

# 폴리프로필렌 섬유보강 콘크리트(PFRC)의 역학적 특성 및 내구성에 관한 실험적 연구

## An Eeperimental Study on the Mechanical Study and Durability of PFRC(Polypropylene Fiber Reinforced Concrete)

박 승 범\*

이 봉 춘\*\*

권 혁 준\*\*

윤 준 석\*\*

Park, Seung Bum

Lee, Bong Chun

Kwon, Hyuk Joon

Yoon, Joon Seok

### ABSTRACT

The result of an experimental study on the mechanical properties and durability of polypropylene fiber reinforced concrete are presented in this paper. This study has been performed to obtain the properties of PFRC such as strength, toughness and durability. The test variables are fiber content, fiber types, W/C ratio.

PFRC shows the highest strength when the polypropylene fiber content is about 0.2% in concrete, flexural toughness of PFRC was increased remarkably as polypropylene fiber contents were increased to 2.0 vol.%. Also, freeze-thaw resistance and carbonation were somewhat more improved than plain concrete.

### 1. 서론

폴리프로필렌 섬유를 콘크리트 매트릭스에 보강하는 목적은 구조적인 보강에 있지 않고 경화되기 시작할 때, 구속에 의해 발생하는 인장응력 및 균열을 억제하고, 또한 이때 형성되는 내부결함을 방지하며, 경화 후 콘크리트의 인성의 증가효과로 내구성을 개선하는 것으로 실제 건설 현장에서 적용되는 폴리프로필렌 섬유 자체가 다른 섬유에 비해 상당히 경제적이며, 배합이나 믹싱방법에 제약이 거의 없어 현장에서의 적용이 점차 커지고 있다. 그러나 국내의 경우, 이에 대한 축적된 자료나 지침이 미진한 실정으로 이러한 폴리프로필렌 섬유보강콘크리트(PFRC, Polypropylene Fiber Reinforced Concrete)에 관한 개발연구로 저립하면서도 그 보강효과가 높은 PFRC를 제조할 수 있는 기술개발이 요구되고 있어, 본 연구에서는 PFRC의 물리·역학적 특성과 동결융해저항성, 촉진중성화 시험등의 내구성을 섬유의 형태별, 혼입별로 연구를 수행하였다.

\* 정희원, 충남대학교 토목공학과 교수

\*\* 정희원, 충남대학교 대학원

## 2. 실험계획

### 2.1 사용재료

본 실험에서 사용한 시멘트는 국내 D사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 금강 상류에서 채취한 강모래와 굵은골재는 최대치수 20mm의 부순돌을 사용하였다. 또한 섬유는 국내 S사 제품의 19mm 단사형(CF TYPE)과 망사형(PM TYPE)의 폴리프로필렌 섬유를 사용하였으며, AE 감수제는 표준형 AE제로 Vinsol Resin인 AEA202를 사용하였고, 감수제는 일본 K사 제품의 나프탈렌 설폰산염 고축합물계 Mighty 150을 사용하였다.

### 2.2 폴리프로필렌 섬유보강 콘크리트의 배합

폴리프로필렌 섬유보강 콘크리트의 혼합은 폴리프로필렌 섬유의 균등분산과 밀실한 콘크리트의 제조를 위하여 용량 30ℓ의 일본 C사의 섬유분산용 Omni-Mixer를 사용하였다. 콘크리트의 배합은 잔골재와 굵은골재의 전비율을하여 폴리프로필렌 섬유를 투입한 다음 시멘트와 물을 혼합하는 방법을 사용하였다.

본 연구의 배합은 망사형, 단사형 폴리프로필렌 섬유를 복합체 중에서의 절대용적비로 0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.50, 1.00, 2.00%로 혼입하여 배합하였다.

표 1 폴리프로필렌 섬유보강 콘크리트의 배합설계

섬유 형태	W/C (%)	S/a (%)	Fiber (vol.%)	Air (%)	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )					S.P (C×wt.%)
					W	C	S	G	PF	
망사형	45	54	0	5±1	194	430	865	754	0	C×0.35
			0.05				865	754	0.45	
			0.10				864	753	0.9	
			0.15				863	752	1.35	
			0.20				862	752	1.8	
			0.50				858	748	4.5	
			1.00				851	752	9	
2.00	837	730	18							
단사형	50	57	0	5±1	200	400	919	709	0	C×0.35
			0.05				917	708	0.45	
			0.10				916	707	0.9	
			0.15				916	707	1.35	
			0.20				915	706	1.8	
			0.50				912	704	4.5	
			1.00				904	698	9	
2.00	889	686	18							
	55	60	0	5±1	204	370	976	666	0	C×0.35
			0.05				975	665	0.45	
			0.10				974	665	0.9	
			0.15				973	664	1.35	
			0.20				973	663	1.8	
			0.50				968	660	4.5	
			1.00				960	655	9	
2.00	945	644	18							

## 2.3 실험방법

### (1) 압축강도 시험

압축강도시험은 KS F2405에 준하여 측정하였으며, 각 시험조건에 따라 소정의 재령에서 압축강도를 측정하였다.

### (2) 인장강도시험

인장강도는 KS F 2423[콘크리트의 인장강도 시험방법]에 준하여 일본 S사의 용량 25ton의 B-Type Auto-Graph를 이용하여 실시하였다.

### (3) 휨강도 및 휨인성 시험

휨강도 및 휨인성 시험은 15×15×55cm의 각주 공시체를 제작하여 KS F 2408[콘크리트의 휨강도 시험방법(단순보의 3등분점 하중법)] 및 JCI-SF4에 준하여 일본 S사 제품의 용량 25 t B-Type Auto-Graph를 사용하여 측정하였다.

### (4) 동결융해 저항성 시험

동결융해 저항성 시험은 배합조건별로 ASTM C 666-2 및 KS F 2456[급속동결융해에 대한 콘크리트의 저항시험방법]에 준하여 공시체는 75×75×350mm인 각주공시체를 제작하였고, 양생온도의 영향이 크기 때문에 JIS Z 8703에서 2급 규정의 20±2℃에서 28일간 수중양생을 한 후 내동해성을 측정하였다.

### (5) 촉진 중성화 시험

현재까지는 국내에는 중성화시험에 관한 구체적인 규격이 정립되어 있지 않아, 본시험에서는 JIS ; 콘크리트의 촉진중성화시험에 따라  $\phi 10 \times 20$ cm의 원주형공시체를 제작하여 재령28일까지 23±2℃ 수중양생을 실시한 후, 일본 A사 제품의 중성화 시험장치를 이용하여 CO<sub>2</sub> 농도 10%, 상대습도 30~35%, 온도 35~40℃에 중성화가 촉진되도록 공시체를 노출하여 재령 1, 2, 3, 4주에 공시체를 할렬인장한 후 1%의 페놀프탈레인 용액을 분무하여 나타난 각부분의 중성화 깊이를 측정하고 그 평균값을 산정하여 중성화 속도를 평가하였다.

## 3. 시험결과 및 고찰

### 3.1 압축강도 시험결과

섬유의 종류에 관계없이 압축강도는 섬유혼입률 0.2%까지는 미소하게 증가하는 경향을 나타내었으며, 그 이후로 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 섬유를 1.0%이상 혼입하였을 때의 압축강도는 섬유를 혼입하지 않은 경우에 비해 오히려 저하하는 것으로 나타났다. 이는 섬유혼입률 0.5%이상 믹싱할 때 Fiber Ball의 형성과 섬유분산의 불량, 워커빌리티 저하 등으로 다짐이 곤란하여 콘크리트 조직을 치밀하게 만들지 못했기 때문인 것으로 판단된다. 또한 망사형 섬유를 혼

입한 경우는 단사형 섬유를 혼입한 경우와 비교할 때 약간 높은 압축강도를 나타내는데 이는 망사형 섬유가 단사형 섬유를 혼입한 것에 비해 섬유의 분산효과가 양호하여 섬유에 의한 매트릭스의 압축파괴에 대한 구속효과가 증진되었기 때문인 것으로 판단된다.

### 3.2 인장강도 시험결과

섬유종류에 관계없이 섬유혼입률이 0.2%까지 증가될 때까지 인장강도는 섬유를 혼입하지 않은 경우와 비교하여 강도 증진효과를 나타내었다. 한편, 섬유를 0.5% 이상 혼입하였을때의 인장강도는 점차 감소하는 경향을 나타내었으며, 특히 섬유혼입률 1.0% 이상에서는 Plain의 경우에 비하여 오히려 저하하는 것으로 나타났다. 이는 섬유 혼입률 0.5% 이상에서는 워커빌리티가 현저히 저하됨으로 다짐이 곤란하여 매트릭스중에 공극이 증대되어 밀실한 콘크리트를 만들지 못하기 때문인 것으로 판단된다.

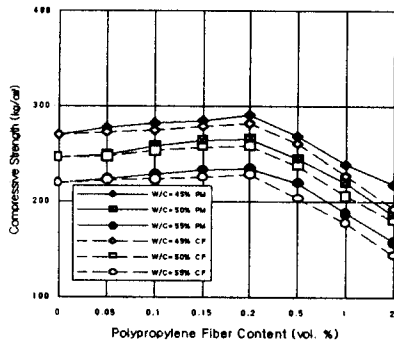


그림 1 PFRC의 섬유혼입률과 압축강도와의 관계

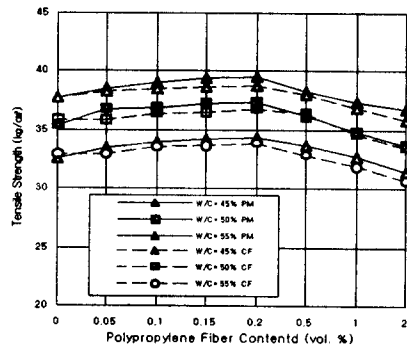


그림 2 PFRC의 섬유혼입률과 인장강도와의 관계

### 3.3 휨강도 특성.

폴리프로필렌 섬유 혼입률 증가에 따라, 휨강도는 혼입률 0.2%까지는 점차 증가되는 경향을 나타내었으나, 섬유를 0.5% 이상 혼입하게 되면 휨강도는 다소 저하하는 경향을 나타내었다. 특히 물·시멘트비 50%, 망사형 섬유를 0.2% 혼입한 경우는 Plain의 경우에 비하여 최대 27% 정도의 휨강도 증진을 나타내었다. 또한 망사형 섬유를 사용한 경우는 단사형 섬유를 사용한 경우에 비하여 다소 높은 휨강도를 나타내었다.

한편 PFRC의 휨인성 특성은 Plain에 비해 크게 개선되었으며, 망사형 섬유를 2.0% 혼입한 경우는 Plain에 비하여 4.8배의 휨인성이 증가한 것으로 나타났다. 한편 망사형 섬유를 사용한 경우는 단사형 섬유를 사용한 경우에 비하여 양호한 휨인성을 나타내었다.

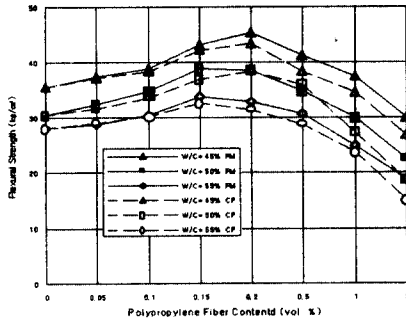


그림 3. PFRC의 섬유혼입률과  
휨강도와와의 관계

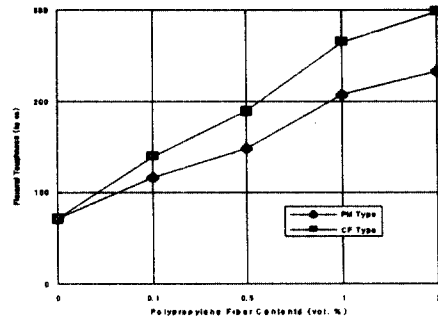


그림 4 PFRC의 섬유혼입률과  
휨인성계수와의 관계

### 3.4 폴리프로필렌 섬유보강 콘크리트의 동결융해저항성

동결융해저항성은 전반적으로 AE제를 첨가한 경우는 AE제를 사용하지 않은 경우에 비하여 현저히 개선되는 것으로 나타났다. AE제를 첨가하지 않은 경우는 폴리프로필렌 섬유의 혼입이 증가함에 따라 상대동탄성계수는 Plain에 비하여 거의 동등하거나 약간의 개선효과를 나타내었으며, AE공기를 연행시킨 경우는 폴리프로필렌 섬유혼입률이 증가함에 따라 내동해성은 점차 증진되는 효과를 나타내었으며, 상대동탄성계수가 60%이하로 될때까지 소요되는 사이클수는 Plain의 경우 480사이클인 반면 0.1%, 0.2%, 0.5%인 경우 각각 550, 570, 620사이클에 나타나 섬유혼입에 의한 내동해성이 다소 증진되는 것으로 나타났다. 이는 혼입된 섬유가 부피의 팽창과 수축작용에 의한 팽창압에 대하여 섬유의 부착력에 의해 매트릭스의 내부구속력이 증대되기 때문인 것으로 판단된다.

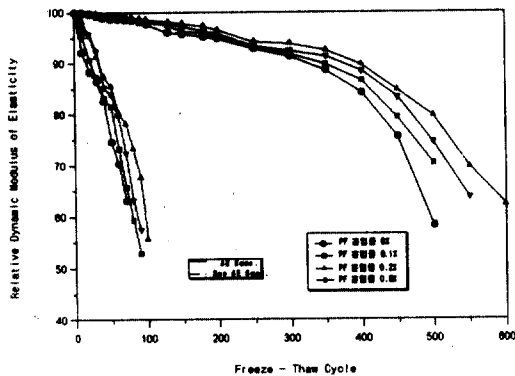


그림 5 폴리프로필렌 섬유보강 콘크리트의  
동결융해저항성

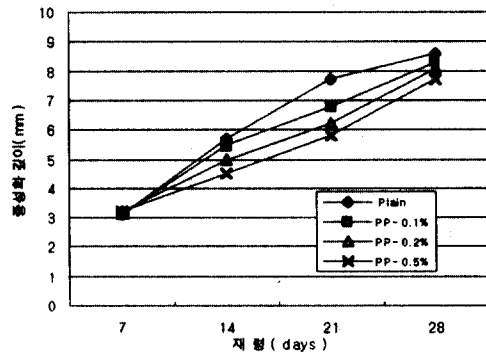


그림 6 촉진중성화 시험에 의한 PFRC의  
중성화 깊이

### 3.5 폴리프로필렌 섬유보강 콘크리트의 중성화 촉진시험

PFRC의 중성화는 폴리프로필렌섬유의 혼입률이 증가함에 따라 중성화의 억제효과가 나타났으며, 그 양은 미소하였다. 또한 시험 실시후 4주에서는 섬유를 혼입하지 않은 보통콘크리트의 경우는 8.6mm를 나타내었으나, 폴리프로필렌 혼입률 0.5% 혼입한 경우는 7.7mm로 나타나, 폴리프로필렌섬유 혼입에 의해 중성화 억제 효과가 있으나 그 차이는 아주 작은 것으로 나타났다.

## 4. 결 론

1. PFRC의 압축강도는 섬유혼입에 의해 현저한 개선효과는 나타나지 않았으나, 인장강도 및 휨강도는 0.2%~0.5% 혼입시 비교적 양호한 효과가 나타났으며, 특히 휨인성은 망사형 섬유의 경우 2.0%에서 Plain에 비해 4.8배의 휨인성 증가를 나타냈으며 섬유의 종류에 대해서는 강도 및 휨인성값이 단사형 섬유보다 망사형 섬유가 다소 큰 강도 및 휨인성을 나타내고 있다.
2. PFRC의 내동결융해는 망사형 폴리프로필렌섬유를 0, 0.1, 0.2, 0.5% 혼입하여, AE공기를 연행시킨 경우는 폴리프로필렌 섬유혼입률이 증가함에 따라 내동해성은 점차 증진되는 효과를 나타내었으며, 섬유를 0.2~0.5% 정도 혼입시 비교적 양호한 효과를 나타내었다. 이는 혼입된 섬유의 부착력에 의해 매트릭스의 팽창과 수축작용시 매트릭스의 내부구속력이 증대되었기 때문인 것으로 판단된다.
3. PFRC의 중성화 촉진시험은 폴리프로필렌 섬유가 증가함에 따라 중성화 억제효과는 다소 증가하는 것으로 나타났으며, 섬유혼입률 0.5% 혼입한 경우 시험재령 4주에서의 중성화는 Plain에 비해 약 10.5%의 중성화 억제 효과가 있는 것으로 나타났다.

## 참 고 문 헌

1. Tavakoli, M., "Tensile and Compressive Strengths of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete", ACI SP 142-4, pp.61-72, 1994
2. Vondran, G. H., Nagabhusanam, M., Ramakrishnan, V., "Fatigue Strength of Polypropylene Fiber Reinforced Concretes", Fiber Reinforced Cements and Concrete, pp.533-543, 1989
3. Ramakrishnan, V., Gollapudi, S., Zellers, R., "Performance Characteristics and Fatigue Strength of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete", ACI SP 105-9, pp.159-178, 1987
4. Berke, N. S., Dallaire, M. P., "The Effect of Low Addition Rates of Polypropylene Fibers on Plastic Shrinkage Cracking and Mechanical Properties of Concrete", ACI SP 142-2, pp.19-42, 1994
5. Rice, E. K., Vondran, G. L., Kunbargi, H. O., "Bonding of Fibrillated Polypropylene Fibers to Cementitious Materials", Material Res. Soc., pp. 145-152, 1988
6. Zollo, R. F., "Collated Fibrillated Polypropylene Fibers in FRC", ACI SP 81, pp.397~409

