

실리카흄 및 PP섬유가 콘크리트의 폭렬에 미치는 영향

김동준 · 김정희 · 이재영* · 原田和典** · 권영진***

호서대학교 소방방재학과 · 교토대학 건축학과* ·

교토대학 건축학과 교수** · 호서대학교 소방방재학과 교수

The Influence of Silica Fume and PP Fiber Contents on Explosive Spalling of Concrete

Kim, Dong Joon · Kim, Jeng Hee · Lee Jae-Young*, Kazunori Harada** · Kwon, Young Jin***

Fire & Disaster Prevention of Hoseo Univ. · Kyoto Univ.* · Professor/Ph.D,

Kyoto Univ.** · Professor/Ph.D, Dep. Fire & Disaster Prevention, Hoseo Univ.***

요 약

본 논문은 초고강도콘크리트의 폭렬현상을 연구해 보고자 실리카흄 유무와 PP섬유의 혼입량을 변수로 하여 공시체와 벽체의 폭렬현상을 관찰한 후 변수가 초고강도콘크리트에 어떠한 영향을 주는지를 실험적으로 규명하는 것을 목적으로 하였다. KS F 2257 화재온도이력곡선을 30분 적용하여 콘크리트의 초기 폭렬특성을 실험적으로 검토하였다. 그 결과 공시체의 경우 압축강도가 100 MPa 초고강도콘크리트의 경우에는 실리카흄 여부와 PP섬유 혼입량이 폭렬억제에 관계되는 주요 인자인 것을 알 수 있었으며, 벽체의 경우에는 벽체 시험체의 부분 가열 및 전면 가열 실험을 실시했다. 폭렬 최대 깊이, 시간, 소리 발생 회수를 비교하면 부분 가열이 전체 가열에 비해 폭렬이 빠르고 깊게 발생하는 것으로 나타났다.

1. 서 론

최근에 우리나라는 초고층화, 복잡화, 대형화 등의 특징을 가지고 도시집중화와 초고층 건축물이 급격하게 증가하고 있는 시점에서 건축물의 강도를 높이기 위해 고강도 콘크리트(High Strength Concrete, 이하 HSC)의 사용이 빈번해지고 있다. 이에 HSC의 강도를 높이기 위한 여러 연구들이 진행되었으며, 80 MPa급의 콘크리트를 적용한 건축물이 국내에 등장하고 130 MPa급의 초고강도콘크리트(Ultra High Strength Concrete, 이하 UHSC)를 적용한 국외 사례가 보고되고 있다. 화재 시 고온에 일반콘크리트(Normal Strength Concrete, 이하 NSC)에 비해 HSC가 노출되었을 경우에는 심각한 성능저하 및 손상이 발생할 가능성이 매우 높다. 이러한 폭렬(Explosive Spalling)이 일어나는 원인으로는 열응력과 수증기압이 지배요인으로 제안되고 있지만, 폭렬메커니즘은 아직 해명이 되지 않은 부분이 많이 있다. 그래서 많은 학자에 의해 고강도 콘크리트의 폭렬발생 메커니즘을 관찰하여 이에 영향을 미치는 요인을 규명하고 재료적, 구조적 대안을 강구하기 위한 연구가 진행되고 있다.

따라서 본 연구는 초고강도콘크리트의 폭렬현상을 연구해 보고자 실리카흄 유무와 PP섬유의 혼입량을 변수로 하여 공시체와 벽체의 폭렬현상을 관찰한 후 변수가 초고강도콘크리트에 어떠한 영향을 주는지를 실험적으로 규명하고자 한다.

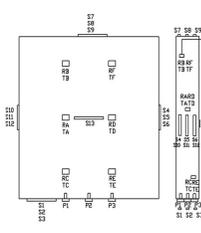
2. 실험

2.1 실험계획 및 방법

콘크리트의 실리카흙의 유무와 PP섬유의 혼입량이 폭렬에 미치는 영향을 검토하기 위한 실험계획은 표 1과 같다. 고강도 콘크리트의 봉합양생의 경우 다른 양생조건에 비해 자기수축이 크게 발생하여 더 큰 건조수축을 나타내기 때문에 결과 값의 비교를 확보할 수 있어 양생조건을 봉합양생(28일)으로 설정 후 그 특성을 검토하였다. 그리고 PP섬유의 혼입률을 변수로 하여 고강도 콘크리트의 폭렬억제를 위한 최적의 배합률을 도출하고자 PP섬유(용융점:165~175℃)를 변수로 배합 하였고, 섬유의 혼입률은 콘크리트 용적비에 따라 $\varnothing 100*200$ mm 원주형 시험체를 각각의 종류에 따라 6개씩 제작하였으며, 벽체의 경우는 실리카흙이 있고 PP섬유가 없는 조건에서 전체가열과 부분가열로 제작하였다. 이를 28.3 ℃ 와 습도85 % 의 대기중에 28일간 봉합양생한 후 바닥용 내화실험가열로를 사용하여 KS F 2257 가열곡선에 따라 30분간 가열을 실시하였다. 공시체 및 벽체 전경 및 양생조건 및 가열과정을 그림 1과 그림 2에 나타냈다.

표 1. 실험 계획

Fck	양생조건 (28일)	실리카 카흙	PP섬유 (%)	벽체 크기 (mm)	공시체 크기 (mm)	실험항목		가열조건 (ISO834)
						가열전	가열후	
100MPa	봉합양생	有	0	600*	$\varnothing 100*200$	-공기량 -Slump -압축강도 -중량	-압축강도 -중량 -함수율 -폭렬깊이 -과괴면현상 -중성화	30min.
			0.5	600*				
		無	1.5	100				
			3	100				



가. 공시체

나. 벽체

그림 1. 공시체 및 벽체 제작과정



가. 공시체

나. 벽체

그림 2. 공시체 및 벽체 가열과정

2.2 사용재료 및 배합

본 연구에서 시멘트로는 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)를, 잔골재는 천연사, 굵은골재는 최대크기 15 mm 이하의 쇄석을 이용했으며, 또한 유동성을 확보하기 위하여 폴리카르본산계(Polycarboxylate) 고성능감수제(AE)를 사용하였다. 콘크리트의 혼합은 강제식 믹서를 사용하였으며, 시멘트와 잔골재를 투입하여 선 혼합한 후, 물과 혼화제, 굵은 골재의 순서로 투입하여 각각 90초간 혼합하였다. 콘크리트의 배합비는 표 2와 같다.

표 2. 배합비

fck (Mpa)	W/b (wt.)	S-F (mm)	Air (%)	S/a (Vol.)	BFS/B (wt.)	FA/B (wt.)	SF/B (wt.)	Unit Water (kg/m ³)
100	0.20	650±50	4	0.43	0.00	0.00	0.00	170
100	0.20	650±50	4	0.43	0.00	0.00	0.10	170
Unit weight(kg/m ³)								
Binder	OPC	BFS	FA	SF	S	G		
850	850	0	0	0	568	768		
850	765	0	0	85	555	751		

2.3 경화 콘크리트의 특성

그림 3은 공시체의 중량감소율 비교를 나타낸 그래프이다. NSF 0가 최대감소율을 보이고 NSF 3.0이 최소감소율을 보인다. 그림 4는 가열로 실험 후 공시체의 압축강도 변화이다. SF 0.5의 경우 최대감소율을 보이고 NSF 1.5의 경우 최소감소율을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 또한 SF 0.5를 제외하고 SF는 NSF에 비해 비교적 큰 압축강도 감소율을 보였다.

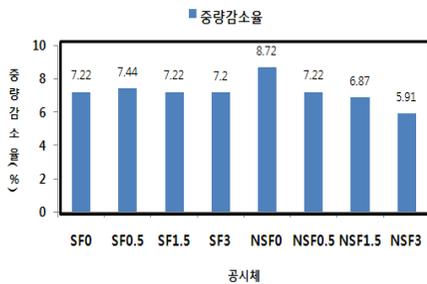


그림 3. 중량 감소율

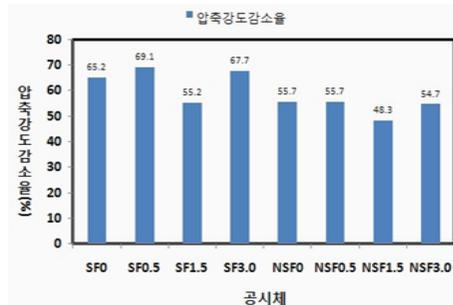


그림 4. 압축강도 감소율

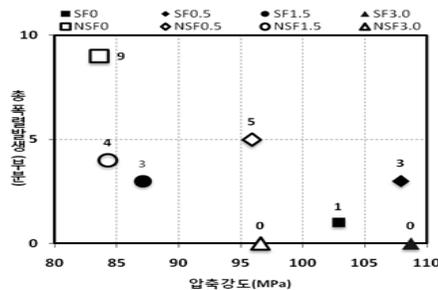


그림 5. 압축강도-폭렬 발생

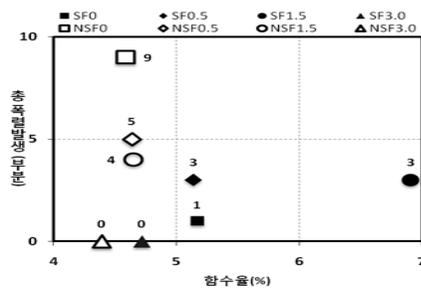


그림 6. 함수율-폭렬 발생

3. 가열 실험 결과 및 고찰

3.1 압축강도 및 함수율에 따른 폭렬특성

그림 5는 SF의 경우 SF 1.5를 제외하고는 NSF에 비해 비교적 압축강도가 크게 나타난 것을 볼 수 있지만 NSF에 비해 폭렬이 적게 발생한 것으로 분석된다. 그림 6은 SF의 함수율이 NSF의 함수율보다 크게 나타났지만 SF가 폭렬이 더 적게 발생된 것으로 나타났다.

3.2 전체가열과 부분가열에 따른 영향

부분 가열에서는 가열한 부분보다 넓은 범위에서 폭렬이 일어났다. 또한, 폭렬 깊이를 1 cm 간격으로 측정한 결과를 그림 7에 나타내었다. 폭렬 깊이의 최대는 부분 가열의 경우 66.8 mm, 전면 가열의 경우 27.8 mm 이며, 부분 가열이 약 2.4 배가 되었다. 전면가열에서는 온도변화가 완만한데 비해 부분가열에서는 약 20분부터 온도가 급증하였다.

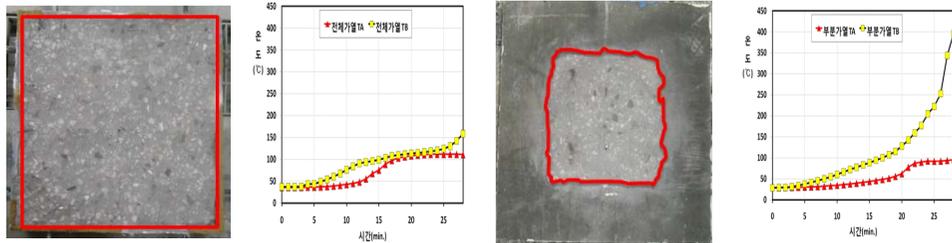


그림 7. 전체가열과 부분가열 폭렬형상 및 온도

4. 결론

본 연구에서는 폭렬 원인규명의 타당성을 밝혀보고자 실리카흙 유무의 차이와 PP섬유의 혼입량을 주요 변수로 살펴본 초기 폭렬특성 실험연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 압축강도가 100 MPa 정도의 초고강도콘크리트의 경우에는 실리카흙의 혼입여부와 PP섬유 혼입량이 폭렬억제에 관계하는 주요 인자인 것을 알 수 있었다.
- 2) 벽체 실험 결과 부분가열의 폭렬 깊이는 중앙부분으로 갈수록 깊어지는 특징을 보이고 그 깊이 또한 전면가열의 2.5배 전후로 나타나고 있으며, 이러한 결과는 부분가열에 따라 가열되지 않는 부분과의 온도차로 인해 수증기압설보다 열응력설의 경우가 보다 밀접한 관계가 있는 것으로 사료된다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 권영진, “내화재료 및 구조로서 콘크리트의 한계성능과 초고층 주거시설의 화재안전성”, 콘크리트학회지, Vol.17, No.5, 2005. 9, pp.8-13
2. 김동준, ‘콘크리트의 압축강도 및 함수율에 따른 폭렬특성에 관한 연구’ 한국화재 소방학회 춘계, 2009
3. EC2, 2002. Eurocode 2, “Design of concrete structures. ENV 1992, Part1-2: General rules-Structural fire design”, European Committee for Standardization, Brussels.