보안 과제( ), 일반 과제(✔) / 공개(✔), 비공개( ) 발간등록번호()

사업국토교통기술촉진연구사업 제3차 연도 최종보고서

21CTAP-C152126-03

열전도도 0.046W/mK 이하의 완전 불연단열재와 노후주택 화재확산방지구조 On-site 시공기술 개발 최종보고서

2022

국토교통부
국토교통과학기술진흥원

R&D /21CTAP-C152126-03

열전도도 0.046WmK 이하의 완전 불연단열재와 노후주택 화재확산방지구조 On-site 시공기술 개발 최종보고서

2022. 02. 25.

주관연구기관 / 한국세라믹기술원

국토교통부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

'열전도도 0.046W/mK 이하의 완전 불연단열재와 노후주택 화재확산방지구조 On-site 시공기술 개발'(연구개발 기간 : 2019.04.19. ~ 2021.12.31.) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2022. 02. 25.

주관연구기관명 : 한국세라믹기술원 (대표자) 정 연 길 (인)

공동연구기관명 : (주)유로글라스 (대표자) 이 길 재 (인)

주관연구기관책임자: 송 훈
공동연구기관책임자: 조 남 진

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

KICET/10.100.21.173/2022-02-23 14:27:26

최종보고서(일반과제용)

보안등급
일반[✔], 보안[ ]

중앙행정기관명	국토교통부	사업명	사업명	국토교통기술촉진 연구사업	
전문기관명	국토교통과학기술진흥원		내역사업명		
공고번호	공고 - 제00호	총괄연구개발 식별번호		-	
		연구개발과제번호		21CTAP-C1521265-03	
국가과학기술 표준분류	건설 교통	70%	건설시공 재료	20%	건설마감재료 10%

총괄연구개발명	국문	열전도도 0.046W/mK 이하의 완전 불연단열재와 노후주택 화재확산방지구조 On-site 시공기술 개발
	영문	Development of on-site construction technology of fire resistance external wall systems with thermal conductivity 0.046W/mK inorganic insulations
연구개발과제명	국문	열전도도 0.046W/mK 이하의 완전 불연단열재와 노후주택 화재확산방지구조 On-site 시공기술 개발
	영문	Development of on-site construction technology of fire resistance external wall systems with thermal conductivity 0.046W/mK inorganic insulations

주관연구기관	기관명	한국세라믹기술원		사업자등록번호	119-82-06696
	주소	(우) 경상남도 진주시 소호로 101		법인등록번호	254371-0013036
주관연구책임자	성명	송 훈		직위	수석연구원
	연락처	직장전화	055-792-2462	휴대전화	010-3409-5162
		전자우편	songhun@kicet.re.kr	국가연구자번호	1010 4162

연구개발기간	전체	2019.04.19 - 2021.12.31 (2년8개월)
	1년차	2019.04.19 - 2019.12.31 (8개월)
	2년차	2020.01.01 - 2020.12.31 (1년)
	3년차	2021.01.01 - 2021.12.31 (1년)

연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금
				지방자치단체		기타( )					
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	600,000	20,010	180,090	-	-	-	-	620,010	180,090	800,100	-
1년차	134,000	4,470	40,230	-	-	-	-	138,470	40,230	178,700	-
2년차	130,000	4,340	39,060	-	-	-	-	134,340	39,060	173,400	-
3년차	336,000	11,200	100,800	-	-	-	-	347,200	100,800	448,000	-

공동연구기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고	
						역할	기관유형
공동연구기관	㈜유로글라스	조남진	소장	010-6437-1100	nams1025@naver.com	공동	기업
위탁연구기관	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-
연구기관 외 기관	-	-	-	-	-	-	-

연구개발담당자 실무담당자	성명	손배근		직위	연구원
	연락처	직장전화	055-792-2466	휴대전화	010-3324-5601
		전자우편	ubda2005@kicet.re.kr	국가연구자번호	1163 1349

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022년 02월 25일

주관연구책임자 : 송 훈 (직인)

주관연구기관의 장 : 정 연 길 (직인)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

KICET/10.100.21.173/2022-02-23 14:27:54

최종보고서(일반과제용)

보안등급
일반[✔], 보안[ ]

중앙행정기관명	국토교통부		사업명	사업명	국토교통기술촉진 연구사업
전문기관명	국토교통과학기술진흥원			내역사업명	
공고번호	공고 - 제00호		총괄연구개발 식별번호		-
			연구개발과제번호		21CTAP-C1521265-03
국가과학기술 표준분류	건설 교통	70%	건설시공 재료	20%	건설마감재료 10%

총괄연구개발명	국문	열전도도 0.046W/mK 이하의 완전 불연단열재와 노후주택 화재확산방지구조 On-site 시공기술 개발
	영문	Development of on-site construction technology of fire resistance external wall systems with thermal conductivity 0.046W/mK inorganic insulations
연구개발과제명	국문	열전도도 0.046W/mK 이하의 완전 불연단열재와 노후주택 화재확산방지구조 On-site 시공기술 개발
	영문	Development of on-site construction technology of fire resistance external wall systems with thermal conductivity 0.046W/mK inorganic insulations

주관연구기관	기관명	한국세라믹기술원	사업자등록번호	119-82-06696
	주소	(우) 경상남도 진주시 소호로 101	법인등록번호	254371-0013036
주관연구책임자	성명	송 훈	직위	수석연구원
	연락처 직장전화	055-792-2462	휴대전화	010-3409-5162
	연락처 전자우편	songhun@kicet.re.kr	국가연구자번호	1010 4162

연구개발기간	전체 2019.04.19 - 2021.12.31 (2년8개월)
	1년차 2019.04.19 - 2019.12.31 (8개월)
	2년차 2020.01.01 - 2020.12.31 (1년)
	3년차 2021.01.01 - 2021.12.31 (1년)

연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금
				지방자치단체		기타( )					
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	600,000	20,010	180,090	-	-	-	-	620,010	180,090	800,100	-
1년차	134,000	4,470	40,230	-	-	-	-	138,470	40,230	178,700	-
2년차	130,000	4,340	39,060	-	-	-	-	134,340	39,060	173,400	-
3년차	336,000	11,200	100,800	-	-	-	-	347,200	100,800	448,000	-

공동연구기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고	
						역할	기관유형
공동연구기관	㈜유로글라스	조남진	소장	010-6437-1100	nams1025@naver.com	공동	기업
위탁연구기관	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-
연구기관 외 기관	-	-	-	-	-	-	-

연구개발담당자 실무담당자	성명	손배근		직위	연구원
	연락처 직장전화	055-792-2466		휴대전화	010-3324-5601
	연락처 전자우편	ubda2005@kicet.re.kr		국가연구자번호	1163 1349

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022년 02월 25일

주관연구책임자 : 송 훈 (직인)

주관연구기관의 장 : 정 연 길 (직인)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요 약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성

<table>
<tr><td colspan="2">사업명</td><td colspan="3">국토교통기술촉진연구사업</td><td>총괄연구개발 식별번호</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">내역사업명</td><td colspan="3">-</td><td>연구개발과제번호</td><td colspan="2">21CTAP-C1521265-03</td></tr>
<tr><td colspan="2">국가과학기술
표준분류</td><td colspan="6">건설 교통 70% | 건설시공 재료 20% | 건설마감재료 10%</td></tr>
<tr><td colspan="2">총괄연구개발명</td><td colspan="6">열전도도 0.046W/mK 이하의 완전 불연단열재와 노후주택 화재확산방지구조 On-site 시공기술 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제명</td><td colspan="6">열전도도 0.046W/mK 이하의 완전 불연단열재와 노후주택 화재확산방지구조 On-site 시공기술 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">전체 연구개발기간</td><td colspan="6">2019. 04. 19 - 2021. 12. 31(2년 8개월)</td></tr>
<tr><td colspan="2">총 연구개발비</td><td colspan="6">총 800,100천원
(정부지원연구개발비 : 600,000천원, 기관부담연구개발비 : 200,100천원,
지방자치단체 : - 천원, 그 외 지원금 : - 천원)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발단계</td><td colspan="2">기초[ ] 응용[ ] 개발[✔]
기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]</td><td>기술성숙도</td><td colspan="2">착수시점 기준( )
종료시점 목표( )</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 유형</td><td colspan="6">지정공모 [ ] 자유공모 [✔]</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 특성</td><td colspan="6">실용화</td></tr>
<tr><td rowspan="4">연구
개발
목표
및
내용</td><td>최종 목표</td><td colspan="6">열전도도 0.046W/mK 이하의 완전 불연단열재와 노후주택 화재확산방지구조 On-site 시공기술개발</td></tr>
<tr><td>전체 내용</td><td colspan="6">(1) <u>노후주택 화재확산방지구조 On-site 시공기술 개발</u>

<table><tr><th>항목</th><th>목표</th></tr><tr><td>외벽 화재확산
방지구조 화재안전성</td><td>30분간 실험 후 실물 외벽 구조 이상 없을 것</td></tr><tr><td>현장 시공 및 배합</td><td>현장 미세기포 제조 및 배합기 제작 및 충진방식 외단열 시공법 개발</td></tr></table>
(2) <u>열전도율 0.046 W/mK 이하의 현장시공 완전 불연단열재 개발</u>

<table><tr><th>항목</th><th>목표</th></tr><tr><td>불연성능</td><td>불연재료</td></tr><tr><td>열전도율</td><td>0.046 W/mk 이하</td></tr><tr><td>밀도</td><td>0.2 g/cm^3 이하</td></tr></table></td></tr>
<tr><td rowspan="2">1년차</td><td>목표</td><td colspan="5">(1)주관 : 현장시공형 완전 불연단열재 배합 및 성능발현
(2)공동 : 불연단열재 활용 외벽 현장시공기술 공정 검토</td></tr>
<tr><td>내용</td><td colspan="5">(1) 주관
• 단열재료 선정 및 적정성 평가
• 단열재료 배합설계 및 결합재 구성 방법 (단열성능 0.051 W/mK이하, 경량성능 0.3 g/cm^{3}이하를 만족하는 배합설계 제시)
• 단열성능 확보기술 0.051 W/mK 이하 시험체 제작
• 경량성능 확보기술 0.3 g/cm^3 이하 시험체 제작
(2) 공동
• 불연단열재 활용 외단열 시공기술 검토
• 현장시공형 기포제조기 및 부품 검토
• 현장시공기술 공정 검토 (기포제조기 시공조건 및 현장적용성 검토)</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="4">연구
개발
목표
및
내용</td><td rowspan="2">2년차</td><td>목표</td><td>(1)주관 : 현장시공형 완전 불연 단열재 물성확보기술
(2)공동 : 외벽 현장시공기술 도출 및 외벽 단열시스템 적용</td></tr>
<tr><td>내용</td><td>(1) 주관
• 현장시공형 완전 불연단열재 최적 배합설계
• 단열소재 물성확보 기술 (단열성능 : 0.046 W/mK이하, 밀도 : 0.25 g/cm^3)
• 단열소재 불연성능 확보기술
(2) 공동
• 외벽 현장시공기술 시스템 도출 및 검토
• 외벽 현장시공 외벽 마감 단열모르타르 물성확보 기술</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3년차</td><td>목표</td><td>(1)주관 : 현장시공형 불연단열재 현장적용성 및 물성확보 기술
(2)공동 : 외벽 현장시공 시스템 성능확인 및 적용 기술</td></tr>
<tr><td>내용</td><td>(1)주관
• 현장시공형 불연단열재 적용 기술 개발
• 현장배합 물성발현 기술 (단열성능 : 0.046 W/mK이하, 밀도 : 0.20 g/cm^{3}이하)
• 외벽 단열 시스템 현장 적용 기술
(2)공동
• 외벽 현장시공 적용 기술개발 및 화재안정성 검토
• 외벽 현장시공 시스템의 적용성 및 시공 메뉴얼 개발</td></tr>
<tr><td>연구개발성과</td><td colspan="3">

(1) 열전도도 0.046 W/mK 이하, 밀도 0.1~0.2 g/cm^3 이하의 완전 불연단열재 개발

항목	목 표
불연성능	불연재료
열전도율	[불연단열재 1] 0.040 W/mk 이하
	[불연단열재 2] 0.046 W/mk 이하
	[불연단열재 3] 0.051 W/mK 이하
밀도	[불연단열재 1] 0.1 g/cm^3 이하
	[불연단열재 2] 0.2 g/cm^3 이하
	[불연단열재 3] 0.2 g/cm^3 이상

(2) 화재확산방지구조 단열시스템 개발

항목	목 표
외벽 화재확산 방지구조 화재안전성	30분간 실험 후 실물 외벽 구조에 이상 없을 것.

(3) 완전 불연단열재의 현장시공기술 확보

항목	목 표
완전 불연단열재의 현장시공 기술확보	기존 유기계 단열재 사용 외단열 공법을 대체한 불연단열재 외단열 공법 기술

(4) 화재확산방지구조 시스템 시작품

항목	목 표
화재확산방지구조 시스템 시작품	충진방식 외단열 공법에 사용되는 불연단열재를 현장시공하기 위한 이동형 현장 시공장치 시작품

</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>연구개발성과 활용방안 및 기대효과</td><td colspan="10">◦ 노후주택 화재확산방지성능을 확보한 외벽단열 기술의 개발 및 보급
- 유기계 단열재를 사용하는 외단열 공법에 무기계 단열재 사용을 확대, 유도하면서 보다 안전한 외단열 공법의 개발 및 보급이 이루어지며 관련 부속 자재 및 디테일 개발로 다양한 외단열 기술 개발을 유도할 수 있고 화재피해를 저감할 수 있음.
◦ 국내 외벽 단열 시장 점유 및 시장 확장에 기여
- 기존 유기계 단열재를 사용하는 건축물 외단열 시장에서 화재안전의 중요성을 인식시키고, 외단열 시장의 일정 부분 점유가 가능할 것으로 예상됨.
◦ 노후주택 건축물 화재로 인한 인명, 재산피해 저감 기대
- 화재발생시 필연적으로 발생하는 인명, 재산피해는 사회 전체의 충격으로 나타나므로 이를 최소화하기 위한 노력이 필수적임. 본 기술을 통해 화재피해 확대 저감과 인명 및 재산피해를 최소화될 것으로 기대됨.</td></tr>
<tr><td>연구개발성과의 비공개여부 및 사유</td><td colspan="10">해당없음</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구개발성과의 등록·기탁 건수</td><td rowspan="2">논문</td><td rowspan="2">특허 출원</td><td rowspan="2">특허 등록</td><td rowspan="2">보고서 원문</td><td rowspan="2">연구시설·장비</td><td rowspan="2">기술요약정보</td><td rowspan="2">소프트웨어</td><td rowspan="2">표준</td><td colspan="2">생명자원</td><td rowspan="2">화합물</td><td colspan="2">신품종</td></tr>
<tr><td>생명정보</td><td>생물자원</td><td>정보</td><td>실물</td></tr>
<tr><td></td><td>2</td><td>4</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황</td><td colspan="2">구입기관</td><td colspan="2">연구시설·장비명</td><td colspan="2">규격 (모델명)</td><td>수량</td><td>구입 연월일</td><td>구입가격 (천원)</td><td>구입처 (전화)</td><td>비고 (설치장소)</td><td>ZEUS 등록번호</td></tr>
<tr><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>국문핵심어 (5개 이내)</td><td colspan="3">외벽단열시스템</td><td colspan="3">불연단열재</td><td colspan="3">노후주택</td><td colspan="2">화재</td><td>현장시공기술</td></tr>
<tr><td>영문핵심어 (5개 이내)</td><td colspan="3">External wall insulation system</td><td colspan="3">Inorganic insulation</td><td colspan="3">Old house rehabilitation</td><td colspan="2">Fire</td><td>On-site construction technology</td></tr>
</table>

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 1

1.1 연구개발과제의 최종 목표 ····· 2
1.2 최종성과물의 기술성숙도 설정근거 ····· 2
1.3 평가의 착안점 및 기준 ····· 3
1.4 연구개발과제의 연차별 목표 ····· 6
1.5 연차별 추진일정 ····· 7
1.6 연구개발 개요 ····· 10
1.6.1 연구개발의 개요 ····· 10
1.6.2 연구개발 대상의 국내 외 현황 ····· 16
1.7 연구개발 성과의 활용방안 및 기대효과 ····· 21
1.7.1 연구개발 성과의 활용방안 ····· 21
1.7.2 기대효과 ····· 22

2. 연구개발과제의 수행과정 및 수행내용 ····· 24

2.1 현장시공형 완전 불연단열재 개발 ····· 24
2.1.1 불연단열재 배합설계 ····· 24
2.1.2 불연단열재 재료선정 ····· 25
2.1.3 불연단열재 배합설계 ····· 26
2.1.4 불연단열재 제조 ····· 26
2.1.5 배합 특성 평가 ····· 28
2.1.6 배합 발포 특성 및 성능검토 ····· 20
2.1.7 물성평가 ····· 31

2.2 현장시공형 완전 불연단열재 물성확보 기술 ····· 32
2.2.1 불연단열재 배합설계 ····· 32
2.2.2 불연단열재 제조 및 성능평가 ····· 35
2.2.3 배합특성 검토 ····· 36
2.2.4 불연단열재 물성평가 ····· 40

2.3 현장시공형 불연단열재 적용기술 개발 ····· 42
2.3.1 불연단열재의 재료선정 ····· 42
2.3.2 불연단열재 배합설계 ····· 44
2.3.3불연단열재 물성평가 ····· 45
2.3.4 불연단열재 현장적용성 확인 ····· 52

2.4 외벽 현장시공기술 공정 기술 ····· 54
2.4.1 외단열 시공기술 검토 ····· 54
2.4.2 현장적용성 검토 ····· 57
2.4.3 발포 기계 특성 ····· 58

2.5 외벽 단열시스템 현장시공기술 개발 ····· 60
2.5.1 외벽 단열시스템 현장시공기술 ····· 60

2.5.2 이동형 현장 시공 장치 ····· 61
2.5.3 외벽에 적용된 단열재 및 구내외 사례 검토 ····· 62
2.6 외벽 현장시공 시스템 성능확인 및 적용기술 ····· 65
2.6.1 외벽 단열시스템 성능확보 ····· 65
2.6.2 실물 외벽 구조 실험 ····· 66
2.6.3 현장시공 시스템 개발 ····· 80

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 ····· 98

3.1 불연단열재 사용재료 및 배합설계 ····· 98
3.1.1 불연단열재 사용재료 ····· 98
3.1.2 불연단열재 배합설계 및 시험편 제조 ····· 99
3.1.3 불연단열재 경량 및 단열성능 ····· 100
3.1.4 불연단열재 불연성능 ····· 101
3.1.5 화재안전성 시험 ····· 102
3.1.6 외벽 현장시공 시스템 시공 메뉴얼 ····· 103
3.1.7 충진방식 외단열 공법 노후주택 화재확산방지 가능성 검토 ····· 104

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성) ····· 116

5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여정도 ····· 117

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획 ····· 118

별첨자료(참고문헌 등)

〈 표 목 차 〉

<표 1.1> 평가의 착안점 및 기준 (유로글라스)·····3
<표 1.2> 평가의 착안점 및 기준 (한국세라믹기술원)·····4
<표 1.3> 기존 단열재의 성능비교 ····· 12
<표 1.4> 일반적인 습식 외단열 마감공법 순서 ·····13
<표 1.5> 국내 외벽 마감재료의 불연 또는 준불연재료 적용 대상 건축물 ····· 16
<표 1.6> 외장재의 화재확산방지구조 설치 기준(화재확산방지구조, 고시 2018-1298호)····· 18
<표 1.7> 독일의 외벽 단열재 방화규정·····19
<표 1.8> 중국의 외벽단열재 인증 기준 ····· 19
<표 2.1> 불연단열재 재료선정(1차년도)····· 25
<표 2.2> 불연단열재 배합설계(1차년도)····· 26
<표 2.3> 1차년도 배합설계 밀도 및 열전도율(1차년도)·····31
<표 2.4> 재료의 용도 및 특성(2차년도)····· 33
<표 2.5> 1차 배합설계(2차년도)·····34
<표 2.6> 2-1차 배합설계(2차년도)····· 34
<표 2.7> 2-2차 배합설계(2차년도)····· 35
<표 2.8> 3차 배합설계(2차년도)·····35
<표 2.9> 4차 배합설계(2차년도)·····35
<표 2.10> 배합설계 밀도 및 열전도율(1차년도)····· 40
<표 2.11> 1차 배합설계 밀도 및 열전도율(2차년도)·····41
<표 2.12> 2,3,4차 배합설계 밀도 및 열전도율(2차년도)····· 41
<표 2.13> LNIC3-4 시편 불연성 측정(2차년도)····· 41
<표 2.14> 재료의 용도 및 특성 (1-1, 1-2번 배합설계 사용재료)·····42
<표 2.15> 재료의 용도 및 특성 (2번 배합설계 사용재료)····· 43
<표 2.16> 1-1번 배합설계·····45
<표 2.17> 1-2번 배합설계·····45
<표 2.18> 2번 배합설계····· 45
<표 2.19> 1번 배합설계 제조 시험편 밀도·····49
<표 2.20> 2번 배합설계 제조 시험편 밀도·····49
<표 2.21> 2번 배합설계 제조 시험편 단열성능····· 49
<표 2.22> 2번 배합설계 제조 시험편 단열성능····· 49
<표 2.23> 콘칼로리미터 실험결과····· 50
<표 2.24> 불연성 실험결과····· 52
<표 2.25> 외단열 시공방법····· 55
<표 2.26> 공장생산 외단열 시공방식의 적용 예····· 63
<표 2.27> 충진방식 외단열시공방법·····64
<표 2.28> 불연재료 및 준불연 재료 기준·····66
<표 2.29> 화재안전성 시험 실험평가 기준·····66
<표 2.30> 화재안전성 최고온도 실험결과····· 77
<표 2.31> 화재안전성 최고온도 실험결과····· 77
<표 3.1> 재료의 용도 및 특성 (1-1, 1-2번 배합설계 사용재료)····· 99
<표 3.2> 재료의 용도 및 특성 (2번 배합설계 사용재료)····· 99
<표 3.3> 1-1번 배합설계·····100

<표 3.4> 1-2번 배합설계 ····· 101
<표 3.5> 2번 배합설계 ····· 101
<표 3.6> 1-1, 1-2번 시험편 밀도 및 열전도율 결과 ····· 101
<표 3.7> 2번 시험편 밀도 및 열전도율 결과 ····· 102
<표 3.8> 불연성 실험결과 ····· 102
<표 3.9> 화재안전성 시험 실험평가 기준 ····· 103
<표 3.10> 화재안전성 최고온도 실험결과 ····· 104
<표 3.11> 기존 외단열 공법과 충진방식 외단열 공법 일위대가표 비교 ····· 108

〈 그 림 목 차 〉

[그림 1.1] 불연단열재 원료 최적화 및 분쇄설비 ····5
[그림 1.2] On-site 시공형 믹서기 및 기포제조기 ····5
[그림 1.3] 기존 단열소재 및 문제점 ····10
[그림 1.4] 노후주택의 화재 ····11
[그림 1.5] 주거시설에서의 발화 및 인명피해 (화재통계연감_2019) ····11
[그림 1.6] 노후 공동주택의 화재(영국,2017) ····14
[그림 1.7] 난연성 EPS 재료의 성능 시험 예 ····14
[그림 1.8] 무기계 섬유류 단열재의 수분에 의한 형태 변화 ····15
[그림 1.9] 가연성 외장재 적용 건축물 추정치 ····17
[그림 1.10] 독일의 불연성능 규정 및 등급 ····18
[그림 1.11] 불연 단열소재 및 현장시공형 기포제조기 ····19
[그림 1.12] 개발대상 및 제품 ····20
[그림 1.13] 불연성 단열재 제품군 ····21
[그림 2.1] 가연성 외장재 건축물 추정치 ····24
[그림 2.2] 불연단열재 재료선정(1차년도) ····25
[그림 2.3] 2액형 현장시공장비 개념도(1차년도) ····27
[그림 2.4] 실험에 사용한 실험 장비(1차년도) ····27
[그림 2.5] 기포제 종류 특징 ····28
[그림 2.6] 기포제 성능 확인 ····28
[그림 2.7] 비율에 따른 시험편 상태 ····29
[그림 2.8] 3:4 배합의 발포형상 ····30
[그림 2.9] 백시멘트 배합의 발포형상 및 후기포 시편(우측 위편) ····30
[그림 2.10] 현장시공형 불연단열재 가공된 시편 ····31
[그림 2.11] 사용재료 ····33
[그림 2.12] 사용재료의 입도분포 ····33
[그림 2.13] 사용재료의 입도분포 ····34
[그림 2.14] 이동형 현장 시공장비 시제품(2차년도) ····36
[그림 2.15] 후기포 방식 배합과정 ····36
[그림 2.16] 1차 배합설계 기포형상 ····38
[그림 2.17] 2차 불연단열재 제조 및 기공형태 ····39
[그림 2.18] 3차 불연단열재 제조 및 기공형태 ····39
[그림 2.19] 4차 불연단열재 제조 및 기공형태 ····40
[그림 2.20] 1-1, 1-2번 배합설계 사용재료 ····43
[그림 2.21] 2번 배합설계 사용재료 ····43
[그림 2.22] 글라스 버블 Type별 밀도 및 입도사이즈 ····43
[그림 2.23] 배합설계 사용재료 입도분포 ····44
[그림 2.24] 후기포 방식 배합과정 ····45
[그림 2.25] 1-1, 1-2번 배합설계 제조 시험편 공극형태 ····46
[그림 2.26] 2번 배합설계 제조 시험편 공극형태 ····47
[그림 2.27] 1-1, 1-2번 배합설계 제조 시험편 밀도 ····48

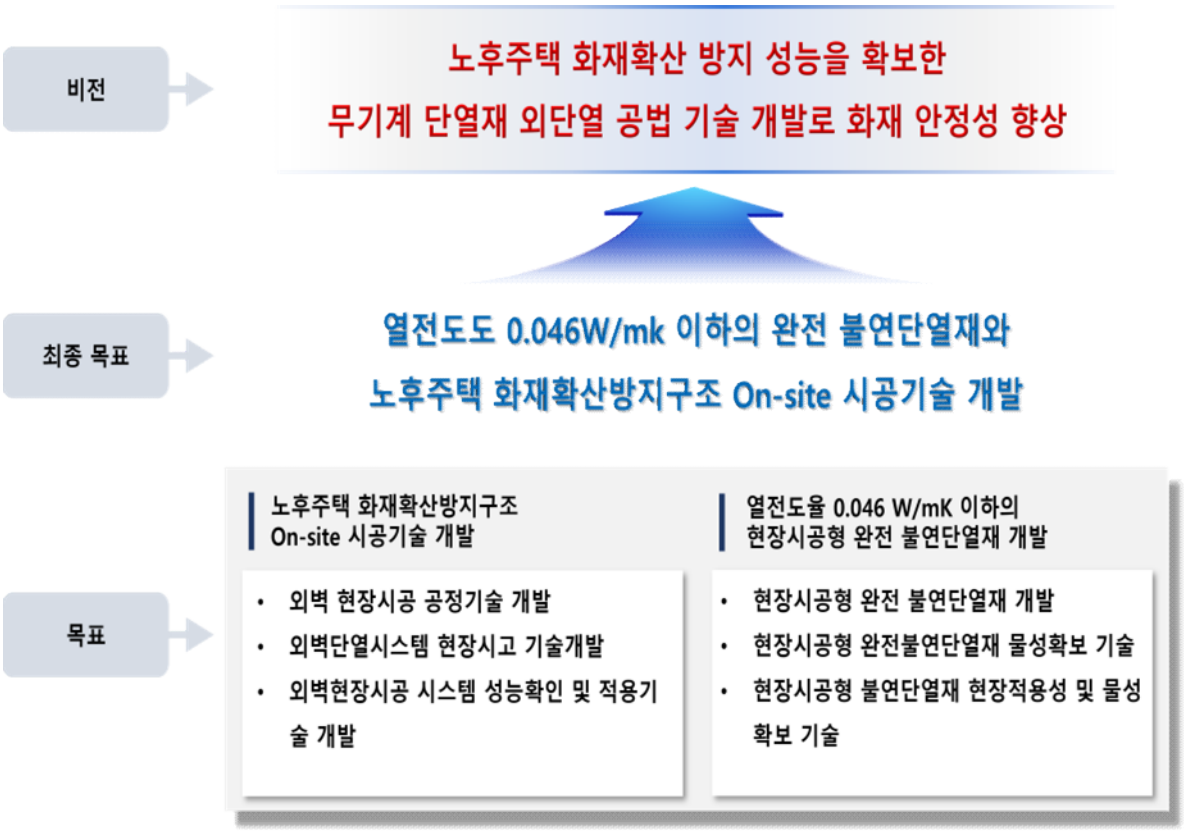
[그림 2.28] 1-1, 1-2번 배합설계 제조 시험편 단열성능 ····48
[그림 2.29] 2번 배합설계 제조 시험편 경량 및 단열성능 ····49
[그림 2.30] 2번 배합설계 제조 시험편 열방출율 및 총열방출열량 ····50
[그림 2.31] 콘칼로리미터 실험직후 시험편 상태 ····50
[그림 2.32] 불연성 시험 실험직후 시험편 상태 ····52
[그림 2.33] 이동형 현장 시공 장치로 제조한 불연단열재 시공 현장 ····53
[그림 2.34] 이동형 현장 시공 장치로 제조한 불연단열재 공극형태 ····53
[그림 2.35] 화재안전성 시험 직후 불연단열재 상태 ····53
[그림 2.36] 화재사고 건물사진 ····54
[그림 2.37] 드라이비트 시공예시 ····54
[그림 2.38] 국내 단열재 이탈사고 사례 ····55
[그림 2.39] 화재확산 방지 구조 개념 ····56
[그림 2.40] 개발대상 제품 개념 ····56
[그림 2.41] 충진형 시공 국외사례 ····57
[그림 2.42] 셀룰로오스 단열재 현장시공 ····57
[그림 2.43] 국외 발포 기계 현장시공 ····58
[그림 2.44] 이동형 시공장치 개념도 및 시제품(1차년도) ····58
[그림 2.45] 이동형 시공장치 기포생성 라인(1차년도) ····58
[그림 2.46] 이동형 시공장치 부품 구성(1차년도) ····59
[그림 2.47] 외벽체의 화염전파 예 ····60
[그림 2.48] 화재확산 방지 구조 개념 ····60
[그림 2.49] 이동형 현장 시공 장치 부품 개선 및 추가 (2차년도) ····61
[그림 2.50] 이동형 현장 시공 장치 비동력식 회전체 (2차년도 특허등록 내용) ····62
[그림 2.51] 단열재 변형 ····62
[그림 2.52] 충진 시공 단열재 벽면 예 ····62
[그림 2.53] 화재안전성 시험 실물 외벽 구조 ····66
[그림 2.54] 화재안전성 시험 실물 외벽 구조 프레임 및 알루미늄 판 설치 ····67
[그림 2.55] 불연단열재 배합과정 ····67
[그림 2.56] 이동형 현장 시공 장치 준비 ····67
[그림 2.57] 재료 균질 혼합 확인 ····68
[그림 2.58] 시멘트폼 충진-1 ····68
[그림 2.59] 시멘트폼 충진-2 ····68
[그림 2.60] 불연단열재 실물 외벽 구조 시공완료 ····69
[그림 2.61] 실물 외벽 구조 열전대 설치 위치 ····69
[그림 2.62] 실물 외벽 구조 화재안전성 실험 사진 ····77
[그림 2.63] 화재안전성 직후 불연단열재 상태 ····77
[그림 2.64] 화재안전성 실험결과 ····79
[그림 2.65] 이동형 현장 시공 장치 ····80
[그림 2.66] 이동현 현장 시공 장치 기포생성 라인 개선 사항 ····80
[그림 2.67] 이동형 현장 시공 장치 에어펌프 개선 사항 ····80
[그림 2.68] 이동형 현장 시공 장치 에어펌프 및 조작장치 ····81
[그림 2.69] 이동형 현장 발포기 장비 도면 ····81
[그림 2.70] 이동형 현장 발포 컨트롤 장비 도면 ····82
[그림 2.71] 이동형 현장 시공 장치 혼합 원리 ····82
[그림 3.1] 배합설계 사용재료 입도분포 ····99
[그림 3.2] 글라스 버블 밀도 및 입도사이즈 차이 ····99
[그림 3.3] 후발포 방식 배합과정 ····100
[그림 3.4] 불연성 시험 실험 직후 시험편 상태 ····101

[그림 3.5] 3차년도 이동형 현장 시공장치 시제품 변경점 ····102
[그림 3.6] 이동형 현장 시공 장치 실물 외벽 구조 적용 ····102
[그림 3.7] 화재안전성 시험 실험결과 직후 실물 외벽구조 상태 ····103
[그림 3.8] 충진방식 외단열 공법 시공 메뉴얼 ····103
[그림 3.9] 기존 외단열 공법과 충진방식 외단열 공법 비교 ····105
[그림 3.10] 이동형 현장 시공 장치로 제조한 불연단열재 물성 확인 ····106
[그림 3.11] 이동형 현장 시공 장치 시공 현장 및 화재안정성 실험결과 ····106
[그림 3.12] 저층 노후주택 ····107

1. 연구개발과제의 개요

1.1 연구개발과제의 최종 목표

<table>
<tr><th>구분</th><th>내용 및 설정근거</th></tr>
<tr><td>최종
목표</td><td>열전도도 0.046 W/mk 이하의 완전 불연단열재와 노후주택 화재확산방지구조 On-site 시공기술 개발</td></tr>
<tr><td>세부
목표</td><td>1) 노후주택 화재확산방지구조 On-site 시공기술 개발
<table><tr><th>항목</th><th>목표</th></tr><tr><td>외벽 화재확산 방지구조 화재안전성</td><td>30분간 실험 후 실물 외벽 구조 이상 없을 것</td></tr><tr><td>현장 시공 및 배합</td><td>현장 미세기포 제조 및 배합기 제작 및 충진방식 외단열 시공법 개발</td></tr></table>(2) 열전도율 0.046 W/mK 이하의 현장시공 완전 불연단열재 개발
<table><tr><th>항목</th><th>목표</th></tr><tr><td>불연성능</td><td>불연재료</td></tr><tr><td>열전도율</td><td>0.046 W/mk 이하</td></tr><tr><td>밀도</td><td>0.2 g/cm^3 이하</td></tr></table></td></tr>
</table>



	평가 항목 (주요성능 Spec[1])	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 (%)	세계최고 수준 보유국/ 보유기업 (/)	연구개발 전 국내수준	개발 목표치			평가 방법[3]
				성능수준	성능수준	1차년도 (2019년)	2차년도 (2020년)	3차년도 (2021년)	
성능 목표	열전도율	W/mK	20	(미국/ Airkrate) 0.045	0.08 0.046	0.051	0.046	0.046	공인 성적서
	밀도	g/cm^3	20	(미국/ Airkrate) 0.2	0.3 0.3	0.30	0.25	0.20	공인 성적서
	불연성능	평형온도	20	불연	불연	-	20K 이하	20K 이하	공인 성적서
		질량감소				-	30% 이하	30% 이하	
		가스 유해성				-	9분 이상	9분 이상	
	화재 안전성	30분	30	30분	30분	-	-	30분	성능확인 보고서
	시공 메뉴얼	건	10	-	-	-	-	1건	메뉴얼

1.2 최종성과물의 기술성숙도 설정근거

구분		연구착수	연구종료	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

최종성과물	기술성숙도(TRL)		설정근거
	연구시작시	연구종료시	
열전도도 0.046W/mk 이하의 완전 불연단열재 및 화재확산방지 구조 현장시공 기술	TRL 5	TRL 7	(연구시작시) ○ 본 기술개발은 2개의 연구기관이 보유하고 있는 기술을 기반으로 상호 연계 및 보완을 통해 개발이 가능한 융합기술로서 개발기간은 33개월, 약 3년의 기간의 소요가 예상되며, **현재까지 진행된 불연단열재 및 현장시공기술 결과를 근거로 유사 환경 시험 단계인 TRL 5단계로 설정함.** 2개 기관의 연구개발 참여인력이 완전 불연단열재 및 이를 활용하기 위한 기포기 및 부품 개발을 진행하는 단계이며 실제 환경에서의 시작품을 제작할 수 있는 소요되는 기간을 고려하여 설정함. (연구종료시) ○ 노후 건축물의 화재확산방지구조의 시공은 가연성 외단열 공법의 증가에 따른 화재피해의 지속적인 발생에 따라 기술개발 요구가 증가하고 있음. 한편, **화재성능기준, 법 규정 등 제도적 기반이 이루어지지 않아 목표 성능값 설정에 어려움이 있지만 BS 규격의 KS 도입에 따라** “건축물 외장 구성재에 대한 연소성능 시험 방법” 이 정해짐.따라서 예상되는 목표인 화재성능 **30분 동안 외벽 구성재의 화염 전파 및 변형이 발생되지 않는 조건의 성능목표 및 달성수준을 고려하면 실제환경 데모 단계인 TRL 7단계가 적절함.**

1.3 평가의 착안점 및 기준

○ **노후주택 화재확산방지구조 On-site 시공기술 개발**

기존 국내의 건식 및 습식 외벽 단열공법은 에너지절감에만 초점이 맞추어져 기술개발 내용도 외벽 단열시스템의 조인트 처리방식 및 고정 철물을 이용한 고정방법 디테일 정립이나 단열시스템의 금속 마감재 부착방법, 부착성능 향상 습식용 부착 모르타르 개발 등에 한정됨. 또한 **공장생산된 단열재료를 현장에서 가공하여 사용하는 형태임. 따라서 현장에서 응용성이 높은 현장시공 및 현장배합이 가능한 단열시공 기술의 개발이 필요하며 본 기술의 평가에 대한 주안점도 아래의 기준을 만족하는 시공기술이 되어야 함.**

<표 1.1> 평가의 착안점 및 기준 (유로글라스)

항목	목 표
외벽 화재확산 방지구조 화재안전성	- 내외부 열전대 측정 온도가 15분 이내에 30초 이상 600℃를 초과하지 않을 것 - 30분간 실험 후 실물 외벽 구조 이상 없을 것 (붕괴 및 손상 없음)
현장시공 및 배합	현장 미세기포 제조 및 배합기 제작, 충진방식 외단열 시공법 개발

○ **열전도율 0.046 W/mK 이하의 현장시공형 완전 불연단열재 개발**

기존 건축용 단열재는 유기계 및 무기계로 양분되어 왔기 때문에 단열성능, 유해성, 경제성 등에 있어 명확한 장단점을 지녀 신규시장 생성 및 시장 확대에 어려움이 있었음. 본 연구에서의 **완전 불연단열재는 무기계 소재가 가지는 화재안전성을 확보할 수 있어 기존의 단열재에서 해결하지 못하는 문제를 해결할 수 있는 단열재로서의 역할이 큼.**

<표 1.2> 평가의 착안점 및 기준 (한국세라믹기술원)

항목	목 표
불연성능	불연재료
열전도율	0.046W/mk 이하
밀도	0.2g/cm^3 이하

■ 불연단열재 원천기술 연구계획

○ 불연단열재 원천기술은 **한국세라믹기술원이 보유하고 있는 것이 다수이며 "불연성 경량 발포소재" 에 관한 연구를 진행하고 있음. 본 연구의 불연단열재 원천기술은 현장배합이 가능한 무기 발포소재 관련 연구이며 칼슘하이드레이트 및 산화마그네슘을 이용한 발포소재 기술임.**

○ 불연단열재로서 수열합성 방법은 토버모라이트 및 조노토라이트계 단열소재가 있음. 토버모라이트 단열소재는 원재를 미분쇄하여 기포제(알루미늄 분말, 동물성 · 식물성 기포제를 혼입하여 기포를 형성하며 수열합성하여 제조함.

○ **완전 불연단열재를 제조하기 위해서는 기공이 균일하게 하기위해 1차적으로 각각의 원료가 골고루 혼합되어야 함.** 일반적으로 분체의 혼합은 어렵지 않으나 점성이 있는 발포제와 분체의 혼합은 혼합방식, 혼합시간, 재료 투입방법 등에 의해 양상이 달라지므로 현장에서 시공하기 위해서는 혼합물과 발포제 등이 적절하게 배합되어야 함. 예상되는 제조공정은 아래와 같음

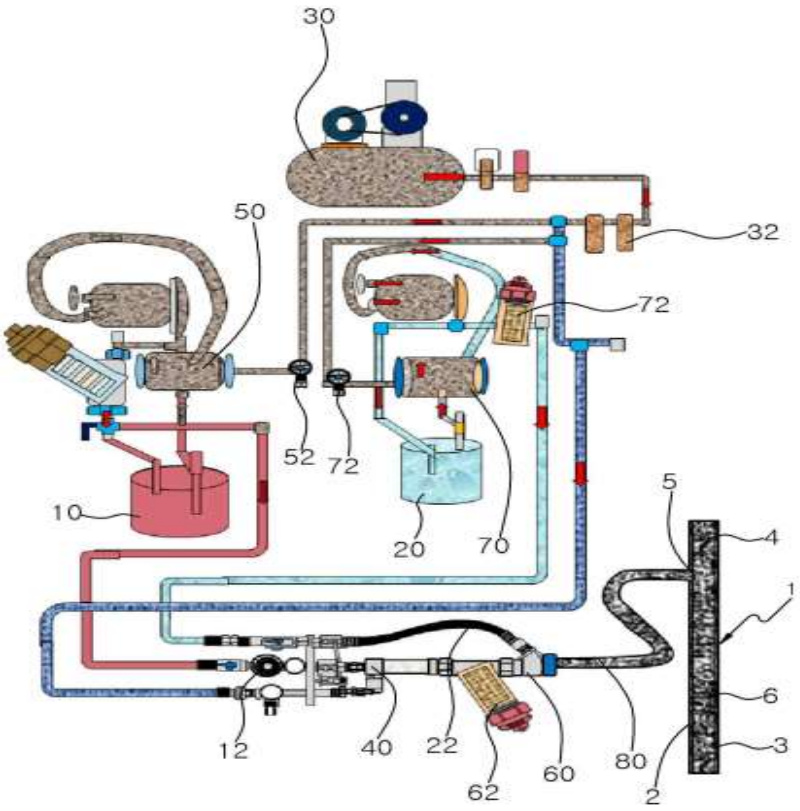
가) 불연단열재 원료 최적화 (시멘트, 산화마그네슘, 석회석, 단열재료 적용기술)
- 제조원료 (시멘트, 산화마그네슘, 석회석, 단열재료)의 활성방법 개발
- 최적의 물리적 활성기법 개발
- 기포제 (발포 분말, 동물성 · 식물성 기포제 등)
- 불연단열재 발포기술 및 최적 배합 도출 · 개발

나) 불연단열재 원료 분체특성 및 원천기술 획득
- 원료제조 분쇄시스템 구축
- 불연단열재 원료 분석 · 평가 및 피드백을 통한 배합 최적화

○ 또한, 생성된 기공이나 기포를 공극으로 유지하고 컨트롤 할 수 있는 기술이 필요이 필요하며 이를 컨트롤하기 위해서는 **혼합물의 조성과 Cell벽 형성과정에서 기공이 과도하게 발포되지 않도록 하는 정확한 온도 조건의 확보 및 연속공정으로 이루어져야 함.**




[그림 1.1] 불연단열재 원료 최적화 및 분쇄설비



[그림 1.2] On-site 시공형 믹서기 및 기포제조기
(특허등록 내용)

가) 불연단열재 On-site 시공기술 개발

- 기포기 및 배합을 통한 현장시공기술 개발
- 제조된 불연단열재의 내구특성 분석 및 최적화
- 개발 불연단열재의 이동형 현장 시공 장치를 통한 최적 제품개발 완료

나) 개발 제품의 경제성 분석 및 가격 경쟁력 확보

- 개발된 시공기술의 가격 경쟁력 분석
- 기존 제품 보다 우수한 물성발현 조건에서 동등 이하의 가격 경쟁력 확보 등

1.4 연구개발과제의 년차별 목표

1.4.1 년차별 목표

1) 1차년도

① 개발 목표

- 주관연구기관(한국세라믹기술원):현장시공형 완전 불연단열재 배합 및 성능발현
- 공동연구기관((주)유로글라스):불연단열재 활용 외벽 현장시공기술 공정 검토

② 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관(한국세라믹기술원)
  단열재료 선정 및 적정성 평가
  단열재료 배합설계 및 결합재 구성 방법
  현장시공형 단열소재 단열 및 경량성능 확보기술
- 공동연구기관((주)유로글라스)
  불연단열재 활용 외단열 시공기술 검토
  현장시공형 기포제조기 및 부품 검토
  현장시공형 기포제조기 시공조건 및 현장적용성 검토

2) 2차년도

① 개발 목표

- 주관연구기관(한국세라믹기술원):현장시공형 완전 불연단열재 물성확보 기술
- 공동연구기관((주)유로글라스): 외벽 현장시공기술 도출 및 외벽 단열시스템 적용

② 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관(한국세라믹기술원)
  현장시공형 완전 불연단열재 최적 배합설계
  단열소재 물성확보 기술(열전도율, 경량성 등)
  단열소재 불연성능 확보기술
- 공동연구기관((주)유로글라스)
  외벽 현장시공기술 시스템 도출
  외벽 현장시공 시스템 현장 적용성 확보방안

3) 3차년도

① 개발 목표

- 주관연구기관(한국세라믹기술원):현장시공형 불연단열재 현장적용성 및 물성확보 기술
- 공동연구기관((주)유로글라스):외벽 현장시공 시스템 성능확인 및 적용기술

② 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관(한국세라믹기술원)
  현장시공형 불연단열재 적용 기술 개발
  현장배합 단열성능 및 물성확보 기술
  외벽 단열 시스템 현장 적용 기술
- 공동연구기관((주)유로글라스)
  외벽 현장시공 기술개발
  외벽 현장시공 시스템의 적용성 및 시공 매뉴얼 개발

1.5 년차별 추진일정

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내・외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2019)	현장시공형 완전 불연 단열재 개발	단열재료 배합설계	국외 현장 시공형 불연단열재 적용사례가 보고되고 있으나 원재료 단위 및 제조기술은 기초단계 수준임.	배합설계보고서 1건, 공인성적서2건 (열전도율 0.051W/mK, 밀도 0.3g/cm^3)	현장 시공형 단열재료 배합설계 원천기술 확보를 위해 결합재 분석 및 구성이 필요함.	15
		단열성능 확보기술				
		경량성능 확보기술				
	외벽 현장시공기술 공정 기술	불연단열재 활용시공기술	국외 현장 시공형기포제조기를 현장에 적용시키고 있으나 국내에는 현장 시공형 기포제조기는 없음.	시공기술 보고서 1건, 현장적용성 검토 보고서1건	불연단열재를 현장 시공형 기포제조기에 적용하기 위한 시공조건 및 적용성 검토가 필요	15
		기포제조기 시공조건 및 적용성 검토				
2년차 (2020)	현장시공형 완전 불연단열재 물성확보기술	불연단열재 최적 배합설계	국내의 경우 현장시공형 불연단열재의 제조기술은 기초단계 수준임.	배합설계 보고서 1건, 공인성적서 3건 (열전도율 0.046W/mK, 밀도 0.25g/cm^3, 불연성능)	초기현장 시공형 단열재료 배합설계의 문제점 개선과 성능확인 및 기술확보함.	20
		단열소재 물성확보기술				
		불연성확보기술				
	외벽단열시스템 현장시공 기술 개발	외벽단열시스템 현장시공기술	국내의 경우 현장 시공형 기포제조기 현장시공기술은 기초 단계 수준임.	시스템 검토 보고서 1건, 장비구성 검토 보고서 1건	현장 시공형 기포제조기 문제점 보완과 현장시공기술 확보가 필요함.	20
		외벽 현장시공 시스템 성능 확보				
3년차 (2021)	현장시공형 불연단열재 현장적용성 및 물성확보 기술	현장시공형 불연단열재 적용기술 개발	현장시공형 기포제조기를 적용한 불연단열재 및 배합은 전무함.	적용성 검토 보고서 1건, 공인성적서 2건 (열전도율 0.046W/mK, 밀도 0.20g/cm^3)	현장시공형 불연단열재 물성확보 및 적용성 향상 기술이 필요함.	15
	외벽현장시공 시스템 성능확인 및 적용기술	외벽 단열시스템 성능확보	국내 현장 시공형 기포제조기를 사용한 외벽현장시공 사례는 전무함.	성적서 1건, Mock-up 결과보고서 1건, 시공메뉴얼 1건	외벽현장시공 적용성 향상을 위한 시스템 개발과 시공메뉴얼 개발이 필요함.	15
		현장시공 시스템 개발				

1차년도												
일련번호	연구내용	추진 일정									연구개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	불연단열재 재료선정 및 적정성 평가										10,000	송훈 (한국세라믹기술원)
2	선정재료 배합설계										15,000	송훈 (한국세라믹기술원)
3	선정재료 및 결합재 구성 방법 검토										20,000	조남진 (유로글라스)
4	단열 및 경량성능 확보기술										25,000	송훈 (한국세라믹기술원)
5	단열소재 현장시공 적용성 검토										10,400	송훈 (한국세라믹기술원)
6	외단열 시공기술 검토										20,000	조남진 (유로글라스)
7	현장시공형 기포제조기 검토										28,300	조남진 (유로글라스)
8	현장시공형 공정 및 장비 검토										30,000	조남진 (유로글라스)
9	현장적용성 검토										20,000	조남진 (유로글라스)

2차년도														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	불연단열재 최적 배합설계 기술													15,000	송훈 (한국세라믹기술원)
2	불연단열재 물성검토													15,000	송훈 (한국세라믹기술원)
3	단열소재 단열성확보 기술													20,000	송훈 (한국세라믹기술원)
4	단열소재 경량성능 확보 및 발현기술													20,000	송훈 (한국세라믹기술원)
5	불연성능 확보 방안													20,000	송훈 (한국세라믹기술원)
6	현장시공 시스템 도출													30,000	조남진 (유로글라스)

7	현장시공 기포발생장비 시스템 도출													10,000	조남진 (유로 글라스)
8	현장시공 시스템 확보													10,000	조남진 (유로 글라스)
9	외벽 마감모르타르 물성확보 기술													43,400	조남진 (유로 글라스)
3차년도															
1	불연단열재 현장시공 적용기술 개발													30,000	송훈 (한국 세라믹 기술원)
2	현장배합 단열성 확보기술													48,000	송훈 (한국 세라믹 기술원)
3	현장배합 물성확보 기술													45,400	송훈 (한국 세라믹 기술원)
4	외벽단열 시스템 현장적용 기술													43,200	송훈 (한국 세라믹기 술원)
5	불연단열재 현장 적용성 검토 및 평가													35,000	송훈 (한국 세라믹 기술원)
6	외벽 현장시공 기술개발													55,000	조남진 (유로 글라스)
7	Mock-up 성능확보													78,000	조남진 (유로 글라스)
8	외벽 현장시공 시스템 적용성 확보													66,000	조남진 (유로 글라스)
9	외부환경 적용 시공 매뉴얼 개발													47,000	조남진 (유로 글라스)

1.6 연구개발 개요

1.6.1 연구 개발의 개요

○ **국내 노후주택 건축물의 단열성능 보강으로 외단열이 적용되는 사례가 증가하고 있으나 공사비 절감을 이유로 가격이 저렴한 가연성 EPS패널을 사용함. 하지만 화재발생시 건물의 외벽이 화재의 수직확산 통로가 되어 화재가 확산되어 다수의 인명 및 재산피해가 발생하고 있음.**

○ **주거용 건축물의 외단열 마감은 대부분 중소규모이며, 정부에서 고시한 화재확산방지구조의 대상외로 건축물의 단열성능 확보와 유지관리 및 화재확산 방지를 위해 완전 불연단열재의 개발 및 이를 현장에서 시공할 수 있는 기술이 절실함.**

○ 전체 주거용 건축물은 459만동 중 단독주택이 358만동, 다가구 · 다세대 · 연립주택 84만동, 아파트 13만동으로, 주거용 건축물 중 30년 이상 경과된 노후 주거용 건축물은 약 200만동으로 45%를 차지하며, 20년 이상을 포함하면 약 300만동으로 65%임.

○ 국내 노후주택은 제때 유지관리와 리모델링이 이루어지지 않아 30년이 채가기도 전에 재건축이 일반화됨으로써 선진국에 비하여 수명이 아주 짧고, 환경부담 및 사회적 비용이 큼. 노후주택의 경우, 약 40%는 벽체 등의 외피를 통한 에너지 손실이 발생하며 유기계 및 무기계 단열재를 활용한 단열시공을 이루어짐.

○ 건축물의 단열시스템은 EPS, PU 등의 유기소재나 글라스울, 미네랄울 등의 무기계 섬유류 소재가 주로 단열재로 사용되고 있음. 최근에는 **의정부 도심형 생활주택이나 제천 스포츠센터 화재와 같이 대형 인명피해가 발생하고 유기계 소재의 화재안전성이 문제가 되어 준불연재료인 페놀폼이나 불연재료인 글라스울 등의 무기계 섬유소재가 유기계 소재를 대체하고 있음.**



[그림 1.3] 기존 단열소재 및 문제점



노후주택 화재(대구, 2018)



재래시장 화재(대구, 2016)

[그림 1.4] 노후주택의 화재

구분	합계		서울		부산		대구		인천		광주		대전		울산		세종	
발화장소	사망	부상	사망	부상	사망	부상	사망	부상	사망	부상	사망	부상	사망	부상	사망	부상	사망	부상
합계	285	2,230	37	361	9	121	11	94	14	99	10	51	9	62	4	67	0	8
주거(소계)	159	868	23	160	7	56	7	50	8	34	5	14	3	25	2	16	0	7
단독주택	97	385	12	63	4	16	3	28	4	8	2	3	2	13	2	5	0	1
공동주택	54	458	11	89	3	40	4	22	4	23	3	11	1	12	0	11	0	6
기타 주택	8	25	0	8	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
교육시설(소계)	2	29	1	5	0	0	0	5	0	1	0	1	1	8	0	0	0	0
학교	0	14	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
연구, 학원	2	15	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	8	0	0	0	0
판매, 업무시설 (소계)	14	235	4	86	0	16	0	5	0	16	3	31	1	5	0	11	0	0

[그림 1.5] 주거시설에서의 발화 및 인명피해 (화재통계연감_2019)

○ 주거용 건축물의 화재발생은 11,541건으로 총 화재발생의 약 27%를 차지하였고(단독주택 54%, 공동주택 43%) 사망피해의 63%가 발생함. 특히, 소규모 상점 밀집지역, 주택밀집 지역 등은 소방설비 미흡, 가연물의 인접, 노후된 전기설비, 다양한 가열, 전열 기구의 사용 등에 의한 화재 위험도가 높은 것으로 평가됨. 또한, 단열성능 확보를 위한 외벽 리모델링에 많이 적용되고 있는 드라이비트 공법에 사용되는 EPS 단열재(발포폴리스티렌)가 화재시 화재의 확산 및 유독가스 방출 등으로 화재 피해를 확대시킬 수 있는 위험성이 높음.

○ 국내 적용된 외단열 마감 건축물은 대부분 중소규모이며, 공사비 절감을 이유로 가격이 저렴한 가연성 EPS패널을 사용하여 화재발생시 건물의 외벽이 화재의 수직확산 통로가 되어 피해가 증가하는 사례가 반복적으로 발생함. 연속된 유기성 단열외피 구조는 화재확산의 통로로 작용하므로, 화재확산 방지를 위해 최근에는 준불연단열재 및 불연단열재의 사용을 권고하고 있는 실정임.

○ 국내 단열재 시장은 **유기계 단열재가 75%, 무기계가 25%를 차지하고 있으며, 유기계 단열재는 강도가 낮아 비구조용으로만 사용되며 단열공사를 위해서는 추가적인 공정 발생함. 외장 마감재로의 유기단열재 사용은 화재발생 위험성 측면에서 문제점으로 대두되지만 가격이 저렴하여 대부분을 차지하고 있음. 무기계 섬유류 단열소재는 불연단열재로 구분되지만 특성상 수분에 취약하여 뭉침이나 처짐 현상 등이 발생하여 단열효과가 떨어지고 건물 적용에 한계가 있음.**

<표 1.3> 기존 단열재의 성능비교

구 분	유기계		무기계		단열패널		
	스티로폼 (EPS)	폴리우레탄 (PUR)	글라스울 (Glass wool)	미네랄울 (Rock wool)	기포몰탈	EPS 몰탈	ALC
열전도율 (W/mk)	≒ 0.035	0.023~0.035	0.035~0.071	0.035~0.081	0.15~0.23	0.154~0.697	0.09~0.135
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
유 해 성	연소시 CO 가스 발생	연소시 CO 가스 발생	접착제 연소로 약간 유해	유해	거의 없음	거의 없음	거의 없음

○ 무기계 단열소재는 제품 특성상 단독으로는 패널 형태로 가공하기 힘들 뿐만 아니라 내수성이 약하고, 여전히 단열성능이 유기 단열소재에 크게 못 미치고, 또한 무게가 무겁기 때문에 시공성이 나빠 문제점으로 지적되고 있음. 최근 밀도가 낮은 인공 경량소재(0.4~0.5 g/cm^2)를 사용한 단열패널 제조에 대한 연구가 진행되었지만 단열패널의 열전도율이 0.15 W/mk 정도로 일반 유기계 단열소재 보다 여전히 성능이 많이 떨어짐.

○ 국내에서는 2010년부터 “건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙”에서 건축물의 마감재료 중 외벽에 사용하는 마감재료는 불연재료 또는 준불연재료를 사용하도록 하고 있으나, 외단열이 많이 사용되는 주택 및 중급 규모 건축물 등은 해당되지 않음.

○ 외벽 마감재 화재를 방지하기 위하여 **중국의 경우 외벽 단열재에는 연소성능이 A급인 소재만 사용하도록 규정**함. **독일의 경우도 외벽체 사용 단열재의 경우 높이에 따라 난연, 불연단열재를 사용하도록 규정**함.

○ 국내는 물론 국외의 건축시장은 에너지 절감을 위한 그린홈 및 그린빌딩 시장의 확장이 빠르게 이루어지고 있음. 국토교통부에서는 2017년 패시브하우스, 2025년 제로에너지 주택 건설 의무화를 목표로 녹색건축물 조성지원법, 에너지절약 설계기준 등을 통해, 건축물의 에너지저감 대책을 강화하고 있어 외단열 시장의 확대가 예상됨. 특히 건축물의 지속가능(sustainable)을 위하여 기존 건축물의 리모델링 시장이 향후 커질 것으로 예상함.

○ 그린홈 및 그린빌딩 시장은 물론 리모델링 시장의 증가에 따라 경제적이고, 시공성능이 우수하며 단열성능의 확보가 용이한 외벽 단열공사를 적용하는 건축물이 빠르게 증가할 것으로 예상됨. 따라서 단열성능 및 화재 저항성을 갖는 우수한 외벽 단열공법 개발 및 사업화가 이루어지면 국가적으로 건축물 에너지 절감은 물론 건축물의 화재 안전성 제고에 이바지 할 것으로 기대됨.

■ 노후주택 에너지저감을 위한 외벽 단열공법(습식 외단열, 건식 외단열)

○ 노후주택의 에너지저감을 위한 외벽 단열공법으로 드라이비트로 불리는 단열공법의 적용이 대표적임. **외벽 단열공법은 외벽체의 외부에 단열재를 부착하는 공법으로 단열재의 설치 위치에 따른 일반적인 호칭으로, 석재마감재나 금속패널, 또는 압출성형패널을 마감재로 적용시 마감재와 벽체사이에 단열재를 설치하는 경우 모두 외벽 단열 공법의 범주에 포함**됨.

○ 습식 외단열 마감공법은 경제적이고 공사기간이 짧고 시공이 용이하여 많이 사용되었으나, 마감재가 얇고, 내부가 강도가 약한 단열재로 구성되어 충격에 취약하고, 단열재 부위가 탈락하거나, 바람에 의해 벽체 전체가 탈락되는 문제가 다수 발생하여 이를 개선한 다양한 기술이 개발되었음.

○ 건식 외단열 마감공법은 구조용 각관 바탕 프레임과 알루미늄 구조체를 이용하여 시스템을 구성함. 일반단열재 양면에 무기 경량보드를 부착하거나 세라믹 코팅재(H.B Coat)로 특수코팅 처리한 건축용 외장패널 마감재을 이용하거나 L형 행거철물을 이용하여 구조체에 정착하는 공법들이 개발되었음.

○ **습식 외단열 공법은 물론 건식외벽 단열시스템은 부착성능, 단열성능, 외관 등의 향상을 위한 기술로 유기계 단열재를 주로 사용하므로 화재에 취약한 문제가 있음.** 독일 및 중국 등 외단열공법의 화재기준이 있는 국가에서는 무기계 섬유단열재인 미네랄울을 습식 외단열공법에 적용함. 국내에서는 습식 외단열 적용을 위한 미네랄울 등의 개량품이 생산되지 않아 적용되지 않음. 미네랄울을 적용한 화재확산방지구조 적용시 밀도의 개선 및 발수처리 등을 통해 시공성능을 향상하여야 함.

<표 1.4> 일반적인 습식 외단열 마감공법 순서

시공 과정		시공 내용
스타터 트랙		• 습식 고정에 있어서도 보드를 고정하기 위해서는 알루미늄 스타터트랙을 설치함. • 트랙은 지면의 습기 등을 고려해 주초부분 15㎝위부터 시작함. • 트랙부터 지면 아래 30㎝까지 메시로 벽면을 보강함.
EPS접착제 부착		• 단열보드를 보드 스탠드 위에 설치함. • 이가 있는 흙손이 매끄러운 쪽을 사용하여 완전히 준비된 보드위에 접착제를 바름.
EPS 부착		• 접착제가 잘 발라진 EPS를 아래쪽부터 단단히 붙여 겹쳐지면서 쌓아져야 한다.
패스너 고정		• 10㎜ 두께의 폴리스티렌, 뚜껑이 있는 패스너로 고정함.
틈처리		• 보드 사이의 이음부에 탄탄한 부착을 위해서 필요한 부분의 틈을 처리함.

■ 노후주택 화재발생 및 피해확대로 완전 불연단열재 및 시공법 필요

○ 에너지 절감을 위해 외벽에 사용하는 유기성 단열재의 화재발생시 화재의 수직확산이 급속도로 이루어져 피해가 증가하는 사례가 반복적으로 발생함. **연속된 유기성 단열외피 구조는 화재 확산의 통로로 작용하므로, 화재안전성이 강한 단열재료와 확산방지를 위한 외벽 마감구조 적용이 요구됨. 외벽 단열구조에는 화재확산을 방지하기 위하여 불연성 단열재료의 사용 또는 화재확산 방지를 위한 불연성 단열재 사용 확산방지 구획을 의무화함.**



[그림 1.6] 노후 공동주택의 화재(영국, 2017)

■ 난연재료의 한계

○ 현재는 가연성 EPS를 사용하거나 일정용도와 규모이상의 건축물의 경우 내부마감재료의 적용을 받아 난연재료 이상을 사용하도록 함. **그러나 내부마감재료 기준에 따른 난연재료는 연소시간을 다소 지연시키는 역할을 할 뿐 구조의 변형, 붕괴 등 건축물의 기본적인 구조안전성과는 관련이 없으며 화재시 건축물의 화재안전성을 기대하기는 어려움.**

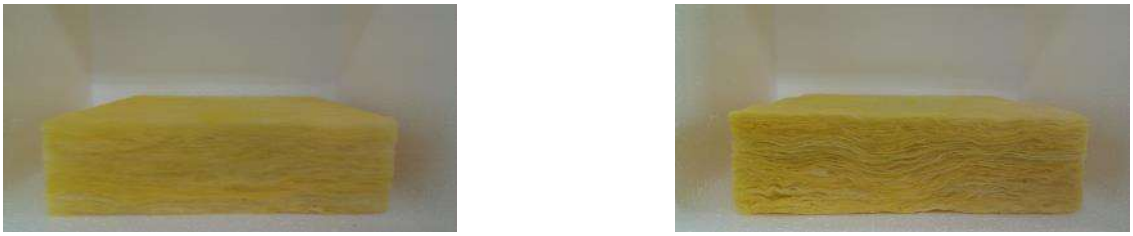


(a) 난연성능 시험 후(난연성능 합격) (b) 난연성능 시험 전

[그림 1.7] 난연성 EPS 재료의 성능시험 예

■ 기존 섬유류 무기계 불연단열재의 한계

○ 기존 섬유계 불연단열재의 경우 열적 취약부위가 발생할 가능성이 매우 크고, 외장재로써 외기에 바로 면하고 있어 눈이나 비, 기온 등에 직접적인 영향을 받게 되어 시공결함이나 단열문제 등 의해 내부에 결로가 발생하여 단열재의 단열성능을 장기적으로 저하시킬 수 있는 문제가 발생함.



(글라스울 단열재)



(미네랄울 단열재)

[그림 1.8] 무기계 섬유류 단열재의 수분에 의한 형태 변화

○ **결로 발생을 방지하기 위하여 무기계 섬유류 단열재의 실내측에 방습지를 부착하는데 이 방습지가 시공 중 빈번히 파손되고, 파손부위를 테이프 등으로 보수할지라도 접착력이 우수하지 않아 테이프가 다시 떨어지는 경우가 많이 발생하게 됨.**

○ 또한 파손부위가 보이는 경우 보수가 가능할지라도 프레임에 고정하는 과정에서 모서리부 또는 프레임과 접하는 부위에 파손되는 경우는 육안으로 확인이 되지 않아 보수를 하지 못하고, **장시간에 걸친 결로현상으로 단열재에 곰팡이가 발생하고, 결로에 의한 수축이 발생하여 단열성능이 저하되는 문제가 발생하게 됨.**

1.6.2 연구 개발 대상의 국내·외 현황

○ **건축물의 외장재인 커튼월의 경우 최근인 2012년 "건축물 마감재료의 난연성능 및 화재 확산 방지구조 기준"이 고시되어 커튼월용 단열재를 화재에 강한 재료로 쓰도록 화재확산방지구조를 규정한 바 있음. 또한 2022년 개정을 통해 일반 외벽에 대해서도 화재확산방지구조를 적용하는 등** 외장재의 화재확산의 중요성을 인식하고 불연성 마감재를 사용하도록 유도하고 있음.

○ 국내의 기술 수준은 다양한 재료를 통해 **신개념의 무기계 단열재료에 대해 연구하고는 있지만 기술 자체는 아직 태동기에 머물고 있음. 국내 일부업체에서 무기계 단열소재를 생산하고 있으나 보드형태의 제품이며 현장에서 무기계 단열소재를 직접 생산하고 시공한 사례는 전무한 상황임.** 일부 미국, 독일 등에서 시공사례가 보고되고 있어 상용화되고 있지만 보편화되지 않음.

○ 최근 에너지 절약, 주거환경 성능에 대한 거주자의 요구가 급증하면서 **단열, 기밀, 층간소음 등이 주택의 개보수, 리모델링 시 주요 이슈로 부각되고 있어 단열재 등의 성능과 단열성능에 대한 법적 요구수준이 높아지고 있음.** 또한 CO_2 저감 및 지구환경 보호를 위해 정부에서는 2017년 패시브하우스, 2025년 제로에너지 주택 건설 의무화를 목표로 녹색건축물 조성지원법, 에너지절약 설계기준 등을 통해, 건축물의 에너지저감 대책을 강화하고 있음. 건축물의 단열성능도 지속적으로 강화 예정이며, 단열성능 향상을 위해서 외단열 공법 적용이 증가추세에 있음. 외단열에는 경제적이고 단열성능이 우수한 EPS 등의 유기계 단열재를 일반적으로 사용함. 특히, 노후주택의 단열성능 확보를 위해서는 저비용이며 효과가 높은 EPS를 사용한 **드라이비트 외단열 공법이 선호되었으나 최근 화재사고의 위험성에 의해 개선책이 마련되어야 하는 상황임.**

○ 단열재 종류로는 무기단열재, 유기단열재, 에어로겔, 진공단열재가 사용되고 있으며, 단열성능이 높을수록 가격이 높으며 시공 중 파손 위험이 증가함. **글라스울이나 미네랄울은 내화성능이 뛰어난 불연단열재이나 가격이 고가이며, 습기에 약하고 단열성 및 시공성이 떨어짐. 유기단열재 중 페놀폼이 높은 단열성과 화재시의 준불연성능을 보유하여 시장에서 요구가 높아지고 있으나 가격이 고가인 것이 단점임.** 또한, 난연성능이 준불연 등급이므로 화재확산 방지를 위한 근본적인 대안이 될 수 없음.

■ **국내의 외벽 단열재료의 화재 안전성 관련 동향**

○ 국내에서는 **2010년부터 "건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙"에서 건축물의 마감재료 중 외벽에 사용하는 마감재료는 불연재료 또는 준불연재료를 사용**하도록 하고 있으나, **다음에 해당되는 건물에 한하여 적용**하도록 규정함.

<표 1.5> 국내 외벽 마감재료의 불연, 준불연재료 적용 대상 건축물(건축법 시행령 제32411호, 2022년)

1. 상업지역(근린상업지역은 제외한다)의 건축물로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 것
가. 「다중이용업소의 안전관리에 관한 특별법」 제2조제1항제1호에 따른 다중이용업의 용도로 쓰는 건축물로서 그 용도로 쓰는 바닥면적의 합계가 2천제곱미터 이상인 건축물
나. 공장(국토교통부령으로 정하는 화재 위험이 적은 공장은 제외한다)의 용도로 쓰는 건축물로 부터 6미터 이내에 위치한 건축물
2. 의료시설, 교육연구시설, 노유자시설 및 수련시설의 용도로 쓰는 건축물
3. 3층 이상 또는 높이 9미터 이상인 건축물
4. 1층의 전부 또는 일부를 필로티 구조로 설치하여 주차장으로 쓰는 건축물

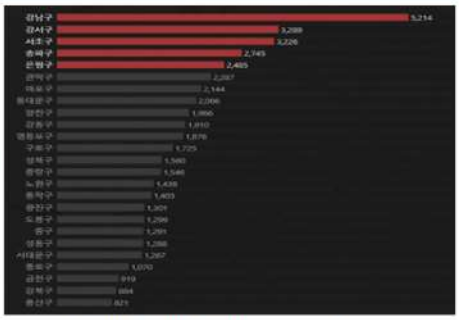
- 서울시 내 가연성 외장재 적용 건축물 추정치 : 4만 7천호(서울시 전체의 약 7.46%)
  2011년 12월까지 지어진 30층 미만 건물, 2015년 12월 까지 지어진 6층이상~30층 미만 건축물 대상 조사분석

* 2017. 8.9, 중앙일보 디지탈 스페셜, 우리만의 그렌펠타워, 서울, 그곳이 불안하다. http://news.joins.com/DigitalSpecial/199

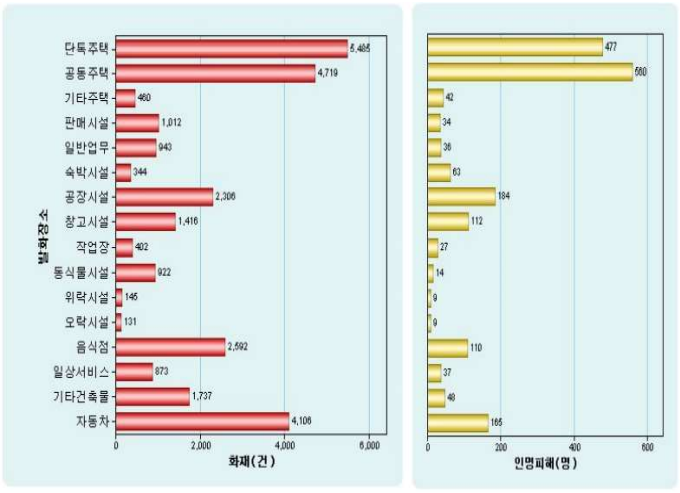
- 전국 최소 210만여채 드라이비트 적용 예측
  ⇒ 한겨레 2017.12.27 / 문화일보 2017.12.28



외장재 취약 건물 및 건물 위치 대지 표시



지역별 취약 마감재 사용 가능 건축물 수



발화장소	화재	사망	부상	인명피해/건
합계	38,659	365	1,917	0.06
단독주택(소계)	**5,485**	**109**	**368**	**0.09**
단독주택	3,708	82	204	0.08
다중주택	84	1	7	0.10
다가구주택	1,260	18	128	0.12
상가주택(주택부분에서화재가 발생한 경우에만 해당)	290	8	23	0.11
기타 단독주택	143	0	6	0.04
공동주택(소계)	**4,719**	**74**	**486**	**0.12**
아파트	2,808	36	328	0.13
주상복합아파트	213	2	22	0.11
연립주택	276	10	32	0.15
다세대주택	1,197	24	92	0.10
기숙사	20	0	1	0.05
기타 공동주택	205	2	11	0.06
기타주택(소계)	**460**	**18**	**24**	**0.09**

[그림 1.9] 가연성 외장재 적용 건축물 추정치와 주거시설에서의 발화 및 인명피해

○ 표 1.5에 해당하는 건축물은 **그 거실의 벽 및 반자의 실내에 접하는 부분의 마감은 불연재료·준불연재료 또는 난연재료로 하여야 하며, 그 거실에서 지상으로 통하는 주된 복도·계단 기타 통로의 벽 및 반자의 실내에 접하는 부분의 마감은 불연재료 또는 준불연재료**로 하여야 함.

○ **상기 규모의 불연, 준불연 재료를 마감재료 사용하는 대상 규모의 건축물은 실제 외단열공법을 주로 적용하는 중규모 건축물 및 주택에는 거의 해당되지 않아 외벽의 화재안전성 확보가 어려운 상황임**.

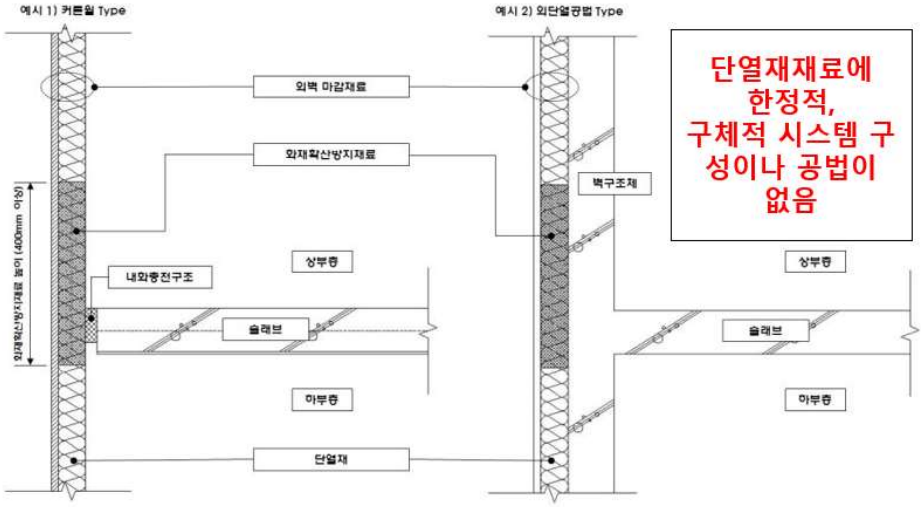
○ 한편 **고층 건축물의 외장재인 커튼월의 경우 최근인 2012년 "건축물 마감재료의 난연성능 및 화재 확산 방지구조 기준" 이 고시되어 커튼월용 단열재를 화재에 강한 재료로 쓰도록 화재확산방지구조를 규정한 바 있음.** 이는 정부에서도 외장재의 화재확산의 중요성을 인식하고 규모가 큰 커튼월부터 불연성 마감재를 사용하도록 유도하고 있음을 의미하며, **향후 외벽 단열 공법으로 확대할 가능성이 높음을 알 수 있음.**

<표 1.6> 외장재의 화재확산방지구조 설치 기준 (화재확산방지구조, 고시 2022-84호)

① 제7조(화재 확산 방지구조)「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제24조제5항에서 국토교통부장관이 정하여 고시하는 화재 확산 방지구조”는 수직 화재확산 방지를 위하여 외벽마감재와 외벽마감재 지지구조 사이의 공간(그림에서 “화재확산 방지재료” 부분)을 다음 각 호 중 하나에 해당하는 재료로 매 층마다 최소 높이 400㎜ 이상 밀실하게 채운 것을 말한다.

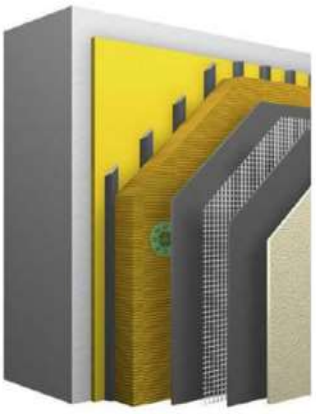
1. KS F 3504(석고 보드 제품)에서 정하는 12.5㎜ 이상의 방화 석고 보드
2. KS L 5509(석고 시멘트판)에서 정하는 석고 시멘트판 6㎜ 이상인 것 또는 KS L 5114(섬유강화 시멘트판)에서 정하는 6㎜ 이상의 평형 시멘트판인 것
3. KS L 9102(인조 광물섬유 단열재)에서 정하는 미네랄울 보온판 2호 이상인 것
4. KS F 2257-8(건축 부재의 내화 시험 방법-수직 비내력 구획 부재의 성능 조건)에 따라 내화 성능 시험한 결과 15분의 차염성능 및 이면온도가 120K 이상 상승하지 않는 재료

② 제1항에도 불구하고 영 제61조 제2항 제1호 및 제3호(주택, 상업지역, 의료시설 등)에 해당하는 건축물로서 5층 이하이면서 높이 22미터 미만인 건축물의 경우에는 화재확산방지구조를 매 두 개 층마다 설치할 수 있다



■ 외국의 외벽 단열재료의 화재 안전성 관련 동향

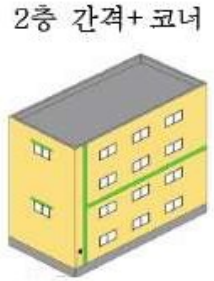
○ 독일에서는 역사적 가치가 있는 건물로 외관을 보호해야하는 건물의 리노베이션을 제외하고는 **신축 및 기존건물에서의 외단열 적용이 의무화** 되어 있으며, **국가 건축법에 기반을 두고 있는 외단열 방화에 관한 국가 규정에서 건물 높이에 따른 외단열 방화규정을 정하고 있음**. 또한, 건축자재의 화재성능 및 평가는 DIN 4102에 따르며, 건축재료 및 자재를 다음과 같은 등급으로 분류하고 있음.



delineation	as per DIN 4102-1			
Non-flammable	A1	A1	No contribution to fire	Fully developed room fire Approx. 60 kW/m²
	A2	A2	Negligible contribution to fire	
Minimally flammable	B1	B	Very minimal contribution to fire	Single burning object Approx. 40 kW/m²
		C	Minimal contribution to fire	
Normally flammable	B2	D	Acceptable contribution to fire	
		E	Acceptable flammability	Small flame 20 mm flame
Minimally flammable	B3	F	No standards	

[그림 1.10] 독일의 불연성능 규정 및 등급

<표 1.7> 독일의 외벽 단열재 방화규정

<table>
<tr><th>건물높이</th><th>요구 성능</th><th colspan="3">요구 성능 만족 방안</th></tr>
<tr><td>7m 미만</td><td>방화처리 불필요
DIN 4012: B2</td><td colspan="3">-</td></tr>
<tr><td rowspan="3">7m 이상
22m 미만</td><td rowspan="3">난연성 만족
DIN 4012: B1</td><td colspan="3">부분적으로 불연성 단열재 띠 설치</td></tr>
<tr><td>창호 상부</td><td>2층 간격</td><td>2층 간격 + 코너</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>22m 이상</td><td>불연성 만족
DIN 4012: A2</td><td colspan="3">건물 전체에 불연성 단열재
(미네랄울, 글라스울 등) 적용</td></tr>
</table>

<표 1.8> 중국의 외벽단열재 인증 기준

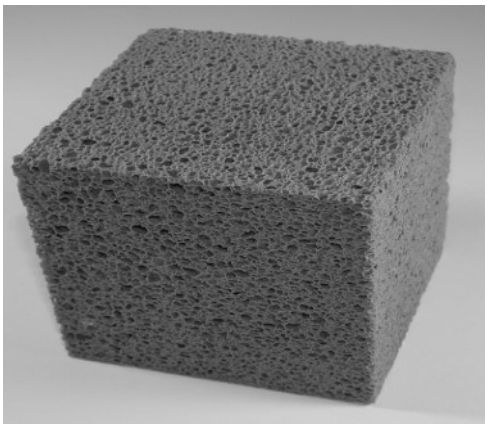
<table>
<tr><th>No.</th><th colspan="2">检验项目(검사 항목)</th><th>인증기준</th></tr>
<tr><td rowspan="3">1</td><td rowspan="3">燃烧性能
(연소성능)</td><td>炉内平均温升 (℃) 로내 평균온도</td><td rowspan="3">A급</td></tr>
<tr><td>平均持续燃烧时间(S)평균연속연소시간</td></tr>
<tr><td>平均质量损失率 (%) 평균 질량손실율</td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="2">导热系数 (25℃) 열전도계수 (W/mK)</td><td>< 0.07</td></tr>
<tr><td>3</td><td colspan="2">干密度 (kg/m^3) 건밀도</td><td>< 300</td></tr>
<tr><td>4</td><td colspan="2">抗压强度(MPa) 항압강도(압력에 견디는 압력)</td><td>> 0.2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">5</td><td rowspan="2">抗冻性 항동성
(15次冻融循环)
(15회 얼리고 녹이기 반복)</td><td>质量损失率 (%)
질량손실율</td><td rowspan="2">Pass</td></tr>
<tr><td>抗压强度损失率 (%)
항동강도손실율</td></tr>
<tr><td rowspan="2">6</td><td rowspan="2">放射性核素限量
방사성핵종한도</td><td>内照射指数 Ira 내노출지수</td><td rowspan="2">Pass</td></tr>
<tr><td>外照射指数 Ir 외노출지수</td></tr>
<tr><td>7</td><td colspan="2">흡수율(%)</td><td>< 10</td></tr>
</table>

○ **중국**에서는 **2011년 3월 14일 '민용 건축 외벽 보온재 소방관리 감독에 대한 관련 요구 통지(65호문)' 을 통하여 모든 민간 건축물의 외벽 단열재에 연소성능이 A급인 소재만 사용하도록 규정** 함. 이에 따라 이미 건설 중인 건물이라도 가연성, 인화성 소재를 사용하였을 경우 이를 제거해야 하며, 건설을 시작하지 않은 건물의 경우도 이를 반영하여 설계를 하여야 함.

■ 불연단열재 관련 기술 동향

○ 국내 불연단열재 관련 특허는 **한국세라믹기술원이 보유하고 있는 것이 다수이며 한국세라믹기술원은 "불연성 경량 발포보드" 및 "무기계 발포소재" 관련한 연구를 수행하고 있고 관련업체와의 기술이전 협약을 체결하여 기술을 보급하고 있음.**

○ 유럽(독일, 스위스, 오스트리아 등)은 초단열 재료(SIM) 등과 같은 단열재의 개발을 통해 다양한 방법으로 연구를 진행하고 있으며, 미주(미국, 캐나다)은 새로운 제조 공정 개발을 위한 초기투자의 증가와 신제품 개발을 위한 지속적인 투자를 하고 있음. 또한, 불연성 경량 단열소재에 대한 연구를 선도하고 있고 제품을 현장에서 응용하는 단계이며 불연단열재도 유리 발포소재, 칼슘하이드레이트 발포소재 등 다양하게 접근하고 있음.



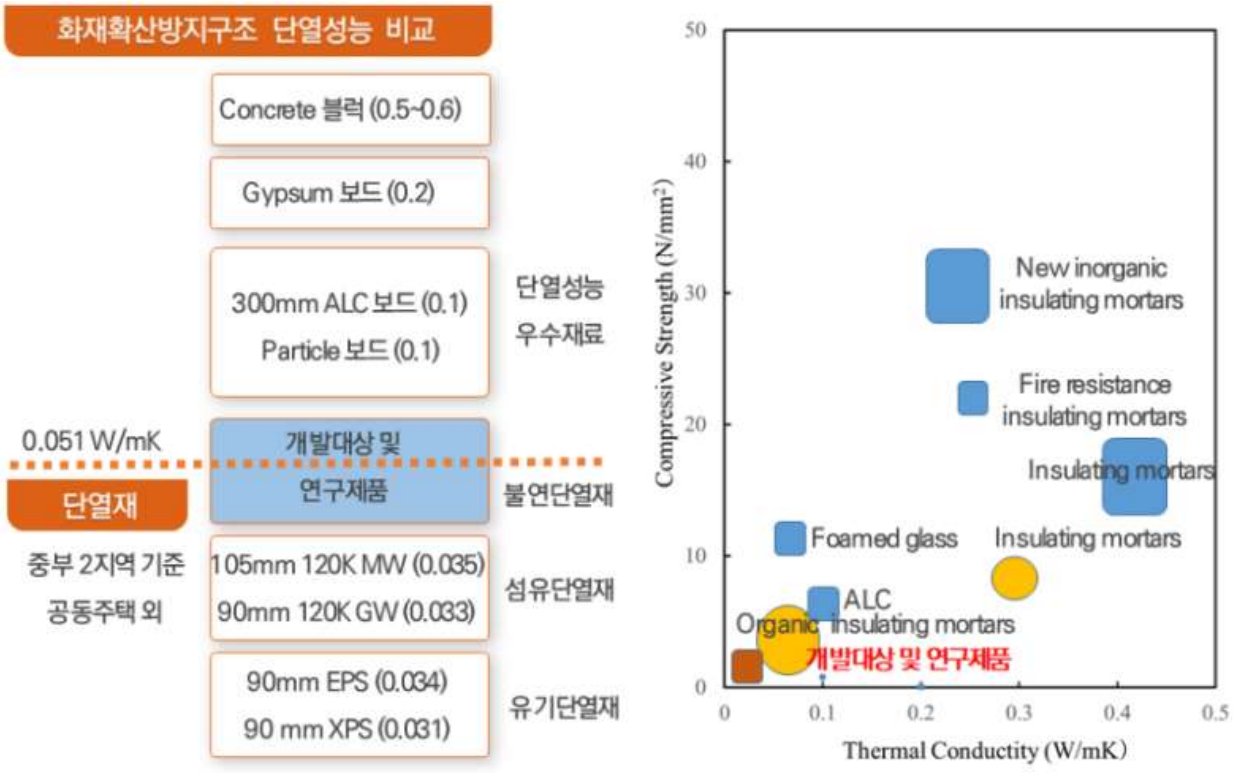


[그림 1.11] 불연 단열소재 및 현장시공형 기포제조기

○ 또한, 무기계 단열재로서 수열합성 방법을 이용한 토버모라이트 및 조노토라이트계 단열소재가 있음. 일본 등을 중심으로 경량의 조노토라이트계의 단열소재가 많이 사용되고 있고, 최근 무기계 단열소재 및 섬유가 함유된 조노토라이트계 단열소재가 개발되고 있으나, 아직 유기단열소재의 단열성, 경량성 및 시공성에는 미치지 못함.

○ **<u>완전 불연단열재를 제조하기 위해서는 기공이 균일하게 하기위해 1차적으로 각각의 원료가 골고루 혼합되어야 함.</u>** 일반적으로 분체의 혼합은 어렵지 않으나 점성이 있는 발포제와 분체의 혼합은 혼합방식, 혼합시간, 재료 투입방법 등에 의해 양상이 달라지므로 현장에서 시공하기 위해서는 혼합물과 발포제 등이 적절하게 배합되어야 함.

○ 또한 생성된 기공이나 기포를 공극으로 유지하고 컨트롤 할 수 있는 기술이 필요이 필요하며 이를 컨트롤하기 위해서는 **<u>혼합물의 조성과 Cell벽 형성과정에서 기공이 과도하게 발포되지 않도록 하는 정확한 온도 조건의 확보 및 연속공정으로 이루어져야 함.</u>**



[그림 1.12] 개발대상 및 제품

	소성발포형	수열합성형	기포혼입형
대상제품	유리발포제품	ALC제품	시멘트발포제품
원재료	조합된 유리분말	규석, 규사, 생석회, 시멘트, 무수석고	시멘트, 생석회, 산화마그네슘
발포제	알루미늄 분말, 그라파이트	알루미늄 분말	음이온계 기포제
선도제품 및 기업	폼글라스 (다우코닝, 미국)	멀티포어 (Xella, 독일)	폼크리트 (리치웨이, 미국)
제품단가 (m^3 당)	500,000원	300,000원(고급형) 110,000원(일반형)	80,000원(예상비용)
열전도율 (W/mK)	0.042(해외) 0.051(국내)	0.045(고급형) 0.15(일반형)	0.09~0.15
최소생산공장시설비	약 300억	약 200억	약 20억
주요설비	분쇄기, 혼합기, 용융로, 절단기	혼합기, 오토크레이브, 절단기	기포제조기, 절단기
제 품	 	 	 

[그림 1.13] 불연성 단열재 제품군

1.7 연구 개발 성과의 활용방안 및 기대효과

1.7.1 연구 개발 성과의 활용 방안

○ **노후주택 화재확산방지성능을 확보한 외벽단열 기술의 개발 및 보급**

현재까지 유기계 단열재를 사용하는 외단열 마감공법을 불연성 재료의 사용으로 확대, 유도함으로써 다양한 외단열 공법의 개발 및 보급이 이루어지며 관련 부속 자재 및 디테일 개발로 보다 다양한 외단열 기술 개발로 유도할 있고 화재피해를 저감할 수 있음.

○ **국내 외벽 단열 시장 점유 및 시장 확장에 기여**

국내 외단열 시장은 현재 약 5,500억원 정도로 추정되며, 기존 유기계 단열재를 사용하는 건축물 외단열 시장에서 화재 안전성의 중요성을 인식시키고, 외단열 시장의 일정부분을 점유가 가능할 것으로 예상되며, 기존에 화재안전성을 적용하지 않던 건축물에도 본 개발기술의 적용으로 안전성을 확보할 수 있음.

○ **법 개정 유도로 건축물의 화재 안전성 향상 기대**

국외의 외부 마감재 및 단열재의 불연성 재료 사용 규정과 달리 실질적으로 유기 단열재의 사용이 가능하도록 규정한 국내 관련 규정의 개정이 실제 불연성 단열재 사용 건축물의 증대로 가시화 될 것으로 예상됨.

1.7.2 기대효과

○ **노후주택 건축물 화재로 인한 인명, 재산피해 저감 기대**

화재발생시 필연적으로 발생하는 인명, 재산피해는 개개인의 피해가 아닌 사회 전체의 충격으로 나타나므로 이를 최소화하기 위한 노력이 필수적임. 본 기술이 개발되어 적용될 경우 건축물 화재피해 확대를 저감하여 인명 및 재산피해를 최소화할 것으로 기대됨.

가. 기술적 측면

○ **화재안전을 고려한 단열재의 개발 확대 기대**

기존 건축물에 사용하는 단열재는 대부분 유기계 단열재로 화재에 취약한 문제가 지속적으로 제기되었고, 무기계 단열재인 글라스울 및 미네랄울은 결로에 취약하고, 변형성이 커서 사용이 잘 안되나, 개발 예정인 **현장시공형 완전 불연단열재는 불연성, 단열성, 내결로성, 내변형성 등의 성능을 발현하여 외단열 공법에 최적화된 무기계 단열재임.**

본 기술 개발로 불연성 단열재의 사용이 활성화 될 경우 **불연성능이 향상된 다양한 단열재 개발이 이루어 질 것으로 예상됨.**

○ **건축물 에너지 절감 강화 정책에 부합하는 에너지 절감형 건축물 증가 기대**

정부에서 건축물 에너지 절감 강화를 위하여 그린홈 100만호 및 에너지 제로하우스 보급을 예정함에 따라 단열성능 강화를 위한 외단열 공법의 수요 증가가 예상되나, **기존의 외단열 공법의 문제인 화재안전성을 개선하지 않을 경우 건축물 적용에 한계가 예상됨.**

본 연구로 **개발한 외단열 시스템 공법은 화재안전성을 확보할 수 있으므로 타 공법과 차별화되어 활용 증가가 예상**되며, 이는 곧 **전체 에너지 절감 건축물의 증가로 이어질 것으로 판단**됨.

○ **외단열 공법의 다양성 확대로 경쟁을 통한 외단열 기술 향상 기대**

기존 외단열 공법은 대부분 외국 기술을 도입한 것으로 공법이 유사하고 한계가 있었으나, 본 기술 개발에 의해 외단열 공법의 다양화가 이루어지고, 경쟁에 의한 외단열 공법의 기술 수준 향상이 이루어질 것으로 기대됨.

나. 사회·경제적 측면

○ **안심하고 거주할 수 있는 건축물의 신뢰성 기대**

기존의 건축물은 단열성에 중점을 두어 유기단열재를 주로 사용함으로써 화재에 취약하여 거주자의 건축물에 대한 신뢰성이 떨어졌으나, **본 개발기술을 적용한 건축물은 화재안전성을 확보할 수 있으므로 건축물에 대한 신뢰성이 향상될 것으로 기대됨.**

○ **국내 순수개발 기술의 외단열 시장 점유 확대 기대**

국내 외단열 시장은 약 5,000억원에서 6,000천억원 규모로 알려져 있으며, 대부분 BASF, Drybit, sto 등 외국 외단열 기술이 점유하고 있음.

일반적인 외단열 공법은 내구성, 내충격성, 화재안전성이 취약한 것으로 지적되고 있으므로 개발기술이 성공적으로 시장에 진출하다면 외국기술이 점유한 국내 외단열 시장의 순수 국내기술 점유 확대가 이루어지고, 그 경제적 파급효과는 상당할 것으로 예상됨.

○ **해외 외단열 시장 수출 기대**

현재 **중국 등 국외 건축물 외단열 공법에는 불에 약한 유기 단열재의 사용을 제한**하고 **불연성 단열재의 사용을 의무화**하는 추세에 있음.

본 개발기술은 화재안전성을 향상한 외단열 시스템 기술로 **최소 22조원 이상인 중국 외장재 시장에 진출이 가능할 것으로 예상됨**. 또한 불연성 무기단열재에 대한 관심이 높은 유럽 시장의 진출로 가능할 것으로 예상됨.

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

2.1 현장시공형 완전 불연단열재 개발

핵심연구성과 (level1)		단위 성과물 (level2)		해당 기관
1차년도	현장시공형 완전 불연단열재 개발	A-1	단열재료 배합설계	한국세라믹기술원
		A-2	단열성능 확보기술	
		A-3	경량성능 확보기술	

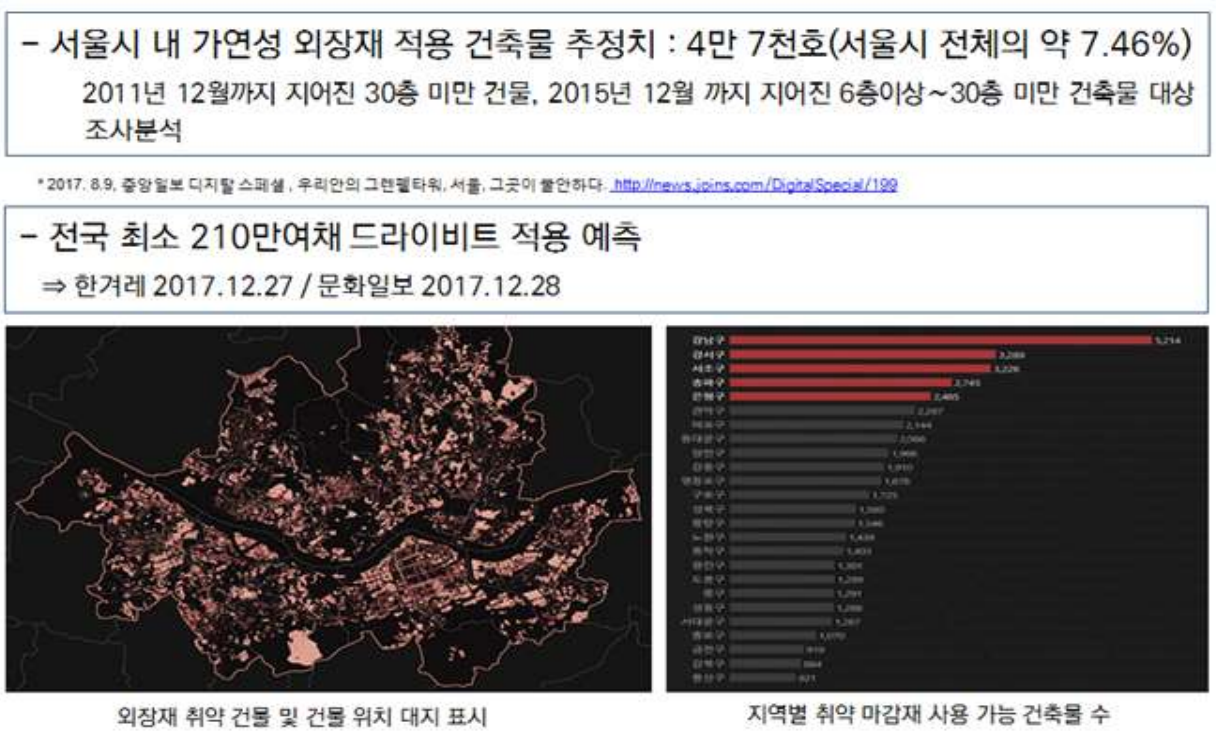
2.1.1 불연단열재 배합설계

가. 불연단열재 개요

- 최근 에너지 절약, 주거환경 성능에 대한 거주자의 요구가 급증하면서 주택의 개보수, 리모델링 시 주요 이슈로 부각되고 있음. 또한, CO2 저감을 위한 패시브하우스, 제로에너지 주택 등 에너지 저감대책을 내놓음.

- 건축물 에너지 절약을 위한 단열성능도 지속적으로 강화 예정이며, 단열성능 향상을 위해 외단열 공법 적용이 증가추세에 있음. 특히, 노후주택의 단열성능 확보를 위해서는 저비용이며 단열성능이 높은 EPS를 사용한 드라이비트 외단열 공법이 선호되었으나 최근 화재사고의 위험성에 의해 개선책이 필요함.

- 무기 단열재 종류로는 에어로겔, 섬유단열재인 글라스울이나 미네랄울 등 다양하지만 비교적 고가이며 수분에 취약하다는 단점을 가짐. 기존 무기 단열재보다 저렴하고 단열성능을 갖는 불연단열재 개발이 필요함.



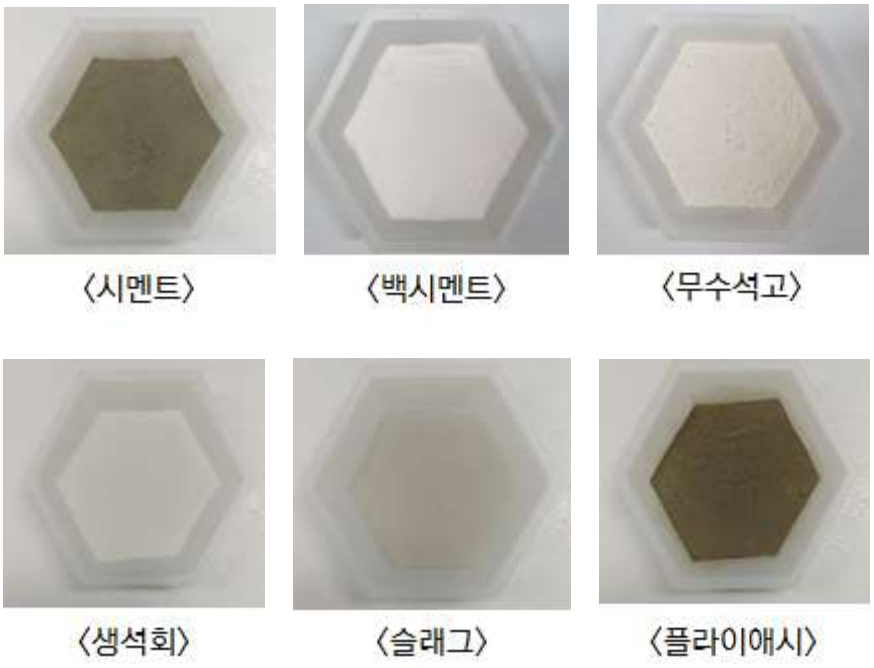
[그림 2.1] 가연성 외장재 건축물 추정치

2.1.2 불연단열재 재료선정

- 불연단열재 제작을 위한 재료선정은 화재에 안정하고 경제적인 재료를 선정하였으며, 현장시공이 가능하고 무기계 재료로 배합설계를 실시함. 발포방식의 경우 선발포(Pre-foaming) 및 후기포(post-foaming) 두 가지 방식을 염려하여 선정하였음.

<표 2.1> 불연단열재 재료선정(1차년도)

재료	용도	특성
시멘트	강도발현, 경화	반응성이 높고 경제적
백시멘트	강도발현, 색상	시편에 밝은 색감
무수석고	초기강도	초기강도 발현으로 침하방지
CSA	강도증진 및 급결	초기강도 우수, 기포안정
슬래그	장기강도	장기강도 발현
생석회	수화열 발생	반응촉진
기포제	기포발생	시멘트 경화 시 공극형성
AL 분말	발포	시멘트 경화 시 공극형성



[그림 2.2] 불연단열재 재료선정(1차년도)

- 시멘트와 백시멘트는 기본적으로 불연성능을 가지고 있으며 물에 반응하는 수경성 재료임. 또한, 가격이 저렴하다는 장점을 가짐. 무수석고 초결 및 초기강도를 발현시키기 위해 사용한 재료이며 발포로 인해 발생하는 처짐현상을 방지하기 위해 사용했음.

- CSA(Calcium Sulfo Aluminate) 초기강도 증진 및 급결을 위해 사용하였으며 초기강도와 기포안정에 영향줌. 슬래그는 장기강도 목적으로 사용하였고, 생석회는 수화열 발생으로 반응 촉진을 위해 사용하였음. 기포제와 AL 분말은 발포 및 기포발생으로 시멘트와 혼합 시 시멘트 내부에 공극이 형성됨.

2.1.3 불연단열재 배합설계

- 배합설계는 선발포, 후기포를 고려하여 배합설계를 진행하였음. 선발포 발포제는 기포생성을 위한 계면활성제를 사용하였고, 후기포 발포제는 알루미늄 분말을 선정하여 발포를 하였음.

- 불연단열재 제조에 있어 사용재료들의 비중이 높아 발포 후 불연단열재에 처짐이 발생할 수 있어 초기강도 확보 재료는 무수석고와 CSA를 사용하여 불연단열재의 처짐을 방지하였고 기포제의 성능을 확인하기 위한 배합설계를 실시함.

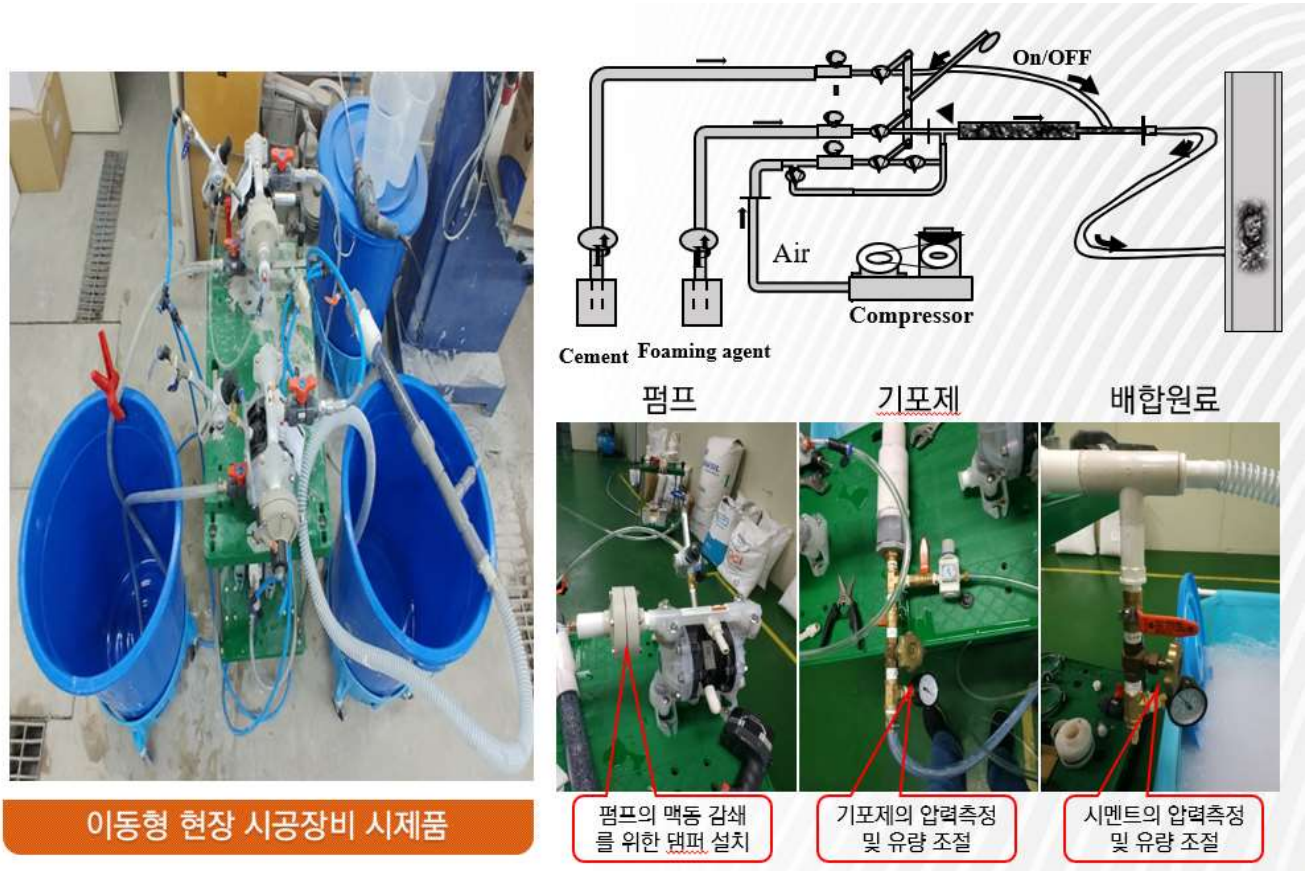
<표 2.2> 불연단열재 배합설계(1차년도)

Foaming Agent	W/C	Cement	Gypsum	Lime	White Cement	Slag	Fly ash	Admixture	
								Thickener	CSA
Synthesis (Surfactant)	30	50	50						
	30	42	58						
	40	50	50						
	40	42	58						
	50	50	50						
Synthesis (Anion, Serim)	30	50	50						
	30	42	58						
	40	50	50						
	40	42	58						
Synthesis (Anion, Aekyung)	50				100				
	50				100			0.5	
	50				90			0.5	10
Al powder	200	65	10	9		10	6		

2.1.4 불연단열재 제조

- 선발포 방식의 불연단열재 제작을 위해 [그림 2.3] 과 같이 이동형 현장 시공 장치를 사용하여 불연단열재를 제조하였으며 이동형 현장 시공장치의 불연단열재 제조방식은 기포제를 넣은 수용액을 기포기를 통해 기포를 발생시켜 시멘트 페이스트와 혼입하여 토출하는 방식으로 실험을 진행하였음.

- 시멘트 페이스트 및 기포제 혼합은 핸드믹서로 믹싱하였으며, 1액형(시멘트 페이스트)과 2액형(기포제)은 각 라인을 구분하고 이를 에어펌프를 통해 시멘트 폼 라인으로 이동하여 1액과 2액이 만나 혼합되어 시멘트 폼을 제작하는 과정을 거침. 토출된 시멘트 폼은 폴리스티렌 몰드를 이용하여 시험편을 제작하였고, 양생이 끝난 후 밀도 및 열전도율을 측정함. 시험편의 양생은 상온에서 진행하였음.



[그림 2.3] 2액형 현장시공장비 개념도(1차년도)



[그림 2.4] 실험에 사용한 실험 장비(1차년도)

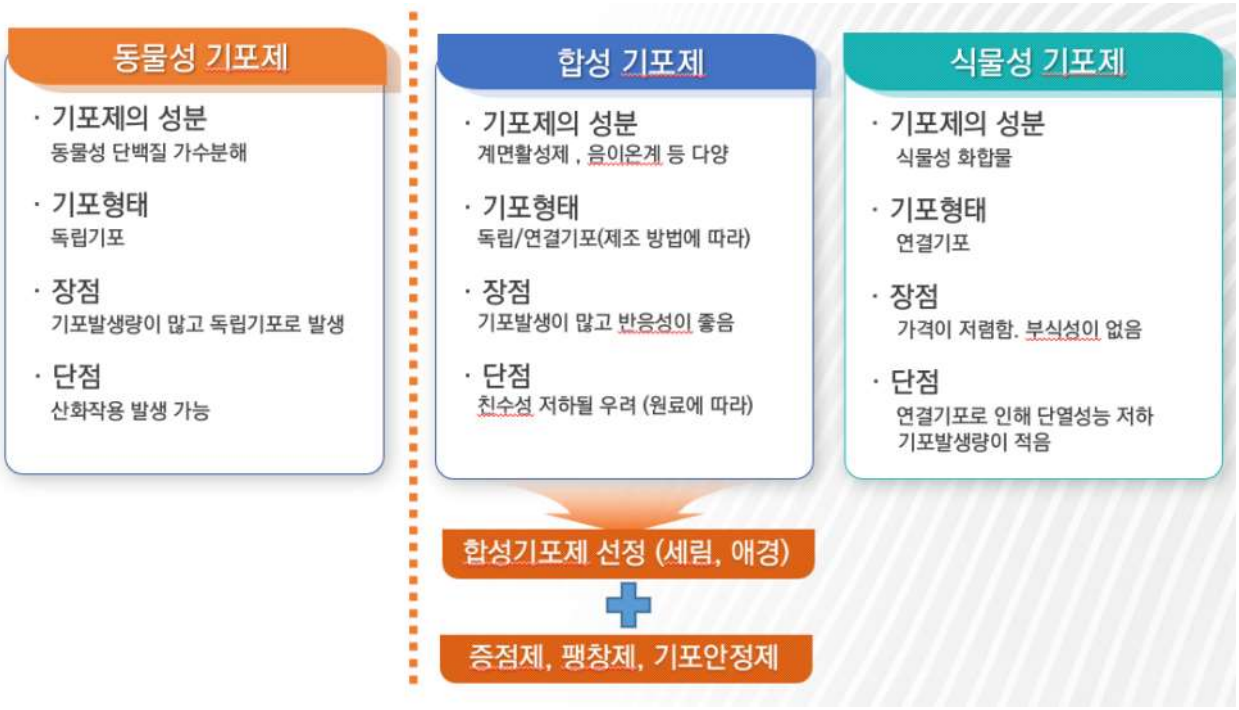
2.1.5 배합 특성 평가

가. 기본 배합 특성 검토

- 기포제 특성에 따라 특성이 다르게 나타났으며 알루미늄 분말을 사용한 후기포 공정은 기포제와 혼입하면 형태를 유지하기 어려워 기포제를 사용하여 동물성 기포제, 합성 기포제, 식물성 기포제의 성능을 알아보기 위해 석고와 시멘트만 사용한 배합실험을 진행하였음.

- 시멘트와 무수석고의 배합비는 기초실험을 통해 결정하였으며 시멘트:무수석고 비율은 1:1과 1:1.3의 비율로 배합설계하여 시험편을 제조하였음. 실험결과, 무수석고는 초기강도 발현으로 처짐현상을 방지되나 혼입율이 증가하면 급결에 의한 수축이 발생함.

- 동물성 기포제는 기포발생량이 많고 독립기포로 발생되지만 산화작용 발생가능성이 있으며 합성기포제는 제조 방법에 따라 독립/연결기포가 발생되고 기포발생이 많아 반응성이 좋았음. 식물성 기포제는 기격이 저렴하고 부식성이 없으나 연결기포로 인해 단열성능이 저하함.



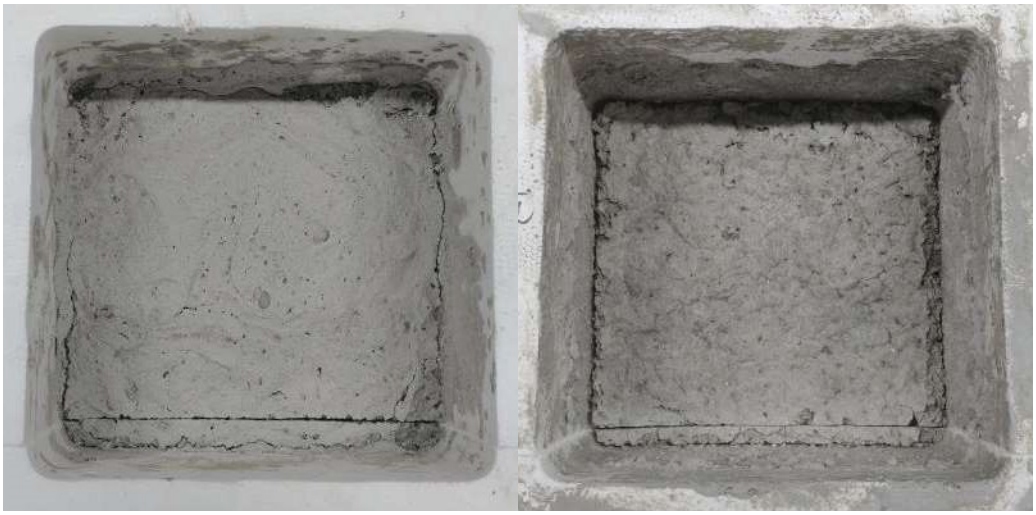
[그림 2.5] 기포제 종류 특징



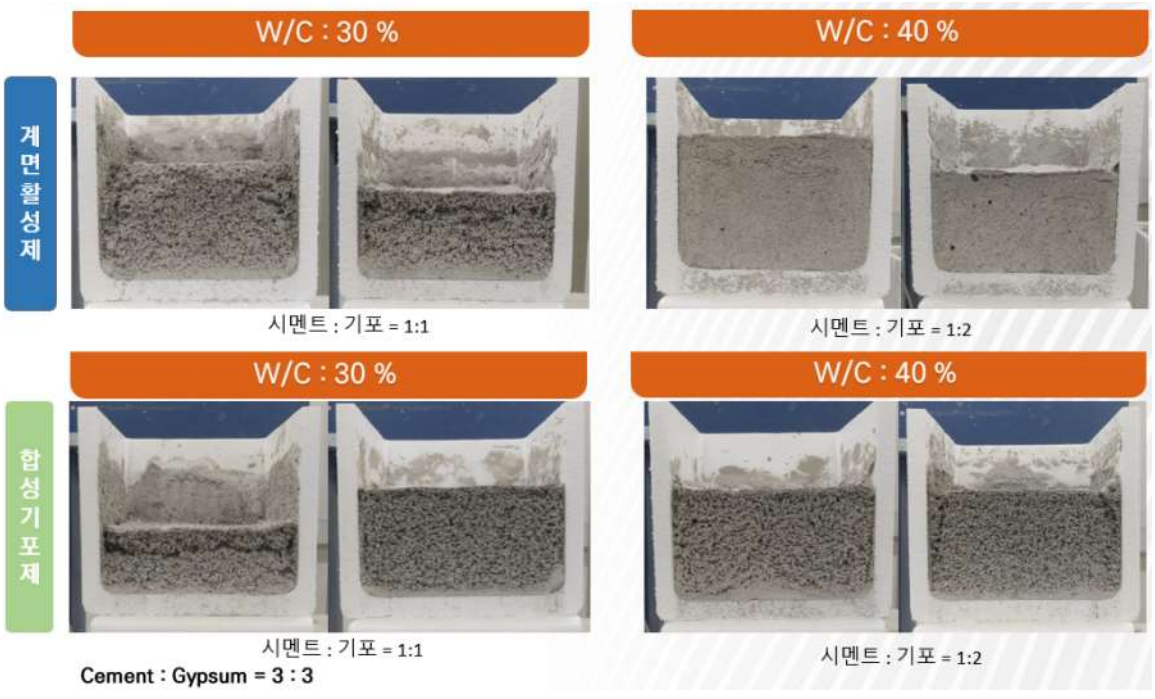
[그림 2.6] 기포제 성능 확인



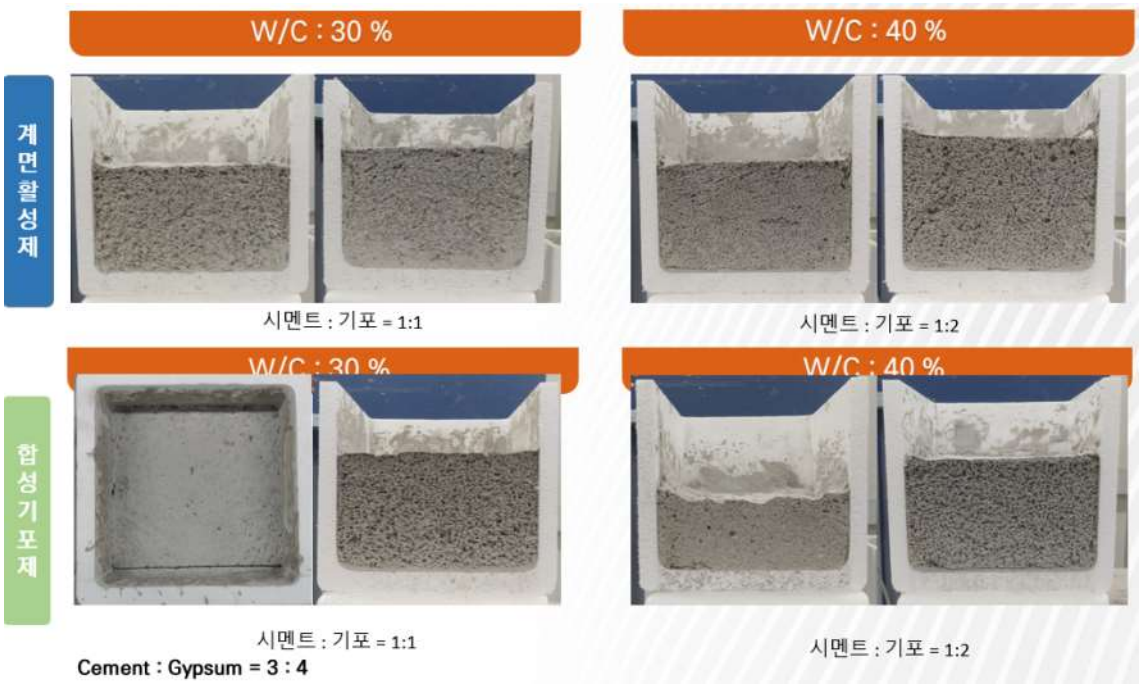
(a) 백시멘트:무수석고(1:1)　　(b) 백시멘트:무수석고(1:1.3)



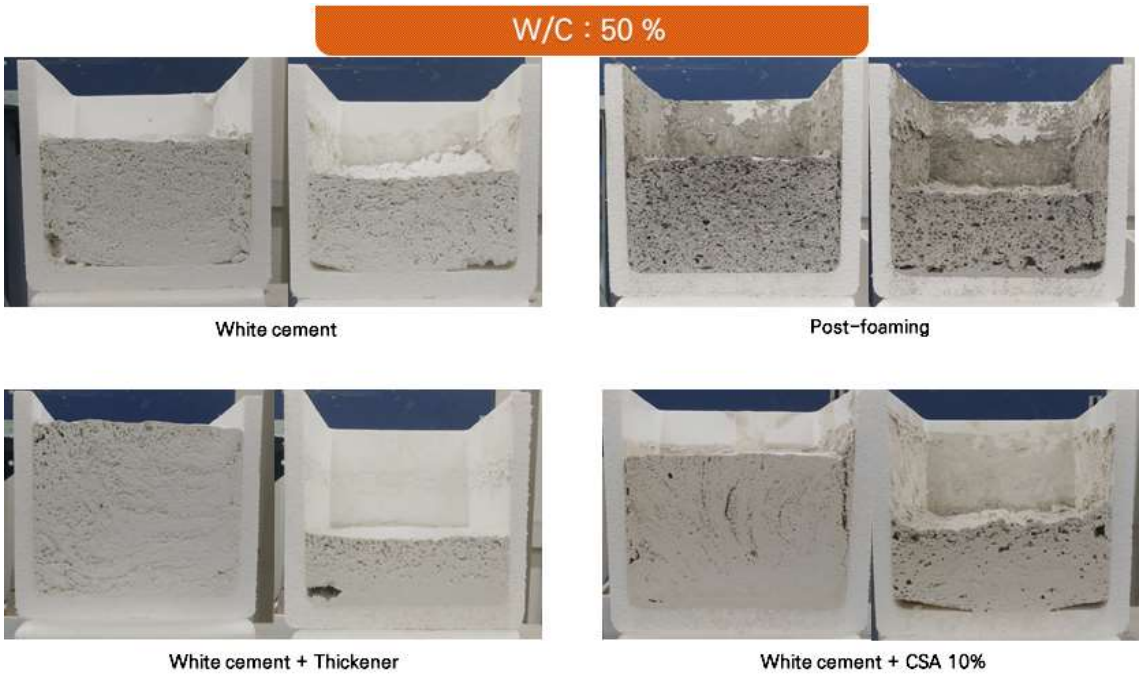
(c) 시멘트:무수석고(1:1)　　(d) 시멘트:무수석고(1:1.3)



[그림 2.7] 비율에 따른 시험편 상태



[그림 2.8] 3:4 배합의 발포형상



[그림 2.9] 백시멘트 배합의 발포형상 및 후기포 시편(우측 위편)

2.1.6 배합 발포특성 및 성능검토

- 이동형 현장 시공 장치를 사용하여 제조한 불연단열재의 발포특성 실험결과, 계면활성제를 사용한 시험편은 처짐이 적고 독립기포로 발생하며 기포양이 적었으며 합성 기포제를 사용한 시험편은 열린기포 형태로 기포양이 많음.

- 시멘트와 무수석고 비율 3:3과 물비가 40%일 경우 처짐현상이 적었고, 시멘트와 무수석고 비율 3:4과 물비 40%일 경우에도 처짐현상이 적었고, 무수석고의 사용은 기포유지에 도움을 주지만 급결에 의한 균열이 발생하여 시편의 물성 측정이 어려웠음. 또한. 시멘트 페이스트와 기포제의 부피 비율은 1:1이 적합하였음.

- 물시멘트비가 높을수록 기포형성에 유리하며 예비 실험에 통해 백시멘트를 사용한 시험편의 발포특성이 다른 시험편에 비해 실험결과가 양호하여 추가실험은 음이온계 기포제와 백시멘트, 물시멘트비 50%로 진행하였음.

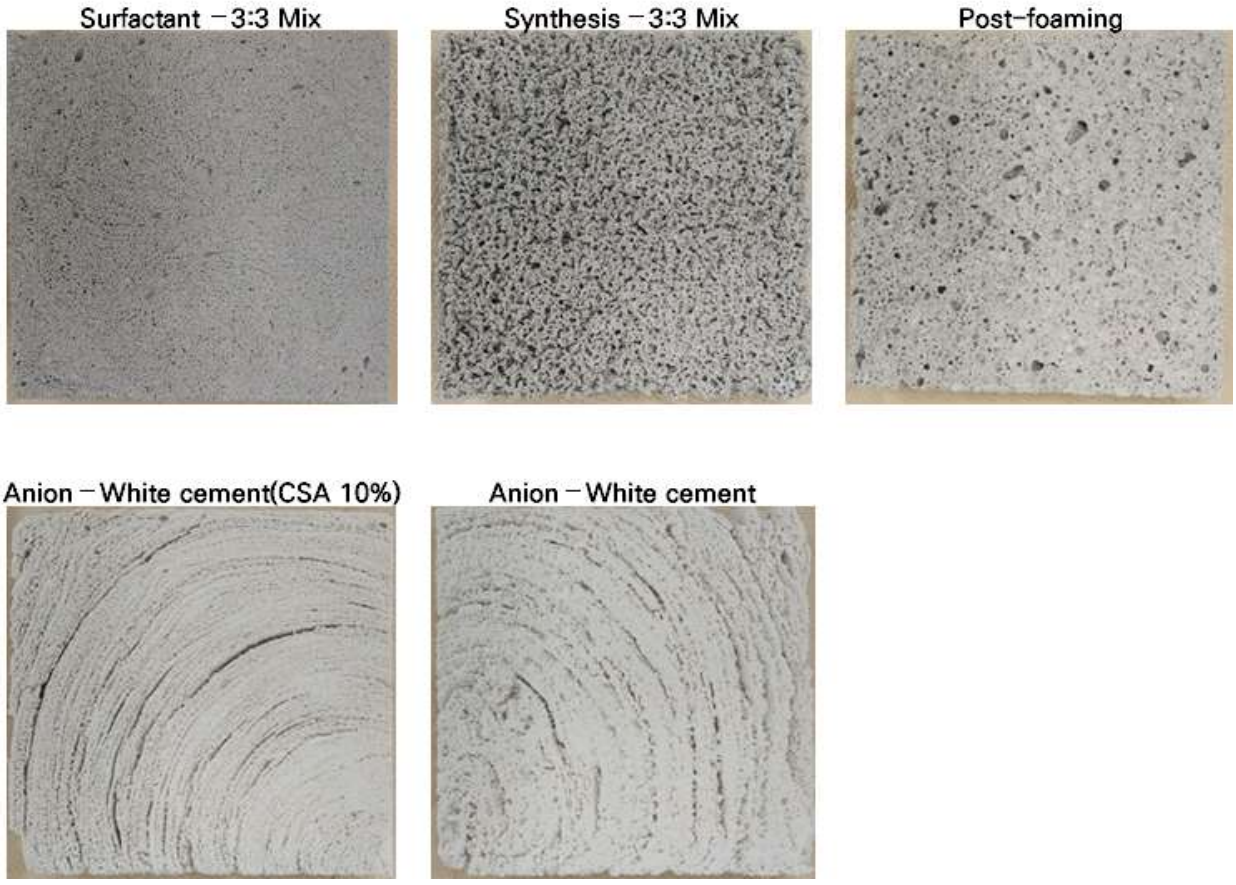
- 실험결과, 기포제와 백시멘트를 사용한 시멘트 페이스트 양 차이에 따라 기포량과 형태에 차이가 나타났으며 기포량이 증가할수록 처짐현상이 발생하였으나 증점제를 첨가한 경우 기포의 처짐현상이 없었음. 그러나 급결을 위해 CSA를 첨가한 경우 수축이 발생하였으나 실험결과로 도출한 결론은 물시멘트비가 높고, 페이스트 반죽의 양이 많을수록 처짐현상이 없음.

2.1.7 물성평가

- 이동형 현장 시공 장치를 사용하여 제조한 불연단열재의 시험편을 가공하여 밀도와 열전도율을 측정하였고, 시험편 양생은 28일간 상온에서 양생을 진행하였음.

- 불연단열재의 시험편의 공극특성은 모두 다른 형태로 시험편의 밀도는 0.21 ~ 0.37g/㎤ 측정되었고 열전도율은 0.069 ~ 0.1W/mK 수준으로 목표인 단열재 “라 급 수준에 도달하지 못하였으나 1차년도 목표치에 대부분 시험편이 만족하는 결과를 보여줌.

- 이는 무기재료의 한계로 보이며 추후 연구를 통해 기포량과 재료의 배합설계를 통해 개선이 가능할 것으로 보여짐.



[그림 2.10] 현장시공형 불연단열재 가공된 시편

<표 2.3> 1차년도 배합설계 밀도 및 열전도율(1차년도)

시편명	시험항목	
	밀도(g/cm^3)	열전도율(W/mK)
Carboxyl agent	0.37	0.080
Product	0.25	0.060
After foaming	0.34	0.100
White cement (CSA 10%)	0.26	0.070
White cement	0.26	0.080

2.2 현장시공형 완전 불연단열재 물성확보기술

핵심연구 성과 (level1)		단위 성과물 (level2)		해당 기관
C	현장시공형 완전 불연단열재 물성확보기술	C-1	불연단열재 최적 배합설계	한국세라믹기술원
		C-2	단열소재 물성확보기술	
		C-3	불연성확보기술	

2.2.1 불연단열재 배합설계

가. 불연단열재 재료선정

- 기존 1차년도 배합설계를 기준으로 하여 화재에 안전하고 경제적인 재료를 선정하였으며, 현장시공이 가능한 무기계 재료를 바탕으로 배합설계를 실시하였고 선발포와 후기포 방식을 고려하여 배합설계를 진행하였음.

- 입도조절 시멘트는 보통포틀랜드시멘트에 비해 비중이 낮고 분말도가 높음. 보통포틀랜드시멘트는 비중 3.15g/㎤, 분말도는 약 3500이지만, 입도조절시멘트의 비중은 2.96g/㎤, 분말도는 약 6000의 재료특성으로 입도조절 시멘트는 낮은 비중과 높은 분말도로 인해 불연단열재 발포시 처짐현상을 방지할 수 있음.

- 산화마그네슘은 장기강도 목적과 소포방지 목적으로 사용하였으며 염화마그네슘과 만나 반응촉진으로 초기강도를 확보할 수 있음.

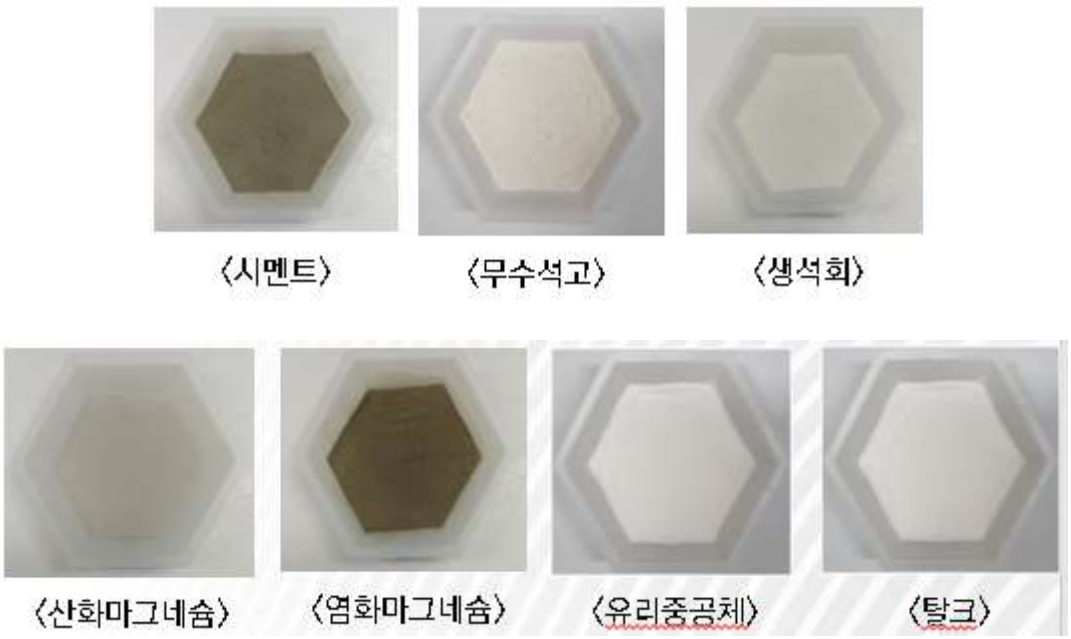
- 불연 단열재의 초기강도 확보를 위해 사용한 무수석고의 특성은 초기강도 발현으로 침하를 방지시키고 초기강도를 증진시키고, 생석회는 수화열 발생으로 입도조절 시멘트의 반응성을 촉진시키는 역할을 함. 액상 규산나트륨은 입도조절 시멘트의 응결 촉진을 위해 사용하였으며 불연단열재의 소포를 방지할 수 있음.

- 단열성능 향상 목적으로 사용한 글라스 버블은 불연단열재의 비중을 낮추고 단열성능을 향상 목적으로 사용하였고, EVA재유화형 분말수지는 시멘트 페이스트에 혼합할 시 점성이 높아져 발포 시 독립기포를 형성시키고, 기공형태를 균일하게 유지 시킬 수 있음.

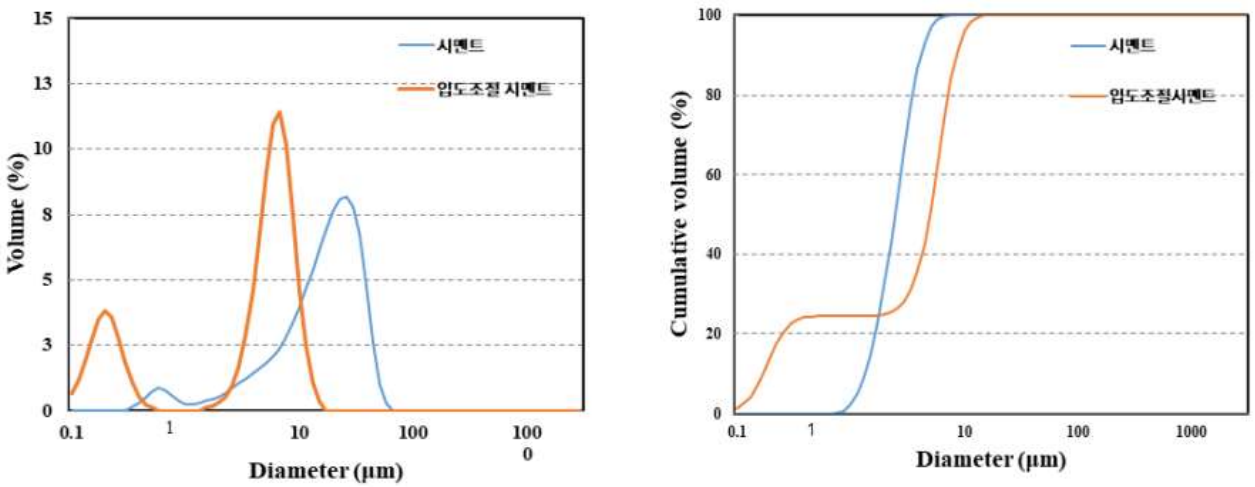
- 불연단열재 내에 공극형성을 위해 사용한 합성기포제는 기포제와 물과 혼입하여 기포발생으로 인한 불연단열재의 공극형성 목적으로 사용하였고, 이산화망간과 과산화수소는 서로 만나면 반응하여 산소가 발생함. 이러한 원리를 이용해 불연단열재의 공극형성 목적으로 사용하였음.

<표 2.4> 재료의 용도 및 특성(2차년도)

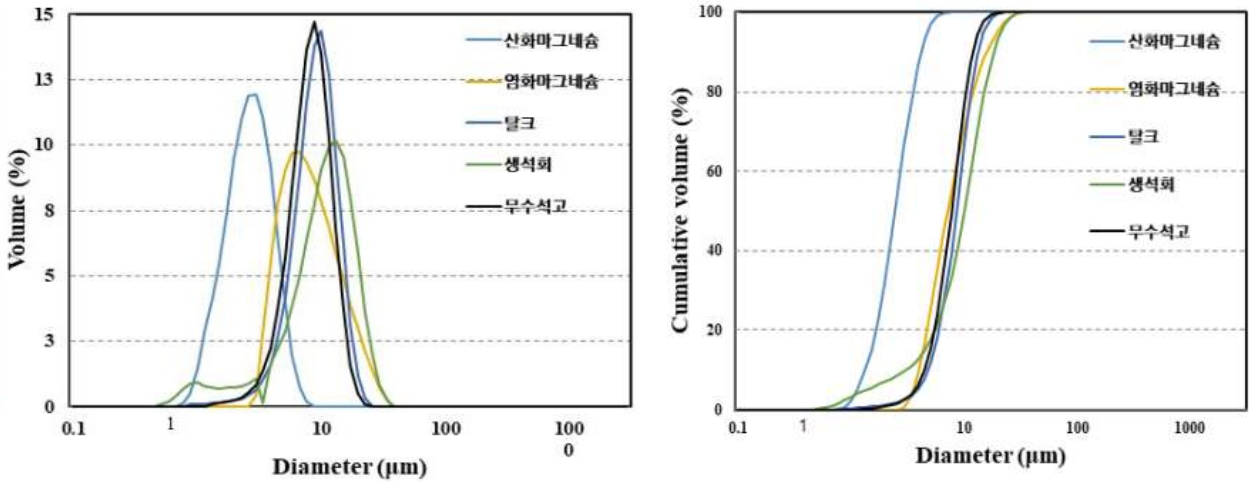
재료	용도	특성
입도조절 시멘트	강도발현, 경화	반응성이 높고 경제적
무수석고	초기강도	초기강도 발현으로 침하방지
생석회	수화열 발생	반응촉진
염화마그네슘	산화마그네슘 반응성 촉진	산화마그네슘 응결 촉진
산화마그네슘	초기강도	초기강도 발현
액상규산나트륨	시멘트 응결 촉진	응결 촉진으로 소포방지
글라스버블	비중 및 단열성능 향상	비중이 낮고 단열성능이 높음
EVA	기공형태 유지	높은 점성으로 기공형태 유지
합성기포제(선발포)	기포발생	기포 발생으로 인한 공극형성
이산화망간(후기포)		
과산화수소(후기포)		



[그림 2.11] 사용재료



[그림 2.12] 사용재료의 입도분포



[그림 2.13] 사용재료의 입도분포

- 1차 배합설계는 강도 증진을 위해 무수석고를 사용하였고 입도조절 시멘트의 반응촉진을 위해 수화열을 발생시키는 생석회를 사용하였음. 액상 규산나트륨은 시멘트의 응결 촉진을 위해 사용하였으나 과다 사용시 응결지연으로 첨가량 20%로 고정하였음.

- 2차 배합설계와 3차 배합설계는 액상 규산나트륨을 제외하고, 산화마그네슘과 염화마그네슘을 주재료로 하여 배합설계를 진행하였고, 추가 실험은 단열성능 향상을 위해 글라스 버블을 적용하여 불연단열재 제조 후 물성을 확인 후 후발포 방식을 적용한 4차 배합설계에 글라스버블과 탈크, EVA재유화형 분말수지를 사용하여 불연단열재를 제조하였음.

<표 2.5> 1차 배합설계(2차년도)

Sample	Foaming Solution (wt.%)			Cement paste (wt.%)				
	Water	Foaming Agent	Hardner	W/C	Lime	Gypsum	Cement	MgO
LNIC1-1	75	5	20	80	15	5	70	10
LNIC1-2							60	20
LNIC1-3				120			50	30
LNIC1-4							30	50

<표 2.6> 2-1차 배합설계(2차년도)

Sample	Foaming Solution (wt.%)		Cement paste (wt.%)						
	Water	Foaming Agent	W/C	Lime	Gypsum	Cement	MgO	$MgCl_2$	Glass bubble
LNIC2-1	95	5	80	15	5	50	20	5	5
LNIC2-2						45			10
LNIC2-3						40			15
LNIC2-4						35			20

<표 2.7> 2-2차 배합설계(2차년도)

Sample	Foaming Solution (wt.%)		Cement paste (wt.%)						
	Water	Foaming Agent	W/C	Lime	Gypsum	Cement	MgO	$MgCl_2$	Glass bubble
LNIC2-5	95	5	100	15	5	50	20	5	5
LNIC2-6			120						

<표 2.8> 3차 배합설계(2차년도)

Sample	Foaming Solution (wt.%)		Cement paste (wt.%)							
	Water	Foaming Agent	W/ B+F	$MgCl_2$	Cement	MgO	Lime	Gypsum	Talc	Glass bubble
LNIC3-1	95	5	120	5	50	10	15	5	10	5
LNIC3-2					40	20				
LNIC3-3					30	30				
LNIC3-4					20	40				

<표 2.9> 4차 배합설계(2차년도)

Sample	Cement paste(%)									
	Water/ Binder+ Filler (%)	Binder (wt.%)				Filler (wt.%)	Admixture addition (Binder*%)		Foaming material (by weight)	
		Cement	MgO	Lime	Gypsum	Glass bubble	$MgCl_2$ (Water*%)	EVA	MnO_2	H_2O_2
LNIC4-1	100	25	45	5	5	20	60	1%	1	2
LNIC4-2								3%		
LNIC4-3								10%		

2.2.2 불연단열재 제조

가. 불연단열재 제조

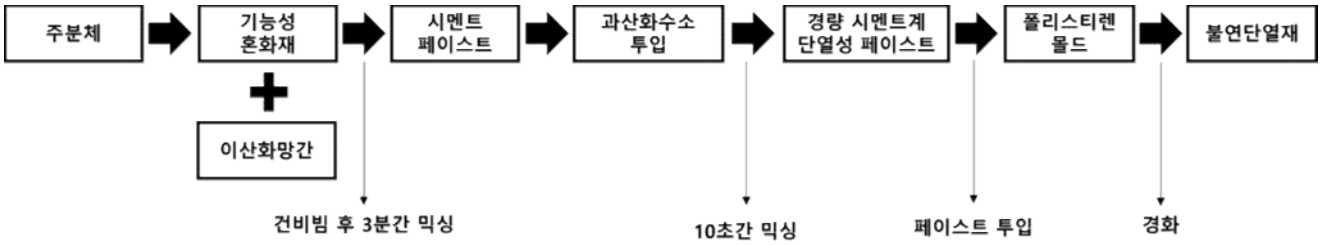
- 1차년도에 개발한 이동형 현장 시공 장비보다 2차년도 이동형 현장 시공장비를 사용하여 불연단열재를 제조하였며 개량된 부분은 라인믹서, 에어리스 펌프 추가, 기포기 비드를 변경하였음.

- 시멘트 페이스트와 기포제를 넣은 수용액을 기포기를 통해 기포를 발생시켜 시멘트 반죽과 혼입하여 토출하는 방식은 1차년도와 동일하며 이동형 현장 시공 장비에서 토출된 시멘트 폼을 폴리스티렌 몰드에 넣어 상온에서 양생을 진행하였음.

- 후발포 방식으로 제조한 불연단열재 시험편은 주재료와 화학혼화재에서 이산화망간을 추가하여 건비빔 후 배합수를 투입하여 믹싱 후 과산화수소를 투입하여 10초간 믹싱 후 폴리스티렌 몰드에 넣어 상온에서 양생을 진행하였음.



[그림 2.14] 이동형 현장 시공장비 시제품(2차년도)



[그림 2.15] 후기포 방식 배합과정

2.2.3 배합특성 검토

가. 1차 배합설계 특성 검토

- 산화마그네슘의 혼입량이 증가할수록 시멘트 페이스트의 점도가 증가하여 산화마그네슘 혼입량 10~20%는 W/B 80% 30~40%는 W/B 120%로 고정하여 시험편을 제조하였고, 제조 후 시험편의 상태는 소포현상은 나타나지 않았으며 공극 형태가 균일한 것을 볼 수 있음.

- 산화마그네슘 혼입량이 증가할수록 공극크기가 감소하는 경향을 보여주었음. 이는 산화마그네슘 혼입량이 증가하면 시멘트 페이스트의 점도가 증가하면서 공극 결합을 방해하는 것으로 보여짐.

- 1차년도 배합설계에서 문제가 되었던 수축에 의한 시험편의 균열은 발생하지 않았음. 이는 액상 규산나트륨이 입도조절 시멘트의 응결을 촉진시켜 시험편의 초기강도를 증진시켜 생석회와 무수석고에 의한 수축을 방지와 산화마그네슘의 팽창효과로 시험편의 수축을 방지한 것으로 보여짐.

- LNIC1-3,4의 경우 단열성능 측정 후 시험편이 파손되는 현상을 보였는데, 이는 마이크로시멘트 대신 대체된 산화마그네슘의 혼입량 증가와 W/B 증가로 인해 시험편의 강도가 감소한 것으

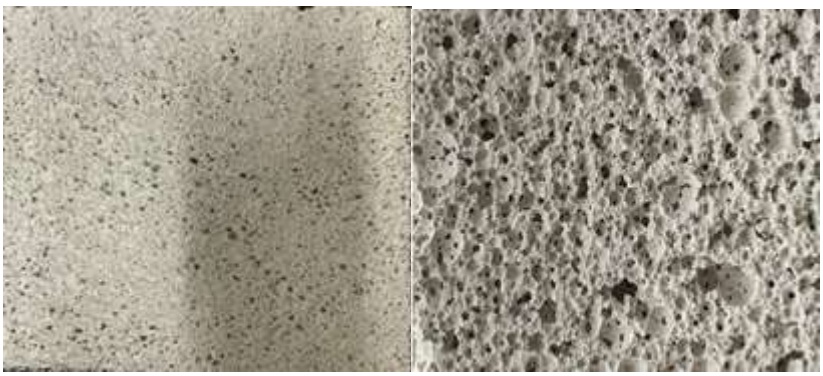
로 판단됨.

나. 2-1차 배합설계 특성 검토

- 글라스 버블의 적용성 검토를 위해 글라스 버블 혼입량 5~20%로 고정하여 2-1차 배합설계를 진행하였을 때, 글라스 버블 10~20%를 혼입한 시험편은 모두 소포하는 경향을 보여주었음. 이는 비반응성 물질인 글라스 버블이 이동형 현장 시공 장치에 제조된 시험편 내부 기포 셀벽에 분포되면서 시험편이 응결되기 전 글라스 버블에 의해 공극이 파괴되면서 소포현상이 나타난 것으로 보여졌으나 글라스버블 5%를 혼입한 시험편은 소포현상은 보이지 않았고 공극 또한 균일하였음.

다. 2-2차 배합설계 특성 검토

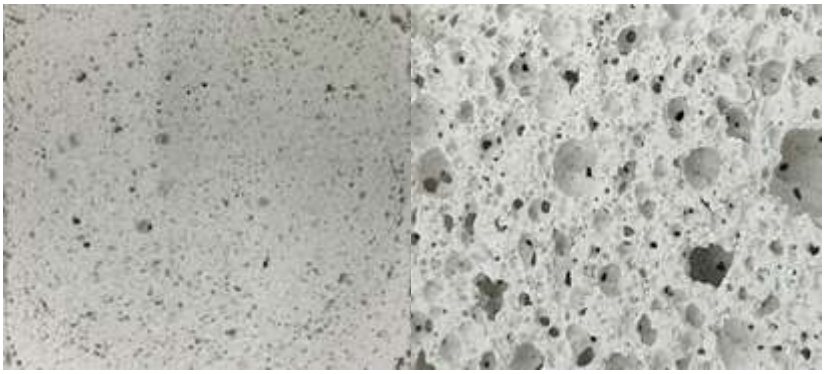
- 글라스버블 혼입량 5% 고정 후 W/B 100, 120%로 구분하여 배합설계 적용하여 시험편 제조 시 W/B 120%를 적용한 시험편은 높은 W/B로 인해 소포현상이 나타났음. 이는 시멘트 페이스트의 점성이 부족하여 비중으로 인한 공극이 파괴되면서 소포현상이 나타난 것으로 보여짐. W/B 100%를 적용한 시험편은 소포현상은 나타나지 않았으나 열린 공극이 다소 넓게 분포되어 있는 것을 확인할 수 있었음.



(a) LNIC1-1



(b) LNIC1-2



(c) LNIC1-3



(d) LNIC1-4

[그림 2.16] 1차 배합설계 기포형상



(a) LNIC2-1



(b) LNIC2-5

[그림 2.17] 2차 불연단열재 제조 및 기공형태



(a) LNIC3-3



(b) LNIC3-4

[그림 2.18] 3차 불연단열재 제조 및 기공형태

라. 3차 배합설계 특성 검토

- 3차 배합설계는 산화마그네슘과 탈크. 글라스버블을 추가로 혼입하기 때문에 W/B는 120%로 고정하여 배합설계로 제조한 시험편은 다른 시험편들에 비해 소포현상은 나타나지 않았으나 LNIC 3-1, 3-2는 소포현상이 나타남. 이는 산화마그네슘 혼입량이 증가할수록 시멘트 페이스트의 점성이 증가하면서 공극구조가 치밀해져 소포를 방지한 것으로 보여짐.

마. 4차 배합설계 특성 검토

- 후기포 방식으로 제조한 시험편은 EVA재유화형 분말수지의 혼입량이 증가할 시 소포하는 경향을 보여주었으나 혼입량 1%의 경우 소포하지 않았고 공극의 크기와 형태가 균일하고 닫힌 공극을 형성하고 있는 것을 확인할 수 있음.

- 추후 EVA재유화형 분말수지를 적용하여 시험편의 공극형태와 크기를 균일하게 할 수 있을 것으로 예상되며 글라스 버블을 적용한 시험편의 경우 대부분 소포현상을 보여주었나 적정량을 혼입하면 단열성능 향상에 기여할 것으로 보여짐.



(a) LNIC4-1

[그림 2.19] 4차 불연단열재 제조 및 기공형태

2.2.4 불연단열재 물성평가

- 글라스 버블을 적용한 시험편의 밀도는 0.25~0.36g/cm^{3}을 나타내어 2차년도 목표치 0.25g/cm^{3}에 만족하였으며 단열성능은 0.052~0.120W/mK 수준으로 목표인 단열재 라 급 수준에 도달하지 못하였지만, 1차년도 단열성능은 0.069W/mK로 약 24% 수준으로 단열성능을 향상시킴.

- 불연성 시험은 LNIC 3-4의 시험편으로 측정하였을 때 충분한 불연성능을 보여주었음. 이는 무기재료의 한계로 보여지지만, 공극제어와 글라스 버블을 적용한 배합설계 개선을 통해 단열성능 개선이 가능할 것으로 보여짐.

<표 2.10> 배합설계 밀도 및 열전도율(1차년도)

시편명	시험항목	
	밀도(g/cm^3)	열전도율(W/mK)
Carboxyl agent	0.37	0.080
Product	0.25	0.060
After foaming	0.34	0.100
White cement	0.26	0.070
White cement	0.26	0.080

<표 2.11> 1차 배합설계 밀도 및 열전도율(2차년도)

시편명	시험항목	
	밀도(g/cm^3)	열전도율(W/mK)
LNIC1-1	0.36	0.120
LNIC1-2	0.30	0.072
LNIC1-3	0.35	0.080
LNIC1-4	0.34	0.065

<표 2.12> 2,3,4차배합설계 밀도 및 열전도율(2차년도)

시편명	시험항목	
	밀도(g/cm^3)	열전도율(W/mK)
LNIC2-1	0.28	0.088
LNIC2-5	0.30	0.088
LNIC3-1	0.26	0.060
LNIC3-2	0.29	0.105
LNIC3-3	0.26	0.064
LNIC3-4	0.25	0.057
LNIC4-1	0.25	0.052

<표 2.13> LNIC3-4 시편 불연성 측정(2차년도)

시험체 번호		1	2	3	성능기준
시험조건 (가열로안정)	노내온도의 Drift(℃)	1.4	1.1	1.5	-
	노내온도의 편차(℃)	2.8	2.6	3.0	
질량 (g)	시험 후 질량	13.93	13.37	12.62	-
	가열감량	4.01	4.08	3.68	
	감소율(%)	22.36	23.38	22.58	30% 이하
노 내온도 (℃)	초기온도	750.8	745.6	747.0	최고온도가 최종평형온도를 20K초과 상승하지 않을 것
	최고온도	762.5	754.2	757.3	
	최종평형온도	761.7	752.4	755.3	
	온도차	0.8	1.8	2.0	
잔염시간(s)		0	0	0	-

2.3 현장시공형 불연단열재 적용기술개발

핵심연구 성과 (level1)		단위 성과물 (level2)		해당 기관
E	현장시공형 불연단열재 현장적용성 및 물성확보 기술	E-1	현장시공형 불연단열재 적용기술 개발	한국세라믹기술원

2.3.1 불연단열재의 재료선정

- 불연단열재 재료는 기본적으로 불연성능을 가지는 재료를 사용하여 불연단열재를 제조하였음. 산화마그네슘의 비중은 약 3.2g/cm^{3}과 순도 약96%의 특징으로 염화마그네슘과 반응하면 응결촉진으로 초기강도가 확보 가능하다. 입도조절 시멘트는 낮은 비중과 높은 분말도로 인해 불연단열재 발포시 처짐현상을 방지할 수 있음.

- 글라스 버블은 3가지 Type을 선정하였고, 각 글라스버블에 대한 밀도 및 입자 사이즈는 A Type 0.15 g/cm^3, B Type 0.20 g/cm^3, C Type 0.38 g/cm^{3}이며 평균 입자 사이즈는 115㎛, 105㎛, 85㎛ 의 특징을 가짐

- 생석회는 수화열 발생으로 입도조절 시멘트의 반응성을 촉진시키는 역할을 하며 염화마그네슘은 산화마그네슘과 만나 응결촉진으로 초기강도 확보가 가능함. EVA재유화형 분말수지와 증점제는 공기연행 및 시멘트 페이스트의 증점을 위해 사용하였으며 발포 시 공극구조의 안정성을 위해 사용하였고 붕사는 EVA재유화형 분말수지의 응결촉진 목적으로 사용하였음. 유동화제는 시멘트 페이스트의 작업성 향상을 위해 사용하였음.

- 모든 시험편 제조는 후기포 방식으로 진행하였으며, 발포재료는 이산화망간과 과산화수소를 사용하였음.

<표 2.14> 재료의 용도 및 특성 (1-1, 1-2번 배합설계 사용재료)

재료	용도	특성
산화마그네슘	장기강도	장기강도 발현
염화마그네슘	산화마그네슘 반응성 촉진	산화마그네슘 응결 촉진
글라스버블	비중 및 열전도율 저하	비중이 낮고 열전도율이 낮음
붕사	EVA 응결촉진	EVA 응결 촉진으로 강도향상
유동화제	유동성 증진	작업성 향상
EVA	기공형태 유지	높은 점성으로 기공형태 유지
증점제	기공형태 유지	높은 점성으로 기공형태 유지
이산화망간	발포로 인한 공극형성	화학적 반응으로 공극을 형성
과산화수소	발포로 인한 공극형성	화학적 반응으로 공극을 형성

<표 2.15> 재료의 용도 및 특성 (2번 배합설계 사용재료)

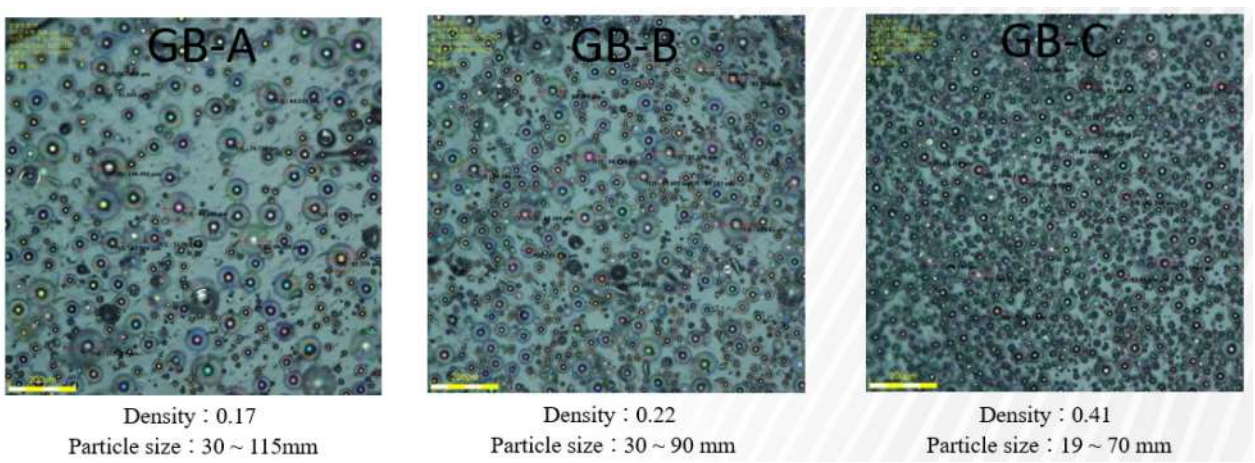
재료	용도	특성
입도조절 시멘트	강도발현, 경화	반응성이 높고 경제적
생석회	수화열 발생	반응촉진
글라스버블	비중 및 열전도율 저하	비중이 낮고 열전도율이 낮음
유동화제	유동성 증진	작업성 향상
EVA	기공형태 유지	높은 점성으로 기공형태 유지
증점제	기공형태 유지	높은 점성으로 기공형태 유지
이산화망간	발포로 인한 공극형성	화학적 반응으로 공극을 형성
과산화수소	발포로 인한 공극형성	화학적 반응으로 공극을 형성



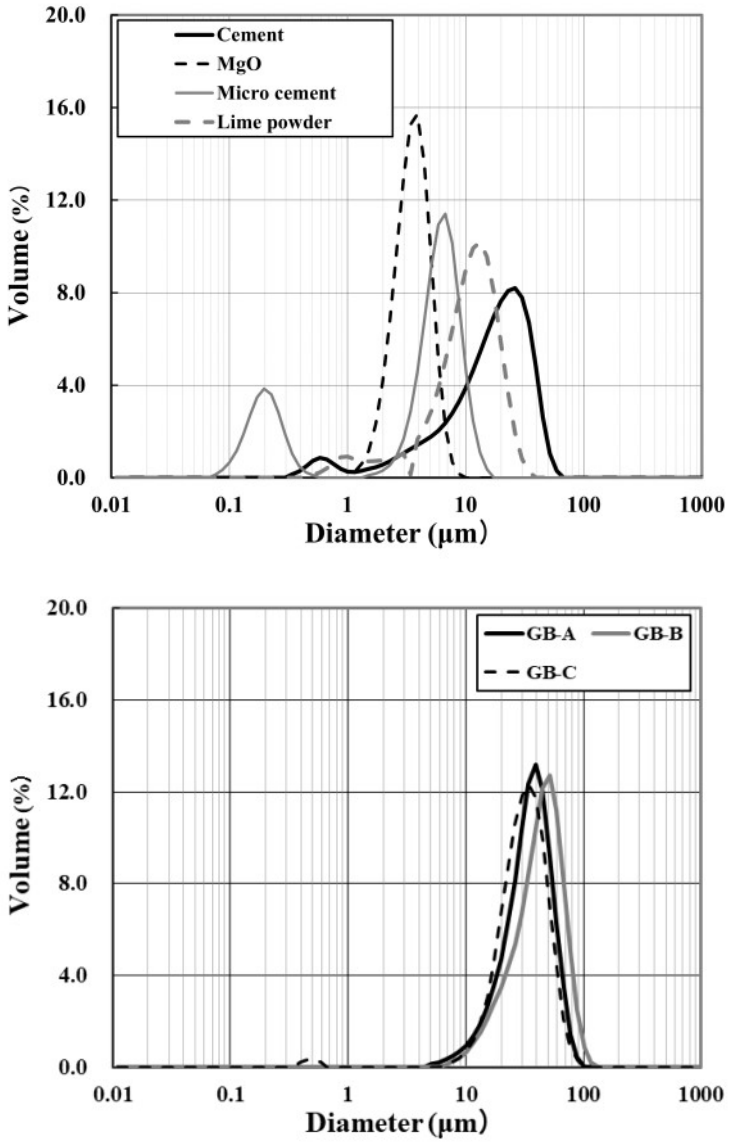
[그림 2.20] 1-1, 1-2번 배합설계 사용재료



[그림 2.21] 2번 배합설계 사용재료



[그림 2.22] 글라스 버블 Type별 밀도 및 입도사이즈



[그림 2.23] 배합설계 사용재료 입도분포

2.3.2 불연단열재 배합설계

- 2차년도 배합설계를 바탕으로 주재료인 산화마그네슘과 입도조절시멘트를 사용한 2가지 배합으로 진행하였음. 1-1번의 배합설계는 입도조절 시멘트와 산화마그네슘을 주재료로 사용하였고 글라스 버블은 전체 중량대비 20%로 고정하여 배합설계를 진행하였음. 1-2번의 배합설계는 입도조절 시멘트를 제외한 산화마그네슘을 주재료로 사용하고 글라스 버블은 중량대비 33%로 고정한 배합설계로 시험편을 제조하였음. 2번 배합설계는 입도조절 시멘트 단독으로 사용하고 글라스 버블은 전체 중량대비 10~20%로 고정하여 배합설계를 진행하였음.

- 발포방식은 후기포 방식으로 진행하였고, 불연성능을 가지는 재료를 주재료로 선정하였음. 단열성능 향상을 위해 사용한 글라스버블은 3가지 Type을 사용하였고 시험편 제조과정은 2차년도 배합과정과 동일하게 진행하였고, 시험편은 상온에서 양생을 진행하였음.

<표 2.16> 1-1번 배합설계

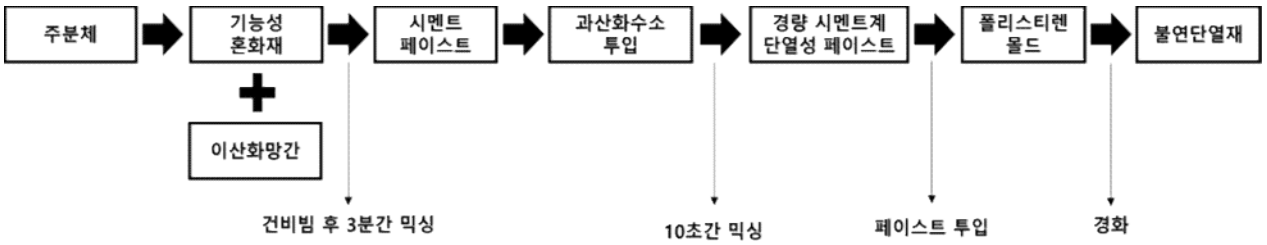
Sample	Binder				Admixture addition			Foaming agent	Hardner	
	W/C	Cement	MgO	Glass Bubble-A	Binder wt. %		Polymer wt/%	MnO_2:H_2O_2	Polymer wt. %	MgO wt. %
					Polymer	WR	Thickner			
LNIC-1	100	20	60	20	0.3	0.06	10	1 : 4	100	100
LNIC-2					0.6					
LNIC-3					0.9					
LNIC-4					1.2					

<표 2.17> 1-2번 배합설계

Sample	Binder				Admixture addition			Foaming agent	Hardner	
	W/C	Cement	MgO	Glass Bubble-B	Binder wt. %		Polymer wt/%	MnO_2:$H2O_2$	Polymer wt. %	MgO wt. %
					Polymer	WR	Thickner			
LNIC-5	190	-	67	33	0.125	-	60	1 : 6	100	100
LNIC-6	210									

<표 2.18> 2번 배합설계

Sample	Binder				Admixture addition				Foaming agent
	W/C	Cement	Lime	Glass bubble (A,B,C)	Polymer	Thickner	Water Reducing agent	Hardner	MnO_2:H_2O_2
SLI10A	140	60	20	20	0.125	0.065	5	1	1 : 2
SLI10B									
SLI10C									
SLI20A		70	20	10					
SLI20B									
SLI20C									

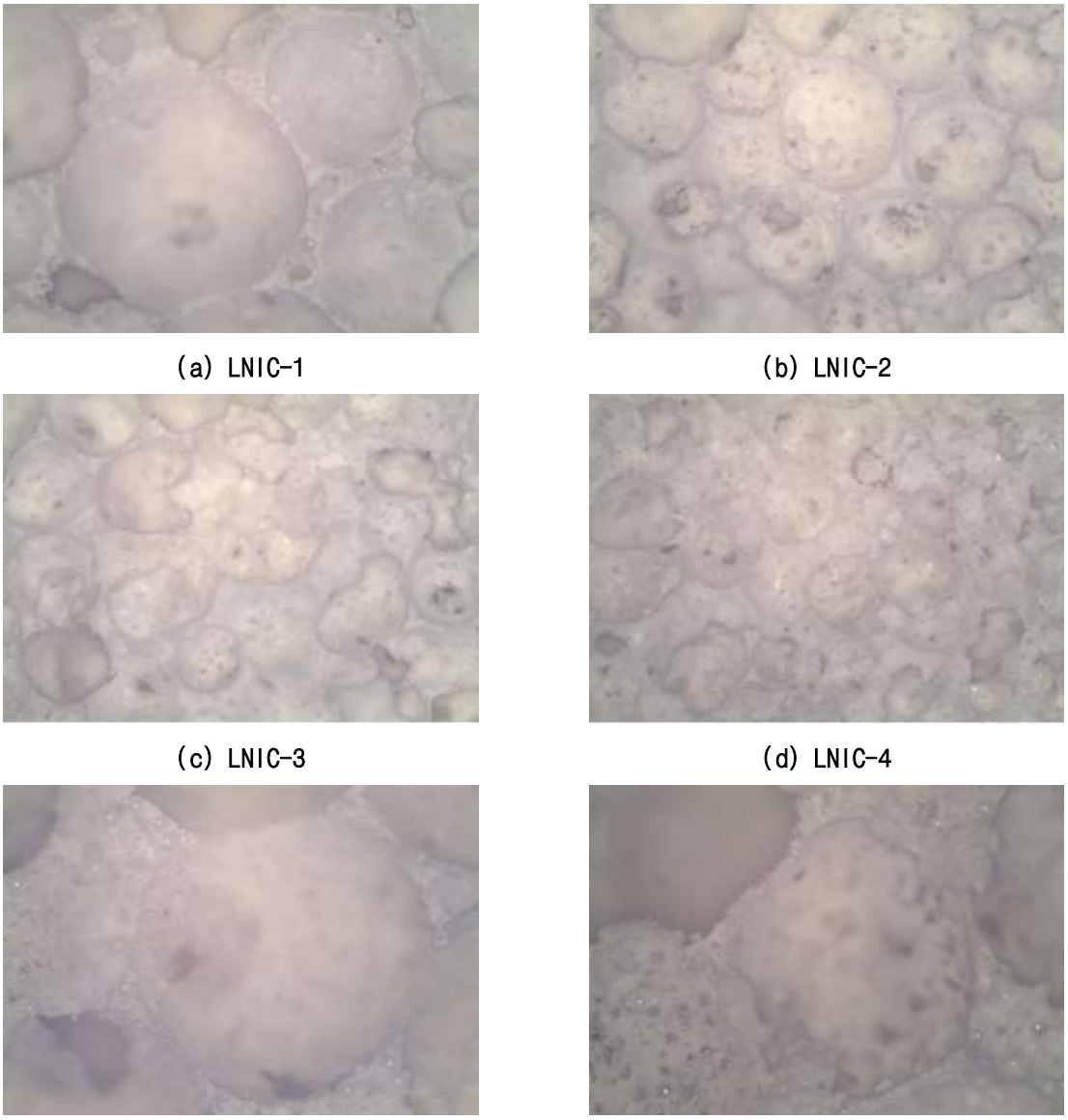


[그림 2.24] 후기포 방식 배합과정

2.3.3 불연단열재 물성평가

가. 공극특성

- 1-1번 배합설계로 제조한 시험편의 공극특성을 보았을 때, EVA재유화형 분말수지의 혼입량이 증가할수록 공극의 크기는 감소하는 경향을 보여줌. 이는 EVA재유화형 분말수지의 증점효과로 인해 공극의 크기는 감소하는 경향을 보여줌. 또한, EVA재유화형 분말수지의 혼입량이 증가에 따라 공극사이에 있는 셀벽의 두께가 증가하는 경향을 보여줌.



(a) LNIC-1 (b) LNIC-2

(c) LNIC-3 (d) LNIC-4

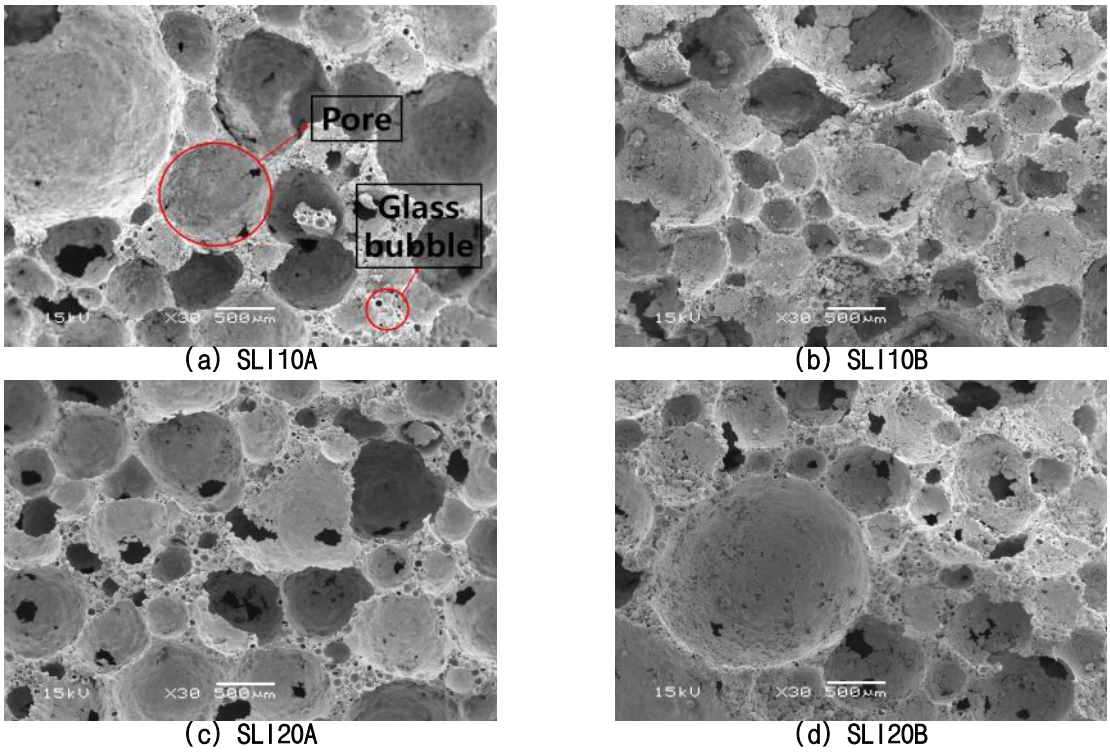
(e) LNIC-5 (f) LNIC-6

[그림 2.25] 1-1, 1-2번 배합설계 제조 시험편 공극형태

- EVA재유화형 분말수지와 증점제의 혼입량을 고정하고 W/B를 증가시킬 경우 공극의 크기에는 큰 변화는 없었으며 2번 배합설계로 제조한 시험편 중 글라스버블 C Type 10%로 제조한 시험편은 제조가 불가능하였음.

- 글라스 버블 공극특성은 글라스 버블 A, B Type을 10% 혼입한 초경량 무기 단열재의 공극 형태는 20% 혼입한 단열재보다 열린 공극이 다소 적게 형성되어 있는 것을 볼 수 있었음. 이는 이산화망간과 과산화수소에 의해 발생한 공극에 분포된 글라스 버블의 비율이 낮아 열린 공극의 발생이 적은 것으로 보임.

- 글라스 버블 A, B Type 20%를 혼입한 초경량 무기 단열재의 공극 형태는 비 반응성 물질인 글라스버블에 의해 형성된 열린 공극으로 분포되어 있는 것을 볼 수 있었다. 다만, 공극 및 셀 벽 주변에 글라스 버블이 고르게 분포된 것을 확인할 수 있었음.



(a) SLI10A (b) SLI10B

(c) SLI20A (d) SLI20B

[그림 2.26] 2번 배합설계 제조 시험편 공극형태

나. 밀도특성

- 1-1번 배합설계로 제조한 시험편의 밀도 특성을 보았을 때, EVA재유화형 분말수지의 혼입량이 증가할수록 밀도는 증가하는 경향을 보여줌. LNIC-1의 밀도는 0.23g/cm^{3}의 밀도를 나타내었으며 EVA재우화형 분말수지의 혼입량이 증가함에 따라 0.25 ~ 0.27g/cm^{3}의 밀도를 나타내었음. 이는 EVA재유화형 분말수지의 혼입량이 증가할수록 응집력으로 인해 이산화망간과 과산화수소의 발포력을 억제함으로써 밀도가 증가하는 경향을 보여줌.

- 1-2번 배합설계로 제조한 시험편의 밀도는 LNIC-5, LNIC-6 0.06g/cm^{3}의 밀도를 나타냄. W/B가 증가함에 따라 밀도는 큰 변화는 나타나지 않았으나 높은 물비로 인해 밀도가 매우 낮은 결과를 보여줌.

- 2번 배합설계로 제조한 시험편은 글라스 버블을 10%를 혼입한 SLI10A의 밀도 0.16 g/cm^{3}의 밀도를 나타내었으며 SLI20B는 0.17g/cm^{3}의 밀도를 나타내었음. 글라스 버블 A Type 20%를 혼입한 SLI20A 시험편의 밀도는 0.15g/cm^{3}을 나타내었으며 SLI20B 0.15 g/cm^{3}을 나타내었음.

- 글라스 버블의 종류 및 혼입률에 따른 밀도 차이는 발생하지 않았음. 이는 글라스 버블 혼입에 의한 밀도 감소보다 이산화망간과 과산화수소의 화학반응에 생성된 공극이 초경량 무기 단열재의 밀도 감소에 영향을 준 것으로 보임.

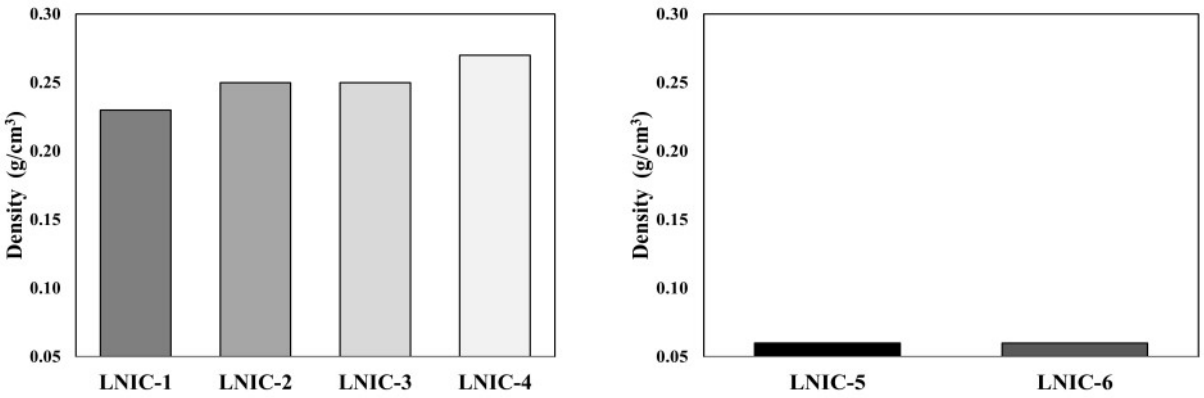
다. 단열특성

- 1-1번 배합설계로 제조한 시험편의 단열성능을 보았을 때, EVA 재유화형 분말수지의 혼입량이 증가할수록 단열성능이 감소하는 경향을 보여줌. EVA재우화형 분말수지의 혼입량이 증가함에

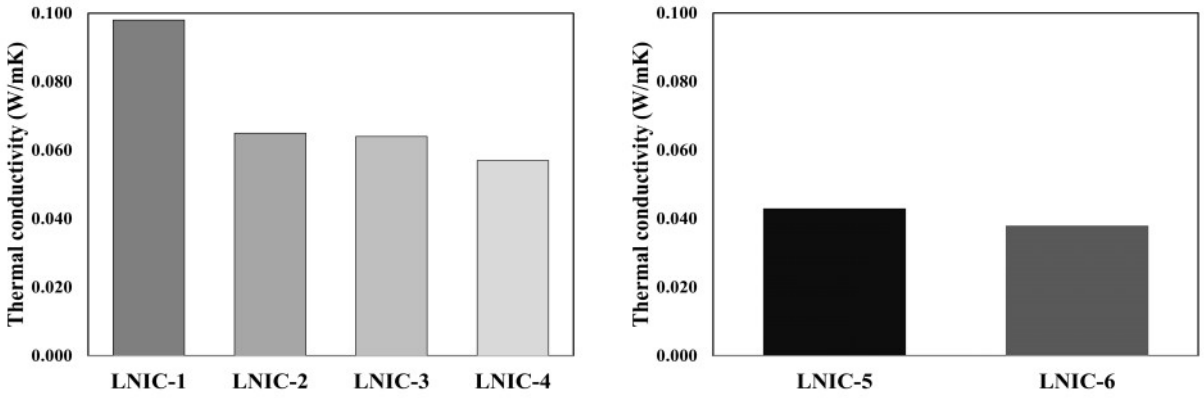
따라 0.052 ~ 0.063W/mK의 단열성능을 나타내었음. 이는 전절에 서술하였듯이 EVA재유화형 분말수지의 혼입량이 증가할수록 응집력으로 인해 공극의 크기가 감소하고 셀벽의 두께가 증가하면서 열손실이 발생하는 것으로 보여짐.

- 1-2번의 배합설계로 제조한 시험편의 경우 0.038 ~ 0.043W/mK로 W/B가 높은 시험편의 경우 단열성능이 향상된 것을 볼 수 있음. 이는 W/B 증가에 따라 시멘트 페이스트의 점성이 감소하면서 이산화망간과 과산화수소의 발포력이 증가하여 공극의 수가 증가로 단열성능이 향상된 것으로 보여짐.

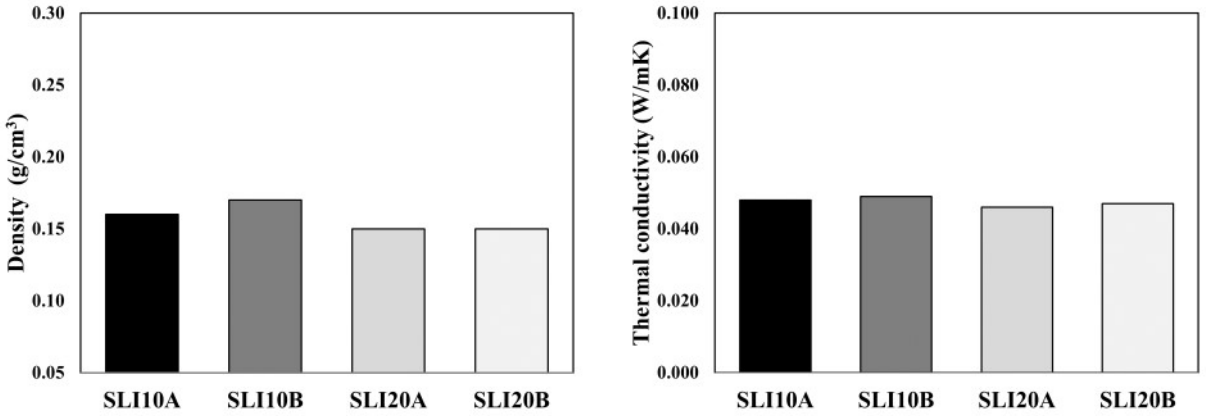
- 2번 배합설계로 제조한 시험편의 단열성능을 보았을 때, 글라스 버블 A Type 10%를 혼입한 SLI10A 시험편의 열전도율은 0.049W/mK를 나타내었고, SLI10B는 0.050W/mK 의 열전도율을 나타내었다. 또한, 글라스 버블 A Type 20%를 혼입한 SLI20A시험편의 열전도율은 0.046W/mK를 나타내었고, SLI20B는 0.047W/mK의 열전도율을 나타내었음.



[그림 2.27] 1-1, 1-2번 배합설계 제조 시험편 밀도



[그림 2.28] 1-1, 1-2번 배합설계 제조 시험편 단열성능



[그림 2.29] 2번 배합설계 제조 시험편 경량 및 단열성능

<표 2.19> 1번 배합설계 제조 시험편 밀도

Sample	LNIC-1	LNIC-2	LNIC-3	LNIC-4	LNIC-5	LNIC-6
Density (g/cm^3)	0.23	0.25	0.25	0.27	0.06	0.06

<표 2.20> 2번 배합설계 제조 시험편 밀도

Sample	SLI10A	SLI10B	SLI10C	SLI20A	SLI20B	SLI20C
Density (g/cm^3)	0.16	0.17	-	0.15	0.15	0.17

<표 2.21> 2번 배합설계 제조 시험편 단열성능

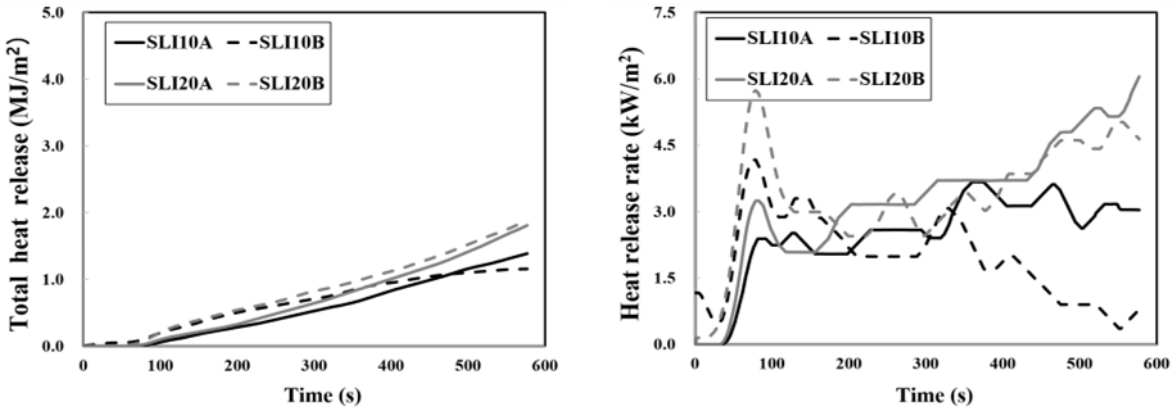
Sample	LNIC-1	LNIC-2	LNIC-3	LNIC-4	LNIC-5	LNIC-6
Thermal conductivity (W/mK)	0.098	0.065	0.064	0.057	0.043	0.038

<표 2.22> 2번 배합설계 제조 시험편 단열성능

Sample	SLI10A	SLI10B	SLI20A	SLI20B
Thermal conductivity (W/mK)	0.048	0.049	0.046	0.047

<표 2.23> 콘칼로리미터 실험결과

Series	SLI10A	SLI10B	SLI20A	SLI20B
Total heat release (MJ/m^2)	1.50	1.20	2.10	2.10
Mean heat release rate (kW/m^2)	2.51	1.91	3.42	3.43
Peak heat release rate (kW/m^2)	3.69	4.73	6.99	6.30
Mass loss (%)	11.6	10.8	12.6	12.2



[그림 2.30] 2번 배합설계 제조 시험편 열방출을 및 총열방출열량

Series	SLI10A	SLI10B	SLI20A	SLI20B
Before				
After				

[그림 2.31] 콘칼로리미터 실험직후 시험편 상태

- 글라스 버블 20%를 혼입한 시험편은 다소 열린 공극을 형성하고 있지만, 이산화망간과 과산화수소에 의해 발생 된 공극에 글라스 버블이 분포되어 입자 하나가 공극 역할을 하게 됨. 이에 따라 열전도를 방해하여 단열성능이 개선된 것으로 보이며 글라스 버블 혼입률이 증가할수록 단열성능이 개선되었음.

- 글라스 버블 A, B Type은 혼입률 10% 증가 시 단열성능이 약 6% 개선되었음. 이는 SEM에 의한 관찰결과와 같이 공극 역할을 하는 글라스 버블의 혼입률이 감소함에 따라 셀 벽에 분포하고 있는 글라스 버블의 비율이 낮아지면서 열 손실이 발생하여 단열성능이 저하하는 것으로 판단됨.

- 전체적인 결과로부터, 글라스 버블 종류 및 혼입률에 따른 시험편의 단열성능은 다, 라 등급에 해당하는 것으로 무기 단열재로는 양호한 단열성능을 보임.

라. 난연 성능

- 난연성능 측정 시험편은 마이크로 시멘트를 단독으로 사용한 2번 배합설계로 제조한 시험편의 난연성능을 측정하였음. 총방출열량은 글라스 버블 종류와 상관없이 시간이 경과할수록 지속해서 증가하는 경향을 보였다. 이는 콘칼로리미터 시험 시 50kW/m2의 복사열로 인해 글라스 버블은 열분해하여 총방출열량이 증가하게 됨.

- 글라스 버블 혼입률 10%의 SLI10A 시험편은 1.50MJ/m2 SLI10B 1.20MJ/m2으로, 20%를 혼입한 경우에 비해 낮은 총열방출율을 나타내었음. 글라스 버블을 20% 혼입한 시험편 SLI20A, B는 2.10MJ/m2를 나타내어 다른 시험편에 비해 다소 높은 총방출열량을 보였음. 이는 글라스 버블의 혼입률이 증가하면서 열에 반응하는 글라스 버블의 양이 많아져 총방출열량이 높게 나타난 것으로 보임.

- 50초에서 100초에서 열방출율은 크게 증가하는 경향을 보였음. 이는 시험편 내부의 글라스 버블이 열에 의한 변태로 녹아 열방출율이 증가한 것으로 보임. 또한 글라스 버블의 혼입률이 작을수록 열방출율은 감소하는 경향을 보였음.

- 글라스 버블 20%를 혼입한 SLI20A, SLI20B 시험편은 시간이 경과할수록 열방출율이 증가하는 경향을 보였음. 이는 시험편의 글라스 버블이 시험 시작부터 지속해서 반응하여 열방출율이 증가하는 것으로 보임. 또한, 글라스 버블 10%를 혼입한 시험편의 열방출율은 180초 이후 감소하거나 유지되는 경향을 보였음.

- 이는 시험편 내부에 분포된 글라스 버블이 상대적으로 적어 연소시간이 증가하여도 열방출율은 감소하거나 유지되었다.콘칼로리미터 시험 후 각 시험편의 상태 확인 시, 글라스 버블 B Type을 제외한 시험편의 외관은 양호하였고, 충분한 난연성능을 보였음.

마. 불연 성능

- 입도조절 시멘트를 단독으로 사용한 2번 배합설계로 제조한 시험편의 불연성능을 확인하였음. 시멘트계 초경량 무기 단열재에 사용된 글라스 버블은 연화점이 약 600° C이므로 공극 및 셀 벽에 분포되어 있는 글라스 버블이 녹아 단열재 내부구조가 파괴되면서, 균열 및 추가적인 손상이 발생할 수 있음.

- 글라스 버블을 10% 혼입한 SLI10A 시험편의 질량감소율은 25.5%, SLI10B 시험편은 25.8%의 결과를 보였다. 글라스 버블 20%를 혼입한 SLI20A 시험편은 28.1%, SLI20B시험편은 25.8%로 혼입률에 따른 차이는 크지 않았음.

- 각 시험편의 온도 차는 SLI10A 시험편이 1.2° C, SLI10B 시험편은 1.1° C의 결과를 보였고, 20%를 혼입한 SLI20A 시험편이 0.9° C, SLI20B 시험편은 1.8° C의 차이를 보였음. 글라스 버블의 혼입률에 따른 차이는 크지 않았지만, 글라스 버블 20%를 혼입한 시험편은 시험 후 균열이 발생하는 것을 확인할 수 있었음. 따라서, 글라스 버블 혼입률을 10%로 사용하는 경우 충분한 불연성능을 보일 것으로 판단됨.

<표 2.24> 불연성 실험결과

Series		SLI10A	SLI10B	SLI20A	SLI20B	Standard
Mass (g)	Final mass (g)	10.31	13.14	7.85	10.61	Below 30%
	Mass loss (g)	3.54	3.39	3.08	3.70	
	Mass loss (%)	25.5	25.8	28.1	25.8	
Furnace temperature (℃)	Maximum furnace temperature (℃)	755.3	745.1	754.8	750.7	Not excess 20 K
	Final equilibrium temperature (℃)	754.1	744.0	753.9	748.9	
	Temperature difference (℃)	1.2	1.1	0.9	1.8	

Series	SLI10A	SLI10B	SLI20A	SLI20B
Before				
After				

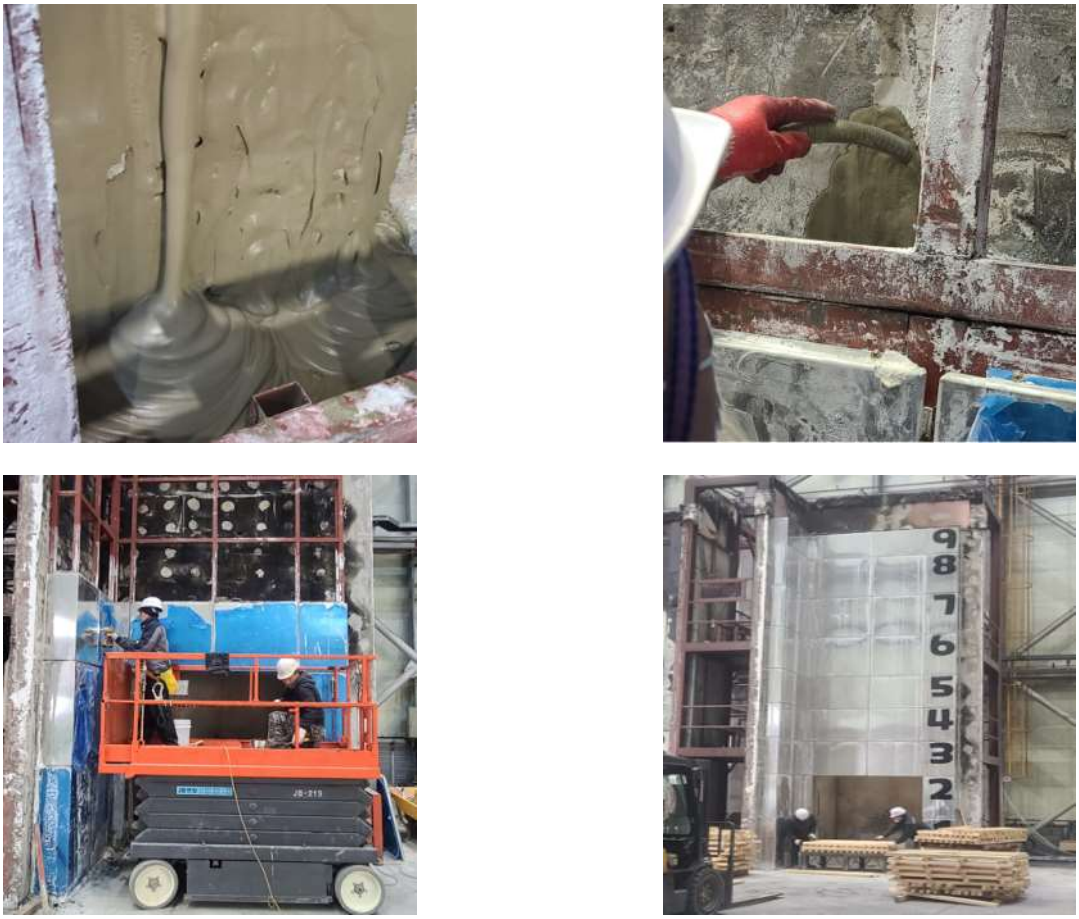
[그림 2.32] 불연성 시험 실험직후 시험편 상태

2.3.4 불연단열재 현장적용성 확인

- 3차년도 배합설계를 토대로 이동형 현장 시공 장치에 적용하여 불연단열재를 제조하였음.이동형 현장 시공 장치에 불연단열재를 제조하여 실험을 진행하였으며, 발포 방법은 선발포 방식으로 제조하였음.

- 실험결과, 기포에 의해 제조된 불연단열재의 공극형태는 균일한 크기로 분포되어 있는 것을 확인하였으며, 소포현상은 나타나지 않았음.

- 화재안전성 실험에서 현장 적용 성능 확인을 위해 적용한 실물 외벽 구조의 크기는 8m 높이에서 실험을 진행하였음. 시공기간은 약 7일정도 소요되었고 이후 14일간 상온에서 양생을 진행하였음. 시공기간 동안 불연단열재의 소포현상은 나타나지 않았음.



[그림 2.33] 이동형 현장 시공 장치를 이용한 불연단열재 시공 현장



[그림 2.34] 이동형 현장 시공 장치로 제조한 불연단열재 공극형태



[그림 2.35] 화재안전성 시험 직후 불연단열재 상태

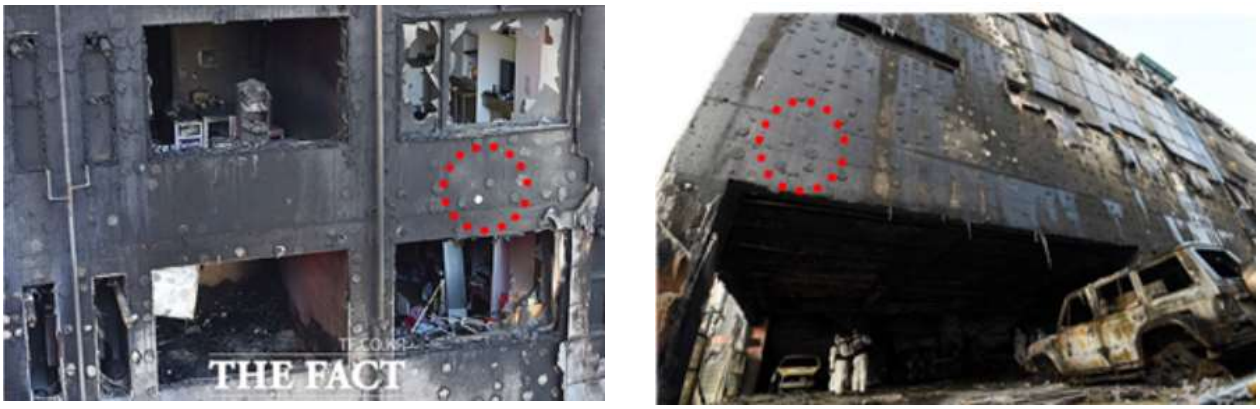
2.4 외벽 현장시공기술 공정 기술

핵심연구 성과 (level1)		단위 성과물 (level2)		해당 기관
B	외벽 현장시공기술 공정 기술	B-1	외단열 시공기술 검토	유로글라스
		B-2	현장적용성 검토	

2.4.1 외단열 시공기술 검토

- 일반적인 외단열 시공기술은 경제적인 이유로 유기계 단열재나 화재에 취약한 재료를 사용함. 또한, 시공 시 벽체→단열재→마감재 순서로 화재 발생시 단열재가 열에 녹아 화재 확산 통로 역할을 하게 됨.

- 외단열 공법 단열재 시공시 시공불량이나 수분에 의한 단열재 변형으로 공간이 생겨 열의 이동경로가 되는 단점을 가지지만, 충진시공을 적용한 경우 벽체→단열재→마감재의 공간을 없애는 것이 가능하며 불연재료로 사용할 경우 건축물의 화재 안전성이 향상되나 현재 사용되는 외단열 현장 시공법은 대부분 유기계 단열재이거나 불에 타는 재료임.

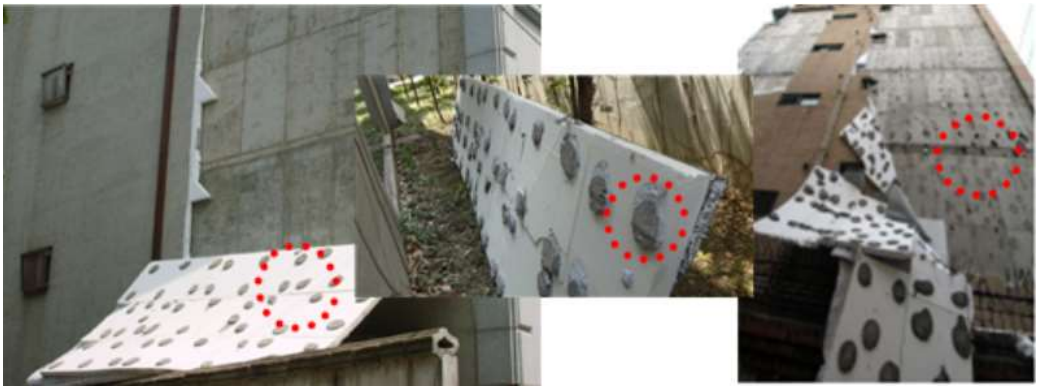


(a) 의정부 화재사고 건물사진 (b) 제천 화재사고 건물사진

[그림 2.36] 화재사고 건물사진



[그림 2.37] 드라이비트 시공예시



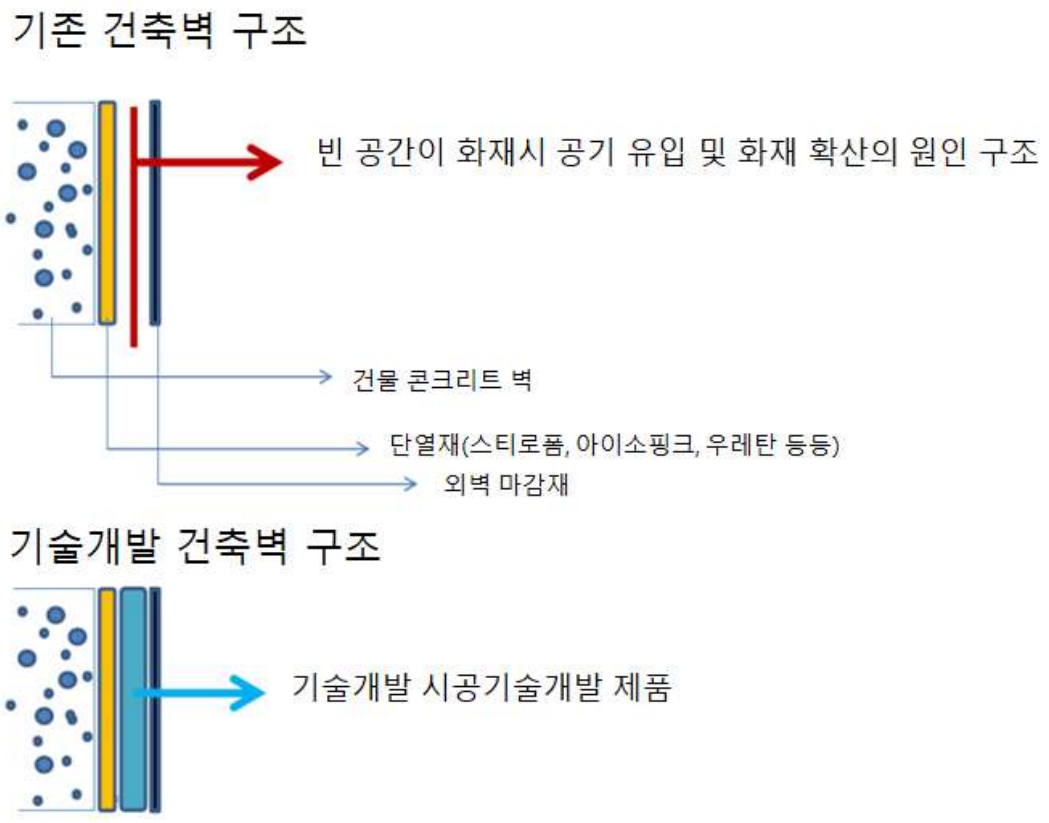
접착제 부실시공에 의한 단열재 이탈사고 국내사례
[그림 2.38] 국내 단열재 이탈사고 사례

<표 2.25> 외단열시공방법

시공 과정		시공 내용
스타터 트랙		• 습식 고정에 있어서도 보드를 고정하기 위해서는 알루미늄 스타터트랙을 설치함. • 트랙은 지면의 습기 등을 고려해 주초부분 15㎝위부터 시작함.
		• 트랙부터 지면 아래 30㎝까지 메시로 벽면을 보강함.
EPS접착제 부착		• 단열보드를 보드 스탠드 위에 설치함. • 이가 있는 흙손이 매끄러운 쪽을 사용하여 완전히 준비된 보드위에 접착제를 바름.
EPS 부착		• 접착제가 잘 발라진 EPS를 아래쪽부터 단단히 붙여 겹쳐지면서 쌓아져야 한다.
패스너 고정		• 10㎜ 두께의 폴리스티렌, 뚜껑이 있는 패스너로 고정함.
틈처리		• 보드 사이의 이음부에 탄탄한 부착을 위해서 필요한 부분의 틈을 처리함.



[그림 2.39] 화재확산 방지구조 개념



[그림 2.40] 개발대상 제품 개념

2.4.2 현장적용성 검토

가. 국외 사례 (우레아-포름알데히드 폼)

- 국외의 경우 현장에서 발포시킨 후 내부에 주입 및 충진시키는 단열 시공법이 있으며 이중 우레아 - 포름알데히드폼(Urea - formaldehyde)로 요소 수지계를 원료로 사용하며 경화제와 공기를 사용하여 현장 발포시킨 후 시공부위에 분사, 주입시키는 단열재가 있지만 우레아 - 포름알데히드폼은 수축이 심하고 경화 후 부서져 내리는 문제가 있어 최근에는 우레아-포름알데히드폼의 단점을 보완하고자 대체품으로 멜라민수지를 혼입하거나 포함하는 형식으로 개발되어지고 있음.



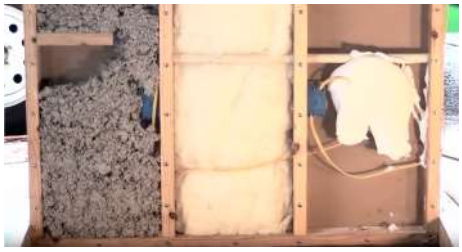
USA Insulation Franchise Corporation



Tripolymer Insulation



Homesulate



셀룰로오스 - 글라스 울 - 우레아폼

[그림 2.41] 충진형 시공 국외사례

나. 국외 사례 (셀룰로오스 단열재)

- 셀룰로오스는 목재로부터 얻은 종이를 재활용하여 난연재 등을 첨가하여 제조되며 전도율 약 0.040W/mK의 충진형 방식으로 목재 사이에 공간을 채워주는 방식으로 시공이 진행됨.

- 국내에서는 패시브하우스나 제로에너지 주택에 일부 시공되는 추세이나 셀룰로오스 단열재의 단점은 처짐현상으로 단열성능이 저하되고, 시공비용 또한 비싸다는 단점을 가짐.







[그림 2.42] 셀룰로오스 단열재 현장시공

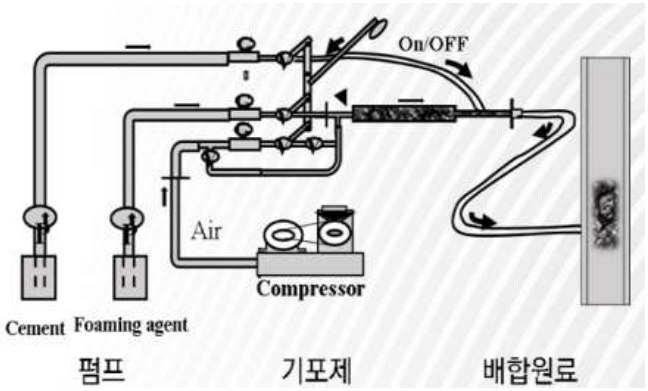
2.4.3 발포 기계 특성

- 국외의 발포 기계 특성은 1액형과 2액형을 현장에서 배합한 후 발포기계를 통해 혼합 및 토출하는 방식으로 시공하고 있으며 작동 방식은 에어 컴프레셔에 의해 공기를 가압시켜 내부를 충진시키는 방식으로 시공이 되고 있음.

- 국외 사례를 검토 후 에어 컴프레셔의 가압을 통해 펌프가 작동하여 시멘트 페이스트와 기포제를 혼합라인으로 이송시켜 토출하는 방식의 이동형 현장 시공 장치를 개발하였고 추가적으로 에어 펌프의 맥동감쇄를 위해 댐퍼를 추가 설치하여 작업성능을 향상시켰으며 시멘트 페이스트와 기포제의 혼합 비율조절을 위해 유량 조절기를 설치하여 정확한 배합이 가능하도록 이동형 현장 시공 장치를 개선하였음.

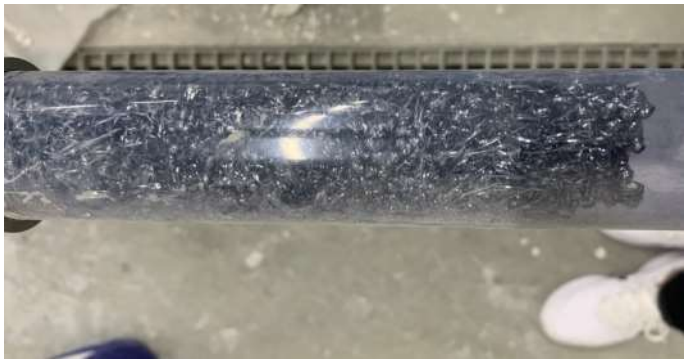


[그림 2.43] 국외 발포 기계 현장시공

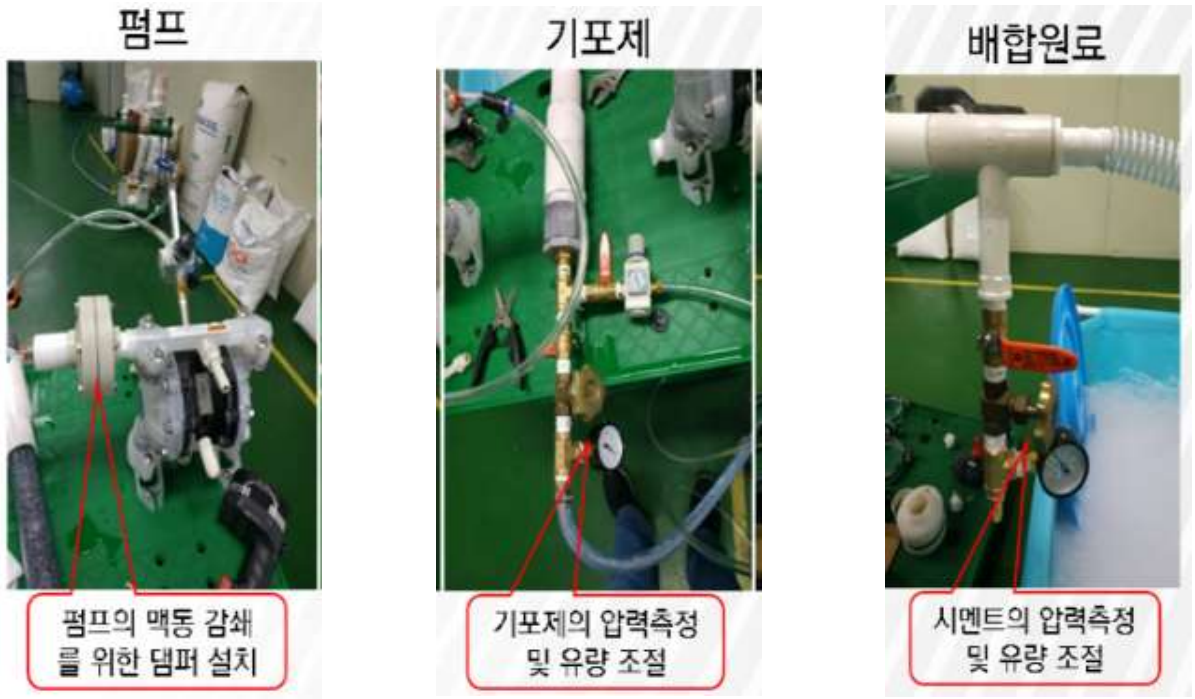




[그림 2.44] 이동형 시공장치 개념도 및 시제품(1차년도)



[그림 2.45] 이동형 시공장치 기포생성 라인(1차년도)



[그림 2.46] 이동형 시공장치 부품 구성(1차년도)

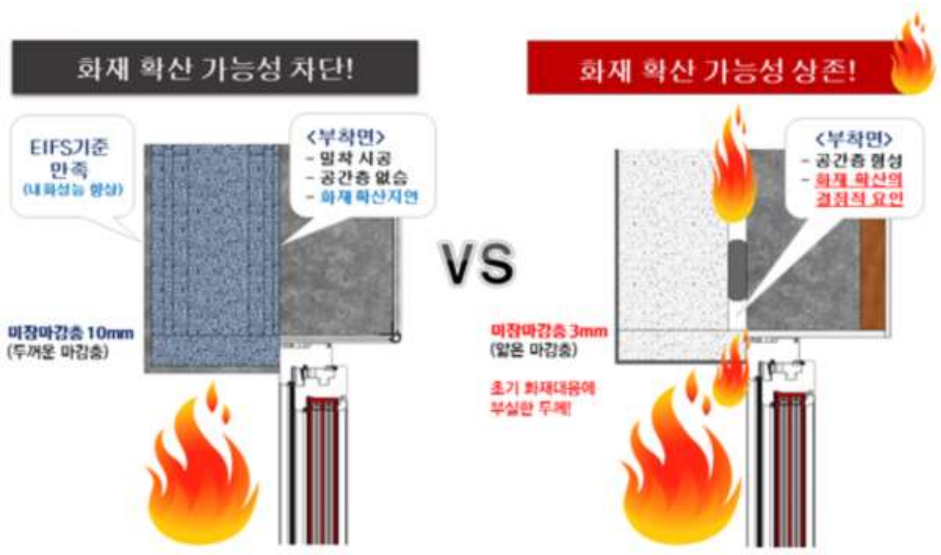
2.5 외벽단열시스템 현장시공 기술 개발

핵심연구 성과 (level1)		단위 성과물 (level2)		해당 기관
D	외벽단열시스템 현장시공 기술 개발	D-1	외벽 단열시스템 현장시공기술	유로글라스
		D-2	외벽 현장시공 시스템 성능 확보	

2.5.1 외벽 단열시스템 현장시공기술

가. 외벽 단열시스템 현장시공기술

- 일반적인 외단열 시공기술은 경제성으로 인한 유기단열재를 사용함으로써 화재에 취약함. 유기단열재가 시공된 단열층으로 인해 화재발생 시 이동경로 역할을 함으로써 화재확산의 원인이 됨. 충진시공의 경우 위 단점이 해결이 가능하며 그에 따른 현장시공기술이 중요함. 화재확산 방지를 위한 기능으로 간단한 개념도는 아래와 같음.



[그림 2.47] 외벽체의 화염전파 예



[그림 2.48] 화재확산 방지 구조 개념

2.5.2 이동형 현장 시공 장치

- 기존 1차년도 이동형 현장 시공 장치에 사용하였던 에어 컴프레셔로 공기를 가압하여 시험편 제조 및 실험을 진행하였지만 시멘트 페이스트와 기포제의 비율이 정확하지 않아 에어리스 장치를 사용하여 장치를 개선하였음.

- 1차 혼합된 압축공기와 기포제에 2차 혼합하기 위해 시멘트 페이스트를 공급하는 과정에서 몰타르의 이동압력에 의해 비동력식으로 회전가능한 원기둥 형상의 회전체가 내장되는 회전유도기를 통과시켜 시멘트 모르타르가 이동 중 시멘트 페이스트 공급관이나 혼합기가 막히는 것을 방지할 수 있음.

- 균일한 압력으로 시멘트 페이스트를 공급하여 압축공기 및 기포제와 혼합시 혼합비율을 일정하게 유지할 수 있어 불연단열재의 품질을 균일하게 유지할 수 있고 이로 인해 시멘트 페이스트 공급을 위한 부하 변동으로 인한 장치의 고장 및 수명 단축을 해소할 수 있음.

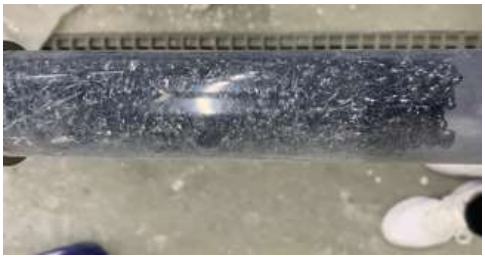
- 기존 혼합라인에 추가적인 부품이 없어 시멘트 페이스트와 기포제가 적절히 혼합되지 않아 라인믹서를 추가하여 장치를 개선하였고 기존에 사용한 비드를 교체하여 미세한 기포 제조를 위해 장치를 개선하였음.



(a) 라인믹서 추가 전



(b) 라인믹서 추가 후



(c) 기포 비드 변경 전

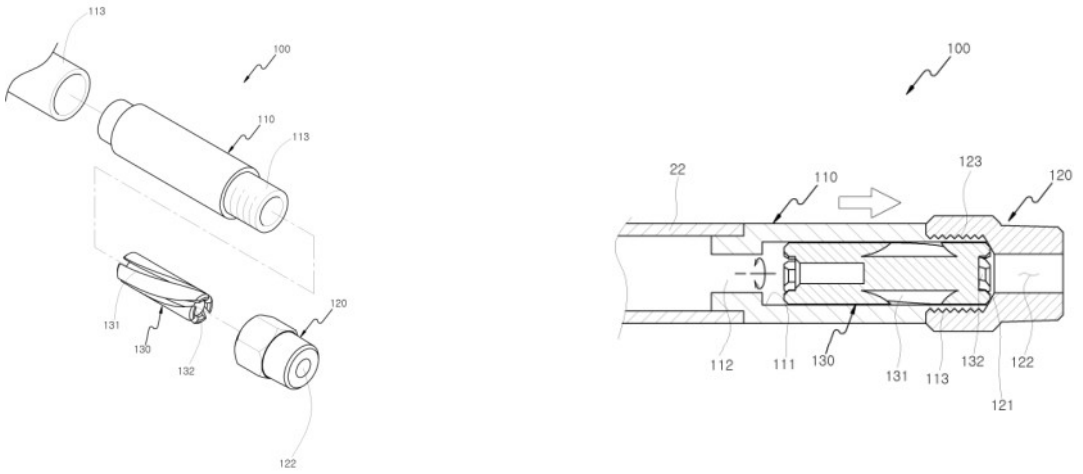


(d) 기포 비드 변경 후



(e) 에어리스 펌프 추가

[그림 2.49] 이동형 현장 시공 장치 부품 개선 및 추가 (2차년도)



[그림 2.50] 이동형 현장 시공 장치 비동력식 회전체 (2차년도 특허등록 내용)

2.5.3 외벽에 적용된 단열재 및 국내외 사례 검토

- 단열재의 성능비교 시 일반적으로 열전도율을 많이 사용하지만, 열전도율 만으로 성능을 평가하기에는 부족함. 단열재 시공 시 유기 단열재의 경우 접착제 부착으로 단열재를 부착하게 되는데 시공 시 틈새가 발생할 경우 단열성능이 최대 50%까지 떨어질 수 있음.

- 무기 단열재 중 글라스 울 등 섬유 단열재 사용 시 열전도율의 성능은 뛰어나지만 습기에 취약하여 변형이나 성능이 저하됨. 충진 시공의 경우 이러한 틈을 방지할 수 있어 두께가 균일하여 단열성능이 저하되는 것을 방지 할 수 있음.



[그림 2.51] 단열재 변형



[그림 2.52] 충진 시공 단열재 벽면 예

2.5.4 현장생산 적용 가능한 외단열 시공 방법

- 기존 외단열 시공방법의 경우 단열재를 가공 한 후 벽면에 접착제를 사용하여 단열재를 부착하는 방식으로 진행되지만 충진방식의 외단열 시공방법의 경우 현장에서 재료를 배합한 후 기포기를 사용하여 외벽에 바로 시공이 가능함.

- 기존 주택 또는 기존 건물의 경우 이미 시공되어 있으므로 리모델링 공사시 비용과 경제성에 불리하지만 충진방식의 외단열 시공방법 적용 시 외벽에 단열재 주입을 위한 입구만 있으면 되므로 시공 절차 및 경제성에 유리함.

<표 2.26> 공장생산 외단열 시공방식의 적용 예

번호	기존기술 시공절차	공장생산 방식 시공 절차
1	바탕준비	바탕준비
2	기준 먹메김	기준 먹메김
3	단열재 접착모르타르 바름	일반 단열재 접착모르타르 바름
		불연 단열재 설치용 앵글 시공
		불연 단열재 접착모르타르 바름
4	단열재 벽체 부착	일반 단열재 벽체 부착
		불연 단열재 개구부 상단, 층 사이 벽체 부착 및 앵글과 고정
5	단열재 패스너 시공	단열재 화스너 시공
8	접착모르타르 바름	카본메시 부착
9	표준메시 부착	접착모르타르 바름
10	접착모르타르 바름	카본메시 부착
11	접착모르타르 바름	접착모르타르 바름
12	표준메시 부착	마감재 시공
13	접착모르타르 바름	-
14	마감재 시공	-

<표 2.27> 충진방식 외단열시공방법

시공 과정			시공 내용
1	바탕면 정리		• 충진방식의 단열재 시공을 위한 불순물 제거
2	외벽 단열층 고정용 앵커 설치		• 외벽 단열층을 고정하기 위한 앵커 설치
3	외벽 마감층 시공		• 단열재 충진을 위한 외벽 마감층을 형성
4	이동형 현장시공장비를 이용한 시멘트 불연 단열재 조성물 제조		• 기포제 및 슬러지 혼합
5	외벽 단열층에 불연 단열재 충전		• 이동형 기포제조기를 사용하여 단열재 충진
6-1	외벽 형태에 따른 바탕면 정리	 	• 외벽에 남은 굳지 않은 단열재 정리 및 불순물 제거

2.6 외벽 현장시공 시스템 성능확인 및 적용기술

핵심연구성과 (level1)		단위 성과물 (level2)		해당 기관
F	외벽 현장시공 시스템 성능확인 및 적용기술	F-1	외벽 단열시스템 성능확보 외벽 단열시스템 성능확보 현장시공 시스템 개발	유로글라스

2.6.1 외벽 단열시스템 성능확보

가. 외벽 단열시스템 성능확보

- 최근 대형 화재로 인해 인적, 물적 피해가 발생하고 있으며, 대형 화재의 원인은 대부분 유기계 단열재로 인해 화재확산 원인으로 잡고 있다. 국내 외벽 마감재 규정에 따르면 주요 자재에 대해 불연 및 준분연재료의 성능을 요구하고 있음.

- 준불연재료 시험항목은 KS F ISO 5660-1 연소성능시험 -콘칼로리미터법, KS F 2271 건축물 마감재료-가스유해성 시험방법이며, 불연재료 시험항목은 KS F ISO 1182 - 건축재료의불연성 시험방법, KS F 2271-건축물 마감재료-가스유해성 시험방법으로 위 시험항목들은 한국세라믹기술원에서 공인성적서를 통해 성능을 입증하였음. 하지만 준불연 시험항목 및 불연성 시험항목은 절단된 단일 소재에서 발생하는 열을 측정하는 방법으로 복합 자재로 이뤄진 건물의 실물 외벽 구조로 실험하는 것이 명확함.

- 외벽 단열시스템 성능 확인을 위해 화재반응성을 평가하기 위한 실물화재 테스트 BS 8414-1:Fire performance of external cladding systems. Test method for non-loadbearing external cladding systems applied to the masonry face of a building로 진행하였음.

- 시험방법은 건물 내부에서 화재가 발생하였을 때 화염이 창문을 통해 나오는 상황을 모의 평가함. 시험 구조체로 만들어진 주벽(Main wall)과 날개 벽(Side wall)으로 이뤄지며 주벽에서 화재 발생원을 설치하기 위한 연소실이 있음. 온도 정보를 얻기 위해 시험 구조체의 연소실로부터 2,500㎜ 직상부(Level 1) 외부와 연소실로부터 5,000㎜ 직상부(Level 2) 내·외부에 열전대를 각각 8개씩 설치함.

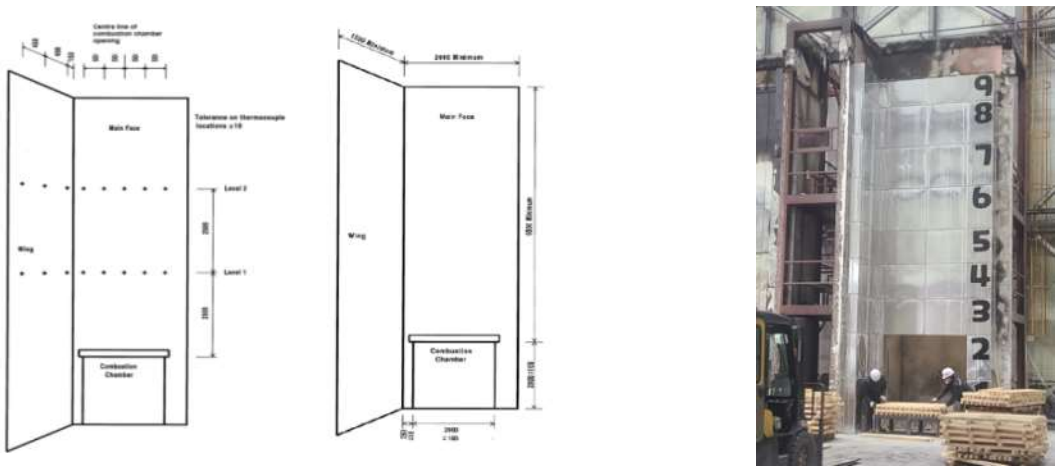
- 일정한 품질(밀도: 0.4~0.65㎏/㎥, 함수량: 10~15%)을 갖는 목재가 화원으로 사용되며 최대 열방출율은 3.0±0.5MW이며, 테스트는 최대 60분까지 진행되고 화원은 점화 후 30분 내에 소화되도록 조정하였음.

<표 2.28> 불연재료 및 준불연 재료 기준

시험항목		기준
불연 재료	KS F ISO 1182 건축재료의 불연성 시험방법	- 로 내 최고온도가 최종평형온도를 20℃를 초과하여 상승하지 말아야 함 - 가열 종료 후 시험체의 무게감소율이 30% 이하
	KS F 2271 건축물 마감재료 가스유해성시험방법	- 행동정지 시간 9분 이상
준불연 재료	KS F ISO 5660-1 연소성능시험 -콘칼로리미터법	- 총방출열량 8MJ/㎡ 이하 - 최대열방출률이 10초 이상 연속으로 200kW/㎡ 이하 - 방화상 유해한 균열, 구멍, 용융이 없음
	KS F 2271 건축물 마감재료 가스유해성시험방법	- 행동정지 시간 9분 이상

<표 2.29> 화재안전성 시험 실험평가 기준

항목		내용
화재 저항성	외부화재 확산	Level 2 외부 열전대 측정 온도가 시작시간(T_S) 15분 이내에 30초 이상 600℃를 초과한 경우
	내부화재 확산	Level 2 내부 열전대 측정 온도가 시작시간(T_S) 15분 이내에 30초 이상 600℃를 초과한 경우
-시작시간(T_S): Level 1 외부 열전대 측정온도가 시작온도에서 200℃ 상승하여 30초 이상 유지하는 시간 -시작온도: 점화 전 Level 1 외부 열전대에서 측정한 5분 동안의 평균 온도		



[그림 2.53] 화재안전성 시험 실물 외벽 구조

- 평가기준은 외부화재확산 기준 Level 2 외부 열전대 측정 온도가 시작시간(T_S) 15분 이내에 30초 이상 600℃를 초과한 경우이며 내부화재확산 기준은 Level 2 내부 열전대 측정 온도가 시작시간(T_S) 15분 이내에 30초 이상 600℃를 초과한 경우로 평가하고 있음. 시험체 제작은 현장에서 바로 제조한 후 실물 외벽 구조에 채워 실험을 진행하였음.

2.6.2 Mock-up 시공 및 실물 외벽 구조 실험

가. Mock-up 시공

① 외벽 설치

- 실물 외벽 구조는 주벽과 날개벽으로만 구성되어 있으므로 외벽 구조 설치를 진행하였음. 실물 외벽 구조에 이동형 현장 시공 장치를 사용하여 불연단열재를 채우기 위해 프레임을 설치

한 후 알루미늄 판을 프레임에 설치함. 알루미늄 판에 생기는 틈은 실리콘으로 막아 불연단열재 폼이 분출되지 않도록 하였음.





[그림 2.54] 화재안전성 시험 실물 외벽 구조 프레임 및 알루미늄 판 설치

② 불연 단열재 원료 배합

- 이동형 현장 시공 장치를 실험 현장에 배치한 후 원료를 배합하여 제조함. 원료 배합의 시간은 3분이며 원료의 뭉친 부분이 없도록 혼합하여야 함.

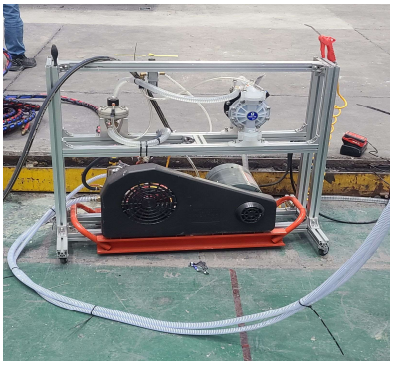
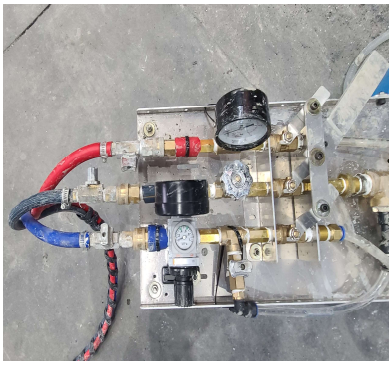




[그림 2.55] 불연단열재 배합과정

③ 이동형 현장 시공 장치 준비

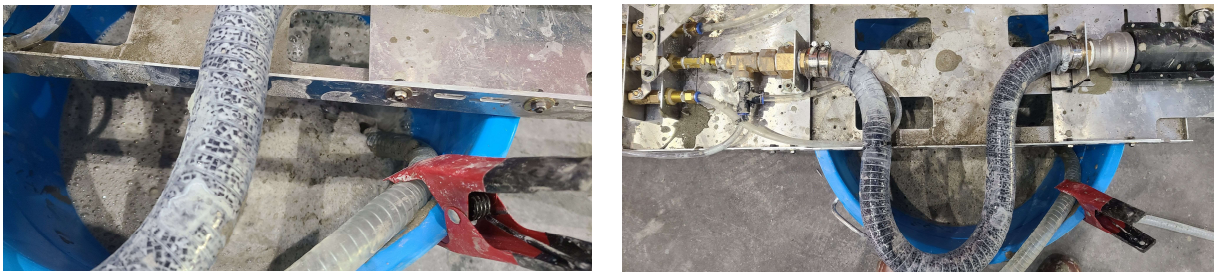
- 제조한 불연단열재 시멘트 슬러지와 기포제를 이동형 현장 시공 장치의 주입구에 연결하고 콤프레셔를 작동시킴.

[그림 2.56] 이동형 현장 시공 장치 준비

④ 재료 균질 혼합 확인

- 이동형 현장 시공 장치에서 토출되는 불연단열재 시멘트 슬러지와 기포가 균질하게 혼합되어 토출되는지 확인함.



[그림 2.57] 재료 균질 혼합 확인

⑤ 불연단열재 시멘트 폼 충진 - 1

- 불연단열재 시멘트와 기포가 균질하게 토출이 되는 것을 확인한 후 이동형 현장 시공장치로 불연단열재 시멘트 폼을 충진함.



[그림 2.58] 시멘트 폼 충진

⑥ 불연단열재 시멘트 폼 충진 - 2

- 불연단열재 시멘트 폼 충진이 완료 후 다음 층 작업을 위해 알루미늄-아연도금 도장 강판을 설치 후 실링재로 강판 사이 틈을 막아 작업순서 ④~⑥ 순으로 반복한다. 하루 작업 높이는 2m로 진행하였으며 양생시간은 24시간으로 진행하였다.



[그림 2.59] 시멘트 폼 충진

⑦ 불연단열재 양생

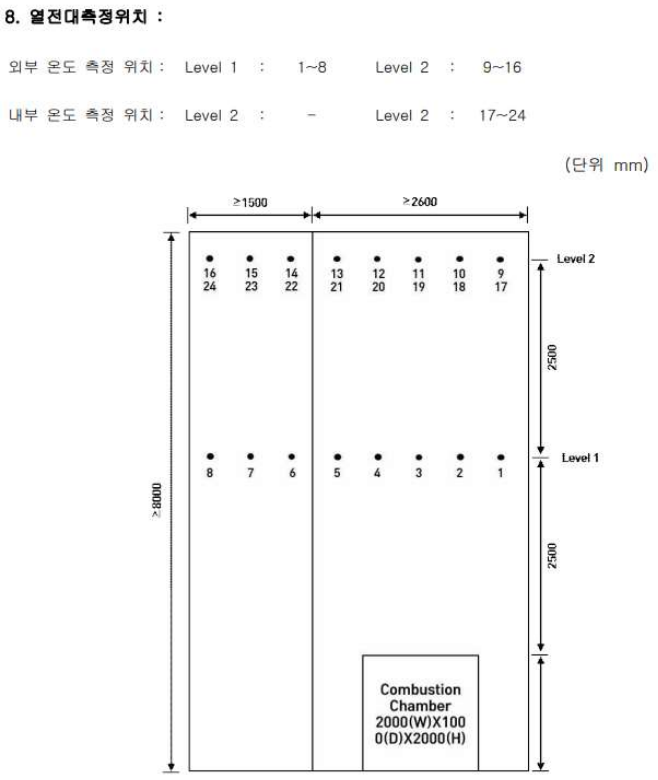
- 실물 외벽 구조 충진이 완료 후 상온에서 양생을 진행하였으며, 양생기간은 14일 양생을 진행하였음.



[그림 2.60] 불연단열재 실물 외벽 구조 시공완료

⑧ 열전대 부착

- 시험 구조체 완성 후 연소실로부터 2,500㎜ 직상부(Level 1)에 외부 열전대 8개(No.1~8), 연소실로부터 5,000㎜ 직상부(Level 2)에 외부 열전대 8개(No.9~16), 내부 열전대 8개(No.17~24)를 설치함.



[그림 2.61] 실물 외벽 구조 열전대 설치 위치

⑨ 실험 개시

- 연소실 개화 후 30분 간 테스트를 진행하면서 2분 간격으로 시험체 외관을 촬영하였음.

2분 경과		

4분 경과		

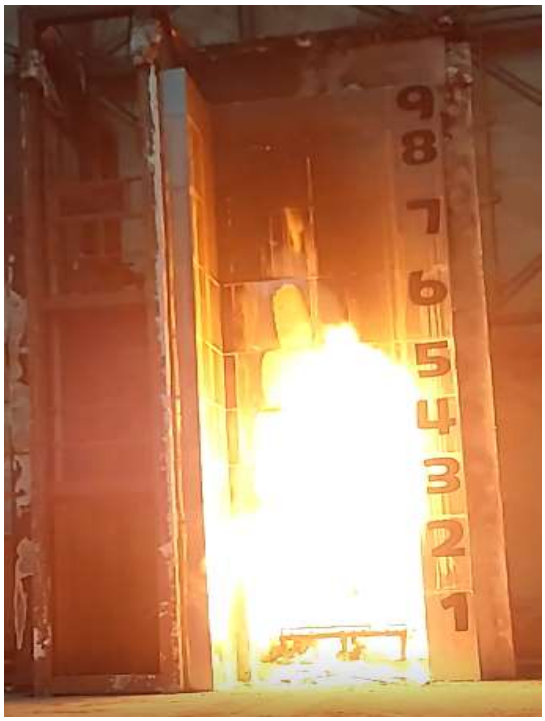
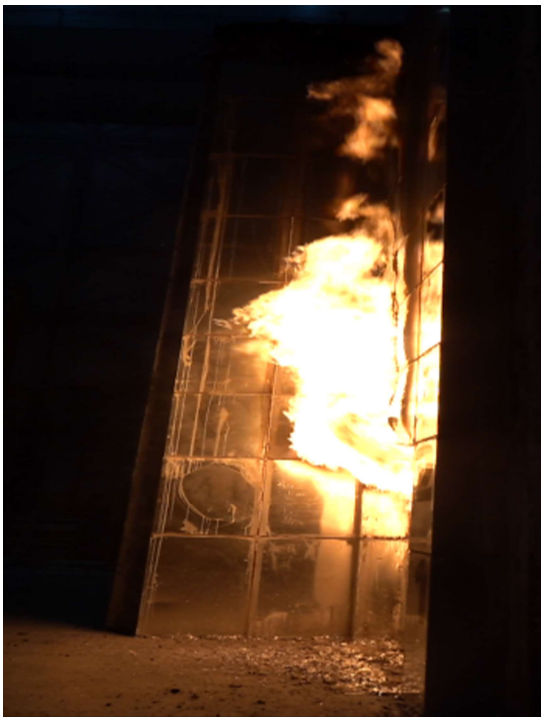
6분 경과		

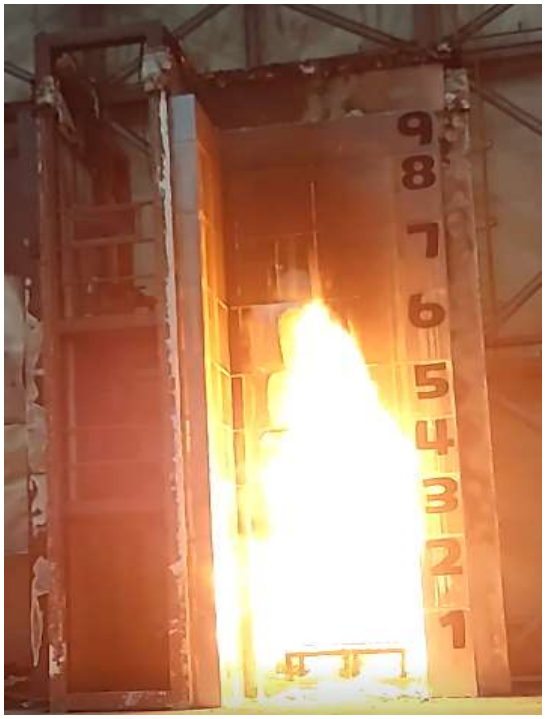
8분 경과		

10분 경과		

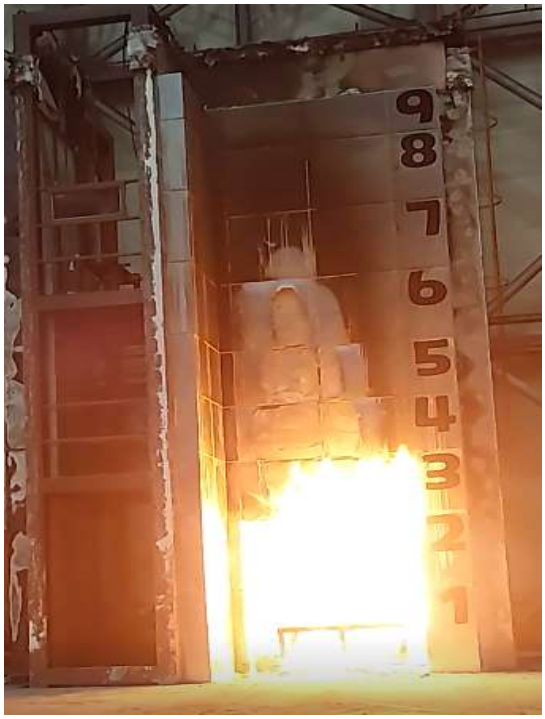
12분 경과		

14분 경과		

16분 경과		

18분 경과		

20분 경과		

22분 경과		

24분 경과		

26분 경과	 9 8 7 6 5 4 3 2 1	

28분 경과	 9 8 7 6 5 4 3 2 1	

30분 이후		

[그림 2.62] 실물 외벽 구조 화재안전성 실험 사진







[그림 2.63] 화재안전성 직후 불연단열재 상태

나. 실물 외벽 구조 실험결과

- 실물 외벽 구조는 주벽과 날개벽 내부의 불연단열재는 실험 전후 큰 문제는 발생하지 않았음. 실물 외벽 구조 실험 최고 온도 결과, Level 2에서 No.12 열전대의 온도 측정 값이 600℃를 초과하여 해당 시간대를 정리하였음.

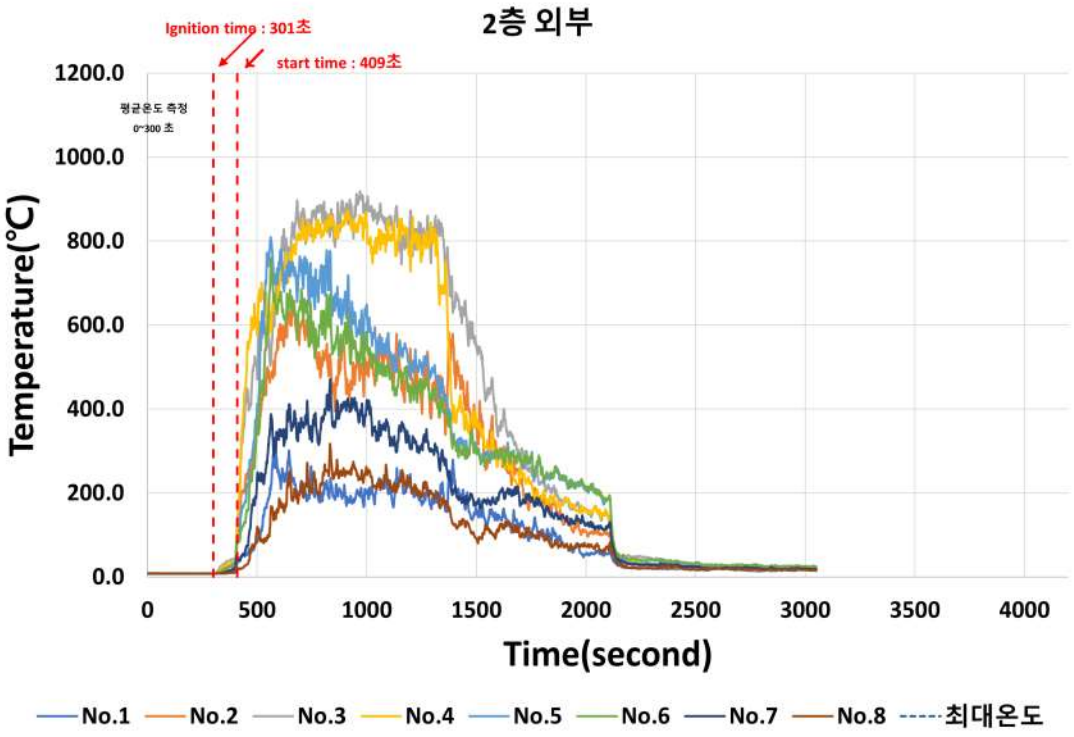
- 화재확산 판정기준은 Level 2에서 외부와 내부 열전대의 온도가 시작시간 15분 이내 30초 이상 600℃를 초과하는 경우 화재확산이 이뤄진 것으로 판정한다. 실험결과, No. 12열전대에서 600℃를 초과하는 시간은 2초로 판정 기준인 30초를 경과하지 않아 성능기준에 부합하다고 판단됨.

<표 2.30> 화재안전성 최고온도 실험결과

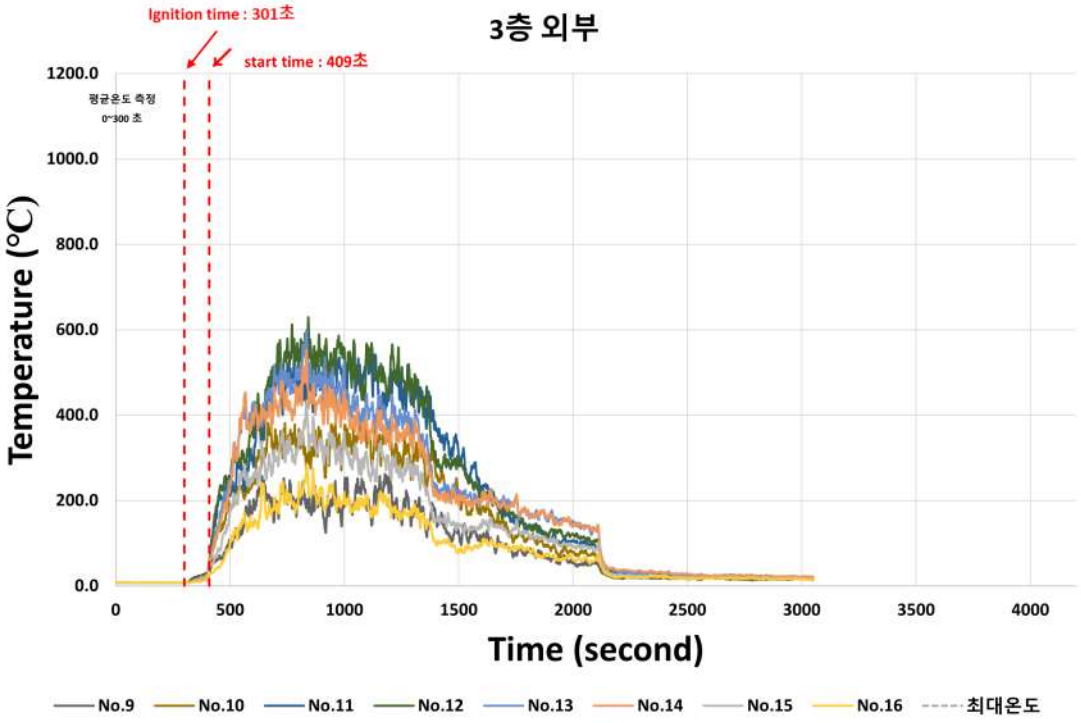
구분		최고온도(℃)							
LV 1	외부 TC	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
		301.2	657.7	918.2	872.8	809.4	758.9	470.8	316.9
LV 2	외부 TC	No.9	No.10	No.11	No.12	No.13	No.14	No.15	No.16
		262.8	414.8	548.3	629.5	599.8	552.4	434.0	286.4
	내부 TC	No.17	No.18	No.19	No.20	No.21	No.22	No.23	No.24
		7.9	7.5	7.2	94.5	138.6	8.2	8.0	7.3

<표 2.31> 화재안전성 최고온도 실험결과

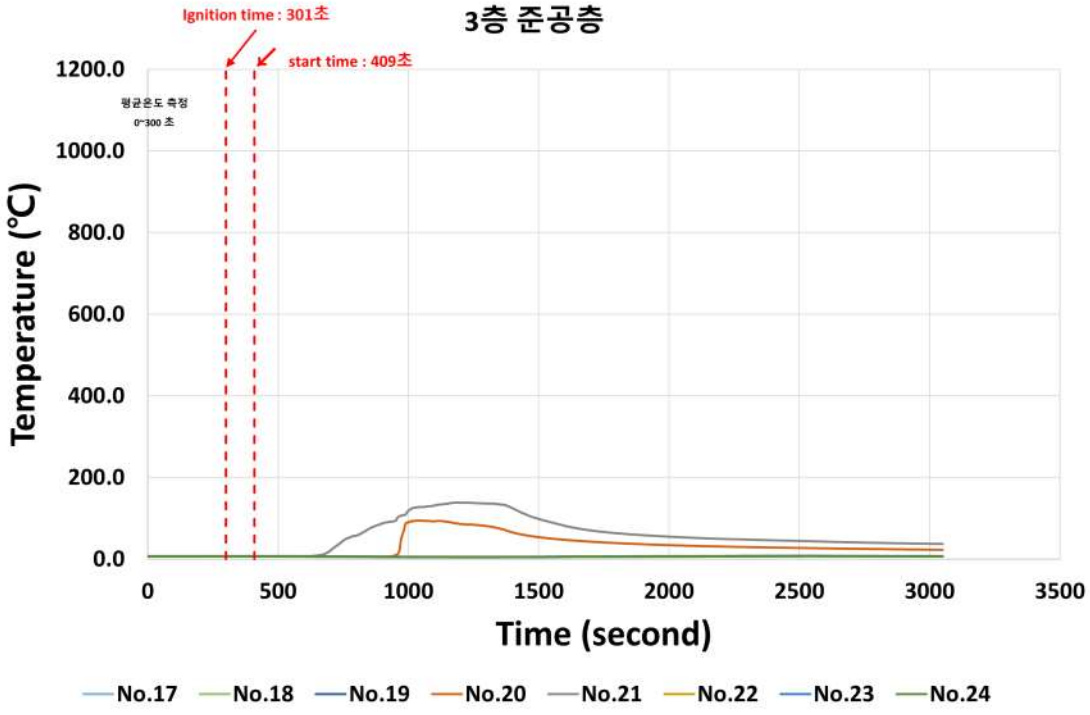
구분		열전대	경과시간(분:초)			판정
			시작시간	종료시간	경과시간	
LV 2	외부 TC	No. 12	14:01	14:03	0:02	이상 무



(a) 2층 외부 온도변화



(b) 3층 외부 온도변화



(c) 3층 준공층 온도변화

[그림 2.64] 화재안전성 실험결과

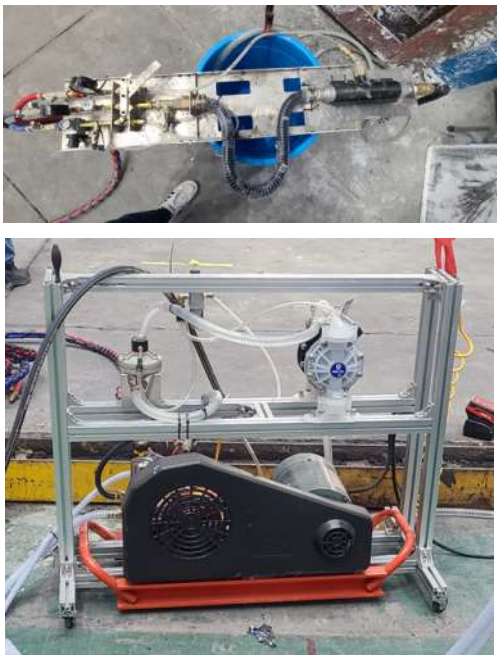
2.6.3 현장 시공 시스템 개발

가. 이동형 현장 시공 장치

- 2차년도 이동형 현장 시공 장치에 개량화하여 성능을 향상시킴. 기존보다 작업성을 향상시키기 위해 기포라인과 에어펌프와 댐퍼, 유압조절 장치를 추가하여 이동현 현장 시공 장치를 개선하였음.



(a) 2차년도 이동형 현장 시공 장치

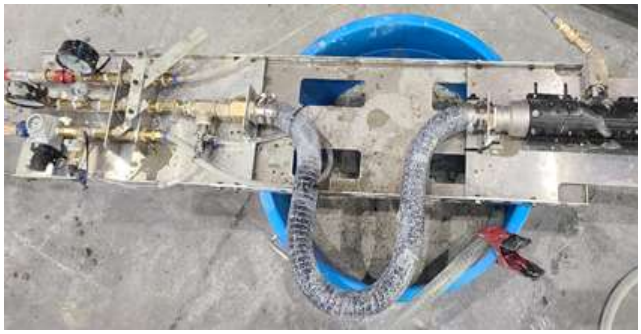


(b) 3차년도 이동형 현장 시공 장치

[그림 2.65] 이동형 현장 시공 장치



(a) 기포생성 라인 (2차년도)

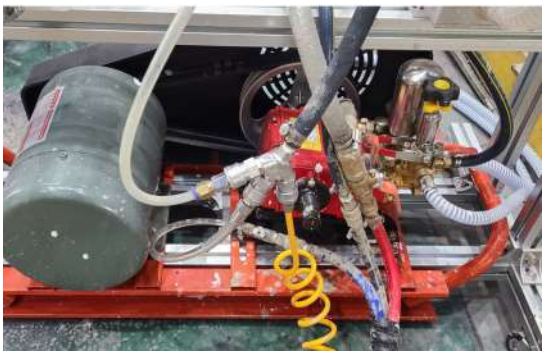


(b) 기포생성 라인 (3차년도)

[그림 2.66] 이동현 현장 시공 장치 기포생성 라인 개선 사항



(a) 에어리스 펌프 (2차년도)



(b) 에어리스 펌프 (3차년도)

[그림 2.67] 이동형 현장 시공 장치 에어펌프 개선 사항

- 이동형 현장 시공 장치에 기포생성 라인의 변경점은 기존보다 라인의 약 2배정도 길이를 증가시켜 기포제를 사용하여 기포를 생성할 때 기존보다 미세한 기포, 기포양의 증가시킬 수 있음. 또한 기존 에어리스 펌프를 일체화와 높은 압력을 줄 수 있어 성능이 극대화 시킬 수 있음.
- 기존 이동형 현장 시공장치의 에어펌프를 일체화시켰으며 기존 이동형 시공장치 on-off 장치를 추가하여 사용편리성을 향상시킴.

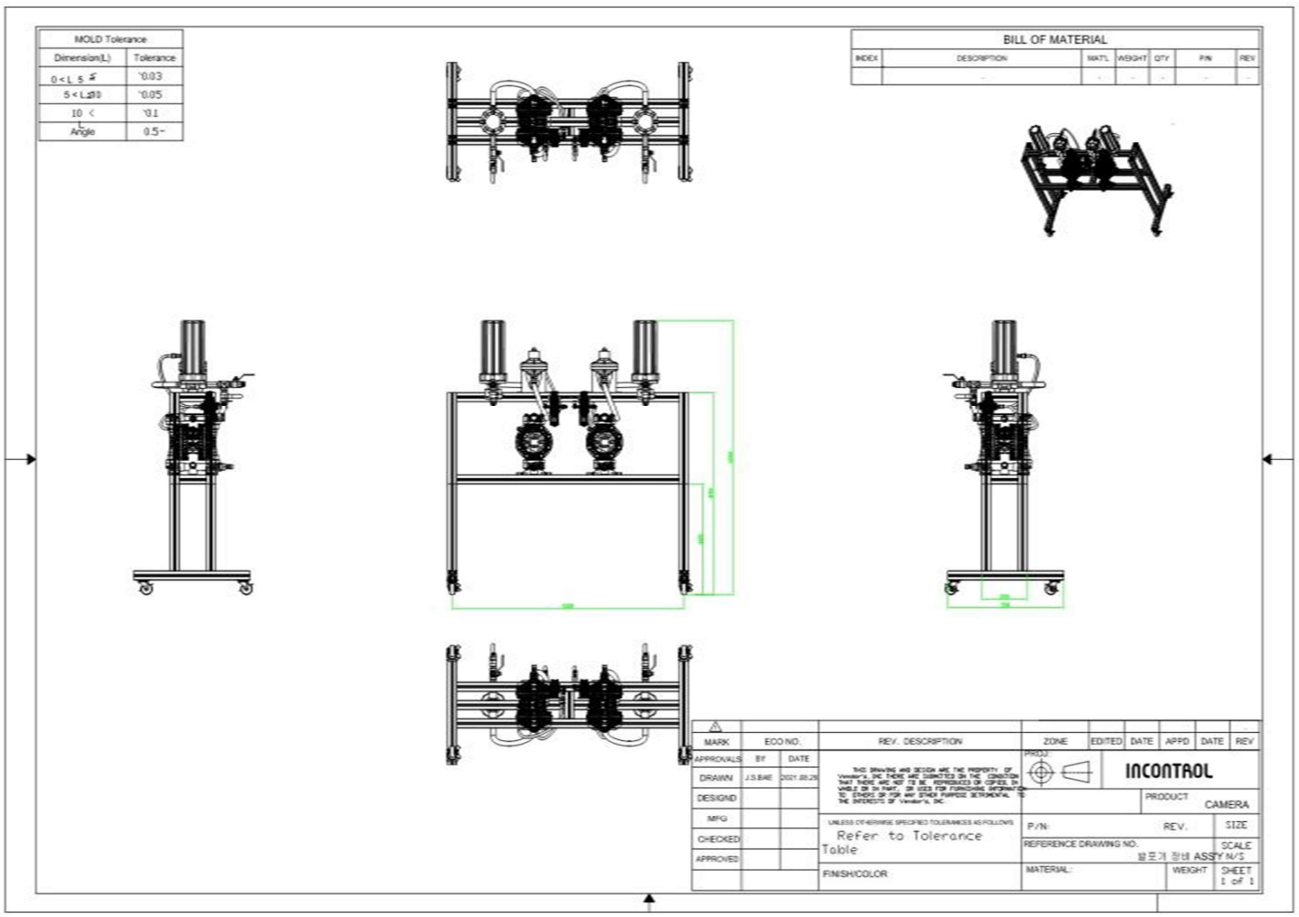


(a) 에어펌프

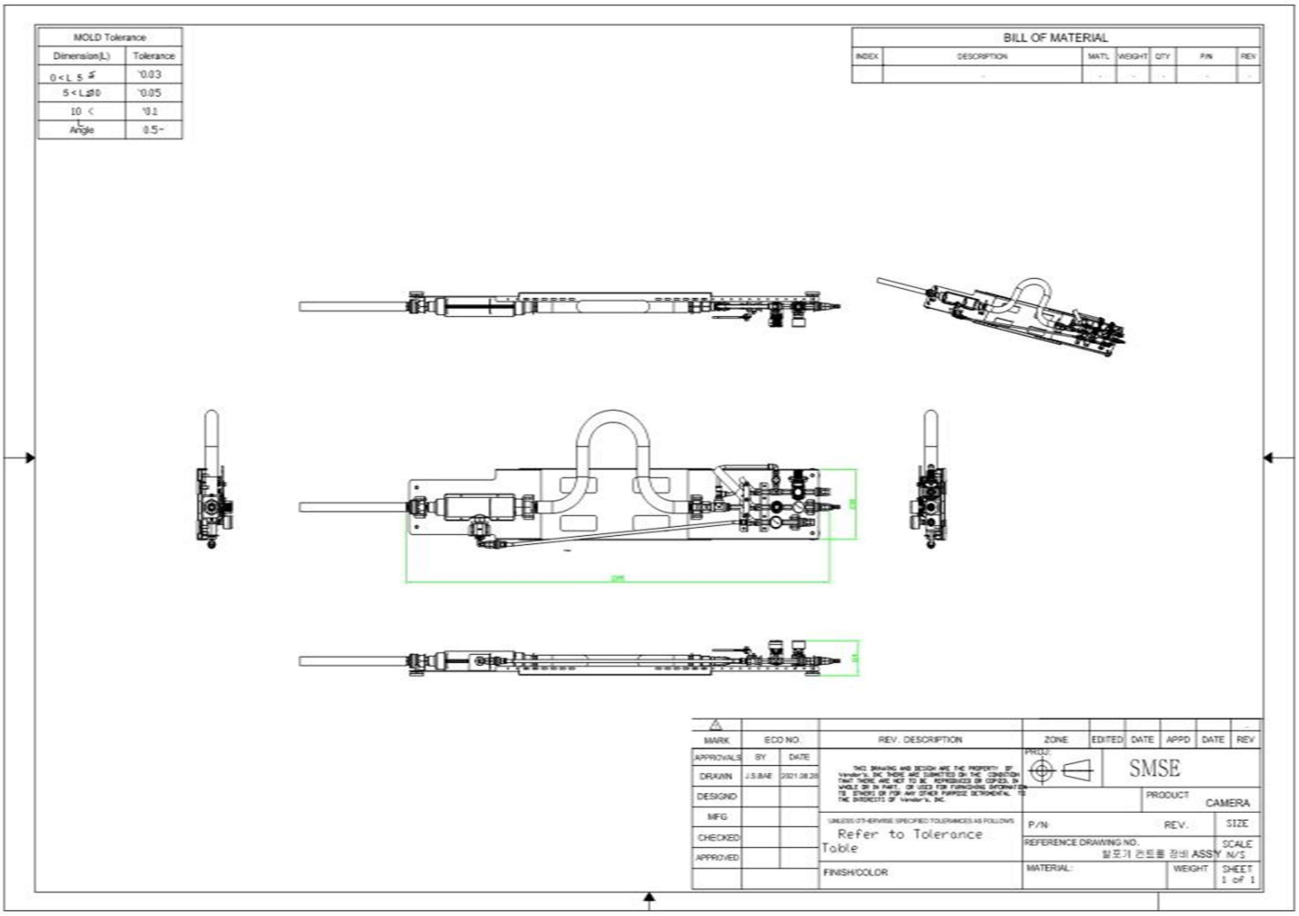


(b) 이동형 현장 시공 장치 on,off 장치

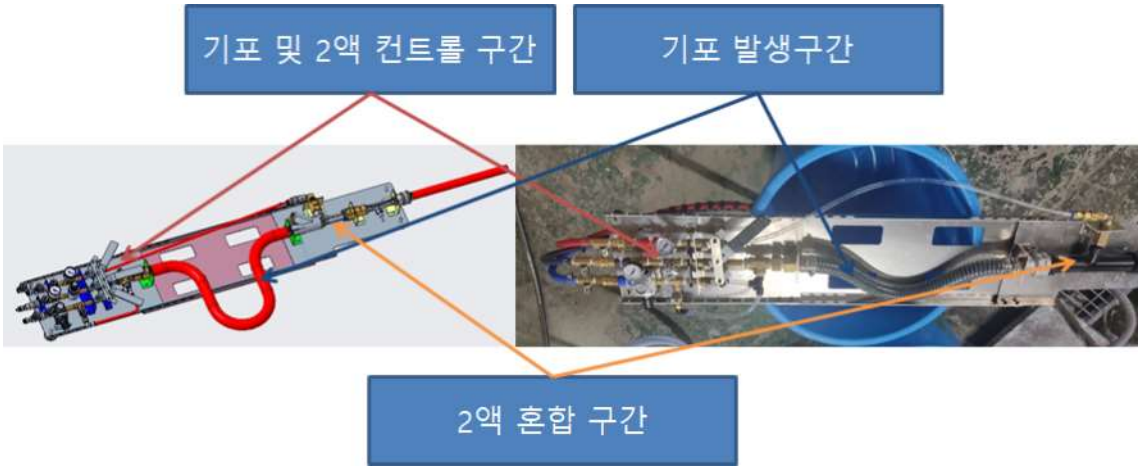
[그림 2.68] 이동형 현장 시공 장치 에어펌프 및 조작장치



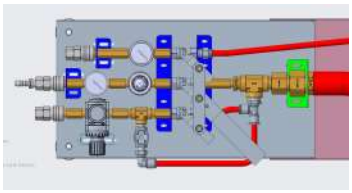
[그림 2.69] 이동형 현장 발포기 장비 도면



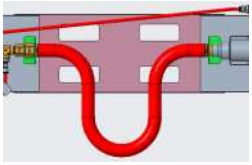
[그림 2.70] 이동형 현장 발포 컨트롤 장비 도면



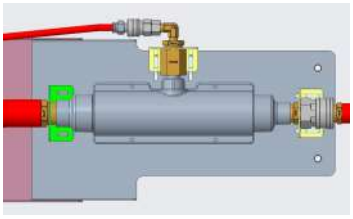
(a) 이동형 현장 시공 장치 불연단열재 혼합 원리



(b) 기포 및 2액 컨트롤 구간



(c) 기포 발생 구간



(d) 2액 혼합 구간

[그림 2.71] 이동형 현장 시공 장치 혼합 원리

초경량 무기계 불연 주입식 외단열 공법

1. 일반사항

1.1. 적용범위

가. 이 시방서는 “초경량 무기계 불연 주입식 외단열 공법”에 관한 것으로 일반 신규 및 노후 주택의 건축물 중 해당용도 건축물의 외벽 단열공사 및 수직 화재확산 방지구조의 시공, 외벽 단열 보수 보강 공사과 관련한 부속 재료의 품질, 보관 및 시공기준으로 적용한다. 외단열 공사 관련 일반 시공사항은 “건축공사표준시방서 단열공사(KCS 41 42 00)”중 외단열 공법을 따르되, 수직 화재확산 방지구조의 적용을 위한 시공방법은 이 시방서를 따른다.

1.2. 관련 시방절

가. 이 시방서는 일반시방서에 우선하여 적용한다.

나. 다만 이 시방서에 명기되지 않은 사항에 대해서는 아래 1)~4)의 기준.법령에 준하며, 사전에 감독관과 협의하여 결정한다.

1) 건축법, 건축법 시행령 및 시행규칙, 건축물 피난.방화구조 등의 기준에 관한 규칙, 국토교통부

2) 건축공사표준시방서(KCS), 대한건축학회

3) 건설기술관리법, 건설기술관리 시행령 및 시행규칙

4) 한국산업표준(KS)

1.3. 적용규준

다음 규준은 이 절에 명시되어 있는 범위 내에서 이 절의 일부를 구성하고 있는 것으로 본다.

1.1.1. 한국산업표준(KS)

KS F 4715 얇은 마무리용 벽바름재
KS F 4716 시멘트계 바탕바름재
KS F 4910 건축용 실링재
KS L 5201 포틀랜드 시멘트

1.4. 제출물

다음 사항은 "제출물관리 기준"에 따라 제출한다.

1.4.1. 제품자료

가. 다음 품목에 대한 제조업자의 제품자료

1) 단열재, 인슐레이션 패스너, 보강매쉬, 부속재, 표면마감재 및 실링재에 관한 자료

2) 표면마감재 보수방법 등의 유지관리자료

나. 자재 승인 또는 신고제품은 “건축공사 일반사항”에 따른다.

1) 승인 제품
외단열마감 시스템

다. 외단열을 구성하는 재료 전체를 포함한 시험시편에 대한 준불연성능 시험 성적 서

1.4.2. 시공상세도면

가) 외벽단열마감 시공상세도면

단열재、보강메쉬 나누기도, 조인트 상세도, 개구부·모서리 주위 보강처리 상세도, 단열재 시공방법이 포함되어야 한다.

나) 외벽단열마감 시공상세도면

다) 불연단열재 나누기도(시공위치 포함, 창호주위 단열재 나누기도 포함)

라) 개구부·모서리, 시작하단부, 이질재 접합 단부, 상부 단부, 개구부 코너부위 사인장 보강 등 백래핑메쉬 시공 상세도

마) 단열재 부착방법 및 단열재 틈새 처리 상세도

바) 악세사리별 설치 위치 시공 상세도 (최하단 철물, 낙수방지 코너비드, 코너비드, 플래싱, 플래싱 코너비드, 파라펫)

사) 이질재 접합부 실링 상세도

아) 파스너 시공(시공깊이, 간격 포함) 상세도

자) 바탕면 요철 허용오차 이상 발생 시 보완처리 시공상세도 자) 도시가스 배관부위외 단열 시공상세도

차) 창호주변(4면 마구리)외 단열시공상세도(플래싱코너비드 시공상세 포함) 카) 외단열 최상단 마구리 부위 외단열 시공 상세도(우수 침투 방지상세포함)

타) 자연형 환기구, 실외기 부위 냉매 배관 박스, 환기장치 배기구 등 외벽 노출 설치물부위의 외단열 시공 상세도

파) 외단열 측면 노출 마구리 부위(콘크리트 접합 모서리 포함) 시공 상세도

하) 상기 상세도 이외에 추가로 감독이 요구하는 상세도가 있을 경우 작성하여 감독원에게 제출하여야 한다.

1.4.3. 시공계획서

가) 작업단계별 세부 시공 계획

나) 작업단계별 시공 확인 계획

다) 기존 외단열(예:드라이비트) 부위 철거계획 (폐기물 처리 계획포함)

라) 품질관리계획(시공순서 및 방법, 자재관리, 작업환경,보양 및 보수, 선정/ 관리/ 검사시험계획)

마) 외단열 시공을 위한 가설공사 계획(설치, 해체, 안전관리 계획 포함)

바) 기 입주민의 프라이버시침해 방지 계획

사) 기 입주민 안전 동선 확보 등 안전관리 계획

아) 작업 안전 관리 계획

자) 바탕구체와 단열재 접착제간 부착력 확인을 위한 시험계획

차) 마감재의 이색 방지 계획(시공끊기계획 포함)

카) 상기 계획서 이외에 추가로 감독이 요구하는 계획서가 있을 경우 작성하여 감독원에게 제출하여야 한다.

1.4.4. 견본

다음 품목에 대한 제조업자의 제품 견본

가. 인슐레이션 패스너

나. 보강매쉬

다. 마감재

마감재의 색상견본 또는 색상차트

라. 견본패널

30×30㎝ 이상의 크기로 실제 시공조건과 같이 제작한 견본패널로서 단면 구성재를 확인할 수 있도록 제작한 것으로 한다.

마. 기타 부자재

1.5. 품질보증

1.5.1. 자격

외벽단열마감공법 시공책임자는 전문제조업체로부터 교육을 받고 추천받은 자로서 당해공사와 유사한 공사경험이 5회 이상인 자이어야 한다.

1.6. 운반, 보관, 취급

자재는 제조업자의 상호와 내용물이 표시되고, 포장이 손상되지 않게 하여 반입한다. 각자재는 제조업자의 지침에 따라 건조하고 통풍이 잘되는 곳에 지면에 이격하여 저장하고, 빗물, 직사광선이나 과도한 온도 상승으로 인해 피해를 입지 않도록 한다. 특히, 마감재는 보관시 5℃ 이상이 유지되도록 한다.

1.7. 현장조건

외벽단열공법은 별도의 가열 및 보온조치를 하지 않는 경우 주위온도가 5℃ 이상, 35℃이하인 경우에 한하여 시공한다.

2. 자재

2.1. 단열재

가. 주성분

입도조절 시멘트, 산화마그네슘, 중공글라스를 주성분으로 한다.

나. 단열성능

초경량 불연 단열재-1은 0.046 W/mK 이하, 초경량 불연 단열재-2는 0.051 W/mK 이하, 초경량 불연 단열재-3는 0.051 W/mK 이상의 값을 나타낸다.

다. 밀도

초경량 불연 단열재-1은 0.2g/cm^3 이하, 초경량 불연 단열재-2는 0.25g/cm^3 이하, 초경량 불연단열재-3은 0.25g/cm^3 이상의 값을 나타낸다.

라. 가스유해성

건축물 마감재료의 가스유행성 시험방법으로 KS F 2271의 기준으로 실험을 진행하다. 가스유해성은 가열을 시작해서 시험용 흰 쥐가 행동을 정지할 때까지의 시간을 측정하며, 시작 후 15분 간 실시한다. 초경량 무기 단열재-1, 2, 3는 불연성능을 만족하여야 한다.

<표 1> 초경량 불연 단열재 열전도율

등급	초경량 불연 단열재-1 (“다” 급)	초경량 불연 단열재-2 (“라” 급)	초경량 불연 단열재-3 (등급 외)
열전도율 (W/mK)	0.046	0.051	-

<표 2> 초경량 불연 단열재의 밀도

등급	초경량 불연 단열재-1 (“다” 급)	초경량 불연 단열재-2 (“라” 급)	초경량 불연 단열재-3 (등급 외)
밀도 (g/cm^3)	0.2 이하	0.25 이하	-

<표 3> 가스유해성 결과

	초경량 불연 단열재-1 (“다” 급)	초경량 불연 단열재-2 (“라” 급)	초경량 불연 단열재-3 (등급 외)
두께(mm)	21.1	22.2	21.3
시험전 무게(g)	213.6	220.5	252.3
시험후 무게(g)	178.1	196.4	225.2
감량(g)	35.5	24.1	27.1
행동 정지 시간(s)	14 min 59s	14 min 57s	14 min 55s
표준편차(s)	00 min 1s	00 min 7s	00 min 4s
평균 행동 정지 시간	14 min 58s	14 min 50s	14 min 51s

2.2. 인슐레이션 패스너 (Insulation Fastener)

단열재 고정용 패스너는 플라스틱 제품으로서 당해 외벽단열마감시스템 전문제조업자가 지정하는 것을 사용하되, 길이는 65㎜(타격 후 앵커못 포함시 90㎜)인 것으로 한다.

2.3. 보강메쉬

필요의 요구 또는 설계에 보강메쉬가 있을 경우 유리섬유에 특수코팅 처리된 제품으로서 품질기준은 다음과 같다.

2.3.1 일반(표준) 메쉬

가. 중량 : 152g/㎡ 이상 (NET #180기준)

나. 코팅처리 : 아크릴 바인다 코팅

다. 색상 : 청색

2.3.2 충격보강용 메쉬

가. 중량 : 374g/㎡ 이상 (NET #190기준)

나. 코팅처리 : 아크릴 바인다 코팅

다. 색상 : 백색

2.4. 마감재

KS F 4715에 적합한 제품으로서 공장에서 혼합된 아크릴 합성수지 및 실리콘수지 제품을 말한다.

2.5. 시멘트

KS L 5201의 1종 보통 포틀랜드 시멘트에 적합한 제품으로 한다.

2.6. 부속재

외벽단열마감공법에 사용되는 부속재는 전문제조업자의 지정에 따른다.

2.7. 실링재

실링재는 KS F 4910에 규정에 적합한 제품으로 부속서2의 표1의 "SR", 표2의 "1", 표3의 "9030"인 실리콘계(SR-1-9030)를 사용한다.

3. 시 공

3.1. 공사착수 전 준비사항

3.1.1. 자재운반 및 보관

(1) 사용자재는 반입시 손상여부를 확인한 후 포장이 손상되지 않게 반입하고, 저장 장소는 건조하고 통풍이 잘되는 곳에 지면에 이격하여 저장하며 빗물, 직사광선이나 과도한 온도 상승으로 인해 피해를 입지 않도록 한다. 특히, 마감재는 보관시 5℃ 이상이 유지되도록 한다.

(2) 사용자재는 본 공사 현장과 가능한 가까운 곳에 보관함을 원칙으로 하며, 자재 절단 및 모르타르 믹싱 등 가공작업을 고려하여 보관위치를 선정한다.

(3) 안전사고의 우려가 있는 타정못, L형 앵글 등은 작업동선을 고려하여 별도 보관위치를 정한다.

3.1.2. 외부가설공사(비계 및 발판설치)

(1) 바탕벽면에서 30cm이격하여 설치하여야 한다.

(2) 수평비계의 상.하부재 설치간격은 1.8m를 기준으로 유지한다.

(3) 발판은 수평비계 전체에 설치해야 한다. (비계와 발판은 철선 또는 Clip등으로 고정시킨다)

(4) 현장작업자 및 방문자는 반드시 안전화와 안전모를 착용하여야 하며 외벽작업자들은 반드시 안전띠를 탈락 등이 없는 안전한 위치에 고정시켜 추락을 방지한다.

3.2. 바탕준비

가. 시공 바탕면은 충분히 건조시키고, 최종 표면마감상태가 소요 품질기준 내에 들도록 바탕면을 평활하게 한다.

나. 바탕면은 단열재 시공에 지장이 없도록 오물, 먼지 등을 깨끗이 청소한다.

3.2.1. 기존마감재, 단열재 제거 및 바탕준비

가. 비계 및 분진막 설치 후 1층이 필로티인 경우 필로티 위 상부 1개층 끝단까지, 필로티가 아닌 일반 구조인 경우 1층 끝단까지, 필로티와 일반구조가 복합적으로 적용된 경우 2층 끝단까지 컷팅 후 기존 드라이비트 마감재, 단열재를 제거한다

나. 층 계단실 부위는 지면에서부터 피로티 주차장 상부 가)항의 높이까지 기존마감재, 단열재를 제거한다. 단, 단열재 제거시 상단 단열부분의 파손의 우려가 있다고 판단될 경우 절단

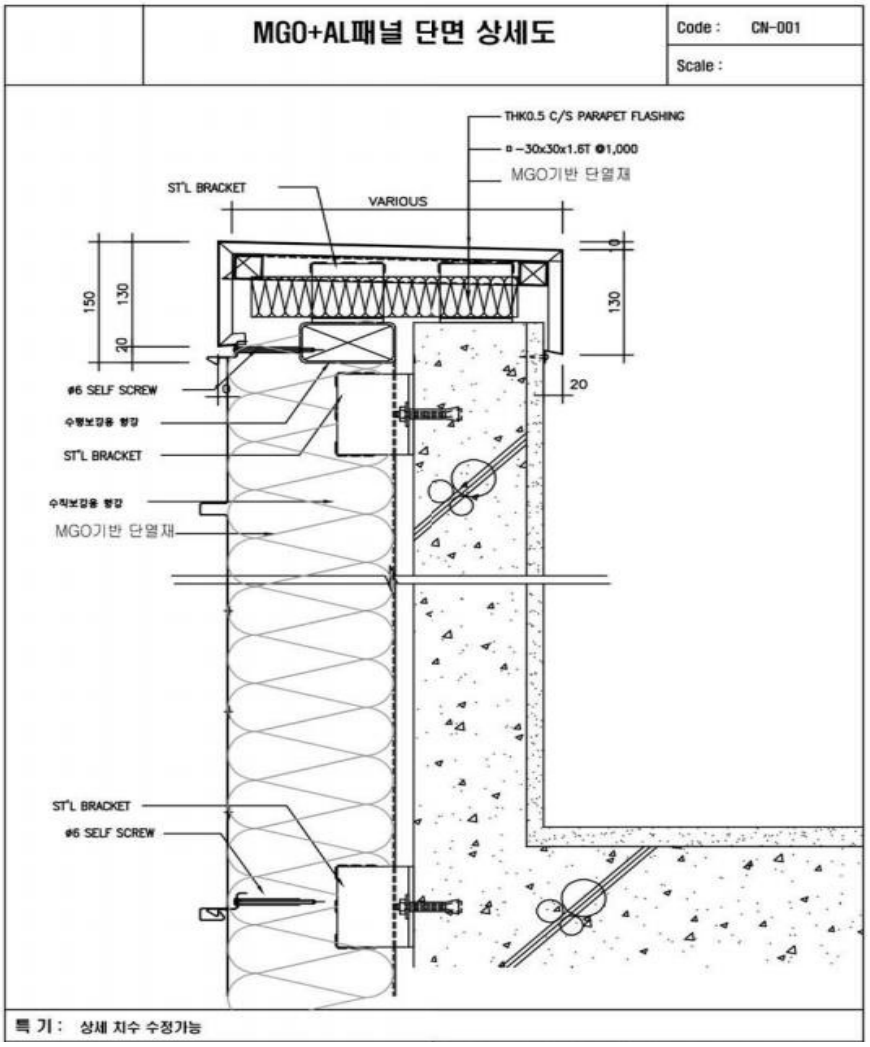
면으로부터 50㎝ 위치에 화스너로 보강하여 설치한다.

다. 바탕면은 초경량 무기계 주입식 단열재 시공에 지장이 없도록 기존단열재 접착모르타르, 오물, 먼지 등을 깨끗이 청소한다. 라) 시공 바탕면은 충분히 건조시키고, 바탕면을 평활하게 한다.

라. 초경량 무기계 불연 주입식 단열재와 벽체의 부착성능 향상을 위하여 프라이머를 반드시 시공하여야 하며 프라이머는 제조업자 사양에 따른다.



[그림 1] 비계 및 분진막 설치 예시

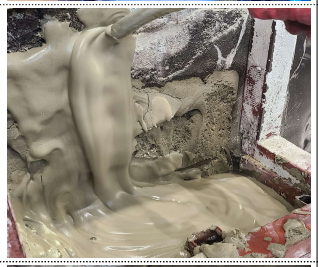


[그림 2] 무기단열재 단면 상세도

3.3 시공

3.3.1. 시공순서

<표 4> 초경량 무기계 불연 외단열 공법 시공순서

시공 과정			시공 내용
1	바탕면 정리		• 충진방식의 단열재 시공을 위한 불순물 제거
2	외벽 단열층 고정용 앵커 설치		• 외벽 단열층을 고정하기 위한 앵커 설치
3	외벽 마감층 시공		• 단열재 충진을 위한 외벽 마감층을 형성
4	이동형 현장시공장비를 이용한 시멘트 불연 단열재 조성물 제조		• 기포제 및 슬러지 혼합
5	외벽 단열층에 불연 단열재 충전		• 이동형 기포제조기를 사용하여 단열재 충진
6	외벽 형태에 따른 바탕면 정리		• 외벽에 남은 굳지 않은 단열재 정리 및 불순물 제거

3.3.2. 단열재 시공

가. 초경량 무기계 불연 주입식 단열재의 가장자리는 빠짐없이 주입한다.

나. 초경량 무기계 불연 주입식 단열재를 주입한 후 최소 48시간 동안 경화시켜야 하며, 이때 단열재가 움직이지 않도록 한다.

3.3.3. 마감재 시공

가. 마감재의 시공은 균일한 시공도를 유지하기 위하여 연속작업이 되도록 한다.

3.3.4. 실링재 시공

이질 부재와의 접합부는 "실링공사"에 따라 실링재로 충전하되, 시공부위의 조인트 양측은 테이프로 처리를 하여 오염되지 않도록 한다.

3.4. 시공허용오차

마감재 시공 후 표면 평활도의 허용오차는 3m당 6㎜ 이내로 한다.

3.5. 시공작업시 주의사항

3.5.1 안전점검 사항

가. 설치작업전 추락, 부재낙하 등이 발생하지 않도록 안전관리규정에 준한 안전시설을 하여야 한다.

나. 작업시 항상 안전모와 안전장갑 등 안전을 위한 보호장비를 착용한다.

다. 작업자에게 현장 상황에 따른 기본적인 개인 안전장구를 지급하여 현장 내에서 항시 휴대 활용토록 하여야 한다.

라. 화재가 발생하지 않도록 사용 장비에 대한 점검을 철저히 실시한다.

마. 절단작업시 전동식 절단기를 사용할 경우 날 접촉 예방장치를 설치한 후 사용한다.

바. 작업시 발생 분진이 눈, 호흡기, 피부 등을 자극할 수 있으므로, 보호 장비(방진마스크, 보호의, 보안경, 보호장갑 등)를 착용한다.

사. 분진이 눈, 호흡기, 피부에 접촉되었을 경우, 깨끗한 물로 충분히 씻고 증상이 호전되지 않을 경우 전문의의 처방을 받아야 한다.

3.5.2 기타 유의사항

가. 하절기, 동절기 및 우천시 공사는 공사의 영향정도에 따라 적절한 대책을 세운 후 진 행한다.

나. 단 시공품질 및 작업환경의 유지가 어렵다고 판단될 경우 공사를 중지할 수 있다.

3.6. 품질관리 및 검사

3.6.1. 사용자재

가. 공사에 사용하는 자재에 대하여 반입 시 자재의 규격, 반입량, 제조업자 명, 제조일자, 손상여부 등을 확인하고 감독관 또는 공사감리자의 검수· 승인을 받는다.

나. 반입하는 공사자재는 필요에 따라 공인기관 시험성적서 등을 요청하고 본 시방서의 “2. 사용자재”에서 제시한 품질기준의 적합여부를 확인한다.

3.6.2. 공사 품질관리

가. 공사 진행의 모든 사항은 본 시방서에 준하여 시공해야 하며, 각 세부공정이 끝날 때 마다 감

독관 또는 공사감리자의 확인을 받는다.

나. 공사 진행과정에서 시방에 적합하지 않는 문제가 발생하는 경우, 감독관 또는 공사감리자와의 협의에 의해 부분 보수 또는 전면 재시공 여부를 판단하고 이를 따른다.

다. 공사 과정 중에 원활한 품질관리를 위해 공사 체크리스트를 작성하여 사용할 수 있다.

3.6.3. 완료 후 품질관리

가. 시공과정에서 발생하는 하자 가능성을 대비하여 육안 확인이 가능한 최종 공정 완료 후 하자 여부를 최종 확인한다.

나. 최종 확인과정에서 시공부위의 균열, 파손, 틈새, 접합불량 등의 하자여부가 확인되는 경우 이를 감독관 또는 공사감리자에게 보고하고 보수한다.

4. 감독관의 책무

이 시방서에서 감독관이라 함은 발주자 또는 발주자 대리인을 말하며 전체공사의 수행이나 시공에 대한 책임을 맡고 있는 자를 말한다.

감독관은 중요한 지시 및 승인을 문서로 시행한다.

감독관은 공사감리자 및 시공자의 업무를 원만히 수행할 수 있도록 협력한다.

5. 시공자의 책무

5.1.1. 이 시방서에서 시공자라 함은 공사도급 계약서에 기재되어 있는 도급자(하도급자 포함) 또는 그 대리자 및 그들이 위임하는 현장대리인 등을 말한다.

5.1.2. 시공자는 공사계약서 및 설계도서 등에 따라 충실히 시공하며 감독관의 검사승인 또는 협의결과에 따라 시행한다.

5.1.3. 시공자는 공사감리자가 관계 법령의 규정에 의한 공사감리업무를 원만히 수행하도록 협력한다.

6. 공법.공정의 결정

6.1.1. 대상 공사에 필요한 공법 및 공정은 설계도서에 지정하는 것을 원칙으로 한다.

6.1.2. 다만, 설계도서에 별도로 지정되어 있지 않을 경우 공법 및 공정에 대해서는 감독관 및 공사감리자와 협의하여 결정한다.

7. 유지관리지침서

7.1.1. 일반사항

가) 개요

- 이 유지관리지침은 “건축물에 초경량 무기계 불연 주입식 외단열 공법”에 의한 시공 후 유지

관리를 위한 점검, 평가, 판정, 대책 및 기록에 대한 방법을 나타낸다.
- 이 유지관리지침은 초경량 무기계 불연 주입식 외단열 공법을 적용한 건축물의 파손, 균열, 들뜸, 박락 등에 대하여 구조물 전체의 성능을 유지하기 위한 유지관리 전반에 적용한다.

나) 적용범위
- 건축물에 건축물에 초경량 무기계 불연 주입식 외단열 공법의 유지관리지침은 건축물에 초경량 무기계 불연 주입식 외단열 공법이 적용된 건축물의 유지관리에 적용한다.
- 본 유지관리지침서에 의한 보수방법에 사용하는 재료 및 공법은 시방서의 성능기준 및 시공방법에 따르며, 이외의 것은 표준시방서의 단열공사 (KCS 41 42 00) 중 외단열공법에 따른다.

7.1.2. 성능저하의 형상

건축물에 초경량 무기계 불연 주입식 외단열 공법의 성능저하에 의한 대표적인 현상은 (1) 표면마감의 균열 (2) 충격에 의한 모서리부의 파손, (3) 주입 단열재의 빈틈 들뜸, (4) 외부 마감처리 불량, (5) 하부면의 시공불량으로 인한 들뜸, (6) 외부 표면의 오염 등이 있다.

7.1.3. 점검의 종류 및 내용

가) 개요

초경량 무기계 불연 주입식 외단열 공법의 점검은 육안조사를 원칙으로 하며, 필요시 적절한 검사 기구를 사용하여 점검한다.

적절한 검사기구란 외관상으로 확인하기 어려운 들뜸 등을 구분하기 위하여 타격을 위한 가벼운 손망치나 수직도를 확인하기 위한 다림추 또는 수포계 등을 들 수 있다.

나) 초기점검

초기점검은 신설구조물, 또는 기설치 구조물에 적용된 초경량 무기계 불연 주입식 외단열 공법의 완공 단계에서 실시한다. 이때 시공불량의 발견시 하자보수를 하도록 한다. 시공불량이 발견되지 않은 경우 완공 단계의 상태를 기록한다. 이는 차후 일상점검이나 정기점검 또는 긴급점검의 기준이 되므로 상세하게 기록한다.

다) 일상점검

일상점검은 육안조사에 의한 수직 화재확산 방지구조 등의 들뜸, 균열, 파손, 오염 등의 확인을 기본으로 한다.

라) 정기점검

정기점검은 일상점검으로 파악이 어려운 정보를 얻기 위하여 실시하며 일상점검보다 상세하게 외관조사를 실시한다.

마) 정밀점검

보다 상세한 점검을 위하여 검사도구를 사용하여 정밀한 점검을 실시한다. 일반적으로 육안으로 확인되지 않는 들뜸 등을 확인하기 위하여 타격을 위한 가벼운 손망치나 수직도를 확인하기 위한 다림추 또는 수포계 등을 사용하는 점검을 의미한다.

7.1.4. 평가 및 판정

점검에 의하여 보수가 필요하다고 판단되는 경우 적절한 보수방법을 선택하여 보수한다.

7.1.5. 대책

각 파손의 부위 및 형상에 따른 보수방법을 선택하여 보수한다.

7.1.6. 외부마감처리 불량 보수

가) 배관 등의 노출 또는 입면의 굴곡 등으로 인한 마감처리의 곤란 및 부적절한 시공에 의하여 마감재가 처리되지 않거나, 공극 등이 발생된 위치와 불량정도를 확인한다.

나) 마감재만 처리되지 않은 경우는 마감재만으로 마감한다. 그러나 단열재의 절단 불량으로 인한 공극 발생 위치는 적절한 크기로 절단하고 깨끗하게 잔재를 청소한다.

다) 제거된 부위에 초경량 무기계 불연 주입식 단열재를 적절한 양으로 주입한다.

라) 보강메쉬를 적합한 크기로 절단하여 부착하면서 모르터 바름을 실시한다.

마) 기존과 동일한 마감재로 마감한다. 이때 절단부위보다 약간 크게 칠하여 절단부위가 보이지 않도록 한다.

7.1.7. 하부면의 시공처리 불량 보수

가) 초경량 무기계 불연 주입식 외단열 공법 시공시 벽체의 하부밑면의 시공 불량으로 인한 들뜸 위치와 불량정도를 확인한다.

나) 들뜬 위치는 보수가 용이하도록 하부 면으로 부터 10 cm이상 절단, 제거하고 잔재를 깨끗이 청소한다.

다) 제거된 부위에 하부 면으로부터 제거된 위치까지 적절한 양의 초경량 무기계 불연 주입식 단열재를 주입한다.

라) 보강메쉬를 적합한 크기로 절단하여 부착하면서 모르터 바름을 실시한다.

마) 기존과 동일한 마감재로 마감한다. 이때 절단부위보다 약간 크게 칠하여 절단 부위가 보이지 않도록 한다.

7.1.8. 외부표면의 오염 보수

가) 외부 표면의 오염에 의한 오염의 제거는 점검 결과에 따라서 정도가 지나치지 않으면 물세척을 실시한다.

나) 일반적인 재도장 주기는 10년을 원칙으로 하되, 점검 결과에 의하여 오염정도가 심각하다고 인정되는 경우 재도장을 실시한다. 재도장은 전체 면적을 대상으로 실시한다.

다) 이 때 건축주의 의견에 따라 다른 색상으로 재도장이 가능하다.

8. 기술 사용 자격

8.1.1. 본 공법은 초경량 무기계 불연 주입식 단열재를 외단열 벽체의 개구부 상단 및 층사이에 외벽 및 단열재 상호간 밀착 시공하여 화재확산을 방지하는 기술로 공법을 사용함에 있어 특별한 제한은 두지 않으나, 공법이 건축물의 안전성 확보에 직접 영향을 주는 민감한 기술로 철저한 자재품질 및 시공품질이 유지되며 시공되어야 한다. 따라서 다음과 같은 자격요건을 확인할 수 있는 증빙자료를 제출.확인하도록 하며, 기술사용 업체는 공법 관련 교육을 의무적으로 이수해야 하도록 한다.

<표 5> 자격요건

○ 미장방수업 면허 소지자 ○ 외단열 또는 마감공사 관련업체에서 1회/년 실시하는 외단열 기술 및 시공방법 기술지도 교육을 받은 미장방수업체 ○ 외단열 또는 마감공사 시공관련 3년 이상 경력 기술자 5인 이상 인력 확보 업체

<표 6> 공법 관련 교육이수

교육명	교육내용	교육시간	비 고
초경량 무기계 불연 주입식 외단열 공법 단열재 특성	초경량 무기계 불연 주입식 단열재의 구성소재, 발현 성능, 품질기준	1시간	이론교육
초경량 무기계 불연 주입식 외단열 공법 시공방법	시방서 교육 (위치, 외벽 시공 방법 등)	2시간 (이론 1시간, 실습 1시간)	이론교육 및 실습
현장실습	시공현장 1개소 이상	1시간	현장견학

<표 7> 필요 면허

구 분	건설업종	업무내용
종합공사를 시공하는 업종	1. 건축공사업	종합적인 계획·관리 및 조정에 따라 토지에 정착하는 공작물 중 지붕과 기둥(또는 벽)이 있는 것과 이에 부수되는 시설물을 건설하는 공사
전문공사를 시공하는 업종	1. 미장방수업	구조물 등에 모르타르·플러스터·회반죽·흙 등을 바르거나 내·외벽 및 바닥 등에 성형단열재·경량 단열재 등을 접착하거나 뿜칠하여 마감하는 공사

<표 8> 필요 장비

사용 장비명	장비 성능 및 규격	핵심 장비	보유·임대
현장 발포용 장비	2L/min *2, AIR동력, 220V 단상	현장 발포용 2액 펌핑 장비	
컨트롤 장비	시멘트, 기포기의 정밀 컨트롤	현장 경량 불연 단열재 주입 컨트롤 장치	
콤프레샤	220V 단상, 3HP, 100L이상 급	AIR 공급	

※ 부록 1

초경량 무기계 불연 주입식 외단열 공법 공사의 체크리스트

현장명		검사일자	20 . . .
공정단계		부위 및 위치	

공 정	검사항목	검사항목 및 관리기준	검사결과		조치사항
			Yes	No	
1. 사용자재의 확인	· 외부마감재, 초경량 무기계 불연 주입식 단열재 등 이상 유무	· 외부마감재의 파손여부 · 초경량 무기계 불연 주입식 단열재의 재료 확인			
2. 외부마감재 설치 공정 확인	· 외부마감재 부착위치 및 줄맞춤 · 초경량 무기계 불연 주입식 단열재 시공 바탕면의 편평도 · 외부마감재 부착	· 시공도대로 시공되어 있는지의 확인 · 외부 오염물질을 제거 확인			
3. 마감재 접합부위 보강	· 외부마감재의 긴결 · 초경량 무기계 불연 주입식 단열재 시공	· 외부마감재의 흔들림 등 고정 확인 · 외부마감재의 파손에 따른 보수, 교체여부 확인 · 주입 될 단열재간 단차 확인			
4. 단열재 주입	· 초경량 무기계 불연 주입식 단열재 시공 마감성 확인 · 양생 확인	· 균열, 단차 발생, 두께 균일성 확인 · 양생 시간 준수(48h)			
5. 주입구 마감 작업 확인	· 양생확인 · 마감성 확인	· 양생 시간 준수(48h) · 균열, 단차 발생, 두께 균일성 확인			
6. 시공후의 확인	·시공후의 처리	·잔재처리			·잔재는 법규에 의거하여 처리

시공자 점검	(인)	감리원 점검	(인)

※ 부록 2

초기, 일상, 정기점검시 체크리스트

	구분	점검항목	양호	보통	미흡
1	초기점검 일상점검 정기점검	외부 마감 균열 발생	총길이 1m이하	총길이 5m이하	총길이 5m 이상 또는 1개소 길이가 1m이상인 경우
2	초기점검 일상점검 정기점검	이질 단열재간 단차에 의한 외부 마감 균열 발생	없음	3cm 이하	3cm 이상
3	초기점검 정기점검	균열 진행여부	아님	진행도중 멈춤	계속 진행됨.
4	초기점검 일상점검	마감재의 박리, 박락	면적합계 0.1m^2이하	면적합계 1m^2이하	면적합계 1m^2이상 또는 1개소 면적이 20cm^2 이상인 경우
5	초기점검 일상점검	변색, 오염	없음	면적합계 5m^2 이하	면적합계 5m^2이상 또는 1개소 면적이 1m^2이상인 경우
6	초기점검 일상점검	부분 파손	없음	3개소 이하	3개소 이상 또는 1개소 면적이 25 cm^2이상인 경우
7	초기점검 일상점검	모서리 파손	없음	4개소이하	4개소 이상 1개소의 파손 면적이 25cm^2이상인 경우
8	초기점검 일상점검	누수 흔적	없음	4개소 이하	4개소 이상 1개소의 누수흔적이 100cm^2이상인 경우

* 초기점검 결과 미흡인 항목이 1개 이상인 경우 정밀점검 실시
* 일상점검 결과 보통인 항목이 4개 이상인 경우 정밀점검 실시
* 일상점검 결과 미흡인 항목이 1개 이상인 경우 정밀점검 실시

※ 부록 3

정밀점검에 따른 보수여부 판정을 위한 체크리스트

	점검 항목	점검도구	판정기준	보수 방법
1	균열의 발생길이 및 폭 측정	줄자 균열게이지	균열길이 5m이상 균열폭 0.4mm이상 균열길이 10cm 이상(이잴 단열재의 단차 균열에 한함)	모르터 및 유리섬유 보강 후 마감재 바름(이질 단열재 단차 균열인 경우 유리섬유를 2차 보강)
2	마감재 들뜸 정도	육안조사	1개소 들뜸 면적이 25 cm^2 이상	들뜸부위의 마감면 제거 후 모르터 및 유리섬유 재 바름 후 마감재 바름
3	단열재간의 접착부위 수직도 평가	수포계 다림추	± 5mm이상인 경우	들뜬 단열재를 제거 후 새 단열재를 부착한 뒤 마감보수
4	마감재의 오염정도 측정	육안조사	흰장갑 착용, 벽면을 문지른 후 오염정도 확인	오염정도에 따라 세척 또는 재도장 여부 결정
5	국부압축에 의한 파손 부위	육안조사 망원경	1개 파손면적이 25 cm^2 이상	파손부위를 국부적으로 제거후 단열재, 보강메쉬, 모르터 바름, 마감재 보수
6	모서리의 부분 파손 또는 들뜸 부위 점검	육안조사 망원경,수포계 다림추,광파기	1개 파손면적 25cm^2이상	모서리 파손부위 제거후 단열재, 모서리보강재, 유리섬유, 모르터 바름, 마감재 보수
7	열화부위의 누수흔적	육안조사 망원경, 줄자 균열게이지	균열폭 0.2mm이상 또는 오염면적 100 cm^2 이상	누수원인 추정에 의한 방수 보수 및 누수흔적부위 재도장 또는 부분제거 후 보수 실시
8	단열성 저하여부 (겨울철에 한하여 실시)	적외선 열화상 장치	측정시 적색으로 보이는 부위면적이 50 0cm^2 이상인 경우. 모서리의 경우 2m이상	사이가 벌어진 틈에 주입식 단열재를 채워 넣은 후 보강메쉬 부착 및 마감.

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

3.1 불연단열재 사용재료 및 배합설계

3.1.1 불연단열재 사용재료

- 1, 2차년도 배합설계를 통해 무기재료와 단열재료, 화학 혼화제를 선정하여 배합설계를 진행하였고 불연단열재의 주재료가 되는 산화마그네슘과 입도조절시멘트로 선정하여 불연단열제를 제조하였음.

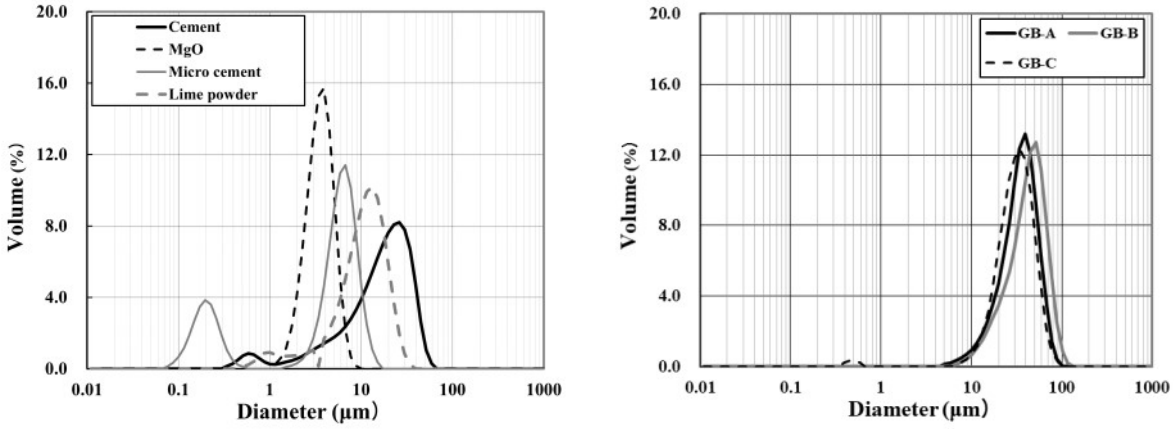
- 불연단열재의 단열성능 향상을 위해 사용한 글라스버블은 입도와 입자크기가 다른 3종류의 글라스버블을 사용하였음. 그 외 화학 혼화제로 응결조절을 위한 염화마그네슘, 붕사, 생석회와 공기연행 및 증점 목적으로 사용한 EVA재유화형 분말수지, 증점제를 사용하였고 유동성 증진을 위한 유동화제, 불연단열재 발포를 위한 이산화망간과 과산화수소를 사용하였음.

<표 3.1> 재료의 용도 및 특성 (1-1, 1-2번 배합설계 사용재료)

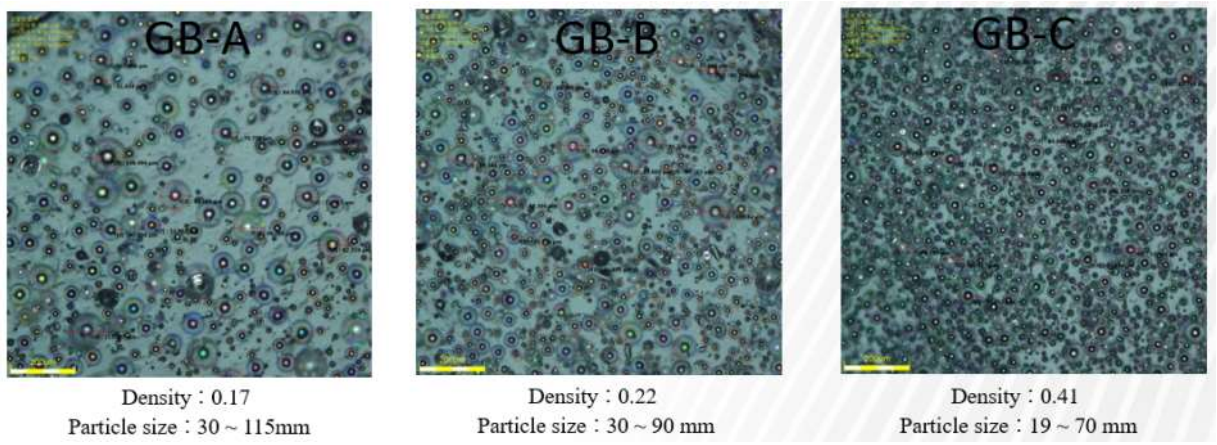
재료	용도	특성
산화마그네슘	장기강도	장기강도 발현
염화마그네슘	산화마그네슘 반응성 촉진	산화마그네슘 응결 촉진
글라스버블	비중 및 열전도율 저하	비중이 낮고 열전도율이 낮음
붕사	EVA 응결촉진	EVA 응결 촉진으로 강도향상
유동화제	유동성 증진	작업성 향상
EVA재유화형 분말수지	기공형태 유지	높은 점성으로 기공형태 유지
증점제	기공형태 유지	높은 점성으로 기공형태 유지
이산화망간	발포로 인한 공극형성	화학적 반응으로 공극을 형성
과산화수소	발포로 인한 공극형성	화학적 반응으로 공극을 형성

<표 3.2> 재료의 용도 및 특성 (2번 배합설계 사용재료)

재료	용도	특성
입도조절 시멘트	강도발현, 경화	반응성이 높고 경제적
생석회	수화열 발생	반응촉진
글라스버블	비중 및 열전도율 저하	비중이 낮고 열전도율이 낮음
유동화제	유동성 증진	작업성 향상
EVA재유화형 분말수지	기공형태 유지	높은 점성으로 기공형태 유지
증점제	기공형태 유지	높은 점성으로 기공형태 유지
이산화망간	발포로 인한 공극형성	화학적 반응으로 공극을 형성
과산화수소	발포로 인한 공극형성	화학적 반응으로 공극을 형성



[그림 3.1] 배합설계 사용재료 입도분포



[그림 3.2] 글라스 버블 밀도 및 입도사이즈 차이

3.1.2 불연단열재 배합설계 및 시험편 제조

- 불연단열재 배합설계는 3 Type 으로 진행하였고, 산화마그네슘과 입도조절시멘트를 혼입한 배합설계와 산화마그네슘을 단독으로 혼입한 배합설계, 입도조절 시멘트를 단독으로 혼입한 배합설계로 진행하였음.

- 발포방법은 후발포 방식으로 주재료, 화학혼화제, 이산화망간과 함께 건비빔 후 배합수를 투입하여 핸드믹서로 믹싱을 3분간 진행함. 이후 제조된 불연단열재 시멘트 페이스트에 과산화수소를 투입하여 10초간 믹싱 후 폴리스티렌 몰드에 넣어 상온에서 양생을 진행하였음.

<표 3.3> 1-1번 배합설계

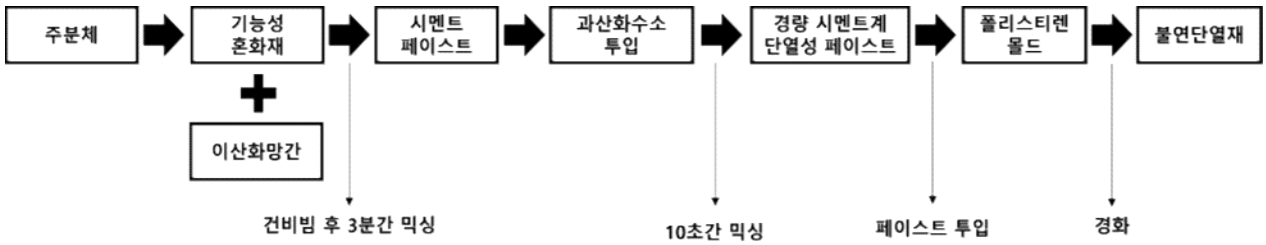
Sample	Binder				Admixture addition			Foaming agent	Hardner	
	W/C	Cement	MgO	Glass Bubble-A	Binder wt. %		Polymer wt/%	MnO_2:H_2O_2	Polymer wt. %	MgO wt. %
					Polymer	WR	Thickner			
LNIC-1	100	20	60	20	0.3	0.06	10	1 : 4	100	100
LNIC-2					0.6					
LNIC-3					0.9					
LNIC-4					1.2					

<표 3.4> 1-2번 배합설계

Sample	Binder				Admixture addition			Foaming agent	Hardner	
	W/C	Cement	MgO	Glass Bubble-B	Binder wt. %		Polymer wt/%	MnO_2:H_2O_2	Polymer wt. %	MgO wt. %
					Polymer	WR	Thickner			
LNIC-5	190	-	67	33	0.125	-	60	1 : 6	100	100
LNIC-6	210									

<표 3.5> 2번 배합설계

Sample	Binder				Admixture addition				Foaming agent
	W/C	Cement	Lime	Glass bubble (A,B,C)	Polymer	Thickner	Water Reducing agent	Hardner	MnO_2:H_2O_2
SLI10A	140	60	20	20	0.125	0.065	5	1	1 : 2
SLI10B									
SLI20A		70	20	10					
SLI20B									



[그림 3.3] 후발포 방식 배합과정

3.1.3 불연단열재 경량 및 단열성능

- 실험결과, 1-1번 배합설계로 제조한 시험편 LNIC-1 ~ 4의 밀도 0.23 ~ 0.27g/cm^3, 열전도율 0.057 ~ 0.098W/mK의 결과를 나타냈지만, 1-2번 배합설계로 제조한 시험편의 밀도와 열전도율은 0.06 g/cm^3 과 열전도율 0.038 ~ 0.043W/mK로 단열등급 “나 ~ 다” 급을 성능을 보여줌.
- 2번 배합설계로 제조한 시험편의 밀도는 0.15 ~ 0.17g/cm^3, 열전도율 0.046 ~ 0.049W/mK로 단열등급 “라” 급의 성능을 보여줌.
- 본 연구과제의 경량 및 단열성능의 목표치인 0.2g/cm^3이하, 0.046W/mK 이하로 본 배합설계로 제조한 시험편은 밀도 0.06 ~ 0.27g/cm^3, 열전도율 0.038 ~ 0.098W/mK 의 결과로 연구과제 경량 및 단열성능 목표에 달성하였음.

<표 3.6> 1-1, 1-2번 시험편 밀도 및 열전도율 결과

시편명	밀도 (g/cm^3)	열전도율 (W/mK)
LNIC-1	0.23	0.098
LNIC-2	0.25	0.065
LNIC-3	0.25	0.064
LNIC-4	0.27	0.057
LNIC-5	0.06	0.043
LNIC-6	0.06	0.038

<표 3.7> 2번 시험편 밀도 및 열전도율 결과

시편명	밀도 (g/cm^3)	열전도율 (W/mK)
SLI10A	0.16	0.048
SLI10B	0.17	0.049
SLI20A	0.15	0.046
SLI20B	0.15	0.047

3.1.4 불연단열재 불연성능

- 2번 배합설계로 제조한 시험편의 불연성능 실험결과, 질량감소율 25.5 ~ 28.1%, 최고온도와 최종평형온도 차는 0.9 ~ 1.8℃로 불연성능을 보여주고 있음. 본 연구과제의 목표치 불연성능에 만족하고 있으며 이를 공인성적서로 증명하였음.

<표 3.8> 불연성 실험결과

Series		SLI10A	SLI10B	SLI20A	SLI20B	Standard
Mass (g)	Final mass (g)	10.31	13.14	7.85	10.61	Below 30%
	Mass loss (g)	3.54	3.39	3.08	3.70	
	Mass loss (%)	25.5	25.8	28.1	25.8	
Furnace temperature (℃)	Maximum furnace temperature (℃)	755.3	745.1	754.8	750.7	Not excess 20 K
	Final equilibrium temperature (℃)	754.1	744.0	753.9	748.9	
	Temperature difference (℃)	1.2	1.1	0.9	1.8	

Series	SLI10A	SLI10B	SLI20A	SLI20B
Before				
After				

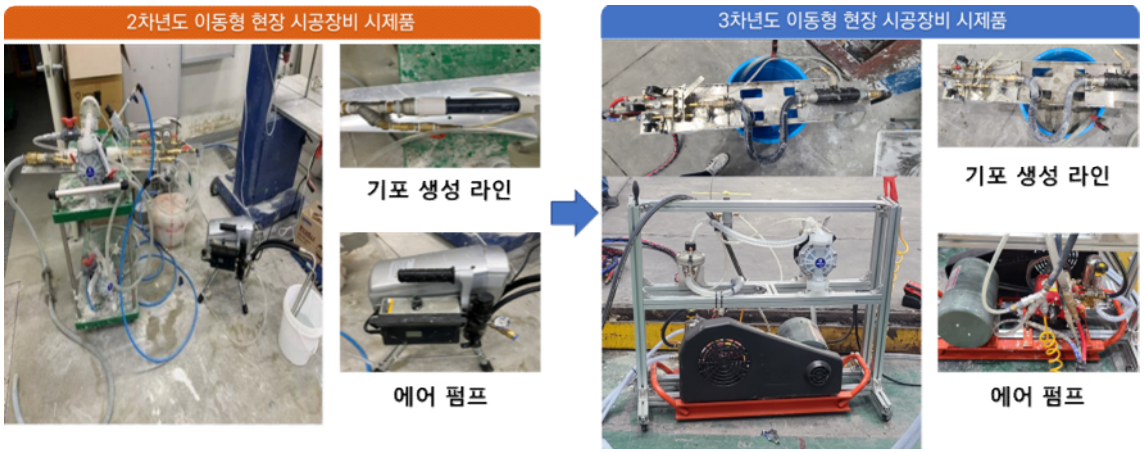
[그림 3.4] 불연성 시험 실험 직후 시험편 상태

3.1.5 화재안전성 시험

가. 이동형 현장 시공 장치

- 이동형 현장 시공 장치를 사용하여 화재안전성 실험 실물 외벽구조에 불연단열재를 적용하였음. 2차년도 이동형 현장 시공 장치를 개선하여 기포 생성 라인과 에어펌프의 변경과 현장시공이 가능하도록 개량화하여 사용성을 극대화 시킴.

- 개선된 이동형 현장 시공 장치를 사용하여 실물 외벽 구조에 적용하여 화재안전성 실험을 진행하였음.



[그림 3.5] 3차년도 이동형 현장 시공장치 시제품 변경점



[그림 3.6] 이동형 현장 시공 장치 실물 외벽 구조 적용

나. 화재안전성 시험 결과

- 실험결과, 화재안전성 시험 실험평가 기준인 내외부 열전대 측정온도 15분 이내에 30초 이상 600℃를 초과하지 않았으며, 시험이 끝난 직후 불연단열재의 상태는 경미한 균열 외 손상이 없어 실험평가 기준에 만족하였으며 이를 실험결과 보고서를 통해 증명하였음.

<표 3.9> 화재안전성 시험 실험평가 기준

항목		내용
화재 저항성	외부화재 확산	Level 2 외부 열전대 측정 온도가 시작시간(T_S) 15분 이내에 30초 이상 600℃를 초과한 경우
	내부화재 확산	Level 2 내부 열전대 측정 온도가 시작시간(T_S) 15분 이내에 30초 이상 600℃를 초과한 경우
-시작시간(T_S): Level 1 외부 열전대 측정온도가 시작온도에서 200℃ 상승하여 30초 이상 유지하는 시간 -시작온도: 점화 전 Level 1 외부 열전대에서 측정한 5분 동안의 평균 온도		



[그림 3.7] 화재안전성 시험 실험결과 직후 실물 외벽구조 상태

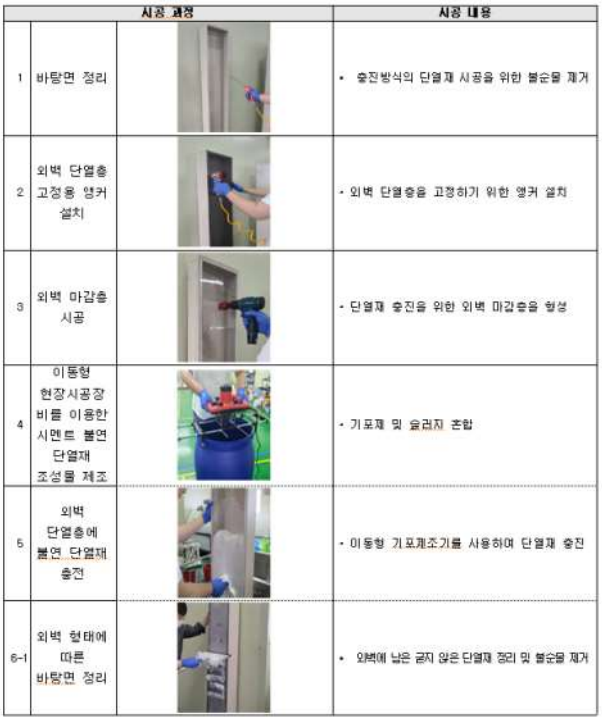
<표 3.10> 화재안전성 최고온도 실험결과

구분		최고온도(℃)							
LV 1	외부 TC	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
		301.2	657.7	918.2	872.8	809.4	758.9	470.8	316.9
LV 2	외부 TC	No.9	No.10	No.11	No.12	No.13	No.14	No.15	No.16
		262.8	414.8	548.3	629.5	599.8	552.4	434.0	286.4
	내부 TC	No.17	No.18	No.19	No.20	No.21	No.22	No.23	No.24
		7.9	7.5	7.2	94.5	138.6	8.2	8.0	7.3

3.1.6 외벽 현장시공 시스템 시공 메뉴얼

- 본 실험들의 바탕으로 충진방식 외단열 공법의 시공 메뉴얼을 도출하였음.
- 기존 공장생산 외단열 공법에 비해 충진방식의 외단열 공법은 시공절차가 적으며 공장생산 단열재 제작으로 인한 추가비용, 접착 모르타르에 의한 단열재 탈락 등에 의한 단점이 없음.

번호	기존기술 시공절차	공장생산 방식 시공 절차
1	바탕준비	바탕준비
2	기준 먹메김	기준 먹메김
3	단열재 접착모르타르 바름	일반 단열재 접착모르타르 바름
		불연 단열재 설치용 앵글 시공
		불연 단열재 접착모르타르 바름
4	단열재 벽체 부착	일반 단열재 벽체 부착
		불연 단열재 개구부 상단, 층 사이 벽체 부착 및 앵글과 고정
5	단열재 패스너 시공	단열재 화스너 시공
8	접착모르타르 바름	카본메시 부착
9	표준메시 부착	접착모르타르 바름
10	접착모르타르 바름	카본메시 부착
11	접착모르타르 바름	접착모르타르 바름
12	표준메시 부착	마감재 시공
13	접착모르타르 바름	-
14	마감재 시공	-



[그림 3.8] 충진방식 외단열 공법 시공 메뉴얼

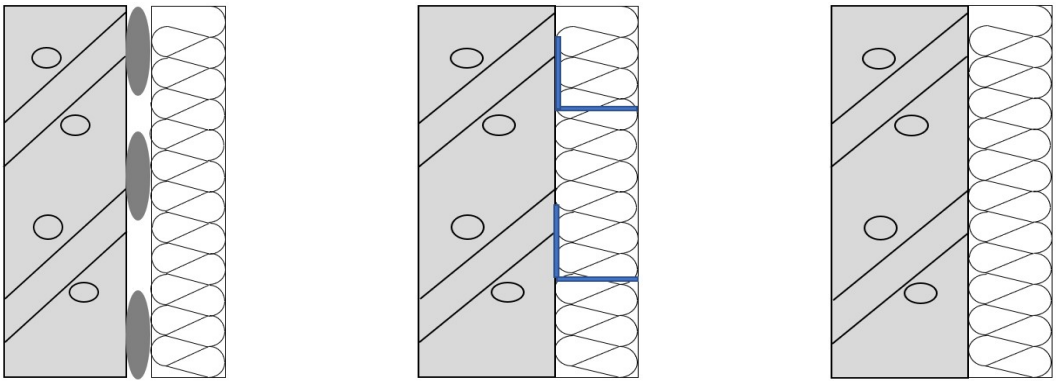
3.1.7 연구결과에 따른 노후주택 화재확산방지 가능성 검토

가. 개요

- 노후주택에 적용된 외단열 시공기술은 경제적인 이유로 유기계 단열재나 화재에 취약한 재료를 사용함. 또한, 시공 시 벽체→단열재→마감재 순서로 화재 발생 시 단열재가 열에 녹아 화재 확산 통로 역할을 하게 되고 인접 주택으로 화재가 확산될 수 있음.

- 건식 외단열 마감공법은 구조용 각관 바탕 프레임과 알루미늄 구조체를 이용하여 시스템을 구성하고 있으며 일반단열재 양면에 무기 경량 보드를 부착하거나 세라믹 코팅재(H.B Coat)로 특수코팅 처리한 건축용 외장패널 마감재를 이용하거나 L형 행거 철물을 이용하여 구조체에 정착하는 공법들이 개발됨. 습식 외단열 마감공법은 경제적이고 공사기간이 짧고 시공이 용이하여 많이 사용되었으나, 마감재가 얇고, 내부가 강도가 약한 단열재로 구성되어 충격에 취약하고, 단열재 부위가 탈락하거나, 바람에 의해 벽체 전체가 탈락되는 문제가 다수 발생함.

- 외단열 공법 단열재 시공 시 시공 불량이나 수분에 의한 단열재 변형으로 공간이 생겨 열의 이동경로가 되는 단점을 가지지만, 충진 시공을 적용한 경우 벽체→단열재→마감재의 공간을 없애는 것이 가능하며 불연재료로 사용할 경우 건축물의 화재 안전성이 향상되나 현재 사용되는 외단열 현장 시공법은 대부분 유기계 단열재이거나 불에 타는 재료임.



(a) 습식 외단열 공법 (b) 건식 외단열 공법 (c) 충진방식 외단열 공법

[그림. 3.9] 기존 외단열 공법과 충진 방식 외단열 공법 비교

나. 연구개발 불연단열재와 이동형 현장시공 장치의 충진방식 외단열 공법 적용성 검토

- 노후주택에 적용된 외단열 공법은 공사비 절감을 위해 저렴한 유기계 단열재를 사용하고 있는 실정임. 본 과제에서 개발한 불연단열재의 경우 불연성 시험 성적서와 Mock-up 시공 결과, 화재안정성 시험을 통해 불연성능을 충분히 발휘하는 것을 확인하였음.

- 시멘트계 재료를 사용한 불연단열재의 충진방식 외단열 공법을 적용하기 위해 굳지 않은 시멘트 슬러지의 물성 확보가 필수적이며 이동형 현장시공 장치에 적용하기에 무리가 없어야함.

- 이동형 현장시공 장치로 제조한 굳지 않은 시멘트 슬러지을 상태를 보았을 때, 마감재와 외벽 사이에 있는 빈 공간을 채우기에 적합한 물성을 가지고 있는 것을 확인할 수 있었음. 또한, 이동형 현장시공 장치로 작업 시 굳지 않은 시멘트 슬러지가 토출되는 라인과 본체에서 멀어 압출성능이 저하하는 현상이나 굳지않은 시멘트 슬러지의 물성변화는 보이지 않았음.





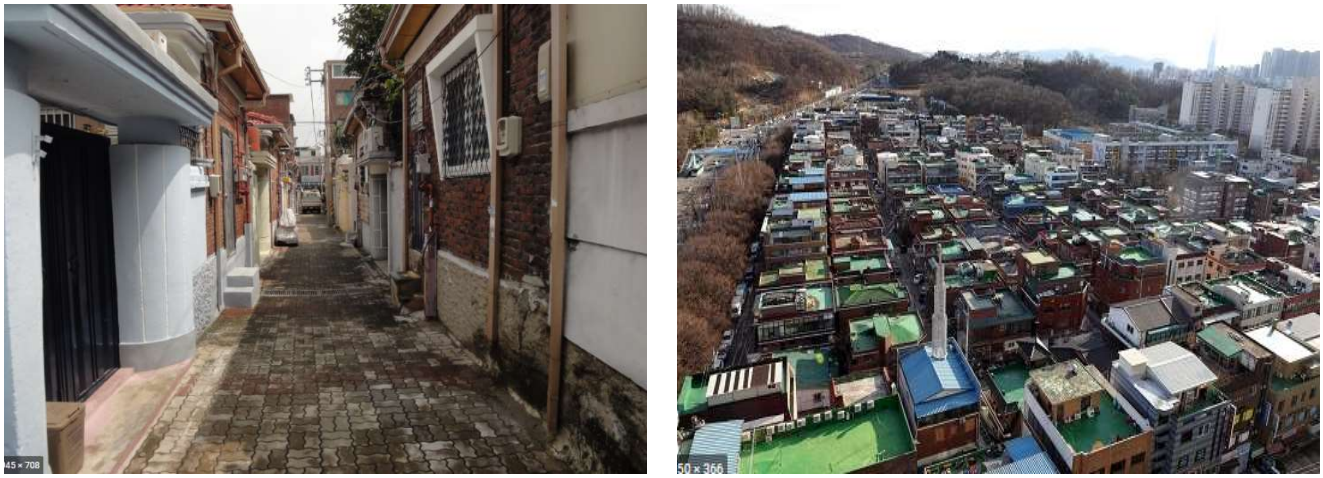
[그림. 3.10] 이동형 현장시공장치로 제조한 불연단열재 물성확인





[그림. 3.11] 이동형 현장시공장치 시공현장

다. 연구개발 불연단열재와 이동형 현장시공 장치의 노후주택 적용 가능성 검토



[그림. 3.11] 저층 노후주택 밀집

- 본 연구 과제를 통해 개발한 불연단열재와 이동형 현장시공 장치는 공장에서 생산하여 시공하는 단열재 대비 현장에서 재료를 배합하여 충진방식 외단열 공법의 적용이 가능하다는 장점을 가짐. 또한, 장소가 협소한 곳에서 시공이 가능하기 때문에 장소에 구애받지 않고 시공이 가능함. 또한, 충진방식 외단열 공법에 적용되는 불연단열재는 절단이 불필요하여 현장조건에 대응이 쉽다는 장점을 가짐.

- 노후주택 밀집지역은 장소가 협소하기 때문에 외단열 공법 시공이 힘들 수 있으나 현 과제에서 개발한 이동형 현장시공장치는 부피가 적고 현장에서 바로 불연단열재를 외단열 공법을 통해 시공이 가능하여 노후주택 밀집지역에 효율적으로 시공이 가능함.

- 기존 유기계 단열재를 적용한 노후주택을 리모델링하여 화재확산방지구조를 포함한 충진방식 외단열 공법기술을 적용할 경우 화재발생시 발생하는 인명, 재산피해를 최소화 할 수 있으며 본 개발기술을 적용할 경우 노후추택 화재 발생률을 저감하여 피해를 최소화할 것으로 기대됨.

라. 충진방식 외단열 공법 예상 공사비용

- 충진방식 외단열 공법과 기존 외단열공법의 공사비를 비교분석하기 위하여 일위대가표를 작성하였음.

- 공사비는 자재비, 노무비로 구분하였으며 노무비의 경우, 소요량은 2021년 표준품셈, 단가는 2021년 시중노임단가를 토대로 산정하였음. 자재비의 경우, 소요량은 2021년 표준품셈, 단가는 2021년 일위대가 단가대비를 토대로 산정하였음.

- 기존 외단열 공법의 자재비는 65,393원/㎡ 이고 충진방식 외단열 공법은 50,313원/㎡ 으로 충진방식 외단열 공법의 단위면적단 비용이 12,830원/㎡이 감소하는 것으로 분석됨. 노무비의 경우 기존 외단열 공법은 31,472원/㎡ 이며 충진방식 외단열 공법은 39,110원/㎡ 으로 분석됨.

- 충진방식 외단열 공법은 접착모르타르와 기타 자재비용이 발생하지 않아 기존 외단열 공법에 비해 자재비용이 크게 감소하는 것으로 보여짐. 다만 본 예상 일위대가표는 기초적인 분석으로 실제 공사비와 상이할 수 있음.

<표 3.11> 기존 외단열 공법과 충진방식 외단열 공법 일위대가표 비교

비목		기존 외단열 공법				충진방식 외단열 공법			
		단가 (원)	소요량	단위	소계 (원)	단가 (원)	소요량	단위	소계 (원)
자재비	접착 모르타르	2,200	9	kg	19,800	-	9	kg	-
	단열재	25,600	1.1	m^2	28,160	54,000	1.1	m^2	41,800
	패스너	300	7.5	EA	2,250	300	7.5	EA	2,250
	하도제	1,750	0.15	L	263	1,750	0.15	L	263
	마감재	2,500	3.3	kg	8,250	2,500	3.3	kg	8,250
	기타	2,900	2.3	m^2	6,670	-	-	-	-
	소계	**35,250**			**65,393**				**52,563**
노무비	내장공	211,250	0.058	m^2	12,253	211,250	0.075	m^2	15,844
	미장공	228,820	0.040	m^2	9,153	228,820	0.052	m^2	11,899
	보통인부	144,481	0.030	m^2	4,334	144,481	0.039	m^2	5,635
	미장공 (마감미장)	228,820	0.020	m^2	4,576	228,820	0.020	m^2	4,576
	보통인부 (마감미장)	144,481	0.008	m^2	1,156	144,481	0.008	m^2	1,156
	소계	**957,852**			**31,472**				**39,110**

(2) 정량적 연구개발성과

핵심연구 성과 (level1)		단위 성과물 (level2)		해당 기관	성과목표	달성치
A	현장시공형 완전 불연단열재 개발	A-1	단열재료 배합설계	한국세라믹기술원	특허 출원 1건 보고서 1건 논문 비SCI 1건 성적서 2건	특허 출원 1건 보고서 1건 논문 비SCI 1건 성적서 2건
		A-2	단열성능 확보기술			
		A-3	경량성능 확보기술			
B	외벽 현장시공기술 공정 기술	B-1	외단열 시공기술 검토	유로글라스	보고서 2건	보고서 2건
		B-2	현장적용성 검토			
C	현장시공형 완전 불연단열재 물성확보기술	C-1	불연단열재 최적 배합설계	한국세라믹기술원	특허 출원 1건 보고서 1건 논문 SCI 1건 성적서 3건	특허 출원 2건 보고서 1건 성적서 3건
		C-2	단열소재 물성확보기술			
		C-3	불연성확보기술			
D	외벽단열시스템 현장시공 기술 개발	D-1	외벽 단열시스템 현장시공기술	유로글라스	보고서 2건	특허 출원 1건 보고서 2건
		D-2	외벽 현장시공 시스템 성능 확보			
E	현장시공형 불연단열재 현장적용성 및 물성확보 기술	E-1	현장시공형 불연단열재 적용기술 개발	한국세라믹기술원	특허 등록 1건 보고서 1건 논문 SCI 1건 성적서 2건	특허 등록 1건 (2022년 예정) 보고서 1건 논문 비SCI 1건 성적서 2건
F	외벽 현장시공 시스템 성능확인 및 적용기술	F-1	외벽 단열시스템 성능확보 외벽 단열시스템 성능확보 현장시공 시스템 개발	유로글라스	특허 등록 1건 성적서 1건 보고서 1건 시공메뉴얼 1건	특허 등록 1건 성적서 1건 보고서 1건 시공메뉴얼 1건
총계					특허 출원 2건 특허 등록 2건 논문 비SCI 1건 논문 SCI 2건 보고서 8건 성적서 8건 시공메뉴얼 1건	특허 출원 4건 특허 등록 1건 논문 비SCI 2건 보고서 8건 성적서 8건 시공메뉴얼 1건

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	100μm급 글라스 버블 혼입 시멘트계 초경량 무기 단열재의 단열 및 난연특성	한국건설순환자원학회	송훈, 손배근	Vol. 9 No.4	한국	한국건설순환자원학회	비SCIE	2022.12	2288-3320	100
2	폴라이애시와 폐유리분말을 사용한 외단열용 마감모르타르의 고온 특성	자원리싸이클링학회 논문집	송훈, 신현욱	Vol. 28 No.6	한국	한국 자원리싸이클링 학회	비SCIE	2019.12	1225-8326	100

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2020 한국건설순환자원학회 여름 e-컨퍼런스	산화마그네슘을 사용한 시멘트계불연 단열재의 침하특성	손배근	2020.08.25.	온라인	대한민국
2	2020 한국건설순환자원학회 가을 컨퍼런스	산화마그네슘을 사용한 시멘트계 불연단열재 단열특성	손배근	2020.11.26.	제주	대한민국
3	2021 봄학술발표대회 (한국건설시공학회)	산화마그네슘 및 재유화형분말수지를사용한 시멘트계불연단열재의 단열특성	손배근	2021.05.21.	제주	대한민국
4	2021 가을 학술대회 및 정기총회(한국건설순환자원학회)	중공유리체 종류에 따른 시멘트계 불연단열재의단열특성	손배근	2021.10.13.	제주	대한민국

□ 기술 요약 정보

번호	연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용 여부	허용방식

□ 보고서 원문

번호	연도	보고서 명	발간일	등록 번호
1	2021	3차년 단위성과보고서	2022	E-E-1-①
2	2021	최종보고서	2022	F-F-1-③
3	2020	2차년 단위성과보고서	2020	C-C-1-①
4	2020	2차년 단위성과보고서	2020	D-D-1-①
5	2020	2차년 단위성과보고서	2020	D-D-2-②
6	2019	1차년 단위성과보고서	2019	A-A-1-①
7	2019	1차년 단위성과보고서	2019	B-B-1-①
8	2019	1차년 단위성과보고서	2019	B-B-2-②

□ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

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

[기술적 성과]

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

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	특허	시멘트계 불연 단열재 및 이를 이용한 건축물 외단열 공법	한국	한국 세라믹 기술원	2020.12.31	10-2020-0189827	-	-	-	100	
2	특허	난연 및 불연성능이 향상된 건축 외장 마감재용 시멘트계 조성물	한국	한국 세라믹 기술원	2020.12.31	10-2020-0189830	-	-	-	100	
3	특허	현장시공용 거품단열재 발포장치	한국	유로 글라스	2020.10.15	10-2020-0133545	㈜유로 글라스	2020.12.24	10-2344570	100	
4	특허	화재확산방지용 초경량 불연 단열재료 제조를 위한 발포 시멘트계 조성물 및 제조방법	한국	한국 세라믹 기술원	2019.12.31	10-2019-0179773	-	-	-	100	

○ 지식재산권 활용 유형

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	활용 예정	기타

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율

□ 신기술 지정

번호	명칭	고시일	보호기간	지정번호

□ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증번호		

□ 표준화

○ 국내표준

번호	인증구분	인증여부	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류	제안/인증일자

○ 국제표준

번호	표준화단계 구분	표준명	표준기구명	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식	제안자	표준화 번호	제안일자

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)

□ 현장적용

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료	
					발생 연도	발생액(천원)
1	Know-how 기술실시 계약	외벽 화재확산방지 단열용 초경량 시멘트계 불연단열재 제조기술	(주)유로글라스	2021.01.15	2022	22,000천원 (부가세 포함)
2	Know-how 기술실시 계약	매입형 하중흡수블럭 제조기술 및 내진보강기술	㈜제이케이안전진단연구원	2021.04.29	2021	22,000천원 (부가세 포함)
3	Know-how 기술실시 계약	매입형 하중흡수블럭 제조를 위한 시멘트계 단열성 조성물 기술	㈜제이텍내진기술	2020.09.08	2020	22,000천원 (부가세 포함)

□ 사업화 투자실적

번호	연도	투자 자금 성격*	추가 연구개발 투자(천원)	설비 투자(천원)	기타 투자(천원)	합계(천원)

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
1	신규 법인 설립	영리법인	인천	무기단열재	불연 단열재 사업화	에이치티엠코리아(주)	-	-	-	-

□ 매출 실적(누적)

번호	사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
			국내(천원)	국외(달러)		
합계						

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과					
사업화 계획	사업화 소요기간(년)				
	소요예산(천원)				
	예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내			
		국외			
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획				
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)		현재	3년 후	5년 후
	수 출				

□ 고용 창출

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)		합계(명)
			2019년	2020년	
1	완전 불연단열재와 필로티 및 벽체 단열시공기술	㈜유로글라스	1	2	3
합계			1	2	3

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	0
		생산인력	0
	개발 후	연구인력	1
		생산인력	2

□ 비용 절감(누적)

번호	사업화명	발생 연도	산정방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위 : 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수, 명)	기타
해당 연도							
기대 목표							

□ 산업 지원(기술지도)

번호	내용	기간	참석 대상	장소	인원(명)

□ 기술 무역

(단위 : 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	총 계약액	기 징수액	해당 연도	징수액	향후 예정액	수출/ 수입

[사회적 성과]

□ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

□ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구 분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

□ 신진연구자 채용

번호	채용 연구개발기관명	채용일	근로기간	채용인원(명)	채용인원 중 청년인력(명)

□ 전문 연구 인력 양성

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

□ 산업 기술 인력 양성

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

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	연도	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비(천원)

□ 국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일

□ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

□ 연구시설・장비

번호	구축 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설・장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설・장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

2) 목표 달성 수준

연 구 개 발 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
현장시공형 저가형 시멘트계 경량 발포 단열재 조성물 및 제조방법	**○현장시공형 완전 불연단열재 배합 및 성능발현** -단열재료 선정 및 적정성 평가 -단열재료 배합설계 및 결합재 구성 방법 확인 -현장시공형 단열소재 단열 및 경량성능 확보기술 검증 **○현장시공형 완전 불연단열재 물성확보 기술** -현장시공형 완전 불연단열재 최적 배합설계 도출 -단열소재 물성확보 기술(열전도율, 경량성) 검증 -단열소재 불연성능 확보 검증 완료 **○현장시공형 불연단열재 현장적용성 및 물성확보** -현장시공형 불연단열재 적용 기술 개발 완료 -현장배합 단열성능 및 물성확보 기술 확인 완료 -외벽 단열 시스템 현장 적용 기술 확인완료	100
저가형 경량 불연 단열재 현장시공 기술 및 경량 불연 단열재의 현장시공이 가능한 이동형 현장 기포 시공장치	**○불연단열재 활용 외벽 현장시공기술 공정 검토** -불연단열재 활용 외단열 시공기술 검토 완료 -현장시공형 기포제조기 및 부품 검토 완료 -현장시공형 기포제조기 시공조건 및 현장적용성 검토 완료 **○외벽 현장시공기술 도출 및 외벽 단열시스템 적용** -외벽 현장시공기술 시스템 도출 -외벽 현장시공 시스템 및 시스템의 확보방안 도출 -외벽 현장시공 외벽 마감 단열모르타르 물성확보 기술 확인 완료 **○외벽 현장시공 시스템 성능확인 및 적용기술** -외벽 현장시공 기술개발 완료 -외벽 현장시공 시스템의 적용성 및 시공 매뉴얼 개발 완료	100

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

○본 연구과제를 통해 **현장시공형 불연단열재의 시멘트계 재료와 단열재료를 활용한 배합설계를 도출하였고 실험결과, 밀도 0.06 ~ 0.20g/cm^{3}이하, 단열성능 "나 ~ 라" 급(0.038 ~ 0.051W/mK)과 단열성능 외 단열재를 개발**하였음. 또한, 화재안전성 실험 실물 외벽 구조에 적용하면서 현장적용성을 확인하였음.

하지만 본 연구과제는 원천연구가 아닌 실용화 과제로 현장적용을 최우선으로 하여 응용연구에 매진하여 SCI급 논문 작성은 목표 달성하지 못하였고, **추후 단열재 성능 향상 연구와 충진방식 외단열 공법 개선을 통해 연구결과를 토대로 논문을 제출할 예정임.**

2) 자체 보완활동

○ 본 연구과제의 **실험결과를 바탕으로 비SCI 급 논문을 작성하였고, 총 연구기간 달성계획인 특허 출원 2건 외에 추가로 2건을 특허를 출원**하여 자체 보완활동을 진행하였음.

○ 총 연구기간에 **현장시공형 불연단열재의 배합설계를 세분화하여 밀도 0.06 ~ 0.20g/cm^{3}이하, 단열성능 "나 ~ 라" 급(0.038 ~ 0.051W/mK)의 단열재를 개발하여 지속해서 성능을 향상 시켰음.**

3) 연구개발 과정의 성실성

○ 시멘트계 불연단열재 제조 특성상 시험편 제조 후 양생기간이 다른 제품군에 비해 긴 것이 특징이지만 불연단열재 제조를 위한 배합설계와 시험편을 제조하여 **본 연구목표인 밀도 0.2g/cm^3 이하, 단열성능 0.046W/mK 이하의 제품을 개발하였고, 불연성 실험을 통해 불연재료를 입증하였음.** 본 연구개발에 많은 노력을 들였으며 성실히 과제를 수행하였음.

○ 본 연구과제를 통해 **이동형 현장 시공 장치의 지속적인 개선과 개량으로 현장적용성을 향상시켰고, 실험결과를 바탕으로 불연단열재를 활용한 이동형 현장 시공 장치의 외단열 시공메뉴얼을 도출하였음. 또한, 화재안전성 실험 실물 외벽 구조에 적용하여 현장적용성을 확인하였음.** 본 연구기간 동안 많은 노력을 들였으며 성실히 과제를 수행하였음.

○ 또한, 본 연구의 불연단열재는 산업분야에 응용이 가능한 재료로 활용가능성이 높음. 연구기간내에도 3건은 기술이전 계약, 금액 66,000천원을 달성하였음. 본 기술의 현장적용을 통해 더 많이 기술이전이 이루어질 것으로 예상됨.

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ 현장시공형 저가형 시멘트계 경량 발포 단열재 조성물 및 제조방법

-국내 외단열 공법은 공사비 절감으로 인한 유기계 단열재를 사용하면서 화재발생시 화재확산의 원인으로 작용하고 있음. 유기계 단열재 외 무기계 단열재인 글라스울, 미네랄울 등이 있지만 습기에 의한 수축이 발생과 단열성능이 저하되고 유기계 단열재 중 준불연 성능을 갖는 제품이 있지만 화재확산 방지대책으로 볼 수 없음.

-사례 분석을 통해 저가형 경량 불연단열재용 무기재료 도출과 물성확인으로 결합재를 선정하여 최적 배합설계를 도출하였음. 또한, 저가형 경량 불연단열재 제조를 위해 단열재료를 사용하여 경량 및 단열성능을 향상시켰으며, 또한, 무기재료의 사용으로 불연성능을 확보하였음.

-저가형 경량 불연단열재 현장시공 기술은 시공 환경에 적합하게 현장에서 직접 제조 및 시공하거나 불연단열재를 생산하여 현장에서 시공도 가능한 기술로 국내에서는 시도된 바 없어 기술개발이 완료된다면 초기 투자비용이 다른 제품에 비해 낮아 시장성과 상품성이 매우 높음.

○ 불연 단열재 현장시공 기술 및 이동형 현장 기포 시공장치

-일반적인 외단열 시공기술은 경제적인 이유로 유기계 단열재나 화재에 취약한 재료를 사용함. 또한, 시공 시 벽체→단열재→마감재 순서로 화재 발생시 단열재가 열에 녹아 화재 확산 통로 역할을 하게 됨. 단열재 시공시 시공불량이나 수분에 의한 단열재 변형으로 공간이 생겨 열의 이동경로가 되기도 함.

-외단열 시공기술의 단점을 보완하기 위해 국내외 사례를 통해 충진방식의 시공방법을 도출하였으며 충진방식의 적용이 가능한 이동형 현장 기포 시공장치 시제품 제작하였음. 이동형 현장 기포 시공장치의 문제점을 확인하고 기포 비드, 댐퍼, 비동력식 회전체 등의 추가로 지속적으로 개량 및 개선하였으며, 충진방식의 현장시공 기술의 세분화하였음.

-현장 적용성 확인을 위해 화재안전성 시험에 실물 외벽 구조에 시공하여 시공방법 및 이동형 현장 기포 시공장치의 성능을 입증하였음.

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

1) 생산 계획

구분		(2022년) 개발 종료 후 1년	(2023년) 개발 종료 후 2년	(2024년) 개발 종료 후 3년
국내	시장점유율(%)	1	3	5
	판매량(단위:)	30,000	60,000	100,000
	판매단가(원)	25,000	25,000	35,000
	국내매출액(백만원)	750	1,500	3,500
해외	시장점유율(%)	해외특허출원	해외특허출원	0.1
	판매량(단위:)	-	30,000	60,000
	판매단가($)	-	35,000	35,000
	해외매출액(백만$)	-	1,050	3,500
당사 생산능력1)		60,000 (ton)	60,000 (ton)	60,000 (ton)

2) 투자 계획

(단위 : 백만원)

항목		(2022년) 개발 종료 후 1년	(2023년) 개발 종료 후 2년	(2024년) 개발 종료 후 3년
매출원가[1]		250	500	800
판매관리비[2]		200	350	450
자본적 지출	토지	-	-	-
	건물/구축물	-	200	300
	기계장치등	150	500	100
자본적 지출 합계		600	1,550	1,650

3) 사업화 전략

○ 제품홍보, 판로확보, 판매전략 등의 사업화 추진전략

가. 참여기업1 ((주)유로글라스)

구분	구체적인 내용
형태/규모	° 상용화 형태 : 벽체 불연단열시공기술 등 ° 수요처 : 자체 영업에 의해 수요 가능, 조달청 통한 관공서 등 ° 예상 단가 : 80,000원, 1㎡*100t 기준 ° 투입인력 및 기간 : 5명 / 2년
상용화 능력 및 자원 보유	° 자체 영업팀 구성과 기존의 영업망을 활용하여 건물의 화재 내장재의 재질과 설치상태에 따라 무한 확대될 수 있으며, 화재에 대한 피해를 최소화하기 위하여 건물의 용도에 따른 주요구조부와 내화구조에 적합하고 자체 시공팀으로써의 품질경쟁력 강화. ° 내화구조는 화재에 견딜 수 있는 성능을 가진 구조 (쉽게 연소되지 않으며, 화재 시 상당기간 구조내력의 저하가 없고, 전소 후에도 재사용이 가능한 구조 개발 ° 최근 국내 외에서 발생한 가연성 외장재로 인한 화재사고를 계기로 강화된 화재안전기준의 현장 적용을 강화하기 위한 대책을 발표 * 건축물 외벽 마감재료를 불연재료 또는 준불연재료로 사용하도록 강화 (기존) 30층,120m 이상→(개정) 6층,22m, 건축물 2,000㎡이상('16.4.8 시행)

상용화 능력 및 자원 보유	○ 부실시공 방지대책의 주요 내용에 따른 단열재 제조·유통 단계 축소화로 가격경쟁력 확보 및 DB를 구축으로 건축안전모니터링을 확대 및 품질 고도화 - 외견상 난연성능 여부를 쉽게 파악할 수 있도록 난연성능 등급이 포함된 제품 정보를 단열재 겉면에 표기하도록 하여 불량 단열재를 제조할 유인을 사전에 제거하고, * 기재정보 : 제품명, 재질, 두께, 자재밀도, 난연성능 등급 등 - 난연성능시험성적서 DB를 구축하여 설계 및 감리시 단열재의 난연성능 여부를 손쉽게 확인하도록 유도 ° 본사 연구소에서 자체 개발 및 상품화로 시장구조에 대한 이해와 수요처별 요구에 대응하는 제품력을 바탕으로 목표고객을 확보하여 조기에 시장 진입을 추진 ° 자체 공장을 통한 생산 및 품질 관리 ° 지역건축안전센터*('18.4월 설치)에 건축사, 구조기술사 등 전문인력 채용을 유도하여 건축행정의 전문성을 보완할 계획
상용화 계획 및 일정	° 시제품 개발 완료 및 현장 적용 : 2022년 ° 단가 절감 및 상품화 작업 완료 : 2022년 ° 판매 개시 : 2022년

4) 사업화를 위한 비즈니스 모델

가. 사업화 모형 수립(BM) 배경

- 상용화 형태 : 완전 불연단열재와 필로티 및 벽체 단열시공기술

○ 재료성능 개발 단계별 실용화 계획 수입

구분	상세내용	담당기관
원료소재 (불연단열소재 원료)	° 상용화 형태 : 불연단열재 원료 최적화 기술 ° 수요처 : 원료소재 제조사. ° 예상 내용 : 불연단열재 제품 제조를 위한 최적화 기술 ° 실용화 : 원료소재 배합기술	주관기관 (한국세라믹기술원)
불연단열재 (0.046 W/mK)	° 상용화 형태 : 불연단열재 제조기술 ° 수요처 : 불연단열재 수요기업 공동기관인 ㈜유로글라스에 기술이전 ° 예상 내용 : 불연단열재 제조 및 활용기술 ° 실용화 : 현장시공형 불연단열재 제조 기술	주관기관 (한국세라믹기술원)
현장시공 기기 (기포제 및 배합기)	° 상용화 형태 :화재확산방지구조적용 현장시공 기기 ° 수요처 : 유사업종 군 ° 예상 내용 : 연구결과를 통해 보급방안 결정 건설신기술 또는 회원사 유치 ° 실용화 : 현장시공 장비	공동 ((주)유로글라스)
현장시공 기술	° 상용화 형태 :화재확산방지구조적용 현장시공 기술 ° 수요처 : 외단열업체 및 유사업종 군 ° 예상 내용 : On-site 불연단열재 현장시공 기술 및 보급방안 결정 건설신기술 또는 회원사 유치 ° 실용화 : 현장시공 기술	한국세라믹기술원 (주)유로글라스

○ 목표시장의 명확한 설정으로 안정적 시장 진입 추진

- 공공기관, 연구소 등 유관기간관의 건축 시장
- 아파트, 오피스텔, 공장, 업무시설 등
- 건물 비내력벽, 경량 칸막이벽, 지하 이중벽, 방화구획 방화벽
- AD(Air Duct)·PD(Pipe Duct) 벽체, 기계실/전기실 벽체 등

나. 사업화 모형의 목표 및 핵심 경쟁 요인

○ 시장 환경

- 종전 가격 중심의 시장에서 성능 중심의 시장으로 변화 추세
- 불량건축자재 사용으로 인한 손해배상 사례 빈발로 시공사 주도로 고성능 자재 선호 경향

○ 대체재 여부

- 대량생산 가능성, 원재료의 가격경쟁력, 내구성, 내후성 등을 감안할 경우기존 제품의 대부분을 대체할 대체재의 등장은 예견되지 않음
- 고단열, 고내화성을 요구하는 수요에 대응하는 복합소재 제품의 출현은 예상되나 가격경쟁력 확보 여부가 관건임

○ 공급자 입장에서의 원자재 조달 등 여건

- 본 과제의 제품은 시멘트 등 용이하게 확보가 가능한 원재료를 사용함으로써 조달 여건은 매우 안정적임

○ 수요자 입장에서의 시장여건

- 본 제품의 성능 외에 최대 강점은 가볍고 시공이 용이한 것으로 이는 전체 건설공사의 시공비용 절감, 공기단축 등의 효과를 가져와 향후 제품가격 결정의 레버리지로 작용할 예상

○ 정책 및 제도의 영향

- 제로에너지주택 의무화, 불연단열재 사용 의무화 등의 정책과 법규 강화로 기존 유기단열재나 저성능의 내화재는 법적으로 사용이 금지되는 추세임
- 이러한 정책의 변화는 본 제품의 시장경쟁력을 높여 줄 것으로 예상

다. 목표 시장 구조

(1) 경쟁 기업 현황

- 미국의 AIRKRETE 社가 전세계 독보적 영업활동

(2) 시장 진입 장벽

○ 자본소요량과 진입장벽

- 기존 제품과 유사 성능 수준의 제품으로 신규시장 진입의 메리트는 초기자본투자가 없다고 할 수 있음. 즉 기존 단열재는 기반시설과 같이 공장투자에 들어가는 투자가 엄청나나 본 과제의 기술은 현장시공형태로써 타 경쟁 제품에 비하여 진입장벽으로 작용
- 그러나 일정한 수요 확보가 가능하고 환경 변화에 따라 수요가 증가할 것으로 예상되는 본 제품과 같은 고성능 제품의 경우 초기 자본투자 부담에 불구하고 시장진입 움직임이 있을 것으로 예상

○ 기존시장의 존재 여부

- 경량 내화벽체는 건축법규에 따라 일정 규모 건물 및 일정 부위에 사용이 의무화되어 있어 기존시장이 분명하게 존재하고 시장이 일정한 규모 이상을 지속 유지, 확장할 것으로 예상

라. 수익 확보 전략

(1) 주요 고객군

- 공공기관, 연구소 등 유관기간관의 건축시장
- 아파트, 오피스텔, 공장, 업무시설 등
- 건물 비내력벽, 경량 칸막이벽, 지하 이중벽, 방화구획 방화벽 등
- Air Duct/Pipe Duct 벽체, 기계실/전기실 벽체 등

(2) 사업화 모형(BM)을 통한 수익 창출 방안

○ 시장진입 용이성

- 기존 시장에의 진입에 따르는 일반적인 애로는 예상됨
- 그러나 목표시장이 거대하여 소규모 프로젝트 참여를 통한 reference 확보와 확장으로 시장진입이 가능할 것으로 판단
- 규제 강화와 고성능 불연단열재 수요 증가는 시장진입에 유리한 환경임

○ 사업화 추진 과정에서 예상되는 Risk도 적절히 관리

- 규제의 변화에 대응
- 생산 및 시공 품질관리
- 대금 회수 애로 회피
- 물류 네트워크 구축
- 저가경쟁 지양
- 신규진입 경쟁자 대비
- 핵심인력 확보 등

분야	추진 내용
제품 Product	- 지속적 R&D로 적정 Portfolio 구축 - 공동주택, 대형 공장 등 건축용 시장에 우선 진입 후 산업용 확대 - 공인성능시험, KS규격·성능인증 획득 등 품질관리 철저 시행
유통 Place	- 직접 납품 및 시공사 납품을 병행하는 유통전략 추진 - 지역별 생산/물류거점 확보로 물류비용 절감 - 생산 가능한 대리점에의 기술이전으로 시장 확대
가격 Price	- 경쟁제품과 성능 대비 가격경쟁력을 확보하는 가격책정 - 적정이윤 확보를 위해 저가수주 지양
촉진 Promotion	- 경향하우징페어 , 내화자재전시회 참가 등 제품 이미지 홍보 - LH, SH, 서울시 등 지자체 공공조달 마케팅 - 대형 건설회사, 설계사무소 영업으로 설계단계에서 제품 반영

참 고 문 헌

1. Lee, J.C. (2016). Effect of External Thermal Insulation Composite System with a Non-combusitible Calcium Silicate Based Mineral on The Mitigation for reducing Fast Spread of Flame, Journal of the korea institute of Building Construction. 16(5), 397-404
2. Song H. (2019) Physical Properties of Light Weight Foamed Glass Using Waste glass Powder and Fly Ash, Journal of the korea recycled construction resources institute, 3(4) , 374-381
3. L. Smith. (1996). Rockwool in Horticulture/Denis.
4. KS F ISO 5660-1, 2009 : Fire tests for combustion (Cone calorimeter test), Korea Standard Association.
5. Hyeon-Uk Shin, Hun Song, and Ki-Bong Park, (2016) : Physical property of light-weight Inorganic insulation foaming Material using waste glass powder, Journal of Korea Society of Waste Management, 33(8), 796-803.
6. KICET, 2005 : Commercialization of dry and wet construction method of exterior insulation wall system using light-weight nonflammable ceramic insulation.
7. Hun Song, Yong-Sik Chu, Jong-Kyu Lee, and Jeong-Yun Do, 2010 : High Temperature Properties of Fire Protection Materials Using Fly Ash and Meta-Kaolin, Journal of Korean Ceramic Society, 47(3), 223-231.
8. Kyung-Taek Koh, Su-Tae Kang, Jung-Jun Pakr, Gum- Sung Ryu, and Hyun-Jin Kang, 2010 : Effent of the combined using of fly ash and blast furnace slag as cementitious materials on properties of alkali-activated mortar, Journal of Korean Institute of Resources Recycling, 19(4), pp.19-28.
9. Jeon Y.S., Kim Y.C., Kim H.T., (2008). A Study on Competitiv- eness and GHG Mitigation Effect of IGCC and Carbon
10. Jung J. Y. (2011), Properties of Foamed Concrete according to Using Methods and Types of Foaming Agent, Kong-Ju University, 6-20.

[뒷면지]

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 '열전도도 0.046W/mK 이하의 완전 불연단열재와 노후주택 화재확산방지구조 On-site 시공기술 개발' 연구개발과제 최종보고서이다.

2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.

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