

# 복합섬유(PP,NY)를 혼입한 설계강도 80MPa 3성분계 고강도콘크리트의 폭렬특성

## Spalling Properties of 80MPa High Strength Concrete with Fiber

<b>김 성 덕*</b>	<b>이 범 식**</b>	<b>배 기 선**</b>	<b>김 상 연**</b>	<b>박 수 희*</b>
Kim, Seong-Deok	Lee, Bum-Sik	Bae, kee-Sun	Kim, Sang-yun	Park, Su-Hee

### Abstract

In this study, the fire resistance test was carried out with a parameter such as fiber(PP+NY) mixed ratio on high strength concrete with 80MPa, and the spalling resistance property was evaluated. Concrete material test was carried out with a parameter such as fiber(PP+NY) mixed ratio(0%, 0.05%, 0.1%, 0.2%) of high strength concrete with 80MPa. Although the flowability and the strength capacity were delicately decreased with a increase of fiber mixed ratio, they satisfied the target limits. As the spalling resistance property after the fire resistance test of 3 hours, the spalling was partly shown on the high strength concrete with fiber(PP+NY) mixed ratio of 0% but, wasn't shown on the high strength concrete with fiber(PP+NY) mixed ratio of 0.05% ~ 0.2%

키 워 드 : 고강도콘크리트, 폭렬특성, 섬유 혼입율, 폴리프로필렌 섬유, 나일론 섬유  
Keywords : High Strength Concrete, Spalling Properties, Fiber Ratio, Polypropylene Fiber, Nylon Fiber

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 목적

초고층, 초대형 구조물의 건립을 위한 고성능콘크리트의 개발과 이를 활용한 구조물의 건립은 건설분야의 세계적인 흐름으로, 국내 건설시장 역시 초고강도 콘크리트의 적용이 요구되는 초고층 구조물의 건립이 활발히 이루어지고 있다.

일반적으로 콘크리트는 다른 구조재료에 비해 열전도율과 열확산계수가 현저히 낮아 대표적인 내화구조재료로서 널리 사용되어지고 있으나, 내부온도가 600℃ 이상되면 급격한 재료물성의 저하가 발생하는 것으로 알려져 있다.<sup>1)</sup> 특히 고강도콘크리트는 그 조직이 치밀하여 화재시 급격한 온도상승으로 인하여 콘크리트의 인장강도보다 큰 수증기압이 생성되어 폭렬현상이 발생한다. 이러한 폭렬현상은 구조부재 파복 콘크리트의 박락·비산과 함께 철근이 고온에 노출되어 심각한 구조내력 저하를 초래하여, 경우에 따라서는 건축물이 붕괴에까지 일으킬 수 있는 원인이 되기도 한다.<sup>1)~3)</sup>

최근 개정된 고강도콘크리트 기둥·보의 내화성능 관리기준(국토해양부 고시 제 2008-334호, '08.7.21)에 의하면 설계기준강도 50MPa이상의 콘크리트를 구조물에 적용할 경우, 개정 기준에서 정의하고 있는 내화성능을 만족하여야만 한다.

고강도콘크리트의 내화성능을 증진시키고 폭렬방지를 위한 다양한 방안 중 일반적으로 섬유혼입방법이 가장 경제적이고, 효과적인 것으로 알려져 있으며, 최근 개정 내화성능 관리기준을 만족하고 고강도콘크리트의 요구 재료물성과 시공성을 확보하기 위하여 섬유의 제원, 적정 혼입율 등을 규명하기 위하여 많은 노력을 기울이고 있다.

따라서, 본 연구에서는 초고층구조물의 건립에 적용이 기대되는 설계강도 80MPa 3성분계 고강도콘크리트를 대상으로 복합섬유(PP+NY, 이하 섬유) 혼입율에 따른 재료물성과 내화시험을 수행하여, 시공성이 기대되고 폭렬방지를 위한 적정 섬유혼입율과 화재 전·후의 강도특성 등을 평가하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구에 사용된 3성분계 고강도콘크리트의 제조에는 동일중량비로 혼입되는 섬유 혼입율이 0.05, 0.1, 0.2 %의 3수준이고 비교대상으로 복합섬유를 혼입하지 않은 시험체를 계획하였다. 3성분계 고강도콘크리트의 물결합재비는(W/B)는 21.5%이며, 목표슬럼프플로 650 ± 50mm, 목표 공기량 3.5±1.5%를 만족하도록 배합설계 하였다. 섬유가 혼입된 3성분계 고강도콘크리트를 대상

\* 한국토지주택공사 토지주택연구원 연구원  
\*\* 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원

으로 콘크리트의 굳지않은 물성과 내화실험 등을 수행하였다. 시험에 사용된 3성분계 고강도콘크리트의 배합표와 세부 실험계획은 표 1, 표 2와 같다.

표 1. 콘크리트의 배합표

W/B (%)	S/a (%)	SP (%)	단위량 (kg/m³)					
			W	C	BS	FA	S	G
21.5	40	1.40	150	384	174	140	600	907

표 2. 실험계획

실험요인		실험수준	
배합사항	W/B (%)	1	·21.5
	슬럼프플로 (mm)	1	·650±50
	공기량 (%)	1	·3.5±1.5
	섬유(PP+NY) 혼입율 (%)	4	·0, 0.05, 0.1, 0.2
	양생방법	1	·표준수중양생
실험사항	굳지않은 콘크리트	2	·슬럼프플로, 공기량
	굳은 콘크리트	2	·압축강도, 인장강도
	내화실험 (3시간)	3	·폭렬유무 ·질량감소율 ·잔존압축강도율

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 3성분계 고강도콘크리트의 제작에사용된 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 혼화재는 경남 하동산 플라이애시와 고르슬래그 미분말을 사용하였다. 잔골재는 세척사를 사용하였으며, 최대치수 19 mm 굵은 골재를 사용하였다. 고강도콘크리트의 폭렬방지 목적으로 국내산 S사 제품의 섬유를 사용하였으며, 물리적 특성은 표3과 같다.

표 3. PP, NY 섬유의 물리적 성질

섬유종류	용융온도 (°C)	밀도 (g/cm³)	지름 (μm)	길이 (mm)
PP섬유	160~170	0.91	25~40	3~30
NY섬유	215~230	1.15	15~30	3~30

2.2 실험방법

2.2.1 굳지 않은 콘크리트

강제식 팬타입 믹서를 사용하여 제작한 3성분계 고강도콘크리트는 비빔직 후 슬럼프 플로 실험과 공기량 시험을 수행하고, 변수별 결과 값을 평가하였다.

2.2.2 굳은 콘크리트

굳은 콘크리트의 압축강도와 인장강도 측정용 공시체는 KS F 2403에 의거 Ø100×200 mm 몰드를 사용하여 제작하였으며, 목표재령 도달 후 압축강도와 인장강도 시험을 수행하고, 실험변수별 강도값을 평가하였다

2.2.3 내화실험

3성분계 고강도콘크리트의 내화시험 전후의 질량과 강도를 평가하기 위한 시험은 한국건설기술연구원에서 관리형 공시체(Ø 100×200 mm)를 사용하여 개정된 고강도콘크리트 기동보의 내화 성능 관리기준에 따라 3시간 내화시험을 수행하였다.

내화시험 후 공시체의 폭렬여부는 육안으로 관찰하여 조사하였으며, 질량감소율은 내화시험전후 각 시험체의 중량을 측정하여 백분율로 구하였으며, 잔존압축강도율은 가열시험 전과 후의 강도를 측정하여 백분율로 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

섬유 혼입율 변화에 따른 슬럼프 플로의 변화에 대한 평가결과, 섬유 혼입율이 0.05%일 경우 슬럼프 플로가 740 mm로 가장 우수하며, 섬유 혼입율이 증가함에 따라 슬럼프 플로는 감소하는 것으로 나타났다. 본 연구에서 개발 중인 3성분계 고강도콘크리트의 경우 섬유혼입율 0.2%까지는 재료분리 없이 목표 슬럼프플로를 만족하는 것으로 나타났다. 그림 1는 섬유 혼입율 변화에 따른 슬럼프플로의 변화를 나타내고 있다.

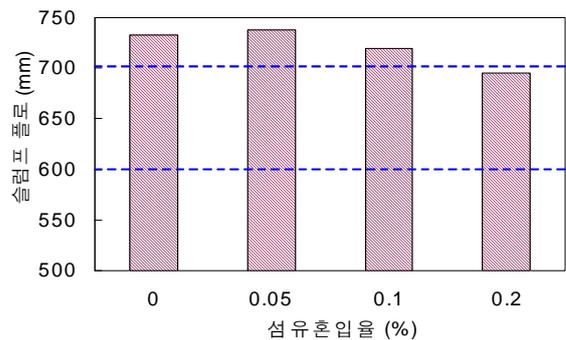


그림 1. 섬유 혼입율에 따른 슬럼프플로

섬유 혼입율 변화에 따른 공기량의 변화를 평가한 결과, 섬유 혼입율이 0.2%까지 섬유가 혼입되지 않은 시험체 대비 공기량의 큰 변화는 없으나, 섬유 혼입율이 0.1 %까지는 공기량이 미세하게 감소하나 0.2%에서는 섬유가 혼입되지 않은 공시체와 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 공기량 시험결과, 섬유 혼입율에 상관없이

모두 목표공기량을 만족하는 것으로 나타났다. 그림 2는 섬유 혼입을 변화에 따른 공기량을 나타내고 있다.

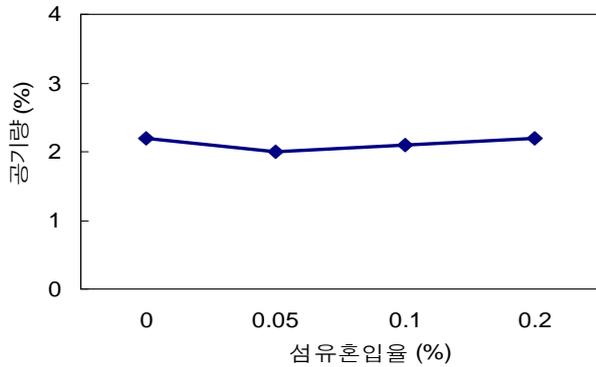


그림 2. 섬유 혼입율에 따른 공기량

### 3.2 굳은콘크리트의 특성

#### 3.2.1 강도특성

그림 3은 섬유 혼입을 변화에 따른 압축강도와 인장강도 특성을 나타낸 것으로, 재령 28일 강도에서는 전반적으로 압축강도의 경우 설계기준강도 80MPa를 만족하는 것으로 나타났다. 섬유 혼입율에 의해 재령일이 낮아질수록 섬유 혼입율 0%보다 낮아지는 현상을 보였으나, 섬유 혼입율 0%에 비해 섬유혼입으로 인한 압축, 인장강도 특성이 전체적으로 미세하지만 낮은 경향을 나타내었다. 이는 고강도 영역에서 섬유와 콘크리트와의 부착강도가 압축강도에 영향을 미치지 못하는 것과 공기량의 증가에 의해 미세하지만 강도가 저하하는 원인으로 판단한다.

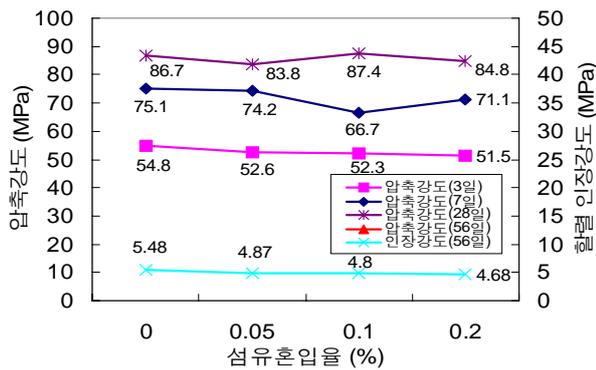


그림 3. 섬유 혼입을 변화에 따른 압축강도, 인장강도

#### 3.2.2 내화특성

사진 1은 섬유 혼입율에 따른 관리용 공시체의 폭발 성상을 나타낸 사진이다. 섬유를 혼입하지 않은 섬유 혼입율 0%의 경우는 급격한 고온에 의한 내부 수증기압의 영향으로 3개 공시체 모두 폭발이 발생하였으며, 나머지 섬유 혼입율 0.05%, 0.1%, 0.2%에

서는 폭발이 발생하지 않았고, 공시체의 형상도 그대로 유지하고 있었는데, 이는 내부의 높은 수증기압을 외부로 원활히 배출함에 기인한 것으로 분석된다. 즉 섬유가 고온에 노출되어 콘크리트내부에서 녹아 미세공극을 형성하게 되는데 이를 통하여 내부 수증기가 이동하게 되어 폭발현상이 방지되는 것으로 판단된다.

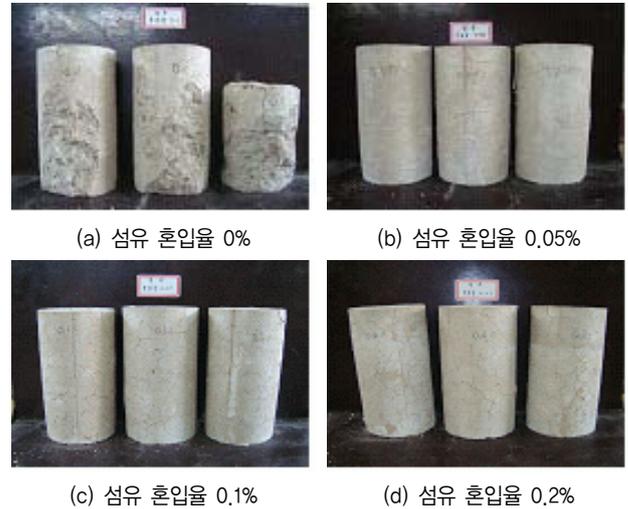


사진 1. 섬유 혼입율에 따른 폭발성상

그림 4는 3시간 내화전후 압축강도 특성을 나타낸 것으로, 전체적으로 내화 전 압축강도에서는 섬유혼입 변화에 상관없이 80MPa를 만족하는 것으로 나타났으며, 내화 후 잔존압축강도에서는 섬유 혼입율 0%의 경우 섬유혼입한 공시체보다 잔존압축강도가 미세하지만 낮은 현상을 나타냈으나 섬유 혼입율 0.2%에서는 0.05%, 0.1% 혼입한 공시체보다 낮은 강도현상을 보였다. 이는 섬유 혼입의 과다에 따른 공극이 많아져서 강도현상이 낮아졌다고 판단되며, 또한 섬유 영김현상에 의한 것이라고 판단된다.

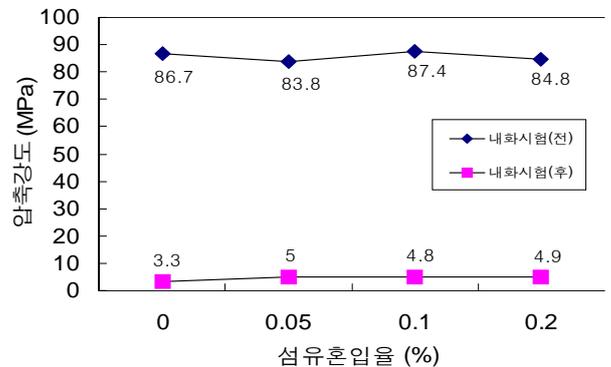


그림 4. 내화 전 · 후 압축강도

그림 5은 내화 후 잔존압축강도율과 질량감소율을 나타낸 것으로 섬유 혼입율 0.05%이상에서 잔존압축강도가 4MPa전후로 5~6%의 잔존압축강도율을 나타냈으며, 질량감소율에서는 가열전

공시체를 100%를 보았을 섬유 혼입율의 변화에 상관없이 질량감소율이 10%전후로 비교적 양호하게 나타났다.

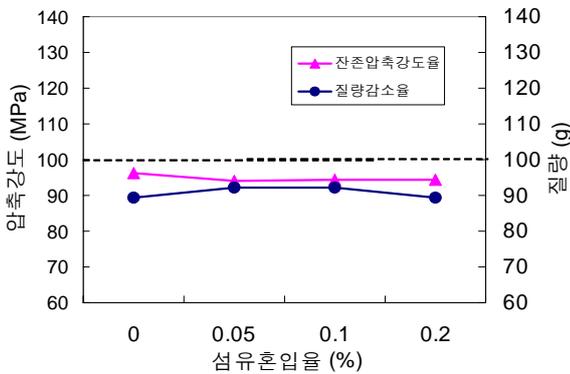


그림 5. 내화 전·후 잔존압축강도율, 질량감소율

#### 4. 결론

본 연구는 섬유 혼입율 변화에 따른 고강도 콘크리트의 재료물성과 내화특성에 대해 검토 한 것으로, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굳지않은 콘크리트의 유동특성은 섬유 혼입율 변화에 따라서는 모두 목표 공기량을 만족하였으며, 경화콘크리트의 특성인 압축강도에서는 섬유 혼입율이 증가함에 따라 재령 28일에 설계기준강도 80MPa를 만족하는 것으로 나타났다.
- 2) 3시간 내화시험 후 폭발특성으로 섬유 혼입율 0%의 경우는 폭발현상이 나타났으나, 0.05%이상에서는 모두 양호하게 폭발현상이 방지되는 것으로 나타났다. 3시간 내화시험 후 잔존압축강도율은 크게 저하하였으나 폭발발생되지 않은 공시체의 경우는 5~6%의 잔존압축강도율을 나타내었다. 또한 내화 후 질량감소율은 10%전후로 비교적 양호하게 나타났다.

즉, 80MPa이상의 3성분계 고강도콘크리트에서는 0.05%에서도 폭발이 방지되었다. 이는 고온가열시 혼합섬유가 녹아 생기는 공극으로 내부 수증기압이 밖으로 배출됨에 따라 폭발현상이 방지되는 것으로 분석되며, 또한 3성분계 고강도콘크리트로서 실리카흙의 미혼입에 의해 폭발현상이 적은 섬유혼입에서도 방지됨을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 05건설핵심기술연구개발사업(과제번호 : 05건설핵심 D11)의 지원 하에 수행된 ‘고강도 콘크리트를 이용한 초고층 공동주택 적용방안’ 연구의 일부로 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

#### 참고 문헌

1. 김홍렬, 서치호, 고온 가열시 콘크리트의 강도 영역별 물리적 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집 구조계, 제20권 제11호, pp.75~82, 2004
2. 한천구, 양성환, 한민철, 배장춘, 고강도 콘크리트의 폭발방지에 미치는 폴리머수지의 형태 및 혼입율의 영향, 대한건축학회 논문집 구조계, 제24권 제5호, 2008
3. J.G. Sanjayan, Design against spalling of concrete in fire, Proceeding of the First Korea-Australia Workshop on Recent Advances in high Performance Concrete, pp. 155~169, 2005
4. K.D. Hertz, Limits of spalling of fire-exposed concrete, Fire Safety Journal 38, pp.103~116, 2003