

## 고성능 콘크리트의 폭열에 미치는 각종 요인에 관한 실험적 연구

나철성\*\*, 신관수\*, 이의배\*\*, 권영진\*\*\*, 김규용\*\*\*\*, 김무한\*\*\*\*\*

충남대학교 건축공학과 석사과정\*, 충남대학교 건축공학과 박사과정\*,  
호서대학교 소방학과 교수·공박\*\*\*, 충남대학교 건축공학과 조교수·공박\*\*\*\*,  
충남대학교 건축공학과 교수·공박\*\*\*\*\*

### An Experimental Study on the Various Factors affect the Explosive Spalling of High Performance Concrete

Chul-Sung, Na\*\*, Kwan-Soo, Shin\*, Eui-Bae, Lee\*\*,

Young-Jin Kwon\*\*\*, Gyu-Yong, Kim\*\*\*\*, Moo-Han Kim\*\*\*\*\*

Chungnam National University Architecture Engineering Master course\*,  
Chungnam National University Architecture Engineering Doctoral course\*\*,  
Hoseo University Fire Science Professor\*\*\*,  
Chungnam National University Architecture Engineering Assistant Professor\*\*\*\*,  
Chungnam National University Architecture Engineering Professor\*\*\*\*\*

#### ABSTRACT

Recently, fire resistance of high performance concrete for explosive spalling was issued as high performance concrete was vulnerable to the explosive spalling in initial fire.

Therefore, This study is willing to propose fundamental data for quick and accurate diagnosis of deteriorated concrete structure by fire damage with making variable concrete test specimen, exposing high temperature environment, observing the explosive spalling and examining engineering property.

**Keyword** : High Performance concrete, Explosive spalling, Fire Damage

#### 1. 서론

건축물의 주요 구조부재를 이루는 콘크리트는 다른 구조 재료에 비해 열전도율이 낮고 완전 붕괴에 도달하기까지의 에너지소산능력이 매우 우수하기 때문에 화재 등과 같은 비상상황에서 충분한 대피시간의 확보가 가능하다고 보고되었다.

그러나 콘크리트구조부재가 화재 등과 같은 고온에 장시간 노출될 경우 부분적 혹은 전체구조시스템에 심각한 영향을 끼칠 수 있는 손상이 발생할 수 있으며, 콘크리트에 사용된 혼화재료 및 골재 등 사용재료와 설계기준강도에 따라 화재 피해 상황역시 다르게 나타나기 때문에 화재피해를 입은 콘크리트 구조물의 재사용 여부 및 피해 등급을 결정하기 위해서는 각종 콘크리트의 화재에 의한 성능저하 정도에 관한 데이터가 축적되어야만 한다.

따라서 본 연구에서는 폭열에 영향을 미치는 다양한 요인을 설정하여 화재피해를 입은 고성능콘크리트의 성능 저하특성 규명하기 위해 화재피해를 입은 콘크리트의 설계기준강도 및 양생조건과 콘크리트의 폭열정도의 상관성을 검토하여 폭열정도 추정에 관한 자료를 제시함으로써 화재피해를 입은 콘크리트 구조물의 합리적인 진단을 위한

표 1. 실험계획

시리즈	실험요인	설계기준강도 (MPa)	W/B (%)	목표슬럼프 플로우 (mm)	목표슬럼프 (mm)	FA 대체율 (%)	SF 대체율 (%)	잔골재율 (%)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )				측정항목
										C	FA	S	G	
I	설계기준강도	80	25	550±50	-	15	10	45	165	495	99	741	923	• 폭열성장 (가열시간 15분) • 압축강도 • 반발도 (재령: 가열전 및 가열직후)
		60	28				-		168	510	90	732	911	
		40	33				-		170	438	77	756	942	
		21	55	180±20	175	270	48	812	1011					
II	양생조건	80	25	550±50	-	15	10	45	165	495	99	741	923	• 함수율 (%) • 폭열성장 (가열시간 30분) • 압축강도 (재령: 가열전 및 가열직후)
		60	28				-		168	510	90	732	911	

기초 자료로 활용하고자 하며, 최종적으로 화재를 입은 콘크리트구조물의 진단과 보수·보강에 관한 규정 마련의 지표로 활용하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획 및 배합

본 연구의 실험계획은 표 1에서 보는 바와 같이 고성능콘크리트의 폭열특성을 검토·분석하기 위해 시리즈 I에서는 설계기준강도 21, 40, 60 및 80MPa를 설정하여 이에 따른 물결합재비를 설정하였다. 또한 시리즈 II에서는 설계기준강도 60 및 80MPa에 따른 물결합재비를 설정하였으며, 양생조건은 표준 및 기건으로 설정하였다.

시험체는  $\Phi 10 \times 20 \text{cm}$ 의 원주형 공시체를 제작하여 24시간후 탈형하고  $20 \pm 3^\circ \text{C}$ , RH 60% 조건에서 28일간 양생한 후, 바닥용 내화시험 가열로에서 KS F 2257 내화시험 방법에 의거하여 표준가열곡선에 따라 30분 가열을 실시하였다.

가열된 공시체는 그림 1에서 보는 바와 같이 콘크리트표준 지방서상의 피복 두께규정 및 화재시 외관상의 피해에 따른 화재 등급분류에 근거하여 4등급으로 분류하여 폭열상태를 검토하였으며 그 분류 일례를 그림 2에 나타내었다.

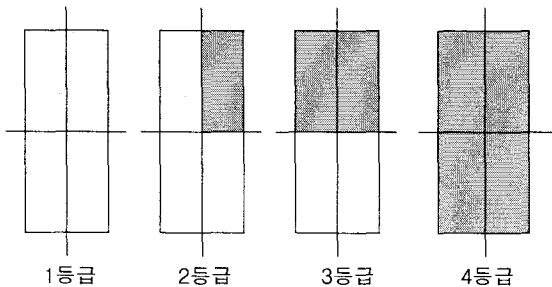


그림 1, 폭열등급의 모식도

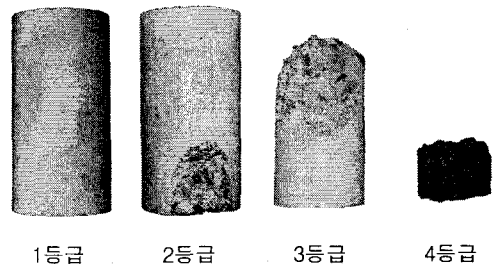


그림 2, 폭열등급의 일례

### 2.2 사용재료

본 연구에 사용한 재료의 물리적 성질은 표 2에 나타낸 바와 같이 시멘트는 비중 3.15의 보통포틀랜드시멘트, 혼화재로서 비중 2.16의 플라이애시와 비중 2.2의 실리카

흙, 잔골재로서 비중 2.58의 인천산 제염사, 굵은골재로서 비중 2.63의 퇴촌산 부순자갈을 사용하였으며 혼화제로서 폴리카르본산계 고성능감수제를 사용하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 설계기준강도에 따른 폭열특성

그림 3은 설계기준강도에 따른 콘크리트의 폭열등급을 나타낸 것으로 일반강도 21MPa 및 고강도 영역인 40MPa에서는 거의 폭열이 발생하지 않았으나 고강도 영역인 60 및 80MPa에서는 2등급이 발생하였다.

그림 4 및 5는 각각 가열에 따른 콘크리트 압축강도와 반발도의 변화를 나타낸 것으로 압축강도의 경우 가열 전에 비하여 각 설계기준강도별로 평균 85, 98, 60 및 70%, 반발도의 경우 87, 85, 78 및 79%로 설계기준강도 21 및 40MPa의 경우에는 압축강도 및 반발도의 저하가 크게 나타나지 않았으나 설계기준강도 60 및 80MPa와 같은 고강도 영역에서는 큰 수준으로 저하하는 것으로 나타났다.

표 2. 사용재료의 물리적 성질

사용재료	물리적 성질
시멘트	보통포틀랜드 시멘트 (비중 : 3.15, 분말도 : 3,200cm <sup>2</sup> /g)
혼화제	플라이애시 (비중 : 2.16, 분말도 : 1990cm <sup>2</sup> /g)
	실리카흄 (비중 : 2.2, 분말도 : 200,000cm <sup>2</sup> /g)
골재	잔골재 제염사 (인천산, 비중 : 2.58)
	굵은골재 부순자갈 (퇴촌산, 비중 : 2.63, 최대치수 20mm)
혼화제	폴리카르본산계고성능감수제

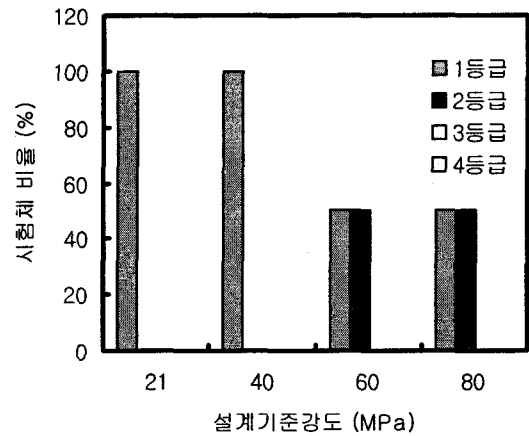


그림 3. 설계기준강도에 따른 콘크리트의 폭열등급

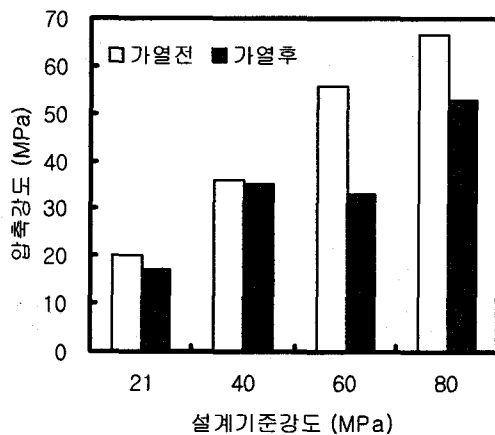


그림 4. 가열에 따른 콘크리트 압축강도의 변화

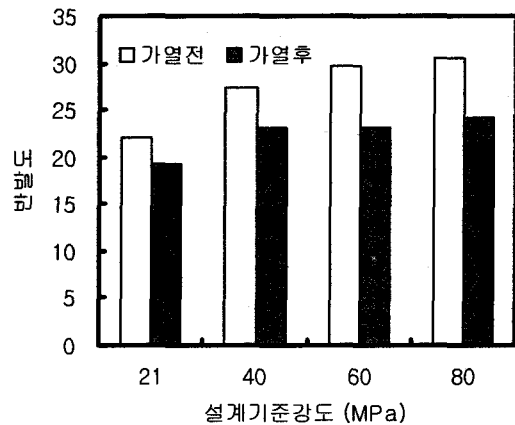


그림 5. 가열에 따른 콘크리트 반발도의 변화

#### 3.2 양생조건에 따른 폭열특성

그림 6은 양생조건에 따른 콘크리트의 함수율을 나타낸 것으로 설계기준강도 60 및

80MPa의 경우 기건 및 표준양생조건에서 각각 2.10, 2.37, 1.79 및 2.21%로 나타났다.

그림 7은 양생조건에 따른 콘크리트의 폭열등급을 나타낸 것으로 설계기준강도가 높을수록, 양생조건이 표준수준양생일수록 폭열에 취약한 것으로 확인됐다.

그림 8은 가열에 따른 콘크리트 압축강도의 변화를 나타낸 것으로 가열 후 압축강도는 가열 전 압축강도에 비하여 설계기준강도 60MPa의 기건 및 표준수준양생, 80MPa의 기건 및 표준수준양생하에서 각각 평균 50, 45, 31 및 26%로, 설계기준강도가 높을수록, 양생조건이 표준수준양생일수록 압축강도의 저하가 크게 나타났다.

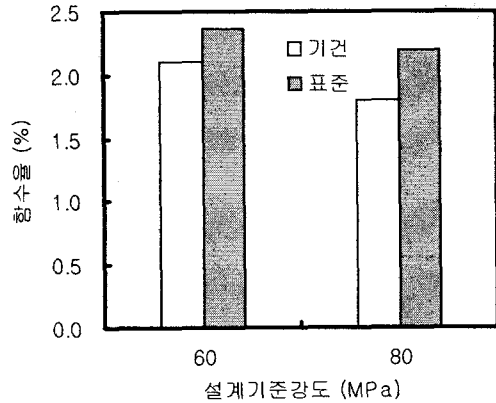


그림 6. 양생조건에 따른 콘크리트의 함수율

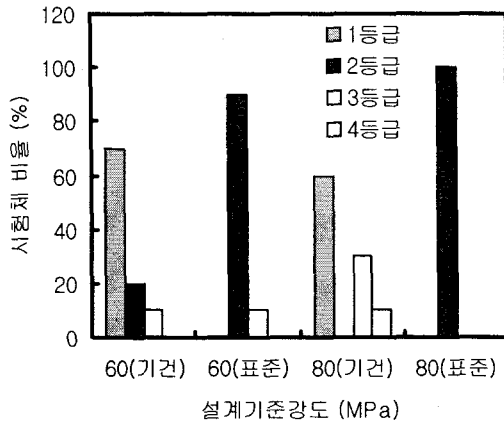


그림 7. 양생조건에 따른 콘크리트의 폭열등급

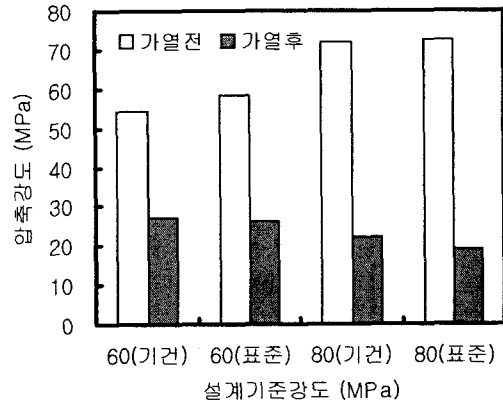


그림 8. 양생조건에 따른 압축강도의 변화

#### 4. 결론

(1) 일반강도 21MPa 및 고강도 영역인 40MPa에서는 거의 폭열이 발생하지 않았으나 고강도 영역인 60 및 80MPa의 경우 2등급이 발생하였으며, 고강도 영역에서 압축강도 및 반발도의 저하도 큰 수준으로 나타났다.

(2) 설계기준강도가 높을수록, 양생조건이 표준수준양생일수록 폭열에 취약한 것으로 나타났으며, 압축강도 또한 크게 저하하는 것으로 나타났다.

#### 참고문헌

1. 김무한 외, “화재에 의해 성능저하된 콘크리트 구조물의 진단 및 보수공법에 관한 연구”, 한국화재·소방학회 춘계학술논문발표회 논문집, pp.230~235 (2002)
2. 권영진, “화재피해를 입은 철근 콘크리트 구조물의 조사, 평가 및 리헤빌리테이션 방안”, 한국화재·소방학회 하계 심포지움, pp.1~24 (2002)