

# 나일론 섬유의 형상비 및 혼입률 변화에 따른 고강도 콘크리트의 폭렬특성

## Spalling Properties of High Strength Concrete Made with Various Aspect Ratios and Fiber Contents of Nylon Fiber

송용원\* 허영선\*\* 이성연\*\*\* 한창평\*\*\*\* 양성환\*\*\*\*\* 한천구\*\*\*\*\*  
Song, Yong-Won Heo, Young-Sun Lee, Seong-Yeun Hann, Chang-Pyung Yang, Seong-Hwan Han, Cheon-Goo

### Abstract

This study investigates the spalling properties of high strength concrete, 60-80MPa class, designed with diverse aspect ratios and fiber content of nylon(NY). Test showed that increase of fiber content and aspect ratio in concrete decreased the fluidity of fresh concrete, especially for 1580 and 3000 aspect ratio of fiber. As for the compressive and tensile strength, adding NY fiber did not significantly affect the values in the range of high strength. After completing the fire test, the specimens containing both 750 and 1000 aspect ratios of fiber protected the spalling occurrence even in 0.05vol.% of fiber content. This specimens indicated the residual compressive strength ratio at 37%, showing the most favorable value among other specimens. Therefore, it is demonstrated that to protect the spalling in high strength concrete considering the effective fluidity, strength and economic efficiency altogether, adding 0.05vol.% of NY fiber with 750 aspect ratio is beneficial.

키워드 : 고강도 콘크리트, 폭렬방지, 폭렬등급, 나일론섬유

Keywords : High Strength Concrete, Spalling Resistance, Spalling degree, Nylon Fiber

## 1. 서론

건축물은 화재시 인명보호를 최우선으로 해야 한다. 이에 따라 건축물은 일정시간 내화성능의 확보와 함께 구조적인 안전 대책을 반드시 마련해야 한다. 현행 건축법에는 건축물을 구성하고 있는 각종 부위의 내화구조 기준을 정하고 있기는 하지만, 이러한 건축법이 제정될 당시는 콘크리트 구조물의 대부분이 보통 콘크리트(40MPa 이하)로써, 화재시 콘크리트 구조체에는 심각한 피해가 발생하지 않을 뿐만 아니라 콘크리트 자체도 내화재료로 인식되어져 왔다.

그러나 최근의 건축물은 초고층화, 대규모화가 진행되면서 콘크리트의 경우도 고강도화가 꾸준히 진행되어져 왔다. 이와 같은 고강도 콘크리트는 그 조직이 치밀하여 화재 발생 시 급격한 온도 상승으로 인해 구조체 콘크리트의 구속응력보다 큰 수증기압이 발생함으로써 폭렬현상이 발생한다. 이러한 폭렬현상은 구조부재 피복콘크리트의 박락·비산과 함께 철근이 고온에 노출되어 심각한 구조내력 저하를 초래하여, 경우에 따라서는 건축물의 붕괴까지도 일으킬 수 있는 원인이 되기도 한다.

이러한 폭렬의 방지 방안으로는 콘크리트의 온도상승을 억제하는 방법, 빠르게 내부 수분을 외부로 이동시키는 방법, 콘크리트의 비산을 억제하는 방법 등이 있다. 이 중에서 열에 약한 유기섬유를 굳지 않은 콘크리트에 혼입하여, 콘크리트 내부의 수분을 빠르게 외부로 이동시킴으로써 콘크리트 자체의 내폭렬성을 높이는 것이 가장 저렴하고, 안전한 효율적인 방안으로 알려지고 있다.<sup>1)-3)</sup>

이와같은 연구의 일환으로 본 연구팀에서는 폭렬방지에 미치는 유기질 섬유의 영향요인을 분석하기 위해 폴리프로필렌 섬유, 나일론 섬유, 폴리비닐알코올 섬유 및 셀룰로오스 섬유 등 여러종류의 섬유에 대하여 실험하였는데, 가장 양호한 섬유는 나일론이었다. 그러므로 본 연구에서는 나일론(이하 NY) 섬유의 형상비 및 혼입률 변화에 따른 고강도 콘크리트의 내화특성에 대하여 검토함으로써, 최적의 NY섬유의 형상비 및 혼입률을 제안하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다. 즉, 실험요인으로 W/B 25% 1수준에 대해, 시멘트에 대한 질량비로 플라이애시 20%와 실리카 폼 10%를 동시에 치환한 것을 플레인 배합으로 하였다. 실험변수로서 나일론 섬유의 형

\* 청주대학교 건축공학부 석사과정, 정회원

\*\* 청주대학교 산업과학연구소 연구원, 정회원

\*\*\* 두산건설(주) 기술연구소 상무, 정회원

\*\*\*\* (주)한성종합기술단지건축사무소 기술연구소 소장, 정회원

\*\*\*\*\* 인천전문대학 건축과 교수, 공학박사, 정회원

\*\*\*\*\* 청주대학교 건축공학부 교수, 공학박사, 정회원

상비는 500, 750, 1000, 1580 및 3000의 5수준, 섬유 혼입률은 0.05, 0.10, 0.15%의 3수준으로 변화시켜 총 15수준을 실험 계획 하였다. 이때 배합사항으로 플레인 콘크리트는 목표 슬럼프플로우 700±100mm, 목표 공기량은 3.0±0.5%를 만족하도록 배합설계 한 후 실험변수별 동일한 배합조건을 적용하였다. 실험사항으로, 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프플로우, 공기량을 측정하고, 경화 콘크리트에서는 계획된 재령에서 압축강도, 폭렬유무, 폭렬등급, 잔존압축강도를 측정하는 것으로 하였다.

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
배합사항	W/B(%)	1	25
	목표슬럼프플로우 (mm)	1	700±100
	목표공기량(%)	1	3.0±0.5
	NY섬유 형상비 및 혼입율(%)	5	500, 750, 1000, 1580, 3000 (섬유길이 : 6, 9, 12, 19, 36mm)
실험사항	굳지 않은 콘크리트	• 슬럼프플로우(50cm도달 시간) • 공기량	
	경화 콘크리트	• 압축강도	
	내화시험	• 폭렬유무 • 폭렬등급 <sup>1)</sup> • 잔존압축강도	

1) 1등급 : 질량감소율 0~25%, 2등급 : 질량감소율 25~50%  
3등급 : 질량감소율 50~75%, 4등급 : 질량감소율 75~100%

표 2. 콘크리트의 배합표

W/B (%)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	S/a (%)	AE제 (%)	SP제 (%)	질량배합 (kg/m <sup>3</sup> )				
					C	FA	SF	S	G
25	160	45	0.04	1.3	448	128	64	660	810

## 2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트(밀도: 3.15g/cm<sup>3</sup>, 분말도: 3,302cm<sup>2</sup>/g)를 사용하였고, 골재는 충남 조치원산의 부순 굵은골재(밀도: 2.61g/cm<sup>3</sup>, 조립률: 6.56) 및 부순 잔골재와 강모래를 6:4의 비율로 혼합한 혼합잔골재(밀도: 2.60g/cm<sup>3</sup>, 조립률 2.81)를 사용하였다. 혼화재료로써 플라이애시(밀도: 2.21g/cm<sup>3</sup>, 분말도: 4,061cm<sup>2</sup>/g)는 국내산, 실리카퓌(밀도: 2.20g/cm<sup>3</sup>, 분말도: 200,000cm<sup>2</sup>/g)은 노르웨이산, 고로슬래그미분말(밀도: 2.90g/cm<sup>3</sup>, 분말도: 4,580cm<sup>2</sup>/g)은 광양제철소산을 사용하였다. 고성능감수제는 E사의 폴리칼본산제와 음이온계 AE제를 사용하였고, 폭렬방지용 유기섬유로써 NY섬유(직경: 0.012mm, 밀도: 1.15kg/m<sup>3</sup>)는 S사 제품을 사용하였다.

## 2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합하였고, 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프플로우는 KS F 2594, 슬럼프플로우 50cm도달시간은 JASS 5 및 JSCE의 SCC 성능평가 기준을 참고하여 측정하였으며, 공기량은 KS F 2421의 규정에 의거 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 Ø100×200mm 공시체를 제작하여, 계획된 재령에서 KS F 2405의 규정에 의거 실

시하였고, 내화시험은 시험체를 바닥가열로에 설치한 후 KS F 2257-1에서 규정한 표준가열곡선에 의거하여 1시간 비가력 조건으로 실시하였다. 내화시험 후 공시체의 폭렬여부는 육안으로 관찰하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

먼저, 공기량은 모두 목표공기량인 3.0±0.5%의 범위를 만족하였다.

그림 1은 NY섬유의 형상비 별 혼입률 변화에 따른 슬럼프플로우를 나타낸 그래프이다.

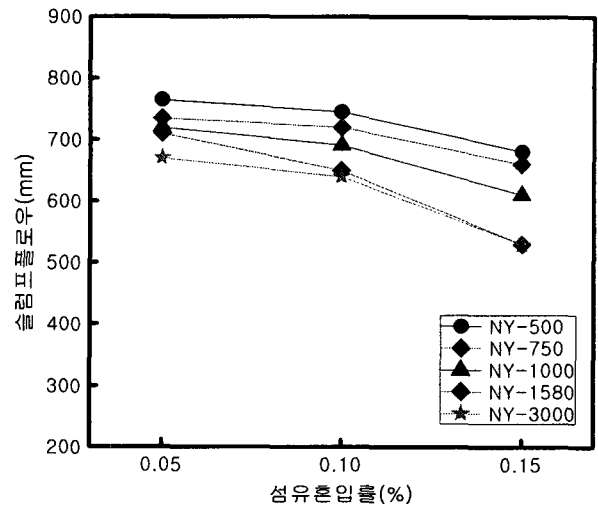


그림 1. NY섬유 혼입률 변화에 따른 슬럼프플로우

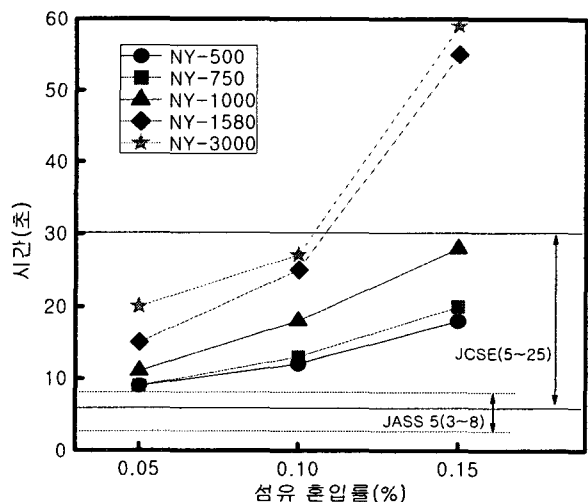


그림 2. NY섬유 혼입률 변화에 따른 슬럼프플로우 50cm도달시간

섬유의 혼입률이 증가할수록 형상비가 클수록 유동성은 감소하는 것으로 나타났으며, 특히 섬유 형상비 1580과 3000에서는 섬유의 혼입률이 0.15%일 경우 목표 슬럼프플로우치에 미치지 못하는 것으로 나타났다. 섬유형상비 1000인 경우 섬유의 혼입률이 증가함에 따라 약 4~12% 유동성이 저하 하였고, 그

이하에서는 약 3~9% 그 이상에서는 약 8%~18%까지 유동성이 저하하는 것으로 나타났다. 이는 섬유형상비가 작을수록 섬유 혼입률이 적을수록 유동성 측면에서는 양호한 성능을 나타내는 것으로 판단된다.

그림 2는 NY섬유 혼입률 변화에 따른 슬럼프플로우 50cm도 달시간을 나타낸 그래프이다.

일부에서는 JASS 5에서 규정한 3~8초 범위를 상회하는 것으로 나타났으나, 대부분의 경우 JCSE에서 SCC의 성능평가 기준 1등급 범위인 5~25초 범위를 만족하는 것으로 나타났다. 단, 섬유형상비 1580과 3000에서 섬유 혼입률 0.15%일 경우 급격한 유동성의 저하가 나타났다

### 3.2 경화 콘크리트의 특성

#### 3.2.1 강도특성

그림 3, 4는 NY섬유의 형상비 별 혼입률 변화에 따른 압축강도 및 인장강도를 나타낸 그래프이다.

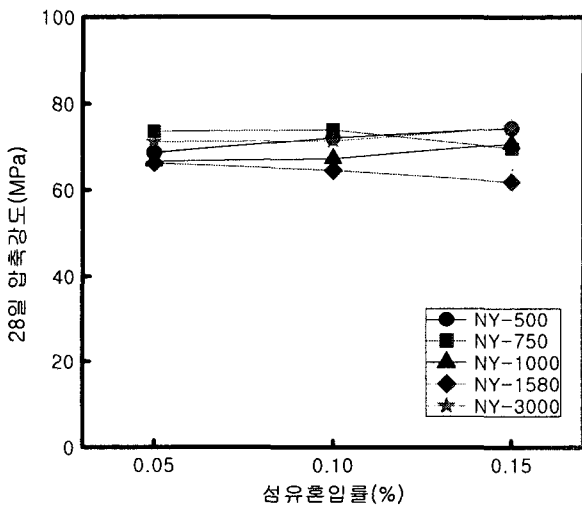


그림 3. NY섬유 혼입률 변화에 따른 압축강도

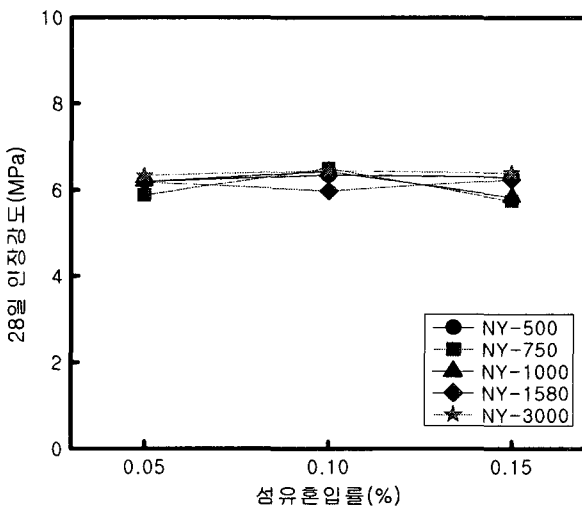


그림 4. NY섬유 혼입률 변화에 따른 인장강도

섬유의 혼입률 및 형상비 변화에 따라서 다소 차이를 나타내고 있으나 공기량의 영향 및 실험적 오차수준을 제외할 경우

큰 차이는 없는 것을 확인할 수 있었다. 또한 인장강도는 압축강도의 약 9%정도 발현하는 것으로 나타났고, 각 변수에 따라서는 뚜렷한 경향을 나타내지는 않았다. 이는 고강도 영역에서 NY섬유의 혼입률이 압축강도나 인장강도에 큰 영향을 미치지 않음에 기인한 것으로 판단된다.

#### 3.2.2 폭렬특성

사진 1은 1시간 비가력 내화시험 후 시험체의 폭렬성상 및 폭렬등급을 나타낸 것이다.

전체적으로, 고온가열시 NY섬유 혼입률이 증가할수록 섬유가 녹아 생긴 공극을 통해 내부에서 발생된 수증기가 용이하게 배출되어 콘크리트 내부 수증기 압력상승에 의해 발생하는 폭렬현상이 방지되는 것으로 분석되었다. 섬유형상비 변화에 따라서는 섬유형상비 750과 1000에서 혼입률이 0.05%인 경우에도 폭렬이 방지되는 것으로 나타났다. 이는 기존의 연구개발인 PP섬유 0.1%혼입으로 폭렬을 방지하는 방법보다 절반의 양으로써 시공성 및 경제성면에서도 우수한 결과를 나타낸 것으로 분석된다.4) 단, 형상비 1580과 3000의 경우는 기존의 섬유형상비가 클수록 내부 수증기압의 통로역할을 보다 원활히 수행하여 폭렬을 방지 하였던 기존 연구와는 상이한 결과를 나타내었는데, 이는 형상비 1580이상에서는 원활하지 못한 섬유의 분산성에 기인하여 오히려 폭렬이 더욱 심하게 발생한 것으로 판단된다.

그림 5는 내화시험 후 잔존압축강도율을 측정된 그래프이다. 형상비 750, 1000의 시험체는 섬유 혼입률 0.05%에서도 폭렬이 방지되어 35%이상의 양호한 잔존압축강도율을 나타내었고, 그 이하 및 이상의 형상비에서는 오히려 낮은 잔존압축강도율을 나타내었다.

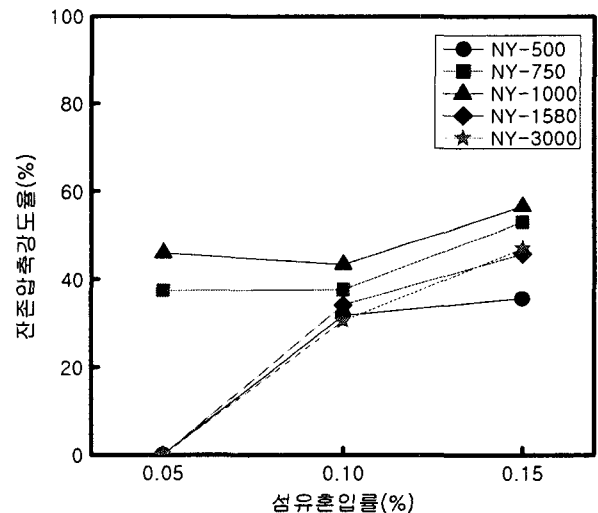


그림 5. NY섬유 혼입률 변화에 따른 잔존압축강도

## 4. 결론

본 연구에서는 NY섬유의 형상비 및 혼입률 변화에 따른 폭렬특성에 대하여 검토하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

	NY-500			NY-750			NY-1000			NY-1580			NY-3000		
섬유 혼입률 0.05%															
	3등급	4등급	4등급	3등급	3등급	3등급	1등급	1등급	1등급	1등급	3등급	1등급	1등급	2등급	3등급
섬유 혼입률 0.10%															
	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급
섬유 혼입률 0.15%															
	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급	1등급

사진 1. NY섬유의 형상비 및 혼입률 변화에 따른 폭렬 성상

- 1) 굳지않은 콘크리트의 특성으로, 섬유 혼입률이 증가할수록 유동성은 감소하였는데, 형상비 1580과 3000의 0.15%를 혼입한 경우를 제외하고는 모두 양호한 유동성을 나타내었다.
- 2) 경화 콘크리트의 특성으로, 재령 28일 압축강도는 60~80 MPa 정도로 나타났고, NY섬유의 형상비 및 혼입률의 변화에 따라서는 압축강도와 인장강도에 뚜렷한 변화경향이 나타나지 않았다.
- 3) 내화시험 후 폭렬특성으로 NY섬유 0.10% 이상 혼입한 경우 폭렬이 모두 방지되는 것으로 나타났고, 잔존압축강도율은 약 30%이상인 것으로 분석되었다. 특히 형상비 750 과, 1000의 경우 섬유혼입률 0.05%에서도 폭렬을 방지 하는 것으로 나타났고, 잔존압축강도율도 37%이상으로 양호한 것으로 나타났다.
- 4) 이상을 종합하면 NY섬유의 형상비는 750에 섬유혼입률은 0.05%일 때 유동성, 강도, 내화성 및 경제성 측면에서 가장 최적의 조건임을 알 수 있었다.

### 참 고 문 헌

1. 한천구; 비폭열성 콘크리트, 콘크리트 학회지, 제10권 6호, pp.5~10. 1998. 12
2. 김무한, 나철성, 장재봉, 권영진; 고성능 콘크리트의 폭렬현상과 대책에 관한 연구 동향, 콘크리트학회지, 17권 3호, pp.20~25, 2005. 05
3. 이병열; 화재시 고성능 콘크리트의 폭렬방지에 관한 연구, 청주대학교 박사학위논문, 2001. 12
4. 한천구, 허영선, 송용원; 폴리프로필렌섬유의 형상비 및 길이조합 변화에 따른 고강도 콘크리트의 폭렬특성, 청주대학교 산업과학연구구, 제24권 2호 2007. 2

### 감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 '콘크리트 코리아 연구단'에서 주관하여 시행한 2006년도 건설핵심기술연구개발사업 「05-CCT-D11, 고성능·다기능 콘크리트의 개발 및 활용기술」 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.