

강섬유 보강 폴리머 콘크리트의 역학적 특성

Mechanical Properties of Steel Fiber Reinforced Polymer Concrete

김 기 락* 연 규 석** 이 윤 수***

Kim, Ki Rak Yeon, Kyu Seok Lee, Youn Su

ABSTRACT

Steel fiber reinforced concrete(SFRC) is a composite material possessing many physical and mechanical properties which are distinct from unreinforced concrete.

The use of steel fiber reinforcement to improve the flexural and tensile strengths, extensibility and toughness of ordinary cement concrete is well known at present, but reinforcement of polymer concrete with steel fibers has been hardly reported until now. The objective of this study was to improve the properties of the polymer concrete by addition of steel fibers.

In this paper steel fiber reinforced polymer concrete is prepared with various steel fiber contents and aspect ratios(l/d), and their mechanical properties were investigated experimentally.

1. 서론

강섬유 보강 콘크리트(Steel Fiber Reinforced Concrete : SFRC)는 강섬유를 콘크리트 속에 분산시켜 넣음으로써 강도뿐만 아니라, 균열에 대한 저항성, 인성, 내충격성 등을 개선할 목적으로 사용하는 복합재료이다.

그러나 강섬유 보강 콘크리트에 관한 연구는 시멘트 콘크리트를 중심으로 수행되어 오고 있으며, 건설 신소재로 부각되고 있는 폴리머 콘크리트의 강섬유 보강에 대한 연구는 그리 많지 않다.

일반적으로 폴리머 콘크리트는 골재를 폴리머로 결합시켜 용도에 따라서는 경화시간 및 가사시간을 제어할 수 있는 재료로서, 조기에 고강도 발현이 가능하고, 수밀성, 접착성, 내마모성, 및 동결융해 저항성 등이 시멘트 콘크리트 보다 우수한 장점을 가지고 있다. 그러나 폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트와 같이 파괴가 취성적이며, 경화시 수축이 과다하게 일어나는 등 단점도 지니고 있다.

본 연구에서는 이러한 폴리머 콘크리트의 단점을 개선하기 위해 강섬유를 혼입한 강섬유 보강 폴리머 콘크리트(SFRPC)를 제조하고, 강섬유의 혼입량과 종횡비(l/d)비의 변화에 따른 강섬유 보강 폴리머 콘크리트의 역학적 특성을 실험적으로 구명하였던 바, 그 결과를 여기에 보고한다.

* 강원대학교 대학원 농공학과 석사과정

** 정회원, 강원대학교 농공학과 교수

*** 정회원, 강원대학교 농공학과 강사

2. 재료 및 방법

2.1. 사용재료

2.1.1 결합재

결합재로서 스티렌모노머가 38% 포함된 불포화 폴리에스터 수지(UP), 촉진제로서 옥탄산 코발트 8% mineral turpentine 용액(CoOc), 촉매로서는 메틸에틸케톤 프록사이드(MEKPO)가 사용되었으며, 불포화 폴리에스터의 성질은 다음의 Table 1과 같다.

Table 1. Properties of unsaturated polyester resin

Specific gravity (20°C)	Viscosity (20°C, mpa · s)	Acid value	Styrene content (%)
1.12±0.02	412	24	38

2.1.2 충전재 및 골재

충진제로서는 중질 탄산칼슘(heavy calcium carbonate)을 사용했으며, 잔골재로는 No.4번체를 통과한 하천모래, 조골재로는 최대치수 10mm인 화강암 쇄석을 사용했다. 충전재 및 골재는 105±5°C에서 24시간 건조시킨 후 냉각하여 사용하였으며, 그 성질은 Table 2와 같다.

Table 2. Physical properties of filler and aggregate

	Size (mm)	Specific gravity (20°C)	Absorption (%)	Organic impurities
Filler	2.5 × 10 ⁻³	2.75	0.1	Nil
Fine aggregate	≤5	2.60	0.1	Nil
Coarse aggregate	5 - 10	2.62	0.1	Nil

2.1.3 강섬유

본 실험에 사용된 강섬유는 국내 C사의 제품으로서 강선절단법으로 제조된 양단 Hook형을 사용하였으며, 사용된 강섬유의 종류 및 물리적 성질은 Table 3과 같다.

Table 3 Physical properties of steel fiber

Length (mm)	Diameter (mm)	Aspect ratio (ℓ/d)	Tensile strength (kg/cm ²)	Modulus of elasticity (×10 ⁵ kg/cm ²)
30	0.5	60	10,646	2.9
	0.7	43		
	0.9	33		
36	0.5	72	10,646	2.9
	0.7	51		
	0.9	40		

2. 2 시험체 제작

배합비는 수지량과 잔골재율을 변화시키면서 작업성 및 강도특성 등을 고려한 예비배합 시험을 통해 결정했으며, 결정된 강섬유 보강 폴리머 콘크리트의 배합비는 Table 4와 같고, 시험체는 KS F 2419(폴리에스테르 레진 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법)에 규정된 방법에 의하여 제작하였다.

Table 4. Mix proportion of steel fiber reinforced polymer concrete

Fiber content (vol.%)	Mix proportion (wt.%)				
	Binder	Filler	Coarse aggregate	Fine aggregate	Steel fiber
0	11.5	11.5	30.80	46.20	0
1.0			29.46	44.20	3.34
2.0			28.19	42.29	6.52

혼합은 콘크리트용 강제식 믹서를 사용하였으며, 다짐은 원주형 시험체의 경우 3층, 각주형 시험체의 경우 2층으로 나누어 붓다짐 한 후 테이블 바이브레이터(3,000 vpm)로 2분간 다짐하였다. 이때 실험실내의 온도는 $25\pm 2^{\circ}\text{C}$, 상대습도는 $60\pm 5\%$ 였으며, 제작된 시험체는 실험실내에서 24시간 기건양생 하고, 85°C 의 온도에서 15시간 촉진양생 시킨 후 상온에서 12시간 냉각 후 시험에 사용하였다.

2.3 시험방법

2.3.1 작업성

작업성은 KS F 2402(보통 시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험방법)에 규정된 방법에 의하여 측정되었으며, 폴리머 콘크리트의 점성을 고려하여 슬럼프 콘을 제거한 후 60초 후에 슬럼프 값을 측정하였다.

2.3.2 경화수축

경화수축 시험은 Ohama-Demura 방법을 이용하였으며, 시험체의 크기는 $7\times 7\times 32\text{cm}$ 이고, 온도조건은 $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 하였다. 수축량은 시험체 제작 후 각각 1, 2, 3, 6, 12, 24시간에서 측정하였다.

2.3.3 강도

압축강도, 휨강도 및 인장강도 시험은 KS F 2481 (폴리에스터 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법), KS F 2482 (폴리에스터 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법), KS F 2480 (폴리에스터 레진 콘크리트의 인장강도 시험방법)의 규정된 방법에 의해 수행하였으며, 시험체의 크기는 압축강도 및 인장강도의 경우 $\varnothing 7.5\times 15\text{cm}$ 로 하였고, 휨강도의 경우 $6\times 6\times 24\text{cm}$ 로 하였다.

2.3.4 휨인성

휨인성지수의 산출 및 시험방법은 ASTM C1018-85 (Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete Using Beam with Third-Point Loading)에 따라 실시했으며, 시험체의 치수는 $10\times 10\times 40\text{ cm}$ 로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 작업성

Fig. 1은 강섬유 보강 폴리머 콘크리트의 작업성을 평가하기 위해 슬럼프 값을 측정판 것으로 섬유 직경, 길이 및 혼입율에 따른 슬럼프 값의 관계를 나타낸 것이다.

이 결과에서 보면 강섬유 보강 폴리머 콘크리트의 슬럼프 값은 강섬유의 직경이 클수록, 길이가 작을수록 증가하는 경향을 보였으며, 강섬유의 종횡비(l/d)가 클수록 슬럼프 값이 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 강섬유 혼입율의 증가에 따라 슬럼프 값은 감소하는 경향을 보였는데, 이것은 섬유의

혼입량이 많아질수록 Fiberball이 형성되기 때문인 것이라 판단된다.

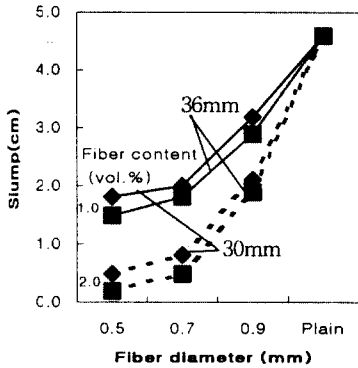


Fig. 1 Variation of slump values

3.2 경화수축

Fig. 2는 매트릭스의 변형억제 효과가 큰 강섬유를 폴리머 콘크리트에 혼입하였을 경우 시간경과에 따른 경화수축 특성을 나타낸 결과이다.

강섬유 보강 폴리머 콘크리트의 경화수축은 강섬유의 길이가 길수록, 직경이 작아질수록 작은 것으로 나타났으며, 이것은 강섬유의 종횡비(l/d)가 클수록 경화수축을 감소시키는데 유리함을 보여주는 결과라 할 수 있다.

한편, 강섬유 혼입율이 증가함에 따라 수축량이 감소하였으며, 이는 강섬유가 콘크리트의 경화수축 억제에 큰 효과가 있음을 보여주는 결과라 할 수 있다.

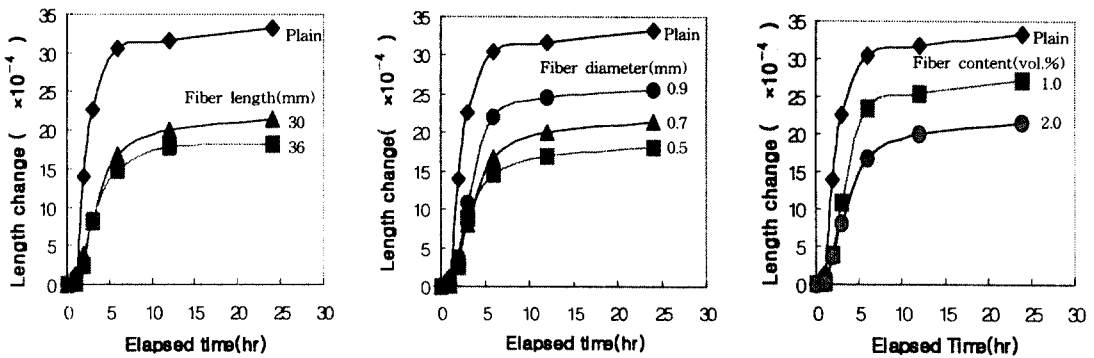


Fig. 2 Variation of hardening shrinkage values

3.3 강도특성

Fig. 3에는 강섬유 보강 폴리머 콘크리트의 압축, 휨 및 인장강도를 강섬유의 직경, 길이 및 혼입율에 따라 나타낸 것이다.

강섬유 보강 폴리머 콘크리트는 강섬유의 혼입율이 많을수록, 길이가 길수록 강도가 증가하는 경향을 보였으며, 강섬유의 직경은 0.7mm의 경우가 가장 큰 강도를 보였다.

그리고, Fig. 4에서 보는 바와 같이 혼입율 증가에 따른 강도증진 효과는 인장강도가 압축강도나 휨강도에 비해 현저히 높게 나타났다.

이상의 결과를 볼 때 폴리머 콘크리트도 일반 시멘트 콘크리트와 같이 강섬유를 보강함으로써 폴리머 콘크리트의 압축강도보다는 인장강도를 크게 개선시켜 취성파괴에 대한 단점을 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

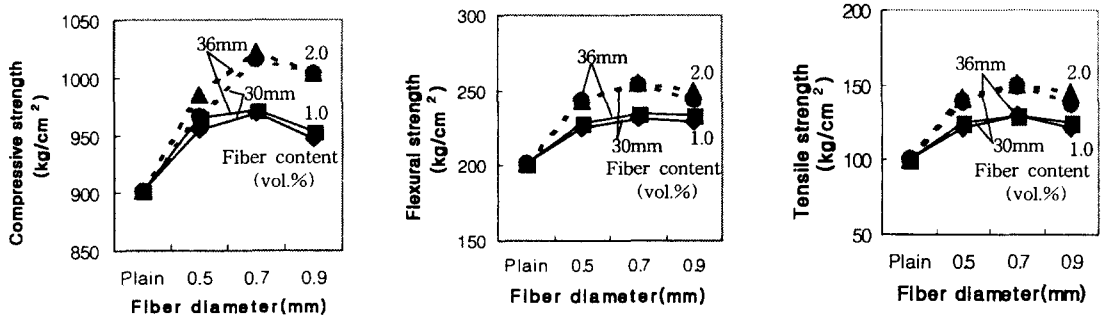


Fig. 3 Variation of strength

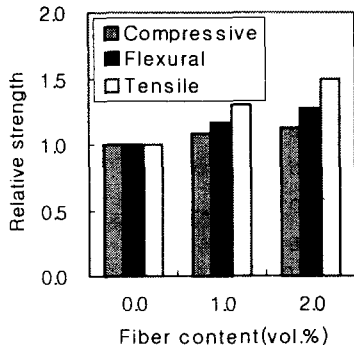


Fig. 4 Comparison of various strength

3.4 휨인성

휨인성 특성은 하중-변위 곡선상의 면적, 즉 변형에너지비로서 인성지수 값을 구하여 평가하며, 본 실험에서 얻어진 휨인성 지수는 Table 5와 같다.

여기서, 초기균열 처짐의 10.5배에 해당하는 지점의 변형에너지비, 즉 I_{20} 의 경우에 있어 인성지수 값은 최고 6.87까지 높은 값을 나타냈으며, 이것으로 강섬유 혼입에 의해 폴리머 콘크리트의 인성이 상당히 증가함을 알 수 있다. 이는 폴리머 콘크리트에 강섬유를 사용할 경우 인성을 크게 개선하여 취성파괴를 연성파괴로 유도시킬 수 있음을 보여주는 결과라 할 수 있다.

Table 5 Toughness index

Type	Toughness index			Type	Toughness index		
	I_5	I_{10}	I_{20}		I_5	I_{10}	I_{20}
30/0.5-1	2.50	3.13	3.66	36/0.5-1	2.52	3.27	3.72
30/0.5-2	2.94	4.22	5.39	36/0.5-2	2.99	4.24	5.46
30/0.7-1	3.02	4.08	4.79	36/0.7-1	3.11	4.11	4.98
30/0.7-2	3.44	4.96	6.68	36/0.7-2	3.60	5.04	6.87
30/0.9-1	2.89	3.74	4.40	36/0.9-1	2.90	3.77	4.49
30/0.9-2	3.32	4.60	6.08	36/0.9-2	3.34	4.60	6.19

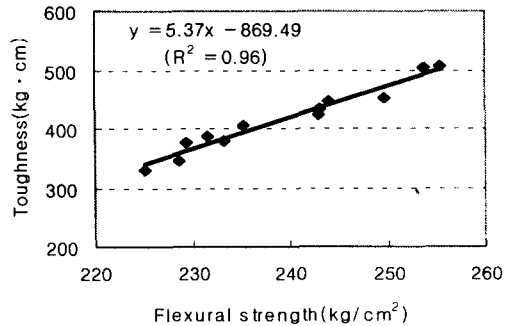


Fig. 5 Flexural strength vs. toughness

한편, Fig. 5는 하중-변위 곡선상에서 시험체의 지간거리 300mm의 1%에 해당되는 3mm의 처짐이 발생될 경우 강섬유 보강 폴리머 콘크리트의 휨강도와 변형에너지의 관계를 나타낸 것으로서 그 상관성은 매우 높게 나타났다.

4. 결 론

본 연구는 강섬유를 혼입한 폴리머 콘크리트의 역학적 특성을 구명한 것으로서, 얻어진 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 강섬유 보강 폴리머 콘크리트의 슬럼프 값은 강섬유의 직경이 클수록, 길이가 작을수록, 즉 강섬유의 종횡비(l/d)가 작을수록 슬럼프 값이 증가하였으며, 강섬유 혼입율의 증가에 따라서는 슬럼프 값이 감소하는 경향을 보였다.
2. 경화수축은 강섬유의 길이가 길수록, 직경이 작을수록, 즉 강섬유의 종횡비(l/d)가 클수록 경화수축 감소에 유리함을 보여주는 결과라 할 수 있으며, 혼입율이 증가함에 따라서도 경화수축이 역시 감소함을 알 수 있었다.
3. 강도시험 결과 강도는 혼입율이 증가할수록, 강섬유의 길이가 길수록 증가하였으나, 직경이 0.7mm 인 경우가 가장 높게 나타났다. 강도증진 효과는 압축, 휨강도에 비해 인장강도가 현저하게 큰 것으로 나타났다.
4. 휨인성시험 결과 인성지수 I_{20} 의 경우 최고 6.87까지 나와 강섬유를 사용하였을 경우 폴리머 콘크리트의 인성이 상당히 증가함을 알 수 있었으며, 휨강도와 변형에너지의 관계는 높은 상관성을 보였다.

감사의 글

본 논문은 강원대학교 석재복합신소재제품연구센터 연구비 지원에 의하여 이루어진 것으로 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Chandra, S., and Ohama, Y., "Polymers in Concrete", CRC Press, Inc. pp. 135-143, 1994.
2. Johnston, C. D., "Deflection Measurement Considerations in Evaluating FRC Performance Using ASTM C 1018", Testing of Fiber Reinforced Concrete, ACI Journal, SP-155, pp.1-22, 1995.
3. Ohama, Y., and Nishimura, N., "Properties of Steel Fiber Reinforced Polyester Resin Concrete", Proceedings of the Twenty-Second Japan Congress on Materials Research, The Society of Materials Science, Japan, Kyoto, Mar, pp.364-367, 1979.
4. Mangat, P. S., and Swamy, R. N., "Properties of Polymer Modified Plain and Fiber Reinforced Concrete", Proceedings of the First International Congress on polymer Concrete, The Concrete Society, May, pp.296-299, 1975.