

# 고강도를 적용한 1종 경량골재 콘크리트의 내화특성

## Fire Resistance Performance of High Strength-Light Weight Concrete

송훈\* 이종찬\* 이세현\*\*  
Song, Hun Lee, Jong Chan Lee, Sea Hyun

### ABSTRACT

Normally, the degradation of concrete member exposed to fire is largely dependent on the fire scale and fire condition. With all ensuring the fire resistance structure as a method of setting the required cover thickness to fire, the RC is significantly affected from the standpoint of its structural stability that the compressive strength and elastic modulus is reduced by fire.

Thus, this study is concerned with experimentally investigating fire resistance of high strength-light weight concrete. From the test result, high strength-light weight concrete is happened explosive spalling. The decrease of cross section caused by explosive spalling made sharp increasing gradient of inner temperature.

### 1. 서론

최근 건축물의 고층화 및 대형화와 더불어 고강도 콘크리트의 사용량이 증가하고 있으며 이를 적용한 초고층 건축물도 쉽게 찾아볼 수 있다. 이와 더불어 화재에 의한 인적, 물적 재산피해도 증가하는 경향을 나타내고 있어 건축물에 대한 화재안전대책이 요구된다. 철근콘크리트 구조는 소정의 피복두께를 유지하면 내화구조로서 인정된다. 하지만 화재에 의해 콘크리트는 압축강도 및 탄성계수가 저하하는 등 성능저하가 발생하며, 특히 고강도 콘크리트의 경우는 화재초기에 발생하는 폭발로 인해 구조안전성에 심각한 영향을 미친다. 폭발은 콘크리트 부재의 급격한 단면 손상을 유발하므로 일본의 경우 60MPa를 초과하는 경우 화재안전성을 고려할 것을 권고하고 있다. 또한 경량골재 콘크리트 2종을 사용한 경우도 이에 해당한다. 콘크리트 표준시방서에 의한 경량골재 콘크리트 1종의 설계기준강도는 24MPa이 최대치이지만 건축물의 고층화와 더불어 적용강도의 증가도 예견되어 일본의 경우는 설계기준강도 최대치를 36MPa로 규정하고 있다. 이와 같이 경량골재 콘크리트의 사용량 증가는 예견되지만 화재발생시 사용골재의 특성에 따라 콘크리트의 내화특성도 달라지므로 이에 대한 화재안전성 확보가 필요하다.

본 연구는 구조용 경량골재 및 구조용 초경량 골재를 사용한 콘크리트의 내화성능을 확인하고자 하였다. 경량골재 콘크리트는 비교적 화재에 안전하다고 인정되는 1종으로 한정하였고 설계기준강도 최대값 이상의 고강도를 적용하였다. 또한 콘크리트의 함수상태를 달리하여 함수율에 따른 내화특성 확인을 목적으로 하였다.

\*정회원, 한국건설기술연구원, 건축연구부, Post-doc, 공학박사

\*\*정회원, 한국건설기술연구원, 건축연구부, 수석연구원, 공학박사

## 2. 사용재료 및 시험방법

### 2.1 사용재료

본 실험에 사용된 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트이며, 잔골재는 강모래를 사용하였다. 굵은골재는 밀도가 다른 구조용 인공 경량골재를 사용하였고, 각 사용재료의 물리적 성질은 표1과 같다.

콘크리트의 배합은 표2와 같다. 단위수량은  $170\text{kg/m}^3$ 로 하였고, 물시멘트비를 35, 55%로 하였다. 콘크리트의 혼합은 100L의 강제식 믹서를 이용하였고, 시멘트와 잔골재를 투입하여 선 혼합 후, 물과 혼화제, 굵은골재의 순으로 투입하여 각각 90초간 혼합하였고, 공기량과 슬럼프를 측정하였다.

표1. 사용재료

시멘트	C	보통 포틀랜드 시멘트, 밀도 : 3.16
잔골재	S	강모래, 표건비중 : 260
굵은골재	G <sub>L</sub>	구조용 경량골재 (혈암) 표건밀도 : $1.67\text{g/cm}^3$
	G <sub>S</sub>	구조용 경량골재 (혈암) 표건밀도 : $0.90\text{g/cm}^3$
혼화제	S.P	폴리카르본산계

표2. 콘크리트 배합

Series	W/C (%)	s/a (%)	Unit weight ( $\text{kg/m}^3$ )				S.P. (%)	Air content (%)	Slump (cm)
			W	C	S	G			
LWC-35	35	45	170.0	485.7	744.5	451.4	0.4	4.9	23
SLWC-35	35	45	170.0	485.7	744.5	315.0	0.6	5.0	22
LWC-55	55	50	170.0	309.1	899.8	446.5	0.6	5.8	18

LWC(S+G<sub>L</sub>), SLWC(S+G<sub>S</sub>)

### 2.2 시험방법

콘크리트 시험체의 크기 및 형상은 그림1과 같다. 시험체의 피복두께는 40mm로 하였고, 가열에 의한 내부온도 변화 측정을 위하여 가열면 및 가열면에서 20mm 깊이로 8개의 열전대를 설치하였고, 보조근 및 주근의 온도 측정을 위해 각각 2개의 열전대를 설치하였다. 또한, 시험체의 가열면에 입사하는 입사열을 측정하기 위하여 벽식 가열로 프레임의 4개소에 수냉식 열유속계를 설치하였다.

내화성능 평가는 KS F 2257에서 규정하는 건축물 표준화재 곡선에 의해 실시하였다. 내화시험은 1시간 내화를 상정하여 가열하였다. 내화 시험시의 시험체의 재령은 3개월이며, 함수율에 따른 내화성능을 비교하기 위하여 동일 시험체를 제작하여 양생하면서 콘크리트의 함수상태를 조절하였다. 시험체의 함수율은 LWC-35가 5.5, 6.9%이며 SLWC-35가 4.8, 6.1%이며 LWC-55가 6.8%이다.

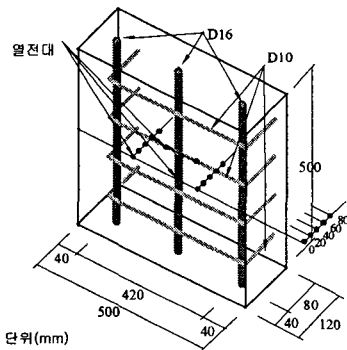


그림1. 시험체의 형상

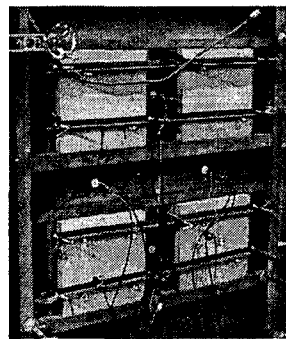


그림2. 일면 가열 시험체의 설치형태

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 입사열 및 내부온도 변화

입사열의 측정은 대류와 복사에 의한 수열량의 합으로 측정하였으며, 가열시간의 경과와 더불어 시험체에 입사열도 증가하였다. 건축물 표준화재곡선에 의한 가열 개시 후 급격한 온도상승에 따라 시험체에 입사한 열유속도 증가하였으며 시험체에 따른 차는 보이지 않았다. 경량골재 콘크리트에 폭발 발생시의 열유속 및 로내온도는 약  $55\text{kW/m}^2$ ,  $570^\circ\text{C}$ 로 실제 규모의 화재에서도 충분히 발생할만한 값이다.

경량골재 콘크리트의 내부온도 변화를 그림5에 나타내었다. LWC-35 시험체의 경우 가열초기부터 폭발이 발생하였고, 단면결손으로 인해 내부온도는 급상승하였다. 함수율에 상관없이 시험체 모두 주근이 화염에 노출되어 가열 후 30분경  $500^\circ\text{C}$ 를 초과하였다.

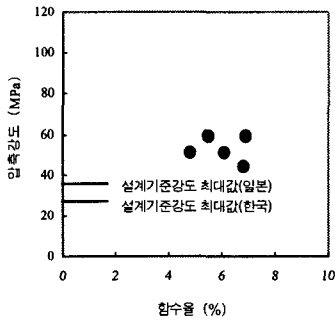


그림3. 시험체의 압축강도와 함수율

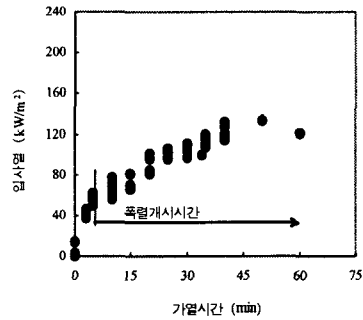


그림4. 가열시간과 입사열

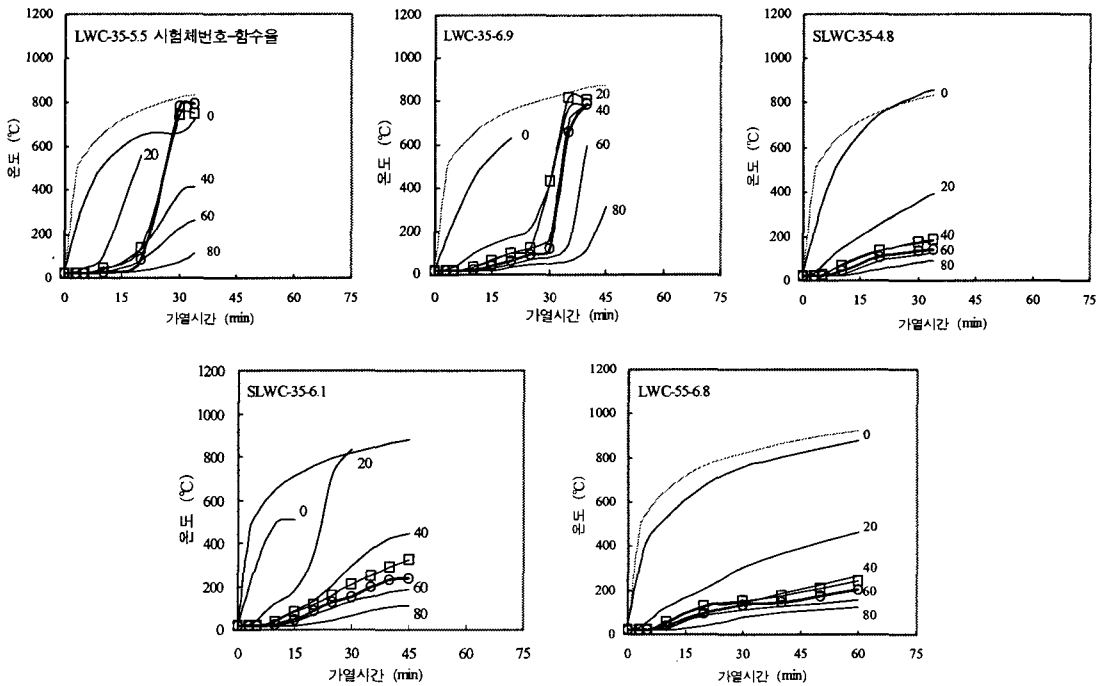


그림5. 시험체의 내부온도 변화



LWC-35-5.5

LWC-35-6.9

LWC-35-4.8

LWC-35-6.1

LWC-35-6.8

그림6. 내화시험 후의 가열면

그림7. 시험체의 내화시험결과

	LWC-35		SLWC-35		LWC-55
압축강도 28d(MPa)	59		51		44
단위질량 (kg/m <sup>3</sup> )	2030		1896		1967
실험시의 함수율	5.5	6.9	4.8	6.1	6.8
폭렬의 유무	○	○	×	○	×
최대폭렬깊이(mm)	77	86	·	31	·
폭렬발생시간(min)	5	12	·	7	·
폭렬종료시간(min)	35	45	·	25	·
폭렬시의 열유속(kW/m <sup>2</sup> )	55.4	64.7	·	61.4	·
폭렬시의 로내온도(℃)	556	730	·	605	·
주근의 최고온도(℃)	744	809	188	236	202
가열시간(min)	35	45	35	45	60

근의 좌굴도 발생하였다. SLWC-35 시험체는 함수율이 큰 쪽에서 폭렬이 발생하였으나 표층부에 한정되었기 때문에 철근의 노출까지는 도달하지 않았다. 따라서 표층부에 한하여 급격한 온도상승이 발생하였으며 폭렬이 발생하지 않은 경우는 급격한 온도상승은 보이지 않았다.

### 3.2 내화성능 평가

내화구조로 적용되는 콘크리트 구조물의 경우 비손상성, 차열성 및 차염성이 요구된다. 경량골재 콘크리트의 일부 시험체는 폭렬이 발생하였으며 내부온도도 급격히 상승하였다. 폭렬은 함수율이 높은 쪽에서 현저하였고 함수율과 폭렬발생시간과의 연관성은 없었다. 일본의 경우 경량골재 콘크리트 2종의 경우에 한하여 내화성능의 검정을 요구하고 있지만 1종 경량골재 콘크리트에서도 고강도화 되는 경우 단면손상을 유발하는 폭렬의 발생 가능성을 무시할 수 없다. 따라서 초고층 건축물이나 프리캐스트 부재에 고강도 경량골재 콘크리트가 적용되는 경우 내화성능에 대한 검증이 필요하다.

### 4. 결론

1. 경량골재 콘크리트 폭렬 발생시의 열유속 및 로내온도는 약 55kW/m<sup>2</sup>, 570℃로 실제 규모의 화재에서도 충분히 발생할만한 값이다.
2. 건축물의 고층화 및 대형화에 따라 경량골재 콘크리트의 적용도 크게 증가하고 있지만 화재발생시 폭렬이 발생할 가능성이 커지므로 경량골재 콘크리트를 고강도로 적용하는 경우 내화성능에 대한 검증이 필요하다.

### 참고문헌

1. 콘크리트 표준시방서 해설, 한국콘크리트학회, 2003
2. Zdenek P. Bazant, Concrete at High Temperatures : Material Properties and Mathematical Models, Prentice Hall, 1996
3. T. Z. Harmathy, Fire Safety Design and Concrete, Longman Scientific & Technical, 1993