보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )

R&D / 15TBIP-C076162-02

초경량 세라믹 불연재를 이용한 건·습식 벽체 시스템 기술 상용화 최종보고서

(0.1㎝)

2016. 07. 14 .

주관연구기관 / ㈜월드와이즈월
협동연구기관 / 한국세라믹기술원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

3㎝ 15TBIP-C076162-02 4㎝
OOOOO R&D Report
초경량 세라믹 불연재를 이용한 건습식 벽체 시스템 기술 상용화 최종보고서
2016
국토교통과학기술진흥원
국토교통부
3 ㎝

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘초경량 세라믹 불연재를 이용한 건·습식 벽체 시스템 기술 상용화 최종보고서’(연구개발 기간 : 2014. 06. 02 ~ 2016. 06. 01) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2016. 7. 14.

주관연구기관명 : ㈜월드와이즈월 박 종 철 (인)

협동연구기관명 : 한국세라믹기술원 강 석 중 (인)

참여기업명 : ㈜월드와이즈월 박 종 철 (인)

주관연구기관책임자: 박 종 철
참여연구원: 김 용 국
박 서 윤
이 상 미
협동연구기관책임자: 송 훈
참여연구원: 이 종 규
추 용 식
신 현 욱
김 지 현
참여기관책임자: 박 종 철

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>15TBIP-C076162-02</td><td>해당 단계 연구 기간</td><td>2015.6.2.~2016.6.1</td><td>단계구분</td><td>(해당단계)/2차년
(총단계)2차년</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">국토교통기술사업화 지원사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">초경량 세라믹 불연단열재를 이용한 건·습식 벽체시스템 기술 상용화</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">박종철</td><td>해당단계 참여 연구원 수</td><td>총: 12명
내부: 12명
외부: 명</td><td>해당단계 연구개발비</td><td>정부: 321,000천원
기업: 214,000천원
정부 외: 천원
계: 535,000천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간 참여 연구원 수</td><td>총: 24명
내부: 24명
외부: 명</td><td>총 연구개발비</td><td>정부: 331,000천원
기업: 220,700천원
정부 외: 천원
계: 551,700천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소속 부서명</td><td colspan="2">㈜월드와이즈월
한국세라믹기술원</td><td colspan="3">참여기업명 ㈜월드와이즈월</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="2">상대국명:</td><td colspan="3">상대국 연구기관명:</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="2">연구기관명:</td><td colspan="3">연구책임자:</td></tr>
<tr><td colspan="4">온실가스 저감 및 지구환경 보호를 위해 건축물의 단열성능은 지속적으로 강화 예정이며, 이에 외단열 공법 적용이 증가추세에 있다. 외단열에는 경제적이고 단열성능이 우수한 스티로폼 등의 유기계 단열재를 일반적으로 사용하는데 단열성능은 우수하나 불에 취약한 단점을 가지고 있어 화재가 발생할 경우 문제가 될 소지가 다분히 있었다. 특히, 건축물의 증가에 따라 외벽 화재 가능성은 높아지고, 고층 건축물의 증가는 화재 발생시 피해규모가 훨씬 커지므로 사회적 이슈가 되었다. 따라서, 화재에 강하고, 단열기준을 만족하는 외단열 시공기술의 개발이 필요함에 따라 본 연구에서는 공공기관 보유기술인 불연성 경량 세라믹단열재를 개선 및 활용한 외단열 공법을 개발하고, ISO 13785-2 시험에 의한 화재저항성 및 에너지절약기준에 의한 중부 지역 열관류율 기준, KBC 2009에 의한 구조안전성 검토 및 내풍압성 시험 검증, 외단열 공법의 단점인 내충격성 시험 등을 통한 성능 검증을 수행하고, 현장 시공을 통한 시공 검증까지 완료하여 사업화 가능성을 확인하였다.</td><td colspan="2">보고서 면수 256페이지</td></tr>
</table>

요약문

연구의 목적 및 내용	□ 화재저항성이 우수한 외벽 단열시스템 개발 - 기존 국내외 건식 및 습식 외벽 단열공법 관련 자료 수집 및 디테일 분석 - 건식 외벽 단열시스템의 조인트 처리방식 및 고정 철물을 이용한 고정방법 디테일 정립 - 건식 외벽 단열시스템의 금속 마감재 부착방법 개발 - 부착성능 향상 습식용 부착 모르타르 개발 - 건식 및 습식 외벽단열 시스템 정립 및 성능 평가 후 성능우위 시스템 선정 - 수정·보완된 최종 외벽 단열 공법 시스템의 시작품 제작 및 시험시공 - 개발된 외벽단열 시스템 공법 시방서 및 유지관리 지침 개발 - 외벽 단열 공법 시스템의 경제성 분석 - 개발 외벽 단열공법 시스템의 건설신기술 신청 □ 멀티포어형 초경량 세라믹 불연 단열재 제조기술 개발 - 초경량 세라믹 불연 단열소재 최적 재료선정 기술 확보 - 출발물질(유리분말, 플라이애시, 퓸드실리카 등)의 특성 검토 - 최적배합 및 소성 조건 검토 - 멀티포어형 초경량 세라믹 불연단열재 기공 분석 - 단열특성 발현 멀티포어형 세라믹 불연 단열재 개발 - 멀티포어형 초경량 세라믹 불연 단열재 양산기술 확보 - 멀티포어형 초경량 세라믹 불연 단열재의 균일성 확보방안 검토 - 멀티포어형 초경량 세라믹 불연 단열재 물성강화 - 초경량 세라믹 단열보드 적용방안 및 단열시스템 검토 - 초경량 세라믹 불연 단열소재 최적 재료선정 기술 확보 - 최적배합 및 소성조건 검토 및 공정최적화 - 대량 생산을 위한 품질확보 방안 구축 - 초경량 세라믹 불연 단열소재의 생산 기술 확보 - 초경량 세라믹 불연 제품 출시
연구개발성과	◦ 밀도 0.15~0.2 g/cm3 이하(초경량소재), 열전도율 0.051 W/mK 이하인 불연성 초경량 세라믹 단열재 개발 ◦ 외벽 화재 저항성 25분, 열관류율 0.27 W/m2K 이하인 외벽 단열 시스템 개발 ◦ 외단열 시스템의 현장적용 ◦ 건설신기술 신청
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	□ 중·저층 건축물의 외벽 단열공법에 적용 - 개발 외단열 공법은 외벽 관련 강화된 화재규정에서 보호받지 못하는 해당용도 사용 바닥면적의 합계 2,000m^2 이하 또는 6층 미만의 중저층 건축물의 외벽 단열과 화재발생시 노유자, 장애인, 학생 등 피난 취약자 사용 건축물의 외벽 단열에 활용하고자 함. - 특히 에너지 절감기준 강화에 따른 에너지 제로하우스 건축시 화재안전성을 확보한 개발 기술의 외벽 단열공법 적용이 기대됨.

핵심어 (5개 이내)	화재안전성	외벽 단열	불연성 세라믹 단열재	건식	습식

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	□ Development of exterior insulation finishing system(EIFS) with superior fire resistance - Data collection and detail Investigation related to previous dry and wet type EIFS - Detail improvement of dry type EIFS joint and fixing method using metal fastener - Development of metal finish adhesion method of dry type EIFS - Development of adhesion mortar for wet type EIFS - EIFS improvement and choice of superior system by performance evaluation - Prototype manufacture and construction of improved EIFS - Development of construction method and maintenance method - Investigation of economic efficiency of EIFS - Submission of NET of developed EIFS □ Development of multi pore lightweight ceramic noncombustible insulation(MLCNI) - Securement of optimum material choice technic for MLCNI - Property Investigation ot start material(glass powder, fly ash, fumed silica) - Investigation of optimum mixing and burinig condition - Investigation of MLCNI pore - Development MLCNI with insulation property - Securement of manufacture technic for MLCNI - Investigation of securement method for uniformity of MLCNI - Property reinforcement of MLCNI - Investigation of application method of MLCNI and insulation system - Optimization of mixing and burning condition and process - Establishment of quality securement method for bulk manufacture - Prototype manufacture of MLCNI
Results	◦ Development of MLCNI with density less than 0.15~0.2 g/cm3, heat conductivity less than 0.051 W/mK ◦ Development of EIFS with fire resistance of 25 min, thermal transmittance less than 0.27 W/m2K ◦ Filed application of EIFS ◦ NET submission
Expected Contribution	□ Application to Middle & low height building EIFS - Developed EIFS can be applied to middle & low height building less than 2,000m^2 of total floor area or less than 6 stories not protected by reinforced fire regulation related to exterior wall insulation and to building used by weak people to evacuation. - In addition, application of developed EIFS to energy zero house is expected.

Keywords	Fire safety	Exterior wall insulation	Nonflammable ceramic insulation	Dry type	Wet type

Contents

Chapter 1. Outline of Research ····· 1
Section 1. Purpose of Research ····· 1
Section 2. Nexessity of Research ····· 2
1. Technical site ····· 2
2. Institutional site ····· 4
Section 3. Scope of Research ····· 5

Chapter 2. Domestic & Abroad Technique Development Present ····· 7
Section 1. Domestic Technique & Industry Trend ····· 7
1. Technique trend ····· 7
2. Patient trend ····· 11
3. Market trend ····· 13
Section 2. Abroad Technique & Industry Trend ····· 16
1. Technique trend ····· 16
2. Patient trend ····· 21
3. Market trend ····· 23

Chapter 3. Research Contend and Results ····· 26
Section 1. Lightweight Mineral Foamed material Development ····· 26
1. Evaluation of lightweight mineral foamed material ····· 26
2. Experiment method ····· 34
3. Foaming property ····· 35
4. Performance evaluation of Lightweight ceramic board ····· 40
5. Property of fire protection finish mortar ····· 49
6. Lightweight ceramic board(cement type) ····· 55
7. Lightweight ceramic board manufacture and mass production technique ····· 57
8 Results ····· 66
Section 2. Construction Technique Development using Non combustible Insulation ····· 67
1. Technique development direction setting ····· 67
2. Development direction suggestion ····· 79
3. Suggestion of construction method & test construction ····· 82
4. Property of construction method ····· 94
5. Suggestion of improved construction method ····· 129

6. Property of improved construction method ·····132
7. Field application of improved construction method ·····149
8. Economic analysis ·····159
9. Specifications & maintenance ·····173
10. Results ·····181
Section 3. technical commercialization Analysis ·····191
1. Technical marketing method analysis ·····191
2. Fund & political finance raise method ·····210
3. Results ·····232
Section 4. Outcome of Research ·····234
1. Technical outcome ·····234
2. Economical outcome ·····235

Chapter 4. Target Achievement & Contribution to relative field ·236
제1절. Target Achievement ·····236
제2절. Contribution to relative field ·····238
1. Technical contribution ·····238
2. Safety contribution ·····238
3. Economical contribution ·····239
4. Social contribution ·····239

Chapter 5. Application Plan of Research Results ·····240

Chapter 6. Abroad Science & Technology Information on Research ·242

Chapter 7. Security Grade of Research Outcome ·····243

Chapter 8. Research Facility & Equipment Registered in National Science & Technology Total Information System ·····244

Chapter 9. Safety Action Results for Research Lab ·····245

Chapter 10. Representative Research Results ·····250

Chapter 11. The Others ·····251

Chapter 12. Reference ·····252

목 차

제1장 연구개발과제의 개요 ····· 1
제1절. 연구개발의 목적 ····· 1
제2절. 연구개발의 필요성 ····· 2
1. 기술적 측면 ····· 2
2. 제도적 측면 ····· 4
제3절. 연구개발 범위 ····· 5

제2장 국내·외 기술개발 현황 ····· 7
제1절. 국내 기술 및 산업 동향 ····· 7
1. 기술동향 ····· 7
2. 특허동향 ····· 11
3. 시장동향 ····· 13
제2절. 국외 기술 및 산업 동향 ····· 16
1. 기술동향 ····· 16
2. 특허동향 ····· 21
3. 시장동향 ····· 23

제3장 연구 수행 내용 및 성과 ····· 26
제1절. 경량무기발포소재 개발 ····· 26
1. 경량무기발포소재 특성평가 ····· 26
2. 실험방법 ····· 34
3. 발포특성 ····· 35
4. 경량세라믹보드 성능평가 ····· 40
5. 내화 마감 모르타르의 특성 ····· 49
6. 경량세라믹보드(시멘트계) ····· 55
7. 외벽 단열용 초경량 세라믹 불연 단열재 생산 및 양산화 기술 ····· 57
8. 소결 ····· 66
제2절. 불연성 단열재 적용 외단열 시공기술 개발 ····· 67
1. 외단열 시공기술 개발을 위한 기술개발 방향 설정 ····· 67
2. 불연성 단열재 사용 외단열 공법의 개발방향 제시 ····· 79
3. 불연성 단열재 사용 외단열 공법(안) 제안 및 시험시공 ····· 82
4. 제안된 불연성 단열재 사용 외단열 공법의 성능 ····· 94
5. 개선된 불연성 단열재 이용 외단열 공법의 제안 ····· 129
6. 개선된 불연성 단열재 이용 외단열 공법의 성능 ····· 132

7. 개선된 불연성 단열재 적용 외단열 공법의 현장적용 ·····149
8. 경제성 분석 ·····159
9. 시방서 및 유지관리지침서 정립 ·····173
10. 소결 ·····181
제3절. 기술사업화 분석 ·····191
1. 기술 마케팅 방안 분석(델타텍 코리아) ·····191
2. 자금 및 정책금융 조달방안 분석(피에스엠비) ·····211
3. 소결 ·····233
제4절. 연구개발성과 ·····235
1. 기술적 성과 ·····235
2. 경제적 성과 ·····236

제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 ·····237
제1절. 목표 달성도 ·····237
제2절. 관련 분야 기여도 ·····239
1. 기술적 기여도 ·····239
2. 안전성 기여도 ·····240
3. 경제적 기여도 ·····240
4. 사회적 기여도 ·····240

제5장 연구개발결과의 활용계획 ·····241

제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ·····243

제7장 연구개발성과의 보안등급 ·····244

제8장 국가과학기술 종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황 ····245

제9장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행실적 ····246

제10장 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ·····251

제11장 기타 사항 ·····252

제12장 참고문헌 ·····253

제1장 연구개발과제의 개요

제1절. 연구개발의 목적

최근 탄소저감 및 지구환경 보호를 위하여 건축물의 에너지 절약을 위한 단열성능이 강화됨에 따라 외단열 공법 적용 건축물이 증가추세에 있다.

그러나 대부분의 외단열 공법은 유기계 단열재를 적용, 화재에 취약한 특성을 갖고 있으며, 특히 빈번한 화재사고로 발생으로 관련 규정까지 개정되는 상황에 있다.

따라서, 건축물 외벽 화재사고를 저감하기 위해서는 관련 기술의 개발은 물론 사업화를 통한 보급을 활성화할 필요가 있다.

현재 불연성능 강화를 위한 단열재는 다양한 연구 등을 통하여 기 개발되어 있으나, 외벽에 사용가능한 요구 화재성능을 확인할 필요가 있고 이를 사용한 외단열 기술은 기존 외단열 기술과 차이가 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 기 개발된 단열재 중 화재성능이 우수한 단열재를 선정, 이를 외단열 공법에 적용하는 기술 개발 및 이를 사업화함으로써 기술 보급이 활성화되고, 나아가 건축물의 화재안전 향상이 이루어질 수 있도록 연구개발을 진행하였다.

기 개발된 화재성능 향상 단열재 중 한국세라믹기술원이 보유한 단열재는 불연성을 보유하고 있어 화재에 강한 것으로 확인되었으나, 기존의 유기계 또는 무기섬유계 단열재와는 달리 우수한 강성 및 취성을 보유하고 있어, 외단열 적용을 위한 시공기술의 개발이 이루어질 필요가 있다.

이에 본 연구는 한국세라믹기술원이 보유한 특허를 기술이전하여 화재성능이 우수한 외단열 시공기술 개발 및 기술 상용화를 목적으로 추진하였다.

<표 1.1> 기술개발 목적 및 이전 대상 기술

기술 개발 목적	공공기술 중소기업 이전 및 사업화를 통한 기술 보급
기술분야	기존제품 개선(단열재 단열성능 향상)
권리구분	특허권
지식 재산권명	- 내화성 커튼월 경량 내화보드용 내화 단열접착제의 조성물 및 이를 이용한 이음방법 - 커튼월 내화성 경량보드용 접착 조성물 및 이를 이용한 알루미늄 커튼월 구성방법 - 내화성 커튼월용 경량 무기발포 내화보드
권리자 (발명자)	한국세라믹기술원(송훈)

제2절. 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

온실가스 저감 및 지구환경 보호를 위해 정부에서는 2017년 패시브하우스, 2025년 제로에너지 주택 건설 의무화를 목표로 녹색건축물 조성지원법, 에너지절약 설계기준 등을 통해, 건축물의 에너지저감 대책을 강화하고 있다.

이에 건축물의 단열성능은 지속적으로 강화 예정이며, 단열성능 향상을 위해서 외단열 공법 적용이 증가추세에 있다. 특히 외단열에는 경제적이고 단열성능이 우수한 스티로폼 등의 유기계 단열재를 일반적으로 사용하고 있다.



[그림 1.1] 스티로폼 부착 외단열 공법

외벽 마감재에 사용되는 주요 단열재는 대부분 유기계 단열재로 단열성능은 우수하나 불에 취약한 단점을 가지고 있어 화재가 발생할 경우 문제가 될 소지가 다분히 있었다. 특히, 건축물의 증가에 따라 외벽 화재 가능성은 높아지고, 특히 고층 건축물의 증가는 화재 발생시 피해 규모가 훨씬 커지므로 사회적 이슈가 되었다.



강남 삼성동, 2008년



성남 주상복합, 2013년

[그림 1.2] 국내 건식 외단열 마감공법 화재사례

이전에도 다양한 외벽 화재사고가 있었으나, 2010년 부산 해운대 우신 골드 스위트 화재사고는 그 규모면에서 외벽 단열재의 화재 위험성에 대한 인식을 높이는 계기가 되었고, 커튼월 공법을 적용한 고층 건축물의 화재 취약성을 보완하기 위한 제도적 개선을 이루는 계기가 되었다.



[그림 1.3] 국내 외벽 커튼월 화재(부산 해운대, 2010년)

2015년 1월 10일 경기도 의정부시의 도심형 생활주택인 '드림타운 아파트' 및 '해뜨는 마을아파트'의 '드라이비트' 벽체 화재 사고는 사망 5명, 부상 12명의 인명피해를 발생시켜, 커튼월을 포함한 모든 외단열 공법에 대한 제도적 강화를 이끌어내는 계기가 되었다.

또한 2015년 12월에는 드라이비트 공법을 적용한 분당 서현빌딩에서 외벽 화재가 발생하였으나, 다행히 인명피해는 발생하지 않았다.



의정부, 외단열 마감 아파트, 2015년



분당, 외단열 마감 학원,

[그림 1.4] 국내 습식 외단열 마감공법 화재 사례

외국의 경우 국내보다 다양한 외단열 공법을 적용하고 있으며, 외벽 단열재 화재로 인한 피해 또한 다양하게 발생되었다. 따라서, 외벽 화재의 문제점을 국내보다 훨씬 앞서 파악하고, 기술 및 제도적 보완을 수행하였다.



몬테카를로호텔 화재, 라스베가스, 2008년



중국 CCTV 사옥 화재, 베이징, 2009년

[그림 1.5] 외국의 외벽 마감재 화재사례

2. 제도적 측면

‘건축법’에서는 2009년부터 건축물의 외벽외 사용하는 마감재료를 방화에 지장이 없는 재료로 사용하도록 규정하고, 그 대상 및 재료를 ‘건축법 시행령’ 및 ‘건축물 피난・방화구조 등의 기준에 관한 규칙’에서 정하고 있었다.

2010년 부산 해운대 우신 골드 스위트 화재사고 이후 건축물 외벽의 화재 위험성을 확인하고, ‘건축법 시행령’ ‘건축물 피난・방화구조 등의 기준에 관한 규칙’에서는 고층 건축물의 외부 마감재료는 불연 또는 준불연재료로 사용하거나, 화재확산방지구조를 적용할 수 있는 규정을 추가하였다.

2015년 의정부 도심형 아파트 화재사고 이후 기존 ‘건축법 시행령’에서 ‘고층 건축물’로 규정한 대상을 ‘6층 이상 또는 22m 이상’으로 확대시키고, ‘건축물 피난・방화구조 등의 기준에 관한 규칙’에서는 구체적으로 단열재를 마감재료에 따라 불연 또는 준불연, 또는 난연재료인 것을 사용하도록 강화되었다.

‘건축물 피난・방화구조 등의 기준에 관한 규칙’에서 규정한 화재확산 방지구조는 최초 커튼월 마감구조를 대상으로 규정되었으나, 외단열 화재사고 이후 외단열 마감공법도 포함시키는 개정안이 2015년 공고(국토교통부 공고 제2015-173호)되어 예고된 바 있다.

상기와 같이 건축물의 에너지 절약기준이 강화되면서 단열성능은 물론 빈번한 화재사고로 인하여 화재확산을 방지할 수 있는 단열재 및 이를 적용한 외단열 공법의 개발이 필요하게 되었다. 특히 기존의 단열재 난연 성능만으로는 외벽의 화재성상을 규

명하기 어려우므로 대형 규모의 외벽 화재시험을 통한 화재성능의 평가가 진행될 필요가 있다.

제3절. 연구개발 범위

연차	연구목표		주요연구내용
1차년도	㈜월드와이즈월	■ 개발 외벽 단열 시스템의 개선방향 도출	- 개발 습식 및 건식 외벽 단열공법의 디테일 분석 - 기존 외벽단열 시스템의 문제점 정립
	㈜월드와이즈월	■ 건식 및 습식 외벽 단열시스템의 개발	- 불연성 초경량 세라믹 단열재 고정방법 개발 - 건식 외벽 단열시스템의 마감방법 개발 - 부착성능 향상 모르타르 개발 - 개발 외벽 단열시스템 1차 성능평가(단열성, 화재저항성, 내풍압성, 기밀성, 수밀성 등)
		■ 외벽 단열시스템 1차 시작품 제작 및 시험시공	- 불연성 초경량 세라믹 단열재를 사용한 건식, 습식 외벽 단열시스템 시작품 제작 - 불연성 초경량 세라믹 단열재를 사용한 건식, 습식 외벽 단열시스템 현장 시범적용
	한국세라믹기술원	■ 멀티포어형 초경량 세라믹 불연 단열재 발포소재 개발	- 불연성 단열재 자료 및 문헌 조사 분석 - 단열특성 발현 초경량 세라믹 불연 단열 발포소재 최적 재료선정 기술 - 단열특성 발현 멀티포어형 초경량 세라믹 불연 단열 발포소재 최적 제조조건 확인 - 단열특성 발현 멀티포어형 초경량 세라믹 단열재 성능확인 - 단열수준 검토를 위한 단열시뮬레이션 분석
	한국세라믹기술원	■ 단열특성 발현 초경량 세라믹 발포소재 제조기술 확립	- 단열특성 발현 초경량 세라믹 발포소재 제조기술 확립 - 초경량 세라믹 발포소재 양산을 위한 최적화 기술 개발
	㈜지메텍	■ 외벽단열용 초경량 세라믹 불연단열재 공정 최적화	- 세라믹 발포소재 최적 재료선정 기술 확보 - 최적배합 및 소성 공정조건의 최적화
	㈜지메텍	■ 초경량 세라믹 불연단열재 대량생산 및 품질확보 방안 구축	- 세라믹 불연단열재 고품질 대량생산 기술 개발 - 세라믹 불연단열재 소성조건 및 품질확보 방안 구축
	(주)델타텍코리아	■ 개발기술의 수요처 발굴 및 마케팅 전략수립	- 초경량 우수 외벽 단열재 기술의 실 수요처 발굴 - 초경량 우수 외벽 단열재 국내 실수요처 마케팅 계획 수립 및 지원

	기술보증기금	■ 경영진단 및 기술금융 컨설팅	- 사업영역 및 경영상태 진단
2차년도	㈜월드와이즈월	■ 건식 및 습식 외벽 단열시스템의 보완 검토 및 우수성능 시스템 선정	- 불연성 초경량 세라믹 단열재 고정방법 보완 검토 - 건식 외벽 단열시스템의 마감방법 보완 검토 - 부착성능 향상 모르타르 보완 검토 - 발현 성능 비교를 통한 우수성능 외벽 단열 시스템의 선정
	㈜월드와이즈월	■ 외벽 단열시스템 최종 시작품 제작 및 성능검증	- 불연성 초경량 세라믹 단열재를 사용한 외벽 단열시스템 최종 시작품 제작 - 개발 외벽 단열시스템 기존 외벽 단열 시스템과의 성능 비교 검증(단열성, 화재저항성, 내풍압성, 기밀성, 수밀성 등)
	㈜월드와이즈월	■ 외벽 단열시스템의 경제성 분석 및 시험시공	- 경제성 분석 - 불연성 초경량 세라믹 단열재를 사용한 건식, 습식 외벽 단열시스템 현장 시범적용
	㈜월드와이즈월	■ 불연성 초경량 세라믹 단열재 사용 외벽 단열 시스템 공법 정립	- 불연성 초경량 세라믹 단열재 사용 외벽 단열시스템 시방서 및 유지관리 지침서 작성
	한국세라믹기술원	■ 단열특성 발현 초경량 세라믹 불연 단열재 양산기술 확보	- 멀티포어형 초경량 불연 단열소재 개발 - 멀티포어형 초경량 세라믹 불연 단열재 균일성 확보 방안
	한국세라믹기술원	■ 멀티포어형 초경량 세라믹 단열재 물성강화	- 초경량 세라믹 불연단열재의 물성확인 및 제조조건 재확인 - 초경량 세라믹 단열보드 적용방안 및 단열시스템 검토
	(주)델타텍코리아	■ 개발기술의 수요처 발굴 및 마케팅 전략수립	- 초경량 우수 외벽 단열재 국외 실수요처 마케팅 계획 수립 및 지원
	㈜피에스엠비	■ 경영진단 및 기술금융 컨설팅	- 자금계획 및 기술금융 컨설팅 - 기타 사업화 추진 지원
	■ 건설신기술 신청 ㈜월드와이즈월, 한국세라믹기술원		- 불연성 초경량 세라믹 단열재 사용 외벽 단열시스템 건설신기술 신청

제2장 국내·외 기술개발 현황

제1절. 국내 기술 및 산업 동향

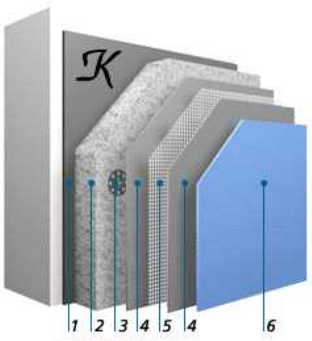
1. 기술동향

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 포함된다.



[그림 2.1] 석재 마감 건식 외단열공법 예

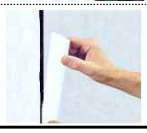
아직까지 국내에서는 저가 마감공법이라는 부정적인 인식이 남아 있어, 개선이 필요한 상황이다. 국내의 습식 외단열 마감공법은 대부분 외국회사 기술을 그대로 도입한 기술로 유사한 자재 및 공법으로 구성된다.



1. 접착몰탈
2. 단열재(EPS Board/Neopor /Mineral wool)
3. 화스너
4. 보강섬유몰탈
5. 보강메쉬
6. 마감재

[그림 2.2] 외단열 마감공법의 구성

<표 3> 일반적인 습식 외단열 마감공법 순서

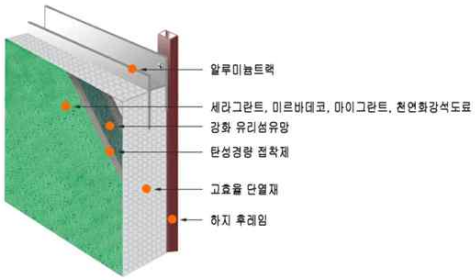
시공 과정	Image	내용
스타터 트랙		• 습식 고정에 있어서도 보드를 고정하기 위해서는 알루미늄 스타터트랙을 설치한다. • 트랙은 지면의 습기 등을 고려해 주초부분 15cm위부터 시작한다.
		• 트랙부터 지면 아래 30cm까지 Sto Armor메쉬로 벽면을 보강한다.
EPS접착제 부착		• 단열보드를 보드스탠드(Sto Trestle)위에 놓는다. • 이가 있는 흙손이 매끄러운 쪽을 사용하여 완전히 준비된 보드위에 접착제를 바른다.
		• 접착제는 먼저 보드 가장자리에 띠처럼 둘러 바르고 여섯 덩어리를 만들어 보드의 표면에 놓는다.
EPS 부착		• 접착제가 잘 발라진 EPS를 아래쪽부터 단단히 붙여 겹쳐지면서 쌓아져야 한다.
		•EPS는 최소 200mm 정도 겹쳐지면서 쌓아져야 한다.
화스너 고정		• Sto Thermal Dowel ;10mm 두께의 폴리스티렌, 뚜껑이 있는 화스너
		• Sto Expanding Dowel이 박힌 벽면의 모습
		• 다른 공정을 위해서 보드 표면의 먼지와 이물질 등을 샌드 페이퍼로 닦아 깨끗이 마무리하면 좋다.
틈처리		• 보드 사이의 이음부에 탄탄한 부착을 위해서 필요한 부분에 Sto PU을 사용하여 틈을 처리한다.
		• 크기에 맞게 잘려진 단열조각을 사용하여 틈을 처리하다.

습식 외단열 마감공법은 경제적이고 공사기간이 짧고 시공이 용이하여 많이 사용되었으나, 마감재가 얇고, 내부가 강도가 약한 단열재로 구성되어 있어 충격에 취약하고, 단열재 부위가 탈락하거나, 바람에 의해 벽체 전체가 탈락되는 문제가 다수 발생

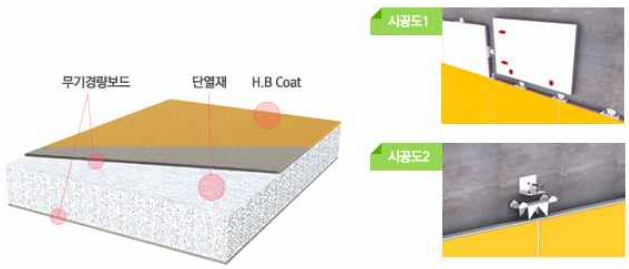
하여 이를 개선한 다양한 기술이 개발되었다.

건식외단열 공법으로 피티에스(주)에서는 구조용 각관 바탕 프레임과 알루미늄트랙 구조체를 이용한 알트랙스 시스템을 개발하였다.

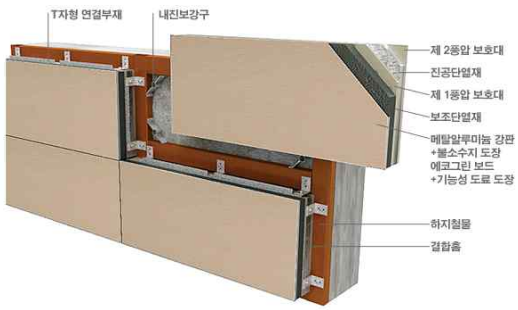
<표 4> 알루미늄 트랙 외단열 시스템

장점	Image
✔구조용 각관 바탕 프레임 사용으로 탁월한 평활도 ✔AL트랙 구조체로 벽체의 경량화 ✔탄성경량 접착몰탈 사용으로 충경에 의한 트랙방지 ✔세라믹 마감재로 내구성과 비오염성 향상 ✔태풍에 의한 탈락 방지 효과 ✔탁원한 시공성과 고효율 단열성 ✔공급주택, 공공건축물, 학교, 상업건축물, 테마시설, 고급빌라, 개보수 건축물 등에 적용	

㈜ 한보엔지니어링에서는 일반단열재 양면에 무기경량보드를 부착하고 세라믹 코팅재(H.B Coat)로 특수코팅 처리한 건축용 외장패널마감재인 세라폼보드와 L형 행거철물을 이용한 행거공법으로 구조체에 직접 정착, 고정하며 하지철물이 필요 없는 패널마감공법(건설신기술 제508호)를 개발하였고, ㈜ 비온디에서는 메탈, 알루미늄 강판에 진공단열재를 부착한 패널을 건식으로 조립하는 에코 그린월 패널 시스템을 개발하였다.

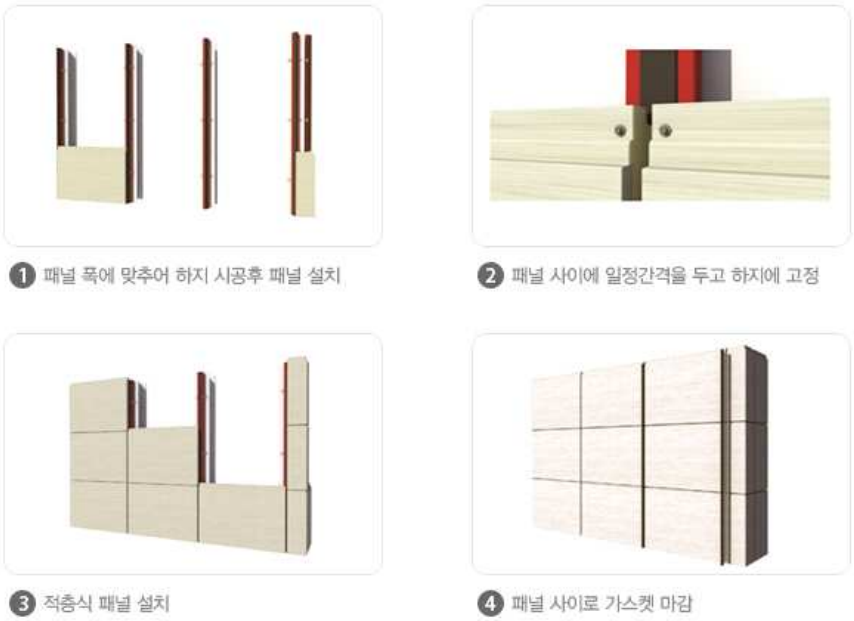


[그림 1.8] 세라폼보드 외장패널 마감 공법



[그림 2.3] 에코그린월 패널 시스템

또한 SY패널(주), 기린산업(주) 등에서는 폴리우레탄 단열재를 심재로 한 폴리메탈 샌드위치패널을 개발하여 건식공법으로 사용 중이다.



[그림 2.4] 메탈 패널 공법

본 연구의 주관기관인 ㈜월드와이즈월에서는 기존 외단열공법의 단점인 충격파손 및 부착성능 및 외부 먼지 등의 오염에 대한 저항성을 높이기 위하여 카본블랙 코팅 보강메쉬와 골판형 단열재를 적용한 외단열 공법(건설신기술 제465호)을 개발하고, 최근에는 외단열 공법에 적용가능한 금속패널 모르타르 습식부착공법(건설신기술 제713호)을 개발하여 현장에 활용하고 있다.



[그림 2.5] 골판형 단열재 및 카본메쉬 적용 외단열 공법



[그림 2.6] 금속패널 모르타르 습식 부착공법

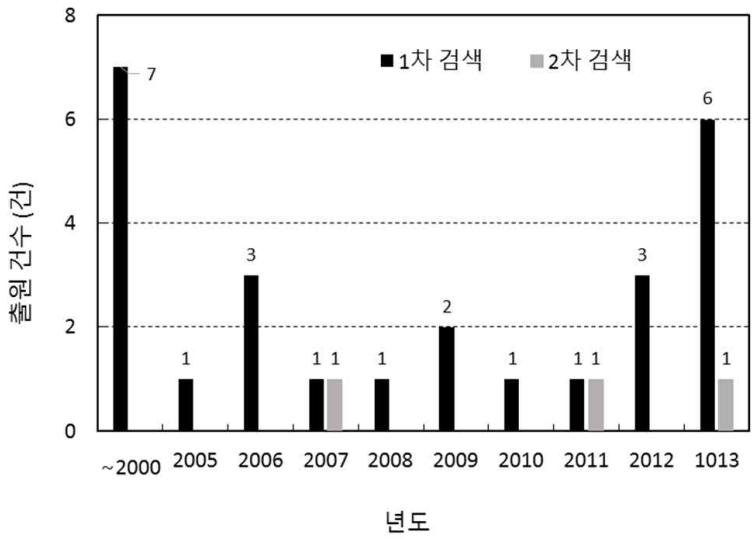
상기의 기술현황을 보면, 습식 외단열 공법은 물론 건식외벽 단열시스템은 부착성능, 단열성능, 외관 등의 향상을 위한 기술로 유기계 단열재를 주로 사용하므로 화재에 취약한 문제가 있음을 알 수 있다.

2. 특허동향

국가과학기술정보센터에서 다음의 키워드를 이용하여 국내 특허 검색 실시, 1차 검색은 총 26건, 2차 검색은 총 3건의 특허가 검색되었다.

<표 2.1> 국내특허 검색 결과

	국내특허	
	1차	2차
검색키워드	외단열, 화재	외단열, 화재, 무기질
검색결과	26	3



[그림 2.7] 국내 특허출원 동향

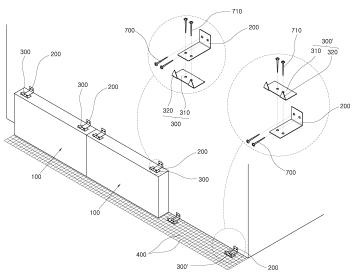
연도별 출원현황을 조사한 결과, 2012년부터 특허 건수가 증가하기 시작하였고, 2010년 부산 고층건물 외벽화재 사고 이후 사회적 이슈화 됨에 따라 증가하는 것으로 판된다. 그러나 2차 검색에서는 뚜렷한 증감이 보이지 않는데, 이는 본 연구개발과 유사한 특허 출원이 없기 때문으로 판단된다.

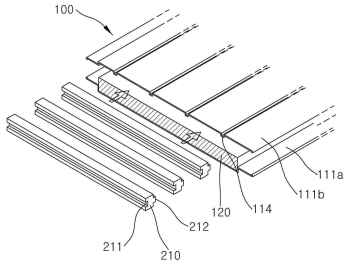
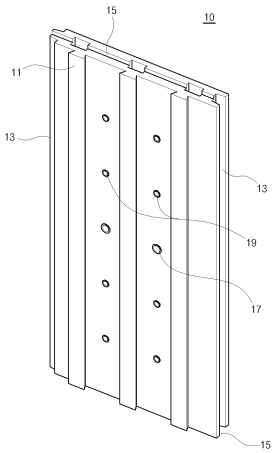
국내 최근 10년간 1차, 2차 특허 검색 결과, 출원순위를 표에 정리하였다. 2차 특허 내용 및 본 개발기술과의 비교한 결과, 유사성이 없이 차별화된 것으로 판단된다.

<표 2.2> 최근 10년간 국내특허 출원 순위

1차			2차		
순위	출원인	건수	순위	출원인	건수
1	주식회사 세명전기	2	1	김기태	2
1	㈜에이치에스코프레이션	2	1	한국건설생활환경시험연구원	2
1	대보하우징 주식회사	2	1	김미경	2
4	채수하	1			
4	주식회사 산주에너지	1			
4	김미경	1			
4	대림이앤씨(주)	1			
4	이강혁	1			
4	조현식	1			
4	이정은	1			

<표 2.3> 국내 유사특허와의 차별성

유사특허명	내용	차별성
등록번호: 10-1421883 무기질단열판을 이용한 외단열 시공 방법	암면판이나 글라스울 또는 기타 무기질재가 포함된 무기질단열판을 'L' 자 단면을 가지는 엘형브라켓을 이용, 고정하고 최하부 보강메시, 측면 보강메시, 최상부 보강메시, 앞면 보강메시의 보강메시로 외벽의 표면을 정리하는 기술 	전용모르타르를 이용한 무기단열재 전면 접착 및 형태가 다른 L형 앵글과 L형 브라켓으로 고정하는 방법 개발 단열재의 단면 형상 및 스터드 고정방법의 차별화된 공법 개발 제시

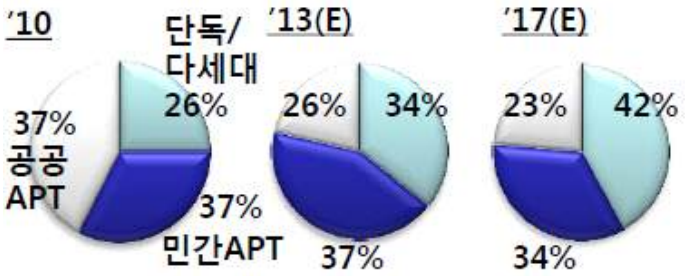
등록번호 : 10-0750091 진공코아를 이용한 패널	무기질 난연, 불연성 충진재가 충진된 상태에서 진공상태를 유지하는 요철형 진공코아를 결합시켜 방화벽체를 구성하고, 보온단열재에 접합하는 조립식 패널  	진공단열재가 아닌 무기 단열재를 모르타르 및 고정철물로 고정하여 외단열벽체를 형성하는 공법임
등록번호 :10-1309735 친환경 아파트 단열 외벽 패널 시공방법	무기질계 비드를 이용하여 제조한 단열외벽패널을 갱폼프레임을 이용하여 기설치 아파트 벽체와 일체화 타설하여 벽을 형성하는 공법  	무기단열재의 형상 및 시공방법이 차별화 됨

3. 시장동향

가. 그린홈 시장 현황

정부에서 2008년 정부의 그린 홈 100만호 프로젝트가 천명된 뒤 2020년까지 그린 홈 100만호 보급을 목표로 추진함에 따라 신축은 물론 기존 건축물의 단열성능 보강이 용이한 외단열 기술의 적용 증가가 예상된다.

향후 공동주택은 감소하는 추세인 반면, 삶의 질을 고려한 친환경성을 고려한 소형, 단독, 다세대 주택의 비중이 확대될 것으로 예상됨. 현재까지 외단열 공법이 적용되는 건축물은 주로 중·소형 건축물로 단독, 다세대 주택이 주된 대상 건축물이다. 따라서 외단열 시장이 커질 것으로 예상된다.

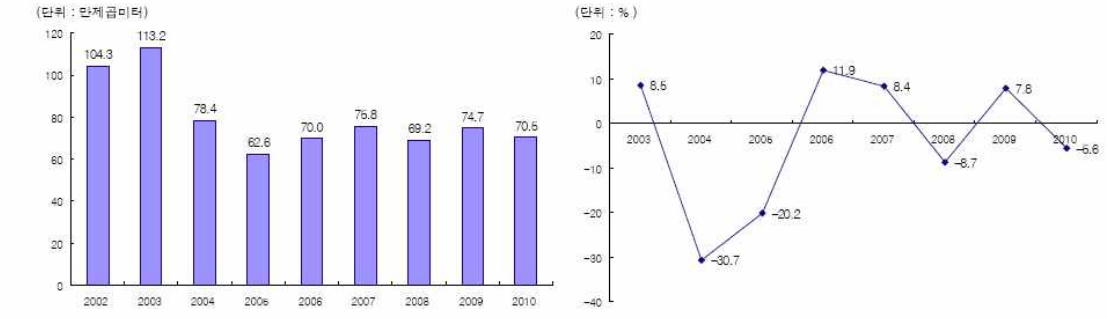


[그림 2.8] 주거형태별 구성비율(가구))

나. 리모델링 시장 현황

과거 1980년대 중반 이후 공급이 급증한 공동주택의 경과년수가 20~25년을 초과함에 따라 공동주택의 노후화 문제가 대두됨. 특히 1990년대 주택 200만호 공급 정책을 통해 공급된 아파트 역시 노후화에 따라 재건축 또는 리모델링 수요가 급증 예상된다.

주거용 건축물 리모델링 시장은 착공면적 기준, 2003년도 113만㎡를 정점으로 하락하여 2010년도에 70만㎡를 기록하였다.

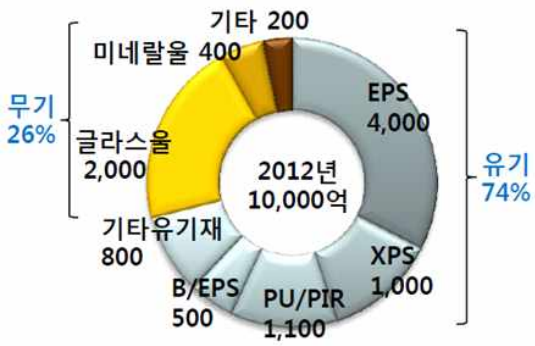


[그림 2.9] 국내 주거용 리모델링 건축물 착공면적 추이

○ 국내 리모델링 시장은 2025년경에는 선진국 수준의 건설시장 핵심부문으로 시장이 형성될 것으로 예상된다.

다. 불연성 외벽단열 시장

○ 국내 전체 단열재 시장은 약 1조원 규모로 정체되어 있다가 에너지 절약 강화 정책으로 신규건축물은 물론 기존 건축물의 리모델링 시장 증대에 따른 단열재 사용이 증가 예상된다.



[그림 2.10] 국내 전체 단열재 시장 점유 현황

외벽 및 내벽 단열시장 중 단열성능이 우수한 유기단열재가 74%를 차지하고 있으며, 미네랄울, 글라스울 등 무기계 단열재는 26%를 차지하여 세계적으로 무기계 단열재의 사용비율이 높은 것과 차이가 있다.

불연성 단열재인 미네랄울, 글라스울 등은 장치산업 제품으로 대규모 자동화 공장 설비를 필요로 하여 KCC 등 2~3개 업체만이 생산을 하고 있다. 불연성 단열재는 부피가 크다는 특성상 물류비용이 과다하게 소요되어 수입되는 양이 미미하기 때문에 KCC 등 2~3개 업체가 국내시장의 거의 100% 점유하고 있는 실정이다.

이처럼 국내 시장은 소수의 회사에 의해서 시장을 과점하고 있는 상태로써, 종류별로 그라스울의 경우 (주)벽산, KCC, 한국유리 등이며, 미네랄울은 KCC, 벽산, 서울암면 등의 국내 제조업체가 있고, 펄라이트 시장은 경동세라텍과 성현퍼라이트 등의 제조업체가 주류를 이루고 있는 실정이다.

최근 건축물의 화재사고 등에 의해 외부 마감재의 화재안전 성능 강화하는 추세 에 있음. 커튼월의 경우 화재확산방지구조가 고시됨으로써 유기계 단열재의 사용을 제한하고 있다.

따라서 기존 무기계 단열재이외에 화재 안전성을 확보한 외벽 단열재의 사용이 증가될 것으로 판단되며 이를 사용하는 화재안전성 향상 외단열공법의 외벽 단열 시장 점유가 증가될 것으로 판단된다.

라. 사업화 전망

정부에서는 2017년 패시브하우스, 2025년 제로에너지 주택 건설 의무화를 목표로 녹색건축물 조성지원법, 에너지절약 설계기준 등을 통해, 건축물의 에너지절감 대책을 강화하고 있어 향후 건축물에 단열성능이 우수한 외단열 공법 적용이 증가할 것으로 예상된다.

그러나 외단열 공법의 문제점인 화재안전성의 확보가 선행되지 않을 경우 외벽체의 화재사례는 지속적으로 증가하여 경제적, 사회적 손실이 예상된다.

불연성 경량 무기 단열재 원천기술 보유기관인 한국세라믹기술원에서 개발한 불연성 경량 세라믹 보드는 실험단계에서는 열전도율 0.044 W/mK, 압축강도 0.7MPa 수준까지 도달하였고, 열전도율 0.055 w/mk, 압축강도 1.3MPa 수준의 세라믹 단열재는 상용화 단계에 있다.

외단열용으로 적용하기 위해서는 열전도율을 “건축물의 에너지 절약 설계기준”의 단열재 기준 중 “라”급 기준인 0.051 W/mK 이하로 낮출 필요가 있다.

상기 수준의 단열재 제조기술은 기 보유하고 있으나, 외단열 적용시 요구 특성과 상용화를 위한 보완이 다소 필요하다.

기존 외단열 공법에 무기 단열재를 사용하기 위하여 무기 단열재 생산업체인 벽산, KCC 등에서 글라스울 등의 무기단열재의 외단열 적용을 검토하고 있으나, 국내에서는 아직 적용 예가 소수이며, 균열, 충격 등에 의해 마감 손상시 우수 침투 또는 결로로 인한 무기 단열재의 단열성능 저하, 곰팡이 발생 등의 우려가 제기될 수 있다.

제2절. 국외 기술 및 산업 동향

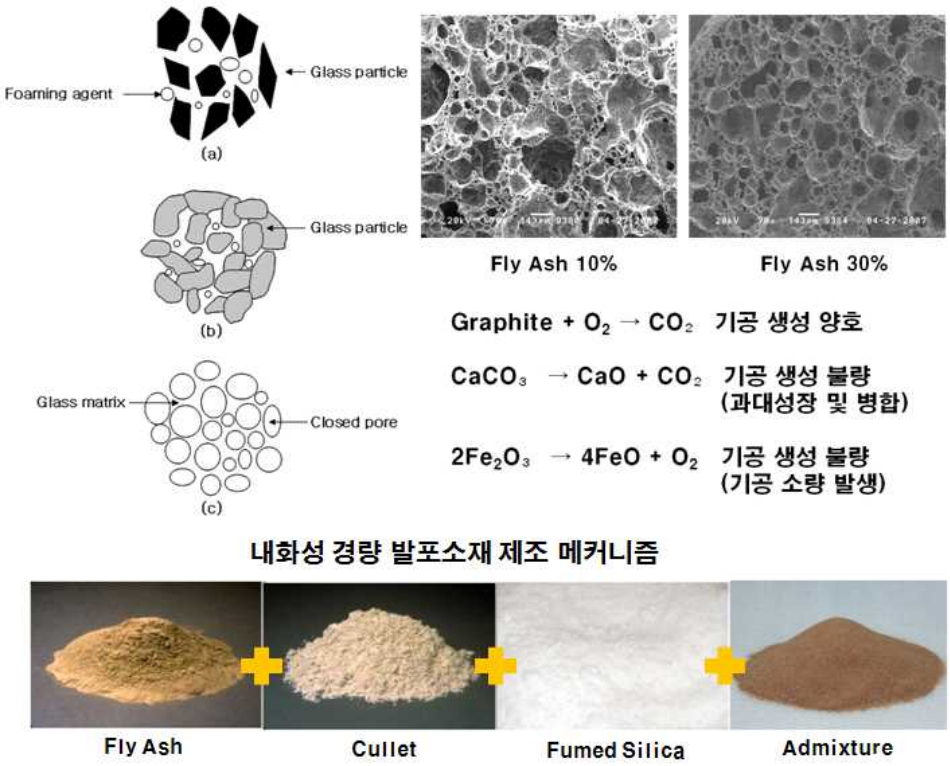
1. 기술동향

외단열 마감공법은 Exterior Insulation Finishing System(EIFS)로 불리우며, 외벽에 단열재를 부착하고, 보강 메쉬와 모르타르를 부착, 유기계 마감재로 마감하는 공법으로 통상적으로 습식 외단열 공법이라 하면 외단열 마감공법(EIFS)를 의미하며, 대표적인 기술보유 업체로 미국의 Dryvit, 독일의 STO, Basf, 스웨덴의 Terraco 등이 있다.

외단열 마감공법은 2차대전 이후부터 적극적으로 활용된 공법으로 개발시기는 상당히 오래되었으나, 전 세계적으로 건축물의 에너지 절감을 위한 공법으로 기술의 위상이 높아지기 시작하였다.

독일 및 중국 등 외단열의 화재 기준이 있는 국가에서는 무기계 단열재인 미네랄울을 습식 외단열공법에 적용하기도 하나, 국내에서는 적용되지 않는 실정이며, 밀도가 높고 습기에 약해 외단열 적용에 한계가 있을 것으로 판단된다.

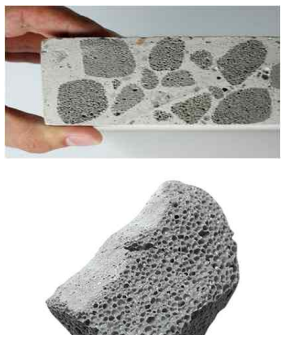
현재 불연성 단열재로 가장 많이 사용되는 글라스울, 미네랄울보다 우수한 불연성을 갖는 무기 단열재의 개발이 진행중이다.



[그림 2.11] 초경량 세라믹 불연 단열재 제조 메커니즘

무기소재의 단열재로서 수열합성 방법을 이용한 토버모라이트 및 조노토라이트계 단열소재가 있음. 일본 등을 중심으로 경량성의 조노토라이트계의 단열소재가 많이 사용되고 있고 최근 무기경량소재 및 섬유가 함유된 조노토라이트계 단열소재가 개발되고 있으나, 아직 유기단열소재의 단열성, 경량성 및 시공성에는 미치지 못하고 있다.

<표 2.4> 해외 경량 세라믹 단열재 현황

업체명	내용	사진
MISAPOR (스위스)	- 폐유리 분말을 이용하여 발포한 골재(MISAPOR)와 경량골재와 콘크리트를 혼합한 MISAPOR concrete가 있음 - 1987년 양산 실시, 2008년 기준 16.8M 유로 매출 <적용분야 및 특성> - 주택, 생태방음벽, 채움재, 주차장 등에 적용 - 비중 : 0.16 ~ 0.2 - 구경 : 10 ~ 50mm	

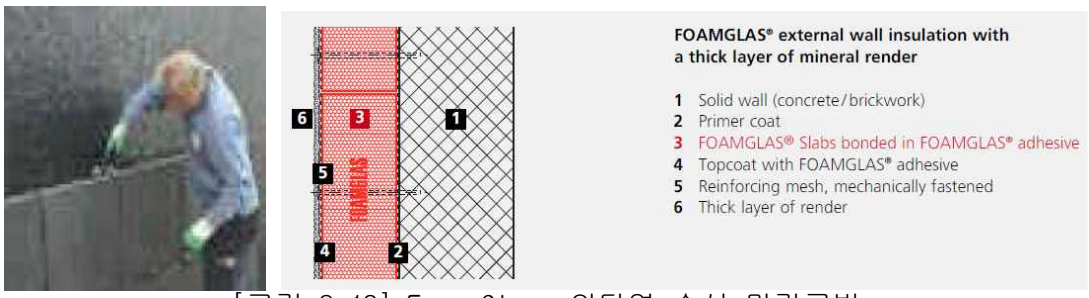
GLAPOR (독일)	- 폐유리 분말을 이용한 골재 및 판재 생산 - 2003년 창업하여 3년간의 R&D 과정을 거쳐 연속식 발포 공정 개발 - 업계 최초로 건축용 단열 발포유리 판재 판매 - 매년 3만여 Passive House에 적용 판매 - 2008년 기준 23M 유로 매출 <특성> Glapor Glass Foam Gravel - Density : 150 /100 - 알갱이의 크기 : 30 ~ 80mm - 열전도율 : 0.080 W/m.K Glapor Foam Glass Boards - Density : 160 - 열전도율 : 0.060 W/m.K - 평균압축강도 : 780 kPa	 
TECHNOpor (오스트리아)	- 폐유리 분말을 이용한 Glassfoam Granulate 생산 - 단열 효과와 안전성이 우수함 - 무수히 많은 기공과 그 속을 채운 공기층에 의해 고압과 고열에 강함 - 2008년 기준 약 100억원 매출 <특성> - 압축강도 : 0.5N/mm^2 - Density : 0.13 ~ 0.17(충전 후) - 기존 단열재에 비해 20% 설치비용 절감 - 설치 기간 2일 ~ 3일 단축 <적용 분야> - 바닥 단열, 외벽 단열 - 에너지 절약형 주택에 적합 (30cm두께로 충전하여 25cm로 다짐) - 열 손실 계수 : 0.27W/m^2K 자연형 (65cm로 충전하여 50cm로 다짐) - 열손실계수 : 0.18 ~ 0.15W/m^2K 기존 건물의 에너지 효율 향상을 위한 보수공사	

또한 외단열 공법에 무기단열재를 사용한 공법이 개발되어 사용되고 있다. 대표적인 무기단열재로는 Foamglass와 multipor가 있으며, 무기단열재를 접착제와 고정철물을 동시에 사용하여 외벽체에 전면 접착하고, 습식 코트마감 또는 건식 패널 마감을 적용한다. 특히 건식 패널마감은 패널 고정을 위한 스터드 설치를 위하여 별도의 고정철물을 사용하게 된다.

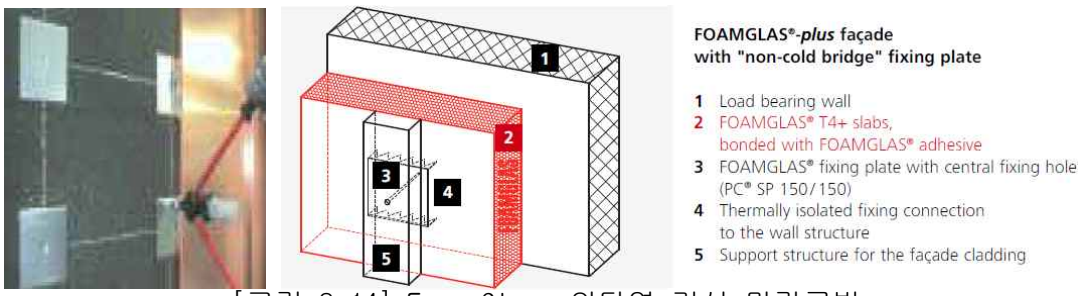
무기계 단열재 외단열 공법은 기존 유기계 단열재의 화재 문제를 해결하기 위하여 사용되며, 기존 유기계 단열재와 동일하게 건물 외부를 완전히 감싸므로 열교나 냉교현상을 최대한 억제하는 구조를 갖고 있다.



[그림 2.12] 멀티포어 습식 외단열 공법



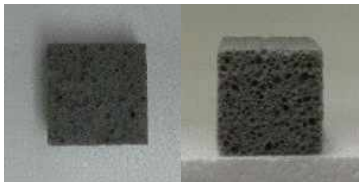
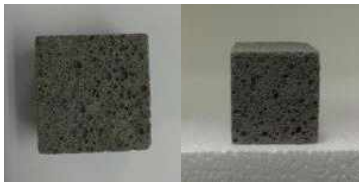
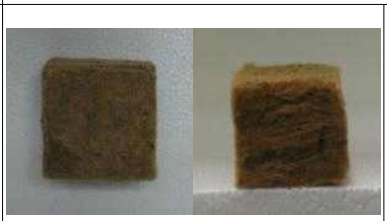
[그림 2.13] Foam Glass 외단열 습식 마감공법



[그림 2.14] Foam Glass 외단열 건식 마감공법

국내의 경우 한국세라믹기술원은 기존 글라스울, 미네랄울보다 화염에 강한 세라믹 단열보드를 개발, 내화 커튼월의 백패널 용으로 건설신기술 인증을 받고, 현장 적용 등 상용화에 성공하였다.

<표 2.5> 한국세라믹기술원 개발 경량세라믹보드와 무기단열재와의 가열 변형 비교

구분	20℃(상온)	700℃	
		30분유지	30분유지 (상온부터 가열)
한국세라믹 기술원 개발 경량 세라믹 보드			
		질량변화 없음, 수축 변형 없음	
글라스 울			
		질량감소 10%, 길이변화 - 용융되어 측정 불가	
미네랄 울			
		질량감소 1.5%, 높이 13.8㎜ 수축(26% 수축), 부피 24% 수축, 접촉시 부스러짐	

현재 판매되고 있는 세라믹 단열보드 관련 기술 선도기업인 미국의 Pittsburgh Corning 사의 제품과 비교하여 개발 세라믹 단열보드의 제품은 단열성은 유사하나 내열성능이 우수하다.

<표 2.6> 기존 세라믹보드와 개발 세라믹보드와의 성능 비교

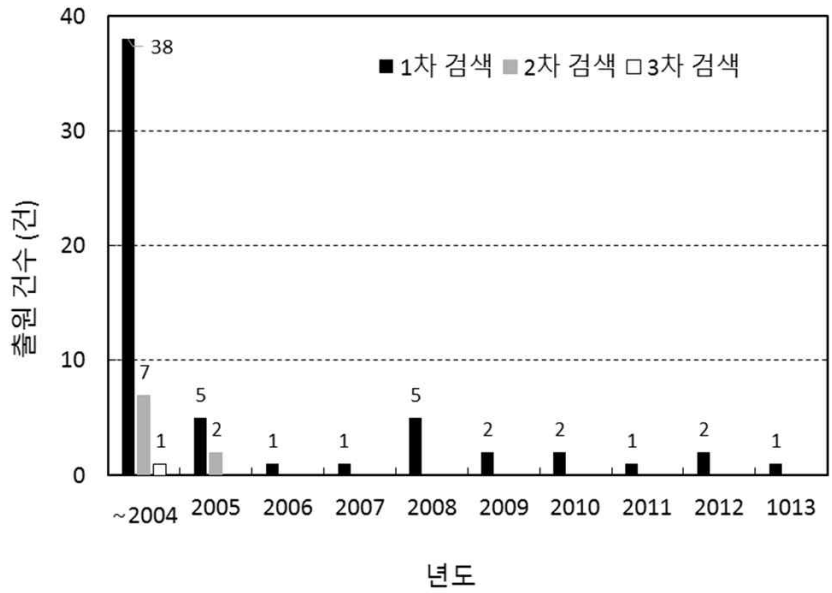
제조사 (국가)	비중 (kg/m3)	제품크기 (mm)	두께 (mm)	열전도율 (W/(m.K))	압축강도 (kPa)	성형 온도 (oC)	최고사용 온도(oC)	적용분야
Pittsburgh Corning (미국)	100	1200x600	40~160	≤ 0.038	≥ 400	≥ 1400	≤ 600	단열재
	115	1200x600	40~160	≤ 0.041	≥ 600		≤ 600	단열재
	130	1200x600	40~160	≤ 0.045	≥ 900		≤ 600	단열재
	165	1200x600	40~160	≤ 0.050	≥ 1600		≤ 600	단열재
경량 세라믹 단열보드	150	1200x1200	20~100	≤ 0.044	≥ 700	≤ 300	≤ 1000	단열재
	400	1200x1200	10~180	≤ 0.112	≥ 6800	≤ 900	≤ 1000	마감재 등
	600	1200x1200	10~150	≤ 0.125	≥10000	≤ 900	≤ 1000	마감재 등

2. 특허동향

국가과학기술정보센터(NDSL, National Digital Science Library, www.ndsl.kr)에서 다음과 같이 검색키워드를 달리하여 국제특허 검색을 실시, 1차는 총 58건의 특허, 2차는 9건, 3차는 1건의 특허가 검색되었다.

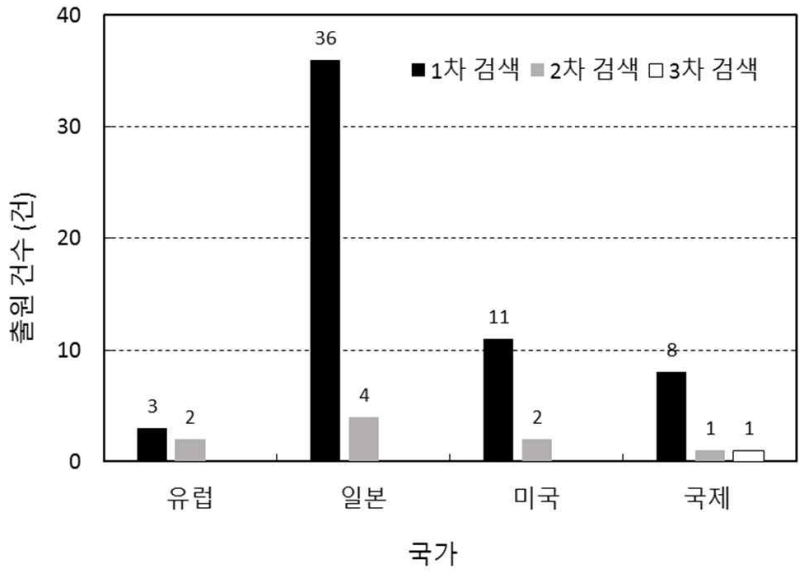
<표 2.7> 국제특허 검색결과

	국제특허		
	1차	2차	3차
검색키워드	Exterior Wall, Insulation, Fire	Foam glass, Insulation, Exterior Wall	Foam glass, Insulation, Exterior wall, Fire
검색결과	58	9	1



[그림 2.15] 연도별 국제특허 출원건수

년도별 국제특허 검색결과, 2004년 이전 출원 건수가 가장 많았으며, 이후 출원건수는 감소하는 경향을 보이고 있다. 2차, 3차 특허키워드 검색에서는 2006년 이후 없는 것으로 나타났으며, 국가별 국제특허 출원건수는 일본, 미국, 국제, 유럽 순으로 나타났다.



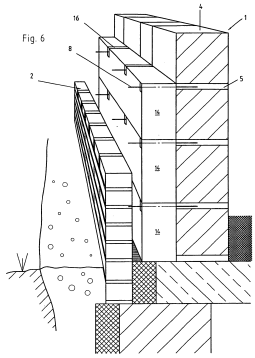
[그림 2.16] 국가별 국제특허 출원건수

최근 10년간 출원인 및 출원건수를 표에 나타냄. 2차 및 3차 특허 내용을 개발 기술과 비교하면 유사성 없이 차별화된 것으로 조사되었다.

<표 2.8> 최근 10년간 국제특허 출원 순위(2005년 ~ 2014년)

1차			2차			3차		
순위	출원인	건수	순위	출원인	건수	순위	출원인	건수
1	Weir, Charles, R.	2	1	Saint-gobain Isover G+H AG	2	1	Prokop, Vojt & ecaron	1
1	Gross, Rene	2						
1	Specified Techniloges Inc.	2						
1	Meckelnburg, Michael	2						
1	Friatec Aktiengesellschaft	2						
1	Weber, Kurt	2						
1	Shaffer, Roy, E	2						
9	Fujikawa Kenzai Kogyo KK	1						
9	Taisei Corp.	1						

<표 2.9> 유사국제특허와의 차별성

유사특허명	내용	차별성
Registration No: 101617001 Heat insulation system for an exterior cavity wall	중공벽 내부에 미네랄울, 락울, Foam 단열재 등을 내부에 설치하고, 앵커로 고정하는 기술 	외벽체 외부에 무기단열재를 긴결하는 본 개발기술과 차별화 됨
Application No. PCT/CZ2000/000033 HEAT-INSULATING AND SOUND-INSULATING, NON-COMBUSTIBLE MATERIAL CONSISTING OF WASTE SUBSTANCES	분쇄 EPS, 분쇄 PE, 유리섬유, 톱밥 등을 수용성 접착제를 이용하여 제조한 불연성 내외벽 단열 및 방음 재료	본 개발기술에 사용하는 무기계 단열재와는 차이가 있으며, 외단열 공법에 대한 내용은 포함되지 않음.

3. 시장동향

가. 그린빌딩 시장

에너지 절감을 위해 외벽 단열기술을 포함한 미국의 그린빌딩 시장은 2010년부터 2015년까지 711억 달러에서 1,735억 달러까지 확대되며 평균 19.5%의 증가율을 보일 것으로 예상하고 있다. 또한 상업용 그린 빌딩은 2015년까지 356억 달러에서 818억 달러로 매년 18.1%의 성장을 보일 것으로 예상된다.



[그림 2.17] 미국의 그린빌딩 시장

나. 리모델링 시장

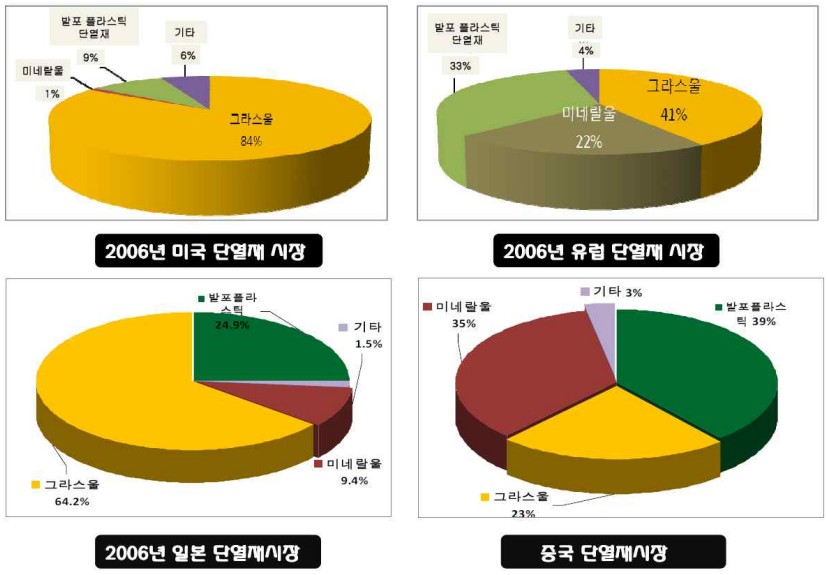
리모델링이 가장 활성화 되어 있는 서유럽의 경우, 리모델링 시장 규모는 전체 건설 시장의 35% 정도이며[1], 이 비율은 지속적으로 상승하고 있다.

다. 불연성 외벽단열 시장

세계 단열재 시장은 2006년 2,650억달러에서 매년 약 4.6% 증가하여 2011년 기준 330억달러 이상 증가할 것으로 예상된다[2]

가장 빠른 증가는 빌딩증가가 급속한 아시아에서 발생할 것으로 예측됨. 특히 중국의 단열재 시장 성장은 정부의 에너지절약 정책 등에 의해 매우 급속하게 진행되어 2013년까지 연간 8.2%를 성장하여 357억위안에 달할 것으로 전망된다[3].

미국의 경우 1995년부터 주택용 단열시장에서 그라스울과 미네랄울 등 무기계 단열재가 71%를 차지, 일본의 경우도 2000년부터 무기계 단열재가 약 73% 차지하고 있다.



[그림 2.18] 국외 단열재 시장

또한 대표적 외장재로 사용되고 있는 샌드위치 패널의 시장규모를 살펴보면, 기술적 수준이 우수한 일본의 경우, 섬유계인 그라스울 및 미네랄울의 전체 시장의 28%와 47%를 차지하고 있으며, 발포 플라스틱계인 경질우레탄폼이 약 11%의 시장을 점유하고 있다. 미국의 경우 그라스울이 85%로 전체시장의 대부분을 차지하고 있으며, 유럽

1) Euro Construct 46차 회의자료, 1998
2) World Insulation, Industry Study with Forecasts for 2011 & 2016, June 2007
3) Insulation in China, The freedonia group, 2010

의 경우 그라스울이 42%, 스티로폼과 미네랄울이 각각 21%의 시장을 점유하고 있다[4]. 전 세계적으로 단열재 시장은 지속적으로 증가하는 추세이며, 유기 단열재보다 무기 단열재의 사용 비율이 높게 나타나고 있다. 이는 화재 안전측면을 우선하여 외벽 및 내부 단열재에 사용하고 있음을 의미한다.

또한 한중 FTA 타결로 2020년 기준 시장규모가 3200억 달러로 예상되는 중국 건설시장 진출이 가능해지고, 중국정부의 에너지절약 정책 등에 의해 단열 시장이 매우 급속하게 진행되어 2013년까지 연간 8.2%를 성장할 것으로 기대되고 있는 상황에서 커튼월이나 외단열 시스템 등의 마감재도 많은 보급이 기대된다.

라. 사업화 전망

개발제품인 불연성 무기 단열재는 중국 요녕성의 외단열 불연인증을 받은 상황으로, 타 유사기술 업체 대비 진출에 유리한 상황임. 특히 중국 완다 그룹과 단열재 수출에 대한 MOU 협정을 맺은 상황으로 중국 건설시장 현황에 따라 수출가능성은 매우 높은 상황이다.

중국정부의 신도시화 정책이 확대되면서 우리나라에서도 이에 대한 접근전략을 수립하여 기업의 진출기회를 모색하고자 중국 신도시화 프로젝트 수출이 진행되어 다양한 협력을 추진중이다. ㈜월드와이즈월은 기술개발 과정 또는 종료 후 중국 신도시화 프로젝트 중 외단열 공법기술 참여를 추진, 중국 사업화를 구체화할 것이다.

4) EURIMA :European Insulation Manufactures Association, 2008

제3장 연구 수행 내용 및 성과

제1절. 경량무기발포소재 개발

1. 경량무기발포소재 특성평가

가. 유리분말

유리의 주원료는 규사(SiO2), 소다회(Na2CO3), 석회석(CaCO3), 수산화알루미늄(Al(OH)3), 중정석(BaSO4) 등이며, 부원료로써 붕산(B2O3)이나 파유리(Cullet), 질산알칼리(NaNO3), 플루오르화칼슘(CaF2), 이산화망간 등 각종 첨가제가 사용되고 있으며. 특히 현대에 와서는 첨가물이 원료의 60% 이상을 차지하고 있다.

유리의 배합은 일반적으로 SiO2 70%, Na2O 15%, CaO 12%, Al2O3 2%,기타 1%의 배합비로 이루어져 있으며 필요로 하는 유리 조성에 맞도록 원료조합비가 결정되면 원료를 분말 또는 입상으로 혼합하고 여기에 적당한 양의 파유리(Cullet)를 배합하여 용융한 후 냉각시켜 제조한다.

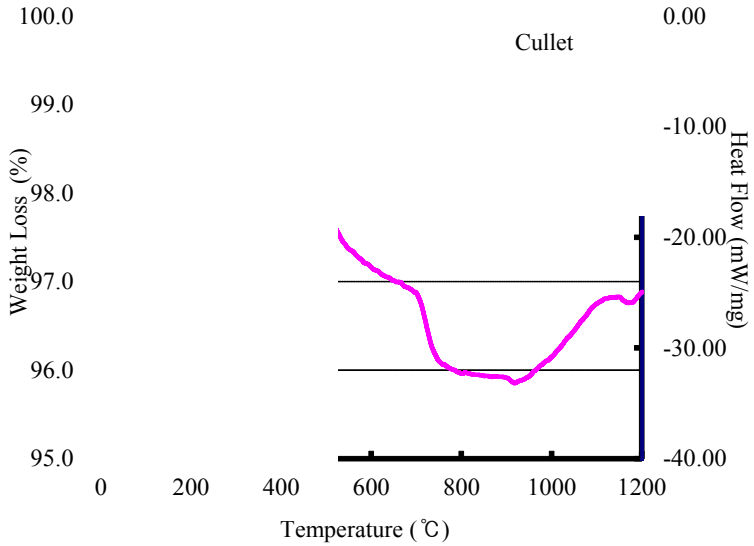
유리분말은 국내산 원료를 사용하였다. 유리분말의 특성을 알기위하여 습식화학분석과 TG-DSC로 구성과 온도특성을 파악하였다. 유리분말의 주요성분은 SiO2(71.9%), Na2O(15.2%), CaO(7.4%)이다. 또한 TG-DSC의 결과 724~771℃사이에서 융점이 나타났다. 사용재료의 유해성을 알아보기 위하여 토양오염공정시험방법으로 중금속 함유량을 알아보았으며 그 결과는 표 3.2와 같다. 7개 중금속에 대하여 기준치 이하의 값을 얻었다. 입도사이즈분석결과 4μm~100μm 의 크기를 가지며 평균입도는 29μm 이다. 90%이상의 입도가 59μm 이하로 분석되었다.

<표 3.1> 유리분말 화학분석 결과

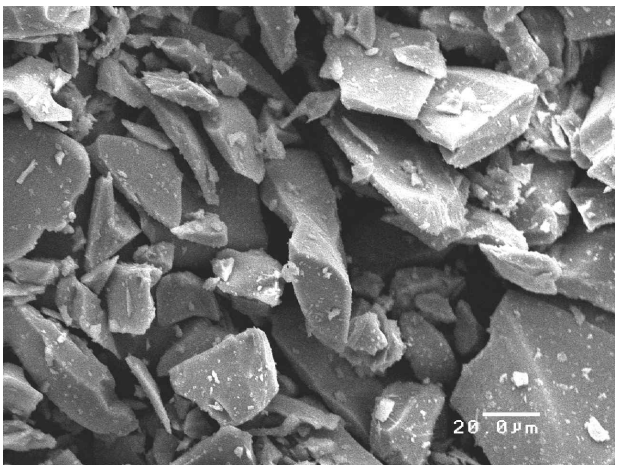
성분	SiO_2	Na_2O	CaO	MgO	Al_2O_3	Fe_2O_3	SO_3	C	P_2O_5
함량	71.9	15.2	7.44	3.42	0.90	0.36	0.20	0.09	0.05

<표 3.2> 유리분말 중금속성분 함유 시험결과(mg/kg)

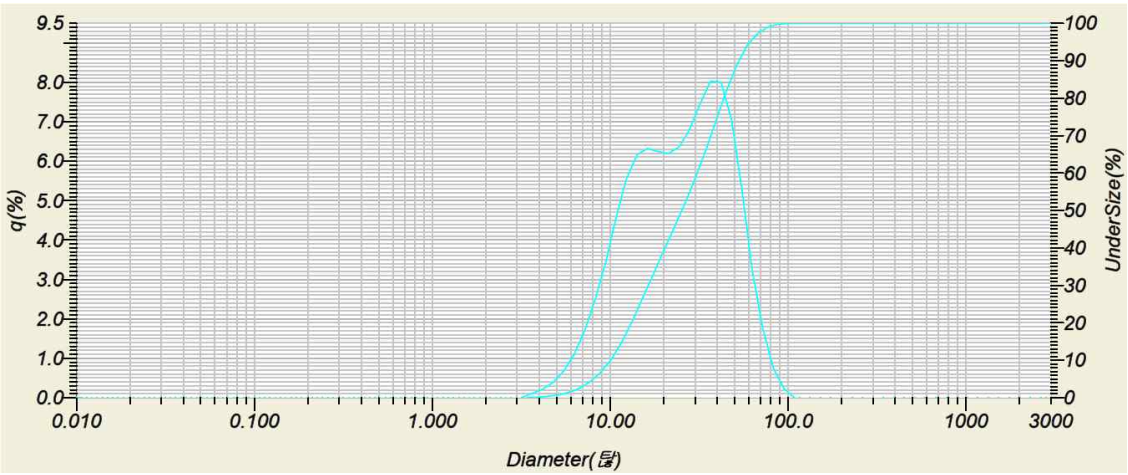
항목	As	Cd	Zn	Pb	Cr	Cu	Ni
규격기준	50이하	5이하	900이하	150이하	300이하	30이하	50이하
결과	7.24	0.5	40.0	14.6	2.5	1.5	1.9



[그림 3.1] 유리분말 열분석



[그림 3.2] 유리분말 SEM사진



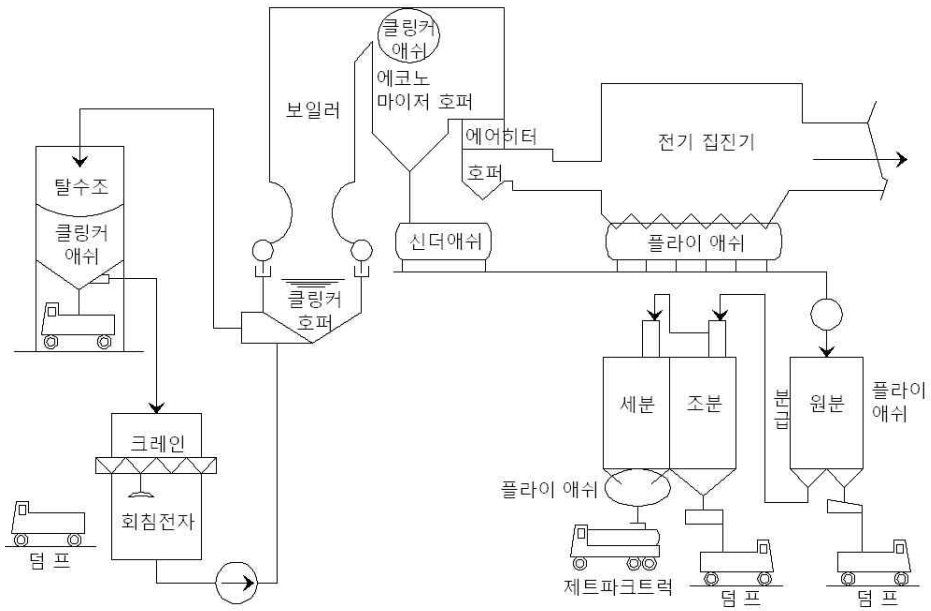
[그림 3.3] 유리분말 입도분포

나. 플라이애시

(1) 플라이애시의 발생

석탄은 풍부한 매장량, 저렴한 가격, 공급원의 안정성 등을 이유로 중요한 연료원으로 널리 사용되고 있으며, 석탄 소비에 따른 부산물인 석탄회에 대한 인식은 폐기물에서 제3의 자원으로 전환되어 그 활용성에 대한 연구개발이 활발히 이루어지고 있다. 석탄 화력발전소에서 미분말 형태의 석탄 연료가 연소된 후 발생하는 석탄회는 집진 장소에 따라 플라이애시(Fly ash), 바텀애시(Bottom ash), 신더애시(Cinder ash)로 구분된다. 석탄 연소에 따른 석탄회 발생공정을 그림 3.4에 나타내었다. 먼저, 석탄 연소 배기가스 중 보일러 바닥에 낙하하여 수냉된 바텀애시가 발생하고, 절탄기와 공기예열기의 열회수 부분에 낙하하여 신더애시가 발생하며, 마지막으로 전기 집진기에 의해 포집되는 플라이애시가 발생한다. 이 중 플라이애시와 신더애시는 집진 과정 중에 혼합된 형태로 취급되고, 일반적으로 플라이애시로 분류되며 전체 석탄회 발생량 중 약 75~80%를 차지한다.

발전소의 집진설비에 의해 사일로에 저장된 플라이애시는 밀폐식 차량에 의해 저장사일로에서 정제공장으로 운송된다. 플라이애시는 발전소의 연소 탄종에 따른 품질 변화가 크기 때문에 정제공장에서 우선 탄소함량과 입경에 따라 분류된다. 탄소분이 다량 함유된 플라이애시는 반송용 사일로에 저장되고 분별기로 선별된 플라이애시는 사이클론에 의한 분류 공정을 통해 2차 분류된 후 정제 사일로에 저장된다. KS규격에서는 플라이애시를 '미분탄 연소 보일러의 연소가스로부터 집진기로 채취하는 재'로 정의하고 있으며, ACI 116R에서는 '보일러 화실에서 연소가스에 의해 이동하는 궤상 또는 분말상태 석탄의 연소에서 발생한 미분말 잔류물'로 정의하고 있다.



[그림 3.4] 석탄회 발생 공정

(2) 플라이애시의 특성

(가) 플라이애시의 화학조성

플라이애시를 비롯한 석탄회는 연소되는 석탄의 종류 및 품질에 따라 화학조성이 다르고 미연탄소분에 의한 강열감량 및 입자의 크기와 형상은 보일러와 연소상태 등 연소환경에 의해 결정된다. 국내에서 발생한 플라이애시의 화학성분을 표 3.3에 나타내었다. 플라이애시의 화학조성을 살펴보면 SiO_2, Al_2O_3 , Fe_2O_3 세 성분이 대부분을 차지하며 포졸란 활성에 기여하는 성분은 SiO_2 , Al_2O_3 로 알려져 있다. 때문에 KS 규격에서는 SiO_2의 함유량을 45% 이상으로 규정하고 있으며, ASTM의 경우, 세 성분의 합에 따라 50% 이상일 경우에 Class C, 70% 이상일 경우에 Class F로 분류하고 있다.

<표 3.3> 국내에서 발생한 플라이애시의 화학성분

성분	무연탄 (%)	유연탄 (%)
SiO_2	52.46~56.47	46.71~60.37
Al_2O_3	29.76~33.77	18.79~24.72
Fe_2O	3.81~4.37	4.81~13.52
CaO	0.70~1.12	3.17~9.35
MgO	0.71~1.02	0.90~2.15
Na_2O	0.14~0.63	0.39~0.65
K_2O	3.36~4.36	0.98~1.31
SO_3	0.06~0.48	1.90~5.99
TiO_2	1.22~1.97	1.13~1.33
기타	0.00~2.57	0.52~1.66

(나) 플라이애시의 물리적 특성

플라이애시 입자의 모양과 크기는 연소 환경, 분쇄 정도, 집진 장치의 형태 등에 따라 변하며 결정질 물질과 함께 탄소를 미량 함유하는 유리질의 구형 형태이다. 플라이애시 입자는 여러 겹의 구면으로 구성되어 속이 채워져 있는 입자(plerospheres)와 내부에 이산화탄소(CO_2)와 질소(N_2)가스로 채워져 있는 다공성 입자(cenospheres)로 구분된다. 다공성 입자(cenospheres)의 경우, 내부가 가스로 채워져 있기 때문에 수면에 부유하며 plerospheres보다 입자크기가 크다. 그리고, 플라이애시 전 중량의 약 2% 정도이며, 우수한 경량성, 절연성, 보온성, 내화학성으로 최근에는 단열재에 활용되고 있다.

(3) 국내외 플라이애시 품질규준

세계 각국은 플라이애시를 단일 규격 및 차등 규격으로 나누어 규정하고 있다. 각

국에서는 플라이애시의 활용에 대한 관심이 높아지면서 단일 규격에 비해 더 많은 양의 플라이애시를 적재적소에 재활용 할 수 있도록 점차 차등규격으로 바뀌고 있다.

우리나라와 유사한 규격을 가지고 있던 일본 규격은 단일 규격에서 1999년에 플라이애시를 4종류로 나누어 등급화 하였으며, 우리나라는 단일 규격을 사용하였으나 2009년 KS L 5405 개정을 통해 미연탄소분 함유량 및 분말도에 따라 1종과 2종으로 구분하고 있다.

미연탄소는 발전 과정에서 석탄의 연소되지 못한 탄소 성분이다. 이는 플라이애시의 혼화재로서의 성능을 저하시키며 탄소성분이 AE제를 흡착하기 때문에 다량 함유될 경우 공기량, 유동성 등에 영향을 미친다. 때문에 각국에서는 미연탄소분을 5~6%로 규제하고 있으며 국내에서도 플라이애시 1종 3%, 2종 5% 이하로 규정하고 있다. 그리고 캐나다와 미국은 플라이애시를 잠재적 수경성을 가진 SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 성분의 함유량 합에 따라 분류하고 있다. 이에 따르면 Class N ;천연 포졸란 물질, Class F ; SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 의 함유량이 70% 이상, Class C ; SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 의 함유량이 50% 이상으로 규정하고 있다. 그리고 호주에서는 플라이애시의 미연탄소량과 입자 크기에 따라 Fine, Medium, Coarse 세가지로 분류하고 있다.

(4) 플라이애시 생산 및 활용 현황

지속가능한 자원순환형 폐기물 관리체계 구축을 목표로 하는 발전회사들은 석탄회 사용용도 개발 등 재활용 노력을 전개하고 있다. 하지만 최근 건설경기 하락 및 일본과 중국 등에서의 값싼 석탄회 수입 등으로 인해 재활용률이 다소 감소하고 있다. 국내 석탄회 총 발생량 및 재활용 현황을 표 3.4에 나타내었다.

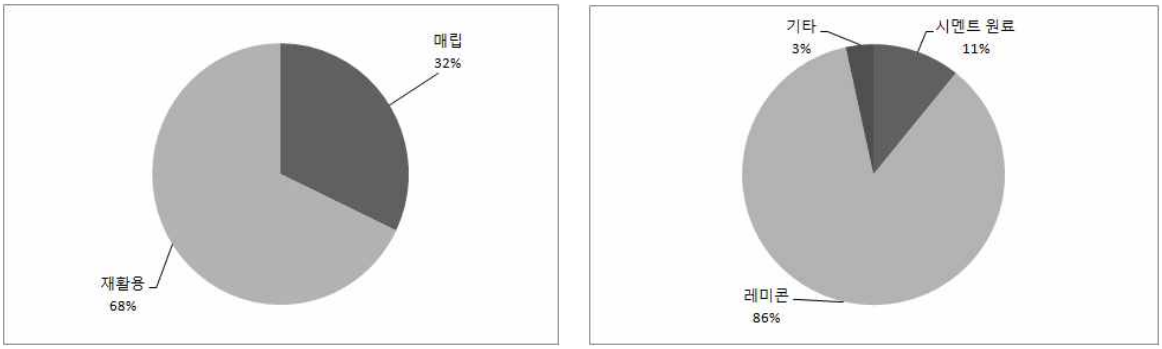
플라이애시는 화력발전소에서 포집된 후 미연탄소분을 줄이기 위한 정제 과정을 거쳐 시멘트 원료 및 레미콘에 사용된다. 표 3.5에 플라이애시의 재활용 분야를 나타내었다. 플라이애시는 2009년 발생량의 69%가 재활용 되었으며 이 중, 시멘트 원료(11%) 및 레미콘(86%)에 대부분 재활용 되고 기타 분야에 약 3% 재활용 되었다.

<표 3.4> 플라이애시 발생량 및 재활용량

구분	발생량(만톤)			재활용량(만톤)			재활용률(%)		
	2006	2007	2008	2006	2007	2008	2006	2007	2008
남동발전	121.1	121.4	157.8	101.0	111.8	125.2	83.4	92.1	79.3
중부발전	92.4	84.8	108.4	60.9	66.5	88.4	65.9	78.4	81.6
서부발전	77.2	87.9	116.4	61.1	70.3	88.0	79.1	80.0	75.6
남부발전	79.4	74.0	76.5	51.2	39.5	45.4	64.5	53.4	59.3
동서발전	106.4	122.3	160.1	80.8	106.2	125.0	75.9	86.8	78.1
합계	399.3	490.3	619.2	354.9	394.3	472.0	88.9	80.4	76.2

<표 3.5> 플라이애시의 재활용 분야(2009년)

구분	발생량 (천톤)	재활용량(천톤)					매립
		시멘트 원료	레미콘	골재	기타	소계	
플라이 애시	6,850	502	3,990	-	158	4,650	2,200



[그림 3.5] 플라이애시의 재활용 분야

(5) 실험에 사용된 플라이애시

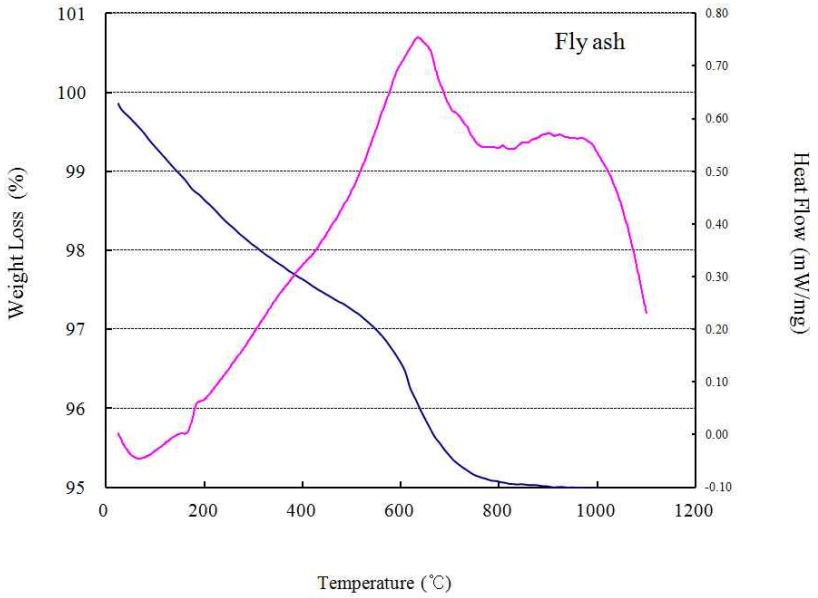
사용재료인 플라이애시의 성분을 알기 위하여 화학성분분석을 실시하였다. 아래의 표 3.6은 주요성분을 나타낸 것이며 소성하여 강도에 영향을 주는 SiO_2의 함량이 비교적 높은 편이다. 사용재료의 유해성을 알아보기 위하여 토양오염공정시험방법으로 중금속 함유량을 알아보았으며 그 결과는 표 3.7와 같다. 7개 중금속에 대하여 기준치 이하의 값을 얻었다. 입도사이즈분석결과 0.5㎛ ~ 300㎛ 의 크기를 가지며 평균 입도는 36㎛ 이다. 90%이상의 입도가 101㎛ 이하로 분석되었다.

<표 3.6> 플라이애시 화학분석 결과

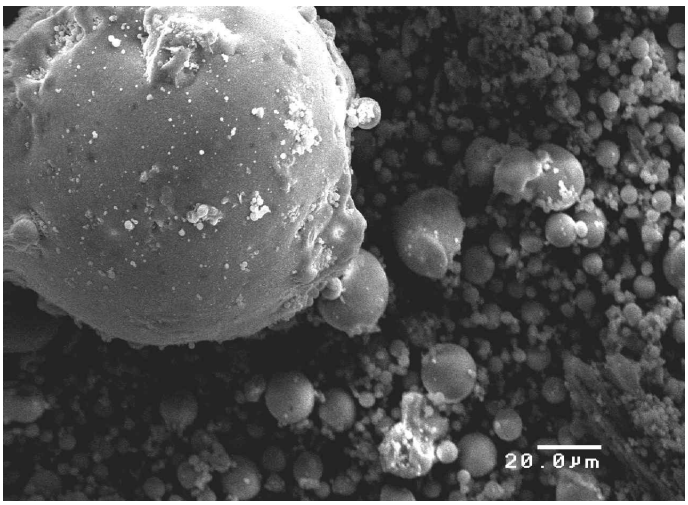
성분	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	C	K_2O	MgO	TiO_2	LOI
함량	59.5	23.8	5.54	3.75	1.56	1.50	1.20	1.20	1.50

<표 3.7> 플라이애시 중금속성분 함유 시험결과(㎎/㎏)

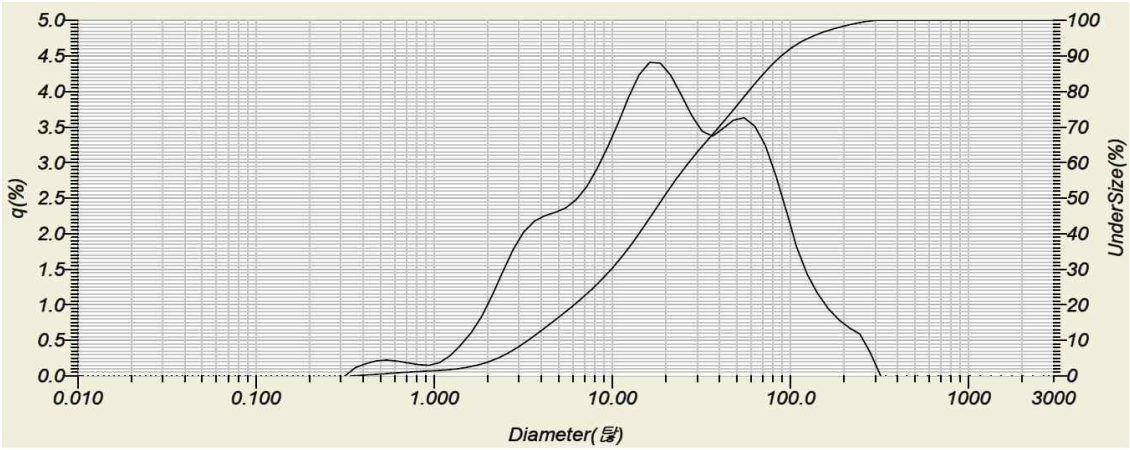
항목	As	Cd	Zn	Pb	Cr	Cu	Ni
규격기준	50이하	5이하	900이하	150이하	300이하	30이하	50이하
결과	30.2	1.3	74.8	11.4	21.6	23.1	30.1



[그림 3.6] 플라이애시 열분석



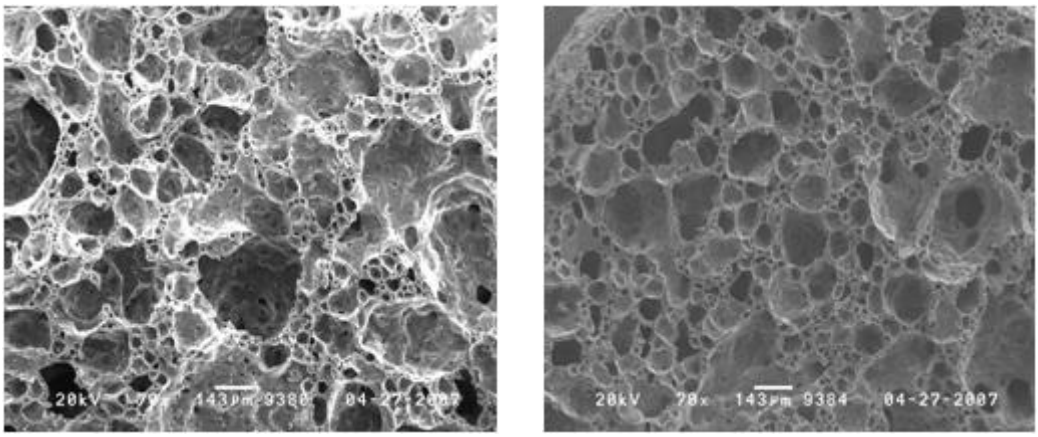
[그림 3.7] 플라이애시 SEM사진



[그림 3.8] 플라이애시 입도분포

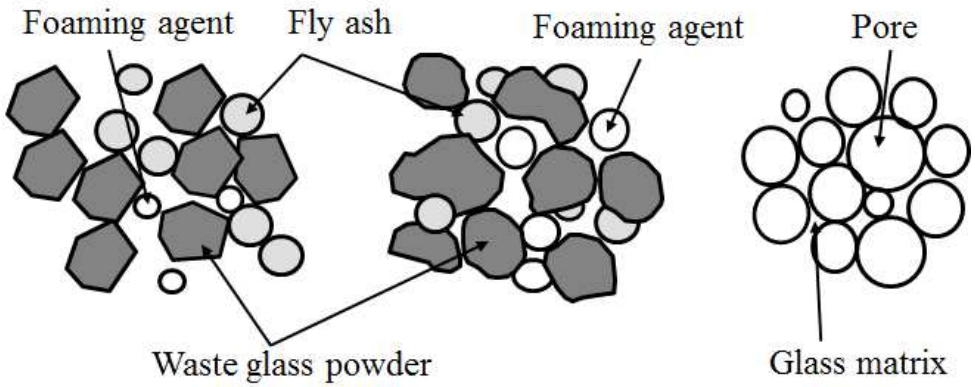
다. 발포제

발포제는 탄산칼슘($CaCO_3$-99.0%), 그라파이트(Graghite), 소듐실리케이트(Sodium Silicate)를 사용하였다. 소듐실리케이트를 주 발포제로 사용하며 분말상태의 재료를 잘 혼합하기 위하여 액상의 소듐실리케이트를 사용하였으며 기포의 성형을 위하여 탄산칼슘과 그라파이트를 첨가하여 기공의 크기 및 형상을 조절하였다.



(a) 플라이애시 10% (b) 플라이애시 30%

[그림 3.9] 발포체 SEM사진



[그림 3.10] 발포 메카니즘

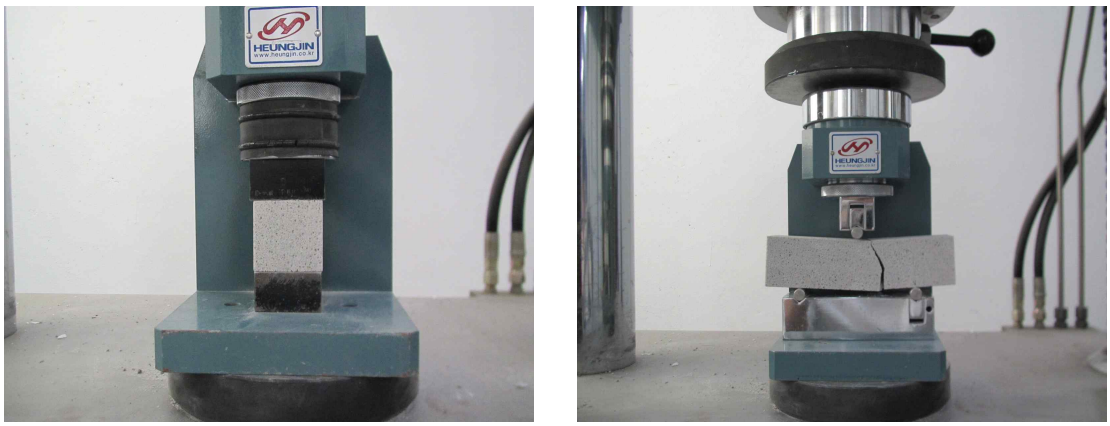
2. 실험방법

본 연구에서 목적으로 하는 내화성 경량무기발포 세라믹보드를 제조하기 위해서 다음과 같이 실험하였다. 기본원료인 유리분말과 플라이애시를 충분히 건조시킨 후 발포제를 첨가하였고 발포제가 첨가된 혼합물을 볼밀에서 혼합하였다. 혼합이 끝난 후 준비된 원료를 알루미나 도가니에 담아 소성시켰으며 도가니 표면에는 고온 이형제를 도포하였다. 소듐실리케이트의 경우, 기본원료를 볼밀에 혼합 후 믹서로 혼합하여 건조기에 건조 후 분쇄기로 분쇄하여 사용하였다.

전기로는 분당 5℃의 승온속도로 가열하였다. 발포제의 양과 배합비에 따라서 750~800℃로 온도를 변화시켰으며 소성된 발포체를 정밀커터를 이용하여 가공하여 기초물성을 실험하였다.

가. 물성평가

압축강도와 휨강도는 KS L ISO 679에 의해 실시하였으며 30ton급 UTM을 사용하였다. 압축강도용 공시체와 휨강도용 공시체를 따로 가공하여 측정하였다. 겉보기밀도는 KS F 2701에 의해 실시하였고, 열전도율은 KS L 9016에 의한 평판열류계법을 적용한 열전도율 시험기(HC-074, EKO사)에 장착하여 측정하였다. 평판열류계법은 시험체를 통과하는 열류량을 열류계로 측정하고 시험체 온도차를 측정하여 열전도율을 구하는 방법으로 그림 3.11는 측정장비이다.



[그림 3.11] 압축강도 및 휨강도 시험

3. 발포특성

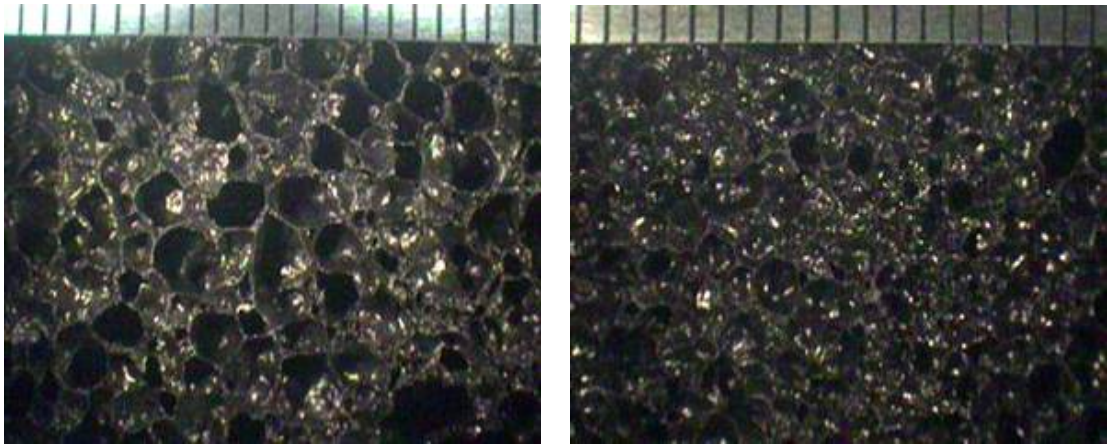
가. 원료의 구성비에 따른 발포특성

유리분말의 열분석 결과 융점은 720℃이상으로 나타나지만 실제 실험에서는 750℃이상에서 용융이 시작되어 실험은 혼합물내의 유리분말이 충분히 녹을 수 있도록 750℃~800℃에서 실시하였다. 배합에서 플라이애시의 비율이 증가할수록 온도도 증가하는 경향이 있으며 발포량도 적어지는 경향이 있다.

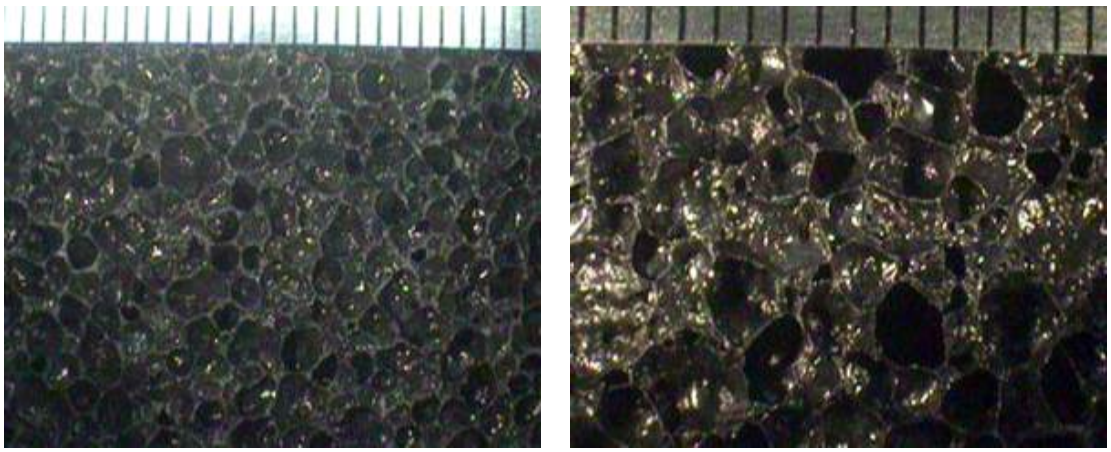
기공의 면적보다 단면의 면적이 넓은 것이 눈으로도 확인이 가능한데, 플라이애시의 함량이 증가함에 따라 기공이 작아지는 경향을 나타내었다. 이는 유리분말의 함량이 감소함에 따라 소성조건에서 발포의 여력이 적어지기 때문인데, 유리의 연화 및 용융과 발포가스의 생성에 의해 기공이 생성되어야 하나, 유리의 연화 및 용융량이 적어져서 기공생성이 더욱 어려워지기 때문이다. 그러므로 유리분말에 혼합할 수 있는 한계점을 갖는 것으로 판단된다.

<표 3.8> 배합사항

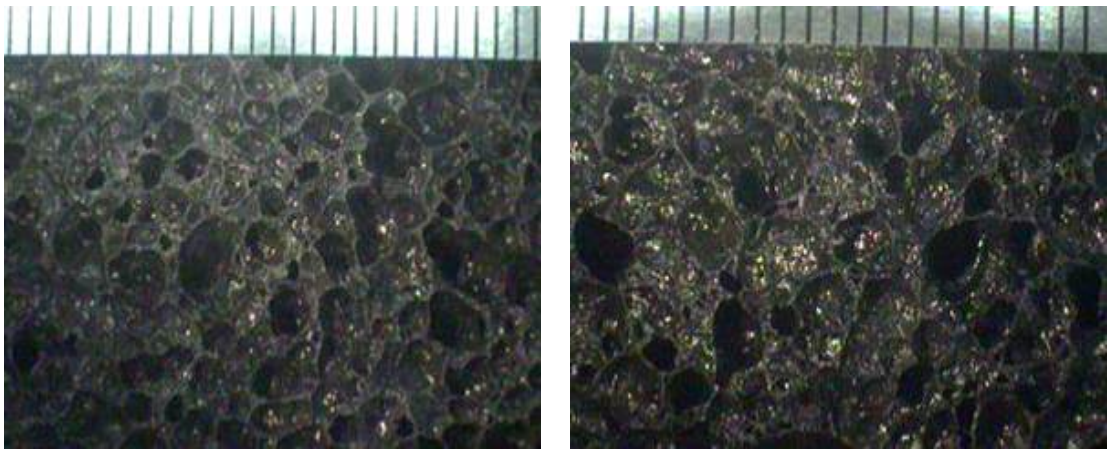
실험 번호	배합비	유리 분말	플라이 애시	발포제(%)			소성온도 (℃)
				탄산 칼슘	그라파이트	소듐 실리케이트	
A	10:0	10	0	1~2	1~2	30~50	750~800
B	9.5:0.5	9.5	0.5				
C	9:1	9	1				
D	8:2	8	2				



(a) A배합



(b) B배합

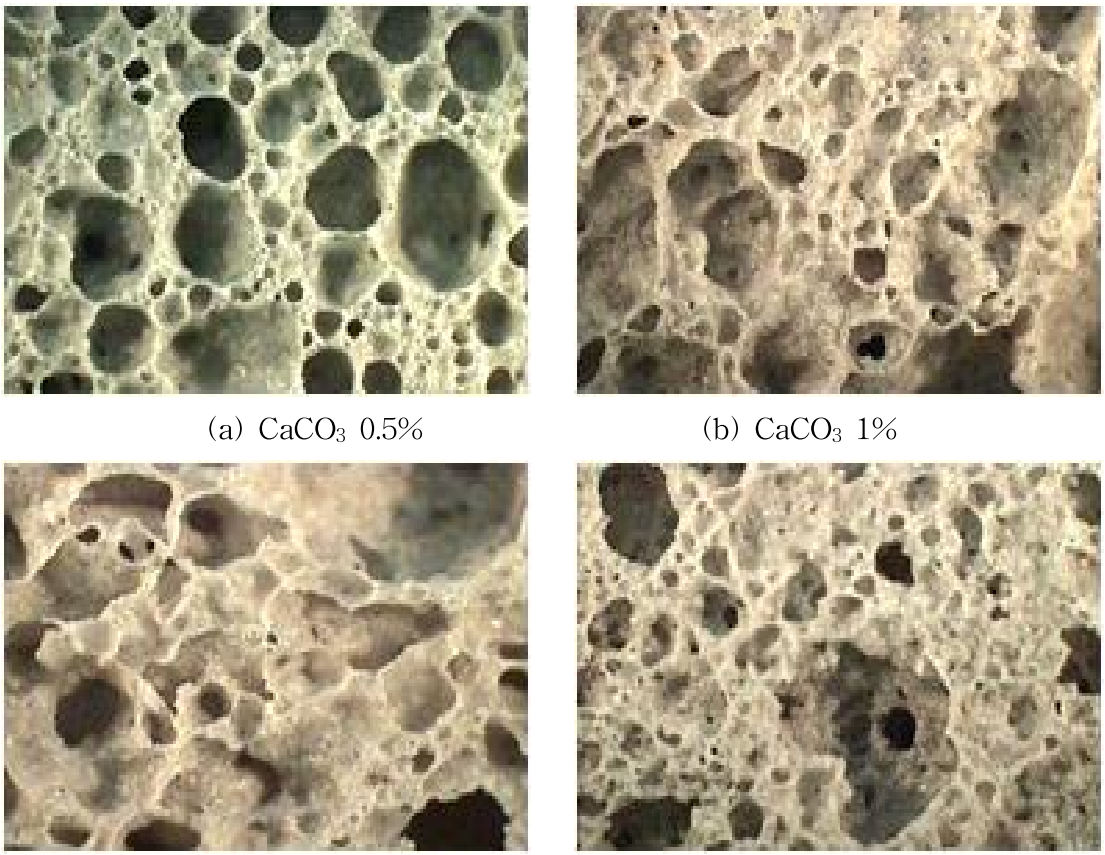


(c) D배합

[그림 3.12] 배합에 따른 발포형상 켐스코프 사진(x40)

나. 발포제에 따른 발포특성

탄산칼슘은 CaO가 플럭스로 작용하여 유리의 점도를 낮추어 기공이 병합되어 공극이 커지는 경향이 있다. 공극이 균일하지 않아 열전도율 및 강도면에서 불리할 것으로 판단된다. 실험결과 탄산칼슘의 양은 1%이하가 적당하다고 판단되며 그 이상이 첨가될 경우 기공이 너무 커지거나 터져 없어져 발포체의 기공확보에 어려움이 생긴다.



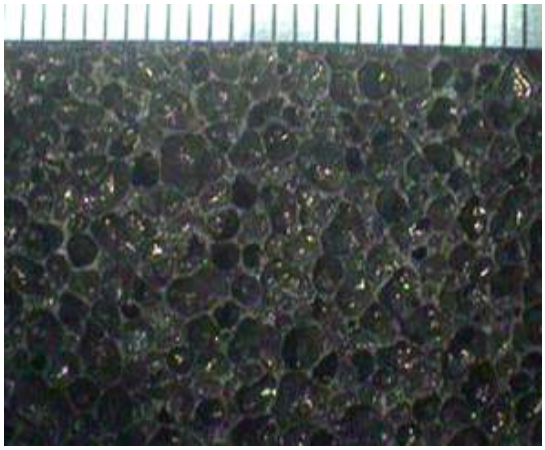
(a) $CaCO_3$ 0.5%　　(b) $CaCO_3$ 1%

(c) $CaCO_3$ 2%　　(d) $CaCO_3$ 3%

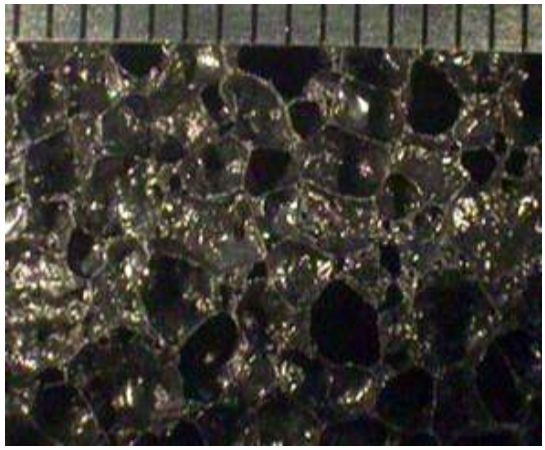
[그림 3.13] 탄산칼슘의 함량에 따른 공극

그라파이트는 작은 기공을 형성하며 균일한 기공을 형성한다. 작고 균일한 기공은 강도 및 열전도율 향상에 영향을 주며 이는 탄산칼슘을 사용하는 것 보다. 밀도 및 강도개선에 영향을 주는 것으로 나타났다. 1%이상 첨가시 발포량이 많아 오히려 밀도가 개선되지 않으며 다량의 발포로 인해 소성과정에서 기포가 터지는 현상이 발생한다.

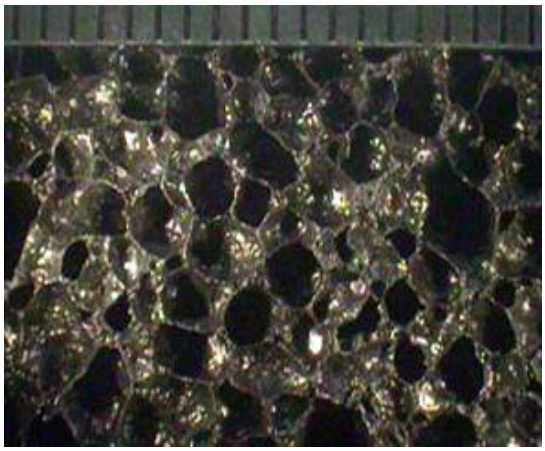
반면 소듐실리케이트는 공극이 어느 정도 균일하고, 발생량도 적지 않아 적합한 발포제로 판단된다. 소듐실리케이트의 사용은 발포에 가장 많은 영향을 주며 기포를 조절하기 위한 방안으로 작고 균일한 기공을 형성하는 그라파이트를 첨가하여 사용하는 것이 가장 유리하였다.



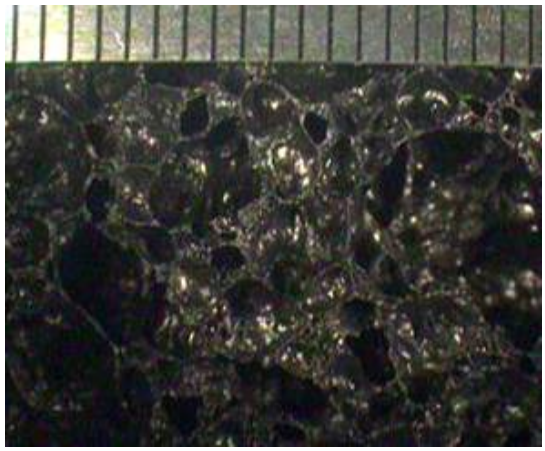
(a) Graphite 0.5% (770℃)



(b) Graphite 1% (770℃)

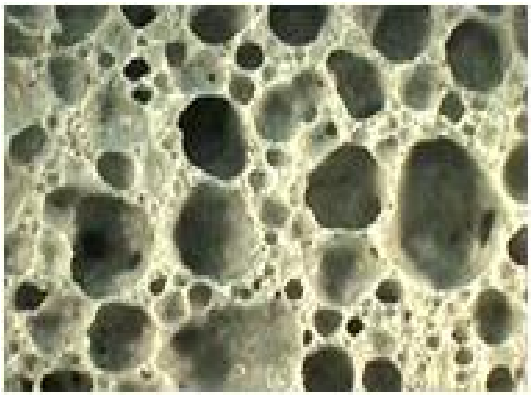


(c) Graphite 1% (750℃)

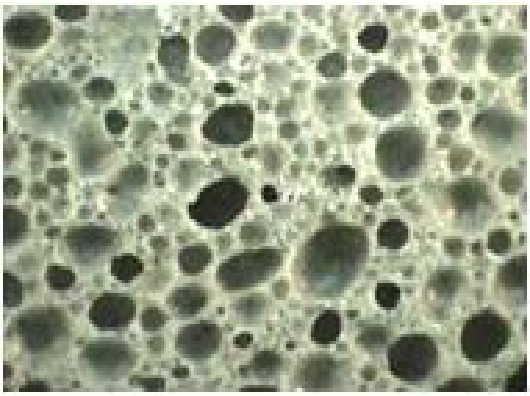


(d) Graphite 1% (780℃)

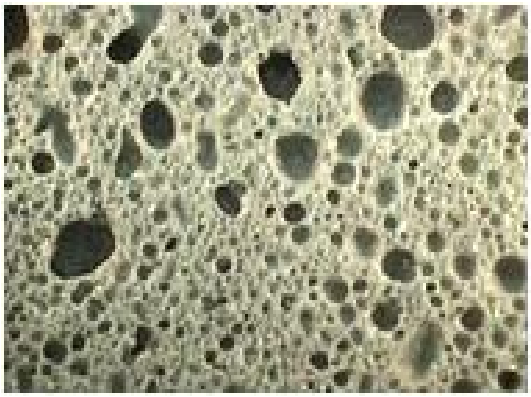
[그림 3.14] 그라파이트의 함량에 따른 공극



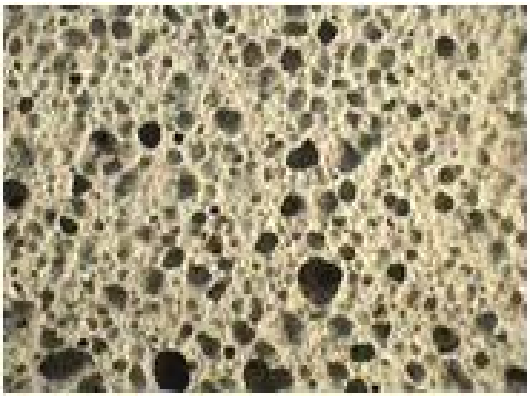
(a) Sodium Silicate 30% + $CaCO_3$ 0.5%



(b) Sodium Silicate 30% + $CaCO_3$ 1%



(c) Sodium Silicate 30% + $CaCO_3$ 2%



(d) Sodium Silicate 30%

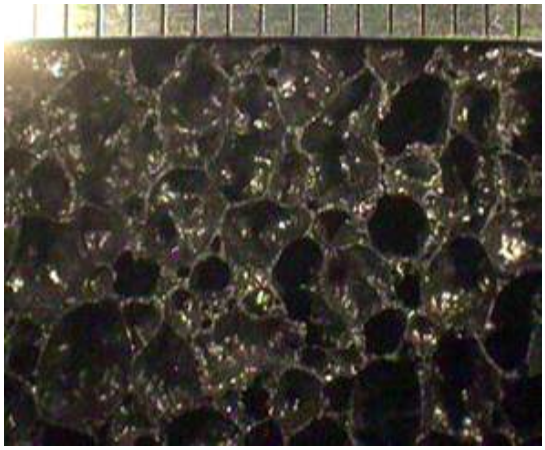


(e) Sodium Silicate 40% + $CaCO_3$ 1%

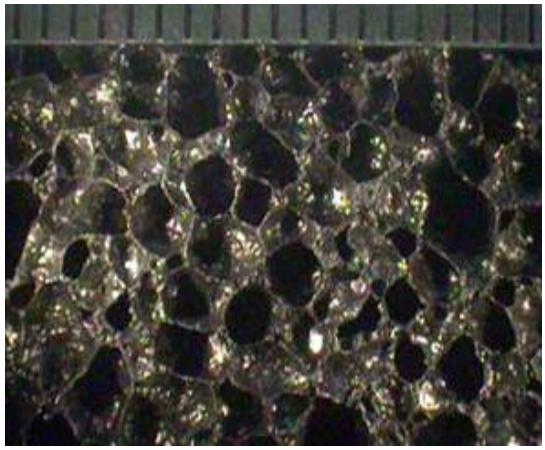


(f) Sodium Silicate 40% + $CaCO_3$ 2%

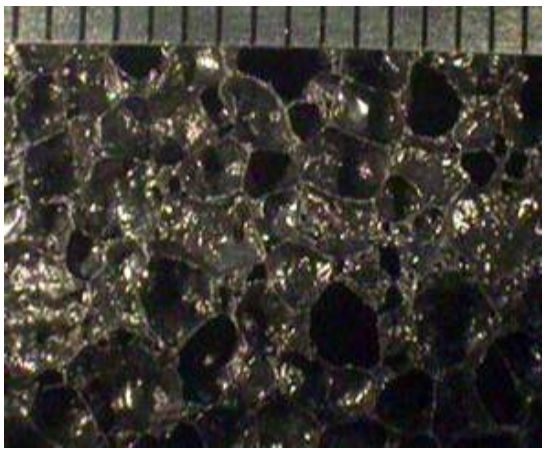
[그림 3.15] 소듐실리케이트와 탄산칼슘 함량에 따른 공극



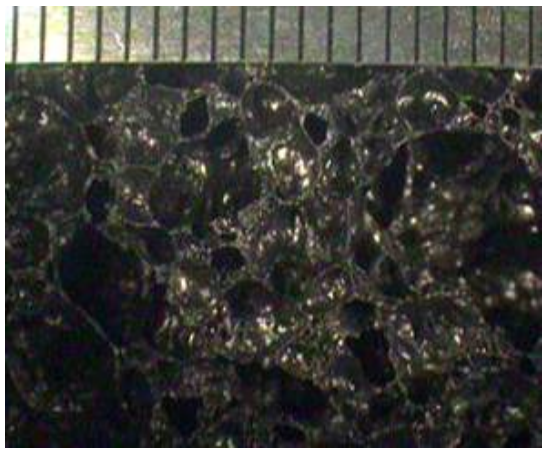
(a)740℃



(b)750℃



(c)770℃



(d)780℃

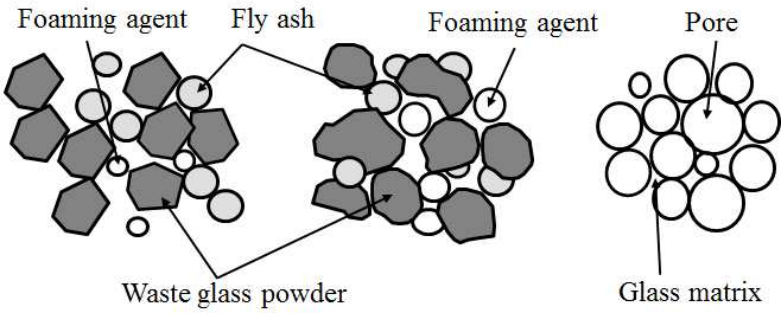
[그림 3.16] 소성온도에 따른 기공의 모양

4. 경량세라믹보드 성능평가

가. 물성평가

(1) 제조 메커니즘

경량 발포소재를 제조하기 위한 메커니즘은 그림3.17과 같다. 폐유리분말을 원료로 하여 플라이애시와 혼합한 혼합물에 발포제를 섞어 고온에서 발포시켜 소성한다. 유리는 비교적 발포제에 의해 기공제어가 다른 소재에 비해 수월하기 때문에 발포소재의 메트릭스를 구성하는 재료로 널리 사용된다. 또한 발포제는 규산나트륨, 탄산칼슘과 그라파이트 등을 고온에서 반응시켜 기포를 형성한다. 탄산칼슘은 약 820℃ 전후의 열분해와 그라파이트는 O_2와의 반응에서 발생하는 CO_2 가스에 의한 발포를 기본 메커니즘으로 한다.



$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$

[그림 3.17] 발포 메커니즘

(2) 재료 및 배합

경량 발포소재를 제조하기 위해 기본이 되는 원재료는 폐유리분말과 플라이애시이며 화학성분은 표 3.9과 같다. 폐유리분말은 수거된 소다라임 유리를 2차의 분쇄공정을 거쳐 분말화 한 것이다. 플라이애시는 하동화력에서 부산된 것이며 SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3의 함량이 70% 이상인 플라이애시이다. 발포제로는 일본 Y사의 분말형 탄산칼슘($CaCO_3$, 99.0%)과 국내 H사의 그라파이트(Graphite)를 사용하였다. 경량 발포소재를 만들기 위한 배합은 표 3.10와 같다. 발포제의 종류에 따른 물성 변화를 검토하기 위해 2가지의 발포제로 실험을 하였고 플라이애시의 배합량 및 탄산칼슘과 그라파이트의 혼입량을 증량하여 실험하였다. 시험체의 배합은 폐유리분말과 플라이애시를 충분히 건조한 후 발포제를 첨가하여 혼합기와 볼밀을 사용하여 12시간 혼합한 후 사용하였다.

경량 발포소재를 제조하기 위한 소성은 혼합된 분체를 100×100×50mm의 알루미나 도가니에 담아 전기로에서 소성하였다. 전기로의 분당 승온속도는 약 5℃이며 Fig. 2와 같다. 소성조건은 사전에 혼합물의 열분석을 통해 발포되는 온도를 결정하였다. 소성온도는 약 950℃ 이며 실제 열분석 온도보다는 높은 온도이다. 혼합된 혼합물을 소성하였을 경우 발포에 의해 열이 내부로 침투하기 어려우며 이에 따라 발포가 다르게 나타나므로 균열하게 열이 전달될 수 있도록 온도를 설정하였다.

<표 3.9> 플라이애시와 유리분말의 화학성분

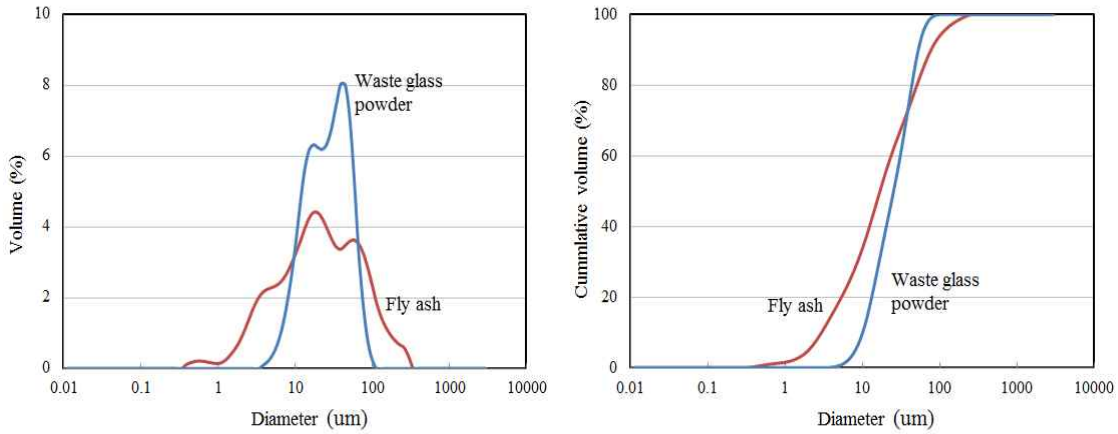
	Chemical compositions (%)							
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3
Waste glass powder	71.9	0.9	0.36	7.44	3.42	15.2	0.47	0.20
Fly ash	59.5	23.8	5.54	3.75	1.20	0.69	1.50	0.27

<표 3.10> 실험에 사용된 배합비

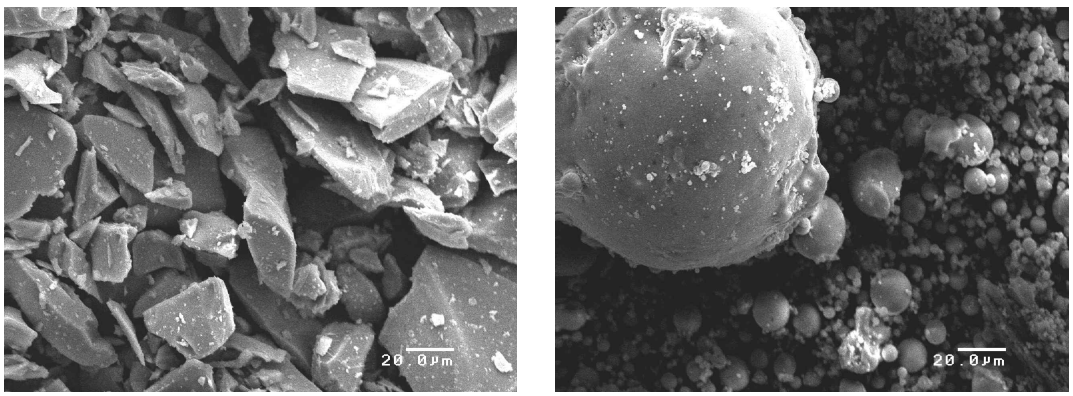
Series		Symbols	Waste glass powder (wt.%)	Fly ash (wt.%)	Foaming agent (wt.%)		Temperature (℃)
					$CaCO_3$	C	
LWFG	A1	LWFG-A11	80	20	2	-	950
		LWFG-A12			3	-	
		LWFG-A13			4	-	
	A2	LWFG-A21			-	2	
		LWFG-A22			-	3	
		LWFG-A23			-	4	
	B1	LWFG-B11	70	30	2	-	
		LWFG-B12			3	-	
		LWFG-B13			4	-	
	B2	LWFG-B21			-	2	
		LWFG-B22			-	3	
		LWFG-B23			-	4	
	C1	LWFG-C11	60	40	2	-	
		LWFG-C12			3	-	
		LWFG-C13			4	-	
	C2	LWFG-C21			-	2	
		LWFG-C22			-	3	
		LWFG-C23			-	4	

(3) 원재료의 특성

유리의 조성은 일반적으로 SiO2 약 70%, Na2O 약 15%, CaO 약 12%, Al2O3 약 2%의 조성비로 이루어지며 사용용도에 따라 유리의 조성비가 결정된다. 조성에 맞도록 원료조합비가 결정되면 일정한 양의 파유리(Cullet)를 배합하여 용융한 후 냉각시켜 제조한다. 폐유리분말은 기본적으로 파유리를 사용하며 경량 발포소재용 원료로 사용하기 위해서는 입도조정이 필요하다. 입도의 조정은 파유리를 분쇄하여 원하는 크기로 조정하는데 분쇄하는 비용이 발생하므로 경제성 측면의 고려가 필요하다. 발포형상에 영향을 미치는 입도의 경우 입도가 작은 것이 유리하며 혼합되는 혼합물의 입도와도 유사한 것이 유리하다. 폐유리분말과 플라이애시의 입도분석 결과는 그림 3.18과 같다. 폐유리분말의 입도분석 결과 약 3~100μm의 크기를 가지며 평균입도는 28μm 이었다. 유리분말은 90% 이상이 50μm이하의 입도를 나타냈다. 또한 TG-DSC에 열분석 결과 폐유리분말은 724~771℃ 사이에서 융점이 나타났으며 화학분석 결과 일반 소다라임 유리의 특징을 나타냈다. 플라이애시는 약 3~310μm의 크기를 가지며 평균입도는 약 19μm이다. 90% 이상이 80μm 이하의 입도로 분석되었다. 그림 3.18과 같이 폐유리분말의 입도는 플라이애시보다 좁은 범위에서 분포하며 평균입도는 플라이애시보다 크고 90% 이상의 범위에서는 플라이애시보다 작은 특징을 나타냈다. 이는 분쇄기를 통하여 1차, 2차 파쇄 등 인공적으로 균일하게 분쇄한 결과에 따른 것이다. 전체적으로 혼합물의 입도분포는 거의 유사한 것을 확인할 수 있었다. 그림 3.19는 폐유리분말과 플라이애시를 500배 확대한 SEM사진이다. SEM에 의한 사진에서 폐유리분말은 인공적인 분쇄에 의해 모서리가 뾰족한 형태인 각형의 구상형태를 하고 있으며 플라이애시는 완전한 형태의 구상을 하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한 사진과 같이 폐유리분말이 플라이애시보다는 좀 더 입도가 고르게 분포되어 있는 것을 관찰할 수 있었다.



[그림 3.18] 유리분말과 플라이애시의 입도분포



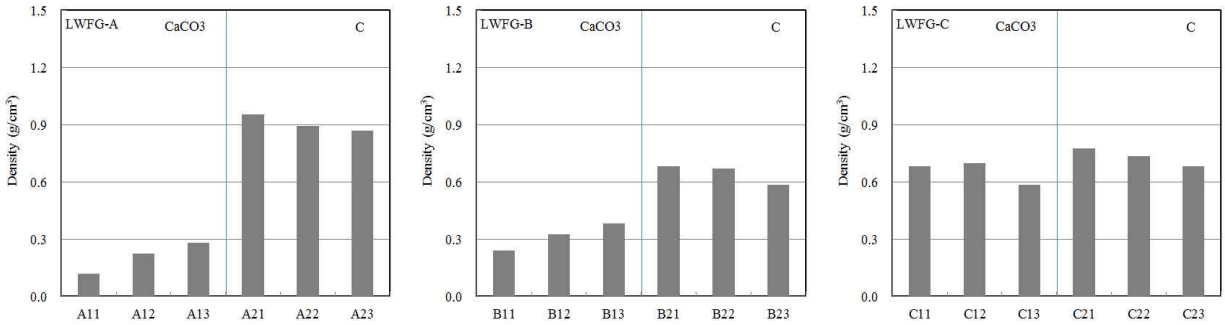
<Waste glass powder> <Fly ash>

[그림 3.19] 유리분말과 플라이애시의 SEM 이미지

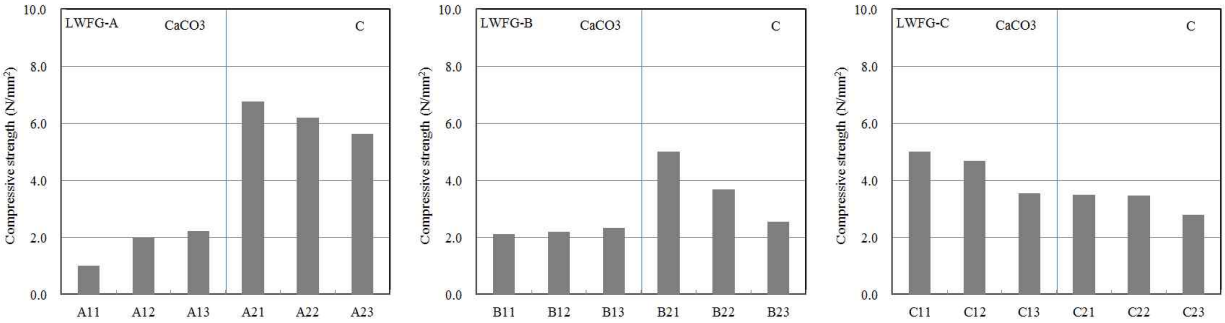
(4) 밀도 및 압축강도

고온에서 소성하여 제조한 경량 발포소재의 밀도를 그림 3.에 나타내었다. 일반적으로 플라이애시의 혼입량이 증가할수록 밀도도 증가하는 경향을 보였다. 하지만 발포제의 종류에 따라 경향은 다르게 나타났다. 탄산칼슘을 발포제로 사용한 경우는 플라이애시의 혼입량이 많아질수록 발포 정도가 감소하였다. 또한 발포제의 혼입량이 많은 경우 발포 정도는 커지나 과도 발포되어 공극이 병합되거나 형상이 일정하지 않았고, 혼입량이 적은 경우도 과소 발포되어 공극이 불균일하고 일정한 공극크기를 유지하지 못했다. 그라파이트를 발포제로 사용한 경우는 사용량이 많아질수록 밀도가 감소하는 경향을 보였다. 또한 플라이애시의 혼입율이 10%인 경우보다 20%인 경우가 더 기포가 생성되어 밀도가 작게 나타났다. 이에 따라 탄산칼슘을 사용하는 경우가 발포에는 더 유리한 것으로 보이지만 뚜렷한 경향을 찾아보기는 어렵다. 또한 내부에 공극이 생성되어 밀도가 감소하더라도 공극의 크기가 균일하지 못한 경우도 발생하므

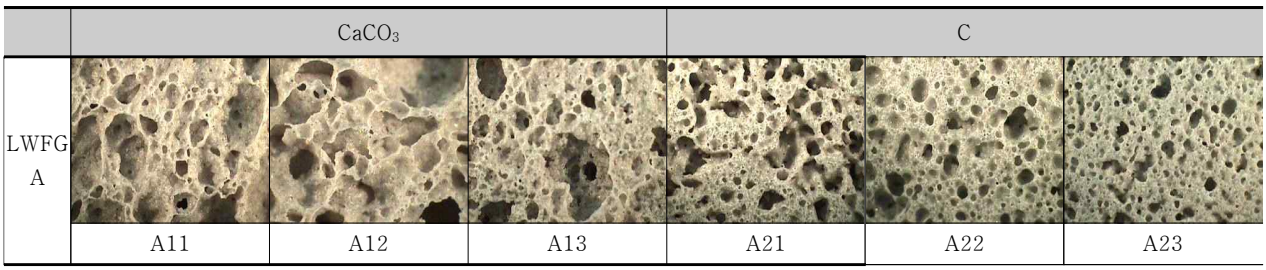
로 플라이애시의 혼입량에 따라 발포 최적조건을 확인하는 것이 필요하다. 경량 발포 소재의 압축강도를 그림 3.21에 나타내었다. 발포제에 따른 뚜렷한 경향을 보이지는 않았지만 그라파이트의 혼입량이 증가할수록 밀도의 감소보다 압축강도의 감소가 더 크게 나타났으며 열린 공극의 형태를 보였다. 밀도가 작은 경우 압축강도도 낮게 나타났으며 밀도가 큰 경우 압축강도도 높은 일반적인 경향을 보였다. 현저하게 불균일한 공극을 가지는 경우를 제외하면 이와 같은 경향은 시험체에 상관없이 유사하므로 발포소재의 용도에 적합한 강도를 기준으로 밀도를 제어하는 것도 한 방편이다. 또한 폐유리분말을 기본소재로 사용하는 경우 용융과 발포제에 의해 공극을 형성하고 또한 밀도가 높고 닫힌 공극으로 형성되는 경우 일반 ALC(Autoclaved light-weight concrete)와 다르게 높은 강도를 발현할 수 있다.

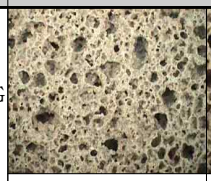
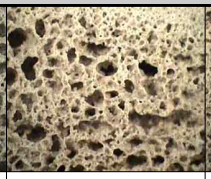
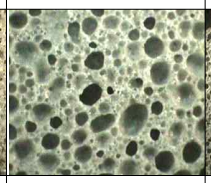
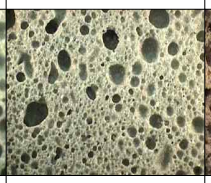
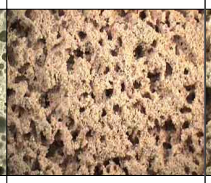
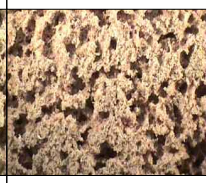


[그림 3.20] 경량세라믹보드 배합별 밀도



[그림 3.21] 경량세라믹보드 배합별 압축강도



	$CaCO_3$			C		
LWFG B						
	B11	B12	B13	B21	B22	B23
LWFG C						
	C11	C12	C13	C21	C22	C23

[그림 3.22] 경량세라믹보드의 캠스코프 이미지

<표 3.11> 경량무기발포 세라믹보드 물성측정 결과

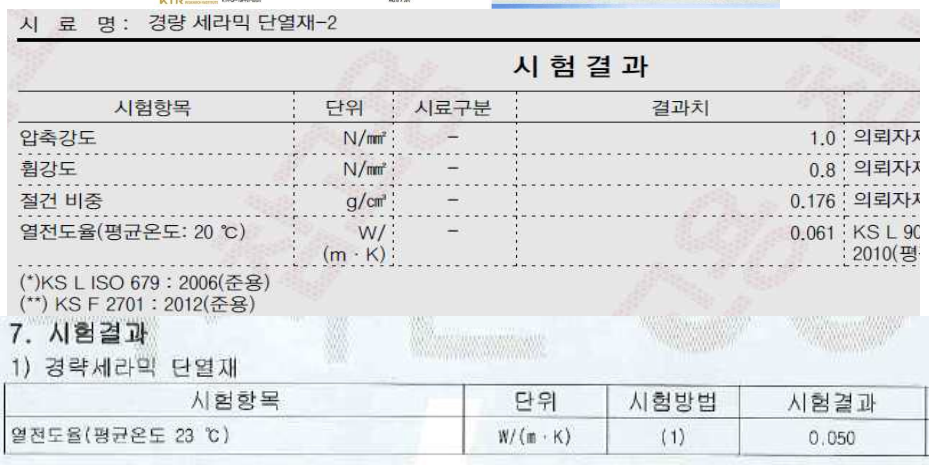
물성	단위	목표	결과
밀도	g/cm^3	0.2 이하	0.18
압축강도	N/mm^2	0.7 이상	1.0
휨강도	N/mm^2	0.1 이상	0.8
열전도율	W/mK	0.06이하	0.05


TEST REPORT

KTR 한국화학융합시험연구원장


시험성적서

KCL


시 료 명 : 경량 세라믹 단열재-2

시 험 결 과

시험항목	단위	시료구분	결과치	
압축강도	N/㎟	-	1.0	의뢰자
휨강도	N/㎟	-	0.8	의뢰자
절건 비중	g/㎤	-	0.176	의뢰자
열전도율(평균온도: 20 ℃)	W/(m · K)	-	0.061	KS L 90 2010(평

(*)KS L ISO 679 : 2006(준용)
(**) KS F 2701 : 2012(준용)

7. 시험결과

1) 경량세라믹 단열재

시험항목	단위	시험방법	시험결과
열전도율(평균온도 23 ℃)	W/(m · K)	(1)	0.050

[그림 3.23] 경량세라믹보드의 성적서

나. 내동해성 평가

내동해성은 건축물의 외벽 재료의 내동해성을 알아보는 시험으로 KS F 2604에 준하여 실험하였다. 내동해성은 동결 융해를 반복적으로 주어 재료의 변화를 확인하는 시험으로 경량세라믹보드의 외장재 적용을 위해 실시하였다.

실험방법은 기중 동결 수중 융해 방법으로 실시하였는데 이는 마감재가 외부로의 수분을 막아주기 때문에 결정하였다. 또한 동결과 융해가 1번씩 이루어지는 시기를 1 싸이클로 하여 15 싸이클을 실험하였다. 경량세라믹보드는 유리가 주 원료로 유리질의 성질 때문에 수분에 의한 영향이 적어 실험결과는 큰 차이가 없었다. 질량변화, 두께변화, 길이변화 외관모양을 확인한 결과 그 차이는 아주 미미했으며 이는 외장재로 적용이 가능하다고 해석된다.

[그림 3.24] 내동해성 시험시편

실험 전	실험 후(15싸이클)
	

<표 3.12> 내동해성 실험결과

내동해성실험	길이변화	두께변화	질량변화
실험 전(㎜)	201.38	19.85	249.53
실험 후(㎜)	201.32	19.83	248.88
변화율(%)	-0.03	-0.10	-0.26

다. 연소성능평가

내화성 외장재의 적용을 위하여 경량세라믹보드의 내화성능을 갖추기 위해 화재성능 평가를 실시하였다. 화재성능평가는 불연성시험, 준불연재료시험을 실시하였다. 무기물을 기본원료로 사용하는 경량세라믹보드는 준불연 재료시험에서 적합 판정을 받았고 불연성시험 성능확인에서도 그 성능이 확인되어 내화성 재료로 적합하다.

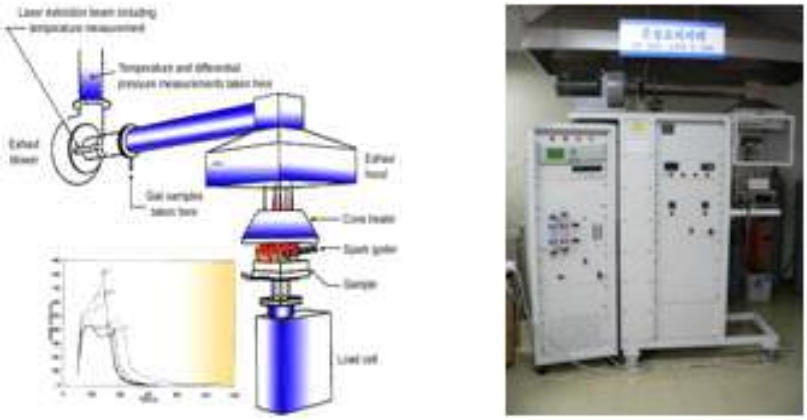
화재성능평가는 3가지 항목으로 불연성시험(KS F ISO 1182), 열방출률시험(KS F ISO 5660-1), 가스유해성시험(KS F 2271)을 실시하였고 판정기준은 표 3.13와 같다.

<표 3.13> 화재성능평가 판정기준

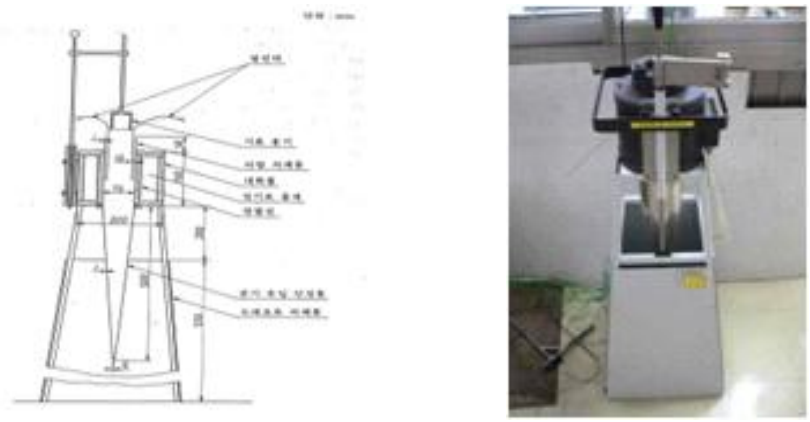
시험항목			판정기준
불연성 시험	가열로 내의 최고온도와 최종평형온도의 차(K)		최고온도가 최종평형온도를 20K 초과상승하지 않을 것
	질량감소율(%)		30% 이하일것
준불연 재료	열방출율	총열방출량	8MJ/m^2 이하
		200kW/m^2를 초과하는 시간	10s 이상 연속으로 200kW/m^2초과하지 않을 것
		시험체를 관통하는 방화상 유해한 균열, 구멍 및 용융 등	없을 것
	가스유해성	쥐의 평균행동정지 시간 (min:s)	9 min 이상

<표 3.14> 화재성능평가 결과

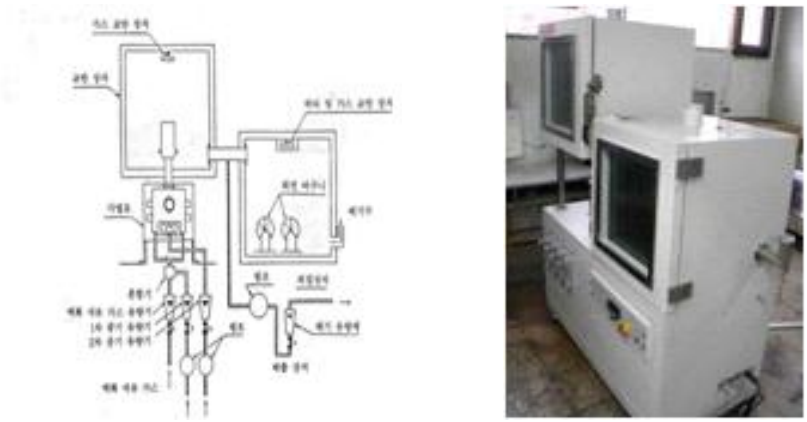
시험항목			시험체 번호			판정
			1	2	3	
불연성 시험	가열로 내의 최고온도와 최종평형온도의 차(℃)		0.9	1.2	0.9	적합
	질량감소율(%)		16.0	15.4	16.1	적합
준불연 재료	열방출율	총열방출량(MJ/m^2)	0.1	0.2	0.0	적합
		200kW/m^3 를 초과하는 시간(s)	0	0	0	적합
		시험체를 관통하는 방화상 유해한 균열, 구멍 및 용융 등	없음	없음	없음	적합
	가스유해성	쥐의 평균행동정지 시간 (min:s)	13:36	14:25	-	적합



(a) 열방출률시험 원리와 장비



(b) 불연성시험 원리와 장비



(c) 가스유해성시험 원리와 장비

[그림 3.25] 화재성능시험 원리 및 장비

5. 내화 마감 모르타르의 특성

가. 서론

콘크리트구조는 법규에서 정하는 내화구조이므로 화재에 대해 강하고 구조적인 변형이나 손상이 쉽게 발생하지 않는다. 고강도콘크리트나 구조용 경량골재콘크리트를 사용하는 경우 폭렬에 의한 단면의 변형이나 손상이 발생하기도 하지만 허용범위 이내에서 제어할 수 있다면 큰 문제가 되지는 않는다. 가장 효율적인 대책은 화재시의 열을 차단하여 부재의 온도상승을 제어하기 위한 내화 마감모르타르를 적용하는 것이다. 또한 효과적으로 내화성능을 발휘하기 위한 내화 마감모르타르는 경량이면서 열전도율이 낮고 고온에서 안정적인 것이 유리하다. 시판되는 경량 내화모르타르는 주로 시멘트 및 석고, 유기계 섬유, 경량골재 등을 조합하여 제조한 것으로 시멘트계 재료가 주 바인더로서 역할을 한다. 수경성 재료인 시멘트는 물과 반응하여 경화하며 초기에는 수산화칼슘(Ca(OH)2)과 에트린자이트(3CaO・Al2O3・3CaSO4・32H2O)와 규산칼슘수화물(이하 CSH, 3CaO・SiO2・6H2O)이 순차적으로 생성된다. 또한 석고가 소비되어 미반응 간극물질과 에트린자이트의 반응을 통하여 모노설페이트 수화물(3CaO・Al2O3・CaSO4・12H2O)이 생성된다. 하지만 화재와 같은 높은 온도에서는 시멘트 수화물의 물리·화학적인 탈수가 발생하여 성능이 저하하며 화학반응은 Table. 1과 같다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 시멘트계 재료를 대처하여 알칼리 활성화 결합재를 내화 마감모르타르로 이용하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

알칼리 활성화 결합재는 알루미노 규산염의 조성을 갖는 광물이 알칼리 분위기에서 수경성을 나타낸다. 일반적으로 적용되는 기본 원료는 고로슬래그와 플라이애시이며 후자의 적용이 경제성 측면에서 유리하다. 플라이애시는 화학적으로 매우 안정하며 표면층은 유리질로 이루어져 공극이 많은 비결정질의 구성 물질을 보호하고 있어 반응을 위해서는 유리질 쇄상결합이 절단되어야 한다. 따라서 반응을 활성화시키기 위해 황산염 또는 알칼리 용액의 첨가나 높은 염기성 물질로 치밀하고 견고한 플라이애시의 표면층을 침식하여야한다. 더불어 플라이애시가 알칼리 용액과 혼합하여 경화되기 위해서는 수산기(OH-)의 이온이 충분히 공급되어야 한다. 플라이애시 표면의 음이온화 과정을 거쳐 OH-이온의 지속적인 공급으로 인해 플라이애시 표면의 Si-O-Si, Si-O-Al 결합을 파괴하고 내부에 포위되어있던 Si^{4+}, Al^{3+}, Ca^{2+} 등의 수식이온들을 용출하며 이렇게 용출된 이온들은 제올라이트(Zeolite) 형태의 반응생성물을 구성한다. 또한 내화 마감모르타르는 경량이며 낮은 열전도율을 가지는 것이 유리하기 때문에 펄라이트나 경량골재 등을 사용한다. 이에 따라 본 연구에서는 시멘트, 플라이애시 및 메타카올린과 알칼리 용액과 펄라이트 및 유리 발포 경량골재를 이용하여 알칼리 활성화 내화 마감모르타르 제조하고 효용성을 여부를 확인코자 한다.

<표 3.15> 시멘트계 재료의 고온 특성

Temperature	Temperature effects on chemical composition
30~200℃	- Expulsion of evaporable water from cement paste
30~300℃	- Begining of dehydration of cement gel - Calcium silicate hydrates(C-S-H) Dehydration of 100~130℃, Decompostion of 700℃ - Ettringite : $C_3A_3CSH_{32}$ Dehydration of 160~180℃ and 250~270℃ - Monosulfate : C_3ACSH_{12}
120~600℃	Dehydration of 50~150℃, 200℃ and 300℃, Transformation of C_3ACSH_{12} to C_4A_3S and CaO - Calcium hydroxide : $Ca(OH)_2$: CH Decompostion of 450~500℃, $Ca(OH)_2 \rightarrow CaO + H_2O$

나. 경량 내화 마감 모르타르

내화 마감모르타르는 경량이며 고온에서 안정하며 열전도율이 낮아야만 구조체 보호에 유리하다. 또한 실제로 내화용 뿜칠재료나 마감재료 등은 경량재료인 질석, 펄라이트 및 경량골재 등을 주로 사용한다. 또한 콘크리트나 철재의 표층면에 부착시켜야 하므로 강도가 낮은 경우 충격이나 진동으로 인한 탈락이 발생하기도 한다. 또한 고강도콘크리트 기둥과 같은 부위는 상시 접촉에 의한 충격이 발생할 가능성이 높으므로 대응할 수 있는 강도가 요구된다. 국내에서 사용하는 단열소재 중 경량골재는 대부분 수입에 의존하며 수입가격도 톤당 약 15~20만원 전후이다. Yujin Corp.에 따르면 국내에서도 하수나 정수슬러지와 플라이애시 등을 혼합하여 경량골재로 제조하기 위해 연구가 진행되고 있으나 1,100℃ 이상의 고온에서 소성해야 하는 단점이 있고 고가일수 밖에 없어 시장형성이 매우 어렵다. 그러므로 소성온도가 낮고, 단열특성 등 물리적 특성이 우수한 제품이 개발될 경우 시장창출은 충분히 가능하며 새로운 영역으로의 응용도 가능하다.

본 연구에서는 경량 마감모르타르의 적용을 위해 유리분말을 경량골재의 바인더로 적용하는 경우 낮은 온도에서 소성이 가능하고 닫힌 공극으로 표층부가 구성되기 때문에 흡수율이 낮은 골재를 제조할 수 있다는 점을 착안하여 유리분말을 플라이애시와 혼입하여 경량골재를 제조하였다. 제조공정은 유리분말을 원료로 하여 플라이애시 혼합물에 발포제를 섞어 발포소재를 제조하기 위한 혼합물을 만들며 고온에서 발포시켜 소성한다. 발포제인 규산나트륨, 탄산칼슘 및 그라파이트의 고온에서의 반응을 기본으로 규산나트륨은 점도를 조절하며 탄산칼슘은 약 820℃ 전후의 열분해와 그라파이트는 O2와의 반응에서 발생하는 CO2 가스에 의한 발포를 한다.

다. 사용재료 및 시험방법

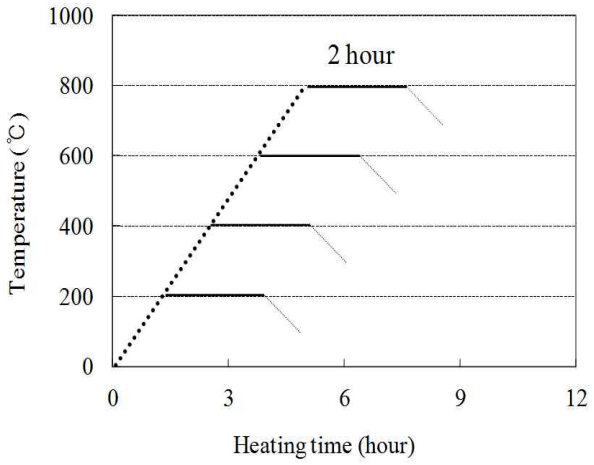
(1) 사용재료

본 연구의 내화 마감모르타르 제조에 사용되는 주 재료로는 시멘트, 플라이애시, 유리분말 및 메타카올린과 알칼리 활성화 반응을 유도하기 위한 수산화칼륨 용액이다. 플라이애시는 하동화력에서 생산되는 플라이애시이며, 메타카올린은 국내 시판 제품을 사용하였다. 알칼리 활성화 용액은 2몰의 수산화칼륨 용액을 사용하였다. 또한 단면결손을 방지하기 위해 수증기압 저감에 효과가 뚜렷한 폴리프로필렌섬유(이하 PP섬유)를 사용하였고 시공성 확보를 위해 6mm의 단섬유를 사용하였다. 또한 경량화를 도모하기 위해 골재는 펄라이트와 유리 발포 경량골재를 이용하였다. 펄라이트는 일반 시판품을 사용하였으며 유리 발포 경량골재는 직접 제조하여 사용하였다. 유리 발포 경량골재는 일반 경량골재와 달리 낮은 온도에서 성형이 가능하고 표면이 치밀하며 밀도 및 흡수율이 낮은 특징을 지닌다. 내화 마감모르타르는 시공시의 유동성을 확보하기 위해 플로우치 180±10mm로 하였다.

(2) 시험체 제작

내화 마감모르타의 배합은 혼합용적 5.7L의 강제식 믹서를 이용하였으며, 재료투입은 재료의 균질성을 위하여 선 비빔을 실시하였으며 이후 KS L ISO 679에 의거하여 제조하였다. 제조된 내화 마감모르타르를 바탕으로 강재형틀을 이용하여 50×50×50 mm의 시험체를 제작하였다. 제작된 시험체는 항온항습 챔버를 이용하여 온도 23±2℃, RH 95% 이상의 조건에서 표준양생을 실시하였다.

내화 마감모르타르의 고온특성을 파악하기 위한 가열곡선을 그림 3.26에 나타내었다. 가열은 프로그래밍이 가능한 전기로를 이용하였고 가열온도는 200℃, 400℃, 600℃, 800℃이다. 승온속도는 분당 5~10℃로 1시간 이내에 다음 온도단계에 도달할 수 있도록 하였다.



[그림 3.26] 내화마감몰탈 가열 온도 그래프

(3) 재료특성 평가

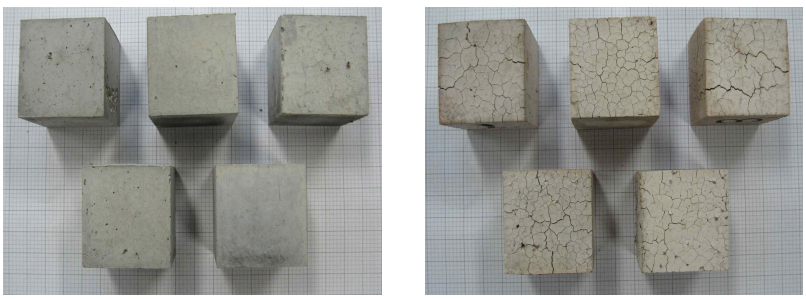
고온시의 재료특성 평가는 상온과 고온에서 2시간 동안 가열한 후 상온으로 되돌린 후 밀도와 압축강도를 측정하였다.

또한 단열성능을 측정하기 위해 KS L 9016의 열전도율 시험방법에 의하여 측정하였고 시험체의 크기는 200×200×30mm 이었다. 열전도율은 평판의 상판와 하판의 온도를 달리하여 열확산에 의해 평형상태에서 측정한다. 또한, XRD 및 TG-DSC 분석을 통하여 내화 마감모르타르의 특성을 평가하였다.

라. 실험내용

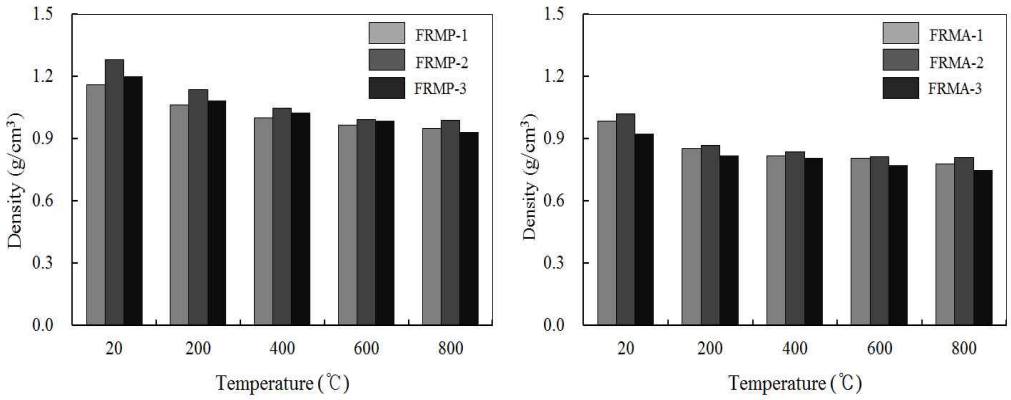
(1) 고온시의 밀도변화

내화 마감모르타르를 800℃에서 2시간 가열한 후의 형태변화를 Fig. 7에 나타내었다. 내화 마감모르타르는 표면에서 내부로 이어지는 균열이 발생하였으나 형태를 유지하고 있는 것을 확인 할 수 있었다. 내화 마감모르타르의 밀도변화는 그림 3.28과 같다. 고온가열 후 시험체는 결합수의 탈수와 신축에 의한 균열이 발생하였고 상온으로 방치한 후 시간의 경과에 따라 균열 정도가 더욱 진행되었다. 상온에서 FRMP-1, 2, 3 시험체의 밀도는 약 1.15, 1.28, 1.20g/cm^3 이었으며, FRMA-1, 2, 3 시험체의 밀도는 약 0.98, 1.03, 0.93g/cm^{3}으로 나타나 경량임을 확인 할 수 있었고 마감모르타르로서 바탕면에 부착하는 경우 중량에 대한 부담이 적다. 이는 펄라이트와 유리 발포 경량골재의 밀도가 낮은 결과로부터 기인한다. 내화 마감모르타르 시험체의 밀도는 가열온도가 상승할수록 감소하는 경향을 보였다. 또한 100~200℃ 전후에서 밀도변화가 크게 나타났는데 이는 다공체인 펄라이트나 경량골재가 수분을 함수한 상태에서 100℃ 이상의 고온에서 내부의 수분이 증발함에 따라 밀도변화도 크게 나타난 것이다. FRMP 및 FRMA 시험체 모두 600~800℃에서 약 15~22%의 감소율을 보였으며 가열온도가 증가함에 따라 밀도변화도 크게 증가하였다. 또한 유리 발포 경량골재를 이용한 FRMA 시험체는 가열온도의 증가에도 밀도감소의 변화가 적게 나타났다. 이는 경량골재의 흡수율이 적어 골재의 내부에 수분을 함수하고 있는 비율이 펄라이트보다 작기 때문이다. 전체적으로 펄라이트를 사용한 FRMP 시험체는 온도증가에 따라 완만하게 중량이 감소하였고 FRMP 시험체는 100℃ 전후에서 밀도변화가 크게 나타나고 이후는 완만하게 감소하는 경향을 보였다. 전체적으로 FRMP 시험체 보다 약간 감소의 정도가 크거나 같은 정도이다.

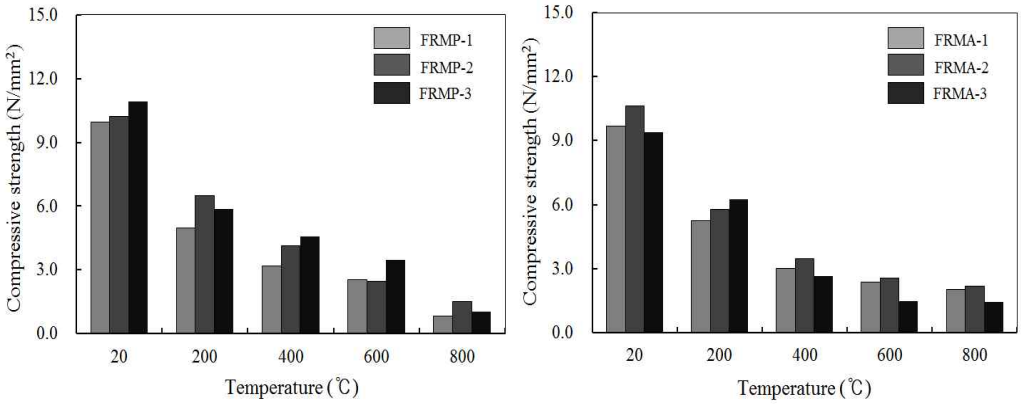


〈Before〉 〈After〉

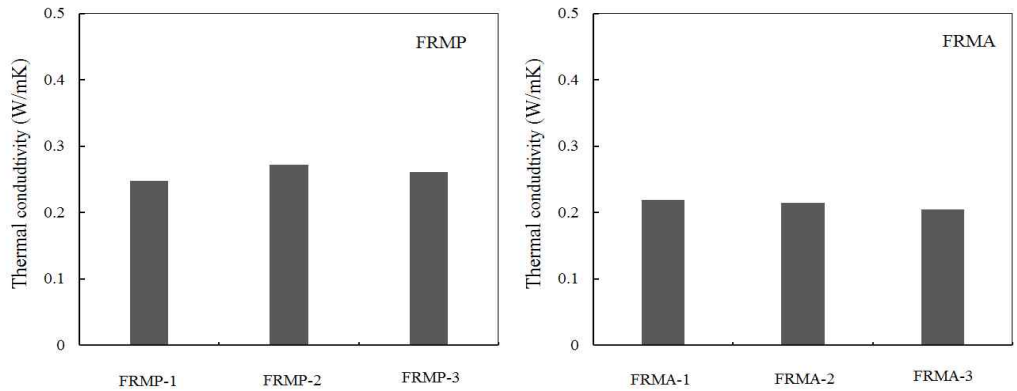
[그림 3.27] 내화성 시험 전후



[그림 3.28] 내화마감몰탈 밀도-온도 그래프



[그림 3.29] 내화마감몰탈 압축강도-온도 그래프



[그림 3.30] 내화모르타르의 열전도율

(2) 고온시의 강도변화

내화 마감모르타르의 압축강도 변화를 그림 3.29에 나타내었다. 상온에서 FRMP-1, 2, 3 시험체의 압축강도는 약 10.0, 10.2, 10.9 N/mm2 이었고, FRMA-1, 2, 3 시험체의 압축강도는 약 9.7, 10.6, 9.4 N/mm2이었다. 800℃에서 2시간 가열한 후의 압축강도는 FRMP-1, 2, 3가 약 0.8, 1.5, 1.0N/mm2 이었고, FRMA-1, 2, 3 시험체의 압축강도는 약 2.0, 2.2, 1.4 N/mm2이었다. 시험체 모두 가열온도가 증가할수록 압축강도는 감소하였다. 이는 시멘트 결합재에서도 보이는 일반적인 경향이며 내화 마감모르타르가 플라이애시와 알칼리 용액의 활성화 반응 이외에도 시멘트가 바인더로 일부 들어가 있으므로 영향을 받았다. 또한 가열온도의 증가에 따라 점진적으로 감소하는 경향을 보였으며 특히 200℃ 전후에서 강도의 감소가 크게 나타났다. 내화 마감모르타르는 시멘트 경화체에서 보이는 200~400℃ 범위에서의 강도증가와 상이하다. 또한 알칼리 활성화에 의한 결합에서 보이는 강도특성과도 다소 상이한 경향을 보였다. 이는 알칼리 결합재의 몰비가 적고 경량골재의 사용 등 경량화에 따른 결과로 인한 것이다. 따라서 고온에서의 강도감소의 범위가 크게 나타나므로 마감재의 경량화를 위해서는 적절한 배합의 조절이 필요할 것으로 판단된다.

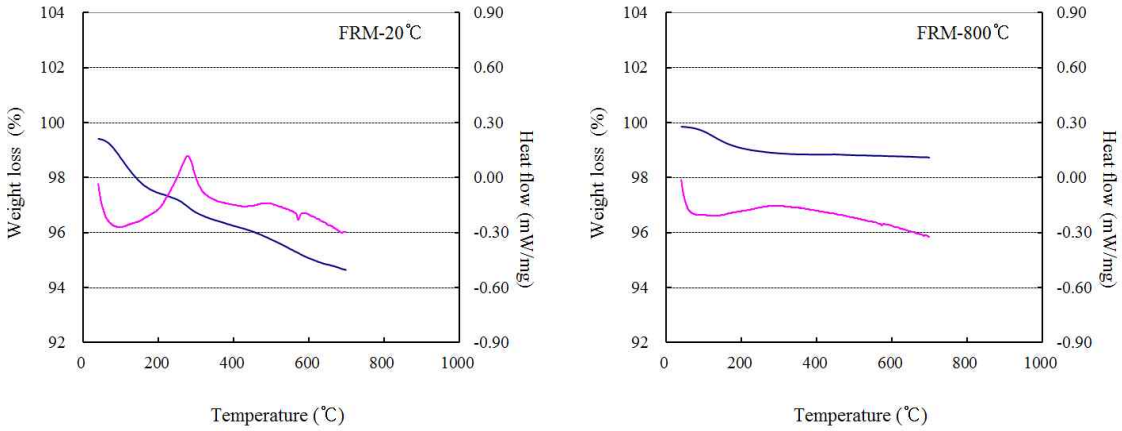
(3) 열전도율

내화 마감모르타르의 열전도율을 그림 3.30에 나타내었다. 평판법에 의한 FRMP-1, 2, 3 시험체의 열전도율은 약 0.247, 0.272, 0.260 W/mK 이었고, FRMA-1, 2, 3 시험체의 열전도율은 약 0.218, 0.214, 0.204 W/mK 이었다. 시험체 모두 비교적 낮은 열전도율을 보여 화재 발생시 외부의 고온을 내부로의 전도를 차단하여 부재의 온도상승을 늦출 수 있을 것으로 판단된다. 이는 펄라이트와 경량골재의 다공성에 기인한 것으로 내화 마감모르타르로 적용하는 경우 매우 유리한 조건이 된다. 실제로 콘크리트 부재의 경우 내화성능의 판정은 철근의 온도로부터 평균 538℃ 최고 649℃로 판정하므로 열전도율이 낮은 내화 모르타르로 마감을 실시하고 고온에서 안정하다면 판정에 보다 유리하게 작용할 수 있다.

(4) 고온에서의 특성

내화 마감모르타르의 TG-DSC 결과를 그림 3.31에 나타내었다. 열분석 결과 시멘트 경화체에서 수산화칼슘의 존재를 확인할 수 있는 450~500℃ 부근의 흡열피크와 90~108℃ 부근에서 나타나는 C3A3CSH32 피크를 확인할 수 없었다. 일반적으로 수산화칼슘은 시멘트를 주 바인더로 사용하는 수화물에서 나타나며 Ca(OH)2가 CaO+H2O로 분해된다. 또한 XRD 에서도 20~40° 범위에서 브로드한 피크를 보였는데 이는 비정질 구조에서 볼 수 있는 구조이며 시험체 모두 동일하게 나타났다. 이는 알칼리 활성화제에 의해 반응되어 Alumino-silicate 겔이 형성되었음을 나타낸다. 또한 700℃까지 약 6% 내외의 중량감소를 보이며, 280℃ 부근에서 발열반응을 통한 결정화가 발생한 것으로 판단된다. 800℃로 가열한 내화 마감모르타르의 TG-DSC에서는 수화생성

물이 열분해된 것을 알 수 있다. 이는 XRD에서도 동일하게 고온으로 올라갈수록 Quartz와 CSH의 강도세기가 작아져 수화생성물들이 분해된 것임을 알 수 있었다. Song에 따르면 일반적으로 시멘트수화물의 경우 수화에 의해 CSH계 수화물, 수산화칼슘이 생성되어 가열온도의 상승에 따라 화학적으로 결합된 수분이 탈수하여 밀도 및 강도저하가 발생한다. 또한 450~500℃에서 수산화칼슘이 열분해되어 강도의 감소가 크게 나타나며 내화성능을 저하하므로 온도판정이 되는 기준온도로 사용하기도 한다. 한편 알칼리 활성화제에 의한 결합은 플라이애시 및 메타카올린이 활성화제에 의해 응결 경화과정을 거치며 고온에서 활성화되므로 강도의 증가가 크다.



[그림 3.31] 내화마감모르타르의 TG-DSC

6. 경량세라믹보드(시멘트계)

ALC는 강도가 우수하고 시공이 용이하며 내화성을 갖고 있으며 인체에 무해한 장점이 있다. 하지만 비중이 높고 열전도율이 높아 단열특성이 불량한 단점이 있다. 시멘트계 세라믹보드는 이러한 단점을 개선하여 비중 및 열전도율이 낮아 외장재로 사용하기에 유리하다. 건축물에 적용할 경우 불에 타지 않고 유독가스를 발생하지 않으며 다공성의 소재로 흡음성이 뛰어나다.

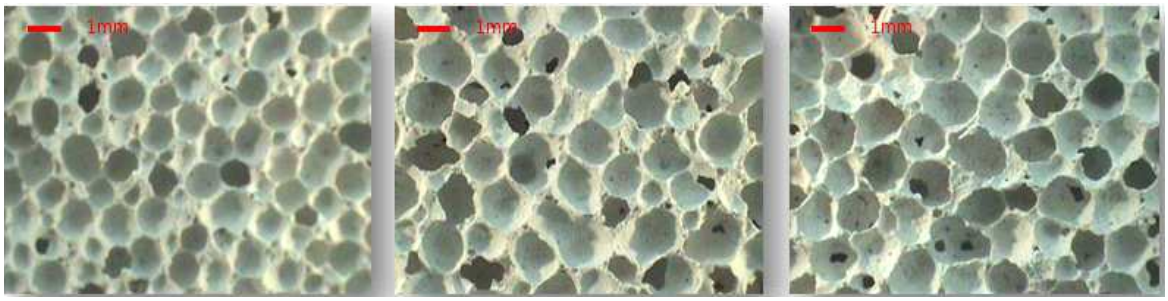
경량 세라믹보드는 시멘트, 규석, 석고를 주원료로 배합하여 사용하였다. 저비중의 단열소재를 제조하기 위하여 시멘트는 분쇄하여 사용하고 시멘트의 입도에 맞게 규석도 분쇄하여 사용한다. 기포를 생성하기 위해서 발포제를 사용하며 알루미늄 기포제를 사용한다. 발포제의 함량은 1% 수준이나 밀도 및 강도를 조절하기 위하여 함량을 조절하여 사용한다. 혼합상태는 슬러리의 상태로 슬러리의 점도에 의해 균일한 기공이 형성되므로 발포제, 원료의 입도가 중요하다. 또한, 원료의 분쇄 조건에 의하여 열전도율 및 밀도가 변하므로 주원료인 시멘트의 입도 조절이 가장 중요하다. 또한 소재의 matrix 부분도 매우 중요하며, 이는 matrix를 형성하는 수열합성 생성물의 종류에 따라 강도값이 변화하기 때문이다. 즉 수열합성 생성물은 수열합성 온도·시간에 따라 다양한 수화물을 생성하며, 이들 생성물은 각기 다른 물성을 발현한다는 것이다.

또한 원료의 순도 및 입도 등도 생성물의 물성을 좌우하며, 특히 규석의 입도는 압축강도와 더불어 수축율에도 영향을 미치는 요소이다.

이러한 시멘트계 세라믹보드는 분말의 재료를 혼합통에 넣어 혼합수를 넣고 믹싱하여 제조하며 수열합성을 위한 오토클레이브를 사용하여 제조한다. 이렇게 제조된 시멘트계 세라믹보드의 물성은 아래의 표와 같다.

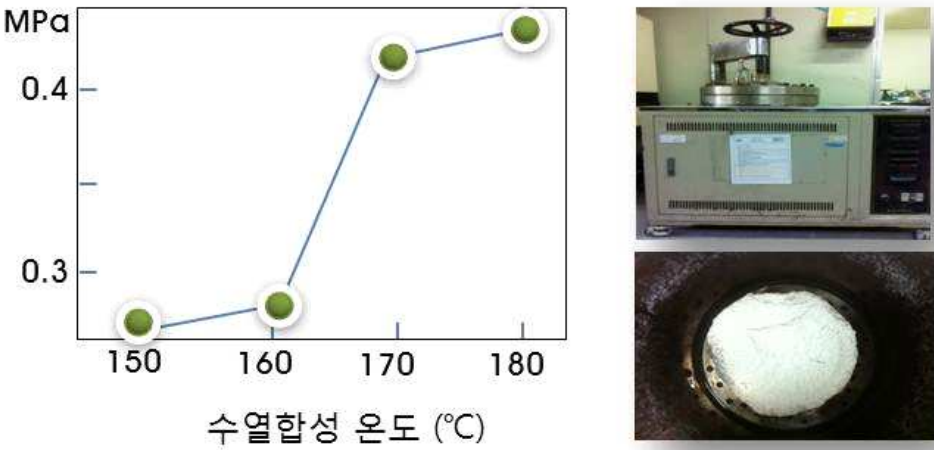
<표 3.16> 배합비

구 분	No.1	No.2	No.3	No.4
규 석	40	35	30	25
시멘트	45	50	55	60
생석회	10	10	10	10
무수석고	5	5	5	5



(a) 0.3 % (b) 0.4% (c) 0.5 %

[그림 3.32] 발포제 함량별 기공



[그림 3.33] 수열합성 온도에 따른 압축강도



시 료 명 : 경량 세라믹 단열재-1

시 험 결 과

시험항목	단위	시료구분	결과치	시험방법
압축강도	N/㎟	-	0.5	의뢰자제시규격(*)
휨강도	N/㎟	-	0.3	의뢰자제시규격(*)
절건 비중	g/㎤	-	0.138	의뢰자제시규격(**)
열전도율(평균온도: 20 ℃)	W/(m·K)	-	0.045	KS L 9016 : 2010(평판열류계법)

(*)KS L ISO 679 : 2006(준용)
(**) KS F 2701 : 2012(준용)

[그림 3.34] 시험성적서

7. 외벽 단열용 초경량 세라믹 불연 단열재 생산 및 양산화 기술

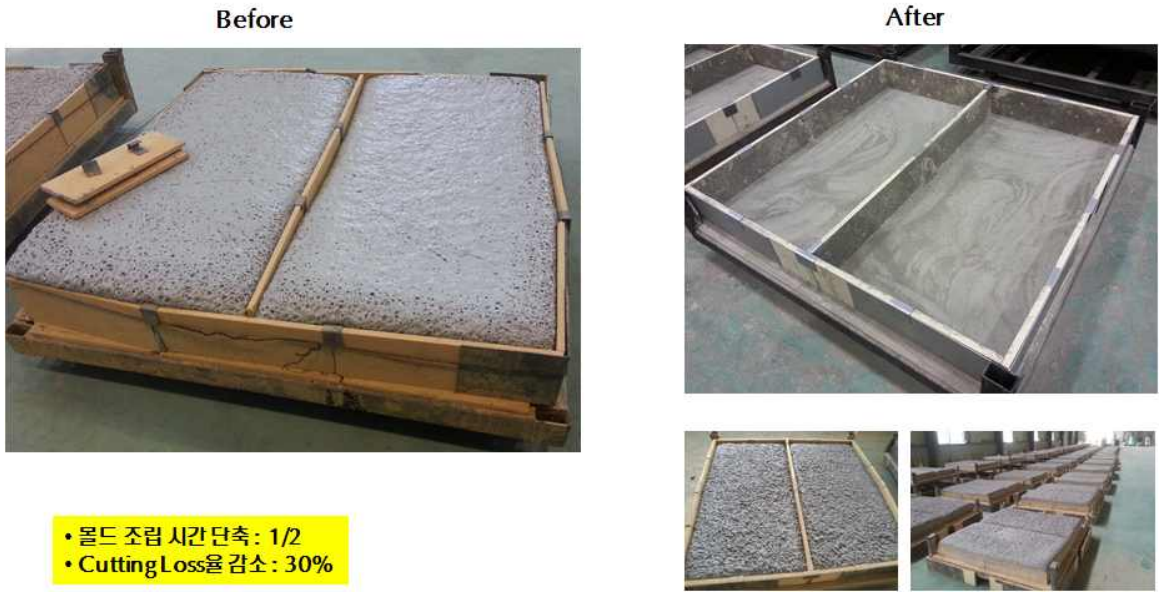
가. 대량 생산을 위한 전용 도가니 개발

본 과제를 통하여 양산용 몰드(15EA) 추가 구매와 새로운 디자인의 세라믹 도가니를 준비하였다. 새로운 디자인의 도가니가 가져다 준 효과는 다음과 같다.

① 위 그림에서 보는 바와 같이 소결 제품의 형태가 직사각형(커팅 시 600*1200 size)에 근접하게 생산할 수 있게 되어 cutting 시 loss율을 약 30% 절감할 수 있게 된다.

② 소결 준비 과정에서 몰드를 조립하고, 재료를 담는 시간을 기존 대비 약 1/2로 단축하여 생산성 향상에 큰 진전을 이룸. 기존의 도가니는 450mm x 450mm x 15T의 정사각형 알루미나를 별도의 체결 장치 없이 몰드위에 9장을 깔아 놓았는데, 열처리 과정에서 SUS 재질의 몰드가 팽창 수축할 때 재료가 벌어진 틈으로 떨어지거나, 또는 발포된 채로 남아 있어서 후속 작업에 많은 시간을 투여할 수밖에 없었다. 새로운 디자인의 도가니는 450mm x 450mm의 정사각형 알루미나를 나비 모양의 체결구로 연결함으로써 열처리 과정에서 몰드의 팽창, 수축에도 틈이 벌어지지 않게 함으로써 기존의 문제점을 해결할 수 있었고, 후속 작업 시에도 틈새에 끼인 재료를 털어낼 필요가 없어서 시간을 크게 단축할 수 있었다.

③ 제품의 균일성 확보에 도움이 됨. 기존 도가니의 경우 열처리 시 벌어진 틈으로 열이 직접 전달되어 그 부위가 발포 정도가 커서 결과적으로 바둑판 모양으로 약해지는 현상이 있었는데, 새로운 도가니에서는 이러한 현상을 제거할 수 있었다.



[그림 3.35] 세라믹 도가니

나. 건조기 열원 교체에 따른 건조 속도 향상

과제 시작 이전에는 연속 열처리로의 폐열을 끌어다가 건조기에 투입하는 시스템으로 건조시스템을 구성함. 폐열을 사용한다는 측면에서는 에너지 절감 효과가 있으나, 한편으로는 열처리를 하지 않을 때에도 열원을 켜야 하는 문제와, 열처리시 열을 빼앗기므로 제품 발포에 영향을 주었다.



[그림 3.36] 건조시설

또한 간접열이다 보니 건조속도도 1ton을 건조하는데 약 1시간 30분이 소요되었음. 본 과제의 과제비로 변경한 것은 아니나, 사업화 속도를 높이기 위해 건조기 열원을 분리하고, LPG 연료를 이용한 버너 직분사 방식으로 열원을 변경하였다.

그 결과, 1ton을 건조하는데 약 30분으로 기존 대비 1시간을 단축하였고, 건조물의 품질도 안정화되었음. 또한 필요시에만 가스를 이용하므로 장기적인 측면에서도 에너지비용을 절감할 수 있게 되었다.

다. 연속 cutting 시스템 구축

발포세라믹 보드는 주 성분이 SiO2로서 커팅 시 톱날의 마모도가 심하고, 많은 열을 발생시키므로 건식 커팅방식으로 폭 600mm의 제품을 1200mm의 길이만큼 평활하게, 빠른 속도로 slicing하는 것이 결코 쉬운 일이 아니다.

지메텍은 많은 시행착오를 거쳐 1200mm의 길이를 20초 안에 평활도 높게(+-0.25m) 자를 수 있는 커팅 머신 및 적합한 톱날을 구축하였고, 금번 과제 기간 동안 이러한 톱 두 대와 컨베이어 시스템을 추가하여 연속 커팅 시스템으로 구축하였다.

그 결과, 커팅머신 1EA로 하루에 100장을 자르던 것을 3EA를 이용하여 400~600장 이상 자를 수 있게 되었다.



[그림 3.37] 커팅기

라. 원재료 단가 인하 및 전략적 공급처 확보

주 사용 재료 중 하나인 폐유리분말은 유리의 종류에 따라 성분과 열처리 조건이 다르다. LCD유리는 강도가 높은 대신 융점이 가장 높고(800oC이상), 소다유리(판유리, 병유리)는 가장 쉽게 구할 수 있는 재료로서 중간 정도의 강도와 융점(700oC이상), 브라운관 유리는 융점이 낮은 대신(600oC 대) 강도는 가장 낮다.

지메텍은 2013년도까지 주로 소다유리를 주재료로 사용함. 그러나 시장의 요구상(Dark Gray 색상의 제품 요구) 이를 만족시킬 수 있는 브라운관 유리를 사용하게 되었고, 유리 공급업체와의 전략적 협력을 통해 단가를 200원/kg으로 약 43%를 절감하기에 이름. 또한 앞서 언급한 바와 같이 성형온도를 약 100oC 정도 낮춤으로써 전반적으로 제조원가를 크게 절감할 수 있게 되었다.



[그림3.38] 원재료의 다양화

마. 제품 개발 및 양산 실시 결과

(1) 양산용 원재료를 이용한 제품 개발

지메텍은 2011년부터 본격적으로 건물 외벽용 단열재를 개발하기 시작하였다. 이는 중국 외단열재에 관한 법령이 변경되어 중국 대형 건설업체 중 하나인 WANDA 그룹의 요청에 의해서 시작되었다.

당시에 플라이애쉬 및 유리분말을 가지고 확보한 열전도율 최고 수준은 0.078W/m.K였다. 그러나 궁극적으로 0.06W/m.K 이하의 제품을 만들기에는 역부족이었고, 어쩔 수 없이 Fumed Silica라는 고순도 원료를 이용하게 되었다.

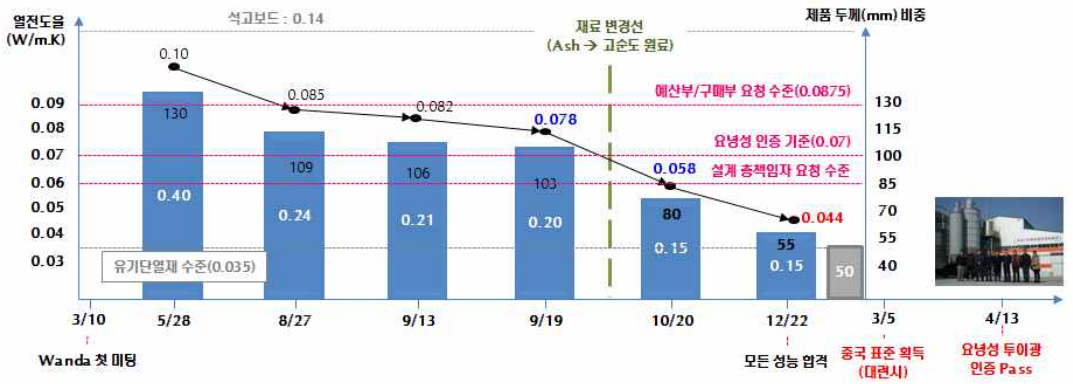
그러나 Fumed Silica는 단가가 비싸고(kg당 4,000원 선), 너무 가벼워서 제조공정상 이송과 혼합에 어려움이 있어 양산성에 큰 의구심을 갖게 됨. 따라서 2012년부터 약 2년간 Fumed Silica를 대체할 수 있는 중공구체 위주로 대체 원료를 찾기 시작하였고, 그 결과 Micro Cell과 같은 소재를 이용하여 같은 결과를 얻기에 이르렀다.

그러나 Micro Cell을 이용한 제품은 낮은 비중과 훌륭한 단열 성능을 가지고 있지만, 흡수율이 너무 높다는 단점을 가지고 있었다. 이를 극복하기 위해 발수성 재료를 사용하기도 해 보았지만 궁극적인 대안이 될 수는 없었다. 따라서 과제를 시작한

2014년부터 다시 기본 원료인 플라이애쉬 및 유리분말을 가지고 발포유리와 같은 성능을 내기 위한 개발을 몰두하였으며, 현재 비중 0.14에 열전도율은 0.055W/m.K 수준의 제품을 생산하기에 이르렀다.

<표 3.17> 제품 개발 단계

단계	주사용 원재료	성능	비고
초기 단계 (~ 2011)	Fumed Silica	- 비중 : < 0.2 - 열전도율: 0.044W/m.K	- 단가가 비쌈(kg당 4,000원) - 제조 공정상 혼합이 용이치 않음
중기단계 (~ 2013)	Micro Cell, SSP	- 비중 : 0.13 - 열전도율: 0.044W/m.K	- 단가 여전히 비쌈(kg당 1,000원) - 습기에 취약함 - 제조 공정상 혼합이 용이치 않음
현재 (2014 ~)	Cullet, CFA	- 비중 : 0.14 - 열전도율: <0.055W/m.K	- 제조원가 낮음 - 제조 공정상 어려움 없음 - 열전도율을 더 낮춰야 함



[그림 3.39] 단열재 생산과정

(2) 양산 수행 결과

1차년도 상반기에는 주로 Lab 테스트를 통해서 다양한 조건을 실험하였고, 9월부터 본격적으로 양산 로를 이용하여 양산성 테스트를 수행하였다.

Lab에서 0.25정도의 비중이었던 제품이 실제 양산에 들어갔을 때에는 0.26~0.28로 다소 높게 형성되었다.

이는 로 상부와 하부의 편차에 의해 평균적인 density가 높게 나온 것으로 볼 수 있는데, 이러한 제품의 열전도율은 0.073W/m.K 수준임. 지속적으로 열처로 조건을

Tunning하면서, 기존 조성으로는 density를 낮추는데 한계가 있음을 깨닫고 9월 말경 조성을 변경하기에 이르렀다.

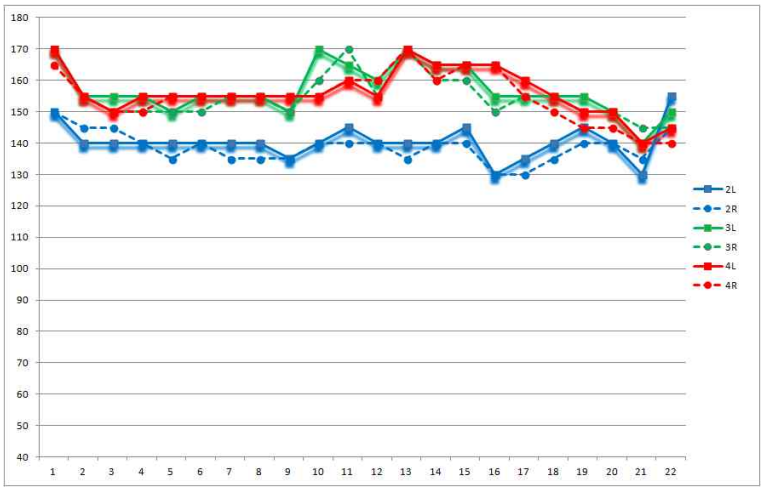
주 재료는 유리분말과 Sodium Silicate 및 첨가물로. 그 결과, 표에서 보는 바와 같이 비중 0.2에 열전도율 0.062W/m.K 수준의 제품을 첫 양산하는데 성공하였다.

<표 3.187> 단열재 양산 일지

날 짜	수량 (Block:1200*600 *150T)	Density	Yield	비고
14.09.01	48	0.27	100%	0.073W/m.K
14.09.03	84	0.28	97%	
14.09.05	84	0.28	93%	
14.09.11	132	0.26	98%	온도 조건 조정
14.09.14	132	0.27	95%	
14.09.25	24	0.20	100%	조성 변경, 0.062W/m.K
	24	0.27	88%	비교군



[그림 3.40] 비중 0.25 제품의 Fab out 사진



[그림 3.41] 대차별 몰드 상하부 및 좌우측 제품의 두께 안정화 현황

위 그래프는 총 22개의 대차를 운용 시 1번 대차로부터 22번 대차까지 몰드의 각 층별로 또는 좌우측별로 제품의 두께를 도시한 것이다. 최상부인 4층과 3층의 경우 큰 두께 편차 없이 평균 155mm의 두께를 보이고 있으며, 최하부인 2층의 경우 평균 140mm로 상부에 비해 약 10% 정도 density가 올라감을 알 수 있다.

그러나 이는 하부의 경우 열량을 덜 받기 때문에 재료 투입도 그만큼 적게 한 것으로 상하부의 density 편차가 거의 없음을 나타냈다.



[그림 3.42] 비중 0.25 제품의 측면 기공 사진



[그림 3.43] 비중 0.25 제품의 기공 사진

비중 0.25인 제품의 기공 사진을 보면 기공의 모양은 바람직하게 구형으로 형성되었는데, cell 벽의 두께가 아직은 두꺼움을 알 수 있다. 셀벽의 두께가 결국 비중을 더 낮추는데 걸림돌로 작용하고 있음을 알 수 있다.

비중 0.2 제품에서는 플라이애쉬를 사용하지 않고 유리분말을 주재료로 함. 플라이애쉬는 강도를 높이는 효과가 있으나 비중을 높이는 역할도 하는 것으로 판단하였기 때문임. 대신 하단의 기공 사진에서 볼 수 있듯이 기공의 형상이 일정하지 않음을 알 수 있다.



[그림 3.44] 비중 0.2 제품의 Fab-out 사진



[그림 3.45] 비중 0.2 제품의 셀 사진

(3) 향후 개발 과제

최근 연속로가 아닌 고정형 대형로에서 유리분말과 플라이애쉬, sodium silicate를 주재료로 하여 비중 0.14의 제품을 시험생산하기에 이름. 이 개발제품의 성능은 아래의 표와 같다.

표 3 성능 향상 2차년도 양상 적용 시작품 시험 결과

구분	시험 값	목표치	비고
1. 열전도율	0.053 W/mK	0.06 W/mK 이하	
2. 압축강도	1.0 MPa	0.7 MPa 이상	
3. 휨강도	0.4 MPa	0.1 MPa 이상	
4. 흡수율	7.1 %	10 %	
5. 밀도	0.14 g/cm3	0.2 g/cm3 이하	
5. 동결융해성능	이상없음	이상없음	
6. 불연성	불연	불연	

8. 소결

본 연구에서 기본원료들의 특성을 분석·평가한 결과 경량세라믹보드를 제조하는데 발포제는 그라파이트와 소듐실리케이트를 사용하는 것이었다. 이를 이용하여 소성된 경량세라믹보드의 내부 기공특성은 소재의 물성과 충분한 상관관계를 나타내었으며 이를 토대로 경량세라믹보드를 제조하였다.

가. 유리분말은 SiO_2(71.9%), Na_2O(15.2%), CaO(7.4%)이 주요성분이고 플라이애시는 SiO, AlO_3, FeO_3이 주요 성분이었다. 혼합물의 열분석 결과 융점은 720℃이상으로 추정 할 수 있었다.

나. 발포제의 종류 및 함량에 따라 차이가 관찰되었고 밀도를 무시한 경우 소듐실리케이트 30%, 탄산칼슘 2%를 치환한 시험체의 압축강도가 가장 높았으며 24MPa이다.

다. 탄산칼슘과 그라파이트는 각각 1%이하로 첨가해야 공극의 크기가 일정하고 적당한 크기로 발포되며, 물유리를 기본으로 공극의 조절을 위한 첨가제로 넣어야한다.

라. 경량세라믹보드의 물성 및 내동해성 실험결과 시공가능한 강도를 확보하였고 동결융해에 대한 저항성이 좋아 외장재로 적용이 가능할 것으로 나타났다.

마. 열방출률 실험결과 경량세라믹보드는 불연, 준불연에 준하는 성능을 나타내었고 화재확산 방지를 위한 재료로 적합한 것으로 판단된다.

바. 내화 마감 모르타르는 가열온도의 증가에 따라 밀도 및 강도는 감소하며 변화량이 커지는 경향을 보였으며 100~200℃ 범위에서 변화가 크게 나타났으며 이는 수분의 증발 및 수화물의 탈수에 의한 것이다.

사. 내화 마감 모르타르의 열전도율은 시험제 모두 0.204~0.272 W/mK의 범위로 비교적 낮아 내부로의 열전도를 차단하여 부재의 온도상승을 늦출 수 있어 화재발생시 유리하다.

아. 내화 마감모르타르는 알칼리 활성화에 의한 결합과 마감재의 경량화를 도모한 것으로 펄라이트 및 유리 발포 경량 골재의 영향을 받아 강도변화의 폭이 크므로 적절한 배합조건의 선정 및 사전검토가 필요하다.

자. 경량세라믹보드의 양산을 위하여 대량 생산을 위한 전용 세라믹 도가니를 개발하고, 건조기의 열원을 교체하여 안정적인 품질확보 및 에너지 비용의 절감이 가능하엿으며, 제품의 수요에 따른 절단을 위하여 연속 cutting 시스템을 구축하였다.

아. 제품의 경제적 생산을 위하여 원재료의 단가 인하 및 전략적 공급처를 확보하고, 이를 이용하여 1차 제품을 양산하였으나, 열전도율 목표치에 도달하지 못하였으나, 2차 생산에서는 열전도율 0.06 w/mK의 목표치를 달성하였다.

제2절. 불연성 단열재 적용 외단열 시공기술 개발

1. 외단열 시공기술 개발을 위한 기술개발 방향 설정

가. 국가별 외단열 관련 규정 조사

각 국가별로 건축물의 수직 외벽체의 화재확산 방지를 위한 관련 규정을 조사하여 정리하고, 외단열 시공기술 개발에 적용할 수 있는 방안을 검토하였다.

(1) 뉴질랜드

뉴질랜드 건축규정(Building code)은 Acceptable Solution(AS)이라 불리는 허용규정을 명시한 성능기반 규정과 성능 요구사항을 만족시키기 위하여 화재공학 분석에 기반한 성능 해석에 의해 입증된 해결방안을 선택하여 적용할 수 있다.

(가) 외벽 재료

외벽시스템의 화재성능 관련 기준은 건물 높이, 스프링클러 여부, 대지경계거리 등을 고려하여 다음과 같이 외벽재료를 규정하고 있다.

<표 3.19> 뉴질랜드 외벽재료 규정

건물 용도	요구사항	
	경계거리 및 건물 높이	복사열 50kW/m^{2}에서 15분동안 콘칼로리 시험시 요구사항
주거용 건물AS2 공공시설 및 교육시설 AS4 사무용 상업용 건물, 저층 창고 AS5 고층 창고 및 고위험군 AS6	경계거리<1.0m,	최대 열방출량 100kW/m^{2}이하, 총 방출열량 25MJ/m^2 이하
	경계거리<1.0m, 건물높이 >7.0m	최대 열방출량 150kW/m^2 이하, 총 방출열량 50MJ/m^2 이하
병원, 교도소 AS3	경계거리<1.0m, 또는 건물높이 >7.0m	최대 열방출량 100kW/m^2 이하, 총 방출열량 25MJ/m^2 이하
	경계거리≥1.0m, 또는 건물높이≤7.0m	최대 열방출량 150kW/m^2 이하, 총 방출열량 50MJ/mV 이하

위의 표는 두께 표면 마감재가 두께 1mm 이하이거나 불연성 바탕체에 직접 부착하

는 경우, 또는 전체 벽 시스템이 NFPA 285에 따라 대형 실험을 수행하여 통과한 경우 또는 건물에 스프링클러가 설치되고 건물 높이가 25m 이하인 경우 적용하지 않는다.

(나) 내화충전재(Fire stop)

내화충전재는 모든 방화구획 내의 틈을 충전하는 것으로 커튼월과 같은 슬래브와 내부벽사이의 틈을 포함한다. 내화충전재는 방화구획에 요구되는 내화성능을 갖고 있어야 한다.

미네랄울 방화충전재(최소 50mm 두께)는 3층 이상의 가연성 외장 단열재를 사용하는 건물에 요구되며 2층 이하의 간격으로 클래딩 시스템에 설치해야 한다.

(다) 수직 개구부 간 분리

방화구획으로 분리된 외부 벽체의 상하 개구부 사이는 바닥이 상하 방화구획을 분리하는 것처럼 스팬드럴이나 수평돌출부로 분리되어야 한다.

<표 3.20> 수직개구부 간 분리방식

수평돌출부(m)	스팬드럴 높이(m)
0.0	1.5
0.3	1.0
0.45	0.5
0.6	0.0

(2) 영국

잉글랜드와 웨일즈의 건물 규정 2010은 화재안전에 관한 성능규정을 명시하고 있다. 확인자료 B는 건물 규정 2010에 따른 화재 안전 요구 규정을 설명한 가이드자료이다. 또한 화재안전공학에 따른 선택적 해결방법을 적용할 수 있다.

(가) 외벽 재료

확인자료 B의 섹션 12에서는 외벽시공시 표에 의한 연소성 제한 요구를 규정하고 있다. 또는 BS 8414-1 또는 BS 8414-2에 의한 대형 시험 데이터를 사용한 BRE BR135 보고서에 따른 요구 성능을 만족해야 한다.

<표 3.21> 영국의 외벽재료 규정

	건물 용도	건물높이	경계거리	화재요구 성능
(a)	모든 건물	<18m	<1m	경계거리 1m dl이내의 모든 외벽은 Class 1(국가 등급) 또는 Class B-s3, d2 또는 그 이상(Euro 등급)일 것
(b)	(c) 제외 건물	<18m	≥1m	제한없음
(c)	1층 이상의 집회 또는 오락 시설	<18m	≥1m	지면 10m 이상의 모든 외벽 또는 지붕 또는 공공시설의 다른 외부는 Class 0(국가 등급) 또는 Class B-s3,d2, 또는 그이상 일 것(Euro 등급)
(d)	모든 건물	≥18m	<1m	Class 0(국가 등급) 또는 Class B-s3,d2, 또는 그이상 일 것(Euro 등급)
(e)	모든 건물	≥18m	≥1m	지면 18m까지의 외벽은 20보다 크지 않은 index (1)일 것(국가 등급), 또는 Class Cs3,d2, 또는 그 이상 일 것(Euro 등급) 지면 18m이상의 외벽은 Class 0(국가 등급) 또는 Class B-s3,d2, 또는 그이상 일 것(Euro 등급)

영국의 Class 0 재료는 BS 476-4에 의한 불연성 또는 BS 476-11에 의한 제한된 연소성을 확보해야 한다. Index (1)은 BS 476-6에 의해 결정된다. Euro 등급은 EN 13501-1에 따른 분류를 따른다.

(나) 내화충전재

최소 30분의 내화성능을 갖는 내화충전재가 개구부(창문 등) 주위를 충전하는데 사용되어야 한다. 또한 방화구획된 바닥 또는 벽의 연결부에 위치한 벽체(실내, 외 모두 포함)의 공동부내에도 내화충전재가 사용된다.

내부 간격(커튼월 안쪽면과 내화구조 바닥 사이)는 최소 내화바닥에 해당되는 내화성능을 갖는 재료로 충전해야 한다.

(다) 수직 개구부의 분리

각 층간 외벽의 개구부간 수직 분리에 대한 요구사항은 없는 것으로 조사되었다.

(3) 스웨덴

(가) 외벽 재료

스웨덴은 불연성 재료(A2-s1, d0)를 외벽재료로 사용하도록 규정하고 있으며, SP Fire 105에 의한 대형화재시험 또한 적용 가능하도록 규정하고 있다.

<표 3.22> 스웨덴의 외벽재료 규정

건물표면의 화재확산 방어	외벽 구성재료의 화재요구조건	추락, 탈락에 대한 방어
A2-s1, d0 예외규정이 있는 경우 D-s2, d2(스프링클러가 설치되거나, 표면에 제한된 경우) 또는 SP Fire 105 시험에 의한 확인이 되는 경우	A2-s1, d0 또는 전체 외벽이 아닌 경우 각 층 별도 요구되는 화재확산을 만는 내화충전재 또는 SP Fire 105 시험에 의한 확인이 되는 경우	SP Fire 105 시험에 의한 확인이 되는 경우

(나) 내화충전재

내화충전재는 외벽체와 바닥 슬래브 사이에 설치되며, 가연성 외부 단열재가 사용되는 곳은 내화충전재를 층별(적절한 성능이 SP Fire 105 시험에 의해 증명되지 않는 경우)로 적용되어야 한다.

(다) 층별 개구부 간 분리

창문사이의 분리는 1.2m의 스팬드럴로 분리하거나 30분 내화성능을 갖는 창을 요구한다.

(4) 미국 IBC(International Building Code)

국제 건물 규정(IBC)은 미국에서 사용되며, 이 규정에는 5개의 화재안전 등급(Type Ⅰ~Type Ⅴ)로 분류하고 있다. 등급이 높을수록 낮은 화재성능을 가지며, 화재안전 등급이 낮은 건물 등급은 건물높이를 낮게 제한한다.

(가) 외벽 재료

가연성 외벽 시스템의 일반적인 성능요구는 높이 12.192m 이상의 TYpe Ⅰ~Ⅳ에 해당되는 건물의 경우 NFPA 285 실대형 표면 실험에 따라 시험하도록 규정하고 있다.

IBC에는 다양한 형태의 재료에 대한 화재요구성능을 규정하고 있다. 이 요구성능을 따르면 실대형 표면실험을 요구하지 않는다.

① 가연성 외벽마감재

TYpe Ⅰ~Ⅳ의 건물은 다음의 요구를 충족하면 가연성 외벽마감재를 사용할 수 있

다.

가연성 마감재가 방화구획거리가 1.524m 이내인 외벽 표면적의 10% 이하로 사용되는 경우

- 높이 12.192m까지 한정된 가연성 마감재
- 난연성 처리 목재는 방화구획거리에 상관없이 마감재 사용에 제한이 없으며, 18.233m 높이까지 사용이 가능하다.
- 발열저항- 가연성 외벽 마감재는 NFPA 268에서 규정하는 기준(아래의 낮은 가연성 재료로 피복된 목질 제품과 가연성재료는 제외한다.)에 따라 시험해야 한다.

· 방화구획≤1.524m - 가연성 마감재는 불꽃의 지속이 없어야 한다.

· 방화구획>1.524m - 적용 가능한 방화구획거리는 최대 열방출량에 따른다(화염의 지속이 없으며, 열방출량 12.5kW/m^2인 경우 1.524m, 열방출량이 3.5kW/m^2인 경우 7.62m)

② 폼 플라스틱 단열재

내부에 열차단 분리가 없는 외벽에 사용되는 폼 플라스틱 단열재는 다음이 요구를 충족하는 단층 건물에 허용된다.

- 화염확산지수 25 이하이고 연기발생지수 450이하(ASTM E 84 또는 UL 723)
- 폼플라스틱 두께 102mm 이하
- 0.81mm 두께의 알루미늄 또는 0.41mm의 스틸로 덮인 폼 플라스틱
- 건물은 스프링클러를 설치해야만 한다.

모든 높이가 허용되는 경우는 다음과 같다.

- 건물 내부로부터 12.7mm의 석고보드 또는 동등한 재료로 열이 차단, 분리된 경우
- 단열재, 외부 마감재와 코팅재는 각각 ASTM E 84 또는 UL 723에 의해 시험하여 화염확산지수가 25이하이고 연기 발생지수가 450이하이어야 한다(6.4mm 이하의 알루미늄 복합패널은 하나의 재료로 시험한다.).
- 폼플라스틱에 의한 잠재 발열량은 NFPA 259에 따라 결정한다. 벽체에 설치된 폼플라스틱의 잠재 발열량은 실대형 벽체 실험에서 사용된 재료를 초과해서는 안된다.
- 벽체 시스템은 NFPA 285 실대형 벽체 실험에 따라 실험되어야 한다.

③ 외단열 마감시스템(EIFS)

외단열 마감시스템의 경우 별도로 ASTM E 2568 “Standard specification for PB exterior insulation and finish system”을 제정, 성능항목 및 방법은 시스템 및 재료별로 제시하고 성능기준을 규정하고 있다. 외단열 마감시스템의 화재성능에 대하여는 다음과 같이 시험방법과 성능을 규정하고 있다.

<표 3.23> ASTM E 2568 화재성능 규정

구분	시험방법	최소 성능기준
내화성	ASTM E 119	내화성능기준에 따름
실물규모 다층 화재실험	ANSI/NFPA 285	패널내 코어에서 층간 수직 화염확산에 대한 저항 외부 마감재의 화염확산에 대한 저항 수직화염 확산으로 인한 층간 내부표면 확산에 대한 저항 화원으로부터 수평 화염확산에 대한 저항
발열저항	ANSI/NFPA 268	12.5kW/m^2에 노출시 표면 발열이 없을 것
표면 화재	ASTM E84	단열재와 보강 코팅 시스템은 각각 화염지수 25 이하, 연기발생지수 450 이하이어야 함

(나) 내화충전재

내부 간격(내화바닥과 커튼월의 내부면 사이)은 내화구조에 상당하는 내화성능을 갖는 재료로 충전해야 한다.

미네랄울과 같이 비가연성 재료를 사용하는 화재확산 차단재(Fire Blocking)는 외부벽체의 내부에 설치되며 최대 간격은 6.096m(수평, 수직방향 모두)로 화재확산 차단재로 둘러싼 면적이 9.3m2을 초과하지 않도록 한다.

(다) 수직 개구부간 분리

스프링클러를 설치하지 않은 3층 이상 높이 건물에 있어 개구부는 IBC section 705.8.5에 의해 상층의 개구부와 분리되어야 하거나 또는 더 낮은 층의 개구부는 적어도 3/4시간 방화성능을 갖거나 1시간 내화성능을 갖는 915mm의 스팬드럴, 또는 1시간 내화성능을 갖는 760mm의 수평 돌출부를 설치한다.

(5) 미국 NFPA 5000

(가) 외벽재료

NFPA 5000은 IBC에 대하여 선택할 수 있도록 만들어졌다. NFPA 5000은 미국에서 별도 적용되지 않으며 IBC가 주로 적용되고 있다. 건물 분류는 IBC와 마찬가지로 5등급으로 분류되며 NFPA 5000 section 7.2에는 NFPA 285 실대형 벽체실험을 요구하는 Type Ⅰ~Ⅳ 건물의 모든 외벽의 일반 연소성능을 규정하고 있다. 또한 외벽 재료 요구사항도 설명되어 있다.

폼플라스틱 단열재의 성능은 NFPA 5000 section 48.1에 규정되어 있다. 외벽에 사용되는 폼플라스틱은 다음 표의 요구사항을 따라야 한다.

<표 3.24> NFPA 외벽재료 규정

요구성능	요구사항
열차단	폼플라스틱 단열재는 13㎜ 석고보드, 또는 NFPA 275의 열전달 및 온전성을 만족하는 재료로 건물로부터 분리시켜야 한다.
화염확산지수 및 연기발생지수	단열재, 외부 마감재, 코팅재는 ASTM E 84 또는 UL 723으로 각각 시험해야 하고 화염확산지수는 25이하, 연기발생지수는 405이하(두께 6.4㎜이하의 알루미늄 복합패널은 복합재료로 시험한다.)이어야 한다.
벽시스템의 가연성	벽체시스템은 NFPA 285 실대형 벽체시험에 따라 실험해야 한다.
잠재열량	폼플라스틱의 잠재열량은 NFPA 259에 따라 결정해야 한다. 벽체에 설치된 폼플라스틱의 잠재열량은 실대형 벽체실험에서 실험한 재료를 초과해서는 안된다.
발화특성	외벽체는 NFPA 268(복사열을 이용한 외벽체의 발화성)으로 시험했을 때 불꽃의 지속의 없어야 한다. 이 요구사항은 13㎜ 석고보드, 9.5㎜의 유리섬유보강 콘크리트, 22㎜의 포틀랜드시멘트 플라스터, 0.48㎜의 금속마감패널 또는 25㎜의 콘크리트 벽돌로 외부면이 보호되는 시스템인 경우 적용하지 않는다.

(나) 내화충전재

내부 간격(내화바닥과 커튼월의 내부면 사이)은 내화구조에 상당하는 내화성능을 갖는 재료로 충전해야 한다.

외단열마감시스템에서 내부의 방화충전재 사용 또는 외벽시스템의 내부 중공부의 내화충전재 사용은 특별히 규정되어 있지 않으나, 일반적으로 실규모 대형 실험과 EIFS 규격 및 가이드에 따르고 있다.

(다) 수직 개구부간 분리

스프링클러를 설치하지 않은 4층 이상 높이 건물에 있어 개구부는 NFPA5000의 section 37.1.4에 의해 상층의 개구부와 분리되어야 하거나 또는 개구부 방화(section 7.3) 또는 1시간 내화성능을 갖는 915mm의 스팬드럴, 또는 1시간 내화성능을 갖는 760mm의 수평 돌출부를 설치한다.

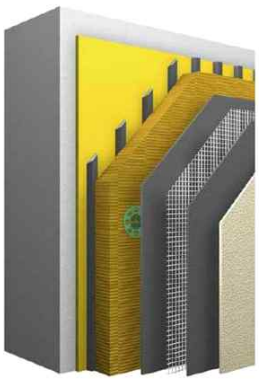
(6) 캐나다

캐나다 화재규정(CFC)에서는 CAN/ULC S134 실규모 벽면시험을 적용하는 것으로 알려져 있다. 가연성 재료를 포함한 비내력 외벽은 다음의 경우 사용할 수 있다.

- 3층보다 낮은 건물로 스프링클러를 설치하지 않거나 또는 스프링클러를 설치한 3층 이상의 건물
- 벽체 내부표면이 열차단막으로 보호되고, 벽체 구성시스템이 CAN/ULC S134에 의한 실규모 벽체 실험을 수행하고, 개구부 상단으로 5m 이상 확산되지 않거나, 벽체 구성시스템에 화염을 노출하는 동안 개구부의 3.6m 위에서 측정한 발열량이 35kW/m^{2}를 넘지 않아야 한다.

(7) 독일

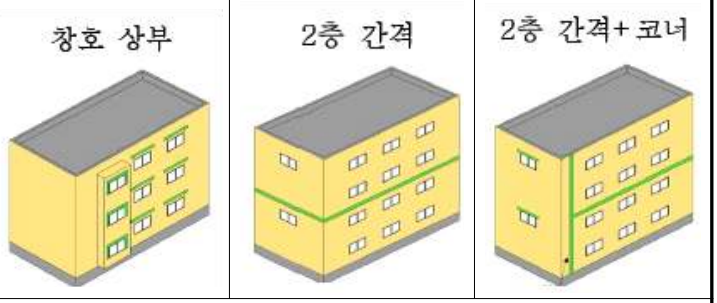
독일에서는 역사적 가치가 있는 건물로 외관을 보호해야하는 건물의 리노베이션을 제외하고는 신축 및 기존건물에서의 외단열 적용이 의무화 되어 있음. 또한 국가 건축법에 기반을 두고 있는 외단열 방화에 관한 국가 규정에서 건물 높이에 따른 외단열 방화규정을 정하고 있다.



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 3.46] 불연성능 규정

<표 3.25> 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></tr>
<tr><td>22m 이상</td><td>불연성 만족
DIN 40112: A2</td><td colspan="3">건물 전체에 불연성 단열재
(암면, 유리면 등) 적용</td></tr>
</table>

(8) 중국

중국에서는 2009년 CCTV 건물 화재로 외장재가 완전히 전소되는 화재사고가 발생함에 따라 외장재의 화재확산 방지를 위한 규정이<표 3.26>과 같이 만들어짐에 따라 화재안전성이 확보되지 않은 외단열 공법은 적용이 어려운 상황이다[5].



(a) 화재발생 전 (b) 화재발생 후

[그림 3.47] 중국 CCTV 문화센터 화재사고(2009년)

5) Lei Peng at al, Review on the fire safety exterior wall claddings in high - rise building in China, Procedia Engineering 62 (2013)663-670

<표 3.26> 중국의 외벽 마감재 화재 방지 규정

외벽 구성	용도	높이 (H m)	등급	비고
커튼월이 없는 외벽	주거시설	H≥100 m	A	-
		60 m≤H<100 m	A, B1, B2	B2 사용시 수평화재차단 구조를 매 층에 설치할 것
		24 m≤H<60 m		B2 사용시 수평화재차단 구조를 2층마다 설치할 것
		H<24 m		B2 사용시 수평화재 차단구조를 3층마다 설치할 것
	공공시설	H≥50 m	A	-
		24 m≤H<50 m	A, B1	B1 사용시 수평화재차단 구조를 매 층에 설치할 것
		H<24 m	A, B1, B2	B2 사용시 수평화재차단 구조를 매 층에 설치할 것
커튼월이 있는 외벽	모든 용도	H≥24 m	A	-
		H<24 m	A, B1	B1 사용시 수평화재차단 구조를 매 층에 설치할 것

한편 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 규정하고 있다. 이에 따라 이미 건설 중인 건물이라도 가연성, 인화성 소재를 사용하였을 경우 이를 제거해야 하며, 건설을 시작하지 않은 건물의 경우도 이를 반영하여 설계를 하여야 한다.

<표 3.27> 중국의 외단열재 인증 기준

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

(9) 한국

‘건축법’에서는 2009년부터 건축물의 외벽외 사용하는 마감재료를 방화에 지장이 없는 재료로 사용하도록 규정하고, 그 대상 및 재료를 ‘건축법 시행령’ 및 ‘건축물 피난・방화구조 등의 기준에 관한 규칙’에서 정하고 있었다.

2010년 부산 해운대 우신 골드 스위트 화재사고 이후 건축물 외벽의 화재 위험성을 확인하고, ‘건축법 시행령’ ‘건축물 피난・방화구조 등의 기준에 관한 규칙’에서는 고층 건축물의 외부 마감재료는 불연 또는 준불연재료로 사용하거나, 화재확산방지구조를 적용할 수 있는 규정을 추가하였다.

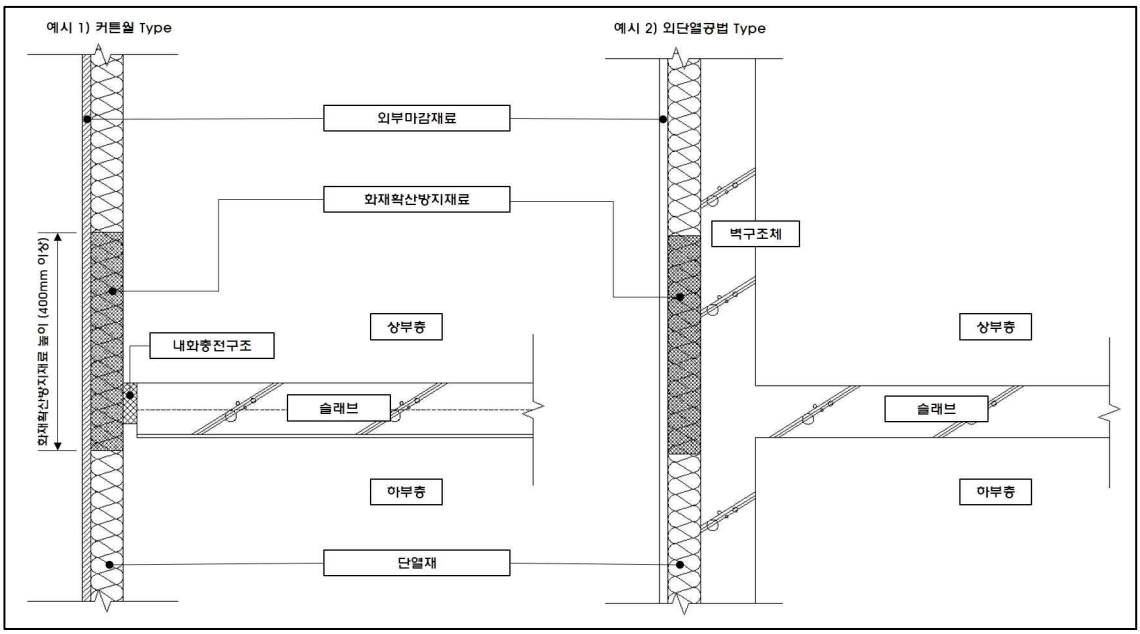
2015년 의정부 도심형 아파트 화재사고 이후 기존 ‘건축법 시행령’에서 ‘고층 건축물’로 규정한 대상을 ‘6층 이상 또는 22m 이상’으로 확대시키고, ‘건축물 피난・방화구조 등의 기준에 관한 규칙’에서는 구체적으로 단열재를 마감재료에 따라 불연 또는 준불연, 또는 난연재료인 것을 사용하도록 강화되었다.

<표 3.28> 건축물 외벽 단열재 관련 규정

규정	우신골드 스위트 외벽 화재사고 이후 건축물 외벽 관련 개정 내용	의정부 도심형 아파트 화재사고 이후 건축물 외벽 관련 개정 내용
건축법 제52조 (건축물 마감재료)	② 대통령령으로 정하는 건축물의 외벽에 사용하는 마감재료는 방화에 지장이 없는 재료로 하여야 한다. 이 경우 마감재료의 기준은 국토교통부령으로 정한다.(기존 동일)	좌 동
건축법 시행령 61조 (건축물 마감재료)	② 법 제52조제2항에서 "대통령령으로 정하는 건축물"이란 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 것을 말한다. 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(국토해양부령으로 정하는 화재 위험이 적은 공장은 제외한다)의 용도로 쓰는 건축물로부터 6미터 이내에 위치한 건축물 2. 고층건축물	② 법 제52조제2항에서 "대통령령으로 정하는 건축물"이란 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 것을 말한다. 1. 상업지역(근린상업지역은 제외한다)의 건축물로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 것 가. 제1종 근린생활시설, 제2종 근린생활시설, 문화 및 집회시설, 종교시설, 판매시설, 의료시설, 교육연구시설, 노유자시설, 운동시설 및 위락시설의 용도로 쓰는 건축물로서 그 용도로 쓰는 바닥면적의 합계가 2천제곱미터 이상인 건축물 나. 공장(국토교통부령으로 정하는 화재 위험이 적은 공장은 제외한다)의 용도로 쓰는 건축물로부터 6미터 이내에 위치한 건축물 2. 6층 이상 또는 높이 22미터 이상인 건축물

건축물 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙 제24조 (건축물 마감재료)	⑤ 영 제61조제2항에 해당하는 건축물의 외벽에는 법 제52조제2항 후단에 따라 불연재료 또는 준불연재료를 마감재료(도장 등 코팅재료를 포함한다. 이하 이 항에서 같다)로 사용하여야 한다. 다만, 고층건축물의 외벽을 국토교통부장관이 정하여 고시하는 화재 확산 방지구조 기준에 적합하게 설치하는 경우에는 난연재료를 마감재료로 사용할 수 있다.	⑤ 영 제61조제2항에 해당하는 건축물의 외벽[필로티 구조의 외기에 면하는 천장 및 벽체를 포함한다]에는 법 제52조제2항 후단에 따라 불연재료 또는 준불연재료를 마감재료(단열재, 도장 등 코팅재료 및 그 밖에 마감재료를 구성하는 모든 재료를 포함한다.)로 사용하여야 한다. 다만, 외벽 마감재료를 구성하는 재료 전체를 하나로 보아 불연재료 또는 준불연재료에 해당하는 경우 마감재료 중 단열재는 난연재료로 사용할 수 있다. ⑥ 제5항에도 불구하고 영 제61조제2항제2호에 해당하는 건축물의 외벽을 국토교통부장관이 정하여 고시하는 화재 확산 방지구조 기준에 적합하게 설치하는 경우에는 난연재료를 마감재료로 사용할 수 있다.

‘건축물 피난・방화구조 등의 기준에 관한 규칙’에서 규정한 화재확산 방지구조는 최초 커튼월 마감구조를 대상으로 규정되었으나, 외단열 화재사고 이후 외단열 마감 공법도 포함시키는 개정안이 2015년 공고(국토교통부 공고 제2015-173호)되어 예고된 바 있다.



[그림 3.48] 화재확산 방지구조 예

그러나 구체적인 구조에 대해서는 규정되어 있지 않으며 <표 3.29>의 화재확산방지 재료를 [그림 3.48]과 같은 위치에 400mm 이상 밀실하게 채우도록 규정되었을 뿐이다.

<표 3.29> 화재확산방지구조에 사용하는 화재확산 방지재료

현 행	개정안
제7조(화재 확산 방지구조) 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」제24조제5항에서 "국토해양부장관이 정하여 고시하는 화재 확산 방지구조"는 수직 화재확산 방지를 위하여 외벽마감재와 외벽마감재 지지구조 사이의 공간([별표1]에서 "화재확산 방지재료" 부분)을 다음 각 호 중 하나에 해당하는 재료로 매 층마다 최소 높이 400㎜ 이상 밀실하게 채운 것을 말한다. 1. 한국산업표준 KS F 3504(석고 보드 제품)에서 정하는 12.5㎜ 이상의 방화 석고 보드 2. 한국산업표준 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. 한국산업표준 KS L 9102(인조 광물섬유 단열재)에서 정하는 미네랄울 보온판 2호 이상인 것 4. 한국산업표준 KS F 2257-8(건축 부재의 내화 시험 방법-수직 비내력 구획 부재의 성능 조건)에 따라 내화성능 시험한 결과 15분의 차염성능 및 이면온도가 120K 이상 상승하지 않는 재료	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([별표1]에서 "화재확산 방지재료" 부분)을 다음 각 호 중 어느 하나에 해당하는 재료로 매 층마다 최소 높이 400㎜ 이상 밀실하게 채운 것과 이와 동등한 성능이 있다고 한국건설기술연구원장이 인정한 것을 말한다. 1. ~ 4. (현행과 같음)

한편 대부분의 습식 외단열 마감공법은 EPS를 마감재로 사용하며, 저층 주택 또는 다중이용시설 등에 사용되어 왔다. 현재 개정된 규정에 따르면, 6층 이하, 바닥면적 합계가 2,000m^2 미만인 건축물은 외벽 마감재료에 대한 화재성능은 고려되지 않는 상황이다.

2. 불연성 단열재 사용 외단열 공법의 개발방향 제시

개발 외단열 공법의 주요 성능은 단열성능과 화재성능, 그리고 박리, 탈락 등 기존 외단열 공법에서 제기되는 구조안전성으로 구분할 수 있다. 따라서 단열성능과 화재성능 및 구조안전성 향상을 위하여 기존의 공법 및 화재 규정을 검토하고 이를 개발 외단열공법의 개발 방향 설정에 적용하고자 하였다.

가. 기존 외단열 공법 검토에 따른 고려사항

(1) 단열성

건식 외단열 공법은 마감재 설치를 위한 스터드 등의 철재 프레임 설치로 인하여 단열재가 훼손되는 문제가 있다. 이는 전체 외벽 면적을 고려하면 크지 않을 수 있으나, 부분적 열손실을 피할 수는 없다. 습식 외단열 공법은 철재 프레임 설치가 없으므로 건식 외단열공법보다 열손실이 적으나, 단열재 고정을 위한 고정철물 또한 단열재를 관통하여 고정되므로 적으나마 열손실의 원인이 될 수 있다.

이러한 열손실을 방지하기 위해서는 다음의 사항 검토가 요구된다.

- 단열재의 파손이 없을 것
- 고정철물을 통해 외부에서 내부까지 열의 관통이 없을 것

(2) 화재안전성

기존 외단열 공법은 대부분 유기계 단열재를 사용하여 화재에 취약한 문제가 있다. 또한 건식 외단열 공법은 마감재가 화재에 취약한 재료로 구성되어 화재가 확산되기도 한다. 단열재의 고정, 프레임의 고정 등을 위한 파스너나 브라켓 등은 대부분 철제를 사용하므로 화재에 강하나, 부분적으로 보강 등을 위해 화재에 직접 노출이 되지 않는 가연성 재료(코너비드 등) 등은 화재성능 확인이 필요하다.

또한 기존 공법 상에서는 화재의 확산을 방지할 수 있는 구조가 전혀 고려되지 않고 있음을 알 수 있다.

물론 아래의 외벽체 화재 규정에 따르면 외벽에 사용되는 재료는 불에 견디는 재료를 사용하도록 되어 있지만 실제 적용되는 공법에서는 그렇지 못한 경우가 대부분이다. 이는 단열재가 마감재료로는 포함되지 않았기 때문으로 판단되나, 국내에서도 외국과 마찬가지로 단열재의 화재성능이 고려될 예정이다.

- 외단열 공법에 사용되는 악세서리 부품은 Steel 등 화재에 강한 재료를 사용할 것
- 화재에 강한 성능을 확인한 단열재를 사용할 것
- 수직으로 연속되지 않는 구조를 가질 것

(3) 구조안전성

기존 외단열 공법은 가벼운 밀도의 EPS를 사용하므로 부착모르타르만 떠붙임하여 구조벽체에 부착하거나, 외부 마감재 또한 바름 마감하므로 얇은 두께에 의한 내충격성 저하 및 풍압 등에 의한 단열재 탈락이 주로 이루어졌다. 외국기술을 들여온 외단열 공법이나, 국내 개발 기술 모두 시방서에는 부착 모르타르와 함께 고정철물을 같이 사용하나, 시공비용 절감을 위해 이를 생략하거나, 마감재 양을 적게 바름으로써

하자가 다수 발생하여 외단열 공법의 신뢰성을 낮추는 원인이 되었다. 이에 개발 기술은 기존 유기단열재 대비 밀도가 다소 높고, 구조적 안전성 향상을 위하여 고정철물 및 바름 모르타르를 모두 적용하는 것이 필요하다.

- 단열재의 밀도를 고려하여 하중을 부담할 수 있는 고정철물을 고려할 것
- 단열재의 부착력 항상을 위해 단열재 당 모르타르 및 고정철물을 모두 적용할 것

나. 외벽체 화재 규정 검토에 따른 고려사항

국내외 외벽 관련 화재 규정에서는 대부분 화재 확산을 고려한 외벽재료의 선정을 중요시하고 있으며, 단열재 또한 외벽재료에 포함되어 화재에 견디는 등급의 재료를 사용하도록 규정하고 있다. 또한 별도로 실물규모의 실험을 통하여 화재성능이 확인되는 구조는 사용할 수 있도록 성능 규정 또한 대부분 포함하고 있다.

재료적 측면 이외에 화재 확산을 방지하기 위하여 내화충전재 또는 화재차단재로 수평, 수직확산을 방지할 뿐 아니라, 층간 화재확산 방지를 위한 스팬드럴 또는 수평 돌출부를 설치하도록 규정하고 있다.

또한 국내 개정 규정안에도 준불연 또는 불연재료를 사용하고, 화재확산방지구조 또한 규정함에 따라 외단열 공법에서 수직확산을 방지하기 위한 층간 화재확산방지구조는 필수적이다.

- 가능한 한 외벽 설계시부터 층별 방화구획이 가능한 구조로 할 것
- 단열재를 포함한 외벽재료는 불연성 또는 준불연성 재료를 사용하는 것을 원칙으로 하되, 화재확산방지구조를 층간 적용시 난연재료를 사용할 것
- 외벽재료 사이의 화재 확산통로로 사용되는 수직연결 공간이 없도록 층별로 단절시킬 것

다. 개발 외단열 공법의 기본 개발 방향

상기 기존 공법 및 규정을 고려하여 다음과 같은 개발방향을 정리하였다.

- L형 앵글을 동일한 간격으로 벽체에 고정하여 단열재의 하중이 수직으로 누적되는 것을 방지
- 단열재와 벽체, 단열재간 부착모르타르로 부착, 단열재의 상단에 고정철물로 고정하여 부착력 향상
- 모든 철물은 단열재 외부로 노출되지 않도록 처리
- 건식외단열 공법의 스터드 설치를 위해 최소한의 고정철물을 외부로 노출시키고, 가능한 절연시켜 열의 이동을 제한할 것
- 수직연결 공동부가 없도록 최대한 밀착시켜 시공할 것. 수직 연결 공동부가 생기는 경우 불에 타지 않는 재료로 층간간격을 최대한 막을 것
- 단열재료와 마감재료, 기타 부속재료 모두 가능한 불에 견디는 재료로 시공할 것
- 실물화재시험에 의하여 성능이 확인된 가연성 재료 사용

3. 불연성 단열재 사용 외단열 공법(안) 제안 및 시험시공

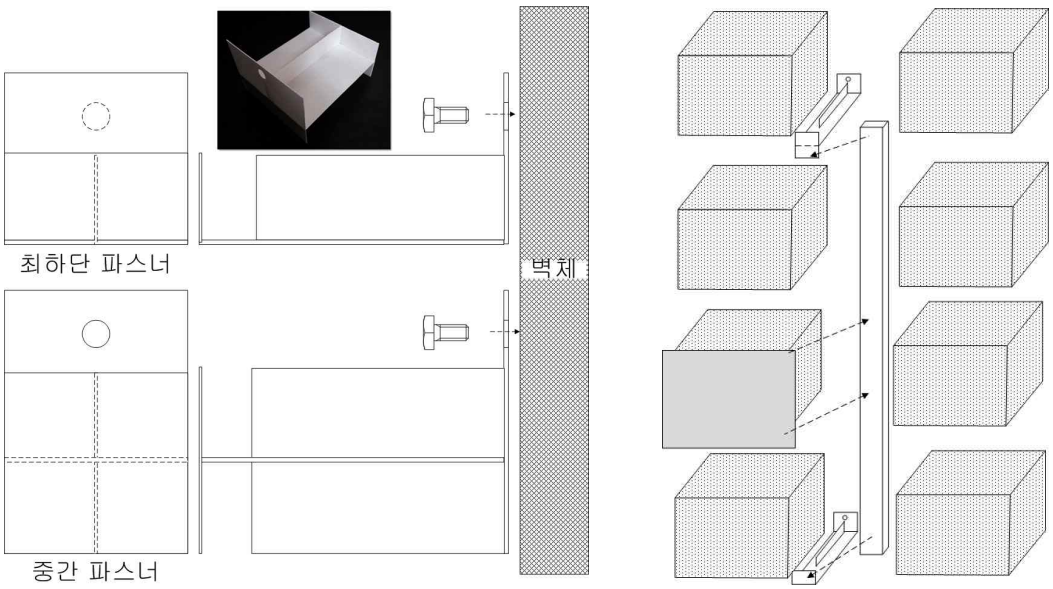
가. 1차 외단열 공법 제안

불연성 외단열공법안의 1차 공법안은 다음의 조건을 고려하여 개발을 진행하였다.

- 단열재간 조인트를 통한 열의 흐름을 방지할 것
- 고정철물의 노출을 최소화하여 화재 피해 및 열의 전달을 제한할 것
- 철물 고정방법을 간단히 할 것
- 단열재의 하중을 견딜 수 있도록 할 것

건식외단열 공법은 [그림 3.49]와 같이 단열재를 3~4칸 쌓아 올릴 때마다 파스너를 설치하여 하중을 부담시키고, 이 파스너에 수직으로 스터드를 단열재 외부에 부착하는 시공법을 고안하였다. 이 경우 고정철물의 사용이 적게 되고, 파스너는 단열재 조인트 사이에 설치하므로, 시공편의성이 증대될 것으로 예상하였다.

그러나, 철물 제작의 어려움, 조인트 사이에 철물을 설치하더라도 철물의 외부 노출로 인한 열교, 냉교 현상은 지속되는 문제가 지적되었다.



건식외단열 공법 파스너 구조　　건식외단열 공법 설치

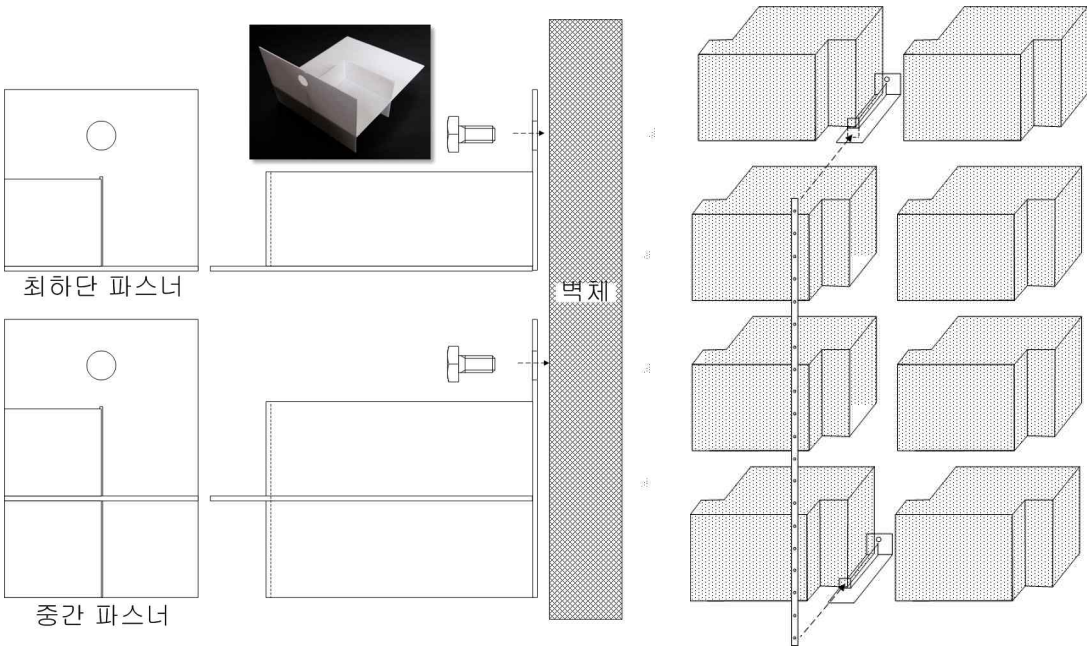
[그림 3.49]. 건식 외단열 공법 1차안



건식 외단열 공법안 정면　　건식 외단열 공법안 측면

[그림 3.50] 건식 외단열 공법 1차안 모델 제작

습식외단열 공법은 외부에 바름마감재를 이용하여 마감하므로 철물이 노출되어서는 안된다. 따라서 건식과 달리 단열재의 단면형상을 'ㄱ'자 턱을 두고, 단열재를 3~4칸 쌓아 올릴 때마다 파스너를 단열재외부로 노출되지 않도록 설치하여 하중을 부담시키고, 이 파스너에는 부착력 증진을 위한 보강 스터드를 파스너간 연결시키되, 이 파스너는 단열재의 맞춤턱 사이에 매립되어 외부로 노출되지 않도록 고안하였다.



습식외단열 공법 파스너 구조　　습식외단열 공법 설치

[그림 3.51] 습식 외단열 공법 1차안



습식 외단열 공법안 정면　　습식 외단열 공법안 측면

[그림 3.52] 습식 외단열 공법 1차안 모델 제작

이 또한 고정철물의 사용이 적게 되고, 비노출 파스너를 단열재 조인트 사이에 설치하므로, 시공편의성 및 습식 마감재의 마감성이 증대될 것으로 예상하였다.

그러나, 습식외단열 공법은 철물이 노출되지 않으므로 단열성 및 화재안전성은 기대되나, 단열재 가공의 어려움, 철물 제작의 어려움 등으로 인하여 재료비 상승요인이 발생과, 턱맞춤 시공의 어려움 등이 지적되었다.

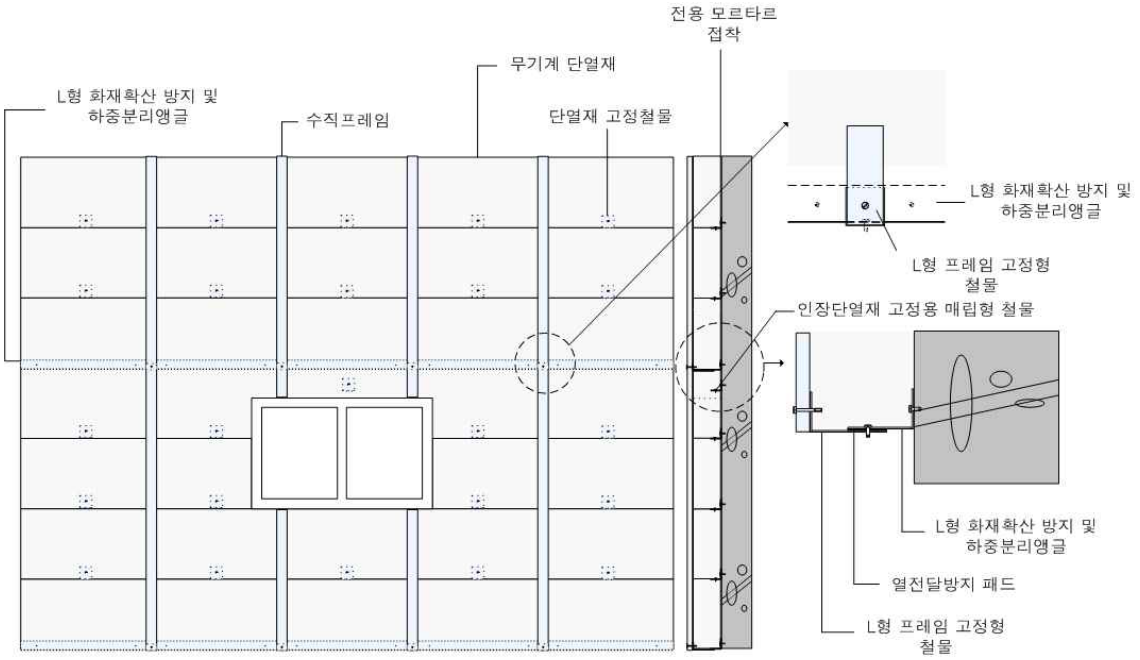
나. 2차 외단열 공법 제안

불연성 외단열공법안의 2차 공법안은 1차 공법안의 문제점을 고려하여 자재의 단순

화 및 기존 자재의 활용을 고려하고, 화재 등으로 인한 탈락을 고려하여 부착력 향상 방안을 제안하였다. 2차 외단열 공법 제안은 다음의 조건을 고려하였다.

- 단열재간 조인트를 통한 열의 흐름을 방지할 것
- 고정철물의 노출을 최소화하여 화재 피해 및 열의 전달을 제한할 것
- 고정 철물, 단열재 단면 등 재료의 구조를 단순화할 것
- 단열재의 하중을 견딜 수 있도록 할 것

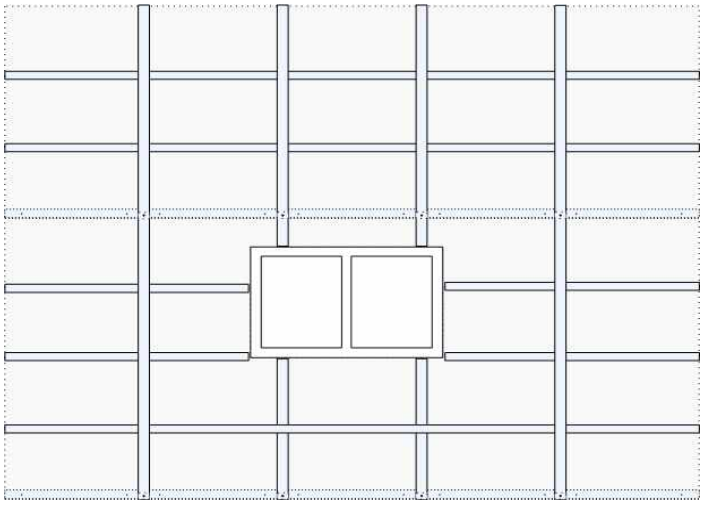
건식 외단열 공법은 [그림 3.53]과 같이 최하단에 단열재 하중부담을 위한 L형 앵글을 수평으로 설치하고, 단열재를 접착제로 후면 및 단열재간 조인트에 부착시키며, 단열재 상단에는 L형 파스너로 부착력을 보강시키는 방법으로 고안하였다. L형 앵글은 단열재 3~4칸 간격으로 반복하여 설치하되, L형 앵글 고정은 바탕체에 L형 브라켓과 사이에 절열재를 두어 열의 전달을 막아주고 동시에 수평막을 형성시켜, 화재의 수직 확산을 막아주는 효과를 기대하였다.



[그림 3.53] 건식 외단열 공법안(수평 프레임 미설치)

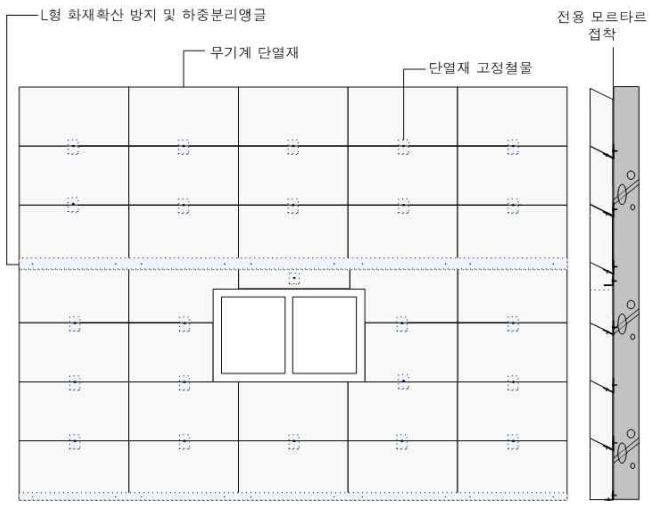
또 다른 방법으로 마감재 설치를 위하여 설치하는 스터드를 수직, 수평으로 단열재의 조인트부 외단에 설치하여 단열재를 압착하는 효과를 줌으로써 단열재 고정을 위한 L형 파스너의 사용을 생략하는 방법도 고안하였다.

개구부 상단에 설치하는 단열재의 고정철물은 내부에 매립됨으로써 화재에 직접 노출되지 않도록 하고, 동시에 상단의 L형 앵글이 화재에 견딜 수 있도록 보강해주는 역할을 한다.



[그림 3.54] 건식 외단열 공법안
(수평 수직 프레임 설치)

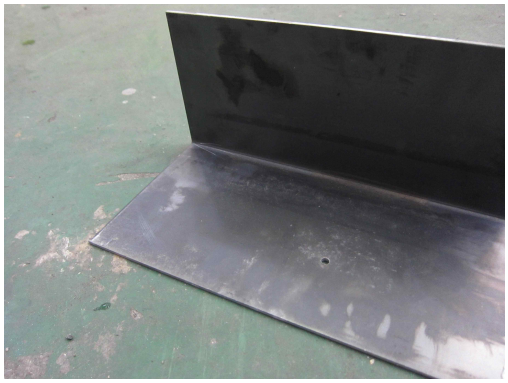
습식 외단열 공법도 [그림 3.55]와 같이 최하단에 단열재 하중부담을 위한 L형 앵글을 수평으로 설치하고, 단열재를 접착제로 후면 및 단열재간 조인트에 부착시키며, 단열재 상단에는 L형 파스너로 부착력을 보강시키는 방법으로 고안하였다. L형 앵글은 단열재 3~4칸 간격으로 반복하여 설치하되, 건식 외단열 공법과 달리 외부로는 연결시키지 않아 단열재 내부에 매립되어 있어 보이지 않는 구조로 된다. 또한 단열재의 형상은 부착력 향상 및 전도를 방지하기 위하여 단면구조를 사면으로 각도를 주어 바탕체 쪽으로 하중이 집중되도록 하였다.



[그림 3.55] 습식 외단열 공법안

개구부 상단에 설치하는 단열재의 고정철물은 내부에 매립됨으로써 화재에 직접 노출되지 않도록 하고, 동시에 상단의 L형 앵글이 화재에 견딜 수 있도록 보강해주는

역할을 한다.



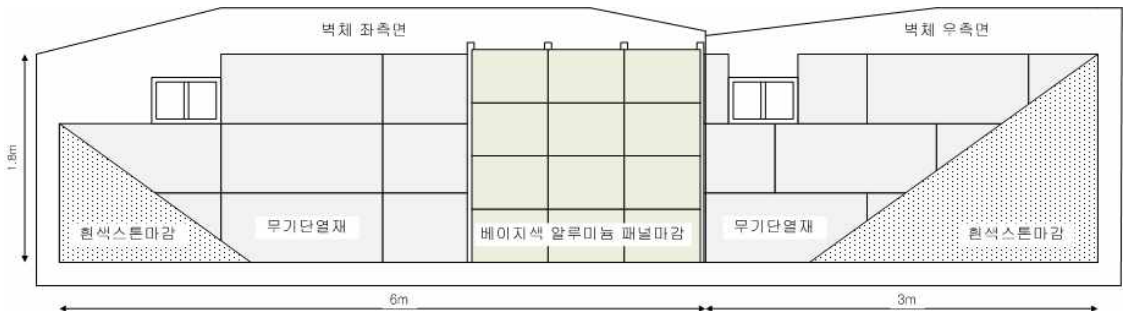
[그림 3.56] L형 앵글(하중부담용)



[그림 3.57] L형 파스너(스터드 고정용)

다. 시험시공

시공은 2차 개발공법안을 시험 시공함으로써 시공과정에서 발생하는 문제점을 도출하고, 이를 2차년도에 개선하기 위하여 수행하였다. 시험시공 장소는 월드와이즈월 공장 인근 건물 외벽으로 정하고, 건식공법은 1.8m×1.8m, 습식공법은 6×1.8m의 벽체 면적에 적용하여 시공 과정에서의 문제점을 도출하였다.



[그림 3.58] 시험시공 입면



(a) 하단부 L형 앵글 설치



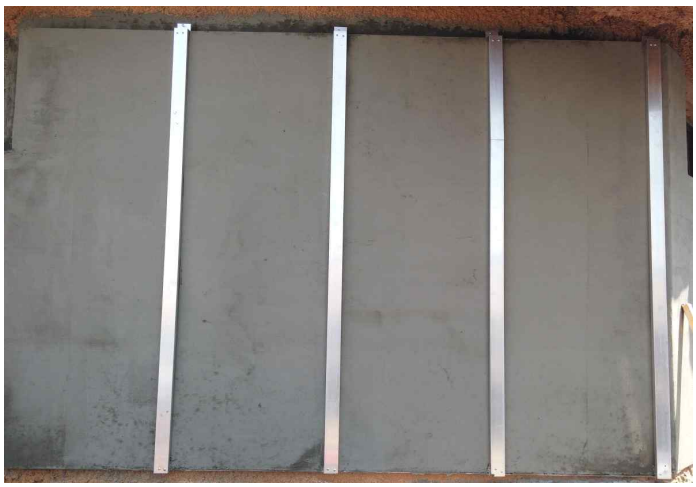
(b) 무기 단열재 모르타르 떠붙임



(c) 무기단열재 부착



(d) 매쉬 및 모르타르 1차 마감



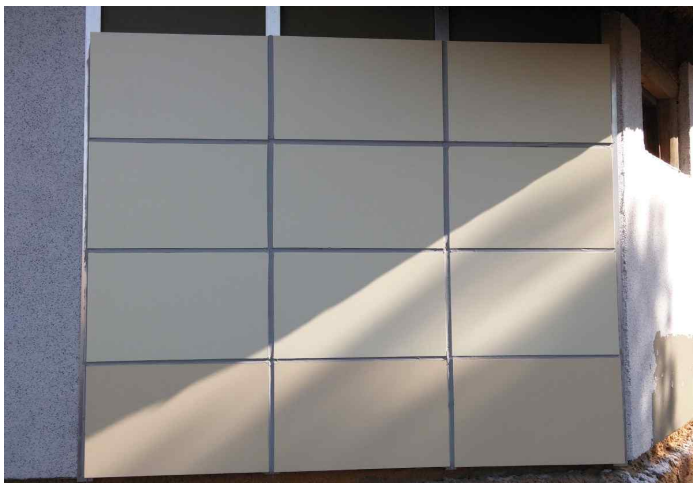
(e) 스터드 설치



(f) 알루미늄 패널 부착



(g) 줄눈 백업 설치 및 실링



(h) 건식 외단열 공법 완료

[그림 3.59] 건식 외단열 공법 시험 시공



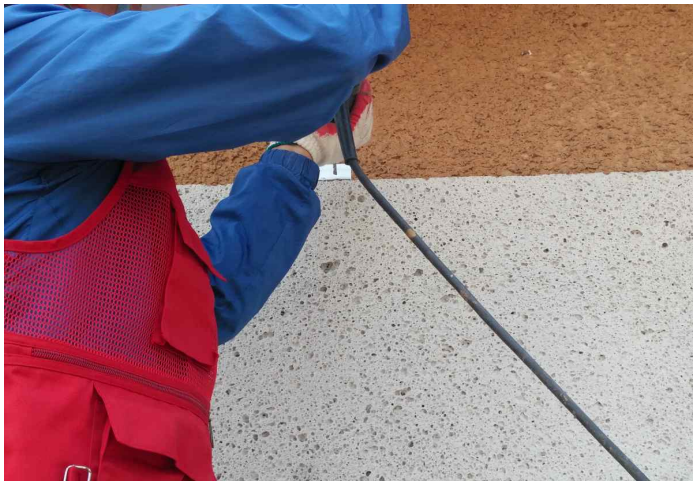
(a) 하단부 L형 앵글 설치



(b) 무기 단열재 모르타르 떠붙임



(c) 무기단열재 부착



(d) L형 파스너 고정



(e) 무기단열재 부착 완료



(f) 매쉬 및 모르타르 부착



(g) 코트 마감재 바름



(h) 습식외단열 공법 완료

[그림 3.60] 습식 외단열 공법 시험 시공

시험시공 과정에서 도출된 문제점은 다음과 같다.

<표 3.30> 시험시공 과정에서 도출된 문제점

- 단열재 부착 시공을 위한 크기 조절이 필요하다. 시험시공에 사용한 단열재는 1200×600㎜ 크기로 시공에 어려움이 있었다. - 건식 외단열 공법의 경우 L형 앵글과 L형 파스너 고정이 쉽지 않고, 단열재 설치시 볼트 등에 의해 밀착의 어려움이 있다. - 또한 스터드 설치시 고정을 위한 L형 파스너와의 긴결이 쉽지 않다. - 습식 외단열 공법의 경우 마감재 처리를 위해 단열재의 외부 마감면 높이가 일정해야 하나 면 맞추기가 쉽지 않았다. - L형 앵글 및 파스너 설치 부위 밀착의 어려움이 있다. 철물의 두께로 인하여 단열재간의 조인트가 약간 들뜨는 현상이 있다.

4. 제안된 불연성 단열재 사용 외단열 공법의 성능

1차년도 개발 외단열 공법의 성능 평가 항목으로 표와 같이 1차년도 연구계획에서 설정한 모르타르의 부착성능, 단열성능, 화재저항성, 내풍압성을 설정하였다.

이 중 단열성능은 열관류시험방법에 따라 시험 결과를 제시하고자 하였으나, 열관류율 시험이 가능한 국내 시험기관에서는 벽체 두께 30cm 이상은 측정이 불가한 것으로 확인되었다. 따라서 일반적인 콘크리트 벽체 두께 20cm에 개발 외단열 공법 두께를 고려하면 실험이 불가한 것으로 판단하여 단열 시뮬레이션을 통한 열관류율 값을 제시하였다.

또한 화재저항성 성능항목으로 제시한 KS ISO- 13785-1 “건축물 외장 구성재에 대한 연소성능 시험방법-제1부:중간 규모시험”는 KS 규격이 있어 시험이 가능할 것으로 판단되어 성능항목으로 제시한 것이나, 국내 시험기관에 문의한 결과, 시험이 불가능한 것으로 확인되었다. 대신 아직 국내 규격이 없는 ISO 13785-2 “Reaction to fire tests for facades-Parts 2:Large scale test” 시험이 한국건설기술연구원에서 가능함을 확인하고, 시험방법을 변경하여 화재성능을 평가하였다. ISO 13785-2는 대형규모 화재시험으로 KS 규격화 된 KS ISO 13785-1 중간규모시험보다 더 가혹한 조건에서 시험을 수행하게 된다. 따라서, 화재성능 평가에 있어 실제 화재에 더 근접한 시험이다.

<표 3.31> 개발기술 성능평가항목

	기존 평가방법		수정 평가방법		비고
	목표치	평가방법	목표치	평가방법	
모르타르 부착강도	2.6N/mm2 이상	KS F4716	좌동	좌동	습식용
열관류율	0.27W/m2K 이하	KS F2277	0.27W/m2K 이하	단열시뮬레이션 보고서	시험불가 변경
화재 안전성	30분 (가열종료시간)	KSF ISO 13875-1	25분 (가열종료시간)	KSF ISO 13875-1	시험불가 변경 시험조건이 더욱 가혹함
내풍압성	이상없음	ASTM E 330	좌동	좌동	-
기밀성	0.0183m3/min·m2 이하	ASTM E 283	좌동	좌동	-
수밀성	누수없음	ASTM E 331, JISA 1517	좌동	좌동	-

가. 부착모르타르의 부착성능 평가

기존의 외단열 공법은 중량이 가벼운 EPS를 사용하므로 부착 모르타르의 부착성능에 큰 무리가 없었다. 기존 부착모르타르의 부착강도는 1.7N/mm^2 내외의 성능을 유지하고 있으나 개발 무기 경량 세라믹 단열재는 경량성이 있더라도 EPS와 비교하면 중량이 무거운 것이 사실이다. 따라서 모르타르 또한 부착성능을 향상시킬 필요가 있다. 개발중인 무기 경량 세라믹 단열재는 밀도 200kg/m^3 이하를 목표로 하고 있다. 일반 EPS 단열재의 밀도 30kg/m^{3}과 비교하면 6배 이상 무겁다. 따라서 본 개발 외단열 공법에 사용하는 모르타르의 부착성능을 향상시킬 필요가 있다.

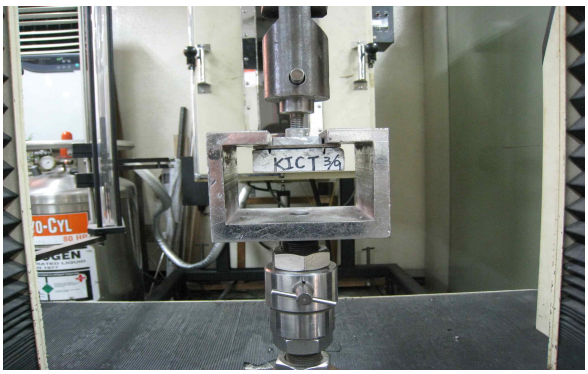
부착성능의 향상을 위하여 본 개발 부착모르타르는 기존 부착 모르타르보다 분말수지 배합량을 2배 증대한 새로운 배합으로 제조하여 부착강도를 평가하였다.

(1) 평가방법

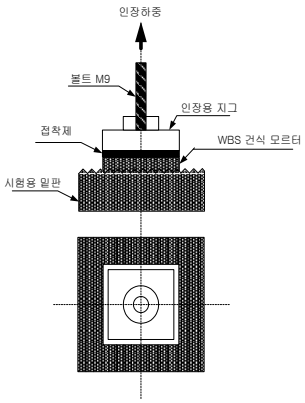
그림과 같이 부착강도 시험은 표 2의 배합으로 제조한 시료를 KS F 4716 “시멘트계 바탕 바름재”의 5.3항에 따라 제조된 시험용 밑판에 두께 2mm로 쇠흙손 또는 쇠주걱을 사용하여 윗면을 평탄하게 마무리하여 성형하고 표준조건의 시험체는 양생실 내에, 저온 양생용 시험체는 온도 3±2℃의 양생 탱크 속에 조용히 놓아 성형한 후 24시간 경과 후에 탈형하였다. 재령 14일까지 각기 같은 온도 및 습도 조건 아래 양생시켰으며, 양생조건에 따라 모르타르의 부착강도의 차이를 평가하였다.

<표 3.32> 모르타르 배합비

구 분	부착 모르타르	물
배합량	20kg	4.5ℓ



[그림 3.61] 모르타르 부착강도 시험



[그림 3.62] 시험체 조립도

(2) 평가결과

개발 부착모르타르의 부착성능을 시험결과 평균 4,405N의 부착파괴하중이 측정되었고, 이를 어테치먼트의 면적으로 나눈 부착강도는 2.7N/mm^{2}으로 측정되었다. 이는 기존 부착모르터와 비교할 때 약 57% 향상되었음을 알 수 있었다.

<표 3.33> 부착강도 시험 결과

	시료			
	1	2	3	평균
부착파괴하중	4,265N	4,478N	4,474N	4,405N
부착강도	2.7N/mm^2	2.7N/mm^2	2.7N/mm^2	2.7N/mm^2

나. 제안된 불연성 단열재 사용 외단열공법의 단열성능 평가

(1) 평가방법

단열 시뮬레이션은 열이동에 관한 창호, 문, 셔터등의 건축물 열해석을 수행하는 Therm 7.3 응용프로그램을 사용하였다. Therm 7.3은 미국의 Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL)에서 개발하였다.

구조벽체는 120mm, 150mm, 180mm, 210 mm으로 구분하며, 단열재는 두께 모듈에 따라 120mm, 150mm, 180mm, 210mm로 구성하였다. 각각 건식공법과 습식공법에 따른 구조체를 구성하였다. 내부 경계조건은 21℃, 외부는 -18℃, 상, 하단은 단열조건

으로 해석하였다. 입력 열전도율의 물성은 표와 같이 적용하였다.

<표 3.34> 단열해석용 재료의 열전도율

소재이름	열전도율(W/mk)	비 고
콘크리트 1:2:4	1.6	1.0 (미국)
무근콘크리트	2	
철근콘크리트 1%	2.3	
철근콘크리트 2%	2.5	
시멘트몰탈	1.4	1.73 (미국)
수지몰탈	0.7	
알루미늄	200	
스텐레스	15	
아연도강판	44	
개발 불연성 단열재	0.06	1차년도 결과 적용

본 해석 결과를 국내 건축물의 에너지 절약 설계기준의 지역별 건축물 부위별 열관류율 기준 중 중부지역의 외벽 기준인 0.27w/m^2·K의 만족여부를 검토하였다.

<표 3.35> 국내 지역별 건축물 부위별 열관류율

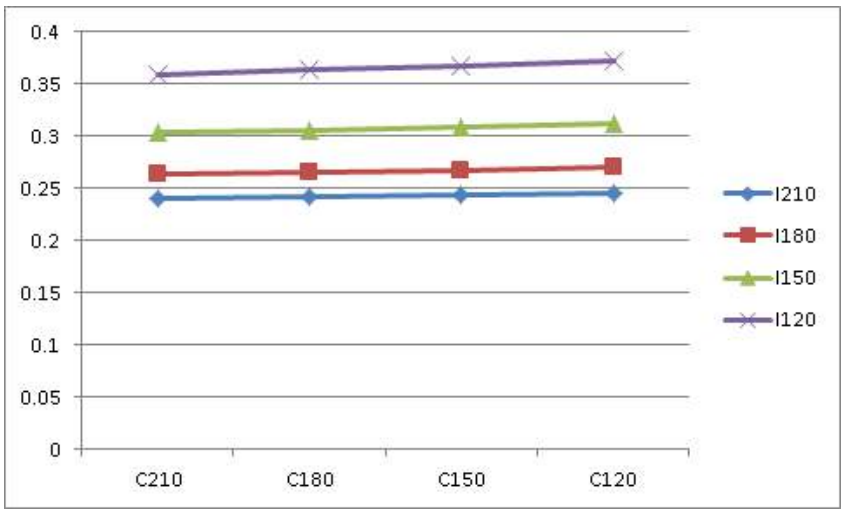
(단위 : W/㎡・K)

건축물의 부위 \ 지역			중부지역	남부지역	제주도
거실의 외벽	외기에 직접 면하는 경우		0.270 이하	0.340 이하	0.440 이하
	외기에 간접 면하는 경우		0.370 이하	0.480 이하	0.640 이하
최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕	외기에 직접 면하는 경우		0.180 이하	0.220 이하	0.280 이하
	외기에 간접 면하는 경우		0.260 이하	0.310 이하	0.400 이하
최하층에 있는 거실의 바닥	외기에 직접 면하는 경우	바닥난방인 경우	0.230 이하	0.280 이하	0.330 이하
		바닥난방이 아닌 경우	0.290 이하	0.330 이하	0.390 이하
	외기에 간접 면하는 경우	바닥난방인 경우	0.350 이하	0.400 이하	0.470 이하
		바닥난방이 아닌 경우	0.410 이하	0.470 이하	0.550 이하
바닥난방인 층간바닥			0.810 이하	0.810 이하	0.810 이하
창 및 문	외기에 직접 면하는 경우	공동주택	1.500 이하	1.800 이하	2.600 이하
		공동주택 외	2.100 이하	2.400 이하	3.000 이하
	외기에 간접 면하는 경우	공동주택	2.200 이하	2.500 이하	3.300 이하
		공동주택 외	2.600 이하	3.100 이하	3.800 이하

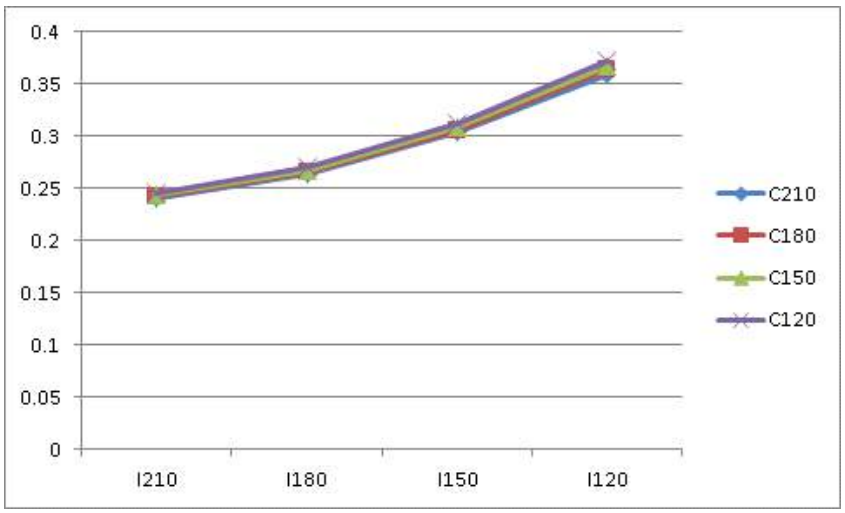
(2) 평가결과

(가) 건식 외단열 공법

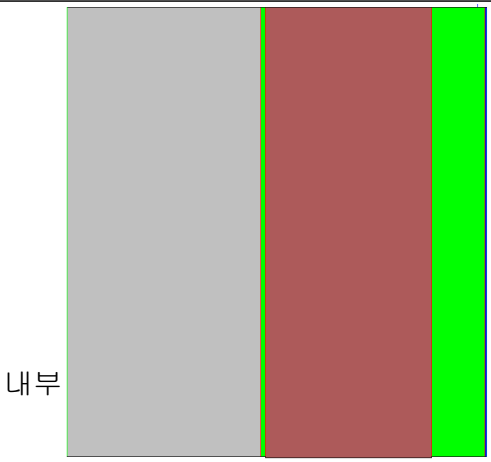
건식 외단열 공법의 콘크리트 벽체 두께 및 단열재 두께에 따른 열관류율 값은 표와 같이 계산되었다. 골조 두께에 따른 열관류율의 영향은 크게 없으나, 단열재의 두께에 따른 열관류율의 차이는 큰 것으로 나타났다. 중부기준 벽체의 열관류율 기준값 0.27w/m^2·K와 비교하면 단열재의 두께를 180cm 이상으로 적용할 경우 만족하는 것으로 나타났다.



[그림 3.63] 건식공법의 골조두께별 U-Value 변화 값

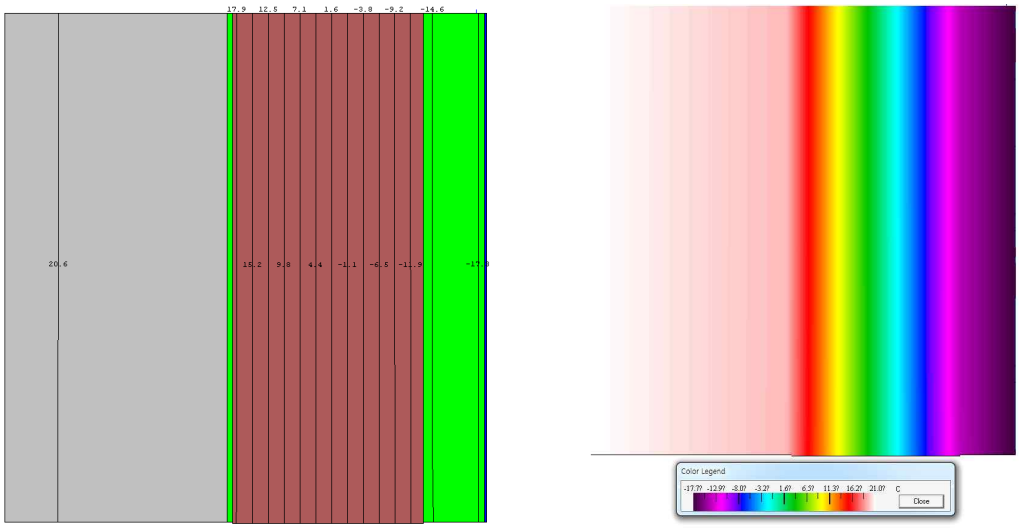


[그림 3.64] 건식 공법의 단열재두께별 U-Value 변화값



재료구성(왼쪽부터) :
1) 콘크리트 골조 : 210 mm
2) 고정철물 설치공간 : 5 mm
3) 불연성 단열재 : 180 mm
4) 스터드 철물 설치공간 : 58 mm
5) 마감 알루미늄 금속판 : 2mm

(a) 건식 외단열 공법의 구성



■ 열관류율(U-value) 값

SHGC Exterior	Total Length=	480	U-value=	0.263156
SHGC Exterior	Projected X=	0	U-value=	-1
SHGC Exterior	Projected Y=	480	U-value=	0.263156
Spacer	Total Length=	480	U-value=	0.263157
Spacer	Projected X=	0	U-value=	-1
Spacer	Projected Y=	480	U-value=	0.263157

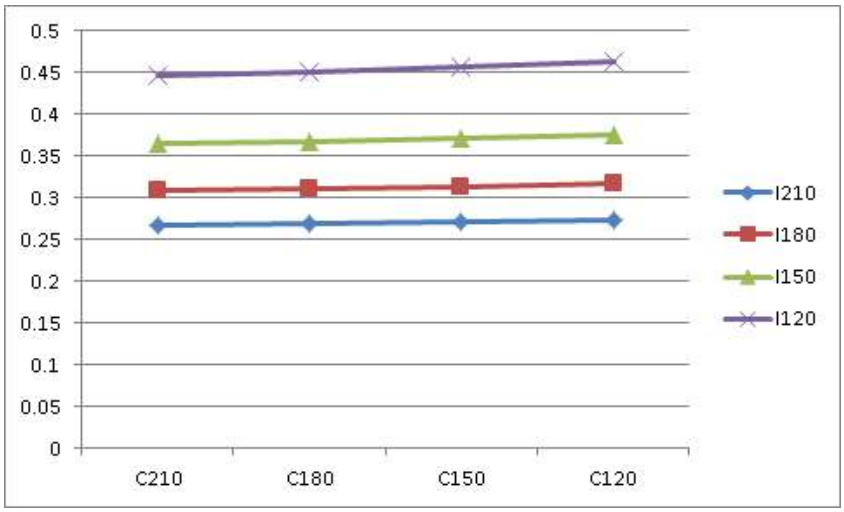
(b) 건식 외단열 공법의 온도 분포 및 열관류율

[그림 3.65] 건식 외단열 공법의 열관류율(콘크리트 두께, 210cm, 단열재 180cm 기준)

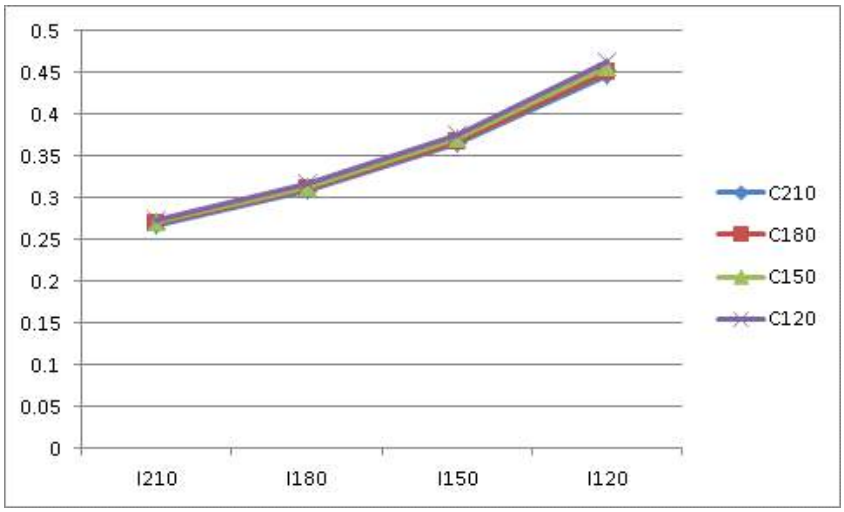
(나) 습식 외단열 공법

습식 외단열 공법의 콘크리트 벽체 두께 및 단열재 두께에 따른 열관류율 값은 표

와 같이 계산되었다. 골조 두께에 따른 열관류율의 영향은 크게 없으나, 단열재의 두께에 따른 열관류율의 차이는 큰 것으로 나타났다. 중부기준 벽체의 열관류율 기준값 0.27w/m^2·K와 비교하면 단열재의 두께를 210cm 이상으로 적용할 경우 만족하는 것으로 나타났다.

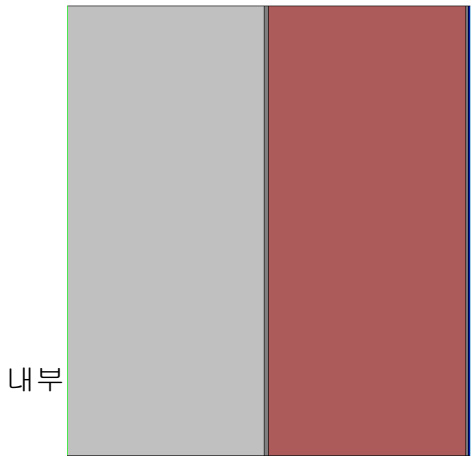


[그림 3.66] 습식공법의 골조두께별 U-Value 변화 값



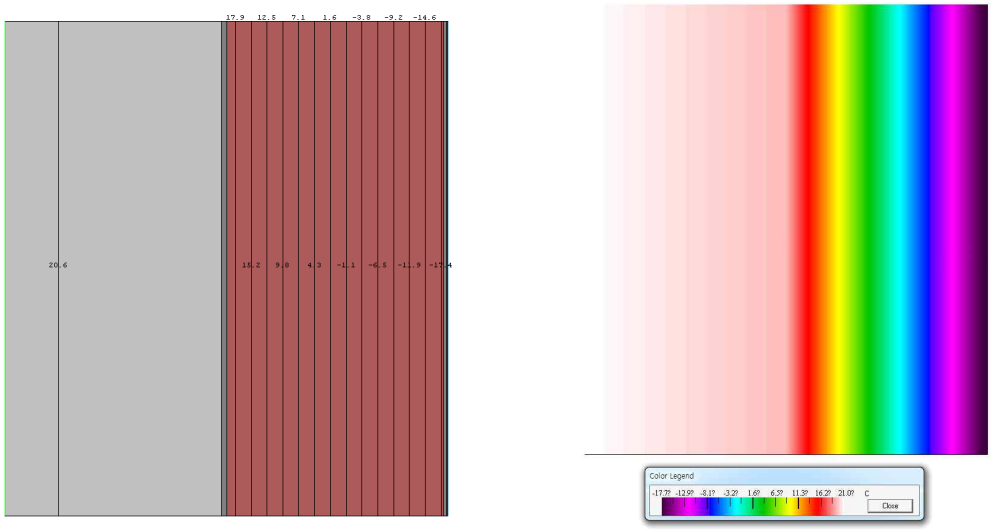
[그림 3.67] 습식 공법의 단열재두께별 U-Value 변화값

전체적으로 열관류율 해석에서는 건식공법에서 습식공법보다 약 0.02/m^2·K 이상 낮게 나오는 것으로 나타났다. 이 요인은 건식공법의 스터드 설치공간에 형성된 58mm의 공기층이 습식공법의 메쉬 모르타르층보다 단열성능에 긍정적 효과를 준 것으로 판단된다.



재료구성(왼쪽부터) :
1) 콘크리트 골조 : 210 mm
2) 시멘트 몰탈 : 5 mm
3) 불연성 단열재 : 210 mm
4) 메쉬몰탈 : 3 mm
5) 코트마감재 : 2mm

(a) 습식 외단열 공법의 구성



■ 열관류율(U-value) 값

SHGC Exterior	Total Length=	480	U-value=	0.266754
SHGC Exterior	Projected X=	0	U-value=	-1
SHGC Exterior	Projected Y=	480	U-value=	0.266754
Spacer	Total Length=	480	U-value=	0.266757
Spacer	Projected X=	0	U-value=	-1
Spacer	Projected Y=	480	U-value=	0.266757

(b) 습식 외단열 공법의 온도 분포 및 열관류율

[그림 3.68] 습식 외단열 공법의 열관류율(콘크리트 두께, 210cm, 단열재 210cm 기준)

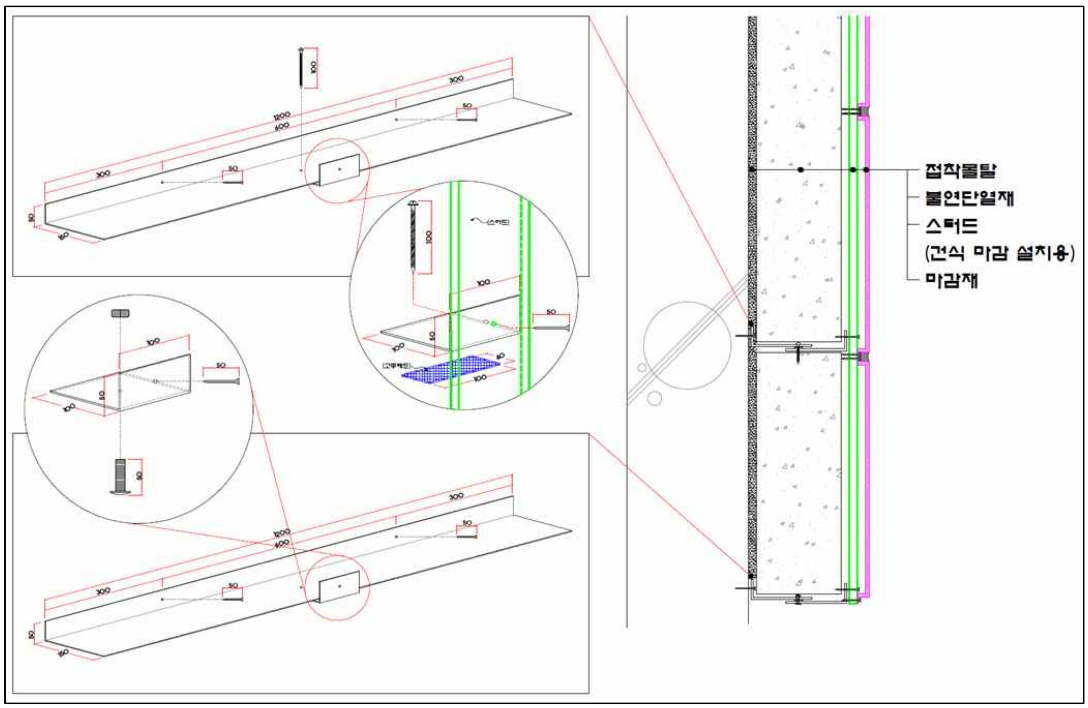
(다) 사용 철물의 단열해석

본 불연성 무기단열재 적용 외단열 공법은 단열재의 중량에 의해 보강 철물을 사용해야 한다. 보강철물은 열전도율이 매우 높아 열의 흐름통로로 이용되므로 단열성능

에 있어서는 취약부위가 된다. 따라서 건식 및 습식공법에 사용하고자 하는 철물을 고려한 단열해석을 수행하였다.

① 건식 외단열 공법

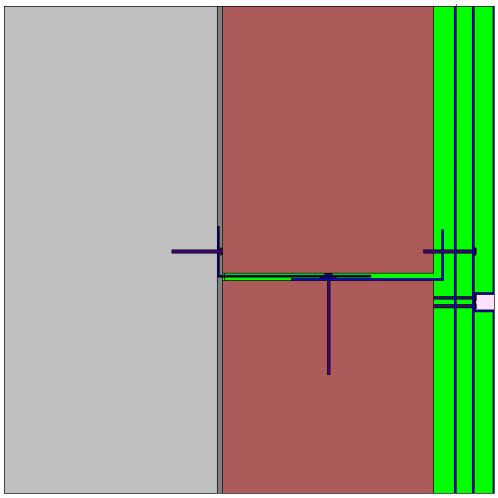
무기 단열재 적용 건식 외단열 공법의 단열재 고정철물 및 구성은 그림과 같이 단열재를 받쳐주기 위한 “L”형 앵글, 스터드 고정을 위해 앵글에 고정하는 “L”형 파스너, 여기에 설치하는 스터드, 스터드에 스크류 피스로 고정하는 알루미늄 마감패널로 구성하였다. 건식 외단열 공법의 단열해석을 위한 재료의 열전도율은 표와 같다.



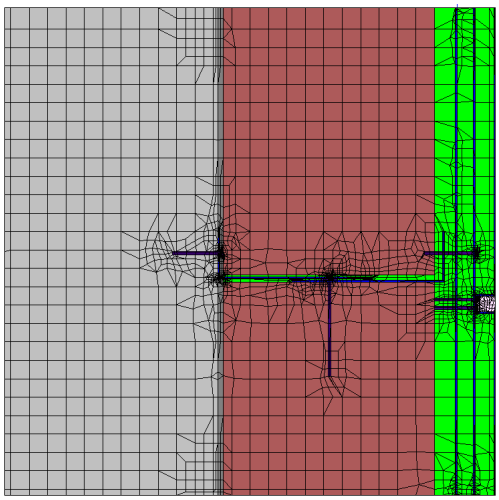
[그림 3.69] 건식 외단열 공법 사용 철물 구성

<표 3.36> 건식 외단열 공법의 열전도율 값

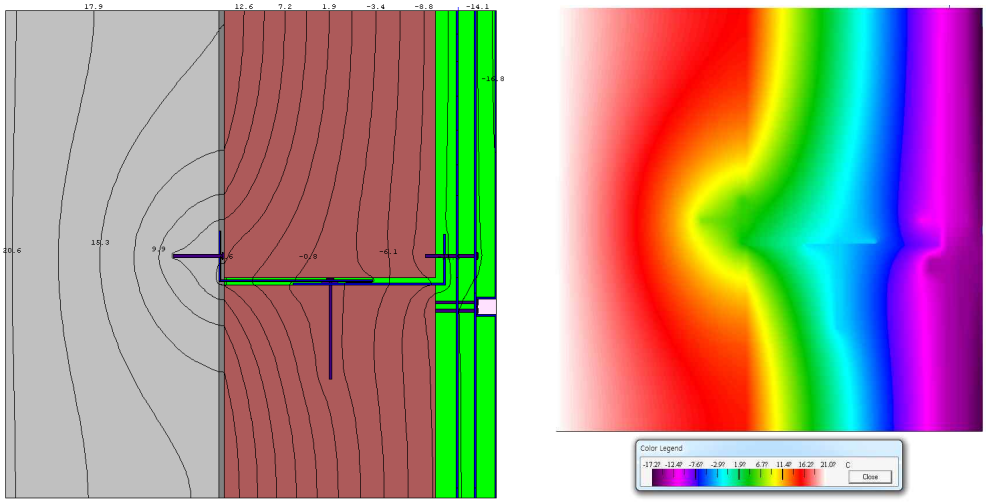
	명칭	Conductivity	Emissivity Coefficient	두께	비고
1	실내측벽(수직)				21℃
2	콘크리트	1	0.85	210	
3	접착몰탈	1.7	0.9	5	
4	불연단열재	0.06	0.9	210	
5	스터드 (건식마감설치용)	160	0.2	20(+40)	
6	마감재	237	0.9	2	
7	외부측벽				-18℃



(a) 건식 외단열공법 모델링



(b) 건식 외단열 공법의 메쉬 모델링



(c) 건식 외단열 공법의 온도분포

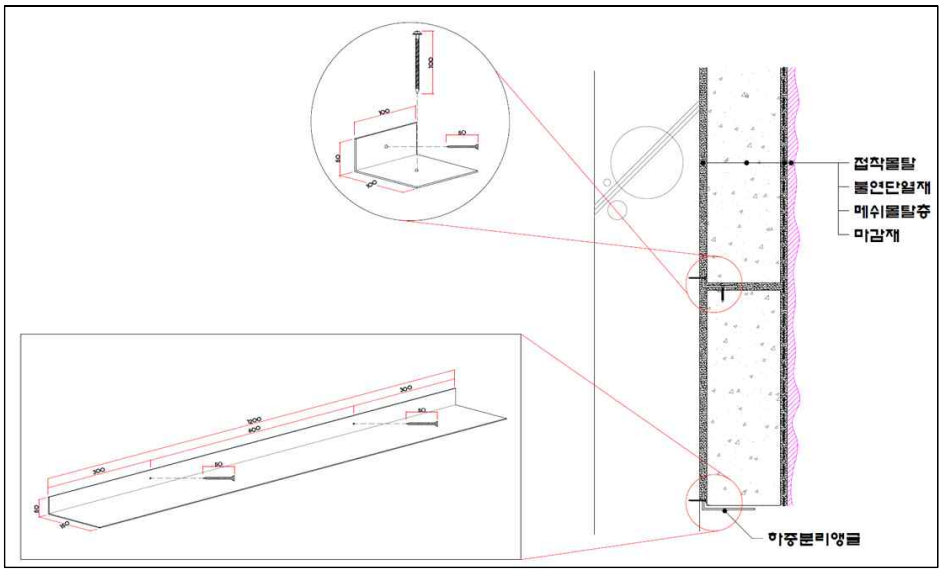
[그림 3.70] 건식 외단열 공법의 사용 철물을 고려한 단열 해석

건식 외단열 공법의 시뮬레이션 결과, 모델링을 통한 해당 단면의 열관류율은 1.2438 $W/m^2 \cdot K$ 로 계산 되었다. 이는 해당 단면의 단열재 접합부분의 공간 및 여기에 고정된 철물을 통해 열이 이동됨으로 발생한 것이다. 물론 본 해석은 전체 열관류율을 대표하는 것이 아닌 철물 부분에 한정된다. 향후 3차원 해석을 통한 평균 열관류율 해석이 필요하다.

② 습식 외단열 공법

무기 단열재 적용 습식 외단열 공법의 단열재 고정철물 및 구성은 그림과 같이 단열재를 받쳐주기 위한 “L”형 앵글, 단열재 고정을 한 “L”형 파스너, 메쉬 및 모르타르

1차마감, 코트마감재 마감으로 구성하였다. 습식 외단열 공법의 단열해석을 위한 재료의 열전도율은 표와 같다.

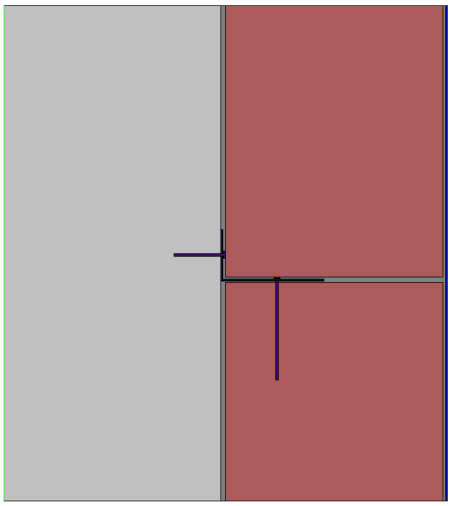


[그림 3.71] 습식마감공법 상세도

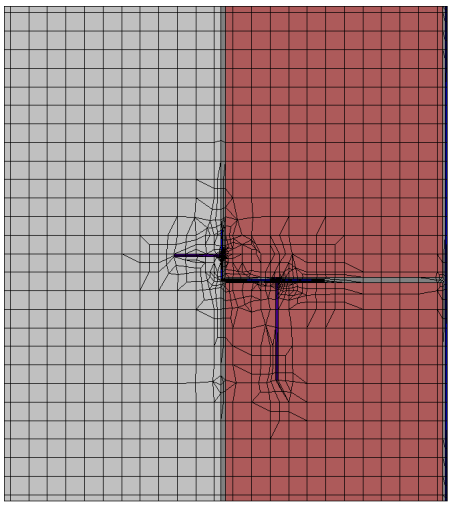
<표 3.37> 습식마감공법의 시뮬레이션 물성치

	명칭	Conductivity	Emissivity Coefficient	두께	비고
1	실내측벽(수직)				21℃
2	콘크리트	1	0.85	210	
3	접착몰탈	1.7	0.9	5	
4	불연단열재	0.06	0.9	210	
5	메쉬 모르타르층	1.7	0.9	20(+40)	
6	코트마감재	1.7	0.9	2	
7	외부측벽				-18℃

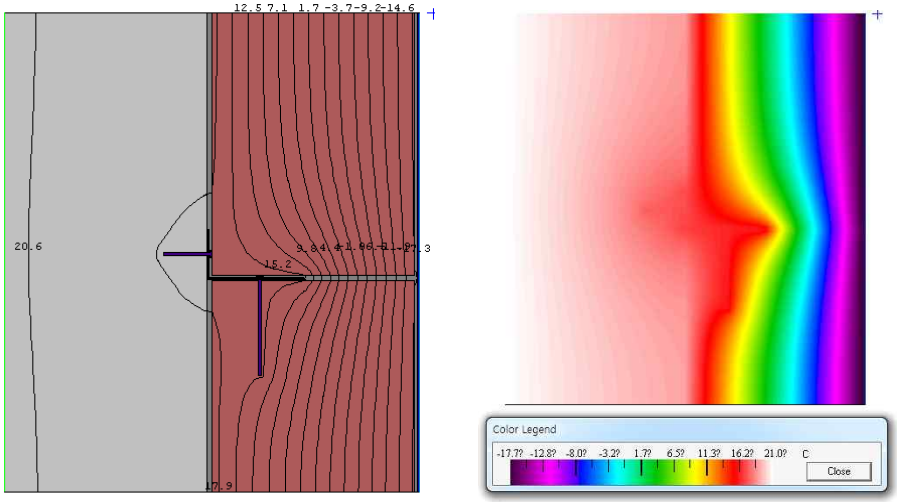
습식마감공법의 시뮬레이션 결과 모델링을 통한 해당 단면의 열관류율이 0.427949 W/m^2K 로 계산 되었다. 이를 건식시스템과 비교하면 단열재의 이음부를 통한 열손실 측면에서는 습식시스템이 건식시스템보다 약 65% 우수한 단열성능을 갖는 것으로 판단된다.



(a) 습식 외단열공법 모델링



(b) 습식 외단열공법 메쉬 모델링



(c) 습식 외단열 공법의 온도분포

[그림 3.72] 습식 외단열 공법의 사용 철물을 고려한 단열 해석

다. 제안된 불연성 단열재 사용 외단열공법의 화재저항성 평가

(1) 평가방법

실대형 화재 시험을 위한 시편은 “ㄱ” 형태로 거치되며, 크기는 주 시편 3.0(W) × 4.0(H) m, 측면 시편 1.2(W) × 4.0(H) m 이다. 외부 화염 출화를 위해서 20 ~ 100 ㎥ 크기의 단위 구획실을 설치하며, 단위 구획실 내부에서는 프로판 버너에 의해 화염의 외부 출화를 구현하게 된다. 프로판 버너 이외에 목재크립을 대체 점화원으로 사용할 수도 있다. 총 25분 동안의 시험시간 동안 시험체틀에 설치되어 있는 K-type 열전대 선과 열류량계에 의해 온도와 열유량이 측정된다.

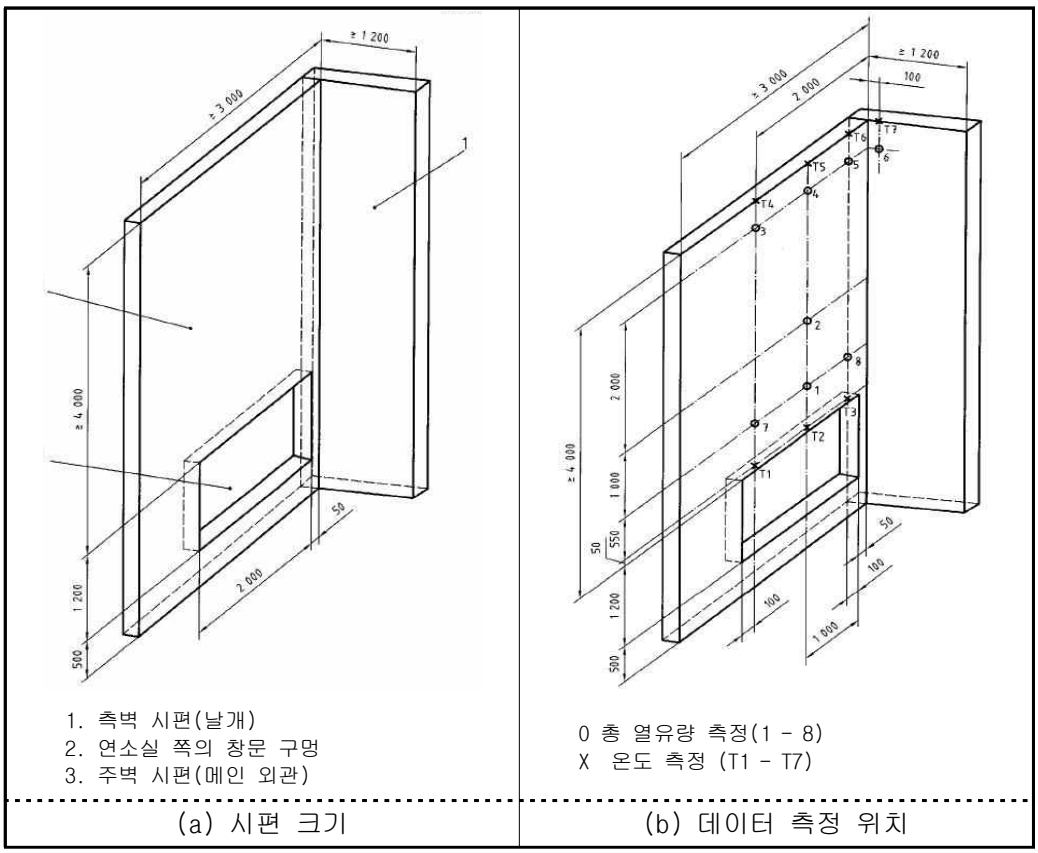
<표 3.38> ISO 13785-2 "Reaction to fire for facades-Part2:Large - scale test"

시 편	Main wall specimen : 3.0(W) × 4.0(H) m Side wall specimen : 1.2(W) × 4.0(H) m
연 소 실	20 ~ 100 ㎥
개 구 부	2.0(W) × 1.2(H) m
화 원	프로판 버너 : 최대 120 g/s 목재 크립 : 25 kg/㎡
시험 시간*	총 25 분
측정값	온도, 열류량

* ISO 13785-2에서는 시험시간을 23분~27분으로 명시하고 있으며, 시험기관에서는 이를 근거로 25분으로 정하여 시험을 수행함.

[그림 3.73] (a)에서는 외벽 마감재료의 시험체틀 개략도를 나타내고 있다. 시험을 통해 측정되는 온도는 총 7 지점이고 열류량은 총 6 지점이다. [그림 3.74] (b)에서는 설치되는 온도 측정선과 열류량계의 위치를 나타내고 있다. 연소실 내부의 프로판 버너의 가스 유량은 그림 26에 나타내고 있다.

프로판 버너는 총 3 단계로 걸쳐 증가 및 감소가 되며, 1단계에서는 0 ~ 5 분 동안 가스 유량이 최대 120 g/s로 증가되고 2단계에서는 5 ~ 20 분(총 15분) 동안 가스 유량이 120 g/s로 유지되며, 마지막 3단계에서 20 ~ 25 분 동안 감소된다. 이러한 프로판 버너에 의해 개구부에 설치되어 있는 열류량계(1, 7, 8)에서는 (55 ± 5) kW/㎡의 열류량을 받고 시험체틀 중앙에 설치되어 있는 열류량계(2)에서는 (35 ± 5) kW/㎡의 열류량을 받는다. 또한 개구부 상부에 설치되어 있는 온도 측정선에 측정되는 온도는 프로판 버너 유량 2단계에서 800 ℃ 이상이 측정된다.

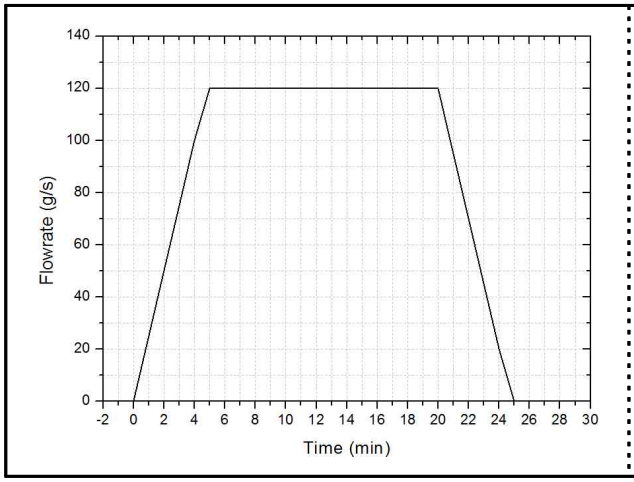


1. 측벽 시편(날개)
2. 연소실 쪽의 창문 구멍
3. 주벽 시편(메인 외관)

0 총 열유량 측정(1 - 8)
X 온도 측정 (T1 - T7)

(a) 시편 크기 (b) 데이터 측정 위치

[그림 3.73] 외벽마감재료의 시험체틀 개략도



- **Step I**
  Time : 0 ~ 5 [m]
  Flow : 0 ~ 120 [g/s]
- **Step II**
  Time : 5 ~ 20 [m]
  Flow : 120 ~ 120 [g/s]
- **Step III**
  Time : 20 ~ 25 [m]
  Flow : 120 ~ 0 [g/s]

[그림 3.74] 프로판 가스 버너 유량

[그림 3.75]에서는 구축된 건축물 외벽 마감재료의 수직화재 확산 성능 평가 장치를 나타내고 있다.



(a) 수직화재 확산 성능 평가 장치



(b) 단위 구획실 프로판 버너 시스템

[그림 3.75] 수직화재 확산 성능 평가 장치

(2) 시험체 제작 및 시험

외단열 공법은 마감방식에 따라 건식, 습식으로 구분하므로 본 시험에서도 단열재는 동일하더라도 마감방법을 건식, 습식으로 구분하여 동시에 시험하기 위하여 다음과 같이 시험체를 제작하였다.

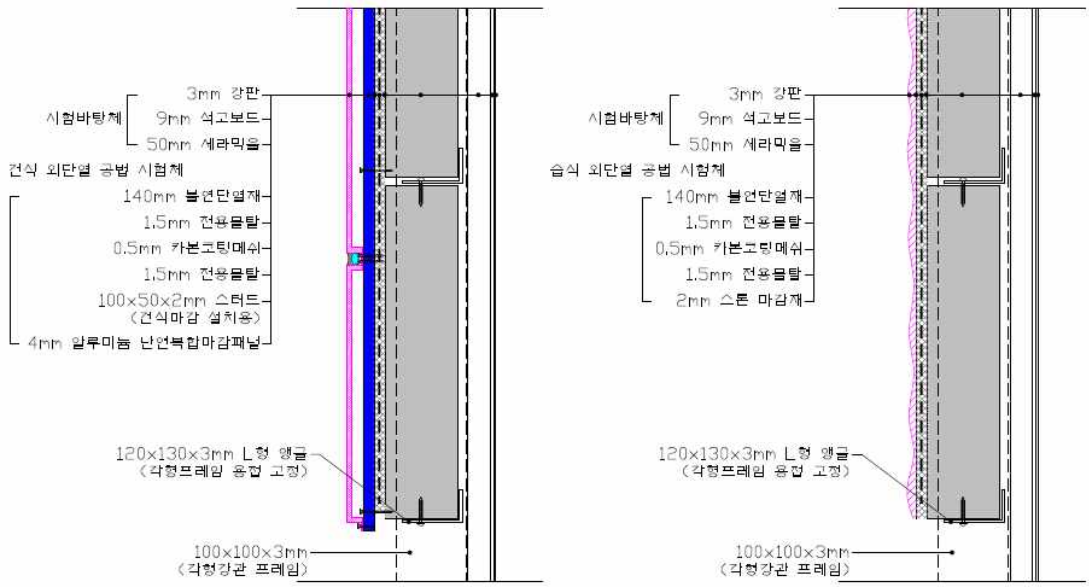
(가) 사용재료 및 구성

본 시험에 사용한 사용재료는 <표 3.39>, 화재시험을 위한 외단열 벽체의 구성은 [그림 3.76]과 같다. 단열재 및 마감재에 따른 화재성상을 확인하기 위하여 건식은 난

연 알루미늄 복합패널, 습식 외단열공법은 흙손을 이용한 스톤마감재로 마감하였다.

<표 3.39> 외단열 시험체의 구성재료

구분	건식공법	습식공법
시험 바탕체	5㎜ 강판 + 12.5㎜ 방화석고보드 + 50㎜ 세라믹울	
단열재	밀도 250±10kg/m^3, 열전도율 0.07±0.005W/㎖의 페유리 발포 불연성 단열재	
고정철물	120×130×3㎜ 단면의 L형 앵글	
마감재	1.5㎜ 수지모르타르+ 0.5㎜ 유리매쉬+ 1.5㎜ 수지모르타르+ 100×50×2㎜ 각형 스터드 + 4㎜ 난연성 알루미늄 복합패널	1.5㎜ 수지모르타르+ 0.5㎜ 유리매쉬+ 1.5㎜ 수지모르타르+ 2㎜ 스톤마감재
프레임	100×100×3㎜ 각형강관	



(a) 건식 외단열 시험체 (b) 습식 외단열 시험체

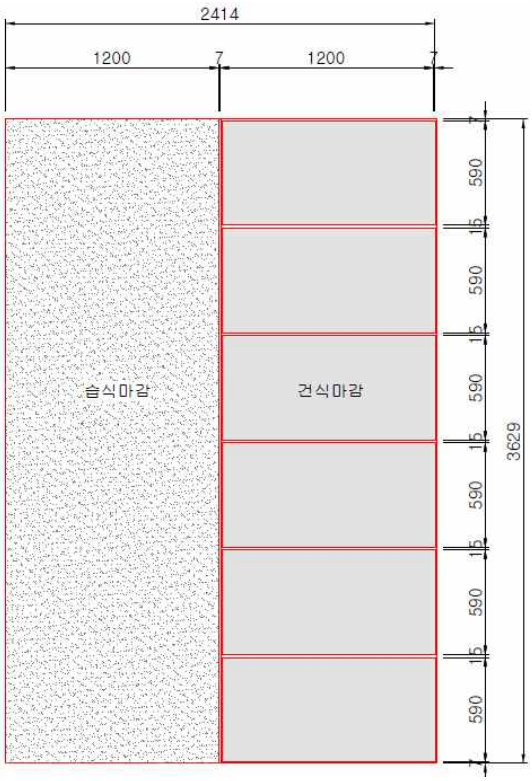
[그림 3.76] 화재시험을 위한 외단열 시험체의 구성

(나) 시험체 제작

시험체 최종 시험체의 제작과정은 [그림 77, 78]과 같다. 시험바탕체가 세라믹울로

마감되어 있어 모르타르 및 철물을 이용한 벽체 고정이 불가하므로 바탕체 주위에 프레임을 설치하고, L형 앵글을 용접한 뒤 단열재를 순차적으로 고정하여 쌓아 올렸다.

단열재 외부에는 유리메쉬 및 모르타르로 1차 바름한 후 Figure와 같이 시험체의 좌측부는 습식 스톤 코트마감재로 마감하고, 시험체의 우측부는 수직 스터드에 스크류 나사를 이용하여 난연성 알루미늄 복합패널을 고정하고 방화실란트로 조인트를 마감한 건식 공법을 적용하였다.



[그림 3.77] 실규모 화재시험체 정면



(a) 프레임 제작



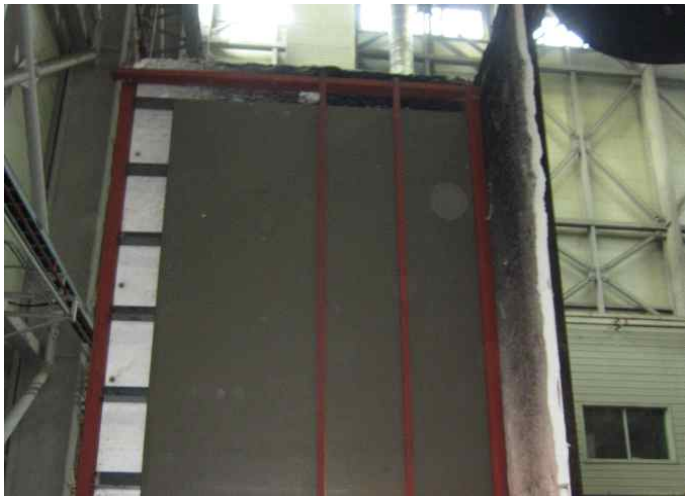
(b) 단열재 L형 앵글 고정



(c) 무기단열재 설치



(d) 모르타르 1차마감



(e) 건식마감용 스터드설치



(f) 알루미늄 패널 설치



(g) 습식 코트재 마감



(h) 화재 시험체 완성

[그림 3.78] 실대형 벽체 시험체 제작

(3) 시험결과

(가) 화재성상 고찰

ISO 13785-2에 의한 무기계 외단열 공법적용 벽체 시험 결과는 아래와 같이 먼저 좌측 습식공법 적용 벽체는 시험 시작 7분 23초 경과 후 하단부에 스톤 마감재에 착화가 발생되었고, 8분 56초 후에는 상단으로 표면 착화가 확대되었음을 확인한 이외에는 25분 경과한 종료시점까지 다른 특이사항은 발생하지 않았다.



(a) 화재시험 시작



(b) 7분 1초 경과



(c) 7분 23초 경과



(d) 7분 40초 경과



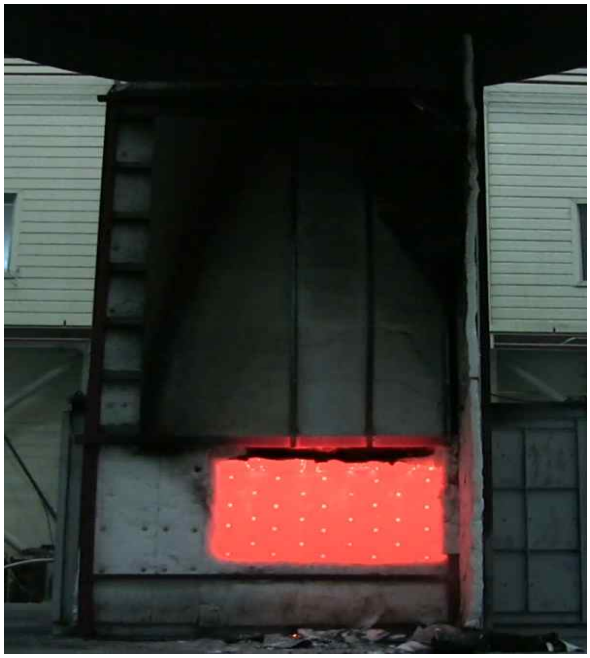
(e) 8분 42초 경과



(f) 8분 56초 경과



(g) 10분 57초 경과



(h) 25분 경과 후 종료

[그림 3.79] 실대형 벽체시험 현황

우측의 건식공법 적용 벽체는 시험 시작 7분 1초 후 하단 실링부위에 착화되기 시작하여 7분 40초에는 하단 알루미늄패널이 탈락되었고, 8분 42초에는 상단 실링 부위에도 착화되어 화염이 확산되었음을 확인하였으며 10분 57초 후에는 상단 알루미늄 패널이 화염에 쌓인 채 탈락되었다. 25분 경과 후 종료시점에서는 건식 패널마감재가 대부분 화재로 소실되었음을 확인할 수 있었다.

<표 3.40> 화재시험의 시간에 따른 성상

구분	화재성상
(a)	벽체 화재시험 시작
(b)	우측 하단 알루미늄 패널사이 실리콘 부위 착화
(c)	좌측 하단 코트 마감재 착화
(e)	우측 하단 알루미늄 패널 탈락
(e)	우측 상단 알루미늄 패널사이 실리콘 부위 착화
(f)	좌측 상단 코트 마감재 착화
(g)	우측 상단 알루미늄 패널 탈락
(h)	25분 경과 후 화재시험 종료

[그림 3.80]은 종료 후 시험체 사진으로 무기성 단열재는 화재에 의한 박리, 탈락, 용융 등의 현상이 발생하지 않아, 우수한 화재저항성이 있음을 알 수 있었다. 일반 EPS 외단열 마감공법의 경우 동일한 시험조건에서 3분 만에 시험체 상단까지 화재로 전소되는 기존 연구 결과와 비교하면 무기계 단열재의 화재저항성은 매우 우수함을 알 수 있다.

시험체 좌측의 습식마감재는 상단 일부를 제외하고, 착화되었는데 이는 코트마감재에 함유된 유기성분에 의한 것으로 판단된다. 우측의 건식마감재는 대부분의 알루미늄패널이 소실되었고, 하부 스터드는 고열에 의해 변형이 생겼음을 확인하였다. 마감재만을 고려하면 건식패널마감공법이 습식마감공법보다 화재저항성은 낮은 것으로 판단된다. 이는 패널이 열에 약한 알루미늄으로 구성되어 있고, 화염이 알루미늄 패널 외부와 단열재사이의 공간을 포함하여 2방향으로 영향을 주었기 때문으로 판단된다.

따라서, 건식 외단열 공법에는 국외 벽체 화재규정과 같이 Fire stop barrier 또는 Cavity barrier 등과 같이 단열재와 마감재 사이의 수직공간을 막는 구조가 필요할 것으로 판단된다.



[그림 3.80] 무기단열재 외단열 공법 시험체의 화재 손상



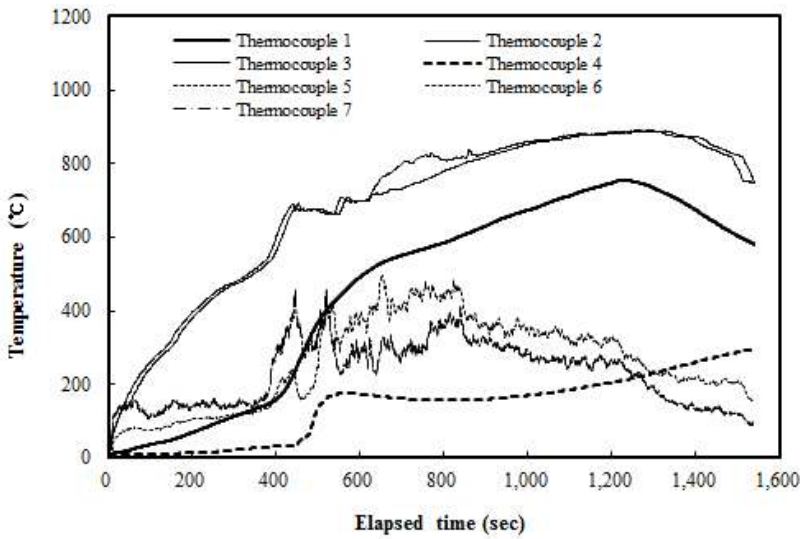
[그림 3.81] 무기 단열재에 발생한 균열형상

[그림 3.81]은 무기계 단열재의 화재확산 후 발생한 균열로 단열재 내부의 갇힌 공기가 높은 고열에 의해 팽창하여 발생하는 것으로 판단되었으며, 균열 발생에 의한 단열재의 박리, 탈락 등의 현상은 발견되지 않았다.

(나) 온도 및 열류량

[그림 3.82]는 화재 시험과정에서 바탕체와 무기계 단열재 사이에서 측정한 온도변화로 화원으로부터 가장 가까운 위치인 시험체 최하단, 개구부 상단 열전대 1~3에서 20분 경과 후 최대 온도 755~891℃까지 상승한 반면, 시험체 최상단 열전대 4~7에서는 7분 경과 후부터 최대온도 287~497℃까지 상승하였다.

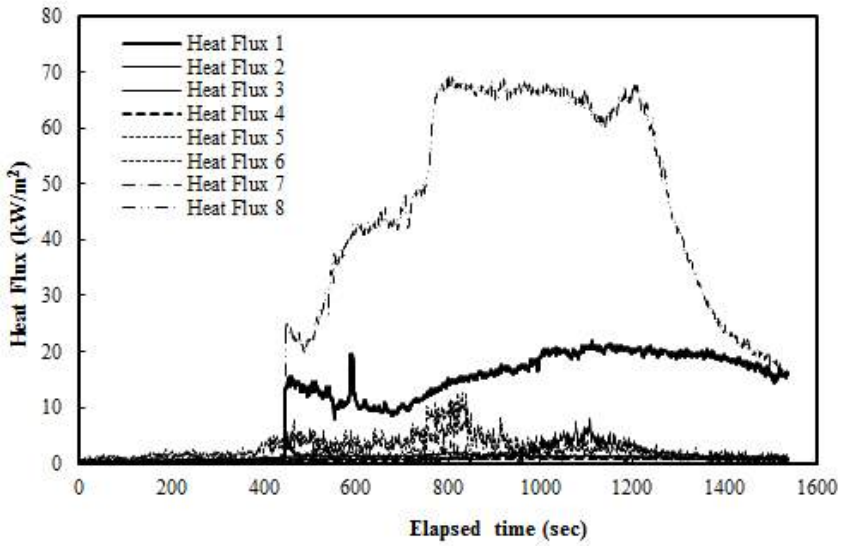
.



[그림 3.82] 무기단열재 외단열 시험체 온도 측정 결과

동일 화재실험을 실시한 기존 연구와 본 연구결과를 비교하면 최고온도는 열원에 가장 가까운 열전대 1~3번은 낮게 나타난 반면 최상단의 열전대 1~8번은 다소 높게 나타난 경향을 보여주었다. 이는 무기계 단열재가 화염으로부터 용융이나 소실되지 않아 열원으로부터 열전대에 직접적인 화염이 가해지지 않도록 보호하는 반면, 상단까지는 단열재간 열이 전달되어 다소 높게 나타나기 때문으로 판단된다. 즉, 단열재가 용융 또는 소실된다면, 열이 외부로 분출되어 최상단까지는 전달되는 열은 낮아질 것으로 판단된다.

[그림 3.83]은 화재시험 과정에서 바탕체와 무기계 단열재 사이에서 측정한 열류량으로, 8번 열류계를 제외한 나머지 부위에서는 20kw/m^2 이하로 측정되었다. 특히 약 7분에 급격한 열류량 상승을 보여주는데 이는 화재시험 2단계 진입 후 지속되는 화염에 기인한 것으로 판단된다. 가장 높은 열류량을 나타낸 8번 열류계는 우측 하단 단열재 내부에 위치한 것으로 무기단열재가 화염에 의해 용융되지 않고 견디는 과정에서 열이 외부로 유출되지 않아 높게 나타난 것으로 판단된다. 기존 연구에서 화재시 최상단까지 완전 소실되는 일반 알루미늄 복합패널의 최대 열류량도 48.7kW/m^2로 측정된 것과 비교하면, 열류량을 이용한 화재안전성 평가는 다시 생각할 필요가 있을 것이다.



[그림 3.83] 무기단열재 외단열 시험체의 열류량 측정 결과

라. 제안된 외단열공법의 내풍압성 평가

일반적으로 건축물의 외벽은 높이에 따라 풍압의 영향을 받는다. 구조용 외벽이 아닌 마감재라도 풍압에 의한 파손, 탈락 등의 우려가 있어 내풍압성 평가가 요구되기도 한다. 본 내풍압성 평가는 개발 건식, 습식 외단열 공법의 바람에 대한 구조 안전성을 평가하고자 내풍압 시험을 실시하였다.

(1) 평가방법

내풍압성 시험은 다음과 같은 항목을 수행하여 평가한다.

(가) Pre-Road test

가장 높은 풍압력인 485kgf/m^2의 50%인 풍압 242kgf/cm^2를 가압하여 chamber에 설치된 시험체 점검 및 시험실시 가능 여부를 판단하고자 예비시험을 실시한다.

(나) Air Infiltration test by static pressure

ASTM E 283에 의거하여 풍압 7.6kgf/m^2에서 시험체 단위 면적당 통기량을 Venturi tube에서 anemometer를 이용하여 유속을 측정하여 표준조건으로 환산한다.

(다) Water penetration test by static pressure

ASTM E-331에 의거하여 설계풍압력의 20%인 97kgf/m^2와 규정에 의한 최대값인 73kgf/m3 중 규정에 의한 73kgf/m^2 조건 하에서 살수량 3.4l/min·m^2유량으로 15분간 water spray를 실시하면서 water leak 상태를 점검한다.

(라) Water penetration test by dynamic pressure

JIS A 1517에 의거하여 최고등급 맥동압력인 50kgf/m^2 ± 25kgf/m^2을 적용하여 주기 2초, 표준주수량 4l/min·m^2 유량으로 10분간 water spray를 실시하면서 water leak 상태를 점검한다.(상한값 75kgf/m^2, 하한값 25kgf/cm^2)

(마) Structural performance test by static pressure

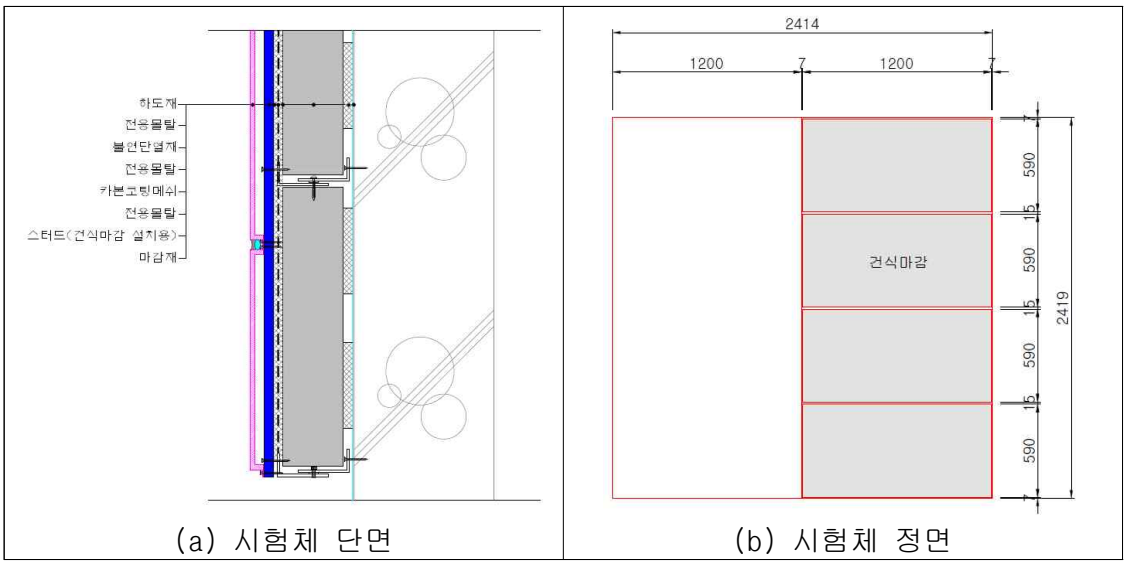
설계기본 풍속을 40m/s, 45m/s, 높이 60m(20층 기준), 높이 90m(30층 기준) 조건으로 계산한 풍하중을 시험체에 가하며 건식, 습식 외단열 공법의 탈락 및 파손 등 이상유무를 관찰하였다.

Positive pressure : +339kgf/m^2, +429kgf/m^2, +485kgf/m^2

Negative pressure : -339kgf/m^2, -429kgf/m^2, -485kgf/m^2

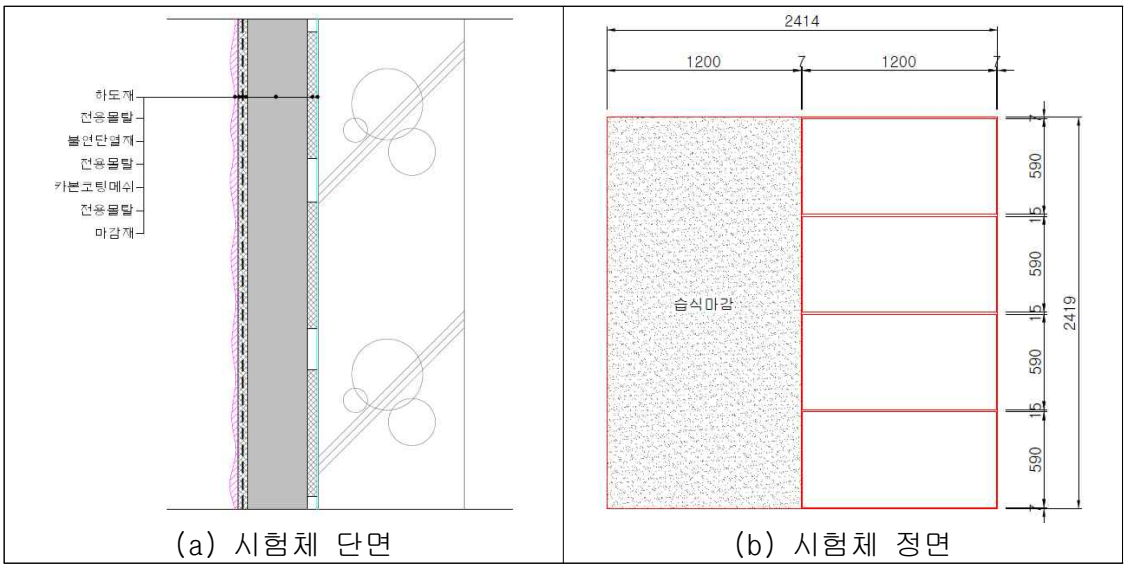
(2) 시험체 제작 및 시험

개발 외단열 공법은 구조벽체에 설치해야 하므로 먼저 설치용 외벽판은 2.5m × 2.5m 크기의 철근콘크리트조로 제조하고, 건식 외단열 공법은 2.4×2.4m 크기로 그림과 같이 L형 앵글 바탕체 고정 → 단열재 설치용 L형 앵글 조립 → 단열재 모르타르 붙임 → 메쉬모르타르 1차 마감 → 스터드 설치 → 알루미늄 패널 설치 → 조인트 백업재 및 실리콘 코킹 → 완료, 습식 외단열 공법은 그림과 같이 무기 단열재 모르타르 떠붙임 → 유리메쉬 및 모르타르 1차 마감 → 스톤 마감재 마감 → 완료 순으로 제작하고, 순으로 제작하고, 내풍압 시험 챔버에 부착하였다.



(a) 시험체 단면 (b) 시험체 정면

[그림 3.84] 건식 외단열 공법 내풍압 시험체 도면



(a) 시험체 단면 (b) 시험체 정면

[그림 3.85] 습식 외단열 공법 내풍압 시험체 도면



(a) 시험용 철근콘크리트 바탕체 제작



(b) L형 앵글 바탕체 고정



(c) 무기단열재 모르타르 떠붙임



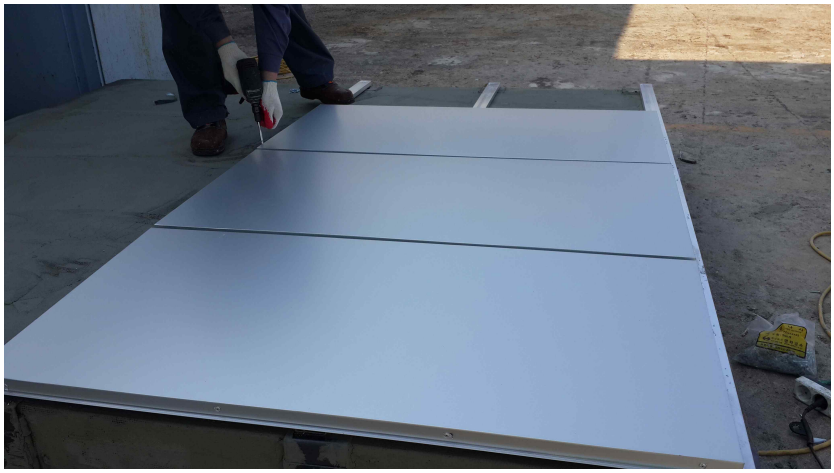
(d) 39 무기단열재 부착 및 L형 앵글 고정



(e) 메쉬 및 모르타르 1차 마감



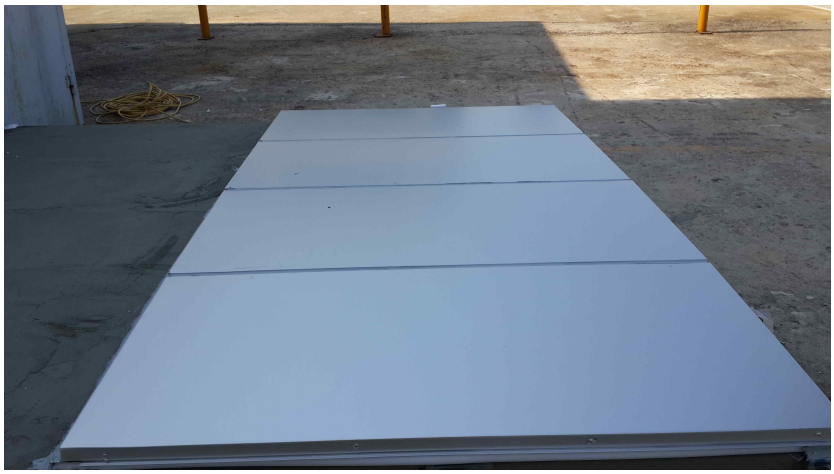
(f) 알루미늄 패널 고정용 스터드 설치



(g) 알루미늄 패널 고정



(h) 줄눈설치 (백업제 및 실리콘 코킹)



(i) 건식 외단열 공법 시험체 설치 완료

[그림 3.86] 건식 외단열 공법 내풍압 시험체 제작



(a) 시험용 철근콘크리트 바탕체 제작



(b) 무기 단열재 모르타르 떠붙임



(c) 무기 단열재 바탕체 부착



(d) 매쉬 및 모르타르 1차 마감



(e) 스톤 코트 마감재 마감



(f) 습식 외단열 공법 시험체 설치 완료

[그림 3.87] 습식 외단열 공법 내풍압 시험체 제작

(3) 평가결과

내풍압시험 결과는 기밀성, 정적 압력하에서의 수밀성, 동적압력 하에서의 수밀성, 그리고 동적압력하에서의 구조성능(내풍압성)을 평가하였다. 그림은 시험체 설치 및 기밀성, 수밀성, 풍압 측정 장면을 나타낸 것이다 . 시험결과는 표와 같이 건식, 습식 외단열 공법 모두 기준을 만족하며 양호한 것을 나타났다. 이는 구조적 측면에서는 30층 높이의 콘크리트 구조 건축물의 외벽에도 사용이 가능함을 의미한다.



(a) 내풍압 시험체 설치



(b) 기밀성 측정



(c) 수밀성 측정



(d) 풍압 측정

[그림 3.88] 내풍압 시험 장면

<표 3.41> 내풍압시험 결과

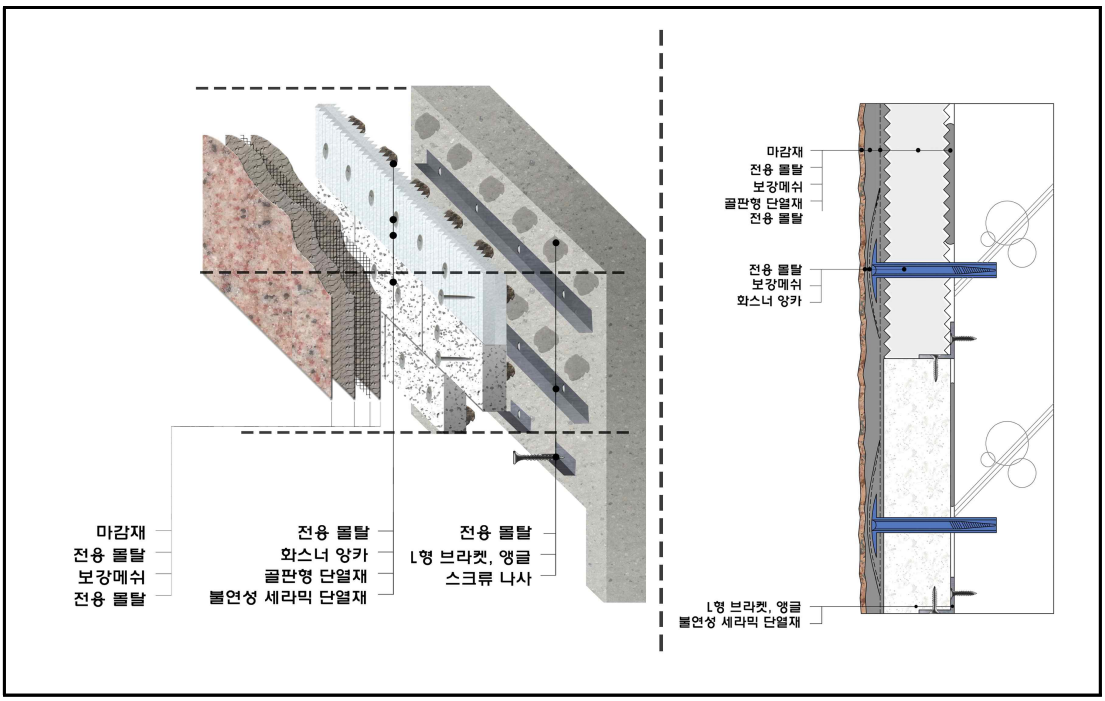
구분		기밀성	수밀성		구조시험 (내풍압시험)	평가
			정적	동적		
규 격		0.0183m3/min · m^2 이하일 것	누수발생 없을 것		시험체 파손 등 이상이 없을 것	양 호
결 과	건식외단열 공법	0.0006m3/min · m^2	누수 발생 없음		시험체 이상없음	
	습식외단열 공법	0.0004m3/min · m^2	누수 발생 없음		시험체 이상없음	

5. 개선된 불연성 단열재 이용 외단열 공법의 제안

기존 외단열 마감 시스템(EIFS) 공법의 문제로 제기되고 있는 화재 확산에 의한 피해를 방지하기 위하여 기존 시스템의 문제점 해결을 위한 대안을 1차 및 2차 제안 공법을 보완하여 다음과 같이 최종 설정하였다.

<표 3.42> 기존 외단열 공법의 문제점 및 대안

	기존 외단열 공법의 문제점	문제 해결을 위한 대안
재료적 측면	- 단열재료의 내화성능 부족 - 내충격성의 저하	- 불연성능을 보유한 무기단열재의 사용 소정의 강도를 확보한 무기단열재의 사용
공법적 측면	- 연속된 유기 단열재의 배치로 화재시 수직 확산 용이 - 내부 화재시 화원인 창문 등 개구부에 직접 노출 - 화재시 단열재 및 마감재 등의 탈락	- 단열재의 층간 단절을 위한 층간 화재확산 방지구조 적용 - 개구부 상단 무기단열재 보강으로 화재저항성 향상 - 부착모르타르 바름 및 고정철물의 2중 고정으로 화재 발생시에도 부착력 유지



[그림 3.89] 개선된 불연성 외단열 공법의 제안

가. 개선된 불연성 단열재 이용 외단열 공법의 특징

(1) 단열성이 향상된 불연성 단열재의 적용

규산칼슘계 경량 세라믹 단열재는 규석과 시멘트, 생석회, 무수석고 등을 혼합하고, 혼합수와 첨가제로 폴리디메틸 실록산, 기공 제어를 위한 염화칼슘 등을 혼합하여 슬러리 제조 후 알루미늄 기포제를 혼합하여 성형체를 50℃, RH50% 조건에서 4~6시간 성형하고, 오토클레이브에서 160~180℃로 3~5시간 수열 합성하여 제조한다. 주요 성분은 <표 3.43>과 같다.

<표 3.43> 규산칼슘계 경량 세라믹 불연 단열재의 주요성분

성분	주재료				첨가재료		
	보통 포틀랜드 시멘트	규석	생석회	무수석고	폴리디메틸 실록산	염화칼슘	알루미늄 기포제
비율(%)	50~60%	25~35%	10%	5%	0.05~0.15%	0.03~0.1%	0.3~0.5%

상기의 조성으로 제조된 규산칼슘계 경량 세라믹 불연 단열재는 불연성, 역학적 특성도 우수하고, 열전도율 및 밀도가 낮아 에너지절약기준에 따른 '다' 급 단열재로 구분되며, 중부지방 기준으로 160mm 두께의 단열재 설치가 가능하다.

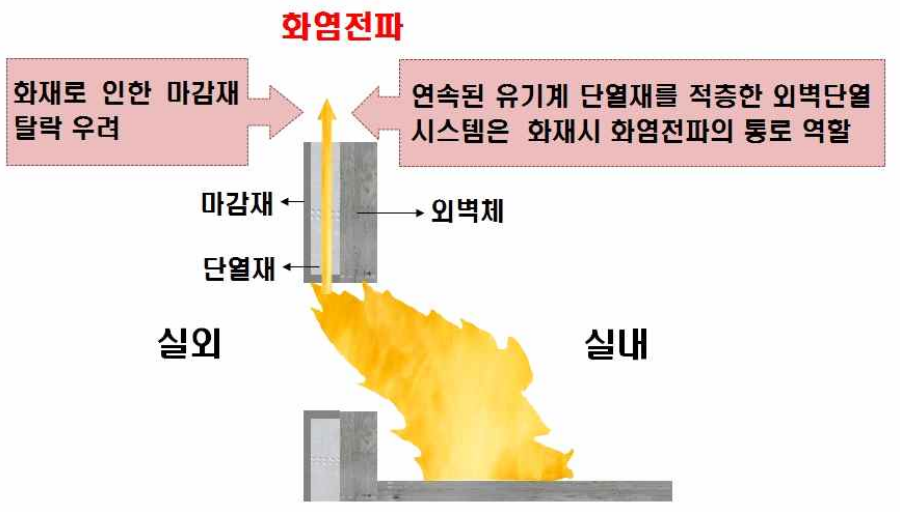
<표 3.44> 규산칼슘계 경량 세라믹 단열재의 성능기준

성능		단위	성능기준	평가 방법
밀도		g/cm^3	0.15 이하	KS F 2701
압축강도		N/mm^2	0.4 이상	KS L ISO 679
휨강도		N/mm^2	0.2 이상	KS L ISO 679
열전도율		W/mK	0.046 이하	KS L 9016
화재 성능 (불연성)	질량감소율	%	30 이하	KS F ISO 1182
	최고온도와 최종 평형온도의 차	℃	20 이하	
	가스유해성	min.	9 이상	KS F 2271

(2) 경량 세라믹 불연 단열재 적용 외벽 화재확산 방지구조 시공기술

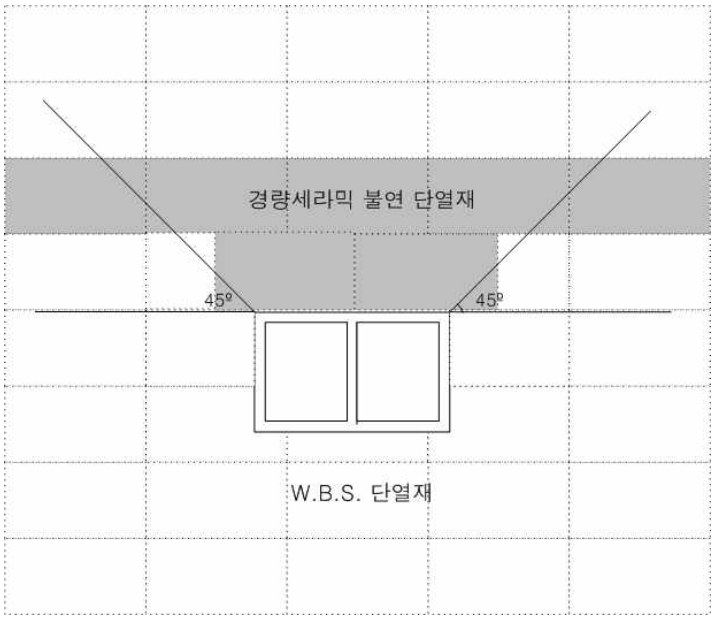
건축물 외벽 화재원인은 인근 외부 화원의 전파와 내부 화원의 전파로 구분할 수 있으며, 이 두가지 모두 화염은 주로 수직 확산된다. 특히 내부 발생 화재는 창문과

같은 개구부를 통하여 외벽으로 화염이 분출되고, 이때 마감재가 불연 또는 준불연재료일지라도 개구부 상인방에 위치한 벽체와 마감재 사이에 설치된 유기성 단열재는 얇은 마감재만으로는 화염으로부터 차단이 되지 않아 화염의 확산 통로로 이용된다.



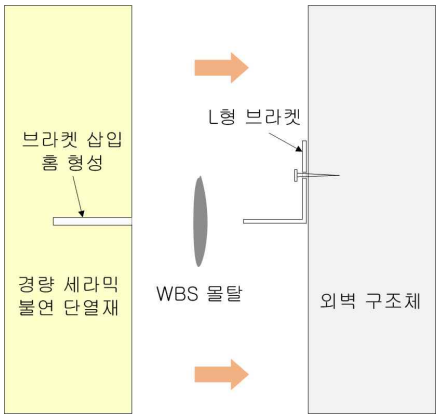
[그림 3.90] 외단열 마감시스템의 화재확산

따라서, 본 개발기술은 건축물 외벽체의 화염의 수직 확산을 차단하기 위하여 1차로 개구부를 통한 화재확산 방지를 위한 개구부 상단에 45° 이상 연장하여 경량 세라믹 불연 단열재를 벽체에 전용 모르타르로 밀착 고정하되, 고정 철물인 L형 브라켓을 화염에 직접 노출되지 않도록, 중간부에 매립 부착하는 방식을 개발・적용하였다.

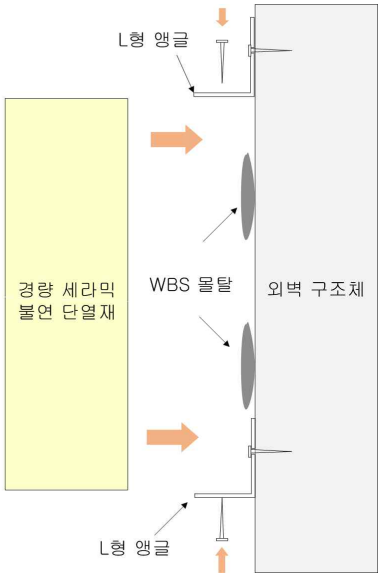


[그림 3.91] 경량 세라믹 불연성 단열재의 부착위치

이후 2차로 외부 화원 또는 내부 화원에 의한 수직확산을 방지하기 위하여 층사이에 불연성 세라믹 단열재를 L형 앵글 및 전용모르타르를 이용, 단열재 상호 및 벽체와 밀착 결합시켜 연속된 띠를 형성하여 수직 화재 확산을 방지하는 화재확산 방지구조를 개발·적용하였다.



[그림 3.92] 개구부 상단 경량 세라믹 불연 단열재 부착



[그림 3.93] 수평 1열 연속 경량 세라믹 불연 단열재 부착

6. 개선된 불연성 단열재 이용 외단열 공법의 성능

개선된 불연성 단열재 이용 외단열 공법의 성능을 평가하기 위하여 경량 세라믹 불연 단열재의 구조성능, 단열성, 불연성능 및 이를 사용한 화재확산 방지구조 시스템의 화재안전성, 내풍압성, 단열성, 내충격성을 공인시험기관 및 전문 엔지니어링업체에서 시험 및 해석 등을 의뢰하여 검토하였다.

특히 내풍압성은 1차년도에서 시험한 결과와 큰 차이가 없을 것으로 예상되어 2차년도에서는 구조해석을 통한 구조안전성 검토로 대체하고, 외단열 공법의 문제점인 내충격성을 추가하여 평가하였다.

<표 3.45> 개선된 불연성 단열재 이용 외단열 공법의 성능평가항목

	기존 평가방법		수정 평가방법		비고
	목표치	평가방법	목표치	평가방법	
열관류율	0.27W/m^{2}K 이하	단열시뮬레이션 보고서	-	-	
화재 안전성	25분 (가열종료시간)	KSF ISO 13875-1	-	-	
내풍압성	이상없음	ASTM E 330	구조안전성 확인	구조검토서로 대체	- 부착모르타르 및 앵커에 대한 구조안전성 검토
기밀성	0.0183m^3/min·m^2 이하	ASTM E 283			
수밀성	누수없음	ASTM E 331, JISA 1517			
내충격성	-	-	기존 외단열 대비 우수	KS F 4760	- 외단열 공법의 단점인 충격성 검토 추가

가. 개선된 세라믹 불연 단열재의 구조성능

경량 세라믹 불연 단열재의 밀도, 압축강도, 휨강도를 측정한 결과, <표 3.46>과 같이 나타났다. 기존 단열재와 비교하면, 밀도는 미네랄울 보온판 2호 규격에 속하는 경량성을 확보하였고, 압축강도 및 휨강도는 구조성능이 없는 미네랄울은 물론 구조적 강성을 갖는 기존 EPS 단열재의 압축강도 및 굴곡파괴하중 기준과 비교하면 약 3배 이상의 우수한 구조성능을 갖는 것으로 확인되었다.

<표 3.46> 경량 세라믹 불연 단열재의 구조성능 시험 결과

성능항목	밀도 (g/cm^3)	압축강도 (N/mm^2)	휨강도 (N/mm^2)
시험결과	0.138	0.5	0.3

나. 개선된 세라믹 불연 단열재의 열전도율

경량 세라믹 불연 단열재의 열전도율을 측정한 결과, <표 3.47>과 같이 0.045 W/mK로 측정되었으며, 이는 건축물의 에너지 절약 설계기준에서 정하는 단열재 등급 분류 중 '다'급 단열재에 포함되는 것으로 확인되었다.

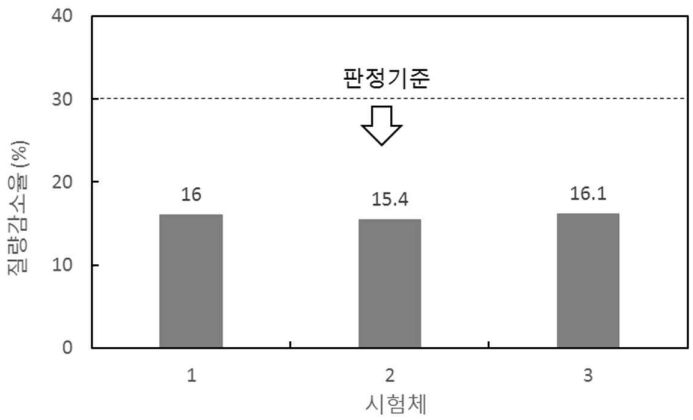
<표 3.47> 경량 세라믹 불연 단열재의 열전도율 시험 결과

구분	경량 세라믹 불연 단열재	에너지 절약기준의 '다' 급 단열재 기준
열전도율 (W/mK)	0.045	0.046 이하

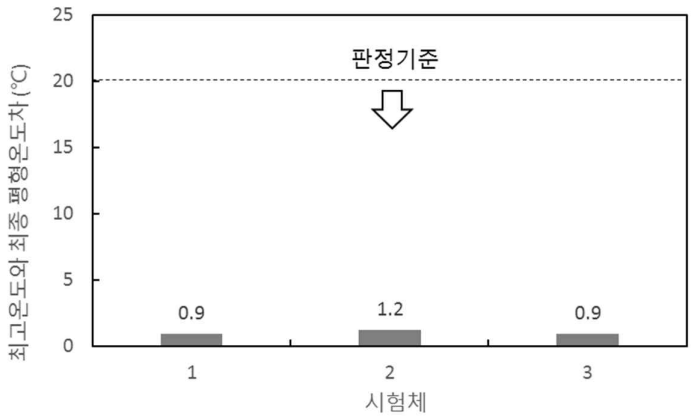
다. 개선된 세라믹 불연 단열재의 불연성

건축물 마감재료의 난연성능 및 화재확산 방지구조 기준에 따르면 불연재료는 KS F ISO 1182 '건축재료의 불연성 시험 방법'에 따라 가열시험 개시 후 20분간 가열로 내의 최고온도가 최종평형온도를 20K 초과 상승하지 않아야 하며, 가열종료 후 시험체의 질량 감소율이 30% 이하여야 한다. 또한 KS F 2271 '건축물의 내장 재료 및 구조의 난연성 시험방법' 중 가스유해성 시험 결과, 실험용 쥐의 평균행동정지 시간이 9분 이상이어야 한다.

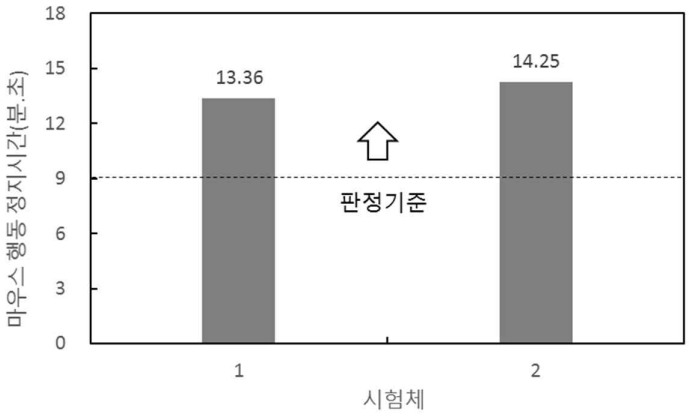
본 개발 기술에 사용하는 경량 세라믹 불연 단열재의 불연성 및 가스유해성 시험 결과, [그림 3.94]와 같이 불연재료의 기준을 모두 만족하는 것으로 확인되었다.



(a) 질량감소율 측정 결과



(b) 최고온도와 최종 평형 온도차 측정 결과

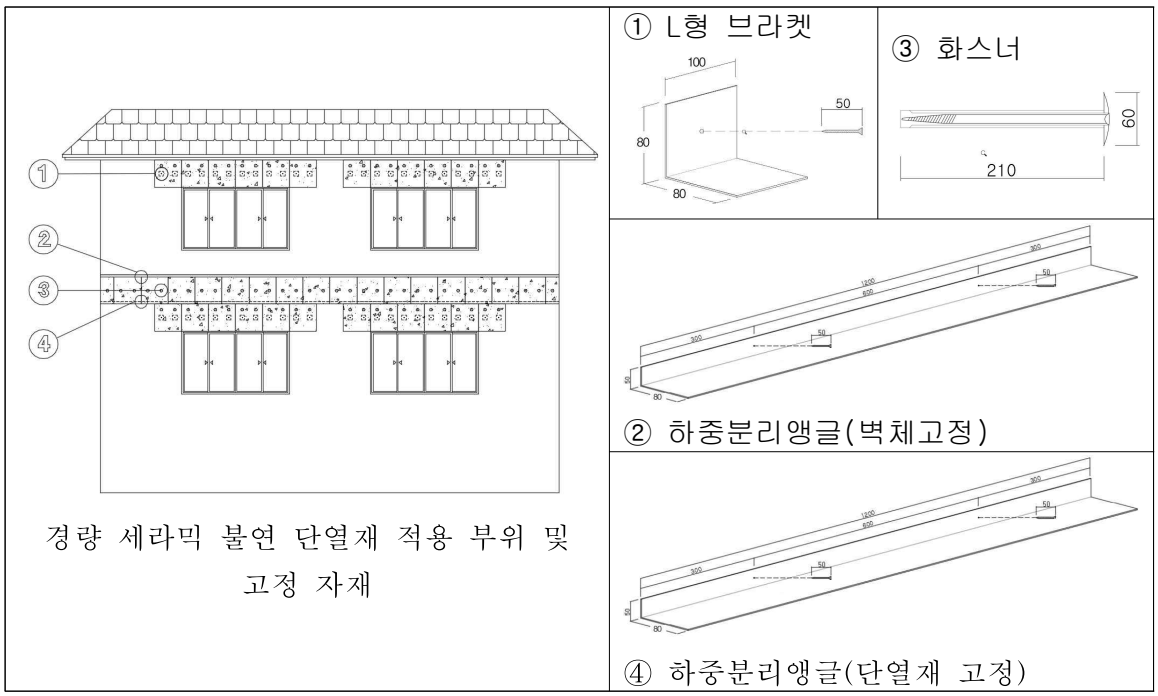


(c) 마우스 행동정지시간 측정 결과

[그림 3.94] 경량 세라믹 불연 단열재의 불연성 시험결과

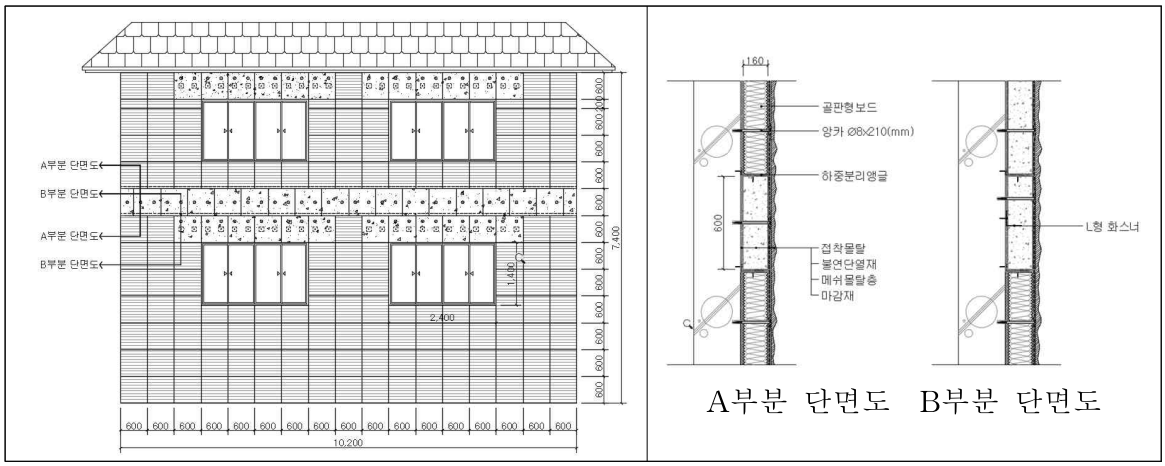
라. 개선된 불연성 단열재 적용 외단열 시스템의 구조안전성 확인

경량 세라믹 불연 단열재 적용 외단열 시스템의 구조 안전성 검토를 위하여 국토해양부 고시 건축구조기준 및 해설에 근거한 풍하중 및 지진하중을 계산하고, 그림과 같이 적용하는 개발기술을 대상으로 구조안전성을 검토하였다.



경량 세라믹 불연 단열재 적용 부위 및 고정 자재

[그림 3.95] 개발기술 적용 고정 자재



[그림 3.96] 개발기술 적용 외벽 입면 및 단면도

경량 세라믹 불연 단열재를 적용한 외단열 시스템의 적용하중은 <표 3.48>과 같이 1.29 kN/m^2으로 계산되었다.

<표 3.48> 불연성 세라믹 단열재 적용 외단열 시스템의 적용하중

재 료	하중
접착몰탈(20.0kN/m^3 * 0.02m)	0.40 kN/m^2
불연성 세라믹 단열재(1.2kN/m^3 * 0.16m)	0.19 kN/m^2
메쉬몰탈층(20.0kN/m^3 * 0.02m)	0.40 kN/m^2
마감재	0.30 kN/m^2
DEAD LOAD	1.29 kN/m^2

개발기술 적용 건축물의 풍하중 산정을 위하여 수도권 기준 기본 풍속 30m/s와 가장 높은 풍속인 45m/s와, 건물 높이 30m, 60m, 90m 적용시 설계풍압력을 산정하였다.

<표 3.49>기본 풍속 및 건물높이를 고려한 설계풍압력 산정

구 분	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 5	CASE 6
지 역	포항	포항	포항	수도권	수도권	수도권
건물높이	30M	60M	90M	30M	60M	90M
기본풍속(V0)	45m/sec	45m/sec	45m/sec	30m/sec	30m/sec	30m/sec
노풍도	C	C	C	C	C	C
고도분포계수 (Kzr)	0.71*Z0.15 = 1.18	0.71*Z0.15 = 1.31	0.71*Z0.15 = 1.39	0.71*Z0.15 = 1.18	0.71*Z0.15 = 1.31	0.71*Z0.15 = 1.39
풍속할증계수 (Kzt)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
중요도계수(Iw)	1.0(특)	1.0(특)	1.0(특)	1.0(특)	1.0(특)	1.0(특)
가스트외압계수 GCpe(벽면)	-3.75	-3.75	-3.75	-3.75	-3.75	-3.75
설계풍속(Vh)	53.1m/sec	59.0m/sec	62.6m/sec	35.4m/sec	39.3m/sec	41.7m/sec
설계속도압(qz)	1.72kN/㎡	2.12kN/㎡	2.39kN/㎡	0.76kN/㎡	0.94kN/㎡	1.06kN/㎡
설계풍압력 (pf)	6.45kN/㎡	7.95kN/㎡	8.96kN/㎡	2.85kN/㎡	3.53kN/㎡	3.98kN/㎡

또한 비구조 외벽에 작용하는 지진하중은 풍하중과 비교하여 풍하중이 클 결우 풍하중에 대하여 설계하도록 KBC 2009에서는 규정하고 있다. <표3.49>와 같이 계산한 지진하중 에 비해 풍하중이 크므로 설계하중은 풍하중을 적용하였다.

<표 3.50> 설계하중의 검토

구 분	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 5	CASE 6
풍하중	6.45kN/㎡	7.95kN/㎡	8.96kN/㎡	2.85kN/㎡	3.53kN/㎡	3.98kN/㎡
지진하중	2.84kN/㎡	2.84kN/㎡	2.84kN/㎡	2.84kN/㎡	2.84kN/㎡	2.84kN/㎡
설계하중	6.45kN/㎡	7.95kN/㎡	8.96kN/㎡	2.85kN/㎡	3.53kN/㎡	3.98kN/㎡

개발기술은 모르타르와 앙카를 이용하여 불연성 세라믹 단열재를 벽체에 고정 및 접합시킨다. 따라서, 안전성 검토를 위해서는 모르타르의 부착력와 파스너용 고정앙카

의 인발력을 알아야 한다. 신청기술의 모르타르 부착강도 및 앙카는 <표 3.51>과 같이 측정되었다.

<표 3.51> 부착모르타르 및 고정앵커의 적용값

구분	적용값
부착모르타르	부착강도 1.8N/mm2(표준양생 기준)
파스너용 고정 앙카 (ϕ 8)	인발하중 : 2680 N

여기서, 부착모르타르는 시공과정에서 온도, 습도, 강수 등의 기후조건, 그리고 양생시간 등에 따라 편차가 크게 나타날 수 있다. 따라서 안전을 위해 단열재 최소 부착면적을 단열재 면적의 10%로 정하고, 측정 부착강도의 1/3을 재료의 부착강도로 설정하여 계산하였고, 그 결과는 표와 같이 정리하였다.

<표 3.52>에 따르면 기준 풍속 45m/s, 90m 높이에 해당하는 건축물에 신청기술을 적용하더라도, 탈락 등의 위험은 없는 것으로 판단되며, 특히 모르타르 및 파스너용 앙카 2가지를 모두 적용하므로 그 안전성은 배가되는 것으로 판단된다.

<표 3.52> 신청기술의 구조안전성 검토 결과

구 분	작용하중	모르타르 부착 안전성		파스너용 앙카 인발 안전성	
		허용부착력	안전율	인발력	안전율
CASE1	2,322N	21,600N	9.3	5,360N	2.31
CASE2	2,862N	21,600N	7.6	5,360N	1.87
CASE3	3,226N	21,600N	6.7	5,360N	1.66
CASE4	1,026N	21,600N	21	5,360N	5.22
CASE5	1,271N	21,600N	17	5,360N	4.22
CASE6	1,433N	21,600N	15	5,360N	3.74

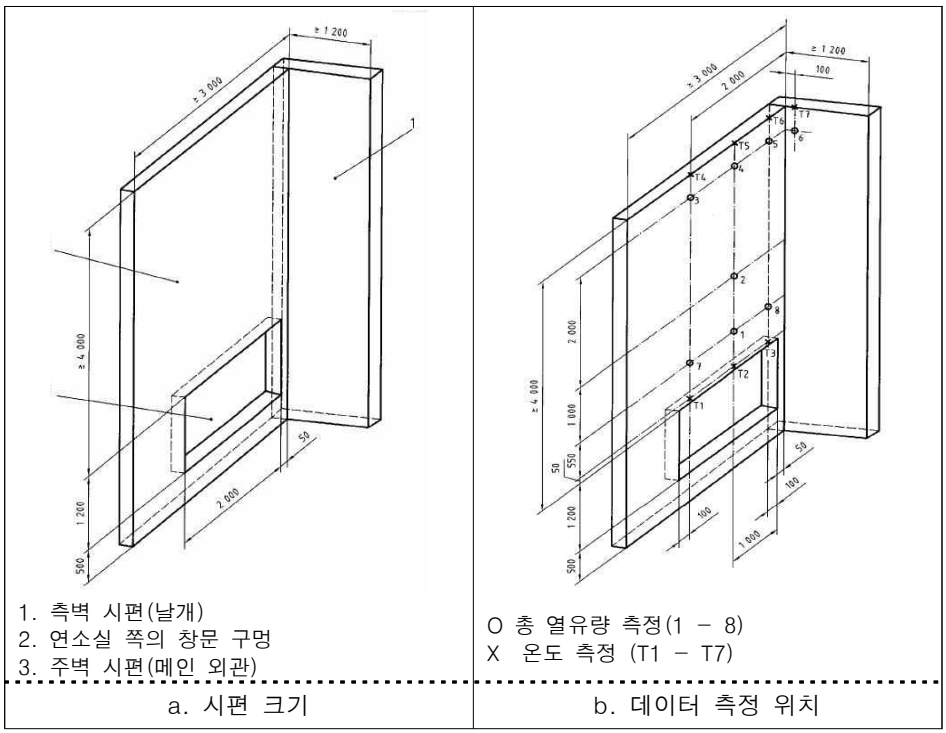
마. 개선된 불연성 단열재 적용 외단열 시스템의 화재안전성

국내에서 외벽 화재확산 시험방법으로는 KS F ISO 13785-1 건축물 외장구성재에 대한 연소성능 시험방법- 제1부: 중간규모시험 (KSA, 2006)이 제정되어 있으나, 시험시설이 없어 시험이 불가능한 것으로 확인되었다.

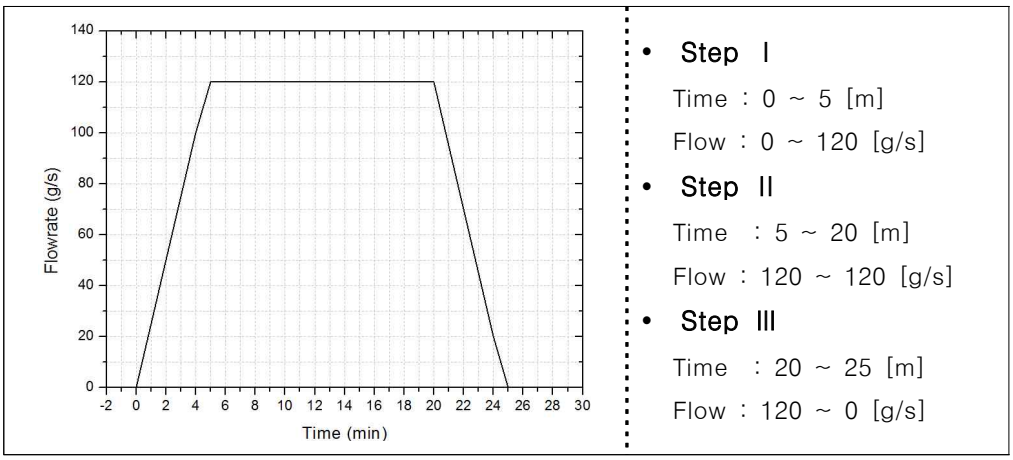
그러나 현재 한국건설기술연구원에서 실대형 외벽 시험방법인 ISO 13875-2 Reaction to fire tests for facades-Parts 2: Large scale test (ISO, 2002)시험이 가능

한 것으로 확인되어 불연성 외단열공법의 화재시험을 실시하였다.

외벽 시험체는 그림과 같이 “ㄱ” 형태로 정면 주 부위는 3.0(W) × 4.0(H) m, 측면 날개 부위는 1.2(W) × 4.0(H) m 크기로 세라믹울로 덮은 시험 바탕체에 설치하였다. 또한 외부 화염 출화를 위해서 20 ~ 100 m^3 크기의 실내 공간을 구성하고 내부에서 프로판 버너에 의해 그림과 같이 성장기, 최성기, 쇠퇴기의 3단계로 화염을 개구부 외부로 분출시켜 외벽 시험체로 확산시켰다. 총 25분 동안 시험체 틀에 설치되어 있는 K-type 열전대선과 열류량계로 온도와 열류량을 측정하였다.



[그림 3.97] ISO 13785-2 시험용 시험체 규격



[그림 3.98] 프로판 가스 버너 유량

1차로 경량 세라믹 불연 단열재를 적용하고, 마감으로는 외단열 마감공법에 적용하는 습식코트재 습식마감과 알류미늄복합 난연패널 적용 건식마감 2종류를 비교 실험하였다. 그 결과, 습식마감은 유기성분이 포함된 마감재만 소실되었으나, 건식마감은 화재시험 7분경부터 10분 경과시까지 화염이 착화 및 확산되어 탈락되었고, 패널을 고정한 스터드까지 변형이 발생되어, 하부로 낙하물이 많이 발생되었다.



[그림 3.99] 불연성 무기단열재 적용 외단열 습식, 건식 마감공법 화재시험(1차 실험)

경량 세라믹 불연 단열재는 하부설치 단열재에 일부 균열이 발생되었을 분 탈락이나 소실되지는 않아 우수한 화재저항성을 확인하였다.

시험결과에 따르면, 화재저항성을 향상시키기 위해서는 경량 세라믹 불연 단열재를 적용한 습식 외단열 공법이 좋으나, 현실적으로 경제성 측면에서는 무리가 있다.

따라서, 화재확산을 방지하기 위하여 일반 EPS를 적용하되, 경량 세라믹 불연 단열재를 개구부 상단 및 층사이에 수평으로 연속 설치한 화재확산방지구조를 적용한 외단열 공법을 개발하고, 화재저항성을 시험하였다.

[그림 3.100]은 개발기술 적용 외벽 시험체의 단열재 구성순서로 개구부 상단에는 경량 세라믹 불연 단열재, 그 위에는 일반 EPS 단열재, 최상단에는 경량 세라믹 불연 단열재로 구성하였고, 마감은 보강메쉬, 부착모르타르 바름 후 코트재 마감하되, 일반

EPS 단열재 적용부위의 모르타르를 기존 외단열 마감보다 두꺼운 3mm로 마감하였다.



화재 시험체의 단열재 구성



완성된 화재 시험체(코트마감)

[그림 3.100] 개발기술 적용 화재저항성 시험용 시험체

[그림 3.101]은 외벽 화재시험 진행과정을 시간경과에 따라 정리한 것으로 5분 경과부터 화염의 최성기로 시험체 상단까지 화염이 올라가는 것을 확인할 수 있으며, 12분 경과부터는 우측 날개의 EPS 단열재 부위가 반복적 열풍 진동으로 틈이 발생, 착화되기 시작하여, 17분에 정면부 EPS 단열재까지 확산되는 것을 확인하였다.

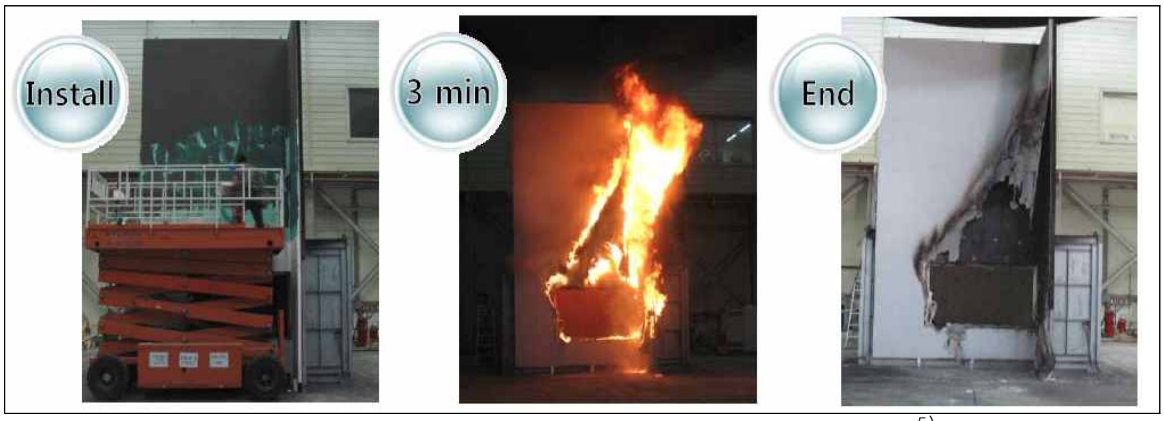
종료시점인 25분 경과 뒤 경량 세라믹 불연 단열재를 제외하고 EPS 단열재는 소실되었고, 종료 후 확인 결과, 경량 세라믹 불연 단열재도 고열에 의한 변형이 있음을 확인하였으나, 탈락되지 않고 시험체 상단까지 화재확산은 이루어지지 않았다.

상기 시험은 신청기술은 구조적 안전성 확보를 위하여 부착모르타르 및 고정철물을 모두 사용하게 되어있으나, 화재시험 바탕체 구조상 단열재를 모르타르로 부착할 수 없어 L형 앵글만 이용하여 고정한 시험체의 시험결과로, 부착모르타르까지 사용할 경우 화재 안전성은 더 높을 것으로 예상된다.

	
시험 시작	5분 경과
	
12분 경과 (우측 EPS 단열재 착화)	17분 경과 (정면 EPS 단열재 화재)
	
25분 경과 (EPS 단열재 소실)	종 료 (EPS 단열재 소실, 무기단열재 변형)

[그림 3.101] ISO 13785-2에 의한 개발기술적용 외단열시스템의 화재시험

동일한 화재시험 방법으로 EPS 단열재 사용 외단열 마감 적용 외벽의 화재성능을 연구한 기존 연구결과[6]에서는 3분만에 벽체가 확산, 상단부까지 소실되는 것으로 확인되었고, 시험 데이터를 받을 시간조차 없었다. 따라서 신청기술의 시험결과와 비교하면 신청기술이 최소 4배에서 최대 8배 우수한 화재지연 성능을 확보함을 알 수 있었다.



[그림 3.102] 기존 EPS 외단열 마감 화재시험 결과[5]

○ 개발기술과 기존 EPS 외단열 마감공법을 적용한 시험체의 상단 및 하단 화재온도 및 열류량 측정결과를 표에 정리하였다. 개발기술을 적용할 경우 분출 화염온도 대비 67% 이상, 열류량 대비 29% 이상 저하시켜, 화재의 확산을 방지하는 것으로 분석되었다.

<표 3.53> 화재온도 및 열류량 분석 결과

	화재온도 (℃)				열류량 (kW)				시험 결과
	하단부(화염) (T1~T3)		상단부 (T4~T7)		하단부 (H1, H7, H8)		상단부 (H3~H5)		
	최고	평균	최고	평균	최고	평균	최고	평균	
개발기술	976	635	316	120	28.9	2.1	11.2	1.5	- 최상단까지 화염 확산 안됨 - 최고 화재온도 67% 저하 - 평균 화재온도 80% 저하 - 최고 열류량 61% 저하 - 평균 열류량 29% 저하
기존 EPS 시스템	-	-	-	-	-	-	-	-	- 시험 3분만에 화염이 최상단까지 확산되어 시험 종료 - 화재온도 및 열류량 측정불가

* T1~T7 : 시험체에 부착한 7개의 온도 측정센서
H1 ~H8 : 시험체에 부착한 8개의 열류량 측정센서

6) 민세홍, 외단열 시스템 외장재로 시공된 다세대 공동주택의 화재위험에 관한 연구, 한국화재소방학회 논문집, Vol 27, No 3, pp60-65, 2013

바. 화재확산 방지에 적합한 부착 모르타르 두께의 검토

일반 EPS 외단열 공법의 보강 메쉬 부착을 위한 부착 모르타르 두께는 2mm 이하이다. 화재시험에 사용한 신청기술의 부착 모르타르는 일반 외단열 공법보다 두꺼운 3 ~4 mm의 모르타르 두께를 유지하였으나, 화재시 열풍 등의 외력에 의해 모르타르 부분의 균열이 발생되고, 화염이 전파되는 것을 확인하였다.

따라서, 보다 화재에 안전한 적정 모르타르 두께를 검토할 필요가 있다. 모르타르 두께에 대한 성능기준은 없으므로 건축물 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙에서 외장재의 난연성능을 준불연재료 이상 사용하도록 하는 규정에 준하여 준불연 성능에 부합하는 모르타르 두께를 개발기술에 적용하기로 하였다.

준불연재료 시험방법은 KS F ISO 5660-1 '연소성능시험-열 방출, 연기 발생, 질량 감소율-제1부:열 방출률(콘칼로리미터법)'에 따라 다음의 기준 에 적합할 경우 준불연재료로 인정한다.

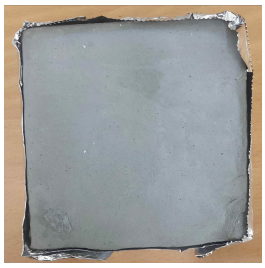
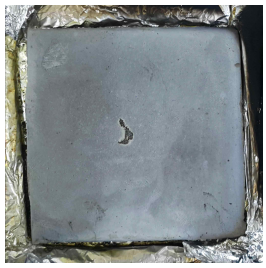
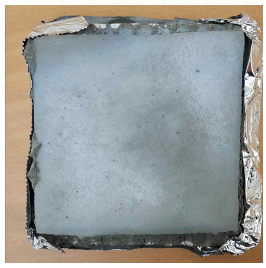
<표 3.54> KS F ISO 5660-1에 의한 준불연재료의 기준

- 가열시험 개시 후 10분간 총방출열량이 8MJ/㎡ 이하일 것
- 10분간 최대 열방출률이 10초 이상 연속으로 200kW/㎡를 초과하지 않을 것
- 10분간 가열 후 시험체를 관통하는 방화상 유해한 균열, 구멍 및 용융(복합자재의 경우 심재가 전부 용융, 소멸되는 것을 포함한다) 등이 없을 것

<표 3.55> 부착모르타르 두께에 따른 화재성능

시험체 구분	모르타르 5mm + EPS 40mm			모르타르 10mm + EPS 40mm		
	1	2	3	1	2	3
시험체 크키	100 ㎜ × 100 ㎜	100㎜ × 100㎜	100㎜ × 100㎜	100㎜ × 100㎜	100㎜ × 100㎜	100㎜ × 100㎜
시험 후 질량(g)	85.32	109.8	100.98	85.32	109.8	100.98
질량 변화량(g)	76.76	98.82	91.02	76.76	98.82	91.02
착화시간(s)	200	278	198	200	278	198
총방출열량(MJ/㎡)	5.3	5.6	7.2	5.3	5.6	7.2
최대열방출률(kW/㎡)	21.88	41.82	23.05	21.88	41.82	23.05
200kW/㎡를 초과하는 시간(s)	-	-	-	-	-	-
시험체를 관통하는 방화상 유해한 균열, 구멍 및 심재의 전부 용융 등	없음	없음	없음	없음	없음	없음

시험체는 40mm 두께의 일반 EPS 단열재에 보강메쉬와 함께 두께 5 mm, 10mm 모르타르를 도포하여 100×100 mm 크기로 시험체를 제조하고, 콘칼로리미터를 이용하여 시험하였고, 그 결과는 다음과 같이 준불연 성능 기준을 모두 만족하였다(관련 내용을 한국콘크리트학회에 논문 발표[7]).

모르타르 5㎜ + EPS 40㎜		모르타르 10㎜ + EPS 40㎜	
시험 전	시험 후	시험 전	시험 후
			

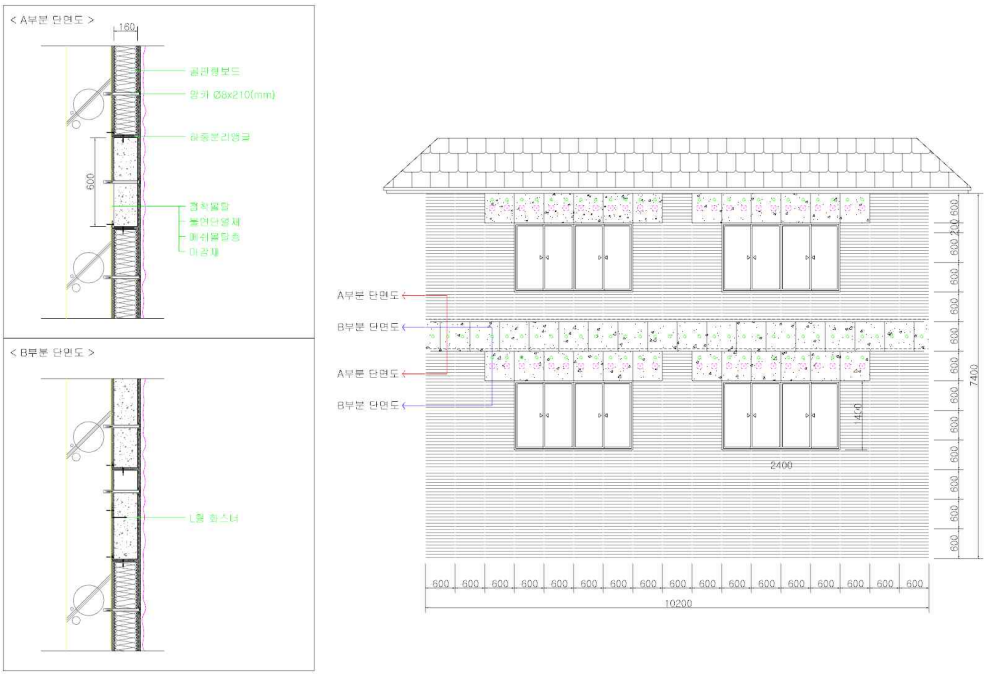
[그림 3.103] 콘칼로리미터 시험체의 형상

따라서, 본 신청기술에서 EPS 단열재 외부에 보강 메쉬와 함께 바르는 부착모르타르 두께는 최소 5 mm 이상 유지하여 화재안전성을 향상시킬 수 있도록 하였다.

사. 개선된 불연성 단열재 적용 외단열 시스템 단열성능

경량 세라믹 불연 단열재 적용 외단열 시스템의 단열성능은 열이동에 관한 벽체, 창호, 문, 셔터 등의 2차원 건축물 열해석을 수행하는 HEAT2 V.9.0 응용프로그램을 사용하였다. HEAT2 V.9.0 은 Sweden의 BLOCON사에서 개발하였으며 열해석 시뮬레이션에 관련된 EN ISO 10211 , EN ISO 10077-2 의 인증을 획득했다.

해석을 위한 단면을 그림과 같이 A, B 단면 2가지로 구분하여 수행하였고, 적용 재료의 열전도율은 <표 3.56>과 같다.



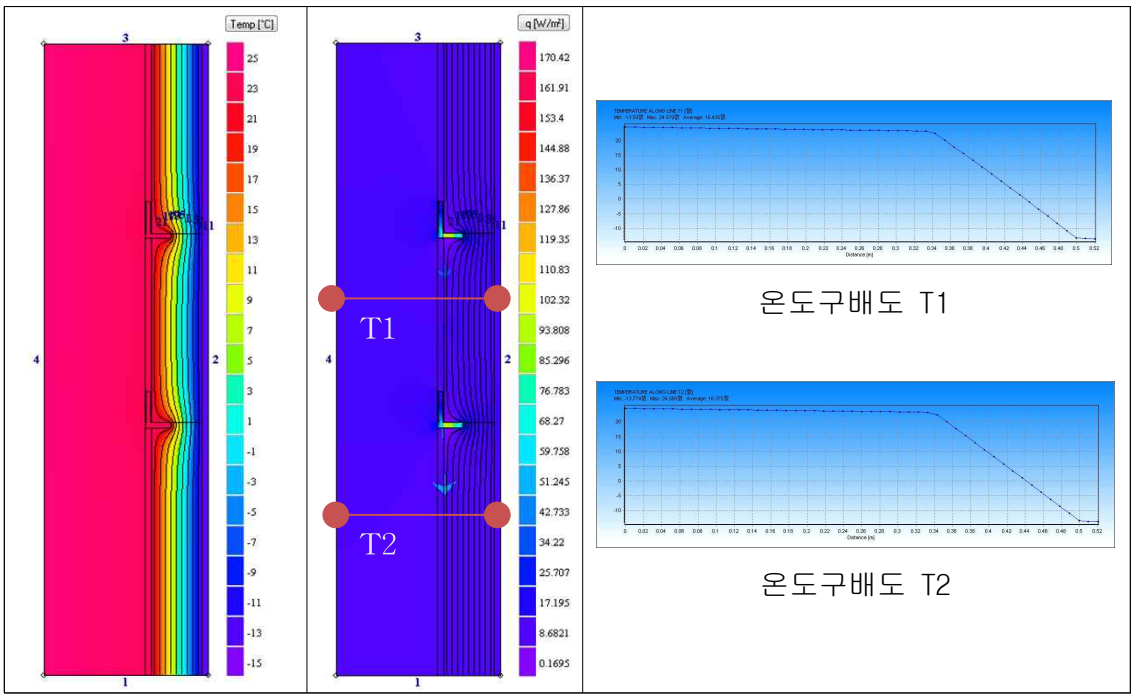
[그림 3.104] 건축물 외벽 치수 및 단면상세도

7) 신현욱외, 콘칼로리미터를 활용한 콘크리트 구조물의 외단열용 무기단열재 특성, 한국콘크리트학회 2016 봄 학술대회 논문집, 2016. 5

<표 3.56> 재료의 열전도율값

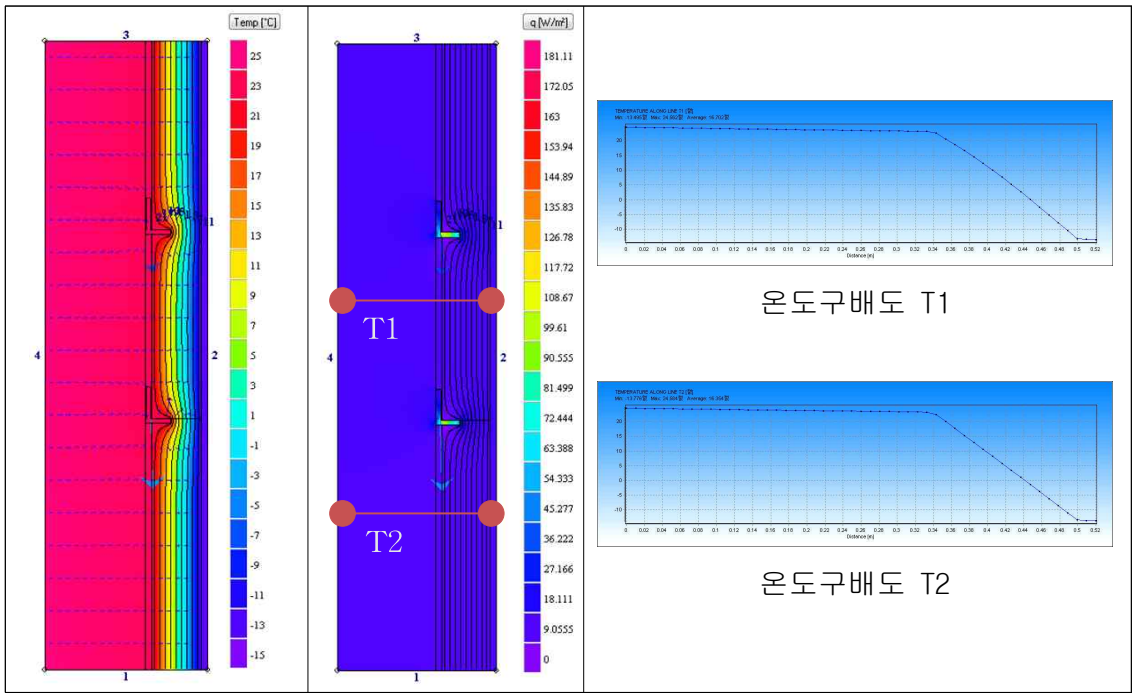
소재이름	열전도율(W/mk)	소재이름	열전도율(W/mk)
철근콘크리트 (철근비율 2%)	2.5	아연도강판	44
시멘트몰탈	1.4	경량 세라믹 불연 단열재	0.045
수지몰탈	0.7	골판형 단열재	0.040

상기 값을 이용하여 해석한 A단면의 열관류율은 0.2506 W/(m²·K)으로 중부지방 열관류율 기준인 0.27 W/(m²·K)보다 낮은 것으로 확인되었다.



[그림 3.105] 단면 A의 열흐름 분포도

또한 B단면의 열관류율도 0.2587 W/(m²·K)으로 중부지방 열관류율 기준인 0.27 W/(m²·K)보다 낮은 것으로 확인되었다.



[그림 3.106] 단면 B의 열흐름 분포도

아. 경량 세라믹 불연 단열재 적용 외단열 시스템의 내충격성

외단열 공법은 외부에서 충격을 가할시 얇은 표면 마감층으로 충격에 저항하므로 약한 단점이 있다. 신청기술에 적용하는 불연성 세라믹 단열재는 일반 EPS보다 강도가 우수하므로 내충격성도 우수할 것으로 기대된다.

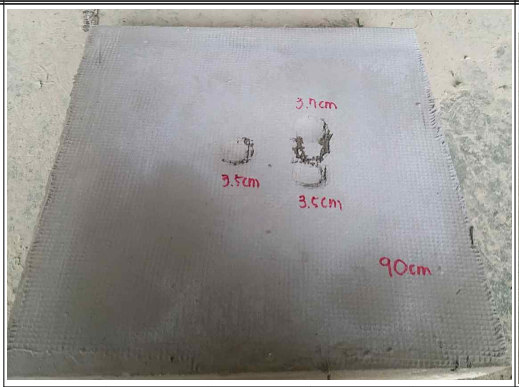
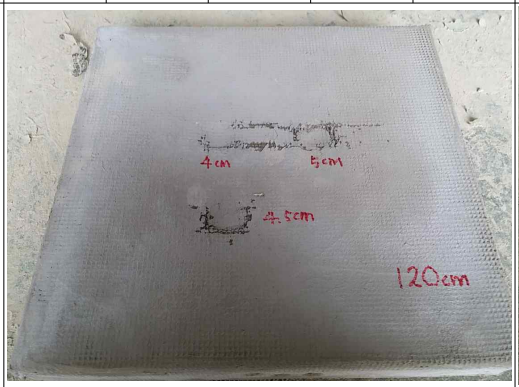
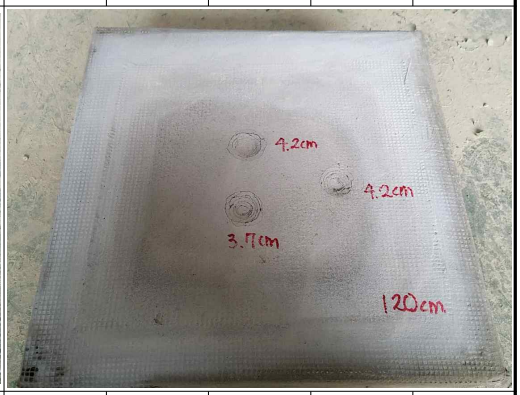
내충격성은 KS F 4760 이중바닥재 시험방법을 참고하여 400 mm× 400 mm 크기의 일반 EPS 외단열 시험체 (EPS 단열재+부착모르타르+메쉬+부착모르타르)와 개발기술 외단열 시험체 (경량 세라믹 불연 단열재+부착모르타르+메쉬+부착모르타르)의 상단에 1kg의 가지형 추를 90cm, 120cm 높이에서 낙하시켰을 때 파괴형상을 비교 분석하였다.

90 cm, 120 cm 높이에서 낙하시킨 추에 대한 파괴 지름을 측정한 결과는 표와 같으며, 신청기술이 약 8% 파괴 지름이 작아 내충격성이 우수한 것으로 확인되었다. 특히 일반 EPS 외단열재는 반복된 충격시험에 의해 인접 모르타르가 파손, 탈락되는 정도가 더 크게 관찰되었으나, 순수하게 단일 충격에 의한 최대 파괴지름을 측정하기 위하여 인접 모르타르의 파손은 무시하더라도, 개발기술의 내충격성이 우수하였다.



[그림 3.107] 내충격성 시험장면

<표 3.57> 내충격성 시험결과

<table>
<tr><th>구분</th><th colspan="5">일반 EPS 외단열시험체</th><th colspan="5">개발기술 시험체</th></tr>
<tr><td rowspan="3">낙하높이
90cm</td><td colspan="5"> 
</td><td colspan="5"> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최대파괴지름(cm)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>평균</td><td rowspan="2">최대파괴지름(cm)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>평균</td></tr>
<tr><td>3.5</td><td>3.5</td><td>3.7</td><td>3.6</td><td>3.2</td><td>3.5</td><td>3.5</td><td>3.4</td></tr>
<tr><td rowspan="3">낙하높이
120 cm</td><td colspan="5"> 
</td><td colspan="5"> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">최대파괴지름(cm)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>평균</td><td rowspan="2">최대파괴지름(cm)</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>평균</td></tr>
<tr><td>4.0</td><td>4.5</td><td>5</td><td>4.5</td><td>3.7</td><td>4.2</td><td>4.2</td><td>4.0</td></tr>
</table>

7. 개선된 불연성 단열재 적용 외단열 공법의 현장적용

가. 사전 조사

시험 시공은 개발 공법안을 시험 시공함으로써 시공과정에서 발생하는 문제점을 도출하고 보완하기 위하여 실시한다. 본 시험시공은 기술의 완성단계에서 최종확인을 위하여 수행하며, ㈜월드와이즈월과 외단열 시공 용역계약을 실시한 경기도 이천시의 공립 어린이집을 대상으로 시공하는 것으로 결정하였다.

시험 시공 전 건물의 형상을 파악하고, 개발 공법의 적용을 위하여 세부적 현장사항을 검토할 필요가 있어 현장조사를 수행하였다. 현장조사는 2016년 1월 21일부터 27일까지 수행하였다.

<표 3.58> 시험시공 대상 건축물 개요

건축물 명	이천 시립 어린이집
주소	경기도 이천시 서희로 82번길 46



[그림 3.108] 대상건축물 위치



[그림 3.109] 외단열 시공 대상 건축물

시험시공 대상 건축물은 왕복 4차선 도로에서 약 100 m를 6m 도로를 따라 이동해야 하는 위치에 있다. 6m 도로 및 교차로에는 많은 차량들이 주차되어 있어 15t 정토의 큰 차량으로는 자재운반이 어려울 것으로 예상된다. 또한 주차공간이 협소하여 어린이집 앞의 공원 부지 내부까지 차량이 이동해서 자재를 하차시켜야 한다.

진입로에는 차량이동 방지를 위한 방지기둥이 설치되어 있으나, 어린이집에서 관리하므로 이동통로 확보가 가능한 것으로 확인되었다.

따라서, 자재 적재공간, 가공 공간을 모두 어린이집 앞쪽 공터 활용이 가능하므로 시공에 어려움이 없을 것으로 판단된다.

건물 외벽은 타일 마감으로 백화, 파손부위가 많이 발견되었다. 단열재 부착 전 돌출부위나 탈락위험이 있는 타일은 사전에 제거할 필요가 있을 것이다.

건물의 좌측 및 우측은 면적이 좁고, 부속물이 많이 있어 시공에 애로사항이 많을 것으로 판단되며, 벽면에 설치된 전선이나, 에어콘 실외기 등의 처리를 위한 난이도 있을 것으로 판단된다.

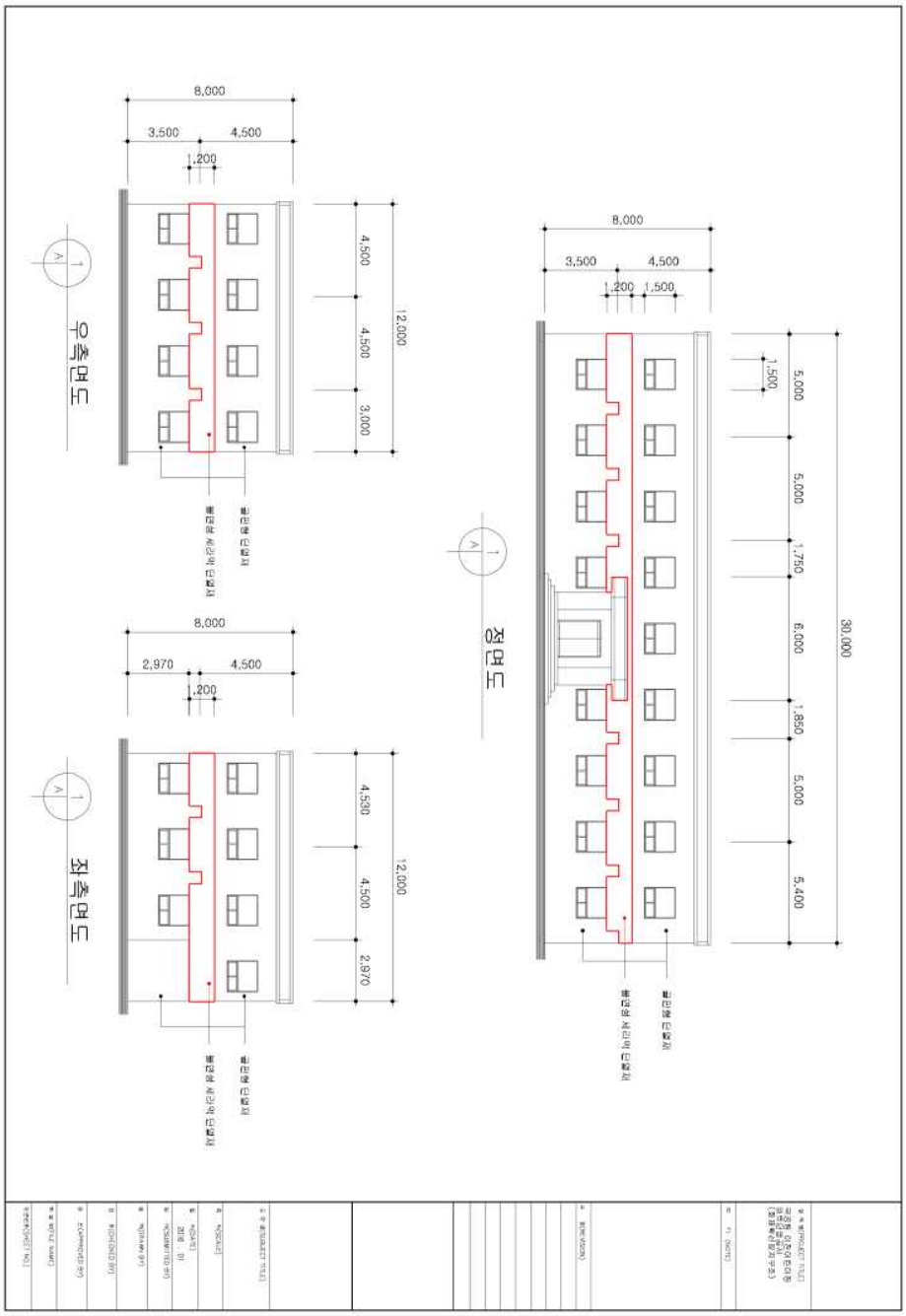
불연성 단열재 위치는 1층 창 상단과 층사이에 설치하는 것이 좋을 듯하며 2층 상단부는 설치할 필요가 없을 것으로 판단된다.

불연성 단열재 설치 전 EPS 단열재를 설치하고, 불연성 단열재 설치하므로 불연성 단열재의 하중을 견딜 수 있을 것으로 판단되나, L형 브라켓 및 L형 앵글을 사용하여 불연성 단열재를 견고히 벽면에 설치할 필요가 있다. EPS 단열재는 변형성이 있어 바탕면의 굴곡이 어느정도 허용이 가능하나, 불연성 단열재는 변형성이 없으므로 바탕

면에 의해 외면이 튀어나오거나 이웃하는 단열재와 마감면이 고르지 않을 수 있으므로 마감면 처리방법을 생각할 필요가 있다.

나. 불연성 단열재 적용 외단열 공법 현장시공 설계

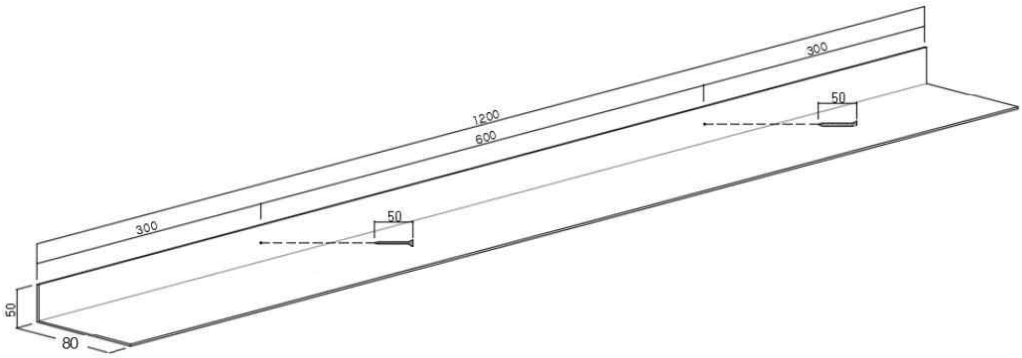
이상의 현장 조사에 따른 무기 단열재 설치 위치를 도면화하여 다음과 같이 계획하였다.



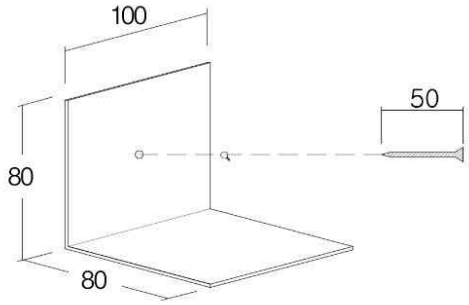
[그림 3.110] 불연성 단열재 설치 도면

다. 고정철물 제작

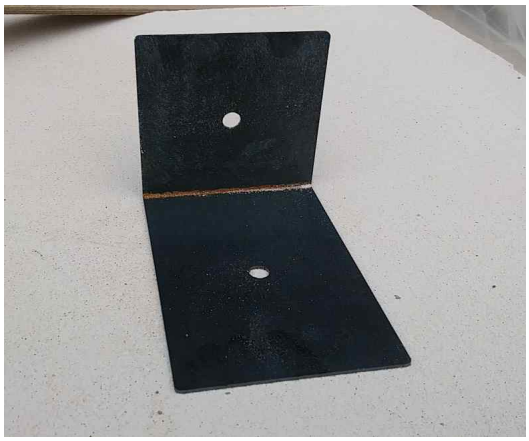
불연성 단열재의 벽체 고정, 화재에 의한 탈락 및 확산 방지 보강을 위하여 L형 브라켓 및 L형 앵글을 2mm의 HR/SS41 강판을 이용하여 절곡, 제조하였다.



[그림 3.111] L형 앵글



[그림 3.112] L형 브라켓



(a) L형 브라켓



(b) L형 앵글

[그림 3.113] 고정철물의 제작

라. 현장시공

공사대상 면적은 총 181.4 m^2이며, 총 공사기간은 31.5일이 소요되었고, 투입인력은

최대 4명으로 하루 8시간 기준으로 보조공 5 man-day, 기술공은 27 man-day가 투입되었다. 공사 공정 및 투입인력은 다음과 같다.

<표 3.59> 개발기술의 공사기간

공정 (투입인력 m/d)	공사기간 (일)
	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32
① 바탕준비 (보조공 1)	
② 기준 먹매김 (보조공 0.5)	
③ 골판형 단열재 설치 (기술공 5)	
④ L형 브라켓, 앵글시공 (불연성 세라믹 단열재 설치용) (기술공 1)	
⑤ 불연성 세라믹 단열재 설치 및 브라켓, 앵글과 고정 (개구부 상단, 층 사이 벽체) (기술공 2)	
⑥ 단열재 파스너 시공 (기술공 2)	
⑦ 1차 접착 모르타르 바름 (기술공 5, 보조공 1)	
⑧ 카본 메쉬 부착 (기술공 2, 보조공 1)	
⑨ 2차 접착 모르타르 바름 (기술공 5, 보조공 1)	
⑩ 마감재 시공 (기술공 4, 보조공 1)	



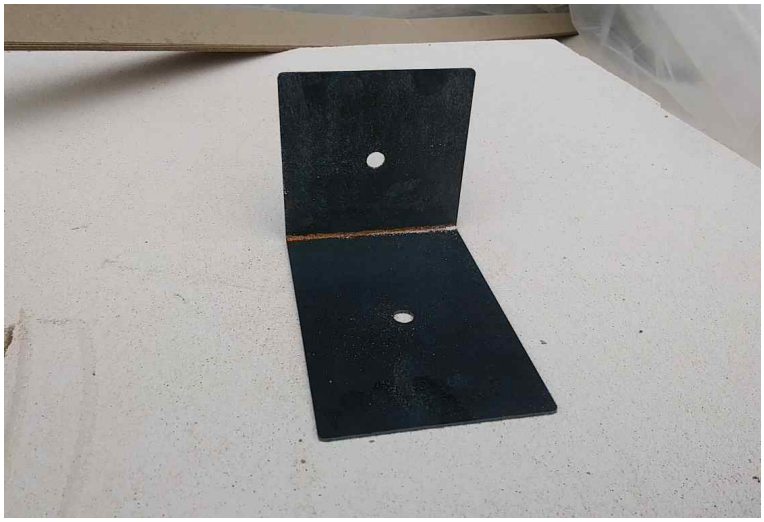
메쉬 및 모르타르



골판형 단열재



불연성 경량 세라믹 단열재



L형 브라켓



L형 앵글

(a) 자재 준비



(b) 바탕준비



(c) 골판형 단열재 설치



(d) L형 브라켓 설치



(e) 불연성 단열재 L형 브라켓 부착



(f) 불연성 단열재 설치 및 L형 앵글 고정



(g) 화재확산방지구조 시공 장면



(h) 1차 모르타르바름



(i) 카본메쉬 부착



(j) 2차 모르타르 바름



(k) 마감재 바름



(1) 불연성 단열재 적용 외단열공법 완료

[그림 3.114] 불연성 단열재 외단열 공법 현장시공 과정

8. 경제성 분석

개발 기술의 현장적용 비용을 대상으로 원가계산 및 경제성을 기존 외단열 공법과 평가하였다. 기존 외단열 공법은 준불연 단열재를 사용한 외단열 공법을 대상으로 개발기술과 비교 분석을 위해 먼저 시공절차별 품을 작성하고 일위대가를 산정하였다.

가. 시공절차별 품 작성

개발기술과 기존 준불연 단열재 적용 외단열 공법의 품 비교를 위하여 시공절차비교를 위하여 공법별 품 및 소요재료, 장비 등을 검토하였다.

(1) 준불연 단열재 적용 기존 외단열 공법(기존 공법)

기존기술의 시공품은 표준품셈 건축 11-4-3 외단열 공법과 동일한 방식으로 시공되어, 소요인력의 적용은 표준품셈의 소요공수를 기준으로 적용하였다. 기존기술의 시공에 따른 소요재료는 공법에서 정하고 있는 재료들의 소요량을 기준으로 적용하였다.

<표 3.60> 기존 외단열 공법(준불연 단열재 70 ㎜ 적용)의 소요 자재 및 품

시공절차 세부항목	소요인력, 장비, 자재		단위	소요량	출 처
	품명	규격			
기존 외단열 공법 (준불연 단열재 70 ㎜ 적용)	하도재	WBP-2000	ℓ	0.15	전문업체 시공실적을 적용하여0.15ℓ적용
	접착모르터	WBM-2000	Kg	9	전문업체 시공실적을 적용하여9Kg 적용
	PF 단열재 70T	WBE-2000	EA	1.1	전문업체 시공실적을 적용하여1.1EA 적용
	카본블랙 섬유	WBF-2000	㎡	1.15	전문업체 시공실적을 적용하여1.15㎡ 적용
	표준 마감재	WBC-2000	Kg	3.3	전문업체 시공실적을 적용하여3.3Kg 적용
	내장공		인	0.058	표준품셈 건축11-4-3 외벽단열 단열두께 100이하 적용
	미장공		인	0.04	표준품셈 건축11-4-3 외벽단열 단열두께 100이하 적용
	보통인부		인	0.03	표준품셈 건축11-4-3 외벽단열 단열두께 100이하 적용
	미장공	마감미장	인	0.02	표준품셈 건축15-2-2 마감 미장 적용
	보통인부	마감미장	인	0.008	표준품셈 건축15-2-2 마감 미장 적용
	공구손료 및 경장비	인력품의 1%	식	1%	표준품셈 건축11-4-3 외벽단열 : 인력품의 1 % 적용

(2) 불연성 단열재 적용 외단열 공법(개발기술)

개발기술의 시공 방법은 표준품셈 건축 11-4-3 외단열 공법과 동일하다. 다만, 개발기술은 화재 방재 확산방지구조를 구현하기 위하여 외단열에 불연성 무기 단열재(MH 단열재 160T)를 사용하여 화재 확산 방지 효과를 갖게 된다.

개발기술의 A type 적용에 있어 불연성 무기단열재의 시공 비율은 2층 높이(층별 3m)인 6m를 기준으로 한 벽면을 기준으로 층간 60㎝ 높이의 불연성 무기단열재의 시공을 기준으로 하여 10%(0.6m÷6m)를 적용하였다.

불연성 무기단열재의 시공면적 이외의 90%에 대하여는 일반 외단열재인 골판형 단열재(140T)의 시공을 기준으로 적용하였다.

<표 3.61> 개발 기술의 소요 자재 및 품 (A type)

시공절차 세부항목	소요인력, 장비, 자재		단위	소요량	출 처
	품명	규격			
개발기술 A type	하도재	WBP-2000	ℓ	0.15	160T/m2당 설계수량 0.15ℓ x 10% + 140T/m2당 설계수량 0.15ℓ x 90%
	접착모르터	WBM-2000	Kg	8.8	160T/m2당 설계수량 7Kg x 10% + 140T/m2당 설계수량 9Kg x 90%
	하중분산 브라켓	WNB-2000	m	0.18	160T/m2당 설계수량 1.8m x 10%
	고정 브라켓	WNB2-2000	EA	0.3	160T/m2당 설계수량 3EA x 10%
	MH 단열재 160T	WFE-2000	㎡	0.11	160T/m2당 설계수량 1.1㎡ x 10%
	골판형 단열재 140T	WBE-2000	㎡	0.99	140T/m2당 설계수량 1.1㎡ x 90%
	카본블랙 섬유	WBF-2000	㎡	1.15	160T/m2당 설계수량 1.15㎡ x 10% + 140T/m2당 설계수량 1.15㎡ x 90%
	마감재 (표준마감)	WBS-2000	Kg	3.3	160T/m2당 설계수량 3.3Kg x 10% + 140T/m2당 설계수량 3.3Kg x 90%
	내장공		인	0.075	표준품셈 건축11-4-3 외벽단열 단열두께 150이하
	미장공		인	0.052	표준품셈 건축11-4-3 외벽단열 단열두께 150이하
	보통인부		인	0.039	표준품셈 건축11-4-3 외벽단열 단열두께 150이하
	미장공	마감미장	인	0.02	표준품셈 건축15-2-2 마감 미장 적용
	보통인부	마감미장	인	0.008	표준품셈 건축15-2-2 마감 미장 적용
	공구손료 및 경장비	인력품의 1%	식	1	표준품셈 건축11-4-3 외벽단열 : 인력품의 1 % 적용

<표 3.62> 개발 기술의 소요 자재 및 품 (B type)

구분	소요인력, 장비, 자재		단위	소요량	출 처
	품명	규격			
개발기술 B type	하도재	WBP-2000	ℓ	0.15	160T/m2당 설계수량 0.15ℓ x 14.5% + 140T/m2당 설계수량 0.15ℓ x 85.5%
	접착모르터	WBM-2000	Kg	8.71	160T/m2당 설계수량 7Kg x 14.5% + 140T/m2당 설계수량 9Kg x 85.5%
	하중분산 브라켓	WNB-2000	m	0.261	160T/m2당 설계수량 1.8m x 14.5%
	고정 브라켓	WNB2-2000	EA	0.435	160T/m2당 설계수량 3EA x 14.5%
	MH 단열재 160T	WFE-2000	㎡	0.1595	160T/m2당 설계수량 1.1㎡ x 14.5%
	골판형 단열재 140T	WBE-2000	㎡	0.9405	140T/m2당 설계수량 1.1㎡ x 85.5%
	카본블랙 섬유	WBF-2000	㎡	1.15	160T/m2당 설계수량 1.15㎡ x 14.5% + 140T/m2당 설계수량 1.15㎡ x 85.5%
	마감재 (표준마감)	WBS-2000	Kg	3.3	160T/m2당 설계수량 3.3Kg x 14.5% + 140T/m2당 설계수량 3.3Kg x 85.5%
	내장공		인	0.075	표준품셈 건축11-4-3 외벽단열 단열두께 150이하
	미장공		인	0.052	표준품셈 건축11-4-3 외벽단열 단열두께 150이하
	보통인부		인	0.039	표준품셈 건축11-4-3 외벽단열 단열두께 150이하
	미장공	마감미장	인	0.02	표준품셈 건축15-2-2 마감 미장 적용
	보통인부	마감미장	인	0.008	표준품셈 건축15-2-2 마감 미장 적용
	공구손료 및 경장비	인력품의 1%	식	1	표준품셈 건축11-4-3 외벽단열 : 인력품의 1 % 적용

개발기술은 층간 외벽에 불연성 무기단열재의 시공을 통해 화재 확산을 방지하게 되는데, 창이 있는 경우 창의 상단부에 화재 방지의 확산을 방지하기 위한 추가적인 불연성 무기단열재의 시공이 필요하다.

따라서, 벽면에 창호가 많을 경우 무기단열재의 시공 벽면기준이 증가하게 된다. 이렇게 건축물의 구조적 특징에 다른 복잡한 구조의 시공량은 시공 사례를 기준으로 경량 세라믹 불연단열재의 시공비율을 14.5% 적용하였다.

<표 3.63> 현장적용(국공립 이천어린이집) 대상 면적

명칭	규격	단위	수량	비고
준불연 단열시스템	70㎜	㎡	181.4	
합 계			181.4	
화재확산 방지구조 (불연성 단열재)	160㎜	㎡	26.4	14.5%
골판형 단열시스템 (EPS)	140㎜	㎡	155	
합 계			181.4	

나. 시공절차별 일위 대가

(1) 준불연 단열재 적용 기존 외단열 공법(기존 공법)

기존 공법의 소요자재 및 표준품셈에 근거한 품 산정을 바탕으로 계산한 일위대가는 다음과 같이 81,239원/m^2으로 나타났다.

<표 3.64> 기존 기술의 일위대가

(단위 : 원/㎡))

구분	소요인력, 장비, 자재		단위	소요량	단가			금액(소요량×단가)			
	품명	규격			재료비	노무비	경비	재료비	노무비	경비	계
기존 외단열 시스템 (준불연 단열재 70㎜ 적용)	70㎜		㎡								
	하도재	WBP-2000	ℓ	0.15	1,750			263			263
	접착모르터	WBM-2000	Kg	9	2,200			19,800			19,800
	PF 단열재 70T	WBE-2000	EA	1.1	25,900			28,490			28,490
	카본블랙 섬유	WBF-2000	㎡	1.15	2,900			3,335			3,335
	표준마감재	WBC-2000	Kg	3.3	2,500			8,250			8,250
	내장공		인	0.058		144,150			8,361		8,361
	미장공		인	0.04		149,091			5,964		5,964
	보통인부		인	0.03		94,338			2,830		2,830
	미장공	마감미장	인	0.02		149,091			2,982		2,982
	보통인부	마감미장	인	0.008		94,338			755		755
	공구손료 및 경장비	인력품의 1%	식	1	209			209			209
계								60,347	20,892		81,239

(2) 불연성 단열재 적용 외단열 공법(개발기술)

개발기술의 소요자재 및 표준품셈에 근거한 품 산정을 바탕으로 계산한 일위대가는 다음과 같이 A 타입은 73,873원/m^2, B타입은 76,254원/m^2 으로 나타났다.

<표 3.65> 개발 기술의 일위대가 (A type)

(단위 : 원/m^2))

구분	소요인력, 장비, 자재		단위	소요량	단가			금액(소요량×단가)			
	품명	규격			재료비	노무비	경비	재료비	노무비	경비	계
개발기술(A type)	하도재	WBP-2000	ℓ	0.15	1,750			263			263
	접착모르터	WBM-2000	Kg	8.8	2,200			19,360			19,360
	하중분산 브라켓	WNB-2000	m	0.18	10,000			1,800			1,800
	고정 브라켓	WNB2-2000	EA	0.3	2,000			600			600
	MH 단열재 160T	WFE-2000	㎡	0.11	40,000			4,400			4,400
	골판형 단열재 140T	WBE-2000	㎡	0.99	9,722			9,625			9,625
	카본블랙 섬유	WBF-2000	㎡	1.15	2,900			3,335			3,335
	마감재 (표준마감)	WBS-2000	Kg	3.3	2,500			8,250			8,250
	내장공		인	0.075		144,150			10,811		10,811
	미장공		인	0.052		149,091			7,753		7,753
	보통인부		인	0.039		94,338			3,679		
	미장공	마감미장	인	0.02		149,091			2,982		2,982
	보통인부	마감미장	인	0.008		94,338			755		755
	공구손료 및 경장비	인력품의 1%	식	1	260			260			260
계								47,893	25,980		73,873

<표 3.66> 개발 기술의 일위대가 (B type)

(단위 : 원/㎡))

구분	소요인력, 장비, 자재		단위	소요량	단가			금액(소요량×단가)			
	품명	규격			재료비	노무비	경비	재료비	노무비	경비	계
개발 기술 (B type)	하도재	WBP-2000	ℓ	0.15	1,750			263			263
	접착모르터	WBM-2000	Kg	8.71	2,200			19,162			19,162
	하중분산 브라켓	WNB-2000	m	0.261	10,000			2,610			2,610
	고정 브라켓	WNB2-2000	EA	0.435	2,000			870			870
	MH 단열재 160T	WFE-2000	㎡	0.1595	40,000			6,380			6,380
	골판형 단열재 140T	WBE-2000	㎡	0.9405	9,722			9,144			9,144
	카본블랙 섬유	WBF-2000	㎡	1.15	2,900			3,335			3,335
	마감재 (표준마감)	WBS-2000	Kg	3.3	2,500			8,250			8,250
	내장공		인	0.075		144,150			10,811		10,811
	미장공		인	0.052		149,091			7,753		7,753
	보통인부		인	0.039		94,338			3,679		
	미장공	마감미장	인	0.02		149,091			2,982		2,982
	보통인부	마감미장	인	0.008		94,338			755		755
	공구손료 및 경장비	인력품의 1%	식	1	260			260			260
계								50,274	25,980		76,254

다. 공사비 비교분석

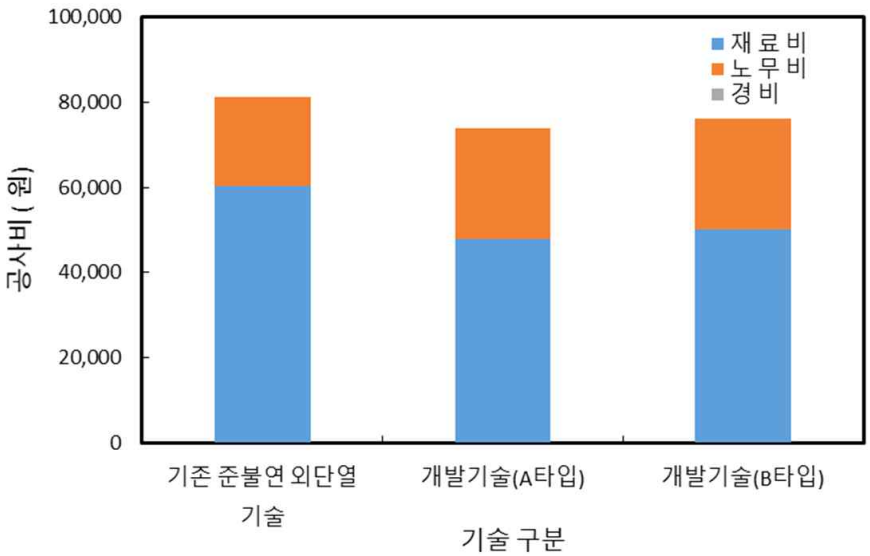
개발기술과 기존기술의 공사비 분석 자료를 비교하여 보면 다음과 같다.

<표 3.67> 기존기술과 개발기술의 공사비 비교

구분	기존기술 (준불연 외단열 공법)	개발기술	
		A type	B type
재 료 비	60,347	47,893	50,274
노 무 비	20,892	25,980	25,980
경 비	0	0	0
합 계	81,239	73,873	76,254
대비율(%)	100%	90.93%	93.86%

이렇듯 기존 기술에 비해 개발기술의 A type 및 B type 모두 시공비에 있어 저렴하여 경제성이 있는 것을 볼 수 있다.

개발기술은 시공재료의 두께로 인하여 시공을 위한 노무비가 증가하기는 하였으나, 화재확산 방지 기능을 가진 불연성 무기 단열재의 시공면적을 적절히 조정하고 저렴한 일반 단열재의 시공으로 시공 재료비를 절감하는 형태로 전체적인 비용을 절감하였다.



[그림 3.115] 기존기술과 신청기술 공사비 비교

이는 기존에 사용하지 않던 불연성 단열재의 부분 시공을 통하여 기존기술로 확보한 것과 유사한 화재성능을 시공하면서 비용을 절감하도록 하여 경제성을 확보한 것이다.

라. 유지관리비용 절감 등

역시 동일한 형태의 외단열공법으로 내구연한의 차이가 없어 경제적 편익의 검토 대상이 되기 어렵다. 기존기술과 개발기술은 유지보수와 관련된 보수사항이 유사하고 외벽의 경우 하자 또는 천재지변에 의한 영향으로 인한 파손에 의한 보수 외에는 특별한 보수가 발생하지 아니하므로 유지관리에 따른 비용의 절감은 고려하기 어렵다.

이러한 특징을 고려하여 건물의 내구연한을 설정하고 일정 비율의 관리를 가정하여 유지관리비를 적용한 경제성을 검토하였다.

신청기술의 경제성을 검토하기 위하여 시공에 소요되는 순공사비만이 아니라 시공, 유지, 폐기에 따른 비용을 검토하여 LCC(Life Cycle Cost)를 비교하여 경제성을 검토하였다.

LCC분석에 있어서 향후 생명주기동안에 발생하는 비용은 미래의 비용을 추정하여 검토하는 것으로, 미래의 비용을 할인(discount)하여 현재가치로 환산하거나 현재의 가치를 미래가치로 환산하기 위해서는 시간의 흐름에 따른 비용의 가치 변화를 고려하여야 한다. 할인율은 시간의 흐름에 따른 비용의 가치 변화를 나타내는 비율을 말하며, 물가변동과 기대이익을 모두 고려하는 실질할인율(real discounted rate) 과 물가변동 효과는 고려하지 않는 명목할인율(nominal dicounted rate)이 있다. 최근 5년간의 금리와 물가상승율을 정리하여 실질 할인율을 산출하면 다음과 같다.

<표 3.68> 실질할인율 산출표

연도	금리	소비자 물가지수 (2010=100)	소비자 물가지수 물가상승율	실질할인율
2011	3.69%	104.000	4.00%	-0.30%
2012	3.43%	106.280	2.19%	1.21%
2013	2.73%	107.670	1.31%	1.40%
2014	2.43%	109.040	1.27%	1.15%
2015	1.74%	109.810	0.71%	1.02%
평균	2.80%		1.90%	0.88%

(1) 시공기초원가

본 신청기술을 비롯해 비교 대상이 되는 기존기술의 공사원가는 다음과 같다.

<표 3.69> 시공기초원가

(단위 : ㎡/원)

구 분	비교기술 준불연단열공법	개발기술		비고
		A 타입	B 타입	
시공기초원가	103,687	97,126	99,915	

※ 산출근거 : 기획재정부 계약예규 제281호(2016.01.01.)"예정가격 작성기준 "

(2) 사용원가

사용원가는 유지보수원가와 운영원가를 합산 한 결과로 본 개발기술을 비롯해 비교대상이 되는 기존기술의 유지보수원가와 운영원가는 다음과 같다.

<표 3.70> 유지보수원가

(단위 : ㎡/원)

구 분	비교기술 준불연단열공법	개발기술		비고
		A 타입	B 타입	
시공기초원가	103,687	97,126	99,915	
연 간 유 지 보 수 율	3%	3%	3%	
연 간 유 지 보 수 비	3,111	2,914	2,997	

<표 3.71> 유지원가(현재가치환산)

(단위:원)

구 분	비교기술 준불연단열공법	개발기술		비고
		A 타입	B 타입	
유지보수기초원가	3,111	2,914	2,997	
관리기간	20	20	20	
실질할인율	0.88%	0.88%	0.88%	
연등가액현재가치환산계수 (PWAF)	18.27	18.27	18.27	
유지원가 현재가치	56,838	53,239	54,755	

(3) 폐기원가

본 신청기술을 비롯해 비교 대상이 되는 기존기술의 폐기원가는 다음과 같다.

<표 3.72> 폐기원가

(단위 : ㎡/원)

비 목 \ 구 분			비교기술 준불연단열 공법	개발기술		비고
				A 타입	B 타입	
순 공 사 원 가	재료비	직접재료비				
		간접재료비				
		작업설부산물등				
		소계				
	노무비	직적노무비	2,830	2,830	2,830	
		간접노무비	272	272	272	(직노무비)x9.6%
		소계	3,102	3,102	3,102	
	경비	기계경비	442	884	885	
		산재보험료	118	118	118	(노무비)x 3.8%
		고용보험료	27	27	27	(노무비)x 0.87%
		기타경비	147	147	147	(재+노)x 5.2%
		환경보전비	11	12	12	(재+노+경)x0.3%
		소계	745	1,188	1,189	
공사원가			3,847	4,290	4,291	
일반관리비(6%)			231	257	257	(재+노+경)x6%
이 윤(15%)			612	682	682	(노+경+일)x15%
총원가			4,690	5,229	5,230	
부가가치세(10%)			469	522	523	
합계			5,159	5,751	5,753	

<표 3.73> 폐기원가(현재가치환산)

(단위 : ㎡/원)

구 분	비교기술 준불연단열 공법	개발기술		비고
		A	B	
폐기기초원가	5,159	5,751	5,753	
폐기횟수	1	1	1	
폐기시기	20	20	20	
실질할인율	0.88%	0.88%	0.88%	
현재가치환산계수 (PWF)	0.84	0.84	0.84	
폐기원가 현재가치	4,334	4,831	4,833	

(4) LCC 원가계산 총계

LCC(Life Cycle Cost)분석 결과 상기 표와 같이 개발기술 A형은 비교기술 대비 6,561원, 즉 5.86%가 경제적이며, 개발기술 B형은 기존기술 대비 3,772원, 즉 3.25%가 경제적인 것으로 검토되었다.

본 개발기술은 기존 기술과 비교하여 화재성능이 우수한 불연성 단열재를 부분적으로 사용하여 화재확산 방지능력을 부여하였고 따라서 시공과 관련된 경제성을 확보하였으나 유지 관리에 있어서는 별도의 비용이 발생하지 않으므로 성능과 비용면에서 장점을 갖고 있다.

또한, 개발기술은 건축물의 구조적인 변경이 아닌 화재에 대한 대응 능력 개선을 중심으로 한 기술로 개발기술의 적용에 따라 얻게 되는 편익은 화재에 대한 안전이다.
이러한 화재로부터 안전을 확보하는 일은 비용으로 환산하기 어려우나 유지관리 측면에서 보다 많은 편익을 확보하는 것으로 볼 수 있다.

<표 3.74> 항목별 원가집계표

(단위 : ㎡/원)

구 분	비교기술 준불연단열 공법 (C)	개발기술		대비율 (A/C)	대비율 (B/C)
		A	B		
시공기초원가	103,687	97,126	99,915	93.67%	96.36%
사 용 원 가	56,838	53,239	54,755	93.67%	96.34%
폐 기 원 가	4,334	4,831	4,833	111.47%	111.51%
합 계	164,859	155,196	159,503	94.14%	96.75%

마. 경제성 분석

개발기술은 화재 방재 확산방지구조를 구현하기 위하여 외단열에 경량세라믹 불연단열재를 사용하여 화재 확산 방지 효과를 갖게 된다.

개발기술의 시공 방법은 표준품셈의 외벽단열 시공과 동일하지만 경량세라믹 불연단열재의 부분 시공으로 통해 화재 확산 방지 기능을 구현하게 된다.

개발기술의 초기 시공에 있어서 비교 기술이 되는 준불연 단열공법과 동일한 표준품셈 건축11-4-3 외벽단열 공법으로 시공이 가능하도록 하여 시공비의 증가 없이 투입되는 재료비의 감소를 구현하므로 경제성을 확보하였다.

이렇게 하여 기존 기술에 비해 개발기술의 단순 적용과 복잡 적용 모두 시공비에 있어

저렴하여 경제성이 있는 것을 볼 수 있다.

개발기술의 순공사원가는 기존기술 대비 A형은 90.93%로 9.07% 경제적이고, B형 시공을 기준으로 하더라도 기존기술 대비 93.86%로 6.14% 경제적인 것으로 검토되었고, LCC(Life Cycle Cost)분석에서 개발기술 A형은 비교기술 대비 94.14%로 5.86%가 경제적이며, 개발기술 B형은 기존기술 대비 96.75%로 3.25%가 경제적인 것으로 검토되었다.

또한 기존기술과 유동일한 내구연한 및 시공구조를 갖고 있어 유지비용 및 기타 관련 비용에 있어서는 경제성을 산정하기 어려우나 개발기술이 추가적인 비용이 발생하지 않는 기술로 기존기술에 비해 경제성 분석에 있어 불리하게 작용할 요소를 갖고 있지 않다.

따라서, 본 신청기술은 기존기술(준불연 단열공법)에 비해 3%~9% 정도의 경제성을 확보한 기술이라 할 것이다.

9. 시방서 및 유지관리지침서 정립

개발 불연성 단열재 적용 외단열 공법의 실용화를 위해서는 현작 적용시 필요한 시방서 및 유지관리지침의 작성이 필요하다. 따라서 시방서 및 유지관리지침을 다음과 같이 정립하였다.

가. 불연성 단열재 적용 외단열 공법 시방서

(1) 일반사항

(가) 적용범위

① 이 시방서는 “중소형 건축물의 화재안전을 위한 경량 세라믹 단열재 적용 외벽 화재확산 방지구조 시공법”에 관한 것으로 노유자, 장애인, 학생 등 피난 취약자가 사용 건축물 중 해당용도 사용 바닥면적의 합계 2,000m^2 이하 또는 6층 미만인 중소형 건축물의 외벽 단열공사 및 화재확산 방지구조 시공과 관련한 부속 재료의 품질, 보관 및 시공기준으로 적용한다. 시방서의 적용에 있어 외장재 설계용 풍하중 기준은 “건축구조설계기준”을 따르며, 외단열 공사 관련 일반 시공사항은 “건축공사표준시방서”를 따르되, 화재확산 방지를 위한 시공방법은 이 시방서를 따른다.

기준	기준 명	관리기관
설계기준	건축구조설계기준 중 외장재의 풍하중 설계 기준	대한건축학회
시방기준	건축공사표준시방서 중 21010 단열공사	대한건축학회

② 이 시방서는 일반시방서에 우선하여 적용한다.

③ 다만 이 시방서에 명기되지 않은 사항에 대해서는 아래 1)~4)의 기준·법령에 준하며, 사전에 감독관과 협의하여 결정한다.

- 건축법, 건축법 시행령 및 시행규칙, 건축물 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙, 국토교통부
- 건축공사표준시방서, 대한건축학회
- 건설기술관리법, 건설기술관리 시행령 및 시행규칙
- 한국산업표준(KS)

(나) 용어정의

이 시방서에 사용하는 용어를 아래와 같이 정의한다.

① 경량 세라믹 불연성 단열재

- 경량 세라믹 불연성 단열재란 화재 연소를 방지하기 위하여 불에 타지 않는 규산칼슘계 또는 발포유리계 재료를 주원료로 불에 약한 유기성분이 포함되지 않으며 내부에 기공을 형성하여 유기계 단열재의 단열성능에 근접한 제품이다.
- 경량 세라믹 불연성 단열재는 우수한 내열성과 차열성을 보유한 불연재료로 외단열 벽체의 화재확산 방지구조의 재료로 사용된다.

② WBS 몰탈

WISE 보드 및 경량 세라믹 불연성 단열재의 외벽체 부착, 단열재 외부의 보강메쉬 및 모르타르 마감에 사용하는 전용 모르타르로 외부 충격저항성 및 WISE 보드의 화재확산 방지에 기여한다.

③ WBS 단열재(WISE 보드)

WBS 몰탈의 부착두께 향상을 위해 표면을 골판형으로 절단 가공한 EPS 단열재로 화재확산 방지구조를 제외한 외벽 단열재로 사용한다.

④ 카본코팅 보강메쉬

WBS 몰탈의 균열저항성 향상 및 일체화를 위하여 WISE 보드 및 경량 세라믹 불연성 단열재의 외부에 WBS 몰탈과 동시 부착한다.

⑤ 마감재

WBS 몰탈면 외부에 바름 또는 부착하는 최종 마감면을 형성하는 재료로 다양한 재료의 사용이 가능하다.

⑥ L형 브라켓

창호 등 개구부 상단에 설치하는 경량 세라믹 불연성 단열재를 벽체에 고정하기 위하여 사용하는 짧은 길이의 철물이다.

⑦ L형 앵글

층사이에 수평으로 연속으로 설치하는 경량 세라믹 단열재의 벽체 고정 및 단열재와 벽체와의 공간 차단을 위하여 사용하는 긴 길이의 철물이다.

⑧ 단열재 고정 파스너

구조검토 등에 의해 단열재의 부착 성능 향상이 요구되는 부위에 설치하는 단열재를 벽체에 고정하는 철물이다.

(다) 감독관의 책무

① 이 시방서에서 감독관이라 함은 발주자 또는 발주자 대리인을 말하며 전체공사의 수행이나 시공에 대한 책임을 맡고 있는 자를 말한다.

② 감독관은 중요한 지시 및 승인을 문서로 시행한다.
③ 감독관은 공사감리자 및 시공자의 업무를 원만히 수행할 수 있도록 협력한다.

(라) 시공자의 책무

① 이 시방서에서 시공자라 함은 공사도급 계약서에 기재되어 있는 도급자(하도급자 포함) 또는 그 대리자 및 그들이 위임하는 현장대리인 등을 말한다.
② 시공자는 공사계약서 및 설계도서 등에 따라 충실히 시공하며 감독관의 검사승인 또는 협의결과에 따라 시행한다.
③ 시공자는 공사감리자가 관계 법령의 규정에 의한 공사감리업무를 원만히 수행하도록 협력한다.

(마) 공법·공정의 결정

① 대상 공사에 필요한 공법 및 공정은 설계도서에 지정하는 것을 원칙으로 한다.
② 다만, 설계도서에 별도로 지정되어 있지 않을 경우 공법 및 공정에 대해서는 감독관 및 공사감리자와 협의하여 결정한다.

(2) 사용자재

(가) 경량 세라믹 불연 단열재

본 공사에 사용하는 경량 세라믹 불연 단열재는 규산칼슘계 또는 발포유리계 재료를 주원료로 내부에 다량의 기공이 형성된 제품으로 다음의 성능을 만족해야 한다.

<표 3.75> 경량 세라믹 불연 단열재의 성능기준

성능	성능항목	성능기준	평가방법
구조성능	밀도 (g/cm^3)	0.15 이하	KS F 2701
	압축강도 (N/mm^2)	0.4 이상	KS L ISO 679
	휨강도 (N/mm^2)	0.2 이상	KS L ISO 679
단열성	열전도율 (W/mK)	0.046 이하	KS L 9016
불연성	질량감소율	30% 이하	KS F ISO 1182
	최고온도와 최종온도 평형 온도차	20 ℃ 이하	KS F ISO 1182
	가스유해성	9분 이상	KS F 2271

경량 세라믹 불연 단열재의 크기는 시공성을 고려하여 600×600 mm를 기본으로 하나, 특수한 경우 제작과정에서 이를 반영하여 생산이 가능하다.

<표 3.76> 경량 세라믹 불연 단열재의 치수

규격치수	두께	허용오차	비고
600 × 600 ㎜	60 ~ 210 ㎜	± 2 ㎜	규격치수 및 두께는 현장조건 및 단열기준에 따라 변경 가능

(나) WBS몰탈

아크릴 분말수지를 주원료로 (주)월드와이즈월에서 제조된 분말형 WBS 몰탈로 다음의 성능을 만족하여야 한다.

<표 3.77> WBS 몰탈의 성능기준

항목	성능기준		평가방법
부착강도 (N/㎟)	표준양생	1.1이상	KS F 4716
	저온양생	0.8이상	
내잔갈림성	잔갈림이 없을것		
내 충격성	벗겨짐.마모에의한 밑판의 노출이 없을것		
물흡수계수(W) (kg/㎡ h:0.5)	0.2이하		

(다) WBS 단열재(WISE BOARD)

(주)월드와이즈월의 승인을 받은 업체에서 생산된 발포폴리스틸렌 단열재로 다음의 성능을 만족해야 한다.

<표 3.78> WBS 단열재의 성능기준

성능	단위	성능기준	평가 방법
밀도	kg/m^3	16 이상	KS M 3808
열전도율	W/mK	0.04 이하	KS L 9016

* WBS 단열재는 최소 20° C(68° F)에서 6주간 숙성된 것을 사용한다.

WBS 단열재의 크기는 시공성을 고려하여 600×1200 mm를 기본으로 하나, 특수한 경우 제작과정에서 이를 반영하여 생산이 가능하다.

<표 3.79> WBS 단열재의 치수

규격치수	두께	허용오차	편평도	비고
600 × 1200 mm	50 ~ 210 mm	± 2 mm	1.2 m에 대하여 (±)1mm	규격치수 및 두께는 현장조건 및 단열기준에 따라 변경 가능

(라) 카본코팅 보강메쉬

보강메쉬는 (주)월드와이즈월에서 제조, 공급된 제품으로 내알카리성을 갖는 100% Fiber Glass제품으로 다음의 성능을 만족해야 한다.

<표 3.80> 보강메쉬의 성능

구 분		성능기준	평가 방법
크기(Size)		1M(W)x100M	-
인장강도(N/25MM)	경사	700 이상	KS L 2513
	위사	700 이상	KS L 2513

(마) 보강철물

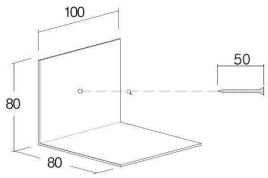
본 공사에 사용하는 보강철물은 L형 브라켓, L형 앵글, 단열재 고정 파스너로 구분하여 사용한다.

(바) L형 브라켓

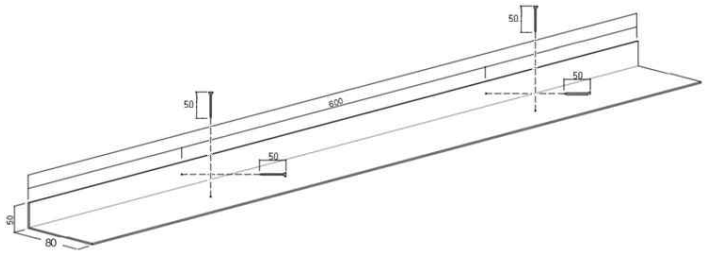
L형 브라켓은 HR/SS41 구조용 강판을 이용하여 100×80×80×2 mm의 L형 타입 철물로 제작하며, 창문 등 개구부 바로 상단에 설치하는 경량 세라믹 불연 단열재의 벽체 고정 보강을 위하여 사용한다.

(사) L형 앵글

L형 앵글은 HR/SS41 구조용 강판을 이용하여 2000×80×80×2 mm의 L형 타입 철물로 제작하며, 층 사이에 수평으로 설치하는 경량 세라믹 불연 단열재의 벽체 고정 보강을 위하여 단열재의 상단 및 하단에 설치한다.



[그림 3.116]
L형 브라켓



[그림 3.117] L형 앵글

(아) 단열재 고정 파스너

단열재 고정 파스너는 구조 검토 등에 의해 필요한 경우 단열재를 벽체에 고정하기 위하여 인발하중 2500 N 이상인 φ8 mm 파스너를 사용한다.



[그림 3.118] 단열재
고정용 파스너

(자) 마감재

(주) 월드와이즈월에서 제조한 아크릴계 마감재를 주로 적용하나, 특수한 성능을 요구하는 마감재를 사용하는 경우 해당 시방서를 따른다.

(3) 시공방법

(가) 공사착수 전 준비사항

① 자재운반 및 보관

- 사용자재는 반입시 손상여부를 확인한 후 포장이 손상되지 않게 반입하고, 건조하고 통풍이 잘되는 곳에 지면에 이격하여 저장하고, 빗물, 직사광선이나 과도한 온도 상승으로 인해 피해를 입지 않도록 한다. 특히, 마감재는 보관시 5℃ 이상이 유지되도록 한다.
- 사용자재는 본 공사 현장과 가능한 가까운 곳에 보관함을 원칙으로 하며, 자재 절단 및 몰탈 믹싱 등 가공작업을 고려하여 보관위치를 선정한다.

② 외부가설공사(비계 및 발판설치)

- 바탕벽면에서 30cm이격하여 설치하여야 한다.
- 수평비계의 상.하부재 설치간격은 1.8m를 기준으로 유지한다.
- 발판은 수평비계 전체에 설치해야 한다. (비계와 발판은 철선 또는 Clip등으로 고정

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

③ 바탕벽면 상태
- 평활한 면을 확보하기 위하여 조적, 콘크리트, 벽돌 바탕면의 반경1.5m내에서 평활오차 6mm까지 허용한다. 오차가 넘는 경우 튀어나온 부분은 그라인딩이나 치핑으로 평활하게 마무리하며 들어간 부분을 채우기 위하여 모르터를 사용하지 않는다.
- 필요시 물세척 등에 의하여 외부 오염물질을 제거한 경우 수분이 완전히 건조한 후 시공한다.
- 벽면의 먼지 등의 이물질을 제거하고, 부착력을 향상시키기 하여 바탕 프라이머를 반드시 도포한다.

④ 현장조건
- 작업 착수 전 보양 및 안전관리에 유의한다.
- 용전 및 용수는 현장 내에 구비 되어야 한다.
- 비, 눈, 바람 등 작업에 지장을 주는 기상조건에서는 작업을 금지한다.
- 바름 모르터의 양생을 위하여 외기 온도 5℃이상에서만 시공한다. 만약 바탕재의 외기를 보온양생하기 위한 장비가 갖추어져 외기온도에 상관없이 벽체 외부의 온도가 5℃를 넘으면 감리자의 허가를 받고 시공한다.

(나) 시공

① WBS 몰탈 제조

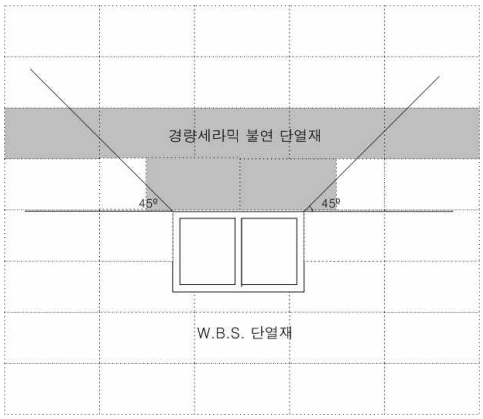
WBS 몰탈은 20kg 1포로 정량화하고, 여기에 알맞은 배합수(부착용:4.5ℓ.바름용5ℓ)를 붓고 400~500RPM의 Jiffler Mixer로 약 3분 정도 섞은 후 사용한다.

② WBS 단열재(Wise Board)부착
- WBS 단열재(Wise Board)의 부착방향은 하부에서 상부방향으로 긴 변이 수평이 되게 상하로 접하는 단열재(Wise Board)에 수직 통줄눈이 생기지 않도록 엇갈아 붙인다.
- 단열재(Wise Board)에 몰탈을 붙이는 즉시 바탕면에 가볍게 부착하고 인접한 단열재의 평면과 일치하도록 밀면서 부착한다.
- 단열재에 부착하는 WBS 몰탈은 단열재 면적의 최소 10% 이상 부착되어야 하며 20% 이상을 권장한다.
- 부착된 단열재(Wise Board)사이에 틈이 발생한 경우 단열재만을 재단하여 접착 몰탈의 사용없이 틈에 삽입한다.
- WBS 몰탈이 완전한 접착력을 얻기 위해 24시간이상 양생이 필요하며, 양생중에는 단열재가 움직이거나 바탕 벽에 진동으로 변형이 있어서는 안된다.

- 인접한 단열재 사이에 층 차이가 나면 같은 높이가 되도록 센딩을 한다. 낮은 면을 메우기 위해 몰탈로 채워서는 안된다.
- 단열재에 치장줄눈이나 유사한 형태의 장식이 필요하면 적당한 도구를 사용할 수 있다.

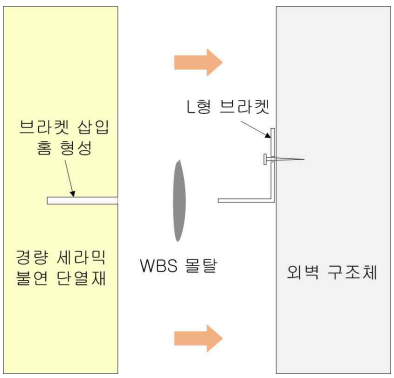
③ 경량 세라믹 불연성 단열재 부착

- 경량 세라믹 불연성 단열재는 WBS 단열재 부착과정에서 창문 등 개구부 좌우 상단부에 45° 이상 초과하도록 설치하고, 바로 그 상단에 건축물 외벽 전체를 수평 1열로 감싸도록 연속해서 부착한다.
- 개구부 상단 부착 경량 세라믹 단열재를 고정하기 위하여 먼저 벽체에 단열재 1개당 L형 브라켓 2개가 고정되도록 L형 브라켓 설치 위치를 표시하고, ϕ 8mm의 스크류 앵커로 고정한다. 이후 단열재 중앙부에 L형 브라켓이 삽입되도록 홈을 형성하고, 벽체에 WBS 몰탈로 압착한다.

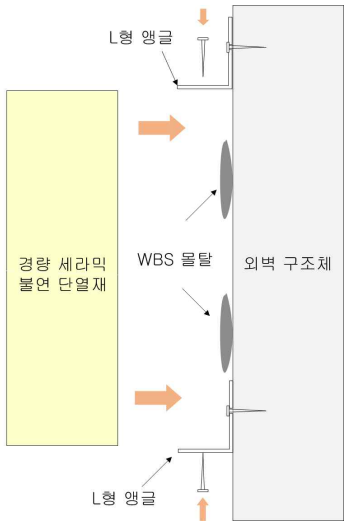


[그림 3.119] 경량 세라믹 불연성
단열재의 부착위치

- 건축물 층 사이 수평 1열을 설치하는 경량 세라믹 단열재를 고정하기 위하여 먼저 하단부 L형 앵글을 이미 설치된 WBS 단열재 상단과 밀착되도록 벽체에 8mm의 스크류 앵커로 고정한다. 이 때 경량 세라믹 불연 단열재 고정을 위한 스크류 피스를 먼저 삽입하고, 벽체에 고정한다.
- 수평 1열 설치를 위한 경량 세라믹 단열재 후면에 WBS 몰탈을 떠붙이고, 벽체에 압착 고정한다. 본 과정을 반복하여 연수평 연속 부착한다.
- 설치된 경량 세라믹 불연 단열재의 상단에 다시 L형 앵글을 ϕ 8mm의 스크류 앵커로 벽체에 고정하고, 단열재와 스크류 피스로 고정하여 단열재가 벽체에 밀착 고정되도록 한다.



[그림 3.120] 개구부 상단 경량 세라믹 불연 단열재의 부착



[그림 3.121] 수평 1열 연속 경량 세라믹 불연 단열재의 부착

- 경량 세라믹 불연 단열재에 부착하는 WBS 몰탈은 단열재 면적의 최소 10% 이상 부착되어야 하며 20% 이상을 권장한다.

④ 메쉬 몰탈작업

- WBS 단열재 및 경량 세라믹 불연 단열재 표면은 메쉬몰탈 작업 전 다음과 같은 검사를 받아야한다.
  - 부착된 단열재 표면의 오차는 센딩처리로 평활한 면이 되도록 하고 낮은 부분은 동일한 재료로 채움을 원칙으로 한다.
  - 손상 또는 오염 여부를 확인 결함이 있을시 보수해야 한다.
  - 기후 등으로 품질저하나 눈에 보이는 변색부분은 표면 정리시 보수한다.
- 스테인레스 흙손을 사용하여 WBS 단열재 및 경량 세라믹 불연 단열재 표면 위에 보강메쉬를 올려놓고 WBSv 몰탈을 침투시켜 몰탈과 보강메쉬를 1차적으로 단열재에 밀착시킨다.
- 1차 몰탈 및 보강메쉬 부착부위에 WBS 몰탈을 2차로 바름하며 면처리를 한다.
- WBS 몰탈 두께는 역학적 성능 및 건조수축 등을 고려하여 불연성 경량 세라믹 단열재 부위는 최소두께 2mm를 유지해야 하며, WBS 단열재 부위는 화재성능 확보를 위해 5 mm 이상 유지해야 한다.
- WBS 단열재 부위의 몰탈 두께는 철사나 가는 핀을 이용하여 10 m^2 당 최소 3개소를 측정하여 확인하고, 두께가 부족한 부위는 추가 작업을 수행한다.
- WBS 몰탈 작업 후 소정의 강도를 가질 수 있도록 24시간 이상 양생시킨다.
- 보강메쉬 이음부분은 최소 60mm의 폭으로 겹쳐 시공하며, 메쉬폭의 중심에서 가장자리로 작업하여 나간다.

⑤ 마감작업

- 일반 아크릴 에멀젼수지 또는 실리콘수지 마감재는 기존 드라이비트 시공에 준하여 시공하면 된다.
- 도료마감 또는 혹뚜기 몰딩을 접착하거나 스프레이로 시공할 수 있으나 (주)월드와이즈월과 협의가 있어야 한다.
- 마감작업은 작업을 시작하게 되면 연속적으로 시공하여야 한다. 연속적 작업을 위해 충분한 노동력과 비계, 발판 등의 구조물과 장비 등이 준비되어야 한다.
- 깨끗한 스테인레스 흙손이나 스프레이머신 등의 도구를 사용해야 한다.
- 마감재의 시공연도를 높이기 위하여 소량의 물을 첨가 사용할 수 있으나 깨끗하고 불순물이 없어야한다. (이때 사용되는 물의 양은 모든 마감재에 일정하게 섞어져야 한다)
- 특정마감재(도료. 스톤)는 스프레이방법으로 시공될 수 있다.(도료 마감시에는 로울러, 붓, 스프레이 등의 다양한 방법이 동원될 수 있으나 벽면에 퍼티 작업이 선행되면 더욱더 미려한 형상을 연출할 수 있다.)
- 마감 작업시 표면의 오염 및 손상시킬 수 있는 기후 및 공기중의 부유물질로부터 보호되어야한다.
- 시공후 양생시 기온은 5℃이상 유지하여야하며 최소 24시간 이상 양생시킨다.

(3) 시공작업시 주의사항

(가) 안전점검 사항

- 설치작업전 추락, 부재낙하 등이 발생하지 않도록 안전관리규정에 준한 안전시설을 하여야 한다.
- 작업시 항상 안전모와 안전장갑 등 안전을 위한 보호장비를 착용한다.
- 작업자에게 현장 상황에 따른 기본적인 개인 안전장구를 지급하여 현장 내에서 항시 휴대 활용토록 하여야 한다.
- 화재가 발생하지 않도록 사용 장비에 대한 점검을 철저히 실시한다.
- 절단작업시 전동식 절단기를 사용할 경우 날 접촉 예방장치를 설치한 후 사용한다.
- 작업시 발생 분진이 눈, 호흡기, 피부 등을 자극할 수 있으므로, 보호 장비(방진마스크, 보호의, 보안경, 보호장갑 등)를 착용한다.
- 분진이 눈, 호흡기, 피부에 접촉되었을 경우, 깨끗한 물로 충분히 씻고 증상이 호전되지 않을 경우 전문의의 처방을 받아야 한다.

(나) 기타 유의사항

- 하절기, 동절기 및 우천시 공사는 공사의 영향정도에 따라 적절한 대책을 세운 후 진행한다.
- 단 시공품질 및 작업환경의 유지가 어렵다고 판단될 경우 공사를 중지할 수 있다.

(4) 품질관리 및 검사

① 사용자재

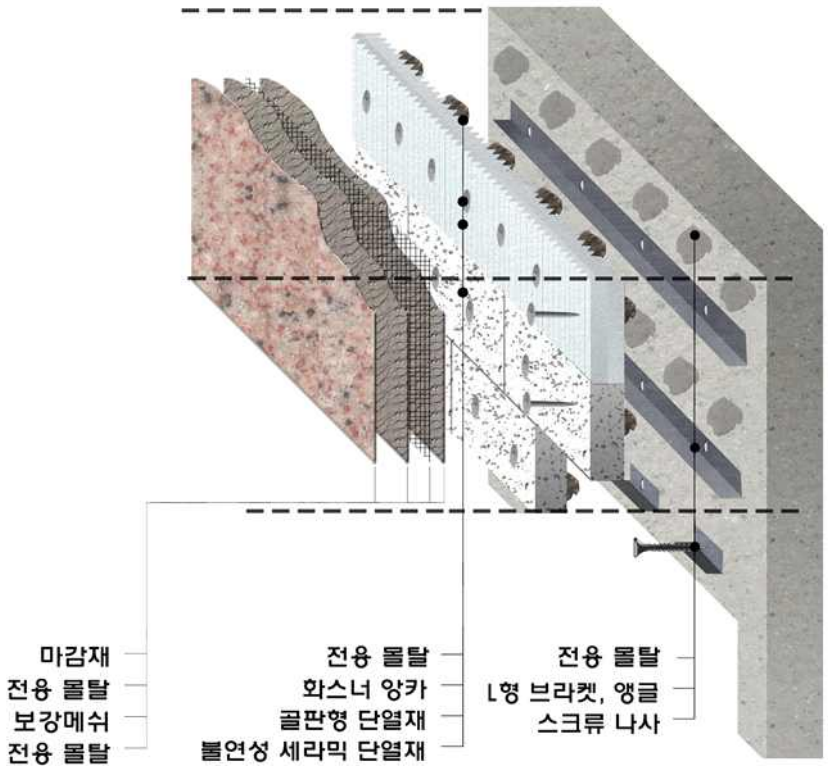
- 공사에 사용하는 자재에 대하여 반입 시 자재의 규격, 반입량, 제조업자 명, 제조일자, 손상여부 등을 확인하고 감독관 또는 공사감리자의 검수· 승인을 받는다.
- 반입하는 공사자재는 필요에 따라 공인기관 시험성적서 등을 요청하고 본 시방서의 “(2) 사용자재”에서 제시한 품질기준의 적합여부를 확인한다.

② 공사 품질관리

- 공사 진행의 모든 사항은 본 시방서에 준하여 시공해야 하며, 각 세부공정이 끝날 때 마다 감독관 또는 공사감리자의 확인을 받는다.
- 공사 진행과정에서 시방에 적합하지 않는 문제가 발생하는 경우, 감독관 또는 공사감리자와의 협의에 의해 부분 보수 또는 전면 재시공 여부를 판단하고 이를 따른다.
- 공사 과정 중에 원활한 품질관리를 위해 공사 체크리스트를 작성하여 사용할 수 있다.

③ 완료 후 품질관리

- 시공과정에서 발생하는 하자 가능성을 대비하여 육안 확인이 가능한 최종 공정 완료 후 하자여부를 최종 확인한다.
- 최종 확인과정에서 시공부위의 균열, 파손, 틈새, 접합불량 등의 하자여부가 확인되는 경우 이를 감독관 또는 공사감리자에게 보고하고 보수한다.



[그림 3.122] 공법의 구성

나. 유지관리지침

(1) 일반사항

(가) 개요

- 이 유지관리지침은 “중소형 건축물의 화재안전을 위한 경량 세라믹 단열재 적용 외벽 화재확산 방지구조”의 유지관리를 위한 점검, 평가, 판정, 대책 및 기록에 대한 방법을 나타낸다.
- 이 유지관리지침은 경량 세라믹 단열재 적용 외벽 화재확산 방지구조의 파손, 균열, 들뜸, 박락 등에 대하여 구조물 전체의 성능을 유지하기 위한 유지관리 전반에 적용한다.

(나) 적용범위

경량 세라믹 단열재 적용 외벽 화재확산 방지구조의 유지관리지침은 경량 세라믹 단열재 적용 외벽 화재확산 방지구조가 적용된 건축물의 유지관리에 적용한다.

(2) 성능저하의 형상

경량 세라믹 단열재 적용 외벽 화재확산 방지구조의 성능저하에 의한 대표적인 현상은 (1) 표면의 국부파손 (2) 표면 마감의 균열 (3) 충격에 의한 모서리부의 파손, (4) 단열재의 들뜸, (5) 외부 마감처리 불량, (6) 하부면의 시공불량으로 인한 들뜸, (7) 외부 표면의 오염 등이 있다.

(3) 점검의 종류 및 내용

(가) 개요

경량 세라믹 단열재 적용 외벽 화재확산 방지구조의 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 기설구조물에 적용된 경량 세라믹 단열재 적용 외벽 화재확산 방지구조의 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 화재확산 방지구조 등의 들뜸, 균열, 파손, 오염 등의 확

인을 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.

(4) 평가 및 판정

점검에 의하여 보수가 필요하다고 판단되는 경우 적절한 보수방법을 선택하여 보수한다.

(5) 대책

각 파손의 부위 및 형상에 따른 보수방법을 선택하여 보수한다.

(가) 표면의 국부파손 보수

- 경량 세라믹 단열재 적용 외벽 화재확산 방지구조의 부분 파손 부위를 확인하고 파손 부위보다 큰 범위로 절단, 제거한다.
- 제거된 부위는 깨끗하게 잔재를 청소한다.
- 부착 모르터를 바탕면에 바르고, 파손부위의 크기에 적합한 크기로 경량 세라믹 단열재 또는 WBS 단열재를 절단하여 부착한다.
- 보강메쉬를 부착하면서 모르터 바름을 실시한다.
- 기존과 동일한 마감재로 마감한다. 이때 절단부위보다 약간 크게 칠하여 절단부위가 보이지 않도록 한다.

(나) 표면의 균열보수

- 경량 세라믹 단열재 적용 외벽 화재확산 방지구조의 균열 부위를 확인하고 균열 원인을 조사한다.
- 균열의 원인이 단열재의 불량에 의한 것일 경우 '라. 단열재의 들뜸보수'에 따라 보수한다.
- 균열의 원인이 마감재에 한한 경우 마감재만 그라인딩에 의하여 갈아낸 후 마감재만 재시공한다.
- 균열의 원인이 섬유부착 모르터에 의한 경우 모르터 층까지 갈아낸 후 균열부위에 보강섬유와 모르터를 바르고 마감재로 마감한다.

(다) 단열재의 들뜸 보수

- 경량 세라믹 단열재 및 WBS 단열재의 크기와 상, 하, 좌, 우의 접합위치를 확인한다.
- 들뜬 단열재만 제거하고, 깨끗하게 잔재를 청소한다. 이때 접합되었던 인접 경량 세라믹 단열재의 들뜸 정도를 눈으로 확인하여 들떠 있는 경우는 같이 제거한다.
- 제거된 부위에 부착 모르터를 이용하여 해당 단열재를 적합하게 절단 부착한다.
- 보강 메쉬를 적합한 크기로 절단하여 부착하면서 모르터 바름을 실시한다.
- 기존과 동일한 마감재로 마감한다. 이때 절단부위보다 약간 크게 칠하여 절단부위가 보이지 않도록 한다.

(라) 외부마감처리 불량 보수

- 배관 등의 노출 또는 입면의 굴곡 등으로 인한 마감처리의 곤란 및 부적절한 시공에 의하여 마감재가 처리되지 않거나, 공극 등이 발생된 위치와 불량정도를 확인한다.
- 마감재만 처리되지 않은 경우는 마감재만으로 마감한다. 그러나 단열재의 절단 불량으로 인한 공극 발생 위치는 적절한 크기로 절단하고 깨끗하게 잔재를 청소한다.
- 제거된 부위에 부착 모르터를 이용하여 경량 세라믹 불연 단열재 또는 WBS 단열재를 적합한 크기로 절단 부착한다.
- 보강메쉬를 적합한 크기로 절단하여 부착하면서 모르터 바름을 실시한다.
- 기존과 동일한 마감재로 마감한다. 이때 절단부위보다 약간 크게 칠하여 절단부위가 보이지 않도록 한다.

(마) 하부면의 시공처리 불량 보수

- 경량 세라믹 단열재 적용 외벽 화재확산 방지구조 시공시 벽체의 하부밑면의 시공불량으로 인한 들뜸 위치와 불량정도를 확인한다.
- 들뜬 위치는 보수가 용이하도록 하부 면으로 부터 10 cm이상 절단, 제거하고 잔재를 깨끗이 청소한다.
- 제거된 부위에 부착모르터를 이용하여 하부 면으로 부터 제거된 위치까지 적합한 크기의 경량 세라믹 불연 단열재 또는 WBS 단열재를 가공 부착한다.
- 보강메쉬를 적합한 크기로 절단하여 부착하면서 모르터 바름을 실시한다.
- 기존과 동일한 마감재로 마감한다. 이때 절단부위보다 약간 크게 칠하여 절단 부위가 보이지 않도록 한다.

(바) 외부표면의 오염 보수

- 외부 표면의 오염에 의한 오염의 제거는 재도장을 원칙으로 한다. 단 오염의 정도가 점검 결과에 따라서 정도가 지나치지 않으면 그 주기는 10년을 원칙으로 한다.
- 점검 결과에 의하여 오염정도가 심각하다고 인정되는 경우 재도장을 실시한다. 재도장은 전체 면적을 대상으로 실시한다.
- 이 때 건축주의 의견에 따라 다른 색상으로 재도장이 가능하다.

<표 3.81> 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 정기점검	균열 진행여부	아님	진행도중 멈춤	계속 진행됨
3	초기점검 일상점검	마감재의 박리, 박락	면적합계 0.1m2이하	면적합계 1m2이하	면적합계 1m2이상 또는 1개소 면적이 20cm^2 이상인 경우
4	초기점검 정기점검	단열재의 들뜸	없음	들뜸 높이 0.5cm 이하	들뜸 높이 0.5cm 이상
5	초기점검 일상점검	변색, 오염	없음	면적합계 5m^2 이하	면적합계 5m^2 이상 또는 1개소 면적이 1m^2 이상인 경우
6	초기점검 일상점검	부분 파손	없음	3개소 이하	3개소 이상 또는 1개소 면적이 25 cm^2 이상인 경우
7	초기점검 일상점검	모서리 파손	없음	4개소이하	4개소 이상 1개소의 파손 면적이 25cm^2 이상인 경우
8	초기점검 일상점검	누수 흔적	없음	4개소 이하	4개소 이상 1개소의 누수흔적이 100cm^2 이상인 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

<표 3.82> 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	모르터 및 유리섬유 보강 후 마감재 바름
2	마감재 들뜸 정도	육안조사	1개소 들뜸 면적이 25 cm2 이상	들뜸부위의 마감면 재거 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	표면반사율 측정기	Y값이 60이하인 경우	오염정도에 따라 세척 또는 재도장 여부 결정
5	국부압축에 의한 파손 부위	육안조사 망원경	1개 파손면적이 25 cm2 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 25cm2이상	모서리 파손부위 제거후 단열재, 모서리보강재, 유리섬유, 모르터 바름, 마감재 보수
7	열화부위의 누수흔적	육안조사 망원경, 줄자 균열게이지	균열폭 0.2mm이상 또는 오염면적 100 cm2 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 0cm2 이상 인 경우. 모서리의 경우 2m이상	사이가 벌어진 틈에 단열재를 끼워 넣은 후 보강메쉬 부착 및 마감.

10. 소결

불연성 단열재 적용 외단열 시공기술 개발을 위하여 다음과 같이 연구를 진행하였다.

1. 먼저 국내외 외단열 기술과 외단열 마감 관련 규정을 분석하여 건식, 습식 외단열 시공기술의 개발방향을 설정하였다. 그리고 1차 건식, 습식 외단열 시작품 제작을 통하여 문제점을 분석하고, 2차 건식, 습식 외단열 시공기술안을 정립하였다.

2. 정립한 2차 건식, 습식 외단열 시공기술안에 대하여 성능을 평가하기 위하여 화재안전성은 ISO 13785-2, 기밀성은 ASTM E 283, 수밀성은 ASTM E 331 및 JIS A 1517, 정적압력에 의한 내풍압성은 ASTM E 330에 의한 평가하였으며, 단열성은 열해석 프로그램인 Therm 7.3을 이용하여 해석하였다. 연구 결과, 화재안전성, 기밀성, 수밀성, 내풍압성은 모두 기준을 만족하였고, 특히 화재안전성은 습식 외단열 마감 기술이 건식 외단열 마감기술보다 유리한 것으로 판단되었다. 단열성은 불연성 단열재의 열전도율이 다소 높아 180 mm 두께 이상 설치하여야 만족하는 것으로 나타났다. 이에 불연성 단열재의 열전도율 개선이 요구되었다.

3. 2차 건식, 습식 외단열 시공기술에 대한 시공성 평가를 위해 시험시공을 수행하였다. 시험시공 결과, 시공성 및 경제성을 고려하면 습식외단열 시공기술이 외단열 공법에 적한한 것으로 판단되었다.

4. 건식, 습식 외단열 공법의 성능 평가 및 시험시공에 의하여 습식 외단열 공법의 유리한 것으로 판단되었으며, 이에 개선된 불연성 단열재 적용 외단열 시공기술을 개발하였다. 개선된 불연성 세라믹 단열재 적용 외단열 시공기술은 이전보다 단열성능이 개선된 불연성 세라믹 단열재를 사용하고, 개구부 상단 및 층사이의 수평띠막을 형성하여 화재확산을 방지하는 구조를 적용하였다.

5. 개선된 불연성 세라믹 단열재의 평가를 위하여 KBC 2009에 의한 비구조재인 외벽의 풍하중에 대한 구조안전성을 검토하고, 화재안전성은 ISO 13785-2 시험에 의해 화재확산 정도를 평가하였다. 단열성은 벽체, 창호, 문 등의 2차원 건축물 열해석을 수행하는 HEAT2 V.9.0 응용프로그램을 사용하여 해석하였고, 외단열공법의 문제로 계속 지적되는 내충격성 시험을 수행하였다.

6. 개선된 불연성 세라믹 단열재를 이용한 외단열 공법 평가 결과, 화재안전성 시험에서는 25분간 화재 확산이 되지 않은 것으로 나타났고, 구조해석 검토에서는 개발기술에 사용하는 부착모르타르와 앵커에 의하여 풍속 45m/s, 건물 높이 90m까지 안전한 것으로

검토되었다. 열해석 결과에서는 중부지방 열관류율 기준인 0.27 W/m^2K 를 만족하는 것으로 나타났으며, 내충격성은 일반 EPS 외단열 공법보다 우수한 것으로 나타났다.

7. 우수한 성능을 나타내는 개선된 불연성 세라믹 단열재 적용 외단열 공법을 실제 현장에 적용한 결과, 약 $180m^2$의 면적을 4명의 인원이 약 한달간 시공, 완성하여 기존 외단열 공법과 동등한 시공성을 갖는 것으로 확인되었다.

8. 경제성 분석에서는 유사한 화재성능을 갖는 준불연 외단열 공법과 비교하였으며, 공사비 측면에서 개발기술인 개선된 불연성 세라믹 단열재 적용 외단열 공법이 6~9% 정도 경제성이 우수한 것으로 계산되었다. 또한 개발기술의 원활한 사업화를 위하여 시방서 및 유지관리 지침서를 완성하였다.

제3절. 기술사업화 분석

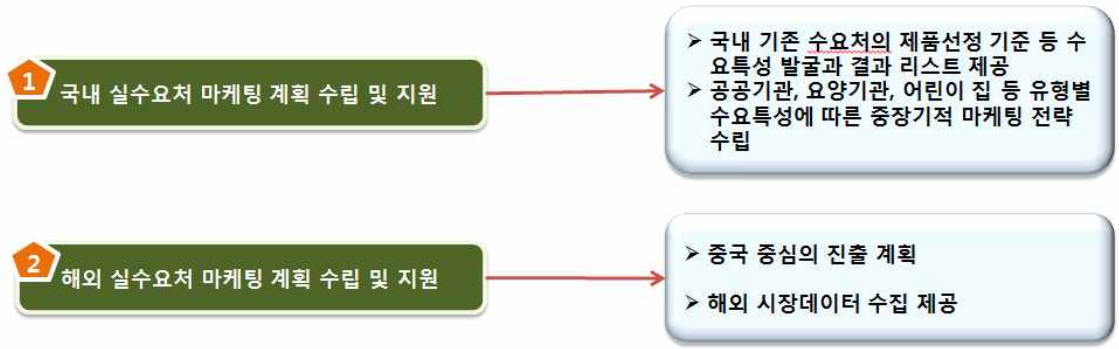
1. 기술 마케팅 방안 분석(델타텍 코리아)

가. 컨설팅 추진목적

■ 2015년 국토교통 사업화 컨설팅 지원사업을 통해 수혜기업이 희망하는 컨설팅 수요분야

- 국내 실수요처 마케팅 계획
- 해외 단열재 시장동향 및 전시회 정보
- 잠재 수요처 니즈파악과 분석

■ 컨설팅 추진목적

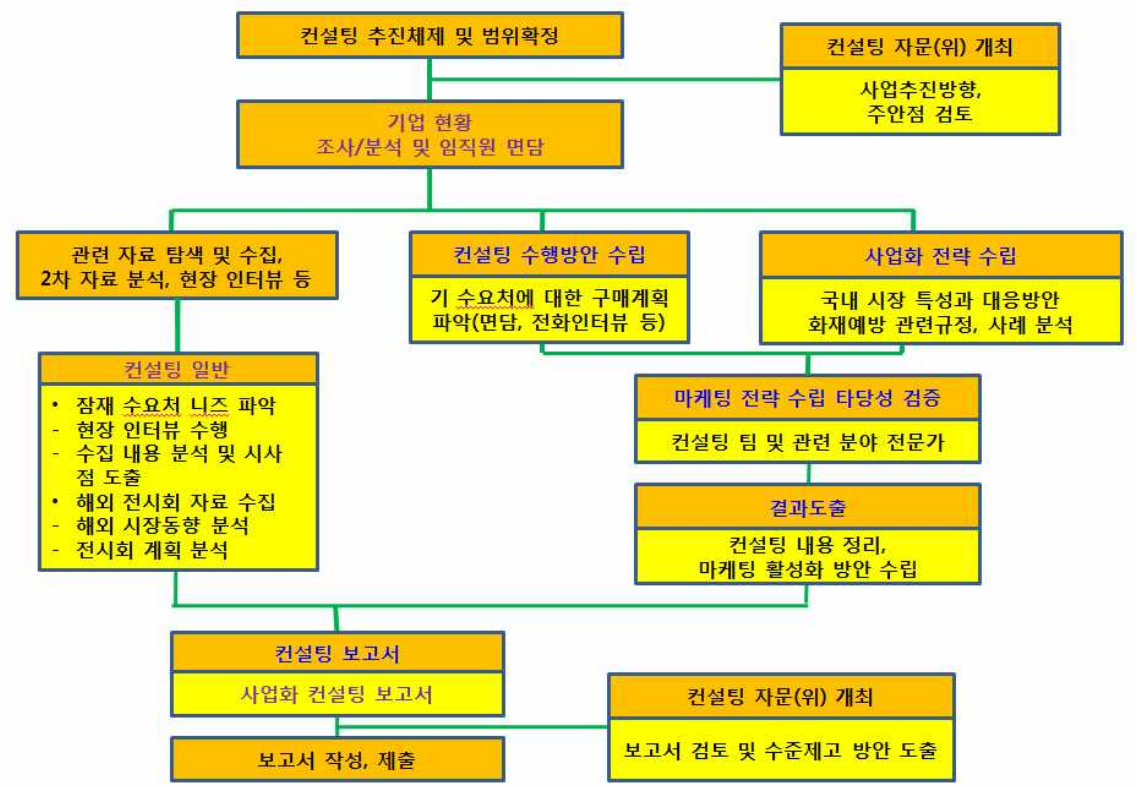


[그림 3.123] 기술 마케팅 컨설팅 추진 목적

나. 컨설팅 수행 계획

(1) 컨설팅 추진체계

컨설팅 추진체계는 다음과 같다.



[그림 3.124] 컨설팅 추진체계

(2) 컨설팅 추진전략

컨설팅 준비, 대상의 명확화, 잠재고객의 이해 및 신뢰감 형성, 목표 성취, 컨설팅 종결 5단계로 수행한다.

컨설팅은 수혜기업의 요청에 따라 당면한 이슈 해결을 위해 노력하며 보다 장기적인 방법론 도출에 주력하고자 한다.

국내 건축법규에 명시된 불연재 사용 규정의 한계와 화재에 대한 예방의식이 미흡함을 고려하여 관련 문헌을 수집하고 분석·정리한다.

잠재 수요처 니즈파악과 분석을 위해 방문 인터뷰를 수행하면서 화재예방에 대한 필요성을 공유하고 제품의 특장점을 소개한다.

(3) 컨설팅 추진 조직도

본 컨설팅 추진 조직도는 다음과 같다.

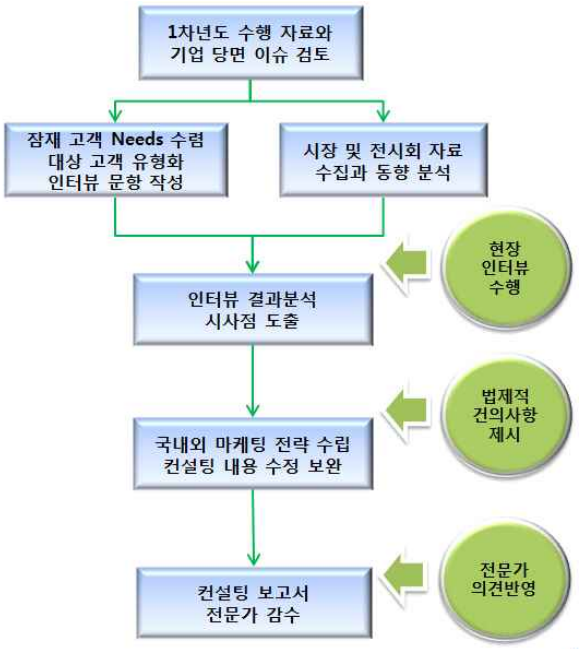
✓1단계 : 컨설팅 준비
- 컨설팅 대상 기업의 기 수행 결과 분석
- 기업 당면 이슈와 수행범위 협의

✓2단계 : 대상의 명확화
- 수진 기업의 기존 고객과 잠재 고객을 유형화
- 기존 제품과 신제품에 대한 의견 수렴
- 잠재 고객의 Needs를 이해하고 접근방안 수립

✓3단계 : 잠재고객의 이해 및 신뢰감 형성
- 잠재 고객을 함께 방문하고 현장 인터뷰를 수행
- 보유제품 홍보와 고객의 의견을 수렴
- 향후 구매 계획을 파악함으로써 지속 가능한 Customer Relationship 형성

✓4단계 : 목표 성취
- 제안사 – 협력기업 관계 진전
- 컨설팅 활동 성취감 만족감 획득

✓5단계 : 컨설팅 종결
- 제안사 기업 간 결연 마무리
- 컨설팅을 통한 자신의 성장과 발전 체감 및 평가



[그림 3.125] 컨설팅 추진 조직도

다. 착수회의

국토교통 기술사업화 지원사업 컨설팅 용역 Kick-off 미팅(월드와이즈웰)을 다음과 같이 수행하였다.

<표 3.83> 착수회의

일 시	2015. 7. 17(금) 14:00~14:40	장소	월드와이즈웰 회의실
참석자	◦ 수행기관 : 신동일전문위원, 이수정연구원 ◦ 수혜기업 : 박종철 상무		

여기서 업체의 요구사항은 다음과 같았다.

- 실질적인 현장 소개를 희망하지만 쉽지 않다는 것을 인식하고 있음
- 기존 제품(마감재) + 신기술의 기술사업화를 점진적으로 추진하고자 함
- 신기술은 불연이고 단열 system이므로 화재확산 방지로 특화가 가능함. 전반적인 범위에서 부분적으로 적용하고, 효과가 있으면 전체 수용도 가능해질 것임
- 외장 단열재에 대한 해외 데이터가 필요함

이에 본 컨설팅의 범위를 다음과 같이 정리하였다.

- 수요처 발굴

· 정책관련 자료수집(리모델링, 도시재생, 공공기관)하여, 참여 가능한 사업 소개

· 월드와이드월에서 화재 확산방지형 제품 세분화 필요. 해당 관련 제품별 시장 세분화를 통한 점진적 마케팅 전략 수립

· 화재확산방지, 화염의 확산 거리, 화염의 크기 등 월드와이즈월에서 관련 통계자료 확보시 공유 요청

- 시장정보 제공

· 해외데이터 수집(외장, 단열)시장, 불연(락울, 미네날울; 건식) 시장, 전시회 등

라. 당면이슈 파악

(1) 주요 이슈 도출(8월 14일 오후 16:10~16:15)

(가) 기 개발내용과 건설 시장의 이슈

기 개발한 계획제품은 현장에 설치하기 위하여 테스트 중이다. 단열재와 불연재의 차이 화재시에만 불연재의 성능을 알 수 있다. 수요자 입장에서는 가격이 같거나 약간의 차이만 나더라도 불연재 혹은 준불연재를 적용하겠다는 의견이다.

일부 특수한 공간이나 부분에는 가격이 고가이더라도 적용하려는 의향을 보이고 있다.

(나) 마케팅 관련 이슈

초기 개발당시의 전망과 현재 상황간 차이가 있고 현재 시장이 본격적으로 형성되어 있지는 않으며 단열재 시장에서 불연재 시장으로 이동해 가는 과정에 있다. 처음부터 바로 시장에 적용하기는 어려움. 점진적인 접근전략이 요구되는 상황이다.

계획제품 특징으로 볼 때 시장에서 수요자는 가격에 민감하지만 계획제품은 고정원가를 낮출 수 없기 때문에 가격측면에서는 불리한 상황이다. 현재 수혜기업의 주력제품은 단열재 제품이며 시장에서 준불연재에 비해 단열재 제품은 가격대비 성능이 뛰어나 선호되는 실정이다(에너지 절약 측면).

따라서 주력제품을 계획제품과 연계하여 시장의 전이상황에 맞춰 마케팅 하는 것이 필요하다(현재 계획제품은 단열 System이면서 불연제품임).

최근 도시재생(regeneration)의 경우 기존 건물에 새로운 외장재를 더하는 형태가 될 것인데 그렇게 되면 단열성능은 낮아지고 두꺼워지며 가격이 상승하는 단점이 있음. 오히려 증축과 개축, 리모델링에 초점을 두고 잠재 고객에 접근하는 것이 바람직하다.

화염의 이격거리에 따른 불의 확산범위 관련 통계를 확보하여 화재시 확산을 방지하는 차원에서 불연재를 적극 홍보하고 구매를 권유하는 방법도 고려될 수 있다. 영유아나 노약자 시설은 현재 화재에 취약하고 화재발생시 큰 인명피해가 예상되는 곳이므로 이 부분에 초점을 두어 마케팅을 전개하고자 한다.

(2) 화재현황 분석

(가) 연도별 용도별 외벽화재건수 분석

2007년부터 2014년 까지 주거지역에서의 화재와 비주거지역에서의 화재로 구분해 볼 때 주거지역의 경우 단독주택에서의 화재 비율이 18.7%로 가장 높았으며 비주거지역의 경우 생활서비스 시설에서의 화재 비율이 25.0%로 가장 높게 분석된다. 이러한 화재 발생 비율이 높은 건물은 불연재에 대한 홍보를 강화함으로써 화재 비율을 낮출 수 있도록 권유하는 것이 필요하다.

(나) 연도별 발화 장소별 노약자 시설 피해현황 분석

연도별 발화 장소별 노약자 시설 피해현황을 조사한 결과, 노약자 시설에서의 화재 건수는 해마다 감소하였다. 이러한 시설에서는 노약자의 행동이 일반인과는 다르고 반응이 느리다는 점에서 지속적인 관리 감독과 화재위험과 대비에 대한 홍보가 요구되며 때문에 발주처가 가장 주력하고 있는 잠재 수요처이기도 하다.

(다) 연소확대범위 관련 화재 현황 분석

2011년부터 2014년 까지 주택 유형별 연소범위 확대로 인한 피해사례에서 발화건물 전체로 연소하는 경우가 80%에 상당하여 상당한 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 연소범위 확대에 따른 전체 연소로 화재가 번질 경우 재산 피해와 인명 피해는 크게 증가하기 때문에 이 점에 유의해서 주택의 연소범위 축소 및 방지를 위한 불연재 시공을 장려하고 권유할 필요가 있다.

(마) 연도별 시설유형별 연소확대범위 피해 현황 분석

시설 유형별로 보면 발화건물 전체로 화재가 번지는 경우는 50%에 준하고 있으며 그 비중이 해를 거듭할수록 더 커지고 있다. 최근 건축비를 아끼려고 불연재를 사용하지 않는 사례가 병원 등 의료기관에서도 나타나고 있어 이 부분에 대한 화재 위험성을 홍보하고 더불어 불연재 사용을 권유하는 것이 필요하다.

(마) 연도별 주거형 연소확대범위 피해 현황 분석

주거형 화재 전체로 보면 발화건물 전체 연소 건수는 2011년 1,138건에서 2013년 943건

으로 감소하다가 2014년에는 1,003건으로 증가하는 양상을 보이고 있다.

이러한 내용은 방문인터뷰 등 잠재 수요처를 대상으로 한 홍보와 마케팅에 활용할 수 있는 정보이다.

(바) 연도별 비주거형 연소확대범위 피해 현황 분석

비주거형 화재 전체로 보면 발화건물 전체 연소 건수는 2011년 1,270건에서 2014년 1,137건으로 감소하는 양상을 보이고 있다.

전반적으로는 연소범위의 확대에 따른 화재 피해가 큰 규모로 나타나고 있어 이 또한 화재 확산의 위험성을 경고하고 예방하는 것이 매우 중요함을 알 수 있다.

본 내용도 방문인터뷰 시 잠재 수요처에 대해 홍보와 마케팅으로 활용할 수 있는 정보이다.

(3) 이슈 정리와 공유

(가) 이슈 요약

단열재와 불연재의 차이에 따른 이슈로서 수요자 입장에서는 가격이 같거나 약간의 차이만 나더라도 불연재 혹은 준불연재를 적용하겠다는 의견이 지배적이다. 마케팅 관련 이슈로서는 시장은 단열재 시장에서 불연재 시장으로 이동해 가는 과정이므로 점진적인 마케팅 접근전략이 요구되는 상황이다.

계획제품의 특징과 관련된 이슈로서는 계획제품은 고정원가를 낮출 수 없다는 점이고 단열재 제품이며 가격대비 성능이 뛰어나 선호되는 실정이다(에너지 절약 측면).

(나) 이슈를 통해 나타난 시사점

단열재 제품에 대한 선호도 증가에 비해 불연재 선호도는 미흡하다. 화재위험 경고와 예방에 주력하려는 연구노력과 달리 현실은 무감각하다. 특히 건설업계의 오랜 관행인 인맥 마케팅은 수혜기업이 풀어가야 할 과제이다.

(4) 대안모색

화재예방 및 건축 외장재 활용관련 문헌과 통계 분석을 위하여 건축물 외장재 설치동향 및 화재위험성 관련 문헌수집하고, 외단열 시스템 외장재의 화재 위험 관련 문헌수집하며, 관련 통계 분석 및 시사점을 정리하였다.

잠재 수요자 니즈파악을 위하여 홍보형 인터뷰로 잠재 수요처를 대상으로 방문 인터뷰 수행하고, 인터뷰 문항에 들어갈 홍보용 문구와 내용에 대한 검토를 의뢰하였다.

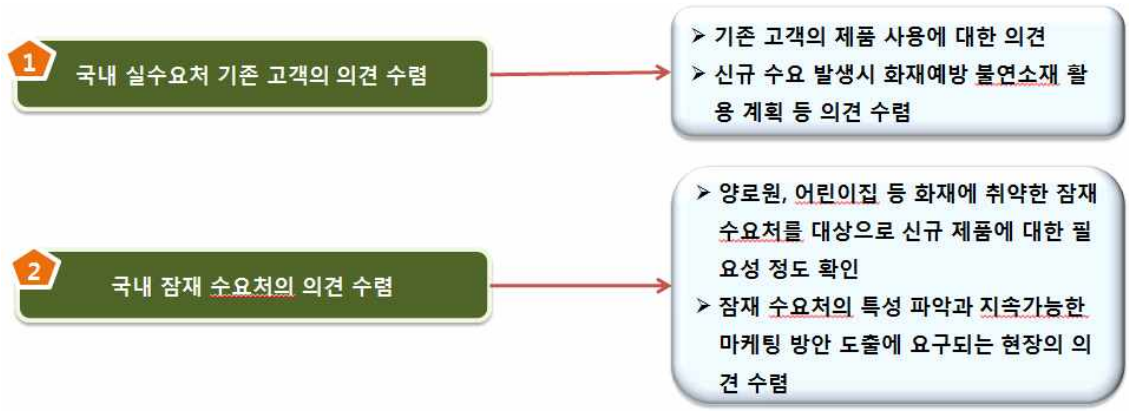
해외 단열재 시장 동향 파악을 위해 외장, 단열시장, 불연(락울, 미네날울 건식) 시장 동향 자료 수집하고, 해외 건축 소재 전시회 개최 정보 수집하였다.

마. 제품에 대한 의견 수렴과 전략의 수립

(1) 수요처 니즈와 신제품에 대한 의견 수렴

(가) 인터뷰 수행 필요성과 추진방법

기존 고객의 구매제품에 대한 의견과 신제품 필요성 등 의견 수렴하고, 잠재 수요처의 증·개축 시점 확인 및 신규 수요 발생 예상하기 위하여 추진하였다.



[그림 3.126] 인터뷰 수행 필요성

(나) 인터뷰 대상 잠재 수요처 리스트 도출 방안

수요처 리스트로부터 잠정적으로 관련 대상을 전국 양로시설 리스트(17개 지역 282개 양로시설), 어린이집 보육시설 리스트(17개 지역 328개 어린이집)로 설정하고, 수도권 중심으로 실 수용인원 100명 이상인 곳을 선별하여 일반 건축물 대장을 열람하였다.

(다) 수혜기업과의 협의를 위한 예상 방문 지역 리스트

방문 예상리스트는 다음과 같다.

- 강동구 고덕동 시립 고덕 양로원
- 노원구 동일로 시립 수락양로원
- 중구 신당동 서울 시니어스타워
- 수원 장안구 광교산로-보훈원
- 가평군 마일리-하느님사랑방사람들

- 안성시 양성면 미산리-유무상통마을

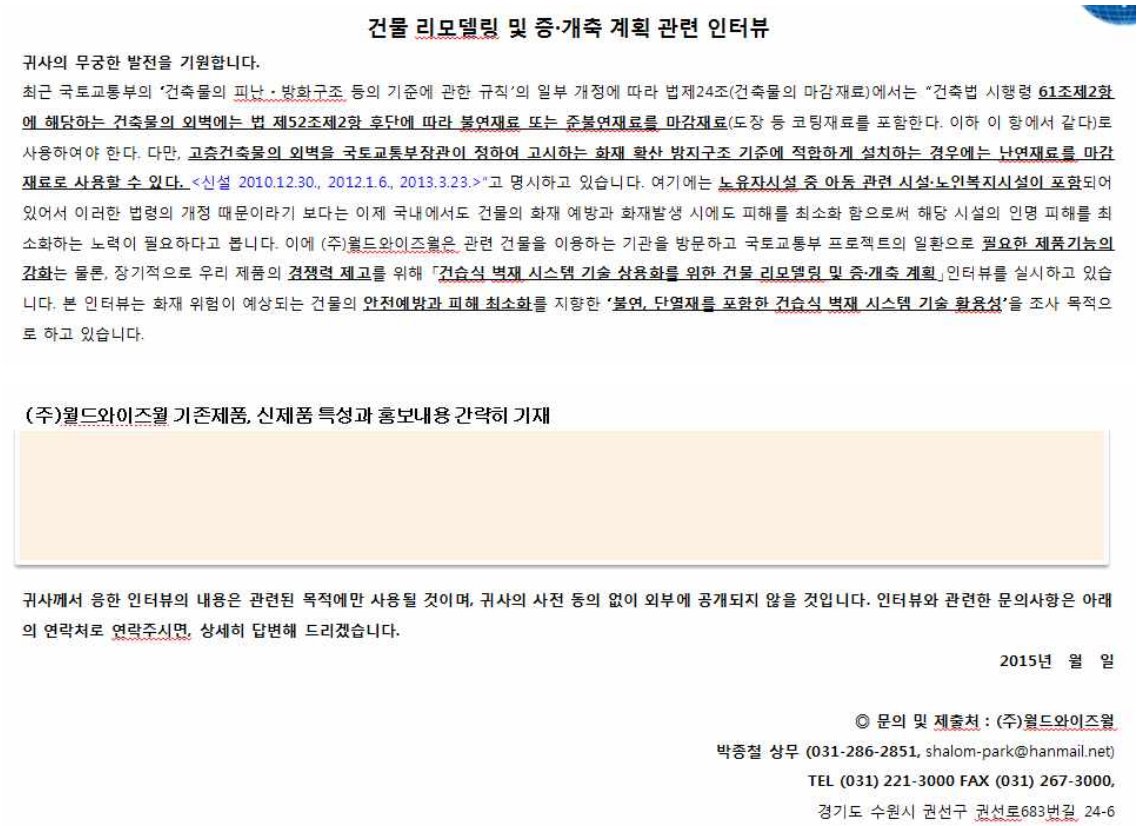
- 여주시 여주북로-골든밸리

- 은평구-서울 시립 꿈나무 마을-노란꿈터, 초록꿈터, 파란꿈터

단, 리스트 지역은 방문 예상 지역으로 언급된 특정 지역을 방문하고자 하는 것은 아니다.

(라) 인터뷰 양식1

인터뷰 양식은 다음과 같이 제작하였다.



건물 리모델링 및 증·개축 계획 관련 인터뷰

귀사의 무궁한 발전을 기원합니다.

최근 국토교통부의 '건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙'의 일부 개정에 따라 법제24조(건축물의 마감재료)에서는 "건축법 시행령 **61조제2항에 해당하는 건축물의 외벽에는 법 제52조제2항 후단에 따라 불연재료 또는 준불연재료를 마감재료**(도장 등 코팅재료를 포함한다. 이하 이 항에서 같다)로 사용하여야 한다. 다만, **고층건축물의 외벽을 국토교통부장관이 정하여 고시하는 화재 확산 방지구조 기준에 적합하게 설치하는 경우에는 난연재료를 마감재료로 사용할 수 있다.** <신설 2010.12.30., 2012.1.6., 2013.3.23.>"고 명시하고 있습니다. 여기에는 **노유자시설 중 아동 관련 시설·노인복지시설이 포함**되어 있어서 이러한 법령의 개정 때문이라기 보다는 이제 국내에서도 건물의 화재 예방과 화재발생 시에도 피해를 최소화 함으로써 해당 시설의 인명 피해를 최소화하는 노력이 필요하다고 봅니다. 이에 (주)월드와이즈월은 관련 건물을 이용하는 기관을 방문하고 국토교통부 프로젝트의 일환으로 **필요한 제품기능의 강화**는 물론, 장기적으로 우리 제품의 **경쟁력 제고**를 위해 「**건습식 벽재 시스템 기술 상용화를 위한 건물 리모델링 및 증·개축 계획**」인터뷰를 실시하고 있습니다. 본 인터뷰는 화재 위험이 예상되는 건물의 **안전예방과 피해 최소화**를 지향한 **'불연, 단열재를 포함한 건습식 벽재 시스템 기술 활용성'**을 조사 목적으로 하고 있습니다.

(주)월드와이즈월 기존제품, 신제품 특성과 홍보내용 간략히 기재

귀사께서 응한 인터뷰의 내용은 관련된 목적에만 사용될 것이며, 귀사의 사전 동의 없이 외부에 공개되지 않을 것입니다. 인터뷰와 관련한 문의사항은 아래의 연락처로 연락주시면, 상세히 답변해 드리겠습니다.

2015년 월 일

◎ 문의 및 제출처 : (주)월드와이즈월
박증철 상무 (031-286-2851, shalom-park@hanmail.net)
TEL (031) 221-3000 FAX (031) 267-3000,
경기도 수원시 권선구 권선로683번길 24-6

[그림 3.127] 인터뷰 양식

<표 3.84> (주)월드와이즈월 수요처(잠재 수요처 포함) 인터뷰 문항

1. 귀 건물에 대해 리모델링, 증·개축 필요성을 느끼시거나 계획이 있습니까? - 이유, 경험, 이슈, 시기 등 2. 귀 건물에 에너지 절감과 난방 효율성 제고를 위한 단열 필요성 혹은 계획이 있습니까? - 이유, 경험, 이슈, 시기 등 3. 귀 건물은 화재 시 화염의 전이나 방출되는 유독성 물질을 예방하기 위해 어떠한 불연 내화성 자재를 고려해보거나 사용한 경험이 있습니까? - 경험, 이슈, 시기 등 4. 귀하는 불연 단열재에 대해 들어 본적이 있거나 알고 계십니까? - 관심, 이슈 등 5. (주)월드와이즈월은 불연단열재를 개발하여 국토부로부터 건설신기술 인증을 받은 기업입니다. 우리회사의 건설신기술 불연단열재는 매우 강한 내화성 내단열성 자재로서 새로운 공법과 기술로서 최고의 단열 성능과 내화 성능을 구현합니다. 귀하는 우리회사의 신제품에 대해 들어 본 적이 있거나 사용해 본 경험이 있으십니까? - 관심, 경험, Needs 등 6. 만일 귀 기관의 건물에 보온 단열재 혹은 내화 소재를 외벽에 사용해야 한다면 어떤 점을 가장 우선적 구매요인으로 고려하실 생각이십니까 제품 단가, (2) 최적 진단과 맞춤형 설계, (3) 제품의 성능(단열, 내화), (4) 제품의 품질(디자인, 내구성, 소재) (5) 지속적이고 안심할 수 있는 A/S (6) 시공기간, (7) 기타 7. 현재 화재 위험이 있는 지역에서의 건물, 6층 이상의 건물 등에는 불연재나 준불연재를 외벽 마감재로 사용하도록 되어있습니다. 국내 외벽 마감재 산업 특히 화재예방과 화재발생시 피해지역 확산방지를 위한 기술적, 법적, 제도적 의견을 자유롭게 제시해주시면 감사하겠습니다.

(마) 2016년 건강생활지원센터 국비지원 사업

보건복지부와 건강증진개발원은 도시지역 주민의 건강증진서비스 필요 충족과 민간의료기관과 지역 내 갈등을 해소하고자 한다. 기존의 보건소를 지자체 관할 지역에 특화되고 지역 밀착형 건강관리 전담기관으로서 건강생활지원센터로 전환하는 사업이다.

동 사업은 '13년 시범적으로 수행하였고 '14년부터 건강생활지원센터로 본격 개편 추진하고, '15년 지역보건법 개정을 통해 건강생활지원센터 설치근거를 마련(2015.11.19. 시행)하게 된 것으로 이를 통해 2018년 까지 전국 보건소의 리모델링 사업 추진이 예상된다. 이에 대한 사업내용을 요약 정리하여 마케팅 전략 수립의 기초자료로 활용하고자 함

(바) 수요처 인터뷰 관련 시기와 접근 전략

수혜기업의 계획제품은 건설신기술 인증을 목표로 한 “초경량 세라믹 불연단열재”와 이를 이용한 “건습식 벽재 시스템 기술”로서 일반인들에게는 약간 생소한 용어이며 불연재에 대한 인식이 높지 않다는 어려움이 있다. 특히 수혜기업의 계획제품이 산업재이면서 투입재로서 건축자재 특성상 중간재로써 사용되는 자재이며 부품이기 때문에 설명을 해도 직접적으로 필요성을 인지하기가 어렵고 오히려 자세한 설명을 하다보면 경쟁기업에게 정보를 노출할 위험도 있다.

인터뷰를 통한 잠재수요처 발굴과 홍보를 병행한 마케팅이 필요하다는 점에서 수혜기업은 인식을 같이 하지만 그 시기와 접근 전략은 점진적으로 진행하기로 하였다. 추후 수혜기업의 계획제품이 실증과정을 거치고 건설신기술 인증을 받게 되면 이를 기초로 하여 보다 적극적인 마케팅에 돌입할 경우 본 인터뷰를 통한 홍보와 수요발굴 방법을 적용할 계획이다.

(2) 단열재 시장 현황과 전망 분석

글로벌 단열시장의 규모는 2013년 378.7억 달러에서 2020년 649.1억달러로 증가할 전망이며 2015년~2019년 까지 연평균 7.94%로 증가할 전망이며, 주요국의 불연재 의무사용 법제화 및 건축물 안전기능 강화추세로 난연 기능이 강화된 무기질 단열재 비중이 불가피하게 확대될 전망이다.

세계 단열재 시장을 미국과 일본 유럽으로 구분하여 살펴보면 미국의 경우 그라스울이 84%를 차지하고 있으나 유럽은 그라스울이 42%, 스티로폼과 미네랄울이 각각 21% 분포를 보이고 있고 일본은 그라스울이 52% 발포플라스틱계가 32%를 형성하고 있다.

에너지 절감을 위해 외벽 단열기술을 포함한 글로벌 그린빌딩 소재 시장은 2014년 1,275억 달러에서 2020년 2,250억 달러로 확대되며 연평균 12%의 증가율을 보일 것으로 예상하고 있다. 그린빌딩 소재시장에서 단열재가 차지하는 비중은 2014년 소요자재 비중으로 산정할 때 약 23% 수준이며 이러한 추세는 2020년 까지 유지될 전망이므로 이에 대비한 대응전략이 요구된다.

국내 단열재 시장 또한 에너지 절감과 안전을 위해 단열재의 단열기능 강화와 두께를 적정 수준으로 유지해야 하는 개발을 지속해야 한다.

2014년 3월 정부의‘건축물 에너지 성능 개선 방안’발표에 따라 에너지 절감을 위한 단열재의 성능개선과 두께 증가가 불가피하고, 세계적인 추세에 따라 유기질 계통의 단열재로부터 무기질 계통 또는 고품질 유기질 계통의 단열재로의 이동이 예상된다.

2014년 국내 건축물 중 주거용 건물이 65.8%를 차지하고 있는데, 전국 아파트의 54%가 유기질 계통인 EPS류를 이용한 것을 감안할 때 향후 무기질 계통의 단열재로의 큰 교체 수요가 발생할 것이 예상된다(자료:통계청).

또한 공간 활용에 대한 인식 증가로 가변형 벽체 시장규모 또한 점진적으로 증가할 것이 예상된다. 가변형 벽체 사용추세에 따른 시장 규모는 2020년까지 CAGR 20%로 커갈

전망이며 2013년 1500억원, 2014년 1800억원이었던 시장 규모는 2020년에는 5300억원 규모로까지 성장할 것으로 예측된다.

불연단열재는 화재에 대비한 소재특성이 강하여 거동이 불편하거나 빠른 이동이 어려운 노약자, 아동, 환자 등을 보호해야 하는 보호시설이 새로운 고객이 될 수 있다. 이에 따라 전국의 278개소의 아동 복지시설과 443개소의 노인복지시설, 1,457개소의 장애인 거주시설, 1,213개소의 장애인 지역사회 재활시설 그리고 전국적으로 8,930개소가 운영 중인 국·공립, 사립 유치원이 잠재적인 수요처라 할 수 있다.

(3) 개발제품과 경쟁제품의 비교분석

(가) 대표적인 경쟁 기술 보유업체

해외 업체로서 대표적인 경쟁 기술을 보유한 업체는 미국의 Dryvit, 독일의 STO, Basf, 스웨덴의 Terraco 등으로 이들 기업은 외단열 마감공법(EIFS)의 대표적인 기술보유 업체라고 할 수 있다.

관련 기술의 수준을 비교해 보면 불연성 외단열 벽체 시스템 공법에서는 세계 최고 수준인 독일의 STO사가 90%의 기술수준을 보이고 있으며 국내에서는 수혜기업이 기술개발 전에 75%의 기술수준을 나타내었으나 개발 후에는 90% 수준을 보이는 상태이다.

초경량 불연성 단열재 제조기술의 경우 독일의 GLAPOR가 90%의 기술수준이었으며 기술개발 이전에 한국 세라믹 기술원의 기술수준이 85%였으나 개발 이후에는 현재 90% 수준의 기술적 역량을 보이고 있다.

초경량 불연성 단열재 생산기술 역시 독일의 GLAPOR가 90%의 기술수준이었으며 지메텍이나 SYC는 기술개발 이전에 80% 기술수준이었지만 기술개발 이후 현재에는 90% 수준의 기술적 역량을 갖추게 되었다.

(나) 주요 핵심 성과(TRL 단계)

불연성 외단열 시스템 공법의 경우 핵심 성과는 외벽 화재저항성 30분, 열관류율 0.27 W/㎡k이하인 불연성 외단열 공법・기법으로서 기술준비도 TRL은 현재 8단계 수준이다.

불연성 초경량 세라믹 단열재의 핵심성과로는 열전도율 0.051 W/mK 이하 불연성능 A1급 경량 세라믹 단열재인 재료・자재를 개발한 것이며 기술준비도인 TRL은 7단계에 해당한다.

(4) 차별화 요인과 주력 포인트 도출

(가) 기술적 측면에서의 차별화 요인

선진 기술수준과 대등한 기술적 품질 확보하고, 주요 핵심 성과(TRL 단계) 측면에서 추가적인 보완 필요하다. 본 계획 제품은 불연 성능과 단열 성능을 동시에 지닌 제품으로 여기에 건·습식 벽체 공법이 혼합된 특성을 지니고 있다.

(나) 시장 측면에서의 차별화 요인

미래 단열 성능을 요구하는 에너지 절감 시장에서 경쟁우위를 확보할 필요가 있다. 준불연재와 불연재를 요구하는 건설법규의 규제 강화 추세로 인해 차별화된 경쟁우위 확보가 가능하며, 특히 법적인 규제가 이미 정비되어 불연재를 의무화하고 있는 중국시장과 독일 시장에 기회가 존재하기 때문에 이에 대한 준비도 필요하다. 또한 친환경 조경을 고려한 디자인 관점의 리모델링 건설 시장고 접근할 필요가 있다.

(다) 개발제품의 적용 현장에서 본 차별화 요인

개발제품의 차별화 요인을 분석하고자 현장방문을 수행하였다.

- 시공현장(방문 일시 : 2016. 2. 20.(토) 12:00~14:00)

· 위치 : 경기도 이천시 서희로 82번길 46(창천동)

· 시공 건물 : 이천어린이집(2층)

· 시공 내용 : 단열재와 불연재를 혼합 시공, 기존 건물의 외벽을 리모델링함

· 시공 기간 : 약 2주~3주

현장 방문 결과, 불연재와의 두께 차이를 보완하고 미려한 외장재를 활용할 수 있으며 내구성이 강한 특허 공법을 함께 적용함으로써 시너지 효과를 창출할 수 있음을 알 수 있었다. 공사기간 단축 및 주변환경과의 조화를 이루는 외장재의 선별 적용이 가능하며, 단열재와 불연재를 혼합 사용함으로써 불연재 사용에 따른 비용부담을 저감할 수 있는 장점이 있다. 1층에서 2층으로의 화염 전이를 방지할 수 있는 위치에만 불연재를 사용하여 목적 지향적 적용이 가능하고, 불연재는 내구성이 취약한 점을 보완하여 하층부는 단열재만으로 구성하였다.

완성후 리모델링은 기존의 우중충한 모습을 밝고 화사한 모습으로 변모시켰다. 단열성능과 더불어 이러한 디자인적 특징은 유아 보호시설 뿐 아니라 치료가 필요한 노인, 장애인 시설에도 매우 바람직할 것으로 보인다. 주변 환경과의 조화로운 분위기도 친환경에 민감한 시대적 트렌드에 적합하며 도시 리모델링에 적절한 제안이 될 것으로 판단된다.

(5) 단계별 중장기 기술마케팅 전략 보완

(가) 산업재 마케팅 믹스의 시사점

최근 기술개발 속도가 가속화 됨에 따라 고객의 욕구를 끊임없이 파악하여 제품 차별화를 지속적으로 유지해야 하며 검증되지 않은 신제품에 대해서는 부정적인 시각을 지니는 것이 건축 자재 시장의 소비자 특성이다.

지방자치단체 등 관공서와 어린이집, 노인보호시설이나 장애인 보호시설 등을 중심으로 제품의 특장점을 알리고 촉진활동을 추진하는 것이 바람직하다. 지역별 협력사와의 전략적 제휴를 통해 자재의 유통과 더불어 시공에 참여하는 방식으로 협력사와의 관계 확대에 주력하는 것이 효과적일 것이다.

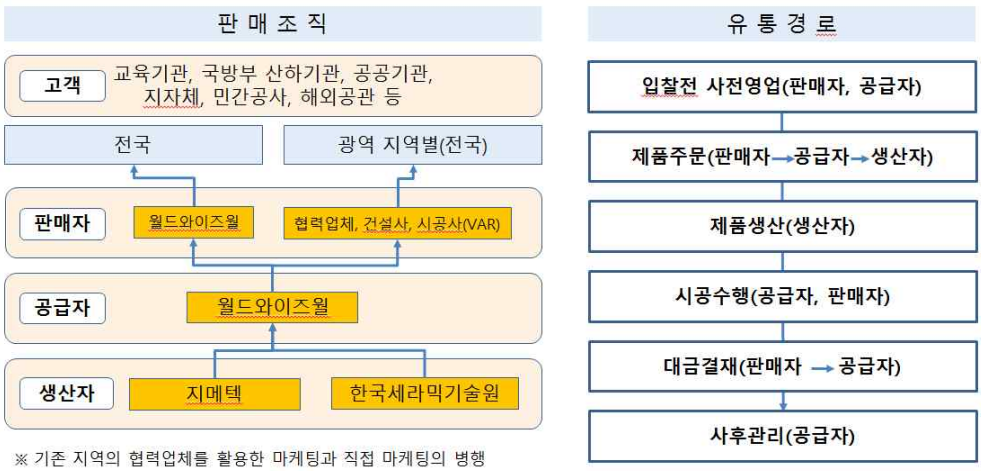
건축자재의 가격이 노출되지 않은 특성과 협상에 좌우되는 가격 특성에 주목하고 적절한 제품군을 비즈니스 모델로 계열화 함으로써 맞춤형 가격을 제시할 수 있도록 하는 것이 경쟁력 약화를 예방하는 방안이다.

(나) 직접 영업과 협력영업을 병행하는 구조 유지

수혜기업의 판매조직이 생산자와 공급자, 판매자로 구분되고 있는 현 상태는 그대로 유지하고, 생산자는 소재를 양산하는 지메텍과 R&D를 수행하는 한국 세라믹기술원이며, 공급자는 수혜기업이며 판매자는 수혜기업과 공동 영업을 수행하는 협력사이다.

(다) VAR(Value Added Reseller) 관리 영업 특성 유지

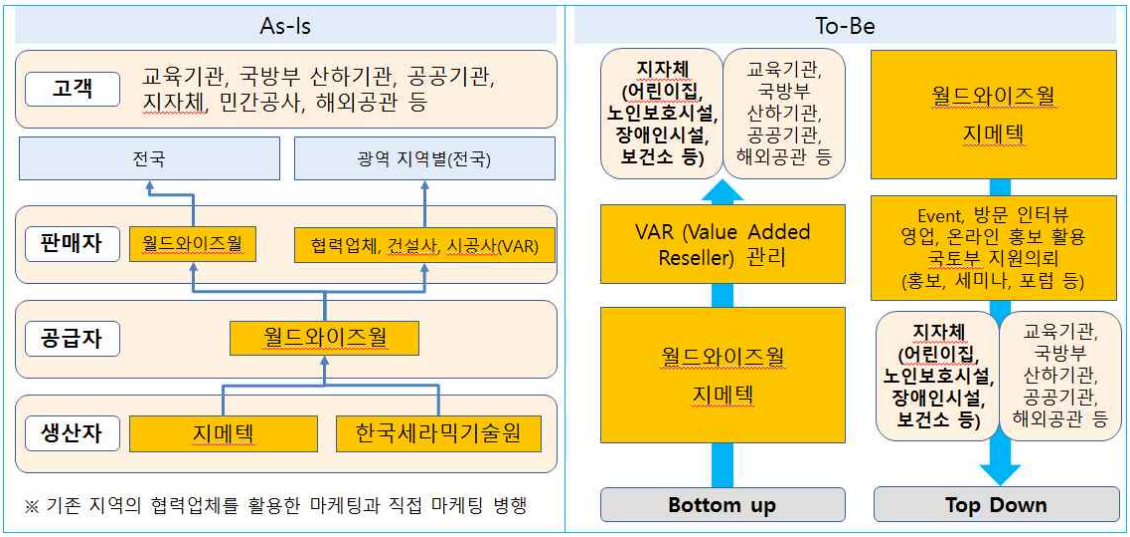
수혜기업이 직접 전국을 대상으로 영업을 하는 것을 원칙으로 하며 협력사 영업시 수혜기업은 재료 공급과 시공을 담당한다. 수도권 이 외의 지역에 대해서는 직접 영업도 가능하지만 현지 사정을 잘 아는 건설사 혹은 시공사와 협력관계를 통해 협력사가 현지영업을 수행하는 형태를 유지한다.



[그림 3.128] 기존 마케팅의 구조와 유통경로

(라) Top Down과 Bottom Up 마케팅 추진

기존 생산자, 공급자, 판매자 흐름에 따른 단일 판매방식의 전환 필요하다. 새로운 마케팅 전략은 Two Track 전략을 활용하고, 기존 Bottom Up 방식도 그대로 유지하면서 공공기관이나 교육기관에서 관심을 가질 수 있도록 Top-Down방식을 혼용하여 사전에 분위기를 조성하는데 주력한다.



[그림 3.129] 마케팅 전략

VAR(Value Added Reseller)의 관리와 연계협력 관계 구축하고, 단열재와 불연재 혼용에 따른 제품의 단계별 계열화 필요하다. 단열재에 불연재를 혼용할 경우 단가 상승에 민감한 수요자를 대상으로 적절한 단가와 요구되는 최소 기준의 불연재 사용 등 적절한 맞춤형 제품을 구성하는 것이 요구된다.

이러한 마케팅 차원에서의 대응 노력과 아울러 단열재의 두께가 두꺼워지는 점을 보완하는 기술과 불연재의 취약한 내구성을 보완하는 새로운 융합제품을 준비하는 기술적 차원에서의 대응을 통해 지속적인 경쟁우위를 확보해 갈 수 있도록 하는 것이 중장기적으로는 매우 중요하다.

(마) 수혜기업의 불연·단열재 사업의 중장기 기술마케팅 추진을 위한 로드맵 관점

Time span의 구성은 단기와 중기 장기로 구분하되 3년~5년의 기간을 중심으로 Concept을 구현하고 목표를 달성하는 단계로 설정한다. Phase I은 2016년~2018년, Phase II는 2019년~2022년, PhaseIII는 2023년~2027년 까지 이며 전체는 12년의 기간이다.

주요 Concept은 Phase I (2016년~2018년) 기간 중에는 차별화 역량을 확보하는 것이 주요 Concept이다. Phase II (2019년~2022년) 중 주요 Concept은 국내 마케팅을 통한 성

과창출 극대화이다. Phase III (2023년~2027년) 기간에는 성장 모델 정립으로 확보된 시장의 고객에게 가치있는 제안을 하는 것이 주요 Concept이다.



[그림 3.130] 수혜기업의 불연·단열재 사업 중장기 로드맵

○ 고객 분류 관점

주요 고객은 교육기관과 국방부 산하기관이며 공공기관과 지방자치단체, 민간공사 해외공관은 관리대상 고객으로서 주요 고객군으로 관리하면서 추가 수요 발굴에 노력할 필요가 있다. 기존 고객군 이외에 어린이집과 노인양로시설, 장애인보호시설, 보건소 등이 새롭게 관심을 갖고 집중적으로 마케팅을 추진할 전략 고객군으로 등장한다.

○ 주요 고객을 대상으로 한 마케팅 추진 관점

주요고객 중 교육기관을 대상으로 하는 마케팅은 사전영업을 강화하면서 고객 특성에 따른 맞춤형 정보를 제공하는 것이 핵심이다. 어린이집과 노인양로시설, 장애인 보호시설, 보건소 등은 지방자치단체를 대상으로 지속적인 관심유도와 실적을 기반으로 한 신뢰도 제고를 통한 밀착형 마케팅으로 계획제품의 특성을 효과적으로 제시하여 실수요로 연결할 수 있도록 한다.

바. 기술마케팅 추진(국내·해외)

(1) 기존 고객 대상 접근전략[8)]

기존 고객 중 교육기관의 경우 초등학교 비중이 높고(약 47.4%, 295개사) 중학교는 약 38.7%를 차지하며 신축 보다는 보수 공사(173건, 약 27.8%) 비중이 높게 나타났다. 공사 유형별로는 기존 교육기관의 외벽상태에 따른 보수와 단열필요성에 주목하여 접근할 필요가 있다. 마감재 특성별로는 큰 영향을 미치지 않으나 취향의 분석은 디자인적인 심미성에 연계되므로 이점은 향후 서비스 측면서의 차별화 시도에 중요한 요소로 고려되어야 할 것이다. 지리적 특성별로는 수도권 인근 지역인 경기도에 대한 수주비중을 높여가는 전략이 요구된다.

국방부 산하기관의 경우에는 군부대의 수주가 중심이며 단열공사(43건, 50%) 비중이 높고 시설공사(36건, 약 41.9%)가 그 다음으로 나타난다. 공사 유형별로는 에너지 절감과 내구성에 주목한 단열재 중심의 접근 전략이 요구된다. 마감재 특성별로는 군부대 주변환경이 자연환경이라는 점에서 자연친화형 마감재를 중심으로 접근하는 전략이 요구된다.

공공기관의 경우 보수공사(13건, 33.3%)가 높은 비중을 차지하였고 외벽관련 공사(12건, 약 30.8%)도 유사한 비중을 나타낸다. 공사 유형별로는 보수를 필요로 하는 건물구조와 외벽의 내구성이 취약한 건물이 주요 사전 마케팅 대상이다. 마감재 특성별로는 디자인과 심미감을 중시하는 특성이 있으므로 이 점을 고려한 제안과 홍보로 사전마케팅을 추진하는 접근전략이 요구된다.

지방자치단체는 보수공사(4건, 44.4%) 외벽관련 공사(3건, 약 33.3%)로 공공기관과 공사 유형에서는 유사한 성향을 보인다. 공사 유형별로는 공공기관과 유사하게 보수를 필요로 하는 건물구조와 외벽의 내구성이 취약한 건물을 보유하고 있는 지방자치단체의 리모델링이나 증·개축에 관심을 갖고 접근할 필요가 있다. 마감재 특성별로는 디자인과 심미감을 중시하는 특성이 있으므로 이 점을 고려한 접근전략이 요구된다.

(2) 신규 고객 접근 전략

불연 단열재 특성으로서 화재에 대비한 소재특성과 에너지 절감 및 친환경적 특성 등 계획제품의 특성에 맞는 시설(보호시설)을 중심으로 신규 고객을 발굴한다. 기존 보유기술은 내구성을 필요로 하거나 디자인을 필요로 하는 시설에 부합하는 특성이 있기 때문에 외벽이 강한 내구성을 필요로 하는 어린이집과 건물의 화사한 디자인으로 긍정적인 심리적 효과를 가져오는 노인보호시설 등이 적합하다.

정부지원사업 중심의 지속적인 모니터링이 필요하다. 건강생활지원센터 지원사업관련 내용 모니터링을 위해 2016년 건강생활지원센터사업 관련 수요처 현황 파악과 전국 공공의료기관 현황 (2014. 12월 현재) 213개소 리스트 파악하였다. 시에서 의무와 별개로 시범 설치 등 지원사업에 적극성을 보일 수 있도록 화재와 안전, 재해예방의 중요성을 적극

8) 기존 고객은 수혜기업의 발주처를 중심으로 분석한 1차년도 보고서를 참고하였음

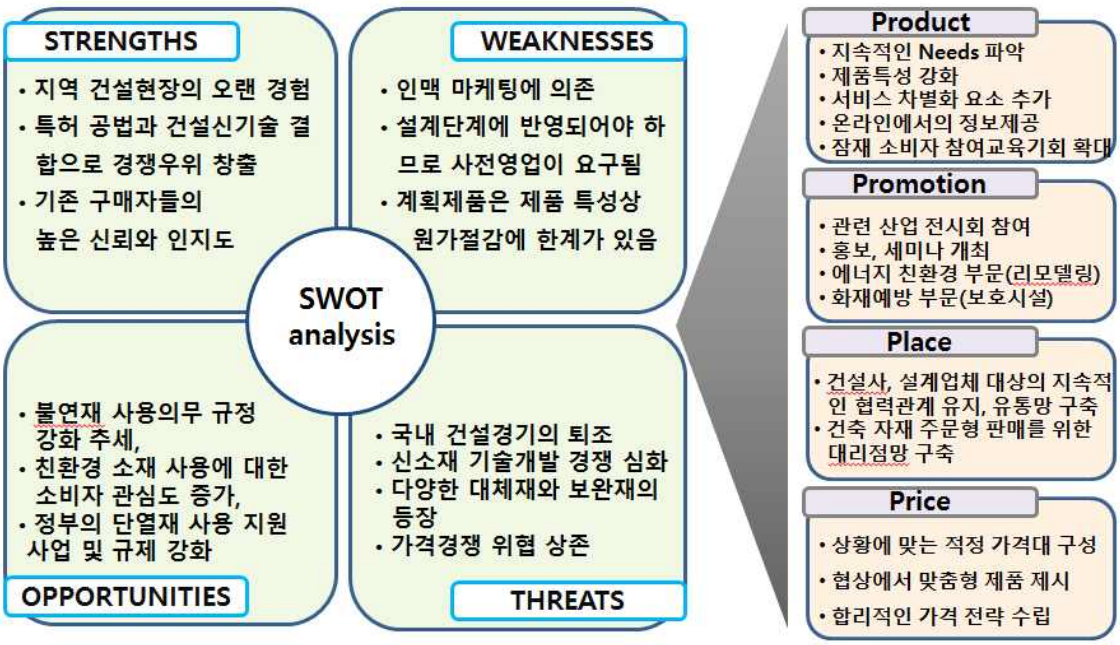
공략하여 마케팅 추진한다.

신기술 적용이 가능한 시장조사와 수요를 발굴한다. 거동이 불편한 사람을 위한 보호시설로서 노인시설, 요양시설, 장애인 시설 등을 들 수 있다. 전국 노인복지시설은 전국적으로 총 443개소이며 양로시설은 272개소 등으로 이들 시설이 잠재 수요처이다(2014년 12월 기준).

또한 어린이집, 영유아시설과 전국 국립·사립 유치원 시설 등을 들 수 있다. 전국 아동 양육시설과 보호시설 등 아동 복지시설 총 278개소가 잠재적인 수요처(2014년 12월 기준)이다. 전국 유치원 시설현황은 총 8,930개소가 운영 중이며 국립은 3개소, 공립은 4,675개소, 사립은 4,252개소가 잠재 수요처라 할 수 있다(2015년 10월 기준).

노유자 시설의 2013년과 2014년 화재 피해 현황을 분석해 보면 거동이 불편한 노인이나 장애인 상주 시설 보다 부주의한 어린이들이 많은 어린이 집과 유치원의 화재 빈도도 높고 피해액도 크다. 접근 전략의 우선순위로는 화재 빈도가 잦은 어린이 보호시설부터 접근하여 불연단열재를 시공하는 것이 필요하다고 판단된다.

수혜기업의 SWOT 분석과 4P 전략을 기반으로 마케팅 전략을 수립하였다.



[그림 3.131] 수혜기업 특성에 따른 4P 전략

보유제품 특성의 결합을 통한 맞춤형 전략 마케팅 수행할 필요가 있다. 수혜기업의 보유 제품과 기술은 시공 공법 기술과 단열, 불연, 방수기술이 있다. 이들 기술은 결합을 통하여 수요처의 Needs에 맞게 맞춤형으로 접근할 수 있다는 것이 장점이며 수혜기업은 이러한 부분에 주목해서 제품 구성과 가격전략을 수립할 필요가 있다.

(3) 중국 시장의 동향과 진출전략의 수립

중국은 '녹색 저탄소, 에너지 절약·환경 보호, 지속가능한 발전'을 지향하면서 정부 주도하에 에너지 절감 정책을 적극적으로 추진 중이다. 중국이 추진하는 에너지 절감 정책은 온실가스 최대 배출국의 불명예를 탈피하고자 함이며 에너지 절감에 초점을 맞춘 개선 제품과 첨단 기술력을 바탕으로 한 맞춤형 제품의 공급이 필수적으로 여기에 시장진출의 기회가 있을 것으로 판단된다.

중국 내수 소비재시장은 빠른 성장세를 보이고 있으며 정부는 내수 확대 실현을 위해 '도농주민 소득증대를 통한 소비능력 제고', '사회보장체계의 완비를 통한 소비 확대', '소비환경 개선을 통한 소비 촉진'등 3대 조치를 실시하기로 한다.

중국 내수시장에 진출하려면 권역별 특성을 고려한 차별화된 접근전략이 요구된다. 중국 내에서는 경제·사회 발전, 국내외 정세 변화, 정부의 지역발전전략 변화, 연구목적 등에 따라 1949년 이후부터 시기별로 다양한 권역구분이 생성되고 있다.

진출유망시장으로 먼저 한단(邯鄲)을 들 수 있으며 건자재, 인프라, 기초설비, 환경보호 관련 산업에 진출이 가능함. 뤄양(洛陽)은 환경보호, 에너지 절감형 산업에 유리하며 에너지절약 환경보호 장비 관련 산업의 진출이 유망하다.

중국의 건축자재 유통경로는 통상 생산자/수입자 → 도매(총판) → 소매(인테리어 사무소나 대리점 등) → 소비자로 이어진다. 일반적으로 주택(아파트) 구매자가 마감 및 인테리어 공사를 직접 하기 때문에 거대한 B2C 시장이 형성되어 있다. 타오바오, 알리바바 등 온라인 판매를 통한 B2C 거래를 고려해 볼 수 있다.

중국의 경우 '사람'중심의 신형도시화 특성을 보이며 도시화 추진이 가속화될 경우 건축자재 분야가 수혜대상으로 주목되고 있다[9]. 건물의 리모델링과 에너지 절감을 위한 외단열 시공이 급증할 전망이다. 수혜기업의 경우 건축자재 분야로 우선 진출하는 것이 유리하며 단열, 에너지 절감, 친환경 제품, 방수처리 등 분야를 지향해서 전략을 수립하는 것이 바람직하다.

한단(邯鄲)의 경우 '환경 및 에너지 관련 시장'을 겨냥할 수 있으며 뤄양(洛陽) 또한 환경보호, 에너지 절감형 자재와 부품에 관심이 높으므로 동 지역 역시 진출 후보대상으로 고려하는 것을 제안한다. 중국 시장은 인맥 영업의 특성이 있으므로 협력사인 지메텍과 함께 요녕성 인맥을 연결한 후 한단과 뤄양 지역을 겨냥하는 진출 전략이 요망된다.

(4) 해외 건설시장 동향과 전망

2014년 세계 건설시장은 8.5조 달러 수준이고 2015년에는 전년대비 4% 성장한 8.8조 달러이며 2018년까지 연 4%씩 성장하여, 10조 달러를 돌파할 전망이다. 세계 건설시장을 분야별로 보면 주택 3.2조 달러, 도로·항만·공항 등 인프라 2.7조 달러, 플랜트를 포함한 비주택 2.6조 달러로 구성된다(2014년 기준).

9) 한국무역협회(2014), 「중국 경제 3C를 주목하라」

지역별 시장규모는 아시아 3.9조 달러, 유럽 2조 달러, 북미 1.2조 달러, 중남미 0.6조 달러, 중동 0.3조 달러, 기타 0.5조 달러 순이다(2014년 기준). 국내 건설기업들의 접근이 가능한 해외건설시장[10] 규모가 성장한다는 것은 기회로 볼 수 있으며 건설 시장의 주도권을 잡기 위한 국가 간 무한경쟁 시대에 돌입한 상황이다.

해외 건설시장은 진입장벽이 높은 시장으로 우리나라와 미국, 스페인, 중국 등 선진 주요 10개국이 시장의 90%이상을 차지하고 있다.

우리나라 글로벌 건설산업 경쟁력 평가는 세계 7위이며 미국 및 유럽 선진국가 대비 설계경쟁력이 매우 취약한 상황이 이어지고 있으며, 해외건설시장에서 성과확대를 위해선 설계분야 경쟁력 확보가 절실한 상황이다. 역량 강화를 위해 고부가가치 영역으로의 가치사슬 확장이 필요하다.

(5) 법적 제도적 변화요인 수용 및 대응방안 수립

불연 또는 준불연재 사용을 강화하고, 건축물 화재사고 방지대책을 담은 건축법 시행령과 건축물의 피난·방화규칙 등 관련 법령 개정안이 시행(국토교통부)중에 있다.

종교시설과 숙박시설 등 거주 인원이 많거나 노약자가 쓰는 건축물에 대한 규제가 강화되고, 건축물 1층을 필로티 구조로 설계할 경우 화재 등 사고가 발생했을 때 피난하는데 문제가 없도록 대피통로를 설치하고 천장과 벽에는 난연성 마감재를 사용하도록 하고 있다.

현행 건축 법규에서는 EIFS(Exterior Insulation and Finish System) 사용이 문제가 되고 있으며, 현실적인 법제도 마련 필요하다. 또한 건물에 대한 불연재 사용 의무화와 안전 소재사용에 대한 인식제고 필요하다. 6층 이상 보호시설 건물에 대한 불연재 의무사용과 건설 현장에서 안전한 소재 사용에 대한 필요성 인식이 중요하다.

10) 해외건설시장 : 세계 건설시장 중 외국 건설기업에게 개방되어 있는 시장을 의미.

사. 개선활동 및 보고

(주)월드와이즈월의 국토교통기술사업화 지원사업인 “초경량 세라믹 불연단열재를 이용한 건·습식 벽체 시스템 기술 상용화” 에 대한 사업화 컨설팅을 통한 수행성과는 다음과 같다.

<표 3.85> 수행성과 종합

수행 항목	수행 내용	수행 성과
현안 이슈 검토 및 컨설팅 추진 방향 설정	- 착수회의 실시 - 현안 이슈에 대한 의견 수렴 - 컨설팅 수행방안과 일정에 대한 협의	- 당면한 Issue 파악 - 2차년도 필요 과제 도출 - 컨설팅 수행 내용 및 방향 설정
화재와 연소범위확대 피해 통계 분석 정보 제공	- 외벽 화재 현황 분석 - 화재 피해 현황 분석 - 연소범위 확대 피해 분석 - 주요 이슈와 시사점 도출	- 화재 현장의 피해 상황을 통해 사전예방의 중요성 파악 - 연소범위 확대에 따른 피해규모 방지에 불연단열재의 중요성 도출 - 관련 피해통계와 분석내용은 방문 인터뷰시 소비자 홍보용으로 제공하고 활용하도록 제의함
수요처 정보 제공	- 인터뷰용 잠재 수요처 리스트 제공 서울, 경기, 수도권 양로원과 어린이집 샘플 수요처 리스트 제공 - 정부지원사업 정보제공 2016년 건강생활지원센터 국비지원사업 정보 제공 (지방자치단체와 보건소 관련) - 단열재 수요처, 용역발주 계획 리스트 등 제공	- 인터뷰용 잠재수요처 리스트 · 17개 지역 282개 양로시설 · 17개 지역 328개 어린이집 - 정부지원사업 정보제공 · 2013년 전국 보건소 주소록, 위치, 연락처 정보 제공 - 단열재 수요처 리스트 제공 · 노인복지시설(전국 443개소) · 아동복지시설(전국 278개소) · 유치원시설(전국 8,930개소) 용역발주계획 리스트 제공 - 나라장터 지자체별 입찰정보 발췌

2. 자금 및 정책금융 조달방안 분석(피에스엠비)

가. 중소기업의 일반적 자금조달 방안 분석

(1) 중소기업의 자금조달 현황

(가) 주식시장을 통한 자금조달

□ 최근 중소기업중앙회의 조사에 따르면 중소기업의 금융기관 차입금중 80% 이상이 담보 및 보증부 조달로 이루어지고 있는 반면, 순수한 신용대출 비중은 20%에도 미치지 못하고 있는 것으로 조사되었음. 이를 요약하면 다음 <표 3.86>과 같다.

<표 3.86> 금융기관을 통한 자금차입시 대출조건

(단위 : %)

	부동산담보	신용보증서	예적금담보	연대보증	은행지급보증	순수신용
2008	44.3	26.7	6.9	4.0	4.3	13.8
2007	47.2	21.1	7.8	4.1	2.9	16.9

자료 : 중소기업중앙회(2007, 2008)

□ 위와 같이 불리한 조건의 대출임에도 불구하고 중소기업들이 금융기관을 통하여 자금을 조달하는 경우 가장 큰 애로사항으로는 대출금리가 1순위로 지적될 만큼 중소기업의 대출금리는 상대적으로 높게 유지되고 있는 것으로 평가된다. 이를 요약하면 다음 <표 3.87>과 같다.

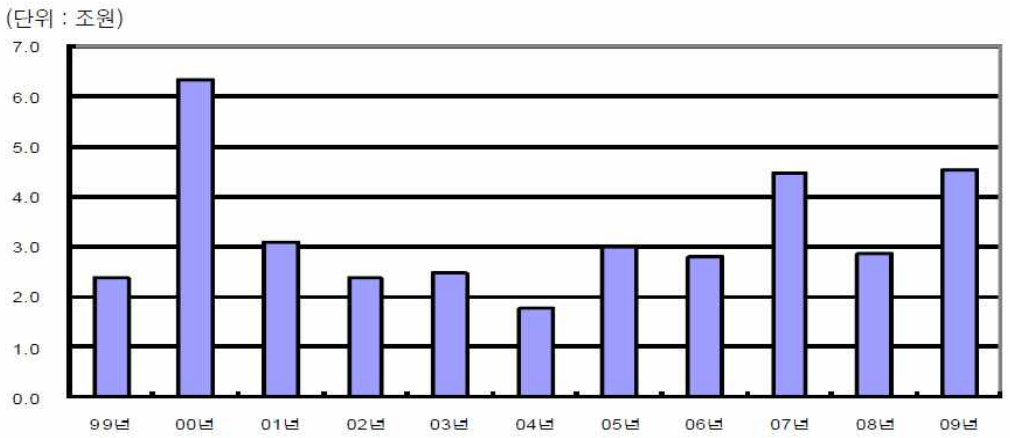
□ 더 나아가 담보를 바탕으로 한 대출이 대부분이기 때문에 정보생산이 적절하게 이루어지지 않음에 따라 일반 투자자들이 중소기업에 대한 정보를 확보할 수 있는 방법이 매우 제한되어 왔다. 이는 결국 자본시장으로 대변되는 직접금융시장을 통해서 중소기업이 자금을 조달하기 매우 어려운 상황이 지속되는 것과 무관하지 않다.

<표 3.87> 중소기업의 자금조달시 애로사항 우선순위

	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년	2008년
높은대출금리	3	4	4	1	1	1
신용보증서위주대출	1	1	1	2	2	2
과도한부동산담보요구	2	2	2	3	3	3
매출액위주한도사정	6	6	6	5	4	6
신용대출곤란	4	3	3	4	5	4
까다로운대출심사	5	5	5	6	6	4

주 : 숫자는 자금조달상 애로사항 순위를 표시
자료 : 중소기업중앙회(2007, 2008), 『중소기업금융 이용 및 애로 실태조사』

□ 주식시장을 통한 중소기업의 자금조달 규모추이를 살펴보면, 벤처기업 버블이 존재하였던 2000년대 초반을 제외하면 대략 매년 3조원 정도의 자금만이 조달되었던 것으로 평가된다. 이를 요약하면 다음 [그림 3.132]와 같다.



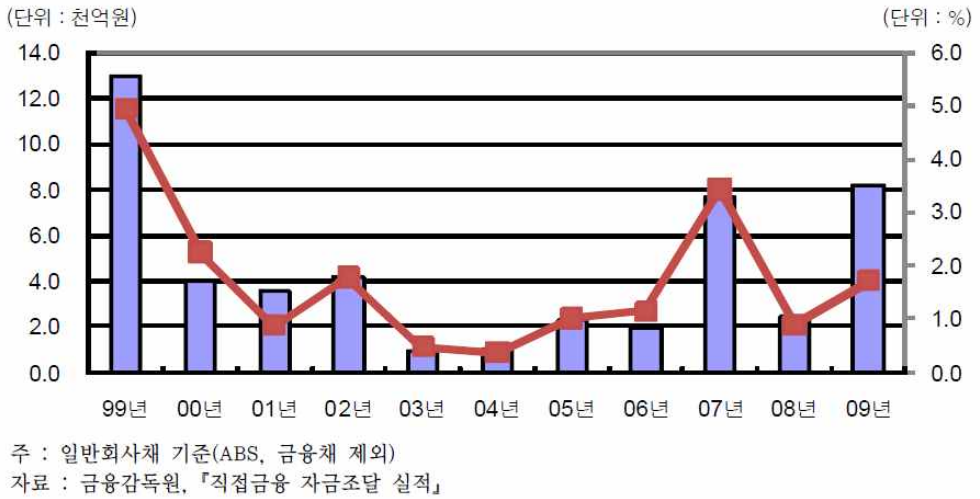
자료 : 금융감독원, 『직접금융 자금조달 실적』

[그림 3.132] 중소기업의 주식시장에서의 자금조달 규모

(나) 회사채시장을 통한 자금조달

□ 이미 살펴본 바와 같이 중소기업의 주식시장을 통한 자금조달은 상당한 한계가 있는 것으로 분석되었다. 회사채 발행을 통한 자금조달도 부진한 상황이 지속되고 있다. 2002년 대우사태를 계기로 중소기업의 회사채 발행규모가 급격히 축소되었는데, 회사채 발행실적으로 보면 1999년 1.3조원이던 회사채 규모가 2004년 980억원까지 감소하였고, 최근 발행규모가 증가하고 있기는 하나 여전히 8,000억원 정도로 전체 회사채 발행액의 1~3% 정도밖에 미치지 못하고 있는 실정이다. 이를 요약하면 다음

[그림 4와 같다.

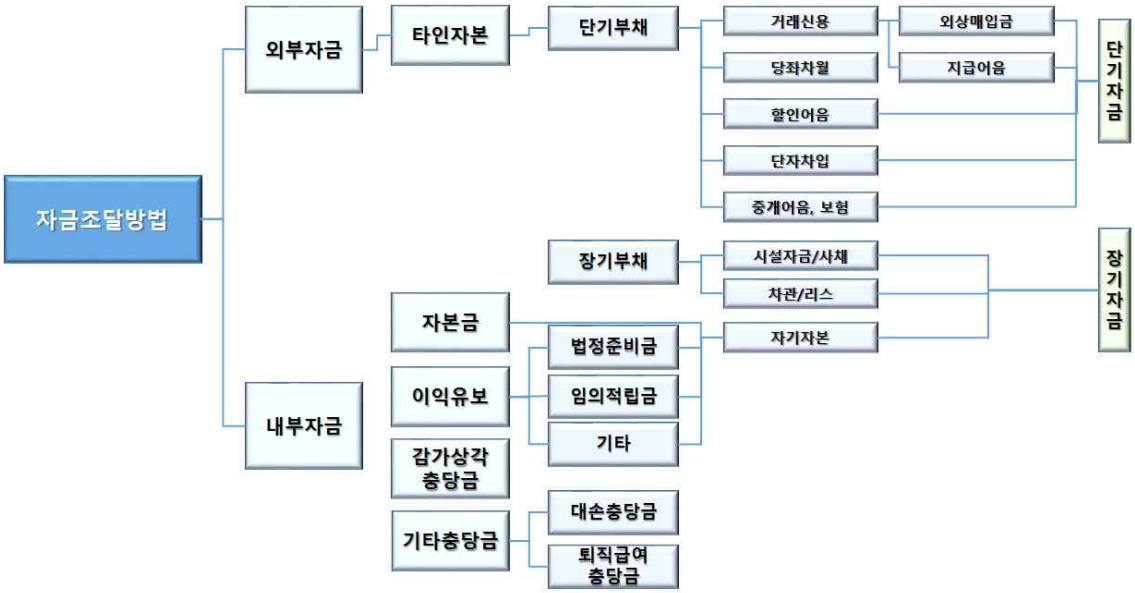


[그림 3.133] 중소기업의 회사채시장에서의 자금조달 규모

(2) 건설업종의 민간자본 조달방안

(가) 일반적인 민간자본 조달 방안 종합

□ 일반적으로 중소기업이 민간자본을 조달하는 방안은 크게 분류하면 외부자금과 내부자금으로 나누어 볼 수 있다. 외부자금은 타인자본과 자기자본으로 구분되고 타인자본에는 단기부채와 장기부채 방안이 포함되어 있다. 장기부채로는 시설자금, 회사채, 차관/리스 방식 등이 포함되어 있다. 반면 내부자금에는 이익유보금, 감가상각충당금, 기타 충당금 등이 포함되어 있다. 일반적으로 중소기업의 경우 자기자본을 통한 자금조달력이 부족하고 내부자금의 적립규모가 미흡하여 주로 타인자본을 활용하는 방안이 대부분이라고 할 수 있다. 특히 단기적인 자금조달의 비중이 높을 경우 회사의 재무적인 불안정성이 높아진다고 분석된다. 이를 요약하면 다음 [그림 3.134]와 같다.



[그림 3.134] 중소기업의 일반적인 자금조달 방안 종합

(나) 건설업종의 민간자본 조달 현황

□ 건설회사의 일반적인 자금조달 형태는 '내부자금'과 '외부자금' 으로 구분할 수 있으며 외부자금은 다시 국내금융과 해외금융으로 구분된다. 내부자금이란 기업이익의 사내 유보 준비금 또는 감가상각충당금 등의 적립을 통하여 해당 기업이 자체적으로 필요한 자금을 조달하는 형태를 말한다. 외부자금과는 달리 경영자의 자유재량으로 결정할 수 있는 폭이 넓다. 또한 자본조달비용도 추가로 들지 않고 이자나 배당을 지급할 필요도 없는 자금이다. 반면에 그 조달 규모에는 스스로 한도가 있으며 필요한 때에 필요한 금액을 조달하는 일이 중소건설업체에게 쉽지는 않다. 이에 반해 외부자금은 기업자체에서 유보한 자금만으로는 부족한 자금을 금융시장으로부터 조달하는 형태를 말한다. 외부자금은 자금원의 소재에 따라 국내금융과 해외금융으로 구분할 수 있고 국내금융과 해외금융은 다시 직접금융과 간접금융으로 분류될 수 있다. 직접 금융이란 기업공개를 통한 주식이나 회사채, 기업어음 등의 유가증권 발행을 통하여 자본시장에서 기업이 소요되는 자금을 자체적으로 조달하는 형태를 말하며 간접금융은 은행과 같은 금융회사로부터 자금을 차입하는 금융형태를 이르는 데 가장 일반적인 자금조달의 형태라고 할 수 있다. 외부자금은 자금의 이용가능 기간의 면에서 상당한 제약을 받으며 자금조달에 따르는 절차나 경비가 추가적으로 필요하기 때문에 중소건설업체에게는 불리한 점도 있다. 반면 자본시장의 상황에 따라 조달의 가능성이 달라지나 내부 자금에서와 같은 절대금액의 한계는 없으며 다양한 형태의 조달조건이 있기 때문에 적기에 이용할 수 있다는 이점이 있다. 따라서 건설회사는 자금수요의 상황에 따라 외부자금을 적절히 조달하여 기업의 재무안전성을 유지하는 것이 중요하다.

□ 자금조달방식의 의사결정은 여러 가지 요인을 고려하여 이루어지며 건설산업 등 프

로젝트 단위로 단기적인 수주활동을 통해 영업을 하는 기업은단기부채로 자금을 조달하는 경향이 높다. 또한 주식이 분산소유된 대형건설회사는 주식발행을 선호하나 소유구조가 집중된 중소건설회사는 타인자본으로 자금을 조달하여 경영의 지배권을 유지하려는 경향이 강하게 나타난다. 최근 건설회사들이 외부에서 조달한 자금중 간접금융, 즉 금융기관으로부터 차입하거나 어음발행, 사채 등으로 조달한 자금의 비중이 65.4%였으며 회사채 발행, 자산유동화, 기업공개 등 직접금융으로 조달한 자금의 비중은 34.6%에 그쳤다. 이는 대부분의 건설기업들이 금융기관에 의존하여 자금을 조달하고 있기 때문이다. 지역별로 큰 차이는 없었으나 규모별로는 중기업이 직접금융으로 자금을 조달한 비중 (42.1%)이 대기업(35.5%)보다 높았으며 소기업은 직접금융으로 자금을조달한 경우가 없었다. 이를 표로 요약하면 다음 <표 3.88>과 같다.

<표 3.88> 건설업종의 자금조달원 현황 요약

(단위 : %)

항목	전체	지역별		규모별		
		수도권	지방	대기업	중기업	소기업
직접금융	34.6	38.6	35.0	35.5	42.1	0.0
간접금융	65.4	61.4	65.0	64.5	57.9	100.0

□ 구체적인 자금조달 방법에 대해 조사해보면 1순위로는 '금융회사차입'이59.2%로 가장 높게 나타났으며 다음으로 '내부유보자금활용'이 20.4%로 높게 응답하였다. 2순위로는 '내부유보자금활용'이 33.8%로 가장 높았으며 다음으로 '금융기관차입'이 19.5%, '회사채기업어음 발행 '이18.2%를 나타냈다. 지역별로는 수도권 기업(44.1%)들에 비해 지방기업(69.3%)들의 금융기관차입비율이 높았으며 규모별로는 대기업(37.9%)에 비해 중기업(63.5%)과 소기업(68.2%)의 금융기관차입이 높았다. 이와 같은 결과를 볼 때 건설기업들의 경우 기업규모와 관계없이 금융기관을 통한 자금조달이 가장 중요한 자금원이지만 이것이 여의치 않은 경우 대기업은 회사채, 기업어음 발행 등 다른 수단이 있는데 반해 중소기업은 내부유보자금활용외에 다른 대안이 없어 자금압박이 심할 수 밖에 없는 것으로 분석되었다. 따라서 금융회사가 어떤 정책을 실시하느냐가 중소건설기업의 자금조달을 좌우할 수 밖에 없는 상황이라고 할 수 있다. 이를 요약하면 다음 <표 3.89>와 같다.

<표 3.89> 건설업종의 구체적인 자금조달방법 요약

(단위 : 개사, %)

항목	전체		지역별		규모별		
	1순위	2순위	수도권	지방	대기업	중기업	소기업
금융기관 부채상환	10 (10.3)	5 (6.5)	6 (18.2)	4 (6.7)	4 (16.7)	5 (9.8)	1 (2.5)
회사채(기업어음) 상환	12 (12.4)	2 (2.6)	11 (33.3)	1 (1.7)	11 (45.8)	2 (2.0)	–
선투자 사업 추진	23 (23.7)	5 (6.5)	7 (21.2)	15 (25.0)	6 (25.0)	11 (21.6)	6 (27.3)
장비구입 및 자재확보	9 (9.3)	3 (3.9)	1 (3.0)	7 (11.7)	1 (4.2)	7 (13.7)	1 (4.5)
신규사업 진출	2 (2.1)	8 (10.4)	–	2 (3.3)	–	1 (2.0)	1 (4.5)
협력업체 공사대금 지급	21 (21.6)	17 (22.1)	4 (12.1)	17 (28.3)	1 (4.2)	15 (29.4)	5 (22.7)
관리비 등 운영자금 확보	3 (3.1)	35 (45.5)	1 (3.0)	2 (3.3)	1 (4.2)	1 (2.0)	1 (4.5)
조달한 사실 없음	15 (15.5)	2 (2.6)	2 (6.1)	11 (18.3)	–	8 (15.7)	7 (31.8)
기 타	2 (2.1)	– (0.0)	1 (3.0)	1 (3.4)	–	2 (3.9)	–
합계	97 (100.0)	77 (100.0)	33 (100.0)	60 (100.0)	24 (100.0)	51 (100.0)	22 (100.0)

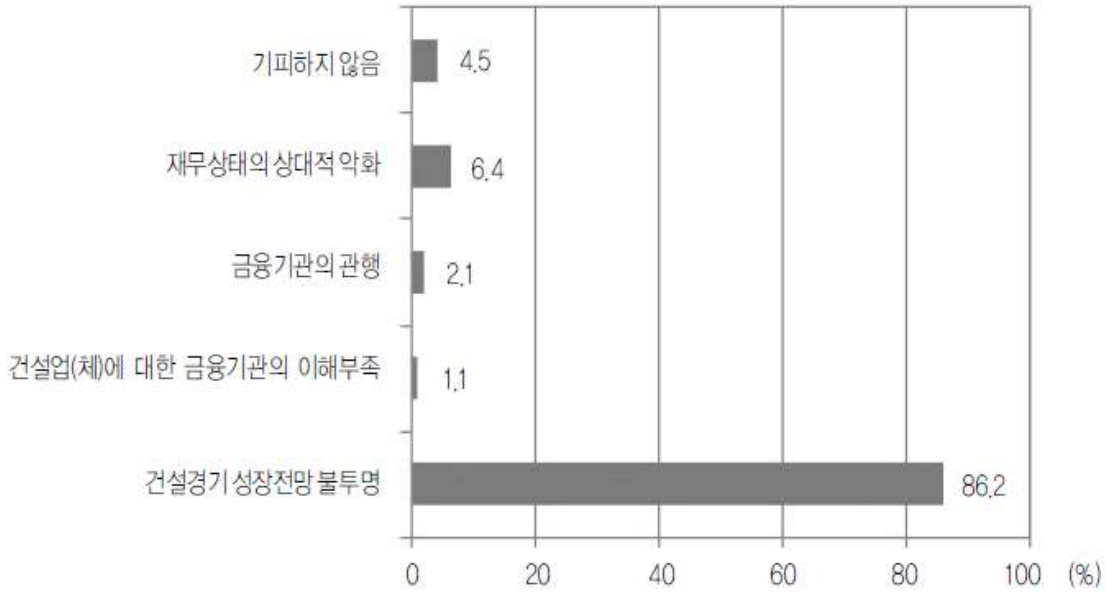
□ 건설업종의 금융기관에 대한 애로사항을 최근 조사한 결과 1, 2순위 모두 '높은 이자율'이라는 응답이 각각 31.2%, 30.9%로 가장 높게 나타났다. 다음으로는 1순위에서는 '대출절차의 복잡성 및 지연(23.4%)'을 2순위에서는 '과도한 담보요구(22.1%)'를 지적하였다. 지역별로 보면 수도권은 '대출절차의 복잡성과 지연(36.0%)'이라는 응답이 가장 많았으며 지방은 '높은 이자율(37.5%)'이라는 응답이 가장 많아 지역별로 다소 차이가 있었다. 규모별로는 우선순위에 다소 차이가 있긴 하지만 높은 이자율, 대출절차의 복잡성 및 지연, 그리고 대출금액의 부족이 지적되었다. 이를 2008년 조사결과와 비교하면 2008년의 경우 과도한 담보 요구(26.9%)가 1위로 나타났으며 다음으로는 과도한 연대보증(16.8%), 높은 이자율(15.7%)의 순이었다. 금번 조사에서는 과도한 담보요구나 과도한 연대보증에 대한 애로는 미미한 것으로 나타나 건설업체들에게 무리하게 요구되었던 관행들은 어느 정도는 해소된 것으로 사료된다. 이를 요약하면 다음 <표 3.90>과 같다.

<표 3.90> 건설업종의 자금차입시 금융기관에 대한 애로사항 요약

(단위 : 개사, %)

항목	전체		지역별		규모별		
	1순위	2순위	수도권	지방	대기업	중기업	소기업
대출금액 부족	17 (22.1)	5 (7.4)	6 (24.0)	11 (22.9)	4 (20.0)	9 (22.5)	4 (23.5)
대출절차의 복잡성 및 지연	18 (23.4)	7 (10.3)	9 (36.0)	9 (18.8)	5 (25.0)	8 (20.0)	5 (29.4)
제출서류 불신	2 (2.6)	-	1 (4.0)	0 (0.0)	2 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
높은 이자율	24 (31.2)	21 (30.9)	6 (24.0)	18 (37.5)	5 (25.0)	15 (37.5)	4 (23.5)
짧은 대출기한	1 (1.3)	5 (7.4)	-	-	0 (0.0)	1 (2.5)	0 (0.0)
과도한 담보요구	4 (5.2)	15 (22.1)	2 (8.0)	2 (4.2)	3 (15.0)	1 (2.5)	0 (0.0)
구속성예금, CD 매입 등 강요	-	4 (5.9)	-	-	-	-	-
과도한 연대보증 요구	9 (11.7)	11 (16.2)	1 (4.0)	6 (12.5)	1 (5.0)	5 (12.5)	3 (17.6)
기타	2 (2.6)	-		2 (4.2)	0 (0.0)	1 (2.5)	1 (5.9)
합계	77 (100.0)	68 (100.0)	25 (100.0)	48 (100.0)	20 (100.0)	40 (100.0)	17 (100.0)

□ 금융기관에서 건설업체에 대한 대출을 기피하는 이유에 대해서는 '건설경기성장전망이 불투명'하다는 응답이 86.2%로 압도적으로 높게 나타났다. 지역별 및 규모별로 큰 차이는 없었으나 수도권에 비해 지방이(80.6%→89.7%), 대기업에 비해 중기업과 소기업으로(79.2%→87.2%→90.9%) 갈수록 '건설경기성장전망이 불투명'하다는 응답 비중이 높게 나타났다. 이를 요약하면 다음 [그림 3.135]와 같다.



[그림 3.135] 건설업체에 대한 대출기피 이유 요약

□ 직접□금융을 통한 자금조달이 주로 대형 건설기업에 집중되다보니 향후직접금융시장을 통한 자금조달계획 여부를 묻는 질문에 69.2%가 '활용계획이 없다'고 응답하였으며 '기업어음발행'이나 '회사채'등은 각각 15.0%와 11.2%에 그쳤다. 규모별로는 대기업의 경우 '기업 어음발행'이 30.6%로 가장 높은 응답비중을 보였으며 '활용계획 없다'와 '회사채발행'이 27.8%로 나타났다.

□ 직접금융시장을 통해 자금을 조달한 사실이나 계획이 없는 이(33.3%)와'절차나 방법을 잘모른다'(16.7%)는 응답비중도 높았다. 회사채나 기업어음의 경우 불특정 다수인을 대상으로 하기 때문에 해당기업의 지명도, 재무구조, 신뢰도 등과 더불어 해당 산업의 비전 등이 중요한 변수로 작용하였다. 이를 요약하면 다음 <표 3.91~93>과 같다.

<표 3.91> 건설업체의 직접금융 시장 활용경험 요약

(단위 : 개사, %)

항목	전체	규모별		
		대기업	중기업	소기업
주식시장 활용	10(8.3)	10(20.4)	0(0.0)	0(0.0)
기업어음 발행	21(17.4)	15(30.6)	5(10.2)	1(4.8)
회사채 발행	26(21.5)	20(40.8)	6(12.2)	0(0.0)
활용한 사실 없음	64(52.9)	4(8.2)	38(77.6)	20(95.2)
합계	121(100.0)	49(100.0)	49(100.0)	21(100.0)

<표 3.92> 지역별, 규모별 건설업체의 직접금융 시장 활용경험 요약

(단위 : 개사, %)

항목	전체		지역별		규모별		
	1순위	2순위	수도권	지방	대기업	중기업	소기업
금융기관 차입	57 (58.2)	15 (19.5)	15 (44.1)	41 (68.3)	9 (37.3)	33 (63.5)	15 (68.2)
회사채(기업어음) 발행	8 (8.2)	14 (18.2)	7 (20.6)	1 (1.7)	8 (33.3)	–	–
내부유보자금 활용	20 (20.4)	26 (33.8)	8 (23.5)	11 (18.3)	6 (25.0)	11 (21.2)	3 (13.6)
공모, 증자, 출자	–	2 (2.6)	–	–	–	–	–
사채((私債)	–	1 (1.3)					
보유자산 매각	2 (2.0)	11 (14.3)	2 (5.9)	—	1 (4.2)	1 (1.9)	–
기타	–	3 (3.9)	–	–	1	1	–
조달한 사실 없음	11 (11.2)	5 (6.5)	2 (5.9)	7 (11.7)	–	7 (13.5)	4 (18.2)
합계	98 (100.0)	77 (100.0)	34 (100.0)	60 (100.0)	24 (100.0)	52 (100.0)	22 (100.0)

※ 주 : 1) 기업규모별 및 지역별 1순위만을 정리한 것임. 이하 동일

2) ( )안은 비중임. 이하 동일

<표 3.93> 건설업체의 직접금융 시장 활용장애요인 요약

(단위 : 개사, %)

항목	전체	지역별		규모별		
		수도권	지방	대기업	중기업	소기업
건설업체의 수익성 제고	22 (22.9)	12 (35.3)	10 (17.5)	7 (31.8)	13 (25.5)	2 (9.1)
건설업체수 감소	6 (6.3)	2 (5.9)	4 (7.0)	1 (4.5)	4 (7.8)	1 (4.5)
금융기관의 대출관행 개선	9 (9.4)	3 (8.8)	5 (8.8)	4 (18.2)	2 (3.9)	3 (13.6)
건설업체의 재무구조 개선	1 (1.0)	1 (2.9)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (2.0)	0 (0.0)
프로젝트파이낸싱 활성화	4 (4.2)	3 (8.8)	1 (1.8)	2 (9.1)	2 (3.9)	0 (0.0)
건설공사 물량확대	54 (56.3)	13 (38.2)	37 (64.9)	8 (36.4)	29 (56.9)	16 (72.7)ㅋㅋ
전체	96 (100.0)	34 (100.0)	57 (100.0)	22 (100.0)	51 (100.0)	22 (100.0)

나. 건설업분야 금융지원제도 현황

(1) 건설수요의 변화 및 전망

(가) 미래 10대 유망 건설사업

□ 미래 건설 수요의 질적인 측면도 점차 변화하면서 건설 프로젝트의 복합화, 초대형화, 첨단화가 가속되고 있으며, 노후화된 도심 재구축, 국토균형발전을 위한 신도시/기업도시의 추진, BTL 등 민간자본투자의 확대 등이 이루어지고 있다. 미래 10대 유망 건설사업을 요약하면 다음 <표 3.94>와 같다.

<표 3.94> 미래 10대 유망 건설사업

No	유망사업
1	도심 재개발
2	첨단 교통시설
3	플랜트사업 해외시장 진출
4	환경 복원사업
5	초고층 빌딩
6	자연친화 복합 휴양단지
7	에너지 자립형 주택
8	에코시티 건설
9	U-City 건설
10	구역형 집단에너지 공급사업

(나) 건설사업 주요 전망

□ 2016년 건설사업의 전망을 살펴보면, SOC 예산 축소, 부동산 시장 공급 과다 등으로 수주량이 급감하면서 경기 하강 속도가 급격해질 것으로 예상되고 있다. 부문별로 살펴보면 다음과 같다.

- 공공·토목 분야는 2016년 정부의 SOC 예산이 감소할 것으로 전망되어 공공·토목부문 수주액은 전년대비 하락세를 보일 것으로 전망되고 있다. 2016년 SOC 예산은 기존 감축 계획에 따라 전년대비 6% 감소한 23.3조원으로 책정됨에 따라 공공부문의 수주는 감소할 것으로 전망된다. 또한 2015년 추경 예산을 통한 공공부문의 도로, 발전 등 SOC에 대한 수주와 민간 부문의 대규모 토목 수주 증가에 대한 기저효과로 2016년 토목부문의 수주가 감소할 것으로 예상된다. 다만, 국회 예산심의 과정에서 SOC예산이 소폭 상승할 가능성이 있어 공공·토목부문 수주액 급감이 다소 완화될 수 있다.

- 민간·건축 분야는 미국 금리 인상 등 거시경제적 리스크와 주거용 건축부문의 과잉 공급 해소가 지연되면서 민간·건축부문 수주액은 둔화세가 예상된다. 2016년 미국의 금리 인상, 국내 경제성장률 둔화, 가계부채 부실화 가능성 증대 등 거시경제적 리스크가 확대될 것으로 예상되고, 2015년에 과도하게 증가한 주거용 건축부문 과잉 공급 물량의 해소가 지연되면서 2016년 민간·건축부문 수주액은 둔화세로 전환할 것으로 전망되고 있다. 이를 요약하면 다음 <표 3.95>와 같다.

<표 3.95> 건설업 전망 (건설수주액 기준)

(단위 : 조 원)

		2014	2015(E)	2016(E)
주체별	공 공	26.5 (7%)	28.2 (6%)	26.5 (△ 6%)
	민 간	61.3 (20%)	80.9 (32%)	68.8 (△15%)
공종별	토 목	22.2 (△ 4%)	29.4 (33%)	25.0 (△15%)
	건 축	65.6 (25%)	79.6 (21%)	70.3 (△12%)
전 체		87.8 (16%)	109.1 (25%)	95.3 (△13%)

자료 : 실적치는 통계청, 전망치는 현대경제연구원.
주 : 1) ( )안은 전년대비 증감률임.
2) 국내 외국기관 및 민자 실적은 제외됨.

(2) 건설업분야 금융지원제도 현황

(가) 해외건설 금융 지원현황

① 도급공사 관련 금융

□ 해외 도급공사 관련 금융으로는 첫째, 해외공사 보증을 들 수 있다. 건설업체가 해외에서 도급공사를 수행할 경우에는 국내에서 도급공사를 수행하는 경우와 마찬가지로 공사 수행 단계별로 여러 가지 보증서를 발주자에게 제출하여야 한다. 둘째, 건설업체가 해외공사를 수주하여 시공을 하는 데 필요한 운영 자금이 필요하다. 발주자가 선급금을 지급하는 경우에도 발주자가 시공에 필요한 모든 자금을 선급금 형태로 지급하는 것이 아니기 때문에 시공자는 운영 자금을 금융기관에서 융자할 필요성이 있다. 셋째, 해외 건설공사를 수주한 건설업체가 발주자가 해외 국적이기 때문에 발생할 수 있는 위험(risk)을 회피(hedge)할 수 있는 각종 보험제도가 필요하다. 예를 들어, 계약 상대방의 신용위험 또는 발주국의 비상위험으로 손실을 입게 되는 경우 보상하는 보험, 환율 변동에 따른 손실을 회피하는 보험제도 등이 필요하

다. 해외에서 도급공사를 수행하기 위해 필요한 보증의 종류를 설명하면 다음과 같다. 입찰 단계에서 발주자가 요구하는 입찰보증, 계약 시에 발주자가 요구하는 계약이행보증, 선급금을 지급받는 경우에 필요한 선급금 보증, 하자담보기간 중 하자에 대한 의무를 보장받기 위한 하자보수보증 등이 있다. 이들을 요약하여 설명하면 다음 <표 3.96>과 같다.

<표 3.96> 해외 건설공사 보증의 종류

보증 종류	보증 비율 (계약금액에 대한 비율)	주요 내용 및 특기 사항
입찰보증	5% 이하	- 보증기간이 2개월 내외로 단기간임.
계약이행보증	5~15% 정도(통상 10%)	- 계약의 이행 등을 보장 - 보증기간이 공사 전기간으로 장기임.
선급금보증	10% 내외	- 선급금 수령후 계약 불이행시 선급금 대지급
유보금보증	통상 10%	- 기성금 지급시 현금을 유보하는 대신 해당 금액을 보증으로 대신하는 것
하자보증	10% 내외	- 하자보수기간 중 하자 보수 의무 보증 - 보증기간이 통상 1년 정도임.

② 투자개발사업 관련 금융

□ 해외에서 부동산 개발사업이나 BTO 등 투자개발형 인프라사업을 수행하기 위해서는 사업수행 단계별로 다양한 자금이 필요하다. 첫째, 해외에서 개발사업을 발굴하기 위한 시장개척 자금이 필요하다. 해외시장 개척자금의 예로는 현지 조사비용, 프로젝트의 예비타당성 조사비용 및 본타당성 조사비용 등이 있다. 이러한 해외시장개척 비용은 사업화 단계 이전에 투입해야 하고 사업화에 실패하는 경우 매몰비용(sunk cost)이 된다. 둘째, 해외에서 부동산 개발사업이나 BTO 등 투자개발형 인프라 사업을 수행하기 위해서는 프로젝트 수행에 필요한 자금을 조달하는 것이 필요하다. 이와 같은 자금은 대개의 경우 금융기관에서 프로젝트 파이낸스(project finance) 형식으로 제공된다. 셋째, 해외에서 투자개발사업을 하는 경우 투자개발사업이 갖고 있는 본래의 사업위험 이외에도 투자개발사업이 해외에서 이루어지기 때문에 발생하는 위험이 존재한다. 따라서 이와 같은 위험을 헤지(hedge)할 수 있는 보험이 필요하다. 이와 같은 보험으로는 계약상대방의 신용위험 또는 발주국의 비상위험으로 손실을 입게 되는 경우 보상하는 보험과 환율 변동에 따른 손실을 회피하는 보험 등이 있다.

③ 해외건설 관련 정책 금융

□ 위에서 설명한 해외건설사업 관련 금융은 기본적으로 은행 등 사적인 민간금융기관에서 수행한다. 그러나 민간금융기관에서는 리스크가 너무 커 수행하기 어려워 정부에서 정책적으로 수행하는 경우도 있다. 이하에서는 해외건설 보증과 해외건설사업

과 관련한 공적인 정책 금융 현황에 대해서 살펴보기로 한다. 먼저 해외 건설사업과 관련한 정책 금융에는 어떤 것이 있는지 살펴보기로 한다.

□ 첫째, 해외에서 건설사업을 수행하기 위해서는 사업화 단계 이전에 많은 비용을 투입하여야 한다. 프로젝트에 관한 정보를 수집하고 현지 조사를 하고, 프로젝트를 발굴하여 타당성 조사를 하는 등 시장개척비용이 많이 소요된다. 이와 같은 시장개척비용은 초기에 투입해야 하고, 사업화에 실패할 경우 매몰비용이 되므로 상업적인 민간 금융기관에서 조달하기는 매우 어렵다. 그러므로 국토해양부는 2003년부터 해외 신시장 개척을 지원하기 위해 시장 개척 지원 사업을 운용하고 있다. 시장 개척 지원 사업은 해외건설산업의 장기적인 발전을 위하여 우리 건설업체의 신규 시장 개척시 투입되는 비용 중 일부를 정부가 지원하여 적극적인 시장개척을 유도하고 이를 통하여 시장 다변화 및 수주 확대를 실현하고자 도입된 제도이다.

□ 둘째, 대부분의 국가는 해외건설을 포함한 상품과 서비스의 수출 진흥과 대외경제협력 증진을 위하여 수출 금융과 해외투자금융을 운영하고 있다. 우리나라의 수출 금융과 해외투자금융 업무는 한국수출입은행과 한국수출보험공사가 담당하고 있다. 기본적으로 한국수출입은행은 해외건설을 포함한 상품과 서비스의 수출 진흥을 위한 자금을 융자하는 업무를 수행하고, 한국수출보험공사는 상품과 서비스 수출에 수반되는 보험 업무를 수행한다.

□ 셋째, 원래 제도의 취지가 해외건설사업과 관련한 금융제도는 아니지만 해외건설사업의 자금원으로 이용할 수 있는 제도가 공적개발원조(official development assistance : 이하 ODA)이다. 공적개발원조는 우리나라 정부가 개도국의 경제개발 및 복리증진을 위하여 개도국 정부 또는 국제기구에 제공하는 자금이지만 해외건설사업의 자금원으로 이용할 수 있다. 이상과 같은 해외건설과 관련된 공적인 금융제도를 정리하면 다음 <표 3.97>과 같다.

<표 3.97> 해외 건설 관련 정책금융 제도

구 분	시장개척지원제도	수출 금융과 해외투자금융	공적개발원조
실시 기관 또는 기금	- 국토해양부(해외건설협회)	- 한국수출입은행 - 한국수출보험공사	- 한국국제협력단(KOICA) - 경제개발협력기금(EDCF)
제도의 내용 또는 금융 상품	- 해외건설업의 장기적인 발전을 위하여 우리 건설업체의 신시장 개척시 투입되는 비용 중 일부를 정부가 지원하는 제도	- 한국수출입은행 ① 직접대출 ② 프로젝트 파이낸스 ③ 이행성보증 ④ 해외투자자금대출 ⑤ 외국법인에 대한 사업자금 대출 - 한국수출보험공사 ① 중장기수출보험 ② 이자율변동보험 ③ 해외공사보험 ④ 수출보증보험 ⑤ 환변동보험 ⑥ 해외투자보험 ⑦ 해외사업금융보험	- 한국국제협력단(KOICA) · 개발조사사업 - 경제개발협력기금(EDCF) ① 개도국 정부 또는 법인에 대한 유상 차관 ·개발사업차관 ·기자재차관 ·기금전대차관 ·물자차관 ·사업준비차관

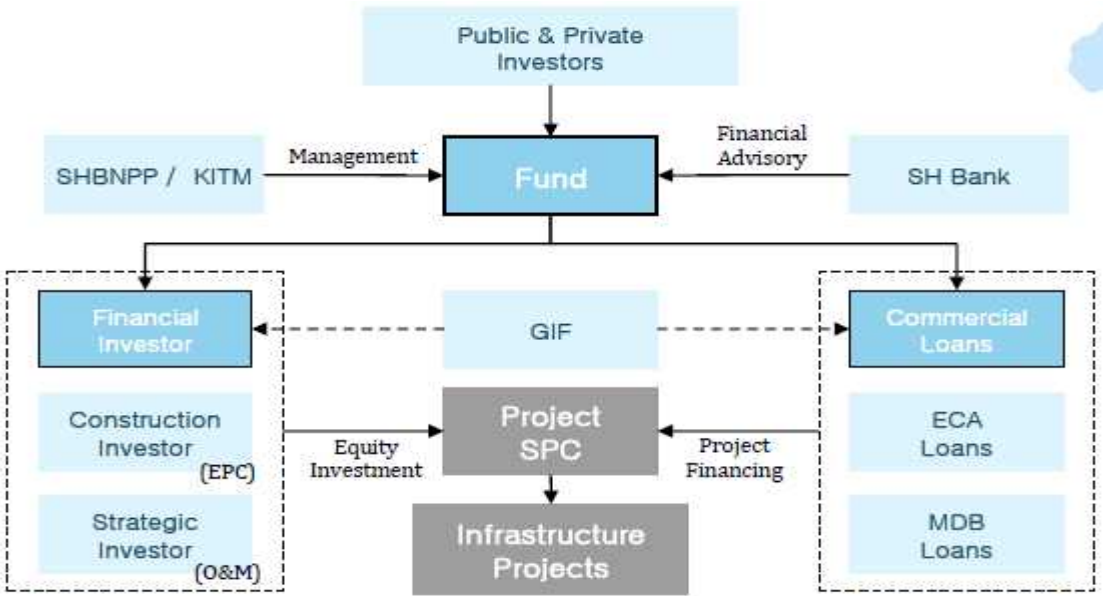
④ 글로벌 인프라 펀드(GIF)

□ 해외건설사업 추진을 위해 활용할 수 있는 민관공동펀드인 글로벌 인프라 펀드(GIF)의 내용을 요약하면 다음 [그림 3.136]과 같다.



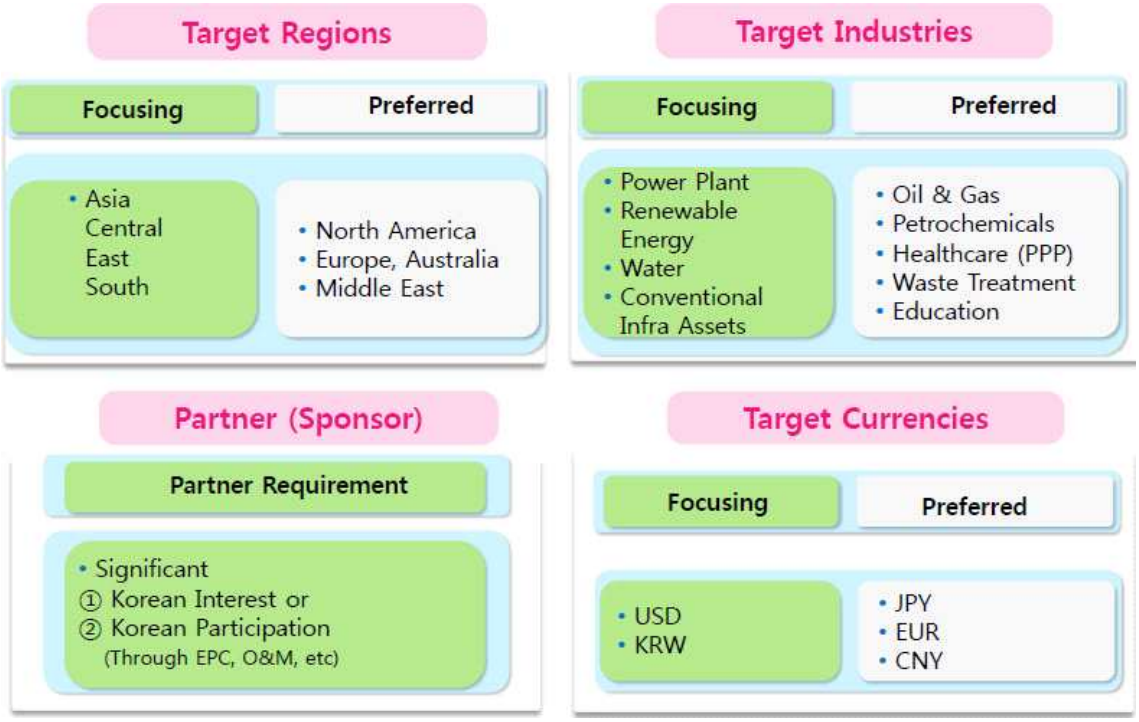
[그림 3.136] 글로벌인프라펀드(GIF) 개요

□ GIF의 투자(목표)수익률은 12% ~ 15%(제비용 공제후) 수준이며, 펀드 조성목표는 현행 4,000억원에서 향후 2조원을 달성하는 것이며 펀드의 투자흐름도를 요약하면 다음 [그림 3.137]과 같다.



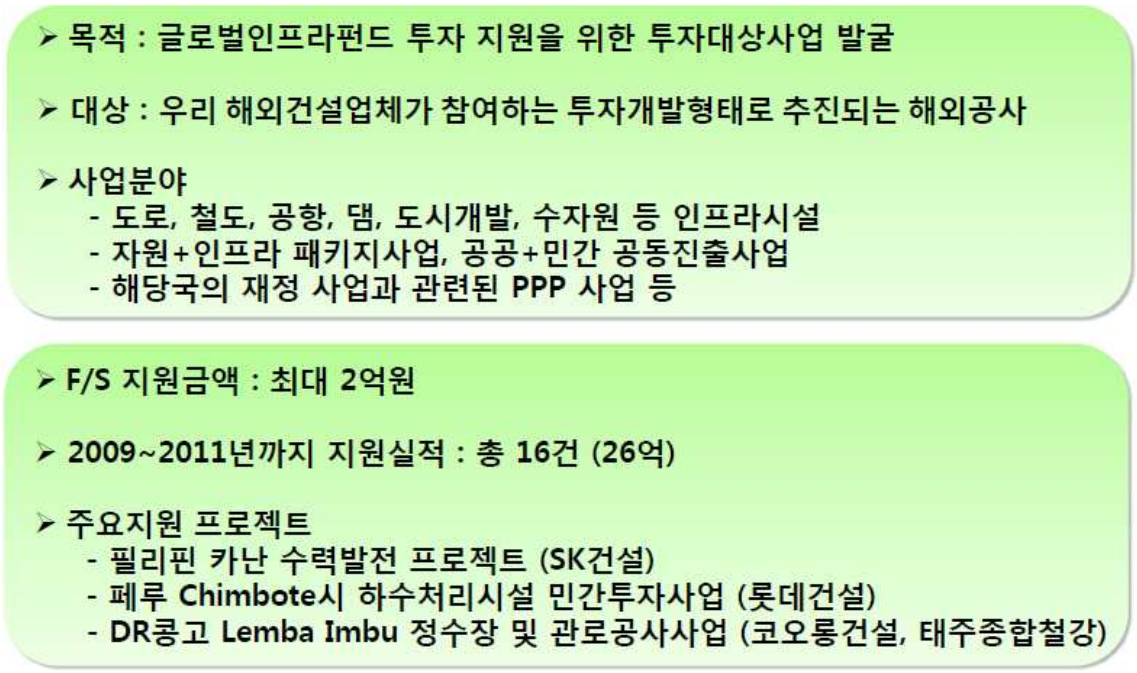
[그림 3.137] 글로벌인프라펀드(GIF) 투자흐름도]

□ GIF의 목표지역과 목표산업들을 요약하면 다음 [그림 3.138]과 같다.



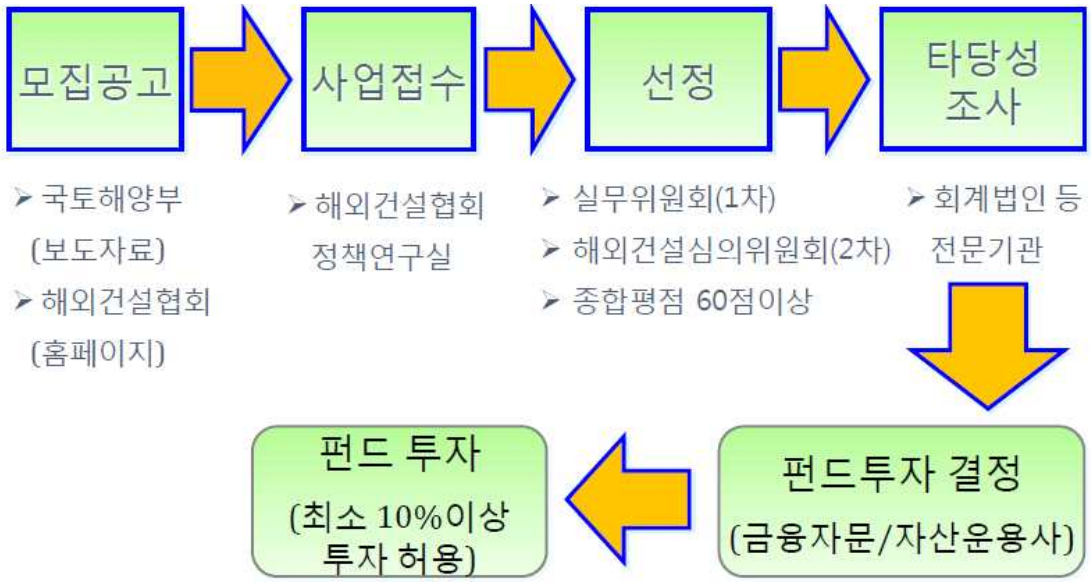
[그림 3.138] 글로벌인프라펀드(GIF) 목표지역 및 산업분야

□ GIF의 주요 목적은 타당성조사 용역비 지원을 통한 투자대상사업 발굴이라고 할 수 있으면 이를 요약하면 다음 [그림3.139]와 같다.



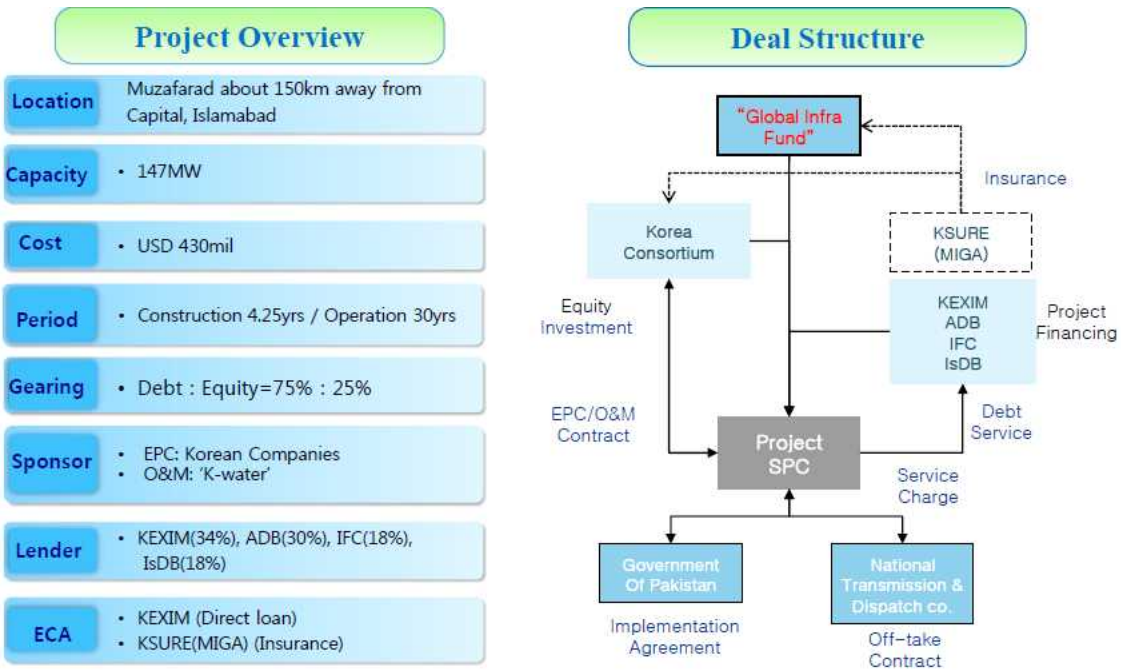
[그림 3.139] 글로벌인프라펀드(GIF) 주요 사업

□ GIF의 지원 대상 선정절차를 요약하면 다음 그림 21과 같다.

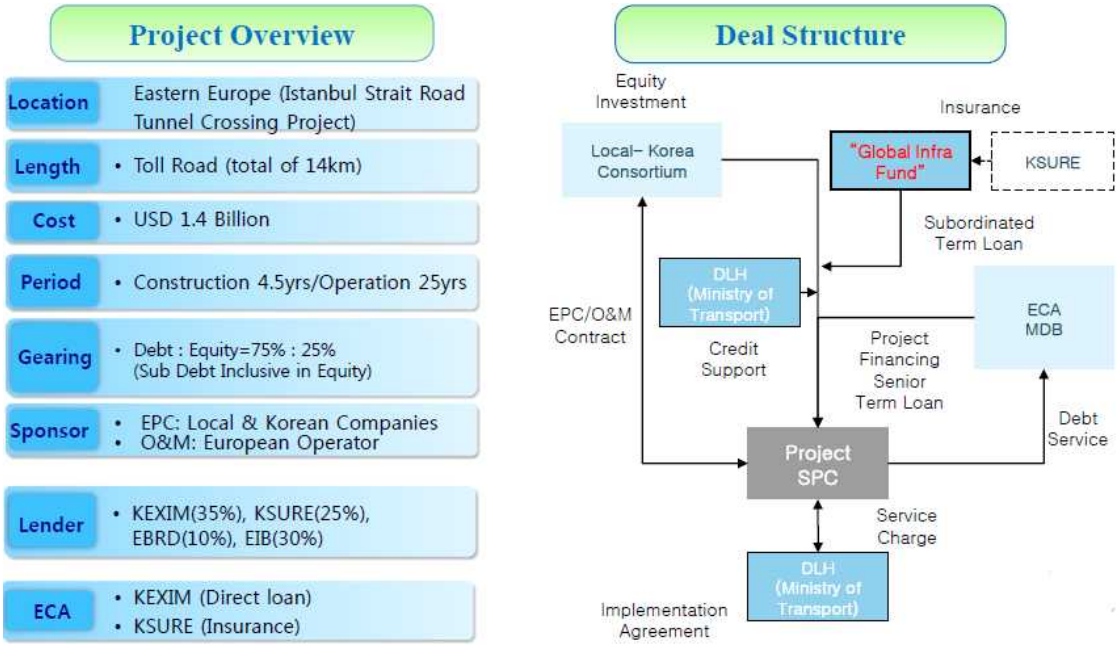


[그림 3.140] 글로벌인프라펀드(GIF) 지원대상 선정절차

□ GIF의 지원 대상 사례들을 요약하면 다음 [그림 3.141, 142]와 같다.



[그림 3.141] 글로벌인프라펀드(GIF) 지원 사례: Pakistan Patrind Hydropower



[그림 3.142] 글로벌인프라펀드(GIF) 지원 사례: Pakistan Patrind Hydropower

⑤ 다자개발은행(MDB)을 활용한 자금조달방안

□ 국내 기업의 다자간은행(MDB) 사업에 인식을 요약한 다음 그림 24에서 보듯이 31%의 기업이 입찰 경험이 있으며 61%의 기업은 MDB 사업에 참여한 경험이 없는 것으로 나타났다. 입찰 경험이 있는 기업들 중 67%가 사업을 위한 전담부서를 운영하고 있으며 그 규모는 5인 이하(67%)인 것으로 분석되었다. 그리고 MDB사업과 관련한 업무는 해외사업부(94%) 형태의 부서에 진행되고 있는 것으로 조사되었다. 또한 MDB 사업과 관련한 정보를 취득하는 방법은 국내외 에이전트 활용(11%)은 낮은 반면에 해당기관의 홈페이지(89%) 활용이 매우 높았다. 이러한 결과를 통해서 볼 때 현재는 체계적인 정보 취득 방안이 부재한 것으로 분석되었다. MDB 사업의 장점으로는 사업의 투명성과 공정한 입찰방식(33%), 사업 수행을 위해 필요한 재원조달의 안정성(57%) 등이 포함되었다. 반면에 단점으로는 국내 기업 간 과당 경쟁(63%)과 낮은 수익성(22%)이 조사되었다. MDB 사업에 참여한 경험이 없는 국내기업들은 정보부족(43%)과 낮은 수익성(40%)을 시장 참여를 저해하는 주요 요인으로 생각했으며, 적극적인 정부지원방안이 제공된다면 시장참여를 고려할 것이라고 응답하였다(85%). 또한 설문에 응답한 모든 기업은 정부차원의 지원은 MDB 시장 진출 확대를 위해서는 반드시 필요하며(100%), 구체적인 방안으로는 발주 및 활용절차에 대한 정보제공(48%)과 세제혜택 등과 같은 재정지원(30%)을 꼽았다.

<표 3.98> MDB사업에 관한 국내기업의 인식조사

질문 내용	응답 비율	
MDB발주사업 참여 유무	참여(39%)	미참여(61%)
MDB사업을 위한 전담 부서의 유무	있음(67%)	없음(33%)
MDB전담부서의 규모	5인이하(67%)	6인이상(33%)
MDB사업관련 정보 취득 방법	에이전트(11%)	인터넷(89%)
MDB사업 참여와 관련 의사결정 부서	해외사업부(94%)	기타(6%)
MDB사업의 장점	공정성(33%)	안정성(57%)
MDB사업의 단점	과당경쟁(63%)	낮은 수익성(22%)
MDB사업 중 PPP 사업 참여 유무	있음(6%)	없음(94%)
MDB사업 참여하지 않는 이유	정보부족(43%)	낮은 수익성(40%)
MDB사업 참여를 위한 조건	정부지원(85%)	기타(15%)
국내기업의 MDB사업 참여 확대를 위한 정부차원의 지원 필요 유무	있음(100%)	없음(0%)
MDB사업 참여 확대를 위한 정부차원의 지원방안	정보제공(48%)	재정지원(30%)

□ MDB는 경제개발자금을 지원하는 은행으로서 가입자격에 제한 없이 다수의 차입국 또는 개발도상국과 다수의 재원 공여국 또는 선진국이 참여하는 은행을 말한다. 이를 요약하면 다음 [그림 3.143]과 같다.



[그림 3.143] MDB 개요

□ 세계은행그룹 (World Bank Group, WBG)을 요약하면 다음과 같다. 구성은 국제부흥개발은행(IBRD), 국제개발협회(IDA), 국제금융공사(IFC), 국제투자 보증기구(MIGA), 국제투자분쟁해결본부(ICSID)로 되어 있다.

- 국제부흥개발은행 (International Bank for Reconstruction & Development)

설립목적: 국제무역의 확대 및 경제개발을 위한 개발도상국 정부 지원

지원형태: 차관공여(변동금리), 지분참여, 지급보증 (사업성이 보장되어야 함)

- 국제개발협회 (International Development Association)

설립목적: 저소득 개발도상국의 빈곤퇴치와 장기적읶 성장기반 조성

지원형태: 차관(수원국 정부에 대한 차관과 수원국 정부 지급보증부 차관만 가능), 무상공여(무이자, 상홖기갂 10년 유예 포함 35~40년)

- 국제금융공사 (International Finance Corporation)

설립목적: 민간프로젝트의 금융지원을 위해 국제금융시장에서 조달하여 각종자문 및 TA지원

- 국제투자보증기구 (Multilateral Investment Guarantee Agency)

지원내용: 투자자와 대부자에게 수용, 계약위반, 통화이전제한, 전쟁 및 소요, 정부의 재정의무 미이행 등 다양한 정치적 위험에 대한 보증(보험)을 제공

- 국제투자분쟁해결본부 (Int'l Center for Settlement of Investment Dispute)

체약국과 다른 체약국의 국민간의 투자와 관련된 분쟁을 조정 또는 중재를 통한 해결

□ 아시아개발은행(Asia Development Bank, ADB)의 설립목적은 아시아 및 태평양지역의 경제성장과 ADB 회원국 간 협력을 도모하고, 개발도상 회원국의 경제발전을 촉진하는 것이다. 주요기능은 아태지역 개발을 위한 역내 투자 촉진, 역내 국가간 균형발전을 위한 역내 개발도상국 프로젝트의 자금지원 및 차관자금의 효율적 운영을 위한 개발정책 및 프로젝트 조정 등이 있다.

□ 미주개발은행(Inter-American Development Bank, IDB)의 설립목적은 라틴아메리카의 경제사회 개발 촉진 및 지역 통합을 실현하는 것이다. 주요 기능으로는 경제개발사업에 대한 융자 및 기술지원 제공, 가맹국 간의 무역확대와 개발정책의 조화위한 협력 강화 및 역외 국가들에 대한 중남미 국가와의 경제관계 증진으로 되어 있다.

□ 아프리카개발은행 (African Development Bank, AfDB)의 설립목적은 아프리카 역내국의 경제개발 및 사회발전에 기여하는 것이다. 주요 기능에는 역내국의 경제 및 사회개발 사업에 대한 융자 및 주식투자, 개발재원의 조달을 위한 공공 및 민간투자의 촉진 및 역내국 간 개발계획 및 정책의 협조 및 기술 지원 등이 있다.

□ 유럽부흥개발은행(European Bank for Reconstruction and Development, EBRD)의 설립목적은 중소기업 지원이다. 주요기능에는 은행, 산업계, 기업 등에 프로젝트 파이낸싱 차관 제공, 주식발행에 의한 자금조달 지원 및 보증, 임대시설, 무역금융 등을 제공하는 것이다.

□ 위에서 설명한 다양한 형태의 MDB를 활용하여 파이낸싱 전략을 추진하는데 있어 기업규모별 추진전략을 요약해서 정리하면 다음 <표 3.99>와 같다.

<표 3.99> MDB 활용에 있어 기업규모별 추진전략

MDB 지원방식	규모별 구분	전 략
MDB주도형 (차관사업, Procurement)	대기업	해당국 지역전문가를 활용하여 대규모 차관사업에 대한 장기개발계획을 제시함으로써 수원국이 사업을 발주토록 하여 이를 수주하는 전략
	중소기업	MDB가 발주하는 공사의 컨설턴트 등록후 시공자로 참여하기 위한 자격요건 구비하여 수주하는 전략
사업자주도형 (민자사업, PPP사업)	대기업	직접 사업개발 후 MDB에서 PPT 등을 통해 사업에 대한 투자를 제안하여 MDB 투자를 이끌어내는 전략
	중소기업	대기업과의 컨소시엄을 구성하거나, 초기사업 발굴 후 대기업과의 공동진출 모색

(나) IT 융합 R&D 지원정책

① 건설분야 IT 융합 R&D 현황

□ 건설분야에서의 IT융합은 주로 IT산업과 건설산업의 중첩영역이라 할 수 있는 'U-City'분야를 의미한다. 현재U-City 시장규모는 2005년기준으로 18조원이며 연평균 15%이상 성장하고 있으며 세계시장의 경우 2012년기준 202조원에 이를 것으로 전망되고 있다.

□ U-City 관련기술분야 곧 건설융합 기술분야는 크게 IT융합서비스기술과 IT융합시공기술로 구분되는데 우선 IT융합서비스기술은 IT기술을 활용하여 건축물을 이용하는 사람에게 지능적 서비스를 제공하는 기술로서 대표적으로 홈네트워크 지능형 건물시스템(IBS: Intelligent Building System), 지능형교통시스템(ITS: Intelligent

Transport System), 에너지절감기술(EMS: Energy Management System) 등이 해당한다. 한편 IT융합시공기술은 IT기술을 활용하여 건축물시공시정보화, 자동화를 도모하는 기술로서 주로 건설현장관리시스템, RFID 기반 물류 관리시스템, 안전관리를 위한 위치기반서비스 기술 등을 포괄한다.

□ 이중 특히 최근 정부의 녹색성장기조에 발맞추어 건축물의 친환경성 강화를 위한 IT기술에 관심이 증대되면서 쾌적하면서도 에너지를 적게 사용하는 건축물을 위해 IT인프라의 고효율화 및 에너지 절감솔루션에 대한 관심이 커져 주요 친환경 IT융합기술인 BEMS(Building Energy Management System)이나 Home-BEMS, 건축물의 서버가상화(Server Virtualization), 직류배전, Smart Grid 등이 각광받고 있다.

□ 이러한 건설 IT융합기술개발은 최근 시행되고 있는 '초고속정보통신건물인증제'의 도움으로 성공적인 것으로 평가되어 충분한 시장성이 있다는 의견이 지배적이지만 그럼에도 불구하고 건설에 있어서는 발주·기획/설계/시공/운영/입주의 주체가 모두 다르기 때문에 이들의 이해관계에 크게 좌우될 수 밖에 없어 해결해야 될 과제들이 존재함도 보여주고 있다.

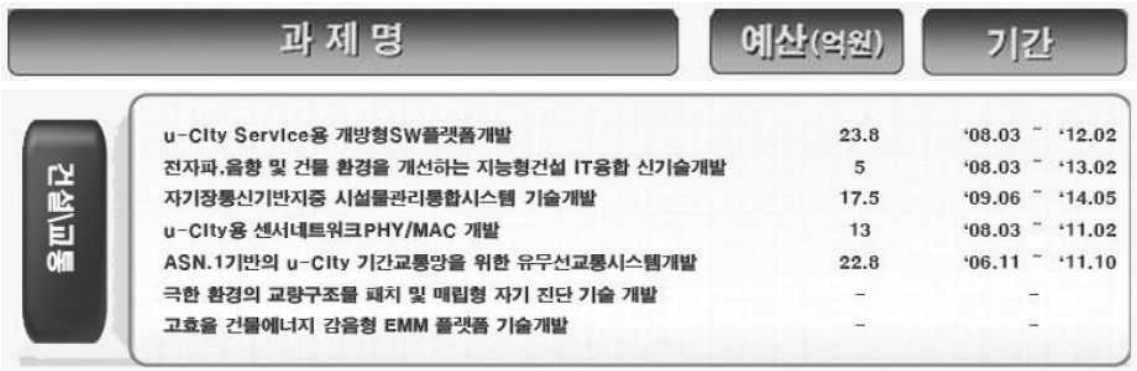
② 건설분야 IT 융합 R&D 지원방향

□ 정부의 IT융합지원방향은 크게 주력산업과 IT분야의 융합을 통해 주력산업의 고부가가치화 달성 및 신성장동력 미래유망산업을 창출하는데 있다. 이를 통해 단기적으로는 IT융합분야시장규모를 1천200조원규모(국내시장점유율12%), 중장기적으로는 2018년까지 2천500조원(시장점유율18%) 규모로 육성하여 IT기반 융합분야가 전통산업의 세계시장을 주도하게 함으로서 국가경제성장을 견인하는데 목표를 두고 궁극적으로는 전산업 IT를 융합주력산업의 신부흥 곧 르네상스를 실현하고자 하고 있다. 이를 요약하면 다음 [그림 3.144]와 같다.



[그림 3.144] 정부 IT융합 R&D 지원정책의 비전과 목표

□ 이를 위해 현재 정부 IT융합 R&D지원은 자동차, 의료, 기계, 섬유 등 8 개 분야 총 37개 과제에 대해 685억6원 규모로 이루어지고 있다. 이는전체 국가 R&D 전체예산의 약 4.5% 수준이다. 건설분야의 현재까지 추진된 IT융합 R&D 주요 과제들을 요약하면 다음 [그림 3.145]와 같다.



	과 제 명	예산(억원)	기간
건설분야	u-City Service용 개방형SW플랫폼개발	23.8	'08.03 ~ '12.02
	전자파,음향 및 건물 환경을 개선하는 지능형건설 IT융합 신기술개발	5	'08.03 ~ '13.02
	자기장통신기반지중 시설물관리통합시스템 기술개발	17.5	'09.06 ~ '14.05
	u-City용 센서네트워크PHY/MAC 개발	13	'08.03 ~ '11.02
	ASN.1기반의 u-City 기간교통망을 위한 유무선교통시스템개발	22.8	'06.11 ~ '11.10
	극한 환경의 교량구조물 패치 및 매립형 자기 진단 기술 개발	-	-
	고효율 건물에너지 감응형 EMM 플랫폼 기술개발	-	-

[그림 3.145] 건설분야 정부 IT융합 R&D 지원 주요 과제 추진현황

3. 소결

1. 국토교통과학기술진흥원 R&BD지원사업을 통해 계획제품인 『초경량 세라믹 불연단열재를 이용한 건습식 벽재 시스템 기술』의 사업화 컨설팅 추진, 수혜기업인 (주)월드와이즈월은 기존 국가건설 신기술 기술력을 기반으로 불연단열재 기술을 개발하여 건식, 습식 외단열 벽체시스템 공법의 개발 및 시장 점유율 확대를 목표로 하였다. 계획제품의 시장진출을 지원하기 위해 국내 실수요처 마케팅 계획 수립 및 지원, 해외 실수요처 마케팅 계획 수립 및 지원 등 2가지 분야에서 컨설팅을 수행하였다.

2. 컨설팅 준비> 당면 이슈파악> 제품에 대한 의견수렴과 시장현황 분석을 통해 중장기 기술 마케팅 전략을 수립하는 순으로 수행하고, 기업방문, 전화 회의, 전자문서 교환을 통해 컨설팅 목표, 수행 범위 및 내용을 수시 공유하였다. 회의를 통해 기술개발 현황, 기존 마케팅 추진 상황에 대해 점검하고 당면한 이슈를 수렴하여 기업 수요(Needs)를 도출하고, 국내 영업의 특성을 고려한 인맥영업을 효과적으로 구축하기 위하여 잠재 수요처를 대상으로 제품 홍보와 인터뷰를 병행 추진할 수 있도록 관련 내용과 방법을 제시하고, 단열재 시장의 동향과 전망을 분석하고 시장특성을 파악하여 마케팅의 방향성을 도출하였다.

3. 고객은 기존 고객과 잠재고객으로 구분하여 잠재 고객의 계획구매 성향을 파악하고 효과적인 홍보와 마케팅 방향을 도출하고, 해외 시장 진출은 중장기적 관점에서 접근할 필요성을 이해하고 관련 시장정보와 전시회 정보를 제공(2006년 해외 건축 전시회 정보 등)하였다. 중국 시장 등 해외 시장 진출은 현 단계 보다는 좀 더 중장기적 관점에서 접근할 필요성이 있음을 인지하고 관련 시장정보와 전시회 정보를 제공하였다(중국은 보다 구체적인 친환경 건축자재 수요관심 지역정보를 제공함). 내부와 외부 환경분석 등 SWOT 분석과 4P 분석을 기초로 마케팅 포인트를 도출하고 중장기 관점에서의 마케팅 추진로드맵을 제시하였다.

4. 이의 성과로 시장진출 및 마케팅 추진에 대한 방향성 정립, 국내 잠재수요처와 신규 고객에 대한 인터뷰 문항 작성 제공, 현장 실증단지 방문(이천시), 수혜기업 전시회 방문(KOEX, KINTEX), 신기술 적용 가능한 수요처 파악(어린이집, 양로시설, 유치원 등), 사업화 환경과 마케팅 포인트로 부터 중장기 마케팅 전략 수립, 계획제품의 양산화 실현 시 국내 수요 가능성을 확인(법규 개선안 제시)하였다.

5. 건설업종의 자금조달은 이미 살펴본 바와 같이 여러 가지 애로사항이 존재하는 것이 사실이다. 직접금융을 통한 자금 조달은 대기업 이외에는 실질적인 활용방안이 없고 간접금융을 통한 자금조달은 금융기관의 비 우호적인 태도로 인하여 금융비용이 높거나 자금

조달이 적시에 이루어지기 힘든 상황이 대부분이다.

6. 이를 개선하기 위해서는 중소건설업체들도 민간자본의 조달 역량을 강화할 필요가 있다. 구체적인 방안으로는 금융기관이 요구하는 재무구조를 확보하기 위해서 점차적으로 내부적인 재무구조를 개선하고, 대외적인 신뢰도를 향상시키고, 추진하는 사업성을 강화시키면서 종합적으로 건설기업의 브랜드를 제고하는 등의 전략적인 과제를 추진하여 민간자본조달의 역량을 강화할 필요가 있다.

7. 그러나 민간자본의 조달은 중장기적인 건설기업의 노력이 필요하며 현실적으로 상당한 제약사항이 존재하는 것이 사실이다. 따라서 정부의 건설금융지원제도를 적극적으로 활용할 필요가 있다. 대표적으로는 해외건설시 활용할 수 있는 다양한 정부의 금융지원제도가 있고 특히 IT를 기반으로 융합 R&D를 추진할 경우에도 정부의 지원제도를 활용할 수가 있다. 반면, 정부의 건설분야에 대한 금융지원은 타 산업에 비해 비교적 제한적인 것도 사실이다. 향후 경제적인 파급효과가 큰 건설기업들의 안정적인 운영과 성장을 위해서는 건설업에 대한 정부의 관심을 더 높이고 보다 적극적인 금융지원방안을 확대할 필요가 있다.

제4절. 연구개발성과

1. 기술적 성과

본 연구에 의하여 국내 최초로 화재안전성을 향상시킨 외단열 시공기술을 개발하게 되었으며, ㈜월드와이즈월 및 한국세라믹기술원은 관련 기술에 대하여 선도적 입장에서 사업화에 앞서나가게 되었다. 본 연구를 통한, 논문, 학술발표, 특허 성과는 다음과 같다.

<표 3.100> 논문 성과

게재연도	논문명	저자			학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분	SCI구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2015.7	무기계 경량 단열재를 적용한 외단열 공법의 외벽 화재성상	이종찬	이종찬	박종철	대한건축학회논문집 구조계	31(7)	국내	-
2015.12	폐유리분말과 플라이애시를 사용한 경량 발포소재의 물리적 특성	송훈	송훈	신현욱	한국건설순환자원학회 논문집	3(4)	국내	-
2015.12	플라이애시와 유리 발포 경량골재를 사용한 내화 모르타르의 특성	송훈	송훈		한국건설순환자원학회 논문집	3(4)	국내	-

<표 3.101> 학술발표 성과

발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
2014.11	유리분말과 플라이애시를 사용한 경량 세라믹 단열재 제조	신현욱 외 3명	한국건축시공학회 추계학술발표대회	국내
2015.5	밀도 및 단열성능이 개선된 경량 세라믹 단열재의 물성	신현욱외 3명	한국건축시공학회 춘계학술발표대회	국내
2015.10	콘크리트 구조물의 외단열용 무기 단열재 개발	신현욱외 3명	한국콘크리트학회 추계학술발표대회	국내
2015.11	폐유리분말의 종류에 따른 무기발포체의 물리적 특성	신현욱외 3명	한국건축시공학회 추계학술발표대회	국내
2015.11	산업부산물을 사용하여 제조한 무기단열재의 특성	김지현외 4명	한국건설순환자원학회 가을학술발표대회	국내
2016.5	콘칼로리미터를 활용한 콘크리트 구조물의 외단열용 무기단열재 특성	신현욱외 4명	한국콘크리트학회 추계학술발표대회	국내

<표 3.102> 특허 성과

출원된 특허의 경우					등록된 특허의 경우				
출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호	등록연도	특허명	등록인	등록국	등록번호
2015.5	화재확산 방지를 위한 외단열 구조체	㈜월드와이즈월	대한민국	10-2015-0062226	2015.8	화재확산 방지를 위한 외단열 구조체	㈜월드와이즈월	대한민국	10-1544921
2016. 7	건축물 외벽 단열층의 화재확산 방지를 위한 경량 내화성 발포 세라믹 단열재의 제조 및 시공방법	한국세라믹기술원	대한민국	10-2016-0088734					
2016. 7	건축물 외벽 단열층의 화재확산 방지를 위한 내화성 표면마감재의 조성물 및 시공방법	한국세라믹기술원	대한민국	10-2016-0088742					

2. 경제적 성과

본 연구에 의하여 개발한 화재안전성 향상 외단열 시공기술은 개발 과정에서 시험시공 및 기술 보완 후 현장시공 적용를 통하여 기술을 검증하였다. 따라서, 아직 시장 점유는 이루어지지 않았으나, 본 연구를 통하여 신규 고용창출이 이루어지고, 현장시공을 통한 매출이 최초로 발생하였고, 향후 학교, 영유아시설, 노인복지, 장애인 시설 등 화재안전성이 요구되는 건축물을 대상으로 본격적인 기술 마케이팅을 실시하여 매출을 증대시킬 예정이다. 향후 개발기술의 건축물 적용이 증대될 경우 건축물의 화재안전성 향상이 기대되며, 화재에 의한 경제적 피해가 저감될 것으로 기대된다.

<표 3.103> 현장적용 매출

발주기관명	시공업체명	적용현장명	공사시작일	공사종료일	공사금액(천원)
이천시청	㈜월드와이즈월	국공립 이천어린이집 외벽단열공사	2016. 2. 1	2016. 2. 29	29,860,830

<표 3.104> 신규고용 성과

고용기관	신규고용인력 수	고용기간	비고
㈜월드와이즈월	1명	2014.6.2~현재	

제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제1절. 목표 달성도

년도	세부연구목표	달성내용	달성도 (%)
1차 년도	개발 외벽 단열 시스템의 개선방향 도출	- 기존 외단열 시스템 조사 및 정립 - 개발 습식 및 건식 외벽 단열시스템의 시공 디테일 개발방향 정립	100
	건식 및 습식 외벽 단열시스템의 개발	- 불연성 단열재 고정 철물 및 디테일 개발 - 건식외벽 단열시스템의 알루미늄패널 마감방법 개발 - 부착성능 모르타르 개발 제시 - 개발 외벽 단열시스템 1차 성능평가 완료(단열성, 화재저항성, 내풍압성, 기밀성, 수밀성)	100
	외벽 단열시스템 1차 시작품 제작 및 시험시공	- 불연성 단열재 이용 건식, 습식 외벽 단열시스템 시작품 제작 완료 - 불연성 초경량 세라믹 단열재 적용 외단열 시스템 시범적용 실시	100
	멀티포어형 초경량 세라믹 분연 단열재 발포소재 개발	- 불연성 단열재 자료 및 문헌 조사 분석 - 단열특성 발현 초경량 세라믹 불연 단열 발포소재 최적 재료선정 - 단열특성 발현 멀티포어형 초경량 세라믹 불연 단열 발포소재 최적 제조조건 확인 - 단열특성 발현 멀티포어형 초경량 세라믹 단열재 성능확인	100
	단열특성 발현 초경량 세라믹 발포소재 제조기술 확립	- 단열특성 발현 초경량 세라믹 발포소재 제조 기술 확립 - 초경량 세라믹 발포소재 양산을 위한 최적화 기술 개발	100
	외벽단열용 초경량 세라믹 불연단열재 공정 최적화	- 효율적 몰드시스템 구축 - 건조성능 향상 - 연속 커팅 시스템 구축	100
	초경량 세라믹 불연단열재 대량생산 및 품질확보 방안 구축	- 수율 95% 이상 달성 - 단열성능 초과 달성	100

년도	세부연구목표	달성내용	달성도 (%)
2차 년도	건식 및 습식 외벽 단열시스템의 보완 검토 및 우수성능 시스템 선정	- 불연성 초경량 세라믹 단열재 고정방법 보완 검토 - 건식 외벽 단열시스템의 마감방법 보완 검토 - 발현 성능 비교를 통한 우수성능 외벽 단열 시스템의 선정	100
	외벽 단열시스템 최종 시작품 제작 및 성능검증	- 불연성 초경량 세라믹 단열재를 사용한 외벽 단열시스템 최종 시작품 제작 - 개발 외벽 단열시스템 성능 검증(단열성, 화재저항성, 구조안전성, 내충격성)	100
	외벽 단열시스템의 경제성 분석 및 시험시공	- 경제성 분석 - 불연성 초경량 세라믹 단열재를 사용한 건식, 습식 외벽 단열시스템 현장 시범적용	100
	불연성 초경량 세라믹 단열재 사용 외벽 단열 시스템 공법 정립	- 불연성 초경량 세라믹 단열재 사용 외벽 단열시스템 시방서 및 유지관리 지침서 작성	100
	단열특성 발현 초경량 세라믹 불연 단열재 양산기술 확보	- 멀티포어형 초경량 불연 단열소재 개발 - 멀티포어형 초경량 세라믹 불연 단열재 균일성 확보 방안	100
	멀티포어형 초경량 세라믹 단열재 물성강화	- 초경량 세라믹 불연단열재의 물성확인 및 제조조건 재확인 - 초경량 세라믹 단열보드 적용방안 및 단열시스템 검토	100
	개발기술의 수요처 발굴 및 마케팅 전략수립	- 초경량 우수 외벽 단열재 국외 실수요처 마케팅 계획 수립 및 지원	100
	경영진단 및 기술금융 컨설팅	- 자금계획 및 기술금융 컨설팅 - 기타 사업화 추진 지원	100
	건설신기술 신청 ㈜월드와이즈월, 한국세라믹기술원	- 불연성 초경량 세라믹 단열재 사용 외벽 단열시스템 건설신기술 신청	100

제2절. 관련 분야 기여도

1. 기술적 기여도

국토교통부의 건축물 현황 통계자료에 따르면 전체 건축물 중 5층 이하 규모의 건축물이 전체의 97%, 면적 기준으로 1,000m^2 이하 건축물이 전체의 93%를 차지하는 것으로 나타났다.

“건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙”에 따른 외벽의 화재 확산 방지 적용 대상 건축물은 6층 이상, 바닥면적 2,000m^2 이상의 건축물로 통계자료를 고려하면 전체 건축물의 약 5% 정도에 불과하다.

따라서, 화재 규정에 의해 보호를 받지 못하는 일반 EPS 외단열 공법 적용 건축물의 화재안전성 확보를 위한 기술이 필요하다. 물론 건축주의 의지에 따라 준불연 단열재를 사용한 외단열 공법의 시공이 가능하나 굳이 비싼 준불연 단열재를 사용할 필요가 없으므로, 보다 경제적이면서 화재안전성 확보가 가능한 외단열 공법의 필요한 상황이다.

개발기술은 준불연 단열재를 사용하는 외단열공법과 비교하여 동일한 단열성능을 보유하면서 동시에 경제적으로 화재안전성까지 확보할 수 있는 시공기술로 특히 화재안전성이 필요한 영유아, 노인, 장애인, 학생 관련 시설에 활용이 기대된다.

또한 개발기술은 일반적인 EPS 외단열공법과 병행하여 개구부 상단 및 층사이를 불연성 세라믹 단열재로 부착모르타르 및 고정철물을 이용하여 외벽과 밀착 시공하는 기술이므로 시공의 어려움이 없으며, 별도의 중장비나 특수장비 등의 이용이 필요없이 편리하게 시공할 수 있는 기술로 보급이 기대된다.

2. 안전성 기여도

화재통계에 따르면 건축물 화재건수 중 외벽화재건수는 약 33%로 건축물 화재시 3건 중 1건은 외벽에서 발생함을 알 수 있다[11]. 외벽 화재는 건축물의 단열을 위하여 외벽을 둘러싸는 단열재가 연속하여 설치되므로 화재 발생시 화재의 통로로 이용되어 순식간에 수직으로 확산된다.

외벽 화재는 내부 화재보다 인명피해 발생이 적어 다수의 화재사고가 발생함에도 큰 이슈가 되지 못하다 불행히도 2015년 의정부 외단열 아파트 화재사고는 다수의 인명피해가 발생하면서 외벽 화재방지의 중요성을 깨닫는 계기가 되었다.

11) 민세홍 외, 국내 외장재 설치동향 조사 및 화재위험성 분석, 한국화재소방학회 춘계학술발표회 초록집, 2012



[그림 4.1] 의정부 아파트 외단열 화재 (2015년)

이에 개발기술은 건축물의 외벽 화재확산을 방지함으로써 해당 지역은 물론 국가적으로도 재산적, 인명적 피해를 저감시킬 수 있는 기술로 건축물의 안전성 향상에 기여할 것으로 판단된다.

3. 경제적 기여도

개발기술은 외벽의 화재안전 확보를 위해 “건축물 피난방화에 관한 규칙”에 따라 준불연 단열재를 사용하는 외단열 시스템과 비교시 우수한 경제성을 갖고 있어 발주자의 경제적 부담을 저감해 줄 수 있으며, 화재 확산을 방지하여 화재에 의한 재산적 피해를 저감시킬 수 있어 경제적으로 부담을 저감하는데 기여할 것으로 판단된다.

4. 사회적 기여도

건축물은 편안하고 안전한 거주자의 삶을 유지시켜야 하나, 현재 빈번히 발생하는 건축물 외벽의 화재는 거주자의 불안감을 확대할 수 있다.

개발기술은 중, 소규모 건축물의 화재 안전성을 향상시킴으로써 안전하고 편안한 거주자의 삶을 영위할 수 있는 사회적 기반 조성이 가능하며, 특히 영유아, 노약자, 장애인, 학생 등 일반 성인에 비하여 화재 발생시 피난에 어려움이 있는 사람들이 거주하는 건축물의 화재안전성 확보에 기여할 것으로 판단된다.

제5장. 연구개발결과의 활용계획

현재 개정된 외벽 관련규정에 따라 시공한다면, 외국 외단열 시스템도 화재를 고려한 불연성 단열재의 적용이 충분히 가능하며, 벽산이나 KCC 등에서 외국에는 이미 외단열 공법에 적용하고 있는 미네랄울의 외단열 공법 적용 관련 세미나 등을 빈번히 개최하고 있는 등 화재 안전을 고려한 외단열 시스템의 적용이 서서히 가시화되고 있는 실정이다.

그러나 불연성 단열재의 전체 사용은 공사비의 증대로 이어지고, 결국 건축주의 부담을 가중시킨다. 따라서, 화재 안전성은 확보하되, 공사비 증가는 최소화할 수 있는 화재확산 방지구조의 적용 등 공법적 측면에서 접근할 필요가 있다.

특히 시공성과 경제성이 모두 우수한 외단열 공법은 건축물 에너지절약 설계기준 대상인 공공시설물중 준불연급 단열재를 6층 미만, 바닥면적 6,000m^2 미만인 학교시설, 노유자 시설, 장애인 시설 등의 신축, 리모델링에 적용가능성이 높으며, 이러한 시설은 사용자의 특성을 고려하여 화재안전성 확보가 반드시 필요한 건물들이다.

따라서, 단열성, 시공성, 경제성, 화재안전성을 모두 보유하고 있는 개발기술은 이러한 공공 건축물의 외벽 시공에 최적화된 공법으로 판단되며, 규모가 클 경우 관련 규정에 적합한 난연성 단열재를 함께 시공함으로써 화재안전성 향상에 기여할 수 있다.

본 연구결과의 실용화를 위해 2016년 1월 20일부터 28일까지 국토교통과학기술진흥원에서 주최하는 건설 신기술 순회 전시회 (부산, 대구, 광주, 대전(광역시청)에 참여하였고, 2016.년 2월 23일부터 26일까지 일산 킨텍스에서 개최된 경향하우징페어에 참여하여 연구개발 기술을 소개하였으며, 2016년 4월 28일에서 30일까지 경기도 건설신기술박람회(오산스포츠센타)와 2016년 5월 31일은 경기도시공사 신기술 설명회(수원)에 참가하여 연구결과 기술을 홍보하였다.

또한 본 연구결과물을 화재발생시 피난 취약자인 어린이들이 사용하는 경기도 이천에 위치한 국공립 이천어린이집 외벽단열 공사에 적용하여 화재안전성을 향상시키는데 기여하였다.



[그림 5.1]개발기술 적용 어린이집

현재 전국에는 278개소의 아동 복지시설과 443개소의 노인복지시설, 1,457개소의 장애인 거주시설, 1,213개소의 장애인 지역사회 재활시설 그리고 전국적으로 8,930개소가 운영중인 국·공립, 사립 유치원, 5978개의 초등학교, 3,204개의 중학교, 2,344개의 고등학교 등이 화재 발생, 특히 개구부를 통한 화재의 확산이 우려되는 대상 건축물로 에너지 절감은 물론 안전성 확보를 위하여 개발기술의 활용이 가능하다.

이를 위해 교육청 및 각 주문관청 등의 담담부서 및 담당자에게 개발기술의 안전성 및 우수성에 대한 설명회를 계획하고 있으며, 건설분야 전시회에 계속 참여하여 본 개발기술을 지속적으로 홍보할 예정이다. 또한 현재 예정중인 건설신기술 신청이 통과될 경우 이를 적극적으로 홍보 및 활용하여 사업화에 박차를 가할 수 있을 것으로 기대된다.



(a) 유아시설 (b) 노인복지시설 (c) 장애인시설

[그림 5.2] 피난 취약자 사용 건축물의 예

제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

- 해당없음-

제7장 연구개발성과의 보안등급

본 연구는 보안성을 필요로 하지 않음.

제8장 국가과학기술 종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호
	- 해당없음-							

제9장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행실적

■ ㈜월드와이즈월

○ 연구실 안전 점검

㈜월드와이즈월의 연구실 내 위험등급별 관리대상은 다음과 같으며, 점검표를 작성하여 점검주기별로 이상유무를 확인하였다.

<표 9.1> 연구실 안전점검 결과

위험등급 기준	구분	점검주기	점검일	결과
B등급	일반시약	반기 1회	2015.12.17, 2016.6.1	이상없음
B등급	일반시약(샘플)	반기 1회	2015.12.17, 2016.6.1	이상없음
C등급	컴퓨터1	연 1회	2015.12.17	이상없음
C등급	컴퓨터2	연 1회	2015.12.17	이상없음
C등급	컴퓨터3	연 1회	2015.12.17	이상없음
C등급	컴퓨터4	연 1회	2015.12.17	이상없음
C등급	프린터1	연 1회	2015.12.17	이상없음
C등급	프린터2	연 1회	2015.12.17	이상없음
C등급	프린터3	연 1회	2015.12.17	이상없음

○ 교육훈련

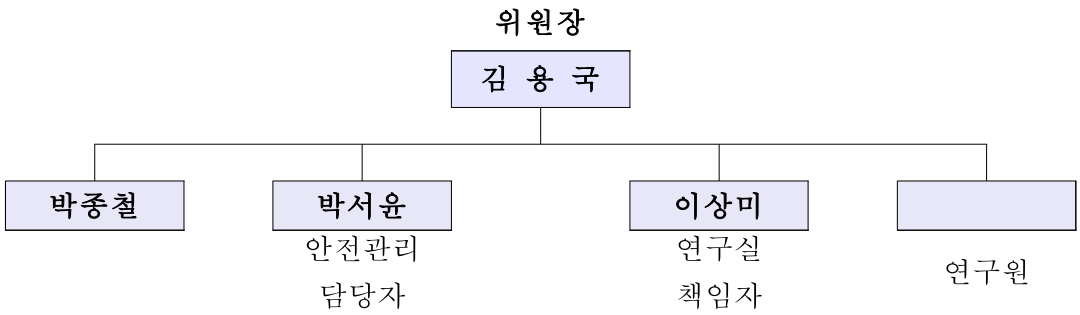
㈜월드와이즈월에서는 연구실 안전을 위하여 국가과학기술인력개발원에서 제정, 배포된 “연구실 안전표준교재, 실험 전·후 안전” 책자를 교재로 하여 2회에 걸쳐 안전교육을 수행하였다.

<표 9.2> 교육훈련 결과

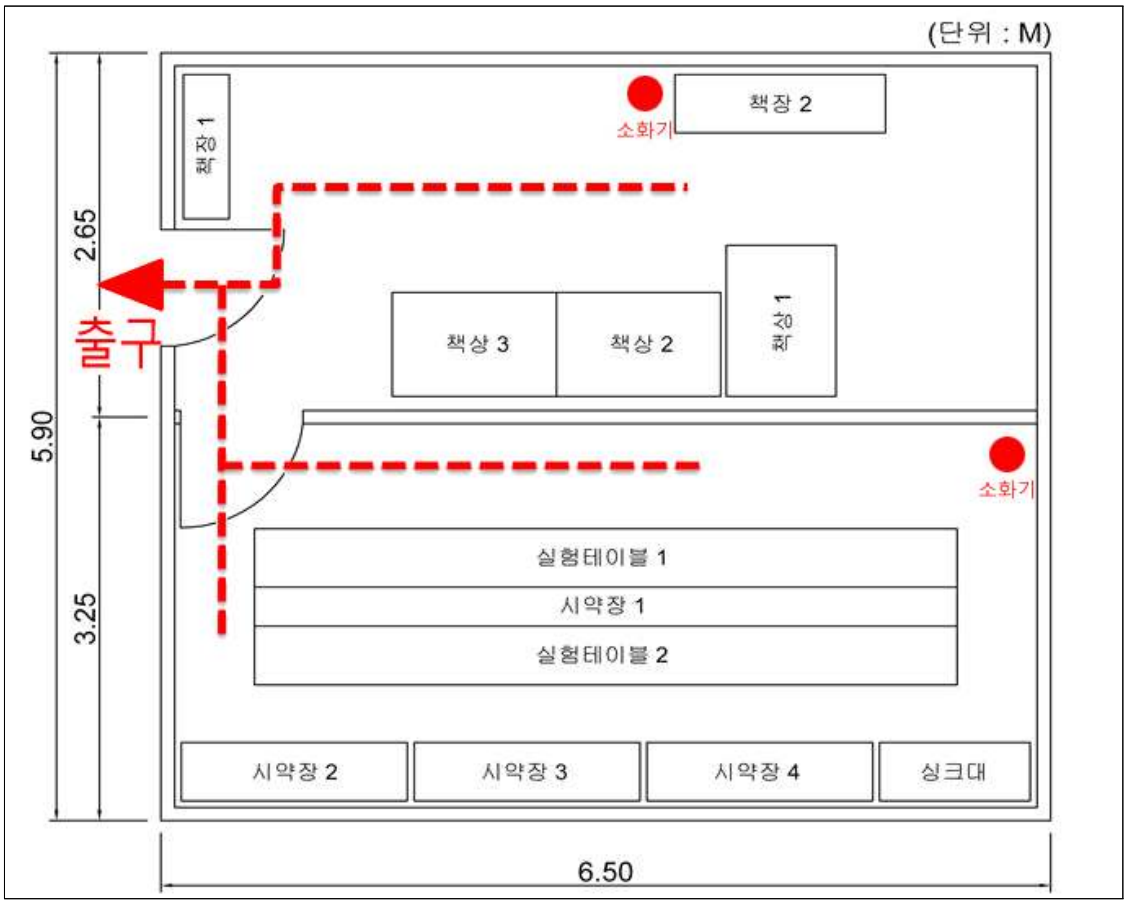
교육일시	교육내용	강사	참가자
2015. 12. 17	연구실 안전 표준 교재 실험전 안전편 중 개인보호구 및 연구실 안전시설, 학약품의 분류 및 보관 내용 교육	박종철	연구원 전원
2016. 5. 18	연구실 안전 표준 교재 실험후 안전편 중 실험 폐기물의 처리, 응급처치, 심폐소생술	박종철	연구원 전원

○ 안전관리 추진계획

안전관리 규정에 따라 연구실 안전관리 위원회를 구성하고, 연구실 소방시설 위치도, 피난도를 배치하여 숙시시켰다. 또한 안전점검 및 안전교육을 규정에 따라 수행하고, 위험장비에 대하여 위험표지판을 설치하였다. 또한 연구실 책임자가 실험시 연구원의 보호장비 착용여부를 항상 확인하도록 숙지시켰다.



[그림 9.1]그림 연구실 안전관리 위원회 구성체계



[그림 9.2] 연구실 소방시설 위치도, 피난도 설치



[그림 9.3] 시험시 보호장비 착용여부 확인 점검

■ 한국세라믹기술원

○ 정기안전점검 진행

- 연구실 안전환경 조성에 관한 시행령 제7조에 따른 정기안전점검 진행
- 점검 방법 및 주기

① 일상점검 : 연구개발활동에 사용되는 기계·기구·전기·약품·병원체 등의 보관상태 및 보호장비의 관리실태를 연구활동종사자가 실시(1회/1일)

② 정기점검 : 연구실 안전환경관리자 및 전문 대행기관(1회/1년), 안전점검기기를 이용한 세부적인 점검실시 후 반드시 진단결과에 의거 가스, 전기시설 등 보완설치

③ 특별안전점검 : 필요시

○ 정밀안전진단 실시

- 2년에 1회이상 정밀안전진단을 실시한다.
  - 안전진단 실시 후 반드시 진단결과에 의거 가스, 전기시설 등 보완설치

○ 참여연구원의 교육훈련

- 분기별 6시간 이상 집합 교육 진행, 상하반기 각 1회 진행
  - 연구실내 유해 위험요인에 관한사항, 안전한 연구개발활동에 관한 사항 등을 교육한다
- 온라인 안전교육 실시

· 교육과학기술부 지정 교육업체(KIRD, 연구개발인력교육원) 실시

· 온라인 교육비용 원 지원

· 교육내용 : 연구실 안전환경 조성법령 및 유해,위험요인 관련 외

- 홈페이지 및 개별 메일을 이용하여 수시로 공지사항 전달 및 교육자료 발송

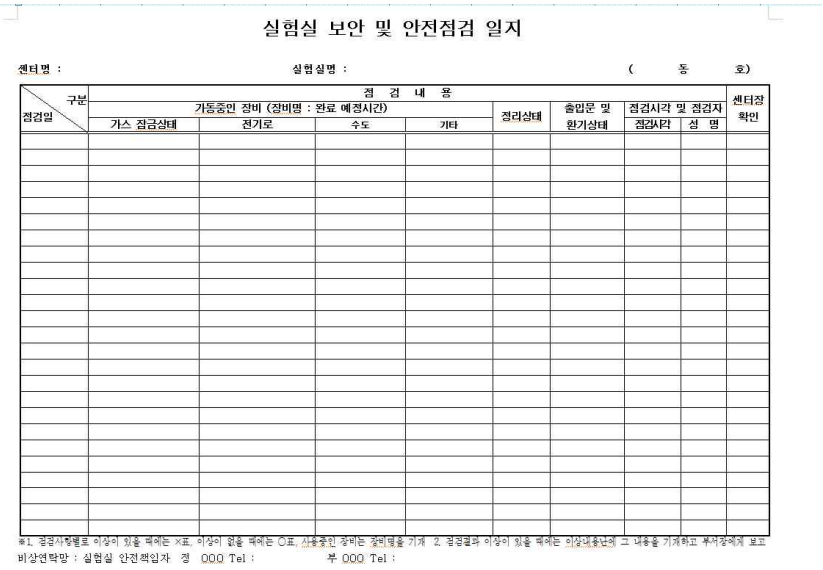
○ 참여연구원 대상 건강검진 시행

- 실험실습실 연구활동종사자 건강검진 실시
- 특수건강진단과 일반건강진단 병행 시행

○ 연구공간 및 연구자 보안 관리를 위한 출입통제 시스템 설치 및 시행

○ 연구사업별 위험요소 사전제거 및 대비

- 실험 및 연구진행 범위에서의 사고발생 및 위험 가능요소에 대해 원내 안전환경 관리자 등과 논의하여 위험요소 등을 사전제거



실험실 보안 및 안전점검 일지

센터명 : 실험실명 : (동 호)

구분 / 점검일	점검내용								센터장 확인
	가동중인 장비 (장비명 : 완료 예정시간)				정리상태	출입문 및 환기상태	점검시각 및 점검자		
	가스 잠금상태	전기로	수도	기타			점검시각	성 명	

[표 9.3] 교육훈련 실행내용

교육일시	안전교육 내용	장소	대상
2014년 2분기	·연구실안전환경조성에 관한 법률 안내 담당자 설명 및 질의응답	한국세라믹기술원 중회의실	팀원 전체
2014년 3분기	·실험실 안전수칙 및 대처요령 시청각 자료를 통한 설명	한국세라믹기술원 중회의실	팀원 전체
2014년 4분기	·실험실 안전사고사례전파 사고사례전파 및 원인분석 대처요령 숙지	한국세라믹기술원 중회의실	팀원 전체
2015년 1분기	·폐수 및 폐기물 처리 방법 폐수의 분리 배출 절차 및 방법 폐기물의 분리 및 배출	한국세라믹기술원 중회의실	팀원 전체
2015년 2분기	·실험실 안전사고 대처요령 안전사고의 종류 파악 약품의 종류별 대처요령	한국세라믹기술원 중회의실	팀원 전체
2015년 3분기	·화학약품 관리 요령 및 폐기방법1 실험실 화학약품 정리 및 관리 화학약품의 폐기 시 주의점 교육	한국세라믹기술원 중회의실	팀원 전체
2015년 4분기	·화학약품 관리 요령 및 폐기방법2 화학약품 폐기 시 주의점 교육	한국세라믹기술원 중회의실	팀원 전체
2016년 1분기	·실험기구 및 시약의 사용방법 실험장비 사용 주의사항 시약의 관리 및 보관방법	한국세라믹기술원 중회의실	팀원 전체

제10장 연구개발과제의 대표적 연구 실적

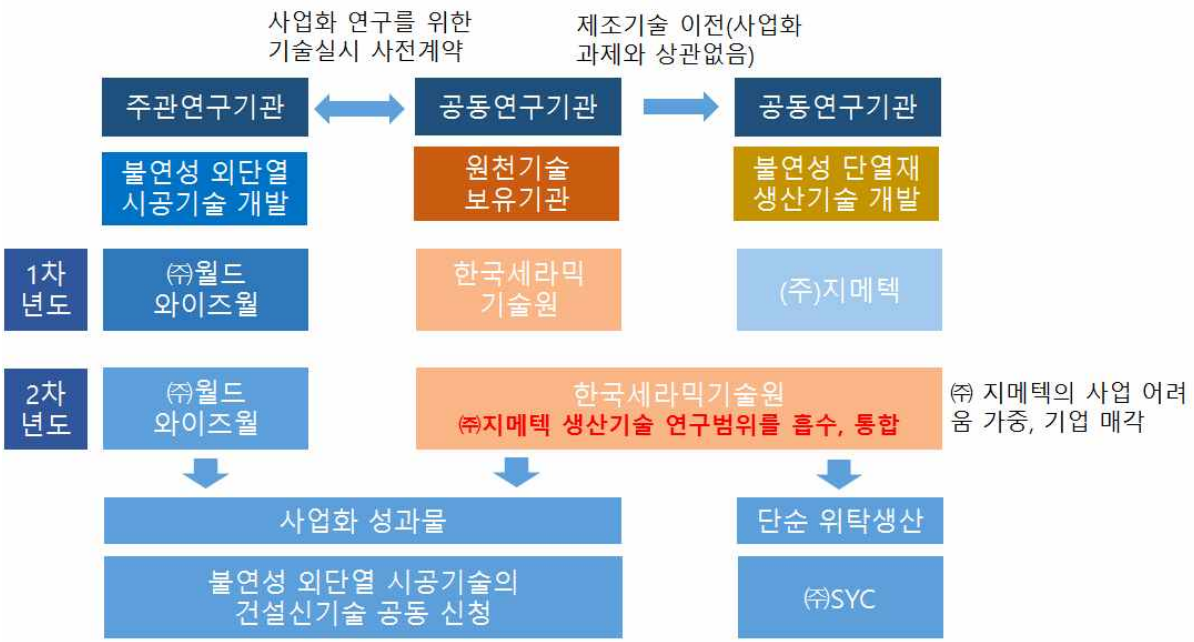
번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	무기계 경량 단열재를 적용한 외단열 공법의 외벽 화재성상	㈜월드와이즈월	실험 계획, 진행	대한건축학회 논문집 구조계		2015.7	단독	-
2	논문	폐유리분말과 플라이애시를 사용한 경량 발포소재의 물리적 특성	한국세라믹기술원	실험 계획, 진행	한국건설순환자원학회 논문집		2015.12	단독	-
3	논문	플라이애시와 유리발포 경량골재를 사용한 내화 마감모르타르의 특성	한국세라믹기술원	실험 계획, 진행	한국건설순환자원학회		2015.12	단독	-
4	특허	화재확산 방지를 위한 외단열 구조체	㈜월드와이즈월	기술 개발	대한민국		2015.8.10		

제11장 기타 사항

본 연구과제는 공동연구기관인 한국세라믹기술원의 보유기술인 불연성 세라믹 단열재를 공동연구기관인 ㈜지메텍이 생산하고, 이를 주관연구기관으로 외단열 전문업체인 ㈜월드와이즈월이 불연성 외단열 공법을 개발하는 것으로 사업화 과제를 구성하였으나, 1차년도가 종료되고, 2차년도 연구가 시작되는 시점에서 ㈜지메텍의 사업적 어려움으로 인하여 국토교통과학기술진흥원에서 참가 불가 통보를 받게 되었고, 2차년도의 연구내용을 한국세라믹기술원에서 승계하여 계속 진행하게 되었다. 이후 ㈜지메텍은 다른 기업체로 매각되어 현재 존재하지 않는 상황이다.

이러한 상황에서 연구의 결과물을 도출하고 성공적인 사업화를 위하여 ㈜월드와이즈월과 한국세라믹기술원은 지속적으로 연구를 수행하였고, 한국세라믹기술원이 개발한 불연성 세라믹 단열재 제조기술을 적용하여 생산할 수 있는 생산업체를 최대한 빠른 시간내에 섭외하고, 목표 성능에 적합한 단열재를 위탁 생산하고, 이를 적용하여 불연성 외단열 단열재를 사용한 외단열 공법을 개발하고, 현장에 적용하기에 이르렀다.

본 연구과제 결과물로 불연성 외단열 시공기술 관련 지적재산권은 ㈜월드와이즈월이 보유하고 있으며, 불연성 외단열 단열재 제조기술 및 생산기술은 한국세라믹기술원에서 보유하고, 관리하고 있다.



[그림 11.1] 본 사업화과제의 연구기관 및 내용 변경의 흐름

제12장 참고문헌

1. 건설교통부, 무기질 단열재를 사용한 친환경 샌드위치패널 개발 연구보고서, 2006
2. 건설안전협회, 경량골재 콘크리트의 현황 및 인공경량골재의 효율적 운영방안에 대한 연구, 2005
3. 건축물의 설비 기준 등에 관한 규칙 (국토해양부령 제 205호) : 제 21조 건축물의 열손실방지 중 별표 4 지역별 건축물 부위의 열관류율표
4. 공업화학전망, 폐유리 리사이클링-발포유리 제조기술과 전망, 2000
5. 곽지현, 최정민, 구재현, 건축 마감재의 화재안전기준 비교분석을 통한 한옥부재의 난연성능 평가기준 연구, 한국화재소방학회 논문집, 제25권 제5호, p.p. 1-7, 2011
6. 김연희, 에너지 절약형 외단열 공동주택의 설계 상세도 도출 및 에너지 성능 분석, 이화여자대학교, 석사학위논문, 2010
7. 김진용(선문대), 폐유리로부터 발포유리 제조시 물리적 특성에 관한 연구, 2003
8. 내화 구조의 인정 및 관리 기준 (국토해양부 고시 제 2008-154호)
9. 대우건설 저, 건축기술지침, 공간예술사
10. 성균관대학교 산학협력단, 건설교통 R&D 기술단계별 실용화 추진전략 수립에 관한 연구, 국토해양부 R&D 보고서, 2012
11. 민세홍, 외단열시스템 외장재로 시공된 다세대 공동주택의 화재위험에 관한 연구, 학국화재소방학회, Vol. 27, No. 3, p.p. 60-65, 2013
12. 민세홍, 김미숙, 중소형화재실험을 이용한 외단열 시스템(EIFS) 화재위험성 평가에 관한 연구, 대한안전경영과학회지, 제12권 1호, 2010년 3월, p.p. 1-9
13. 민세홍 외, 국내 외장재 설치동향 조사 및 화재위험성 분석, 한국화재소방학회 춘계학술발표회 초록집, pp. 11-14, 2012
14. 박시현, 임재한, 송승영, 공동주택 습식 진공 외단열시스템 성능 평가, Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment Vol. 13 No. 6 Dec. p.p. 45-53, 2013
15. 산업자원부, 유리 연마슬러지 및 폐분진을 활용한 시멘트·콘크리트 이차제품 생산기술 개발, 2004
16. 알루미늄 합금(LG건설 이진희)
17. 요업기술원, 유리공장에서 발생하는 폐기물의 현황 및 재활용 가능성 검토 연구, 2001
18. 추용식(한양대학교), 유리연마 폐슬러지를 재활용하여 제조한 다공성 소재의 기공 구조와 물리적 특성, 2007
19. 한국건설기술연구원, 경량패널 3종의 성능평가 및 활용검토 보고서, 1999

20. 한국건설기술연구원 외, 탄소저감형 건설재료 기술개발, 국토해양부 R&D 보고서, 2012

21. 한국복합화건축협회, 가변형 복합주택에 적용 가능한 경량벽체 시스템의 성능 및 개발방향, 2006

22. 한국세라믹학회, 인공경량골재로 제조된 콘크리트 패널의 물성, 2004

23. 한국세라믹학회, 유리연마슬러지를 사용한 경량골재 제조 및 골재의 내부기공이 물성에 미치는 영향에 관한 연구, 2005

24. 한국콘크리트학회, 유리연마슬러지를 사용한 경량골재의 미세구조 및 기공 특성, 2006

25. 한국콘크리트학회, 인공 경량 골재의 개발현황과 특성, 1991

26. 한국콘크리트학회, 고강도 경량골재콘크리트의 동결융해 저항성에 대한 실험적 연구, 1998

27. 한국콘크리트학회, 구조용 경량골재 개발에 따른 경량콘크리트의 동결융해특성에 관한 연구, 1998

28. KS F 4736 압출 성형 경량 콘크리트 패널, 2004

29. KS L 9016 보온재의 열전도율 측정방법, 2005

30. KS F 2604 건축용 외벽재료의 내동해성 시험 방법(동결 융해법), 2003

31. KS F 2257-8 (건축부재의 내화 시험 방법- 수직 비내력 구획부재의 성능 조건)

32. EIMA, Guide to exterior insulation & finish system construction

33. Jesse J. Beitel, Exterior insulation finish system and fire resistance ratings, Construction Dimensions, September 1990

34. N.hall, Exterior insulation and finish systmes(and oher problems with building envilops),

35. Plasti Fab, Insulation systems for residential & commicial construction

36. WACKER POLYMERS, Exterior insulation finish systems(EIFS) an efficient energy saving method, 2009

37. ASTM C 794 (Standard Test Method for Adhesion-in-Peel of Elastomeric Joint Sealants)

38. ASTM C 1248 (Standard Test Method for Staining of Porous Substrate by Joint Sealants)

39. ASTM E 488 (Standard Test Methods for Strength of Anchors in Concrete and Masonry Elements)

40. ASTM E 2307 (Standard Test Method for Determining Fire Resistance of

Perimeter Fire Barrier Systems Using Intermediate-Scale, Multi-Story Test Apparatus)

41. ASTM E 119 (Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials)
42. ASTM E 1966 (Standard Test Method for Fire-Resistive Joint Systems)
43. ASTM E 814 (Standard Method of Fire Tests of Through-Penetration Fire Stops)
44. FACTORY MUTUAL GLOBAL DATA SHEET
45. IFC (International Fire stop Council) 자료
46. UL 2079 (Standard for Safety for Tests for Fire Resistance of Building Joint Systems)
47. UL 1479 (Standard Method of Fire Tests of Through-Penetration Fire Stops)
48. UL 263 (Fire Tests of Building Construction and Materials)
49. www.bondwall.com
50. www.environmentalleader.com
51. www.hanboeng.com
52. www.kirinind.com
53. www.ptskorea.com
54. www.sypanel.com
55. www.ytn.co.kr

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화 지원사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.