Land Transpot and Maritime R&D Report

건설기술혁신사업 제2차년도 최종보고서

R&D/09기술혁신F10

친환경 아파트 단열외벽재 개발

2011. 12. 28.

주관연구기관 / 한국건설생활환경시험연구원
위탁연구기관 / (주) 익 성 텍
(주) 아 해
청 주 대 학 교
참 여 기 업 / (주) 티 씨 엠 시 건 축 사 무 소
(주) 한국환경종합건축사사무소
(주) 토문엔지니어링건축사사무소

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

이 보고서를 "친환경 아파트 단열외벽재 개발"에 관한 연구의 최종보고서로 제출합니다.

2011. 12.

주관연구기관 한국건설생활환경시험연구원
원 장 송 재 빈
위탁연구기관 (주) 익성텍
사 장 이 근 우
위탁연구기관 (주) 아해
사 장 이 강 세
위탁연구기관 청주대학교
총 장 김 윤 배

■ 주관연구책임자			담 당 업 무
한국건설생활환경시험연구원	책임연구원	조 병 영	주관연구 총괄
■ 주관연구기관 참여연구원	선임연구원	이 건 철	계획수립 및 분석
	선임연구원	신 홍 철	자료조사 및 분석
	선임연구원	박 헌 일	자료조사 및 분석
	선임연구원	최 은 수	자료조사 및 분석
	주임연구원	마 승 환	자료조사 및 분석
	연 구 원	오 동 욱	성능평가 및 분석
	연 구 원	노 상 균	성능평가 및 분석
■ 위탁연구기관 참여 연구원			
(주) 익성텍	차 장	김 장 엽	위탁연구 총괄
	부 장	박 성 철	품질관리 및 분석
	대 리	김 지 원	생산 및 품질관리
(주) 아해	대 리	나 용 복	위탁연구 총괄
	과 장	손 종 원	자료조사 및 분석
	대 리	임 성 욱	품질관리 및 분석
	주 임	정 진 욱	생산 및 품질관리
청주대학교	교 수	한 민 철	위탁연구 총괄
	연구보조	백 대 현	자료조사 및 분석
	연구보조	손 호 정	계획수립 및 분석
	연구보조	전 규 남	계획수립 및 분석
	연구보조	박 천 진	자료조사 및 분석
	연구보조	최 현 규	현장조사 및 분석
	연구보조	한 상 윤	현장조사 및 분석
	연구보조	김 영 희	현장조사 및 분석

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>09 기술혁신
F10</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2009.12.29
~
2011.12.28</td><td>단 계 구 분</td><td>2/2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 사 업 명</td><td>중 사 업 명</td><td colspan="4">건설기술혁신사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="4">친환경 아파트 단열 외벽재 개발</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 책 임 자</td><td rowspan="2">조 병 영</td><td>해당단계
참 여
연구원수</td><td>총 : 25명
내부 : 8명
외부 : 17명</td><td>해당단계
연 구 비</td><td>정부 : 263,000천원
기업 : 107,000천원
계 : 370,000천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 51명
내부 : 15명
외부 : 36명</td><td>총연구비</td><td>정부 : 525,000천원
기업 : 195,000천원
계 : 720,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명
및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">한국건설생활환경시험연구원
방수방식팀</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">(주)티씨엠씨건축사사무소
(주)한국환경종합건축사사무소
(주)토문엔지니어링건축사사무소</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="2">상대국명 :</td><td colspan="3">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="2">연구기관명 : (주)익성텍</td><td colspan="3">연구책임자 : 김 장 엽</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="2">연구기관명 : (주)아해</td><td colspan="3">연구책임자 : 나 용 복</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="2">연구기관명 : 청주대학교</td><td colspan="3">연구책임자 : 한 민 철</td></tr>
<tr><td colspan="4">요 약</td><td>보고서면수</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">외단열공법에 적용되는 단열재는 주로 유기계의 폴리스틸렌(스티로폼) 및 유무기 복합적층재을 적용함에 따라 화재에 취약하며, 특히 장기간 경과시 내구성이 저하되어 단열효과가 저하하고 균열 등이 발생하여 누수의 원인을 제공하는 등 외부의 충격에도 쉽게 파손되는 경향이 있다. 이에 본 기술개발은 콘크리트 타설시 거푸집 역할이 가능한 무기계의 콘크리트 일체형 고성능 단열 패널을 개발하고 또한 외단열 패널을 효율적으로 시공할 수 있는 시공 시스템을 개발하고자 하는 것이다. 열반사 성능을 갖는 무기질계 단열패널의 개발을 통하여 아파트 벽체의 단열성능을 향상시키고, 이러한 단열재의 활용확대를 통해 친환경성능 및 화재안전성능 향상을 도모하고자 한다. 콘크리트 타설 시공시 단열패널을 구조물 내외부에 매립하여 구조체와 내외장 단열패널을 일체화시키는 구조물 일체형 단열 시공시스템을 개발함으로써, 열효율 향상은 물론 콘크리트 표면에 발생하는 구조적 결함 방지 및 시공 공정 간소화를 통하여 경제성확보 및 건축물의 에너지 절감을 유도하고자 한다.</td></tr>
</table>

색 인 어 (각 5개 이상)	한글	열반사 세라믹도료	무기계 단열재	외단열 시스템	비탈형 거푸집	친환경
	영어	Heat reflection ceramic paint	Inorganic heat insulator	External Insulation Systems	Permanent form	Environment friendly

요 약 문

Ⅰ. 연구제목

친환경 아파트 단열 외벽재 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

건축물의 에너지소비 절약을 위해서는 건물외피 단열을 통한 열손실 저감이 가장 기본적이고 경제적인 대안으로 선진 각국은 물론 우리나라도 지역별, 건물 부위별 단열기준의 의무화를 통해 에너지 절약을 도모하고 있다. 아울러, 최근에는"그린홈 100만호 보급사업" 등 에너지 절약을 더욱 극대화하기 위한 정책 및 이를 추진하기 위한 세부전략으로 건물의 단열 및 기밀성능을 더욱 강화하는 법적 기준이 마련되고 있다.

건축물에서 냉난방 에너지 손실은 보통 창호, 외벽, 지붕 등의 외피를 통해 발생하기 때문에"고효율 에너지기자재"등 친환경, 고효율 외피시스템에 대한 활발한 연구 및 다양한 제품이 생산 보급되고 있다.

한편, 국내 주거 건축물의 유형을 분류해 보면 50%이상이 공동주택(아파트)이며, 새로이 공급되는 주택의 약 90%가 공동주택 이다. 이러한 실정을 고려해 볼 때 아파트 외피시스템에 대한 성능향상을 통해 열손실을 최소한 할 수 있는 방안이 매우 중요하다.

국내 공동주택의 창호의 경우 단열성이 높은 복층유리, 로이코팅 유리 및 일사조절 시스템 등 다양한 창호 시스템이 개발 적용되고 있다. 반면, 벽체의 경우, 단열방식이 내단열 중심의 건물 단열시스템을 적용하고 있어 열교현상을 근본적으로 포함하고 있다.

내단열 공법은 일반적으로 벽체-벽체, 벽체-슬래브 이음 부분에서 단열 불연속 부위가 발생하기 때문에 열교현상에 의한 에너지 손실, 결로 등의 원인이 되고 있어 앞으로는 내단열 보다 외단열공법의 적용이 적극 검토되어져야 할 것이다. 특

히, 바닥난방 배관이 인접하고 있는 측벽에서는 공급되는 온수의 열량이 열교부위를 통하여 외부로 손실되는 위험성을 가지고 있는데, 아파트 측벽이 대표적인 예라고 할 수 있다.

또한, 외단열공법에 적용되는 단열재는 주로 유기계의 폴리스틸렌(스티로폼) 및 유무기 복합적층재을 적용함에 따라 화재에 취약하며, 특히 장기간 경과시 내구성이 저하되어 단열효과가 저하하고 균열 등이 발생하여 누수의 원인을 제공하는 등 외부의 충격에도 쉽게 파손되는 경향이 있다.

따라서, 본 기술개발에서는 국내 아파트에서 가장 대표적인 열교부위라고 할 수 있는 아파트 측벽의 단열을 목적으로 콘크리트 타설시 거푸집 역할이 가능한 무기계 단열 패널을 개발하고 또한 외단열 패널을 효율적으로 시공할 수 있는 시공 시스템을 개발하고자 한다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

■ 1차년도 연구개발 내용

(1) 단열패널 관련 사용실태 및 국내외 기술조사

- 국내외 단열공법 관련 기술자료 수집 분석
- 단열기준 관련 국내외 기준 분석
- 기존 건축물의 단열공법 기술조사 및 문제점 분석
- 국내외 단열공법 관련 설계도면 분석

(2) 차열/고반사 세라믹도료 개발

- 차열도료의 열반사 메커니즘 분석
- 목표성능을 만족하기 위한 단열도료의 재료 및 배합 최적화
- 개발도료의 물리/역학적 성능 검토
- 옥외 폭로 및 실내 촉진시험을 통한 내후성 검토

(3) 단열패널 구성 원천소재 조사

- 압출방식 패널에 사용 가능한 단열 원천소재 조사 및 특성 파악

- 단열 패널 원천소재의 기초적 특성 검토

(4) 무기질계 단열 패널 구성재료의 성능검토
- 비압출 조건에서의 단열패널 성능 검토
- 단열소재의 종류 및 배합비별 열적 특성
- 단열소재의 종류 및 배합비별 물리 역학적 특성 검토
- 단열 패널 배합별 압출가능성 검토
- 압출성형 조건의 열적 특성 및 역학적 특성 검토

(5) 무기질계 단열패널 최적 배합비 도출
- 기초적 특성 검토를 통한 무기질계 단열패널의 최적배합 비율 검토
- 무기질계 단열패널의 형상 최적화 검토

(6) 단열 외벽 시스템의 경제성 평가
- 기존 외단열 공법의 공정 및 원단위 분석
- 단열외벽 시스템과 기존 외단열 공법과의 LCC 분석을 통한 경제성 검토

■ 2차년도 연구개발 내용

(1) 거푸집 패널로서 적용 가능성 검토
- 거푸집 패널로서 적용을 위한 압출성형 단열 패널의 치수, 형상 및 이음방법 검토
- 거푸집 패널로서 적용시의 단위용적질량, 최적 두께 및 최적 높이 검토

(2) 압출성형 단열 패널의 열적특성 및 공학적 특성 검토
- 단열소재별 압출성형 단열 패널의 열전도율 및 열관류율 검토
- 단열소재별 압출성형 단열 패널의 물리, 역학적 특성 검토

(3) 압출성형 단열 패널의 내화성 및 내구성 검토
- 단열 소재별 압출성형 단열 패널의 내화성능 검토

- 단열 소재별 압출성형 단열 패널의 동결융해 저항성 검토
- 외벽 단열 패널로 사용하기 위한 압출성형 단열 패널의 휨저항성 검토 (Bowing test)

(4) 외부환경 조건 변화에 따른 구조물 일체성 검토
- 압출성형 단열 패널의 구조물 일체화 조건에서 온도환경 조건 변화에 따른 일체화 성능 및 역학적 성질 검토
- 습도환경 조건 변화에 따른 일체화 성능 및 역학적 성질 검토

(5) 단열 외벽 시스템의 모의 구조체 검토
- Mock-up test를 통한 단열 외벽 시스템의 시공 공정 검토
- 동계 온도이력 및 전력 소모량 측정을 통한 모의 구조체의 열효율 검토

(6) 아파트 단열 외벽 시스템의 현장시공성 및 경제성 평가
- 아파트 공사현장 거푸집 공정 실사를 통한 현장분석 실시
- 비용편익 요소 토출을 위한 설문지 조사
- 단열 패널 시스템의 타당성을 평가하기 위한 비용 편익 분석패널의 비용 편익분석

Ⅳ. 연구개발결과

1) 차열/고반사 세라믹도료 개발

- 단열을 목적으로 차열 및 고반사 성능을 가진 열반사 도료를 개발하기 위해 안료의 종류 및 함량에 따른 열반사율 및 차열성능을 비교 평가하며 열반사 도료의 최적 배합을 검토하였고, 차열 및 고반사 도료의 최적 배합을 가지고 촉진 내후성 및 장기 폭로 시험을 통해 내후성에 대해 검토한 후 최적 배합을 제안하였다.

2) 무기질계 단열패널 원천소재의 특성 검토

- 무기질계 단열 패널의 개발을 위해서는 단열소재의 선택이 중요다. 따라서, 사용량이 많은 발포 폴리스티렌과 화재 및 균열에 효과적인 무기계 질석, 중공형 세라믹비드 및 퍼라이트 등 단열소재에 대한 기초적 특성을 검토 하였으며, 단열소재 종류 및 혼입률 변화에 따른 시멘트 모르터의 제반 물성을 평가한 후 최적의 성능을 발휘하는 단열소재와 적정혼입률을 선정하였다.

3) 목표 성능기준을 만족하는 무기질계 단열패널 개발

- 무기질계 단열패널의 공장 규격화 생산 시스템을 통해 제작된 시험체를 가지고 다양한 환경에 노출시켜 역학성 특성, 열적 특성 등을 검토한 결과 양호하게 나타났다. 열화에 대한 단열패널의 성능을 검토하기 위해 내구성 및 내화 시험을 수행한 결과 우수한 장기 내구 성능을 확인할 수 있었다.

4) 구조물 일체형 단열 시스템 개발

- 단열패널의 구조물 일체형 단열 시스템을 개발하기 위해 설계·거푸집 공사·시공 전문가의 자문 및 아파트 시공 현장 조사를 수행하였다. 일체형 단열 시스템의 성능 검토를 위해 콘크리트 모의시험체를 제작하여 실제로 다양한 단열시스템을 적용하고 단열 성능을 검토하였고, 무기질계 단열패널이 유기질계 단열소재 만큼 우수한 성능을 보여주어 구조물 일체형 단열 시스템이 효과적으로 활용될 수 있을 것이라 판단된다.

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

1) 연구성과 홍보 및 사업화

- 본 연구를 통해 검토된 자료 및 개발 경험을 바탕으로 관련 세미나 및 학회홍보를 통하여 관련업계의 아파트 외벽체의 단열시스템으로서 단열성능, 화재안전성, 친환경성 확보, 차열성능 등 성능 향상에 부분에 대한 적극적인 홍보로 사업화의 기반을 다지고자 한다.

2) 정부의 그린홈 정책의 대응

- 저탄소 녹색성장에 발맞춰 친환경 건강 지향적 주거문화 조성을 위하여 친환경 단열 외벽재를 설계에 반영함으로써 국가사업인 그린홈을 효과적으로 구현하고, 환경친화적이고 에너지 절약적인 아파트 설계를 통해 주거복지와 환경문제에 대응하고자 한다.

3) 아파트 에너지 절감 및 하자

- 친환경 아파트 단열 외벽재 개발 연구를 통하여 현재까지 실무에서 문제점으로 지적된 부분을 개선 보완하여 콘크리트 균열방지 외단열 보강과 결로방지 및 하자보수 최소화에 활용코자 한다. 또한, 콘크리트 균열과 단열, 결로에 대한 사회적 관심이 높아지고 있으며, 금번 과제인 친환경 아파트 단열외벽재 개발 과제와 관련하여 미래 지향적인 사고로 신기술을 확보하고 새로운 성장과 발전을 이루고자 당해과제의 연구개발 결과물을 활용코자 한다.

4) 제품화 계획 및 적용범위 확대

- 개발기술을 제품화하여 생산 및 보급하기 위해서는 추가적으로 시료 및 생산설비의 보완이 필요하며, 위탁연구기관에서는 장기적인 생산기반 확충 및 제품생산, 보급계획을 갖고 있다. 본 개발 기술 중 단열패널의 경우 단열 건식벽체로도 활용이 기대됨에 따라 향후 다른 용도로도 적용가능성을 검토할 계획이다.

5) 위탁연구기관 및 참여기업과의 연구결과 공유를 통한 활용 증대 노력

- 본 연구수행의 위탁연구기관인 (주)익성텍 및 (주)아해와의 연구결과 공유 및 활용을 위한 지속적인 협력을 통하여 연구성과 활용 및 그 효과를 제고할 예정이다.

6) 학술적 성과 홍보

- 학술적 가치가 있는 실험연구 분야의 연구결과는 대한건축학회, 한국건축시공학회 등에 논문을 발표하여 연구결과의 학술적 성과를 홍보하고 공유할 예정이며, 또한, 학회의 전문위원회에 적극적으로 참여하여 단열 외벽패널의 활용과 연구성과의 저변확대에 노력할 예정이다.

Summary

Ⅰ. Research Subject

Development of environment-friendly apartment external wall insulation

Ⅱ. Purpose and necessity of R&D

In order to save the energy of the building, it will be most basic to reduce the thermal loss through the insulation of the building envelope, and as the economic alternative, not only the advanced nations but also our nation has tried to save the energy through the obligation for the insulation standards per area and per building part. In this addition, as the policy to maximize the energy saving more recently such as 'Distribution project of green home 100 households', and as the detailed strategy to execute this, the legal standards to intensify the insulation and the air leakage performance of the building are being prepared.

As the heating/cooling energy loss in the building generally occurs from the envelopes such as door and window, external wall, roof and etc., the positive research for the environment-friendly high-efficiency envelope system has been made and the various products have been produced and distributed.

Meanwhile, classifying the types of domestic residential buildings, above 50% is apartment house (Apartment), and some 90% of the housing newly supplied is apartment house. Considering such circumstance, it will be very important to minimize the thermal loss through the performance increase for the apartment envelope system.

As for the door and window of the domestic apartment house, various door and window systems such as Thermopane with the high insulation feature, low-E coating glass, solar flux adjustment system and etc. have been developed and applied. Meanwhile, as for the wall, as the internal insulation-centered building insulation system is applied as the insulation method, it is basically inclusive of the heat exchanging phenomenon.

As for the inside insulation work method, as the insulation discontinuity area generally occurs from the wall-wall, wall-slab joint area, it becomes the reason for the energy loss, condensation and etc., and therefore, it shall be positively reviewed to apply the external insulation work method rather than the internal insulation work method in future. Especially, as for the wall site that is adjacent to the floor heating pipe, it has the risk that the calory of the hot water supplied from the wall side is lost to the outside through the heat exchanging area, and the wall side of the apartment will be the representative example.

Also, as the insulators applied to the external heat insulation work method are mainly the polystyrene (Styrofoam) of the organic system and the organic/inorganic complex laminated material, it is weak to the fire, and especially, as the durability is lowered in case the long period is passed, the insulation effect is lowered and the crack and etc. occurs, and so, it becomes the leakage reason and etc. and in addition, it is likely to be easily damaged from the outside impact.

Therefore, as for this technical development, for the purpose of the insulation of the flank wall, which can be said as the most representative heat exchange area in the domestic apartment, it will develop the inorganic insulation panel, which can play the role for the mould in concreting, and also the work execution system that can efficiently execute the work the external insulation panel.

Ⅲ. Contents and scope of R&D

■ Contents of 1st year R&D

(1) Use status and domestic/overseas technical survey related to insulation panel

- Collection and analysis of the technical data related to the domestic/ overseas insulation work method
- Analysis of the domestic/overseas standards related to the insulation standards
- Technical survey of the existing building and analysis of the outstanding matter
- Analysis of the design drawing related to the domestic/overseas insulation work method

(2) Development of insulation/high-reflectance ceramic paint

- Analysis of the heat reflectance mechanism of the insulation paint
- Material of the insulation paint to satisfy the target performance and optimization of the mixture
- Review of the physical/dynamic performance of the developed paint
- Review of the weather resistance through the outside exposure and the indoor accelerating

(3) Survey of original material composing insulation panel

- Survey of the original material for the insulation, which can be used for the extrusion method of the panel and grasping of the characteristics
- Review of the basic characteristics of the original material for the insulation panel

(4) Review of performance of inorganic insulation panel-composing material

- Review of the performance of the insulation panel under the non-extrusion condition
- Kind of the insulation material and the characteristics per mixture rate
- Kind of the insulation material and review of the physical/dynamic performance characteristics per mixture rate
- Review of the possibility for extrusion per mixture of the insulation panel
- Review of the thermal characteristics and the dynamic characteristics of the extrusion moulding condition

(5) Optimal mixture rate of inorganic insulation panel

- Review of the optimal mixture rate of the inorganic insulation panel through review of the basic characteristics
- Review of the figure optimization of the inorganic insulation panel

(6) Evaluation of economic feasibility of insulation external wall system

- Work progress of the existing external insulation work method and the basic-unit analysis
- Review of the economic feasibility through LCC analysis of the insulation external wall system with the existing external insulation work method

■ Contents of 2nd year R&D

(1) Review of possibility for application as mould panel

- Review of the dimension, figure and connection method of the extruding moulded insulation panel to be applied as the mould

panel

- If applied as the mould panel, to review the unit volume mass, optimal thickness and optimal height

(2) Review of thermal characteristics and engineering characteristics of extrusion moulded insulation panel

- Review of the thermal conductivity and the thermal transmission coefficient of the extrusion moulded insulation panel per insulation material
- Review of the physical/dynamic characteristics of the extrusion moulded insulation panel per insulation material

(3) Review of fire resistance and durability of extrusion moulded insulation panel

- Review of the fire-resistance performance of the extrusion moulding insulation panel per insulation material
- Review of the freezing/thawing resistance of the extrusion moulding insulation panel per insulation material
- Review of the bending resistance of the extrusion moulding insulation panel per insulation material to be used for the external wall panel (Bowing test)

(4) Review of building uniformity relative to change of outside environment

- Review of the uniformity performance and the dynamic characteristics relative to change of the temperature environmental condition under the building uniformity of the extrusion moulded insulation panel
- Review of the uniformity performance and the dynamic characteristics relative to change of the humidity environmental condition

(5) Review of simulation building of extrusion moulded insulation panel

- Review of the work process of the extrusion moulding insulation panel through the mock-up test
- Review of the simulation thermal efficiency through the temperature history of winter season and measurement of the electric power consumption

(6) Site workability and economic feasibility of apartment insulation external wall system

- Execution of the site analysis through the actual survey of the moulding process of the apartment job site
- Questionnaires to acquire the cost/convenience factors
- Analysis of the cost/convenience of the insulation panel to evaluate the feasibility of the insulation panel system

Ⅳ. R&D Results

1) Development of insulation/high-reflectance ceramic paint

- In order to develop the high-reflectance paint with the insulation and the high reflectance performance to block the sun light that becomes the major reason to increase the indoor temperature, this research has evaluated in comparison the thermal reflexibility and the high-reflectance performance and reviewed the optimal mixture of the thermal reflecting paint, and then, reviewed the weather resistance through the accelerating weather resistance and the long-term exposure test with the optimal mixture of the insulation and the high-reflectance paint.

2) Review of Characteristics of original material of inorganic insulation panel

- It is important to select the insulation material for development of the inorganic insulation panel. So, this research reviewed the basic characteristics for the insulation material such as foamed polystyrene with lots of use quantity, inorganic vermiculite, which is effective for the fire and crack, hollow-type ceramic bead, perlite and etc., and selected the insulation material and the proper mixture rate that demonstrate the optimal performance after evaluating all the properties of the cement mortar relative to the kind of the insulation material and the mixture rate.

3) Development of inorganic insulation panㄷ| satisfying the targeted performance standards

- This research has produced the inorganic insulation material with the factory standard production system through review of the performance of the original material, and reviewed the dynamic/thermal characteristics in various environments. As the dynamic characteristics, it reviewed the bending strength, density, absorptance and etc., and as the thermal characteristics, it reviewed the thermal conductivity, heat transmission coefficient, transformation relative to the temperature, fireproof performance and etc., and finally, reviewed the transformation relative to the temperature for the uniformity characteristics of the inorganic insulation panel, adherence strength and etc.

4) Development of Building all-in-one insulation system

- This research has developed the all-in-one insulation external wall system through the consulting with the design/mould/work execution experts and through the survey of the apartment job site to develop the

building all-in-one insulation system of the inorganic insulation panel, and compared/evaluated the performance through the temperature change, power consumption, photographing of the thermal image and etc.

5) Review of economic feasibility

- This research analyzed the inorganic insulation panel, which has been developed by this research team, and the cost/convenience for the metal panel, which has mostly applied in the domestic construction site, to select the efficient finish work method of the external wall of the apartment house (Apartment) by using firstly AHP method as the analysis method of the economic feasibility, and then, has presented the reasonable and effective external wall finish work method. Also, as for LCC analysis, this research analyzed the economic feasibility for the initial investment cost and the maintenance cost through the fixed LCC cost analysis and the probabilistic LCC cost analysis. Finally, as for the work-process analysis, this research will calculate the construction cost of the generally-used mould work, external wall insulation system and inorganic insulation panel system for the apartment house (Apartment) by applying the 2010 construction work estimating cost, and analyze the construction cost relative to the work process of each system.

Ⅴ. Utilization plan of R&D results

1) PR and commercialization of research result

- Through the related seminar and PR to the academic circles being based on the data and the development experience reviewed through this research, this research tries to maximize the commercialization basis through the positive PR for the performance increase aspect such as

insulation performance, fire safety, environment-friendly acquirement, insulation performance and etc. as the insulation system of the apartment external wall of the related company circles.

2) Response to green home policy of government

- It will try to realize effectively the green home, which is the national project, by reflecting the environment-friendly insulation external wall material on the design to construct the environment-friendly health-oriented residential culture keeping pace with the low-carbon green growth, and to respond to the residential welfare and the environmental matter through the environment-friendly and energy-saving apartment design.

3) Energy-saving and defect of apartment

- This research will try to prevent the concrete crack, prevent the dew condensation and minimize the maintenance/repair by improving and supplementing the matters indicated in the practical work through development of the environment-friendly insulation external wall material of the apartment. Also, the social concerns for the concrete crack, insulation and dew condensation is being increased , and so, this research will try to utilize the R&D results of this relevant task for acquirement of new technology and also for new growth and development with the future-oriented thought relative to the environment-friendly insulation external wall material of the apartment that is the task of this time.

4) Manufacturing plan and enlargement of application scope

- In order to produce and supply the developed technology through its product manufacturing, it is necessary to supplement the specimen and

the production facility additionally, and the entrusted research institute has the long-term plan for expansion of the production basis, production of the product and distribution. Also, as for the insulation panel among the technologies developed herein, as it is expected that it can be also utilized as the insulation dry-type wall, it is anticipated to develop various uses of the applied products.

5) Endeavor for utilization increase through joint ownership with entrusted research institute and participating company

- The research results will be linked to the business with supplement of the research results, positive PR and etc. through the continuous cooperation with Iksungtech Co., Ltd. and Ahae Co., Ltd., which are the entrusted research institutes for performance of this research.

6) PR for academic results

- As for the research results of the test research field with the academic value, the academic accomplishment of the research results will be publicized and jointly owned by presenting this thesis to Architectural Institute of Korea, Korea Institute of Building Construction and etc., and also, it is expected that it will be expanded to the base to utilize the insulation external panel and to apply the research accomplishment by participating positively in the expert committee of the academic society.

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요 ····· 1

제 1 절 연구개발과제의 필요성 ····· 1

1. 아파트 단열 외벽 시스템의 필요 ····· 1

2. 무기질계 단열패널 개발의 필요 ····· 2

3. 아파트 외단열 시스템의 구조체 일체화 필요 ····· 3

4. 건축물 에너지 절약의 필요 ····· 4

제 2 절 연구개발의 내용 및 범위 ····· 7

1. 연구개발 최종목표 ····· 7

2. 연구개발 내용 ····· 9

제 2 장 국내외 기술개발 현황 ····· 13

제 1 절 단열재 관련 산업동향 ····· 13

1. 단열재 관련 국내 산업동향 ····· 13

2. 단열재 관련 국외 시장동향 ····· 17

제 2 절 외단열 시스템 관련 산업동향 ····· 21

1. 외단열 시스템 관련 국내외 기술동향 ····· 21

2. 거푸집 일체형 단열외벽 시스템의 기술현황 ····· 25

제 3 절 열반사 도료 관련 국내외 기술동향 ····· 28

제 3 장 연구수행 내용 및 결과 ····· 31

제 1 절 연구개발의 필요성 ····· 31

1. 연구개발의 개요 ····· 31

제 2 절 차열 및 고반사 도료개발 ····· 33
1. 차열도료의 열반사 메커니즘 분석 ····· 33
2. 도료의 기본 원재료 선정 및 배합비 도출 ····· 37
3. 도료의 차열 및 고반사 성능 원재료 선정 및 배합비 도출 ····· 38
4. 무기단열패널용 고성능 차열 및 고반사 도료의 내후 특성 검토 67
제 3 절 단열패널 구성 원천소재의 특성 검토 ····· 73
1. 원천소재의 기초자료 분석 및 평가 ····· 73
2. 외벽 단열패널 원천소재의 기초적 특성 평가 ····· 76
3. 내벽 단열패널 원천소재의 특성 평가 ····· 97
제 4 절 무기질계 압출 단열패널의 특성 검토 ····· 111
1. 압출 단열패널의 기초적 특성 검토 ····· 111
2. 압출 단열패널의 특성 검토 ····· 126
제 5 절 외부 환경변화에 따른 일체화 특성 검토 ····· 203
제 6 절 단열외벽시스템의 모의구조체 검토 ····· 213
제 7 절 무기질계 단열패널의 경제성 분석 ····· 221
1. 압출성형세라믹 패널의 비용·편익 분석 ····· 221
2. LCC분석에 의한 압출성형세라믹 패널의 경제성 평가 ····· 232
3. 공정분석 ····· 243
제 8 절 결론 ····· 263

제 4장 목표당성도 및 관련분야의 기여도 ····· 267
제 1 절 연구개발 목표의 달성도 ····· 267
제 2 절 관련분야의 기여도 ····· 270

제 5장 연구개발결과의 활용계획 ····· 273

제 6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 …… 277
제 1 절 단열외벽재 관련 기술파악 …… 277
1. 일본의 건축용 무기단열재 생산업체 및 적용현장 조사 …… 277
2. Passive House 건축자재 전시회 참석 …… 283
3. 외단열 시스템의 성능 평가방법에 대한 교육과정 참석 …… 285
4. 부르크하우젠 지역의 외단열 및 패시브 하우스 현장 적용 사례 조사 …… 285
5. 단열 외벽재 관련 국제 기술정보 교류 …… 287

제 7장 참고문헌 …… 289

표 목 차

표 1-1. 주택의 에너지 사용량 ····· 6
표 2-1. 단열재 생산현황 ····· 14
표 2-2. 국내 단열재 제조업체 수 ····· 16
표 2-3. 발포폴리스틸렌 국내 생산규모 및 생산현황 ····· 16
표 2-4. 기타 단열재 국내 생산규모 ····· 16
표 2-5. 일본의 단열재 시장규모 ····· 18
표 2-6. 2007년 중국 단열방음재료 생산 및 판매현황 ····· 19
표 2-7. 연도별 금속단열패널 생산 및 판매현황 ····· 19
표 2-8. 단열성능에 따른 성능 비교 ····· 22
표 2-9. 국내외 주요 외단열 시스템 공법 기술 현황 ····· 23
표 2-10. 국내 주요 외단열 공동주택 현황 ····· 24
표 2-11. 기업별 대응 현황 ····· 28
표 2-12. 일본 단열도료 출하량 ····· 29
표 2-13. 일본 주요 차열 및 단열도료 제조업체 ····· 29
표 2-14. 일본 차열 및 단열도료 시장 가격동향 ····· 29
표 3-1. S.A-1207 물성 ····· 37
표 3-2. SOLARFLAIR 9875 기본 물성 ····· 38
표 3-3. VS 5500 GLASS BUBBLE 기본 물성 ····· 38
표 3-4. SHINEDECOR 3500 기본물성 ····· 39
표 3-5. 차열 안료 종류별 성능 검사 시험 내용 ····· 39
표 3-6. C.I.P안료 색상별 Metal종류 ····· 40
표 3-7. 근적외선 반사 착색안료 및 기존 무기 착색 안료 비교 시험 · 40
표 3-8. 일사 반사율 계산을 위한 할증 계수 ····· 42
표 3-9. 실험 항목 및 목표물성 ····· 45
표 3-10. 차열 재료별 TiO_2에 치환 함량별 일사반사율(TSR)값 ····· 48

표 3-11. 차열 재료 TiO_2치환 함량별 표면 온도 변화 ····· 51
표 3-12. 차열 재료 함량별 내부 온도변화 ····· 53
표 3-13. 안료 종류 및 함량별 TSR값 ····· 57
표 3-14. 안료 종류 및 함량별 내외부 온도 평균값 ····· 62
표 3-15. KS 물성 평가 결과 ····· 66
표 3-16. 도료의 종류 및 표면사진 ····· 68
표 3-17. 촉진 및 옥외폭로시험 색차계 타겟 측정결과 ····· 72
표 3-18. 외벽 단열패널 원천소재의 개별사용에 따른 실험(시리즈 1) ··· 76
표 3-19. 외벽 단열패널 원천소재의 조합사용에 따른 실험(시리즈 2) ··· 77
표 3-20. 외벽 단열패널 원천소재의 기초적 특성 배합 ····· 78
표 3-21. 휨강도 실험결과(시리즈 1) ····· 86
표 3-22. 휨강도 실험결과(시리즈 2) ····· 86
표 3-23. 압축강도 실험결과(시리즈 1) ····· 89
표 3-24. 압축강도 실험결과(시리즈 2) ····· 89
표 3-25. 열전도율 평가결과(시리즈 1) ····· 92
표 3-26. 열전도율 실험결과(시리즈 2) ····· 92
표 3-27. 내벽 단열패널 원천소재의 사용에 따른 실험 ····· 97
표 3-28. 내벽 단열패널 원천소재의 사용에 따른 배합 ····· 98
표 3-29. 휨강도 평가결과 ····· 101
표 3-30. 압축강도 평가결과 ····· 102
표 3-31. 내벽 압출 단열패널의 실험개요 ····· 105
표 3-32. 내벽 압출 단열패널의 배합 ····· 105
표 3-33. 역학적 특성의 평가결과 ····· 107
표 3-34. 원적외선 방출량 ····· 109
표 3-35. 외벽 단열패널 시제품 제작 실험 ····· 112
표 3-36. KS F 4735 압출성형 콘크리트 패널의 기준 ····· 112
표 3-37. 압출 성형기의 제원 ····· 113

표 3-38. 휨강도 시험결과 ····· 118
표 3-39. 밀도 시험결과 ····· 120
표 3-40. 흡수율 시험결과 ····· 122
표 3-41. 물흡수에 따른 길이변화율 ····· 124
표 3-42. 압출 단열패널의 실험개요 ····· 126
표 3-43. KS F 4735 압출성형 콘크리트 패널의 기준 ····· 126
표 3-44. 외벽 단열패널의 배합 ····· 127
표 3-45. 외벽 단열패널 시제품의 물리적 특성 시험 결과 ····· 130
표 3-46. 외벽 단열패널 시제품 제작 실험 ····· 132
표 3-47. 압출 패널의 Bowing test 시험결과(Plain) ····· 138
표 3-48. 압출 패널의 Bowing test 시험결과(V) ····· 139
표 3-49. 압출 패널의 Bowing test 시험결과(PL) ····· 140
표 3-50. 압출 패널의 Bowing test 시험결과(PV) ····· 141
표 3-51. 압출 패널의 Bowing test에 따른 두께 변화(Plain) ····· 142
표 3-52. 압출 패널의 Bowing test에 따른 두께 변화(V) ····· 143
표 3-53. 압출 패널의 Bowing test에 따른 두께 변화(PL) ····· 144
표 3-54. 압출 패널의 Bowing test에 따른 두께 변화(PV) ····· 145
표 3-55. 압출 패널의 Bowing test 전, 휨강도 시험결과(Plain) ····· 146
표 3-56. 압출 패널의 Bowing test 후, 휨강도 시험결과(Plain) ····· 147
표 3-57. 압출 패널의 Bowing test 전, 휨강도 시험결과(V) ····· 149
표 3-58. 압출 패널의 Bowing test 후, 휨강도 시험결과(V) ····· 150
표 3-59. 압출 패널의 Bowing test 전, 휨강도 시험결과(PL) ····· 152
표 3-60. 압출 패널의 Bowing test 후, 휨강도 시험결과(PL) ····· 153
표 3-61. 압출 패널의 Bowing test 전, 휨강도 시험결과(PV) ····· 155
표 3-62. 압출 패널의 Bowing test 후, 휨강도 시험결과(PV) ····· 156
표 3-63. 압출 단열패널의 동결융해시험에 대한 실험개요 ····· 158
표 3-64. 압출 패널의 동결융해시험 전, 휨강도 시험결과(Plain) ····· 162

표 3-65. 압출 패널의 동결융해시험 후, 휨강도 시험결과(Plain) ····· 163
표 3-66. 압출 패널의 동결융해시험 전, 휨강도 시험결과(V) ····· 165
표 3-67. 압출 패널의 동결융해시험 후, 휨강도 시험결과(V) ····· 166
표 3-68. 압출 패널의 동결융해시험 전, 휨강도 시험결과(PL) ····· 168
표 3-69. 압출 패널의 동결융해시험 후, 휨강도 시험결과(PL) ····· 169
표 3-70. 압출 패널의 동결융해시험 전, 휨강도 시험결과(PV) ····· 171
표 3-71. 압출 패널의 동결융해시험 후, 휨강도 시험결과(PV) ····· 172
표 3-72. 압출 단열패널의 열전도율에 대한 실험개요 ····· 174
표 3-73. 온도 조건 50 cycle 반복에 대한 단열패널의 열전도율 변화 176
표 3-74. 습도 조건 50 cycle 반복에 대한 단열패널의 열전도율 변화 177
표 3-75. 동결융해 조건 50cycle 반복에 대한 단열패널의
열전도율 변화 ····· 177
표 3-76. 열관류율의 실험개요 ····· 179
표 3-77. 열관류율 시험 결과 ····· 181
표 3-78. 각부 제원 ····· 182
표 3-79. 단면 형상 및 용도 ····· 184
표 3-80. 35T Plain의 내화시험 결과 ····· 185
표 3-81. 35T 시제품의 내화시험 결과 ····· 186
표 3-82. 50T Plain의 내화시험 결과 ····· 187
표 3-83. 외벽 단열패널 시제품 제작 실험 ····· 188
표 3-84. 내화시험에 대한 시험결과(500×500×50㎜) ····· 191
표 3-85. 내화시험에 대한 시험결과(600×3000×50㎜) ····· 195
표 3-86. 압출 단열패널의 실험개요 ····· 203
표 3-87. 압출 패널의 부착강도 및 파단현상 (건전시험체) ····· 209
표 3-88. 압출 패널의 부착강도 및 파단현상 (온냉반복 50사이클 후) 210
표 3-89. 압출 패널의 부착강도 및 파단현상 (건습반복 50사이클 후) 211
표 3-90. 모의시험체의 단열시스템 상세도 ····· 214

표 3-91. 모의시험체의 단열온도 특성(실내온도) ····· 218
표 3-92. AHP 분석을 위한 설문지의 중요도 작성 ····· 223
표 3-93. 외벽패널 시스템의 비용 측면의 평가기준 ····· 224
표 3-94. 외벽패널시스템의 편익측면 평가기준 ····· 225
표 3-95. 비용측면의 중요도 가중치 ····· 228
표 3-96. 편익측면의 중요도 가중치 ····· 228
표 3-97. 비용ㆍ편익분석 결과 ····· 228
표 3-98. 국외의 실질할인율 ····· 233
표 3-99. 국내 연구에서의 실질할인율 ····· 233
표 3-100. 연도별 실질할인율의 변화 추이 ····· 234
표 3-101. 단열외벽 시스템의 수선주기 및 수선율 ····· 235
표 3-102. LCC 분석의 구성항목 ····· 235
표 3-103. 압출성형세라믹 패널시스템의 일위대가 ····· 236
표 3-104. 금속 패널시스템의 일위대가 ····· 237
표 3-105. 석재 패널시스템의 일위대가 ····· 237
표 3-106. 단열외벽시스템 종류별 초기투자비용 ····· 238
표 3-107. 단열외벽시스템 종류별 수선 및 교체주기에 따른 수선·교체비 ····· 239
표 3-108. 단열외벽시스템 종류별 수선·교체비용 ····· 239
표 3-109. 단열외벽시스템 종류별 해체・폐기비용 ····· 240
표 3-110. 단열외벽시스템 종류별 LCC 비용 분석 ····· 242
표 3-111. 거푸집(갱폼) 공사 일위대가 ····· 245
표 3-112. 철근가공 및 조립 일위대가 ····· 246
표 3-113. 거푸집(유로폼) 공사 일위대가 ····· 247
표 3-114. 외벽단열 공사 시 일위대가 ····· 249
표 3-115. 거푸집(갱폼) 공사 일위대가 ····· 251
표 3-116. 철근가공 및 조립 일위대가 ····· 252

표 3-117. 거푸집(유로폼) 공사 일위대가 ····· 253
표 3-118. 도장 공사 일위대가 ····· 255
표 3-119. 공정 별 공사비 ····· 256
표 3-120. 건축개요 ····· 259
표 3-121. 1개동의 입면적 산출 ····· 259
표 3-122. 동별 공사비 ····· 259
표 4-1. 연구개발 목표별 계획대비 달성도 ····· 267

그림 목차

그림 1-1. 가연성 단열재에 의한 화재 사례 ····· 3
그림 1-2. 아파트 외벽 단열 시스템의 하자사례 ····· 4
그림 1-3. 에너지 소비 및 CO_2 배출 현황 ····· 5
그림 1-4. 부문별 CO_2 배출 현황 ····· 5
그림 1-5. 연구개발의 개요 ····· 7
그림 2-1. 국내 단열재 시장 동향 ····· 13
그림 2-2. 아파트 벽체의 단열시공 사례 ····· 21
그림 2-3. 외단열 시스템의 하자 사례 ····· 25
그림 2-4. (주)후지화성의 단열 외벽재 ····· 26
그림 2-5. 일본인슐레이션의 단열 외벽재 ····· 26
그림 2-6. 일본 (주)BRC의 PW공법 ····· 27
그림 2-7. 독일 이소라스트의 이소블럭 ····· 27
그림 3-1. 열의 전달원리 ····· 33
그림 3-2. 태양빛 파장에 따른 분광 일사 강도 ····· 34
그림 3-3. 태양열 고반사 도료의 원리 ····· 35
그림 3-4. 차열 고반사 도료내 세라믹 중공안료(SEM) ····· 36
그림 3-5. 시험편 제작 ····· 41
그림 3-6. 시험편 건조 ····· 41
그림 3-7. 시험편 제단 ····· 41
그림 3-8. 일사 반사율 시험기 ····· 43
그림 3-9. 일사 반사율 측정 ····· 43
그림 3-10. 차열 성능 시험 모식도 ····· 44
그림 3-11. 표면 복사율 시험기 ····· 44
그림 3-12. 표면 복사율 측정 ····· 44
그림 3-13. TQC DATA LOGGER ····· 44

그림 3-14. 차열 재료별 일사 반사율 그래프 ····· 46
그림 3-15. 차열재료 TiO_2 치환 함량별 일사반사율 그래프 ····· 48
그림 3-16. 차열재료별 표면 온도 변화 ····· 49
그림 3-17. 차열 재료 소재별 내부 온도변화 ····· 50
그림 3-18. 차열 재료 TiO_2에 치환 함량별 표면 온도변화 그래프 ····· 51
그림 3-19. 차열 재료 함량별 내부온도변화 그래프 ····· 52
그림 3-20. 안료 종류별 일사 반사율 비교 ····· 55
그림 3-21. 안료 종류 및 함량별 일사 반사율 비교 ····· 56
그림 3-22. 안료 종류별 차열 성능 비교-표면온도비교 ····· 58
그림 3-23. 안료 종류별 차열 성능 비교-내부온도비교 ····· 59
그림 3-24. 안료 종류 및 TIO_2에 대체 함량별 표면온도 변화 ····· 60
그림 3-25. 안료 종류 및 함량별 내부온도변화 ····· 61
그림 3-26. 타사 제품과 일사반사율 비교 ····· 63
그림 3-27. 각 제품별 표면 온도변화 ····· 64
그림 3-28. 각 제품별 내부 온도 변화 ····· 65
그림 3-29. 촉진 내후성 시험기 ····· 69
그림 3-30. 촉진 내후성 시험체 설치 모습 ····· 69
그림 3-31. 옥외 폭로시험 설치대 ····· 70
그림 3-32. 옥외 폭로시험 시료 설치 모습 ····· 70
그림 3-33. $L^*a^*b^*$ color space 및 색차계 ····· 71
그림 3-34. 압출성형 시멘트 패널의 기본 구성 재료 ····· 73
그림 3-35. 압출성형 시멘트 패널 구성 단열 재료 ····· 74
그림 3-36. 세라믹 중공비드 종류별 특성 ····· 75
그림 3-37. 모르타르 혼합 ····· 79
그림 3-38. 모르타르 진동다짐 ····· 80
그림 3-39. 시험체의 양생계획도 ····· 81
그림 3-40. 양생온도 및 시간 ····· 81

그림 3-41. 양생함 ····· 82
그림 3-42. 휨강도 측정 ····· 83
그림 3-43. 압축강도 측정 ····· 84
그림 3-44. 열전도율 측정 ····· 85
그림 3-45. 단열소재 치환율에 따른 휨강도(시리즈 1) ····· 87
그림 3-46. EPS 치환율에 따른 휨강도(시리즈 1) ····· 87
그림 3-47. 단열소재 조합에 따른 휨강도(시리즈 2) ····· 88
그림 3-48. 단열소재 치환율에 따른 압축강도(시리즈 1) ····· 90
그림 3-49. EPS 치환율에 따른 압축강도(시리즈 1) ····· 90
그림 3-50. 단열소재 조합에 따른 압축강도(시리즈 2) ····· 91
그림 3-51. 단열소재 치환율에 따른 열전도율(시리즈 1) ····· 93
그림 3-52. EPS 치환율에 따른 열전도율(시리즈 1) ····· 93
그림 3-53. 단열소재 조합에 따른 열전도율(시리즈 2) ····· 94
그림 3-54. 기타 단열재료 ····· 95
그림 3-55. 기타 단열재료와 열전도율 비교 ····· 96
그림 3-56. 적외선 방사율 측정기(FT-IR)의 구조도 ····· 99
그림 3-57. FT-IR 측정기 ····· 99
그림 3-58. 황토 치환율에 따른 휨강도 ····· 101
그림 3-59. 황토 치환율에 따른 압축강도 ····· 102
그림 3-60. 방사에너지량 계산 결과 ····· 103
그림 3-61. 항곰팡이 시험 ····· 104
그림 3-62. 현장생산 제조공정 ····· 106
그림 3-63. 황토 증가율에 따른 휨강도 ····· 107
그림 3-64. 황토 증가율에 따른 압축강도 ····· 108
그림 3-65. 황토 증가율에 따른 흡수율 ····· 108
그림 3-66. 황토 증가율에 따른 밀도 ····· 108
그림 3-67. 방사에너지량 계산 결과 ····· 109

그림 3-68. 외벽 단열패널 시제품 단면 ····· 112
그림 3-69. 압출성형기 ····· 113
그림 3-70. 구성재료 건식 프리믹스 ····· 113
그림 3-71. 단열패널 구성재료 습식혼합 ····· 113
그림 3-72. 단열패널 압출성형 ····· 113
그림 3-73. 양생온도 및 시간 ····· 114
그림 3-74. 고온증기양생기 ····· 114
그림 3-75. 상압증기양생 실시 ····· 114
그림 3-76. 중공패널 휨강도 측정 ····· 115
그림 3-77. 수중침지 ····· 116
그림 3-78. 항량건조 ····· 116
그림 3-79. 질량측정 ····· 116
그림 3-80. 각선기 ····· 117
그림 3-81. 콤퍼레이터 ····· 117
그림 3-82. 사각바 형태의 단열소재 종류 및 조합에 따른 휨강도 ····· 119
그림 3-83. 중공패널 형태의 단열소재 종류 및 조합에 따른 휨강도 ···· 119
그림 3-84. 단열소재 종류 및 조합에 따른 밀도 ····· 121
그림 3-85. 단열소재 종류 및 조합에 따른 흡수율 ····· 123
그림 3-86. 단열소재 종류 및 조합에 따른 길이변화율 ····· 125
그림 3-87. 충격시험 ····· 128
그림 3-88. 단열소재의 치환량 증가에 따른 휨강도 ····· 130
그림 3-89. 단열소재의 치환량 증가에 따른 밀도 ····· 131
그림 3-90. 단열소재의 치환량 증가에 따른 흡수율 ····· 131
그림 3-91. 시험장치의 개요 ····· 134
그림 3-92. 시험장치 ····· 134
그림 3-93. 측정장치 ····· 134
그림 3-94. 시험체 설치 장면 ····· 134

그림 3-95. Bowing test Cycle ····· 134
그림 3-96. 휨강도 시험장면 ····· 134
그림 3-97. Bowing test 반복횟수에 따른 변형량 변화(Plain) ····· 138
그림 3-98. Bowing test 반복횟수에 따른 변형량 변화(V) ····· 139
그림 3-99. Bowing test 반복횟수에 따른 변형량 변화(PL) ····· 140
그림 3-100. Bowing test 반복횟수에 따른 변형량 변화(PV) ····· 141
그림 3-101. Bowing test 반복횟수에 따른 두께 변화(Plain) ····· 142
그림 3-102. Bowing test 반복횟수에 따른 두께 변화(V) ····· 143
그림 3-103. Bowing test 반복횟수에 따른 두께 변화(PL) ····· 144
그림 3-104. Bowing test 반복횟수에 따른 두께 변화(PV) ····· 145
그림 3-105. Bowing test의 휨강도 시험결과(Plain) ····· 148
그림 3-106. Bowing test의 휨강도 시험결과(V) ····· 151
그림 3-107. Bowing test의 휨강도 시험결과(PL) ····· 154
그림 3-108. Bowing test의 휨강도 시험결과(PV) ····· 157
그림 3-109. 시험장치 ····· 159
그림 3-110. 설치 장면 ····· 159
그림 3-111. 휨강도 측정 ····· 159
그림 3-112. 질량 측정 ····· 159
그림 3-113. 동결융해시험 Cycle ····· 160
그림 3-114. 동결융해시험의 휨강도 시험결과(Plain) ····· 164
그림 3-115. 동결융해시험의 휨강도 시험결과(V) ····· 167
그림 3-116. 동결융해시험의 휨강도 시험 결과(PL) ····· 170
그림 3-117. 동결융해시험의 휨강도 시험결과(PV) ····· 173
그림 3-118. 온도 조건 변화 Cycle ····· 175
그림 3-119. 습도 조건 변화 Cycle ····· 175
그림 3-120. 동결융해 Cycle ····· 175
그림 3-121. 온도 조건 변화에 따른 열전도율 변화 ····· 178

그림 3-122. 습도 조건 변화에 따른 열전도율 변화 ····· 178
그림 3-123. 동경융해 조건에 따른 열전도율 변화 ····· 178
그림 3-124. 열관류율의 실험장비(교정 열상자법) ····· 179
그림 3-125. 열관류율 시험의 설치 장면 ····· 180
그림 3-126. 내화시험기 설계도 ····· 183
그림 3-127. 내화시험기 외관 ····· 183
그림 3-128. 열전대 설취 위치 및 번호 ····· 184
그림 3-129. 35T 플레인 내화시험 결과 ····· 185
그림 3-130. 35T 시제품 단판 내화시험 결과 ····· 186
그림 3-131. 50T 플레인 단판 내화시험 결과 ····· 187
그림 3-132. 압출패널 단면형상(600×50×3000㎜) ····· 188
그림 3-133. 내화시험 개요 및 설치장면(500×500×50㎜) ····· 189
그림 3-134. 내화시험 개요 및 설치장면(600×3000×50㎜) ····· 189
그림 3-135. 내화시험시 노 내 온도 ····· 190
그림 3-136. 내화시험시 노 내 압력 ····· 190
그림 3-137. 내화시험에 대한 비가열면의 온도(Plain) ····· 192
그림 3-138. 내화시험후 가열면 및 비가열면(Plain) ····· 192
그림 3-139. 내화시험에 대한 비가열면의 온도(V) ····· 192
그림 3-140. 내화시험후 가열면 및 비가열면(V) ····· 193
그림 3-141. 내화시험에 대한 비가열면의 온도(PL) ····· 193
그림 3-142. 내화시험후 가열면 및 비가열면(PL) ····· 193
그림 3-143. 내화시험에 대한 비가열면의 온도(PV) ····· 194
그림 3-144. 내화시험후 가열면 및 비가열면(PV) ····· 194
그림 3-145. 내화시험 전/후 비가열면(Plain) ····· 196
그림 3-146. 내화시험 전/후 비가열면(V) ····· 197
그림 3-147. 내화시험 전/후 비가열면(PL) ····· 198
그림 3-148. 내화시험 전/후 비가열면(PV) ····· 199

그림 3-149. 내화시험에 대한 비가열면의 온도(Plain) ····· 200
그림 3-150. 내화시험에 대한 비가열면의 온도(V) ····· 200
그림 3-151. 내화시험에 대한 비가열면의 온도(PL) ····· 201
그림 3-152. 내화시험에 대한 비가열면의 온도(PV) ····· 201
그림 3-153. 시험장치의 개요 ····· 205
그림 3-154. 시험체 ····· 205
그림 3-155. 시험체 설치 장면 ····· 205
그림 3-156. 외부 조건 전처리 사이클 ····· 205
그림 3-157. 환경조건 노출 후 시험체 ····· 205
그림 3-158. 부착강도 시험 ····· 205
그림 3-159. 온도 환경변화에 따른 길이변화 특성 ····· 207
그림 3-160. 습도 환경변화에 따른 길이변화 특성 ····· 208
그림 3-161. 환경변화에 따른 파괴하중의 변화 ····· 212
그림 3-162. 모의시험체의 단열온도 측정 ····· 215
그림 3-163. 20℃유지 전력량 측정 기구 및 위치 ····· 216
그림 3-164. 모의시험체의 단열온도 특성 - 실내(공기) ····· 218
그림 3-165. 모의시험체의 단열온도 특성 - 실내(슬라브 표면) ····· 219
그림 3-166. 모의시험체의 단열온도 특성 - 실내(벽체 표면) ····· 219
그림 3-167. 모의시험체의 20℃ 유지시 사용 전력량 ····· 220
그림 3-168. 모의시험체의 열화상 사진 ····· 220
그림 3-169. 비용ㆍ편익분석의 연구절차 ····· 222
그림 3-170. 계층화 구상도 ····· 226
그림 3-171. 대분류 항목 중요도 ····· 229
그림 3-172. 비용측면의 중분류 항목 중요도 ····· 229
그림 3-173. 편익측면의 중분류 항목 중요도 ····· 230
그림 3-174. 대안에 대한 비용/편익 측면의 중요도 ····· 230
그림 3-175. 대안선정 ····· 232

그림 3-176. 단열외벽 시스템 종류별 초기공사비 ····· 238
그림 3-177. 단열외벽시스템 종류별 유지관리비용 ····· 240
그림 3-178. 단열외벽 시스템 종류별 해체·폐기비용 ····· 241
그림 3-179. 단열외벽시스템 종류별 Life Cycle 총 비용 결과 ····· 242
그림 3-180. 단열 외벽 시스템 별 설치 공정 ····· 244
그림 3-181. 하부 슬래브 콘크리트 타설 ····· 244
그림 3-182. 외부 갱폼 설치 ····· 245
그림 3-183. 외부 갱폼 설치 ····· 246
그림 3-184. 내부 거푸집(유로폼) 설치 ····· 247
그림 3-185. 콘크리트 타설 ····· 248
그림 3-186. 아파트 외벽 단열 시공 ····· 249
그림 3-187. 하부 슬래브 콘크리트 타설 ····· 250
그림 3-188. 단열 패널 부착 및 거푸집 설치 ····· 251
그림 3-189. 철근배근 ····· 252
그림 3-190. 내부 거푸집(유로폼) 설치 ····· 253
그림 3-191. 콘크리트 타설 ····· 254
그림 3-192. 페인트 도장 마감 ····· 255
그림 3-193. 공사비 비교 ····· 257
그림 3-194. 대상 현장 모습 ····· 258
그림 3-195. 동별 공사비 ····· 260
그림 6-1. 일본 인슐레이션(주) 정보 ····· 277
그림 6-2. 일본 인슐레이션(주) 회의 및 공장견학 ····· 278
그림 6-3. 사용재료 및 내부공극형성 현미경 사진 ····· 278
그림 6-4. 굴곡 등의 다양한 형태로 건식시공 가능 ····· 279
그림 6-5. 내화시험 전후 시료의 형상 ····· 280
그림 6-6. 후지화성(주) 정보 ····· 281
그림 6-7. 후지화성(주) 회의 및 공장견학 ····· 281

그림 6-8. 발포성형을 통한 무기단열재 제작 ····· 282
그림 6-9. 생산제품 샘플 및 Mock-up 시험체 ····· 282
그림 6-10. 단열소재 및 단열공법 전시 현황 ····· 284
그림 6-11. 바커 교육 센터내의 기술 교육 ····· 285
그림 6-12. 인스부르크 패스브 하우스 아파트 시공 사례 ····· 286
그림 6-13. 부르크 하우젠 바커 기숙사의 패시브 하우스 시공 사례 ··· 286
그림 6-14. 단열재 관련 한일 기술정보 교류 ····· 287

Contents

Chapter 1: Overview of R&D task ····· 1

Paragraph 1: Necessity of R&D task ····· 1

1. Necessity of apartment insulation outer wall system ····· 1

2. Necessity of development of inorganic insulation panel ····· 2

3. Necessity of structural integration of apartment outer insulation system ····· 3

4. Necessity of energy saving of building ····· 4

Paragraph 2: Contents and scope of R&D ····· 7

1. Final target of R&D ····· 7

2. Contents of R&D ····· 9

Chapter 2: Domestic/Overseas technical development status ···· 13

Paragraph 1: Industry Trends related to heat insulator ····· 13

1. Domestic industry trends related to heat insulator ····· 13

2. Overseas market trends related to heat insulator ····· 17

Paragraph 2: Industry Trends related to outside insulation system ····· 21

1. Domestic/overseas engineering trends related to outside insulation system ····· 21

2. Technical status of form integrated insulation wall system · 25

Paragraph 3: Domestic/overseas technical trends related to heat reflective paint ····· 28

Chapter 3: Contents and results of resear ch performance ····· 31
Paragraph 1: Necessity of R&D ····· 31
1. Overview of R&D ····· 31
Paragraph 2: Development and optimization of insulation and high reflectance paint ····· 33
1. Mechanism analysis of insulation paint ····· 33
2. Selection of basic raw material for paint and drawing of mixture ratio ····· 37
3. Insulation of paint, selection of raw material with high reflectance performance and drawing of mixture ratio ····· 38
4. High performance insulation for inorganic insulation panel and review of high reflectance paint ····· 67
Paragraph 3: Review of properties of source material composing insulation panel ····· 73
1. Analysis and evaluation of basic data for source material ··· 73
2. Evaluation of properties of source material for internal wall insulation panel ····· 98
Paragraph 4: Review of properties of inorganic extruding insulation panel ····· 111
1. Review of basic properties of extruding insulation panel ····· 111
2. Review of properties of extruding insulation panel ····· 126
Paragraph 5: Review of properties of integration relative to environmental change ····· 203
Paragraph 6: Review of simulating structure of insulation outer wall ····· 213

Paragraph 7: Analysis of economic feasibility for inorganic insulation panel ····· 221
1. Analysis of benefit/convenience for extrusion moulding ceramic panel ····· 221
2. Evaluation of economic feasibility for extrusion moulding ceramic as per LCC analysis ····· 232
3. Analysis of work process ····· 243
Paragraph 8: Conclusion ····· 263

Chapter 4: Target attainment degree and contribution degree to related field ····· 267
Paragraph 1: Attainment degree of R&D target ····· 267
Paragraph 2: contribution degree to related field ····· 270

Chapter 5: Utilization plan of R&D result ····· 273

Chapter 6: Overseas scientific and technical information collected during R&D process ····· 277
Paragraph 1: Grasping of technology related to insulation outer wall material ····· 277
1. Survey of inorganic insulation material manufacturer for construction and application site ····· 277
2. Participation in Passive House construction material exhibition ····· 283
3. Participation in curriculum for evaluation method of

performance of outside insulation system ····· 285
4. Case study of outside insulation of Burghausen area and application of passive house site ····· 285
5. International technical intelligence exchange related to insulation outer wall material ····· 287

Chapter 7: Reference ····· 289

Contents of Table

Table 1-1. Energy consumption of housing ····· 6
Table 2-1. Production status of insulator ····· 14
Table 2-2. The number of domestic insulator manufacturers ····· 16
Table 2-3. Scale and status of domestic production for EPS ····· 16
Table 2-4. Domestic production scale of other insulator ····· 16
Table 2-5. Market breadth of insulator in Japan ····· 18
Table 2-6. Status of production and sales for insulation/soundproof material in China (2007) ····· 19
Table 2-7. Status of production and sales for metal insulation panel per year ····· 19
Table 2-8. Performance comparison on heat insulation property ····· 22
Table 2-9. Technical status of construction method for domestic/ overseas major outside insulation system ····· 23
Table 2-10. Status of domestic major apartment house using outside insulation ····· 24
Table 2-11. Countermeasure status per company ····· 28
Table 2-12. Shipments of insulation paint in Japan ····· 29
Table 2-13. Major manufacturers of insulation paint in Japan ····· 29
Table 2-14. Price trend of insulation paint market in Japan ····· 29
Table 3-1. S.A-1207 properties ····· 37
Table 3-2. Basic properties of SOLARFLAIR 9875(MERCK) ····· 38
Table 3-3. Basic properties of VS 5500 GLASS BUBBLE(3M) ····· 38
Table 3-4. Basic properties of SHINEDECOR 3500 ····· 39
Table 3-5. Contents of performance test per kind of insulation paint ····· 39

Table 3-6. Kind of metal per C.I.P paint color ····· 40
Table 3-7. Comparison test between near-infrared ray reflectance coloring pigment and existing inorganic coloring pigment ····· 40
Table 3-8. Extra coefficient for calculation of solar reflectance ····· 42
Table 3-9. Test item and target properties ····· 45
Table 3-10. solar reflectance (TSR) value per transposition content to TiO_2 per insulator ····· 48
Table 3-11. Change of surface temperature per TiO_2 transposition content of insulator ····· 51
Table 3-12. Change of surface temperature per content of insulator ····· 53
Table 3-13. TSR value per pigment type and content ····· 57
Table 3-14. Average value of internal/external temperature per pigment type and content ····· 62
Table 3-15. Evaluation result of KS properties ····· 66
Table 3-16. Pigment type and surface picture ····· 68
Table 3-17. Targeted measurement result of color-difference meter for promotion and outdoor exposure test ····· 72
Table 3-18. Test relative to individual use of original material for outer wall insulation panel (Series-1) ····· 76
Table 3-19. Test relative to mixing use of original material for outer wall insulation panel (Series-2) ····· 77
Table 3-20. Mixture of basic characteristics of original material for outer wall insulation panel ····· 78
Table 3-21. Bending strength test (Series-1) ····· 86
Table 3-22. Bending strength test (Series-2) ····· 86

Table 3-23. Compressive strength test result (Series-1) ····· 89
Table 3-24. Compressive strength test result (Series-2) ····· 89
Table 3-25. Thermal conductivity evaluation result (Series-1) ····· 92
Table 3-26. Thermal conductivity test result (Series-2) ····· 92
Table 3-27. Test relative to use of original material for internal wall insulation panel ····· 97
Table 3-28. Mixture relative to use of original material for internal wall insulation panel ····· 98
Table 3-29. Bending strength evaluation result ····· 101
Table 3-30. Compressive strength evaluation result ····· 102
Table 3-31. Overview of test for internal wall insulation panel ···· 105
Table 3-32. Mixture of internal wall compressive insulation panel 105
Table 3-33. Evaluation result of dynamic characteristics ····· 107
Table 3-34. Emission of far infrared radiation ····· 109
Table 3-35. Production test of trial goods of external wall insulation panel ····· 112
Table 3-36. Standards for KS F 4735 「extrusion concrete panel」 112
Table 3-37. Data of extrusion moulder ····· 113
Table 3-38. Bending strength test result ····· 118
Table 3-39. Density test result ····· 120
Table 3-40. Absorptance test result ····· 122
Table 3-41. Length change rate relative to water absorption ····· 124
Table 3-42. Overview of test for compressive insulation panel ····· 126
Table 3-43. Standards for KS F 4735 「extrusion concrete panel」 ····· 126
Table 3-44. Mixture of external wall insulation panel ····· 127
Table 3-45. Test result of physical properties for trial goods of

external wall insulation panel ····· 130
Table 3-46. Production test of trial goods of external wall insulation panel ····· 132
Table 3-47. Bowing test result of extruding panel (Plain) ····· 138
Table 3-48. Bowing test result of extruding panel (V) ····· 139
Table 3-49. Bowing test result of extruding panel (PL) ····· 140
Table 3-50. Bowing test result of extruding panel (PV) ····· 141
Table 3-51. Thickness change relative to bowing test result of extruding panel (Plain) ····· 142
Table 3-52. Thickness change relative to bowing test result of extruding panel (V) ····· 143
Table 3-53. Thickness change relative to bowing test result of extruding panel (PL) ····· 144
Table 3-54. Thickness change relative to bowing test result of extruding panel (PV) ····· 145
Table 3-55. Bending strength test result before bowing test of extruding panel (Plain) ····· 146
Table 3-56. Bending strength test result after bowing test of extruding panel (Plain) ····· 147
Table 3-57. Bending strength test result before bowing test of extruding panel (V) ····· 149
Table 3-58. Bending strength test result after bowing test of extruding panel (V) ····· 150
Table 3-59. Bending strength test result before bowing test of extruding panel (PL) ····· 152
Table 3-60. Bending strength test result after bowing test of extruding panel (PL) ····· 153

Table 3-61. Bending strength test result before bowing test of extruding panel (PV) ····· 155
Table 3-62. Bending strength test result after bowing test of extruding panel (PV) ····· 156
Table 3-63. Overview of test for freezing and thawing test of extruding insulation panel ····· 158
Table 3-64. Bending strength test result before freezing and thawing test of extruding panel (Plain) ····· 162
Table 3-65. Bending strength test result after freezing and thawing test of extruding panel (Plain) ····· 163
Table 3-66. Bending strength test result before freezing and thawing test of extruding panel (V) ····· 165
Table 3-67. Bending strength test result after freezing and thawing test of extruding panel (V) ····· 166
Table 3-68. Bending strength test result before freezing and thawing test of extruding panel (PL) ····· 168
Table 3-69. Bending strength test result after freezing and thawing test of extruding panel (PL) ····· 169
Table 3-70. Bending strength test result before freezing and thawing test of extruding panel (PV) ····· 171
Table 3-71. Bending strength test result after freezing and thawing test of extruding panel (PV) ····· 172
Table 3-72. Overview of test for thermal conduction rate of extruding panel ····· 174
Table 3-73. Thermal conductivity change of insulation panel for 50 cycle repetition of temperature condition ····· 176
Table 3-74. Thermal conductivity change of insulation panel for 50

cycle repetition of humidity condition ····· 177
Table 3-75. Thermal conductivity change of insulation panel for 50 cycle repetition of freezing and thawing ····· 177
Table 3-76. Outline of heat transmission coefficient test ····· 179
Table 3-77. Heat transmission coefficient test result ····· 181
Table 3-78. Data of each area ····· 182
Table 3-79. Cross sectional figure and use ····· 184
Table 3-80. Fire resistance test result of 35T Plain ····· 185
Table 3-81. Fire resistance test result of 35T test goods ····· 186
Table 3-82. Fire resistance test of 50T Plain ····· 187
Table 3-83. Production test of trial goods of external wall insulation panel ····· 188
Table 3-84. Fire resistance test result (500×500×50㎜) ····· 191
Table 3-85. Fire resistance test result (600×3000×50㎜) ····· 195
Table 3-86. Outline of test for extruding insulation panel ····· 203
Table 3-87. Bond strength and rupture phenomenon of extruding panel (Sound test specimen) ····· 209
Table 3-88. Bond strength and rupture phenomenon of extruding panel (After repetition of heat/cool 50 cycle) ····· 210
Table 3-89. Bond strength and rupture phenomenon of extruding panel (After repetition of dry/wet 50 cycle) ····· 211
Table 3-90. Details of insulation system of simulation test specimen ····· 214
Table 3-91. Characteristics of insulation temperature of simulation test specimen (Indoor temperature) ····· 218
Table 3-92. Preparation of criticality of questionnaire for AHP analysis ····· 223

Table 3-93. Evaluation standards for cost aspect of external panel system ····· 224
Table 3-94. Evaluation standards for convenience aspect of external panel system ····· 225
Table 3-95. Criticality weight in cost aspect ····· 228
Table 3-96. Criticality weight in convenience aspect ····· 228
Table 3-97. Analysis result of cost/convenience ····· 228
Table 3-98. Actual discount rate in overseas ····· 233
Table 3-99. Actual discount rate in domestic research ····· 233
Table 3-100. Change trend of annual actual discount rate ····· 234
Table 3-101. Repair cycle and repair rate of insulation external wall system ····· 235
Table 3-102. Composition item of LCC analysis ····· 235
Table 3-103. Construction cost of extrusion moulding ceramic panel system ····· 236
Table 3-104. Construction cost of metal panel system ····· 237
Table 3-105. Construction cost of stone panel system ····· 237
Table 3-106. Initial investment cost per insulation external wall system ····· 238
Table 3-107. Repair/replacement cost relative to repair and replacement cycle per kind of insulation external wall system ····· 239
Table 3-108. Repair/replacement cost of per kind of insulation external wall system ····· 239
Table 3-109. Disassembly/disuse cost of insulation external wall system ····· 240
Table 3-110. LCC cost analysis per kind of insulation external wall

system ····· 242
Table 3-111. Construction cost of moulding work (Gang form) ····· 245
Table 3-112. Construction cost of steel processing and assembly ·· 246
Table 3-113. Construction cost of moulding work (Euro form) ····· 247
Table 3-114. Construction cost of external wall insulation work ··· 249
Table 3-115. Construction cost of moulding work (Gang form) ····· 251
Table 3-116. Construction cost of steel processing and assembly ·· 252
Table 3-117. Construction cost of moulding work (Euro form) ····· 253
Table 3-118. Construction cost of painting work ····· 255
Table 3-119. Construction cost per work process ····· 256
Table 3-120. Outline of Construction ····· 259
Table 3-121. Calculation for horizontal Area of APT ····· 259
Table 3-122. Construction cost of APT ····· 259
Table 4-1. Achievement Ratio for planned goal of R&D ····· 267

Table of Pictures

Picture 1-1. Firing case from flammable insulator ····· 3
Picture 1-2. Defect case of apartment external wall insulation system ····· 4
Picture 1-3. Energy consumption and CO_2 emission status ····· 5
Picture 1-4. CO_2 emission status per sector ····· 5
Picture 1-5. Outline of R&D ····· 7
Picture 2-1. Domestic market trends of insulator ····· 13
Picture 2-2. The case of heat isolating for apartment wall ····· 21
Picture 2-3. The case of flaw for outside insulation system ····· 25
Picture 2-4. Outer wall insulation of Fujikaseikogyo.Inc ····· 26
Picture 2-5. Outer wall insulation of Insulation .Inc on Japan ····· 26
Picture 2-6. Power wall construction method of BRC co., Ltd on Japan ····· 27
Picture 2-7. ISO block of ISORAST co., Ltd in Germany ····· 27
Picture 3-1. Transmission principle of heat ····· 33
Picture 3-2. Spectral solar radiation relative to sunlight wavelength ····· 34
Picture 3-3. Principle of solar heat high-reflectance paint ····· 35
Picture 3-4. Ceramic hollow pigment in insulation high-reflectance paint (SEM) ····· 36
Picture 3-5. Production of proof piece ····· 41
Picture 3-6. Dryness of proof piece ····· 41
Picture 3-7. Cutting of proof piece ····· 41
Picture 3-8. Solar radiation reflectance tester ····· 43

Picture 3-9. Measurement of solar radiation reflectance rate ····· 43
Picture 3-10. Mimetic diagram of insulation performance test ····· 44
Picture 3-11. Surface radiation rate tester ····· 44
Picture 3-12. Measurement of surface radiation rate ····· 44
Picture 3-13. TQC DATA LOGGER ····· 44
Picture 3-14. Solar radiation rate graph per insulator ····· 46
Picture 3-15. Solar radiation rate graph per insulator TiO_2 transposition content ····· 48
Picture 3-16. Change of surface temperature per insulator ····· 49
Picture 3-17. Change of internal temperature per insulator ····· 50
Picture 3-18. Change of surface temperature per insulator TiO_2 transposition content ····· 51
Picture 3-19. Change of internal temperature per insulator content ····· 52
Picture 3-20. Comparison of solar radiation rate per pigment type 55
Picture 3-21. Comparison of solar radiation rate per pigment type and content ····· 56
Picture 3-22. Comparison of insulation performance per pigment type - Comparison of surface temperature ····· 58
Picture 3-23. Comparison of insulation performance per pigment type - Comparison of internal temperature ····· 59
Picture 3-24. Change of surface temperature per alternative content to pigment type and TIO_2 ····· 60
Picture 3-25. Change of internal temperature per pigment type and content ····· 61
Picture 3-26. Comparison of solar radiation rate with product of other company ····· 63

Picture 3-27. Change of surface temperature per product ····· 64
Picture 3-28. Change of internal temperature per product ····· 65
Picture 3-29. Weathering color retention tester ····· 69
Picture 3-30. Installation appearance of test specimen of weathering color retention ····· 69
Picture 3-31. Outdoor exposure test specimen bracket ····· 70
Picture 3-32. Installation appearance of outdoor exposure test specimen ····· 70
Picture 3-33. L*a*b* color space and color-difference meter ····· 71
Picture 3-34. Basis materials of extrusion cement panels ····· 73
Picture 3-35. Insulator for making extrusion cement panels ····· 74
Picture 3-36. Classification property for ceramic hollow bead ····· 75
Picture 3-37. Mortar mixture ····· 79
Picture 3-38. Mortar vibrating compactor ····· 80
Picture 3-39. Curing plan of test specimen ····· 81
Picture 3-40. Curing temperature and hour ····· 81
Picture 3-41. Curing box ····· 82
Picture 3-42. Measurement of bending strength ····· 83
Picture 3-43. Measurement of compressive strength ····· 84
Picture 3-44. Measurement of Thermal conductivity ····· 85
Picture 3-45. Bending strength relative to transposition rate of insulator (Series 1) ····· 87
Picture 3-46. Bending strength relative to transposition rate of EPS (Series 1) ····· 87
Picture 3-47. Bending strength relative to mixing of insulator (Series 2) ····· 88
Picture 3-48. Compressive strength relative to transposition rate of

insulator (Series 1) ····· 90
Picture 3-49. Compressive strength relative to transposition rate of EPS (Series 1) ····· 90
Picture 3-50. Compressive strength relative to mixing of insulator (Series 2) ····· 91
Picture 3-51. Thermal conductivity relative to transposition rate of insulator (Series 1) ····· 93
Picture 3-52. Thermal conductivity relative to transposition rate of EPS (Series 1) ····· 93
Picture 3-53. Thermal conductivity relative to mixing of insulator (Series 2) ····· 94
Picture 3-54. Other insulator ····· 95
Picture 3-55. Comparison of other insulator and thermal conductivity ····· 96
Picture 3-56. Structural drawing of infrared ray emission measuring instrument (FT-IR) ····· 99
Picture 3-57. FT-IR measuring instrument ····· 99
Picture 3-58. Bending strength relative to transposition rate of red clay ····· 101
Picture 3-59. Compressive strength relative to transposition rate of red clay ····· 102
Picture 3-60. Calculation result of radiation energy quantity ····· 103
Picture 3-61. Anti-fungal test ····· 104
Picture 3-62. Site production work process ····· 106
Picture 3-63. Bending strength relative to increase rate of red clay ····· 107
Picture 3-64. Compressive strength relative to increase rate of red

clay ····· 108
Picture 3-65. Absorptance relative to increase rate of red clay ···· 108
Picture 3-66. Density relative to increase rate of red clay ····· 108
Picture 3-67. Calculation result of radiation energy quantity ····· 109
Picture 3-68. Cross-section of trial goods of external wall insulation panel ····· 112
Picture 3-69. Extrusion moulder ····· 113
Picture 3-70. Dry-type premix of components ····· 113
Picture 3-71. Wet-type mixture of insulation panel components ····· 113
Picture 3-72. insulation panel extrusion moulding ····· 113
Picture 3-73. Curing temperature and hour ····· 114
Picture 3-74. High-temperature steam curing device ····· 114
Picture 3-75. Execution of high-compressive steam curing ····· 114
Picture 3-76. Measurement of hollow panel bending strength ····· 115
Picture 3-77. Underwater soak ····· 116
Picture 3-78. Constant-weight drying ····· 116
Picture 3-79. Measurement of mass ····· 116
Picture 3-80. Angle lining device ····· 117
Picture 3-81. Comparator ····· 117
Picture 3-82. Bending strength relative to kind and mixing of square bar-type of insulator ····· 119
Picture 3-83. Bending strength relative to kind and mixing of hollow panel-type of insulator ····· 119
Picture 3-84. Density relative to kind and mixing of insulator ····· 121
Picture 3-85. Absorptance relative to kind and mixing of insulator ····· 123
Picture 3-86. Length changing rate relative to kind and mixing of

insulator ····· 125
Picture 3-87. Impact test ····· 128
Picture 3-88. Bending strength relative to increase of transposition quantity ····· 130
Picture 3-89. Density relative to increase of transposition quantity ····· 131
Picture 3-90. Absorptance relative to increase of transposition quantity of insulator ····· 131
Picture 3-91. Outline of test equipment ····· 134
Picture 3-92. Test equipment ····· 134
Picture 3-93. Measuring device ····· 134
Picture 3-94. Installation scene of test specimen ····· 134
Picture 3-95. Bowing test cycle ····· 134
Picture 3-96. Test specimen of bending strength ····· 134
Picture 3-97. Change of transformation quantity relative to number of repetitions for bowing test (Plain) ····· 138
Picture 3-98. Change of transformation quantity relative to number of repetitions for bowing test (V) ····· 139
Picture 3-99. Change of transformation quantity relative to number of repetitions for bowing test (PL) ····· 140
Picture 3-100. Change of transformation quantity relative to number of repetitions for bowing test (PV) ····· 141
Picture 3-101. Change of thickness relative to number of repetitions for bowing test Bowing test (Plain) ····· 142
Picture 3-102. Change of thickness relative to number of repetitions for bowing test Bowing test (V) ····· 143
Picture 3-103. Change of thickness relative to number of repetitions

for bowing test Bowing test (PL) ····· 144
Picture 3-104. Change of thickness relative to number of repetitions for bowing test Bowing test (PV) ····· 145
Picture 3-105. Bending strength test result of bowing test (Plain) 148
Picture 3-106. Bending strength test result of bowing test (V) ····· 151
Picture 3-107. Bending strength test result of bowing test (PL) ··· 154
Picture 3-108. Bending strength test result of bowing test (PV) ··· 157
Picture 3-109. Test device ····· 159
Picture 3-110. Installation scene ····· 159
Picture 3-111. Measurement of bending strength ····· 159
Picture 3-112. Measurement of mass ····· 159
Picture 3-113. Freezing and thawing test cycle ····· 160
Picture 3-114. Bending strength test result of freezing and thawing test (Plain) ····· 164
Picture 3-115. Bending strength test result of freezing and thawing test (V) ····· 167
Picture 3-116. Bending strength test result of freezing and thawing test (PL) ····· 170
Picture 3-117. Bending strength test result of freezing and thawing test (PV) ····· 173
Picture 3-118. Temperature condition changing cycle ····· 175
Picture 3-119. Humidity condition changing cycle ····· 175
Picture 3-120. Freezing and thawing cycle ····· 175
Picture 3-121. Change of thermal conductivity relative to change of temperature condition ····· 178
Picture 3-122. Change of thermal conductivity relative to change of humidity condition ····· 178

Picture 3-123. Change of thermal conductivity relative to change of freezing and thawing condition ····· 178
Picture 3-124. Test device of heat transmission coefficient (Calibrate hot box method) ····· 179
Picture 3-125. Installation scene of heat transmission coefficient test ····· 180
Picture 3-126. Design drawing of fireproof tester ····· 183
Picture 3-127. Outer appearance of fireproof tester ····· 183
Picture 3-128. Installation location and number of thermo couple 184
Picture 3-129. Fireproof test result of 35T(Plain) ····· 185
Picture 3-130. Fireproof test result of 35T(Test end-plate) ····· 186
Picture 3-131. Fireproof test result of 50T(Plain end-plate) ····· 187
Picture 3-132. Cross-sectional figure of compressive panel (600×50×3000㎜) ····· 188
Picture 3-133. Outline of fireproof test and installation scene (500×500×50㎜) ····· 189
Picture 3-134. Outline of fireproof test and installation scene (600×3000×50 ㎜) ····· 189
Picture 3-135. Temperature in furnace during fireproof test ····· 190
Picture 3-136. Pressure in furnace during fireproof test ····· 190
Picture 3-137. Temperature of non-heated side for fireproof test (Plain) ····· 192
Picture 3-138. Temperature of non-heated side after fireproof test (Plain) ····· 192
Picture 3-139. Temperature of non-heated side for fireproof test (V) ····· 192
Picture 3-140. Temperature of non-heated side after fireproof test

(V) ····· 193
Picture 3-141. Temperature of non-heated side for fireproof test (PL) ····· 193
Picture 3-142. Temperature of non-heated side after fireproof test (PL) ····· 193
Picture 3-143. Temperature of non-heated side for fireproof test (PV) ····· 194
Picture 3-144. Heated side and non-heated side after fireproof test (PV) ····· 194
Picture 3-145. Non-heated side before/after fireproof test (Plain) 196
Picture 3-146. Non-heated side before/after fireproof test (V) ····· 197
Picture 3-147. Non-heated side before/after fireproof test (PL) ····· 198
Picture 3-148. Non-heated side before/after fireproof test (PV) ····· 199
Picture 3-149. Non-heated side for fireproof test (Plain) ····· 200
Picture 3-150. Non-heated side for fireproof test (V) ····· 200
Picture 3-151. Non-heated side for fireproof test (PL) ····· 201
Picture 3-152. Non-heated side for fireproof test (PV) ····· 201
Picture 3-153. Outline of test device ····· 205
Picture 3-154. Test specimen ····· 205
Picture 3-155. Installation scene of test specimen ····· 205
Picture 3-156. Outer condition pre-treatment cycle ····· 205
Picture 3-157. Test specimen after exposure on environmental condition ····· 205
Picture 3-158. Adherence strength test ····· 205
Picture 3-159. Characteristics of length change relative to change of temperature environment ····· 207
Picture 3-160. Characteristics of length change relative to change of

humidity environment ····· 208
Picture 3-161. Change of destruction load relative to environmental change ····· 212
Picture 3-162. Measuring insulation temperature of mock-up specimen ····· 215
Picture 3-163. Device for measuring wattage on 20℃ and location ····· 216
Picture 3-164. Characteristics of insulation temperature of mock-up specimen - Indoor (Air) ····· 218
Picture 3-165. Characteristics of insulation temperature of mock-up specimen - Indoor (Slab surface) ····· 219
Picture 3-166. Characteristics of insulation temperature of mock-up specimen - Indoor (Wall surface) ····· 219
Picture 3-167. Electric power consumption on 20℃ of mock-up specimen ····· 220
Picture 3-168. Thermal burn of mock-up specimen ····· 220
Picture 3-169. Research procedure of cost/convenience analysis ··· 226
Picture 3-170. Stratified conceptional plan ····· 226
Picture 3-171. Importance of mass-classification item ····· 229
Picture 3-172. Importance of middle-classification item in cost aspect ····· 229
Picture 3-173. Importance of middle-classification item in convenience aspect ····· 230
Picture 3-174. Importance of cost/convenience aspect for alternative ····· 230
Picture 3-175. Selection of alternative ····· 232
Picture 3-176. Initial construction cost per insulation external wall

system type ····· 238
Picture 3-177. Maintenance cost per insulation external wall system type ····· 240
Picture 3-178. Breakup/disuse cost per insulation external wall system type ····· 241
Picture 3-179. Life cycle total cost result per insulation external wall system type ····· 242
Picture 3-180. Installation process per insulation external wall system type ····· 244
Picture 3-181. Substructure slab concret work ····· 244
Picture 3-182. Installation of external gang form ····· 245
Picture 3-183. Installation of external gang form ····· 246
Picture 3-184. Installation of internal mould (Euro form) ····· 247
Picture 3-185. Concret work ····· 248
Picture 3-186. Insulation work for external wall of apartment ···· 249
Picture 3-187. Substructure slab concret work ····· 250
Picture 3-188. Attachment of insulation panel and mould ····· 251
Picture 3-189. Bar arrangement ····· 252
Picture 3-190. Installation of inner mould (Euro form) ····· 253
Picture 3-191. Concreting work ····· 254
Picture 3-192. Painting finish ····· 255
Picture 3-193. Comparison of construction cost ····· 257
Picture 3-193. Picture of construction site ····· 258
Picture 3-193. Construction cost of APT ····· 260
Picture 6-1. Information of Insulation co., Ltd on japan ····· 277
Picture 6-2. Meeting and Field trip of Insulation co., Ltd on japan ····· 278

Picture 6-3. Using Materials and Photomicrograph ····· 278
Picture 6-4. Construction ability of various shapes ····· 279
Picture 6-5. Form of test speciment for fire-resistance test ····· 280
Picture 6-6. Information of Fujikaseikogyo.Inc ····· 281
Picture 6-7. Meeting and Field trip of Fujikaseikogyo.Inc ····· 281
Picture 6-8. Manufacture of inorganic insulation through foaming ····· 282
Picture 6-9. Sample of manufactured goods and Mock-up test speciment ····· 282
Picture 6-10. Exhibition for insulation material and insulation method ····· 284
Picture 6-11. Technical training of Barker education center ····· 285
Picture 6-12. Construction example of Innsbruck Passive House apartment ····· 286
Picture 6-13. Construction example of passive house for Burghausen Barker dormitory ····· 278
Picture 6-14. Korea-Japan technical intelligence exchange related to insulation material ····· 278

제 1 장
연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 필요성

1. 아파트 단열 외벽 시스템의 필요

우리나라는 부존자원의 부족으로 에너지 자원의 대부분을 수입에 의존하고 있다. 한편, 건물부문의 에너지소비량은 국가 총에너지 소비량의 약 25%를 차지하며, 연간 약 5조원의 에너지 비용이 소비되고 있어 적절 에너지 관리 방법을 통한 에너지 소비 감축이 시급한 실정이다.

건축물의 에너지소비 절약을 위해서는 건물외피 단열을 통한 열손실 저감이 가장 기본적이고 경제적인 대안으로 선진 각국은 물론 우리나라도 지역별, 건물 부위별 단열기준의 의무화를 통해 에너지 절약을 도모하고 있다. 아울러, 최근에는“그린홈 100만호 보급사업” 등 에너지 절약을 더욱 극대화하기 위한 정책 및 이를 추진하기 위한 세부전략으로 건물의 단열 및 기밀성능을 더욱 강화하는 법적 기준이 마련되고 있다.

건축물에서 냉난방 에너지 손실은 보통 창호, 외벽, 지붕 등의 외피를 통해 발생하기 때문에“고효율 에너지기자재”등 친환경, 고효율 외피시스템에 대한 활발한 연구 및 다양한 제품이 생산 보급되고 있다.

한편, 국내 주거 건축물의 유형을 분류해 보면 50%이상이 공동주택이며, 새로이 공급되는 주택의 약 90%가 공동주택(아파트)이다. 이러한 실정을 고려해 볼 때 아파트 외피시스템에 대한 성능향상을 통해 열손실을 최소한 할 수 있는 방안이 매우 중요하다.

국내 공동주택의 창호의 경우 단열성이 높은 복층유리, 로이코팅 유리 및 일사조절 시스템 등 다양한 창호 시스템이 개발 적용되고 있다. 반면, 벽체의 경우, 단열방식이 내단열 중심의 건물 단열시스템을 적용하고 있어 열교현상을 근본적으로 포함하고 있다.

내단열 공법은 일반적으로 벽체-벽체, 벽체-슬래브 이음 부분에서 단열 불연속 부위가 발생하기 때문에 열교현상에 의한 에너지 손실, 결로 등의 원인이 되고 있어 앞으로는 내단열 보다 외단열공법의 적용이 적극 검토되어져야 할 것이다. 특히, 바닥난방 배관이 인접하고 있는 측벽에서는 공급되는 온수의 열량이 열교부위를 통하여 외부로 손실되는 위험성을 가지고 있는데, 아파트 측벽이 대표적인 예라고 할 수 있다.

따라서, 아파트 외벽을 외단열 시스템으로 할 경우 내단열 시스템에서 흔히 발생하는 열교부위 발생을 피할수 있고, 철저한 시공법 및 시공관리가 병행된다면 단열성능이 상대적으로 우수할 수 있다.

2. 무기질계 단열패널 개발의 필요

건축용 단열재로 주로 사용되는 PS(폴리스틸렌), PU(폴리우레탄)계의 유기계 단열재는 경량성이면서 보온성이 우수하다는 장점을 가지고 있는 국내의 경우 70%이상이 이러한 단열재를 사용하고 있다.

그러나, 최근 단열기준 강화 및 화재 안전사고에 대한 인식이 제고 되면서 선진국과 같이 무기질계 단열재의 성장이 빠르게 진전되고 있으며, 최근에는 폴리에스터를 이용한 제품을 비롯해 지구 온난화 문제를 해결하기 위한 기후변화협약에 충실한 환경친화적 단열재와 같은 신제품 개발에 대한 요구가 거세지고 있다.

특히, 유기단열재를 사용한 건축물의 화재 사례가 끈이지 않고 발생함에 따라 화재안전성에 대한 문제가 지속적으로 제기 되고 있는데 그 대표적인 예로 1999년 씨랜드 청소년수련원 화재사고, 2008년 이천 냉동창고 화재사고, 2010년 부산 고층아파트 화재사고, 2010년 중국 상하이 고층 아파트 화재사건 등을 들 수 있다. 유기계 단열재의 경우 연소시 유독가스가 발생하고, 화재 확산이 급속히 이루어져 피해가 큰 것으로 보고되고 있다. 중국은 이 화재사건 발생으로 인해 60m 이상의 건축물에는 글라스울, 미네랄울 등의 A급으로 규정짓고 있는 무기단열재를 의무적으로 사용하도록 하고 있다.

이러한 문제점이 대두되면서 최근 유기계 단열재의 사용이 급감하고 있으며, 대체 단열재로서 그라스울, 미네랄울은 단열성과 난열성을 모두 만족하는 무기 단열

재 등의 사용이 증가하고 있다. 그러나, 이러한 단열재는 유리가루 등 분진으로 생산자 및 시공자에 피해가 우려되고 있으며, 흡수율이 높아 물과 자주 접할 경우 악취 등을 발생시킬 수 있고, 외단열 재료로는 사용이 부적합하다는 것이 일반적인 인식이다.



그림 1-1. 가연성 단열재에 의한 화재 사례

또한, 장기간 경과시 내구성이 저하되어 단열효과가 저하하고 균열 등이 발생하여 누수의 원인을 제공하는 등 외부의 충격에도 쉽게 파손되는 경향이 있다.

3. 아파트 외단열 시스템의 구조체 일체화 필요

국내 아파트의 경우 단열방법은 시공이 용이하고 공사비가 외단열 공법보다 상대적으로 저렴한 내단열 공법을 주로 적용하고 있는데, 이공법의 경우 슬라브-벽 이음 부분에서 단열 불연속 부위로 나타나 결로현상이 필연적으로 발생하게 된다. 따라서 아파트 내부의 냉난방 부하를 줄이기 위해서는 내단열 보다는 외단열공법의 적용이 적극 검토되어져야 할 필요가 있다.

이런한 배경 하에 국내 아파트의 경우도 외벽에 단열을 하는 외단열 시스템 적용 사례가 증가하고 있으며, 주로 사용되고 있는 외단열 공법은 건물의 외측에 비드법 단열재를 부착하고 마감하는 소위 드라이비트라는 외단열 공법이다.

그러나, 기존 드라이비트 외단열 시스템의 경우 벽체에서의 단열재 탈락, 단열재

의 부분적인 파손 및 성능저하, 표면 오염 등의 문제점이 대두되면서, 지난 수년간 국내에서는 부정적인 이미지로 단열공법으로서 그다지 인정을 받아오지는 못했다.

따라서, 이에 대한 해결 방안으로 콘크리트 타설시 외벽 단열 패널을 설치하여 구조물과 일체화 시키는 영구거푸집 개념의 단열 외벽 시스템을 제안할 수 있으며, 단열패널로서 제반성질을 만족한다면 앞으로 아파트 단열 외벽시스템으로서 활용 가능성이 있다.



그림 1-2. 아파트 외벽 단열 시스템의 하자사례

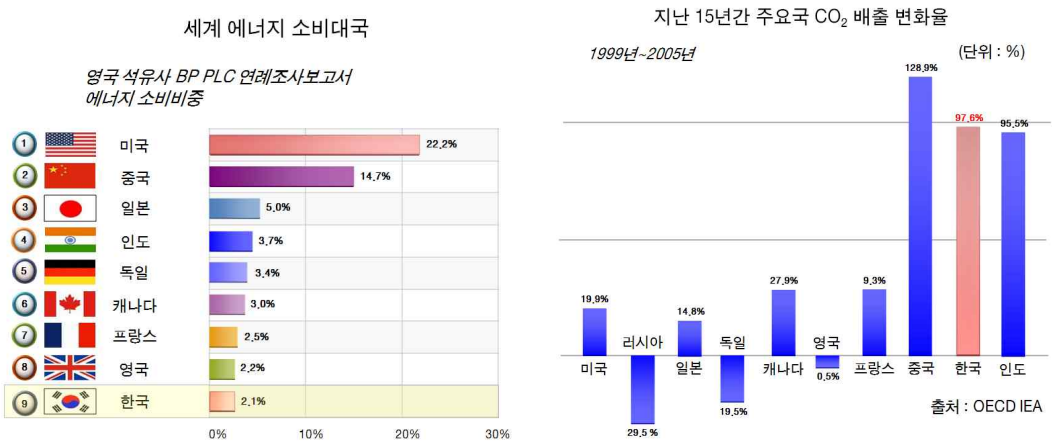
4. 건축물 에너지 절약의 필요

우리나라의 에너지 자립도는 약 3~4%에 불과하며, 년간 에너지 소비량은 2006년 세계 9위로 에너지소비 대국이다. 특히 최근 세계적 경제 불황으로 일부 전문기관들은 2008년의 유가가 1,2차 오일쇼크 당시와 비슷한 수준이라는 분석을 하고 있으며 고유가가 계속적으로 유지될 것이라고 전망하고 있다.

한편, 지구환경 보호를 위한 기후변화협약과 더불어 에너지 절약을 통한 온실가스 감축은 세계적인 추세가 되고 있으며, 특히 건축물과 관련하여 온실가스 배출량

이 약 20%를 차지하고 있고 주거용의 경우는 11%를 차지하고 있어 건축물에서의 에너지 절약은 경적 측면 이외에 온실가스 감축에서도 국가 산업경쟁력에 확보에 당면한 과제이다.

이와 같이 화석에너지의 고갈과 탄소배출권 거래에 따른 친환경 재생에너지에 대한 관심이 집중되면서 패시브하우스, 제로에너지 주택개발 등 에너지 환경이 급속도로 변화하고 있다.



(a) 각국의 에너지 소비 비중 (b) 각국의 CO_2 배출 변화 추이

그림 1-3. 에너지 소비 및 CO_2 배출 현황

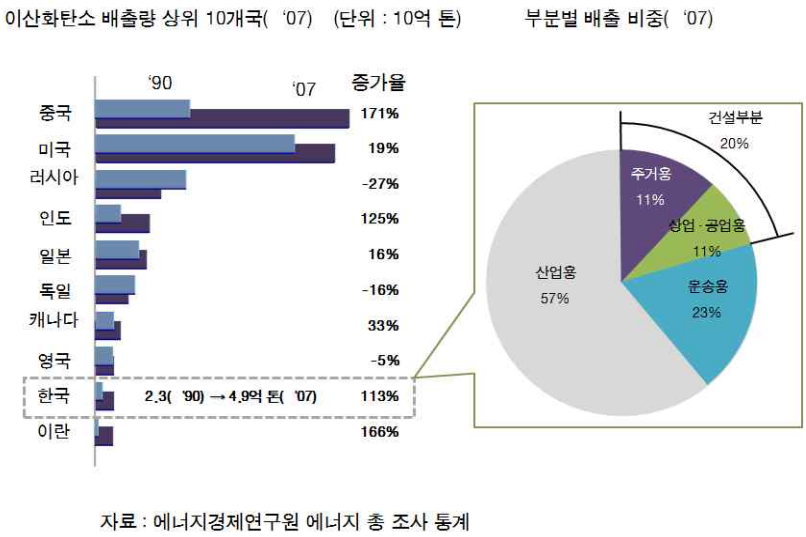


그림 1-4. 부문별 CO_2 배출 현황

에너지관리공단 자료에 의하면 우리나라는 국가 에너지의 24%가 건물에너지로 사용되고 있으며, 이중 18%가 주거용 건물 분야에서 소비되고 있다. 특히, 주택 및 빌딩 등의 냉난방에 의한 에너지 소비는 국내 총 에너지 소비의 약 7.8%를 차지하고 있으며 선진국과 비교해서도 총 에너지 사용량이 높은 수준에 있다. 따라서 공동주택 거주자의 건강과 쾌적성을 확보함과 동시에 에너지를 절약 할 수 있는 공동주택 외벽 단열 기술 개발 및 적용이 필요한 시점이다.

표 1-1 주택의 에너지 사용량

국가	건물 유형		총 에너지 사용량 ($MJ/m^2 \cdot year$)
한국	단독 주택		1,596
	공동 주택		785~894
	가정용 전체 평균		1,290
일본	단독 주택 및 공동 주택		500
독일	단독 주택	기존 건물	972
		'95년 단열강화 이후	420
		저에너지 건물	250
	공동 주택	기존 건물	576
		'95년 단열강화 이후	210
		저에너지 건물	170

자료 : 지식경제부, 건물의 에너지 효율 등급 평가기준 및 정책 개발에 관한 연구(2007)

제 2절 연구개발의 내용 및 범위

1. 연구개발 최종목표

기존의 외단열 공법은 주로 외벽 콘크리트를 타설하고 경화 후 시공하는 건식 공법이 대부분이다. 이러한 외단열공법은 건식공법임에도 불구하고 공사의 비효율성이 있었으며, 특히, 아파트가 고층화됨에 따라 기존 외단열 시공성에 대한 효율이 더욱 떨어질 것으로 예상된다. 또한, 외단열공법에 적용되는 단열재는 주로 유기계의 폴리스틸렌(스티로폼) 및 유무기 복합적층재을 적용함에 따라 화재에 취약하며, 특히, 장기간 경과 시 내구성이 저하되어 단열효과가 저하하고 균열 등이 발생하여 누수의 원인을 제공하는 등 외부의 충격에도 쉽게 파손되는 경향이 있다.

이에 본 기술개발은 콘크리트 타설시 거푸집 역할이 가능한 무기계의 콘크리트 일체형 고성능 단열 패널을 개발하고 또한 외단열 패널을 효율적으로 시공할 수 있는 시공 시스템을 개발하고자 하는 것이며, 이를 위해 설정한 최종목표는 다음과 같다.

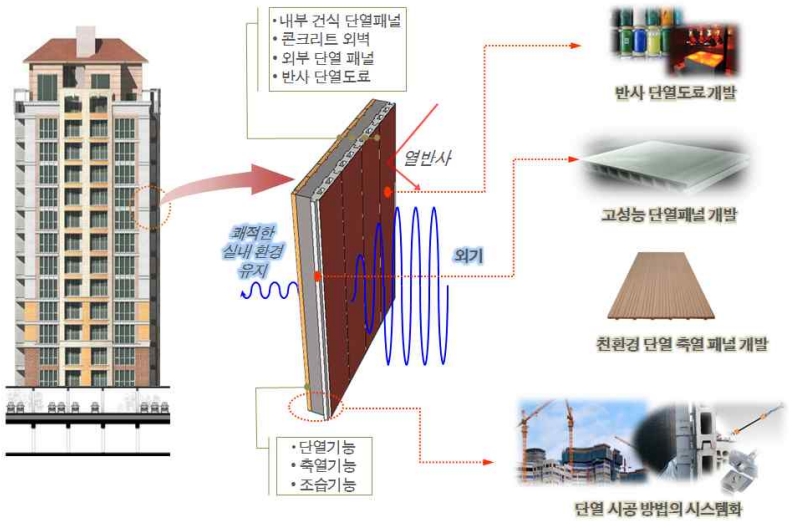


그림 1-5. 연구개발의 개요

○ 열반사 성능을 갖는 무기질계 단열패널의 개발을 통하여 아파트 벽체의 단열 및 차열성능을 향상시키고, 이러한 단열재의 활용확대를 통해 화재안전성능 및 친환경성능 향상

- 차열 및 고반사율의 목표 성능을 만족하는 세라믹도료 개발
- 무기질계 단열패널 구성재료의 최적배합 기술
- 목표 성능기준을 만족하는 무기질계 단열패널 개발
- 구조물 일체형 단열 시스템 개발

○ 본 연구개발의 최종목표는 단열성능을 갖는 무기패널 개발을 위한 이론적 아이디어, 제품 및 시작품 개발, 단열 공정 개발의 성격을 지니며, 최종성과물의 세부적인 성적은 다음과 같다.

- 이론적 아이디어 : 압출방식으로 생산되는 무기단열패널의 단열성능을 확보하기 위한 소재 발굴 및 성능 검증
- 제품개발 및 시제품 제작 : 압출 성형 방식으로 생산되는 무기 단열 패널의 Pilot test를 통한 성능 검증 및 실제 생산 플랜트에서의 시제품 제작 생산 및 검증
- 단열 공정 개발 : Mock-up test를 통한 아파트 단열 외벽 시스템의 설계 및 공법 개발

2. 연구개발 내용

가. 1차년도 연구개발 내용

(1) 단열패널 관련 사용실태 및 국내외 기술조사
- 국내외 단열공법 관련 기술자료 수집 분석
- 단열기준 관련 국내외 기준 분석
- 기존 건축물의 단열공법 기술조사 및 문제점 분석
- 국내외 단열공법 관련 설계도면 분석

(2) 차열/고반사 세라믹도료 개발
- 차열도료의 열반사 메커니즘 분석
- 목표성능을 만족하기 위한 단열도료의 재료 및 배합 최적화
- 개발도료의 물리/역학적 성능 검토
- 옥외폭로 및 실내촉진시험을 통한 내후성 검토

(3) 단열패널 구성 원천소재 조사
- 압출방식 패널에 사용 가능한 단열 원천소재 조사 및 특성 파악
- 단열 패널 원천소재의 기초적 특성 검토

(4) 무기질계 단열 패널 구성재료의 성능검토
- 비압출 조건에서의 단열패널 성능 검토
- 단열소재의 종류 및 배합비별 열적 특성
- 단열소재의 종류 및 배합비별 물리 역학적 특성 검토
- 단열 패널 배합별 압출가능성 검토
- 압출성형 조건의 열적 특성 및 역학적 특성 검토

(5) 무기질계 단열패널 최적 배합비 도출
- 기초적 특성 검토를 통한 무기질계 단열패널의 최적배합 비율 검토

- 무기질계 단열패널의 형상 최적화 검토

(6) 단열 외벽 시스템의 경제성 평가
- 기존 외단열 공법의 공정 및 원단위 분석
- 단열외벽 시스템과 기존 외단열 공법과의 LCC 분석을 통한 경제성 검토

나. 2차년도 연구개발 내용

(1) 거푸집 패널로서 적용 가능성 검토
- 거푸집 패널로서 적용을 위한 압출성형 단열 패널의 치수, 형상 및 이음방법 검토
- 거푸집 패널로서 적용시의 단위용적질량, 최적 두께 및 최적 높이 검토

(2) 압출성형 단열 패널의 열적특성 및 공학적 특성 검토
- 단열소재별 압출성형 단열 패널의 열전도율 및 열관류율 검토
- 단열소재별 압출성형 단열 패널의 물리, 역학적 특성 검토

(3) 압출성형 단열 패널의 내화성 및 내구성 검토
- 단열 소재별 압출성형 단열 패널의 내화성능 검토
- 단열 소재별 압출성형 단열 패널의 동결융해 저항성 검토
- 외벽 단열 패널로 사용하기 위한 압출성형 단열 패널의 휨저항성 검토 (Bowing test)

(4) 외부환경 조건 변화에 따른 구조물 일체성 검토
- 압출성형 단열 패널의 구조물 일체화 조건에서 온도환경 조건 변화에 따른 일체화 성능 및 역학적 성질 검토
- 습도환경 조건 변화에 따른 일체화 성능 및 역학적 성질 검토

(5) 단열 외벽 시스템의 모의 구조체 검토

- Mock-up test를 통한 단열 외벽 시스템의 시공 공정 검토
- 온도이력 및 동계 전력 소모량 측정을 통한 모의 구조체의 열효율 검토

(6) 아파트 단열 외벽 시스템의 현장시공성 및 경제성 평가
- 아파트 공사현장 거푸집 공정 실사를 통한 현장분석 실시
- 비용편익 요소 토출을 위한 설문지 조사
- 단열 패널 시스템의 타당성을 평가하기 위한 비용 편익 분석패널의 비용 편익분석

제 2 장
국내외 기술개발 현황

제 1 절 단열재 관련 산업동향

1. 단열재 관련 국내 산업동향

가. 단열재 시장동향

최근 세계적으로 에너지 및 환경에 대한 중요성이 재인식됨에 따라 이러한 요소들이 단열재의 선택에 있어서도 중요한 영향요소로 작용하고 있다. 국내 기존 단열재들은 환경 친화적 측면에서 자원고갈 및 생태파괴의 원인, 제조과정에서 막대한 에너지 소비, 폐기물로서 환경오염의 원인, 화재 시 유독화학가스발산 등의 문제점을 가지고 있으며, 앞으로 이러한 문제 해결을 통한 시장 확대 노력이 필요하다.

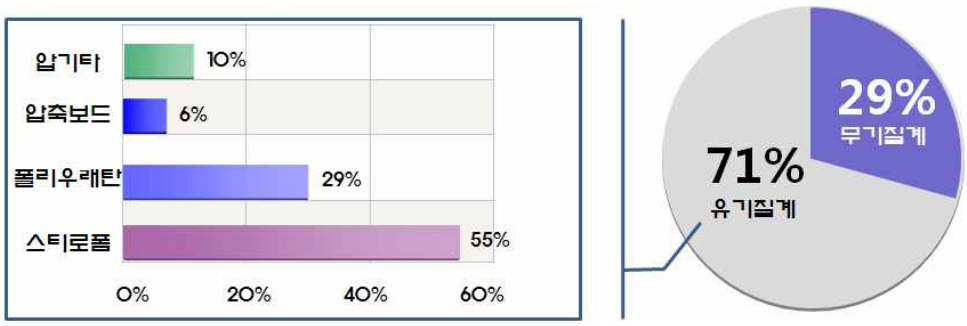


그림 2-1. 국내 단열재 시장 동향

우리나라는 국가 소비 에너지의 대부분을 수입에 의존하는 자원빈국으로서 에너지 수입이 국가경제에 미치는 영향이 크다. 건축물에 대한 에너지소비를 줄이기 위해 신축 건축물에 대한 단열 기준을 대폭 강화하여 단열기준을 종전보다 20 % 정도 강화하였으며, 열관류율과 단열재 두께 기준으로 이원화되어 있던 건축물의 단열기준을 열관류율 기준으로 일원화하여 고성능 단열재 등의 개발을 유도하고 있

는 실정이다. 한편, 국내의 단열재 시장은 유기질계 단열재(스티로폼 55 %, 압축보드 6 %, 폴리우레탄 29 %)가 71 %를 차지하고 있으며, 이들 유기 단열제품은 에너지의 효율적 이용을 위한 환경조성에 필수적으로 이용되고 있다.

무기질계 단열재(유리면, 암면, 그라스 울, 미네랄 울, 퍼라이트, 석고, 실리카, 세라믹 화이바 등)는 29 %정도의 시장점유율을 나타내고 있지만, 단열기준 강화 및 화재 안전사고에 대한 인식이 제고되면서 무기질 계통의 단열재 시장이 산업체에서 급속하게 성장하고 있다. 이러한 섬유상태 무기단열재는 전력 뒷받침이 필요한 산업으로 원자재비용보다 제조공정상 전력 과다사용 산업으로 국가에너지절약정책에선 건축용 단열재로 공급하기에는 적합하지 않다는 지적이 있어 왔다. 유기질계 제품별 리스트를 보면 압출법과 비드법 단열판으로 생산되는 발포 폴리스티렌을 비롯하여, 폴리에틸렌, 폴리우레탄 등으로 분류한다. 반면 유기단열재인 폴리우레탄은 고가인데다 공급이 원활치 못하다. 제조공정상 독성가스를 사용하기 때문에 환경 친화적이지 못하다는 이유로 제조 허가를 받기가 쉽지 않으며, 폐기 시 재활용이 어려움에 따라 우레탄 단열재는 환경측면에서도 리사이클링이 불가능하다.

표 2-1. 단열재 생산현황(출처: 단열설계 및 시공가이드북, 2003)

제품구분		실적(t)	환산면적	
			천(m^2)	구성비(%)
무기 단열재	암 면	56,270	22,510	13.3
	유리면	33,680	28,070	16.5
	소 계	89,950	50,580	29.8
유기 단열재	비드법 발포폴리스티렌	108,000	108,000	63.5
	압출법 발포폴리스티렌	5,000	5,000	2.9
	경질우렌탄폼	6,000	3,430	2.0
	폴리우레탄폼	1,500	3,000	1.8
	소 계	120,500	119,430	70.2
총 계		210,450	170,010	100

후발 단열재 업체의 경우는 기존 제품의 문제점인 시공성 저하, 화재시 인체 유해가스 발생 등의 문제점을 지적하고, 상대적으로 항균성, 인체 무해성 등의 환경친화적 제품을 강조하면서 시장에 빠르게 진입하고 있다. 국내에서는 건물 외피 단열을 위해 스티로폼, 우레탄폼, 유리면, 암면 등이 주로 사용되고 있다. 이러한 건물 단열재는 크게 무기질계 단열재와 화학합성 유기질계 단열재로 구분되며, 주로 많이 사용되는 것은 화학합성 유기질계 단열재중 발포 폴리스틸렌(스티로폼)과 발포 폴리우레탄이 있고, 무기질계단열재 중에는 암면과 유리면 등을 들 수 있다. 그 외에 석면이나 우레아 포름알데히드 등이 사용되기도 하였으나, 발암성분 등 인체에 유해하여 현재는 사용이 금지 또는 제한하고 있다.

건설업계 또한 시공비절감 및 에너지 절약이 우수한 단열재를 선호하고 있는 경향이어서 경제성만 확보된다면 무기질계의 나노다공성 고성능단열재의 수요도 많을 것으로 판단된다.

향후 국내에서 진행해야 할 각 단열재별 개발 방향을 살펴보면, 폴리스틸렌폼은 개발의 여지가 적으며, 신공법 개발, 다른 소재와의 복합소재 개발, 신 단열기준 대응상품, 대체 프레온을 사용하지 않는 신상품개발 및 공법까지 포함된 시스템 개발, 용도별 등급 및 사이즈 개발 등이 있다. 현재 일반적으로 사용되고 있는 단열재들은 비교적 단열 성능이 우수하고 화학적으로 비교적 안정되어 있으며, 물리적 강도나 흡수성, 시공성 등에서 성능이 우수하여 널리 사용되고 있다고는 하나, 국내에서도 근본적으로 무기질계 단열재의 개발과 사용을 적극 연구해야 할 필요성이 있다.

나. 국내 주요 업체 및 생산현황

단열재 제조업체는 160업체이며, 가공업체를 포함하면 약 300업체 이상으로 예상된다. 현재 발포 폴리스틸렌과 경질우레탄폼 제조업체는 완전경쟁시장을 형성하고 있는 반면, 기타 단열제의 경우 일부 대기업에서 시장 점유율을 선도하는 불완전경쟁시장을 형성하고 있다. 국내수요의 대부분인 발포 폴리스틸렌과 경질우레탄폼은 최근 유독가스의 유해성이 노출되어 건축관련 법규의 재개정을 통한 큰 변화가 예상된다.

※ 유기계 단열재는 단순제조과정으로 제조업체수가 146업체인 반면, 무기 단열재는 제조장치 투자비가 많아 8업체이다.

표 2-2. 국내 단열재 제조업체 수

구분	유기질계 단열재				무기질계 단열재		
	발포폴리스틸렌	압출 발포 폴리스틸렌	경질우레탄폼	발포폴리에틸렌	유리면	석면	펄라이트
원료업체	6	6	3	6	-	-	-
단열재 제조업체	99	3	31	13	3	3	2

한국표준협회 등록업체

표 2-3. 발포폴리스틸렌 국내 생산규모 및 생산현황

업체명	생산규모	총생산량	판매량	소재지
금호석유화학	90,000톤/년	47,935톤	31,658톤	울산
동부한농	48,000톤/년	30,154톤	24,272톤	울산
신호유화	60,000톤/년	54,655톤	45,841톤	군산
LG화학	40,000톤/년	46,333톤	33,660톤	여천
제일모직	40,000톤/년	36,327톤	27,861톤	여천
한국BASF	70,000톤/년	51,655톤	28,988톤	울산
합계	348,000톤/년	266,948톤	192,280톤	

표 2-4. 기타 단열재 국내 생산규모

단열재 종류	업체명	생산규모	소재지	비고
압출발포 폴리스틸렌	벽산	4,200톤/년	화성	진공식,상압식
	그린피아	3,600톤/년	오산	상압식
	세경산업	2,400톤/년	안산	진공식
	합 계	10,200톤/년		
경질우레탄폼	화인텍	8,000톤/년	영남	
	피유시스	3,400톤/년	파주	
	홍익산업	2,600톤/년	파주	
	대진이화	3,000톤/년	파주	
	대륭기업	2,400톤/년	김해	
	피유텍	2,400톤/년	김포	

	마이크로켐	1,600톤/년		
	대동공영	1,600톤/년	아산	
	모두화학	1,800톤/년	천안	
	합계	16,800톤/년		
유리섬유	금강고려화학	50,000톤/년	수원, 문막	
	한국유리	52,000톤/년	인천	
	벽산	35,000톤/년	여주	
	합 계	137,000톤/년		
암면	금강고려화학	81,000톤/년	안양	천장재 3만톤
	벽산	55,000톤/년	문막	천장재 2만톤
	서울암면	20,000톤/년	천안	
	합 계	156,000톤/년		

2. 단열재 관련 국외 시장동향

국내에서는 아직 스티로폼 등의 유기질계 단열재가 71 %를 차지할 만큼 대부분의 국내 시장을 장악하고 있다. 그러나 선진국들은 이미 오래 전부터 주택 단열재로 무기질계 단열재의 사용을 보편화하고 있다. 화재로 인한 인명피해를 줄이기 위해서인데, 유기질계 단열재에서 발생하는 유독가스에 의해 질식사하는 피해가 화재 인명피해의 90 %를 차지하고 있기 때문이다. 미국의 경우, 1995년 주택용 단열시장에서 유리면과 미네랄울(암면) 등 무기질계 단열재가 71 %를 차지하고 있으며, 유기질계 단열재의 대표적인 제품인 스티로폼은 6 %에 불과하다. 2000년 5월 건축기준법 개정을 통해 개정을 통해 유리면, 미네랄울을 불연재료로 명확히 규정해 이 제품들의 사용을 권장하고 있는 일본도 이와 비슷하다. 유리면과 미네랄울의 비중이 73 %를 점유하고 있고, 스티로폼은 10 %에 불과하다.

해외 단열재 시장은 나라별 주거특성에 따라 무기·유기 단열재 점유율에서 큰 차이를 갖는다. 일본은 목조주택의 주거문화이다. 주택용 단열재로 고급재인 글라스울(유리섬유) 미네랄울(암면) 우레탄을 많이 사용함. 압출법 단열판은 폴리에틸렌 제품이다. 이 제품은 굴곡, 압축강도, 비중에서도 국내 압출법 단열판과 다르다. 유럽은 섬유상태 무기단열재 시장이 크다. 독일시장은 비드법 단열판을 포함한 무

기 단열재와 압출법 단열판 사용비율이 9대1 규모이다. 무기단열재 시장 점유율을 보면 안면과 글라스 울이 절반이고 비드법 단열판이 40 %를 차지하고 있는 것으로 알려지고 있다. 사례로 프랑스에선 글라스 울인 셍고방이 단열재 시장의 큰 점유율을 갖고 있다.

가. 일본의 단열재 시장동향

주요 단열재의 시장규모는 2001년에 섬유계인 암면 341,000톤, 유리면 205,951톤 셀룰로오즈 섬유 10,800톤으로 합계 557,751톤, 발포 플라스틱계인 경질 우레탄폼 87,925톤, 압출 발포 폴리스티렌폼 66,390톤, 비즈법 폴리스티렌폼 15,900톤 고발포 폴리에틸렌폼 5,770톤, 페놀폼 6,600톤으로 합계 182,585톤 이었으며, 일부는 전망치를 포함하고 있다.

표 2-5. 일본의 단열재 시장규모 (단위 : 톤)

단열재 종류	1997년	1998년	1999년	2000년	2001년
암면	378,937	345,706	336,330	342,730	341,000
유리면	239,271	210,323	217,008	225,208	205,951
셀롤로오즈 섬유	8,035	7,270	7,410	9,734	10,800
압출발포폴리스티렌폼	73,600	68,600	68,700	68,200	66,390
비즈법 폴리스티렌폼	18,000	17,000	16,800	17,100	15,900
경질 폴리우레탄폼	100,530	92,064	84,924	87,447	88
고발포 포리에틸렌폼	6,311	5,521	5,681	6,028	5,770
페놀폼	7,000	7,000	7,350	6,600	6,699

일본의 단열재 관련 업체는 섬유질계인 유리면, 암면, 셀룰로오즈 섬유와 발포 플라스틱계인 압출 발포 폴리스티렌을 중심으로 발전하였다.

나. 중국의 단열재 시장동향

중국 단열방음재료협회 통계에 따르면 2008년 중국 내 각종 단열, 방음자재 및 제품 총 생산량은 376만 9,000톤으로 전년대비 12 % 증가하였다. 총 판매액은 606억 3000만 위안으로 전년대비 21 % 증가하였다.

표 2-6. 2007년 중국 단열방음재료 생산 및 판매현황

제품별	생산량 (만 톤)	전년대비 증가율(%)	판매액 (억 위안)
Mineral wool 및 관련제품	84.9	17	14.6
Glass wool 및 관련제품	33.40	20	20.7
규산알루미늄 섬유 및 관련제품	19.80	13	12.6
경질 단열제품	64.90	16	5.9
유기 단열제품	126,50	10	166.1
복합 규산염 단열제품	6.90	15	5.3
섬유 방직제품	0.2	15	2
Mineral wool 인테리어흡음패널	8,167.50	10	11
알루미늄박 경질 폴리우레탄 샌드위치 패널	486	60	2.25
Structural Reinforced Concrete Panel	31.75	9	12.7
금속 샌드위치 패널	7,435	15	84.7
현장에서 생산된 복합단열제품	12,663	15	164.6

자료원 : 중국 경제통계연감

2008년 상반기 중국의 단열 및 방음자재 시장수요는 안정된 증가세를 유지하고 있다. 특히, 5월 대지진이 발생하면서 중국정부에서는 지진재해지역 주택건설 과도배치사업을 적극 추진하고 있다. 2008년 중국 내 과도배치용 임시주택에 사용되는 금속단열패널은 약 5200만 m^2에 달한다. 중국에는 컬러강판 샌드위치패널 제조업체가 대부분 중소기업으로 전국적인 브랜드가 없고, 북경지역에 일부 기업들이 인지도가 상대적으로 높다.

표 2-7. 연도별 금속단열패널 생산 및 판매현황

연도별	생산량(만m^2)	전년대비 증가율(%)	판매액(억 위안)
2005년	6,100	-	53.3
2006년	6,466	6	56.7
2007년	7,435	15	84.7

자료원 : 중국 건축자재공업연감

다. 북아메리카 및 미국의 시장규모

각종 단열, 방음자재 및 제품 등에 대한 북아메리카의 단열재 시장규모는 1999년에 54.6억 달러 규모로 매년 약 10%씩 성장하여 2006년에는 107.5억 달러 규모로 성장하였다. 그 중 미국 단열재 시장은 2004년도에 71억 달러였지만 급격한 성장으로 2010년에는 약 107억 달러를 달성할 것으로 예상되고 있다.

라. 영국의 시장규모

영국의 단열재 시장 연례 보고서에 따른면 2009년도는 11.9억£를 달성하였으며, 매년 약 4 %로씩 성장하여 2014년에는 14.5억£의 규모로 성장할 것으로 기대하고 있다.

제 2 절 외단열 시스템 관련 산업동향

1. 외단열 시스템 관련 국내외 기술동향

가. 아파트 단열 시스템 적용 현황

건물의 단열방법은 단열재의 위치에 따라 크게 내단열, 중단열, 외단열로 나눌수 있으며, 국내 아파트는 대부분 단열재가 콘크리트 구조물의 내부에 설치되는 내단열 공법이 주를 이루고 있는데, 이는 내단열 공법이 공정상 공기단축에 효과적이기 때문이다. 특히, 우리나라 공동주택은 비교적 고층형태의 구조물로서 외단열 공법을 적용하기가 용이하지 않아 비교적 공정이 단순하고 빠른 내단열 공법을 채택하고 있는 실정이다.



a) 내단열 시공사례　　b) 외단열 시공사례

2-2. 아파트 벽체의 단열시공 사례

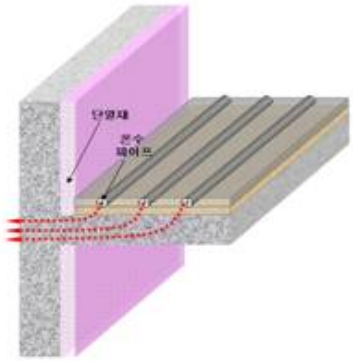
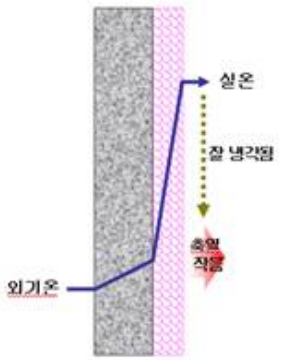
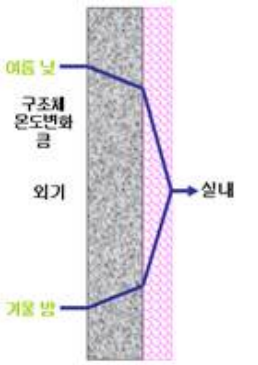
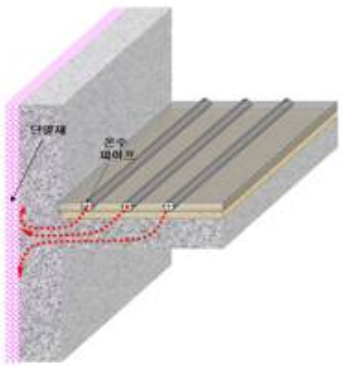
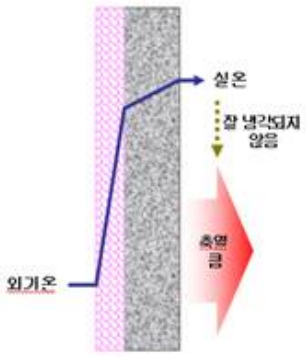
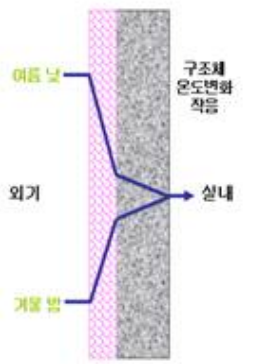
그러나, 내단열공법의 경우, 벽-슬래브, 벽-벽 접합부 등에서 단열재가 불연속될 수밖에 없어 필연적으로 열교(Heat Bridge)가 발생하게 된다. 열교 발생 시 열손실 및 실내측 표면결로 등의 문제가 발생하게 되며, 특히, 국내 공동주택에서는 난방용 온수배관이 바닥에 설치되므로 벽-슬래브 접합부 열교부위를 통해 매우 큰 난방에너지 손실이 발생하게 된다.

한편 외단열 공법의 경우 건물외피의 실외측에 단열재를 설치하여 열교발생을 근

본적으로 차담하여 난방 및 냉방에너지 절약과 실내측 표면결로를 방지할 수 있는 단열시스템이다. 국내 공동주택에 외단열 적용 시 열교 발생으로 인한 문제점을 최소화 할 수 있을 것으로 판단되며, 콘크리트 벽체 등과 같은 축열재가 단열재 내측에 위치하게 되어 난방열 축열에 의한 난방효율 향상시킬 수 있다.

더욱이, 단열재가 콘크리트 구조체를 감싸 주는 콘크리트 피복 역할을 하기 때문에 외부환경 변화에 따른 구조체의 온도변화가 작다. 즉, 건조수축, 일사수축, 동결융해 등의 피해가 적어 질 수 있어 콘크리트의 내구성의 저하 방지에 효과적일 수 있다.

표 2-8. 단열공법에 따른 성능 비교

단열공법	단열성능	축열성능	구조체 내구성
내단열			
외단열			

나. 국내외 외단열 시스템 생산 현황

국내 외단열 공법은 주로 폴리스틸렌 단열재를 사용하여 습식공법으로 시공되는 습식공법이 대부분으로 시스템 제조 및 시공업체는 아직 적은 상황이다. 한편 외국

의 경우 독일 등 유럽을 중심으로 다양한 소재 및 공법이 제조 시공되고 있다.

표 2-9. 국내외 주요 외단열 시스템 공법 기술 현황

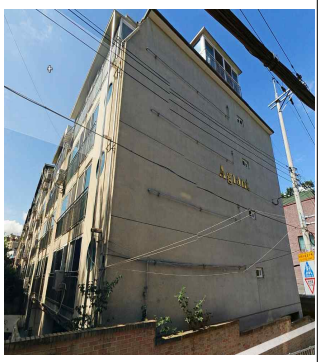
제조사		주재료	습식	반건식	건식
국내	효성 이노테크	EPS	○	×	×
	KCC	글래스울, 미네랄울	○	○	○
	한보엔지니어링	EPS/ 마그네슘보드 압착	○	○	○
	월드와이즈월	EPS	○	×	×
국외	Sto(독일)	EPS	○	○	×
		미네랄울	○	○	○
		미네랄폼	○	×	×
	Dryvit(미국)	EPS	○	○	○
	Nitobo Material (일본)	EPS/페놀폼	×	○	×
		미네랄울	○	×	×
		미네랄울/글래스울/페놀폼	×	○	○
	Asahi Fiber Glass (일본)	글래스울	×	○	○
	Japan Insulation (일본)	규산칼슘판	×	○	○
	Fujikase Kogyo (일본)	탄산칼슘계발포판	○	×	×

다. 국내외 공동주택 외단열시스템 적용 사례

국외 건물에서의 외단열시스템 전용 면적(2004년 시장 추정 자료)은 유럽 50～60백만㎡/년, 북미 9~10백만㎡/년, 중국 40～50백만㎡/년으로 추정된다.

유럽의 에너지 절약형 주택인 패시브하우스에서는 외피 및 창호에 서의 열교 제거를 매우 중요시하고 있으며, 외단열 시스템 적용을 당연시하고 있다. 뿐만 아니라 중국에서는 2008년 올림픽 및 에너지 정책 치원에서 외단열시스템을 강제 적용하고 있다. 이처럼 국외의 경우 신축 및 리모델링, 그리고 저층부터 고층 공동주택에 이르기까지 다양하게 외단열이 적용되고 있다. 반면 국내의 경우 공동주택 외단열 적용 사례는 표 2-2의 시례를 제외 하고 거의 전무하다고 할 수 있다.

표 2-10. 국내 주요 외단열 공동주택 현황

서초동 G공동주택	성남M 공동주택	김포 H 공동주택
		

라. 국내 외단열시스템 적용의 장애요인

국내 외단열공법은 폴리스틸렌 단열재를 접착용 모르타르를 이용하여 콘크리트 구조체에 접착하는 습식공법이 주를 이루고 있다. 즉, 콘크리트 바탕면에 폴리스틸렌 폼 단열재층, 보강매쉬 함침 베이스 코팅층, 마감층을 구성하여 단열을 하는 공법이다. 이러한 공법은 주로 건축물의 신축 및 노후화된 건축물의 리모델링용으로 많이 사용되고 있으며, 국내 도입기간은 오래 되었지만 여러가 품질의 문제점이 유발되고 있는데, 주요 하자요인으로는 주로 모체와의 박락 및 들뜸, 충격에 의한 파손, 마감면의 오염 등이 있으며, 특히 장기간 경과시 내구성이 저하되어 단열효과가 저하하고 균열 등이 발생하여 누수의 원인을 제공하는 경우도 많이 발생하고 있다.

더욱이, 외단열공법에 적용되는 단열재가 주로 유기계의 폴리스틸렌(스티로폼) 및 유무기 복합적층재 이기 때문에 화재 시 유독가스를 발생시기는 문제점도 지적되는 하나의 원인으로 들 수 있다.

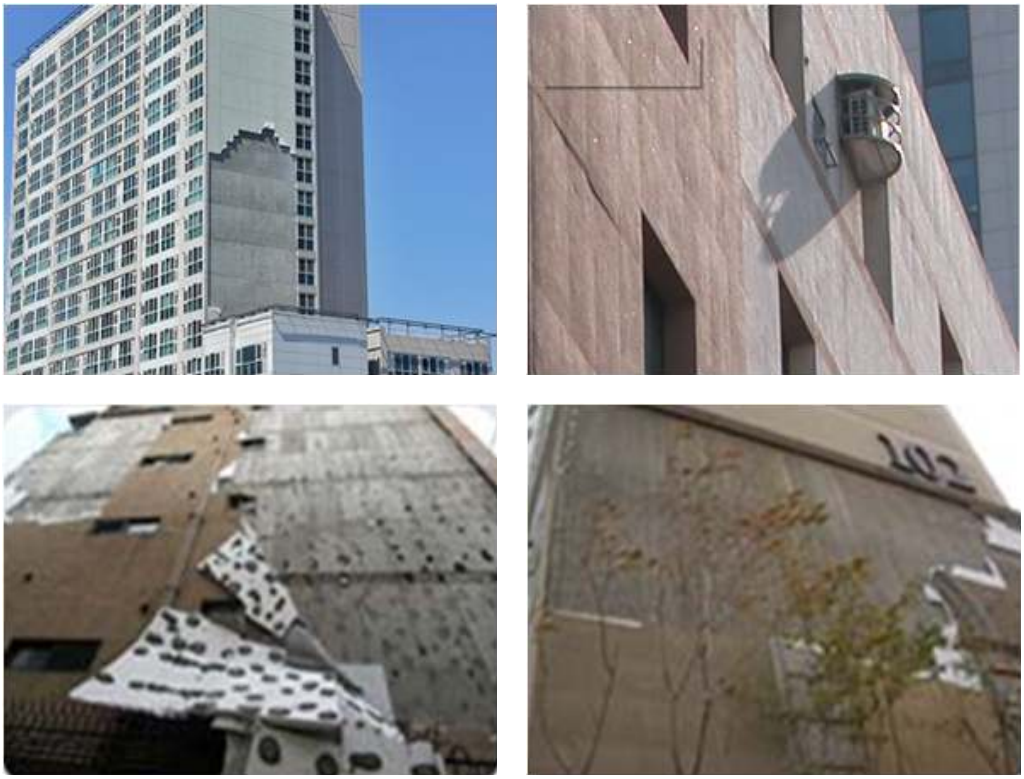


그림 2-3. 외단열 시스템의 하자사례

이러한 요인들은 외단열 시스템의 활성화를 저해하고 있는데, 이것은 무분별한 업체의 경쟁과 표준화된 시방 및 공법이 미정립이 외단열 시스템의 극대화하는데 장애요인으로 작용하고 있다.

2. 거푸집 일체형 단열 외벽시스템의 기술현황

국내의 경우 거푸집 일체형 단열 외벽 시스템은 아직 조사 되지 않고 있으나, 일본 독일 등 선진국에서는 다양한 재료 및 공법이 개발 적용되고 있다.

가. (주)후지화성

후지화성에서 생산되는 무기단열보드는 탄산칼슘계열의 안전 독립된 기포 구조의 저밀도 발포체로서 열전도율이 약 0.048 W/mK 정도매우 작고, 내구성이 우수한 재료이다. 이러한 단열재를 거푸집 일체형으로 공법하여 사용하는 것에 연구가 진행되고 있다.

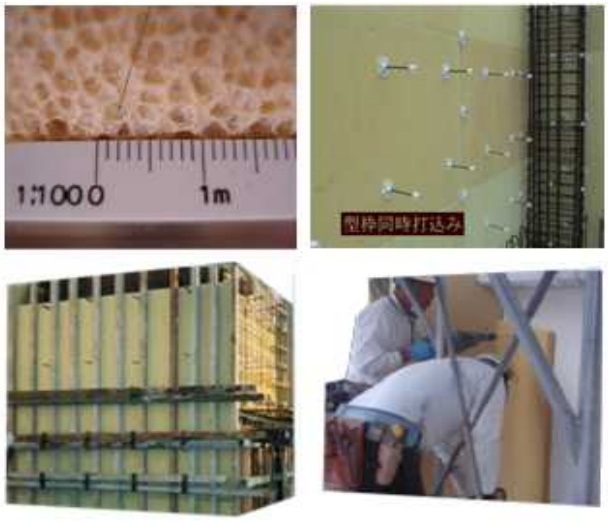


그림 2-4. (주)후지화성의 단열 외벽재

나. 일본인슐레이션

일본 인슐레이션(주)에서 생산하는 무기단열재는 석고계열의 조노토라이트를 포함하여 공극을 생성한 제품으로 열전도율이 약 0.051 W/mK으로 매우 낮고 내화성이 석고보드 이상으로 매우 우수하다.



그림 2-5. 일본인슐레이션의 단열 외벽재

다. (주)BRC의 PW공법

(주)BRC의 PW공법은 EPS재질의 단열재 거푸집 겸용으로 양쪽 폼을 철물로 걸

어 잡아 내부 대향 간격을 유지하여, 유로폼을 대체하고자 한 거푸집 일체형 단열 공법이다. 그러나, 단열소재를 유기단열재를 사용하고 있어 화재안전성은 다소 취약할 수 있다.



그림 2-6. 일본 (주)BRC의 PW공법

라. 이소라스트(ISORAST)사

독일의 이소라스트사의 이소블럭은 흑연코팅 EPS를 이용하여 블록모양으로 만든 단열 구조재이며 거푸집을 의 독일의 이소라스트(ISORAST)사 이소블럭 제품으로 3층 이하는 자재의 내력으로 구조보강을 하지 않고 사용할 수 있는 것으로 알려져 있다. 단, 레미콘에 사용되는 골재의 최대 치수를 10mm이하로 해야하는 단점이 있다.



그림 2-7. 독일 이소라스트의 이소블럭

제 3 절 열반사 도료 관련 국내외 기술동향

가. 국내 열반사 단열도료 시장 현황

열반사 도료의 열차단 메커니즘은 도료내의 특수세라믹 분말의 차열기능에 의한 것으로 열반사 도료는 연구개발 또는 기술 도입단계로서 아직 시장 점유율은 높지 않다. 현대하이스코는 이러한 열차단 도료를 지붕강판재에 사용함으로 열 전달이 대폭 차단된 고기능 컬러강판을 개발함으로써 고급 건축자재시장에서 상당한 영업 효과를 기대하고 있다.

표 2-11. 기업별 대응 현황

기업명	제품명	기술보유 여부
노루페인트	에너지 세이버	보유
제비표페인트	KCI 차열코트 #2000	보유
삼화페인트	단열텍스	일본의 NAGASHIMA SPECIAL PAINT CO.,LTD.와 차열도료 및 소취도료의 제조기술에 대한 기술제휴 계약을 체결
KCC	열차단 도료	보유

나. 일본 열반사도료 시장 현황

열반사 차열도료는 간단한 시공으로 단열효과를 얻을 수 있어 일본 소비자의 주목을 받아왔으며, 최근의 에너지 및 환경 관련 제품 수요확장과 일본정부와 업계의 표준화 노력으로 인해 유망시장으로 떠오르고 있다. 일본도료공업회 가맹기업을 대상으로 한 조사에 따르면 단열도료시장의 출하량은 2004년 1,549톤, 2005년 2,414톤, 2006년 3,102톤, 2007년 3,769톤으로 시장확대를 거듭하고 있다.

※ 최근에 들어서 일본 지방자치단체에서 행하는 열섬현상 대책에도 포함되는 등 시장의 움직임이 다시 활발해지고 있다.

표 2-12. 일본 단열도료 출하량 (출처 : 일본 도료공업회, 2004~07)

연도	2004년	2005년	2006년	2007년
단열도료 출하량(t)	1,549	2,414	3,102	3,769
전년대비 증감률(%)		156	129	122
도료 총 출하량(t)	1,953,489	2,009,790	2,056,474	2,074,873
전년대비 증감률(%)		103	102	101

일본의 단열도료 제조업체들은 각기 전문화되고, 특색있는 제품을 시장에 투입하며, 크게는 태양열을 반사해 열을 식히는 도료와 기포 등을 함유해 열을 차단하는 도료제품이 시장을 양분하고 있다. 또 대부분의 업체들은 상기 열반사 도료와 열차단 도료를 결합한 제품도 함께 발표하고 있으나, 현재로서는 매우 고가이다.

표 2-13. 일본 주요 차열 및 단열도료 제조업체(출처:일간공업신문)

업체명	소재지
칸사이 페인트 판매	도쿄도
신토도료	효고켄
다이코 상회	오오사카
로쿠페인트	오오사카
일본 와이드 크로스	오오사카
시엠텍	기후현
미즈타니 페인트	오오사카
테이카	오오사카
대일본도료	오오사카
대동도료	오오사카

표 2-14. 일본 차열 및 단열도료 시장 가격동향

업체명	용량	시공가능면적	가격(엔)
가이나	14kg/캔	30㎡/캔	56,000/캔
가이나	7kg/캔	15㎡/캔	30,000/캔
시엠에스	14L/캔	35㎡/캔	24,000/캔
일본페인트	15kg/캔	88㎡/캔	55,000/캔

제 3 장
연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 연구개발의 필요성

1. 연구개발 개요

기존의 외단열공법은 주로 외벽 콘크리트를 타설하고 경화 후 시공하는 건식 공법이 대부분이다. 이러한 외단열공법은 건식공법임에도 불구하고 공사의 비효율성이 있었으며, 특히, 공동주택(아파트)이 고층화됨에 따라 기존 외단열 시공성에 대한 효율이 더욱 떨어질 것으로 예상된다. 또한, 외단열공법에 적용되는 단열재는 주로 유기계의 폴리스틸렌(스티로폼) 및 유무기 복합적층재을 적용함에 따라 화재에 취약하며, 특히, 장기간 경과 시 내구성이 저하되어 단열효과가 저하하고 균열 등이 발생하여 누수의 원인을 제공하는 등 외부의 충격에도 쉽게 파손되는 경향이 있다.

이에 본 기술개발은 콘크리트 타설시 거푸집 역할이 가능한 무기계의 콘크리트 일체형 고성능 단열 패널을 개발하고 또한 외단열 패널을 효율적으로 시공할 수 있는 시공 시스템을 개발하고자 하는 것이다.

제 2 절 차열 및 고반사 도료개발 및 최적화

공동주택 외벽 마감재로 가장 많이 사용되고 있는 페인트 등의 도료는 단순히 건축물의 미적 효과와 표면 보호용으로 사용되고 있는 재료로 사용되어져 왔다.

그러나 본 연구의 열반사 도료 기술은 단열패널 표면에 열반사 도료를 도포하여 외관 디자인이 가능하며, 또한 단열기능으로 단열패널에 앞서 1차적으로 태양 복사열을 외부로 반사시켜 구조물에 도달하는 태양 복사열을 감소시켜 하절기 구조체의 축열현상을 저감시킬 수 있다. 이러한 열반사 도료를 기존 공동주택의 외부 도장 공사시 적용할 경우 단열효과를 더욱 상승시킬 것으로 기대된다.

따라서, 본 장에서는 단열 외벽재의 윗면에 도포하여 차열성능, 내오염성 및 내후성의 물성을 향상시킨 고반사 차열 도료의 개발을 목적으로 한다.

1. 차열도료의 열반사 메커니즘 분석

열은 고온에서 저온으로 이동하려는 운동 에너지를 가지고 있다. 열이 물체에 에너지를 전달하는 방법에는 크게 3가지가 있다.

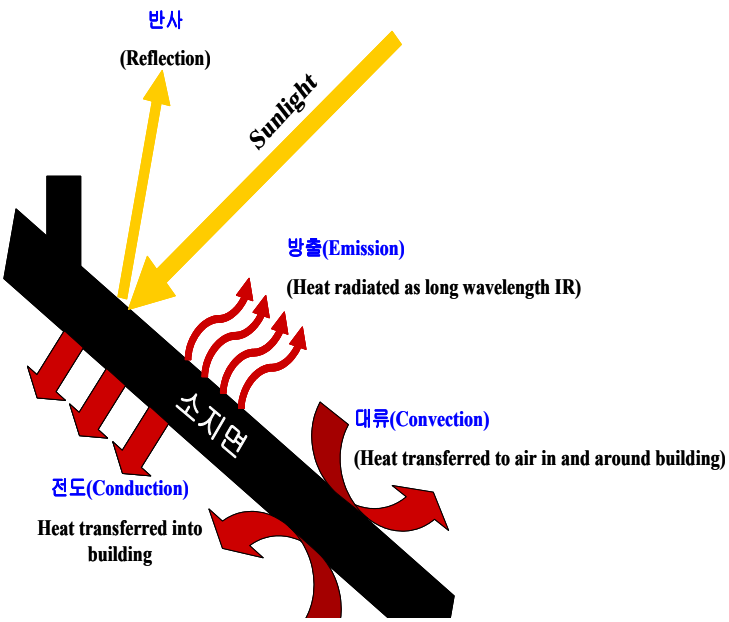


그림 3-1. 열의 전달원리

첫 번째는 열이 물체의 내부에서 직접적으로 고온에서 저온으로 이동하는 전도, 둘째는 열이 직접적으로 전달 되는 것이 아니고 움직이는 액체나 기체를 매개체로 하여 절달되는 대류, 셋째로 열이 어떠한 매체를 통하지 않고 열원에서 직접 전자파가 방사되어 상대 물체에 닿아 다시 열이 되는 복사이다. 이처럼 열에너지의 이동은 전도, 대류, 복사의 물리적 현상에 의해 이루어지는데, 건물 구조물의 조건에 따라 다소 차이가 있겠지만 차열 및 고 반사 도료는 열 이동 중 복사 현상이 가장 크게 작용하고 있다는 근거와 세라믹 소재의 유체역학 이론을 바탕으로 하여 열을 방사 방출하는 세라믹 소재의 특수한 단열성 물질을 첨가하여 차열성을 부여한 것이다.

단열에는 저항형, 반사형, 용량형 3가지의 단열 메카니즘이 있는데 차열 및 고반사 도료는 이중 복사 열 에너지를 반사해서 단열 작용을 하는 즉, 반사형 단열로 표현할 수 있다. 복사(Radiation)의 형태로 지구 표면에 도달하는 태양광은 본질적으로 세범위로 분류된다. 표면에 도달하는 에너지의 3%는 UV스펙트럼 범위 (200～380 nm)를 커버하고 50 %는 가시범위Visible (380～780 nm), 47 %는 NIR (780～2500 nm)를 커버한다. 2500 nm를 초과하는 MIR 및 FIR범위는 태양광의 범위 내에서 단지 적은 분획(Fraction)에 기여한다.

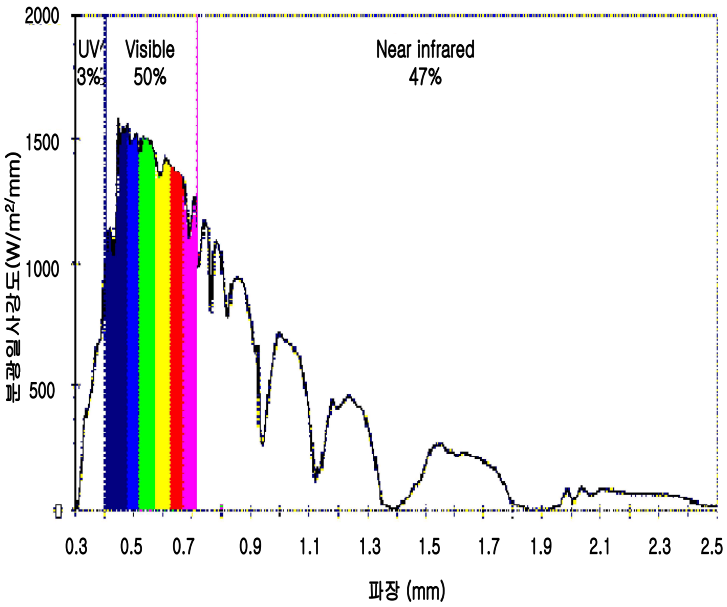


그림 3-2. 태양빛 파장에 따른 분광 일사 강도

일반적으로 적외선을 열선이라고 하며 이것은 전자파의 하나인 적외선이 물체에 흡수되어 열이 발생하기 때문이다. 적외선의 진동 파장 및 진동수가 물체 고유의 진동 파장 및 진동수가 물체 고유의 진동파장 및 진동수와 같은 영역이고 물체에 적외선이 닿으면 공명 진동을 일으키며 흡수된다. 흡수된 적외선 에너지는 물체의 원자, 분자의 진동과 공진에 의해 열이 발생하게 된다. 즉 열이라는 것은 원자 분자의 진동 에너지이다. 적외선이 도료 도막에 조사되면 열로 변환되 흡수되거나 열로 변환 되지 않고 투과 혹은 반사되는 거동을 갖는다. 일반적으로 조사되는 적외선은 일부분이 표면에서 반사되고 대부분 도막으로 들어가게 된다. 이때 일반 도료에서는 흡수되는 적외선이 열로 되어 피도물의 온도가 상승하게 된다. 고 반사 차열 도료에 있어서는 적외선을 흡수하지 않고 반사시켜 열로 변화 하는 것 없이 반사하게 된다.

특히, 도료에 적용중인 안료 중 어두운 안료는 UV/VIS 스펙트럼 범위 내에서 고도의 흡수를 갖는다. 이는 증가된 에너지 흡수를 유발하고 따라서 재료의 증가된 열적 가열을 뒷받침하게 된다. 적외선을 효과적으로 반사하고 또한 재료의 열적 가열을 억제하는 적외선 특수 반사 안료는 일사하의 건물 및 재료의 가열의 감소에 큰 영향을 미치게 된다.

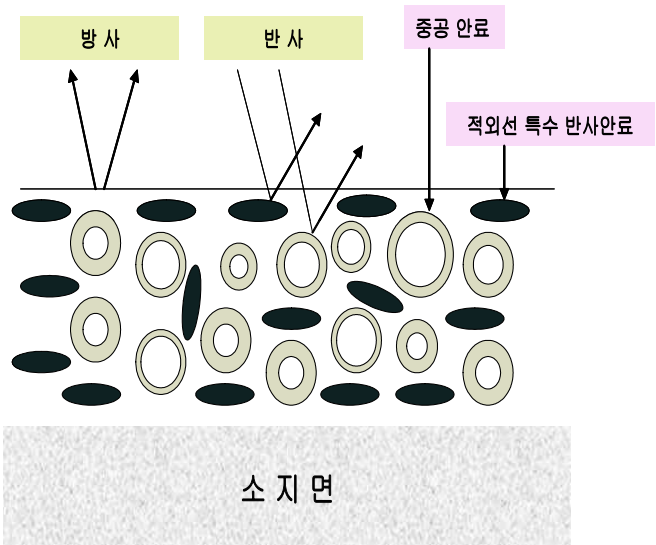


그림 3-3. 태양열 고반사 도료의 원리

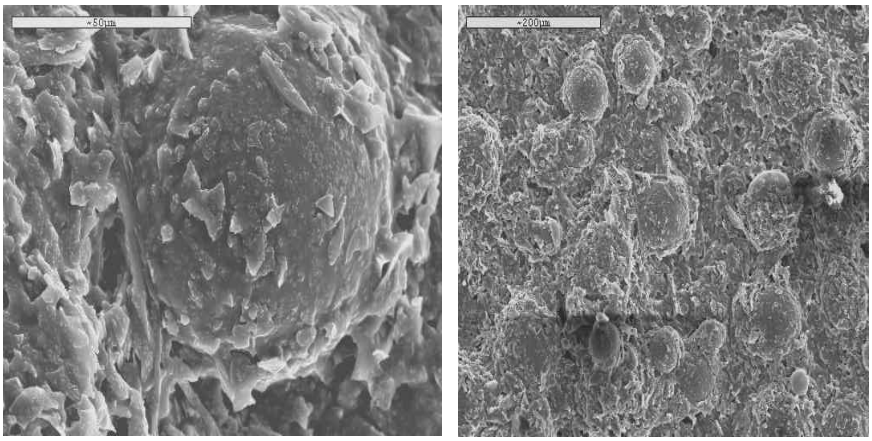


그림 3-4. 차열 고반사 도료내 세라믹 중공안료(SEM)

차열 및 고 반사 도료는 높은 일사 반사율을 갖는 도료이다. 차열 및 고 반사 도료는 단열 효과가 있는 중공체의 세라믹 비드를 함유하고 있고 그 세라믹이 태양 방사를 반사함과 함께, 중공 비드로 함으로 단열 상태가 형성됨으로, 흡수열을 효율 좋게 방사할 수 있다. 여기에 굴절률, 형상, 치수가 다른 많은 안료중에서 태양 방사에 대한 고반사성을 발휘하는 형상의 근적외선 특수 반사안료를 선택 적용함으로써 통상의 도료와 같은 색깔임에도 불구하고 높은 일사 반사율이 실현된다.

2. 도료의 기본 원재료 선정 및 배합비 도출

차열 및 고반사 도료 개발 연구 진행하기 위해 개발 실험에 사용될 기본 도료의 적정 수성 기본 원재료를 선정하여 기본 배합을 완성하였다. 본 연구에 사용할 Silicone acyryl 바인더와 착색 안료 및 기타 첨가 원재료를 소정의 배합비로 혼합하여 상용성을 확인하였고 콘크리트 패널에 코팅 후 밀착성 및 도막 상태를 확인하여 기본 도료 첨가 재료들을 선정 하였다. 본 연구에 사용될 도료 기본 배합 및 원재료를 살펴보면 바인더로는 Silicone acryl emulsion을 약 30 wt %사용 하였으며, 사용 Grade는 품질 및 원가, 수급 안정성 고려하여 현재 자사가 사용하고 있는 Silicone acryl emulsion SA 1207 grade (APEC사)를 적용하여 연구를 진행하였다.

표 3-1. S.A-1207 물성

Silicone acryl emulsion 물성	SA-1207
고형분	46 %
pH	8~9
점도(cps/25℃)	300
이온성	음이온
Tg(℃)	10℃

기본 착색 안료는 도료 제조에 상용화 되어 사용되고 있는 Rutil type의 TiO2를 약 20 wt %의 사용 하였다. 용제로서 Water를 약 15 % 사용하였고, 기타 첨가재료로 체질안료 및 첨가제등 약 45 %를 사용하여 기본 도료를 제조 하였다. 첨가제로는 소포제 0.2 wt %, cellulose계 증점제 0.26 wt %, 항균제 0.5 wt %, 분산제 0.7 wt %, 습윤제 0.7 wt %, pH 조절제 및 기타 안료의 원재료를 배합하여 양호한 도막을 지닌 기본 도료 배합을 완성 하였다. 도료의 제조는 물과 안정제 및 증점제, 분산제, pH 조절제를 혼합 후 안료와 기타 원재료를 약 2,000 RPM 교반 속도로 고속 분산 후 실리콘 아크릴 에멀젼 및 기타 잔여 첨가제 등을 투입하고 균일하게 교반하여 도료를 제조 하여 연구를 진행하였다.

3. 도료의 차열 및 고반사 성능 원재료 선정 및 배합비 도출

가. 실험개요

(1) 차열 재료별 성능 검사

기본 차열 원재료 선정을 위하여 차열 안료별 열반사율 과 차열 성능 비교 평가를 진행하였다. 수지 및 기타 원재료와의 상용성, 도막의 연속상 형성 가능여부, 분산제조 가능성 여부 등을 고려하여 총 3가지 원재료를 선정하였다. 대표적인 반사형 차열 재료인 알루미늄 원재료는 ECKART사에서 제조 판매중인 SHINEDECOR 3500 친환경 수성 알루미늄 PASTE를 수급하여 제품 배합에 적용하였고 근적외선 반사 펄 안료로 제조사인 MERCK사의 SOLARFLAIR 9875 GRADE와 3M사의 GLASS BUBBLE 중공 안료 중 5500 GRADE 를 사용하여 제조한 샘플을 가지고 본 실험을 진행하였다.

표 3-2. SOLARFLAIR 9875(MERCK사) 기본 물성

구분	물성치	
구성성분	Mica	35～44 %
	TiO_2	55～61 %
	SnO_2	0～1 %
	ZrO_2	1～3 %
pH value	4～7(10 % aqueous slurry)	
Paticle size	5～25 ㎛	80 %

표 3-3. VS 5500 GLASS BUBBLE(3M) 기본 물성

구분	물성치	
성분	Soda-lime-borosilicate glass	
Oil absorption	31～36 %	
Flotation(density〈1.0 g/cc)	〉90 %(in volume)	
pH	9.5 (5 % loading in water)	
pH value	4～7	
Paticle size	75 ㎛	90 %

표 3-4. SHINEDECOR 3500 기본물성

구분	물성치
Pigment base	Stapa Hydoxal DC 3500
Particle size	35 ㎛
Pigment value	55 %
effect-/colour shade	brilliant silver bright

배합 사항은 기본 배합의 착색 안료 함량 20 %에 각 25, 50, 100 % 일부 및 전체 치환, 샘플 제조하여 각 실험을 진행하였다.

표 3-5. 차열 안료 종류별 성능 검사 시험 내용

평가 요인	차열재료 종류	TiO_2 (Millanium)	기존 착색 안료
		shinedeco3500(ECKART)	알루미늄 paste
		Solarflair9875(MERCK)	근적외선반사 펄안료
		Glass bubble(3M)	중공안료
	치환율(%)	0, 25, 50, 100	
평가 항목	일사반사율(200～2500 nm) - UV/Vis-NIR Spectrophotometer		
	표면열복사율(차열성능평가)		

(2) 근적외선 반사 착색 안료별 성능 평가

적외선 반사 세라믹 착색 안료의 색상별 일사반사율(TSR) 및 차열성능을 현재 상용화 사용 중인 무기 안료들과 종류 및 사용 함량별로 비교 시험 하였다. 본 실험에 사용한 적외선 반사 세라믹 착색안료는 근적외선 반사안료 제조 기술에서 세계적으로 기술적 우위를 점하고 있는 Shepherd Color company사의 안료 중 TSR 값이 높고 기본 원재료등과의 상용성을 검토하여 적용 적합한 착색 안료를 추천받아 시험을 진행 하였다. 본 연구에 사용한 C.I.P 근적외선 반사 착색 안료는 2개 이상의 Metal Oxide (혹은 hydroxide 등)을 1,000 ℃ 전후의 고온에서 소성반응 공정을 통해 Spinel 혹은 Rutile 등의 매우 안정된 형태의 분자 구조를 지니고 태양열 반사 성능을 지닌 안료이다. 실험에 사용한 C.I.P 안료의 Metal 종류를 아래 표에 나타내었다.

표 3-6. C.I.P안료 색상별 Metal종류

색 상	Metal 종류
Black	FeCr
Yellow	NiSbTi
Blue	CoAl
Green	CoCr

당사에 현재 상용화 적용중인 색상별 대표 무기 안료를 선정하여 적용 샘플 제조한 후 이와 동등한 색상의 근적외선 반사 안료를 동일한 배합에 동량 대체하여 제조 후 각 샘플의 열 반사율 및 차열 성능 관련 물성을 비교해 보았다. 배합 사항은 기본 배합에서 20 % 착색 안료에 0, 25, 50, 100% 각 함량을 기본 착색안료 배합에 대체하여 시험을 진행하였다.

표 3-7. 근적외선 반사 착색안료 및 기존 무기 착색 안료 비교 시험

<table>
<tr><td rowspan="9">평가요인</td><td rowspan="8">착색안료종류</td><td rowspan="2">BLACK</td><td>Iron oxide black(기존안료)</td></tr>
<tr><td>C.I.P BLACK 10C(반사안료)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">YELLOW</td><td>Iron Oxide Yellow(기존안료)</td></tr>
<tr><td>C.I.P Yellow 29(반사안료)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">BLUE</td><td>COWA BLUE(기존안료)</td></tr>
<tr><td>C.I.P BLUE 385(반사안료)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">GREEN</td><td>GREEN 620(기존안료)</td></tr>
<tr><td>C.I.P GREEN 179(반사안료)</td></tr>
<tr><td>치환율(%)</td><td colspan="2">0, 25, 50, 100</td></tr>
<tr><td rowspan="2">평가항목</td><td colspan="3">일사반사율(200～2500 nm)-UV/Vis-NIR Spectrophotometer</td></tr>
<tr><td colspan="3">표면열복사율(차열성능평가)</td></tr>
</table>

(3) 최종 도료 물성 비교 평가(타사 샘플)

최종 개발 고반사 차열 도료의 성능 평가를 위하여 최종 제품의 일사반사율, 차열성능 등을 검토 하였다. 상대 비교를 위해 현재 유통중인 국내 도료 업체 K사 S사 J사 의 태양열 반사 도료와 일반 외부용 수성 도료 샘플 등을 수집하여 비교 평가를 진행 하였다. 타사 태양열 반사 도료 제품 및 일반 수성 페인트와 일사 반사율 및 표면 열 복사율 (차열성능평가) 비교 평가 후 도장재로서의 물성을 확인하기 위하여 KSM 6010 1종 1급 (수성 외부용 코팅제) 관련 시험 규격에 의거 건축용 외벽 마감 코팅재로써의 물성을 최종 검토 하였다.

나. 시험체 제작 및 시험방법

(1) 시험체 제작

그림 3-5 ~그림 3-7과 같이 밑판에 스프레이로 분사한 후 일정시간이 지난 후 건조된 시험체를 측정장비에 설치하기 위한 모양으로 제단하여 마무리한다.



그림 3-5. 시험편 제작

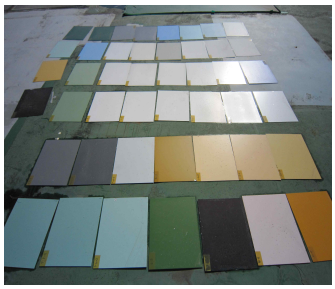


그림 3-6. 시험편 건조

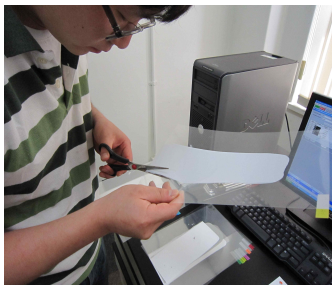


그림 3-7. 시험편 제단

(2) 시험방법

(가) 일사 반사율 시험(UV-VIS NIR Spectrophotometer)

도료의 차열 성능은 도료의 태양열 복사열 반사율 성능을 통해 비교해 볼 수 있다. 태양열 복사열 반사율은 JIS A 5759에서 반사광의 속도와 입사광의 속도의 비로 정의하며 각 파장대의 분광 반사율을 측정 하여 다음 식에 일사 반사율을 계산한다. 일사반사율은 흔히 TSR(Total Solar reflectance)이라고도 하는데 이는 물질의 각 파장별 반사값을 측정하여 에너지 밀도별 가중치를 적용하여 Total 반사율을 수치화한 것으로 수치가 높을수록 태양열 반사 효과가 우수하다는 것을 의미한다.

$$\rho_e = \frac{\sum_{300}^{2500} E\lambda\rho(\lambda)\triangle\lambda}{\sum_{300}^{2500} E\lambda\triangle\lambda}$$

ρe : 일사 반사율, Eλ : 일사의 분광 분포의 값, ρ(λ) : 분광반사율

본 연구에서는 그림 3-8과 같은 Perkin-elmer사의 Lamda950(Wavelength range : 175~3,300 nm) UV-VIS-NIR Spectrophotomete(호서대 RIC 센터)를 사용하여 각 파장대별 분광 반사율을 측정하였고, 결과 각 파장별 분광 반사율 DATA를 할증계수를 적용한 일사 반사율 계산식에 대입하여 일사 반사율 값을 계산하였다.

표 3-8. 일사 반사율 계산을 위한 할증 계수(shepherd사 제공 자료)

파장 (㎚)	Eλ·Δλ	파장 (㎚)	Eλ·Δλ	파장 (㎚)	Eλ·Δλ	파장 (㎚)	Eλ·Δλ	파장 (㎚)	Eλ·Δλ
305	0.0001	510	0.0157	832	0.0066	1320	0.0099	2065	0.0023
310	0.0001	520	0.0153	840	0.008	1350	0.0043	2100	0.0027
315	0.0004	530	0.0153	860	0.0194	1395	0.0008	2148	0.0041
320	0.0007	540	0.0156	880	0.0191	1443	0.0013	2198	0.0038
325	0.0011	550	0.0156	905	0.021	1463	0.0016	2270	0.0051
330	0.0016	570	0.0306	915	0.0071	1478	0.0015	2360	0.006
335	0.0019	590	0.029	925	0.0068	1498	0.0029	2450	0.0037
340	0.0021	610	0.0288	930	0.0027	1521	0.0051	2494	0.0009
345	0.0022	630	0.0292	937	0.0023	1539	0.0051	2537	0.0005
350	0.0023	650	0.0285	948	0.0032	1558	0.0053	2941	0.0015
360	0.005	670	0.0281	965	0.0071	1578	0.0052	2973	0.0002
370	0.0059	690	0.0253	980	0.0088	1592	0.0034	3005	0.0002
380	0.0069	710	0.0244	994	0.0094	1610	0.0043	3056	0.0003
390	0.0072	718	0.0093	1041	0.0334	1630	0.0047	3132	0.0003
400	0.0087	724	0.0066	1070	0.0199	1646	0.0038	3156	0.0003
410	0.0108	740	0.0176	1100	0.0158	1679	0.0073	3204	0.0005
420	0.0117	753	0.015	1121	0.0052	1741	0.0122	3245	0.0001
430	0.0113	758	0.0059	1131	0.0015	1800	0.006	3318	0.0006
440	0.0119	763	0.0046	1138	0.0011	1860	0.001	3344	0.0002
450	0.0141	768	0.0042	1161	0.0057	1920	0.0001	3450	0.0009
460	0.0157	780	0.0135	1180	0.0076	1960	0.0005	3573	0.0015
470	0.0159	800	0.0221	2000	0.0088	1985	0.0014	3765	0.0021
480	0.016	816	0.0155	1235	0.0158	2005	0.0012	4045	0.0024
490	0.0158	824	0.0063	1290	0.0246	2035	0.0019	4095	0.0002
500	0.0155								



그림 3-8. 일사 반사율 시험기



그림 3-9. 일사 반사율 측정

(나) 표면열 복사율 시험-차열 성능 평가(IR램프 조사법)

차열 성능 평가는 건축물의 벽체를 통한 열전달에 대한 도장 종류별 차열 성능을 모의 비교 TEST 하기 위하여 단열 박스를 400×30×30 cm(두께 5 cm)로 자체 제작하여 진행하였다. 시험편은 40×30 cm(두께 1 mm) 압연 강판위에 실험 하고자 하는 실험군을 약 100～150 ㎛로 도장하여 충분이 건조시킨 후 그림 3-12와 같이 실험을 진행 하였다.

IR램프를 일정한 거리(50 cm)에서 조사하면서 코팅된 도막 표면과 단열 박스 내부표면 및 내부 공기에 온도 측정 센서를 설치하여 시간에 따른 온도 변화를 측정하였다. 각 시편당 120분간 시험을 진행하였으며 DATA logger를 이용해 온도를 측정 하였다. 본 실험을 진행하기 위해 General Electric사 250 W Infrared Lamp를 사용 하였고 온도 측정 장치는 Curve-X2 (TQC사) 온도 Data logger(스캔 스피드를 5sec 단위로 Setting)로 측정 후 Ideal Finishg software를 사용 하여 온도 변화 추이를 분석하였다.

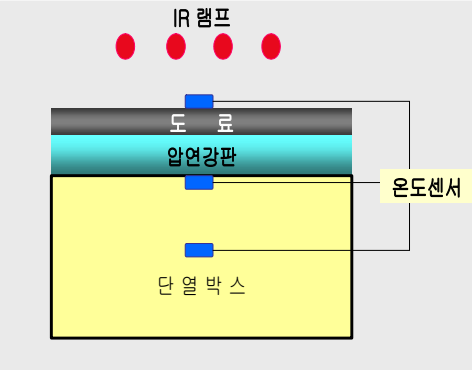


그림 3-10. 차열 성능 시험 모식도

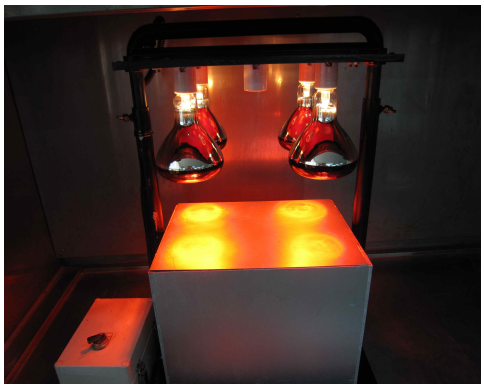


그림 3-11. 표면 복사율 시험기

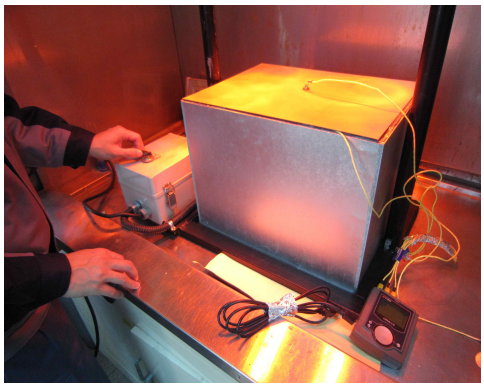


그림 3-12. 표면 복사율 측정



그림 3-13. TQC DATA LOGGER

(3) 실험항목 및 목표 물성

본 연구에 있어서 차열 및 고반사 도료의 설계에 있어서 어느 정도 온도 저감 효과를 할 수 있는지 평가 할 수 있는 지표가 필요했다. 현재 차열 및 고반사 도료의 평가 방법이나 평가 지표의 통일화가 진행되어 있지 않고 여러 연구 기관 및 업체의 시험 방법들이 난립하고 있는 실정이어서 그중 가장 보편화되 있는 시험 방법 두 가지를 선정하여 시험을 진행 하였다. 평가 방법의 하나로 도료의 분광 반사율을 측정 방법을 이용하였다. 도료의 반사 스텍트럼의 근적외선 반사율 그래프에 의해 어느 정도의 반사 효과가 있는지 판단 할 수 있다. 분광 반사율의 측정치를 기본으로 산출하고 여기에 하나의 수치로 표현 할 수 있는 일사 반사율(TSR)을 태양광 반사 성능을 판단한다. 일사 반사율이 클수록 태양광의 반사 능력이 크며 차열 효과가 크다고 평가 할 수 있다.

또 다른 평가 방법은 간이 재현 시험을 통한 차열 성능 평가 방법으로 적외선 램

프등을 태양광으로 하여 도료를 도장한 금속판에 램프를 직접 조사하여 실제의 온도를 측정하는 방법이다. 이 평가 방법은 램프, 금속판의 종류, 조사거리 등에 따라 결과가 크게 변하기 때문에 상대적인 비교로서는 유효하나 절대적인 지표라고는 말할 수 없다. 따라서 상기 두 가지 평가 방법을 병용하여 차열 및 고반사 도료의 시험 수행하는 것이 차열 성능 평가에 현실적이라 생각 되어 함께 실험을 진행하였다.

이와 더불어 도료 본래의 물성 성능 평가를 위해 건축용 외벽 마감 코팅제로써의 물성 평가를 진행 하였다. 합성 수지 에멀젼 페인트(외부용)에 규정하고 있는 품질 항목에 대하여 각 시험을 진행하였으며 기본적인 페인트의 요구물성에 대한 충족 여부를 실험 하였다.

표 3-9. 실험 항목 및 목표 물성

번호	시험항목	단위	시험방법	목표치
1	일사반사율(TSR) (200nm～2500nm)	%	UV/Vis-NIR Spectrophotometer	기존도료 30 %이상
2	표면열복사율	%	자체시험방법 (차열성능시험)	기존도료 20 %이상
3	주도	KU	KS M 5000-2122	80～100 KU
4	비휘발분	%	KS M ISO-3251	56 이상
5	건조(고화건조)	분	KS M 5000-2511	60분 이내
6	은폐율	%	KS M ISO-2814	96 이상(흰색기준)
7	내세척성	회	KS M 5000-3351	1000회 이상
8	열안정성	-	60℃,120시간	응고변질 없음 점도 변화 8 KU 미만
9	냉동안정성	-	-1O ℃ 냉동 시험	응고 변질 없음 주도 변화 8 KU 미만
10	내알카리성	-	KS M ISO 2812-1	주름, 갈라짐, 부풀음, 박리없어야 함
11	용기안의 상태	-	KS M 5000-2011	균일한 상태로 쉽게 혼합 가능

다. 결과 및 분석

(1) 차열 재료별 성능 평가

(가) 일사 반사율

그림 3-14는 차열 재료별 밀사 반사율을 나타낸 그래프이다. 차열 재료별 반사율을 측정한 결과와 TSR값을 계산하여 나타내었다. 차열 재료별 일사반사율(TSR)을 살펴 보면 TiO_2가 75.2 %로 가장 뛰어난 반사율을 보이고 있으며, 그 뒤로 수성 알루미늄 PASTE SHINEDECO 3500 68 %, 펄 안료 SOLARFLAIR 9875 60.9 %, 중공안료 VS 5500 33.7 % 순으로 나타났다. 특히 TIO_2는 가시광선 영역(380 ~780 nm)에서 뛰어난 반사율을 보였으며 VS5500 중공 안료의 경우 전 영역에 걸쳐 20~40 %정도의 낮은 반사율을 보였다. 알루미늄 PASTE의 경우 UV(200~380 nm) 영역에서 70 % 이상의 반사율을 보였지만, 가시광선 및 낮은 파장의 근적외선 영역에서의 반사율이 TiO_2에 비해 떨어져 TSR값이 다소 TiO_2값에 미치지 못하는 것으로 나타났다.

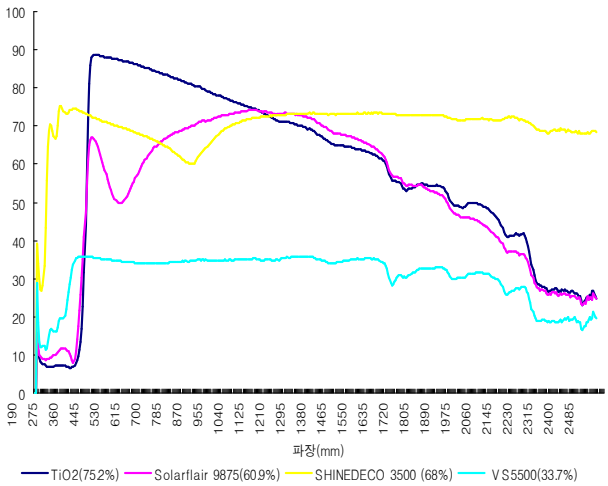
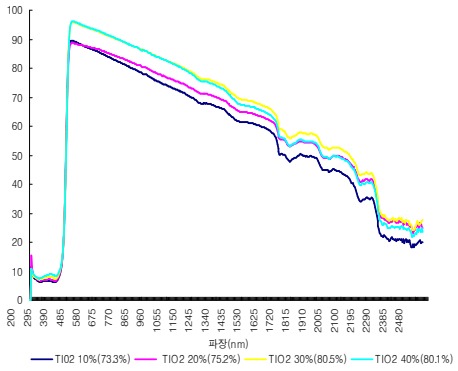


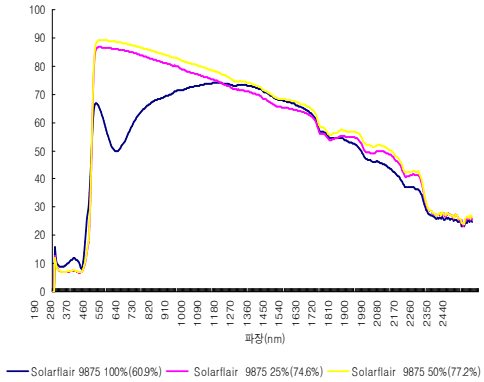
그림 3-14. 차열 재료별 일사 반사율 그래프

그림 3-15는 차열재료 TIO_2 치환 함량별 일사반사율 그래프이다. 먼저 TIO_2 함량에 따른 변화를 보면 TIO_2 함량이 10 % 증량에 따른 TSR값의 변화를 보면 10 %에

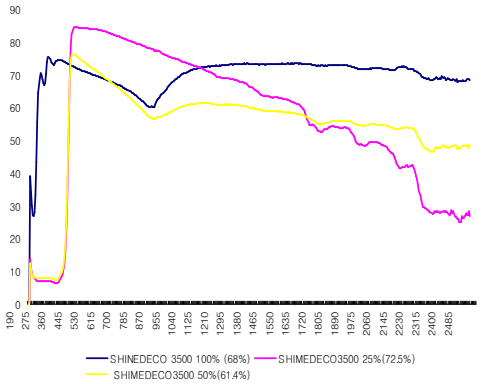
서 20 %로 증량 시 2 %, 20 %에서 30 %로 증량 시 5.3 % 증가를 보였다. 그러나 30 % 이상 적용 시 80 % 정도의 유사한 값을 보여 일사반사율 한계값을 보였다. 각 원재료를 기본 배합의 TIO_2에 25, 50, 100 % 치환 제조 후 일사반사율 값을 보면 SOLARFLAIR 9875 펄 안료 단독 100 % 적용 시 25, 50 % 치환 적용한 경우에 비해서 일사 반사율이 15 % 정도 떨어짐을 확인할 수 있다. 적외선 범위에서는 큰 차이는 보이지 않았으나 가시범위(380~780 nm파장)에서 반사율 차이값이 커 TIO_2의 상대적 증량에 따른 확산 반사율에 의한 TSR값의 차이가 발생함을 확인 할 수 있다. SHINEDECO 3500 PASTE의 경우 치환 함량의 증가에 따라 가시광선 영역 반사율은 떨어졌으나 적외선 반사 부분의 반사율 값이 다소 향상됨을 확인할 수 있었다. 그러나 TSR값은 적용하지 않은 경우에 비해 25, 50, 100 % 적용 시 7~15 %가량 떨어지는 값을 보였다. VS 5500 중공 안료의 경우는 100 % 단독 적용 시 가시광선 영역에서서의 낮은 반사율 값을 나타냄을 확인 할 수 있다. 이는 중공안료 자체의 백색도 및 은폐율이 떨어져 이런 결과를 나타냈을 것으로 보인다. TIO_2에 일부 치환하여 사용하였을 경우 100 % 단독 적용한 것 보다 높은 TSR값을 보임을 확인할 수 있다. 그러나 3가지 차열 재료 모두 TIO_2에 비해 TSR값 향상에는 큰 영향을 미치지 못함을 확인할 수 있었다. 다만 아래 표와 같이 근적외선 반사 펄 안료를 50 % 가량 TIO_2 일부에 치환 제조하였을 경우 약 2 % 소폭 향상됨을 확인 할 수 있었다.



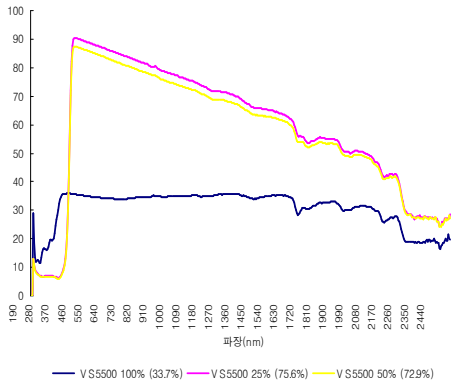
(a) TiO_2 함량별



(b) Solarflair 9875



(c) shinedeco 3500 함량별



(d) VS5500 함량별

그림 3-15. 차열재료 TiO_2 치환 함량별 일사반사율 그래프

표 3-10. 차열 재료별 TiO_2에 치환 함량별 일사반사율(TSR)값

TiO_2 치환함량 / 반사재료	0 %	25 %	50 %	100 %
Solarflair 9875 (반사펄안료-MERCK사)	75.2 %	74.6 %	77.2 %	60.9 %
Shinedeco 3500 (알루미늄PASTE-EKART)		72.5 %	61.4 %	68 %
VS 5500(3M)		75.6 %	72.9 %	33.7 %

(나) 표면열 복사율-차열성능평가

그림 3-16은 차열재료별 표면 온도 변화를 나타낸 그래프이다. 각 시편을 제작 후 시험방법대로 인공 광원을 조사하여 시간에 따른 표면 온도, 내부 표면 온도, 내부 온도의 변화를 확인하였다. 총 120분의 광원 노출 시간 중 오차값을 줄이기 위해 초기 60분 동안 측정한 데이타를 제외한 평균값 수치를 통해 각각 위치의 온도를 비교해 보았다. 우선 표면 온도 값을 비교해 보면 TIO_2(65.8℃)< VS 5500(69.3 ℃)<압연강판단독-무처리(70.3 ℃)<Solarflair 9875(70.3 ℃)< Shinedeco 3500(80.1 ℃) 순으로 높은 온도값을 보였다. TIO_2 적용 시 표면 온도 평균값이 가장 낮은 값을 보였으며 Shinedeco 3500의 경우는 오히려 압연강판 단독 TEST시보다도 80℃이상 올라가 TIO_2 적용 시와 14 ℃정도 온도 차이를 보였다. VS-5500의 경우 무처리한 압연 강판 값에 비해 1 ℃ 낮은 온도값을 보였으며 SOLARFLAIR 9875의 경우 압연 강판 단독 TEST의 경우와 같은 값을 보였다.

압연 강판 내부 표면 온도 변화 결과는 외부 표면 온도 변화와 거의 유사한 값을 보여 생략하기로 한다. 이는 도장 도막 두께가 얇고 압연 강판도 얇아 강판의 표면온도가 내부 표면으로 급하게 전도되어 데이터가 유사한 값이 나왔을 것이라 예상된다.

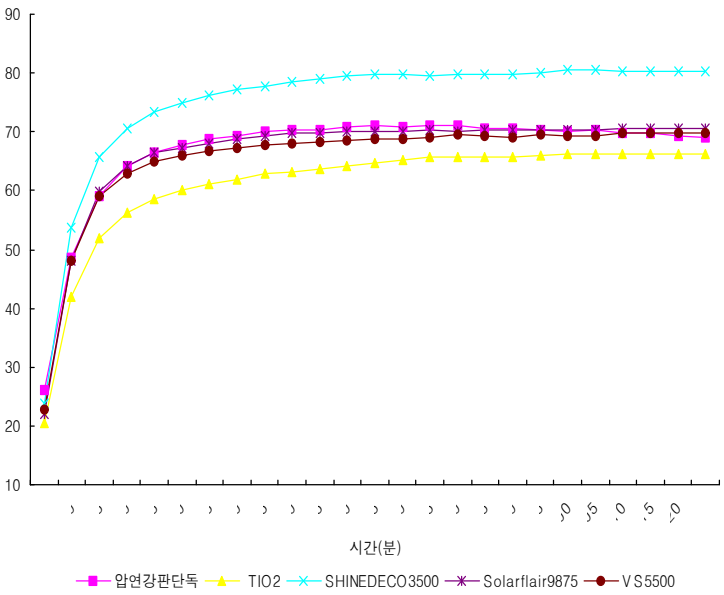


그림 3-16. 차열재료별 표면 온도 변화

그림 3-17은 차열 재료 소재별 내부 온도변화를 나타낸 그래프이다. 내부 온도 평균 온도 값을 비교해 보면(이하-초기 60분 제외DATA 평균값) TIO_2(42.3 ℃) < VS 5500(44.3 ℃) < 압연강판단독(45 ℃) < Solarflair 9875(45.3 ℃) < Shinedeco 3500 (49.4 ℃) 순으로 평균 온도값을 나타냈다. 표면 온도 비교 결과와 유사한 양상을 보였으며, TiO_2의 경우 2.7℃, VS 5500의 경우 0.7℃ 무처리한 압연 강판에 비해 낮은 평균 온도 값을 보였다. SOLARFLAIR 9875는 0.3 ℃ SHINEDECO 3500은 4.4 ℃로 오히려 높은 값을 보여 차열 성능이 떨어짐을 확인할 수 있었다.

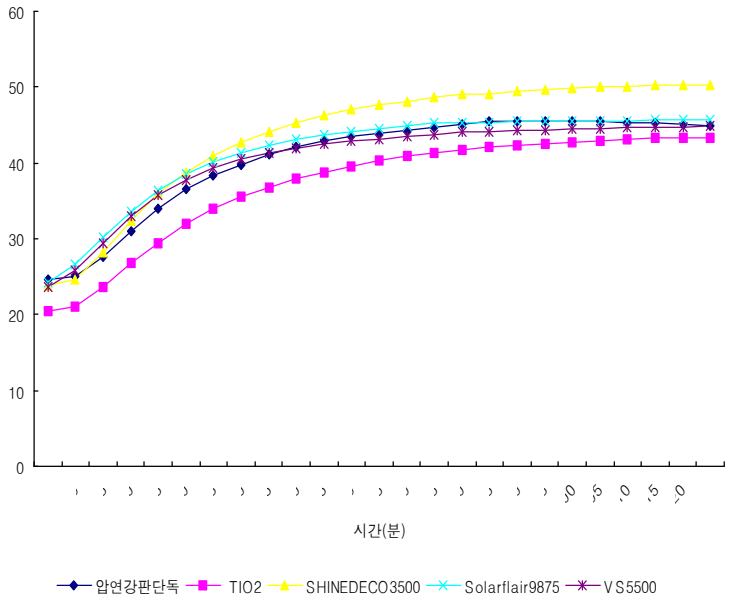
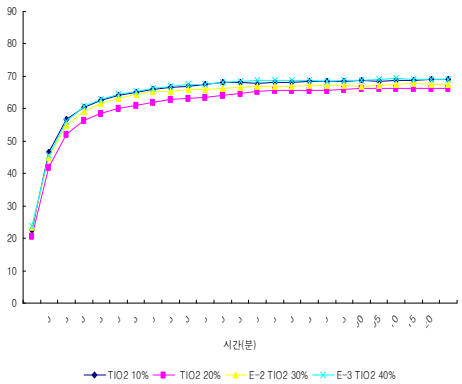


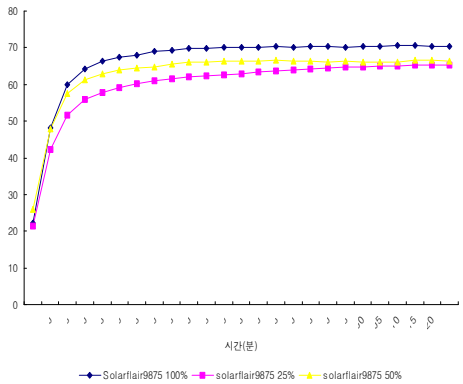
그림 3-17. 차열 재료 소재별 내부 온도변화

그림 3-18은 차열 재료 TIO_2에 치환 함량별 표면 온도변화 그래프이고, 표 47은 차열 재료 TIO_2 치환 함량별 표면 온도변화를 나타낸 표이다. 우선, TIO2함량의 증량에 따른 표면 평균 온도값을 살펴보면 각 10 %(68.4 ℃), 20 %(65.8 ℃), 30 %(67.2 ℃), 40 %(68.7 ℃) 등 65.8~68.7 ℃ 평균 온도값을 나타냈으며, 20 % 적용 시 가장 양호한 값을 나타내었다. SOLARFLAIR 9875의 경우 25 % 치환 시 1 ℃ 정도의 표면 온도 값이 떨어지지만 치환 함량을 50, 100 % 증량 시 4.5 ℃까지 표면 온도값이 상승함을 보였다. SHINEDECO 3500의 경우 증량됨에 따라

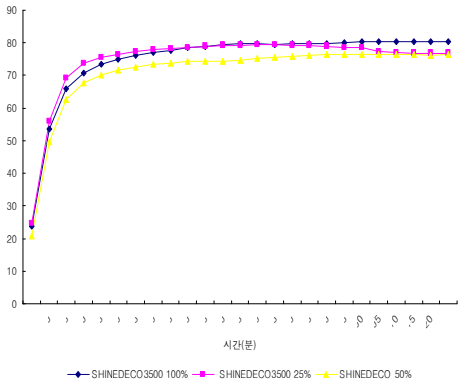
TIO_2 단독 적용 TEST 한 경우에 비해 표면 온도가 10～15 ℃ 높아짐을 확인할 수 있었다.



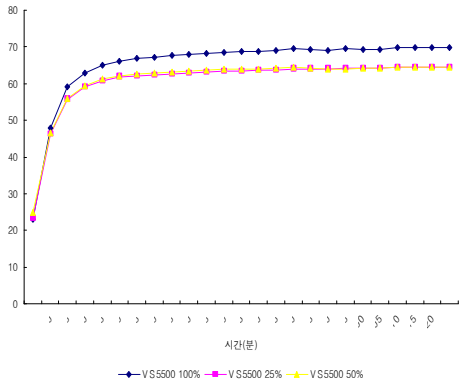
(a) TiO_2 함량별



(b) Solarflair 9875 TiO_2 치환별



(c) shinedeco 3500 TiO_2 치환별



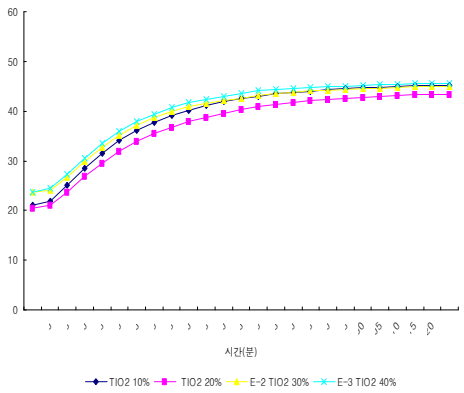
(d) VS 5500 TiO_2 치환별

그림 3-18. 차열 재료 TiO_2에 치환 함량별 표면 온도변화 그래프

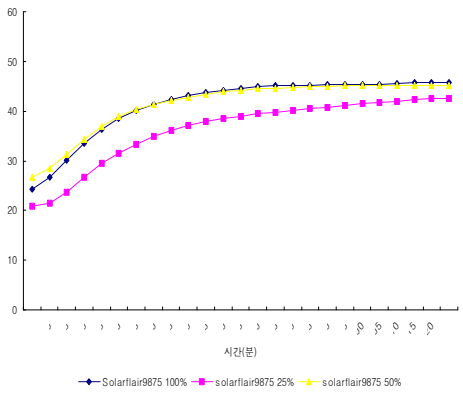
표 3-11. 차열 재료 TiO_2치환 함량별 표면 온도 변화

TiO_2 치환함량 / 반사재료	0 %	25 %	50 %	100 %
Solarflair 9875 (반사펄안료-MERCK사)	65.8 ℃	64.4℃	66.3℃	70.3℃
Shinedeco 3500 (알루미늄PASTE-EKART)		78.3℃	76.1℃	80.1℃
VS-5500(3M)		69.3℃	64.2℃	69.3℃

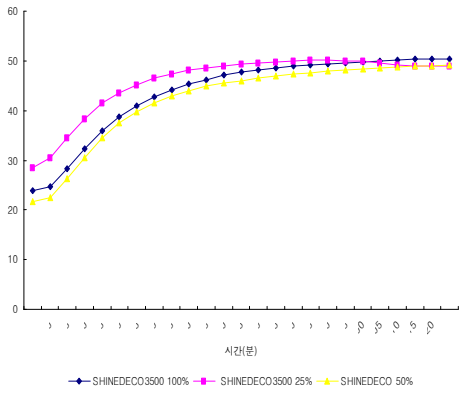
그림 3-19는 차열 재료 함량별 내부온도변화 그래프이고, 표 48은 차열 재료 함량별 내부 온도변화를 나타낸 표이다. TIO_2 함량별 내부 온도 평균값을 보면 10 %(68.4 ℃), 20 %(65.8 ℃), 30 %(67.2 ℃), 40 %(68.7 ℃)를 보였으며, 외부 표면 온도값과 마찬가지로 20 % 적용 시 가장 낮은 평균 온도값을 나타내었다. SOLARFLAIR 9875 적용 시 내부 온도 값이 3 ℃까지 상승을 보였으며 SHINEDECO 3500 적용 시 5℃ 온도 상승을 보여 차열 성능이 떨어짐을 확인하였다. VS 5500의 경우 25 % 적용 시 0.5℃가량 떨어졌으나 50, 100 % 적용 시 다소 내부 온도값이 올라가는 현상이 보였다. 이는 TIO_2 적정 함량을 통해 반사율을 향상시킨 후 중공 안료 적용 시 차열 성능을 향상 시킬 수 있음을 의미하는 부분이다.



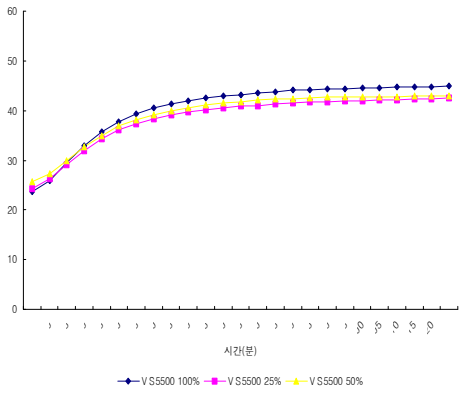
(a) TiO_2 함량별



(b) Solarflair 9875 치환별



(c) shinedeco 3500 치환별



(d) VS 5500 치환별

그림 3-19. 차열 재료 함량별 내부온도변화 그래프

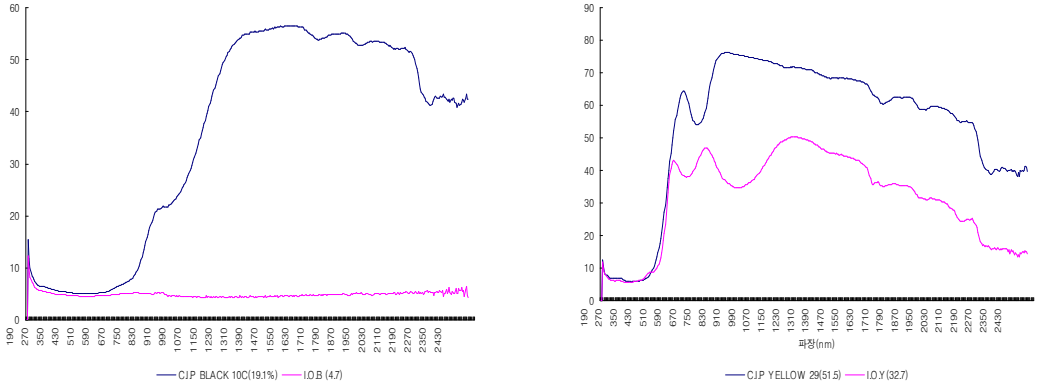
표 3-12. 차열 재료 함량별 내부 온도변화

TiO_2 치환함량 / 반사재료	0 %	25 %	50 %	100 %
Solarflair 9875 (반사펄안료-MERCK사)	42.3℃	42.5℃	44.9℃	45.3℃
Shinedeco 3500 (알루미늄PASTE-EKART)		49.5℃	47.9℃	49.4℃
VS 5500(3M)		41.8	42.5	44.3

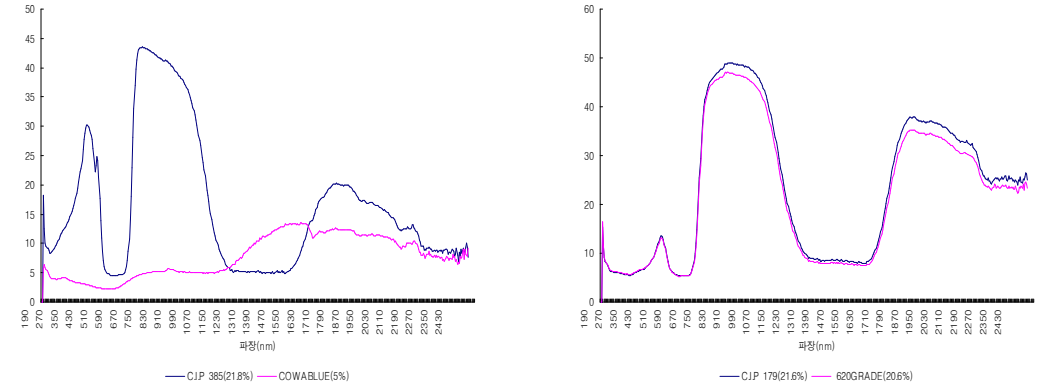
(2) 근적외선 반사 착색 안료별 성능 평가

(가) 일사 반사율(TSR)

그림 3-20은 근적외선 반사 착색 안료 및 일반 무기 착색 안료 종류별로 BLACK, YELLOW, BLUE, GREEN 색상별 샘플을 제조하여 반사율을 측정한 결과를 나타낸 그래프이다. BLACK과 YELLOW의 경우 근적외선 반사 안료 적용한 타입의 샘플과 일반 무기 IRON OXIDE계 착색 안료를 적용한 샘플에 비해 확연히 적외선 영역의 반사율 값이 높았으며, 그로 인해 높은 일사반사율(TSR)값을 나타내었다. Blue색상의 경우에도 21.8 %로 기존 안료 적용 시 5 %에 비해 우수한 일사 반사율(TSR)결과 값이 나왔다. 녹색 색상의 경우에는 일반 안료 적용 시에 비해 1 % 높은 값이 나왔지만 그래프 커브형태나 데이터 값을 보면 거의 동등한 유사한 값이 나와 반사율 향상 효과가 없음을 확인 할 수 있었다.



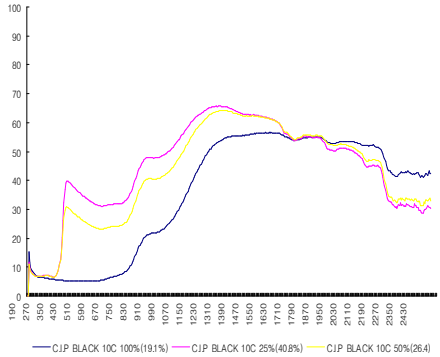
(a) BLACK (b) YELLOW



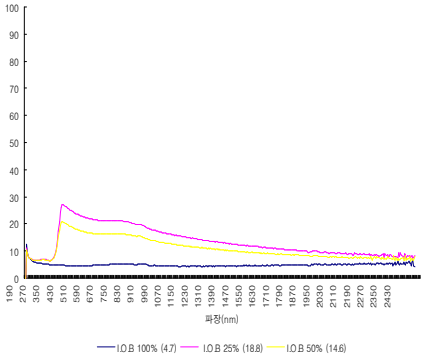
(c) BLUE (d) GREEN

그림 3-20. 안료 종류별 일사 반사율 비교

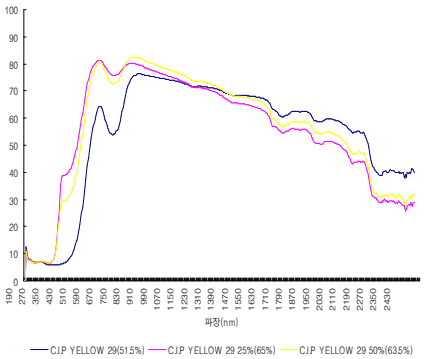
그림 3-21은 기본 배합의 TIO_2 일부에 25, 50, 100 % 착색 안료의 종류 및 함량별로 치환하여 샘플 제조 후 일사 반사율을 측정 결과 그래프이고 표 3-13은 일사 반사율 값을 나타낸 표이다. C.I.P 착색 안료를 적용한 경우 TIO_2 단독 적용했을 경우 보다는 낮은 일사 반사율(TSR) 값을 나타냈지만 일반 무기 착색 안료를 사용하여 제조한 샘플에 비해 높은 일사 반사율 값을 보였다. 특히, BLACK 색상을 보면 TIO_2에 25 % 각각 치환 제조시 C.I.P 안료 적용하여 제조한 샘플의 경우 반사율이 40.8 %를 보여 기존 I.O.R 안료 결과치 18.8 %에 비해 100 % 적용 시와 마찬 가지로 크게 우수함을 확인 할 수 있었다.



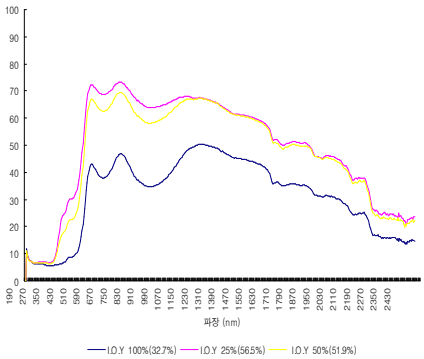
(a) C.I.P BLACK 10C



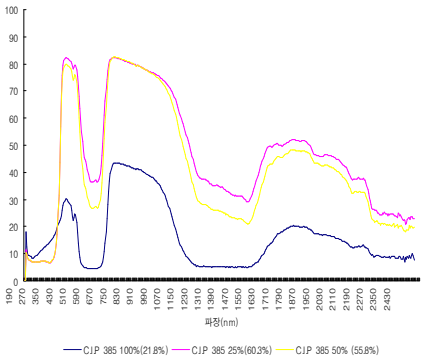
(b) IRON OXIDE BLACK 기존



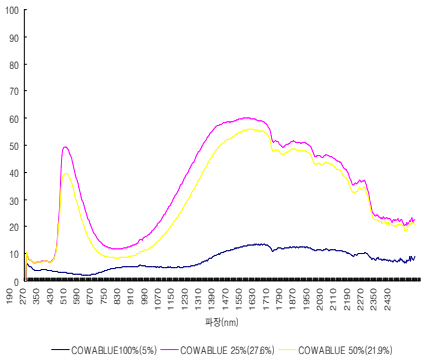
(c) C.I.P YELLOW 29



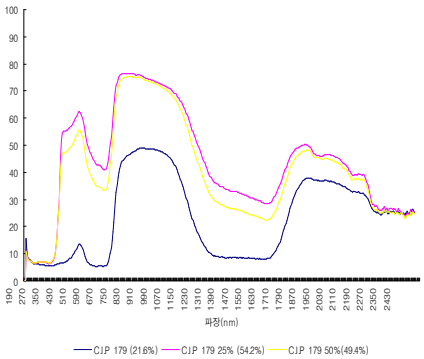
(d) IRON OXIDE YELLOW 기존



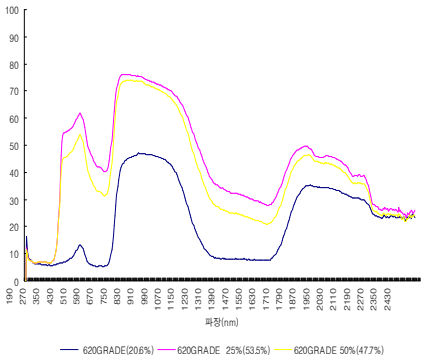
(e) C.I.P BLUE 385



(f) COWA BLUE 기존



(g) C.I.P GREEN 179



(h) 620 GRADE 기존

그림 3-21. 안료 종류 및 함량별 일사 반사율 비교

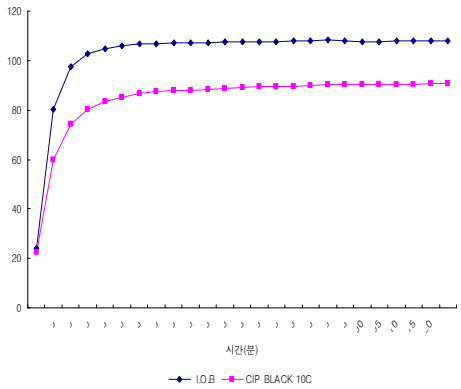
표 3-13. 안료 종류 및 함량별 TSR값

색상 \ 치환율		0 %	25 %	50 %	100 %
Black	기존 I.O.B	75.2 %	18.8 %	14.6 %	4.7 %
	CIP BLACK 10C		40.8 %	26.4 %	19.1 %
YELLOW	기존 I.O.Y		56.5 %	51.9 %	32.7 %
	CIP YELLOW 29		62 %	63.5 %	51.5 %
BLUE	기존 COWABLUE		27.6 %	21.9 %	5 %
	CIP BLUE 385		60.3 %	55.8 %	21.8 %
GREEN	기존 620		53.5 %	47.7 %	20.6 %
	CIPGREEN 179		54.2 %	49.4 %	21.6 %

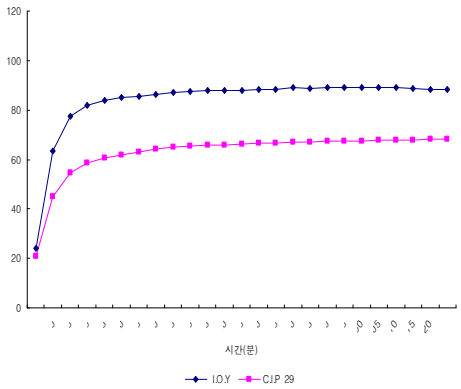
(나) 표면열복사율-차열성능평가

착색 안료 종류에 따른 차열 성능 평가하여 표면 온도 변화를 그림 3-22에 나타내었다. 표면 온도 변화 추이를 보면 C.I.P BLACK의 경우 평균 표면 온도값이 90 ℃ 였으며 일반 Iron oxide black 착색 안료을 적용하여 제조하였을 경우 107.8 ℃까지 올라가 17.8 ℃ 온도 저감 효과를 보였다. YELLOW의 경우는 기존 안료 88.6℃에 비해 C.I.P 안료 적용 시 67.3 ℃로 약 21.3 ℃까지 낮출 수 있었으며 BLUE의 경우 2.6 ℃의 표면 온도를 낮출 수 있었다. 녹색의 경우 C.I.P 안료 적용 시 기존 안료와 거의 거의 동등한 수준인 97 ℃정도 까지 상승해서 표면 온도 저감 효과의 차이가 없음을 확인하였다.

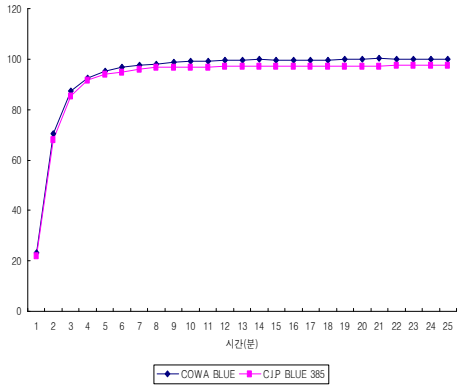
그림 3-23의 내부 온도 변화 추이를 살펴보면 BLACK의 경우 일반 안료 59.4 ℃ C.I.P안료 52.1 ℃로 C.I.P 안료 사용 시 7.3 ℃ 내부 온도를 낮추는 효과가 있음을 확인하였다. YELLOW의 경우 일반 무기 안료 53.5℃ C.I.P안료 41.1 ℃로 12.4 ℃ 저감 효과를 보였고 청색의 경우 일반 56.2℃ CIP 53 ℃로 3.2 ℃ 낮출 수 있었다. GREEN의 경우 외부 표면 온도와 마찬가지로 약 54 ℃로 일반 안료와 동등한 수준의 온도를 나타내어 차열 성능에 별 효과가 없음을 확인하였다.



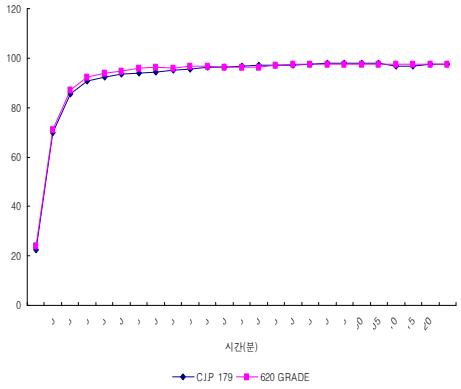
(a) BLACK



(b) YELLOW

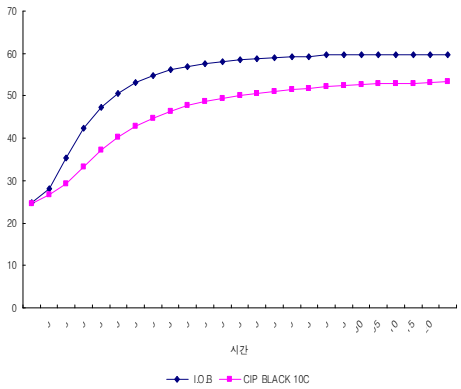


(c) BLUE

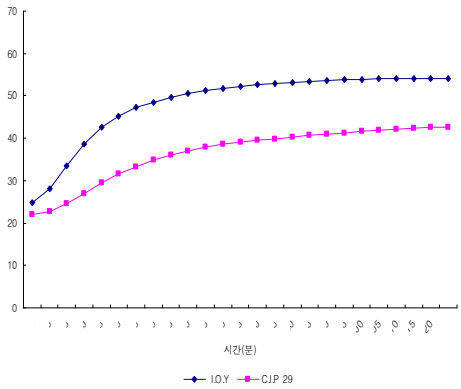


(d) GREEN

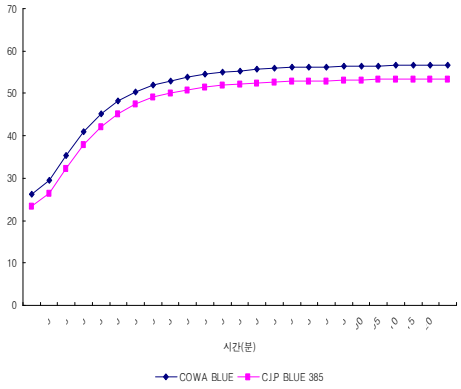
그림 3-22. 안료 종류별 차열 성능 비교-표면온도비교



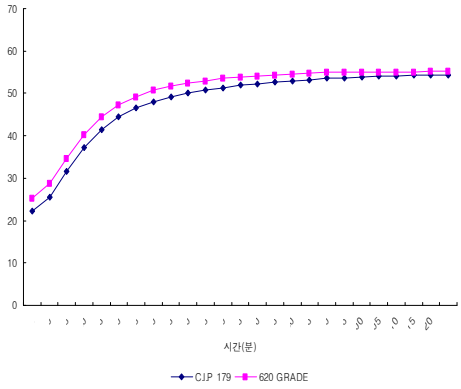
(a) BLACK



(b) YELLOW



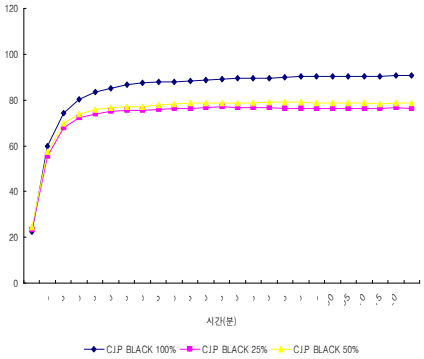
(c) BLUE



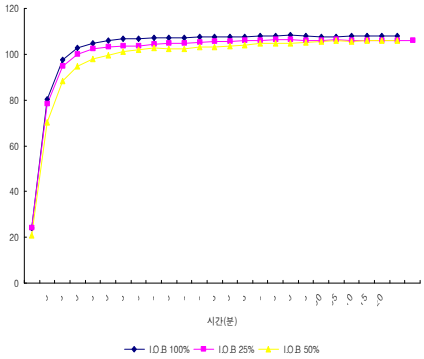
(d) GREEN

그림 3-23. 안료 종류별 차열 성능 비교-내부온도비교

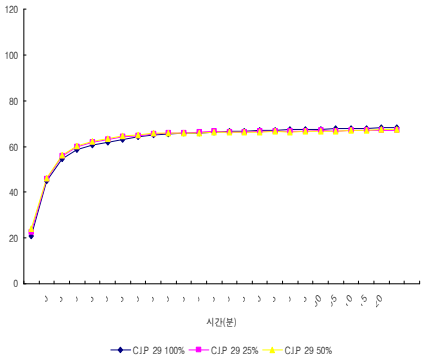
다음은 CIP 및 일반 무기 착색안료 종류 및 함량별로 기본 배합 TiO_2에 25, 50, 10 0% 대체 차열 성능 시험을 진행하여 아래 그림 3-24, 그림 3-25 및 표 3-14에 나타내었다. 기존 Iron oxide black 기존 안료 적용 시 TiO_2 함량이 증량되어도 외부표면 및 내부 온도값의 저하가 힘들었고, C.I.P BLACK의 경우 TIO_2 함량 증량에 따라 12~14℃ 가량 평균 온도값이 떨어져 차열 성능이 향상됨을 보였다. GREEN의 경우 C.I.P 25 % 대체 시 기존 안료 적용시보다 약 3.5 ℃정도 낮출 수 있었으나 50, 100 % 적용 시 차열 성능이 기존과 동등한 수준을 보여 큰 효과 없음을 확인하였다.



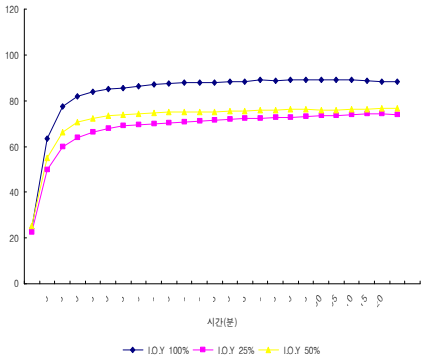
(a) C.I.P BLACK 10C



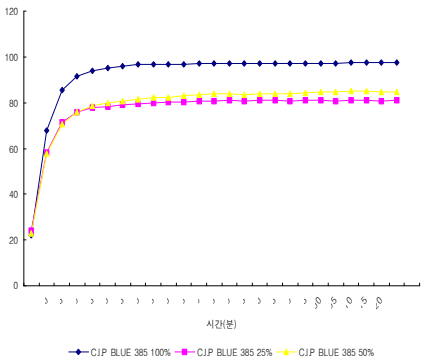
(b) IRON OXIDE BLACK(기존)



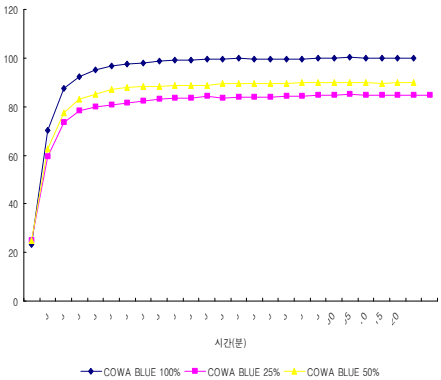
(c) C.I.P YELLOW 29



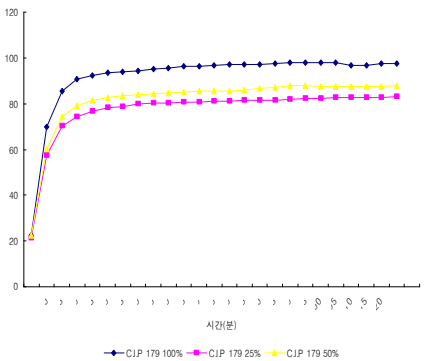
(d) IRON OXIDE YELLOW(기존)



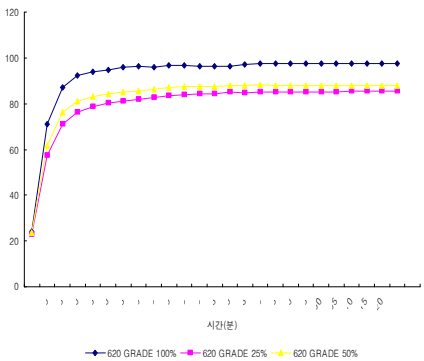
(e) C.I.P BLUE 385



(f) COWA BLUE(기존)

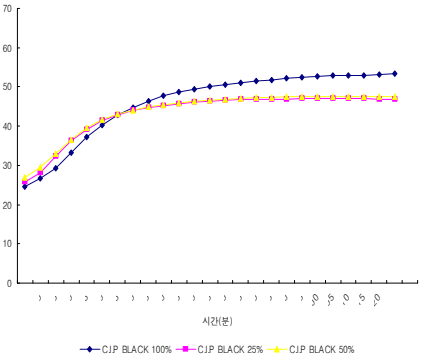


(g) C.I.P GREEN 179

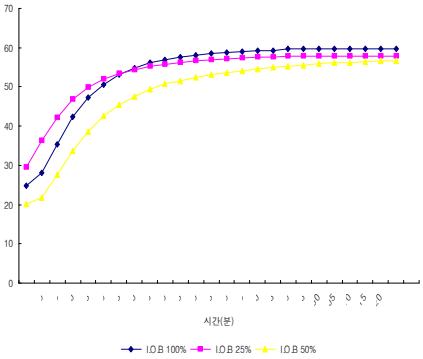


(h) GREEN 620(기존)

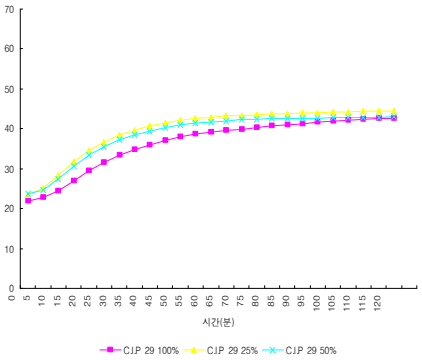
그림 3-24. 안료 종류 및 TIO_2에 대체 함량별 표면온도 변화



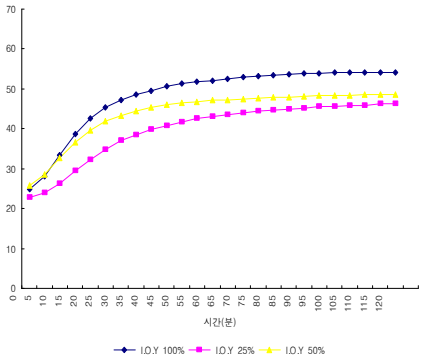
(a) C.I.P BLACK 10C (반사안료)



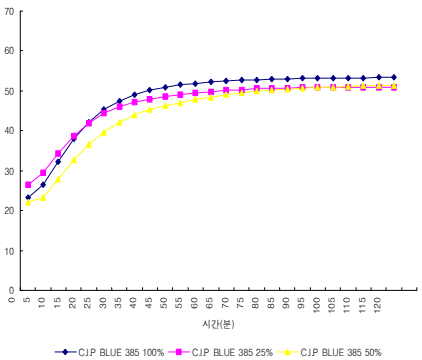
(b) IRON OXIDE BLACK(기존)



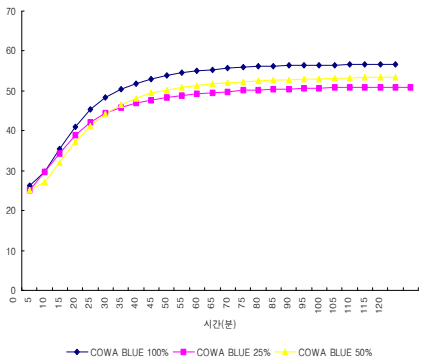
(c) C.I.P YELLOW 29(반사안료)



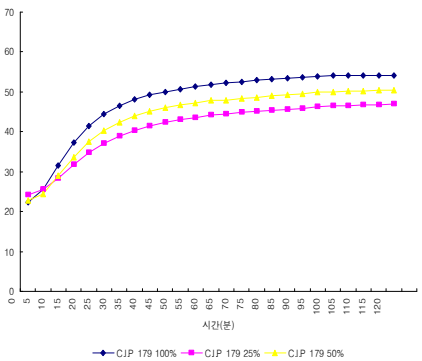
(d) IRON OXIDE YELLOW(기존)



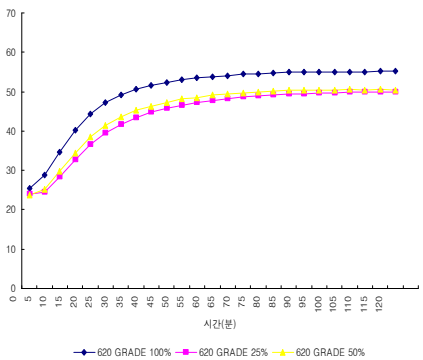
(e) C.I.P BLUE 385(반사안료)



(f) COWA BLUE(기존)



(g) C.I.P GREEN 179(반사안료)



(h) GREEN 620(기존안료)

그림 3-25. 안료 종류 및 함량별 내부온도변화

표 3-14. 안료 종류 및 함량별 내외부 온도 평균값

안료 종류 \ 안료함량			0%	25%	50%	100%
BLACK	Iron oxide black(기존)	표면(℃)	65.8	105.9	105.9	107.9
		내부(℃)	42.3	57.6	55.3	59.4
	C.I.P BLACK 10C	표면(℃)	65.8	76.4	78.7	90
		내부(℃)	42.3	46.8	47.3	52.1
YELLOW	Iron oxide yellow(기존)	표면(℃)	65.8	73.9	76.6	88.3
		내부(℃)	42.3	45	48	53.5
	C.I.P YELLOW 29	표면(℃)	65.8	66.7	66.7	67.3
		내부(℃)	42.3	43.8	42.5	41.1
BLUE	COWA BLUE(기존)	표면(℃)	65.8	84.4	89.6	99.8
		내부(℃)	42.3	50.5	52.8	56.2
	C.I.P BLUE385	표면(℃)	65.8	80.9	84.3	97.2
		내부(℃)	42.3	50.6	50.4	53
GREEN	GREEN 620(기존)	표면(℃)	65.8	85	87.8	97.4
		내부(℃)	42.3	49.2	50.1	54.7
	C.I.P GREEN 179	표면(℃)	65.8	81.9	87	97.3
		내부(℃)	42.3	45.7	49.3	53.4

(3) 최종 도료 물성 비교 평가(타사 샘플)

(가) 일사 반사율

최종 개발 완료된 차열 및 고반사 도료의 성능 평가를 위하여 국내 유통 중인 타사 유사용도 제품 GRADE를 수거하여 일사 반사율 및 차열 성능 평가를 진행하여 그림 3-26에 나타내었다. 일사 반사율 시험 결과 최종 고반사 도료 개발품의 경우 86.6 %로 가장 높은 값을 보였고 타사 제품보다 파장 전 영역에서 높은 반사율을 보이고 있음을 확인하였다. S사 제품과 J사 제품의 경우 가시영역 및 적외선 영역 모두 낮은 반사율을 보였으며 일반 수성 도료보다 낮은 일사 반사율 값을 보였다.

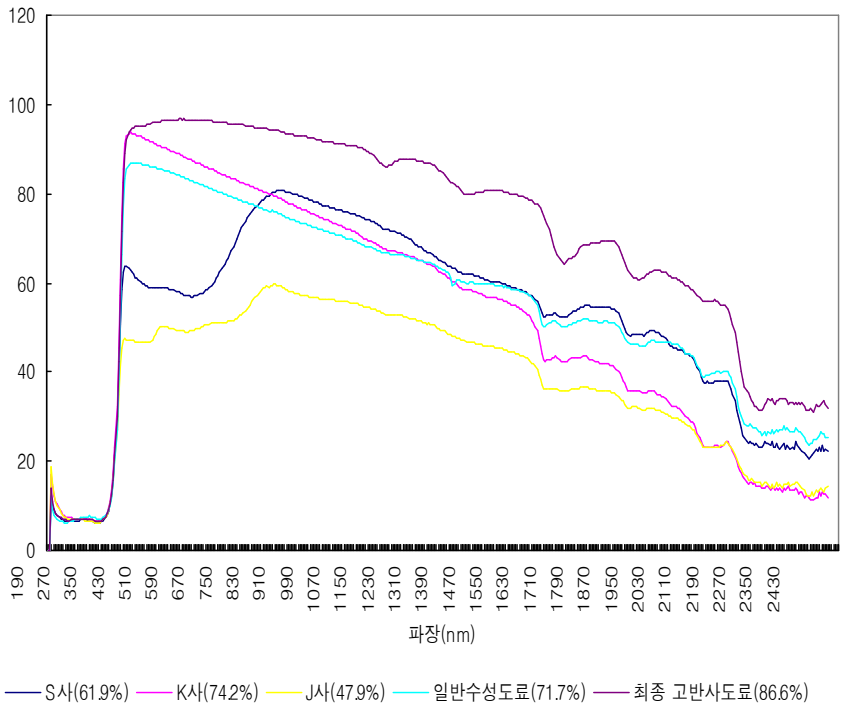


그림 3-26. 타사 제품과 일사반사율 비교

(나) 표면 열복사율-차열 성능 평가

그림 3-27은 각 제품별 표면 온도변화를 나타낸 그래프이다. 각 제품별 표면 온도 평균값을 보면 최종 고반사 도료 (61.7 ℃) < 일반수성(66.3 ℃) < K사(67.2 ℃) < S사(69.8 ℃) < J사(77.3 ℃)의 순을 보여 우수한 열 반사 성능을 나타냈다. 압연 강판 단독 TEST 결과값 70.3 ℃에 비해 최종 고반사 도료의 경우 8.6℃ 온도 저하 효과를 보였고 J사와 S사의 경우는 무처리한 경우보다도 높은 온도값을 보여 차열 성능이 떨어짐을 확인 하였다.

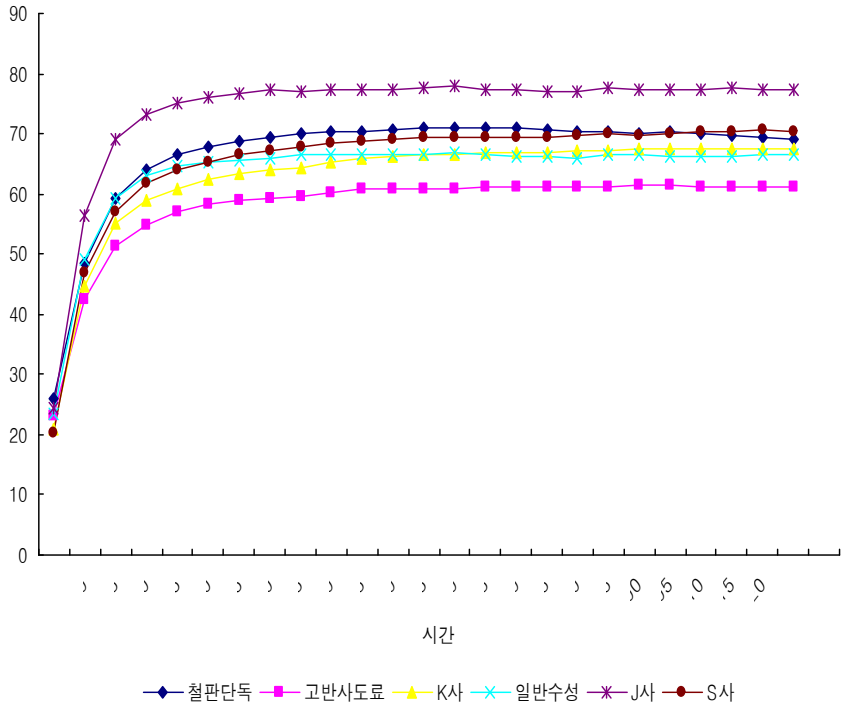


그림 3-27. 각 제품별 표면 온도변화

그림 3-28은 각 제품별 내부 온도 변화를 나타낸 그래프이다. 평균 온도값을 비교해 보면 최종 고반사 도료(37.4 ℃) < K사(42 ℃) < 일반수성(42.3 ℃) < S사(43.5 ℃) < J사(47.5 ℃)로 나타났으며 압연 강판 단독 TEST 결과값인 45 ℃에 비해 최종 고반사 도료의 경우 7.6 ℃ 온도를 낮추는 우수한 차열 성능을 나타내었다.

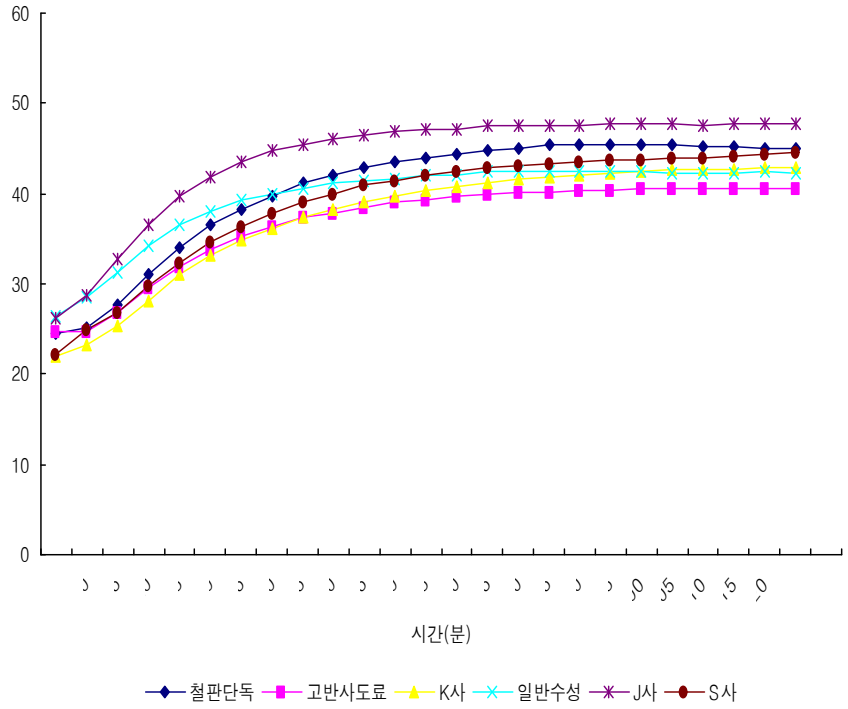


그림 3-28. 각 제품별 내부 온도 변화

(4) KS 도료 물성

최종 차열 및 고반사 도료 개발품에 대하여 KSM 6010 1종 시험방법에 따라 기본 도료 물성을 TEST한 결과를 표 48에 나타내었다. 주도, 비휘발분, 건조시간, 은폐율, 45°, 0°확산반사율(%), 내세척성, 열안정성, 냉동안정성 및 내알카리성 등의 모든 물성에서 KS 품질 규격을 만족시켰으며 이는 외부용 코팅제로써의 성능을 충분히 갖췄다는 것을 확인하였다.

표 3-15. KS 물성 평가 결과

시험항목	시험 결과	규격
주도(KU)	95 KU	80～100 KU
비휘발분(도료 중 %)	58	56 이상
건조시간(고화건조/분)	30분이내	60분 이내
은폐율	97 %	96 이상(흰색기준)
45°, 0° 확산반사율(%)	90	87 이상
내세척성	1000회이상무	1000회 이상
열안정성	양 호	응고변질 없음 점도 변화 8 KU 미만
냉동안정성	양 호	응고 변질 없음 주도 변화 8 KU 미만
내알카리성	양 호	주름, 갈라짐, 부풀음, 박리가 없어야 함
용기안의 상태	양 호	균일한 상태로 쉽게 혼합 가능

4. 무기단열패널용 고성능 차열 및 고반사 도료의 내후 특성 검토

무기단열패널용 고성능 차열 고반사 도료의 내후성 검토를 위한 평가 방법으로는 촉진 내후성 및 옥외 폭로시험을 실시하고자 한다.

가. 실험개요

표 3-16은 도료의 종류 및 도면 사진을 나타낸 것이다. 도료의 종류로는 고반사 도료 및 일반도료를 각각 색깔별로 4수준으로 하였으며 유사성능을 나타내는 기타 업체의 6종류의 샘플을 대상으로 내후특성을 검토하였다.

표 3-16. 도료의 종류 및 표면사진

구분		표면사진
고반사도료	시료A	
	시료B	
	시료C	
	시료D	
일반도료	시료A	
	시료B	
	시료C	
	시료D	
회사별제품	A사	
	B사	
	C사	
	D사	
	E사	
	F사	

나. 시험방법

(1) 촉진 내후성 시험

그림 3-29 및 그림 3-30은 제논아크 시험기 및 시료 설치 모습을 나타낸 것이다. 촉진 내후성 검토로는 제논 아크 시험을 실시하였으며, 6개월에 해당하는 140 MJ/㎡을 600 시간 동안 조사 하는 것과 1년 동안의 자외선량을 280 MJ/㎡로 선택하여 1,200 시간동안 280 MJ/㎡의 자외선을 조사 것 2가지 수준으로 하여 측정을 실시하고자 하며 현재 촉진 시험과정에 있다. 이때, 제논아크 시험기를 이용하여 블랙패널 온도는 63±3 ℃ 102분 조사 후 18분 조사 및 물 분무 하는 것으로 설정 촉진 내후성 시험을 하였다.



그림 3-29. 촉진 내후성 시험기



그림 3-30. 촉진 내후성 시험체 설치 모습

(2) 장기 옥외 폭로 시험

그림 3-31은 장기 폭로 시험대 및 시료 설치 모습을 나타낸 것이다. 설치 옥외 폭로 시험 방법은 KS D 0060에 준하는 것으로 하였으며, 시료를 바람, 비, 햇빛 등의 자연환경에 아래의 사진처럼 직접 폭로하여 물리·화학적 성질의 경시변화를 조사하고자 하였다. 폭로대의 각도는 가장 태양광의 영향을 받는 각도로 고정하여 시험하기도 하나, 본 시험에서는 아파트 외벽을 가정하여 각도를 직각으로 고정하는 것으로 하였으며, 측정기간을 1년간으로 설정하였다.



그림 3-31. 옥외 폭로시험 설치대



그림 3-32. 옥외 폭로시험 시료 설치 모습

(3) 내후성 시험 후 평가 항목

내후성이란 “재료나 상품이 기상의 영향을 받아 원치 않는 형태로 변형되는 것”이다. 수처리 구조물중 밀폐구조물이 아닌 개방형태의 구조물은 자외선, 온도, 물의 영향을 받아 마모 또는 노화가 진행된다. 따라서 본 평가에서는 그림 3-33과 같은 촉진내후성 및 장기 옥외 폭로시험을 통한 색차계에 의한 표면 색차를 측정하였고 그 결과 표 3-17과 같이 대부분의 시료에 대한 색차 값이 3이하를 만족하였고 그중 고반사 도료는 실내 촉진의 경우 1200시간을 노출하여도 1.5이하로 나타나고, 옥외폭로를 1년간 한 시험체들도 1이하가 나타나 내후성이 우수한 것을 알 수 있다.

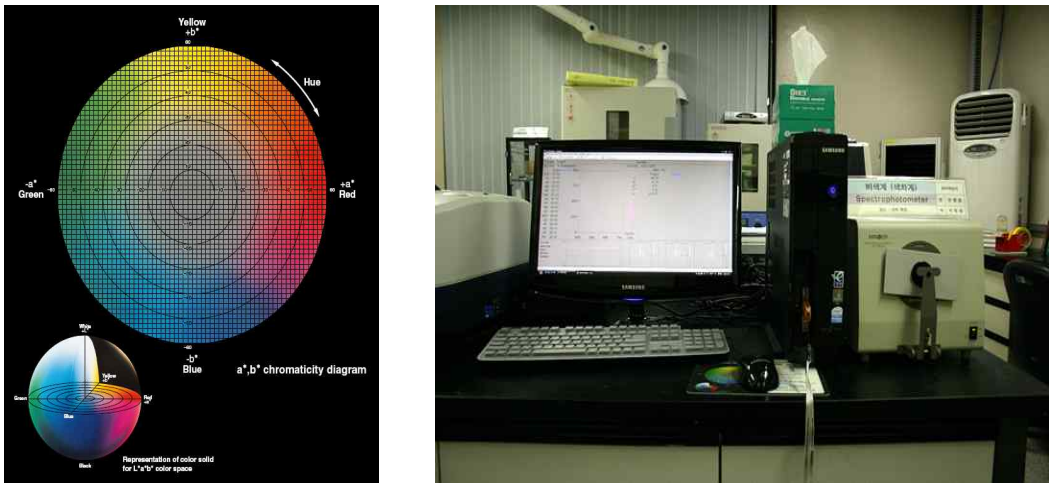


그림 3-33. L*a*b* color space 및 색차계

표 3-17. 촉진 및 옥외폭로시험 색차계 타겟 측정결과

구분		색차(△E*ab)		
		실내 촉진		옥외 폭로
		600h	1200h	1 year
고반사 도료	시료A	0.53	0.96	0.79
	시료B	0.48	1.13	0.86
	시료C	0.50	1.57	1.05
	시료D	0.47	1.34	1.0
일반 도료	시료A	1.35	2.62	1.52
	시료B	0.97	1.88	1.12
	시료C	1.08	2.56	1.59
	시료D	1.46	2.99	1.64
회사별 제품	A사	1.57	3.12	1.36
	B사	1.62	2.85	1.09
	C사	2.06	4.42	1.96
	D사	1.11	2.15	0.95
	E사	1.96	2.74	1.13
	F사	1.55	2.92	0.86

제 3 절 단열패널 구성 원천소재의 특성 검토

1. 원천소재의 기초자료 분석 및 평가

가. 압출성형 콘크리트 패널의 기본 구성 재료

기존 압출 성형 시멘트 패널의 구성재료는 시멘트, 규사, 규석미분말, 펄프, 유기섬유 등이 원료로 있다.

원천소재		사진	상세사진	특징
기본구성재료	시멘트			· 종 류 : OPC · 밀 도 : 3.15 g/cm^3 · 분말도 : 3 390 cm^2/g · 열전도율 : 0.820 Kcal/m · h℃
	규사			· 입도 : 0.5~2 mm · 최대치수 : 2 mm · 열전도도 : 0.73 W/m · k
	규회석			· 성 분 : SiO_2 95 %, Al_2O_3 2.01 %, Fe_2O_3 0.87 % · 밀 도 : 2.90 g/cm^3 · 분말도 : 3,597 cm^2/g
	펄프			· 흡수율 : 2.88 %
	유기섬유			· 녹는점 : 177 ℃ · 밀 도 : 0.01~0.04 g/cm^3 · 열전도율 : 0.028~0.043 Kcal/m · h℃ · 기 타 : 흡수성이 경미

그림 3-34. 압출성형 시멘트 패널의 기본 구성 재료

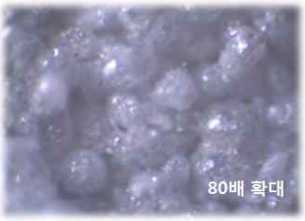
원천소재		사진	상세사진	특징
단열소재	질석			· 밀 도 : 0.03~0.10 g/cm^3 · 열전도율 : 0.07~0.12 Kcal/m·h℃ · 흡수성이 없고 연소되지 않아 유해가스가 발생하지 않음.
	펄라이트			· 밀 도 : 0.03~0.64 g/cm^3 · 열전도율 : 0.06~0.12 · 흡수성이 경미하며, 연소되지 않아 유해가스가 발생하지 않음.
	중공세라믹비드			· 밀 도 : 0.03~0.10 g/cm^3 · 열전도율 : 0.041 Kcal/m·h℃ · 탄서이 있어 미세 크랙에 대한 저항성이 우수
	EPS비드			· 밀 도 : 0.03 g/cm^3 · 열전도율 : 0.036 Kcal/m·h℃ · 흡수율 : 2~4 %
	황토			· 밀 도 : 1.96 g/cm^3 · 열전도율 : - 0.577 Kcal/m·h℃(원재료) - 0.204 Kcal/m·h℃(벽돌)

그림 3-35. 압출성형 시멘트 패널 구성 단열재료

본 장에서는 기존 압출성형 콘크리트 패널의 사용을 기본으로 하고 있으며, 기존 패널 시스템에 단열성능을 부여하는 방식을 선택하였다. 단열성능을 부여하기 위한 소재로는 펄라이트, 질석, EPS비드, 세라믹 중공비드를 사용하였으며, 단열특성을 검토하기 위하여 각 소재를 적절 치환하여 단열특성을 비교 검토 하였다.

또한, 세라믹 비드는 글래스 비드, 세노스피어 비드, 마이크로 펄라이트 중공 비드가 있다. 본 연구에서는 각각의 특성 분석 및 역학적 특성 검토를 통하여 최종 압출성형 단열 패널의 소재로 채택하고자 한다.

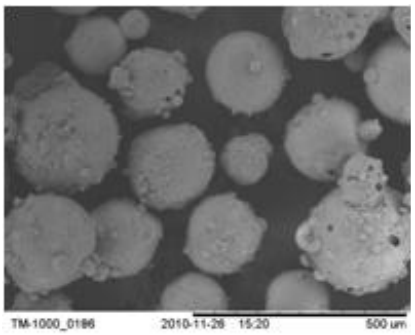
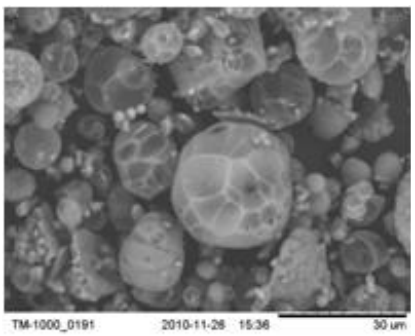
	마이크로 사진	특성
글래스 비드		• 유리성 중공구체의 형태로 내압도가 높은 경량 필러 • 입도 20~30㎛, 밀도 0.20g/㎤
세노스피어 비드		• 석탄 연소 시 발생하는 하는 부산물로 플라이애시 질량의 약 2% 정도 발생 • 회매립장 표면에 부유 하며 화학적 성분은 플라이 애쉬와 유사 • 유리성 중공구체의 형태로 내압도가 높은 경량 필러 • 입도 20~30㎛, 밀도 0.25g/㎤
마이크로 펄라이트 중공 비드		• 펄라이트를 마이크로 입자로 가공 선별하여, 입자표면에 실란화합물이 코팅된 Colse Cell 형태로 물흡수율이 적으며, 유동성이 높음 • 내부가 독립된 다상의 마이크로 기공으로 되어 있어 낮은 열전도율을 가지며, 단열 및 보온효과가 우수함 • 입도 5~160㎛, 밀도 0.20g/㎤

그림 3-36. 세라믹 중공비드 종류별 특성

2. 외벽 단열패널 원천소재의 기초적 특성 평가

가. 실험개요

앞서 조사한 내용을 바탕으로 무기질계 단열패널에 적용가능한 단열소재로 질석, 펄라이트, 중공 세라믹 비드 및 발포 폴리스티렌을 선정하여 모르타르에 대하여 기초적 특성을 검토하였다.

외벽 단열패널 원천소재의 기초적 특성 평가는 표 3-18 및 표 3-19와 같고, 배합사항은 표 3-20과 같다. 먼저, 평가요인으로 실제 생산되는 압출패널의 배합구성과 유사하게 W/C 70 %, C : S = 1 : 1.2로 설정하였다. 시리즈 1의 경우 단열소재를 개별 사용한 것으로 질석(이하 V), 펄라이트(이하 PL), 중공 세라믹 비드(이하 CB)를 잔골재에 대한 질량비로 0, 2, 4, 6, 8, 10 % 치환하였고, 발포폴리스티렌(이하 EPS)을 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1 % 치환하였다. 시리즈 2의 경우 단열소재를 조합사용한 것으로써 V+PL, V+CB, PL+CB, V+PL+CB를 총 6 % 치환하였다. 평가항목은 휨강도, 압축강도 및 열전도율을 측정하였다.

원천소재 검증 단계에서는 생산성보다는 단열성능을 가지고 있는 재료의 선정 및 평가 단계로서 압출조건의 생산방식을 택하지 않았다. 단, 유사조건을 가정하기 위하여 테이블 진동다짐 및 양생함에서 50 ℃로 13.6시간 고온양생을 실시하였다.

표 3-18. 외벽 단열패널 원천소재의 개별사용에 따른 실험(시리즈 1)

평가요인						평가항목
W/C (%)	C:S	생산방식		단열소재 종류 및 치환율/S (%)		
		다짐조건	양생조건	V, PL, CB	EPS	
70	1:1.2	테이블 진동다짐 (3 000 rpm)	양생함에서 60℃로 3일간 고온양생	0, 2, 4, 6, 8, 10	0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0	·휨강도 ·압축강도 ·열전도율

표 3-19. 외벽 단열패널 원천소재의 조합사용에 따른 실험(시리즈 2)

평가요인					평가항목
W/C (%)	C:S	생산방식		단열소재 조합 및 치환율/S (%)	
70	1:1.2	다짐조건	양생조건	· V+PL=3+3 · V+CB=3+3 · PL+CB=3+3 · V+PL+CB=2+2+2	·휨강도 ·압축강도 ·열전도율
		테이블 진동다짐 (3 000 rpm)	양생함에서 60℃로 3일간 고온양생		

표 3-20. 외벽 단열패널 원천소재의 기초적 특성 배합

단열 소재	치환율 (%)	W (kg/m^3)	질량배합(kg/m^3)								
			C	SC	WS	P	F	V	PL	CB	EPS
-	0	434	620	691	30	15	7	0	0	0	0
V	2	430	613	671	30	15	7	14	0	0	0
V	4	425	606	650	29	15	7	27	0	0	0
V	6	420	600	629	29	14	7	40	0	0	0
V	8	415	593	609	28	14	7	53	0	0	0
V	10	411	587	589	28	14	7	65	0	0	0
PL	2	414	590	646	28	14	7	0	13	0	0
PL	4	395	564	605	27	14	7	0	25	0	0
PL	6	378	539	566	26	13	6	0	36	0	0
PL	8	362	517	531	25	12	6	0	46	0	0
PL	10	348	496	499	24	12	6	0	55	0	0
CB	2	414	590	646	28	14	7	0	0	13	0
CB	4	395	564	605	27	14	7	0	0	25	0
CB	6	378	539	566	26	13	6	0	0	36	0
CB	8	362	517	531	25	12	6	0	0	46	0
CB	10	348	496	499	24	12	6	0	0	55	0
EPS	0.2	420	600	668	29	14	7	0	0	0	1
EPS	0.4	406	581	644	28	14	7	0	0	0	3
EPS	0.6	394	562	624	27	13	7	0	0	0	4
EPS	0.8	382	545	604	26	13	7	0	0	0	5
EPS	1.0	371	529	585	25	13	6	0	0	0	6
V+PL	3+3	402	574	602	28	14	7	11	19	0	0
V+CB	3+3	402	574	602	28	14	7	11	0	19	0
PL+CB	3+3	378	539	566	26	13	6	0	18	18	0
V+PL+CB	2+2+2	394	562	590	27	13	7	7	13	13	0

C : 시멘트, SC : 규사, WS : 규회석, P : 펄프, F : PP섬유, V : 질석, PL : 펄라이트, CB : 세라믹비드, EPS : 발포폴리스티렌

나. 시험체 제작 및 시험방법

(1) 모르타르 혼합

모르타르의 혼합은 그림 3-34와 같이 전용 믹서기를 이용하여 시멘트, 단열소재 등을 투입하고, 약 2분간 건비빔을 실시한다. 건비빔 후 물을 넣고 다시 3분간 습식비빔하여 배출함으로써 하여 모르타르를 제조를 완료한다.



그림 3-37. 모르타르 혼합

(2) 다짐

시험체의 다짐은 배합의 특성상 그림 3-35과 같은 테이블 진동기를 사용하여 30초간 진동하여 다짐하였다.



〈 테이블 진동 다짐기 〉



〈 모르타르 진동다짐 〉

그림 3-38. 모르타르 진동다짐

(3) 양생

실제 생산되는 압출패널의 경우 오토클레이브 양생으로 증기양생을 통하여 조기에 압축강도를 확보하지만 본 연구에서는 그림 3-37과 같이 대체하여 실시하였다. 실제 생산되는 압출패널의 양생순서는 성형이 끝난 시험체를 4시간 습윤양생 후 외부의 온도 간섭 없이 80 ℃까지 3시간 동안 온도상승 후 5시간 온도유지, 4시간 온도하강으로 실시한다. 그러나 본 연구에서는 적산온도(maturity)를 적용하여 그림 3-38과 같이 50 ℃로 13.6시간 양생을 실시하는 것으로 계획하였다.

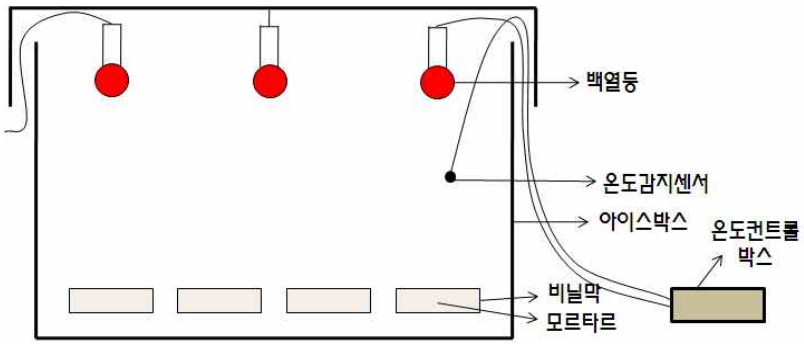
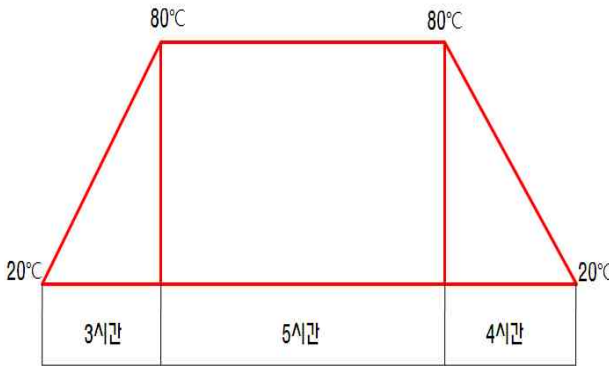
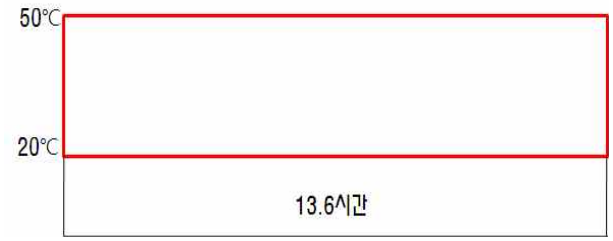


그림 3-39. 시험체의 양생계획도



(a) 실제 압출패널 양생온도 및 시간

▼

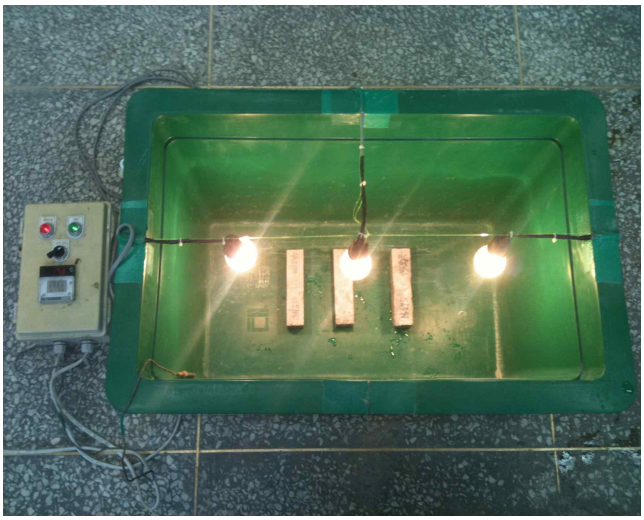


(b) 적산온도 적용 양생온도 및 시간

그림 3-40. 양생온도 및 시간



〈 양생함 외부 〉



〈 양생함 내부 〉

그림 3-41 양생함

(4) 휨강도 시험

휨강도 시험은 「KS L ISO 679 시멘트의 강도 시험 방법」의 규정에 따라 그림 3-41와 같이 40×40×160 ㎜ 크기의 시험체를 이용하여 지간거리를 100 ㎜로 하고, 공시체의 중앙을 50±10 N/s의 하중속도로 제하하여 최대하중을 구하였다.

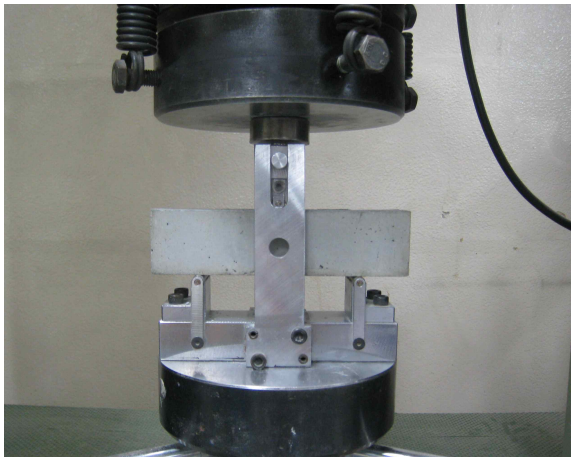


그림 3-42. 휨강도 측정

$$\text{휨강도}(MPa) = \text{최대하중}(N) \times 0.00234(mm^2)$$

(5) 압축강도 시험

압축강도 시험은 「KS L ISO 679 시멘트의 강도 시험 방법」의 규정에 따라 그림 3-42과 같이 휨강도 시험 직후 공시체의 절단된 시험체를 이용하여 40×40×40 ㎜ 크기의 하중용 가압판을 상·하부에 대고 2,400±200 N/s의 하중속도로 제하하여 최대하중을 구하였다.

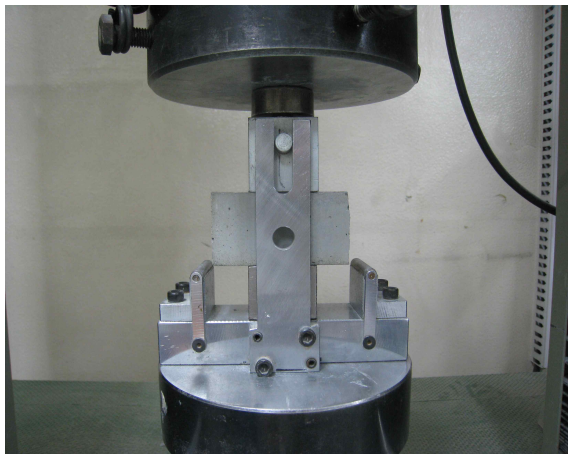


그림 3-43. 압축강도 측정

$$\text{압축강도}(MPa) = \frac{\text{최대하중}(N)}{1600(mm^2)}$$

(6) 열전도율 시험

열전도율 시험은 「KS L 9106 보온재의 열전도율 측정방법」의 규정에 따라 그림 3-43과 같이 NETZSCH사의 HFM 436 장비를 사용하여 평판 열류계법으로 측정하였다. 즉, 200×200×30 mm 크기의 시험체를 통과하는 열류량을 열류계를 사용하여 측정하고, 그때의 시험체 온도차를 측정하여 열전도율을 구하였다.



< 열전도율 측정 장비 >



< 열전도율 측정 >

그림 3-44. 열전도율 측정

$$\text{열전도율}(W/mK) = \frac{\text{시험체 두께}(m)}{\frac{\text{고온면 온도}(℃) - \text{저온면 온도}(℃)}{\text{열류 밀도}(W/m^2)}}$$

다. 실험결과 및 분석

(1) 휨강도

표 3-21 및 표 3-22은 휨강도 실험결과를 나타낸 표이고, 그림 3-45 ~ 그림 3-47은 단열소재 종류 및 치환율에 따른 휨강도를 나타낸 그래프이다. 단열소재의 치환율이 증가할수록 휨 강도가 저하하는 경향을 나타내었으며, 단열소재 종류에 따라서는 발포 폴리스티렌을 제외하면 큰 차이가 없었다.

표 3-21. 휨강도 실험결과(시리즈 1)

(단위 : MPa)

단열소재 종류	치환율(%)					
	0	2	4	6	8	10
V	8.60	7.30	7.20	7.10	6.40	6.20
PL		9.20	8.00	7.10	6.90	5.90
CB		6.80	6.70	6.60	6.40	6.30
EPS		치환율(%)				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
		6.60	6.30	6.00	5.80	5.50

표 3-22. 휨강도 실험결과(시리즈 2)

(단위 : MPa)

단열소재 조합 및 치환율(%)				
0	V+PL=3+3	V+CB=3+3	PL+CB=3+3	V+PL+CB=2+2+2
8.60	7.2	6.9	7.0	7.1

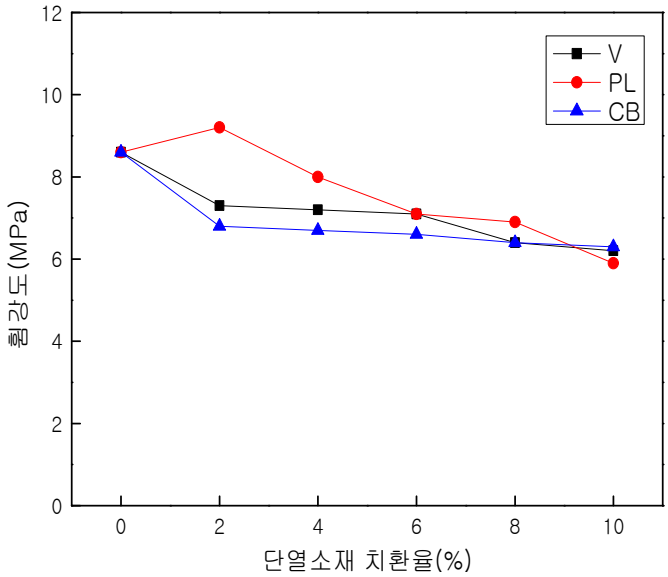


그림 3-45. 단열소재 치환율에 따른 휨강도(시리즈 1)

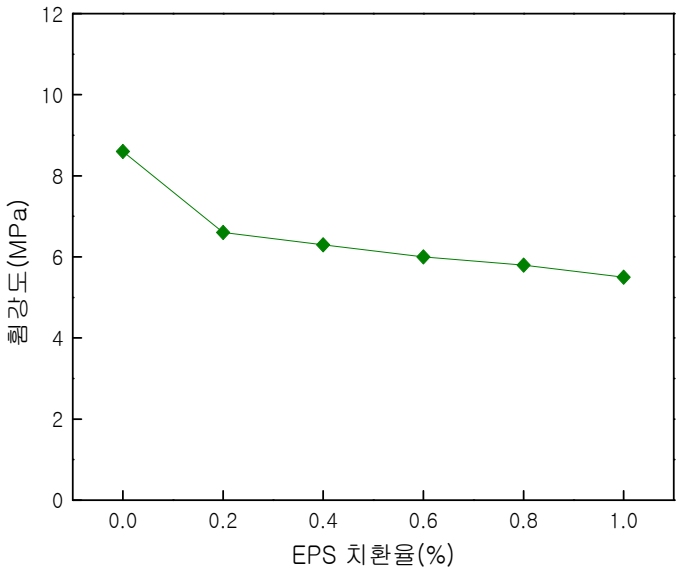


그림 3-46. EPS 치환율에 따른 휨강도(시리즈 1)

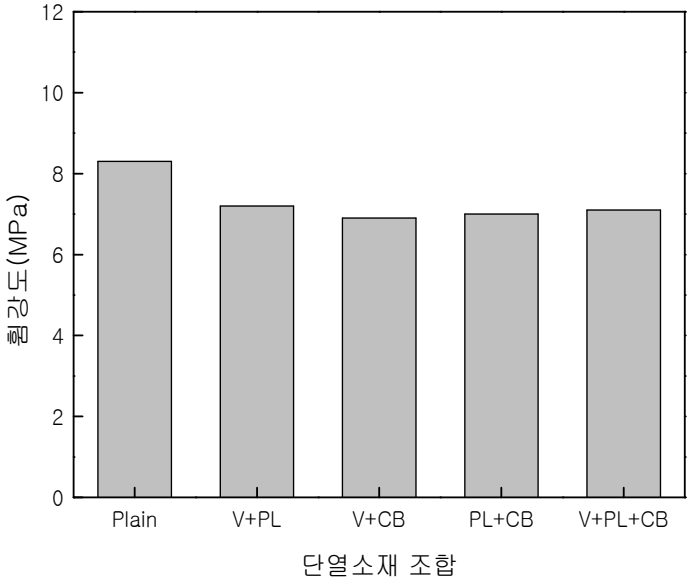


그림 3-47. 단열소재 조합에 따른 휨강도(시리즈 2)

(2) 압축강도

표 3-23 및 표 3-24는 압축강도 평가결과를 나타낸 표이고, 그림 3-48 ~그림 3-50은 단열소재 종류별 치환율에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다. 휨강도와 마찬가지로 단열소재의 치환율 증가할수록 압축강도가 저하 경향을 나타내었으며, 단열소재 종류에 따라서는 발포 폴리스티렌을 제외하면 큰 차이가 없었다.

표 3-23. 압축강도 실험결과(시리즈 1)

(단위 : MPa)

단열소재 종류	치환율(%)					
	0	2	4	6	8	10
V	28.00	28.00	25.20	23.40	20.90	18.80
PL		28.70	27.50	24.00	20.70	20.40
CB		27.00	26.00	25.00	24.30	22.10
EPS		치환율(%)				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
		20.50	17.90	15.00	12.40	10.60

표 3-24. 압축강도 실험결과(시리즈 2)

(단위 : MPa)

단열소재 조합 및 치환율(%)				
0	V+PL=3+3	V+CB=3+3	PL+CB=3+3	V+PL+CB=2+2+2
28.0	23.7	24.2	24.5	24.2

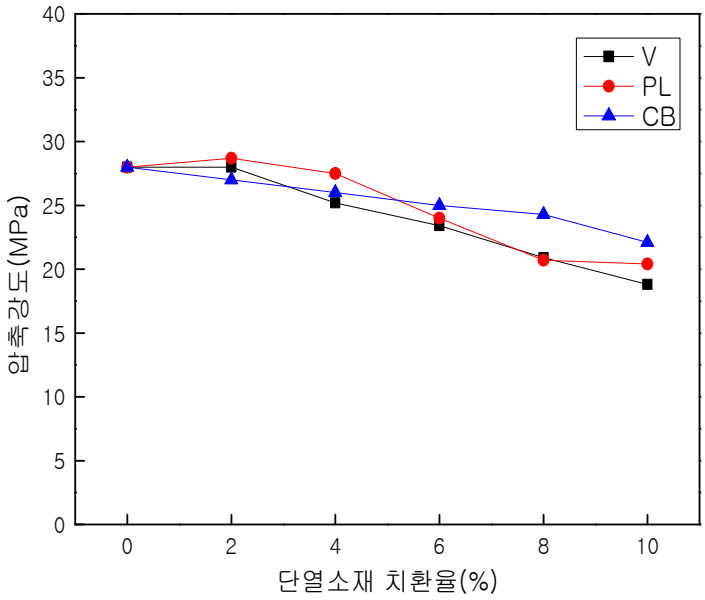


그림 3-48. 단열소재 치환율에 따른 압축강도(시리즈 1)

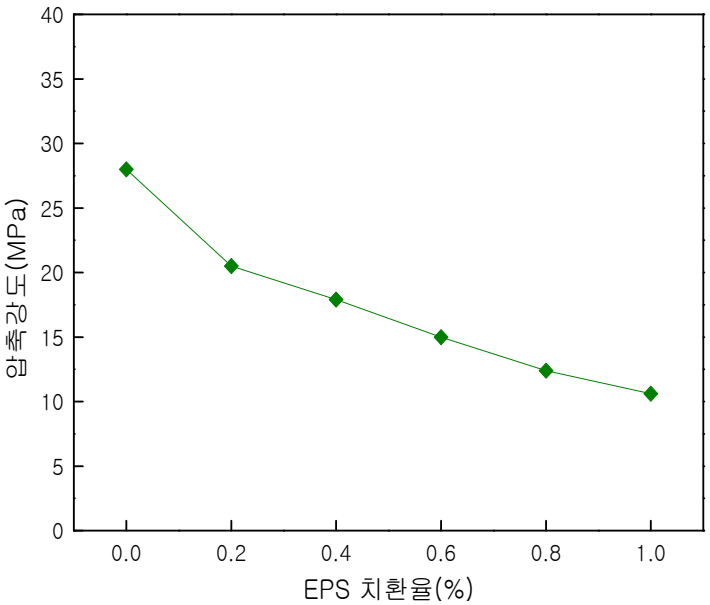


그림 3-49. EPS 치환율에 따른 압축강도(시리즈 1)

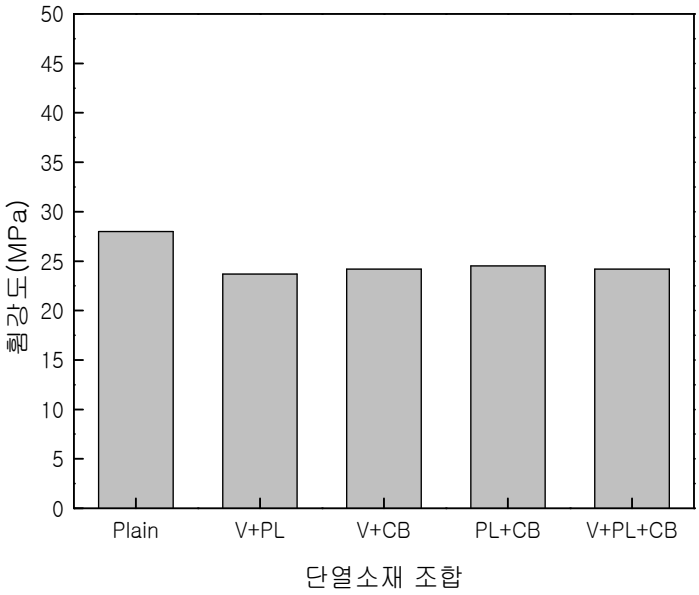


그림 3-50. 단열소재 조합에 따른 압축강도(시리즈 2)

(3) 열전도율

표 3-25 및 표 3-26은 열전도율 평가결과를 나타낸 표이고, 그림 3-51 ~ 그림 3-53은 단열소재 종류별 치환율에 따른 열전도율을 나타낸 그래프이다. 단열소재의 치환율이 증가할수록 열전도율이 저하하는 경향을 나타내었으며, 발포 폴리스티렌의 경우 재료 자체의 낮은 열전도율로 가장 낮은 열전도율을 나타내었다. 그러나 발포 폴리스티렌의 경우 강도가 매우 낮은 값을 나타내어 외벽 패널의 단열소재로 사용하기에는 적절하지 않은 것으로 사료된다.

표 3-25. 열전도율 평가결과(시리즈 1)

(단위 : kcal/h·m·℃)

단열소재 종류	치환율(%)					
	0	2	4	6	8	10
V	0.378	0.392	0.381	0.336	0.334	0.329
PL		0.398	0.368	0.298	0.260	0.230
CB		0.389	0.356	0.351	0.277	0.231
EPS		치환율(%)				
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
		0.258	0.247	0.209	0.165	0.141

표 3-26. 열전도율 실험결과(시리즈 2)

(단위 : kcal/h·m·℃)

단열소재 조합 및 치환율(%)				
0	V+PL=3+3	V+CB=3+3	PL+CB=3+3	V+PL+CB=2+2+2
0.378	0.317	0.344	0.325	0.329

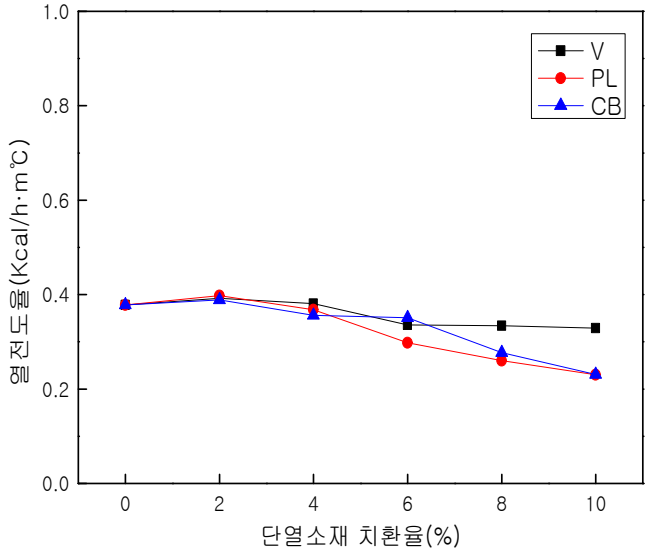


그림 3-51. 단열소재 치환율에 따른 열전도율(시리즈 1)

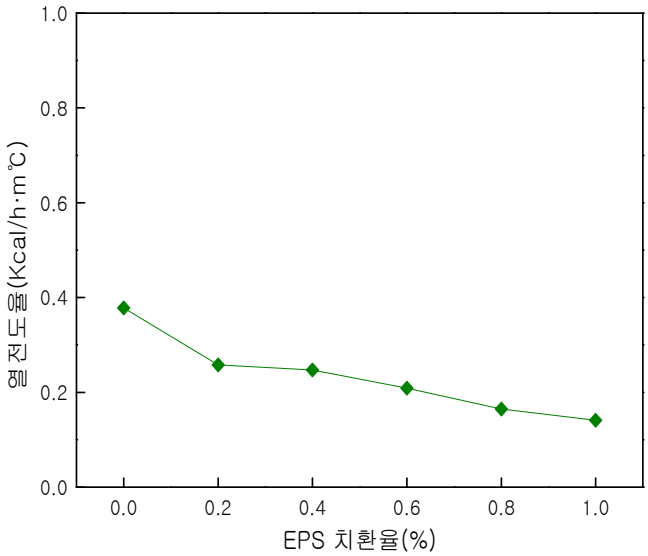


그림 3-52. EPS 치환율에 따른 열전도율(시리즈 1)

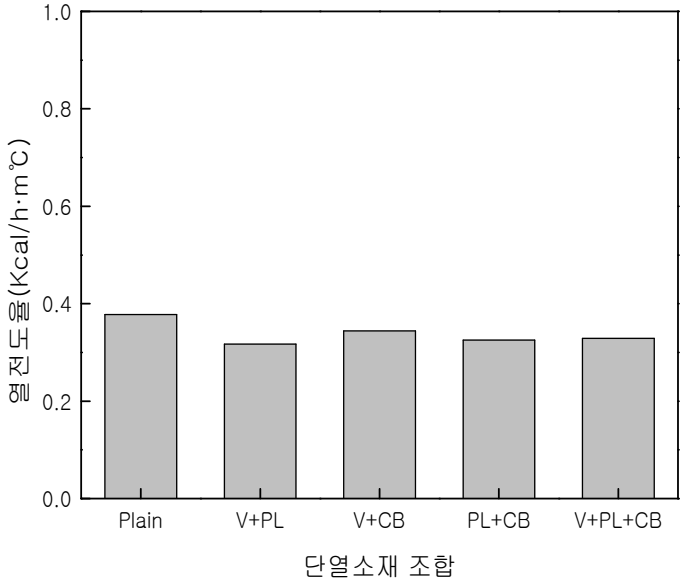
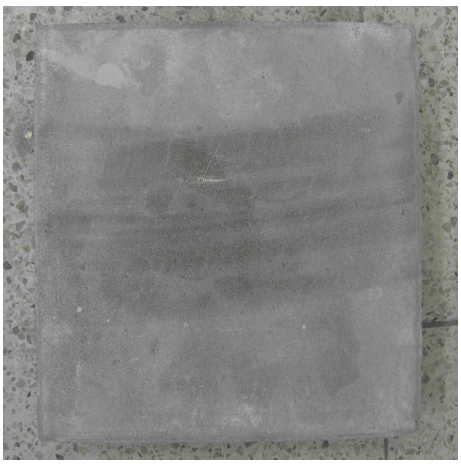
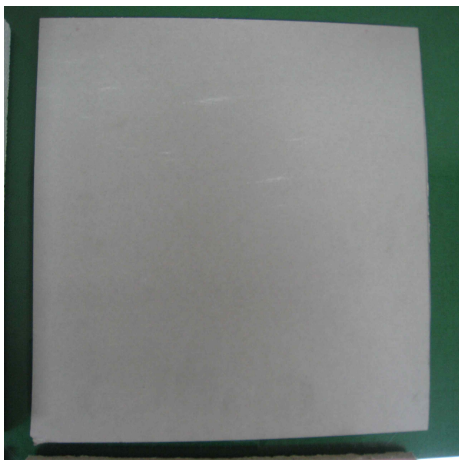


그림 3-53. 단열소재 조합에 따른 열전도율(시리즈 2)



(a) 콘크리트



(b) 석고보드



(c) EPS



(d) 글라스울

그림 3-54. 기타 단열재료

그림 3-55는 기타 단열재료와 단열소재를 사용한 모르타르의 열전도율 비교를 나타낸 그래프이다. 단열소재를 사용한 모르타르의 경우 일반 콘크리트보다 약 1.1 Kcal/h·m℃ 정도 낮은 열전도율을 나타내었으며, 석고보드와 유사한 수준의 값을 나타내었다. 특히, 발포 폴리스티렌 1.0 % 치환의 경우 0.14 Kcal/h·m℃의 값을 나타내어 설정목표에 가장 근접한 것으로 나타났다.

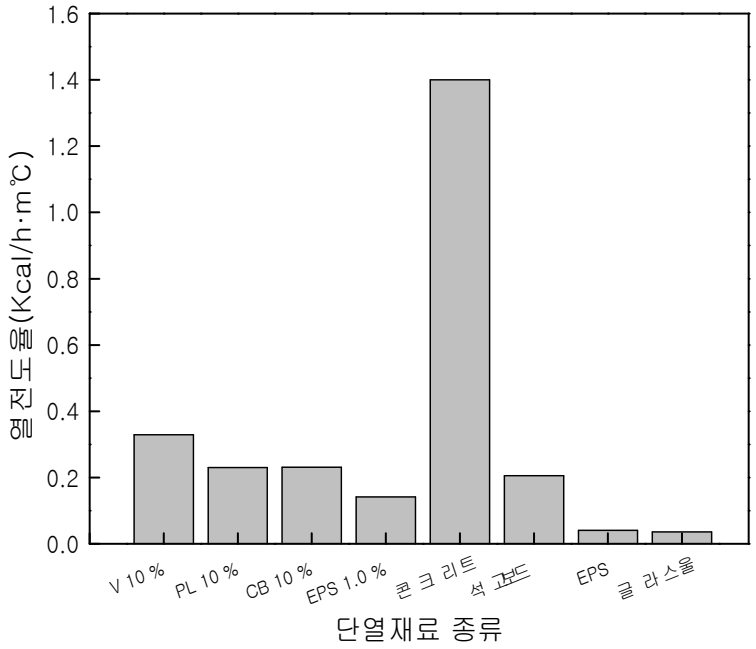


그림 3-55. 기타 단열재료와 열전도율 비교

3. 내벽 단열패널 원천소재의 특성 평가

가. 내벽 단열패널 원천소재의 기초적 특성

(1) 실험개요

앞서 조사한 내용을 바탕으로 내벽 단열패널에 적용가능한 친환경 소재인 황토를 선정하여 모르타르에 대하여 기초적 특성을 검토하였다.

내벽 단열패널 원천소재의 사용에 따른 실험계획은 표 3-27과 같고 배합사항은 표 3-28과 같다. 먼저, 평가요인으로 실제 생산되는 압출패널의 배합구성과 유사하게 W/C 70%, C:S=1:1.2로 설정하였으며, 친환경 소재인 황토를 잔골재에 대한 질량비로 0, 10, 20, 30, 40, 50 % 치환하였다. 평가항목은 휨강도, 압축강도, 원적외선 방출량 및 내항균성을 측정하였다.

원천소재 검증 단계에서는 생산성보다는 단열성능을 가지고 있는 재료의 선정 및 평가 단계로서 압출조건의 생산방식을 택하지 않았다. 단, 유사조건을 가정하기 위하여 테이블 진동다짐 및 양생함에서 50 ℃로 13.6시간 고온양생을 실시하였다.

표 3-27. 내벽 단열패널 원천소재의 사용에 따른 실험

<table>
<tr><th colspan="5">평가요인</th><th rowspan="2">평가항목</th></tr>
<tr><th>W/C
(%)</th><th>C:S</th><th colspan="2">생산방식</th><th>황토 치환율/S
(%)</th></tr>
<tr><td rowspan="2">70</td><td rowspan="2">1:1.2</td><td>다짐조건</td><td>양생조건</td><td rowspan="2">0, 10, 20,
30, 40, 50</td><td rowspan="2">· 휨강도
· 압축강도
· 원적외선 방출량
· 내항균성</td></tr>
<tr><td>테이블
진동다짐
(3 000 rpm)</td><td>양생함에서
60 ℃로
3일간
고온양생</td></tr>
</table>

표 3-28. 내벽 단열패널 원천소재의 사용에 따른 배합

친환경 소재	치환율 (%)	W (kg/m^3)	질량배합(kg/m^3)					
			C	SC	WS	P	F	RC
0	0	434	620	691	30	15	7	-
RC	10	436	622	625	30	15	7	69
RC	20	437	625	558	30	15	8	139
RC	30	439	627	490	30	15	8	210
RC	40	441	629	421	30	15	8	281
RC	50	442	631	352	30	15	8	352

C : 시멘트, SC : 규사, WS : 규회석, P : 펄프, F : PP섬유, RC : 황토

(2) 시험체 제작 및 시험방법

모르타르의 혼합, 다짐, 양생, 휨강도 및 압축강도 시험방법은 앞서 설명한 바와 같으며, 원적외선 방출량으로는 한국건설생활환경시험연구원(구, 한국건자재시험연구원)의 시험방법인 KICM-FIR-1005에 의해 실시하였다.

(가) 원적외선 방출량

본 시험에서 사용하는 적외선 방사율 측정기는 그림 3-57과 같은 적외선 방사율 측정기를 사용하였으며, 사용시편은 38×38×3 mm의 시편을 완전건조 후 거치하여 측정한다. 그 후 표준흑체로와 시료표면의 온도를 측정온도 동일(50 ℃)하게 세팅하고, 시료표면의 온도를 직경 0.1 mm의 K형 열전대를 부착하여 ±0.1 ℃까지 측정한다.

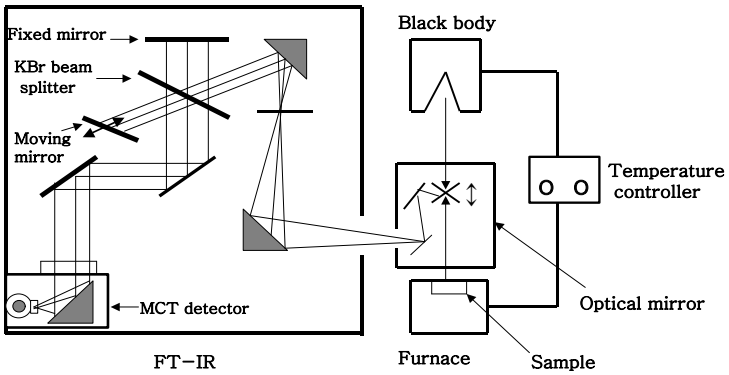


그림 3-56. 적외선 방사율 측정기(FT-IR)의 구조도

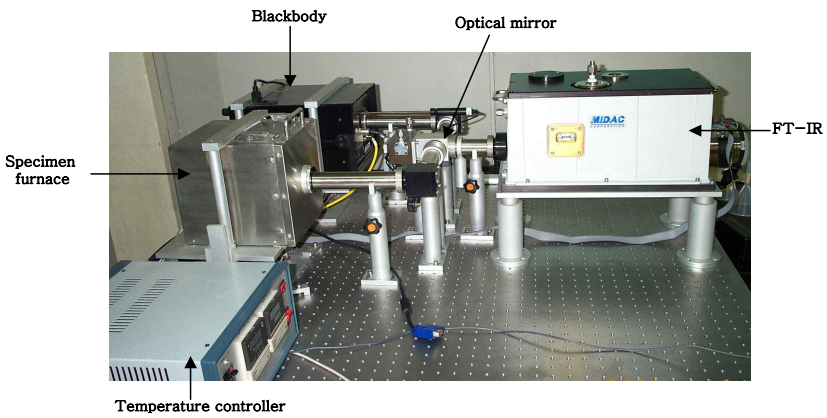


그림 3-57. FT-IR 측정기

(나) 내향균성

항곰팡이 시험으로 착색 오염균으로는 Aspergillus niger ATCC 9642, Penicillium pinophilum ATCC 11797, Chaetomium globosum ATCC 6205, Gliosiadium virens ATCC 9645, Aureobasidium pullulans ATCC 15233의 곰팡이 혼합균주를 사용하였다.

(3) 실험결과 및 분석

(가) 휨강도

표 3-29는 휨강도 평가결과를 나타낸 표이고, 그림 3-58은 황토 치환율에 따른 휨강도를 나타낸 그래프이다. 황토의 치환율이 증가할수록 휨강도는 저하하는 경향을 나타내었다.

표 3-29. 휨강도 평가결과

(단위 : MPa)

황토 치환율(%)					
0	10	20	30	40	50
8.60	7.60	7.30	6.80	6.50	6.20

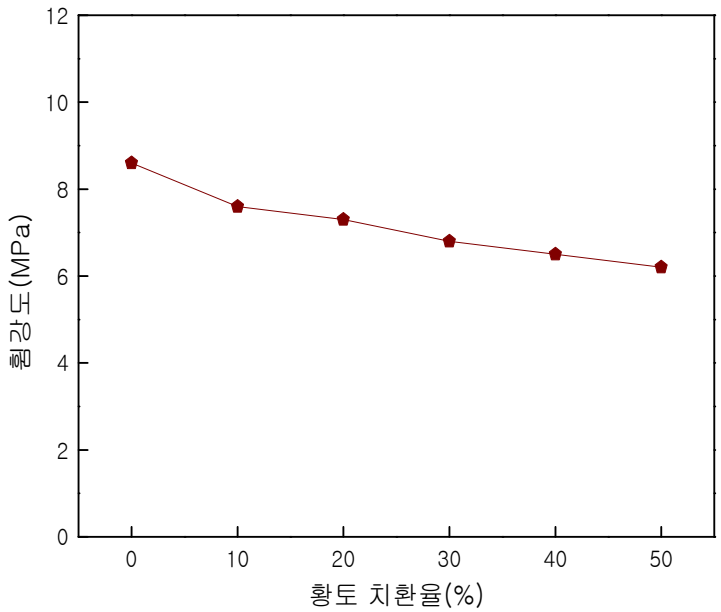


그림 3-58. 황토 치환율에 따른 휨강도

(나) 압축강도

표 3-30은 압축강도 평가결과를 나타낸 표이고, 그림 3-59은 황토 치환율에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다. 휨강도와 마찬가지로 황토의 치환율이 증가할수록 압축강도는 저하 경향을 나타내었다.

표 3-30. 압축강도 평가결과

(단위 : MPa)

황토 혼입율(%)					
0	10	20	30	40	50
28.00	27.00	25.00	24.00	22.00	20.00

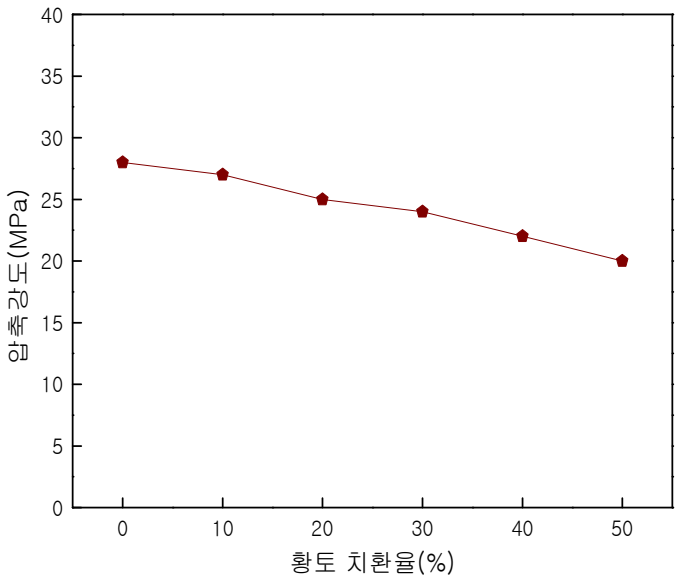


그림 3-59. 황토 치환율에 따른 압축강도

(다) 원적외선 방출량

그림 3-60은 FT-IR Spectrometer를 이용한 Black Body 대비 측정결과를 나타낸 것이다. 측정시료는 황토 치환율 50 %의 경우를 대상으로 측정온도 40 ℃, 측정파장 5 ~ 20 ㎛의 조건으로 측정을 실시하였으며, 이때 원적외선 방출량으로 방사에너지는 3.74×102 W/㎡로 나타났다.

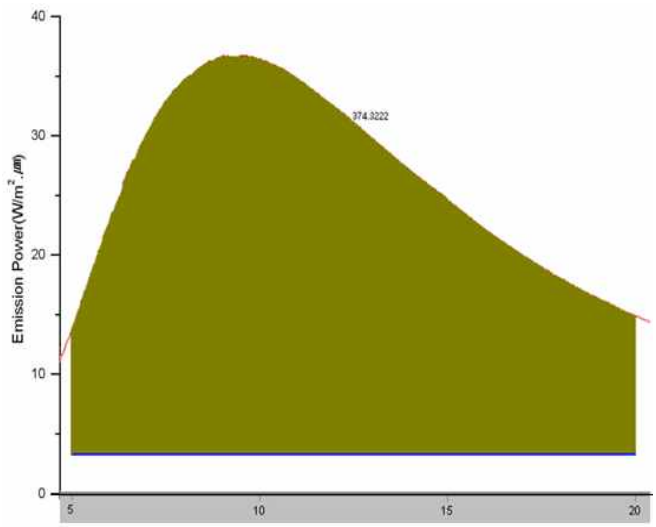


그림 3-60. 방사에너지량 계산 결과

(라) 내향균성

내향균성 시험으로는 그림 3-61과 같이 곰팡이 균주를 배양 후 1주 간격으로 4주간 균사의 발육을 관찰하였다. 플레인 시료 및 황토치환 모든 배합에서 균사의 발육이 인지되지 않는 것으로 나타났다.

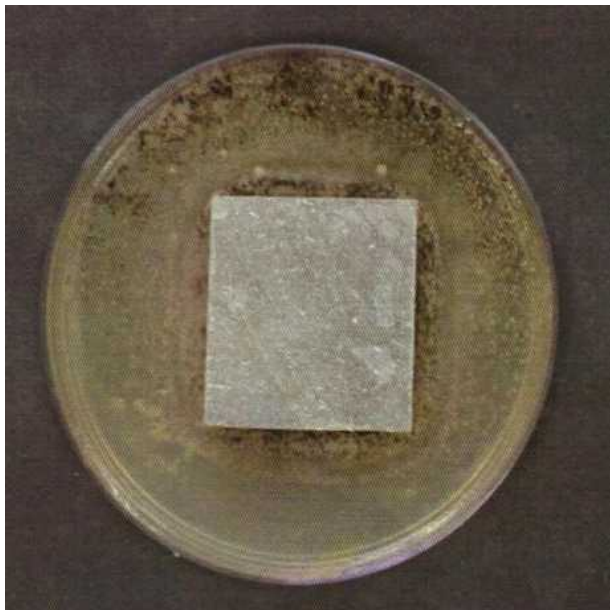


그림 3-61. 항곰팡이 시험

나. 내벽 압축 단열패널의 특성

(1) 실험개요

앞서 조사한 내용을 바탕으로 친환경 소재인 황토를 주재료로 한 압출패널을 그림 3-63과 같이 현장생산에 의한 압출성형 패널의 제조공정과 동일한 방법으로 제작하여 내벽 압출 단열패널의 특성을 검토하였다.

내벽 단열패널의 실험계획은 표 3-31과 같고 배합사항은 표 3-32와 같다. 친환경 소재인 황토를 잔골재에 대한 질량비로 0, 10, 20, 30 % 증가시켰다. 평가항목은 휨강도, 압축강도, 원적외선 방출량 등을 측정하였다.

표 3-31. 내벽 압출 단열패널의 실험개요

평가요인			평가항목
생산방식		황토 증가율/S(%)	
다짐조건	양생조건	0, 10, 20, 30	・휨강도 ・압축강도 ・흡수율 ・밀도 ・원적외선 방출량
리본믹싱 (500 rpm)	〈 상압증기양생 〉 ・ 습윤양생 4시간 ・ 80 ℃ 3시간 온도상승 ・ 80 ℃ 유지 5시간 ・ 온도하강 4시간		

표 3-32. 내벽 압출 단열패널의 배합

친환경 소재	치환율 (%)	W (kg)	질량(kg)					
			RC	SC	PL	P	F	MC
RC	0	212	360	390	50	15	6	6
RC	10	210	400	350	50	15	6	6
RC	20	212	440	310	50	15	6	6
RC	30	212	480	270	50	15	6	6

RC : 황토, SC : 규사, WS : 규회석, PL : 펄라이트, P : 펄프,
F : PP섬유, MC : 증점제



그림 3-62. 현장생산 제조공정

(2) 역학적 특성의 실험결과 및 분석

표 3-33은 휨강도, 압축강도, 비중의 평가결과를 나타낸 표이고, 그림 3-63 ~ 3-66은 황토 증가율에 따른 휨강도, 압축강도, 비중의 특성을 나타낸 그래프이다. 원천소재의 기초적 특성 검토에서는 황토의 증가율이 증가할수록 휨 및 압축강도는 감소하는 경향이 나타났지만, 현장생산에 의한 압출성형 패널의 제조공정과 동일한 방법으로 제작한 내벽 압출 단열패널은 황토의 증가율이 20%의 범위에서 증가할수록 휨강도, 압축강도, 비중이 증가하는 경향을 나타내었다.

표 3-33. 역학적 특성의 평가결과

(단위 : MPa)

구분	황토 증가율(%)			
	0	10	20	30
휨강도 (N/㎟)	4.24	4.57	5.11	3.58
압축강도 (N/㎟)	13.5	15.2	16.8	9.82
흡수율 (%)	15.56	16.76	17.77	19.24
밀도 (g/㎤)	1.33	1.36	1.37	1.39

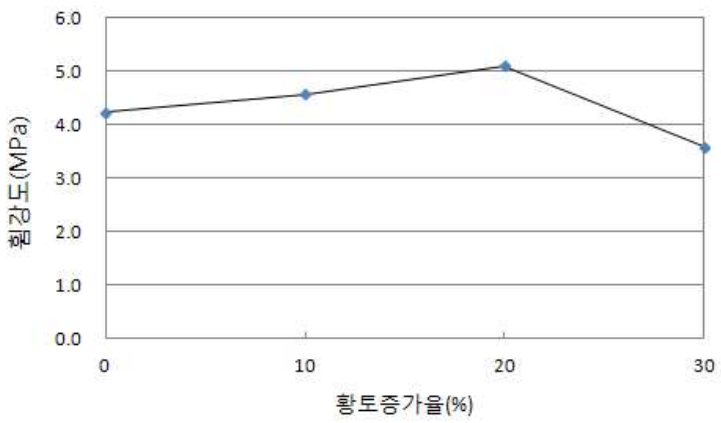


그림 3-63. 황토 증가율에 따른 휨강도

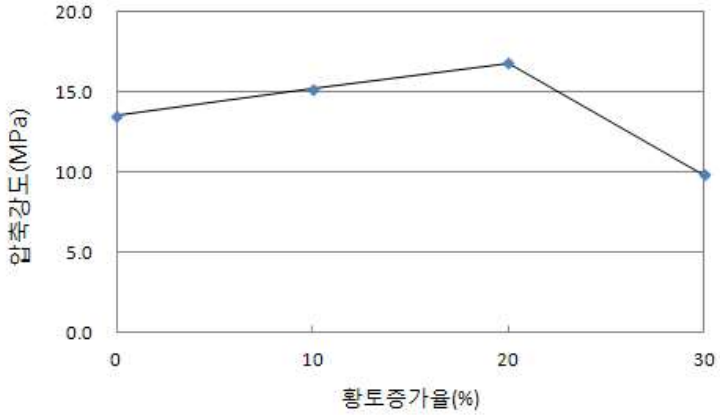


그림 3-64. 황토 증가율에 따른 압축강도

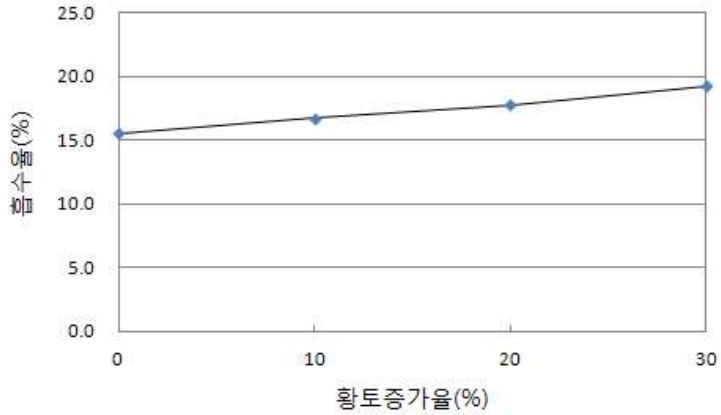


그림 3-65. 황토 증가율에 따른 흡수율

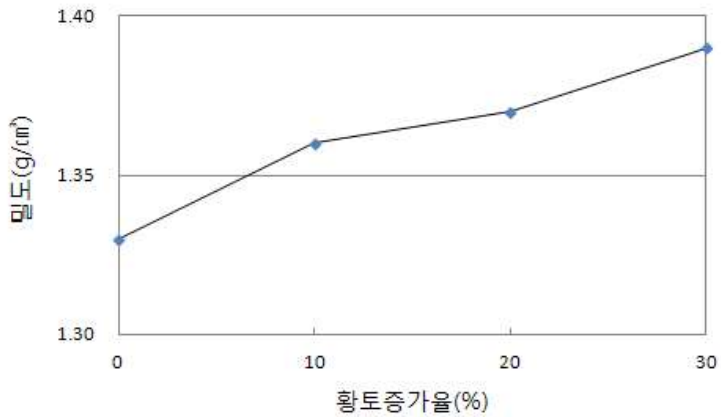


그림 3-66. 황토 증가율에 따른 밀도

(3) 원적외선 방출량

그림 3-67은 FT-IR Spectrometer를 이용한 Black Body 대비 측정결과를 나타낸 것이다. 측정시료는 황토 치환율을 0, 10, 20, 30%로 증가시킬 경우를 대상으로 측정온도 40 ℃, 측정파장 5~20 ㎛의 조건으로 측정을 실시하였으며, 이때 원적외선 방출량으로 방사에너지는 각각 3.61×102, 3.70×102, 3.64×102, 3.66×102 W/㎡로 나타나 황토 치환율 증가에 따른 원적외선 방출량에 미치는 영향이 거의 없는 것으로 나타났다.

표 3-34. 원적외선 방출량

(단위 : W/㎡)

황토 증가율(%)			
0	10	20	30
3.61×10^2	3.70×10^2	3.64×10^2	3.66×10^2

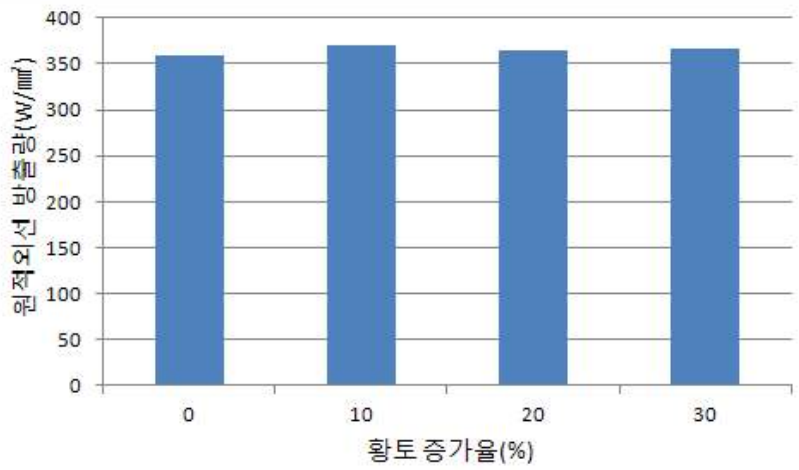


그림 3-67. 방사에너지량 계산 결과

제 4 절 무기질계 압출 단열패널의 특성 검토

단열패널 구성 원천소재 검토를 통하여 무기질계 압출 단열패널의 개발을 위한 특성을 검토하였다.

1. 압출 단열패널의 기초적 특성 검토

앞서 진행한 단열소재의 모르타르 적용시험을 통해 실제 압출패널에 적용가능한 단열소재로 질석, 중공 세라믹 비드, 펄라이트를 선정하였으며, 실제 압출제작을 통하여 특성을 검토하였다.

외벽 단열패널 시제품 제작 실험계획은 표 3-35 및 표 3-36과 같다. 먼저, 그림 3-68과 같이 단면형상으로 실제 패널압출의 성형가능성을 파악하기 위해 50×50 ㎜의 사각바 형태와 실제생산에서 사용되는 형태를 축소한 모양으로 160×50 ㎜의 크기에 두 개의 중공을 가진 패널형태로 제작하였으며, 압출성형 후 고온증기양생을 실시한다. 단열소재는 질석(이하 V), 펄라이트(이하 PL), 중공 세라믹 비드(이하 CB)와 이들을 조합하여 잔골재에 대한 부피비로 3 % 치환하였다.

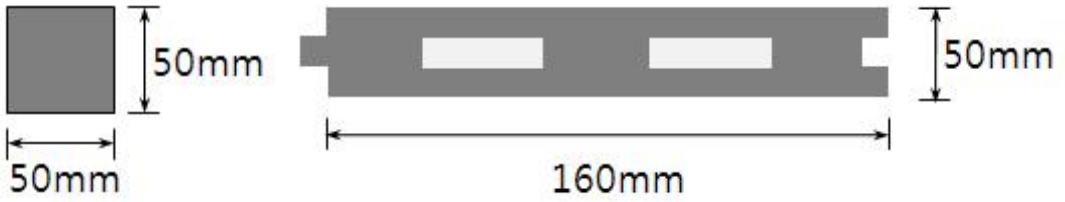
평가항목으로 휨강도, 밀도, 흡수율 및 길이변화율을 측정하였으며, 실험결과의 평가지표는 「KS F 4735 압출성형 콘크리트 패널」의 성능기준과 비교·평가하였다.

표 3-35. 외벽 단열패널 시제품 제작 실험

평가요인				평가항목
형상(㎜)		양생방법	단열소재 종류 및 치환율/S(%)	
사각바	중공패널	〈 상압증기양생 〉 · 습윤양생 4시간 · 80 ℃ 3시간 온도상승 · 80 ℃ 유지 5시간 · 온도하강 4시간	· V=3 · PL=3 · CB=3 · V+PL=1.5+1.5 · V+CB=1.5+1.5 · PL+CB=1.5+1.5 · V+PL+CB=1.5+1.5	·휨강도 ·밀도 ·흡수율 ·길이변화율
50×50	160×40			

표 3-36. KS F 4735 압출성형 콘크리트 패널의 기준

항목	휨강도 (MPa)	밀도 (kg/㎥)	흡수율 (%)	흡수에 의한 길이변화율 (%)
건축, 차음용	14	2 000 이하	18.0 이하	0.12 이하



〈압출 사각바 단면〉 〈압출성형 중공패널 단면〉

그림 3-68. 외벽 단열패널 시제품 단면

가. 시험체 제작 및 시험방법

(1) 압출성형

단열패널의 압출성형은 앞서 설명한 바와 같이 현장생산에 의한 압출성형 패널의 제조공정과 동일한 방법으로 그림 3-69 ~ 3-72와 같이 구경 100 ㎜의 2축식 압

출기를 이용하여 50×50 ㎜의 사각바 형태 및 160×50 ㎜의 중공패널 형태로 제작하였다. 실험체 제작에 사용된 압출기는 구경 100 ㎜의 진공압출 성형기로서 일본의 I사의 제품이다.

표 3-37. 압출 성형기의 제원

	제원
형식 및 구경	2축식 압출기/구경 100 mm
건식믹서	최대용량 15 Liter OMNI mixer, RPM 800
습식믹서	용량 30 Liter sigma type mixer



그림 3-69. 압출성형기



그림 3-70. 구성재료 건식 프리믹스



그림 3-71. 단열패널 구성재료 습식혼합



그림 3-72. 단열패널 압출성형

(2) 양생방법

압출패널의 양생은 압출성형이 끝난 시험체를 4시간동안 습윤양생 후 외부의 온도 간섭 없는 고온증기양생기에서 3시간동안 80 ℃까지 올린 후 5시간 온도유지, 4시간 온도하강으로 상압증기양생을 실시한다.

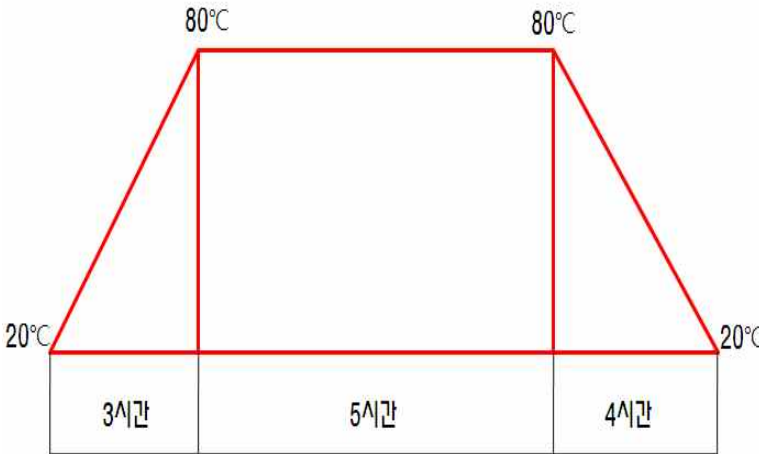


그림 3-73. 양생온도 및 시간



그림 3-74. 고온증기양생기



그림 3-75. 상압증기양생 실시

(3) 휨강도

50×50 ㎜의 사각바 형태의 경우 「KS L ISO 679 시멘트의 강도 시험 방법」의 규정에 따라 앞서 설명한 시험방법과 같으며, 160×50 ㎜의 중공패널 형태의 경우 「KS F 4735 압출 성형 콘크리트 패널」의 규정에 따라 측정하였다. 즉, 단순보 중앙점 하중법을 이용하여 지간거리 400 ㎜, 재하속도 5 ㎜/min의 하중속도로 제하하여 최대하중을 구하였다.

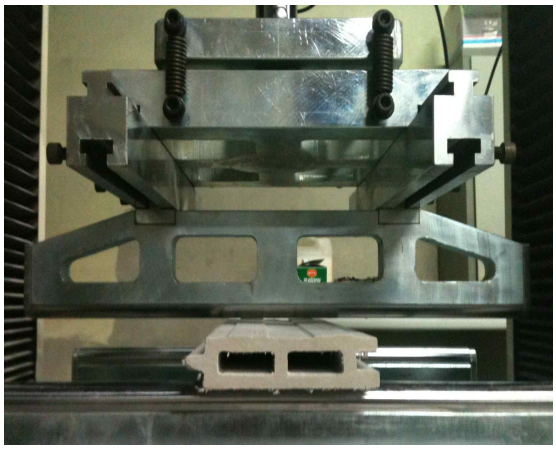


그림 3-76. 중공패널 휨강도 측정

$$\text{휨강도}(MPa) = \frac{\text{하중}(N) \times \text{지간거리}(mm)}{8 \times \text{단면계수}(mm^3)}$$

(4) 밀도 및 흡수율

밀도 및 흡수율 시험은 「KS F 4735 압출 성형 콘크리트 패널」의 규정에 따라 측정하였다. 즉, 시험체를 15~25 ℃m의 맑은 물속에 24시간 침지시킨 후의 질량과 이 시험체를 공기 건조기에 넣고 105±5 ℃에서 일정한 질량이 되기까지 건조한 다음 무수염화칼슘으로 조습한 데시게이터에 넣어 상온까지 냉각한 후의 질량을 측정하여 밀도 및 흡수율을 계산하였다.

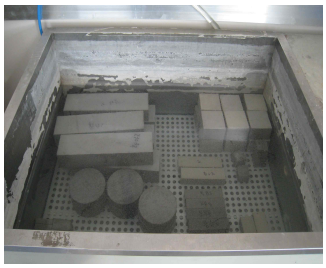


그림 3-77. 수중침지



그림 3-78. 항량건조



그림 3-79. 질량측정

$$\text{밀도}(kg/m^3) = \frac{\text{시험체 질량}(kg)}{\text{시험체 체적}(m^3)}$$

$$\text{흡수율}(\%) = \frac{\text{물흡수 질량}(kg) - \text{건조 질량}(kg)}{\text{건조 질량}(kg)} \times 100$$

(5) 흡수에 의한 길이 변화율

밀도 및 흡수율 시험은 「KS F 4735 압출 성형 콘크리트 패널」의 규정에 따라 측정하였다. 즉, 시험체를 공기 건조기에 넣어 그 온도를 105±5 ℃로 유지하고, 약 24시간 경과한 후 무수 염화칼슘으로 조습한 데시게이터에 넣어 상온까지 냉각한다. 시험체의 눈금거리가 약 140 mm가 되도록 새긴 후 1/500 mm 이상의 정밀도를 갖는 콤퍼레이터를 사용하여 20±3 ℃의 물에 침지하기 전·후의 눈금거리를 측정하여 계산하였다.



그림 3-80. 각선기

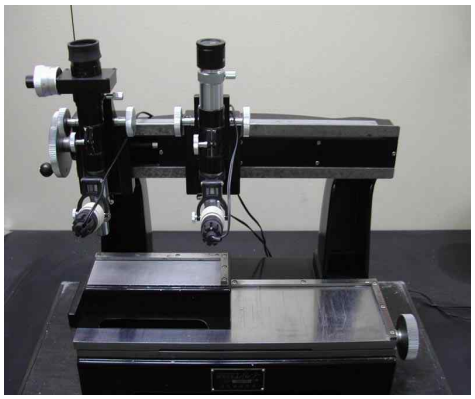


그림 3-81. 콤퍼레이터

$$\text{흡수에 의한 길이변화율}(\%) = \frac{\text{물흡수 길이}(mm) - \text{건조 길이}(mm)}{\text{건조 길이}(mm)} \times 100$$

나. 결과 및 분석

(1) 휨강도

휨강도는 압출성형 패널의 매트릭스 내에서 단열소재와의 결합특성을 파악할 수 있는 중요한 특성이며, 「KS F 4735 압출성형 콘크리트 패널」의 규정에서는 이에 대한 성능 기준을 14 MPa 이상으로 명시하고 있다.

표 3-38은 휨강도 시험결과를 나타낸 표이다. 그림 3-82은 사각바 형태의 단열소재 종류 및 조합에 따른 휨강도를 나타낸 그래프이고, 그림 3-83는 판상형 형태의 단열소재 종류 및 조합에 따른 휨강도를 나타낸 그래프이다. 먼저, 사각바 형태의 경우 시제품 종류별 강도의 차이는 크게 나타나지 않았으나 질석과 중공 세라믹 비드 및 펄라이트를 함께 혼합 치환하였을 경우 가장 높은 강도를 나타내었으며, 판상형 형태의 경우 단열소재를 치환하지 않은 플레인에 비해 강도가 저하하는 경향을 나타내었으나, 그 중 질석과 중공 세라믹 비드 및 펄라이트를 함께 혼합 하였을 경우 가장 높은 강도를 나타내었다.

사각바 형태의 경우 모두 KS 기준을 상회하는 결과를 나타내었지만, 중공패널의 경우 단열재를 치환하지 않은 경우를 제외하면 모두 KS 기준을 만족시키지 못하였다. 따라서 추후 실험계획에서는 유기섬유 혼입율을 증가시키는 등의 방안이 필요할 것으로 판단된다.

표 3-38. 휨강도 시험결과

(단위 : MPa)

단열소재 종류	사각바	중공패널
Plain	19.58	15.02
V	19.90	12.30
PL	18.40	11.27
CB	19.85	11.20
V+PL	18.90	10.93
V+CB	20.15	10.62
PL+CB	18.35	11.97
V+PL+CB	21.05	12.67

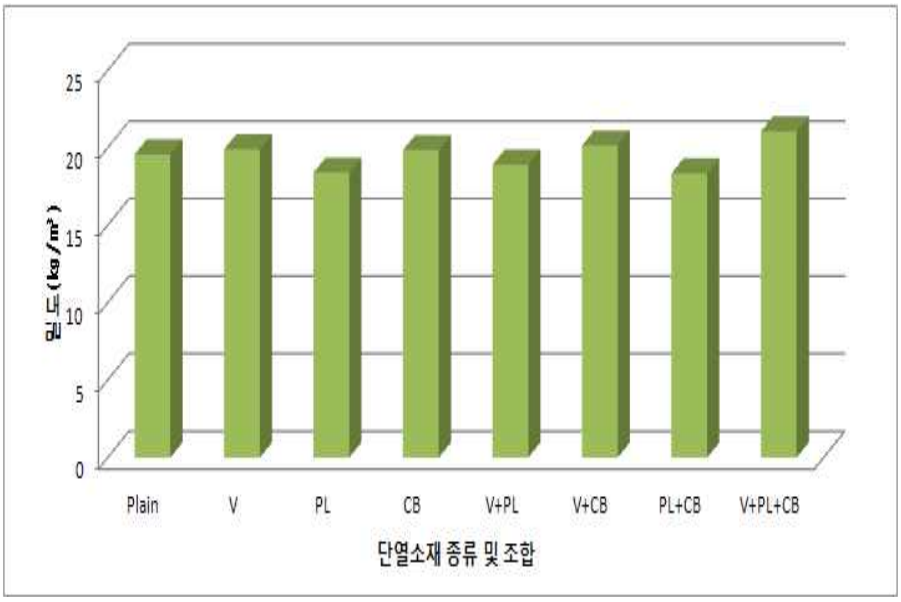


그림 3-82. 사각바 형태의 단열소재 종류 및 조합에 따른 휨강도



그림 3-83. 중공패널 형태의 단열소재 종류 및 조합에 따른 휨강도

(2) 밀도

습식혼합 시의 배합수로인하여 발생한 공극이 밀도에 영향을 미치고 이는 압출성형 패널의 경량화와 관계가 있다. 한편, 「KS F 4735 압출성형 콘크리트 패널」의 규정에서는 이에 대한 성능 기준을 2,000 kg/㎥ 이하로 명시하고 있다.

표 3-39는 밀도 시험결과를 나타낸 표이고, 그림 3-84는 단열소재 종류 및 조합에 따른 밀도를 나타낸 그래프이다. 단열소재를 치환한 경우 밀도는 다소 감소하는 경향을 나타내었는데, 이는 단열소재의 특성상 매트릭스 내부의 치밀도가 상대적으로 낮아져 밀도가 감소하는 결과를 보인 것으로 판단된다. 그러나 모두 KS 기준을 만족하는 값을 나타내었는데, 이는 시험체 제작 시 고온증기양생으로 인해 일반적인 콘크리트 경화체에 비해 양생에 따른 내부의 수분을 최소화하고 공극발생을 억제하며, 수화발열 촉진으로 단시간 내에 강도를 발현하는 것에 영향을 받은 것으로 판단된다.

표 3-39. 밀도 시험결과

단열소재 종류 및 조합	밀도(kg/㎥)
Plain	1,864
V	1,852
PL	1,795
CB	1,770
V+PL	1,821
V+CB	1,820
PL+CB	1,770
V+PL+CB	1,816

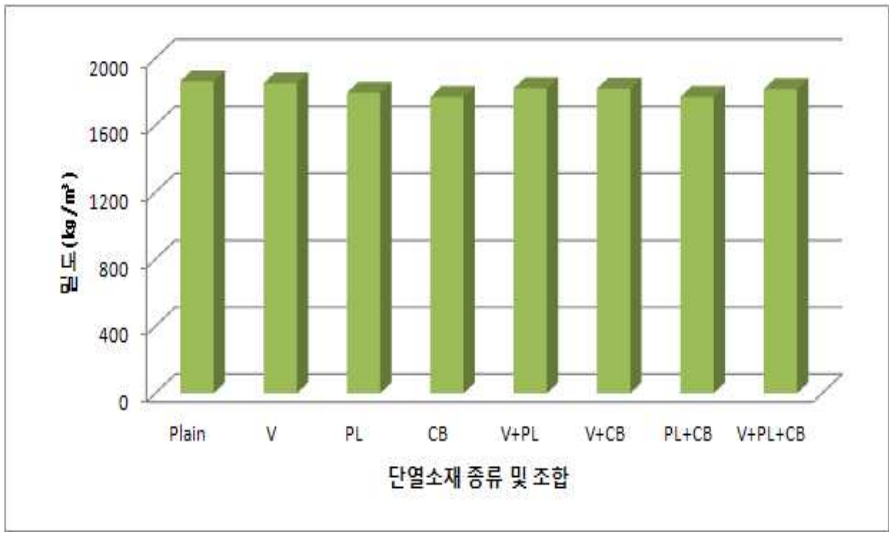


그림 3-84. 단열소재 종류 및 조합에 따른 밀도

(3) 흡수율

흡수율은 습식혼합 시 사용되는 물이 매트릭스 내에 존재하며, 양생과정과 건조과정을 거쳐 수분이 있는 곳에 공극이 발생하게 되는데, 이러한 공극이 흡수율에 직접적인 영향을 미치게 된다. 한편, 「KS F 4735 압출성형 콘크리트 패널」의 규정에서는 이에 대한 성능 기준을 18.0 % 이하로 명시하고 있다.

표 3-40은 흡수율 시험결과를 나타낸 표이고, 그림 3-85는 단열소재 종류 및 조합에 따른 흡수율 나타낸 그래프이다. 단열소재를 치환한 경우 흡수율은 다소 증가하는 경향을 나타내었는데, 이는 단열소재의 특성상 매트릭스 내부의 치밀도가 상대적으로 낮아져 흡수율이 증가하는 결과를 보인 것으로 판단된다. 그러나 모두 KS 기준을 만족하는 값을 나타내었다.

표 3-40. 흡수율 시험결과

단열소재 종류 및 조합	밀도(kg/㎥)
Plain	5.48
V	6.52
PL	8.68
CB	8.47
V+PL	7.99
V+CB	7.91
PL+CB	8.44
V+PL+CB	7.52

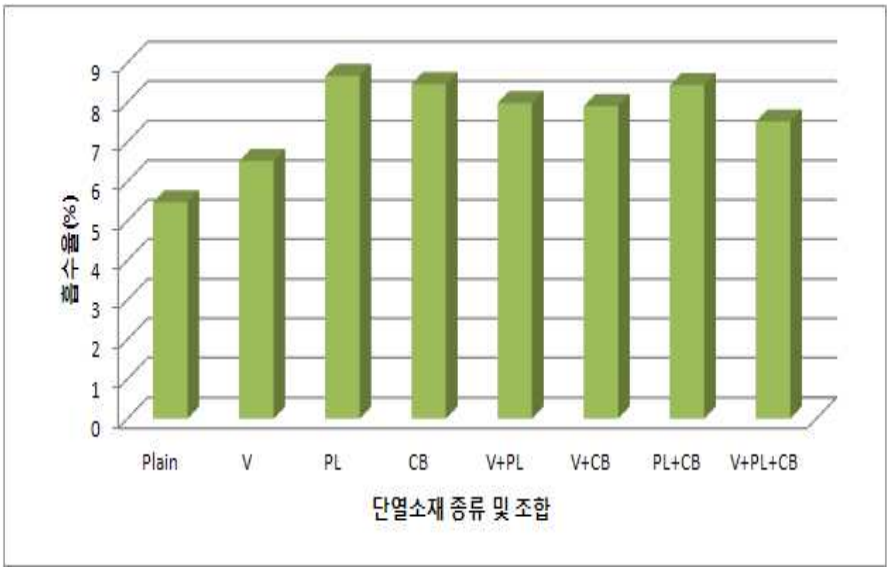


그림 3-85. 단열소재 종류 및 조합에 따른 흡수율

(4) 물흡수에 따른 길이변화율

압출성형 패널이 생산이후 시간경과에 따라 건조수축에 다른 제품의 길이에 변화가 생긴다면 선 제작 건식공법으로서 의미가 없다. 따라서 이에 대한 검토는 필수적이며 「KS 압출성형 콘크리트 패널의 성능기준에서는 흡수에 의한 길이변화율」을 0.12 % 이하로 규정하고 있다.

표 3-41은 물흡수에 따른 길이 변화율 시험결과를 나타낸 표이고, 그림 3-86은 단열소재 종류 및 조합에 따른 길이변화율을 나타낸 그래프이다. 단열소재를 치환한 경우 길이변화율이 다소 길어졌는데, 이는 단열소재의 치환에 따른 시멘트 매트릭스의 치밀도를 약화시키고 이에 따라 수분의 점착이 증가한 것이 원인으로 판단된다. 그러나 KS에 명시된 압출성형 콘크리트 길이변화율 기준 0.12 %이내의 결과를 보였다. 이는 진공 압출성형에 의한 생산방식으로 일정한 압력으로 원료를 압밀하여 생산하였기 때문에 시멘트 매트릭스와의 결착이 균일하게 이루어져 길이변화율이 양호하게 나타난 것으로 사료된다.

표 3-41. 물흡수에 따른 길이변화율

단열소재 종류 및 조합	물흡수에 따른 길이변화율(%)
Plain	0.035
V	0.038
PL	0.054
CB	0.059
V+PL	0.048
V+CB	0.046
PL+CB	0.061
V+PL+CB	0.043



그림 3-86. 단열소재 종류 및 조합에 따른 길이변화율

2. 압출 단열패널의 특성 검토

가. 역학적 특성

(1) 실험개요

앞서 진행한 단열소재의 패널 시제품 시험을 통해 추가 배합을 통해 물리적 특성을 검토하였다.

외벽 단열패널 시제품 제작 실험계획은 표 3-42 및 표 3-44와 같다. 먼저, 50×50 ㎜의 사각바 형태와 160×50 ㎜의 중공패널 형태로 압출 제작하였으며, 압출성형 후 고온증기양생을 실시한다. 단열소재는 일반패널(이하 Plain), 질석(이하 V), 펄라이트(이하 PL), 질석+펄라이트(이하 PV) 등 4수준으로 제작하였다.

평가항목으로 휨강도, 밀도, 흡수율 및 충격 시험을 측정하였으며, 실험결과의 평가지표는 표 3-43과 같이 「KS F 4735 압출성형 콘크리트 패널」의 성능기준과 비교·평가하였다.

표 3-42. 압출 단열패널의 실험개요

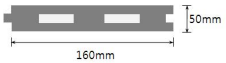
평가요인				평가항목
단열소재 종류		양생방법	치환율/S (%)	
Plain	 (50×50)	〈 고압증기양생 〉 · 습윤양생 12시간 · 180℃ 3시간 온도상승 · 180℃ 6시간 온도유지 · 온도하강 3시간	10%	· 휨강도
V			25%	· 밀도
PL	 (160×50)		50%	· 흡수율
PV			75%	· 충격성

표 3-43. KS F 4735 압출성형 콘크리트 패널의 기준

항목	휨강도(MPa)	밀도(kg/㎥)	흡수율(%)
건축, 차음용	14	2 000 이하	18.0 이하

표 3-44. 외벽 단열패널의 배합

단열 소재	치환율 (%)	W (kg/㎥)	질량배합(kg/㎥)							
			C	SC	WS	P	F	MC	V	PL
Plain	0	280	380	400	25	15	6	5	0	0
V	10	280	380	360	0	15	6	6	40	0
V	25	285	380	300	0	15	6	6	100	0
V	50	290	380	200	0	15	6	6	200	0
V	75	300	380	100	0	15	6	6	300	0
PL	10	280	380	360	0	15	6	6	0	40
PL	25	290	380	300	0	15	6	6	0	100
PL	50	300	380	200	0	15	6	6	0	200
PL	75	320	380	100	0	15	6	6	0	300
PV	10	280	380	360	0	15	6	6	20	20
PV	25	285	380	300	0	15	6	6	50	50
PV	50	290	380	200	0	15	6	6	100	100
PV	75	300	380	100	0	15	6	6	150	150

C : 시멘트, SC : 규사, WS : 규회석, P : 펄프, F : PP섬유, V : 질석, MC : 증점제, PL : 펄라이트, PV : 펄라이트+질석

(2) 시험체 제작 및 시험방법

(가) 압출성형 방법

단열패널 압출성형은 앞서 설명한 바와 같이 현장생산에 의한 압출성형 패널의 제조공정과 동일한 방법으로 구경 100 ㎜의 2축식 압출기를 이용하여 160×50 ㎜의 중공패널 형태로 제작하였다.

(나) 양생방법

압출패널의 양생은 압출성형이 끝난 시험체를 12시간동안 습윤양생 후 외부의 온도 간섭 없는 고온증기양생기에서 3시간동안 180 ℃까지 올린 후 6시간 온도유지, 3시간 온도하강으로 고압증기양생을 실시한다.

(다) 충격 시험

압출패널의 충격시험은 「KS F 4770-1 방음판 - 금속재」의 8.5 충격시험에 의거하여 그림 3-87과 같이 측정하였다. 충격원은 강철로 제작된 것으로 지름이 35 ㎜, 질량이 3 ± 0.1 kg인 구이고 낙하높이는 1 m로 한다. 시험편은 이탈되지 않도록 적당한 방법으로 고정하고 충격원의 타격위치는 모서리 부분, 중앙 부분, 임의 부분 등 3곳으로 한다. 충격원이 시험체의 표면에 수직하게 낙하되도록 한다. 이때 충격 부위의 찌그러짐과 같은 외형상의 사소한 변형 또는 균열 발생은 허용하였다.



그림 3-87. 충격시험

(3) 결과 및 분석

휨강도는 단열소재와의 결합특성을 파악하고, 밀도는 압출성형 패널의 경량화와 관계있으며, 흡수율은 혼합시 사용된 물이 공극을 발생시켜 흡수율에 직접적인 영향을 미친다.

표 3-45는 휨강도, 밀도, 흡수율의 시험결과를 나타낸 표이다. 그림 3-88은 중공패널 형태의 단열소재 종류 및 조합에 따른 휨강도를 나타낸 그래프이고, 그림 3-89는 사각바 형태의 단열소재 종류 및 조합에 따른 밀도를 나타낸 그래프이며, 그림 3-90은 사각바 형태의 단열소재 종류 및 조합에 따른 흡수율을 나타낸 그래프이다.

먼저, 중공패널 형태의 휨강도를 측정한 결과 단열소재의 종류별 강도의 차이는 질석 〉 질석+펄라이트 〉 펄라이트 순으로 작게 나타났으며, 단열소재의 치환율이 증가할수록 플레인에 비해 강도가 저하하는 경향을 나타났다. 중공패널 형태의 휨강도 대부분이 KS 기준을 만족하지 못하는 결과가 나타났지만, 아파트 단열외벽재로 콘크리트의 타설시 측압은 충분히 만족할 수 있을 것으로 판단된다.

밀도의 경우 단열소재의 치환율이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었는데, 이는 단열소재의 특성상 매트릭스 내부의 치밀도가 상대적으로 낮아져 밀도가 감소하는 결과를 보인 것으로 판단된다. 이는 시험체 제작 시 고온증기양생으로 인해 일반적인 콘크리트 경화체에 비해 양생에 따른 내부의 수분을 최소화하고 공극발생을 억제하는 것에 영향을 받은 것으로 판단된다.

흡수율의 경우 단열소재의 치환율이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었는데, 이는 단열소재의 특성상 매트릭스 내부의 치밀도가 상대적으로 낮아져 흡수율이 증가하는 결과를 보인 것으로 판단된다. 치환율이 50%이하에서는 대부분 KS 기준인 18%를 만족하고 있다.

단열패널에 대한 충격 시험의 경우 PL만 약간이 변형이 나타나고 대부분 변형 및 균열이 나타나지 않아 충격에 대하여 KS 기준을 만족하고 있다.

표 3-45. 외벽 단열패널 시제품의 물리적 특성 시험 결과

단열소재 종류 및 조합		휨강도(MPa)	밀도(kg/㎥)	흡수율(%)
Plain		14.6	1.80	9.4
10% (치환율/S)	질석	15.2	1.80	11.67
	펄라이트	11.1	1.59	12.59
	질석+펄라이트	12.1	1.75	10.11
25% (치환율/S)	질석	9.6	1.69	14.28
	펄라이트	9.8	1.41	15.65
	질석+펄라이트	9.4	1.61	13.17
50% (치환율/S)	질석	7.5	1.45	17.58
	펄라이트	4.7	1.09	18.64
	질석+펄라이트	5.4	1.42	16.75
75% (치환율/S)	질석	2.9	1.12	19.92
	펄라이트	1.2	0.91	20.97
	질석+펄라이트	1.6	1.11	19.16

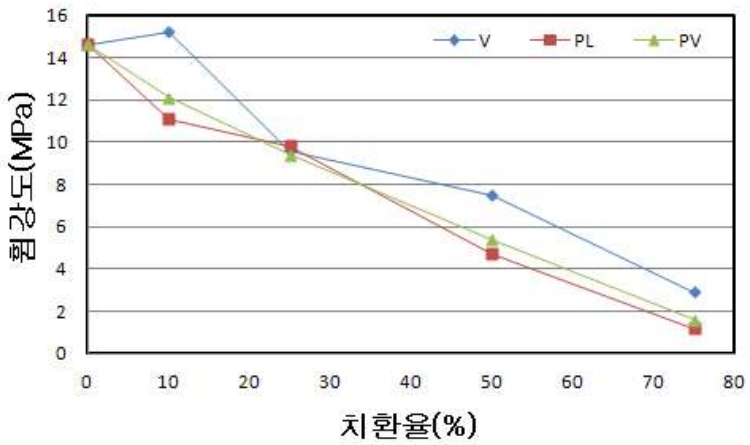


그림 3-88. 단열소재의 치환량 증가에 따른 휨강도

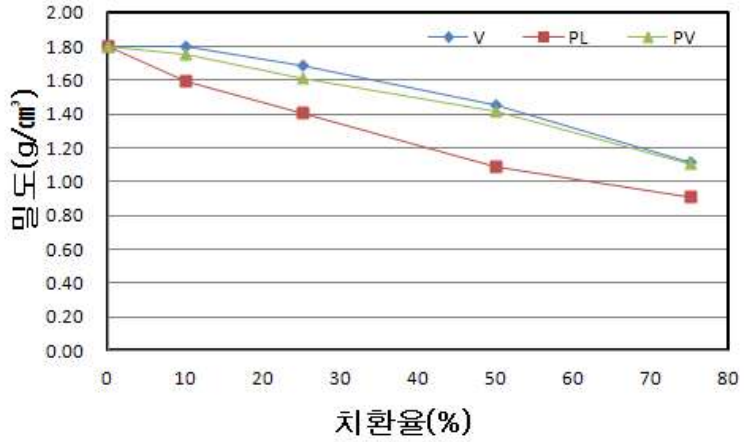


그림 3-89. 단열소재의 치환량 증가에 따른 밀도

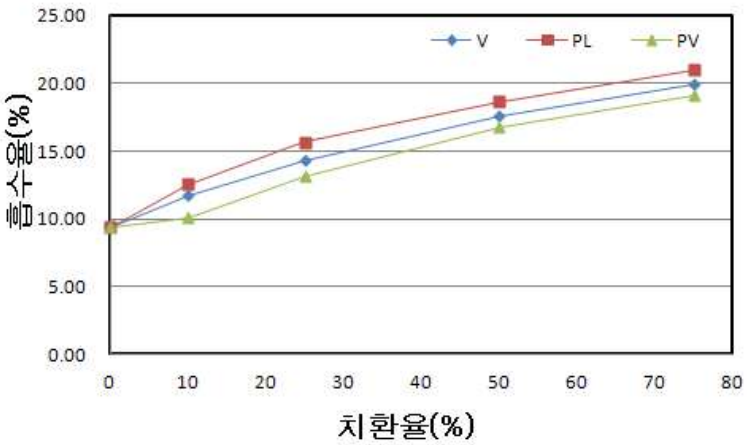


그림 3-90. 단열소재의 치환량 증가에 따른 흡수율

나. Bowing test

(1) 실험개요

단열패널은 실외에 사용되는 경우 일사에 의한 건조, 수분의 변화(비, 습도)에 의해 변형이 발생하는 경우가 있으며, 주위환경에 의한 영향은 압출패널에 반복적으로 작용하여 피로열화를 주어 패널의 역학적 성질에 영향을 준다. 본 평가에서는 이러한 점을 고려하여 압출패널의 발수처리 유무에 따른 휨변형량, 두께변화 및 휨강도 등을 측정하여 활용하고자 하는 패널의 변형에 대한 유효성 판단에 필요한 기초 Data를 제공하고자 계획하였다.

세부적으로 두께는 20 ㎜인 100 * 400 ㎜ 크기를 기본(Plain)으로 질석(V), 펄라이트(PL), 질석+펄라이트(PV)를 잔골재 대비 50 % 첨가한 4수준의 압출패널에 발수처리 유무의 총 8수준으로 설정하였다. 측정은 초기치 및 5 사이클마다 50 사이클까지 중앙부 휨변형량을 제시한 시험방법에 준하여 측정하였으며, 초기치 및 반복사이클 50회 실시 후의 시험체에 대한 휨강도를 측정하여 휨 변형량, 두께 및 휨강도의 변화, 휨강도 등에 대한 기초 Data를 제공하고자 한다.

표 3-46. 외벽 단열패널 시제품 제작 실험

평가요인				평가항목
종류		양생방법	시험방법	
Plain V PL PV	발수처리 유무	〈 고압증기양생 〉 · 습윤양생 12시간 · 180℃ 3시간 온도상승 · 180℃ 6시간 온도유지 · 온도하강 3시간	CEN/TC WG Draft(안)	· 휨 변형량 · 두께 변화 · 휨강도

(2) 시험방법

Bowing test 시험은 CEN/TC 246 WG에 시험방법(안)으로 제안된 시험방법인 "Natural stones test methods: Determination of the resistance of marble to thermal and moisture cycling"에 따라 시험한다.

시험체는 길이 400 ㎜, 폭 100 ㎜, 두께 20 ㎜의 압출패널에 대하여 각 단열소재 및 발수처리 유무에 따라 시험체를 비교대상으로 제작하여 사용하였다.

시험장치는 제시한 시험방법인 그림 3-91을 기본으로 그림 3-92와 같이 제작하여 사용하며, Bowing 변형량 측정은 그림 3-93의 측정 장치를 사용하여 가이드에 시험체를 고정시킨 후 항상 같은 위치에서 Bowing 변형량을 측정한다.

시험은 시험체를 40 ℃의 오븐안에서 1 주일간 건조시킨 후 실내(20 ℃)에서 냉각시킨 후 최초의 높이(H_o)를 측정한다.

시험체를 그림 3-94와 같이 설치한 후 물을 시험체가 5±2 mm 침지되도록 채워 넣고 24시 간 지속한 후 그림 3-95와 같이 적외선 램프를 사용하여 블랙 패널 온도가 80 ℃까지 상승(3 시간) 시키고, 80 ℃를 3시간 유지시킨 후 적외선 램프를 점멸시켜 자연 냉각시키는(14 시간) 20 시간 1 사이클을 50 회 반복 실시하며, 측정은 매 5 사이클 마다 측정장치(그림 3-93)를 사용하여 동일한 위치를 측정한다. 측정 시 압출패널이 볼록해지는 것을 (+), 오목한쪽의 변형을 (-)로 한다. 휨강도 시험은 그림 3-96과 같이 실시하였다.

Bowing 값(H_N)은 아래의 식(1)을 사용하여 1 m당 변형량으로 환산하여 나타낸다.

$$H_N = H \times \left(\frac{L_N}{L}\right)^2 \text{----------} (1)$$

여기서, H_N: $L_N = 1m$로 가정한 높이차(㎜)

H: 일정 사이클 경과 후의 최초 높이와의 높이차(㎜)

L_N: 단위 길이 = $1m$

L: 시험체의 측정시의 지지점 사이의 길이 = $0.35m$

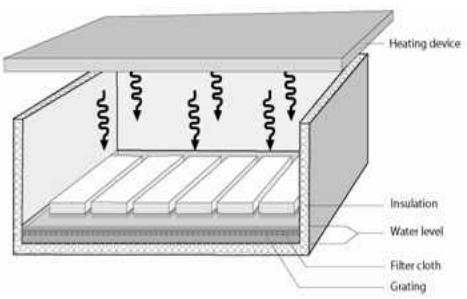


그림 3-91. 시험장치의 개요



그림 3-92. 시험장치



그림 3-93. 측정장치



그림 3-94. 시험체 설치 장면

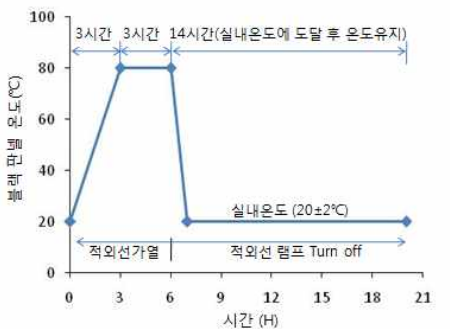


그림 3-95. Bowing test Cycle



그림 3-96. 휨강도 시험장면

또한, 잠재적 강도저하를 평가하기 위하여 BS EN 12372 "Natural stone test methods- Determination of flexural strength under concentrated load"에 준하여 Bowing test를 하지 않은 시험체 8개와 Bowing test 50cycle 시험 후의 시험체 8개에 대하여 휨강도 시험을 실시하였다.

휨강도 시험에서 재하속도 (V)는 아래의 식(2)에 의해 계산하여 1 176 N/min으로 설정하였으며, 모든 시험체의 지간거리는 340 ㎜로 그림 5에 나타낸 것과 같이 중앙점 휨강도 시험을 실시하였다. 또한, 휨강도는 파괴시의 최대 휨하중을 식(3)을 이용하여 계산하였으며, 아래의 식(4)를 이용하여 Bowing test 후의 휨강도 저하를 평가한다.

$$V = \frac{2abh^2}{3l}(N/s) \text{----------} (2)$$

여기서, V: 재하속도(N/s)
a: 재하속도(MPa/s), $(0.25 \pm 0.05MPa/s \rightarrow 0.25MPa/s$로 설정$)$
b: 시험체 폭$(mm)$$(100mm)$
h: 시험체 두께(mm), $(30mm, 40mm, 50mm)$
l: 지간거리(mm), $(340mm$로 설정$)$

$$R_{tf} = \frac{3Fl}{2bh^2} \text{----------} (3)$$

여기서, R_{tf}: 휨강도(N/mm^2)
F: 파괴하중(N)
l: 지간거리(mm), $(340mm)$
b: 시험체 폭(mm)
h: 시험체 두께(mm)

$$\triangle F = \frac{F_n - F_r}{F_r} \times 100 \text{----------} (4)$$

여기서 $\triangle F$: 휨강도 변화율(%)
F_n: $Bowing\ test$ n횟수$(50 Cycle)$후의 휨강도(N/mm^2)
F_r: 건전 시험체의 휨강도(N/mm^2)

(3) 시험결과 및 분석

두께 20 ㎜의 Plain 및 질석, 펄라이트, 질석+펄라이트를 혼입한 압출패널에 대하여 발수처리 유무에 따른 8종류의 시험체에 대하여 European Research Program의 연구결과 Draft(안) 시험방법에 준하여 실시하고, Bowing test 5사이클 마다의 압출패널의 bowing 값을 표 3-47 ~ 표 3-50 및 그림 3-97 ~ 그림 3-100에 나타내었다.

압출패널의 혼입 종류에 따라서 최대 Bowing value(㎜/m)은 Plain의 경우 5.00 ㎜/m, 질석을 혼입한 경우 1.94 ㎜/m, 펄라이트를 혼입한 경우 5.30 ㎜/m, 질석+펄라이트를 혼입한 경우 3.62 ㎜/m의 시험 값을 얻어 질석 〈 질석+펄라이트 〈 Plain 〈 펄라이트 순으로 Bowing value(㎜/m)가 증가하는 것으로 나타났다.

한편, 실외에 설치되는 압출패널의 일사에 의한 건조, 수분의 변화(비, 습도)에 의해 변형이 발생하는 경우를 줄이기 위해 압출패널에 발수 처리한 경우 Plain, 질석, 펄라이트, 질석+펄라이트는 각각 5.84 ㎜/m, 4.08 ㎜/m, 5.93 ㎜/m, 5.40 ㎜/m로 나타나 Bowing value가 발수처리하지 않은 경우 보다 크게 나타났다. 비발수 처리된 시험체는 초기 변형량이 크게 나타났고, 발수 처리된 시험체는 시험횟수가 증가함에 따라 변형량이 증가되었다.

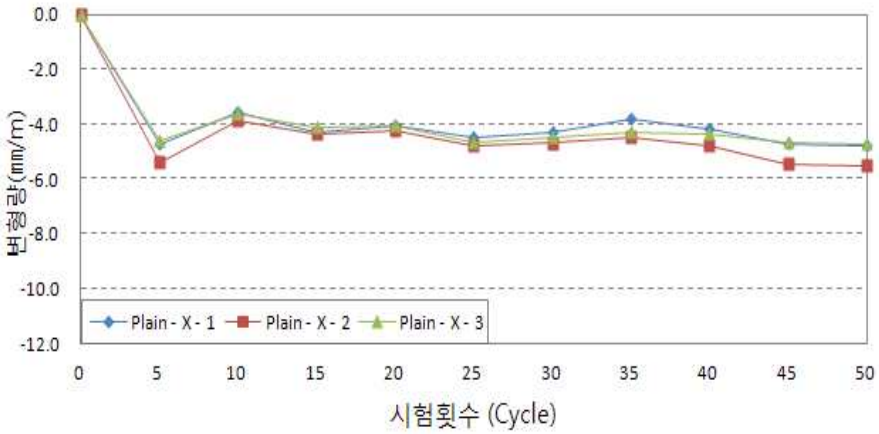
표 3-51 ~ 표 3-54 및 그림 3-101 ~ 그림 3-104는 Bowing test가 시험체의 두께변화에 미치는 영향을 측정한 것이다.

혼입 종류에 따라서 Plain, 질석, 펄라이트, 질석+펄라이트는 각각 0.68%, 0.65%, 0.91%, 0.84%의 두께변형이 나타났으며, 발수 처리한 경우 각각 1.15%, 0.67%, 0.76%, 0.54%의 두께변형이 나타났다. 시험체는 Bowing test의 시험횟수가 증가되어도 두께변형이 크지 않아 Bowing test에 대한 영향이 거의 없는 것으로 사료된다.

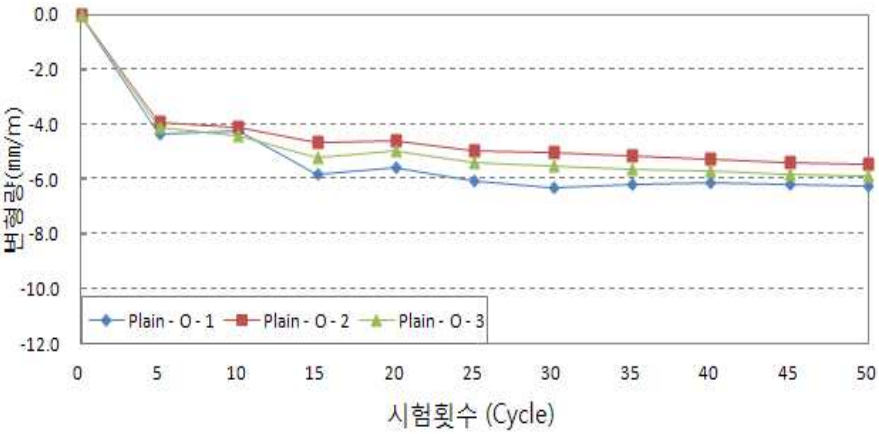
표 3-55 ~ 표 3-62 및 그림 3-105 ~ 그림 3-108는 Bowing test 전과 50사이클 시험 후의 시험체에 대한 휨강도 시험결과를 나타내었다.

먼저, Bowing test 전의 건전 시험체의 경우, 혼입한 단열소재에 따른 휨강도는 다소 차이를 보였는데, 휨강도는 펄라이트 〈 질석+펄라이트 〈 질석 〈 Plain 순으로 Plain이 가장 크게 나타났다. 발수처리를 한 시험체는 발수처리를 하지 않은 시험체 보다 휨강도가 증가된 것을 나타나 발수처리가 강도를 증진시키는 것을 알 수 있다.

Bowing test 전의 건전 시험체와 Bowing test 50 사이클 후의 휨강도 특성을 비교하면 Bowing test 50 사이클 후의 비발수 처리된 시험체의 혼입 종류에 따라서 Plain, 질석, 펄라이트, 질석+펄라이트는 각각 휨강도가 26 %, 11 %, 45 %, 21 % 감소하는 것으로 나타났다. 발수 처리된 시험체는 각각 휨강도가 19 %, 34 %, 67 %, 42 %로 비발수 처리된 시험체보다 더 감소하여 Plain을 제외한 나머지 시험체는 비발수 처리된 시험체의 휨강도가 크게 나타나 발수처리가 압출패널의 피로열화에 대한 휨강도에 부정적인 영향을 미치는 것으로 사료되지만, 콘크리트와 일체화되어 비내력벽으로 사용되는 소정의 강도 이상을 발휘하여 단열패널의 소요성능을 발휘하는데 큰 영향은 없는 것으로 판단된다. 하지만 이 부분에 대해 메커니즘 및 보완사항에 대해 연구를 진행하여 보완할 것으로 기대된다.



〈 비발수 처리 〉

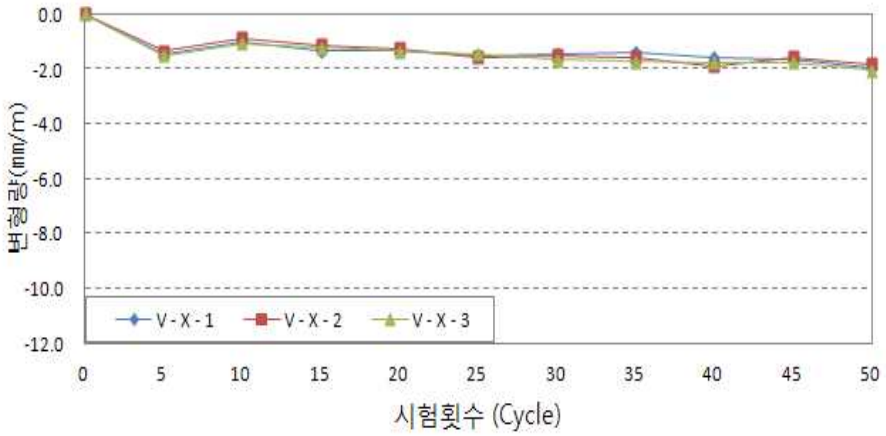


〈 발수 처리 〉

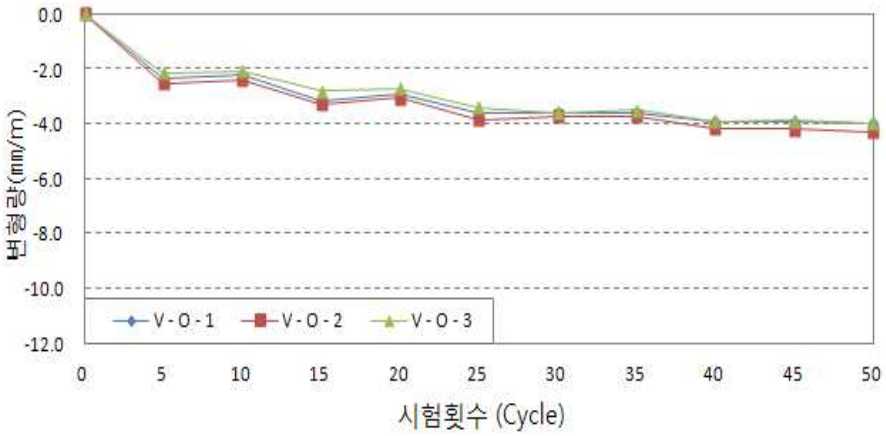
그림 3-97. Bowing test 반복횟수에 따른 변형량 변화(Plain)

표 3-47. 압출 패널의 Bowing test 시험결과(Plain)

시험체 번호	건조상태 기준 변형량 (㎜)	5사이클 기준 변형량 (㎜)	건조상태 기준 1m 단위 환산 변형량 (㎜)	5사이클 기준 1m 단위 환산 변형량 (㎜)	마지막 2점의 변형량 사이의 단위 환산 변형율 (㎜/m)
Plain - X - 1	0.59	0.01	4.78	0.08	0.07
Plain - X - 2	0.67	0.02	5.50	0.12	0.07
Plain - X - 3	0.58	0.02	4.71	0.14	0.06
Plain - O - 1	0.76	0.23	6.24	1.91	0.03
Plain - O - 2	0.67	0.18	5.44	1.50	0.07
Plain - O - 3	0.72	0.21	5.86	1.73	0.06



〈 비발수 처리 〉

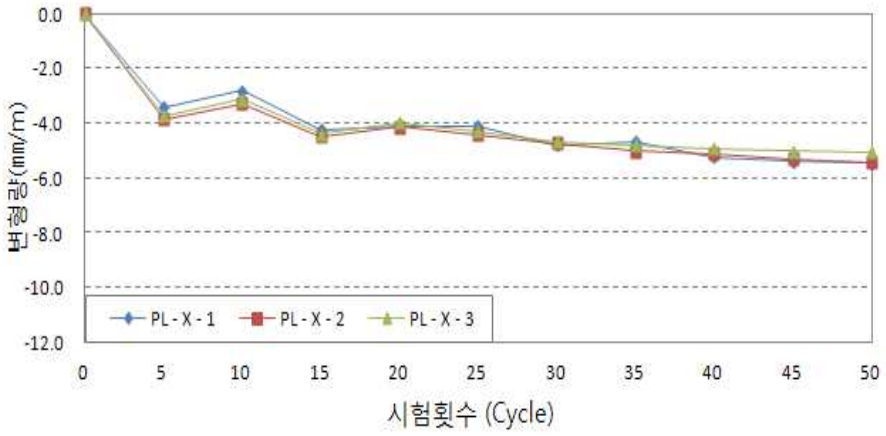


〈 발수 처리 〉

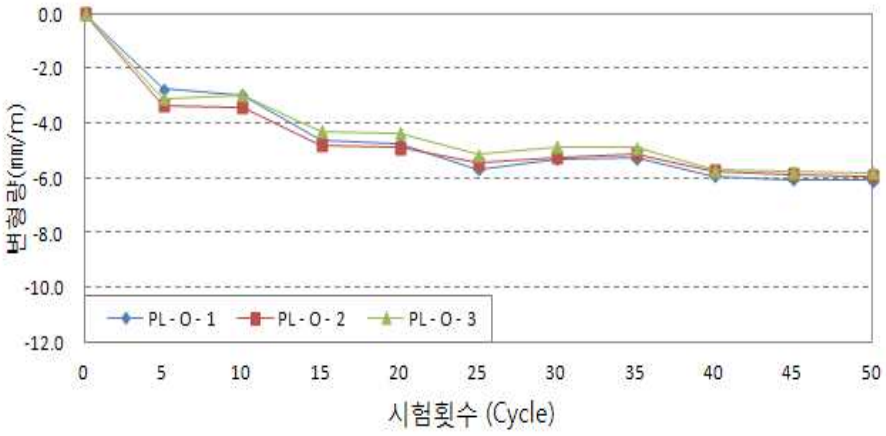
그림 3-98. Bowing test 반복횟수에 따른 변형량 변화(V)

표 3-48. 압출 패널의 Bowing test 시험결과(V)

시험체 번호	건조상태 기준 변형량 (㎜)	5사이클 기준 변형량 (㎜)	건조상태 기준 1m 단위 환산 변형량 (㎜)	5사이클 기준 1m 단위 환산 변형량 (㎜)	마지막 2점의 변형량 사이의 단위 환산 변형율 (㎜/m)
V - X - 1	0.24	0.06	1.96	0.51	0.31
V - X - 2	0.22	0.06	1.81	0.47	0.26
V - X - 3	0.25	0.06	2.04	0.52	0.28
V - O - 1	0.49	0.20	3.97	1.65	0.05
V - O - 2	0.53	0.22	4.29	1.76	0.11
V - O - 3	0.49	0.22	3.97	1.83	0.10



〈 비발수 처리 〉

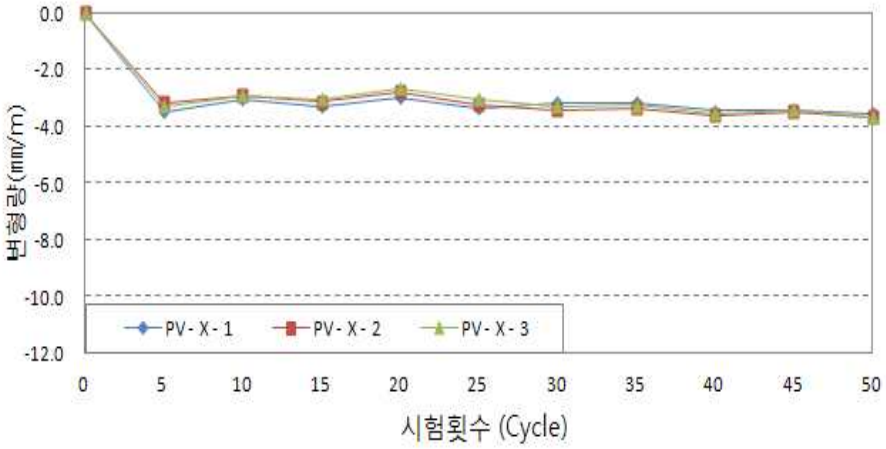


〈 발수 처리 〉

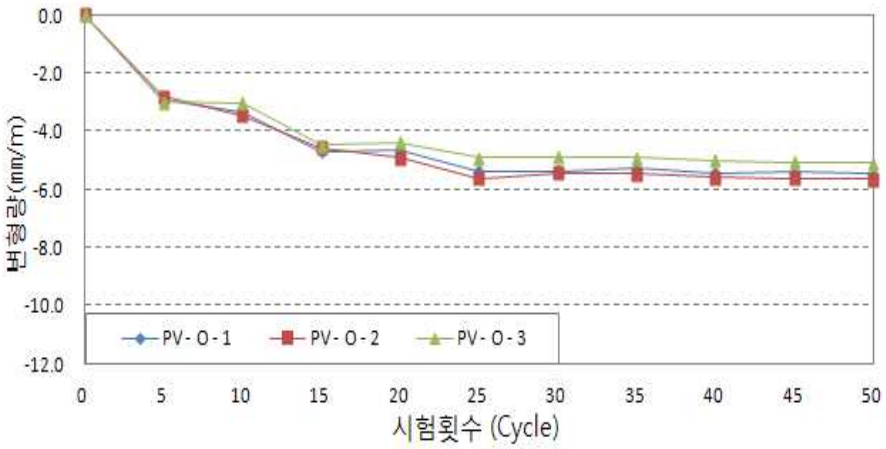
그림 3-99. Bowing test 반복횟수에 따른 변형량 변화(PL)

표 3-49. 압출 패널의 Bowing test 시험결과(PL)

시험체 번호	건조상태 기준 변형량 (㎜)	5사이클 기준 변형량 (㎜)	건조상태 기준 1m 단위 환산 변형량 (㎜)	5사이클 기준 1m 단위 환산 변형량 (㎜)	마지막 2점의 변형량 사이의 단위 환산 변형율 (㎜/m)
PL - X - 1	0.67	0.25	5.44	2.03	0.06
PL - X - 2	0.66	0.19	5.41	1.57	0.14
PL - X - 3	0.62	0.16	5.04	1.32	0.05
PL - O - 1	0.75	0.41	6.08	3.36	0.05
PL - O - 2	0.73	0.32	5.92	2.60	0.07
PL - O - 3	0.71	0.33	5.80	2.73	0.05



〈 비발수 처리 〉

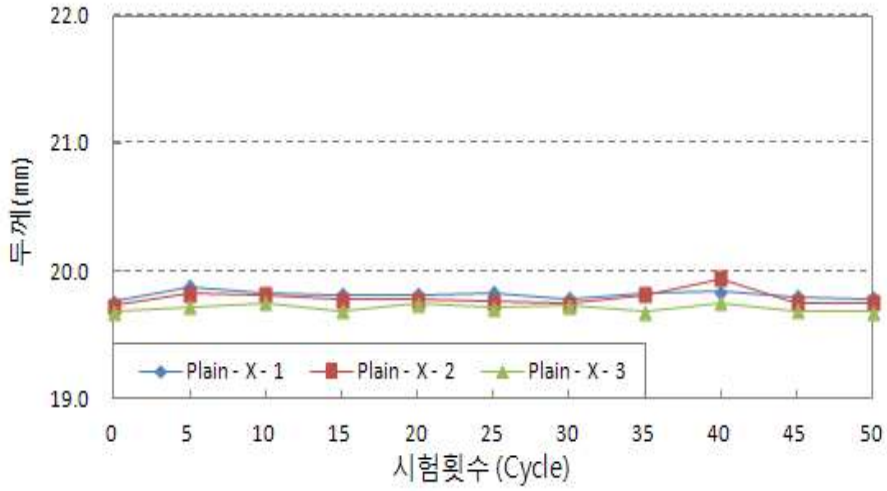


〈 발수 처리 〉

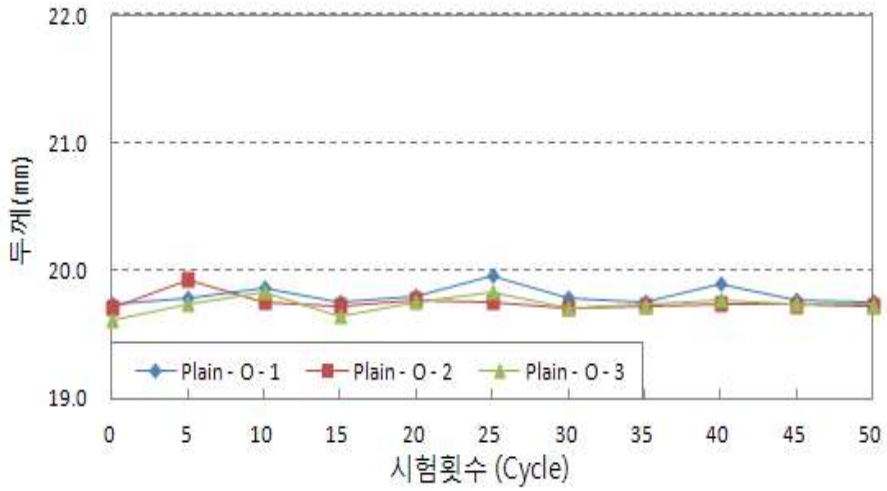
그림 3-100. Bowing test 반복횟수에 따른 변형량 변화(PV)

표 3-50. 압출 패널의 Bowing test 시험결과(PV)

시험체 번호	건조상태 기준 변형량 (㎜)	5사이클 기준 변형량 (㎜)	건조상태 기준 1m 단위 환산 변형량 (㎜)	5사이클 기준 1m 단위 환산 변형량 (㎜)	마지막 2점의 변형량 사이의 단위 환산 변형율 (㎜/m)
PV - X - 1	0.43	0.03	3.51	0.02	0.11
PV - X - 2	0.45	0.06	3.66	0.48	0.17
PV - X - 3	0.45	0.05	3.68	0.42	0.25
PV - O - 1	0.67	0.31	5.45	2.53	0.07
PV - O - 2	0.69	0.35	5.65	2.85	0.04
PV - O - 3	0.63	0.26	5.10	2.12	0.06



〈 비발수 처리 〉

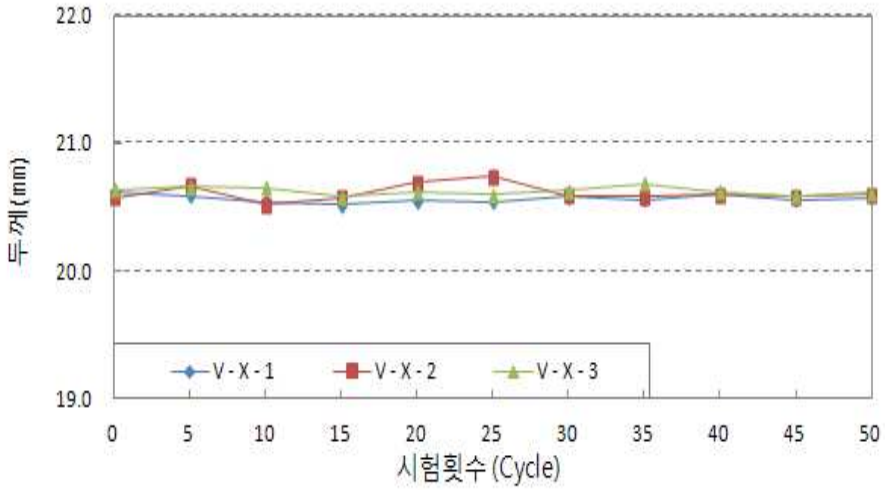


〈 발수 처리 〉

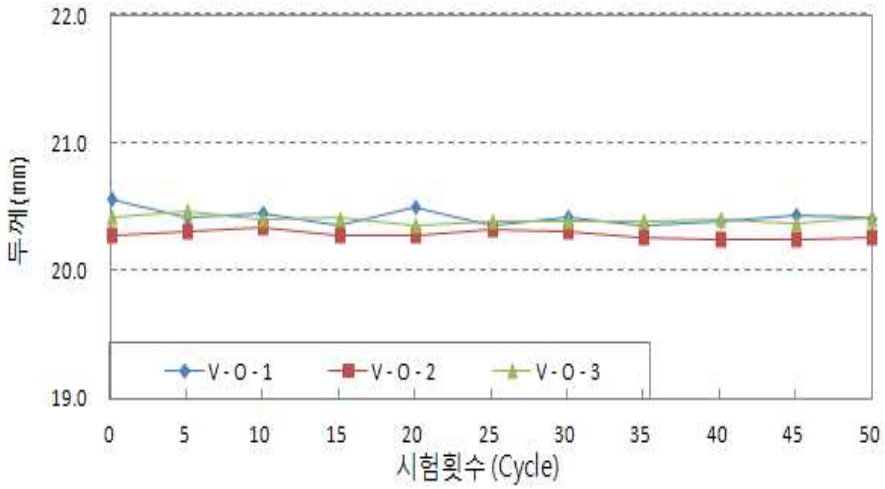
그림 3-101. Bowing test 반복횟수에 따른 두께 변화(Plain)

표 3-51. 압출 패널의 Bowing test에 따른 두께 변화(Plain)

시험체 번호	건조상태 기준 (㎜)	변형 최대 두께 (㎜)	변형 최소 두께 (㎜)	변형 두께 차 (㎜)	건조상태 기준 변형률 (%)	두께 평균 (㎜)	표준 편차
Plain - X - 1	19.76	19.88	19.76	0.12	0.61	19.81	0.031
Plain - X - 2	19.73	19.94	19.73	0.21	1.06	19.79	0.056
Plain - X - 3	19.68	19.75	19.68	0.07	0.36	19.71	0.027
Plain - O - 1	19.74	19.96	19.74	0.22	1.11	19.81	0.067
Plain - O - 2	19.70	19.93	19.70	0.23	1.17	19.75	0.061
Plain - O - 3	19.61	19.84	19.61	0.23	1.17	19.74	0.064



〈 비발수 처리 〉

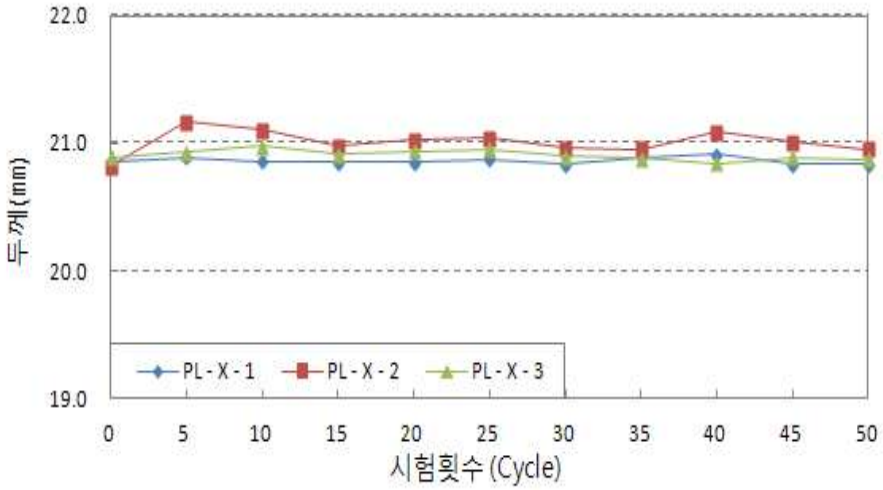


〈 발수 처리 〉

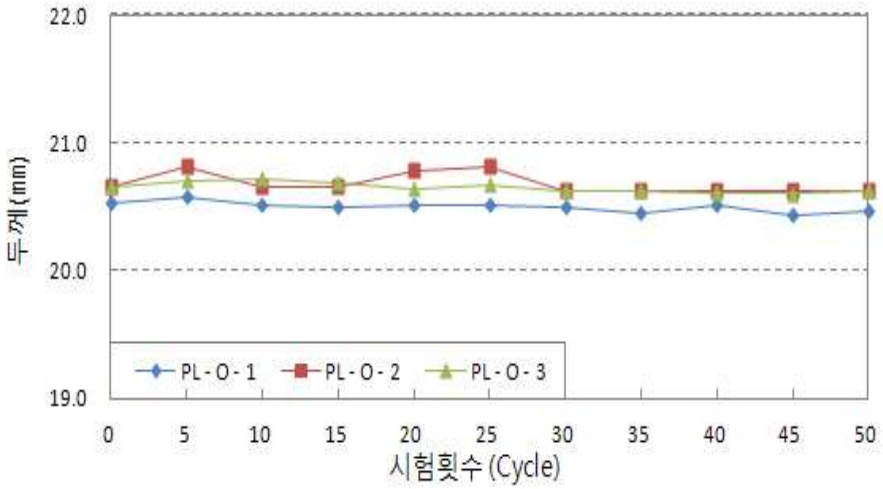
그림 3-102. Bowing test 반복횟수에 따른 두께 변화(V)

표 3-52. 압출 패널의 Bowing test에 따른 두께 변화(V)

시험체 번호	건조상태 기준 (㎜)	변형 최대 두께 (㎜)	변형 최소 두께 (㎜)	변형 두께 차 (㎜)	건조상태 기준 변형률 (%)	두께 평균 (㎜)	표준 편차
V - X - 1	20.62	20.62	20.52	0.10	0.49	20.57	0.028
V - X - 2	20.57	20.74	20.52	0.22	1.07	20.61	0.061
V - X - 3	20.64	20.68	20.58	0.10	0.48	20.63	0.029
V - O - 1	20.56	20.56	20.36	0.20	0.97	20.42	0.059
V - O - 2	20.27	20.34	20.24	0.10	0.49	20.28	0.031
V - O - 3	20.42	20.46	20.35	0.11	0.54	20.40	0.028



〈 비발수 처리 〉

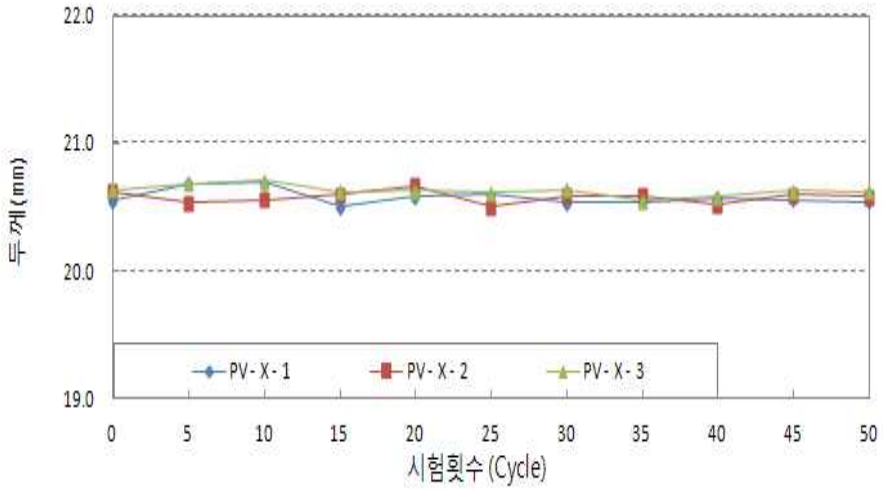


〈 발수 처리 〉

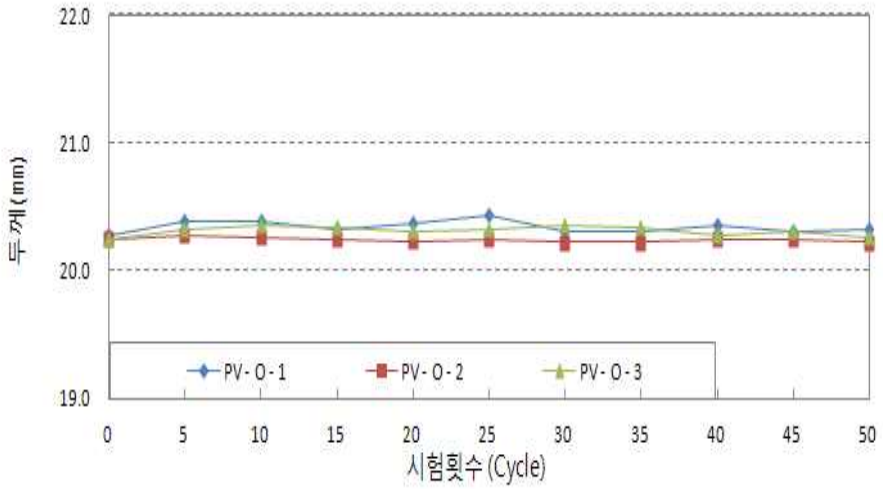
그림 3-103. Bowing test 반복횟수에 따른 두께 변화(PL)

표 3-53. 압출 패널의 Bowing test에 따른 두께 변화(PL)

시험체 번호	건조상태 기준 (㎜)	변형 최대 두께 (㎜)	변형 최소 두께 (㎜)	변형 두께 차 (㎜)	건조상태 기준 변형률 (%)	두께 평균 (㎜)	표준 편차
PL - X - 1	20.85	20.91	20.83	0.08	0.38	20.86	0.026
PL - X - 2	20.82	21.17	20.82	0.35	1.68	21.01	0.098
PL - X - 3	20.89	20.98	20.84	0.14	0.67	20.91	0.039
PL - O - 1	20.53	20.58	20.43	0.15	0.73	20.50	0.040
PL - O - 2	20.65	20.82	20.62	0.20	0.97	20.68	0.076
PL - O - 3	20.66	20.72	20.60	0.12	0.58	20.65	0.036



〈 비발수 처리 〉



〈 발수 처리 〉

그림 3-104. Bowing test 반복횟수에 따른 두께 변화(PV)

표 3-54. 압출 패널의 Bowing test에 따른 두께 변화(PV)

시험체 번호	건조상태 기준 (㎜)	변형 최대 두께 (㎜)	변형 최소 두께 (㎜)	변형 두께 차 (㎜)	건조상태 기준 변형률 (%)	두께 평균 (㎜)	표준 편차
PV - X - 1	20.55	20.69	20.50	0.19	0.92	20.58	0.065
PV - X - 2	20.62	20.67	20.50	0.17	0.82	20.58	0.049
PV - X - 3	20.64	20.71	20.55	0.16	0.78	20.63	0.041
PV - O - 1	20.28	20.44	20.28	0.16	0.79	20.35	0.051
PV - O - 2	20.25	20.28	20.22	0.06	0.30	20.24	0.019
PV - O - 3	20.24	20.44	20.24	0.20	0.99	20.33	0.056

표 3-55. 압출 패널의 Bowing test 전, 휨강도 시험결과(Plain)

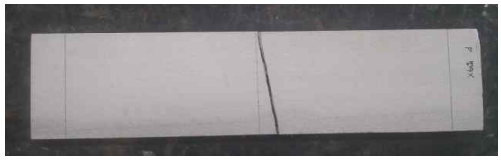
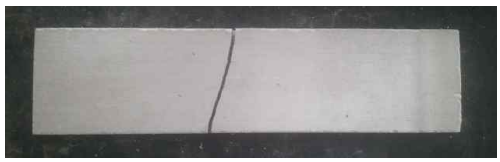
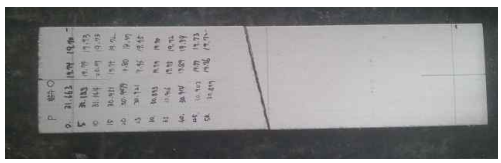
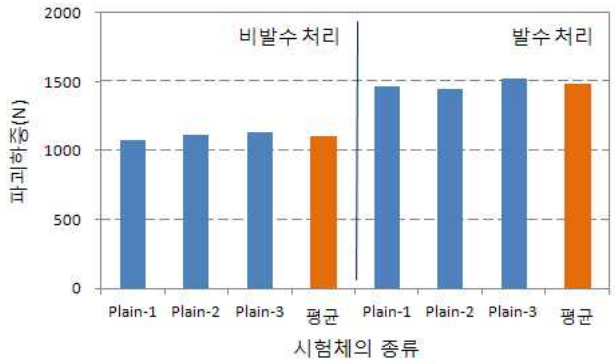
시험체 번호		파괴하중 (N)	휨강도 (N/㎟)	파괴 형상 및 특징
비발수처리	Plain-X-1	1080	13.8	
	Plain-X-2	1110	14.2	
	Plain-X-3	1108	14.5	
	평균	1108	14.1	
	표준편차		0.29	
발수처리	Plain-O-1	1470	18.7	
	Plain-O-2	1450	18.5	
	Plain-O-3	1520	19.4	
	평균	1480	18.9	
	표준편차		0.38	

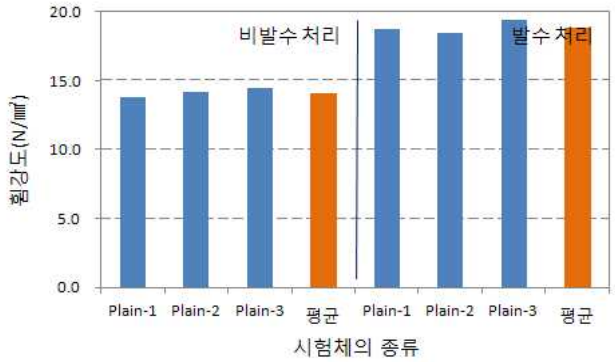
표 3-56. 압출 패널의 Bowing test 후, 휨강도 시험결과(Plain)

시험체 번호		파괴하중 (N)	휨강도 (N/㎟)	파괴 형상 및 특징
비발수처리	Plain-X-1	820	7.1	
	Plain-X-2	810	7.3	
	Plain-X-3	835	7.7	
	평균	822	7.4	
	표준편차		0.25	
발수처리	Plain-O-1	1190	6.6	
	Plain-O-2	1170	6.6	
	Plain-O-3	1250	6.8	
	평균	1203	6.7	
	표준편차		0.11	

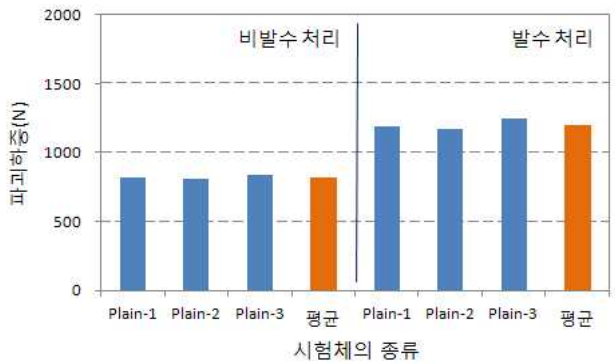
Plain



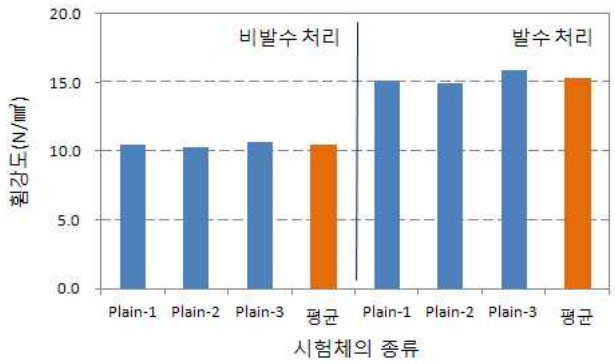
(a) Bowing test 하지 않고 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨하중(N)



(b) Bowing test 하지 않고 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨강도(N/㎟)



(c) Bowing test 50사이클 후의 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨하중(N)



(d) Bowing test 50사이클 후의 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨강도(N/㎟)

그림 3-105. Bowing test의 휨강도 시험결과(Plain)

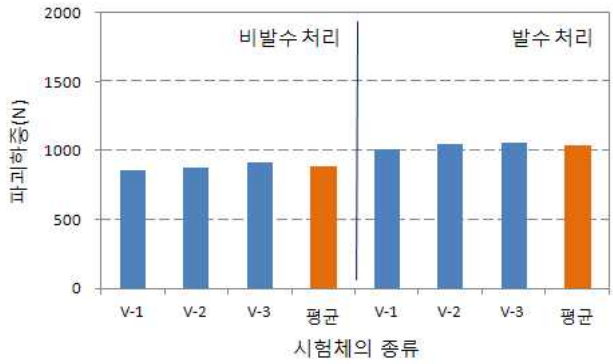
표 3-57. 압출 패널의 Bowing test 전, 휨강도 시험결과(V)

시험체 번호		파괴하중 (N)	휨강도 (N/㎟)	파괴 형상 및 특징
비발수처리	V - X - 1	860	11.0	
	V - X - 2	880	11.2	
	V - X - 3	910	11.6	
	평균	883	11.3	
	표준편차		0.26	
발수처리	V - O - 1	1010	12.9	
	V - O - 2	1045	13.3	
	V - O - 3	1060	13.5	
	평균	1038	13.2	
	표준편차		0.27	

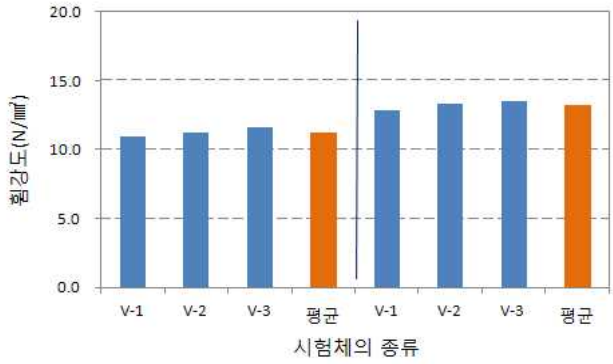
표 3-58. 압출 패널의 Bowing test 후, 휨강도 시험결과(V)

시험체 번호		파괴하중 (N)	휨강도 (N/㎟)	파괴 형상 및 특징
비발수처리	V - X - 1	790	10.1	
	V - X - 2	765	9.8	
	V - X - 3	810	10.3	
	평균	788	10.1	
	표준편차		0.23	
발수처리	V - O - 1	680	8.7	
	V - O - 2	695	8.9	
	V - O - 3	670	8.5	
	평균	682	8.7	
	표준편차		0.13	

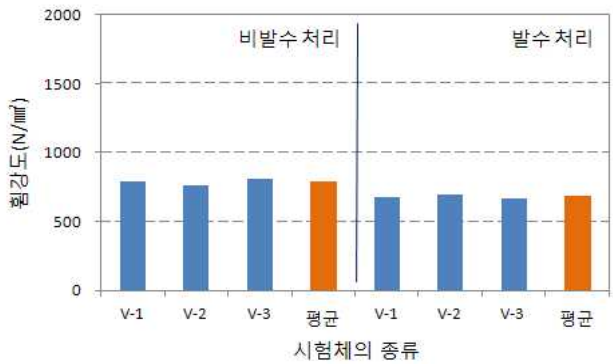
질석 (V)



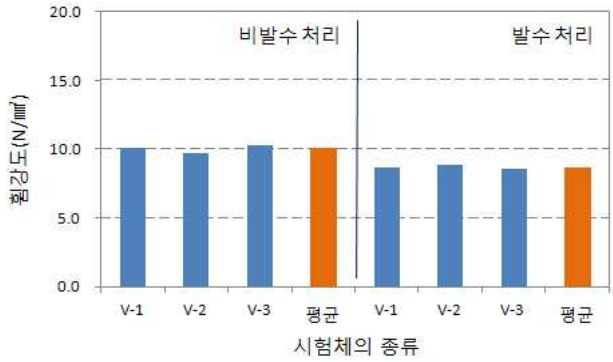
(a) Bowing test 하지 않고 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨하중(N)



(b) Bowing test 하지 않고 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨강도(N/㎟)



(c) Bowing test 50사이클 후의 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨하중(N)



(d) Bowing test 50사이클 후의 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨강도(N/㎟)

그림 3-106. Bowing test의 휨강도 시험결과(V)

표 3-59. 압출 패널의 Bowing test 전, 휨강도 시험결과(PL)

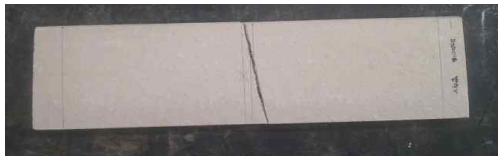
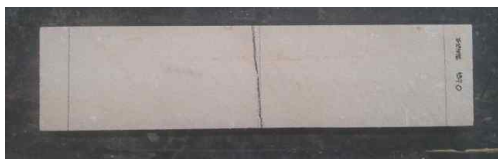
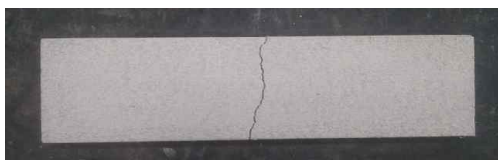
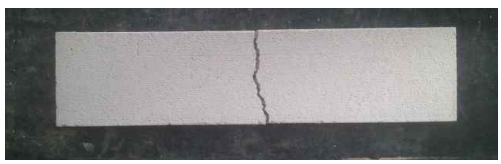
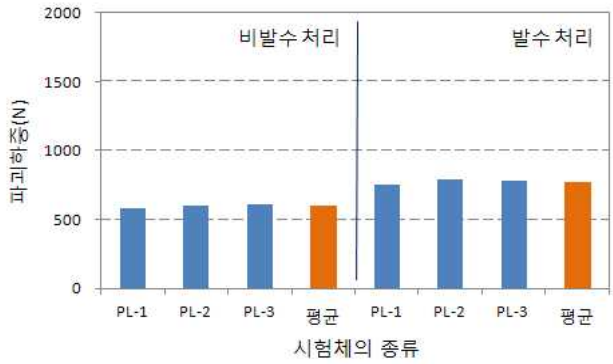
시험체 번호		파괴하중 (N)	휨강도 (N/㎟)	파괴 형상 및 특징
비발수처리	PL - X - 1	580	7.4	
	PL - X - 2	600	7.7	
	PL - X - 3	610	7.8	
	평균	597	7.6	
	표준편차		0.16	
발수처리	PL - O - 1	750	9.6	
	PL - O - 2	790	10.1	
	PL - O - 3	785	10.0	
	평균	775	9.9	
	표준편차		0.23	

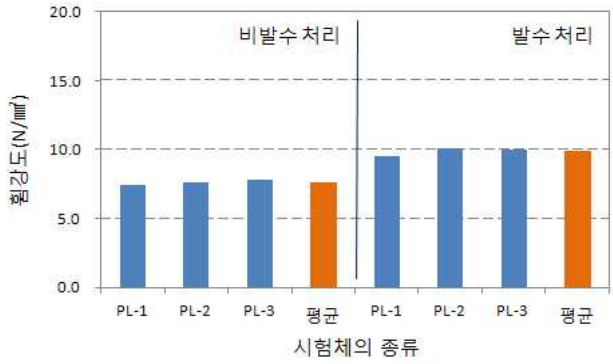
표 3-60. 압출 패널의 Bowing test 후, 휨강도 시험결과(PL)

시험체 번호		파괴하중 (N)	휨강도 (N/㎟)	파괴 형상 및 특징
비발수처리	PL - X - 1	330	4.2	
	PL - X - 2	310	4.0	
	PL - X - 3	340	4.3	
	평균	327	4.2	
	표준편차		0.16	
발수처리	PL - O - 1	260	3.3	
	PL - O - 2	245	3.1	
	PL - O - 3	255	3.3	
	평균	253	3.2	
	표준편차		0.08	

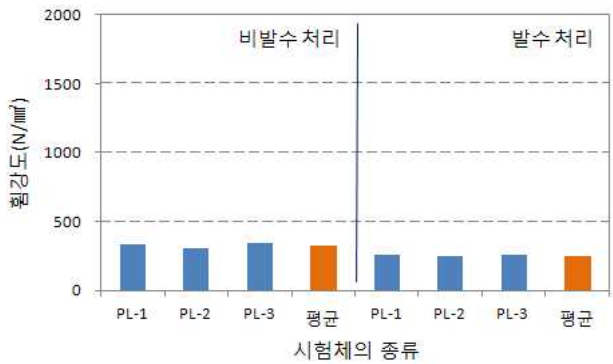
펄라이트 (PL)



(a) Bowing test 하지 않고 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨하중(N)



(b) Bowing test 하지 않고 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨강도(N/㎟)



(c) Bowing test 50사이클 후의 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨하중(N)



(d) Bowing test 50사이클 후의 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨강도(N/㎟)

그림 3-107. Bowing test의 휨강도 시험결과(PL)

표 3-61. 압출 패널의 Bowing test 전, 휨강도 시험결과(PV)

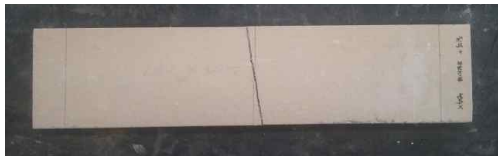
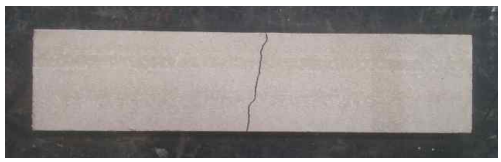
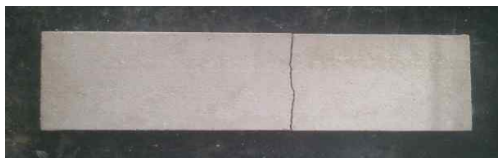
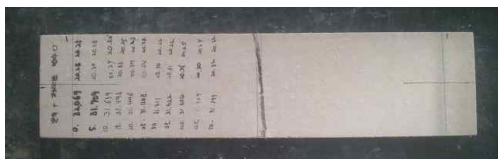
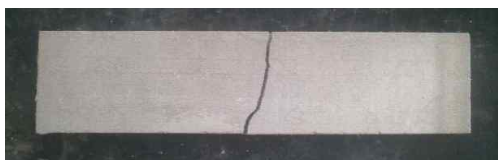
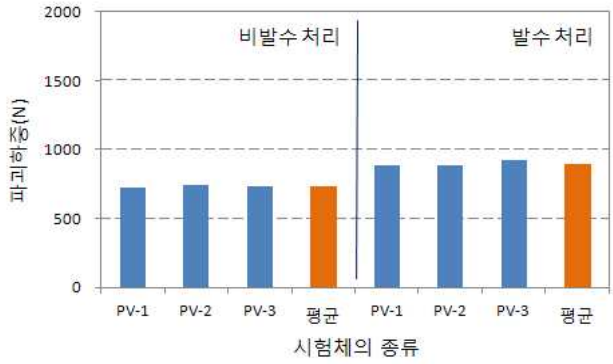
시험체 번호		파괴하중 (N)	휨강도 (N/㎟)	파괴 형상 및 특징
비발수처리	PV - X - 1	720	9.2	
	PV - X - 2	745	9.5	
	PV - X - 3	730	9.3	
	평균	732	9.3	
	표준편차		0.13	
발수처리	PV - O - 1	890	11.3	
	PV - O - 2	885	11.3	
	PV - O - 3	920	11.7	
	평균	898	11.5	
	표준편차		0.20	

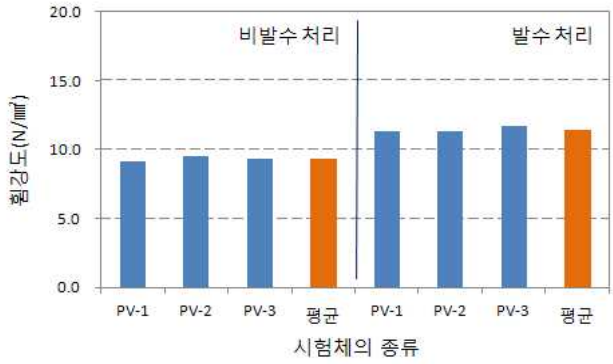
표 3-62. 압출 패널의 Bowing test 후, 휨강도 시험결과(PV)

시험체 번호		파괴하중 (N)	휨강도 (N/㎟)	파괴 형상 및 특징
비발수처리	PV - X - 1	560	10.5	
	PV - X - 2	570	10.3	
	PV - X - 3	605	10.6	
	평균	578	10.5	
	표준편차		0.13	
발수처리	PV - O - 1	520	15.2	
	PV - O - 2	515	14.9	
	PV - O - 3	535	15.9	
	평균	523	15.3	
	표준편차		0.43	

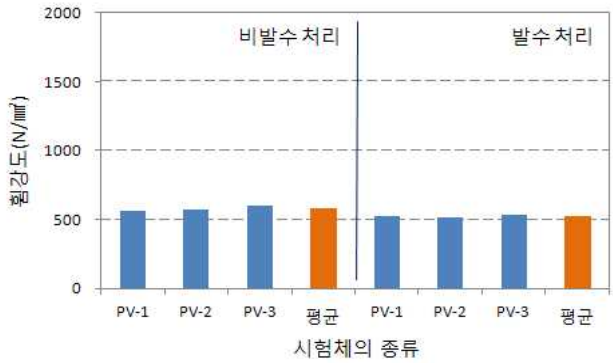
질석 + 펄라이트 (PV)



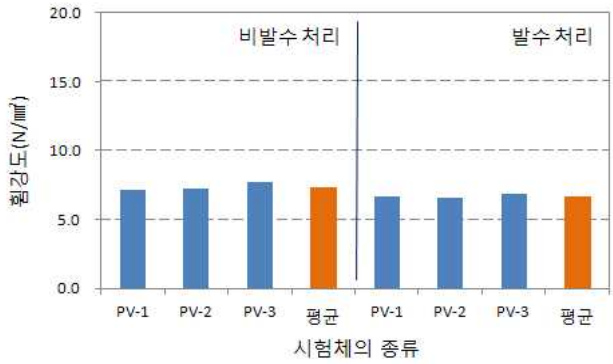
(a) Bowing test 하지 않고 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨하중(N)



(b) Bowing test 하지 않고 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨강도(N/㎟)



(c) Bowing test 50사이클 후의 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨하중(N)



(d) Bowing test 50사이클 후의 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨강도(N/㎟)

그림 3-108. Bowing test의 휨강도 시험결과(PV)

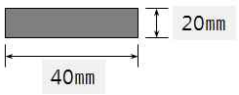
다. 동결융해시험저항성

(1) 실험개요

단열패널은 실외에 사용되는 경우 여름, 겨울의 온냉반복에 의해 변형이 발생하는 경우가 있으며, 주위환경에 의한 영향은 압출패널에 반복적으로 작용하여 피로열화를 주어 패널의 역학적 성질에 영향을 준다. 본 평가에서는 이러한 점을 고려하여 압출패널의 발수처리 유무에 따른 휨강도를 측정하여 활용하고자 하는 패널의 내구성에 대한 유효성 판단에 필요한 기초 Data를 제공하고자 계획하였다.

세부적으로 두께는 20㎜인 100 * 400 ㎜ 크기를 기본(Plain)으로 질석(V), 펄라이트(PL), 질석+펄라이트(PV)를 첨가한 4수준의 패널에 발수처리 유무의 총 8수준으로 설정하였다. 측정은 초기치 및 50 사이클까지 동결융해시험 후 시험체의 휨강도에 대한 기초 Data를 제공하고자 한다.

표 3-63. 압출 단열패널의 동결융해시험에 대한 실험개요

평가요인				평가항목
종류		양생방법	단면형상 (㎜)	
Plain V PL PV	발수처리 유무	〈 고압증기양생 〉 · 습윤양생 12시간 · 180℃ 3시간 온도상승 · 180℃ 6시간 온도유지 · 온도하강 3시간	100 × 20 × 400 	· 휨강도

(2) 시험방법

동결융해시험은 KS F 2458 : 2008에 제안된 시험방법인 “급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법”에 하여 실시하였다.

시험체는 길이 400 ㎜, 폭 100 ㎜, 두께 20 ㎜의 압출패널에 대하여 각 단열소재 및 발수처리 유무에 따라 시험체를 비교대상으로 제작하여 사용하였다.

시험방법은 B법인 기중 급속 동결 후 수중 융해 시험방법에 따라 공시체 중심주의 온도를 원칙으로 하며 40분 동안 4 ℃에서 -18 ℃로 떨어지고, 80분 동안 -18 ℃를 유지한 후 40분 동안 -18 ℃에서 4 ℃로 상승시키고 80분 동안 4 ℃로 유지하는 것을 1사이클로 한다. 또한, 잠재적 강도저하를 평가하기 위하여 사이클을 50회 반복 실시한 후 휨강도를 측정한다.



그림 3-109. 시험장치

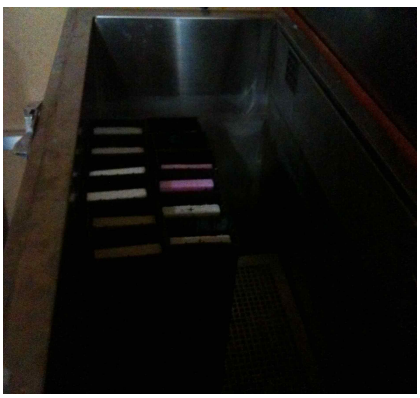


그림 3-110. 설치 장면



그림 3-111. 휨강도 측정



그림 3-112. 질량 측정

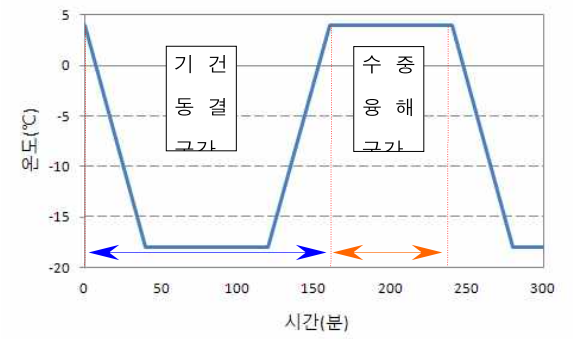


그림 3-113. 동결융해시험 Cycle

또한, 잠재적 강도저하를 평가하기 위하여 동결융해시험을 하지 않은 시험체 8개와 동결융해시험 50cycle 후의 시험체 8개에 대하여 휨강도 시험을 실시하였다.

휨강도 시험에서 재하속도 (V)는 아래의 식(2)에 의해 계산하여 1 176 N/min으로 설정하였으며, 모든 시험체의 지간거리는 340 ㎜로 그림 5에 나타낸 것과 같이 중앙점 휨강도 시험을 실시하였다. 또한, 휨강도는 파괴시의 최대 휨하중을 식(3)을 이용하여 계산하였으며, 아래의 식(4)를 이용하여 동결융해시험 후의 휨강도 저하를 평가한다.

$$V = \frac{2abh^2}{3l}(N/s) \text{----------} (2)$$

여기서, V: 재하속도(N/s)
a: 재하속도(MPa/s), $(0.25 \pm 0.05MPa/s \rightarrow 0.25MPa/s$로 설정$)$
b: 시험체 폭(mm) $(100mm)$
h: 시험체 두께(mm), $(30mm, 40mm, 50mm)$
l: 지간거리(mm), $(340mm$로 설정$)$

$$R_{tf} = \frac{3Fl}{2bh^2} \text{----------} (3)$$

여기서, R_{tf}: 휨강도(N/mm^2)
F: 파괴하중(N)
l: 지간거리(mm), $(340mm)$
b: 시험체 폭(mm)
h: 시험체 두께(mm)

$$\triangle F = \frac{F_n - F_r}{F_r} \times 100 \text{----------} (4)$$

여기서 $\triangle F$: 휨강도 변화율$(\%)$
F_n: $Bowing\ test$ n횟수$(50\,Cycle)$후의 휨강도(N/mm^2)
F_r: 건전 시험체의 휨강도(N/mm^2)

(3) 시험결과 및 분석

두께 20 ㎜의 Plain 및 질석(V), 펄라이트(PL), 질석+펄라이트(PV)를 혼입한 압출패널에 대하여 발수처리 유무에 따른 8종류의 시험체에 대하여 KS F 2458 : 2008에 제안된 시험방법인 “급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법”에 준하여 실시하고, 휨강도 결과를 표 3-64 ~ 표 3-71 그림 3-114 ~ 그림 3-117에 나타내었다.

동결융해시험 전 압출패널의 휨강도는 단열소재에 따라 다소 차이를 보였는데, 휨강도는 펄라이트 〈 질석+펄라이트 〈 질석 〈 Plain 순으로 Plain이 가장 크게 나타났다.

동결융해시험 후, 압출패널는 혼입 종류에 따라서 휨강도는 Plain의 경우 10.0 N/㎟, 질석을 혼입한 경우 6.4 N/㎟, 펄라이트를 혼입한 경우 4.3 N/㎟, 질석+펄라이트를 혼입한 경우 5.7 N/㎟의 시험값이 나타났으며, 발수 처리한 시험체의 경우 휨강도는 Plain이 13.0 N/㎟, 질석이 7.9 N/㎟, 펄라이트가 4.7 N/㎟, 질석+펄라이트가 6.0 N/㎟로 Bowing test와는 달리 비발수 처리한 시험체보다는 크게 나타났다.

표 3-64. 압출 패널의 동결융해시험 전, 휨강도 시험결과(Plain)

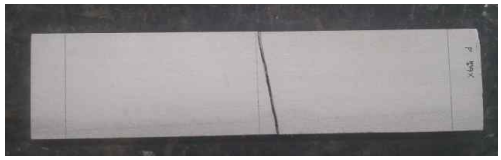
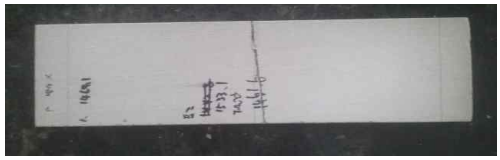
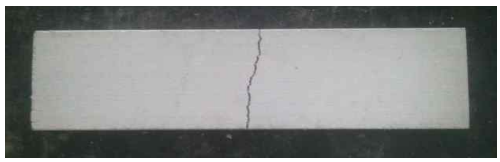
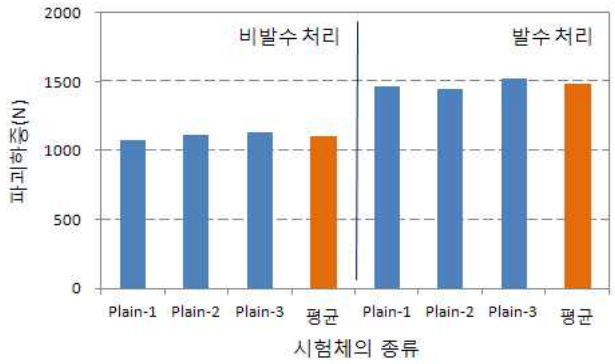
시험체 번호		파괴하중 (N)	휨강도 (N/㎟)	파괴 형상 및 특징
비발수처리	Plain-X-1	1080	13.8	
	Plain-X-2	1110	14.2	
	Plain-X-3	1108	14.5	
	평균	1108	14.1	
	표준편차		0.29	
발수처리	Plain-O-1	1470	18.7	
	Plain-O-2	1450	18.5	
	Plain-O-3	1520	19.4	
	평균	1480	18.9	
	표준편차		0.38	

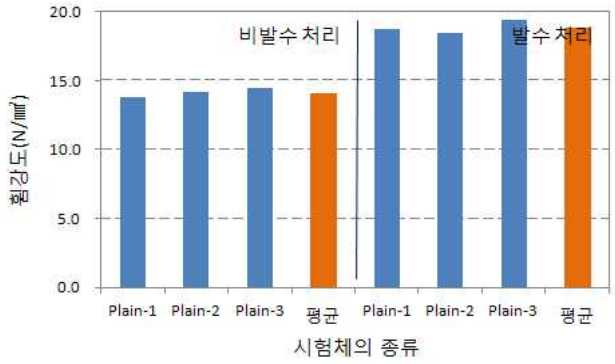
표 3-65. 압출 패널의 동결융해시험 후, 휨강도 시험결과(Plain)

시험체 번호		파괴하중 (N)	휨강도 (N/㎟)	파괴 형상 및 특징
비발수처리	Plain-X-1	780	9.9	
	Plain-X-2	810	10.3	
	Plain-X-3	760	9.7	
	평균	783	10.0	
	표준편차		0.26	
발수처리	Plain-O-1	1000	12.8	
	Plain-O-2	1020	13.0	
	Plain-O-3	1050	13.4	
	평균	1023	13.0	
	표준편차		0.26	

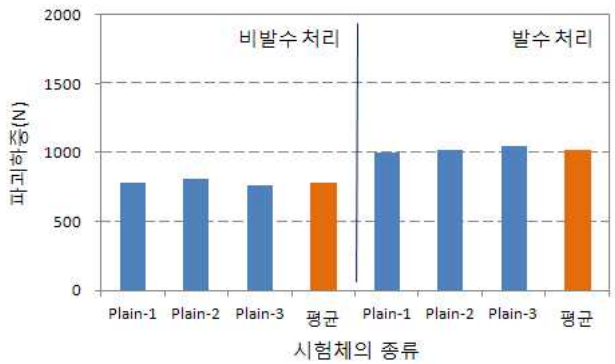
Plain



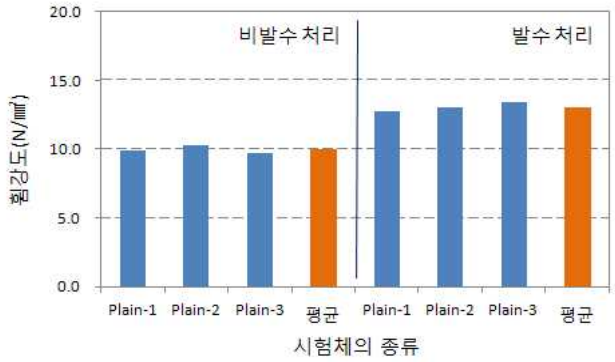
(a) Bowing test 하지 않고 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨하중(N)



(b) Bowing test 하지 않고 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨강도(N/㎟)



(c) Bowing test 50사이클 후의 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨하중(N)



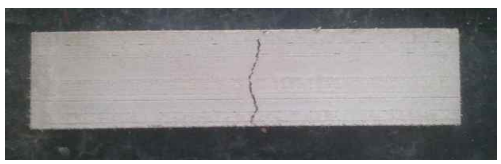
(d) Bowing test 50사이클 후의 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨강도(N/㎟)

그림 3-114. 동결융해시험의 휨강도 시험결과(Plain)

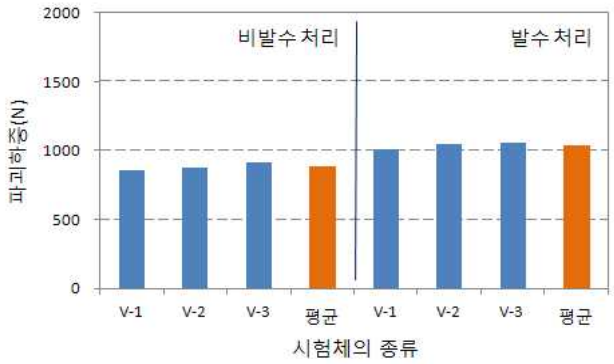
표 3-66. 압출 패널의 동결융해시험 전, 휨강도 시험결과(V)

시험체 번호		파괴하중 (N)	휨강도 (N/㎟)	파괴 형상 및 특징
비발수처리	V - X - 1	860	11.0	
	V - X - 2	880	11.2	
	V - X - 3	910	11.6	
	평균	883	11.3	
	표준편차		0.26	
발수처리	V - O - 1	1010	12.9	
	V - O - 2	1045	13.3	
	V - O - 3	1060	13.5	
	평균	1038	13.2	
	표준편차		0.27	

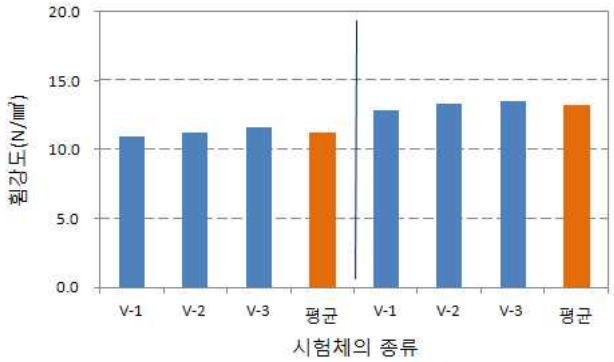
표 3-67. 압출 패널의 동결융해시험 후, 휨강도 시험결과(V)

시험체 번호		파괴하중 (N)	휨강도 (N/㎟)	파괴 형상 및 특징
비발수처리	V - X - 1	500	6.4	
	V - X - 2	480	6.1	
	V - X - 3	530	6.8	
	평균	503	6.4	
	표준편차		0.26	
발수처리	V - O - 1	600	7.7	
	V - O - 2	620	7.9	
	V - O - 3	635	8.1	
	평균	618	7.9	
	표준편차		0.18	

질석 (V)



(a) Bowing test 하지 않고 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨하중(N)



(b) Bowing test 하지 않고 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨강도(N/㎟)



(c) Bowing test 50사이클 후의 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨하중(N)



(d) Bowing test 50사이클 후의 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨강도(N/㎟)

그림 3-115. 동결융해시험의 휨강도 시험결과(V)

표 3-68. 압출 패널의 동결융해시험 전, 휨강도 시험결과(PL)

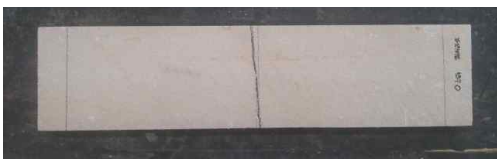
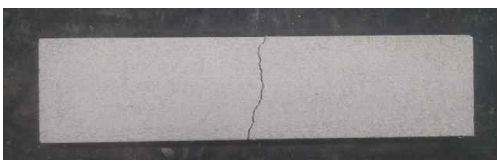
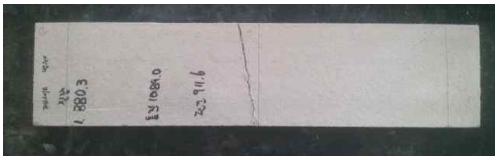
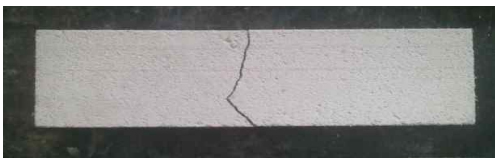
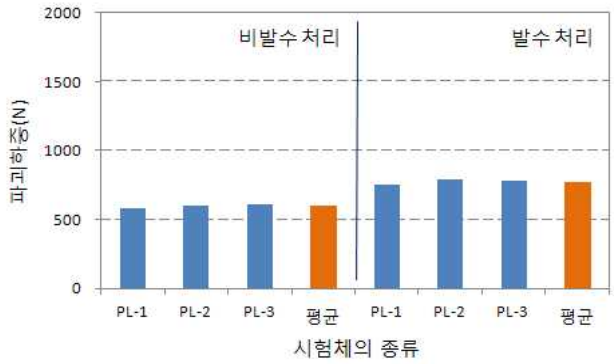
시험체 번호		파괴하중 (N)	휨강도 (N/㎟)	파괴 형상 및 특징
비발수처리	PL - X - 1	580	7.4	
	PL - X - 2	600	7.7	
	PL - X - 3	610	7.8	
	평균	597	7.6	
	표준편차		0.16	
발수처리	PL - O - 1	750	9.6	
	PL - O - 2	790	10.1	
	PL - O - 3	785	10.0	
	평균	775	9.9	
	표준편차		0.23	

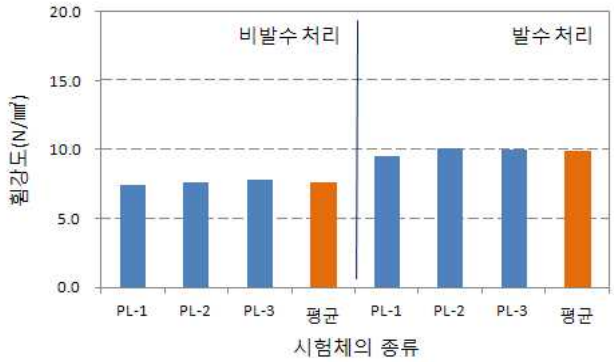
표 3-69. 압출 패널의 동결융해시험 후, 휨강도 시험결과(PL)

시험체 번호		파괴하중 (N)	휨강도 (N/㎟)	파괴 형상 및 특징
비발수처리	PL - X - 1	330	4.2	
	PL - X - 2	350	4.5	
	PL - X - 3	335	4.3	
	평균	338	4.3	
	표준편차		0.11	
발수처리	PL - O - 1	360	4.6	
	PL - O - 2	380	4.8	
	PL - O - 3	365	4.7	
	평균	368	4.7	
	표준편차		0.11	

펄라이트 (PL)



(a) Bowing test 하지 않고 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨하중(N)



(b) Bowing test 하지 않고 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨강도(N/㎟)



(c) Bowing test 50사이클 후의 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨하중(N)



(d) Bowing test 50사이클 후의 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨강도(N/㎟)

그림 3-116. 동결융해시험의 휨강도 시험 결과(PL)

표 3-70. 압출 패널의 동결융해시험 전, 휨강도 시험결과(PV)

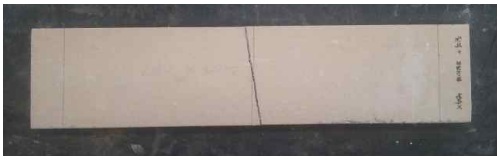
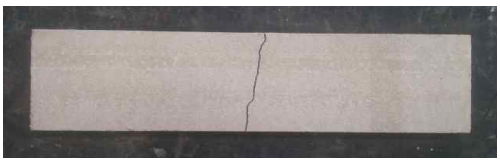
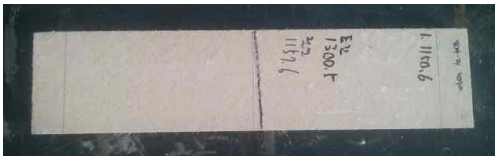
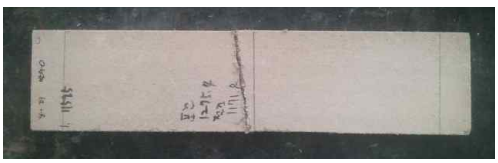
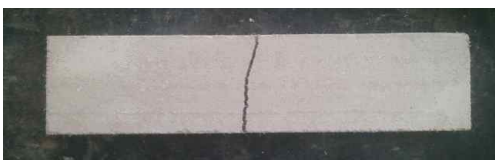
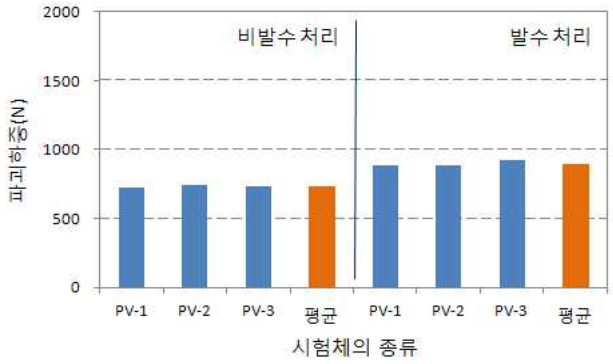
시험체 번호		파괴하중 (N)	휨강도 (N/㎟)	파괴 형상 및 특징
비발수처리	PV - X - 1	720	9.2	
	PV - X - 2	745	9.5	
	PV - X - 3	730	9.3	
	평균	732	9.3	
	표준편차		0.13	
발수처리	PV - O - 1	890	11.3	
	PV - O - 2	885	11.3	
	PV - O - 3	920	11.7	
	평균	898	11.5	
	표준편차		0.20	

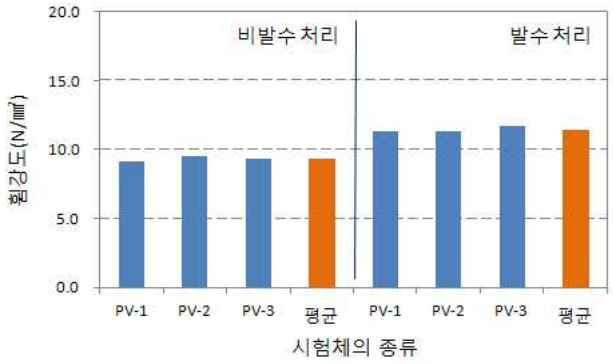
표 3-71. 압출 패널의 동결융해시험 후, 휨강도 시험결과(PV)

시험체 번호		파괴하중 (N)	휨강도 (N/㎟)	파괴 형상 및 특징
비발수처리	PV - X - 1	440	5.6	
	PV - X - 2	450	5.7	
	PV - X - 3	455	5.8	
	평균	448	5.7	
	표준편차		0.08	
발수처리	PV - O - 1	460	5.9	
	PV - O - 2	475	6.1	
	PV - O - 3	480	6.1	
	평균	472	6.0	
	표준편차		0.11	

질석 + 펄라이트 (PV)



(a) Bowing test 하지 않고 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨하중(N)



(b) Bowing test 하지 않고 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨강도(N/㎟)



(c) Bowing test 50사이클 후의 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨하중(N)



(d) Bowing test 50사이클 후의 발수처리하지 않은 시험체와 발수처리 시험체의 파괴 시 휨강도(N/㎟)

그림 3-117. 동결융해시험의 휨강도 시험결과(PV)

라. 열전도율

(1) 실험개요

열전도율 시험은 「KS L 9106 보온재의 열전도율 측정방법」의 규정에 따라 앞에서 설명한 것과 같이 동일한 방법으로 NETZSCH사의 HFM 436 장비를 사용하여 평판 열류계법으로 측정하였다. 즉, 300×300×20 ㎜ 크기의 시험체를 그림 3-118 ~ 그림 3-120과 같이 전처리 과정을 50회 노출시키기 전과 후의 통과하는 열류량을 열류계를 사용하여 측정하고, 그때의 시험체 온도차를 측정하여 열전도율을 구하였다.

표 3-72. 압출 단열패널의 열전도율에 대한 실험개요

평가요인				평가항목
종류		양생방법	시험체 형상	
무기질계	Plain V PL PV	〈 고압증기양생 〉 · 습윤양생 12시간 · 180℃ 3시간 온도상승 · 180℃ 6시간 온도유지 · 온도하강 3시간	300×300×20 ㎜	열전도율
유기질계	EPS(압출법) EPS(비드법)			

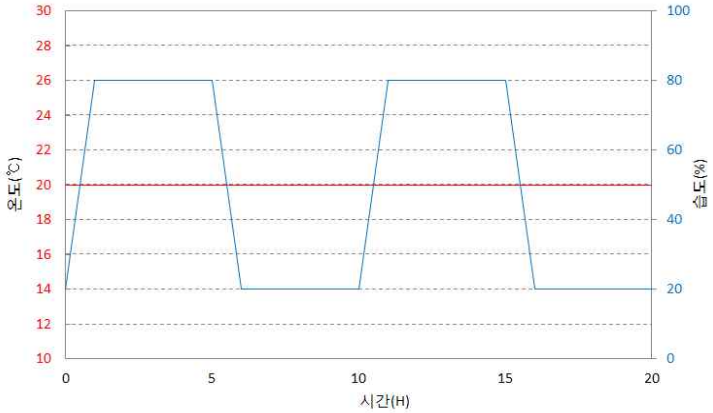


그림 3-118. 온도 조건 변화 Cycle

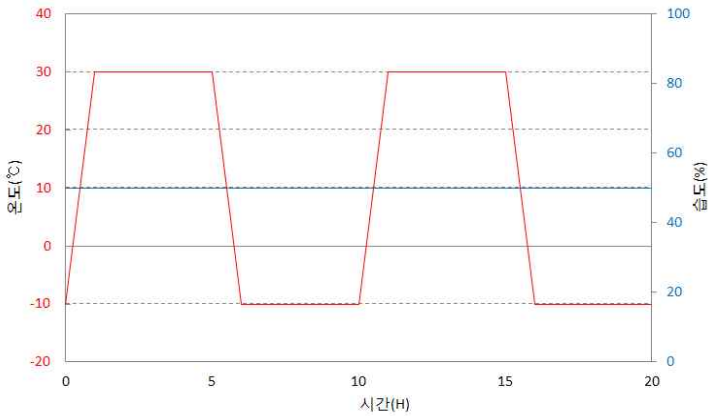


그림 3-119. 습도 조건 변화 Cycle

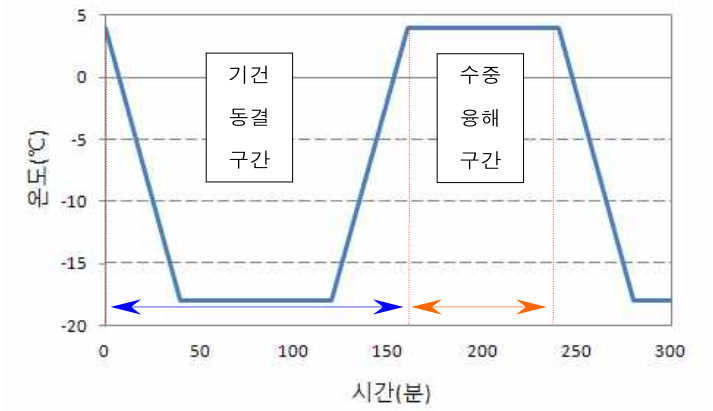


그림 3-120. 동결융해 Cycle

(2) 시험결과 및 분석

표 3-73 ~ 표 3-75은 열전도율 평가결과를 나타낸 표이고, 그림 3-121 ~ 그림 3-123은 단열소재의 종류 및 주변 환경 변화에 따른 열전도율을 나타낸 그래프이다.

시험체를 온도 변화 사이클에 노출시킬 경우 열전도율의 변화는 무기질계 및 유기질계 단열소재에서 무기질계의 Plain을 제외하고는 대체적으로 미소하게 감소된 것으로 나타났다.

시험체를 습도 변화 사이클에 노출시킬 경우 열전도율의 변화는 무기질계 및 유기질계 단열소재에서 무기질계의 질석+펄라이트(PV)를 제외하고는 대체적으로 미소하게 증가된 것으로 나타났는데 유기질계의 비드법 단열소재는 열전도율 값이 15% 증가되었다. 따라서, 유기질계의 비드법 단열소재는 습도 변화에 민감하게 반응하는 것으로 사료된다.

시험체를 동결융해시험 사이클에 노출시킬 경우 열전도율의 변화는 무기질계 및 유기질계 단열소재에서 무기질계의 펄라이트(PL)를 제외하고는 대체적으로 약 10% 증가된 것으로 나타났는데 유기질계의 비드법 단열소재는 열전도율 값이 23% 증가되어 동결융해에 취약한 소재로 사료된다.

표 3-73. 온도 조건 50 cycle 반복에 대한 단열패널의 열전도율 변화

단열소재의 종류		두께(㎜)	열전도율(W/m·k)	
			온도반복 전	온도반복 후
무기질계	Plain	20.48	0.4281	0.4464
	V	20.01	0.2260	0.2207
	PL	20.05	0.1670	0.1613
	PV	20.04	0.2064	0.1994
유기질계	압출법	21.05	0.0341	0.0337
	비드법	21.00	0.0377	0.0373

표 3-74. 습도 조건 50 cycle 반복에 대한 단열패널의 열전도율 변화

단열소재의 종류		두께(㎜)	열전도율(W/m·k)	
			습도반복 전	습도반복 후
무기질계	Plain	20.26	0.4425	0.4515
	V	20.24	0.2311	0.2339
	PL	20.80	0.1704	0.1721
	Pv	21.48	0.1996	0.1915
유기질계	압출법	22.95	0.0327	0.0334
	비드법	23.36	0.0365	0.0419

표 3-75. 동결융해 조건 50cycle 반복에 대한 단열패널의 열전도율 변화

단열소재의 종류		두께(㎜)	열전도율(W/m·k)	
			동결융해시험 전	동결융해시험 후
무기질계	Plain	20.67	0.4357	0.4781
	V	20.14	0.2298	0.2563
	PL	20.52	0.1612	0.1516
	Pv	20.39	0.2127	0.2362
유기질계	압출법	22.16	0.0344	0.0385
	비드법	22.03	0.0365	0.0450

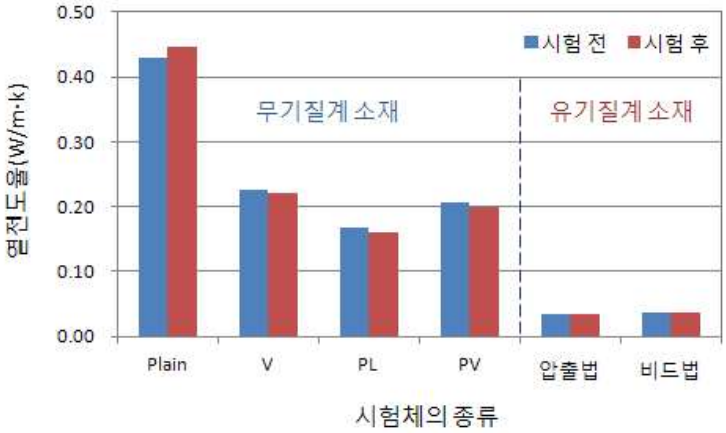


그림 3-121. 온도 조건 변화에 따른 열전도율 변화

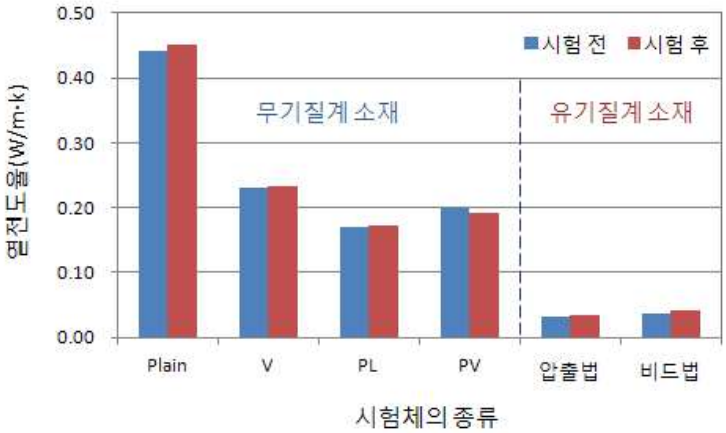


그림 3-122. 습도 조건 변화에 따른 열전도율 변화

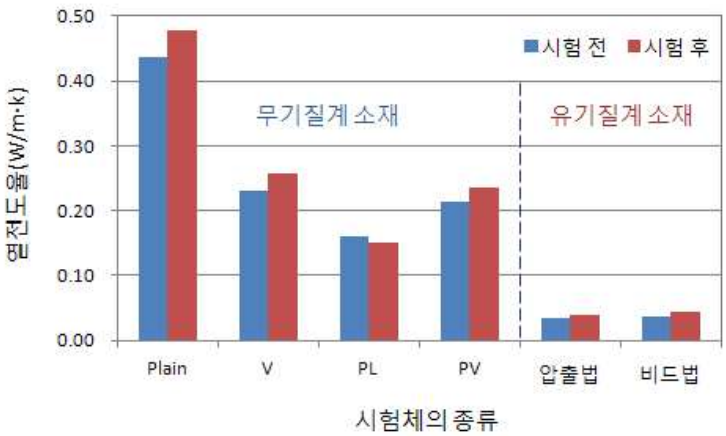


그림 3-123. 동경융해 조건에 따른 열전도율 변화

마. 열관류율

(1) 실험개요 및 방법

앞서 진행한 단열소재의 패널 시제품 시험을 가지고 「KS F 2277 건축용 구성재의 단열성능 측정방법 - 교정 열상자법 및 보호 열상자법」의 규정한 방법에 따라 열관류율을 측정하였으며, 측정결과는 정상상태에서 1시간 간격으로 3회 측정한 값의 평균으로 하였다.

표 3-76. 열관류율의 실험개요

평가요인			평가항목
종류		시험방법	
무기질계	Plain PV	KS F 2277 건축용 구성재의 단열성능 측정방법 - 교정 열상자법 및 보호 열상자법	· 열관류율
유기질계	비드법		



그림 3-124. 열관류율의 실험장비(교정 열상자법)

(2) 실험방법

1500×1500×50 ㎜ 크기의 시험체를 그림 3-125와 같이 가열 상자와 저온실 간의 개구부에 설치한 후, 시험체 부착틀과 시험체 사이의 틈새는 백업재로 충전한 후, 실리콘으로 실링하였다. 시험체의 표면온도는 시험체를 9등분하여 각 지점의 중앙부 총 9지점에 대하여 T type 열전대를 부착하여 측정하였다. 측정조건과 측정횟수는 가열상자 및 저온실의 공기 및 표면온도가 충분히 정상 상태가 된 후, 30분 간격으로 3회 측정하였다. 교정열상자 내의 온도 및 열량, 면적 등을 측정하여 아래식을 통해 열관류율을 계산하였다.

$$R = A(T_{si} - T_{se})/\Phi_1 : \text{ 열저항}[m^2 \cdot K/W]$$
$$R_{si} = A(T_{se} - T_{\neq})/\Phi_1 : \text{ 내부표면열전달저항}[m^2 \cdot K/W]$$
$$R_u = R_{sj} + R + R_{se} : \text{ 열관류저항}[m^2 \cdot K/W]$$
$$R_u = 1/U : \text{ 열관류저항}[m^2 \cdot K/W]$$
$$U = \Phi_1/A(T_{ni} - T_{ne}) : \text{ 열관류율}[W/m^2 \cdot K]$$
$$\Phi_1 = \Phi_p - \Phi_2 - \Phi_3[W]$$

여기서, λ : 열전도율$[W/m \cdot K]$
h : 표면열전달율$[W/m^2 \cdot K]$
Φ : 열량$[W]$
Φ_p : 가열상자 내 공급열량$[W]$
Φ_1 : 시험체의 통과열량$[W]$
Φ_2 : 가열상자주변벽에서의 손실열량$[W]$
Φ_3 : 시험체측면에서의 손실열량$[W]$
A : 열류에 대한 수직면적$[W/m^2]$
q : 열류밀도$[W]$
d : 시험체의 두께$[m]$
T_a : 공기온도$[K]$
T_r : 평균 방사온도$[K]$
T_n : 환경온도$[K]$
T_s : 표면온도$[K]$



그림 3-125. 열관류율 시험의 설치 장면

(3) 실험결과 및 분석

두께 50 ㎜의 무기질계 단열소재인 Plain 및 질석+펄라이트(PV)와 유기질계 단열소재인 비드법으로 발포된 소재로 열관유률 시험을 실시하였다. 그 결과 열관류율 은 유기질계 단열소재가 0.61 W/㎡·K, 무기질계 단열소재인 Plain과 PV는 7.86 W/㎡·K와 3.04 W/㎡·K로 측정되었고, 유기질계 단열소재 〈 질석+펄라이트(PV) 〈 Plain으로 열관류율이 크게 나타났다.

표 3-77. 열관류율 시험 결과

		비드법	Plain	V+PL
공기온도 [℃]	항온실	19.93	19.93	19.93
	가열상자	20.04	20.04	20.06
	저온실	-0.06	-0.07	-0.07
	온도차	20.11	20.11	20.13
열량 [W]	총공급 열량	45.45	300.55	149.67
	교정열량	17.97	17.97	17.97
	시험체 통과열량	27.47	282.58	131.70
시험체 표면 열전달 저항 [㎡·K/W]	내표면 열전달저항	0.12	0.12	0.12
	외표면 열전달저항	0.05	0.07	0.05
	보정값	-0.01	-0.03	-0.01
열관류율 [W/㎡·K]		0.61	7.86	3.04
열관류 저항 [㎡·K/W]		1.63	0.13	0.33
특기사항		항온실 및 가열상자 설정조건 : (20±1) ℃, 상대습도 50 % R.H. 저온실 설정조건 : 실내온도 0 ℃, 기류속도 1.2 m/s 기류방향 : 수평		

라. 내화시험

압출패널은 무기질계 단열소재를 활용하여 개발된 것으로 화재시 내화성능을 검토하고자 KS F 2257에서 제안된 시험방법인 “건축 부재의 내화 시험 방법 - 일반 요구 사항와 수직 비내력벽 구획 부재의 성능 조건”을 통해 실시하였다.

(1) 단열패널의 기초적 내화시험

(가) 시험 방법

기초적으로 내화성을 검토하기 위해 KS F 2257-1 : 2005의 “건축부재의 내화시험 방법 - 일반 요구 사항”에서 정하는 표준가열곡선에 준하여 시험을 실시하였다.

내화 시험기는 표 3-78과 그림 3-126 ~ 그림 3-127과 같이 자체 제작하였으며 가스 버너 방식을 채택하였고, 내화로 내부온도는 컨트롤러에 입력된 프로그램으로 조절되며, 데이터로거와 열전대를 통하여 수집하였다. 프로그램온도는 KS F 2257-1 : 2005의 “건축부재의 내화시험 방법 - 일반 요구 사항”에 정하는 표준가열곡선에 준하여 입력되었다. 시험로의 배치면적은 500 × 500 ㎜의 시료를 장착하였으며, 장착시 열전대센서의 설치 위치는 아래 그림 3-128과 같다.

표 3-78. 각부 제원

품 명	제 원
시험로(챔버)	외부 : 철제프레임 및 철판 내부 : CERAMIC 시료배치면적: 500 X 500
GAS 버너 시스템	용량 : 40,000Kcal/hr 통풍시스템 일체형 가스연결포함
LOCAL PANEL	PID/RECORDING 온도자동조절 안전장치포함

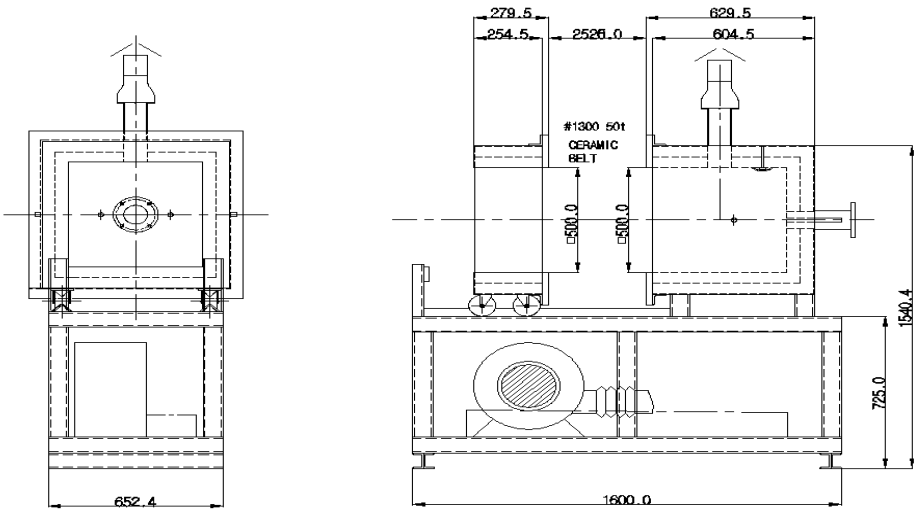


그림 3-126. 내화시험기 설계도



그림 3-127. 내화시험기 외관

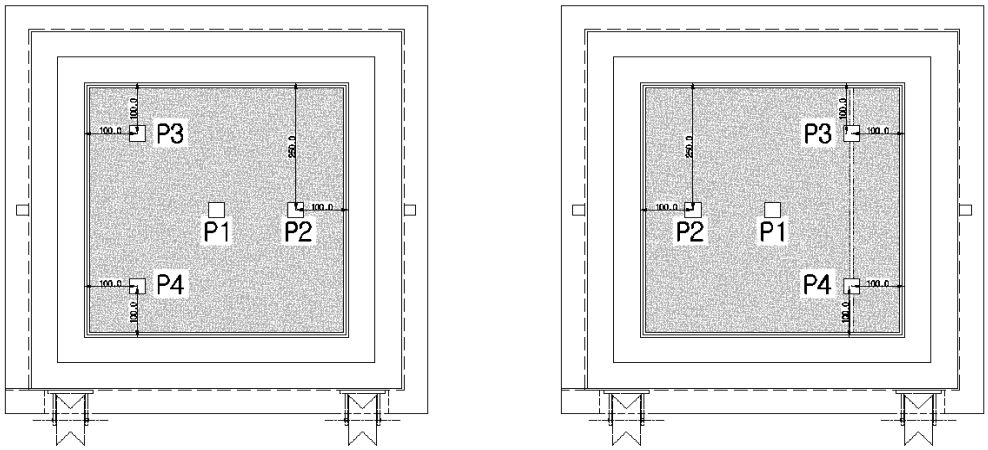
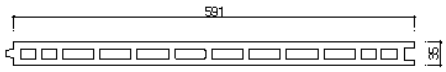
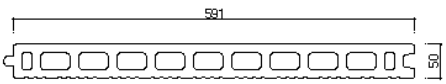


그림 3-128. 열전대 설취 위치 및 번호

(나) 대상 제품 형상

본 연구에 대상으로 하는 시제품의 형상 및 크기는 아래 표 3-79와 같다.

표 3-79. 단면 형상 및 용도

두께 (㎜)	단면 형상	표준폭 (㎜)	최대길이 (㎜)	용도
35		500(600)	4000	내, 외장
50		500(600)	4000	내, 외장

(다) 시험 결과

① 35T Plain의 압출판

표 3-80. 35T Plain의 내화시험 결과

가열전	가열후(가열면)	가열후(비가열면)
		
센서의 위치는 정중앙, 중앙과 측면 1/4 지점 상부 및 측면 1/4지점, 하부 1/4 지점에 설치	가열 초기 폭렬음 발생 표면 폭렬 발생	1시간 측정 후 급격한 온도 저하로 인한 수축으로 표면 크랙발생, 내외부의 온도 응력 차이a로 인한 크랙 발생

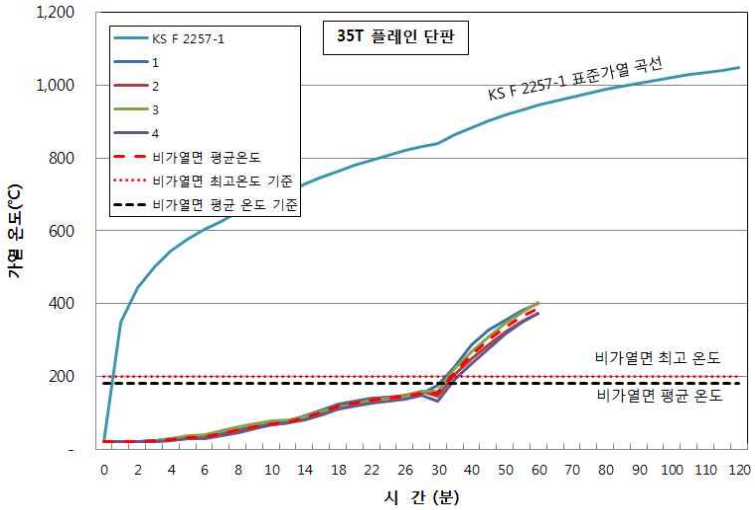
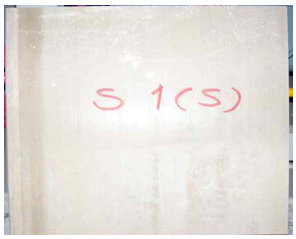
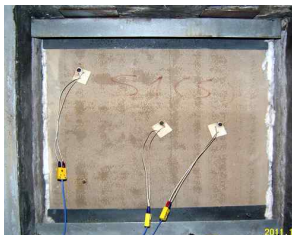


그림 3-129. 35T 플레인 내화시험 결과

② 35T 시제품의 압출판

표 3-81. 35T 시제품의 내화시험 결과

가열전		가열후(가열면)
		
센서의 위치는 정중앙, 중앙과 측면 1/4 지점 상부 및 측면 1/4지점, 하부 1/4 지점에 설치		가열 중 폭렬 없었음. 1시간 측정 후 급격한 온도 저하로 인한 수축으로 표면 크랙발생, 내외부의 온도 저하 속도 차이로 인한 크랙 발생

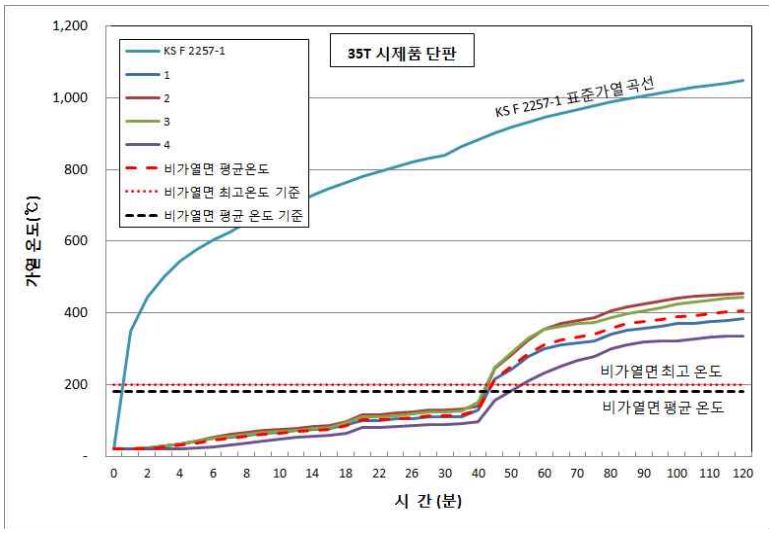


그림 3-130. 35T 시제품 단판 내화시험 결과

③ 50T Plain의 압출판

표 3-82. 50T Plain의 내화시험 결과

가열전	가열후(가열면)	가열후(비가열면)
		
센서의 위치는 정중앙, 중앙과 측면 1/4 지점 상부 및 측면 1/4지점, 하부 1/4 지점에 설치		가열시작 후 6분후 폭렬시작, 30분후 비가열면 패널 크랙발생

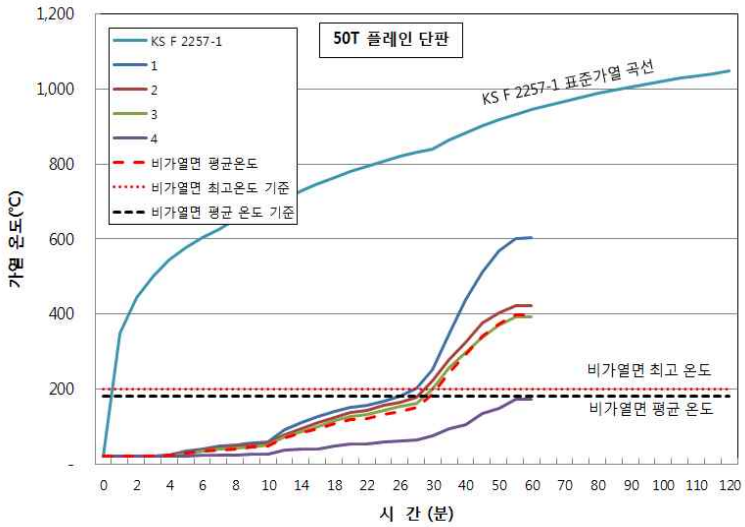


그림 3-131. 50T 플레인 단판 내화시험 결과

(2) 압출패널의 내화시험

(가) 시험 개요

압출패널의 내화성능을 검토하기 위해 KS F 2257-8 : 2004의 “건축부재의 내화시험 방법 - 수직 비내력 구획 부재의 성능 조건”에서 정하는 표준가열곡선에 준하여 시험을 실시하였다.

시험체는 500×500×50 ㎜의 중공패널과 600×3000×50 ㎜의 중공패널을 그림 3-133 ~ 그림 3-134와 같이 장착하여 시험하였다. 본 평가에서는 단열소재의 종류 및 압출패널의 발수처리 유무에 따른 차열성 및 차염성 등을 측정하여 패널의 내화성능에 대한 유효성 판단에 필요한 기초 Data를 제공하고자 계획하였다.

세부적으로 두께는 50 ㎜인 500×500 ㎜ 크기와 600×3000 ㎜ 크기를 기본(Plain)으로 질석(V), 펄라이트(PL), 질석+펄라이트(PV)를 첨가한 4수준의 패널에 발수처리 유무의 총 8수준으로 설정하였다. 측정은 시험체의 가열면 및 비가열면에 균열게이지를 설치하여 차염성을, 열전대를 설치하여 차열성을 측정하였다.



그림 3-132. 압출패널 단면형상 (600×50×3000㎜)

표 3-83. 외벽 단열패널 시제품 제작 실험

평가요인				평가항목
종류		양생방법	시험방법	
Plain V PL PV	발수처리 유무	〈 고압증기양생 〉 · 습윤양생 12시간 · 180℃ 3시간 온도상승 · 180℃ 6시간 온도유지 · 온도하강 3시간	KS F 2257-8 (건축 부재의 내화 시험 방법 - 수직 비내력 구획 부재의 성능 조건)	· 차열성 · 차염성

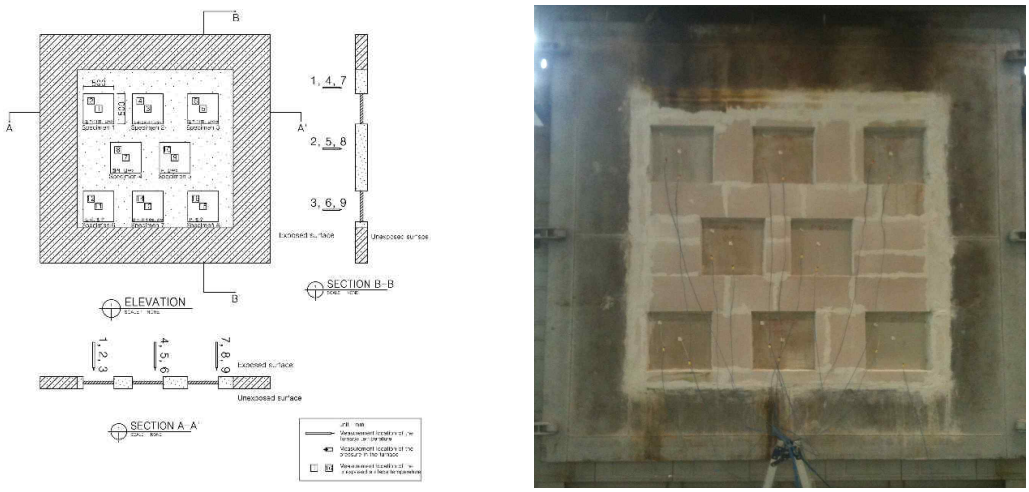


그림 3-133. 내화시험 개요 및 설치장면(500×500×50㎜)

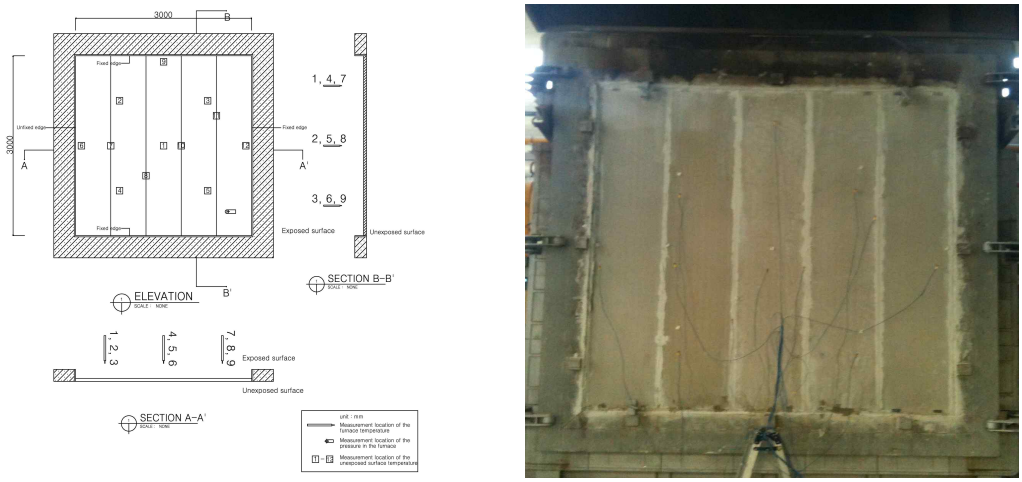


그림 3-134. 내화시험 개요 및 설치장면(600×3000×50㎜)

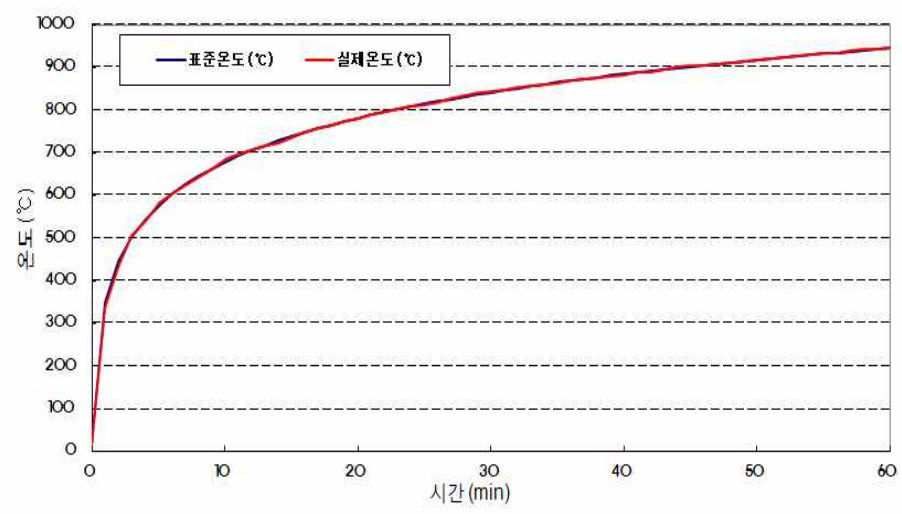


그림 3-135. 내화시험시 노 내 온도

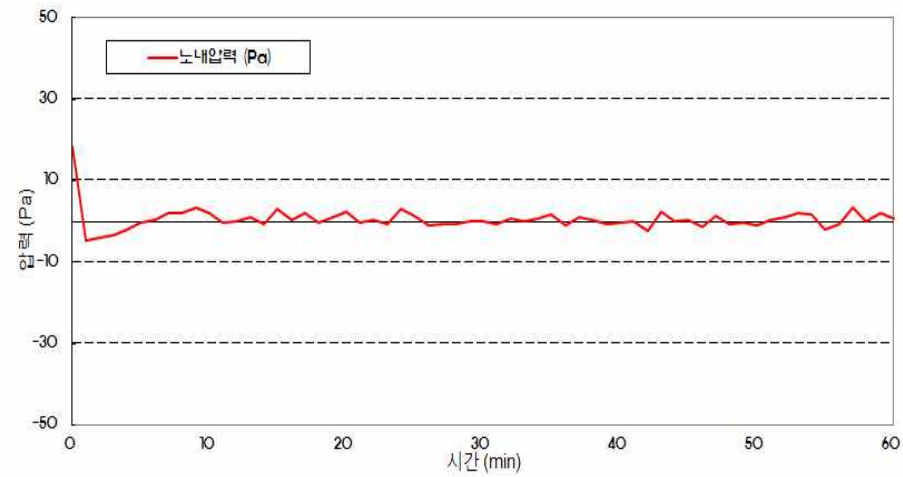


그림 3-136. 내화시험시 노 내 압력

(3) 시험결과 및 분석

(가) 내화시험에 대한 기초적 검토

두께 50 ㎜의 Plain 및 질석, 펄라이트, 질석+펄라이트를 혼입한 압출패널에 대하여 발수처리 유무에 따른 8종류의 시험체에 대하여 내화시험을 실시하고, 그 결과를 표 3-84 및 그림 3-137 ~ 그림 3-144에 나타내었다.

압출패널의 혼입 종류 및 발수처리 여부에 따른 내화성능은 다음과 같다. Plain 및 질선의 비발수 처리된 시험체는 35분과 28분에 차열성능을 유지하지 못하였다. 하지만 관통되거나 화염이 발생하지 않아 차염성능을 발휘하였다. 질석은 가열면에 일부 폭렬현상이 나타난 것을 그림 3-140에서 살펴볼 수 있으며 나머지 시험체는 1시간의 내화성능을 발휘하였다.

표 3-84. 내화시험에 대한 시험결과(500×500×50 ㎜)

시험항목		시험결과								시험방법
		Plain－X	Plain－O	V－X	V－O	PL－X	PL－O	PV－X	PV－O	
차열성(60분)	초기온도(℃)	4.6	5.0	4.2	5.5	4.0	5.7	6.2	4.5	KS F 2257-8 : 2004 (의뢰자 제시)
	최고 상승온도(℃)	252.8	246.7	564.6	121.2	107.3	99.8	115.8	113.0	
	평균 상승온도(℃)	241.3	231.6	563.0	119.1	104.3	99.3	110.6	109.5	
	성능시간(분)	36	35	28	60	60	60	60	60	
차염성(60분)	6 ㎜ 균열 게이지	관통되지 않음	관통되지 않음	관통되지 않음	관통되지 않음	관통되지 않음	관통되지 않음	관통되지 않음	관통되지 않음	
	25 ㎜ 균열 게이지	관통되지 않음	관통되지 않음	관통되지 않음	관통되지 않음	관통되지 않음	관통되지 않음	관통되지 않음	관통되지 않음	
	화염 발생 유무	화염발생 없음	화염발생 없음	화염발생 없음	화염발생 없음	화염발생 없음	화염발생 없음	화염발생 없음	화염발생 없음	

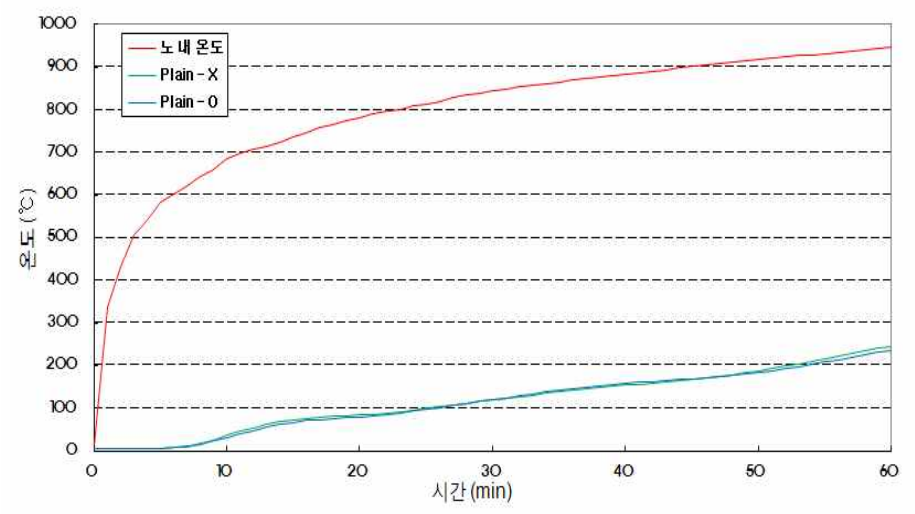
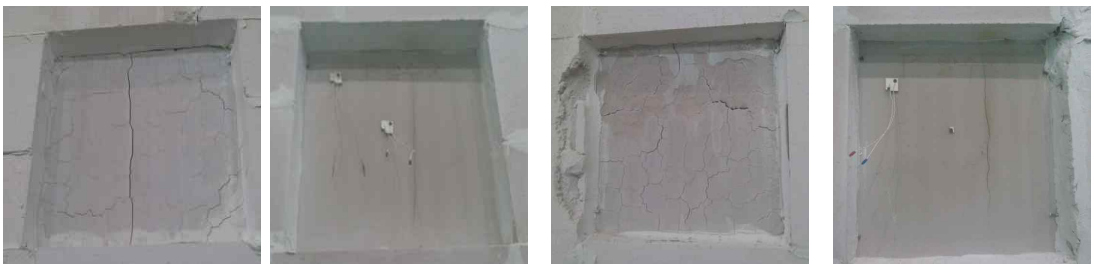


그림 3-137. 내화시험에 대한 비가열면의 온도(Plain)



〈Plain – X 가열면〉 〈Plain – X 비가열면〉 〈Plain – O 가열면〉 〈Plain – O 비가열면〉

그림 3-138. 내화시험후 가열면 및 비가열면(Plain)

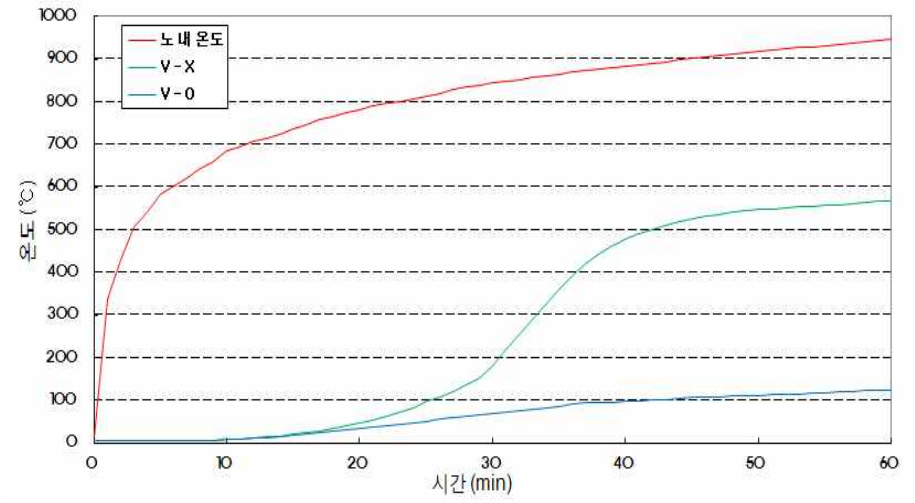


그림 3-139. 내화시험에 대한 비가열면의 온도(질석)



〈V－X 가열면〉 〈V－X 비가열면〉 〈V－O 가열면〉 〈V －O 비가열면〉

그림 3-140. 내화시험후 가열면 및 비가열면(질석)

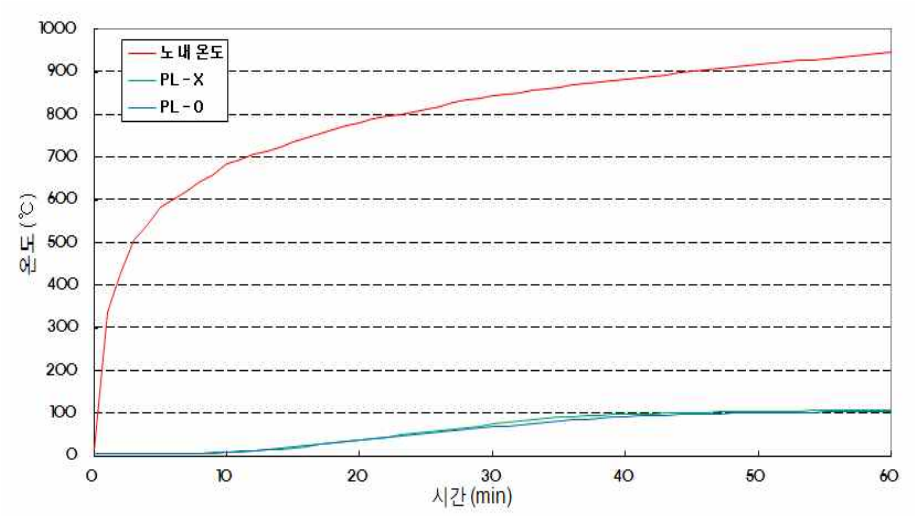


그림 3-141. 내화시험에 대한 비가열면의 온도(펄라이트)



〈PL－X 가열면〉 〈PL－X 비가열면〉 〈PL－O 가열면〉 〈PL－O 비가열면〉

그림 3-142. 내화시험후 가열면 및 비가열면(펄라이트)

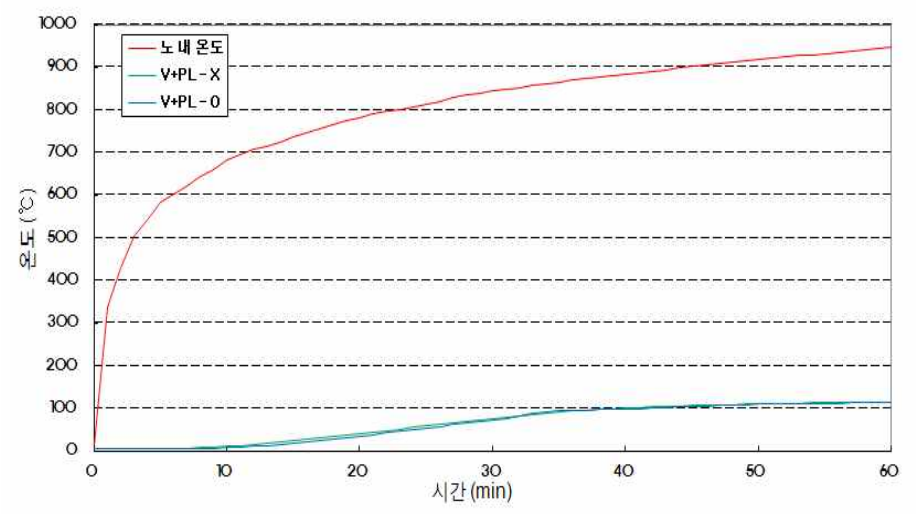


그림 3-143. 내화시험에 대한 비가열면의 온도(질석+펄라이트)



〈PV－X 가열면〉 〈PV－X 비가열면〉 〈PV－O 가열면〉 〈PV－O 비가열면〉

그림 3-144. 내화시험후 가열면 및 비가열면(질석+펄라이트)

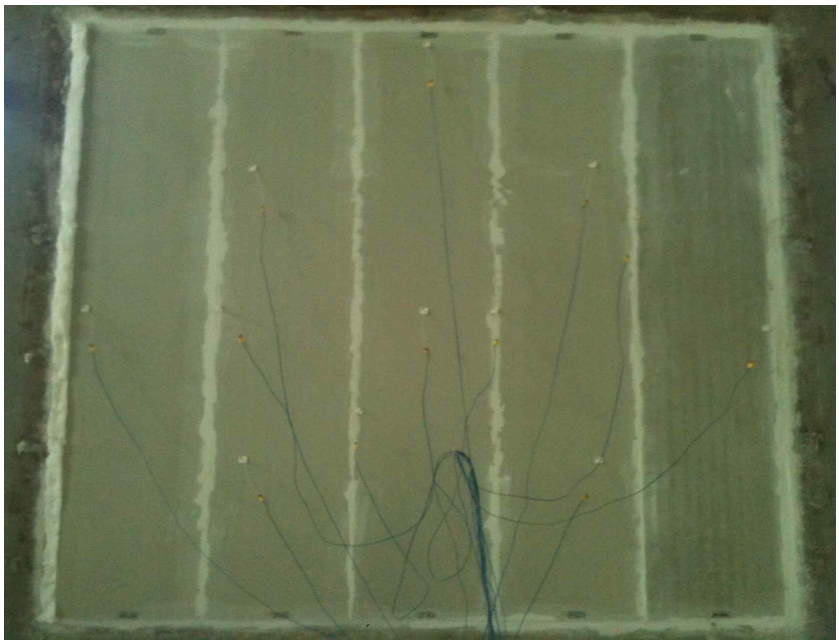
(나) 압출패널에 대한 내화성능 검토

두께 50 ㎜의 Plain 및 질석, 펄라이트, 질석+펄라이트를 혼입한 압출패널에 대하여 실시하고, 그 결과를 표 3-85 및 그림 3-145 ~ 그림 3-152에 나타내었다.

압출패널의 혼입 종류 및 발수처리 여부에 따른 내화성능은 다음과 같다. Plain 시험체는 31분에 관통되어 연기가 통과하고 면패드가 착화되었으며 40분에 차열성능을 잃어 내화성능을 발휘하지 못하였다. 질석 및 펄라이트 시험체는 내화시험 60분동안 압출패널의 온도차가 140℃ 미만으로 차열성능이 우수하고 균열 및 화염이 발생하지 않아 차염성능이 우수함을 판단할 수 있었다. 질석+펄라이트(PV)하지만 관통되거나 화염이 발생하지 않아 차열성능을 유지하였다. 질석은 가열면에 일부 폭열현상이 나타난 것을 그림 3-141에서 살펴볼 수 있으며 나머지 시험체는 1시간의 내화성능을 발휘하였다.

표 3-85. 내화시험에 대한 시험결과(600×3000×50 ㎜)

시험항목		시험결과				시험방법
		Plain	질석	펄라이트	질선 + 펄라이트	
차열성(60분)	초기온도(℃)	2.0	9.6	6.8	9.7	KS F 2257-8 : 2004 (의뢰자 제시)
	최고상승온도(℃)	194.7	102.9	111.6	258.1	
	평균상승온도(℃)	200.5	110.0	128.2	281.7	
	성능시간(분)	40	60	60	41	
차염성(60분)	6 ㎜ 균열게이지	관통후, 300㎜이상 수평이동	관통되지 않음	관통되지 않음	관통되지 않음	
	25 ㎜ 균열게이지	관통됨	관통되지 않음	관통되지 않음	관통되지 않음	
	화염발생 유무	화염발생 없음	화염발생 없음	화염발생 없음	화염발생 없음	
	면패드 착화유무	착화됨	착화되지 않음	착화되지 않음	착화되지 않음	
	성능시간(분)	31	60	60	60	



〈 내화시험 전 〉



〈 내화시험 후 〉

그림 3-145. 내화시험 전/후 비가열면(Plain)



〈 내화시험 전 〉

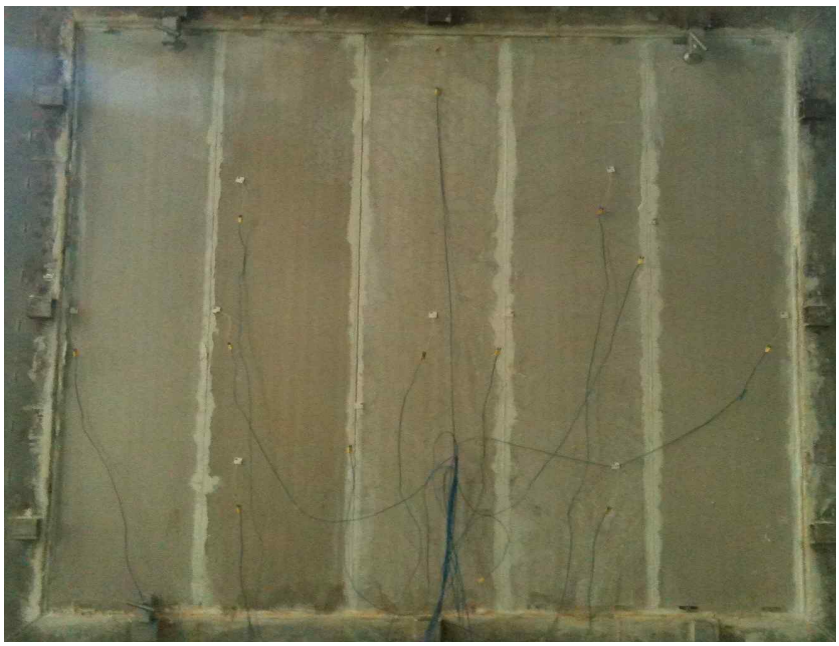


〈 내화시험 후 〉

그림 3-146. 내화시험 전/후 비가열면(질석)



〈 내화시험 전 〉



〈 내화시험 후 〉

그림 3-147. 내화시험 전/후 비가열면(펄라이트)



〈 내화시험 전 〉



〈 내화시험 후 〉

그림 3-148. 내화시험 전/후 비가열면(질석+펄라이트)

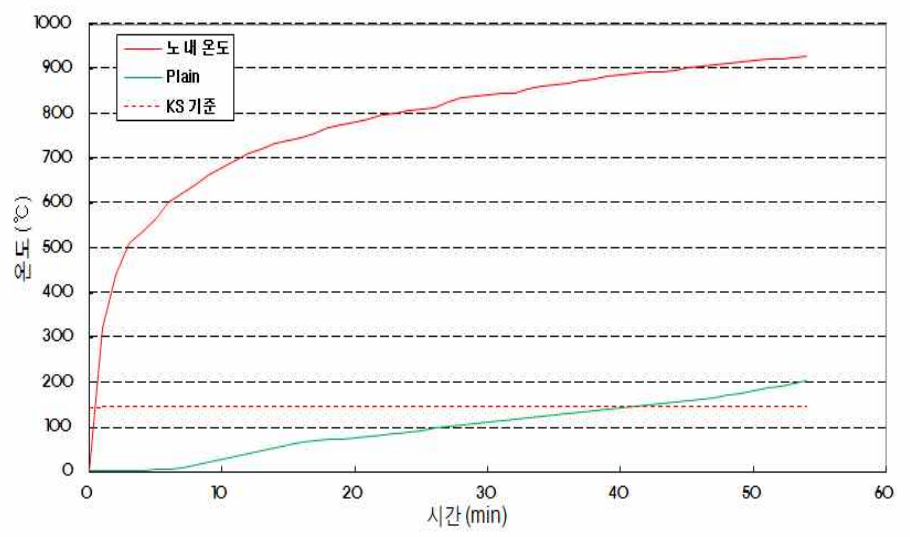


그림 3-149. 내화시험에 대한 비가열면의 온도(Plain)

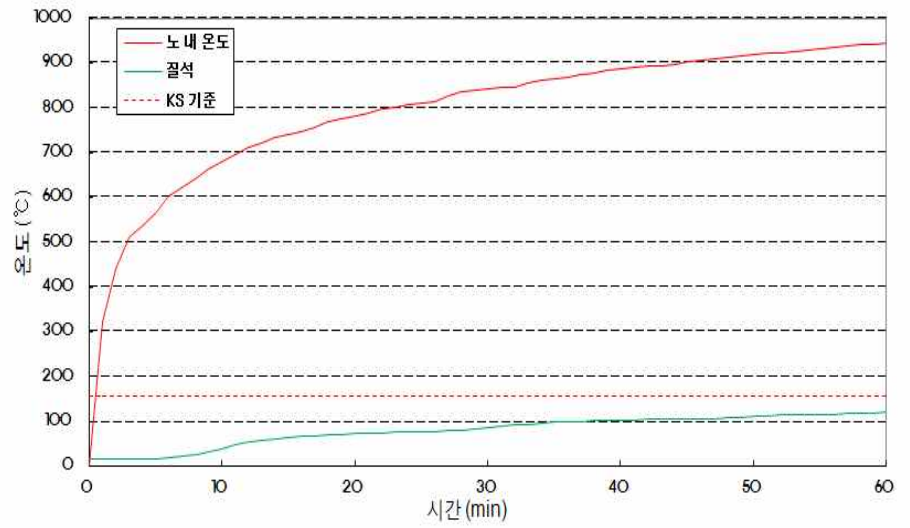


그림 3-150. 내화시험에 대한 비가열면의 온도(질석)

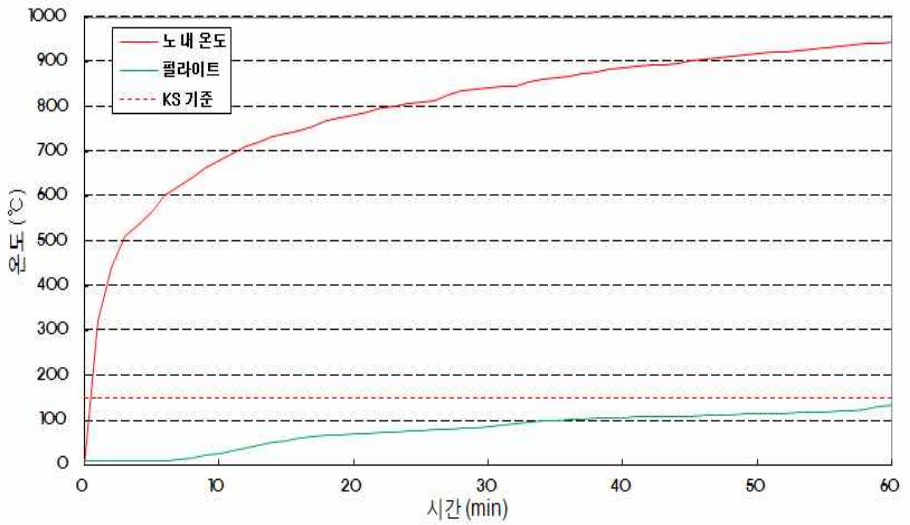


그림 3-151. 내화시험에 대한 비가열면의 온도(펄라이트)

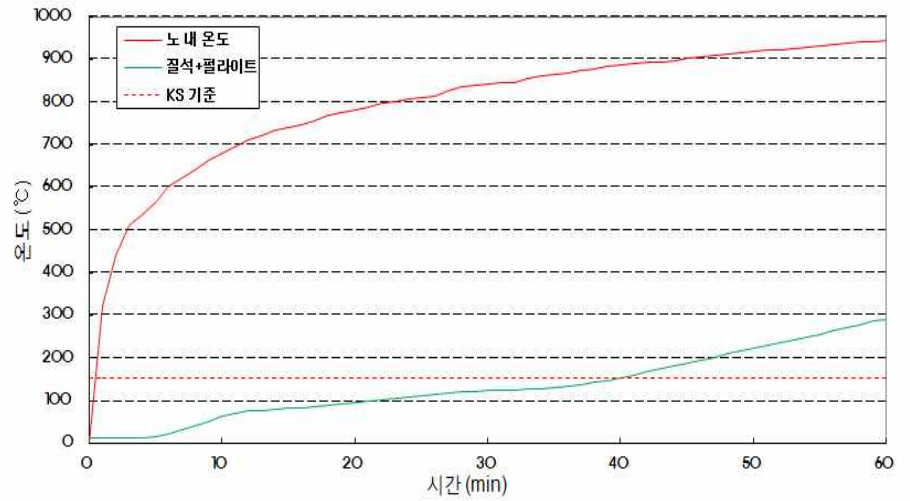


그림 3-152. 내화시험에 대한 비가열면의 온도(질석+펄라이트)

제 5 절 외부 환경변화에 따른 일체화 특성 검토

무기질계 압출 단열패널의 특성을 검토 후, 외부 환경변화에 따른 일체화 특성을 검토하고자 한다.

1. 실험개요

압출 단열패널은 콘크리트와 일체화되어 단열외벽 시스템을 개발하고자 한다. 이를 위해 무기질계 압출 단열패널이 콘크리트와 일체와 거동되는지를 판단하기 위해 온도 변화 및 습도 변화에 따른 패널과 콘크리트의 일체화 특성을 표 3-86과 같이 검토하고자 한다.

표 3-86. 압출 단열패널의 실험개요

평가요인				평가항목
단열소재 종류		양생방법	전처리	
Plain V PL PV		〈 고압증기양생 〉 · 습윤양생 12시간 · 180℃ 3시간 온도상승 · 180℃ 6시간 온도유지 · 온도하강 3시간 〈 습윤양생 〉 · 콘크리트 타설 후	· 온도변화 (10±20℃) · 습도변화 (50±30%)	길이변화 부착강도

2. 실험방법

압출 단열패널과 콘크리트의 일체화 성능을 검토하기 위해서는 길이 400 ㎜, 폭 100 ㎜, 두께 20 ㎜의 압출패널 시험체를 100×100×400 ㎜의 몰드에 넣고 그 위에 콘크리트를 타설하여 그림 3-154와 같이 100×100×400 ㎜의 시험체를 제작한다.

시험체는 3-153과 같이 열전대를 설치하여 그림 3-155와 같이 항온 챔버에 넣어 그림 3-156의 온도 및 습도 조건을 각각 50cycle 반복하는 동안 길이변화를 측정하고, 측정 후 그림 3-157 ~ 그림 3-158과 같이 부착강도를 측정하여 부착특성을 살펴본았다. 휨강도는 아래 식을 이용하여 평가한다.

$$R_{tf} = \frac{3Fl}{2bh^2} \text{----------} (1)$$

여기서, R_{tf}: 휨강도(N/mm^2)
F: 파괴하중(N)
l : 지간거리(mm), $(340mm)$
b : 시험체 폭(mm)
h: 시험체 두께(mm)

$$\triangle F = \frac{F_n - F_r}{F_r} \times 100 \text{----------} (2)$$

여기서 $\triangle F$: 휨강도 변화율(%)
F_n : $Bowing\ test$ n횟수$(50Cycle)$후의 휨강도(N/mm^2)
F_r : 건전시험체의 휨강도(N/mm^2)

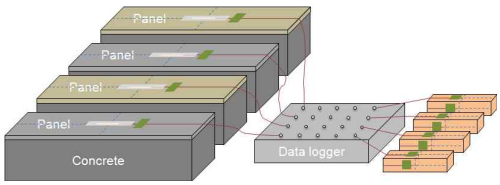


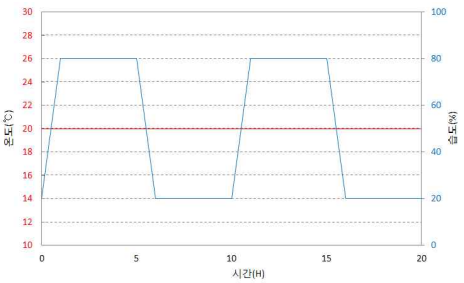
그림 3-153. 시험장치의 개요



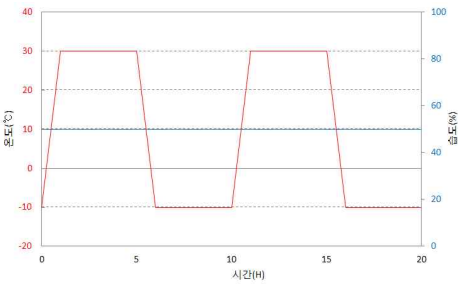
그림 3-154. 시험체



그림 3-155. 시험체 설치 장면



온도 환경변화 cycle



습도 환경변화 cycle

그림 3-156. 외부 조건 전처리 사이클



그림 3-157. 환경조건 노출 후 시험체



그림 3-158. 부착강도 시험

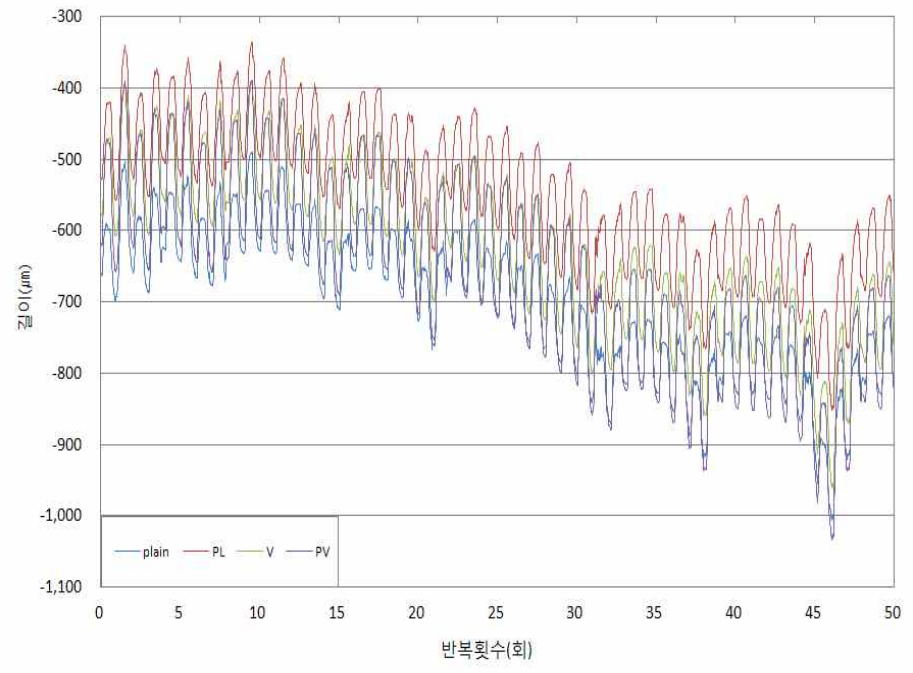
3. 실험결과 및 분석

압출 단열패널과 콘크리트의 일체화 성능을 검토한 결과는 다음과 같다.

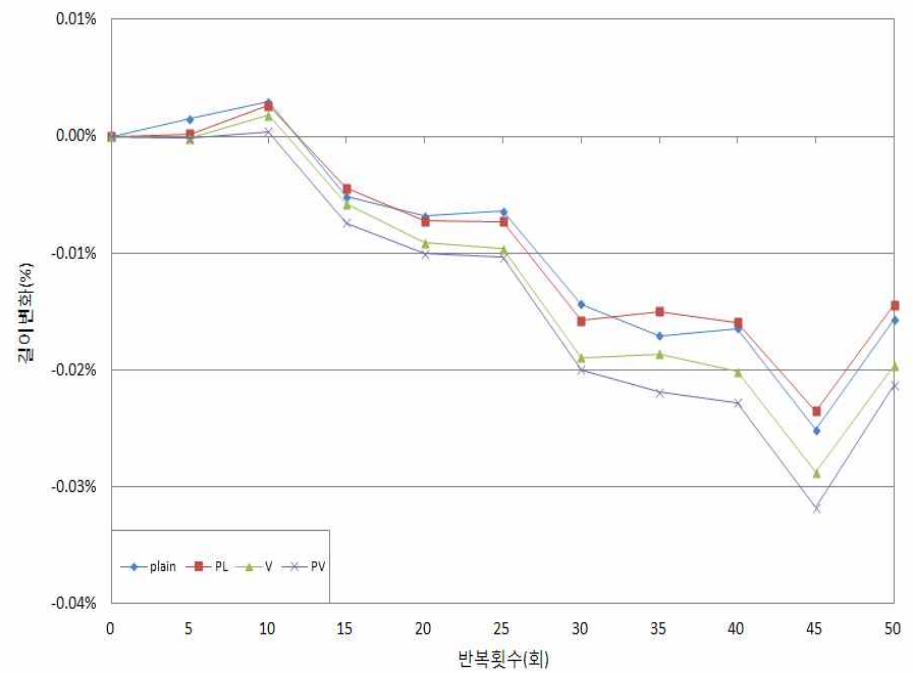
온도 조건 변화에서는 콘크리트, 질석(V), 펄라이트(PL), 질석+펄라이트(PV)와 콘크리트를 일체화 타설한 시험체를 항온 챔버에서 50회 반복 후 길이변화율이 그림 3-157과 같이 각각 -0.0251 %, -0.0235 %, -0.0288 %, -0.0318 %로 KS 기준인 0.1% 이하를 만족하며, 온도 변화에 대한 길이변화율이 거의 나타나지 않아 부재간의 탈락이 잘 나타나지 않을 것으로 사료된다.

습도 조건 변화에 대한 콘크리트, 질석(V), 펄라이트(PL), 질석+펄라이트(PV)의 길이변화율은 그림 3-158과 같이 각각 -0.0091 %, -0.0076 %, -0.0078 %, -0.0075 %로 거의 길이변화율이 나타나지 않았다. 따라서 외부 환경 조건에 따른 일체화 거동이 잘 이루어질 것으로 판단된다.

부착특성에 대한 시험결과 그림 3-159와 같이 Plain의 경우 온도 및 습도 변화에 약 40 %의 부착강도의 저하가 나타났으며, 질석은 약 5 % 내외로 부착강도의 저하가 거의 발생하지 않았으며, 펄라이트는 습도 조건에서만 약 5 %의 부착강도 저하가 발생했으며, 질석+펄라이트는 온도 조건에서 약 15 %, 습도 조건에서 약 5 %의 부착강도가 저하되었다. 외부 환경 조건에 대한 일체화의 부착특성은 Plain 〈 질석+펄라이트 〈 질석 〈 펄라이트로 강도 저하가 줄어들었으며, 펄라이트가 외부 환경 변화에 대한 부착특성이 가장 좋은 재료로 사료된다.

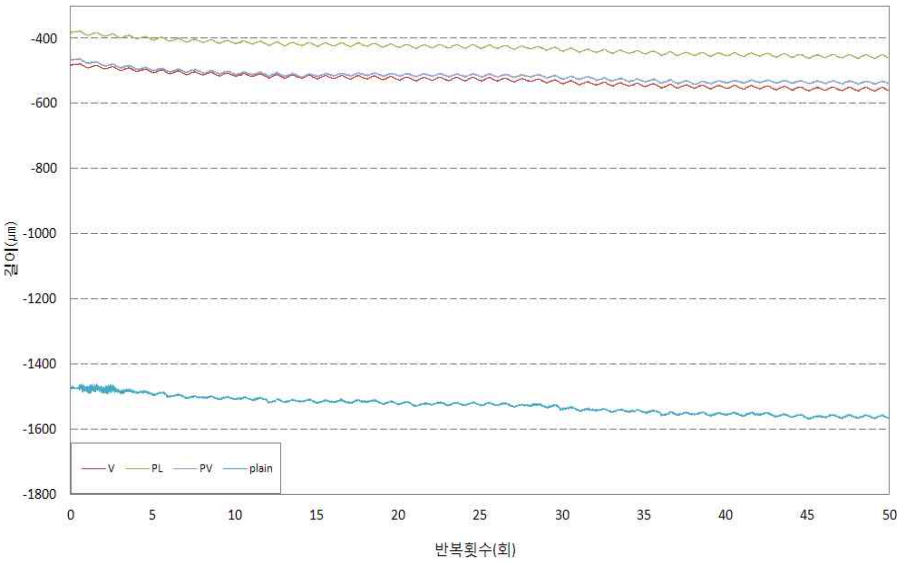


〈 온도변화(냉온반복)에 따른 길이변화 〉

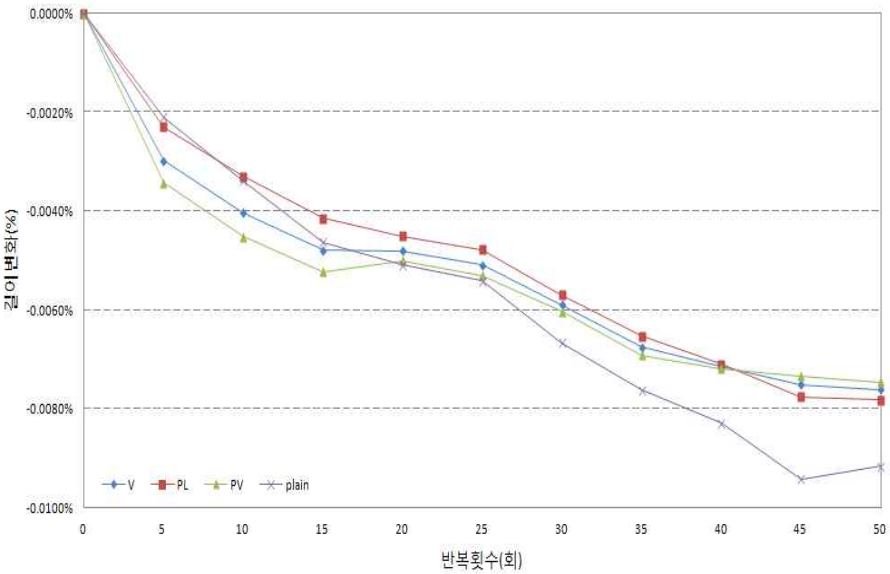


〈 온도변화(냉온반복)에 따른 길이변화율 〉

그림 3-159. 온도 환경변화에 따른 길이변화 특성



〈 습도변화(건습반복)에 따른 길이변화 〉



〈 습도변화(건습반복)에 따른 길이변화율 〉

그림 3-160. 습도 환경변화에 따른 길이변화 특성

표 3-87. 압출 패널의 부착강도 및 파단현상 (건전시험체)

시험체의 종류		파괴하중 (N)	부착강도 (N/㎟)	파단현상	
Plain + 콘크리트	1	4445.9	2.8		·모체파괴 ·모체파괴 ·모체파괴
	2	4216.7	2.6		
	3	4342.7	2.7		
	평균	4335.1	2.7		
질석 + 콘크리트	1	2988.7	1.9		·모체파괴 ·모체파괴 ·모체파괴
	2	2861.5	1.8		
	3	3032.1	1.9		
	평균	2960.8	1.9		
펄라이트 + 콘크리트	1	2979.0	1.9		·모체파괴 ·패널파괴 ·패널파괴
	2	2922.5	1.8		
	3	2711.8	1.7		
	평균	2871.1	1.8		
질석+펄라이트 + 콘크리트	1	3619.1	2.3		·모체파괴 ·모체파괴 ·모체파괴
	2	3493.7	2.2		
	3	3316.9	2.1		
	평균	3476.5	2.2		

표 3-88. 압출 패널의 부착강도 및 파단현상 (온냉반복 50사이클 후)

시험체의 종류		파괴하중 (N)	부착강도 (N/㎟)	파단현상	
Plain + 콘크리트	1	2977.7	1.9		·모체파괴
	2	2670.4	1.7		·패널파괴
	3	2955.3	1.9		·패널파괴
	평균	2867.8	1.8		
질석 + 콘크리트	1	2643.2	1.7		·패널파괴
	2	2579.6	1.6		·패널파괴
	3	3048.8	1.9		·패널파괴
	평균	2757.2	1.7		
펄라이트 + 콘크리트	1	2434.9	1.5		·모체파괴
	2	3165.3	2.0		·모체파괴
	3	3233.6	2.0		·모체파괴
	평균	2493.5	1.8		
질석+펄라이트 + 콘크리트	1	3305.5	2.1		·패널파괴
	2	2500.9	1.6		·패널파괴
	3	2999.2	1.9		·모체파괴
	평균	2702.9	1.8		

표 3-89. 압출 패널의 부착강도 및 파단현상 (건습반복 50사이클 후)

시험체의 종류		파괴하중 (N)	부착강도 (N/㎟)	파단현상	
Plain + 콘크리트	1	2956.3	1.8		·모체파괴 ·모체파괴 ·모체파괴
	2	2523.3	1.6		
	3	2556.4	1.6		
	평균	2679.3	1.7		
질석 + 콘크리트	1	2894.3	1.8		·모체파괴 ·모체파괴 ·모체파괴
	2	2756.9	1.7		
	3	3012.4	1.9		
	평균	2887.9	1.8		
펄라이트 + 콘크리트	1	3377.9	2.1		·모체파괴 ·모체파괴 ·모체파괴
	2	2535.9	1.6		
	3	2297.4	1.4		
	평균	2586.6	1.7		
질석+펄라이트 + 콘크리트	1	3195.2	2.0		·모체파괴 ·모체파괴 ·모체파괴
	2	4064.5	2.5		
	3	2599.0	1.6		
	평균	2777.3	2.1		

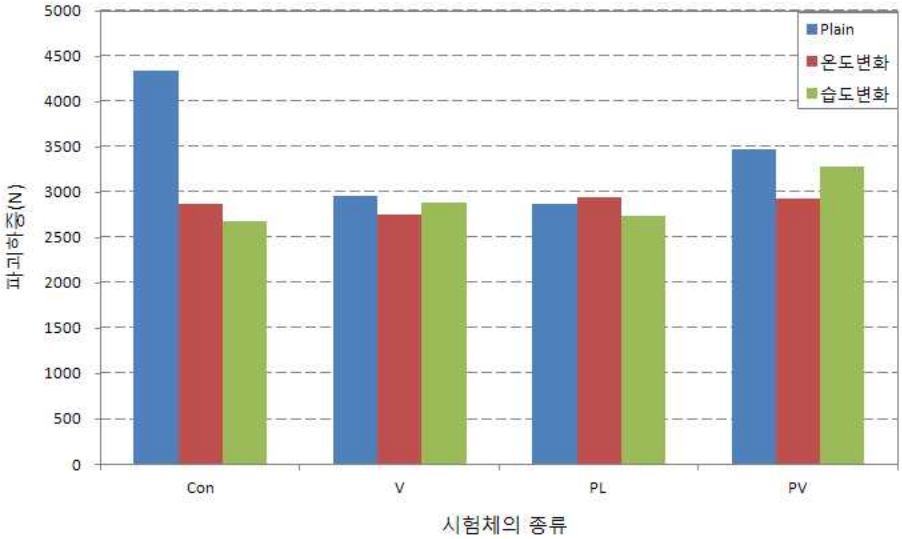


그림 3-161. 환경변화에 따른 파괴하중의 변화

제 6절 단열외벽시스템의 모의구조체 검토

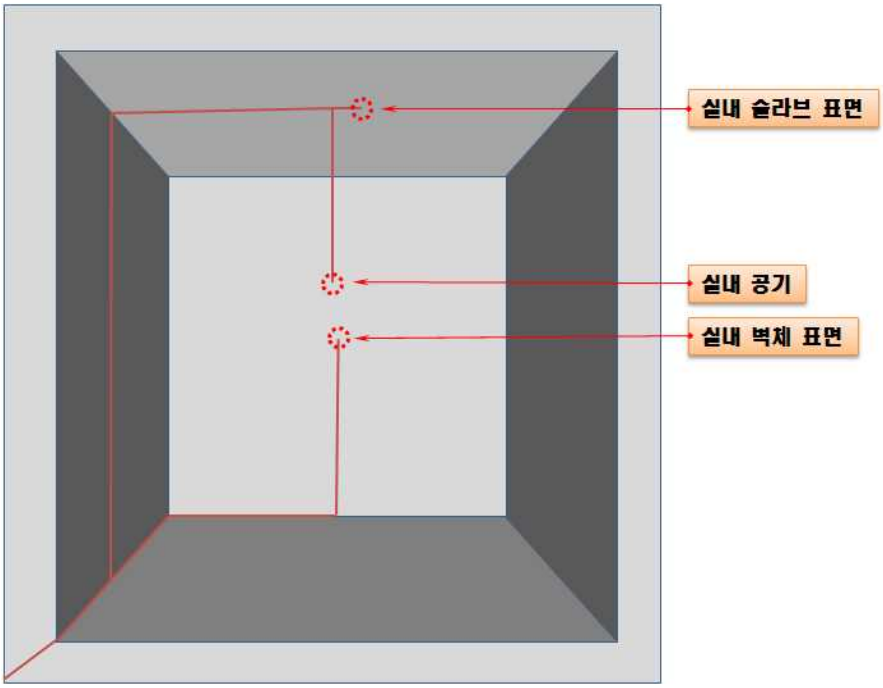
1. 실험개요 및 방법

압출 단열패널을 이용한 단열시스템의 성능을 검토하기 위하여 1800×1650×1500 ㎜의 6개의 콘크리트 시험체를 제작하였다. 표 3-90과 같이 콘크리트 시험체에 압출 단열패널을 설치한 외단열 시험체, 단열을 하지 않은 콘크리트 시험체, 유기질계 단열소재를 이용한 외단열 및 내단열 시험체, 일반도료를 도장한 시험체, 열반사도료를 도장한 시험체 등 단열시스템을 비교 분석하였다.

그림 3-160과 같이 각 시험체의 내부 3개소에 열전대를 설치하여 20일간 시간에 따른 내부 온도 변화를 측정하였다. 또한 그림 3-161와 같이 내부에 온열기를 설치하여 20 ℃로 일정하게 유지하는데 필요한 전력량을 측정하여 단열시스템의 효율을 검토하고자 한다.

표 3-90. 모의시험체의 단열시스템 상세도

종류	모의시험체	특징
단열패널		· 무기질계 단열패널을 설치한 모의시험체
콘크리트		· 일반 콘크리트 벽체를 대상으로 한 모의시험체
외단열		· 유기질계 압출법 보온판(=아이소 핑크)로 외단열한 모의시험체
내단열		· 유기질계 압출법 보온판(=아이소 핑크)로 내단열한 모의시험체
열반사도료		· 열반사도료를 도장한 모의시험체
일반도료		· 일반도료를 도장한 모의시험체



〈 모의시험체의 단열온도 변화 측정 모식도 〉

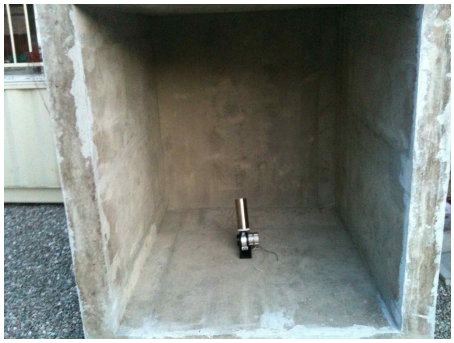


〈 모의시험체의 단열온도 변화 측정 〉

그림 3-162. 모의시험체의 단열온도 측정



〈 온열기 및 전력량 측정기 〉



〈 온열기의 설치 위치 〉

그림 3-163. 20℃유지 전력량 측정 기구 및 위치

2. 실험결과

압출 단열패널을 이용한 단열외벽시스템의 성능을 검토하기 위하여 6개의 콘크리트 시험체에 각각 단열패널의 외단열, 단열하지 않음, 유기질계 외단열, 유기질계 내단열, 열반사도료 도장, 일반도료 도장으로 단열시스템을 비교 분석하였다.

20일동안 동일한 외기에서 내부 온도를 측정한 결과 간 시간에 따른 내부 온도 변화를 측정하였다. 그 결과 표 3-91과 그림 3-164와 같이 외단열 〉 단열패널 및 내단열 > 일반도료 〉 열반사도료 〉 콘크리트로 단열성능이 나타나 압출 단열패널의 성능이 유기질 재료만큼 성능을 발휘하는 것을 알 수 있었다.

20℃의 온도를 유지하는데 소모된 전력량을 측정하여 각 단열시스템을 검토한 결과 그림 3-167과 같이 외단열 < 내단열 〈 단열패널 〈 일반도료 = 콘크리트 〈 열반사도료 순으로 전력량이 증가되어 온도유지에 대한 압출 단열패널이 유기질 재료만큼 성능을 발휘하지 못해 이 부분에 대해 보완해야 할 것으로 판단된다. 모의시험체의 열손실 요인을 검토하기 위해 열화상 사진을 촬영한 결과 외단열은 열손실이 거의 나타나지 않았지만 콘크리트 및 도료를 도장한 경우 열손실이 확연히 나타나고 있었다. 압출 단열패널은 패널의 이음부분에서 열손실이 크게 나타나고 있어 추후 연구에서는 단열패널의 이음부분에 사용될 단열 접착제나 단열 시멘트와 관련된 연구도 병행되어야 할 것으로 사료된다.

표 3-91. 모의시험체의 단열온도 특성(실내온도)

		단열패널	콘크리트	외단열	내단열	열반사도료	일반도료
공기	최대온도	19.5	20.2	22.4	25.4	18.2	18.5
	최소온도	−0.3	−4.4	1.2	−2.0	−6.1	−6.4
	온도차	19.8	24.6	21.2	27.4	24.3	24.9
	평균	6.8	6.6	7.3	6.1	3.9	4.3
	표준편차	3.5	4.5	2.8	3.6	4.4	4.5
슬라브 표면	최대온도	28.3	28.2	19.4	25.0	17.5	18.3
	최소온도	−0.1	−11.1	1.3	−2.6	−8.4	−9.1
	온도차	28.4	39.3	18.1	27.6	25.9	27.4
	평균	10.6	6.7	7.4	6.0	3.2	3.1
	표준편차	4.0	6.3	2.9	3.8	4.9	5.1
벽체 표면	최대온도	33.2	18.7	16.4	24.0	17.5	18.5
	최소온도	0.1	−4.4	1.9	−2.3	−5.7	−6.4
	온도차	33.1	23.1	14.5	26.3	23.2	24.9
	평균	11.8	5.5	7.7	5.9	4.2	4.3
	표준편차	4.2	4.4	2.8	3.7	4.4	4.4

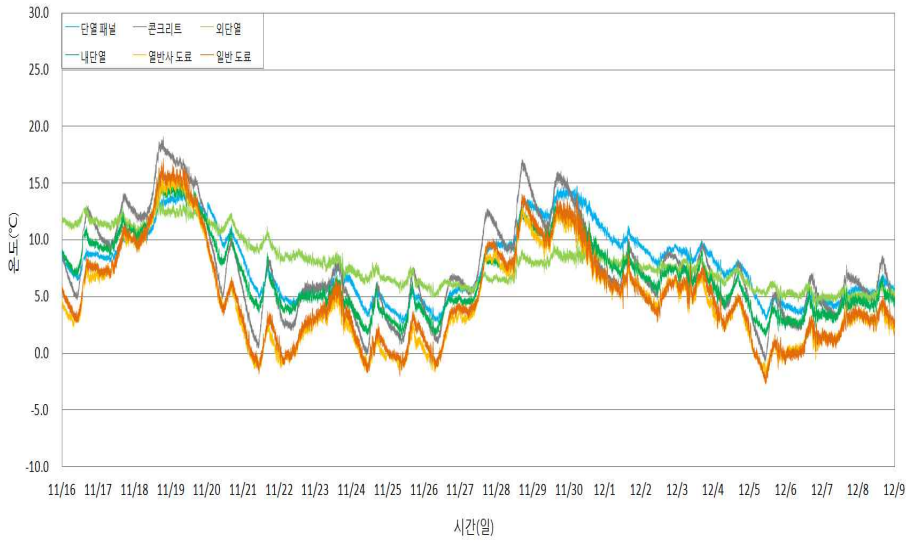


그림 3-164. 모의시험체의 단열온도 특성 - 실내(공기)



그림 3-165. 모의시험체의 단열온도 특성 - 실내(슬라브 표면)

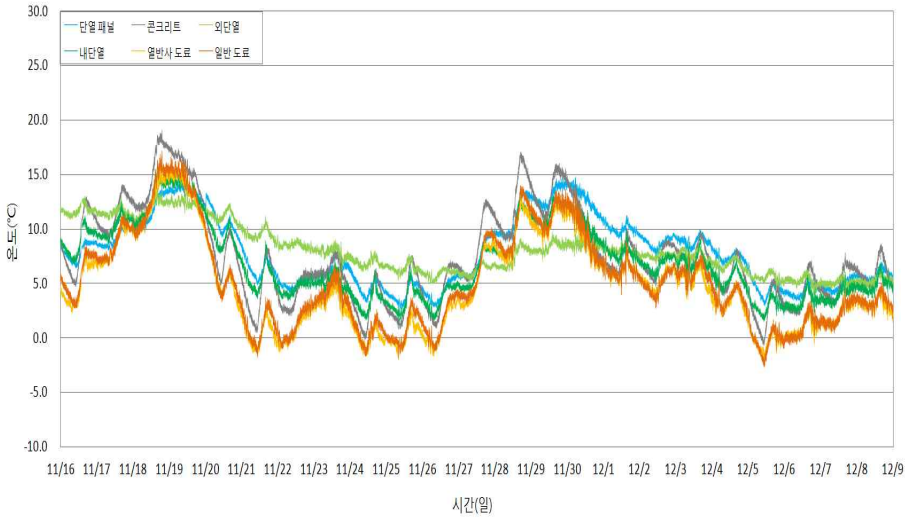


그림 3-166. 모의시험체의 단열온도 특성 - 실내(벽체 표면)

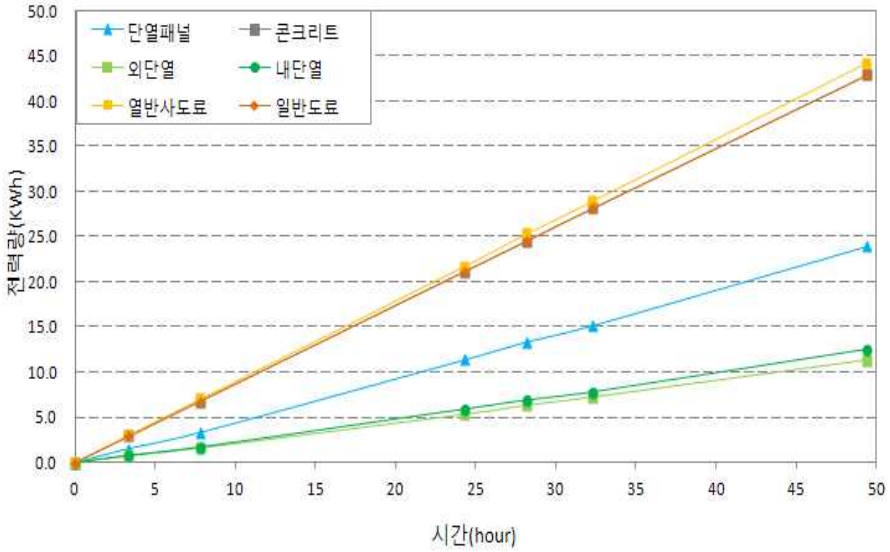


그림 3-167. 모의시험체의 20℃ 유지시 사용 전력량

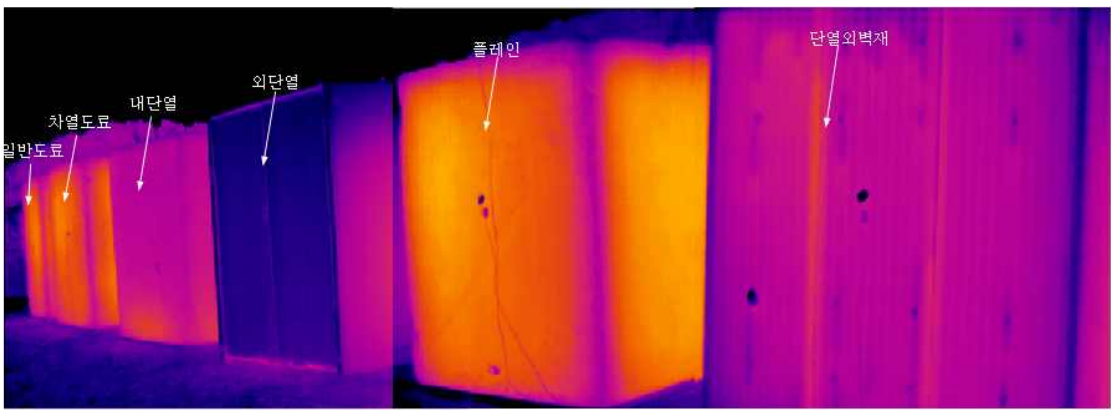


그림 3-168. 모의시험체의 열화상 사진

제 7 절 경제성 평가

1. 압출성형세라믹 패널의 비용·편익 분석

가. 개요

국내 건설사들은 외벽 단열 마감 공법으로 금속 패널, 석재 패널 등 다양한 접근 방법을 적용하고 있는 실정으로 의사결정단계에서 외벽단열 공법 선정에 혼란이 있다. 이에 성능, 비용 및 편익 등 다각적인 측면을 고려하여 적절한 공법선정에 대한 정보제공의 필요성이 강조되고 있는 상황이다. 한편, 이러한 의사결정 단계와 연관하여 국내·외 기관 등에서는 보다 체계적이고 신뢰성 있는 의사결정 시스템을 도입하여 실무에서 합리적인 의사결정을 수행하고 있는데, 이러한 의사결정 과정에서 AHP(Analytic hierarchy process) 분석 방법이 가장 많이 활용되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 AHP 기법을 이용하여 공동주택(아파트)외벽의 효율적인 마감 공법 선정을 위해 본 연구팀에서 개발한 압출성형세라믹 패널과 국내 건축현장에서 가장 많이 적용되고 있는 금속 패널을 대상으로 비용·편익 분석을 실시하여 합리적이고 효과적인 외벽 마감 공법을 제시하고자 한다.

나. 비용 · 편익분석 계획 및 방법

본 연구에서는 외벽단열 패널 시스템의 주요도 산정을 위하여 비교대상으로 압출성형세라믹 패널 시스템과 금속패널 시스템으로 하였고, 연구방법으로 선행 연구에 대한 고찰을 통해 구체적인 연구의 방향을 설정하였다. 또한, 단열성 및 시공성을 위한 중요 요인 도출 평가를 위해 공동주택(아파트) 건축물의 시공, 설계 및 감리 경험이 10년 이상인 전문가 100명에게 설문을 실시하여 회신된 결과물을 토대로 비용 편익분석을 실시하여 중요도를 산정하였다. AHP기법은 EC(Expert choice) 11.5 프로그램을 사용하였고, 그림 3-169는 연구절차를 나타낸 것이다.



그림 3-169. 비용 · 편익분석의 연구절차

(1) 설문조사

집단의사결정지원수단(Group decision support system)으로써 계층분석적 의사결정방법은 집단 전문가들의 의견을 종합적하여 최종적인 의사결정을 하도록 도와준다. 다수의 전문가들이 참여하는 의사결정의 결과는 의사결정 집단에 의해 결정된다. 이를 위해 계층분석적 의사결정방법의 조사 대상자는 해당사업에 대한충분한

지식과 이해관계를 갖는 전문가 이어야하며, 항만의 전략적 의사결정에 관한 각 유형별 특성과 상황별 장단점에 대해 평가할 수 있는 객관성을 지니고 있어야 한다.

따라서, 본 연구에서는 아파트 건축물 시공, 설계 및 감리 경험이 10년 이상인전문가 100명을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 직접방문, 모사전송 및 E-mail 전송을 통해 이루어졌으며, 응답자의 대부분은 E-mail을 통하여 설문서를 재전송해주었다. 회수된 설문지 중에서 임계치가 0.15 이상의 값이 나온 설문의 표본을 제외하고 총 58부를 설문분석에 이용하였다. 이때의 표본추출방법은 가장 일반적인 표본추출방법인 단순확률추출법으로 뽑은 것으로 간주하여 95 %의 신뢰도에서 ±3.65 %의 오차를 나타냈다.

표 3-92. AHP 분석을 위한 설문지의 중요도 작성

중요도	정의	설명
1	비슷함 (Equal importance)	· 어떤 기준에 대하여 두 활동이 비슷한 공헌도를 가진다고 판단됨
3	약간 중요 및 우선 (Moderate importance)	· 경험과 판단에 의하여 한 활동이 다른 활동보다 약 선호됨
5	중요 및 우선 (Strong importance)	· 경험과 판단에 의하여 한 활동이 다른 활동보다 강하게 선호됨
7	매우 중요 및 우선 (Very strong importance)	· 경험과 판단에 의하여 한 활동이 다른 활동보다 매우 강하게 선호됨
9	절대적으로 중요 및 우선 (Extreme importance)	· 경험과 판단에 의하여 한 활동이 다른 활동보다 절대적으로 선호됨

한편, 비중을 서로 달리하는 여러 품목에 대한 하나의 평균치를 산출할 때, 단순한 산술평균만으로는 합리적인 수치를 뽑을 수가 없으므로 비중에 따라 각 개별품목에 알맞은 중요도를 결정하는 중요도 가중치를 설정하게 되는데, 이때의 설문지 작성 시 중요도 가중치에 대한 산정방법은 표 3.92와 같고, 설문응답자의 경험과 판단으로 항목에 대한 비교를 통하여 중요도 가중치를 산정하는 것으로 하였다.

(2) 평가기준

본 연구에서 사용된 주요평가기준을 도출하기 위해 먼저 객관성이 확보된 세부평가속성들과 참고문헌 등을 통한 2차 자료수집 그리고 3차 전문가 견해를 들어, 본 연구에 사용될 수 있는 다양한 주요 평가항목들을 수집하였다. 최종적으로 수집된 평가속성들에 대하여 전문가의 견해와 설문지를 반영하여 불규칙한 중요도 분포와 타 항목과의 의미중복을 가질 수 있는 것을 판단하여 시공성, 단열성, 경제성을 3가지의 항목으로 도출하였다. 또한, AHP기법을 이용한 비용·편익을 분석하기 위해 비용적인 측면의 선정 평가기준항목들을 상위항목과 하위항목으로 분류하였다.

(가) 비용적 측면의 평가기준

표 3-93은 비용적 측면의 평가기준을 나타낸 것으로 상위평가항목 3가지와 하위평가항목 6가지로 세분화 하였고, 상위항목 및 하위항목에 대한 설명은 다음과 같다.

표 3-93. 외벽패널 시스템의 비용 측면의 평가기준

대분류 평가항목	중분류 평가항목	평가내용
시공성	시공비	패널을 시공하는데 소모되는 비용
	해체비	패널을 하체하는데 소모되는 비용
단열성	냉방비	패널로 인한 건축물의 냉방비 절감 비용
	난방비	패널로 인한 건축물의 난방비 절감 비용
경제성	외부디자인비	패널의 외부 디자인적 요소 확보에 의한 절감 비용
	유지관리비	패널을 시공 후 유지관리에 소요되는 비용의 절감

(나) 편익적 측면의 평가기준

표 3-94는 편익적 측면의 평가기준을 나타낸 것으로 상위평가항목 3가지와 하위평가항목 6가지로 세분화 하였고, 상위항목 및 하위항목에 대한 설명은 다음과 같다.

표 3-94. 외벽패널시스템의 편익측면 평가기준

대분류 평가항목	중분류 평가항목	평가내용
시공성	작업의 용이성	패널 시공시 작업이 용이할 것
	타 공정과의 연계성	패널을 시공시 타공정과의 연계성
단열성	냉난방부하	패널의 냉난방 부하가 적을 것
	결로 방지	패널로 인해 결로가 방지되는 것
경제성	수익성증가	패널로 인한 공사의 전체적인 수익성 증가
	현장관리비감소	현장정리 및 민원처리 등으로 소요되는 현장관리비감소

(3) 평가기준의 계층화

다기준의사결정문제의 해결을 위해서 가장 중요한 것은 계층분석구조의 설정이다. 여기서 계층분석구조의 설정은 일회적인 것이 아니라 전문가들의 이견이 해소될 때가지의 반복적인 과정을 거쳐서 행하여지는 것이 보편적이다. 또한, AHP기법을 이용한 비용·편익을 분석하기 위한 한 과정으로서 평가하는 요소의 중요도를 산정하기 위해 계층화하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 계층분석적 의사결정법을 이용하여 다음과 같은 4단계의 작업을 수행하였다.

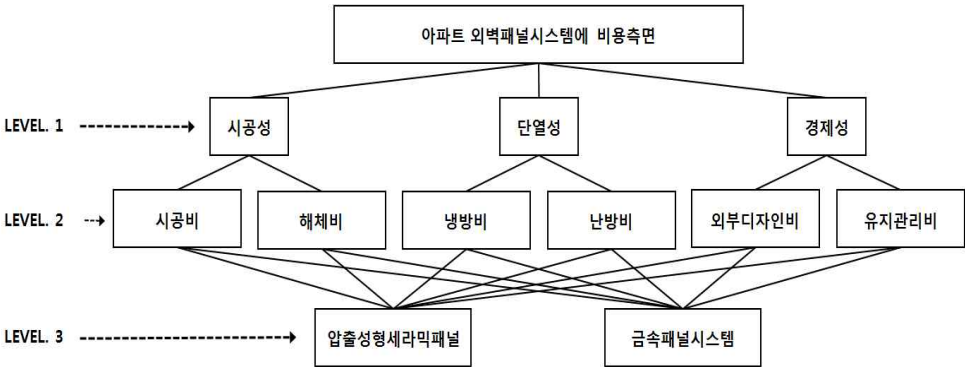
1단계, 주어진 의사결정 문제를 상호관련된 여러 의사결정사항들을 계층으로 분휴하여 의사결정계층(Decision hierarchy)을 설정하였다.

2단계, 같은 계층에 있는 의사결정 요인들 간의 쌍대비교를 실시하였다.

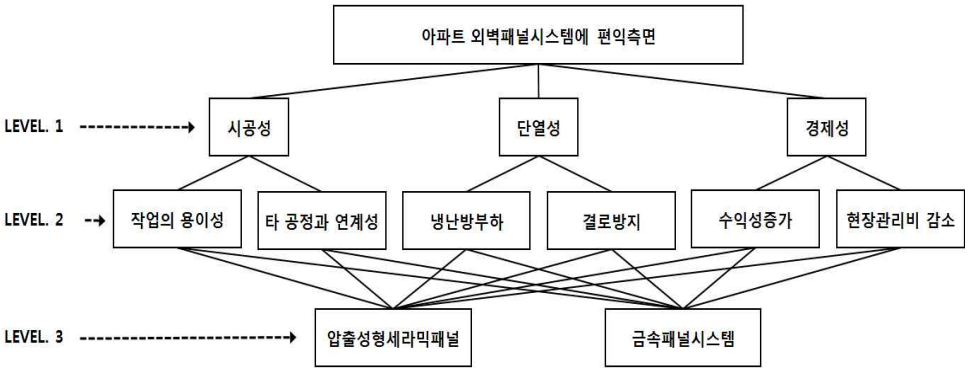
3단계, 고유치방법(Eigenvalue method)을 사용하여 의사결정요인들의 상대적 가중치를 추정하였다.

4단계, 평가대상이 되는 대안들의 종합적인 우선순위를 구하기 위해 의사결정요소들의 상대적인 가중치를 종합화하였다.

그림 3-170은 비용측면의 계층화 구상도와 편익측면의 계층화 구상도를 나타낸 것이다



〈 비용 측면 〉



〈 편익 측면 〉

그림 3-170. 계층화 구상도

다. AHP 기법을 사용한 비용·편익분석 결과

편익/비용분석은 넓은 의미에서 경쟁적인 공동투자기회의 긍정적·부정적 효과를 체계적으로 평가하고, 이들을 계량화하여 대안의 비교평가에 명시적으로 포함시키는 일련의 방법론을 지칭한다.

AHP를 이용한 단순 편익/비용분석(Simple benefit · Cost analysis)은 비용에 관한 항목으로 구성되어진 비용계층(Cost hierarchy)과 편익에 관한항목으로 구성되어진 편익계층(Benefit hierarchy)을 각각 설계하여 각 계층별로 대안에 대한 우선순위를 구하고, 비용계층에서의 대안의 우선순위(Cost priority)와 편익계층에서의 대안의 우선순위(Benefit priority)를 편익/비용 비율(Benefit/cost ratio)로 계산하여 편익/비용분석을 행하는 방법이다. 단순편익/비용분석은 분자(편익)나 분모(비용)양쪽에 동일한 가중치가 주어지는 1:1의 선호를 가정한 방법으로서, 편익계층에서 높은 가중치는 높은 선호를 나타내는 것이지만, 비용계층에서의 높은 가중치는 낮은 선호를 나타낸다.

따라서 본 연구에서는 공동주택(아파트)의 외벽단열공법선정에 있어 압출성형세라믹페널 시스템과 금속패널시스템의 공법을 대상으로 AHP를 이용한 비용/편익분석 을 실시한 결과는 표 3-95 ~ 표 3-97과 같은 계층의 중요도 가중치를 얻을 수 있었다.

먼저, 대분류 평가항목에서 두 계층 모두 단열성이 가장 중요한 평가기준으로 분석되었는데, 이는 공공주택의 외벽단열을 시공시 효과적인 단열공법을 적용하여 단열성능을 확보하는 것이 냉난방비 감소와 유지관리비 감소 등의 경제성적인 효과로 작용하기 때문인 것으로 분석된다.

표 3-95. 비용측면의 중요도 가중치

비용적 측면						
목적	대분류 평가항목		중분류 평가항목		대안	
아파트 외벽패널 시스템에 대한 비용분석	평가 항목	가중치	평가요소	가중치	압출성형 세라믹패널	금속패널 시스템
	시공성	0.237	시공비	0.841	0.174	0.192
			해체비	0.159	0.043	0.055
	단열성	0.510	냉방비	0.213	0.160	0.162
			난방비	0.787	0.365	0.326
	경제성	0.253	외부 디자인비	0.201	0.070	0.077
			유지관리비	0.799	0.187	0.188
평가대안의 종합 가중치					0.811	0.189

표 3-96. 편익측면의 중요도 가중치

편익적 측면						
목적	대분류 평가항목		중분류 평가항목		대안	
아파트 외벽패널 시스템에 대한 비용분석	평가 항목	가중치	평가요소	가중치	압출성형 세라믹패널	금속패널 시스템
	시공성	0.199	작업의 용이성	0.643	0.132	0.129
			타 공정과의 연계성	0.357	0.099	0.100
	단열성	0.554	냉난방부하	0.684	0.244	0.263
			결로방지	0.316	0.291	0.292
	경제성	0.246	수익성 증가	0.442	0.136	0.124
			현장 관리비감소	0.558	0.099	0.092
평가대안의 종합 가중치					0.789	0.211

표 3-97. 비용 · 편익분석 결과

대 안	비 용	편 익	비용/편익
압출성형 세라믹패널	0.811	0.789	1.028
금속패널 시스템	0.189	0.211	0.896



a) 비용측면의 대분류 항목 중요도

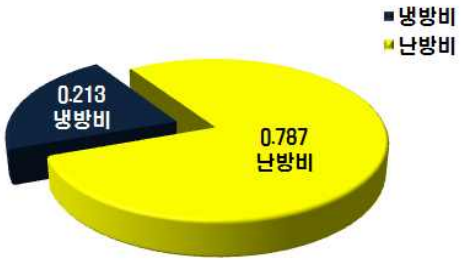


b) 편익측면의 대분류 항목 중요도

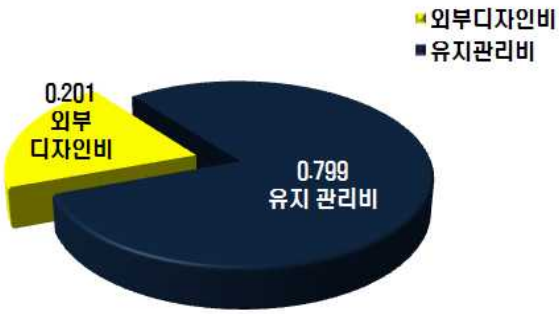
그림 3-171. 대분류 항목 중요도



a) 비용측면의 중분류 항목 중요도-1



b) 비용측면의 중분류 항목 중요도-2

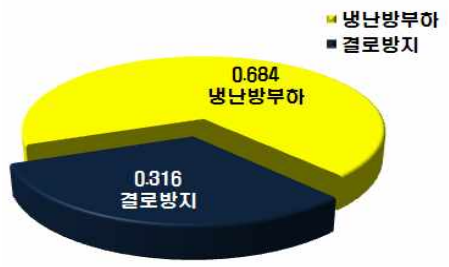


c) 비용측면의 중분류 항목 중요도-3

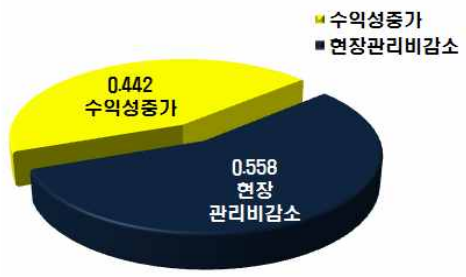
그림 3-172. 비용측면의 중분류 항목 중요도



a) 중분류 항목 중요도-1



b) 중분류 항목 중요도-2

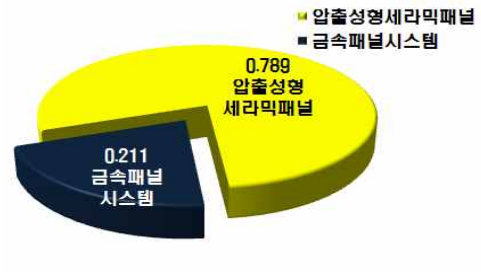


c) 중분류 항목 중요도- 3

그림 3-173. 편익측면의 중분류 항목 중요도



a) 대안에 대한 비용측면의 중요도



b) 대안에 대한 편익측면의 중요도

그림 3-174. 대안에 대한 비용/편익 측면의 중요도

라. 결론

본 연구에서는 공동주택(아파트) 외벽단열공법 선정을 위해 단열외벽패널 시스템과 금속패널 시스템을 대상으로 비용·편익분석을 실시하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 연구결과 상위 평가항목인 단열성능의 가중치가 두 계층에서 높게 산정되어 공동주택(아파트) 외벽단열마감 공법 선정 시 중요한 평가 기준으로 나타났다.

(2) AHP 기법을 이용한 비용·편익 분석 결과 평가대안의 종합 가중치는 두 계층 모두 압출성형세라믹패널시스템이 유리한 결과로 나타났고, 비용·편익 분석을 통해 단위비용 당 편익을 비교한 결과 역시 압출성형세라믹패널 시스템은 1.028, 금속패널 시스템은 0.896 로 분석되었다.

(3) 공동주택(아파트) 외벽 단열 마감 공법으로 압출성형세라믹패널 시스템 적용 시 금속패널 시스템에 비해 비용과 편익 측면에서 모두 유리한 결과를 얻을 수 있었다.

2. LCC분석에 의한 압출성형세라믹 패널의 경제성 평가

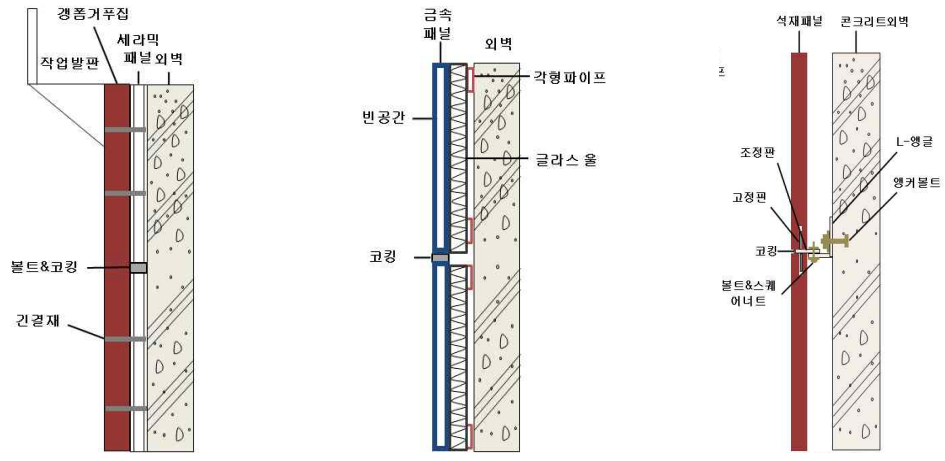
가. 개요

압출성형세라믹 패널은 Life Cycle 개념에서 유지관리 단계의 수선비용이나 유지비용을 고려할 경우, 수선이나 재도장이 빈번히 요구되는 금속 패널 및 석재패널 혹은 기타 마감 공사에 비하여 경제성을 추구할 수 있다.

따라서, 본 연구 결과를 통해 제조한 압출성형세라믹 패널과 기존의 금속 패널, 석재 패널에 대하여 단열외벽 시스템 종류별 확정적 LCC 비용 분석을 통하여 초기투자비용 및 유지관리비용에 따른 경제성을 비교·분석하고자 한다.

나. 확정적 LCC 분석을 위한 기본가정

확정적 LCC 분석을 위해서는 반드시 할인율과 내용년수가 필요하며, 할인율은 과거의 은행 예금금리와 물가상승율을 고려한 실질할인율을 사용하는 것으로 가정하였고, 압출성형세라믹 패널 마감의 공용내구수명은 법인세법에서 철근콘크 리트조의 내용년수가 30~50년이므로 본 연구에서는 45년을 분석기간으로 가정하였다.



압출성형세라믹 패널　　금속패널　　석재패널

그림 3-175. 대안선정

(1) 대안산정

대안산정은 그림 3-175와 같이 앞선 연구 결과에서 가장 효과적이고, 경제적인 최적배합비율로 제작한 압출성형세라믹 패널 마감과 일반적으로 건축물 마감에 적용되고 있는 금속 패널 및 석재 패널을 비교대상으로 선정하였다.

(2) 할인율의 가정

(가) 할인율의 적용 추세

할인율의 적용은 법칙에 의하여 정해져 있는 것이 아니라, 국가별로 경제 상황에 맞게 적용해야 한다. 국외의 LCC 분석 시 사용하는 할인율은 표 3-98과 같고, 국내의 경우는 표 3-99와 같이 연구기관별로 3∽8 % 까지 다양한 수치로 실질할인율을 적용하고 있다. Leeming (1993)에 따르면 실제로 할인율이 5 % 이상이 되면 30∽40년 후에 발생하는 비용을 현재가치로 환산하였을 경우 거의 영향을 주지 않게 된다고 한다.

표 3-98. 국외의 실질할인율

구분	미국	영국	독일	스위스	개발도상국
실질할인율	3∽5 %	5∽8 %	3 %	2 %	6∽8 %

표 3-99. 국내 연구에서의 실질할인율

구분	통계청	교통개발연구원 보고서	한국개발연구원	시설안전기술공단
실질할인율	3∽5 %	5∽8 %	3 %	6∽8 %

(나) 실질할인율의 계산

본 연구에서는 1995년부터 2008년까지의 자료를 이용하여 실질할인율을 구하고자 한다. 표 3-100은 실질할인율과 물가상승율을 파악하기 위하여 한국은행의 정기예금금리와 통계청의 소비자 물가지수를 조사하여 나타낸 것이며, 본 연구에서의 실질할인율은 4.5 %를 적용하였다.

표 3-100. 연도별 실질할인율의 변화 추이

년도	정기예금금리 (%)	인플레이션(%)		실질할인율 (%)
		소비자물가지수	물가상승률	
1995	10.00	82.30	4.44	5.32
1996	9.20	86.40	4.98	5.07
1997	10.59	90.20	4.40	5.93
1998	13.39	97.00	7.54	5.44
1999	7.05	97.80	0.82	6.17
2000	7.08	100.00	2.25	4.72
2001	5.46	104.10	4.10	3.10
2002	4.71	106.90	2.69	4.25
2003	4.15	110.70	3.55	5.05
2004	3.75	114.70	3.61	3.85
2005	3.62	117.80	2.70	2.84
2006	5.88	120.50	2.29	4.10
2007	5.50	123.50	2.49	3.50
2008	5.70	130.05	5.30	3.23
평균	6.86	105.85	3.65	4.50

(3) 내용년수(분석기간)

본 연구에서의 LCC 분석을 위한 내용년수는 법인세법상의 내용년수를 참고하였다. 법인세법에서 규정하고 있는 내용년수는 고정자산의 감가상각에 대한 기본이 되는 것으로 세금, 조세의 산출 및 금융부문에서 이용하게 되며, 자산의 가치가 존재하는 기간을 법률로써 규정한 법인세법상의 내용년수를 적용하는 것이 타당하다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 철골 및 철근콘크리트 조 건물의 내용년수를 40년(30~50년)으로 규정하고 있어 분석기간을 45년으로 적용하였다.

(4) 수선율과 수선주기

압출성형세라믹 패널과 금속 패널 및 석재 패널의 LCC 분석을 위해 수선율과 수선주기는 표 3-101과 같이 주택법 시행규칙의 건물외부 장기수선계획의 수립기준을 참고하여 적용하는 것으로 하였다.

먼저, 압출성형세라믹 패널 마감은 단열외벽시스템별 유지보수기간의 선정은 주택법 시행규칙 장기수선계획의 수립기준을 따랐으며, 교체기간으로 세라믹패널은 시멘트 계열인 것을 감안하여 20년 주기, 금속 패널은 철제와 유사하여 30년주기로 하였으며, 석재 패널은 돌 붙이기와 유사하여 30년 주기로 교체하는 것으로 산

정 하였다. 수선기간으로 세라믹패널은 8년 주기로 15 %, 금속패널은 10년 주기로 20 %, 금속 패널은 25년 주기로 5 % 수선하는 것으로 설정 하였고,패널시스템에 따른 기타부속품들의 금속 제품들은 철제 및 알루미늄의 기준에 맞추어 다음 표 3-101과 같이 가정하였다.

표 3-101. 단열외벽 시스템의 수선주기 및 수선율

구분	명칭	수선주기(년)	수선율(%)	교체주기(년)
압출성형세라믹 패널	압출성형세라믹패널	8	15	20
	ㄷ-채널	10	20	30
	L-Clip	10	20	30
	볼트	10	20	30
	앵커볼트	10	20	30
	브라켓	10	20	30
	실리콘	6	100	-
금속 패널	금속 패널	10	20	30
	각형 파이프	10	10	25
	파스너	10	20	30
	실리콘	6	100	-
	백업재	6	100	-
석재 패널	석재 패널	25	5	30
	ㄴ-앵글	10	20	30
	조정판	10	20	30
	고정핀	10	20	30
	앵커볼트	10	20	30
	실리콘	6	100	-

(5) 확정적 LCC 구성항목별 비용분석

본 연구에서는 표 3-102와 같이 LCC 분석의 구성항목을 크게 초기투자비, 유지관리비, 해체・폐기비로 구분하였다.

표 3-102. LCC 분석의 구성항목

대분류	중분류	소분류
초기투자비	시설투자비	직접공사비(재료비, 노무비)
유지관리비	장기수선비	보수비, 교체비
해체・폐기비	해체・폐기처분비	해체비
		폐기처분비

다. 확정적 LCC 비용 분석

(1) 초기투자비용

단열외벽시스템별 초기투자비용은 표 3-103 ~ 3-105와 같이 압출성형세라믹 패널과 금속 패널 및 석재 패널에 대해 일위대가로 산출하였고, 표 3-106 및 그림 3-176은 단열외벽시스템 종류별 초기투자비용을 비교하여 나타낸 것이다.

단열외벽시스템별 초기투자비용은 압출성형세라믹 패널의 경우 84,313 원/㎡, 금속 패널 125,490 원/㎡, 석재 패널 91,595 원/㎡으로 나타났다. 압출성형세라믹 패널은 금속패널보다 약 41,177 원/㎡ 정도 가격이 낮은 것으로 나타났는데, 이는 금속패널의 높은 재료비와 시공 시 인부들의 어려움으로 시공비가 높게 책정되어 나타난 것으로 분석된다. 또한, 석재 패널의 경우 금속패널에 비해 33,895 원/㎡ 정도 가격이 낮은 것을 나타나 단열외벽 시스템 중 금속 패널의 경우 초기공사비가 가장 높게 책정되어 시공 시 공사비가 많이 투입되므로 타 단열공법에 비해 불리한 것으로 분석되었다.

표 3-103. 압출성형세라믹 패널시스템의 일위대가

(단위 : 원/㎡)

구분	명칭	규격	단위	수량	단가	금액
압출 성형 세라믹 패널 시스템	베이스 패널	THK 35	㎡	1	27,313	27,313
	긴결철물		㎡	1.0	22,000	22,000
	실리콘	R-789	㎡	1.0	5,000	5,000
	철물설치비	-	kg	10.6	450	4,770
	패널설치비	-	㎡	1.0	18,000	18,000
	장비비	-	㎡	1.0	1,000	1,000
	운반비	-	㎡	1.0	1,000	1,000
	안전관리비	-	%	1.88		1,230
	공과잡비	-	%	5.0		4,000
	합계	-	-	-		84,313

표 3-104. 금속 패널시스템의 일위대가

(단위 : 원/㎡)

구분	명칭	규격	단위	수량	단가	금액
금속 패널 시스템	각형파이프	0.04×0.04×6 m	본	1.0	15,660	15,660
	긴결철물	-	㎡	1.0	22,000	22,000
	패널(재료)	-	㎡	1.05	30,000	31,500
	실리콘	R-789	㎡	1.0	5,000	5,000
	백업재	15 m/m	m	30.0	40	1,200
	용접공	금속공사	인	1.0	42,900	42,900
	장비비	-	㎡	1.0	1,000	1,000
	운반비	-	㎡	1.0	1,000	1,000
	안전관리비	-	%	1.88		1,230
	공과잡비	-	%	5.0		4,000
	합계	-	-	-	-	125,490

표 3-105. 석재 패널시스템의 일위대가

(단위 : 원/㎡)

구분	명칭	규격	단위	수량	단가	금액
석재 패널 시스템	석재패널	900	㎡	1.05	319,000	31,900
	긴결철물		㎡	1.0	24,420	24,420
	실리콘	R-789	㎡	1.0	5,000	5,000
	철물설치비	-	kg	10.6	450	4,770
	패널설치비	-	㎡	1.0	18,000	18,000
	장비비	-	㎡	1.0	1,000	1,000
	운반비	-	㎡	1.0	1,000	1,000
	안전관리비	-	%	1.88		1,505
	공과잡비	-	%	5.0		4,000
	합계	-	-	-	-	91,595

표 3-106. 단열외벽시스템 종류별 초기투자비용

(단위 : 원/㎡)

구분	재료비	노무비	합계
압출성형세라믹 패널	55,000	30,000	84,313
금속 패널	75,360	50,130	125,490
석재 패널	61,320	30,275	91,595

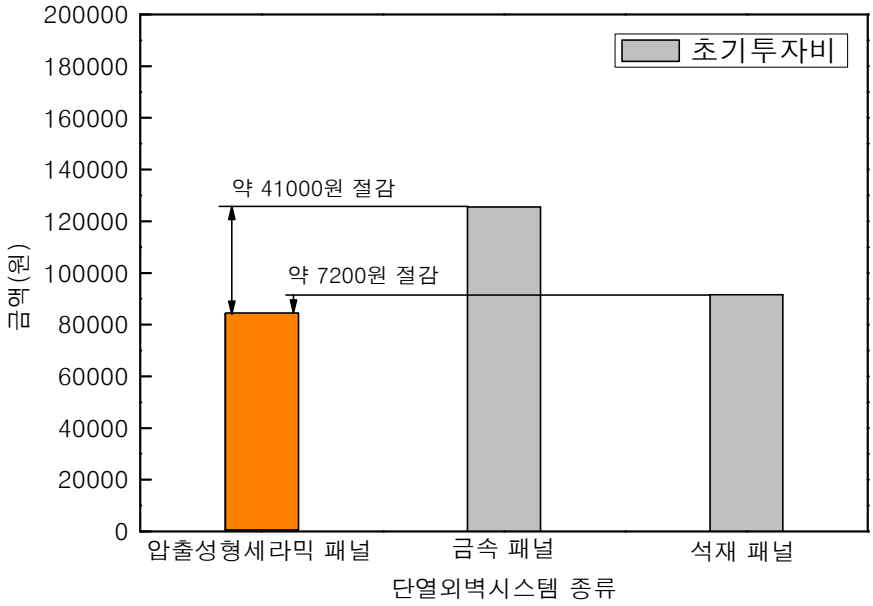


그림 3-176. 단열외벽 시스템 종류별 초기공사비 (단위 : 원/㎡)

(2) 유지관리비용

유지관리비용은 상기의 가정과 같이 생애주기 45년, 실질할인율 4.5%로 가정하였고, 표 3-107과 같이 수선·교체비를 토대로 단열외벽시스템 종류별 유지관리비용을 산출하였으며, 표 3-108과 그림 3-177은 수선율과 수선주기에 따라 단열외벽시스템 종류별 유지관리비용을 현재가치비용으로 환산하여 나타낸 것이다.

또한, 단열외벽시스템의 유지관리비용을 구하는 산출식은 아래와 같은 공식을 이용하여 구할 수 있다.

먼저, 압출성형세라믹 패널의 경우 금속패널보다 저렴한 것으로 나타났는데, 유지관리비용은 약 39,000 원/㎡ 정도, 해체 및 폐기비는 약 3,500 원/㎡ 정도 낮은

것으로 분석되었다. 이는 세라믹패널의 경우 원소재의 저렴한 가격과 간편한 수선으로 금속패널보다 가격이 낮은 것으로 분석된다. 또한 석재 패널의 경우 압출성형 세라믹 패널에 비해 9,208 원/㎡ 정도 비용이 높은 것으로 분석되었으며, 금속 패널에 비해서는 30,312 원/㎡ 정도 저렴한 것으로 분석되었는데, 금속 패널의 경우 초기공사비와 마찬가지로 유지관리비용이 가장 높은 것으로 분석되었는데, 이는 금속패널을 구성하는 부속자재의 교체주기가 잦아 타 단열외벽시스템에 비해 유지관리비용이 높은 것으로 분석되었다.

표 3-107. 단열외벽시스템 종류별 수선 및 교체주기에 따른 수선·교체비

(단위 : 원/㎡)

LCC 항목	수선율(%)	수선주기/회수	교체주기	수선·교체비
압출성형 세라믹 패널	15	8년/4회	20년	49,695
금속 패널	20	10년/4회	30년	89,215
석재 패널	5	25년/1회	30년	58,903

$$P = \frac{1}{(1+i)^n} \times F \quad \cdots\cdots (3.1)$$

여기서, · P = 현재가치
· F = 미래발생비용
· i = 할인율
· n = 비용발생총기간

표 3-108. 단열외벽시스템 종류별 수선·교체비용

(단위 : 원/㎡)

구분	수선비용	교체비용	합계
압출성형 세라믹 패널	27,430	22,265	49,695
금속패널	48,894	40,321	89,215
석재패널	28,080	30,822	58,902

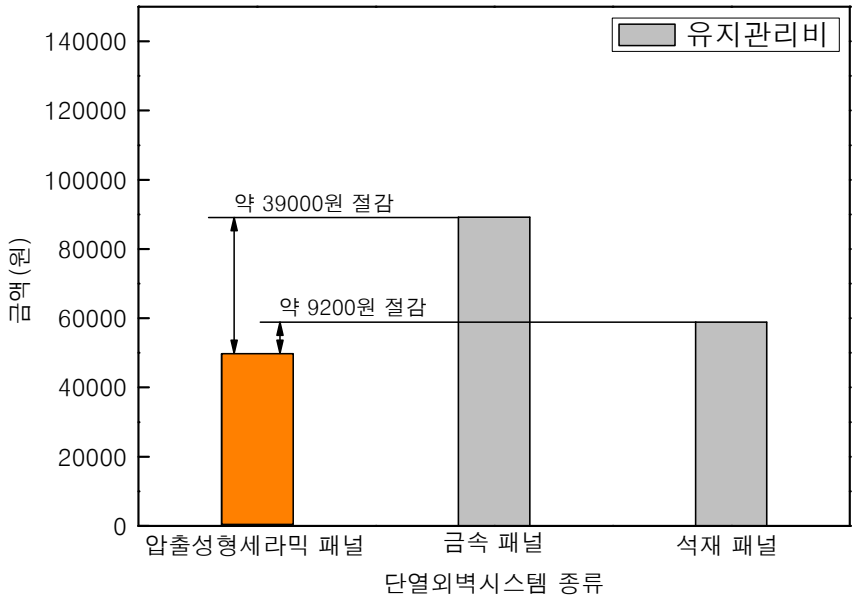


그림 3-177. 단열외벽시스템 종류별 유지관리비용 (단위 : 원/㎡)

(3) 해체・폐기비용

해체・폐기비용은 건축물의 내구수명이 끝나는 시점인 40∽50년후에 단 한번만 발생하는 비용으로 해체비, 폐기처분비, 잔존가치 등으로 구성된다.

그러나, 본 연구에서는 표 3-109와 같이 해체비, 폐기처분비만을 고려하였으며, 실질적인 해체 및 폐기비용을 산출할 수 없어 해체・폐기 전문업체의 견적결과를 기반으로 근사값을 적용하였다.

그림 3-178은 단열외벽시스템 종류별 해체·폐기비를 나타낸 것으로써 단열외벽시스템 종류별 폐기비용의 차이는 거의 없는 것으로 분석되었다.

표 3-109. 단열외벽시스템 종류별 해체・폐기비용

(단위 : 원/㎡)

LCC 항목	해체・폐기비용
압출성형세라믹 패널	4,823
금속 패널	8,339
석재 패널	8,339

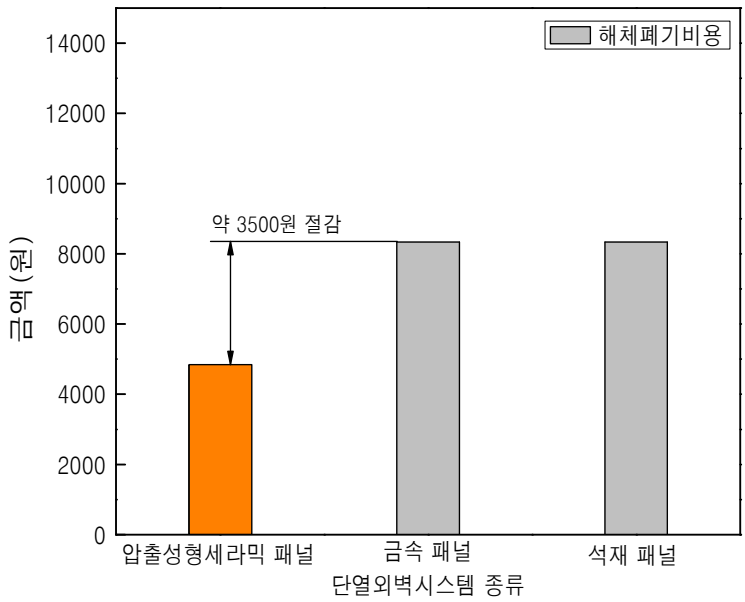


그림 3-178. 단열외벽 시스템 종류별 해체・폐기비용

(4) 생애주기 총 비용 경제성 평가결과

표 3-110은 단열외벽시스템 종류별 초기투자비용 및 유지・해제비용까지 총 LCC 비용을 현재가치로 분석하였으며, 그림 3-179는 마감종류별 분석기간에 따른 LCC 누적 비용을 나타낸 것이다.

압출성형세라믹 패널의 LCC 총비용은 138,831 원/㎡으로 금속 패널에 비해 약 223,044 원/㎡ 정도 절감되는 것으로 분석되었으며, 상호 간의 Life Cycle 총비용 차이는 대략 1.6배 정도 크게 차이가 나는 것으로 분석되었다. 석재 패널의 경우 금속 패널에 비해 약 64,207 원/㎡ 정도 차이 가는 것으로 분석되었으며, 상호 간의 Life Cycle 총 비용 편차는 대략 0.7배 정도로 압출성형세라믹 패널과 마찬가지로 높게 차이가 나는 것으로 분석되었다. 최종적으로 단열외벽 패널시스템 종류별 Life Cycle 총 비용분석 결과 압출성형세라믹 패널을 사용할 경우 여타 단열외벽 패널시스템에 비해 낮은 재료단가와 적은 수선·교체비용으로 경제성이 가장 높은 것으로 분석되었다.

표 3-110. 단열외벽시스템 종류별 LCC 비용 분석

(단위 : 원/㎡)

구분	초기투자비용	유지관리비용	해체·폐기비용	총 LCC 비용	상대비율(%)
압출성형세라믹 패널	84,313	49,695	4,823	138,831	1.00
금속 패널	125,490	89,215	8,339	223,044	1.60
석재 패널	91,595	58,903	8,339	158,837	1.14

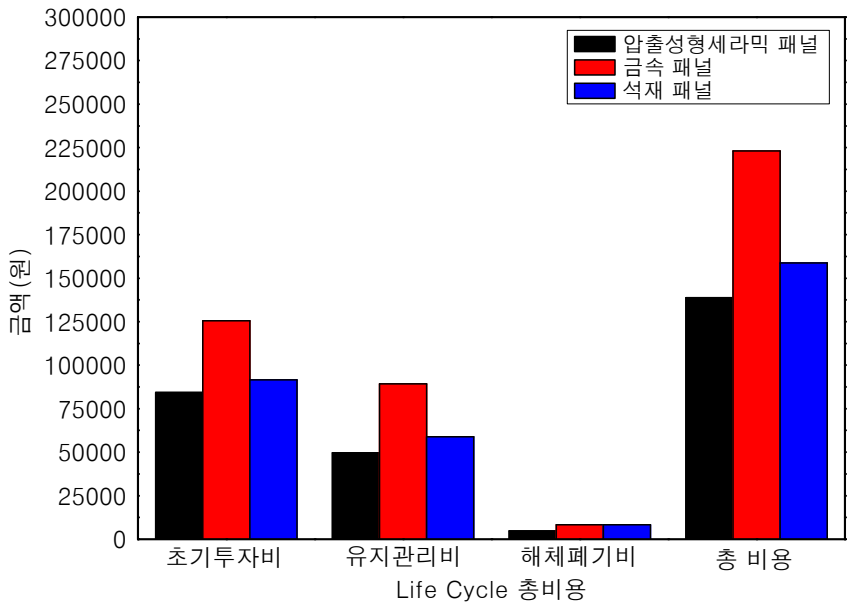


그림 3-179. 단열외벽시스템 종류별 Life Cycle 총 비용 결과

3. 공정분석

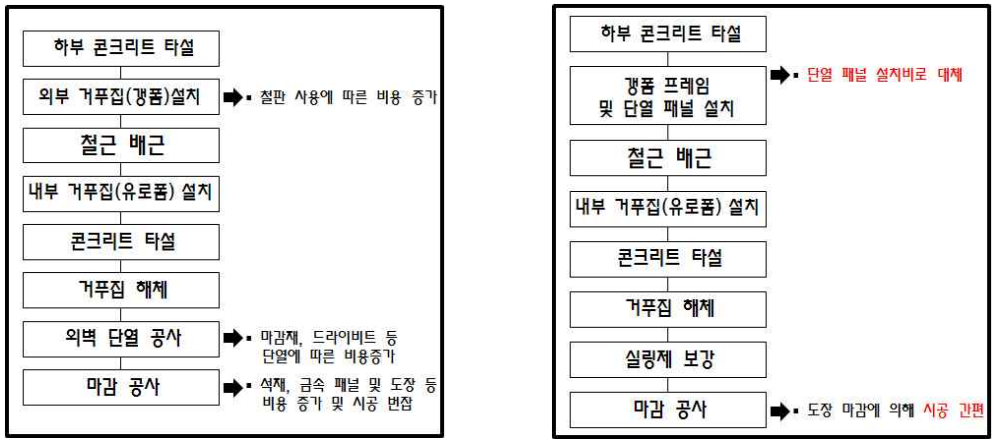
가. 개요

압출성형세라믹 패널은 거푸집 역할이 가능한 콘크리트 일체형 고성능 단열 패널로 간편한 시공 및 시공상 공정 감소에 기인하여 총 공사비용 절감이 가능하여 금속 패널 및 석재 패널 혹은 기타 단열 및 마감 공사에 비하여 공사비를 절감시킬 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 공동주택(아파트) 현장을 대상으로 일반적으로 사용되는 거푸집 공사와 외벽 단열 시스템 및 압출성형세라믹 패널 시스템의 일위대가를 2010년 건설공사 표준품셈을 적용하여 산정하고, 각 시스템의 시공 공정에 따른 공사비를 비교 분석하고자 한다.

(1) 단열 외벽 시스템 별 설치 공정 비교

그림 3-180은 단열 외벽 시스템 별 설치 공정을 나타낸 것이다. 패널 시스템의 설치 공정은 일반적인 단열 외벽 시스템을 기본으로 하지만 압출성형세라믹 패널에 사용되는 갱폼의 경우는 단열 패널 자체가 거푸집 역할이 가능함으로 철판이 불필요하게 되고, 이에 따라 공사비 절감이 가능하게 되며, 철판 제거에 따라 저감되는 비용이 단열 패널설치에 소요되는 비용을 일부 부담함으로 전체 공정에 소요되는 공사비를 줄일 수 있게 된다. 또한, 일체화된 패널을 시공함에 따라 거푸집 해체 후 별도에 추가 공정 없이 간단한 도장 마감만으로 공사가 마무리됨으로 시공이 간편한 장점을 갖게 되는 반면, 일반적인 외벽 단열 공법의 경우는 거푸집 해체 후 단열재 설치, 보호 매시 설치 및 미장 공사 등 복합한 공정 필요로 하고, 단열 공사 후 마감재 종류에 따라 추가 비용이 발생하는 문제점이 발생하게 된다.



a) 일반적인 단열 외벽 시스템 b) 압출성형세라믹 패널 시스템

그림 3-180. 단열 외벽 시스템 별 설치 공정

(2) 일반 외벽 단열 시스템

(가) 하부 슬래브 타설

그림 3-181은 거푸집 공사 전 하부 슬래브 콘크리트의 타설을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 외벽 단열 시스템을 기준으로 공정별 공사비를 산출함으로 초기 슬래브 타설과 관련한 공사비는 제외하는 것으로 하였다.



그림 3-181. 하부 슬래브 콘크리트 타설

(나) 거푸집(갱폼) 설치

그림 3-182은 공동주택(아파트) 시공 시 적용되는 거푸집(갱폼) 설치 모습을 나타낸 것이고, 표 3-111은 거푸집(갱폼) 공사시 일위대가를 나타낸 것이다. 2010년 표준품셈을 기준으로 일위대가를 산정한 결과 거푸집 공사 시 일위대가는 ㎡당 100,663원으로 조사 되었다.



그림 3-182. 외부 갱폼 설치

표 3-111. 거푸집(갱폼) 공사 일위대가

(원/㎡당)

명칭		규격	단위	수량	자재비		노무비		합계	
					단가	금액	단가	금액	단가	금액
거푸집 공사	갱폼	3.0~3.2 m	㎡	1	92,000	92,000			92,000	92,000
	형틀 목공	-	인	0.067			100,469	6,731	100,469	6,731
	보통 인부	-	인	0.029			66,622	1,932	66,622	1,932
합계					92,000	92,000	167,091	8,663	259,091	100,663

(다) 철근 배근

그림 3-183은 거푸집(갱폼) 설치 후 철근 가공 및 조립 공정의 모습을 나타낸 것이고, 표 3-112는 철근 조립 및 가공 시 ton 당 일위대가를 나타낸 것이다. 철근 배근 시 공사비는 철근의 규격에 따라 다소 차이를 보이지만 HD 13을 기준으로 ton 당 260,941원으로 조사 되었다.



그림 3-183. 외부 갱폼 설치

표 3-112. 철근가공 및 조립 일위대가

(원/ton당)

명칭		규격	단위	수량	자재비		노무비		합계	
					단가	금액	단가	금액	단가	금액
철근 배근	철근	HD 10	ton	210	790	165,900			790	165,900
		HD 13		120	780	93,600			780	93,600
		HD 16		75	775	58,125			775	58,125
	철근가공	-	인	1.24			110,775	137,362	110,775	137,362
	철근조립	-	인	0.45			66,622	29,979	66,622	29,979
합계[1)]					780	93,600	177,397	167,341	178,177	260,941

1) HD 13 기준으로 산정

(라) 내부 거푸집 설치

그림 3-184은 유로폼을 기준으로 한 내부 거푸집 조립 모습을 나타낸 것이고, 표 3-113은 철근 배근 후 내부 거푸집 조립 시 일위대가를 나타낸 것이다. 내부 거푸집(유로폼) 설치 시 일위대가는 ㎡당 137,154원으로 조사 되었다.



그림 3-184. 내부 거푸집(유로폼) 설치

표 3-113. 거푸집(유로폼) 공사 일위대가

(원/㎡당)

명칭		규격	단위	수량	자재비		노무비		합계	
					단가	금액	단가	금액	단가	금액
거푸집 공사	패널	600×1200	매	0.71	27,600	1,959			27,600	1,959
	코너패널	200×1200	매	0.02	14,850	297			14,850	297
	웨이지핀	-	개	19.002	96	1,824			96	1,824
	플랫타이	-	개	20.026	136	2,724			136	2,724
	강관파이프	-	m	0.773	1,433	1,108			1,433	1,108
	크램프	-	개	2.827	968	2,737			968	2,737
	박리제	-	L	0.125	600	75			600	75
	형틀목공	-	인	0.96			100,469	96,450	100,469	96,450
	보통인부	-	인	0.45			66,622	29,980	66,622	29,980
합계					45,683	10,724	167,091	126,430	212,774	137,154

(마) 콘크리트(레미콘) 타설

그림 3-185는 벽체 콘크리트 타설 모습을 나타낸 것이다. 콘크리트의 일위대가는 레미콘 규격에 따라 상이한 값이 산정됨으로 본 연구에서는 생략하는 것으로 한다.

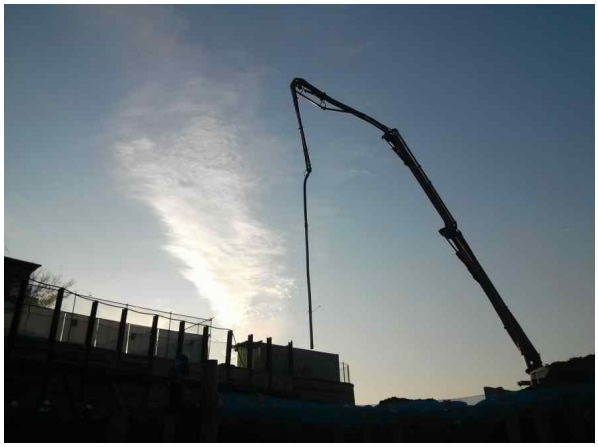


그림 3-185. 콘크리트 타설

(바) 거푸집 해체

거푸집 해체 공사 시 일위대가는 “(나) 거푸집 설치” 및 “(라) 내부거푸집 설치”와 동일함으로 재료비를 제외한 노무비만을 계상하는 것으로 하여 ㎡당 8,663원으로 산출 되었다.

(사) 외벽 단열 공사

그림 3-186은 건설현장에서 일반적으로 사용되는 EPS보드를 이용한 외벽 단열 공사 모습을 나타낸 것이다. 표 3-114는 외벽단열공사의 일위대가를 나타낸 것이다. 공동주택의 외벽 단열 시 일위대가는 단열재 종류에 따라 서로 상이하게 달라지게 된다. 건설현장에서 일반적으로 사용되고 있는 단열재로는 EPS 보드가 가장 많이 사용되어 지는데 EPS 보드를 기준으로 산출한 외벽 단열 공사의 일위대가는 ㎡당 176,174원으로 산정되었다. 단, 단열 공법으로 드라이비트 공법 및 기타 단열재에 의한 공법의 경우 일위대가는 단열재 단가에 따라 상이하게 달라지게 된다.



그림 3-186. 아파트 외벽 단열 시공

표 3-114. 외벽단열 공사 시 일위대가

(원/㎡당)

명칭		규격	단위	수량	자재비		노무비		합계	
					단가	금액	단가	금액	단가	금액
외벽 단열 공사	단열판	EPS보드	㎡	1.10	6,420	7,062			6,420	7,062
	접착제		Kg	3.84	3,200	12,288			3,200	12,288
	마감재	미장용	Kg	4.09	27,000	110,430			27,000	110,430
	보강매시	유리섬유	㎡	1.44	2,900	4,176			2,900	4,176
	시멘트		Kg	3.84	4,300	16,512			4,300	16,512
	내장공		인	0.04			95,706	3,828	95,706	3,828
	미장공		인	0.17			93,579	15,908	93,579	15,908
	보통인부		인	0.09			66,622	5,996	66,622	5,996
합계[1]					43,820	150,468	255,907	25,732	299,727	176,200

1) EPS 보드 기준으로 산정

(3) 압출성형세라믹 패널 시스템

본 연구팀에서 개발한 압출성형세라믹 패널 시스템은 실제 건설현장에 적용된 사례가 없음으로 일반 단열 패널 시스템을 기준으로 하여 예상 공사비를 산출하는 것으로 하였다.

(가) 하부 슬래브 타설

그림 3-187는 압출성형세라믹 패널 시스템의 거푸집 공사 전 하부 슬래브 콘크리트의 타설을 나타낸 것이다. 앞서 설명한 것과 마찬가지로 외벽 단열 공사 시스템을 기준으로 공정별 공사비를 산출함으로 초기 슬래브 타설과 관련한 공사비는 제외하는 것으로 한다.



그림 3-187. 하부 슬래브 콘크리트 타설

(나) 단열 패널 부착 및 거푸집 설치

그림 3-188은 공동주택(아파트) 시공 시 적용되는 거푸집(갱폼) 설치 모습을 나타낸 것이고, 표 3-115는 거푸집(갱폼) 공사시 일위대가를 나타낸 것이다. 압출성형세라믹 패널 시스템을 적용할 경우 갱폼의 철판이 불필요함으로 아연도금 철판으로 가정하여 갱폼의 일위대가에서 제외하였고, 추가로 압출성형 세라믹 단열 패널의 비용을 추하여 일위대가를 산출하였다. 그 결과 ㎡당 164,516원으로 조사되었다.




그림 3-188. 단열 패널 부착 및 거푸집 설치

표 3-115. 거푸집(갱폼) 공사 일위대가

(원/㎡당)

명칭		규격	단위	수량	자재비		노무비		합계	
					단가	금액	단가	금액	단가	금액
거푸집 공사	갱폼	-	㎡	1	71,540	71,540			71,540	71,540
	단열 패널	1600×900×35	㎡	0.73	84,313	84,313			84,313	84,313
	형틀 목공	-	인	0.067			100,469	6,731	100,469	6,731
	보통 인부	-	인	0.029			66,622	1,932	66,622	1,932
합계					155,853	155,853	167,091	8,663	322,944	164,516

(다) 철근 배근

그림 3-189는 거푸집(갱폼) 설치 후 철근 배근의 모습을 나타낸 것이고, 표 3-116은 철근 조립 및 가공 시 ton 당 일위대가를 나타낸 것이다. 철근 배근 시공사비는 일반 외벽 단열 시스템과 동일한 방법으로 시공됨으로 앞에서 산출한 일반 외벽 단열 시스템의 철근 배근시 소요되는 일위대가를 그대로 적용하는 것으로 하여 HD 13을 기준으로 ton 당 260,941원을 적용하였다.



그림 3-189. 철근배근

표 3-116. 철근가공 및 조립 일위대가

(원/ton당)

명칭		규격	단위	수량	자재비		노무비		합계	
					단가	금액	단가	금액	단가	금액
철근 배근	철근	HD 10	ton	210	790	165,900			790	165,900
		HD 13		120	780	93,600			780	93,600
		HD 16		75	775	58,125			775	58,125
	철근가공	-	인	1.24			110,775	137,362	110,775	137,362
	철근조립	-	인	0.45			66,622	29,979	66,622	29,979
합계1)					780	93,600	177,397	167,341	178,177	260,941

1) HD 13 기준으로 산정

(라) 내부 거푸집 설치

그림 3-190은 유로폼을 기준으로 한 내부 거푸집 조립 모습을 나타낸 것이고, 표 3-117은 철근 배근 후 내부 거푸집 조립 시 일위대가를 나타낸 것이다. 내부 거푸집(유로폼) 설치시 일위대가는 ㎡당 137,154원으로 조사 되었다.



그림 3-190. 내부 거푸집(유로폼) 설치

표 3-117. 거푸집(유로폼) 공사 일위대가

(원/㎡당)

명칭		규격	단위	수량	자재비		노무비		합계	
					단가	금액	단가	금액	단가	금액
거푸집 공사	패널	600×1200	매	0.71	27,600	1,959			27,600	1,959
	코너패널	200×1200	매	0.02	14,850	297			14,850	297
	웨이지핀	-	개	19.002	96	1,824			96	1,824
	플랫타이	-	개	20.026	136	2,724			136	2,724
	강관파이프	-	m	0.773	1,433	1,108			1,433	1,108
	크램프	-	개	2.827	968	2,737			968	2,737
	박리제	-	L	0.125	600	75			600	75
	형틀목공	-	인	0.96			100,469	96,450	100,469	96,450
	보통인부	-	인	0.45			66,622	29,980	66,622	29,980
합계					45,683	10,724	167,091	126,430	212,774	137,154

(마) 콘크리트(레미콘) 타설

그림 3-191은 벽체 콘크리트 타설 모습을 나타낸 것이다. 콘크리트의 일위대가는 레미콘 규격에 따라 상이한 값이 산정됨으로 본 연구에서는 생략 하는 것으로 한다.

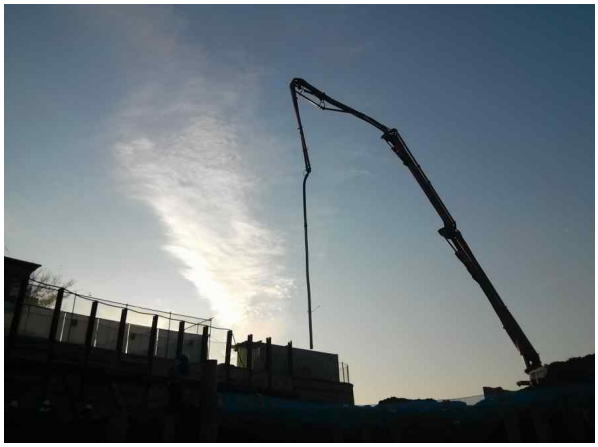


그림 3-191. 콘크리트 타설

(바) 거푸집 해체

거푸집 해체 공사 시 일위대가는 “(2) 일반 외벽 단열 시스템”의 “(바) 거푸집 해체”와 동일하게 적용하였다.

(사) 마감 공사

그림 3-192는 마감공사로 페이트 도장 모습을 나타낸 것이고, 표 3-118은 거푸집 해체 후 페이트 도장 공사 시 일위대가를 나타낸 것이다. 공동주택(아파트) 외벽 단열 시 압출성형 세마릭 패널을 사용할 경우 패널 표면이 평탄하고 매끄러워 별도의 처리 공정 없이 페인트 도장으로 마감이 가능하게 됨으로 일반 아파트 외벽 마감에 사용되는 수성 페인트 마감을 기준으로 일위대가를 산정한 결과 ㎡당 19,467원으로 산출되었다.



그림 3-192. 페인트 도장 마감

표 3-118. 도장 공사 일위대가

(원/㎡당)

명칭		규격	단위	수량	자재비		노무비		합계	
					단가	금액	단가	금액	단가	금액
거푸집 공사	수성 페인트	1회	L	0.098	3,750	368			3,750	368
		2회		0.197		739				739
		3회		0.296		1,110				1,110
	연마지	1회	매	-	210	-			210	-
		2회		0.125		26				26
		3회		0.25		53				53
	넝마	-	Kg	0.01	1,650	17			1,650	17
	도장공	1회	인	0.028	93,734			2,625	93,734	2,625
		2회		0.061				5,718		5,718
		3회		0.094				8,811		8,811
합계					5,610	2,313	93,734	17,154	99,344	19,467

(4) 외벽 단열 시스템 별 시공 공정에 따른 공사비 비교

표 3-119는 외벽 단열 시스템 별 시공공정에 따른 공사비를 나타낸 것이다. 외벽 단열 시스템 별 공사비는 압출성형 세라믹 패널의 경우 590,738 원/㎡, 일반 외벽 단열 시스템은 682,618 원/㎡으로 산출되어 압출성형세라믹 패널 시스템을 적용할 경우 약 91,000원/㎡ 정도 절감이 가능한 것으로 조사되었다. 이는 압출성형세라믹 패널 시스템을 적용함에 따라 초기 패널 부착에 따른 공사비는 추가되지만 거푸집 철판 제거에 의해 발생되는 비용 절감으로 대체하고, 별도의 단열 공사가 불필요함으로 그에 따른 비용이 절감됨에 기인한 것으로 판단된다. 또한, 압출성형 세라믹 패널 시스템은 비탈형 거푸집 개념의 콘크리트 일체형 패널로 표면이 평탄하고 매끄러워 간단한 페이트 도장 공사만으로도 마감이 가능하기 때문에 시공이 간편한 장점이 있다.

표 3-119. 공정 별 공사비

일반 외벽 단열 시스템			압출성형 세라믹 패널 시스템		
공정	공사비		공정	공사비	
하부 콘크리트 타설	공사비에서 제외		하부 콘크리트 타설	공사비에서 제외	
외부 거푸집 설치	㎡	100,663	외부 거푸집의 철판 제거 후 단열 패널 부착 및 거푸집 설치[1)]	㎡	164,516
철근 배근	ton	260,941	철근배근	ton	260,941
내부 거푸집 설치	㎡	137,154	내부 거푸집 설치	㎡	137,154
콘크리트 타설	-	공사비에서 제외	콘크리트 타설	-	공사비에서 제외
거푸집 해체	㎡	8,660	거푸집 해체	㎡	8,660
외벽 단열 공사[2)]	㎡	175,200	마감공사[3)]	㎡	19,467
합계		682,618	합계		590,738

1) 압출성형 세라믹 패널 공사비 포함, 2) EPS보드 기준, 3) 페인트 도장 기준

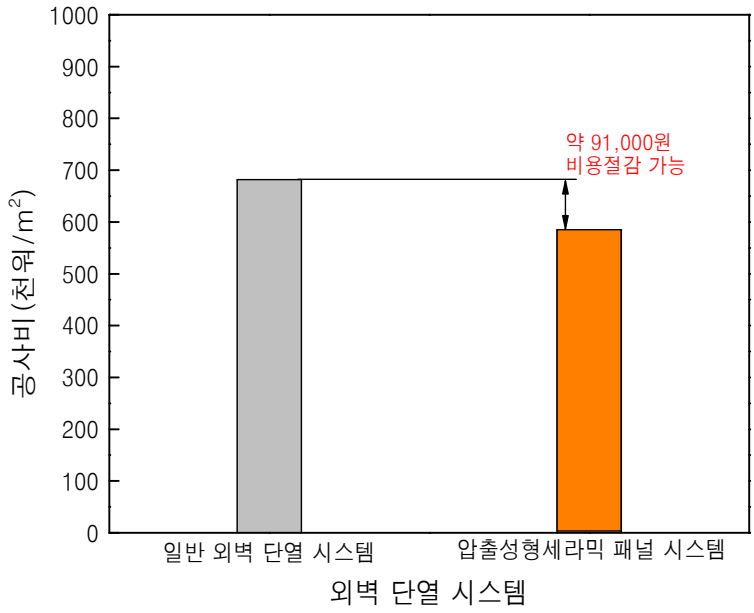
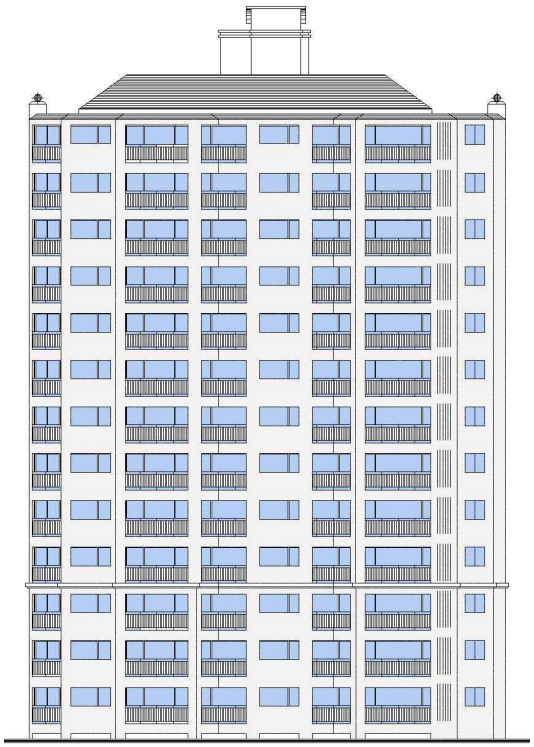


그림 3-193. 공사비 비교

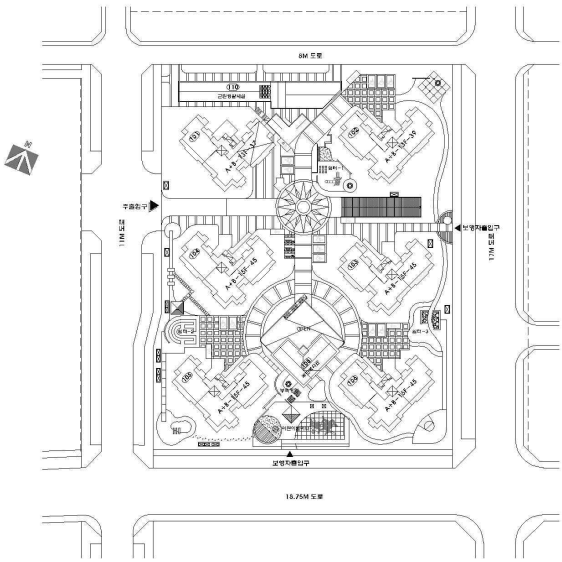
(5) 공동주택(아파트) 현장 공사비 산출

(가) 공사 개요

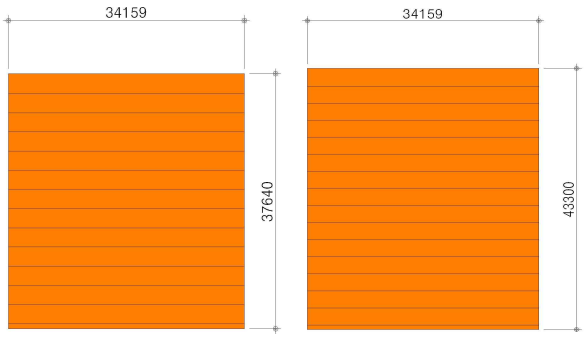
그림 3-194는 충북 청주시에 위치한 공동주택(아파트) 공사 현장의 배치도 및 입면도를 나타낸 것이고, 표 3-120은 공동주택(아파트) 공사 현장의 건축 개요를 나타낸 것이다. 대상 건축물은 층고 2.83 m～2.93 m, 13～15층의 건축물로 동별 입면적을 산출한 결과 표 3-121과 같다. 즉, 101동 및 102동의 건축물 높이는 37.64 m로 입면적은 1,286 ㎡으로 산출되었고, 103～106동은 건축물 높이 43.30 m로 입면적은 1,479 ㎡로 산출되었으며 입면적 산출 근거는 그림 3-194 c) 및 표 3-121과 같다.



a) 입면



b) 배치도



101동, 102동 103~106동

c) 산출 근거

그림 3-194. 대상 현장 모습

표 3-120 건축개요

구분	공사 개요	비고
공사명	“S”사 아파트 신축공사 현장	
대지위치	충북 청주시 흥덕구 ○ ○	
지역지구	2종 일반주거지역, 택지개발지구	
대지면적	13882 m2	
건축면적	3137 m2	
연면적	47870 m2	
건폐율	22.59 %	
최고높이	46 m	
세대수	256세대 (A, A-1: 170 세대, B : 86 세대)	

표 3-121 1개동의 입면적 산출

동수	층수	산출(벽면직선거리×높이)	입면적
101동	13층	34,159×37.64	1,286
102동	13	34,159×37.64	1,286
103동	15	34,159×43.30	1,479
104동	15	34,159×43.30	1,479
105동	15	34,159×43.30	1,479
106동	15	34,159×43.30	1,479

표 3-122 동별 공사비

일반 외벽 단열 시스템			압출성형 세라믹 패널 시스템		
동수	산출내역	동별 공사비(천원)	동수	산출내역	동별 공사비(천원)
101	1,286×175,200	225,307	101	1,286×104,467	134,361
102	1,286×175,200	225,307	102	1,286×104,467	134,361
103	1,479×175,200	259,120	103	1,479×104,467	153,490
104	1,479×175,200	259,120	104	1,479×104,467	153,490
105	1,479×175,200	259,120	105	1,479×104,467	153,490
106	1,479×175,200	259,120	106	1,479×104,467	153,490
합계[1]		1,487,094	합계[2]		882,682

1) EPS 보드 부착 공사 기준
2) 압출성형 세라믹 패널공사(85,000원) + 페인트 도장공사(19,467원) 기준

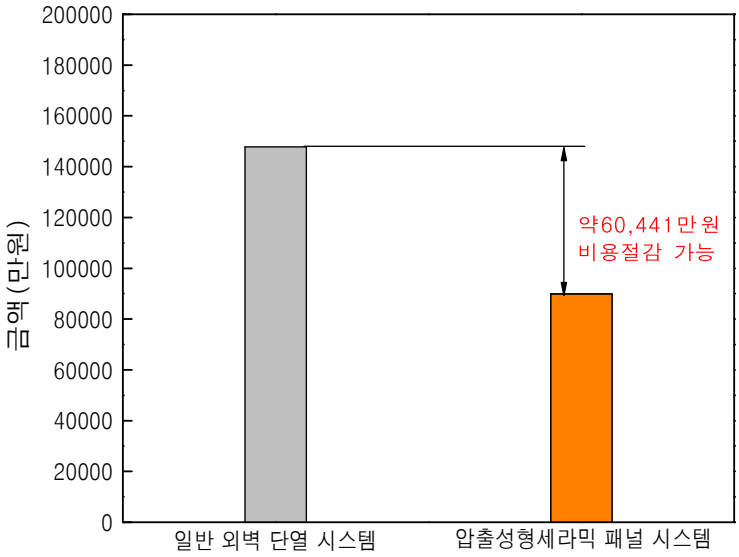


그림 3-195. 동별 공사비

표 3-122는 대상 현장의 입면적 산출 근거를 대상으로 표 3-119의 공정별 공사비 중 일반 외벽마감 공사와 압출성형세라믹 공사에 해당하는 외벽마감 공사비만을 적용하여 대상 현장의 동별 총 공사비를 산출한 것이다.

먼저 일반외벽 단열 시스템을 적용한 대상 현장의 동별 공사비는 101동 및 102동의 경우 22,531만원으로 산출되었고, 103동~106동의 경우 25,912만원으로 총 148,709만원의 공사비가 소요되는 것으로 나타난 반면, 압출성형 세라믹 패널 시스템을 적용한 대상현장의 동별 공사비는 101동 및 102동의 경우 13,436만원으로, 103동~106동의 경우는 15,349만원으로 총 88,268만원의 공사비가 산출되어 일반 외벽단열 시스템에 비하여 약 60,441만원의 공사비가 절감되는 것으로 나타났다.

다. 결론

본 연구에서는 공동주택(아파트) 현장을 대상으로 일반 외벽 단열 시스템과 압출성형세라믹 패널 시스템의 공정 별 일위대가를 산정하고, 공사비를 비교 분석하였는데 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 공정별 일위대가 산정에 의한 공사비를 비교 분석한 결과, 압출성형세라믹 패널 시스템은 590,738 원/㎡의 공사비를 나타내었고, 일반 외벽 단열 시스템을 적용한 경우 단열재 및 외부 마감재에 따라 다소 상이한 차이를 나타낼 수 있으나 일반적으로 사용되는 EPS 보드 및 석재패널 부착 공법을 기준으로 하였을시 682,618 원/㎡으로 압출성형 세라믹 패널 시스템에 비하여 약 91,000 원/㎡ 정도의 공사비가 증가되는 것으로 나타났다.

(2) 공동주택(아파트) 현장을 대상으로 외벽단열 시스템간의 동별 공사비를 산출한 결과, 일반 외벽 단열 시스템의 경우 총 공사비는 148,709만원의 공사비를 나타내었고, 압출성형세라믹 패널 시스템의 경우는 88,268만원으로 약 60,441만원의 공사비가 절감되는 것으로 나타나 경제성 차원에서 압출성형세라믹 패널 시스템이 일반 외벽 단열 시스템에 비하여 효과적인 것으로 분석되었다.

제 8 절 결론

본 기술개발은 콘크리트 타설시 거푸집 역할이 가능한 무기계의 콘크리트 일체형 고성능 단열 패널을 개발하고 또한 외단열 패널을 효율적으로 시공할 수 있는 시공 시스템을 개발하고자 하는 것이며, 이를 위해 설정한 최종목표 및 결과는 다음과 같다.

1. 차열 및 고반사율의 목표 성능을 만족하는 세라믹도료 개발

단열을 목적으로 차열 및 고반사 성능을 가진 열반사 도료를 개발하기 위해 원천소재인 차열안료(TiO_2, 알루미늄 paste, 근적외선 반사 펄안료, 중공안료 등)와 안료의 색상에 따른 일사반사율 및 표면열복사율에 대해 검토하여 차열안료는 TiO_2가 반사율 및 차열성능이 가장 우수하였고, 안료의 색상은 Block과 Yellow에서 가장 우수하게 나타났다. 또한 안료 종류 및 함량별 검토후 단열패널용 차열 및 고반사 도료를 개발한 결과 기존 도료에 비해 일사반사율 및 표면 열복사율이 현저히 저하되는 결과를 얻을 수 있었다. 도료의 내후성을 검토하기 위해 촉진 내후성 시험 및 옥외 폭로 시험을 실시하였고, 그 결과 색차가 3.0이하로 나타나 단열패널용 차열 및 고반사 도료의 개발이 완료할 수 있었다.

2. 무기질계 단열패널의 원천소재 특성 검토

무기질계 단열 패널의 개발을 위해서는 단열소재의 선택이 중요다. 따라서, 사용량이 많은 발포 폴리스티렌과 화재 및 균열에 효과적인 무기계 질석, 중공형 세라믹비드 및 펄라이트 등 단열소재에 대한 기초적 특성을 검토 하였으며, 단열소재 종류 및 혼입률 변화에 따른 시멘트 모르터의 제반 물성을 평가한 결과 다음과 같다.

1) 단열소재의 치환률이 증가할수록 시멘트와 잔골재의 내부 공극이 증가되어 단위용적질량이 감소되는 경향이 나타났다. 휨강도는 단열소재의 치환률이 증가할수록 Plain에 비해 저하되는 경향이 나타났고, PL의 경우 2 % 치환시 PL 흡수율에 의해 물시멘트비가 감소하여 휨강도가 증가되는 결과를 나타내었으나 2 %이상에서

는 치환률이 증가될수록 단열소재 자체의 낮은 강도로 강도 증진을 점차 상쇄하여 휨강도는 저하되었다. 단열소재 중 PL과 EPS의 경우 열전도율이 우수하였고, 단위용적질량이 감소할수록 열전도율이 감소되는 결과가 나타났다. 단열소재 조합에 따른 휨강도는 전반적으로 Plain과 큰 차이가 없는 것으로 타나났으나 V+CB+PL의 경우 연속입도 분포에 의해 내부가 밀실하게 되어 Plain 보다 약 10 % 증가되어 역학적 특성에서 가장 우수한 결과를 도출할 수 있었다.

2) 단열패널에 친환경 소재인 황토를 치환하여 내항균성에 대해 검토한 결과 균사의 발육이 인지되지 않는 것으로 나타나 균사에 대한 성능이 우수한 것으로 나타났다.

3. 목표 성능기준을 만족하는 무기질계 단열패널 개발

원천소재의 성능 검토를 통해 공장 규격화 생산 시스템으로 무기질계 단열패널을 제작하였고, 다양한 환경에서 역학적, 열적 특성을 검토하였다. 역학적 특성은 휨강도, 밀도, 흡수율 등을 검토하였고, 열적 특성은 열전도율, 열관류율, 온도에 따른 변형, 내화성능 등을 검토하였으며, 최종적으로 무기질계 단열패널의 일체화 특성에 대해 온도에 따른 변형, 부착강도 등에 대해 검토한 결과 다음과 같다.

1) 단열소재의 치환률이 증가할수록 시멘트와 잔골재의 내부 공극이 증가되어 휨강도 및 밀도는 감소되었고 흡수율은 증가되는 경향이 나타났다.

2) 단열소재에 따른 열적 특성 중 열전도율은 PL 〈 PV 〈 V 〈 Plain 순으로 나타나 PL이 가장 우수하게 나타났으며, 온냉반복·습도·동결융해에 노출시킨 후 열전도율을 검토한 경과 온냉반복에서는 Plain만 열전도율이 증가하였고, 습도변화에서는 열전도율이 비슷하게 나타났으며, 동결융해의 경우 전반적으로 소폭 증가되는 경향이 나타났다. 단열패널의 내화성능 시험을 한 결과 모두 비내력벽 기준인 30분을 만족하였으며, PL과 PV의 경우 1시간 이상 만족하였다.

3) 무기질계 단열패널의 일체화 특성에 대해 온냉반복·습도·동결융해에 노출시키는 동안 길이변화 및 시험 후 부착강도를 검토한 경과 길이변화율은 0.15 % 이하, 부착강도는 1.5 MPa 이상으로 우수하게 나타났다.

4. 구조물 일체형 단열 시스템 개발

무기질계 단열 패널의 구조물 일체형 단열 시스템을 개발하기 위해 설계·거푸집·시공 전문가의 자문 및 아파트 시공 현장의 조사를 통해 일체형 단열 외벽 시스템을 개발하였고, 마감재 종류 및 단열공법별 콘크리트 Mock-up 시험체를 제작하여 온도 변화, 전력 소모량, 열화상 촬영 등에 대해 검토한 결과 다음과 같다.

1) 마감재 종류 및 단열공법별 콘크리트 Mock-up 시험체(무기질계 단열패널, 콘크리트, 유기질계 외단열, 유기질계 내단열, 열반사도료 도장, 일반도료 도장)에 대하여 외기온에 대한 단열온도를 측정한 결과 외단열 〈 단열패널 및 내단열 〈 일반도료 〈 열반사도료 〈 콘크리트 순으로 무기질계 단열패널의 경우 유기질계 내단열시스템과 비슷한 성능이 나타났다.

2) 마감재 종류 및 단열공법별 20 ℃ 온도유지를 위한 전력 소모량은 외단열 < 내단열 〈 단열패널 〈 일반도료 = 콘크리트 〈 열반사도료 순으로 나타나 무기질계 단열패널의 경우 유기질계 내단열시스템보다 전력소모량이 많은 것으로 나타났다.

3) 마감재 종류 및 단열공법별 콘크리트 Mock-up 시험체에 대하여 열화상 촬영을 실시한 결과 외단열이 가장 우수하게 나타났으며, 무기질계 단열패널의 경우 패널의 이음부분에서 열 손실이 증가되는 것으로 나타나 추후 연구에서는 이 부분에 대해 검토가 필요한 것으로 판단된다.

5. 경제성 분석

경제성 분석 방법으로 먼저 AHP 기법을 이용하여 공동주택(아파트)외벽의 효율적인 마감공법 선정을 위해 본 연구팀에서 개발한 무기질계 단열 패널과 국내 건축현장에서 가장 많이 적용되고 있는 금속 패널을 대상으로 비용·편익 분석을 실시하여 합리적이고 효과적인 외벽 마감 공법을 제시하였다. 또한 LCC분석에서는 확정적 LCC 비용 분석과 확률론적 LCC 비용 분석을 통해 초기투자비용 분석 및 유지관리비용에 대하여 경제성 분석을 실시하였다. 마지막으로 공정분석에서는 공동주택(아파트) 현장을 대상으로 일반적으로 사용되는 거푸집 공사와 외벽 단열 시스템 및 무기질계 단열패널 시스템의 일위대가를 2010년 건설공사 표준품셈을 적용하여 산정하고, 각 시스템의 시공 공정에 따른 공사비를 분석하였다.

제 4 장
목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구개발 목표의 달성도

본 연구개발에서는 열반사 성능을 갖는 무기질계 외벽 단열패널을 개발하고 이를 콘크리트 타설시 거푸집 역할이 가능한 콘크리트 일체형 단열 외벽 패널로 시스템화하여 이용하고자 하는 연구로서 다음과 같은 연구내용을 계획하여, 연구개발을 수행하였다.

표 4-1. 연구개발 목표별 계획대비 달성도

연구개발목표	연구개발내용	계획대비 달성도 (%)
단열패널 관련 사용 실태 및 국내외 기술 조사	• 국내외 단열공법 관련 기술자료 수집 분석 • 단열기준 관련 국내외 기준 분석 • 기존 건축물의 단열공법 기술조사 및 문제점 분석 • 국내외 단열공법 관련 설계도면 분석	100
차열/고반사 세라믹 도료 개발	• 차열도료의 열반사 메커니즘 분석 • 목표성능을 만족하기 위한 단열도료의 재료 및 배합 최적화 • 개발도료의 물리/역학적 성능 검토 • 옥외폭로 및 실내촉진시험을 통한 내후성 검토	100
단열패널 구성 원천 소재 조사	• 압출방식 패널에 사용 가능한 단열 원천소재 조사 및 특성 파악 • 단열 패널 원천소재의 기초적 특성 검토	100

무기질계 단열 패널 구성재료의 성능검토	• 비압출 조건에서의 단열패널 성능 검토 • 단열소재의 종류 및 배합비별 열적 특성 • 단열소재의 종류 및 배합비별 물리 역학적 특성 검토 • 단열 패널 배합별 압출가능성 검토 • 압출성형 조건의 열적 특성 및 역학적 특성 검토	98
무기질계 단열패널 최적 배합비 도출	• 기초적 특성 검토를 통한 무기질계 단열 패널의 최적배합 비율 검토 • 무기질계 단열패널의 형상 최적화 검토	100
단열 외벽 시스템의 경제성 평가	• 기존 외단열 공법의 공정 및 원단위 분석 • 단열외벽 시스템과 기존 외단열 공법과의 LCC 분석을 통한 경제성 검토	100
거푸집 패널로서 적용 가능성 검토	• 거푸집 패널로서 적용을 위한 압출성형 단열 패널의 치수, 형상 및 이음방법 검토 • 거푸집 패널로서 적용시의 단위용적질량, 최적 두께 및 최적 높이 검토	100
압출성형 단열 패널의 열적특성 및 공학적 특성 검토	• 단열소재별 압출성형 단열 패널의 열전도율 및 열관류율 검토 • 단열소재별 압출성형 단열 패널의 물리, 역학적 특성 검토	98
압출성형 단열 패널의 내화성 및 내구성 검토	• 단열 소재별 압출성형 단열 패널의 내화성능 검토 • 단열 소재별 압출성형 단열 패널의 동결융해 저항성 검토 • 외벽 단열 패널로 사용하기 위한 압출성형 단열 패널의 휨저항성 검토(Bowing test)	100

외부환경 조건 변화에 따른 구조물 일체성 검토	• 압출성형 단열 패널의 구조물 일체화 조건에서 온도환경 조건 변화에 따른 일체화 성능 및 역학적 성질 검토 • 습도환경 조건 변화에 따른 일체화 성능 및 역학적 성질 검토	100
단열 외벽 시스템의 모의 구조체 검토	• Mock-up test를 통한 단열 외벽 시스템의 시공 공정 검토 • 동계 온도이력 및 전력 소모량 측정을 통한 모의 구조체의 열효율 검토	100
아파트 단열 외벽 시스템의 현장시공성 및 경제성 평가	• 아파트 공사현장 거푸집 공정 실사를 통한 현장분석 실시 • 비용편익 요소 토출을 위한 설문지 조사 • 단열 패널 시스템의 타당성을 평가하기 위한 비용 편익 분석패널의 비용 편익분석	98

제 2 절 관련분야에의 기여도

국내 주거형 건축물 중 공동주택이 차지하는 비율은 전체의 50%이상을 차지하고 있고, 새로이 공급되는 주택의 약 90%가 공동주택으로 신축되고 있다. 이러한 실정을 고려해 볼 때 아파트 외피시스템에 대한 성능향상 및 열손실을 최소화 할 수 있는 방안이은 매우 중요한 요소이다.

본 연구에서 개발되는 무기질계 외벽 단열패널의 윗면에 도포되는 열반사 도료는 여름철 건물이 직사광선으로부터 노출되어 축척되는 열인 도시 열섬현상을 저하시킬 수 있을 것으로 기대됨에 따라, 콘크리트 구조체의 축열현상 저감으로 에너지 소비 절약의 효과가 기대되며, 개발기술의 경우 고내후성, 발수성 및 내오염성을 갖는 태양열 고반사용 방염도료로서 국외기술의 수입대체 효과 기대가 된다.

한편, 건축물에서 발생되는 에너지소비를 최소화 하기 위하여 다양한 단열소재 및 단열공법 등이 개발·적용되고 있다. 그러나, 외단열공법에 적용되는 단열재는 주로 유기계의 폴리스틸렌(스티로폼) 및 유무기 복합 적층재을 적용함에 따라 화재에 취약하며, 특히 장기간 경과시 내구성이 저하되어 단열효과가 저하하고 균열 등이 발생하여 누수의 원인을 제공하는 등 외부의 충격에도 쉽게 파손되는 경향이 있다. 이러한 요소들은 외단열 마감시스템 시장의 확대를 저해하는 장애요인으로 작용하고 있으며, 이러한 측면에서 볼 때, 무기단열재 또는 단열패널의 개발 및 단열 외벽 시스템의 개발이 절실히 필요한 실정이다.

또한, 무기단열 외벽 시스템은 외단열 시스템에 대한 필요성이 점차 강조 되면서 최근 일본, 유럽 등을 중심으로 개발이 진행되고 있고 일부는 실용화 단계이다. 우리나라의 경우도 건축물에서 소비되는 에너지를 줄이기 위한 정부의 녹색건축물 정책이 시차적으로 진행됨에 따라 향후 건축물의 단열 공법이 내단열 공법에서 외단열 시스템 공법으로 점차 전환되어 갈 것으로 예상된다.

따라서, 본 개발 기술에서는 마이크로 중공형 세라믹 비드를 원천소재로 하는 무기질 단열 외벽 패널의 개발 및 이를 아파트 외벽에 일체화 하는 단열 외벽 시스템의 성능검증을 진행하였고, 목표범위 내에서의 단열성능, 화재안전성능 및 내구성능을 만족하였으며, 이를 기반으로 향후 단열재 제조 및 시공분야의 응용기술 확대가 기대되고, 이를 통해 국내 단열 외벽재 제조 및 시공 분야의 기술경쟁력 향상

을 기대할 수 있다.

아울러, 구조물 일체형 단열외벽 시스템의 개발의 경우 아파트 외벽에서 발생하는 열교현상에 의한 에너지 손실, 결로 등의 원인을 최소화 할 수 있을 것으로 기대되며, 콘크리트 표면에 발생하는 구조적 결함방지 및 시공공정 간소화를 기대할 수 있다.

제 5 장
연구개발 결과의 활용계획

본 기술개발은 콘크리트 타설시 거푸집 역할이 가능한 무기계의 콘크리트 일체형 고성능 단열 패널을 개발하고 또한 외단열 패널을 효율적으로 시공할 수 있는 시공 시스템을 개발하고자 하는 것이며, 이를 통해 개발된 기술들은 다음과 같은 측면에서 활용이 가능할 것으로 판단된다.

1. 연구성과 홍보 및 상용화 가능한 요소기술의 사업화

- 본 연구를 통해 검토된 자료 및 개발 경험을 바탕으로 관련 세미나 및 학회홍보를 통하여 관련업계의 아파트 외벽체의 단열시스템으로서 단열성능, 화재안전성, 친환경성 확보, 차열성능 등 성능 향상에 부분에 대한 적극적인 홍보로 사업화의 기반을 다지고자 한다.
- 특히, 학술적 가치가 있는 실험연구 분야의 연구결과는 대한건축학회, 한국건축시공학회 등에 논문을 발표하여 연구결과의 학술적 성과를 홍보하고 공유할 예정이며, 또한, 학회의 전문위원회에 적극적으로 참여하여 단열 외벽패널의 활용과 연구성과의 저변확대에 노력할 예정이다.

가. 연구성과

현재까지의 논문 연구성과는 다음과 같고, 향후 학술적 가치가 있는 연구결과에 대해서는 추가적으로 논문을 발표할 계획이다.

(1) 논문게재 성과

논문명	저자			학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분
	주저자	교신저자	공동저자			
단열소재 종류 및 조합에 따른 외벽반열 패널용 시멘트 복합체의 공학적 특성	한민철	전규남	조병영, 이건철, 노상균	한국건축시공학회 논문집	11(2)	국내

(2) 학술대회 발표 성과

발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
２０１０. 05	LCC분석에 의한 압축성형 세라믹 외벽단열 패널시스템의 경제성 분석	이건철,오동욱 조병영, 김영근	한국건설관리학회 학술발표논문	국내
２０１１. 05	LCC기법을 활용한 단열외벽패널시스템의 경제성분석	이건철, 오동욱 조병영, 김영근	한국건축시공학회 학술논문	국내
２０１１. 05	무기질계 단열소재의 역학적 특성에 대한 실험적 연구	오동욱, 노상균 이건철, 조병영 김영근	한국콘크리트학회 2011년 봄 학술대회	국내
2011. 11	중공 세라믹 비드를 이용한 무기질계 단열패널의 열전도 특성	오동욱, 이건철 조병영, 김영근	한국콘크리트학회 2011년 가을 학술대회	국내

(3) 특허 성과

출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호
2010	태양열 고반사용 방염 도료 조성물	나용복, 김용현 임석희, 이건철 노상균, 조병영	대한민국	제2010-0112888호
2011	초경량 마이크로 중공 필러를 혼입한 압출성형 콘크리트 단열 패널 및 이의 제조방법	조병영, 이건철 오동욱, 노상균 김장엽, 이근우 한민철	대한민국	제2011-0137983호
2011	친환경 아파트 단열 외벽 패널 시공방법	조병영, 이건철 오동욱, 김장엽 한민철	대한민국	제2011-0124267호

나. 상용화 가능한 요소기술의 사업화

요소기술	기술내용	대상	형태
태양열 고반사용 방염도료	실리콘 아크릴 에멀젼, 근적외선 반사 세라믹 안료 및 방염 원재료를 포함하므로써 태양열 반사성이 우수하면서도 내구성 및 방명효과가 탁원한 태양열 고반사용 방염도료	·도료생산업체 ·건축마감재 생산업체	시제품 생산
초경량 마이크로 중공필러를 혼입한 압출성형 콘크리트 단열 패널	초경량 마이크로 중공필러를 혼입한 압출성형 콘크리트 단열패널 및 이의 제조방법에 관한 것으로서 상세하게는 무기계 원료를 2차례에 걸친 소성을 통해 세라믹과 같은 물성을 부여하여 변형이나 뒤틀림이 없고 내구성이 우수한 효과를 가질 수 있고, 펄라이트를 미분쇄한여 표면을 코팅한 초경량 마이크로 중공필러를 다량 첨가하여 단열성을 향상시켜 에너지 절감 효과를 기대할 수 있는 초경량 마이크로 중공피러를 혼입한 압출성형 콘크리트 단열 패널	·무기질계 패널 제조 업체	시제품 생산
아파트 단열 외벽 패널 시스템 시공 방법	열반사기능을 갖는 무기질계 단열 외벽패널을 아파트 벽체(외벽)와 함께 일체로 시공함으로써 아파트 벽체의 단열 및 차열 성능을 향상시키고, 화재 안정성능 및 친환경 성능을 향상시키도록 하는 친환경 아파트 단열 외벽 패널 시공 방법	·설계사무소 ·건설업체 ·거푸집 제조업체 ·패널제조업체 ·엔지니어링사	-

2. 정부의 그린홈 정책의 대응

- 저탄소 녹색성장에 발맞춰 친환경 건강 지향적 주거문화 조성을 위하여 친환경 단열 외벽재를 설계에 반영함으로써 국가 사업인 그린홈을 효과적으로 구현하고, 환경친화적이고 에너지 절약적인 아파트 설계를 통해 주거복지와 환경문제

에 대응하고자 한다.

3. 아파트 에너지 절감 및 하자

- 친환경 아파트 단열 외벽재 개발 연구를 통하여 현재까지 실무에서 문제점으로 지적된 부분을 개선 보완하여 콘크리트 균열방지 외단열 보강과 결로방지 및 하자보수 최소화에 활용코자 한다. 또한, 콘크리트 균열과 단열, 결로에 대한 사회적 관심이 높아지고 있으며, 금번 과제인 친환경 아파트 단열외벽재 개발 과제와 관련하여 미래 지향적인 사고로 신기술을 확보하고 새로운 성장과 발전을 이루고자 당해과제의 연구개발 결과물을 활용코자 한다.

4. 제품화 계획 및 적용범위 확대

- 개발기술을 제품화하여 생산 및 보급하기 위해서는 추가적으로 시료 및 생산설비의 보완이 필요하며, 위탁연구기관에서는 장기적인 생산기반 확충 및 제품생산, 보급계획을 갖고 있다. 또한, 본 개발 기술 중 단열패널의 경우 단열 건식벽체로도 활용이 기대됨에 따라 향후 다른 용도로도 적용가능성을 검토할 계획이다.

5. 위탁연구기관 및 참여기업과의 연구결과 공유를 통한 활용증대 노력

- 본 연구수행의 위탁연구기관인 (주)익성텍 및 (주)아해와의 연구결과 공유 및 활용을 위한 지속적인 협력을 통하여 연구성과 활용 및 그 효과를 제고할 예정이다.

제 6 장

연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 1 절 단열외벽재 관련 기술파악

1. 일본의 건축용 무기단열재 생산업체 및 적용현장 조사

가. 日本インシュレーション(株)

- 일본인슐레이션(주)은 아이치현 기후시에 위치한 압축성형 무기단열재 생산업체 이며, 당 사에서 개발된 제품의 경우 일본 내에서도 우수한 제품으로 인정받고 있음.
- 일본인슐레이션(주)에서 생산하는 무기단열재는 석고계열의 조노토라이트를 포함하여 공극을 생성한 제품으로 열전도율 및 난연성이 우수함.



<일본인슐레이션(주) 위치>



<일본인슐레이션(주) 전경>

그림 6-1. 일본인슐레이션(주) 정보



그림 6-2. 일본인슐레이션(주) 회의 및 공장견학

(2) 석고계열 압축성형 무기단열재의 특징

- 조노토라이트를 이용하여 단열재 내부에 공극을 형성
- 성형성이 우수하여 다양한 무늬로 표현가능하며, 심미성이 우수
- 굴곡 등 다양한 형태로 적용가능



그림 6-3. 사용재료 및 내부공극형성 현미경 사진

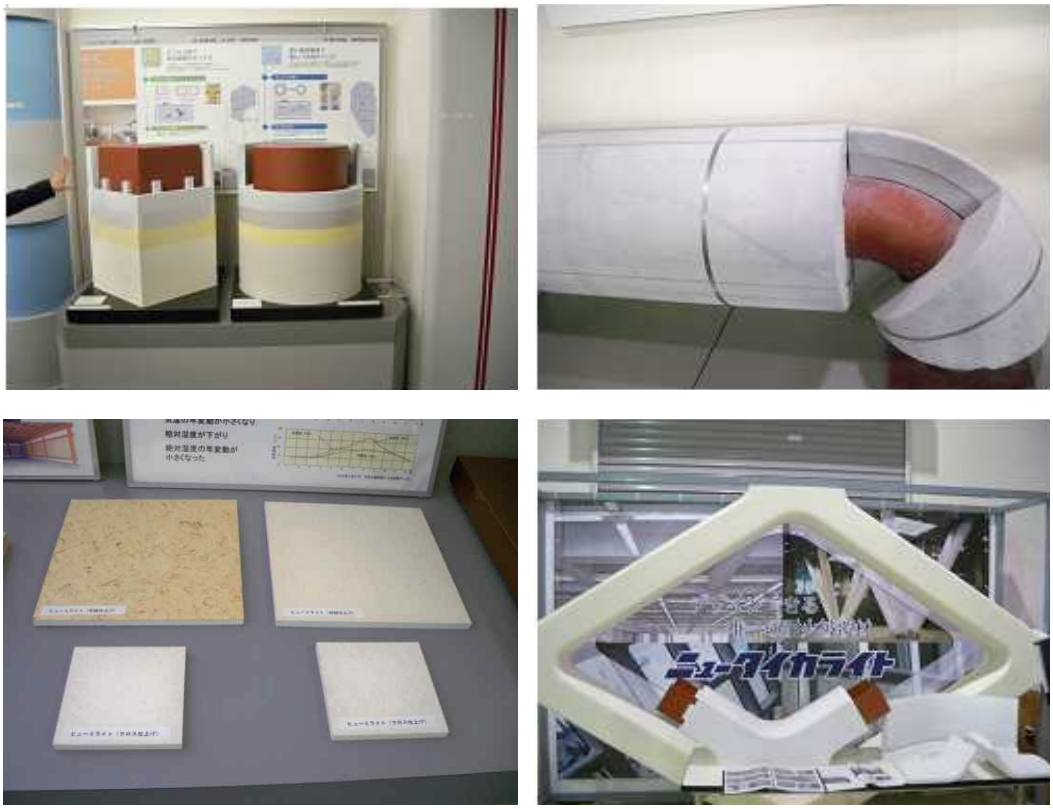


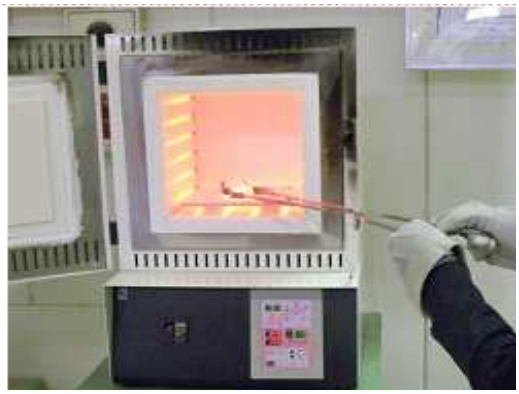
그림 6-4. 굴곡 등의 다양한 형태로 건식시공 가능

(3) 열전도율은 약 0.051 W/mK 정도로 매우 낮으며, 내화성이 우수

- ISO 규격 주택 표준온도 가열곡선에 따라 945 ℃까지 상승
- 약 5분간 가열 후 수중에 침지하여 그 형태를 관찰
- 일반 석고보드의 경우 고온에 의한 피해로 파괴되었으나, 일본인슐레이션(주) 생산제품의 경우 그 형태를 유지



<ISO 표준온도 가열곡선>



<전기로로 가열>



<일반 석고보드 제품>



<일본인슐레이션(주) 제품>

그림 6-5. 내화시험 전후 시료의 형상

나. フジ化成工業(株)

- 후지화성(주)은 일본 도토리현의 요나고시에 위치한 발포성형 무기단열재 생산 업체
- 후지화성(주)에서 생산하는 무기단열재는 탄산칼슘계열의 안전독립 기포구조의 저밀도 발포체로서 열전도율이 매우 작고, 내구성이 우수



<후지화성(주) 위치>



<후지화성(주) 전경>

그림 6-6. 후지화성(주) 정보



<회의진행>



<공장견학>

그림 6-7. 후지화성(주) 회의 및 공장견학

(2) 탄산칼슘계열 발포성형 무기단열재의 특징

- 제품단가는 스티로폴의 5배로 고가(한국대비 10배)
- 무기탄산칼슘 55 % + 유기접착재 45 %를 질소계 발포재로 팽창시켜 제조
- 제조공법의 특성상 보드형태로만 제작이 가능하며, 가공이 쉬움

- 안전 독립된 기포구조의 저밀도로 경량이며, 열전도율이 약 0.048 W/mK 정도로 매우 낮음
- 건식공법으로 시공이 간단하며, 내구성이 우수



그림 6-8. 발포성형을 통한 무기단열재 제작



<생산제품 샘플>　　<Mock-up 시험체의 내구성 시험>

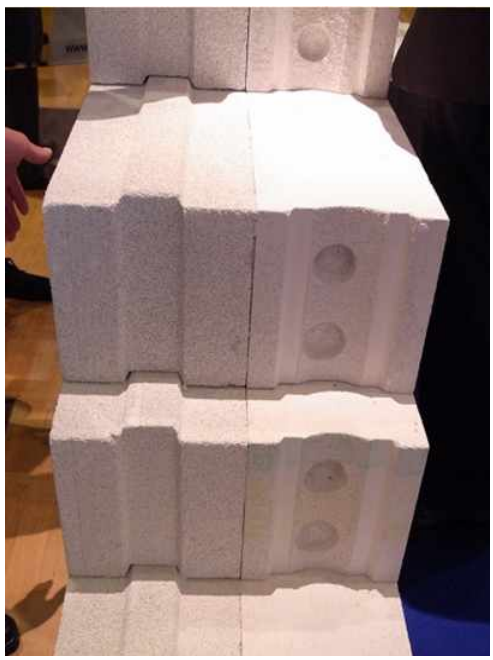
그림 6-9. 생산제품 샘플 및 Mock-up 시험체

2. Passive House 건축자재 전시회 참석

- Passive House 전시회에는 약 130개사 이상의 건축자재 업체가 참여하고 있으며, 건축용 단열소재, 단열시스템 공법, 창호, 문, 환기시스템 등 Passive House와 관련된 각국 업체의 기술 및 제품이 전시 되었음.
- 본 전시회의 참석을 통해 아파트 단열 외벽재의 원천소재 및 단열 시스템에 대한 최신 정보를 수집.




<고효율 단열 및 열교방지 공법>

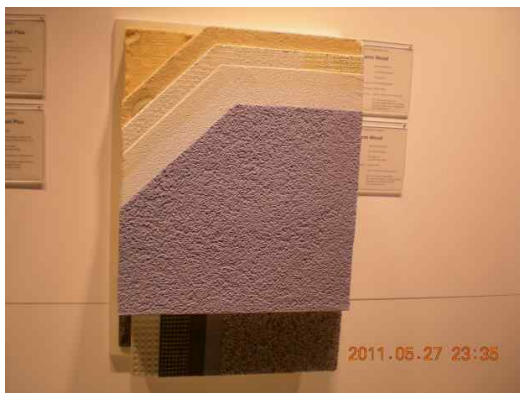
<무기계 복합 벽체 공법>







<유무기계 복합 벽체 공법>

<유기계 외단열 마감 시스템 공법>

그림 6-10. 단열소재 및 단열 공법 전시 현황

3. 외단열 시스템의 성능 평가방법에 대한 교육과정 참석

- 독일 부르크하우젠에 위치한 바커(Wacker) 기술 교육센터에서 개최하는 외단열 시스템 성능 평가방법에 대한 교육과정을 이수
- 바커(Wacker) 기술 교육센터에서는 외단열 시스템 성능 평가 방법인 ETAG 004 교육과정을 개설하고 있으며, 이러한 평가기반에 대한 견학 및 교육과정 이수를 통해 향후 이러한 평가 기반이 도입 될 경우 효율적으로 대응



그림 6-11. 바커 교육 센터내의 기술 교육

4. 부르크하우젠 지역의 외단열 및 패시브 하우스 현장 적용 사례 조사

- 유럽에서 이미 건설된 패시브주택 주거단지(공동주택 위주) 및 건설중인 단지를 방문하여 기 적용된 선진 우수설계사례 및 적용된 요소기술을 전문분야별로 파악하고, 관련기술에 대한 전문가 면담 등 업무협의를 통해 국내 그린홈 실증주택 건설과정에 적용할 필요가 있음.
- 냉난방에너지의 약 80%를 저감하기 위한 실증 공동주택을 건설하기 위해서는 기본설계 뿐 아니라 외벽을 200~300mm 정도의 단열재로 단열처리와 열교부위를 차단해야 하는 등 슈퍼 외단열 시스템에 대한 실시설계 및 부위별 디테일, 기밀 시공법 등에 대한 노하우가 필요하며, 국내에서는 아직 시도된 사례가 없는 기술 분야임.

- 또한, 고성능창호(열관류율 1.0 W/㎡K)와 외단열시스템, 발코니와 구조체 간의 연결처리, 단위세대와 계단실의 열교차단기술 등 기술적인 사항들이 해결될 필요가 있음.



그림 6-12. 인스부르크 패시브 하우스 아파트 시공사례



그림 6-13. 부르크 하우젠 바커 기숙사의 패시브 하우스 시공사례

5. 단열 외벽재 관련 국제 기술정보 교류

- 한국건설생활환경시험연구원에서는 무기 단열외벽재 개발과 관련하여 2010년 JIC(일본인슐레이션을 방문하여 기술자문 및 무기단열재 관련 시장 동향 조사를 실시함.
- 2011년에는 한일 상호간 정기 교류를 목적으로 일본 JIC가 한국을 방문하여 기술세미나를 실시하였음.



그림 6-14. 단열재 관련 한일 기술정보 교류

제 7 장

참고문헌

1. 고려대학교, “나노기술을 이용한 에너지절약형 환경친화 건축용 단열재 개발, 교육과학기술부, 2008.5
2. 한국화학연구원, "난연성 고분자수지 합성 및 환경친화적 난연성 건축자재 실용화 기술개발", 환경부, 2007.3
3. 건설교통부, “무기질단열재를 사용한 친환경 샌드위치패널 개발 연구보고서”, 2006
4. 산업자원부, “단열성능 향상형 스틸스터드 건식벽체시스템 개발”, 2006
5. 한국화재보험협회, “무기질 단열재를 사용한 친환경 샌드위치패널 개발”, 2006
6. 요업기술원, “초경량 미립형 소재 및 단열패널 개발”, 2005
7. 한국건설기술연구원, “100년 지속 가능 다기능 경량합성구조 시스템개발”, 2004
8. 주택공사, “외벽의 단열성능 향상을 위한 적정재료 및 공법선정에 관한 연구”, 2003
9. 산업자원부, “환경친화형 복합단열벽체 개발”, 2003
10. 이언구 외, “환경친화형 복합단열벽체에 적용 가능한 친환경 단열재에 관한 연구의 최종보고서”, 중앙대학교 미래신기술연구소, 2003.5
11. 강현무, 배영문, 조흥곤, “건축용 단열재료”, 한국과학기술정보연구원, 2002.12
12. 정보통신연구진흥원, “건축용 단열재료”, 2002
13. 유영동, “단열성능 향상 벽체기술 개발”, (재)포항산업과학연구원, 2002
14. 산업자원부, “EPS 단열재 대체를 위한 신단열재 개발”, 2001
15. 한국에너지기술연구소, "EPS 단열재 대체를 위한 신단열재 개발", 2001
16. 밀양대학교, "단열재 변화에 따른 실내 열환경 평가에 관한 연구", 2001

17. 데이코산업연구소, "2001 일본주택 건재시장 연보", 2001
18. 데이코산업연구소, "국내 단열재 시장의 실태와 전망", 2000
19. 포항공과대학교, "유기계 초경량 단열재 개발 최종보고서", 2000
20. 국립기술품질원, "고성능 단열판재 및 그 제조장치 국산화 개발", 1999
21. 아주대 경영대학원연구보고서, "보온단열재 필요성 및 국내시장", 1999
22. 데이코산업연구소, "99 일본주택건재시장연보", 1998
23. 대한주택공사, “외단열공법 실용화 연구” 1998
24. 한국건설기술연구원, “건축물의 단열설계 및 시공시스템 개발연구”, 1997
25. 통상산업부, “고단열 경량외피시스템 개발에 관한 최종보고서”, 1997
26. 한국건설기술연구소, “단열설계 및 시공가이드 북” 산업자원부, 1997.2
27. 대한주택공사, “건물단열재 및 설비자재 내구성 실태조사 : 건물단열재 분야”, 1995
28. 대한주택공사, “공동주택의 외단열시스템 개발 타당성 연구”, 1995.5
29. 한국건설기술연구원, “건물외피의 환경성능평가 연구, 1990
30. 삼척공전논문집, “건축물의 단열재 사용에 관한 고찰”, 1982
31. 현대산업개발(주), “신기술지정보고서 : 외기에 면하는 욕실 내벽에 압출 발포폴리스틸렌 패널을 사용한 단열 시공기술”, 2007
32. 한보엔지니어링(주), “신기술지정보고서 : 세라믹 코팅된 복합단열패널을 이용한 건식 외단열 공법”, 2006
33. 이언구, 김광우, “건축환경과학”, 태림문화사, 1999
34. 이경회, “건축환경계획, 문운당, 1994
35. 이태식 외, “열전달”, 희중단. 1992
36. 유연동, “스틸스터드 건식벽체의 단열성능 예측에 관한 역구, 박사학위논문, 연세대학교대학원, 2008
37. 강승희, “3차원 전열해석 및 생애비용 분석을 통한 주상복합 커튼월 앵커링 유닛의 단열성능향상에 관한 연구, 석사학위논문, 이화여자대학교 대학원, 2004
38. 구보경, “초고층 주상복합건물 외벽-슬라브 접합부의 단열성능 향상에 관한 연구, 석사학위논문, 이화여자대학교 대학원, 2004
39. 박진우, 정헌철, “안병욱, 임병훈, 홍순조, 손장열, 고단열 경량 외피시스템

의 에너지 절약효과에 관한 실험적 연구", 대한건축학회학술발표논문집, pp.335~338, 1997.4

40. 송승영, "공동주택 외피 접합부 열교부의의 최적 단열상세 결정 방법에 관한 연구, 박사학위 논문, 서울대학교 대학원, 1998
41. 최정민, "공동주택 열교부의의 결로방지를 위한 단열계획에 관한 연구, 박사학위논문, 서울대학교 대학원, 1995
42. 전현석, 최경석, 강재식, 이승언, "한국형 패시브하우스를 위한 단열블럭시스템의 열성능 평가", 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제29권 제1호, pp.689~692, 2009.10
43. 송승영, 구보경, 이병인, "정적 열부하 계산법에 의한 열교제거형 외단열 공동주택의 동단위 연간 난방부하 절감 효과 분석, 대한건축학회 논문집 계획계, 제25호 제8호, pp.365~372, 2009.8
44. 유영동, "스틸스터드 구조 건식벽체의 마감재 공법에 따른 단열성능 실험평가", 대한건축학회 논문집 계획계, 제25권 제1호, pp.263~270. 2009.1
45. 성승영, 구보경, 최보혜, "내, 외단열 시스템 적용시 공동주택 외면-슬라브 접합부의 에너지성능 비교평가", 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제28권 제1호, pp.551~554, 2008.10
46. 김성완, "단열 및 방습재료 설계 시의 고려사항", 대한건축학회지 제51권 제2호, pp.68~72. 2007.2
47. 송병창, "단열 및 방습재료의 성능 설계방법 ", 대한건축학회지, 제51권 제2호, pp.73~75, 2007.2
48. 송승영, 강가영, 여명석, 김광우, "커튼월 시스템 벽체부의 단열재 실내측 마감재 파손 여부에 따른 결로 평가 및 내부결로 방지를 위한 효과적 마감재에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제22권 제8호, pp.241~249, 2006.8
49. 송승영, 석호태, 구보경, 김윤정, "단열피복을 통한 주상복합건물 알루미늄 커튼월 패스닝 유닛의 에너지성능 향상에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 계획계, 제22권 제2호, pp.251~258. 2006.5
50. 윤종호, 김병수, "민감도 분석에 의한 투명단열재를 적용한 축열벽 시스템의 최적구성 선정에 관한 연구", 대한건축학회 논문집 계획계, 제22권 제3

호, pp.255~262. 2006.3

51. 이종찬, 심종우, 이문환, 이세현, “건축물 외단열 마감 시스템의 물리적 성능개선을 위한 개발 연구” 대한건축학회 논문집 계획계, 제21권 제6호, pp.41~48, 2005.6
52. 강호신, 이성, “투명단열재를 이용한 단열패널의 에너지 취득효과에 관한 연구”, 대한설비공학회 동계학술발표회 논문집, pp.762~767, 2004.11
53. 주상복합건물 석재복합패널 외벽 접합부의 단열성능 향상에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표 논문집, pp.971~974, 2004.10
54. 김병수, 김재웅, 윤종호, “투명단열 축열벽 시스템을 적용한 주거용 건물의 냉난방에너지 성능분석” 대한건축학회 논문집 계획계, 제20권 제7호, pp.283~290, 2004.7
55. 김준태, 김진희, “판상형 셀롤로오스 화이버 단열재 개발 및 환경친화성에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집 계획계, 제20권 제7호, pp.243~250, 2004. 7
56. 윤종호, 김병수, “투명단열 축열벽 시스템의 하절기 과열현상 방지에 관한 실험 연구”, 대한건축학회 논문집 계획계, 제19권 제11호, 2003.11
57. 김병수, 윤종호, 윤용진, 이진숙, “기존 축열벽 시스템과 투명단열 축열벽 시스템의 열성능 평가 실험연구”, 대한건축학회 논문집 계획계, 제19권 제10호, pp.161~168, 2003.10
58. 권영철, “환경친화적인 섬유질 단열재”, 대한건축학회지 제47권 제5호, pp. 50~53, 2003.5
59. 김병수, 윤종호, 윤용진, 백남춘, 이진숙, “투명단열 축열벽 시스템의 열성능 평가 실험 연구”, 태양에너지학회논문집, 제23권 제1호, 2003.3
60. 김성완, “건물의 외단열과 내단열”, 대한건축학회지, 제36권 제6호, pp.28~31, 1992
61. 김인숙, “외부 단열 시공”, 대한건축학회지, 제34권 제3호, pp.11~16, 1990
62. 저에너지 친환경 공동주택 연구단, “저에너지 친환경 공동주택 그린홈 플러스 핵심기술”, 2010
63. Physibel, RADCON Manual, "Annex1 The Black Radiation Heat Transfer Coefficient", 2002

64. ASHRAE, “ASHRAE handbook 2001 fundamentals”, 2001
65. University of Strathclyde, "The ESP-r system for Building Energy Simulation User Guide Version 9 Series", 2000.10
66. Thomas Blomberg, HEAT 3-A PC program heat transfer in three dimensions. manual with brief theory and examples, Lund university, 1996
67. Yarbrough, D. W. and Wilkes, K. E., “Thermal Properties & Use of Cellulosic Insulation Produced form Recycled Paper”, Proc. Con. on the Use of Rechcled Wood & Paper in Building Application, pp.108~114. 1996
68. Thomas Blomberg, Heat conduction in tow and three dimensions-computer modeling of building physics appilications, Lund university, Sweden, 1996
69. National Renewable Energy Laboratory, Loose-Fill Insulations, U.S Department of Energy, 1995
70. H. M. Kűnzel, Simultaneous heat and moisture transport in building components, One and two dimensional calculation using simple parameters, Fraunhofer IRB Verlag Suttgart, 1995.
71. C. J. Dey, "Thermal Performance and Applications of Transparent Insulation Materials", ANZEN Solar'93 Conference in Fremantle, Solar'93 Conference Proceedings Vol.1, 203~208, 1993
72. Dolley, P. R. et al., "The use of test rooms to determine the thermal performance of transparently insulated opaque wall", Building and Environment, vol.28 no.2, 1993
73. Robinson, P. and Litter, J., "Advanced glazing : Outdoor test room measurements, performance prediction and building thermal simulation", Building and Environment, vol.28 no.2, 1993
74. Liisa Rautiainen, "Transparent Thermal Insulation(TIM)-Performance properties", ETTR-research program funding by Ministry of Trande and Industry Energy Department. 1992

75. Norber Lechner, "HEATING COOLING LIGHTING Desingn Method for Architects, Jonhn Wkliey &Sons, New York, 1991
76. Wittwer, V., Platzer. W, "Transparent Insulation Materials", Proc. SPIE 1272, 1990
77. U.S. Department of Energy, "Insulation Fact Sheet", DOE/CE-0180, 1988
78. Knickle, H. N. and Kalthod, V., "Evaluation of Commercial Thermal Insulation in vertical Panels, Journal for Fire Thermal Insulation", v5, pp.12~30, 1981
79. Day, am., Suprunchuk, T. and Wiles, D. M., "The Fire Properties of Cellulose Insulation", Journal of Thermal Insulation, v4, pp.157~170. 1981
80. Silvers, J. P. and R. P. Tye Edited, "A Survey of Building Envelope Thermal for Anomaly Correction, Volume Ⅱ-Proceedings of the Department of Energy workshop on Building Envelope Thermal Anomalies, ORNL/Sub/83-70376/2, Oak Ridge National Laboratory, 1985
81. ISO 10211 Thermal bridges in building construction-Heat flows and surface temperature-Detailed calculation, 2007
82. ISO 14683 Thermal bridges in building constructions-Linear thermal transmittance-Simplified methods and default values, 1999
83. BS EN ISO 6946 Building components and building elements-Thermal resistance and thermal transmittance-Calculation method, 1997
84. 小田俊平, "省エネルギーにより建築の斷熱と結露對策", 鹿島出版社, 1990
85. 山田雅士, "建築の斷熱", 2版, 井上書院, 東京都, 1983
86. 山田雅士, "建築の斷熱その原圖と對策", 井上書院1976
87. 杉山幸男 外, "建築工學", 木眞書店, 1961

주 의

1. 이 보고서는 국토해양부에서 시행한 "2011년 국토해양부 건설기술혁신사업"의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토해양부에서 시행한 "2011년 국토해양부 건설기술혁신사업"의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.