

유기섬유 복합 혼입 고성능 콘크리트의 기초적 특성

Basic Characteristics of High Performance Concrete Mixing Organic Fiber

박 병 관*

유 지 영*

이 정 아*

김 성 일*

한 민 철**

한 천 구***

Park, Byung-Kwan

You, Ji-Young

Lee, Joung-Ah

Jin, Cheng-Ri

Han, Min-Cheol

Han, Cheon-Goo

Abstract

The study examined fire resistance of concrete followed by change of mixed rate in PP and NY composite fiber and the results were as follows. In the event of fluidity in concrete not set, plane satisfied 600 ± 100 , its target slump flow, and fluidity was reduced as organic fiber's mixed rate was increased. Air amount satisfied 3.0 ± 1.0 , its target air amount, and didn't have distinct differences in reduction and increase according to organic fiber's kind and change of its mixed rate. However, it had a tendency that fluidity was reduced as the mixed rate was increased. In characteristics of hardening concrete, the 28th day compressive strength followed by organic fiber's kind and change of its mixed rate didn't have a lot of differences and satisfied high strength scope as about 70MPa. In spalling characteristics after fire resistance test, spalling was happened in non-mixture, plane combination, and P1N0. In other combinations, spalling resistance was happened. The relic compressive strength rate was 56%, the best condition, in P3N1(PP0.03%, NY0.01% compositeness) mixing PP fiber with NY fiber at once.

키워드 : 고성능 콘크리트, 폭발방지, 폭발등급, 폴리프로필렌 섬유, 나일론섬유

Keywords : High Performance Concrete, Spalling Resistance, Spalling degree, Polypropylene fiber, Nylon fiber

하고자 한다.

1. 서 론

최근에는 건축물들이 고층화, 대형화 되어짐에 따라 고성능 콘크리트의 사용량이 증가되고 있는 추세에 있다. 그러나, 이러한 고성능 콘크리트는 폭발에 취약한 것으로 보고되고 있음에 따라 국내외에서는 고성능 콘크리트의 폭발방지 목적으로 콘크리트 자체 및 마감재 변화에 따라서 다양한 변수를 두고 연구를 진행하고 있다. 특히 이 중에서 기왕의 연구자들은 콘크리트 자체의 폭발방지 공법의 일환으로서 복합유기섬유의 혼입을 변화에 따른 내화특성을 2차원적으로만 분석하여 왔는데, 이 방법은 상호작용에 따른 효과가 잘 표현되지 않아 그 최적의 조합 및 혼입을 도출에 어려움이 존재하였다.

그러므로, 본 연구에서는 국내에 많이 상용화되고 있는 50MPa급 고성능 콘크리트에 한해서 복합유기섬유의 종류 및 혼입을 변화에 따른 기초적 특성 및 내화성을 3차원적으로 분석함으로써 유기섬유 복합혼입 고성능 콘크리트의 기초적 특성 및 폭발방지용 섬유의 최적혼입율을 보다 객관적으로 도출

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 섬유복합혼입에 따른 기호는 표 2와 같으며, 배합사항은 표 3과 같다.

즉, 실험요인으로 W/B 30% 1수준에 대하여 시멘트에 대한 질량비로 고로슬래그 미분말(이하 BS)20%와 플라이애시(이하 FA)10%를 동시에 치환하고, 섬유를 무혼입한 것을 플레인 배합으로 하고, 실험변수로서 폴리프로필렌섬유(이하 PP) 0, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04%와 나일론 섬유(이하 NY) 0, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04%를 동시에 복합 혼입하여 총 25 배치를 실험계획 하였다. 이때, 플레인 콘크리트는 목표 슬럼프플로우 600 ± 100 mm, 목표 공기량 $3.0\pm 1.0\%$ 를 만족하도록 배합설계한 다음 배합변수별 동일한 배합조건을 적용하였다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적질량을 측정하고, 경화 콘크리트에서는 계획된 재령에서 압축강도를 측정하는 것으로 하였다. 내화특성실험

* 정희원, 청주대학교 대학원 석사과정

** 정희원, 청주대학교 건축공학부 전임강사, 공학박사

*** 정희원, 청주대학교 건축공학부 교수, 공학박사

으로 내화시험 후 각 공시체의 폭렬여부, 폭렬등급, 잔존압축 강도 및 질량감소율을 측정하는 것으로 하였다.

2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로서, 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드

표 1. 실험계획

실험요인		시험수준	
배합사항	W/B(%)	1	30
	목표 슬럼프 플로우(mm)	1	600±100
	목표 공기량 (%)	1	3.0±1.0
	혼화재 종류 및 치환율 (%)	1	BS(20%)+FA(10%)
	섬유 종류 및 혼입율 (%)	25	PP(0, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04)와 NY(0, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04)를 복합혼입(표2 참조)
시험사항	굳지않은 콘크리트	3	<ul style="list-style-type: none"> • 슬럼프플로우 • 공기량 • 단위용적질량
	경화 콘크리트	5	<ul style="list-style-type: none"> • 압축강도 (28일) • 내화특성 <ul style="list-style-type: none"> - 폭렬여부조사 (Φ10×20cm) - 잔존압축강도 - 폭렬등급 - 질량감소율

* 여기서 P는 PP섬유, N은 NY섬유, a,b는 섬유혼입율을 정수로 표시

표 2. 섬유복합혼입에 따른 기호

구분	PP섬유 혼입율(%)					
	0	0.01	0.02	0.03	0.04	
NY 섬유 혼입율 (%)	0	P0N0	P1N0	P2N0	P3N0	P4N0
	0.01	P0N1	P1N1	P2N1	P3N1	P4N1
	0.02	P0N2	P1N2	P2N2	P3N2	P4N2
	0.03	P0N3	P1N3	P2N3	P3N3	P4N3
	0.04	P0N4	P1N4	P2N4	P3N4	P4N4

표 3. 콘크리트 배합표

W/B (%)	W (kg/m ³)	S/a (%)	AE제 (%)	SP제 (%)	단위질량(kg/m ³)				
					C	BS	FA	S	G
30	170	47	0.02	0.8	397	113	56	745	860

표 4. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간 (분)		압축강도 (MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,360	0.08	301	458	21.6	27.3	35.4

표 5. 골재의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm ³)	조립률	흡수율 (%)	단위용적 질량 (kg/m ³)	0.08mm체 통과량(%)
잔골재	2.60	2.70	0.46	1,645	1.2
굵은골재	2.66	6.56	0.46	1,532	0.3

표 6. 고로슬래그 미분말의 물리적·화학적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	염기성	화학적성분(%)		
			MgO	SO ₃	Cl
2.90	4,300	1.89	5.79	2.10	0.004

표 7. 플라이 애시의 물리·화학적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	강열감량 (%)	SiO ₂	습분 (%)
2.24	3,404	4.6	57.5	0.13

표 8. 혼화제의 물리적 성질

구분	주성분	형태	색상	밀도 (g/cm ³)
고성능감수제	폴리칼본산계	액상	연갈색	1.05
AE제	고급 지방산	액상	연한 암갈색	1.01

표 9. 유기섬유의 물리적 성질

구분	길이 (mm)	직경 (mm)	밀도 (g/cm ³)	인장강도 (MPa)	융해점 (°C)
PP 섬유	19	0.040	0.90	560	160
NY 섬유	12	0.012	1.16	918	220

드 시멘트를 사용하였고, 그 물리적 성질은 표 4과 같다. 잔골재는 북한 해주산 해사와 경기 광주산 부순모래를 7:3의 비율로 혼합하여 사용하였고, 굵은골재는 경기 광주산 부순골재를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표 5와 같다. 혼화제로서 BS와 FA는 국내산으로, 그 물리·화학적 성질은 각각 표 6, 7과 같으며, 혼화제로서 폴리칼본산계 고성능감수제와 AE제는 국내산 S사제를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 8과 같다.

또한, 폭렬방지용 유기섬유로서, 국내 A사산 PP섬유와 NY섬유를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 9과 같다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로서, 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합하였고, 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프플로우는 KS F 2594, 공기량은 KS F 24 21, 단위용적질량은 KS F 2409의 규정에 의거 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도 및 잔존압축강도는 KS F 2405의 규정에 의거 실시하고, 내화특성은, 시험체를 방재 시험연구원의 바닥가열로에 배치한 후 KS F 2257-1에서 규정한 그림 1의 표준가열곡선에 의거하여 1시간 내화시험을

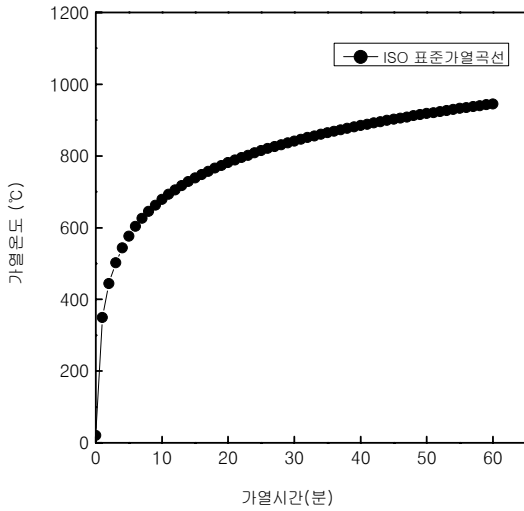


그림 1. 표준가열곡선

하였다. 또한 내화시험 후 공시체의 폭렬 여부는 육안으로 관찰하였고, 폭렬등급은 폭렬발생 정도에 따라 질량감소율을 기준으로 비폭렬~1/4 폭렬-1등급, 1/4~2/4 폭렬-2등급, 2/4~3/4 폭렬-3등급, 3/4~4/4 폭렬-4등급으로 분류하여 평가하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

그림 2는 유기섬유의 종류 및 혼입을 변화에 따른 슬럼프플로우를 나타낸 것이다.

먼저, 플레인은 목표 슬럼프플로우인 600±100mm를 만족하였고, 유기섬유의 종류 및 혼입을 변화에 따라서는 혼입율이 증가할수록 유동성은 감소하는 경향이였다.

즉, PP섬유를 단독으로 혼입한 경우 섬유의 혼입을 변화에 따른 유동성은 플레인에 비해 약 3~10%정도 감소하는 경향이였고, NY섬유를 단독으로 혼입한 경우에는 섬유의 혼입을 변화에 따라 플레인에 비해 약 6~12% 감소하는 것으로 나타났다. 유기섬유의 혼입사용에 따라서는 모두 목표 슬럼프플로우를 만족하였는데, 특히, 유기섬유 혼입을 P4N4의 경우 플레인에 비해 약 16%정도로 가장 많은 감소율을 보였다.

그림 3은 유기섬유 종류 및 혼입을 변화에 따른 공기량을 나타낸 것이다.

공기량은 대부분 목표 공기량인 3.0±1.0%를 만족하는 것으로 나타났는데, 유기섬유 종류 및 혼입을 변화에 따라 뚜렷

한 경향이을 찾기는 곤란하나 섬유량이 많아지면 감소하였다.

3.2 경화 콘크리트의 특성

3.2.1 압축강도

그림 4는 유기섬유의 종류 및 혼입을 변화에 따른 재령28일 압축강도를 나타낸 것이다.

먼저, 플레인의 경우 압축강도는 약 66MPa로 고강도 범위를 만족하였고, PP섬유를 단독으로 혼입한 경우의 압축강도는 섬유의 혼입을 변화에 따라 플레인에 비해 약

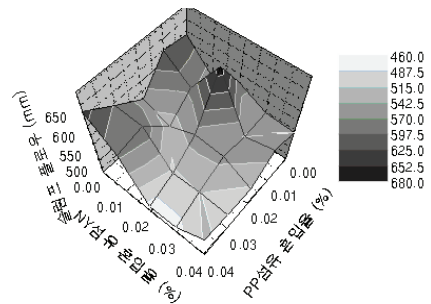


그림 2. 유기섬유 종류 및 혼입을 변화에 따른 슬럼프플로우

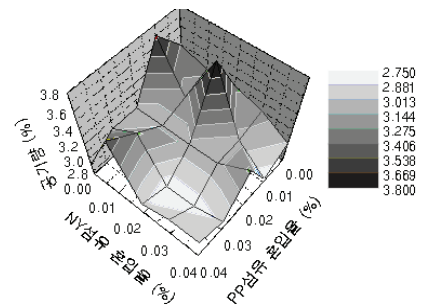


그림 3. 유기섬유 종류 및 혼입을 변화에 따른 공기량

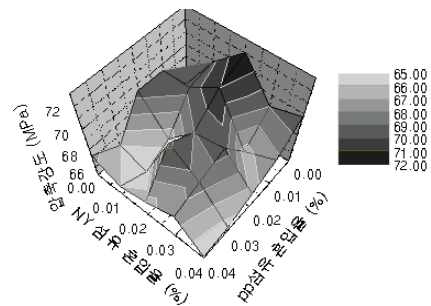


그림 4. 유기섬유 종류 및 혼입을 변화에 따른 28일 압축강도

4~9% 증가하는 경향이였고, NY섬유를 단독으로 혼입한 경우에는 섬유의 혼입을 변화에 따라 플레인에 비해 약 2~5% 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 유기섬유와 콘크리트와의 부착강도가 압축강도에 큰 영향을 미치지 못한 것으로, 약간의 증감은 콘크리트의 공기량 변동에 기인한 압축강도 변동으로 판단된다.

유기섬유 종류		NY섬유 혼입율 (%)														
		0			0.01			0.02			0.03			0.04		
PP섬유 혼입율 (%)	0															
		3등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	2등급	1등급	1등급	1등급	1등급
	0.01															
		1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급
	0.02															
		1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급
	0.03															
		1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급
	0.04															
		1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급

사진 2. 유기섬유 종류 및 혼입율 변화에 따른 폭렬 성상

한편, 유기섬유의 혼합사용에 따른 재령 28일 압축강도는 섬유 종류 및 혼입율 변화에 따라 큰 차이 없이 70 MPa 전후로 고강도 범위를 만족하는 것으로 나타났다.

3.2.2 폭렬특성

사진 1은 1시간 비가력 내화시험 후 시험체의 폭렬성상 및 폭렬등급을 나타낸 것이고, 그림 5는 유기섬유의 종류 및 혼입율 변화에 따른 질량감소율을 나타낸 것이다.

먼저, PP섬유 단독으로 혼입시 혼입율 0.01%이하의 경우에는 폭렬이 발생하는 것으로 나타났고, NY섬유를 단독으로 혼입한 경우 및 PP섬유와 NY섬유를 동시에 혼입한 경우에는 모두 폭렬이 방지되는 것으로 나타났는데, 이는 고온에서 네트워크로 이루어진 유기섬유가 콘크리트 내부수증기압을 원활히 배출시킨 것에 기인한 것으로 사료된다.

그림 6은 내화실험 후 유기섬유 종류 및 혼입율 변화에 따른 잔존압축강도율을 나타낸 것이다.

섬유를 단독으로 혼입한 경우, PP섬유 혼입율 증가에 따른 잔존압축강도율은 24~ 39%, NY섬유를 단독으로 혼입한 경우의 잔존압축강도율은 24~54%로 나타났다.

한편, 유기섬유를 혼합사용에 따른 잔존압축강도율은 P3 N1의 경우 56%로 가장 양호하게 나타났는데, 이는 콘크리트에 섬유를 적정량 혼입함으로써, 급격한 고온에 따른 콘크리트 내부의 미세균열이 발생 억제에 기인한 것으로 분석된다.

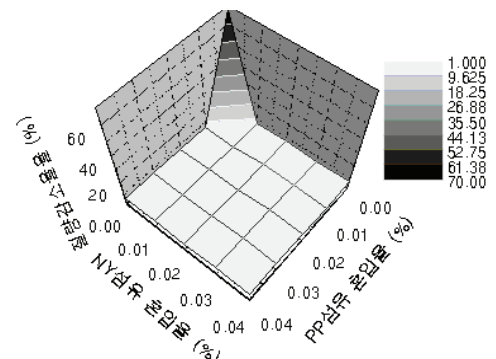


그림 5. 유기섬유 종류 및 혼입율 변화에 따른 질량감소율

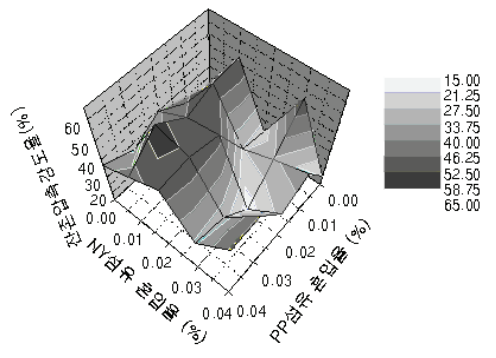


그림 6. 유기섬유 종류 및 혼입율 변화에 따른 잔존압축강도율

한편, P0N1, P1N1, P2N1, P4N1의 경우 잔존압축강도율은 약 50% 전후로 비교적 양호하게 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 유기섬유 종류 및 혼입율 변화에 따른 콘크리트의 기초적 특성 및 내화특성을 검토하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 유동성은 플레인의 경우 목표 슬럼프플로우인 600 ±100mm를 만족하였고, 복합유기섬유의 혼입율이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다.
- 2) 공기량은 모두 목표 범위인 3.0±1.0%를 만족하는 것으로 나타났으나, 유기섬유 종류 및 혼입율 변화에 따라 뚜렷한 경향이나 증감의 차이는 없을지라도 혼입율이 증가하면 감소하는 경향이였다.
- 3) 경화 콘크리트 특성으로 유기섬유 종류 및 혼입율 변화에 따른 28일 압축강도는 큰 차이 없이 70MPa 전후로 고강도 범위를 나타내었다.
- 4) 내화실험 후 폭렬특성으로, PP섬유를 단독 사용한 경우 혼입율 0.01%이하에서는 폭렬이 발생하는 것으로 나타났고, NY섬유의 단독사용 및 PP섬유와 NY섬유 복합 사용에 따라서는 모두 폭렬이 방지되는 것으로 나타났다. 한편, 잔존압축강도율은 PP섬유와 NY섬유를 동시에 혼입한 P3N1(PP0.03%, NY0.01% 복합)에서 56%로 가장 양호하게 나타났다.

감사의 글

본 논문은 2008년도 (주)풍림산업 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 장기현, 김정진, 지석원, 한창평, 양성환, 한천구 ; 나일론 및 폴리프로필렌섬유의 혼입율 변화에 따른 고강도 콘크리트의 내화특성, 대한건축학회 충북지회 학술발표대회, 제 7권, 제 1, 2007. 4. 20