

구조용 경량골재 콘크리트의 폭발특성

Explosive Spalling of Structural Lightweight Aggregate Concrete

송 훈* 이종찬** 이세현*** 김우재****
 Song, Hun Lee, Jong-Chan Lee, Sea-Hyun Kim, Woo-Jae

ABSTRACT

Normally, 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. Especially, high strength concrete and lightweight aggregate concrete is occurred serious fire performance deterioration by explosive spalling.

Thus, this study is concerned with explosive spalling of lightweight concrete using structural lightweight aggregate. From the experimental test result, lightweight aggregate concrete is happened explosive spalling. The decrease of cross section caused by explosive spalling made sharp increasing gradient of inner temperature.

1. 서론

철근콘크리트구조는 소정의 피복두께를 유지하면 내화구조로서 적용되어 별도의 성능확인 절차 없이 사용되었다. 하지만 최근에 고강도콘크리트 및 경량골재콘크리트의 건축물에서의 사용이 증가하고, 이와 더불어 많은 연구자들에 의해 장단점이 확인되어 적용에 있어 사전 성능확인을 요구하고 있는 실정이다. 일본의 경우 고강도콘크리트나 경량골재콘크리트 2종을 사용하는 경우는 화재초기에 발생하는 폭발로 인해 구조안전성에 심각한 영향을 미칠것을 고려하여 성능확인을 권고하고 있다. 이에 대한 적용은 고강도콘크리트의 경우 60MPa이상, 경량골재콘크리트의 경우 잔골재도 경량골재인 2종이 대상이며 성능의 판정은 기존의 내화구조의 판정기준을 적용하여 실시하고 있다.

표 1. 일본의 내화구조 성능판정기준⁽³⁾

	구조부재 내화성능시험	
	재하 내화시험	비재하 내화시험
하중	상시수직하중	.
벽 기둥	<ul style="list-style-type: none"> 최대축방향수축량 (mm) $\leq h/100$ 최대축방향수축속도 (mm/분) $\leq 3h/1,000$ h : 초기높이(mm) 	<ul style="list-style-type: none"> 철근콘크리트조 최고 $\leq 500^\circ\text{C}$ 프리스트레스콘크리트조 최고 $\leq 400^\circ\text{C}$ 강구조, 박판경량형강구조 최고 $\leq 450^\circ\text{C}$, 평균 $\leq 350^\circ\text{C}$
바닥 슬래브	<ul style="list-style-type: none"> 최대변형 (mm) $\leq l^2/400d$ 최대변형속도 (mm/분) $\leq l^2/9,000d$ l : 스패ん(mm), d : 단면 거리(mm) 	<ul style="list-style-type: none"> 철근콘크리트조 최고 $\leq 550^\circ\text{C}$ 프리스트레스콘크리트조 최고 $\leq 450^\circ\text{C}$ 강구조, 박판경량형강구조 최고 $\leq 500^\circ\text{C}$, 평균 $\leq 400^\circ\text{C}$
가열 조건	T=345log10(8t+1)+20 T:로내온도, t:경과시간(min)	

* 정회원, 요업(세라믹)기술원, 시멘트·콘크리트팀, 선임연구원, 공학박사

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

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

**** 정회원, 포스코건설(주) 기술연구소, 건설기술연구팀, 공학박사

구조부재의 내화성능시험은 재하 및 비재하로 구분 적용되며 재하시험의 경우는 수축량이나 수축속도로 판정하며 비재하시험의 경우는 내부강재의 온도상승 정도에 의한 판정을 실시하고 있다. 이러한 판정기준은 재하와 비교하여 비재하시험이 더욱 가혹한 것으로 인정된다^{(1),(3)}.

본 연구에서는 건축물의 고층화와 더불어 적용강도의 증가가 예상되는 경량골재콘크리트의 국내 설계기준강도인 24MPa 및 일본의 경량골재콘크리트 1종의 적용강도인 36MPa를 넘어서는 고강도 경량골재콘크리트를 적용하였으며 콘크리트의 함수상태를 달리하여 함수정도에 따른 내화특성 확인을 목적으로 하였다.

2. 사용재료 및 시험방법

2.1 사용재료

본 실험에 사용된 시멘트는 보통포틀랜드시멘트이며, 잔골재 및 굵은골재는 구조용 경량골재를 사용하였다. 굵은골재는 일반경량골재와 밀도가 1이하인 초경량골재를 사용하였고, 각 사용재료의 물리적 성질은 표 2와 같다. 콘크리트의 배합은 단위수량을 170kg/m³로, 물시멘트비를 35%로 하였으며 표 3과 같다. 콘크리트의 혼합은 강제식 믹서를 사용하였고, 시멘트와 잔골재를 투입하여 선 혼합 후, 물과 혼화제, 굵은골재의 순으로 투입하여 각각 90초간 혼합하였고, 공기량과 슬럼프를 측정하였다.

표 2. 사용재료

시멘트	C	보통 포틀랜드 시멘트, 밀도 : 3.16
잔골재	SL	혈암, 표건밀도 : 1.86g/cm ³
굵은골재	GL	구조용 경량골재 (혈암) 표건밀도 : 1.67g/cm ³
	GS	구조용 경량골재 (혈암) 표건밀도 : 0.90g/cm ³

표 3. 콘크리트 배합

Series	W/C (%)	s/a (%)	Unit weight (kg/m ³)				S.P. (%)	Air content (%)	Slump (cm)
			W	C	S	G			
LWC2-35	35	45	170.0	485.7	472.4	451.4	0.2	4.9	21
SLWC2-35	35	45	170.0	485.7	472.4	315.0	0.6	5.2	16

LWC2(SL+GL), SLWC(SL+GS)

2.2 시험방법

내화성능 평가는 KS F 2257의 표준화재곡선을 적용하였으며 비재하방식의 철근의 온도변화를 통한 판정방법을 응용하여 실시하였다. 내화시험은 1시간 내화성능을 상정하였으며, 향후 수치해석적 방법에 의한 콘크리트 부재의 내화성능 검증에 수월히 하기 위해 일면가열방식 및 시험체의 가열면에 입사하는 입사열을 측정하였다. 입사열의 측정은 대류와 복사를 구분하지 않고 입사되는 총량에 의한 수열량의 합으로 측정하였다. 시험체는 일반적으로 적용되는 피복두께 40mm로 하였다. 가열에 의한 내부온도 변화를 측정하기 위하여 시험체 표면 및 표면에서 20mm 깊이로 4개의 열전대를 설치하였고 보조근 및 주근에 각각 2개의 열전대를 설치하였다. 시험체의 크기 및 형상은 그림1과 같다. 시험체의 재령은 3개월이며, 동일 시험체를 제작하여 양생하면서 콘크리트의 함수상태를 조절하였다. 시험체의 함수율은 LWC2-35가 6.5, 8.8%이며 SLWC2-35가 6.3, 8.1%이다.

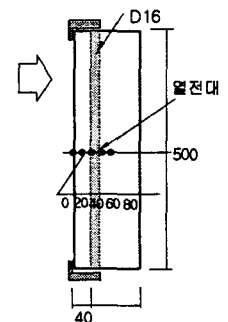


그림1. 시험체의 형상

3. 실험결과 및 고찰

3.1 입사열 및 내부온도 변화

표준화재곡선에 의한 가열 개시 후 급격한 온도상승에 따라 시험체에 입사한 열유속도 증가하였으나 측정위치에 따른 차는 보이지 않았다. 시험체에 단면손실을 유발하는 폭렬 발생시의 열유속은 $54 \sim 62 \text{ kW/m}^2$ 이었으며 로내온도는 $550 \sim 690^\circ\text{C}$ 이었다. 시험체의 내부온도 변화는 그림4에 나타내었다.

LWC2-35 시험체의 경우 가열초기부터 폭렬에 의한 단면손실이 발생하였고 이에 따라 가열면으로부터 순차적으로 내부온도는 급상승하였다. 함수율에 상관없이 시험체 모두 주근이 화염에 노출되어 가열 후 35분경에 500°C 를 초과하였고 철근이 노출되었다. 시험체의 내부온도는 100°C 부근에서 보이는 온도상승의 정체도 발생하지 않을 정도로 급격하게 상승하였다. LWC2-35 시험체는 모두 폭렬이 발생하였으며 함수율의 정도에 따른 성상은 확인할 수 없었다.

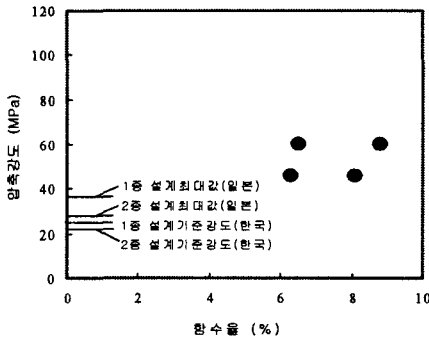


그림2. 시험체의 압축강도와 함수율

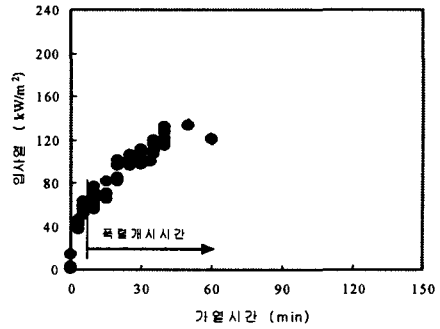


그림3. 가열시간과 입사열

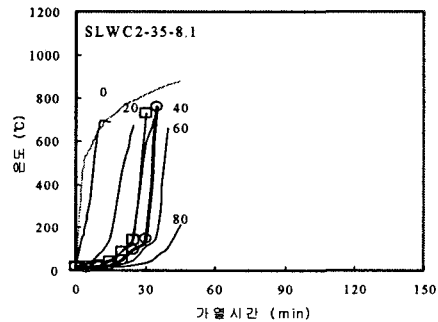
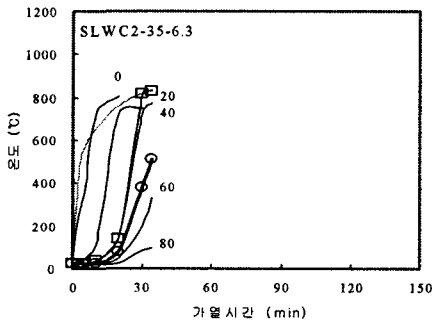
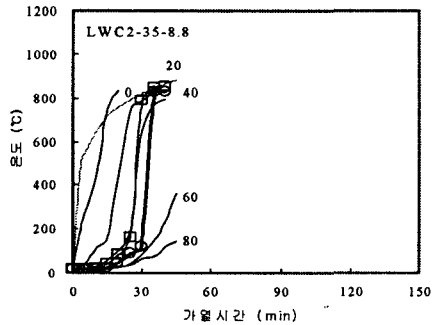
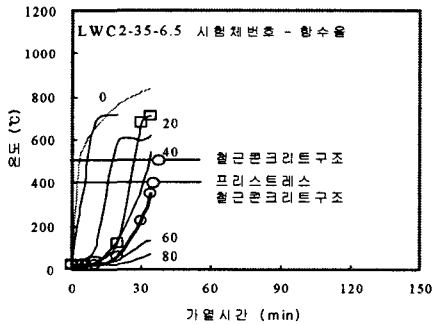


그림4. 시험체의 내부온도 변화



LWC2-35-6.5

LWC2-35-8.8

SLWC2-35-6.3

SLWC2-35-8.1

그림5. 내화시험 후의 가열면

표 4. 시험체의 내화시험결과

	LWC2-35		SLWC2-35	
압축강도 28d(MPa)	57		45	
단위질량 (kg/m ³)	1790		1616	
실험시의 함수율	6.5	8.8	6.3	8.1
폭렬의 유무	○	○	○	○
최대폭렬깊이(mm)	75	81	55	80
폭렬발생시간(min)	7	5	9	6
폭렬종료시간(min)	35	45	35	25
폭렬시의 열유속(kW/m ²)	59.5	55.4	54.2	61.2
폭렬시의 로내온도(℃)	594	556	692	583
주근의 최고온도(℃)	647	830	512	764
가열시간(min)	35	45	35	45

초경량골재를 사용한 SLWC2-35 시험체의 경우도 전술한 시험체와 동일한 결과를 보였으며 가열초기의 폭렬과 함께 단면손실이 계속 진행되어 철근이 노출되었다. 이러한 경량골재콘크리트의 폭렬은 여타 콘크리트의 단면손실과는 다른 양상을 보인다. 건축물에 적용된 보통 및 고강도콘크리트의 경우 부재의 단면이 크지 않기 때문에 폭렬이 발생하더라도 가열초기에 국한되어 발생하는 것이 일반적이지만 경량골재콘크리트를 적용한 경우는 폭렬이 내부로 진행되어 RABT이나 GWS 등에 의한 화재곡선에서 보이는 대단면 부재의 폭렬의 진행양상과 유사하였다. 부재내부의 온도상승은 먼저 폭렬한 시험체가 내부온도 상승의 폭도 컸기 때문에 폭렬깊이와 상관없이 폭렬개시시간의 영향을 받았다.

3.2 내화성능 평가

고강도를 적용한 경량골재콘크리트 2종 시험체는 모두 단면손실을 유발하는 폭렬이 발생하며 내부 온도도 급격히 상승하였다. 시험체 모두 비재하방법의 온도판정 기준인 500℃를 40분이내에 초과하여 실제로 구조물로 적용되는 경우는 더욱 가혹할 것으로 예상된다. 경량골재콘크리트 2종을 적용한 경우는 함수율에 상관없이 모든 시험체에 폭렬이 발생하여 함수율과의 상관은 높지 않았고 함수율과 폭렬 발생시간과도 연관성을 찾기 어려웠다. 프리스트레스나 프리캐스트 부재에 경량골재가 적용되는 경우나 고강도로 적용되는 경우 사전에 부재에 대한 내화성능 검증이 필요하다.

4. 결론

- (1) 경량골재콘크리트를 적용한 경우 화재발생시 폭렬이 발생할 가능성이 커지므로 사전에 내화성능에 대한 검증이 필요하다.
- (2) 향후 고강도콘크리트나 경량골재콘크리트의 재하시험을 통한 검증마련을 위한 실험시설이나 국내 현실에 적합한 내화성능 기준이 마련이 필요하다.

[알림] 본 연구는 고강도콘크리트 부재의 폭렬제어 기술개발(포스코건설(주))에 의해 일부 수행되었음을 알립니다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원 연구보고서, 건축물 내화설계기술 개발, 2004년
2. 한국콘크리트학회, 콘크리트표준시방서 해설, 2003년
3. (재)일본건축종합시험소, 방·내화성능시험 평가업무방법서