

# 물결합재비 및 섬유종류 변화에 따른 고강도 모의 구조체의 폭렬특성

## Spalling Properties of High Strength RC Column in accordance with Various W/B and Fiber Types

한 천 구\*      김 성 수 \*      김 상 식\*\*      지 석 원\*\*\*      오 원 영\*\*\*\*      송 용 원\*\*\*\*  
Han, Cheon-Goo      Kim, Seoung-Soo      Kim, Sang-Shik      Jee, Suk-Won      Oh, Won-Young      Song, Yong-Won

### Abstract

This study provides the practical application of the concrete using fiber to protect from fire studied by previous research. The fluidity and air content is satisfied with the targets, and the compressive strength is over 60MPa on W/B 35% and 80MPa on W/B 20 and 25%. For the properties of the spalling after the fire test, there is no spalling or slight occurrence on the specimens. However, for the RC column, the covering concrete fall off caused by spalling occurrence. Based on the results, it is thought that the fiber content should be put into the safety factor to prevent spalling for the structures.

키 워 드 : 고강도 콘크리트, 물결합재비, 폭렬방지, 섬유종류, 나일론 섬유, 폴리프로필렌 섬유, 모의구조체  
Keywords : High Strength Concrete, Water-binder ratio, Spalling Resistance, Fiber Type, Nylon Fiber, Polypropylene, RC Column

## 1. 서 론

건축물은 화재시 인명보호를 위한 피난대책을 최우선으로 고려해야 하며, 또한 건축물은 일정시간 내화성능의 확보와 함께 구조적인 안전대책을 반드시 마련해야 한다. 특히, 고강도 콘크리트는 그 조직이 치밀하여 화재 발생 시 급격한 온도 상승으로 인해 구조체 콘크리트의 구속응력보다 큰 수증기압이 발생함으로써 폭렬현상이 발생하고, 이러한 폭렬현상은 구조부재 피복콘크리트의 박락비산과 함께 철근이 고온에 노출되어 심각한 구조내력 저하를 초래하여, 경우에 따라서는 건축물의 붕괴까지도 일으킬 수 있는 원인이 되기도 한다.

이러한 폭렬현상을 방지하기 위해서는 다양한 방법이 존재하지만, 그 중 콘크리트 비빔시 유기섬유를 혼입하여 화재시 섬유가 녹아 내부 수증기의 통로 역할을 하여 폭렬을 방지 하는 방법이 가장 경제적이면서, 효과적인 것으로 알려져 왔다.

이와 같은 연구의 일환으로, 선행연구에서는 폭렬방지에 유리한 섬유의 종류와 조합을 도출한 바 있었음에, 본 연구에서는 선행연구의 결과를 바탕으로 모의 구조체에 적용하여 그 활용성을 검토하고자 하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준		
배 합 사 항	목표슬럼프플로우 (mm)	1	600±100	
	목표공기량(%)	1	3.0±1.0	
	실험 변수	W/B(%) (NY+PP섬유 혼입률(vol.%))	3	20(0.15), 25(0.05), 35(0.05)
		섬유 종류 및 혼입률(vol.%)	3	NY(0.05) NY+PP(0.05) PP(0.10)
실 험 사 항	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>• 내화시험</li> <li>- 폭렬유무</li> <li>- 질량변화</li> </ul>		

- 1) NY: 나일론  
2) PP: 폴리프로필렌

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다. 즉, 실험요인으로 시멘트에 대한 질량비로 플라이애시 20%와 실리카 폼 10%를 동시에 치환한 것을 플레인 배합으로하여 W/B 20, 25 및 35% 3수준으로 변화시켜 NY+PP섬유를 0.05

\* 청주대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 정회원  
\*\* 청주대학교 건축공학과 박사과정, 정회원  
\*\*\* 두산건설(주) 기술연구소 부장, 정회원  
\*\*\*\* 청주대학교 건축공학과 석사과정, 정회원

vol.% 혼입한 것(단 W/B 20%는 0.15vol.%를 혼입하도록 계획함)과, W/B 25%에 대하여는 NY, NY+PP섬유 0.05vol.%와 PP섬유 0.10vol.%의 3수준으로 변화시킨 것을 실험변수로 하여 총 6수준에 대해 Ø100×200mm 공시체와 250×250×500mm의 모의구조체 조건에서의 실험을 계획 하였다. 이때 배합사항으로 플레인 콘크리트는 목표 슬럼프플로우 600±100mm, 목표 공기량은 3.0±1.0%를 만족하도록 배합설계 한 후 실험변수별 동일한 배합조건을 적용하였다.

실험사항으로, 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프플로우, 공기량을 측정하고, 경화 콘크리트에서는 계획된 재령에서 압축강도, 폭렬유무, 질량감소율을 측정하는 것으로 하였다.

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
20	160	35	0.03	4.00	560	160	80	478	873
25	160	45	0.07	2.20	448	128	64	686	823
35	160	47	0.03	0.93	320	91	46	800	885

표 3. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,302	0.08	208	351	20.4	29.4	38.7

표 4. 골재의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	조립률 (FM)	흡수율 (%)	단위용적질량 (kg/m <sup>3</sup> )	0.08mm체 통과량 (%)
잔골재	2.7	2.7	0.46	1,598	0.30
굵은골재	2.61	6.55	0.58	1,564	0.40

표 5. 플라이애시의 물리·화학적 성질

구분	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	ig-loss (%)	SiO <sub>2</sub>	습분(%)
플라이애시	2.21	4,061	3.5	51.2	0.0

표 6. 실리카폼의 물리·화학적 성질

분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	lgloss (%)	화학적 구성(%)				
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
200,000	2.20	1.50	96.40	0.25	0.12	0.38	0.1

표 7. 혼화제의 물리적 성질

구분	주성분	형태	색상	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )
고성능감수제	폴리카본산계	액상	암갈색	1.05
AE제	음이온계	액상	연한암갈색	1.04

표 8. 섬유 물리적 성질

구분	길이 (mm)	직경 (mm)	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	인장강도 (MPa)	융해점 (°C)
PP 섬유	19	0.04	0.91	560	160
NY 섬유	9	0.012	1.15	918	220

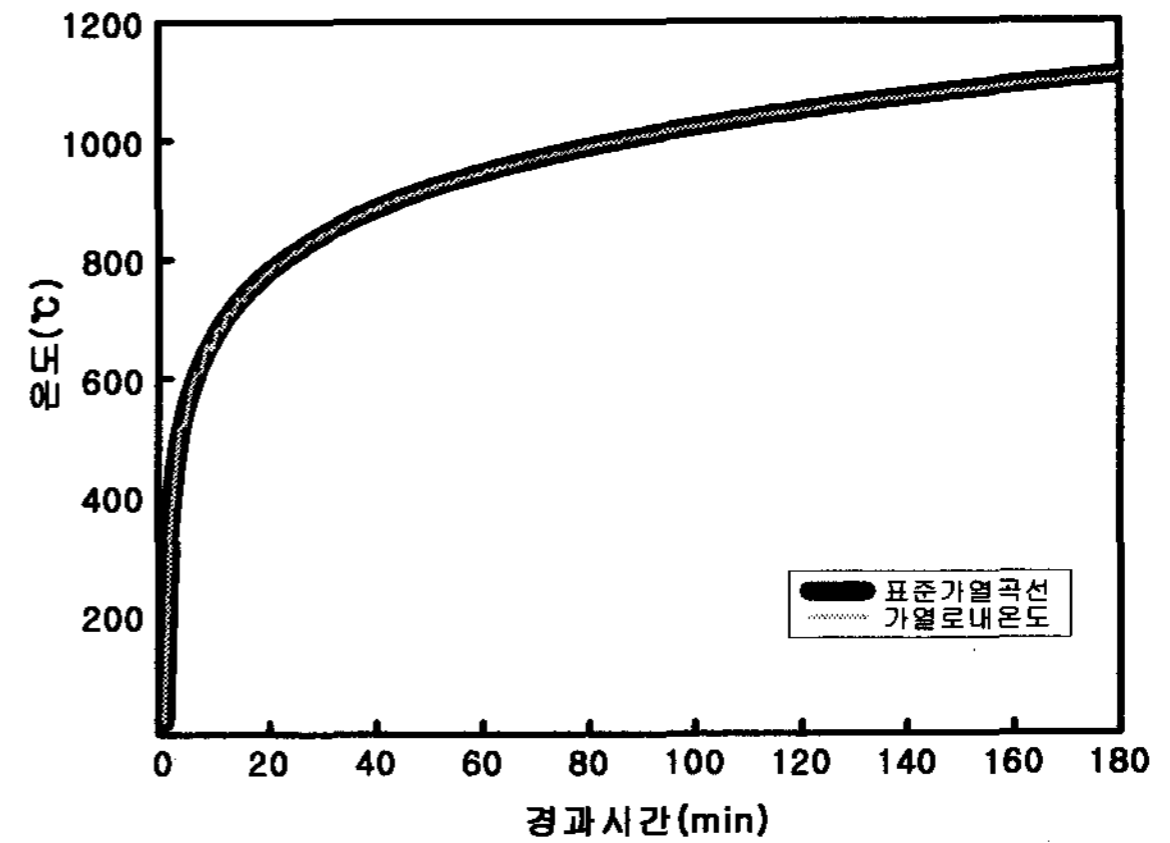


그림 1. 가열곡선 KF S 2257-1

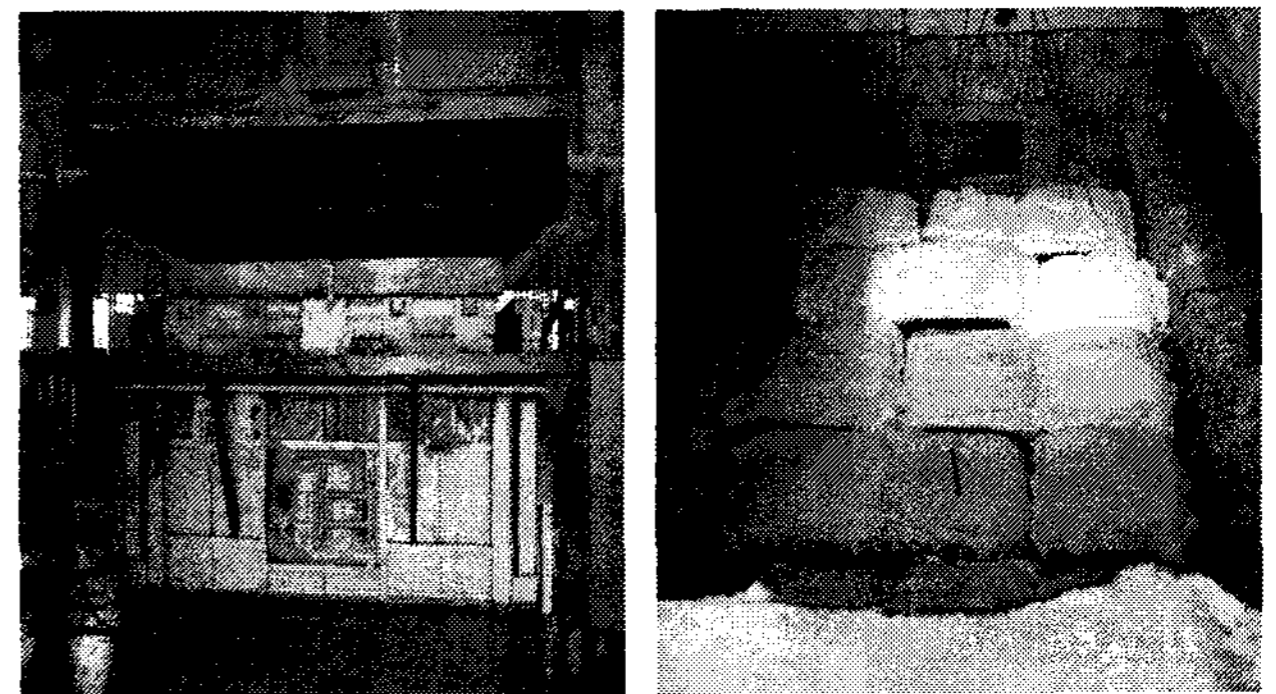


사진 1. 보-바닥 가열로 외부(좌) 및 내부(우)

## 2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 3과 같다. 골재로써 굵은골재는 충북 옥산산 화강암 부순굵은골재와 잔골재는 경기 수원산 강모래를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 4와 같다. 혼화제로서 플라이애시는 국내산, 실리카 폼은 노르웨이산 제품을 사용하였는데, 그 물리·화학적성질은 각각 표 5, 6과 같고, 혼화제는 국내S사산의 폴리칼본산계 고성능감수제와 음이온계 AE제를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 7과 같다.

또한, 폭렬방지용 유기섬유로써 NY섬유와 PP섬유는 국내산 S사의 제품을 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 8과 같다.

## 2.3 실험방법

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

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 Ø100×200mm 공시체를 제작하여, 계획된 재령에서 KS F 2405의 규정에 의거 실시하였고, 내화시험은 Ø100×200mm 공시체와 250×250×500mm의 모의구조체를 제작하여 KS F 2257-1의 규정에 의거 한국건설기술연구원의 보-바닥 가열로에서 그림1의 가열곡선으로 실시하였다. 내화시험 후 공시체의 폭렬여부는 육안으로 관찰하였다.

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

그림 2, 3은 W/B 변화, 혼입률 변화에 따른 슬럼프플로우 및 공기량을 나타낸 그래프이다.

W/B 변화에 따른 슬럼프플로우는  $600 \pm 100\text{mm}$ 의 범위를 만족하였다. 섬유 종류 변화에 따른 슬럼프플로우는 PP섬유의 경우 여타의 경우보다 약간 저하하는 것으로 나타났는데, 이는 섬유의 혼입률의 증가에 기인한 결과로 분석되지만, 단 유동성에는 큰 차이가 없는 것으로 판단된다.

공기량은 모두 목표공기량인  $3.0 \pm 1.0\%$ 의 범위를 만족하였다.

#### 3.2 경화 콘크리트 특성

##### 3.2.1 강도특성

그림 4, 5는 W/B 변화, 혼입률 변화에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다.

먼저, W/B 20, 25%의 압축강도는 87, 85MPa로 큰 차이가 없는 것으로 나타났고, W/B 35%의 경우는 65MPa의 강도를 발현 하였다. 섬유종류 변화에 따른 압축강도는 약 84~86MPa로 유사하게 나타났다.

##### 3.2.2 폭렬특성

사진 1은 3시간 비가력 내화시험 후 시험체의 폭렬성상을 나타낸 것이다.

전체적으로, 공시체 조건에서는 폭렬이 방지되거나 표면박리만 발생하여 폭렬방지에 양호한 것으로 나타났으나, 모의구조체 조건에서는 공시체 조건과는 다소 차이를 나타냈다. 먼저, W/B 변화에 따른 결과로써, W/B 20%의 경우는 0.15vol.%의 섬유를 혼입한 결과 모의구조체 조건에서도 폭렬이 방지되는 것으로 나타났고, W/B 25와 35%에서는 선행연구를 통해 폭렬이 방지될 것으로 예상되었던 섬유혼입률 0.05vol.%에서 폭렬이 발생하였다.

섬유 종류 변화에 따른 결과에서는 이 역시도 선행연구결과 공시체 조건에서는 폭렬에 양호한 결과를 나타내었으나, 모의구조체에 적용한 결과 폭렬이 발생하는 것으로 나타났다.

이는 선행연구와 비교하여 28일 압축강도가 보다 높게 나타난데 기인한 결과로 분석된다. 그리고 모의구조체에 적용함에 있어서는 공시체 조건보다 큰 안전률을 고려하여 섬유혼입량을 결정해야 할 것으로 판단된다.

##### 3.2.3 질량감소율

그림 6, 7은 W/B 변화, 섬유종류 변화에 따른 공시체 및 모의구조체의 질량감소율을 나타낸 그래프이다.

공시체의 경우가 모의 구조체에 비해 다소 질량감소율이 크게 나타났는데, 전반적으로 약 7~13%의 질량감소율을 나타내었다.

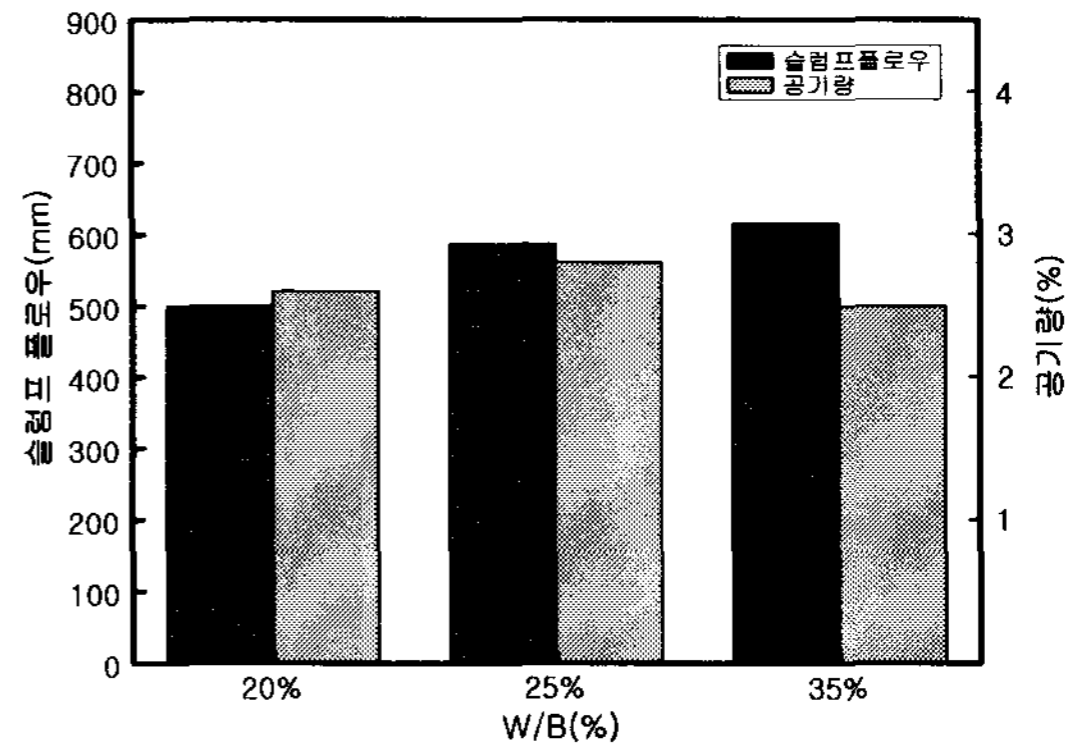


그림 2. W/B 변화에 따른 슬럼프플로우 및 공기량

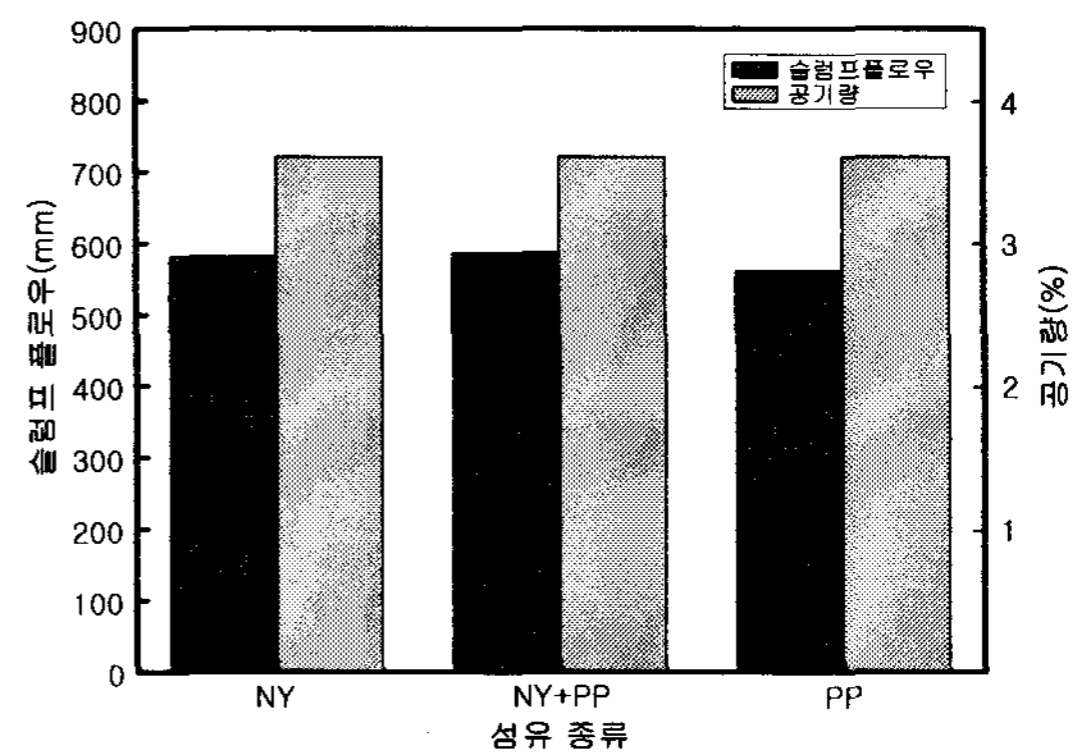


그림 3. 섬유종류 변화에 따른 슬럼프플로우 및 공기량

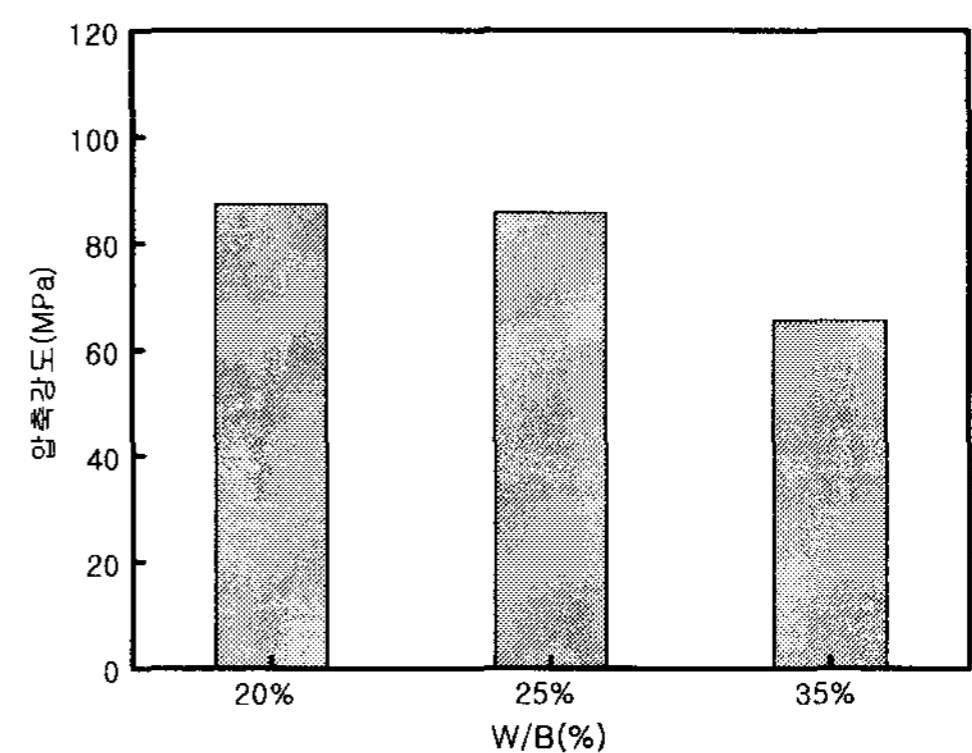


그림 4. W/B 변화에 따른 압축강도

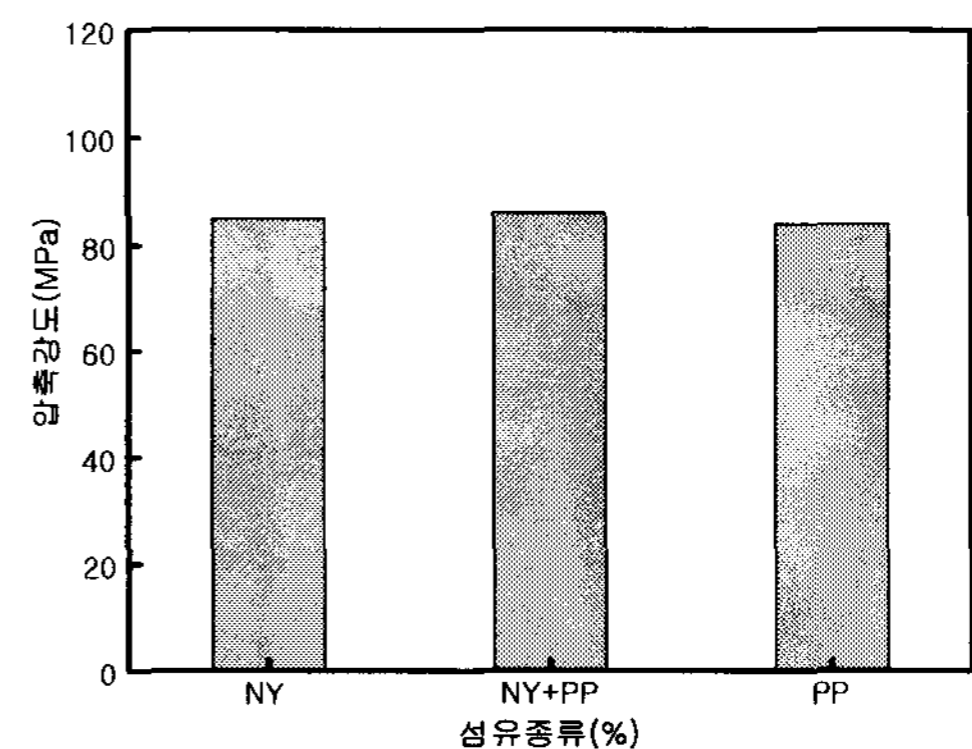


그림 5. 섬유종류 변화에 따른 압축강도

W/B 변화(NY+PP섬유 혼입률 0.05vol.%)					섬유 종류 변화(W/B 25%)				
Ø 100×200mm	250×250×500mm				Ø 100×200mm	250×250×500mm			
공시체	A면	B면	C면	D면	공시체	A면	B면	C면	D면
20% (0.15vol.%)					NY (0.05vol.%)				
25% (0.05vol.%)					NY+PP (0.05vol.%)				
35% (0.05vol.%)					PP (0.10vol.%)				

사진 1. 섬유 종류 변화에 따른 공시체 및 모의구조체의 폭렬성상

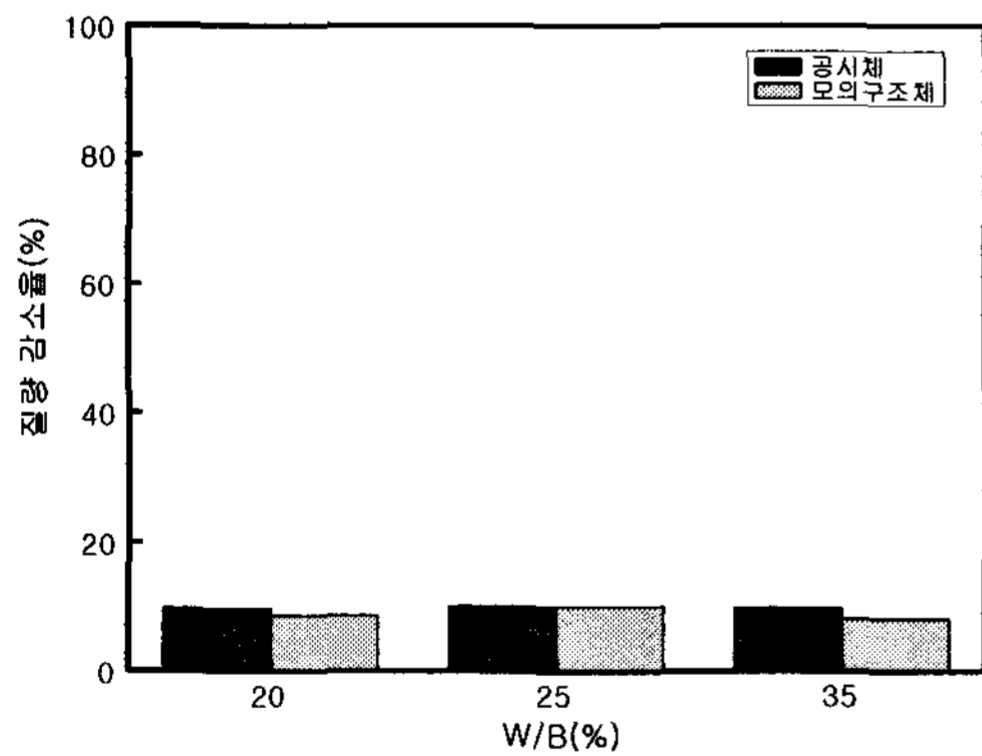


그림 6. W/B 변화에 따른 질량감소율

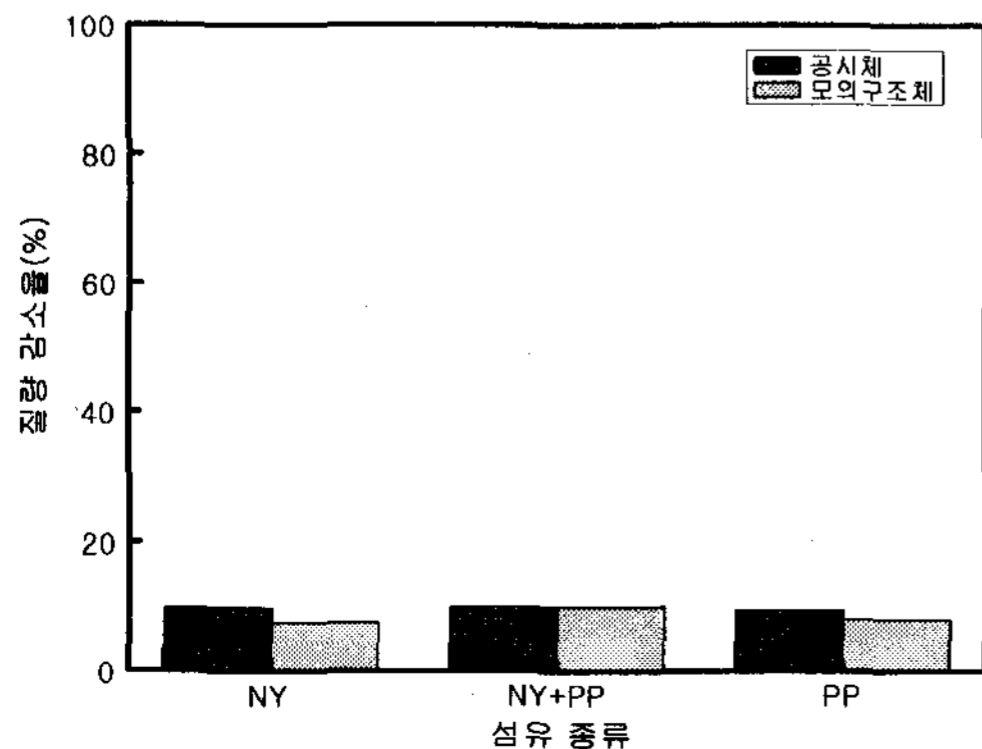


그림 7. 섬유종류 변화에 따른 질량감소율

#### 4. 결 론

본 연구에서는 W/B 변화, 섬유종류 변화에 따른 공시체 및 모의구조체의 폭렬특성에 대하여 검토하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굳지않은 콘크리트의 특성으로, 슬럼프플로우 및 공기량은 본 실험범위의 섬유 종류 및 혼입률 변화에 따라 약간의 변동은 있지만 목표치 범위에서 큰 차이가 없는 것으로 밝혀졌다.
- 2) 경화 콘크리트의 특성으로, 재령 28일 압축강도는 W/B 20 및 25%의 경우 80MPa를 상회하는 것으로 나타났고, W/B 35%의 경우도 60MPa를 상회하여 고강도 범위로 나타났다.
- 3) 내화시험 후 폭렬특성으로 공시체 조건에서는 폭렬이 방지되거나 표면 박리만 발생하였으나, 모의 구조체 조건에서는 보다 심한 폭렬현상이 발생하여 실 구조체에 적용할 경우는 섬유 혼입시 공시체 실험결과보다 조금 많은 안전율을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

#### 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.