

# 잔골재 및 혼화제 종류에 따른 콘크리트의 폭열 성상에 관한 실험적 연구

## An Experimental study on Explosive spalling of Concrete According to Kinds of Fine Aggregate and Admixture

장 재 봉\* 김 갑 수\* 김 재 환\*\* 김 용 로\*\* 권 영 진\*\*\* 김 무 한\*\*\*\*  
Jang, Jea bong Kim, Kab Soo Kim, Jae Hwan Kim, Yong Ro Kwon, Young Jin Kim, Moo-Han

### ABSTRACT

The purpose of this study is to present data for the reusing, reinforcement and estimation of safety of the RC structure damaged by fire, and for the prevention of explosive spalling by checking the character of explosive spalling according to kinds of fine aggregate, admixture and water-cement ratios.

The materials used fine aggregates were sea sand, crushed sand and recycled sand, and the admixtures were fly ash and blast-furnace slag. Also the water-cement ratios was 55% and 30.5%.

After those were heated respectively for 30 and 60 minutes in accordance with Standard Time-Temperature Curve. And then conditions of explosive spalling were divided into five grades, and characters of explosive spalling were investigated.

### 1. 서론

콘크리트구조물은 화재에 대하여 비교적 우수한 성능을 발휘하는 것으로 보고되어 있으며, 이를 바탕으로 수많은 구조물이 화재피해 후 보수·보강을 통하여 재사용되고 있으나, 현재까지는 화재발생 후 구조물의 재사용과 보강여부의 판단 및 신뢰성 있는 안전성 평가를 위한 이론적·실험적 연구가 매우 부족한 실정이다. 특히 최근 사용되고 있는 고성능 콘크리트의 경우에는 화재시 폭열이 발생하기 쉬운 것으로 나타나 콘크리트 구조물의 화재에 대한 성능을 재고해야 할 것이다.

일반적으로 콘크리트의 폭열이라 함은 콘크리트가 화재시 급격한 고온을 받게되어 콘크리트의 표면이 박리·박락하는 현상으로 피복콘크리트가 결손되어 철근이 노출될 수 있고, 이로 인해 철근이 직접적으로 고온에 접하게 되어 구조물에 치명적인 손상을 줄 수 있으며 화재시 구조물 붕괴의 원인이 되기도 한다. 이러한 폭열에 영향을 미치는 요인들은 W/C 및 단위수량, 골재 종류, 혼화제의 종류 등이 있으며 이러한 요인들이 복합적으로 관계되어 발생하는 것으로 알려져 있다.

- \* 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과 석사과정
- \*\* 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과 박사과정
- \*\*\* 정회원, 호서대학교 환경안전공학과 소방학과 교수·공학박사
- \*\*\*\* 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수·공학박사

표 1. 실험 계획 및 배합

시리즈	잔골재 종류	혼화재 종류	가열 시간	배합명	W/C (%)	잔골재율 (%)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )				가열전 합수량 (%)	가열 전 압축강도 (Mpa)
								시멘트	혼화재	잔골재	굵은 골재		
I	SS	무혼입	30분	SS	55	43	185	336	0	784	1039	1.1	31.7
				L					0	801	1061	1.4	35.3
				RS50 <sup>1)</sup>					0	772	1045	1.4	29.1
				RS					0	764	1013	1.4	41.8
				CS					0	814	1080	1.3	33.3
II	SS	무혼입	30분	PL	30.5	43	171	561	0	720	954	0.8	57.1
				FA <sup>2)</sup>				477	84	705	935	0.8	59.3
				BFS <sup>3)</sup>				308	252	715	947	0.8	54.1

1) SS와 RS를 중량비 1:1로 혼합한 잔골재 2) 결합재 중량 15%를 플라이애시로 대체 3) 결합재중량 45%를 고로슬래그 미분말로 대체

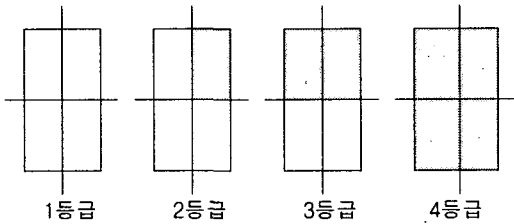


그림 1. 폭열등급분류 모식도

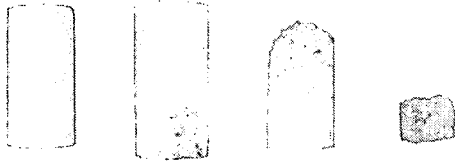


그림 2. 폭열등급분류 일례

따라서 본 연구에서는 잔골재 종류 및 혼화재 종류, 물결합재비 등의 배합요인이 보통강도 및 고강도 콘크리트의 폭열 성상에 미치는 영향을 검토하였다.

## 2. 실험계획 및 사용재료

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획 및 배합은 잔골재의 종류, 혼화재료의 종류 및 물시멘트비에 따른 콘크리트의 폭열성상을 검토하기 위해 표 1과 같이 설정하였으며, 이에 따라 제작한  $\Phi 10 \times 20\text{cm}$  시험체를 28일간 기건양생한 후 표준가열곡선에 의해 30분, 60분 가열을 실시하였다. 또한 가열 후 콘크리트의 폭열 성상을 검토하기 위해 그림 1에서 보는바와 같이 4등급으로 설정하였다.

### 2.2 사용재료

본 연구에 사용한 재료의 물리적 성질은 표 2에 나타내었다.

표 2. 사용재료의 물리적 성질

종류	물리적 성질
시멘트	1종 보통포틀랜드시멘트 비중 3.15, 분말도 3630cm <sup>2</sup> /g
혼화재	보령산 플라이애시 강열 감량 : 4.10% 비중 2.12, 분말도 2976cm <sup>2</sup> /g, 고로슬래그 미분말 비중 2.99, 분말도 4379cm <sup>2</sup> /g
잔골재 (최대 치수 5mm)	SS : 인천산 세척사 비중 2.57, 흡수율 1.25%, 조립율 2.41 L : 인천산 세척사 비중 2.56, 흡수율 1.48%, 조립율 3.04 RS : 재생모래 비중 2.49, 흡수율 7.97%, 조립율 2.74 CS : 부순모래 비중 2.63, 흡수율 1.5%, 조립율 2.66
굵은 골재	퇴촌산 부순자갈, 최대치수 : 20mm 비중 2.65, 흡수율 1.39% 조립율 6.02

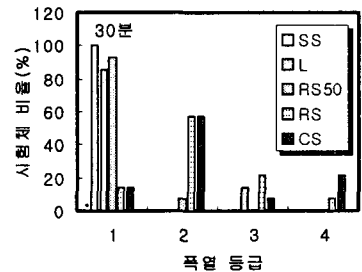


그림 3. 30분 가열시 잔골재 종류에 따른 콘크리트의 폭열 성상

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 잔골재 종류에 따른 콘크리트의 폭열 특성

그림 3은 30분 가열시의 잔골재 종류에 따른 폭열 성상을 나타낸 것으로 부순모래 및 재생 잔골재만을 사용한 경우에는 바다모래의 경우보다 폭열에 취약한 것으로 나타났으며 바다모래의 경우에는 골재크기에 관계없이 폭열이 일어나지 않은 것으로 나타났다. 또한 RS50의 경우에도 바다모래와 유사한 폭열 성상을 나타내었다.

#### 3.2 혼화제 종류에 따른 콘크리트의 폭열 특성

혼화제 종류에 따른 콘크리트의 폭열 성상은 그림 4에 나타낸 바와 같이 혼화재료 무혼입(PL)의 경우 30분 가열에 있어서는 혼입의 경우보다 폭열 성상이 양호한 것으로 나타났으며 플라이애시를 사용한 경우와 고로슬래그 미분말을 사용한 경우의 폭열 성상은 유사하게 나타났다.

#### 3.3 가열시간에 따른 콘크리트의 폭열 특성

그림 5는 잔골재 종류별 가열시간에 따른 콘크리트의 폭열 성상을 나타낸 것으로서, 바다모래의 경우 30분 가열 및 60분 가열에서도 폭열이 나타나지 않고 있으며 부순모래 및 재생 잔골재만을 사용한 경우에는 가열 개시 후 30분 이전에 폭열이 발생하며 가열이 계속되는 동안 지속적으로 폭열이 진행되어 폭열의 상태가 심해지는 것으로 나타났다.

또한 그림 6 혼화제 종류별 가열시간에 따른 콘크리트의 폭열 성상을 살펴보면 무혼입의 경우 가열시간 60분에서는 혼화제를 사용한 경우보다 폭열 성상이 불량한 것으로 나타났으며 플라이애시를 사용한 경우에는 낮은 등급의 폭열이 발생한 공시체가 많은 비율을 차지한 반면에 고로슬래그 미분말을 사용한 경우에는 낮은 등급과 높은 등급의 폭열로 양분되는 경향을 보였다.

#### 3.4 물시멘트비에 따른 콘크리트의 폭열 특성

그림 7을 살펴보면 W/C 30.5%의 경우 가열 30분을 전후하여 폭열이 발생하기 시작하여 가열 30분 이후에도 폭열이 계속 진행되며 가열 60분 이전에 폭열이 종료되는 것으로 나타났다. 또한 W/C 30.5%에서 60분 가열시에는 모든 공시체에서 폭열이 발생한 것으로 나타나 고강도 범위의 콘크리트를 사용할 때에는 폭열 방지를 위한 섬유혼입 등의 대책을 적극적으로 모색해야 할 것으로 판단된다.

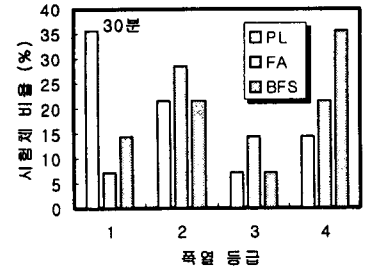


그림 4. 30분 가열시 혼화제 종류에 따른 콘크리트의 폭열 성상

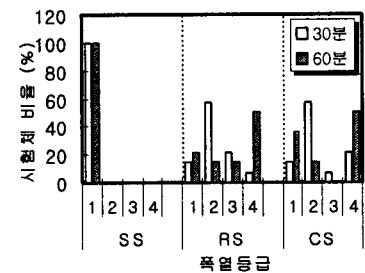


그림 5. 잔골재 종류별 가열시간에 따른 콘크리트의 폭열 성상

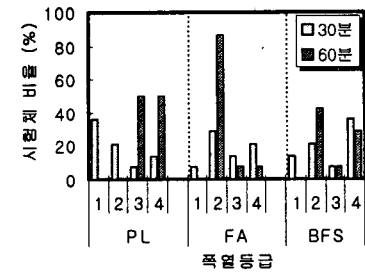


그림 6. 혼화제 종류별 가열시간에 따른 콘크리트의 폭열 성상

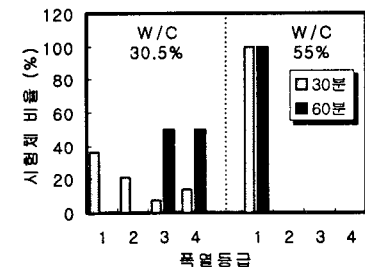


그림 7. 물 시멘트비별 가열시간에 따른 콘크리트의 폭열 성상

#### 4. 결론

잔골재 및 혼화재 종류에 따른 콘크리트의 폭열 성상에 관한 실험적 연구의 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) W/C 55%의 일반 강도 영역에서 바다모래를 사용한 경우 잔골재의 크기에 관계없이 폭열이 발생하지 않았으며, 부순모래 및 재생 잔골재만을 사용한 경우는 바다모래에 비하여 폭열 성상이 불량한 것으로 나타났다. 또한 바다모래 50%를 재생 잔골재로 치환한 경우에는 바다모래만을 사용한 경우와 매우 유사한 폭열 성상을 나타내었다.
- (2) 혼화재료 무혼입(PL)의 경우 30분 가열에 있어서는 혼입의 경우보다 폭열 성상이 양호한 것으로 나타났으며 플라이애시를 사용한 경우와 고로슬래그 미분말을 사용한 경우의 폭열 성상은 유사하게 나타났다.
- (3) 가열시간에 따른 콘크리트의 폭열 특성으로는 부순모래 및 재생 잔골재만을 사용한 경우 가열 30분 이내에 폭열이 발생하기 시작하여 가열이 계속되는 동안 지속적으로 폭열이 진행되는 것으로 나타났으며 혼화재료를 사용한 경우에는 60분 가열의 경우에 무혼입의 경우보다 양호한 폭열 성상을 보였다.
- (4) 물시멘트비에 따른 콘크리트의 폭열 특성은 W/C 55%의 일반 강도 영역에서는 폭열에 대해 안정한 것으로 나타났으며 W/C 30.5%의 경우 가열 30분을 전후하여 폭열이 발생하기 시작하여 가열 30분 이후에 지속적으로 폭열이 진행되어 가열 60분 이전에 대부분의 폭열이 발생하는 것으로 나타났다.

#### 참고문헌

1. L.T. Phan, "Fire Performance of High-Strength concrete : A Report of the State-of-the-Art", Building and fire research laboratory national institute of standards and technology, 1996. 10.
2. 김무한 외, "화재에 의해 성능 저하된 콘크리트 구조물의 진단 및 보수공법에 관한 연구", 한국 화재·소방학회 춘계학술논문 발표회 논문집, 2003. 4, pp.230~235.
3. 권영진, "화재 피해를 입은 철근 콘크리트 구조물의 조사, 평가 및 리해빌리테이션 방안", 한국 화재·소방학회 하계심포지움, 2003. 8, pp.1~24.
5. 김상규 외, "고강도 콘크리트의 시공 및 품질관리 지침작성에 관한 연구" 대한주택공사 주택도시연구원 2002. 6.
6. 長尾 覚博 外, "火災時における高強度コンクリートの爆裂防止に関する試験結果", 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1999. 9, pp.245~246.
7. 森田 武 外, "火災時における高強度コンクリートの爆裂性状に関する基礎的実験", 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1999. 9, pp.41~44.
8. 長尾 覚博 外, "火災時における高強度コンクリートの爆裂に関する一考察", 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1998. 9, pp.245~246.
9. 김무한, "구조재료실험", 문운당, 1999.