양이 시료에 그대로 나타나거나 시료 자체의 휨 현상이 나타났다.

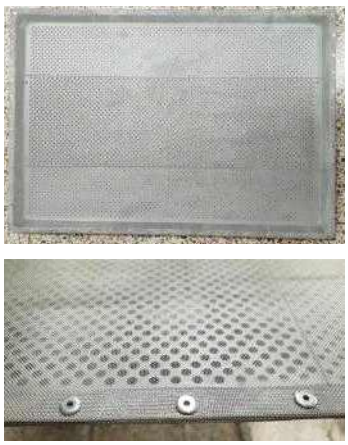
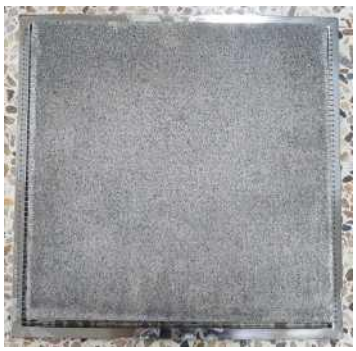
표 2-13. 건조받침대 종류에 따른 시료의 외관

건조받침대 / 롤러 간격	격자철망	실리콘시트	실리콘메쉬망 (1mm × 2mm)	실리콘메쉬망 (2mm × 3mm)
				
5 mm				

10 mm				
15 mm				
20 mm				

유무기 융합 단열재의 형상유지 문제로 실리콘 소재의 받침대 또한 적합하지 않다고 판단하여 격자철망을 사용하되 격자의 크기를 변화시켜 건조공정을 진행하였다. 철망의 경우 격자 크기에 따라 시판되는 제품이 없어 자체 제작하였다. 제작품 1은 얇은 철사를 좁은 간격으로 직교시켜 방충망 형태로 기존 건조기 받침에 부착한 것이고, 제작품 2는 SUS 와이어 줄을 일렬로 엮어 제작하였다. 두 종류의 받침대를 이용하여 무기계 바인더가 함침된 유기계 기재를 건조시킨 결과를 표 2-14에 나타내었다. 제작품 1과 제작품 2 모두 유무기 융합 단열재와 건조받침대의 탈착에 어려움이 없었으나 제작품1 받침대의 경우, 무게가 무거워질수록 그 무게를 감당하지 못하고 휘어질 위험이 있다고 판단되었다. 제작품 2 받침대의 경우에는 시료의 무게에 상관없이 형상을 유지시켜주며 건조받침대의 형상이 유무기 융합 단열재에 나타나지 않는 것을 확인하였다. 따라서 추후 실험은 건조공정에 제작품2를 적용할 예정이다. 표 2-14의 최종은 제작품 2의 크기를 건조기에 맞추어 크게 제작한 사진이다.

표 2-14. 자체 제작한 건조 받침대 종류에 따른 시료의 외관

	제작품 1	제작품 2	최종
받침대		 	
시제품			

(4) 2차 년도 개발 시제품에 대한 성능평가 결과

(가) 열전도율

열전도율은 단열재의 성능을 나타내는 가장 중요한 지표라고 할 수 있다. 열전도율, 열관류율, 열저항의 용어로도 표현되는데, 열전도율은 두께가 1 m인 재료의 열전달 특성을 나타내며 W/mK 혹은 kcal/mh℃ 로 표현한다. 열전도율은 단위 두께에 대한 열적 특성으로 단위 두께에서 커지게 되면 열관류율로 표현하게 된다. 따라서 열관류율의 단위는 W/m^2K로 열전도율÷두께=열관류율이 된다. 복합재료의 경우 열전도율을 구하기 위해 열저항을 알아야 한다. 열저항은 m^2K/W이며, 1÷열관류율로 열관류율의 역수이다. 따라서 두께÷열전도율=열저항으로 구할 수 있고, 복합재료의 열관류율은 각각 재료의 열관류율의 합산으로 적용할 수 없기 때문에 열저항의 합계를 구한 후 역수를 구해 알 수 있다.

2차 년도에서 개발한 단열재의 밀도에 따른 열전도율 차이를 확인한 결과를 표 2-15와 그림 2-36에 나타냈다. 롤러 간격에 따라 최소 0.087 g/cm^{3}에서 0.333 g/cm^{3}의 밀도를 가지는 시료를 제조할 수 있었으며, 롤러 간격이 증가함에 따라 밀도 및 열전도율 특성이 증가하는 경향을 나타내는데, 이는 롤러 간격이 커질수록 유기계 기재에 함침되는 무기계 함침량이 많아지기 때문이며 함침된 무기계 소재는 유기계 기재 내부에서 열을 전달하는 매개체 역할을 하므로 밀도가 증가할수록 열전도율도 함께 증가하는 것으로 판단된다. 이론적으로 개기공을 갖는 다공체의 열전도율은 고체골격을 통한 열전도율, 복사에 의한 열전도율, 기체 분자들의 충돌에 의한 열전도율, 그리고 대류에 의한 열전도율 인자로 구성되는데, 함침 공정을 통해 기공이 감소되고 폐기공이 다량으로 형성된 유무기 융합 단열재의 열전도율의 경우 대부분 고체골격을 통한 열전도율 인자에 지배된다고 볼 수 있으며, 함침량이 많아 밀도가 높은 시료일수록 고형 매개체를 통한 열전달 효과가 높아져 단열특성은 저하되는 것으로 판단된다.

표 2-15. 공정 조건에 따른 밀도 및 열전도율

혼수량 (%)	롤러 간격 (mm)	밀도 (g/cm^3)	열전도율 (W/mK)
60	1	0.087~0.133	0.04021~0.04217
	3	0.142~0.179	0.04519~0.05308
	5	0.184~0.202	0.04560~0.05294
	7	0.207~0.257	0.05241~0.06544
	9	0.275~0.333	0.05901~0.07105

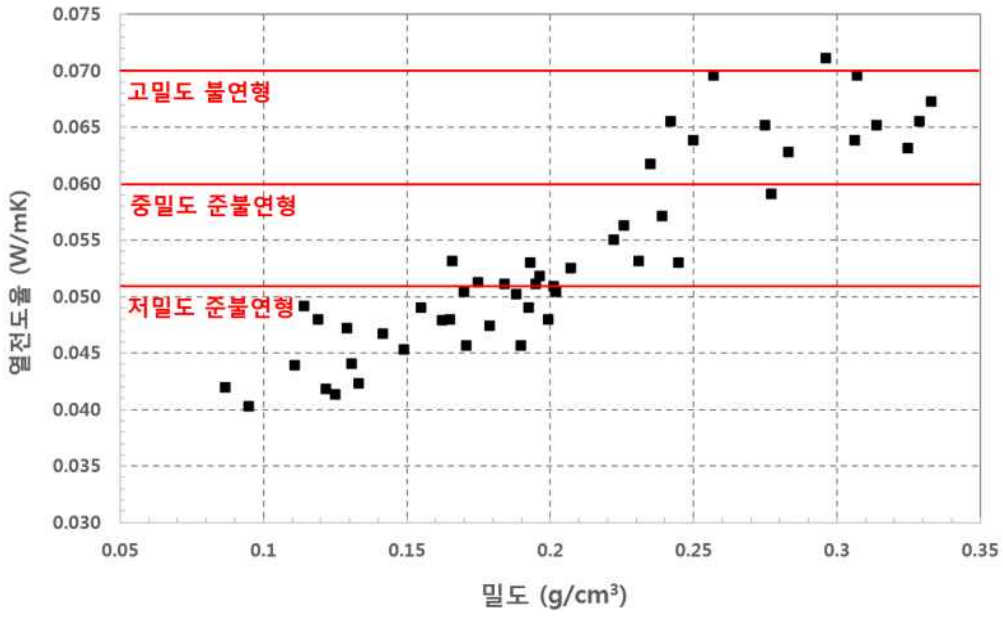


그림 2-36. 밀도에 따른 열전도율 변화

본 연구에서 개발한 유무기 융합 단열재의 경우 밀도 조절이 용이하기 때문에 특정 열전도율에 맞게 제작이 가능해 다양한 용도에 맞는 단열 소재 제작이 가능할 것으로 예상된다. 그림 2-36에 나타낸 바와 같이 적용 용도에 따라 밀도 및 열전도율 범위를 3가지 유형으로 구분하였으며, 불연성을 요구하는 방화문, 화재확산방지재 용도의 고밀도 불연형(0.25~0.35 g/cm^3), 천장재, 벽체 등 외단열에 적용 가능한 0.060 W/mK 이하의 중밀도 준불연형(0.20~0.25 g/cm^3), 높은 단열성능을 요구하는 아파트용 AD/PD(Air Duct/Pipe Duct) 등 내단열 용도로 열전도율 0.051 W/mK 이하 저밀도 준불연형(0.15~0.20 g/cm^3)으로 구분하였다. 표 2-15를 통해 각 유형별 성능에 부합하는 단열재 공정 조건을 제시할 수 있으며, 혼수량 60%의 함침 조건을 기준으로 고밀도 불연형은 롤러 간격 9 mm, 중밀도 준불연형은 7 mm, 저밀도 준불연형은 3~5 mm의 압착 조건으로 생산 가능하다. 하지만 3 mm 이하의 롤러 간격에서는 단열재 두께 대비 90% 이상의 압축률로 작업성 및 제품의 외관품질이 취약하여 저밀도 준불연형의 최적 압착 조건으로 5 mm의 롤러 간격을 도출하였다.

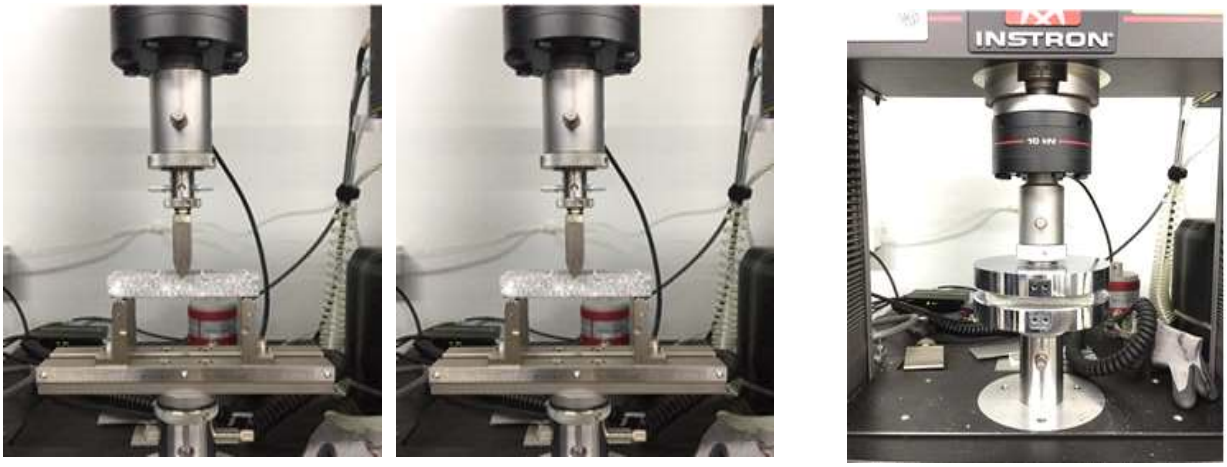
용도에 따른 구분 중 단열재 시장에서 가장 범용적으로 활용될 수 있는 유형으로는 가장 우수한 단열특성과 낮은 밀도로 시공성이 확보되는 저밀도 준불연형으로, 본 연구의 개발 목표 성능인 0.051 W/mK 이하의 열전도율을 기준으로 준불연 이상의 난연성과 건축자재로써의 품질을 확보할 수 있는 최소한의 무기계 함침량에 따른 밀도 범위를 0.15~0.20 g/cm^{3}으로 판단하였다. 따라서 역학적 특성, 난연 성능, 환경 유해성 시험에 대해서도 밀도 0.2 g/cm^3, 열전도율 0.048 W/mK 급의 저밀도 준불연형 유무기 융합 단열재를 대상으로 실시함으로써 최소한의 무기계 함침량에 따른 성능 적합성을 확인하고자 하였다.

(나) 역학적 특성 (휨강도, 압축강도)

개발된 단열재가 견디는 하중에 대한 지표로 휨강도(굴곡강도) 및 압축강도에 대한 시험을 수행하였다. 휨강도 및 압축강도 시험은 KS M 3809(2006) 경질 폴리우레탄 폼 단열재에서 제시하는 굴곡강도와 압축강도에 대한 시험 방법을 참고하여 수행하였다. 본 과제에서 2차 년도 휨강도 및 압축강도의 목표를 3 kgf/cm^2(29.4 N/cm^2)로 설정하였는데, 이는 기존 상용 단열재 규격에서 제시하는 최소 강도 기준을 고려하여 설정하였다. 휨강도 시험은 KS M ISO 1209-1(2012) 경질 발포 플라스틱-굴곡 특성 측정 규격에서 제시하는 시험편의 크기(120×25×20 mm)로 재단하여 그림 2-37(a)와 같이 시험편을 지지봉 위에 대칭으로 두고 시험편의 종축에 대하여 수직으로 하중이 가해지도록 조절하여 휨변형이 20 mm일 때의 하중(N)을 측정한다. 열

전도율 0.048 W/mK의 시제품에 대해 한국화학융합시험연구원(KTR)에 휨강도 시험을 의뢰한 결과 3.73 kgf/cm^2(36.6 N/cm^2)로 목표치를 만족하였다.

압축강도 시험은 KS M ISO 844(2012) 경질 발포 플라스틱-압축시험 규격에서 제시하는 시험편 크기(100×100×30 mm)로 재단하여 압축 시험기의 판 사이에 시편을 두고 판의 중심부에 맞추어 일정한 속도로 시험편을 압축하여 초기 두께의 85%가 감소될 때까지 압축하여 두께가 감소되는 중에 도달하는 최대 하중을 측정하였다(그림 2-37(b)). 압축강도 시험 또한 휨강도와 함께 KTR에 동일 시험편을 의뢰하였고, 그 결과 3.46 kgf/cm^2(33.9 N/cm^2)의 목표치를 만족하는 압축강도를 확인함으로써 2차 년도에 개발한 유무기 융합 단열재 시제품이 건축자재로써 기본적인 기계적 품질을 확보함을 확인할 수 있었다.



(a) 휨강도 (b) 압축강도

그림 2-37. 휨강도 및 압축강도 측정 사진

하지만 이러한 휨 및 압축강도 측정 시 본 연구에서 개발한 유무기 융합 단열재는 기존의 경질 단열재와 달리 다공성 유기계 기재 내부에 무기계 물질이 분체 형태로 분포되어 있는 구조를 가짐으로써 유기계가 모두 압축된 후부터는 무기계 소재간의 압착이 일어나 하중이 급격히 증가한다거나 굴곡에 의해서는 얽혀있는 무기계 물질로 인해 찢어지는 양상을 나타내기도 하였다. 이로 인해 동일한 시험편을 대상으로 한 반복시험의 경우에도 무기계 분포 양상에 따라 시험 결과의 재현성이 확보되지 않는 등 유무기 융합 단열재의 강도를 평가하는 데 있어 기존의 경질한 단열재에 대한 평가방법의 적용이 적합하지 않다고 판단되었다. 따라서 유무기 융합 단열재의 기계적 물성을 평가하기 위해 인장 강도, 로크웰 및 쇼어 경도, 수직하중 시험법 등을 차용하여 본 개발품의 기계적 성능을 나타내기에 적합한 새로운 시험방법에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

(다) 난연성

난연성은 재료가 연소하기 어려운 정도를 나타내는 특성으로 기존 단열재 규격에서 난연성 평가항목을 포함하는 규격은 거의 없다. 따라서 본 연구에서 개발한 유무기 융합 단열재의 난연성 평가는 국토해양부 고시 제2015-744호 「건축물 마감재료의 난연성능 및 화재확산 방지구조 기준」을 적용하여 그 내용을 도출하였다. 또한 기존 유기계 단열재의 화재 취약성을 무기계 바인더와의 함침 및 융합을 통해 크게 보완했지만, 유기계 기재가 포함된 제품이므로 준불연재료(난연2급)로 분류되어 이에 해당하는 시험방법 및 성능기준을 적용하였다. 준불연재료란 한국산업규격 KS F ISO 5660-1 「연소성능시험-열 방출, 연기 발생, 질량 감소율-제1부:열 방출률(콘칼로리미터법)」에 따른 가열시험 개시 후 10분간 총 방출열량이 8 MJ/m^2 이하이며, 10분간 최대 열방출률이 10초 이상 연속으로 200 kW/m^2을 초과하지 않고, 10분간 가열 후 시험체를 관통하는 방화상 유해한 균열, 구멍 및 용융(복합자재의 경우 심재가 전부 용융, 소멸되는 것을 포함한다) 등이 없어야 한다. 또한 한국산업규격 KS F 2271 중 가스유해성 시험 결과, 실험용 쥐의 평균행동정지 시간이 9분 이상이어야 하는 기준을 만족해야 한다. 열방출률 시험 결과 총 방출열량은 평균 5.33 MJ/m^2으로 기준치 8 MJ/m^2 이하를 만족하였고, 열방출률이 200 kW/m^2를 연속하여 초과한 시간이 0초로 기준치인 10초 이하를 만족하였다. 표 2-16의 열방출률 시험 전과 후의 사진을 보면 심재의 전부 용융 및 관통하는 균열과 구멍 등이 발견되지 않아 육안테스트도 만족함을 확인할 수 있다. 또한 표 2-17의 가스유해성 시험 결과 마우스의 평균 행동 정지시간은 14분 이상으로 9분 이상의 기준치를 만족하였다.

표 2-16. 열방출률 시험 결과

시험항목	시험체 번호		
	1	2	3
두께 (mm)	30.3	30.2	30.2
열방출률 (kW/㎡)	10.2	10.2	6.2
총방출열량 (MJ/㎡)	6.1	6.2	3.7
가열강도 (kW/㎡)	50		
시험시간 (s)	600		



시험 전

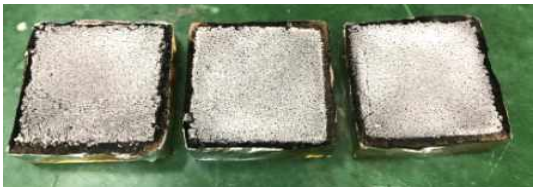
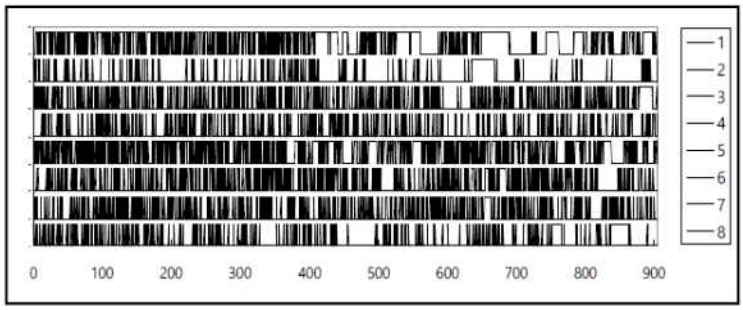
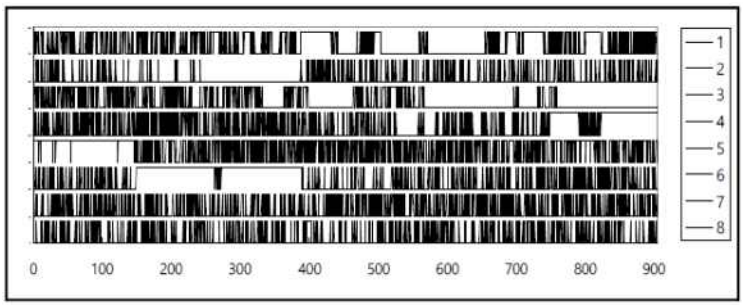
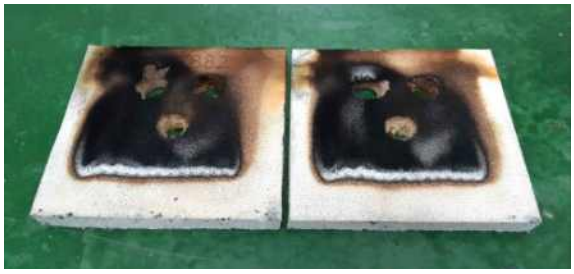

시험 후

표 2-17. 가스유해성 시험 결과

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">시험항목</td><td colspan="2">시험체 번호</td></tr>
<tr><td>1</td><td>2</td></tr>
<tr><td colspan="2">두께(mm)</td><td>29.5</td><td>29.3</td></tr>
<tr><td colspan="2">8마리 행동정지시간(평균)</td><td>14분 59초</td><td>14분 33초</td></tr>
<tr><td colspan="2">표준편차</td><td>2초</td><td>49초</td></tr>
<tr><td colspan="2">평균행동정지시간</td><td>14분 57초</td><td>13분 44초</td></tr>
<tr><td colspan="2">부열원 / 주열원</td><td colspan="2">LP Gas, 3분 / 할로겐 3분</td></tr>
<tr><td rowspan="12">1</td><td>M1 15분 00초</td><td rowspan="12" colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>M2 14분 58초</td></tr>
<tr><td>M3 15분 00초</td></tr>
<tr><td>M4 15분 00초</td></tr>
<tr><td>M5 15분 00초</td></tr>
<tr><td>M6 15분 00초</td></tr>
<tr><td>M7 15분 00초</td></tr>
<tr><td>M8 14분 54초</td></tr>
<tr><td>평균 14분 59초</td></tr>
<tr><td>표준편차 2초</td></tr>
<tr><td>평균행동정지시간 14분 57초</td></tr>
<tr><td rowspan="12">2</td><td>M1 15분 00초</td><td rowspan="12" colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>M2 15분 00초</td></tr>
<tr><td>M3 12분 41초</td></tr>
<tr><td>M4 13분 46초</td></tr>
<tr><td>M5 15분 00초</td></tr>
<tr><td>M6 15분 00초</td></tr>
<tr><td>M7 15분 00초</td></tr>
<tr><td>M8 15분 00초</td></tr>
<tr><td>평균 14분 33초</td></tr>
<tr><td>표준편차 49초</td></tr>
<tr><td>평균행동정지시간 13분 44초</td></tr>
<tr><td colspan="4"> 

시험 전

시험 후</td></tr>
</table>

(라) 환경유해성 (VOCs, 폼알데하이드)

유무기 융합 단열재의 환경유해성은 EL248. 벽 및 천장 마감재 기준에서 제시하는 환경유해성분 시험 항목에 대하여 실시하였다. 휘발성유기화합물(VOCs, volatile organic compounds) 및 톨루엔 방출량과 폼알데하이드 방출량 시험을 통해 실내공기에 영향을 미치는 정도를 확인하였다. 이는 표 2-18의 「다중이용시설 등의 실내공기질관리법 시행규칙」에서 정한 건축자재의 오염물질 방출 기준을 만족하며 VOCs의 경우 7일 후 VOCs 방출량이 0.40 mg/m^2·h 이하 또는 톨루엔 방출량이 0.080 mg/m^2·h 이하를 만족해야 한다. 폼알데하이드의 경우 폼알데하이드 방출량이 0.3 mg/L 이하 또는 7일 후 폼알데하이드 방출량이 0.05 mg/m^2·h 이하를 만족해야 한다. EL248에서 제시하는 농도는 아래 건축자재의 오염물질 방출 기준과 비교했을 때 매우 낮은 농도로 더 엄격한 안정성을 요구하는 규격이다.

표 2-18. 건축자재의 오염물질 방출 기준(제10조 관련)

오염물질 종류 / 구분	폼알데하이드		톨루엔	총휘발성 유기화합물
	2016년 12월 31일 까지	2017년 1월 1일 부터		
1. 접착제	0.05 이하	0.02 이하	0.08 이하	2.0 이하
2. 페인트	0.05 이하	0.02 이하	0.08 이하	2.5 이하
3. 실란트	0.05 이하	0.02 이하	0.08 이하	1.5 이하
4. 퍼티	0.05 이하	0.02 이하	0.08 이하	20.0 이하
5. 벽지	0.05 이하	0.02 이하	0.08 이하	4.0 이하
6. 바닥재	0.05 이하	0.02 이하	0.08 이하	4.0 이하

비고: 위 표에서 오염물질의 종류별 측정단위는 mg/m^2·h로 한다. 다만, 실란트의 측정단위는 mg/m·h로 한다.

2차 년도 시제품을 대상으로 KS I ISO 16000-9에 따라 7일 동안 시료부하율 2.0 m^2/m^3, 23℃, 50% R.H. 온도 및 습도 조건에서 방출시험을 수행하여 농도를 확인한 결과, 표 2-19에 나타낸 바와 같이 TVOC 방출량은 0.004 mg/m^2·h 미만, 톨루엔 방출량은 0.001 mg/m^2·h 미만, 폼알데하이드 방출량은 0.001 mg/m^2·h 미만으로 모두 검출 한계에 해당하였으며 EL248 기준을 만족하였다.

표 2-19. 유해성분 시험 항목 및 시험 결과 (KTR)

시험 항목	기준	시험 결과
VOCs	- 7일 후 VOCs 방출량 0.10 mg/m^2·h 이하 - 톨루엔 방출량 0.080 mg/m^2·h 이하	0.004 미만 (기준 만족) 0.001 미만 (기준 만족)
폼알데하이드 방출량	- 폼알데하이드 방출량 0.3 mg/L 이하 또는 - 7일 후 폼알데하이드 방출량 0.015 mg/m^2·h 이하	0.001 미만 (기준 만족)

(마) 내열성

현재 단열재 관련 규격에서는 내열성에 대한 시험 및 기준이 따로 제시되어있는 규격이 없는 상태이다. 유사한 항목으로 단열재 관련 규격 중 KS M ISO 4898(2013) 경질 발포 플라스틱-건축물 단열재-규격서는 치수안정성 이라는 항목으로 70℃ 조건에서 48시간 노출 후 길이, 폭 및 두께의 변화율을 측정한다. KS M ISO 2796(2010) 경질 발포 플라스틱-치수 안정성 시험에서 제시하는 시험조건은 -(55±3)~(150±3)℃ 조건에서 노출하여 시험체의 길이, 폭 및 두께의 변화율을 확인하는 시험이다.

국내의 단열재 규격에서 제시하는 치수 안정성과 유사한 조건으로 150℃ 조건에서 내열성 테스트를 진행하였다. 2차 년도 시제품과 시중에서 많이 사용되는 단열재를 선정하여 150℃에서 2시간 동안 유지한 후 시험품의 가로, 세로, 높이의 길이 변화를 비교하였다. 시험품은 길이 50 mm, 폭 50 mm 및 두께는 판매 및 제작된 시편의 두께를 따라서 진행하였다. 그림 2-38은 각 온도별 내열성 시험품 사진으로 시험 전과 후의 형태 변화를 보여준다. 개발 시제품의 경우 내열성 테스트 후 외관상 변화를 거의 볼 수 없었지만, 시중에 판매되는 상용품의 경우 전체적으로 부피가 크게 감소하여 수축된 모습을 확인할 수 있다.

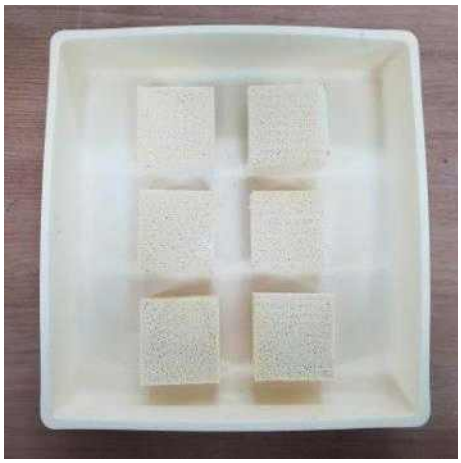
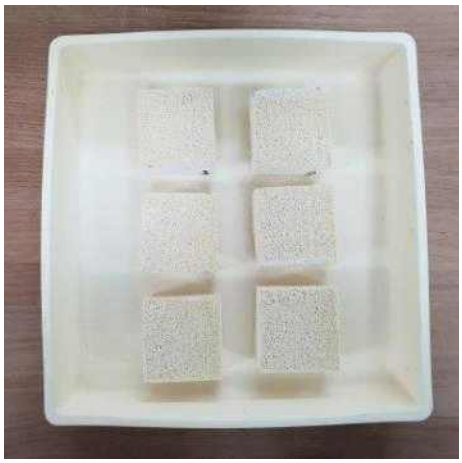
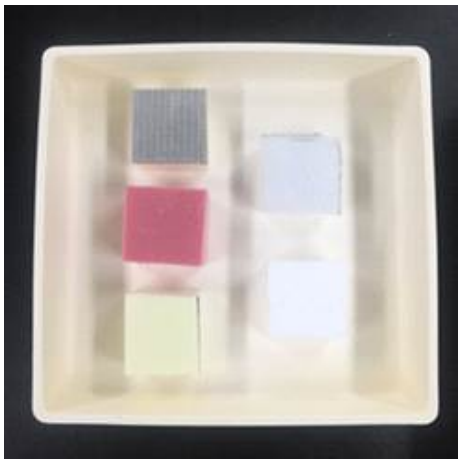
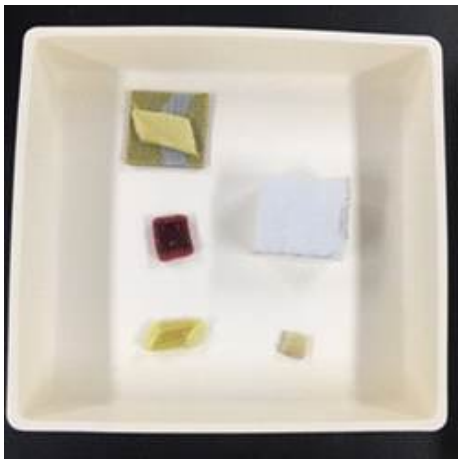
	시험 전	시험 후
개발품		
상용품		

그림 2-38. 개발품의 150℃ 내열성 시험 사진

표 2-20은 온도별 내열성 시험 후 길이 변화를 나타낸 결과이다. 버니어캘리퍼스를 사용하여 내열성 시험 전과 후의 길이변화를 소수점 둘째 자리까지 mm 단위로 가로, 세로, 높이 길이를 측정하여 변화율을 확인하였다. 2차 년도 개발품은 전체 길이의 평균 0.19%로 낮은 수치의 길이변화를 나타내는 반면 시중에 판매되는 상용품의 경우 평균 46.15%의 큰 차이를 보여주었다. 특히 상용품(유기)-5의 경우 내열 시험 후 시험체가 부풀어 오르며 높이가 크게 증가해 실제 건물에 시공을 할 경우 건물의 균열 등을 야기할 우려가 있다고 판단된다. 이러한 결과를 통해 차후 내열성에 대하여 다양한 온도 조건 및 노출 시간의 조건 다양화 등 추가적인 연구가 필요하다 판단된다.

표 2-20. 150℃ 내열성 테스트 길이 변화

시료 종류		시험 전(mm)			시험 후(mm)			길이변화(%)			평균 (%)
		가로	세로	높이	가로	세로	높이	가로	세로	높이	
개발품	1	50.2	49.75	30.23	50.15	49.68	30.18	0.10	0.14	0.17	0.14
	2	50.35	50.44	30.27	50.24	50.3	30.22	0.22	0.28	0.17	0.22
	3	49.75	49.96	30.22	49.64	49.89	30.16	0.22	0.14	0.20	0.19
	4	50.1	49.5	30.19	50.08	49.42	30.14	0.04	0.16	0.17	0.12
	5	50.07	50.35	30.33	49.95	50.27	30.26	0.24	0.16	0.23	0.21
	6	50.51	51.13	30.32	50.38	50.95	30.28	0.26	0.35	0.13	0.25
상용품(유기)-1		48.68	49.35	28.50	15.90	15.60	5.61	67.34	68.39	80.32	72.01
상용품(유기)-2		49.45	50.56	30.84	28.46	22.65	9.83	42.45	55.20	68.13	55.26
상용품(유기)-3		50.46	48.57	23.25	42.26	26.6	10.03	16.25	45.23	56.86	39.45
상용품(유기)-4		49.66	51.59	29.47	33.81	19.34	10.69	31.92	62.51	63.73	52.72
상용품(유기)-5		49.41	51.33	22.63	50.87	51.30	29.62	-2.95	0.06	-30.89	-11.26

다. 유무기 융합 단열재 소재 개선 연구

(1) 유무기 융합 단열재 소재 개선 연구

(가) 유기계 기재 두께 변경

1, 2차 년도에서 개발한 유무기 융합 단열재 시제품은 가로 세로 300×300 mm, 두께 30 mm의 규격으로 생산하였으며, 이는 Lab. scale에서의 수동 함침 및 압착공정상 작업성을 고려하여 최적화한 유기계 기재 크기이다. 하지만 3차 년도에서 유무기 융합 단열재 상용화 연구를 수행함에 따라 외단열재, 방화문용 심재, 샌드위치 패널, 화재확산방지제 등의 용도별 제품 규격으로 최소 50 mm 이상의 두께 범위가 요구되고 있으며, 이와 부합하여 유무기 융합 단열재를 이와 같은 제품군에 적용하기 위해서는 최소 50 mm 이상의 두께를 가져야 한다고 판단하였다. 따라서 3차 년도에서는 1, 2차 년도 시제품에 대한 피드백을 반영 및 보완하고 가로 세로 300×300 mm, 두께 50 mm 규격의 유무기 융합 단열재 최종 시제품을 개발하고자 하였다.

2차 년도에서 열전도율 0.051 W/mK 이하의 준불연 유무기 융합 단열재를 개발하기에 적합한 유기계 기재로 일반 및 친수성 스펀지를 선정하였고, 가로 세로 300×300 mm, 두께 30 mm의 친수성 스펀지와 석고계 함침소재를 대상으로 유무기 융합화 공정 조건을 최적화하였다. 평균 0.050 W/mK의 열전도율을 가지는 시제품의 최적 밀도 범위는 약 0.18 – 0.20 g/cm^{2}이며, 이를 제조하기 위한 함침 조건으로 60%의 혼수량, 압착 조건으로는 5 mm의 롤러 간격이 적합하다고 판단하였다.

3차 년도에서는 유기계 기재의 두께를 30 mm에서 50 mm로 늘려 가로 세로 300×300 mm, 두께 50 mm의 일반 및 친수성 스펀지를 대상으로 유무기 융합화 공정을 적용하여 시제품을 생산하고 그 단열특성을 분석하였다. 무기계 함침용액은 1, 2차 년도와 동일하게 석고 중량 대비 지연제와 유동화제는 0.5%, 수지류는 5%로 배합하였고, 변수 조건으로 혼수량을 60%, 80%로 설정하였다. 또한 단열재 두께와 밀접하게 연관되어 있는 변수 조건으로써 압착 공정 시 롤러 사이 간격을 5, 7, 10, 15, 20 mm로 조절함으로써 밀도 범위를 확인하였다.

표 2-21. 유무기 융합 단열재(300×300×50 mm) 공정 최적화 변수 인자 및 조건

변수 인자		변수 조건
원료	유기계 기재	일반 스펀지, 친수성 스펀지
함침 공정	혼수량	석고 중량 대비 60%, 80%
압착 공정	롤러 간격	5, 7, 10, 15, 20 mm

표 2-22. 석고 중량 대비 혼수량 및 롤러 간격에 따른 밀도와 열전도율

스펀지 종류	혼수량 / 롤러 간격	60%		80%	
		밀도(g/㎤)	열전도율(W/mK)	밀도(g/㎤)	열전도율(W/mK)
일반	5 mm	0.188	0.05585	0.120	0.04635
		0.180	0.05049	0.138	0.04946
	7 mm	0.236	0.06108	0.153	0.05208
		0.233	0.06278	0.185	0.05516
	10 mm	0.335	0.08096	0.210	0.05901
		0.268	0.06826	0.249	0.06966
	15 mm	0.391	0.08712	0.362	0.08874
		0.373	0.07889	0.363	0.08460
	20 mm	0.518	0.12830	0.439	0.10000
		0.568	0.12520	0.415	0.08082
친수성	5 mm	0.257	0.07561	0.304	0.10360
		0.220	0.06448	0.296	0.10690
	7 mm	0.246	0.06744	0.227	0.11340
		0.296	0.08489	0.256	0.08225
	10 mm	0.336	0.09499	0.308	0.08576
		0.323	0.09145	0.307	0.08038
	15 mm	0.342	0.09160	0.378	0.09765
		0.380	0.09798	0.406	0.11180
	20 mm	0.441	0.09666	0.487	0.12710
		0.507	0.11980	0.439	0.10810

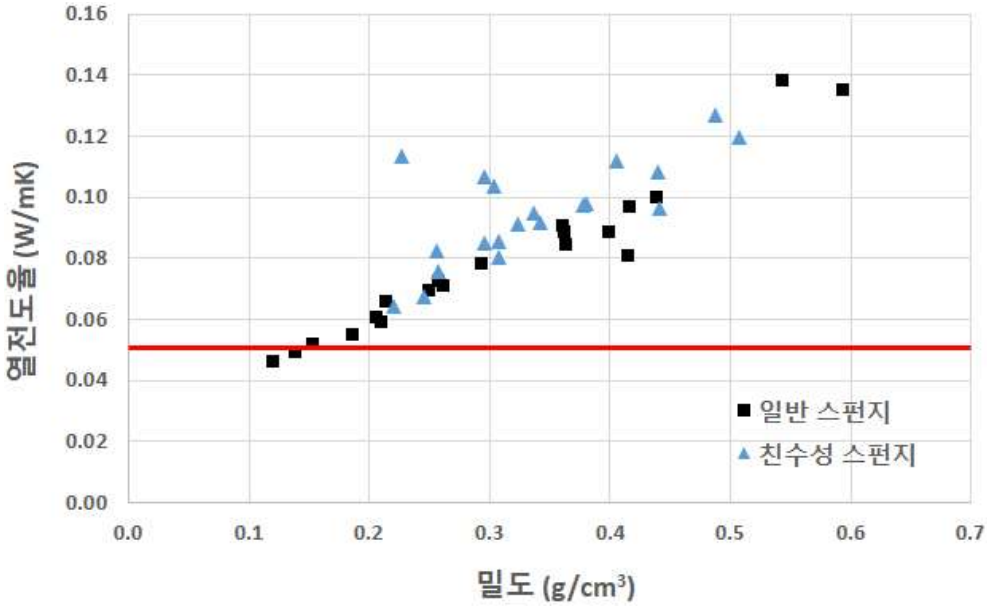
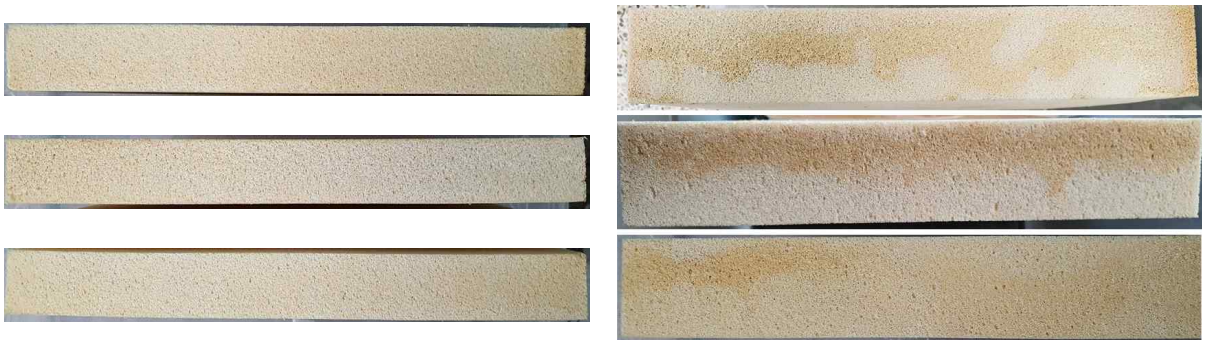


그림 2-39. 석고계 유무기 융합 단열재(두께 50 mm)의 밀도에 따른 열전도율 변화

표 2-22과 그림 2-39는 50 mm 두께의 일반 및 친수성 스펀지를 대상으로 혼수량 및 롤러 간격에 따라 제작한 유무기 융합 단열재 시료의 밀도 및 열전도율을 나타낸 표와 그래프이다. 최소 0.120 g/cm^{3}에서 최대 0.593 g/cm^{3}의 밀도 범위에 따라 0.04635 - 0.13830 W/mK의 열전도율 분포를 나타내었으며, 본 연구의 개발 목표치인 0.051 W/mK 이하의 열전도율을 만족하는 조건 시료는 최소 함침량 조건인 혼수량 80%에서 5 mm의 롤러 간격으로 압착한 일반 스펀지 시료밖에 없었다. 하지만 그림 2-40의 해당 조건 시료 사진을 보면, 유기계 기재 두께 및 부피에 비해 무기계 함침량이 부족하여 경도 및 치수안정성이 떨어져 시료가 휘어지는 등 건축자재로써의 외관 및 품질이 미흡하였다. 또한 단면 사진을 보면 기존의 30 mm 두께보다 50 mm로 두께가 늘어남에 따라 깊이 방향으로 함침 소재의 분포 구배가 확연하게 나타남을 확인할 수 있는데, 이는 중력에 의해 시료가 놓여진 수직 방향으로 쏠림 현상이 일어나 발생되는 것으로, 특히 시료 두께가 늘어나 함침량이 늘어나고, 또한 높은 혼수량에 의해 함침용액이 묽어졌기 때문에 밀도 구배가 더 나타난 것으로 판단된다. 결론적으로 30 mm에서 50 mm로 늘어난 유기계 기재의 두께에 맞춰 절대적인 무기계 소재 함침량이 늘어남에 따라 그 제어가 어려워짐을 알 수 있으며, 이에 따라 새로운 무기계 소재의 배합이나 첨가제의 도입을 통한 액상 반응 연구가 추가적으로 필요하다고 판단되었다.



(a) 30 mm 두께 시료 (b) 50 mm 두께 시료

그림 2-40. 일반 스펀지, 혼수량 80%, 롤러 간격 5 mm 조건 시료 사진

(나) 무기계 함침소재의 원료 변경

무기계 바인더 소재는 유기계 기재에 함침 된 후 스펀지 골격구조에 코팅 또는 막 형태로 분포하여 표면과 내부에 난연성을 부여하고 열린 기공의 일부를 닫힌 기공으로 만들어 단열성능을 향상시키는 역할을 한다. 1, 2차 년도에서 적용했던 상온 경화형 석고계 바인더는 주로 물을 이용한 경화소재로 우수한 난연 성능 및 경제성이 장점이나 높은 흡습성으로 수분에 취약하고 다른 건축용 바인더 소재들과 비교하여 경화 후 강도 및 경도가 낮은 편으로 내·외장용 건축자재로서의 형상 유지 및 내구성 확보에 어려움이 있다는 단점이 있었다. 또한 석고계 바인더 소재의 함침량이 많을수록 난연 성능 및 기계적 물성이 향상되지만, 열전달 매개체가 늘어남에 따라 단열특성은 떨어지는 딜레마가 있다. 이에 석고와 같이 물을 이용한 경화소재이면서 석고보다 고운 입자분포와 높은 비중 및 강도를 가지는 시멘트계 소재를 새로운 무기계 바인더 소재로 도입하여 기존 석고계 유무기 융합 단열재의 밀도 및 경도는 유지하되 열전도율 범위는 한 등급 낮출 수 있도록 소재 업그레이드 연구를 진행하고자 하였다. 일반적으로 토목용이나 건축용의 무기질의 결합 경화제로 사용되는 포틀랜드 시멘트는 조기 강도가 높고 내구성이 우수하며 석고와 비교하여 20% 이상 저렴한 단가를 가지나 경화시간이 빨라 충분한 공정시간 확보를 위한 지연제 및 첨가제에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 이에 앞서 유무기 융합 단열재용 무기계 바인더 소재로써 백시멘트의 적용 가능성을 확인하기 위해 석고계와 시멘트계 원료소재에 대한 물성(밀도, 입도 분포, 미세구조)을 비교 분석하고 유무기 융합화 공정 적용을 통한 단열재 시료에 대한 제품으로써의 성능(작업성, 육안검사, 밀도, 열전도율 등)을 비교 분석하였다.



(a) 반수석고 (M사) (b) 백시멘트 (U사) (c) 백시멘트 (R사)

그림 2-41. 무기계 바인더용 석고 및 백시멘트 원료분말 사진

1, 2차 년도에 사용된 석고계 물질은 알파형 반수석고로 상용 제품 중에서도 초고순도 제품을 선정하여 M사에서 생산한 초강도 내장형 모델을 적용하였다. 시멘트계 물질로는 본 연구에서 개발하고자 하는 단열재가 내·외장 마감재로도 사용됨을 고려하여 석고와 동일하게 백색으로 개발된 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 백시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트에서 산화철의 함량이 적은 시멘트를 말한다. 본 연구에서 적용한 백시멘트 또한 상용 제품으로 고순도로 분류되는 R사 제품과 기능성 목적으로 탄산칼슘 및 규사를 첨가하여 생산된 U사 제품을 후보군으로 검토하였다. 그림 2-41은 본 연구에서 사용한 3종류의 석고 및 백시멘트 원료소재 분말 사진을 나타내며, 3종류 모두 마이크로급 백색 분말로 육안이나 재질로는 구분하기가 어려울 정도로 유사하다.

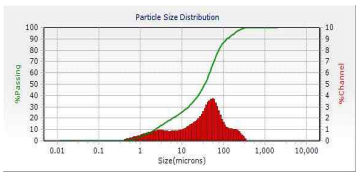
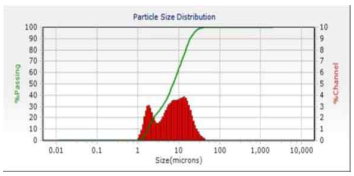
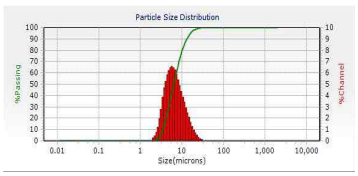
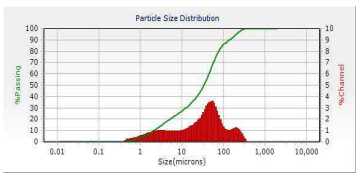
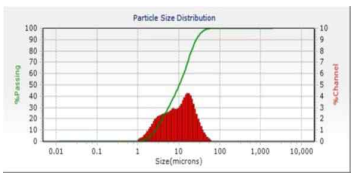
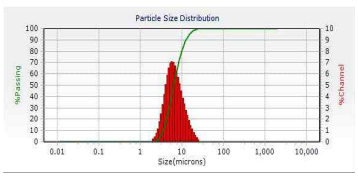
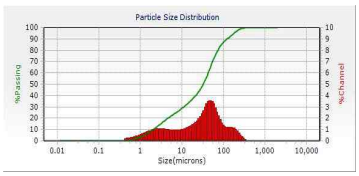
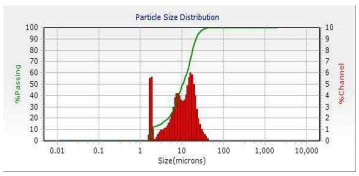
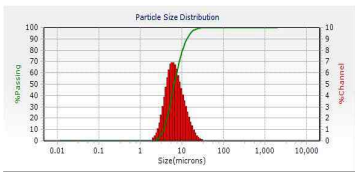
표 2-23. 무기계 바인더용 석고 및 백시멘트 원료소재의 gas pycnometer density

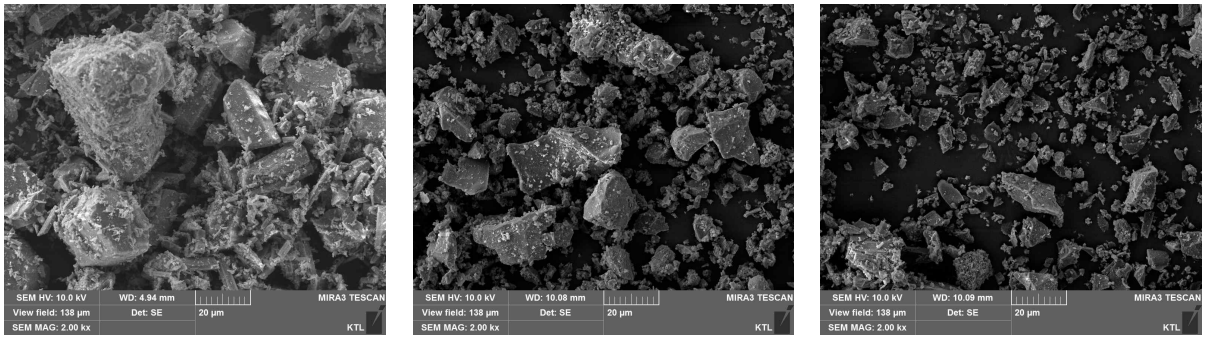
	무기계 바인더 소재		
	반수석고 (M사)	백시멘트 (U사)	백시멘트 (R사)
Mass [g]	4.3375	4.3018	4.2978
Volume [cc]	1.8204	1.4483	1.4183
Density [g/cc]	**2.3827**	**2.9702**	**3.0302**

표 2-23과 2-24는 석고 및 백시멘트 원료 분말에 대해 가스 피크노미터(gas pycnometer)와 습식 입도 분석기(particle size analyzer, PSA)를 이용하여 밀도 및 입도 분포를 분석한 결과이다. 가스 피크노미터는 무게를 측정한 시료를 넣은 측정 용기 내 대체되는 기체의 부피를 측정하여 비중을 산출하는 원리로 단순히 기하학적으로 측정한 밀도와 달리 시료 표면의 공극률

을 반영한 진밀도를 의미한다. 표 2-23에 나타난 바와 같이 석고와 비교하여 백시멘트의 밀도가 약 1.25배 높게 나타났으며, 백시멘트 2종의 밀도는 거의 유사하나 R사 제품이 조금 더 높은 밀도를 가짐을 확인할 수 있다. 레이저 회절 원리를 이용하여 측정한 분말 입자의 크기 및 분포의 경우에는 표 2-24에서 보듯이 백시멘트의 입도는 10 ㎛ 내외로 50 ㎛ 급의 석고와 비교했을 때 1/5 이하에 해당하는 크기이며, 넓고 불균일한 분포의 석고와 비교하여 백시멘트는 좁은 범위에서 가우시안 정규 분포 형태를 가짐으로써 훨씬 미세하고 균일한 입도 분포를 나타냈다. 또한 백시멘트 2종의 입자 크기는 거의 유사하나 불순물이 포함된 U사 제품에 비해 고순도의 R사 제품이 가장 균질한 입도 특성을 가졌다. 이와 같은 입도 분포 경향성은 그림 2-42의 주사전자현미경(scanning electron microscope, SEM)을 이용하여 분석한 석고 및 백시멘트 분말의 미세형상 이미지를 통해서도 확인할 수 있다.

표 2-24. 무기계 바인더용 석고 및 백시멘트 원료소재의 particle size distribution

입도 [㎛]	무기계 바인더 소재		
	반수석고 (M사)	백시멘트 (U사)	백시멘트 (R사)
1			
	MV : 51.07	MV : 9.10	MV : 7.50
2			
	MV : 52.50	MV : 12.84	MV : 7.33
3			
	MV : 48.27	MV : 11.69	MV : 7.64
평균	**MV : 50.61**	**MV : 11.21**	**MV : 7.49**



(a) 반수석고 (M사) (b) 백시멘트 (U사) (c) 백시멘트 (R사)

그림 2-42. 무기계 바인더용 석고 및 백시멘트 원료소재의 SEM image

표 2-25는 석고 및 백시멘트를 무기계 바인더 소재로 적용하여 제작한 유무기 융합 단열재의 밀도 및 열전도율을 측정한 결과이다. 300×300×50 mm 규격의 일반 및 친수성 스펀지를 대상으로 유무기 융합화 공정을 적용하였으며, 무기계 함침 용액은 1, 2차 년도 기존 배합인 석고, 석고와 백시멘트를 1:1로 배합, 백시멘트만으로 배합한 용액의 3가지 조건으로 시료를 제조하여 단열 성능을 비교 분석하고 이를 통해 무기계 바인더 소재 용도로 백시멘트의 적용 가능성을 확인하고자 하였다. 단, 백시멘트는 분말소재 물성평가 결과 상대적으로 높은 비중과 미세하고 균일한 입도 분포를 가지는 고순도의 R사 제품을 선정하여 적용하였다. 표 2-25에 나타난 바와 같이 석고 대비 백시멘트의 비율이 높아짐에 따라 밀도는 유지되면서 열전도율이 낮아지는, 즉 단열성능이 향상됨을 확인할 수 있으며, 일반 및 친수성 스펀지 모두에서 동일한 경향성을 나타냈다. 혼수량 60%와 롤러 간격 8 mm의 동일한 함침 및 압착 공정 조건으로 제조함에 따라 석고 및 백시멘트의 모든 배합조건 시료에서 오차범위 10% 이내의 유사한 밀도 값을 나타냈으며, 이는 석고 및 백시멘트 구분 없이 동일한 공정 조건에서는 유기계 기재(300×300×50 mm) 내부 함침되는 무기계 바인더의 질량 차이가 없음을 의미한다. 하지만 표 2-23에서 확인한 바와 같이 석고보다 백시멘트의 비중이 1.25배 높으므로, 동일한 질량 대비 유기계 기재 내부에서 차지하는 백시멘트의 부피가 석고보다 작다. 따라서 동일한 공정 조건에서 제조된 시료일지라도 백시멘트로 함침된 유기계 기재 내부에 코팅 및 분포하는 무기 바인더 부피가 적으므로 열이 전달될 수 있는 매개체가 감소함에 따라 열전도율이 감소하고 단열성능이 증가한 것으로 판단된다(그림 2-43).

표 2-25. 무기계 바인더 소재 배합에 따른 유무기 융합 단열재의 단열특성

유기계 기재 / 무기계 소재	일반 스펀지		친수성 스펀지	
	밀도(g/㎤)	열전도율(W/mK)	밀도(g/㎤)	열전도율(W/mK)
석고 100%	0.232	0.06059	0.256	0.07820
	0.235	0.06122	0.261	0.07682
	0.241	0.06048	0.237	0.06992
석고 50%, 백시멘트 50%	0.210	0.05781	0.277	0.06647
	0.238	0.05779	0.257	0.06896
	0.258	0.05591	0.247	0.06398
백시멘트 100%	0.215	0.04735	0.242	0.05164
	0.257	0.05193	0.248	0.05131
	0.247	0.05136	0.251	0.05204

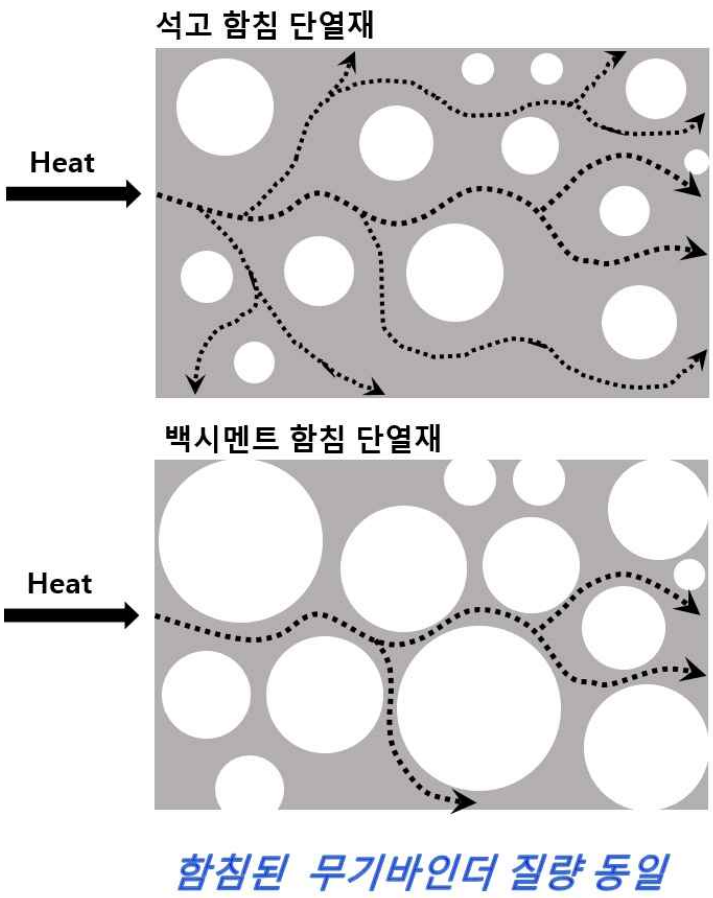


그림 2-43. 석고 및 백시멘트 함침 유무기 융합 단열재 단열 메커니즘 모식도

그림 2-44는 일반 스펀지에 석고 100% 및 백시멘트 100% 함침 용액으로 제조한 단열재 시료의 외관 및 단면을 비교한 사진이다. 석고계 시료의 경우 무기계 바인더의 밀도 구배가 확연히 나타나고 시간의 흐름에 따라 변색되는 석고로 제품성이 현저히 떨어짐을 알 수 있으며, 이와 비교하여 백시멘트계 시료는 전체적으로 균일하게 함침되어 우수한 단열 성능뿐만 아니라 외관상 치수안정성 및 제품성이 뛰어남을 확인할 수 있다. 이는 표 2-24 및 그림 2-42에서 나타난 바와 같이 50 ㎛ 급의 석고 분체와 비교하여 10 ㎛ 이하의 미세하고 균일한 입도 분포를 가진 백시멘트로 함침 용액을 제조 시 혼합성이 뛰어나고 함침 공정 시 우수한 작업성 및 건조 시료의 함침균일성에 기인된다. 이에 따라 입자 크기가 큰 석고계 바인더의 경우 유기계 기재의 기공 물성 및 기능성에 크게 좌우되지만 입자 크기가 미세한 백시멘트는 그 영향을 거의 받지 않으며, 표 2-25의 일반 및 친수성 스펀지별 밀도 및 열전도율 수치를 비교했을 때 석고의 경우 친수성 스펀지에서 함침 균일성이 향상됨에 따라 함침량 및 밀도가 증가한 반면 백시멘트는 일반 및 친수성 스펀지에서의 단열성능에 차이가 없음을 확인할 수 있다. 결론적으로 3차 년도에 무기계 바인더 소재를 석고에서 백시멘트로 변경함에 따라 2차 년도에 석고계 바인더 용액의 함침균일성 향상을 위해 최적 유기계 기재로 선정한 친수성 스펀지는 더 이상 그 활용 가치가 없으며, 주문 제작형 기능성 스펀지와 비교하여 단가가 1/6 이하인 일반 스펀지를 적용할 수 있다는 점에서 경제적 측면에서도 큰 이점을 가진다.



(a) 석고 함침 단열재 (b) 백시멘트 함침 단열재

그림 2-44. 석고 및 백시멘트 함침 단열재 시료의 외관 및 단면 사진

(2) 유무기 융합 단열재 최종 개발 시제품 제작 및 성능평가

(가) 무기계 소재 변경에 따른 유무기 융합화 공정 최적화 연구

1, 2차 년도에서 개발한 석고계 유무기 융합 단열재 시제품의 단점을 보완하고 활용 범위의 확대를 위해 3차 년도에서는 유기계 기재의 두께를 늘리고 무기 바인더 소재를 백시멘트로 변경함으로써 유무기 융합 단열소재 개선 연구를 수행하였다. 이와 같이 개선시킨 유무기 소재를 기반으로 본 연구의 최종 목표인 열전도율 0.051 W/mK 이하의 준불연급 유무기 융합 단열재 최종 시제품을 개발하기 위한 유무기 융합화 공정 조건 최적화 연구를 진행하였다.

① 함침공정

기존에 사용한 상온 경화형 석고계 바인더는 물을 이용한 경화소재로 2차 년도에서 최적화한 석고계 함침용액의 경우 물과 함께 작업시간 확보를 위한 경화 지연용 붕사, 함침균일성 향상을 위한 유동화제 역할의 리그닌, 분진 제거를 위한 코팅제 역할의 수지류를 첨가제로 배합하였다. 3차 년도에서 도입한 백시멘트 역시 물을 이용한 경화소재인 만큼 유사한 기능의 첨가제들이 필요하므로 백시멘트에 적합한 첨가제 물질을 선정하여 대체하고, 첨가제별 조건 실험을 통해 백시멘트계 함침 용액을 최적화하였다.

그림 2-45는 백시멘트 적용 무기계 함침제의 혼수량에 따른 점도 및 경화시간을 나타낸 그래프이다. 점도 측정은 KS F 2392 「회전 점도계를 이용한 아스팔트의 점도 시험방법」 규격을 참조하여 표준형 디지털 회전 점도계(DAIHAN Scientific, Standard Rotary Viscometer, WVS-2M)를 사용하여 측정하였다. 백시멘트 중량 대비 40, 50, 60, 70, 80%의 혼수량으로 제조한 함침 용액은 8.4-43.5 cP의 점도 범위로 나타났으며, 혼수량이 증가할수록 함침 용액의 점도가 감소함을 알 수 있다. 상온에서의 물의 점도 값이 1.005 cP임을 고려했을 때 물보다 20배 이상의 고점도 용액에서는 함침 공정상 작업성이 매우 떨어질 것으로 예상되어 적어도 50% 이상의 혼수량이 필요할 것으로 판단된다. 또한 함침 용액의 경화시간은 약 25-40분으로 혼수량과 비례하여 증가하는 경향성을 가지지만 그 영향이 크진 않은 것으로 확인되었다. 함침 및 압착 공정을 포함하는 작업 시간은 batch 당 생산량에 따라 달라지므로 지연제와 같은 첨가제를 통한 경화시간 조절 및 제어가 필요하다.

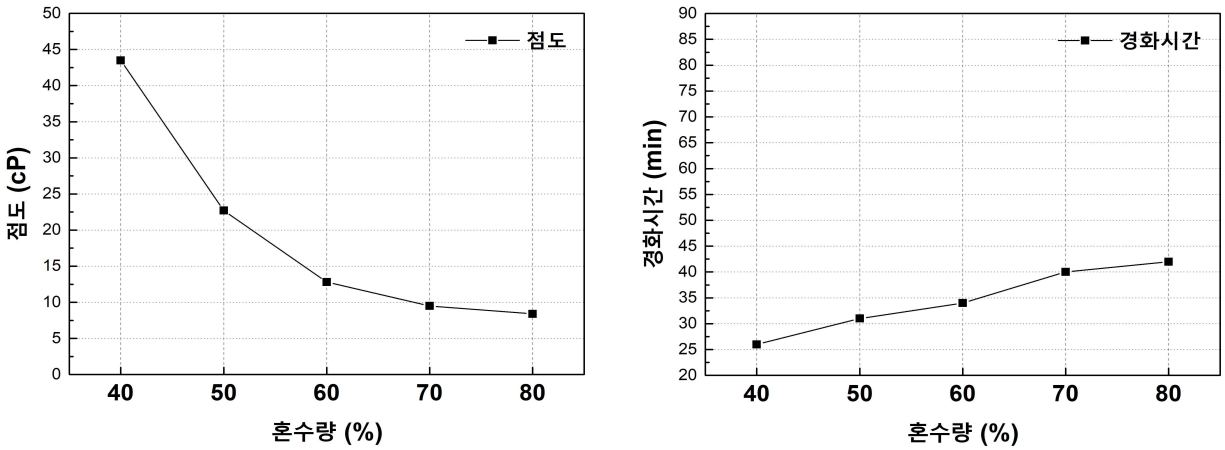


그림 2-45. 혼수량에 따른 백시멘트계 함침 용액의 점도 및 경화시간

시료 1개의 함침에서 압착까지의 공정시간은 3-5분 이내로 짧지만, 제조한 함침 용액 1 batch 당 생산 가능한 시료의 개수가 10-20개 정도이기 때문에 최소 30분에서 길게는 1시간 정도의 작업시간이 요구된다. 그림 2-45에서 나타난 바와 같이 백시멘트계 함침 용액의 경화시간은 25-40분 정도로, 충분한 작업시간 확보를 위해서는 첨가제를 통한 경화시간 조절이 필요하다고 판단되었다. 시멘트의 응결을 지연시키는 경화 지연제는 클링커 및 수화물질상의 흡착에 의해 지연이 되는 것으로 알려져 있으며, 본 연구에서는 무기계 화합물인 인산염보다 응결지연성능이 높은 것으로 보고되는 유기계 지연제로 유기산을 사용하였다[12, 13]. 그림 2-46은 유기산 첨가량에 따른 혼수량 60% 함침 용액의 경화시간을 나타낸 그래프이며, 유기산 첨가에 따라 함침 작업이 가능한 시간이 약 32분에서 85분까지 늘어나는 것을 확인할 수 있다. 본 연구에서는 15장/batch의 생산량을 기준으로 60분 이상의 작업시간을 확보할 수 있도록 백시멘트 중량 대비 유기산의 첨가 비율을 약 0.5% 정도로 최적화하였다.

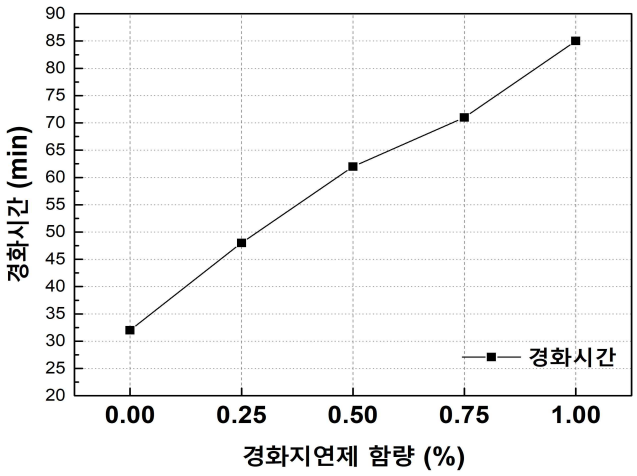


그림 2-46. 지연제 첨가에 따른 백시멘트계 함침 용액의 경화 시간

석고와 비교하여 백시멘트는 10 ㎛ 이하의 균일한 입도 분포를 가지고 있어(표 2-24, 그림 2-42) 함침 용액 제조 시 혼합성이 뛰어나고 함침 공정성 및 작업성이 우수하며 이에 따라 유기계 기재 내부에 균일하게 함침되어 우수한 단열특성 확보가 가능하다. 하지만 이와 같이 미세한 입도 분포로 인해 함침 용액의 유동성이 높아지고 점성은 낮아짐에 따라 바인더로써의 기능이 약화되어 유기계 스펀지 내부 무기계 소재의 절대적인 함침량이 줄어드는 단점이 있다. 이를 보완하기 위한 첨가제로써 증점제를 적용하였으며, 증점제란 물에 잘 녹는 수용성 폴리머로 시멘트 재료에 혼합하여 재료분리 저항성을 높여 점성을 증가시키고 공기연행 작용이 있어 시멘트의 내구성을 향상시키는 목적으로 사용되는 첨가제이다[14]. 본 연구에서는 폴리카르본산계 혼화제와 병행하여 사용 가능한 셀룰로스 에테르계를 주성분으로 하는 초유동 시멘트 증점제를 사용하였으며, 그림 2-48과 같이 증점제 배합 조건 실험을 통해 최적 함량 조건을 확인하고자 하였다. 일반적으로 시멘트 중량당 0.01-0.3% 비율로 첨가한다고 알려져 있어, 혼수량 60%를 기준으로 백시멘트 중량비 0.01, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.30%의 증점제를 첨가하여 각 배합 조건별 함침 용액의 점도를 측정하고 스펀지에 대한 함침 실험을 통해 시료의 밀도 및 함침양상을 비교 분석하였다. 그림 2-47을 보면 증점제의 첨가에 따라 함침 용액의 점도가 급격히 증가하여 물로만 제조한 함침 용액과 비교했을 때 최대 20배 이상의 점성을 나타냈으며, 점도 증가와 함께 함침 시료의 밀도 또한 증가하는 경향을 보였다. 하지만 일정 함량 이상에서부터 오히려 밀도 값이 감소하였는데 이는 함침 용액의 점도가 너무 높아져 함침성이 떨어지기 때문으로 판단된다. 결론적으로 유무기 융합 단열재의 밀도에 따른 열전도율 상관관계를 고려했을 때 본 연구의 개발 목표인 0.051 W/mK 이하의 열전도율에 부합하는 밀도 범위는 최대 0.25 g/cm^3 이하이며, 이를 만족하는 증점제 함량 조건은 0.05% 이하로 제시할 수 있으나, 그림 2-49의 함침 양상을 보면 0.05% 조건에서부터 함침 용액의 응집이 일어나 시료 표면에 겉도는 것을 확인할 수 있다. 따라서 단열재의 성능뿐만 아니라 공정 작업성을 모두 고려했을 때 백시멘트 중량비 증점제 함량은 0.01%로 최적화할 수 있다.

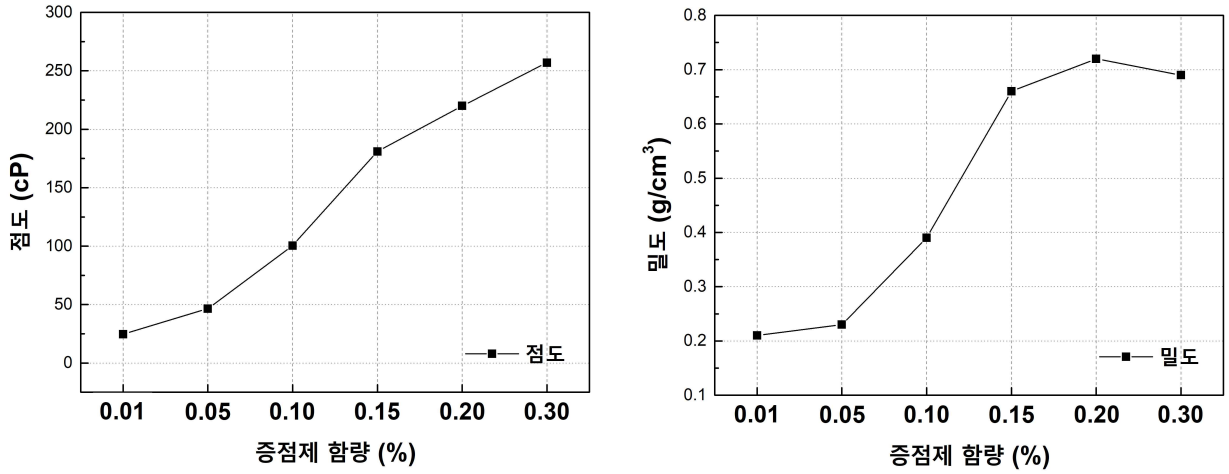


그림 2-47. 증점제 함량에 따른 백시멘트계 함침 용액의 점도 및 밀도



그림 2-48. 증점제 배합 조건 실험 사진



(a) 0.01% (b) 0.05%

(c) 0.10% (d) 0.15%

(e) 0.20% (f) 0.30%

그림 2-49. 증점제 배합비에 따른 함침성

석고 함침 시료와 동일한 문제로 백시멘트 함침 시료 또한 건조 후 표면에 분진이 발생하여 제품성이 떨어지는 문제가 있다. 이는 경화된 백시멘트 입자가 유기계 기재와 결합이 이루어지지 않아 나타나는 현상으로, 내부의 경우 유기계 기재의 구조가 치밀하여 외부로 나오지 않지만 표면에서 경화된 입자는 별도의 결합기재가 없어 분진형태로 존재하게 된다. 이에 대한 해결 방안으로 건조 공정 후 별도의 마감처리를 하는 방법도 있지만, 경제성 및 공정 효

율성을 고려하여 함침 용액에 유기계 기재와 무기계 입자의 결합력을 증진시키는 역할을 할 수 있는 고분자류의 첨가제를 넣어 분진 발생을 줄이고자 하였다. 분진 발생에 대해 정량적인 평가 방법이 없어 측정하진 못했지만, 육안 관찰 시 첨가제를 넣기 이전에 비해 확연히 분진이 줄어든 것을 확인할 수 있었다. 결론적으로 3차 년도에서는 무기계 바인더 기본 물질로 백시멘트를 도입하여 유무기 융합화를 위한 액상 반응 연구를 통해 백시멘트 기반 무기계 함침 소재 배합비를 최적화하였다. 표 2-26에 나타낸 바와 같이 백시멘트 중량 대비 작업시간 확보를 위한 경화 지연용 유기산 0.5%, 함침 결합력 및 균일성 향상을 위한 초유동 시멘트 증점제 0.01%, 분진 제거를 위한 코팅제 역할의 수지류 5%로 제시하였다.

표 2-26. 백시멘트 기반 무기계 함침 소재 배합비

무기 바인더 소재	기본 물질	첨가제		
	백시멘트	경화 지연제	증점제	수지류
배합비	100%	0.5%	0.01%	5%

② 압착공정

가로세로 300×300 mm, 두께 50 mm 크기의 일반 스펀지를 백시멘트 중량 대비 혼수량 50, 60, 70%의 용액에서 함침시킨 후, 5, 8, 11, 14, 17 mm의 롤러 간격으로 압착하여 건조시켰다. 이렇게 생산된 시료들을 대상으로 밀도 및 열전도율을 측정하여 함침 및 압착 조건에 따른 단열 특성을 비교 분석하였으며, 표 2-27과 그림 2-50에 그 결과를 나타냈다. 혼수량이 증가, 롤러 간격은 감소함에 따라 스펀지 내부 백시멘트 함침량이 감소하여 밀도 및 열전도율이 감소하는 경향을 나타내며(표 2-28), 이는 석고계 시료와 동일한 경향성을 보이나 같은 공정 조건에서 비교할 경우 백시멘트계 시료에서 보다 우수한 단열 특성을 나타낸다. 본 연구의 개발 목표치인 열전도율 0.051 W/mK 이하를 만족하는 시료로는 혼수량 50%의 경우 롤러 간격 5 mm, 60%의 경우 5, 8 mm, 70%의 경우 5, 8, 11 mm의 조건이 해당한다. 하지만 혼수량 50% 조건의 경우 함침 용액의 점도가 높고 경화시간이 짧아 함침 공정 시 작업성이 떨어지며, 혼수량 70%의 경우에는 반대로 점도가 너무 낮아 건조 시 중력에 의해 시료가 놓여진 수직 방향으로 쏠림 현상이 일어나 함침제의 밀도 구배가 나타나는 문제가 있다. 또한 롤러 간격의 경우 50 mm의 스펀지 두께에 비해 90% 이상의 압축률을 가지는 5 mm 조건은 압착 간격이 너무 좁아 압착 공정 시 작업성이 떨어지는 점을 고려하면, 백시멘트계 함침 용액의 최적 공정 조건으로 혼수량 60% 및 롤러 간격 8 mm의 함침 및 압착 조건을 제시할 수 있다.

표 2-27. 백시멘트계 유무기 융합 단열재의 함침 및 압착 조건에 따른 밀도 및 열전도율

혼수량 / 롤러 간격		50%		60%		70%	
		밀도 (g/㎤)	열전도율 (W/mK)	밀도 (g/㎤)	열전도율 (W/mK)	밀도 (g/㎤)	열전도율 (W/mK)
5 mm	**1**	**0.189**	**0.04853**	**0.120**	**0.03959**	**0.096**	**0.03903**
	2	**0.218**	**0.05070**	**0.149**	**0.04409**	**0.097**	**0.03878**
8 mm	1	0.255	0.05215	**0.224**	**0.04921**	**0.151**	**0.04297**
	2	0.238	0.05349	**0.212**	**0.04801**	**0.156**	**0.04333**
11 mm	1	0.352	0.06417	0.253	0.05245	**0.202**	**0.04673**
	2	0.331	0.06606	0.256	0.05410	**0.202**	**0.04783**
14 mm	1	0.398	0.07869	0.360	0.06555	0.260	0.05496
	2	0.417	0.07928	0.375	0.06815	0.246	0.05069
17 mm	1	0.495	0.08925	0.385	0.07283	0.314	0.06335
	2	0.523	0.09063	0.403	0.07578	0.285	0.05702

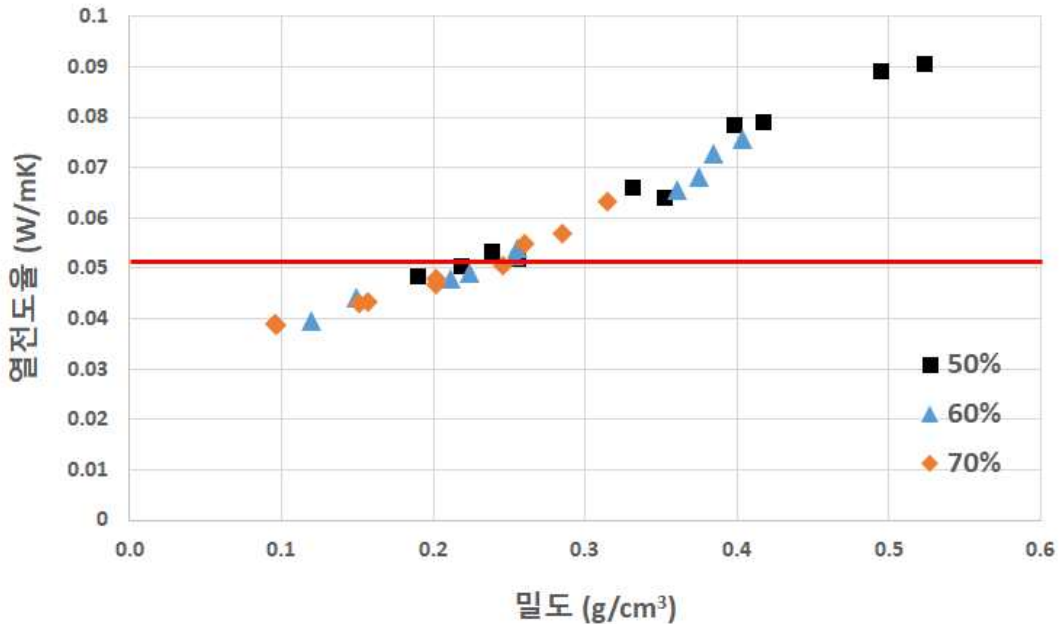
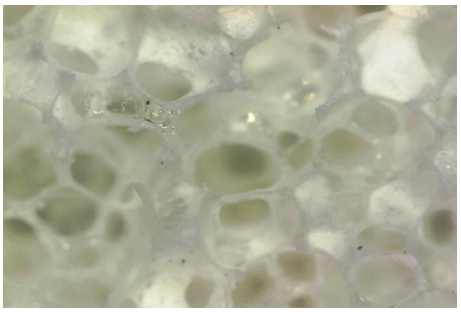
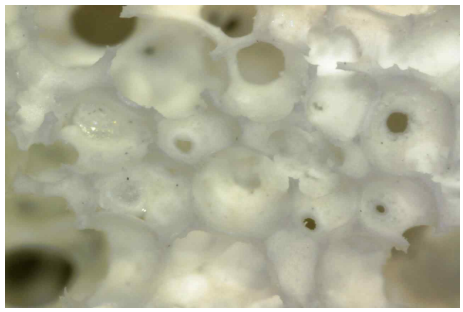
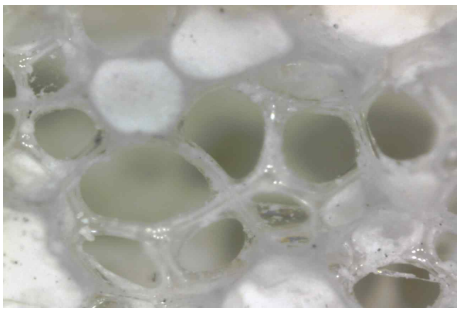


그림 2-50. 백시멘트계 유무기 융합 단열재의 밀도에 따른 열전도율 변화

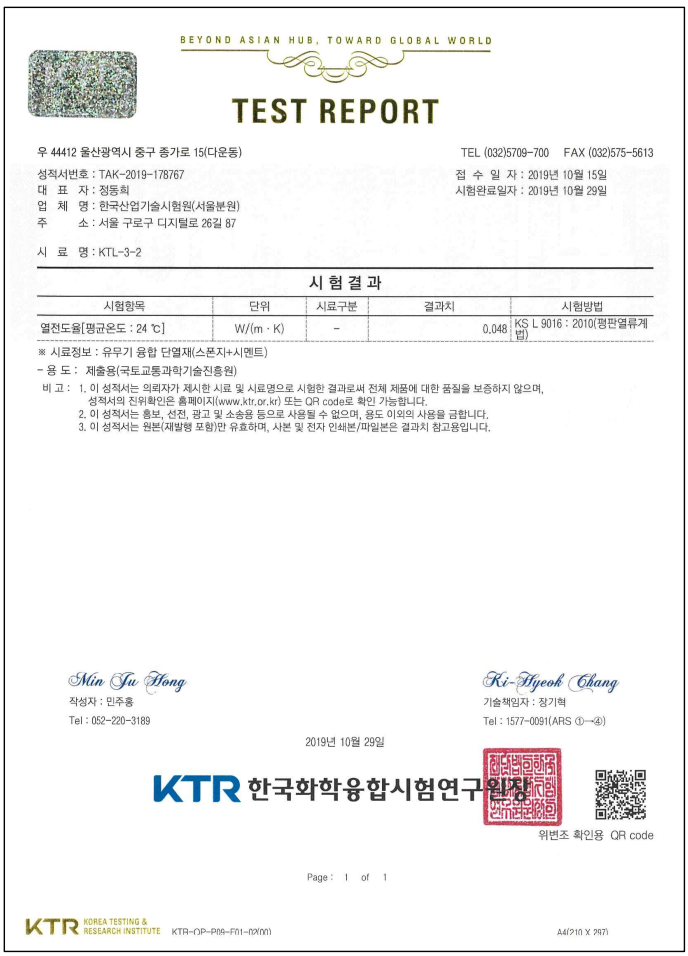
표 2-28. 백시멘트계 유무기 융합 단열재의 밀도에 따른 함침양상 비교

배율	저밀도 시료 (60%, 5 mm)	고밀도 시료 (60%, 17 mm)
30×		
150×		
250×		

(나) 최종 개발품에 대한 성능 평가 결과

3차 년도 연구에서 단열재의 용도별 규격에 맞추어 유기계 기재의 두께를 30 mm에서 50 mm로 변경하였으며, 무기계 함침소재의 원료를 석고보다 흡습성이 낮고, 고운 입자분포를 가진 백시멘트로 변경하여 함침, 압착 및 건조공정의 최적화 연구를 진행하였다. 최적화 연구를 토대로 두께 50 mm 일반 스펀지를 유기계 기재로 선정하여 무기계 백시멘트의 혼수량 60% 함침, 압착 롤러간격 8 mm 조건에서 열전도율 0.048 W/mK 급의 성능을 가진 유무기 융합 단열재 최종 시제품을 개발하였다. 단열재의 성능을 나타내는 열전도율을 비롯한 강도, 난연성, 환경유해성, 내열성 항목에 대한 시험 평가를 실시함으로써 개발품의 3차 년도 개발 목표치의 만족 여부를 확인하였다.

열전도는 열을 재료의 앞쪽 표면에서 뒤쪽 표면으로 전달하는 것을 말하며, 두께 1 m, 면적 1 m^2인 재료의 앞쪽 표면에서 뒤쪽 표면으로 1℃의 온도차로 1시간 동안 전달된 열량을 뜻한다. 즉 어떤 물체의 고유 성질로서 전도에 의한 열 이동의 정도를 나타낸다. 단열은 물체와 물체 사이에 열이 서로 통하지 않도록 막는 것을 의미하며 필요한 열을 필요한 장소에 보존하고 불필요한 열을 방출시키는 것이다. 따라서 열전도율이 낮을수록 단열특성이 우수하다는 것을 의미하며 단열재의 성능에 있어 열전도율은 가장 중요한 지표이다. 3차 년도 개발목표는 열전도율 0.051 W/mK 이하로 설정하였으며, 이 목표 값은 국토교통부고시 제 2017-71호 건축물의 에너지절약설계기준(시행 2017.6.20.)에 따라 라 등급의 기타 단열재로 분류된다. 본 연구에서는 이 목표 값을 달성하기 위해 두께 50 mm 폴리우레탄 폼 스펀지를 유기계 기재로 선정하였고, 강도와 경도가 높고, 흡습성이 낮으며, 경제성이 뛰어난 백시멘트를 무기 바인더 소재로 선정하여 함침 및 압착 공정을 최적화하는 연구를 수행하였다. 그 결과, 혼수율 60%, 롤러간격 8 mm를 최적 조건으로 하여 열전도율 0.048 W/mK를 갖는 유무기 융합 단열재를 개발할 수 있었다. 그림 2-51에 개발한 유무기 융합 단열재의 열전도율 시험인증 결과를 성적서로 제시하였다.



BEYOND ASIAN HUB, TOWARD GLOBAL WORLD

TEST REPORT

우 44412 울산광역시 중구 종가로 15(다운동) TEL (032)5709-700 FAX (032)575-5613

성적서번호 : TAK-2019-178767
대 표 자 : 정동희
업 체 명 : 한국산업기술시험원(서울분원)
주 소 : 서울 구로구 디지털로 26길 87

접 수 일 자 : 2019년 10월 15일
시험완료일자 : 2019년 10월 29일

시 료 명 : KTL-3-2

시 험 결 과

시험항목	단위	시료구분	결과치	시험방법
열전도율[평균온도 : 24 ℃]	W/(m · K)	-	0.048	KS L 9016 : 2010(평판열류계법)

※ 시료정보 : 유무기 융합 단열재(스폰지+시멘트)
- 용 도 : 제출용(국토교통과학기술진흥원)

비 고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로써 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서의 진위확인은 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code로 확인 가능합니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용 등으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서는 원본(재발행 포함)만 유효하며, 사본 및 전자 인쇄본/파일본은 결과치 참고용입니다.

Min Ju Hong
작성자 : 민주홍
Tel : 052-220-3189

Ki-Hyeok Chang
기술책임자 : 장기혁
Tel : 1577-0091(ARS ①→④)

2019년 10월 29일

KTR 한국화학융합시험연구원장

위변조 확인용 QR code

Page : 1 of 1

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE KTR-QP-P05-F01-02(00) A4(210 X 297)

그림 2-51. 개발한 유무기 융합 단열재의 열전도율 시험 성적서

유무기 융합 단열재의 강도 평가는 단열재가 견디는 하중에 대한 지표로 휨강도(굴곡강도)와 압축강도 시험으로 수행하였다. 시험방법으로는 KS M 3809(2006) 경질 폴리우레탄 폼 단열재에서 제시하는 굴곡강도와 압축강도에 대한 시험방법을 참고하였다. 본 연구에서 당해연도 휨강도 및 압축강도의 목표는 3 kgf/cm^2(29.4 N/cm^2)로 기존 상용 단열재 관련 규격에서 제시하는 수치와 유사한 수준을 가정하여 산정하였다.

휨강도는 KS M ISO 1209-1(2012) 경질발포 플라스틱-굴곡 특성 측정규격에 따라 시험하였다. 시험편의 크기를 120×25×20 mm로 재단하였으며, 그림 2-52와 같이 시험편을 지지봉 위에 대칭으로 두고 시험편의 종축에 대해 수직으로 하중이 가해지도록 조절하여 휨변형이 20 mm일 때의 하중(N)을 측정하는 방식으로 측정하였다. 한국화학융합시험연구원(KTR)에 의뢰한 결과 3.47 kgf/cm^2(34 N/cm^2)로 목표치를 만족하였다. 압축강도 시험 또한 KTR에 휨강도와 동일한 시험편으로 의뢰하였으며, KS M ISO 844(2012) 경질 발포 플라스틱-압축시험 규격에서 제시하는 방법으로 수행하였다. 시험편은 100×100×50 mm 크기로 재단하였으며, 그림 2-52와 같이 시험편을 압축 시험기 판 사이에 두고 판의 중심부에 맞추어 일정한 속도로 시험편을 압축하여 초기 두께의 85%가 감소될 때의 최대 하중을 측정하였다. 측정 결과에 따르면 압축강도는 3.78 kgf/cm^2(37 N/cm^2)로 목표치를 달성하였음을 확인하였다. 또한 2차 년도 연구결과에서 제시한 석고소재 유무기 융합 단열재의 압축강도 3.46 kgf/cm^2(33.9 N/cm^2)보다 높은 결과를 나타냈다. 유무기 융합 단열재의 휨강도 및 압축강도에 대한 성능 평가 성적서는 그림 2-53에 나타내었다.



(a) 굴곡(휨) 강도 (b) 압축강도

그림 2-52. 개발한 유무기 융합 단열재의 굴곡(휨)강도 및 압축강도 측정사진



BEYOND ASIAN HUB, TOWARD GLOBAL WORLD

TEST REPORT

우 13810 경기도 과천시 교육원로 98(중앙동) TEL (032)5709-700 FAX (032)575-5613

성적서번호 : TAK-2019-175258
대 표 자 : 정동희
업 체 명 : 한국산업기술시험원(서울분원)
주 소 : 서울 구로구 디지털로26길 87 (구로동)

접 수 일 자 : 2019년 10월 08일
시험완료일자 : 2019년 10월 31일

시 료 명 : 단열재(KTL-3)

시 험 결 과

시험항목	단위	시료구분	결과치	시험방법
압축강도	N/cm²	-	37	KS M 3809 : 2006
굴곡강도	N/cm²	-	34	KS M 3809 : 2006

- 용 도 : 제출용(국토교통과학기술진흥원)

비 고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로써 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서의 진위확인은 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code로 확인 가능합니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용 등으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서는 원본(재발행 포함)만 유효하며, 사본 및 전자 인쇄본/파일본은 결과치 참고용입니다.

Park Joo-ick
작성자 : 박주익
Tel : 02-2092-3701

You Seok
기술책임자 : 유석
Tel : 1577-0091(ARS ①→④)

2019년 10월 31일

KTR 한국화학융합시험연구원장

위변조 확인용 QR code

Page : 1 of 1

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE KTR-QP-P(9)-F01-02(00) A4(210 X 297)

그림 2-53. 유무기 융합 단열재의 휨강도 및 압축강도 시험 성적서

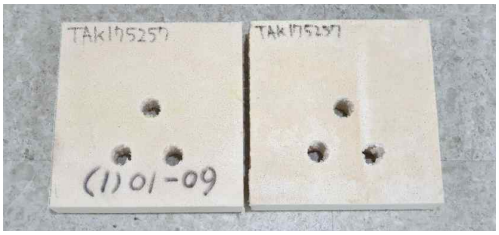
본 연구에서 개발한 유무기 융합 단열재는 화재 취약성 및 연소 시 유해성 등의 치명적인 단점을 가진 유기계 기재에 무기계 바인더를 첨가하여 난연성 및 환경안정성을 부여함으로써 기존 단열재의 문제점을 개선하였다. 하지만, 2차 년도 연구와 달리 본 연구에서는 두께 50 mm 폴리우레탄 폼을 기반으로 석고에 비해 밀도가 높고, 입도가 작은 백시멘트와 함침의 균일성 및 작업성 증가를 위한 첨가제를 함침하였다. 백시멘트와 석고의 밀도 및 입도 차이에 의해 동일한 질량의 무기계 바인더가 함침 되었지만 백시멘트의 부피가 작기 때문에 함침 특성의 변화가 난연성 및 환경유해성 성능에 영향이 있었는지 확인하고, 기존 유기계 단열재와의 차별성을 두기 위해 난연성과 환경유해성을 성능평가 항목으로 선정하였다.

난연성은 재료가 연소하기 어려운 정도를 나타내는 특성으로 기존 단열재 규격에서 난연성 평가항목을 포함하는 규격은 거의 없다. 따라서 본 연구에서 개발한 유무기 융합 단열재의 난연성능 평가는 국토해양부 고시 제2015-744호 「건축물 마감재료의 난연성능 및 화재확산 방지구조 기준」을 적용하여 그 내용을 도출하였다. 또한, 기존 유기계 단열재의 화재 취약성

을 무기계 바인더와의 함침 및 융합을 통해 크게 보완했지만, 유기계 기재가 포함된 제품이므로 준불연재료(난연2급)로 분류되어 해당 시험방법 및 성능기준을 적용하였다. 준불연재료란 한국산업규격 KS F ISO 5660-1 「연소성능시험-열 방출, 연기 발생, 질량 감소율-제1부:열 방출률(콘칼로리미터법)」에 규정한 시험방법에 따른 성능 기준을 만족해야 한다. 시험방법 및 기준은 가열시험 개시 후 10분간 총 방출열량이 8 MJ/㎡ 이하이며, 10분간 최대 열방출률이 10초 이상 연속으로 200 kW/㎡를 초과하지 않고, 10분간 가열 후 시험체를 관통하는 방화상 유해한 균열, 구멍 및 용융(복합자재의 경우 심재가 전부 용융, 소멸되는 것을 포함한다) 등이 없어야 한다. 또한, 한국산업규격 KS F 2271 중 가스유해성 시험 결과, 실험용 쥐의 평균행동정지 시간이 9분 이상이어야 하는 기준을 만족해야 한다. 위 규격에서 제시된 방법에 따라 개발한 유무기 융합 단열재를 대상으로 준불연시험(열방출률 시험 및 가스유해성 시험)을 수행하였다. 열방출률 시험 결과 총 방출열량은 평균 3.27 MJ/m^2으로 기준치 8 MJ/m^2 이하로 만족하였고, 열방출률이 200 KW/m^2를 연속하여 초과한 시간이 0초로 기준치인 10초 이하를 만족하였다. 표 2-29의 열방출률 시험 전과 후의 사진을 보면 심재의 전부 용융 및 관통하는 균열과 구멍 등이 발견되지 않아 육안 테스트도 만족하였다. 가스유해성 시험은 실험용 쥐의 평균 행동 정지시간이 9분 이상을 만족해야 하는데 표 2-30에 나타낸 바와 같이 평균 14분 51.5초로 기준을 만족하는 결과를 제시했다. 따라서 국토교통부고시 「건축물 마감재료의 난연성능 및 화재 확산 방지구조 기준」에서 제시하는 준불연재료에 적합한 결과로 나타났으며, 그림 2-33에서 최종 시작품에 대한 난연성능 시험인증 결과를 성적서로 제시하였다.

표 2-29. 열방출률 시험 결과

시험항목	시험체 번호		
	1	2	3
두께 (mm)	50.0	49.9	49.9
열방출률 (kW/m^2)	5.8	6.1	4.3
총방출열량 (MJ/m^2)	3.5	3.7	2.6
복사열 (kW/m^2)	50		
시험시간 (s)	600		

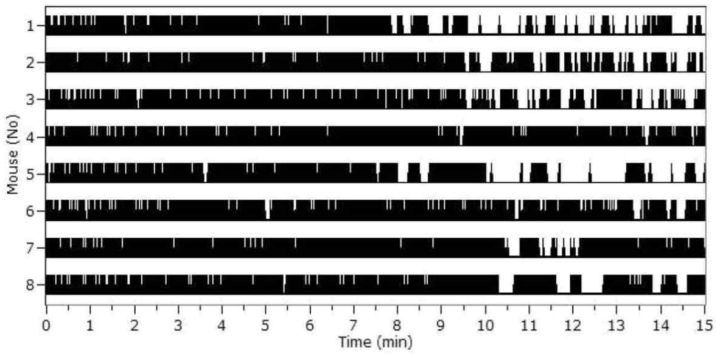
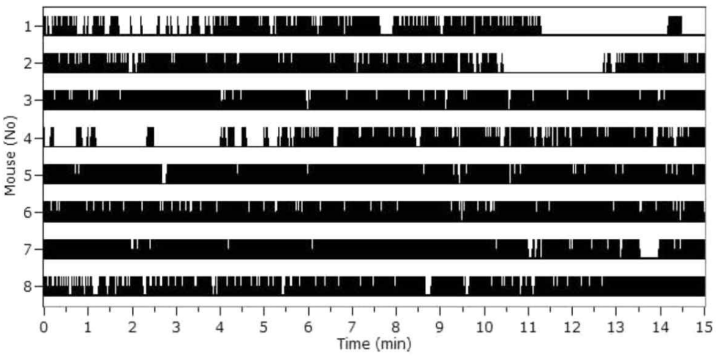


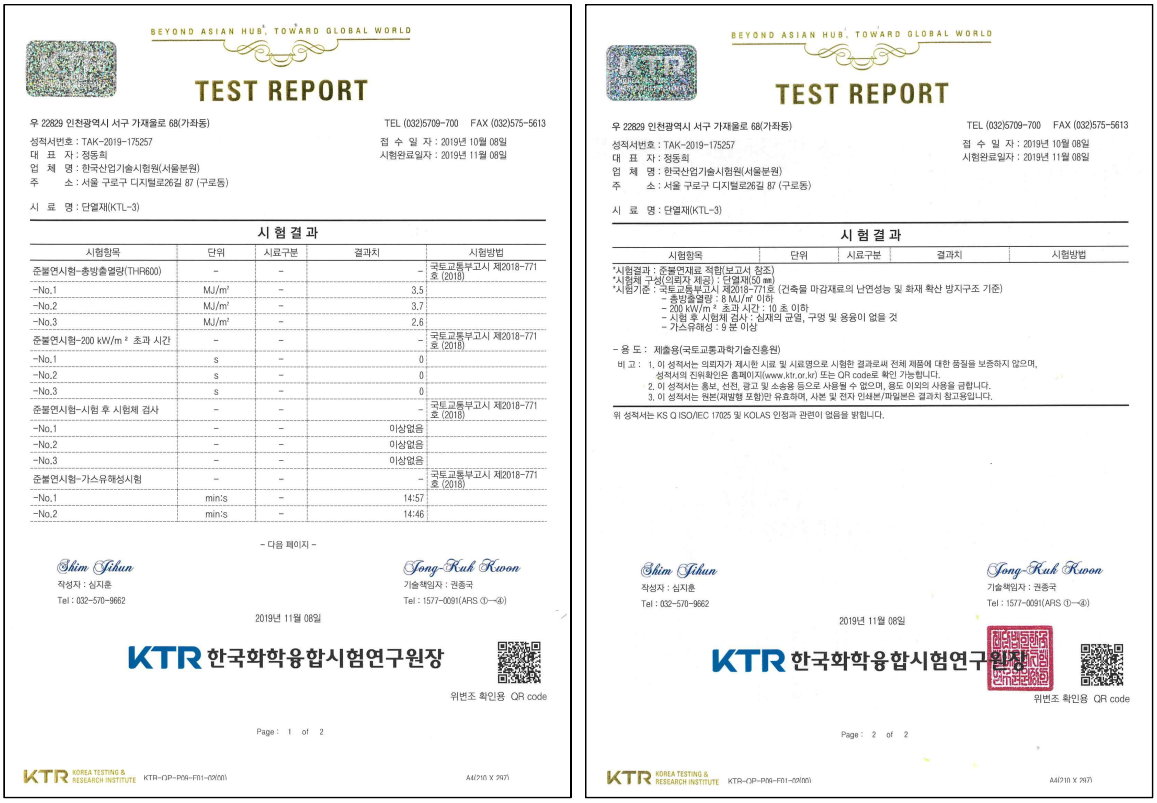
시험 전



시험 후

표 2-30. 가스유해성 시험 결과

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">시험항목</td><td colspan="2">시험체 번호</td></tr>
<tr><td>1</td><td>2</td></tr>
<tr><td colspan="2">두께(mm)</td><td>49.9</td><td>49.8</td></tr>
<tr><td colspan="2">8마리 행동정지시간(평균)</td><td>14분 59초</td><td>14분 56초</td></tr>
<tr><td colspan="2">표준편차</td><td>2초</td><td>10초</td></tr>
<tr><td colspan="2">평균행동정지시간</td><td>14분 57초</td><td>14분 46초</td></tr>
<tr><td colspan="2">부열원 / 주열원</td><td colspan="2">LP Gas, 3분 / 할로겐 3분</td></tr>
<tr><td rowspan="11">1</td><td>M1 14분 55초</td><td rowspan="11" colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>M2 14분 57초</td></tr>
<tr><td>M3 15분 00초</td></tr>
<tr><td>M4 15분 00초</td></tr>
<tr><td>M5 15분 00초</td></tr>
<tr><td>M6 15분 00초</td></tr>
<tr><td>M7 14분 59초</td></tr>
<tr><td>M8 15분 00초</td></tr>
<tr><td>평균 14분 59초</td></tr>
<tr><td>표준편차 2초</td></tr>
<tr><td>평균행동정지시간 14분 57초</td></tr>
<tr><td rowspan="11">2</td><td>M1 14분 29초</td><td rowspan="11" colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>M2 15분 00초</td></tr>
<tr><td>M3 15분 00초</td></tr>
<tr><td>M4 15분 00초</td></tr>
<tr><td>M5 15분 00초</td></tr>
<tr><td>M6 14분 59초</td></tr>
<tr><td>M7 15분 00초</td></tr>
<tr><td>M8 15분 00초</td></tr>
<tr><td>평균 14분 56초</td></tr>
<tr><td>표준편차 10초</td></tr>
<tr><td>평균행동정지시간 14분 46초</td></tr>
<tr><td colspan="4">  </td></tr>
<tr><td colspan="2">시험 전</td><td colspan="2">시험 후</td></tr>
</table>



BEYOND ASIAN HUB, TOWARD GLOBAL WORLD

TEST REPORT

우 22829 인천광역시 서구 가재울로 68(가좌동) TEL (032)5709-700 FAX (032)575-5613

성적서번호 : TAK-2019-175257 접 수 일 자 : 2019년 10월 08일
대 표 자 : 정동희 시험완료일자 : 2019년 11월 08일
업 체 명 : 한국산업기술시험원(서울분원)
주 소 : 서울 구로구 디지털로26길 87 (구로동)

시 료 명 : 단열재(KTL-3)

시 험 결 과

시험항목	단위	시료구분	결과치	시험방법
준불연시험-총방출열량(THR600)	-	-	-	국토교통부고시 제2018-771호 (2018)
-No.1	MJ/m²	-	3.5	
-No.2	MJ/m²	-	3.7	
-No.3	MJ/m²	-	2.6	
준불연시험-200 kW/m² 초과 시간	-	-	-	국토교통부고시 제2018-771호 (2018)
-No.1	s	-	0	
-No.2	s	-	0	
-No.3	s	-	0	
준불연시험-시험 후 시험체 검사	-	-	-	국토교통부고시 제2018-771호 (2018)
-No.1	-	-	이상없음	
-No.2	-	-	이상없음	
-No.3	-	-	이상없음	
준불연시험-가스유해성시험	-	-	-	국토교통부고시 제2018-771호 (2018)
-No.1	min:s	-	14:57	
-No.2	min:s	-	14:46	

- 다음 페이지 -

Shim Sihun
작성자 : 심지훈
Tel : 032-570-9662

Song-Kuk Kwon
기술책임자 : 권종국
Tel : 1577-0091(ARS ①-④)

2019년 11월 08일

KTR 한국화학융합시험연구원장

위변조 확인용 QR code

Page : 1 of 2

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE KTR-QP-P06-F01-02(00) A4(210 X 297)

BEYOND ASIAN HUB, TOWARD GLOBAL WORLD

TEST REPORT

우 22829 인천광역시 서구 가재울로 68(가좌동) TEL (032)5709-700 FAX (032)575-5613

성적서번호 : TAK-2019-175257 접 수 일 자 : 2019년 10월 08일
대 표 자 : 정동희 시험완료일자 : 2019년 11월 08일
업 체 명 : 한국산업기술시험원(서울분원)
주 소 : 서울 구로구 디지털로26길 87 (구로동)

시 료 명 : 단열재(KTL-3)

시 험 결 과

시험항목	단위	시료구분	결과치	시험방법

*시험결과 : 준불연재료 적합(보고서 참조)
*시험체 구성(인증자 제공) : 단열재(50 ㎜)
*시험기준 : 국토교통부고시 제2018-771호 (건축물 마감재료의 난연성능 및 화재 확산 방지구조 기준)
- 총방출열량 : 8 MJ/㎡ 이하
- 200 kW/m² 초과 시간 : 10 초 이하
- 시험 후 시험체 검사 : 심재의 균열, 구멍 및 용융이 없을 것
- 가스유해성 : 9 분 이상

- 용 도 : 제출용(국토교통과학기술진흥원)

비 고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로써 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않으며,
성적서의 진위확인은 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code로 확인 가능합니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용 등으로 사용할 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서는 원본(재발행 포함)만 유효하며, 사본 및 전자 인쇄본/파일본은 결과치 참고용입니다.

위 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 관련이 없음을 밝힙니다.

Shim Sihun
작성자 : 심지훈
Tel : 032-570-9662

Song-Kuk Kwon
기술책임자 : 권종국
Tel : 1577-0091(ARS ①-④)

2019년 11월 08일

KTR 한국화학융합시험연구원장

위변조 확인용 QR code

Page : 2 of 2

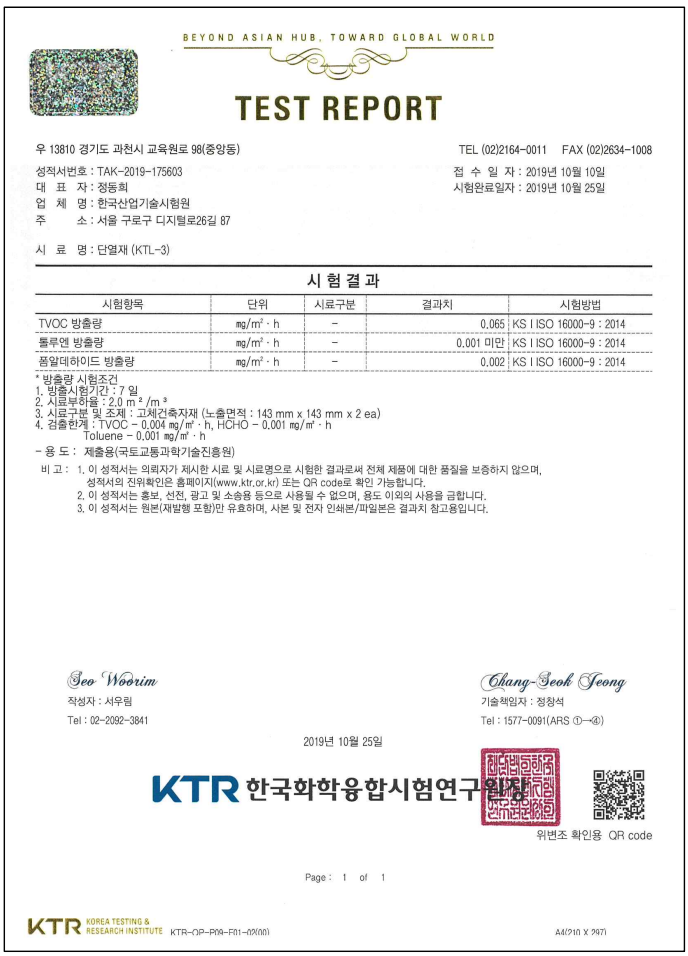
KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE KTR-QP-P06-F01-02(00) A4(210 X 297)

그림 2-54. 개발한 유무기 융합 단열재의 난연성능 시험 성적서

유무기 융합 단열재의 환경유해성은 휘발성 유기화합물(VOCs, volatile organic compounds) 방출량, 톨루엔 방출량, 폼알데하이드 방출량 시험으로 실내공기에 미치는 영향의 정도를 확인하였다. 이는 환경표지 인증기준인 EL248 「벽 및 천장 마감재 기준」에서 제시하는 시험항목으로 국내의 「다중이용시설 등의 실내공기질관리법 시행규칙」보다 낮은 농도로 더 엄격한 안정성을 요구하는 규격이다. 먼저, 다중이용시설 등의 실내공기질관리법 시행규칙에 따르면 VOCs의 경우 7일 후 VOCs 방출량이 0.40 mg/m^2·h 이하 또는 톨루엔 방출량이 0.080 mg/m^2·h 이하를 만족해야 한다. 폼알데하이드의 경우에는 방출량이 0.3 mg/L 이하 또는 7일 후 폼알데하이드 방출량이 0.05 mg/m^2·h 이하를 만족해야 한다. EL248 벽 및 천장 마감재 기준은 표 2-31에 나타내었다. 본 연구에서는 EL248 규격에 따라 TVOCs 및 톨루엔, 폼알데하이드 방출량 기준을 설정하였다. 환경유해성 시험방법은 KS I ISO 16000-9로 진행되며 7일 동안 시료부하율 2.0 m^2/m^3, 23℃, 50% RH 온도 및 습도 조건에서 방출시험을 수행하여 농도를 확인하였다. 측정 결과, TVOC 방출량은 0.065 mg/㎡·h 미만, 톨루엔 방출량은 0.001 mg/m^2·h 미만, 폼알데하이드 방출량은 0.002 mg/m^2·h 미만으로 EL248 기준을 모두 만족하였다. 그림 2-55에 개발한 유무기 융합 단열재의 환경유해성 시험인증 결과를 성적서로 제시하였다.

표 2-31. EL248 「벽 및 천장 마감재」에서 제시하는 기준

시험 항목	기준
VOCs 방출량	7일 후 VOCs 방출량 0.10 mg/m^2·h 이하
톨루엔 방출량	톨루엔 방출량 0.080 mg/m^2·h 이하
폼알데하이드 방출량	폼알데하이드 방출량 0.3 mg/L 이하 또는 7일 후 폼알데하이드 방출량 0.015 mg/m^2·h 이하



BEYOND ASIAN HUB, TOWARD GLOBAL WORLD

TEST REPORT

우 13810 경기도 과천시 교육원로 98(중앙동) TEL (02)2164-0011 FAX (02)2634-1008

성적서번호 : TAK-2019-175603
대 표 자 : 정동희
업 체 명 : 한국산업기술시험원
주 소 : 서울 구로구 디지털로26길 87

접 수 일 자 : 2019년 10월 10일
시험완료일자 : 2019년 10월 25일

시 료 명 : 단열재 (KTL-3)

시 험 결 과

시험항목	단위	시료구분	결과치	시험방법
TVOC 방출량	㎎/㎡ · h	-	0.065	KS I ISO 16000-9 : 2014
톨루엔 방출량	㎎/㎡ · h	-	0.001 미만	KS I ISO 16000-9 : 2014
폼알데하이드 방출량	㎎/㎡ · h	-	0.002	KS I ISO 16000-9 : 2014

* 방출량 시험조건
1. 방출시험기간 : 7 일
2. 시료부하율 : 2.0 ㎡ /㎥
3. 시료구분 및 조재 : 고체건축자재 (노출면적 : 143 mm x 143 mm x 2 ea)
4. 검출한계 : TVOC – 0.004 ㎎/㎡ · h, HCHO – 0.001 ㎎/㎡ · h
Toluene – 0.001 ㎎/㎡ · h

- 용 도 : 제출용(국토교통과학기술진흥원)

비 고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로써 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서의 진위확인은 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code로 확인 가능합니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용 등으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서는 원본(재발행 포함)만 유효하며, 사본 및 전자 인쇄본/파일본은 결과치 참고용입니다.

Seo Woorim
작성자 : 서우림
Tel : 02-2092-3841

Chang-Seok Jeong
기술책임자 : 정창석
Tel : 1577-0091(ARS ①-④)

2019년 10월 25일

KTR 한국화학융합시험연구원장

위변조 확인용 QR code

Page : 1 of 1

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE KTR-QP-P09-F01-02(00) A4(210 X 297)

그림 2-55. 유무기 융합 단열재의 환경유해성 시험 성적서

내열성은 고온에서 단열재가 물리화학적으로 안정한 정도를 말하며 단열재의 수명과 밀접한 관련이 있다[15]. 사용 온도에 따라 단열재가 수축 또는 용융 등을 일으키며 단열성능이 저하된다. 이는 1차 년도 연구에서 상용품과 개발한 유무기 융합 단열재의 내열성 테스트를 진행한 결과 5개의 상용품의 경우 150℃ 조건에서 모두 수축되었으며, 1, 2차 년도 연구에서 개발한 유무기 융합 단열재는 외관상 변화가 거의 나타나지 않았음을 확인하였다. 따라서 본 연

구에서도 내열성 시험을 진행하여 개발한 유무기 융합 단열재의 치수 안정성을 나타내었다. 단열재 관련 규격에서는 내열성에 대한 시험 및 기준이 따로 제시되어 있지 않기 때문에 1, 2차 년도 연구를 바탕으로 자체적으로 유무기 함침 구조를 이용한 준불연 융합 단열재에 대한 규격을 재정하였고, 이를 토대로 내부시험을 진행하였다. KS B 5209 또는 KS B 5246에 따라 시험편을 50×50×30 mm로 재단하여 110℃에서 1시간 건조 시킨 후 측정한 치수를 기준으로 한다. 이후 150℃에서 2시간 가열한 후 치수를 측정하여 전 후 차이로 치수 안정성을 확인하였다. 시료는 연구를 통해 최적화한 조건인 함수율 60%, 롤러간격 8 mm로 제작한 유무기 융합 단열재를 대상으로 하였다. 표 2-32에 개발한 유무기 융합 단열재에 대한 시험 전후 사진 및 길이변화를 나타내었다. 1, 2차 년도 결과와 동일하게 개발한 유무기 융합 단열재의 외관상 변화가 거의 나타나지 않았음을 확인하였다. 또한, 길이 변화의 경우 버니어캘리퍼스를 사용하여 소수점 둘째 자리까지 가로, 세로, 높이를 측정하여 변화율을 확인하였다. 그 결과, 평균 변화율이 최소 0.04%, 최대 0.06%, 평균 0.05%로 매우 낮은 수치의 길이변화를 나타내었다. 이에 유무기 융합 준불연급 단열재의 2차 년도 내열성 기준인 5% 이하를 만족하였음을 확인하였다. 또한 2차 년도 연구에서 내열성 시험결과 평균 0.19%의 길이변화율과 비교하여 3차 년도 연구에서 유무기 융합 단열재의 치수안정성이 약 73% 이상 향상된 것을 확인하였다.

표 2-32. 150℃ 내열성 시험 전 후 사진 및 결과

시료 종류	시험 전(mm)			시험 후(mm)			길이변화(%)			평균 (%)
	가로	세로	높이	가로	세로	높이	가로	세로	높이	
1	48.35	50.59	29.53	48.32	50.56	29.51	0.06	0.06	0.07	0.06
2	49.52	50.09	29.53	49.52	50.05	29.51	0.00	0.08	0.07	0.05
3	50.56	50.18	29.53	50.55	50.16	29.51	0.02	0.04	0.07	0.04
									전체 평균(%)	0.05



시험 전



시험 후

(3) 최종 시제품 성과 및 사양

(가) 최종 시제품의 사양

본 연구에서 개발된 유무기 융합 구조를 가지는 형상제어 단열재는 폴리우레탄 폼에 무기계 바인더소재를 함침 시킴으로써 그 성능을 향상 및 개선시킨 건축용 단열소재로서 1차 년도, 2차 년도 연구진행과 제품의 생산 3차 년도 최종 개발한 유무기 융합 단열재의 시제품을 대상으로 시험의뢰를 통한 항목별 성능 평가와 기존 규격의 성능 기준과 비교 분석 등 시제품에 대한 생산 기준을 확립 하였으며, 유무기 함침 구조를 이용한 준불연 융합 단열재의 주요 사양은 표 2-33과 같다.

표 2-33. 시제품의 주요 사양

모델명	주요사양 (정격 등)	인증내역/ 시험성적서
KTL-3	- 열전도율 : 0.048 W/mK - 압축강도 : 37 N/cm^2 - 굴곡강도 : 34 N/cm^2 - 준불연재료 적합 - TVOC 방출량: 0.065 mg/m^2·h - 톨루엔 방출량: 0.001 mg/m^2·h 미만 - 폼알데하이드 방출량: 0.002 mg/m^2·h	열전도율, 압축 및 굴곡강도, 난연성능, 환경유해성

(나) 시제품의 제조 공정

개발된 유무기 융합 단열재의 Lab. Scale 제조 기술을 바탕으로 Pilot Plant급(10 m^2/day), Pilot Plant급(25 m^2/day), Pilot Plant급(50 m^2/day) 제조 공정기술의 최적화와 연속식 생산 공정을 공동 연구 기관에 구축 하였으며, 용도별 공정 조건 및 제품의 다양한 생산 공정 조건과 형상 및 용도별 생산 가능하도록 공정구축을 최적화 하여 Pilot Plant급(50 m^2/day)의 시제품 생산을 하였다. 이러한 공정구축 및 시제품 제작에 따른 기술을 바탕으로 구축된 공정 단계는 함침공정, 압착공정, 건조공정을 적용하여 공동 연구 기관인 원준하이테크 공장 현장에서 유무기 융합 단열재 시제품을 생산하였다.

표 2-34. 시제품 생산의 제조공정 단계

공정 단계	공정 설명
① 함침공정	1. 원료 준비 - 유기계 기재 : 300×600×50 mm 크기의 폴리우레탄 - 무기계 바인더 함침 용액 : 무기계 소재, 물, 첨가제(경화 지연제, 증점제, 수지류 등) 2. 무기계 바인더 함침 용액 제조 - 다음 배합비에 따라 칭량 • 무기계 소재: 유기계 기재 1장 기준, 4~7 kg • 물: 무기계 소재 기준, 50~80% • 경화지연제: 무기계 소재 기준, 최대 5% • 증점제: 무기계 소재 기준, 0.01~0.05% • 수지류: 무기계 소재 기준, 3~10% - 고상 시료(무기계 소재 및 첨가제)가 액상 시료(물, 수지류)에 완전히 용해 되도록 교반기를 이용하여 충분히 혼합 (300~600 rpm) - 무기계 바인더 소재의 특성 상 경화가 되기 쉽기 때문에 함침 중에도 교반 작업이 계속 이루어져야 함 3. 함침 - 유기계 기재가 무기 바인더 함침 용액에 완전히 잠기도록 넣어주고 유기계 기재 내부로 무기 바인더 용액이 충분히 스며들도록 손을 이용하여 전체적으로 압력을 가해 수동 함침
② 압착공정	1. 원하는 밀도에 따른 롤러 간격을 설정하고, 해당 간격에 맞는 space gage를 장착하여 작업 중 간격이 변경되지 않도록 고정 2. 20 ~ 30 rpm의 균일한 속도로 롤러를 작동시킨 후, 함침시킨 유기계 기재를 롤러로 진입시켜 시료 전체를 균일하게 압착 및 탈수 - ㄱ자 모양의 지그를 사용하여 개발품이 롤러로 진입할 때 위에서 눌러 롤러 사이로 진입이 쉽도록 함
③ 건조공정	1. (70±5)℃로 설정된 건조기에서 3시간 이상 건조 - 건조 후 시제품이 건조기 선반 바닥면으로부터 탈착이 용이하도록 건조 시 와이어 형태의 받침대에 얹어서 건조

이러한 제조 공정을 거쳐 300×300×50 mm, 300×600×50 mm의 기재를 생산 공정에 적용하여 시제품을 생산하였고, 선행 연구과제의 유무기 융합 단열재 적용성 검토 항목 중 방화문용 내부 심재를 생산 공정에 적용하여 방화문용 심재를 생산 하였다. 방화문용 내부 심재 규격은 가로세로 950×2100 mm, 두께는 36~40 mm 이며, 현 공정에서 생산 가능한 절반 크기인 950×1,050 mm 크기의 유기계 기재를 생산 공정에 적용하였다. 단열소재 시제품은 300×6

00 크기를 50 m^2/day, 즉 15 batch 277장, 300×300 크기의 경우 50 m^2/day, 15 batch 556장의 생산량을 확보하였고, 방화문 심재 생산은 50 m^2/day, 5 batch 50장의 생산량을 확보 할 수 있었다. 그림 2-56과, 2-57은 단열재 및 방화문 심재의 생산과정 사진이며, 그림 2-58은 300×300 크기의 시제품 사진과, 2-59는 300×600 크기의 시제품 사진이며 그림 2-60은 방화문 심재의 시제품 사진이다.



그림 2-56. 시제품(300×600 mm) 생산 과정



그림 2-57. 방화문 심재용(950×1,050 mm) 시제품 생산 과정



그림 2-58. 300×300 mm 크기 시제품

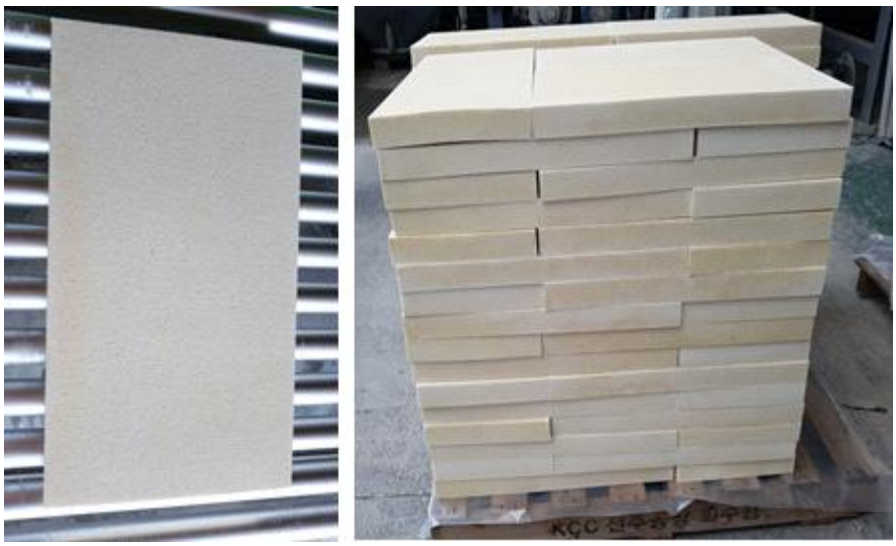


그림 2-59. 300×600 mm 크기 시제품



그림 2-60. 방화문 심재용 950×1,050 mm 크기 시제품

다. 유무기 융합 단열재 내구성 평가 기술 개발 및 표준화 연구

(1) 기계적 성능, 흡수성, 장기 수분 흡수율 등 내구성 평가 항목 연구

(가) 기계적 성능

본 연구에서 개발한 유무기 융합 구조를 가지는 단열재는 기존 유기계 다공성 단열재에 무기계 소재를 함침시킴으로써 유기계 단열재의 특징과 더불어 무기계 단열재의 특징 또한 갖고 있다. 특히 대부분의 단열재의 성능평가 항목 중 강도시험에 포함되는 압축강도시험(KS M ISO 844(2012) 경질 발포 플라스틱-압축시험)과 휨강도시험(KS M ISO 1209-1(2012) 경질발포 플라스틱-굴곡 특성 측정)은 2차 년도 연구보고서를 통해 본 연구의 개발품인 유무기 융합 단열재의 복합적인 특징에 의해 적용의 한계를 나타냈다. 유무기 융합 단열재는 기존의 경질 단열재와 달리 다공성 유기계 기재 내부에 무기계 물질이 분체 형태로 분포되어 있는 구조를 가짐으로써 유기계가 모두 압축된 후 부터는 무기계 소재간의 압착이 일어나 하중이 급격히 증가 한다거나 굴곡에 의해서는 얽혀있는 무기계 물질로 인해 찢어지는 양상을 나타내기도 하였다. 이로 인해 동일한 시험편을 대상으로 한 반복시험의 경우에도 무기계 분포 양상에 따라 시험 결과의 재현성이 확보되지 않는 등 유무기 융합 단열재의 강도를 평가하는 데 있어 기존의 경질한 단열재에 대한 평가방법의 적용이 적합하지 않다고 판단되었다.

따라서 3차 년도에서는 유무기 융합 단열재의 기계적 물성을 평가하기 위해 대체할 수 있는 적절한 강도 혹은 경도 시험의 적용이 요구되었으며, 라텍스 폼(foam), 우레탄 폼, 개방 기포형(open-cell type) PVC 폼에 적용되는 KS M ISO 2439(2008) 연질 발포 고분자 재료-경도 측정 방법(압입법) 규격을 적용하여 보았다. 시험방법은 규격에 명시된 압봉을 UTM에 장착한 뒤 단열재의 수직방향에서 (100±20) mm/min의 일정한 속력으로 압입하여 시험편 두께의 (40±1)%가 될 때 (30±1)초 동안 변형을 유지시킨 다음, 이때 걸린 힘(N)을 기록하였다. 유무기 융합 단열재의 경도는 무기계 소재의 함침량과 비례하며, 압착 공정에서 롤러 간격에 따라 경도 범위를 다양하게 나타낼 수 있다. 따라서 롤러 간격 5, 8, 11 mm로 압착한 단열재 3종과 무기계 소재를 함침하지 않은 일반 스펀지, 상용 단열재 중 취입용 암면 단열재를 선정하여 압입시험 방법을 통해 경도를 나타냈다. 표 2-35는 40% 압입 시험방법에 따른 유무기 융합 단열재와 암면 단열재, 스펀지의 경도를 비교하여 나타낸 결과이며, 압입 변위(mm)에 따른 하중(N)의 변화를 나타낸 그래프를 그림 2-61에 나타내었다.

표 2-35. 압입경도 시험 결과

KS M ISO 2439(2008)			
시료명	두께(mm)	변위(mm)	HA.40%(N)
유무기 단열재 5 mm	50	20	499.26
유무기 단열재 8 mm			1732.80
유무기 단열재 11 mm			5669.73
일반 스펀지			60.06
암면 단열재			1608.40

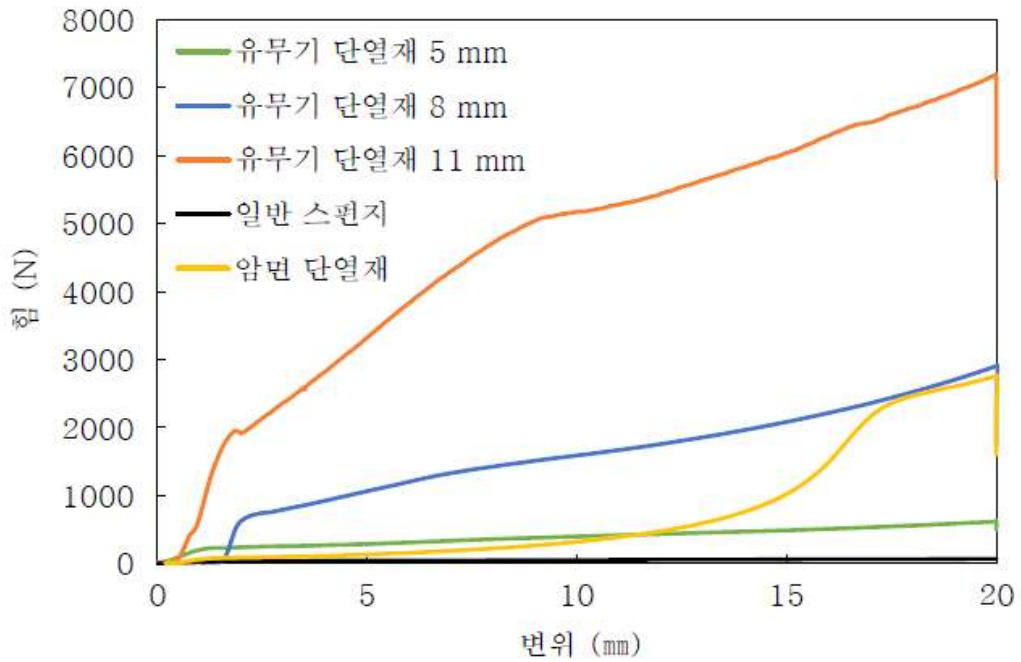


그림 2-61. 압입변위(mm)에 따른 하중(N)의 변화 그래프

40% 변위의 압입경도 시험 결과 유무기 융합 단열재의 경도 범위는 499.26 N에서 5669.73 N 범위에서 나타났으며, 롤러 간격 8 cm에서 제작된 유무기 융합 단열재의 경우 암면 단열재의 압입경도 1608.40 N과 유사한 1732.80 N으로 나타났다. 40% 압입경도가 60.06 N으로 매우 낮은 일반 스펀지가 무기계 소재 함침을 통해 최소 499.26 N으로 약 8배 이상 경도가 증가하였다. 압입경도 시험을 토대로 롤러 간격 변화에 따른 유무기 융합 단열재의 경도 조절이 가능할 것으로 보이며, 추후 생산 공정에서 롤러 간격 조절을 통해 원하는 경도의 유무기 융합 단열재의 생산도 가능할 것으로 판단된다.

(나) 흡수성

건축자재로서 단열재의 성능을 저하시키는 요소 중 하나인 수분은 단열재의 내부 공극으로 침투하여 열전도율을 높이거나, 결로로 인한 부풀음 혹은 무게 증가로 인해 주저앉는 현상 등으로 단열 성능을 저하시킬 수 있다. 뿐만 아니라 곰팡이로 인해 인체에 유해하거나 내구성 저하로 인해 붕괴의 위험까지 생길 수 있기 때문에 흡수율에 따른 적절한 용도의 단열재 선정부터 시공 및 향후 관리까지 수분의 영향이 매우 중요하다[16]. 그림 2-62은 단열재에 수분이 침투하게 되는 과정을 그림으로 나타낸 것이며, 실제 건축물에서 수분에 의해 손상된 단열재 및 건축물의 사진을 나타내었다. 단열재에 수분이 침투하게 되는 원인은 단열재의 시공 위치나 시공 방법에 따라 다양하지만 크게 빗물의 침투 혹은 습기의 확산으로 구분된다. 빗물의 침투의 경우 외벽 단열재에서 주로 일어나며 외벽 마감재의 균열이나 파손 등에 의해 빗물이 침투하는 경우 발생한다. 이 경우 단열성능의 저하는 물론이고, 다량의 물을 머금은 단열재의 무게가 급격히 증가하여 건물 외벽 혹은 천장의 붕괴 등 사고로 이어질 수 있다. 습기의 확산은 주로 내벽 단열재에서 나타난다. 겨울철 높은 실내 온도 및 습도로 인해 내벽에서 외벽으로 습기가 확산이 일어나는데 이때 습기가 외벽으로 향할수록 온도가 낮아져 수분이 되어 단열재 안에 머무르게 되며 이와 같은 현상을 결로현상이라 한다[17]. 결로현상은 앞서 언급한 겨울철 뿐만 아니라 여름철 외부 덥고 습한 외기가 상대적으로 차고 건조한 실내로 확산되는 과정에서도 발생할 수 있다. 따라서 단열재 종류에 따른 고유의 흡수성 및 흡습성, 투습성 등을 고려하여 적절한 위치에 시공해야 하며, 단열재마다 성능기준 및 규격이 다양하기 때문에 본 연구의 개발품인 유무기 융합 단열재에 알맞은 시험 방법 및 기준의 확립이 필요하다. 표 2-36은 단열재 종류에 따른 흡수성 시험방법 및 기준을 나열하였다.



그림 2-62. 단열재의 결로 발생 및 결로로 인한 내, 외부 단열재 곰팡이, 부풂 사진

표 2-36. 단열재 종류에 따른 흡수성 시험방법 및 기준

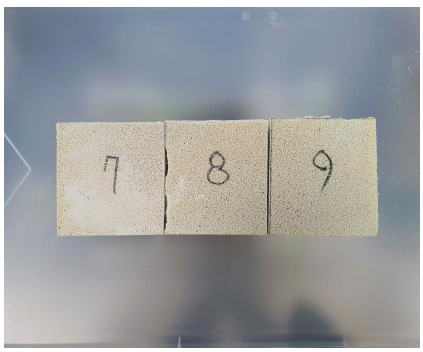
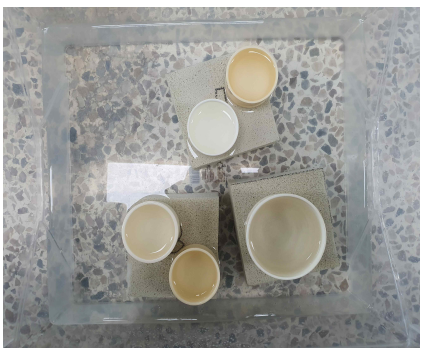
규격 번호 및 규격명	시험방법	산출방법	성능기준
KS L 9102 인조광물섬유 단열재	1) 시험편을 수면 아래 50 mm에 10초 동안 담근 후 꺼내어 초기 질량을 측정 2) 수중에 24시간(단기) 또는 28일(장기)동안 담근 후 최종 무게를 측정 3) 시험편의 표면적 대비 무게차를 통해 흡수량 산출	흡수량$(kg/m^2) = \frac{m_1 - m_0}{A_t}$ - m_1 : 시험편의 초기질량 (kg) - m_0 : 흡수 후 시험편의 질량 (kg) - A_t : 시험편의 총 면적 (m^2)	단기 흡수성 1.0 kg/m^2 이하
KS M 3880 셀룰로오스폼 단열재			장기 흡수성 3.0kg/m^2 이하
KS M ISO 4898 경질 발포 플라스틱 건축물 단열재	1) 시험편을 부피 500㎤ 이상, 겉보기 길이 및 폭 150×150 mm으로 재단 2) 수면 아래 50 mm에 96시간 침적 3) 상대적인 부피 증가율(%)을 통해 흡수성 산출	부피$(cm^3) = \frac{d \times l \times b}{1000}$ - d : 시험편의 두께(mm) - l : 시험편의 길이(mm) - b : 시험편의 폭(mm)	흡수성 4%(V/V)이하
KS F 6306 취입용 암면 단열재	1) 단열재 10 g을 110±5℃에서 1시간 건조 시킨 후 2) 온도 40℃, 상대습도 90%인 항온항습조에서 96시간 동안 방치 3) 전후 무게차를 통해 흡습률 산출	흡습률$(\%) = \frac{W_b - W_a}{W_a} \times 100$ - W_a : 건조 후 질량(g) - W_b : 항온 항습 후 질량(g)	흡습성 1.0% 이하
KS M 3808 발포스티렌 단열재	1) 시험편을 23±3℃의 수면 아래 50 mm에 10초 동안 담근 후 꺼내어 30° 기울인 체눈 간격이 3 mm인 철망에 얹어 30초간 방치한 후 무게를 측정 2) 이후 다시 물에 담가 24시간 흡수 시킨 후 같은 방법으로 무게를 측정 3) 전후 무게차를 통해 흡수량을 산출	흡수량$(g/100cm^2)$ $= \frac{B - C}{\text{표면적}} \times 100$ - B : 최종흡수 후의 무게(g) - C : 기준무게(g)	흡수량 1.5g/100cm^2 이하
KS M 3809 경질우레탄폼 단열재			흡수량 3.0g/100cm^2 이하
KS M 3862 발포 폴리에틸렌 보온재			0.01g/100cm^2 이하
KS M 6962 고무 발포 단열재			흡수량 1.0g/100cm^2 이하

표 2-36의 단열재 종류에 따른 시험방법 및 흡수성 기준을 통해 단열재의 종류마다 시험방법 및 흡수성 기준이 상이함을 알 수 있으며, 시험 방법이 유사하더라도 인조광물섬유 단열재의 흡수율 기준이 경질우레탄폼 단열재 보다 3.3배, 발포 폴리에틸렌 보온재 보다 1,000배 높다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 단열재의 종류마다 시험 방법이 다르고, 기준이 상이하기 때문에 대표적인 시험 방법을 선정하여 유무기 융합 단열재에 적용하고, 각각의 기준과 비교하여 보았다. 시험 방법은 수중침지 방법과 비침지 방법으로 구분하여 선정하였으며 수중침지 방법으로 KS M 3808(2011) 발포 폴리스티렌(PS)단열재와 KS M 3809(2006) 경질 우레탄폼 단열재 비침지 방법으로 KS F 6306(2000) 취입용 암면 단열재를 선정하였다.

먼저, KS F 6306(2000) 취입용 암면 단열재 규격에 따라 개발한 유무기 융합 단열재를 10 g씩 3개를 준비하여 110±5℃에서 1시간 건조 시킨 후, 데시케이터에 넣어 실온까지 냉각시켜 무게를 측정하였다. 이후 온도 40℃, 상대습도 90%로 설정한 항온・항습장치에 96시간 넣은 후 그 질량을 측정하여 흡습성을 시험하였다. 그 결과 흡습률은 1.31%, 1.30%, 1.20%로 산출되었으며, 이는 KS F 6306 규격 상 취입용 암면 단열재의 기준인 1.0% 이하에는 못 미치는 것으로 확인되었다. 다음으로 KS M 3808(2011) 발포 폴리스티렌(PS)단열재 및 KS M 3809(2006) 경질 우레탄폼 단열재 규격에 따라 100 cm^2당 흡수량(g)을 계산하였다. 시험편의 치수는 100×100×50 mm로 3개 준비하여 수면 아래 50 mm에 10초 동안 잠기게 한 후 꺼내어 30초간 배수한 뒤 기준 무게로 하였다. 이후 24시간 동안 다시 물을 흡수시킨 후 무게를 측정하여 최종 무게로 흡수량을 산출하였다. 그 결과 흡수량은 100 cm^2당 각각 2.67 g, 2.57 g, 2.31 g으로 평균 2.52 g/100 cm^2로 산출되었다. 이 값은 KS M 3803 규격 상 단열판 4호 기준인 1.5 g/100 cm^2 이하 또는 단열통 두께 30 mm 이상 1.0 g/100 cm^2 이하는 만족시키지 못했지만, KS M 3809의 기준인 3.0 g/100 cm^2이하는 충족시켰다. 표 2-37에는 KS F 6306 및 KS M 3808, KS M 3809에 따라 산출한 흡습성 결과 및 시험사진을 나타내었다.

표 2-37. KS F 6306 및 KS M 3808, KS M 3809에 따른 흡습성 평가결과

KS F 6306			
	1	2	3
기준무게 (g)	9.96	9.98	10.01
최종무게 (g)	10.09	10.11	10.13
흡습률 (%)	1.31	1.30	1.20
평균 (%)	1.27		
시험 사진	 		

KS M 3808, KS M 3809			
	1	2	3
단열재 무게 (g)	143.37	139.09	133.11
기준무게 (g)	209.59	204.47	203.2
최종무게 (g)	220.25	214.76	212.44
흡수량 (g/100cm^2)	2.67	2.57	2.31
평균 (g/100cm^2)	2.52		
시험 사진	 		

(다) 확산에 의한 장기 수분 흡수율

위 시험 방법들은 모두 건축물 외벽이나 지붕에서 일어날 수 있는 빗물의 침투 혹은 습기에 대한 노출을 가정하여 고안해낸 실험 방법으로 실제 건축물 내벽에서 단열재가 빗물에 침수 되거나, 실내 습도가 90%가 넘는 경우는 발생하지 않기에 내벽 단열재용도 기준에는 적합한 규격이라 할 수 없다. 따라서 3차 년도 연구에서는 실내 단열재에서 일어나는 결로의 원인인 온도차 혹은 수증기압차에 의한 확산을 가정한 시험 방법 표준인 KS M ISO 20393(2007) 단열재-확산에 의한 장기 수분 흡수율 시험 규격을 유무기 융합 단열재에 적용하여 실험을 진행하였다. 확산에 의한 장기 수분 흡수율 실험은 시험편의 상단 면과 하단 면 사이에 수증기압차이 및 온도 차이에 28일 동안 노출되었을 때, 시험편의 질량변화를 측정하여 노출면적에 따른 값(W_{dP})과 부피에 대한 비율(W_{dV})로 나타내는 실험이다. 시험편은 동일 조건에서 생성된 300×300×50 mm 치수의 유무기 융합 단열재 2개를 준비하여 (23±2)℃의 온도와 (50±5)%의 상대습도로 유지된 항온·항습장치에서 6시간 이상 전처리를 진행한 뒤 질량(m_0)과 열전도율을 측정하였다. 이후 시험편을 밀폐된 용기에 위치시킨 뒤 하부에 (50±1)℃의 온도로 유지되는 충분한 양의 물을 위치하고, 시험편 상부에는 (1±0.5)℃의 온도로 유지되는 냉각판을 시험편 상부 표면과 맞닿게 위치하여 시험편이 28일 동안 온도 및 수증기압 변화에 노출되도록 하였다. 시험편은 7일 주기로 뒤집어주었으며, 28일이 지난 시험편을 꺼내어 표면의 물기를 제거한 후 질량(m_D)을 측정하여 식 2-1을 통해 노출면적에 따른 흡수율(W_{dP})과 부피에 대한 비율(W_{dV})로 흡수율을 나타냈다. 표 2-38은 KS M ISO 20393(2007) 단열재-확산에 의한 장기 수분 흡수율 시험 규격에 따른 시험결과를 나타내었다.

$$W_{dP} = \frac{m_D - m_0}{A_P} \qquad \text{식 2-1}$$

$$W_{dV} = \frac{m_D - m_0}{A_P \times d} \times \frac{100}{\rho_W}$$

여기에서

m_0 : 시험편의 초기 질량(g)

m_D : 시험편이 28일 동안 온도 및 수증기압 변화에 노출된 후 측정된 질량(g)

A_P : 시험편 하단면의 넓이(cm^2)

d : 시험편의 두께(cm)

ρ_W : 물의 밀도, 1 g/cm^3로 가정

표 2-38. 확산에 의한 장기 수분 흡수율 시험 결과

KS M ISO 20393			
		1	2
초기 질량	m_0 (g)	907.55	914.02
흡수 질량	m_D (g)	971.47	981.54
하단 면적	A_P (cm^2)	900	900
두께	d (cm)	5	5
물의 밀도	ρ_w (g/cm^3)	1	1
흡수율	W_{dP} (g/cm^2)	0.07	0.08
	W_{dV} (vol.%)	1.42	1.50

KS M ISO 20393(2007) 단열재-확산에 의한 장기 수분 흡수율 시험규격에 따라 유무기 융합 단열재의 28일간 흡수율 실험을 진행한 결과 단위면적(cm^2) 대비 흡수한 수분의 양(g)은 평균 0.07 g의 결과를 나타냈으며, 단위 부피당 수분이 평균 1.46%의 비율을 차지하는 것으로 나타났다. 확산에 의한 장기 수분 흡수율 시험 결과와 앞서 진행된 흡수율 실험 결과를 토대로 유무기 융합 단열재의 수분 흡수 특성을 분석해 보았다. KS M 3808(2011) 발포 폴리스티렌(PS) 단열재 및 KS M 3809(2006) 경질 우레탄폼 단열재 규격에 따른 흡수율 시험 결과를 미루어 보았을 때 유무기 융합 단열재에 물이 직접적으로 닿을 경우 물을 쉽게 흡수 하지만 배수 또한 원활하며, KS F 6306(2000) 취입용 암면 단열재 및 KS M ISO 20393(2007) 단열재-확산에 의한 장기 수분 흡수율 시험 규격에 따른 흡수율 시험 결과를 미루어 보았을 때 단열재의 절단면을 습기에 노출시킨 실험과 표면을 노출시킨 실험의 차이로 인하여 흡수율의 차이가 존재하는 것으로 판단된다.

(2) 개발품에 대한 내구성 평가를 통한 스트레스 인자 도출 및 수준 선정

(가) 동결 융해 저항성 시험

단열재의 동결 융해 저항성 시험은 제품이 동결 조건에 의한 반복적 습윤 상태를 견디는 능력으로 앞선 실험은 단열재의 성능과 관련된 시험인 반면, 동결 융해 저항성 시험은 제품의 내구성을 평가하는 시험이다. 앞서 진행한 흡수율 실험 결과를 토대로 단열재 자체의 파손 및 균열로 인한 흡수율 증가 및 수분 흡수에 따른 단열재의 성능 저하 및 제품수명 단축 등을 고려하였을 때 내구성을 평가할 수 있는 요소가 반드시 필요하다고 판단되었다. 동결 융해 저항성 시험은 KS M ISO 20394(2007) 단열재-동결 융해 저항성 시험 규격을 참고하여 진행하였으며, 동결 융해 저항성 시험 전, 후의 열전도율 변화 및 흡수성 변화를 비교하고자 시험편의 하단면의 치수를 300×300 ㎜로 진행하였다. 시험편은 (23±2)℃의 온도와 (50±5)%의 상대습도로 유지된 항온·항습장치에서 6시간 이상 전처리를 진행한 뒤 질량(m_0)과 열전도율을 측정하였다. 질량 측정 및 열전도율 측정이 완료된 시험편은 저온 챔버에 놓고 (-20±2)℃의 온도에서 1시간 동안 유지한 다음 저온 챔버에서 꺼내어 (20±2)℃의 온도의 물속에 1시간 동안 침지시켰다. 저온 챔버에 들어간 순간부터 물속에서 1시간 경과 후를 1사이클로 하여 300회 사이클을 반복하였으며, 1회, 50회, 100회, 200회, 300회 사이클 시험을 완료한 시험편의 질량(m_{cycle})과 열전도율을 측정한 다음 초기 질량 대비 흡수된 수분의 양을 비교하였다. 또한 300회 사이클 시험을 완료한 시험편에 균열, 기포 등 눈에 보이는 결함이 있는지 육안검사를 실시하였다. 동결 융해 저항성 시험 전, 후의 유무기 융합 단열재의 비교 사진을 그림 2-63에 나타내었다. 300회 사이클 실험 후 유무기 융합 단열재 표면에서 균열 또는 기포의 발생은 확인할 수 없었으나, 단열재 하부 모서리의 형태변화를 확인할 수 있었다. 이는 동결 융해 저항성 시험 중 저온조건에서 중력에 의해 단열재 내부의 수분이 하부로 배출됨과 동시에 동결이 일어나면서 생긴 변형 또는 수분으로 인해 무거워진 단열재와 지지대 사이의 압력에 의해 발생한 것으로 판단된다. 표 2-39는 단열재 종류에 따른 동결 융해 저항성 시험 무게 변화를 나타냈으며, 무게 변화에 따른 흡수율 결과를 그림 2-64을 통해 그래프로 나타내었다.

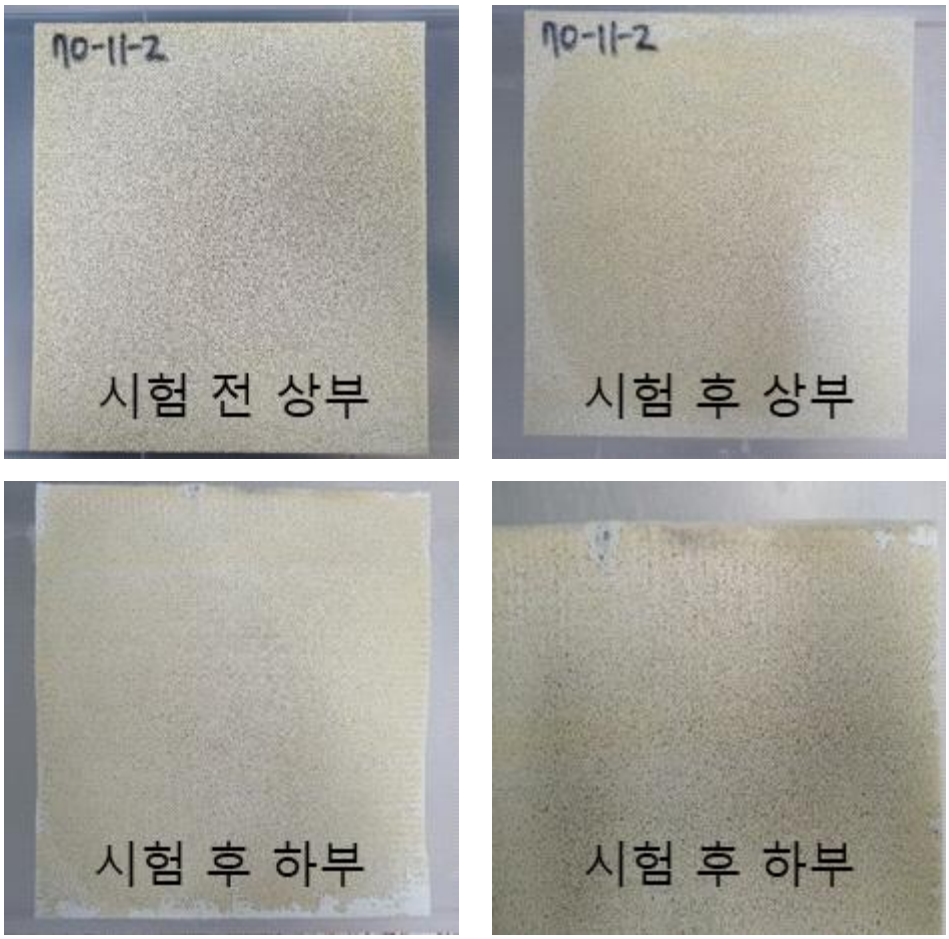


그림 2-63. 유무기 융합 단열재의 동결 융해 저항성 시험 전, 후 사진

표 2-39. 동결 융해 저항성 시험 사이클에 따른 단열재의 무게 변화

단열재 종류	동결 융해 저항성 시험 사이클별 단열재 무게(g)					
	m_0	m_1	m_{50}	m_{100}	m_{200}	m_{300}
비드법 1종 1호	138.33	179.32	217.45	242.17	301.64	319.50
비드법 2종 2호	123.66	147.28	187.08	268.81	318.05	344.31
압출법 1호	133.11	133.84	134.87	141.02	151.08	167.03
폴리우레탄폼 1종 2호	155.34	157.09	159.47	174.71	198.40	208.91
유무기 융합 단열재	952.02	961.11	963.65	971.48	999.63	1035.15

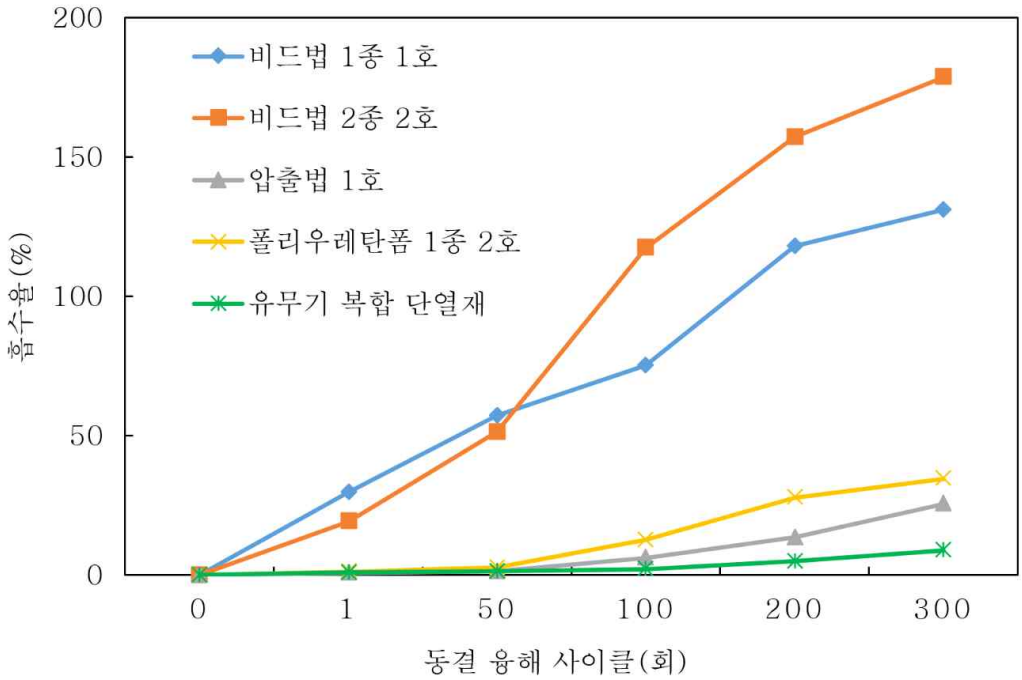


그림 2-64. 동결 융해 저항성 시험 흡수율 그래프

그림 2-64의 동결 융해 저항성 시험에 따른 단열재의 흡수율 그래프에서 비드법 1종 1호와 2종 2호 단열재의 경우 수분 흡수량이 급격하게 증가함에 따라 흡수율이 각각 130.97%, 178.43%를 나타냈다. 비드법 단열재의 경우 수분을 흡수한 상태로 배출이 원활하게 이뤄지지 않아 동결 융해 사이클이 늘어날수록 무게가 지속적으로 증가하는 것으로 판단된다. 폴리우레탄폼 단열재의 경우 동결 융해 사이클 50회 까지는 흡수율이 2.66%로 낮은 수치를 나타냈으나, 100회 이후로 점차 증가하여 300회가 종료된 후 34.49%의 흡수율을 나타냈다. 압출법 단열재의 경우 동결 융해 사이클 100회까지는 흡수율이 5.94%로 낮은 수치를 나타냈으나, 사이클이 증가할수록 흡수율이 점차 증가하여 300회가 종료된 후 25.48%의 흡수율을 나타냈다. 본 연구과제의 최종 개발품인 유무기 융합 단열재의 경우 동결 융해 저항성 시험 사이클 300회가 종료된 후 흡수율은 8.73%로 가장 우수한 성능을 나타냈다. 이는 다공성 유기계 기재인 스펀지 내부 공극 표면에 무기계 기재인 백시멘트가 함침 및 코팅이 되어 물을 흡수할 수 있는 공극은 많지만 배수 또한 원활하게 이뤄지기 때문에 흡수율이 가장 낮은 것으로 판단된다.

동결 융해 저항성 시험 과정에서 단열재의 무게를 측정한 뒤 열전도율의 변화 또한 측정하였으며, 결과는 표 2-40과 그림 2-65에 나타내었다. 앞서 단열재의 흡수성 시험에서 언급한 바와 같이 단열재의 수분 흡수는 열전도율을 증가시키는 원인이며, 단열재의 성능을 저하시킨다. 동결 융해 저항성 시험으로 인해 수분을 흡수한 단열재는 열전도율이 증가하였으며, 그 결

과는 흡수율 변화와 유사한 결과를 나타냈다. 열전도율의 증가가 가장 큰 단열재는 비드법 2종 2호 단열재며, 0.03124 W/mK에서 0.04582 W/mK로 46.67% 증가하였다. 비드법 1종 1호 단열재는 열전도율 0.03301 W/mK에서 0.04394 W/mK로 33.11%, 압출법 단열재는 열전도율 0.02591 W/mK에서 0.0285 W/mK로 10%, 폴리우레탄폼 단열재는 열전도율 0.01939 W/mK에서 0.02602 W/mK로 34.19%의 증가율을 각각 나타내었다. 본 연구과제의 최종 개발품인 유무기 융합 단열재의 열전도율은 0.04801 W/mK에서 0.05570 W/mK로 16.02%의 증가율을 나타내었다.

표 2-40. 동결 융해 저항성 시험 사이클에 따른 단열재의 열전도율 변화

단열재 종류	동결 융해 저항성 시험 사이클별 단열재 열전도율(W/mK)					
	W_0	W_1	W_{50}	W_{100}	W_{200}	W_{300}
비드법 1종 1호	0.03301	0.03617	0.03881	0.03910	0.04243	0.04394
비드법 2종 2호	0.03124	0.03246	0.03471	0.03989	0.04414	0.04582
압출법 1호	0.02591	0.02601	0.02655	0.02724	0.02810	0.02850
폴리우레탄폼 1종 2호	0.01939	0.02014	0.02087	0.02516	0.02564	0.02602
유무기 융합 단열재	0.04801	0.04838	0.04966	0.05151	0.05389	0.05570

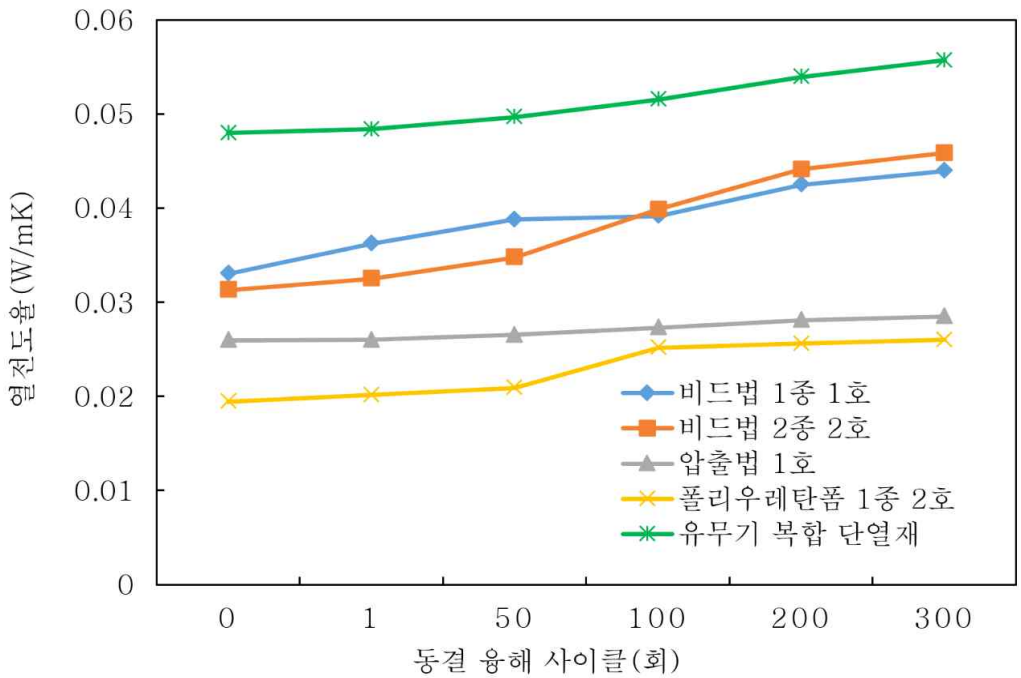


그림 2-65. 동결 융해 저항성 시험 열전도율 그래프

(3) 내구성 평가를 적용한 유무기 융합 단열재 단체표준 개정

(가) 유무기 융합 단열재 단체표준 제정

본 연구에서 개발한 유무기 융합 단열재는 기존에 유기계 다공성 단열재로 많이 쓰이는 폴리우레탄 폼에 무기계 바인더 소재를 함침시킴으로써 그 성능을 향상 및 개선시킨 건축용 단열소재로, 형상 및 구조적인 측면에서는 폴리우레탄 폼인 유기계 소재를 기반으로 하고 있지만 내부에 함침된 무기계 소재가 대략 94% 이상의 중량 비를 차지하고 있어 기존의 유기계 및 무기계 단열재가 가지는 특성을 복합적으로 지닌 새로운 성능 수준의 제품이다. 따라서 기존 단일계 소재로 이루어진 단열재를 대상으로 한 표준을 적용시킬 경우 유무기 소재 융합에 의해 발현되는 복합적인 성능을 동시에 인증할 수 없기 때문에 이를 보완할 수 있는 새로운 인증 표준이 요구된다고 판단하였다. 주관기관인 한국산업기술시험원은 산업통상자원부 산하 시험평가인증기관으로써 단체표준인 K규격을 운영하고 있으며, 이를 통한 K마크 인증을 수행하고 있다. 본 연구에서는 개발 시제품을 대상으로 인증에 필요한 평가항목을 도출하고, 평가방법 별로 고려해야 할 인자와 레벨 선정 등의 표준화 연구를 통해 인증 표준안을 작성하였고, 이에 대한 유효성 및 재현성 연구를 통해 K규격을 제정하였다.

1차 년도에서는 기존의 유기계 또는 무기계의 단일계 단열재에 대한 표준들을 검색, 수집 및 분석하여 유무기 융합 단열재에 적용 가능한 성능평가 항목, 방법, 기준을 조사 및 검토하였다. 단열재의 기본 성능인 열전도율을 비롯하여 유기계와 무기계를 포괄할 수 있는 평가항목으로 강도, 환경유해성, 난연성, 내열성의 5가지 항목을 선정하였고, 각 평가 항목별로 관련 기존 표준들을 참조하여 유무기 융합 단열재에 적용할 수 있는 시험조건 및 방법을 설정하였다. 2차 년도에서는 개발품을 대상으로 각 평가 항목별 조건 실험 결과와 기존 표준 상의 성능 기준을 비교 분석하여 적용 용도별 유무기 융합 단열재 종류에 따른 성능 기준을 확립하였다. 이후 RRT(Round Robin Test) 연구를 통해 평가 방법 및 성능 기준에 대한 유효성을 검증하고 최종적으로 인증기관 내 심의체 구성 및 심사 과정을 거침으로써 KTL F 061-2018 「유무기 함침 구조를 이용한 준불연 융합 단열재(Semi-non-combustible Hybrid insulation using Organic-inorganic impregnated Structure)」을 제정하였다.

(나) 내구성 평가를 적용한 유무기 융합 단열재 단체표준 개정안 도출

현재 구조물에 사용되는 단열재의 단열성능은 초기성능을 기준으로 설계 시에만 반영되고 있으며, 건축물에 시공된 뒤 장시간 사용 후의 단열성능의 변화에 대한 관리는 이루어지지 못하고 있다. 하지만 수명 기간 동안 건축 구조물의 단열성능 유지를 목적으로 개발된 유무기 융합 단열재를 포함한 다양한 재료의 단열재 제품 인증을 위해서는 초기성능에 대한 평가뿐만 아니라 시간과 다양한 환경영향에 따른 성능저하를 고려한 내구성 평가가 필수적으로 수반되어야 한다. 현재 국내에서는 장기적인 단열재의 성능변화에 대한 평가기술이 미비한 상태이며, 특히 침수되거나 결로에 의해 발생된 수분으로 인한 동결 융해가 반복되는 환경에서의 단열성능 저하가 예상되므로 이와 관련된 내구성 평가기술에 대한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 건축물에 대표적으로 많이 사용되고 있는 유기계 및 무기계 단일계 단열재 상용제품과 본 연구에서 개발한 유무기 융합 단열재 최종 시제품을 대상으로 동결융해 조건 및 시간의 변화에 따른 단열성능저하 변화를 검토하였다. 측정된 결과를 바탕으로 유무기 융합 단열재에 대한 동결 융해 저항성 시험 기준을 설계 및 확립함으로써 내구성 평가기술에 대한 표준화 연구를 수행하였으며, 2차 년도에 제정했던 유무기 융합 단열재 인증표준(KTL F 061)에 이러한 연구내용을 반영하여 내구성 시험 항목이 추가된 버전으로 개정하였다.

표 2-41은 KTL F 061 개정본에 대한 신·구조문대비표를 나타낸다. 5. 성능의 표 2 - 성능기준 상에 기존의 유무기 융합 단열재의 성능평가 항목인 열전도율, 난연성능, 강도, 환경유해성, 내열성과 함께 내구성 시험 항목으로 동결 융해 저항성을 추가하였다. 추가된 내구성 시험 항목에 대한 시험 방법을 6.9절에 제시하였으며, KS M ISO 20394의 단열재의 동결 융해 저항성 시험 방법을 차용하여 적용하였다. 단, 성능 지표로는 단열성능에 대한 평가항목인 열전도율, 동결 융해 환경에서의 내구성능 평가항목인 흡수율을 측정하여 내구성 시험 전후 변화율을 확인하였다. 따라서 표 2-42 및 그림 2-66에 나타낸 바와 같이 300×300×50 mm 크기의 유무기 융합 단열재를 대상으로 동결융해가 반복되는 수중조건에서 300회의 사이클 시험 전후 열전도율 및 흡수율을 측정하였으며, 그 변화율이 열전도율 20% 및 흡수율 10% 이하의 성능기준을 만족하는지 여부를 확인함으로써 유무기 융합 단열재 제품에 대한 인증 합부를 판정하였다. 이와 같은 내구성 성능지표 및 성능판정기준은 본 연구에서 유무기 융합 단열재 최종 개발품 및 단일계 단열재 상용품을 대상으로 진행한 동결 융해 저항성 시험 결과를 바탕으로 도출하였으며(표 2-39, 40 및 그림 2-63, 64, 65 참조), 해당 기준에 따른 개발품 및 상용품의 내

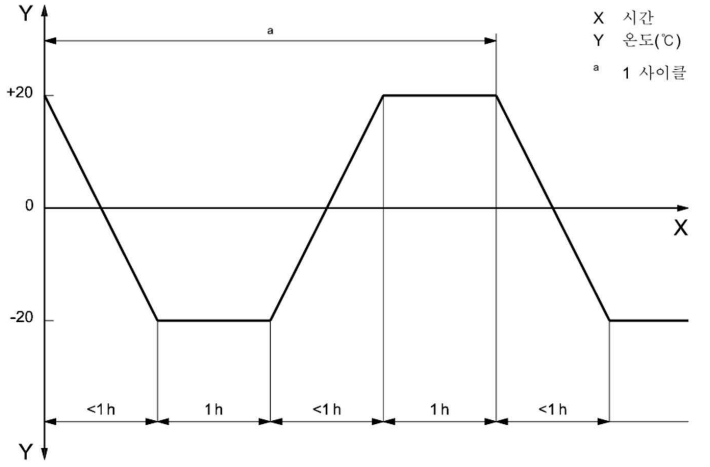
구성능 판정 결과를 표 2-32에 나타냈다. 본 연구에서 개발한 유무기 융합 단열재의 내구성능이 KTL F 061에서 제시한 성능 기준을 만족하였고, 기존 상용품과 비교했을 때 개발품의 내구성능이 탁월하게 우수함을 확인할 수 있었다.

표 2-41. KTL F 061 개정본에 대한 신·구조문대비표

문서 번호	현 행	개 정 (안)
2. 인용규격	-	〈추가〉 **KS M ISO 20394 : 2007** 단열재 - 동결 융해 저항성 시험
5. 성능 **표 2 - 성능 기준**	-	〈추가〉 [항목] 동결 융해 저항성 [성능 기준] 열전도율 변화율 20% 이하, 흡수율 변화율 10% 이하
5. 성능 **표 3 - 시험편**	-	〈추가〉 [항목] 동결 융해 저항성 [시험편의 크기] KS M ISO 20394에 따른다.
6. 시험방법	-	〈추가〉 **6.9 동결 융해 저항성** 단열재의 내구성을 확인하기 위한 동결 융해 저항성 시험은 **KS M ISO 20394**(단열재 - 동결 융해 저항성 시험)에 규정하는 방법을 따르며, 300회의 동결-융해 사이클 후 열전도율과 흡수율의 변화량이 **표 2**에서 규정한 성능 기준을 만족하여야 한다.

표 2-42. KTL F 061에 따른 유무기 융합 단열재 동결융해 저항성시험 평가기준

시험 요인	시험 수준
단열재 시험편	· 300×300×50 mm
시험환경 조건	· 수중동결 4℃ → -18℃ (2시간) · 수중융해 -18℃ → 4℃ (2시간)
측정 사이클	· 0, 1, 50, 100, 200, 300 사이클
측정 항목	· 열전도율 · 흡수율



출처 KS M ISO 20394

그림 2-66. 동결 융해 저항성 시험환경 조건

표 2-43. KTL F 061에 따른 개발품 및 상용품의 내구성 평가 결과

단열재 종류		동결 융해 저항성 시험		변화율 (%)	비고
		전	후		
비드법 1종 1호	열전도율 (W/mK)	0.03301	0.04394	33.11	부적합
	흡수율 (g)	138.33	319.50	130.97	부적합
비드법 2종 2호	열전도율 (W/mK)	0.03124	0.04582	46.67	부적합
	흡수율 (g)	123.66	344.31	178.43	부적합
압출법 1호	열전도율 (W/mK)	0.02591	0.02850	10.00	적합
	흡수율 (g)	133.11	167.03	25.48	부적합
폴리우레탄폼 1종 2호	열전도율 (W/mK)	0.01939	0.02602	34.19	부적합
	흡수율 (g)	155.34	208.91	34.49	부적합
유무기 융합 단열재	**열전도율 (W/mK)**	**0.04801**	**0.05570**	**16.02**	**적합**
	흡수율 (g)	**952.02**	**1035.15**	**8.73**	**적합**

이와 같이 동결 융해 저항성 시험을 도입함으로써 내구성 평가 내용을 추가하여 개정한 유무기 함침 구조를 이용한 준불연 융합 단열재 단체표준 개정본을 그림 2-67에 사진으로 나타냈으며, 전체 파일은 제출서류 중 성과증빙자료집에 게재하였다. 본 연구에서는 이와 같이 제정된 K규격 단체표준을 바탕으로 공동연구기관인 ㈜원준하이테크에서 생산한 유무기 융합 단열재 최종 시제품에 대한 K마크 인증을 추진하고, 평가 지원 및 상용화 연구를 수행하였다.

KTL 규격
KTL F 061-2018

유무기 함침구조를 이용한 준불연 융합 단열재

(Semi-non-combustible Hybrid Insulation using Organic-inorganic Impregnated Structure)

2018년 10월 26일 제정
2019년 12월 30일 개정

한 국 산 업 기 술 시 험 원

KTL F 061-2018

유무기 함침 구조를 이용한 준불연 융합 단열재
Semi-non-combustible Hybrid Insulation using Organic-inorganic Imprgnated Structure

1. 적용범위 이 규격은 건축물의 단열을 주목적으로 하고, 준불연 이상의 화재 안정성 등의 부가 성능이 요구되는 건축용 유무기 융합 단열재의 제조, 품질기준, 시험방법에 대해 규정한다.

2. 인용규격 다음에 나타내는 규격은 이 규격이 인용됨으로써 이 규격의 규정 일부를 구성 한다. 이러한 인용규격은 그 최신판을 적용한다.

KS F 4040 단열 모르타르
KS F 4714 발수성 폴라이드 보온재
KS A 0006 시험 장소의 표준 상태
KS B 5209 강제 줄자
KS B 5246 금속제 곧은 자
KS L 9016 보온재의 열전도율 측정 방법
KS F ISO 1182 건축재료의 불연성 시험방법
KS F ISO 5660-1 연소성능 시험 - 열방출, 연기발생, 질량감소율 - 제1부 : 열방출률(콘칼로리미터법)
KS F 2271 건축물의 내장 재료 및 구조의 난연성 시험 방법
KS M 3809 경질 폴리우레탄 폼 단열재
KS M ISO 20394 : 2007 단열재 - 동결 융해 저항성 시험
EL 248 : 2016 벽 및 천장 마감재 환경표지 인증기준
KS Q 1003 랜덤샘플링 방법
KS Q 5002 데이터의 통계적 기술

3. 종류 및 기호 유무기 함침 구조를 이용한 준불연 융합 단열재의 용도에 따른 종류 및 기호는 아래 **표 1**에 따른다.

표 1 - 종류 및 기호

종 류	기 호	용 도
고밀도 불연형	HN	방화문, 화재확산방지재 등
중밀도 준불연형	MS	천장재, 벽체 등
저밀도 준불연형	LS	ADPD용, 내단열 등

4. 재료 및 제조 유무기 함침 구조를 이용한 준불연 융합 단열재는 유기계 기제와 무기계 소재 및 기타 기능성 첨가제를 함침한 혼합물로 구성된다. 유기계 기제는 주로 열린 기공을 가지는 다공질의 폴리우레탄계 소재이며, 기능성 첨가제를 혼합한 무기계 함침 용액에 유기계 기제를 충분히 함침한 후 압착 공정을 거쳐 발수 성형장치를 이용하여 밀도를 제어한 후 건조·경화하여 제조한다.

5. 성 능 유무기 함침 구조를 이용한 준불연 융합 단열재의 성능은 6항에 의해 시험한 경우 각 용도별 종류에 따라 **표 2**의 기준에 적합하여야 한다.

표 2 - 성능 기준

항 목	종 류		
	고밀도 불연형	중밀도 준불연형	저밀도 준불연형
열전도율 (W/m·K)	0.070 이하	0.060 이하	0.051 이하
난연성능	불연 재료(1급) 이상	준불연 재료 (2급) 이상	
강도 (kgf/cm^2)	휨 3, 압축 5 이상	휨 1, 압축 3 이상	휨 0.5, 압축 2 이상
환경유해성	EL248, 벽 및 천장 마감재 기준 적합		
내열성	5% 이하	10% 이하	
동결 융해 저항성	열전도율 변화율 20% 이하, 흡수율 변화율 10% 이하		

6. 시험방법

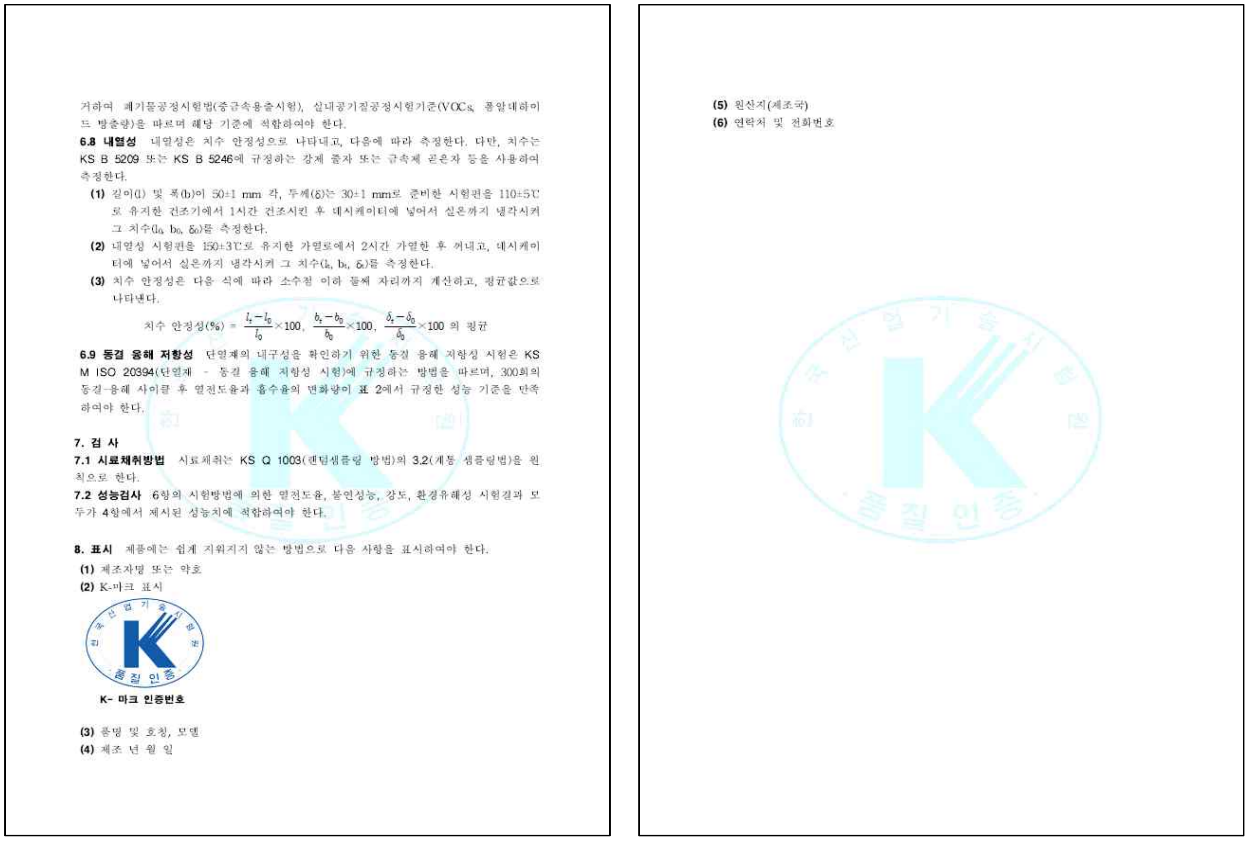
6.1 수치의 맺음법 수치의 맺음법은 특별히 지정이 없는 한 KS Q 5002에 따른다.
6.2 시험 조건 시험은 특별한 지정이 없는 한 KS A 0006에서 정하는 상온, 상습으로 한다.
6.3 시험편 시료는 기건 상태[1]의 제품에서 채취하고, 그 크기는 **표 3**에 따른다.

1) 제품 생산 후 가급적 동종이 갈 되는 실내에서 충분히 건조된 상태로 잘 보관된 제품을 말한다.

표 3 - 시험편

항 목	시험편의 크기
열전도율	KS L 9016에 따른다.
난연성능	KS F ISO 1182 및 KS I ISO 5660-1와 KS F 2271에 따른다.
강도	KS M 3809에 따른다.
환경유해성	EL248에 따른다.
내열성	6.8에 따른다.
동결 융해 저항성	KS M ISO 20394에 따른다.

6.4 열전도율 열전도율은 KS L 9016(보온재의 열전도율 측정 방법)의 6.1(평판 직접법), 6.2(평판 비교법), 6.3(평판 열류계법)에 규정하는 방법을 따른다. 다만 필요 온도(시험체의 온도)는 20±3℃로 한다.
6.5 난연성능 난연성능은 국토교통부 고시 제 2015-744호 : 건축물 마감재료의 난연성능 및 화재 확산 방지구조 기준에 근거하여 각 종류별로 **표 2**에서 규정한 성능 기준인 불연재료(1급) 및 준불연재료(2급)에 해당하는 불연성, 열방출률, 가스유해성 시험 방법을 따른다.
6.5.1 불연성 불연성 시험은 KS ISO 1182(건축재료의 불연성 시험방법)에 따른다.
6.5.2 열방출률 열방출률 시험은 KS F ISO 5660-1(연소성능 시험 - 열방출, 연기발생, 질량감소율 - 제1부 : 열방출률(콘칼로리미터법))에 따른다.
6.5.3 가스유해성 가스유해성 시험은 KS F 2271(건축물의 내장 재료 및 구조의 난연성 시험 방법)의 6. 가스유해성시험에 따른다.
6.6 강 도 강도 시험은 KS M 3809(경질 폴리우레탄 폼 단열재)의 5.8(굴곡 강도), 5.9(압축 강도)에 규정하는 방법을 따르되, 굴곡 및 압축강도 모두 **표 2**에서 규정한 성능 기준을 만족하여야 한다.
6.6.1 굴곡강도 굴곡강도의 측정은 KS M ISO 1209-1(경질 발포 플라스틱 - 굴곡 시험 - 제1부 : 급힘 시험), -2(경질 발포 플라스틱 - 굴곡 특성 측정 - 제2부 : 굴곡 강도와 길보기 굴곡 탄성률의 측정)에 따른다. 다만 시험편의 수는 3개로 한다.
6.6.2 압축강도 압축강도의 시험편은 밀면 1변이 (100±1)mm 각 또는 (50±1)mm 각, 두께는 밀면 1변의 길이를 넘지 않도록 3개를 잘라 낸다. 시험 방법 및 계산은 KS M ISO 844(경질 발포 플라스틱 - 압축 시험)에 따르며, 하중은 항복 변형에서의 하중으로 하고 규정 변형 0.1까지 항복점이 생기지 않을 경우는 규정 변형 0.1에서의 하중으로 한다.
6.7 환경유해성 유해성분은 환경부 환경표지 인증기준 EL248(벽 및 천장 마감재)에 근



거하여 폐기물공정시험법(중금속용출시험), 실내공기질공정시험기준(VOCs, 폼알데하이드 방출량)을 따르며 해당 기준에 적합하여야 한다.

6.8 내열성 내열성은 치수 안정성으로 나타내고, 다음에 따라 측정한다. 다만, 치수는 KS B 5209 또는 KS B 5246에 규정하는 강제 줄자 또는 금속제 곧은자 등을 사용하여 측정한다.

(1) 길이(l) 및 폭(b)이 50±1 mm 각, 두께(δ)는 30±1 mm로 준비한 시험편을 110±5℃로 유지한 건조기에서 1시간 건조시킨 후 데시케이터에 넣어서 실온까지 냉각시켜 그 치수(l_0, b_0, δ_0)를 측정한다.

(2) 내열성 시험편을 150±3℃로 유지한 가열로에서 2시간 가열한 후 꺼내고, 데시케이터에 넣어서 실온까지 냉각시켜 그 치수(l_1, b_1, δ_1)를 측정한다.

(3) 치수 안정성은 다음 식에 따라 소수점 이하 둘째 자리까지 계산하고, 평균값으로 나타낸다.

$$\text{치수 안정성}(\%) = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100,\ \frac{b_1 - b_0}{b_0} \times 100,\ \frac{\delta_1 - \delta_0}{\delta_0} \times 100 \text{ 의 평균}$$

6.9 동결 융해 저항성 단열재의 내구성을 확인하기 위한 동결 융해 저항성 시험은 KS M ISO 20394(단열재 - 동결 융해 저항성 시험)에 규정하는 방법을 따르며, 300회의 동결-융해 사이클 후 열전도율과 흡수율의 변화량이 표 2에서 규정한 성능 기준을 만족하여야 한다.

7. 검 사

7.1 시료채취방법 시료채취는 KS Q 1003(랜덤샘플링 방법)의 3.2(계통 샘플링법)을 원칙으로 한다.

7.2 성능검사 6항의 시험방법에 의한 열전도율, 불연성능, 강도, 환경유해성 시험결과 모두가 4항에서 제시된 성능치에 적합하여야 한다.

8. 표시 제품에는 쉽게 지워지지 않는 방법으로 다음 사항을 표시하여야 한다.

(1) 제조자명 또는 약호

(2) K-마크 표시

K- 마크 인증번호

(3) 품명 및 호칭, 모델

(4) 제조 년 월 일

(5) 원산지(제조국)

(6) 연락처 및 전화번호

그림 2-67. 유무기 함침 구조를 이용한 준불연 융합 단열재 단체표준 개정본(KTL F 061-2018)

(4) 용도별 제품의 사양 선정 및 공정 최적화를 통한 등급 부여

본 연구에서 개발한 유무기 융합 단열재는 유기계 기재에 무기계 액상 바인더를 함침시킨 후 압착 및 감압 공정을 통해 무기계 소재를 일정량만 남기고 제거시킨 후 형상복원, 건조 공정을 거쳐 제조되는 방식으로, 함침액의 조성과 압착 조건을 통해 제품의 밀도, 강도, 난연성 및 열전도율을 제어할 수 있다는 점이 가장 큰 특장점이다. 따라서 3차 년도 최종 개발 시제품에 대한 조건 실험을 통해 확인한 밀도에 따른 열전도율 성능범위를 바탕으로 유무기 융합 단열재용 단체표준 K규격 상 용도별 유무기 융합 단열재의 종류와 성능 기준을 구분하여 제시하였다(표 2-44).

표 2-44. 용도에 따른 유무기 융합 단열재의 구분

구분	성능	용도
고밀도 불연형	열전도율 0.070 W/mK 이하 밀도 0.25-0.35 g/cm^3	방화문, 화재확산방지재 등
중밀도 준불연형	열전도율 0.060 W/mK 이하 밀도 0.20-0.25 g/cm^3	천장재, 벽체 등
저밀도 준불연형	열전도율 0.051 W/mK 이하 밀도 0.15-0.20 g/cm^3	ADPD용, 내단열 등

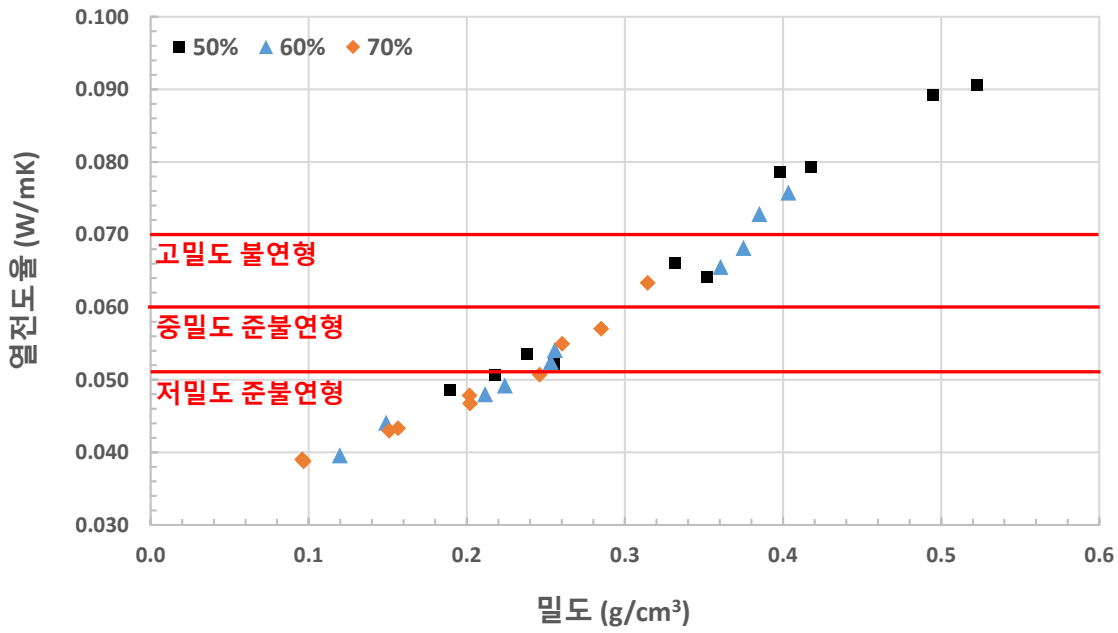


그림 2-68. 밀도와 열전도율에 따른 유무기 융합 단열재의 구분

표 2-45. 유무기 융합 단열재의 함침 및 압착 조건에 따른 밀도 및 열전도율

혼수량 / 롤러 간격		50%		60%		70%	
		밀도 (g/㎤)	열전도율 (W/mK)	밀도 (g/㎤)	열전도율 (W/mK)	밀도 (g/㎤)	열전도율 (W/mK)
5 mm	1	0.189[1)]	0.04853	0.120	0.03959	0.096	0.03903
	2	0.218	0.05070	0.149	0.04409	0.097	0.03878
8 mm	1	0.255[2)]	0.05215	0.224	0.04921	0.151	0.04297
	2	0.238	0.05349	0.212	0.04801	0.156	0.04333
11 mm	1	0.352[3)]	0.06417	0.253	0.05245	0.202	0.04673
	2	0.331	0.06606	0.256	0.05410	0.202	0.04783
14 mm	1	0.398	0.07869	0.360	0.06555	0.260	0.05496
	2	0.417	0.07928	0.375	0.06815	0.246	0.05069
17 mm	1	0.495	0.08925	0.385	0.07283	0.314	0.06335
	2	0.523	0.09063	0.403	0.07578	0.285	0.05702

1) 저밀도 준불연형 : 열전도율 0.051 W/mK 이하, 밀도 0.15~0.20 g/cm^3
2) 중밀도 준불연형 : 열전도율 0.060 W/mK 이하, 밀도 0.20~0.25 g/cm^3
3) 고밀도 불연형 : 열전도율 0.070 W/mK 이하, 밀도 0.25~0.35 g/cm^3

유기계 기재에 무기계 바인더를 함침시킴에 따라 난연성을 부여함으로써 유기계 단열재가 갖는 화재 취약성 및 연소 시 유해가스 배출의 문제를 개선시킨 반면, 다공성 단열재 내부 고체에 의한 열전도 인자의 증가로 단열특성은 다소 감소된다. 실험적 데이터베이스를 바탕으로 준불연 이상의 난연성과 건축자재로써의 품질을 확보할 수 있는 최소한의 무기계 함침량에 따른 밀도 범위를 0.18~0.20 g/cm^{2}으로 판단하였으며 그에 부합하는 열전도율인 0.051 W/mK을 성능기준으로 도출하였다. 이는 KS M 3808, 3809 및 KS L 9102에 의한 해당 단열재 및 기타 단열재의 성능기준과 국토교통부 고시 제 2017-71호 건축물의 에너지절약설계기준을 고려한 수치이다. 그림 2-68과 표 2-45는 밀도와 열전도율에 따라 구분한 유무기 융합 단열재의 종류를 나타내며, 높은 단열성능을 요구하는 ADPD 등 내단열 용도로 열전도율 0.051 W/mK 이하 저밀도 준불연형(0.15-0.20 g/cm^3), 천장재, 벽체 등 외단열에 적용 가능한 0.060 W/mK 이하의 중밀도 준불연형(0.20-0.25 g/cm^3), 불연성을 요구하는 방화문, 화재확산방지재 용도의 고밀도 불연형(0.25-0.35 g/cm^3)으로 구분하였다. 표 2-45를 통해 각 유형별 성능에 부합하는 단열재 공정 조건을 제시할 수 있으며, 혼수량 60%의 함침 조건을 기준으로 고밀도 불연형은 롤러 간

격 14 mm, 중밀도 준불연형은 11 mm, 저밀도 준불연형은 5~8 mm의 압착 조건으로 생산 가능하다. 하지만 5 mm 이하의 롤러 간격에서는 단열재 두께 대비 90% 이상의 압축률로 작업성 및 제품의 외관품질이 취약하여 저밀도 준불연형의 최적 압착 조건으로 8 mm의 롤러 간격을 도출하였다.

이와 같이 밀도 및 열전도율의 단열성능을 기준으로 용도에 따라 구분된 유무기 융합 단열재의 종류 및 기호를 K규격 상에 나타내었고, 열전도율 이외의 평가 항목에 대해서도 유무기 융합 단열재 종류에 따라 용도에 적합한 성능 기준을 구분하여 제시하였다(표 2-46).

표 2-46. K규격 단체표준에 제시된 유무기 융합 단열재 종류에 따른 성능기준

항 목	종 류		
	고밀도 불연형	중밀도 준불연형	저밀도 준불연형
열전도율 (W/mK)	0.070 이하	0.060 이하	0.051 이하
난연성능	불연 재료(1급) 이상	준불연 재료 (2급) 이상	
강도 (kgf/cm^2)	휨 3, 압축 5 이상	휨 1, 압축 3 이상	휨 0.5, 압축 2 이상
환경유해성	EL248. 벽 및 천장 마감재 기준 적합		
내열성	5% 이하	10% 이하	
동결 융해 저항성	열전도율 변화율 20% 이하, 흡수율 변화율 10% 이하		

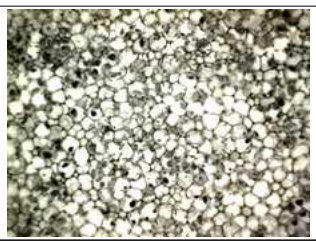
라. 용도별 Pilot Plant급(50 m^2/day) 공정 구축 및 시제품 제작

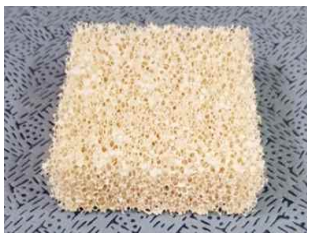
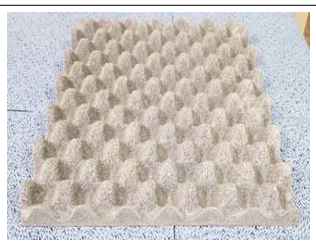
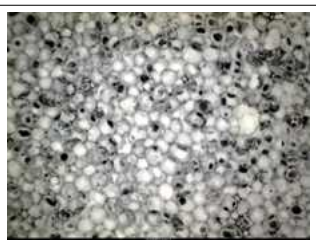
(1) 형상에 따른 공정 최적화 (판상형, 필터형 특수 형상형 등)

본 연구에서 개발한 유무기 융합 구조의 단열재는 일정 크기로 제어된 기공을 가지는 유기계 다공성 구조체에 무기계 함침제가 코팅 또는 막 형태로 융합되어 있는 구조로, 유기계 기재에 무기계 물질을 함침 시킨 후 압착 또는 감압 공정을 통해 일정량의 무기계 물질을 제거 및 형상복원, 건조 공정을 거쳐 생산한다. 1차 년도에는 주관기관으로부터 형상제어, 기공제어, 형상 복원력, 함침 용이성 등의 특성을 만족하는 유기계기재로 다공질의 합성수지류 중 열린 기공을 가지고 있는 폴리우레탄 계열의 폼을 선정 하였고, 폴리우레탄 폼을 대상으로 유무기 융합화를 위한 무기계 함침 소재의 최적 배합비율 및 액상 반응 연구를 통한 단열재의 공정 최적화를 확보하였다.

주관기관의 선행 연구 결과 폴리우레탄 폼의 물성은 기공 제어의 역할이 매우 크다고 판단되어, 2차 년도에서는 보다 다양한 종류의 폴리우레탄 폼을 적용하여 다양한 형상을 시험 생산하여 공정의 최적화를 하고자 하였다. 다양한 종류별 유기계 기재를 사용하여 무기계 물질을 함침시켜 제조한 시제품의 사진 및 함침 전·후 미세구조는 표 2-47과 같으며, 다양한 형상의 유기계 물질에 따른 용도별 연속식 공정에 의한 50 m^2/day의 PP급 생산 공정을 최적화 할 수 있었다.

표 2-47. 형상에 따른 Pilot Plant급(50 m^2/day) 공정에서 생산된 시제품

구분	함침 후 형상	미세구조 (×30)	미세구조 (×250)
일반형			
고탄성 및 고경도형			

해면체형			
재생 마블형			
필터형			
특수 형상형			

최적화된 Pilot Plant급(50 m^2/day) 공정에서 생산된 시제품 중 일반형의 경우 밀도가 낮아 복원력이 약한 것으로 알려져 있으나, 함침 및 압착 과정 후 복원되는 과정에서는 다른 소재들과 차이 없이 동일한 복원력을 나타내는 것으로 확인되었다. 또한 일반형 소재의 경우 건조 후에도 다른 형상별 소재와 차이 없이 생산이 가능하나, 저농도의 함침용액을 사용하는 경우 무기물의 함침량이 줄어들기 때문에 기타 지연제, 경화제 등 첨가 바인더의 추가를 통해 기존 생산 배합과 다르게 농도를 맞추어야 되는 것으로 파악되었다.

고경도 및 고탄성형 소재의 경우 일반형에 비해 높은 밀도를 가지고 있기 때문에 동일한 조건으로 무기계 물질을 함침시킨 경우 일반형 보다 높은 밀도를 나타내는 것으로 확인되었다. 일반형과 고탄성형 소재의 경우 무기계 물질의 점도 및 농도에 따라 함침 후 건조 과정에서의 경화 양상이 유사하게 나타났으나, 일반형 스펀지가 무기계 물질의 제어에 따라 넓은 범위의 최종 밀도를 구현하여 시제품 생산에 용이한 것을 확인할 수 있었다. 반면에 최종 시제품이 높은 밀도를 요구하고 준불연 이상의 불연 성능이 필요한 경우에는 고탄성/고경도의 유기계 소재를 택하여 생산하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

해면체형의 경우 앞서 언급한 일반형과 고탄성 및 고경도형과 유사한 함침 특성을 나타내었으며, 최종 시제품의 경우 표면 특성이 기존 천장재(마이톤, 아미텍스 등)와 유사한 형태를 가지는 것으로 확인되어 천장재 형태의 마감재로 응용이 가능할 것으로 판단된다.

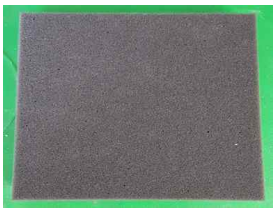
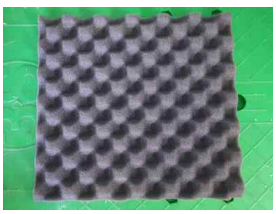
재생 마블형은 고경도 25 kg/m^3 정도의 밀도를 가지고 있으나, 밀도가 다른 조각들이 결합되어 있는 형태이기 때문에 단열 성능에 있어서 균일한 특성을 내지 못할 것으로 판단된다. 또한 함침 및 압착 과정에서 일부 파단이 발생되는 경우가 있어 상용 제품으로 적용하기에는 어려움이 있을 것으로 판단된다.

필터형의 경우 위에 언급된 소재들과 달리 무기계 물질의 점도 및 농도에 따라 매우 다양한 양상의 함침 양상이 나타남을 확인하였다. 60 ppi 이하의 필터형 소재에서는 일정 점도 이하의 무기계 물질 함침 시 압착 공정이 이루어지기 전부터 불균일하게 흘러내려 균일한 함침을 시키기가 어려운 상태였으며, 최종 제품의 경우에도 균일하지 못한 밀도 및 미세구조를 가지는 것으로 확인되었다. 필터형 유기계 소재를 활용하기 위해서는 현재 적용되는 무기계 물질 시스템에 막 형성 및 기공 발생 등을 위한 처리가 필수적으로 필요할 것으로 판단된다.

특수형상의 경우 일반 유기계 소재와 유사한 경향을 보이는 것으로 확인되었으며, 원래 가지고 있는 특수 형상을 유지한 상태로 최종 시제품을 생산 할 수 있었다.

유무기 융합 단열재의 유기계 기재는 단열성, 형상제어, 무기계 물질과의 함침 경향 등을 종합적으로 고려하여 선정되어야 하는데, 본 생산 공정에서는 크게 준불연용, 유사 불연용, 천장재용, 특수 형상용으로 구분하여 표 2-48에 나타낸 바와 같이 특성에 따른 유기계 기재를 선택하여 생산하였다.

표 2-48. 형상에 따른 최적화 공정 생산 후 시제품의 종류별 유기계 기재

종 류	형 태	특 성
준불연용		- 기재 밀도 15-20 kg/m^3 - 무기계 물질 제어에 의한 밀도 및 성능 조절 - 시제품 밀도 150-350 kg/m^3 (0.15-0.35 g/cm^3)
유사 불연용		- 기재 밀도 25-32 kg/m^3 - 함침 무기계 물질 함량 높아 불연성 구현 가능 - 시제품 밀도 400-700 kg/m^3 (0.4-0.7 g/cm^3)
천장재 및 벽체용		- 기재 밀도 18-20 kg/m^3 - 기재 자체의 문양으로 기존 천장재와 유사 (디자인,성능) - 시제품 밀도 200-450 kg/m^3 (0.2-0.45 g/cm^3)
특수 형상용		- 기재 밀도 15-20 kg/m^3 - 유기계 기재 가공에 따라 다양한 형상 제조 가능 - 시제품 밀도 150-350 kg/m^3 (0.15-0.35 g/cm^3)

(2) 용도별 연속식 공정에 의한 50 m^2/day의 PP급 생산공정 구축

1차 년도 주관기관에서 개발된 유무기 융합 단열재의 Lab. Scale 제조 기술을 바탕으로 Pilot Plant급(10 m^2/day) 제조 공정기술의 최적화와 연속식 생산 공정을 구축 하였으며, 2차년도 연구과제 수행 시 용도별 공정 조건 및 제품의 다양한 생산 공정 조건과 형상 및 용도별 생산 가능한 공정구축을 최적화 하여 Pilot Plant급(25 m^2/day)의 제품 생산이 가능한 설비와 연속식 공정을 구축하였다. 이러한 공정구축 및 시제품 제작에 따른 기술을 바탕으로 구축된 공정 단계는 함침공정, 압착공정, 건조공정을 적용하여 공동연구기관인 원준하이테크 공장 현장에서 유무기 융합 단열재 시제품을 생산하였다.

300×600 mm(0.18 m^2) 시제품을 60장까지 수용 가능한 건조기 용량을 기준으로 1차 년도에는 하루 최대 생산량을 10.8 m^2/day로 최적화 하였다. 1 batch의 최적량인 1.8 m^2/batch(10장/batch)를 함침 하였을 경우 하루 생산량 기준 6 batch의 작업이 필요하다. 1batch 내에서 생산량을 늘리기 위하여 압착 공정에서 탈수되는 함침 용액을 재사용하여 시제품의 특성에 영향을 미치지 않는 것을 확인하고, 1 batch 내에서 함침 용액을 연속적으로 재사용하는 방안을 도입함으로써 1회 작업 batch량을 평균 3.06-3.42 m^2/batch(17-19장/batch)까지 단열재의 함침 수량을 향상시킬 수 있었다.

건조기 1대에 수용할 수 있는 60장의 단열재 시제품을 생산하기 위하여 4 batch의 함침 작업(평균 18장/batch 기준)이 필요하며 이때 3시간의 작업 시간이 소요됨을 확인하였다. 함침된 단열재의 건조시간을 3시간까지 고려하면 하루 생산량 기준 시제품 제조에 소요되는 시간은 함침재료 준비시간을 포함하여 총 시간을 6시간이 소요된다.

1차 년도 10.8 m^2/day 공정구축에 따라 2차 년도 목표인 25 m^2/day 생산량을 최적화하기 위해 건조기를 증설하여 건조량을 2배로 증가시켜 300×600 mm(0.18 m^2) 생산품을 21.6 m^2/day 120장을 건조 할 수 있도록 하여 1 batch 함침 작업당 18장 기준으로 단열재의 함침 생산 시 25.92 m^2/day(144장)의 생산 능력을 구축 하였으며, 이는 2차 년도 25 m^2/day의 공정구축 보다 6장을 더 생산 가능 하도록 공정구축 되었다.

1차 년도 및 2차 년도 공정구축을 토대로 하여 3차 년도 공정구축 목표인 50 m^2/day, 300×600 mm(0.18 m^2) 단열재 생산품을 기준으로 277장의 생산량을 확보하고자 건조 용량을 새롭게 증설하여 함침 건조량을 늘려 생산할 수 있게 구축하였다. 3차 년도에 추가로 증설된 건조기는 양문 방식의 열풍 건조기로서 건조기 안에 대차를 제작하여 함침된 단열재의 건조시설로 이동이 가능하여 기존 열풍건조기 보다 편리하게 많은 양을 건조 할 수 있으며 온도 지시 조절계 프로그램 타입으로 건조 과정의 공기 순환로를 확보하여 수분의 배출을 원활하게 하여 함침된 유무기 융합 단열재의 수분을 적정 수준으로 일정하게 낮출 수 있어 많은 양의 건조 시에도 균일하게 건조된 단열재를 생산 할 수 있게 되었다.

(주)원준하이테크에 새롭게 구축된 대차 열풍 건조기로 구축된 설비와 Pilot Plant급(50 m^2/day)제조 공정 설비는 그림 2-69과 같으며, 표 2-49는 연구수행 연차별 Pilot plant급 유무기 융합 단열재 생산에 필요한 원료 소요량을 정리 하였다.



그림 2-69. Pilot Plant급(50 m^2/day)제조 공정 설비

표 2-49. 연차별 Pilot plant 공정에서의 원료 소요량

(단위 : kg)

구 분	1차 년도 Pilot Plant급 (10.8 m^2/day, 4 batch)		2차 년도 Pilot Plant급 (25 m^2/day, 8 batch)		3차 년도 Pilot Plant급 (50 m^2/day, 15 batch)	
원 료	batch당 원료 소요량	전체 소요량	batch당 원료 소요량	전체 소요량	batch당 원료 소요량	전체 소요량
무기계 소재	60-80	240-320	100-180	800-1440	100-180	1500-2700
경화 지연제	0.3-0.4	1.2-1.6	0.5-0.9	4-7.2	0.5-0.9	7.5-13.5
유동화제	0.3-0.4	1.2-1.6	0.5-0.9	4-7.2	0.5-0.9	7.5-13.5
수지류	3-4	12-16	5-9	40-70	5-9	75-135

마. 단열재의 실환경 적용 및 시공성 연구

(1) 형상 및 용도별 시제품으로 Mock-up 시공 평가 결과를 바탕으로 한 실환경 적용

본 연구에서 개발된 유무기 융합 단열재는 외단열재, 방화문용 심재, 공동주택 ADPD 용 단열재(Air duct, Pipe duct), 결로 방지 내단열재, 미네랄울 대체 천장재, 화재 확산 방지재 등 다양한 용도로 적용될 수 있으며, 특히 외단열에 적용하기 위해서는 개발된 단열재의 단열 성능 및 시공성 등을 종합적으로 고려해야한다. 또한, 실환경 적용을 위해서는 일반 소규모 주택 및 벽체 건물 등 4층 이상의 구조물을 형성하여 시험을 수행 되어야 하지만 비용문제 및 주택 임대, 시공 후 원상복귀 등 현실적으로 어려움이 발생된다. 1차 년도 연구과제 수행시 Mock-up test를 위한 설계 및 실환경 적용성 검토를 거쳐 전문가 회의 및 기존 단열재 제품에 대한 분석 등을 통하여 도출된 유무기 융합 단열재의 적용성 가능 용도를 설정하여 표 2-50에 분류하여 나타내었으며, 드라이비트 방식의 외단열 시공을 모사하고자 2차 년도 연구과제 수행 시 외단열 시공방법 중 습식시공 방식과 건식시공 방식을 제작된 Mock-up 구조물에 구현 하였다.

3차 년도 과제 수행에는 기존 시공법을 개선하여, 2차 년도 Mock-up 시공에 발생된 단열재시공의 숙련도, 마감재 시공의 숙련도, 공법의 구성 재료 선택의 미흡 등 외단열 Mock-up 시공 시스템의 하자 유형 개선하여 3차 년도 Mock-up test를 실시하였다. 실 환경과 유사한 조건을 제작하여 외단열의 시공은 가능하나 앞서 기술했듯이 실제 건축물 구조에 시험 적용하기 위해선 많은 애로사항이 따른다.

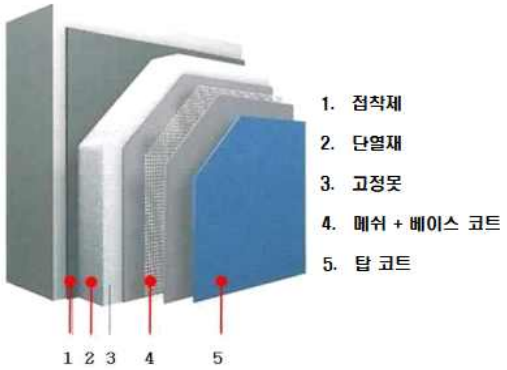
표 2-50. 유무기 융합 단열재 적용 가능 용도

용도	형상	특성 및 적용성
외단열재		- 건축물 외부에 단열재 시공 - 연면적 500 m^2 이상인 경우 에너지절약설계 기준 저촉 - 열전도율 및 밀도 고려 시 500 m^2 이하 대상 - 적용성 : 중

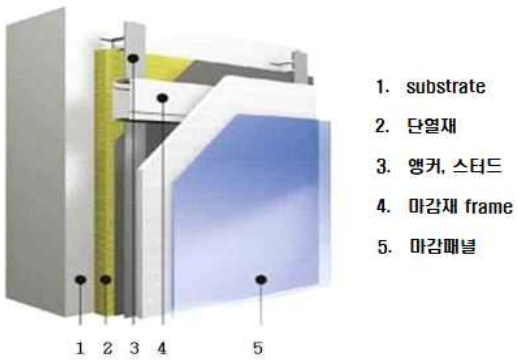
방화문용 심재		- 방화문 내부 심재 - 페놀폼, 하니컴 등 기존 심재 대체 가능 (우수한 내화 성능) - 적용성 : 상
공동주택 ADPD용 단열재 (Air duct, Pipe duct)		- 공동주택 입상 배관 공관 (욕실 인접 설계) - 기존 조적벽 막은 후 타일시공하나 단열/결로 등 문제 - 내화문제 중요시 됨 - 적용성 : 상
결로방지 내단열재		- 실내 곰팡이 및 결로 방지용 - 오픈 마켓 등에 DIY용으로 판매 - 실내 화재 안전성 부각으로 대체 가능 - 적용성 : 상
미네랄울 대체 천장재		- 고급형 천장 마감재 - 동등 이상 단열, 흡음 효과, 마감면으로 대체 가능 - 적용성 : 상
화재 확산 방지재		- 화재확산 방지를 위해 의무적으로 설치되는 띠 - 유사 불연성 확보 시 대체 가능 - 적용성 : 중

(2) 형상 및 용도별 시제품에 대한 기존 제품과의 시공성 비교 평가

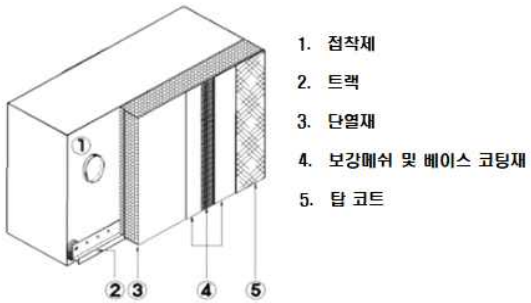
외단열 공법은 시공방식에 따른 분류와 적층방법에 따른 분류로 나뉠 수 있으며, 시공방식에 따른 분류로 크게 접착식 공정 방식인 습식 공법과 화스너(fastener), 앙커(anchor), 금속프레임(frame)등의 기계적 고정 장치에 고정하는 건식 공법으로 나뉘며, 접착제와 기계적 고정 장치를 같이 사용하게 되는 반건식 공법 또한 사용된다. 구성 재료의 적층방법에 따른 외단열 공법은 접착식, 트랙식, 앵커식, 일체식으로 분류된다. 외단열 공법의 시공방식에 따른 분류는 그림 2-70에 나타냈으며, 적층방법에 따른 분류는 표 2-51에 나타내었다.



(a) 습식 공법



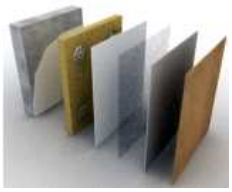
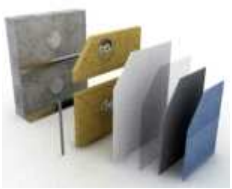
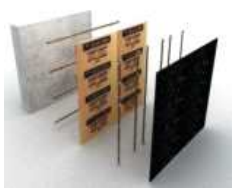
(b) 건식 공법



(c) 반건식 공법

그림 2-70. 시공방식에 따른 외단열 공법의 분류

표 2-51. 단열재의 적층방법에 따른 외단열 공법

구분	접착식	트랙식	앵커식	일체식
외단열의 구성				
사용용도	일반 외벽	일반 외벽	석재마감 외벽	독립된 외벽
단열재 부착방식	접착제+Fastener	접착제+트랙	앵커	앵커
시공성	낮음	보통	보통	높음
장점	• 경제적 공법 • 다수의 시공실적	• 트랙시공 부착력 향상	• 건식으로 시공성 높음 • 통기층 확보	• 시공이 용이함 • 균일한 성능확보
단점	• 부착력 약함 • 시공이 복잡함 • 품질 차이가 큼	• 트랙 설치의 정확도 요구 • 비용 증가	• 별도의 마감재 필요 • 고층 건물의 적용한계	• 비용이 높음 • 조인트 처리의 난이도 높음

기존 시판되는 외단열의 공법 구성 재료 중 단열재는 보온 또는 열차단 목적으로 사용되는 제품으로서 크게 유기계 단열재인 경질 발포 플라스틱과 무기 섬유계 단열재로 나눌 수 있다. 외단열 공법에 주로 이용되는 단열재는 발포 폴리스티렌(EPS) 단열재로 현장에서 시공 상황에 맞게 절단 및 가공이 용이하고, 타 단열재에 비해 낮은 밀도로 사용 가능하여 경제성이 우수한 것으로 알려져 있다. 최근 들어 건물의 화재 안전이 강조되어 방·내화성이 상대적으로 우수한 무기 섬유계 단열재인 미네랄 울과 경질 발포 플라스틱 중 페놀폼 보드가 주목을 받고 있다. 표 2-52는 시판중인 단열재의 종류를 나타내었다.

표 2-52. 시판되고 있는 단열재의 구성

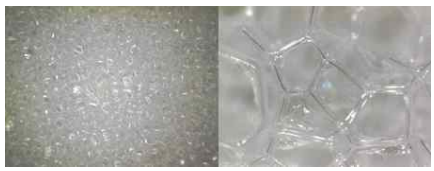
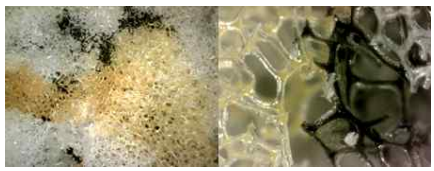
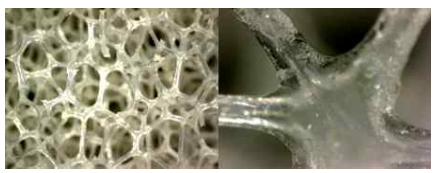
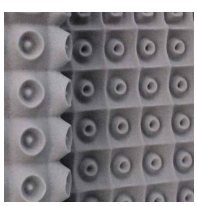
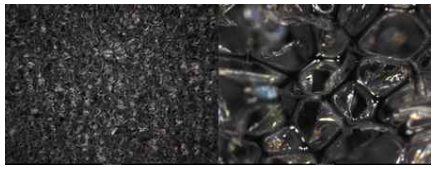
구분	EPS	XPS	경질우레탄폼	페놀폼	미네랄울	글라스울
						
원료	스티렌 중합체	스티렌 중합체	폴리올+ 이소시아네이트	페놀 수지	현무암, 인산암	파유리, 규산
제조방식	발보 경화	압출 발포 경화	발포 경화	발포 경화	용융·섬유화	용융·섬유화
제품	KS M 3808	KS M 3808	KS M 3809	KS M ISO	KS L 9102	KS L 9102

시판되고 있는 단열재는 유기물과 무기물의 특성에 있어 제조 방식과 단열성능 등 명확한 차이를 나타내는 것으로 알려져 있으며, 단열재의 경우 유기계 단열재는 구조상 단열성능이 우수하고 경제성과 시공성에 장점을 가지고 있으나 화재의 취약성 및 연소시 유해성 등의 단점을 가지고 있다. 무기계 단열재는 단열성능이 유기계 단열재에 크게 못 미치고, 매우 고가이거나 미네랄울 및 글라스울처럼 분진에 의한 유해성 논란과 다양한 형태로 생산의 어려움이 발생되며 높은 흡수율에 따른 성능저하의 문제점을 안고 있다.

본 과제 수행 시 주관기관인 한국산업기술시험원의 연구 개발을 토대로 균일한 기공 확보가 용이하고 형상제어가 자유로운 준불연 이상의 화재 안전성 및 단열성이 확보된 유무기 융합 단열재 생산을 목표로 이에 적합한 기재로 활용 가능한 유기계 소재를 선정하여 시험 생산을 진행 하였다. 형상제어, 기공제어 형상 복원력, 함침 용이성 등의 특성을 만족하는 유기계소재로 다공질의 합성수지류 중 열린 기공을 가지고 있는 여러 종류 폴리우레

탄 계열의 제품을 각 소재에 특성 및 무기계 함침 생산을 통하여 단열재 용도로서 적합성을 판단하고자 하였다. 표 2-53은 유무기 융합 단열재용 유기계 기재로 생산 가능한 소재의 후보군을 나열하였으며, 시중에서 구매가 가능한 제품들 중 다른 특성을 가지는 소재를 형상별로 시험 생산을 진행하였다.

표 2-53. 생산 가능한 유무기 융합 단열재용 유기계 소재

구분	밀도 (kg/m^3)	형 상	미세구조
일반형	15		
고탄성 및 고경도형	25, 28, 35		
해면체형	20		
재생마블형	25		
필터형	10-80 ppi		
특수 형상형	15-25	 	

일반형은 폴리우레탄 100%의 15 kg/㎥의 밀도를 가지는 소재로 가정용이나 산업에 가장 널리 사용되는 기본적인 소재이며, 밀도가 약해 부드러우나 탄성이 적어 하중이 받지 않는 분야에 사용된다. 고탄성 및 고경도형은 밀도가 25-35 kg/㎥로 일반형에 비해 경도 및 복원력이 우수하여 하중을 받는 고급 소파, 침구류, 의자 등에 사용되는 소재이다. 해면체형은 20 kg/㎥의 밀도를 가지며 일반형과는 달리 기공의 구조가 불규칙한 것이 특징으로 세차용 또는 산업용 인테리어 등 다양하게 사용되고 있는 소재이다. 재생마블형은 일반형 소재 재단 후 남은 조각들을 이용하여 제조한 재생 제품으로 별도의 접착 성분이 사용되어 사용 중 부서질 수 있는 단점이 있으나 비교적 고탄성으로 저렴한 가격에 비해 우수한 성능을 가진 소재이다. 필터형 소재는 일반형에 비해 기공이 매우 큰 형태로 주로 여과용으로 많이 이용되고 있으며 일반 폴리우레탄 소재와 달리 제조 방법이 상이하여 가격이 약 5-8배가량 높은 소재이다. 특수 형상 소재는 일반 소재와 성분 및 밀도는 동일하지만 별도의 가공 공정을 통하여 제조되는 형태로, 향후 다양한 형태의 단열재가 요구되는 상황에서 유용한 기재의 역할이 가능할 것으로 판단되는 소재이다. 연구 개발 및 생산된 판상형 유무기 단열소재와 유무기 함침 후 가공된 특수 형상형 소재를 결합하여 단열재 두께를 늘리고 판상형과 특수형 사이에 공기층을 두어 보다 나은 단열 효과를 볼 수 있을 것으로 예상되며, Mock-up 시공에 관한 문제점들을 파악하여 추후 두 재료를 결합해서 시공가능성 여부를 검토하고 있다.

(가) 습식 공법(Bonded Type)

습식공법은 구조체에 단열재를 고정하기 위해 일정량의 접착제를 단열재에 도포하여 구조체에 부착하는 공법으로 구조체의 평탄화 → 접착제 도포 → 단열재 부착 → 화스너 고정 → 메쉬 부착 → 초벌 미장(바탕 몰탈) → 마감 미장(탑 코트)의 순으로 시공된다. 단열재의 고정 방식이 접착제에 의한 것으로 접착제의 시공이 매우 중요하며, 단열재의 구조체 부착을 위해 단열재의 테두리 부위와 중앙의 8부위에 접착제를 도포하거나 타일 흙손을 이용하여 전면 도포하는 등의 방법으로 단열재의 변형, 기타 환경 요인에 의한 단열재 탈락 현상을 최소화하여야 한다. 이와 같은 습식 공법은 건식 공법에서와 같이 별도의 고정 장치가 필요하지 않아 건식 공법 대비 시공이 간편하고 비용이 저렴하나 구조체의 오염, 기타 환경적인 요인에 의하여 단열재와의 부착력이 약해질 우려가 있으므로 시공에 유의하여야 한다. 구조체의 평활도가 마감면에 영향을 미칠 수 있으므로 구조체의 평활도를 확보하는 작업이 필요시 된다.

(나) 건식 공법(Mechanically fixed Type)

건식 공법은 구조체에 단열재 및 마감재를 화스너(fastener), 앙커(anchor), 금속 프레임(frame) 등을 사용하여 고정하는 공법이다. 기계적 고정 장치에 의해 단열재 및 마감재를 고정함에 따라 습식 공법에 비하여 구조체와 단열재간 견고한 고정이 가능하며, 구조체의 평활도에 크게 구애 받지 않으며, 마감재 선택의 폭이 넓어 건물의 외관이 습식과 같이 획일적이지 않고 다양한 표현이 가능한 장점이 있으나 습식 공법에 비해 시공이 복잡하고 비용 또한 상승되는 등의 우려가 있어 경제적 고려가 필요하다.

(3) 단열재의 Mock-up 건식 시공에 대한 시공법 개선 (매쉬 및 모르타르 마감재 등)

2차 년도에는 실환경 조건을 구현한 Mock-up 시공법에 대한 연구를 통하여 Mock-up용 구조물 3개동을 설계, 제작 하였으며, 연구개발품인 단열재의 mock-up 시공 후 단열재의 탈락, 균열, 파손, 외관불량 등의 내구성을 파악 하고자 건식, 습식 시공을 하였으며, 실환경 조건을 구현하기 위한 구조물 설계도와 구조물 제작 과정은 그림 2-71과 표 2-54와 같다.

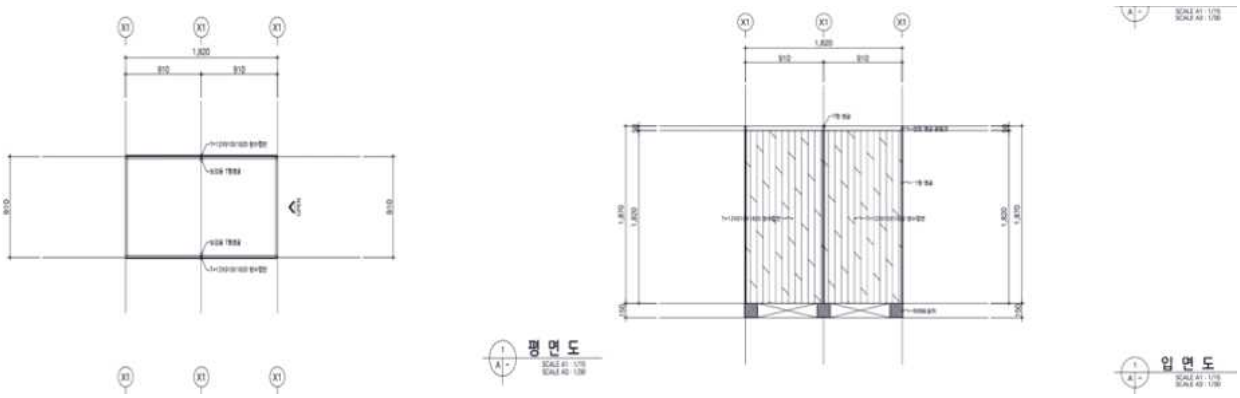


그림 2-71. 2차 년도 과제수행 Mock-up 구조물 설계도면

표 2-54. 2차 년도 과제수행 Mock-up 구조물 제작 과정

구조물 제작			
방수합판 벽체마감			
미장 및 바닥면 평탄화			
건조된 구조물			

Mock-up 구조물은 조립식 앵글로 제작 되었으며, 구조물위에 방수합판설치, 바탕면 모르타르 평탄화 작업등을 거쳐 제작된 구조체에 연구 개발된 단열재를 습식, 건식 시공을 수행하여 2018년 6월 ~ 2019년 6월까지 (주)원준하이테크 옥외에 설치하여 혹서기, 장마철, 혹한의 날씨 환경에 단열재의 내구성을 파악하고자 Mock-up 시공을 실시하였다. 2차 년도 Mock-up 시공의 습식과 건식 시공 과정은 그림 2-72와 그림 2-73과 같다.



그림 2-72. 2차 년도 mock-up 단열재의 습식시공 과정



그림 2-73. 2차 년도 mock-up 단열재의 건식시공 과정

단열재의 습식시공과 건식시공 방법에 따른 mock-up 과정을 거쳐 2차 년도 Mock-up 시공 후 옥외 설치된 구조물의 벽체 안전성/내구성 등 시공법 및 외단열 시스템의 하자를 확인하고 개선하여 3차 년도 과제 수행시 Mock-up 시공 개선 방향을 확인할 수 있었으며, 표 2-55에 2차 년도 Mock-up 시공을 통해 발견된 문제점 및 대응방법을 나타내었다.

표 2-55. 벽체와의 안전성/내구성 외단열 시스템의 하자

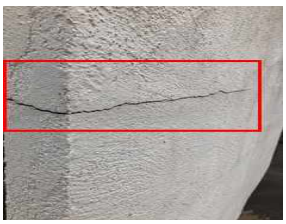
하자 유형	하자 원인	대응방법
탈락	재료적인 요인	인증된 시스템의 구성자재
파손		
균열	시공적인 요인	올바른 시공법 관리
외관불량		
오염	설계적인 요인	주요부위 디테일 시공
누수		
화재	법규정에 따름	-

(가) 단열재의 Mock-up 시공 시스템의 하자 유형

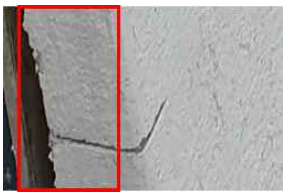
① 탈락

하자형태	하자유형 사진	원인	대응방안
접착제와 단열재의 탈락		• 접착제와 단열재와의 부착강도 문제 • 풍압 분산	(제품/시스템) • 접착제와 하지면의 부착강도 성능 • 잡착제와 단열재의 부착강도 성능 • 접착제 내구성유지 (시공) • 하지면 상태 점검 • 하지면 평활도, 이물질 제거, 프라이머 시공 (설계/디테일) • 외단열 전체 단부에 마무리 메쉬 또는 고정물 설치(스터드) • 풍압분산을 위한 화스너 시공
탈락된 접착제에 이물질 오염		• 하지면에 이물질의 오염 등으로 접착력 약화	

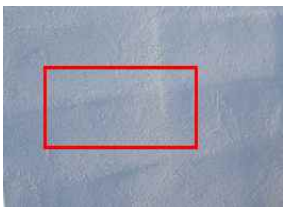
② 균열

하자형태	하자유형 사진	원인	대응방안
코너 부위 수직 균열		• 단열재 코너 부분 통줄눈 시공 • 시멘트로 인한 메쉬 부식 • 코너 부분 추가 고정	(제품/시스템) • 메쉬 기준이하 품질 사용 금지 • 단열재의 숙성, 밀도. 사양 • 미장재와 단열재의 부착강도 성능
외단열의 수직 혹은 수평 균열		• 단열재 미숙성 • 수축 팽창, 뒤틀림 • 메쉬 강도 부족 • 메쉬 내알칼리성 부족 • 기준이하의 박막 미장 시공	(시공) • 단열재의 기밀시공 • 단열재간 틈은 우레탄 폼으로 충진(시멘트 충진시 수축과 팽창으로 균열) (설계/디테일) • 개구부 코너 부위 L자형 단열재 시공 • 개구부 코너에 사인장 메쉬 시공 • 일반메쉬 시공 시 메쉬간 겹치기 시공(최소 6mm)
메쉬 부식		• 메쉬 내알칼리성 기준 미달	

③ 파손

하자형태	하자유형 사진	원인	대응방안
저층부위 코너부위 파손 (벽, 기둥)		• 돌출 코너는 빈번한 왕래 충격요소 많음	(제품/시스템) • 하부 충격보강 메쉬 추가 • 코너는 외단열 전용 코너비드 추가
저층부위 벽체 파손		• 저층부는 빈번한 왕래로 외부 물리적 충격 빈도가 높음	(시공) • 저층부 추가 보강시공 (설계/디테일) • 지면으로부터 최저 1.5까지는 하부보강메쉬, 코너비드 시공 후 일반메쉬 시공

④ 외관불량

하자형태	하자유형 사진	원인	대응방안
단열재 자국		• 단열재 뒤틀림 : 미숙성, 비균일 밀도 • 하지면 불규칙 • 얇은 미장 두께 • 건조 두께 차이	(제품/시스템) • 단열재 품질기준 준수(밀도, 숙성등) • 미장재, 마감재 품질 • 투습성, 내수성, 수증기 투과성 (시공) • 조색제품 : 최소 면단위 주문 시공 • 시공환경 조건 준수 • 동절기 우기 시 시공 금지 • 미장재 완전건조 후 • 마감재 시공
이색(변색)		• 생산 배치 차이로 인한 색상 차이 • 시공 시점 차이	
백화현상		• 미장재 미건조시 마감 시공 • 동절기 저온 시공에 따른 건조지연 • 우기철 고습도 시공 • 마감재를 통한 수분 침투	
부풀음 (air pocket)		• 미장재 미건조시 마감 시공 • 동절기 저온시공 • 우기철 고습도 시공 • 마감재 수증기 투과성 취약	

2차 년도 연구과제 수행 시 실환경 조건을 구현한 Mock-up 시공 후 관찰결과 재료적인 요인과 시공적인 요인의 하자원인을 파악할 수 있었으며, 시공 시 문제가 된 메쉬 및 모르타르, 마감재에 관하여 작업자의 구성자재 파악, 올바른 시공법 관리, 주요부위 디테일시공 등이 숙련되어야 한다. 이에 따라 외단열 공법의 구성 재료 중 접착제, 메쉬, 바탕 모르타르, 마감재의 품질 요구사항이 필요시 되어 각 재료의 특성을 파악하여, 3차 년도 Mock-up 건식 개선 시공 시 각각의 구성 재료를 사용하여 시공하였다.

(나) 개선된 공법의 구성 재료

① 접착제

외단열 시공 시 사용되는 접착제는 단열재를 벽체에 고정하기 위하여 사용하는 재료로서 접착 강도 및 접착 방식에 따라 외단열 시스템의 성능 및 하자 발생에 큰 영향을 미친다. 접착 제품의 종류는 시공현장에서 시멘트와 액상의 혼화제, 물을 섞어 사용하는 현장 혼합 접착모르타르(A type)와 현장에서 물만 섞어 사용하는 공장 생산 건식 접착 모르타르로 구성되며 그림 2-74와 같다.



그림 2-74. 시공 현장에서의 접착제 사용 방식

접착제는 정해진 비율을 준수하지 않을 경우 접착 강도의 불량 등 품질 발생되므로 접착제 모르타르, 시멘트 사용 비율을 준수하여야 한다. 또한 접착 강도는 베이스코트와 단열재, 접착제와 구조체, 접착제와 단열재 사이의 강도로 구분하여 일정 수준 이상으로 관리되어 혼합 사용 하여야 한다. 접착제의 혼합에 관하여서는 표준 시공 매뉴얼에 따른다.

② 메쉬(Mesh)

메쉬는 외단열 시공시 사용되는 그물망 구조로 된 구성 재료이며 외벽의 균열 방지 및 충격 보강 기능을 위해 바탕 모르타르와 함께 사용되어지며, 지면으로부터 일정 높이까지 파손 및 오염이 우려되는 부위 및 코너, 이음매 등 보강이 필요한 곳에 충격 보강용 메쉬를 사용한다. 주로 유리 섬유 메쉬를 사용하며 높은 인장 강도와 시멘트와 접착 모르타르 등 부식에 우수한 내알카리 특수 코팅된 제품으로 내알카리성을 갖춰야 한다. 메쉬 시공에 관하여 표준 시공 매뉴얼에 따르며, 메쉬의 시공순서 개념도는 그림 2-75와 같다.

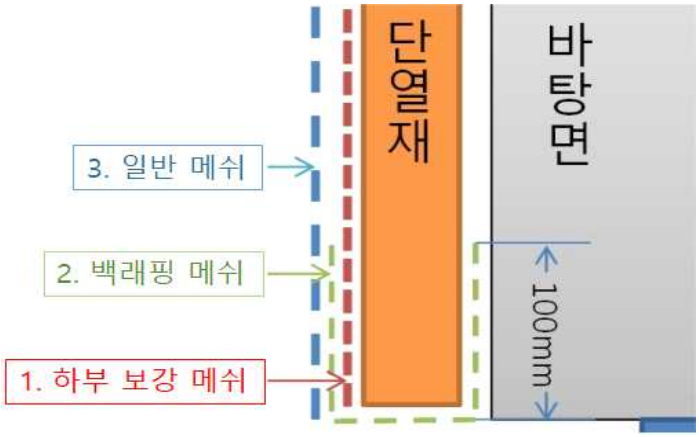


그림 2-75. 메쉬의 시공 순서 개념도

③ 바탕 모르타르(Base Coat)

바탕 모르타르는 단열재 위에 직접적으로 시공되어지는 초벌 미장 층이라 할수 있다. 메쉬와 함께 시공되며 외단열 시스템을 보호하는 기능을 하는 것으로 오랜 시간 동안 손상이 없이 열 및 수분 등 외부 환경 영향에 미치는 영향이 없어야 하며, 외단열 시공에 영향을 미치는 균열이 발생하지 않아야 한다. 이를 충족시키기 위해서 수분을 막으면서 수증기를 통과 시켜야 하며 강한 인장 강도, 압축 강도 등의 물성이 요구된다. 이는 제품의 한 종류로서 접착제와 마차나지로 현장에서 시멘트와 액상의 혼화제, 물을 혼합하여 사용하는 현장 혼합식 접착모르타르와 물만 섞어서 사용하는 공장 생산용 제품상태의 건식 접착 모르타르가 있다.

④ 마감재(Finish Coat)

마감재의 종류는 아크릴, 실리콘, 실리카, 실리케이트 합성수지 등 다양한 제품들이 시판되고 있으며 이 종류의 선택사항은 건축가 또는 건축주의 요구사항이나 시공과 관련한 기술적인 미장(마감)특성이 고려되어야 한다. 마감재의 품질 요구 조건으로는 발수 및 투습성, 내크랙성, 내오염성, 명도와 채도 등을 들 수 있다. 이러한 외단열 시공에 사용되는 재료 및 공법과 품질은 접착제, 단열재, 바탕 모르타르, 메쉬 , 마감재, 기타 부자재 등으로 구성되어 각각의 구성요소가 서로 유기적인 결합을 이루면서 외벽 단열 마감재 기능을 가지기 때문에, 외단열 공법에 필요시 되는 물리적 품질 요구 사항은 다음과 같으며, (6) 항목의 표준시공 매뉴얼에 따라 외단열 시공 점검 리스트를 통하여 현장 관리가 요구 된다.

- 모세관 현상을 통한 흡수성
- 수증기 투과성

- 동결/융해에 대한 안전성
- 각 구성층의 접착성
- 인장력과 내충격성
- 크랙 및 박리/탈락에 대한 안전성
- 건축물 수명에 따른 내구성

(4) 건식 시공에 대한 부품의 고정 철물 노출을 최소화 하여 개선 시공

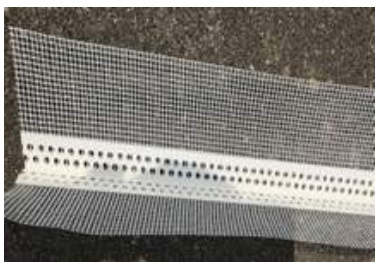
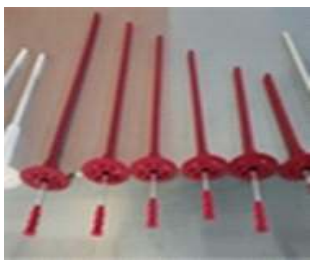


그림 2-76. 건식 시공 후 하자 발생

2차 년도 실환경 조건을 구현한 Mock-up 건식 시공법은 구조물 바탕면에 개발된 단열재를 블록 쌓기 시공 하는 점을 감안하여 수평과 수직을 유지하기 위해 H-형 긴결 철물(Twisted wire anchor, 緊結鐵物)을 사용한 후 단열재를 단단하게 고정시키는 방법을 접목시켜 시공 하였다. 외단열 건식 시공을 하는 전문 회사마다 마감과 하중에 따라 사용되는 전용 트랙이 상이하며, 높은 인장강도의 알루미늄 또는 합성수지 소재로 만들어지는 트랙을 사용하는데, 반건

식 시공인 경우 단열재와 접착재, 화스너를 이용하여 고정 마감하는 방식, 건식시공인 경우 구조체에 단열재 및 마감재를 화스너, 앙커, 금속 프레임 등을 사용하여 고정 시공 한다. Mock-up 구조물에 적합한 긴결 철물을 조립식 앵글로 덧대어 프레임 역할을 부여하고, 단열재의 탈락을 방지하기 위해 화스너를 사용한 후 단열재와 벽체를 깊이가 3 cm 정도 되도록 원형 디스크를 타격하는 방식으로 고정하였다. 2차 년도 Mock-up test에는 초기 시공에 관한 연구수행 과정이라 시공의 숙련도와 건식시공 재료 선택 등의 미흡으로 그림 2-76과 같은 단열재 부착 시공의 문제점이 발생하였다. 단열재의 Mock-up 외단열 시공 시스템의 하자 유형 중 단열재의 자국, 단열재의 부풀어 오름(air pocket)이 발생되었으며, 이와 같은 건식 Mock-up 시공 하자 사례를 개선하고자 3차 년도 Mock-up 건식 시공에 사용된 외단열 공법의 구성 재료를 표 2-56에 나타내었다.

표 2-56. 3차 년도 개선된 Mock-up 건식 시공 구성 재료

구분	규격		재료
코너메쉬비드	2.5 m	100×150 mm	
화스너	200 mm		
	150 mm		
	100 mm		
	50 mm		
화스너 전용 디스크 앙카	4×45 mm		

낙수방지 코너비드	100×150 mm		
스타트 트랙	a. 2.5 m (단열재 크기에 따른 주문생산) b. 100 mm	a. 	b. 

개선된 건식 외단열 공법 구성 재료를 3차 년도 Mock-up 구조물에 맞게 적용하고자 새로운 목 구조로 구조체를 설계 제작하였으며, 건식 시공에 대한 부품의 고정 철물 노출을 최소화하여 시공 하였다. 또한, 2차 년도 연구과제 수행 시 검토된 단열재 탈락 방지용 화스너 설치 사례 개선하고자 하였으며, 이 또한 3차 년도 Mock-up 구조물 건식 시공 재료를 이용하여 개선하였다. 그림 2-77과 그림 2-78은 2차 년도 검토된 탈락 방지용 화스너 설치 사례와 단열재의 종류별 화스너 시공 위치를 나타낸 그림이다. 이때 그림 2-78(a)를 토대로 시공 설치되었으나, 앞서 언급한 시공사례 하자형태 중 화스너 설치위치에 따른 단열재의 부풀어 오름을 개선하고자 구조체 코너 부위 및 일반 벽면 화스너 시공위치와 수량을 그림 2-79와 같이 3차 년도 Mock-up 구조물에 맞게 적용하였다.

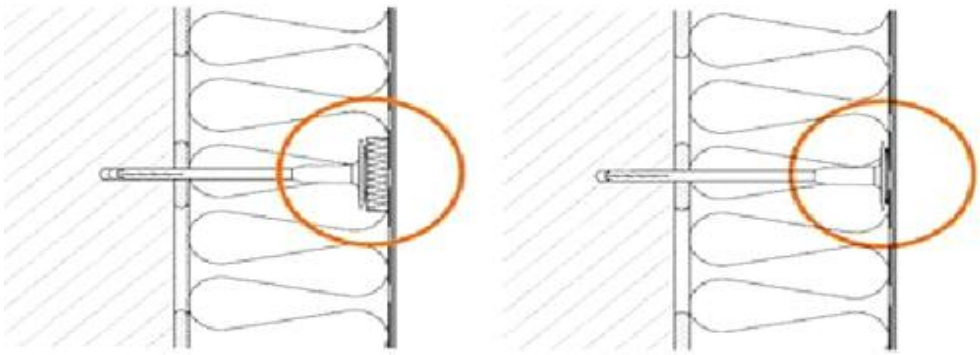
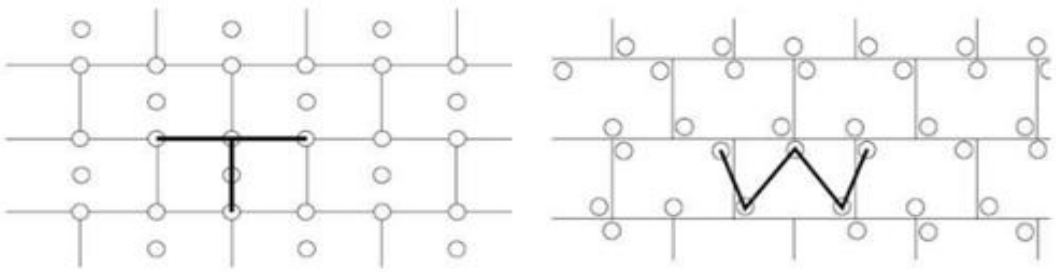


그림 2-77. 2차 년도 단열재 탈락방지용 화스너 설치 사례



(a) EPS 및 XPS 설치 위치　　(b) 미네랄울 및 글라스울 설치 위치

그림 2-78. 2차 년도 단열재 종류별 화스너 시공 위치

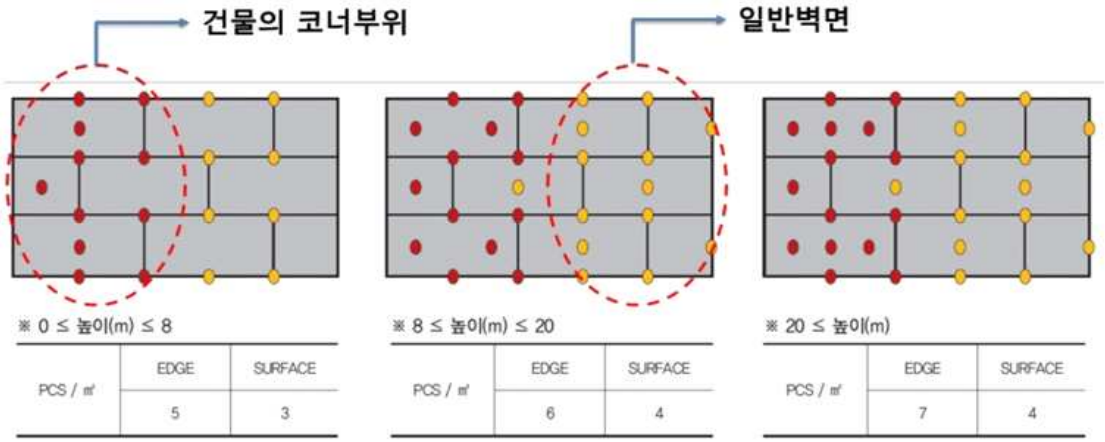


그림 2-79. 3차 년도 Mock-up 구조물 코너 부위 및 일반벽면(평탄면) 화스너 시공

외단열 건식 시공 시 화스너의 시공 수량은 8 m이하 건물(m^2당) 코너 부위 5개, 일반벽면 3개, 8 m이상 건물(m^2당) 코너 부위 6개, 일반벽면 4개, 20 m이상 건물(m^2당) 코너 부위 7개, 일반벽면 4개로 LH 시방서에 규정되고 있으나, 3차 년도 Mock-up 구조물의 유무기 융합 단열재의 건식 시공은 위 사항에 해당 없으며, Mock-up 구조물에 맞게 설치된 단열재 부위에 적절한 수량으로 시공 설치하였다.

3차 년도 Mock-up 구조물 설계 및 제작 과정은 그림 2-80와 같이 고정철물 노출을 최소화 하여 개선 시공 하였으며, 연구과제 종료 후 에도 2차 년도 수행과 마찬가지로 지속적인 모니터링과 마감재의 균열, 단열재의 탈락 등 단열재의 Mock-up 시공 시스템의 하자 유형을 파악할 계획에 있다. 또한 2차 년도 과제 수행 시에 진행 되었던 실환경 적용을 위한 mock-up test(2018년 6월~2019년 6월)를 수행 후 건식, 습식 시공 구조물에서 유무기 융합 단열재를 탈거하여 단열재의 내구성을 파악하고자 외관상 부스러짐, 부식 현상 등을 확인하였다.



그림 2-80. 3차 년도의 개선된 mock-up 설계도면 및 건식시공 과정

표 2-57을 통해 시공 전, 탈거 후 외관 사진 및 열전도율 측정 결과를 나타내었다. 탈거된 단열재는 시공 전 단열재와 같은 형상을 유지하고 있었으며, 건식 시공 단열재는 마감재 표면의 화스너 하자시공으로 인한 부풀어 오름과 마감재 갈라짐 외에는 단열재의 부스러짐이나 튀틀림, 휨 등에 변화는 없으며, 바탕면과 접촉된 단열재 내부 표면에는 다소 오염도가 발생되었으나 단열재의 시공전과 유사한 상태를 유지하고 있다. 습식 시공 단열재는 마감재 바탕면과 단열재의 고정을 위해 사용된 접착제의 부풀어 오름이 없었으며, 외부 충격으로 표면의 갈라짐 등이 확인되었으나 전반적으로 표면 상태는 양호함을 확인 하였고, 바탕면과 접촉된 단열재 내부 표면에는 접착제가 붙어있어 탈거 시 단열재의 파손에 관한 애로사항이 발생되었으나, 전반적으로 시공 전 단열재와 비슷하게 변형이 없는 상태를 유지하고 있다.

탈거된 단열재의 열전도율 측정하여 시공 전·후 열전도율을 비교하였으며, 시공 전 열전도율 보다 다소 높게 측정 되었다. 이는 건식, 습식 시공법의 숙련도 미숙으로 인한 마감

하자 및 부식과 변형은 없었으나 단열재 내부의 오염 등에 따른 물리적 물성 변화로 파악되며, 이는 3차 년도 연구과제 수행 시 Mock-up 건식 개선 시공된 단열재를 추후 탈거하여 전년도 시공된 단열재와 개선 시공된 단열재를 시험 비교 계획에 있다.

표 2-57. Mock-up 시공 전 단열재와 탈거 후 단열재

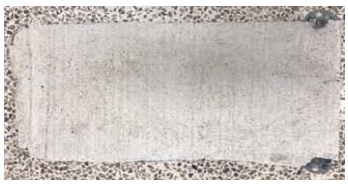
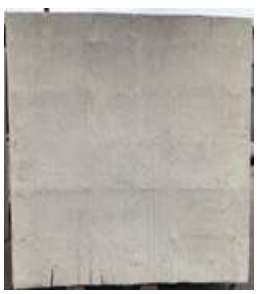
구 분	시공 전 단열재	탈거 후 마감재의 표면	탈거 후 단열재의 내부
건식 시공 후 탈거된 단열재			
습식 시공 후 탈거된 단열재			
열전도율 측정 (W/mK)	0.047	-	건식 시공 : 0.051 습식 시공 : 0.050

표 2-58은 단열재의 Mock-up 건식 시공에 대한 메쉬, 및 모르타르, 마감재 등의 시공법 개선과 건식 시공 구성 재료에 대한 부품 코너 메쉬비드, 화스너, 화스너 전용 디스크 앙카, 낙수방지 코너비드, 스타트 트랙 등을 적절히 사용하여 개선된 전·후의 구조물을 나열하였고, 외단열 시공에는 단열재의 성능과 관계없이 시공자의 숙련도 및 재료의 적절한 선택에 따라 시공의 결과가 달라짐을 확연하게 알 수 있었다.

표 2-58. 개선 전·후 유무기 융합 단열재의 Mock-up 시공 구조물

구분	2차 년도 건식 시공 화스너 작업	2차 년도 건식 마감 구조물	3차 년도 개선된 화스너 작업	3차 년도 개선된 시공 마감 구조물
Mock-up 건식시공				

(6) 표준 시공 매뉴얼 작성

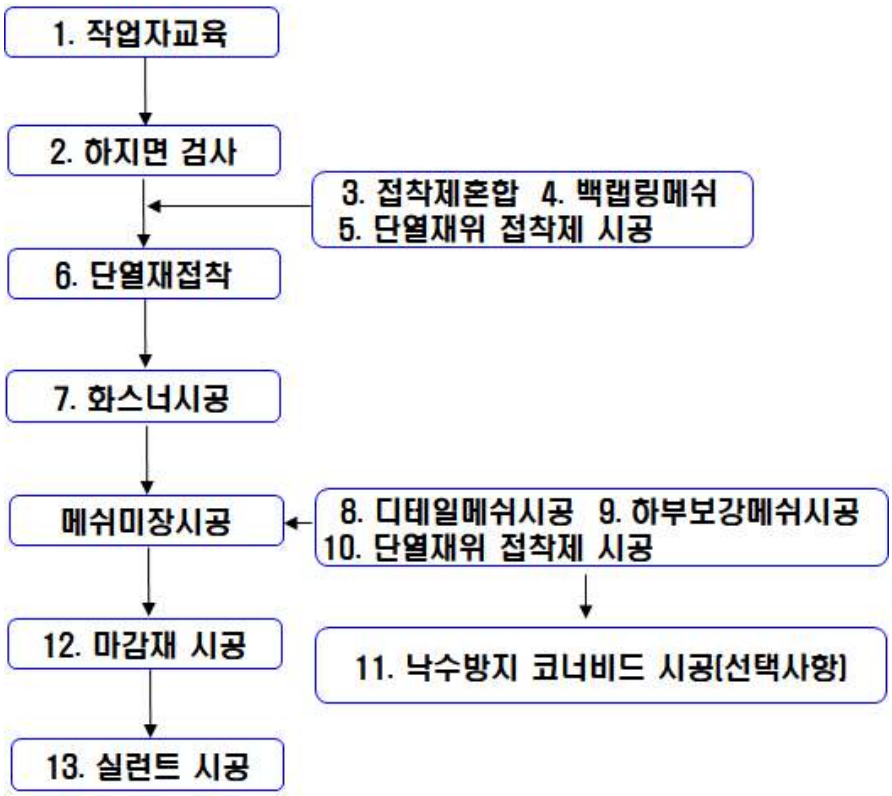


그림 2-81. 단열재 시공 절차도

(가) 작업자 교육

① 시공 전 외단열 시스템에 대한 시공방법에 대한 교육 실시

② 이론 및 현장 교육

③ 교육이수 완료 후 Certificate 발행

(나) 하지면 검사

① 콘크리트는 최소 28일 이상 양생 되어야 하며, 표면은 견고하여야 한다.

② 하지면은 깨끗하고, 건조하고, 페인트가 칠해져 있지 않으며 구조적으로 튼튼해야 한다.

③ 접착에 영향을 줄 수 있는 도장재, 촉진재, 기름 및 돌출부 등이 없어야 한다.

④ 하지면은 3 m 수평계로 수직, 수평에 대하여 6 mm이상 오차가 없이 평활해야 한다.

(다) 접착제 혼합

① 핸드믹서기(400-500rpm)으로 3-5분 교반 후 완전 반죽 형태가 되도록 한다. 과도한 교반은 제품을 손상시켜 시공 후 단열재의 접착불량, 탈락 등 하자를 유발시킬 수 있다.
② 교반 후 약 5분간 숙성시킨 후 재교반하여 사용한다.

(라) 백랩핑메쉬

① 시공 전 문, 창문, 기계장치 등 모든 개구의 둘레, 시작 하단부, 이질재와 만나는 단부, 상부 단부, 등 외단열이 시작하고 끝나는 부위에 백랩핑 디테일 메쉬를 접착제로 부착한다.
② 백랩핑메쉬 폭은 단열재 부착 후 감아 올려 앞면에서 최소 200 mm 이상 되도록 충분한 여유를 둔다.
③ 다수의 백랩핑 메쉬가 시공될 경우, 65 mm 이상 겹치게 시공한다.

(마) 단열재위 접착제 시공 방식

① 리본뎁접착방식 (그림 2-82)
㉮ 스테인레스 흙손을 이용하여 접착제를 단열재 테두리에 폭 50 mm, 두께는 최소 10 mm의 띠 형태로 바른 후 중앙부에 2줄로 한쪽에 각 4덩어리씩 총 8덩어리를 올려놓는다.
㉯ 덩어리는 직경 100 mm, 두께 최소 10 mm의 크기로 시공한다(두께는 현장 조건에 따른다).
㉰ 접착제를 바른 후, 즉시 단열재를 하지면에 부착작업 한다.

② 노치드접착방식 (그림 2-83)
㉮ 스테인레스 흙손을 이용하여 접착제를 단열재면 전체에 10 mm 이상 두께로 고르게 도포한다.
㉯ 노치드접착 전용 흙손을 이용하여 단열재의 긴 모서리 방향으로 긁어 요철을 만들어준다.

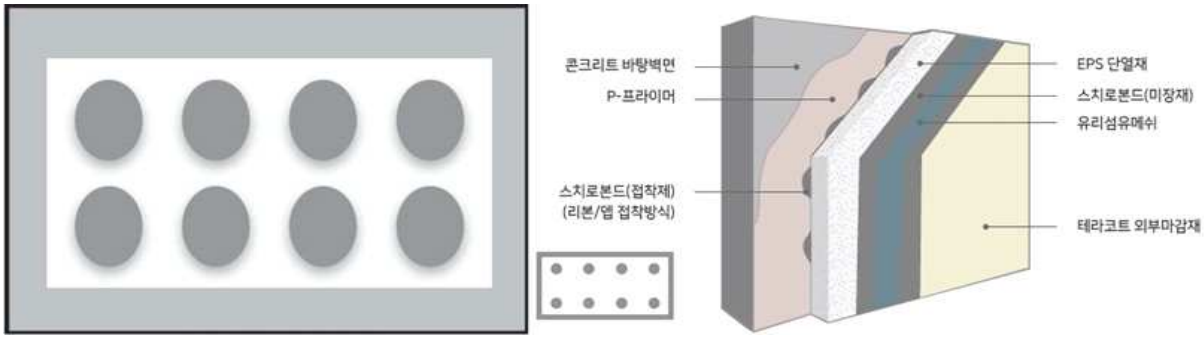


그림 2-82. 리본뎁접착방식의 단열재구조

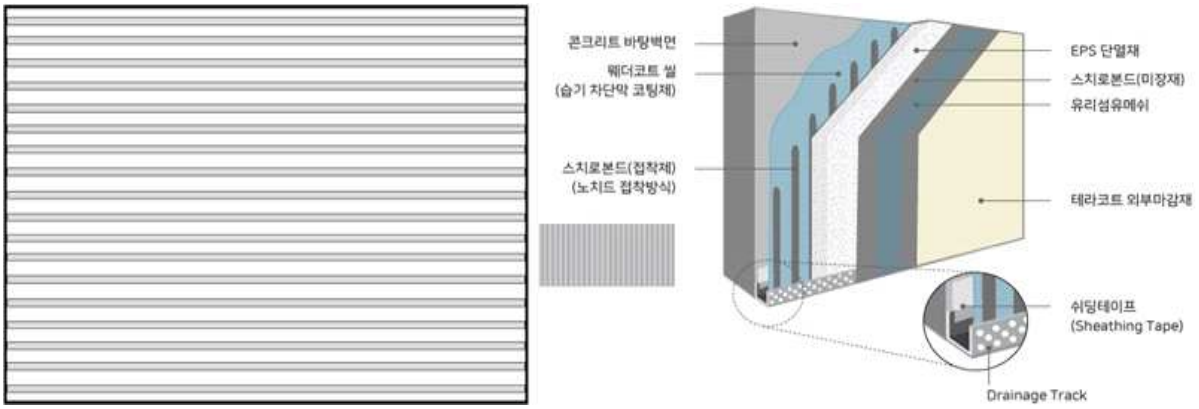


그림 2-83. 노치드접착방식의 단열재구조

(바) 단열재의 접착

① 단열재의 긴 모서리가 수평이 되게 부착 시공한다.

② 창호부위는 L자 보드 사용, 코너 부위는 단열재 엇갈림 시공한다.

③ 단열재와 창호 등 이질재간에는 12 mm 이격하여 시공하며 추후 실런트를 충진한다.

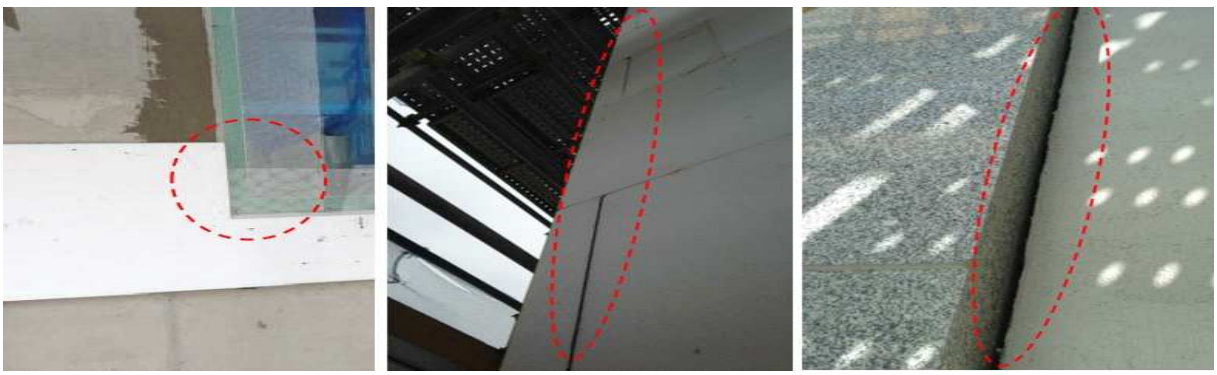


그림 2-84. L자 보드와 코터 엇갈림 시공 및 이질재간 이격시공

④ 수직 조인트는 통줄눈이 안되도록 어긋나게 시공, 코너부위는 보드가 맞물리게 설치해야한다.

⑤ 접착 완전 건조 후 보드 간 조인트 1.5 mm 이상은 동질의 편조각 혹은 우레탄폼으로 메꿈 시공을 한다.

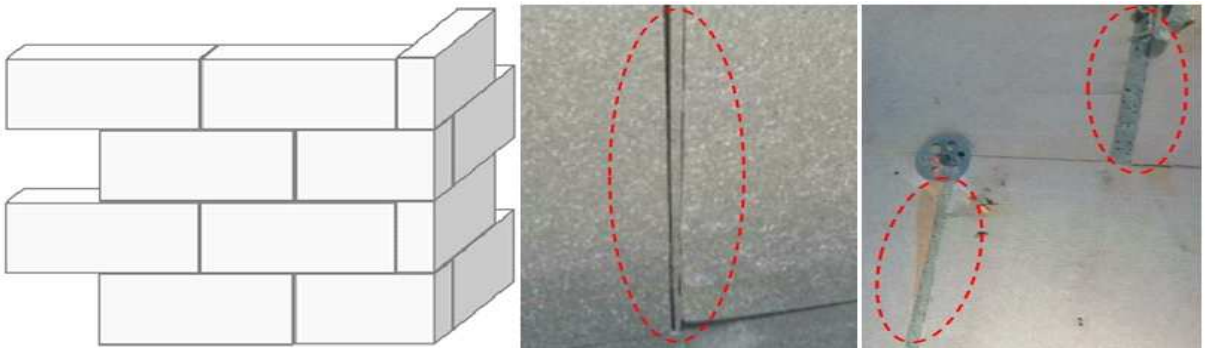


그림 2-85. 수직조인트와 코너시공 및 편조각 메꿈과 우레탄폼 메꿈

(사) 단열재 종류에 따른 화스너 시공방법

① 유무기 융합 단열재(개발품), 비드법단열재, 압출법단열재, PF보드

㉮ 화스너는 단열보드가 만나는 모서리 부위에 시공을 하며, 높이에 따라 그림 2-86과 같이 추가 시공을 한다.

㉯ 단열재 단부 및 코너 부위에는 단열재 중앙부에 시공을 하며, 높이에 따라 그림 2-86과 같이 추가 시공을 한다.

㉰ 화스너 시공 수량

- 8 m 이하 건물(m^2당) : 코너 부위 5개, 일반벽면 3개 [유무기 융합 단열재 해당]
- 8 m 이상 건물(m^2당) : 코너 부위 6개, 일반벽면 4개 [유무기 융합 단열재 해당 없음]
- 20 m이상 건물(m^2당) : 코너 부위 7개, 일반벽면 4개 [유무기 융합 단열재 해당 없음]

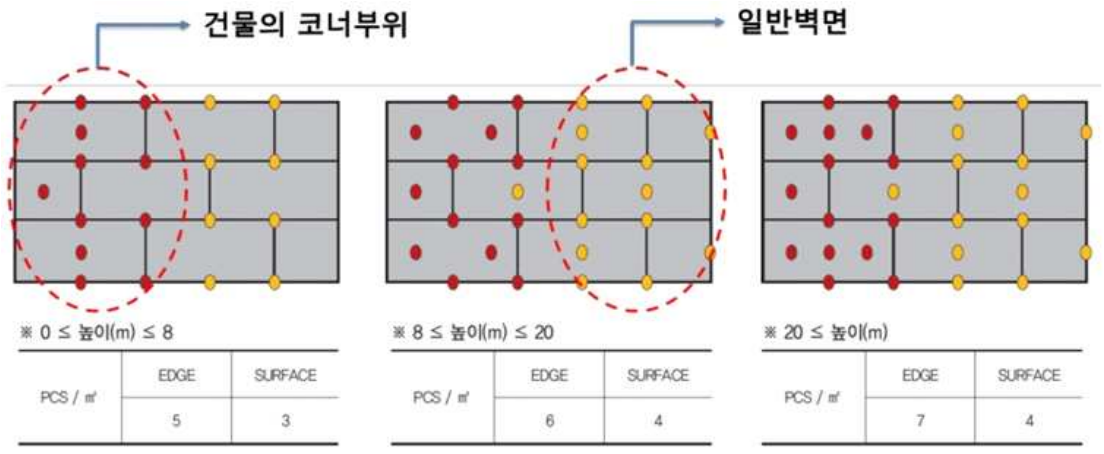


그림 2-86. 건물 코너 부위 및 일반 벽면 화스너 시공

② 화스너 시공은 단열재의 두께별 화스너 길이를 선택하여 그림 2-87과 같이 화스너를 부착 시공한다.

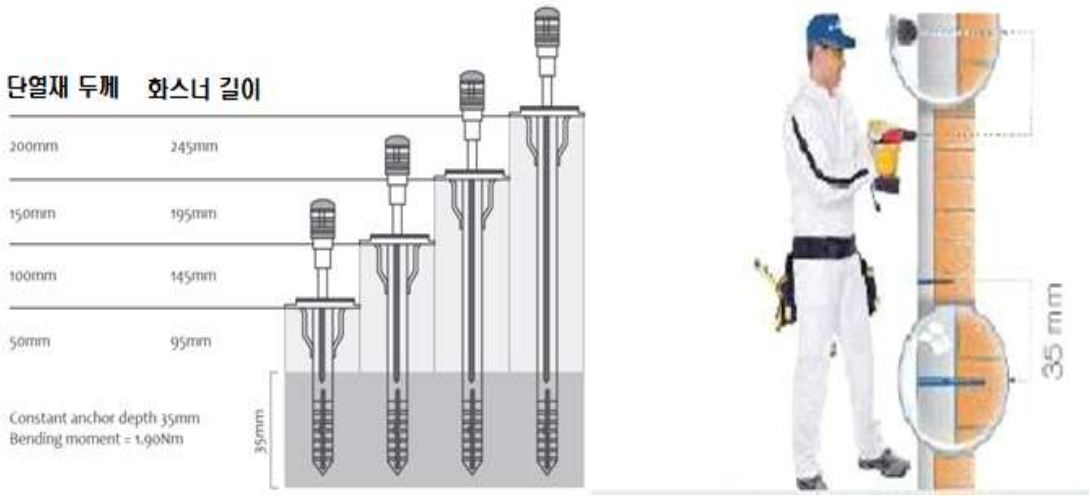


그림 2-87. 단열재 두께별 화스너 길이와 시공 요령

(아) 단열재 부착 후 디테일메쉬시공

① 개구부 코너 부위의 단열재 위에 200×300 mm 이상 사인장 디테일 메쉬를 대각선 방향으로 부착한다.

② 단열재의 코너 부분은 외단열전용 액서세리인 코너비드를 이용하여 외부충격에 대한 보강작업을 해준다.

③ 코너비드를 시공하지 않을 경우 이중 메쉬 시공을 한다.

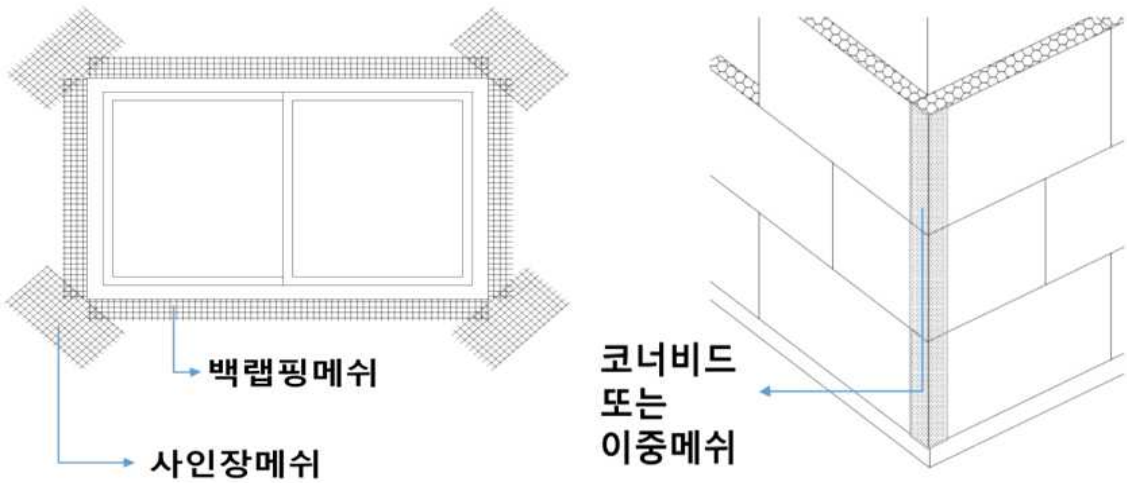


그림 2-88. 디테일 메쉬 시공

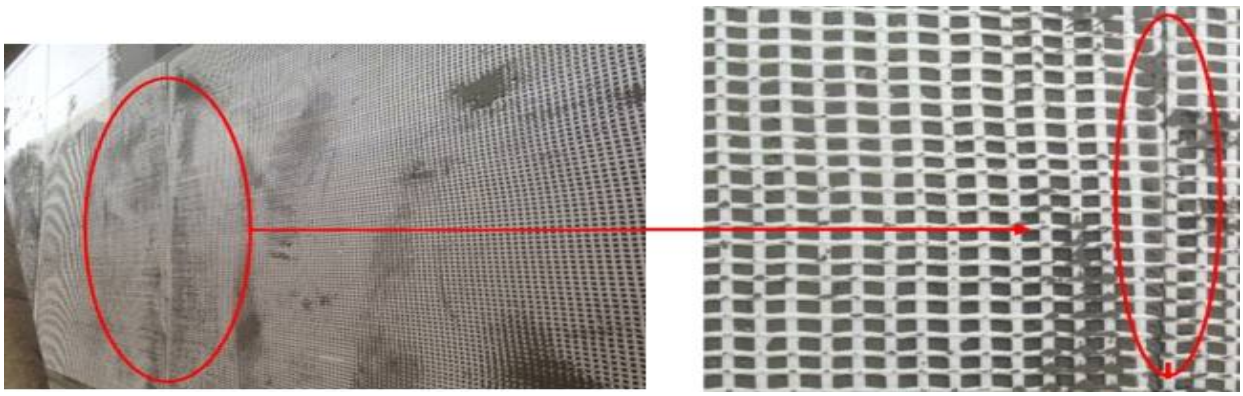
(자) 하부보강 메쉬시공

① 하부보강 메쉬는 차량 및 사람의 통행이 빈번한 1층 부위에 시공을 추천한다.

② 단열재위 미장재를 도포 후 젖은 상태에서 즉시 하부보강 메쉬를 시공한다.

③ 하부보강 메쉬는 메쉬 미장재에 완전히 함침되어 보이지 말아야 한다.

④ 하부보강 메쉬는 겹치게 시공하지 않으며, 단부가 서로 밀착되게 시공한다.



메쉬 면이 겹치지 않고 서로 밀착되게 시공

그림 2-89. 하부보강 메쉬 시공 방법

(차) 일반메쉬 미장시공

① 하부보강 메쉬를 시공하고 그 위에 일반메쉬를 시공한다.

② 백랩핑 메쉬와 일반메쉬의 조인트부위는 최소 65 mm 이상 겹쳐 시공되도록 하며 겹침 표시선을 준수한다.

③ 코너가 시작되기 전 200 mm 이내로부터 새로운 메쉬를 시공해서는 안된다.



(a) 메쉬간 65 mm 이상 겹치기 (b) 미장재에 메쉬 함침

그림 2-90. 일반메쉬 미장시공 방법

(카) 낙수방지 코너비드 시공(선택사항)

낙수 방지 코너비드 시공은 현장 조건 및 시공면 부착부위에 따라 판단하여 시공 유무를 선택하며 창호 상단부에 낙수방지 코너비드 시공 시 빗물 등이 벽을 타고 직접 흘러내리지 않도록 하며 그림 2-91과 같이 시공할 수 있다. 그림의 적색 표시부분은 수분 침투 방지 및 내부 오염을 방지하기 위하여 파라펫 및 플래싱은 반드시 필요한 사항이다.

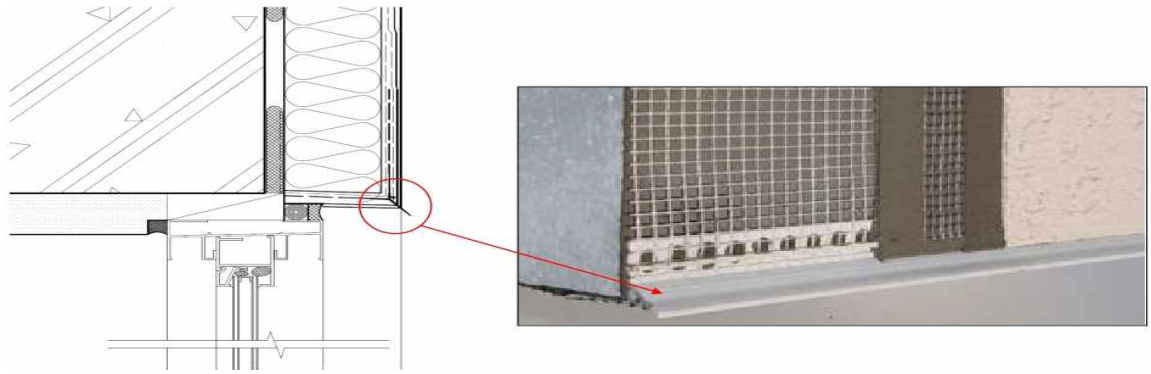


그림 2-91. 선택사항인 코너비드 시공 방법

(타) 마감재 시공

① 바탕면은 마감재 시공 전 완전 건조되어야 하며 상도도장과의 접착안정성을 위하여 프라이머를 시공한다. 재시공일 경우 최소 2회 이상 프라이머를 도포한다.

② 마감재는 자연적인 마감선(코너, 익스팬션 조인트, 디자인 조인트, 테이프 라인 등)까지 습윤한 마감 상태에서연속시공(조인트 자국 방지)한다.

③ 조인트 실런트가 접착 모르타르 이질재 사이에 시공되도록, 마감재는 실런트가 시공되는 부위에는 시공 하지 않는다.

④ 가능한 한 동일한 배치번호(동일 Lot제품)의 마감재로 시공한다.

⑤ 생산배치, 외기온도, 기상, 표면상태, 패턴, 시공시점에 따라 색상의 미세한 차이가 발생할 수 있으니 납품단위별 시공면 끊기를 하여 시공한다.

⑥ 시공 후 건조까지 최소한 24시간 이상 악천후로부터 보호되어야 한다.

(파) 실런트 시공

① 실런트가 접착되는 면(2면 접착): 이질재-매쉬미장면-백업재

② 접착몰탈에만 실런트를 시공하고 마감재에는 실런트 시공하지 않는다.

③ 조인트 폭의 25% 넓은 백업재(폐쇄형 폴리에틸렌 수지)를 조인트에 일정 깊이로 시공함

④ 조인트의 폭은 도면에 기초하되 반드시 테두리 실(seals)은 13 mm(1/2인치), 익스팬션 조인트는 20 mm(3/4인치) 이상이어야 한다.

⑤ 폭은 예상되는 움직임의 폭보다 4배 이상이어야 한다.

⑥ 접착되는 면은 이질재-메쉬미장면-백업재가 되도록 한다(3면 접착금지).

⑦ 실런트가 조인트의 양면에 접착이 되도록 기밀하게 시공하여 완벽하게 채워지도록 한다.

⑧ 조인트 실런트 표면이 균일하게 오목한 형태가 되도록 그루브를 가지고 조인트 실런트를 다듬는다.

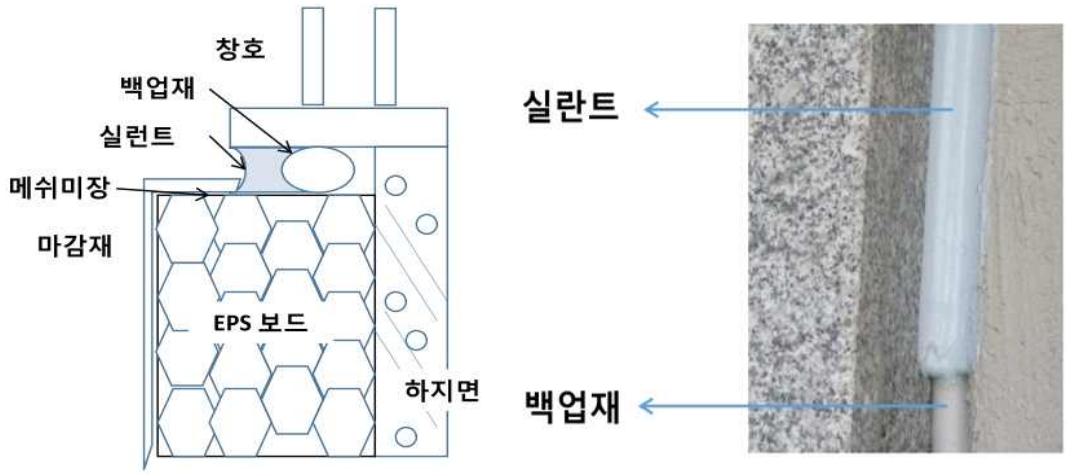


그림 2-92. 실런트 시공 방법

(하) 외단열 시공 점검 리스트

① 현장 관리 단계 체크 리스트

구분	세부분류	평가항목	기준	점검
현장관리	외벽단열시스템 선정	바탕면의 종류 확인	블록, 시멘트벽돌, 콘크리트 옹벽	
		작업 가능 여부 확인	공사 전 외벽, 디자인, 작업가능여부	
	현장 상황 점검	외기온도	5℃ 미만 시공금지	
			우기, 동절기, 한낮 시공 지양	
		바탕면 확인	작업 전 벽면 수분 철저 배제	
			바탕면 오염물질 제거	
	안전	추락방지 시설 설치	안전방지망, 안전난간, 작업발판 설치	
			안전대 부착설비 및 안전대사용	
		단열재와 마감재의 낙하 방지	높은 위치 적재시 자재정리 결속	
			낙하방지망 설치	
			낙하물 위험지역 작업통제	
	자재 반입	단열재 반입확인	종류 및 수량, 치수 및 포장상태	
		접착제/마감재 확인	수량 및 생상번호와 명칭확인	
			5℃ 이상, 30℃ 이하의 건암냉소 보관	
		mesh/시멘트 확인	수량, 포장상태 확인	

② 작업 준비 단계 체크 리스트

구분	세부분류	평가항목	기준	점검
작업준비	바탕면 관리	바탕면 확인	바탕면의 강도, 평활도, 건조상태 확인	
		오염 물질 제거 여부	바탕면의 오염물질 제거 확인	
		프라이머 도포 여부	침투성 바탕면 처리재 도포 확인	
	접착 모르타르 준비	접착 모르타르 혼합 비율 준수 여부	현장 배합 몰탈의 경우 비율 확인	
		접착 모르타르 혼합 시간 준수 여부	400~500rpm 핸드믹서 배합시간 확인	
		기타 유의 사항	지정 배율 외 첨가제 사용금지	
			혼합된 제품은 1시간 이내 사용	

③ 단열재 시공 체크 리스트

구분	세부분류	평가항목	기준	점검
단열재 시공	접착모르타르	접착모르타르 부착면적 준수 여부	바탕면과 단열보드의 부착면적 40%	
			접착 모르타르 덩어리는 지름 100 mm로 8개 이상 놓을 것	
			띠형의 모르타르 시공 너비 40 mm, 두께 10 mm	
	단열재 설치	단열재 설치 적절성 여부	수직통줄눈이 생기지 않게 시공 지그재그 엇붙이기로 세워붙이기 금지	
			긴변이 지면과 수평이 되도록 평활도 준수	
			모서리를 매 단마다 엇물리게 하여 수직으로 교차되게 붙임	
			연결부의 밀착시공	
			개구부 주변의 백랩핑 및 ㅣ자형 단열재 사용여부	
		보조 고정 자재 사용 여부	단열재 1매당 화스너 5개 이상 사용	
	작업 종료	단열재 설치 보완여부	틈새는 단열재 조각으로 충진	
			인접한 단열재 간 샌딩하여 맞춤	
		양생 관리	단열재 양생 중 진동이나 변형 금지	
			온도 20℃, 습도 65% 기준 24hr 양생	

④ 메쉬 미장 체크 리스트

구분	세부분류	평가항목	기준	점검
메쉬 미장 시공	충격보강메쉬	설치위치	지면 인접부위(GL+1.5 m 높이) 외부 충격 우려 부위에 시공	
		시공순서 준수 여부	겹친시공 금지, 바탕 몰탈후 메쉬함침	
	표준메쉬	시공순서 준수 여부	바탕 몰탈 도포 후 표준 메쉬 시공	
		시공적절성 여부	흙손 이용 주름없이 메쉬 함침 시공	
			겹침 이음으로 시공(균열발생 제거)	
			코너메쉬 200 mm 중첩시공	
	작업 종료	양생 관리	온도 20℃, 습도 65% 기준 24hr 양생	

⑤ 마감재 시공 체크리스트

구분	세부분류	평가항목	기준	점검
마감재 시공	마감재 시공 준비	혼합 시간 준수여부	믹서 2-3분 혼합	
		사전협의 실시 여부	마감재 이색 방지 및 방향, 무늬 협의	
	마감재 본 작업	시공 순서 준수 여부	창호, 주위, 띠장-비닐 보양 후 시공	
			건물 최상단-아래, 윗단-아랫단 (2-3m 간격 유지) 순서로 시공	
		시공 적절성 여부	금속 흙손 사용하여 시공	
			마르기전 플라스틱 흙손으로 무늬내기	
		시공 유의 사항	무늬의 크기와 방향 일정할 것	
			흙손을 자주 닦아줄 것	
			이음이 드러나지 않도록 마감이 연속되도록 할 것	
		양생 기간 준수 여부	온도 20℃, 습도 65% 기준 24hr 양생	

바. 유무기 함침 구조를 활용한 준불연 유무기 융합 단열재의 품질인증

(1) 품질인증 개요

K마크 품질인증제도는 [산업기술혁신 촉진법] 제41조 1항 및 제41조 2항의 '시험평가 기술의 개발 및 품질인증지원' 업무 등을 수행하기 위해 제정된 한국산업기술시험원의 제3자 품질인증제도임. 공산품의 품질수준을 평가(시험, 검사)하여 인증하는 제도로서 기술개발촉진, 품질향상과 소비자 선택의 편리성 및 부실제작, 시공으로부터 사용자 보호를 위한 제3자적 입장에서 객관적인 평가와 제품을 한국산업기술시험원에서 인증하는 제도임.

(가) 인증업체 혜택

① 조달청 우수제품 선정 시 가점 수혜(최대 50점)
② 국방조달본부, 각 공공기관 입찰시 가점 수혜(0.5~2점)
③ 기술보증기금의 기술우대보증 혜택 (보증비율 우대 85%)
④ 제조물 책임 배상보험 단체 가입 시 보험료 28% 할인혜택(동부화재)

(나) 유무기 함침 구조를 이용한 준불연 융합 단열재의 K마크 규정

본 연구에서 개발한 유무기 융합 구조를 가지는 형상제어 단열재는 기존에 유기계 다공성 단열재로 많이 쓰이는 폴리우레탄 폼에 무기계 바인더 소재를 함침시킴으로써 그 성능을 향상 및 개선시킨 건축용 단열소재로 개발된 유무기 함침 구조를 활용한 열전도도 0.051 W/mk이하의 준불연 유무기 융합 단열재에 대한 한국산업기술시험원의 K마크 인증규격은 KTL F 061-2018「유무기 함침구조를 이용한 준불연 융합 단열재」로서 재료 및 제조 성능에 대하여 1차 년도, 2차 년도 연구진행과 제품의 생산, 3차 년도 최종 개발한 유무기 융합 단열재 시제품을 대상으로 시험의뢰를 통한 항목별 성능 평가 및 기존 규격의 성능 기준과 비교 분석 등 개발품에 대한 생산 기준을 확립하였음. K마크 평가 항목에 따라 용도에 따른 유무기 융합 단열재의 구분, 밀도와 열전도율에 따른 단열재의 구분, 유무기 융합 단열재 종류에 따라 용도에 적합한 성능 기준표를 제시 받아 주관기관으로부터 도출 받은 K규격을 토대로 개발품을 생산하여 공장심사 진행 후 제품에 대한 K마크 인증을 취득하였다.

(2) 유무기 함침 구조를 이용한 준불연 융합 단열재의 품질인증

(가) 유무기 함침 구조를 이용한 준불연 융합 단열재의 K마크 신청제품

표 2-59. 신청제품 목록

No	모델명	주요사양 (정격 등)	비고/특징	인증내역/ 시험성적서
1	KTL-3	열전도율 : 0.048 W/mK 압축강도 : 33.9 N/cm^2 굴곡강도 : 36.6 N/cm^2 준불연재료 TVOC 방출량: 0.004 mg/m^2·h 미만 톨루엔 방출량: 0.001 mg/m^2·h 미만 폼알데하이드 방출량: 0.001 mg/m^2·h 미만	-	열전도율, 압축 및 굴곡강도, 난연성능, 환경유해성

(나) 유무기 함침 구조를 이용한 준불연 융합 단열재의 K마크 제품 카다로그



그림 2-93. 유무기 함침 구조를 이용한 준불연 융합 단열재 제품 카다로그

(다) 유무기 함침 구조를 이용한 준불연 융합 단열재의 K마크 제품 도면

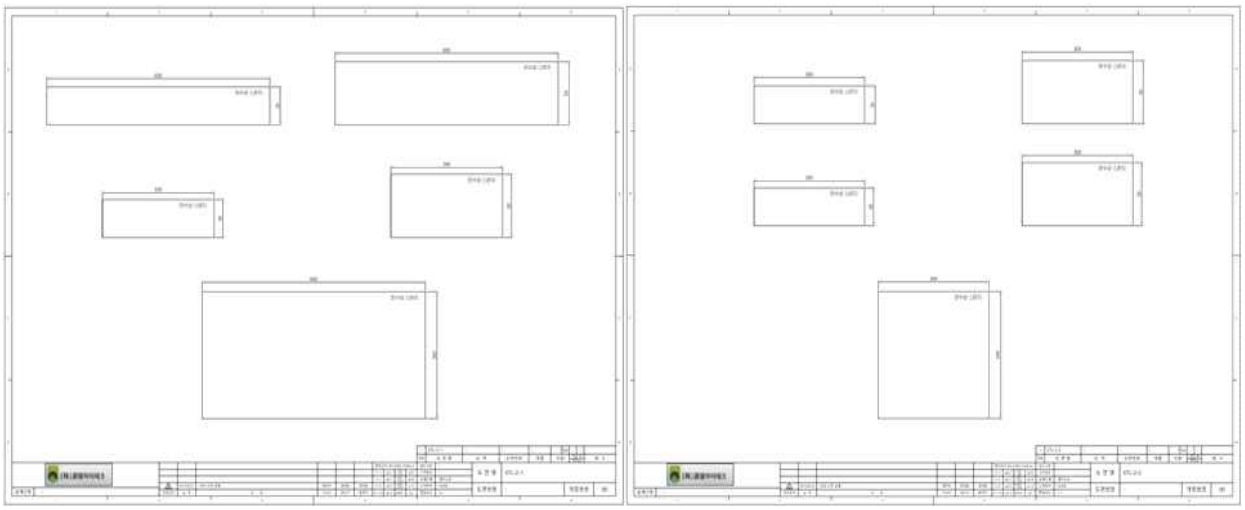


그림 2-94. 유무기 함침 구조를 이용한 준불연 융합 단열재의 도면

(라) 유무기 함침 구조를 이용한 준불연 융합 단열재의 K마크 주요 원료(부품)

표 2-60. 부품리스트

No.	부품명 (component)	제조사 (manufacturer)	모델 (model)	재질 (rating or characteristic)	인증내역 (approved by)
1	폴리우레탄	ㅇㅇㅇ	친수성 스펀지	300×600×30 mm 폴리우레탄	-
2	폴리우레탄	ㅇㅇㅇ	친수성 스펀지	300×600×50 mm 폴리우레탄	
3	폴리우레탄	ㅇㅇㅇ	친수성 스펀지	300×300×30 mm 폴리우레탄	
4	폴리우레탄	ㅇㅇㅇ	친수성 스펀지	300×300×50 mm 폴리우레탄	
5	무기 바인더	ㅇㅇㅇ	UH-3000	25 kg 고형 파우더	-
6	PNS 유동화제	ㅇㅇㅇ	POWERCON-100	갈색 고형 파우더	-
7	아크릴 수지	ㅇㅇㅇ	Hyper-A 403	불투명 흰색 액상	-
8	붕사	ㅇㅇㅇ	붕사(US Borax)	25kg 고형 파우더	-

(마) 유무기 함침 구조를 이용한 준불연 융합 단열재의 K마크 신청제품 소개서

표 2-61. 신청기관 및 신청제품 소개서

<table>
<tr><td>신청 업체명</td><td colspan="3">(주) 원준하이테크</td><td>대 표 자</td><td>이정우</td></tr>
<tr><td>소재지</td><td colspan="3">경기도 이천시 장호원읍 이풍로 33 40-17</td><td>전화번호</td><td>031-641-9152</td></tr>
<tr><td>종업원수</td><td>5명</td><td>자본금</td><td>2억</td><td>주생산품</td><td>하이픽스, 충전형 단열재, 네오폴리트</td></tr>
<tr><td>년간매출 (억원)</td><td colspan="2">○ 총매출 : 3억5천4백
○ 인증취득품 : -</td><td>신청제품매출 (억원)</td><td colspan="2">○ 직전년도 : -
○ 금년실적 : -</td></tr>
<tr><td>제조공장명</td><td colspan="3">(주) 원준하이테크</td><td>대 표 자</td><td>이정우</td></tr>
<tr><td>소재지</td><td colspan="3">경기도 이천시 장호원읍 이풍로 33 40-17, 라동</td><td>종업원수</td><td>5</td></tr>
<tr><td>동종업체</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td colspan="3">신청제품 인증현황</td><td colspan="3">없음</td></tr>
<tr><td colspan="3">동일 품목 타사제품의 기인증 여부</td><td colspan="3">없음</td></tr>
</table>

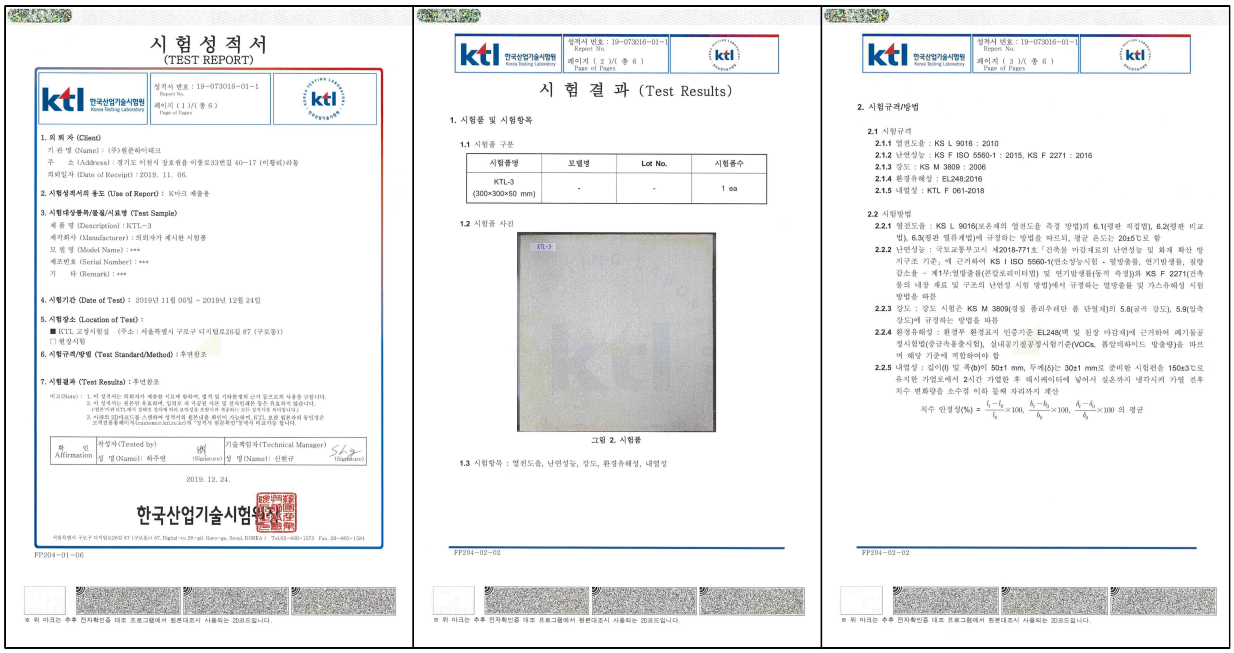
신청품의 우수성 및 특징

1. 적용특허 기술
 - 유무기 융합 단열재 제조용 진공함침장치 및 이를 이용한 유무기 융합 단열재 제조방법 특허 1건 출원, 등록
 - 유무기 융합 단열재 및 이의 제조방법 특허 1건 출원, 12월 등록 심사 예정
 - 유무기 융합 단열재 제조용 압착장치를 이용한 제조방법 특허 1건 출원 및 등록 심사중

2. 제품의 우수성
 - 유기계 단열재 보다 화재 안정성 우수
 - 무기계 단열재 보다 경제성 및 단열성능 우수
 - 기존 방화문, 샌드위치패널 심재로 사용되는 종이허니컴, 미네랄울, 글라스울 등 대체 적용성 우수
 - 높은 내화온도, 화재 시 유독가스 발생 최소

3. 제품의 특징
 - 국토교통기술촉진연구사업의 하나로 진행된 연구과제의 결과물로 단열성, 불연성, 친환경성 및 시공성이 우수한 소재임
 - 제품가격 대비 우수한 성능으로 주거환경 개선에 도움

(바) 유무기 함침 구조를 이용한 준불연 융합 단열재의 K마크 인증신청 시험성적서



시 험 성 적 서
(TEST REPORT)

시 험 결 과 (Test Results)

그림 2. 시험품

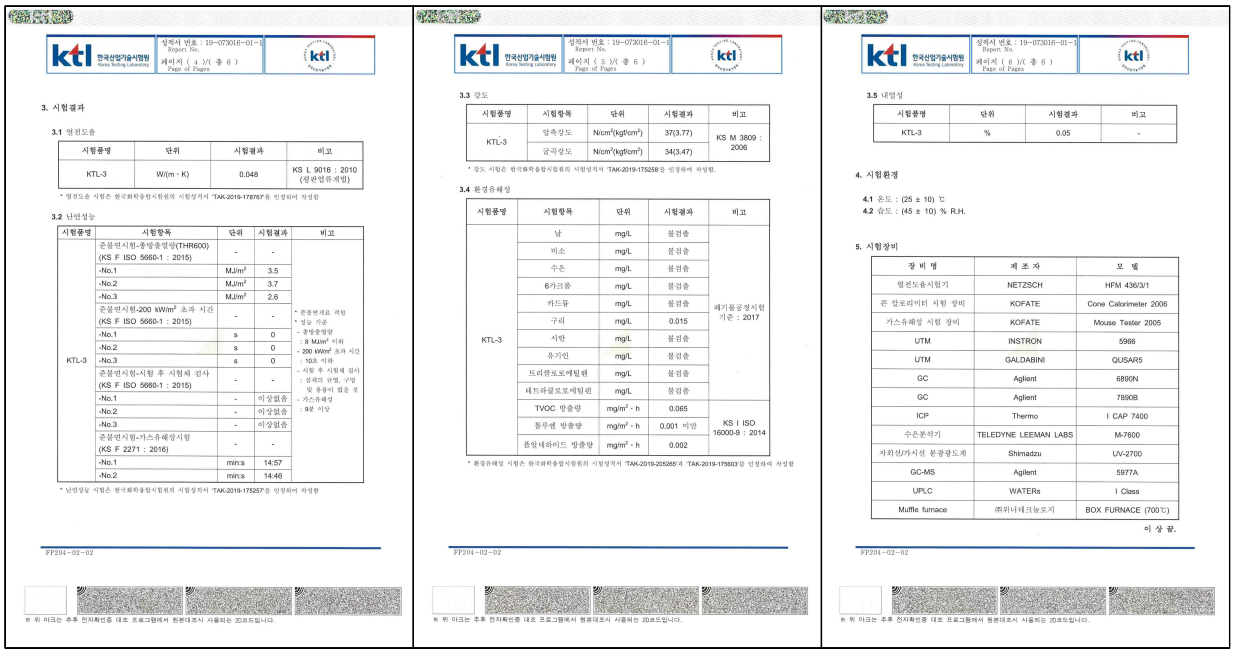


그림 2-95. 인증 신청품의 시험성적서

(사) 유무기 함침 구조를 이용한 준불연 융합 단열재의 K마크 인증서



K 마 크 인 증 서

(성 능)

번 호 : *PF12019-231* 유효기간 : 2022년 12월 26일

기 업 : (주)원준하이테크
경기도 이천시 장호원읍 이풍로33번길 40-17, 라동

제 조 공 장 : 상 동

대 표 자 명 : 이 정 우

제 품 명 : 유무기융합 단열소재

모 델 명 : KTL-3

주 요 사 양 : 300×300×50 mm

적 용 규 격 : KTL F 061

산업기술혁신촉진법 제41조 2항1호 규정에 의거 한국산업기술시험원은 상기 제품에 대한 K마크 인증을 승인함.

○ 최초인증일 : 2019년 12월 27일

산업통상자원부 산하

한국산업기술시험원장

그림 2-96. 유무기 융합 단열소재 개발품에 대한 K마크 인증서

(아) K 마크 인증신청에 관한 QC 공정도

문서번호	WJ-QG-001	관 리 본	Q·C 공 정 도 (유무기함침 단열소재)	REV.NO	제, 개정일	제,개정내용	작성	검토	승인
제정일자	2019. 10. 30			0	2017.02.23	제 정	이영수	김기웅	이정우
개정번호	0	비관리본							
PAGE	1/1								

공 정 명	도시기호	사용장비	관 리 항 목	관 리 기 준	관 리 방 법(기록)	담 당	표준 문서
자재입고	▽				거래명세서 자재 입고 현황	경영지원담당	식별 및 추적성 (계산서 및 거래명세)
수입검사	◇	육안,줄자 V/C 제작자성적서	겉모양, 치수	수입검사기준서에 따름	수입검사 성적서	검사원	수입검사기준서 (WJ-QI-001)
계량	○	저울	중량	절단 작업표준서 및 도면에 따름	작 업 일 보	작업자	원료배합 작업표준서 (WJ-QI-004)
배합	○	일회용 용기	배합상태	작업표준서에 따름	작 업 일 보	작업자	원료배합 작업표준서 (WJ-QI-004)
교반	○	교반기	교반상태	작업표준서에 따름	작 업 일 보	작업자	함침/탈수/건조 작업표준서 (WJ-QI-005)
공정검사	◇	육안	겉모양	공정검사기준서에 따름	공정검사 성적서	검사원	공정검사기준서 (WJ-QI-002)
함침	○		침수상태	작업표준서에 따름	작 업 일 보	작업자	함침/탈수/건조 작업표준서 (WJ-QI-005)
탈수	○	이송롤러	압착높이	작업표준서에 따름	작 업 일 보	작업자	함침/탈수/건조 작업표준서 (WJ-QI-005)
건조	○	건조기	건조시간,온도	작업표준서에 따름	작 업 일 보	작업자	함침/탈수/건조 작업표준서 (WJ-QI-005)
최종검사	◇	육안 줄자	겉 모 양 치 수	최종검사 기준서 및 작업지시서에 따름	최종검사 성적서	검사원	최종검사 기준서 (WJ-QI-003)
포장	○	포장장비	겉모양	작업표준서에 따름	작 업 일 보	작업자	포장 작업표준서 (WJ-QI-006)
출하	⇒				거래명세서	경영지원담당	식별 및 추적성 (계산서 및 거래명세)

그림 2-97. 인증제품의 QC 공정도

(자) K 마크 인증신청에 관한 작업 표준서



그림 2-98. 인증 제품의 공정별 작업표준서

(차) K 마크 인증신청에 관한 검사 기준서



그림 2-99. 인증 제품의 공정별 검사기준서

(타) K 마크 인증신청에 관한 설비 기자재 이력카드



그림 2-100. 인증 제품의 생산설비

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 목표

(1) 연구개발의 최종 목표

<table>
<tr><th>구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td>최종 목표</td><td>유무기 함침구조를 활용한 열전도도 0.051W/mK 이하 준불연급 단열재 개발</td></tr>
<tr><td>세부 목표</td><td>○ 유무기 함침기술을 활용한 열전도도 0.051W/mK 이하의 준불연급 단열재
<table>
<tr><th rowspan="2">평가 항목</th><th rowspan="2">단위</th><th colspan="2">개발 목표치</th><th rowspan="2">평가 방법</th></tr>
<tr><th>1차년도</th><th>2/3차년도</th></tr>
<tr><td>1.열전도율</td><td>W/mK</td><td>0.07 이하</td><td>0.051 이하</td><td rowspan="5">공인성적서</td></tr>
<tr><td>2.휨강도</td><td>kgf/㎠</td><td>2 이상</td><td>3 이상</td></tr>
<tr><td>3.압축강도</td><td>kgf/㎠</td><td>2 이상</td><td>3 이상</td></tr>
<tr><td>4.난연성</td><td>급</td><td>준불연</td><td>준불연</td></tr>
<tr><td>5.환경유해성</td><td>-</td><td colspan="2">EL248. 벽 및 천장 마감재 기준 중 VOCs, 톨루엔, 폼알데히드 방출량 기준 적합 (공통)</td></tr>
<tr><td>6.내열성</td><td>%</td><td>15 이하</td><td>5 이하</td><td rowspan="2">자체평가</td></tr>
<tr><td>7.시공특성</td><td>-</td><td>습식시공</td><td>건식시공</td></tr>
</table>
○ 상용화를 위한 시제품 제작 및 Pilot plant 구축
○ 개발 제품에 대한 인증규격 제정 및 인증 지원</td></tr>
</table>

(2) 연차(단계)별 연구개발 목표 및 내용

(가) 1차 연도

① 개발 목표

- 주관연구기관(한국산업기술시험원)

1) 1차년도 정량적 목표인 열전도율 0.07W/mK급 유무기 융합 단열재 개발

2) 유무기 단열재 규격 제정을 위한 항목 선정 및 평가기술 연구

- 공동연구기관((주)원준하이테크)

1) 1차년도 정량적 목표를 만족하는 유무기 융합 단열제 제조 공정 최적화

2) Pilot Plant급(10m^2/day) 공정 구축 및 시제품 제작

② 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관(한국산업기술시험원)

1) 1차년도 정량적 목표인 열전도율 0.07W/mK급 유무기 융합 단열재 개발

- 유기계 소재 평가 및 선정(공극구조, 비중, 열특성 등), 무기계 함침소재 개발
- 유무기 융합화를 위한 최적 배합비 및 액상 반응 연구
- 기능성 부여를 위한 첨가제 및 함침 공정 개발

2) 유무기 단열재 규격 제정을 위한 항목 선정 및 평가기술 연구

- 제품인증 항목 도출 및 인자/레벨 선정
- 시제품 성능평가에 의한 재현성 및 유효성 연구 (규격 초안 작성)

- 공동연구기관((주)원준하이테크)

1) 1차년도 정량적 목표를 만족하는 유무기 융합 단열재 제조 공정 최적화

- 주관기관 최적 배합비 및 공정을 적용한 공정 최적화 연구 (Scale up 연구)
- 점도, 비중, 첨가재 등 생산현장 적용성 연구

2) Pilot Plant급 공정 구축 및 시제품 제작

- 배합 및 양생 공정 최적화 및 연속식 10m^2/day 공정 구축
- Mock-up test를 위한 설계 및 실환경 적용성 검토

(나) 2차 연도

① 개발 목표

- 주관연구기관(한국산업기술시험원)

1) 2차년도 정량적 목표인 열전도율 0.051W/mK급 유무기 융합 단열재 개발

2) 유무기 융합 단열재 성능평가를 위한 표준화 연구 (규격 제정)

- 공동연구기관((주)원준하이테크)

1) 2차년도 정량적 목표를 만족하는 유무기 융합 단열재 제조 공정 최적화

2) Pilot Plant급(25m^2/day) 공정 구축 및 시제품 제작

3) 현장 적용을 위한 Mock-up test 및 실환경 적용연구

② 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관(한국산업기술시험원)

1) 2차년도 정량적 목표인 열전도율 0.051W/mK급 유무기 융합 단열재 개발

- 함침 및 압착 공정에 대한 최적화 연구
  (수동, 진공, 자동 함침 및 원심, 프레싱, 롤링 압착 등)
- 소재 기능성 부여를 위한 최적화 연구 (소재 분산성, 점도, 농도 등)

2) 유무기 융합 단열재 성능평가를 위한 표준화 연구 (규격 제정)

- 시제품 내구성 평가를 위한 환경시험 및 평가 항목 연구
  (온습도, 외기노출에 의한 변형 등 항목 선정 및 인자 도출)
- 기존 단일계 소재의 단열재와의 차별성을 평가할 수 있는 항목 선정
- K규격 제정 및 RRT 수행 등을 통합 검증

- 공동연구기관((주)원준하이테크)

1) 2차년도 정량적 목표를 만족하는 유무기 융합 단열재 제조 공정 최적화

- 함침 및 압착 공정 최적화를 위한 연구 (압력, 최대하중, 드레인 조건 등)
- 경화 공정 최적화를 위한 연구 (온도, 습도, 시간, 분위기 등)

2) Pilot Plant급(25m^2/day) 공정 구축 및 시제품 제작

- 용도별 제품에 대한 다양한 공정 조건 도출
- 형상 및 용도별 생산 가능한 공정 최적화 및 구축

3) 현장 적용을 위한 Mock-up test 및 실환경 적용연구

- 실환경 조건 구현한 Mock-up 시공 및 feedback 연구

- 주관기관과의 연구결과 공유를 통한 공정 반영
- 시제품 적용 가능 분야에 대한 관련 법규 검토
  (방화문, 화재확산방지구조, 외단열 등)
- 응용분야 기존 제품 및 시제품에 대한 경제성 검토 (일위대가, 제품 단가 등)

(다) 3차 연도

① 개발 목표

- 주관연구기관(한국산업기술시험원)

1) 개발 시제품에 대한 내구성 및 신뢰성 평가

2) 시제품에 대한 시험평가 및 Feedback 연구를 통한 규격안 개정

3) 시제품에 대한 인증 획득 지원

- 공동연구기관((주)원준하이테크)

1) 용도별 Pilot Plant급(50m^2/day) 공정 구축 및 시제품 제작

2) Mock-up 평가 및 시공성 연구

3) K규격에 의한 K마크 인증 획득

② 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관(한국산업기술시험원)

1) 개발 시제품에 대한 내구성 및 신뢰성 평가

- 시제품에 대한 경시 변화 및 장기열전도율 시험을 통한 내구성능 평가
- 내구성 평가를 통한 스트레스 인자 도출 및 수준 선정
- 내구성 향상을 위한 소재 적용성 연구 (내수성 등 향상을 위한 발수성 부여 등)
- 용도별 제품을 위한 사양 선정 및 배합비 최적화

2) 시제품에 대한 시험평가 및 Feedback 연구를 통한 규격안 개정

- 기계적 성능 및 내구성 평가 항목에 대한 연구 내용 반영
- K규격에 의한 시험평가 및 결과를 반영한 규격 개정안 도출
- 용도별 제품의 사양 및 등급 부여

3) 시제품에 대한 인증 획득 지원

- K규격에 의한 참여기업 K마크 인증 획득 지원

- 공동연구기관((주)원준하이테크)

1) 용도별 Pilot Plant급(50m^2/day) 공정 구축 및 시제품 제작

- 형상(판상형, 굴곡형, 실린더형 등) 및 용도에 따른 공정 최적화
- 용도별로 연속식 공정에 의한 50m^2/day의 PP급 생산공정 구축

2) 실환경 적용 및 시공성 연구

- 형상 및 용도별 시제품으로 Mock-up 시공 평가결과를 바탕으로 한 실환경 적용
- 형상 및 용도별 시제품에 대한 기존 제품과의 시공성 비교 평가
- 단열재의 Mock-up 건식 시공에 대한 시공법 개선(매쉬 및 모르타르 마감재 등)
- 건식 시공에 대한 부품(브라켓, 앙카, 화스너, 스터드, L형 앵글)의 고정 철물 노출을 최소화 하여 개선 시공
- 방화문 관련 업체를 통한 방화문의 실 제작 적용
- 표준 시공 매뉴얼 작성

3) K규격에 의한 K마크 인증 획득

나. 목표 달성여부

(1) 성과점검기준표

구분	핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준							양적 성과 건수
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치	
주관	1	유무기 융합 준불연급 단열재	1-1	단열재 성능	①	열전도율	0.051W/mK 이하	0.048	KSL9016	공인 성적서	20	논문 : 1 건 시제품 : 1 건 특허 : 출원 1 건 등록 1 건
					②	휨강도	3kgf/cm^2 이상	3.47	KSM3809 참조	〃	3	
					③	압축강도	3kgf/cm^2 이상	3.78	KSM3809 참조	〃	3	
					④	난연성	준불연	준불연	국토부 고시	〃	10	
					⑤	환경유해성	기준 만족	만족	EL248	〃	10	
					⑥	내열성	5% 이하	0.05%	자체	자체 평가	2	
					⑦	시공특성	습식/건식	습식/건식	자체	〃	2	
	2	유무기 융합 단열재 인증 규격	2-1	인증규격	①	규격화	규격제정 1건	제정	제정 여부	규격안	10	규격 : 1 건
공동	3	Pilot Plant 급 단열재 공정 구축	3-1	공정구축	①	공정구축 (설비포함)	PP급 공정구축 (50m^2/day)	50m^2/day	제품 생산 여부	생산량 평가	40	특허 : 출원 1 건 등록 1 건 시제품 : 1 건
계											100	특허 : 출원 2 건 등록 2 건 논문 : 1 건 시제품 : 2 건 규격 : 1 건

○ 핵심 연구성과

연번	핵심성과 (CTE)	핵심성과 설명	성과유형	연구기관	해당 연차	TRL
1	유무기 융합 준불연급 단열재	유기계 수준의 경제성 및 우수한 단열 성능을 갖는 유무기 융합 단열재	재료・자재	주관	1-3	7
2	Pilot plant 급 단열재 제조 공정 구축	함침, 압착, 건조 등 유무기 단열재 제조를 위한 PP급 공정 설비 (50m^2/day)	제조 공정	공동	1-3	7
3	유무기 융합 단열재 인증 규격	제품 상용화를 위한 성능평가 인증용 표준화 (규격 제정 및 인증 획득)	표준화	주관	2-3	7

○ 핵심 연구성과별 설명

핵심성과 1	유무기 융합 준불연급 단열재	
정의	열전도율 0.051W/mK 이하의 유무기 융합 준불연급 단열재 (재료 제품)	
목적	유기계 수준의 경제성(25,000원/m^2이하)을 가지며, 우수한 단열 성능(0.051W/mK) 및 화재안전성(준불연급 이상)을 보유한 새로운 유무기 융합형 단열재 개발.	
성능목표	본 연구에서 개발하고자 하는 유무기 융합 단열재는 기존 유기계 단열재와 무기계 단열재에서 경제성이 우수하고, 중간 수준의 단열성능 및 우수한 화재안전성에 중점을 두고 개발할 예정으로 단순 비교 불가하며, 앞서 제시된 정량적 수치 (열전도율, 강도 등)를 목표로 진행 예정임.	
성과달성 책임자 (소속기관)	신민철 (한국산업기술시험원)	
소요기간	1단계 시제품 : ′ 17.04 ~ ′ 17.12 (9개월, 1년차) 2단계 시제품 : ′ 18.01 ~ ′ 18.10 (10개월, 2년차) 이후 공정 최적화	
성과달성 확인방법	각 정량적 항목에 대한 공인시험성적서	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	[출원 : 1건, 등록 : 1건]
	논문	[학술지 : 1건]
	시제품	1건 (1차년도 1건, 2/3차년도 1건)

핵심성과 2	Pilot Plant급 단열재 제조 공정 구축	
정의	50m^2/day의 생산량을 가지는 Pilot Plant급 제조 설비 구축 및 공정 최적화.	
목적	유무기 융합 준불연급 단열재의 상용화를 위한 Pilot plant급 생산 공정 구축	
성능목표	주관기관에서 개발된 유무기 융합 단열재의 제조기술을 바탕으로 공정최적화 및 Pilot Plant급 생산설비를 구축하여 50m^2/day의 생산이 가능한 공정 구축 및 최적화를 목표로 함.	
성과달성 책임자 (소속기관)	김기웅 ((주)원준하이테크)	
소요기간	1단계 공정 : ′ 17.04 ~ ′ 17.12 (9개월, 1년차) - 10m^2/day 2/3단계 공정 : ′ 18.01 ~ ′ 19.06 (18개월, 3년차) - 50m^2/day	
성과달성 확인방법	최적화된 공정을 이용하여 생산되는 제품 생산량 확인	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	[출원 : 1건, 등록 : 1건]
	공정구축	생산량 : 50m^2/day
	시제품	1건 (1차년도 1건, 2/3차년도 1건)

핵심성과 3	유무기 융합 단열재 인증 규격	
정의	기존 규격으로 대응하지 못하는 유무기 융합 단열재 자체의 성능평가 인증을 위한 표준화 (규격 제정 및 인증)	
목적	본 연구에서 개발 예정인 유무기 융합 단열재는 기존 규격(유기계, 무기계, 섬유계 등)으로는 성능평가가 되지 않기 때문에 새로운 수준 및 조건에 의한 시험이 가능한 규격이 필요함. 따라서 유무기 융합 단열재가 가지는 단열성능 및 난연성 등을 평가하고 인증할 수 있는 규격을 제정하고 인증하는 것을 목표로 하고 있음.	
성능목표	기존 규격이나 등급으로는 본 개발품에 대한 인증이나 시험이 되지 않기 때문에 새로운 시험항목, 변수, 수준, 등급으로 이루어진 규격화 및 인증을 목표로 함.	
성과달성 책임자 (소속기관)	신민철 (한국산업기술시험원)	
소요기간	1단계 초안 : ′ 17.04 ~ ′ 17.12 (9개월, 1년차) 2단계 규격제정안 : ′ 18.01 ~ ′ 18.10 (10개월, 2년차) 3단계 규격개정안 : ′ 19.01 ~ ′ 19.10 (10개월, 3년차)	
성과달성 확인방법	초안, 제정안, 개정안 제정 여부 확인	
성과달성에 따른 정량적 성과	규격	1건 (1차년도 초안, 2차년도 제정안, 3차년도 개정안)

(2) 해당 년도 정량적 연구성과 목표 및 달성도

구분			목표	달성도(%)	비고
국외 논문 게재	SCI				
	비SCI				
	계				
국내 논문 게재	SCI				
	비SCI		1	100%	
	계		1	100%	
특허 출원	국내		2	100%	주관1, 공동연구기관 1
	국외				
	계		2	100%	
특허 등록	국내		2	100%	주관1, 공동연구기관 1
	국외				
	계		2	100%	
인력 양성	석사				
	박사				
	계				
기술 이전	계약 건수				
	계약액				
	징수액				
국제 표준화	기고서 제출				
	기고서 채택				
	표준안 채택				
국내 표준화	기고서 제출				
	기고서 채택				
	표준안 채택		1	100%	단체표준(K규격)
등록 · 기탁 대상 성과물	보고서 원문		3	100%	
	연구시설 · 장비				
	기술요약정보				
	생명자원	생명정보			
		생물자원			
		신품종			
	소프트웨어				
	화학물				
기타	시제품		2	100%	주관1, 공동연구기관 1
	성과 홍보				
	일자리 창출				

(3) 연구개발성과(해당되는 성과만 기재)

(가) 국내외 논문 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록번호
1	재활용 석고 부산물을 이용한 준불연 유무기 융합 단열재 개발 연구	한국건설순환자원학회 논문집	하주연 신현규 송태협	7	한국	한국건설순환자원학회	비SCI	2019.12	

(나) 국내 및 국제학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명

(다) 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

(라) 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록				기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록번호*	등록인	등록일	등록번호	등록번호*	
1	유무기 융합 단열재 제조용 진공함침장치 및 이를 이용한 유무기 융합 단열재 제조방법	한국	김기웅 이완섭	2018. 11.14.	10-2018-0140156		김기웅 이완섭	2019. 10.11.	10-2033437		100
2	유무기 융합 단열재 롤러 압착장치	한국	신현규 하주연	2019. 10.31.	10-2019-0137123		신현규 하주연	2020. 02.00.	00-000000		100

* 연구개발성과 관리 · 유통 전담 기관에 등록한 번호 기재

(마) 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율

(바) 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별			성별			지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타

(사) 산업 기술 인력 양성

번호	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

(아) 기술 거래(이전) 등

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황

(자) 사업화 투자 실적

번호	연구개발 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자 자금 성격

(차) 사업화 현황

(단위: 명, 년)

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내	국외		

(카) 표준화

번호	수행 기관명	표준화 주제	표준화 기구	표준화 단계	관련 번호	제출(채택)일	국가
1	한국산업기술시험원	인증규격	한국산업기술시험원	단체표준 제정	KTL F 061	2018.10.26	대한민국
2	한국산업기술시험원	인증규격	한국산업기술시험원	단체표준 개정	KTL F 061	2019.12.30	대한민국

(타) 기술요약정보

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호

(파) 보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호
2017	연차실적보고서	2017.11.20.	
2018	연차실적보고서	2018.11.09.	
2019	연차실적보고서	2020.01.28.	

(하) 기타

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

가. 연구 개발 성과의 활용 방안

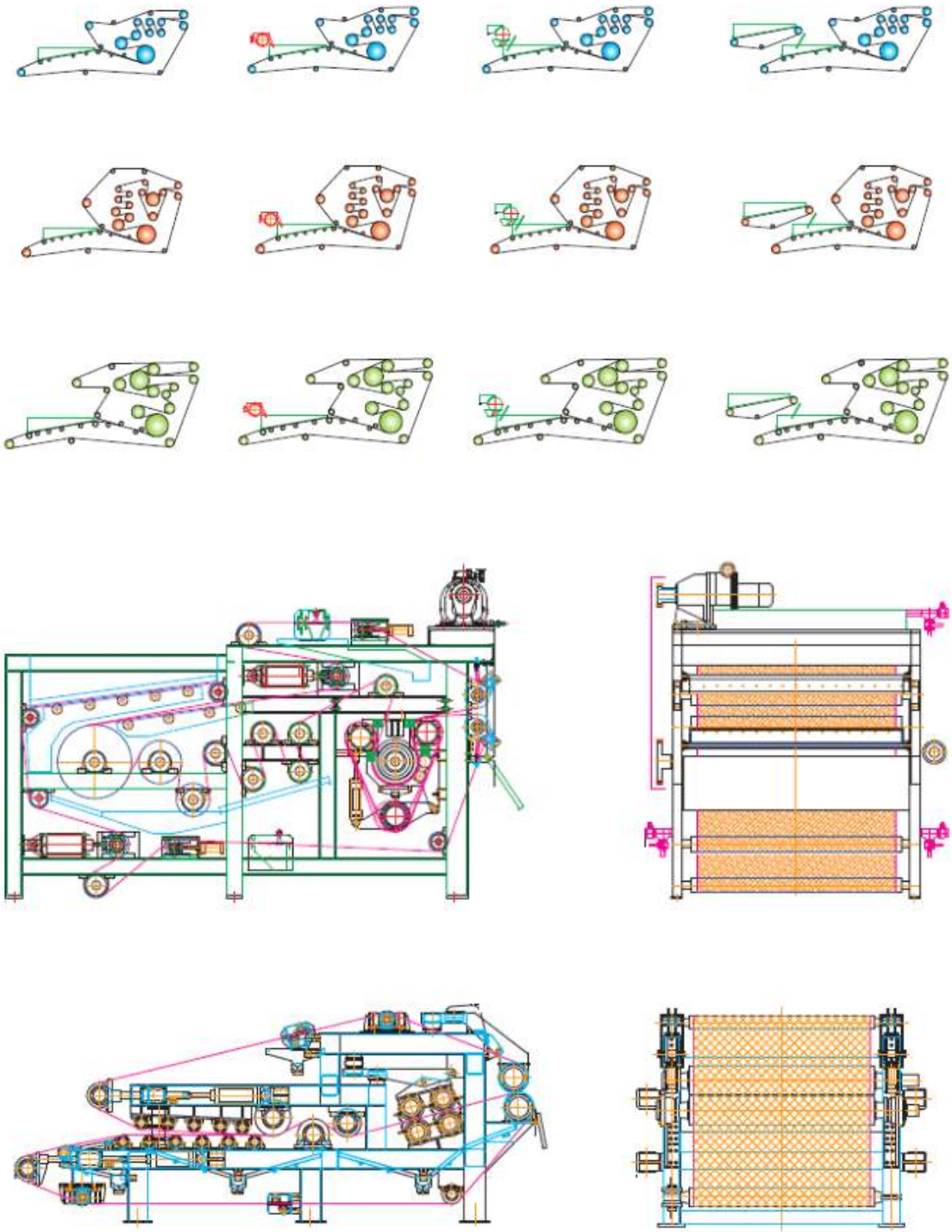
○ 기존의 유기 단열재와 비슷한 열전도율을 갖는 불연성 단열소재의 원천기술 확보가 가능하며, 화재발생 염려가 없고 시공성이 간편한 경량 및 불연성의 단열재 개발이 가능함. 또한 본 개발의 결과물은 기존의 유기 및 무기 단열재를 대체할 수 있는 경제적인 신소재이며 친환경 제품임.

○ 특히 유·무기계 친환경 경질·경량 다기능성 단열재 관련 신기술 개발로 개발 기술의 수출과 이에 따른 경제적 효과를 기대할 수 있음. 또한 관련 산업으로의 기술이전도 가능하여, 국내 관련 산업의 동반 발전도 이룰 수 있을 것으로 추정됨.

- 건축용 친환경 무기패널 및 단열 마감패널
  - 불연성이면서도 단열성능이 우수
  - 시공성도 뛰어난 신개념의 단열소재
- 이종 재료와의 복합패널 (금속판, 석고보드 등)
- 샌드위치 패널의 심재
- LPG, LNG, 중유탱크 및 냉장·냉동차의 단열재

○ 본 사업에 의해 개발된 기술은 기술이전을 통하여 기업에 이전될 예정이며, 이를 근거로 국토교통부의 “2020년 국토교통기술 사업화 지원사업”으로 지원하여 지속적인 사업화를 추진할 예정임.

- 본 사업에서 구축된 기술의 상용화를 위해 그림 4-1에 나타난 바와 같은 기존 프레스 형태의 장치를 기본으로 하여 함침액 분사 및 압착 공정 변수 등의 제어가 가능하도록 재설계한 후 본 공정에 적용 가능한 장치를 구축할 예정임.
- 사업화 시 1차 목표는 갑종 방화문용 심재를 대상으로 할 예정이며, 이후 샌드위치 패널 및 조선용 자재로 확대할 예정에 있음.



출처 http://mtmenv.com/%EB%B2%A8%ED%8A%B8%ED%94%84%EB%A0%88%EC%8A%A4

그림 4-1. 함침 및 압착을 위한 활용 예정 장치 사례

나. 기대효과

○ 국내 단열재 소재 규모는 무기소재 약 6,000 억원, 유기소재 약 14,000 억원으로 총 20,000 억원에 달함 (2005년 추산) 본 연구과제에서 개발하고자 하는 유무기 하이브리드 단열 발포체로 초기 (개발 후 3년 후) 약 3% 정도, 정상 궤도 진입 시 약 10% 정도 시장을 대체 한다고 가정하면 시장 성장률 감안 약 2,400 억원 정도의 시장을 창출할 수 있음.

○ 본 과제를 통해 해외 시장 공략에 의한 무역수지 개선 효과도 일부 기대할 수 있음. 일본 및 러시아 등 시장에는 고난연 단열재 시장이 일부 형성되어 있어 성능이 우수한 제품을 개발하면 충분히 공략이 가능함.

○ 현재는 네오폴 등의 유기단열소재의 경우 그 원천기술이 독일 바스프사에서 가지고 있어 국내 제조사들은 원천기술료를 지불하고 있는 것으로 추정되지만 본 유무기 하이브리드 불연 단열 소재가 개발되면 대체 소재로 작용할 수 있음.

○ 최근 에너지 가격의 계속적 상승으로 에너지 절약에 대한 범국가적 대응이 필요한 시점임. 국내에서는 이미 2001년 8월 산업자원부에서 건물에 대한 에너지 효율등급 인증에 관한 규정 (산업자원부 고시 제2001-100호)을 고시하였으며, 이에 따라 공동주택건설 물량 400,000호가 1등급을 달성할 경우 연간 약 820~1,100 억원의 에너지를 절감할 수 있으며, 국내 건물에 사용되는 에너지의 10%만 절감할 수 있다면 연간 약 9,400 억원 (건물에 사용되는 에너지는 전체 수입액의 약 1/4 수준)을 절감할 수 있다고 알려져 있음.

(1) 기존 제품 및 시제품에 대한 원가 분석 검토

본 사업에서 개발한 유무기 융합 단열재의 상용화 연구로써 원료단가를 고려한 제품가격 예상 및 기존 단열재 제품과의 경제성 비교 분석을 실시하였다. 그림 4-2는 가로 세로 100×100 cm, 두께 1 cm 크기의 유무기 융합 단열재 시제품 기준 제조원료 구성요소별 함량 및 단가 비율을 나타낸 표이다. 유무기 융합 단열재의 원료는 크게 유기계 기재와 무기계 함침소재로 나뉘며, 제품 규격에 따라 최적화된 함량비로 동일하게 적용되는 무기계 함침소재는 고정비용으로 산정되나 제품 단가의 65% 이상을 차지하고 있는 유기계 기재의 경우 적용하는 폴리우레탄 폼의 종류에 따라 제품의 가격이 결정된다. 표 4-1에서 나타난 바와 같이 적용하는 유기계 기재 종류에 따라 유무기 융합 단열재 시제품의 원가가 1,400~3,700원/cm m^2 정도로 산출할 수 있으며, 유기계 기재로 일반저가형(15K)을 적용할 경우 시제품 단가를 60% 이상 절감할 수 있다.

구성요소		함량 [wt%]	단가 [원/cm m^2]	단가 비율 [%]
유기계 기재	폴리우레탄 폼	9.26	1,778	66.79
무기계 함침소재	백시멘트	85.60	126	28.05
	경화지연제	0.43	11	0.23
	증점제	0.01	1	0.27
	수지류	4.28	215	4.69
		100.00	2,131	100.00

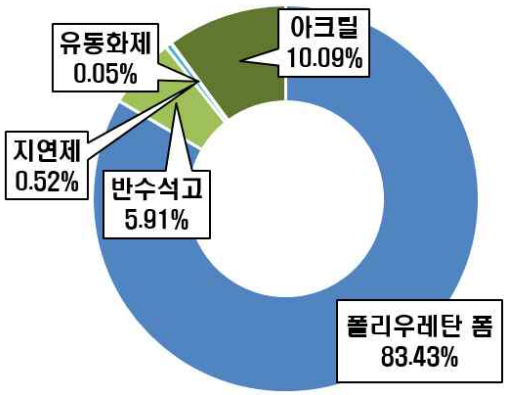


그림 4-2. 1cm m^2 시제품 기준 구성요소별 비율

표 4-1. 유기계 기재 종류별 유무기 융합 단열재 단가(원/cm m^2)

스펀지 종류 / 단가	일반 저가형 (15K)	**일반 soft폼 (20K)**	난연폼 (18K)	난연폼 (26K)	친수성 (26K)
유기계 기재	1,000	**1,778**	1,778	2,650	3,333
무기계 함침소재	355				
시제품 단가	**1,355**	**2,133**	**2,133**	**3,005**	**3,688**

표 4-2는 한국패시브 건축협회에서 현재 시판중인 기존 단열재 제품 종류별 가격대와 성능을 비교 조사한 표이다. 해당 조사에서는 단열성능을 고려한 경제성 비교를 위해 동일 성능 가격을 산출하여 적용하였는데, 이는 동일한 열관류율(0.3 W/m^2K)을 만들기 위해 필요한 두께

에 해당 단열재의 mm당 가격을 곱한 값으로 가격 대비 성능을 쉽게 알아보기 위해 도입한 기준이다. 본 연구에서 개발한 유무기 융합 단열재 제품의 경우 0.048 W/mK의 열전도율 성능을 가지므로 기준 열관류율인 0.3 W/m^{2}K를 만족하기 위해서는 160 mm의 두께가 필요하다. 여기서 원료단가를 고려하여 산출한 제품 단위가격인 135원/mm m2을 적용하면 21,600원/0.3W/m^{2}K의 동일 성능 가격을 도출할 수 있으며, 기존 단열재들의 가격과 비교했을 때 2.28의 동일성능 가격비례를 가진다. 개발품의 상용화 시 제품 특성에 따라 친수성 및 일반 유기계 기재의 사용이 가능하므로 단가 계산의 경우 가장 경제성 있는 유기계 소재를 대상으로 계산하였다. 표 4-3에서 나타난 바와 같이 유무기 융합 단열재의 동일성능 가격비례 값은 0.88-3.58 범위의 시장현황에서 50% 정도에 미치는 수준이나, 취약한 화재안정성을 가지는 기존 유기계 단열재와 차별적인 성능으로 준불연 이상의 난연특성을 가진 유무기 융합형 단열재임을 고려했을 때 적정한 수준으로 판단된다. 또한 원료단가를 고려하여 산출한 135원/mm m^{2}의 제품 단위가격은 원료의 소매가격을 적용하여 산출한 가격으로, 상용화 및 양산화 단계에서는 대량 생산에 의한 원료의 도매가 적용으로 보다 경쟁력이 있는 제품 단가를 가질 수 있을 것으로 판단된다.

표 4-2. 기존 단열재 제품 종류별 가격대 성능비교(출처: 한국패시브 건축협회)

구분	규격	밀도 (kg/㎥)	열전도율 (W/mK)	단위가격 (원/㎜㎡)	동일성능가격 (원/0.3W/㎡K)	동일성능 가격비례
미네랄울 (암면)	100k	100	0.037	274	33,793	3.58
	50k	50	0.038	138	17,480	1.85
비드법 1종	1호	30	0.034	120	13,572	1.44
	2호	25	0.035	102	11,876	1.26
	3호	20	0.036	81	9,704	1.03
	4호	15	0.038	66	8,343	0.88
비드법 2종	1호	30	0.031	148	15,309	1.62
	2호	25	0.032	127	13,498	1.43
	3호	20	0.033	105	11,543	1.22
	4호	15	0.034	83	9,444	1.00
압출법	특호	35	0.029	173	16,708	1.77
	1호	30	0.03	160	16,049	1.70
	2호	25	0.031	148	15,309	1.62
	3호	20	0.033	142	15,617	1.65
경질우레탄 2종	1호	45	0.023	310	23,767	2.52
	2호	35	0.023	235	18,017	1.91
페놀폼	-	30	0.019	370	23,433	2.48

표 4-3 유무기 융합 단열재의 기존 제품과의 동일성능 가격비례

구분	규격	밀도 (kg/㎥)	열전도율 (W/mK)	단위가격 (원/㎜㎡)	동일성능가격 (원/0.3W/㎡K)	동일성능 가격비례
유무기 융합 단열재	**20K**	**150**	**0.048**	**135**	**21,600**	**2.28**

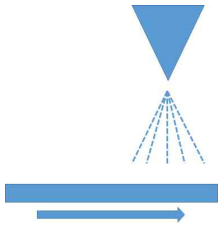
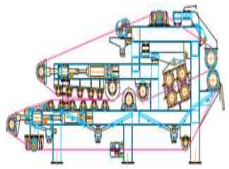
(2) 성과 활용 방안

본 연구 수행에서 개발한 유무기 융합 단열재 시제품의 경우 기본적인 단열성능은 구현되고 있으나, 실제 상용화를 위해서는 제품 사양, 크기, 용도의 다양화가 필요하며, 기존 수작업에 의한 제조 단계에서 업그레이드된 연속식 자동화 설비 구축 등이 필수적으로 수반되어야 한다. 특히 방화문 및 샌드위치 패널 심재를 적용하기 위해서는 제품의 대형화가 필수적이다. 현재까지 연구과제 수행 시 확보된 기술개발 현황은 표 4-4와 같으며, 유무기 융합 단열재의 상용화 사업을 위해서는 표 4-5와같이 본 연구 개발에서 구축된 공정의 업그레이드된 설비 구축이 선행 되어야한다.

표 4-4. 현재까지 확보된 기술개발 현황

개발과정	일 자	주요 진행내용	개발주체
개발동기	2017.1	• 잇단 화재사고에 의해 유기 단열재의 화재 안전성이 사회적 문제점으로 떠오르며, 기존 무기계 단열재의 단점인 경제성 및 열전도율을 극복할 수 있는 차세대 소재에 대한 필요성에서 시작됨	한국산업기술시험원
국토부 창의도전기술 개발사업 수행	2017.4	• 유기계 기재 및 저가의 무기계 함침재를 활용한 아이디어를 기반으로 국토부 창의도전기술개발 사업 지원 및 수주	한국산업기술시험원 +(주)원준하이테크
관련기관 사업화 의뢰	2018-2019	• 사업 진행에 따른 결과 도출 이후 관련된 기업에서 기술에 대한 적용 가능성 여부에 주목하며, 화재안전성 강화에 따른 기존 소재의 한계에 의한 차세대 소재로의 적용성 언급 및 투자의향 제시	한국산업기술시험원 +(주)원준하이테크
사업목표 달성	2019.12	• 3차 년도 사업 진행 결과 및 목표를 달성하였으며, 관련 특허 출원과 K규격에 의한 K마크 인증 획득 완료	한국산업기술시험원+ (주)원준하이테크

표 4-5. 성과 활용 및 사업화를 위한 개발 필요 내용

기존 공정	상용화를 위한 공정 구축 내용	예상안
함침공정 	• 현재 연구 개발된 함침 공정은 수동으로 이루어졌으며, 함침 균질성 및 함침 이후의 이동 등에 문제가 있어 함침 가능한 시료의 크기에 제약이 있음. • 따라서, 상용화 사업을 위한 기술 및 권리이전을 통해 자동 함침을 위한 장치의 설계 및 분사량, 함침액의 물리적 특성제어, 이송 방식 및 속도 등에 대한 연구가 필요하며, 이후 압착 공정과의 연계를 위한 자동화 방안도 동시에 해결되어야 함.	
압착 공정 	• 본 연구개발의 압착 공정의 경우 반자동화가 이루어져 있으나, 롤러 사이로 시료를 투입하는 공정은 수동으로 이루어져 있으며, 압착 이후에도 수동으로 시료를 처리하기 때문에 시료 크기의 한계, 함침액의 불균질성 등의 한계가 있음. • 따라서, 상용화 사업을 위한 기술 및 권리 이전을 통하여 함침액 분사 이후 자동으로 시료가 이송될 수 있는 대형시료용 시스템을 고안하고 롤링횟수, 압착 압력 제어 방안, 시료 분사 방향 제어, 대형시료 배출 시스템 등에 대한 연구 및 사업화 지원이 필요함. • 향후 상용화 시스템은 기존 고압탈수를 위한 벨트 프레스 장치의 구동 방식을 기본으로 하되, 함침액 분사공정과의 연계성, 시료 투입, 가압 방식, 배출 등에 대한 공정 설계를 반영할 예정임.	
건조 공정 	• 본 연구 초기 단계에 석고계 소재를 함침 소재로 활용하였기 때문에 단시간 경화를 위해 일정 온도 이상의 건조 공정을 적용하였음. 하지만, 최종 함침 소재가 시멘트계로 선정되었기 때문에 건조 공정에 대한 적용 여부의 결정이 필요한 상황임. • 시멘트계 소재의 경우 경화 시간에 대한 제어가 정밀하게 가능하기 때문에 압착 공정 이후 일반 시멘트 제품과 유사한 양생 조건만을 부여하여 최종 제품화가 가능할 것으로 판단되며, 이 경우 승온이 필요 없어 경제적으로도 효과적임. • 또한 건조 공정이 도입될 경우 건조 과정에서 제품과 바닥면과의 탈착에 어려움이 있어 별도의 받침대에 대한 연구가 수반되어야 하는 상황이기 때문에 바람직하지 않은 상황임. • 따라서 상용화를 위해선 기존 단열재 제품에 적용되고 있는 제품 표면에 알루미늄 처리 또는 기타 소재를 접합하는 형태로의 전환을 고려하고 있으며, 이 경우 별도의 받침대가 필요하지 않을 것으로 판단됨.	

상용화 사업화 진행에 따른 결과 도출 이후 관련된 기업에서 기술에 대한 적용 가능성

여부에 주목하며, 화재안전성 강화에 따른 기존 소재의 한계에 의한 차세대 소재로의 적용성 언급 및 투자 의향 제시하여 본 연구개발의 주관기관인 한국산업기술시험원과 공동연구기관 ㈜원준하이테크, 향후 상용화 사업 투자 의지가 있는 ㈜세안을 통하여 공동 기술개발 협약을 체결하여 본 사업을 지원 계획에 있다. 투자기관 ㈜세안은 이러한 협약 및 기술이전을 토대로 국토교통기술사업화지원사업에 난연등급 제어가 가능한 유무기 융합 단열재 상용화의 지원사업 제안서를 제출하였으며 과제 선정 유무를 떠나 상용화 사업 계획에 있다.

붙임. 참고문헌

[1] Yu, Z. L., Yang, N., Apostolopoulou-Kalkavoura, V., Qin, B., Ma, Z. Y., Xing, W. Y., & Yu, S. H. (2018). Fire-retardant and thermally insulating phenolic-silica aerogels. Angewandte Chemie International Edition, 57(17), 4538-4542.

[2] Leisted, R. R., Sørensen, M. X., & Jomaas, G. (2017). Experimental study on the influence of different thermal insulation materials on the fire dynamics in a reduced-scale enclosure. Fire safety journal, 93, 114-125.

[3] Ng, S., Jelle, B. P., Sandberg, L. I., Gao, T., & Mofid, S. A. (2018). Hollow silica nanospheres as thermal insulation materials for construction: Impact of their morphologies as a function of synthesis pathways and starting materials. Construction and Building Materials, 166, 72-80.

[4] Noh, H. K., Song, H., Chu, Y. S., Park, J. S., & Lee, J. K. (2012). Evaluation of an Organic-Inorganic Hybrid Insulation Material using an Inorganic Filler and Polyurethane with a Foaming Condition. Journal of the Korean Ceramic Society, 49(6), 654-658.

[5] Yang, T. Y., Kim, W. Y., Yoon, S. Y., & Park, H. C. (2010). Macroporous silicate ceramics prepared by freeze casting combined with polymer sponge method. Journal of Physics and Chemistry of Solids, 71(4), 436-439.

[6] Li, Y., Liu, X., Nie, X., Yang, W., Wang, Y., Yu, R., & Shui, J. (2019). Multifunctional Organic-Inorganic Hybrid Aerogel for Self-Cleaning, Heat-Insulating, and Highly Efficient Microwave Absorbing Material. Advanced Functional Materials, 29(10), 1807624.

[7] 알파형 반수석고를 이용한 석고계 친환경 황토 모르타르 개발, 한국화학시험연구원, 중소기업청 산학연공동기술개발 최종보고서 (2009).

[8] Kränzlin, N., & Niederberger, M. (2015). Controlled fabrication of porous metals from the nanometer to the macroscopic scale. Materials Horizons, 2(4), 359-377.

[9] Loeb, A. L. (1954). Thermal conductivity: VIII, a theory of thermal conductivity of porous materials. Journal of the American Ceramic Society, 37(2), 96-99.

[10] Barea, R., Osendi, M. I., Ferreira, J. M., & Miranzo, P. (2005). Thermal conductivity of highly porous mullite material. Acta materialia, 53(11), 3313-3318.

[11] Ahn, W. S. (2012). Effects of GTR and Unexpanded Expancel Powders on Thermal Conducting Characteristics of Rigid Polyurethane Foams. Journal of the Korea Academia-Industr

ial cooperation Society, 13(6), 2846-2851.

[12] 강인석, 한다희, 안무영, 박무영, 백민수, & 정상진. (2007). 마그네시아 인산염 시멘트를 사용한 초속경 보수 모르타르의 기초물성 및 내구성에 관한 연구: 지연제 무수 구연산을 사용한마그네시아 인산염 시멘트. 대한건축학회 학술발표대회 논문집-구조계, 27(1), 463-466.

[13] 권용훈, 박종필, 이근재, 이동규, & 한형섭. (2013). 지연제를 적용한 Acement 모르타르의 기초적 특성에 관한 실험적 연구. 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 265-266.

[14] 한천구, 최응규, 김기철, & 조병영. (1997). 증점제를 이용한 고유동 콘크리트의 특성에 관한 기초 연구 (A Fundamental Study on the Properties of High-Fluidity Concrete Using Viscosity Agent). 대한건축학회 논문집, 13(5), 271-276.

[15] 안원술. (2014). 팽창진주암 무기복합재에서의 단열성능 및 열크랙 방지에 관한 연구. 한국산학기술학회 논문지, 15(5), 3286-3291.

[16] 유성연, & 김태호. (2013). 수분 흡수가 단열재의 열전도계수에 미치는 영향에 관한 연구. 설비공학논문집, 25(3), 119-125.

[17] 석호태. (2003). 건축에 있어서의 결로. Korean Society of Hazard Mitigation, 3(3), 74-81.

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.