

시멘트 복합체의 내화성능 향상을 위한 폴리프로필렌 섬유와 혼입량 결정

Geometry and Volume Fraction of Polypropylene Fiber in Cement Based Composites for Fire Resistnace

원종필* 박경훈** 김황희** 김정훈** 이수진** 이시원**

Won, Jong-Pil Park, Kyung-Hoon Kim, Hwang-Hee Kim, Jungg-Hoon Lee, Su-Jin Lee, Si-Won

ABSTRACT

The addition of polypropylene fibers is effective to avoid spalling of shotcrete and concrete adopted tunnel and underground structure under the fire. In this study, a cement based mortar for fire resistance of polypropylene fiber was developed and evaluated by experimentally. The geometry and amount of polypropylene fibers which are diameter, length and fiber dosage were significant factors in aspect of the response values of fire resistance.

1. 서론

급속한 경제성장과 교통량의 증가로 인한 교통난의 해소와 국토이용의 효율성을 위해 터널 및 지하 공간 등의 건설공사가 급격히 증가하고 대형화되고 있다. 최근 유럽을 중심으로 세계 각지에서 발생한 터널 및 지하 구조물에서 발생한 대형 화재로 인한 피해는 터널 및 지하공간에 있어서 화재에 대한 영향을 고려한 설계 및 시공이 요구되고 있는 실정이다. 따라서 터널 및 지하 구조물에 사용되는 슛크리트 및 콘크리트는 구조물에 요구되는 화재 발생시 충분한 내화성능을 발휘할 수 있는 연구가 절실히 요구되고 있으며 이와 같은 특성을 해결할 수 있는 방법은 슛크리트 및 콘크리트의 보강재로 내화에 효과적이라고 알려져 있는 폴리프로필렌 섬유를 사용하는 것이다.

본 연구에서는 터널 및 지하공간에 적용되는 슛크리트 및 콘크리트에 요구되는 내화성능을 발휘할 수 있는 최적의 폴리프로필렌 섬유를 찾는 것을 목표로 하였다. 이를 위하여 폴리프로필렌 섬유의 두께와 길이, 혼입량의 세 가지 인자에 대한 폴리프로필렌 섬유보강 모르타르 실험을 실시하여 내화성능을 발휘할 수 있는 폴리프로필렌 섬유의 형상과 혼입량의 범위를 도출하고자 한다.

2. 실험개요

2.1. 실험설계 및 실험 인자/수준

본 연구에서는 폴리프로필렌 섬유의 최적의 폭열방지를 위한 조건을 도출하고자 폴리프로필렌 섬유의 두께, 길이, 혼입량의 세 가지 인자를 고려하여 시멘트 모르타르의 배합에 따른 내화실험을 통한 폭열상태 및 표면상태를 관찰하는 실험을 하였다. 사용된 폴리프로필렌 섬유의 두께의 범위는 1.25, 3, 10, 30 데니어의 4가지 범위, 길이는 4, 10, 15, 20, 40mm의 5가지 범위를 주었으며 m²당 폴리프로필렌 섬유의 혼입량의 범위는 0, 0.9, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0kg으로 두었다. 실험설계는 통계학의 최적화 방법을 사용하였으며 표 1과 같은 실험배합이 산출되었다.

* 정회원, 건국대학교 사회환경시스템 공학과 교수

** 정회원, 건국대학교 사회환경시스템 공학과 석사과정

표 1 배합설계

배합명	직경 (데나어)	길이 (mm)	혼입량 (kg/m ³)	배합명	직경 (데나어)	길이 (mm)	혼입량 (kg/m ³)	배합명	직경 (데나어)	길이 (mm)	혼입량 (kg/m ³)	배합명	직경 (데나어)	길이 (mm)	혼입량 (kg/m ³)	배합명	직경 (데나어)	길이 (mm)	혼입량 (kg/m ³)
1	3	4	15	12	125	15	09	23	10	4	30	34	10	40	09	45	30	40	30
2	3	4	20	13	125	20	09	24	10	4	15	35	10	20	25	46	30	40	15
3	3	15	15	14	125	40	20	25	10	4	20	36	10	40	25	47	30	4	20
4	3	20	15	15	125	20	30	26	10	4	09	37	10	15	15	48	30	4	09
5	3	20	20	16	125	40	25	27	10	15	09	38	3	40	15	49	30	10	15
6	125	10	30	17	125	15	15	28	10	15	30	39	3	15	30	50	30	15	20
7	125	10	20	18	125	20	25	29	10	10	25	40	3	4	25	51	30	10	25
8	125	15	20	19	3	10	25	30	10	20	20	41	3	40	20	52	30	20	30
9	125	20	15	20	3	10	30	31	10	10	20	42	3	15	25	53	30	4	25
10	125	4	30	21	3	10	09	32	10	40	30	43	3	40	25	54	30	10	09
11	125	10	09	22	3	20	09	33	10	10	15	44	10	4	09	55	30	20	09

2.2. 배합설계와 사용재료

2.2.1 배합설계

본 연구에서 사용한 모르타르의 배합은 표 2와 같다.

표 2 모르타르 배합

Flow(cm)	W/C(%)	C : S	유동화제(%)	폴리프로필렌 섬유 혼입량(kg/m ³)
160	40	1 : 2	0.2	0~3

2.2.2 시멘트 및 골재

시멘트는 KS L 5201을 만족하는 H사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 잔골재는 표준 사인 주문진 규사를 사용하였고 비중은 1.6이다. 표 3은 시멘트의 물리적인 특성을 나타낸다.

표 3 시멘트의 물리적 특성

물리적 특성	분말도(cm ² /g)	비중	안정도(%)	압축강도(MPa)		
				3일	7일	28일
	3,449	3.15	0.07	23.0	30.5	39.4

2.2.3 폴리프로필렌 섬유

사용된 폴리프로필렌 섬유의 물성은 표 4와 같다.

표 4 폴리프로필렌 섬유의 물성

명칭	재질	흡습성	비중	용해점 (°C)	발화점 (°C)	인장탄성계수(MPa)	기타
폴리프로필렌 망사형	Homopolymer Polypropylene	없음	0.91	162	590	350~770	내알칼리성 및 내산성에 안정

2.3 실험방법

폴리프로필렌 섬유의 혼입률에 따른 압축강도 특성을 알아보기 위해 KS L 5105에 의하여 50×50×50mm의 입방체 몰드를 9개씩 제작하여 재령 1일, 7일, 28일에서 재령 당 3개씩 압축강도를 측정

하였으며 KS F 2476 및 KS F 4042에 준하여 40×40×160mm의 시편을 3개씩 제작하여 재령 7일, 28일의 휨강도를 측정하였다. 또한 터널 및 지하구조물의 화재 발생시 밀폐된 구조물의 상황과 급격한 온도증가가 발생하게 되는데 이러한 터널 내 화재 상황을 잘 모사한 시간가열온도곡선으로 판단되는 RABT 곡선을 이용하여 내화로에서 내화시험을 실시한 후 내화시험 전·후의 표면관찰과 중량변화, 잔류 압축강도를 측정하여 내화시험 전·후의 물리·역학적 변화를 살펴보았다.

3. 실험 결과 및 분석

내화시험 후 모르타르 표면을 관찰한 결과 직접적으로 폭열이 발생한 모르타르는 나타나지 않았다. 이는 모든 배합에 폭열저감에 효과적인 것으로 알려져 있는 폴리프로필렌 섬유를 혼입하였고 내화시험용 모르타르 공시체의 크기가 작기 때문에 내부 공극압이 비교적 적게 발생한 결과라고 판단된다. 하지만 내부 공극압이 외부로 팽창하고자 하는 힘에 의해 발생된 것으로 판단되는 심각한 균열이 관찰된 모르타르 시편도 찾아볼 수 있었다. 표면관찰 결과 균열이 심각하게 관찰된 모르타르는 섬유의 직경이 얇고 길이가 짧을수록 균열정도가 심각한 것으로 관찰되었다. 두께가 10 데니어인 폴리프로필렌 섬유를 혼입한 모르타르의 경우 균열정도가 가장 양호하였고 3데니어 두께의 폴리프로필렌 섬유를 혼입한 모르타르의 경우 길이가 15~40mm인 경우 균열정도가 양호하였다. 반면 두께가 가장 얇은 1.25 데니어의 경우 균열이 가장 극심하였다. 1.25 데니어의 폴리프로필렌 섬유를 혼입한 모르타르의 경우 혼입량이 2.5~3kg/m³인 경우 균열상태가 양호해지는 경향을 보였으나 폴리프로필렌 섬유가 과다하게 혼입할 경우 구조물의 성능이 저하될 수 있으므로 적절치 못하다고 판단된다. 내화시험 후의 중량변화를 살펴보면 그림 3과 같이 모르타르의 중량 손실률은 10.9~13.9%의 범위를 나타내었다. 내화시험에 따른 중량 손실률은 폭열이나 균열의 정도보다는 고온에 노출된 모르타르 내부에 있었던 폴리프로필렌 섬유의 용해와 시멘트 페이스트 내의 Ca(OH)₂의 분해에 의한 결과로 판단된다. 내화시험 전·후의 잔류강도를 측정한 결과 모르타르의 강도손실률은 66.8~91.9%의 범위를 나타내었다. 혼입한 폴리프로필렌 섬유의 직경이 얇은 1.25 데니어와 3 데니어의 모르타르의 경우 10 데니어와 30데니어로 혼입한 모르타르보다 잔류강도가 낮게 나타났으며 섬유의 혼입량이 2~3kg/m³인 경우 섬유의 혼입량이 비교적 적은 0.9~1.5kg/m³인 경우보다 잔류강도가 낮은 것으로 나타났다. 이는 직경이 얇은 폴리프로필렌 섬유의 경우 모르타르에 미세한 통로(microchannel)를 형성하여 내화시험 후 모르타르 내에 미세한 공극이 형성되었기 때문이며 폴리프로필렌 섬유의 혼입량이 많은 경우에도 모르타르 내의 폴리프로필렌 섬유가 용해되면서 형성된 공극으로 인해 강도값이 조금 더 낮은 것으로 판단된다.

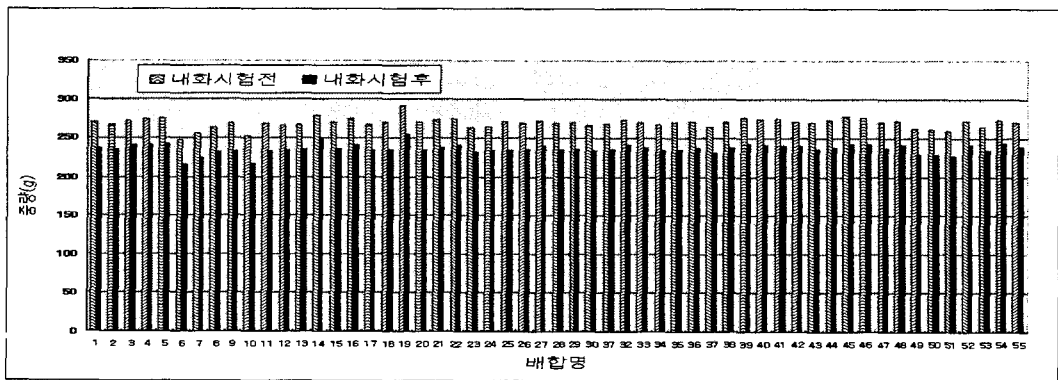


그림 3 배합별 폴리프로필렌 섬유보강 모르타르의 내화시험 전·후의 중량변화

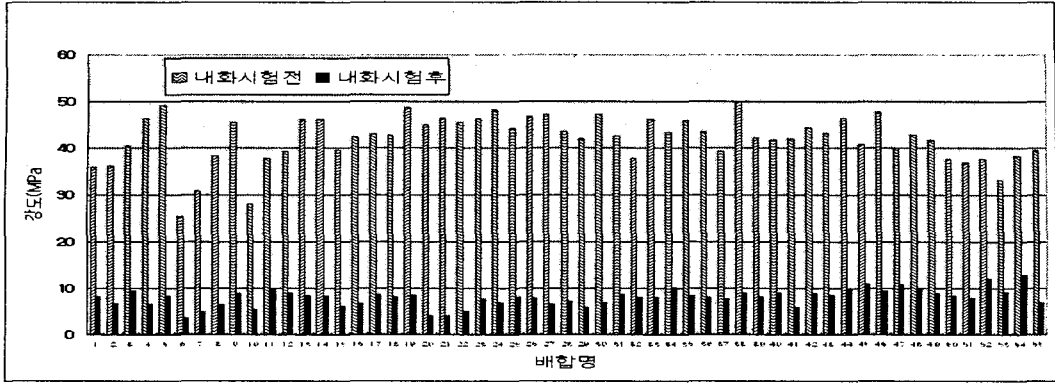


그림 4 배합별 폴리프로필렌 섬유보강 모르타르의 내화시험 전·후의 강도변화

4. 결론

본 실험에서는 폴리프로필렌 섬유에 대하여 직경, 길이 및 혼입량을 범위로 정하여 모르타르 내화성능 실험을 실시하였다.

화재 발생시 폴리프로필렌 섬유의 효과를 알아보기 위해 고온(최고 1200℃)의 내화시험 후 모르타르의 표면관찰과 잔류압축강도 및 중량변화를 측정하였다. 중량변화는 단순한 모르타르의 자유수의 증발과 시멘트 페이스트의 분해 등의 화학적인 반응에 따른 단순한 수분의 소멸에 기인하는 것으로 판단되며 이를 통해 내화성능을 판단하기는 어렵다고 판단된다. 표면관찰과 잔류압축강도의 측정결과 내화성능을 위한 폴리프로필렌 섬유의 적정 조합의 범위는 두께의 경우 3데니어~10데니어, 길이의 경우는 20~40mm로 판단된다. 폴리프로필렌 섬유의 혼입량은 0.9~1.5kg/m³의 경우가 높은 잔류 압축강도를 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 건설기술핵심연구개발사업(04 핵심기술 C01)의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Anderberg, Y., "Spalling phenomena of HPC of OC, Proceeding of International Workshop on Fire Performance of High-Strength Concrete", NIST, USA, 1997, pp. 69~73
2. Gabriel, A. K., "Passive fire protection in tunnel", Concrete for the Construction Industry, Vol.37, No.2, 2003, pp. 31~36
3. Georgali, B. and Tsakiridis, P. E., "Microstructure of Fire-damaged Concrete", Cement & Concrete Composites, Vol.27, 2004, pp.255~259
4. Kalifa, P. and Menneteau, F. D. and Quenard, D. "Spalling and pore pressure in HPC at high temperatures", Cement & Concrete Research, Vol.30,2000, pp. 1~13
5. Kodur, V. K. R. and Bilodeau, A. and Hoff, G., C., "Optimization of the type and amount of polypropylene fibers for preventing the spalling of lightweight Concrete subjected to hydrocarbon fire", Cement & Concrete Composites, Vol. 26, Issue 2, 2004, pp.1001~1005
6. Pirre, K. and Gregoire, C. and Christophe, G. "High-temperature behaviour of HPC with polypropylene fiber from spalling to microstructure", Cement & Concrete Research, Vol. 31, 2001, pp.1487~1499