

# 섬유 혼입량에 따른 고강도 콘크리트 폭렬 특성

## The Spalling Characteristics of High Strength Concrete with Fiber Content

박찬규\* 이승훈\*\*

Park, Chan Kyu Lee, Seung Hoon

### 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 organic fibre content on the spalling of high strength concrete was experimentally investigated. Two types of fibre, polypropylene(PP) and polyvinyl alcohol(PVA) fibres, were selected, and three water/binder ratios were selected, which were W/B 30%, 24.9%, and 16%, respectively.

As a result, it appears that as the concrete strength increases, the fiber content for prevention spalling increases. When W/B ratios are 30%, 24.9%, the additions of 0.1vol.% and 0.2 vol.%, respectively, appear to avoid the spalling in this study.

### 1. 서론

화재 시 고강도 콘크리트에서 표면 특히 피복 부분의 콘크리트가 떨어져 나가는 현상이 심하게 나타난다. 이와 같은 폭렬 현상은 화재가 발생한 이후 초기에 발생하며, ISO-KS 가열 곡선에 따라 열을 가할 경우 30분 이전에 발생한다. 이러한 폭렬 현상은 콘크리트 부재의 단면 손실에 따른 내력 감소와 함께 주철근의 온도를 급상승시켜 철근의 내력을 감소시킨다. 주철근의 내력과 단면 감소는 결국 부재의 붕괴로 이어지기 때문에 고강도 콘크리트 부재에서 폭렬 방지 설계는 매우 중요한 요소 중의 하나이다.

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[1]. 즉 폭렬 현상과 공극압은 밀접한 관계가 있기 때문에 유기 섬유 중 폴리프로필렌 섬유를 이용하여 폭렬을 저감하는 방법이 많이 연구되어 왔으며[2,3], 또한 유기 섬유의 열적 특성이 콘크리트 폭렬에 미치는 영향도 연구되었다[4].

이에 본 연구에서는 폭렬 방지 성능이 있다고 알려져 있는 유기 섬유 2종류를 선택하여, 물/결합재비가 30~16%인 고강도 콘크리트에서의 폭렬 특성을 파악하고자 하였다.

### 2. 섬유 혼입 고강도 콘크리트에 대한 가열 실험 및 결과 분석

#### 2.1 개요

유기섬유의 양이 고강도 콘크리트 폭렬 양상에 미치는 영향을 파악하기 위하여 표 1에 나타난 바

\*정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술본부 기술연구소 선임연구원

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

와 같은 실험계획을 수립하였다. 표 1에 나타낸 바와 같이 물/결합재비는 3수준을 선택하였고, 콘크리트 배합비는 표 2에 나타낸 바와 같다. 유기섬유 종류는 PP 섬유와 PVA 섬유 2종류를 선택하였다. 그리고 유기섬유의 혼입량은 4수준을 선택하였다.

비가력 가열 실험을 위한 시험체의 크기는 150×150×300mm의 각주형 공시체이며, PP 섬유 혼입량 0.1vol.%에 대한 시험체에 대하여 중심부 온도 측정을 위하여 중심부에 열전대를 설치하였다. 그리고 모든 시험체는 28일 밀봉 양생 후 가열 실험을 실시하는 것으로 하였다.

## 2.2 유기 섬유에 대한 상세

실험에 사용된 PP섬유의 직경은 46 $\mu$ m, 길이는 6mm, 비중은 0.9 그리고 용점은 168℃이다. 그리고 PVA 섬유의 직경은 26 $\mu$ m, 길이는 6mm, 비중은 1.3 그리고 용점은 241.6℃이다. 이 섬유들은 기존의 연구[4]에서 콘크리트의 폭발방지 성능이 있는 것으로 알려져 있으며, TGA(thermogravimetric analysis) 기기를 이용한 온도 증가에 따른 중량 변화는 그림 1에 나타낸 바와 같다. 그림 1에 나타낸 바와 같이 두 섬유 모두 250℃부터 급격한 중량 손실이 발생하는 특징을 가지고 있다.

## 2.3 가열 실험

섬유혼입 콘크리트 재령 28일에 방재시험연구원의 비가력 내화시험 가열로를 이용하여 가열실험을 실시하였다. 그리고 가열실험 전에 섬유 혼입 고강도 콘크리트에 대한 압축강도 시험을 실시하였다. W/B 30%에서 재령 28일 압축강도는 68.4~75MPa, W/B 24.9%에서 83.8~96MPa 그리고 W/B 16%에서 117~121MPa의 범위를 나타내었다.

가열실험은 1회에 걸쳐 행하여졌으며, 그림 2는 ISO-KS 곡선과 실제 가열 곡선과의 비교를 나타낸 것이며, 가열은 60분간 행하여졌다.

## 2.4 폭발 특성

콘크리트의 폭발은 가열을 시작한지 곧바로 나타나기 시작했으며, 30분이 경과하면서 거의 발생하지 않은 것으로 나타났다. 그림 3은 PP섬유를 0.1vol.%를 혼입한 경우에 시험체 중심부의 온도 이력을 나타낸 것이다. 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 중심부의 온도는 약 10분까지 증가를 하지 않다가, 그 이후 100℃까지 급격하게 상승하는 것으로 나타났다. 그리고 100℃ 정도에서 약 15분 동안 일정한 온도 구간을 나타내는데, 이는 수분이 증발에 따른 기화열에 의한 것으로 판단된다. W/B 30% 및 24.9%에서는 60분경과 후 약 250℃로 거의 같은 것으로 나타났지만, W/B 16%는 약 30분이 경

표 1 실험 계획

구분	내용
W/B	30%, 25%, 16%
섬유 종류	폴리프로필렌(PP) 섬유 폴리비닐알콜(PVA) 섬유(일본산)
섬유 혼입량	0, 0.05, 0.1, 0.2vol.%
시험체 크기	150×150×300mm
실험 형태	비가력 가열 실험
실험 재령	콘크리트 제조 후 28일 경과 시점

표 2 콘크리트 배합비

W/B (%)	S/a (%)	unit weight(kg/m <sup>3</sup> )						SP (%)
		W	C	SF	FA	S	G	
30	40	168	476	-	84	645	963	0.8~0.9
24.9	41.5	162	500	52	98	624	890	1.0~1.1
16	32	155	630	145	194	389	859	1.8~2.1

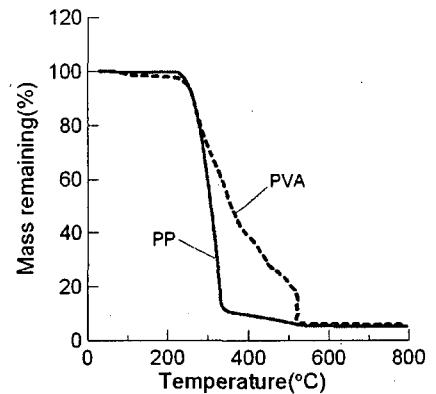


그림 3 온도증가에 따른 중량변화

과하면서 급격하게 온도가 상승하는 것으로 나타났다. 이는 폭렬이 중심부까지 진전하여 열전대의 온도 감지부분이 노출되었기 때문인 것으로 판단된다.

사진 1은 각 물/결합재비별 섬유 혼입량에 따른 폭렬 양상을 나타낸 것이다. 사진에서 알 수 있는 바와 같이 섬유 종류에 관계없이 섬유 혼입량이 증가할수록 콘크리트가 떨어져 나간 양이 급속하게 줄어들음을 알 수 있다.

W/B 30%에서 PP 섬유의 경우 0.2vol.%를 혼입한 경우 폭렬 현상은 전혀 나타나지 않았으며, 0.1vol.%를 혼입한 경우에 시험체 상부 모서리 콘크리트가 약간 떨어져 나간 것이 확인되었다. PVA 섬유의 경우 0.1, 0.2vol.% 모두 폭렬 현상이 나타나지 않은 것으로 확인되었다. 따라서 W/B 30%에서는 0.1vol.% 이상 유기 섬유를 혼입하면 폭렬을 방지할 수 있는 것으로 예측된다.

W/B 24.9%에서는 섬유 종류에 관계없이 0.2vol.%를 혼입한 경우에 폭렬이 방지되는 것으로 나타났다. 그러나 0.1vol.%를 혼입한 경우에 W/B 30%와 비교하였을 때 확실한 폭렬 현상이 일어나는 것으로 나타났다. 이는 콘크리트의 압축강도 수준이 증가할수록 유기섬유의 혼입량이 증가해야 폭렬 현상을 방지할 수 있는 것을 의미한다.

W/B 16%에서는 모든 시험체에서 폭렬이 발생하였으며, 대부분 완전히 부서진 것으로 나타났다. 특히 섬유 혼입량이 적은 시험체에서 떨어진 파편의 크기가 작은 것으로 나타나 큰 파편이 일시에 떨어지지 않고 얇은 두께의 폭렬이 지속적으로 발생하였음을 의미한다. 이는 콘크리트의 조직이 매우 치밀하여 내부에 지속적으로 높은 공극압이 발생하기 때문인 것으로 판단된다. 그 결과 W/B 16%에서는 본 연구의 섬유 혼입량 범위보다 훨씬 많은 양의 유기 섬유가 혼입되어야 폭렬이 방지될 수 있는 것으로 판단된다.

### 3. 결론

물/결합재비 16~30% 범위의 고강도 콘크리트에 대하여 섬유 혼입량에 따른 폭렬 양상을 파악한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 본 연구에서 사용된 PP섬유와 PVA 섬유는 W/B 30% 및 24.9%에서 비슷한 폭렬 방지 성능을 가지는 것으로 나타났다.
- 2) 물/결합재비가 감소할수록 폭렬 방지를 위한 유기섬유의 양은 증가하는 것으로 나타났다.
- 3) 본 연구의 범위 내에서, W/B 30%의 경우 폭렬 방지를 위한 유기 섬유의 양은 0.1vol.%, 24.9%의 경우 0.2vol.%가 적절한 것으로 나타났지만, 소형 시험체의 결과이기 때문에 대단면 부재에서 이에 대한 검증이 필요하다고 판단된다.

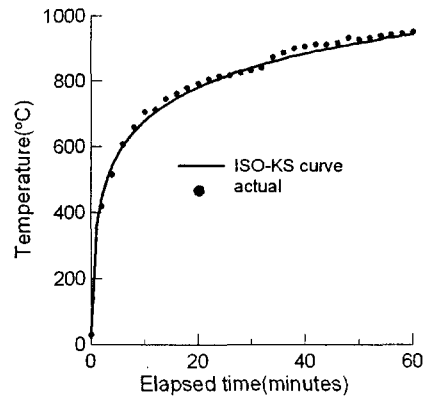


그림 4 표준 가열곡선과 실제 가열곡선

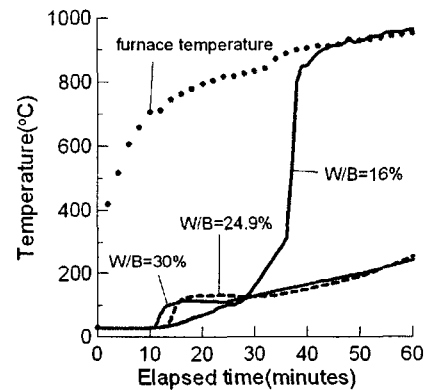


그림 5 시험체 중심 온도이력

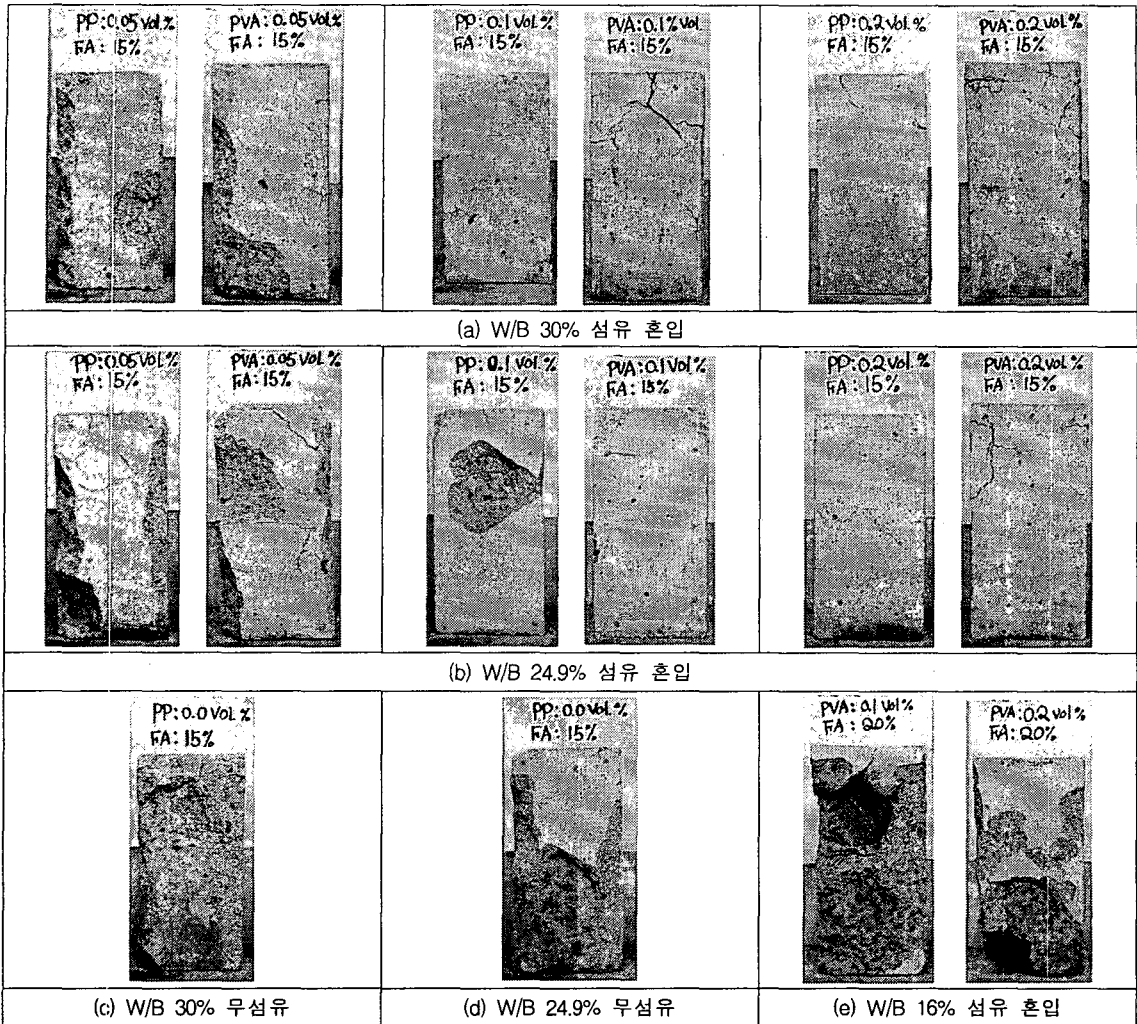


사진 1 시험체 폭발 모습

#### 참고문헌

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, "Hi호-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 섬유의 혼입률 및 부재 크기에 따른 고성능 콘크리트의 내화 특성," 콘크리트학회 논문집, Vol. 14, No. 4, 2002, pp.449-456.
4. 박찬규 외 3인, "유기섬유의 열적 특성이 고강도 콘크리트 폭발에 미치는 영향," 한국콘크리트 학회 2005년도 봄학술 발표회 논문집(II), Vol. 17, No. 1, 2005. pp.37-40.