

고강도콘크리트의 폭발성상과 공극구조와의 관계

김동준 · 이재영* · 原田和典** · 권영진***

호서대학교 소방방재학과 · 교토대학 건축학과* ·

교토대학 건축학과 교수** · 호서대학교 소방방재학과 교수***

Relation Between Explosive Spalling and Pore Structure of High-Strength Concrete

Kim, Dong Joon · Lee Jae-Young*, Kazunori Harada** · Kwon, Young Jin***
 Fire&Disaster Prevention, Hoseo Univ, Kyoto Univ*, Professor/Ph.D.Kyoto Univ**, Professor/Ph.D, Dep. Fire&Disaster Prevention, Hoseo Univ***.

요 약

본 연구는 고강도콘크리트의 폭발성상과 공극구조와의 관계를 실험적으로 규명하는 것을 목적으로 하였다. 실험변수는 양생방법, 압축강도, 공극구조로 설정하였으며, ISO834 화재온도이력곡선을 15분 적용하여 콘크리트의 초기 폭발특성을 실험적으로 검토하였다. 그 결과 50 MPa급 이상의 고강도 콘크리트 시험체의 경우, 가열 이후에도 0.05 μ m이하의 공극이 많이 존재하고 있는 것을 알 수 있었으며, 가열을 받은 고강도 콘크리트는 고강도화될수록 공극이 세공화 되어 탈수 현상이 지연 되는 것을 도출 할 수 있었다.

1. 연구배경 및 목적

최근 건축물의 초고층화 추세와 함께, 압축강도 50MPa 급 이상의 고강도콘크리트(High Strength Concrete, 이하 HSC)에 대한 개발 및 적용이 빠르게 진행되고 있다. 그러나 HSC의 경우에는 NSC와 다르게, 화재 등과 같은 고온 환경에서 심각한 폭발(Explosive spalling)이 발생하는 것으로 알려져 있으며, 이러한 심각한 폭발은 콘크리트 표면의 비산 뿐만 아니라 부재단면 감소로 인한 구조내력의 감소, 철근 노출로 인한 부재의 내력 성능 저하를 일으켜 구조물의 안전에 큰 위협을 일으킬 수 있다. 전보에서는 콘크리트의 압축강도와 내부의 함수율을 주요 변수로 하여 초기 폭발특성을 실험적으로 규명하였으며, 또한 본 논문에서는 공극구조가 폭발특성에 미치는 영향을 분석함으로써, 폭발의 메커니즘 분석 및 기존 내화설계기준의 개정을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

표 1은 실험계획을 나타낸 것으로, 시험체는 $\phi 100 \times 200$ mm의 공시체를 대상으로 하였다. 또한 실험 조건은 콘크리트의 설계 강도를 21, 50, 80 및 100MPa의 4종류, 양생 조건은 기중 양생과 함께 고온 양생과 봉합 양생으로 설정하였다.

표 1. 실험방법

F _{ck} (MPa)	시험체 양생조건		가열조건 (ISO834)	Hardened State (28日)	가열 후
21	고온양생	기중양생	15 min	압축강도 공극구조	압축강도 폭렬특성 공극구조
50					
80	봉합양생				
100					

표 2. 콘크리트배합

Fck (MPa)	W/B (%)	Unit weight (kg/m ³)						Slump (Slump-Flow) (mm)
		Water	Cement	FA	SF	S	G	
21	60	168	244	28	8	750	1014	120
50	35	163	373	70	23	740	818	540
80	25	160	480	96	64	640	707	565
100	15	160	800	160	107	416	459	530

※ S : Sand, G : Gravel, FA : Fly-ash, SF : Silica-fume

본 연구에 있어서의 표준 가열 곡선은 ISO834 표준 가열 곡선에 준하고, 15분 가열 시험을 실시 한 후, 가열시험 후의 폭렬특성, 잔존 강도 및 공극 구조를 측정하였다.

본 연구로 이용된 콘크리트의 배합을 표 2에 나타내었으며 또한 공극 구조의 측정은 압축강도 시험 후 남은 시편으로 수은압입식 포로시메타를 이용하여 세공구조 공극을 분석하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 압축강도와 전공극률

그림1은 압축강도와 전공극률의 관계를 가열전후에 따라 나타난 것으로, 가열전에 대비하여 가열후가 전공극률이 증가하고 있는 것을 알 수 있고, 그중에서 특히 50MPa의 경우가 가열전후에 전공극률의 변화가 가장 큰 것으로 나타났다.

또한 그림 2은 누적세공량을 강도별로 나타난 것으로 압축강도가 증가함에 따라 가열 후 세공량은 증가하는 경향을 보이고 있으며, 이러한 경향은 그림1에서 서술한바와 같다.

특히 21MPa의 경우는 $5\mu\text{m}$ 이하의 세공이 균등하게 증가하고 있는 것에 비하여 고강도의 경우에는 $0.1\sim 1\mu\text{m}$ 의 범위에서 증가하고 있는 특징을 보였다. 또한 표3은 콘크리트의 압축강도와 폭렬성상과의 관계를 도기한 것으로 50MPa 이상의 모든 고강도콘크리트에서 폭렬현상이 발생한 것을 나타내주고 있다.

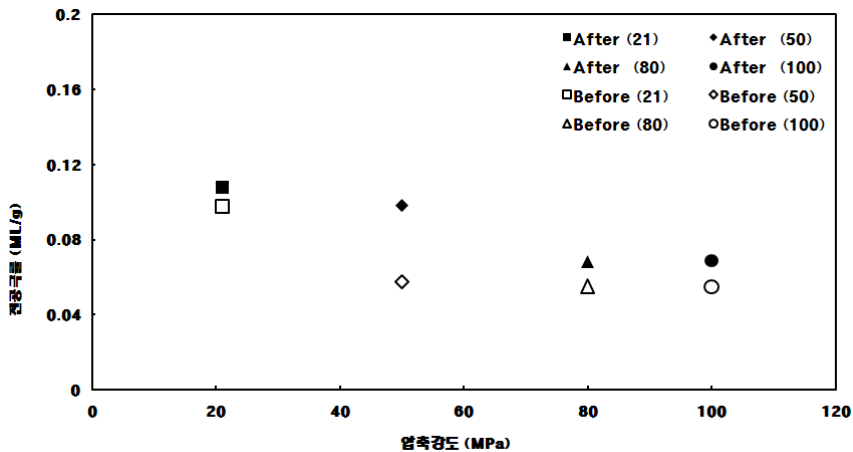


그림 1. 압축강도전공극률

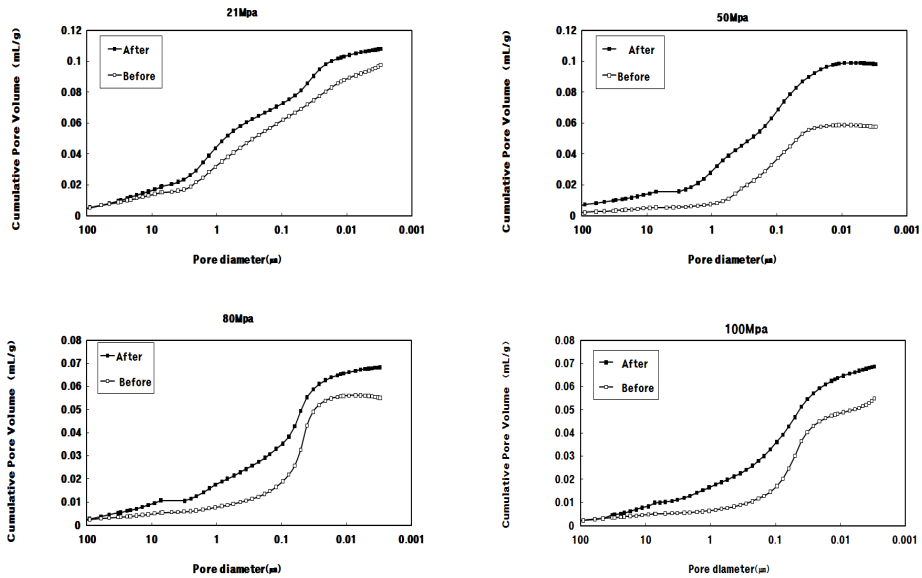


그림 2. 누적공극률

3.2 공극구조분석

그림 3은 기중양생조건하에서 강도별 가열 전후의 세공구조 변화를 나타내었다. 21Mpa는 가열 후 공극률변화가 크지 않았으며, 50Mpa는 $0.3\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ 에서 공극변화 현저히 증가하였고 80Mpa, 100Mpa에서는 $0.1\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ 에서 증가하였다. 또한 그림 2 및 4에 나타낸 것처럼 콘크리트의 강도가 증가하는 만큼 콘크리트 시험체의 공극률이 작아지는 경향을 나타내고 있고, 특히 고강도화 될 수록 가열 전후 공극변화가 큰 것을 알 수 있다. 그림 4는 양생조건에 따른 공극량의 변화이다. 기중보다는 봉합이 $0.01\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ 에서 가열 전후 공극변화가 큰 것을 알 수 있었다. 이는 표 3에 보는 바와 같이 가열 전 후 공극변화가 클수록 폭렬에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

표 3. 강도별 폭렬

Heating Time (min.)		Grade			
		21(기중)	50(기중)	80(기중)	100(기중)
15	Photo				
	Spalling	None	PR+CR	DS+CR	DS+CR
Heating Time (min.)		Grade			
		21(고온)	50(고온)	80(고온)	100(봉합)
15	Photo				
	Spalling	None	SS	DS	PR+CR

Note : None=none spalling, SS=shallow spalling(depth<10 mm), DS=deep spalling(depth>10 mm), PR=partial rupture, CR=complete rupture)

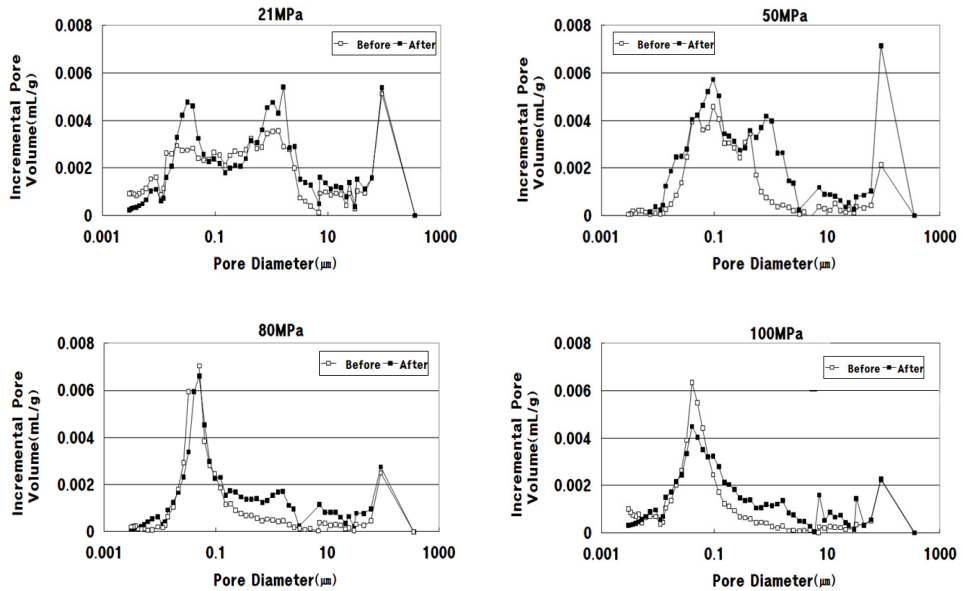
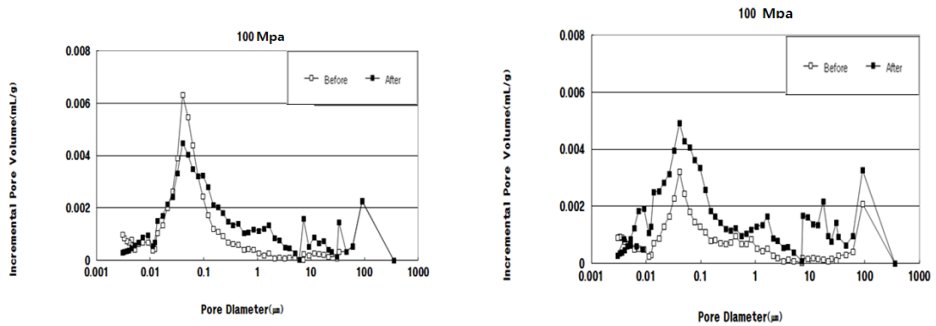


그림 3. 강도별 공극률(기중양생)



기중

그림 4. 양생조건에 따른 공극량

봉함

4. 결론

콘크리트의 고강도화에 의한 폭렬 현상과 콘크리트의 공극 구조의 관계를 분석한 결과, 본 연구에서는 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 가열전에 대비하여 가열후가 전공극량이 증가하고 있는 것을 알 수 있고, 그중에서 특히 50MPa의 경우가 가열전후에 전공극률의 변화가 가장 큰 것으로 나타났다.
2. 21Mpa는 가열 후 공극률변화가 크지 않으며, 50Mpa 0.3 μ m~5 μ m에서 공극변화 현저히 증가하였고 80Mpa, 100Mpa에서는 0.1 μ m~10 μ m에서 증가하였다. 증가량이 클수록 폭렬에 미치는 영향이 클 것으로 사료된다.
3. 양생조건은 기중보다는 봉함이 0.01 μ m~10 μ m에서 가열 전 후 공극변화가 큰 것을 알 수 있었다. 이는 가열 전 후 공극변화가 클수록 폭렬에 영향을 미치는 것으로 사료된

다. 향후 화해를 입은 콘크리트의 내화성능연구와 공극에 대한 후속연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2010년 한국연구재단 특정기초연구과제 20100027581지원에 의하여 수행하였으며, 관계 자께 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 김동준(2011), “압축강도 및 함수율이 콘크리트의 폭렬에 미치는 영향”, 한국화재소방학회 논문지, 제25권 제1호, pp. 42~49
2. 권영진(2010). “콘크리트의 고강도화에 의한 열적 특성에 관한 연구”, 일본화재학회논문집, pp. 282~283
3. 이재영(2009), “콘크리트의 압축강도 및 함수율의 영향에 관한 연구”, 한국화재학회춘계 논문집 , pp. 147~154