

구조용 합성섬유보강 슛크리트의 성능평가에 관한 실험연구

An Experimental Study on the Performance Evaluation of Structural Synthetic Fiber-Reinforced Shotcrete

오 병 환* 최 승 원** 박 대 균*** 한 일 영**** 김 방 래***** 신 용 석*****
Oh, Byung Hwan Choi, Seung Won Park, Dae Kyun Han, Il Young Kim, Bang Rae Shin, Yong Suk

ABSTRACT

The cement-based composites have relatively low tensile strength and toughness. The fiber addition is one of the most important ways of increasing the toughness of concrete. The steel fibers have been used conventionally in the shotcrete of tunnel lining. Recently, the structural synthetic fibers were developed and used frequently in some actual tunnel shotcreting in foreign countries. Now types of synthetic fibers have been developed in this study. The purpose of this study is to explore the strength and toughness characteristic of the concrete reinforced with synthetic fibers developed in this study. The result were compared with those of steel fiber reinforced concrete. It is seen that the performance of synthetic fiber reinforced concrete is good as much as that of steel fiber reinforced concrete, while the synthetic fibers have advantages in corrosion resistance and economy.

1. 서 론

시멘트를 기본으로 한 혼합체는 인장강도가 낮고 에너지소비용량 즉, 인성이 낮다는 단점을 가지고 있다. 이러한 결점을 보완하기 위하여 고강도의 섬유를 혼합체에 첨가하는 방법을 사용하고 있다. 이러한 특성을 이용하여 특히, 기존의 터널의 슛크리트 라이닝에서는 강섬유 보강 콘크리트가 주로 사용되어왔다. 그러나 강섬유의 부식등의 이유에 의해서 강섬유의 대체용으로 최근에는 구조용 합성섬유에 대한 관심이 높아지고 있다. 이와 함께 외국에서는 터널 라이닝에 구조용 합성섬유를 사용한 슛크리트를 적용하는 사례가 늘고 있다.

* 정희원, 서울대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 정희원, 서울대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

*** 정희원, SK 건설기술연구소 소장

**** 정희원, SK 건설기술연구소 연구원

***** 정희원, 현대산업개발 토목설계팀

따라서 본 연구에서는 구조용 합성섬유를 사용한 슛크리트의 강도특성 및 휨인성 실험을 수행하여 강섬유 보강 슛크리트의 강도 및 휨인성과 비교 분석하였다. 또한, 합성섬유보강 슛크리트의 물-시멘트 비에 따른 휨인성 및 리바운드 특성을 분석하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 구조용 합성섬유의 특성

본 실험에서 사용한 구조용 합성섬유의 기본적인 물리적 특성을 표 1에서 나타내었다.

표 1 구조용 합성섬유의 물리적 특성

Property	Structural Synthetic Fiber
Elastic Modulus(kgf/cm ²)	3.5×10^4
Specific Gravity	0.91
Fiber Length(mm)	50
Tensile Strength(kgf/cm ²)	4500
Ultimate Elongation	15%
Water Absorption	0
Melting Temperature	175℃
Ignition Temperature	360℃
Acid/Alkali Resistance	High
Electrical Conductivity	Very Low

2.2 구조용 합성섬유의 형상

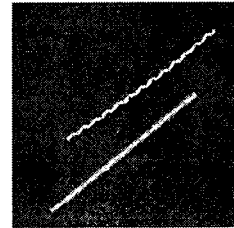
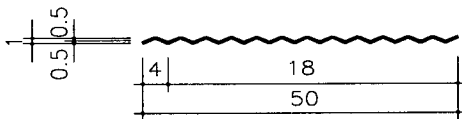


그림 1 구조용 합성섬유의 형상

2.3 실험 배합 및 시험체의 제작

본 실험에서는 합성섬유의 혼입율을 1%로 고정하고, 물-시멘트 비를 41~47%로 변화시켰다. 또한 합성섬유 보강한 경우와의 비료를 위한 실험으로 강섬유를 혼입한 경우에는 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 섬유 혼입량(40kg)을 택하였고, 물-시멘트 비는 44%로 하였다.

본 실험에서 사용한 배합설계표는 표 2 과 같다.

압축강도 시편의 경우 600×600×100mm의 패널에 슛팅한 후 코어링하여 채취하였다. 보 시편은 같은 크기의 패널에서 컷팅하여 제작하였다. EFNARC 패널시편은 600×600×100mm 몰드에 직접 슛팅하여 제작하였다.

스측리트와 직접 다집한 섬유보강 콘크리트의 차이를 규명하기 위해 $\phi 100 \times 200$ mm의 원주형 몰드, 150×150×550mm의 빔몰드에 직접 다집하여 원주형 공시체와 보시편을 각각 제작하였다.

표 2 배합설계표

(kg/m³)

섬유종류	w/c(%)	s/a(%)	W	C	S	G	유동화제	섬유량
합성섬유	41	70	180.0	480	1205	441	2.4	9.1
	44		197.5	480	1141	478	2.25	
	47		203.5	480	1116	455	2.25	
강섬유	44		180.5	450.5	1136	548	2.25	40

2.4 실험방법

2.4.1 압축강도

압축강도 실험은 KS F 2405 "콘크리트의 압축강도 시험 방법"에 따라 수행하였고, 패널에서 채취한 공시체의 높이와 길이의 비에 대한 오차를 보정하기 위하여 KS F 2422 "콘크리트에서 절취한 코어 및 보의 강도 시험 방법"에서 제시하는 방법에 따라 오차를 보정하였다.

2.4.2 보의 휨실험

보의 휨 실험은 JSCE 및 ASTM C 78 "A Standard Test for Flexural Strength"의 규정에 의해 Third-point loading으로 실시하여 휨강도, 등가휨강도 및 휨인성계수를 구하였다.

2.4.3 Plate의 인성실험(EFNARC)

600×600×100mm 크기의 슬래브 네 가장자리에 4번 지지를 하고 중앙 100×100mm의 면적을 통해 2.5mm/min의 변위제어방식으로 하중을 가하여 슬래브 중앙부의 처짐이 25mm가 될 때까지 실험을 수행하였다. 이로부터 얻어진 하중-처짐 곡선으로부터 흡수에너지를 구하였다.

3. 실험결과

3.1 리바운드

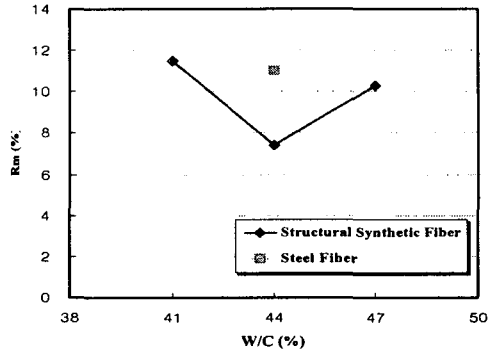


그림 2 w/c 및 섬유종류에 따른 리바운드율

그림 2에서 볼 수 있듯이 물-시멘트 비 44%에서 리바운드율이 현저히 감소하였다. 또한, 구조용합성섬유 보강 슛크리트의 리바운드율이 기존의 강섬유보강 슛크리트의 리바운드율에 비해 작음을 알 수 있었다. 따라서 합성섬유 보강 슛크리트의 경우 재료의 손실이 훨씬 작다고 판단된다.

3.2 압축강도

한국도로공사에서는 슛크리트 및 강섬유보강 슛크리트에 대한 재령 28일에서의 압축강도 기준으로 $200\text{kg}/\text{cm}^2$ 을 제시하고 있다. 그림 3에서 보는 바와 같이 슛크리트의 압축강도는 모두 $200\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상으로

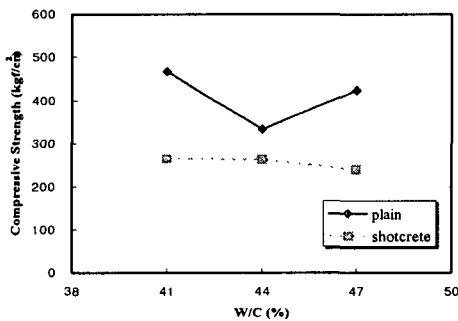


그림 3 w/c에 따른 압축강도의 변화

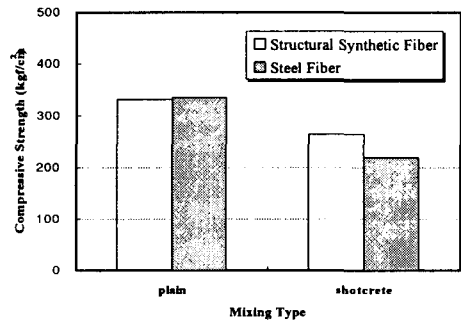


그림 4 섬유의 종류에 따른 압축강도 비교

섬유를 첨가함으로써 압축강도가 향상됨을 알 수 있다.

또한 그림 4에서 보듯이 섬유의 종류에 따라서는 기존의 강섬유 보강 슛크리트 보다 합성섬유 보강 슛크리트의 강도가 큼을 알 수 있다.

3.3 보의 휨인성

표 3은 보의 휨인성 결과를 나타낸 것으로 휨강도는 섬유의 혼입율에 따라 큰 차이가 나타나지 않았다. 그러나 슛팅한 경우, 타설한 보시편에 대한 휨강도의 60~80%의 값을 나타내고 있다. 이는 다짐 및 급결제의 사용으로 인한 강도 감소 영향으로 판단된다.

표 3 보의 휨인성 실험 결과

타설형태	섬유종류	w/c(%)	휨강도(kg/cm ²)	등가휨강도(kg/cm ²)	휨인성계수(%)
plain	합성섬유	41	47.3	21.9	63.8
		44	42.4	15.4	36.4
		47	46.1	16.6	48
	강섬유	44	42.6	32.2	74.8
shotcrete	합성섬유	41	34.3	16.1	51.4
		44	25.2	15.4	60.8
		47	34	14	66
	강섬유	44	36.5	22.3	74.2

그러나 휨인성계수의 경우 슛팅한 경우가 타설한 경우보다 같거나 다소 높은 경향을 보이고 있다. 이는 3mm까지의 흡수한 에너지량은 두 가지 모두 비슷하지만 타설한 경우의 휨강도가 슛팅한 경우에 비해 훨씬 크기 때문에 상대적으로 휨인성계수는 작아지는 것으로 판단된다.

3.4 EFNARC 패널

EFNARC 패널 실험을 통해 흡수에너지량을 측정해 본 결과를 표 4에서 보여주고 있다.

표 4 EFNARC 패널의 흡수에너지

섬유종류	w/c(%)	최대하중(kN)	흡수에너지(J)
합성섬유	41	82.6	1571.7
	44	156.7	3193.7
	47	123.5	2715.2
강섬유	44	127.3	1675.2

표 4에서와 같이 패널의 중앙처짐 25mm까지 흡수한 에너지는 EFNARC에서 제시한 가장 높은 등급인 C등급(> 1000J)에 해당함을 알 수 있다. 특히, 동일한 물-시멘트 비를 갖는 경우 합성섬유보강 슛크리트의 휨인성이 강섬유 보강 슛크리트의 휨인성의 약 2배 정도 훌륭함을 알 수 있었다.

4. 결 론

- 1) 합성섬유보강 슛크리트의 리바운드율은 강섬유보강 슛크리트에 비해 작아 재료손실이 작았다.
- 2) 합성섬유보강 슛크리트의 압축강도는 한국도로공사에서 제시한 기준 값보다 상당히 큰 값을 나타내고 있고, 뿐만 아니라 강섬유보강 슛크리트의 압축강도에 비해서도 다소 큰 값을 나타내었다.
- 3) 합성섬유보강 슛크리트의 휨인성계수는 강섬유보강 슛크리트의 휨인성계수에 비해 다소 작게 나타났지만, 이는 휨강도가 증가하기 때문인 것으로 판단된다.
- 4) EFNARC 패널 시험에 의한 휨인성 평가결과 합성섬유보강 슛크리트의 휨인성은 강섬유보강 슛크리트에 비해 우수한 것으로 나타났다.
- 5) 본 실험에서 사용한 구조용합성섬유 보강 슛크리트는 기존의 강섬유 보강 슛크리트의 성능 즉, 강도 및 인성에서 대등한 수준을 나타내었다.

참고문헌

1. JCI-SF4, "Method of Test for Flexural Strength and Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete", 1990.
2. Soroushian, P., and Lee, C., "Tensile Strength of Steel Fiber Reinforced Concrete : Correlation with Some Measures of Fiber Spacing." ACI Material Journal, V.87, No.5, Sept.-Oct., 1990.
3. EFNARC, European Specification for Sprayed Concrete, 1996.
4. 건설교통부, 한국건설기술연구원, "터널 지보특성 개선을 위한 보강합성섬유 습식 슛크리트 공법 개발", 2002.