

# 혼입 섬유종류 변화에 따른 고온가열 고강도 콘크리트의 역학적 특성

## Mechanical Properties of High Strength Concrete Subjected to Elevated Temperature Depending on Fiber Types and Contents

김 상 식\*    송 용 원\*\*    이 보 형\*\*\*    양 성 환\*\*\*\*    김 성 수 \*\*\*\*\*    한 천 구\*\*\*\*\*  
Kim, Sang-Shik   Song, Yong-Won   Lee, Bo-Hyeong   Yang, Seong-Hwan   Kim, Seoung-Soo   Han, Cheon-Goo

### Abstract

This study investigates the mechanical properties of the high strength concrete in the region of 80MPa corresponding to the temperature and fiber content change. For the properties of the fresh, slump flow is  $600 \pm 100$ mm, and air content is  $3.0 \pm 1.0\%$ . They satisfy each targets, and there was no difference for the each fiber types. As the propertied of the hardened concrete, the compressive strength at 28 days is indicated over 80MPa, and they are similar to the change of the fiber types. The residual compressive strength in response to the temperature change of the NY, PP, and NY+PP fiber at  $200^\circ\text{C}$  are increased by 115, 114, and 110% on the standard condition, and it is suddenly decreased at  $400^\circ\text{C}$ . They are decreased by 33, 19, and 16% on the standard condition at  $800^\circ\text{C}$ .

키 워 드 : 고강도 콘크리트, 가열온도, 나일론섬유, 폴리프로필렌섬유, 섬유혼입 콘크리트  
Keywords : High Strength Concrete, Heating Temperature, Nylon Fiber, Polypropylene Fiber, Fiber Mixed Concrete

## 1. 서 론

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

이러한 폭발의 방지 방안으로는 콘크리트의 온도상승을 억제하는 방법, 빠르게 내부수분을 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 효율적인 방안으로 알려지고 있다.

따라서, 본 연구에서는 기존의 연구결과를 토대로 80MPa급 고강도 콘크리트에 나일론섬유, 폴리프로필렌섬유 등 유기섬유를 혼입하고, 가열온도를  $20^\circ\text{C}$ 에서  $200^\circ\text{C}$ ,  $400^\circ\text{C}$ ,  $600^\circ\text{C}$  및  $800^\circ\text{C}$ 로 변화시켜 가열온도변화에 따른 콘크리트의 역학적 특성

을 검토함으로써, 실제 화재시 온도이력에 따른 콘크리트의 역학적 특성분석에 기초적 자료로 활용하고자 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 하고, 실험변수로서 섬유의 종류(혼입율)로는 나일론(0.05vol.%), 나일론과 폴리프로필렌섬유를 동시에 사용한 것(0.05vol.%), 폴리프로필렌섬유(0.10vol.%)의 3수준, 가열온도는  $200^\circ\text{C}$ ,  $400^\circ\text{C}$ ,  $600^\circ\text{C}$  및  $800^\circ\text{C}$ 의 4수준으로 변화시켜 총 12수준을 실험계획 하였다. 이때 배합사항으로 플레인 콘크리트는 목표 슬럼프플로우  $600 \pm 100$ mm, 목표 공기량은  $3.0 \pm 1.0\%$ 를 만족하도록 배합설계 한 후 실험변수별 동일한 배합조건을 적용하였다.

실험사항으로, 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프플로우, 공기량을 측정하고, 경화 콘크리트에서는 계획된 재령에서 압축강도 및 가열온도 변화에 따른 잔존압축강도를 측정하는 것으로 하였다.

\* 청주대학교 대학원 박사과정, 정회원

\*\* 청주대학교 대학원 석사과정, 정회원

\*\*\* 두산건설(주) 기술연구소 차장, 정회원

\*\*\*\* 인천전문대학 건축과 교수, 공학박사, 정회원

\*\*\*\*\* 청주대학교 건축공학부 교수, 공학박사, 정회원

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
배합사항	W/B(%)	1	25
	목표슬럼프플로우 (mm)	1	600±100
	목표공기량(%)	1	3.0±1.0
	섬유 종류 및 혼입율(%)	3	NY <sup>1)</sup> (0.05)
			NY+PP <sup>2)</sup> (0.05)
PP(0.10)			
가열온도(°C)	4	200, 400, 600, 800	
실험사항	굳지 않은 콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 슬럼프플로우</li> <li>• 공기량</li> </ul>	
	경화 콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 압축강도(28일)</li> <li>• 가열시험                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전기로(200, 400, 600, 800°C)</li> <li>- 잔존압축강도</li> </ul> </li> </ul>	

1) NY: 나일론

2) PP: 폴리프로필렌

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 충북 옥산산의 부순 굵은골재(밀도: 2.61g/cm<sup>3</sup>, 조립률: 6.55) 및 잔골재는 경기 수원산 강모래(밀도: 2.7g/cm<sup>3</sup>, 조립률 2.7)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 노르웨이산을 사용하였다. 고성능감수제는 E사의 폴리칼본산계와 음이온계 AE제를 사용하였고, 폭발방지용 유기섬유로써 S사의 NY섬유(직경: 0.012mm, 밀도: 1.15g/cm<sup>3</sup>, 길이: 12mm)와 PP섬유(직경: 0.04mm, 밀도: 0.9g/cm<sup>3</sup>, 길이: 19mm)를 사용하였다.

## 2.3 실험방법

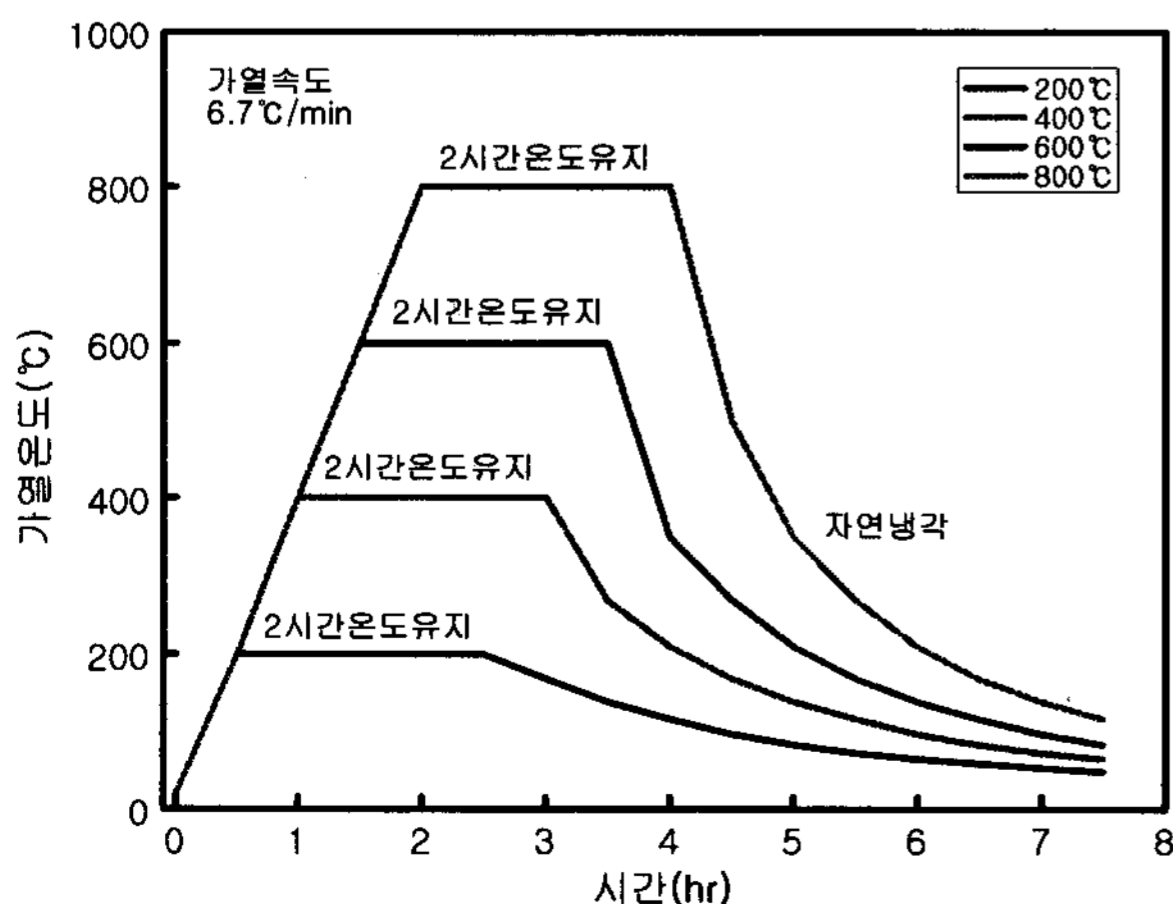


그림 1. 온도가열곡선



사진 1. 전기로(좌)와 LVDT를 이용한 응력-변형측정 모습(우)

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합하였고, 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프플로우는 KS F 2594, 공기량은 KS F 2421의 규정에 의거 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 Ø100×200mm 공시체를 제작하여, 계획된 재령에서 KS F 2405의 규정에 의거 실시하였고, 전기로 가열 실험은 그림 1과 같이 6.7°C/min의 가열속도로 온도를 상승시켜 각각 200, 400, 600 및 800°C에서 2시간동안 최고온도를 유지한 후 자연냉각 시킨다음 압축강도 및 응력-변형도 곡선을 측정 하였다. 이때 응력은 로드셀을 이용하였고, 변형량은 LVDT를 사진 1과 같이 사용하여 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

그림 2는 섬유의 종류변화에 따른 슬럼프플로우 및 공기량을 나타낸 것이다.

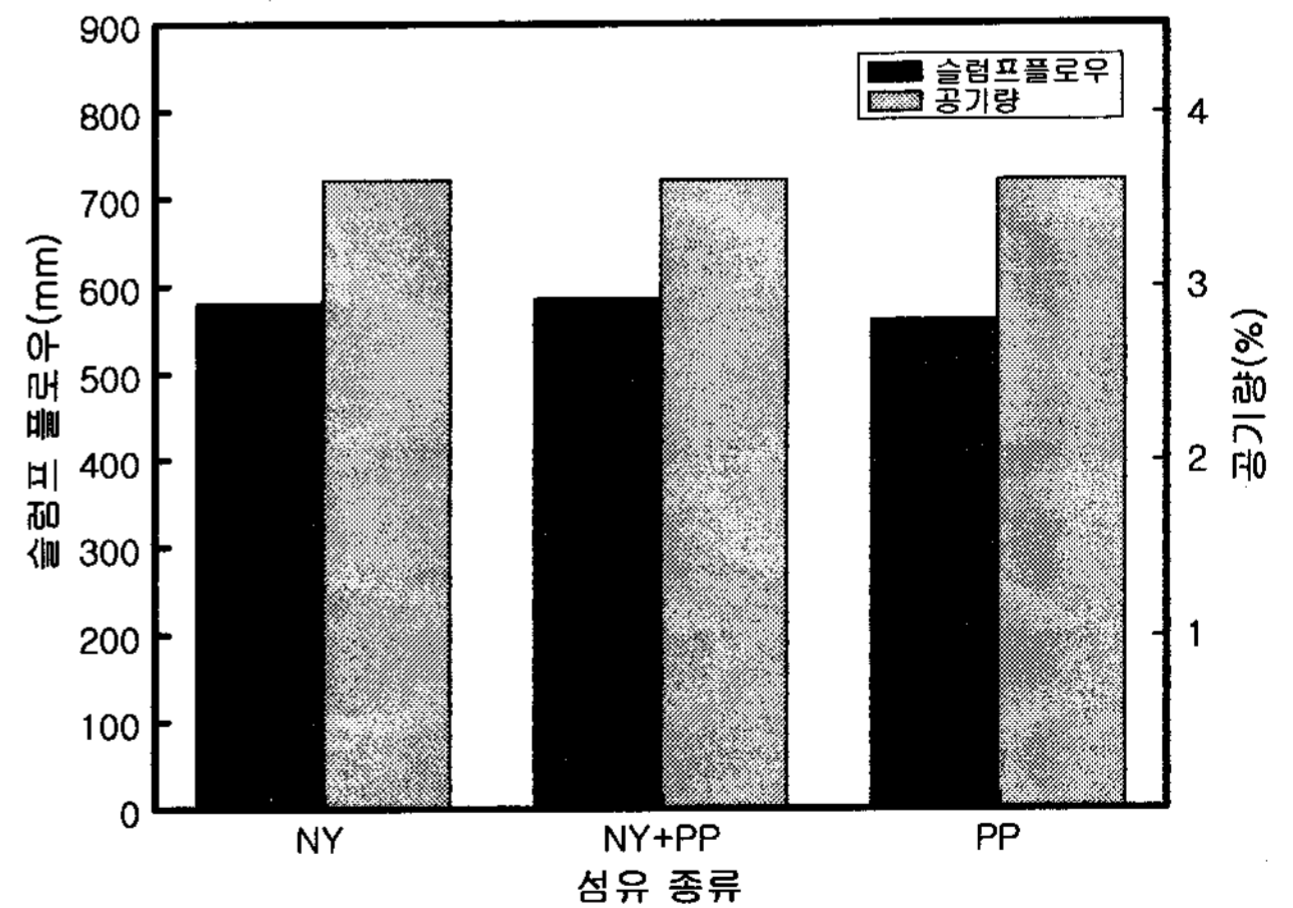


그림 2. NY섬유 혼입률 변화에 따른 슬럼프플로우

먼저 유동특성으로, 플레인 콘크리트는 목표 슬럼프플로우 600±100mm를 만족하는 것으로 나타났고, 섬유의 종류변화에 따라서는 NY섬유와 NY+PP섬유를 0.5% 혼입한 경우 비교적 양호하게 나타났으나, PP섬유를 0.10% 혼입한 경우는 슬럼프플로우가 약간 저하하는 것으로 나타났는데, 이는 섬유의 혼입율의 증가에 따른 엉킴현상에 기인한 것으로 분석되며, 유동성에는 큰 차이가 없는 것으로 판단된다.

섬유의 종류변화에 따른 공기량은 모두 목표공기량인  $3.0 \pm 1.0\%$ 의 범위를 만족하였고, 큰 차이 없이 유사한 경향을 나타내었다.

### 3.2 경화 콘크리트의 특성

#### 3.2.1 압축강도특성

그림 3은 섬유의 종류변화에 따른 28일 압축강도 그래프를 나타낸 것이다.

28일 압축강도는 공히 80MPa이상으로 고강도범위를 나타내었고, 섬유의 종류변화에 따라서는 NY섬유 및 NY+PP섬유 0.05vol.% 혼입한 경우가 PP섬유 0.1vol.%를 혼입한 경우보다 높게 나타났지만, 큰 차이는 아닌 것으로 사료된다.

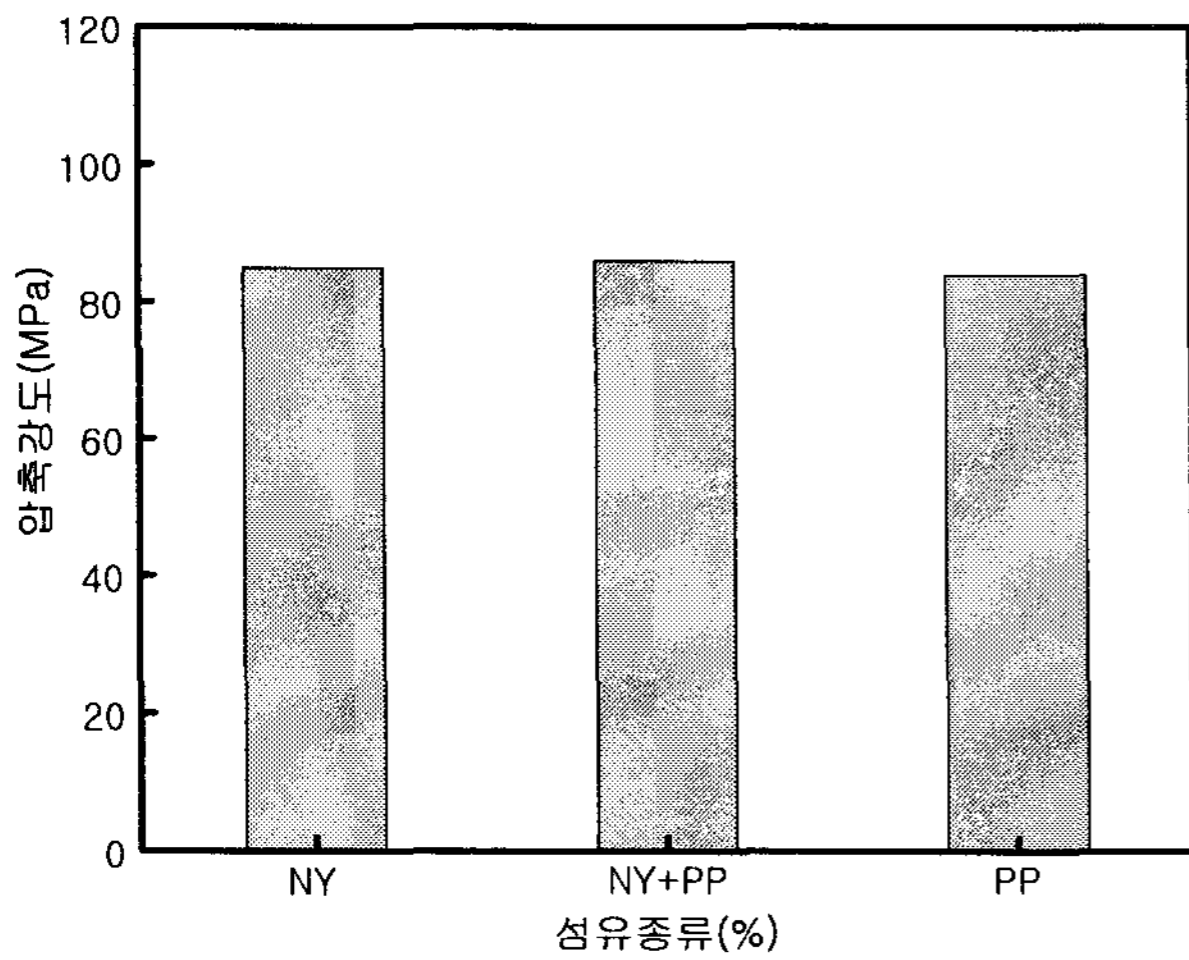


그림 3. 재령 28일 압축강도

#### 3.2.2 잔존압축강도 특성

그림 4-6은 섬유종류별 가열온도 변화에 따른 응력-변형곡선을 나타낸 그래프이다.

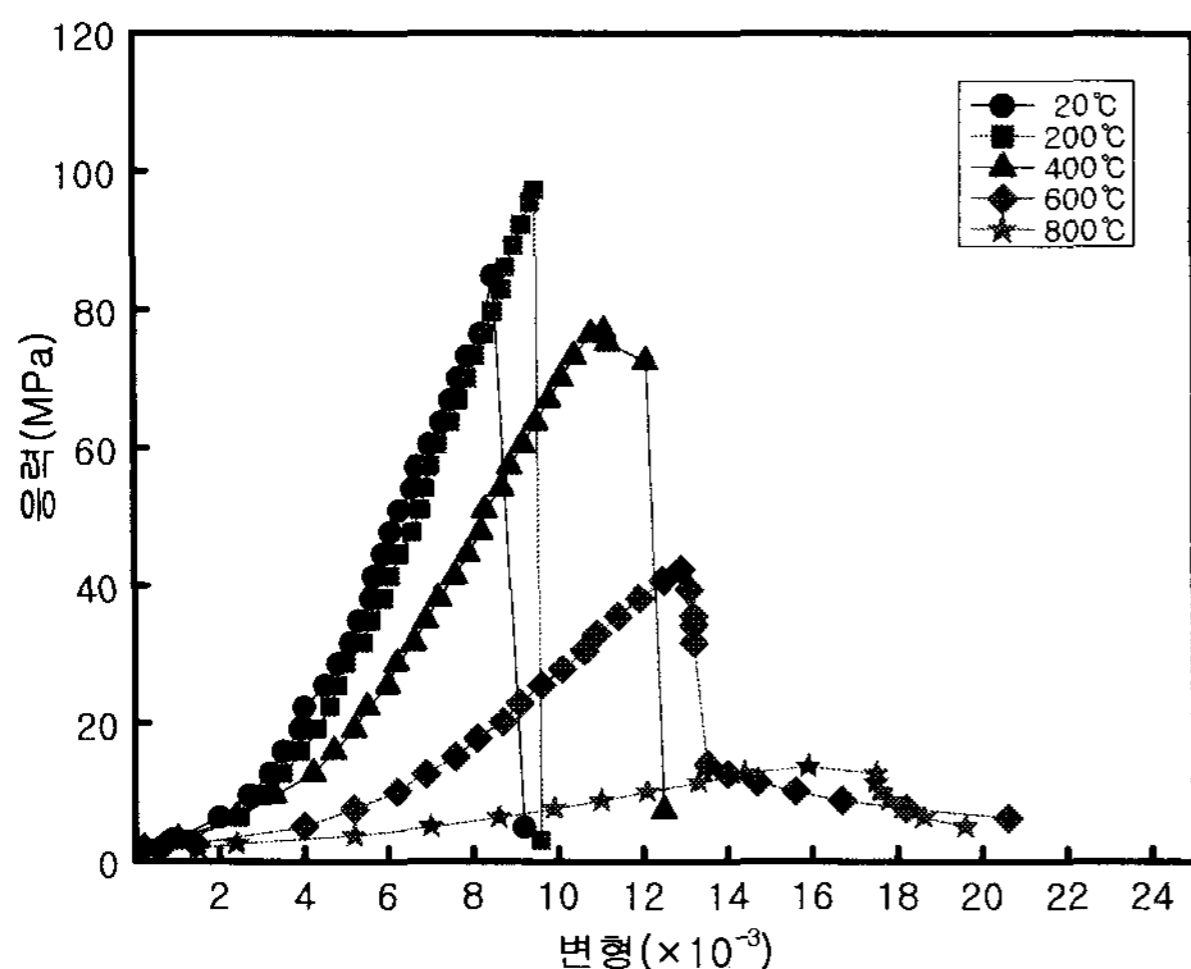


그림 4. 가열온도 변화에 따른 응력-변형곡선(NY)

전체적으로, 가열온도 200°C의 경우 20°C 상온에서 측정된 응력-변형곡선과 거의 유사한 경향을 나타내었고, 최종 응력은

오히려 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 초기의 수화반응이 활발히 진행되어 오히려 강도가 증진된 것으로 판단된다. 또한, 400°C 이상 가열조건하에서는 응력이 급격히 저하하고, 변형률이 크게 증가 하는 것으로 나타났는데, 이는 고온에 의한 콘크리트 내부의 열응력차이 및 내부 수증기압의 증대로 콘크리트 조직에 균열을 발생시킴에 기인하여 내력저하를 일으킨 것으로 분석된다.

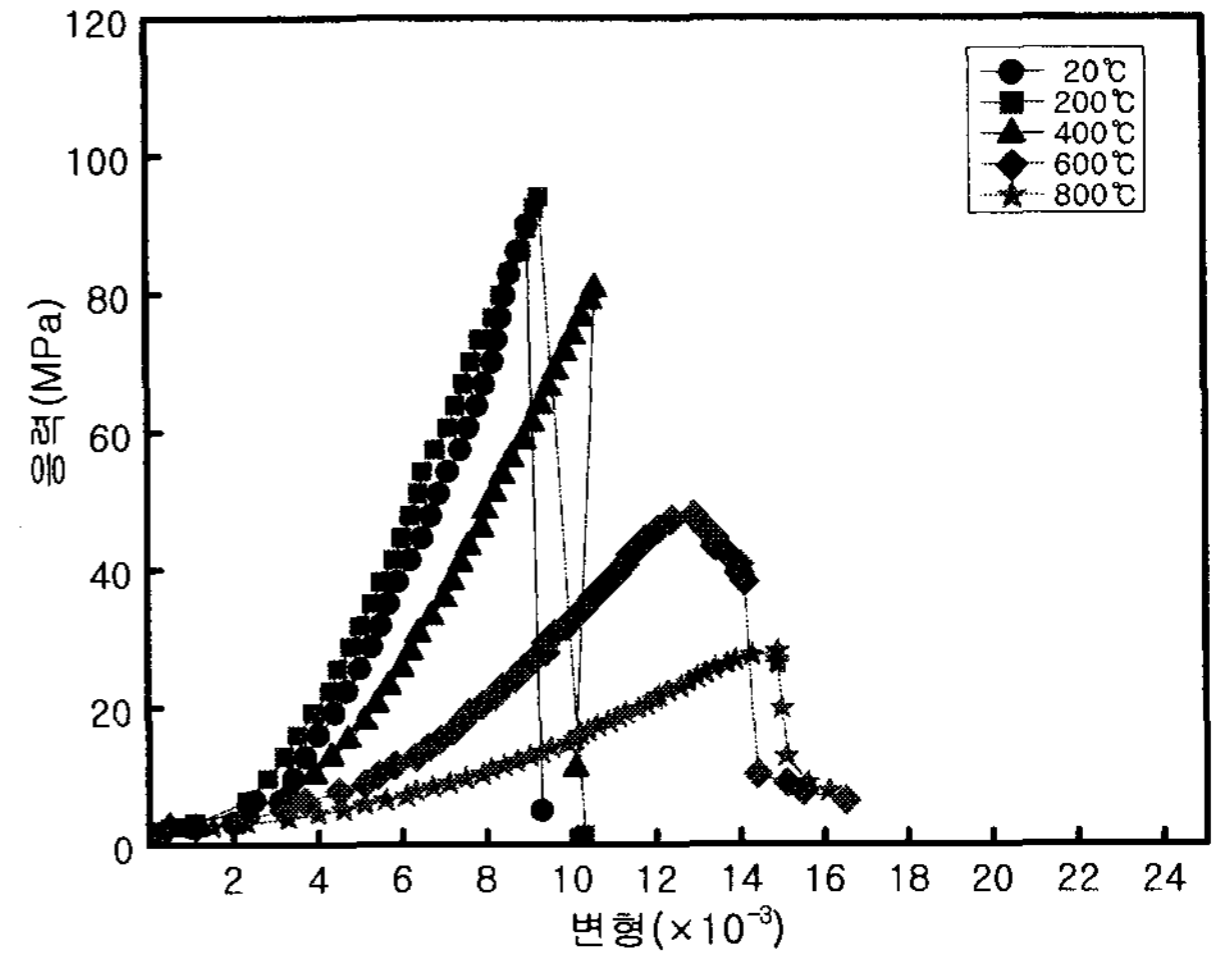


그림 5. 가열온도 변화에 따른 응력-변형곡선(NY+PP)

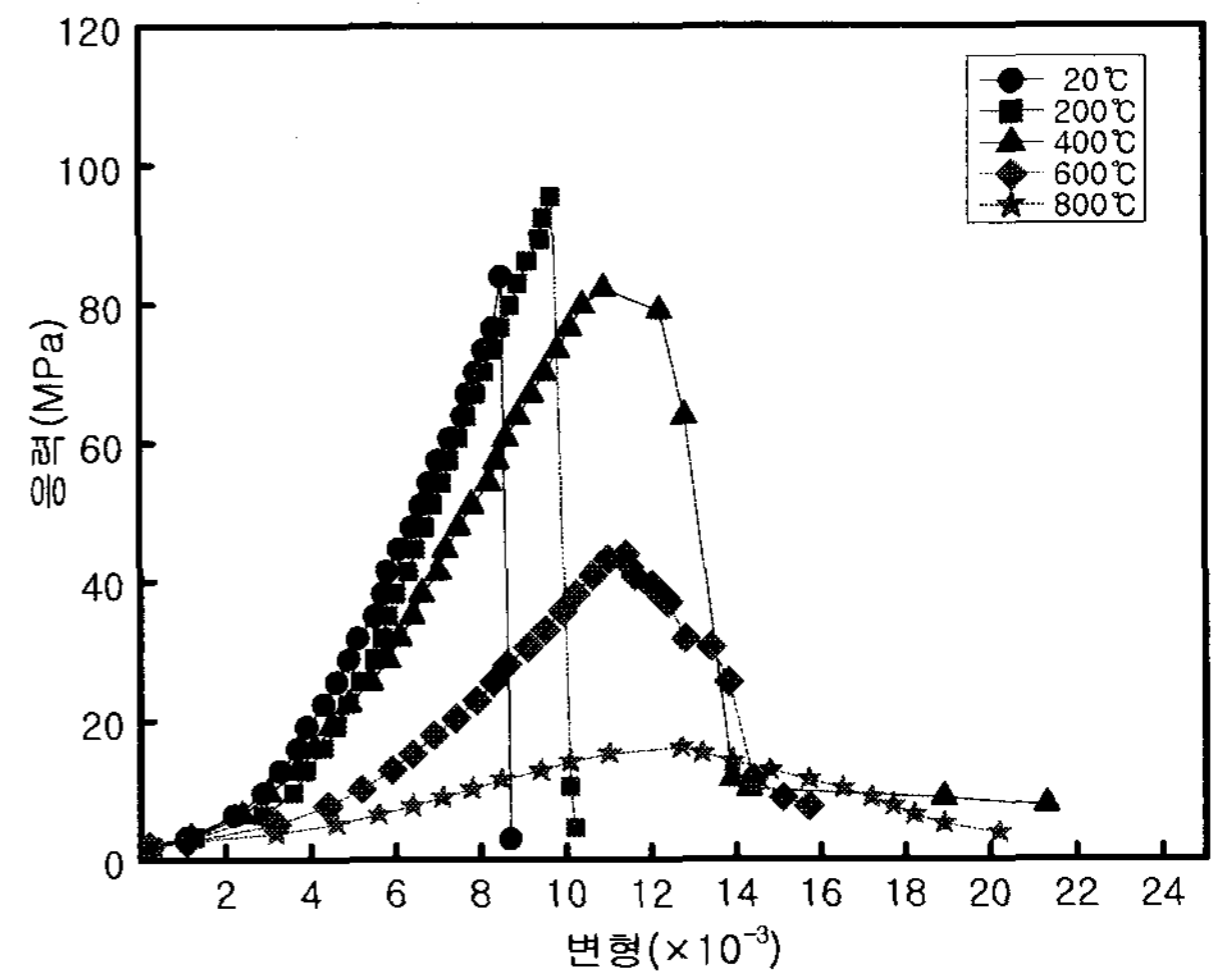


그림 6. 가열온도 변화에 따른 응력-변형곡선(PP)

그림 7, 8은 각각 섬유의 종류별 가열온도변화에 따른 압축강도 및 잔존압축강도율을 나타낸 것이다.

먼저, 가열온도변화에 따른 잔존압축강도는 200°C에서 섬유의 종류별에 따라 NY섬유, PP섬유 및 NY+PP섬유 순으로 각각 97MPa, 95MPa 및 94MPa로 나타나 20°C 표준조건하에서의 압축강도에 비해 각각 115%, 114% 및 110%로 증가하는 경향을 나타냈고, 400°C 이상에서는 강도가 급격히 저하하는 경향을 나타내었는데, 가열온도 800°C에서의 압축강도는 NY+PP섬유, PP섬유 및 NY섬유 순으로 각각 28MPa, 16MPa 및 14MPa로 나타나 20°C 표준조건하에서의 압축강도에 비해 각각 33%, 19% 및 16%까지 저하하는 것으로 나타났다.

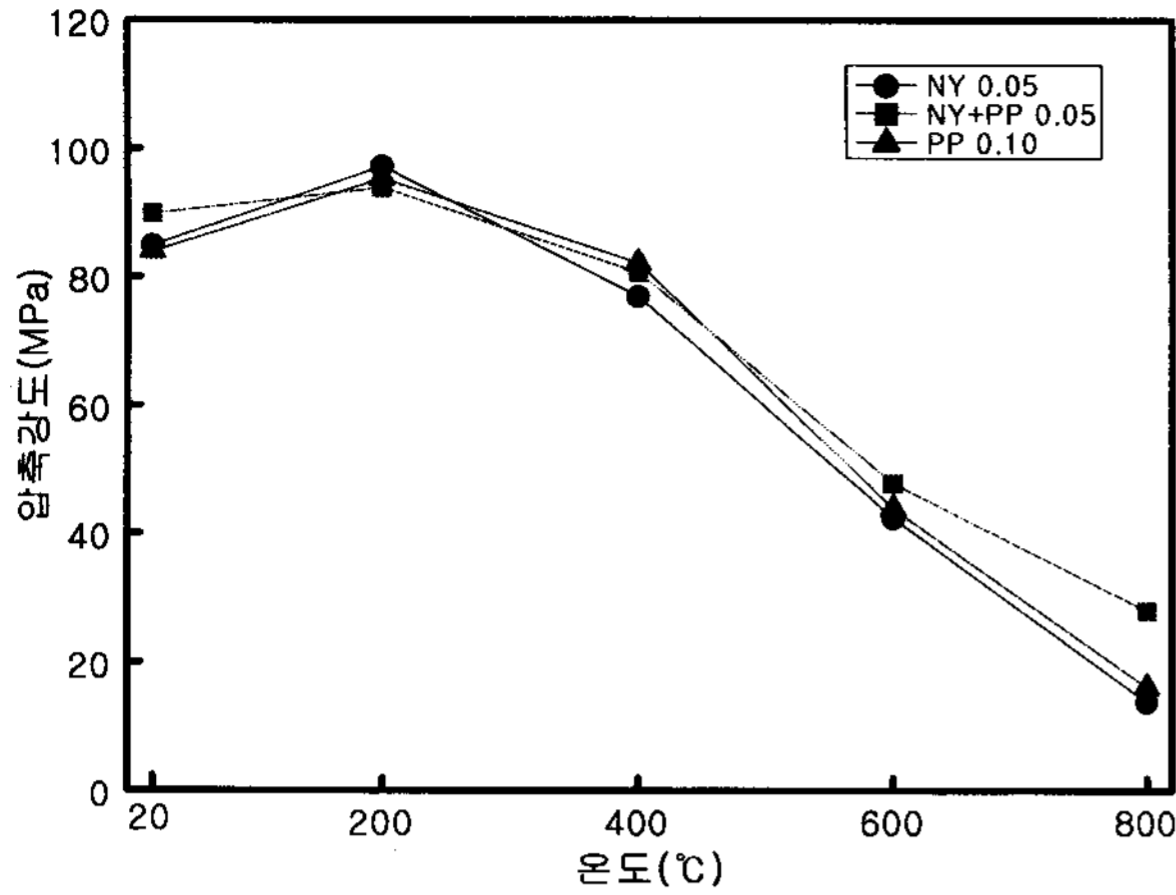


그림 7. 가열온도 변화에 따른 압축강도

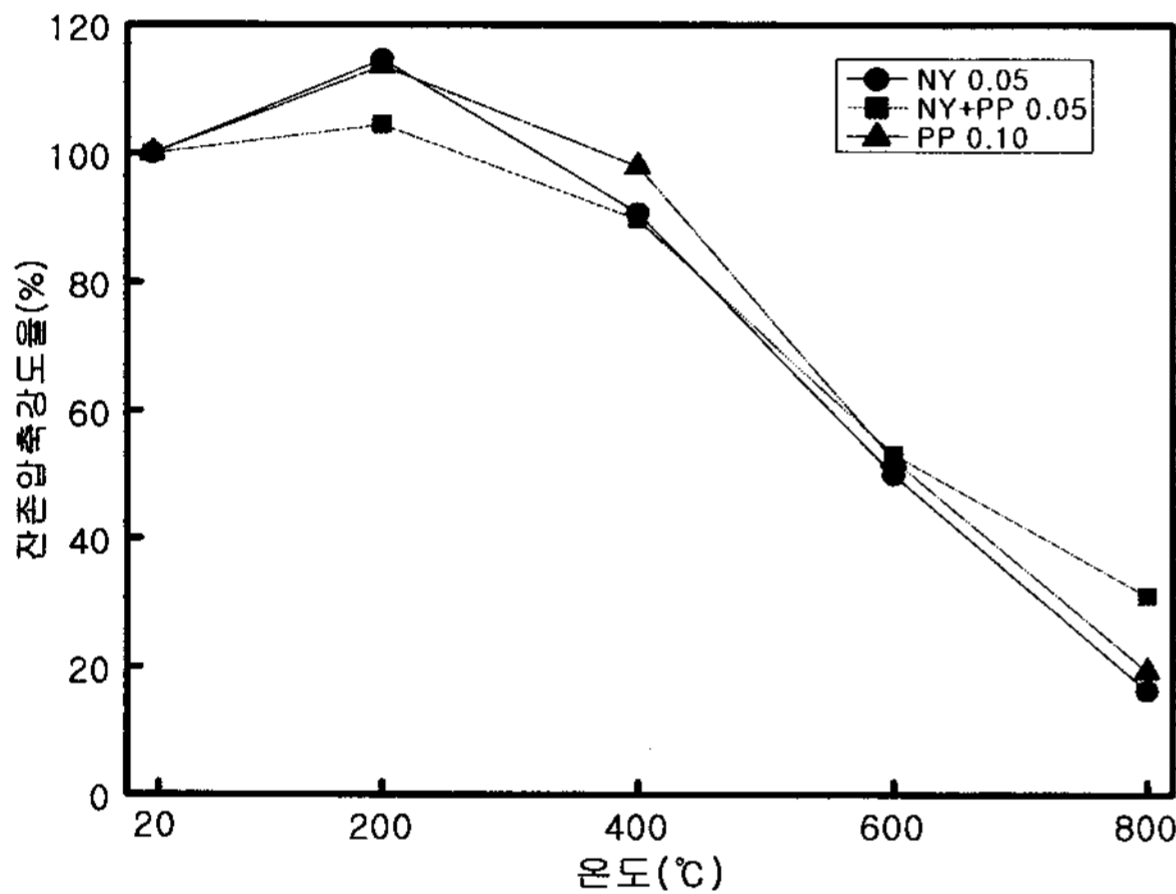


그림 8. 가열온도 변화에 따른 압축강도율

로 각각 20°C 표준조건하에서의 압축강도에 비해 각각 33%, 19% 및 16%로 저하하는 경향을 나타냈다.

### 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.

### 참고 문헌

1. 송훈, 추용식, 이종규; 고강도콘크리트의 고온에 의한 강도특성 변화, 대한건축학회, 제26권, 1호 2006
2. 윤현도, 김규용, 한병찬; 고온을 받은 고강도 콘크리트의 강도특성, 콘크리트학회논문집, 제14권, 5호, 2002
3. 한천구; 비폭열성 콘크리트, 콘크리트 학회지, 제10권 6호, pp.5~10. 1998. 12
4. 한천구, 양성환, 지석원, 김호림, 배장춘, 장기현; 나일론 및 폴리프로필렌섬유 복합혼입에 따른 고강도 콘크리트의 폭열특성, 한국구조물진단학회, 제 11권, 1호 2007
5. Carlos Castillo, A. J. Durrani; Effect of Transient High Temperature on High-Strength Concrete, ACI Materials Journal, Vol. 87, No. 1, 1990
6. Hertz K.; Danish Investigations on Silica Fume Concretes at Elevated Temperatures, Proceedings, ACI 1991 Spring Convention, Boston, MA, March PP.17~21

## 4. 결 론

본 연구에서는 혼입섬유 종류 변화 및 가열온도변화에 따른 80MPa급 고강도 콘크리트의 역학적 특성을 검토하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 80MPa급(W/B 25%) 고강도 콘크리트의 혼입섬유 종류변화에 따른 슬럼프플로우는 공히 목표 슬럼프플로우 600±100mm, 목표공기량 3.0±1.0%의 범위를 만족하였는데, 섬유종류별로는 큰 차이없이 유사한 경향을 나타내었다.
- 2) 경화 콘크리트의 특성으로, 재령 28일 압축강도는 80MPa 이상 고강도 범위를 나타내었고, 섬유의 종류변화에 따라서는 큰 차이가 없이 모두 유사한 경향을 나타내었다.
- 3) 가열온도 변화에 따른 잔존압축강도는 200°C에서 섬유의 종류별에 따라 NY섬유, PP섬유, NY+PP섬유 순으로 각각 20°C 표준조건하에서의 압축강도에 비해 115%, 114% 및 110%로 증가하는 경향을 나타냈고, 400°C 이상에서는 강도가 급격히 저하하는 경향을 나타내었는데, 가열온도 800°C에서의 압축강도는 NY+PP섬유, PP섬유 및 NY섬유 순으