

고강도콘크리트의 폭렬특성에 미치는 비정질 강섬유의 영향

Effect of Amorphous Steel Fiber on the Spalling Characteristics of High-strength Concrete

김종호* 김규용** 이상규*** 황의철*** 손민재*** 남정수****
Kim, Jong-Ho Kim, Gyu-Yong Lee, Sang-Kyu Hwang, Eui-Chul Son, Min-Jae Nam, Jeong-Soo

Abstract

This study evaluated the effect of amorphous steel fibers on the spalling characteristics of high-strength concrete, with mix proportions of polypropylene (PP) fibers of 0.15% by concrete volume, and proportions of amorphous steel fibers of 0.3% and 0.5% by concrete volume. In the range of 0.3 vol% of amorphous steel fiber, the effect of suppression of the spalling and the prevention of degradation of strength was shown, but it was evaluated to be ineffective in the suppression of the spalling due to interferences in formation of pore network in the range of 0.5 vol.%.

키워드 : 고강도콘크리트, 폭렬, 비정질강섬유, 섬유혼입율

Keywords : high-strength concrete, spalling, amorphous steel fiber, fiber volume fraction

1. 서론

고강도콘크리트는 목표의 압축강도를 구현시키기 위해 낮은 물-결합재비로 설계되며, 일반강도콘크리트에 비해 압축강도와 내구성이 뛰어난 것으로 널리 알려져 있다. 그러나 화재와 같은 고온환경에 노출될 경우에는 폭렬발생 등의 구조물의 내력저하의 원인이 되는 결합이 발생할 가능성이 있는 것으로 보고되고 있다¹⁾. 콘크리트의 폭렬을 억제하기 위해 폴리프로필렌섬유와 같은 유기계 섬유를 고강도콘크리트에 혼입시켜 섬유의 용점 이상의 고온에서 콘크리트 내부에 연속되는 공극네트워크를 형성시켜 수증기 압력을 저감시키는 방법이 많이 적용되고 있으며, 강섬유의 보강도 고온환경에 노출된 콘크리트의 폭렬제어에도 효과가 있는 것으로 보고되는 경우도 있다²⁾. 특히, 비정질강섬유는 후크형강섬유에 비해 인장강도가 높고 비중이 낮아 부식저항성이 높아 우수한 성능을 갖는 것으로 보고되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 비정질강섬유보강 고강도콘크리트의 폭렬특성을 평가하여 비정질강섬유가 고강도콘크리트의 폭렬특성에 미치는 영향을 실험적으로 평가하였다.

2. 실험개요

표 1에 본 연구의 실험 계획을 나타냈다. 시험체는 폴리프로필렌섬유를 체적혼입율로 0.15% 혼입한 100MPa급 고강도콘크리트를 기준으로 비정질강섬유를 각각 0.0, 0.3 및 0.5%의 체적혼입율로 보강한 시험체로 총 3수준으로 설정하였다. 시험체는 ISO-834 표준가열곡선을 이용하여 50분 간 가열을 실시하였으며, 시험체의 내부수증기압력, 폭렬 외관성상, 질량감소율 및 잔존축하중률 등의 폭렬특성을 평가하였다. 그림 1에 본 연구에서 사용한 폴리프로필렌섬유와 비정질강섬유의 외형을 나타내었다. 폴리프로필렌섬유는 길이 15mm, 직경 20 μ m, 밀도 0.91g/cm³, 용융점 170 $^{\circ}$ C인 것을 사용하였으며, 비정질강섬유는 길이 30 mm, 폭 1.6mm, 두께 20 μ m, 밀도 7.2g/cm³ 및 인장강도 1400MPa의 것을 사용하였다.

또한, 고강도콘크리트의 배합은 W/B 0.19의 수준에서 1종 보통포틀랜드시멘트, 고로슬래그미분말, 실리카흄을 결합재로 사용하였다. 최대치수 20mm의 굵은 골재와 밀도 2.65 g/cm³, 흡수율 1.0%, 조립률 2.6인 강모래를 잔골재로 사용하였다. 본 연구에서 사용한 가열방법을 그림 2에 나타냈다. 가열장치는 전기저항식 가열코일을 이용하여 시험체를 가열하고 온도컨트롤러에 의해 최대온도 및 온도상승속도의 제어가 가능하도록 설계되었다.

* 충남대학교 건축공학과 석사과정

** 충남대학교 건축공학과 교수

*** 충남대학교 건축공학과 박사과정

**** 충남대학교 건축공학과 조교수, 공학박사, 교신저자(j.nam@cnu.ac.kr)

표 1. 실험 계획

시험체 종류	Fiber volume fraction(vol.%)		가열조건	평가항목
	폴리프로필렌섬유	비정질강섬유		
0.0	0.15	0.0	IS)-834 표준가열곡선 (50분, 900℃)	- 폭렬 외관성상
0.3		0.3		- 질량감소율
0.5		0.5		- 잔존축하중률
				- 수증기압력

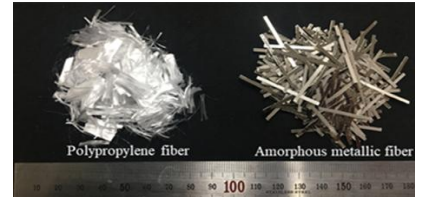


그림 1. 혼입섬유의 외형

3. 실험결과 및 고찰

그림 3에 시험체의 가열 후 외관성상을 나타내었다. 폭렬이 발생하지 않은 0.0과 0.3시험체에서는 표면의 변색과 균열이 관찰되었다. 폭렬이 발생한 0.5시험체에서는 표면으로부터 콘크리트 조각이 박리되어 내부의 콘크리트가 노출되는 형상을 보였다. 시험체의 가열 전, 후의 질량감소율의 경우, 폭렬이 발생하지 않은 0.0 및 0.3시험체의 경우 콘크리트 내부에 다양한 형태로 존재하고 있는 수분의 증발에 의해 약 7~8%의 질량감소가 있었으며, 폭렬이 발생한 0.5시험체는 약 11%의 질량감소율을 나타냈다. 한편, 잔존축하중률의 경우는 폭렬이 발생한 0.5시험체가 약 38%로 폭렬이 발생하지 않은 0.0, 0.3시험체에 비해 높은 잔존축하중률을 나타냈다. 또한, 그림 4에 가열시험 중 콘크리트시험체 내부에서 발생하는 가열시간과 수증기압력의 관계를 나타냈다. 모든 시험체에서 시간-수증기압력 곡선은 10mm의 압력이 먼저 형성된 후, 몇 분의 간격을 두고 30mm의 압력이 증가하는 형태를 보였다. 고강도콘크리트의 내부수증기압력은 섬유의 용융에 의한 공극네트워크와 균열에 의해 외부로 배출되는데, 비정질강섬유의 혼입율이 증가할수록 시멘트메트릭스의 균열발생이 억제되어 내부수증기가 이동하기 어렵게 되는 현상이 관찰되었다.

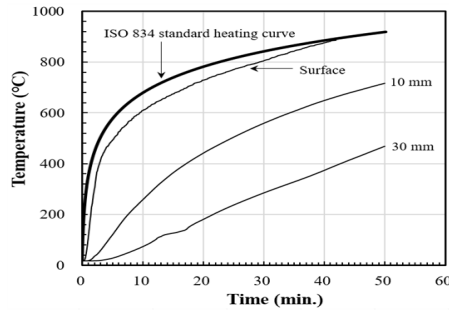


그림 2. 가열방법



그림 3. 시험체의 가열 후 외관성상

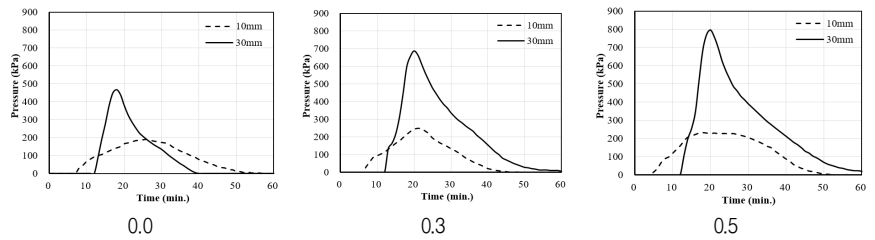


그림 4. 시험체의 가열 후 외관성상

4. 결 론

비정질강섬유 0.3vol.% 범위에서는 폭렬억제 등의 효과를 보였으나, 0.5vol.% 범위에서는 공극네트워크 형성에 방해작용이 발생하여 폭렬억제에는 비효과적이었지만 잔존축하중률은 가장 양호한 수준으로 평가되었다.

Acknowledgement

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education (2017R1D1A1B03034776).

참 고 문 헌

1. Kalifa, P et al., Spalling and pore pressure in HPC at high temperatures, Cement and concrete research, Vol,30, pp.1915~1927, 2000
2. Peng, GF et al., Explosive spalling and residual mechanical properties of fiber-toughened high-performance concrete subjected to high temperatures, Cement and concrete research, Vol.36, pp.723~727, 2006