

현장 적용성을 고려한 섬유혼입 초고강도 콘크리트의 내화성능 평가

An Evaluation of Fire Resistance Performance for Fiber-Mixed Ultra High Strength Concrete on Field application

최경철* 김규용** 이태규*** 민충식* 구경모*** 신경수***
Choe, Gyeong-Choel Kim, Gyu-Yong Lee, Tae-Gyu Min, Choong-Siek Koo, Kyung-Mo Shin, Kyoung-Su

Abstract

Recently, It has increased to use ultra high strength concrete. It is effective to mix organic fibers for preventing spalling. But if fiber mixed, flowability of concrete is decreases. The aim of this study is to evaluation of fire resistance performance for fiber-mixed ultra high strength concrete on field application. As a result, flowability of nylon fiber mixed concrete is better than polyethylene fiber mixed. In non-fiber and polyethylene fiber mixed concrete, spalling occurred. And strain converged at 0.004. Also, residual strength could not evaluate. Nylon fiber mixed concrete is effective to prevent spalling. And it remians 50% residual strength compare with compressive strength at room temperature.

키 워 드 : 현장적용성, 내화성능, 섬유혼입, 잔존내력, 열팽창변형, 폭렬
Keywords : Field Application, Fire Resistance Performance, Mixed Fiber, Residual Strength, Thermal Strain, Spalling

1. 서 론

최근, 국내에서는 초고층 건축구조물의 수요가 증대됨에 따라 재료 및 공법 등의 다양화 및 고성능화가 요구되고 있고 초고강도 콘크리트의 사용이 증가하고 있다. 고강도콘크리트는 화재시 고온에 의한 폭렬현상이 발생함으로써 보통강도콘크리트 보다 빠르게 내력이 저하되며, 초고강도콘크리트의 경우 그 정도가 더 급격할 것으로 예상된다.

유기섬유의 혼입에 의한 폭렬억제방법은 경제적이며, 적용성에 있어서 가장 효과적이지만 유기섬유를 혼입할 경우 콘크리트의 유동성이 저하되며 따라서 타설 및 펌핑은 매우 어려워진다.

이에 본 연구에서는 초고강도 내화콘크리트의 원활한 현장적용을 위한 목적으로서 폭렬억제성능이 우수한 유기섬유와 초고강도 콘크리트에 사용되는 다양한 혼화재료를 활용하여 초고강도콘크리트를 제조하고 콘크리트의 균질한 성상을 통하여 펌프압송성을 확인하고 이후, 내화성능을 평가하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획 및 배합

본 연구는 현장적용성을 고려한 섬유혼입 초고강도콘크리트의 내화성능을 평가하기 위한 연구로서 실험계획은 표 1에 나타난 바와 같다. 초고강도콘크리트에 혼입된 섬유는 PE 및 Nylon섬유로서 각각의 섬유 직경, 길이 및 혼입률에 따른 Slump-flow와 공기량 및 폭렬성상을 평가하였다.

본 연구에 사용된 초고강도 콘크리트의 배합은 표 2에 나타난 바와 같으며 W/B는 0.15, 잔골재율을 35 %, 단위수량은 150 kg /m³로 설정하고 고로슬래그와 실리카흄를 활용하여 충분한 강도가 발현할 수 있도록 고려하였다.

2.2 사용재료

본 연구에서 사용한 재료는 표 3에 나타난 바와 같이 시멘트는 분말도 3,200 cm²/g 및 밀도 3.15 g/cm³의 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 혼화제는 폴리카르본산계 고성능 감수제를 사용하였다.

또한 본 연구에서 사용한 골재로서 굵은 골재는 밀도 2.70 g/cm³, 흡수율 0.9 % 및 최대치수 10 mm의 화강암류 부순자갈을 사용하였으며, 잔골재는 천연잔골재로서 밀도 2.65 g/cm³, 흡수율 1.00 %의 세척사를 사용하였다.

* 충남대학교 대학원 건축공학과, 석사과정
** 충남대학교 대학원 건축공학과, 교수·공학박사
*** 충남대학교 대학원 건축공학과, 박사과정

표 1. 실험계획

섬유종류	응용점 (°C)	섬유직경 (μm)	섬유길이 (mm)	Aspect ratio	섬유 혼입률 (vol.%)	평가항목
Plain	-	-	-	-	-	- Slump-flow ¹⁾
PE	110	12	12	1000	0.15	- 공기량 - 폭렬성상 - 잔존압축강도 - 중량감소 - 열팽창변형
			15	1250		
NY	225	20	12	600	0.25	
			19	950		

1) 목표 Slump-flow : 750±100mm

표 2. 초고강도 콘크리트의 배합

W/B	slumpFlow w (mm)	S/a (%)	Air (%)	Unit Weighty (kg/m ³)						
				W	C	BFS	SF	Gy ²⁾	S	G
0.15	750±100	35.0	2±1	150	652	207	124	52	448	848

1) Gy : 무수석고

표 3. 사용재료의 물리적 성질

사용 재료	물리적 성질
시멘트	1종 보통포틀랜드시멘트(OPC), 밀도 3.15g/cm ³ 분말도 3,200cm ² /g
플라이애시	밀도 2.2g/cm ³ , 분말도 3,000cm ² /g
고로슬래그	밀도 2.9g/cm ³ , 분말도 6,000~7,000cm ² /g
실리카흄	밀도 2.5g/cm ³ , 분말도 200,000cm ² /g
무수석고	밀도 2.9g/cm ³ , 분말도 3,550cm ² /g
혼화제	폴리카arbon산계 고성능감수제
잔골재	입경5mm, 밀도2.65g/cm ³ , 흡수율 100%, 세척사
굵은골재	입경10mm, 밀도2.70g/cm ³ , 흡수율 90%, 쇄석

초고강도콘크리트의 폭렬을 방지하고 성능을 개선하기 위하여 사용한 섬유는 직경 12 μm, 길이 12, 15 mm의 PE섬유와 직경 20 μm, 길이 20, 40 mm Nylon섬유를 0.15, 0.25 vol% 혼입하였다.

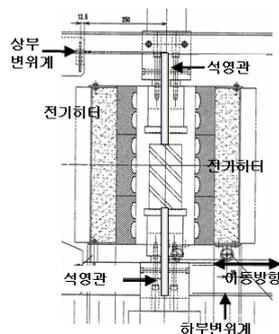


그림 1. 재하 및 가열 장치

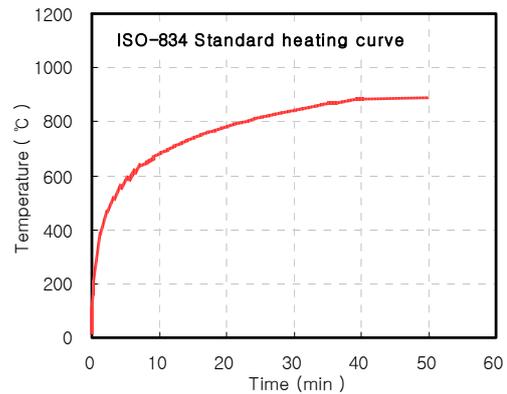


그림 2. ISO 834 표준 화재곡선

2.3 실험방법

2.3.1 굳지 않은 콘크리트의 성상 시험방법

초고강도 콘크리트의 현장적용성을 평가하기 위한 슬럼프 시험은 KS F 2402 『포틀랜드시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험방법』에 준하여 측정하였으며, 공기량 시험은 KS F 2421 『압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험방법 (공기실 압력방법)』에 준하여 비빔 직후 측정을 실시하였다.

2.3.2 내화성능평가방법

본 연구에서는 100×100×H200 mm의 각주형 시험체를 사용하여 내화성능을 평가하였으며, 시험체는 온도 20 °C, 50% R.H의 항온항습실내에서 56일간 기건양생을 실시하였다. 가열시험을 위한 장치는 그림 1과 같은 2000 kN급 UTM에 전기 가열로를 설치하였다. 가열방법은 그림 2에 나타내는 바와 ISO-834 표준가열곡선에 따라 50분간(최고온도 886 °C) 실시하였고, 시험체를 고정해 목적으로 200 kN 가력하였다.

초고강도콘크리트의 내화성능은 시험체 표면상태를 관찰해 폭렬성상을 확인하고 시험체의 길이변화 및 중량감소 정도를 측정하였다. 또한, 가열시험 후 시험체를 약 24시간 상온에서 자연냉각시킨 후 잔존압축강도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 콘크리트의 굳지않은 성상

W/B 0.15의 초고강도 콘크리트의 현장적용성을 검토하기 위해 섬유 종류 및 Asperct ratio에 따른 Slump-flow 및 공기량을 표 4에 나타냈다. 섬유종류에 따른 Slump-flow값은 전반적으로 목표값 인 750 ± 100 mm을 만족하였지만 동일한 감수제 첨가량에서는 Plain>Nylon>PE의 순서로 나타났다. 섬유 종류에 따른 성상으로는 Nylon섬유가 혼입된 경우가 PE보다 우수한 유동성을 보이는 것으로 나타났다. PE섬유의 경우 섬유혼입량이 증가함에 따라 Slump-flow값이 낮았다. Nylon섬유의 경우 길이 및 혼입률에 따른 Slump-flow값은 크게 영향을 받지 않지만 공기량에 있어서는 섬유길이 40 mm의 경우 약 3 %이상으로 높은 공기량을 나타냈다.

3.2 폭렬성상

표 5는 초고강도 콘크리트의 폭렬성상을 나타낸 것이다. 초고강도에 있어서 섬유를 혼입하지 않은 Plain시험체는 초기의 폭렬에 의해 완전파괴 되었으며, PE섬유를 혼입한 경우도 직경 및 혼입률과 무관하게 전 수준에서 폭렬이 발생하였으며 용융점이 낮음에도 불구하고 시험체 중심부 이상까지 파괴 및 균열이 발생되어 단면손실에 의한 내력 손실이 큰 것으로 나타났다. Nylon섬유를 혼입한 시험체의 경우 PE섬유를 혼입한 경우와 달리 전 수준에 있어서 폭렬이 발생하지 않아 섬유혼입에 의한 폭렬이 효과적으로 방지되는 것을 확인할 수 있었다.

3.3 열팽창변형

그림 3은 초고강도 콘크리트의 가열 중 열팽창변형률을 나타낸 것이다. PE섬유를 혼입한 콘크리트 시험체의 경우 가열온도 약 700°C이상부터 폭렬에 따른 변위의 떨림현상이 발생하게 되었으며, 가열 후 변형률(ϵ)은 0.004의 수준에서 수렴하였으며 Nylon

섬유혼입 시험체의 경우 변형률(ϵ)이 0.008까지 증가하는 경향을 나타냈다.

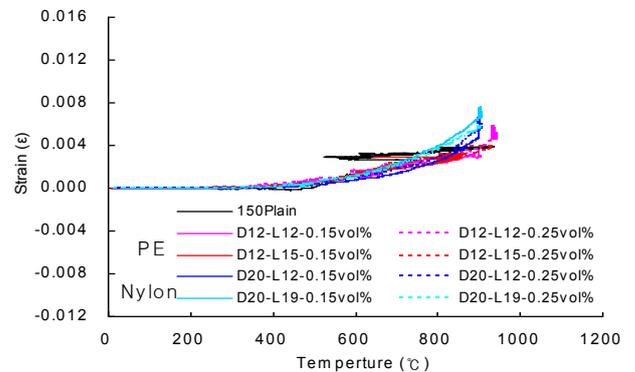


그림 3. 초고강도콘크리트의 가열 중 열팽창변형

3.4 중량감소 및 잔존압축강도

그림 4 및 그림 5는 가열시험 후 초고강도콘크리트 시험체의 중량감소 및 잔존압축강도를 평가한 결과이다. 섬유를 혼입하지 않은 Plain 및 PE섬유혼입 시험체의 경우 폭렬성상에서 확인한 바와 같이 그 파괴정도가 완전파괴 또는 반파의 성상을 보여 가열 후 잔존내력을 평가할 수 없었으며, Nylon 섬유를 혼입한 시험체의 경우 약 6 %의 중량감소율을 보였고 상온압축강도에 비하여 35 % ~ 50 %의 잔존압축강도를 유지하는 것으로 나타났다.

4. 결론

현장적용성을 고려한 초고강도 콘크리트의 내화성능평가를 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Slump-flow는 전반적으로 목표값인 750 ± 100 mm을 만족하였으며, Nylon섬유를 혼입한 경우가 PE섬유를 혼입한 경우보다 우수한 유동성을 나타냈다.

표 4. 콘크리트의 배합실험 결과

섬유 종류	직경 (μm)	길이 (mm)	혼입률 (%)	혼입량 (g)	SP (%)	Slump-Flow (mm)	Air Content (%)
Plain	-	-	-	-	1.2	750/720	1.9
PE	12	12	0.15	70	1.2	720/700	1.7
			0.25	120	1.8	580/620	2.2
		15	0.15	70	1.4	720/690	2.1
			0.25	120	2.1	580/560	2.1
Nylon	20	20	0.15	80	1	750/780	-
			0.25	140	1.1	760/780	2.4
		40	0.15	80	1	800/780	3.3
			0.25	140	1.2	700/730	3.5

표 5. 초고강도콘크리트의 폭발성상

섬유종류 길이(mm)-직경(μm) 혼입률(vol%)	Plain	PE				Nylon			
		12-12		12-15		20-12		20-19	
		0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25
PE 섬유	완전 파괴 (측정 불가)								

- 2) Plain시험체와 PE섬유를 혼입한 시험체는 반파 또는 완파 되는 파괴성상을 나타냈으며 Nylon섬유를 혼입한 시험체의 경우 전 수준에서 폭발이 방지되었다.
- 3) 폭발이 발생한 Plain시험체와 PE섬유를 혼입한 시험체의 경우 변형률(ϵ)은 0.004의 수준에서 수렴하였으며, 폭발이 발생하지 않은 Nylon섬유혼입 시험체의 경우변형률(ϵ)이 0.008까지 증가하는 경향을 보였다.
- 4) 가열시험 후, Plain시험체와 PE섬유를 혼입한 시험체는 파괴되어 잔존내력의 측정이 불가하였고, Nylon섬유를 혼입한 시험체의 경우 상온압축강도에 비하여 약 50%의 잔존압축강도를 유지하는 것으로 나타났다.

감사의 글

이 논문은 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원(09 첨단도시A01)에 의해 수행되었고 연구자의 일부는 2단계 BK21 사업의 지원비를 받았음. 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 김무한 외, 섬유종류 및 혼입량에 따른 고성능콘크리트의 폭발저감에 관한 실험적 연구, 한국화재소방학회 추계학술논문발표회 논문집, pp.81~85, 2005
2. ISO834-7, Fire Resistance Test, Element of Building Construction, Part 7 ; specific requirement for column, ISO, 2000
3. Pierre Kalifa, "High-temperature behaviour of HPC with polypropylene fibers From spalling to microstructure," Cement and Concrete Research, pp.1487~1499, 2001.6
4. Zdenek P. Bazant, Maurice F. Kaplan, Concrete at High Temperatures:Material Properties and Mathematical Models, Prentice Hall, 1996.

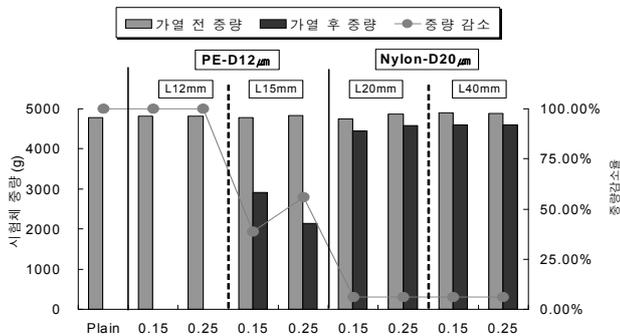


그림 4. 초고강도콘크리트의 가열 후 중량감소

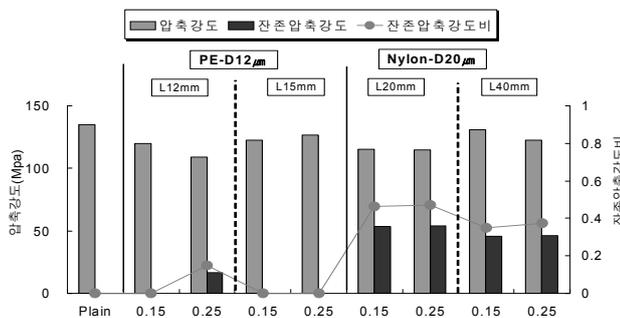


그림 5. 초고강도콘크리트의 가열 후 잔존압축강도