

# 고강도 콘크리트 부재에서 섬유 길이와 부재 크기가 폭렬 특성 및 온도 분포에 미치는 영향

## The Effect of Fiber Length and Specimen Size on Spalling and Temperature Distribution in High Strength Concrete Specimen

박찬규\*

이승훈\*

손유신\*\*

김한준\*\*

Park, Chan Kyu Lee, Seung Hoon Sohn, Yu Shin Kim, Han Jun

### ABSTRACT

Recently, in order to reduce the spalling of high strength concrete under fire, the addition of organic fibres to high strength concrete has been investigated. In this study, the effect of fiber length and specimen size on the spalling and temperature distribution in high strength concrete specimen was experimentally investigated. Three HSC specimens measuring 305×305mm, 500×500mm and 700×700mm with the fiber were prepared. The fiber length was 6mm and 10mm.

As a result, it appears that when the remaining ratios(by weight) of fibre at 300℃ and 350℃ are less than 80% and 50%, respectively, the spalling of high strength concrete is prevented.

### 1. 서 론

높은 온도에 콘크리트가 노출되었을 때 발생하는 폭렬 현상은 콘크리트 단면 내 온도차와 콘크리트 공극 내에 존재하는 공기, 수증기, 물 등이 높은 온도에서 발생시키는 높은 공극압(pore pressure)이 원인인 것으로 알려져 있다<sup>1)</sup>. 즉 폭렬 현상과 공극압은 밀접한 관계가 있기 때문에 유기 섬유 중 폴리프로필렌 섬유를 이용하여 폭렬을 저감하는 방법이 많이 연구되어 왔다<sup>2,3)</sup>.

이에 대한 연구의 일환으로 본 연구에서는 폴리프로필렌(PP) 섬유 길이가 고강도 콘크리트의 폭렬에 미치는 영향에 대하여 파악하고자 하였다. 또한 부재의 단면 크기가 폭렬에 미치는 영향도 실험적으로 규명하고자 하였다.

### 2. 콘크리트 부재에 대한 비가력 가열 실험 및 결과 분석

#### 2.1 시험체 계획

고강도 콘크리트 부재에서 유기섬유의 길이와 단면 크기에 따른 폭렬 특성 및 온도 분포를 파악하기 위하여 표 1에 나타난 바와 같은 실험 변수를 설정하였다. 축방향 철근비와 띠철근 간격은 동일하게 하였으며, 폭렬 저감을 위한 유기섬유는 폴리프로필렌(PP) 섬유를 사용하고, 길이는 6, 10mm, 사용량은 0.2vol.%로 계획하였다. 그리고 콘크리트의 압축강도 수준은 설계강도 80MPa에 해당하도록

\*정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술본부 기술연구소 수석연구원

\*\*정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술본부 기술연구소 전임연구원

하였다.

그림 1은 기둥의 단면 상세를 나타낸 것이다. 단면 305×305mm의 경우, 모서리 축방향 철근은 D19, 중간 축방향 철근은 D16, 단면 500×500mm의 경우 모서리 축방향 철근은 D22 그 이외의 축방향 철근은 D19, 단면 700×700mm의 경우 D25 철근을 사용하였다. 그리고 띠철근은 D10을 사용하였으며, 콘크리트 피복은 40mm이다. 그리고 콘크리트 내부의 온도 측정을 위하여 열전대를 설치하였다.

표 1 실험 계획

시험체 크기	철근비 (%)	띠철근 간격(mm)	섬유상세		
			직경	길이	혼입량
305×305×700mm	2.1	150	40um	6mm, 10mm	0.2 vol.%
500×500×700mm	2.0	150			
700×700×700mm	2.0	150			

### 2.2 사용 재료의 특성

설계강도 80MPa 고강도 콘크리트를 제조하기 위하여 사용된 콘크리트 배합비는 표 2에 나타낸 바와 같다. 이 콘크리트 배합에 폴리프로필렌 섬유를 혼입하여 제조한 콘크리트 물성치는 표 3에 나타낸 바와 같다. 콘크리트 압축강도는 재령 28일에서 설계강도 이상 상회하고 재령 91일에는 111MPa의 압축강도를 나타냈다. 그리고 섬유 길이에 따른 압축강도 차이는 거의 나타나지 않았다.

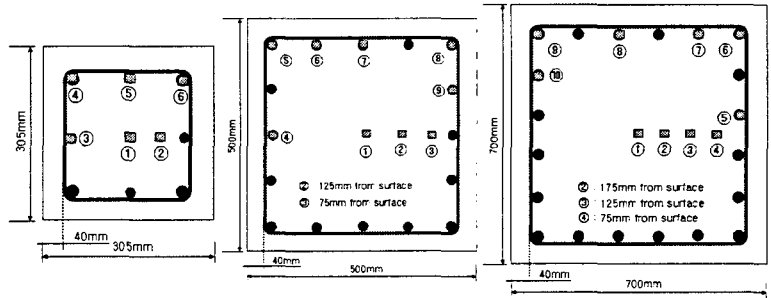


그림 1 시험체 크기별 단면 상세

표 2 콘크리트 배합비

W/B (%)	S/a (%)	unit weight (kg/m <sup>3</sup> )						SP (%)
		W	C	SF	FA	S	G	
25	42	165	515	46	99	629	878	2.0

표 3 콘크리트 물성치

섬유 길이	Slump flow(cm)	Air content(%)	압축강도(MPa)	
			28일	91일
6mm	56/57	2.0	90	111
10mm	57/57	2.2	91	110

### 2.3 가열 실험

비가력 가열 시험은 방재시험연구원 내화시험동에서 수평 가열로를 이용하여 실시하였으며, 이 때 콘크리트 재령은 91일이었다. 가열 실험은 총 2번에 걸쳐 행하여졌으며, 그림 1은 섬유 길이 10mm를 사용한 시험체를 설치한 이후 ISO-KS 곡선과 실제 가열 곡선과의 비교를 나타낸 것이다. 관측 창을 통하여 가열 시 콘크리트 폭발 상황을 점검하였으며, 3시간 가열 후 냉각시킨 다음 최종적으로 부재 표면에서 발생한 폭발 상황을 확인하였다.

### 2.4 폭발 특성

그림 3과 4는 시험체의 폭발이 발생한 면의 상태를 나타낸 것이다. 섬유길이 6mm를 사용한 시험체의 경우, 단면 305×305mm, 700×700mm 시험체에서는 한쪽 면에서 일부분의 폭발이 발생하였으며, 단면 500×500mm의 경우에는 이보다 약한 폭발이 발생하였다. 폭발의 정도는 축방향 철근이 드러나는 심각한 폭발이 아닌 표면 벗겨짐 정도인 것으로 관측되었다. 그리고 폭발이 발생한 면은 시험체 네 면 중 한 면이며 단면 700×700 mm, 500×500mm의 경우 火口에 직면한 쪽에서, 단면 305×305mm의 경우에는 화구에 직면한 면의 수직면에서 폭발이 발생하였다.

섬유길이 10mm를 사용한 시험체의 경우, 단면 500×500mm 시험체에서 약간의 표면 박리가 발생하

였지만, 단면 305×305mm, 700×700mm에서는 폭렬이 발생하지 않은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과를 종합해볼 때 본 연구의 범위 내 시험체 단면 크기에서 동일한 섬유를 사용한 경우 폭렬 정도는 거의 같으며, 폭렬 저감을 위해서는 섬유 길이가 길수록 유리한 것으로 판단된다.

### 2.5 부재 내 온도 분포

표 4 및 그림 5는 부재 내의 온도를 각 시간 대 별로 나타낸 것이다. 표 4에서 알 수 있는 바와 같이 동일한 부재 단면 크기에서 섬유 길이에 따른 온도 분포 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 그리고 부재의 크기에 관계없이 모서리에 위치한 축방향 철근의 온도 이력은 비슷한 것으로 나타났다. 그런데 모서리 철근 사이 중앙에 위치한 축방향 철근의 온도는 부재 크기에 영향을 받는 것으로 나타났다. 즉 단면 305×305mm 부재의 중앙 축방향 철근의 온도는 3시간 경과 시에 535℃이고, 단면 500×500, 700×700mm 부재의 철근 온도는 평균적으로 각각 450 및 433℃인 것으로 나타났다. 이는 단면이 커질수록 온도가 적은 축방향 철근의 개수가 많아지므로 그 만큼 부재의 내화 성능이 증가하는 것을 의미한다.

그리고 그림 5에서 알 수 있는 바와 같이 각 온도 측정점에서의 온도가 100℃정도일 때 온도가 상승하지 않고 수평 기울기를 가지는 것이 관찰되는데, 이는 측정지점 주위에서 물이 기화하면서 열을 흡수하기 때문에 온도가 상승하지 않는 것으로 판단된다. 그리고 어느 시점 이후에는 재상승하는 온도 이력을 나타내고 있다.

### 3. 결 론

고강도 콘크리트 부재에서 섬유 길이에 따른 폭렬 정도를 파악한 결과 섬유 길이가 증가할수록 폭렬 저감 효과가 우수한 것으로 나타났다. 또한 단면 한 번 길이가 305~700mm 범위 내에서 폭렬의 차이는 나타나지 않았다. 그리고 모서리 축방향 철근의 온도가 가장 높으며, 부재 크기의 영향은 없는 것으로 나타났다. 그러나 모서리 사이 중간에 위치한 축방향 철근의 온도는 부재 크기에 영향을 받으며, 부재가 커질수록 온도가 감소하여 단면이 커질수록 부재의 내화 성능이 증가한다고 판단된다.

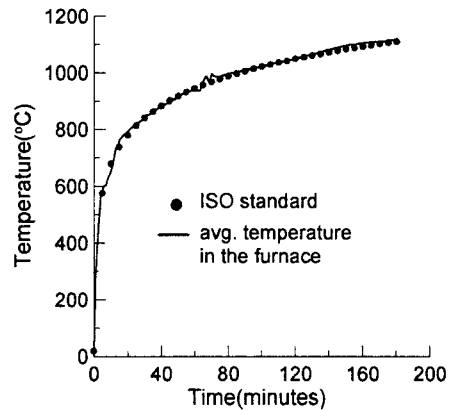
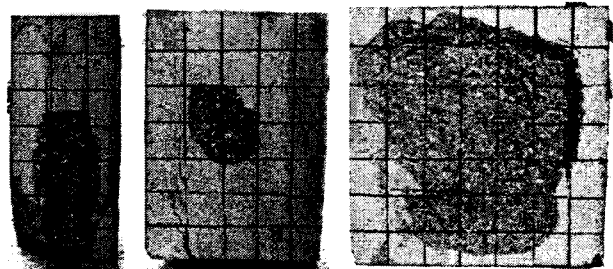
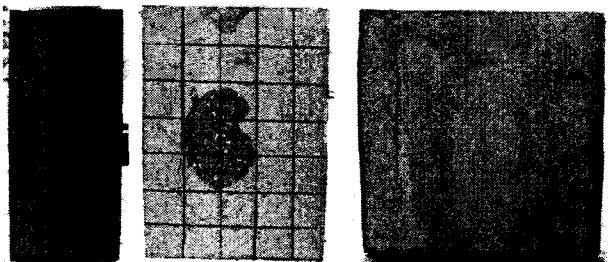


그림 2 爐내 가열 온도 이력



(a) 305×305 (b) 500×500 (c) 700×700

그림 3 섬유 길이 6mm를 사용한 경우



(a) 305×305 (b) 500×500 (c) 700×700

그림 4 섬유 길이 10mm를 사용한 경우

참고문헌

표 4 시간대 별 단면 내 온도 분포

구 분			시간대 별 온도 측정값(°C)		
			60분	120분	180분
305×305	모서리 철근	6mm	233	483	666
		10mm	203	458	659
	중앙 철근	6mm	165	367	535
		10mm	182	373	535
	단면 중앙	6mm	101	160	260
		10mm	79	154	242
500×500	모서리 철근	6mm	191	453	643
		10mm	196	449	637
	중앙 철근	6mm	150	302	444
		10mm	144	330	455
	단면 중앙	6mm	4.7	43	116
		10mm	2.2	47	129
700×700	모서리 철근	6mm	245	499	665
		10mm	245	489	668
	중앙 근처 철근	6mm	136	291	414
		10mm	153	328	452
	단면 중앙	6mm	0.6	8.2	34
		10mm	2.5	12	59

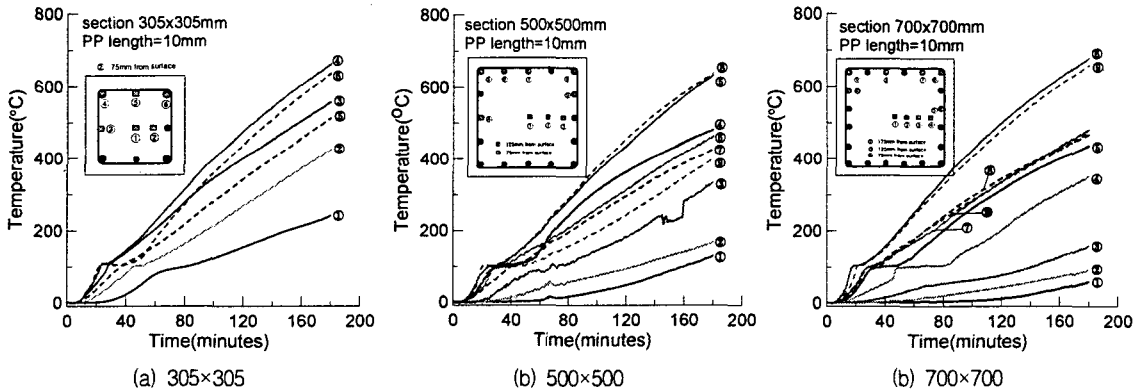


그림 5 단면 크기에 따른 부재 내 온도 이력 곡선(섬유길이 10mm)

1. Pierre Kalifa, Francois-Dominique Menneteu, and Daniel Quenard, "Spalling and pore pressure in HPC at high temperatures," Cement and Concrete Research, Vol. 30, 2000, pp.1915-1927.
2. Pierre Kalifa, Gregoire Chene, and Christophe Galle, "High-temperature behaviour of HPC with polypropylene fibres from spalling to microstructure," Cement and Concrete Research, Vol. 31, 2001, pp.1487-1499.
3. 한천구 외 4인, "폴리프로필렌 섬유 혼입률 및 부재 크기에 따른 고성능 콘크리트의 내화 특성," 콘크리트학회 논문집, Vol. 14, No. 4, 2002, pp.449-456.