

내화금고 내화물에 관한 실험적 연구

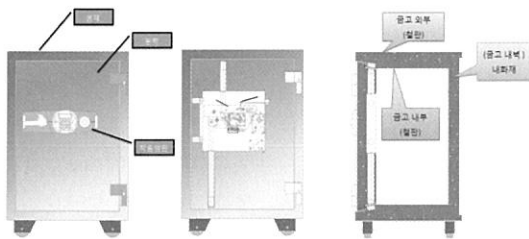
An Experimental study on the Refractory as Safe Filler

김대회 공학박사 · 책임연구원

1. 내화금고 및 내화물의 개요

1.1 내화금고

내화금고는 화재시 고온속에서 금고 안에 보관되는 현금, 귀금속, 문서 등의 각종 재화를 안전하게 보호하는 역할을 하는 것으로써 내화성, 내충격성 등이 요구되는 제품으로 크게 몸체와 문짝으로 구분이 되며, 몸체와 문짝 각각 내부 빈 공간에 금고용 내화재로 충전을 한다.



[그림 1] 내화금고의 구성

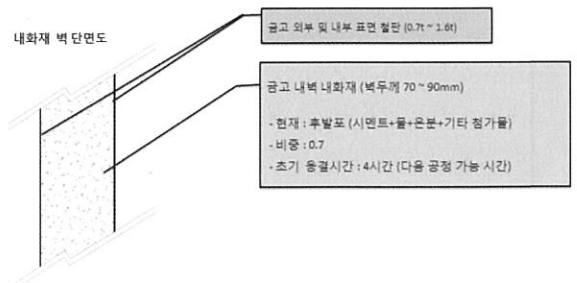
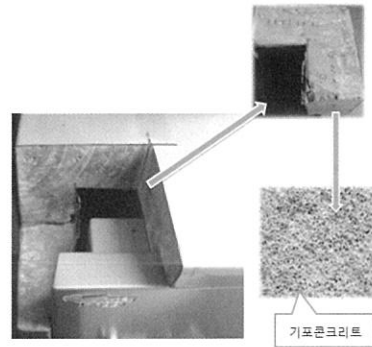
내화금고는 <표 1>과 같이 내부에 보관되는 보관물에 따라 용도와 성능기준이 정해지며, 이때 내화성능에 지배적인 영향을 미치는 것이 금고내벽에 충전되는 내화물이다.

1.2 내화금고의 내화물

<표 1> 내화금고의 보관물에 따른 구분(KS G 4500)

구분	기호	비고(보관물의 허용 온도)
일반 종이용	P	주로 여러 종류의 종이를 보관하는 것 (허용 온도 177 °C 이하의 것)
자기 테이프용	D	주로 자기테이프, 자기테이프 카트리지를 보관하는 것 (허용 온도 66 °C 이하의 것)
플렉시블 디스크 카트리지를용	F	주로 플렉시블 디스크 카트리지를 보관하는 것 (허용 온도 52 °C 이하의 것)

내화금고 내화재의 제조기술은 모든 금고 제작업체의 중요 기밀사항으로 기본 재료, 첨가물, 배합비 등이 모두 비공개로 진행이 되고 있다. 이것은 내화재의 제조기술이 금고의 성능을 좌우 하지만 또한 가장 중요한 생산성과도 밀접한 관계가 있기 때문이다.



[그림 2] 내화금고의 단면 및 내화재의 단면형상

국내의 내화금고에 사용되는 내화물의 제조방법에는 크게 선기포법(Pre-foaming method)과 후발포법(Post-foaming method)이 있다. 이중 가장 많이 사용되고 있는 것은 ALC(Autoclave Lightweight Concrete)의 제조방식에 사용되는 후발포법이었지만,

현재에는 환경 및 품질안정성 문제로 선기포법으로 교체를 하고 있는 추세이다. 선기포법은 이미 오래전부터 개발이 되어 일부 적용되어 왔지만, 초기 굳는 시간이 오래 걸리고 충전 후 일부 소포되어 체적의 수축되는 현상에 의한 금고에는 치명적인 제조불량이 빈번하게 발생되는 등, 제조공정의 문제로 금고제조분야에는 적용이 미진한 상태이다.

〈후발포법〉

- 기포의 제조가 용이하고 밀도의 조절이 발포제의 양에 따라 자유로운 반면에 발포시간 및 발포량이 일정하지 못하고 기포의 형상이 발포 방향으로 변형이 생기기 쉬움
- 발포제로 사용되는 알루미늄 분말의 경우 발수성이 강해 균일한 기포생성의 어려움과 양생조건에 의한 물성변화가 큼 (팽창비 조절 어려움)
- 알루미늄 분말은 활성도가 높아 보관·취급시 폭발의 위험성이 있음.

〈선기포법〉

- 기포발생장치에 의해 제조되며 기포의 양에 의해서 밀도의 조절이 가능함.
- 소포현상 및 수축현상발생, 초기 경화시간이 길(24시간)
- 외부온도 조건에 의한 영향이 심함 (주위온도 / 물 온도 / 기포상태 등 각 상황에 따라 별도의 품질관리 방법 또는 시방이 요구됨)
- 선기포법에 사용되는 첨가제들은 매우 다양하고 지역마다 또는 제조사마다 특정 성분을 투입을 하여 내화재를 특화하고 있음.
- 사용되는 기포제는 주로 동물성기포제 또는 식물성기포제가 사용되며 천연소재로써 환경오염 등이 작음.

현재 일반적인 금고제조사에서 사용하는 내화물은 후발포방법에 의해 생산되고 있으며, 이는 기포의 제조가 용이하고 밀도의 조절이 발포제의 양에 따라 자유로운 장점이 있지만 발포시간 및 발포량이 불확실하고 기포의

형상이 발포 방향으로 변형되기 쉬운 단점이 있다. 또한 발포제로 사용되는 알루미늄분말의 경우 그 자체가 발수성이 강하여 슬러리 내에서 균일하게 기포를 생성시키기 어렵고 원료배합 및 양생조건에 의한 물성변화가 크기 때문에 성능이 균일한 경량기포콘크리트의 제조가 어려운 문제가 있다.

따라서, 본 연구에서는 기포안정성을 높이고 응결시간을 단축하는 등의 연구를 통하여 기존의 후발포방식 내화재를 선기포방식의 내화재로 개발·대체하기 위한 기본적 연구를 수행하였다.

2. 실험개요 및 실험방법

선기포방식의 금고용 내화물의 특성 확인을 위하여 기포제를 이용한 경량콘크리트의 배합별 밀도, 압축강도, 열전도율 및 소형금고내에 충전하여 아래와 같이 내화실험을 실시하였다.

2.1 실험개요

금고용 내화충전물은 시멘트 페이스트에 식물성기포제를 이용해 제조한 기포를 혼합하여 제조하였으며, 초기 부피변화를 제어하기 위하여 급결제를 사용하였으며, 배합표는 <표 2>와 같으며 사용된 재료는 다음과 같다.

〈표 2〉 내화물 배합비

인자	단위 시멘트량 (kg/m ³)	물/ 시멘트비 (%)	급결제 혼입율 (%)	식물성 기포제 (%)
내용	500, 600, 700, 800	45, 50	5	4
수준	4	2	1	1

* 금고실험체는 배합실험결과를 바탕으로 물시멘트비 50% 4종과 비교군인 후발포방식의 내화물을 충전하였음.

(1) 결합재

금고용 내화물로 사용되는 경량기포콘크리트는 시멘트와 기포만을 사용하는 재료로 건설 및 단열재, 충전재 분야에서도 사용되어 왔으며, 최근 플라이애쉬나 고로슬래그등을 혼입하는 경우도 있으나 본 연구에서는 기본배합 도출을 위해 결합재로 보통포틀랜드시멘트만을 사용

하였다. 보통포틀랜드시멘트의 화학적조성 물리적 특성은 Table 1과 같다.

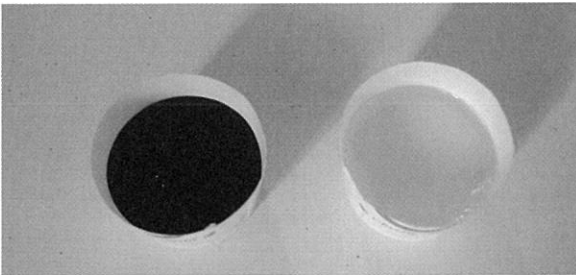
〈표 3〉 시멘트의 화학적 조성 및 물리적 특성

성분	화학 조성비(%)							밀도	분말도 (cm ² /g)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	lg.loss		
OPC	21.8	5.8	3.56	60.6	3.54	2.6	1.0	3.14	3,422

(2) 기포제

현재 시중에서 판매되고 있는 기포제는 동물성 기포제와 식물성 기포제 2종이 주류를 이루고 있으며, 기포콘크리트의 성상은 [그림 3]과 같이 동물성 기포제는 암갈색을 띠며, 안정적인 기포를 발생시키지만 단백질 특유의 냄새와 보관시 변질의 우려가 있다.

반면 식물성기포제는 투명한 액상으로 기포의 안정성은 동물성기포제에 비해 다소 떨어지나 장기간 보관이 가능하고 냄새가 없는 청정의 기포제이다.



[그림 3] 동물성기포제와 식물성기포제

본 연구에서는 해외 바이어 들이 동물성기포제에 거부감을 지니고 있는 점이 조사되어 냄새가 전혀 없는 식물성기포제를 물에 용적대비 4%로 희석하여 사용하였다.

(3) 급결제

경량기포콘크리트는 타설 후 연행된 기포의 소포로 인하여 체적이 감소하는 문제점을 안고 있다. 이에 기존 연구에서 급결제를 사용함으로써 타설 후 응결시간을 단축시켜 부피안전성을 확보하는 방법을 주로 사용하고 있다. 본 연구에서도 금고내 충전 후 수축으로 인한 공극발생을 막기 위하여 CSA계 급결제를 사용하였으며, 급결제의 성분은 〈표 4〉와 같다.

〈표 4〉 급결제의 화학적 조성

구분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SO ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
비율 (%)	7.32	32.8	9.6	2.18	44.75	1.49

2.2 실험체 제작 및 실험방법

앞의 배합으로 [그림 4]와 같이 압축강도, 열전도율 실험체 및 철재 소형금고내에 내화물을 충전하여 내화 실험을 위한 금고실험체를 제작하여 〈표 5〉의 방법에 따라 실험을 실시하였다.

〈표 5〉 실험방법 및 실험체 사양

종 류	실험방법
압축강도	KS F 2459 (기포콘크리트의 겉보기 밀도, 함수율, 흡수율 및 압축강도 시험방법)
열전도율	KS L 9016 (보온재의 열전도율 측정방법)
내화시험	KS G 4500 (내화금고)



[그림 4] 실험체 제작

3. 실험결과

3.1 물리적 특성

금고용 내화물인 경량기포콘크리트의 물리적 특성을 평가한 결과 물시멘트비 45%에서는 수량이 작음에도 불구하고 기포의 소포량이 많아 낮은 압축강도를 나타냈으며, 단위시멘트량 600 kg/m³, 700 kg/m³에서 일반적인 금고내화물의 요구밀도인 0.6~0.7 사이의 값을 나타내었다.

압축강도는 물시멘트비 50% 배합에서 상대적으로 높은 강도를 나타냈으며, 시험체를 기건양생에 의한 방법으로 양생하여, 금고내부와 같은 봉함양생의 경우 더 높은 강도의 발현이 예상된다.

열전도율은 물시멘트비 45% 배합에서는 열전도율 시험체가 균열 등으로 측정이 불가하여 물시멘트비 50% 배합만을 실험하였으며, 시멘트량이 많을수록 열전도율은 상승하여, 단열특성에서는 기포량이 많은 것이 유리한 것으로 나타났으며, 전반적으로 단열재 수준의 우수한 단열성능을 나타내었다.

3.2 내화특성

선행 시험에서 상대적으로 양호한 제조 및 물리적 특성을 나타낸 4개 배합을 금속재 금고에 충전하여 내화시험을 실시하였으며, 기존 내화물과의 비교를 위하여 국내 S사에서 사용하고 있는 선발포 내화물을 주입한 시험체를 동시에 시험하여 비교하였다.

〈표 6〉 물리적 특성 실험결과

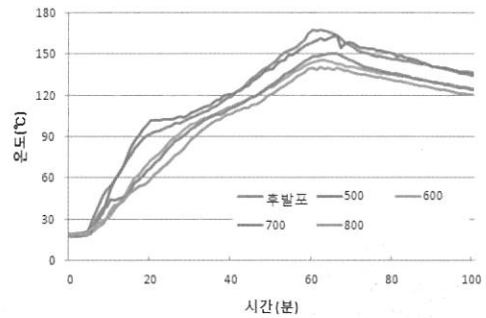
시험체기호	시멘트량 (kg/m ³)	물시멘트비 (%)	기건밀도 (t/m ³)	압축강도 (MPa)	열전도율 (W/(m·K))
500-45%	500	45	0.43	0.3	-
600-45%	600		0.44	0.5	-
700-45%	700		0.69	1.3	-
800-45%	800		0.89	3.4	-
500-50%	500	50	0.50	1.1	0.127
600-50%	600		0.64	2.3	0.156
700-50%	700		0.70	2.3	0.182
800-50%	800		0.95	3.4	0.213

시험결과는 〈표 7〉과 같이 모든 시험체가 1시간 내화성능을 만족하였으며, 시험체의 온도를 비교하면, 상대적으로 선기포방식의 내화물이 더 우수한 것으로 평가되었다.

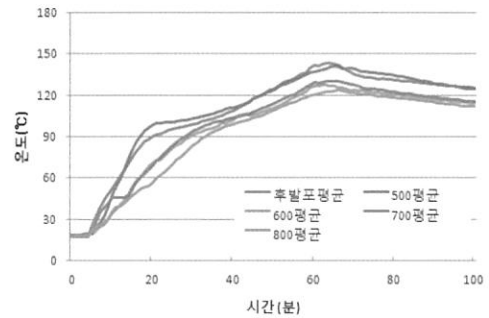
〈표 7〉 내화성능 실험결과

번호	기호	평균온도 (°C)	최고온도(°C) (도달시간)	내화성능
1	500	141	163 (65분)	1시간
2	600	128	146 (62분)	1시간
3	700	130	151 (65분)	1시간
4	800	124	140 (66분)	1시간
5	후발포	144	168 (62분)	1시간

※ 내화금고의 성능등급은 30분, 1시간, 2시간, 3시간, 4시간 등급이 있으며 종이용 금고의 성능기준은 내부온도가 177 °C 이하야함. 본연구는 1시간용 금고에 충전 시험함.

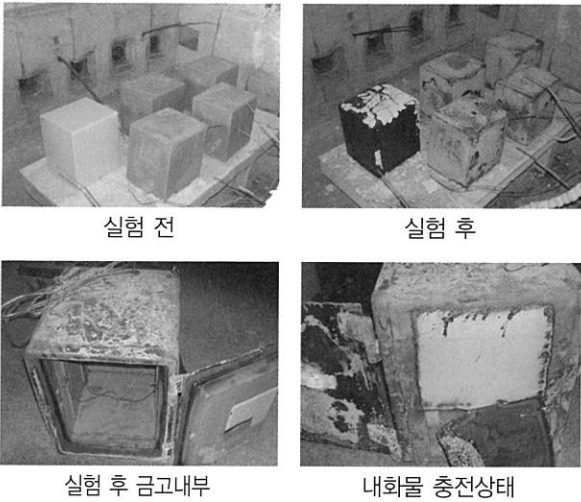


(i) 시험체별 최고온도 비교



(ii) 시험체별 평균온도 비교

[그림 5] 내화시험 결과 온도그래프



[그림 6] 내화실험 전·후 실험체

내화금고시험은 60분 내화성능 평가시 60분 가열 후 금고내의 온도가 하강에 이를 때 까지를 측정하게 되어 있으며, 전 과정의 측정결과를 나타낸 것이 [그림 5] 이다.

기존의 후발포방식과 선기포방식을 비교할 경우, 최고 온도와 평균온도 모두에서 선기포방식이 후발포방식보다 우수한 것으로 나타났다.

선기포방식을 배합별로 살펴보면 단위시멘트량이 많을수록 내화성능은 우수한 것으로 평가되었으며, 이는 일정수준의 낮은 열전도율을 지닐 경우 밀실한 조직이 열의 침투를 막아 보다 높은 내화성능을 나타낸 것으로 판단된다.

4. 결 론

후발포 방식의 금고내화물을 선기포방식의 금고용 내화물로 대체하기 위하여 물리적 특성과 기본 내화특성을 살펴본 결과 급결제를 사용함에 따라 응결시간이 단축되고, 초기 응결현상에 의하여 기포의 소포율이 낮아져 체적감소현상이 미미해짐에 따라 충분한 적용성을 확인 할 수 있었으며, 내화성능 또한 기존의 후발포 방식보다 금고내부의 온도가 낮게 나타나 내화성능 개선 효과도 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서 시행한 8개 배합을 검토한 결과, 금고의 무게에 미치는 밀도, 압축강도 내화성능을 전반적으로 고려할 경우 단위시멘트량 600 kg/m^3 , 700 kg/m^3 에 물시멘트 50% 배합을 기본배합을 활용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

향후 금고내화물의 내화성능향상 및 타 내화물로의 활용 등을 위한 성능개선방향으로는 본 연구의 성과물인 기본배합에 경량골재(Expanded Poly-Styrene bead, 펄라이트 등)등을 기포비율내에 혼입함으로써 물리적 특성 및 내화·단열특성의 개량이 가능할 것으로 예상된다.

참고문헌

1. 강승문 외, (2001) 팽창퍼라이트를 사용한 건축용 보드의 개발에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 학술발표대회논문집, pp919~923.
2. 김경민 외, (2011) PP섬유&고로슬래그를 사용한 경량기포콘크리트의 강도 특성에 관한 연구, 대한건축학회 추계학술발표대회논문집 구조계 제31권 제2호, pp339~340
3. 서치호 외, (2004) 건축용 경량 샌드위치 패널 제조를 위한 경량기포콘크리트 최적배합 도출에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 구조계 제24권 제2호, pp 439~442.
4. 오세출, (2002) 혼화재를 사용한 기포콘크리트의 특성에 관한 연구, 건국대학교 박사학위청구논문.
5. 장인기 외, (2010) 기포제를 사용한 구조용 경량 모르타르의 특성 및 열적성능평가에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집 구조계 제26권 제6호, pp 29~36.