

19CTAP
-C130219
-03

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()발간등록번호()
국토교통기술촉진 사업 제3차 연도 최종 보고서

R&D / 19CTAP-C130219-03

화재
지연이
가능한
다층형
단열
영구
거푸집을
사용한
에너지
절감형
구조물
시공
건설
신기술
개발

최
종
보
고
서

2020

국
토
교
통
과
학
기
술
진
흥
원

화재 지연이 가능한 다층형 단열 영구 거푸집을 사용한 에너지 절감형 구조물 시공 건설 신기술 개발 최종보고서

2020. 03. 18.

주관연구기관 / (주)유송엔지니어링
협동연구기관 / (주)한양이엔씨
참여기관 / 토토종합건설

국토교통부

국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원 귀하

‘과제명 화재지연이 가능한 다층형 단열 영구 거푸집을 사용한 에너지 절감형 구조물 시공 건설신기술개발’(연구개발 기간 : 2017.04.01 ~ 2019.12.31) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2020 . 03 . 18 .

주관연구기관명 : (주)유송엔지니어링 (대표자) 송 성 용 (인)



위탁연구기관명 : (주)한양이엔씨 (대표자) 유 조 영 (인)



참여기관명 : 토토종합건설 (대표자) 이 인 규 (인)



주관연구기관책임자: 송 성 용

협동연구기관책임자: 류 화 성

참여기관책임자: 이 인 규

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	19CTAP-C 130219-03	해당 단계 연구 기간	2017 . 04 . 01 - 2019 . 12 . 31	단계구분	(해당단계)/ (총단계)
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	화재 지연이 가능한 다층형 단열 영구거푸집을 사용한 에너지 절감형 구조물 시공 건설신기술개발			
	세부과제명				
연구책임자	송 성 용	해당단계 참여연구원 수	총: 15 명 내부: 15 명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 600,000천원 민간: 248,000천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 848,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 명 내부: 명 외부: 명	총 연구비	정부: 600,000천원 민간: 248,000천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 848,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	(주)유송엔진니어링			참여기업명	토토종합건설
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:(주)한양이엔씨			연구책임자: 류화성	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반
-------------------------	----

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기 탁 번호	4	10	7								

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

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

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

요약문

연구의 목적 및 내용	본 기술의 최종목표는 화재 지연이 가능한 다층형 단열 영구 거푸집을 사용한 에너지 절감형 구조물 시공방법을 개발하는 것이다. 화재 지연 성능이 있는 섬유보강형 모르타르와 다층형의 단열재를 사용한 판넬과 마감재를 부착한 외장마감 일체형 복합단열 영구 거푸집을 개발하고자 한다. 외장 마감 일체형 거푸집을 시공하는데 있어 간단한 조립 방법과 안정성을 향상하기 위한 철물을 개발하고, 경제성 있는 구조물 시공 신기술을 개발하는 것이다.				
연구개발성과	본 연구는 화재 지연이 가능한 다층형 단열 영구거푸집을 사용한 에너지 절감형 시공신기술을 개발하는 것을 목표로 한다. 기존 기술의 기포콘크리트의 휨강도 성능을 개선하기 위하여 삼차원인장재를 개발하고, 조강성의 기포콘크리트에 적용하고자 한다. 화재저항성이 우수한 단열재와 외장마감한 복합단열영구거푸집을 제조함으로써 공기 단축이 가능한 영구 거푸집 공법을 개발할 계획이다. 영구거푸집을 설치하면서, 외부 설치 자재를 최소화하기 위하여 내부 구속 철물과 함께 철근 배근량을 저감할 수 있는 방안을 도출하고자 한다. ■ 열전달 지연형 섬유보강모르타르의 개발 - 섬유보강모르타르의 배합 도출 - 열전달 지연을 위한 충전제 도출 ■ 다층형 단열 영구 거푸집 개발 - 다층형 단열재의 구성 방식 도출 - 인장 보강 방식 도출 ■ 표면 온도 저감을 위한 외장마감재 개발 - 외부 줄눈부 제어를 위한 다층형 외장 마감재 개발 - 난연성 부여를 위한 난연제 개발 - 표면 온도 저감 소재 도출 ■ 다층형 복합 단열 영구 거푸집을 사용한 구조물 시공법 개발 - 거푸집 연결 철물 개발 - 개발 공법의 시공 성능 평가 및 경제성 평가				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	■ 기술적 측면 ▪ 리모델링 및 인테리어 수요 대응 기술 공급 - 주택노후화 진행에 따라 리모델링, 인테리어 수요가 급증하고 2014년부터 수직 증축 리모델링 등의 수요 대응 기술 확보 ▪ 건축물 표면 온도 제어 기술 ▪ 기술개발을 통하여 지적재산권 획득가능 - 화재지연형 모르타르, 다층형 단열재 - 표면 온도 제어 외장 마감재 ▪ 특허 및 신기술 개발을 통한 시장에서의 적극반영 및 활용이 가능 - 관공서 및 민간 주거 시설 등에 개발기술의 현장적용성 증대 ■ 경제·산업적 측면 ▪ 거푸집 공정 단순화를 통한 공정 단순화 및 재료비 절감 실현 ▪ 고밀도 단열재의 외부 습식 시공 기술 확보(건식대비 비용절감) ▪ 국내 건설 시장의 활성화 및 건설 산업의 수출 증대 ▪ 신공법 개발을 통한 전문인력 양성 기대 ■ 사회·환경적 측면 ▪ 제로에너지를 목표로 하는 신규건축물 시장의 대응 기술 공급 ▪ 화재 안정성을 갖는 구조물 제작 기술 구현 ▪ 가변형 벽체 응용을 통한 노후 건축물 리모델링 기술 확보				
국문핵심어 (5개 이내)	온도 저감	영구거푸집	에너지절감	복합단열	외단열
영문핵심어 (5개 이내)	Thermal decreasing	permanent form	energy-saving	complex insulating	outside insulation

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 연구수행내용 및 성과	5
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	168
4. 연구개발성과의 활용 계획 등	176
붙임. 참고 문헌	180

<별첨> 주관연구기관의 자체 평가 의견서

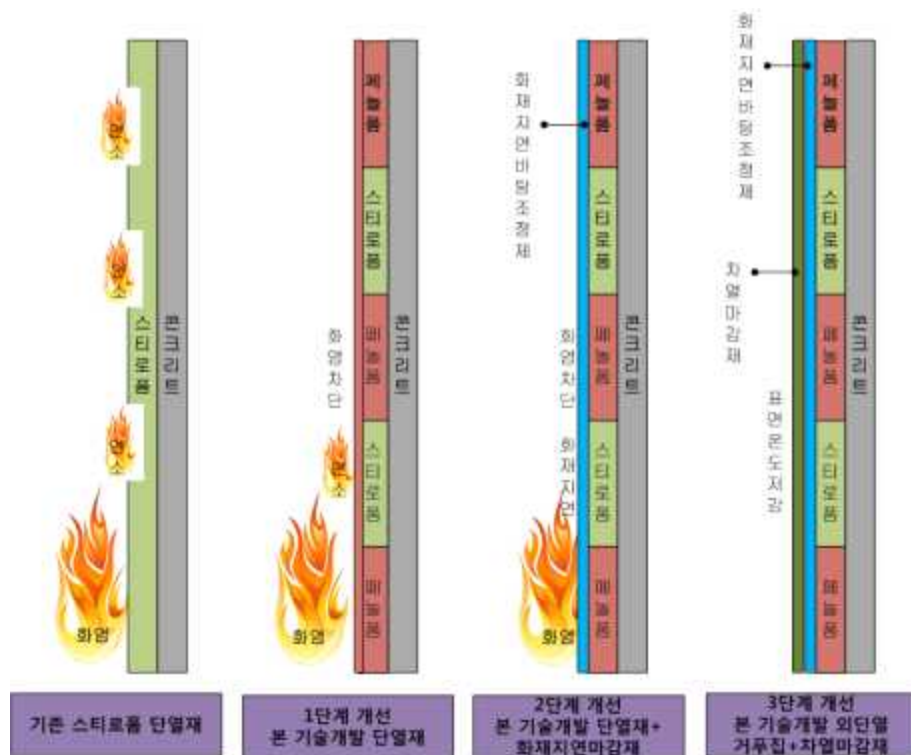
1. 연구개발과제의 개요

1-1. 최종 목표

○ 기술 개발의 목표

화재 지연이 가능한 다층형 단열 영구 거푸집을 사용한 에너지 절감형 구조물 시공방법

- 외장 마감재와 단열재를 복합적으로 사용한 영구거푸집을 사용하여 건축물의 공정 간소화
- 다층형 단열재 조성을 통한 부착력 확보 및 화재전달 억제 성능 확보
- 화재 지연 바탕조정재를 통한 방수성 및 열전달 억제
- 표면부의 열반사성의 차열마감재 처리를 통한 냉방부하 억제



○ 본 기술개발의 사회이슈

- 제로 에너지 정책에 따른 외단열 공법의 수요 증가
- 1) 패시브 하우스와 같은 에너지 절감을 위한 주택 시공 기술이 점진적으로 요구되고 있는 실정임.
- 2) 건축물의 에너지 성능을 향상하면서 발생하는 비용 상승과 시공비 절감을 위한 대안이 요구되고 있는 실정임.

- 외단열 공법의 사회적 안전성

- 1) 국내 외단열 공법에서 스티로폼 사용에 의해 발생하는 화재는 확산성이 높고 연소시 발열량이 높아 화재 위험성이 높음.(국내 의정부 화재 사고, 해운대 화재 사고)
- 2) 비교적 화재에 안전한 고밀도 단열재는 외피 밀도가 높거나 재질이 알루미늄이기 때문에 기존 건물에 대한 부착력이 낮아 현장 습식 공법 구현이 어려운 실정임.
- 3) 콘크리트를 단열재에 직접 타설할 경우, 자중과 습윤한 콘크리트의 성질로 인해 외벽 전도 안전성 확보 가능하므로 실구조물 타설시 직접적인 접촉에 의한 부착이나 공장 제작이 적합함.



<의정부 화재 사고>



<해운대 화재 사고>



<현장 시공에 의한 외벽 전도>

- 국내 노후 건축물의 교체 요구 증가

국내 노후 학교 시설물의 경우, 냉난방 부하로 인해 여름철 찜통 혹은 냉골 교실 운영을 높음 (찌통교실 26%, 냉골교실 42%)

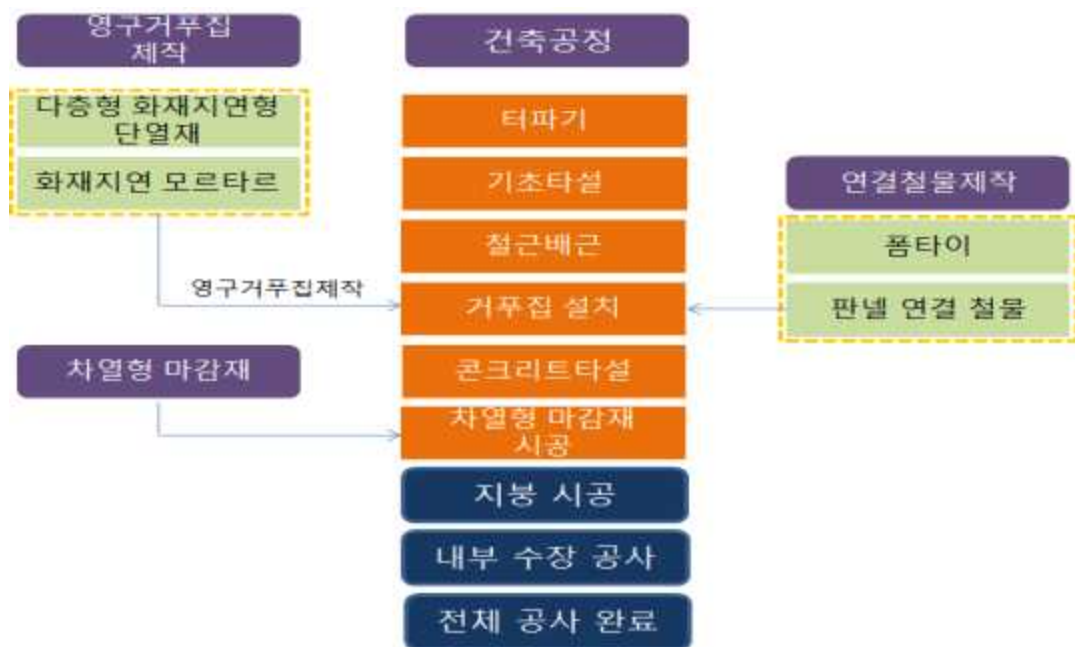
○ 본 기술개발의 주요 개발 소재 : 다층형 단열 영구거푸집

- 페놀폼 및 스티로폼의 간격 두께 도출
- 전면부 및 후면부의 인장력 보강
- 화재 지연 모르타르를 통한 안전성 강화
- 단열 거푸집의 부착력 향상



○ 주요 개발 공법 : 열관류율 저감 및 시공 과정 단순화

- 고성능의 단열겸용영구 거푸집 사용을 통한 건축물의 에너지 성능 확보
- 영구 거푸집 사용에 의한 공기 단축
- 연결소재 개발을 통한 배근 단순화



<본 연구 개발의 시공 상세>

○ 기술개발 성숙도

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

최종성과물	기술성숙도		설정근거
	유형	단계	
I. 화재 지연이 가능한 다층형 외단열 영구거푸집의 물리적 성능 평가 ■ 국내 학술지 논문 1건 ■ 특허 출원 2건	재료 자재	TRL 7	■ 다층형 외단열 영구거푸집의 물리적 성능 평가 1) 다층형 외단열 영구거푸집의 외부 페놀폼 두께에 따른 특성 평가(열전도율, 강도적 성능) 2) 다층형 외단열 영구거푸집의 화재 지연 바탕조정재 개발 (포비도 테스트, KS F 4716기초 성능 평가)
II. 화재 지연이 가능한 다층형 외단열 영구거푸집의 연결 철물 설계 ■ 국내 학술지 논문 1건 ■ 특허출원 2건	재료 자재	TRL 7	■ 다층형 외단열 영구거푸집의 연결 철물 설계 1) 다층형 외단열 영구거푸집의 연결 철물 설계 및 모듈화 2) 건물 부위별 영구거푸집 설치를 위한 철물 디자인 및 구조 해석 ■ 열차단 고탄성 외장마감재의 개발 1) KS F 4715의 기초 성능 평가 2) 외부 온도변화에 따른 표면 온도 특성 평가
III. 화재 지연이 가능한 다층형 외단열 영구거푸집을 사용한 구조물 시공법 개발 ■ 국내 학술지 논문 1건 ■ 특허출원 1건	공법·기법	TRL 7	■ 영구거푸집을 사용한 구조물 시공법 다층형 외단열 영구거푸집을 사용한 영구거푸집으로 활용함으로써 공정 및 공기 단축이 가능하고 열관류율 성능이 우수한 건축물을 시공하는 기법을 개발하고자 함. 1) 영구거푸집 설치를 위한 철물 개발 특허 1건 2) 구조물 시공법 1건 3) 시공된 구조물의 열적 특성 평가 학술지 논문 1건

2. 연구수행내용 및 성과

가. 국내 외단열 공법과 단열재

(1) 외단열 공법

가) 외단열 공법의 개요

○ 국내 외단열 공법의 도입은 1980년대 중반 미군의 FED(Far East District)공사의 요구 기준에 따라 미국 드라이비트 사의 재료와 기술을 도입하여 시공한 것이 계기가 되었음. 국내 건설산업에 도입될 당시에 외단열 공법은 단열 성능의 우수성과 함께 외부마감재로서의 방수, 내구성능 및 질감과 색 표현의 다양성, 시공시간의 단축 등 현대적인 건축재료로서의 우수한 성능을 지니고 있는 것으로 소개되었으며, 그 적용대상이 점차 넓어질 것으로 예상되었음.



그림 1. 선진국의 에너지 절감 방안

○ 국내에서는 대부분 내단열 방식으로 건물내에 단열재를 시공하고 건물 바깥에 콘크리트가 노출되어 있는 형태를 가지기 때문에 단열재를 시공한 후 내부 마감이 필요함. 따라서 실내공간이 그만큼 줄어들 뿐 아니라 마감재로만으로는 축열 효과를 얻을 수 없어 난방열을 쉽게 뺏길 수 있는 구조임.

외단열 공법의 경우 실내공간을 넓게 사용할 수 있을 뿐 아니라 실내공간의 콘크리트가 축열효과를 발휘하여 난방열을 오래 품고 있고, 벽체와 슬래브 접합부를 통한 열교 현상을 방지할 수 있기 때문에 열쾌적성 및 에너지 절감 측면에서 뛰어남.

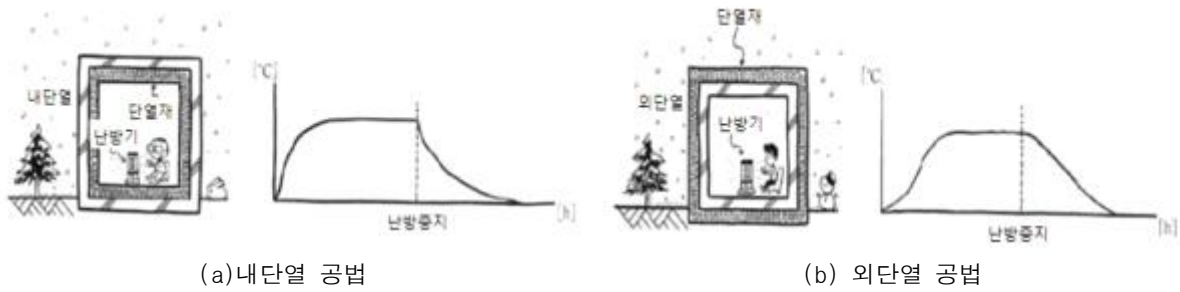


그림 2. 단열 공법의 특성

○ 외단열 시스템(Exterior Insulation Finish System: EIFS)은 [그림 3]과 같이 접착재료, 단열재, 보강 메쉬함침 및 마감재로 구성되어 있음. 외단열 시스템은 벽체의 외부에 단열재를 부착하고 내수성과 내충격성이 있는 재료로 마감하는 공법으로 단열의 불연속 부위가 없어서 외부로의 손실열량을 줄일 수 있으며, 표면 결로 및 내부 결로를 방지할 수 있어 열에 의한 구조체 손상을 방지함.

○ 외단열 시스템은 단열성능에 따른 외벽 두께 최소화, 다양한 마감면 형성 가능, 유지보수의 용이성, 마감을 위한 자재물량 최소화 및 경량 마감 가능이라는 여러 장점을 갖고 있으나, 설계 또는 시공방식에 따라 결과의 편차가 다른 공법에 비해 크게 나타나는 특징을 갖고 있음.

○ 최근 외단열 시스템에서 발생하고 있는 하자사례의 대부분은 검증된 적정자재의 사용과 제대로 된 시공방법을 준수하지 않아 초래된 단열성능 저하, 탈락, 변색, 백화, 부실화 등의 문제로 볼 수 있음. 즉, 외단열 시스템은 적절한 시공방법 및 기준 준수만 이루어진다면 단점이 많지 않은 공법이기 때문에 외단열 시스템의 표준 시방기준, 품질기준 및 관리방안을 명확히 한다면 외단열 시스템의 단열성능을 보장하면서 일부 단점을 최소화할 수 있음.



그림 3. 외단열 공법 형태와 시공

나) 국내 외 외단열 공법 관련 규정

○ 건축물의 에너지 절약 설계 기준에서 외단열 시공을 건축부분의 권장사항으로 하고 있으며, 전체 외벽 면적에 대한 창문비가 50%미만일 경우에 한하여 에너지절약계획서의 에너지성능지표 점수 산정 시 전체 외벽면적에 대한 외단열 시공면적 비율에 따라 배점을 부여하고 있음.

건축법 단열기준, 친환경주택건설기준, 건물에너지절약설계기준의 단계적 강화



그림 4. 건축법 단열 기준, 친환경 주택 건설 기준, 건물에너지 절약설계기준의 단계적 강화

(2) 외단열 시스템 화재시 화재 성상 및 위험성

가) 독일의 화재성상 및 위험성 실험 사례

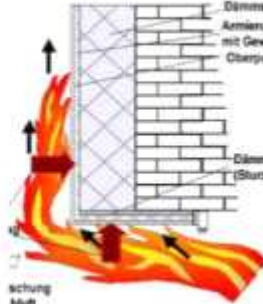
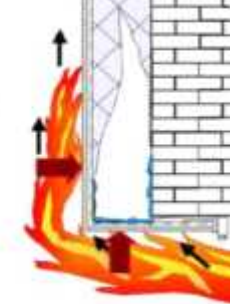
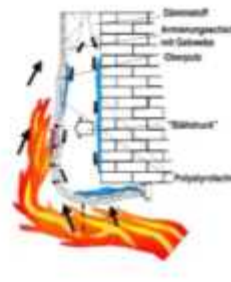
□ 독일의 재료시험연구원인 MEPA Leipzig GmbH(Institute for Material Research and Testing)의 외

단열 시스템 화재성상 및 위험성 실험 수행 사례를 조사한 내용은 다음과 같음.

① 건물 내부에서 최초 발화가 시작된 경우 화염 번짐 현상

건물 내부에서 최초 발화가 시작된 경우 화염은 개구부를 통해 외벽으로 순식간에 번지게 되며, 이 경우 화염의 움직임은 표 1과 같음.

표 1.. 건물 내부에서 최초 발화가 시작된 경우 화염 번짐 현상(출처: 독일 MEPA)

Analyzing on Flaming Test ● First Stage a. Flame jumps out through window b. Heat enters into body of EIFS from bottom and exterior. 	Analyzing on Flaming Test ● Second Stage a. Insulated material starts melting. b. The hole is formed c. The liquid flows down along with the wall and inner side of the reinforced layer. d. The liquid remains at the bottom (upper side of window) 
[1단계] 화염은 창문을 통해 외부로 흘러나와 수직 이동하며, 외단열의 하부와 외측면을 통해 외단열 시스템 내부로 열이 침투하게 됨.	[2단계] 침투된 열에 의해 외단열 시스템의 하부가 녹기 시작하며, 단열재가 녹으면서 내부에 중공층이 생성됨. 열에 의해 녹은 단열재의 액상이 바닥에 남아있게 됨.
Analyzing on Flaming Test ● Third Stage a. The gas in the hole starts expanding. b. The reinforced layer starts deformation by being squeezed. c. Cracks occurs on reinforced layer. d. The bottom area drops by the pressure of liquid. e. Some liquid overflows. 	Analyzing on Flaming Test ● Forth Stage a. The bottom part is broken b. Flame spread into the body. c. The liquid drops down. 
[3단계] 내부 중공층에 유독가스가 확장하며 압력이 상승하여, 외단열 시스템을 유지하고 있던 reinforced layer가 붕괴되기 시작함. 자재가 녹고 바닥에 남은 액상의 하중으로 인해 외단열 시스템 하부가 떨어져 나감.	[4단계] 외단열 시스템의 하부가 붕괴되고, 붕괴된 사이로 불길이 침투하면서 화염이 번지게 됨.

◦ 건물 내부에서 시작된 화염은 창문을 통해 상층부 외단열의 하부에 열을 가해 붕괴시키고, 그 사이로 화염이 번지면서 외단열 시스템을 타고 불길이 순식간에 상층부로 수직이동하게 됨.

② 건물 외부에서 최초 발화가 시작된 경우 화염 번짐 현상

- 건물 외부의 불씨가 건물로 옮겨 붙어 화재가 발생하는 경우 건물 외벽을 타고 화염이 번질 수 있는 위험이 있기 때문에 이를 대비한 설계가 필요.
- 표 2는 화재 확산 대비 설계가 있는 경우와 그렇지 않은 경우 화재 발생 시 피해 정도를 보여줌.

표 2. 건물 외부에서 최초 발화가 시작된 경우 화재 위험성 (출처: 독일MEPA)



나) 외단열 공법의 화재 확산 방지 설계

- 외단열 공법에서 내화성은 구성 재료의 내화성과 외단열 공법으로서의 내화성을 고려할 수 있는데, 독일 및 유럽에서는 전화 후자를 복합적으로 고려하여 적용하도록 규정

건축물의 피난발화구조 등의 기준 제24조

3호의 제2호에 해당하는 건축물의 외벽(발화구조의 일부가 제외)에 해당하는 외벽의 내화성을 포함한다. 이는 법 제24조제2항 후단에 따른 불연재료 또는 준불연재료를 단열재료(단열재, 도장 등 코팅재료 및 그 밖에 마감재료를 구성하는 모든 재료를 포함한다)에 의해 마감된 상태에서 사용한다(제24조제2항제2호)를 말한다.

다만, 외벽 마감재료를 구성하는 재료 전체를 하나로 하여 불연재료 또는 준불연재료에 해당하는 경우, 마감재료를 단열재료는 난연재료로 사용할 수 있다. (2013.12.7.)

제24조제2호 발화구조 중 제6호제2항제1호에 해당하는 건축물의 외벽을 국토교통부장관이 정하고 고시하는 화재확산 방지구조 기준에 적합하게 설치하는 경우에는 난연재료를 마감재료로 사용할 수 있다.

외단열시스템조건

Case 1 (5항) 마감재료를 구성하는 모든 재료는 준불연 이상이어야 한다

단열재	외장재	마감재
준불연재	준불연재	준불연재

Case 2 (단, 시스템으로 준불연성능 이상이면 단열재에 한해 난연재로 사용가능)

단열재	외장재	마감재
난연재	준불연재	준불연재

※ 국외부 설치 방법 ※
외벽에 마감되는 단열재 등 모든 마감재료를 일괄로 하여 준불연성능을 확보하는 경우라면 단열재에 한해 난연재료를 사용할 수 있고 외장재, 마감재는 각각에 대하여 준불연성능 재료를 사용하여야 합니다.

Case 3 (6항) 화재확산 방지구조 설치시, 마감구성재는 난연등급을 사용 가능

화재확산방지	단열재	외장재	마감재
지정/불연	난연재	난연재	난연재

- 수직 화재확산 방지를 위하여 외벽마감재와 외벽마감재 지지구조 사이의 공간에 화재확산방지재로써 대충보다 최소 높이 400mm 이상 밀설하게 채움.
- 화재 확산 방지 재료
 1. 한국산업표준 KS F 3504(석고 보드 제품)에서 정하는 12.5mm 이상의 방화 석고 보드
 2. 한국산업표준 KS L 5509(석고 시멘트판)에서 정하는 석고 시멘트판 6mm 이상인 것 또는 KS L 5314(섬유강화 시멘트판)에서 정하는 6mm 이상의 평형 시멘트판(예: CRC보드)
 3. 한국산업표준 KS L 9102(인조 광물섬유 단열재)에서 정하는 미네랄울 보온판 2호 이상
 4. 한국산업표준 KS F 2257-8(건축 부재의 내화 시험 방법 - 수직 내내력 구획 부재의 성능 조건)에 따라 내화성능 시험한 결과 15분 차열성능 및 미연온도가 120K 이상 상승하지 않는 재료

그림 5. 국내 외단열 시스템 조건 및 화재 확산 방지 구획 정의

- 국내에서는 2010년 해운대 주상복합 외벽 화재사건을 계기로 기존 “건축물 내부 마감재료의 난연성능 기준”을 “건축물 마감재뿐만 아니라 외부마감재에 대해서도 외기에 접하는 면에 대하여 화재 확산

및 가스 유해성 검사 시험을 하도록 규정하였음.

◦ 2012년 9월에 또 한 번의 개정을 통하여 외벽에 준불연재료 이상을 사용하되 외벽을 국토해양부장관이 고시하는 화재 확산 방지구조 기준에 적합하게 설치하는 경우에는 난연재료를 사용할 수 있도록 규정함으로써 독일 및 유럽연합의 기준과 유사한 성능을 확보하도록 기준을 대폭 강화

표 3. Fire Behavior of EIFS(독일)

Areas of Application	재료의 종류
0~7m	제한없음
7~22m	내화재료를 사용할 필요는 없지만 내화시스템이어야 함
22~100m	내화재료를 사용할 것

표 4. Regulations & Approvals in EIFS fire resistance(유럽연합)

(1) Reaction to fire performance

등급	내용
A1	No Substantial flame spread
A2	
B	
C	Resisting for more than 10min
D	Resisting for 2~10min
E	Resisting for 2min
F	No reaction to fire performance are determined

(2) Smoke production

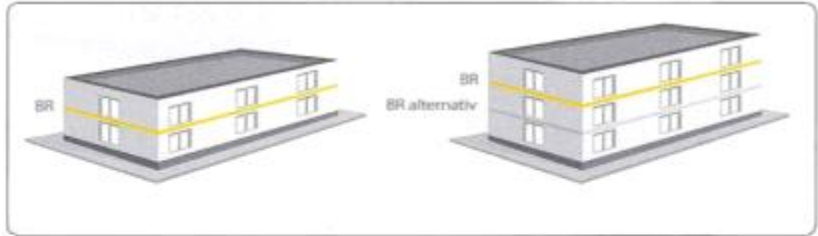
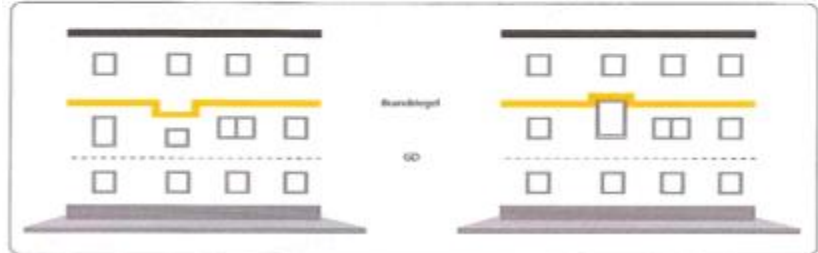
등급	내용
S1	Small Smoke production
S2	Average smoke production
S3	Big Smoke production

(3) Flaming droplets/particulates

등급	내용
d0	No flaming droplets/particulates
d1	Flaming droplets/particulates persisting not longer than 10sec
d2	No limitation

◦ 외단열 시스템의 화재성상 및 위험성 검토 및 조사결과를 바탕으로 화재성능을 확보하기 위한 외단열 시스템의 개선방안을 도출하면 다음과 같이 몇 가지로 정리할 수 있음.

표 5. 외단열 시스템의 화재성능 확보 방안

대분류	중분류	화재성능 확보 방안							
A. 외단열 자재 품질 개선을 통한 화재성능 확보 방안	a. 자소성이 확보된 심재 사용	외단열 시스템에서 가장 많이 사용되고 있는 EPS 단열재 품질 기준을 강화하여 자소성(자기소화성)을 확보하는 방안							
	b. 비드법 1, 2종 단열재 사용	EPS 단열재의 경우 자소성유무에 따라 해외선진사례와 같이 B1/B2등급으로 분리하여 외단열의 경우 B1등급만 사용하는 방안							
	c. 무기질 마감재 사용	EPS 단열재와 같은 유기질 단열재에 무기질 마감재를 사용(접착 재료 포함)하여 5mm 이상의 무기질 바탕재를 미장층으로 만듦으로서 단열재까지 불길이 번지는 시간을 확보하는 방안.							
B. 외단열 설계 및 시공 기준 개선을 통한 화재성능 확보 방안	a. 개구부 상단 불연단열재 설치	두께 100mm 이상의 단열재의 모든 개구부 상단 혹은 테두리에 화재 확산방지를 위한 불연단열재(미네랄 울)을 설치함으로써 개구부를 통해 화염이 수직 확산되는 것을 방지할 수 있음.							
	b. 2개 층마다 불연단열재 띠장 설치 (화재 확산방지 구조)	외단열 시스템이 적용된 건물의 2개 층마다 불연단열재 띠장을 설치하여 화염이 수직 확산되는 것을 방지할 수 있음. 창문의 모양이 각기 다른 경우에는 아래와 같은 방식으로 띠장을 설치할 수 있음   <불연단열재 띠장설치 방법- 독일 외단열 협회> 국가별 화재 확산방지구조 기준 비교 <table><tr><th>국가</th><th>기준</th></tr><tr><td>독일</td><td>2개 층마다 20cm 화재 확산방지 띠 설치</td></tr><tr><td>중국</td><td>매 층마다 30cm 화재 확산방지 띠 설치</td></tr><tr><td>대한민국</td><td>매 층마다 40cm 화재 확산방지 띠 설치</td></tr></table> - 다른 국가에 비해 국내 기준은 독일, 중국에 비해 강화된 기준임.	국가	기준	독일	2개 층마다 20cm 화재 확산방지 띠 설치	중국	매 층마다 30cm 화재 확산방지 띠 설치	대한민국
국가	기준								
독일	2개 층마다 20cm 화재 확산방지 띠 설치								
중국	매 층마다 30cm 화재 확산방지 띠 설치								
대한민국	매 층마다 40cm 화재 확산방지 띠 설치								

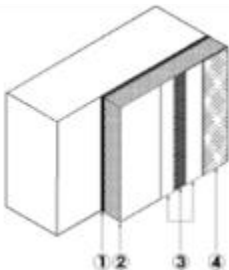
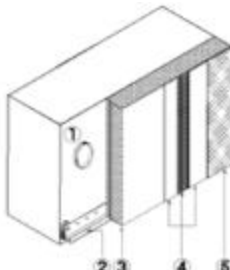
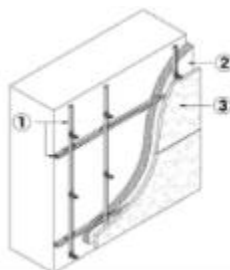
(3) 단열재

가) 공법에 따른 외단열 시스템 종류

◦ 국내외 외단열 시스템 제품 유형은 구조체에 외단열 시스템을 고정시키는 방법에 따라 크게 습식, 반건식, 건식(통기식)으로 구분할 수 있으며, 각 시스템의 방식에 따라 외단열 시스템 시공법별 작업순서 및 공법의 특성 차이가 발생함.

◦ 습식공법의 경우 접착재료를 이용하여 외단열 시스템을 고정하고, 반건식공법의 경우 PVC 트랙과 약간의 접착재료를 이용하여 외단열 시스템을 고정하는 데 이 때 단열재에는 PVC 트랙이 끼워질 수 있는 홈이 생기게됨. 통기식 공법은 석재 혹은 금속재 패널 등을 외부 마감재로 할 경우 적용되며, 단열재와 외부 마감재 사이에 통기층이 형성됨.

표 6. 외단열 시스템 방식에 따른 시공방법

	습식	반건식	건식(통기식)
개념도			
구성	접착재료(①) 단열재(②) 베이스코팅재 보강메쉬 함침(③) 탑코트(④)	접착재료(①) 트랙(②) 단열재(③) 베이스코팅재 보강메쉬 함침(④) 탑코트(⑤)	메탈프레임(①) 단열재(②) 통기층 탑코트(③)
적용부위	일반 부위	일반 외벽	공동주택 저층부의 석재마감 외벽

나) 외단열 시스템의 구성요소별 특징

- 외단열 시스템은 단열재, 접착재료, 메쉬(유리망 섬유), 마감재의 4가지 요소로 이루어져 있으며, 각각의 구성요소가 서로 유기적인 결합을 이루면서 외벽 단열 마감재 기능을 하고 있음.
- 외단열 시스템의 구성요소 중 단열재는 철근 콘크리트나 벽돌 등 이미 만들어진 구조체에 덧대는 것으로 외벽 단열을 위한 기본 자재임. 스티로폼이나 불연성 압면, 난연성 발포 폴리스틸렌 폼이 주로 쓰이는 소재이며 최대 크기 600×1,20 mm의 스티로폼이 사용됨.

표 7. 유기 단열재 종류

구분	EPS (비드법 1종)	EPS (비드법 2종)	압출법 단열재	PF보드	경질우레탄 보드
사진					
구성	Polystyrene	Polystyrene	Extruded Polystyrene Foam	Phenol Resin	Polyisocynurate

① 비드법 단열재(EPS)

- 비드법 보온판은 ‘비드’라고 하는 작은 알갱이를 수증기로 발포시켜 만든 단열재로, 비드법단열재의 밀도는 ‘비드’를 어떤 크기로 발포하느냐에 달라짐. 발포 크기와 밀도에 따라 1호에서 4호로 등급을 나눔. 작게 발포할수록 밀도가 높고 단열성능이 좋아지는데 통상 30kg/m³가 가장 단단하고 열전도 특성이 뛰어나다고 알려져 있음.

- 비드법(EPS) 단열재의 장점은 현장에서 절단 등의 가공이 쉽다는데 있으며 시공방법에 따른 단열성능의 오차가 적음. 반면 흡수율이 약 2~4%대로 상대적으로 높아 단열재가 흡습했을 경우 단열성이 저하될 수 있으므로 직접 물에 닿는 부위의 시공은 피하고 지상층 외벽에 적용하는 것이 적정함.

- 또한 제조 후 충분한 숙성과정이 없으면 휨 현상이 발생할 수 있는데, 비드법 1종 보다 비드법 2종에서 이러한 현상이 보다 빈번하게 나타남.

② 압출법 단열재(XPS)

- 압출법 보온판은 일반적인 특징이 비드법 보온판과 거의 같지만 흡수율이 매우 낮아 지붕(옥상)이나

지면에 닿는 부위 등 직접 물에 닿는 부위에 적용이 가능함.

◦ 또한 흡수율이 낮기 때문에 외단열 적용 시 접착 모르타르와의 부착력이 좋지 않은 단점이 있기 때문에 습기에 약한 건물의 기초와 외벽 접합부의 외단열재로 주로 사용됨.

③ 페놀폼

◦ PF보드는 400~500℃의 내화성을 갖는 열경화성 수지를 90%이상의 독립기포율로 발포시킨 고성능 건축용 단열재임. 유사한 열전도율을 갖는 우레탄보드는 화재시 시안 가스가 발생되는 것에 비해 페놀폼의 가스 발생은 거의 없음.

화재 발생시 PF보드는 표면이 탄화상태가 되어 외부의 발열이 내부로 지속적으로 침투되는 것을 억제할 수 있어 화재 연속성이 낮은 특성을 가지고 있어 준불연재료에 속함.

④ 경질폴리우레탄 단열재

폴리이소시아네이트 폴리올 및 발포제를 주제로 하여 발포 성형한 판모양의 단열재로 열전도율이 PF보드와 유사한 정도임. 그러나 화재시 시안가스 방출로 인해 유독가스에 의한 인체 위협이 크게 증대되는 문제점이 있음.

반응기가 짧은 사슬로 복잡한 그물망을 형성하는 것과 긴 사슬구조로 상대적으로 그물망이 적은 구조의 것을 볼 수 있음. 그물망이 촘촘하게 이뤄진 반응의 경우 딱딱한 특징이 강하게 나타나며 이소시아네이트와 물과 반응한 우레아는 딱딱한 성질을 강하게 하기도 함.

나. 다층형 외단열 영구 거푸집의 설계

(1) 개요

패시브하우스의 외벽 열관류율 $0.15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 는 외기와 먼한 벽에 붙박이 장을 설치하여도 하자로 이어지지 않는 최소한의 열적 조건임. 주택에서의 겨울철 곰팡이 생성온도는 상대습도 60%이상, 10°C 이하일 경우 발생하게 되는데, 2013년 8월까지의 중부지방 외벽 법적 열관류율인 $0.36 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 으로 구

성한 벽은 기하학적 열교가 발생하는 모서리 부분이 곰팡이 생성온도인 9.6℃로 낮아지며, 패시브하우스 외벽 열관류율 기준인 0.15 W/m²·K 으로 구성된 벽 모서리의 온도는 곰팡이 생성온도를 벗어날 수 있음.

패시브 하우스의 단열성 확보를 위한 단열재 두께와 열관류율의 관계는 수직관계로 형성되지 않으며, 열관류율이 낮아질수록 단열재의 두께는 기하급수적으로 증가하게 되는 문제점이 있음.

단열재를 설계할 때 열전도율이 좋은 단열재를 사용할 경우에는 경제적비용 증가가 크고 두께 감소 효과는 저감되기 때문에 이종의 단열재를 적절하게 사용하여 단열재의 두께와 에너지 비용의 상관관계를 따져서 단열성능을 설계하는 것이 요구됨.

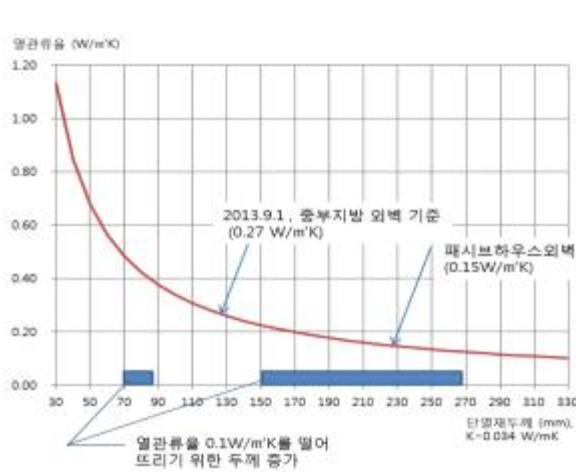


그림 6. 열관류율과 두께

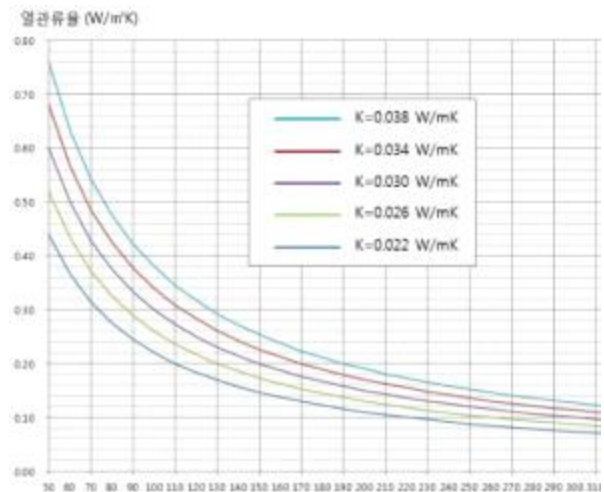


그림 7. 열전도율에 따른 열관류율 및 단열재 두께 변화

따라서 본 절에서는 목표 단열재의 조합 방식에 따른 두께 변화와 가격적인 측면을 고려하여 기본적인 형태를 도출하고자 함.

(2) 다층형 외단열 열관류율 설계 및 경제성 분석

다층형 외단열 단열재를 설계하기 위하여 단위 소재들의 특성을 평가한 결과 아래 표8과 같이 나타났음.

열관류율 0.15W/m²K를 도달하기 위한 두께는 비드법 1종 234mm, 압출법 180mm, 페놀폼 130mm, 진공단열재 4.7mm나타났음.

경제성 부분에서는 두께에 반비례하여 가격 성능이 우수한 것으로 나타났음. 진공단열재의 경우에는

열관류율 성능이 우수하나 스티로폼계열인 비드법에 비하여 약 3배가량 상승하는 것으로 나타나 경제성이 없는 것으로 나타남.

본 연구에서는 준불연 소재인 페놀폼과 압출법 단열재간의 가격은 약 65%정도 차이를 보이고 있으며, 비드법의 경우 약 50%정도로 나타남.

표 8. 주요 유기계 단열재 및 열관류율 1.5W/m²K 도달시 특성

구분	열전도율(W/mk)	단위가격 (m2당 원/mm)	동일 성능 가격 (원/0.3W/m2K)	두께
비드법 1종	0.034	102	23,868	234
압출법 특호	0.029	176	31,680	180
페놀폼	0.019	370	48,100	130
진공단열재	0.007	16,000	75,200	4.7

(3) 층별 구성에 따른 두께 변화 및 경제성

유기계 단열재를 조합하는 방식에 따라 열관류율 변화와 이에 따른 단열재의 두께 및 가격을 산출한 결과는 아래와 같음.

먼저, 페놀폼의 일반 규격인 30mm를 기준으로 하였을 때 비드법과 압출법 단열재를 부착하였을 때 목표 열관류율에 도달하는 것을 산출하였을 때 타입 A의 경우 160mm의 두께가 요구되며, 가격은 39,800으로 나타났음. 타입 B의 경우 180mm의 두께와 가격은 34,440원인 것으로 나타나 가장 저렴한 가격인 것으로 나타남.

타입 B의 단열재 두께를 저감하기 위하여 페놀폼의 두께를 증가시킨 한면을 페놀폼으로만 사용한 타입 C의 경우 가격이 압출단열재와 페놀폼의 복합인 타입 A와 비교하였을 때 가격차이가 거의 없는 것으로 나타나, 단열재 조합등을 위한 제작비용이 추가될 경우에는 타입 A의 경제성은 매우 낮은 것으로 나타남.

타입 B를 사용할 경우 페놀폼과의 가격을 비교하여 보면 약 13,660원 가량 낮으며, 스티로폼만 사용하였을 경우보다 약 10,572원이 증가하는 것으로 나타났음. 두께에서는 전체 단열재 두께가 페놀폼에 비하여 약 50mm증가하였으나, 스티로폼에 비하여 약 90mm를 감소시킬 수 있는 것으로 나타났음. 압출단열재 조합 방식인 타입A와 비교하였을 때 20mm가량 차이를 보이고 있음.

표 9. 단열재 조합방식에 따른 단열재 두께 및 가격

	실외 -5℃ 일때 실내 표면 온도	열저항합계 (m ² K/W)	열관류율 (W/m ² K)	단열재 두께 (mm)	가격
타입 A 페놀폼 30mm + 압출단열재 50mm + 콘크리트 + 압출단열재 50mm + 페놀폼 30mm	19.61℃	6.972	0.143	160	39,800(원)
타입 B 페놀폼 30mm+스티로폼 60mm+콘크리트+ 스티로폼 60mm+페놀폼 30mm	19.49	6.809	0.147	180	34,440(원)
타입 C 페놀폼 60mm+스티로폼 0mm+콘크리트+ 스티로폼 60mm+페놀폼 30mm	19.48	6.721	0.149	150	39,420(원)
페놀폼	19.5	7.022	0.15	130	48,100(원)
	19.59	8.601	0.12	160	59,200(원)
스티로폼	19.48	6.68	0.15	234	23,868(원)
	19.58	8.236	0.12	290	29,580(원)

(4) 소결

1. 표면부의 화재 억제가 가능한 유기계 단열재로는 페놀폼이 유일한 것으로 나타났음. 페놀폼과 다른 단열재와 조합하여 사용할 경우 고가의 페놀폼의 사용량을 저감하면서 적정 두께를 구현할 수 있을 것으로 나타났음.
2. 페놀폼 30mm를 전면에 둔 후 압출단열재와 스티로폼을 후면에 위치할 경우의 열관류율 0.15도달 두께차이는 약 20mm정도로 그 차이는 크지 않은 것으로 나타났으며, 스티로폼의 경우가 약 5000원정도의 절감 효과가 있는 것으로 나타났음.
3. 동일 관류율에서 본 페놀폼과 페놀폼+스티로폼 조합 타입의 단열재 두께 차이는 약 5cm차이로 페놀폼만을 사용한 경우에 비하여 약 30%정도 증가하는 것으로 나타남. 스티로폼만 사용한 경우 페놀폼과 두께차이는 약 80%정도의 차이를 보이고 있어 단면 감소 측면에서 유리한 것으로 나타남.

다. 화재지연형 바탕조정재 개발

(1) 개요

화재지연을 위한 무기 도료 및 모르타르는 크게 내부의 탈수 작용과 공기층에 의한 차열 구조 형태를 갖는다. 바탕조정재의 실제 시공두께는 약 2~3mm정도 매우 얇은 두께로 시공되기 때문에 탈수 및 차열 구조를 갖는 공기층을 갖기 어려운 단점이 있음. 바탕조정재 상부에 시공되는 유기층의 마감재의 두께를 고려하면 약 4~5mm두께를 갖게 되는데 본 연구개발에서는 바탕조정재에 화재시 팽창성을 부여하여 마감재와 바탕조정재 사이의 공극을 생성시키고 팽창된 표면의 공극을 활용하여 화재시 공극부위의 두께를 증가시켜 열에너지를 감소시키는 것이 화재지연형 바탕조정재의 기본 개념임.

한편, 현재 사용되고 있는 바탕조정재는 고밀도 단열재인 압출형 단열재나 페놀폼에 대한 접착력이 낮아 부착력 저하로 인한 마감재 부위의 탈락 등이 발생하는 문제점이 있음. 본 연구 개발에서는 이러한 화재 지연형 바탕조정재의 기초 물성을 확인하고 기존 바탕조정재의 부착력을 개선하고자 함.

(2) 실험방법

가) 사용 재료

1.1 바인더

① 시멘트

시멘트는 KS L 5201에 따라 국내 S사에서 생산한 1종 보통 포틀랜드 시멘트(Ordinary portland cement; 이하 OPC라 함)를 사용하였음. OPC의 주요 화합물은 CaO를 주로 한 C3S, C2S, C3A와 같은 4대 조성광물로 구성되어 있음.

표 10. 사용재료의 XRF

Type	화학적 조성 (%)							
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	SO ₃
OPC	18.79	65	4.2	4.92	0.09	1.24	2.26	1.68

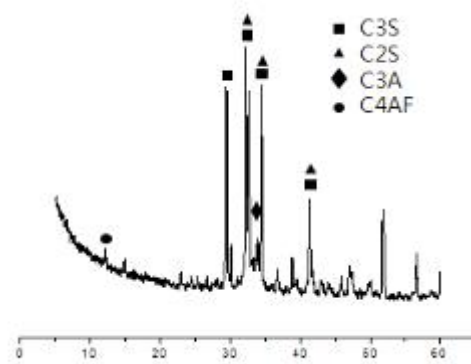


그림 8. 시멘트의 XRD

② 플라이애시

플라이애시는 비중이 2.2이고, 분말도 $2800\text{cm}^2/\text{g}$ 인 K사의 것을 사용하였음. SiO_2 의 비율이 50%정도이며, $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 가 약 78.346%인 것을 사용하였음. 플라이애시의 XRD를 살펴보면, 규산질의 석영 피크가 주를 이루고 있으며, 알루미나질의 물라이트가 관찰되었음.

표 11. 플라이애시의 XRF

SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	MgO	P_2O_5	SO_3	K_2O	Na_2O	TiO_2
50.88	22.33	6.702	5.136	2.18	0.237	0.795	0.98	1.69	0.949

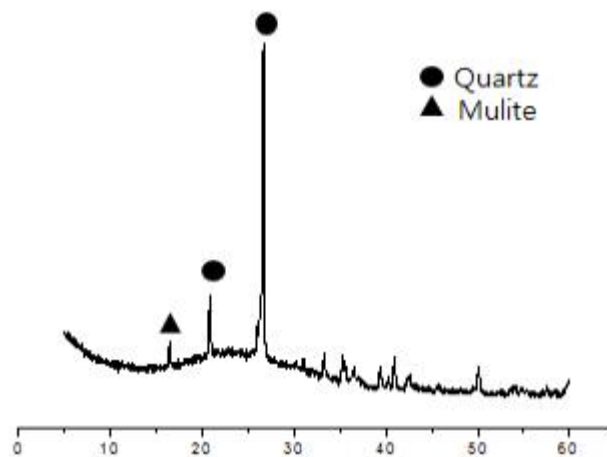


그림 9. 플라이애시의 XRD

③ 실리카흙

본 실험에 사용된 실리카흙은 Elkem사의 Undensified 것을 사용하였으며, 비중은 2.2이고 SiO₂함량이 90%이상인 것을 사용하였음.

1.2 골재

골재는 천연규사를 사용하였음. 골재 입도는 7호 규사를 사용하였으며, 입경 범위는 0.075~0.6mm의 크기를 갖는 것을 사용하였음.

표 12. 골재의 입도

크기(mm)	0.65~0.85	0.2~0.6	0.1~0.25	0.075~0.1
비율(%)	19.74	40.78	13.16	26.32

1.3 화학첨가제

① 아크릴 에멀전

아크릴 에멀전은 D사의 DA-1364로 St-Acryl타입의 제품을 사용하였음.

② 메칠셀룰로오스

메칠셀룰로오스는 제품의 부착성 확보와 흐름성을 확보하기 위하여 S사의 것을 사용하였음.

③ 유기 섬유

섬유는 아크릴계 섬유를 사용하였으며, 직경이 3~5mm인 것을 사용하였음.

④ 팽창흑연

산, 알칼리 및 염 등의 기타 화학물질을 천연 인상흑연에 넣어 특정온도로 가열될 때 GIC는 빠르게 분해되어 많은 양의 가스를 생성하여 흑연을 팽창시키게 되는 특성을 가지고 있음. 본 연구 개발에 사용된 팽창흑연(Expandable Graphite)은 100메쉬의 것을 사용하였으며, 팽창율은 150%인 것을 사용하였음.

나) 배합

본 연구 개발에서 사용된 바탕조정재의 배합은 아래 표와 같이 아크릴 에멀전과 골재가 혼합된 반액상의 페이스트를 제조한 뒤 여기에 시멘트를 혼합하여 사용하였음. 배합 1의 경우 골재에 대하여 플라이애시를 5,10,15,20%치환하였으며, 실리카흙은 플라이애시 10%에 대하여 1, 3, 5%치환하였음. 화재지연형 물질로 팽창흑연을 5, 10,,15, 20%치환하여 성능을 평가하였으며, 배합의 2의 경우 전체 체적에 대하여 아크릴 섬유를 0.5, 1%를 혼합하여 그 물성을 측정하였음.

표 13. 골재+ 아크릴 에멀전의 페이스트

물	7호사	아크릴 에멀전	메칠셀룰로스
280	530	180	6

표 14. 배합 1 - 규사 치환 분체 배합

	골재	플라이애시	실리카흙	팽창흑연	OPC
Plain	1140	0	0	0	2000
F05	1083	57	0	0	2000
F10	1026	114	0	0	2000
F15	969	171	0	0	2000
F20	912	228	0	0	2000
F10S1	1014.6	114	11.4	0	2000
F10S3	991.8	114	34.2	0	2000
F10S5	969	114	57	0	2000
FSEG05	934.8	114	34.2	57	2000
FSEG10	877.8	114	34.2	114	2000
FSEG15	820.8	114	34.2	171	2000
FSEG20	763.8	114	34.2	228	2000

표 15. 배합 2 - 아크릴 섬유 혼합 배합

	골재	플라이애시	실리카흙	팽창흑연	OPC	섬유혼입율 (체적비x%)
FSEG05	820.8	114	34.2	171	2000	0.5, 1
FSEG10	763.8	114	34.2	228	2000	0.5, 1

다) 시험체 제작

본 실험에서는 시멘트 모르타르의 기초적인 성능을 평가하기 위하여 시멘트 모르타르의 시멘트 모르타르(KS F 2405)의 압축강도를 측정하였음. 압축강도의 측정은 각 재령별로 3일, 7일, 28일의 특성을 평가하였다. 또한 부착강도 시험체를 제작하여 14일 재령에서의 부착강도를 측정하였음.



그림 10. 시험체 배합



그림 11. 시험체 제작

라) 측정 방법

① 휨강도 및 압축강도 측정

바탕조정제의 휨 및 압축강도 시험은 KS F 2477(폴리머 시멘트 모르타르의 강도 시험방법)에 준하여 측정은 3, 7, 28일 재령에 측정하였음.



그림 12. 휨강도 및 압축강도 측정 전경

② 부착강도 시험

아래 그림 13에 나타난 시험용 밀판을 연마한 후 안쪽치수 40mm × 40mm × 10mm의 금속제 또는 합성 수지제 형틀을 넣고 시료를 형틀과 동일한 높이까지 채워 성형함. 그 후 20±2℃, 습도 65±10%에서 양생하고, 성형 후 24시간 경과한 후에 탈형하여 다시 재령 28일까지 양생시킨 것을 부착강도 시험체로 함.

정해진 양생이 끝난 시험체를 양생실 내에 수평하고 놓고 시료 도포면에 접착제를 바른 후, 그림 5에 나타난 상부 인장용 지그(강철제)를 가만히 올려놓고 가볍게 문질러 접착시킴. 다음으로 그 위에 무게 1kg의 추를 얹어 주위에 비어진 접착제를 신중히 제거함. 24시간 진동 없이 둔 후 추를 제거하고 그림 5와 같은 하부 인장용 지그(강철제) 및 강철제 받침판을 사용해서, 시료면에 대해 수직 방향으로 인장력을 가해 최대 인장하중을 구함.

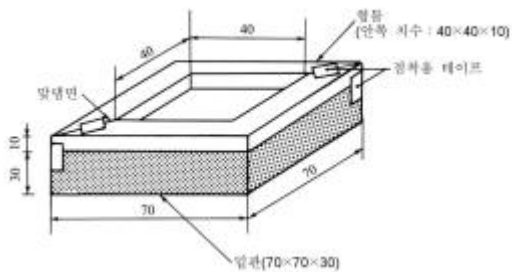


그림 13. 부착강도 시험체 제작용 밀판 및 형틀

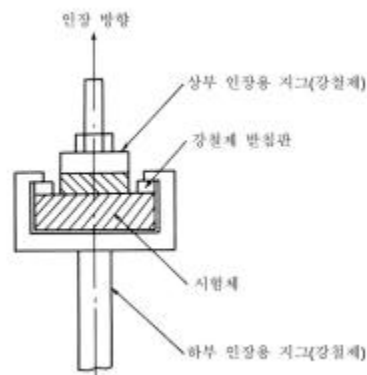


그림 14. 부착강도 시험체 조립 완성도

③ 물흡수계수

물흡수계수란 재료의 면적당 물흡수량(kg/m²)과 시간()사이의 비례 계수를 말함. 물흡수계수를 측정하기 위하여 KS F 4716의 기준에 따라 시험체를 제작하고, 그림 20과 같이 시험체를 제작하였음. 제작된 시험체를 물흡수계수 산정을 위하여 KS F 2609(건축 재료의 물 흡수 계수 측정 방법)에 따라 측정하였음. 재료의 한면이 물과 접촉시 시간에 따른 면적당 흡수량은 다음과 같음.

$$= w \quad t$$

여기서,

m: 면적당 물흡수량(kg/m²)

w: 물 흡수 계수(kg/m² · h0.5)

t: 시간(h)



그림 15. 물흡수계수 측정용 시험체 (KS F 4716)

④ 충격시험

KS F 2221에 규정하는 모래 위 전체면지지 방법으로 수평하게 유지한 시편의 표면에 구형 추 W2-1000을 높이 50cm에서 낙하하여 시편의 잔갈림 및 밑판에서 이탈 유무를 육안으로 관찰하였고, 1개의 시험체에 대하여 5cm 이상 떨어진 3곳에 시행하였음.



그림 16. 시험체의 내충격성 시험

⑤ 잔갈림 특성

KS F 4716 규격에 따라, 초기 건조에 따른 내잔갈림성 시험을 실시하였음. 먼저, 2mm 두께가 되도록 바른 시험체를 풍속 $3\text{m/s} \pm 10\%$ 로 조정한 공기 흐름통 내에 넣어 시험체를 기류에 평행이 되도록 놓는다. 6시간 후에 꺼내어 표면에 잔갈림이 발생하였는지의 여부를 육안으로 관찰함.



그림 17. 내잔갈림성 시험

⑥ 온냉반복작용에 대한 저항성 시험

시험체를 물속에 18시간 침지시킨 후 꺼내어 즉시 $-20\pm 3^{\circ}\text{C}$ 의 항온 탱크 내에서 3시간 냉각시킨 후 $50\pm 3^{\circ}\text{C}$ 의 항온 탱크 내에서 3시간 가열함. 이 조작을 10회 반복하고, 양생실에서 2시간 가만히 놓아 둔 후 표면의 갈라짐, 부풀 등의 결함이 있는지를 육안으로 관찰한다. 이어서 부착강도를 측정함.

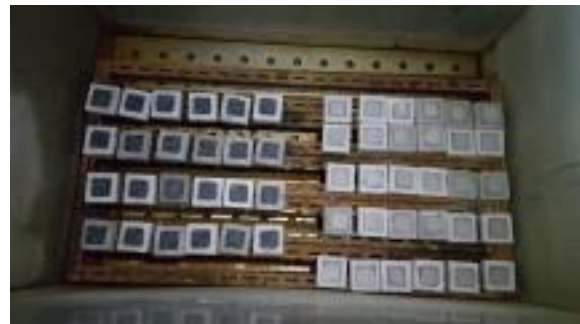


그림 18. 시험체의 온도 열화 시험 전경

⑦ 내부 미세구조 및 수화생성물 관찰

1) XRD 분석

시험체의 XRD분석은 일본 RigaKu사의 Dimax 2500을 이용하여 X선 회절 분석을 실시하였으며, 측

정조건은 $\text{CuK}\alpha$ (Nifilfer) : 40kV, 30mA, Scanning Speed: 4°/min, start angle: 5°, stop angle : 60°로 하였음.

2) 시차열 분석(Differential Thermal Analysis; 이하 DTA 라 함)

시험체 내의 수화물 조성을 분석하기 위하여 DTA 분석을 실시하였으며, 승온 속도는 30°C/min, 최대 온도 1,000°C로 내 분위기 조건은 Air로 하였음.

3) 공극 분석

시험체의 공극량 분석은 수은압입법(mercury intrusion porosimetry : MIP)에 의해 측정하였음.



시료 건조



시료계량



수은관 내 시료 투입



고압 투입



저압 투입 완료



수은 저압 투입

그림 19. MIP 시료 처리 과정

(3) 실험결과

가) 압축강도

플라이애시가 혼입된 경화체의 압축강도를 측정한 결과 3일 재령의 압축강도는 OPC와 유사한 정도로 나타났음. 28일 재령에서의 압축강도는 20% 혼입시 최대인 것으로 나타남.

실리카흙을 혼입한 시험체의 경우, 3일 재령의 압축강도는 거의 차이가 없는 것으로 나타났으나, 1% 혼입시 28일 재령에서의 압축강도의 증가가 가장 크게 나타났으며, 3% 혼입시 최대로 증가하였음.

팽창흑연 혼입시 압축강도는 3일 재령에서의 압축강도는 팽창흑연 혼입율이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타남. 그러나 28일 재령에서의 압축강도는 팽창흑연 5%에서 약간 증가하는 것으로 나타났음. 팽창흑연 5% 조건에서의 아크릴 섬유를 혼입한 경우에는 3일 재령에서의 압축강도는 무 혼입에 비하여 증가하는 것으로 나타났으며, 28일 재령에서는 0.5% 혼입시 약간 감소하는 것으로 나타났으나 OPC에 비하여 높은 강도를 발현하는 것으로 나타남.

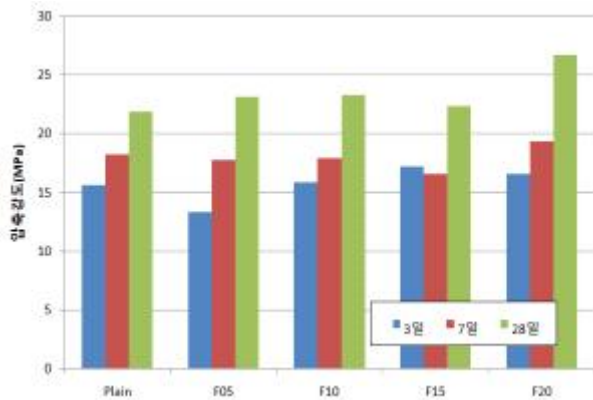


그림 20. 플라이애시 혼입시 압축강도 특성

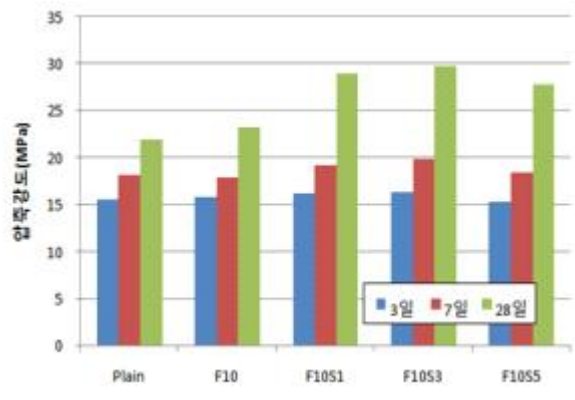


그림 21. 플라이애시 10% + 실리카흙 혼입시 압축강도 특성

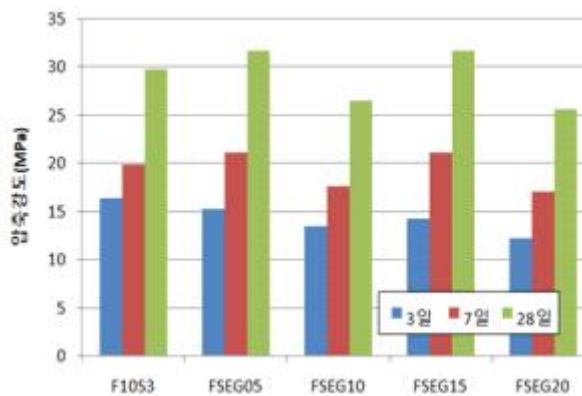


그림 22. 팽창흑연 혼입시 압축강도 특성

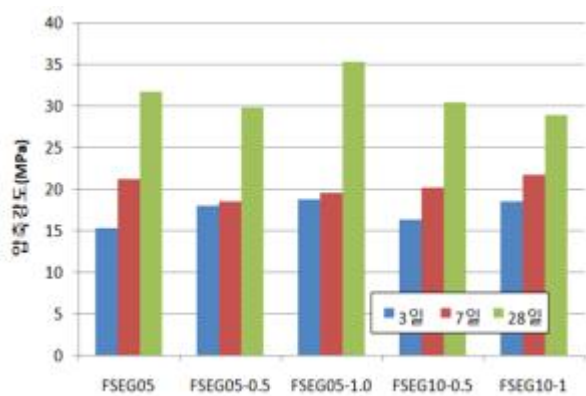


그림 23. 아크릴 섬유 혼입시 압축강도 특성

나) 휨강도

플라이애시 혼입시 휨강도 특성을 살펴보면 3일 재령에서의 휨강도는 플라이애시 혼입에 따라 감소하는 것으로 나타남. 플라이애시 10%에 대하여 실리카흄을 혼입한 경우 3일 재령의 휨강도는 약간 저하하거나 동등성능을 나타내는 것으로 나타났으나 28일 재령에서 3%혼입시 휨강도가 가장 큰 것으로 나타났음.

팽창흑연 혼입시 휨강도를 살펴보면 3일 재령에서 팽창흑연 혼입율 10%까지 휨강도가 증가하는 것으로 나타났으며, 이후 감소하는 것으로 나타났음. 28일 재령에서는 팽창흑연 혼입율이 증가한 경우 휨강도 증진율이 감소되는 경향을 나타내는 것으로 나타남.

아크릴 섬유 혼입시 3일 재령에서는 섬유 혼입에 의한 휨강도가 증가하였으나 혼입율에 따른 휨강도는 유사하게 나타남. 그러나 28일 재령에서의 아크릴 섬유 혼입시 휨강도는 0.5%혼입시 약 10MPa로 1%혼입시 12MPa로 나타나 휨강도 증진에 효과적인 것으로 나타남.

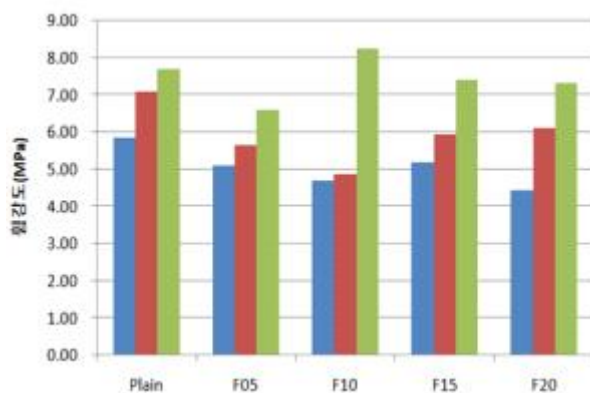


그림 24. 플라이애시 혼입시 휨강도 특성

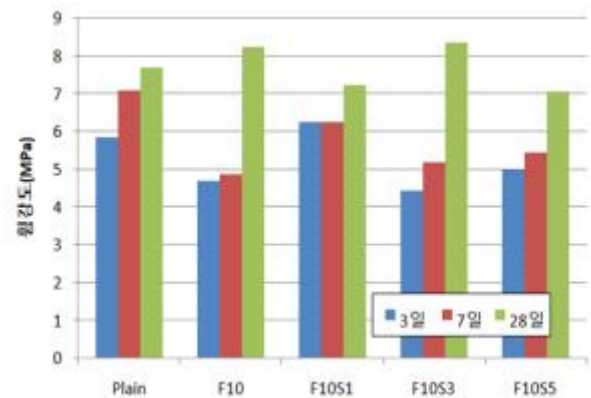


그림 25. 플라이애시10% + 실리카흄 혼입시 휨강도 특성

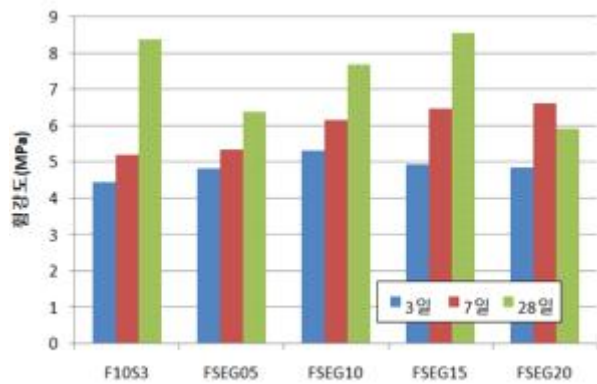


그림 26. 팽창흑연 혼입시 휨강도 특성

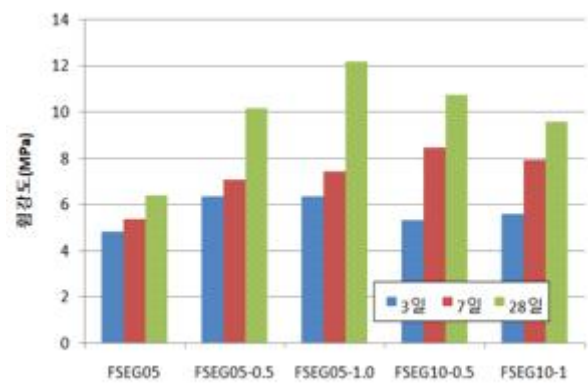


그림 27. 아크릴 섬유 혼입시 휨강도 특성

다) 부착강도

플라이애시 혼입시 1일 재령에서 부착강도는 10% 혼입시 최대인 것으로 나타났음. 14재령에서의 부착강도는 지속적으로 증가하는 것으로 나타났음. 플라이애시 혼입시 10%에 대하여 실리카흄 혼입율이 1일 재령에서 실리카흄 혼입율 3%까지 증가하는 것으로 나타났으며, 이후 14일 재령에서는 실리카흄 혼입율이 높을수록 부착강도가 비례적으로 증가하는 하는 것으로 나타났음.

팽창흑연 혼입시에는 부착강도가 급격하게 감소하는 것으로 나타났으며, 팽창흑연 10% 혼입시 1일 부착강도가 0.7N/mm^2 이하로 저감하는 형태를 나타내어 OPC와 유사한 것으로 나타남. 섬유 혼입시에는 1일 부착강도가 소폭 상승하는 것으로 나타났으며, 28일 재령에서 0.5% 혼입시 무혼입의 경우보다 높은 것으로 나타남.

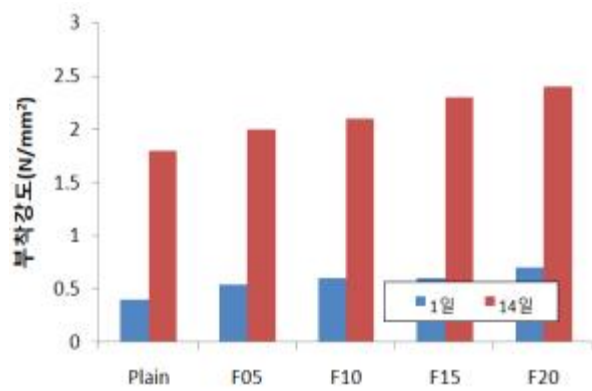


그림 28. 플라이애시 혼입시 부착강도 특성

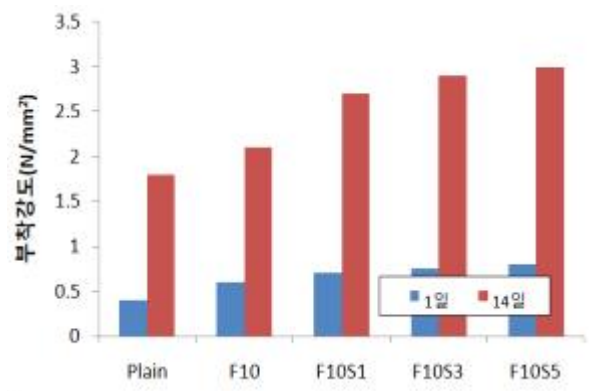


그림 29. 플라이애시10% + 실리카흙 혼입시 부착강도 특성

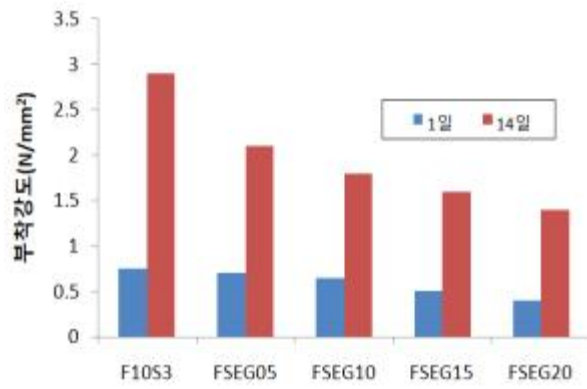


그림 30. 팽창흑연 혼입시 부착강도 특성

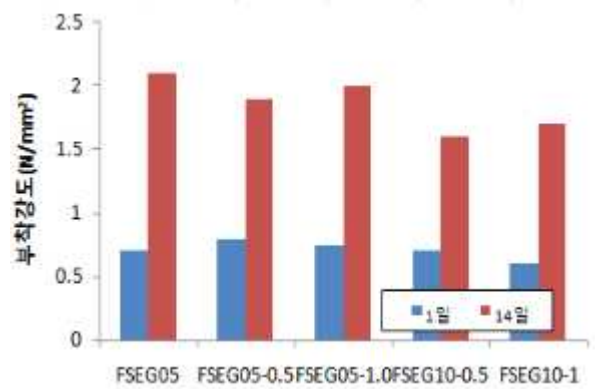


그림 31. 아크릴 섬유 혼입시 부착강도 특성

라) 물흡수계수

플라이애시 혼입시 물흡수계수는 10%에서 최소로 나타났으며, 15%에서 약간 증가하는 것으로 나타남. 실리카흙 혼입시 물흡수계수는 실리카흙 혼입율이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났으나 그 차이는 크지 않았음. 팽창흑연 혼입시 물흡수계수가 크게 증가하였으며, 팽창흑연의 혼입율과 물흡수계수가 비례하여 증가하는 것으로 나타남. 아크릴 섬유 혼입시에는 아크릴 섬유 혼입율이 증가함에 따라 약간 증가하는 것으로 나타났음. 가장 적은 물흡수계수 증가를 보이는 시험체는 0.5%혼입의 경우인 것으로 나타남.

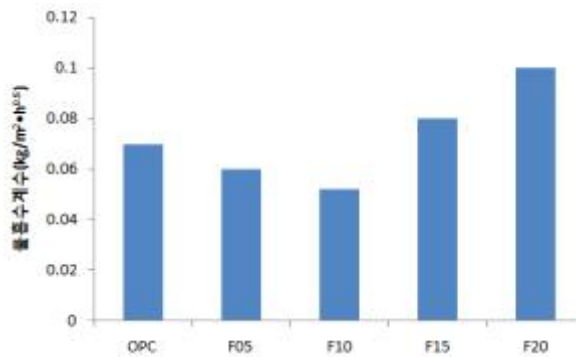


그림 32. 플라이애시 혼입시 물흡수계수

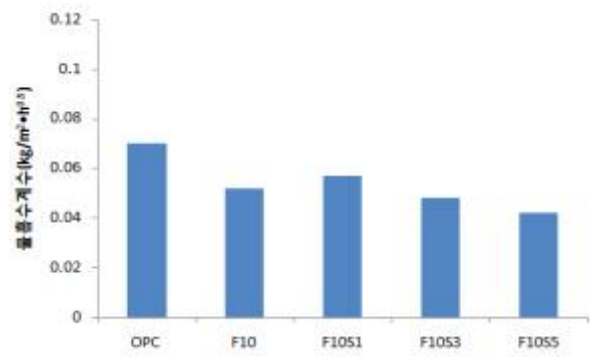


그림 33. 플라이애시10% + 실리카흙 혼입시 물흡수계수

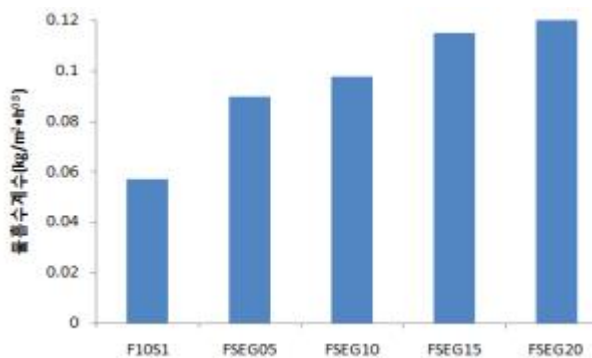


그림 34. 팽창흑연 혼입시 부착강도 물흡수계수

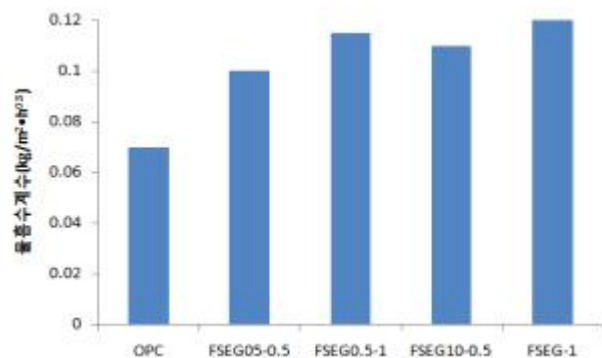


그림 35. 아크릴 섬유 혼입시 물흡수계수

마) 온냉반복시험

플라이애시 혼입시 온냉반복 시험 후의 부착강도는 20%혼입시 가장 높은 것으로 나타났음. 실리카

흙 혼입시에는 약 1.6N/mm^2 로 OPC의 상온 양생과 유사한 부착력을 나타내어 온냉반복에 의한 부착력 저하가 거의 없는 것으로 나타났다.

팽창흑연을 혼입한 경우에는 부착강도가 안전성이 크게 저하하는 것으로 나타났다. 팽창흑연 혼입을 5%에서 1.3N/mm^2 로 나타났으나 KS기준치 이상을 상회하는 것으로 나타남. 섬유 혼입시 0.5% 혼입시 부착강도가 약간 상승하는 것으로 나타나 적정 섬유 혼입은 온냉 반복 저항성을 향상할 수 있는 것으로 나타남.

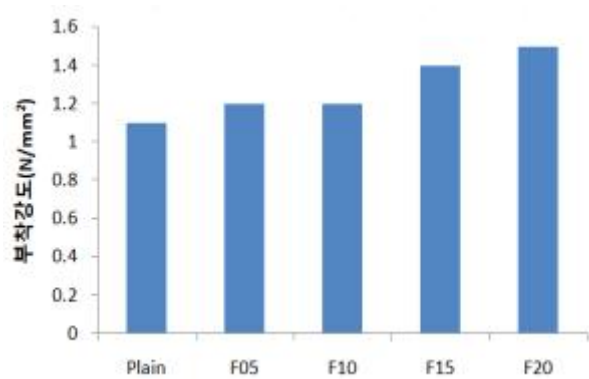


그림 36. 플라이애시 혼입시 온냉반복

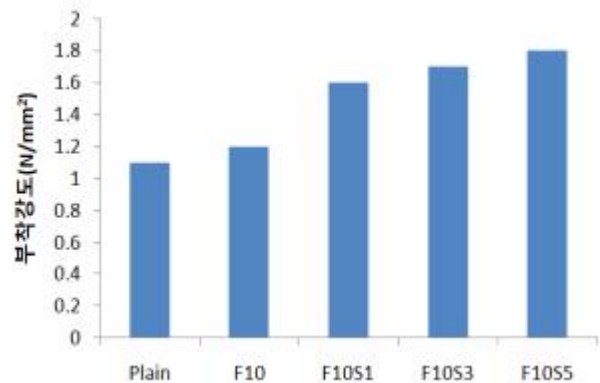


그림 37. 플라이애시10% + 실리카흙 혼입시 온냉반복

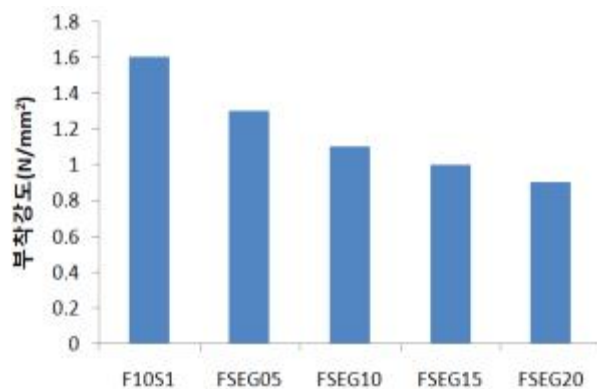


그림 38. 팽창흑연 혼입시 온냉반복

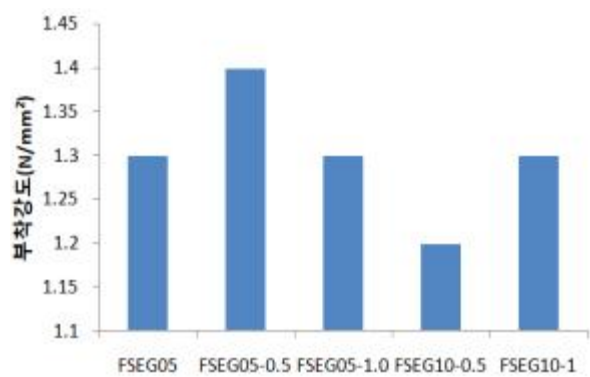


그림 39. 아크릴 섬유 혼입시 온냉반복특성

바) 내잔갈림 및 내충격성 평가

본 기술개발에서의 내잔갈림성과 내충격성을 평가한 결과 표면부의 특이점은 나타나지 않아 바탕조 정재로서의 기초적 성능을 만족하는 것으로 나타남.

표 16. 내잔갈림성 및 내충격성

	내 잔갈림성	내충격성
Plain	이상없음	이상없음
F05	이상없음	이상없음
F10	이상없음	이상없음
F15	이상없음	이상없음
F20	이상없음	이상없음
F10S1	이상없음	이상없음
F10S3	이상없음	이상없음
F10S5	이상없음	이상없음
FSEG05	이상없음	이상없음
FSEG10	이상없음	이상없음
FSEG15	이상없음	이상없음
FSEG20	이상없음	이상없음
FSEG05-0.5	이상없음	이상없음
FSEG05-1	이상없음	이상없음
FSEG10-0.5	이상없음	이상없음
FSEG10-1	이상없음	이상없음

사) TG-DTA

시멘트 조직은 물과 만나 다양한 형태의 수화물을 생성하며, 각 온도 영역별로 분해되는 수화물의 형태가 다르게 나타남. 아래 표 16은 시멘트 수화물의 온도별 열분해 특성을 나타낸 것임. 대부분의 수화물은 550℃이하의 온도에서 분해되는 것으로 알려져 있으며, 초기에 에트링가이트가 분해되어, 450℃ 부근의 수산화칼슘에서 가장 큰 변화량을 나타내는 것으로 알려져 있음.

표 16. 시멘트 수화물의 온도별 열 분해 특성

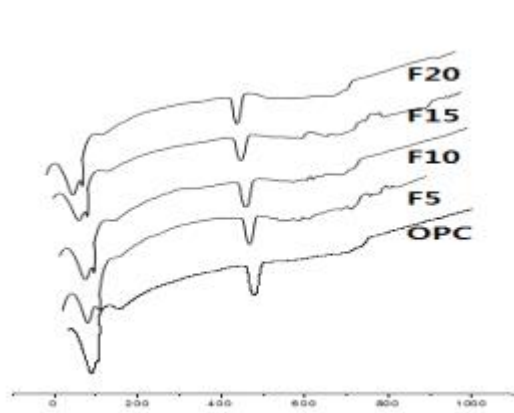
온도범위	변태반응 및 분해반응	온도에 의한 영향
30~200℃	물리적으로 결합한 물의 증발	수분의 100℃이하의 온도에서부터 시작
30~300℃	겔의 붕괴	C-S-H 계 수화물: C-S-H 100~130℃에서 탈수 시작 에트링가이트: 160~180℃정도에서 큰피크를 보이며, 250~270℃에서 작은 피크를 보이며 단계적으로 탈수 모노실페이트: 50~150℃ 및 200℃, 300℃에서 3단계로 탈수
120~600℃	화학흡착수의 방출	알루미네이트계 수화물: 270~330℃에서 물리 탈수 550℃부근에서 남은물리 탈수 이수석고: 탈수에 의해 약 130℃에서 반수석고, 160℃에서 무수석고로 변화 수산화 칼슘: 450~550℃에서 산화칼슘으로 변화
570℃	석영의 변태	주로 규암질 골재등에 포함되어 있는 석영의 변태 $\alpha \rightarrow \beta \text{ SiO}_2$ 로 변화
600~700℃	C-S-H 상의 분해	$\beta \text{ C}_2\text{S}$ 의 생성
600~900℃	탄산칼슘의 분해	탄산칼슘의 분해
1100~1200℃	콘크리트의 융해	경화시멘트 페이스트의 융점은 약 1200℃이며, 화학조성에 의해 1200℃보다 낮아짐

시멘트 수화물 내의 플라이애시와 실리카흙의 수화반응은 포졸란 반응으로 시멘트 내 Ca(OH)_2 와 반응하여 CSH겔(칼슘실리케이트 수화물)과 CASH겔(칼슘알루미늄노실리케이트)을 생성하게 된다. 칼슘실리케이트 수화물은 높은 내열성을 가지고 있어 고온에서 변이 형태로 나타나기 때문에 열분석상에서 변화율은 크지 않음. 수산화칼슘은 시멘트 수화물 중 가장 많이 차지하고 있는 성분으로 칼슘실리케이트 수화물 생성과 직접적으로 연관되는 물질로 포졸란성 반응시 수산화칼슘을 소비하여 생성되므로 이 수화물의 생성량이 많을수록 수산화칼슘의 양이 감소되는 경향을 보이게 됨.

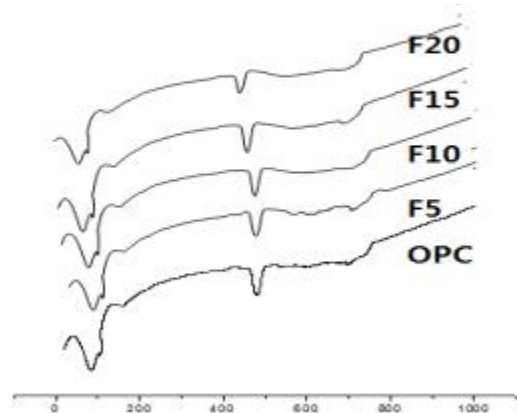
시멘트 내의 플라이애시와 실리카흙의 Ca(OH)_2 의 양을 살펴보면 3일 재령에서의 플라이애시의 치환율이 5%, 10%, 15%까지 Ca(OH)_2 의 변화량이 크지 않은 것으로 나타나고 있었음. 실리카흙의 경우에는 전체 시멘트 양에 비하여 초기 Ca(OH)_2 량의 변화가 크게 나타나고 있어 실리카흙의 수화반응이 초기에 빠르게 진행되는 것으로 판단됨. 이후 28일 재령의 수산화칼슘 변화량은 플라이애시에서 크게 나타나고 있었으나 실리카흙 혼입시와 유사한 경향을 나타내고 있음. 플라이애시와 실리카흙을 혼합 사용하였을 경우에는 수산화칼슘 소비량이 크게 증가하도 있는 것을 볼 수 있음.

표 17. 시험체의 재령별 Ca(OH)_2 변화량

	OPC	플라이애시	실리카흙	Ca(OH) ₂ 피크 변화량(%)				
				재령 3 일		재령 28 일		재령 변화율 (%)
				측정값 (%)	OPC대비%	측정값 (%)	OPC대비%	
OPC	100			-2.426	100	-1.956	100	19.37
F-5	95	5		-1.87	77.08	-1.517	77.56	18.88
F-10	90	10		-1.748	72.05	-1.508	77.10	13.73
F-15	85	15		-1.84	75.85	-1.592	81.39	13.48
F-20	80	20		-1.285	52.97	-0.932	47.65	27.47
F10S1	98	10	1	-1.780	73.37	-1.550	79.24	12.92
F10S3	87	10	3	-1.419	58.49	-1.276	65.24	10.08
F10S5	85	10	5	-1.581	65.17	-1.429	73.06	9.61

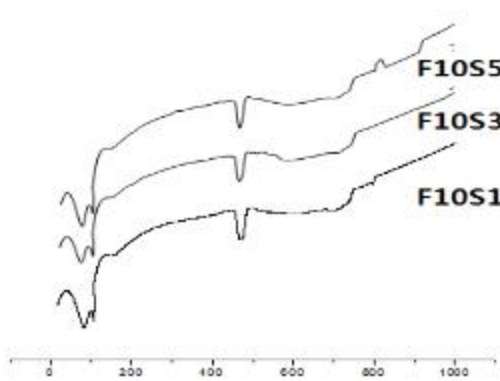


(a) 재령 3일

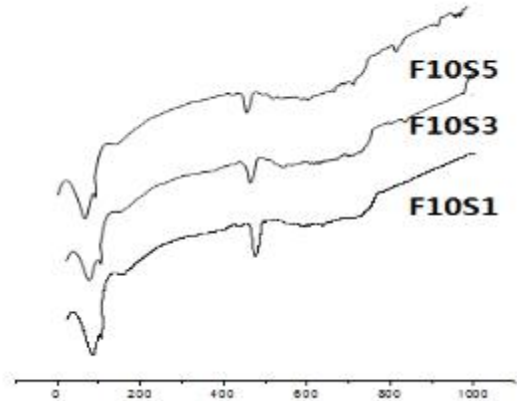


(b)재령 28일

그림 40.플라이애시 혼입에 따른 수산화칼슘 변화량



(a) 재령 3일

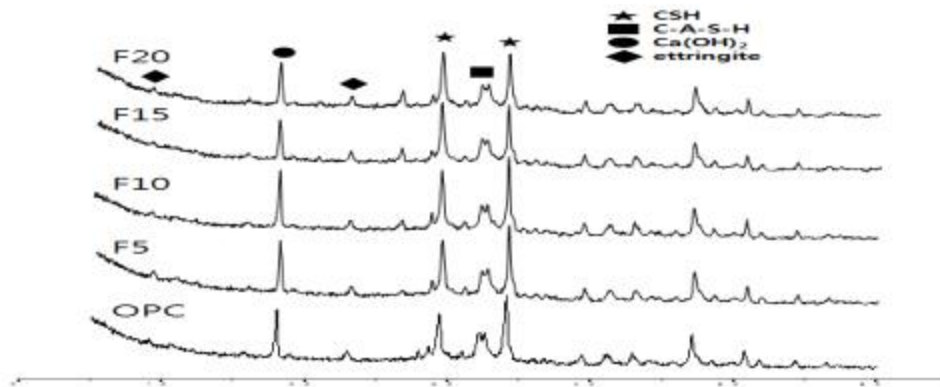


(b)재령 28일

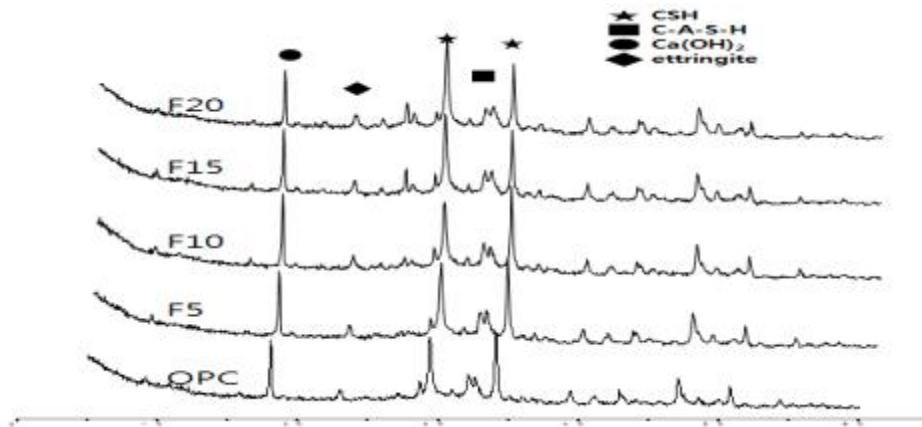
그림 41. 플라이애시와 실리카흙 혼입에 따른 수산화칼슘 변화량

아) XRD 분석

아래 그림 40은 플라이애시 혼입에 따른 XRD분석 그래프임. 재령 3일에서 플라이애시 혼입에 따른 수산화칼슘의 양은 플라이애시 20%에서 최대인 것으로 나타났으며, CSH의 발달이 증가하는 것으로 나타났음. 재령이 지남에 따라 CSH수화물의 발달은 플라이애시 혼입율이 증가함에 따라 다른 피크에 비하여 크게 증가하는 것으로 나타났으며, CASH피크의 발달은 크지 않은 것으로 나타남.



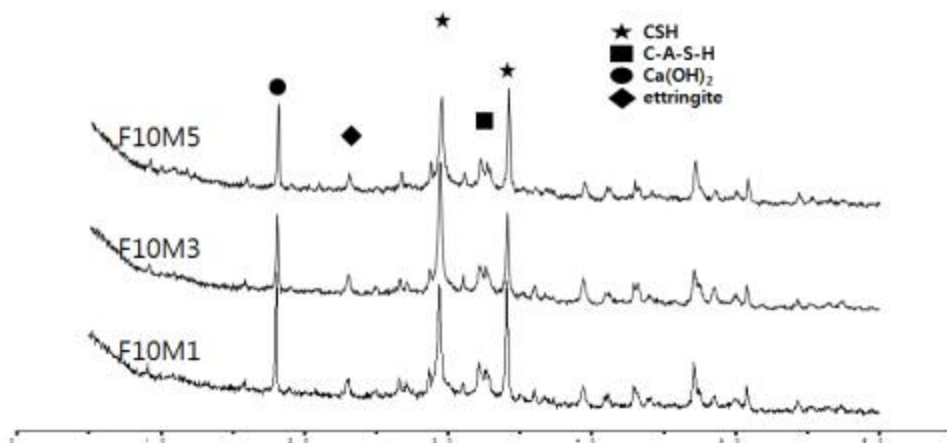
(a) 재령 3일



(b) 재령 28일

그림 42. 플라이애시 혼입 시험체의 XRD

실리카흙을 혼입한 경우 수산화칼슘 피크 변화는 OPC와 비교하였을 때 크지 않은 것으로 나타났으나 CSH수화물의 발달이 큰 것으로 나타나고 있음. 재령 28일의 실리카흙 혼입율이 증가하면서 수산화칼슘의 피크 감소가 크게 나타났으며, CSH겔의 증가가 큰 것으로 나타났음.



(a) 재령 28일

그림 43. 실리카흙 혼입 시험체의 XRD

자) MIP분석

경화체 내의 공극은 크게 분류하여 물이 차지하였던 공극과 모르타르 또는 콘크리트의 혼합시 혼입되는 공기에 의한 공극이 있다. 또한 공극의 형상은 원통산 모델로 적용하는 것이 많기 때문에 공극의 크기는 직경으로 나타냄. 이 때 수화물에 의해 채워지지 못하고 물의 증방에 의해 남은 부분을 모세관 공극이라고 하며 수화생성물인 시멘트 자체의 내부에 포함되어 있는 겔입자내의 공극을 겔공극이라고 함. 수화된 시멘트 경화체는 C2S 및 C3S 페이스트 고체부분의 약 60~70%를 CSH겔이 점하고 있으며, 수산화칼슘이 약 20~30%를 점하고 있음.

겔공극과 모세관 공극의 크기에 대해서는 여러 견해가 있지만 H.Uchikawa 등은 1~3.2nm를 겔공극, 3nm~30 μ m를 모세관 공극으로 정의하였고, M. Daimon은 1.2nm이하의 공극을 intracrystallite pore로 정의하며 3.2~200nm의 공극을 겔입자간 공극으로 정의하였음. 골재 주변을 확대하면 골재와 시멘트 페이스트 사이에 C매가 풍부한 불연속인 포러스(Porous)한 영역이 존재함. 이러한 천이대는 골재 표면으로부터 약 50 μ m이내의 영역으로 생각되고 있음. 아래 그림 43은 P.K.Metha가 정의한 시멘트 경화체 중의 고체 및 공극의 크기를 나타냄.

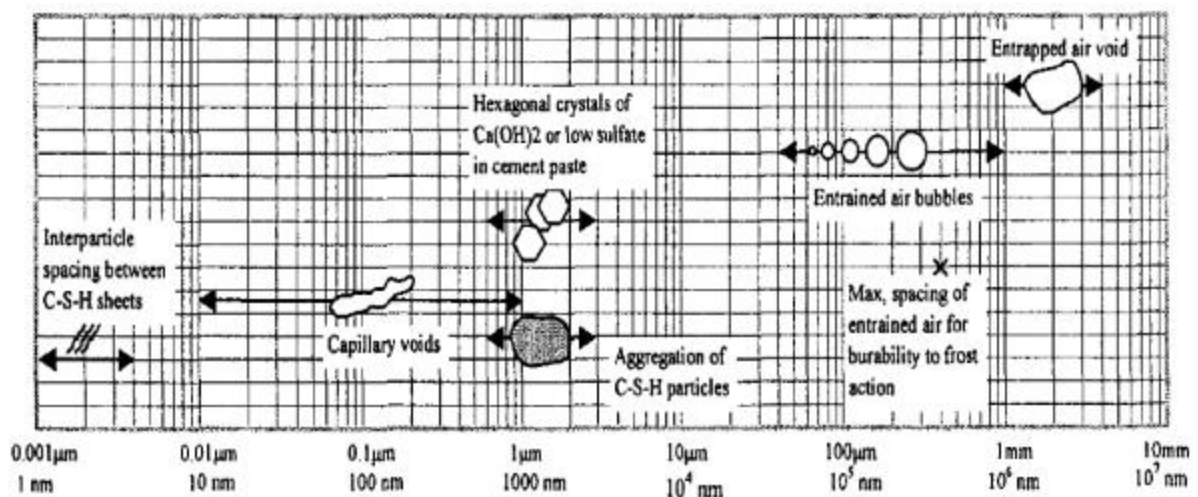


그림 44. 시멘트 페이스트 내의 수화물과 공극 크기

미세구조에 있어서 공극크기 및 분포는 매우 중요함. 공극크기 및 분포는 물리적 성질인 압축강도나 내구성에 큰 영향을 미치는 이온의 투과성과 같은 성질에 매우 중요함.

아래 표 18은 OPC경화체의 성질에 미치는 공극구조에 대해서 보고한 내용을 정리하였음.

표 18. 시멘트 페이트의 공극 크기에 따른 영향

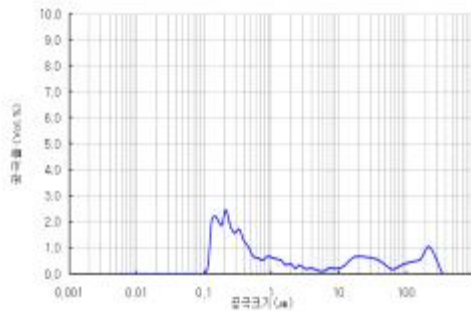
특성	인자
강도	Pore size 5nm to 2 μ m increase → getting worse 30 μ m to 1mm increase → getting worse
동결융해	Pore size 6 to 2nm increase → getting better 10nm to 1 μ m increase → getting worse 10 to 90 μ m increase → getting better
투기성	Pore size several hundreds nm or over increase → getting larger volume of paste parts increase → getting smaller
이온투과성	Total pore size increase → getting larger Gel pore increase → getting smaller
건조수축과 크리프	Pore size 6 to 60nm increase → getting larger 6 to 2nm increase → getting larger Hydrate(Calcium aluminate hydrate, Calcium sulfoaluminate hydrate) increase → getting smaller

표 19. 전공극율 및 총 수은 침투량

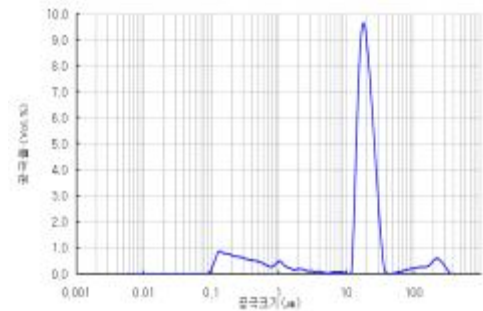
	porosity(%)	median pore diameter area(nm)	Total intrusion volume(ml/g)
OPC	20.2791	71.4	0.1391
F5	18.6676	208.0	0.1334
F10	16.6860	189.3	0.1056
F15	17.3657	145.3	0.1151
F20	22.2533	32.9	0.1447
F10S1	30.84	14.6	0.2114
F10S3	20.3096	200.6	0.1445
F10S5	21.9329	162.7	0.1563



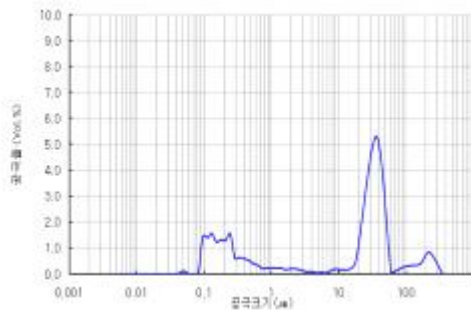
(a) OPC



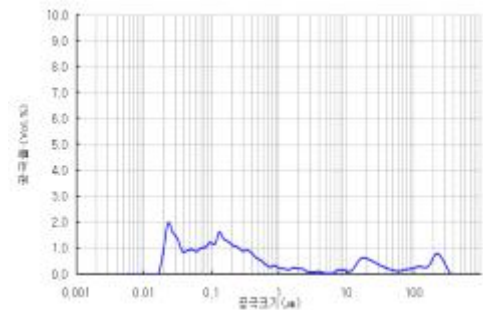
(b) F 5



(c) F 10



(d) F 15



(e) F 20

그림 45. 플라이애시 치환에 따른 공극변화

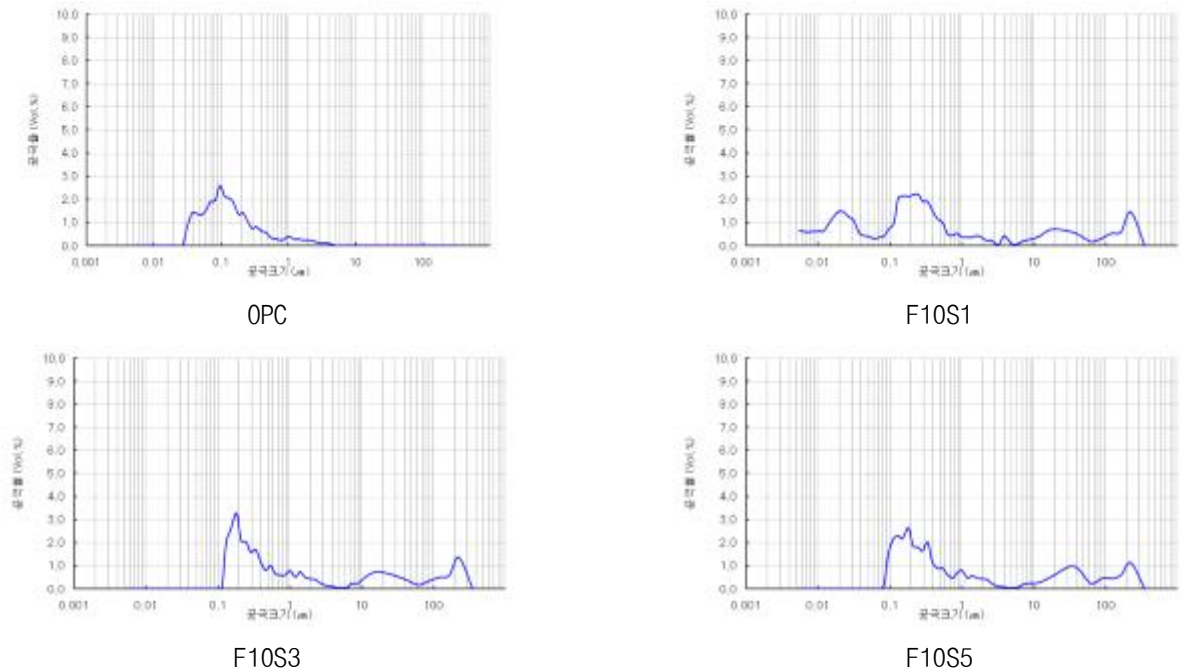


그림 46. 실리카흙 치환에 따른 공극변화

플라이애시를 혼입한 경우 $10\mu\text{m}$ 이상의 연행공기가 발달하면서 CSH겔의 생성으로 인해 $1\sim 10\mu\text{m}$ 사이의 공극은 감소하며, $0.1\sim 1\mu\text{m}$ 사이의 공극이 발달하는 것으로 나타났다.

실리카흙을 치환한 경우에는 공극의 발달이 $0.1\mu\text{m}$ 에 가까운 영역이 발달하고 있으며, 5%를 혼입한 경우 전체적인 공극이 감소되어 충전된 형태로 발달한 것을 관찰할 수 있었음. 플라이애시와 실리카흙을 사용한 경우, 연행 공기가 발달되는 특성을 가지고 있어 동결융해 저항성이 우수할 것으로 판단됨.

(4) 소결

1. 플라이애시를 사용한 경우 압축강도와 휨강도는 소폭 저하되는 것으로 나타났으나 부착력을 향상할 수 있는 것으로 나타남. 실리카흙을 치환한 경우 플라이애시의 초기 재령의 압축강도와 휨강도의 저하를 감소시키면서 부착강도를 향상할 수 있는 것으로 나타남.

2. 팽창축연을 혼입한 경우에는 5%까지는 압축강도와 휨강도는 향상되는 것으로 나타났으나, 부착강도는 저하되는 것으로 나타나 압축 및 휨강도와 부착강도와는 별개의 성능으로 나타남. 아크릴 섬유를 혼입한 경우 초기 재령에서의 압축강도, 휨강도, 부착력이 향상되는 것으로 나타남.

3. 플라이애시와 실리카흙을 사용한 경우 수산화칼슘을 28일 재령까지의 수산화칼슘의 점차 감소하는 것으로 나타났으며, 장기재령에서의 수화물 발달에 의한 공극충진으로 인한 강도 증진 효과가 우수할 것으로 판단됨.

4. 본 시험 결과를 바탕으로 화재지연을 위한 시멘트계 바탕조정재는 아크릴 에멀전 17%이내, 팽창흑연은 5%이내, 플라이애시 10~15%이내, 실리카흙은 3~5%이내 일 때 최적의 물리적 성능을 갖는 것으로 나타났다.

라. 다층형 외단열 영구거푸집의 특성 평가

(1) 개요

본 절에서는 다층형 외단열 영구거푸집의 성능을 평가하기 위한 방안으로 다층형 외단열 영구거푸집의 물성을 측정하기 위한 소형 시험체를 제작하여 평가하고자 하였음. 다층형 외단열 영구거푸집의 주요 특성으로는 보강재의 주요 물성, 외단열 영구 거푸집의 휨강도 특성, 외부 화재에 대한 저항성을 평가하는 요구됨. 이에 따라 본 절에서는 다층형 외단열 영구거푸집 제작에 소요된 보강재의 물리적 특성과 다층형 단열재의 휨강도 특성, 다층 구조에 의한 포비도 특성을 평가하고자 하였음.

(2) 실험방법

가) 유리 섬유 메쉬의 특성

본 실험에 사용된 유리 섬유 메쉬는 섬유 간격 5mm, 섬유두께 0.12mm, 너비 1.09mm, 섬유 단면적 0.1308mm²를 갖는 것을 사용하였다. 아래 표 1은 유리섬유 메쉬의 특성이다.

표 20. 유리 섬유 메쉬의 특성

섬유 간격(mm)	섬유 두께(mm)	너비(mm)	섬유단면적(mm ²)
5	0.12	1.09	0.1308

나) 인장 시험체의 제작 및 측정 평가

① 인장시험체의 제작

유리 섬유 메쉬를 앞서 시험된 아크릴 에멀전 17%, 팽창흑연 3%, 플라이애시 15%, 실리카흙 3%의 분체 조성을 갖는 시멘트계 바탕조정재를 표면 도포하여 일정한 응력 분포를 갖도록 한 뒤 인장시험체를 제작하였음. 표 2는 제작된 인장 시험체의 표점거리, 두께, 너비 등을 나타낸 것이며, 그림 3과 4는 제작된 인장 시험체에 스트레인게이지를 부착한 시험체임.

표 21. 인장 시험체의 정보

시험체 번호	표점거리(mm)	두께(mm)	너비(mm)	최대하중(N)
1	144.51	0.65	16.25	337
2	142.63	0.70	16.74	384
3	143.92	0.67	15.79	365



그림 47. 유리 섬유 메쉬 인장시험체 제작



그림 48. 스트레인게이지 부착

② 인장 시험 및 측정

인장시험은 5Ton UTM을 사용하였으며, 변위재하 방식으로 10mm/min의 조건에서 측정하였음. 이때 시험체의 스트레인변위와 하중값을 측정하였으며, 이를 통해 최대인장강도, 면내 섬유 최대 인장강도, 변형률, 1차항복강도, 면내 섬유의 1차 항복강도, 탄성계수를 측정하였음.

측정된 하중 값은 N으로 측정한 뒤 시험체의 단면적으로 나눈 값인 시편최대인장강도와 시험체 내의 수직재인 유리 섬유의 기준 면적당 $\times$ 개수로 면내 섬유의 면적으로 환산한 값을 나눈 값인 면내 섬유 인장강도로 이를 측정하였음.



그림 49. 인장시험



그림 50. 파단시험체

나) 단열재의 성능 평가

① 측정 단열재의 분류

다층형 영구거푸집의 특성을 평가하기 위한 시험체의 종류는 크게 표면층을 페놀폼으로 시험체의 구성 방식 및 보강방식은 아래 표 과 같다.

표 22. 단열재의 구성 방식

	전면부	후면부	후면부 구성	사진
A	스티로폼 30mm	스티로폼 60mm	중앙부 페놀폼	
B			양단부 페놀폼	
C			중앙부 페놀폼+스티로폼 경계면	
D	페놀폼 30mm	스티로폼 60mm	중앙부 페놀폼	
E			양단부 페놀폼	
F			중앙부 페놀폼+스티로폼 경계면	

표 23. 보강방식

Non	FM	TM	MN	MM
무보강	전면 메쉬 보강	양면 메쉬 보강	전면 모르타르 보강	전면 모르타르 및 메쉬 보강

② 단열재의 제작 및 측정

개발 단열재의 구성은 스티로폼과 페놀폼을 사용하였음. 사용된 스티로폼은 보온판 1종 1호를 사용하였으며, 전면부에 사용된 페놀폼은 L사의 것을 사용하였음. 각 부재는 30mm두께의 것을 사용하여 치수에 맞게 재단하여 EVA계 수용성 접착제를 사용하여 부착하였음.

먼저 타입별 형태에 따라 제작된 시험체는 접착제의 경화를 위하여 1일간 숙성한 뒤 유리 섬유 메쉬 및 모르타르를 보강하여 부재의 제작을 완료하였음.

완성된 부재의 강도 측정은 10mm/min의 속도로 재하하였으며, 이 때의 성능을 평가하기 위하여 스트레인 게이지를 부착하여 변위를 측정하였음.



부재 숙성



대형 부재 숙성



메쉬 절단



모르타르 보강



완성부재 1



완성부재 2



(a) 휨강도 측정



(b) 시험체 스트레인게이지 부착



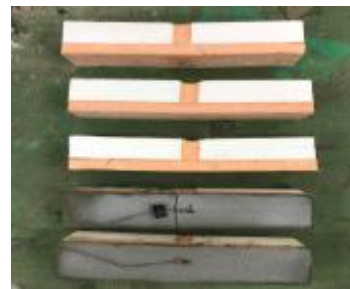
(c) 타입 파괴 후



(d) 타입 파괴 후



(E) 타입 파괴 후



(F) 타입 파괴 후



(G) 타입 파괴 후



(H) 타입 파괴 후

그림 51. 다층형 외단열 패널의 제작 과정

③ 휨강도 측정

휨강도 측정 후 아래 식에 따라 측정 평가하였다.

$$\text{휨강도} = \frac{3 P l}{2 b d^2}$$

P	:	측정하중
l	:	지간
b	:	너비
d	:	높이

④ 휨인성계수

등가휨강도는 휨성능시험을 통해 얻은 하중-처짐 곡선에서 주어진 처짐(지간의 1/150)에서의 평균 휨강도로 정의하고 있다.

$$\text{등가휨강도} = \frac{b}{\delta_b} \times \frac{l}{b h^2}$$

Tb : 기준 처짐까지의 휨강도
 δ : 기준 처짐($\ell/150$)
 (지간이 30cm인 경우 2mm, 5mm
 인 경우 3mm)
 ℓ : 시험편의 지간길이
 b,h : 시험편의 폭, 길이

$$\text{휨인성계수} = \frac{f_e}{f_r} \times 100$$

f_e : 등가휨강도
 f_r : 휨강도

⑤ 포비도 특성 평가

온도를 측정하기 위한 열전대는 4조의 K-TYPE형 열전대로서 가스연소기구 화구, 시험체를 사용하였으며, 열전대의 직경은 안전거리 확보를 위하여 30cm의 것을 사용하였다. 실험의 상황을 기록하기 위하여 데이터 로거를 사용하여 온도를 측정하였다.

가열 방법으로는 각 재료의 외벽에 10cm이격하여 5분간 가스토치로 가열하고 재료 외벽 화염부 접촉부의 시간대별 온도를 측정하였다. 실험결과로는 내부 단열재의 온도 측정, 화재 개연성과, 발화온도 측정, 내부 단열재에서 확산되는 소손패턴을 분석하였다.



(a) 표면층의 가열



(b) 화재지연형 모르타르의 탄화층형성



(c) 포비도 테스트 후 표면 특성

52. 포비도 특성 평가

(3) 실험결과

가) 유리 섬유 메쉬의 특성 평가

유리 섬유 메쉬의 특성을 평가한 결과 시편의 최대 인장 강도는 약 33MPa정도로 나타났으며, 시편 내에 존재하는 섬유 단위의 인장강도로 환산한 경우 922MPa로 나타났다. 섬유의 간격이 약 5mm정도로 매우 얇으나 시편에서의 모르타르가 무보강 상태일 경우 7~10MPa정도로 나타나는 것에 비하여 약 3배정도 강도 상승이 있는 것으로 나타나 모르타르만을 사용한 외단열 거푸집에 비하여 보강 효과가 클 것으로 판단된다.

표 24. 유리섬유 메쉬의 특성

	최대 하중 (N)	시편최대인장 강도 (Mpa)	면내섬유 최대인장 강도 (Mpa)	1차 항복점				탄성계수	
				변형률	항복 하중 (N)	1차 항복강도 (Mpa)	면내 섬유항복강도 (MPa)	시편의 탄성계수 (MPa)	면내섬유 탄성계수 (MPa)
1	337	32	858.81	0.0200	312	29.54	795.11	1476.85	39755.35
2	384	33	978.593	0.0263	384	32.77	978.59	1246.01	37208.87
3	365	34.50	930.17	0.022	320	30.25	815.49	1374.90	37067.93
평균	362	33.16	922.52	0.023	338.6	30.8	863.06	1365.92	38010.72

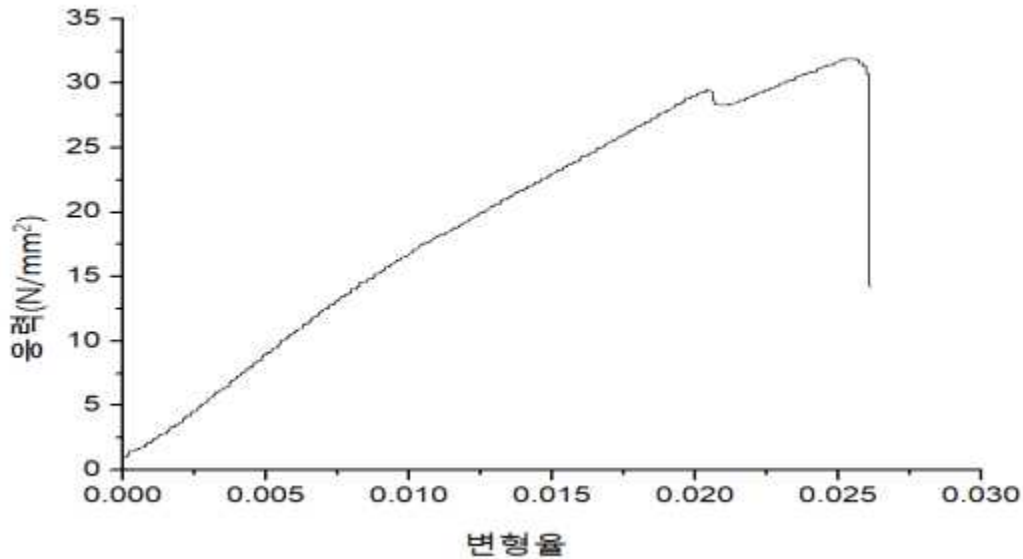


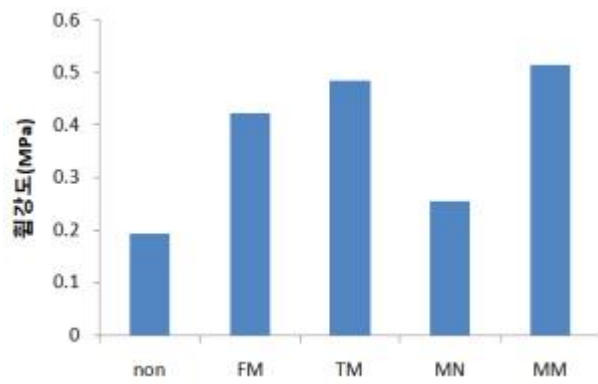
그림 53. 응력-변형률 곡선

나) 역학적 특성 평가

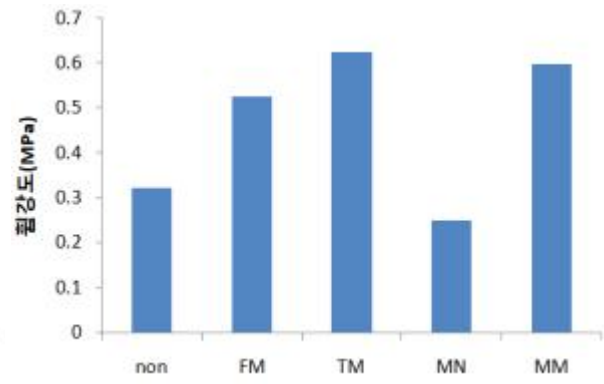
① 휨강도

아래 그림은 타입별 휨강도를 나타낸 그래프이다. ABC타입은 전면부에 페놀폼이 없는 상태에서 스티로폼 사이에 페놀폼의 위치에 따른 휨강도를 측정하고자 하였다. A타입의 경우 휨강도 측정시 응력이 집중되는 중앙부에 페놀폼이 있는 타입으로 가장 낮은 휨강도를 나타내었다. 그러나 전면 메쉬가 보강된 이후 휨강도가 크게 증가되는 것으로 나타났음. 전면과 후면인 양면에 메쉬가 보강된 경우에는 휨강도가 증가하나 전면메쉬만 보강했을 경우에 비하여 증가율이 크지 않은 것으로 나타났음. 모르타르만을 사용하여 전면 보강을 실시한 경우에는 휨강도가 약간 증가하였으며, 메쉬보강과 모르타르를 같이 사용한 경우에는 가장 높은 증가율을 보이는 것으로 나타남.

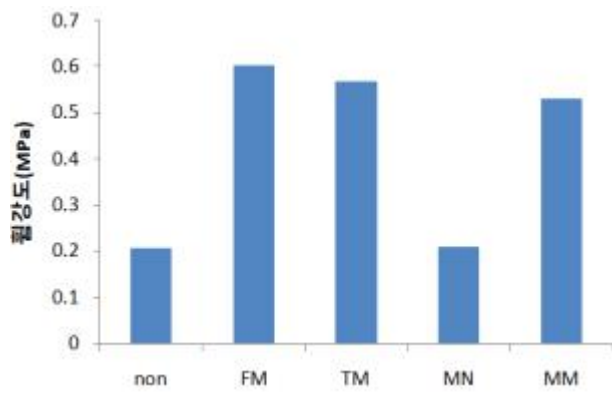
D, E, F타입의 경우 전면부에 페놀폼이 있는 조건하에서 측정된 것으로 전면에 페놀폼이 없는 조건인 ABC에 비하여 휨강도가 무보강 상태에서 대체로 휨강도가 증가하는 것으로 나타남. 전면부의 메쉬보강에서 가장 높은 휨강도 증가를 나타냈으며, 모르타르+메쉬 보강에서는 휨강도의 감소되는 것으로 나타났는데 이는 모르타르에 의한 변형율이 감소되면서 휨강도가 감소된 것으로 판단됨.



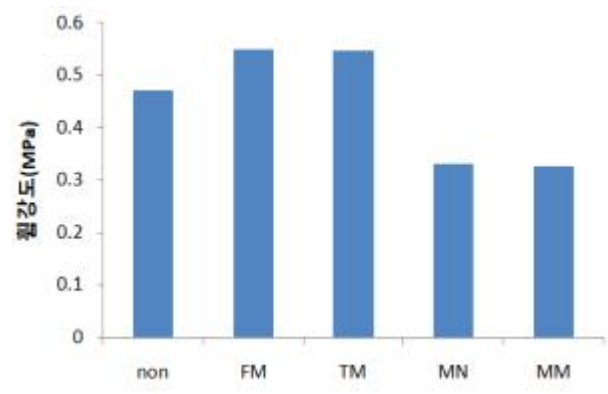
A타입의 휨강도



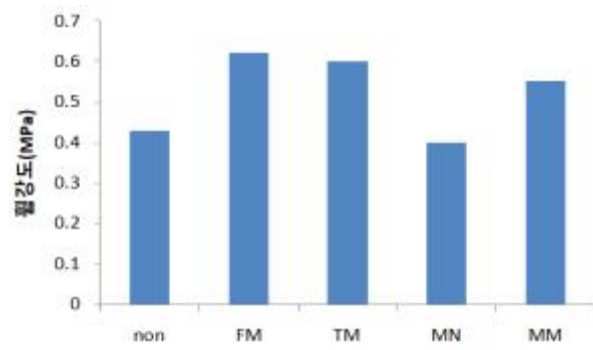
B타입의 휨강도



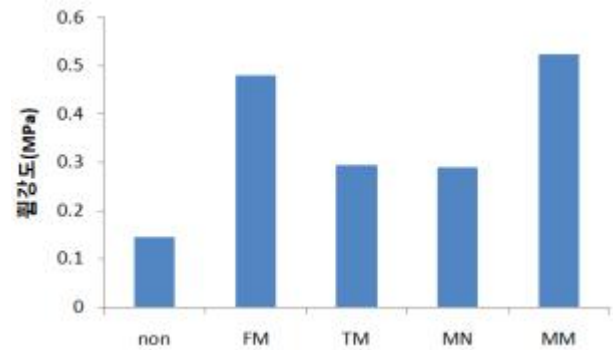
C타입의 휨강도



D타입의 휨강도



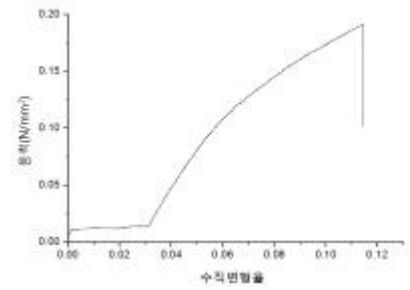
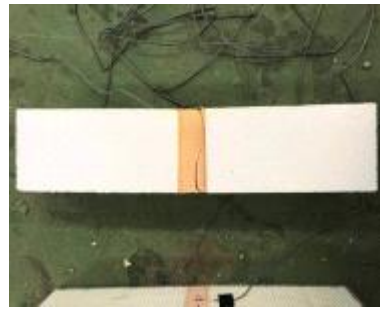
E타입의 휨강도



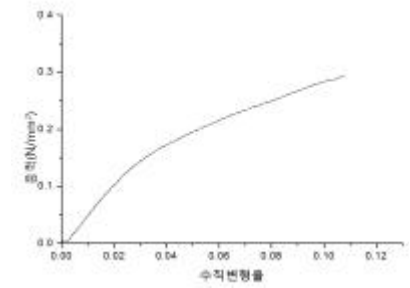
F타입의 휨강도

그림 54. 타입별 휨강도

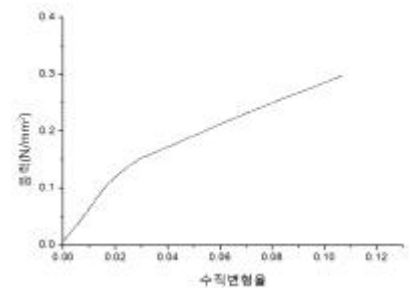
② 시험체의 파괴 성상 및 힘응력



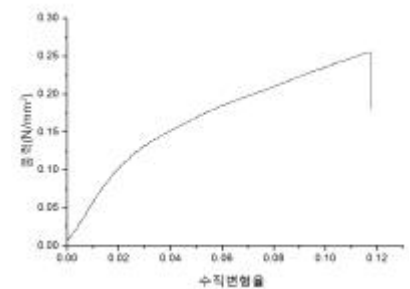
(a) Non 타입



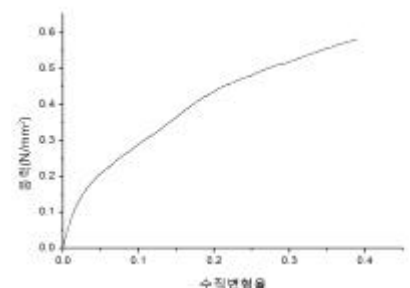
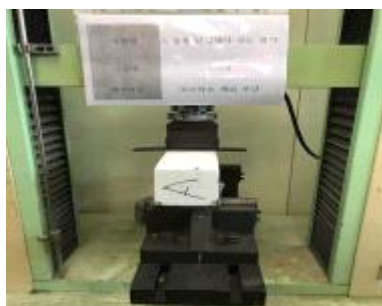
(b) FM 타입



(c) TM 타입

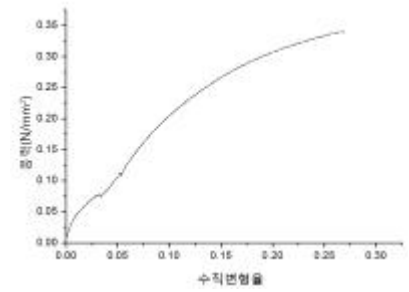


(d) MN 타입

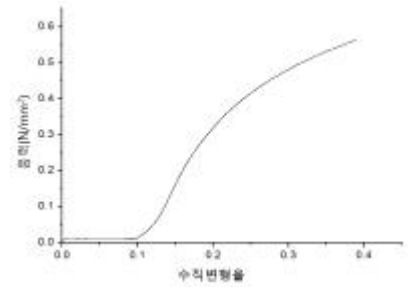


(e) MM 타입

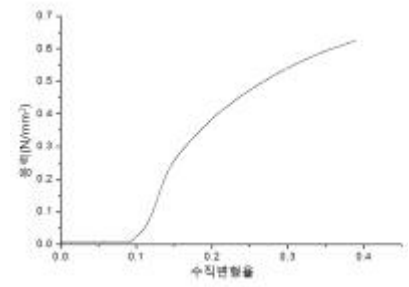
그림 55. A 타입 시험체의 실험 전경 및 응력 변형 곡선



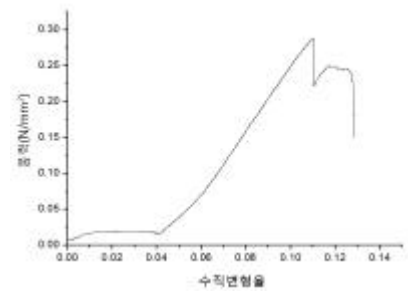
(a) Non 타입



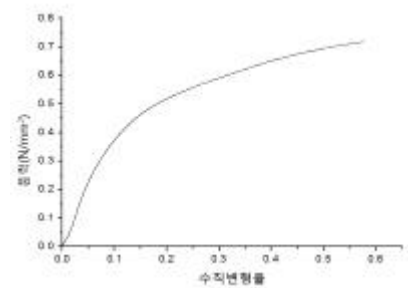
(b) FM 타입



(c) TM 타입

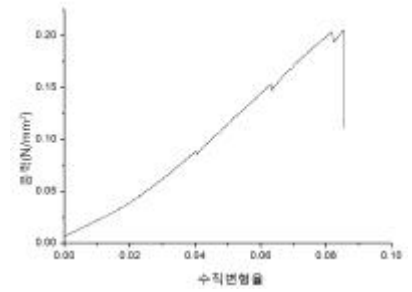


(d) MN 타입

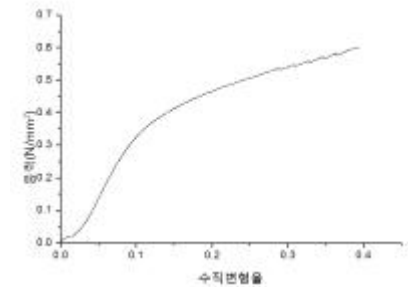


(e) MM 타입

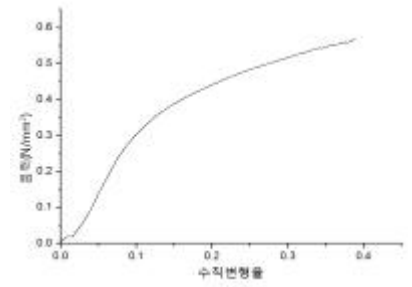
그림 56. B 타입 시험체의 실험 전경 및 응력 변형 곡선



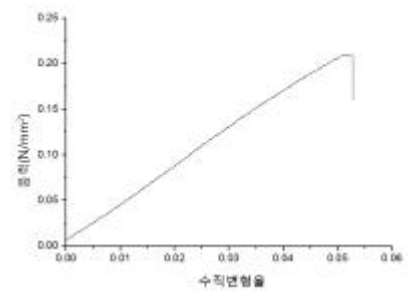
(a) Non 타입



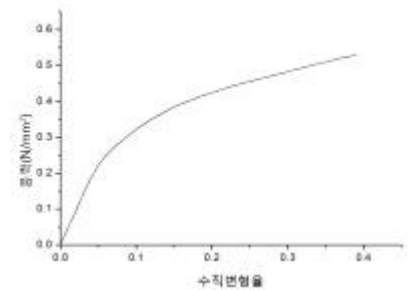
(b) FM 타입



(c) TM 타입

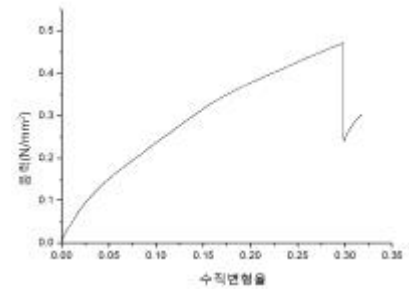


(d) MN 타입

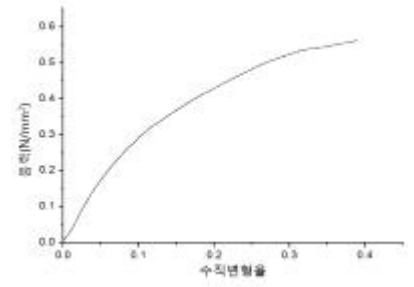


(e) MM 타입

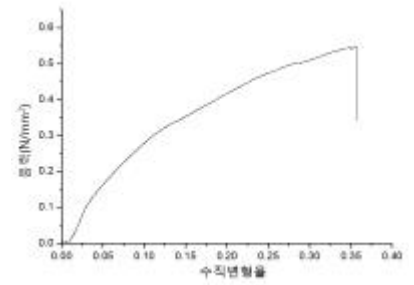
그림 57. C 타입 시험체의 실험 전경 및 응력 변형 곡선



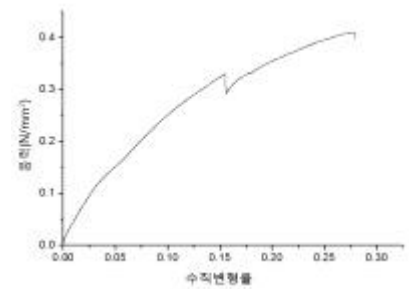
(a) Non 타입



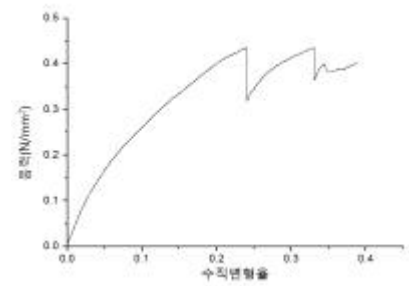
(b) FM 타입



(c) TM 타입

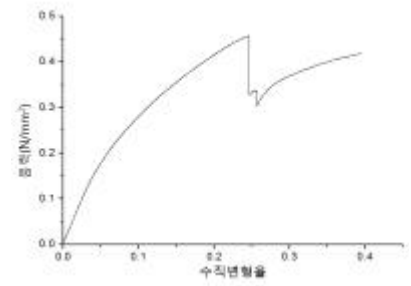
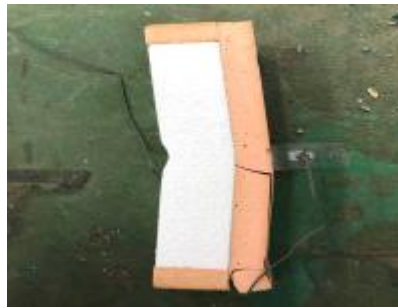


(d) MN 타입

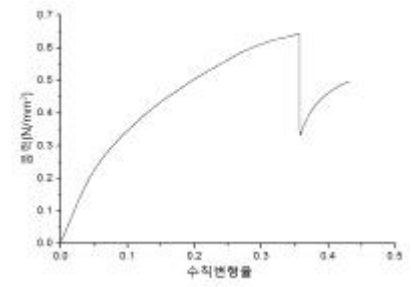


(e) MM 타입

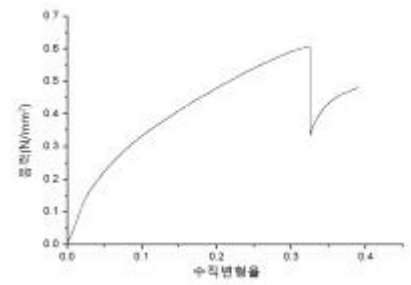
그림 58. D 타입 시험체의 실험 전경 및 응력 변형 곡선



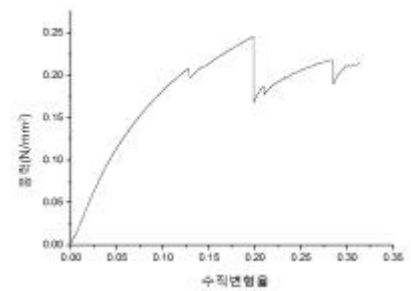
(a) Non 타입



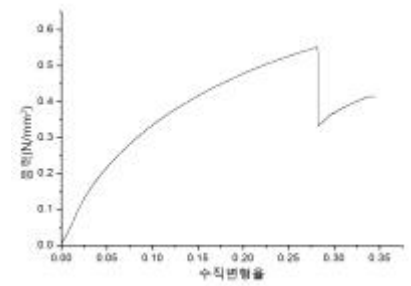
(b) FM 타입



(c) TM 타입

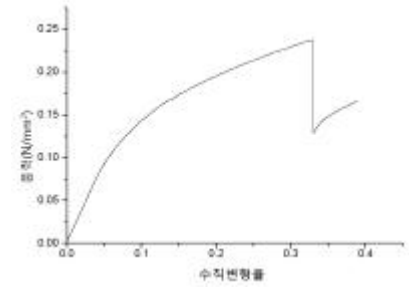


(d) MN 타입

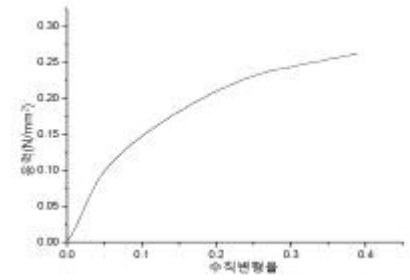


(e) MM 타입

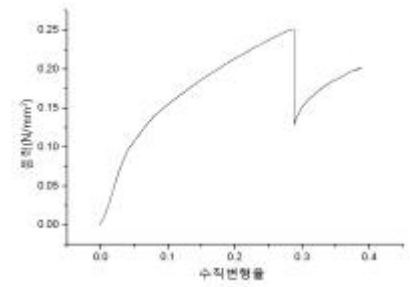
그림 59. E 타입 시험체의 실험 전경 및 응력 변형 곡선



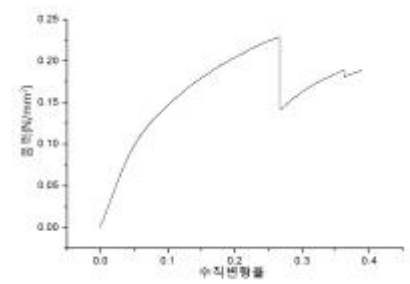
(a) Non 타입



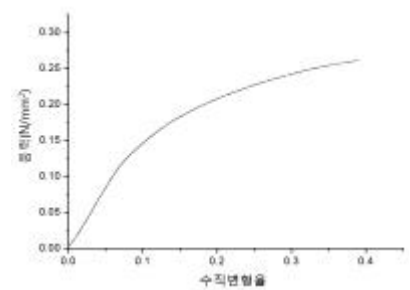
(b) FM 타입



(c) TM 타입



(d) MN 타입



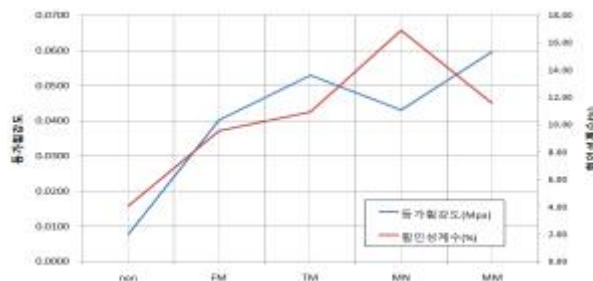
(e) MM 타입

그림 60. F 타입 시험체의 실험 전경 및 응력 변형 곡선

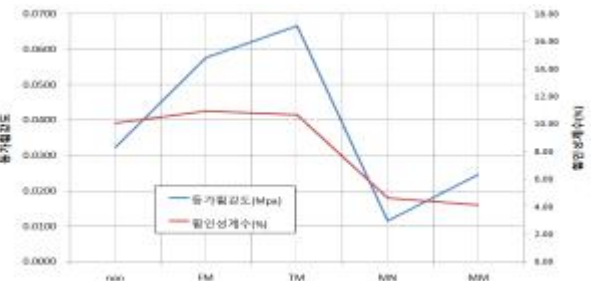
③ 휨인성계수

휨인성 계수를 살펴보면 전면부의 페놀폼이 없는 상태의 휨인성계수는 비교적 낮은 것으로 나타났음. 이는 전면부에 페놀폼이 없는 상태에서는 변형율이 증가되기 때문에 이와 같은 성능이 나타나는 것으로 판단됨. 휨인성계수가 낮을 경우 하중에 대한 초기 저항성이 낮아 거푸집으로서의 변형저항성이 낮을 것으로 판단됨.

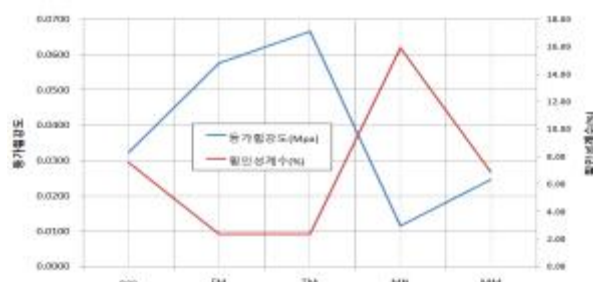
전면부에 메쉬 보강 및 모르타르 보강시에는 휨인성 계수가 전체적으로 증가하는 것으로 나타났음. 페놀폼이 전면에 보강된 경우에는 휨인성계수가 전체적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 특히 E 타입의 경우에서 휨인성계수가 우수한 것으로 나타남. 이는 전면부에 페놀폼보강 타입으로 인해 초기 변형율이 감소되면서 페놀폼에 의한 표면부의 보강효과에 의한 것으로 판단됨.



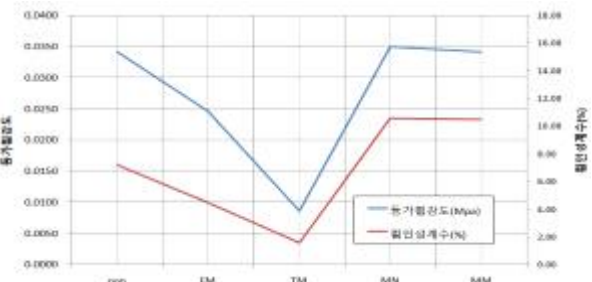
(a) A타입



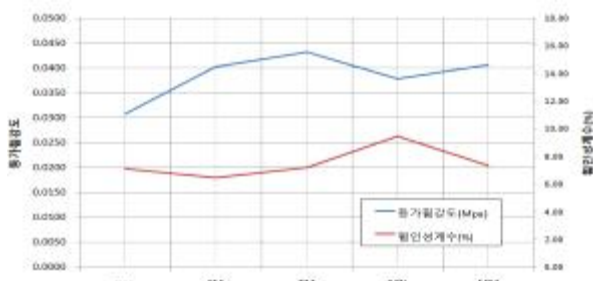
(b) B 타입



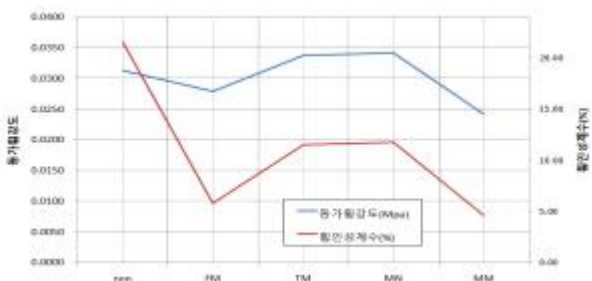
(c) C 타입



(d) D 타입



(e) E 타입



(f) F 타입

그림 61. 등가휨강도 및 휨인성계수

④ 포비도 특성 평가

스티로폼 상부에 모르타르로 마감한 경우에는 초기 30초 이내에 300°C 이상으로 상승하며, 120초 이내에 발화하여 내부 온도가 800°C 이상으로 온도가 상승하게 된다. 표면부를 가열하는 경우에 무기질의 모르타르와 스티로폼의 경계면에서 착화가 나타나 내부로 화재가 진행되는 형태를 갖게 되어 모르타르면이 붕괴되는 것으로 나타남.

페놀폼만을 가열하였을 경우에는 착화까지 약 480초정도가 소요되는 것으로 나타났으며, 표면부에서 열원이 가해지면 표면부에서 탄화층이 생성되어 열에너지의 공급이 감소되는 것으로 판단됨. 그러나 페놀폼의 탄화층은 점차 응집되면서 주변부에 균열을 생성하게 되고 중심부로 불꽃이 침투되어 연소가 진행되는 것으로 나타남.

페놀폼 상부에 모르타르를 마감한 경우에는 480초까지는 착화는 발생하지 않는 것으로 나타났으나 표면부의 홀이 발생하면서 화재가 진행되는 것으로 나타났음.

페놀폼 상부에 모르타르와 유리메쉬로 보강된 경우에는 초기 30초까지는 후면부 온도가 큰 변화를 보이지 않았으나 약 600초 이후 외부 온도가 약 600°C 이상으로 상승하는 것으로 나타났음. 모르타르만을 보강한 경우와 달리 표면부의 유리섬유메쉬가 표면부의 화재지연형 모르타르의 팽창층을 고정하고, 후면의 화재 균열을 억제함으로 화재 억제성을 나타내는 것으로 나타남.

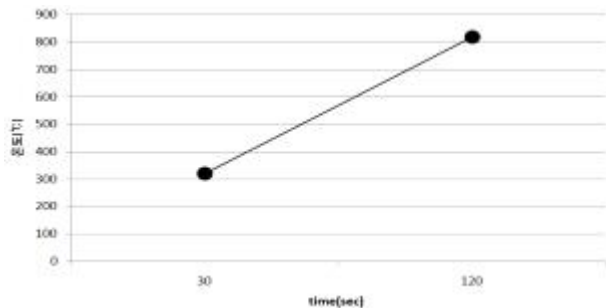


그림 62. 모르타르+스티로폼

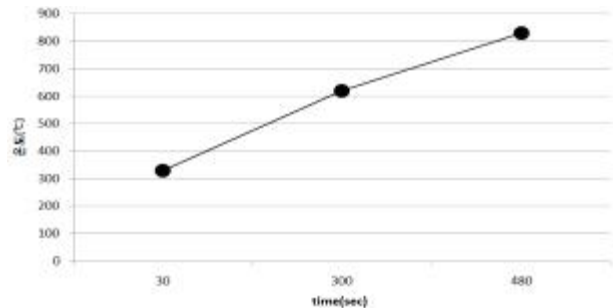


그림 63. 페놀폼

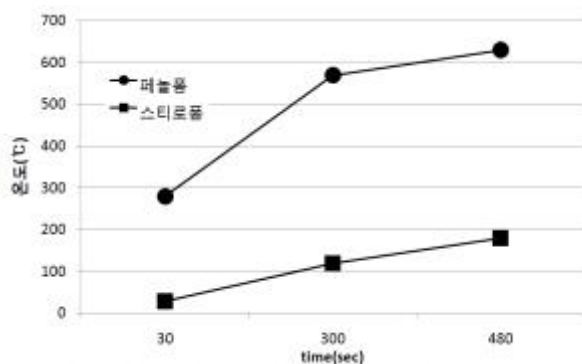


그림 64. 모르타르+페놀폼+스티로폼

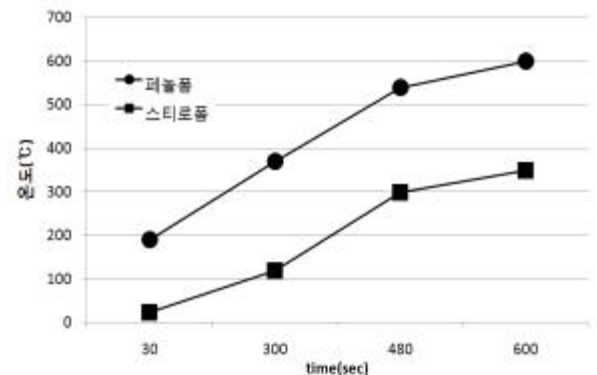


그림 65. 모르타르+유리메쉬+페놀폼+스티로폼



(a) 페놀품의 가열 후 표면 성상



(b) 유리 섬유 메쉬 + 화재 지연형 모르타르
(페놀품 보호층)



(c) 모르타르면 가열에 따른 표면
(페놀품 보호층)



(d) 표면 가열에 의한 내부 화염 발생
(스티로폼 몸체)



(e) 층간 형상에 따른 화재 차단



그림 66. 외부 연소에 의한 단열재 화재 전달 특성

마. 다층형 외단열 영구거푸집의 구조 해석

(1) 개요

다층형 외단열 영구거푸집의 물리적특성을 측정 평가한 결과를 종합하여 다층형 외단열 영구거푸집의 거푸집으로서의 구조적 성능을 검토하고자 하였음. 외단열 영구거푸집의 구조 성능을 검증하기 위하여 각 소재별 성능을 검토하고, 이와 관련된 성능을 평가함.

가) 각 재료의 물성치

아래 표 25는 다층형 외단열 패널의 소재별 물성으로 각각의 탄성계수, 인장강도, 압축강도를 나타낸 표임.

표 25. 다층형 외단열 영구거푸집의 물성

(단위 : MPa)

구분	탄성계수	인장강도	압축강도	비고
EPS	3665.7	5.79	3.50	
페놀폼	864.8	3.00	8.00	
유리섬유(MM)	1366.0	30.8	-	

나) 다층형 외단열 패널의 중립축 계산

개발 단열재의 단열재의 응력계산을 위하여 소재별 탄성계수와 두께에 따라 중립축을 도출하고자 하였음.

$$3,665.7Mpa$$

$$E_P = 864.8Mpa$$

$$E_G = 1,366Mpa$$

$$\int_E ydA + \int_P ydA + \int_G ydA = 0$$

$$\int_E ydA = (90 \times h_1) \frac{-h_1}{2} + 90 \times (60 - h_1) \times \left(\frac{60 - h_1}{2} \right)$$

$$= -45h_1 + 45(60 - h_1)^2$$

$$= -45h_1^2 + 45(3600 - 120h_1 + h_1^2)$$

$$= 5400(30 - h_1)$$

$$\int_P ydA = (90 \times 30)(75 - h_1)$$

$$= 2700(75 - h_1)$$

$$\int_G ydA = 90 \times 0.6 \times (90 - h_1)$$

$$= 54(90 - h_1)$$

$$E_E \int_E ydA + E_P \int_P ydA + E_G \int_G ydA = 0$$

$$3,665.7 \times 5,400(30 - h_1) + 864.8 \times 2,700(75 - h_1) + 1,366 \times 54(90 - h_1) = 0$$

$$593,843,400 - 19,794,780h_1 + 175,122,000 - 2,334,960h_1 + 6,638,760 - 73,764h_1 = 0$$

$$775,604,160 = 22,203,504h_1$$

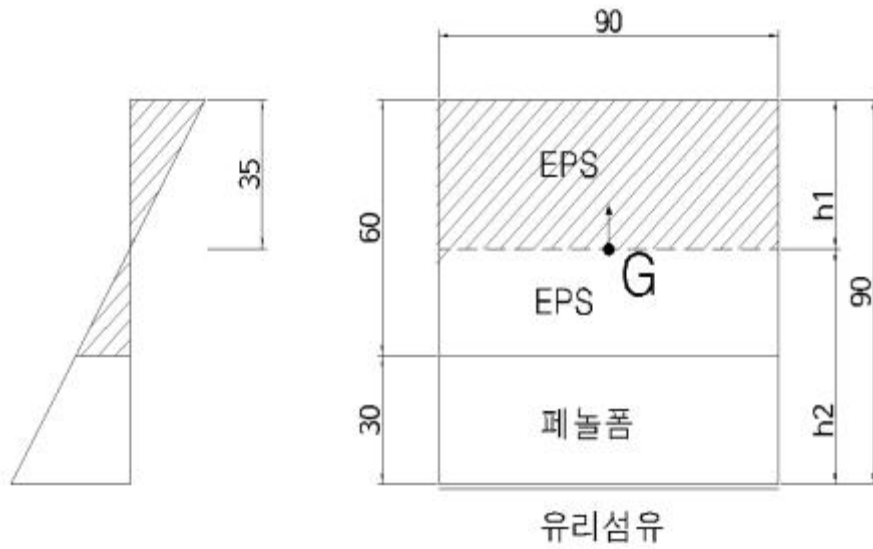
$$h_1 = 34.93mm \quad , \quad h_2 = 55.07mm$$

$$\Rightarrow 35mm \quad , \quad \Rightarrow 55mm$$

개발 단열재의 중립축은 각각 35mm와 55mm로 나타났음.

다) 변형을 적합조건에 의한 각 재료의 응력계산





$$\frac{30 \times 60}{12} + (30 \times 60)(35 - 30)^2 = 585,000 \text{ mm}^4$$

$$I_P = \frac{30 \times 30^3}{12} + (30 \times 30)(75 - 35)^2 = 1,507,500 \text{ mm}^4$$

$$I_G = \frac{30 \times 0.6^3}{12} + (30 \times 0.6)55^2 = 54,450 \text{ mm}^4$$

$$M = \int_E \sigma X y dA + \int_P \sigma P y dA + \int_G \sigma G y dA$$

$$= -KE_E \int_E y^2 dA - KE_P \int_P y^2 dA - KE_G \int_G y^2 dA$$

$$= -K(E_E I_E + E_P I_P + E_G I_G)$$

$$K = \frac{1}{\rho} = \frac{-M}{E_E I_E + E_P I_P + E_G I_G}, \quad \sigma = -Eky$$

1) 다층형 외단형 판넬(E-MM)의 구조실험을 통한 모멘트

가설표준시방서에 의해 거푸집의 변형을 6mm 까지 허용하므로, 6mm 처점이 발생했을 때 작용하중이 426N 임. 이때의 작용 모멘트는

$$\frac{PL}{4} = \frac{426 \times 300}{4} = 31950 \text{ N.mm}$$

2) EPS블럭 작용응력

$$= \frac{MyE_E}{E_I E + E_P I_P + E_G I_G} \quad , \quad K = \frac{\sigma}{Ey}$$

$$= \frac{31,950 \times 35 \times 3,665.7}{3,665.7 \times 585,000 + 864.8 \times 1,507,500 + 1,366 \times 54,450}$$

$$= \frac{4,099,169,025}{3,522,499,200}$$

$$= 1.16 Mpa \quad (\text{축})$$

3) 페놀폼 작용응력

$$\begin{aligned} \sigma_P &= \frac{MyE_P}{E_E I_E + E_P I_P + E_G I_G} = \frac{31,950 \times 55 \times 864.8}{3,522,499,200} \\ &= \frac{1,519,669,800}{3,522,499,200} \\ &= 0.43 Mpa \quad (\text{인장}) \end{aligned}$$

4) 유리섬유 작용응력

$$\begin{aligned} \sigma_G &= \frac{MyE_G}{E_E I_E + E_P I_P + E_G I_G} = \frac{31,950 \times 55.3 \times 1,366}{3,522,499,200} \\ &= \frac{2,413,496,610}{3,522,499,200} \\ &= 1.45 Mpa \quad (\text{인장}) \end{aligned}$$

라) 다층형 외단열 패널의 탄성계수

$$\delta = \frac{426 \times 300^3}{48 \times E_{otal} \times 2,146,950} = 6mm$$

$$E_{total} = 670 Mpa = 0.67 Gpa$$

마) 유리섬유 접착제에 작용하는 전단응력

$$I_{total} = I_E + I_P + E_G = 2,146,450 mm$$

$$Q = A \times y = 0.6 \times 30 \times 55.3 = 995.4 mm^3$$

$$P = 426 N, \quad V = \frac{P}{2} = \frac{426}{2} = 213 N$$

$$\tau = \frac{VQ}{Ib} = \frac{213 \times 995.4}{2,146,950 \times 30} = 3300 Pa$$

접착제에 작용하는 전단응력이 접착제의 부착강도인 1.2N/mm^2 보다 작으므로 부착파괴는 발생하지 않음.

바) 벽체 콘크리트 타설시 작용하는 측압하중에 의한 모멘트(타설속도 $R = 1.2\text{m/h}$)

일반적인 조건에서 작용 측압 $W = 35\text{kN/m}^2$

$$w = 35 \times 0.09 = 3.15\text{kN/m}$$

이때의 작용모멘트

$$\text{속스팬} \quad \frac{wL}{10} = \frac{3.15 \times 0.3^2}{10} = 28.35 \text{ N.m}$$

다층형 외단열 패널 검토시 모멘트 $M = 31.95 \text{ N.m}$ 이므로

다층형 외단열 패널을 거푸집으로 사용이 가능함.

사. 고탄성 마감재 개발

(1) 개요

드라이비트로 사용되는 외장 마감재는 에멀전계 바인더와 골재, 안료 등으로 구성된 유기 모르타르의 일종인 얇은 바름재임. 얇은 바름재의 시공은 단열재 상단에 시멘트계 바탕조정재를 사용하여 평활도를 확보한 뒤 상부의 외장 마감재를 시공하게 됨. 얇은 바름재는 건축물의 거동에 의해 신축을 반복하게 되며, 이로 인해 표면의 균열이나 파단이 발생하게 된다. 현재 국내에서 사용되는 얇은 바름재의 주요 소재는 아크릴 에멀전을 기반으로 사용되고 있으며, 기타 에멀전의 사용은 거의 없는 것으로 알려져 있음. 해외에서는 실란 아크릴 에멀전이나 에틸렌비닐아세테이트와 같은 에멀전을 사용하여 외장 마감재를 제조하고 있음.

본 연구 개발에서는 외장 마감재로 사용되는 얇은 바름재의 인장력 및 탄성을 개선하고, 환경성을 향상할 수 있는 방안을 도출하고자 하였음.

(2) 실험방법

가) 사용 재료

1.1 바인더

얇은 마감재에 사용되는 바인더는 시멘트 모르타르와 다르게 주요 바인더가 수계 에멀전의 건조 경화를 통해 경화반응을 유도하게 됨. 건축에서 주로 사용되는 주요 에멀전은 SBR, 아크릴 에멀전, EVA 등이 사용되고 있음. SBR은 탄성 및 연신율이 우수하나 화재 발생시 스타이렌 화합물의 열분해시 발생하는 가스유해성이 크기 때문에 외장마감을 위한 소재로 사용되는데 어려움이 있음. 이에 비해 아크릴 에멀전이나 EVA는 가스유해성이 비교적 낮은 편이기 때문에 해외에서도 외단열 공법에 주로 사용되는 소재임.

무기물(실리카)-유기고분자 하이브리드 소재를 제조하는 방법은 블렌딩법과 졸-겔법, in situ 고분자화 반응이 알려져 있음. 가장 일반적인 블렌딩법은 실리카 입자와 유기고분자를 단순히 혼합하는 방법임. 이 방법은 친수성 실리카 입자와 소수성 유기고분자의 상호작용이 약하기 때문에 균일한 혼합이 어려운 단점이 있음. 이러한 단점을 극복하기 위하여 무기물 입자의 표면을 실란 개질제로 처리하여 유기고분자와 친화성을 향상시키기도 함. 그리고, 반응기 속에서 전구체의 가수분해와 축합반응을 통해 무기물(실리카) 입자 제조, 분산, 가교를 통해 유-무기 하이브리드 소재를 얻을 수 있는 졸-겔 법이 있음. 졸-겔 법은 다시 크게 두 가지로 나뉘는데, 첫 번째는 한 반응계 내에서 실리카와 유기고분자를 공존시키면서 균일하게 혼합하는 방법이고, 두 번째는 반응성 유기기를 갖고 있는 유기실란을 커플링제로 사용하여 무기물 입자와 유기고분자를 공유결합을 통해 분자구조 제어를 통해 하이브리드화하는 방법이 있음. 전자는 공정이 간단하고 대량 생산이 용이하지만 모든 고분자에 적용이 불가능하다는 단점을 갖고 있음. 후자는 전자의 단점을 해결하기 위한 방법으로, 통상적으로 실란커플링제가 사용되어 실리카의 응집을 막고, 고무가 가지고 있는 긴 유기사슬과 상호작용을 증가시켜 유기고분자와 실리카의 균일 분산을 향상시킴.

본 연구에서는 유무기화된 에멀전으로 합성 단계에서 실란을 사용하여 개질한 실란 개질 아크릴에멀전과 유기실리카를 가수분해하여 에멀전에 혼합한 알콕사이드 에멀전을 사용하였음.

표 26. 바인더의 특성

종류	고형분(%)	폴리머 Tg(℃)	폴리머 입자 전하	주요 구성 화합물
아크릴에멀전	45	-10	음이온	아크릴산, 스타이렌
EVA	55	-5	비이온	에틸렌, 비닐아세테이트
실란개질아크릴에멀전	35	-5	음이온	아크릴산, 스타이렌, APTMS
알콕사이드에멀전	35	-5	음이온	아크릴산, 스타이렌, TEOS 가수분해물

1.2 골재

골재는 천연규사를 사용하였음. 골재 입도는 6호 규사와 7호 규사를 사용하였으며, 입경 범위는 6호 규사는 0.25~0.6mm, 7호 규사는 0.075~0.6mm의 크기를 갖는 것을 사용하였음.

1.3 충전제

① 세노스피어

세노스피어는 알루미늄 실리케이트로 구성된 원형 중공체 분말로 내부의 중공 입자로 도료나 코팅제에 혼합하여 열적성능을 개선하기 위하여 사용되는 제품임. 아래 표 27은 세노스피어의 물리화학적 특성을 나타낸 것임.

표 27. 세노스피어의 물리화학적 특성

입자크기	비중	압축강도	용점	내화학적성
약 30~100 μm	0.7~0.88g/cm ³	30MPa	약 1,800℃	이상없음

② TiO₂

이산화 티타늄은 다형체인 anatase, rutile, brookite 중 하나의 상으로 존재함. Anatase 상의 TiO₂는 광활성도가 높기 때문에 광촉매, 염료감응 태양 전지 등에 사용되고, brookite 상의 TiO₂는 준안정 상태이며, 순수하게 단일 상만을 제조하기 어렵기 때문에 상대적으로 연구가 많이 수행되지 않았음. Rutile 상의 TiO₂는 열역학적으로 가장 안정하고, anatase 상에 비해 구조적으로 원자 배열이 치밀하여 큰 밀도를 가지며, 효율적인 광산란/광반사 특성을 갖기 때문에 오랜 기간 동안 자외선 및 적외선에 대한 광반사 물질로서 이용되어 왔음. 본 연구에서는 이산화티타늄을 광반사제로 아래 표 28과 같은 TiO₂를 사용하였음.

표 28. TiO₂의 성상

타입	비표면적	TiO ₂	Si	Al	Cl	S04
Rutile	7.5 cm ² /g	98.97 %	0.13 %	0.67%	0.22%	0.003%

③ 유기 섬유

본 연구에 사용된 섬유는 목재로부터 추출된 천연셀룰로오스 섬유보강재로 섬유의 길이는 2mm 정도의 크기로 두께는 35 μm 의 크기인 것으로 사용하였음. 주요 성상은 아래 표 29와 같음

표 29. 유기 섬유의 주요 성상

길이	두께	밀도	셀룰로오스 함량	pH
2mm	35 μm	10~25g/ℓ	99.5%	6.5±1

④ pH조절제

pH조절제로서 2-Amino-2-Methyl-1-Propanol (hereinafter, AMP)를 사용하였음. 메칠셀룰로오즈는 물과 만나면 즉시 팽윤하는 특성을 가지고 있어 물에 해리가 어려운 특성이 있음. 메칠셀룰로오즈의 표면에 대하여 화학적인 코팅을 통해 pH가 상승하면 코팅이 해리되어 메칠셀룰로오즈가 확산될 수 있도록 하면 물에 물리적으로 해리시킨 뒤 pH조절제를 사용하여 점도를 상승시키는 것이 가능함. pH조절제의 성상은 아래 표 30와 같음.

표 30. pH조절제의 성상

0.1M수용액의 pH	분자량	비중	어는점	해리상수
11.3	89.1	0.942	-2℃	9.75

⑤ 메칠셀룰로오즈

물과 접촉시, 메틸 셀룰로오스는 물을 흡수하여 부풀어 올리는 성질을 가지고 있음. 다량의 메틸 셀룰로오스가 물과 섞이면 빠르게 흡수되어 겔 형태로 전환되어 분산성이 낮아짐. 따라서, 실험에서, 메틸 셀룰로오스는 천천히 물. 메틸 셀룰로오즈의 특성은 표 31과 같음

표 31. 메칠셀룰로오즈의 성상

성상	입자크기	점도(1%수용액)	함수율
흰색 분말	<600 μ m(98%)	2,500~3,500mPa.s	max 5%

⑤ 기타 첨가물

본 연구개발에서는 마감재의 성상을 조절하기 위하여 조막조제, 조막부조제, 소포제, 가소제 등이 혼합된 첨가조제를 외할로 3%가량 사용하였음.

나) 배합

본 연구 개발에서 사용된 마감재는 먼저 물과 메칠셀룰로오즈를 혼합한 뒤 AMP를 사용하여 고르게 점도를 구현한 뒤 바인더로 사용되는 에멀전, 규사 등을 혼합하여 마감재를 제조하였음. 마감재는 에멀전의 공기 중에 노출된 후 수분의 거동에 의해 에멀전 입자가 응집되면서 입자 간 간격의 접합으로 인

해 경화물을 생성하게 됨. 이 때 골재, 충전재 등은 필름간 결합력을 조절하는 역할을 하게 됨.

표 32. 마감재의 배합

	아크릴 에멀전	EVA 에멀전	알콕사이 드 에멀전	하이브리 드 에멀전	TiO ₂	세노스피 어	섬유	AMP	규사 7 호사	규사 6 호사	메칠셀룰로 오즈	물
A-Plain	100							1	150	150	4	30
A9A11	90		10									
A8A12	80		20									
A7A13	70		30									
A9H1	90			10								
A8H2	80			20								
A7H3	70			30								
E-Plain		100										
E9A11		90	10									
E8A12		80	20									
E7A13		70	30									
E9H1		90		10								
E8H2		80		20								
E7H3		70		30								
E9H1T5		90		10	5							
E9H1T10		90		10	10							
E9H1I5		90		10		5						
E9H1I10		90		10		10						
E9H1T5I5		90		10	5	5						
E9H1T10I5		90		10	10	5						
E9H1T10I10		90		10	10	10						
E9H1F0.05		90		10			0.05					
E9H1F0.1		90		10			0.1					
E9H1T5F0.05		90		10	5		0.05					
E9H1T5F0.1		90		10	5		0.1					
E9H1T5I5F0.05		90		10	5	5	0.05					
E9H1T5I5F0.1		90		10	5	5	0.1					

다) 측정 방법

① 부착강도

아래 그림 1에 나타난 시험용 밀판을 연마한 후 안쪽치수 40mm × 40mm × 10mm의 금속제 또는 합성 수지제 형틀을 넣고 시료를 형틀과 동일한 높이까지 채워 성형함. 그 후 20±2℃, 습도 65±10%에서 양생하고, 성형 후 24시간 경과한 후에 탈형하여 다시 재령 28일까지 양생시킨 것을 부착강도 시험체로 함.

정해진 양생이 끝난 시험체를 양생실 내에 수평하고 놓고 시료 도포면에 접착제를 바른 후, 그림 5에 나타난 상부 인자용 지그(강철제)를 가만히 올려놓고 가볍게 문질러 접착시킴. 다음으로 그 위에 무게 1kg의 추를 얹어 주위에 비어진 접착제를 신중히 제거함. 24시간 진동 없이 둔 후 추를 제거하고 그림

5와 같은 하부 인장용 지그(강철제) 및 강철제 받침판을 사용해서, 시료면에 대해 수직 방향으로 인장력을 가해 최대 인장하중을 구함.

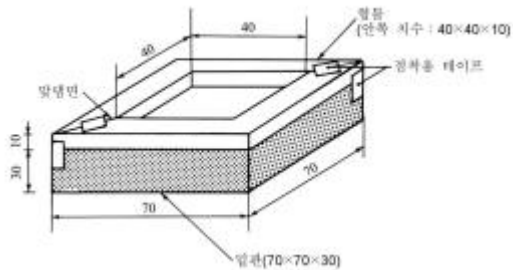


그림 1. 부착강도 시험체 제작용 밀판 및 형틀

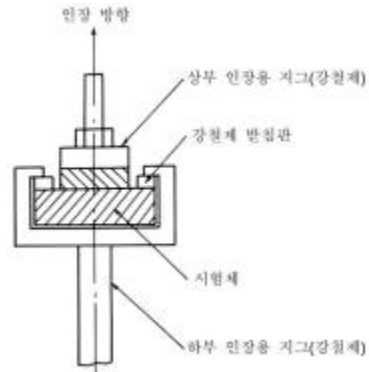


그림 2. 부착강도 시험체 조립 완성도

② 물흡수계수

물흡수계수란 재료의 면적당 물흡수량(kg/m^2)과 시간()사이의 비례 계수를 말함. 물흡수계수를 측정하기 위하여 KS F 4716의 기준에 따라 시험체를 제작하고, 그림 67과 같이 시험체를 제작하였음. 제작된 시험체를 물흡수계수 산정을 위하여 KS F 2609(건축 재료의 물 흡수 계수 측정 방법)에 따라 측정하였음. 재료의 한면이 물과 접촉시 시간에 따른 면적당 흡수량은 다음과 같음.

$$= w \quad t$$

여기서,

m: 면적당 물흡수량(kg/m^2)

w: 물 흡수 계수($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}0.5$)

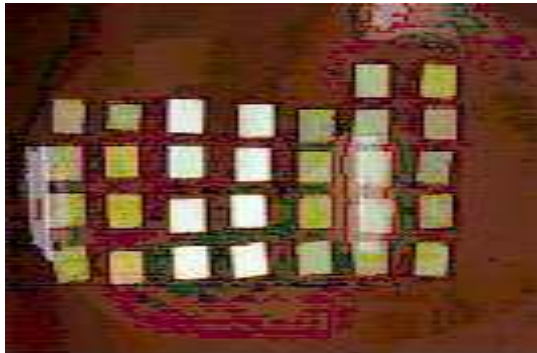
t: 시간(h)



그림 67. 물흡수계수 측정용 시험체 (KS F 4716)

③ 흡수율 시험

흡수율 시험은 마감재를 약 3mm 두께로 가로 5cm × 세로 5cm의 크기로 절단하여 초기 중량을 측정한 뒤 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 에서 24시간 침지 후 무게변화를 측정하였음. 이후 초기 중량에 대하여 변화된 무게를 백분율을 환산하여 흡수율을 측정하였음. 흡수율 측정 후 시험체의 표면 구조를 변화를 분석하기 위하여 SEM을 통해 에멀전의 분포도를 확인하였음.



(a) 수중 침지 전경



(b) 침지 후 표면 건조

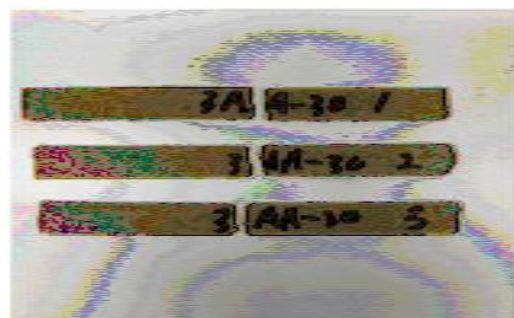
그림 68. 흡수율 측정을 위한 시험체 수중 침지 및 표면 건조

④ 인장강도 시험

인장시험은 5Ton UTM을 사용하였으며, 변위제하 방식으로 10mm/min의 조건에서 측정하였음. 이때 시험체의 스트레인변위와 하중값을 측정하였으며, 이를 통해 최대인장강도, 면내 섬유 최대 인장강도, 변형률, 1차항복강도, 면내 섬유의 1차 항복강도, 탄성계수를 측정



(a) 인장강도 시험체 제작



(b) 인장강도 시험체 파단



(c) 인장강도 측정 전경

그림 69. 인장 강도 시험체 제작 및 강도 측정

⑤ 잔갈림 특성

KS F 4716 규격에 따라, 초기 건조에 따른 내잔갈림성 시험을 실시하였음. 먼저, 2mm 두께가 되도록 바른 시험체를 풍속 $3\text{m/s} \pm 10\%$ 로 조정된 공기 흐름통 내에 넣어 시험체를 기류에 평행이 되도록 놓는다. 6시간 후에 꺼내어 표면에 잔갈림이 발생하였는지의 여부를 육안으로 관찰함.



그림 70. 내잔갈림성 시험

⑥ 온랭반복작용에 대한 저항성 시험

시험체를 물속에 18시간 침지시킨 후 꺼내어 즉시 $-20 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 항온 탱크 내에서 3시간 냉각시킨 후 $50 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 항온 탱크 내에서 3시간 가열함. 이 조작을 10회 반복하고, 양생실에서 2시간 가만히 놓아 둔 후 표면의 갈라짐, 부풀 등의 결함이 있는지를 육안으로 관찰한다. 이어서 부착강도를 측정함.

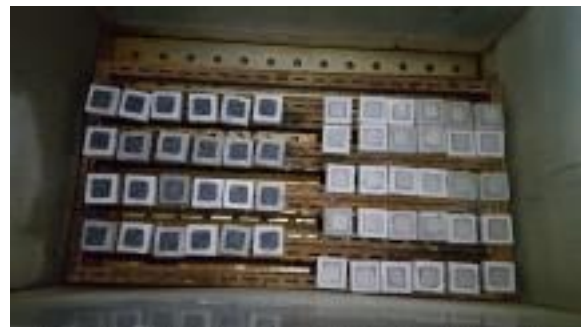


그림 71. 시험체의 온도 열화 시험 전경

⑦ 화염 확산성 평가

마감재의 화염 확산성을 평가하기 위하여 석고보드면에 마감재를 도포한 뒤 화원을 6cm 가량 이격

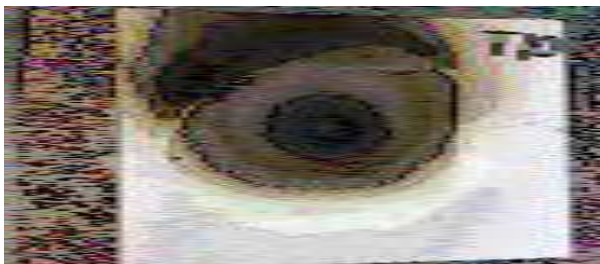
시킨 뒤 30초간 화염을 가하였음. 불꽃온도는 약 700℃이며, 불꽃과 접촉 후 마감면의 중심원으로부터 탄화된 경계면을 측정하였음.



(a) 화원거리 확보



(b) 표면 연소



(c) 화염분사 후 표면 탄화면적



(d) 탄화면적 측정

그림 72. 화염확산성 TEST

⑧ 열환경 평가

마감재에 의한 열환경성능은 표면의 온도차이와 내부 온도 변화에 따른 냉매의 변화량을 검토하여 열환경특성을 평가하고자 함. 30cm(가로) X 30cm(세로) X 30cm(높이)의 스티로폼 박스의 외부에 아래 표 33의 열환경 제어를 위한 충전제를 사용한 배합에 따라 제조된 마감재를 표면에 도포한 뒤 건조하였음. 이후 박스의 상부와 내부에 열센서를 설치한 뒤 외기 노출시 표면 온도 및 내부 온도의 특성을 평가하고자 하였음. 박스 내에는 1리터의 얼음을 설치한 뒤 녹는 얼음양을 측정하여 마감재 종류에 따른 열부하를 상대평가하였음.



(a) 스티로폼 박스 상부 도포



(b) 표면 도포 후 시험체



(c) 외부 환경성 평가

그림 73. 열환경 평가를 위한 시험체 제작 및 측정

표 33. 열환경 평가를 위한 배합

	TiO2	세노스피어(I)	비고
Plain	0	0	■ 시험조건 외부 스티로폼 구조체 30cm(가로) X 30cm(세로) X 30cm(높이) ■ 내부냉매 : 1리터 얼음 ■ 측정항목 외부 온도 변화 내부 온도 변화 얼음 용빙량
T5	5		
T10	10		
I5		5	
I10		10	
T5I5	5	5	
T5I10	5	10	
T10I5	10	5	

(3) 실험 결과 및 고찰

가) 부착강도

마감재의 부착강도를 측정한 결과, 아크릴 에멀전에 비하여 EVA계의 부착강도가 높은 것으로 나타났음. 에멀전의 유무기 복합화를 위해 사용된 알콕사이드계열과 하이브리드 계열의 혼입율에 따른 부착강도를 살펴보면 치환율이 증가함에 따라 부착강도는 증가하는 것으로 나타남. 알콕사이드계열과 하이브리드계열의 치환율에 따른 부착강도를 비교한 결과 하이브리드계열의 부착강도가 높은 것으로 나타났음.

충진재 종류에 따른 부착강도를 살펴보면 TiO2에서는 5%치환시 부착강도가 가장 높은 것으로 나타났으며, 세노스피어의 경우 부착강도는 TiO2보다 높은 것으로 나타났으며, 5%치환시 부착강도가 가장 높게 나타났음. TiO2와 세노스피어를 혼합하여 치환한 경우, TiO2와 세노스피어를 각 5%씩 혼입한 시험체는 TiO210%만을 사용한 경우보다 부착강도가 높은 것으로 나타났음.

섬유 혼입은 무혼입, 0.05%, 0.1% 혼입 시험체의 부착강도를 측정한 결과 충진재의 종류와 관계없이 0.05%에서 가장 높은 것으로 나타남

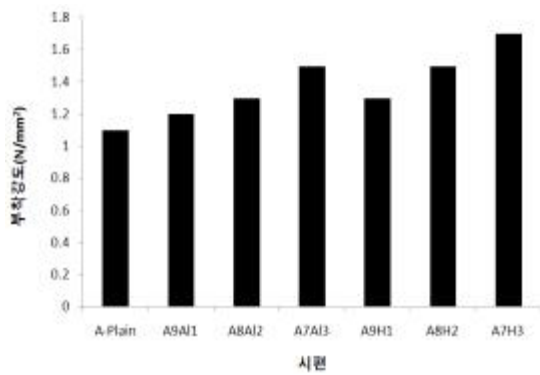


그림 74. 아크릴 에멀전계 부착강도

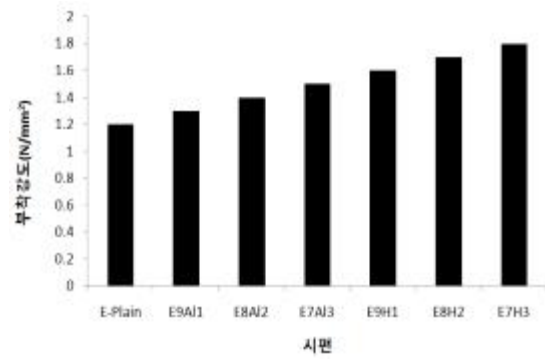


그림 75. EVA계 부착강도

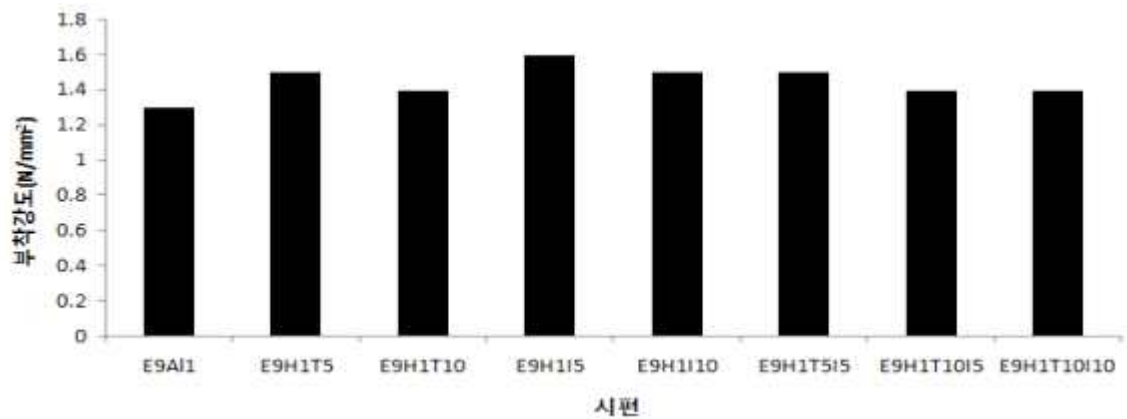
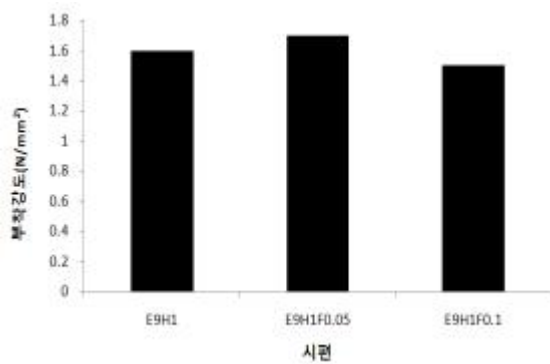
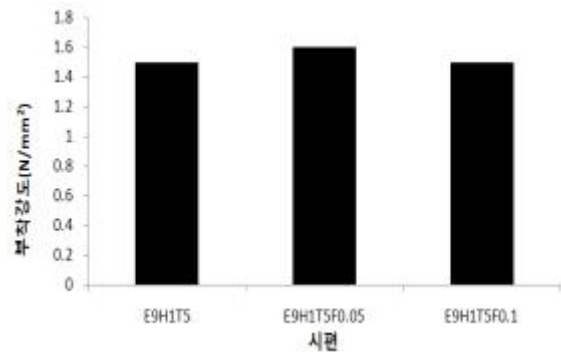


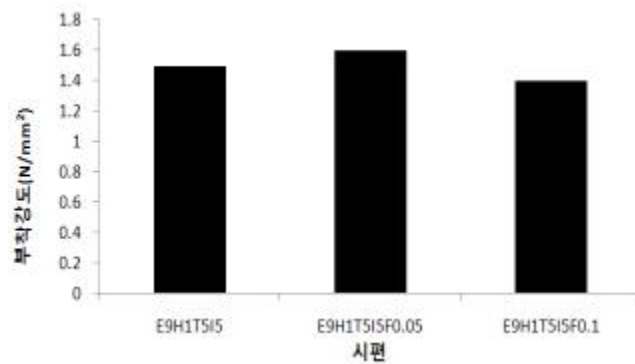
그림 76. 충전제 종류에 따른 마감재의 부착강도



(a) 충전제 무혼입



(b) TiO₂ 혼입시



(c) TiO₂ + 세노스피어 혼입시

그림 77. 섬유 혼입에 따른 마감재의 부착강도

나) 온냉 반복 후 부착강도

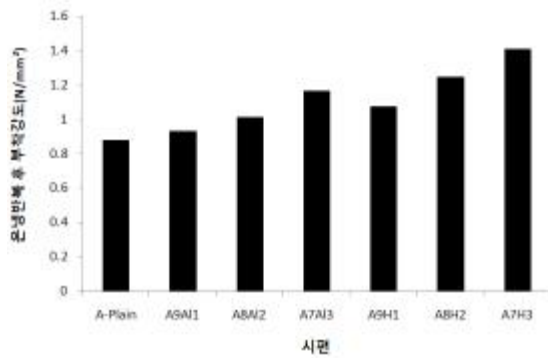


그림 78. 아크릴 에멀전계 온냉반복

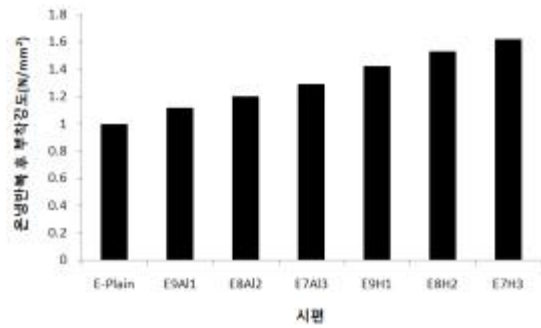


그림 79. EVA계 온냉반복

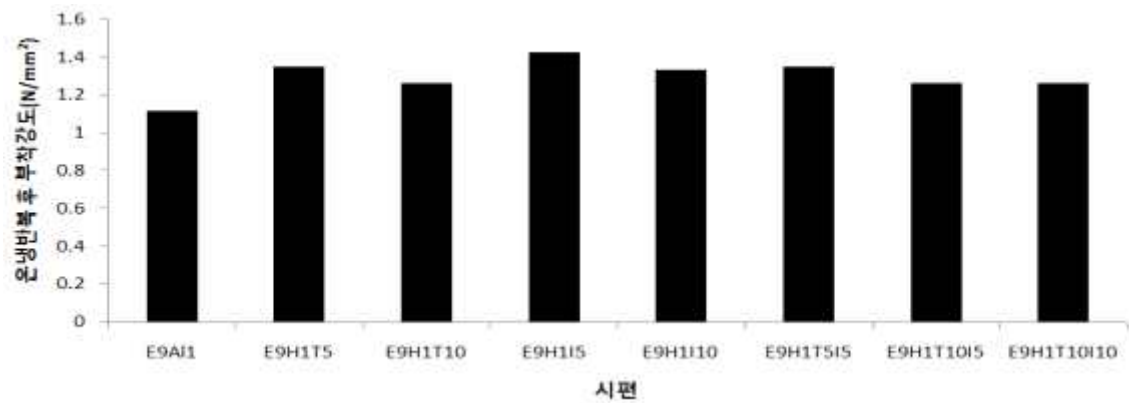
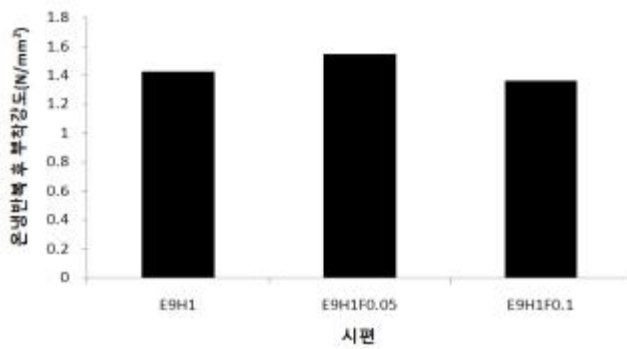
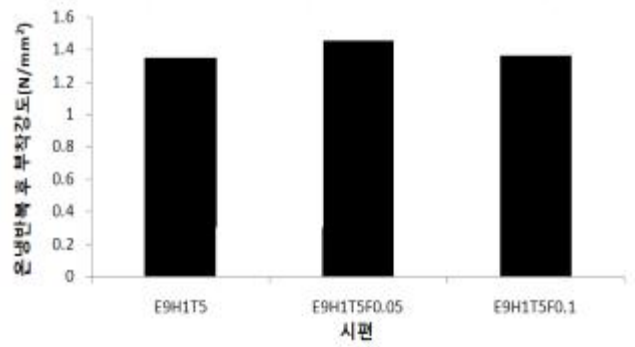


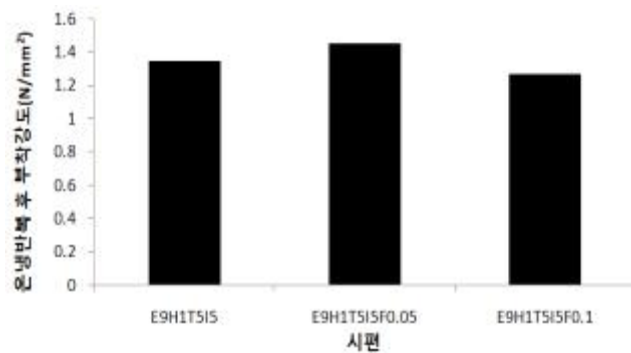
그림 80. 충전제 종류에 따른 마감재의 온냉반복



(a) 충전제 무혼입



(b) TiO₂ 혼입시



(c) TiO₂ + 세노스피어 혼입시

그림 81. 섬유 혼입에 따른 마감재의 온냉반복

마감재의 온냉반복 후의 부착강도를 측정한 결과, 아크릴 에멀전은 1.0N/mm^2 이하의 강도를 나타내었음. EVA계의 온냉반복 후 부착강도는 1.0N/mm^2 이하의 강도를 나타내었음. 에멀전의 유무기 복합화를 위해 사용된 알콕사이드계열과 하이브리드 계열의 혼입율에 따른 부착강도를 살펴보면 치환율이 증가함에 따라 온냉반복에 따른 부착강도저하가 감소되는 것으로 나타남.

충진재 종류에 따른 온냉반복 후의 부착강도가 무혼입에 비하여 높은 것으로 나타났음. 이는 충진재의 사용에 따라 충진성이 증가되면서 온도변화에 따른 변화가 감소된 것으로 판단됨. 섬유 혼입시에는 온냉반복 후의 부착강도를 측정한 결과 부착강도의 저하는 크지 않은 것으로 판단됨.

다) 인장강도

마감재의 인장강도를 측정한 결과 아크릴 에멀전의 인장강도는 약 1.8kgf/cm^2 로 나타났음. 알콕사이드와 하이브리드를 혼합하는 경우 알콕사이드의 인장강도 증가가 하이브리드에 비하여 큰 것으로 나타났음. EVA의 경우에도 하이브리드에 비해 알콕사이드의 인장강도가 큰 것으로 나타났으나 연신율의 증가는 하이브리드가 큰 것으로 나타남. TiO_2 가 혼합된 경우 인장강도는 증가하며, 5%치환에서 연신율은 11%정도에서 30%로 크게 증가하는 것으로 나타남. 세노스피어를 사용하는 경우 인장강도는 10%이상 치환시 무치환에 비하여 약간 크게 나타났으나 연신율의 증가는 크지 않은 것으로 나타났음. 인장강도와 연신율의 증가가 동시에 증가한 것은 TiO_2 5%와 세노스피어 5%를 첨가한 배합으로 나타남. 섬유 혼입시 TiO_2 가 혼입된 경우 섬유혼입율 0.05%정도에서 연신율 및 인장강도가 증가하는 것으로 나타났음.

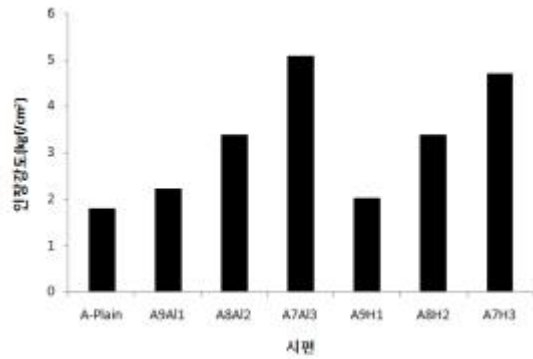


그림 82. 아크릴 에멀전계 인장강도

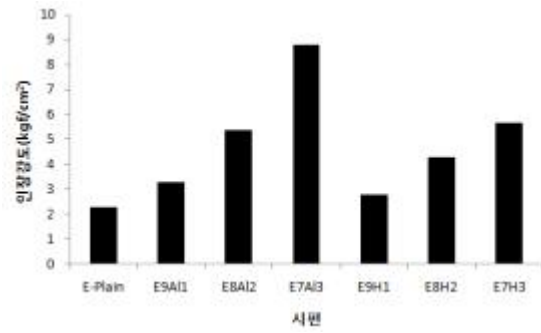


그림 84. EVA계 인장강도

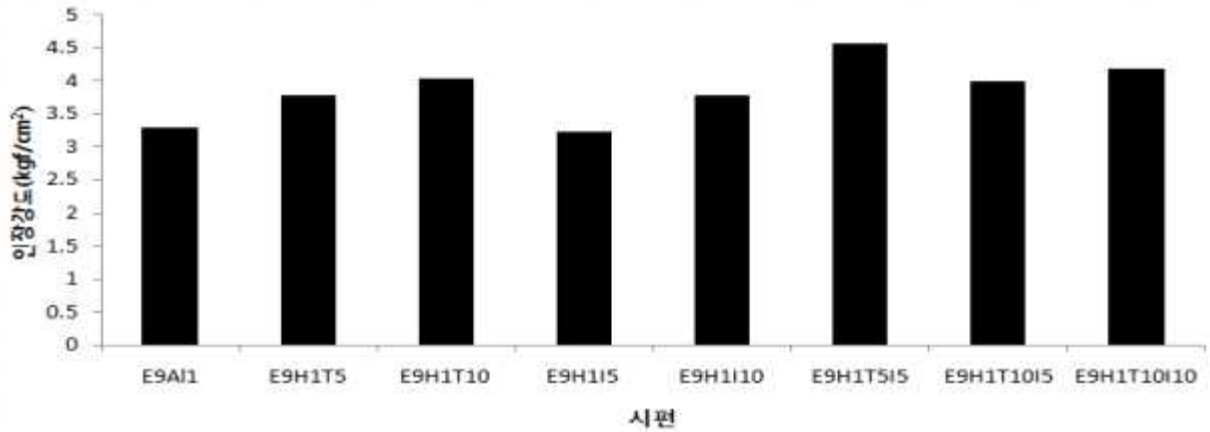
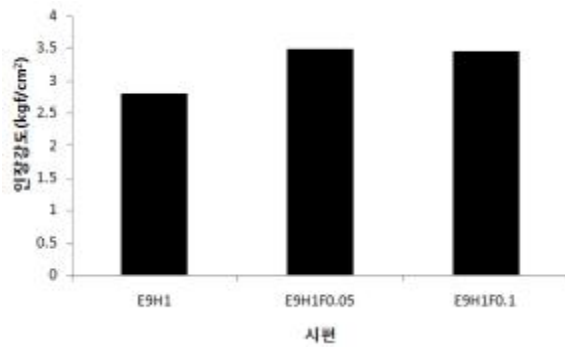
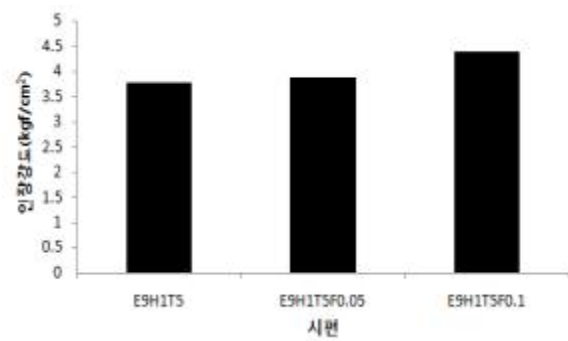


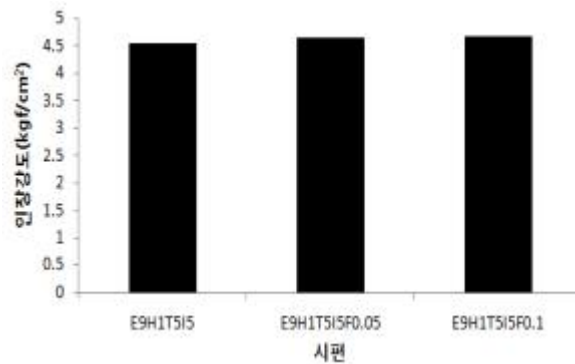
그림 85. 충전제 종류에 따른 마감재의 인장강도



(a) 충전제 무혼입



(b) TiO2 혼입시



(c) TiO2 + 세노스피어 혼입시

그림 86. 섬유 혼입에 따른 마감재의 인장강도

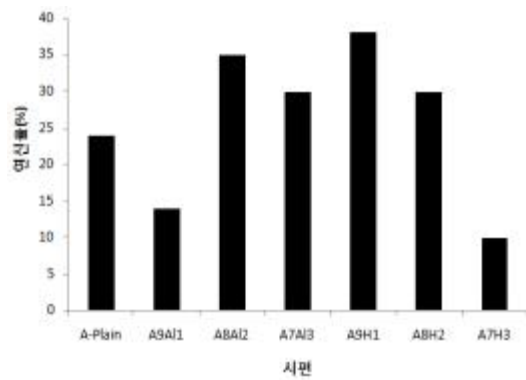


그림 87. 아크릴 에멀전계

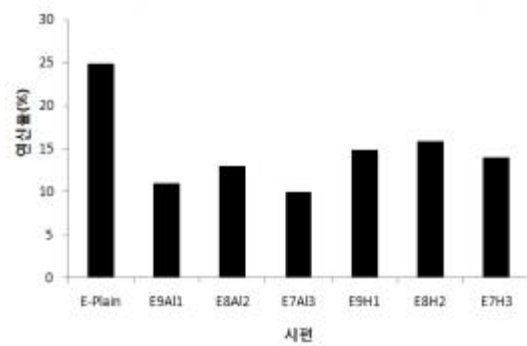


그림 88. EVA계 온냉반복

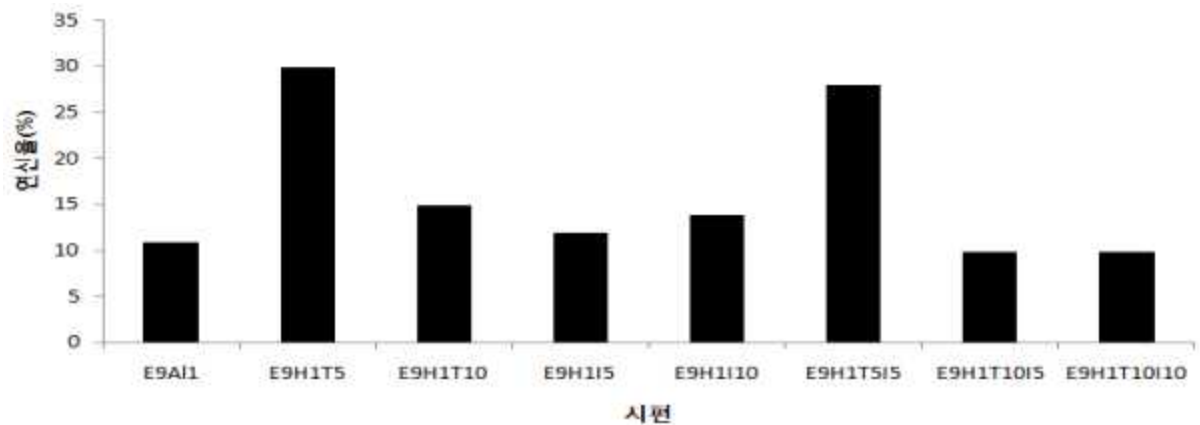
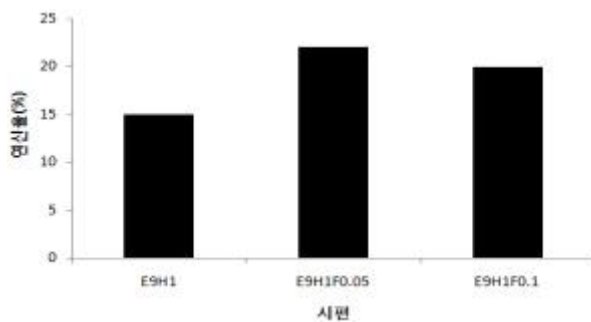
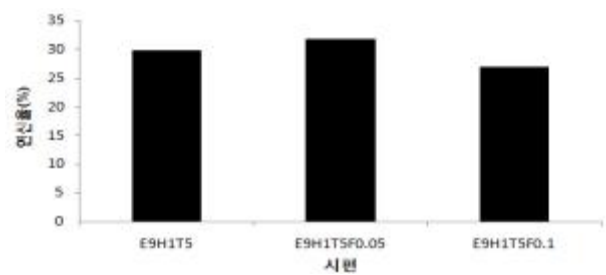


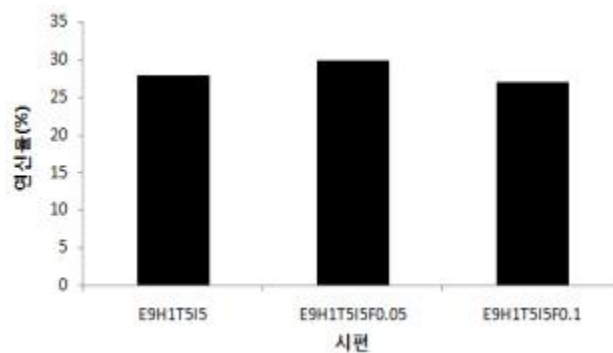
그림 89. 충전재 종류에 따른 마감재의 온냉반복



(a) 충전재 무혼입



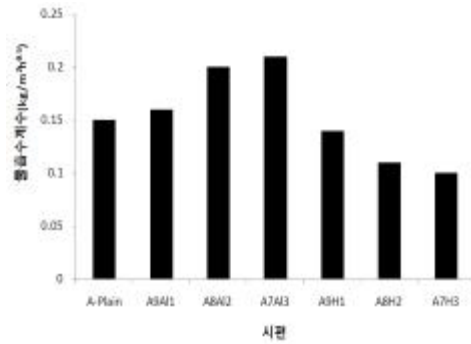
(b) TiO2 혼입시



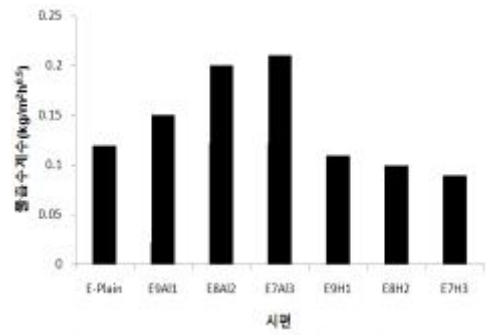
(c) TiO2 + 세노스피어 혼입시

그림 90. 섬유 혼입에 따른 마감재의 연신율

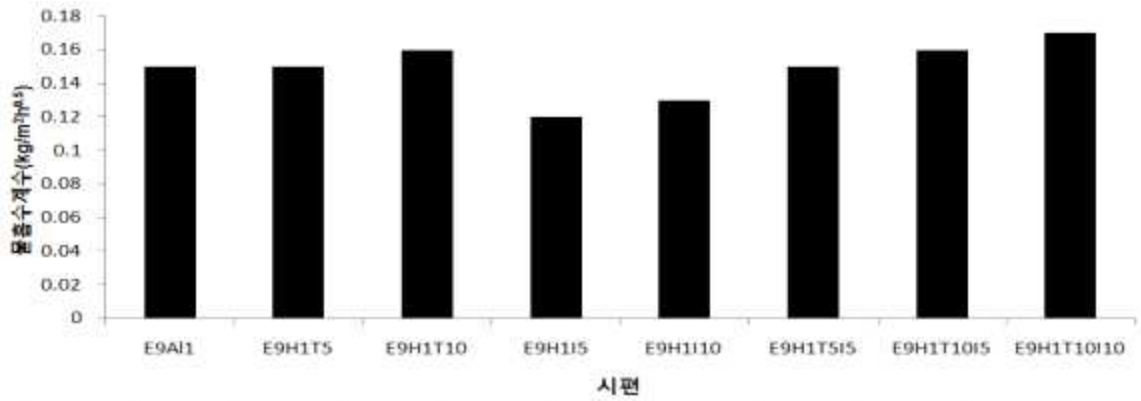
라) 물흡수계수



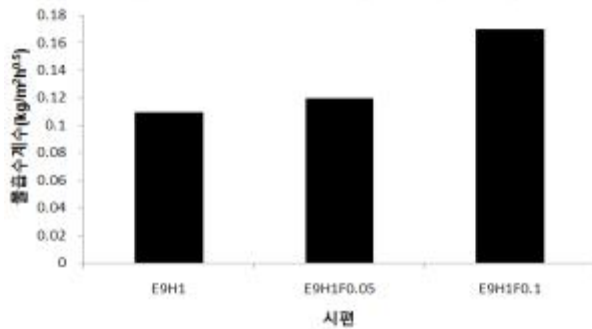
. 그림 91. 아크릴 에멀전계 물흡수계수



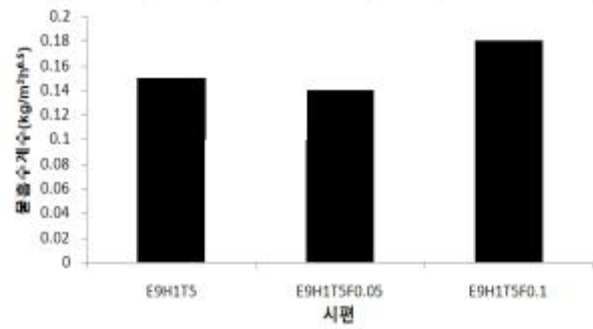
. 그림 92. EVA계 물흡수계수



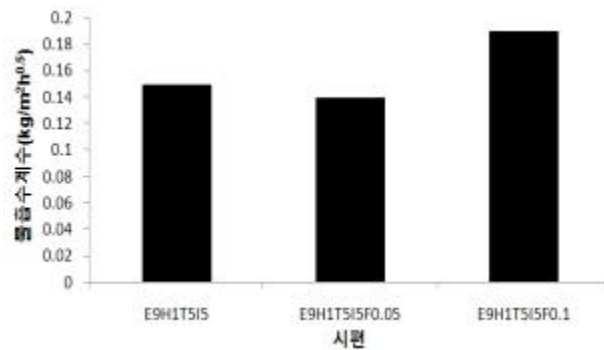
. 그림 93. 충전재 종류에 따른 마감재의 물흡수계수



(a) 충전제 무혼입



(b) TiO2 혼입시



(c) TiO2 + 세노스피어 혼입시

. 그림 94. 섬유 혼입에 따른 마감재의 물흡수계수

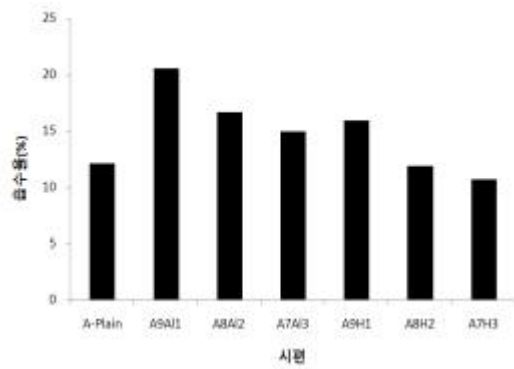


그림 95. 아크릴 에멀전계 흡수율

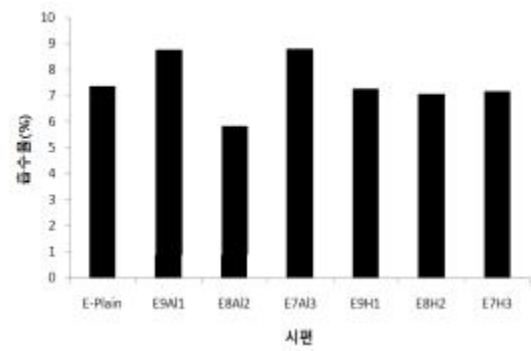


그림 96. EVA계 흡수율

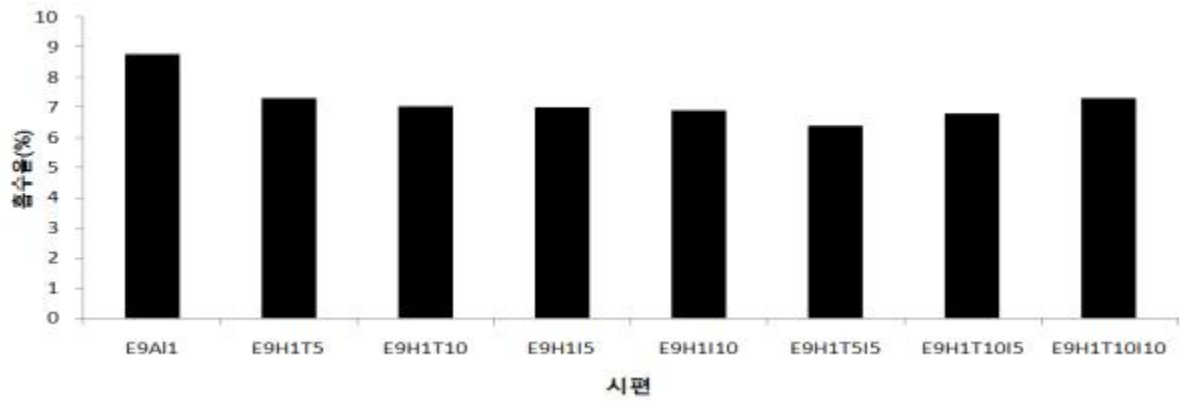
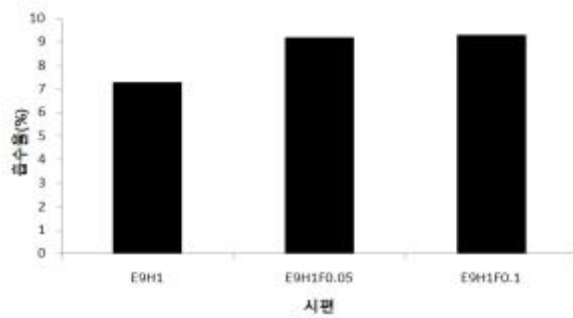
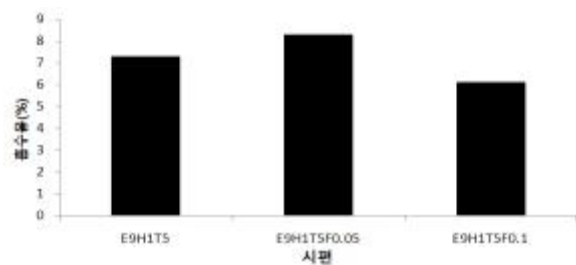


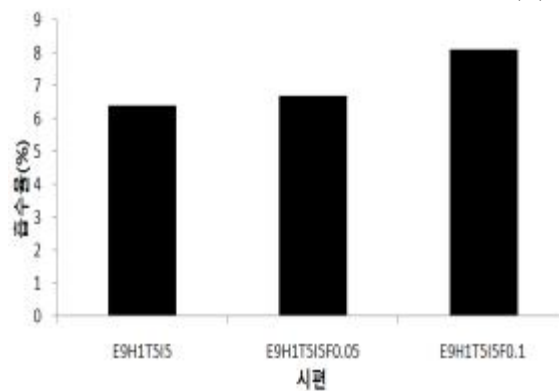
그림 97. 충전재 종류에 따른 마감재의 흡수율



(a) 충전재 무혼입

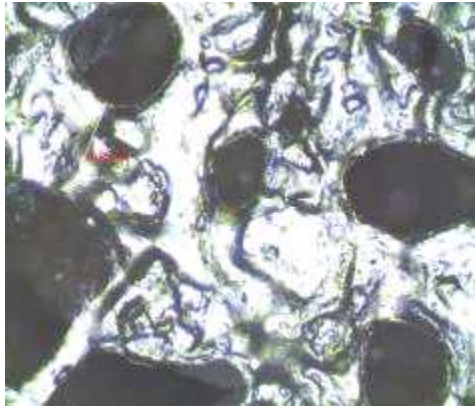


(b) TiO2 혼입시

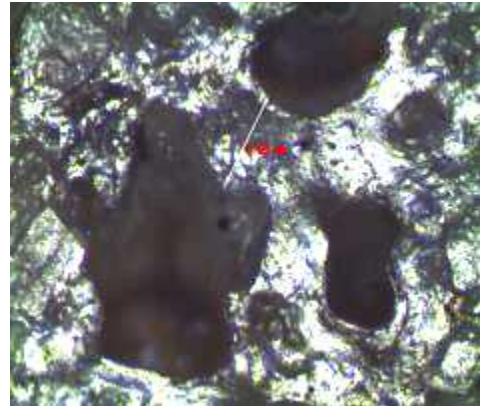


(c) TiO2 + 세노스피어 혼입시

그림 98. 섬유 혼입에 따른 마감재의 흡수율



(a) 침지 전



(b) 침지 후

그림 99. 에멀전의 수중 침지 전 후 SEM

물흡수계수를 살펴보면 아크릴계보다 EVA계가 낮은 것으로 나타났으며, 흡수율에서도 유사한 경향을 나타내었음. 알콕사이드의 경우 수분에 대한 저항성이 대체로 낮은 것으로 나타났으나, 하이브리드 에멀전은 흡수율이 감소되는 것으로 나타났음. TiO₂를 혼입한 경우, 물흡수계수차이는 크지 않으나 흡수율은 감소되는 것으로 나타남. 이는 수중에 침지 상태에서 에멀전이 수분의 흡수에 의해 에멀전 입자가 팽윤하면서 에멀전 입자의 재해리가 관찰되는데 충전물질의 혼입에 따라 이러한 해리시의 수분의 접촉면적을 감소시키기 때문으로 판단됨. 섬유 혼입시에는 전체적으로 흡수율이 증가하는 경향을 나타내었으며, 0.1%에서 최대인 것으로 나타남.

마) 잔갈림 특성

마감재의 잔갈림 특성을 평가한 결과 대부분의 배합에서 잔갈림은 나타나지 않았음.

표 34. 마감재의 배합비별 잔갈림 특성

배합명	잔갈림 특성	배합명	잔갈림 특성
A-Plain	이상없음	E-Plain	이상없음
A9A11	이상없음	E9A11	이상없음
A8A12	이상없음	E8A12	이상없음
A7A13	이상없음	E7A13	이상없음
A9H1	이상없음	E9H1	이상없음
A8H2	이상없음	E8H2	이상없음
A7H3	이상없음	E7H3	이상없음
E9H1T5	이상없음	E9H1F0.05	이상없음
E9H1T10	이상없음	E9H1F0.1	이상없음
E9H1I5	이상없음	E9H1T5F0.05	이상없음
E9H1I10	이상없음	E9H1T5F0.1	이상없음
E9H1T5I5	이상없음	E9H1T5I5F0.05	이상없음
E9H1T10I5	이상없음	E9H1T5I5F0.1	이상없음
E9H1T10I10	이상없음		

사) 열환경 평가

열환경 특성을 평가한 결과 외피면의 최고 온도를 비교한 결과 TiO₂를 사용한 경우 온도저하에 효율적인 것으로 나타남. 세노스피어의 경우 세노스피어만을 사용한 경우에는 표면의 온도 저감은 나타나지 않았으나 TiO₂와 같이 사용한 경우 온도 저하는 약 9℃가량 저감하는 것으로 나타남. 무치환에 비하여 최대 15%가량 저감하는 것으로 나타남. 내부온도의 경우 T5I5의 경우가 가장 낮은 것으로 나타났으며, 내부 최고 온도는 27.2℃였으며, 최저 온도는 23.3℃로 나타남. 충전재 무치환의 경우 외부 표면의 온도는 최고 온도와 최저온도간의 차이가 가장 크게 나타났으며, 표면의 축열성은 없는 것으로 나타났음. 그러나 TiO₂와 세노스피어가 혼입된 경우 최고온도와 최저온도간의 차이가 낮아 표면의 열변화를 감소시켜주는 것으로 나타났음.

표 35. 마감재의 열환경 특성

	내부온도(℃)		외부온도(℃)		용빙율 (%)
	최고 온도	최저온도	최고온도	최저온도	
Plain	34.2	26.6	56.5	28.1	56.4
T5	30.1	26.1	52	34.3	53.4
T10	30.2	26.4	51.1	37.1	53.8
I5	33.5	27.3	55	28.2	55.6
I10	34.3	27.2	55	28.3	55.4
T5I5	27.2	23.3	47.2	29.1	48.4
T5I10	30.6	26.4	51	34.2	45.4
T10I5	30.4	25.1	49	32.2	50.6

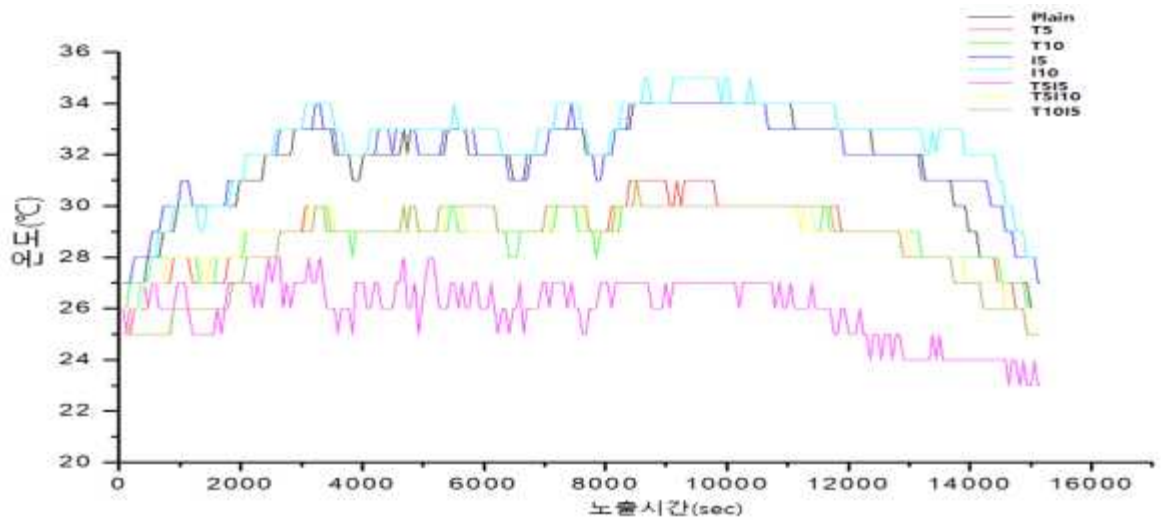


그림 100. 내부 온도 변화

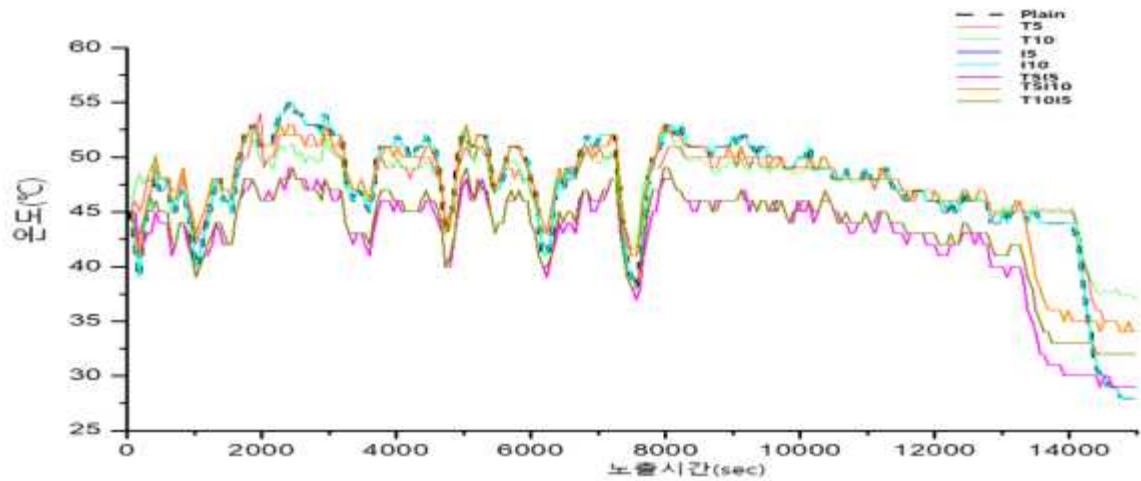


그림 101. 외부 온도 변화

아) 화염확산성 평가

화원확산 범위를 측정한 결과 알콕사이드를 혼입한 경우 혼입율의 증가에 따라 약간 감소하는 것으로 나타났으나, 30%이상 치환시에는 감량이 크지 않은 것으로 나타났음. 하이브리드의 경우 혼입율에 관계없이 화염확산범위가 3.5cm정도로 유사한 것으로 나타남. TiO₂를 사용한 경우, 2cm에서 1.5cm 까지 감소하는 것으로 나타나 TiO₂의 혼입시 가장 큰 감량을 나타내었음.

표 36. 마감재의 화염 확산범위

	화염 확산범위 (cm)			평균
E-Plain	4.5	4	4.5	4.33
E9A11	4	4.3	4.3	4.20
E8A12	3.8	4	4	3.93
E7A13	4	4.3	4.5	4.27
E9H1	3.5	3.5	3.5	3.50
E8H2	3.8	3.4	3.5	3.57
E7H3	3.5	3.5	3.5	3.50
T5	2	1.8	2	1.93
T10	1.5	1.5	1.5	1.5
T5I5	1.8	1.8	2	1.8

자) 소결

1) 마감재의 주요 바인더는 아크릴에멀전과 EVA계 에멀전의 부착강도, 인장강도 및 연신율은 아크릴 에멀전이 우수하였음. 알콕사이드계 에멀전과 하이브리드 에멀전의 혼입율이 증가할수록 물리적 성능이 향상되는 것으로 나타났음. TiO₂와 세노스피어 5%, 섬유 0.05%를 혼입한 경우 EVA에멀전의 인장강도를 향상하여 아크릴에멀전에 대하여 알콕사이드계 에멀전을 혼입한 것과 동등이상의 성능을 나타낸 것으로 나타남.

2) TiO₂와 세노스피어를 각각 5%씩 혼입한 경우, 물리적 성능, 열환경 성능, 화염확산성 등의 성능에서 우수한 것으로 나타났음.

3) 고탄성 마감재의 최적 배합으로서 EVA에멀전 90%, 하이브리드 에멀전 10%, TiO₂ 5%, 세노스피어 5%, 섬유 0.05%를 치환한 배합에서 부착강도, 물흡수계수, 인장강도와 같은 물리적 특성, 화염확산성 및 열환경성이 우수한 것으로 나타났음.

아. 고탄성 단열 마감재의 구성 방식 도출

(1) 개요

고탄성 단열 마감재를 사용하여 화재지연형 바탕조정제의 적용 특성 및 단열재의 구성 방식에 따라 열관류율을 측정하여 단열패널의 특성을 평가하고자 하였음. 고탄성 단열 마감재의 손실은 내부의 화

재지연형 바탕조정재에 대한 화염의 직접적인 열손상을 가할 수 있으므로 표면의 화재 억제성능을 평가하고자 하였음.

(2) 실험 방법

① 표면 마감소재의 구성 방식 도출



그림 102. 표면 마감 소재의 구성 방식 도출

표면 마감 소재와 화재지연형 바탕조정재를 복합적으로 도포한 뒤 화재지연형 바탕조정재의 팽창성에 따른 표면의 붕괴 형태를 관찰하여 최종적인 화재지연형 바탕조정재의 배합비를 조정하고자 하였음. 이를 위하여 화재지연형 바탕조정재에 대하여 시멘트를 1:1, 1:0.5, 1:0으로 혼합하여 경화시킨 뒤 상부에 마감재를 도포하였음. 이후 상부에 15분간 화염을 가한 뒤 팽창 형태를 고찰하여 최종 배합비를 도출하고자 하였음

② 열관류율 시험

고탄성 단열마감재를 사용한 화재지연형 외벽마감재를 186mm의 두께로 구성한 뒤 KS F 2277 : 2002 (건축용 구성재의 단열성 측정 방법 - 교정 열상자법 및 보호 열상자법)에서 규정한 방법에 따라 열관류율을 측정하였음.

표 37. 시험체의 구성 및 재질

구분	구 성 재 료
구성	- (향온측) EPS(30, 4겹) 120 + 페놀폼(30, 2겹) 60 + 바탕조정재 3 + 마감재 3 (저온측) * 바탕조정재 : 시멘트 외 * 마감재 : 스타코 외
보조재료	- 시험체와 시험체 틀이 접하는 테두리 부분을 백업재 및 테이프로 마감

1) 시험방법 개설

열관류율 측정은 KS F 2277 : 2002 (건축용 구성재의 단열성 측정 방법 - 교정 열상자법 및 보호열상자법)에서 규정한 방법에 의하여 가열상자와 저온실 사이에 시험체를 설치, 규정된 온도조건에서 정상 상태에 도달한 후 가열상자 및 저온실의 공기온도, 가열상자 공급열량 등을 측정하여 산출함.

2) 장치 온도 설정 조건 및 온도측정

- 향온실, 가열상자 및 저온실의 온도설정은 아래의 표 38과 같음.

표 38. 장치별 설정 온도

구분	설정온도
향온실, 가열상자	$20 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$
저온실	$0 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$

- 온도측정은 가열상자 공기, 향온실 공기, 저온실 공기 및 시험체 각 부분에 대하여 측정하되 향온실 공기온도는 5개소, 가열상자, 저온실 공기 및 시험체 표면온도는 각 9개소를 측정함.

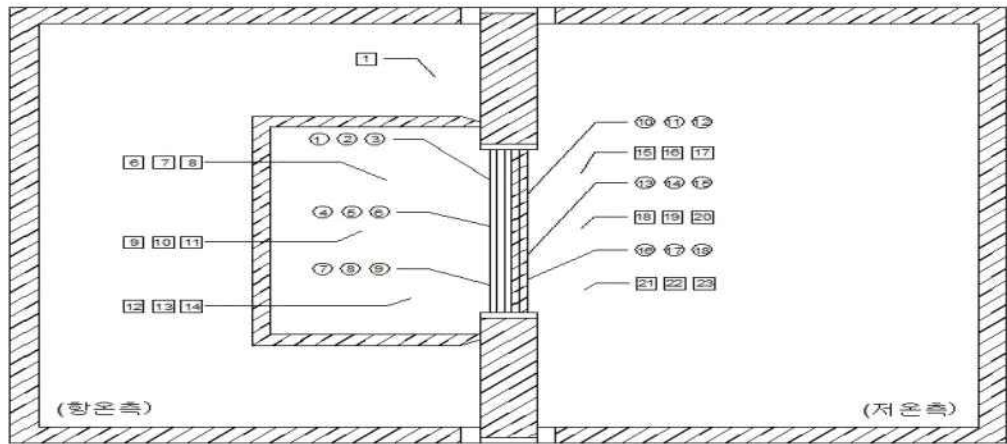


그림 103. 온도측정 위치도

- 측정 조건과 측정횟수는 가열상자 및 저온실의 공기 및 표면 온도가 충분히 정상 상태가 된 후 측정함.

3) 열관류율의 산출

열관류율은 정상상태가 된 후 측정한 3회의 측정결과를 이용하여 다음 식에 따라 각각 구하여 평균함.

$$\frac{1}{R} = \frac{Q}{(T_{Hn} - T_{Cn}) A}$$

여기에서, U : 열관류율 [$W/(m^2 \cdot K)$]

R : 열관류저항 [$(m^2 \cdot K/W)$]

Q : 공급열량(W)

THn : 가열상자 환경온도(°C)

TCn : 저온실 환경온도(°C)

A : 시험체 전열면적(m^2)

4) 시험체 설치

시험체를 유효개구부내($1.5m \times 1.5m = 2.25m^2$)에 화재지연형 외벽 마감재 186 mm를 설치하였음.
 ([붙임 1] 시험체 도면 참조) 시험체와 시험체 틀 간의 접합부는 백업재 및 테이프로 밀실하게 처리하였으며, 시험체 틀을 가열상자 및 저온실 사이에 설치하였음.

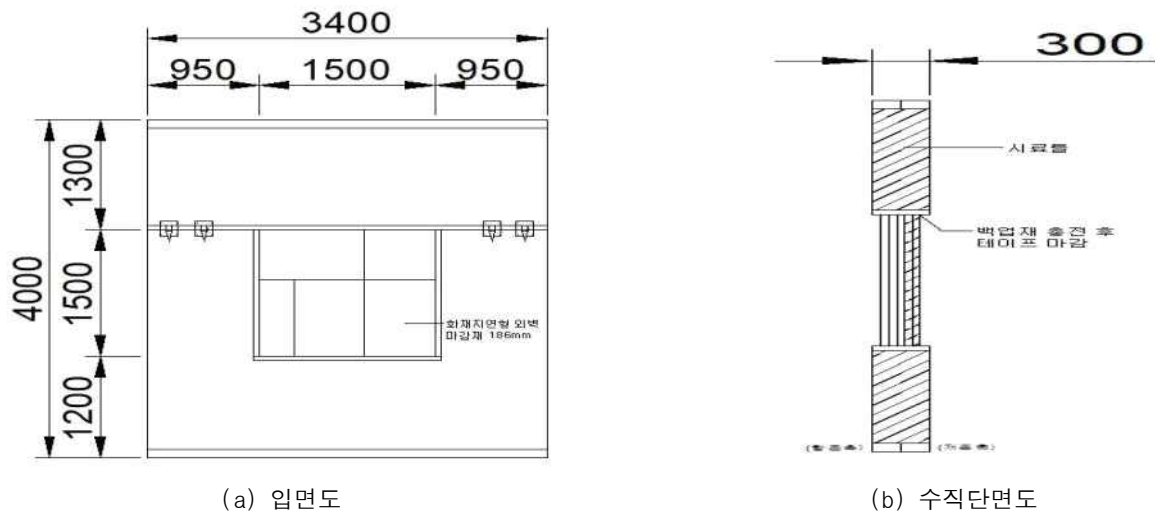
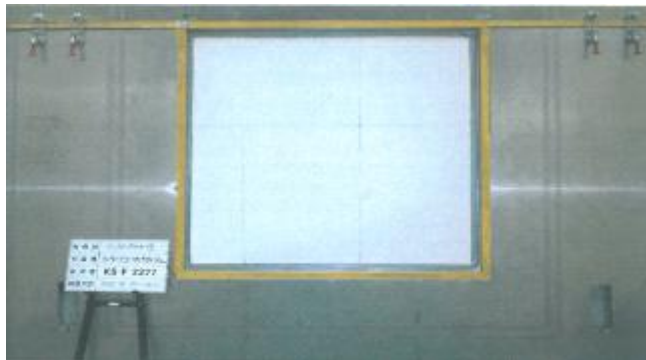


그림 104. 시험체 설치 도면

5) 측정장치

(1) 항온실 - 내부크기 : 높이 3350mm x 폭 3200mm x 깊이 3000mm - 단열재 : 폴리우레탄 폼(두께 100mm) - 표면재질 : 외부 - Color Sheet(두께 0.6mm), 내부 - SUS 304(두께 0.5mm)
(2) 가열상자 - 내부크기 : 높이 2100mm x 폭 2100mm x 깊이 700mm - 단열재 : 폴리우레탄 폼(두께 100mm) - 표면재질 : 외부 - Color Sheet(두께 0.6mm), 내부 - 아연도금강판(두께 0.5mm)
(3) 저온실 - 내부크기 : 높이 3350mm x 폭 3200mm x 깊이 2800mm - 단열재 : 폴리우레탄 폼(두께 100mm) - 표면재질 : 외부 - Color Sheet(두께 0.6mm), 내부 - SUS 304(두께 0.5mm)



(a) 실내측의 설치 전경



(b) 실외측의 설치 전경



(c) 시험용벽체의 건조 전경



(d) 벽체의 단면

그림 105. 열관류율 시험체의 제작 및 설치 전경

화재저항성 시험

1) 시험체 제작



(a) 표면 코팅제 제조



(b) 단열패널 제작-1



(e) 단열패널 제작-2



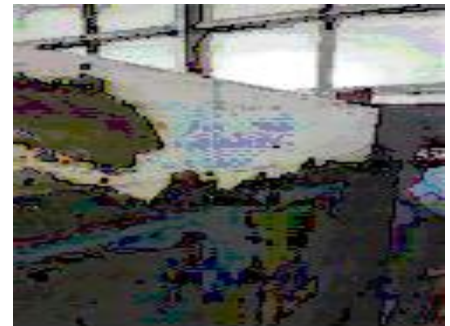
(e) 단열패널 상부 코팅

그림 106. 화재 시험용 단열 패널 제작 및 코팅제 배합

2) 시험체 설치



(a) 대상 시공 구조물



(b) 단열 패널 설치



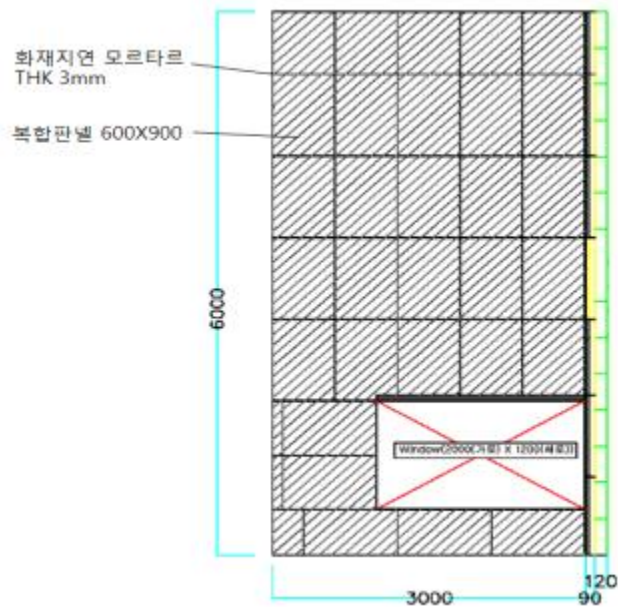
(c) 단열 패널 시공



(d) 마감재 시공

그림 107. 화재 저항성 시험체 시공

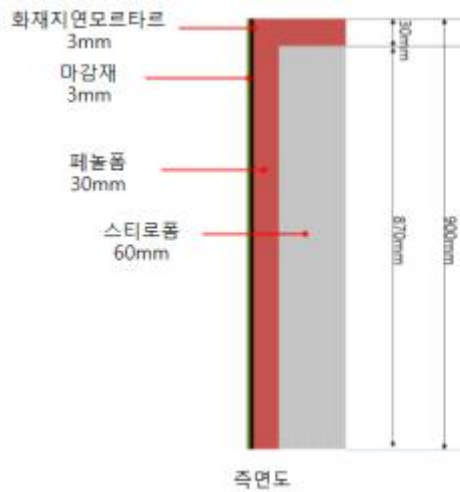
항목	내용
시험한 면	마감재면
사용연료	프로판가스
시험실 환경조건	온도(10~30)℃
시험시간	15min



(a) 시험체 전면부



(b) 시험체 옆면부



(c) 복합판넬 구성

그림 108. 화재저항성 시험체의 구성 및 복합판넬 구성

상기 복합 단열재의 열관류율 측정 결과 $0.13[W/(m^2 \cdot K)]$ 인 것으로 나타났으며, 페놀폼을 사용하여 동일 열관류율을 획득하기 위해서는 145mm의 두께가 요구됨. 목표 성능인 $0.15[W/(m^2 \cdot K)]$ 를 달성하기 위한 페놀폼의 두께는 130mm로 두께는 10mm 감소하는 것으로 나타남.

표 40. 단열재 구성 및 열관류율에 따른 두께

단열재 구성	두께(mm)	열관류율 $[W/(m^2 \cdot K)]$	비고
스티로폼	275	0.13	
스티로폼164+페놀폼60	224	0.13	
페놀폼	145	0.13	
개발 복합구조(실측)	186	0.13	1) 0.13의 열관류율을 갖는 페놀폼의 두께와 비교하였을 때 41mm두께 증가 2) 동일 열관류율을 갖는 스티로폼 대비 89mm저감
페놀폼	130	0.15	

③ 화재저항성 시험

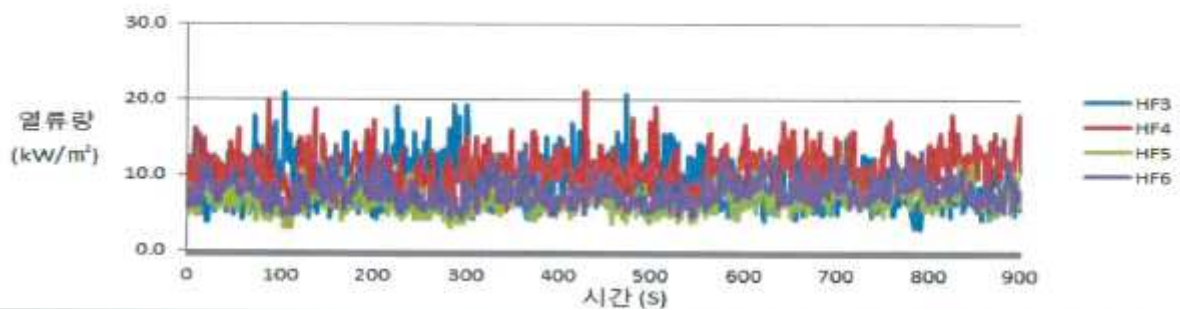


그림 45. 교정 시험시 창문 상부 3.6 m지점 4개 열류계의 시간대별 열류량(kW/m^2)

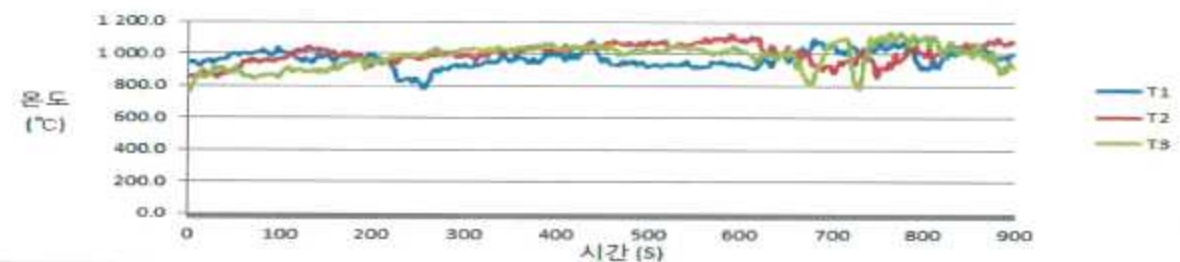


그림 46. 시험체 시험 시 창문 상부 50 mm 지점 시간대별 온도($^{\circ}C$)

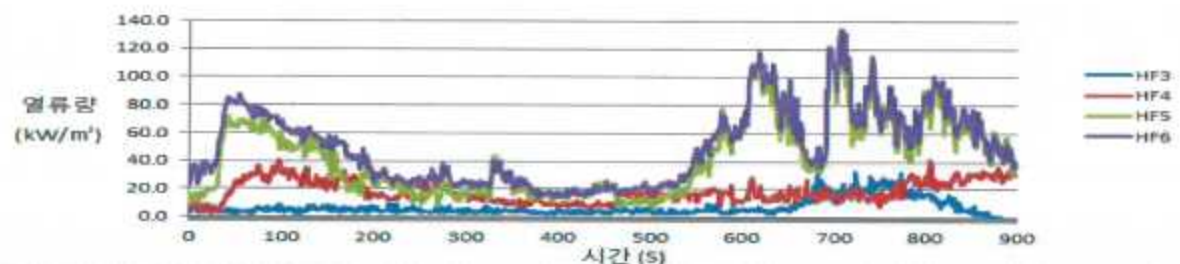


그림 110. 시험체 시험 시 창문 상부 3.6m 지점 4개 열류계의 시간대별 열류량(kW/m^2)



(a) 착화



(b) 승온



(c) 외부 화염 방사



(d) 마감재부 연소



(e) 마감재부 연소 감쇠



(f) 마감재부 연소 저감



(g) 1단 붕괴



(e) 2단 붕괴



(f) 상층부 도달



(g) 최종 높이 일부 도달



(h) 시험 종료

그림 111. 외벽 화재 시험 과정 및 단계

표 41. 외벽 화재 단계별 화재 성상 및 복합 구조 개선안(삼척 KCL 실화재연구센터)

화재 발전 단계	상태 변화	비고 및 개선안
외부 화염 방사	마감재의 부위의 초기 착화가 발생	포기 표면부 마감재의 화
마감재부 연소	마감재 면의 유기물 연소로 인해 표면의 착화가 발생하게 됨	재 발생으로 표면부 연소 물 생성
마감재의 연소 감쇠	마감재 면의 난연성으로 인해 연소가 감소하게 되며, 이후로 연소가 발생하지 않음	1계층의 화염차단층이 물 리적으로 붕괴되는 과정 으로 인해
1계층 붕괴	승온단계 영역에서 1단계 부위의 단열재가 연소되면서 발열이 시작됨.	
2계층 붕괴	1계층의 화염이 2계층으로 연소확산. 1계층 면적대비 화염 너비 감소	
3계층 붕괴	2계층 상부의 차염층이 연소되면서 부착력 저하와 함께 차염층 손상과 함께 화재의 전달 발생. 2계층 면적대비 화염 너비 감소	
시험종료	상단부 일부 연소 발생	

					
시험성적서					
1. 검체 번호 : CT18-075495					
2. 고객사 ○ 공 관 청 : [주]우송물류(주)당 ○ 주 소 : 경기도 성남시 판교구 시민로길 287, 11층 (강남동, 우송O2빌딩A동)					
3. 시험일자 : 2018년 11월 05일 ~ 2018년 11월 05일					
4. 시험분석항목 명칭 : 연구용 재료					
5. 시 료 량 : 원재료만을 위한량 제공					
6. 시험방법 (1) ISO 15189-2:2013					
확인	검정요령	판독원		기술책임자 명	조재우 
비고 : 1. 이 성적서는 시험결과, 특히 중요 시험결과에 대한 결과값과 대한 결과를 포함하는 서류이다. 2. 이 성적서의 유효성, 정확, 완전 및 신뢰성에 대해 4. 품질 관리, 표준 준수에 따른다.					
이 성적서는 국제시험공인협회(International Laboratory Accreditation Cooperation) 인증기관인 (Metas) Recognition Agreement를 체결한 한국건설생활환경시험연구원(KOLAS)로부터 발급받은 것으로, 다른 시험결과와 다르다.					
2018년 11월 05일					
한국건설생활환경시험연구원					
					
발급처 업무시간 : 2018년 11월 05일 오전 9시~오후 5시 (국문, 영문출력가능) 문의 : 030-882-8200					
주소지 : 서울특별시 강남구 테헤란로 55 (030-882-8200)					

시험성적서

설계사번호 : CT18-075450

7. 시험결과

■ 측정 결과

시험항목	단위	시험결과			시험일자	
		T1	T2	T3		
교정 시험 시 표준 실부 50 mm 치장 불완전도	℃	719.4	811.18	842.43	ISO 15725-2:2002	
교정 시험 시		187	181	188		
정온 실부 0.5 m 치장 3차 불완전도 시가대용 불완전	㎜/㎡	44.22	73.94	43.30		
교정 시험 시		53.82				
정온 실부 0.5 m 치장 3차 불완전도 시가대용 불완전(평균)	㎜/㎡	47				
교정 시험 시		35.51				
정온 실부 1.5 m 치장 1차 불완전도 시가대용 불완전	㎜/㎡					
교정 시험 시		183	184	185		186
정온 실부 3.5 m 치장 4차 불완전도 시가대용 불완전	㎜/㎡	9.75	12.34	6.03		7.08
시험해 시험 시 표준 실부 50 mm 치장 불완전도	℃	889.98	930.94	987.7		
시험해 시험 시		183	184	185	186	
정온 실부 3.5 m 치장 4차 불완전도 시가대용 불완전	㎜/㎡	9.05	18.24	42.75	49.20	

“V” 표시항목은 일 시험결과 중에서 KOLAS 지정된 항목 항목입니다.

— 查 索 —

제 88833호 제 28803호

외벽 화재 시험에서 초기 마감재가 착화되어 상부로 열량이 낮은 화염이 상승하였으나 마감재의 자기 소화에 의해 3분 이내에 열량이 급격히 감소되는 것으로 나타남. 이후 10분대에 하부층의 연소가 발생하면서 상부로 열량이 전달되었으나 층간에 의한 화재 지연으로 열량이 감소되는 형태를 띄다가 700초대에 높은 열량을 보였으나 상부로 전달된 화염량이 감소되어 발열량이 감소하는 것으로 나타남. 층간에서 화재가 상부로 전달되는 과정에서 화염차단층은 유기 소재로 되어 있음에 따라 상당량의 발

열량이 공급되어 빠르게 탄화되고, 물리적인 처짐에 의해 붕괴현상이 발생되어 상부로 열이 전달된 것으로 관찰되었음.

외벽면의 화재지연층과 표면부의 화재전달이 악화되면서 4개의 열전대 중 2개의 열전대에서는 열량 증가가 거의 나타나지 않았음. 상부에 도달한 부위의 화염을 억제하기 위한 방안으로 물리적 처짐을 억제할 수 있는 무기계 단열재를 적용하여 앵커링을 통한 고정 작업을 수행하면 상층부까지 화염을 최대한 억제할 수 있을 것으로 판단됨.

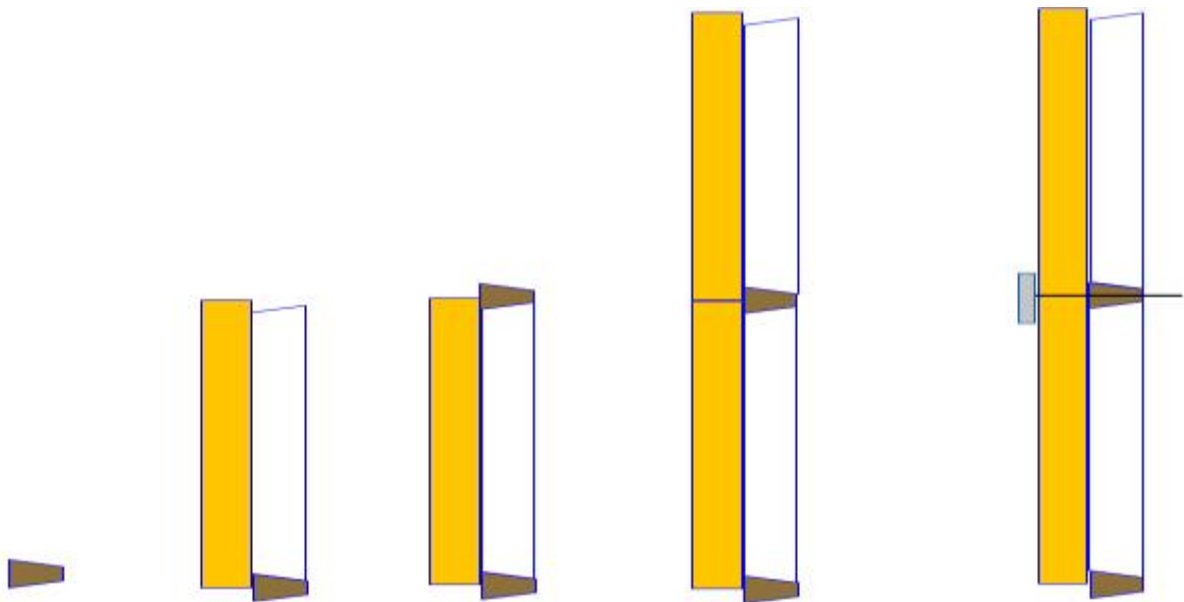


그림 112. 층간 구조 개선안 방안

1. 시공법 개선안

층간 화재 구간을 마름모꼴 혹은 사각형의 미네랄울로 교체

2. 층간 부위 처짐

미네랄울의 사이에 칼블럭 삽입 및 페놀폼 상부 디스크 설치

3. 표면층 손상 대책

페놀폼 상부는 알루미늄 및 유리섬유시트 제거 후 유리섬유메쉬 보강과 화재지연 모르타르 시공

자. 복합단열 영구거푸집의 조립을 위한 조립철물개발

(1) 개요

본 절에서는 복합단열영구거푸집의 조립을 위한 조립철물을 개발하기 위하여 개별 공정 중 거푸집의 설치를 위한 체결 방식 도출, 외부의 지지대를 설치하기 위한 방안을 검토하고자 하였다. 이를 위하여 먼저 양단열 판넬 시공시 지지대의 구조 검토에 따른 지지대를 설계하였음. 또한 외단열 거푸집에서의 거푸집 간의 결합을 위한지지 및 결합철물에 대한 설계를 수행하였음.

(2) 개별 지지대 검토 및 설계

1. 양단열 판넬 시공시 지지대 검토

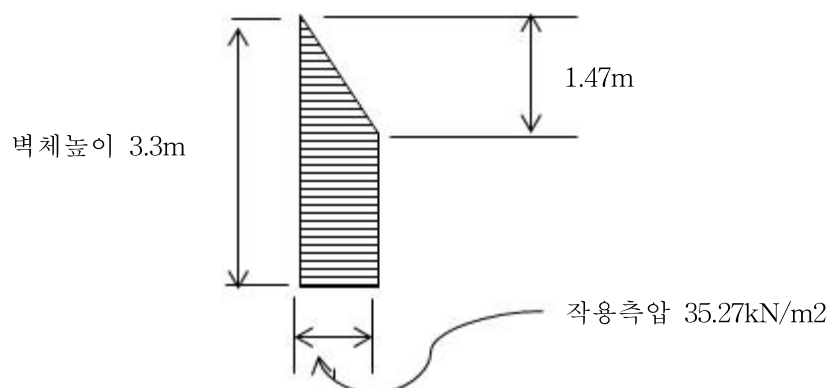
1) 하중산정

- 벽체높이 4.2m 미만, 타설속도 2.1m/hr 이하)

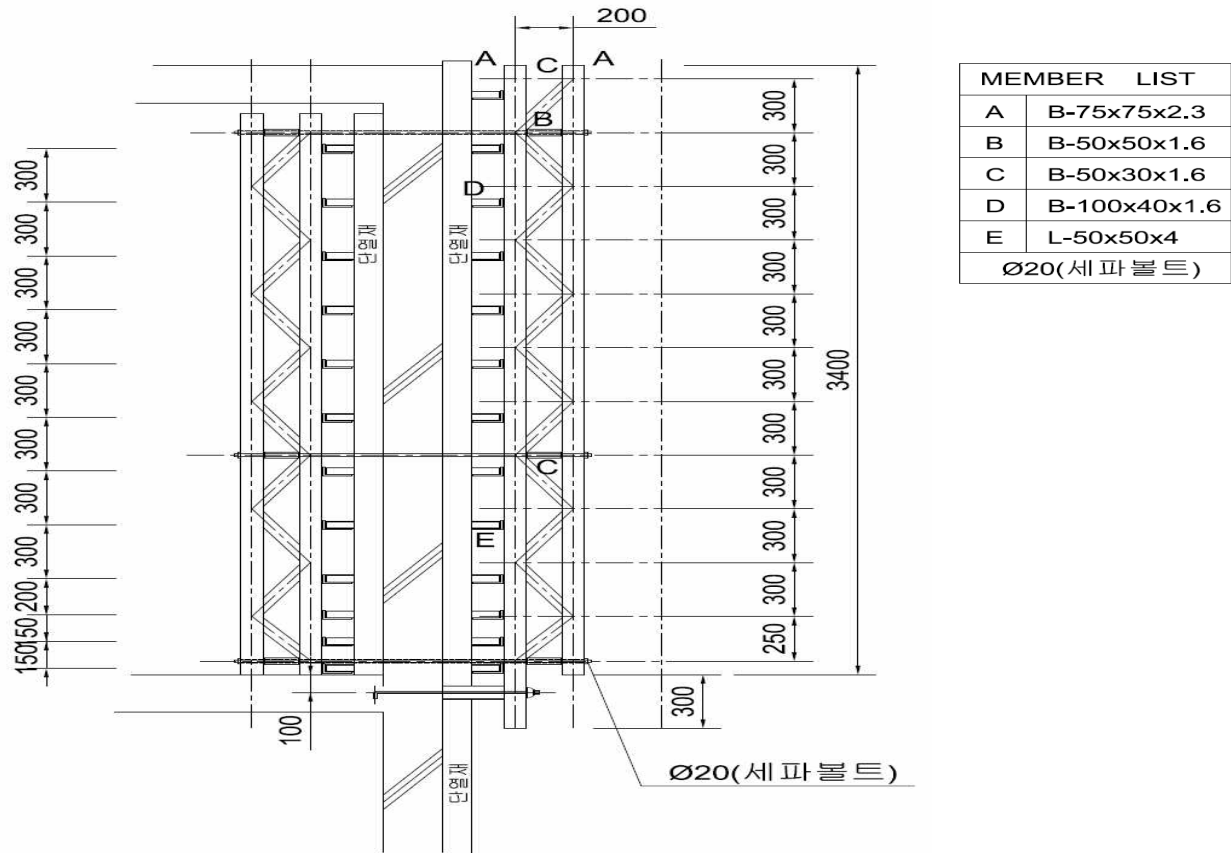
$$\begin{aligned} & - \quad 7.2 + \frac{790 R}{T + 18} \\ & = 7.2 + \left(\frac{790 \times 1.35}{20 + 18} \right) = 35.27 \text{ kN/m} \quad (= 3.60 \text{ tf/m}^2) \end{aligned}$$

여기서, R = 1.35m/hr (콘크리트 타설속도)

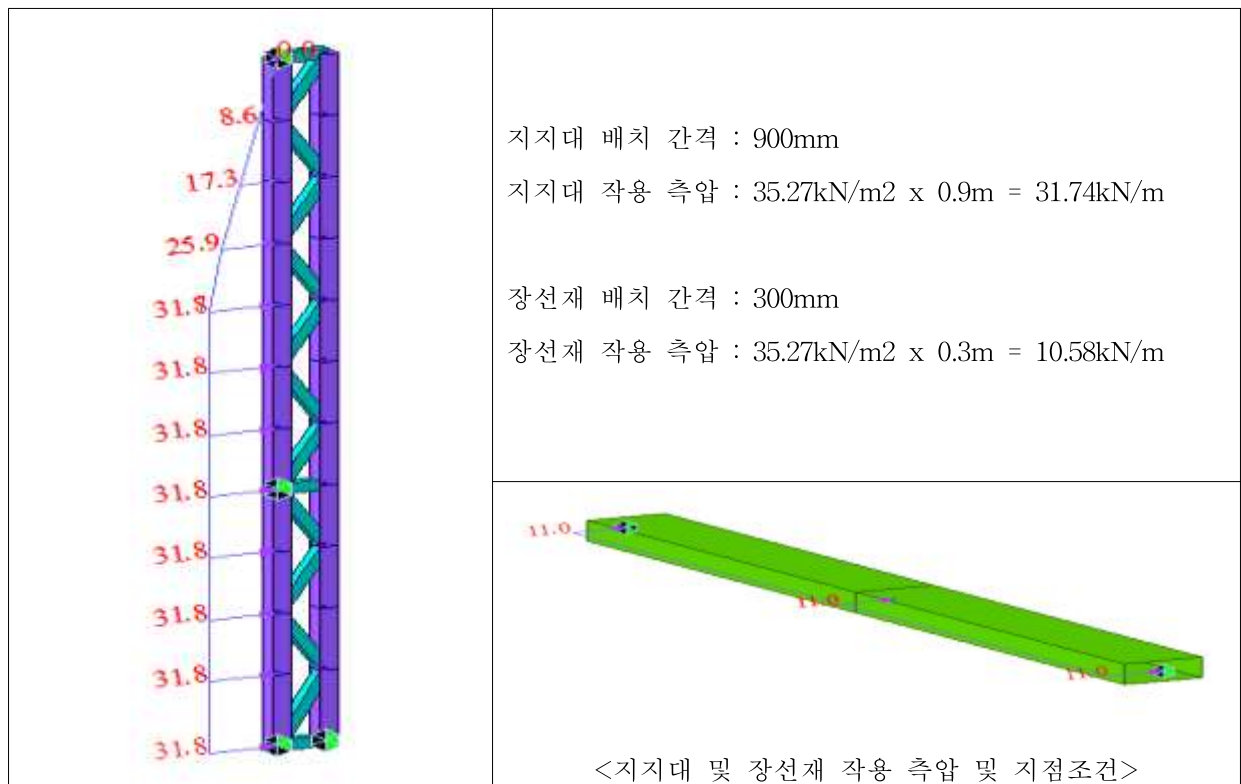
T = 20℃ (콘크리트 온도)

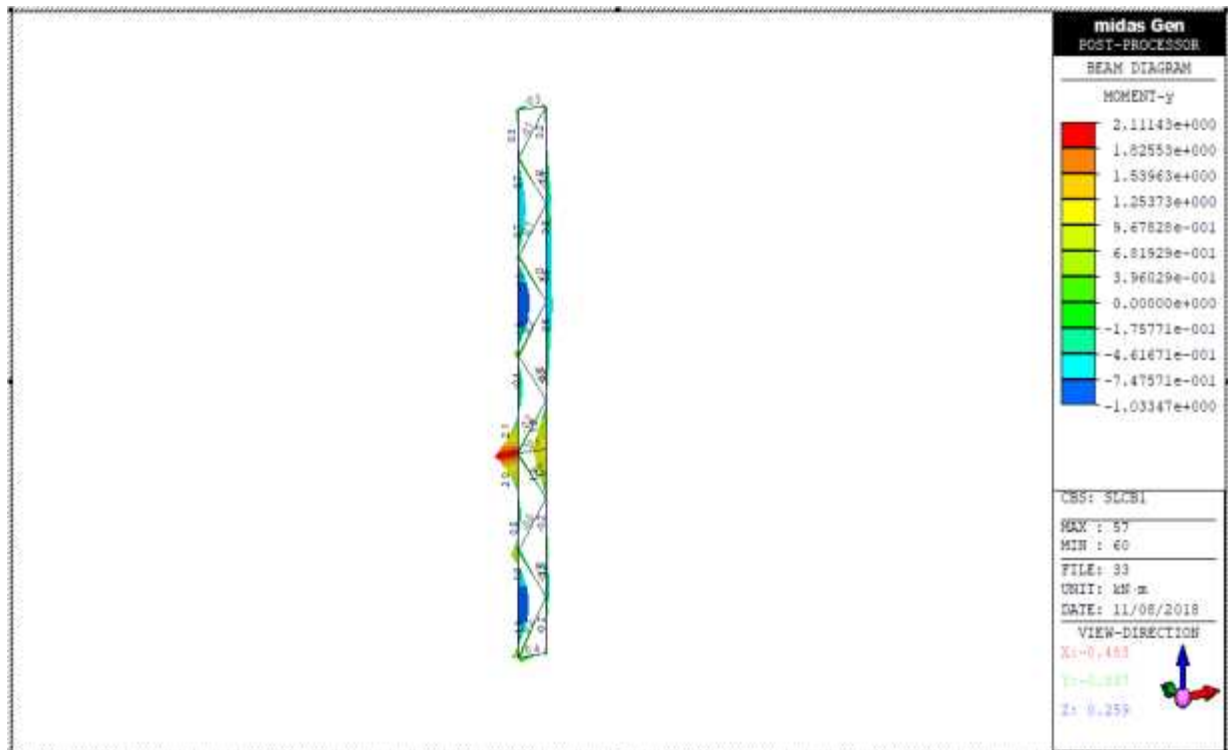


2) 양단열 판넬 콘크리트 벽체타설 지지대 계획도면

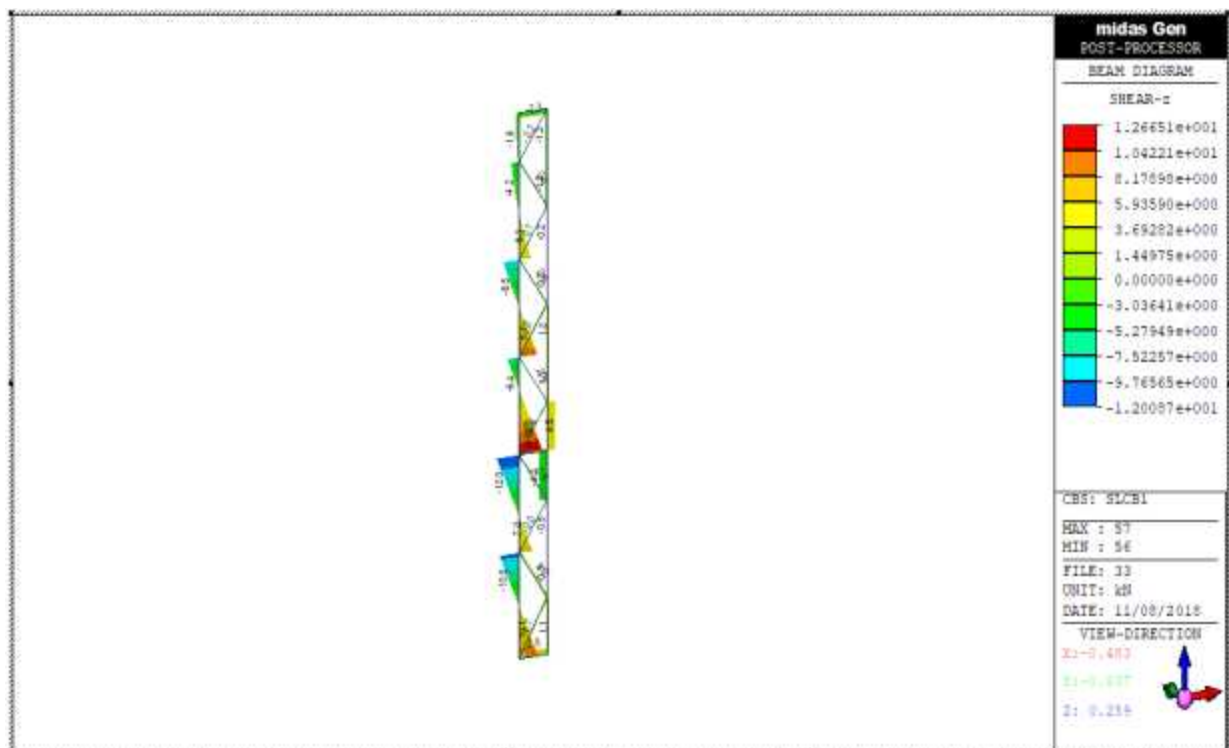


3) 양단열 판넬 콘크리트 벽체타설 지지대 구조해석

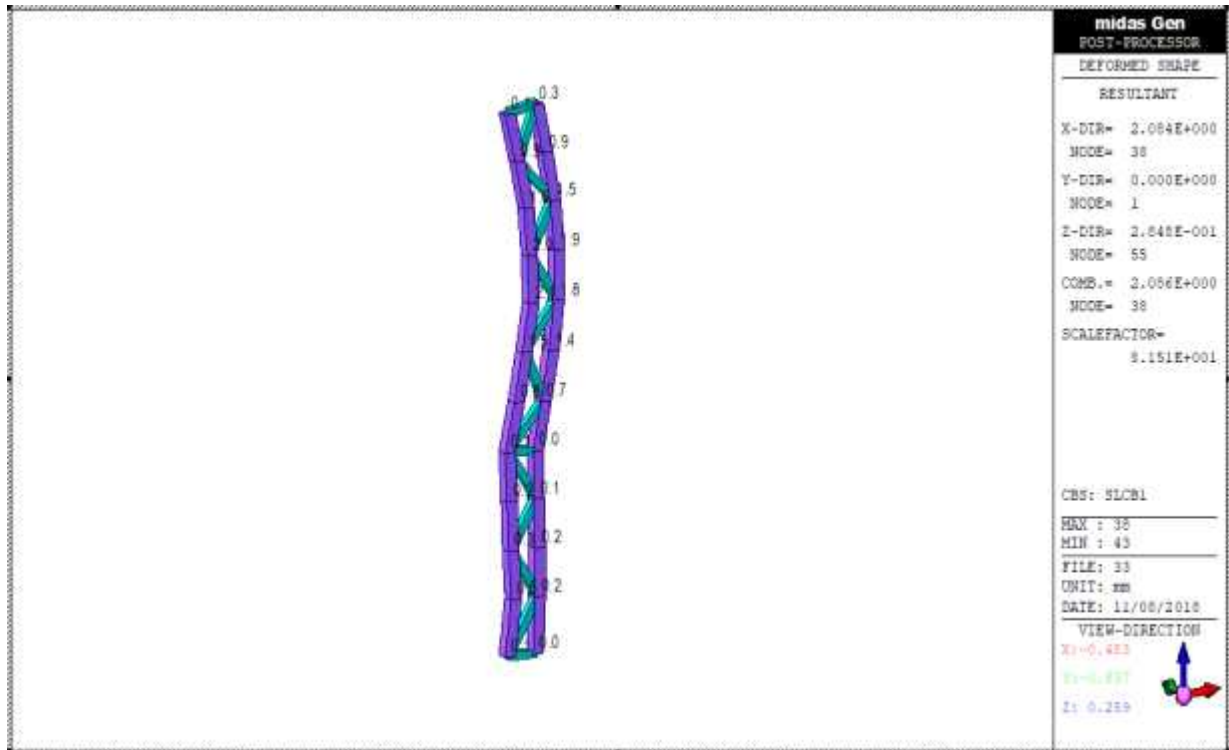




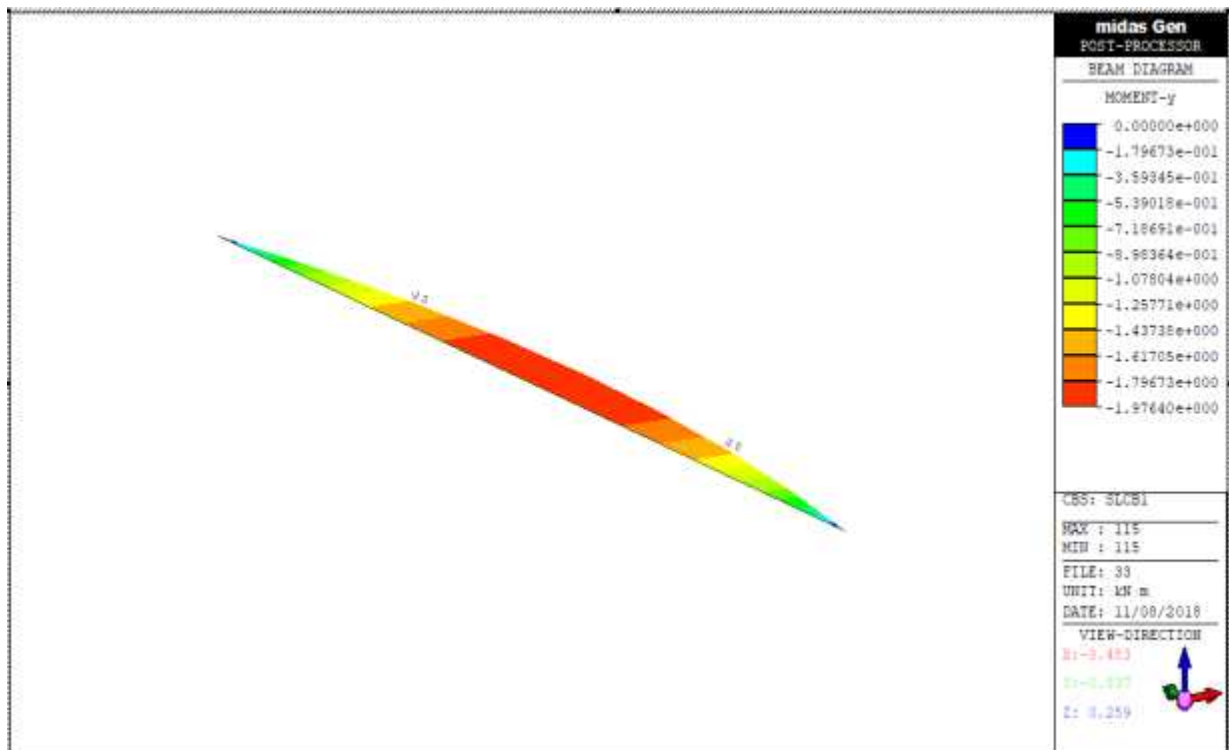
<지지대 휨모멘트도>



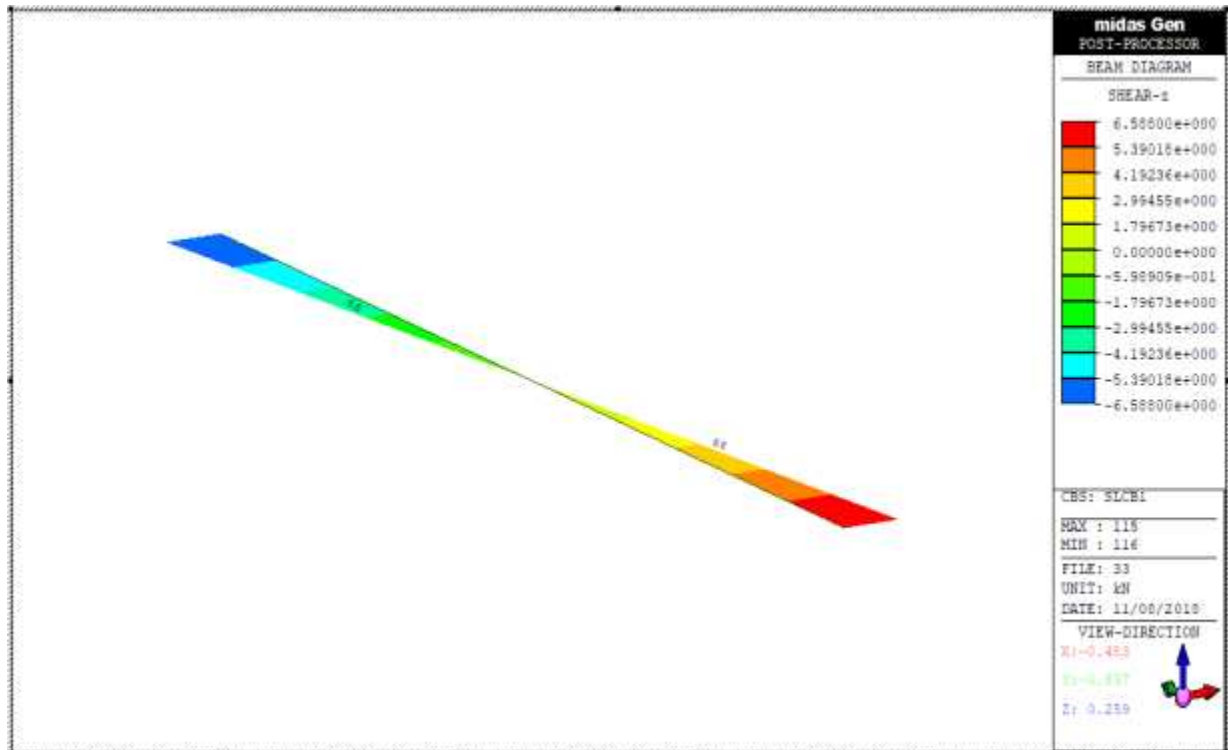
<지지대 전단력도>



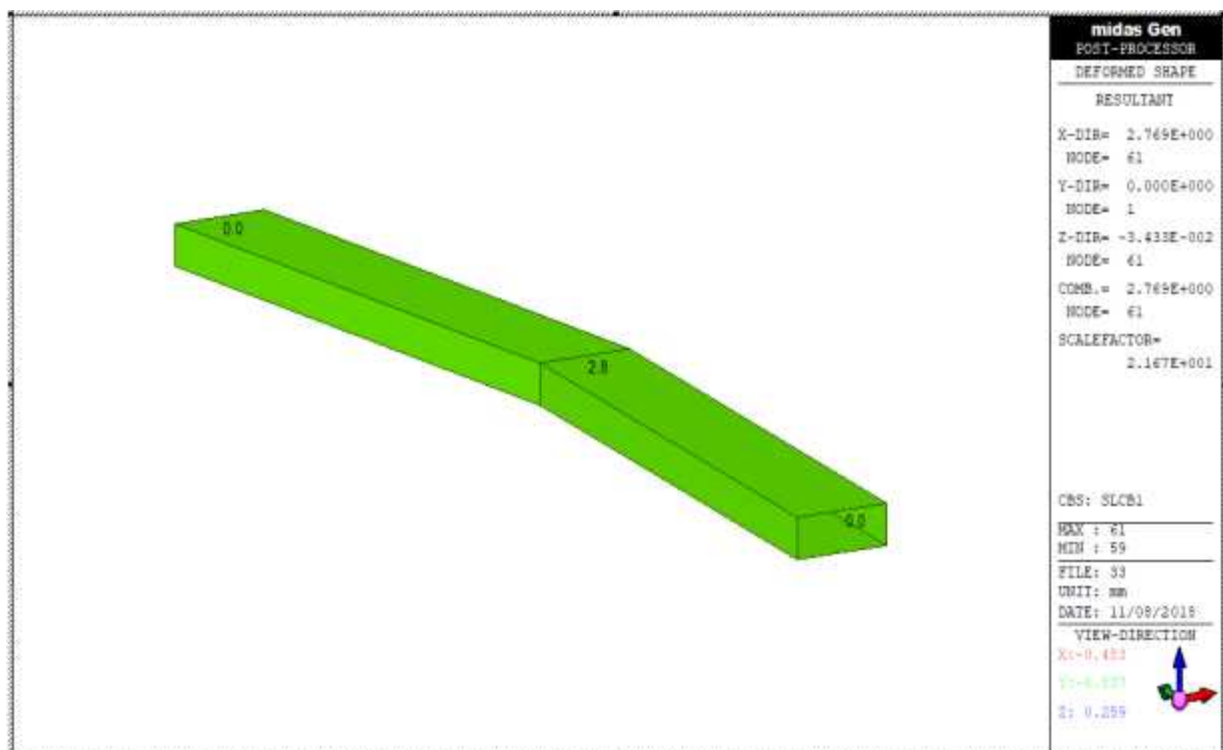
<지지대 변형도>



<장선재 휨모멘트도>



<장선재 전단력도>



<장선재 변형도>

Certified by :



Company

Author

송성윤

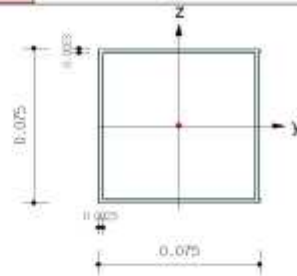
Project Title

File Name

C:\...\Desktop\와단열가설재\33.mgb

1. Design Information

Design Code : KSSC-ASD03
 Unit System : kN, m
 Member No : 56
 Material : SPS50 (No:1)
 (Fy = 323619, Es = 205939650)
 Section Name : B 75x75x2.3 (No:1)
 (Rolled : B 75x75x2.3).
 Member Length : 0.30000



2. Member Forces

Axial Force $F_{xx} = 15.8347$ (LCB: 1, POS:J)
 Bending Moments $M_y = 2.01530$, $M_z = 0.00000$
 End Moments $M_{yi} = -0.1586$, $M_{yj} = 2.01530$ (for Lb)
 $M_{zi} = -0.1586$, $M_{zj} = 2.01530$ (for Ly)
 $M_{zi} = 0.00000$, $M_{zj} = 0.00000$ (for Lz)
 Shear Forces $F_{yy} = 0.00000$ (LCB: 1, POS:1/2)
 $F_{zz} = -12.009$ (LCB: 1, POS:J)

Depth	0.07500	Web Thick	0.00230
Flg Width	0.07500	Top F Thick	0.00230
Web Center	0.07270	Bot. F Thick	0.00230
Area	0.00066	Asz	0.00035
Qyb	0.00198	Qzb	0.00198
Iyy	0.00000	Izz	0.00000
Ybar	0.03750	Zbar	0.03750
Syy	0.00002	Szz	0.00002
ry	0.02950	rz	0.02950

3. Design Parameters

Unbraced Lengths $L_y = 0.30000$, $L_z = 0.30000$, $L_b = 0.30000$
 Effective Length Factors $K_y = 1.00$, $K_z = 1.00$
 Moment Factor / Bending Coefficient $C_{my} = 0.85$, $C_{mz} = 0.85$, $C_b = 1.00$

4. Checking Results

Slenderness Ratio $KL/r = 11.9 < 200.0$ (Mem:52, LCB: 1) 0.K
 Axial Stress $f_t/F_t = 24168 / 194172 = 0.124 < 1.000$ 0.K
 Bending Stresses $f_{by}/F_{by} = 192353 / 194172 = 0.982 < 1.000$ 0.K
 $f_{bz}/F_{bz} = 0 / 194172 = 0.000 < 1.000$ 0.K
 Combined Stress (Tension+Bending) $R_{max} = f_t/F_t + f_{by}/F_{by} + f_{bz}/F_{bz} = 0.806 < 1.000$ 0.K
 Shear Stresses $f_{vy}/F_{vy} = 0.000 < 1.000$ 0.K
 $f_{vz}/F_{vz} = 0.269 < 1.000$ 0.K

Certified by :



Company

Author

송성윤

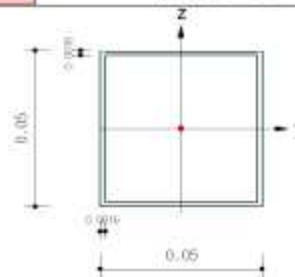
Project Title

File Name

C:\...\Desktop\의단열가설재\33.mgb

1. Design Information

Design Code : KSSC-ASD03
 Unit System : kN, m
 Member No : 122
 Material : SPS50 (No:1)
 (Fy = 323619, Es = 205939650)
 Section Name : B 50x50x1.6 (No:2)
 (Rolled : B 50x50x1.6)
 Member Length : 0.36056



2. Member Forces

Axial Force $F_{xx} = -38.353$ (LCB: 1, POS:1)
 Bending Moments $M_y = -0.0359$, $M_z = 0.00000$
 End Moments $M_{yi} = -0.0359$, $M_{yj} = -0.0123$ (for Lb)
 $M_{zi} = -0.0359$, $M_{zj} = -0.0123$ (for Ly)
 $M_{zi} = 0.00000$, $M_{zj} = 0.00000$ (for Lz)
 Shear Forces $F_{yy} = 0.00000$ (LCB: 1, POS:1/2)
 $F_{zz} = -0.0678$ (LCB: 1, POS:1)

Depth	0.05000	Web Thick	0.00160
Flg Width	0.05000	Top F Thick	0.00160
Web Center	0.04840	Bot. F Thick	0.00160
Area	0.00030	Asz	0.00016
Oyb	0.00088	Ozb	0.00088
Iyy	0.00000	Izz	0.00000
Ybar	0.02500	Zbar	0.02500
Syy	0.00000	Szz	0.00000
ry	0.01960	rz	0.01960

3. Design Parameters

Unbraced Lengths $L_y = 0.36056$, $L_z = 0.36056$, $L_b = 0.36056$
 Effective Length Factors $K_y = 1.00$, $K_z = 1.00$
 Moment Factor / Bending Coefficient $C_{my} = 1.00$, $C_{mz} = 1.00$, $C_b = 1.00$

4. Checking Results

Slenderness Ratio

$$KL/r = 18.4 < 200.0 \text{ (Mem:122, LCB: 1)} \dots\dots\dots 0.K$$

Axial Stress

$$f_a/F_a = 126493/184793 = 0.685 < 1.000 \dots\dots\dots 0.K$$

Bending Stresses

$$f_{by}/F_{by} = 7663/194172 = 0.039 < 1.000 \dots\dots\dots 0.K$$

$$f_{bz}/F_{bz} = 0/194172 = 0.000 < 1.000 \dots\dots\dots 0.K$$

Combined Stress (Compression+Bending)

$$SF_y = [C_{my}/(1-f_a/F'_{ey})], \quad SF_z = [C_{mz}/(1-f_a/F'_{ez})]$$

$$R_{max1} = f_a/F_a + SF_y \cdot f_{by}/F_{by} + SF_z \cdot f_{bz}/F_{bz}$$

$$R_{max2} = f_a/0.60F_y + f_{by}/F_{by} + f_{bz}/F_{bz}$$

$$R_{max} = \max[R_{max1}, R_{max2}] = 0.726 < 1.000 \dots\dots\dots 0.K$$

Shear Stresses

$$f_{vy}/F_{vy} = 0.000 < 1.000 \dots\dots\dots 0.K$$

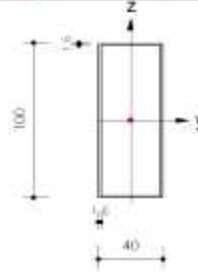
$$f_{vz}/F_{vz} = 0.003 < 1.000 \dots\dots\dots 0.K$$

Certified by :

Company		Project Title	
Author	송성용	File Name	C:\...\Desktop\외단열가설재\33.mgb

1. Design Information

Design Code : KSSC-ASD03
 Unit System : kN, mm
 Member No : 115
 Material : SPS50 (No:1)
 (Fy = 0.32362, Es = 205.940)
 Section Name : B 100x40x1.6 (No:4)
 (Rolled : B 100x40x1.6)
 Member Length : 600.000



2. Member Forces

Axial Force : Fxx = 0.00000 (LCB: 1, POS:J)
 Bending Moments : My = -1976.4, Mz = 5.97505
 End Moments : Myi = 0.00000, Myj = -1976.4 (for Lb)
 : Myi = 0.00000, Myj = -1976.4 (for Ly)
 : Mzi = 0.00000, Mzj = 5.97505 (for Lz)
 Shear Forces : Fyy = -0.0199 (LCB: 1, POS:I)
 : Fzz = 6.58800 (LCB: 1, POS:I)

Depth	100.000	Web Thick	1.60000
Flg Width	40.0000	Top F Thick	1.60000
Web Center	38.4000	Bot F Thick	1.60000
Area	431.200	Asz	320.000
Qyb	2155.28	Qzb	1129.28
Iyy	535000	Izz	129000
Ybar	20.0000	Zbar	50.0000
Syy	10700.0	Szz	6440.00
ry	35.2000	rz	17.3000

3. Design Parameters

Unbraced Lengths : Ly = 600.000, Lz = 600.000, Lb = 600.000
 Effective Length Factors : Ky = 1.00, Kz = 1.00
 Moment Factor / Bending Coefficient : Cm1 = 1.00, Cm2 = 1.00, Cb = 1.00

4. Checking Results

Slenderness Ratio

$L/r = 34.7 < 300.0$ (Mem:115, LCB: 1) 0.K

Axial Stress

$f_t/F_t = 0.00000/0.16181 = 0.000 < 1.000$ 0.K

Bending Stresses

$f_{by}/F_{by} = 0.18471/0.21359 = 0.865 < 1.000$ 0.K

$f_{bz}/F_{bz} = 0.00149/0.19417 = 0.008 < 1.000$ 0.K

Combined Stress (Tension+Bending)

$R_{max} = f_{bcy}/F_{bcy} + f_{bcz}/F_{bcz} = 0.872 < 1.000$ 0.K

Shear Stresses

$f_{vy}/F_{vy} = 0.001 < 1.000$ 0.K

$f_{vz}/F_{vz} = 0.159 < 1.000$ 0.K

2. EPS + 페놀폼 + 유리섬유로 이루어진 다층형 단열판넬

1) 각 재료의 물성치

(단위 : MPa)

구분	탄성계수	인장강도	압축강도	비고
EPS	3665.7	5.79	3.50	
페놀폼	864.8	3.00	8.00	
유리섬유(MM)	1366.0	30.8	-	

2) 다층형 단열판넬 중립축 계산

$$3,665.7 \text{ Mpa}$$

$$E_P = 864.8 \text{ Mpa}$$

$$E_G = 1,366 \text{ Mpa}$$

$$\int_E y dA + \int_P y dA + \int_G y dA = 0$$

$$\int_E y dA = (100 \times h) \frac{-h_1}{2} + 100 \times (60 - h_1) \times \left(\frac{60 - h_1}{2} \right)$$

$$= -50h_1 + 50(60 - h_1)^2$$

$$= -50h_1^2 + 50(3600 - 120h_1 + h_1^2)$$

$$= 6000(30 - h_1)$$

$$\int_P y dA = (100 \times 30)(75 - h_1)$$

$$= 3000(75 - h_1)$$

$$\int_G y dA = 100 \times 0.6 \times (90 - h_1)$$

$$= 60(90 - h_1)$$



$$\int_E dA + E_P \int_P y dA + E_G \int_G y dA = 0$$

$$3,665.7 \times 6,000(30 - h_1) + 864.8 \times 3,000(75 - h_1) + 1,366 \times 60(90 - h_1) = 0$$

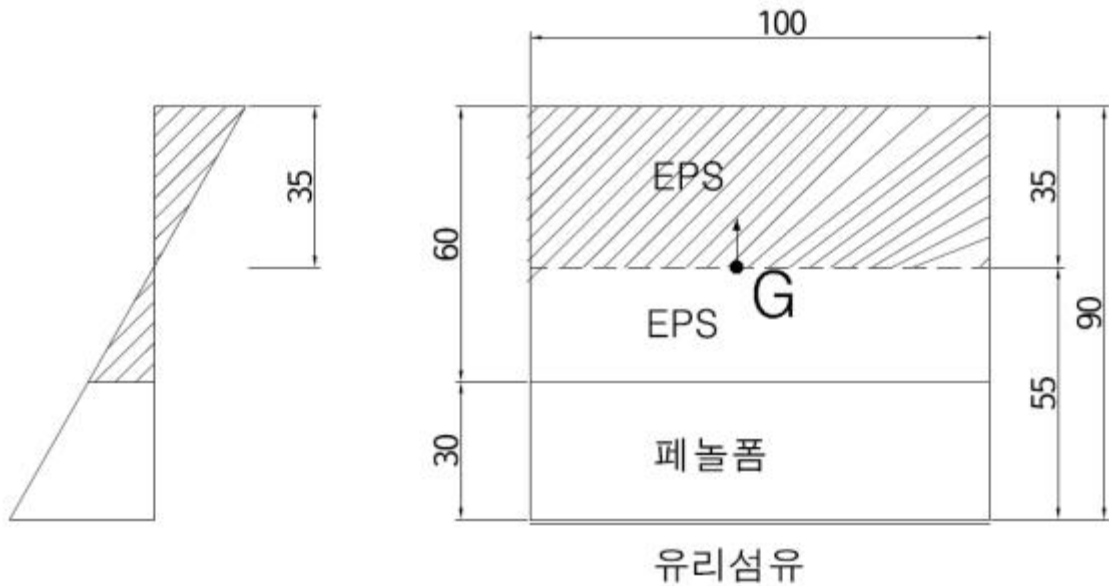
$$659,826,000 - 21,994,200h_1 + 194,580,000 - 2,594,400h_1 + 7,376,400 - 81,960h_1 = 0$$

$$861,782,400 = 24,670,560h_1$$

$$h_1 = 34.93mm \quad , \quad h_2 = 55.07mm$$

$$\Rightarrow 35mm \quad , \quad \Rightarrow 55mm$$

3) 변형을 적합조건에 의한 각 재료의 응력계산



$$I_E = \frac{100 \times 60^3}{12} + (100 \times 60)(35 - 30)^2 = 1,950,000mm^4$$

$$I_P = \frac{100 \times 30^3}{12} + (100 \times 30)(75 - 35)^2 = 5,025,000mm^4$$

$$I_G = \frac{100 \times 0.6^3}{12} + (100 \times 0.6)55^2 = 181,502mm^4$$

$$M = \int \sigma X y dA = \int_E \sigma E y dA + \int_P \sigma P y dA + \int_G \sigma G y dA$$

$$\begin{aligned}
& - E \int y^2 dA - KE_P \int_P y^2 dA - KE_G \int_G y^2 dA \\
& = -K(E_E I_E + E_P I_P + E_G I_G) \\
K &= \frac{1}{\rho} = \frac{-M}{E_E I_E + E_P I_P + E_G I_G}, \quad \sigma = -Eky
\end{aligned}$$

4) 다층형 단열 패널 작용모멘트(단위 폭 100mm 당)

$$w = 35.27 \text{ kN/m}^2 \times 0.1 \text{ m} = 3.527 \text{ kN/m}$$

$$\frac{wL^2}{8} = \frac{3.527 \times 300^2}{8} = 39,679 \text{ Nmm}$$

5) EPS블럭 작용응력

$$\begin{aligned}
\sigma_E &= \frac{M y E_E}{E_E I_E + E_P I_P + E_G I_G}, \quad K = \frac{\sigma}{Ey} \\
&= \frac{39,679 \times 35 \times 3,665.7}{3,665.7 \times 1,950,000 + 864.8 \times 5,025,000 + 1,366 \times 181,502} \\
&= \frac{5,090,795,861}{11,741,666,730} \\
&= 0.43 \text{ Mpa (축)} < 3.50 \text{ MPa (=EPS 압축강도)} \text{ ----> O.K}
\end{aligned}$$

6) 페놀폼 작용응력

$$\begin{aligned}
\sigma_P &= \frac{MyE_P}{E_E I_E + E_P I_P + E_G I_G} = \frac{39,676 \times 55 \times 864.8}{11,741,666,730} \\
&= \frac{1,887,149,264}{11,741,666,730} \\
&= 0.16 \text{ Mpa (인장)} < 3.0 \text{ MPa (=페놀폼 인장강도)} \text{ ----> O.K}
\end{aligned}$$

7) 유리섬유 작용응력

$$\sigma_G = \frac{MyE_G}{E_E I_E + E_P I_P + E_G I_G} = \frac{39,676 \times 55.3 \times 1,366}{11,741,666,730}$$

$$\begin{aligned}
 & 2,997,117,105 \\
 & 11,741,666,730 \\
 & = 0.26 \text{ } pa (\text{ 장}) < 30.8\text{MPa} (= \text{유리섬유 인장강도}) \text{ ----> O.K}
 \end{aligned}$$

따라서, 벽체 콘크리트 타설시 작용측압 $W = 35.27\text{kN/m}^2$ 에 대하여

다층형 단열 판넬을 거꾸집으로 사용이 가능함.

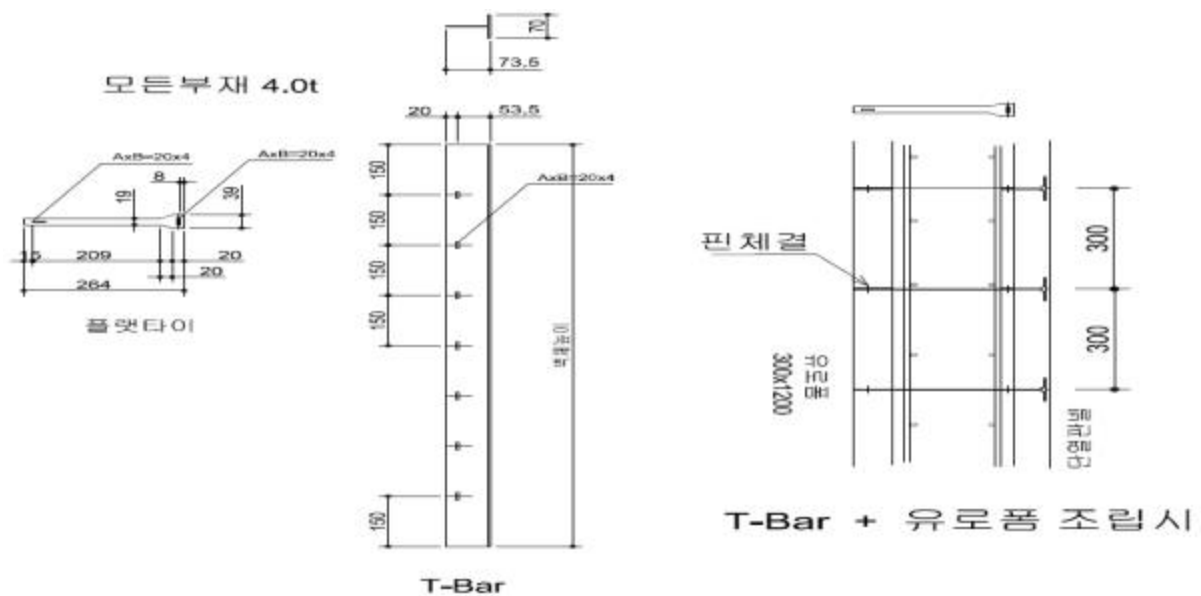
3. 외단열 판넬 시공시 철물(T-Bar) 검토 (외단열 판넬+유로폼)

1) 하중산정

- 양단열 판넬 작용측압과 동일조건

$$\begin{aligned}
 & - \quad 7.2 + \frac{790 R}{T + 18} \\
 & = 7.2 + \left(\frac{790 \times 1.35}{20 + 18} \right) = 35.27 \text{ kN/m} \quad (= 3.60 \text{ tf/m}^2)
 \end{aligned}$$

2) 외단열 판넬 철물(T-Bar) + 유로폼 계획도면

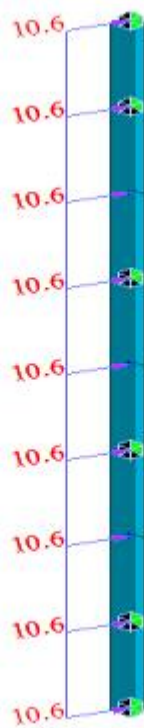


3) 외단열 패널 철물(T-Bar) 구조해석

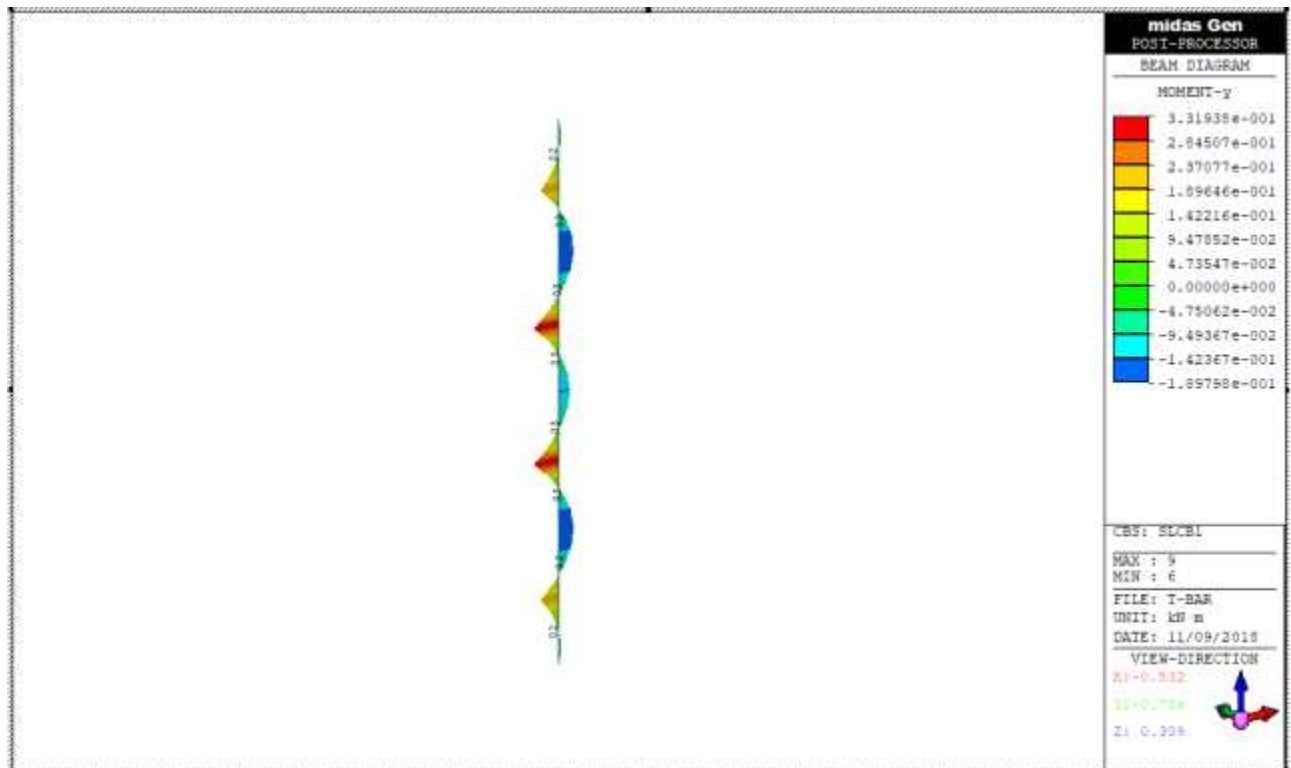
철물(T-Bar) 배치 간격 : 300mm

작용 측압 : $35.27\text{kN/m}^2 \times 0.3\text{m} = 10.58\text{kN/m}$

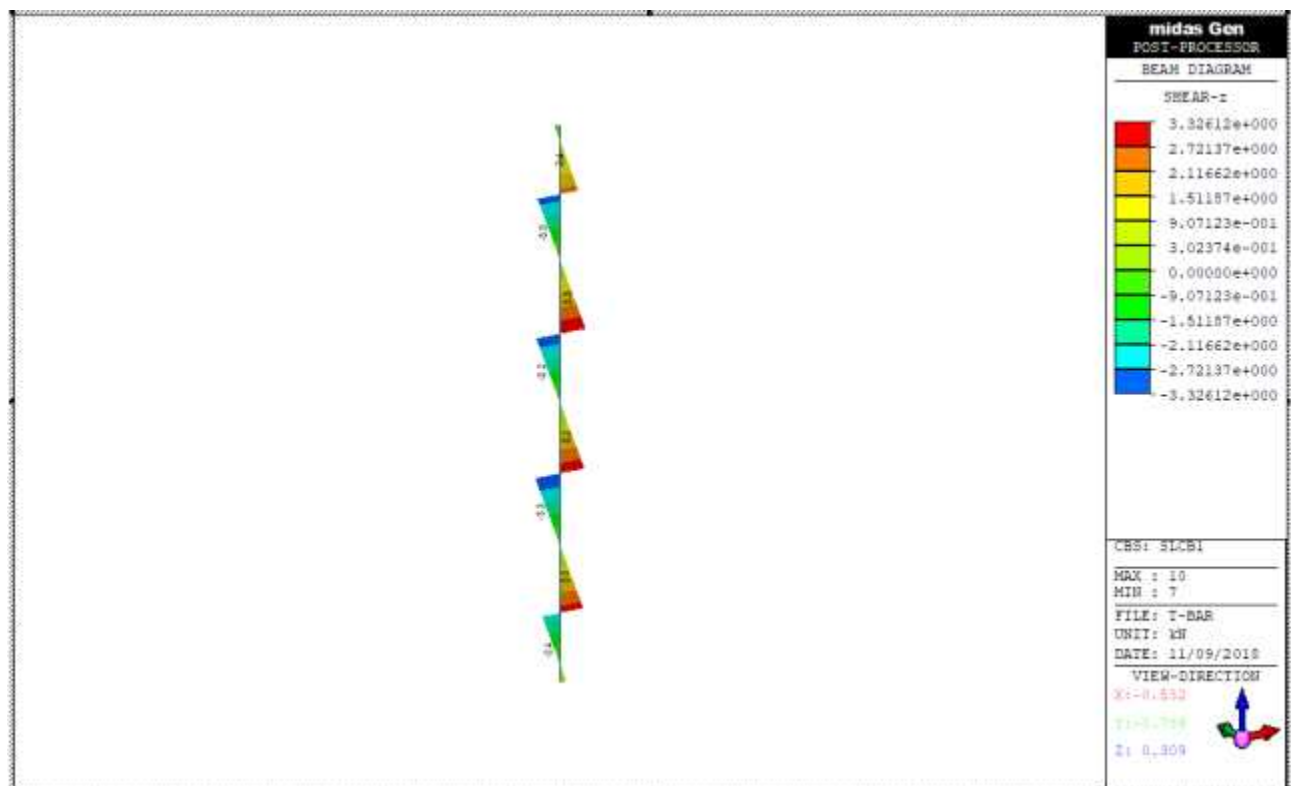
타이 간격 : 300mm ~ 600mm



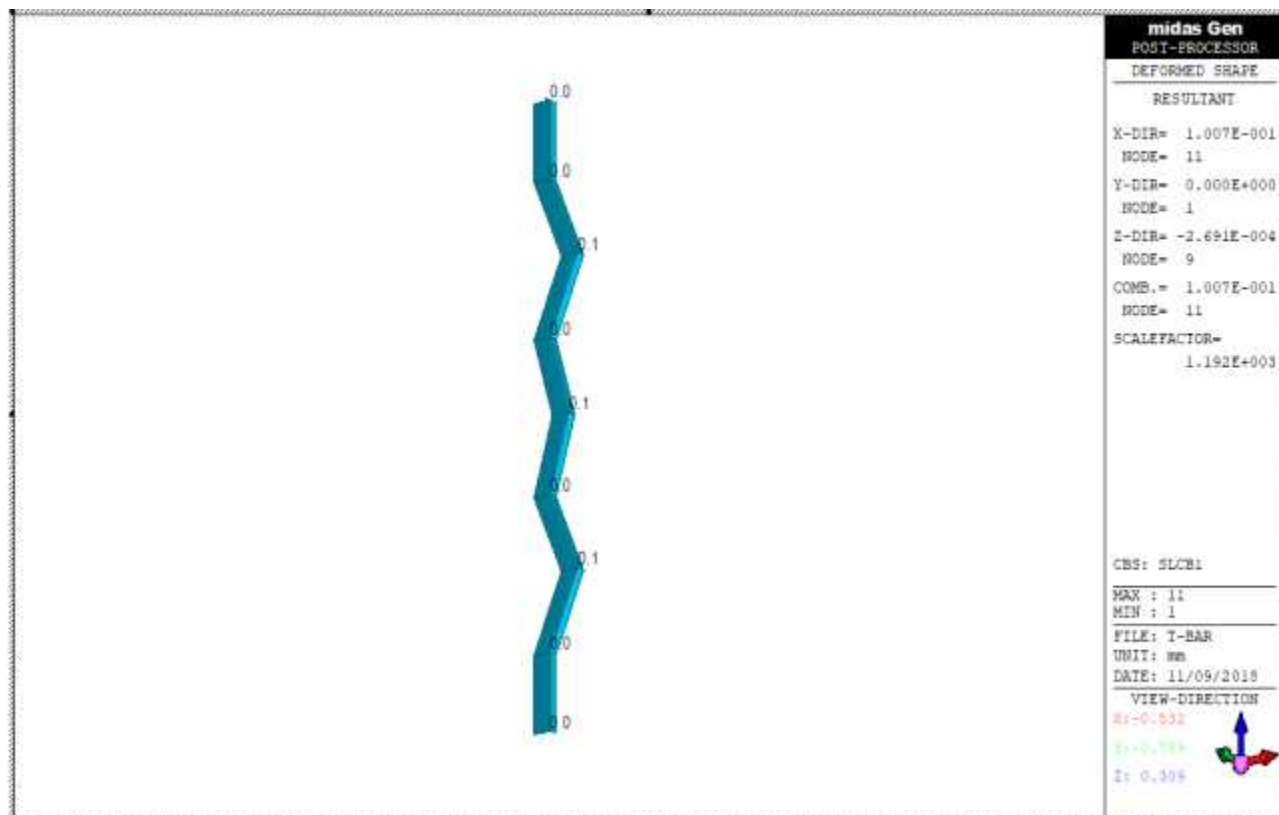
<철물(T-Bar) 작용 측압 및 지점조건>



<철물(T-Bar) 휨모멘트도>



<철물(T-Bar) 전단력도>



<철물(T-Bar) 변형도>

Certified by :



Company

Author

송성윤

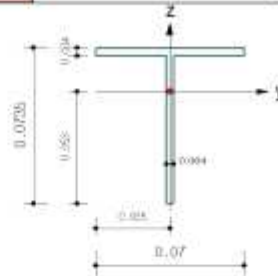
Project Title

File Name

C:\...\외단열가설재\T-Bar.mgb

1. Design Information

Design Code : AIK-ASD83
 Unit System : kN, m
 Member No : 10
 Material : SS400 (No:1)
 (Fy = 235360, Es = 205939650)
 Section Name : T-Bar (No:1)
 (Built-up Section)
 Member Length : 0.30000



*. Use Effective Section for Design as Width-Thickness Ratio exceeds Code Provisions.

2. Member Forces

Axial Force : Fxx = 0.01289 (LCB: 1, POS:1)
 Bending Moments : My = 0.33194, Mz = 0.00000
 End Moments : Myi = 0.33194, Myj = -0.1898 (for Lb)
 Myi = 0.33194, Myj = -0.1898 (for Ly)
 Mzi = 0.00000, Mzj = 0.00000 (for Lz)
 Shear Forces : Fyy = 0.00000 (LCB: 1, POS:1/2)
 Fzz = 3.32612 (LCB: 1, POS:1)

Depth	0.0735	Web Thick	0.0040
Top F Width	0.0700	Top F Thick	0.0040
Area	0.00058	Asz	0.00029
Qyb	0.00141	Qzb	0.00061
Iyy	0.00000	Izz	0.00000
Ybar	0.03500	Zbar	0.06319
Syy	0.00001	Szz	0.00000
ry	0.02321	rz	0.01434

3. Design Parameters

Unbraced Lengths : Ly = 0.30000, Lz = 0.30000, Lb = 0.30000
 Effective Length Factors : Ky = 1.00, Kz = 1.00
 Bending Coefficient : Cm = 1.00

4. Checking Results

Slenderness Ratio

$$KL/r = 20.9 < 200.0 \text{ (Mem:8, LCB: 1)} \dots\dots\dots 0.K$$

Axial Stress

$$f_t/F_t = 25 / 156906 = 0.000 < 1.000 \dots\dots\dots 0.K$$

Bending Stresses

$$f_{by}/F_{by} = 81505 / 156906 = 0.519 < 1.000 \dots\dots\dots 0.K$$

$$f_{bz}/F_{bz} = 0 / 156906 = 0.000 < 1.000 \dots\dots\dots 0.K$$

Combined Stress (Tension+Bending)

$$R_{max1} = f_t/F_t + f_{by}/F_{by} + f_{bz}/F_{bz}$$

$$R_{max2} = \sqrt{(\sigma_x)^2 + 3(\tau_{xy})^2} / F_t$$

$$R_{max} = \max[R_{max1}, R_{max2}] = 0.540 < 1.000 \dots\dots\dots 0.K$$

Shear Stresses

$$f_{vy}/F_{vy} = 0.000 < 1.000 \dots\dots\dots 0.K$$

$$f_{vz}/F_{vz} = 0.148 < 1.000 \dots\dots\dots 0.K$$

거푸집에서 콘크리트 측압을 산정하는 계산식은 건축공사 표준 시방서와 콘크리트 표준시방서의 기준이 다르게 기술되어 있음. 건축공사 표준 시방서에서는 벽체 콘크리트의 경우 3m높이를 기준으로 속도에 따른 측압계산식을 제안하고 있음. 본 절에서는 거푸집 측압에 대한 저항성을 평가하기 위하여 재하 무게를 도출하고 이의 성능을 평가하고자 하였음. 콘크리트 벽체의 측압은 벽체가 두껍고, 슬럼프가 큰 경우등에 증가하는 것으로 알려져 있으며, 콘크리트 유체가 거푸집에 타설되는 과정 중에 콘크리트 헤드부분에서 가장 큰 측압 분포를 갖게 됨.

표 42. 거푸집 설계용 콘크리트의 측압 예시(건축공사 표준 시방서 기준)

타설속도(m/h)		10 이하인 경우		10을 넘고 20이하인 경우		20을 넘는 경우
부위 H(m)		$H \leq 1.5$	$1.5 < H \leq 4.0$	$H \leq 2.0$	$2.0 < H \leq 4.0$	$H \leq 4.0$
기둥		$W_o \times H$	$1.5W_o + 0.6W_o \times (H-1.5)$	$W_o \times H$	$2.0W_o + 0.8W_o \times (H-2.0)$	$W_o \times H$
벽	높이 $\leq 3m$		$1.5W_o + 0.2W_o \times (H-1.5)$		$2.0W_o + 0.4W_o \times (H-2.0)$	
	높이 $> 3m$		$1.5W_o$		$2.0W_o$	

H: 아직 굳지 않은 콘크리트 헤드의 높이(m)

(측압을 구하고자 하는 위치 위에 있는 콘크리트의 부어넣기 높이)

W_o : 아직 굳지 않은 콘크리트의 단위용적중량(t/m^3)

표 43. 거푸집 설계용 콘크리트의 측압 예시 (콘크리트 표준시방서 기준)

타설속도(m/h)	2 이하인 경우	2 초과인 경우
기둥	$0.8+80R/(T+20) \leq 15$ 또는 $2.4H$	
벽	$0.8+80R/(T+20) \leq 10$ 또는 $2.4H$	$0.8+(120+25R)/(T+20) \leq 10$ 또는 $2.4H$

R: 타설 속도, T:거푸집 내의 콘크리트 온도($^{\circ}C$)

이 경우는 슬럼프 10cm이하의 콘크리트를 내부진동기 사용하여 타설할 때 사용

표 44. 측압에 미치는 요인(측압이 큰 경우)

벽체 두께 두꺼울수록	철근량이 적을수록
Slump치가 클수록	Form의 표면이 평활할수록
타설속도가 빠를수록	다짐이 충분할수록
외기의 온습도가 낮을수록	시공연도가 좋을수록

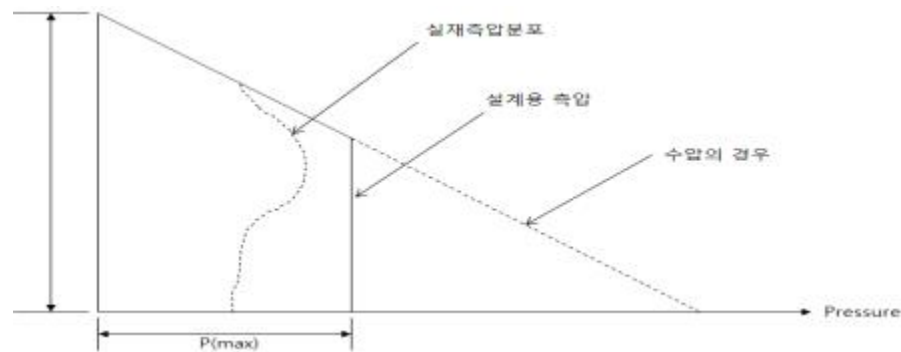


그림 113. 실제 타설 높이와 측압과의 관계

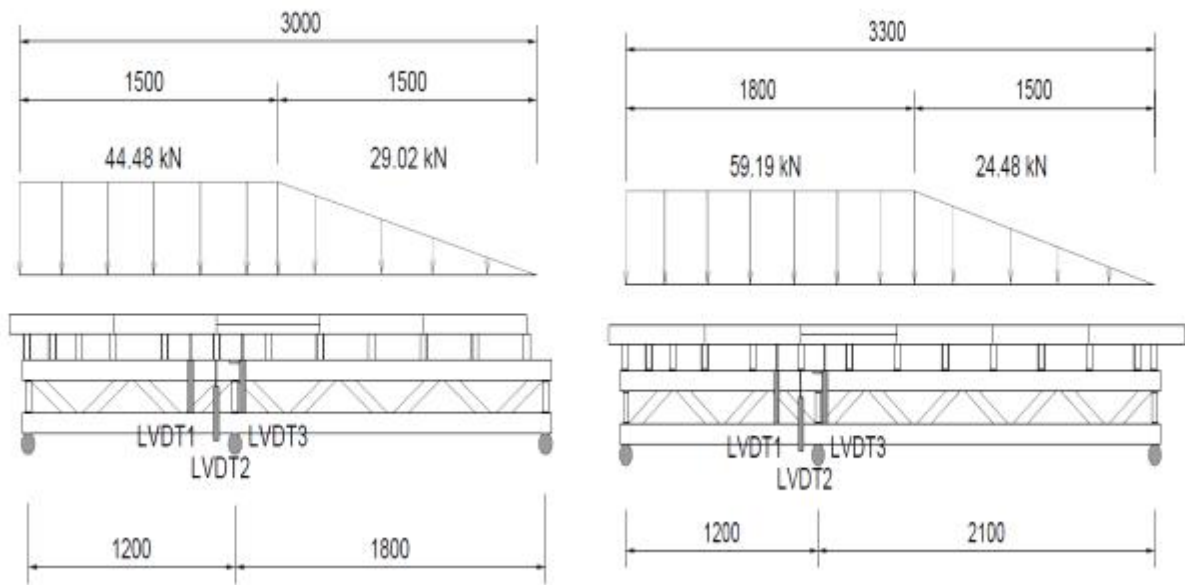
KDS의 가시설물 설계 일반사항에 따르면 거푸집 널의 변형기준은 공사시방서에 따르며, 달리 명시
가 없는 경우는 평탄하기 등급에 따라 순 간격 1.5m이내의 변형이 아래 표 45의 변형량에 대하여 작은
값 이하가 되어야 함.

표 45. 거푸집 널의 변형 기준

표면의 등급	상대변형	절대변형
A급	ln/360	3mm
B급	ln/270	6mm
C급	ln/180	13mm

가) 측정 방법

등분포 하중을 모사하기 위해 재하용 모래와 재하블록을 적재하여 평가하였음 또한, 재하용 모래
와 재하블록은 계량저울로 측정하였으며 시험체에 재하된 적재물의 총 중량과 시험체 하부에 설치
된 변위계의 처짐 값을 기록하여 최종 평가결과로 제시하였음.



a) 시험체 1 설치도(L=3 000 mm)

b) 시험체 2 설치도(L=3 300 mm)

그림 114. 시험체 설치도



a) 시험체 1 시험사진(L=3 000 mm)



b) 시험체 2 시험사진(L=3 300 mm)

그림 115. 시험체 시험 현황



a) 재하블럭 1 중량 측정



b) 재하블럭 2 중량 측정



c) 모래 재하



d) 계측기 설치

그림 116. 적재물 중량 측정 및 계측기 설치

표 46. 재하 블록 중량 및 모래 단위중량

구 분	모래 단위중량 (kN/m ³)	재하 블록 중량(kN)				
		구 분	test 1	test 2	test 3	평균
측정값	13.99	재하블럭 1	0.49	0.50	0.51	0.50
		재하블럭 2	0.89	0.89	0.89	0.89

시험결과 시험체 1의 L=3,000는 적재하중이 73.51kN에서 적재하중시 변위는(2.49mm, 3.61mm)로 나타났으며, 시험체 2의 L=3,300은 적재하중시 변위(2.49mm, 3.61mm)로 나타났다.

표 47. 시험 결과

구 분	적재 하중 (kN)	적재하중 시 변위 (mm)	
		LVDT1	LVDT2
시험체 1 (L=3 000 mm)	73.51	2.49	3.61
시험체 2 (L=3 300 mm)	83.66	3.13	5.41

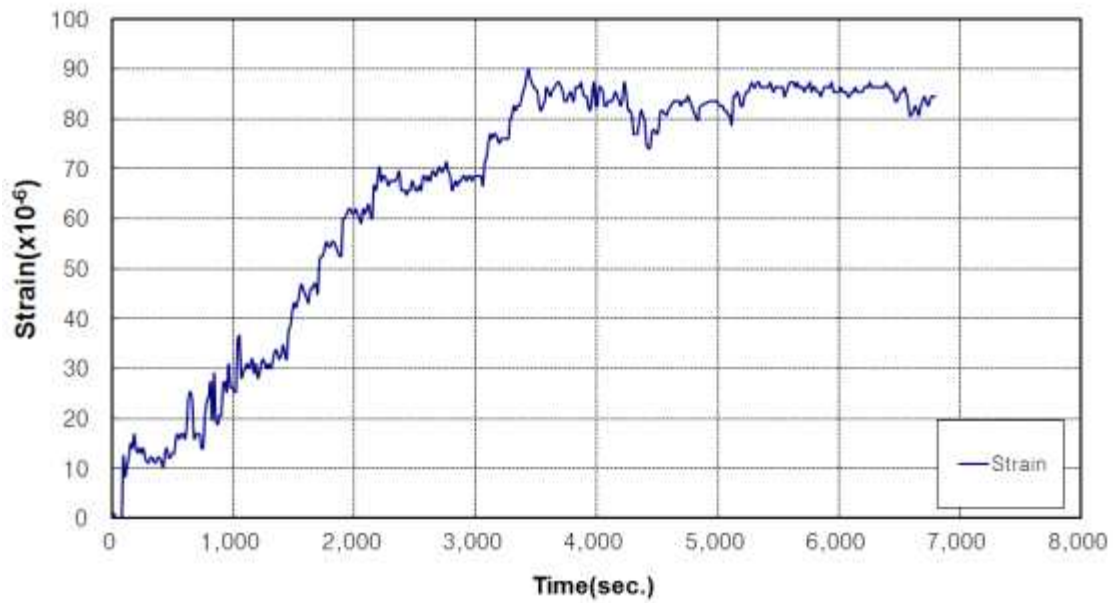


그림 117. 시험결과 L=3,000, strain

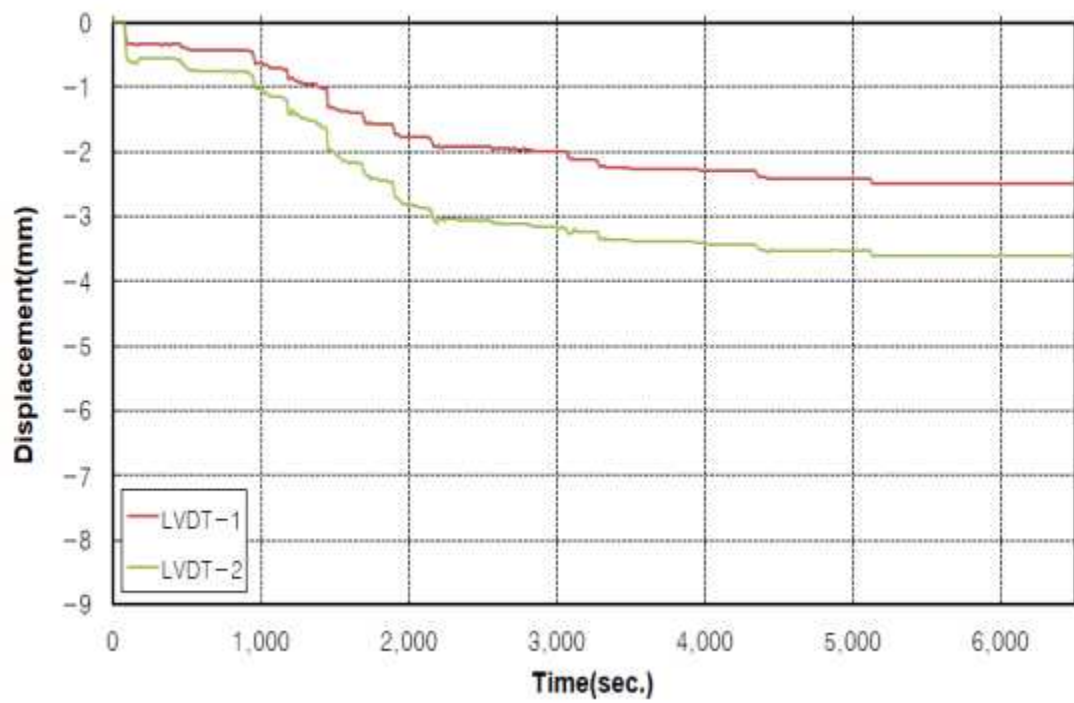


그림 118. 시험결과 L=3,000, displacement

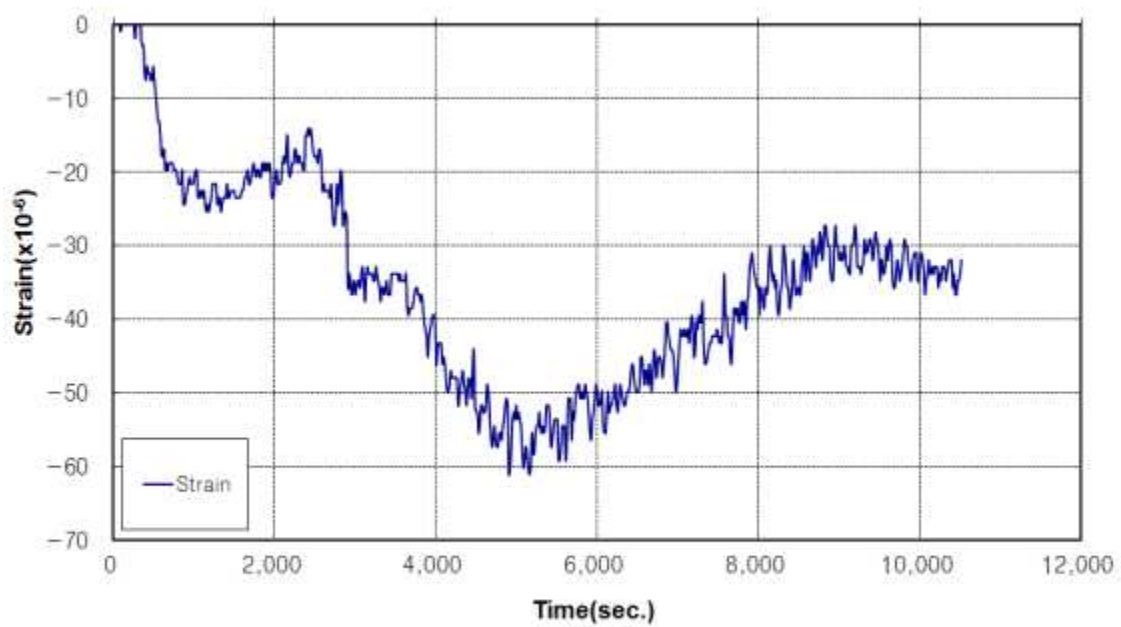


그림 119. 시험결과 L=3,300, strain

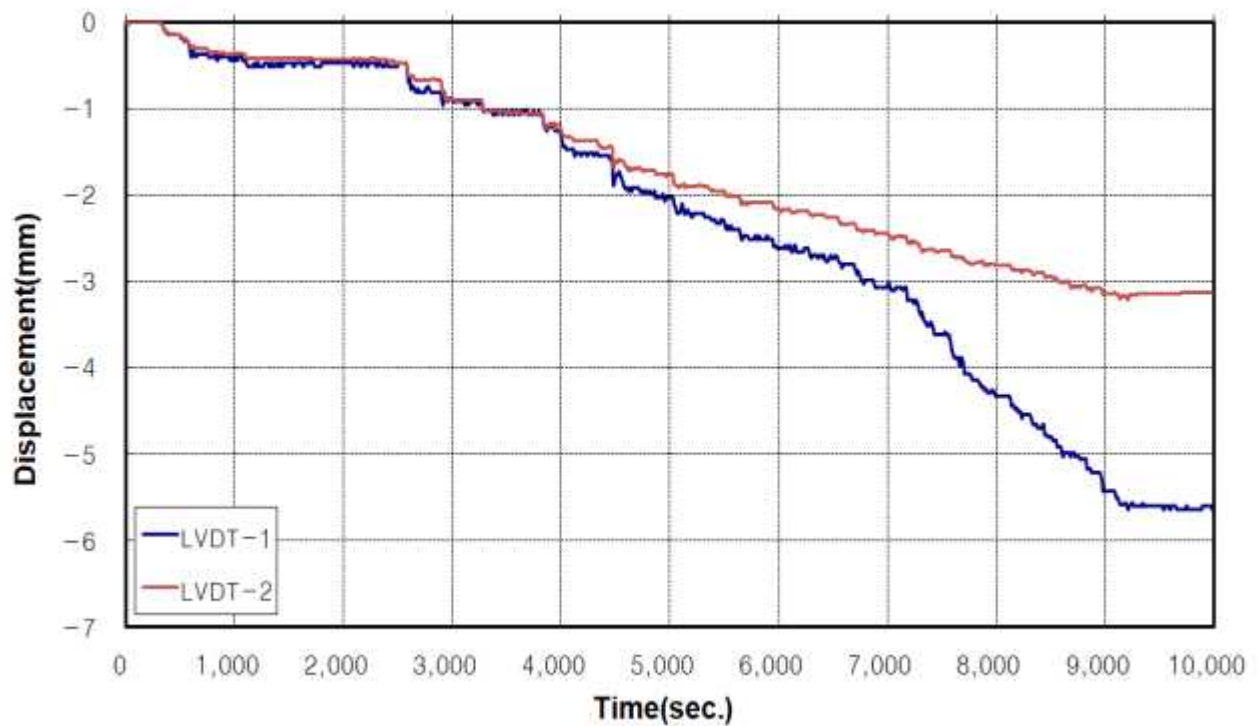


그림 120. 시험결과 L=3,300, Displacement

나) 시험 결과

재하시험은 실제 콘크리트 타설시 외단열 거푸집 판넬에 작용하는 하중의 증가를 이상적으로 묘사하여 단계적으로 적재하중을 증가시켜 가며 측정한 결과, 설계하중을 모두 적재한 이후의 최대 변위는 벽체용 판넬의 경우 L=3000의 경우 적재하중은 73.51kN, 변위는 3.61mm로 나타났으며, L=3300의 경우 적재하중은 83.66kN, 변위는 5.41mm로 나타났으며, 절대 변형량 기준상 B급 기준의 거푸집 규격을 만족하는 것으로 나타났음.

향후, 콘크리트 타설시험은 실대형 벽식구조 아파트 구조물 일부를 모의 구조체로 제작하여 실제 현장 조건과 동일하게 콘크리트 타설시 거푸집 판넬의 변위를 측정해야 할 것으로 판단되며 개발되는 외단열 벽체의 경우 EPS벽체를 고려하여 변형량을 감소시킬 수 있는 방안을 도출하고자 함.

차. 복합단열 영구거푸집의 철근 배근법 연구

(1) 개요

복합단열 영구거푸집은 스티로폼을 사용하기 때문에 양단열 공법에 적용하는 경우 합판에 비하여 강도가 낮기 때문에 보강재의 사용량이 증가하게 됨. 특히 복배근 벽체의 경우 콘크리트의 타설량이 많기 때문에 측압에 대한 보강 대책이 더욱더 요구됨. 본 절에서는 영구거푸집의 철근과의 연결성 강화를 통한 거푸집 보강방안을 도출하고자 하였음.

(2) 철근 배근법



그림 121. 복배근 철근의 거푸집판과의 일체화방안

철근과 거푸집면을 일체화하여 거푸집의 지지성능을 향상할 수 있는 방안으로 복배근 벽체의 경우, 양변의 철근 사이를 연결하는 철물을 삽입하고 양끝단을 거푸집을 관통하여 핀 결합을 통해 거푸집을 안정화할 수 있는 방안을 제시할 수 있음. 주요 구성부품은 아래 그림 58과 같음.

(3) 현장 적용 시험

가. 개요

양단열 거푸집을 2차년도에서 시험 적용해 보기 위하여 현장적용을 통해 시공방식 등을 검토해보고자 하였음. 실제 시공 중에 있는 서울시내의 빌라 주택에 대하여 현장 적용 평가를 진행하였음.

표 48. 현장 적용 대상 건축물의 현황

대지 위치		서울특별시 노원구 노원로 1마길 15			
건축면적	75.5 m ²	총면적	315.43 m ²	층수	지상 4층
시공사	토토종합건설(주)				



그림 124. 현장 적용 현황

나. 시제품 제작 및 시공과정

현장 적용을 위해 제작된 주요 구성품은 T바와 연결철물로 구성된 조립철물과 양단열용 패널을 사용하여 외부 판넬을 제작하였음.

현장에서의 철근 배근은 비내력벽으로 단배근을 갖는 벽체이었으며, 여기에 단열 판넬을 설치하여 후면의 유로폼과 지지대를 통해 철물을 연결하여 벽체 거푸집을 설치 완료 하였음.

현장에서 콘크리트는 25-27-180 규격의 레미콘을 타설하였으며, 타설시간은 30분간 진행하였으며, 벽면상부에서 타설을 진행하였으며, 아래와 같이 시공이 완료된 영구거푸집의 외피면의 변형은 나타나지 않았음.



(a) T바와 조립철물



(b) T바의 연결철물



(c) T와 단열판넬
결합상태



(d) 단열 판넬의 현장
입고



(e)현장내 철근 배근



(f) 단열 판넬 설치



(g) 유로폼과 T바 연결



(h) 지지대 설치



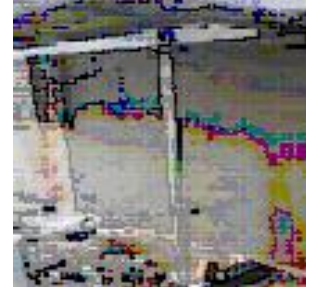
(i) 타설 준비 완료



(j) 타설 준비



(k) 콘크리트 타설



(l) 시공된 영구거푸집

그림 125. 시제품 제작 및 현장 적용 과정

다. 소결

벽체의 종류에 두께 및 종류에 따라 철근의 배근량이 크고 두꺼운 벽체에 대하여 내부 철근 트러스와 복합적으로 연결하는 방법을 제안할 수 있었음.

비내력벽의 경우, 벽체 두께가 좁은 경우에도 T바와 연결철물을 사용하여 기존 유로폼과의 접합을 통해 벽체 거푸집의 시공 및 콘크리트타설에 대한 현장 적용성을 확인하였음.

카. 무기계 외장 마감재의 배합 도출

(1) 개요

드라이비트로 사용되는 외장 마감재는 에멀전계 바인더와 골재, 안료 등으로 구성된 유기 모르타르의 일종인 얇은 바름재임. 얇은 바름재의 시공은 단열재 상단에 시멘트계 바탕조정재를 사용하여 평활도를 확보한 뒤 상부의 외장 마감재를 시공하게 됨. 유기계 외장 마감재는 화재시 유기물의 연소로 인해 화재 확산 및 표면부에 열 공급원이 되어 화재를 증가시키는 원인이 됨.

본 연구 개발에서는 외장 마감재로 사용되는 얇은 바름재를 대체할 수 있으면서 현장에서 기존 2~3mm 정도로 얇은 바름이 아닌 4mm 정도의 두께의 보호층을 형성함으로 바탕면의 보호층을 갖는 무기계 외장 마감재를 개발하고자 하였다.

(2) 실험방법

가) 사용 재료

1.1 바인더

① 폴리머

얇은 마감재에 사용되는 바인더는 시멘트 모르타르와 다르게 주요 바인더가 수계 에멀전의 건조 경화를 통해 경화반응을 유도하게 됨. 건축에서 주로 사용되는 주요 에멀전은 SBR, 아크릴 에멀전, EVA 등이 사용되고 있음. 본 연구에서는 재유화형 분말 수지인 EVA계 분말수지를 주요 바인더로 사용하고자 하였음.

② 시멘트

시멘트는 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 분말도 $3,400\text{cm}^3/\text{g}$ 의 것을 사용하였음

③ CSA

CSA(칼슘설포알루미네이트)는 S사의 것을 사용하였으며, 칼슘 설포 알루미네이트 화합물로 시멘트 내의 C3A 수화물의 증가를 통해 팽창성을 부여함으로 전체 시멘트의 약 10%인 표준 사용량을 적용하였음.

1.2 골재

골재는 천연규사를 사용하였음. 골재 입도는 6호 규사와 7호 규사를 사용하였으며, 입경 범위는 6호 규사는 0.25~0.6mm, 7호 규사는 0.075~0.6mm의 크기를 갖는 것을 사용하였음.

1.3 충전제

① 석회석 미분말

석회석 미분말은 석회석의 미분쇄 과정에서 발생하는 부산물로서 분말도는 약 $2,800 \text{ cm}^3/\text{g}$ 의 것을 사용하였음.

② 유기 섬유

본 연구에 사용된 섬유는 목재로부터 추출된 천연셀룰로오스 섬유보강재로 섬유의 길이는 2mm 정도의 크기로 두께는 $35\mu\text{m}$ 의 크기인 것으로 사용하였음. 주요 성상은 아래 표 4와 같음

표 49. 유기 섬유의 주요 성상

길이	두께	밀도	셀룰로오스 함량	pH
2mm	$35\mu\text{m}$	10~25g/ℓ	99.5%	6.5 ± 1

③ 메칠셀룰로오즈

물과 접촉시, 메틸 셀룰로오스는 물을 흡수하여 부풀어 올리는 성질을 가지고 있음. 다량의 메틸 셀룰로오스가 물과 섞이면 빠르게 흡수되어 겔 형태로 전환되어 분산성이 낮아짐. 따라서, 실험에서, 메틸 셀룰로오스는 천천히 물. 메틸 셀룰로오스의 특성은 표 6과 같음

표 50. 메칠셀룰로오즈의 성상

성상	입자크기	점도(1%수용액)	함수율
흰색 분말	$<600\mu\text{m}$ (98%)	2,500~3,500mPa.s	max 5%

나) 배합

본 연구 개발에서 사용된 시멘트, CSA, 석회석 미분말과 재유화형 분말수지, 규사 등을 건식으로 2분간 혼합한 뒤 물을 가수하여 3분간 믹싱한 뒤 마감재를 제조하였음. 마감재는 시멘트의 수화 과정 및 에멀전의 건조 경화 등에 의하여 경화된 뒤 물성을 측정하였음.

먼저 두께를 조절하기 위한 6호사의 혼합시 최적 유동성 및 강도를 선정하기 위하여 6호사를 20, 30, 40, 50%로 혼합하였으며, 이후 내수성 향상 및 강도 성능 향상을 위하여 석회석 미분말을 시멘트에

대하여 10,, 20, 30%를 혼합하여 배합을 도출하고자 하였음.

표 51. 마감재의 배합

	OPC	석회석 미분말	CSA	6호사	7호사	분말수지	메칠셀룰로 오즈	섬유	물
OS20	90	0	10	20	80	3	0.15	0.05	60
OS30	90	0	10	30	70	3	0.15	0.05	
OS40	90	0	10	40	60	3	0.15	0.05	
OS50	90	0	10	50	50	3	0.15	0.05	
OL10S30	80	10	10	30	70	3	0.15	0.05	
OL20S30	70	20	10	30	70	3	0.15	0.05	
OL30S30	60	30	10	30	70	3	0.15	0.05	

다) 측정 방법

① 플로우

배합에 따른 모르타르의 유동성을 측정하기 위하여 KS L 5111에 규정되어 있는 Flow cone에 시료를 채운 후 다짐을 하지 않은 상태에서 Flow cone을 일정한 속도로 수직으로 들어 올린 후 25회 낙하 운동을 실시한 후 흘러퍼짐이 멈추었을 때 중심을 지나는 대각선 3방향의 직경을 측정하여 그 평균값을 모르타르 플로 값으로 하였다.

② 압축강도 및 휨강도

경화제 무침가 PMC의 휨 및 압축강도 시험은 KS F 2477(폴리머 시멘트 모르타르의 강도 시험방법)에 준하여 측정은 3, 7, 28일 재령에 측정하였다.

③ 부착강도

아래 그림 126에 나타낸 시험용 밀판을 연마한 후 안쪽치수 40mm × 40mm × 10mm의 금속제 또는 합성 수지제 형틀을 넣고 시료를 형틀과 동일한 높이까지 채워 성형함. 그 후 20±2℃, 습도 65±10%에서 양생하고, 성형 후 24시간 경과한 후에 탈형하여 다시 재령 28일까지 양생시킨 것을 부착강도 시험체로 함.

정해진 양생이 끝난 시험체를 양생실 내에 수평하고 놓고 시료 도포면에 접착제를 바른 후, 그림 5에 나타낸 상부 인자용 지그(강철제)를 가만히 올려놓고 가볍게 문질러 접착시킴. 다음으로 그 위에 무게 1kg의 추를 얹어 주위에 비어진 접착제를 신중히 제거함. 24시간 진동 없이 둔 후 추를 제거하고 그림

5와 같은 하부 인장용 지그(강철제) 및 강철제 받침판을 사용해서, 시료면에 대해 수직 방향으로 인장력을 가해 최대 인장하중을 구함.

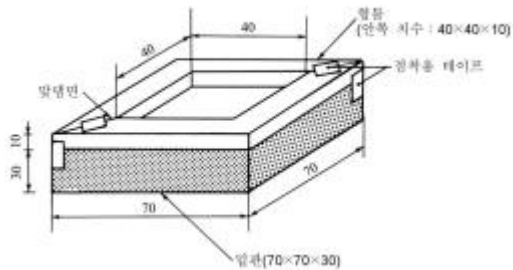


그림 126. 부착강도 시험체 제작용 밀판 및 형틀

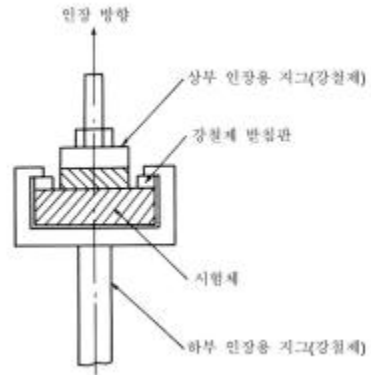


그림 127. 부착강도 시험체 조립 완성도

④ 물흡수계수

물흡수계수란 재료의 면적당 물흡수량(kg/m^2)과 시간()사이의 비례 계수를 말함. 물흡수계수를 측정하기 위하여 KS F 4716의 기준에 따라 시험체를 제작하고, 그림 128과 같이 시험체를 제작하였음. 제작된 시험체를 물흡수계수 산정을 위하여 KS F 2609(건축 재료의 물 흡수 계수 측정 방법)에 따라 측정하였음. 재료의 한면이 물과 접촉시 시간에 따른 면적당 흡수량은 다음과 같음.

$$= w \quad t$$

여기서,

m: 면적당 물흡수량(kg/m^2)

w: 물 흡수 계수($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}0.5$)

t: 시간(h)



그림 128. 물흡수계수 측정용 시험체 (KS F 4716)

라) 실험 결과

그림 129는 외장 마감재의 유동성을 측정한 그래프로 6호사 혼입시 유동성은 40%까지 증가하는 것으로 나타났음. 석회석 미분말의 혼입시 유동성의 증가는 큰 차이를 보이지 않음

외장 마감재의 압축강도와 휨강도에서는 6호사 혼입율 30%에서 최대인 것으로 나타났으며, 이후 감소하는 것으로 나타났음. 석회석 미분말 혼입시 20%까지 강도는 증가하는 것으로 나타났음.

외장마감재의 부착강도는 6호사 혼입율이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었음. 그러나 석회석 미분말을 혼입하는 경우, 강도가 증가되어 석회석 미분말 20%까지 최대로 증가하였으며, 온냉반복 시험에서도 이와 유사한 특성을 보였음.

외장 마감재의 물흡수계수는 6호사의 혼입율이 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났으나, 석회석 미분말을 혼입율이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타남.

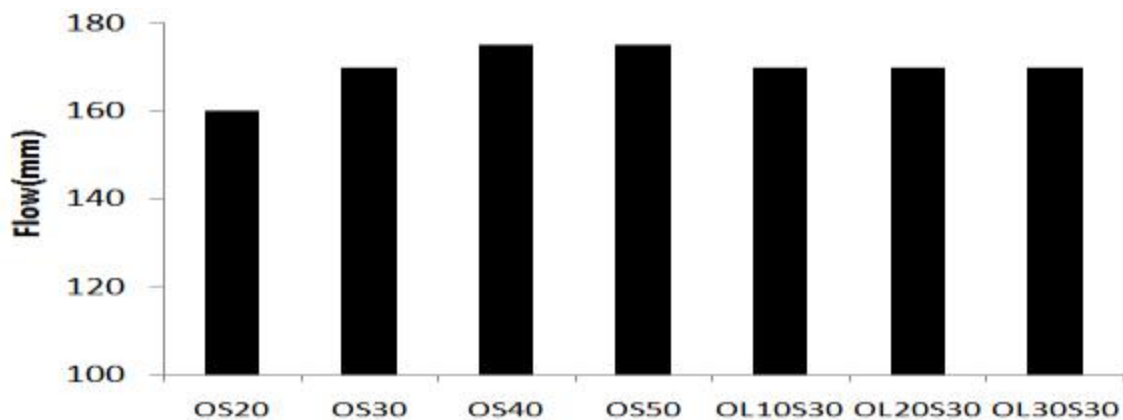


그림 129. 외장 마감재의 유동성

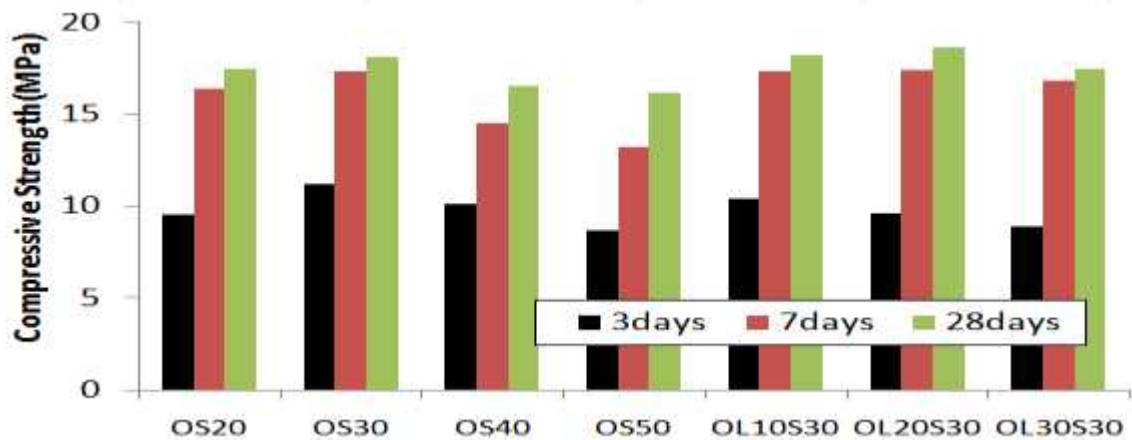


그림 130. 외장마감재의 압축강도

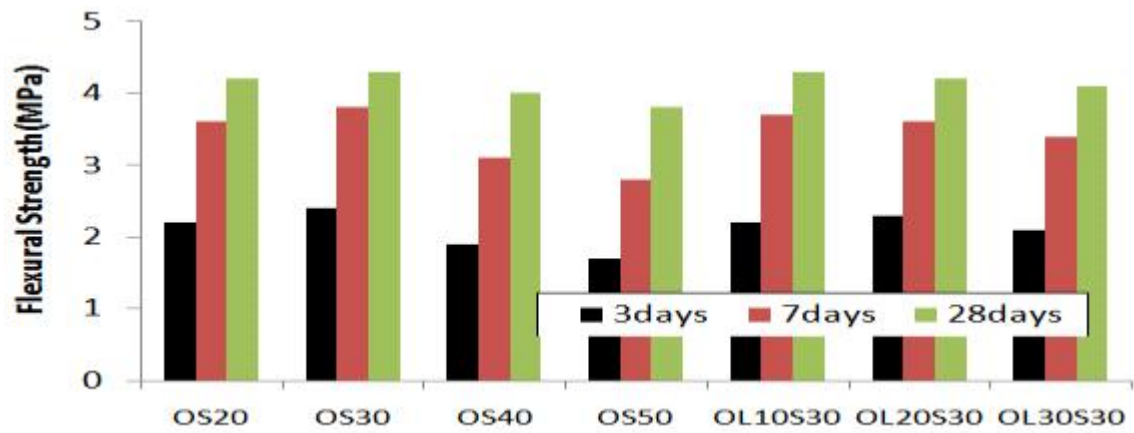


그림 131. 외장 마감재의 휨강도

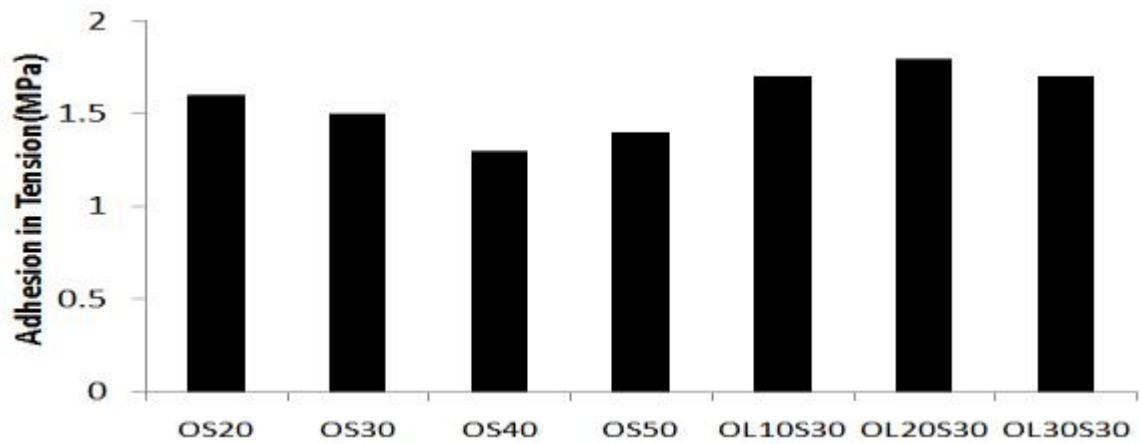


그림 132. 외장 마감재의 부착강도

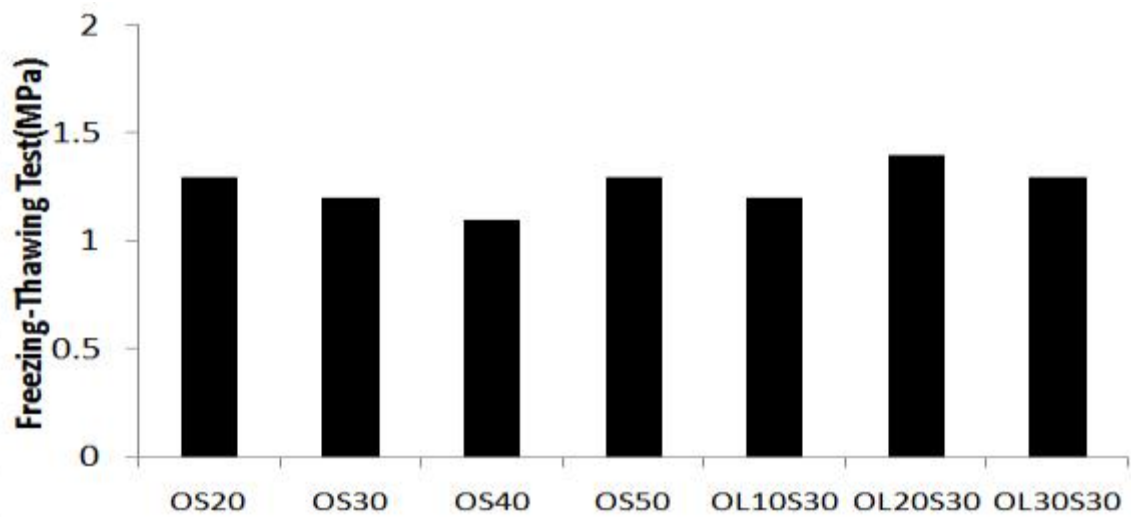


그림 133. 외장 마감재의 온냉반복강도

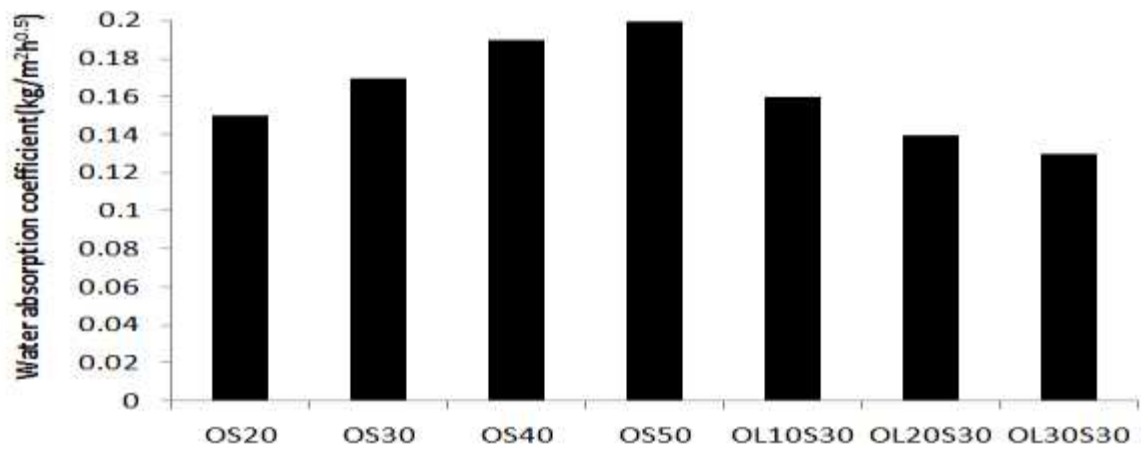


그림 134. 외장 마감재의 물흡수계수

마) 소결

- 1) 외장마감재에 6호사의 치환율이 30%일 때 유동성 및 압축강도의 성능이 우수한 것으로 나타났으나 부착강도는 저감되는 것으로 나타났음.
- 2) 석회석 미분말을 치환한 경우 20%까지 부착강도 및 온냉반복강도가 증가하였으며, 물흡수계수는 감소되는 것으로 나타났음.
- 3) 따라서 무기질계 외장마감재의 최적배합은 규사 6호사의 치환 비율이 30%이며, 석회석 미분말 20%에서 최적 강도를 나타내는 것으로 나타났음.

타. 단열 거푸집 패널의 화재 특성 평가

(1) 개요

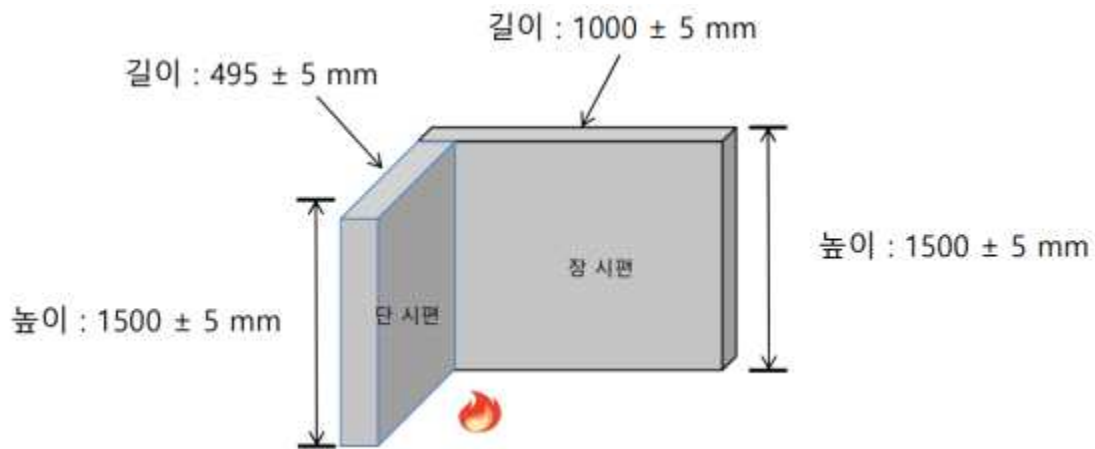
본 연구 개발에서 개발된 화재지연형 바탕조정재와 무기계 외장 마감재로 마감된 단열 거푸집을 사용하여 기존 페놀폼만을 사용한 드라이비트 공법과의 비교 검토를 위하여 화재 시험을 실시하였음.

(2) 실험 방법

- 시험체 제원

시험체의 제원은 아래 그림과 같으며, 시험체 벽체를 구성하는 주요 소재는 아래 표와 같음.

- 기본 시험체 사이즈



단 시편 : $(495 \pm 5) \text{ mm} \times (1500 \pm 5 \text{ mm})$

- 장 시편 : $(1000 \pm 5) \text{ mm} \times (1500 \pm 5 \text{ mm})$

- 시편을 지지하기 위한 이면판

※ 규산칼슘보드 - 밀도 : $(800 \pm 150) \text{ kg/m}^3$, 두께 : $(12 \pm 3) \text{ mm}$

- 시편 두께 : 200 mm 이하

	페놀폼+기존 드라이비트	개발 단열 거푸집 패널
시험체 구성 조건	스타코 마감재 3mm + 시멘트계 바탕조정재 3mm + 페놀폼 단열재 100mm + CRC보드 9.5mm	외장 마감 모르타르 2mm + 화재지연 바탕조정재 3mm + 페놀폼 단열재 70mm+EPS보드 120mm + CRC보드 9.5mm



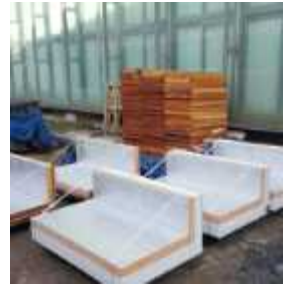
(a) 단열재 입고



(b) 후면 시멘트 보드
제작



(c) 단열재 벽체 제작



(d) 시험 벽체 고정



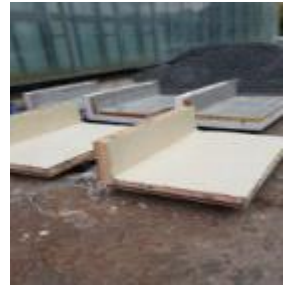
(e) 바탕조정재 타설



(f) 건조



(e) 외장 마감재 타설



(f) 시험체 완성

그림 135. 시험 벽체의 제작 과정

- 시험조건

항목	시험 조건
시험편 전처리 조건	온도 (23±5) °C, 상대습도 : (50±5)%
시험환경	온도 20.2°C, 상대습도 : 38%
시험한 면	스타코마감재면
가열원(열원)	프로판 가스
가스 유량(mg/s)	647±10
배출 장치 유속(m2/s)	0.05~0.65
총시험시간	1740

(3) 실험 결과

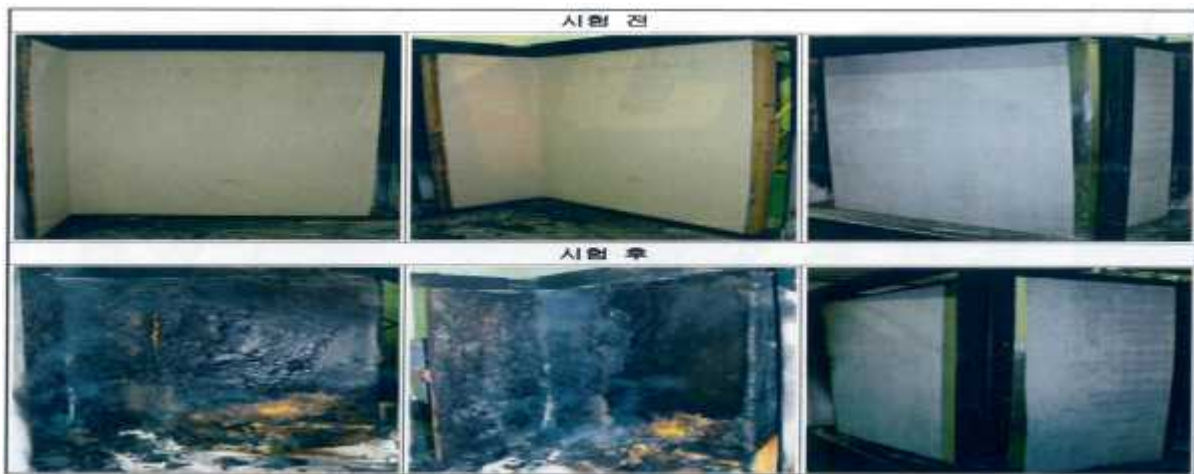
벽체의 화재 시험 결과 사진에서 보는 바와 같이 기존 드라이비트와 페놀폼을 사용한 경우 대부분 전소되었으나 개발 단열 거푸집 패널은 화염부위만 손상을 입었으며, 화재의 전파는 관찰되지 않았음.

발열량은 기존 드라이비트 대비 약 40%이상 낮은 것으로 나타나 화재지연성능이 우수한 것으로 나타났음. 연기 발생 및 화염으로 인한 연소물의 낙하는 기존 드라이비트와 페놀폼을 사용한 것과 비교하여 우수한 것으로 나타남

	페놀폼+기존 드라이비트	개발 단열 거푸집 패널
FIGRA0.2MJ	440.5	254.1
FIGRA0.2MJ	440.5	254.1
THR600s	34.1	18.1
SMOGRA	16.7	10.8
TSO600s	155.2	111.3
Lateral flame spread(LFS) 발생유무	발생	없음
Flaming droplte/particles(FDP) (flaming≤10s)	없음	없음
Flaming droplte/particles(FDP) (flaming>10s)	없음	발생

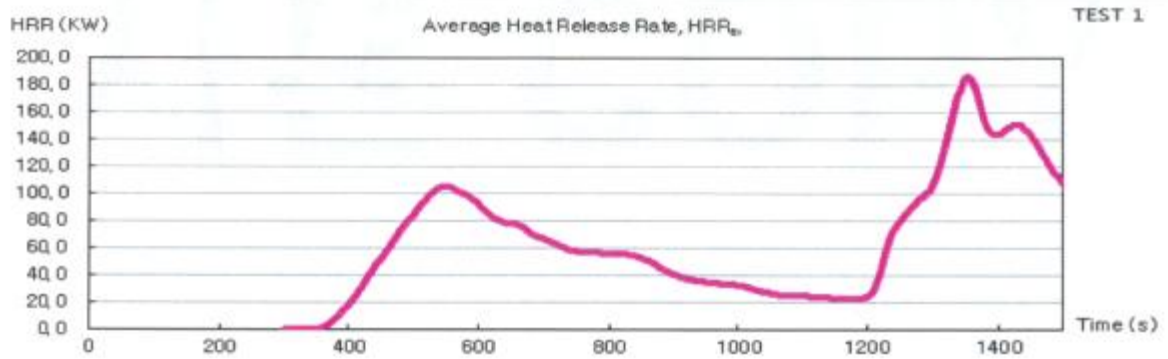
- 시험체 사진

페놀폼 + 기존 드라이비트

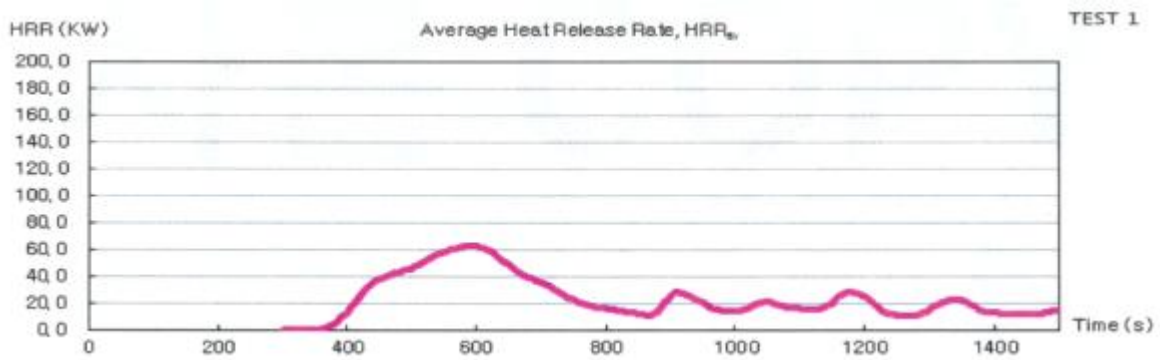


개발 단열 패널



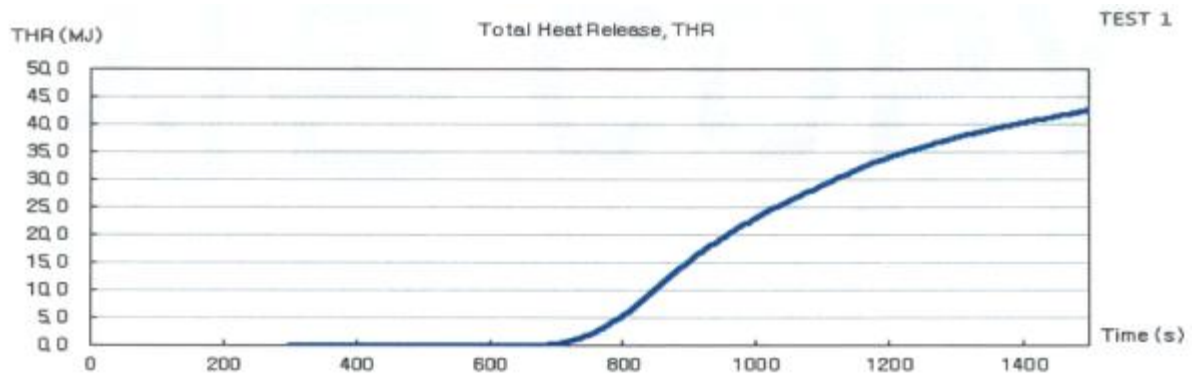


(a) 페놀폼 + 기존 드라이브

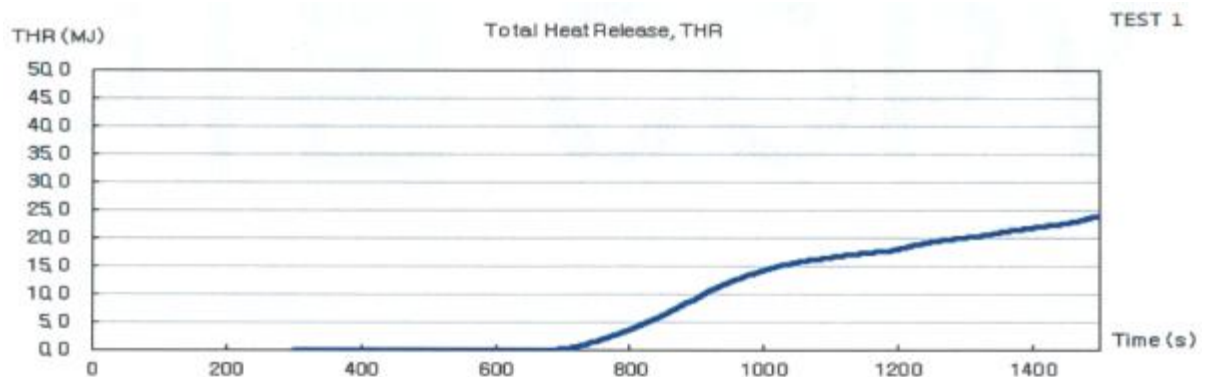


(b) 개발 단열 패널

그림 136. 평균 열방출률 그래프(Average Heat Release Rate, HRR_{av})

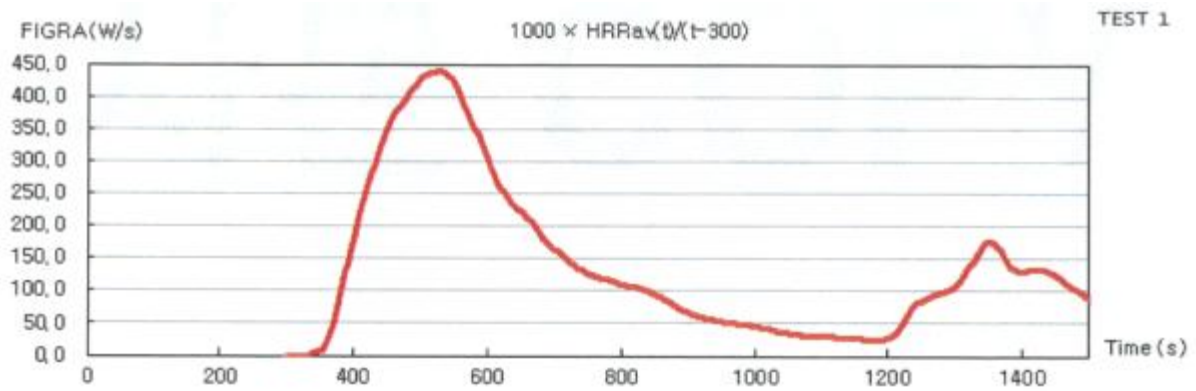


(a) 페놀폼 + 기존 드라이브

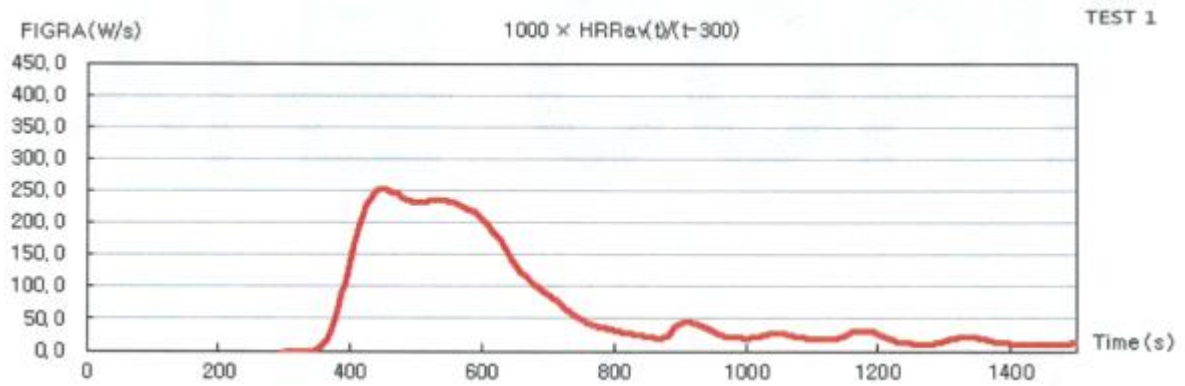


(b) 개발 단열 패널

그림 137. 총 방출열량 그래프(Total Heat Release, THR)

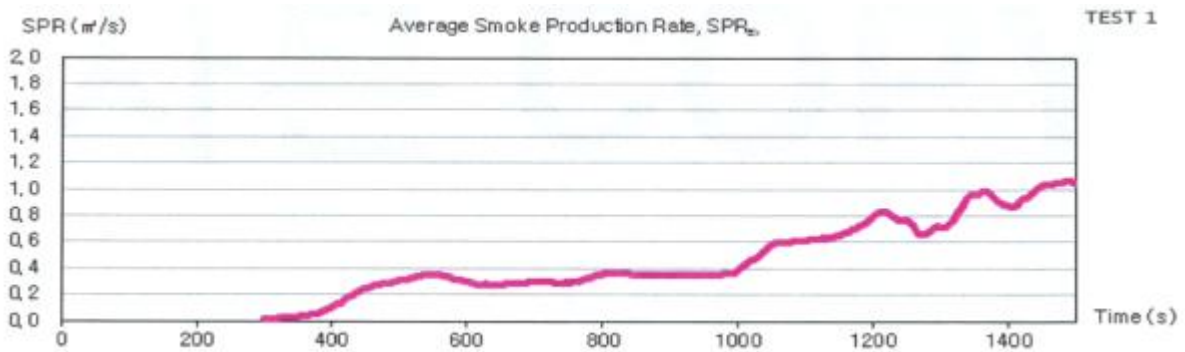


(a) 페놀폼 + 기존 드라이비트

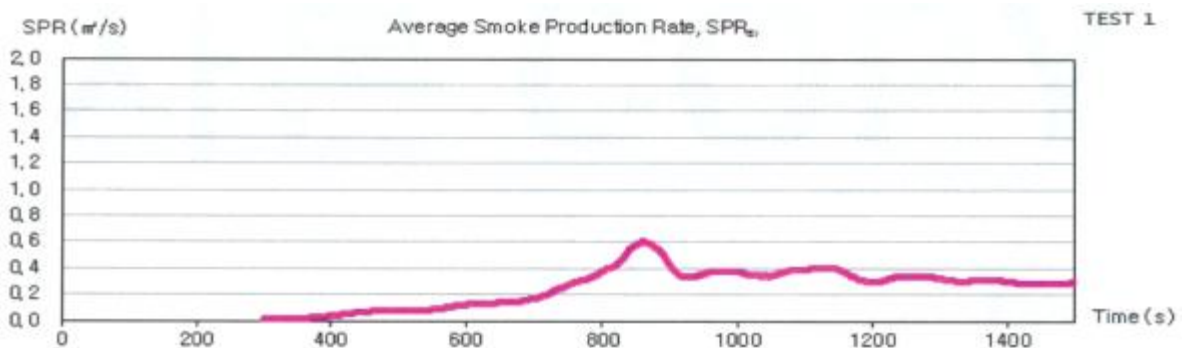


(b) 개발 단열 패널

그림 138. 단위시간당 평균열방출 변화율 그래프($1000 \times \text{HRR}_{\text{av}}(t)/(t-300)$)

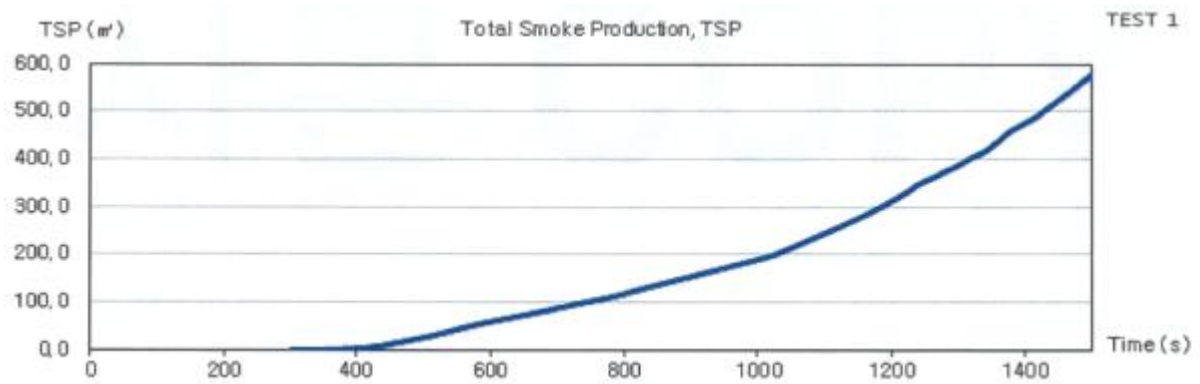


(a) 페놀폼 + 기존 드라이비트

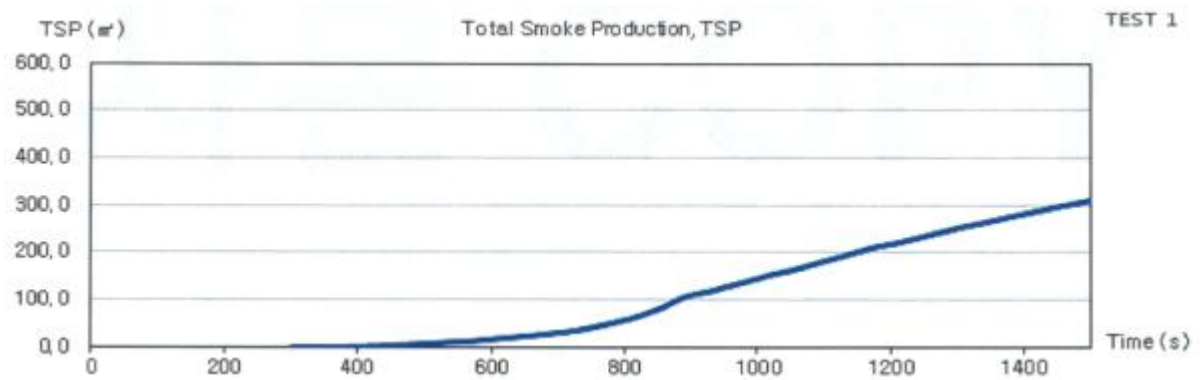


(b) 개발 단열 패널

그림 139. 평균 연기생성율 그래프(Average Smoke Production Rate, SPR_{av})

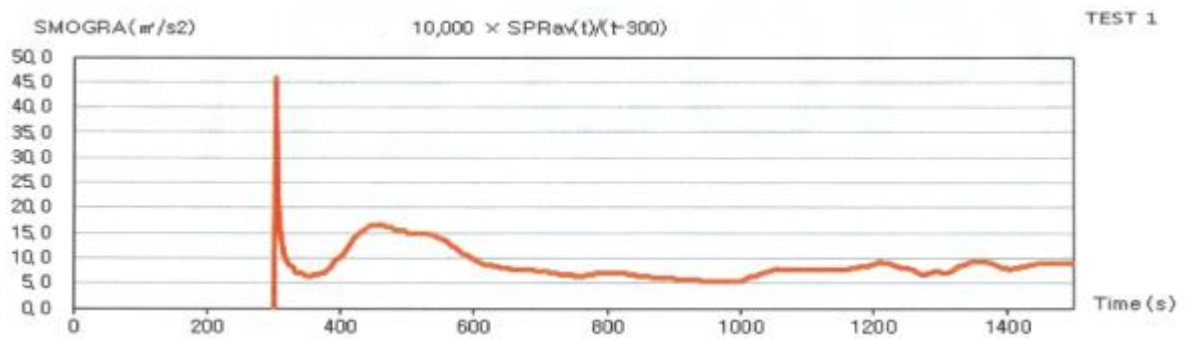


(a) 페놀폼 + 기존 드라이비트

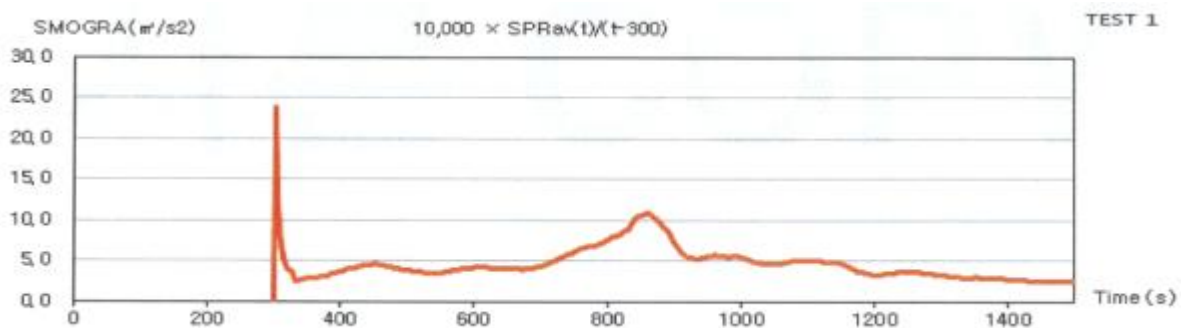


(b) 개발 단열 패넌

그림 140. 총 연기발생량 그래프(Total Smoke Production, TSP)



(a) 페놀폼 + 기존 드라이비트



(b) 개발 단열 패넌

그림 141. 단위시간당 평균 연기생성 변화율 그래프($10,000 \times \text{SPRav}(t)/(t-300)$)

파. 단열 거푸집 구조의 외형 도출

1. 구조검토 개요

1) 본 검토서는 벽체 타설높이가 3.0m 이고 외단열 거푸집을 지지하는 T-Bar의 간격이 600mm로 설치되는 경우와 외단열재에 대한 구조안전성을 검토함.

2) 검토기준

- 건축구조기준(KBC2016)
- 강구조 계산기준 및 해설(AIK-ASD05)
- 가설표준시방서

2. 구조재료 강도

- 강 재 : KS D 3503 SS400 (Fy = 235MPa)

3. 검토하중

- 콘크리트 측압

벽체의 측압은 콘크리트 타설속도 2.1m/hr 이하이고, 타설높이 4.2m이하인 경우

$$C C_c \left(7.2 + \frac{790R}{T+18} \right) = 1.0 \times 1.0 \times \left(7.2 + \frac{790 \times 1.2}{20+18} \right) = 32.15 \text{ kN/m}^2$$

$$C_w = 1.0$$

$$C_c = 1.0$$

$$R = 1.2 \text{ m/hr}$$

$$T = 20^\circ\text{C}$$

R : 콘크리트 타설속도

T : 콘크리트 온도

Cw : 콘크리트 단위질량 22.5~24.0kN/m³ 인 경우 = 1.0

Cc : 첨가물 계수

$$P/23.5 = 1.37 \text{ m}$$

T-Bar 간격 : 600mm

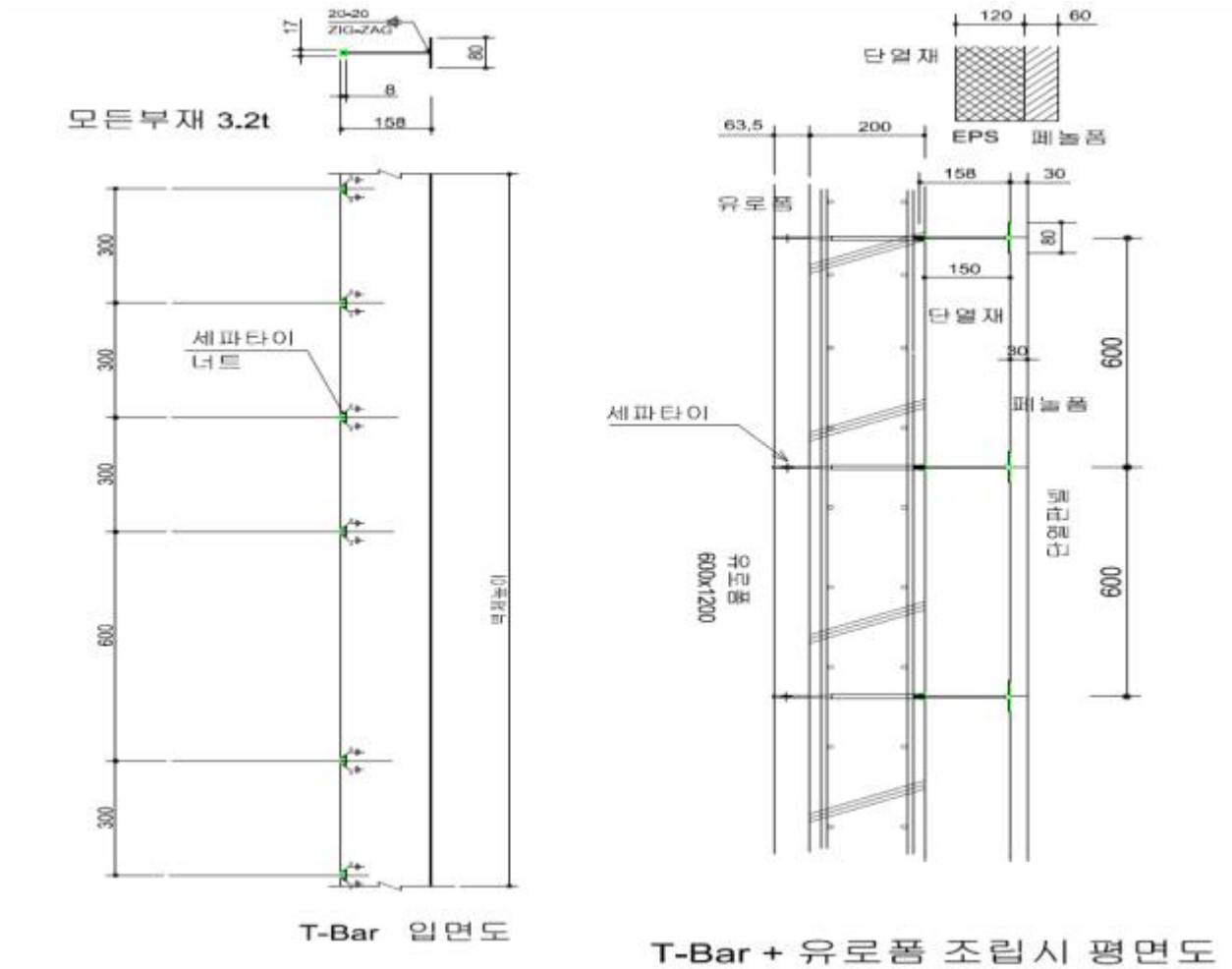
T-Bar에 작용하는 콘크리트 측압

$$W = 32.15 \times 0.60 = 19.29 \text{ kN/m}$$

시멘트 타입 및 첨가물	Cc
지연제를 사용하지 않은 KS L 5201의 1,2,3종 시멘트	1.0
지연제를 사용한 KS L 5201의 1,2,3종 시멘트	1.2
다른 타입의 시멘트 또는 지연제 없이 40%이하의 플라이 애쉬 또는 70%이하의 슬래그가 혼입된 시멘트	1.2
다른 타입의 시멘트 또는 지연제를 사용한 40%이하의 플라이 애쉬 또는 70%이하의 슬래그가 혼입된 시멘트	1.4
40%이상의 플라이 애쉬 또는 70%이상의 슬래그가 혼입된 시멘트	1.4

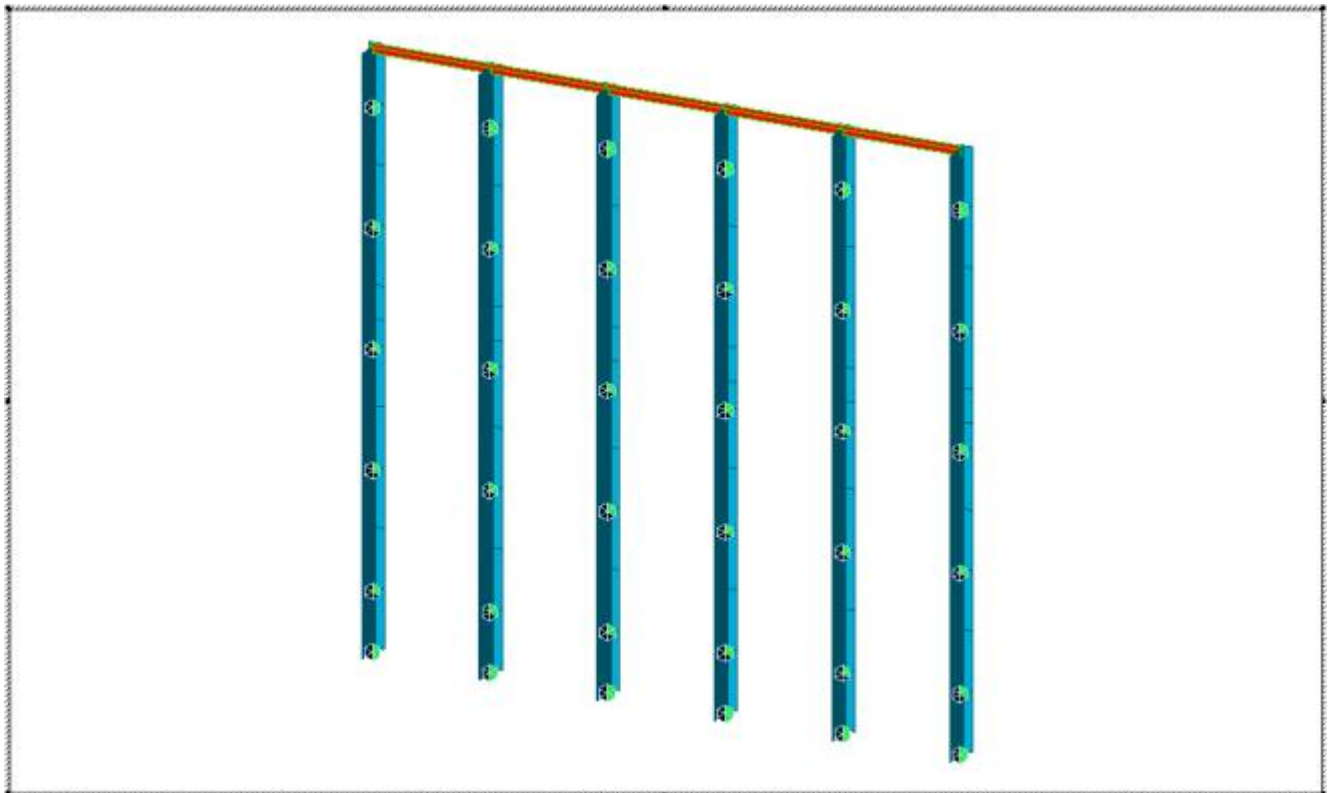
비고 : 지연제란 콘크리트의 경화를 지연시키는 모든 첨가물로서, 감수제(유동화제)를 포함함.

4. 검토도면(T-Bar)

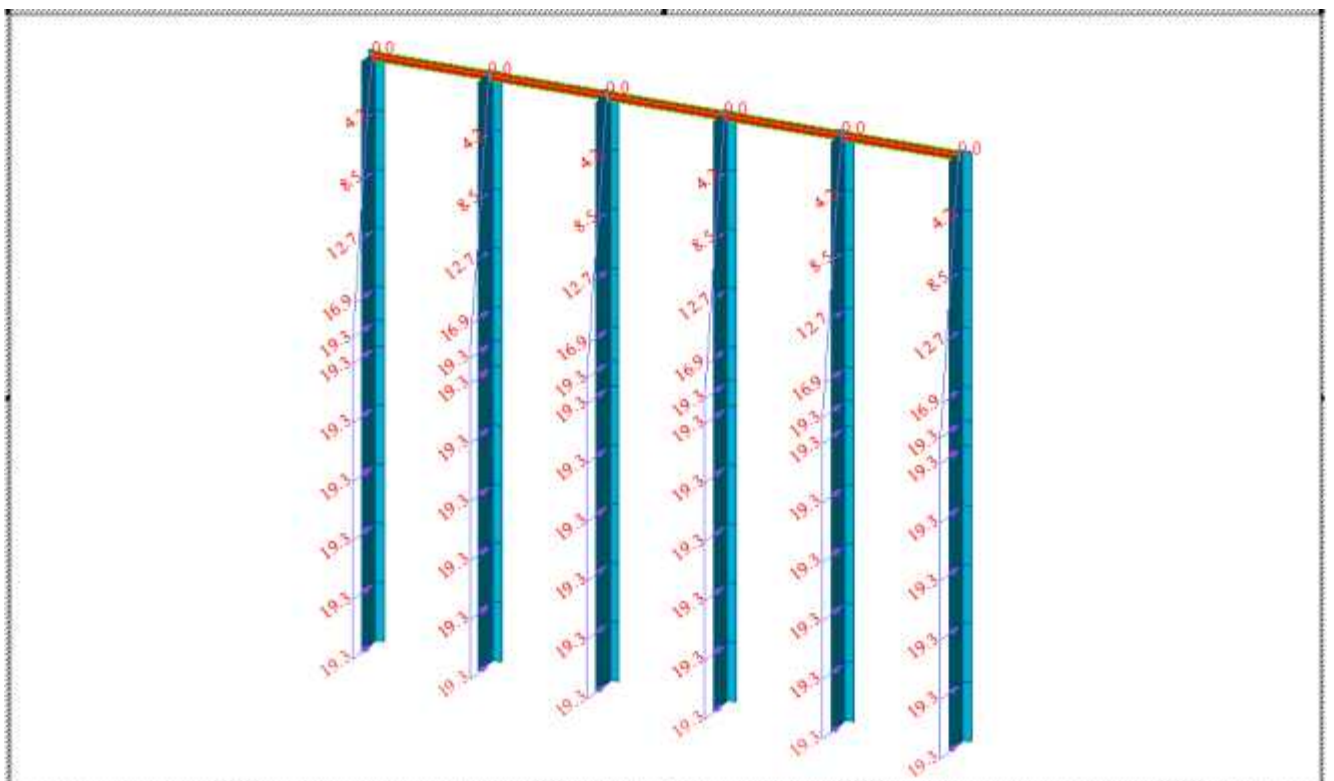


5. 구조검토

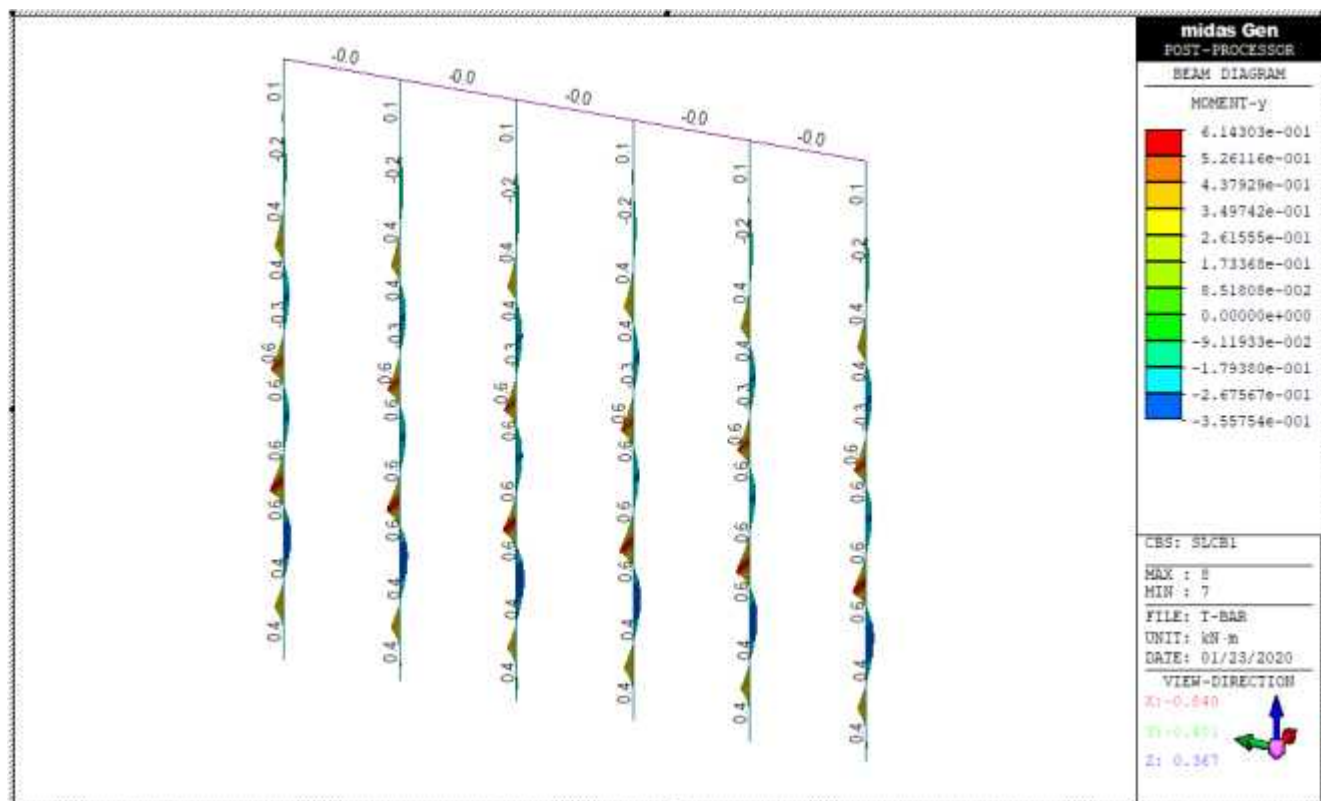
1) T-Bar



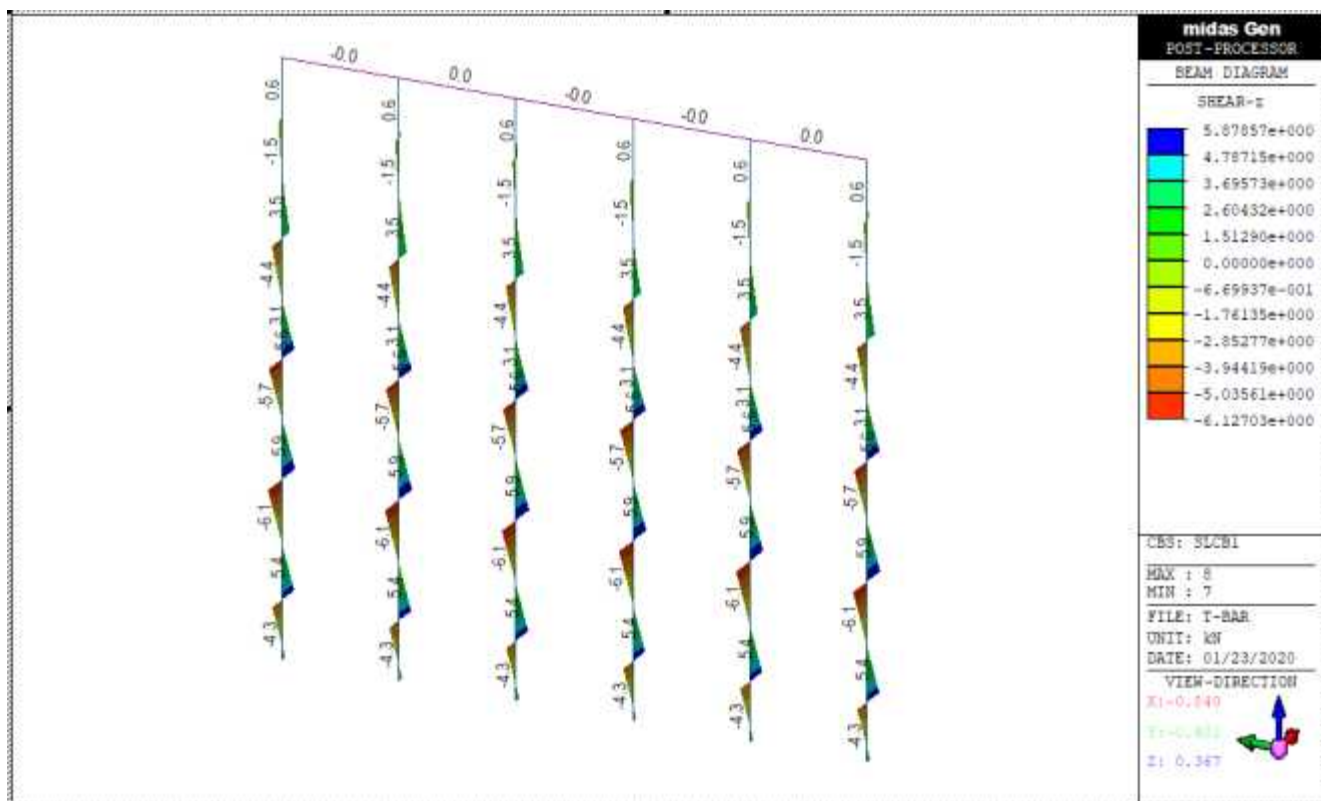
<모델링도>



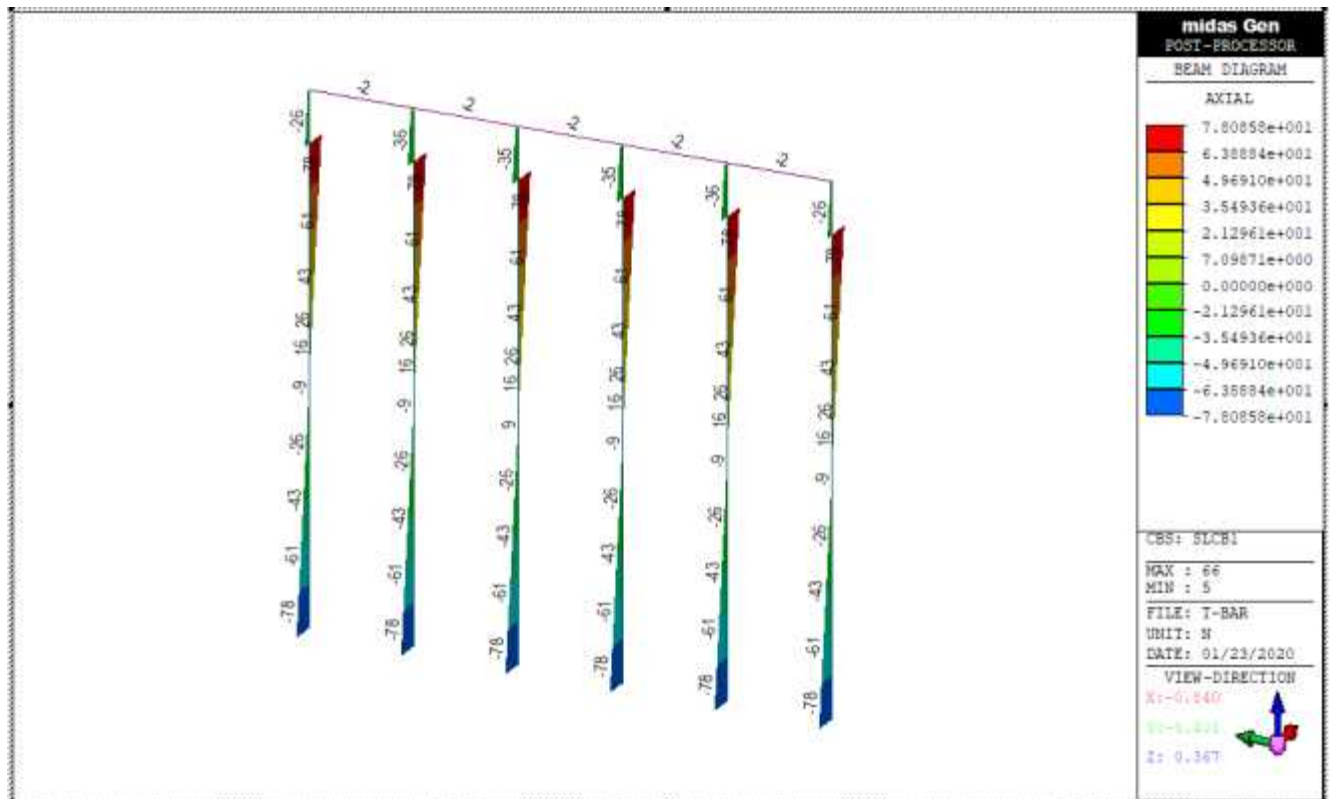
<하중도>



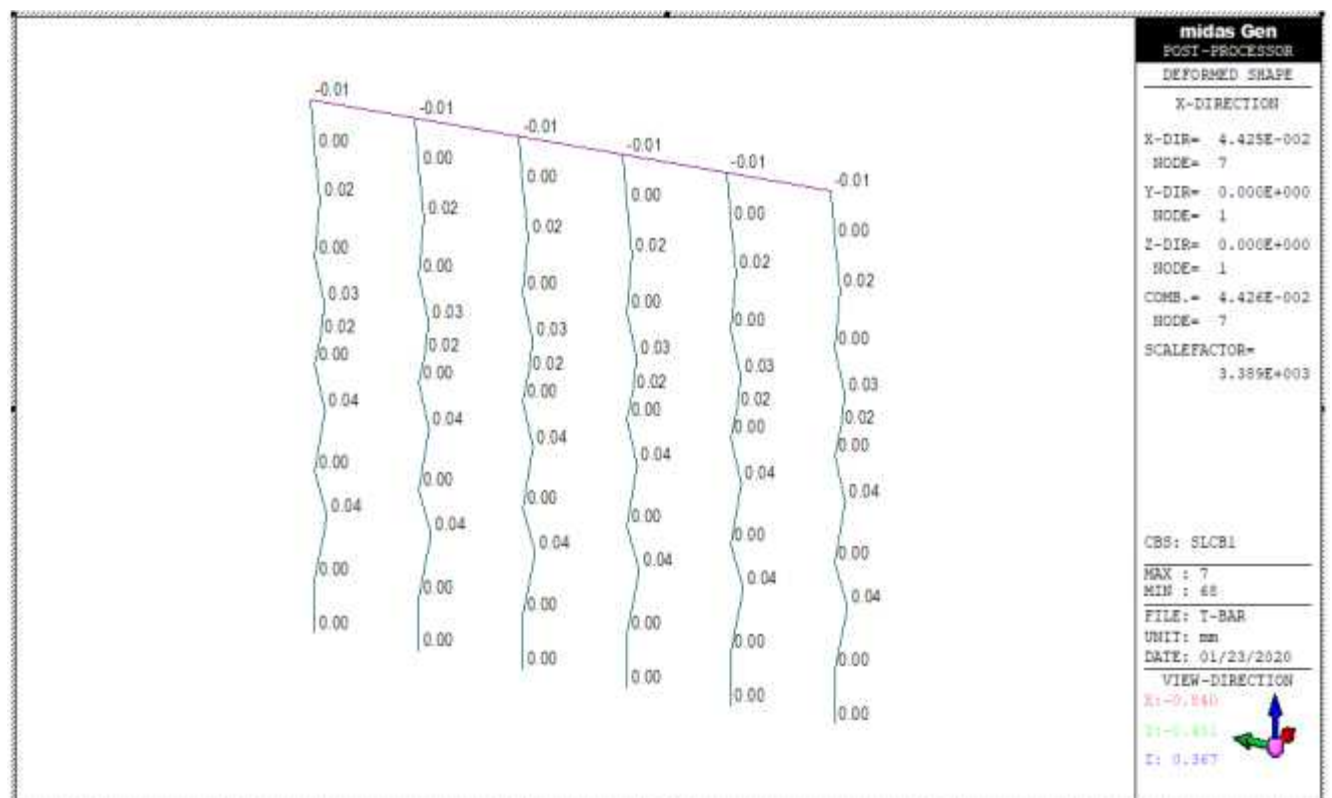
<모멘트도>



<전단력도>



<축력도>



<변형도>

- T-Bar 부재검토

midas Gen

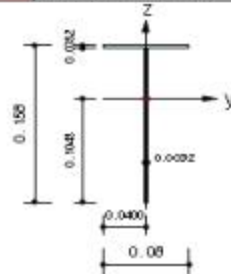
Steel Checking Result

Certified by :

Company		Project Title	
Author	송성용	File Name	C:\...T-Bar.mgb

1. Design Information

Design Code : KSSC-ASD03
 Unit System : N, m
 Member No : 51
 Material : SS400 (No:1)
 (Fy = 235359600, Es = 205939650000)
 Section Name : T-Bar (No:1)
 (Built-up Section)
 Member Length : 0.30000



2. Member Forces

Axial Force Fxx = -48.381 (LCB: 1, POS:J)
 Bending Moments My = -355.75, Mz = 0.00000
 End Moments Myi = 410.288, Myj = -355.75 (for Lb)
 Myi = 410.288, Myj = -355.75 (for Ly)
 Mzi = 0.00000, Mzj = 0.00000 (for Lz)
 Shear Forces Fyy = 0.00000 (LCB: 1, POS:1/2)
 Fzz = 5446.97 (LCB: 1, POS:1)

Depth	0.15800	Web Thick	0.00320
Top F Width	0.08000	Top F Thick	0.00320
Area	0.00075	Asz	0.00051
Oyb	0.00544	Ozb	0.00080
Iyy	0.00000	Izz	0.00000
Ybar	0.04000	Zbar	0.10432
Syy	0.00002	Szz	0.00000
ry	0.05214	rz	0.01350

3. Design Parameters

Unbraced Lengths Ly = 0.30000, Lz = 0.30000, Lb = 0.30000
 Effective Length Factors Ky = 1.00, Kz = 1.00
 Moment Factor / Bending Coefficient Cmy = 0.85, Cmz = 0.85, Cb = 1.00

4. Checking Results

Slenderness Ratio
 $KL/r = 22.2 < 200.0$ (Mem:51, LCB: 1)..... 0.K
 Axial Stress
 $f_a/F_a = 57737/23810738 = 0.002 < 1.000$ 0.K
 Bending Stresses
 $f_{by}/F_{by} = 18167220/33937992 = 0.535 < 1.000$ 0.K
 $f_{bz}/F_{bz} = 0/141215760 = 0.000 < 1.000$ 0.K
 Combined Stress (Compression+Bending)
 $R_{max} = f_a/F_a + f_{by}/F_{by} + f_{bz}/F_{bz} = 0.538 < 1.000$ 0.K
 Shear Stresses
 $f_{vy}/F_{vy} = 0.000 < 1.000$ 0.K
 $f_{vz}/F_{vz} = 0.114 < 1.000$ 0.K

2) 단열재

① 각 재료의 물성치

(단위 : MPa)

구분	탄성계수	인장강도	압축강도	비고
EPS	3665.7	5.79	3.50	
페놀폼	864.8	3.00	8.00	
유리섬유(MM)	1366.0	30.8	-	

② 외단형 패널의 중립축 계산

$$3,665.7 \text{ Mpa}$$

$$E_P = 864.8 \text{ Mpa}$$

$$E_G = 1,366 \text{ Mpa}$$

$$\int_E y dA + \int_P y dA + \int_G y dA = 0$$

$$\begin{aligned} \int_E y dA &= (100 \times h_1) \frac{-h_1}{2} + 100 \times (120 - h_1) \times \left(\frac{120 - h_1}{2} \right) \\ &= 720000 - 12000h_1 \end{aligned}$$

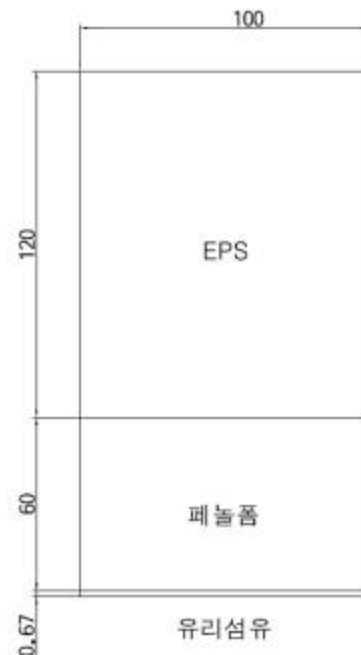
$$\begin{aligned} \int_P y dA &= (100 \times 60)(150 - h_1) \\ &= 900000 - 6000h_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \int_G y dA &= 100 \times 0.67 \times (180 - h_1) \\ &= 12060 - 67h_1 \end{aligned}$$

$$E_E \int_E y dA + E_P \int_P y dA + E_G \int_G y dA = 0$$

$$3,665.7(720000 - 12000h_1) + 864.8(900000 - 6000h_1) + 1,366(12060 - 67h_1) = 0$$

$$2,639,304,000 - 43,988,400h_1 + 778,320,000 - 5,188,800h_1 + 16,473,960 - 91,522h_1 = 0$$



$$,434,097,960 = 49,268,722h$$

$$h_1 = 69.7mm \quad , \quad h_2 = 110.3mm$$

$$\Rightarrow 70mm \quad , \quad \Rightarrow 110mm$$

③ 변형을 적합조건에 의한 각 재료의 응력계산

$$= \sigma X y dA = \int \sigma E y dA + \int_P \sigma P y dA + \int_G \sigma G y dA$$

$$= -KE_E \int_E y^2 dA - KE_P \int_P y^2 dA - KE_G \int_G y^2 dA$$

$$= -K(E_E I_E + E_P I_P + E_G I_G)$$

$$K = \frac{1}{\rho} = \frac{-M}{E_E I_E + E_P I_P + E_G I_G} \quad , \quad \sigma = -Eky$$

- 다층형 외단열 패널(E-MM)의 구조검토를 통한 모멘트

$$= 32.15 \times 0.1 = 3.215 k \cdot m$$

$$M = \frac{wL}{8} = \frac{3.215 \times 0.6^2}{8} = 145000 N \cdot mm$$

- EPS블럭 작용응력

$$I_E = \frac{100 \times 120^3}{12} + (100 \times 120)(60 - 70)^2 = 15,600,000 mm^4$$

$$I_P = \frac{100 \times 60^3}{12} + (100 \times 60)(150 - 70)^2 = 40,200,000 mm^4$$

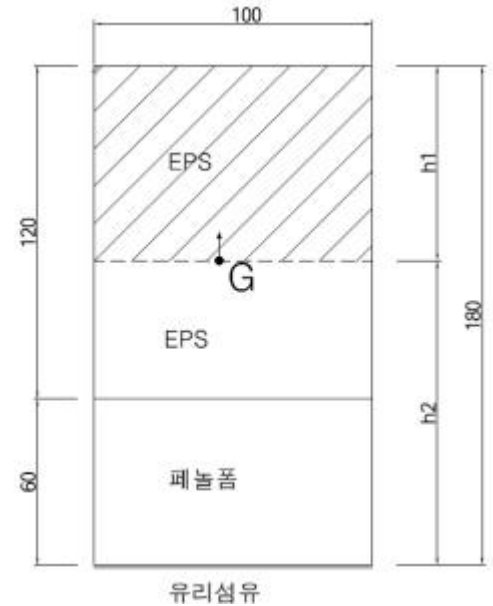
$$I_G = \frac{100 \times 0.67^3}{12} + (100 \times 0.67)110^2 = 810,702 mm^4$$

$$\sigma_E = \frac{My E_E}{E_E I_E + E_P I_P + E_G I_G} \quad , \quad K = \frac{\sigma}{E y}$$

$$= \frac{145000 \times 70 \times 3,665.7}{(3,665.7 \times 1560 + 864.8 \times 4020 + 1,366 \times 81.07)10^4}$$

$$= 0.40 Mpa \quad (\text{측})$$

- 페놀폼 작용응력



$$\begin{aligned}
&= \frac{M_y E_P}{E_E I_E + E_P I_P + E_G I_G} = \frac{145000 \times 100 \times 864.8}{9305729.6 \times 10} \\
&= \frac{1,519,669,800}{3,522,499,200} \\
&= 0.15 \text{ } Mpa \text{ (장)}
\end{aligned}$$

- 유리섬유 작용응력

$$\begin{aligned}
\sigma_G &= \frac{M_y E_G}{E_E I_E + E_P I_P + E_G I_G} = \frac{145000 \times 111 \times 1,366}{9305729.6 \times 10^4} \\
&= \frac{2,413,496,610}{3,522,499,200} \\
&= 0.236 \text{ } Mpa \text{ (인 장)}
\end{aligned}$$

- EPS단열재와 페놀폼간의 접착제에 작용하는 전단응력

$$V = \frac{w L}{2} = \frac{3.215 \times 0.6}{2} = 0.965 \text{ } kN$$

$$Q = A \times y = (100 \times 60) 80 = 480000 \text{ } mm^3$$

$$\tau = \frac{VQ}{Ib} = \frac{965 \times 480000}{48600000 \times 100} = 0.095 \text{ } MPa$$

접착제에 작용하는 전단응력이 접착제의 부착강도보다 작으므로
부착파괴는 발생하지 않음.

하. 현장 적용 시험

(1) 개요

개발 단열 패널을 사용하여 콘크리트 거푸집을 사용하고자 하기 위하여 현장 적용 시험을 수행하였음. 참여기업인 토토종합건설이 주관 시공사로 현장 섭외, 거푸집의 설치, 콘크리트타설 업무를 수행하였음. 개발 단열 패널을 사용한 콘크리트 벽체의 구성은 외단열 공법을 목적으로 제작하였으며, 거푸집의 구성 및 철근 배근은 아래 표 52와 같음.

거푸집의 구성은 화재지연형 모르타르, 페놀폼, EPS로 구성된 단열 패널을 외측부에 설치하였으며, 벽체의 내측부는 600mm×900mm의 유로폼으로 구성하였음. 단열 패널을 설치하기 위한 지지대는 T바를 사용하였으며 그림 과 같이 배치하였음. 폼타이 T바에 볼트를 체결하는 형식의 세파타이를 적용함으로 T바와 세파타이의 연결부를 구성함으로 T바에 고정시켰음.

벽체 내의 철근은 복배근으로 하였으며, 철근 D13의 가로 세로 배근 간격은 300mm×300mm으로 콘크리트 타설 용적은 3000mm(높이) × 2400mm(너비) × 200mm(두께)으로 구성되어 있음.

표 52. 거푸집의 구성 및 철근 배근

거푸집 판재	외측부	단열 거푸집 : 화재지연형 모르타르 + 페놀폼 60mm + EPS 90mm
	내측부	유로폼 600mm×900mm
지지대의 구성		T바 3.5T
		L형강 3.5T
핀체결 방식		볼트식 타이
배근 방식		복배근 이형철근 D13 (@300×@300)
콘크리트 타설 벽체		3000mm(높이) × 2400mm(너비) × 200mm(두께)

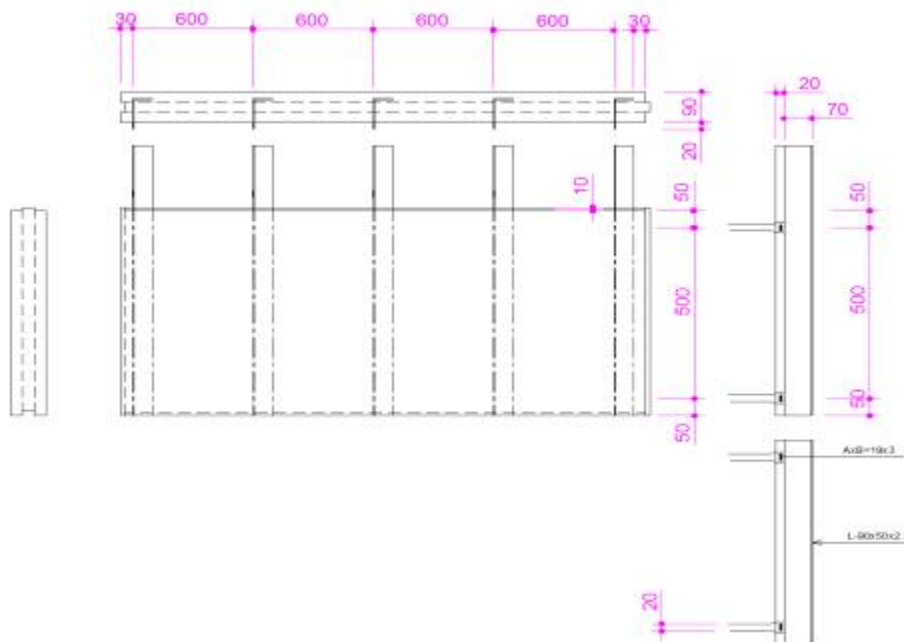
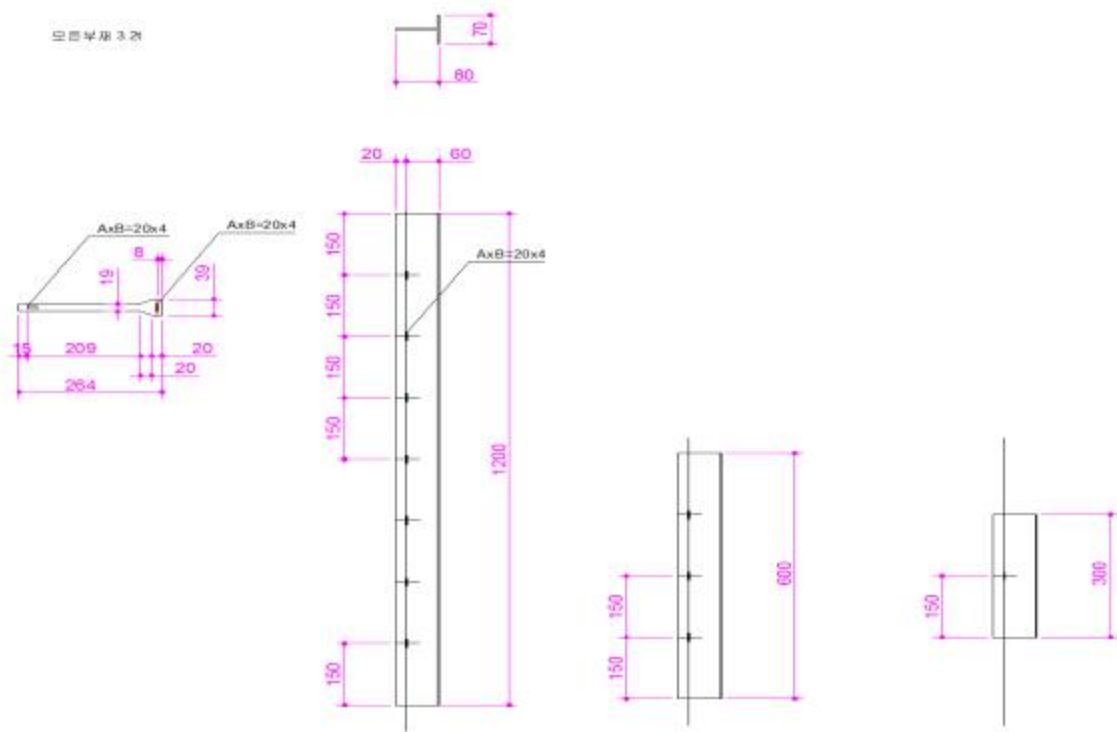


그림 141. 전체 구성 도면



모든부채 3건



– 146 –



단열 패널 제작



단열 패널 제작 완료



바닥면 청소



철근 하부 화학 고정



철근 배근(a)



철근 배근(b)



T바 설치



하부 지지대 설치



세파타이 체결



단열 패널 설치



유로폼 설치



유로폼 지지대 설치



변위 측정 장비 설치



콘크리트 타설



타설 후 측면 상태

그림 143. 거푸집 설치 및 콘크리트 타설 전경

(2) 실험 결과



우측부 두께



좌측부 벽체 두께

그림 144. 벽체의 두께 측정

표 53. 벽체 수평 방향 변위

	우측부 벽체 두께	좌측부 벽체 두께	변위차	비고
벽체 상단	203mm	210mm	7mm	수평방향 $\pm 20\text{mm}$ 이내
벽체 중앙부	205mm	211mm	7mm	
벽체 하단	201mm	210mm	9mm	

표 54. 벽체 연직성

	측정 전	측정 후	비고
벽체 중앙부 변위량	0mm	5mm	벽체 단면치수 오차 연직성 10mm이내
벽체 하부 변위량	0mm	3mm	

벽체 타설 후 벽체의 수평 방향 변위는 우측부와 좌측부의 상단부, 중앙부, 하단부를 기준으로 측정하였음. 최소 두께는 201mm ~ 최대 두께는 211mm로 나타나 최대 변위차는 10mm로 나타났음. 벽체의 연직성의 오차는 측정 전 후의 최대 변위량은 5mm로 나타났으며, 하부와 중앙부의 변위차는 2mm로 나타나 벽체의 변위량은 안정적인 것으로 측정되었음.

하. 경제성 평가 및 가치 평가

(1) 에너지절감형 외단열공법 경제성 분석

가) 소재별 원재료비 분석

① 화재지연형 바탕조정재

화재지연형 바탕조정재의 제품 원가

	비율(%)	원/kg	가격
아크릴에멀전	17	1,800	306
팽창흑연	3	3,000	90
규사 7호사	34	65	22.1
메칠셀룰로오즈	2	7,800	156
탄산칼슘	5	15	0.75
플라이애시	15	90	13.5
실리카흙	3	700	21
물	21	0	0
합계	100		609.35
생산원재료비 : 20(kg, 포장단위) × 609.35 + 3000(페일통) = 15,187원(페일) 생산공임비 : 1,000원/페일 제품원가 : 16,178원 유통 가격 : 42,000원/페일			

화재지연형 바탕조정재를 시멘트와 0.5:1로 혼합하여 시공하는 경우, m²당 사용량은 4kg이 소요되므로 각 재료 사용량은 화재지연형 바탕조정재와 시멘트의 소요 재료비는 800원 정도로 추산됨.

② 고탄성 마감재

고탄성 마감재는 생산원재료비는 kg당 806원으로 유통 가격은 60,000원으로 kg당 3,000원/kg인 것으로 나타남.

고탄성 마감재의 제품 원가

	비율(%)	원/kg	가격
EVA에멀전	20	1,500	300
하이드리드에멀전	2.2	2,600	57.2
TiO ₂	1	1,000	10
세노스피어	1	10,000	100
섬유	0.01	6,000	0.6
AMP	0.2	13,000	26
컬러규사 7호사	33.09	350	115.815
컬러규사 6호사	33.9	350	118.65
메칠셀룰로오즈	1	7,800	78
물	7.6	0	0
합계	100		806.265
생산원재료비 : 20(kg, 포장단위) × 806.26 + 3000(페일통) = 19,125원(페일) 생산공임비 : 1,000원/페일 제품원가 : 20,125원 유통가격 = 60,000원/페일			

나) 직접비 산출표

- 유로폼 일위대가표

품명	규격	단위	수량	합계		직접재료비		직접노무비		산출경비	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
유로폼	600×900mm	매	0.072	25,700	2287.3	25,700	2287.3				
내부패널	(200+200) ×1,200mm	매	0.003	17,500	52.5	17,500	52.5				
웨이지판		EA	1.9	72	136.8	72	136.8				
플랫타이	L=200mm	EA	2	140	280.0	140	280.0				
강관파이프	∅48.6	m	0.077	2,833	218.1	2,833	218.1				
후크, 클램프		EA	0.283	1,500	424.5	1,500	424.5				
소모재료 및 잡재료	주재료비의	%	5	2,340	116.9	2,340	116.9				
형틀목공		인	0.09	189,303	17,039.2			189,303	17,037.2		
보통인부		인	0.02	109,819	2,196.3			109,819	2,196.3		
공구손료	인력품의	%	3	19,234	577.0					19,234	577.0
계					23,326.0		3516.0		19,233		577.0

- 외부 외단열 공법 일위대가표

품명	규격	단위	수량	합계		재료비		노무비		경비	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
페놀폼 준불연 공법 THK=180mm, M ²											
페놀폼		M2	1.1	57,600	63,360	57,600	63,360				
준불연몰탈		KG	4.0	800	3,200	800	3,200				
마감재		KG	2.0	3,000	6,000	3,000	6,000				
화스너	8*180mm (캡)	개	1.5	300	450	300	450				
표준보강메쉬	유리섬유, 포 1m	M2	1.44	1,875	2,700	1,875	2,700				
노무비	내장공	인	0.075	192,305	14,422			192,305	14,422		
노무비	미장공	인	0.052	214,502	11,154			214,502	11,154		
노무비	보통인부	인	0.039	130,264	5,080			130,264	5,080		
공구손료	인력품의 1%	식	1.000	30,656	306					30,656	306
[합 계]					106,672		75,710		30,656		306

(2) 기술개발제품의 일위대가표

- 단열 패널을 사용한 거푸집 시공

품명	규격	단위	수량	합계		직접재료비		직접노무비		산출경비	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
유로폼	600×900mm	매	0.27	25,700	6939	25,700	6939				
내부패널	(200+200)×1,200mm	매	0.27	17,500	4725	17,500	4725				
웨이지핀		EA	1.9	72	136.8	72	136.8				
단열패널	600×900mm	매	1.1	40,000	44,000	40,000	44,000				
T바	3.7T	m	1.2	4,000	4,800	4,000	4,800				
세파타이	L=200mm	EA	2	140	280	140	280				
강관파이프	∅48.6	m	0.0385	2,833	218.1	2,833	218.1				
후크, 클램프		EA	0.1415	1,500	424.5	1,500	424.5				
소모재료 및 잡재료	주재료비의	%	5	2,340	116.9	2,340	116.9				
형틀목공		인	0.09	189,303	17,039.20			189,303	17,037.20		
보통인부		인	0.02	109,819	2,196.30			109,819	2,196.30		
공구손료	인력품의	%	3	19,234	577					19,234	577
계					81,452.8		61,640.3		19,233.5		577

- 본 개발 공법의 외단열 시공

품명	규격	단위	수량	합계		재료비		노무비		경비	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
마감재		KG	2	3,000	6,000	3,000	6,000				
노무비	미장공	인	0.026	214,502	5,577			214,502	5,577		
노무비	보통인부	인	0.0195	130,264	2,540			130,264	2,540		
공구손료	인력품의 1%	식	1	3,448	306					3,448	306
[합 계]					14,423		6,000		8,117		306

표 공법에 따른 공사비 비교

	거푸집공정	외단열 공정	합계
기존 공법	23,326 원	106,672 원	129,998 원
개발 공법	81,452.8 원	14,423 원	95,875.8 원
증감액	58,126.8 원	-92,249.0 원	-34,122.2 원
증감비	+249.19%	-86.47%	-26.24%

본 개발 공법의 일위대가 분석을 통해 본 공사비 비교는 거푸집 공정에서는 단열 패널과 T바등의 가설재의 사용으로 인해 공사비가 증가되었으나 외단열 공정에서 단열재 부착 공정 및 바탕조정재 공정이 제거됨으로 인해 전체 공사비는 129,998원에서 95,875.8원으로 -26.24%가량이 절감되었음.

(3) 에너지 절감형 외단열 공법의 가치 분석

본 기술 개발 공법의 외단열 공법으로서의 LCC분석을 통해 생애 주기 비용을 산출하고 이를 비교하여 경제성을 검토하고자 하였음.

1. LCC분석기준 : 생애주기비용 분석 및 평가요령

구 분	주 요 내 용	본건 적용
LCC 구성항목 및 분석대상	1) LCC란 초기투자비용(공사비, 설계비, 감리비, 보상비 등), 유지관리비용(점검 및 진단비, 관리비, 에너지비용, 보수비, 교체비, 보강비 등), 이용자비용, 사회·경제적 손실비용, 해체·폐기비용, 잔존가치 등 시설물의 생애주기동안 발생하는 모든 비용을 말한다. 2) “LCC 분석”은 초기투자비와 유지관리비 등 시설물의 내용연수 동안 발생하는 생애주기비용의 일부 또는 전부를 산출하는 것을 말한다. ※설계대안의 경제성에 대한 상대비교가 목적일 경우 대안에 관계없이 공통되는 비용은 분석대상에서 제외하여도 무방	본건은 공법의 특성상 초기투자비용만을 고려한 LCC (건설사업비용) 검토 수행
LCC 분석기간	1) 시설물의 공용수명과 공사의 특성을 고려하여 당해공사의 LCC 분석기간을 결정하여 제시하여야 한다. 2) “공용수명”은 시설물의 노후화로 인하여 시설물을 구성하는 재료나 부재 등이 필요한 성능을 유지할 수 없게 되거나, 안전에 문제가 발생하거나, 기대되는 서비스를 더 이상 제공할 수 없게 되는 수명을 말한다.	본건은 구조물 외단열 시공에 관련한 내용을 주로 하므로 별도의 분석기간 제시 없음
LCC 분석방법	1) LCC 분석방법에는 확정적 분석방법과 확률적 분석방법 등으로 구분할 수 있다. 2) 제안자는 기본적으로 확정적 분석방법에 의한 LCC 분석결과를 제시하여야 한다. 3) 제안자는 확정적 분석방법에 의한 LCC 분석결과와 함께 LCC 분석기초자료의 값을 변화시키면서 결과의 차이를 분석하는 민감도 분석 결과를 제시할 수 있다. 4) 제안자는 필요시 확률적 분석방법 등에 의한 LCC 분석결과를 추가로 제시할 수 있다. 이 때, 확률적 분석방법에 적용된 LCC 분석 기초자료 각각의 분포형태, 기댓값, 변동성 등 확률적 특성과 확률적 LCC 분석결과 제시된 LCC의 확률밀도함수와 누적분포함수 등을 제시하여야 한다.	확정적 분석 및 확률적 비용분석 수행을 통한 신뢰성 분석 (시장상황에 따른 재료비의 변동을 가정 [표준편차 10% 적용])
LCC 비용집계	1) 시간의 흐름에 따른 비용의 가치변화를 고려하여 LCC 분석을 실시하여야 하며, 발생지점이 다른비용을 모두 현재사치로 환산하여 집계한 결과를 제시하여야 한다.	원가계산서 적용 (공사비 절감)
할인율	1) “할인율”은 시간의 흐름에 따른 비용의 가치변화를 나타내는 비율을 말한다. 2)LCC 분석시 적용할 할인율은 실질할인율을 적용하는 것을 원칙으로 한다.	유지관리비 미발생으로 해당사항 없음
LCC 분석 기초자료	1)LCC 분석검토자료 제출(유지관리 항목별 주기, 보수·수선비용, 각종비용 산출의 기초자료 등)를 제출하여야 한다.	원가계산서로 대체

- 시행규칙 [별표 2] : 철골, 콘크리트조 내구연한 40년적용
- 현재 시공에 적용되고 있는 외단열재(페놀폼 외단열공법) 90%이상 성능유지 가능(보증)기간 25년
→ 건축물과 제품의 생애주기 특성상 사용자의 요구사항이 없는 한 교체나 유지관리는 필요 없을 것으로 봄

2. 기능평가항목 선정 및 가중치

구 분		주 요 내 용	본건 적용
A	시공성	·공정이 단순하고, 효율적 공사관리 및 공기단축 여부	정성적
		·작업자의 경험여부와 상관없이 시공이 용이한가	
		·취급, 운반, 설치 및 마감처리가 용이한가	
		·외부단열재의 건식 및 습식시공 가능여부	
B	안전성	·화재지연 가능성 및 화재전달 차단성(열원공급 억제성)	정성적
		·화재시 시안가스 발생여부	
		·화재 위험성 저감을 통한 생활 안전성 증대	
		·내수성, 내충격성 확보 여부 및 구조체 손상 방지여부	
C	유지관리성	·열관류율 성능 보증기간이 구조물의 생애주기를 반영하는지 여부	정성적
		·내구성 확보 및 유지보수의 용이성	
D	이용자 편의성	·실내 유효면적(생활공간) 추가확보	정성적
		·생활환경 쾌적성 확보	
		·대형건물의 경우	
		·표면결로, 내부결로 및 곰팡이 발생 억제	
E	친환경성	·건축물의 내구연한 동안 대수선 최소화로 폐기물 발생 최소화	정성적
		·냉·난방 에너지 절감이 가능한가	
		·적용자재의 친환경성	
F	현장 적용성	·리모델링 또는 인테리어 등 시장수요에 대응이 가능한 기술인가	정성적
		·관공서, 민간주택 등 주거시설에 보편적 적용이 가능한가	
		·구조물 공사에서 거푸집으로의 활용성(요구 강성, 모멘트) 여부	

품질 모델 & 가중치	평가항목	A	B	C	D	E	F	가중치	확정치
	A. 시공성	1.00	0.67	1.23	0.80	1.33	1.07	⇒ 0.106	⇒ 16
	B. 안전성		1.00	1.85	1.20	2.00	1.18	⇒ 0.229	⇒ 23
	C. 유지관리성			1.00	0.65	1.08	0.87	⇒ 0.130	⇒ 13
	D. 이용자편의성				1.00	1.67	1.33	⇒ 0.201	⇒ 20
	E. 유지관리성					1.00	0.80	⇒ 0.120	⇒ 12
	F. 현장적용성						1.00	⇒ 0.159	⇒ 16

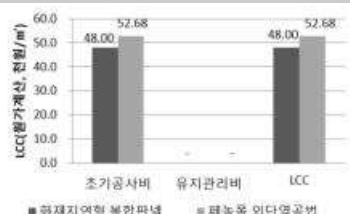
안전성 23%, 이용자편의성 20%, 현장적용성 16%, 시공성 16%, 유지관리성 13%, 친환경성 12%

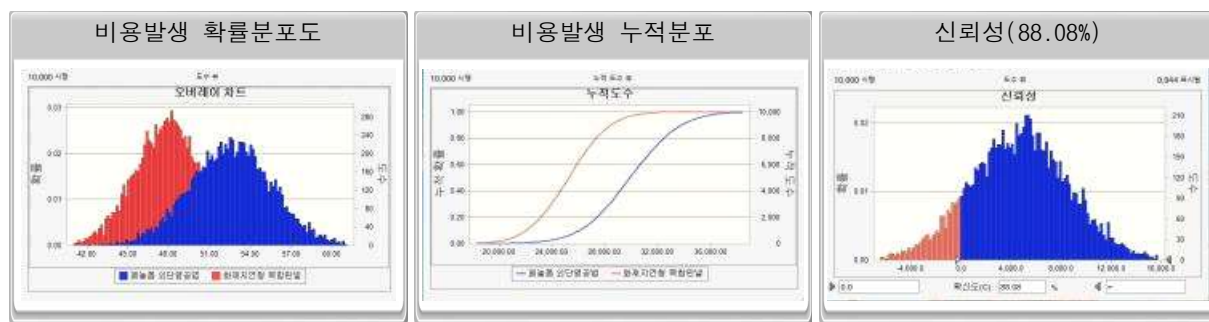
3. 생애주기비용(LCC)분석

1) 외단열공법(THK=50mm)

(가) 비용 분석

(단위 : 천원/㎡)

구 분	화재지연형 복합판넬	페놀폼 외단열공법	생애주기비용(LCC) 분석
초 기 투 자 비	48.0	52.7	
유 지 관 리 비	-	-	
L C C	48.0	52.7	
LCC 상대비(C)	1.00	1.10	

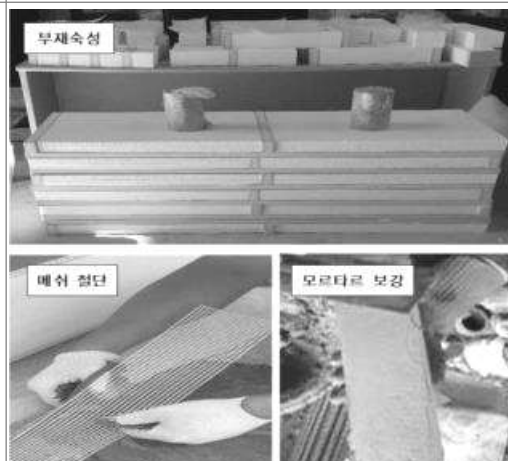


※ 초기공사비의 경우 고정비용으로 분류되나, 물가변동에 의한 공사비 변화가능성을 고려 표준편차 10%를 가정하여 재료비에 적용, 몬테칼로 시뮬레이션을 통해 확률분포도와 신뢰성 분석 수행.(Crystal Ball ver.11.1)

(나) 최적안선정(가중비교메트릭스)

구 분	가중치 (①)	화재지연형 복합판넬		페놀폼 외단열공법	
		등급(②)	점수(①×②)	등급(②)	점수(①×②)
시 공 성	1.60	10	16.0	9	14.4
안 전 성	2.29	9	20.6	8	18.3
유 지 관 리 성	1.30	9	11.7	8	10.4
이 용 자 편 의 성	2.01	9	18.1	9	18.1
유 지 관 리 성	1.20	9	10.8	9	10.8
현 장 적 용 성	1.59	10	15.9	8	12.7
기 능 분 석 (D i a g r a m)					
기 능 점 서 (F)		93.1		84.7	
L C C 상 대 비 (C)		1.00		1.10	
가 치 점 수 (V = F / C)		93.1		77.2	
선 정 안		◎			

(다) 건설사업비용 절감·가치향상제안서

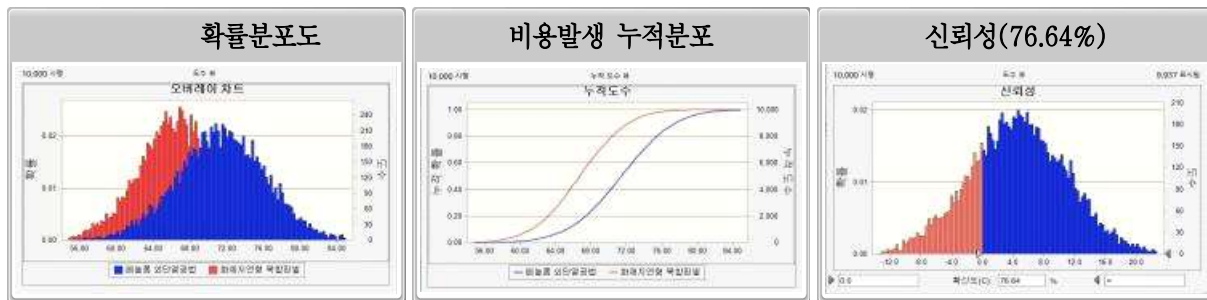
제안명		외단열공법							
제안내용		개선전				개선후			
		페놀폼 외단열공법				화재지연형 복합판넬			
									
경제성평가결과		생애주기비용(LCC) 절감효과				가치향상효과			
		①	②	③	④	절감율 (④/③) × 100%	⑤	⑥	가치향상도 {(V2-V1)/V1} × 100%
		초기투자비 용 (천원/㎡)	유지관리비 (천원/㎡)	계(LCC) (①+②) (천원/㎡)	절감액 (=L1-L2) (천원/㎡)		기능점수 [F]	가치점수 [V]	
	비교안	52.68	-	52.68	-	-	84.7	77.2	-
	선정안	48.00	-	48.00	4.68	8.88%	93.1	93.1	20.6%
제안특징		장점		단점		시공시 주의사항			
		· 습식 + 건식 혼합 방식으로 시공성 향상 · 후면의 EPS층으로 내수성 강화로 단열재 내구성 향상 · C자 화스너 사용으로 상하부 단열재를 적층 방식으로 시공이 가능하며 벽체 고정성능 향상 및 하부 화염 차단 · 페놀폼 사용량 감소로 공사비 절감 · 열반사성 소재로 하절기 표면온도 상승 억제		· 단열재 두께 약 50%상승		-			
효과 (기술성)		· 시공성, 내구성, 고정성능, 화염 차단 및 외기온도로 부터의 단열성능 등이 우수하고, 경제적 특성이 우수한 화재지연형 복합판넬이(V= 93.1)이 페놀폼 외단열공법(V=77.2) 대비 성능 9.9%향상, 비용 8.9%절감, 가치 20.6% 향상(가치혁신형 제안)							

2) 외단열공법(THK=100mm)

(가) 비용 분석

(단위 : 천원/㎡)

구 분	화재지연형 복합판넬	페놀폼 외단열공법	생애주기비용(LCC) 분석
초 기 투 자 비	66.75	71.43	
유 지 관 리 비	-	-	
L C C	66.75	71.43	
LCC 상대비(C)	1.00	1.07	

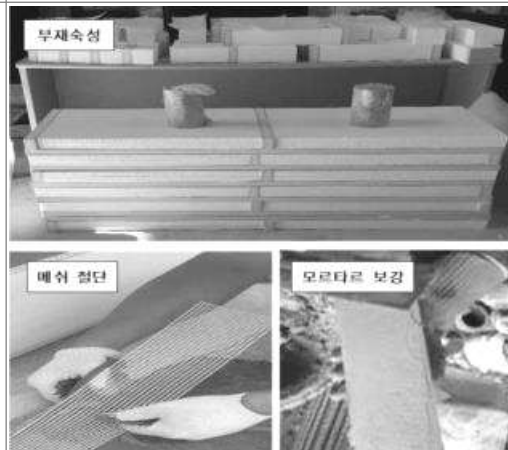


※ 초기공사비의 경우 고정비용으로 분류되나, 물가변동에 의한 공사비 변화가능성을 고려 표준편차 10%를 가정하여 재료비에 적용, 몬테칼로 시뮬레이션을 통해 확률분포도와 신뢰성 분석 수행.(Crystal Ball ver.11.1)

(나) 최적안선정(가중비교메트릭스)

구 분	가중치 (①)	화재지연형 복합판넬		페놀폼 외단열공법	
		등급(②)	점수(①×②)	등급(②)	점수(①×②)
시 공 성	1.60	10	16.0	9	14.4
안 전 성	2.29	9	20.6	8	18.3
유 지 관 리 성	1.30	9	11.7	8	10.4
이 용 자 편 의 성	2.01	9	18.1	9	18.1
유 지 관 리 성	1.20	9	10.8	9	10.8
현 장 적 용 성	1.59	10	15.9	8	12.7
기 능 분 석 (D i a g r a m)					
기 능 점 서 (F)		93.1		84.7	
L C C 상 대 비 (C)		1.00		1.07	
가 치 점 수 (V = F / C)		93.1		79.2	
선 정 안		◎			

(다) 건설사업비용 절감·가치향상제안서

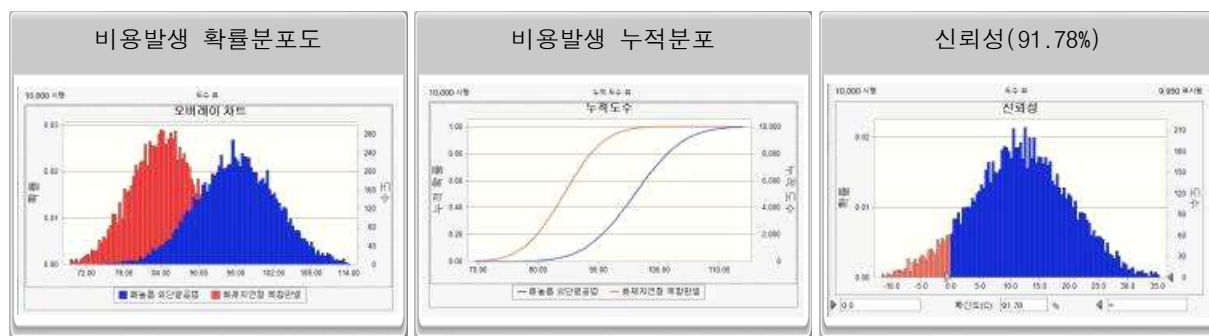
제안명		외단열공법								
제안내용		비교안				선정안				
		페놀폼 외단열공법				화재지연형 복합판넬				
										
경제성평가결과		생애주기비용(LCC) 절감효과				가치향상효과				
		①	②	③	④	절감율 (④/③) ×100%	⑤	⑥	가치향상도 {(V2-V1)/V1} ×100%	
		초기투자 비용 (천원/㎡)	유지 관리비 (천원/㎡)	계(LCC) (①+②) (천원/㎡)	절감액 (=L1-L2) (천원/㎡)		기능점수 [F]	가치점수 [V]		
	비교안	71.43	-	71.43	-	-	84.7	79.2	-	
		선정안	66.75	-	66.75	4.68	6.55%	93.1	93.1	17.6%
제안의 특징		장점			단점		시공시 주의사항			
		· 습식 + 건식 혼합 방식으로 시공성 향상 · 후면의 EPS층으로 내수성 강화로 단열재 내구성 향상 · C자 화스너 사용으로 상하부 단열재를 적층 방식으로 시공이 가능하며 벽체 고정성능 향상 및 하부 화염 차단 · 페놀폼 사용량 감소로 공사비 절감 · 열반사성 소재로 하절기 표면온도 상승 억제			· 단열재 두께 약 50%상승		-			
효과 (기술성)		· 시공성, 내구성, 고정성능, 화염 차단 및 외기온도로 부터의 단열성능 등이 우수하고, 경제적 특성이 우수한 화재지연형 복합판넬이(V= 93.1)이 페놀폼 외단열공법(V=79.2) 대비 성능 9.9%향상, 비용 6.6%절감, 가치 17.6% 향상(가치혁신형 제안)								

3) 외단열공법(THK=150mm)

(가) 비용 분석

(단위 : 천원/㎡)

구 분	화재지연형 복합판넬	페놀폼 외단열공법	생애주기비용(LCC) 분석
초 기 투 자 비	84.39	96.11	
유 지 관 리 비	-	-	
L C C	84.39	96.11	
LCC 상대비(C)	1.00	1.14	

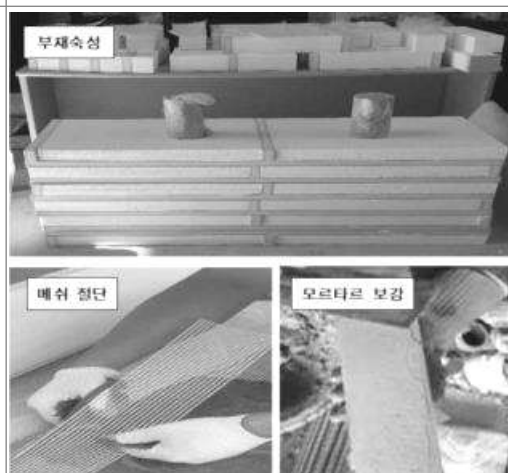


※ 초기공사비의 경우 고정비용으로 분류되나, 물가변동에 의한 공사비 변화가능성을 고려 표준편차 10%를 가정하여 재료비에 적용, 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 확률분포도와 신뢰성 분석 수행.(Crystal Ball ver.11.1)

(나) 최적안선정(가중비교메트릭스)

구 분	가중치 (①)	화재지연형 복합판넬		페놀폼 외단열공법	
		등급(②)	점수(①×②)	등급(②)	점수(①×②)
시 공 성	1.60	10	16.0	9	14.4
안 전 성	2.29	9	20.6	8	18.3
유 지 관 리 성	1.30	9	11.7	8	10.4
이 용 자 편 의 성	2.01	9	18.1	9	18.1
유 지 관 리 성	1.20	9	10.8	9	10.8
현 장 적 용 성	1.59	10	15.9	8	12.7
기 능 분 석 (D i a g r a m)					
기 능 점 서 (F)		93.1		84.7	
L C C 상 대 비 (C)		1.00		1.14	
가 치 점 수 (V = F / C)		93.1		74.4	
선 정 안		◎			

(다) 건설사업비용 절감·가치향상제안서

제안명		외단열공법							
제안내용		선정안				비교안			
		페놀폼 외단열공법				화재지연형 복합판넬			
									
경제성평가결과		생애주기비용(LCC) 절감효과				가치향상효과			
		①	②	③	④	절감율 (④/③) × 100%	⑤	⑥	가치향상도 {(V2-V1)/V1} × 100%
		초기투자비 용 (천원/㎡)	유지관리비 (천원/㎡)	계(LCC) (①+②) (천원/㎡)	절감액 (=L1-L2) (천원/㎡)		기능점수 [F]	가치점수 [V]	
	비교안	96.11	-	96.11	-	-	84.7	74.4	-
	선정안	84.39	-	84.39	11.72	12.19%	93.1	93.1	25.2%
제안의특징		장점		단점		시공시 주의사항			
		· 습식 + 건식 혼합 방식으로 시공성 향상 · 후면의 EPS층으로 내수성 강화로 단열재 내구성 향상 · C자 화스너 사용으로 상하부 단열재를 적층 방식으로 시공이 가능하며 벽체 고정성능 향상 및 하부 화염 차단 · 페놀폼 사용량 감소로 공사비 절감 · 열반사성 소재로 하절기 표면온도 상승 억제		· 단열재 두께 약 50%상승		-			
효과 (기술성)		· 시공성, 내구성, 고정성능, 화염 차단 및 외기온도로 부터의 단열성능 등이 우수하고, 경제적 특성이 우수한 화재지연형 복합판넬이(V= 93.1)이 페놀폼 외단열공법(V=74.4) 대비 성능 9.9%향상, 비용 12.2%절감, 가치 25.2% 향상(가치혁신형 제안)							

2) 외단열공법(THK=180mm)

(가) 비용 분석

(단위 : 천원/㎡)

구 분	화재지연형 복합판넬	페놀폼 외단열공법	생애주기비용(LCC) 분석
초 기 투 자 비	87.03	106.67	
유 지 관 리 비	-	-	
L C C	87.03	106.67	
LCC 상대비(C)	1.00	1.23	

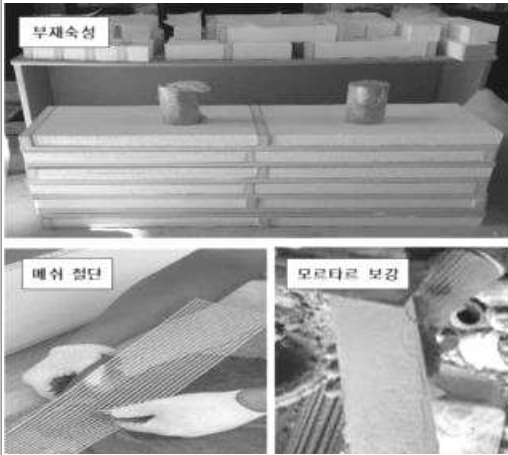


※ 초기공사비의 경우 고정비용으로 분류되나, 물가변동에 의한 공사비 변화가능성을 고려 표준편차 10%를 가정하여 재료비에 적용, 몬테칼로 시뮬레이션을 통해 확률분포도와 신뢰성 분석 수행.(Crystal Ball ver.11.1)

(나) 최적안선정(가중비교메트릭스)

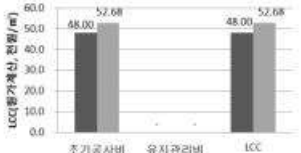
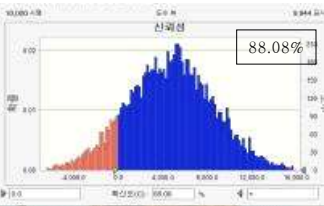
구 분	가중치 (①)	화재지연형 복합판넬		페놀폼 외단열공법	
		등급(②)	점수(①×②)	등급(②)	점수(①×②)
시 공 성	1.60	10	16.0	9	14.4
안 전 성	2.29	9	20.6	8	18.3
유 지 관 리 성	1.30	9	11.7	8	10.4
이 용 자 편 의 성	2.01	9	18.1	9	18.1
유 지 관 리 성	1.20	9	10.8	9	10.8
현 장 적 용 성	1.59	10	15.9	8	12.7
기 능 분 석 (D i a g r a m)					
		93.1		84.7	
기 능 점 서 (F)		93.1		84.7	
L C C 상 대 비 (C)		1.00		1.23	
가 치 점 수 (V = F / C)		93.1		69.1	
선 정 안		◎			

(다) 건설사업비용 절감·가치향상제안서

제안명		외단열공법								
제안내용		선정안				비교안				
		페놀폼 외단열공법				화재지연형 복합판넬				
										
경제성평가결과		생애주기비용(LCC) 절감효과				가치향상효과				
		①	②	③	④	절감율 (④/③) ×100%	⑤	⑥	가치향상도 {(V2-V1)/V1} ×100%	
		초기투자 비용 (천원/㎡)	유지 관리비 (천원/㎡)	계(LCC) (①+②) (천원/㎡)	절감액 (=L1-L2) (천원/㎡)		기능점수 [F]	가치점수 [V]		
	비교안	106.67	-	106.67	-	-	84.7	69.1	-	
		선정안	87.03	-	87.03	19.64	18.41%	93.1	93.1	34.7%
제안의 특징		장점			단점		시공시 주의사항			
		· 습식 + 건식 혼합 방식으로 시공성 향상 · 후면의 EPS층으로 내수성 강화로 단열재 내구성 향상 · C자 화스너 사용으로 상하부 단열재를 적층 방식으로 시공이 가능하며 벽체 고정성능 향상 및 하부 화염 차단 · 페놀폼 사용량 감소로 공사비 절감 · 열반사성 소재로 하절기 표면온도 상승 억제			· 단열재 두께 약 50%상승		-			
효과 (기술성)		· 시공성, 내구성, 고정성능, 화염 차단 및 외기온도로 부터의 단열성능 등이 우수하고, 경제적 특성이 우수한 화재지연형 복합판넬(V= 93.1)이 페놀폼 외단열공법(V=69.1) 대비 성능 9.9%향상, 비용 18.4%절감, 가치 34.7% 향상(가치혁신형 제안)								

4. 경제성 검토요약

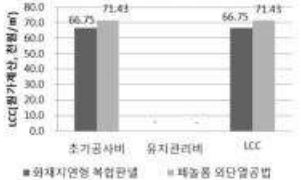
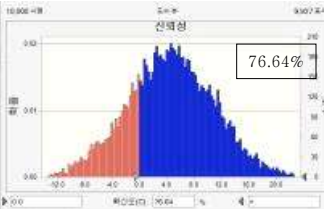
1) 외단열공법(THK=50mm)

구 분		화재지연형 복합판넬		페놀폼 외단열공법		경제성 분석(LCC/신뢰성)	
기능분석							
	이용자 편의성		이용자 편의성		LCC		
경 제 성 분석	기능점수(F)	93.1	기능점수(F)	84.7			
	비용상대비(C)	1.00	비용상대비(C)	1.10			
	가치(V)	93.1	가치(V)	77.2			

검토결과

·시공성, 내구성, 고정성능, 화염 차단 및 외기온도로 부터의 단열성능 등이 우수하고, 경제적 특성이 우수한 화재지연형 복합판넬이(V= 93.1)이 페놀폼 외단열공법(V=77.2) 대비 성능 9.9%향상, 비용 8.9%절감, 가치 20.6% 향상(가치혁신형 제안)

2) 외단열공법(THK=100mm)

구 분		화재지연형 복합판넬		페놀폼 외단열공법		경제성 분석(LCC/신뢰성)	
기능 분석							
		이용자 편의성		이용자 편의성			
경 제 성 분석	기능점수(F)	93.1	기능점수(F)	84.7			
	비용상대비(C)	1.00	비용상대비(C)	1.07			
	가치(V)	93.1	가치(V)	79.2			

검토결과

·시공성, 내구성, 고정성능, 화염 차단 및 외기온도로 부터의 단열성능 등이 우수하고, 경제적 특성이 우수한 화재지연형 복합판넬이(V= 93.1)이 페놀폼 외단열공법(V=79.2) 대비 성능 9.9%향상, 비용 6.6%절감, 가치 17.6% 향상(가치혁신형 제안)

3) 외단열공법(THK=150mm)

분	화재지연형 복합판넬		페놀폼 외단열공법		경제성 분석(LCC/신뢰성)
기능분석					
경제성 분석	(F)	93.1	기능점수(F)	84.7	
	비용상대비(C)	1.00	비용상대비(C)	1.14	
	가치(V)	93.1	가치(V)	74.4	

검토결과

·시공성, 내구성, 고정성능, 화염 차단 및 외기온도로 부터의 단열성능 등이 우수하고, 경제적 특성이 우수한 화재지연형 복합판넬이(V= 93.1)이 페놀폼 외단열공법(V=74.4) 대비 성능 9.9%향상, 비용 12.2%절감, 가치 25.2% 향상(가치혁신형 제안)

4) 외단열공법(THK=180mm)

구 분	화재지연형 복합판넬		페놀폼 외단열공법		경제성 분석(LCC/신뢰성)
기능분석					
경제성 분석	기능점수(F)	93.1	기능점수(F)	84.7	
	비용상대비(C)	1.00	비용상대비(C)	1.23	
	가치(V)	93.1	가치(V)	69.1	

검토결과

·시공성, 내구성, 고정성능, 화염 차단 및 외기온도로 부터의 단열성능 등이 우수하고, 경제적 특성이 우수한 화재지연형 복합판넬이(V= 93.1)이 페놀폼 외단열공법(V=69.1) 대비 성능 9.9%향상, 비용 18.4%절감, 가치 34.7% 향상(가치혁신형 제안)

< 종합결론 >

본 연구 개발은 화재 지연이 가능한 다층형 단열 영구거푸집을 사용한 에너지 절감형 구조물 시공 건설 신기술 개발에 대한 것으로 열관류율 기준 $0.15\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 를 만족하기 위한 최적 단열재 구성과 화재 지연을 위한 개별 소재를 개발하고, 거푸집적용 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 화재 지연이 가능한 다층형 외단열 영구거푸집의 물리적 성능 평가

- 기존 단열 소재 중 적정 두께와 경제성을 확보할 수 있는 소재로는 페놀폼과 스티로폼을 복합적으로 사용함으로 두께 절감 및 경제성을 확보할 수 있었음. 이 때 페놀폼의 최적 두께는 60mm, 스티로폼은 120mm의 두께를 가질 때 열관류율 기준 $0.15\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 를 만족하는 것으로 나타났음
- 표면 바탕조정재는 플라이애시와 실리카흙을 사용하여 휨강도, 접착강도 및 물흡수계수 등의 성능을 개선할 수 있었음. 화재지연을 위한 시멘트계 바탕조정재는 아크릴 에멀전 17%이내, 팽창흑연은 5%이내, 플라이애시 10~15%이내, 실리카흙은 3~5%이내 일 때 최적의 물리적 성능을 갖는 것으로 나타났음.
- 다층형 외단열 거푸집의 물리적 성능을 평가한 결과 전면부에 페놀폼을 사용하면서 페놀폼 표면의 보강재에 의해 물리적 성능이 향상되는 것으로 나타났음.
- 다층형 외단열 영구 거푸집의 포비도 특성을 평가한 결과 표면부의 화재지연형 바탕조정재의 표면부 팽창과 탄화층 형성에 의해 후면부의 불꽃이 투과되는 현상은 없는 것으로 나타남.
- 다층형 외단열 영구 거푸집의 구조해석을 실시한 결과 거푸집에 요구되는 작용모멘트는 28.35N.m 이며, 다층형 외단열 패널의 모멘트는 31.95N.m 으로 나타나 거푸집으로의 활용이 가능할 것으로 나타남. 고탄성 마감재의 최적 배합으로서 EVA에멀전 90%, 하이브리드 에멀전 10%, TiO_2 5%, 세노스피어 5%, 섬유 0.05%를 치환한 배합에서 부착강도, 물흡수계수, 인장강도와 같은 물리적 특성, 화염확산성 및 열환경성이 우수한 것으로 나타났음.

2. 화재 지연이 가능한 다층형 외단열 영구거푸집의 연결 철물 설계

- 외장마감재는 기존 소재 대비 부착강도 및 인장강도 등의 성능을 향상하였으며, 열환경성과 화염확산성이 낮은 고탄성의 외장마감재의 개발이 가능하였음.
- 외장마감재의 충전제로 TiO_2 와 세노스피어를 복합화하여 사용함으로 외피면의 열반사 성능을 15%달성하였으며, 외부 온도의 상승을 억제하면서 냉방부하를 저감할 수 있었음.
- 외단열 영구 거푸집의 구성을 확보하기 위하여 개발 마감재, 바탕조정재, 페놀폼, 스티로폼을 사용하여 패널을 제작한 결과 두께 186mm에서 열관류율 $0.13[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ 을 달성하였음. 이를 사용

하여 화재저항성을 평가한 결과 차열층에 의한 화재 전달 속도를 감소시키고, 열량 감소에 의해 상부의 발화면적을 감소시키는 성과를 얻을 수 있었음. 그러나 화재 발생시 차열층의 탄화로 물리적 성능 저하에 의한 붕괴현상이 관찰되어 구성 자재의 설계 변경이 요구되었으며 3차년도에 이를 보완하여 실험을 수행하고자 함.

3. 화재 지연이 가능한 다층형 외단열 영구거푸집을 사용한 구조물 시공법 개발

- 외단열영구거푸집의 거푸집 시공을 위한 지지대 및 각종 철물의 성능을 검토하기 위하여 구조 해석을 실시하였음. 이를 사용하여 각부 연결 구조를 도출하였으며, 하중 재하를 통해 B급이상의 거푸집 판재로서의 성능을 확인하였으며, 현장 적용 평가를 통한 거푸집 사용가능성을 확인하였음.
- 단열 거푸집을 사용하여 단열 판넬을 제작한 뒤 화재 시험을 수행한 결과, 기존 드라이비트를 사용한 페놀폼 외단열 구조보다 40%이상 발열량이 낮고, 화염전파성이 낮은 것으로 나타났음.
- 단열 거푸집을 사용하여 콘크리트 구조물을 제작한 결과 수평 및 연직성의 차이는 10mm이내인 것으로 나타나 콘크리트 타설성이 우수한 것으로 나타남.

4. 외단열 공법의 경제성 평가

- 경제성 평가를 통해 본 공사비 비교는 거푸집 공정에서는 단열 패널과 T바등의 가설재의 사용으로 인해 공사비가 증가되었으나 외단열 공정에서 단열재 부착 공정 및 바탕조정재 공정이 제거됨으로 인해 전체 공사비는 129,998원에서 95,875.8원으로 -26.24%가량이 절감되었음.
- LCC분석에서는 시공성, 내구성, 고정성능, 화염 차단 및 외기온도로 부터의 단열성능 등이 우수하고, 경제적 특성이 우수한 화재지연형 복합판넬이(V= 93.1)이 페놀폼 외단열공법(V=79.2) 대비 성능 9.9%향상, 비용 6.6%절감, 가치 17.6% 향상(가치혁신형 제안)인 것으로 나타남.

5. 기존 공법 대비 차별성

- 개발 공법의 외장 마감재로서 차별성

개발 공법의 외장 마감재료는 드라이비트 공법에 비하여 가격은 상승하였으나, 스타코 공법에 비하여 낮은 재료비를 제공할 수 있는 장점이 있음. 인장강도 측면에서는 스타코 공법과 유사한 정도로 나타났으며, 화재 발생시 발열량은 기존 화재 대응성이 우수한 스타코 공법 대비 발열량이 50%정도로 저감되어 화재에 대한 피해 성능이 가장 낮은 것으로 나타남.

	드라이비트 공법	스타코 공법	개발 공법
색상 구현성	높음	높음	높음
현장 하자 발생	바탕조정재 시공시 작업자의 시멘트량 조정기준이 없어 현장 하자 발생 원인	1액형의 바탕조정재 사용 및 인장강도와 물리적 성능이 우수하여 하자 발생 적음	시멘트량 최적 기준 도출로 바탕조정재의 물성 안정화 시공 가능함
외장마감재 인장강도	2kgf/cm ²	5kgf/cm ²	4.5kgf/cm ²
화재 발생시 지연 성능	없음	없음	높음
화재시 발열량	높음	높음	낮음
m ² 당 재료비	바탕조정재 : 670원 외장마감재 : 3,000원 재료비: 3,670원	바탕조정재 : 7,000원 외장마감재 : 14,000원 재료비 : 21,000원	바탕조정재 : 3,200원 외장마감재 : 6,000원 재료비 : 9,000원

- 비탈형 영구거푸집의 차별성

비탈형 영구거푸집 공법의 특성을 살펴보면 유로폼의 사용없이 모르타르 및 콘크리트로 구성된 거푸집을 사용함. 개발공법에서는 외단열 부위의 단열 거푸집을 사용하는 외측부와 내측면의 유로폼을 사용하는 공정을 사용하기 때문에 한 쪽면에는 유로폼이 반드시 요구됨.

거푸집 설치 과정에서는 개발 공법에서는 강재를 사용하는 형태이나 단위용적중량이 비탈형 영구거푸집에 비하여 가장 낮기 때문에 거푸집 설치시 장비의 사용없이 작업자의 사용이 편리한 장점이 있음.

개발 공법은 단열재가 복합적으로 되어 있기 때문에 열관류율 성능이 0.15W/m²K이하이며, 후속 공사인 단열재 설치 공사가 없기 때문에 공정 단축 및 공사비 절감의 원인이 됨.

	비탈형영구거푸집	개발공법
유로폼 사용유무	없음	한면만 사용
강재 사용	강재 사용 낮음	특수 고정 철물 사용 요구
단위 용적 중량	2,000~2,400kg/m ³ 이내	50kg/m ³ 이내
주요 소재	시멘트 모르타르 및 콘크리트	단열재
단열성능	없음	열관류율 0.15W/mk
거푸집 탈형 후 후속 공사	1. 단열재 시공 2. 외장 마감재 공사	1. 외장마감재 공사
경제성	콘크리트 타설 이후 단열재 시공 비용이 별도로 소요되어 공사비 증가	콘크리트 타설 이후 단열재 시공 과정이 없어 공사비 절감에 효과적

따라서 본 기술개발을 통해 화재지연이 가능한 외단열 영구거푸집을 사용하여 콘크리트의 타설성, 환경성 제어 등의 효과를 검토한 결과, 환경적 조절 성능이 우수하며, 화재에 대한 전파성이 낮고, 경제성이 우수한 외단열 공법을 개발할 수 있었음.

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3-1. 목표

구분	내용		
최종 목표	■ 최종 목표 화재지연이 가능한 다층형 단열 영구거푸집을 사용한 에너지 절감형 구조물 시공 방법		
	■ 최종 성과물 ☐ 다층형 외단열 영구거푸집 ☐ 화재 지연형 바탕조정재 및 차열성 외부마감재 개발 ☐ 다층형 외단열 영구거푸집을 사용한 구조물 시공법 개발 ☐ 외단열 공법의 경제성 평가		
세부 목표	주요 연구분야	최종성과물	설정 목표
	Ⅰ. 화재 지연이 가능한 다층형 외단열 영구거푸집의 물리적 성능 평가	1. 다층형 외단열 영구거푸집의 물리적 성능 평가	물리적 성능 개선 : 굴곡파괴하중(N): 350이상 열전도율 0.035W/m·k이하 부착강도 : 1.2 N/mm ² 이상 온냉반복시험 : 0.8 N/mm ² 이상 물흡수계수 : 0.2 이하 포비도 : 5분 안정
		2. 다층형 외단열 영구거푸집의 화재 지연 바탕조정재 개발	
		3. 화재지연바탕조정재 복합 영구거푸집의 물리적 성능 평가	
	Ⅱ. 화재 지연이 가능한 다층형 외단열 영구거푸집의 연결 철물 설계	1. 다층형 외단열 영구거푸집의 연결 철물 설계	물리적 성능개선 : 열관류율 : 0.15W/m ² k이하 외벽화재저항성 20분 이상 부착강도 0.8N/mm ² 물흡수계수 0.2이하
		2. 다층형 외단열 영구거푸집의 구조 해석	
		3. 차열형 고탄성 외부 마감재 개발	
	Ⅲ. 화재 지연이 가능한 다층형 외단열 영구거푸집을 사용한 구조물 시공법 개발	1. 영구거푸집 시공에 따른 축압 특성 평가	벽체의 단면치수 오차 수평방향: ±20mm 연직성: ±10mm MOCK-UP TEST 실적 1건
		2. MOCK-UP TEST	
		3. 구조체의 열적 특성 평가	
	Ⅳ. 외단열 공법의 경제성 평가	1. 외단열 소재 및 성능에 따른 경제성 분석	LCC분석 및 경제성 보고서
		2. 외단열 공법에 따른 일위대가 산출	

3-2. 목표 달성여부
[1차년도]

구분		핵심성과 (CTE)	단위성과		성과점검기준						양적 성과 건수	
					질적 성과지표	목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치		
주관	1	화재 지연이 가능한 다층형 외단열 영구거푸집의 물리적 성능 평가	1-1	다층형 외단열 영구거푸집의 물리적 성능 평가	①	굴곡파괴하중	0.35 MPa 이상	-	KS M ISO 1209-1	성적서	15	특 허: 출원 1 건 등록 1 건 국내 학술지: 1 건 국외 학술지: 1 건 학술발표대회: 1 건
					②	열전도율	1건	0.035 W/m K	KS L 9016	성적서	5	
					③	특허 출원 및 등록	1건	-	출원증	출원증	10	
			1-2	섬유 보강 바탕 조정재 복합 영구거푸집의 물리적 성능 평가	①	학술발표	1건		대회참가	논문	10	
위탁	2	섬유 보강 바탕 조정재 개발	2-1	섬유보강 바탕 조정재의 물리적 특성 평가	①	학술발표 대회논문	1건	-	대회참가	논문	5	특 허: 출원 1 건 등록 1 건 국내 학술지: 1 건 국외 학술지: 1 건 학술발표대회: 1 건
					②	부착강도	1건	1.2 N/mm ² 이상	성적서	성적서	15	
					③	온냉반복시험	1건	0.8 N/mm ² 이상	KOLAS 의뢰시험	성적서	15	
					④	물 흡수계수	1건	0.2 kg/m ² ·h _{0.5} 이하	KOLAS 의뢰시험	성적서	15	
			2-2	섬유보강 바탕 조정재의 열적 특성	①	특허출원 및 등록	1건	-	출원	출원증	10	
계										100	특 허: 출원 2 건 등록 1 건 국내 학술지: 1 건 국외 학술지: 1 건 학술발표대회: 2 건	

[2차년도]

구분		핵심성과 (CTE)	단위성과	성과점검기준							양적 성과 건수			
				질적 성과지표		목표치	달성치	측정방법	검증방법	기준치				
주관	1	화재 지연이 가능한 다층형 외단열 영구거푸집의 연결철물 설계	1-1 고성능 단열재의 접합 방식 도출	①	특허	1건	-	특허출원	특허출원	10	특 허: 출원 3 건 등록 건 국내 학술지: 1 건 국외 학술지: 1 건 학술발표대회: 2 건			
				②	학술발표대회	1건	-	학술대회 참가	논문	5				
				③	화재저항성	15분	-	공인시험 기관의뢰 ISO 13785-2	성적서	10				
				④	열관류율	0.15W/m ² K이하	-	KS L 2273	성적서	5				
				⑤	국외학술지	1건	-	게재	게재예정 증명서	5				
				⑥	영구거푸집의 두께	186 mm	-	KS L 2273	성적서	5				
			1-2 외장 마감 일체형 복합 단열 영구거푸집의 조립을 위한 조립 철물 개발	①	특허	1건	-	특허출원	특허출원	10				
				②	학술발표대회	1건	-	학술대회 참가	논문	5				
			1-3 외장 마감 일체형 복합 단열 영구 거푸집의 철근 배근법 연구	①	특허	1건	-	특허출원 증	특허출원 증	10				
				②	보고서	1건	-	구조계산 보고서	구조계산 보고서	5				
위탁	1	고탄성 차열성 외장마감재 개발	2-1 실란 개질 아크릴 에멀전 및 EVA혼입 터폴리머화 수지의 성능 평가	①	학술발표	1건	-	학술대회 참가	논문	5	특 허: 출원 1 건 등록 건 국내 학술지: 1 건 국외 학술지: 1 건 학술발표대회: 1 건			
				2-2 고탄성 차열성 외장마감재의 물리적 성능 평가	①	부착강도	0.8N/mm ²	-	KS F 4715	성적서		10		
			②		물흡수계수	0.2kg/(m ² ·h ^{0.5})이하	-	KS F 4715	성적서	5				
			③		내잔갈림성	이상없음	-	KS F 4715	성적서	5				
			④		특허출원 및 등록	1 건	-	특허출원 증	특허출원 증					
			2-3 고탄성 차열성 외장마감재의 환경적 성능 평가	①	국내학술지	1건	-	게재	게제예정 증명서	5				
			계										100	특 허: 출원 4 건 등록 건 국내 학술지: 1 건 국외 학술지: 1 건 학술발표대회: 3 건

[3차년도]

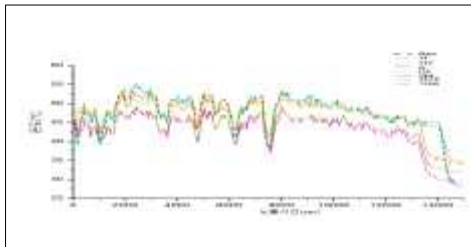
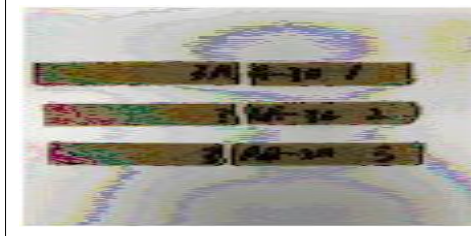
구분		핵심성과 (CTE)		단위성과	성과점검기준						양적 성과 건수
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정방법	검증방법	
주관	1	영구거푸집의 타설특성평가	1-1 콘크리트 타설에 따른 거푸집의 성능 평가	①	학술발표대회	1건	100%	학술발표대회참가	논문	5	특 허: 출원 2건 등록 1건 국내 학술지: 1건 국외 학술지: 1건 학술발표대회: 1건
				②	단면치수 오차 수평방향	± 20mm	100%	시험보고서	시험보고서	10	
				③	단면치수오차 연직성	± 10mm	100%	시험보고서	시험보고서	10	
			1-2 거푸집 연결 철물 및 배근에 따른 타설 성능 평가	①	특허출원	2 건	100%	특허출원 및 등록증	특허출원 및 등록증	10	
				②	국내 학술지	1건	100%	게재	게재예정 증명서	5	
				③	보고서	1건	100%	구조계산 보고서	구조계산 보고서	5	
		1-3MOCK-UP TEST	①	소형구조물 제작	1건	100%	보고서	보고서	15		
위탁	2	본 기술 개발의 경제성 분석 및 성능 평가	2-1 MOCK-UP시험체의 열관류율 특성 평가 및 성능 평가	①	학술발표대회	1건	100%	학술발표대회참가	논문	5	특 허: 출원 2건 등록 1건 국내 학술지: 2건 국외 학술지: 1건 학술발표대회: 1건
				②	국내 학술지	2건	100%	게재	게재예정 증명서	10	
				③	국외 학술지	1건	100%	게재	게재예정 증명서	5	
				④	특허출원 및 등록	2건	100%	특허 출원 및 등록	특허출원 및 등록증	5	
				⑤	부착강도	1건	1.2N/mm ²	KS F 4716	성적서	10	
				⑥	일반 페놀폼 대비	1건	발열량 0%저감	BS EN 13823	성적서	5	
		2-2 LCC분석을 통한 성능 평가	①	분석보고서	1건	100%	LOC보고서	LOC보고서	5		
			2-3 경제성 평가	①	일위대가 산출	1건	100%	일위대가 산출서	일위대가 산출서	5	
		계									

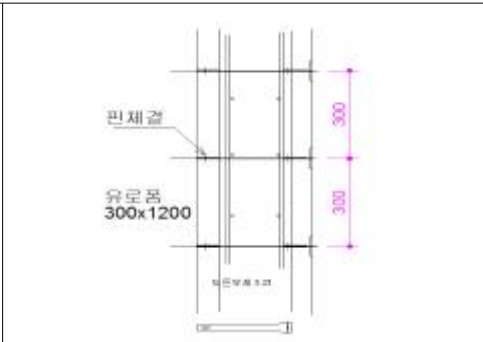
○ 핵심 연구성과

연번	핵심성과 (CTE)	핵심성과 설명	성과 유형 ¹⁾	연구기관	해당 연차	TRL
1	I. 화재 지연이 가능한 다층형 단열재 개발	기존 고밀도 단열재 사용에 따른 표면 부착 저하 화재 확산 방지 구조를 소형화하여 여러층의 단계를 통한 발열량 제어 및 확산 억제 성능 향상 물리적 성능 개선 : 굴곡파괴하중(N): 350이상, 열전도율 0.035W/m·k이하 고탄성 마감재 및 화재지연형 바탕조정제를 사용한 다층형	재료 자재	주관기관 위탁기관	1	7
2	II. 화재 지연이 가능한 다층형 단열 영구 거푸집 개발	단열재를 복합적으로 사용한 영구 거푸집 개발 마감재의 물리적 성능 : KS F 4715 열관류율 : 0.15W/m2k이하, 외벽화재저항성 15분 이상, 부착강도 1.5N/mm2, 물흡수계수 0.2이하 목표 단열재 두께 : 186mm	재료 자재	주관기관 위탁기관	2	7
3	III. 화재지연이 가능한 다층형 단열 영구 거푸집을 사용한 구조물 시공법 개발	외장 마감 일체형 복합 단열 영구거푸집을 사용한 시공법을 개발하고, 타설성능 등을 검토 물리적 성능 개선 : 벽체의 단면치수 오차 - 수평방향: ±20mm, 연직성: ±10mm MOCK-UP TEST 실적 1건	공법 기법	주관기관 위탁기관 위탁기업	3	7

○ 핵심 연구성과별 설명

핵심성과 1	
정의	다층형 외단열용 단열재 개발
목적	화재 확산을 방지할 수 있는 다층형 구조를 갖는 영구거푸집용 단열재를 개발하는 것이 본 연구의 주요 목적임.
성능목표	(기존기술 수준) 기존 스티로폼계 단열재의 경우 표면층 가열시 내부에서 화재가 발생하여 급속도로 확산되는 형태임. 페놀폼의 경우 표면부 탄화층의 균열로 인해 불꽃이 내부로 침투하는 형태를 보이고 있음. 기존 물리적 특성 스티로폼 휨강도 : 0.24MPa 페놀폼 휨강도: 0.19MPa (개발기술 수준) 본 기술 개발을 다층형 구조의 단열재를 개발하였으며, 표면층의 화재지연형 모르타르와 메쉬를 보강처리한 경우 표면부의 화염이 내부 침투가 억제되어 표면층의 화재가 억제됨. 다층형 구조에서 하부의 화염이 단계를 넘어가면서 화력이 약화되는 것으로 나타남. 복합구조의 휨강도 : 0.35MPa 
성과달성 책임자 (소속기관)	(주)유송엔지니어링(송성용)
소요기간	2017.04.01. ~ 2017.12.31
성과달성 확인방법	성적서 및 실험보고서
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록
	[출원 :1 건, 등록 : 0]
	논문
	[SCI(E) : 0 , 학술지 :]
	저작
	0건
	S/W
	0건
	신기술
	0건
	기타
	건 (시제품)

핵심성과 2		
정의	고탄성 차열 외장 마감재 개발	
목적	표면의 화재 확산성이 낮으며, 열환경 성능의 조절이 가능한 외장마감재를 개발하고자 함	
성능목표	(기존기술 수준) 부착강도 : 1.1N/mm ² 인장강도 : 2kgf/cm ²	
	(개발기술 수준) 기존 제품 대비 인장강도 및 부착강도가 개선된 제품을 개발하였으며, 열환경 성능을 조절할 수 있는 외장마감재를 개발하였음.	
	부착강도 : 1.25N/mm ² (성적서 근거) 인장강도 : 2kgf/cm ² 열반사성 : 표면 온도 15%이상 저감	
	   	
성과달성 책임자 (소속기관)	(주)유송엔지니어링(송성용)	
소요기간	2018.01.01. ~ 2018.12.31	
성과달성 확인방법	성적서 및 실험보고서	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	[출원 :1 건, 등록 : 0]
	논문	[SCI(E) : 0 , 학술지 :]
	저작	0건
	S/W	0건
	신기술	0건
	기타	건 (시제품)

핵심성과 3		
정의	소형 구조물 제작	
목적	단열 패널을 제작 후 콘크리트 타설 안정성 및 시공 방식 도출	
성능목표	(기존기술 수준) 유로폼을 사용하여 콘크리트 구조물을 제작한 뒤 외부에 외단열 공사를 수행하는 형태의 기술	
	(개발 기술 수준) 단열 거푸집과 T바와 같은 철물 장치 및 나사식의 핀체결 방식을 사용하여 거푸집의 고정을 통해 단열 공사 공정을 단축하는 기술로 수평 방향 및 벽체 연직성은 모두 10mm 이내로 안정적인 것으로 나타남	
		
		
성과달성 책임자 (소속기관)	(주)유송엔지니어링(송성용)	
소요기간	2019.01.01. ~ 2019.12.31	
성과달성 확인방법	실험보고서	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	[출원 :1 건, 등록 : 0]
	논문	[SCI(E) : 0 , 학술지 :]
	저작	0건
	S/W	0건
	신기술	0건
	기타	건 (시제품)

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

4-1. 연구 개발 성과의 활용 방안

○ 기술수요처

- 화재 대응에 취약한 주택밀집지역의 저층형 구조물
- 관공서 및 집단 거주 시설물의 공사, 상가 건축물 등

○ 현장적용 방안

- 참여기업의 주요 거래처를 대상으로 하여 저층형의 상가 및 주택 건축물을 대상으로 한 시공방안 도출
- 신기술 취득을 통한 개발 기술의 영업력 확대
- 개발 소재의 세분화를 통한 제품 형태 다양화
 - 1차 소재 : 화재 지연 몰탈, 다층형 단열재, 냉난방 부하 저감을 위한 열차단형 마감재
 - 2차 소재 : 화재 지연 몰탈+다층형 단열재를 복합한 내부 마감형 단열재
 - 3차 소재 : 개발 공법을 사용한 건축물

○ 실용화 및 제품화 방안

- 단계별 소재화 및 제품화

1) 소재 단계

다층형 영구거푸집을 사용한 경량 블록, 단열재 결합한 복합 패널, 고탄성 표면마감재 등으로 구성되어 별도의 상품화 가능

2) 시공 단계

단열재 겸용 영구 거푸집 사용에 따른 각종 부자재를 비롯하여 시공단가 절감을 통한 시공업체의 영업망 확대 가능

- 원가 절감 방안

1) 원재료비 절감 방안

원료 단계의 규사와 같은 소재를 순환규사와 같은 재활용 소재 활용 방안 도출

단열 소재인 스티로폼의 공장 설비 절단을 통해 제품 단가 및 물류 단가 절감

2) 거푸집 시공 단계

결합 철물의 시스템화를 통해 거푸집 조립 방식 단순화를 통하여 인건비 절감

- 사업화 단계

1) 소재별 생산 형태

바탕조정재 및 마감재 생산 : 원료의 직접 계약 형태의 OEM 생산

복합단열재 : 스티로폼 단열재 생산 업체를 통한 다층구조 단열재 생산

2) 시공 단계

전문 시공팀을 운영하는 업체와 계약을 통해 공동 발주 수주

직접 납품을 통한 유통가격 절감

○ 미래 원천기술 확보

- 신규 단열재의 다양한 적용 기술

다층형 영구거푸집 기술은 단열재를 조합하여 사용함으로 단열재 자체의 시공 과정상의 문제점을 거푸집 제조단계에 제어할 수 있는 장점이 있어 최종마감재에 대해 영향을 받지 않음.

신규 단열재는 단열성을 향상하기 위하여 표면 밀도를 높이는 방법이 예상되고 있어 향후 개발 가능한 단열재의 적용 기법을 사전에 개발하는 의미가 될 것으로 판단됨.

- 차열형 외장 마감재의 개발

차열형 외장 마감재는 축열성의 유기계 단열재만을 사용하는 것과는 달리 외부의 온도 부하에 대응할 수 있는 장점을 가지고 있어 단열재의 효과를 상승시킬 수 있는 장점이 있음.

○ 신산업 창출

- 영구 거푸집 시장 및 가변형 경량 벽체 시장 확대

다층형 영구거푸집 기술은 운반성 및 가공성이 우수하여 영구거푸집의 현장 적용 및 가변형 경량 벽체 시장에 신소재를 공급할 수 있는 기술 제공이 가능함.

4-2. 기대효과

○ 기술적 측면

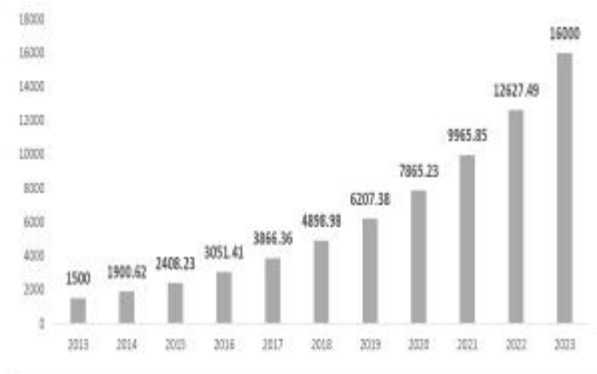
- 건식 경량 벽체의 시장 규모 성장

국내 건식 경량 벽체 시장 규모의 성장은 가파르게 이루어질 것으로 기대되고 있으며, 이미 한국토지 주택공사, SH공사 등이 보급하는 건물에는 이미 건식 경량 벽체를 활용한 무량 복합 구조가 적용되고 있는 실정임. 여기에 매년 준공 30년 이상된 주택이 10%씩 증가하는 추세에 따른 리

모델링 수직 증축이 있을 것임을 감안하면 시장규모는 더욱 커질 것임.

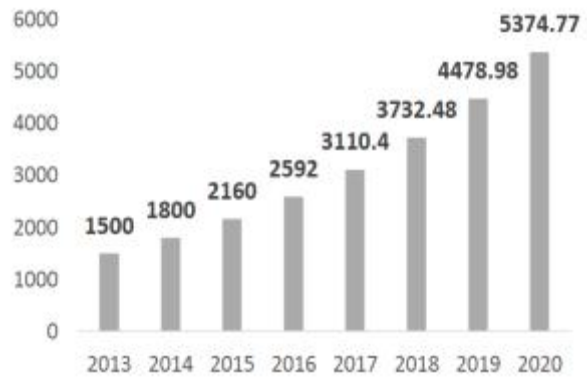
- 가변형 벽체 시장 성장

최근에는 입주자가 인테리어에 대한 관심도가 높아지면서 비교적 가벼운 가변형 벽체 시장도 동반 성장할 것으로 기대되고 있음.



출처: 한국건설기술연구원, SMIC Research Team 1

<건식 경량 벽체 시장 규모 변화> (단위: 억 원)



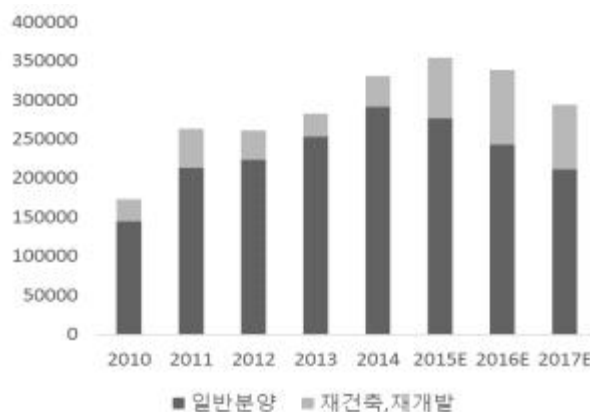
<가변형 벽체 시장 규모 변화>

○ 경제적·산업적 측면

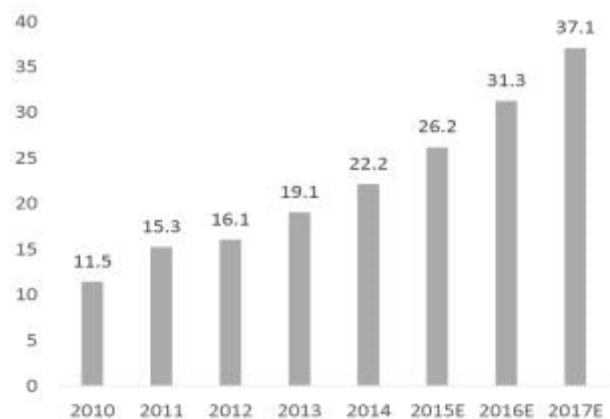
- 건설 산업 변화 추이

국내 건설 산업에서 분양가 상한제 폐지로 인한 가격 상승, 가구수 증가율 둔화에 따라 점차 일반 분양 물량이 감소할 것으로 예상되고 있으나 재건축 규제 완화에 따라 재건축 물량이 가파르게 증가할 것임.

주택 노후화가 진행됨에 따라 리모델링, 인테리어 수요가 급증하고 2014년부터 수직증축 리모델링이 가능해짐에 따라 건자재 시장은 증가할 것으로 기대되고 있음.



<일반 분양 및 재건축 물량추이 및 전망>



<건자재 시장규모 추이 및 전망> (단위: 조 원)

- 기존 단열재의 단가 비교

단열재 종류에 따른 가격을 살펴보면 유기계 단열재의 경우 안전성과 단열성능이 향상될수록 가격이 상승하고 있음. 진공단열재의 경우에는 성능이 우수하나 기타 단열재 비하여 가격이 급격하게 증가하고 있으며, 시공 과정 중 벽면에 자동 못 등을 사용하는 잘못된 시공법으로 인해 효과가 저감되기도 함.

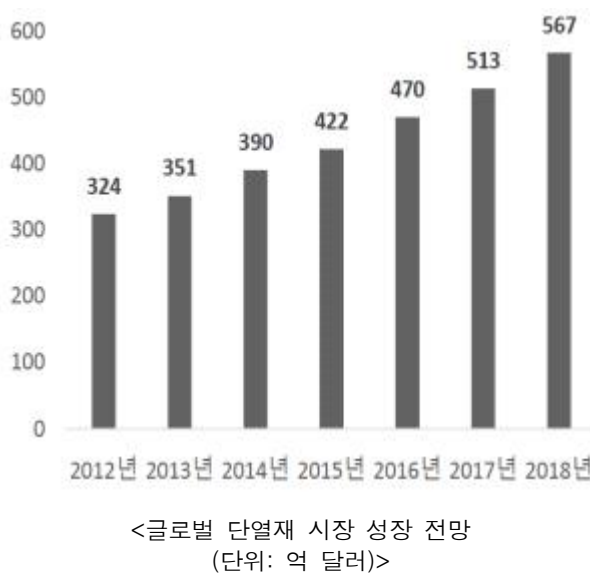
<단열재 종류에 따른 가격>

종류	EPS(스티로폼)	글라스울	폴리우레탄	페놀폼	진공단열재
가격	1500원	15,000원	10,000원	15,000원	50,000원

- 단열재 시장과 에너지 성능 개선 방안 핵심 내용

단열재 시장의 성장과 함께 건축물 에너지 성능 개선 방안으로 인해 외단열 공법 시장은 지속적으로 성장할 것으로 기대되고 있음. (단열재 시장 2018년 567억 달러성장)

에너지 절감과 안전이라는 두 조건을 모두 만족시키려면 더 안전한 단열재를 사용하면서 단열재를 더 두껍게 사용해야 하므로 고성능의 소재를 저렴한 방법으로 사용할 수 있는 방안이 요구되고 있는 실정임.



1. 25년 제로에너지를 목표로 신축건축물의 에너지 성능 대폭 향상, 단계적 강화

- 2010년부터 단열재 두께의 요구 수준을 지속적으로 강화

- 2014년 3월 냉난방 에너지를 2017년까지 2009년의 90%수준으로 절감하는 것을 의무화

2. 다양한 인센티브를 통해 기존 건축물에 대한 에너지 성능 개선 지원

3. 공공부문 에너지 성능 개선 의무화

4. 부처간 협업을 통해 효율성을 높이고 서비스 제공
<건축물 에너지 성능개선방안 핵심내용>

- 공정 비용 감소를 통한 고급 소재 사용 가능성 향상

본 기술 개발에서는 고급 단열재를 사용함에 따른 가격 상승문제를 해결하기 위하여 골조 공사의 약 30% 정도를 차지하는 거푸집 비용을 영구 거푸집으로 대체함으로 단열성과 거푸집 사용비용을 감소할 수 있는 공법을 제공할 수 있음.

현재 외단열 공정에서 고급 단열재 사용으로 인한 공사비 증가는 순수 외단열 공사만을 고려하였을 때, 약 2만원에서 약 5만원가량 공사비가 증가하고 있어 이에 대한 대응 기술이 요구됨.

○ 사회적 측면

- 국내 건축물의 화재 및 건축법 대응 기술 개발(사회 안전성)

국토교통부에서 2월 16일에 ‘건축법 시행령 일부 개정령(안)’의 경우 대통령령에서는 건축물 화재 사고 방지 대책을 담은 관련법 개정안을 입법예고하였음. 개정안이 발효될 경우, 외벽마감재로 불연재를 사용해야 하는 건축물 규모 기준은 현행 ‘30층 이상’또는 ‘높이가 120m이상’에서 ‘6층 이상’으로 강화될 것임.

지금까지 주로 쓰이던 단열재는 EPS로 국내 단열재 시장의 42%를 차지하고 있었으나 화재에 취약하므로 밀도가 높고 난연성이 우수한 고급 유기질 단열재나 무기질 단열재를 사용해야 함. 현장에서 고급 유기질 단열재의 표면이 매끄러워 안정적인 부착력을 확보하기 어렵기 때문에 사용이 어려운 문제가 있으나 본 기술 개발에서는 이러한 문제를 해결하면서 건축법 상의 문제점을 해결할 수 있는 기술을 개발할 수 있을 것으로 판단됨.

<건축법 시행령 일부개정령(안) 주요내용>	
가. 피난을 위한 대피통로 기준 개정(안 제 41조 단서 규정 신설)	
(생략)	
나. 건축물 마감재료 적용 대상 개정(안 제 61조 개정)	
1) 거주인원이 많거나 노약자가 이용하는 건축물은 규모와 관계없이 건축물 내부에 난연성 마감재료를 의무적으로 사용토록 함	
2) 건축물 외벽 마감 재료의 준불연재료 성능 이상 사용 대상 건축물을 6층으로 확대	
다. 건축물 이격거리 규정 개정(안 별표 2 개정)	
(생략)	

붙임. 참고문헌

1. Nobuo Nakabayashi, Hybridization of Dental Hard Tissues Pashley, Jisung publisher, 2007.
2. Lee JH, Surface Modification Techniques for Subsurface Applications of Nanoparticles, Polymer science and Technology, 2018;29(5):421–426.
3. G. R. Nasretdinova, R. R. Fazleeva, R. K. Mukhitova, I. R. Nizameev, M. K. Kadirov, A. Y. Ziganshina, and V. V. Yanilkin, Electrochemical synthesis of silver nanoparticles in solution, Electrochem. Commun., 2015; 50: 69–72.
4. T. Ribeiro, C. Baleiză, J. P. S. Farinha, “Functional Films from Silica/Polymer Nanoparticles”, Mater, 2014; 7:3881–3900.
5. Ee, S. L., Duan, X., Liew, J. and Nguyen, Q. D., Droplet size and stability of nano-emulsions produced by the temperature phase inversion method. Chemical Engineering Journal 2008; 140: 626–631.
6. Jerzy J.C., Elżbieta L., Modification of epoxy resins with functional silanes, polysiloxanes, silsesquioxanes, silica and silicates, Progress in Polymer Science, 2015;41:67–121.
7. Kim WK, Kim DM. Properties of acrylic emulsion mortar using pyroligneous liquid of wood by-product. Journal of Korea Society of Waste Management. 2014;31(1):70–78.
8. Chang, J.H., Choi, S.M. (2013). Workability evaluation of the inorganic surface preparation materials including EVA redispersible polymer powder for wall, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 29(11), 53–62.
9. Chuigen, G., Lin, Z., Jianxiong, L. (2013). Effects of expandable graphite and modified ammonium polyphosphate on the flame-retardant and mechanical properties of wood flour-polypropylene composites, Polymers & Polymer Composites, 21(7), 449–56.
10. Kim, W.K., Kim, D.M. (2014). Properties of acrylic emulsion mortar using pyroligneous liquid of wood by-product, Journal of Korea Society of Waste Management, 31(1), 70–78.
11. Lee, J.C., Park, J.C., Song, H. (2016). Effect of external thermal insulation composite system with a non-combustible calcium silicate based mineral on the mitigation for reducing fast spread of flame, Journal of the Korea Institute of Building Construction. 16(5), 397–403.
12. Lee, J.C., Seo, J.S., Kim, S.B. (2013). Study on flame retardancy and thermal resistance properties of phenolic foam and polyurethane foam, Journal of the Korean Institute of Gas,

- 17(1), 35–41.
13. Min, S.H., Kim, M.S. (2010). A study on the fire risk assessment of EIFS by cone calorimeter test & single burning item test, *Journal of the Korea Safety Management and Science*, 12 (1), 1–9.
 14. Yang, E.H., Yang, Y., Li, V.C. (2007), Use of high volumes of fly ash to improve mechanical properties and material greenness, *ACI Materials Journal*, 104(6), 303–11.
 15. Choi, D.S., Jun, H.C., Joe, K.H. (2011). A study on the change in energy performance of the domestic building by the isolation–heat paint, *The Korean Solar Energy Society*, 31(5), 33–40.
 16. Gil, H.S., Lee, S.W. (2016). Synthesis and infrared light reflecting characteristics of TiO₂/mica hybrid composites, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 27(1), 16–20.
 17. Jung, S.K., Jun, J.S., Seo, J.K., Kim, S.M. (2011). Consideration for application of phase change material(PCM) for building energy saving, *Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, 5(1), 48–56.
 18. Min, D.H., Kim, S.M., Kim, S.M., Kim, J.T. (2019). The thermal bridge characteristic of wall with vacuum insulation panels according to the thermal bridge reduction method, *Korea Institute Ecological Architecture and Environment*, 19(2), 81–86.
 19. Park, J.W., Chu, Y.S., Jung, J.H. (2016). Physical properties of calcium silicate inorganic insulation depending on curing time, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 16(6), 529–624.
 20. Song, I.H., Park, Y.J., Yun, H.S., Hwang, K.Y., Choi, S.G. (2010). Insulation effect of porous ceramic materials and current status of insulation materials research, *Machine and Materials*, 22(4), 6–20.
 21. Urunkar, Y., Pandit, A., Bhargava, P., Joshi, J., Mathpati, C., Vasanthakumaran, S., Jain, D., Hussain, Z., Patel, S., More, V. (2018). Light-weight thermal insulating fly ash cenosphere ceramics, *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 15(6), 1467–1477

뒷면지

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

210mm×297mm[백상지(80g/㎡) 또는 중질지(80g/㎡)]