

복합유기섬유를 사용한 고강도 콘크리트의 기초특성 및 폭렬방지

Fundamental Properties and Spalling Resistance of High Strength Concrete Containing Hybrid Organic fiber

배 장 춘^{*} 한 동 엽^{**} 이 진 우^{***} 한 창 평^{****} 양 성 환^{*****} 한 천 구^{*****}
Pei, Chang Chun Han, Dong-Yeop Lee, Jin Woo Hann, Chang Pyung Yang, Seong Hwan Han, Cheon Goo

ABSTRACT

This study investigates the fundamental properties and examines spalling appearances and residual compressive strength of high strength concrete containing hybrid organic fibers subjected to fire. Test showed that overall, an increase of fiber content decreased the fluidity of concrete, but specimens containing polyvinyl alcohol(PVA)+polypropylene(PP) fiber and nylon(NY)+PP fiber had improved flow. In addition, the air content of all specimens was properly ranged in target value, regardless of fiber content. As for the spalling properties when completed the fire test, control concrete exhibited spalling occurrence due to sudden elevated temperature. However, specimens containing more than 0.1vol% of PP fiber prevented the spalling, while specimens containing PP+CL and PVA+PP fiber can protected from fire in more than 0.15vol% of the fiber content. Importantly, a specimen containing only 0.05vol% of NY+PP showed the favorable spalling resistance performance.

1. 서 론

최근의 건축물은 초고층화, 대규모화가 진행되면서 콘크리트의 경우도 고강도화가 꾸준히 진행되어져 왔다. 이와 같은 고강도 콘크리트는 보통 콘크리트보다 유동성 및 강도 등에서 양호한 품질을 발휘하는 반면, 화재시 고온에 의해 발생하는 폭렬현상은 조직 치밀화에 의해 더욱 용이하게 발생될 수 있어 내화구조상, 반드시 해결해야 할 문제점으로 지적되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 고강도 콘크리트의 화재시 폭렬방지를 목적으로, PP섬유 및 PP섬유와 복합하는 유기섬유의 혼입을 변화에 따른 콘크리트의 기초적특성과 화재를 상정한 내화시험을 실시한 후 폭렬성상 및 잔존압축강도 특성 등을 검토하므로써, 화재시 고강도 콘크리트의 내화안정성에 기여하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1. 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다. 즉, 시멘트에 대한 질량비로 플라이애시(이

* 정회원, 청주대학교 대학원 박사과정

** 정회원, 서울대학교 대학원 석사과정

*** 정회원, 두산산업개발(주) RC연구개발팀 연구원

**** 정회원, (주)한성종합기술단건축사사무소 기술연구소, 소장

***** 정회원, 인천전문대학 건축과 교수, 공학박사

***** 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수

하 FA) 20%와 실리카 폼(이하 SF) 10%를 동시에 치환한 W/B 25%의 한수준에 대해, 섬유를 혼입하지 않은 것을 플레인 배합으로 하고 섬유의 복합종류를 4수준, 섬유의 혼입율을 3수준으로 변화시켜 총 16배치를 실험계획 하였다.

이때 배합사항으로, 플레인 콘크리트는 목표슬럼프플로우 600 ± 100mm, 목표공기량은 3.0±0.5%가 만족되도록 배합설계한 다음 복합유기섬유 혼입변수별로 동일한 배합조건을 적용하였다.

실험사항으로, 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프플로우, 공기량을 측정하고, 경화 콘크리트에서는 계획된 재령에서 압축강도 및 내화시험후의 폭렬유무, 폭렬등급, 잔존 압축강도, 질량감소율을 측정하도록 하였다.

2.2. 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트(밀도: 3.15g/cm³, 분말도: 3,302 cm²/g)을 사용하였고, 골재로 잔골재는 국내 P사산 혼합모래(밀도: 2.60g/cm³, 조립률: 2.81), 굵은골재는 국내 P사산 20mm 부순굵은 골재(밀도: 2.61g/cm³, 조립률: 6.56)를 사용하였다.

혼화재료로 플라이애시(밀도: 2.21g/cm³, 분말도: 4,061cm²/g)는 국내 H사산, 실리카 폼(밀도: 2.20g/cm³, 분말도: 200,000cm²/g)은 국내 G사 보급품을 사용하였고, 고성능 감수제는 국내산 B사의 폴리칼본산계, AE제는 국내 N사산을 사용하였으며, 유기섬유로 PP섬유(밀도: 0.9g/cm³, 길이: 19mm, 직경: 0.04mm), CL섬유(밀도: 1.5g/cm³, 길이: 2.9mm, 직경: 0.018mm), PVA섬유(밀도: 1.26g/cm³, 길이: 12mm, 직경: 0.016mm), NY섬유(밀도: 1.16g/cm³, 길이: 6mm, 직경: 0.012mm)는 국내산 S사산 제품을 사용하였다.

2.3. 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프플로우는 KS F 2594의 규정에 의거 실시하였고, 공기량은 KS F 2421의 규정에 의거 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도 및 잔존 압축강도는 Ø100×200mm 공시체를 KS F 2403 규정에 의거 제작하여 계획된 소정 재령 및 내화시험후 KS F 2405 규정에 의거 측정하였다. 화재를 상정한 내화시험은 공시체를 종류별로 한국건설기술연구원의 바닥용 내화시험 가열로 내에 수직으로 배치하여 놓고, KS F 2257-1에서 규정하는 표준가열곡선으로 1시간 가열을 실시하였다. 내화시험후 공시체의 폭렬여부를 육안으로 관찰하여 조사하였고, 질량감소율은 내화시험전후 각 시험체의 중량을 측정하여 백분율로 구하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1. 유동특성

그림 1은 복합유기섬유 혼입을 변화에 따른 슬럼프플로우치를 나타낸 것이다.

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
배합사항	W/B(%)	1	25
	목표플로우(mm)	1	600±100
	목표공기량(%)	1	3.0±0.5
	혼화재 치환(%)	1	FA 20% + SF 10%
	섬유의 종류	4	PP, CL+PP, PVA+PP, NY+PP
	섬유 혼입율(%)	4	0, 0.05, 0.10, 0.15
측정항목	굳지않은 콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> • 슬럼프플로우 • 공기량 	
	경화 콘크리트	강도	• 압축강도(28일)
		내화시험	<ul style="list-style-type: none"> • 폭렬유무 • 잔존 압축강도 • 폭렬등급 • 질량감소율

PP: 폴리프로필렌섬유, CL: 셀룰로오스섬유
PVA: 폴리비닐알콜섬유, NY: 나일론섬유

표 2. 실험계획

W/B (%)	W (kg/m ³)	S/a (%)	AE제 (%)	SP제 (%)	단위질량 (kg/m ³)				
					C	FA	SF	S	G
25	160	45	0.04	1.30	448	128	64	660	810

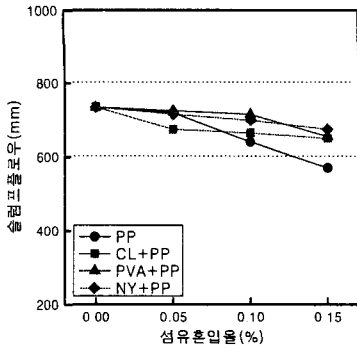


그림 1. 섬유 혼입율 변화에 따른 슬럼프플로우

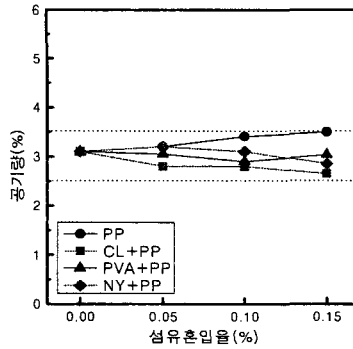


그림 2. 섬유 혼입율 변화에 따른 공기량

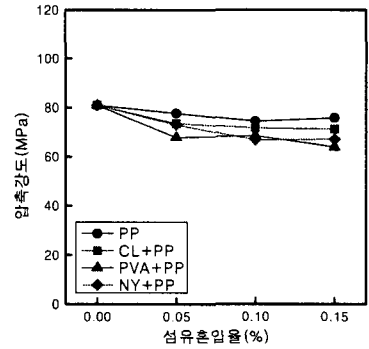


그림 3. 섬유 혼입율 변화에 따른 압축강도

섬유를 무혼입한 플레인 콘크리트는 모두 목표플로우치를 만족하는 것으로 나타났고, PP섬유 혼입을 변화에 따라서는 혼입을 0.05%까지 변화가 거의 없다가 그 이상 혼입할 경우 유동성 저하가 크게 나타났다. 복합유기섬유 혼입을 변화에 따라서는 모두 유동성이 저하하는 것으로 나타났는데, 형상비가 큰 섬유일수록 유동성 저하가 크게 나타났다. 즉, 섬유조합에 따라서는 PVA섬유와 PP섬유, NY섬유와 PP섬유를 혼합한 경우 형상비 및 친수성 등에 기인하여 유동성 저하가 가장 적게 나타났고, 그다음으로 CL섬유와 PP섬유를 혼합한 배합의 순으로 나타났다.

3.2 공기량

그림 2는 각각 W/B별 복합유기섬유 혼입을 변화에 따른 공기량을 나타낸 것이다.

전반적으로 PP섬유 혼입을 변화에 따른 공기량은 섬유를 무혼입한 콘크리트에 비해 약간 증가되는 것으로 나타났고, 복합유기섬유 혼입을 변화에 따라서는 약간 저하하였는데, 모두 목표공기량범위를 만족하는 것으로 나타났다.

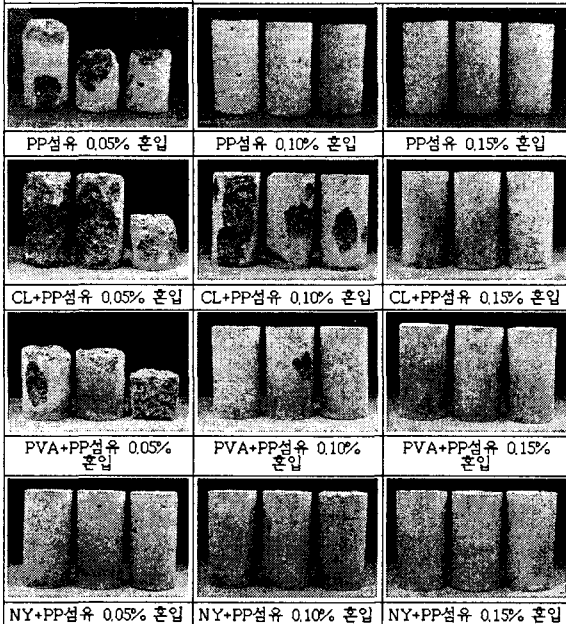
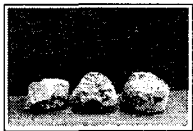


사진 1 하이브리드 섬유 혼입을 변화에 따른 공시체의 폭발모습

3.3 강도특성

그림 3은 각각 W/B별 복합유기섬유 혼입을 변화에 따른 압축강도를 나타낸 것이다.

전반적으로 PP섬유 혼입을 변화에 따른 28일 압축강도는 섬유를 무혼입한 콘크리트에 비해 4%정도 저하되는 것으로 나타났고, 복합유기섬유 혼입을 변화에 따라서는 12~25%정도 저하하는 것으로 나타났는데, 이는 고강도 영역에서 PP섬유 및 복합유기섬유와 콘크리트와의 부착강도가 압축강도에 거의 영향을 미치지 못하는 것 및 공기량 증가의 영향으로 사료된다.

3.4 내화특성

사진 1 및 표 3은 복합유기섬유의 혼입을 변화에 따른 $\phi 100 \times 200$ mm 공시체에 대하여 내화시험을 실시하고 난 후의 폭발등급 및 폭발모습을 나타낸 것이다.

먼저, 섬유를 혼입하지 않은 플레인과 PP섬유를

표 3. 폭렬등급

섬유 종류	섬유 혼입율(%)	공시체 ①1	공시체 ②	공시체 ③
무혼입	0	4	4	4
PP섬유	0.05	2	4	3
	0.10	1	1	1
	0.15	1	1	1
CL+PP섬유	0.05	3	3	4
	0.10	2	2	2
	0.15	1	1	1
PVA+PP섬유	0.05	3	3	4
	0.10	1	2	1
	0.15	1	1	1
NY+PP섬유	0.05	1	1	1
	0.10	1	1	1
	0.15	1	1	1

주: 폭렬등급은 1, 2, 3, 4 등급으로 분류한다.
 1등급: 비폭렬 또는 캡핑면 탈락
 2등급: 공시체 1/4이하의 탈락 혹은 박리
 3등급: 공시체 1/4이상, 1/2이하의 탈락 혹은 박리
 4등급: 공시체 1/2이상의 탈락 혹은 박리

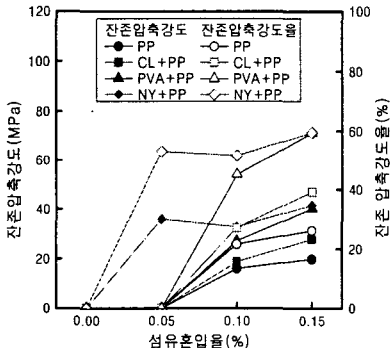


그림 7. 섬유 혼입을 변화에 따른 잔존압축강도

- 2) 내화시험후 폭렬특성으로, 섬유를 혼입하지 않은 플레인은 급격한 고온과 내부 수증기압의 영향으로 심한 폭렬이 발생하였지만, PP섬유의 혼입량이 0.10%이상, 또는 CL섬유와 PP섬유, PVA섬유와 PP섬유를 동시에 혼합한 배합은 섬유혼입량 0.15%에서 폭렬이 발생되지 않은 것으로 나타났으나, NY섬유와 PP섬유를 혼입한 배합인 경우에는 혼입량 0.05%이상에서 폭렬이 방지되어 가장 우수한 조합임을 알 수 있었다.
- 3) 내화시험후 잔존압축강도는 내부균열 등의 영향으로 크게 저하하였는데, 폭렬이 발생하지 않은 경우도 잔존압축강도율은 대부분 20~60%로 나타났다.

0.05% 혼입한 경우 급격한 고온에 의한 내부 수증기압의 영향으로 심한 폭렬이 발생하였다. PP섬유의 혼입을 변화에 따라서는 혼입량이 0.10%이상인 경우는 폭렬이 발생하지 않고 공시체 형상을 그대로 유지하고 있었다.

한편, 복합유기섬유 혼입을 변화에 따라서는 CL섬유와 PP섬유를 혼입한 콘크리트 및 PVA섬유와 PP섬유를 혼합한 콘크리트는 0.05% 및 0.01%에서도 어느 정도의 폭렬이 발생하였고, NY섬유와 PP섬유를 혼입한 배합은 섬유의 혼입을 0.05%이상에서는 모두 폭렬이 발생하지 않아 가장 양호한 것으로 나타났다.

그림 7은 복합유기섬유 혼입을 변화에 따른 내화시험 직후 잔존 압축강도를 나타낸 것이다.

가열시험후 압축강도는 폭렬과 내부균열 등의 영향으로 급격히 저하하였고, 잔존압축강도율은 0~60%로 나타났다. 즉, PP섬유의 혼입에 따른 잔존압축강도율은 PP섬유 혼입을 0.05%이하를 제외하고는 모두 20%이상으로 나타났고, 복합유기섬유 혼입을 변화에 따라서는 25%~60%로 나타났는데, 이 중에서 특히 PVA섬유와 PP를 혼합한 콘크리트는 혼입을 0.10%이상에서, NY섬유와 PP섬유를 혼입한 콘크리트는 혼입을 0.05%이상에서 비교적 양호하게 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 복합유기섬유의 혼입을 변화에 따른 콘크리트의 기초특성과 화재를 상정한 내화시험을 실시한 후 폭렬방지성상 및 잔존압축강도 특성 등을 분석한 것으로, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 유동특성은 모든 섬유의 혼입량이 증가할수록 저하하는 것으로 나타났는데, PVA섬유와 PP섬유, NY섬유와 PP섬유를 혼합한 경우에서 유동이 가장 양호하게 나타났다. 섬유혼입율에 따른 공기량은 모두 목표범위를 만족하는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 '콘크리트 코리아 연구단'에서 주관하여 시행한 2006년도 건설핵심기술 연구개발사업 「05건설핵심D-11 고성능·다기능 콘크리트의 개발 및 활용기술」 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.