

알루미노 실리케이트계 내화보드의 내화성능 및 현장적용성 평가

An Evaluation of Fire Resistance and Mock-up Test of the Alumino-Silicate Fire Resistant Board

김 두 호* 박 동 철** 김 우 재*** 이 세 현****
Kim, Doo-Ho Park, Dong-Cheol Kim, Woo-Jae Lee, Sea-Hyun

Abstract

The use of high-strength concrete has increased for its excellent structural stability as buildings become higher and bigger than ever before in Korea and overseas recently. The functional requirement of building materials has also been bolstered so for the high-performance, high-quality construction materials to be used more extensively.

However, the internal structure of the high-strength concrete is very dense so spalling can be caused during fire. The spalling in turn can cause critical structural damages followed by the fatal consequences, demolition of the building. Therefore, ensuring fire safety for high-rise buildings is assumed to be urgent.

Alumino-silicate fire resistant board producing technology has been developed in situations that new materials with excellent fire resistance and easy installation has been sought. The alumino-silicate fire resistant board turned out to exhibit not only fire resistance and excellent physical and dynamical characteristics but also excellent onsite applicability and easy process and transportation after completing Mock-up test. Its excellence as a high-performance building materials was proven.

키 워 드 : 내화보드, 폭열, 고강도콘크리트

Keywords : fire resistant board, fire resistance, high strength concrete, spalling

1. 서 론

1.1 연구의 목적

전 세계적으로 초고층의 수요가 증가함에 따라 구조적안전성이 뛰어난 고강도 콘크리트의 사용이 증가하고 있으며 고성능, 고품질의 건설자재가 건축물 각 부위에 요구되고 있다.

고강도 콘크리트는 기존 콘크리트에 비해 높은 강도를 발현시켜 작은 면적의 단면으로도 상당한 하중을 받을 수 있어 구조적 측면에서 큰 이점을 발휘할 수 있으며 무엇보다 기존의 것보다 구조체가 작아져 효율적인 내부공간을 확보할 수 있고 건축물의 자체 하중을 안정시키는 장점이 있다.

그러나 고강도 콘크리트는 내부조직이 치밀하여 화재시 폭열이 발생하고 구조적으로 치명적인 손상을 입혀 중국에는 건축물의 붕괴에 이르는 대단히 위험한 상황을 초래할 수 있어 초고층 건축물의 화재안정성 확보가 시급한 실정이다.

이러한 화재시 구조적안정 및 인명피해 방지를 위하여 국내외

적으로 내화성능 및 시공성, 경제성이 우수한 내화공법이 개발되어 다양한 건축부위에 적용되고 있으며 실제로화재안전에 중대한 내화성능 확보기술로 사용되고 있다.

본 연구에서는 고강도 콘크리트 폭열방지 대책의 일환으로 내화성능 및 현장적용성이 우수한 고품질의 알루미노 실리케이트계 내화보드를 이용하여 고강도 콘크리트에 건식 피복 시공한 부재의 내화성능을 검토하고 건축자재로서의 현장적용성에 대하여 검토하였다.

1.2 연구의 범위

본 연구는 초고온에서 내열성능이 우수한 알루미노 실리케이트계 내화보드를 고강도 콘크리트에 건식 내화피복 시공함으로써 기존공정에 영향 없이 적용 가능하고 구조체의 폭열현상을 방지할 수 있는 건식 내화피복 시스템의 내화성능을 평가하였다. 또한 알루미노 실리케이트계 내화보드를 C-STUD를 이용하여 건식 시공한 고강도 콘크리트 폭열방지 건식 내화피복 시스템의 Mock-up 시험을 통해 그 적용성을 평가하였다.

* 한국건설기술연구원 Post Doc., 공학박사

** (주)인트캡 기술연구소 소장

*** (주)포스코건설 기술연구소 차장, 공학박사

**** 한국건설기술연구원 책임연구원, 공학박사

2. 알루미늄 실리케이트계 내화보드 특성

본 연구에서 적용한 알루미늄 실리케이트계 내화보드(Alumino Silicate Fire Resistant Board)는 표 1과 같이 알루미늄 실리케이트계 무기바인더(Alumino-Silicate Inorganic Binder)를 기본으로 내화골재를 사용하였고 무기광물 및 알칼리 실리케이트계 경화제(Alkali Silicate hardener)를 사용하여 작업성, 경화시간 등을 고려하여 충분한 경화가 이루어질 수 있도록 내화성능을 향상시킨 내화보드를 사용하였다.

고강도 콘크리트 건식 내화피복 시공을 위한 내화보드의 물리적 특성을 표 2에 나타냈으며, 일반석고보드와 비교하여 부피비중이 다소 높으나, 굽힘파괴하중이나 나사못유지력과 같은 강도 성능이 우수하고 열전도율은 낮은 특성을 가지고 있어 건축용 내장재로서 시공 및 유지관리 측면에서 양호한 적용성이 예상된다.

표 1. 알루미늄 실리케이트계 내화보드 구성

구분	내용	특징
Binder	알루미늄 실리케이트계 무리플리머 · Alumino-Silicate계 무기광물 · Alkali-Silicate계 경화제	·Binder 역할 ·내화성능확보
Filler	Perlite, Vermiculite	내화용 경량 골재
Additive	분산제	재료분산 및 혼합향상

표 2. 알루미늄 실리케이트계 내화보드 물리적특성

항 목	단위	성능값	시험방법	비고
함수율	%	0.9	KS F 3504	내화보드 두께 12mm
굽힘파괴하중	길이	536		
	나비	447		
부피비중	-	1.0	KS L 5114	
열전도율	-	0.119	KS L 9106	
휨강도	N/mm ²	5.9	KS L 5114	
내충격성	-	이상없음	KS F 3504	
나사못 유지력	평면	N	315	KS F 3200

또한, 화재시를 고려하여 1,000℃로 3시간 동안 가열한 후 가열 전후의 시험체 중량변화율을 측정하여, 결과 및 시험체형상을 표 3, 사진 1에 나타내었다. 시험결과에서 볼 수 있듯이 알루미늄 실리케이트계 내화보드는 고온에서도 큰 변화가 없어 화재시 우수한 내구성을 보유한 것으로 판단된다.

표 3. 중량변화 시험결과

구분		내화보드
두께		12
중량	시험 전(g)	750.8
	시험 후(g)	687.8
중량변화율(%)		8.39



a. 내화보드 가열전



b. 내화보드 가열후

사진 1. 고온가열에 따른 내화보드 특성

3. 내화성능 시험개요 및 평가

3.1 시험체 구성

시험체는 600×600×1500mm의 고강도 콘크리트를 사용한 철근콘크리트 단주에 알루미늄 실리케이트계 내화보드를 이용한 고강도 콘크리트 폭발방지 건식 내화피복 시스템을 적용한 시험체로 고강도 콘크리트의 배합 및 특성은 표 4와 표 5에 나타내었다.

표 4. 콘크리트 배합

Batch No.	Binder (kg/m ³)	W/B (%)	S/a (%)	AD (%)	단위재료량(kg/m ³)					
					W	C	BFS	S	G	AD
20-80-600	720	22.2	44	14.0	160	517	203	672	871	10.07

표 5. 콘크리트 시험체 특성

항목		내용
철 근	주철근 치수 및 재질	16EA - HD 25 - SD400
	늑근 치수 및 재질	HD10@200 - SD400
콘크리트	설계기준강도(MPa)	80
	압축강도 측정치(MPa)	84.6(재령 28일)
	시멘트 종류	보통포틀랜드시멘트
	슬럼프(cm)	25
	슬럼프플로우(cm)	63
	공기량(%)	3.2
	골재의종류(암석종류)	화강암
굵은골재 치수(mm)	20	

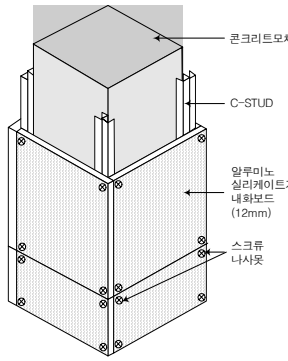


그림 1. 시험체 개요

본 연구에 사용된 시험체는 그림 1과 같이 일반적인 경량 비내력 건식벽체의 시공에 사용되는 C-50×45×0.8의 C-STUD와 C×50×42×0.8의 C-RUNNER를 스크류로 결합하여 시공하였다.



a. 내화시험 전 b. 내화시험 후

사진 2. 내화시험 전후 시험체 전경

3.2 내화성능 평가

고강도 콘크리트에 내화성능확보를 위한 공법의 평가는 국토해양부고시 2008-334호(고강도 콘크리트 기둥·보의 내화 성능 관리기준)에 의거하여 평가하였으며 판정기준은 KS F 2257-1에서 정하고 있는 표준온도가열곡선에 의한 3시간 내화시험 후에 주철근 평균온도 538℃이하, 주철근 최고온도 649℃이하로 하였다. 본 연구에서는 동일배합 2종의 시험체를 제작하여 내화성능을 시험을 실시하였다.

3.3. 내화성능 시험결과

내화성능 시험후 알루미늄 실 케이트계 내화보드는 균열 및 들뜸 현상이 거의 없는 것으로 나타났으며, 알루미늄 실리케이트계 내화보드가 콘크리트에 전달되는 열을 지연하고 급격한 온도 상승을 억제하여 콘크리트 시험체 자체는 폭발현상이나 균열이 관찰되지 않는 등 시험 후 양호한 외관을 나타내어 시험체 A, 시험체 B 모두에서 국토해양부고시2008-334호에 의한 성능기준에 대하여 3시간 내화등급을 확보한 것으로 나타났다.

표 6. 시험결과

구분	시험결과		판정기준
	평균온도	최고온도	
시험체 A	287℃	349℃	◦주철근 평균온도 538℃이하 ◦주철근 최고온도 649℃이하
시험체 B	267℃	336℃	

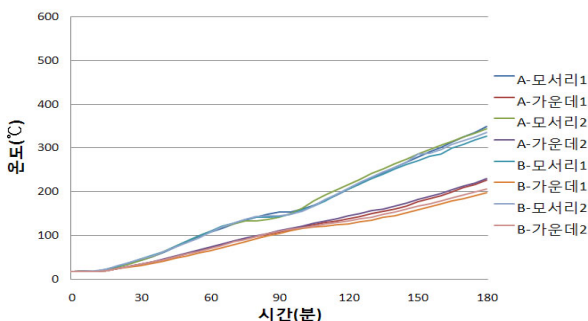


그림 2. 온도측정결과

4. 폭렬방지 내화보드 적용성평가

4.1 Mock-up 시험의 개요

고강도 콘크리트가 주로 사용되고 있는 건축물은 건물의 규모 및 시공특성에 따라 내부공사의 경우, 경량 비내력 건식 벽체를 활용한 구조로 시공하게 된다. 따라서, 기둥의 피복 및 마감공사에 있어서도 경량 비내력 벽체와 연계하여 시공이 가능하고 시공 속도가 빠른 건식 시공법이 필수적으로 필요한 상황이다.

건식 시공법은 계절이나 날씨에 의한 기온, 바람, 습도 등의 대기환경이 시공에 미치는 영향이 적으며, 별도의 양생 시간이 필요 없으므로 공기단축이 용이하다. 또한 양생 환경의 확보가 필요치 않고, 공장에서 제작되어 치수 안정성과 품질 안정성이 높은 자재를 현장에서 단순 조립하여 시공하므로 전반적인 건설 품질 확보에도 용이한 장점이 있다.

이에 본 연구에서는 내열성능 및 내화성능이 뛰어난 알루미늄 실리케이트계 내화보드를 C-STUD를 이용한 건식내화피복 시공을 통해 고강도 콘크리트 폭렬방지 건식 내화피복 시스템의 적용성을 평가하였다.



a. Mock-up 시험동

b. 시공기둥

사진 3. Mock-up 시험동 개요

Mock-up 시험동은 2층 구조로 이루어져 있으며 기둥부는 고강도 콘크리트 80MPa로 설계되었고 기둥의 규격은 1000×1000×2,800mm로 각각 4개부 구조로 되어있다.

본 연구에서는 1층의 4개의 고강도 콘크리트 기둥에 대해 알루미늄 실리케이트계 내화보드 22.4㎡의 면적으로 Mock-up 시험을 하였고 시공성, 적용성에 대해 평가하였다. 표 7에 Mock-up 시험의 개요를 나타냈다.

표 7. Mock-up 시험의 개요

구분	내용
시공장소	포스코건설 기흥 연구소 내 Mock-up 시험동
시공면적	기둥(1,000 × 1,000 × 2,800) 2EA 11.2㎡ × 2EA = 22.4㎡

Mock-up 시험에 사용된 알루미늄 실리케이트계 내화보드의 특성은 표 2에 나타난 바와 같으며 그림 2와 같은 구조로 적용성 평가를 실시하였다.

알루미늄 실리케이트계 내화보드를 이용한 고강도 콘크리트 폭렬방지 건식 내화피복 시스템의 시공순서는 자재반입→런너가공→스터드가공→바닥 및 슬라브 먹줄메김→런너 및 �터드 설치→내화보드 가공→내화보드 설치 순으로 시공하여 적용성을 평가하였고, 사진 4에 시공순서를 나타내었다.



사진 4. Mock-up 전경

4.2 시공속도의 평가

알루미늄 실리케이트계 내화보드의 Mock-up 시험을 실시한 결과, 알루미늄 실리케이트계 내화보드는 일반 석고보드와 동일한 작업순으로 시공할 수 있었고 스테드와 런너의 결속 공정 또한 일반 건식 벽체 시공과 동일한 프로세스로 시공이 용이하였으며 알루미늄 실리케이트계 내화보드와 스테드와의 결속 상태도 양호하였다. 알루미늄 실리케이트계 내화보드를 이용한 고강도 콘크리트 폭렬방지 건식 내화피복 시스템의 소요 인력에 대해 다음 표 8에 나타내었다.

표 8. 알루미늄 실리케이트계 내화보드 시스템의 소요인력

시공명	품명	규격	단위	수량 (인/㎡)
폭렬방지 내화보드 시공	경량철골 설치	내장공	人	0.031
	내화보드 설치	내장공	人	0.061
	운반 및 절단	일반공	人	0.031

※ 1000×1000x2800mm기둥 2EA 4면시공

알루미늄 실리케이트계 내화보드 Mock-up 시험시 내장공 3명, 보통인부 1명이 작업을 하였다. 내장공 3명과 보통인부 1명이 기둥 4면(2EA)을 시공하는데 200분이 소요 되었고, 1시간 작업량으로 계산한 결과 6.7㎡를 시공할 수 있는 것으로 계산되었다. 1일(8시간)으로 환산하면 약 54㎡를 시공 할 수 있는 것으로 나타났다.

4.3 적용성 평가

4.3.1 건식 시공에 의한 피복시공

고강도 콘크리트가 주로 사용되고 있는 초고층 건축물은 건축물의 규모 및 시공 특성에 따라 대부분 커튼월 공법을 이용하여 외부 공사를 하며, 내부 공사의 경우는 대부분 경량비내력 건식벽체를 활용한 구조로 시공하게 된다. 따라서 기둥의 피복 및 마감 공사에 있어서도 경량비내력 건식벽체와의 연계 시공이 가능하고 시공속도가 빠른 건식 시공법이 필수적으로 필요한 상황이다.

또한, 최근의 건설현장에서는 숙련공의 부족으로 비교적 높은 수준의 작업기술을 요하는 습식 공사 수행에 필요한 인력조달이 어려운 상황이며, 이러한 건설인력의 수급 현황을 고려할 때, 향후 내부 마감 공사는 건식 시공이 절대적으로 필요한 상황이다.

이에 알루미늄 실리케이트계 내화보드로 건식 시공을 한 결과, 기존 경량비내력 건식벽체 시공법과 유사하게 시공되었으며, 특별한 숙련공이 아닌, 일반적인 내장공이 충분히 작업이 가능한 것으로 평가되었다. 또한 건식 시공법이므로, 시공 시기에 대한 제한이 없어 공사 일정의 수립이 용이할 것으로 평가된다.

4.3.2 후속 공정과의 연계성

알루미늄 실리케이트계 내화보드 시공에 사용되는 C-STUD는 후속 작업에 사용되는 석고보드류의 내장 보드의 고정을 용이하게 할 수 있었고 각종 내장 마감 보드류의 시공 및 부착이 가능하여 후속 공정과의 연계성이 우수한 것으로 나타났다. 이에 따라, 알루미늄 실리케이트계 내화보드의 설치시 내장 마감보드 시공과 연계하여 단일 공정으로 관리가 가능한 것으로 예상된다.

또한 앞서 설명한 바와 같이, 시공 후 별도의 양생이 필요 없이 후속 공정의 진행이 가능하여 공사 진행에 제약이 없으며 대부분의 초고층 건축물에 사용되는 경량 비내력 건식 벽체 시공과 사용 자재 및 공법이 유사하여 두 공정을 연계한 시공이 가능할 것으로 판단된다.

4.3.3 경량성 및 현장가공성

알루미늄 실리케이트계 내화보드는 두께가 12mm로 방화보드 및 석고보드와 동일한 수준이며 부피비중의 경우, 1.0으로 비교적 낮아 중량이 약 12kg/m² 내외이므로 현장에서의 운반 및 취급이 용이한 것으로 나타났다.

또한, 현장에서 필요에 의해 절단 및 타공 등의 가공 작업을 할 경우, 전동 드릴 및 절단기 등의 간단한 기구를 이용하여 용이하게 작업할 수 있는 것으로 나타나 알루미늄 실리케이트계 내화보드의 가공성이 우수한 것으로 판단된다.

5. 결 론

내열성능이 우수한 알루미늄 실리케이트계 내화보드를 C-STUD를 이용하여 건식 내화피복 시공한 고강도 콘크리트의 내화성능 평가 및 현장적용성 평가를 바탕으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 알루미늄 실리케이트계 내화보드를 이용한 건식 내화피복 시스템에 대한 내화시험을 실시한 결과, 국토해양부고시 2008-334호에 의한 성능기준에 대하여 국내 최고등급인 3시간 내화등급을 확보하였다. 또한 시험 후에 시험체의 폭발현상이나 균열이 관찰되지 않아 내화성능이 상당히 우수한 것으로 나타났다.
- 2) 알루미늄 실리케이트계 내화보드 Mock-up 시험시 내장공 3명, 보통인부 1명이 작업을 하였다. 내장공 3명과 보통인부 1명이 기동 4면(2EA)을 시공하는데 200분이 소요되었고, 1시간 작업량으로 계산한 결과 6.7m²를 시공할 수 있는 것으로 계산되었다. 1일(8시간)으로 환산하면 약 54m²를 시공할 수 있는 것으로 나타났다.
- 3) 알루미늄 실리케이트계 내화보드로 건식 시공을 한 결과, 기존 경량 비내력 건식벽체 시공법과 유사하게 시공되었으며, 알루미늄 실리케이트계 내화보드의 시공 시기에 대한

제한이 없고 가공성 및 운반성이 우수하여 공사 일정의 수립이 용이할 것으로 평가된다.

- 4) 알루미늄 실리케이트계 내화보드 시공에 사용되는 C-STUD는 후속 작업에 사용되는 석고보드류의 내장 보드의 고정을 용이하게 할 수 있었고, 각종 내장 마감 보드류의 시공 및 부착이 가능하여 후속 공정과의 연계성이 우수한 것으로 나타났다. 이에 따라, 알루미늄 실리케이트계 내화보드의 설치시 내장 마감보드 시공과 연계하여 단일 공정으로 관리가 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 고강도 콘크리트 구조내화설계, 대한건축학회
2. 김우재, 건식화 POSCO E&C Fire Board 공법 개발에 관한 연구, 한국콘크리트학회, 2008년도 추계 학술발표회 제20권 제2호
3. 김우재, 내화성능을 확보한 건식화 PFB공법 개발에 관한 연구, 대한건축학회, 2008년도 학술발표대회 논문집 구조계 제28권 제1호, pp.411~414
4. 박동철 외 3명, 고강도 콘크리트 폭발제어를 위한 PFB공법의 현장시공성에 관한 연구, 한국콘크리트학회, 2008년도 추계 학술발표회 제20권 제2호
5. 송영창 외 4명, 고강도 콘크리트의 폭발방지를 위한 피복부착공법의 기초적연구, 대한건축학회, 2006년도 학술발표대회 논문집 구조계 제26권 제1호, pp.365~368
6. 이세현 외 4명, PF보드 마감에 의한 고강도 콘크리트의 폭발방지 대책에 관한 연구, 한국콘크리트학회, 2007년도 춘계학술발표대회
7. 철근콘크리트 구조물의 내화특성, 한국콘크리트 학회
8. 西田 朗ほか: 爆裂防止用ポリプロピレン短繊維を混入した高強度コンクリートの性状に関する研究, 日本建築学会学術講演概要集A, pp.331~338, 1994