

고층빌딩 커튼월용 내화성 적용기술 개발

2013. 06. 28.

주관연구기관 / 한국세라믹기술원
공동연구기관 / 현대산업개발(주)
(주)지메텍

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

2012 첨단도시개발사업 최종보고서

R&D/10첨단도시C04

고층빌딩 커튼월용 내화성 적용기술 개발

2013. 06. 28.

주관연구기관 / 한국세라믹기술원

공동연구기관 / 현대산업개발(주)

(주)지메텍

국 토 교 통 부

국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 "고층빌딩 커튼월용 내화성 적용기술 개발"과제의 최종보고서로 제출합니다.

2013. 06. 28.

주관연구기관명 : 한국세라믹기술원

주관연구책임자 : 송 훈

연 구 원 : 이종규, 추용식, 신현욱

공동연구기관명 : 현대산업개발(주)

공동연구책임자 : 오창원

참여기업 : 홍성산업(주)

(주)유신건축종합건축사사무소

연 구 원 : 구영아, 김성은, 김홍렬, 박종인

공동연구기관명 : (주)지메텍

공동연구책임자 : 임재영

참여기업 : (주)애강리메텍

연 구 원 : 이형도, 이형선

보고서 요약서

과제고유번호	10첨단도시 C04	해 당 단 계 연 구 기 간	3차년도	단 계 구 분	3차년도/ 3차년도
연 구 사 업 명	중 사 업 명	첨단도시개발사업			
	세부사업명	해당사항 없음			
연 구 과 제 명	대 과 제 명	고층빌딩 커튼월용 내화성 적용기술 개발			
	세부과제명	해당사항 없음			
연 구 책 임 자	송 훈	총연구기간 참 여 연구원수	총 : 12명 내부 : 11명 외부 : 1명	총연구비	정부 : 870백만원 기업 : 290백만원 계 : 1,160백만원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	한국세라믹기술원 에너지환경소재본부		참여기업명	현대산업개발(주), (주)지메텍, 홍성산업(주), (주)유신건축종합건축사 사무소, (주)애강리메텍	
국제공동연구	상대국명 : 해당사항 없음		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 : 해당사항 없음		연구책임자 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	213
국내 건축물의 고층화·대형화에 따라 알루미늄과 유리를 소재로 한 경량 커튼월 시스템이 주로 사용되고 있다. 커튼월 소재인 알루미늄과 유리는 내화 및 방화성능이 부족하여 층간화재 확산을 막기에 한계가 있다. 특히 고층빌딩의 화재전파에서 보듯이 경량 알루미늄 프레임이나 단열재 등이 열에 녹아 층사이로 화재가 전파되어 상층부로 이동하므로 커튼월 구획간의 화재확산을 방지하기 위한 조치가 필요하다. 화재확산 방지를 위한 화재확산방지구조는 차열성, 차염성 등의 내화성능이 반드시 필요하지만 현재의 커튼월용 소재로서는 커튼월의 내화성능을 확보할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 알루미늄 커튼월의 화재확산을 방지하기 위해 경량무기발포 세라믹보드를 개발하고 이를 화재확산방지구조로 적용하기 위한 커튼월의 공법 개발을 목적으로 한다. 연구결과 불연성능을 가지는 경량무기발포 세라믹보드를 개발하였으며 이를 적용한 경량무기발포 세라믹보드의 백패널 및 프레임커버로 적용한 커튼월의 내화성능 향상공법을 개발하였다.					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	내화, 커튼월, 경량, 불연, 단열재			
	영 어	Fire resistance, Curtain wall, Light-weight, Non-combustibility, Insulating material			

요 약 문

I. 연구제목

고층빌딩 커튼월용 내화성 적용기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

<고층빌딩 커튼월용 내화성 적용기술 개발>

- 내화성 커튼월 적용을 위한 경질 경량 무기발포 소재 제조기술 개발
- 불연성 경량 무기발포 소재를 적용한 커튼월 시스템 및 공법 개발
- 최종 연구개발 성과물
불연성 경질 경량 발포소재가 적용된 “경량무기발포 세라믹보드의 백패널 및 프레임커버 적용 커튼월 내화성능 향상공법” 제시

III. 연구개발의 내용 및 범위

1. 연구개발의 내용

- 내화성 경질 경량 무기발포 소재 개발
 - 경량 무기발포체 제조기술 최적화
 - 공정생산을 위한 제어기술 최적화
 - 커튼월 적용을 위한 생산기술 확보
 - 커튼월용(공정생산/건축물 적용형) 경량무기발포 세라믹보드 개발
- 경량무기발포 세라믹보드 개발에 따른 커튼월 내화성 적용부위 및 시공법 연구

- 건축용 커튼월 패널 시공 공정기술 개발
- 현장 Mock-up 적용 및 Test bed
- 경량무기발포 세라믹보드의 백패널 및 프레임커버 적용 커튼월 내화성능 향상공법 제시

2. 년차별 연구개발 내용 및 범위

구 분	주관연구기관 (한국세라믹기술원)	공동연구기관 ((주)지메텍)	공동연구기관 (현대산업개발(주))
1차년도 (2010-2011)	▪ 기본 원료의 특성평가 및 최적화 ▪ 원료의 종류에 따른 특성평가 ▪ 단열성 확보를 위한 발포제 검토 ▪ 메쉬혼입 등의 보강 및 접합방법 검토	▪ 경질 경량무기발포 세라믹보드 제조 기술 개발 ▪ 고강도/경량성 확보형 경량 발포소재 개발 ▪ 발포제에 따른 공정생산확인	▪ 알루미늄 커튼월 가공 방법 개발 ▪ 알루미늄 패널소재와의 접합방법 개발
2차년도 (2011-2012)	▪ 경량무기발포 세라믹보드 제조기술 최적화 ▪ 공정생산을 제어기술 최적화 ▪ 내화성 커튼월 시스템 개선	▪ 공정생산을 제어기술 최적화 및 생산기술 확보 ▪ 공정조건 및 원료선정 최적화를 통한 생산	▪ 화재확대 방지 Fire stop 시스템 적용성 검토 ▪ 커튼월 패널 시공공정 기술 개발 ▪ 현장 Mock-up 적용기술 개발
3차년도 (2012-2013)	▪ 발포패널 최적화 기술 ▪ 내화성 커튼월 소재기술 확보 및 최적화 ▪ 내화성 커튼월 시스템 및 공법 제시 ▪ 내화성 커튼월 시스템 개발	▪ 공정생산용 발포소재 양산기술 개발 ▪ 내화성 커튼월 적용을 위한 패널 생산기술 확보	▪ 현장적용 기술의 성능 검토 ▪ 패널 시스템의 규격화 ▪ 테스트베드 실시 ▪ 내화성 커튼월 시스템 및 공법 제시 ▪ 신기술(NET) 제출

IV. 연구개발결과

1. 기본 원료의 특성 평가 및 최적화

- (1) 기본 원료인 유리분말, 플라이애시의 원료 성분분석 및 중금속 함유량 검토
- (2) 각 원료의 TG-DSC 분석 및 특성 평가
- (3) TG-DSC를 활용한 혼합물의 배합별 온도특성 평가

→ 기본원료에서는 명확한 용점을 보이지만 혼합물에서는 용점이 뚜렷하게 나타나지 않으며 혼합물의 소성온도 및 발포제의 조절을 통한 발포율의 조절

2. 발포제 적용을 위한 특성시험 및 평가

(1) 탄산칼슘(CaCO_3)

- CaO 가 플릭스로 작용하여 유리의 점도를 낮추어 기공이 과대성장하며 병합됨.
- 기공제어를 위한 적정량은 1% 이하로, 그 이상 첨가시 기공이 불규칙해짐.

(2) 그래파이트(Graphite, C)

- 그래파이트는 미세기공이 증가하나 첨가량이 증가할수록 열린 기공으로 발포되며 발포량이 적음.
- 미세기공 제어를 위한 적정량은 1% 이하로, 그 이상 첨가시 발포제가 충분히 반응하지 못하고 강도가 많이 떨어짐.

(3) 소듐실리케이트(Sodium silicate)

- 소듐실리케이트의 첨가로 기공을 제어하여 밀도 및 강도를 조절
- 소듐실리케이트에 의한 공극감소가 보이지만 온도조건에 의한 밀도차이를 보임
- 온도조건 제어로 밀도 0.45g/cm^3 조절 가능

3. 불연성 경량 무기 발포체의 물성평가

(1) 밀도

배합 및 온도조건, 발포제의 종류에 따라 다양한 값을 보이며 $0.20\sim0.60\text{g/cm}^3$ 범위로 밀도의 조절이 가능하며 밀도에 따라 압축강도가 증가하므로 사용용도에 적합한 밀도를 선정하여야 함. 또한 동일한 밀도에서도 발포율이나 기공의 제어를 통해 물성의 변화가 현저하게 나타나며 사용용도에 적합한 기공의 제어 및 소성 조건을 검토가 필요함.

(2) 압축강도

KS L ISO 679를 통한 압축강도 실험 결과 1차년도 목표치인 8 N/mm^2 를 초과하는 결과를 얻었음. 또한 밀도가 높아지는 경우 12 N/mm^2 정도의 강도를 확인할 수 있었으나 강도가 높아지는 경우 발포율이 적고 바인더인 유리의 특성에 좌우됨. 따라서 강도를 증진하기 위한 발포율의 조절은 적절하지 않으며 밀도에

따른 강도범위의 설정이 필요함. 또한 단열성능을 향상하기 위해 단열재 범위의 열전도율의 적용이 필요한 경우 강도가 현저하게 낮아지므로 적절한 조절이 필요함.

(3) 휨강도

압축강도 특성과 유사하며 3차년도 목표치인 2.0 N/mm^2 를 만족

(4) 열전도율

0.45 g/cm^3 인 조건에서 열전도율은 3차년도 목표치인 0.105 W/mK ($0.09 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}^\circ\text{C}$) 이하를 만족

(5) 전단강도

Mock-up 시험을 위한 구조계산에 의한 요청물성치인 0.5 N/mm^2 이상 만족

(6) 인장강도

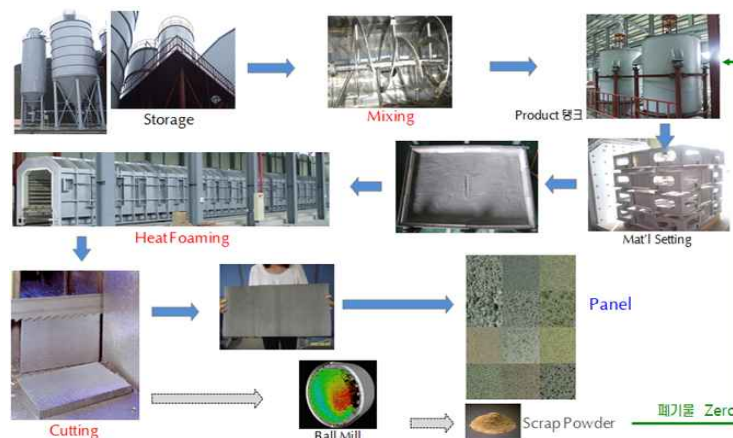
Mock-up 시험을 위한 구조계산에 의한 요청물성치인 0.5 N/mm^2 이상 만족

(6) 탄성계수

Mock-up 시험을 위한 구조계산에 의한 요청물성치인 $1,750 \text{ N/mm}^2$ 이상 만족

4. 경량무기발포 세라믹보드의 양산

경량무기발포 세라믹보드는 폐유리분말, 플라이애시, 발포제를 혼합하여 형틀에 넣어 전기로에서 소성함. 소성은 배합 및 조성에 따라서 설정온도가 다르며, 또한 전기로에서 발포체가 빠져 나올시 공기 중과 온도차가 크게 발생하면 온도에 의한 크랙이 발생하는데 이를 방지하기 위한 온도설정이 매우 중요함.



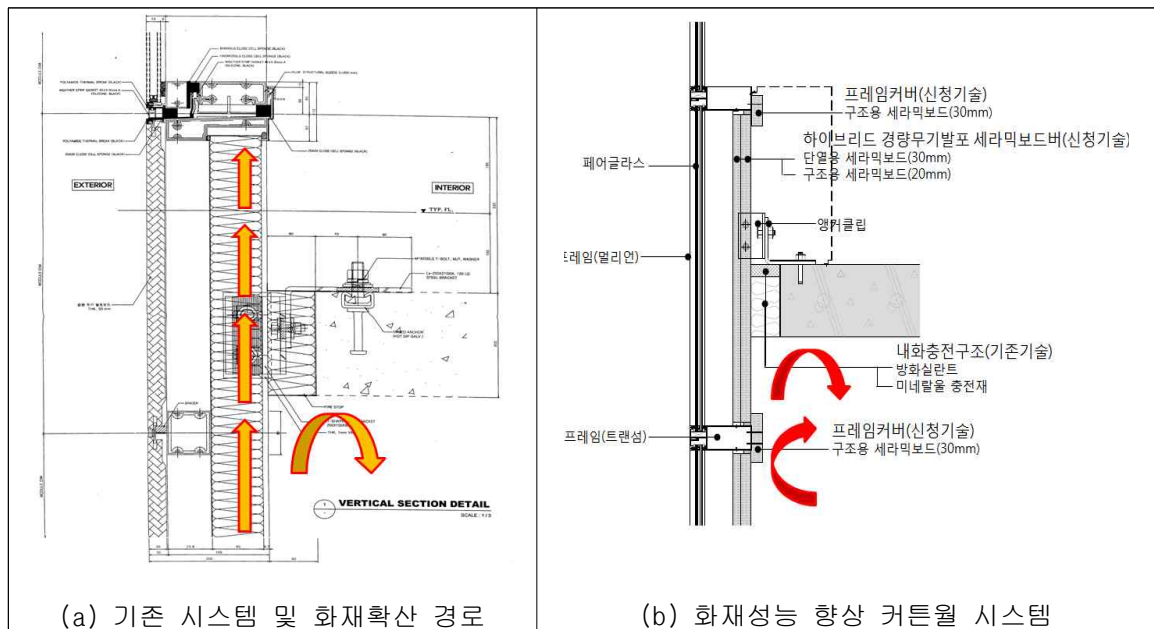
<경량무기발포 세라믹보드의 생산공정>



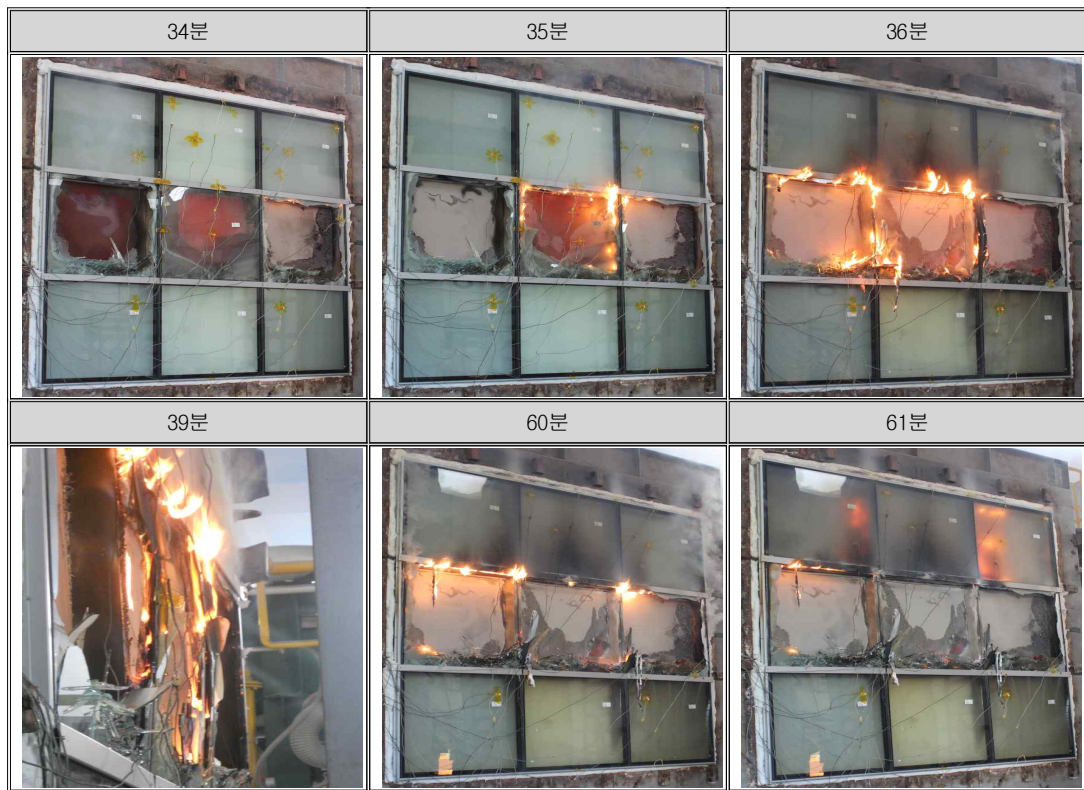
<다단 구조 발포방식>

5. 경량무기발포 세라믹보드를 적용한 커튼월 내화성능 평가

기성 알루미늄 패널과 경량무기발포 세라믹보드를 적용한 커튼월의 스펠드럴 구간에 대한 내화성능 평가를 실시하였으며 차열성, 차열성, 복사열, 열전대의 온도변화를 평가하여 기성패널보다 우수한 성능을 확인하였음.



<기존 시스템과 경량무기발포 세라믹보드를 적용한 커튼월 시스템의 비교>



<경량무기발포 세라믹보드를 적용한 커튼월의 내화성능>

6. 커튼월 Mock-up test 및 Test bed



<커튼월 Mock-up 시험>

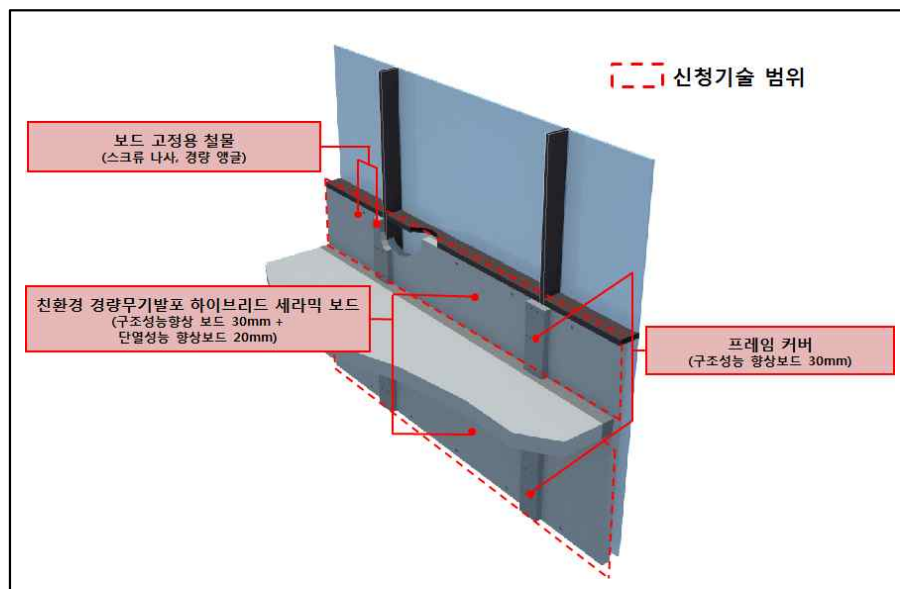


<커튼월 Test Bed>

7. 화재확산방지구조로 적용한 커튼월의 내화공법

기술명 : 경량무기발포 세라믹보드의 백패널 및 프레임커버 적용 커튼월 내화성
능 향상공법

기존 커튼월 시스템은 Spandrel 부위 및 층간슬래브를 통해 화염이 전파되므로 Spandrel 부위를 개발한 경량무기발포 세라믹보드로 대체하는 공법을 제안함.



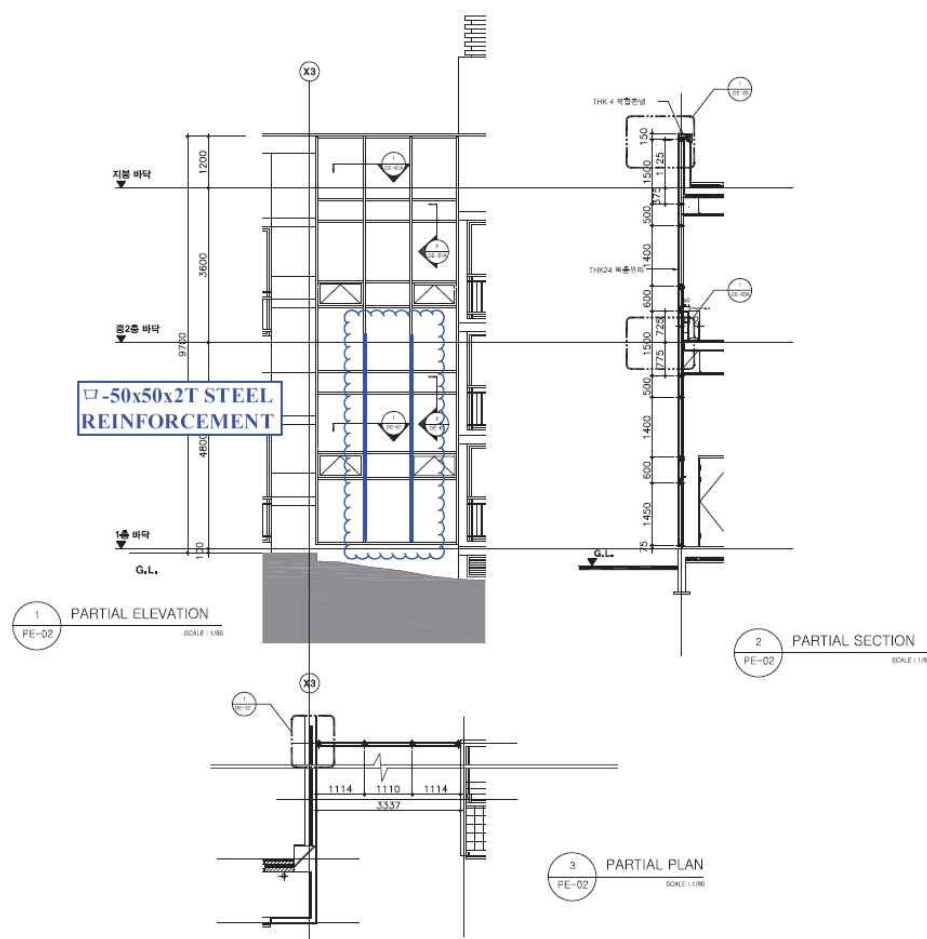
<경량무기발포 세라믹보드를 적용한 내화성능 향상공법>

8. 커튼월의 내화공법의 구조안전성능 확인

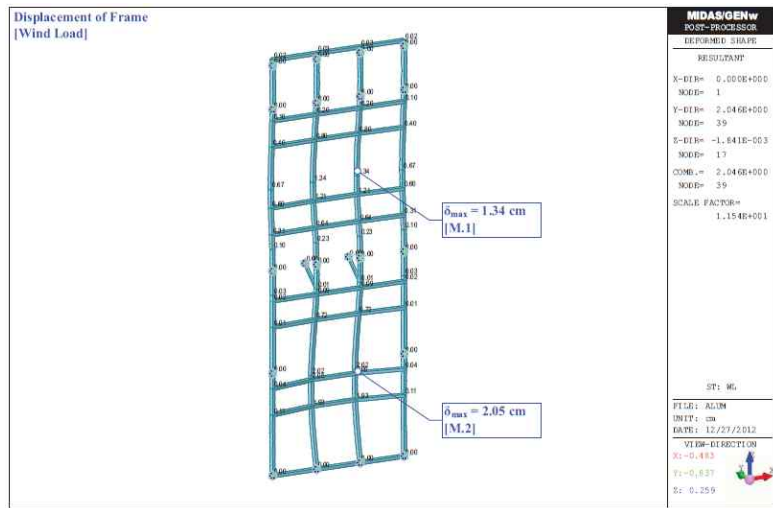
Test Bed 적용과 건축구조 설계기준에 의한 설계 풍하중을 산정하고, 커튼월 부재 및 경량무기발포 세라믹보드를 적용한 백패널 및 유리의 구조안전성을 검토하였다.

기본풍속	노풍도 구분	건물 높이	지형에 의한 풍속할증계수	건축물의 중요도 계수	외벽면의 단위 유효 수압면적
25m/sec (경기 광주)	C	13.2m	1	1.0	3.96m ²

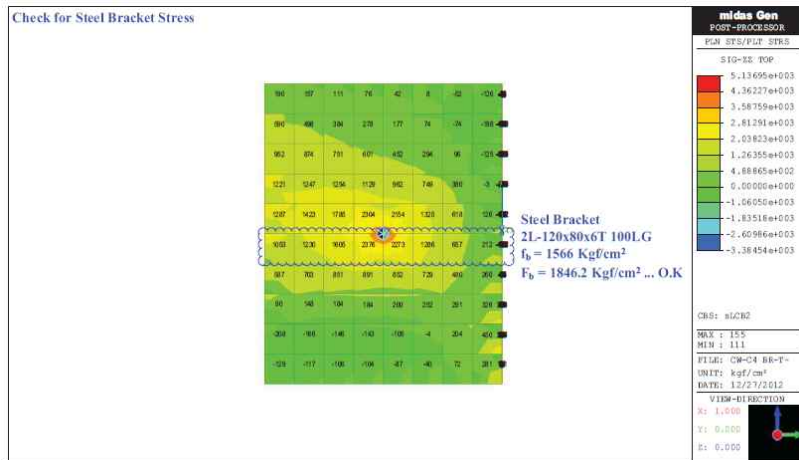
상기 기본조건에 따라 풍하중은 91kgf/m^2 으로 산정되었으며, 산정된 풍하중을 적용한 구조 검토한 결과 다음과 같이 응력 및 처짐이 구조적으로 안전한 것으로 판단되었다.



<Test Bed 시험체 도면>



<Frame 처짐 분석결과>



<Bolt 응력 분석결과>

	구분	Stress Ratio (%)	Actual Deflection (mm)	Allowable Deflection (cm)	Judgement
Alum. Frame	Alum. Vertical Frame[M.1]	86	1.34	2.11	0.K
	Alum. Vertical Frame[M.2]	98	2.05	2.35	0.K
	Alum. Horizontal Frame[T.1]	19	0.05	0.16	0.K
부자재	2-M12 Bolt	37	—	—	0.K
	Steel Bracket [2L-120×80×6T 100LG]	85	—	—	0.K
	1-M12 SET-Anchor	67	—	—	0.K

9. 내화성능 향상공법의 경제성 비교

경량무기발포 세라믹보드를 적용한 알루미늄 커튼월의 해당공정 및 유지관리 비용을 포함한 개발기술의 경제성은 기술기술 대비 약 9.1% 저렴함.

<기존기술과 개발기술의 경제성 분석>

(단위 : 원/㎡)

구 분		공사비				구 분
		재료비	노무비	경비	계	
기존기술 (글라스울 백패널 설치)	초기공사비용	37,002	31,987	1,000	69,989	개발기술이 7,081원/㎡ (9.1%) 저렴
	수선비용 (수선율 10%)	3,700	3,199	100	6,999	
	계	40,702	35,186	1,100	76,988	
개발기술 (경량무기발포 세라믹보드 백패널 및 프레임커버 설치)	초기공사비용	34,782	28,918	1,209	64,909	
	수선비용 (수선율 7.7%)	2,678	2,227	93	4,998	
	계	37,460	31,145	1,302	69,907	

(1) 해당 공정의 경제성 분석

해당 공정인 부속재료의 설치공정에서 기존 글라스울 백패널 적용 커튼월 시스템 대비 92.74%의 경제성을 확보하고 있음.

<기존기술>

명 칭	기존기술			
	재료비	노무비	경비	계
① 기준 먹메김	-	14,131	-	14,131
② 구체 부착철물 및 프레임설치	1,358,956	882,168	214,499	2,455,623
③ 부속재료의 설치(기존백패널설치)	308,043	266,291	8,325	582,659
④ 유리설치	1,297,758	748,116	19,287	2,065,161
⑤ 실링공사(유리설치 외)	32,300	6,378	-	38,678
⑥ 화연방지층의 시공 (내화충전재 설치)	1,328	2,560	-	3,888
⑦ 화연방지층의 시공 (내화실란트 설치)	5,670	1,119	-	6,789
⑧ 보양 및 청소	-	3,990	-	3,990
합계	3,004,055	1,924,753	242,111	5,170,919
M ² 당금액 (합계÷총 작업면적 20.59M ²)	145,899	93,480	11,759	251,138

<개발기술>

명 칭	개발기술			
	재료비	노무비	경비	계
① 기준 먹메김		14,131	-	14,131
② 구체 부착철물 및 프레임설치	1,358,956	882,168	214,499	2,455,623
③ 부속재료의 설치 (경량무기발포 세라믹보드 설치)	289,559	240,744	10,065	540,368
④ 유리설치	1,297,758	748,116	19,287	2,065,161
⑤ 실링공사(유리설치 외)	32,300	6,378	-	38,678
⑥ 화연방지층의 시공 (내화충전재 설치)	1,328	2,560	-	3,888
⑦ 화연방지층의 시공 (내화실란트 설치)	5,670	1,119	-	6,789
⑧ 보양 및 청소	-	3,990	-	3,990
합계	2,985,571	1,899,206	243,851	5,128,628
M ² 당금액 (합계÷총 작업면적 20.59M ²)	145,001	92,239	11,843	249,083

(2) 유지관리 비용의 차에 의한 경제성 분석

개발기술의 범위는 백패널 설치 공정으로 타 공정은 모두 기존 커튼월 공법과 동일하다. 따라서 유지관리비용의 차이는 백패널 설치 공정내에서 발생됨. 커튼월 공사에 있어서 유지관리비용 산정방법은 아직 정해진 바가 없기에 여기서는 백패널의 주요 재료인 단열재 유지관리비용을 산정하여 비교하고자 함.

<주택법 시행규칙 [별표 5] 장기수선계획 중 단열층 부분>

공사종별	수선방법	수선주기(년)	수선율(%)
단열층(벽·천장)	부분수리	15	20
	전면수리	50	100

<커튼월에 사용되는 단열재의 수선주기 및 수선율>

공사종별	수선방법	수선주기(년)	수선율(%)
단열재	부분수리	15	10
	전면수리	50	100

<내결로성 시험에 의한 단열성능 저하비율 비교>

구분	글라스울	경량무기발포 세라믹보드	비고
단열성능 저하비율(%) (열전도율 기준 측정)	3.1	2.3	글라스울 단열재의 단열성능 저하율 (1.3배)

<커튼월 사용 단열재의 수선율 산정>

구분	수선방법	수선주기(년)	수선율(%)
글라스울 백패널	부분수리	15	10
경량무기발포 세라믹보드 백패널 및 프레임커버	부분수리	15	7.7*

* 단열성능 저감비율이 기존 기술대비 0.3배 우수하므로 수선율이 30% 감소하는 것으로 판단

V. 연구개발 결과의 활용계획

1. 파급효과

(1) 기술적 측면

1) 고성능 소재개발

- 초경량 무기발포 세라믹보드 제조기술
 - 일본의 경우 초경량 무기발포보드를 개발하여 실용화 하고 있지만 단열성능은 아직 유기단열재에 미치지 못하고 있는 실정이며 난연성을 완전히 해결하지 못하고 있음.
- 유기 단열재 사용량 감소로 환경 피해 저감
 - 유기 단열재에 근접한 단열성능을 갖춘 소재 출시로 건축물 단열, 샌드위치 패널 등에서 유기 단열재 대체 가속화
 - 화재로 인한 인명 피해 감소
 - 사용 후 폐기 비용 절감 및 환경 피해 감소
- 건축물의 에너지 절감 시스템 본격 확대(외벽 단열 시스템의 도입 촉진)

- 단열성능 측면에서 외단열 시스템은 내단열 시스템보다 우수
 - 단열성, 불연성, 접착력을 동시에 갖춘 외단열용 소재가 없어 도입이 지연
 - 저층 건축물 뿐만 아니라 공동주택에도 외단열 시스템 적용 가능
- 내화성 경량무기발포 세라믹보드 시스템 적용 기술
- 고단열 및 내화성능이 우수한 건축물 커튼월용 재료 개발, 성능향상으로 제품 원료 절약, 커튼월 소재 및 시스템 수출, LNG탱크 등의 특수부위 단열재 기술, 철골 및 고강도 콘크리트의 내화피복재기술, 고층빌딩의 간막이벽 소재 기술 등 적용

2) 신기술 확보

- 신소재 및 시스템 개발에 따른 경량무기발포 세라믹보드 적용 고층빌딩 커튼월에 대한 기술력 확보 및 공법개발(국내·외 지적재산권 포함 등)
- 내화성 경량무기발포 세라믹보드 적용 커튼월 적용기술 및 외장 시스템 확보로 국가 경쟁력 향상

(2) 사회·경제적 측면

1) 폐자원 재활용률 제고

- Coal Fly Ash : 사업 개시 후 2년 후 연간 2만톤 재활용(0.2%)
5년 후 연간 20만톤 재활용(2%)
- 폐유리분말 : 사업 개시 후 2년 후 연간 3만톤 재활용(3%)
5년 후 연간 30만톤 재활용(20%)

2) CO₂ 배출량 감소 효과(마감재 기준 일반 석재 대비)

- 제조 시 : 10 %
- 사용 시 : 5 %..... 총 15 % 저감

3) 수출 촉진 효과(2017년 기준)

- 직접 수출(불연 외단열재) : 30 억원
- 간접 수출(단열 방화문, 방음벽, 선박용 하드코어 패널 등) : 50 억원

4) 수입 대체 효과(2016년 기준)

- 칼슘 실리케이트 보드(선박재) : 20억원
- 발포유리(Passive House) : 20억원
- 마그네슘보드(방화문) : 20억원

2. 활용방안

(1) 내화성 경량 무기발포소재 및 세라믹보드

- 경질 경량 무기발포 소재의 활용은 고품질 제품의 생산에 적용함으로써 관련 분야 산업의 발전에 기여할 수 있음.
- 발포기술 개발을 통한 관련 제품 및 타 산업분야로의 응용 확대 가능
- 발포소재 적용과 내화성 커튼월 적용으로 인한 안전성 확보를 통한 화재 안전성 인식 증대 및 관련 산업 활성화 가능

<불연성 경량무기발포 세라믹소재 경쟁력 및 시장성 척도>

제품	적용 분야	두께 (mm)	경쟁 제품		경량무기발포소재	
			제품명	가격 /m ²	가격 /m ²	가격 외 장점
CB-A1	1. 외벽 단열재***	50	암면	130RMB	130RMB	- 별도의 금속 mesh 사용하지 않으며, 시공비 포함 원가 저렴 - 습기에 따른 변형이나 단열성능 저하 없음.
	2. 방화문 심재***	30	펄라이트 보드	17,800	15,000	- 펄라이트는 접착제로 인해 600°C 이하에서 변형
CB-1	1. 내/외벽 마감재***	20 30	현무암	50,000	35,000	- 경량성 : 1/7 - 시공비 : 절단 용이, 습식 시공, 인건비 절감으로 30% 절감 - 단열 성능, 흡음성능 등 부가적 가치 제공
	2. 선박용 Hard Core ***	17.5	칼슘실리케이트/철제	30,000	12,000	- 경량성 : 철제 대비 50%, 칼슘실리케이트 대비 30% - 국산화 : 국제 원자재 가격 변동 영향 없음
	3. 방음벽 심재***	50	암면, 유리면	7,500	29,000	- 습기, 자외선에 따른 변형 없음 - 알루미늄 스킨 한면은 사용 안함 - 하중 지지 구조물이 경량화로 전체 원가는 30% 저렴
CB-2	1. 내벽/ 외벽 마감재***	30	현무암	50,000	45,000	- 경량성 : 1/5 중량 - 가공/시공비 : 습식 시공, 절단비, 인건비
	2. 경량 벽체** (아파트, 주택)	80	석고보드복합/ALC	32,000	32,000	- 흡/차음성능 - 강도 탁월
	3. 대리석 복합 패널***	15 vs. 30	알루미늄 하니콤	25,000	19,000	- Bending 없음 - 단열 보조, 흡음 기능은 독점적 기능
	4. 천장재** (습기취약 지역)	10	석고텍스	8,000	9,000	- 습기 변형 없음 - 인체 유해성 없음

(***:매우 높음, **:높음, *:보통)

- 기능성 부여 기술개발을 통한 부품소재 산업으로의 전파
- 고성능 건축재료 관련 R&D 인프라 구축 가능

3. 사업화계획

○ 현재 불연 단열재 기술과 관련하여 중국을 비롯한 선진 각국은 고시 등을 통하여 건축물의 화재안전을 확보하기 위해 불연단열재의 사용이 의무화하고 있는 추세임.

○ 국내에서도 불연재료의 사용이 점차로 늘고는 있지만 아직까지는 큰 이슈로 반영되지 못하고 있음. 하지만 건축시장의 니즈는 불연성능과 단열성능을 동시에 보유하고 있으면서도 원가 측면에서 유리한 소재 및 제품의 개발이 요구됨.

○ 본 연구개발 제품의 상용화는 기존 유기단열재에 비해 큰 폭의 비용 상승을 일으키지 않는 선이 적합함. 제품의 경쟁력은 품질, 성능, 공법 등이 동일한 조건 하에서는 가격이 최우선시 되므로 제조 원가가 낮추어 기존 경쟁 제품에 대하여 경량 세라믹 단열보드 제품의 원가 경쟁력을 확보함.

○ 본 연구개발 제품의 원가경쟁력 확보방안

- (1) 폐유리분말, 플라이애시 등 산업부산물의 재활용 원료 사용
- (2) 제조 공정에서 에너지 사용 최적화 기술
- (3) 건축물의 냉·난방 에너지 절감
- (4) 폐기물 처리비용의 절감
 - (가) 경량골재료의 재활용
 - (나) 발포 세라믹 단열보드 제품의 원료로 재사용

SUMMARY

I . Title of Study

Development of Fire Resistant Curtain Wall System

II . Necessity of Study

- Development of fire resistant light-weight board
- Development of fire resistant aluminium curtain wall system and construction methods

III. Objective of Study

1. Objective

- Analysis of curtain wall system for fire resistant structure and materials using it.

2. Contents and Scope

- Development of fire resistant light-weight board
 - The selection of a material using light-weight board and manufacturing methods.
 - Development of insulation materials using fire resistant curtain wall system
 - Development of high strength and high durability light-weight foaming materials
 - Application of New Excellent Technology

- **Development of fire resistant curtain wall system and construction methods**
 - Development of processing methods of aluminium curtain wall system
 - Development of jointing methods of aluminium fire-resistant light weight board.
 - Improvement of fire stop system in established curtain wall facilities.
 - Development of processing methods of curtain wall system and construction methods
 - Evaluation of fire resistant aluminium curtain wall system.

IV. Action Plan

Period of research	Application plan
1st year	- The selection of a material using light-weight ceramic board and manufacturing methods. - Development of insulation materials using fire-resistant curtain wall system - Development of processing methods of aluminium curtain wall system - Development of jointing methods of fire resistant light weight ceramic board.
2nd year	- Development of insulation materials using fire resistant curtain wall system - Improvement of fire stop system in established curtain wall facilities. - Development of processing methods of curtain wall system and construction methods - Evaluation of fire resistant curtain wall system.
3rd year	- Development of Fire Resistant Light-weight Board - Development of fire resistant aluminium curtain wall system and construction methods - Application of New Excellent Technology

V. Research Results

1. Analysis of raw materials

- Analysis of Cullet, Fly-ash, Foaming agent
- Heavy metals test is clear
- Chemical composition of Cullet and Fly-ash
- Analysis of TG-DSC

2. Property of foaming agents

- CaCO_3
- Graphite
- Sodium silicates

3. Property of nonflammable light-weight foaming materials

- Density
 $0.20 \sim 0.60 \text{ g/cm}^3$
- Compressive strength
In case $0.4 \sim 0.6 \text{ g/cm}^3$, Compressive strength is $8 \sim 12 \text{ N/mm}^2$
- Flexural strength
Over 2 N/mm^2
- Thermal conductivity
Under 0.105 W/mK ($0.09 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$)

4. Mass production of nonflammable light-weight foaming materials

- Foaming process of nonflammable light-weight foaming materials.
- Multiple-stage of foaming process.

5. Fire test of curtain wall system using nonflammable light-weight ceramic board

- Fire resistance of curtain wall system using nonflammable light-weight ceramic board.
- Curtain wall systems have 30 min. fire resistance performance.

6. Curtain wall mock-up test and test bed

- Fire resistance of curtain wall system have a structural safety
- Fire resistance of curtain wall system have wind and waterproofing performance
- Fire resistance of curtain wall systems test bed carry out HDC(hyundai development company) research center.

7. Application of new excellent technology

- Fire resistance of curtain wall system using nonflammable light weight ceramic board.

8. Economic feasibility of fire resistance of curtain wall system

- Fire resistance of curtain wall system is good economic feasibility compare with curtain wall system using glass wool back panel.
- Fire resistance of curtain wall system have advantage of 8%P compare with curtain wall system using glass wool back panel.

- 목 차 -

제1장 서론	1
제1절 연구개발의 필요성	1
1. 연구개발 개요	1
2. 기술개발의 필요성	3
가. 내화성 커튼월 소재 및 부품 개발의 필요성	3
나. 내화성 커튼월 시스템 개발의 필요성	5
제2절 연구의 목표	7
제3절 연구의 내용 및 범위	9
 제2장 국내 및 국외의 관련기술 기술동향	 12
제1절 국내 기술동향	12
1. 내화성 경량 단열소재와 에너지 절약	12
2. 정부정책 및 화재안전성예의 대응	14
3. 국내 기술 및 산업동향	14
4. 국내 관련 법령 및 정책 담당기관	14
5. 국내 특허동향	15
제2절 국외 기술동향	17
1. 국외 기술동향	17
2. 국외 특허동향	19
제3절 커튼월 시스템의 내화기준 검토	22
1. 국내 내화관련 규정 및 시험	22
2. 국외 내화관련 규정 및 시험	25
가. EN Code	25
나. 미국 Code	27
다. 커튼월 관련 국내외 내화관련 규정 비교 및 분석	28
제4절 화재확산 방지구조	29
1. 화재확산 방지구조	29
2. 화재확산 방지구조 적용 분석	31

제3장 연구개발 수행 내용 및 결과 32

제1절 내화성 경량무기발포소재 32

1. 내화성 경량무기발포소재 특성평가	32
가. 유리분말	32
나. 플라이애시	34
다. 발포제	41
2. 실험방법	42
가. 물성평가	42
3. 발포특성	44
가. 원료의 구성비에 따른 발포특성	44
나. 발포제에 따른 발포특성	47
4. 경량발포소재 성능평가	51
가. 물성평가	51
나. 내열도평가	54
다. 흡습성능평가	57
라. 화재성능평가	63
5. 양산기술	66
가. 발포소성기술	67
나. 기공 제어 제조 기술	68
6. 경량무기발포 세라믹보드용 내화성 바인더	69
가. 내화성 바인더의 경화메커니즘	70
나. 사용재료 및 실험방법	72
다. 실험결과 및 고찰	74
7. 내화성 커튼월 제안 시스템 적용과 기대되는 성능	91
8. 소결	93

제2절 경량 무기발포 세라믹보드 개발에 따른 커튼월 내화성 적용부위 및 시공법 연구 95

1. 경량 무기발포 세라믹보드 적용을 위한 성능 검증	95
가. 경량 무기발포 세라믹 보드와 실란트 접착시험	95
나. 알루미늄 판넬과 경량 무기질 보드의 접착성 시험	97
2. 경량 무기발포 세라믹보드 개발에 따른 ANCHOR 긴결방법 검토	102
3. 내화성 무기발포 세라믹보드를 이용한 커튼월 내화성능평가	103

가. 1차시험 결과	103
나. 2차시험 결과	109
4. 경량 무기발포 세라믹보드를 이용한 커튼월 Mock-up 성능평가	119
가. 열순환시험	120
나. 결로시험	120
다. 선재하시험	121
라. 1차 기밀시험	121
마. 정압하의 수밀시험	121
바. 동압하의 수밀시험	121
사. 구조성능시험	123
아. 2차 기밀시험	124
자. 영구변위량시험	124
차. 층간변위시험	124
5. 경량무기발포 세라믹보드의 단열성능평가	125
6. 경량무기발포 세라믹보드를 적용 커튼월의 테스트베드	129
가. 시공절차	129
나. 테스트베드 시공도면	132
다. 테스트베드 현장 시공사진	134
7. 소결	138
 제3절 경량무기발포 세라믹보드를 이용한 커튼월 내화성능 향상공법	142
1. 기술의 내용 및 범위	142
2. 기술의 신규성	143
3. 기술의 진보성	145
4. 기술의 경제성	149
5. 기술의 현장적용성	168
6. 기술의 보급성	181
 제4절 공사시방서	188
1. 일반사항	188
가. 적용범위	188
나. 용어정의	188
다. 감독관의 책무	189

라. 시공자의 책무	189
마. 공법, 공정의 결정	190
2. 사용자재	190
가. 경량무기발포 세라믹보드	190
나. 고정철물	191
다. 방화실란트	192
3. 시공방법	193
가. 시공전 점검 및 준비사항	193
나. 시공작업	194
다. 시공방법	195
라. 시공작업시 주의사항	198
마. 커튼월 성능시험	200
바. 품질관리 및 검사	201
제5절 유지관리지침서	204
1. 일반사항	204
2. 유지관리절차	204
3. 점검사항	205
4. 보수방법	206
제4장 연구개발결과의 활용계획	209
제1절 추가연구의 필요성 및 타 연구에의 응용	209
1. 국내외 관련분야의 환경변화	210
2. 중국의 건축 내장재료 및 단열재의 불연화 조치	210
3. 타산업 및 국내외 연계협력 가능성	210
제2절 연구의 기대성과 및 파급효과	212
1. 기대성과	212
2. 파급효과	213
제3절 활용계획	215
참고문헌	218

- 표 목차 -

[표 1.1] 국내 주요 단열재의 특성 비교	4
[표 1.2] 국내에 적용 중인 초고층 건축물(2000년 이후)	6
[표 1.3] 목표설정 근거 및 내용	7
[표 1.4] 정량적 목표항목	8
[표 1.5] 1차년도 연구목표 및 내용	9
[표 1.6] 2차년도 연구목표 및 내용	10
[표 1.7] 3차년도 연구목표 및 내용	11
[표 2.1] 국내특허 사례	16
[표 2.2] 외단열재의 인증 기준(중국)	18
[표 2.3] 해외기술현황	20
[표 2.4] 국외특허 사례	21
[표 2.5] 커튼월과 관련된 국내 법규	24
[표 2.6] 한국산업표준(KS F)의 내화시험방법	24
[표 2.7] EN Code 의 평가기준	25
[표 2.8] ASTM 규정	27
[표 2.9] 커튼월 관련 국·내외 내화CODE 비교 및 분석	28
[표 2.10] 관련 법규 및 품질기준 내용	29
[표 2.11] 경량무기발포 세라믹보드와 지정자재 및 글라스울 비교	31
[표 3.1] 유리분말 화학분석 결과	32
[표 3.2] 유리분말 중금속성분 함유 시험결과	34
[표 3.3] 국내에서 발생한 플라이애시의 화학성분	36
[표 3.4] 플라이애시 발생량 및 재활용량	38
[표 3.5] FA 재활용 분야(2009)	38
[표 3.6] FA 화학성분 분석결과	40
[표 3.7] FA 중금속성분 함유 시험결과	40
[표 3.8] 배합사항	44
[표 3.9] 경량 발포체 물성측정 결과	51
[표 3.10] Mock-up test용 시험체의 물성	52
[표 3.11] 밀도 및 압축강도 시험결과	52
[표 3.12] 무기단열재 및 경량무기발포 세라믹보드의 내결로성 평가결과	60
[표 3.13] 단열재 및 경량무기발포 세라믹보드의 건조 후 열전도율 회복 평가	60

[표 3.14] 화재성능평가 판정기준	63
[표 3.15] 화재성능평가 결과	65
[표 3.16] 시멘트 및 석고계 결합재의 온도에 따른 영향	70
[표 3.17] 사용재료	72
[표 3.18] 플라이애시 및 메타카올린의 화학조성	72
[표 3.19] 알칼리 활성화 바인더의 배합표	73
[표 3.20] 알칼리 활성화 바인더의 고온압축강도	75
[표 3.21] 내화성 커튼월 제안 시스템 적용과 기대되는 성능	91
[표 3.22] 부착강도 시험 결과(1차)	98
[표 3.23] 부착강도 시험 결과(2차)	100
[표 3.24] 1차 시험결과	107
[표 3.25] 2차 시험결과	119
[표 3.26] CASE 별 구성	125
[표 3.27] 열관류율 시험결과	125
[표 3.28] 주요성과물 및 특징	147
[표 3.29] 개발기술 범위에 대한 일위대가 비교	161
[표 3.30] 개발기술 포함 천체 커튼월 공법 일위대가 비교	161
[표 3.31] 주택법 시행규칙 [별표 5] 장기수선계획 중 단열층 부분	162
[표 3.32] 커튼월에 사용되는 단열재의 수선주기 및 수선율	162
[표 3.33] 내결로성 시험에 의한 단열성능 저하비율 비교	163
[표 3.34] 커튼월 사용 단열재의 수선율 산정	163
[표 3.35] 기존기술과 개발기술 의 유지관리 비용	164
[표 3.36] 기존기술과 개발기술 범위외의 커튼월 공사 유지관리 비용 산정 기준	164
[표 3.37] 기존기술과 개발기술 적용 커튼월 공사 유지관리 비용합계	165
[표 3.38] 기존기술과 개발기술 적용 커튼월 공사 유지관리 일위대가	165
[표 3.39] 기존기술과 개발기술 경제성 분석	166
[표 3.40] 기존커튼월 공사와 개발기술 적용 커튼월 공사 경제성 분석	166
[표 3.41] 세계 5대 커튼월 생산업체 현황	183
[표 3.42] 외국의 커튼월 내화성능 인증현황	186
[표 3.43] 경량무기발포 세라믹보드의 성능기준	190
[표 4.1] 발전전망 및 적용분야	216
[표 4.2] 기술의 활용방안	217

- 그림 목차 -

<그림 1.1> 기존 커튼월 시스템 소재 및 문제점	1
<그림 1.2> 커튼월의 화재사례(강남 삼성동(2008년))	2
<그림 1.3> 커튼월의 화재사례(성남 주상복합(2013년))	2
<그림 1.4> 기존 단열시스템 및 유·무기 소재의 문제점	4
<그림 1.5> 고층건물 유기 단열소재 적용 예	5
<그림 2.1> 내화성 경량 고단열 커튼월 소재	13
<그림 2.2> 기존 커튼월 시스템의 문제점	13
<그림 2.3> A급 불연 단열재의 사용계기가 된 CCTV 화재(중국)	18
<그림 2.4> 중국 불연 단열재 시장 관련 리포트	19
<그림 2.5> 기존 커튼월공법의 내화성능 향상을 위한 대안 제시	22
<그림 2.6> 화재실험체	26
<그림 2.7> 화재 확산 방지구조의 예	30
<그림 3.1> 유리분말의 열분석	33
<그림 3.2> 유리분말의 SEM사진	33
<그림 3.3> 유리분말의 입도분포	34
<그림 3.4> 석탄회 발생 공정	35
<그림 3.5> 플라이애시의 재활용 분야	38
<그림 3.6> 플라이애시의 열분석	39
<그림 3.7> 플라이애시의 SEM사진	39
<그림 3.8> 플라이애시의 입도분포	40
<그림 3.9> 발포체의 SEM사진	41
<그림 3.10> 발포 메커니즘	41
<그림 3.11> 압축강도 및 휨강도 시험	42
<그림 3.12> 열전도율 측정 및 밀도측정	43
<그림 3.13> 구조안전성 확인을 위한 탄성계수측정	43
<그림 3.14> 구조안전성 확인을 위한 인장강도 및 전단강도시험	43
<그림 3.15> 배합비별 TG-DSC	45
<그림 3.16> 배합에 따른 발포형상 켐스코프 사진(x40)	46
<그림 3.17> 탄산칼슘의 함량에 따른 공극	47
<그림 3.18> 그라파이트의 함량에 따른 공극	48
<그림 3.19> 소듐실리케이트와 탄산칼슘 함량에 따른 공극	49
<그림 3.20> 소성온도에 따른 기공의 모양	50
<그림 3.21> 밀도-열전도율 그래프	53

<그림 3.22> 밀도-압축강도 그래프	53
<그림 3.23> 공극률-압축강도 그래프	53
<그림 3.24> 내열도 시험 후 모습	54
<그림 3.25> 전기로 가열	54
<그림 3.26> 글라스울 열분석	55
<그림 3.27> 미네랄울 열분석	55
<그림 3.28> 경량발포체 열분석	55
<그림 3.29> 600℃ 고온가열시험	56
<그림 3.30> 700℃ 고온가열시험	57
<그림 3.31> Back Panel에 사용된 Glass Wool 단열재의 결로발생 및 변형	58
<그림 3.32> Back Panel 방습지 파손	59
<그림 3.33> 함수율에 의한 세라믹보드의 상태변화 (전→후)	60
<그림 3.34> 함수율에 의한 세라믹보드의 상태변화 (전→후)	61
<그림 3.35> 함수율에 의한 글라스울의 상태변화 (전→후)	61
<그림 3.36> 함수율에 의한 재료별 열전도율 증가율	62
<그림 3.37> 화재성능시험 원리 및 장비	64
<그림 3.38> 화재성능평가 시험체	65
<그림 3.39> 생산공정	66
<그림 3.40> 다단 구조 발포방식	66
<그림 3.41> 전용 연속식 로	66
<그림 3.42> 전용 커팅머신	68
<그림 3.43> 균일한 기공	68
<그림 3.44> 플라이애시를 활용한 내화성 바인더의 경화메커니즘	71
<그림 3.45> Microstructure of fly-ash based fire protection materials	71
<그림 3.46> Temperature vs. heating time of fire protection materials	73
<그림 3.47> 포로시미터	74
<그림 3.48> Color change of plain and fire protection materials at high temperatures	76
<그림 3.49> 내화성 결합재의 압축강도	77
<그림 3.50> 내화성 결합재의 상대압축강도	78
<그림 3.51> Plain 시험체의 TG-DSC(2시간)	80
<그림 3.52> AAFPM1 시험체의 TG-DSC(2시간)	81
<그림 3.53> AAFPM2 시험체의 TG-DSC(2시간)	82
<그림 3.54> 공극구조 분포(1시간)	85
<그림 3.55> 공극구조 분포(2시간)	86
<그림 3.56> 공극률 변화(1시간)	87

<그림 3.57> 공극률 변화(2시간)	88
<그림 3.58> 누적공극률 변화(1시간)	89
<그림 3.59> 누적공극률 변화(2시간)	90
<그림 3.60> Silicone Sealant 와 판재 간 접착성 미확보 확인	95
<그림 3.61> 판재 Joint에 Silicone sealant 로 인한 오염 현상 발생	96
<그림 3.62> 가압 시험 과정	97
<그림 3.63> 접착 강도 시험 결과	97
<그림 3.64> 부착강도 시험 과정(1차)	98
<그림 3.65> 부착강도 시험 현황	99
<그림 3.66> 부착강도 시험 과정	100
<그림 3.67> 부착강도 시험	101
<그림 3.68> 인발테스트	102
<그림 3.69> 실란트 접합시험	102
<그림 3.70> UNDER-CUT ANCHOR를 이용한 시공법	102
<그림 3.71> 화재성능시험체	103
<그림 3.72> 열전대 측정 위치	104
<그림 3.73> 내화시간에 따른 시험체의 형태	105
<그림 3.74> 1차실험 커튼월 외피 온도 DATA	106
<그림 3.75> 평균온도 측정을 위한 열전대의 온도변화	106
<그림 3.76> 평균온도 성능평가	107
<그림 3.77> 최대온도 성능평가 (©열전대)	107
<그림 3.78> 복사열 성능평가	108
<그림 3.79> 패널 및 유리에 부착된 열전대의 온도변화	108
<그림 3.80> 2차 실험도면	109
<그림 3.81> 열전대 측정위치	110
<그림 3.82> 추가 열전대 위치	110
<그림 3.83> 세라믹보드의 내화시간에 따른 형태	112
<그림 3.84> 2차실험 커튼월 외피 온도 DATA	113
<그림 3.85> 평균온도 측정을 위한 열전대의 온도변화	114
<그림 3.86> 평균온도 성능평가	115
<그림 3.87> 최대온도 성능평가	115
<그림 3.88> 복사열 성능평가	116
<그림 3.89> 패널 및 내부유리의 시간에 따른 온도변화	118
<그림 3.90> 커튼월 Mock-up 시험	119
<그림 3.91> 열순환 시험	120

<그림 3.92> 수밀시험	122
<그림 3.93> 내부 누수 발생 패널	122
<그림 3.94> Crack 발생 상태	123
<그림 3.95> 크랙발생 위치	124
<그림 3.96> 층간변위시험	125
<그림 3.97> Module Size	126
<그림 3.98> 기본안 상세도면	126
<그림 3.99> Frame cover 적용 상세도면	127
<그림 3.100> CASE 1 시뮬레이션 결과	127
<그림 3.101> CASE 2 시뮬레이션 결과	127
<그림 3.102> CASE 3 시뮬레이션 결과	128
<그림 3.103> CASE 3 + Frame cover 시뮬레이션 결과	128
<그림 3.104> 경량무기발포 세라믹보드 절단	129
<그림 3.105> 경량무기발포 세라믹보드 설치	130
<그림 3.106> 경량무기발포 세라믹보드 접합 조인트	130
<그림 3.107> 커튼월 프레임 커버 설치	131
<그림 3.108> 경량무기발포 세라믹보드의 설치 예	131
<그림 3.109> 테스트베드 도면	132
<그림 3.110> 커튼월 부분 단면도	133
<그림 3.111> 부분상세도	133
<그림 3.112> 테스트베드 현장(현대산업개발 기술연구소)	134
<그림 3.113> 경량 무기발포 세라믹보드 설치	135
<그림 3.114> 커튼월 스펠드럴 구간 적용	136
<그림 3.115> 경량 무기발포 세라믹보드 가공	137
<그림 3.116> 내부 E.J 구간(1차 시험 후)	139
<그림 3.117> Crack 발생 원인 분석	139
<그림 3.118> 경량무기발포 세라믹보드를 적용한 내화향상 공법	142
<그림 3.119> Mock-up 시험체 제작 도면	170
<그림 3.120> 상하부 Bracket 검토결과	172
<그림 3.121> 구조용 Sealant 검토결과	172
<그림 3.122> Undercut Anchor 검토결과	172
<그림 3.123> 실물모형 실험 전경	174
<그림 3.124> 층간변위 시험결과	174
<그림 3.125> Test Bed 시험체 도면	175
<그림 3.126> Frame 처짐 분석결과	176

<그림 3.127> Frame 응력 분석결과(Force-Y)	176
<그림 3.128> Frame 응력 분석결과(Force-Z)	176
<그림 3.129> Steel Bracket 응력 분석결과(Positive Wind Load)	177
<그림 3.130> Steel Bracket 응력 분석결과(Negative Wind Load)	177
<그림 3.131> Bolt 응력 분석결과	177
<그림 3.132> 국내 금속구조물 · 창호공사 기성금액 추이	181
<그림 3.133> 국내 커튼월 시장 전망	182
<그림 3.134> 세계 커튼월 시장 현황	183
<그림 3.135> 세계 커튼월 시장의 국가별 규모	183
<그림 3.136> 경량무기발포 세라믹보드	191
<그림 3.137> 무기질 단열재와 프레임 고정용 경량 L형 앵글	192
<그림 3.138> 경량 앵글 고정용 스크류 피스	193
<그림 3.139> 방화실란트	193
<그림 3.140> 내화성능 향상 커튼월 공법 시공순서 및 시방서의 적용범위	195
<그림 3.141> 무기질 단열재의 절단	195
<그림 3.142> 경량무기발포 세라믹보드의 최하단 설치	197
<그림 3.143> 경량무기발포 세라믹보드와 프레임간 고정	197
<그림 3.144> 방화실란트 도포	197
<그림 3.145> 경량무기발포 세라믹보드 접합 조인트	197
<그림 3.146> 커튼월 프레임 커버 절단	198
<그림 3.147> 커튼월 프레임 커버 설치	198
<그림 3.148> 경량무기발포 세라믹보드 설치 후 실링작업	198
<그림 3.149> 경량무기발포 세라믹보드의 설치 예(수직단면)	199
<그림 3.150> 경량무기발포 세라믹보드의 설치 예(수평단면)	199
<그림 3.151> 경량무기발포 세라믹보드의 체크리스트 일예	203
<그림 3.152> 유지관리 절차	205
<그림 3.153> 경량무기발포 세라믹보드의 전면보수	206
<그림 3.154> 경량무기발포 세라믹보드의 전면보수	208
<그림 4.1> 기술·경제·환경적 측면의 요구	211

1 장 서 론

제1절 연구개발의 필요성

1. 연구개발 개요

1970년대 건축물의 외벽 마감에 커튼월 시스템을 도입한 이래, 국내 커튼월 시장은 지속적으로 성장하여 대표적인 건축물인 63빌딩, 포스코빌딩, 무역센터빌딩 등 대형 건축물 외벽을 커튼월 시스템(stick/unit system)으로 시공하였다. LG화학에서는 2008년 세계 최고의 커튼월 전문 컨설팅 회사인 영국의 Arup사와 전략적 제휴를 맺고 차별화된 커튼월 및 건물일체형 태양광 발전 시스템과 PVC 창호사업에 진출하였으며, 삼우이엠씨에서는 건축물의 외벽을 구성하는 커튼월을 내측 창, 외측 창, 중공층을 일체화하여, 냉·난방에너지 절감과 자연 환기가 가능한 이중 외피시스템(Double Skin) 개발하여 적용중이다.

기존 커튼월은 고층건물의 적용에 있어 전망과 하중에 대한 부담을 줄이기 위해 경량 측면만을 강조하여 유리내지 금속패널이 사용되었으며, 최근 경제적이면서 보다 우수한 성능 및 친환경성을 겸비한 차별화된 커튼월 시장이 형성되었다.



<그림 1.1> 기존 커튼월 시스템 소재 및 문제점

고층빌딩 커튼월 시스템 소재로는 알루미늄과 유리가 주를 이루며 현재는 이들 소재로 구성된 유닛화된 시스템으로 고층건물의 외벽을 마감하고 있다. 또한 커튼월 시스템용 알루미늄 복합패널은 단열재로 글라스울 및 미네랄울이 적용되며 부분적으로 유기계 단열재료를 사용하여 단열성능을 높이고 있다.

하지만 무기계 소재인 글라스울이나 미네랄울은 특성상 수분에 취약하여 뭉침/처짐 현상 등이 발생하여 단열효과가 떨어지며 난연 처리한 유기계 소재와 폴리에스터울 등은 화재 취약성 및 일산화탄소 발생에 의한 인체 유해성 등으로 건물 적용에 한계를 갖는다.



<그림 1.2> 커튼월의 화재사례(강남 삼성동(2008년))



<그림 1.3> 커튼월의 화재사례(성남 주상복합(2013년))

2. 기술개발의 필요성

가. 내화성 커튼월 소재 및 부품 개발의 필요성

국내 건축물의 고층화·대형화에 따라 알루미늄과 유리를 소재로 한 경량 커튼월 시스템이 주로 사용되고 있다. 경량 커튼월 시스템은 건축소재의 경량화 기술이 절대적으로 요구되며 바람에 의한 파손을 방지하기 위한 내풍압 특성도 요구된다.

하지만 기존의 커튼월 소재인 알루미늄과 유리는 내화 및 방화성능이 부족하여 층간화재전파를 막기에 한계가 있다. 특히 고층빌딩의 화재전파에서 보듯이 경량 알루미늄이 열에 녹아 층사이로 화재가 전파되어 상층부로 이동하므로 커튼월 구획간의 연소 확대를 방지하기 위한 조치가 필요하다. 화재연소 확대방지를 위해 차열성, 차염성 등의 내화성능이 반드시 필요하지만 현재의 커튼월용 소재로서는 방화구획간의 연소 확대 방지성능을 확보할 수 없다.

또한 기존 커튼월 소재인 알루미늄 및 유리의 열전도율은 $0.6 \sim 1.0 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ 수준으로 매우 높아 에너지 절약에 한계가 있어 알루미늄 복합패널 등은 패널 내부에 단열재로 무기계인 미네랄울 및 글라스울과 유기계인 폴리에스테르울 및 폴리우레탄 등의 재료를 사용해야 한다.

무기계 소재는 제품 특성상 단독으로는 패널 형태로 가공하기 힘들 뿐만 아니라 내수성이 약하고, 여전히 단열성능이 유기단열소재에 크게 못 미치고, 또한 무게가 무겁기 때문에 시공성이 나쁘다. 최근 비중이 낮은 인공경량소재($0.4 \sim 0.5 \text{ g/cm}^3$)를 사용한 단열보드 제조에 대한 연구가 있었으나 보드의 열전도율이 $0.1 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ 정도로 일반 유기단열재 보다 여전히 성능이 많이 떨어지고 있다.

또한 소재의 특성상 무기계는 수분에 취약하여 뭉침 및 처짐 현상 등이 발생하여 단열효과가 불량하고 유기계는 화재에 대한 취약성을 극복할 수 있는 새로운 소재의 개발이 시급하다.

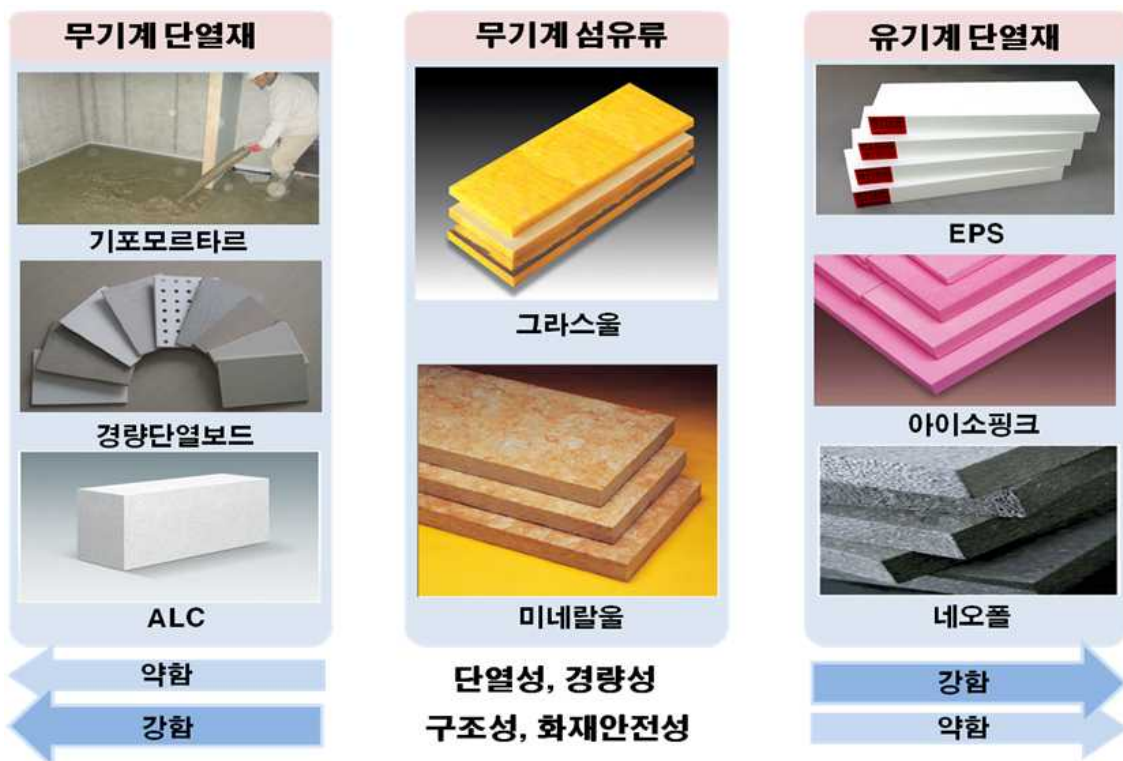
건축물 외벽을 구성하는 대표적인 커튼월은 현재까지 유리화 금속을 기본소재로 활용하였다. 더불어 이들 소재의 단열성 불량을 해결하기 위한 연구를 중점 추진하였으나, 획기적인 방안이 도출되지 못하고 있으며 또한 이들 소재는 화재에도 매우 취약한 형편이다.

따라서 기존 커튼월 시스템의 단열성을 향상시키고 내화성능을 확보하기 위한 기술개발이 절실한 실정이다. 이를 위해서는 정부의 적극적인 기술개발 의지가 필요

하며 아울러 화재 등으로 인한 고층 빌딩의 취약성을 개선할 수 있는 커튼월용 초경량 내화성 무기발포 소재의 개발이 필수적이며, 이를 위한 무기발포 알루미늄 복합패널 시스템의 구조기술, 완성된 시스템의 성능평가기술, 시공기술 등이 동시에 개발되어야 한다.

[표 1.1] 국내 주요 단열재의 특성 비교

구 분	유기계		무기계		단열패널		
	스티로폼 (EPS)	폴리우레탄 (PUR)	글라스울 (Glass wool)	미네랄울 (Rock wool)	기포몰탈	EPS 몰탈	ALC
열전도율 (kcal/mh℃)	≒0.03	0.02~0.03	0.04~0.07	0.04~0.07	0.09~0.20	0.09~0.60	0.10~0.20
강도특성	매우 불량	매우 불량	극히 불량	극히 불량	보통	보통	우수
내열특성	극히 불량	극히 불량	우수	우수	우수	약간 불량	우수
시공특성	불량	불량	매우 불량	매우 불량	우수	보통	보통
유 해 성	연소시 CO 가스 발생	연소시 CO 가스 발생	접착제 연소로 약간 유해	유해	거의 없음	거의 없음	거의 없음



<그림 1.4> 기존 단열시스템 및 유·무기 소재의 문제점



<그림 1.5> 고층건물 유기 단열소재 적용 예

나. 내화성 커튼월 시스템 개발의 필요성

최근 건축물의 고층화·대형화에 따라 다양한 기능성을 갖는 부품 및 소재가 요구되고 있으며, 또한 건축물의 고층화에 적합한 물성을 발현할 수 있는 내화성 커튼월 시스템 개발의 필요성이 대두되고 있다. 그러나 아직까지 커튼월의 구조에 대한 법규상의 제도적 미비 및 커튼월 시스템의 내화성능 확보방법 등이 빈약한 상황이며, 따라서 소재, 부품, 모듈 및 건축구조·시공분야의 융합기술을 개발하여 국가적으로도 수출경쟁력이 있는 기술적 우위를 선점할 필요가 있다.

건설산업에서의 경쟁력 확보를 위한 핵심기술은 성능을 만족하는 구조시스템의 개발 및 적용이라 할 수 있으며, 더불어 구조안정성 및 화재안전성에 대한 기술비중이 매우 높아지고 있는 상황이다. 특히 화재안전성 확보를 위한 건축물의 커튼월 시스템은 고층건물의 다양한 요구기능을 만족하여야 하며, 또한 의장적 기술효과에 의한 초고층 건축물의 설계 및 시공 시장을 선점하여야 한다.

이는 세계적 추세인 고층 건물에 적합한 새로운 내화성 커튼월 부품·소재 등을 적용한 시스템을 개발함으로써 가능해지고, 더불어 완성된 커튼월 시스템이 단열성, 내화성 및 내구성 등의 기본적인 기능성을 만족하여야 한다.

[표 1.2] 국내에 적용 중인 초고층 건축물(2000년 이후)

공 사 명	시공회사	년도	높이 (층수)	비 고
트럼프월드 III	대우건설	2002	32층	여의도
아크로빌	대림산업	2002	46층	도곡동
타워팰리스 I	삼성건설	2002	55층	도곡동
타워팰리스 II	삼성건설	2002	66층, 234m	도곡동
타워팰리스 III	삼성건설	2003	69층, 261m	도곡동
삼성 I-Park	현대산업개발	2003	47층	삼성동
목동 하이페리온	현대건설	2003	69층, 256m	목동
분당 I-space	현대산업개발	2003	34층, 157m,	경기 분당
잠실 갤러리아 팰레스	한화/삼성	2004	46층, 150m	잠실
아크로비스타	대림산업	2004	37층, 119m	서초동
여의도 리첸시아	금호건설	2004	40층, 150m	여의도
부산 the # 센텀파크	포스코건설	2007	51층, 161m	해운대군 재송동
잠실 the # 스타파크	포스코건설	2008	39층	잠실
성수동 초고층 Project	대림산업	2008	40층 이상	Mock-up 실험(성수동)
송도 센텀파크	포스코건설	2008	63층, 231m	송도
황학동 롯데주택(개슬)	롯데건설	2008	33층	지하1층 코어벽체 시험시공
목동 트라팰리스	삼성건설	2008	49층, 174m	지하4층 기둥 시험시공
더샵퍼스트월드	포스코건설	2009	66층, 249m	인천
수성SK리더스뷰	SK건설	2010	57층, 225m	대구
WBC 더팰리스	경남기업	2011	51층, 265m	부산
the #센트럴스타	포스코건설	2011	58층, 207m	부산
금호리첸시아	금호건설	2012	66층, 239m	부천

제2절 연구의 목표

1. 최종 연구목표

고층빌딩 커튼월용 내화성 적용기술 개발

- 내화성 커튼월 적용을 위한 경질 경량 무기발포 소재 제조기술 개발
- 내화성 경량 무기발포 알루미늄 복합패널 시스템 및 공법 개발
- 최종 연구개발 성과물

내화성 경질 경량 발포소재가 적용된 내화성 커튼월 시스템 및 공법 제시

[표 1.3] 목표설정 근거 및 내용

분 류	내 용
내화성 경질경량 무기발포 소재	◦ 원료 선정 및 제조 기술 개발 ◦ 단열특성 발현형 고다공성 경질 경량 발포소재 개발 ◦ 고강도/내구성 확보형 경질 경량 발포소재 개발 ◦ 커튼월용(공정생산/건축물 적용형) 발포소재 개발 ■ 플라이애시 30% 함유 ■ 밀도 : 0.5 g/cm³ 이하 ■ 경질경량 발포소재 압축강도 80 kgf/cm² 이상, 휨강도 20 kgf/cm² 이상, 전단강도 5 kgf/cm² 이상 인장강도 5 kgf/cm² 이상, 탄성계수 17,500 kgf/cm² 이상 ■ 열전도율 0.09 kcal/mhc 이하 ■ 흡수율 10% 이내, 길이변화율 0.15% 이내 ■ 연소성능 8MJ/m² 이하, 가스유해성 9분 이상, 온도상승 20K이하, 중량감소 30%이하 ■ 패널의 크기 : 나비 600mm 이상, 길이 1200mm 이상 두께 20~30mm ■ 단일부재 난연성능 및 불연성능 만족
내화성 경량 무기발포 패널 시스템 및 공법	• 무기계 발포 보드는 원료 선정단계부터 제품의 가격에 영향을 미치므로 경제성을 확보 측면에 유리한 원료의 선정 및 이를 활용하는 기술의 개발이 필요. 특히, 발포체를 형성하는 재료는 부산물 및 폐기물 중 활용성이 낮은 자원을 활용하여 건축용 패널을 제조하는 것이 유리함. • 현재 값이 저렴한 플라이애시 등은 탄산칼슘 등의 재료를 대체할 수 있고 재활용율이 매우 낮은 폐유리 미분을 활용하여 건축용 패널을 제조하는 기술개발을 실시함으로써 실질적인 재활용 향상에 기여. • 건축물 커튼월 활용은 사용하고자 하는 용도에 적합한 물리적 특성 뿐만 아니라 법적인 기준을 만족하여야 활용할 수 있다. 즉 건축물의 내장재 중 난연 및 불연성능을 만족하여야 하며 층간 화재전파 방지도 유리하여야 함.

[표 1.4] 정량적 목표항목

물성		단위	목표	평가 방법
경량 무기발포 소재	내화성 무기발포 패널		mm 600*1200*20~50mm 1200*1200*20~50mm	-
	밀도		g/cm ³ 0.5 ± 0.01 이하	KS F 2701
	열전도율		kcal /mh℃ (W/mK) 0.09 ± 0.018 이하 (0.105 ± 0.021 이하)	KS L 9016
	압축강도		kgf/cm ² (MPa) 80.0 ± 0.016 이상 7.8 이상	KS L ISO 679
	휨강도		kgf/cm ² (MPa) 20.0 ± 0.04 이상 1.96 이상	KS L ISO 679
	전단강도		kgf/cm ² (MPa) 5.0 ± 0.1 이상 0.49 이상	KS L ISO 679
	인장강도		kgf/cm ² (MPa) 5.0 ± 0.1 이상 0.49 이상	KS L ISO 679
	탄성계수		kgf/cm ² (MPa) 17,500 ± 350 이상 1715 이상	KS L 9016
	화재 성능	연소성능 (20분 가열, THR)	MJ/m ² 8 이하	KS F ISO 5660-1
		가스유해성	min. 9 이상	KS F 2271
		온도상승	K 20K 이하	KS F ISO 1182
		중량감소	% 30 이하	
경량 무기발포 패널 시스템 및 공법	기밀성능시험		ft ³ /m ² min 0.06	ASTM E283
	수밀성능시험		ml/15분 15	ASTM E331
	구조성능시험		mm 총고(L) 4115mm 이하 L/175mm 총(L) 4115mm 이상 L/240+6.35mm	ASTM E330
	층간변위시험		mm 변위 적용 후 파괴없을 것. 층간변위 시험 후 기밀, 수밀 성능에 문제없을 것	AAMA 501.4
	열순환시험		- 이상 유무 -18℃ ~ 82℃(외부온도) 24℃ ± 2℃(내부온도) 40% ± 5%(상대습도)	AAMA 501.4
	결로시험		- 시료면적의 5%이내 습기막 인정 결로수 발생하여 내부마감도료 오염시 불합격 -18℃ (외부온도) 24℃ ± 2℃(내부온도) 50% ± 5%(상대습도)	AAMA 501.4
	실물화재시험		- 기존 시스템에 비해 화재전파의 차단성능이 우수할 것	EN 13830
	테스트베드		- 테스트베드 적용 시공성 검토 및 성능 모니터링	-

제3절 연구의 내용 및 범위

[표 1.5] 1차년도 연구목표 및 내용

개발내용 및 범위				
■ 기본 원료의 특성평가 및 최적화 -유리분말, 플라이애시, 발포제 등 -소성온도에 따른 발포특성 평가 -원료의 구성비에 따른 발포특성 평가 ■ 무기질 원료의 입도분포에 따른 특성시험 및 평가 -원료의 분산특성 기초 기술 평가 -원료의 입도특성 및 발포특성 기초실험 -분체함량 제어 기초실험 ■ 단열성 확보를 위한 발포제 검토 -탄산칼슘, 그라파이트 등 -발포제의 구성비율에 따른 제품특성 파악 -발포제, 발포온도 및 발포율 검토 ■ 경량무기발포 세라믹보드의 물성 평가 -밀도, 압축강도, 휨강도, 열전도율 특성시험 -화재성능 평가(난연 및 불연시험) ■ 메쉬혼입 등의 보강 및 접합방법 검토 -알루미늄 패널과의 접합방법 및 무기접착제 검토 ■ 알루미늄 커튼월의 내화성능 확보방안 마련 -선진국의 내화성 커튼월 적용 시스템 분석 -건축물의 커튼월 시스템의 법규상 적용요인 분석 - 비내력벽의 화재확대 방지기술 등 ■ 알루미늄 두께 재질(조직)에 따른 가공 방법 개발 -알루미늄 3003 재료 등 두께별 표면마감 상태 연구 -알루미늄 불소수지 코팅에 대한 물성 및 부식성능평가 - 염수분무시험 등 ■ 무기발포소재와 알루미늄 패널 소재와의 접합방법 개발 -불에 타지 않는 접합 방법 연구 -부착강도 등 물성 평가				
<1차년도 정량 목표치>				
물성		단위	목표	평가 방법
밀도		g/cm ³	0.5 이하	KS F 2701
압축강도		kgf/cm ² (MPa)	60.0 이상 5.88 이상	KS L ISO 679
휨강도		kgf/cm ² (MPa)	10.0 이상 0.98 이상	KS L ISO 679
열전도율		kcal/mh℃ (W/mK)	0.09 이하 (0.105 이하)	KS L 9016
화재 성능	연소성능 (20분, THR)	MJ/m ²	8 이하	KS F ISO 5660-1
	가스유해성	min.	9	KS F 2271
	온도상승	K	20K 이하	KS F ISO 1182
	중량감소	%	30 이하	

[표 1.6] 2차년도 연구목표 및 내용

개발내용 및 범위				
- 선정원료 및 조건의 최적화 - 공정 및 소성온도에 따른 물성 파악 - 공정생산을 위한 제어기술 최적화 - 커튼월 적용을 위한 생산기술 확보 - 내화성 커튼월의 불연소재 적용성 연구 - 건축용 커튼월 패널 시공 공정기술 개발 - 내화성 무기발포 알루미늄 복합 패널 성능평가 - Mock-up 적용 적용기술 개발				
<2차년도 정량 목표치>				
물성	단위	목표	평가 방법	
내화성 무기발포 패널	mm	600*1200*20~50mm 1200*1200*20~50mm	-	
밀도	g/cm ³	0.5 이하	KS F 2701	
압축강도	kgf/cm ² (MPa)	70.0 이상 5.6 이상	KS L ISO 679	
휨강도	kgf/cm ² (MPa)	20.0 이상 1.96 이상	KS L ISO 679	
열전도율	kcal/mh℃ (W/mK)	0.09 이하 0.105 이하	KS L 9016	
화재 성능	연소성능 (20분, THR)	MJ/m ²	8 이하	KS F ISO 5660-1
	가스유해성	min.	9	KS F 2271
	온도상승	K	20K 이하	KS F ISO 1182
	중량감소	%	30 이하	
	실물 화재시험	-	기존 시스템에 비해 화재전파의 차단성능이 우수할 것	EN 13830
물성	단위	목표	평가 방법	
기밀성능시험	ft ³ /m ² min	0.06	ASTM E283	
수밀성능시험	ml/15분	15	ASTM E331	
구조성능시험	mm	총고(L) 4115mm 이하, L/175mm 총(L) 4115mm 이상 L/240+6.35mm	ASTM E330	
층간변위시험	mm	변위 적용 후 파괴없을 것. 층간변위 시험 후 기밀, 수밀 성능에 문제없을 것	AAMA 501.4	
열순환시험	-	이상 유무 -18℃ ~ 82℃(외부온도) 24℃ ± 2℃(내부온도) 40% ± 5%(상대습도)	AAMA 501.4	
결로시험	-	시료면적의 5%이내 습기막 인정 결로수 발생하여 내부마감도료 오염시 불합격 -18℃ (외부온도) 24℃ ± 2℃(내부온도) 50% ± 5%(상대습도)	AAMA 501.4	
실물화재시험	-	기존 시스템에 비해 화재전파의 차단성능이 우수할 것	EN 13830	

[표 1.7] 3차년도 연구목표 및 내용

개발내용 및 범위

■ 내화성 경질경량 무기발포 제조 및 최적화 기술

-경량 무기발포 패널 기공 분석

-고품질 확보 기술 개발

-공정 생산 조건의 최적화

■ 발포패널 수밀성 확보방안 검토

-경량 무기발포 패널 물성강화

-도장 및 표면코팅제의 적용 검토

■ 경질경량 발포소재 양산기술 확보

■ 시장진입이 가능한 무기 발포소재 출시

■ 내화성 무기발포 커튼월 시스템 구축

■ 내화성 무기발포 커튼월 시스템 엔지니어링 테스트베드

- 현대산업개발 기술연구소 외벽

■ 커튼월 시스템의 설계도면 및 시방서, 시공지침서 연구

■ 내화성 경질 경량 발포소재가 적용된 내화성 커튼월 시스템 및 공법 제시

■ 테스트베드 실시 후 신기술(NET) 제출

<3차년도 정량 목표치>

물성			단위	목표	평가 방법
내화성 경질경량 무기발포 소재	내화성 무기발포 패널		mm	600*1200*20~50mm 1200*1200*20~50mm	-
	밀도		g/cm ³	0.5 ± 0.01 이하	KS F 2701
	열전도율		kcal/mh℃ (W/mK)	0.09 ± 0.018 이하 0.105 ± 0.02 이하	KS L 9016
	압축강도		kgf/cm ² (MPa)	80.0 ± 0.016 이상 7.84 이상	KS L ISO 679
	휨강도		kgf/cm ² (MPa)	20.0 ± 0.04 이상 1.96 이상	KS L ISO 679
	전단강도		kgf/cm ² (MPa)	5.0 ± 0.1 이상 0.49 이상	KS L ISO 679
	인장강도		kgf/cm ² (MPa)	5.0 ± 0.1 이상 0.49 이상	KS L ISO 679
	탄성계수		kgf/cm ² (MPa)	17,500 ± 350 이상 1715 ± 34 이상	KS L 9016
	화재 성능	연소성능 (20분 가열, THR)	MJ/m ²	8 이하	KS F ISO 5660-1
		가스유해성	min.	9	KS F 2271
온도상승		K	20K 이하	KS F ISO 1182	
중량감소		%	30 이하		

물성		단위	목표	평가 방법
내화성 경량 무기발포 알루미늄 복합패널 시스템 및 공법	설계도서	-	내화성 커튼월 설계도서 작성	작성유무
	시공도서	-	내화성 커튼월 시공도서 작성	작성유무
	테스트베드	-	테스트베드 실시 시공성 검토 및 모니터링	실시유무
	신기술(NET) 출원	-	테스트베드 실시 후 신기술 출원	출원유무

2장 국내 및 국외의 관련기술 동향

제1절 국내 기술동향

1. 내화성 경량 단열소재와 에너지 절약

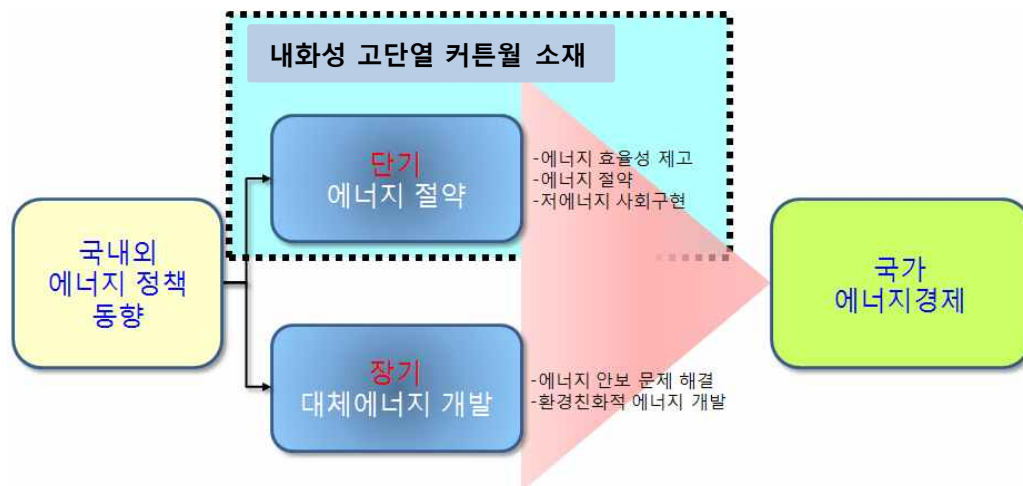
우리나라의 에너지 수입액은 전체 수입액 중 약 22~28% 수준이며, 매년 에너지 수입이 증가하는 추세이다. 특히 국내 소비에너지의 해외 의존도는 95% 이상으로, 2007년에는 약 950억불(104조5000억원/1100원 환산)에 달하는 에너지를 수입·사용하였다. 국내 건축물에서 소비되는 에너지량은 전체 수입액의 약 1/4(≒31조원/2007년)이며, 이중 60%(≒18.6조원)를 건축물의 냉난방 비용으로 사용(일반적으로 50~70%)하고 있다.

이는 최근의 지속적인 경제발전과 인구증가에 따른 대도시의 기능 확대 및 이에 따른 신규 건축물의 증가(도심 재개발, 대형·고층건물의 건축 등)에 따라 건축물의 에너지 소비량 증가(건축물의 냉난방, 조명 및 급탕 등)도 동반되기 때문이다. 그러나 국내에서는 석유 생산이 전무하여 대부분의 에너지를 수입·사용하고 있는 상황으로, 건축물에서의 에너지 절약을 위한 새로운 방안 도출이 무엇보다 중요한 시점에 도달하였다.

고층 커튼월 구조는 이러한 에너지 절약을 위해 여러 방편으로 소재 기술을 적용하고 있으며 효율적 에너지 적용을 위해 글라스울이나 폴리에스터울과 같은 무기섬유계 고단열 소재가 적용된다.

건축물의 단열을 위한 알루미늄 복합패널과 패널 내부에 단열성 글라스울 및 폴리에스터울은 수분에 취약하여 뭉침/처짐 현상 등이 발생하고, 이에 따라 단열효과를 불량하게 만든다. 또한 단열특성이 우수한 유기계 단열재(스티로폼, 폴리우레탄 등)는 화재 취약성 및 일산화탄소 발생에 의한 인체 유해성 등으로 건물 적용에 한계를 갖는다.

따라서 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 단열성이 우수하고, 내구성 및 화재취약성을 해결할 수 있는 새로운 융·복합기술의 개념이 포함된 무기계 단열소재 및 이를 구성하는 시스템이 필요한 시점이다.



<그림 2.1> 내화성 경량 고단열 커튼월 소재



(a) 백패널 이색 및 Wave 현상



(b) 백패널 파손에 따른 단열결손

<그림 2.2> 기존 커튼월 시스템의 문제점

2. 정부정책 및 화재안전성에의 대응

최근 유가 상승으로 우리나라의 에너지 수입 비용은 계속 증가할 것으로 예상되며, 이에 따라 에너지 수입량 해결을 위한 고효율 신재생 에너지의 개발 또는 파격적인 에너지 절감방식 도입 등 적절한 에너지 관리방법을 통한 에너지 절약방안 마련이 국가적 차원에서 시급히 해결해야 할 주요 현안으로 부각되고 있다. 이에 따라 정부에서는 “건물에 대한 에너지 효율등급 인정에 관한 규정” (산업통상자원부 고시), 건축물의 설계기준을 포함한 “친환경 건축물 인증기준” (국토교통부 고시) 등을 시행하고 있다. 이와 같이 고층빌딩 커튼월용 내화성 적용기술은 글라스울 및 폴리에스테르울을 대체가능한 단열발포 소재를 개발함으로써 정부정책에 부응한다 할 수 있다.

이외에도 기존 단열재가 지니는 문제점인 화재확대의 방지 및 구조안전성을 확보함으로써 인명피해를 예방하기 위한 “건축물의 피난 방화구조 등의 기준에 관한 규칙” (국토교통부고시 238호) 등을 시행하고 있다. 따라서 최근 이슈가 되고 있는 건축물 외벽 마감재의 화재확대 방지를 통한 안전성을 확보할 수 있는 내화성 경량 무기발포 알루미늄 커튼월 소재와 이를 적용한 시스템 개발이 필수적으로 요청된다.

3. 국내 기술 및 산업동향

기존 커튼월은 고층 건물을 시공하기 위한 경량성 측면만을 강조하여 유리 내지 금속패널이 사용되었으나, 최근 경제적이면서 보다 우수한 성능 및 친환경성을 겸비한 차별화된 커튼월 시장이 형성되었다. 현재 국내에서 고단열 내화성 커튼월 시장은 형성되어 있지 않다. 건축물용 외장재 시장은 연간 약 7조원(2009)에 이르고 단열재는 연간 2.2조원(2009)에 이르며 유기 단열재 규모가 70% 수준, 무기 단열재 규모가 30% 수준으로 아직까지 화재에 취약한 시장을 형성하고 있다

4. 국내 관련 법령 및 정책 담당기관

건축물의 내화성능 관련 법규는 건축물의 붕괴방지를 위해 하중을 지지하는 주요 구조부를 대상으로 대상용도 및 건물의 층수에 따라 내화구조로 지정하고 있다. 현행 국내 건축법에서는 일정용도 및 규모에 따라 건축물의 주요구조부(벽, 기둥, 보,

바닥, 지붕틀, 계단)는 내화구조로 시공하도록 하고 있으며, 「건축물 피난·방화구조 기준에 따른 규칙 제3조」에서 정하는 법정 내화구조외의 기타구조 대하여는 ‘국토교통부장관이 정하는 것으로서 국토교통부장관이 고시하는 기준에 따라 국토교통부장관이 지정하는 자 또는 한국건설기술연구원이 실시하는 품질시험에서 그 성능이 확인된 것’으로 그 구조를 내화구조로 인정하고 있다.

또한 이를 위한 품질시험은 「내화구조의 인정 및 관리 기준 (국토교통부고시 제2010-331호)」에 따라 실시하고 있다. 인정내화구조는 여러 가지 종류로 구분할 수 있으나 일반적으로는 건축물의 구조별 적용부위에 따라 철골기둥과 보 부재에 대한 내화피복재, 벽체, 바닥 및 지붕구조체로 구분할 수 있다.

현재 국내 내화구조 인정구조는 철골내화피복 28개 구조(뿔철 14개, 건식 4개, 도료 10개), 벽체 112개 구조(석고보드 칸막이 25개, 조립식 패널 70개, 콘크리트 패널 17개) 및 테크플레이트 합성바닥 39개 구조에 이르고 있다.

건축물의 「내화구조의 인정 및 관리 기준 ((국토교통부고시 제2010-331호)」 제9조에서는 내화구조인증시 신청구조에 대한 품질시험을 실시하고 더불어 내구성 및 안전성을 평가하여 인증여부를 결정하도록 규정되어 있다. 현재 인정내화구조는 건축물의 성격이 점차 복잡화 및 첨단화 되는 추세에 따라 단일 제품 성격보다는 여러 가지 제품이 혼합되어 하나의 구조를 형성하는 복합적인 성격을 지니는 경우가 대부분이며, 이에 따라 생산 공장에서 완전한 형태의 내화구조 제품이 생산되기 보다는 건축공사 현장에서 시공방법에 따라 일정한 형태의 내화구조체가 형성되어 각 구성 재료의 성능이 복합적으로 작용하여 내화성능을 발휘하도록 되어 있다.

5. 국내 특허동향

국내 특허 조사 결과, 단열소재는 경량골재를 이용한 경량 모르타르 및 경량자재, 난연성 발포유리 입자를 이용한 판재, 물유리를 이용한 경량 다공성 단열보드, 규산칼슘 및 점토광물을 이용한 세라믹 패널 제조 등에 한정되어 있다.

하지만 유리분말 및 유리연마 슬러지와 플라이애시, 탄산칼슘 등의 무기질계 재료를 이용하여 발포한 경량·경질의 제조 방법으로는 국내 특허에서도 몇몇 건이 있으나 커튼월 소재로 적용하기 위한 경질 경량 단열패널의 경우 전무한 실정이다.

[표 2.1] 국내특허 사례

번호	제 목	출원인	출원번호
1	난연성 발포유리 입자를 이용한 판재 및 제조방법	(주)비앤비	1020070018620
2	다기능 난연 발포폴리스티렌 폼 및 그 제조방법	양희중, 이기준	1020060055832
3	난연성 발포유리 입자를 이용한 판재 및 제조방법	(주)비앤비	1020070018620
4	다기능 난연 발포폴리스티렌 폼 및 그 제조방법	양희중, 이기준	1020060055832
5	물유리를 이용한 경량 다공성 단열보드의 제조방법	한국에너지기술 연구원	1020060048977
6	2중 발포 셀을 갖는 초경량 골재	서강덕, 김종호	1020040025455
7	폐유리를 이용한 미립 경량골재 및 제조방법	한국세라믹기술원	1020010076420
8	유리연마 슬러지를 이용한 경량골재 제조방법	한국세라믹기술원	1020050110036
9	초경량 세라믹 패널 및 제조방법	한국세라믹기술원, LG화학(주)	1020040053705
10	바인더 조성물을 함유해서 이루어진 보드	미쓰이화학(주)	1020007006389
11	개질폴리프로필렌 조성물 및 발포체	미쓰이화학(주)	1020010048340
12	비 철거용 단열재 거푸집 패널 및 제조방법	김대유, 송병창	1019990053471
13	모르타르용 경량골재와 이를 이용한 경량 모르타르 및 경량자재	정진호	1019950067129
14	외단열식 건축물 표면 외장재 시공방법	김기태	1020040057214
15	건축물 외장재의 고정장치 및 시공방법	(주)서린건축사 사무소	1020000007106
16	삼입형 앵커에 패스너를 정렬 및 적용하기 위한 도구 및 시스템	디퍼이 스파인 인코포레 이티드	1020020036572
17	커튼월 고정용 패스너 및 이를 이용한 커튼월 고정방법	(주)티씨엠씨건축사 사무소 (주)화인유니트 시스템	1020000036042
18	층고가 높은 층의 커튼월 설치구조	이기용	1020010024806
19	커튼월 고정장치 및 이를 이용한 커튼월 고정방법	(주)신화엔지니어링 종합건축사무소	1019990028612

제2절 국외 기술동향

1. 국외 기술동향

건축현장의 인력·자재난, 건축물 품질저하 및 공사기간 증가 등 다양한 문제점이 발생하고 있으며, 이를 해결하기 위해 건축 소재의 고기능화, 조립화 및 경제성을 위한 건식공법이 적용되고 있다. 이중 커튼월은 빌딩의 건축소재로서, 고층화로 인한 경량성이 필요하게 되어, 현재 유리 소재나 금속패널을 주로 사용하고 있다.

세계 건축재료 중 단열소재 시장은 2006년까지 매년 약 5.3%의 성장이 이루어졌으며, 2016년에는 전체 시장규모가 429억 달러에 이를 것으로 추정하고 있다. (The Freedonia Group의 “World Insulation to 2011”)

일반적으로 건축 외장재 시장에서 단열재가 차지하는 비중은 10%라고 추정되고 있으며, 따라서 전 세계의 건축용 외장재 시장은 2016년 4,000억 달러에 이를 것으로 추측할 수 있다. 또한 커튼월 시장은 2006년 이후 외장재 시장의 약 95% 이상의 점유율을 보일 것으로 추정하고 있다.

다른 북미, 서유럽, 일본 등의 성숙기에 있는 국가에서는 완만한 증가율을 보일 것으로 예상된다.

특히 본 기술과 관련하여 선진 각국 및 중국의 건축 내장재료 및 단열재의 불연화화도 연관성을 들 수 있다. 중국은 건축물의 단열 시스템으로 거의 대부분 외단열 시공법을 채택하고 있고, 세계에서 연간 가장 큰 시공면적을 기록하였는데, 제품개발에 따른 품질과 가격 측면에서 중국에서도 높은 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

중국은 2011년 3월 14일 ‘민용 건축 외벽 보온재 소방관리 감독에 대한 관련 요구 통지’(65호문)를 통하여 모든 민간 건축물의 외벽단열재에 대하여 연소성능이 A급인 소재만 사용하도록 규정하였다. 이에 따라 이미 건설 중인 건물이라도 가연성, 인화성 소재를 사용하였을 경우 이를 제거해야 하며, 건설을 시작하지 않은 건물의 경우 가연성, 인화성 소재로 설계한 경우 불연소재로 설계를 변경한 후 재심사를 받아야 한다. 이에 따라 중국의 건축 시장은 불연 성능과 단열성능을 동시에 보유하고 있으면서도 원가 측면에서 기존 유기단열재에 비해 큰 폭의 비용 상승을 일으키지 않는 소재의 개발이 요구된다.

[표2.2] 외단열재의 인증 기준(중국)

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



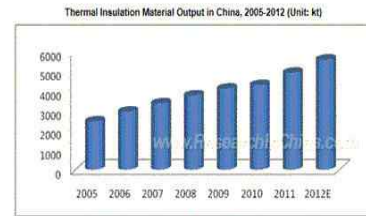
<그림 2.3> A급 불연 단열재의 사용계기가 된 CCTV 화재(중국)
(유기단열재의 사용으로 인한 화재 사례)

중국 단열재 시장, 내화성 높은 소재가 급성장 중..(Report title: China Thermal Insulation Material Industry Report, 2012)

건축/토목

해럴드발인포에이션은 ResearchInChina가 최근 "중국의 단열재 산업 리포트(China Thermal Insulation Material Industry Report, 2012)" 보고서를 발행했다고 밝혔다.

보고서 발행사인 ResearchInChina에 따르면 최근 중국의 단열재 산업은 안정적 성장기에 들어섰고 빠른 속도로 발전하고 있다. 2011년에는 약 496만 톤을 기록했고, 이는 2006년 수준의 2배 이상에 해당한다. 건물의 에너지 효율화를 비롯한 중국 국내에서의 에너지 절감과 배출 감축에 힘입어 중국 단열재 시장은 2012년 550만 톤에 이를 전망이다.



Source: China Insulation & Energy Efficiency Materials Association; ResearchInChina <China Thermal Insulation Material Industry Report, 2012>

단열재는 유기, 무기, 금속 단열재로 분류할 수 있다.

유기 단열재 중에서는 폴리스티렌폼 또는 폴리우레탄폼이 우세를 유지해 왔다. 하지만 자연성과 연소시의 독성 문제 때문에 폴리스티렌폼은 교체되고 있고, 폴리우레탄폼은 뛰어난 단열 효과에도 불구하고 내화성이 낮기 때문에 자주 화재를 일으키고 있다.

2011년 9월 14일 중국 공안부는 민간 건설 외벽용 단열재의 내화성에 관한 통지를 발표하고, A등급의 내화성을 요구했다. 이로 인해 외벽재에 대한 폴리우레탄폼 이용이 제한되고, A등급의 내화성을 가진 페놀계 폼 등 무기 재료의 이용이 급증했다.

2011년에는 중국의 외벽용 페놀계 폼 생산량이 510,000만 톤에 이르며 2010년 수준의 8배에 달했다. 그 영향으로 Lions Group, Xiamen Goot Advanced Material Co., Ltd., Chengdu Longsheng Science & Technology Co., Ltd 등 신규 시장 진출기업이 등장했다.

그와는 대조적으로 많은 무기 단열재는 A등급의 내화성을 갖고 있다. 현재 중국 시장에서 가장 광범위하게 사용되고 있는 재료는 암면(Rock Wool), 규산 알루미늄 등이다. 환경 친화적이고 에너지 절약 효과가 높은 건축자재로서 암면, 글라스울(Glass Wool) 등의 오염물질은 제약 받고 있다. 반면 알루미늄 규산 섬유와 기포 콘크리트, 발포 유리 등 신소재는 폭넓게 도입되고 있다.

알루미늄 규산 섬유는 세라믹 섬유라고도 불리고 있고, 중국에서는 빠른 속도로 성장하면서 2011년 생산량이 500,000만 톤을 초과했다. 중국의 주요 기업은 Shandong Luyang Share이다.

중국에서는 건물용 에너지 절약 소재로서 기포 콘크리트가 가장 인기 있는 제품이다. 2011년에는 관련 제조업체 수가 1,300개를 넘어섰고, 생산량도 1,000만 평방미터에 달했다.

<그림 2.4> 중국 불연 단열재 시장 관련 리포트

2. 국외 특허동향

국외에서는 펄라이트와 glass ballon을 혼합 사용하여, 난연성을 확보한 제품에 관한 특허가 있었으며, calcium silicate와 porous aggregate를 혼합하여 패널 내부에 충전시키는 방법도 특허 등록되어 있다. 특히 국내에서는 한정된 재료를 사용하는 특징이 있으나, 국외에서는 다양한 단열 소재를 제조하거나, 혼합하는 형태의 제품이 특허출원 및 등록되어 있다.

특히, 일본의 경우 다양한 소재를 활용한 무기계 패널의 제조방법이 소개되었고 무기질계의 발포체를 이용한 외단열 패널도 소개되고 있음. 또한 무기 복합체의 단열보드를 개발하여 실용화 하고 있지만 단열성능은 아직 유기단열재에 미치지 못하였으며 일부 제품은 유기 단열재와 유사한 수준의 단열특성을 발휘하고 있으나 불연성 및 난연성 등의 화재성능을 완전히 해결한 제품은 없었다.

[표 2.3] 해외기술현황

업체명	내용	사진
MISAPOR (스위스)	- 폐유리 분말을 이용하여 발포한 골재(MISAPOR)와 경량 골재와 콘크리트를 혼합한 MISAPOR concrete가 있음 - 1987년 양산 실시, 2008년 기준 16.8M 유로 매출 <적용분야 및 특성> - 주택, 생태방음벽, 채움재, 주차장 등에 적용 - 비중 : 0.16 ~ 0.2 - 구경 : 10 ~ 50mm	 
GLAPOR (독일)	- 폐유리 분말을 이용한 골재 및 판재 생산 - 2003년 창업하여 3년간의 R&D 과정을 거쳐 연속식 발포 공정 개발 - 업계 최초로 건축용 단열 발포유리 판재 판매 - 매년 3만여 Passive House에 적용 판매 - 2008년 기준 23M 유로 매출 <특성> Glapor Glass Foam Gravel - Density : 150 /100 - 알갱이의 크기 : 30-80mm - 열전도율 : 0.080 W/m.K Glapor Foam Glass Boards - Density : 160 - 열전도율 : 0.060 W/m.K - 평균압축강도 : 780 kPa	 
TECHNOpor (오스트리아)	- 폐유리 분말을 이용한 Glassfoam Granulate 생산 - 단열 효과와 안전성이 우수함 - 무수히 많은 기공과 그 속을 채운 공기 층에 의해 고압과 고열에 강함 - 2008년 기준 약 100억원 매출 <특성> - 압축강도 : 0.5N/mm² - Density : 0.13 ~ 0.17(충진 후) - 기존 단열재에 비해 20% 설치비용 절감 - 설치 기간 2일 ~ 3일 단축 <적용 분야> - 바닥 단열, 외벽 단열 - 에너지 절약형 주택에 적합 (30cm두께로 충진하여 25cm로 다짐) - 열 손실 계수 : 0.27W/m²K - 자연형 (65cm로 충진하여 50cm로 다짐) - 열 손실 계수 : 0.18 ~ 0.15W/m²K 기존 건물의 에너지 효율 향상을 위한 보수공사	 

[표 2.4] 국외특허 사례

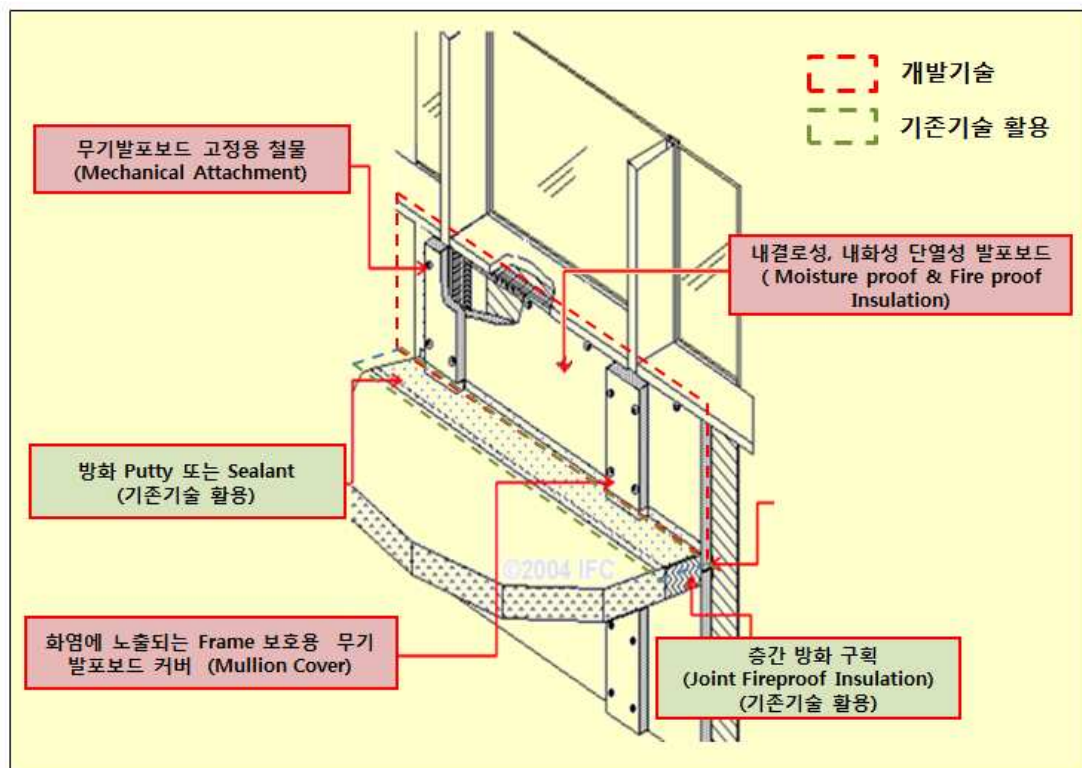
번호	제 목	출원인	출원번호
1	Manufacture of lightweight structural elements	STO	US19880190650B1
2	Method and apparatus for processing building materials		EPPD01710064A2
3	Mounting for insulation on a building wall	Alsecco	EPPD01251210A3
4	Pumping and mixing apparatus for powder and liquid materials and system for producing viscous materials for building purposes		EPPD01688176A3
5	Composition for heat-storage object formation, heat-storage object, and process for producing heat-storage object		EPPD01857520A1
6	Lightweight foamed concrete panel and its surface processing method	Asahi Chem.	JPPD19990254417
7	Water-resistant cellular concrete and its manufacturing method		JPPD20040217510
8	Self-bearing flexible curtain wall system	Nawrocki, Rooney & Sivertson, P.A.	20020045552
9	Curtain wall support method and apparatus	Diversified Panel Systems, Inc.	20010891279
10	Mullion splice joint design	webb iessenheim Logsdon Orkin & Hanson, P.C.	20010933689
11	Curtain, more particularly, a window shade	Kueffner; Friedrich	19970809125
12	External wall panel and mounting structure thereof	Kajima Corporation	19930065183
13	Panel fastener construction	YKK Architectural Products, Inc.	19910745336
14	Curtain wall for a building	Ridout & Maybee	19900630555

제3절 커튼월 시스템의 내화기준 검토

1. 국내 내화관련 규정 및 시험

내화구조의 인정 및 관리기준(국토교통부고시 2008-154호)에 준하면 커튼월 관련하여 내화충전구조(층간방화재)에 대해서는 시험 및 성능기준이 정해져 있으나, 월(Wall)관련한 기준 및 시험방법은 정해져 있지 않다. 그러나 해외사례에서 보면 최소 2시간의 내화시험을 거쳐 통과된 자재를 사용하도록 규정되어 있으면 또한 그 시험방법도 규정하고 있다.

따라서 불연성 무기질 패널을 아래와 같이 시스템에 적용하여 커튼월의 내화성능을 확보하고 그 성능 및 시공성을 평가하였다. 또한 적용부위에서 발생할 수 있는 기존 커튼월 백패널의 열변형에 따른 문제점을 보완하고, 커튼월에서 요구되는 단열성도 확보하였다.



<그림 2.5> 기존 커튼월공법의 내화성능 향상을 위한 대안 제시

- 내화구조

건축법 시행령 제 2조에서 정한 내화구조는“화재에 견딜 수 있는 성능을 가진 구조로서 국토교통부령이 정하는 기준에 적합한 구조”[‘건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙 제 3조(내화구조)’에 명시]로서, 화재발생 시 건축물의 크기 및 용도별 내화성능을 확보하도록 하여야 한다.

- 국내 건축물의 내화구조 기준

건축물의 용도, 건축물의 높이(층수), 사용되는 부위에 따른 내화성능은 국토교통부 장관이 고시한 “내화구조의 인정 및 관리 기준”을 따른다.

- 커튼월과 관련된 국내 법규

현재 국내 법규에는 커튼월의 조인트 부분의 화염확산 방지를 위한 내화충전구조에 관한 내화시험 방법만이 제시되었을 뿐, 커튼월 시스템의 내화성능 평가를 위한 시험방법은 제시되지 않았다.

- 커튼월 시스템의 내화성능 평가

‘건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙’제3조 8항“산업표준화법에 따른 한국산업표준으로 내화성능이 인정된 구조”에 제시된 KS기준의 내화시험 방법은 아래 표와 같다. 커튼월이 비내력 외벽에 해당한다 할지라도, 한국산업표준(KS F 2257-8)에는 커튼월의 내화 실험방법이 구체적으로 제시되지 않았다.

따라서, 국내법규의 경우 커튼월과 관련한 사항은 커튼월과 구조체(슬라브) 사이의 층간 수직화염 확산방지를 위한 시험방법이‘내화충전구조 세부운영 지침’에 제시되었을 뿐, 커튼월 자체에 대한 실험방법 및 성능기준에 대한 사항은 정립되어 있지 않다.

[표 2.5] 커튼월과 관련된 국내 법규

법규	조항	내용	내용
건축법	5장 제50조, 51조	•제50조: 건축물의 내화구조와 방화벽 •제51조: 방화지구안에 건축물	건축물의 내화에 대한 법적근거를 제시
건축법 시행령	제2조7호, 제56조	•제2조7호: 내화구조에 대한 정의 "내화구조(耐火構造)"란 화재에 견딜수 있는 성능을 가진 구조로서 국토교통부령으로 정하는 기준에 적합한 구조" •제56조: 건축물의 내화구조	내화구조로 하여야 하는 대상건축물에 대해 정의
건축물의 피난방화구조 등의 기준에 관한 규칙	제3조	•상기시행령 제2조제7호에서 언급한 "국토교통부령으로 정하는 기준에 적합한 구조"에 대하여 제시	건축물의 내화방법에 관한 규정을 제시
내화구조의 인정 및 관리기준	6장 21조, 22조	•상기규칙 제3조제8호의 규정에 의한 내화구조 및 동규칙 제14조제2항제2호에 의한 내화충전구조의 인정 및 관리에 관한 사항을 제시	건축물의 용도 및 규모별 내화성능기준 및 내화충전구조 세부운영지침에 대한 근거를 제시
내화충전구조 세부운영지침 (2008.07.08)	-	•상기고시 6장 21조 1항에 의한 내화충전구조의 세부운영지침을 제시	내화충전구조의 내화시험방법 제시

[표 2.6] 한국산업표준(KS F)의 내화시험방법

표준 번호	표준명	비고
KS F 2257-1	건축부재의 내화시험방법-일반요구사항	-
KS F 2257-4	건축부재의 내화시험방법-수직내력구획부재의 성능조건	-
KS F 2257-5	건축부재의 내화시험방법-수평내력구획부재의 성능조건	-
KS F 2257-6	건축부재의 내화시험방법-보의 성능조건	-
KS F 2257-7	건축부재의 내화시험방법-기둥의 성능조건	-
KS F 2257-8	건축부재의 내화시험방법-수직 비내력 구획부재의 성능조건	커튼월 구조 특성상 이 규격의 시험 방법만으로는 화재안전성을 충분히 규명하는 것이 미흡
KS F 2258-9	건축부재의 내화시험방법-비내력 천장의 성능조건	-

2. 국외 내화관련 규정 및 시험

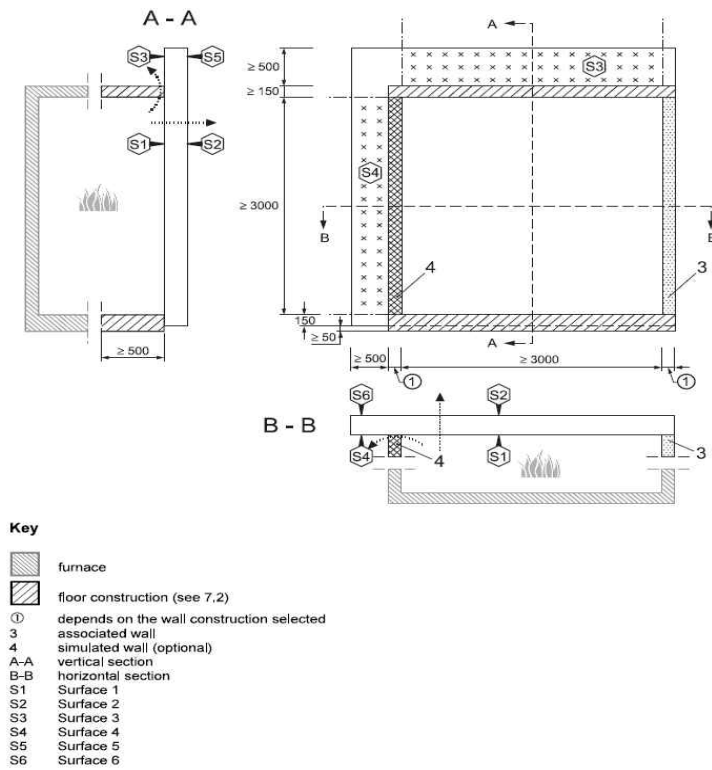
가. EN Code

현재 국외에서 내화성능을 인정받아 사용되고 있는 커튼월 제품인 독일의 Raico와 Stabalux, 스위스의 Forster와 Jansen은 EN 코드와 DIN 코드를 사용하여 내화성능을 인정받았다. 이 중 해외 커튼월의 내화 성능시험 및 평가에서 가장 널리 사용된 코드는 EN 13830 및 EN 13501으로, EN 13830은 건축물 내화 법규 기준에서 가장 상위법에 해당한다.

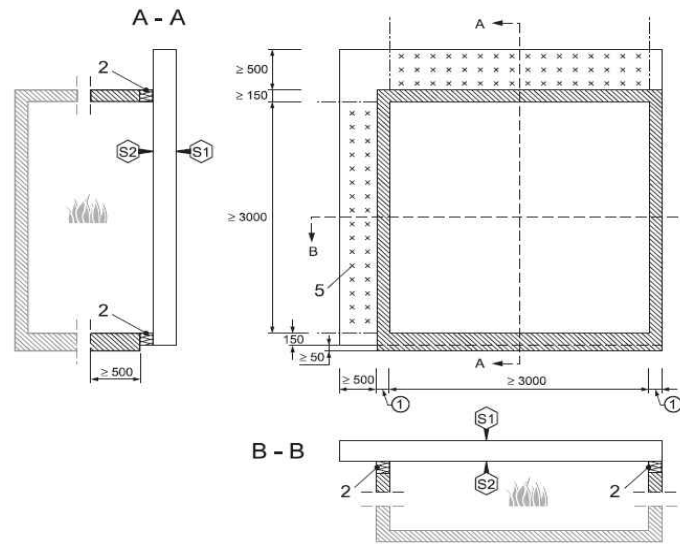
[표 2.7] EN Code 의 평가기준

내용	Details	
내화성능 인증기준 (EN 1363-1)	E-차염성 (Integrity)	(1) Cotton pad cotton pad 에 불꽃이나 화재가 발생하는 시간. (2) Gap gauge 25mm, 6mm Gap gauge를 사용하여 균열 발생 시간 측정. (3) Flaming 비가열 면에 불꽃이나 화재가 발생하는 시간.
	I-차열성 (Thermal Insulation)	(1) 열전대의 평균 온도가 초기온도로부터 140도 이상 증가하였을 경우의 시간 (2) 가장 높은 온도를 기록하는 열전대의 온도가 초기온도로부터 180도 이상 증가하였을 경우의 시간
	W-복사열 (Radiation) * 선택사항	비가열면으로부터 1m 떨어진 거리에서 복사열이 15kW/m ² 을 초과하는 시간
시험 보고서	제품 설명, 시험체, 구조물 유형, 참고코드, 재료, 시험체 도면, 제작사, 시험실, 시험방법, 시험결과	

EN 13830에서 제시한 커튼월의 내화성능 조건은 차염성, 차열성, 복사열로 분류
시험방법은 EN 1364-3에 제시되어 있으며, 평가기준은 EN 1363-1에 제시하고 있
고, 이 규격은 표준 화재조건에 노출된 건축부재의 내화성능을 측정하기 위한 시험
방법을 규정한 것으로, 표준화재조건에서 시험한 부재가 규정된 성능기준을 만족하
는 시간에 의해 결정된다.



㉠ 내부화재실험체



NOTE Supporting structure for specimen shown in Figure 1.

㉡ 외부화재실험체
<그림 2.6> 화재실험체

나. 미국 Code

▪ 커튼월 관련 AAMA 기준

화재와 관련된 각 국의 많은 규정 중에서도 미국의 규정은 그 체계와 세부 기술 기준 등을 고려할 때 국내에서 큰 영향력을 미치고 있는 규정의 하나이다.

AAMA(The American Architectural Manufacturers Association, 이하 AAMA)는 커튼월과 관련된 실험방법, 설계 가이드, 기술집을 제시하며 커튼월에 대한 기술향상과 내화, 소음, 누수 등의 안전수준을 극대화하였다. 커튼월과 관련된 AAMA의 매뉴얼은 「AAMA MCWM-1-89 Metal curtain wall manual」이다.

▪ AAMA 규정에서 커튼월의 내화성능

개별 재료의 내화성능을 충족 할 경우, 해당 개별 재료가 사용된 커튼월은 요구 내화성능을 충족하는 것으로 판단한다. 비록 ASTM 규정에 커튼월 자체에 대한 내화등급 판별 및 실험 과정에 대한 기준이 없더라도 내화성능을 만족하는 재료를 적용하거나 내화성능을 입증할 수 있는 기존 실험 데이터를 제출함으로써 요구내화성능평가가 이루어진다.

따라서 실험이 필요한 경우 다음 항목에 따라 실험을 수행한다.

[표 2.8] ASTM 규정

A. 커튼월 패널 내화등급 평가: ASTM E 119 - 표준화재에 노출된 건축물의 재료 또는 구조물의 내화성능을 평가하기 위한 실험으로 구조물의 특징에 따라 각각의 내화실험방법
B. 불연재료 평가 : ASTM E 136 - 화재 발생 시 건축재료의 연소특성을 결정하기 위한 방법으로 비가연물 혹은 가연물로 이루어진 건축재료를 미리 가열된 가열로의 정해진 위치에 놓아 얼마만큼의 내화성능을 갖고 있는가를 판단하는 실험
C. 화염 확산 평가 : ASTM E 84 - 창문, 벽 혹은 조합체로 이루어진 건물 재료나 부재의 표면을 따라 확산되는 화염과 연기의 확산을 관찰하여 재료의 상대적인 연소거동을 결정하기 위한 실험방법

다. 커튼월 관련 국·내외 내화관련 규정 비교 및 분석

EN Code의 커튼월 내화시험방법은 다른 코드에서 제시된 평가방법과는 달리 커튼월 내화성능 평가방법을 별개로 지정하여 보다 정확하게 내화성능을 검증할 수 있도록 구성하였다.

[표 2.9] 커튼월 관련 국·내외 내화 Code 비교 및 분석

	KS	ASTM	ISO	EN Code
커튼월 전체시스템의 내화성능평가	-	-	ISO 3009 * 커튼월에 관한 내화성능보다 유리를 포함한 전반적인 요소들에 대한 내화성능실험	EN 1364-3
커튼월 부분요소 내화성능평가	-	ASTM E 119 * 커튼월 패널에 관한 내화성능을 평가함	-	EN 1364-4
선형조인트 충전시스템의 내화성능평가	KS F ISO 10295-1 * 커튼월 선형조인트 충전시스템에 관한 부분보다 설비관통부위의 충전구조에 대한 시험에 유사함	ASTM E 2307 * 2층 모형화 실험을 통하여 선형조인트 충전시스템의 내화성능을 평가함	ISO 10295-1 * 커튼월 선형조인트 충전시스템에 관한 부분보다 설비관통부위의 충전구조에 대한 시험에 유사함	EN 1364-4
	KS F ISO 10295-2 * ISO 기준과 유사한 형태로 제정될 예정		-	EN 1366-4 * 커튼월을 포함한 모든 시스템에 사용하는 선형조인트 충전에 관한 내화실험
재료나 부분요소에 대한 화염확산평가		ASTM E 84 * 재료나 부분요소에 대한 화염확산평가	ISO 12136 * 재료나 부분요소에 대한 화염확산평가	EN 1364-3

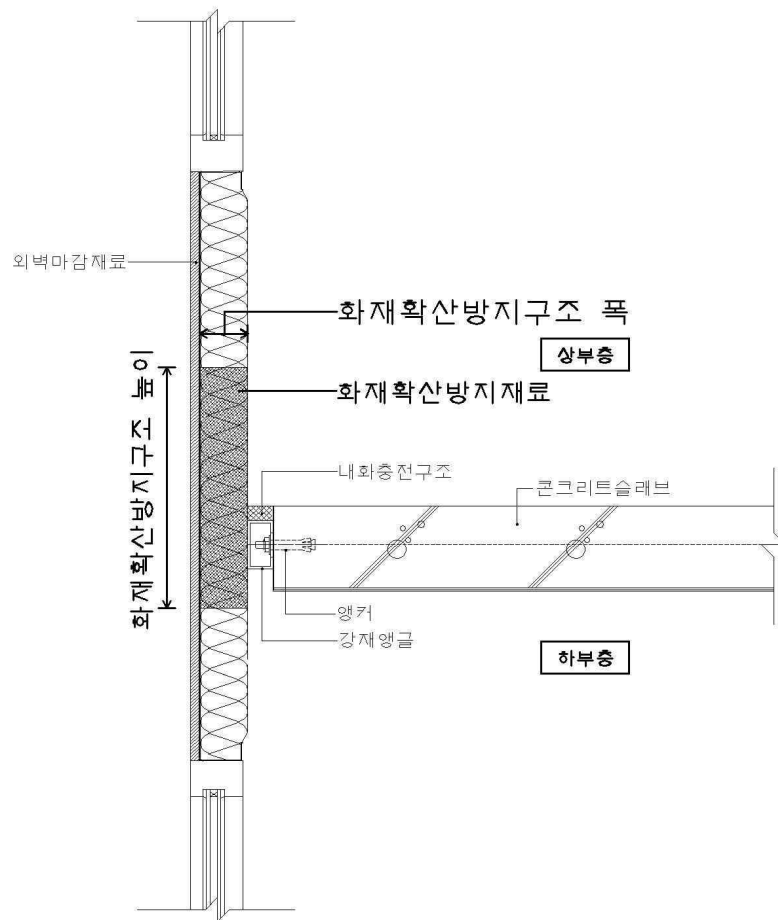
제4절 화재확산방지구조

1. 화재확산방지구조

2012년 9월 20일 국토교통부 장관은 「건축법 시행령」 제2조제1항제9호 내지 제11호의 규정 및 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」(이하 “규칙”이라 한다) 제5조 내지 제7조의 규정에 따라 건축물 마감재료의 난연성 시험방법·성능기준 등에 관한 사항을 다음과 같이 고시하였다.

[표 2.10] 관련 법규 및 품질기준 내용

관련 법규 및 기준		품질기준 세부내용
규칙	건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙	○ 내화구조 성능 기준에서 외벽 중 연소의 우려가 없는 비내력 벽체의 내화성능은 30분을 기준으로 함.
고시	건축물 마감재료의 난연성능 및 화재 확산 방지구조 기준	○ 불연재료는 다음의 기준에 적합해야 함. 1. KS F 1182(건축 재료의 불연성 시험 방법)에 따라 가열시험 개시 후 20분간 가열로 내의 최고온도가 최종평형온도를 20K 초과 상승하지 않아야 하며, 가열종료 후 시험체의 질량 감소율이 30% 이하여야 함. 2. KS F 2271(건축물의 내장 재료 및 구조의 난연성 시험방법) 중 가스유해성 시험 결과, 실험용 쥐의 평균행동정지 시간이 9분 이상이어야 함.
고시	건축물 마감재료의 난연성능 및 화재확산 방지구조 기준	○ 수직 화재확산 방지를 위하여 외벽마감재와 외벽마감재 지지구조 사이의 공간(“화재확산방지재료” 부분)을 다음 각 호 중 하나에 해당하는 재료로 매 층마다 최소 높이 400mm 이상 밀실하게 채울 것. 1. KS F 3504(석고 보드 제품)에서 정하는 12.5mm 이상의 방화 석고 보드 2. KS L 5509(석고 시멘트판)에서 정하는 석고 시멘트판 6mm 이상인 것 또는 KS L 5114(섬유강화 시멘트판)에서 정하는 6mm 이상의 평형 시멘트판인 것 3. KS L 9102(인조 광물섬유 단열재)에서 정하는 미네랄울 보온판 2호 이상인 것 4. KS F 2257-8(건축 부재의 내화 시험 방법 - 수직 비내력 구획 부재의 성능 조건)에 따라 내화성능 시험한 결과 15분의 차염성능 및 이면온도가 120K 이상 상승하지 않는 재료



<그림2.7> 화재 확산방지구조의 예

2. 화재확산 방지구조 적용 분석

경량무기발포 세라믹보드는 무기섬유계 재료보다 화재성능이 뛰어나며 화재확산 방지구조 기준의 지정자재보다 경량성 및 열전도율이 절반수준으로 커튼월의 화재 확산 방지구조의 적용에 있어 우위에 있다고 판단된다.

[표 2.11] 경량무기발포 세라믹보드와 글라스울 및 지정자재의 비교

	경량무기발포 세라믹보드	글라스울	방화석고보드 -12mm	석고시멘트 판-6mm	섬유강화 시멘트판- 6mm	미네랄울 보온판 2호
재료 특성	유리분말, 플라이애시	유리섬유	반수석고, 이산화규소, 알루미나를 함유하는 화이버, 납성분, 운모	반수석고, 시멘트, 폴리 아크릴로 니트릴 섬유, 세피올라이 트	시멘트, 섬유재료, 혼화재료 (펄라이트, 규산질원료)	석면, 암면, 석회질, 규산질
단열 성능 (W/mK)	약 0.09 ~0.12	0.035 ~0.040	약 0.21	약 0.25	0.14~0.24	약 0.036
내화 성능	불연재	난연재	불연재	불연재	불연재	불연재
비고	경량무기발포 세라믹보드의 열전도율 시험결과					

3장 연구수행 내용 및 결과

제1절 내화성 경량무기발포소재

1. 내화성 경질 경량 무기발포소재 특성평가

가. 유리분말

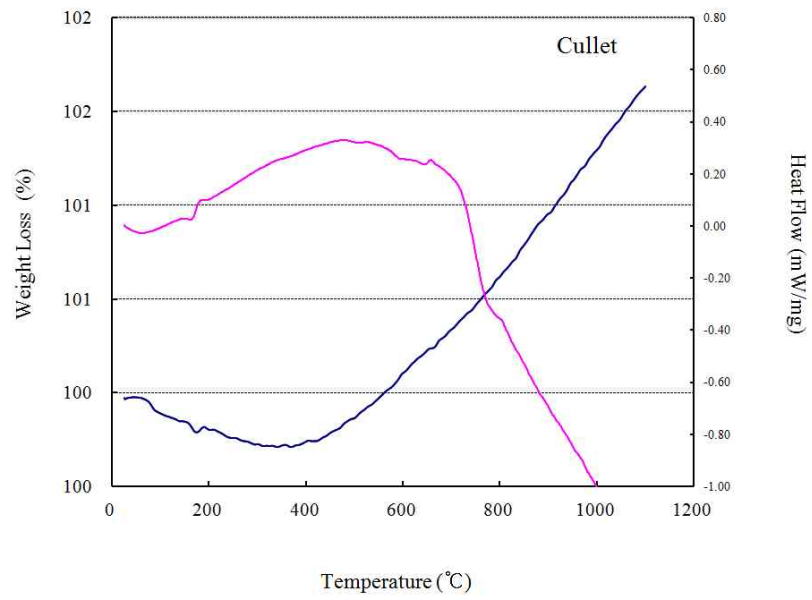
유리의 주원료는 규사(SiO_2), 소다회(Na_2CO_3), 석회석(CaCO_3), 수산화알루미늄($\text{Al}(\text{OH})_3$), 중정석(BaSO_4) 등이며, 부원료로써 붕산(B_2O_3)이나 파유리(Cullet), 질산알칼리(NaNO_3), 플루오르화칼슘(CaF_2), 이산화망간 등 각종 첨가제가 사용되고 있으며, 특히 현대에 와서는 첨가물이 원료의 60% 이상을 차지하고 있다.

유리의 배합은 일반적으로 SiO_2 70%, Na_2O 15%, CaO 12%, Al_2O_3 2%, 기타 1%의 배합비로 이루어져 있으며 필요로 하는 유리 조성에 맞도록 원료조합비가 결정되면 원료를 분말 또는 입상으로 혼합하고 여기에 적당한 양의 파유리(Cullet)를 배합하여 용융한 후 냉각시켜 제조한다.

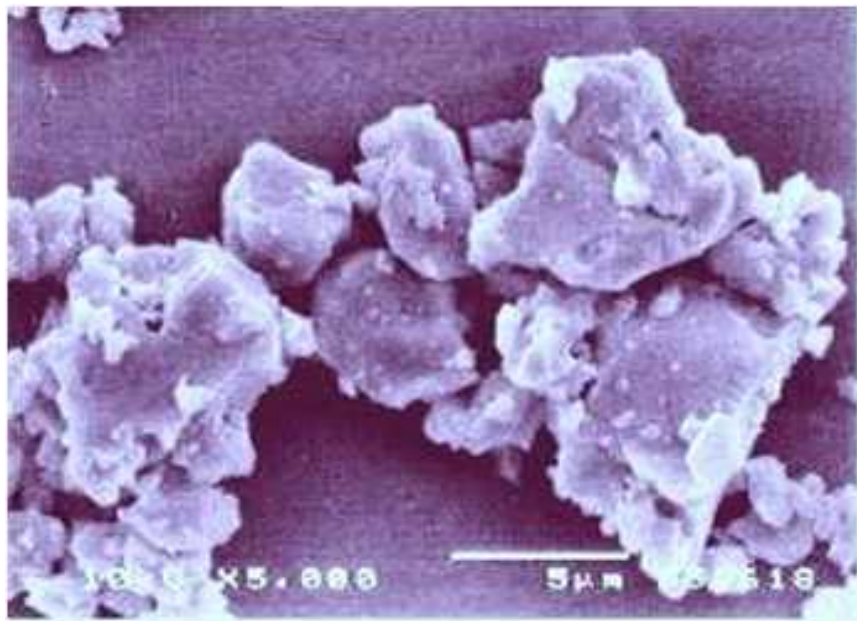
유리분말은 파 분쇄된 분말형태로 제공받아 사용하였으며 유리분말의 특성을 파악하기 위한 화학분석 및 열분석을 실시하였다. 분석 결과, 유리분말의 주요성분은 SiO_2 (71.9%), Na_2O (15.2%), CaO (7.4%)이며 TG-DSC에 의한 열분석 결과 724~771℃ 사이에서 융점이 나타났다.

[표 3.1] 유리분말 화학분석 결과

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



<그림 3.1> 유리분말 열분석



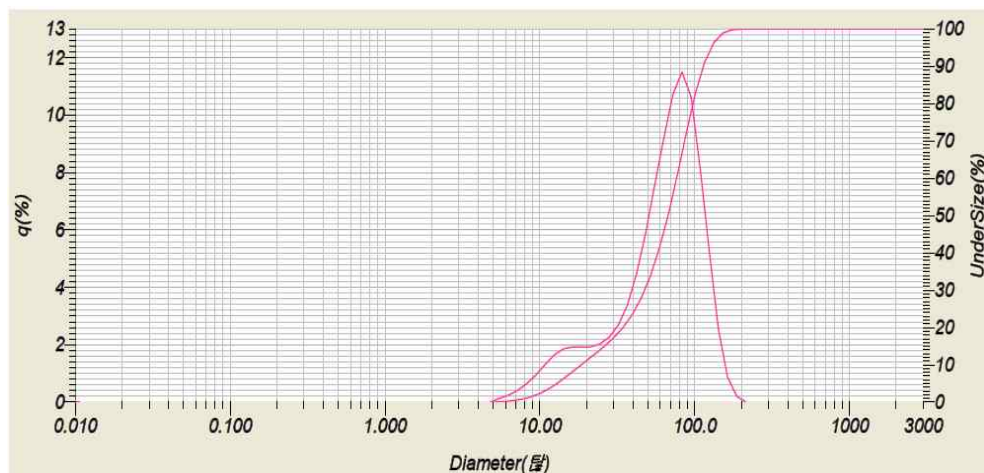
<그림 3.2> 유리분말 SEM사진

[표 3.2] 유리분말 중금속성분 함유 시험결과(mg/kg)

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

사용재료의 유해성을 알아보기 위하여 토양오염공정시험방법으로 중금속 함유량을 알아보았으며 그 결과는 표 3.2와 같다. 7개 중금속에 대하여 기준치 이하의 값을 얻었다.

입도 분석결과 5~200 μm 의 크기를 가지며 평균입도는 67 μm 이었다. 유리분말은 90% 이상이 113 μm 이하의 입도를 가지는 것으로 분석되었다.



<그림 3.3> 유리분말 입도분포

나. 플라이애시

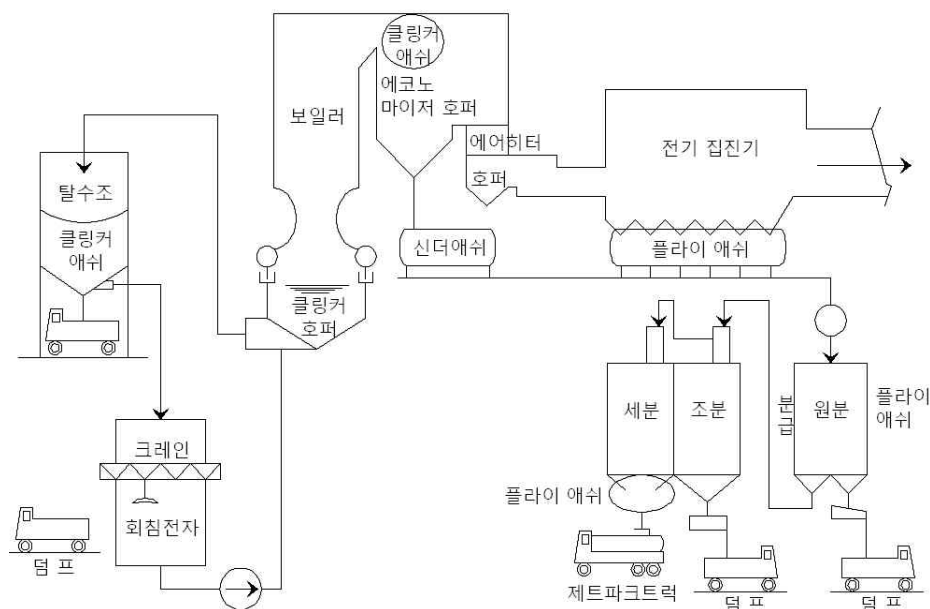
(1) 플라이애시의 발생

석탄은 풍부한 매장량, 저렴한 가격, 공급원의 안정성 등을 이유로 중요한 연료원으로 널리 사용되고 있으며, 석탄 소비에 따른 부산물인 석탄회에 대한 인식은 폐기물에서 제3의 자원으로 전환되어 그 활용성에 대한 연구개발이 활발히 이루어지고 있다.

석탄 화력발전소에서 미분말 형태의 석탄 연료가 연소된 후 발생하는 석탄회는

집진 장소에 따라 플라이애시(Fly ash), 바텀애시(Bottom ash), 신더애시(Cinder ash)로 구분된다. 석탄 연소에 따른 석탄회 발생공정을 <그림 3.4>에 나타내었다. 먼저, 석탄 연소 배기가스 중 보일러 바닥에 낙하하여 수냉된 바텀애시가 발생하고, 절탄기와 공기에열기의 열회수 부분에 낙하하여 신더애시가 발생하며, 마지막으로 전기 집진기에 의해 포집되는 플라이애시가 발생한다. 이 중 플라이애시와 신더애시는 집진 과정 중에 혼합된 형태로 취급되고, 일반적으로 플라이애시로 분류되며 전체 석탄회 발생량 중 약 75~80%를 차지한다.

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



<그림 3.4> 석탄회 발생 공정

(2) 플라이애시의 특성

(가) 플라이애시의 화학조성

플라이애시를 비롯한 석탄회는 연소되는 석탄의 종류 및 품질에 따라 화학조성이 다르고 미연탄소분에 의한 강열감량 및 입자의 크기와 형상은 보일러와 연소상태 등 연소 환경에 의해 결정된다. 국내에서 발생한 플라이애시의 화학성분을 [표 3.3]에 나타내었다.

플라이애시의 화학조성을 살펴보면 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 세 성분이 대부분을 차지하며 포졸란 활성에 기여하는 성분은 SiO_2 , Al_2O_3 로 알려져 있다. 때문에 KS 규격에서는 SiO_2 의 함유량을 45% 이상으로 규정하고 있으며, ASTM의 경우, 세 성분의 합에 따라 50% 이상일 경우에 Class C, 70% 이상일 경우에 Class F로 분류하고 있다.

[표 3.3] 국내에서 발생한 플라이애시의 화학성분

성분	무연탄 (%)	유연탄 (%)
SiO_2	52.46~56.47	46.71~60.37
Al_2O_3	29.76~33.77	18.79~24.72
Fe_2O_3	3.81~4.37	4.81~13.52
CaO	0.70~1.12	3.17~9.35
MgO	0.71~1.02	0.90~2.15
Na_2O	0.14~0.63	0.39~0.65
K_2O	3.36~4.36	0.98~1.31
SO_3	0.06~0.48	1.90~5.99
TiO_2	1.22~1.97	1.13~1.33
기타	0.00~2.57	0.52~1.66

(나) 플라이애시의 물리적 특성

플라이애시 입자의 모양과 크기는 연소 환경, 분쇄 정도, 집진 장치의 형태 등에 따라 변하며 결정질 물질과 함께 탄소를 미량 함유하는 유리질의 구형 형태이다. 플라이애시 입자는 여러 겹의 구면으로 구성되어 속이 채워져 있는 입자(Perospheres)와 내부에 이산화탄소(CO_2)와 질소(N_2)가스로 채워져 있는 다공성 입자(Cenospheres)로 구분된다. 다공성 입자의 경우, 내부가 가스로 채워져 있기

때문에 수면에 부유하며 Pterospheres보다 입자크기가 크다. 그리고, 플라이애시 전 중량의 약 2% 정도이며, 우수한 경량성, 절연성, 보온성, 내화학성으로 최근에는 단열재에 활용되고 있다.

(3) 국내·외 플라이애시 품질기준

세계 각국은 플라이애시를 단일 규격 및 차등 규격으로 나누어 규정하고 있다. 각국에서는 플라이애시의 활용에 대한 관심이 높아지면서 단일 규격에 비해 더 많은 양의 플라이애시를 적재적소에 재활용 할 수 있도록 점차 차등규격으로 바뀌고 있다.

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

미연탄소는 발전 과정에서 석탄의 연소되지 못한 탄소 성분이다. 이는 플라이애시의 혼화재로서의 성능을 저하시키며 탄소성분이 AE제를 흡착하기 때문에 다량 함유될 경우 공기량, 유동성 등에 영향을 미친다. 때문에 각국에서는 미연탄소분을 5~6%로 규제하고 있으며 국내에서도 플라이애시 1종 3%, 2종 5% 이하로 규정하고 있다. 그리고 캐나다와 미국은 플라이애시를 잠재적 수경성을 가진 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 성분의 함유량 합에 따라 분류하고 있다. 이에 따르면 Class N ; 천연 포졸란 물질, Class F ; $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 의 함유량이 70% 이상, Class C ; $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 의 함유량이 50% 이상으로 규정하고 있다. 그리고 호주에서는 플라이애시의 미연탄소량과 입자 크기에 따라 Fine, Medium, Coarse 세 가지로 분류하고 있다.

(4) 플라이애시 생산 및 활용 현황

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

플라이애시는 화력발전소에서 포집된 후 미연탄소분을 줄이기 위한 정제 과정을

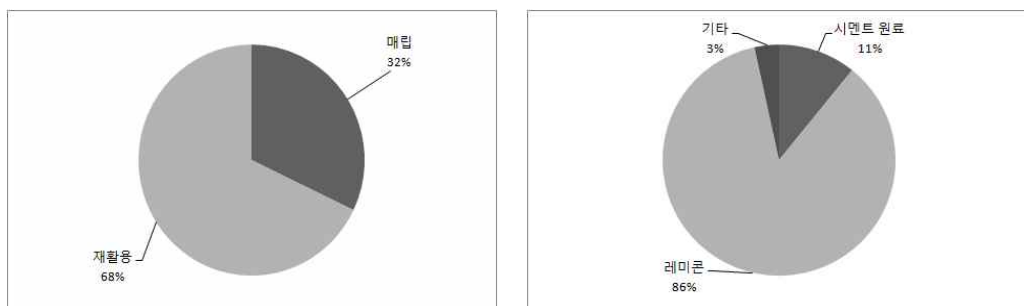
거쳐 시멘트 원료 및 레미콘에 사용된다. [표 3.5]에 플라이애시의 재활용 분야를 나타내었다. 플라이애시는 2009년 발생량의 69%가 재활용 되었으며 이 중, 시멘트 원료(11%) 및 레미콘(86%)에 대부분 재활용 되고 기타 분야에 약 3% 재활용 되었다.

[표 3.4] 플라이애시 발생량 및 재활용량

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

[표 3.5] 플라이애시의 재활용 분야(2009년)

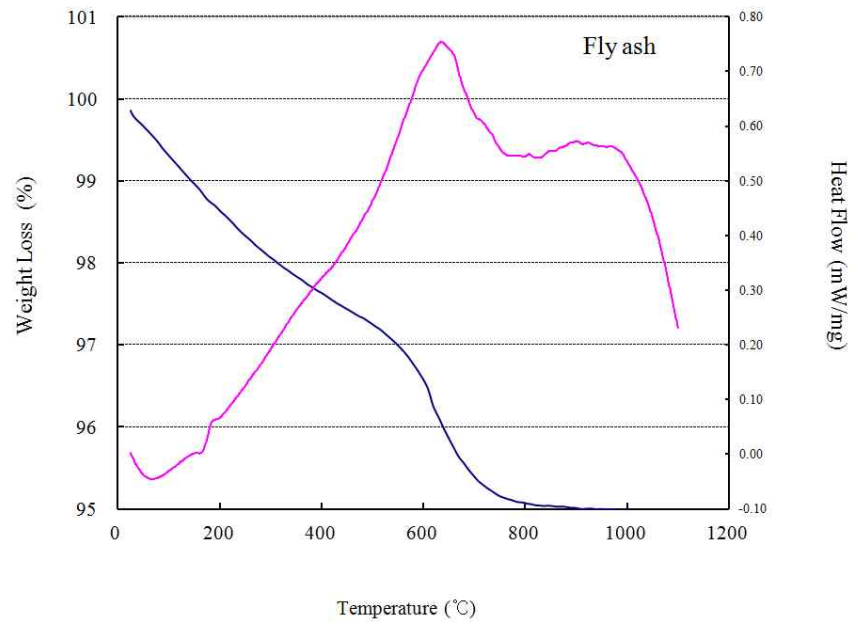
구분	발생량 (천톤)	재활용량(천톤)					매립
		시멘트 원료	레미콘	골재	기타	소계	
플라이 애시	6,850	502	3,990	-	158	4,650	2,200



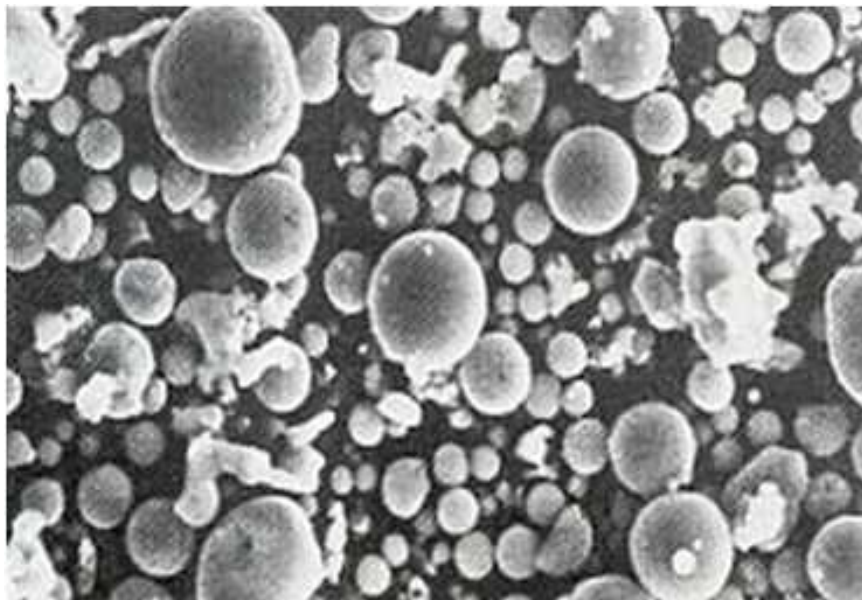
<그림 3.5> 플라이애시의 재활용 분야

(5) 실험에 사용된 플라이애시

사용재료인 플라이애시의 성분을 알기 위하여 화학분석을 실시하였다. 아래의 [표 3.6]은 플라이애시의 주요 성분을 나타낸 것이다. 분석 결과, 소성하면 강도에 영향을 주는 SiO_2 의 함량이 비교적 높은 편이었다.



<그림 3.6> 유리분말 열분석



<그림 3.7> 플라이애시 SEM사진

[표 3.6] 플라이애시 화학분석 결과

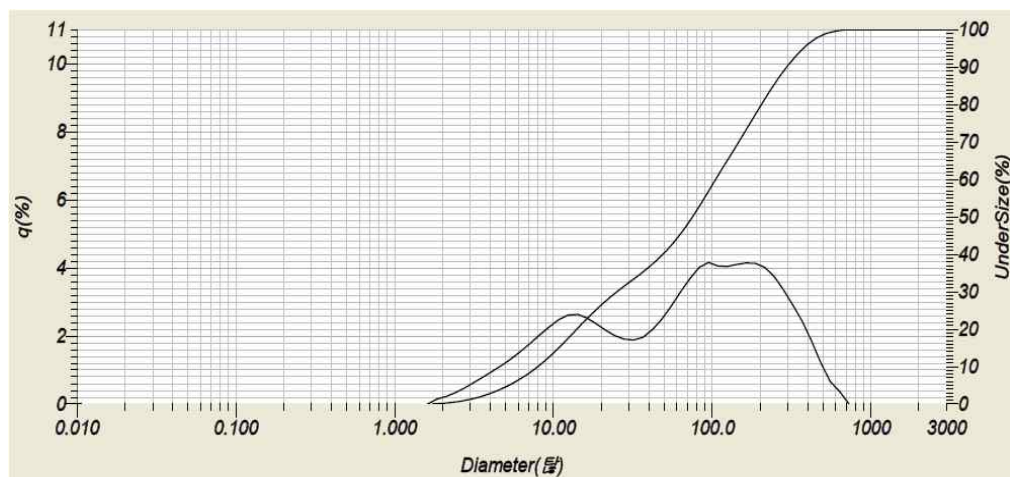
성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	C	K ₂ O	MgO	TiO ₂	LOI
함량	59.5	23.8	5.54	3.75	1.56	1.50	1.20	1.20	1.50

[표 3.7] 플라이애시 중금속성분 함유 시험결과(mg/kg)

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

사용재료의 유해성을 알아보기 위하여 토양오염공정시험방법으로 중금속 함유량을 알아보았으며 그 결과는 [표 3.7]과 같다. 7개 중금속에 대하여 기준치 이하의 값을 얻었다.

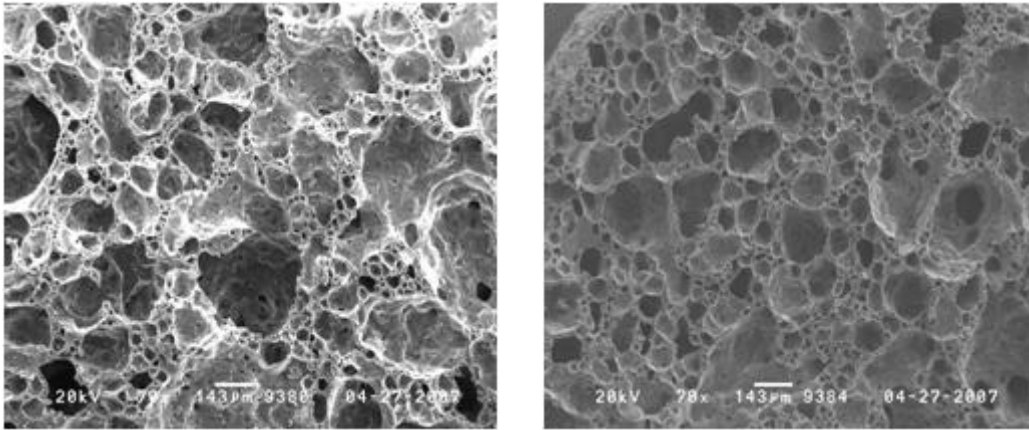
입도분석 결과 2~679 μ m 의 크기를 가지며 평균 입도는 116 μ m 이다. 90%이상의 입도가 293 μ m 이하로 분석되었다.



<그림 3.8> 플라이애시 입도분포

다. 발포제

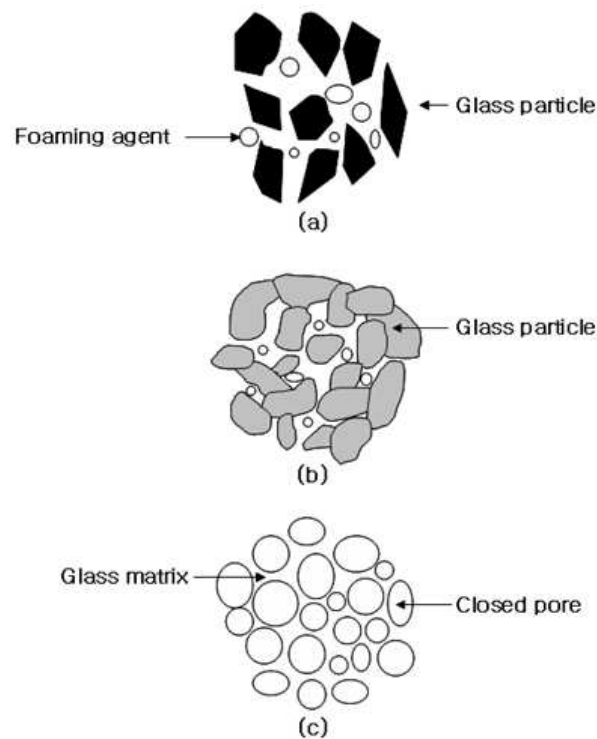
경량 무기발포 소성패널을 제조하기 위한 발포제로는 일본 Y사의 탄산칼슘 (CaCO_3 -99.0%), 국내 H사의 그라파이트(Graphite), 국내 Y사의 소듐실리케이트 (Sodium silicate)를 사용하였다.



(a) 플라이애시 10%

(b) 플라이애시 30%

<그림 3.9> 발포체의 SEM사진



<그림 3.10> 발포 메커니즘

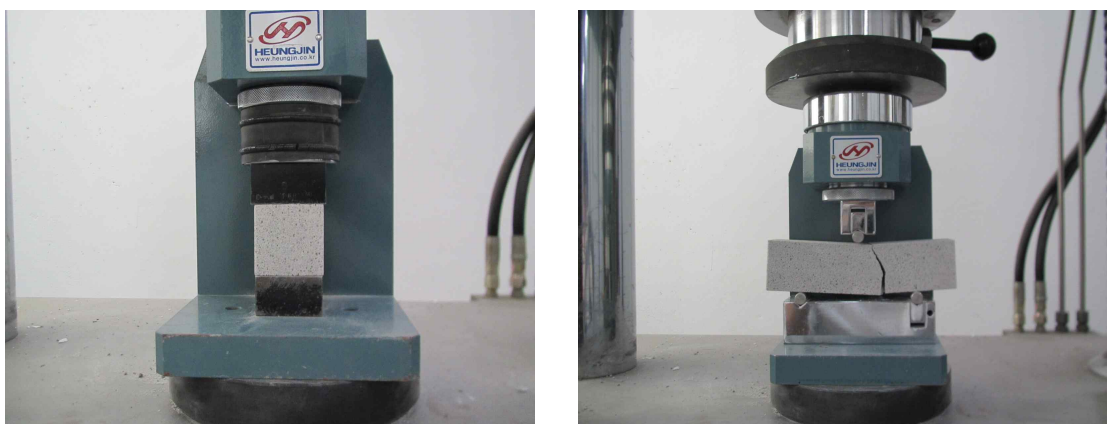
2. 실험방법

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

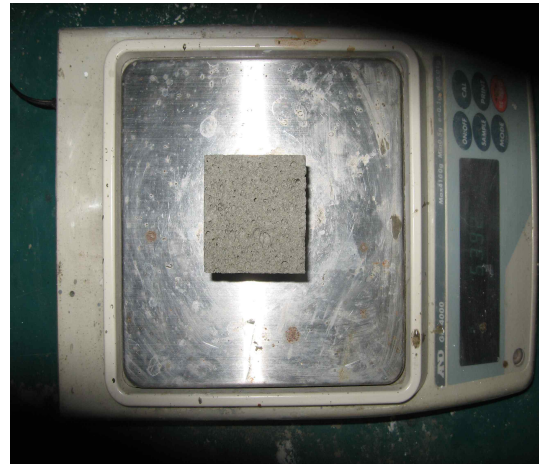
전기로는 분당 5℃의 승온속도로 가열하였다. 발포제의 양과 배합비에 따라서 800~900℃로 온도를 변화시켰으며 소성된 발포체를 정밀커터를 이용하여 가공하여 기초물성을 실험하였다.

가. 물성평가

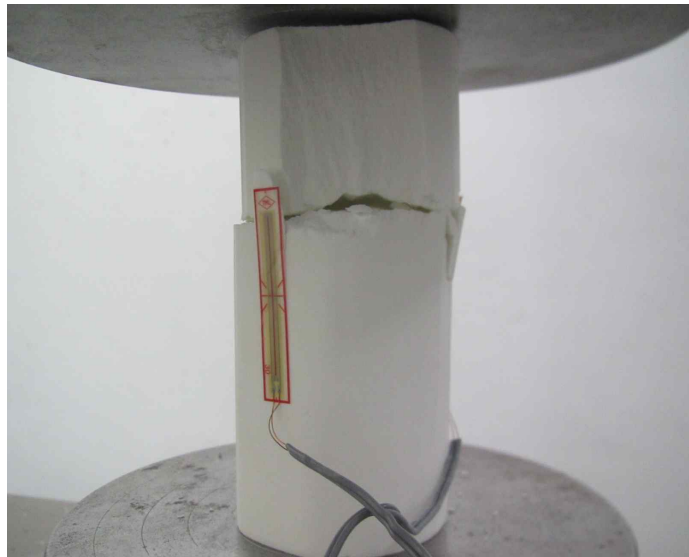
압축강도와 휨강도는 KS L ISO 679에 의해 실시하였으며 30ton급 UTM을 사용하였다. 압축강도용 공시체와 휨강도용 공시체를 따로 가공하여 측정하였다. 겉보기밀도는 KS F 2701에 의해 실시하였고, 열전도율은 KS L 9016에 의한 평판열류계법을 적용한 열전도율 시험기(HC-074, EKO사)<그림 3.12>에 장착하여 측정하였다. 평판열류계법은 시험체를 통과하는 열류량을 열류계로 측정하고 시험체 온도차를 측정하여 열전도율을 구하는 방법이다.



<그림 3.11> 압축강도 및 휨강도 시험



<그림 3.12> 열전도율 측정 및 밀도측정



<그림 3.13> 구조안전성 확인을 위한 탄성계수측정



<그림 3.14> 구조안전성 확인을 위한 인장 및 전단강도시험

3. 발포특성

가. 원료의 구성비에 따른 발포특성

원료의 배합에 따른 온도와 발포특성을 알아보기 위하여 [표 3.8]과 같이 배합하였으며 배합비에 따른 TG-DSC는 <그림 3.15>과 같다.

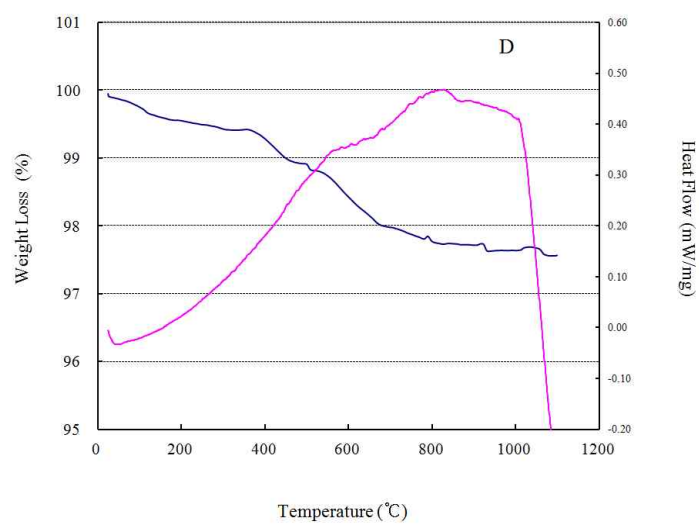
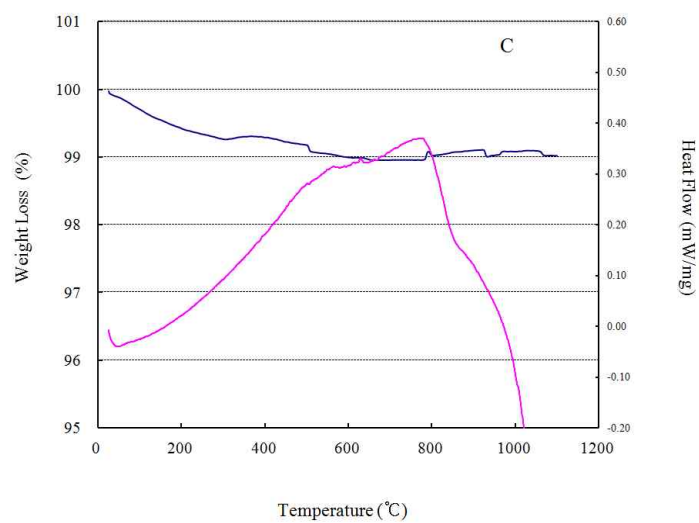
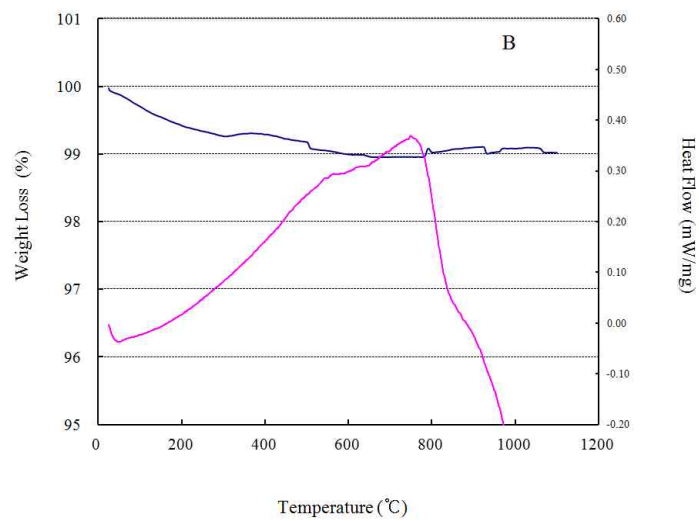
[표 3.8] 배합사항

실험 번호	배합비	유리 분말	플라이 애시	발포제(%)			소성온도 (℃)
				탄산 칼슘	그라파이트	소듐 실리케이트	
A	9:1	9	1	1~2	1~2	30~50	800~900
B	8:2	8	2				
C	7:3	7	3				
D	6:4	6	4				

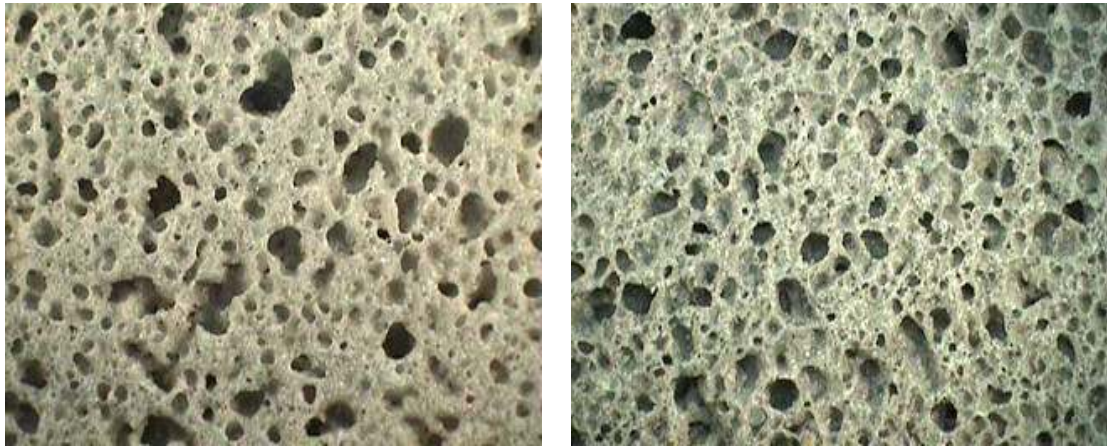
혼합물의 TG-DSC 결과 8:2 배합에서 750℃ 이상으로 나타나지만 실제 실험에서는 800℃ 이상에서 용융이 시작되어 실험은 혼합물내의 유리분말이 충분히 녹을 수 있도록 900℃에서 실시하였다. 배합에서 플라이애시의 비율이 증가할수록 용융온도도 증가하였다.

배합별 발포형상은 <그림3.16>과 같고 플라이애시의 비율이 증가할수록 기공은 열린 공극의 형태로 생성되는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 기공의 형태는 완벽한 구형을 이루지는 못하였다.

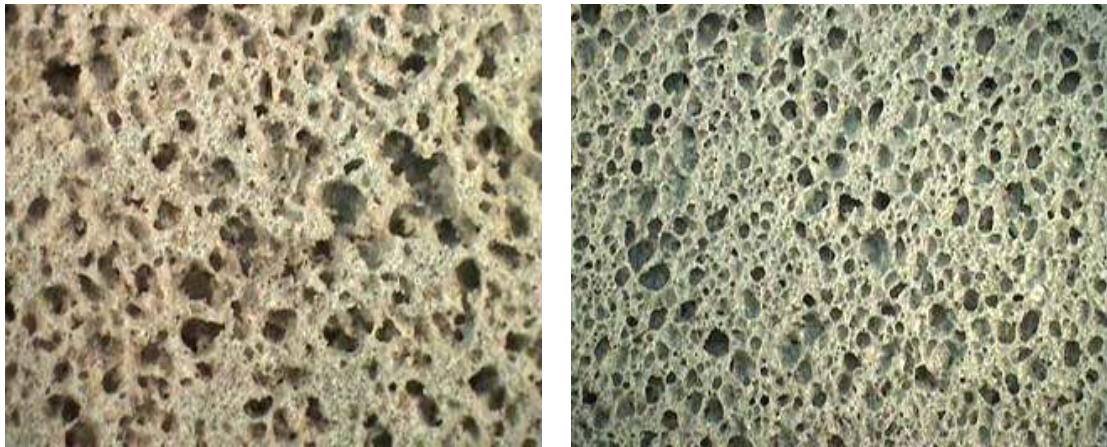
기공의 면적보다 단면의 면적이 넓은 것이 눈으로도 확인이 가능하며, 플라이애시의 함량이 증가함에 따라 기공이 작아지는 경향을 보였다. 이는 유리분말의 함량이 감소함에 따라 소성조건에서 발포할 수 있는 여력이 적어지기 때문이다. 유리의 연화 및 용융과 발포가스의 생성에 의해 기공이 생성되어야 하나, 바인더로 적용되는 유리의 양이 적어져 기공의 생성이 어려워지기 때문이다. 이와 같은 결과로부터 필러로서 적용할 수 있는 플라이애시의 양이 한정되어 있음을 확인할 수 있었으며 발포에도 영향을 미치므로 적절한 배합의 조절이 필요하다.



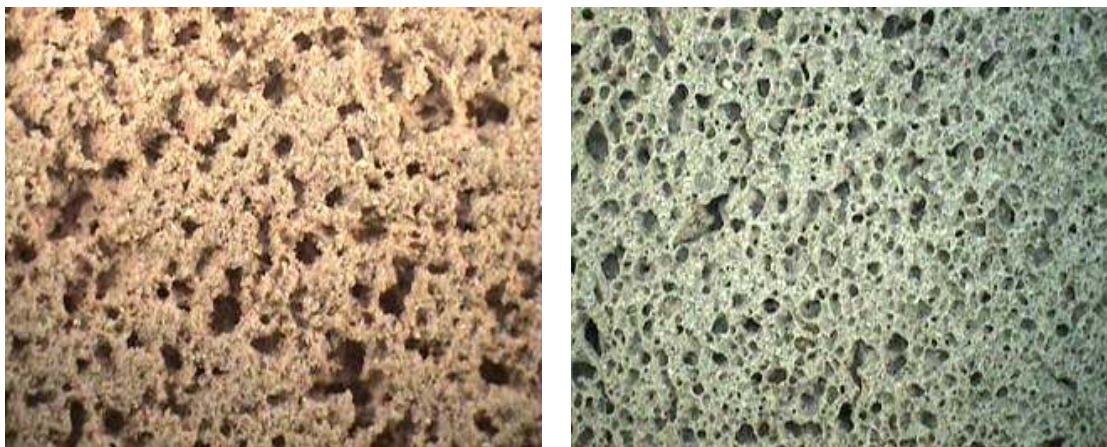
<그림 3.15> 배합비에 따른 TG-DSC



(a) B배합



(b) C배합



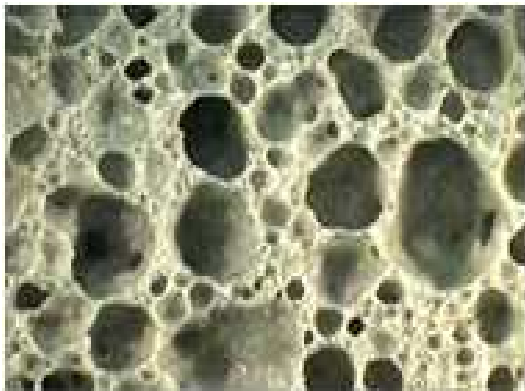
(c) D배합

<그림 3.16> 배합에 따른 발포형상 Camscope 사진(x40)

나. 발포제에 따른 발포특성

D배합으로 실험시 조건에 상관없이 모서리가 부서지는 현상, 즉 강도발현이 낮아지는 현상이 발생하여 과제의 초기설정에 맞는 C배합으로 고정하고 발포제에 따른 특성을 분석하였다.

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



(a) CaCO_3 0.5%



(b) CaCO_3 1%



(c) CaCO_3 2%

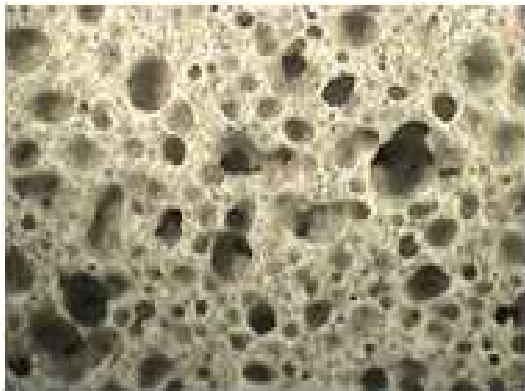


(d) CaCO_3 3%

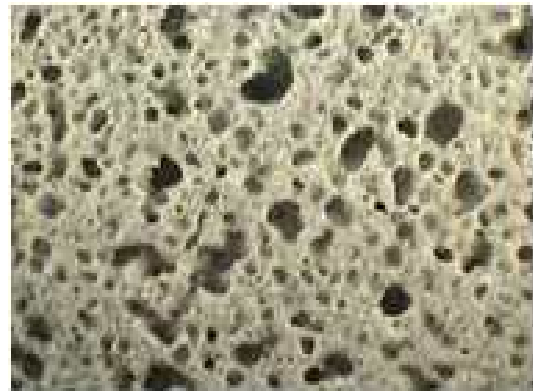
<그림 3.17> 탄산칼슘의 함량에 따른 공극

그라파이트는 미세기공이 발생하지만 함량이 증가할수록 열린 공극의 형태로 생성되어 열전도율 및 강도면에서 불리할 것이다. 1%이상 첨가시 발포제가 충분히 반응하지 않아서 시험체에 남아있게 되며 이와 같은 결과는 산소와 반응하여 이산화탄소를 발생시키는 그라파이트의 특성 때문이다.

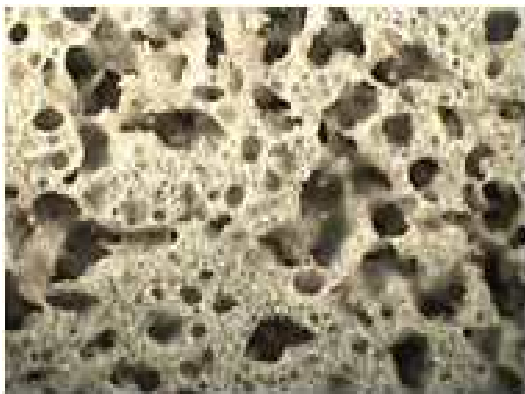
반면 소듐실리케이트는 공극이 어느 정도 균일하고, 발생량도 적지 않아 적합한 발포제로 판단된다. 온도조건을 달리하여 기공의 발생량을 조절하고 탄산칼슘과 함께 첨가하여 기공의 크기를 조절하여 밀도 및 강도의 조절이 가능할 것으로 보인다.



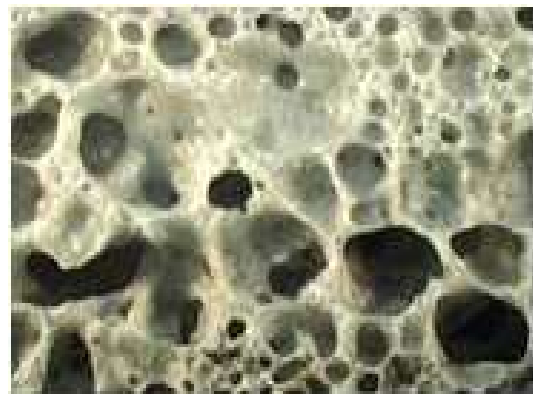
(a) Graphite 0.5% (900℃)



(b) Graphite 1% (900℃)

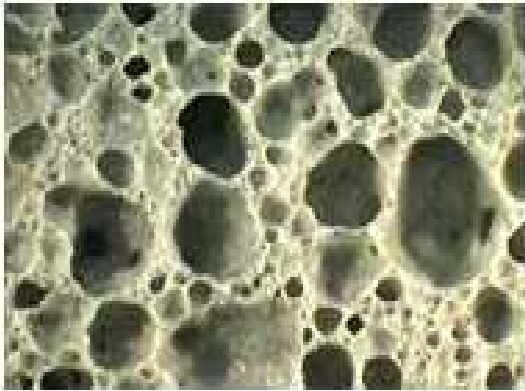


(c) Graphite 2% (900℃)

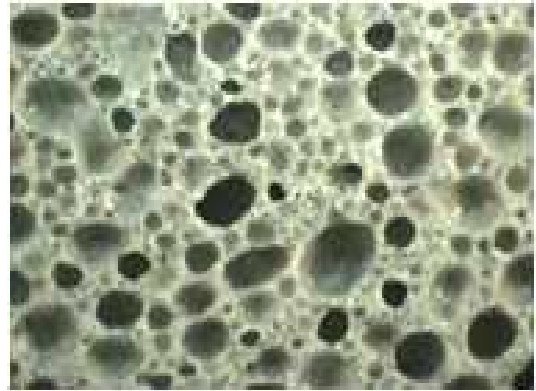


(d) Graphite 1% (950℃)

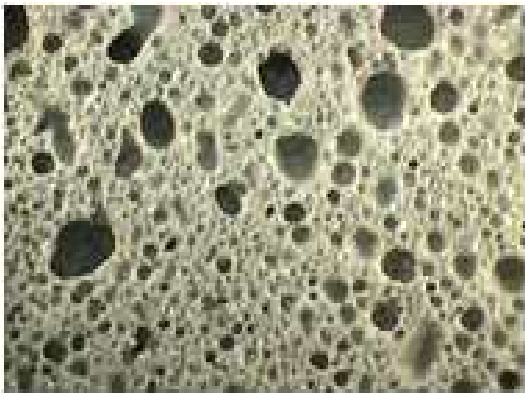
<그림 3.18> 그라파이트의 함량에 따른 공극



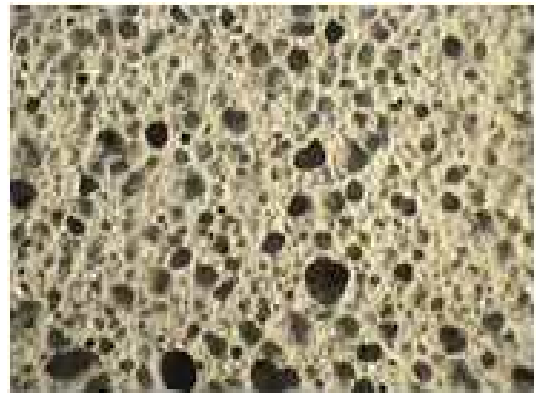
(a) Sodium silicate 30% + CaCO_3 0.5%



(b) Sodium silicate 30% + CaCO_3 1%



(c) Sodium silicate 30% + CaCO_3 2%



(d) Sodium silicate 30%



(e) Sodium silicate 40% + CaCO_3 1%



(f) Sodium silicate 40% + CaCO_3 2%

<그림 3.19> 소듐실리케이트와 탄산칼슘 함량에 따른 공극



(a) 880°C



(b) 880°C-1H



(c) 900°C



(d) 900°C-1H

<그림 3.20> 소성온도에 따른 기공의 모양

4. 경량무기발포 세라믹보드 성능평가

가. 물성평가

휨강도와 압축강도는 KS L ISO 679에 의하여 실시하였다. [표 3.9]에서와 같이 밀도와 압축강도의 관계는 밀도가 증가할수록 압축강도 또한 증가하는 일반적인 경향을 보였다. 기포의 양이 많아질수록 강도는 감소한다. 이와 같은 결과는 경량 발포체의 일반적인 현상이다. 또한 밀도가 비슷하더라도 강도의 차이가 있는데 이는 기공의 균일한 정도에 따라서 다르게 나타난다.

휨강도는 압축강도가 증가함에 따라 증가하지만 경량 발포체의 경우 거의 대부분이 공극으로 형성되어 있으므로 한부분에만 힘을 가해지는 경우 취약부위를 따라 균열이 발생한다. 따라서 하중이 가해지는 지점의 기공의 크기 및 형태에 따라 편차가 발생한다.

물성평가에서 얻어지는 결론은 기공의 사이즈를 작게 균일하게 만드는 것이 중요하며 폐기공을 유지해야 목표로 하는 물성치가 만들어진다는 것이다.

열전도율-밀도-강도-공극률의 상관관계를 알기 위하여 분석을 실시하였다. <그림3.21> 는 밀도-열전도율 그래프로 경량무기발포 세라믹보드의 열전도율 및 밀도의 한계는 각각 0.11 g/cm^3 , 0.045 W/mK 로 나타났으며 비례곡선을 나타내었다.

밀도-압축강도 그래프에서는 플라이애시의 함량에 따라 기울기가 달라지며 플라이애시의 함량이 높을수록 강도개선에는 불리한 것으로 나타났으며 경량성을 확보하는 데도 불리한 것으로 나타났다.

[표 3.9] 경량무기발포 세라믹보드 물성측정 결과

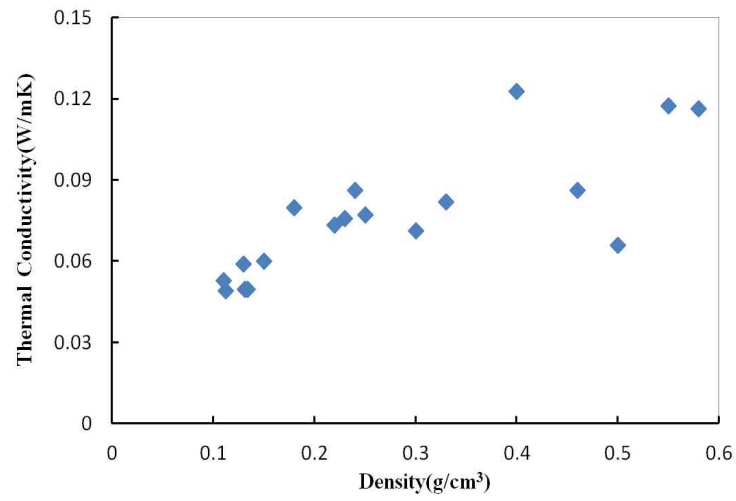
물성	단위	목표	결과
밀도	g/cm^3	0.5 이하	0.49
압축강도	kgf/cm^2	80.0 이상	85.6
휨강도	kgf/cm^2	20.0 이상	22.0
열전도율	$\text{kcal/mh}^\circ\text{C}$	0.09이하	0.088

[표 3.10] Mock-up test용 시험체의 물성

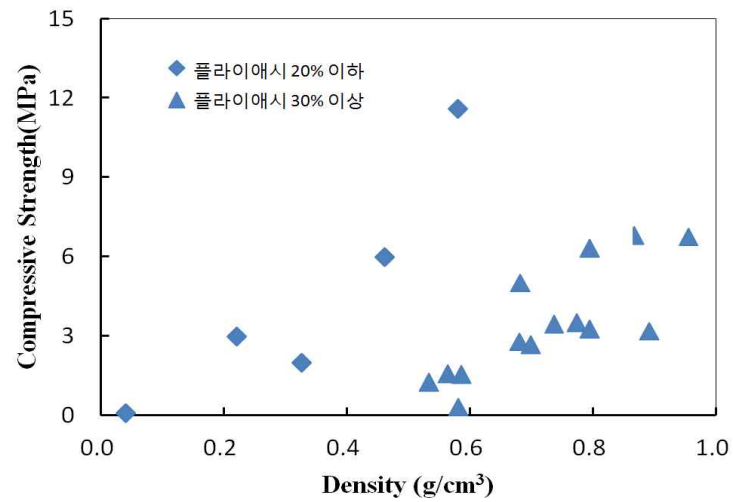
물성	단위	구조계산에 의한 요청물성	실험결과		비고
			내화용	구조용	
밀도	g/cm ³	0.3 이하	0.22	0.58	
압축강도	kgf/cm ²	40 이상	29	115	
휨강도	kgf/cm ²	10 이상	14	23	
전단강도	kgf/cm ²	5 이상	3.02	13.16	추가항목
인장강도	kgf/cm ²	5 이상	4.7	7.48	
탄성계수	kgf/cm ²	17,500 이상	8,250	80,178	

[표 3.11] 밀도 및 압축강도 실험결과

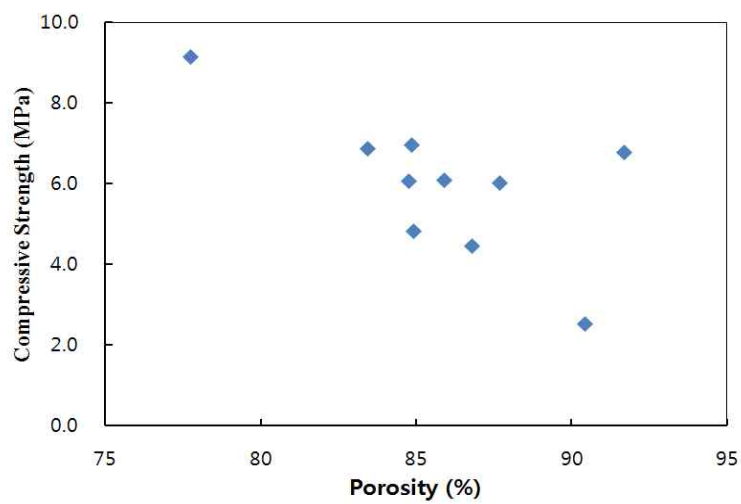
실험번호	밀도(g/cm ³)	압축강도		휨강도
		(MPa)	(kgf/cm ²)	(MPa)
C1	0.44	5.83	59.44	2.33
C2	0.46	5.94	60.58	2.56
C3	0.44	4.71	48.04	1.99
C4	0.42	5.43	55.38	2.32
C5	0.43	5.65	57.69	1.85
C6	0.36	3.45	35.19	1.66
C7	0.37	3.11	31.71	1.51
C8	0.38	4.90	50.01	2.53
C30	0.81	9.14	93.29	
C40	0.68	5.12	52.84	
C50	0.43	1.27	12.97	
B40	0.54	6.00	60.88	
B50	0.42	3.29	33.55	
D50	0.83	6.62	67.15	
B30C1	0.85	8.57	87.73	
B40C1-1	0.71	8.97	91.52	
B40C1-2	0.63	6.02	61.47	
C30C1-1	0.91	7.39	75.39	
C30C1-2	0.87	6.20	63.29	
C40C1-1	0.74	4.82	49.25	
C40C1-2	0.62	6.20	63.29	



<그림 3.21>밀도-열전도율



<그림 3.22>. 밀도-압축강도



<그림 3.23> 공극률-압축강도 그래프

나. 내열성 평가

무기계 섬유류 단열재와 경량무기발포 세라믹보드의 내열도를 알아보기 위하여 토치 및 전기로를 사용하여 실험을 진행하였다.

토치에 의한 표면온도 측정은 비접촉식 온도계에 의해 측정하였으며 표면온도가 약 700℃가 되도록 설정하여 가열하였다. 글라스울은 가열하는 시점부터 녹기 시작하였고, 미네랄울은 글라스울보다 천천히 반응하였다. 경량발포보드는 표면은 녹았지만 원형을 유지하였다.

또한 각 재료의 내열성능을 평가하기 위하여 전기로를 이용하여 내열성능을 평가하였다. 전기로의 가열속도는 10℃/min이고 유지시간은 30분, 최고온도는 600℃,



<경량무기발포 세라믹보드>

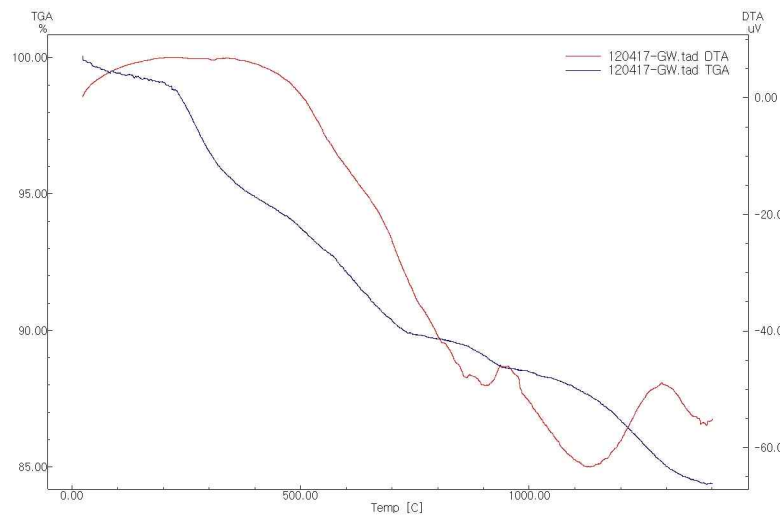
<미네랄울>

<글라스울>

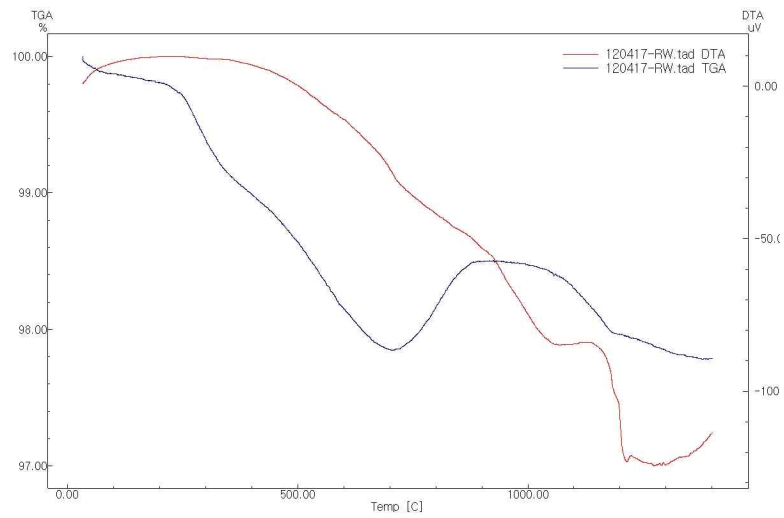
<그림 3.24> 내열도 시험 후 모습



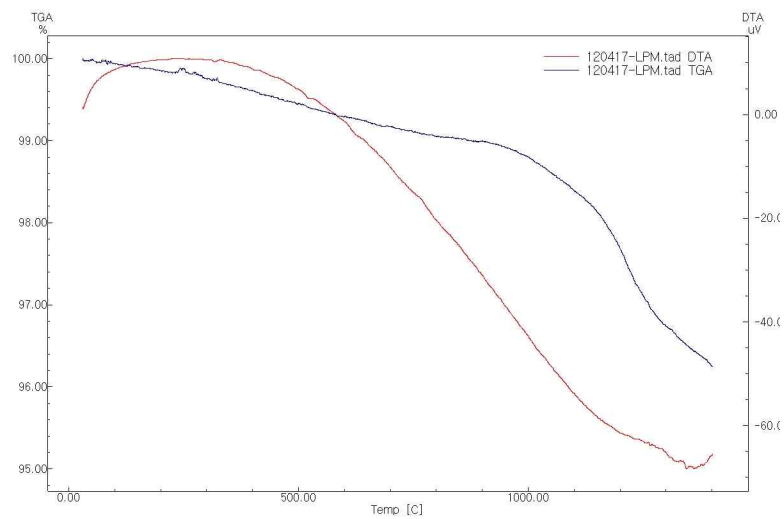
<그림 3.25> 전기로 가열



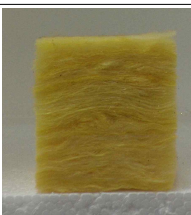
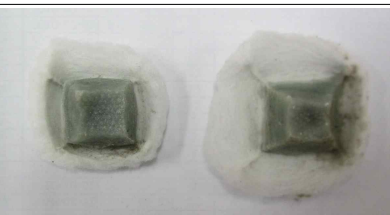
<그림 3.26> 글라스울 열분석



<그림 3.27> 미네랄울 열분석



<그림 3.28> 경량무기발포 세라믹보드 열분석

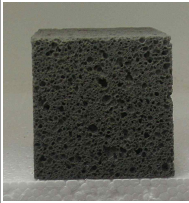
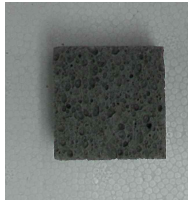
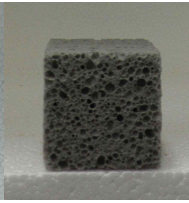
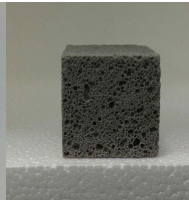
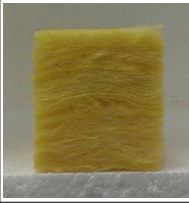
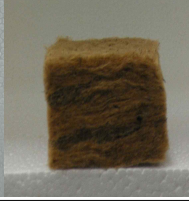
구분	20℃ (상온)	600℃	
		30분유지	30분유지 (상온부터 가열)
경량 무기 발포 세라믹 보드			
	실험체	질량변화 없음, 1개 실험체 미세 크랙발생	
글라스울			
	실험체	질량감소 0.5g, 길이변화 - 용융되어 측정 불가	
미네랄울			
	실험체	질량감소 0.3g, 높이변화 7mm 수축(14% 수축)	

<그림 3.29> 600℃ 고온가열시험

700℃ 두 가지 조건에서 실험을 하였다. 또한 상온에서 가열하는 방법과 설정온도에서 시험체를 평가하는 방법으로 실험을 진행하였다.

경량무기발포 세라믹보드는 상온에서부터 가열한 시험체의 1개에서 크랙이 발생한 것 이외의 질량변화 및 형태변화가 나타나지 않았다. 글라스울은 용융되어 완전히 녹았으며 육안으로도 쉽게 형태변화를 확인할 수 있었다. 글라스울은 어두운 녹색으로 색이 변하였으며 소성 후 질량변화는 -0.5g 으로 약간의 감소하였다. 미네랄울은 검은색으로 변색되었으며 -0.3g의 약간의 질량감소가 발생하였다.

경량무기발포 세라믹보드는 치수변화는 높이는 10%, 가로, 세로 길이는 20% 이었다. 글라스울은 완전히 용융되어 완전히 변태하였으며, 미네랄울은 갈색으로 색상이 변색되고 높이가 26% 낮아졌으며 열화되어 부스러지는 현상이 발생하였다.

구분	20℃ (상온)	700℃	
		30분유지	30분유지(상온부터 가열)
경량 무기 발포 세라믹 보드		 	 
	시험체	질량변화 없음, 수축 변형 없음	
글라 스울			
	시험체	질량감소 10%, 길이변화 - 용융되어 측정 불가	
미네 랄울		 	 
	시험체	질량감소 1.5%, 높이 13.8mm 수축(26% 수축), 부피 24% 수축, 접촉시 부서짐	

<그림 3.30> 700℃ 고온가열시험

다. 흡습성능평가

커튼월 시스템의 화재시의 확산경로는 화재확산방지구조 및 층간조인트를 통해 화재가 확산하거나 파손된 유리창을 통해 상부로 확산된다. 층간조인트는 Mineral wool 등의 무기계 충전재와 방화실란트로 마감한 내화충전구조를 일반적으로 적용하고 있으나, Spandrel 부위를 통한 화재확산은 Back panel에 무기질 단열재인 Glass Wool을 사용할지라도 내화성능 확보에는 한계가 있다.

또한 커튼월 시스템은 주로 유리, 메탈, 패널 등과 함께 알루미늄, 스틸 등과 같이 열전도율이 매우 높은 금속 프레임으로 구성되므로 열적 취약부위가 발생할 가능성이 매우 크고¹⁾, 외장재로써 외기에 바로 면하고 있어 눈이나 비, 기온 등에 직접적인 영향을 받게 되어 시공 결함이나 단열 문제 등에 의해 내부에 결로가 발생하여 단열재의 단열성능을 장기적으로 저하시킬 수 있는 문제가 상존하게 된다.

1) 송승영외, 사무소 건물 커튼월 시스템의 표면결로 방지 설계기준, 대한건축학회 논문집 계획계, 2012.11

결로 발생을 방지하기 위하여 Back Panel에 설치한 단열재의 실내측에 방습지를 부착하는데 이 방습지가 시공중 빈번히 파손되고, 파손부위를 테이프 등으로 보수할지라도 접착력이 우수하지 않아 테이프가 다시 떨어지는 경우가 많이 발생하게 된다.

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



<그림 3.31> Back Panel에 사용된 Glass Wool 단열재의 결로발생 및 변형



<그림 3.32> Back Panel 방습지 파손

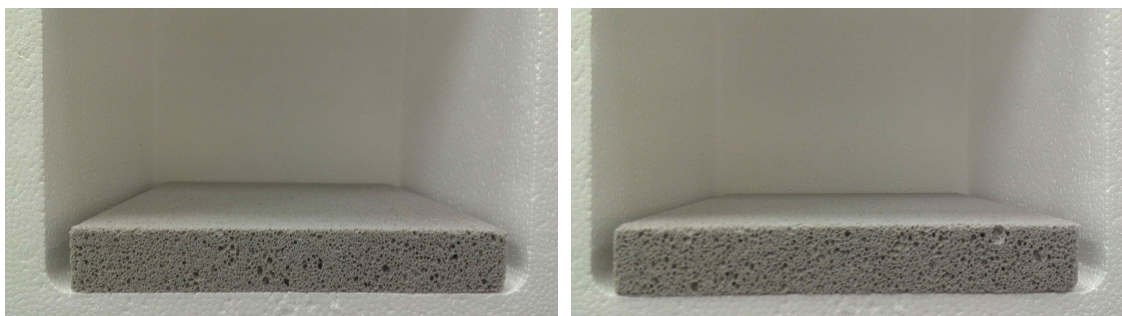
상기와 같은 기술적 문제는 Back Panel에 사용하는 단열재가 화재 및 결로의 취약하기 때문에 내화성능 및 내결로성이 우수한 Back Panel 대체용 재료를 개발하고 이를 적용한 커튼월 공법을 개발할 경우 기존 커튼월의 문제점은 해결될 것으로 판단된다.

[표 3.12] 무기계 단열재 및 세라믹보드의 내결로성 평가결과

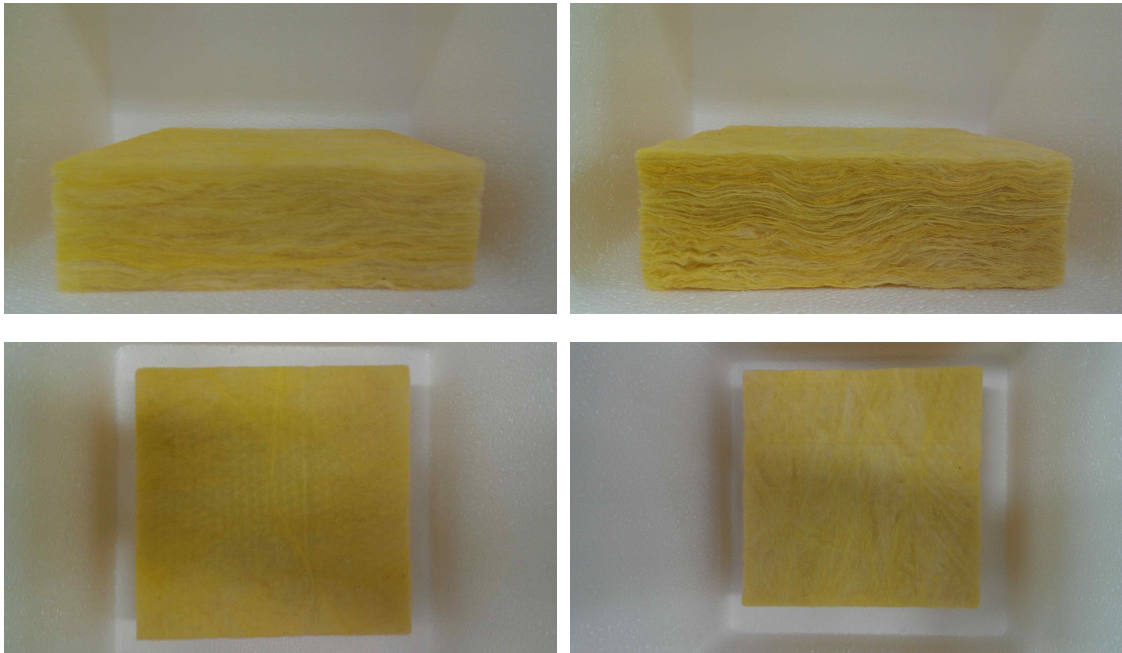
증가율	분무량	종류	글라스울	미네랄울	경량무기발포 세라믹보드
열전도율 증가율 (%)	0		0	0	0
	1		7.9	10.1	9.3
	2		12.4	19.6	12.9
	3		20.9	46.5	16.9
	4		34.5	85.3	23.9
	5		70.1	123.6	28.7
두께증가율(%)			5.4	24.9	0

[표 3.13] 무기계 단열재 및 세라믹보드의 건조 후 열전도율 회복 평가

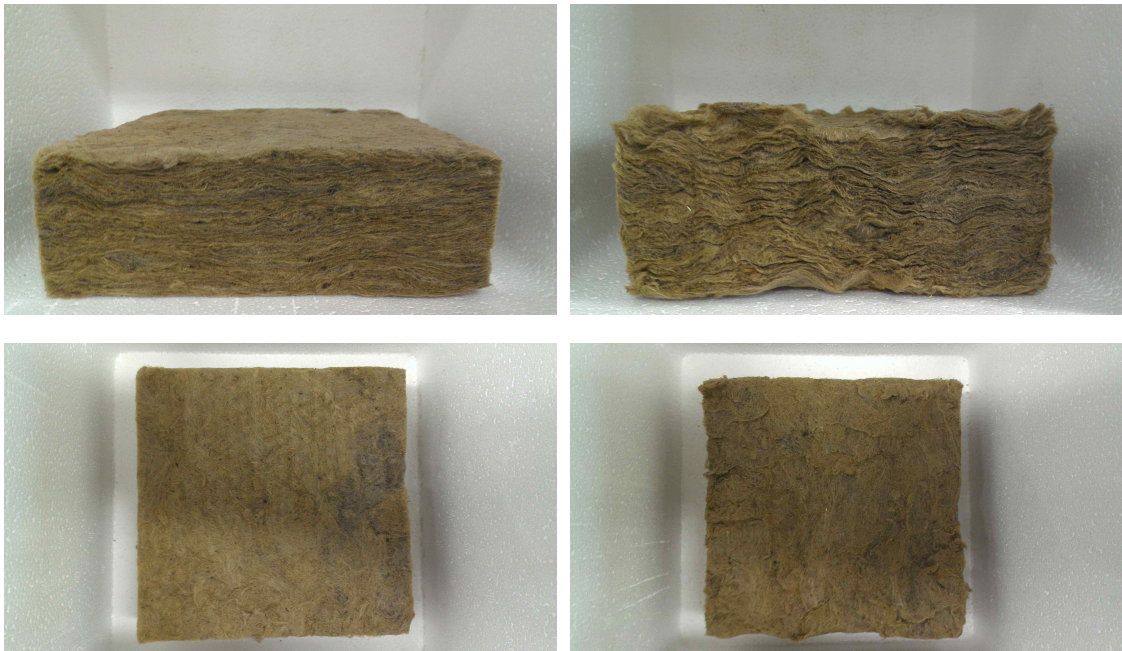
구 분	글라스울	미네랄울	경량무기발포 세라믹보드
무게(g)	59.6	128.0	420.8
열전도율(W/mK)	0.03497	0.03677	0.1195
열전도율 증가((%)	3.1	15.9	2.3



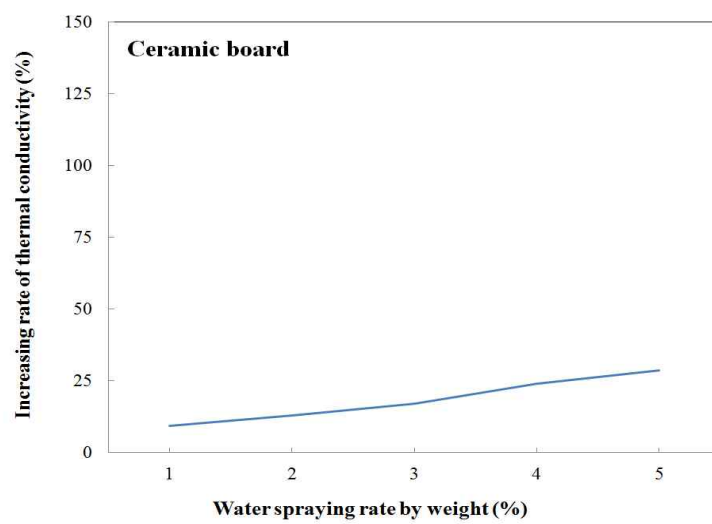
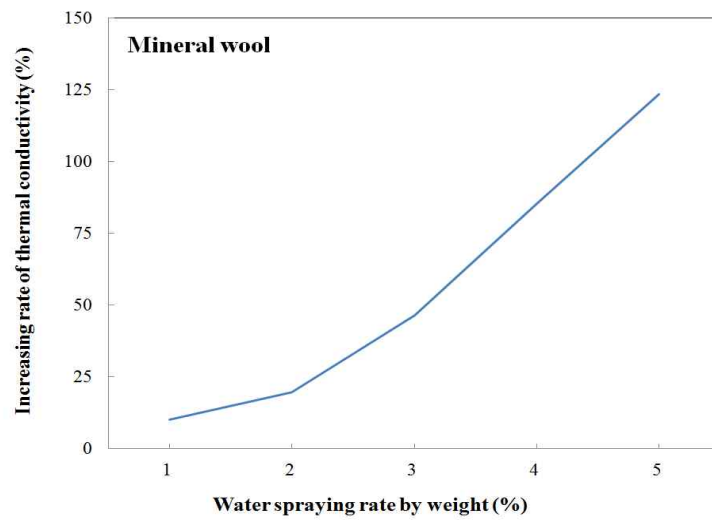
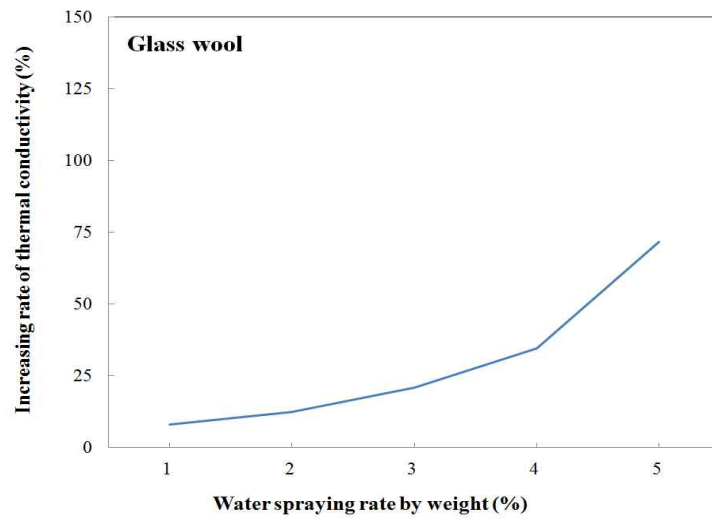
<그림 3.33> 함수율에 의한 세라믹보드의 상태변화 (전→후)



<그림 3.34> 함수율에 의한 글라스울의 상태변화 (전→후)



<그림 3.35> 함수율에 의한 미네랄울의 상태변화 (전→후)



<그림 3.36> 함수울에 의한 재료별 열전도율 증가율

또한 결로에 의한 각 재료의 열전도율 성능저하를 알아보기 위하여 시험체를 준비하고 함수율을 변화시켜 열전도율을 측정하였다. 그 결과는 위의 <그림 3.36>와 같으며 미네랄울과 글라스울의 열전도율 증가율 보다 경량무기발포 세라믹보드의 증가율이 낮은 것을 확인하였다. 이와 같은 결과는 경량무기발포 세라믹보드의 내결로성이 더 우수한 것을 나타낸다.

글라스울과 미네랄울은 수분에 의한 부피 팽창이 나타는 것을 확인할 수 있는데 이는 유지관리 측면에서 경량무기발포 세라믹보드보다 불리할 것으로 판단된다.

라. 화재성능평가

내화성 커튼월의 적용을 위하여 경량무기발포 세라믹보드의 내화성능을 갖추기 위해 화재성능 평가를 실시하였다. 화재성능평가는 불연성시험, 준불연 재료시험을 실시하였다. 무기물을 기본원료로 사용하는 경량무기발포 세라믹보드는 준불연 재료시험에서 적합 판정을 받았고 불연성시험 성능확인에서도 그 성능이 확인되어 내화성 커튼월의 재료로 적합하다.

화재성능평가는 3가지 항목으로 불연성시험(KS F ISO 1182), 열방출률시험(KS F ISO 5660-1), 가스유해성시험(KS F 2271)을 실시하였다. 실험은 방재시험 연구원에 의뢰하여 실시하였고 판정기준은 [표 3.14]와 같다.

[표 3.14] 화재성능평가 판정기준

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

[illegible]

<그림 3.37> 화재성능시험 원리 및 장비



(a) 불연성시험



(b) 질량감소율 시험



(c) 열방출율 시험



(d) 가스유해성시험

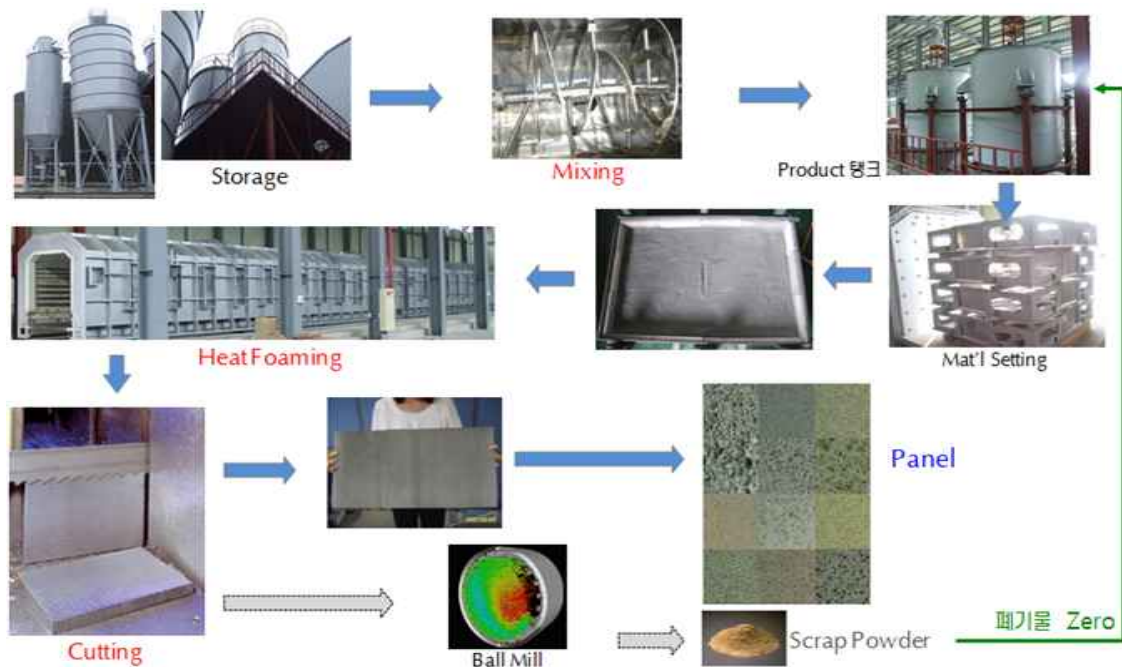
<그림 3.38> 화재성능평가 시험체

[표 3.15] 화재성능평가 결과

시험항목			시험체 번호			판정
			1	2	3	
불연성 시험	가열로 내의 최고온도와 최종평형온도의 차(K)		1.9	4.3	1.1	적합
	질량감소율(%)		0.5	0.4	0.4	적합
준불연 재료	열방출율	총열방출량(MJ/m ²)	0.1	0.2	0.4	적합
		200kW/m ² 를 초과하는 시간(s)	0	0	0	적합
		시험체를 관통하는 방화상 유해한 균열, 구멍 및 용융 등	없음	없음	없음	적합
	가스유해성	취의 평균행동정지 시간(min:s)	13:12	14:58	-	적합

5. 양산기술

발포패널의 제조공정은 아래의 <그림 3.39>와 같다. 저장고에서 원료를 수급하여 원재료 및 발포제를 혼합하여 형틀에 넣어 소성하는 공정을 거친다. 소성은 원재료 및 발포제의 배합 및 조성에 따라서 소성온도를 다르게 설정한다. 또한 전기로에서 발포체가 빠져 나올시 공기 중의 온도와 차가 크면 온도에 의한 크랙이 발생하므로 이를 방지하기 위한 온도설정이 매우 중요하다. 소성된 발포체는 사용목적에 맞게 가공하며 여분의 재료는 다시 분쇄하여 사용하거나 경량골재로 재활용할 수 있다.



<그림 3.39> 생산공정



<그림3.40> 다단 구조 발포방식



<그림 3.41> 전용연속식 로

가. 발포소성기술

(1) Crack 방지

냉각 시 Crack이 발생하는 주요 원인은 혼합한 원료의 결합력의 정도, 성형 틀의 재질에 따른 변형 및 제품과의 열팽창계수 차이 등이다. 일반적으로 세라믹 재질은 열팽창계수가 낮는데 반해 성형틀로 주로 사용하는 재질인 금속의 경우 1.8% 가량의 열팽창 계수를 갖는데, 소결-냉각 과정에서 약 2.5cm 만큼 팽창-수축 과정을 갖기 때문에 발포 제품에 충격을 주게 되어 crack이 발생하는 주요 원인이 된다. 이러한 문제를 해소하기 위해서는 성형틀이 냉각과정에서 직접적으로 발포 제품에 영향을 미치지 않도록 하여야 하며, 또한 성형틀의 변형이 발생하지 않도록 하는 구조적 설계가 동반되어야 한다.

(2) Uniformity 확보

기공이 균일하도록 만들기 위해서는 1차적으로는 각각의 원료가 골고루 혼합되어야 한다. 일반적으로 분체의 혼합은 어렵지 않으나 점성이 있는 발포제와 분체의 혼합은 혼합 방식, 혼합 시간, 재료 투입방법 등에 의해 다른 결과물을 얻을 수 있다. 또한 이러한 혼합물은 건조 공정 및 분쇄 공정을 통해 발포제의 양이 특정 부위에 집중되지 않도록 한다. 마지막으로 가장 중요한 것은 소결 시 모든

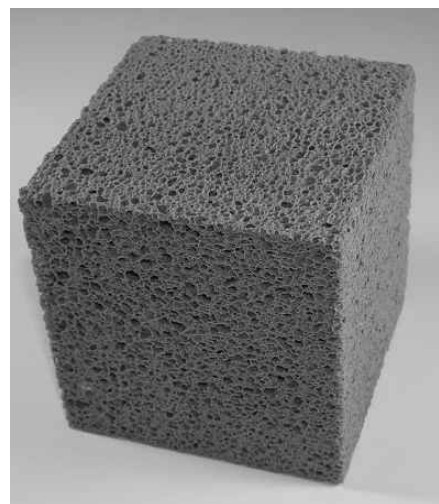
부위에서 고르게 열량이 침투되도록 하는 것이고 소결 로(Furnace)가 직접 열을 사용하는 방식의 경우 혼합물의 표면이 가장 먼저 발포체를 형성하게 되는데, 이러한 기공이 있는 발포체는 단열 효과가 있어서 내부로 열이 침투하는 것을 방해한다. 따라서 각 온도 그래프와 각 온도 단계에서의 유지시간 등의 결정이 중요하다.

(3) 절단 문제

세라믹 제품은 일반 석재에 비해 SiO_2 나 Al_2O_3 성분의 함량이 많기 때문에 (70% 이상) 1200쪽의 대형 제품을 Slicing 하는 것이 어렵다. 따라서 대형 사이즈의 발포체 제조에 성공하였어도 절단 속도가 느려 절단공정에서 병목현상(bottle neck)이 생긴다던가, 절단 속도는 빠르나 평활도가 만족스럽지 못한다던가 또는 톱날의 마모도가 심하여 경제성이 없다던가 하는 문제를 해결하지 않으면 양산에 성공하기 쉽지 않다. 국내는 물론이고 중국 등 유수의 석재 가공 머신을 제작하는 업체나 석재 가공 공장 등의 장비를 통하여 수차례 시험해 보았으나 이러한 문제를 해결하는데 어려움을 겪었고 결국 자체 개발을 하는 등 시행착오를 거쳐 속도, 평활도, 저마모도 등을 해소하였다.



<그림 3.42> 전용 커팅머신



<그림 3.43> 균일한 기공

나. 기공 제어 제조 기술

발포 세라믹보드는 유리질이 Cell의 내벽을 감싸는 형태로 구성되어 있는데, 완벽한 폐기공은 Cell의 내벽을 유리질로 완벽히 감싸 물과 공기가 침투하지 못하도록 하여야하고, 반대로 개기공은 동일한 질량이라 하더라도 Cell과 Cell 사이의 벽을 끊어 놓아 물과 공기가 침투 또는 투과하게 된다.

이를 컨트롤 하기 위해서는 혼합물의 조성과 열처리 조건에 대한 설계와 사용하는 재료에 포함되어 있는 SiO_2 성분의 함량 조절이 첫 번째이고 열처리 시 Cell 벽형성과정에서 기공이 과도하게 발포되지 않도록 하는 정확한 온도 조건을 확보해야 한다. 또한 앞서 언급한 Uniformity 및 Crack에 대한 방지는 필수적으로 동반되어야 하기 때문에 발포기술 중에서도 가장 어려운 기술이다.

6. 경량무기발포 세라믹보드용 내화성 바인더

경량무기발포 세라믹보드의 시공은 일반적으로 건식이나 습식시공이 가능하다. 건식시공법인 볼트 및 피스접합에 의한 경우 볼드체결에 의한 접합부위의 강도향상으로 하자발생이 적고 손쉬운 접합이 가능하다. 하지만 경량무기발포 세라믹보드의 외벽용 단열재 적용이나 건식시공보다는 습식시공이 우선하여 적용할 경우 이를 접합하기 위한 내화성 바인더의 적용이 필수적이다. 일반적으로 시멘트계 바인더에 시멘트 혼화용 폴리머(SBR, EVA, PAE 및 재유화형 분말수지)를 적용하는 경우가 대부분이며 바탕면의 접착성능을 향상하기 위해 셀룰로스계의 수지를 혼합하여 사용하는 경우가 대부분이다. 하지만 시멘트계 바인더의 경우 화열에 의해 수산화칼슘이 분해되는 등 강도저하 현상이 현저하므로 고온에서 안정적인 내화성 바인더의 개발이 필수적이다.

현재 내화성 바인더 및 바인더로 적용되는 재료는 시멘트 및 석고를 결합재로 사용하는 것이 대부분이다. 이 중 시멘트계 결합재는 물과 반응하며 규산칼슘수화물(이하 C-S-H)과 수산화칼슘 등의 수화물이 생성되는데 화재와 같은 고온에서는 시멘트 수화물의 물리·화학적인 탈수가 발생하여 성능이 저하한다. 또한 석고계 결합재 등도 물과 반응하여 이수석고로 생성되며 고온에서는 화학적인 탈수가 발생하여 성능이 저하한다.

플라이애시의 알칼리 활성화 반응을 이용한 결합재의 제조 및 이용에 관한 연구

는 시멘트의 CO₂ 배출과 이를 대체하기 위한 결합재의 개발의 하나로서 많은 연구자들이 다방면으로 검토하고 있다. 플라이애시의 주요 성분은 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃로서 이들 세 가지 성분이 전체의 80~90%를 차지한다. 또한 플라이애시의 표층은 화학적으로 매우 안정한 유리질로 이루어져 있고 내부는 반응성이 높고 공극이 많은 비결정질의 구성 물질로 이루어져 있다. 플라이애시를 알칼리 활성화하기 위해서는 유리질의 견고한 쇠상결합을 절단해야 하므로 황산염(sulfate) 또는 알칼리 활성화제의 첨가나 염기도가 높은 물질을 사용해야 한다. 또한 유리질의 치밀하고 견고한 표면층을 침식하여 내부의 물질과 반응시키기 위해서는 수산기(OH⁻)의 이온이 충분한 양으로 공급되어야 한다. 즉, 이와 같은 자극물질이 플라이애시 표면의 음이온화 과정을 거쳐 OH⁻ 이온의 지속적인 공급으로 인해 표면의 Si-O-Si, Si-O-Al 결합을 파괴하고 내부에 포위되어있던 Si⁴⁺, Al³⁺, Ca²⁺ 등의 수식이온들을 용출시켜 반응생성물을 구성한다.

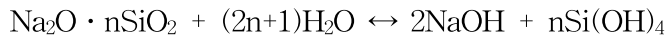
본 절에서는 플라이애시를 활용하여 알칼리 활성화 결합재를 제조하고 경량무기 발포 세라믹보드용 내화성 바인더로의 효용성을 확인하기 위해 고온에서의 강도와 내부구조 분석을 실시하였다.

[표 3.16] 시멘트 및 석고계 결합재의 온도에 따른 영향

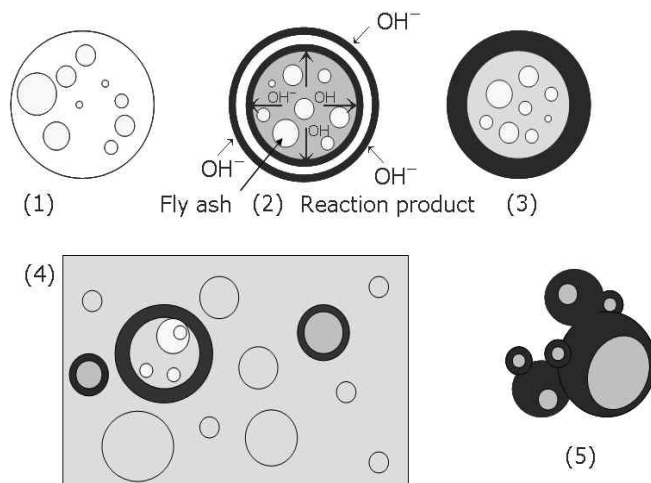
온도	구분	온도에 의한 영향
30 ~ 100℃	시멘트계, 석고계	- 비교적 큰 공극으로부터 물리적으로 결합한 수분이 증발하며 100℃이하의 온도에서 시작됨.
100 ~ 700℃	시멘트계	- C-S-H계 수화물: (C-S-H : CaO-SiO₂-H₂O) 시멘트 경화체의 주성분이며 결정도가 낮은 겔상으로 100 ~ 130℃에서 탈수하지만, 수화물의 화학 조성은 일정하지 않기 때문에 개개의 형태를 명확히 구분하기는 어려움. - 에트린자이트: (C₃A₃CSH₃₂ : 3CaO · Al₂O₃ · 3CaSO₄ · 32H₂O) 160 ~ 180℃정도에서 피크를 보이며, 250 ~ 270℃에서 작은 피크를 보이며 단계적으로 탈수. - 모노설페이트: (C₃ACSH₁₂ : 3CaO · Al₂O₃ · CaSO₄ · 12H₂O) 150℃, 200℃, 300℃에서 3단계로 탈수하여, C₄A₃S와 CaO로 변화. - 알루미늄에이트계 수화물(C₃AH₆: 3CaO · Al₂O₃ · 6H₂O) 270 ~ 330℃에서 물이 탈수하여 550℃부근에서 남은 물이 탈수하여 C₁₂A₇와 CaO로 변화. - 수산화칼슘(CH:Ca(OH)₂) 450 ~ 500℃에서 Ca(OH)₂ → CaO + H₂O
	석고계	- 이수석고(CaSO₄·2H₂O) 탈수에 의해 약 130℃에서 반수석고, 약 160℃에서 무수석고로 변화. CaSO₄·2H₂O → CaSO₄ + H₂O

가. 내화성 바인더의 경화메커니즘

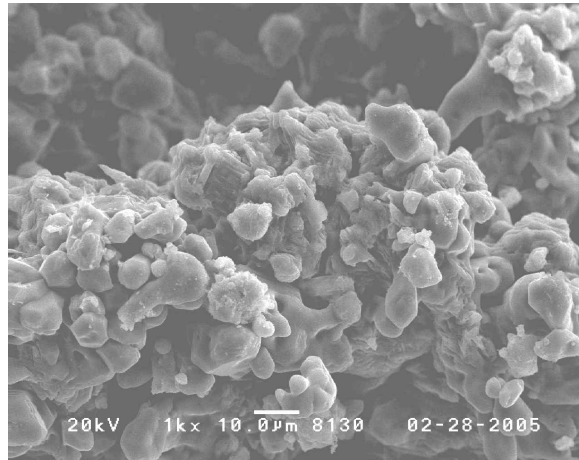
내화성 바인더의 알칼리 활성화 메커니즘을 <그림3.44>에 나타내었다. 플라이애시 및 메타카올린의 알칼리 활성화 반응은 OH^- 가 플라이애시 및 메타카올린 표면을 지속적으로 침입하여 표면에 알칼리 반응이 일어나며 결과적으로 구의 안쪽과 바깥쪽에 반응생성물을 형성되게 된다. 메타카올린은 플라이애시와 동일한 포졸란 재료로 알칼리용액과 반응하여 발열반응과 함께 반응생성물이 나타나 강도를 발현하며 경화체 제조 시 입자사이의 간극을 충전하여 치밀한 조직을 형성시키는 특성을 가진다. 또한 Sodium silicate는 접착제 등의 접착효과와 수분증발에 의해 결합력이 발생하는 결합제의 역할로 물과 반응하여 알칼리 물질인 NaOH가 생성된다.



이로 인해 플라이애시와 메타카올린의 입자표면은 더 높은 pH상태를 유지할 수 있다. 이 때 pH가 높으면 플라이애시 및 메타카올린의 입자표면은 부식되며, 알칼리 용액으로부터 OH^- 이온의 지속적인 공급으로 입자표면의 Si-O-Si, Si-O-Al 결합은 파괴되고 내부에 포위되어 있던 Si^{4+} , Al^{3+} , Ca^{2+} 등의 수식이온들을 용출시킨다. 이렇게 용출된 이온들은 제올라이트(zeolite) 형태의 반응생성물을 구성하며 성장하여 조직을 치밀하게 하고 입자와 입자사이를 서로 결합시켜 물리적 특성을 증진시킨다. <그림 3.45>은 SEM에 의한 분석결과를 나타낸 것으로 플라이애시가 알칼리 자극제에 의해 활성화 된 플라이애시 표면의 반응 생성물이 확인할 수 있었다.



<그림 3.44> 플라이애시를 활용한 내화성 바인더의 경화메커니즘⁸⁾



<그림 3.45> Microstructure of fly-ash based fire protection materials

나. 사용재료 및 실험방법

1) 사용재료

본 연구의 알칼리 활성화 바인더 제조에 사용된 재료로는 플라이애시, 메타카올린, 수산화칼륨 및 소듐실리케이트이며 [표 3.17]과 같다. 플라이애시는 국내 CaO 함량이 10% 이하인 F급 플라이애시이며, 메타카올린은 국내 시판 제품이며 화학적 조성은 [표 3.18]와 같다. 알칼리 활성화 용액은 2몰의 수산화칼륨 용액과 액상 규산나트륨을 사용하여 알칼리 활성화 용액을 제조하였다. 알칼리 활성화 바인더 제조를 위한 배합은 [표 3.19]과 같다. 알칼리 활성화 바인더는 시공시의 유동성을 확보하기 위해 플로우값을 $180 \pm 10 \text{mm}$ 으로 하였고, 응결시간은 뽐칠 및 모르타르 마감에 가능하도록 응결시간을 조절하였다.

내화성 바인더는 강제식 믹서를 이용하였으며, 선 비빔을 실시한 후 수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법(KS L 5105)에 의거하여 제조하였다. 내화성 바인더는 제조된 모르타르를 바탕으로 강제형틀을 이용하여 $50 \times 50 \times 50 \text{mm}$ 의 시험체를 제작하였다. 제작된 시험체는 항온항습 챔버를 이용하여 온도 $23 \pm 2^\circ\text{C}$, RH 95% 이상의 조건에서 표준양생을 실시하였다. 고온에서의 물성을 확인하기 위한 가열온도는 200°C , 400°C , 600°C , 800°C 이며 프로그래밍이 가능한 전기로를 이용하여 가열하였다.

[표 3.17] 사용재료

Binder	C	Cement	Ordinary portland cement
	F	Fly ash	Blain : 3,764 cm ² /g
	M	Meta-kaolin	Blain : 9,812 cm ² /g
Activator	KOH	Potassium hydroxide	Assay min. 85%
	SS	Sodium silicate (Na ₂ SiO ₃)	Assay min. 99%
Aggregate	Sand	Joomoonjin sand	

[표 3.18] 플라이애시 및 메타카올린의 화학조성

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	L.O.I
Fly ash	55.20	27.03	2.28	1.54	6.07	0.90	0.68	0.39	3.76
Meta-kaolin	52.00	40.20	3.00	0.50	1.20	0.35	0.40	0.60	1.85

[표 3.19] 알칼리 활성화 바인더의 배합표

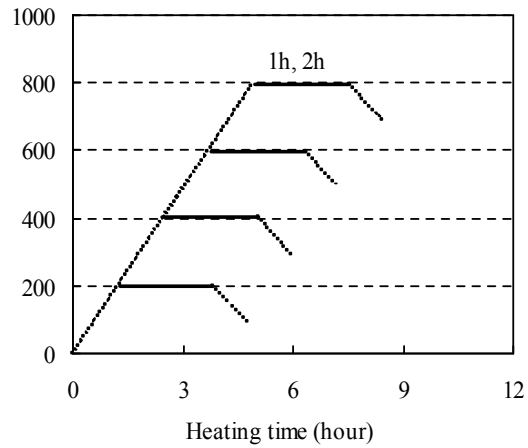
	Solid/ Liquid (%)	Solid			Liquid			Sand	Flow (mm)	Comp. strength (28d, MPa)
		C	F	M	Water	KOH	SS			
Plain	48.5	1	-	-	0.485	-	-	2.45	190	27.2
AAFP1	73.0	-	0.5	0.5	-	0.365	0.365	2.45	180	51.5
AAFP2	73.0	-	0.5	0.5	-	0.547	0.182	2.45	190	54.0

2) 내화성 바인더의 재료특성 평가

재료특성은 Plain, AAFP1, AAFP2의 각각의 시험체에 대해 상온과 전술의 온도에서 1시간 및 2시간 동안 가열한 후 상온으로 향량한 후 압축강도를 측정하였고 시험체의 재령 3, 7, 28일이다. 내부구조 분석은 28일 양생한 시험체를 사용하였고, TG-DSC에 의한 시차열분석과 수은압입법에 의한 공극률 측정을 실시하여 재료특성을 평가하였다. 공극률은 마이크로메리틱스사의 공극률 측정기를 사용하여 측정하였다.

고온시의 특성은 28일 양생한 시험체를 사용하였고, TG-DSC에 의한 시차열분석을 실시하여 재료특성을 평가하였다. 또한, 고온시의 공극률의 측정은 수은압입법에 의한 공극률측정기를 사용하여 측정하였다. 공극구조의 측정은 28일 양생한 시험체를 다이아몬드 커터로 5mm의 각으로 절단 후 아세톤에 침적시켜 수화를 정지시

켰다. 20℃의 상온의 시험체는 2주간 D-dry건조 후 측정하였고 고온용 시험체는 전기로를 이용하여 각각의 가열온도에서 2시간 가열한 후 상온으로 냉각하여 측정하였다.



<그림 3.46> Temperature vs. heating time of fire protection materials



<그림 3.47> 포로시미터

다. 실험결과 및 고찰

1) 고온시의 강도변화

가열온도에 따른 재령별 압축강도 변화를 [표 3.20]에 나타내었다. Plain 시험체는 가열온도가 상승함에 따라 압축강도는 감소하는 경향을 보였다. 특히 400℃ 이상에서 강도감소가 크게 나타났다. 강도감소는 가열시간보다는 가열온도의 영향을 크게 받는 것을 확인 할 수 있었다. 또한, 20~400℃에서는 강도감소가 크게 나타나지 않았고 압축강도가 약간 증가하는 경향을 보였다.

AAFPM1, AAFPМ2 시험체의 경우 재령에 따른 압축강도의 증가는 크지 않았으며 초기재령에서발현된 강도가 그대로 유지되는 경향을 보였는데 이는 알칼리 활성화 반응에 의한 조강성에 기인한 결과이다. 알칼리 활성화 반응에 의한 조강성은 시공적 측면에서 유리하며 활성화제의 물비에 따라 가사시간의 조절이 가능하다.

AAFPM1, AAFPМ2의 경우도 가열온도가 상승함에 따라 압축강도는 감소하는 경향을 보였는데 이는 Plain 시험체와 유사한 결과이다. 하지만 200~400℃의 영역에서는 Plain 시험체에 비해 강도가 크게 증가하였다. 또한, Plain 시험체의 경우 재령이 짧을수록 온도의 상승에 따른 강도저하는 크게 나타났으며 AAFPМ1, AAFPМ2 시험체의 경우는 반대의 경향을 보였다. 특히, 초기재령의 200℃의 부근에서 강도의 증가가 크게 나타났는데 이는 알칼리 활성화 반응으로 경화하고 고온에서 활성화되는 영향에 따른 것으로 판단된다.

[표 3.20] 알칼리 활성화 바인더의 고온압축강도

	Temperature (℃)	Compressive strength (MPa)					
		3 day		7 day		28 day	
		1hour	2hour	1hour	2hour	1hour	2hour
Plain	20	20.1	20.1	27.1	27.1	32.4	32.4
	200	19.7	18.9	27.6	27.5	32.5	32.4
	400	15.7	14.2	23.7	23.5	27.1	26.6
	600	7.3	7.0	12.5	10.6	15.8	13.8
	800	5.1	2.9	8.9	7.4	10.8	9.1
AAFPМ1	20	42.8	42.8	48.6	47.2	50.9	50.9
	200	50.5	53.0	54.0	52.9	60.2	58.4
	400	45.9	45.6	47.6	46.6	51.1	49.7
	600	35.6	35.4	34.8	30.8	41.0	38.7
	800	26.3	17.4	23.4	17.4	29.1	24.4
AAFPМ2	20	46.5	46.5	51.0	51.5	54.9	54.9
	200	56.5	54.7	59.6	57.2	64.7	63.7
	400	52.2	50.0	52.4	53.3	56.0	55.0
	600	40.2	38.0	36.1	33.5	45.2	43.4
	800	24.7	15.4	21.5	18.5	31.0	26.5

시멘트 수화물의 경우 수화에 의해 C-S-H계 수화물, 수산화칼슘이 생성되어 가열온도의 상승에 따라 화학적으로 결합된 수분이 탈수하여 밀도감소 및 강도저하가 발생하며 450~500℃의 범위에서 수산화칼슘이 열분해되고 600℃이상의 온도범위에서 강도의 감소가 크게 나타나는 것이 일반적이다. 하지만 AAFPM1, AAFPM2의 경우 플라이애시 및 메타카올린을 주성분으로 수화가 아닌 활성화제에 의한 응결 경화과정을 거치므로 강도저하가 작게 나타났다. 또한 알칼리 활성화 반응은 상온보다 고온에서 활성화가 되므로 초기재령에서 좀 더 치밀하게 입자사이를 결합(-Si-O-Al-O)하여 강도의 증가가 크다.

플라이애시의 알칼리 활성화 반응은 OH가 플라이애시 및 메타카올린 표면을 지속적으로 침입하여 표면에 알칼리 반응이 일어나 결과적으로 구의 안쪽과 바깥쪽에 반응생성물을 형성되게 된다. 플라이애시의 알칼리 활성화 반응으로 표면은 더 높은 pH상태를 유지할 수 있고 계속 부식되어 내부에 포위되어 있던 Si^{4+} , Al^{3+} , Ca^{2+} 등의 수식이온들을 용출하며 이렇게 용출된 이온들은 제올라이트 형태의 반응물을 생성한다.



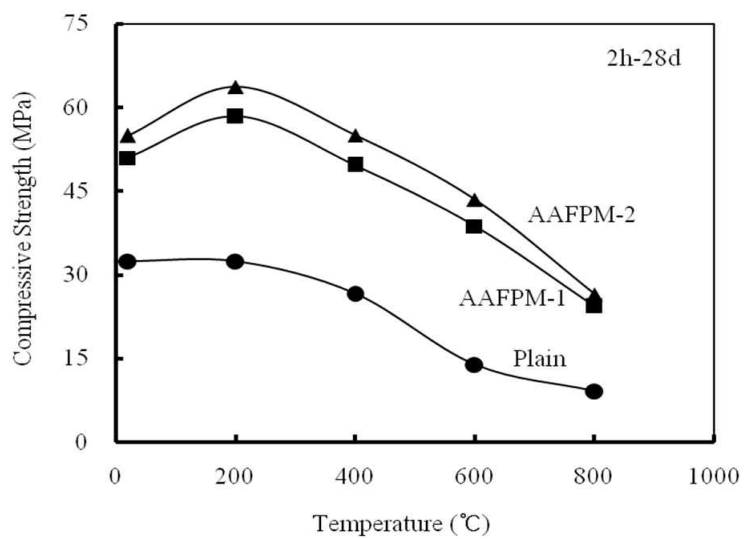
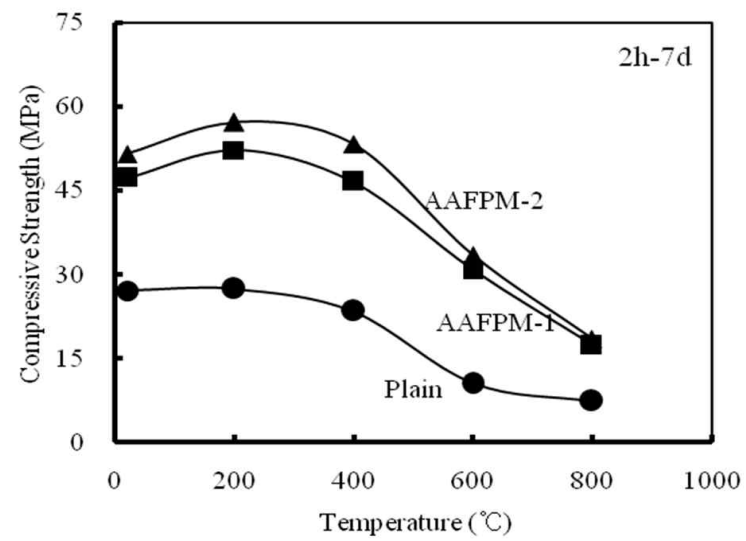
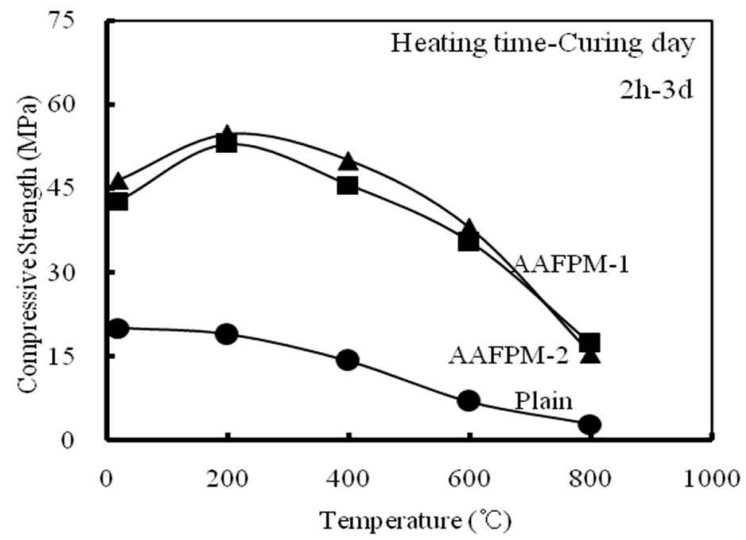
<그림 3.48> Color change of plain and fire protection materials at high temperatures

2) 상대압축강도

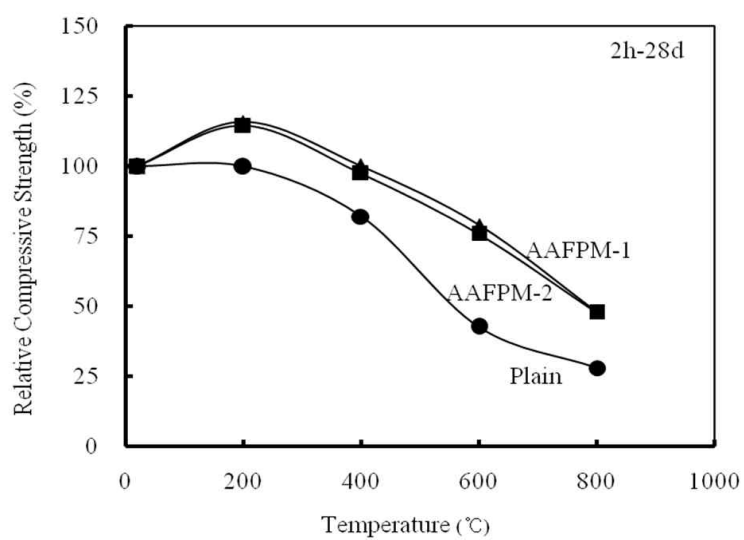
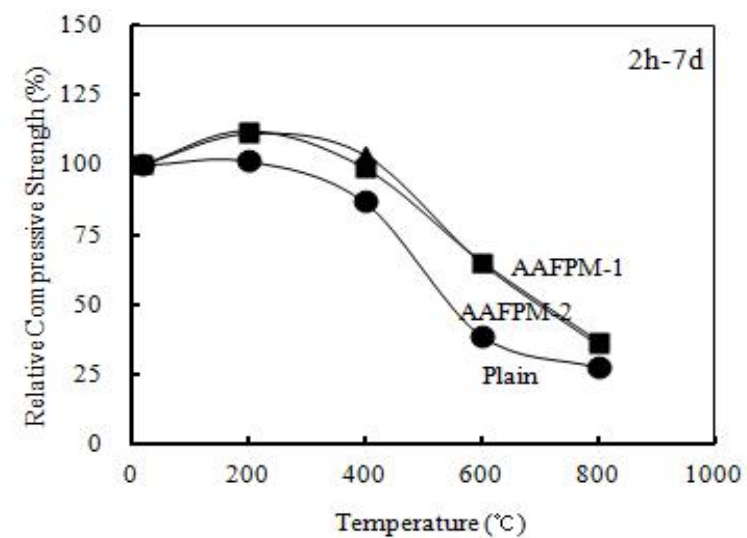
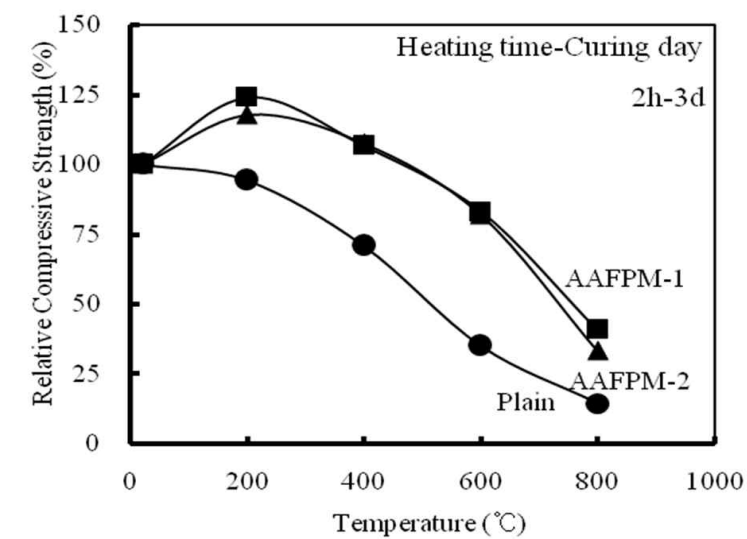
가열온도에 따른 상대압축강도의 변화를 <그림 3.50>에 나타냈다. Plain시험체의 경우 재령이 짧을수록 가열온도 온도의 상승에 따른 강도저하는 크게 나타났다. 또한 재령이나 가열시간에 상관없이 가열온도의 상승에 따라 상대압축강도는 동일한 경향을 보이며 감소하였다.

AAFPM-1, AAFPM-2 시험체의 경우 초기재령의 200℃의 부근에서 강도의 증가가 크게 나타나 상대압축강도도 크게 증가하였으며 Plain시험체와는 다른 경향을 보였다. 또한, 400℃의 온도에서 Plain보다 약 7~10%, 600℃에서 약 20% 정도 강도의 감소폭이 작았으며, 800℃에서도 유사한 결과를 보였다. 이와 같은 결과는 내화성 바인더 적용에 있어 유리할 것으로 판단된다.

<그림 3.48>은 가열 전 후의 시험체의 형상 및 색상변화를 나타낸 것으로 시험체에 상관없이 가열온도가 증가함에 따라 미세균열도 증가하였다. Plain시험체의 경우 특별한 색상의 변화는 발생하지 않았으며 열에 의한 신축 또한 크지 않았다. AAFPM-1, AAFPM-2 시험체의 경우도 Plain 시험체와 유사한 경향을 보였으나 400℃ 이상의 온도에서 색상의 변화가 나타났다.



<그림 3.49> 내화성 결합재의 압축강도

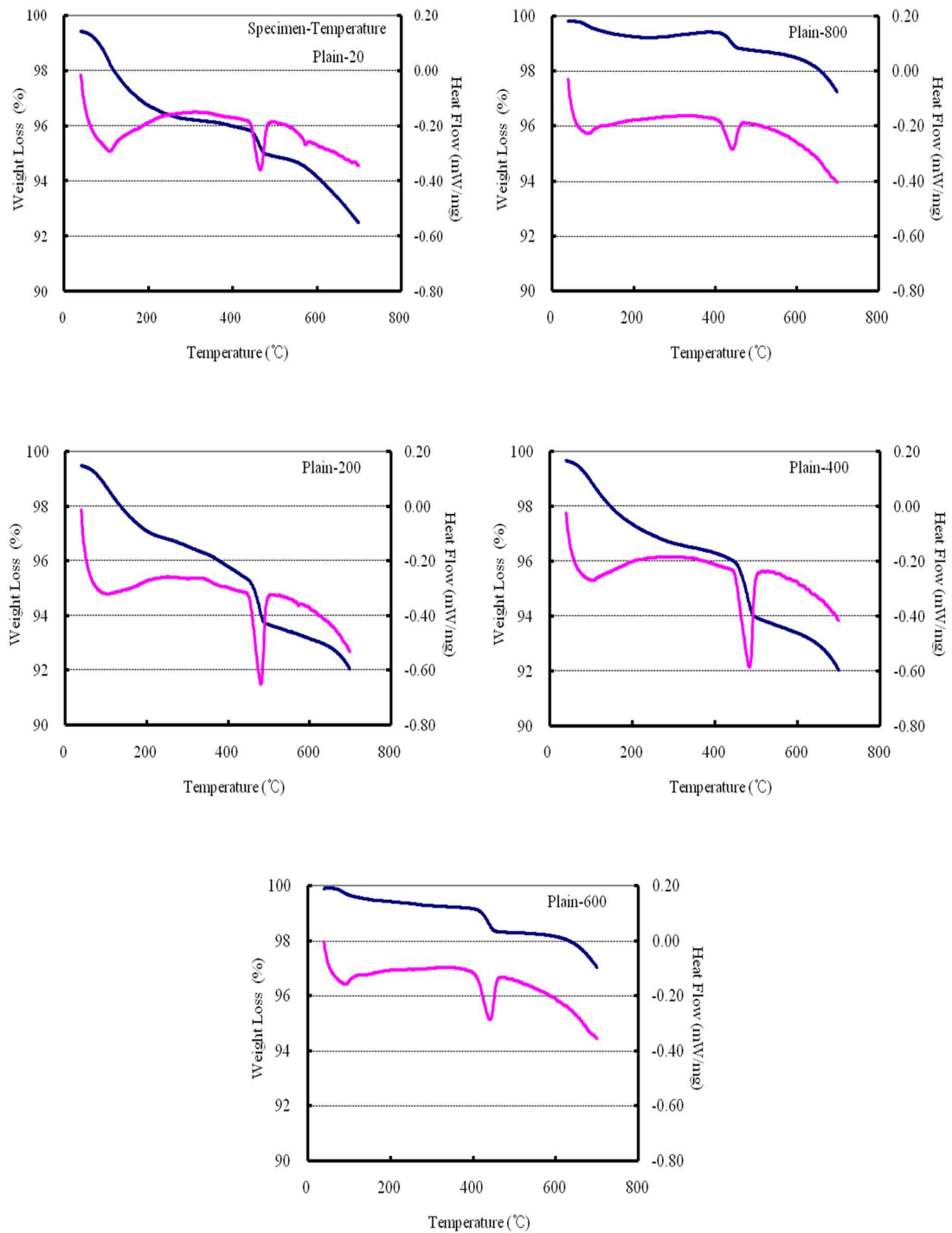


<그림 3.50> 내화성 결합재의 상대압축강도

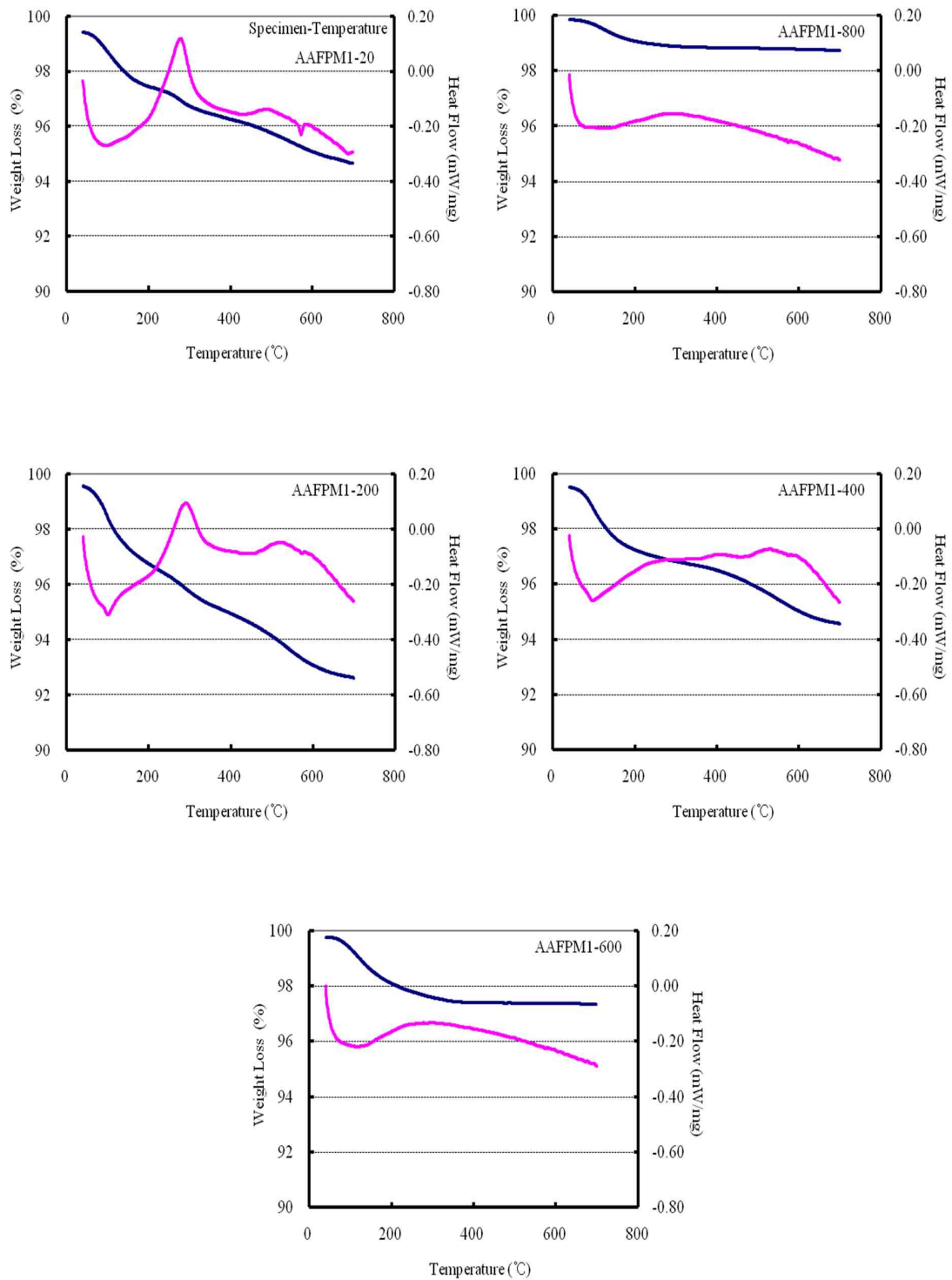
3) TG-DSC

Plain 및 AAFPM1, AAFPM2의 TG-DSC 결과는 <그림 3.51, 52, 53>과 같다. Plain 시험체는 3~8%의 중량감소를 보였고 90~108℃ 부근에서 에트린자이트 피크와 수산화칼슘의 존재를 확인할 수 있는 흡열피크(450℃ 부근)가 뚜렷하게 나타났다. 또한, 수산화칼슘 피크는 시험체의 가열온도가 상승함에 따라 크게 줄어들고 있음을 확인하였다. 이는 450℃에서부터 이미 대부분의 수산화칼슘이 $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$ 로 분해된 결과에 의한 것이다. 시멘트계 결합재는 물과 반응하여 C-S-H와 수산화칼슘의 수화물을 생성하는데 고온에서는 수화물의 물리·화학적인 탈수가 발생한다. 일반적으로 C-S-H가 60~70%를 수산화칼슘이 20~30%를 차지하기 때문에 중량감소에 영향을 미치게 된다. C-S-H의 경우는 개개의 형태를 명확하게 구분하기 어려우므로 온도의 상승에 따라 발생하는 중량감소로서 여부를 확인할 수 있다. 또한 수산화칼슘의 경우는 450~500℃의 범위에서 일어나기 때문에 관찰이 쉽다. 또한, 특정한 범위에서 발생하므로 수산화칼슘의 분해로부터 탄산화도나 수열온도를 예측할 수 있는 지표로 활용된다. <그림 3.51>의 20℃의 TG-DSC 결과도 이와 같은 경향을 볼 수 있으며 가열온도의 상승에 따라 점진적으로 수산화칼슘이 분해되는 것을 확인할 수 있다.

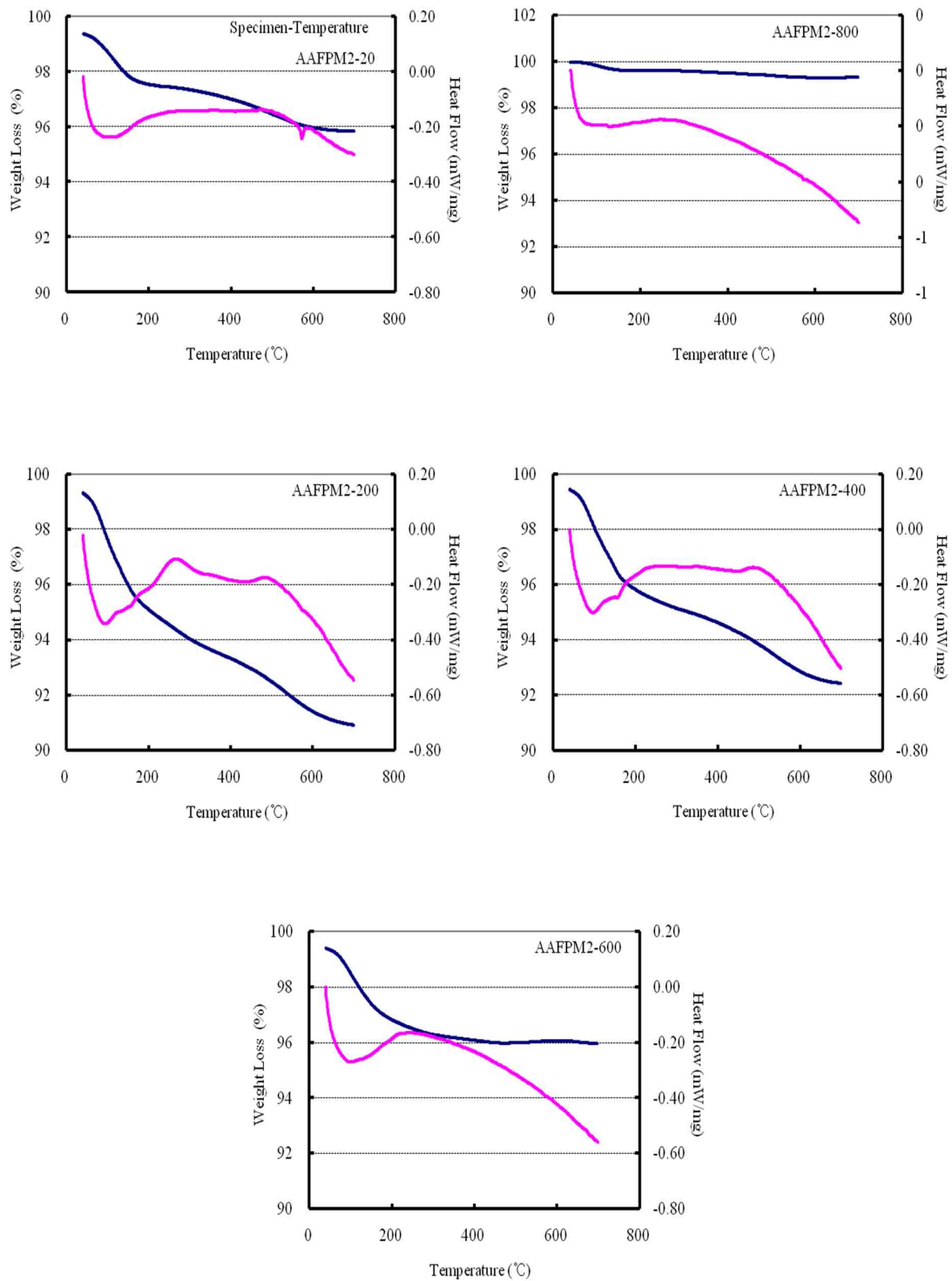
AAFPM1, AAFPM2 시험체의 경우 플라이애시와 자극제에 의한 알칼리 활성화 반응에 의한 경화를 진행하므로 Plain 시험체에서 보이는 수산화칼슘에 의한 흡열 반응 피크가 보이지 않았다. 또한 700℃까지 약 1~5% 내외의 중량감소를 보였다. AAFPM1, AAFPM2 시험체의 570℃ 부근의 흡열피크는 주로 실리카질 골재 등에 포함되어 있는 석영의 변태로 판단된다. 또한 가열온도가 증가함에 따라 흡열반응에 의한 탈수효과는 감소하는 경향을 보이고 있다.



<그림 3.51> Plain 시험체의 TG-DSC(2시간)



<그림 3.52> AAFPM1 시험체의 TG-DSC(2시간)



<그림 3.53> AAFPM2 시험체의 TG-DSC(2시간)

3) 내부구조의 변화

가) 가열온도와 공극구조의 분포

플라이애시를 활용한 알칼리 활성화 결합재의 공극구조 분포를 <그림 3.54, 55>에 나타내었다. <그림 3.54>는 1시간 가열한 시험체이며 <그림 3.55>는 2시간 가열한 시험체의 공극구조 분포이다. Plain 시험체는 가열온도의 상승에 의해 공극률도 증가하는 경향을 보였으며, 특히, $0.1\sim 0.5\mu\text{m}$ 의 공극의 증가가 현저하였다. 또한 가열온도의 상승에 따라 공극률은 점진적으로 증가하는 경향을 보였다. 이와 같은 경향은 2시간 가열한 시험체에서도 동일한 결과를 보였으며 경향이 더욱 현저하게 나타났다. $0.1\sim 0.5\mu\text{m}$ 의 공극의 증가는 100°C 이상에서의 화학적으로 결합된 C-S-H계 수화물의 탈수 및 수산화칼슘의 분해와 열에 의한 신축으로 발생한 미세 균열에 의한 것이며 고온에 의해 영향을 받은 콘크리트 구조물에서 흔하게 볼 수 있는 현상이다. 또한, $1\sim 10\mu\text{m}$ 의 공극도 점진적으로 증가하는 경향을 보였지만 압축강도와 상관관계가 높은 $0.05\mu\text{m}$ 이하의 공극은 가열온도의 증가에 따라 점진적으로 감소하는 경향을 보였다.

Plain 시험체는 $0.1\mu\text{m}$ 부근에서 공극의 변동이 크게 나타났고 $10\mu\text{m}$ 부근에서도 공극의 변동이 현저하였다. 이와 같이 특정한 공극크기에서의 증감의 변화는 일반적으로 동일 크기의 공극에 대해서 유사한 경향을 보인다. 이러한 경향은 고온에 노출된 시간이 증가될수록 시험체의 종류와는 상관없이 동일하였다. AAFPM1 시험체는 Plain 시험체에 비해 $0.05\mu\text{m}$ 이하에 분포된 공극이 많았으며 $0.5\mu\text{m}$ 이하의 공극도 많았다. 이는 시험체의 압축강도와도 연관되는 결과이다. 또한 AAFPM2 시험체에서도 동일한 결과를 찾아볼 수 있어 고온에서 비교적 강도의 감소가 작다는 것을 반증할 수 있다. 하지만 AAFPM1 및 AAFPM2는 시멘트 결합재에서 보이는 공극분포와는 다른 경향을 보였다. AAFPM1 및 AAFPM2는 공극률과 압축강도도 유사하고 고온에서의 강도변화도 동일한 경향을 보였지만 공극분포는 다르게 나타났다. 특히, AAFPM2은 $0.1\mu\text{m}$ 의 공극이 많이 측정되어 AAFPM1과는 다른 양상을 보였다.

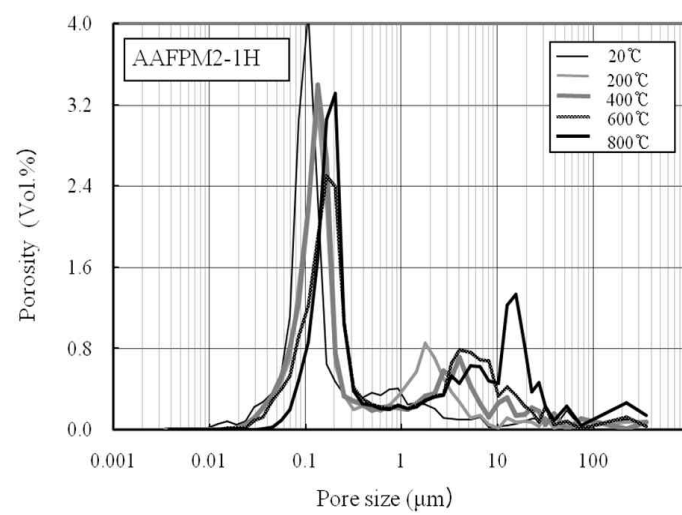
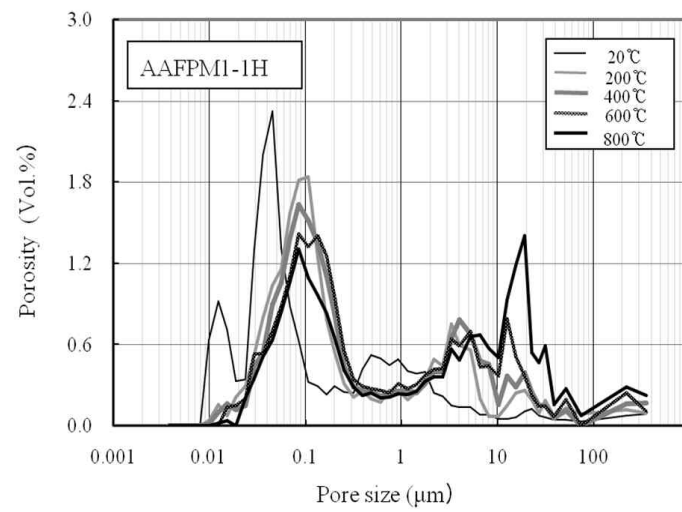
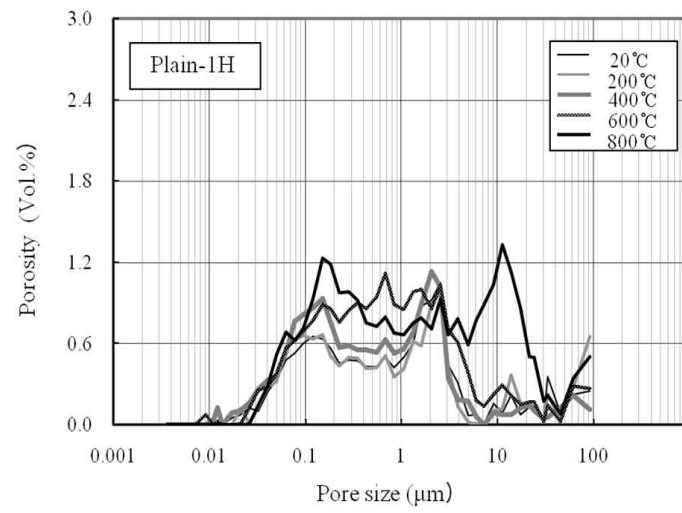
<그림 3.56, 57>은 공극경의 분포의 변화를 확인하기 위한 것으로 각 가열온도의 시험체의 공극경 분포로부터 상온에서의 공극경 분포를 빼낸 결과로부터 도출한 것이다. Plain 시험체는 $0.1\mu\text{m}$ 와 $10\mu\text{m}$ 부근에서 공극의 변화가 가장 크게 나타났으며, 고온에 노출된 시간이 길어질수록 그 경향이 뚜렷하게 나타나는 것을 알 수

있다. 또한, $1\sim 10\mu\text{m}$ 의 영역에 걸쳐 공극이 증가하는 것을 알 수 있다. 각 가열온도에서의 공극경 증감의 폭은 가열온도와 밀접한 관계를 보여 가열온도의 상승에 의해 증감의 폭도 더욱 커졌다. 시험체에 따라 공극의 증감의 차는 다르게 나타났으며 800°C 에서 2시간 가열한 경우 Plain 시험체의 경우 약 12.5 Vol.% 증가한 반면 AAFPM1 및 AAFPM2는 약 5.0~6.6 Vol.%의 증가를 보였다. 이와 같은 결과는 전술한 강도특성으로부터 유추해 볼 수 있는 결과이며 시멘트계 재료에 비해 고온에서 유리하게 작용할 수 있을 것으로 판단된다.

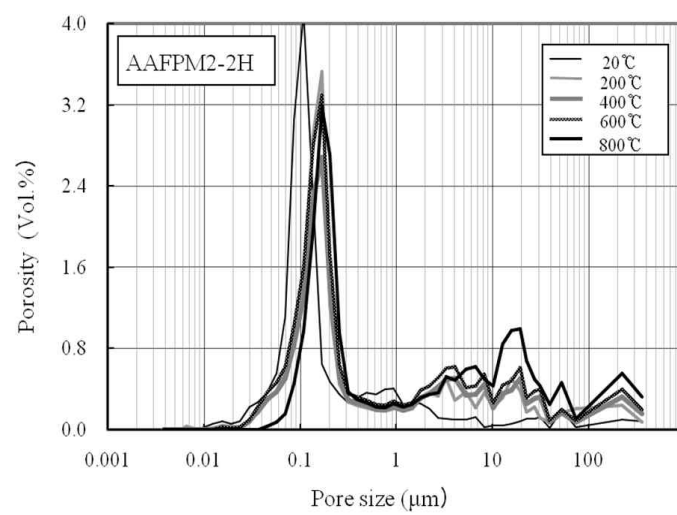
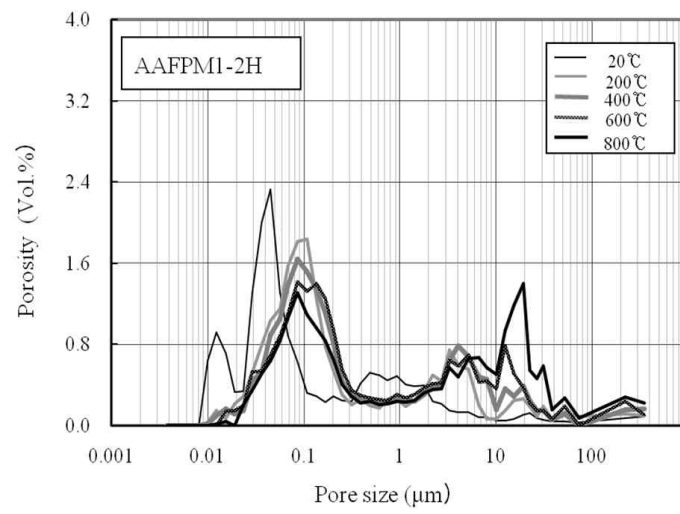
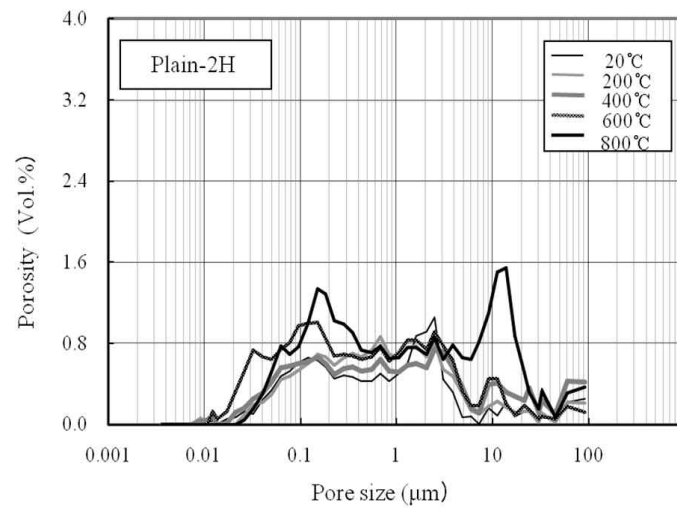
<그림 3.58, 59>는 알칼리 활성화 결합재의 1시간 및 2시간 누적공극률을 나타낸 것으로 가열온도가 증가할수록 공극률은 증가하고 있으며 고온에 노출된 시간이 길수록 공극률도 증가하는 것을 알 수 있다. 특히 Plain 시험체의 경우 공극의 증가의 폭이 크게 나타났는데 이는 시멘트를 결합재로 하는 시험체의 경우 경화하여 수화물을 형성하고 고온에 의해 모세관공극과 겔공극의 수분이 증발하고 탈수되어 겔의 붕괴와 수산화칼슘이 분해된 결과로부터 기인된 것이다. 가열에 의해 시멘트 경화체를 구성하는 재료에서 발생하는 열팽창과 고온에서 상온으로 온도가 낮아지면서 발생하는 수축에 의한 미세 균열의 발생도 공극의 증가를 유발하는 요인이다.

이렇듯 고온하의 공극의 증감은 각 가열온도에서 현저한 차를 보이므로 공극구조 특성으로부터 콘크리트의 수열온도나 내화성능을 파악할 수 있다.

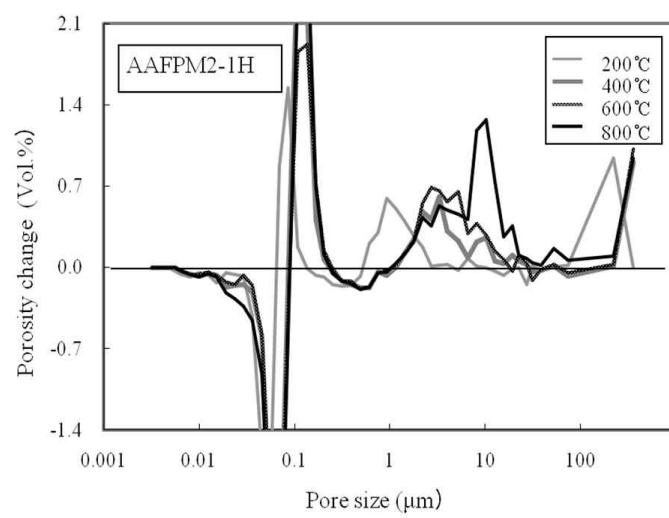
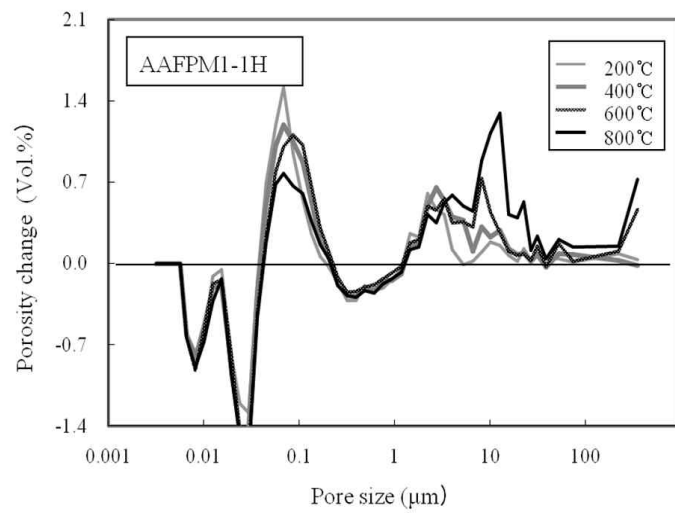
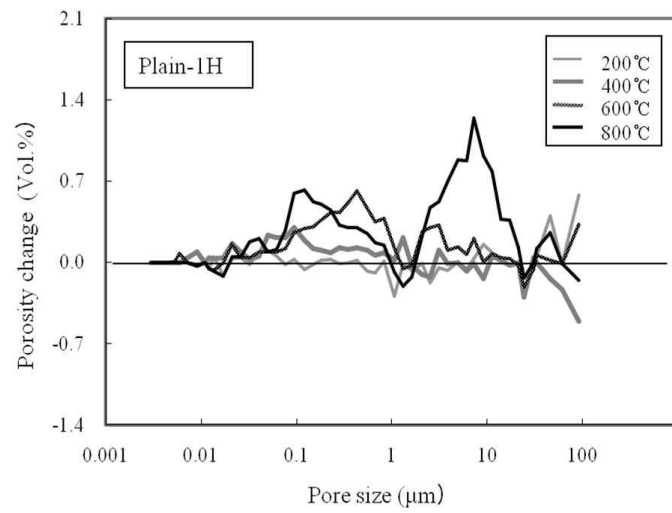
AAFPM1과 AAFPM2 시험체의 경우 알칼리 활성화에 의해 동일하게 경화하였음에도 불구하고 두 시험체가 약간은 다른 공극구조 및 분포를 보였는데 이는 플라이애시 및 메타카올린과 화학적 결합을 유도하는 알칼리 활성화제의 차에서 오는 결과로 사료되며 활성화제의 종류나 몰농도에 따라 압축강도 및 공극구조의 차이를 보이므로 보다 체계적인 연구가 필요하다.



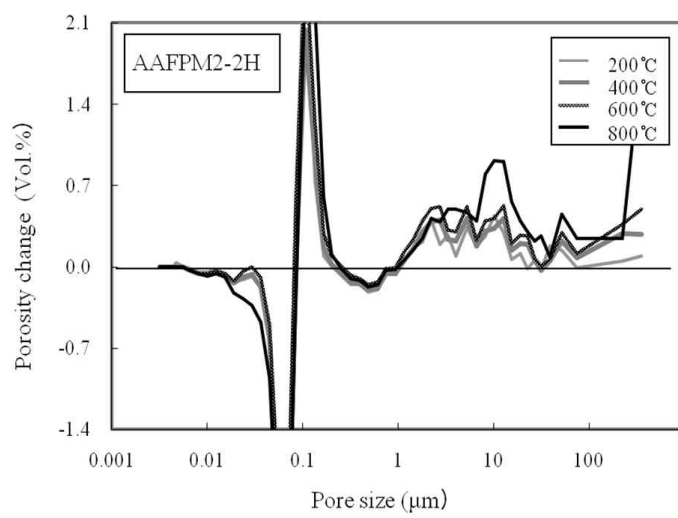
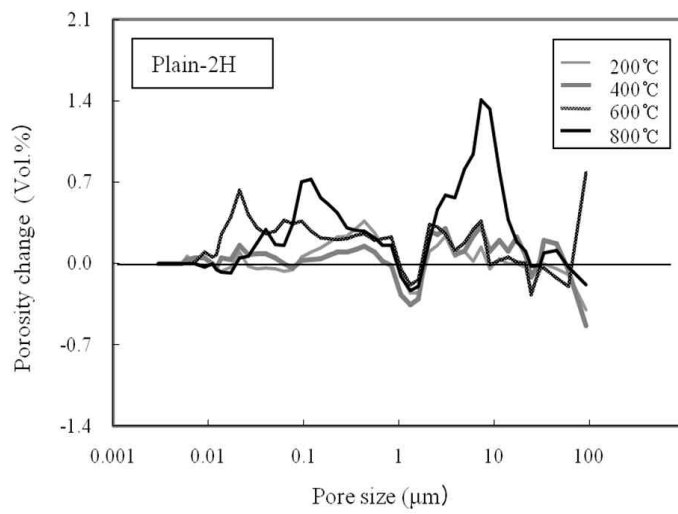
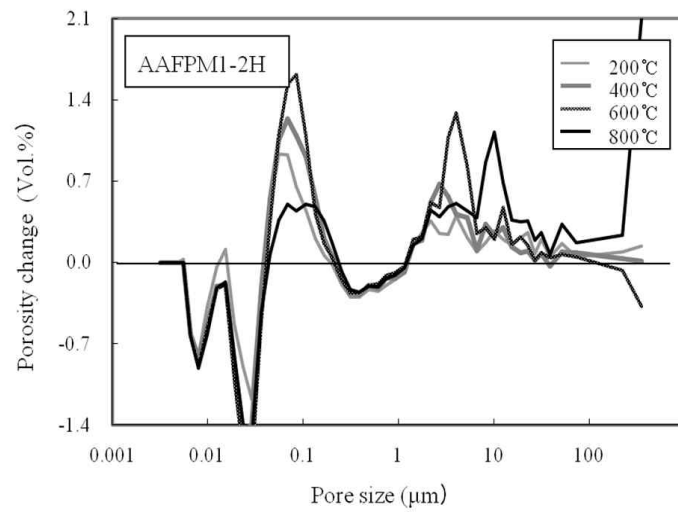
<그림 3.54> 공극구조 분포(1시간)



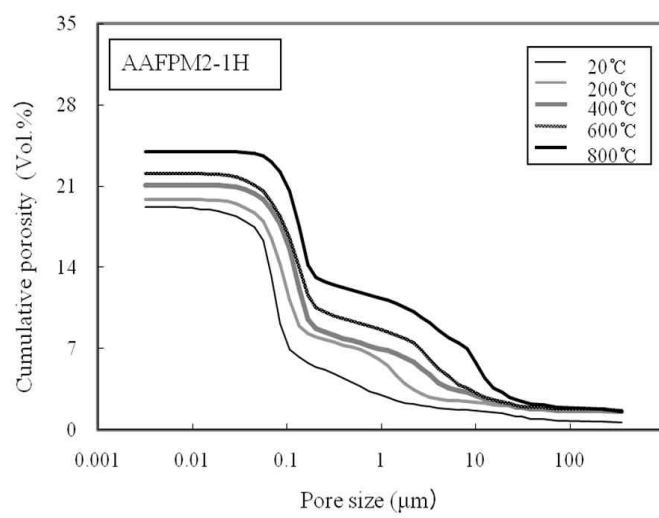
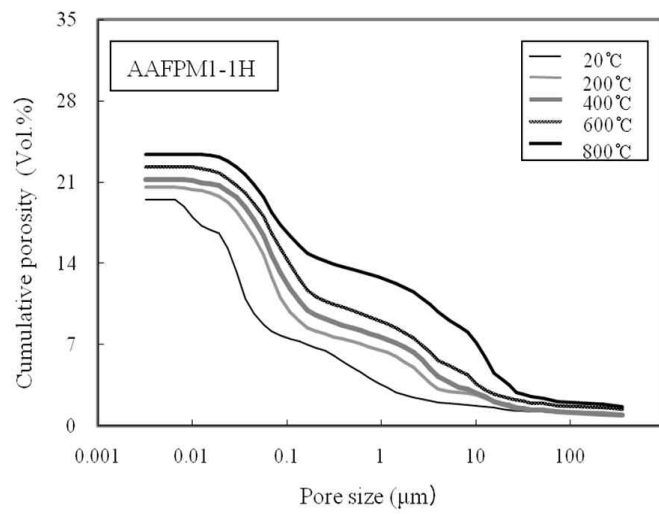
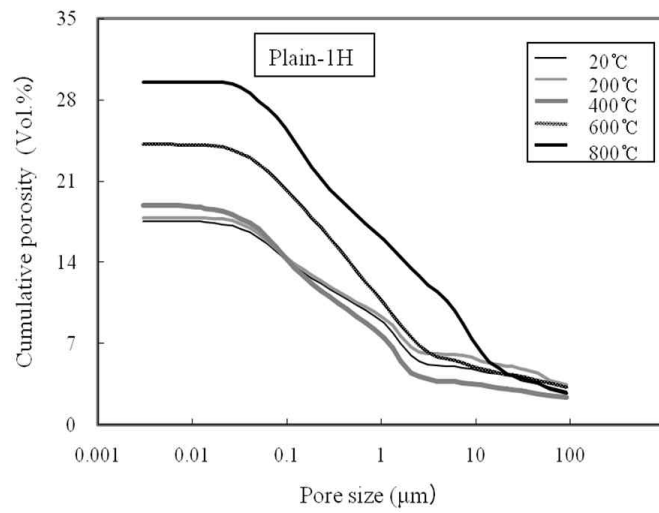
<그림 3.55> 공극구조 분포(2시간)



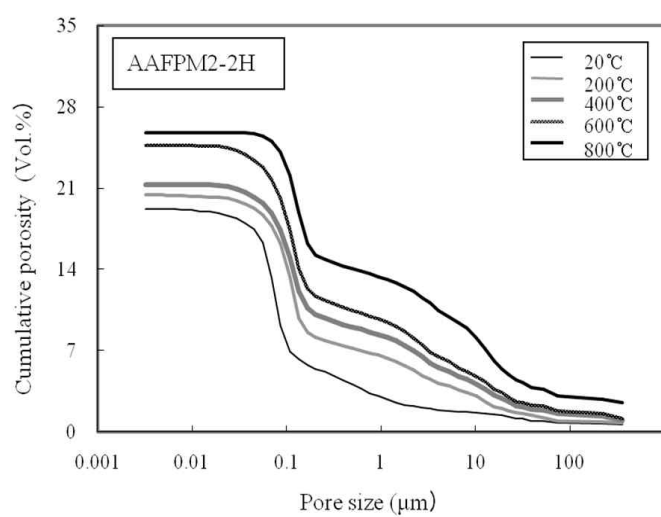
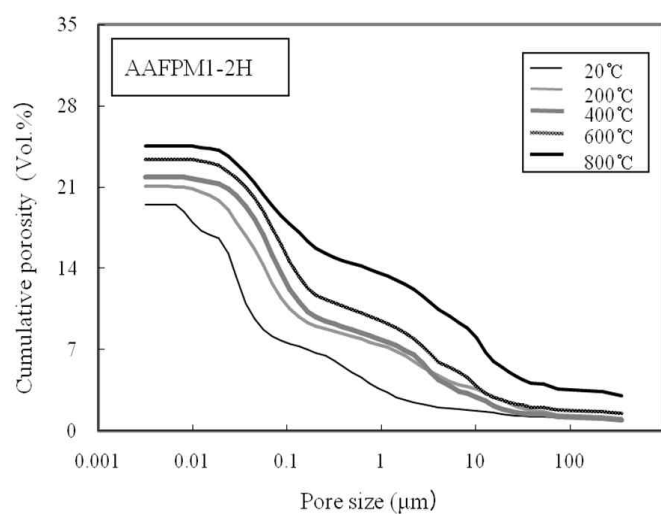
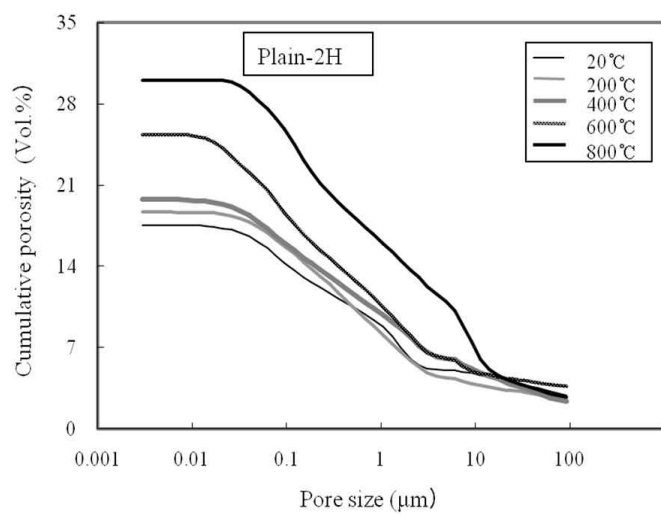
<그림 3.56> 공극률 변화(1시간)



<그림 3.57> 공극률 변화(2시간)



<그림 3.58> 누적공극률 변화(1시간)



<그림 3.59> 누적공극률 변화(2시간)

7. 내화성 커튼월 제안 시스템 적용과 기대되는 성능

내화성 커튼월 제안 시스템 적용과 기대되는 성능은 다음과 같다.

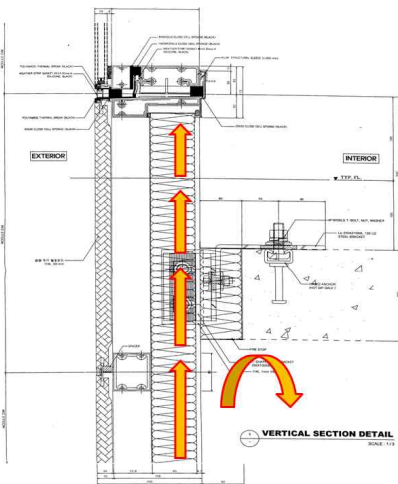
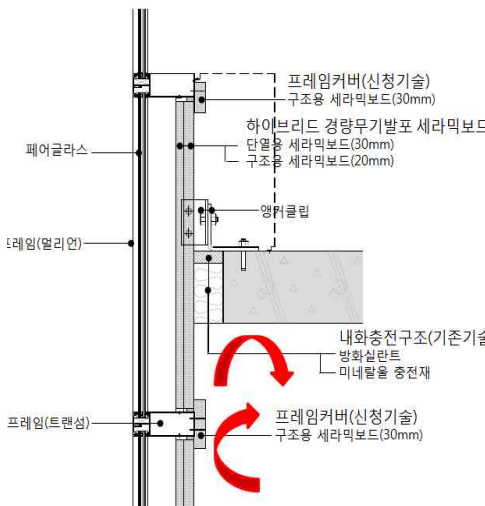
1. 법규상 건축물은 화재에 대비하여 방화구획을 구성할 것을 요구하고 있음. 방화구획 구성시 외국에서는 성능저하가 예상되는 관통부(문, 유리창, 기타 관통부(배관통로), 수평 및 수직조인트(실란트 마감부) 등의 성능도 요구하고 있음.

현재 알루미늄 커튼월의 경우 예전부터 방화구획 구성의 문제점이 제시되고, 그 중 관통부를 통한 상층으로의 화재전파에 대해서는 대책마련이 시급하다는 공감대가 형성되고 있어 조만간 이에 대한 대책 및 시험 및 평가방법이 제시될 것으로 판단됨.

2. 경량 무기계 패널의 적용으로 방화구획을 구성하는 경우 현재 적용되고 있는 그라스울 패드를 적용하여 구성하는 시스템보다 성능이 우수할 것으로 판단됨. 그라스울 패드의 경우 내화구조를 구성하는 재료이기는 하나 제품 제조시 성형을 위해 폴리머바인더가 적용되고 실제 화재발생시 폴리머가 연소됨.

3. 그라스울 패드의 경우 시간의 경과에 따라 자중에 의한 부피감소 및 결로 등으로 형태의 변형이 발생함. 특히 수평 및 수직조인트에서 형태의 변형이 나타나므로 화재발생시 내화성능에 영향을 미침.

[표 3.21] 내화성 커튼월 제안 시스템 적용과 기대되는 성능

	기존 시스템	개발 시스템
구성 시스템	 알루미늄 커튼월 중간구획에 단열 및 내화성능 확보를 위해 글라스울과 습기	 불연성 무기계 경질 경량무기발포 세라믹보드로 백패널 후면에 글라스울을

	투과를 방지하기 위한 습기투과방지시트로 구성	대체하여 설치됨.
구성 재료	알루미늄 백패널 + 글라스울 패드 (48K)+습기투과방지시트	알루미늄 백패널, 불연성 무기계 경량 무기발포 세라믹보드
재료 특징	글라스울 패드는 고온에서 용융된 유리를 고속회전시켜 섬유상으로 만든 것으로 폴리머(멜라민, 페놀수지) 바인더로 접착하여 성형하고 절단하여 패드 만듬.	유리분말, 필러(플라이애시)와 발포제를 첨가하여 고온에서 발포시켜 소성하여 절단하여 패널로 만듬. (유리(SiO2)를 사용하는 것은 같으나 유기바인더 및 무기필러에서 성능차이가 발생함)
장점	1. 무기계 섬유로 구성되어 다량의 공기층을 함유하고 있어 열전도율이 비교적 우수하며 자유로운 성형이 가능함. 2. 기본원료가 SiO2인 무기계로 구성되어 내화성능이 우수함.	1. 무기질 경량패널로 구성되며 불연성이며 내화성능이 우수함. 2. 다공질체로 기타 무기계보드(석고보드, 규산칼슘보드)에 비해 경량임. 3. 글라스울 패드로 구성시 밑으로 쳐져서 발생할 수 있는 틈의 변형이 없음.
단점	<u>1. 섬유패드로 구성되어 시간경과에 따라 밑으로 처지는 현상이 발생하고 틈이 발생. 초기에는 내화성능의 확보가 가능하나 발생한 틈을 통해 화열이 관통되는 성능저하 현상이 발생함.</u> <u>2. 기본적으로 여타의 무기계 재료에 비해 내화성능은 우수하나 글라스울을 패드 형태로 유지하기 위해 적용된 폴리머바인더에서 연소가 발생하고 섬유상의 형태이므로 판재에 비해 내화성능이 떨어짐.</u> 3. 습기투과방지시트 손상시 습기에 취약하며 결로현상이 발생할 가능성이 큼.	1. 글라스울 패드보다는 무거우며 단열성능이 떨어짐.

8. 소결

본 연구에서 기본원료들의 특성을 분석·평가한 결과 경량무기발포 세라믹보드를 제조하는데 소듐실리케이트를 사용하는 것이었다. 이를 이용하여 소성된 경량무기발포 세라믹보드의 내부 기공특성은 소재의 물성과 충분한 상관관계를 나타내었으며 이를 토대로 경량무기발포 세라믹보드를 제조하였다.

- 가. 유리분말은 $\text{SiO}_2(71.9\%)$, $\text{Na}_2\text{O}(15.2\%)$, $\text{CaO}(7.4\%)$ 이 주요성분이고 플라이애시는 SiO , AlO_3 , FeO_3 이 주요 성분이었다. 혼합물의 열분석 결과 융점은 750°C 이상으로 추정 할 수 있었다.
- 나. 발포제의 종류 및 함량에 따라 차이가 관찰되었고 밀도를 무시한 경우 소듐실리케이트 30%, 탄산칼슘 2%를 치환한 시험체의 압축강도가 가장 높았으며 24MPa이다.
- 다. 탄산칼슘과 그래파이트는 각각 1%이하로 첨가해야 공극의 크기가 일정하고 적당한 크기로 발포되며, 물유리를 기본으로 공극의 조절을 위한 첨가제로 넣어야한다.
- 라. Mock-up 테스트용 시험체는 구조용과 내화용으로 제작하였으며, 구조용은 강도를 증진시켜 압축강도가 115 kgf/cm^2 이지만 밀도는 0.58로 높게 나왔다. 내화용은 화재에 대한 저항성을 높이기 위한 것으로 경량화 하여 밀도를 0.22로 낮추었지만 강도는 구조용에 비하여 약하다.
- 마. Mock-up 테스트용 시험체의 내열도 시험에서는 내화용 시험체가 글라스울이나 미네랄울보다 우수하게 나타났으며 화재시험대비 재료 시험에서 우수하다고 판단되었다.
- 바. 글라스울과 미네랄울은 수분에 의한 열전도율 증가가 나타났으며 증가폭이 세라믹보드보다 높았다. 또한 부피의 변화가 발생하여 세라믹보드가 수분에 더 안정적인 것을 확인하였다.
- 사. 가열온도의 상승에 의해 압축강도는 감소하며 특히 200°C 이상의 고온에서는 감소경향이 현저하다. 플라이애시와 알칼리 활성화제를 활용한 내화성 바인더의 경우 시멘트를 적용한 경우 보다 강도감소의 폭이 작아 내화성능에 유리하다.

아. 가열온도의 증가에 따라 공극률도 점진적으로 증가하는 경향을 보인다. 하지만 플라이애시를 활용한 바인더의 경우 증가의 폭이 작아 고온에서 비교적 안정적인 것으로 판단된다.

자. 플라이애시를 활용한 알칼리 활성화 바인더의 경우 시멘트를 결합재로 사용하는 경우 보다 비교적 고온에서 안정하므로 내화성 바인더로의 적용이 가능하다.

차. 알칼리 활성화 바인더는 활성화제에 의해 경화가 진행되므로 바인더의 적용에 있어 적절한 배합의 조절이 필요하며 추후 내화성능에 대한 면밀한 검토가 필요하다.

제2절 경량무기발포 세라믹보드 개발에 따른 커튼월 내화성 적용부위 및 시공법 연구

1. 경량 무기 발포 세라믹보드 적용을 위한 성능 검증

가. 경량 무기질 보드와 실란트(Sealant) 접착시험

(1) Silicone sealant test

(가) 접착성 Test

○ 실제 자재 적용 시 시행할 필수 Test (ASTM C 794)

- a. 실제 자재에 여러 표면 처리 변수 설정
- b. Silicone sealant 를 두께 1mm, 너비 10mm, 길이 200mm 적용
- c. 적용된 Sealant 에 손잡이로 사용될 형걸 또는 mesh 적용
- d. 위에 1mm Sealant 추가 적용
- e. 표준 조건에서 7일 경화
- f. 인장 시험기를 이용하여 접착성 및 강도 확인
- g. 7일 증류수 침수
- h. 침수 후 인장 시험기를 이용하여 접착성 및 강도 확인



<그림 3.60> Silicone Sealant 와 판재 간 접착성 미확보 확인

(나) 오염성 Test

- 다공성 자재의 경우 Silicone Sealant에 의해 영구적 Joint 오염이 발생할 수 있으므로 이를 미연에 방지하기 위한 자재 오염 여부 확인 시험
- ASTM C 1248 : Standard test method for staining of porous substrate by joint Sealants
 - a. 25mm×25mm×75mm Size의 두 개 판넬 샘플 사이에 13mm×13mm×50mm의 Sealant 적용
 - b. 표준 조건에서 21일간 경화
 - c. 각 Sealant 의 움직임 허용치로 시험체 압축
 - d. 압축된 시험체의 절반은 70 ℃ 오븐에 2주간 보관
 - e. 나머지 시험체의 절반은 UV 램프에 2주간 보관
 - f. 오염 여부 확인



<그림 3.61> 판재 Joint에 Silicone sealant 로 인한 오염 현상 발생

(다) 경량 무기질 보드에 대한 Silicone Sealant 시험

- 두께 30mm인 경량 무기질 보드(규격 300mm×300mm)를 Sample로 하여 상기 항목에서 설명된 Silicone sealant test (접착성 및 오염성)를 진행함.
- 시험 진행 과정
 - a. 접착성 Test
 - b. 오염성 Test

나. 알루미늄 판넬과 경량 무기질 보드의 접착성 시험

(1) 가압시험

(가) 가압 시험 방법

- ① 시험체 30cm×30cm로 표면을 절단한다.
- ② 에폭시 수지계 접착제가 취부된 메쉬를 판넬에 놓는다.
- ③ 고온(160℃) 가압 한다.



접착제가 취부된 메쉬



메쉬를 판넬위에 놓음

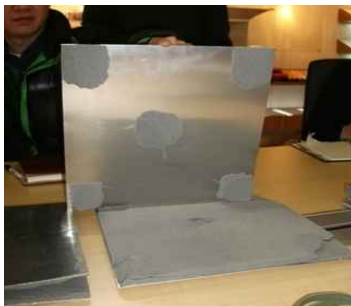


시험체를 고온가압

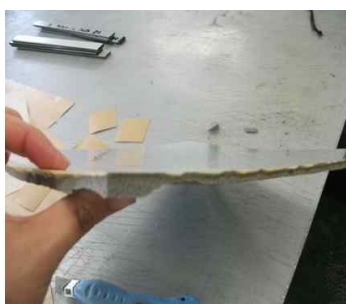
<그림 3.62> 가압 시험 과정

(나) 시험결과

- 판넬(THK. 10mm)에서 Flying 현상 발생
→ 내구성 문제
→ (해결방안) ① 판넬두께 확보
 ② 강성 확보
- AL(THK. 0.8mm) 표면에 무기발포보드의 표면이 그대로 비치고 휘어짐
→ (해결방안) ① AL.SHEET 두께 확보
 ② 무기발포보드 강성 확보



점부착



전면 부착



전면 부착

<그림 3.63> 접착 강도 시험 결과

(2) 상온 본딩 1차

(가) 시험 방법

- ① 시험체 4cm×4cm로 표면을 절단한다.
- ② 시험체 표면과 철판지거(4cm×4cm)를 에폭시 수지계 접착제 등으로 부착한다.
- ③ 인장시험기로 접착표면이 끊어질 때까지 측정한다.



부착강도시험기 지그 설치



최대강도 측정



푸시풀게이지 측정

<그림 3.64> 부착강도 시험 과정(1차)

(나) 시험 결과

[표 3.22] 부착강도 시험 결과(1차)

구분	시료	두께 (mm)	기계강도 (N)	부착강도 (N/cm ²)	평균 (N/cm ²)	측정기기	비고
KPI(무기판넬)	SP1	10	164.5	10.28	9.53	부착강도시험기 측정불가로 푸시풀게이지 측정	
	SP2	10	242.7	15.17			
	SP3	10	50.0	3.13			
홍성 (무기판넬)	SP1	—	—	—	측정 불가	시편 제작 중 표면 떨어짐	
	SP2	—	—	—			
	SP3	—	—	—			
홍성 (FR.보드_3T)	SP1	3	2620.0	163.75	147.50	부착강도시험기 측정 (장비측정 단위 : 10N)	
	SP2	3	2120.0	132.50			
	SP3	3	2340.0	146.25			
홍성 (FR.보드_5T)	SP1	5	2460.0	153.75	152.50		
	SP2	5	2460.0	153.75			
	SP3	5	240.0	150.00			

(다) 시험 현황



KP(무기판넬) : 최대강도 측정 / 푸시플게이지



KP(무기판넬) : 최대강도 측정 / 푸시플게이지



홍성(무기판넬) : 시편 제작 중 떨어져 나감



홍성(무기판넬) : 시편 제작 중 떨어져 나감



홍성(FR. 보드 3T) : 최대강도 측정



홍성(FR. 보드 3T)



홍성(FR. 보드 5T) : 최대강도 측정



홍성(FR. 보드 5T)

<그림 3.65> 부착강도 시험 현황

(3) 상온 본딩 2차

(가) 시험방법

- ① 시험체 4cm×4cm로 표면을 절단한다.
- ② 시험체 표면과 철판지거(4cm×4cm)를 에폭시 수지계 접착제 등으로 부착한다.
- ③ 인장시험기로 접착표면이 끊어질 때까지 측정한다.



시험체 표면

부착강도시험기 지그 설치

최대하중 측정

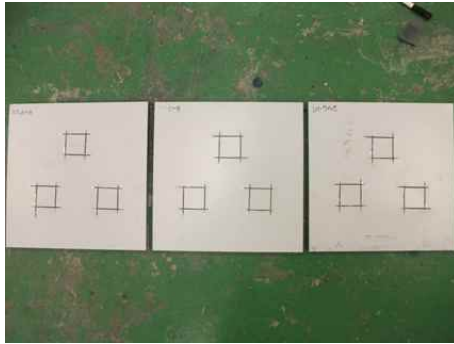
<그림 3.66> 부착강도 시험 과정

(나) 시험 결과

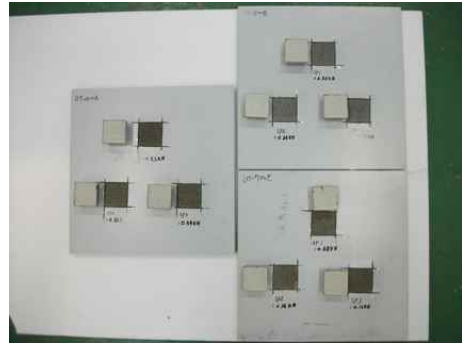
[표 3.23] 부착강도 시험 결과(2차)

구분		시료	두께 (mm)	기계강도 (KN)	부착강도 (N/cm ²)	평균 (N/cm ²)	비고
우레탄 -700A	앞면	SP1	12.68	0.43	26.88	25.63	
		SP2		0.26	16.25		
		SP3		0.54	33.75		
	뒷면	SP1		0.36	22.50	18.75	
		SP2		0.28	17.50		
		SP3		0.26	16.25		
우레탄 -800B	앞면	SP1	12.09	0.62	38.75	27.50	
		SP2		0.26	16.25		
		SP3		0.44	27.50		
	뒷면	SP1		0.59	36.88	16.88	
		SP2		0.14	8.75		
		SP3		0.08	5.00		
우레탄 -700E	앞면	SP1	12.00	0.68	42.50	20.00	
		SP2		0.16	10.00		
		SP3		0.12	7.50		
	뒷면	SP1		0.18	11.25	11.25	
		SP2		0.36	22.50		
		SP3		0	0.00		

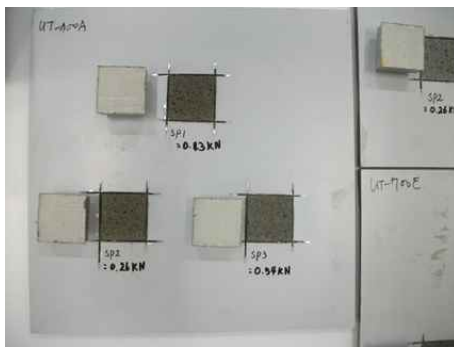
(다) 시험 현황



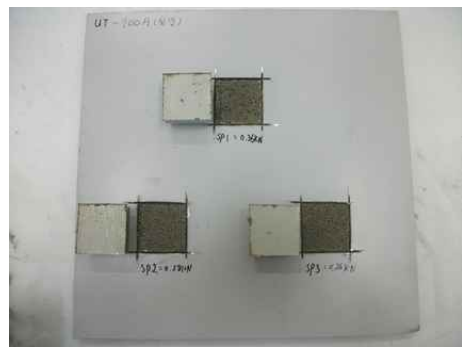
샘플채취 부위



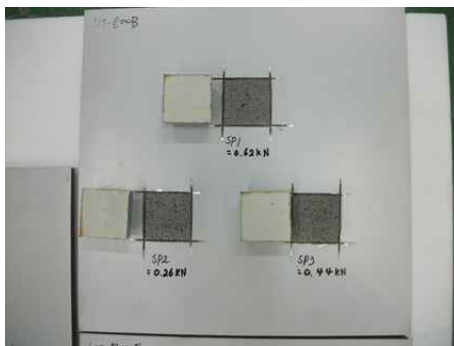
부착면



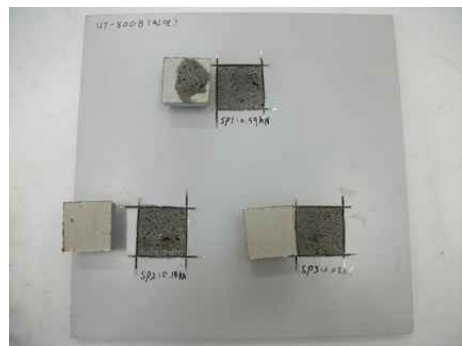
ut-700A / 앞면



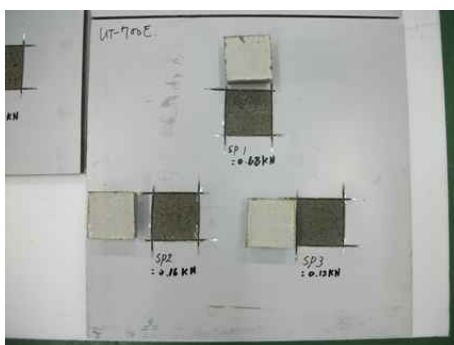
ut-700A / 뒷면



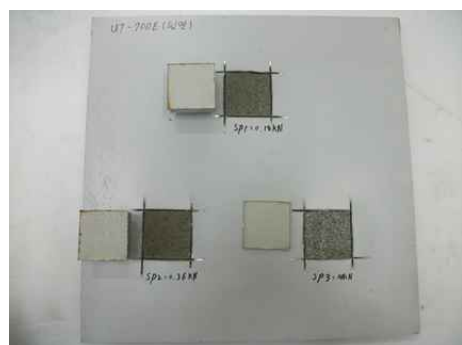
ut-800B / 앞면



ut-800B / 뒷면



ut-700E / 앞면



ut-700E / 뒷면

<그림 3.67> 부착강도 시험

AL.과의 부착력 테스트 결과 경량 무기질보드에서 발생하는 가루 및 cell구조 타입으로 부착력 값이 낮았다. 또한 본딩 강성을 강하게 하면, 무기질보드가 파괴되었다. 따라서, 사용부위에 따라 자재를 병용하여야 할 것으로 판단된다.

2. 경량 무기질보드 개발에 따른 Anchor 긴결방법 검토

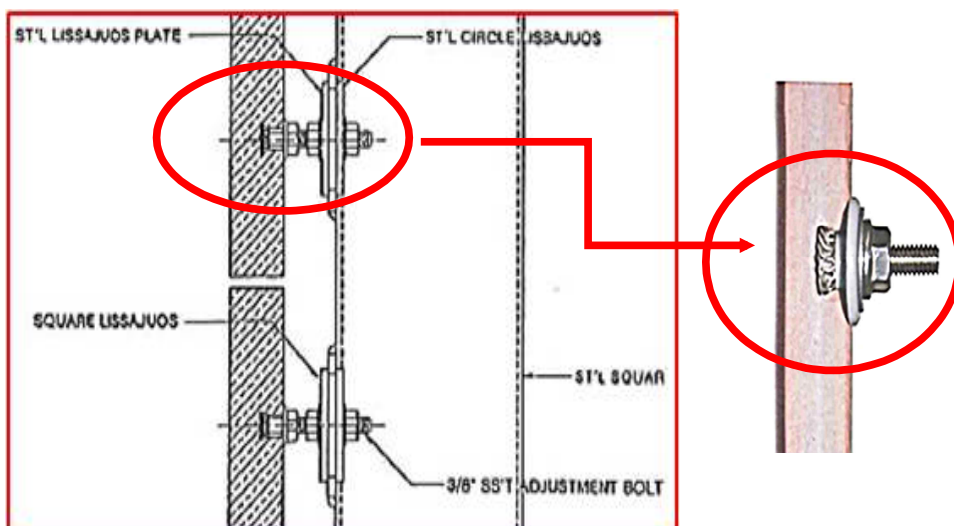
경량 무기질보드를 외장재 적용성 검토의 일환으로 앵커체결을 위한 시험(인발테스트, 전단강도시험, 동결융해에 대한 저항성 시험 후 인발, 전단강도 시험), 실란트 작업가능 여부, 오염성등에 대해서 시험.



<그림 3.68> 인발테스트



<그림 3.69> 실란트 접합시험



<그림 3.70> UNDER-CUT ANCHOR를 이용한 시공법

3. 내화성 무기발포 패널을 이용한 커튼월 내화성능평가

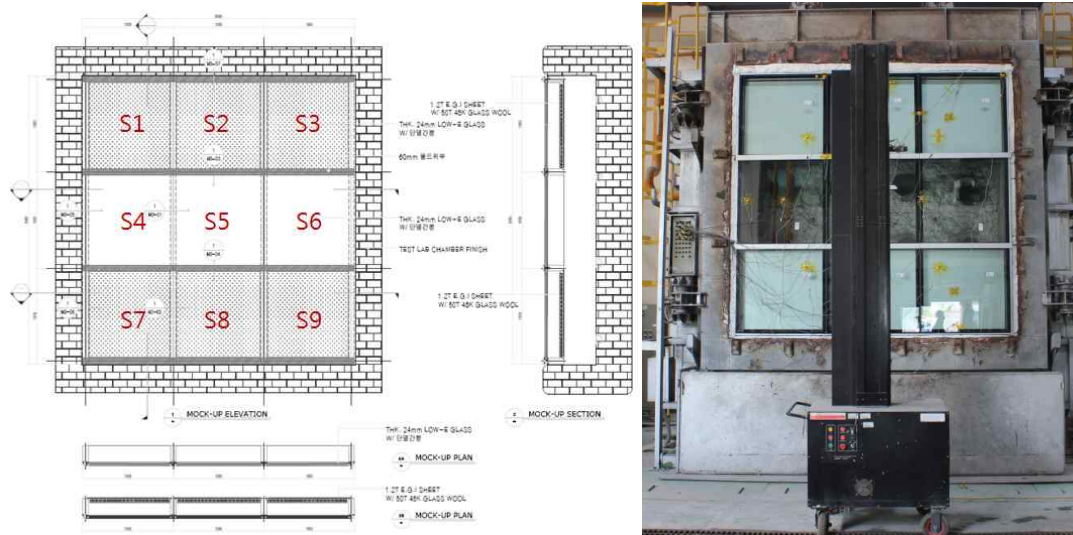
고층빌딩에 적용하기 위해 개발된 무기성 발포 패널을 실제 국내에서 사용되고 있는 고층빌딩용 커튼월 시스템에 적용하여 그 내화성능을 고찰하였다.

커튼월 전체 시스템의 내화시험 방법인 EN 1364-3의 실험방법에 따라 실험 수행하였다.

EN 1364-3 코드에 의하면 내부화재와 외부화재 시나리오 대해 실험을 각각 1회 수행하게 되어 있으나, 본 연구에서는 건축물의 내부화재 시나리오만을 고려하여 실험을 수행하였다.

내부화재 시나리오를 고려한 실험은 2회에 걸쳐 수행하였다. 첫 번째 실험에서는 커튼월의 유리와 스펠드럴 구간을 고려하여 시험체를 계획하였다. 두 번째 실험에서는 스펠드럴 구간만을 고려하여 시험체를 계획하였다. EN 1364-3 코드에 의하면 커튼월 시스템에 대한 내화실험을 수행할 경우, 통상적으로 유리는 방화유리를 사용하도록 권고하고 있으나 현재 국내에서 사용되는 커튼월의 실제 내화성능을 평가하기 위하여 국내에서 상용화된 커튼월에 보편적으로 사용되는 이중유리를 적용하여 시험체를 계획하였다.

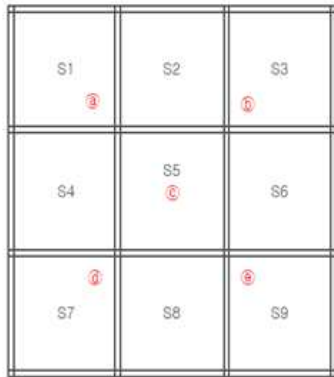
가. 1차 실험 결과



(a) 1차 시험 기성패널을 적용한 커튼월 도면

(b) 시험체 Set-up

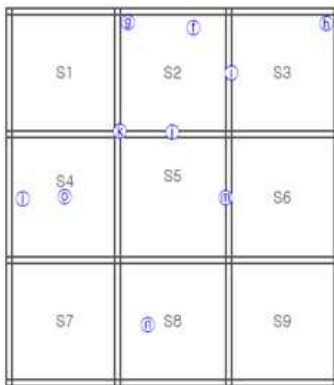
<그림 3.71> 화재성능시험체



•평균온도 측정을 위한 열전대

㉑ : 시험체의 정중앙에 위치

㉒ ~ ㉔ : 내부 멀리언, 내부 트랜섬으로부터 200mm떨어진 곳에 위치



•최대온도 측정을 위한 열전대

㉒ : 최상부 트랜섬으로부터 100mm, 내부 멀리언으로부터 300mm 떨어진 위치

㉓ : 최상부 트랜섬과 내부 멀리언의 교차점에 위치

㉔ : 최상부 트랜섬과 외부 멀리언의 교차점에 위치

㉑ : S2면과 S3면이 접하는 내부 멀리언의 중앙

㉒ : 내부 멀리언의 중앙으로 트랜섬으로부터 450mm 떨어진 위치

㉓ : 내부 트랜섬과 내부 멀리언이 겹치는 위치

㉔ : 외부 멀리언으로부터 100mm 떨어진 곳에 위치

㉑ : 내부 트랜섬으로부터 450mm 떨어진 내부 멀리언에 위치

㉒ : 최하부 트랜섬으로부터 450mm, 내부멀리언으로부터 300mm떨어진 S8위에 위치

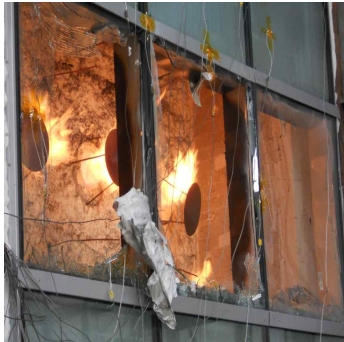
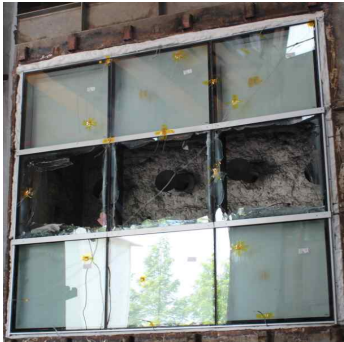
㉓ : S4면의 정중앙

<그림 3.72> 열전대 측정 위치

(1) 차염성 평가

커튼월 외피에 화염 또는 불꽃이 발생하는 시간으로 결정하였다. 시험 시작 후 약 4분이 경과된 후에 S4, S5, S6의 이중유리 중 내부유리가 파괴되었으며, 약 2분 후 각 면의 외부유리가 파괴되었다. 이에 반해 스펠드럴이 적용된 패널 유리는 특이사항이 발견되지 않으며, 이는 글라스울로 구성된 패널에 의해 온도상승이 저감된 것으로 판단된다.

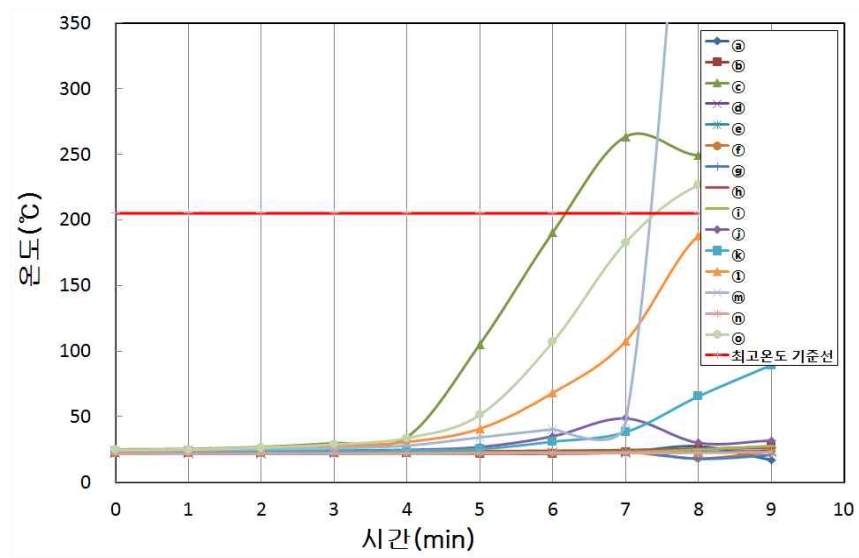
실험 시작 후 약 6분 후 S4, S5, S6의 이중유리 파괴로 인해 화염 및 불꽃이 방출되어 차염성에 관한 성능시간은 약 6분으로 평가되었다.

0분	1분	3분
		
시험체 설치	가열 시작 (표준가열곡선)	S1의 글라스울을 감싼 호일이 녹아 벗겨짐
4분	6분	7분
		
S4, S5, S6면의 이중유리 내부유리 깨짐	S4, S5, S6면의 이중유리 중 외부유리 깨짐	실험종료

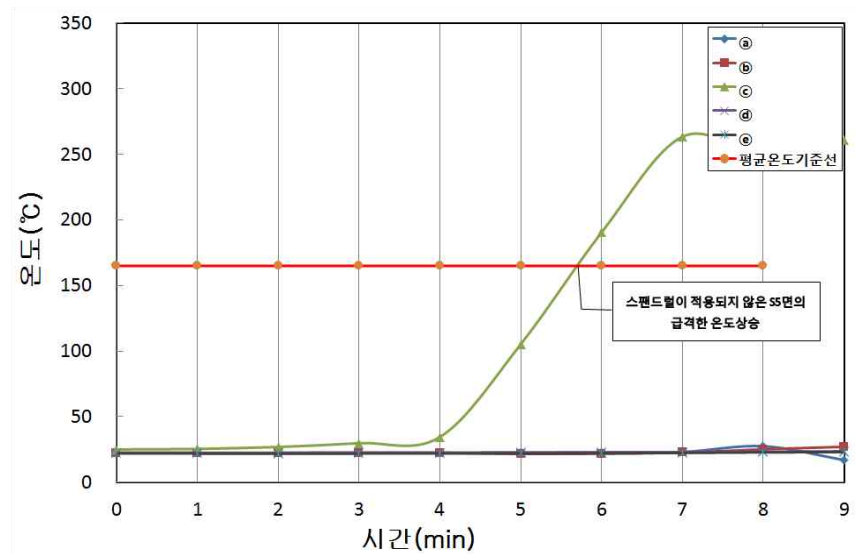
<그림 3.73> 내화시간에 따른 시험체의 형태

(2) 차열성 평가

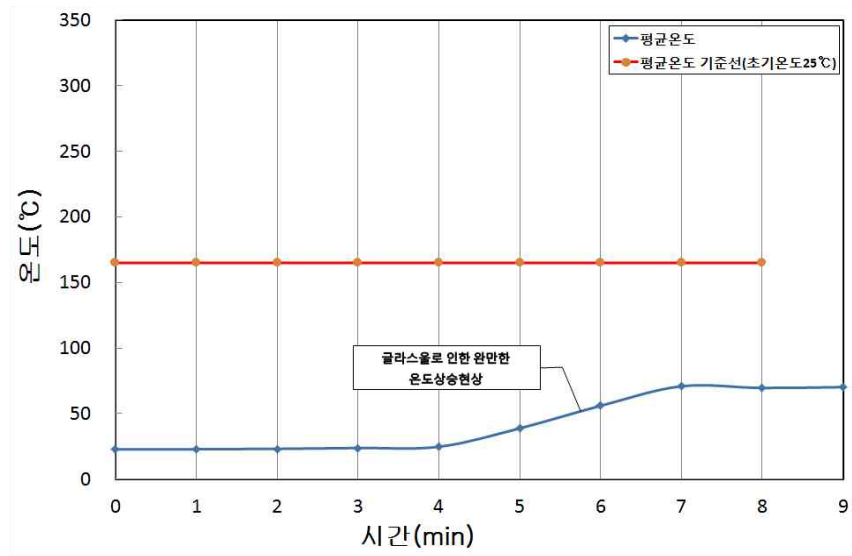
아래 그림에서 보는 바와 같이 시험체 중간에 설치된 열전대인 ㉔, ㉕, ㉖, ㉗는 Back Panel 없이 이중유리에 직접 화염이 가해짐으로서 온도의 상승이 급격하게 발생하였음을 알 수 있다. 그 이외의 열전대의 온도변화는 안정적이므로 열에 의한 이중유리의 파괴가 발생하지 않았다면 커튼월의 내화성능이 향상되었을 것으로 판단된다.



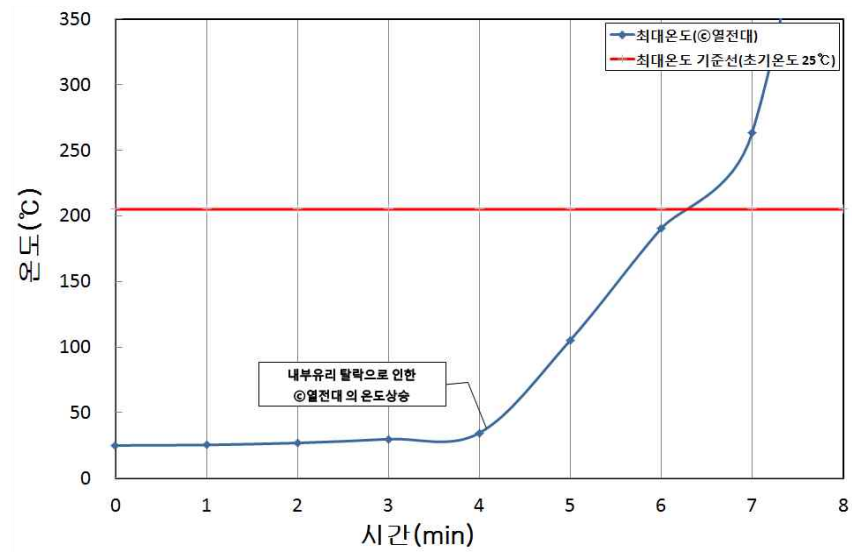
<그림 3.74> 1차실험 커튼월 외피 온도 DATA



<그림 3.75> 평균온도 측정을 위한 열전대의 온도변화



<그림 3.76> 평균온도 성능평가



<그림 3.77> 최대온도 성능평가 (㉔열전대)

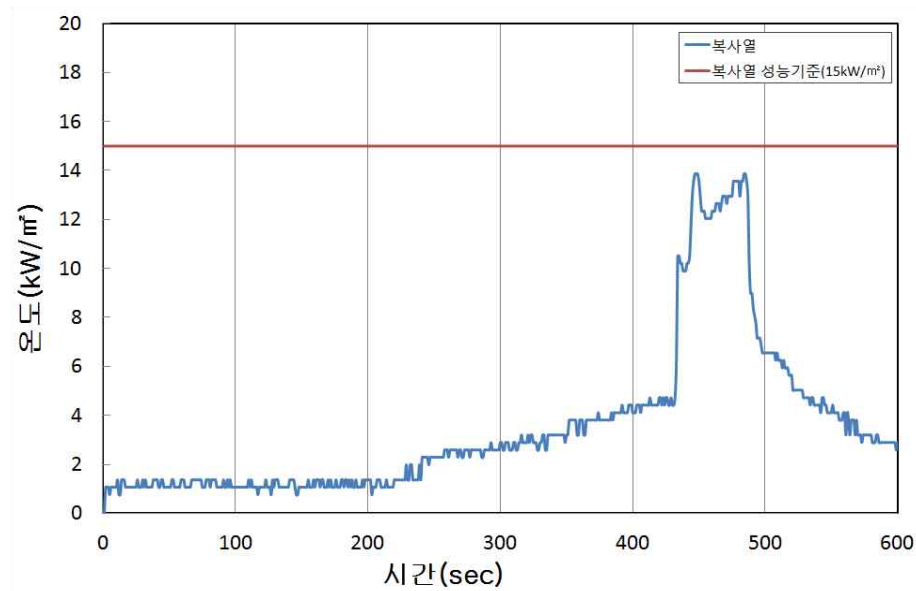
[표 3.24] 1차 시험결과

시험항목	성능기준			측정결과		성능
내화시험	차열성	균열게이지 관통 되지 않을 것		-		5 분
		면패드 착화 되지 않을 것		-		
		화염발생 없을 것(10 초 이상)		6분		
	차열성	초기 온도	-	23 ℃	-	
		비 가열면 평균온도	163 ℃ 이하	70 ℃	9 분	
		비 가열면 최고온도	203 ℃ 이하	264 ℃	7 분	
	방열성	비 가열면 복사열	15Kw/m ² 이하	13.86 Kw/m ²	-	

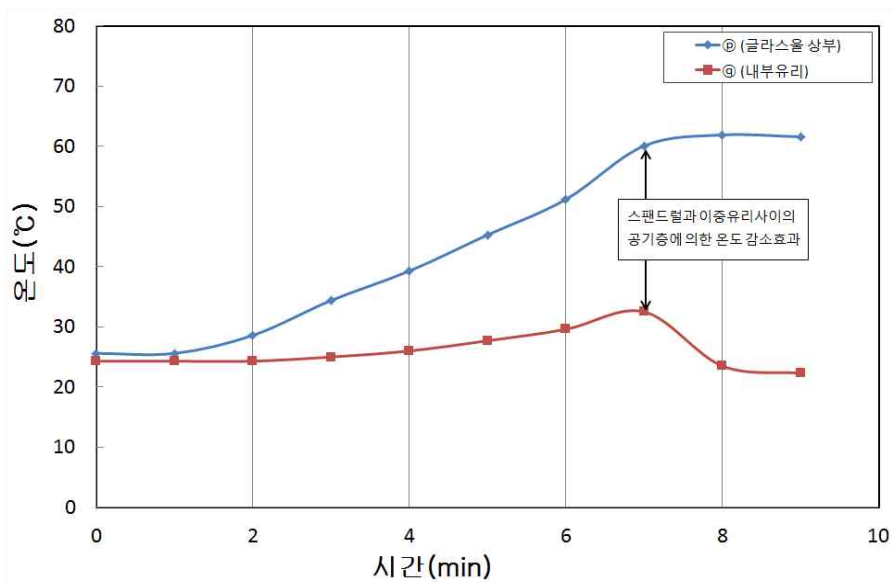
(3) 복사열 평가

비가열면에서 약 1m 떨어진 위치에서 방열기를 이용하여 복사열을 측정하며, 일반적인 복사열의 평가 기준은 $15kW/m^2$ 을 넘지 않아야 한다.

본 연구에서는 방열기는 2.5m떨어져 설치되었으며, 1차 실험의 경우 복사열 성능 기준 만족하였다.



<그림 3.78> 복사열 성능평가



<그림 3.79> 패널 및 유리에 부착된 열전대의 온도변화

(4) 패널 및 유리에 부착된 열전대의 시간에 따른 온도변화

스팬드럴과 이중유리사이에 존재하는 공기층에 의해 약 30℃이상의 온도저감효과가 발생한다. 따라서, 공기층은 온도상승을 저감시키는데 있어 큰 영향을 미치는 인자이므로 커튼월의 내화 성능확보에 있어 공기층에 관한 세심한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

(5) 시스템에 대한 커튼월의 내화성능

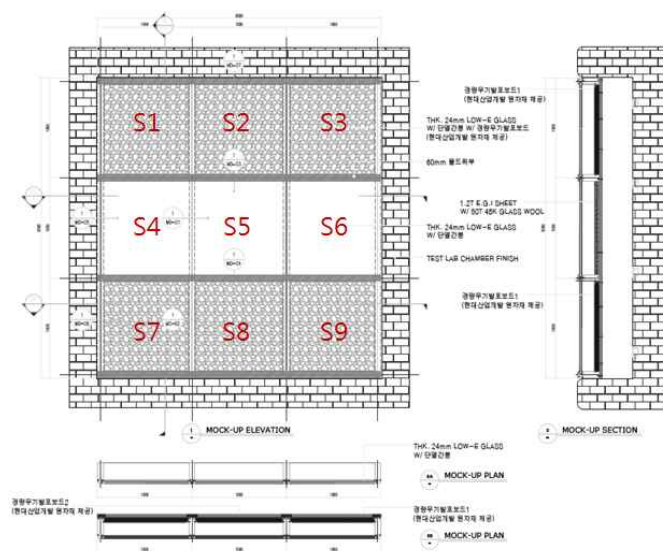
1차 실험에서 수행된 커튼월의 내화성능 실험결과 커튼월에 사용되는 유리의 종류에 따라 내화성능시간의 차이가 클 것으로 판단된다.

본 실험에서 사용된 LOW-E 유리는 국내에서 일반적으로 사용되는 것으로 이와 같은 유리의 경우 표준화재에 노출된 후 약 5~10분 내에 파괴됨으로 커튼월의 내화성능을 향상시키기 위해서는 방화유리를 적용해야 할 것이다.

나. 2차 실험 결과

2차실험 (글라스울과 스틸 판으로 구성된 기성패널, 경량무기발포보드1, 경량무기발포보드2 적용)은 커튼월의 스파드럴의 구간에 대한 내화성능을 평가하기 위하여 수행하였다.

상부, 하부 패널은 경량 무기질 발포패널을 설치하였으며, 중앙부 패널은 글라스울과 스틸판으로 구성된 기성패널을 설치하였다.



<그림 3.80> 2차 실험도면

S1 ㉑	S2	S3 ㉒
S4	S5 ㉓	S6
S7 ㉔	S8	S9 ㉕

• 평균온도 측정을 위한 열전대

㉑ : 시험체의 정중앙에 위치

㉒ ~ ㉕ : 내부 멀리언, 내부 트랜섬으로부터 200mm떨어진 곳에 위치

• 최대온도 측정을 위한 열전대

S1	㉖ S2	㉗ S3
S4	S5	㉘ S6
S7	S8	S9

㉖ : 최상부 트랜섬으로부터 450mm, 내부 멀리언으로부터 300mm떨어진 S2에 위치

㉗ : 최상부 트랜섬으로부터 450mm, 외부 멀리언으로부터 300mm떨어진 S3에 위치

㉘ : 내부 트랜섬으로부터 450mm, 내부 멀리언으로부터 300mm떨어진 S6에 위치

㉙ : 내부 멀리언의 중앙으로 트랜섬으로부터 450mm 떨어진 위치

㉚ : 내부 트랜섬과 내부 멀리언이 겹치는 위치

㉛ : S4와 S5가 접하는 멀리언의 정중앙에 위치

㉜ : 최상부 트랜섬과 내부 멀리언의 교차점에 위치

㉝ : 최상부 트랜섬과 외부 멀리언의 교차점에 위치

㉞ : 내부 트랜섬과 외부 멀리언의 교차점에 위치

<그림 3.81> 열전대 측정위치

S1	㉟ S2	㊱ S3
S4	S5	㊲ S6
S7	㊳ S8	㊴ S9

• 패널성능 검증을 위한 추가 열전대 위치

㉟ : 트랜섬으로부터 450mm, 내부멀리언으로부터 300mm떨어진 S2패널 상부에 위치

㊱ : 트랜섬으로부터 450mm, 내부멀리언으로부터 300mm떨어진 S3패널 상부에 위치

㊲ : 트랜섬으로부터 450mm, 내부멀리언으로부터 300mm떨어진 S6패널 상부에 위치

㊳ : 트랜섬으로부터 450mm, 내부멀리언으로부터 300mm떨어진 S9패널 상부

㊴ : 트랜섬으로부터 450mm, 내부멀리언으로부터 300mm떨어진 S8패널 상부

㊵ : 트랜섬으로부터 450mm, 내부멀리언으로부터 300mm떨어진 S2이중유리 중 내부 유리위에 위치

<그림 3.82> 추가 열전대 위치

(1) 차염성 평가

실험 시작 후 약 5분이 경과된 후에 S1에 경량무기발포보드 1에서 균열이 발생하였다.

S6의 기성패널에서 약 12분, S4와 S5 기성패널에서 약 16분 후, 연기의 방출이 관찰되었으며, S6에 설치된 이중유리 중 내부유리가 파괴되었다.

약 30분의 경과 후, S6과 마찬가지로 S4, S5에 설치된 내부유리가 파괴되었으며, 그로부터 약 1분 뒤 S6 외부유리의 파괴로 구조용 실런트에 화염이 발생하였다.

실험 시작 후 34분에 S4면의 외부유리, 35분에 S5면의 외부유리가 파괴되었다.

31분에 시작된 구조용실런트의 화염은 S5, S4로 확산되었으며, 실험 시작 38분 후 S4, S5, S6의 구조용 실런트가 박탈되었다.

유리의 파괴 후에도 실험은 약 1시간동안 지속되었으며, 가열종료와 동시에 S1, S3 경량 무기질 발포패널 1의 패널 절반이 커튼월로부터 박탈되며 화염이 발생하였다. 따라서, 기존 글라스울 사용 패널의 차염성능은 S6 이중유리의 파괴 시점인 31분, 경량 무기질 세라믹보드는 최소 1시간으로 판단할 수 있다.

0분	5분	17분
		
가열시작(표준가열곡선) 21분	S1 패널 크랙 발생 30분	S6 패널에 그으름 발생 31분
		
S4, S5 패널에 그으름 발생 S6 내부유리 깨짐 34분	S4, S5 내부유리 깨짐 35분	S6 외부유리 깨짐 S6 구조용실런트에 화염 36분
		
S4 외부유리 깨짐 39분	S5 외부유리 깨짐 S5 구조용실런트에 화염 60분	S5 화염이 S4, S6면으로 화염번짐 61분
		
S4, S5, S6의 구조용실런트 박리	가열종료	S1, S3 화염발생

<그림 3.83> 세라믹 보드의 내화시간에 따른 형태

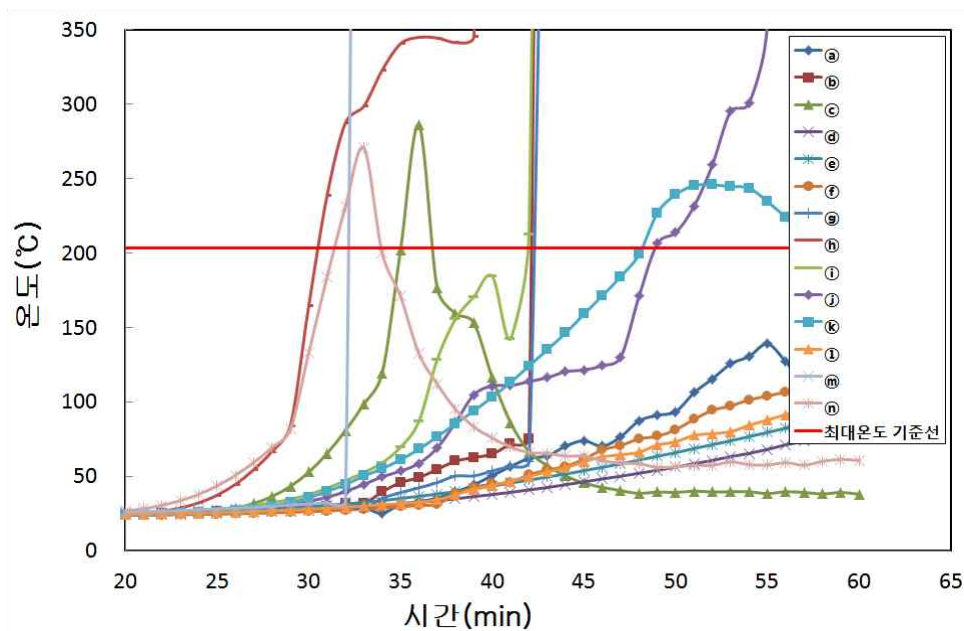
(2) 차열성 평가

스팬드럴 구간의 온도는 약 28분까지 최대온도 성능기준인 204℃에 크게 미치지 못하였다.

실험결과로부터 패널의 설치는 커튼월의 내화성능을 향상시키는데 있어 주요인 자임을 알 수 있다.

기성 패널은 시험 시작 28분 후, 급격하게 온도가 상승한 반면, 경량무기발포 세라믹보드의 최대온도 성능기준 초과시점은 31분으로 평가되었으며, 이는 유리의 파괴로 인한 차열성능의 평가시점과 유사하다.

실험결과로부터 기성패널보다 경량무기발포 세라믹보드가 커튼월의 내화성능을 향상시키는데 있어 유리하다는 것을 알 수 있었다.



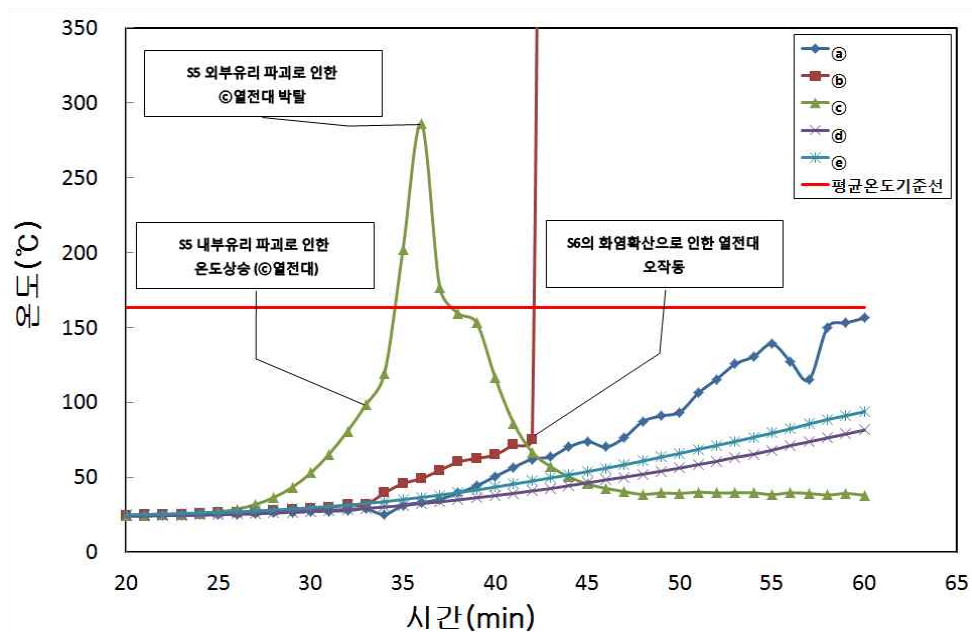
<그림 3.84> 2차실험 커튼월 외피 온도 DATA

(가) 평균온도

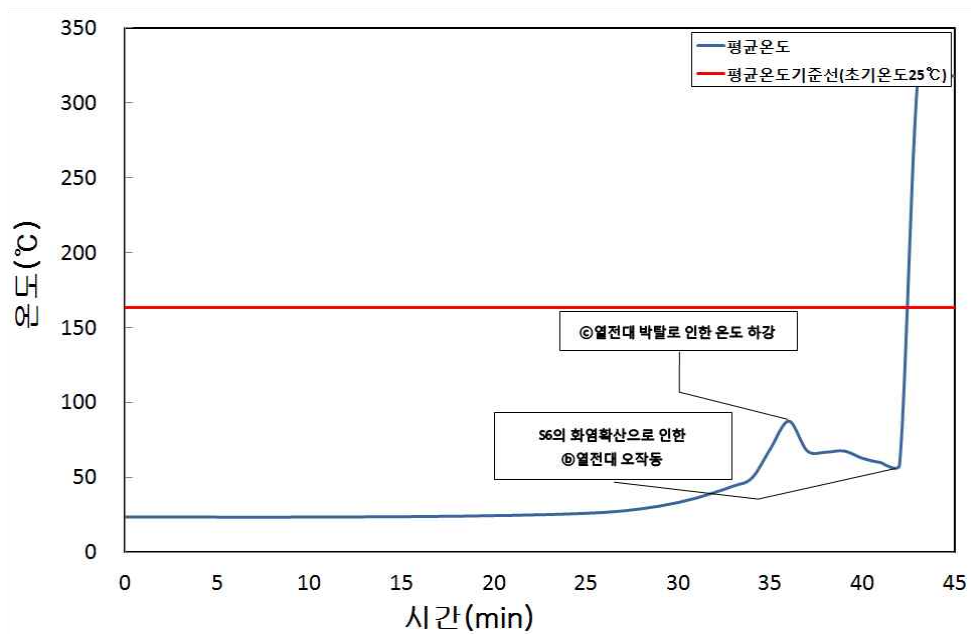
평균온도는 ①~⑤ 열전대의 평균온도를 산정하여 비교하여야 하나, 시험에 사용된 패널의 종류가 다르므로 각각의 측정온도를 시험 평균온도기준인 164℃(초기온도 24℃+140℃)과 비교하였다.

<그림 3.85>은 평균온도 성능평가에 사용된 각 열전대의 온도변화곡선이다. 실

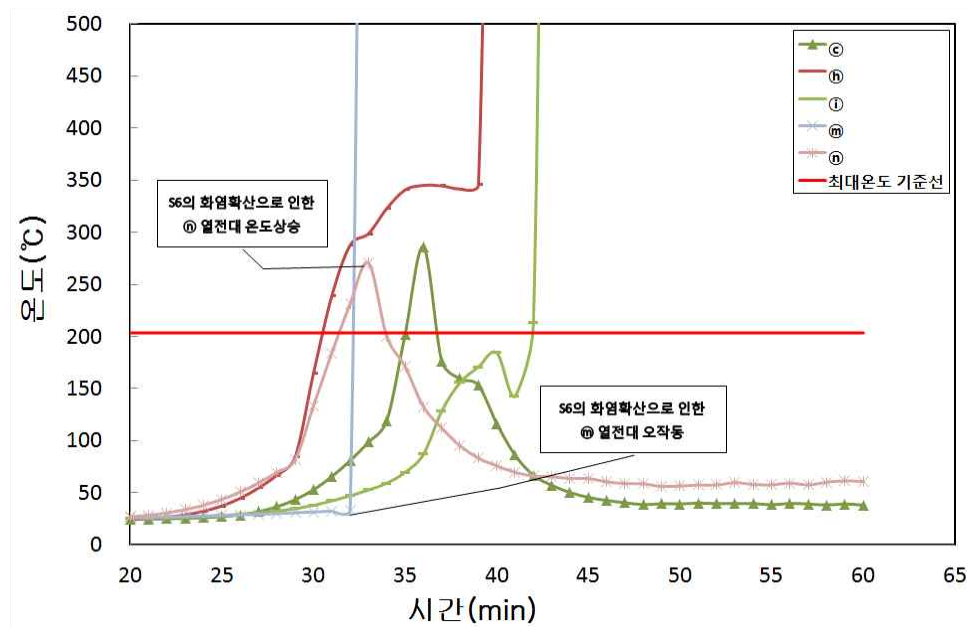
험 시작 후 약 30분에 글라스 울 사용패널인 S5의 이중유리 중 내부유리가 파괴되어 ㉠열전대의 온도가 급격히 상승하였다. 그로부터 5분 뒤인 35분에 평균온도기준을 초과하고, 외부유리의 파괴로 열전대 ㉠는 커튼월로부터 탈락되었으며, 이로 인하여 온도가 급격히 감소하였다. 경량무기 발포패널 1을 사용한 S3에 설치된 열전대 ㉡는 S6에서 시작된 화염확산으로 인해 실험시작 후 약 43분에 파손되면서 평균온도기준을 초과하였다. 이로 인한 데이터의 오류 시점을 <그림 3.85>에 나타내었다. 그 외 ㉢, ㉣, ㉤ 열전대는 다른 열전대에 비해 완만한 온도상승을 보였다. 평균온도 평가방법에 따라 ㉢~㉤ 열전대에서 측정된 각각의 온도를 패널의 종류에 상관없이 평균한 평균온도를 <그림 3.86>에 나타내었다. 실험 시작 후 약 42분에 평가기준을 초과한 것으로 기록되었으나, 시험 시작 후, 31분에 발생한 유리의 파괴로 평균온도를 측정하기 위해 부착된 5개의 열전대 중 2개의 열전대(㉡, ㉢)가 박탈 또는 데이터의 오류로 인하여 31분 이후, 평균온도의 데이터는 신뢰할 수 없을 것으로 판단된다.



<그림 3.85> 평균온도 측정을 위한 열전대의 온도변화



<그림 3.86> 평균온도 성능평가



<그림 3.87> 최대온도 성능평가

(나) 최대온도

최대온도 성능평가 기준은 204℃(초기온도 24℃+180℃)이다. <그림 3.87>와 같이 기성 글라스울 사용 패널이 설치된 S4, S5, S6의 열전대는 시험 시작 28분 후, 급

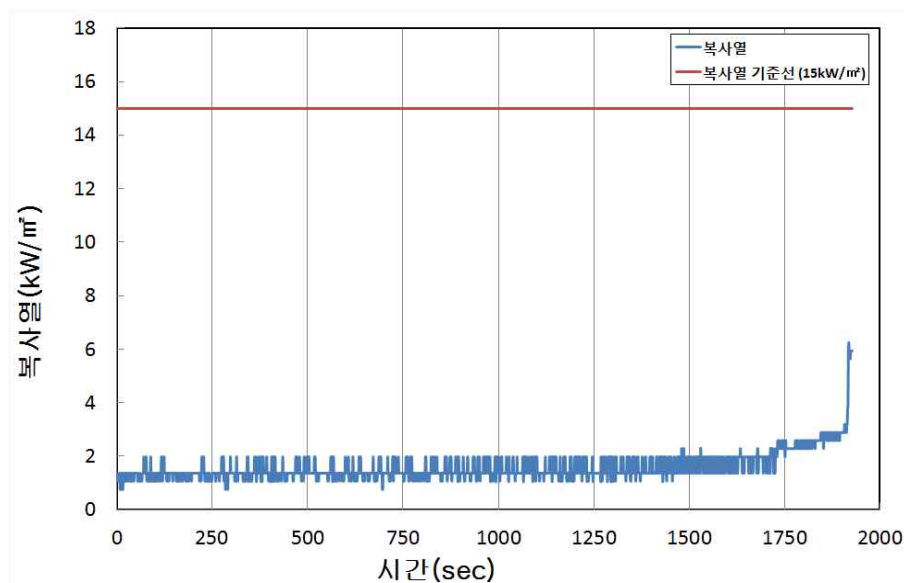
격하게 온도가 상승하고, S6의 ㉠열전대는 그 중 최단시간에 최고온도 성능기준을 초과하였다. 최대온도 성능기준의 초과시점은 31분으로 평가되었다. 이는 유리의 파괴로 인한 차열성능의 평가시점과 유사하다.

경량무기발포 세라믹보드 1을 사용한 S3면의 ㉢열전대는 S6의 화염확산으로 인해 실험시작 33분 후 오작동하여 최고온도 기준을 넘었으나 이전 온도 상승 추세를 고려하면 내화시간이 훨씬 증가하였을 것으로 판단된다. 실험결과로부터 기성 글라스울 패널보다 경량무기발포 세라믹보드가 커튼월의 내화성능을 향상시키는데 있어 유리하다는 것을 알 수 있다

(3) 복사열 평가

2차 실험의 경우 또한 1차 실험과 같이 그 성능기준을 초과하지 않았다.

약 30분 후, 복사열의 급격한 증가는 유리의 파괴에 기인한 것으로, 본 실험에서 수행된 커튼월의 경우 내화성능평가는 복사열에 의해 결정되지 않고, 차열 및 차열 성능에 의해 결정되었다.



<그림 3.88> 복사열 성능평가

(4) 패널 및 유리에 부착된 열전대의 시간에 따른 온도변화

커튼월 스펠드럴 구간에 사용된 기성패널과 경량무기발포 세라믹보드의 내화성능을 비교하기 위하여 설치된 6개의 열전대로부터 측정된 시간에 따른 온도변화를 <그림 3.89>에 나타내었다. 여기서, 열전대 ①은 이중유리의 내부에 설치되었다. ②, ③열전대는 경량무기발포 세라믹보드 1에 설치한 것이며, ④와 ⑤열전대는 경량무기발포 세라믹보드 2에 설치하고, ⑥열전대는 기성 글라스울 패널에 설치하였다.

<그림 3.89>에서 보이는 바와 같이 1차 실험과 동일하게 ④열전대(패널 상부)와 ①열전대(내부유리)의 온도는 시험 시작 후 유리의 파괴가 발생하기 전의 시점에서 약 30℃ 이상 차이를 보였다. 1차 실험에서 LOW-E 유리에 비해 뛰어난 내화성능을 보였던 기성패널은 경량무기발포 세라믹보드에 비해 내화성능이 이에 미치지 못한다는 것을 알 수 있다. <그림 3.89>에서 보이는 바와 같이 경량무기발포 세라믹보드 2는 경량무기발포 세라믹보드 1에 비해 더 좋은 내화성능을 보였다.

특히 기성 글라스울 패널을 측정한 ⑥열전대의 온도측정 결과를 보면 20분에 198.5℃로 상승하다가 21분부터 온도가 하강하여 24분에 다시 상승하여 27분 경과 후 최고온도기준을 초과하는 경향을 보여주고 있다. 이는 온도가 상승하는 21분 경 커튼월 유리의 파손으로 외부의 차가운 공기가 유입되어 온도가 하강하다가 다시 상승하기 때문인데, 유리가 파손되지 않았을 경우 약 22분 경에 최고온도기준을 초과하였을 것으로 판단된다. 반면 경량무기발포 세라믹보드 2에 부착한 ⑤열전대의 경우 34분에 열전대 기능을 상실하여 최고온도 기준을 초과하였으나, 다른 경량무기발포 세라믹보드 1에 부착한 ② 열전대는 39분에 최고온도 기준을 초과하는 것으로 나타났다.

(5) 시스템에 대한 커튼월의 내화성능

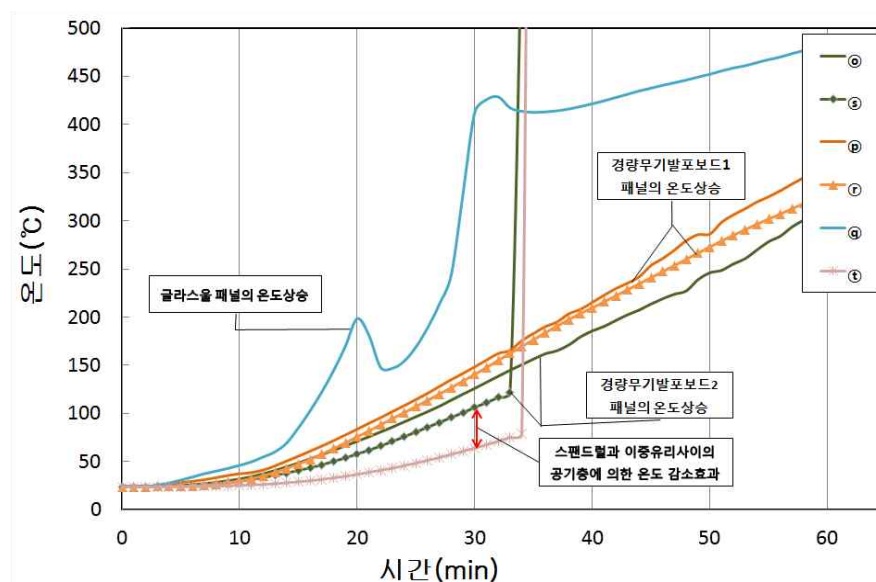
EN1364-3 코드에 의한 내화성능시험 결과, 차염성의 경우 기성패널이 적용된 S4, S5, S6의 온도상승에 따른 이중유리의 파괴로 인해 약 31분의 내화성능을 기록하였다. 차열성의 경우 최대온도에 의해 성능이 결정되었으며, 초과 시간은 차염성능과 마찬가지로 31분이다.

그러나, KS F 2257-8에 따른 기성 글라스울 단열패널의 내화성능은 26분으로 평가되었다. 특히 글라스울 단열패널은 내화시험 과정에서 21분 경과 시 최고온도기

준에 근접하다가 외부유리의 파손으로 다시 온도가 내려가고 다시 증가하는 특이 현상을 보여 내화성능 평가가 정확히 이루어졌다고 하기가 다소 곤란하였으며, 유리파손이 되지 않는 과정에서 평가가 이루어졌다면 21분 내외에서 최고온도를 초과하였을 것으로 판단되었다. 반면 경량무기발포 세라믹보드가 적용된 S1, S2, S3, S7, S8, S9는 차염성의 경우 60분, 차열성은 최고온도 초과시점인 33분으로 평가되었으며, KS F 2257-8에 따른 경량무기발포 세라믹보드의 최고온도 초과시간은 34분으로 판단되었다.

복사열의 경우 패널구분 없이 전체 시험체를 대상으로 평가하였으며 화염이 외부로 노출되어 온도가 급격히 증가한 기성 글라스울 적용 커튼월에만 해당되는 것으로 하였다. 시험결과 내화성능을 다음 [표 3.25]와 같이 정리하였다.

1차, 2차 실험으로부터 패널이 적용된 스펠드럴 구간의 내화성능이 스펠드럴과 유리 구간보다 현저히 높았다. 따라서, 패널의 설치와 프레임의 피복은 커튼월의 내화성능을 현저하게 향상시키는데 있어 중요한 인자임을 알 수 있다. 2차 실험 결과 내화성능은 경량무기발포 세라믹보드 2, 경량무기발포 세라믹보드 1, 기성패널의 순으로 좋게 나타났다. 2차 실험에서 사용된 시험체에 이중유리 대신 방화유리와 경량무기발포 세라믹보드 2를 사용한다면 1시간 이상의 내화성능 확보도 가능할 것으로 판단되었다.



<그림 3.89> 패널 및 내부유리의 시간에 따른 온도변화

[표 3.25] 2차 시험결과

부위	시험구분	분류체계	측정시간 (Min)	
			기존 글라스울 적용 커튼월	경량무기발포 세라믹보드 적용 커튼월
유리+프레임+단열패널	EN 1364-3	E	31분	60분
		EI	평균온도 33분	평균온도 43분
			최고온도 31분	최고온도 33분
		EW	31분	-
단열패널	KS F 2257-8	-	22분	34분
내화성능 평가			21분	32분

* 여기서, E는 차염성, I는 차열성, W는 복사열을 의미한다.

* 내화성능은 EN 1364-3과 KS F 2257-8의 시험결과중 제일 빠른 시간으로 결정하였다.

4. 내화성 무기발포 패널을 이용한 커튼월 Mock-up 성능평가



<그림 3.90> 커튼월 Mock-up 시험

가. 열순환 시험 (Thermal cycling test) : AAMA 501.5

■ Test 조건

- ① Hot condition : 24 °C, 82 °C (for 2 hours)
- ② Cold condition : 24 °C, -18 °C (for 2 hours)
- ③ Hot & cold condition 을 1 Cycle 로 보고 총 3 Cycle 진행

시료의 상태를 각 Cycle별로 확인결과 시료에 이상이 없었다. 열순환 시험은 만족스러운 결과를 얻었다.



외부에 Thermal chamber 부착



Hot condition 진행 중

<그림 3.91> 열순환 시험

나. 결로 시험 (Condensation test)

■ Test 조건

Cold condition : 22 °C, 40%, -13 °C (for 2 hours) → Dew point ≒ 7.8 °C

경량 발포패널의 결로시험결과는 만족스러웠으나, 시험 종료 후 Back P무디 로 사용된 발포패널 제거 시 스펜드럴구간에 결로가 발생하였음을 확인하였다.

다. 선 재하 시험 (Preload test) : ASTM E 330

정해진 압력의 50%(150 kg/m²) 를 가압하의 시험 진행 여부를 확인, 10초간 선재 하시험을 실시하여 이상이 없어 시험을 진행하기로 하였다.

라. 1차 기밀시험(1st Static air infiltratuon) : ASTM E 283

- 시험 압력 7.6 kg/m² (0.3"H₂O) 하에서 시험체의 누기량 측정
- 측정된 누기량

① Air leaks @ Test chamber = 20.0 cfm

② Air leaks @ 시험체 + Test chamber = 24.5 cfm

③ Air leaks @ 시험체 (② - ①) = 4.5 cfm < V-allow = 19.9 cfm

①의 값은 시료를 막은 상태의 누기량으로 Chamber의 누기량이고 ②의 값은 Mock-up 시험체의 누기량으로 ② - ① = 4.5 cfm이다. ③은 규정에 나와있는 허용치로 19.9 cfm 이다. 시험결과 허용치보다 낮은 값으로 기밀시험은 만족스러운 결과를 얻었다.

마. 정압하의 수밀시험(Water penetration test under static pressure) : ASTM E 331

살수와 동시에 설계 풍압의 20% 에 해당하는 압력(60 Kg/m²)을 가하여 시험체를 통한 내부로의 누수가 일부 패널에서 발생 확인

ASTM E 331 의 규정에 따른 60 Kg/m² 를 유지하면서 3.4 L/min.m² 으로 15분 간 살수하여 누수를 확인하였다. 일부 패널에서 누수가 확인되었다. 발포패널의 성능을 향상시키고 발포패널을 균일하게 해야한다.

바. 동압하의 수밀시험(Water penetration test under dunamic pressure) : AAMA 501.1

살수와 동시에 설계 풍압의 20% 에 해당하는 압력(60 Kg/m²)을 AIRCRAFT ENGINE 을 사용하여 발생시키면서 시험체를 통한 내부로의 누수 발생 확인

정압하의 시험과 마찬가지로 누수가 발생하였다. 누수가 발생하지 않은 패널이 있는 것으로 보아 발포패널이 균일하지 못하다고 판단된다.

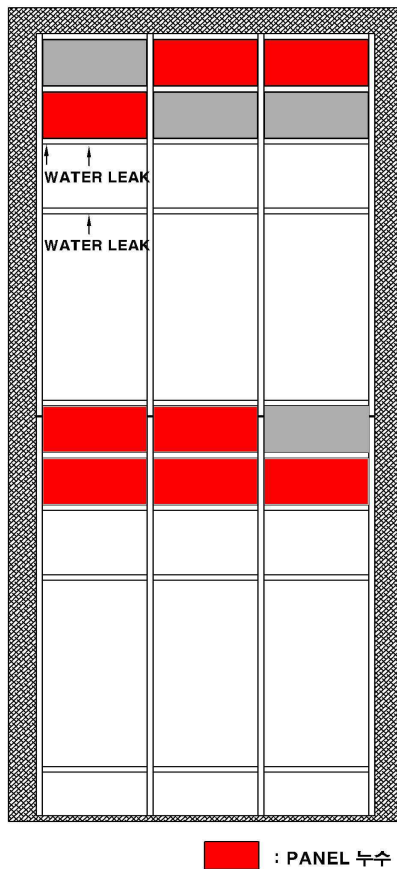


정압하의 수밀시험



동압하의 수밀시험

<그림 3.92> 수밀시험



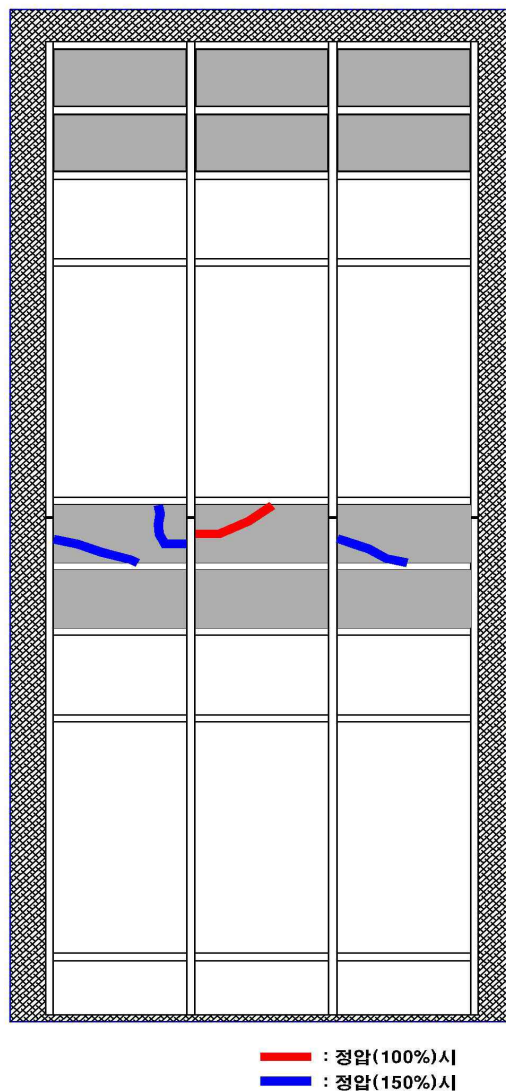
<그림 3.93> 내부 누수 발생 패널

사. 구조성능시험(Structural performance(Design load) by static pressure) :

ASTM E 330

설계 풍압 100% (정, 부압 300 kg/m^2) 가압 시 주 구조체의 휨량이 허용치를 초과하지 않는지 확인하고 가압 시 시료가 파괴되거나 이상 발생 여부 확인한다.

정압 100% 가압 시 경량 무기질보드 중 1개에 크랙이 발생하였고 정압 150% 가압 시 2개의 패널에 크랙이 발생하였다.



<그림 3.94> Crack 발생 상태



경량발포 패널에 Crack 발생 상태 (좌 : 외부, 우 : 내부)

<그림 3.95> 크랙발생 위치

아. 2차 기밀시험(2nd Static air infiltration test) : ASTM E 283

구조성능시험 진행 후에 시험체의 누기량을 다시 측정하여 시험체의 변화를 살펴보고자 시행하였다. 구조성능시험 시 Crack 이 발생한 경량 무기질보드는 합판으로 막은 뒤 시험체의 누기량을 재측정 하였다.

측정된 누기량은 19.0 cfm 로 허용치인 19.9 cfm 보다 낮은 값으로 만족스러운 결과를 얻었다.

자. 영구변위량시험(Structural performance (Proof load) by static pressure) : ASTM E 330

설계 풍압 150% (정, 부압 450 kg/m²) 를 가압한 다음 압력 제거 후 주 구조체의 영구변위량이 허용치를 초과하지 않는지 확인하고 가압 후 시료가 파괴되거나 이상 발생 여부 확인하는 시험이다.

정압 150% 가압 시 Mullion 의 E.J 구간에 취부되어 있는 경량 무기질보드 3 EA (그 중 1 EA 는 정압 100% 가압 시 Crack 발생)에 Crack 이 발생하였다.

차. 층간변위시험(Interstory lateral movement test) : AAMA 501.4

시료가 고정되어 있는 Slab (Chamber beam)를 좌, 우로 각각 12.0 mm 씩 움직이는 결과를 얻었으며 시방서 규준에 만족하였으며 시료에도 이상이 없었다.



<그림 3.96> 층간변위시험

5. 경량무기발포 세라믹보드의 단열성능평가

(1) Case 구성

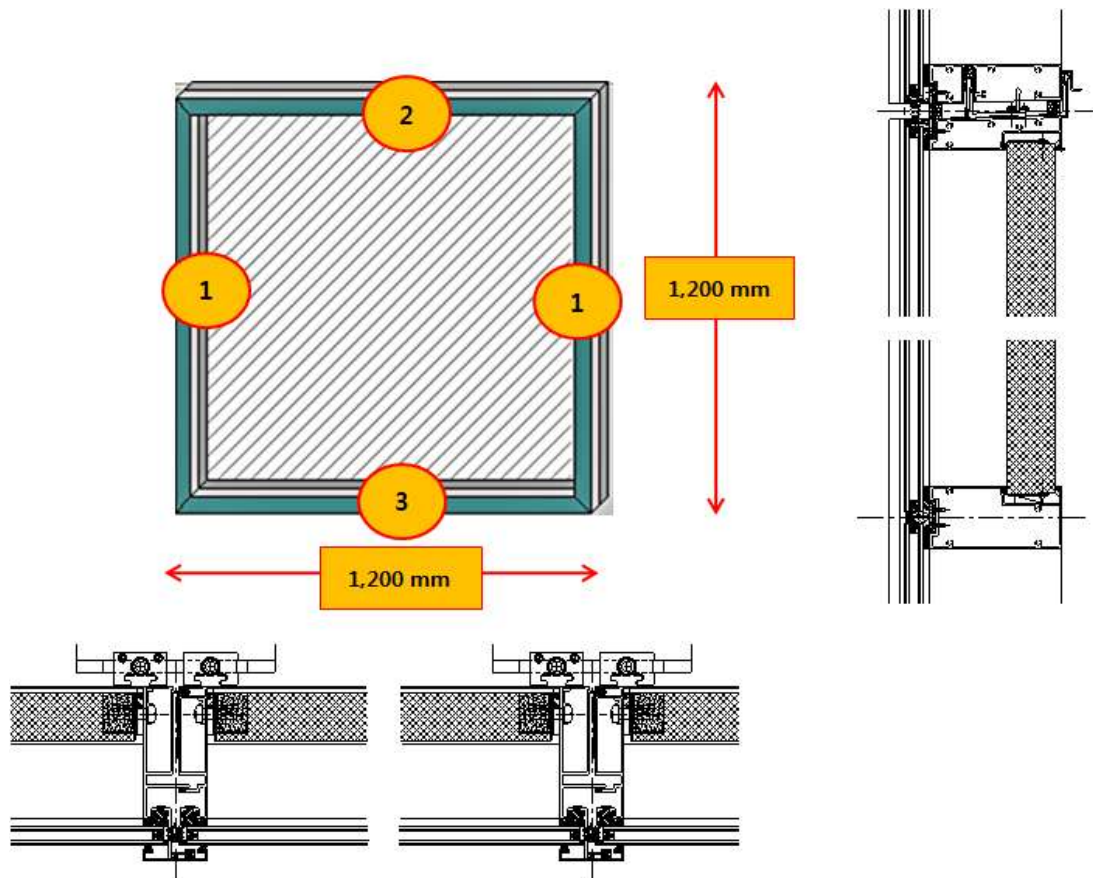
Case 별로 패널의 열관류율을 확인하였다. Case 구성은 [표3.26]과 같고 모듈은 <그림3.97>과 같으며 시뮬레이션의 결과는 [표3.27]과 같다. 단열성능

<표 3.26> 단열성능 평가를 위한 커튼월 시스템의 구성

구분	Back Panel 구성	열관류율의 계산
기존 커튼월 구성	Spandrel Glass(2면 LOW-E 유리) + Back Panel (1.2t Steel.Sheet + 85mm Glass Wool +일면은 박)	Back Panel + Aluminum Frame (Mullion + Sill + Head)
개발기술	Spandrel Glass(2면 LOW-E 유리) + 하이브리드 경량무기발포 세라믹보드(THK. 50mm)	

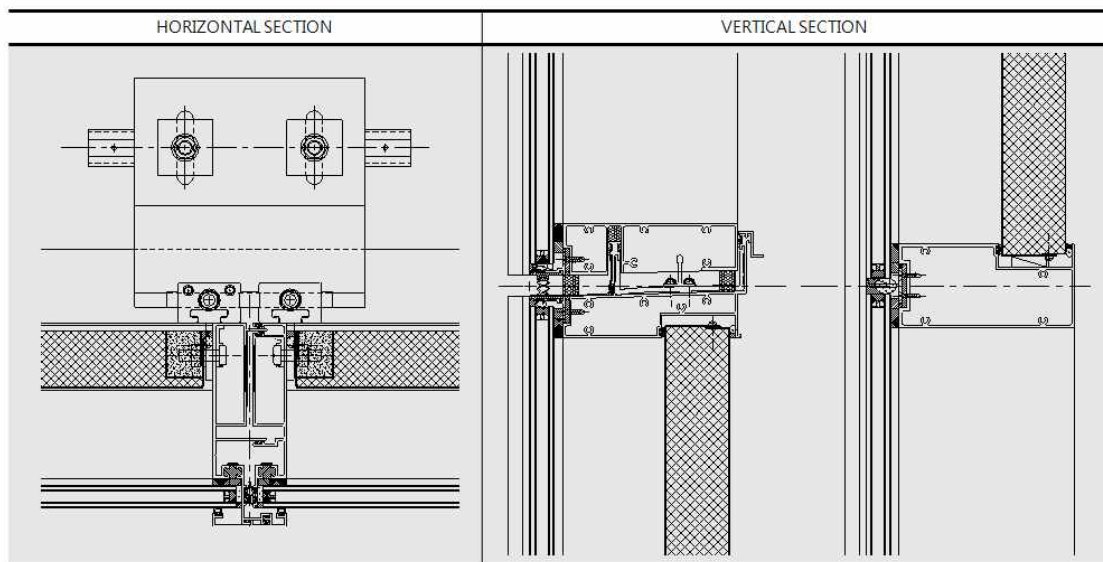
<표 3.27> 열관류율 시험 결과

단위 : W/m ² ·K		
구 분	기존 커튼월 시스템	개발기술
복합 열관류율 (Back Panel + Frame Assembly)	0.872	0.879

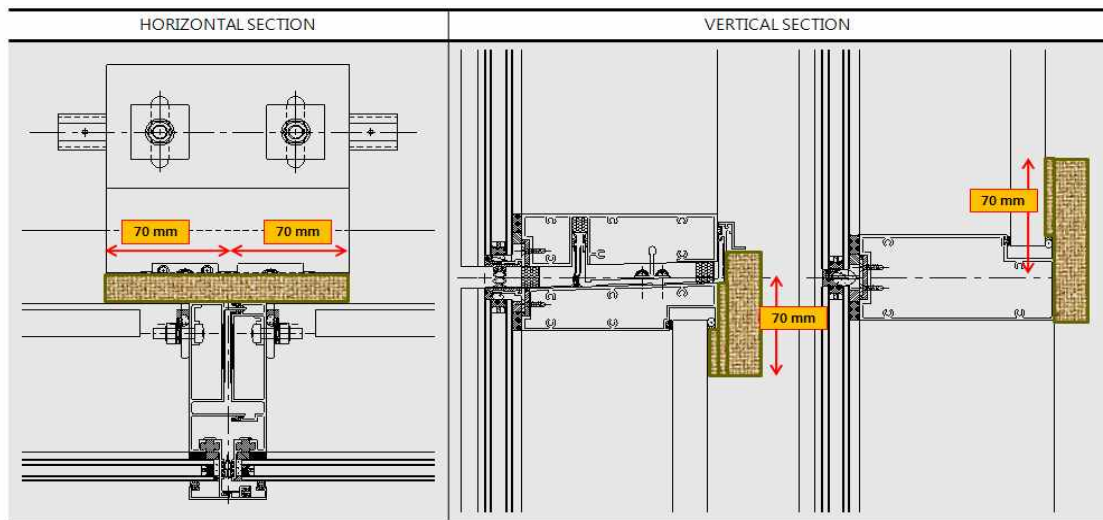


<그림 3.97> Module size

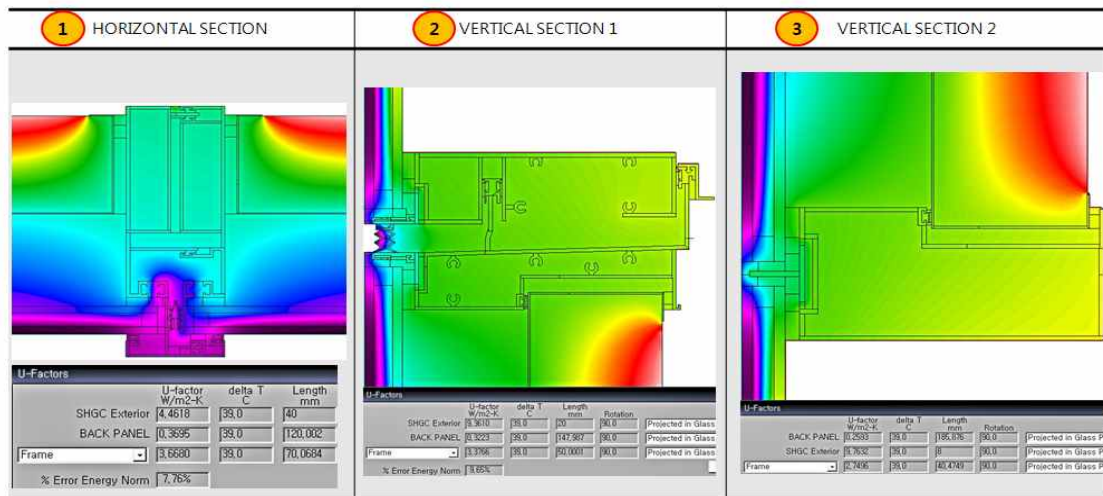
(2) Simulation



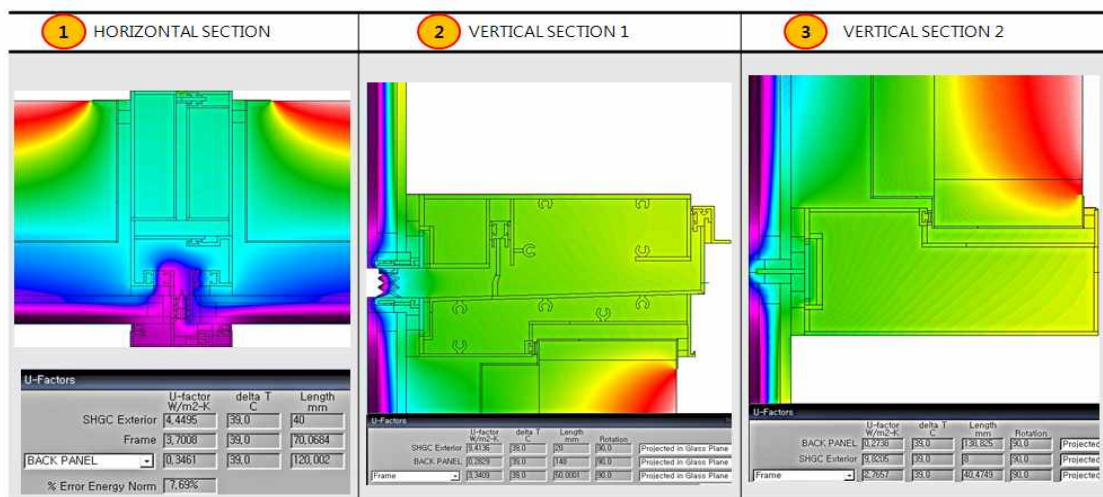
<그림 3.98> 기본안 상세도면



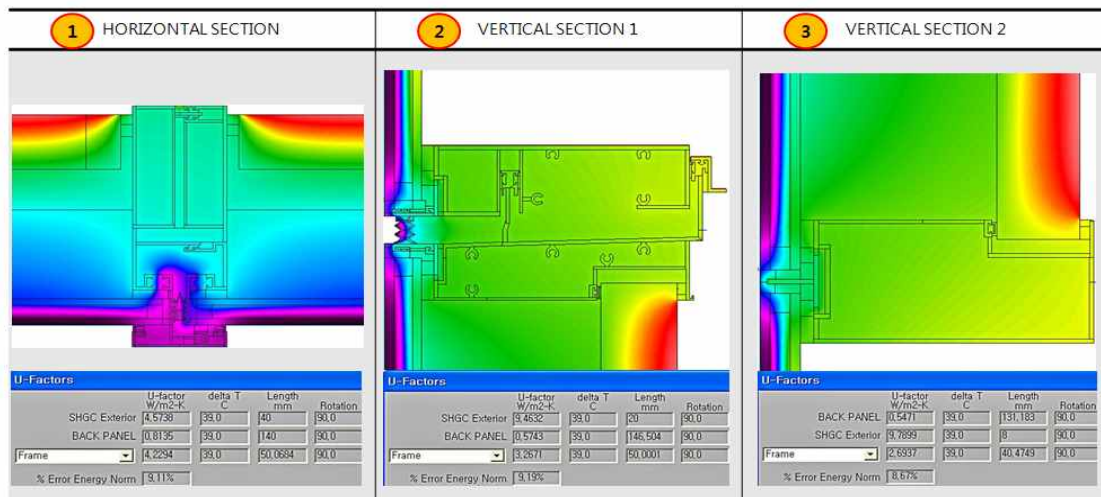
<그림 3.99> Frame cover 적용 상세도면



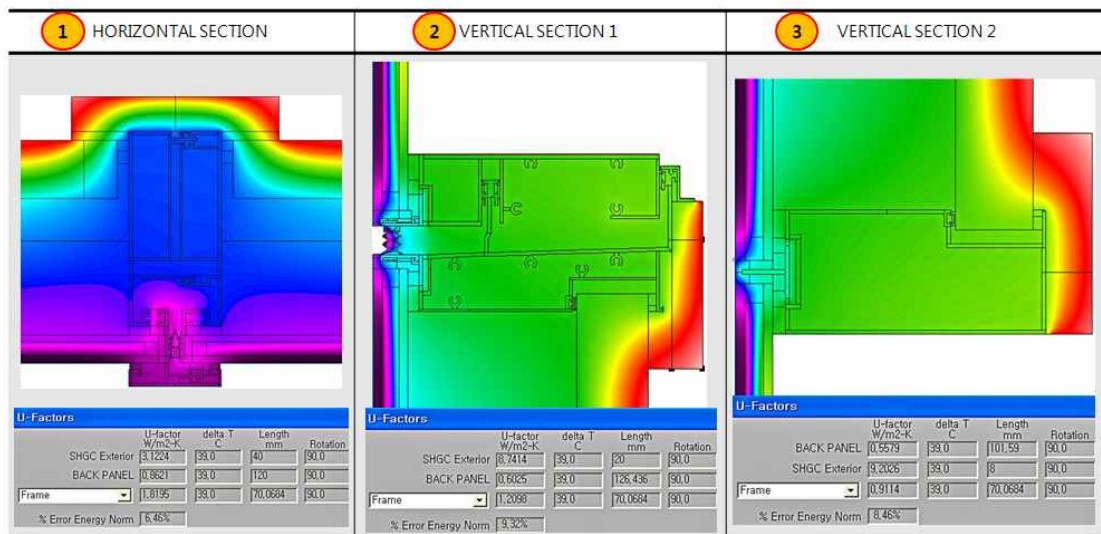
<그림 3.100> Case 1 시뮬레이션 결과



<그림 3.101> Case 2 시뮬레이션 결과



<그림 3.102> Case 3 시뮬레이션 결과



<그림 3.103> Case 3 + Frame cover 시뮬레이션 결과

경량무기발포 세라믹보드로 Back Panel 을 대용한 경량무기발포 세라믹보드를 Mullion 전면부에 설치하여 별도의 Back Panel 취부 없이 Spandrel 구간을 형성한 경우 열관류율은 $0.879 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 이며 기존의 커튼월 시스템과 거의 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

6. 경량무기발포 세라믹보드를 적용 커튼월의 테스트 베드

가. 시공절차

1) 경량무기발포 세라믹보드의 가공 및 절단

(가) 경량무기발포 세라믹보드는 공장에서 제조 및 가공한 제품을 사용하는 것을 원칙으로 하나 현장 조건에 따라 전동절단기를 이용하여 절단하여 설치할 수 있다.

(나) 절단면은 직각이 되도록 하고, 진동에 의해 파손이나 균열이 발생되지 않도록 유의한다.



<그림 3.104> 경량무기발포 세라믹보드의 절단

2) 커튼월 프레임 고정

(가) 경량무기발포 세라믹보드의 긴 변의 길이가 고정되는 멀리언 간 안목치수 이하로 제조되었는지 확인하고 치수가 클 경우 “ 1) 경량무기발포 세라믹보드의 가공 및 절단”방법에 따라 현장에서 절단한다.

(나) 경량무기발포 세라믹보드를 커튼월 프레임 내부에 설치시 최초 설치하는 경량무기발포 세라믹보드는 짧은 변이 좌우 멀리언 내부, 긴 변은 트랜섬 상단에 면하도록 세우고 경량앵글을 이용하여 짧은 변은 좌우 양 끝 단부, 긴 변은 하단부의 3등분 지점 2개소를 스크류피스로 고정한다.

(다) 최초 설치한 경량무기발포 세라믹보드에 연속하여 경량무기발포 세라믹보드를 설치하는 경우 경량무기발포 세라믹보드의 좌우 짧은 변의 양 끝 단부를 경량무기발포 세라믹보드와 면하는 멀리언과 경량앵글을 이용하여 스

크류피스로 고정한다.

- (라) 최종 설치하는 무기질 단열재는 짧은 변이 좌우 멀리언 내부, 긴 변은 트랜섬 하단에 면하도록 세우고 경량앵글를 이용하여 짧은 변은 좌우 양 끝 단부, 긴 변은 상단부의 3등분 지점 2개소를 스크류피스로 고정하여 무기질 단열재의 커튼월 프레임 고정을 마무리한다.



<그림 3.105> 무기발포 세라믹보드 설치

3) 경량무기발포 세라믹보드의 접합

- (가) 경량무기발포 세라믹보드를 적층하여 설치하는 경우 경량무기발포 세라믹보드간의 접합면 가운데에 최소 두께 10mm 이상 방화실란트를 도포한 후 밀실하게 접합하며 별도의 고정 철물은 이용하지 않는다.
- (나) 최대 접합성능을 확보할 수 있도록 방화실란트의 가사시간, 경화시간 등을 충분히 확인한 후 시공한다.



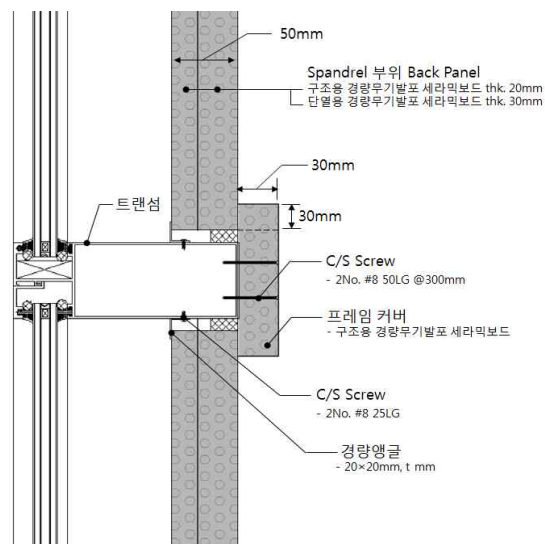
<그림 3.106> 경량무기발포 세라믹보드 접합 조인트



<그림 3.107> 커튼월 프레임 커버 설치

4) 커튼월 프레임 커버 설치

- (가) Spandrel 후면 Back Panel로 경량무기발포 세라믹보드의 설치가 완료된 후 내부에 면한 커튼월 프레임은 화재에 노출되지 않도록 강도 향상용 경량무기발포 세라믹보드를 프레임 폭보다 양 변으로 각각 20mm 이상 내어진 크기의 커버를 공장에서 절단하여 현장에 운반한 후 설치한다.
- (나) 커튼월 프레임 커버는 커버 중앙부에 4개소를 동일한 간격으로 스크류 피스($\phi \times \text{mm}$)로 프레임에 고정한다.
- (다) 커튼월 프레임 커버는 부재의 길이가 길고 폭이 적어 파손의 위험이 매우 크므로 운반 및 설치시 주의한다.



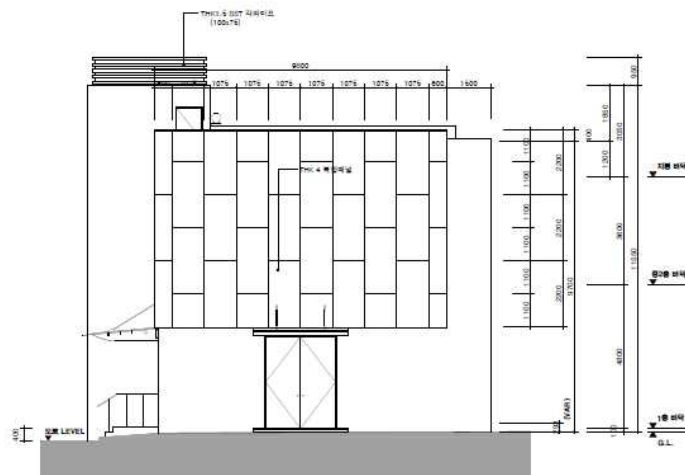
<그림 3.108> 경량무기발포보드의 설치
예

(가) 경량무기발포 세라믹보드를 커튼월에 설치한 후 남아있는 틈새는 내화성능 확보를 위하여 실내방향에서 방화 실란트로 마무리한다.

(나) 커튼월 프레임 커버를 부착한 조인트도 방화실란트로 마무리한다.

(다) 최종적으로 경량무기발포 세라믹보드를 설치한 Spandrel 전체 부위의 틈새 여부를 확인하고 방화실란트로 마무리하여 빈틈이 없도록 한다.

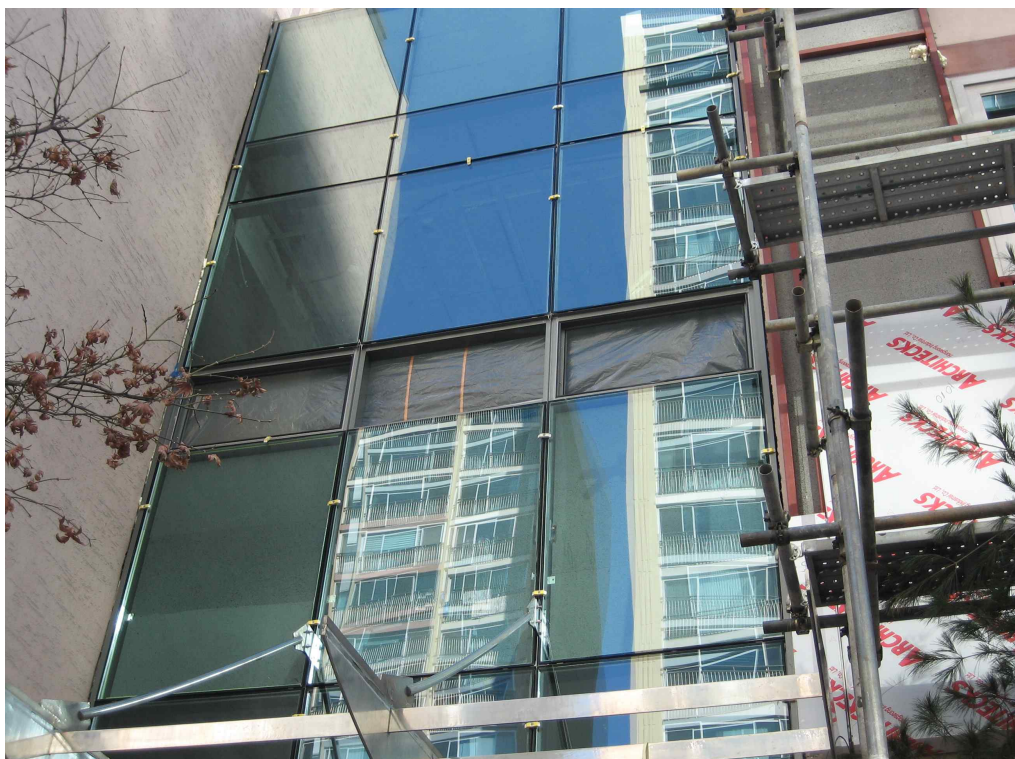
1 정면도
EL-01A
SCALE : 1/150



1 우측면도
EL-02A SCALE : 1/150

– 133 –

다. 테스트베드 현장 시공사진



<그림 3.112> 테스트베드 현장(현대산업개발 기술연구소)



<그림 3.113> 경량 무기발포 세라믹보드 설치



<그림 3.114> 커튼월 스펠드럴 구간 적용



<그림 3.115> 경량 무기발포 세라믹보드 가공

7. 소 결

경량무기발포 세라믹보드를 커튼월에 적용하여 연소확대 방지 및 대피시간을 확보할 수 있는 시스템을 제안하고자 하였다.

기존 커튼월 시스템에 발생하는 문제점을 요약하면 아래와 같다.

첫째. 백판넬에 웨이브 현상, 휨현상 발생

불소수지 도장 시 Baking 과정에서 철판의 휨이 발생하여 Unit 시공 후에도 시각적인 Wave 현상 발생. 또한 철판 절곡 후 Spray 도장으로서 도막 두께가 균일하지 않거나, 많이 사용하는 자재인 Steel인 경우 AL Unit와 접촉 시 Unit에 부식 발생됨

둘째. 백판넬 내부 글라스울 취부에 따른 단열취약성

이는 특성상 수분에 취약하여 뭉침, 처짐 현상등이 발생하며 또한 시공시 훼손에 의해 단열효과가 떨어진다.

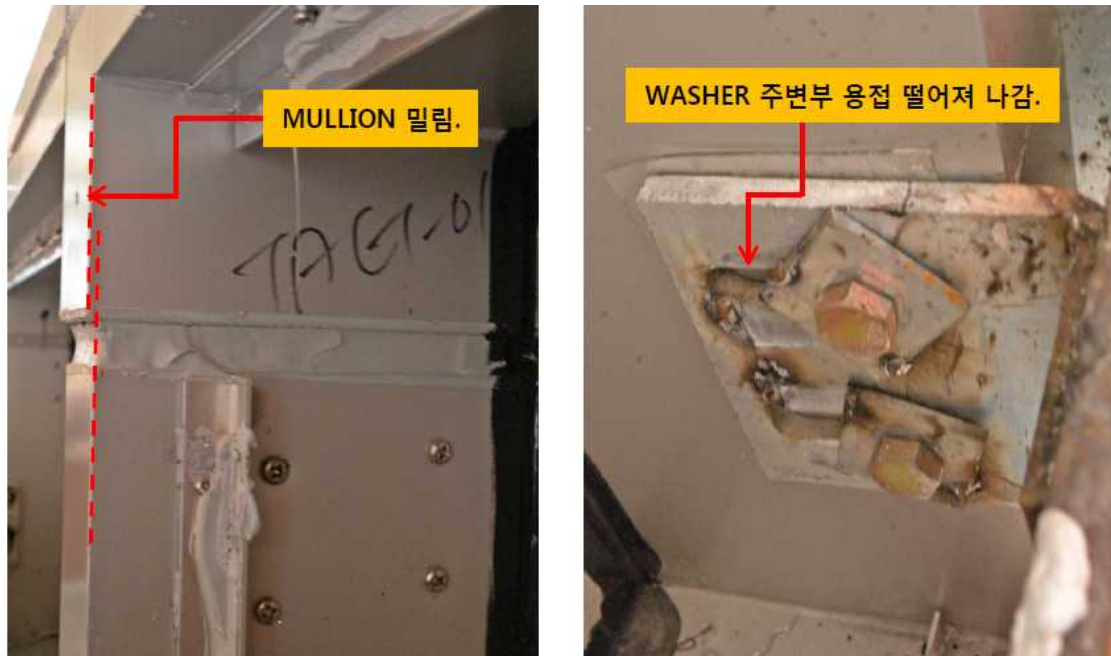
셋째. 열성능인 경우도 백판넬 부위뿐만 아니라, 스펠드럴 전체부위로 봤을 때는 성능이 떨어진다. 따라서 Mullion 전면부를 감싸는 형태로 시스템을 구성했을때 효과적인 단열성능이 발휘될 것으로 판단된다.

시공법 관련하여서는 아래와 같이 슬라브와 동일 선상인 프레임의 스펠드럴구간에 장착되는 수직내화재(경량 무기질보드)와 슬라브와 수직내화재 사이의 공간을 마감하는 층간내화재를 포함하여 구비되는 것을 특징하며, 이때 수직내화재를 고정시키도록 프레임의 스펠드럴구간에 고정되는 지지부재를 포함하여 구비되는 것을 특징으로 한다.

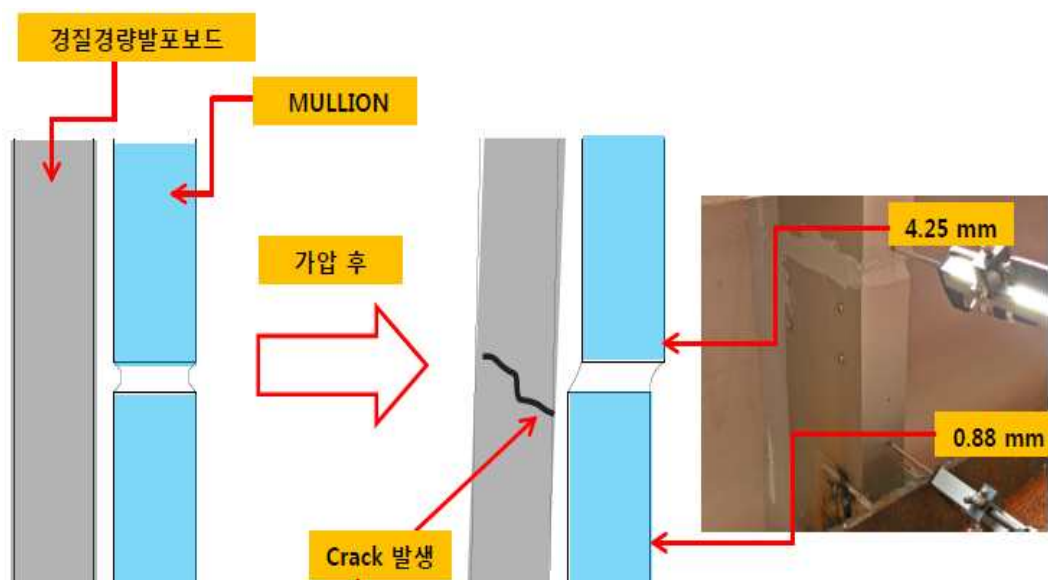
경량무기발포 세라믹보드를 적용한 Mock-up 시험 결과는 아래와 같다.

- 열순환시험, 결로시험, 기밀시험 결과, 층간변위시험 결과는 만족스러운 결과를 얻었다.
- 수밀시험 결과, 현재 경량 무기질보드는 개발제품으로 누수가 발생하였으나, 일부 누수가 발생하지 않은 제품이 있었다. 앞으로의 연구 진행을 통해 성능개선이 이루어진다면 충분한 가능성이 있을 것으로 판단된다.
- 구조성능시험 결과
 - 정압 100% 일 때, 일부 패널에 Crack이 발생하였다.

- 위의 시험 완료 후 내부 확인 결과 알미늄 커튼월에서의 Anchorage 작업 불량으로 E.J 구간에서 Mullion 이 밀리는 현상이 발생하였고 그 영향으로 인해 경량 무기질보드에 Crack 이 일어난 것으로 사료된다.



<그림 3.116> 내부 E.J 구간(1차 시험 후)



<그림 3.117> Crack 발생 원인 분석

- 위의 현상으로 인해 2차 구조성능시험을 진행하였으며, 그 결과 1차 구조성능 시험과 마찬가지로 정압 100%일 때 같은 부위에 Crack 발생하였다.
- E.J 를 중심으로 ALUM. Frame 의 변위량이 차이를 보이면서 (E.J 중심으로 하부 0.88 mm, 상부 4.25 mm) 경질경량발포보드에 영향을 주었으며 구조용 Sealant에서 그러한 변위를 흡수하여야 하나 Sealant의 강성보다 발포보드의 전단 파괴 한계가 적은 것으로 판단된다.

제3절 경량무기발포 세라믹보드를 이용한 커튼월 내화성능 향상 공법

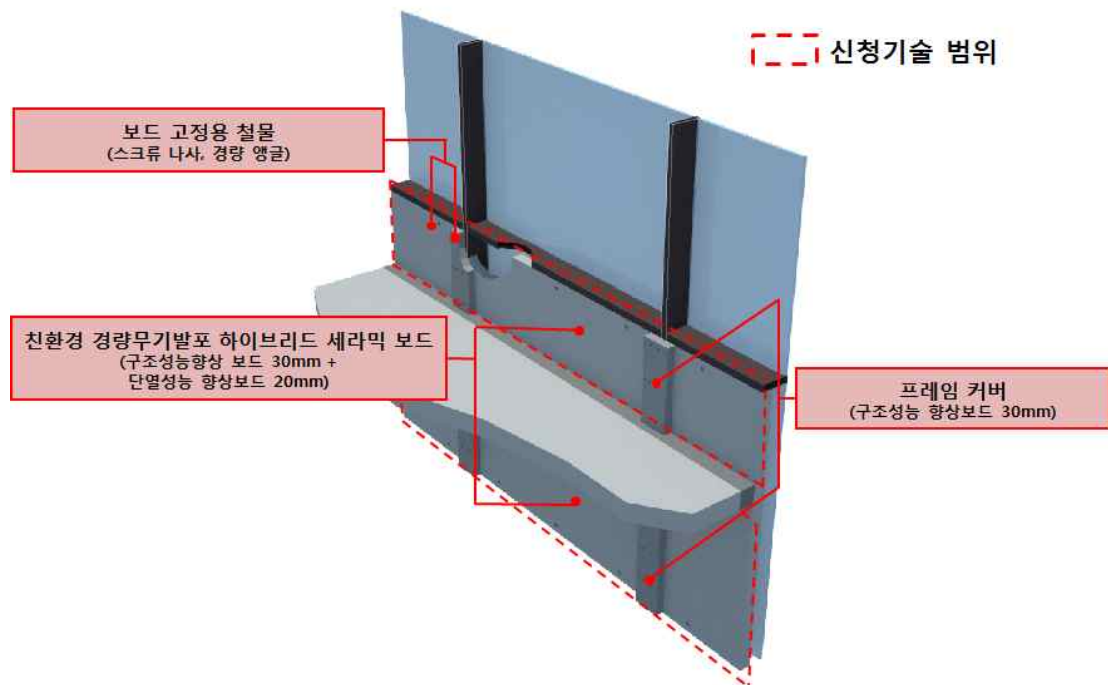
1. 기술의 내용 및 범위

건설기술관리법 제 2조에서는 건설기술을 다음과 같이 분류하고 있다. 본 신청기술은 커튼월 시스템의 내화향상 공법에 관한 것으로 “가”목의 “건설공사에 관한 시공”기술로 건설기술에 포함되며 건설신기술 분야는 “기타 마감” 분야에 포함된다.

2. “건설기술”이란 다음 각 목의 사항에 관한 기술을 말한다. 다만, 안전에 관하여는 「산업안전보건법」에 따른 근로자의 안전에 관한 사항은 제외한다.
- 가. 건설공사에 관한 계획·조사(측량을 포함한다. 이하 같다)·설계(「건축사법」 제2조제3호에 따른 설계는 제외한다. 이하 같다)·설계감리(設計監理)·시공·안전점검 및 안전성 검토
 - 나. 시설물의 검사·안전점검·정밀안전진단·유지·보수·철거·관리 및 운용
 - 다. 건설공사에 필요한 물자의 구매와 조달
 - 라. 건설공사에 관한 시험·평가·자문 및 지도
 - 마. 건설공사의 감리
 - 바. 건설장비의 시운전(試運轉)
 - 사. 건설사업관리
 - 아. 그 밖에 건설공사에 관한 사항으로서 대통령령으로 정하는 사항

가. 기술의 내용 요약

- 본 기술은 화재에 강하고 외력에 견디고 자립이 가능한 구조성능을 가지며 단열성 및 내결로성이 우수한 하이브리드 경량무기발포 세라믹보드를 개발하고 이를 기존 커튼월 시스템의 화재 발생시 취약구조인 커튼월의 Spandrel Back Panel 대체와 프레임 덮개 부재로 고정·긴결하는 공법으로 프레임과 Back Panel을 포함한 커튼월 시스템에 있어서 기존 공법 이상의 단열성능 및 결로성능을 유지하면서 기존 공법은 갖지 못하는 내화성능 30분을 만족하는 커튼월 내화향상 공법이다.



<그림 3.118> 경량무기발포 세라믹보드를 커튼월 Back Panel로 적용한 내화향상 공법

2. 기술의 신규성

커튼월 시스템의 화재 발생시 화재가 확산되는 주요 경로인 Spandrel 부위에 설치하는 Back Panel로 기존 공법은 Glass wool 단열재를 설치하는 대신 불연성의 경량무기발포 세라믹보드를 설치하고, 화재에 노출되는 알루미늄 프레임을 보호하기 위하여 기존 공법에는 없던 경량무기발포 세라믹보드를 이용한 프레임커버를 설치하여 내화성능을 향상시킨 공법이다.

(1) 기존 기술과 차별성

경량무기질 발포 세라믹 보드 제조기술은 한국세라믹기술원이, 이를 이용한 커튼월 내화성능 향상 공법은 현대산업개발, 유신건축, 지메텍 등이 특허기술을 보유하고 있으며, 신청기술과 관련하여 3건은 특허등록, 2건은 특허 출원 중이다.

구분	등록번호 (출원번호)	등록권리자 (출원인)	등록일 (출원일)	명칭	내용요약
1	등록번호 : 10-126347 (출원번호 : 10-2010-01398 17)	한국세라믹기 술원	2013.05.06 (2010.12.31)	내화성 커튼월 경 량 내화보드용 내 화 단열 접착제의 조성물 및 이를 이 용한 이음방법	고층빌딩 알루미늄 커튼월의 내화성능을 향 상하기 위한 경량 무기발포 내화보드 시스템 에 적용되는 알루미늄 패널과 경량 무기발포 내화보드의 접착 및 건축물 구조체와 경량 무기발포 내화보드의 접착에 사용되는 내화 단열접착제의 조성물 및 이를 위한 접합방법 에 관한 것임
2	등록번호 : 10-1131986 (출원번호 : 2011-0083854)	현대산업개발 (주) (주)지메텍 (주)유신건축 홍성산업(주)	2012.03.23 (2011.08.23)	내화성 경량 무기 질보드를 이용한 커튼월 구조 및 이 의 시공방법	건물의 슬라브 및 슬라브와 동일 선상의 슬 라브 상, 하부에 위치하는 스펀들 구간 에 마감된 마감재 사이의 공간을 마감 내화재로 페쇄시킴으로 아래층의 화재 발생시 상부층 으로의 화염전달 방지 및 화염 전달 속도를 지연시키고, 각 층의 공기 이동을 차단하여 에너지 효율을 높인 내화성 경량 무기질 보 드를 이용한 커튼월 구조 및 이의 시공방법 에 관한 것임
3	등록번호 : 10-1168757 (출원번호 : 10-2012-00537 22)	현대산업개발 (주)	2012.07.19 (2012.05.21)	내화성 경질 경량 보드를 이용한 커 튼월 구조 및 이 의 시공방법	건물의 슬라브 상, 하부에 위치하는 스펀들 구간의 멀리언과 트랜섬을 내화재로 감싸 화재 발생시, 멀리언과 트랜섬의 손상을 방 지하면서 주구조체인 프레임 보호하여 구 조 안전성을 향상시키고, 내화성능을 강화하 여 화염 및 유독가스의 상부층 전달 속도를 지연시켜 대피시간을 확보하고, 층별 공기이 동을 차단하여 에너지효율을 높이고 경제성 을 향상시키는 내화성 경질 경량 보드를 이 용한 커튼월 구조 및 이의 시공방법에 관한 것임
4	(출원번호 : 10-2010-01398 16)	한국세라믹기 술원	(2010.12.31)	내화성 커튼월용 무기발포 내화보드 조성물 및 이를 이 용한 경량 무기발 포 내화보드	고층빌딩 알루미늄 커튼월 시스템에 적용되 고 있는 글라스울, 폴리에스테르울 및 폴리 스티렌 발포패널 등의 단열재를 대체한 무기 계 경량 무기발포 내화보드로서 고층빌딩 커 튼월 화재의 수직전파를 차단하여 화재안전 성 및 차열성을 향상시킨 무기발포 내화보드 의 부정형 조성물과 이 조성물로부터 제조된 정형 경량 무기발포 내화보드에 관한 것으 로, 고층빌딩 알루미늄 커튼월의 내화성능을 향상시킬 수 있으며 층간 개구부 및 구조체 와 커튼월 사이를 통해 전파되는 화재를 예 방할 수 있음
5	(출원번호 : 10-2011-01470 39)	한국세라믹기 술원	(2011.12.30)	커튼월 내화성 경 량보드용 접착 조 성물 및 이를 이용 한 알루미늄 커튼 월 구성방법	고층 건축물에 적용되는 알루미늄커튼월의 층간화재 전파를 효율적으로 제어하기 위해 내화성 경량보드를 상기 커튼월에 접착시키 기 위해 사용되는 내화성 경량보드 접착 조 성물과 그 조성물을 이용하여 내화성 알루미 늄 커튼월을 구성하는 방법에 관한 것임

일반적으로 현재 적용되는 기존 커튼월공법과 “건축물 마감재료의 난연성능기준
및 화재 확산 방지구조 기준”에서 제시하는 커튼월의 화재확산을 방지하기 위하여
설치하는 Spandrel 부분의 화재확산 방지구조를 신청기술을 비교하여 다음과 같이
그 차별성을 설명하였다.

3. 기술의 진보성

가. 진보성

유사 건축자재인 ALC에 비하여 우수한 압축강도와 열전도율을 갖는 불연재료인 개발 경량무기질 발포세라믹 보드를 화재에 취약한 커튼월 스펠드럴의 Back Panel과 알루미늄 프레임 커버로 적용한 신청기술은 커튼월 시스템의 구조성능기준을 만족하며 법적기준인 화재확산방지구조보다 우수한 내화성능은 물론 기존 커튼월 공법은 만족하지 못하는 내화성능 30분 기준을 만족하는 내화성능향상 커튼월 공법으로 공사기간은 기존 커튼월 공법과 동일하다.

(1) 품질 향상

○ 경량무기발포 세라믹보드 및 커튼월 시스템의 품질을 관련 규격, 법규 및 기준 등에서 제시한 품질 기준에 따라 시험을 수행하였으며, 그 결과를 정리하였다.

구분	관련 법규 및 기준		품질기준 세부내용	분 석
경량 무기 질 발포 보드 품질	KS 기준	KS F 2701 경량기포콘크리트 블록(ALC 블록)	○ 강도향상용 보드의 밀도는 0.5품 기준(절건비중 0.45 이상 0.55 미만)에 적합할 것.	- 0.49 g/cm ³ 으로 0.5품 이하의 경량성 확보
			○ 강도향상용 보드는 밀도 0.7품 기준 압축강도인 6.9 N/mm ² 이상의 압축강도를 가질 것.	- 압축강도 8.4 N/mm ² 으로 우수한 구조성능 확보
	고시	건축물의 에너지 절약 설계 기준	○ 단열성 향상보드의 열전도율이 기타 단열재 범위인 0.047 ~ 0.051 W/mK 수준에 근접할 것	- 열전도율 0.0579 W/mK 수준확보
	고시	건축물 마감재료의 난연성능 및 화재 확산 방지구조 기준	○ 불연재료는 다음의 기준에 적합해야 함. 1. KS F 1182(건축 재료의 불연성 시험 방법)에 따라 가열시험 개시 후 20분간 가열로 내의 최고온도가 최종평형온도를 20K 초과 상승하지 않아야 하며, 가열종료 후 시험체의 질량 감소율이 30% 이하여야 함. 2. KS F 2271(건축물의 내장 재료 및 구조의 난연성 시험방법) 중 가스유해성 시험 결과, 실험용 쥐의	- 최종 온도상승 2.4 K로 최종평형온도 20K 이내임. - 질량감소율 0.4%로 30% 이내임. - 가스유해성은 13분 50초로 9분 이상임을 확인. - 결과적으로 불연재료를 임을 확인함. - 기존 재료인 Glass Wool(48K)은 준불연재료

			평균행동정지 시간이 9분 이상이어야 함.	로 이보다 우수한 불연 성능을 가짐.
커튼월 시스템 품질	건축공사표준시방서	커튼월공사중실물모형실험	○ 성능시험 시행여부 규모 시험종목 및 판정기준은 공사시방에 따르고, 공사시방에 정한 바가 없을 때에는 다음에 적합할 것. 1. 예비시험 : 설계풍압력의 50%를 일정시간(30초) 동안 가압하여 시험장치에 설치된 시료의 상태를 일차적으로 점검하여 시험실시 가능 여부를 판단. 2. 기밀시험 : 지정된 압력차(공사시방에 정한바가 없을 때에는 1.57P.S.F.(시속 40km 7.8kgf/m²) 아래서 유속을 측정한 뒤 시험체에서 발생하는 공기 누출량 측정하고, 설계기준의 기밀성능을 만족해야 함. 3. 정압수밀시험 : 설계풍압력의 20% 압력 아래에서 3.4 l/min m²의 유량을 15분 동안 살수(water spray)하여 실시, 시험장치에 설치된 시료의 바깥에서 누수상태를 관찰하여 누수가 발생하지 않아야 함. 4. 동압수밀시험 : 규정된 압력의 상한값까지 1분동안 정압으로 예비로 가압한 뒤에 시료의 이상여부를 확인, 시료 전면에 4 l/min m²의 유량을 균등히 살수하면서 규정된 압력에 따라 KS 기준 맥동압을 10분동안 가한 상태에서 누수가 없어야 함. 5. 구조시험 (1) 설계풍압력의 100%를 단계별로 증감(대개 50%, 100%, -50%, -100%의 4단계로 구분함)하여 설계풍압력 100% 아래에서 구조재의 변위와 측정 유리의 파손여부를 확인하고, 설계기준을 만족하여야	예비시험결과 시험체 이상없음 기밀성능 시험결과 이상없음 정압수밀성능 시험결과 일부 누수 발생 동압수밀성능 시험결과 일부 누수 발생 설계풍압력 100% 구조성능 실험결과 이상없음 설계풍압력 150% 구조성능 실험결과 일부 용접부위 변형발생(시공불량 원인) 시험결과 기밀성, 구조성능은 이상없었으나, 수밀성능 시험에서 일부 누수 발생함. 본 실험은 경량무기발포 세라믹보드를 외장재로 사용한 시험결과로 내부 단열재 대체용으로 사용할 경우 문제가 없는 것으로 판단됨.

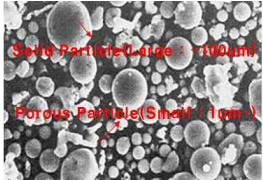
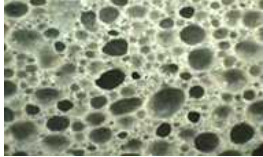
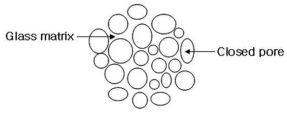
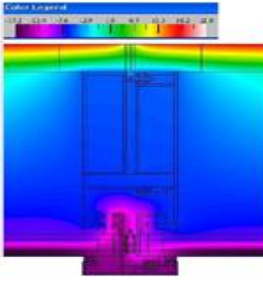
			함. (2) 설계풍압력의 150%에 대해 (1)항과 같이 실시, 잔류 변형량을 측정하기 위해 $0\text{kg}/\text{m}^2$로 압력제거시 변위를 측정하여 $L/1000$ 이하이어야 함.(L: 지점간의 거리)	
	고시	건축물 마감재료의 난연성능 및 화재 확산 방지구조 기준	○ 수직 화재확산 방지를 위하여 외벽 마감재와 외벽마감재 지지구조 사이의 공간(“화재확산방지재료”부분)을 다음 각 호 중 하나에 해당하는 재료로 매 층마다 최소 높이 400mm 이상 밀실하게 채울 것. 1. KS F 3504(석고 보드 제품)에서 정하는 12.5mm 이상의 방화 석고 보드 2. KS L 5509(석고 시멘트판)에서 정하는 석고 시멘트판 6mm 이상인 것 또는 KS L 5114(섬유강화 시멘트판)에서 정하는 6mm 이상의 평형 시멘트판인 것 3. KS L 9102(인조 광물섬유 단열재)에서 정하는 미네랄울 보온판 2호 이상인 것 4. KS F 2257-8(건축 부재의 내화 시험 방법-수직 비내력 구획 부재의 성능 조건)에 따라 내화성능 시험한 결과 15분의 차염성능 및 이면온도가 120K 이상 상승하지 않는 재료	- 커튼월의 화재확산을 방지하기 위하여 불연 재료를 위험부위에 대체하도록 권고하고 있음 - 또는 내화시험에서 15분 이상의 내화성능을 갖는 재료를 사용하도록 함 - 신청기술은 내화성능은 32분으로 화재확산 방지구조 기준을 만족함
	규칙	건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙	○ 내화구조 성능 기준에서 외벽 중 연소의 우려가 없는 비내력 벽체의 내화성능은 30분을 기준으로 함.	- 내화성능 시험결과, 기존 커튼월 시스템은 20분, 신청기술은 32분의 내화성능을 갖는 것으로 확인됨. - 기존 커튼월 시스템은 외벽의 내화구조 성능기준을 만족하지 못하나, 신청기술은 만족함.

(2) 첨단기술성

본 기술은 고층빌딩의 미관 및 시공성 등을 위해 일반적으로 적용하는 기존의 커튼월 공법이 화재 발생시 확산이 용이하다는 문제점이 방송 및 언론 등을 통해 사회적으로 확산되면서 이를 방지할 수 있는 내화성능 향상 커튼월 공법 기술 개발을 하였다.

본 기술에 사용되는 경량무기발포 세라믹보드는 폐유리, 플라이애쉬 등 폐자원을 재활용하여 생산하는 친환경 기술에 속하며, 신청기술의 단열성능은 기존 커튼월공법보다 우수하여 국가 에너지 절감정책에 기여할 수 있고, 기존 커튼월 공법은 발현할 수 없는 내화성능을 보유한 첨단 기술이라 할 수 있다.

[표 3.28] 주요성과물 및 특징

주요성과물	특징	
경량무기발포 세라믹보드	- 폐유리, 플라이애쉬 등 폐자원을 재활용하여 무기질 발포보드를 제조하는 친환경 기술임	  Fly ash + Cullet(폐유리) ↓   무기질 단열재 Glass matrix, Closed pore $\text{Graphite} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}$
경량무기발포 세라믹보드 이용 커튼월 내화향상공법	- 유리, Back Panel, 프레임 모두 고려하여 기존 기술보다 단열성능이 우수한 커튼월 공법 개발로 에너지 절감에 기여 - 기존 커튼월공법은 가지지 못하는 내화성능을 보유	  복합단열성능 향상 내화성능 향상

4. 기술의 경제성

가. 기존기술과의 공사비 분석

1) 시공비 절감 효과

가) 개발기술의 고유영역에 해당하는 시공절차 부분

기존기술 시공절차	신청기술 시공절차	표준품셈 관련 부문 장-절-항	개발기술 고유영역
① 기준 먹메김	① 기준 먹메김	건축-11-1 먹메김	
② 구체 부착철물 및 프레임의 설치	② 구체 부착철물 및 프레임의 설치	건축-16-4-1 알루미늄 프레임 설치	
③ 부속재료의 설치 (아연도강판 설치)		건축18-3-1 조합 유성 페인트 붓칠	
③ 부속재료의 설치 (줄눈 설치)	③ 부속재료의 설치 (줄눈 설치)	건축12-12-1 수밀코킹	
③ 부속재료의 설치 (Glass Wool 설치)		건축-19-6-2 암면판 설 치	
③ 부속재료의 설치 (백패널 설치)	③ 부속재료의 설치 (경량무기발포 세라믹 보드 설치)	건축-16-4-2 외벽용 강 재패널 설치	○
④ 유리 설치	④ 유리 설치	건축-17-1-2 복층유리	
⑤ 실링 공사(유리설치 외)	⑤ 실링 공사	건축-12-12-1 수밀코킹	
⑥ 화연방지층의 시공 (내화 충전재 설치)	⑥ 화연방지층의 시공 (내화 충전재 설치)	건축-19-6-2 암면판 설 치	
⑦ 화연방지층의 시공 (내화 실란트 설치)	⑦ 화연방지층의 시공 (내화 실란트 설치)	건축-12-2-1 수밀코킹	
⑧ 보양 및 청소	⑧ 보양 및 청소	건축-2-10 건축물 현장 정리	

나) 시공절차별 품 작성

(1) 기존 커튼월 공법

시공절차 세부항목	소요 인력, 장비, 자재		단 위	소요 량	단가출처	적용근거
	품명	규격				
① 기존 먹메김	건축목공		인	0.124	표준품셈	건축11-1 먹메김
② 구체 부착철물 및 프레임설치	1) 커튼월 및 부자재 제작후 현장운반					
	알루미늄커튼월	압출	kg	124.9	시중조사 5월	
	알루미늄커튼월도장	불소코팅 3회	kg	124.9	시중조사 5월	
	알루미늄 단열바의 단열재	A-ZONE	M	57.8	시중조사 5월	
	PROJECT창 하드웨어		SET	3	시중조사 5월	
	VENT 제작		SET	3	시중조사 5월	
	롤방충망 제작	1.0*0.54	SET	3	시중조사 5월	
	가공,조립		KG	124.9	시중조사 5월	
	포장		KG	124.9	시중조사 5월	
	운반비	조립-현장	KG	124.9	시중조사 5월	
	2) 커튼월 현장설치					
	설치부자재	FASTENER	EA	24	시중조사 5월	
	설치부자재	SET ANCHOR	EA	24	시중조사 5월	
	설치부자재	BOLT&NUT	EA	24	시중조사 5월	
	설치부자재	사각와사	EA	48	시중조사 5월	
	기타부속자재		KG	124.9	시중조사 5월	
	창호공	방충망3개설치	인	0.5	2013년상반기	
	창호공		인	3.123	2013년상반기	건축16-4-1
	보통인부		인	2.623	2013년상반기	알루미늄 프레임설치
	장비비	트럭탑재형크레인(3ton)	HR	4	2105-0003	상반기노임 적용 기계경비 적산 적용
③ 부속재료의 설치(기존백패널설치)	아연도 강판	1.2T	kg	111.7		
	1)조합페인트	철재면 2회,1급				
	조합페인트		L	1.382	적산590	건축18-3-1 조합 유성페인트 붓칠
	시너		L	0.067	적산590	
	퍼티		kg	0.666	적산590	
	연마지		매	0.833	적산590	
	공구손료	인력품의 2%	식	1		
	도장공		인	0.383	2013년상반기	

	2) 단열재 (Glass Wool)					
	글라스울	밀도 48kg/㎡, 두께 85mm	M2	8.325	시중조사 5월	건축 19-6-2 암면판 설치
	지지판		개	42	시중조사 5월	
	L-앵글		개	36	시중조사 5월	
	스크류피스		개	108	시중조사 5월	
	기타부속자재	강판+유리면재료비의5%	식	1		
	3)줄눈					
	실리콘	4.68m/㎡*6	M	28.65	시중조사 5월	건축 12-12-1 수밀코킹
	코킹공		인	0.86	2013년상반기	
	4)백패널설치					
	샷시공	백판넬 시공	인	0.167	2013년상반기	건축 16-4-2 외벽용 강재 패널 설치
	보통인부	강판절단	인	0.749	2013년상반기	
	보통인부	단열재 취부	인	0.333	2013년상반기	
	보통인부	백판넬 시공	인	0.25	2013년상반기	
	포장		M2	8.325	시중조사 5월	
	운반비	조립-현장	M2	8.325	시중조사 5월	
④ 유리설치	로이복층유리(그린)		M2	20.59	시중조사 5월	건축 17-1-2 복층유리 설치
	노턴데이프		M	116	시중조사 5월	
	구조코킹		M	77	시중조사 5월	
	웨더코킹		M	48	시중조사 5월	
	코킹공		인	0.375	2013년상반기	
	유리공		인	6.177	2013년상반기	
	장비비	트럭탑재형크레인(3ton)	HR	2.4	2105-0003	상반기노임 적용 기계경비 적산 870 페이지 적용
⑤ 실링공사 (유리설치 외)	실리콘		M	19	시중조사 5월	건축 12-2-1 수밀코킹
	코킹공		인	0.057	2013년상반기	
⑥ 화연방지층 의 시공(내화 충전재 설치)	미네랄울		M2	0.324		건축 19-6-2 암면판 설치
	핀		개	2.041		
	접착제		kg	0.097		
	내장공		인	0.022	2013년상반기	
⑦ 화연방지층 의 시공 (내화 실란트 설치)	내화실리콘		M	3.24	시중조사 5월	건축 12-2-1 수밀코킹
	코킹공		인	0.01	2013년상반기	
⑧ 보양 및 청소	보통인부		인	0.049	2013년상반기	건축2-10 건축물 현장정리

(2) 신청기술

시공절차 세부항목	소요 인력, 장비, 자재		단 위	소요량	단가출처	적용근거
	품명	규격				
① 기준 먹메 김	건축목공		인	0.124	2013년상반기	건축11-1 먹 메김
② 구체 부착 철물 및 프레 임설치	1) 커튼월 및 부자 재 제작후 현장운 반					
	알루미늄커튼월	압출	kg	124.9	시중조사 5월	
	알루미늄커튼월 도 장	불소코팅 3회	kg	124.9	시중조사 5월	
	알루미늄 단열바의 단열재	A-ZONE	M	57.8	시중조사 5월	
	PROJECT창 하드웨 어		SET	3	시중조사 5월	
	VENT 제작		SET	3	시중조사 5월	
	롤방충망 제작	1.0*0.54	SET	3	시중조사 5월	
	가공, 조립		KG	124.9	시중조사 5월	
	포장		KG	124.9	시중조사 5월	
	운반비	조립-현장	KG	124.9	시중조사 5월	
	2) 커튼월 현장설 치					
	설치부자재	FASTENER	EA	24	시중조사 5월	
	설치부자재	SET ANCHOR	EA	24	시중조사 5월	
	설치부자재	BOLT&NUT	EA	24	시중조사 5월	
	설치부자재	사각와샤	EA	48	시중조사 5월	
	기타부속자재		KG	124.9	시중조사 5월	
	창호공	방충망3개설치	인	0.5	2013년상반기	
	창호공		인	3.123	2013년상반기	건 축 16-4-1 알루미늄 프 레임설치
	보통인부		인	2.623	2013년상반기	
	장비비	트럭탑재형 크 레인(3ton)	HR	4	2105-0003	상 반 기 노 임 적용 기계경 비 적산 870 페이지 적용
③ 부속재료의 설치(경량무기 질 발포보드설 치)	경량무기발포보드 (50T)		M2	8.325	시중조사 5월	
	경량무기발포보드 (30T)		M2	1.74	시중조사 5월	
	L-앵글		개	36	시중조사 5월	
	스크류피스		개	228	시중조사 5월	
	기타부속자재	보드재료비의 3%	식	1	시중조사 5월	
	1)줄눈					
	실리콘		M	28.65	시중조사 5월	건 축 12-12-1 수밀코킹
	코킹공		인	0.86	2013년상반기	
	2)백패널설치					
	샷시공		인	0.604	2013년상반기	업체시공수량
	보통인부		인	0.906	2013년상반기	
	포장		M2	10.065	시중조사 5월	
	운반비	조립-현장	M2	10.065	시중조사 5월	
④ 유리설치	로이복층유리(그 린)		M2	20.59	시중조사 5월	건 축 17-1-2 복층유리설치

	노턴데이프		M	116	시중조사 5월	
	구조코킹		M	77	시중조사 5월	
	웨더코킹		M	48	시중조사 5월	
	코킹공		인	0.375	2013년상반기	
	유리공		인	6.177	2013년상반기	
	장비비	트럭탑재형크레인(3ton)	HR	2.4	2105-0003	상반기노임 적용 기계경 비 적산 870 페이지 적용
⑤ 실링공사 (유리설치 외)	실리콘		M	19	시중조사 5월	건축 12-2-1 수밀코킹
	코킹공		인	0.057	2013년상반기	
⑥ 화연방지층 의 시공(내화 충전재 설치)	미네랄울		M2	0.324		건축 19-6-2 암면판 설치
	판		개	2.041		
	접착제		kg	0.097		
	내장공		인	0.022	2013년상반기	
⑦ 화연방지층 의 시공(내화 실란트 설치)	내화실리콘		M	3.24	시중조사 5월	건축 12-2-1 수밀코킹
	코킹공		인	0.01	2013년상반기	
⑧ 보양 및 청 소	보통인부		인	0.049	2013년상반기	건축2-10 건 축물 현장정 리

다) 시공절차별 일위 대가

(1) 기존 커튼월 공법

시공절차 세부항목	소요 인력, 장비, 자재		단위	소요량	단가			금액(소요량×단가)				단가 출처	적용근거
	품명	규격			재료비	노무비	경비	재료비	노무비	경비	계		
① 기존 먹메김	건축목공		인	0.124		113,962			14,131		14,131	2013년 표 준 품 셈	건축 11-1 먹메김
② 구체 부 착철물 및 프레임설치	1) 커튼월 및 부자재 제작후 현장운반												
	알루미늄커튼 월	압출	kg	124.9	4,060			507,094			507,094	시 중 조 사 5월	
	알루미늄커튼 월 도장	불소코팅 3회	kg	124.9	1,760			219,824			219,824	시 중 조 사 5월	
	알루미늄 단열 바의 단열재	A-ZONE	M	57.8	2,481			143,401			143,401	시 중 조 사 5월	
	PROJECT창 하 드웨어		SET	3	30,000			90,000			90,000	시 중 조 사 5월	
	VENT 제작		SET	3	20,000			60,000			60,000	시 중 조 사 5월	
	롤방충망 제작	1.0*0.54	SET	3	45,000			135,000			135,000	시 중 조 사 5월	
	가공,조립		KG	124.9		1,300			162,370		162,370	시 중 조 사 5월	
	포장		KG	124.9	100			12,490			12,490	시 중 조 사 5월	
	운반비	조립-현장	KG	124.9			1,460			182,354	182,354	시 중 조 사 5월	

	2) 커튼월 현장설치												
	설치부자재	FASTENER	EA	24	300			7,200			7,200	시 중 조사 5월	
	설치부자재	SET ANCHOR	EA	24	300			7,200			7,200	시 중 조사 5월	
	설치부자재	BOLT&NUT	EA	24	600			14,400			14,400	시 중 조사 5월	
	설치부자재	사각와사	EA	48	300			14,400			14,400	시 중 조사 5월	
	기타부속자재		KG	124.9	1,000			124,900			124,900	시 중 조사 5월	
	창호공	방충망3개설치	인	0.5		117,090			58,545		58,545	2013년 표 준 품 셈	
	창호공		인	3.123		117,090			365,672		365,672	2013년 표 준 품 셈	건 축 16-4-1 알
	보통인부		인	2.623		81,443			213,624		213,624	2013년 표 준 품 셈	루미늄 프레임설치
	장비비	트럭탑재형크레인(3ton)	HR	4	5,762	20,489	8,036	23,047	81,957	32,145	137,149	2105-0003	상반기 노임 적용 기계 경비 적산 870 페이지 적용
③ 부속재료의 설치(기존 백패널 설치)	아연도 강판	1.2T	kg	111.7	1,426			159,284			159,284		
	1)조합페인트	철재면 2회,1급											
	조합페인트		L	1.382	5,333			7,370			7,370	적산590	건 축 18-3-1 조합 유성페
	시너		L	0.067	2,333			156			156	적산590	
	퍼티		kg	0.666	812			540			540	적산590	

	연마지		매	0.833	230			191			191	적산590	
	공구손료	인력품의 2%	식	1	840			840			840		
	도장공		인	0.383		109,720			42,022		42,022	2013년 표 준 품 셈	인트 붓칠
	2) 단 열 재 (Glass Wool)												
	글라스울	밀도48kg/㎡, 두께 85mm	㎡	8.325	8,100			67,432			67,432	시 중 조 사 5월	건 축 19-6-2 암 면판 설치
	지지핀		개	42	97			4,074			4,074	시 중 조 사 5월	
	L-앵글		개	36	160			5,760			5,760	시 중 조 사 5월	
	스크류피스		개	108	12			1,296			1,296	시 중 조 사 5월	
	기타부속자재	강판+유리면재 료비의5%	식	1	6,801			6,801			6,801		
	3)줄눈												
	실리콘	4.68m/㎡*6	M	28.65	1,750			50,137			50,137	시 중 조 사 5월	건 축 12-12-1 수밀코킹
	코킹공		인	0.86		111,902			96,235		96,235	2013년 표 준 품 셈	
	4)백패널설치												
	샷시공	백판넬 시공	인	0.167		117,090			19,554		19,554	2013년 표 준 품 셈	건 축 16-4-2 외 벽용 강재 패널 설치
	보통인부	강판절단	인	0.749		81,443			61,000		61,000	2013년 표 준 품 셈	
	보통인부	단열재 취부	인	0.333		81,443			27,120		27,120	2013년 표 준 품 셈	
	보통인부	백판넬 시공	인	0.25		81,443			20,360		20,360	2013년	

												표 준 품 셈	
	포장		M2	8.325	500			4,162			4,162	시 중 조 사 5월	
	운반비	조립-현장	M2	8.325			1,000			8,325	8,325	시 중 조 사 5월	
④ 유리설치	로이복충유리 (그린)		M2	20.59	49,000			1,008,910			1,008,910	시 중 조 사 5월	건 축 17-1-2 복 충유리 설 치
	노턴테이프		M	116	1,100			127,600			127,600	시 중 조 사 5월	
	구조코킹		M	77	1,260			97,020			97,020	시 중 조 사 5월	
	웨더코킹		M	48	1,050			50,400			50,400	시 중 조 사 5월	
	코킹공		인	0.375		111,902			41,963		41,963	2013년 표 준 품 셈	
	유리공		인	6.177		106,359			656,979		656,979	2013년 표 준 품 셈	
	장비비	트럭탑재형크 레인(3ton)	HR	2.4	5,762	20,489	8,036	13,828	49,174	19,287	82,289	2105- 0003	
⑤ 실링공 사(유리설치 외)	실리콘		M	19	1,700			32,300			32,300	시 중 조 사 5월	건 축 12-2-1 수 밀코킹
	코킹공		인	0.057		111,902			6,378		6,378	2013년 표 준 품 셈	
⑥ 화연방지 층의 시공 (내화 충전 재 설치)	미네랄울		M2	0.324	4,100			1,328			1,328		건 축 19-6-2 양 면판 설치
	핀		개	2.041	500								
	접착제		kg	0.097	1,000								
	내장공		인	0.022		116,367			2,560		2,560	2013년 표 준 품 셈	

⑦ 화연방지 층의 시공 (내화 실란 트 설치)	내화실리콘		M	3.24	1,750			5,670			5,670	시 중 조 사 5월	건 축 12-2-1 수 밀코킹
	코킹공		인	0.01		111,902			1,119		1,119	2013년 표 준 품 셈	
⑧ 보양 및 청소	보통인부		인	0.049		81,443			3,990		3,990	2013년 표 준 품 셈	건 축2-10 건축물 현 장정리
계								3,004,055	1,924,753	242,111	5,170,919		

(2) 개발기술

시공절차 세부항목	소요 인력, 장비, 자재		단위	소요량	단가			금액(소요량×단가)				단가 출처	적용근거
	품명	규격			재료비	노무비	경비	재료비	노무비	경비	계		
① 기준 먹 메김	건축목공		인	0.124		113,962			14,131		14,131	2013년 표 준 품 셈	건 축11-1 먹메김
② 구체 부 착철물 및 프레임설치	1) 커튼월 및 부자재 제작후 현장운반												
	알루미늄커튼 월	압출	kg	124.9	4,060			507,094			507,094	시 중 조 사 5월	
	알루미늄커튼 월 도장	불소코팅 3회	kg	124.9	1,760			219,824			219,824	시 중 조 사 5월	
	알루미늄 단열 바의 단열재	A-ZONE	M	57.8	2,481			143,401			143,401	시 중 조 사 5월	
	PROJECT창 하		SET	3	30,000			90,000			90,000	시 중 조	

	드웨어										사 5월		
	VENT 제작		SET	3	20,000			60,000			60,000	시 중 조 사 5월	
	롤방충망 제작	1.0*0.54	SET	3	45,000			135,000			135,000	시 중 조 사 5월	
	가공,조립		KG	124.9		1,300			162,370		162,370	시 중 조 사 5월	
	포장		KG	124.9	100			12,490			12,490	시 중 조 사 5월	
	운반비	조립-현장	KG	124.9			1,460			182,354	182,354	시 중 조 사 5월	
	2) 커튼월 현 장설치												
	설치부자재	FASTENER	EA	24	300			7,200			7,200	시 중 조 사 5월	
	설치부자재	SET ANCHOR	EA	24	300			7,200			7,200	시 중 조 사 5월	
	설치부자재	BOLT&NUT	EA	24	600			14,400			14,400	시 중 조 사 5월	
	설치부자재	사각와사	EA	48	300			14,400			14,400	시 중 조 사 5월	
	기타부속자재		KG	124.9	1,000			124,900			124,900	시 중 조 사 5월	
	창호공	방충망3개설치	인	0.5		117,090			58,545		58,545	2013년 표 준 품 셈	
	창호공		인	3.123		117,090			365,672		365,672	2013년 표 준 품 셈	건 축 16-4-1 알 루미늄 프 레임설치
	보통인부		인	2.623		81,443			213,624		213,624	2013년 표 준 품 셈	
	장비비	트럭탑재형크 레인(3ton)	HR	4	5,762	20,489	8,036	23,047	81,957	32,145	137,149	2105- 0003	상 반 기 노 임 적용 기 계 경 비

													적산 870 페이지 적용
③ 부속재료 의 설치(경 량무기질 발 포보드설치)	경량무기발포 보드(50T)		M2	8.325	23,000			191,475			191,475	시 중 조 사 5월	
	경량무기발포 보드(30T)		M2	1.74	16,000			27,840			27,840	시 중 조 사 5월	
	L-앵글		개	36	160			5,760			5,760	시 중 조 사 5월	
	스크류피스		개	228	12			2,736			2,736	시 중 조 사 5월	
	기타부속자재	보드재료비의 3%	식	1	6,579			6,579			6,579	시 중 조 사 5월	
	1)줄눈												
	실리콘		M	28.65	1,750			50,137			50,137	시 중 조 사 5월	건 축 12-12-1 수밀코킹
	코킹공		인	0.86		111,902			96,235		96,235	2013년 표 준 품 셈	
	2)백패널설치												
	샷시공		인	0.604		117,090			70,722		70,722	2013년 표 준 품 셈	업 체 시 공 수량
	보통인부		인	0.906		81,443			73,787		73,787	2013년 표 준 품 셈	
④ 유리설치	포장		M2	10.06 5	500			5,032			5,032	시 중 조 사 5월	
	운반비	조립-현장	M2	10.06 5			1,000			10,065	10,065	시 중 조 사 5월	
	로이복충유리 (그린)		M2	20.59	49,000			1,008,910			1,008,910	시 중 조 사 5월	건 축 17-1-2 복 충유리 설 치
	노턴테이프		M	116	1,100			127,600			127,600	시 중 조	

												사 5월	
	구조코킹		M	77	1,260			97,020			97,020	시 중 조 사 5월	
	웨더코킹		M	48	1,050			50,400			50,400	시 중 조 사 5월	
	코킹공		인	0.375		111,902			41,963		41,963	2013년 표 준 품 셈	
	유리공		인	6.177		106,359			656,979		656,979	2013년 표 준 품 셈	
	장비비	트럭탑재형크 레인(3ton)	HR	2.4	5,762	20,489	8,036	13,828	49,174	19,287	82,289	2105- 0003	
⑤ 실링공 사(유리설치 외)	실리콘		M	19	1,700			32,300			32,300	시 중 조 사 5월	건 축 12-2-1 수 밀코킹
	코킹공		인	0.057		111,902			6,378		6,378	2013년 표 준 품 셈	
⑥ 화연방지 층의 시공 (내화 충전 재 설치)	미네랄울		M2	0.324	4,100			1,328			1,328		건 축 19-6-2 암 면판 설치
	핀		개	2.041	500								
	접착제		kg	0.097	1,000								
	내장공		인	0.022		116,367			2,560		2,560	2013년 표 준 품 셈	
⑦ 화연방지 층의 시공 (내화 실란 트 설치)	내화실리콘		M	3.24	1,750			5,670			5,670	시 중 조 사 5월	건 축 12-2-1 수 밀코킹
	코킹공		인	0.01		111,902			1,119		1,119	2013년 표 준 품 셈	
⑧ 보양 및 청소	보통인부		인	0.049		81,443			3,990		3,990	2013년 표 준 품 셈	건 축2-10 건축물 현 장정리
계								2,985,571	1,899,206	243,851	5,128,628		

라) 기존기술과의 공사비 비교분석

기존 기술과 신청기술의 일위대가 분석을 위하여 실제 Test Bed 현장인 현대산업기술 개발연구소 적용 면적 중 백패널 설치 면적인 8.325 m²을 대상으로 공사비용을 산정한 결과, 기존 백패널 설치 공사비용은 69,989원/m², 신청기술인 경량무기질 발포 세라믹보드 및 프레임커버 설치 공사비용은 64,909원/m²으로 약 7.3%가 저렴하였다.

<표 3.29> 개발기술 범위에 대한 일위대가 비교

명칭		백패널 설치 공사비				비고
		재료비	노무비	경비	계	
글라스울 백패널 설치	총공사비용 (원, 8.325 m ² 기준)	308,043	266,291	8,325	582,659	신청기술 이 7.3% 저렴
	일위대가 (원/m ²)	37,002	31,987	1,000	69,989	
경량무기발포 세라믹보드 백패널 및 프레임커버 설치	총공사비용 (원, 8.325m ² 기준)	289,559	240,744	10,065	540,368	
	일위대가 (원/m ²)	34,782	28,918	1,209	64,909	

Test Bed중 전체 커튼월 공사 면적 대상의 공사비용에 있어서는 기존 커튼월 공사가 251,138원/m², 신청기술을 포함한 커튼월 공사가 249,083원/m²으로 신청기술을 포함한 커튼월 공사비용이 기존 커튼월 공법보다 약 1% 저렴한 것으로 나타났다. 이는 전체 커튼월 공사비용에 있어서 신청기술 범위인 백패널 설치 비용이 약 10%에 불과하기 때문으로 전체 공사비 측면에서는 절감효과가 크게 나타나 보이지는 않으나, 신청기술의 범위에 대해서는 공사비 절감효과가 있음을 알 수 있다.

<표 3.30> 신청기술 포함 전체 커튼월 공법 일위대가 비교

명칭		총 공사비				비고
		재료비	노무비	경비	계	
기존 커튼월 공법	총공사비용 (원, 20.59 m ² 기준)	3,004,055	1,924,753	242,111	5,170,919	신청기술 포함 커튼월 공법이 약 1% 저렴
	일위대가 (원/m ²)	144,899	93,480	11,759	251,138	
개발기술 포함 커튼월 공법	총공사비용 (원, 20.59 m ² 기준)	2,985,571	1,899,206	243,851	5,128,628	
	일위대가 (원/m ²)	145,001	92,239	11,843	249,083	

2) 유지관리비용 절감

유지관리비용은 건축물의 생애기간 동안 사용되는 보수, 교체, 수선비용을 총 망라한 것으로 재료의 내구연한에 따라 다양하게 나타날 수 있다.

개발기술의 범위는 백패널 설치 공정으로 타 공정은 모두 기존 커튼월 공법과 동일하다. 따라서 유지관리비용의 차이는 백패널 설치 공정내에서 발생된다. 커튼월 공사에 있어서 유지관리비용 산정방법은 아직 정해진 바가 없기에 여기서는 백패널의 주요 재료인 단열재 유지관리비용을 산정하여 비교하고자 한다.

주택법 시행규칙 [별표 5]에는 장기수선계획의 수립기준을 제시하고 있는데, 각 공정별 수선주기 및 수선율을 명시하고 있다. 여기서 단열층의 수선주기 및 수선율이 부분수리는 15년 주기로 수선율 20%, 전면수리는 50년 주기로 수선율 100%로 제시되어 있다.

<표 3.31> 주택법 시행규칙 [별표 5] 장기수선계획 중 단열층 부분

공사종별	수선방법	수선주기(년)	수선율(%)
단열층(벽·천장)	부분수리	15	20
	전면수리	50	100

○ 주택의 경우 거주자가 대부분의 시간을 거주하는 것과 달리 커튼월이 적용되는 건축물은 거주자의 거주시간이 짧은 사무용 또는 다중이용시설 등이므로 주택보다 단열재의 부분수리 수선율이 낮을 것으로 판단된다. 전면수리는 건축물의 내구연한을 고려하여 동일하게 간주하였다. 커튼월에 사용되는 단열재의 수선율은 <표 3.32>와 같이 추정하였다.

<표 3.32> 커튼월에 사용되는 단열재의 수선주기 및 수선율

공사종별	수선방법	수선주기(년)	수선율(%)
단열재	부분수리	15	10
	전면수리	50	100

커튼월의 내구연한은 설계시 일반적으로 25년을 커튼월 수명으로 제안하고 있다. 따라서, 커튼월 설치 후 단열재의 보수는 15년 경과 후 1회에 한하여 10%의 수선율로 보수비용을 산정할 수 있으며 25년이 지나면 커튼월 전체를 전면 재시공하는 것으로 추정할 수 있다.

또한 기존의 단열재와 신청기술에 적용되는 경량무기질 발포세라믹보드는 성능이 차이가 있으므로 내구연한이나 보수율이 달라질 수 있다. 내구연한이나 수선율은 성능저하정도에 따라 차이를 둘 경우, 내결로성 실험 결과에 의거하여 기존 단열재를 글라스울로 가정하면 단열성능의 저감정도는 신청기술 대비 약 3배의 차이가 발생한다.

<표 3.33> 내결로성 시험에 의한 단열성능 저하비율 비교

구분	글라스울	경량무기발포 세라믹 보드	비고
단열성능 저하 비율(%) (열전도율 기준 측정)	3.1	2.3	글라스울 단열재의 단열성능 저하정도가 신청기술의 1.3배로 판단

상기의 단열성능 차이를 수선율에 적용하여 다음과 같이 신청기술과 기존기술의 부분수리 수선율을 구분, 수정하여 제시하였다.

<표 3.34> 커튼월 사용 단열재의 수선율 산정

구분	수선방법	수선주기(년)	수선율(%)
글라스울 백패널 설치	부분수리	15	10
경량무기발포 세라믹보드 백패널 및 프레임커버 설치	부분수리	15	7.7*

* 신청기술의 단열성능 저감비율이 기존 기술대비 0.3배 우수하므로 수선율이 30% 감소하는 것으로 판단

총 작업면적 20.59 m²중 신청기술 범위인 백패널 설치 면적인 8.325 m²대상에 대하여 기존 백패널 설치 공법과 신청기술의 공사비용에 수선비율을 적용하여 산정한 유지관리 비용은 신청기술이 기존 기술 대비 약 28% 저렴한 것으로 나타났다.

<표 3.35> 기존기술과 개발기술의 유지관리비용

구 분			공사비				비고
			재료비	노무비	경비	계	
글라스울 백패널 설치	수선비용 (수선율 10% 적용)	유지관리 비용 (원, 8.325 m ² 기준)	30,804	26,629	833	58,266	신 청 기 술 이 약 28% 저렴
		유지관리 일위대가 (원/m ²)	3,700	3,199	100	6,999	
경 량 무 기 발 포 세라믹보드 백 패널 및 프레임 커버 설치	수선비용 (수선율 7.7% 적용)	유지관리 비용 (원, 8.32 5m ² 기준)	22,296	18,537	775	41,608	
		유지관리 일위대가 (원/m ²)	2,678	2,227	93	4,998	

또한 총유지관리비용 산정을 위해 신청기술 범위외의 커튼월 공사 공정별 유지관리 비용을 다음과 같은 기준을 적용하였다.

<표 3.36> 기존기술과 개발기술 범위외의 커튼월 공사 유지관리 비용 산정 기준

명칭	유지관리 해당 여부 및 수선비용
① 기준 먹메김	- 유지관리 비용 미산정
② 구체 부착철물 및 프레임설치	- 장기수선계획 중 알루미늄 창문틀 수리 적용(부분보수 10년기준 보수율 10%, 전면교체 25년)
④ 유리설치	- 장기수선계획 중 알루미늄 창문 수리 적용(부분보수 10년기준 보수율 20%, 전면교체 25년)
⑤ 실링공사(유리설치 외)	- 알루미늄 창문틀 수리와 동일 적용(부분보수 10년기준 보수율 10%)
⑥ 화연방지층의 시공(내화 충전재 설치)	- 내구연한을 커튼월의 수명과 동일한 것으로 간주(유지관리비용 없음)
⑦ 화연방지층의 시공(내화 실란트 설치)	- 내구연한을 커튼월의 수명과 동일한 것으로 간주(유지관리비용 없음)
⑧ 보양 및 청소	- 유지관리 비용 미산정

기존 커튼월 공법에 적용되는 총 유지관리비용과 신청기술 적용 커튼월 공법에 적용되는 총 유지관리비용을 산정한 결과는 <표 3.37>, 이를 공사면적으로 나눈 총유지관리 일위대가는 <표 3.38>에 정리하였으며, 신청기술 적용 커튼월 공법이 1% 저렴한 것으로 나타났다.

<표 3.37> 기존기술과 신청기술 적용 커튼월 공사 총 유지관리비용 합계

(단위 : 원)

구 분		공사비				비고
		재료비	노무비	경비	계	
기존 커튼월 공법	② 구체 부착철물 및 프레임 설치	271,791	176,434	42,900	491,125	신청기술 적용 커튼월 공법이 기존 커튼월 공법보다 1% 저렴
	③ 부속재료의 설치 (기존백패널설치)	30,804	26,629	833	58,266	
	④ 유리설치	519,103	299,246	7,715	826,064	
	⑤ 실링공사(유리설치 외)	6,460	1,276	0	7,736	
	총 유지관리비용 합계	828,159	503,585	51,447	1,383,191	
신청기술 적용 커튼월 공법	② 구체 부착철물 및 프레임 설치	271,791	176,434	42,900	491,125	
	③ 부속재료의 설치 (경량무기질 발포보드설치)	22,296	18,537	775	41,608	
	④ 유리설치	519,103	299,246	7,715	826,064	
	⑤ 실링공사(유리설치 외)	6,460	1,276	0	7,736	
	총 유지관리비용 합계	819,650	495,493	51,390	1,366,533	

<표 3.38> 기존기술과 신청기술 적용 커튼월 공사 총 유지관리 일위대가

(단위 : 원/m²)

구 분		공사비				비고
		재료비	노무비	경비	계	
기존 커튼월 공법	총 유지관리비용 일위대가	40,221	24,458	2,499	67,178	신청기술 적용 커튼월 공법이 기존 커튼월 공법보다 1% 저렴
신청기술 적용 커튼월 공법	총 유지관리비용 일위대가	39,808	24,065	2,496	66,369	

3) 경제성 분석

경제성 분석은 초기공사비용과 유지관리비용의 합인 생애비용을 기준으로 산정하였으며, 이를 신청기술 범위인 백패널 설치 비용과 신청기술을 포함한 전체 커튼월 공사비용으로 구분하여 제시하였다.

가) 개발기술 범위 적용 경제성 분석

개발기술 범위인 커튼월 공사중 백패널 설치공사 생애비용을 산정한 결과, 기존 기술(글라스울 백패널 설치)의 생애비용은 76,988원/m², 신청기술(경량무기발포 세라믹보드 백

패널 및 프레임커버 설치)의 생애비용은 69,907원/m²으로 신청기술의 생애비용이 7,081원/m²(약 9.1%) 저감되어 경제성이 우수한 것으로 분석되었다.

<표 3.39> 기존기술과 개발기술 경제성 분석

(단위 : 원/m²)

구 분		공사비				구 분
		재료비	노무비	경비	계	
기존기술 (글라스울 백패널 설치)	초기공사비용	37,002	31,987	1,000	69,989	개 발 기 술 이 7,081원/m ² (9.1%) 저렴
	수선비용 (수선을 10% 적용)	3,700	3,199	100	6,999	
	계	40,702	35,186	1,100	76,988	
신청기술 (경량무기발포 세라 믹보드 백패널 및 프레임커버 설치)	초기공사비용	34,782	28,918	1,209	64,909	
	수선비용 (수선을 7.7% 적용)	2,678	2,227	93	4,998	
	계	37,460	31,145	1,302	69,907	

나) 전체 커튼월 공사의 경제성 분석

신청기술을 포함한 전체 커튼월공사의 생애비용을 산정한 결과, 기존 커튼월 공사의 생애비용은 318,316원/m², 신청기술 적용 커튼월공사의 생애비용은 315,452원/m²으로 신청기술 적용 커튼월공사의 생애비용이 2,864원/m²(약 1%) 저감되어 경제성이 비교적 우수한 것으로 분석되었다.

<표 3.40> 기존커튼월 공사와 개발기술 적용 커튼월 공사 경제성 분석

(단위 : 원/m²)

구 분		공사비				계
		재료비	노무비	경비	계	
기존 커튼 월 공사	초기공사비용	144,899	93,480	11,759	251,138	개 발 기 술 이 2,864원/m ² (약 1%) 저렴
	유지관리비용	40,221	24,458	2,499	67,178	
	계	185,120	117,938	14,258	318,316	
신청기술 적용 커튼 월 공사	초기공사비용	145,001	92,239	11,843	249,083	
	유지관리비용	39,808	24,065	2,496	66,369	
	계	184,809	116,304	14,339	315,452	

5. 기술의 현장적용성

가. 현장적용성

기존 커튼월 공법과 비교하여 간편한 단일 경량무기발포 세라믹보드를 이용하므로 시공이 편리하며, 기존 공법과 동일한 선행 및 후속공정으로 이루어져 시공에 어려움이 없으며 경량성 및 현장가공이 용이한 자재를 사용하므로 우수한 시공성을 확보한 기술이다.

현장 작업시 작업자의 안전을 고려한 시방서 구축 및 교육 실시 등 안전성을 확보에 최우선을 두고 있는 기술이다.

안전구조설계 및 Mock-up 실험을 통하여 기존 공법 대비 동일한 구조안전성 확인 및 우수한 내화안전성을 확인한 기술이다.

우수한 내구성을 갖는 단일 자재를 사용하므로 자재의 보수 및 교체등이 용이하고, 비용 절감이 가능하며, 유지관리 지침서 구축 및 교육 실시로 유지관리가 편리한 기술이다.

(1) 시공성

가) 시공의 편의성

커튼월의 Spandrel 설치에 있어 기존 공법은 1.2mm 알루미늄 시트 + 85mm 단열재 + 일면은박시트로 마감하는 3단계의 Back Panel 설치 공법을 사용하여 시간이 소요되고 얇은 시트 설치시 파손의 우려가 있는 반면, 50mm의 경량무기발포 세라믹보드만으로 Spandrel을 마무리하므로 기존 공법보다 간단하다.

기존 Back Panel은 Glass wool 단열재를 설치하므로 수직으로 연속 설치시 단열재의 자립성이 떨어져 틈이 밀접하게 처리가 되지 않으나, Back Panel로 사용한 경량무기발포 세라믹보드가 우수한 구조성능을 가지고 있어 수직 연속 쌓기가 매우 용이하다.

나) 선행 및 후속공정과의 관계

커튼월 프레임 설치 후 Spandrel 부위에 무기질 단열재를 설치한 후 커튼월 유리공사 및 실링공사가 후속공정으로 이루어지나, 커튼월 유리둘레 코킹을 외부에서 하기가 어려운 경우 유리공사 후속공정으로 실링공사를 완료한 후에 경량무기발포 세라믹보드를 설치하여도 무방하다.

다) 경량성 및 현장가공성

0.49g/cm³의 경량성을 가지고 있어 1인이 충분히 이동 및 설치가 용이하며, 현장에서 전동 절단기로 절단 및 가공이 용이하여 현장조건에 대응한 시공이 가능하다.

(2) 안전성(Safety)

(가) 작업자의 안전성 확보

○ 신청기술은 커튼월 시공의 일환으로 작업시 추락의 위험이 존재한다. 따라서 항상 안전을 위한 안전교육, 안전모 및 장갑 착용 의무화, 추락방지를 위한 안전장치를 설치하여 작업자의 안전한 시공을 확보하고 있다.

(나) 작업자의 유해성 최소화

○ 현장에서 절단 가공시 분진 발생의 우려가 있으므로 절단 작업은 환기가 잘되는 외부 노출 공간에 장소를 지정하고, 발생 분진이 눈, 호흡기, 피부 등을 자극하지 않도록 방진마스크, 보호의, 보안경, 보호장갑 등을 착용하도록 관리하고 있다.

○ 실링 공사는 마무리 단계에서 진행되므로 밀폐된 공간에서 실란트 등에 사용된 휘발성 성분으로 중독되지 않도록 마스크를 착용하고, 화재가 발생하지 않도록 주변 환경을 정리하고 혹시 발생할 수 있는 작업 중 화재를 초기 진화하기 위하여 소화기를 작업반경 내에 1개씩 비치한다.

(다) 작업피로도 경감

○ 주요 자재인 경량무기발포 세라믹보드의 경량성 및 가공의 용이성, 사용자재의 단순화로 시공이 용이하여 작업자의 피로도가 크지 않아, 피로로 인한 안전사고 발생 가능성이 현저히 감소한다.

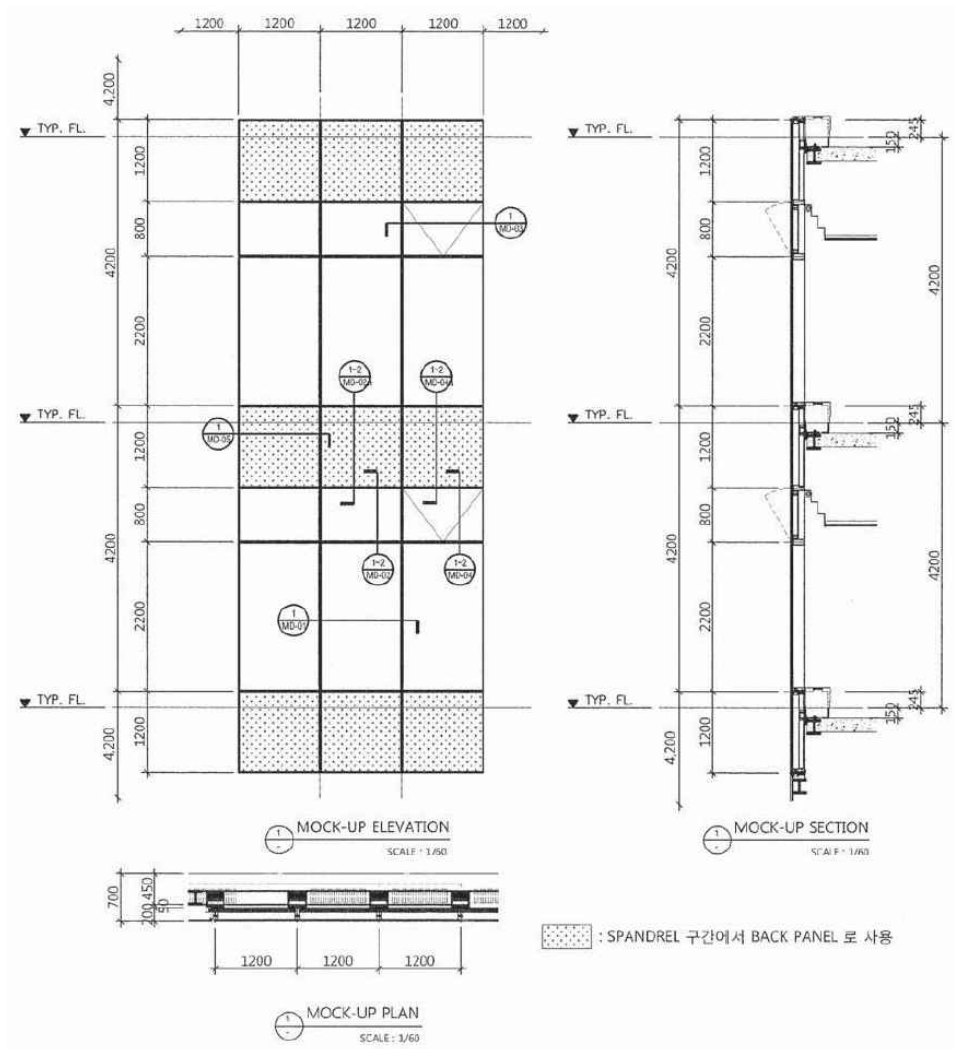
(3) 구조안전성(stability)

(가) Mock-up 시험용 커튼월의 구조안전성 검토

① 구조검토 결과

○ Mock-up 시험용 커튼월의 구조안전성 검토를 위하여 건축구조 설계기준에 의한 설계 풍하중을 산정하고, 커튼월 부재 및 경량무기발포 세라믹보드, 유리의 구조안전성을 구조해석 프로그램(MIDAS/Gen)을 사용하여 검토하였다. 기본 조건은 아래 표와 같으며 시험체 제작은 [그림 3.119]와 같다.

기본풍속	노풍도 구분	건물 높이	최소폭	지형에 의한 풍속감증계 수	건축물의 중요도 계수	외벽면의 단위 유효 수압면적
30m/sec (서울)	B	270m	41.4m	1	1.1	1.2m × 4.2m



<그림 3.119> Mock-up 시험체 제작 도면

○ 구조설계를 위한 Criteria는 다음과 같다.

- Design Load

- $W_P = 300 \text{ kgf/m}^2 = 2.941 \text{ KN/m}^2$ (Given Positive Wind Road)

- $W_D = 30 \text{ kgf/cm}^2 = 0.294 \text{ KN/m}^2$ (THK.24mm Pair Glass)

- Allowable Deflection of Member

- Window Frames : $L/175$ (4110 mm 이하), $L/240 + 6.35 \text{ mm}$ (4110 mm 초과)
 $2L/175$ (캔틸레버 부재)

- Transom Frames : $L/175$ (4110 mm 이하) - for Wind Load

- $3.2 \text{ mm}(1/8")$, $1/6 \text{ mm}(1/16")$; Opening 창 상부) - for Dead Road

- Density

- Aluminum : $2,700 \text{ kgf/m}^3$

- Steel : $7,850 \text{ kgf/m}^3$

- Glass : $2,500 \text{ kgf/cm}^3$

- Used Material

- Aluminum :

- Alloy & Temper 6063-T5 ; Transom, Sill/Head, Vent, E.T.C

- 6063-T6 ; Mullion (Male/Female)

- 6061-T6 ; Splice Sleeve

- Steel : SS 400

- S.Steel : STS 316

- Reference

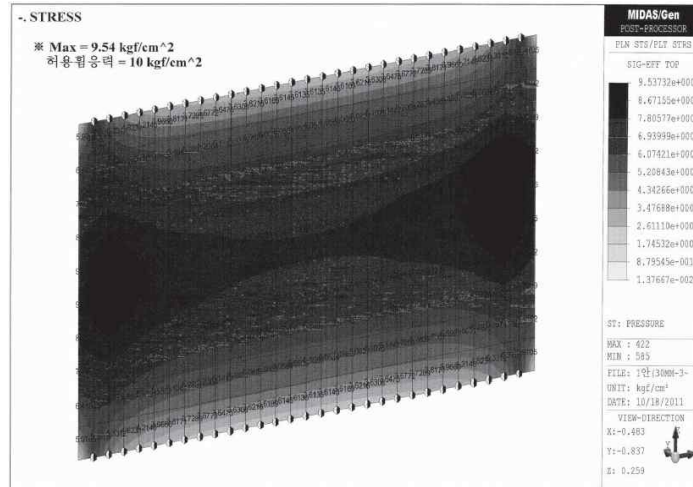
- 국토교통부 건축구조설계기준

- 대한건축학회 강구조 계산기준

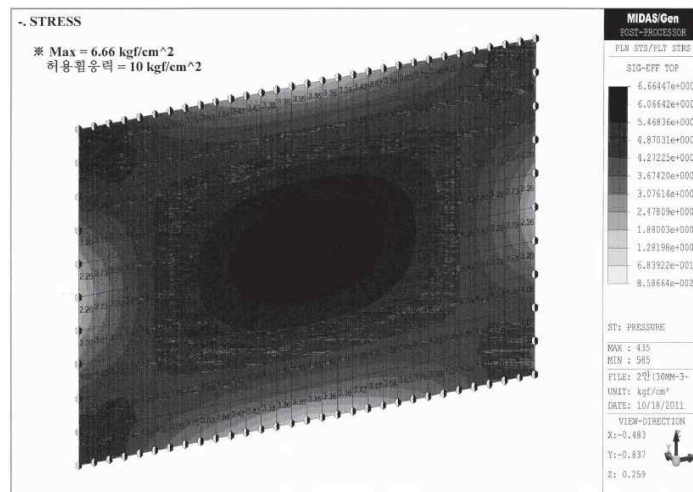
- AAMA : Maximum Allowable Deflection of Framing System for Building Cladding
Components at Design Wind Loads

- The Aluminum Association : Aluminum Design Manual - 2005

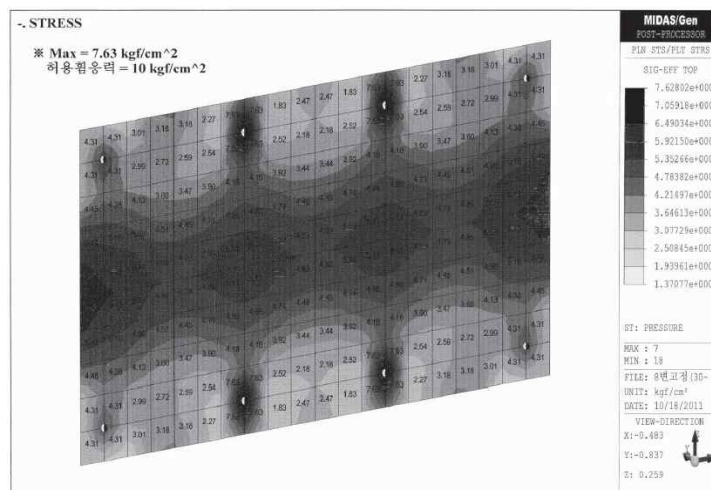
이상과 같이 커튼월 공법의 구조안전성 검토 결과 다음과 같이 안전한 것으로 검토되었다.



<그림 3.120> 상하부 Bracket 검토결과



<그림 3.121> 구조용 Sealant 검토결과



<그림 3.122> Undercut Anchor 검토결과

- Aluminum Member check

- Mullion check

Mullion Type	Module (mm)	풍하중 (kgf/cm ³)	Check Part	Stress(f _b /F _b)			Deflection		Alloy & Temper	비고
				Actual		Allow.	Actual	Allow.		
				Male	Female					
Male/ Female Mullion	1200+	300	Anchor	<u>0.44</u>	<u>0.39</u>	1.33	<u>15.297</u>	<u>23.850</u>	6063-T6	
	1200		Mid	<u>0.98</u>	<u>0.85</u>					

- Sill/Head check

	Setting BL. Location	Length L _b (mm)	Member	Stress(f _b /F _b)		Deflection				Alloy & Temper
				Actual	Allow.	Dead Load		Wind Load		
						Actual	Allow.	Actual	Allow.	
Sill/ Head	L/4	300	Sill	<u>0.23</u>	<u>1.33</u>	<u>0.858</u>	<u>3.2</u>	<u>0.089</u>	<u>6.857</u>	6063-T5
			Head	<u>0.08</u>	<u>1.33</u>					

- Transom check

Transom Type	Setting BL. Locatio n	Length L _b (mm)	풍 하중 (kgf/cm ²)	Stress(f _b /F _b)		Deflection				Alloy & Temper
						Dead Load		Wind Load		
				Actual	Allow.	Actual	Allow.	Actual	Allow.	
Transom-1	L/4	1200.0	300	<u>0.18</u>	<u>1.33</u>	<u>0.149</u>	<u>1.6</u>	<u>0.189</u>	<u>6.857</u>	6063-T5
Transom-2	L/4	1200.0	300	<u>0.17</u>	<u>1.33</u>	<u>0.094</u>	<u>3.2</u>	<u>0.189</u>	<u>6.857</u>	6063-T5

- 경량무기발포 세라믹보드 check

Member	Type	풍하중 (kgf/cm ²)	Stress(kgf/cm ²)		결과
			Actual	Allow.	
단열재	상하부 Bracket	300	<u>9.54</u>	<u>10.00</u>	O.K
	구조용 Sealant	300	<u>6.66</u>	<u>10.00</u>	O.K
	Undercut Anchor	300	<u>7.63</u>	<u>10.00</u>	O.K

* Aluminum Bracket Local Stress 및 Board Local Stress 모두 안전함

* 구조용 Sealant Bite는 7mm 이상이면 구조적으로 안전함

* Anchor 검토결과 8 point 시공시 구조적으로 안전함

- Glass check

- 유리 검토결과 현재 풍하중 300 kgf/m^2 에 대하여 605 kgf/m^2 까지 견딜 수 있는 것으로 판단되었음.

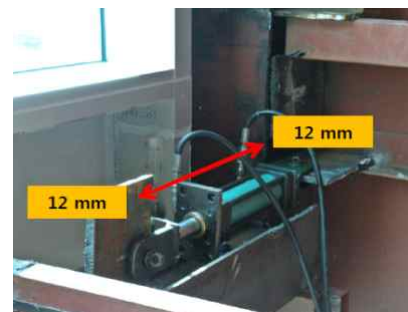
(2) 실물모형 실험(Mock-up test) 결과

건축공사표준시방서에서는 금속커튼월의 실물모형실험에 대하여 성능시험 종목 및 판정기준을 제시하고, 그 시험결과를 담당원에게 제시하고 있다. 본 개발기술을 적용한 커튼월 실물모형 실험 중 개발기술 범위에 해당하는 구조성능시험으로 층간변위 시험을 수행하였다.

층간변위시험은 구조물을 좌우로 10초동안 12 mm씩 최대 변위를 주고 영점으로 되돌아가는 상태를 1cycle로 할 때 3cycle 동안 항복, 파손, 찢어짐, 탈락 등의 유무를 확인하는 것으로 경량무기발포 세라믹보드를 프레임 사이의 Back Panel로 설치하는 개발기술에서는 프레임의 변형에 따른 경량무기발포 세라믹보드의 균열, 탈락, 파손 등의 변형추종성 확인이 가능하다. 따라서 본 시험항목은 개발기술에 있어서 매우 중요한 것으로 판단되며, 시험결과 경량무기발포 세라믹보드를 포함한 커튼월 시스템에 이상이 없는 것으로 나타나 신청기술 또한 안전한 것으로 판단할 수 있었다.



<그림 3.123> 실물모형 실험 전경



(a) 층간 변위장치



(b) 층간변위 시험결과

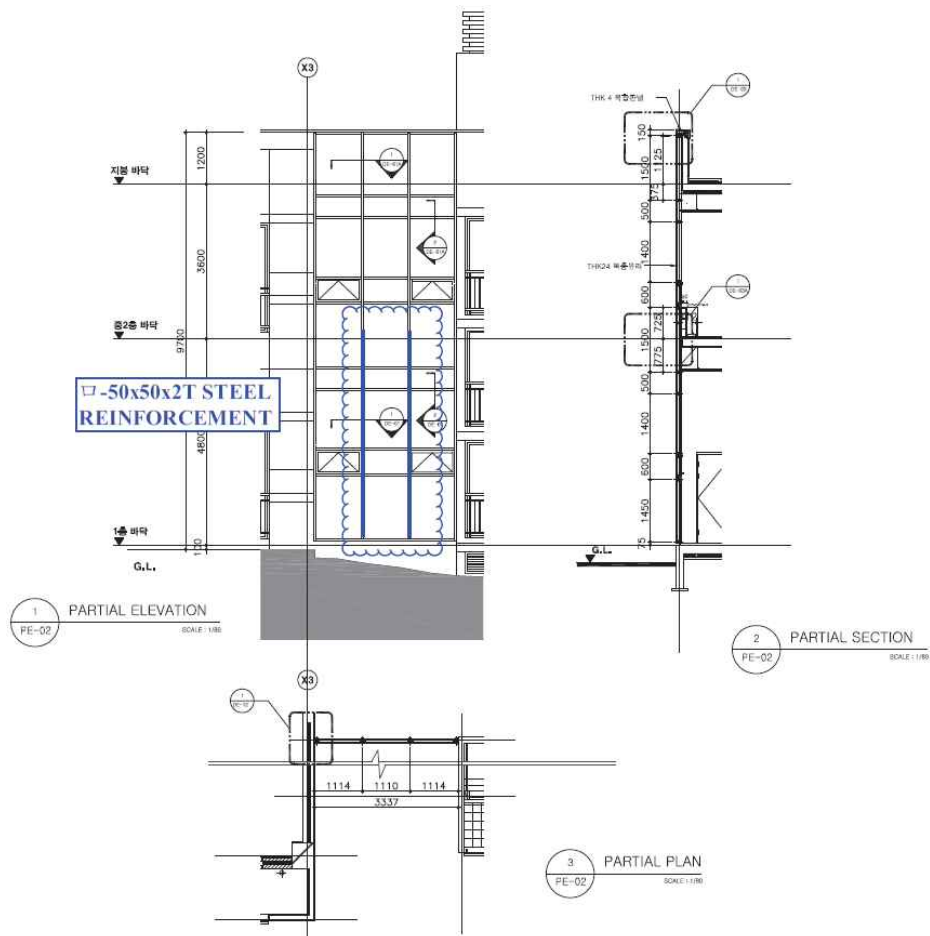
<그림 3.124> 층간변위 시험결과

(가) 현장적용 커튼월의 구조안전성 검토

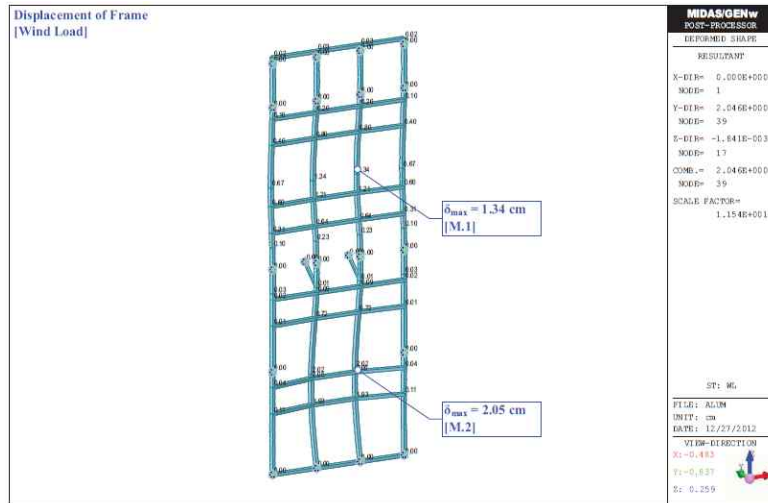
Test Bed로 기술 개발자중 하나인 현대산업개발 기술연구소를 선정하고, 계단실 커튼월 공사에 개발기술을 적용하기 위한 구조안전성 구조해석 프로그램(MIDAS/Gen)을 사용하여 검토하였다. 먼저 건축구조 설계기준에 의한 설계 풍하중을 산정하고, 커튼월 부재 및 무기질 단열재, 유리의 구조안전성을 검토하였다. 기본 조건은 다음과 같다.

기본풍속	노풍도 구분	건물 높이	지형에 의한 풍속할증계수	건축물의 중요도 계수	외벽면의 단위 유효 수압면적
25m/sec (경기 광주)	C	13.2m	1	1.0	3.96m ²

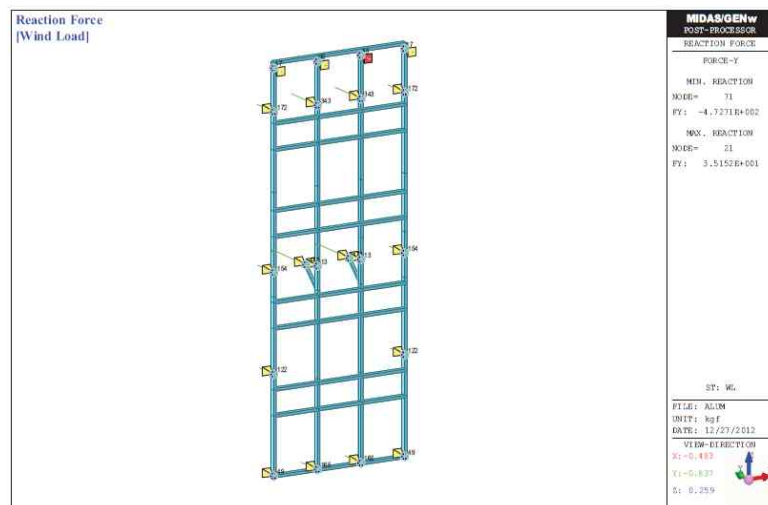
상기 기본조건에 따라 풍하중은 91kgf/m²으로 산정되었으며, 산정된 풍하중을 적용한 구조 검토한 결과 다음과 같이 응력 및 처짐이 구조적으로 안전한 것으로 판단되었다.



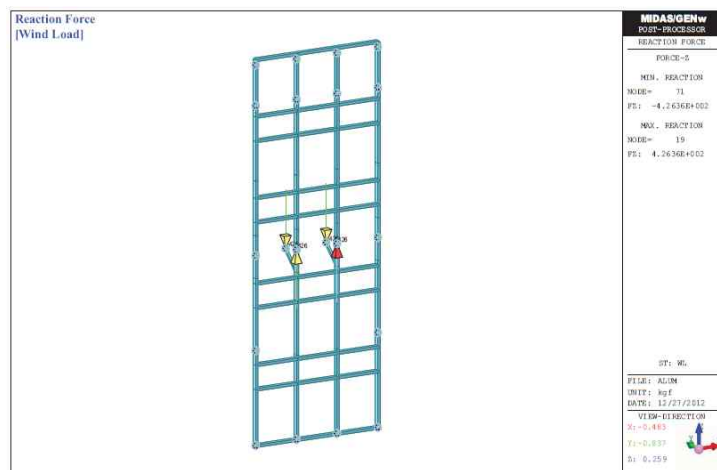
<그림 3.125> Test Bed 시험체 도면



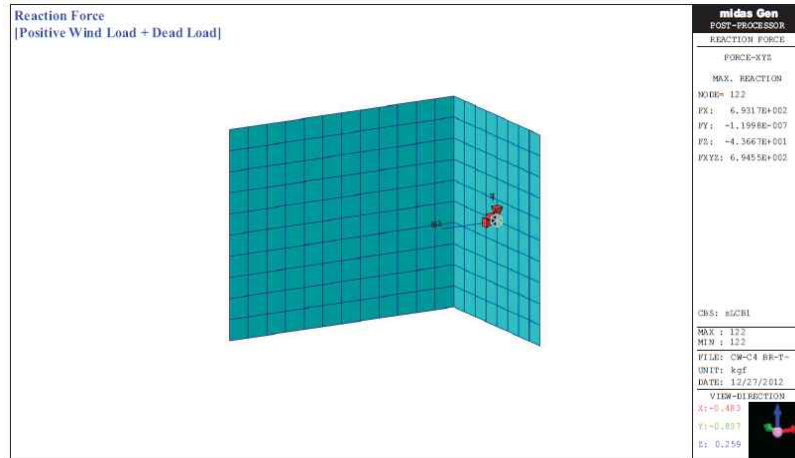
<그림 3.126> Frame 처짐 분석결과



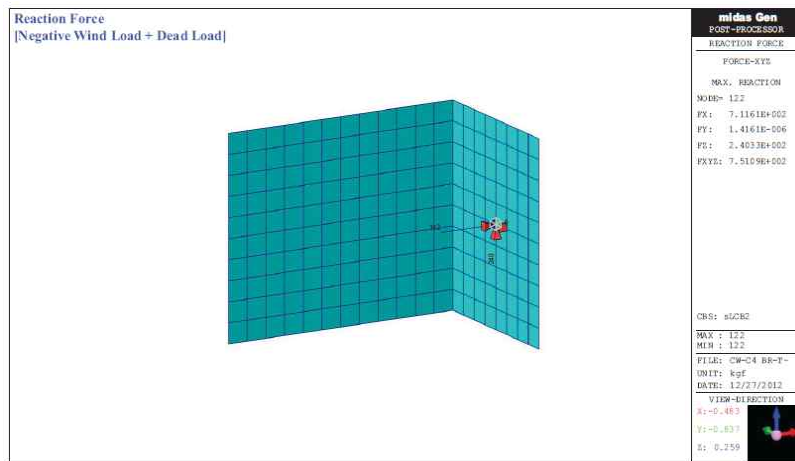
<그림 3.127> Frame 응력 분석결과(Force-Y)



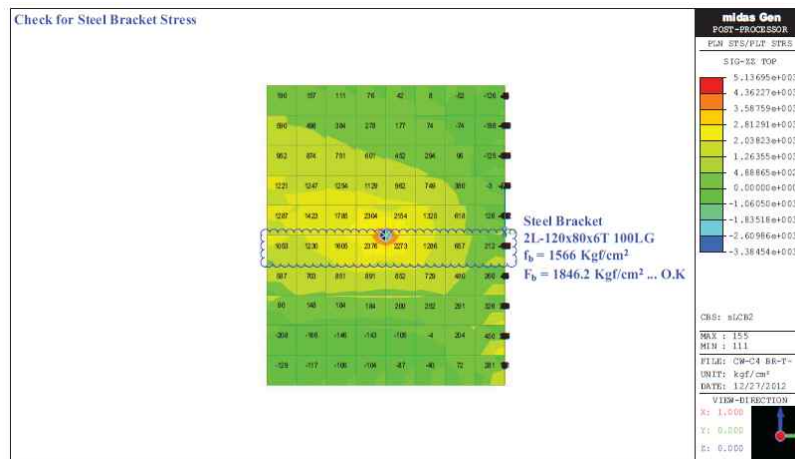
<그림 3.128> Frame 응력 분석결과(Force-Z)



<그림 3.129> Steel Bracket 응력 분석결과
(Positive Wind Load+Dead Load)



<그림 3.130> Steel Bracket 응력 분석결과
(Negative Wind Load+Dead Load)



<그림 3.131> Bolt 응력 분석결과

	구분	Stress Ratio (%)	Actual Deflection (mm)	Allowable Deflection (cm)	Judgement
Alum. Frame	Alum. Vertical Frame[M.1]	86	1.34	2.11	0.K
	Alum. Vertical Frame[M.2]	98	2.05	2.35	0.K
	Alum. Horizontal Frame[T.1]	19	0.05	0.16	0.K
부자재	2-M12 Bolt	37	-	-	0.K
	Steel Bracket [2L-120×80×6T 100LG]	85	-	-	0.K
	1-M12 SET-Anchor	67	-	-	0.K

(나) 내화안전성 검토

커튼월 시스템은 외장 마감을 수직으로 연속해서 시공하므로 공법의 특징 상 커튼월을 접합한 수평부재인 슬래브 하층부터 최상층까지 커튼월 사이에 공간이 있게 된다.

건축물의 화재 안전 확보를 위한 규정인 “건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙”에서는 내화구조의 성능기준을 내화시간으로 규정하고 있는데, 커튼월 시스템을 외벽으로 판단할 경우 30분, 커튼월 시스템과 연결되는 바닥슬래브는 2시간의 내화성능을 확보해야 한다.

문제는 커튼월 시스템이 외벽이 아닌 마감재로 인식되어 내화성능 기준 규정을 따를 필요가 없다는 것이다. 현재 일반적인 커튼월 시스템은 단열성만을 고려하여 서울의 경우 중부지역의 단열재 두께 기준에 적합한 85mm Glass Wool(48K 기준) 단열재만을 사용하고 있다. 그러나 이 Glass Wool 단열재는 준불연재료로 내화성능 확보에는 부족한 재료이다.

또한 바닥 슬래브의 경우 커튼월 시스템과의 공간도 화재확산의 경로이므로 이를 차단해야 한다. 따라서, “건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙”에서는 외벽의 경우 스펀드럴 부분 단열재에 불연성능의 재료를 400mm 높이로 치환한 “화재확산방지구조”를 선택적으로 설치할 수 있도록 하고, 있으며, 외벽과 바닥의 공간을 “내화충전구조”를 의무적으로 설치하도록 규정하고 있다.

그러나, 외벽의 화재 확산을 방지하기 위하여 설치하는 화재확산방지구조는 15분의 내화성능만을 확보하면 되는 수준으로 제시되어 외벽의 내화성능기준인 30분에는 못미치며, 내화충전구조는 시험방법은 개발되었으나 아직 시험평가가 이루어지지 못하여 비규격의 내화성능시험에 의해 내화성능을 확인한 제품을 사용하고 있는 실정이다.

본 신청기술인 무기질 단열재의 Spandrel 적용 공법은 규정에서 제시한 화재확산방지구조의 내화성능 20분 보다 우수한 32분의 내화성능을 갖는 것으로 확인되었으며, 슬래브와 커튼월 사이 공간을 충전하는 내화충전구조 적용공법은 기존 공법과 같이 내화성능 2시간을 확인한 내화실란트를 사용하므로 충분할 것으로 판단되며, 이 경우 본 신청기술을 이용하여 커튼월의 화재확산 경로를 원천적으로 차단함으로써 기본 커튼월 공법보다 건축물의 화재안전성 확보에 용이하다.

(4) 유지관리편리성

가) 보수 및 교체 용이성

○ 기존 커튼월에 사용하는 단열재가 알루미늄 시트지의 파손 등으로 단열성능이 저하될 경우 파손 단열재의 교체 또는 유지관리계획에 따른 단열재의 교체시 Galss wool의 분진 발생 등으로 어려움이 있으며 보수 및 교체작업과정에서도 방습층의 파손 발생이 용이하나, 신청기술은 보수 또는 교체 작업시 분진 발생이 되지 않고, 보드 자체가 구조 성능을 갖고 있어 작업 도중 파손의 염려가 낮은 장점이 있다.

나) 사용자재의 내구성

○ 커튼월의 Spandrel 후면은 외기와 바로 접하는 부위로 결로가 발생하기 쉬운 곳이다. 따라서 습기에 강한 재료가 설치되어야 한다. 신청기술은 무기질 소재를 이용하여 개발한 단열재로 수분에 대한 저항성이 강하고 변형이 작은 반면, 기존 커튼월 공법에 사용되는 Glass Wool 단열재는 습기에 약하므로 향후 단열재의 변형 및 단열성능 저하를 일으킬 수 있다.

○ 내결로성 실험결과에서도 신청기술이 기존 커튼월 시스템 적용 단열재보다 % 우수한 것으로 나타났다. 주택법 시행규칙의 “장기수선계획의 수립기준”에 따르면 단열층은 15년 경과후 20%의 수선율을 갖는 것으로 보고 있다. 내습성 실험결과를 고려하면 신청기술에 사용되는 무기질 단열재는 동일한 15년 경과 후 5%의 수선율을 갖거나, 20년 경과후 20%의 수선율을 갖는 것으로 추정할 수 있다.

6. 기술의 보급성

가. 보급성

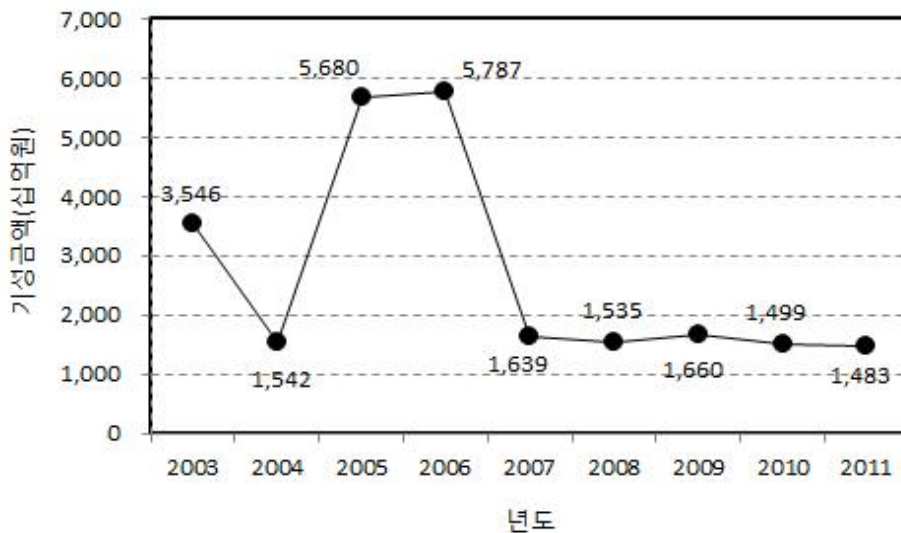
진출 시장인 커튼월 시장은 국내외 모두 지속적으로 증가가 예상되며, 일반 커튼월 시장은 규모가 축소하는 대신 특수 기능의 고부가가치 시장 규모가 증가하는 추세로 분석되며, 특히 국외의 커튼월은 내화성능 30분 이상 인증된 커튼월 시스템을 사용하는 추세로 신청기술의 해외 시장 진출 전망은 타 커튼월 기술에 비하여 매우 유리한 상황이다.

기존 커튼월 공법이 보유하지 못하는 내화성능을 보유하므로 본 기술이 보급될 경우 공공의 재산 및 인명 피해 발생 방지에 기여할 수 있는 공익적인 기술이다.

(1) 시장성

가) 국내·외 수급동향 및 중장기 수급 전망

○ 금속 커튼월 시장이 포함된 국내 금속구조물·창호 공사업의 기성금액을 2003년부터 2011년까지 살펴보면, 2005년과 2006년 5조 이상으로 시장이 크게 증가되었으나, 2007년 미국에서 발생한 서브프라임 모기지 사건은 국내 건설경기에도 악영향을 끼쳐 1.5조원 대로 급락하여 2011년까지 규모를 유지하는 것으로 나타났다²⁾.

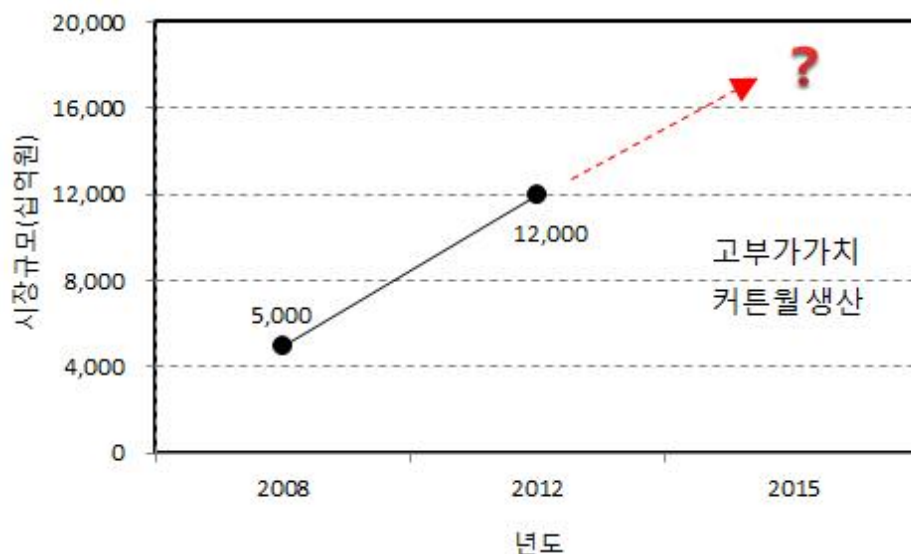


<그림 3.132> 국내 금속구조물·창호공사 기성금액 추이(전문건설협회)

2) 대한전문건설협회 홈페이지 통계자료 중 금속구조물·창호공사 기성금액
(<http://www.kosca.or.kr>)

반면 석재, 금속, 유리 등을 모두 망라한 국내 전체 커튼월 시장은 2008년 5천억에서 2012년에는 1조2천억 수준까지 증가할 것으로 예측³⁾하고 있다. 이는 기존의 저가수주 및 업체간의 과도한 출혈 경쟁으로 인한 수익성 악화로 커튼월 중견기업이 무너지는 경우가 빈번히 나타나면서 대기업과 중소기업의 2분화가 뚜렷이 나뉘어져가는 과도기로 건설사 측면에서 RISK를 고려하여 자금력이 뛰어나고 품질에 대한 보증이 더 나은 대규모 업체를 선호하는 현상이 가속화되기 때문으로 판단하고 있다⁴⁾.

또한 전체적인 외장공사 시장이 일정수준을 계속 유지하는데 비하여, 커튼월 시장이 증가하는 추세는 건축물의 디자인을 차별화하는 트렌드가 형성되고 초고층 시장의 성장이 지속되면서 커튼월 시장이 차별화되는 시장으로 변모되기 때문으로 판단하고 있다.



<그림 3.133> 국내 커튼월 시장 전망

한편, 정부의 친환경 에너지 절약정책이 강화되면서 알루미늄 커튼월 및 이중외피, 3중 Low-E 유리 등 단열 커튼월은 물론 최근에는 태양광발전시스템(BIPV)적용 커튼월 시스템 개발을 추진하는 등 고부가가치의 커튼월 시장이 지속적으로 성장할 것으로 예측⁵⁾하고 있다.

국외의 경우 CITICS의 2012년 리포트⁶⁾에 따르면 전세계 커튼월 시장규모는 2005년

3) 아시아경제 기사, LG화학, 커튼월 분야 英 Arup과 전략적 제휴, 2008. 03

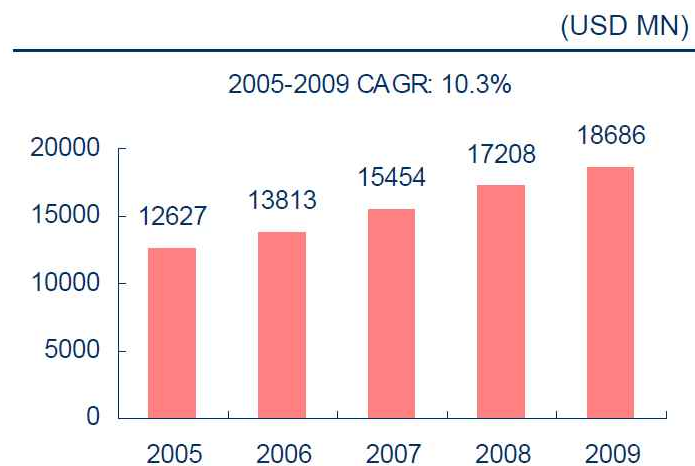
4) 월간 창호기술 기사, 위기의 커튼월 시장을 어찌하오리까, 2012.10

5) 유리신문기사, 2010년 창호시장현황/알루미늄 커튼월 시장, 2010.12

6) CITICS, A global king of curtain wall in steady growth, Yuanda China Investment Value Analysis Report, Feb., 2012

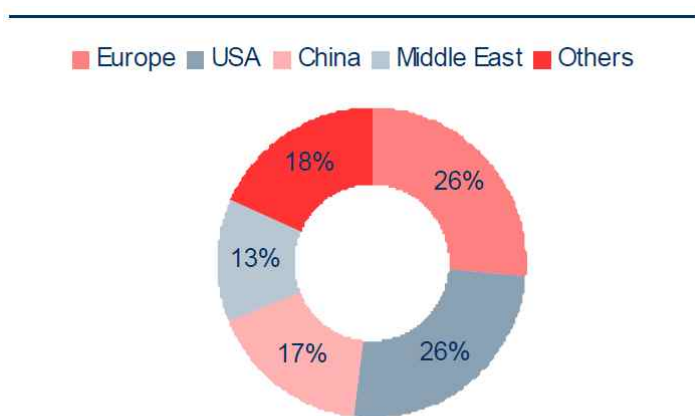
126억 USD에서 2009년에는 187억 USD로 연평균 10.3%로 증가하고 유럽과 미국, 중국은 세계 커튼월 시장의 각각 26.5%, 25.5%, 16.9%를 차지하는 것으로 보고되었다. 유럽의 금융위기속에서도 유럽의 커튼월 시장규모는 아직도 큰 규모이다.

향후 몇 년간 세계 커튼월 시장 평균성장률은 약 10% 대를 유지할 것으로 기대된다.



Source: Synovate report, CSI

<그림 3.134> 세계 커튼월 시장 현황⁸⁾



Source: Synovate report, CSI

<그림 3.135> 세계 커튼월 시장의 국가별 규모⁸⁾

[표 3.41] 세계 5대 커튼월 생산업체 현황⁸⁾

Rank	Company	Location	Revenue (USD mn)	Global market share	Sales volume (mn m ²)	Number of factories
1	Shenyang Yuanda Aluminum Engineering Co., Ltd.	China	1399.0	6.81%	8.02	4
2	Permasteelisa Group	Italy	1162.4	5.66%	7.04	12
3	Schueco International Group	Germany	1130.6	5.50%	6.95	
4	Beijing Jangho Curtain Wall Co., Ltd.	China	782.8	3.81%	4.64	3
5	ApogeeGroup	U.S.	582.8	2.84%	3.56	12

Source: Synovate report, CSI

세계에서 가장 빠른 커튼월 시장이 확대되는 국가는 중국으로 전세계 상위 5대 커튼월 업체 중에 2개 업체가 중국 업체로 나타났다. 이는 중국의 빠른 건설시장의 확장에 따른 것으로 커튼월 시장의 새로운 리더로 부상하고 있다.

세계적으로도 국내와 마찬가지로 커튼월 프로젝트는 기술, 결과, 자본 및 경영면에서 점점 더 대기업으로 집중되는 경향을 나타낸다. 고성능-고품질 커튼월 시장에서의 경쟁은 몇몇 글로벌 거대기업을 포함하여 20여개 업체이내에서 이루어 질 것이다. 대부분의 랜드마크적인 지역별 주요 커튼월 프로젝트는 상위 50여개 이내 업체가 수주할 것으로 판단된다.

현재 비이성적인 저가 수주가 계속되더라도 커튼월 업체는 전략과 비용/편익 효율에 집중하여 시장 개척이 점차적으로 이루어지고 있다.

또한 커튼월 제품은 지속적으로 변화하고 성능이 향상되는데 Hollow Glass, Low-E 유리, 에너지 절감 알루미늄 알로이가 점차 채택되고 있으며, 하이테크 제품으로는 더블스킨 커튼월, PV 커튼월, Respiratory 커튼월이 시장으로 진입하고 있다. 더블스킨 커튼월로 대변되는 신제품 및 신기술 커튼월 시장은 소비자들의 요구 증대로 매우 밝다 할 수 있다.

나) 시장 특성 및 구조

국내는 물론 세계 커튼월 시장에서는 첨단 기술력 및 자본을 갖춘 대형 커튼월 업체가 새로운 시장을 형성하고 있다. 이는 기존 일반적인 커튼월 기술을 보유한 업체들은 상호 저가 경쟁으로 위기를 맞을 수 있음을 뜻한다.

커튼월 시스템의 개발방향은 에너지 절약이 주를 이루고 있으며, 아직 개발과정에 있다. 반면 커튼월의 안전성 향상을 위한 기술개발은 이루어지지 않음을 기술개발동향을 통해 알 수 있었다. 이는 외국의 경우 커튼월의 화재안전성은 기본적인 성능으로 갖추어야 할 항목으로 인식하고 있음을 뜻하며 다양한 국외의 커튼월 내화성능 시험방법을 살펴보면 더라도 알 수 있다

그러나 국내에서는 커튼월 화재 안전성의 필요를 인지한지가 얼마 되지 않고 수많은 건축물에 적용된 커튼월의 내화성능도 평가 및 파악되어 있지 않다. 이는 결과적으로 화재사고로 이어지게 되고, 사회적인 이슈가 된 것이다. 그럼에도 대기업 등에서는 제도적 장치가 아직 모호한 관계로 주도적인 기술개발이 이루어지지 않고 있다.

따라서, 커튼월의 화재안전성 향상을 위한 공법 개발은 아직 커튼월 분야의 블루오션으

로 판단되며 중소기업의 부족한 연구 인프라를 타 기관과의 공동연구를 통해 충분히 개발 가능한 기술로 판단된다.

향후 “건축물의 피난 방화 기준에 관한 규칙”, “건축물 마감재료의 난연성능 및 화재 확산 방지구조 기준”, “내화구조의 인정 및 관리기준”, “내화충전구조 세부운영지침” 등 커튼월의 화재안전성을 강화한 국가 규정이 활성화된다면 본 신청기술은 화재성능 향상 커튼월 시장을 새롭게 개척할 수 있을 것으로 판단된다.

다) 국내 건설공사 활용 전망

커튼월 시스템의 내화성능 시험방법이 정립되어 평가가 이루어지고, 그 위험성에 관한 인식이 소비자 사이에서 이루어진다면, 향후 국내 커튼월 건설공사는 본 신청기술의 활용이 충분히 이루어질 것으로 판단된다.

본 기술은 법으로 제시된 기준보다 우수한 내화성능을 보유하므로 경제성 측면이 기존 커튼월 공법과 비교하여 어느 정도 확보된다면 국내 커튼월 공사에 다양하게 적용될 것으로 판단된다.

또한 기존 공법과 공정순서가 동일하고 Back Panel을 개발한 경량무기발포 세라믹보드로 대체하는 기술이므로 향후 유지관리 측면에서 커튼월의 단열재 개보수 공사가 이루어질 경우에도 손쉽게 적용이 가능할 것으로 판단된다.

라) 유사 기술과의 경쟁상태 및 유사 기술의 출현 가능성

국내에서 유사한 기술을 개발한 개인이나 업체는 없는 상황이나 공공의 안전을 위해 “건축물 마감재료의 난연성능 및 화재 확산 방지구조 기준”에서 화재확산방지구조를 제시한 바 있다. 그러나 제시된 화재확산방지구조는 내화성능기준으로 15분 정도에 한하며, 불연재료를 단열재로 대체하여 적용하므로 커튼월의 단열성능이 현저히 저감될 우려가 있다.

국내 내화성능 시험방법 및 내화성능기준에 따라 30분의 내화성능을 확보하고, 기존 커튼월 공법보다 단열성능이 우수한 것으로 평가되었다. 본 기술의 사용이 확대될 경우 유사기술이 나올 가능성을 배제할 수는 없으나, 단열재 생산기술, 단열재 적용공법, 재료 및 공법의 물성, 단열성, 내화성, 시공성, 경제성 등을 모두 고려하여 경쟁이 가능한 기술은 향후 당분간 출현하기 어려울 것으로 판단된다.

마) 해외시장 수출전망

유럽의 경우 EN 코드와 DIN 코드에 별도의 커튼월 내화성능 시험방법이 있어 이 시험방법에 의해 커튼월 내화인증을 받은 업체로 독일의 Raico, Stabalux, 스위스의 Forster와 Jansen이 있다. 이 회사의 커튼월 제품들은 30분에서 90분까지 다양한 내화성능시간을 인증 받았다.

[표 3.42] 외국의 커튼월 내화성능 인증현황

회사명	제품명	관련코드	성능시간(분)
RAICO(독일)	THERM A-I THERM A-V	gEN 13830	30
	THERM S-I	EN 13830 EN 13501	30
Stabalux(독일)	Stabalux SR	EN 13830 EN 13501	30
FORSTER(스위스)	Forster thermfix vario	DIN 4102	30-90
	Fire-resistant glazing vertical	EN 1364-3	60-90
Jansen(스위스)	VISS Fire VISS Fire DV VISS Basic TV VISS Fire TV	DIN 4102 EN 13830	30-90

국내 내화시험방법인 KS F 2257-8에 의해 시험을 수행하여 내화성능 30분을 만족하였다. 물론 시험방법의 차이가 있을 수는 있으나 가열로 내 온도조건 등은 매우 유사하다. 미국의 경우도 국내와 마찬가지로 별도의 커튼월을 위한 내화성능시험방법은 없으나, 국내 내화시험방법과 동일한 ASTM E 119에 의해 내화성능을 평가하고 있다.

국내에서는 커튼월의 화재확산방지를 위하여 “건축물 마감재료의 난연성능 및 화재 확산 방지구조 기준”에서 Spandrel 단열재 부위를 불연재료로 치환하거나 내화성능 15분을 만족하는 제품을 사용하는 기준을 제시하였으나, 외국의 커튼월 최소 내화성능인 30분을 만족하지 못한 실정이다.

본 기술은 내화성능시험에 의해 30분의 내화성능을 갖는 것으로 확인되었으므로 국외의 내화 기준 또한 만족할 수 있을 것으로 판단되며, 국외 시험에 의한 내화성능의 인증을 받는다면, 국내에서 최초로 내화성능을 보유한 커튼월 공법을 수출할 수 있을 것으로 판단된다.

2) 공익성

문화 및 집회시설, 의료시설, 공동주택 등 다중이용시설 등의 화재에 의한 공공 안전을 위해 제정된 “건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙”에서는 각 건축물 들의 내화성능 기준을 제시하고, 건축물은 이 내화성능 기준에 만족하는 구조로 이루어져야 한다.

기존의 커튼월 공법은 내화성능을 만족하지 못하므로 화재발생이 공공 안전을 지키는데 어려움이 있으나, 신청기술은 내화성능 기준을 충족하므로 많은 사람들이 이용하는 다중이용시설물에 적용시 공공의 안전을 지킬 수 있다.

또한 신청기술은 기존 커튼월 공법의 유지보수 단계에서도 적용이 가능하므로 더 많은 사용자들의 화재안전을 확보하는데 도움을 주는 기술이다.

제4절 공사시방서

이 시방서는 “경량무기발포 세라믹보드의 백패널 및 프레임커버 적용 커튼월의 내화 성능 향상공법”에 관한 것으로 커튼월의 외벽에 사용되는 공사 및 부속 재료에 관한 품질, 보관 및 시공기준으로 적용한다. 시방서의 적용에 있어 외장재 설계용 풍하중 기준은 “건축구조설계기준”을 따르며, 커튼월 공사의 일반 시공사항은 “건축공사표준시방서”를 따르며, 경량무기발포 세라믹보드의 설치는 이 시방서를 따른다.

기준	기준 명	관리기관
설계기준	건축구조설계기준 중 외장재의 풍하중 설계 기준	대한건축학회
시방기준	건축공사표준시방서 중 14000 외벽공사	대한건축학회

1. 일반사항

가. 적용범위

- 1) 이 시방서는 커튼월으로 적용된 건축물의 화재확산을 방지하기 위해 적용하는 화재 확산방지구조의 한 종류로 내화성능 30분이상을 확보를 위하여 경량무기발포 세라믹보드를 백패널 및 프레임커버로 적용한 내화성능 향상공법에 적용한다.
- 2) 이 시방서는 일반시방서에 우선하여 적용 한다.
- 3) 다만 이 시방서에 명기되지 않은 사항에 대해서는 아래 1)~4)의 기준·법령에 준하며, 사전에 감독관과 협의하여 결정한다.

가) 건축법, 건축법 시행령 및 시행규칙, 국토교통부

나) 건축공사표준시방서, 대한건축학회

다) 건설기술관리법, 건설기술관리 시행령 및 시행규칙

라) 한국산업표준(KS)

나. 용어정의

이 시방서에 사용하는 용어를 아래와 같이 정의한다.

1) 경량무기발포 세라믹보드

- 가) 경량무기발포 세라믹보드는 화재 연소를 방지하기 위하여 불에 타지 않는 친환경 재활용재료인 유리분말 및 플라이애시 등을 주원료로 하여 내부에 기공을 형성하면서 소성하여 제조된 제품이다.
- 나) 경량무기발포 세라믹보드는 우수한 내열성과 차열성을 보유한 불연재료이며 커튼월의 화재 취약부인 Spandrel 부위의 Back Panel 및 Frame Cover로 사용하는 주요 재료로 내화성능을 향상시키면서 단열성능은 유지하는 제품이다.

2) Spandrel

- 가) 커튼월은 유리로 구성된 Vision, 그 하부에 노출되지 않는 Spandrel로 구분되며, Spandrel은 건축물의 수평 구조부재인 슬래브에 커튼월을 고정함과 동시에 단열성이 요구되는 중요한 부위이다.
- 나) Spandrel은 화재 발생시 주요 확산 경로 중 하나로 기본적으로 단열성능을 가지면서 내열성 및 차열성이 우수한 재료를 사용하여야 한다.

3) 방화실란트

- 가) 경량무기발포 세라믹보드 및 프레임 사이의 접합부위에 발생하는 조인트는 화재시 취약부위로 간주되므로 이를 막을 수 있는 내화성능을 보유한 방화실란트의 사용이 요구된다.
- 나) 본 지방의 내화성능 적용기준은 최소 30분이므로 내화성능시험에 의해 30분 이상의 내화성능이 확인된 방화실란트를 사용한다.

다. 감독관의 책무

- 1) 이 지방서에서 감독관이라 함은 발주자 또는 발주자 대리인을 말하며 전체공사의 수행이나 시공에 대한 책임을 맡고 있는 자를 말한다.
- 2) 감독관은 중요한 지시 및 승인을 문서로 시행한다.
- 3) 감독관은 공사감리자 및 시공자의 업무를 원만히 수행할 수 있도록 협력한다.

라. 시공자의 책무

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

- 2) 시공자는 공사계약서 및 설계도서 등에 따라 충실히 시공하며 감독관의 검사승인 또는 협의결과에 따라 시행한다.
- 3) 시공자는 공사감리자가 관계 법령의 규정에 의한 공사감리업무를 원만히 수행하도록 협력한다.

마. 공법·공정의 결정

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

2. 사용자재

가. 경량무기발포 세라믹보드

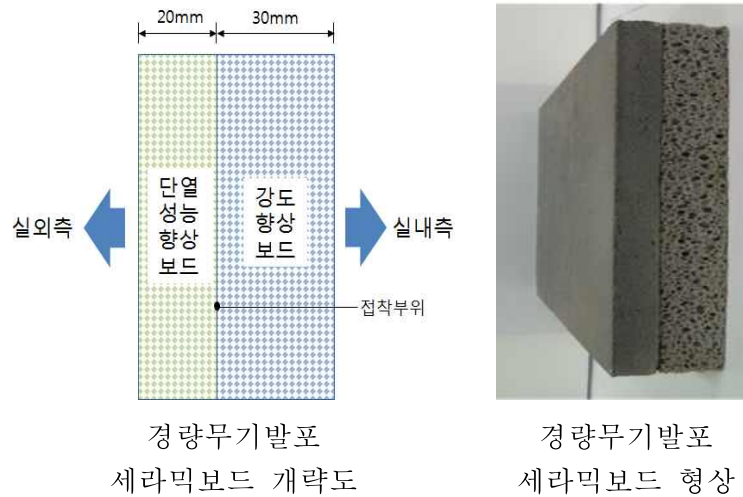
1) 경량무기발포 세라믹보드의 성능규격

- (가) 본 공사에 사용하는 경량무기발포 세라믹보드는 유리분말 및 플라이애시 등을 첨가하여 제조한 것으로 내화성능이 우수한 불연재료이며, 무기계 발포제를 이용하여 보드 내부에 다량의 기공을 형성한 패넬형 제품이다.
- (나) 경량무기발포 세라믹보드는 단열성능의 향상 및 구조성능 향상을 위해 단열성 향상용 보드와 강도향상용 보드를 별도로 생산하여 접합하는 하이브리드 구조를 갖는 것을 특징으로 한다. 이때 경량무기발포 세라믹보드는 다음의 구조성능 및 화재성능을 만족하는 것을 사용하여야 한다.

[표 3.43] 경량무기발포 세라믹보드의 성능기준

성능		단위	성능기준		평가 방법
			단열성 향상용 보드(외측)	강도향상용 보드(내측)	
밀도		g/cm ³	0.25 ± 0.05 이하	0.45 ± 0.05 이하	KS F 2701
열전도율		W/mK	0.06 ± 0.005 이하	0.11 ± 0.01 이하	KS L 9016
압축강도		N/mm ²	1.0 ± 0.2 이상	6.0 ± 0.5 이상	KS L ISO 679
휨강도		N/mm ²	0.5 ± 0.1 이상	2.0 ± 0.2 이상	KS L ISO 679
탄성계수		N/mm ²	-	3.0 ± 0.5 이상	KS F 2438
화재 성능 (불연성)	연소성능 (20분 가열, THR)	MJ/m ²	8 이하		KS F ISO 5660-1
	가스유해성	min.	9		KS F 2271
	온도상승	K	20K 이하		KS F ISO 1182
	중량감소	%	30 이하		

상기 성능에 적합한 단열성 향상용 보드와 강도향상용 보드는 다음과 같이 접합하여 현장에 커튼월의 Back Panel 위치에 설치한다. 단 Frame 커버용은 강도향상용 보드를 사용한다.



<그림 3.136> 경량무기발포 세라믹보드

2) 경량무기발포 세라믹보드의 치수

경량무기발포 세라믹보드의 최대 제조치수는 1,200×1,200mm이나 보드의 운반 및 설치 등을 고려한 현장적용 치수를 공장에서 절단하여 반출한다. 경량무기발포 세라믹보드의 제조치수는 다음을 따른다.

설치부위	제 조 치 수	두께	비 고
Spandrel Back Panel	설계치수	50mm	설치 여유공간 확보
Frame cover	설계치수 (설계치수가 명시되지 않을 경우 Frame 치수 + 60mm, 양방향 기준)	30mm	프레임 양방향 겹친길이 : 30×2mm 프레임 중 일방향 겹친길이 : 30mm

나. 고정철물

본 공사에서 경량무기발포 세라믹보드를 커튼월에 고정하기 위하여 사용하는 고정철물인 경량 L형앵글 및 스크류 피스는 다음과 같다.

1) 경량 L형 앵글

경량무기발포 세라믹보드를 커튼월 프레임에 고정하고, 프레임 내부 설치시 정밀도를 향상하고 정해진 위치에 고정하기 위한 Stopper로 사용한다. 크기는 20×20×50×5mm로 부식방지를 위해 STS 304종사용 경량 L형 앵글과 보드, 앵글과 프레임 사이에는 PVC 또는 EPDM 격리재를 사용한다.



<그림 3.137> 무기질 단열재와 프레임 고정용
경량 L형 앵글

2) 경량 L형 앵글 고정용 스크류 피스

경량무기발포 세라믹보드와 L형앵글, 앵글과 프레임을 고정하기 위하여 접시머리 직결나사(#8-2PT)를 사용한다. 경량무기발포 세라믹보드 고정용은 #8(4.2mm)×13mm 크기, 프레임고정용은 #8(4.2mm)×50mm 크기를 사용한다.



<그림 3.138> 경량 앵글 고정용
스크류 피스

다. 방화실란트

본 공법에 사용하는 실링재는 경량무기발포 세라믹보드 접합 조인트, 경량무기발포 세라믹보드와 이를 설치한 프레임 사이, 프레임 커버의 부착 주위로 화염이 새지 않도록

록 밀실하게 충전하기 위하여 내화성능 30분 이상을 만족하는 방화실란트 HILTI CP 606 또는 이와 동등이상의 제품사용, 모든 종류의 실란트를 사용전 시험 데이터나 샘플을 제시하여 승인을 받아야 한다.



<그림 3.139> 방화실란트

3. 시공방법

가. 시공전 점검 및 준비사항

1) 자재운반 및 보관

- 가) 경량무기발포 세라믹보드의 시공시 파손을 방지하기 위해 세워서 운반한다.
- 나) 운반이나 적재시 경량무기발포 세라믹보드의 모서리 및 끝부분이 파손되지 않도록 유의하여 취급한다.
- 다) 경량무기발포 세라믹보드는 습기가 적은 곳이나 환기가 잘 되는 실내에 보관한다.
- 라) 보관 중인 경량무기발포 세라믹보드는 밟지 않아야 한다. 이 경우, 경량무기발포 세라믹보드에 미세한 균열이 생길 수 있고 이로 인하여 내화성능이 저감될 수 있다.
- 마) 경량무기발포 세라믹보드가 지면과 직접 닿지 않도록 팔레트에 적재한다.
- 바) 적재 높이는 1m 이내 혹은 1단에 20장 이내로 쌓아야 하며, 2단을 초과하여 보관하지 않도록 한다.
- 사) 경량무기발포 세라믹보드는 항상 지면과 수평이 되게 적재한다.
- 아) 파손의 위험을 줄이기 위해 경량무기발포 세라믹보드는 시공직전에 현장에 운반한

다.

자) 장기간 현장에 보관할 시에는 깨끗한 보호천막으로 바닥면 및 경량무기발포 세라믹보드 상부를 충분히 덮어두어 기타 외부 유해요소에 대한 노출을 피한다.

2) 사용 장비 점검

가) 전동드라이버 및 전동절단기는 사용 및 이동에 의해 방해받지 않도록 설치 및 사용한다.

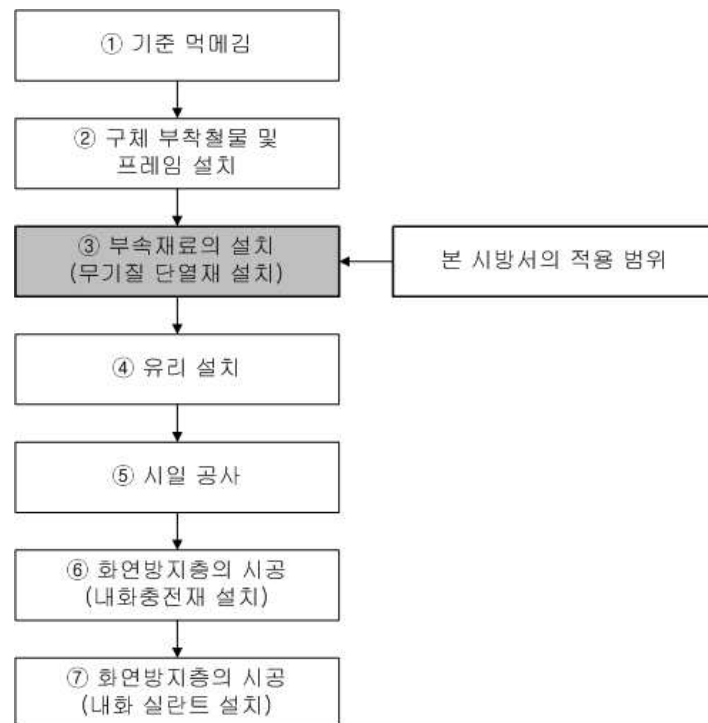
나) 스크류 피스는 규격에 맞는지 확인하여 사용한다.

나. 시공작업

1) 시공순서 및 범위

가) 본 공법은 커튼월 공법의 일부로 적용되며 다음의 시공순서에 따라 커튼월 구체의 부착철물 및 프레임 설치가 완료된 후 부속재료의 설치 단계에 적용한다.

나) 이 시방서의 적용범위 이외의 커튼월 시공순서는 건축공사표준시방서의 커튼월 공사 또는 공사현장에 적용되는 커튼월 특기 시방서에 따른다.



<그림 3.140> 내화성능 향상 커튼월 공법 시공순서
및 이 시방서의 적용범위

다. 시공방법

1) 경량무기발포 세라믹보드의 가공 및 절단

- 가) 경량무기발포 세라믹보드는 공장에서 제조 및 가공한 제품을 사용하는 것을 원칙으로 하나 현장 조건에 따라 전동절단기를 이용하여 절단하여 설치할 수 있다.
- 나) 절단면은 직각이 되도록 하고, 진동에 의해 파손이나 균열이 발생되지 않도록 유의한다.



<그림 3.141> 무기질 단열재의 절단

2) 커튼월 프레임 고정

- 가) 경량무기발포 세라믹보드의 긴 변의 길이가 고정되는 멀리언 간 안목치수 이하로 제조되었는지 확인하고 치수가 클 경우 “가. 경량무기발포 세라믹보드의 가공 및 절단” 방법에 따라 현장에서 절단한다.
- 나) 경량무기발포 세라믹보드는 단열용 및 강도용의 이중보드를 복합한 하이브리드 구조로 설치시 단열용이 외부, 강도용이 외부로 향하여 고정 및 충격 등에 견딜 수 있도록 설치방향에 주의한다.
- 다) 멀리언에 경량무기발포 세라믹보드의 두께를 고려하여 설치가 용이하도록 경량 L형 앵글을 Stopper로 좌, 우측 내면에 설치한다.
- 라) 경량무기발포 세라믹보드를 커튼월 프레임 내부에 설치시 최초 설치하는 경량무기발포 세라믹보드는 짧은 변이 좌우 멀리언 내부, 긴 변은 트랜섬 상단에 면하도록 세우고 경량앵글을 이용하여 짧은 변은 좌우 양 끝 단부, 긴 변은 하단부의 3등분 지점 2개소를 스크류 피스로 고정한다.



<그림 3.142> 경량무기발포 세라믹보드의
최하단 설치



<그림 3.143> 경량무기발포 세라믹보드와
프레임간 고정

마) 최초 설치한 경량무기발포 세라믹보드에 연속하여 경량무기발포 세라믹보드를 설치하는 경우 경량무기발포 세라믹보드의 좌우 짧은 변의 양 끝 단부를 경량무기발포 세라믹보드와 면하는 멀리언과 경량 L형 앵글을 이용하여 스크류 피스로 고정한다.

바) 최종 설치하는 무기질 단열재는 짧은 변이 좌우 멀리언 내부, 긴 변은 트랜섬 하단에 면하도록 세우고 경량앵글을 이용하여 짧은 변은 좌우 양 끝 단부, 긴 변은 상단부의 3등분 지점 2개소를 스크류 피스로 고정하여 경량무기발포 세라믹보드의 커튼월 프레임 고정을 마무리한다.

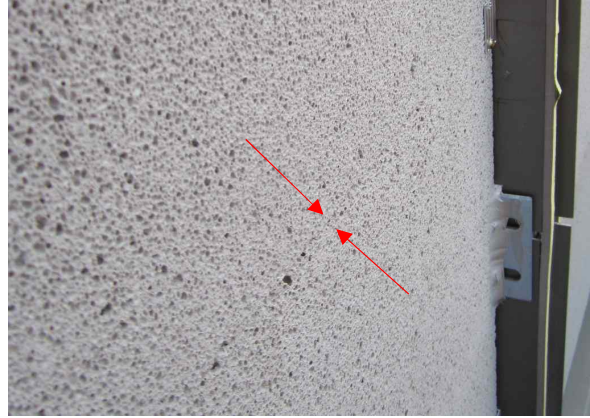
3) 경량무기발포 세라믹보드간의 접합

가) 경량무기발포 세라믹보드를 적층하여 설치하는 경우 경량무기발포 세라믹보드간의 접합면 가운데에 최소 두께 10mm 이상 방화실란트를 도포한 후 밀실하게 접합하며 별도의 고정 철물은 이용하지 않는다.

나) 최대 접합성능을 확보할 수 있도록 방화실란트의 가사시간, 경화시간 등을 충분히 확인한 후 시공한다.



<그림 3.144> 방화실란트 도포



<그림 3.145> 경량무기발포 세라믹보드
접합 조인트

4) 커튼월 프레임 커버 설치

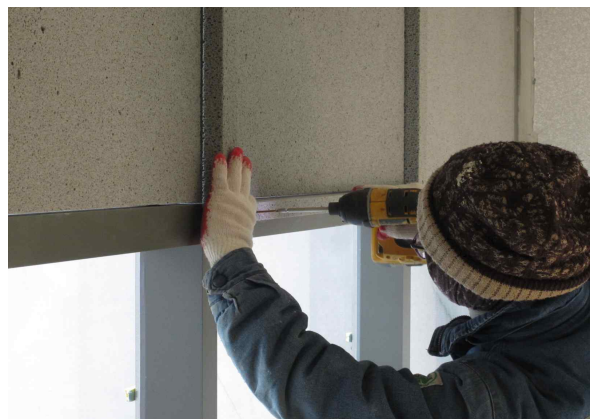
가) Spandrel 후면 Back Panel로 경량무기발포 세라믹보드의 설치가 완료된 후 내부에 면한 커튼월 프레임은 화재에 노출되지 않도록 강도 향상용 경량무기발포 세라믹보드를 프레임 폭보다 양 변으로 각각 30mm 이상 내어진 크기의 커버를 공장에서 절단하여 현장에 운반한 후 설치한다.

나) 커튼월 프레임 커버는 커버 중앙부에 4개소를 동일한 간격으로 스크류 피스로 프레임에 고정한다.

다) 커튼월 프레임 커버는 부재의 길이가 길고 폭이 적어 파손의 위험이 매우 크므로 운반 및 설치시 주의한다.



<그림 3.146> 커튼월 프레임 커버 절단



<그림 3.147> 커튼월 프레임 커버 설치

5) 실링작업

- 가) 경량무기발포 세라믹보드를 커튼월에 설치한 후 남아있는 틈새는 내화성능 확보를 위하여 실내방향에서 방화 실란트로 마무리한다.
- 나) 커튼월 프레임과 경량무기발포 세라믹보드의 실링간격이 넓은 경우 경우에 따라 백업재로 충전하며 백업재를 미네랄울을 사용한다.
- 다) 커튼월 프레임 커버를 부착한 조인트도 방화실란트로 마무리한다.
- 라) 최종적으로 경량무기발포 세라믹보드를 설치한 Spandrel 전체 부위의 틈새여부를 확인하고 방화실란트로 마무리하여 빈틈이 없도록 한다.

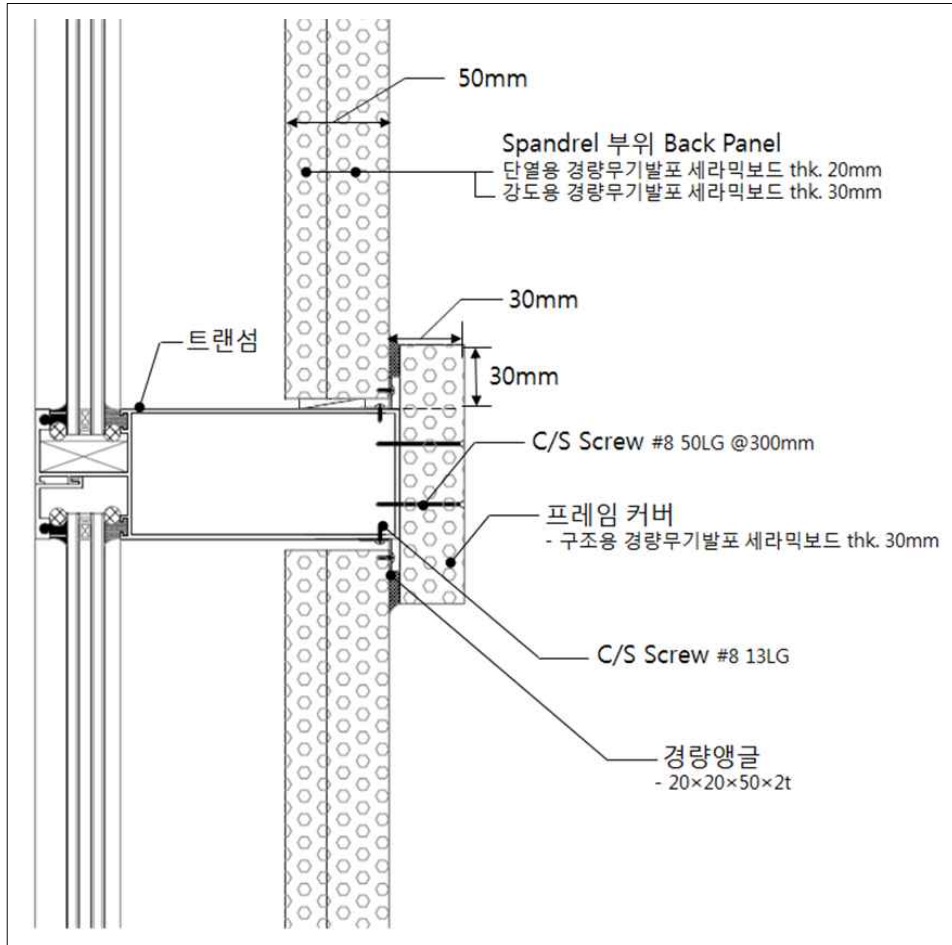


<그림 3.148> 경량무기발포 세라믹보드 설치 후 실링작업

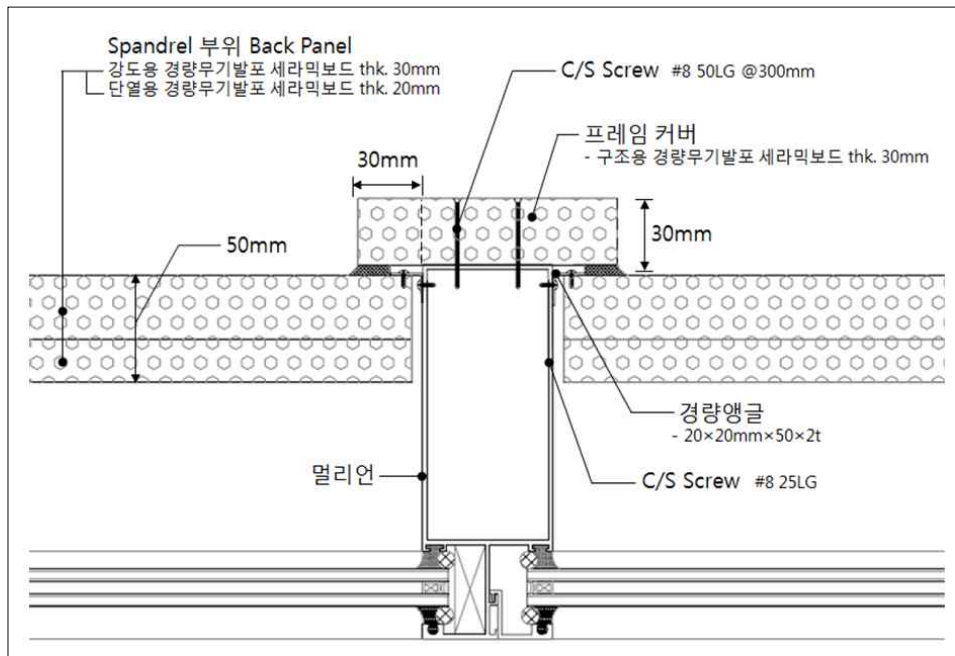
라. 시공작업시 주의사항

1) 안전점검 사항

- 가) 설치작업전 추락, 부재낙하 등이 발생하지 않도록 안전관리규정에 준한 안전시설을 하여야 한다.
- 나) 작업시 항상 안전모와 안전장갑 등 안전을 위한 보호장비를 착용한다.
- 다) 작업자에게 현장 상황에 따른 기본적인 개인 안전장구를 지급하여 현장 내에서 항상 휴대 활용토록 하여야 한다.
- 라) 화재가 발생하지 않도록 사용장비에 대한 점검을 철저히 실시한다.
- 마) 절단작업시 전동식 절단기를 사용할 경우 날 접촉 예방장치를 설치한 후 사용한다.



<그림 3.149> 경량무기발포보드의 설치 예(수직단면)



<그림 3.150> 경량무기발포 세라믹보드의 설치 예(수평단면)

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

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

2) 기타 유의사항

가) 하절기, 동절기 및 우천시 공사는 공사의 영향정도에 따라 적절한 대책을 세운 후 진행한다.

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

마. 커튼월 성능시험

1) 커튼월 성능시험

가) 커튼월의 성능시험 시행여부 규모 시험종목 및 판정기준은 건축공사표준시방서 따르고, 경량무기발포 세라믹보드를 백패널 및 프레임 커버로 적용한 내화성능 향상공법은 다음의 항목을 추가한다.

나) 성능시험용 도면은 감독관이 지정하는 부분에 대하여 작성하며, 본 건물에 부착된 상태로 제작하여 감독관이 인정하는 시험소에서 성능시험을 할 수 있도록 보고서를 작성하여 감독관에게 제출하여 승인을 받은 후 성능시험을 실시한다.

다) 시험종료 후 각종 시험에 관련된 시험결과를 감독관에게 제출해야 하며, 성능시험 관련사항은 아래와 같다.

2) 방·내화 성능시험

가) 커튼월의 적용되는 화재확산방지구조 및 내화충전구조는 관련 법규의 규정에 따른다

나) 방·내화성능이 검증에 의해 인정받는 경우 방·내화성능 규정시험에 따른다.

3) 실물모형 성능시험(Mock-up test)

가) 시험소 : 감독관이 지정하는 국내·외 시험소에서 실시한다.

나) 시험종목

(1) 열순환시험(Thermal cycling test : AAMA 501.5)

열순환시험은 AAMA 501.5에 따라 Hot condition은 24℃, 82℃(for 2 hours),

Cold condition은 24℃, -18℃(for 2 hours)으로 Hot & Cold condition을 1 Cycle로 보고 총 3 Cycles을 진행하여 경량무기발포 세라믹보드를 확인한다.

(2) 결로시험(Condensation test : AAMA 501.5)

상온인 22℃, RH 40%의 Indoor chamber condition과 냉온인 -13℃의 Thermal chamber condition으로 구성하여 2 hours 동안 시험을 진행하여 경량무기발포 세라믹보드의 결로여부를 확인한다.

(3) 층간변위시험(Interstory lateral movement test : AAMA 501.4)

구조물을 좌우로 10초동안 12 mm씩 최대 변위를 주고 영점으로 되돌아가는 상태를 1cycle로 할 때 3cycle 동안 경량무기발포 세라믹보드의 항복, 파손, 찢어짐, 탈락 등의 유무를 확인한다.

바. 품질관리 및 검사

1) 바탕면

가) 시공자는 경량무기발포 세라믹보드의 공사에 앞서 세라믹보드를 설치할 프레임의 바탕면이 시공도면에 적합한지를 확인한다.

나) 세라믹보드의 부착하는데 문제가 있는 경우 형태에 대한 수정과 다시 확인한다.

2) 사용자재

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

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

3) 공사 품질관리

가) 공사 진행의 모든 사항은 이 시방서의 적합하게 시공해야 하며, 각 세부공정이 끝날 때 마다 감독관 또는 공사감리자의 확인을 받는다.

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

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

4) 완료 후 품질관리

- 가) 타 공정에 의하여 경량무기발포 세라믹보드, 화재확산방지구조 등의 하자가 발생할 경우를 대비하여 육안 확인이 가능한 최종 공정단계에서 경량무기발포 세라믹보드, 화재확산방지구조 등의 하자여부를 확인한다.
- 나) 최종 확인가정에서 시공부위의 균열, 파손, 틈새, 접합불량 등의 하자여부가 확인되는 경우 이를 감독관 또는 공사감리자에게 보고하고 보수한다.

경량무기발포 세라믹보드 공사의 체크리스트

공정		검사일자	2013.00.00
세부공정		부위 및 위치	

공 정	검사항목	검사항목 및 관리기준	검사결과		조치사항
			Yes	No	
1. 경량무기발포 세라믹보드의 보관 형태	· 세라믹보드의 적치 형태	· 세라믹보드 적재높이 - 1단 20장 이내 - 1m 이내 · 수평이 되도록 보관			
2. 커튼월 바탕 프레임의 확인	· 커튼월 바탕면 확인 · 접합위치 · 지지간격	· 시공도대로 시공되어 있는지의 확인 · 접합위치 및 지지간격 확인			
3. 경량무기발포 세라믹보드의 패널의 조립정도 확인	· 세라믹보드 간격 확인 · 단차 확인	· 세라믹보드의 프레임과의 접합형태 확인 · 프레임커버의 설치 확인			
4. 고정철물의 확인	· 경량 L형 앵글 접합형태 · 스크류피스의 위치 확인	· 경량 L형 앵글의 접합 상태 확인 · 스크류피스의 접합상태 확인			
5. 방화실란트	· 방화실란트의 규격 확인 · 방화실란트의 간격 및 형태 · 백업재(미네랄울)의 사용	· 방화실란트의 간격 및 형태 확인 · 백업재(미네랄울)의 사용 여부 확인			
6. 시공후의 확인	· 시공후의 처리	· 잔재처리			· 잔재는 법규에 의거하여 처리

시공사 점검	(인)	감리원 점검	(인)
--------	-----	--------	-----

<그림 3.151> 경량무기발포 세라믹보드의 체크리스트 일예

제5절 유지관리지침서

1. 일반사항

- 가. 본 유지관리지침은 하이브리드 경량무기발포 세라믹보드를 이용한 커튼월 내화향상공법의 유지관리에 적용한다.
- 나. 외부의 충격에 의한 경량무기발포 세라믹보드의 손상 또는 결함의 불량, 부착력 저하가 발생할 경우 요구되는 커튼월의 내화성능을 지속적으로 유지하기 어려우므로 사용 중 유지관리가 필요하다.
- 다. 당해 공법에 의해 커튼월 공사가 완료된 후에도 유지관리자는 사후관리를 위해 점검계획을 수립하고, 점검을 수행 한다.
- 라. 유지관리자는 공사완료 후 경량무기발포 세라믹보드의 파손을 초래하는 요인을 사전에 조사하여 이를 미연에 방지하고, 결함이나 파손 등이 확대되지 않도록 한다.

2. 유지관리절차

“경량무기발포 세라믹보드를 커튼월 Back Panel로 적용한 내화성능 향상공법”의 유지관리에 있어서 성능저하를 가져올 우려가 있는 경량무기발포 세라믹보드의 파손, 균열, 변형 등의 결함을 조기에 파악하여 적절한 대책을 수립하는 것이 매우 중요하다. 유지관리는 다음과 같은 절차에 따라 수행한다.

- 가. 점검결과에 따라 발견된 결함, 발생 시기, 결함의 형태나 발생위치와 그 원인을 정확히 평가 및 판정한다.
- 나. 점검결과에 의한 평가 및 판정 후 적절한 대책을 수립하여야 한다.
- 다. 점검은 목적에 따라 다음과 같이 실시한다.

1) 수시점검

수시점검은 유지관리자 또는 관리주체의 일상적인 유지관리 업무로 육안을 이용하여 일일점검 또는 필요하다고 판단되는 때에 수시로 실시하는 부정기점검이다.

2) 일상점검

일상점검은 손상을 조기에 발견하기 위해 육안을 이용하여 정기적으로 실시하는 점검으로 가능한 시설물에 근접하여 점검하며 기록한다.

3) 긴급점검

긴급점검은 지진이나 화재가 발생한 경우, 긴급한 손상이 발견된 때 또는 관리주체가 필요하다고 판단하는 경우에 실시하는 모든 점검을 말한다.

라. 상기 점검결과, 보수가 필요하다고 판단되는 경우에는 유지관리자와 협의하여 보수절차 및 보수방법을 결정하여야 한다.



<그림 3.152> 유지관리 절차

3. 점검사항

경량무기발포 세라믹보드의 성능을 유지하기 위하여 손상(균열, 파손, 변형 등) 부위 등을 점검하고, 경량무기발포 세라믹보드 Back Panel과 커튼월 프레임의 결합상태 및 내화충전구조 하부의 앵글 결합상태를 점검하는 것으로 한다.

가. 경량무기발포 세라믹보드의 손상

- 1) 경량무기발포 세라믹보드의 손상(균열, 파손, 변형)여부를 점검한다.
- 2) 경량무기발포 세라믹보드간의 부착 상태를 점검한다.

나. 경량무기발포 세라믹보드와 커튼월 프레임과의 결합상태

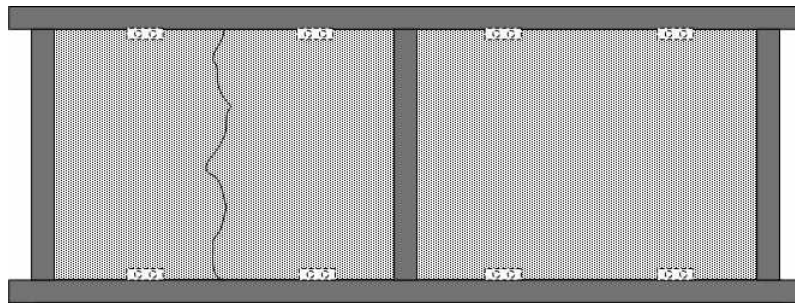
- 1) 경량무기발포 세라믹보드와 커튼월 프레임과의 경량앵글에 의한 결합상태를 점검한다.
- 2) 경량무기발포 세라믹보드와 경량앵글 결합부위의 손상(균열, 파손, 변형)상태를 점검한다.

3) 경량무기발포 세라믹보드의 실링상태

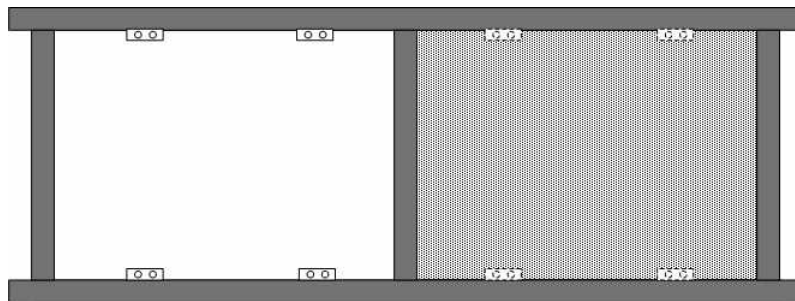
다. 경량무기발포 세라믹보드와 커튼월 프레임, 커튼월 프레임 커버사이의 실링재 손상 상태를 점검한다.

4. 보수방법

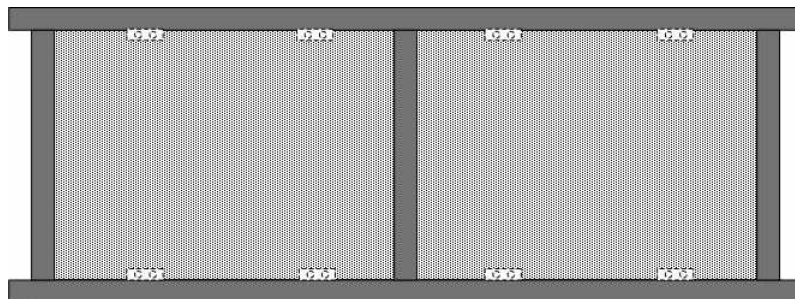
“경량무기발포 세라믹보드를 커튼월 Back Panel로 적용한 내화성능 향상공법”을 적용한 부위의 보수는 상기의 점검결과에 근거하여 유지관리자의 상의하여 결정하며 파손 부위를 교체하는 재시공과 일정부위를 보수하는 부분시공으로 구분한다.



(a) 파손된 보드 확인



(b) 파손된 보드 제거



(c) 새로운 보드 교체 고정

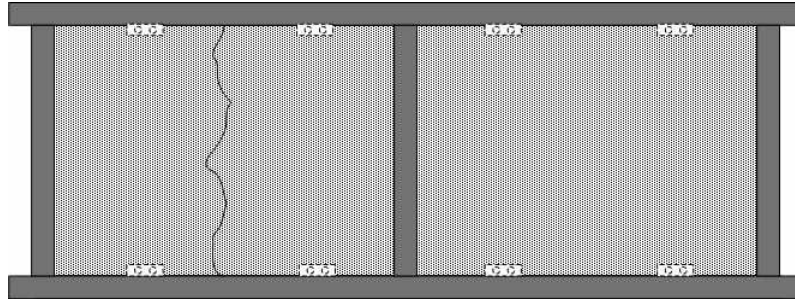
[그림 3.153] 경량무기발포 세라믹보드의 전면보수

가. 재시공 범위 및 방법

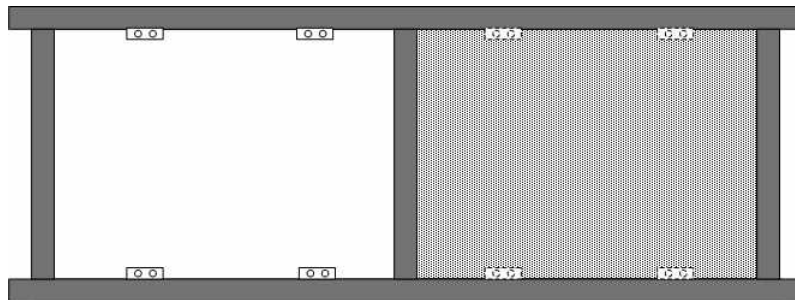
- 1) 경량무기발포 세라믹보드의 균열, 파손, 변형 등이 단위 크기 전체에 걸쳐 발생한 경우 그 경량무기발포 세라믹보드를 교체한다.
- 2) 경량무기발포 세라믹보드와 커튼월 프레임을 결합한 경량앵글의 변형이 발생한 경우 경량앵글을 교체한다.

나. 부분시공 범위 및 방법

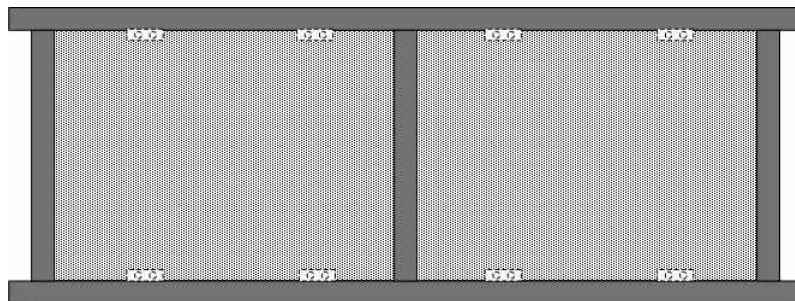
- 1) 경량무기발포 세라믹보드의 균열, 파손, 변형 등이 일부에 한정될 경우 파손부위를 일부 절단하고 부분 교체하여 내화성능이 있는 무기질 접착제로 부착하거나 또는 주입하여 하자부위를 수선한다.
- 2) 실링부위가 외부의 충격, 변형 등으로 일부 손상되었을 경우 손상된 부위만 제거하고 방화실란트로 실링하여 처리한다.



(a) 파손된 보드 확인



(b) 파손된 보드 제거



(c) 새로운 보드 교체 고정

[그림 3.154] 경량무기발포 세라믹보드의 전면보수

4장 연구개발 결과의 활용계획

제1절 추가연구의 필요성 및 타 연구에의 응용

1. 국내의 관련 분야의 환경변화

건축물의 내화성능 관련 법규는 건축물의 붕괴방지를 위해 하중을 지지하는 주요 구조부를 대상으로 대상용도 및 건물의 층수에 따라 내화구조로 지정하고 있다. 현행 국내 건축법에서는 일정용도 및 규모에 따라 건축물의 주요구조부(벽, 기둥, 보, 바닥, 지붕틀, 계단)는 내화구조로 시공하도록 하고 있다. 또한 이를 위한 품질시험은 「내화구조의 인정 및 관리 기준 (국토교통부고시 제2010-331호)」에 따라 실시하고 있다.

인정내화구조는 여러 가지 종류로 구분할 수 있으나 일반적으로는 건축물의 구조별 적용부위에 따라 철골기둥과 보 부재에 대한 내화피복재, 벽체, 바닥 및 지붕구조체로 구분할 수 있다. 현재 인정내화구조는 건축물의 성격이 점차 복잡화 및 첨단화 되는 추세에 따라 단일 제품 성격보다는 여러 가지 제품이 혼합되어 하나의 구조를 형성하는 복합적인 성격을 지니는 경우가 대부분이며, 이에 따라 생산 공장에서 완전한 형태의 내화구조 제품이 생산되기 보다는 건축공사 현장에서 시공방법에 따라 일정한 형태의 내화구조체가 형성되어 각 구성 재료의 성능이 복합적으로 작용하여 내화성능을 발휘하도록 되어 있다.

현재, 건축물 외벽에 대한 규정은 “건축물 마감재료의 난연성능 및 화재확산 방지구조 기준”이며 「건축법 시행령」 제2조제1항제9호 내지 제11호의 규정 및 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」(이하 “규칙”이라 한다) 제5조 내지 제7조의 규정에 따라 건축물 마감재료의 난연성 시험방법·성능기준 등에 관한 사항을 다음과 같이 고시하고 있다.

고시의 목적으로는 건축물의 화재발생시 재료에서의 유독가스 발생 및 화재 확산 등을 방지하여 인명 및 재산을 보호하기 위한 마감재료의 난연성능 시험방법 및 성능기준, 화재 확산 방지구조 기준을 정하고 있다. 하지만 현재 고시에서 지정하는 사용재료나 구성방법으로는 커튼월에서 요구하는 성능을 명확하게 제시하지 못하고 있어 시공이나 적용에 대해서는 의견이 분분하다.

알루미늄 커튼월 및 외장재는 내화구조상 외장재 및 설치기준이 없으며 외벽이 준불연 재료로 적용되는 경우 화재확산 방지구조 마저도 대상이 아니기 때문에 실제 화재확산의 방지에는 한계가 있을 것으로 판단된다. 또한 알루미늄 커튼월의 경우 미관이 수려하기 때문에 최근에 적용되는 건축물의 경우 대부분이 채택되어 적용되고 있기 때문에 이와 관련한 화재사례도 증가할 것으로 예상된다. 실제로 2007년과 2008년 소방방재청 화재 통계에 의하면 건물의 외벽에서 발생한 커튼월 및 외장재관련 화재는 2007년 총 47,882건 중 1,629건, 2008년은 총 49,631건 중 1,897건이 보고되고 있다.

최근 고층빌딩 커튼월의 내화성능 확보를 위한 다양한 방안이 제시되고 있는 실정이며 한국건설기술연구원 및 방재시험연구원 등의 연구를 통해 고층건축물에 적용하는 커튼월의 층간방화구획의 시험방법도 조만간 제시될 것 같다. 본 연구개발이 적용되는 알루미늄 커튼월의 경우 화재확산 방지구조의 적용과 더불어 사용처가 확대되지 않을까 예상해 본다.

2. 중국의 건축 내장재료 및 단열재의 불연화 조치

중국은 2011년 3월 14일 ‘민용 건축 외벽 보온재 소방관리 감독에 대한 관련 요구 통지’(65호문)를 통하여 모든 민간 건축물의 외벽단열재에 대하여 연소성능이 A급인 소재만 사용하도록 규정하였음. 이에 따라 이미 건설 중인 건물이라도 가연성, 인화성 소재를 사용하였을 경우 이를 제거해야 하며, 건설을 시작하지 않은 건물의 경우 가연성, 인화성 소재로 설계한 경우 불연소재로 설계를 변경한 후 재심사를 받아야 함. 이에 따라 중국의 건축 시장은 불연 성능과 단열성능을 동시에 보유하고 있으면서도 원가 측면에서 기존 유기단열재에 비해 큰 폭의 비용 상승을 일으키지 않는 소재의 개발이 요구되고 있다.

현재 불연 단열재 기술과 관련하여 중국을 비롯한 선진각국은 고시 등을 통하여 건축물의 화재안전성을 확보하기 위해 불연단열재의 사용이 의무화하고 있는 추세임. 국내에서도 불연재료의 사용이 점차로 늘고는 있지만 아직까지는 큰 이슈로 반영되지 못하고 있으며 건축시장의 니즈는 불연성능과 단열성능을 동시에 보유하고 있으면서도 원가 측면에서 유리한 소재 및 제품의 개발이 요구되고 있다.

3. 타 산업 및 국내외 연계 협력 가능성

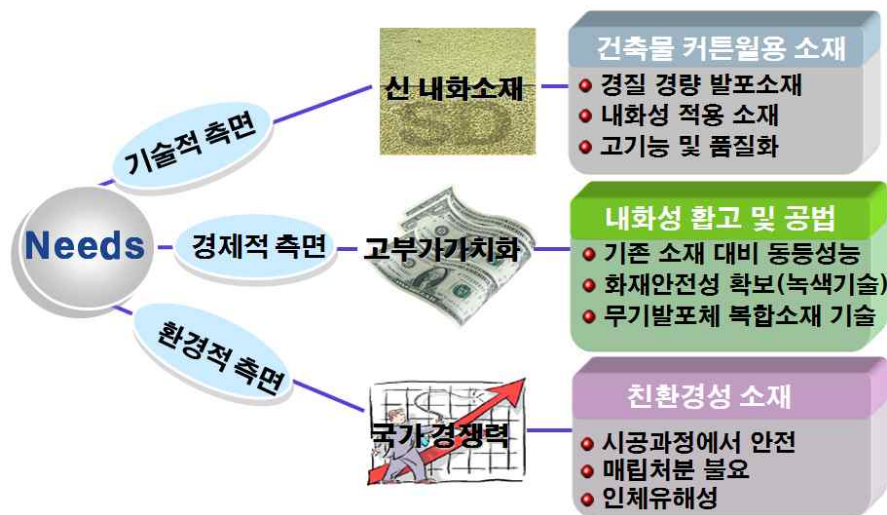
커튼월 등의 외벽은 건축물을 구성하는 가장 중요한 구성요소중 하나로, 다양한 소재를 사용하고 있으며 화재안전성 확보, 단열성 및 환기성이라는 복합적인 기능을 동시에

만족시켜야 하기 때문에 대체 소재의 개발이 매우 어려운 기술 분야이다. 종래의 외장소재 기술은 건축공간 확보라는 상업용 건축물의 기본적인 기능성에 제한이 되어 새로운 대체 소재를 개발하지 못하고 단지 설계 및 구조변경 등 간접적인 방식을 통해 기밀성, 단열성 등을 해결하고자 연구되어 왔다.

그러나 NT 및 ET 등을 이용한 기술이 병합될 경우, 새로운 기능이 부여될 수 있다. NT기술을 이용한 재료의 나노화나 발포기술을 접목하여 고경량 고단열성을 가지는 차세대 단열 발포체를 개발하여 에너지 절감효과가 도출되어야 한다.

고층빌딩 커튼월용 내화성 적용기술은 주재료인 유리분말 발포체가 고층 외벽재료로 사용되기 위해 강도 및 단열의 고성능화, 경량화가 필요하며, 발포패널 시스템에 적합한 단열앵커 유니트 등의 부품개발이 필수적이다. 이에 따라 관련 부품산업이나 건설산업에서 신제품의 시장에 도입됨으로 인한 연계효과도 기대해 볼 수 있다.

본 고층빌딩 커튼월용 내화성 적용기술의 소재 및 공법과 직접적인 경쟁관계는 국내에는 존재치 않아 시장진입이 유리할 것으로 판단된다. 현재 커튼월용 단열소재로는 폴리에스터울이나 글라스울이 적용되고 직접적인 경쟁관계를 형성하지는 않을 것으로 판단되며 발포 소재의 특성상 발포조건에 따라 다양한 제품품질의 설정 및 용도가 달라지므로 신소재의 적용이 가능한 분야 또한 확대될 것으로 기대된다.



<그림 4.1> 기술·경제·환경적 측면의 요구

제2절 연구의 기대성과 및 파급효과

1. 기대성과

1) 고성능 소재개발

- 초경량 무기발포 패널 제조기술
 - 일본의 경우 초경량 무기발포보드를 개발하여 실용화 하고 있지만 단열성능은 아직 유기단열재에 미치지 못하고 있는 실정이며 난연성을 완전히 해결하지 못하고 있음.
- 고내화성 무기발포 알루미늄 복합패널 시스템 적용기술
 - 고단열 및 내화성능이 우수한 건축물 커튼월용 재료 개발, 성능향상으로 제품 원료 절약, 커튼월 소재 및 시스템 수출, LNG탱크 등의 특수부위 단열재 기술, 철골 및 고강도 콘크리트의 내화피복재기술, 고층빌딩의 칸막이벽 소재기술 등에 큰 영향을 줄 것으로 예상된다.

(1) 플라이애시 처리비용 절감 및 발전 플랜트 경쟁력 강화

- 화력발전소는 연간 플라이애시 처리장 증설 비용으로 1,200억원 투자
- 플라이애시 처리장 확대에 따라 환경 피해 및 주민 피해도 증가
- 궁극적으로 플라이애시 처리장을 설치하지 않고 전량 재활용이 발전소의 목표
- 화력발전소 플랜트 수출 시 플라이애시 처리에 대한 솔루션 확보로 국내 발전사 경쟁력강화

(2) 유기 단열재 사용량 감소로 환경 피해 저감

- 유기 단열재에 근접한 단열성능을 갖춘 소재 출시로 건축물 단열, 샌드위치 패널 등에서 유기 단열재 대체 가속화
- 화재로 인한 인명 피해 감소
- 사용 후 폐기 비용 절감 및 환경 피해 감소

(3) 건축물의 에너지 절감 시스템 본격 확대(외벽 단열 시스템의 도입 촉진)

- 단열성능 측면에서 외단열 시스템은 내단열 시스템보다 우수
- 단열성, 불연성, 접착력을 동시에 갖춘 외단열용 소재가 없어 도입이 지연
- 저층 건축물 뿐만 아니라 공동주택에도 외단열 시스템 적용 가능

2) 신기술 확보

- 신소재 및 시스템 개발에 따른 내화성 초경량 무기발포보드 적용 고층빌딩 커

튼월에 대한 기술력 확보 및 공정개발 가능 (국내외 지적재산권 포함 등)

- 내화성 초경량 무기발포보드 적용 커튼월 적용기술 및 외장 시스템 확보로 국가경쟁력 향상

3) 시장 확대효과

- 건축외벽체(단열재 포함) 일부를 대체하여 고부가가치 창출 및 시장확대 효과
- 연간 1000억원에 이르는 알루미늄 샤시 시장의 확대

4) 고층건축물의 화재안전성 확보

- 고층빌딩의 화재전파 방지 및 방화구획의 구성 확대적용

2. 파급효과

1) 경제 산업적 파급효과

○ 국내 커튼월 시장은 약 7조원(2009)) 본 연구과제에서 개발하고자 하는 내화성 고단열 커튼월 소재로 초기(개발 후 3년 후) 약 3%정도, 정상 궤도 진입시 약 5%정도 시장을 대체 한다고 가정하면 시장 성장률 감안 약 3,500억원정도의 시장을 창출할 수 있음.

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

2) 기술적 파급효과

○ 유기 단열소재는 경량이며 단열성능이 우수하고 시공성이 좋기 때문에 널리 사용되나 화재발생시 단열소재 자체가 연소하여 화재가 확대되는 등 내화성능 면에서 크게 취약함. 또한, 화재시 발생되는 유독가스는 인체에 치명적으로 작용함.

○ 코리아 2000 냉동창고(2008년 1월 7일, 40명 사망), 서이천 물류창고(2008년 12월 5일, 7명 사망) 화재 및 부산 해운대 초고층 화재(2010년 10월) 등 엄청난 인명사고 및 재산피해를 일으킨 최근 수차례의 대형 화재사건을 통해 잘알려져 있으며 기술개발에 따라 내화성능을 확보한 고단열 커튼월 소재를 개발할 수 있음.

3) 사회·문화적 파급효과

○ 국내 소비에너지의 대부분을 수입사용하고 있으며, 매년 수입량은 증가추세이며 이 중 건축물에서 약 25%를 사용하므로 수입·사용하는 에너지를 획기적으로 저감시

킬 수 있음.

- 고층건물에 적합한 새로운 커튼월 부품·소재 및 시스템 개발에 따른 부품·소재의 기술혁신이 요구됨.

- 정부에서 추진하는 에너지 절약 프로그램에 부합함.

제3절 활용계획

본 기술은 건축물의 고층화에 따라 건축 소재의 경량화 및 내화성 기술이 절대적으로 요구되는 커튼월에 주로 적용할 수 있다. 기존의 커튼월 소재는 내화, 방화성능이 부족하여 층간화재전파를 막기에 한계가 있었으며 실제 화재사례를 통해 문제점이 지적되었다. 고층빌딩의 화재에서 보듯이 화재전파가 커튼월을 파괴하고 내부 및 외부를 통해 상층부로 전파된다.

따라서 본 연구에서 개발된 경량무기발포 세라믹보드 시스템은 층간화재의 전파를 차단할 수 있으며 기존의 커튼월용 단열소재가 지니는 습기에 대한 저항성 및 열적 성능향상을 통한 고층빌딩용 알루미늄 커튼월을 적용한 건축물의 다양한 요구 성능을 만족할 수 있을 것으로 판단된다.

○ 참여기업을 통한 시장 확대

-(주)지메텍은 내화성 경량패널 양산설비의 확충으로 선도적인 시장개척이 가능하며 다량생산을 통한 원가절감 및 경량 내화성 소재의 확대적용을 통한 수출도 기대된다.

○ 내화성 경량 무기발포 소재 제조기술 개발은 새로운 컨셉의 제품개발로 무기발포 소재의 생산기술 국산화를 통한 핵심 제조기술 전파, 무기발포 소재의 고부가가치화를 위한 기술 확보, 무기발포 소재의 성능평가 기술 확보 및 국가표준화를 통한 평가 기술 보급 등을 들 수 있으며 발전전망 및 적용분야는 다음과 같다.

○ 내화성 경량 무기발포 소재의 특징은 불연, 경량, 단열성 외에도 제품에 따라 흡·차음, 조습, 정수기능, 방열기능, 투수기능이 있어 다양한 애플리케이션을 창출할 수 있음. 따라서 건축재(내·외장재, 단열재, 바닥재, 정수), 선박재(가구, 벽체 및 천장재 등 내장재), 산업재(흡음, 단열), 방열판(LED, 가전) 등 다양한 산업 분야에 적용되는 소재임.

[표 4.1] 발전전망 및 적용분야

구 분	적용 분야	주요 요구 성능(●:매우 중요, ○:중요, △:α)							
		불연	경량	단열	흡차음	방수/ 변형	투수	방열	시공
건축	외단열재	○	○	●		○			○
	내/외벽마감재	○	●	△	○	○			○
	대리석복합패널	○	○	△	●	○			○
	방음벽		○		●	○			△
	방화도어	○		●	△				
	천정재	○	○		○	●			○
	경량 간막이패널	●	○		△				
	경량 벽체	○	○		●				○
	투수보도블럭		○				●		
	오수정화용 필터		○			●			
선박	선박용 가구	○	●						
	선박용 간막이벽	○	●		△				
	선박용 천정	○	●		△				
방열핀	LED 조명		○					●	
	가전제품		○					●	
	태양광		○					●	

[표 4.2] 기술의 활용방안

적용 분야	두께 (mm)	경쟁 제품		개발 대상제품	
		제품명	가격/㎡	가격 /㎡	가격 외 장점
1. 외벽 단열재***	50	암면	130RMB	130RMB	- 별도의 금속 mesh 사용하지 않으며, 시공비 포함 원가 저렴 - 습기에 따른 변형이나 단열성능 저하 없음.
2. 방화문 심재***	30	펄라이트 보드	17,800	15,000	- 펄라이트는 접착제로 인해 600°C 이하에서 변형
1. 내/외벽 마감재***	20, 30	현무암	50,000	50,000	- 경량성 : 1/7 - 시공비 : 절단 용이, 습식 시공, 인건비 절감으로 30% 절감 - 단열 성능, 흡음성능 등 부가적 가치 제공
2. 선박용 Hard Core ***	17.5	칼슘실리케이트/철제	30,000	12,000	- 경량성 : 철제 대비 50%, 칼슘실리케이트 대비 30% - 국산화 : 국제 원자재 가격 변동 영향 없음
3. 방음벽 심재***	50	암면, 유리면	7,500	29,000	- 습기, 자외선에 따른 변형 없음 - 알루미늄 스킨 한면은 사용 안함 - 하중 지지 구조물이 경량화로 전체 원가는 30% 저렴
1. 내벽/ 외벽 마감재***	30	현무암	50,000	45,000	- 경량성 : 1/5 종량 - 가공/시공비 : 습식 시공, 절단비, 인건비
2. 경량 벽체** (아파트, 주택)	80	석고보드복합/ALC	32,000	32,000	- 흡/차음성능 - 강도 탁월
3. 대리석 복합 패널***	15 vs. 30	알루미늄 하니콤	25,000	19,000	- Bending 없음 - 단열 보조, 흡음 기능은 독점적 기능
4. 천장재** (습기취약 지역)	10	석고 텍스	8,000	9,000	- 습기 변형 없음 - 인체 유해성 없음

참고 문헌

- (1) KS F 4736 압출 성형 경량 콘크리트 패널, 2004
- (2) KS L 9016 보온재의 열전도율 측정방법, 2005
- (3) KS F 2604 건축용 외벽재료의 내동해성 시험 방법(동결 융해법), 2003
- (4) 유리공장에서 발생하는 폐기물의 현황 및 재활용 가능성 검토 연구, 요업기술원, 2001
- (5) 유리 연마슬러지 및 폐분진을 활용한 시멘트·콘크리트 이차제품 생산기술 개발, 산업자원부, 2004
- (6) 가변형 복합주택에 적용 가능한 경량벽체 시스템의 성능 및 개발방향, 한국복합화건축협회, 2006
- (7) 경량패널 3종의 성능평가 및 활용검토 보고서, 한국건설기술연구원, 1999
- (8) 경량골재 콘크리트의 현황 및 인공경량골재의 효율적 운영방안에 대한 연구, 건설안전협회, 2005
- (9) 인공경량골재로 제조된 콘크리트 패널의 물성, 한국세라믹학회, 2004
- (10) 인공 경량 골재의 개발현황과 특성, 콘크리트학회, 1991
- (11) 유리연마슬러지를 사용한 경량골재 제조 및 골재의 내부기공이 물성에 미치는 영향에 관한 연구, 세라믹학회, 2005
- (12) 폐유리로부터 발포유리 제조시 물리적 특성에 관한 연구, 김진용(선문대), 2003
- (13) 무기질 단열재를 사용한 친환경 샌드위치패널 개발 연구보고서, 건설교통부, 2006
- (14) 폐유리 리사이클링-발포유리 제조기술과 전망, 공업화학전망, 2000
- (15) 유리연마 폐슬러지를 재활용하여 제조한 다공성 소재의 기공 구조와 물리적 특성, 추용식(한양대학교), 2007
- (16) 유리연마슬러지를 사용한 경량골재의 미세구조 및 기공 특성, 한국콘크리트학회, 2006
- (17) 고강도 경량골재콘크리트의 동결융해 저항성에 대한 실험적 연구, 콘크리트학회, 1998
- (18) 구조용 경량골재 개발에 따른 경량콘크리트의 동결융해특성에 관한 연구, 콘크리트학회, 1998

- (19) 내화 구조의 인정 및 관리 기준 (국토교통부 고시 제 2008-154호)
- (20) KS F 2257-8 (건축부재의 내화 시험 방법- 수직 비내력 구획부재의 성능 조건)
- (21) 건축물의 설비 기준 등에 관한 규칙 (국토교통부령 제 205호) : 제 21조 건축물의 열손실방지 중 별표 4 지역별 건축물 부위의 열관류율표
- (22) 건축기술지침(대우건설 저, 공간예술사)
- (23) 알루미늄 합금(LG 건설 이진희)
- (24) ASTM E 2307 (Standard Test Method for Determining Fire Resistance of Perimeter Fire Barrier Systems Using Intermediate-Scale, Multi-Story Test Apparatus)
- (25) ASTM E 119 (Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials)
- (26) ASTM E 1966 (Standard Test Method for Fire-Resistive Joint Systems)
- (27) UL 2079 (Standard for Safety for Tests for Fire Resistance of Building Joint Systems)
- (28) ASTM E 814 (Standard Method of Fire Tests of Through-Penetration Fire Stops)
- (29) UL 1479 (Standard Method of Fire Tests of Through-Penetration Fire Stops)
- (30) UL 263 (Fire Tests of Building Construction and Materials)
- (31) IFC (International Fire stop Council) 자료
- (32) FACTORY MUTUAL GLOBAL DATA SHEET
- (33) ASTM E 488 (Standard Test Methods for Strength of Anchors in Concrete and Masonry Elements)
- (34) ASTM C 794 (Standard Test Method for Adhesion-in-Peel of Elastomeric Joint Sealants)
- (35) ASTM C 1248 (Standard Test Method for Staining of Porous Substrate by Joint Sealants)

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 첨단도시개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.