

## 합성섬유를 혼입한 레디믹스트 쏿크리트의 현장적용성 평가 Evaluation of the Field Application of the Ready-mixed Shotcrete using the Synthetic Fiber

최희섭<sup>1)</sup>, Hee-Sup Choi, 남관우<sup>2)</sup>, Kwan-Woo Nam, 남기목<sup>3)</sup>, Gi-Mok Nam, 서신석<sup>4)</sup>, Sin-Seok Seo

- <sup>1)</sup> 한국건설기술연구원 기반시설연구본부 지반연구실 연구원(Member, Researcher, Infrastructure Research Department, Geotechnical Engineering & Tunnelling Research Division, KICT, chs23@hanmail.net)
- <sup>2)</sup> (주)태영건설 토목부 상무, Managing Director, Civil Engineering Business Team, Taeyoung E&C.
- <sup>3)</sup> (주)태영건설 토목영업기획팀 과장, Manager, Civil Business Planning Team, Taeyoung E&C.
- <sup>4)</sup> 한일시멘트공업(주) 중앙연구소 건설재료2팀 선임연구원, Senior Researcher, Construction Materials 2nd Team, Central Research Center, Hanil Cement

**SYNOPSIS :** In this paper, The Ready-mixed Shotcrete which Factory with automatic production system is made Materials using synthetic fiber is evaluated the field application. Result of whole test, synthetic fiber(PP, PVA) is indicated almost equal result of steel fiber by rebound rate, compressive strength and bending test. especially, PP fiber(40mm, 12kg) is showed that bending strength and toughness is better than steel fiber, also I reason in that field application of synthetic fiber(PP, PVA) is proved.

**Keywords :** Transfer Distance, Backfilling Material, NATM Composite lining Tunnel, permeability

### 1. 서론

쏿크리트는 굴착 직후 발생하는 원지반의 초기변위를 제어하고 풍화 방지를 통해 굴착면의 안정을 도모하기 위한 구조물로서, 최근 들어 구조물의 장기적인 사용성과 안전성의 개념에서 그 역할이 매우 중요하게 부각되고 있다. 특히, 터널 분야에서는 NATM(New Austrian Tunnelling Method : 이하 NATM) 공법이 획기적인 공법으로 인정받게 되면서, 1970년대 중반 이후 지하공간의 활용, 도로 및 철도 등의 건설로 인한 대단면 터널공사에 NATM 공법의 도입 및 활용과 연계되어 쏿크리트 관련 기술도 비약적인 발전을 이루어 왔다. 그럼에도 불구하고 국내 터널 현장에서는 여전히 쏿크리트의 문제점이 나타나고 있으며, 그 중 골재최대치수 불균일, 골재 토립분 및 석분토의 과다함량, 입도불량, 함수율의 부정확, 편장석의 과다함량, 조립을 불량 및 규격화된 골재 품질 기준 미비 등 쏿크리트용 골재의 품질상태에 대한 문제가 크게 대두되고 있는 실정이다. 또한, 국내 대부분의 터널 현장에서는 뛰어난 기능성 및 우수한 시공성 때문에 Steel Fiber를 혼입한 강섬유보강 쏿크리트를 사용하고 있으나 강섬유의 부식의 우려는 모든 현장의 공통적인 문제점으로 인식되고 있다. 그리하여 강섬유를 대체하는 합성섬유의 현장적용성 평가 및 연구가 활발히 이루어져 있는 추세로서 국외에서는 강섬유와 동등한 휨강도 및 휨인성의 확보가 가능한 합성섬유 개발이 상당히 진행되어 현장에서도 사용되고 있는 실정이다.

이에 본 논문에서는 기존 쏿크리트가 가지는 품질문제 개선 및 강섬유를 대체할 수 있는 적합한 재료를 개발하고자 품질관리가 잘 이루어진 건조형태의 재료를 공장에서 수급하여 현장에서는 배합만을 실시하는 방식인 레디믹스트(Ready-mixed) 쏿크리트에 강섬유와 대등한 성능을 발휘할 수 있는 합성섬유의 적용가능성을 현장타설시험을 통해 평가하고자 하였다.

## 2. 레디믹스트(Ready-mixed) 숏크리트

레디믹스트 숏크리트란 기존 현장배합 숏크리트를 대체하는 공법으로서 터널시공 특성, 현장조건 및 사용용도에 맞게 생산할 수 있으며, 시공성 및 고품질 숏크리트를 확보할 수 있는 공법이다. 즉, 기존에 현장에서 배합되던 숏크리트의 고질적인 문제점들을 효과적으로 개선하기 위해 숏크리트 재료의 배합 및 제조를 레미탈 제조 전문업체에서 사전에 미리 실시하여 골재의 철저한 토립분 관리, 확실한 입도 관리, 전문배합 장치를 이용한 엄격한 품질관리 및 재료의 규격화 등을 거쳐 시공 품질을 극대화 시킬 수 있게 제조되는 숏크리트 재료를 의미한다. 숏크리트는 적당한 강도와 장기내구성을 가져야 하며, 경제적인 시공이 가능해야 하기 때문에 이를 위해서는 숏크리트 구성재료 중 80%이상을 차지하는 골재의 역할이 상당히 중요하다. 하지만 골재부족 현상을 겪고 있는 우리나라의 경우 양질의 골재를 얻는 것은 상당히 어려운 현실이며, 또한 골재의 먼지, 진흙, 유기물 등의 유해물 함유량 관리 및 골재의 입도관리 등 엄격한 품질관리가 시급한 실정이다. 따라서 이러한 문제를 해결하고 각 요소별 최적의 혼합을 유도하기 위한 공장배합 시스템의 적용이 불가피하며, 이를 통해 고품질 및 낮은 탈락율의 특성을 갖는 숏크리트 시공이 가능해질 것으로 판단된다. 또한 본 공법은 NATM 지보개념을 준용하며, 영구지보재로 역할을 할 수 있는 장기 고성능 숏크리트 개발 및 터널 지보재 표준화와 시공의 편이성, 품질관리의 용이성 및 재료의 고성능화를 통해서 사회간접 시설물의 하나인 터널구조물 안정성 확보를 이룰 수 있다.

## 3. 현장타설실험

### 3.1 실험계획 및 배합표

레디믹스트 숏크리트에 적합한 강섬유 대체할 수 있는 새로운 합성섬유의 현장적용성을 평가하고자 실리카 흙을 혼입한 동일 배합에 강섬유, PP-PE, PVA를 혼입하여 리바운드율, 압축강도, 휨강도 및 휨인성 실험에 대한 실험을 수행하였다. 본 실험에 적용된 시험배합표는 표 1과 같다.

표 1. 섬유 혼입별 배합표

배합명	Gmax (mm)	Slump (cm)	W/B (%)	단위결합재량(kg/m <sup>3</sup> )						
				W	C	레디믹스트 골재	실리카 흙	급결재	섬유	유동화제
1 SF-S	8	12	45.6	212	428	1,602	-	37.20 (알칼리 프리계 : 8%)	40	5.58
2 SF-PP	8	12	45.6	212	428		20		12	5.58
3 SF-PVA	8	12	45.6	212	428		20		8	5.58

주1) SF- 실리카 흙 S- Steel Fiber PP- 폴리프로필렌 PVA- 폴리비닐알코올  
W/B:물 바인더(시멘트+혼화제)비, S/a:잔골재율, Gmax:골재최대치수

### 3.2 실험방법

#### 3.2.1 리바운드율

숏크리트 타설 기계의 2회 토출량을 반복 시험하여 계량하였으며, 총 10회의 스트로크를 측정하여 리바운드된 숏크리트를 수거한 후 계량하여 각 배합별 리바운드율을 산출하였다.

#### 3.2.2 압축강도

압축강도 공시체는 KS F 2403에 준하는  $\phi 10 \times 20$ cm의 원통형 공시체를 제작하였다. 초기 탈형 후 기중양생을 실시하였으며 압축강도는 재령 1일, 7일, 28일에 KS F 2405에 준하여 실시하였다.

### 3.2.3 휨강도 및 휨인성

휨강도 및 휨인성 시험은 KS F 2781(강섬유 보강 습식 슛크리트)에 의거하여, 휨강도 및 휨인성용 패 널을 사용한 후 28일 재령의 각주형 시험체(10×10×40cm)를 절단·가공하여 삼등분점 재하시험을 수행 하였다.

### 3.3 실험 결과 및 분석

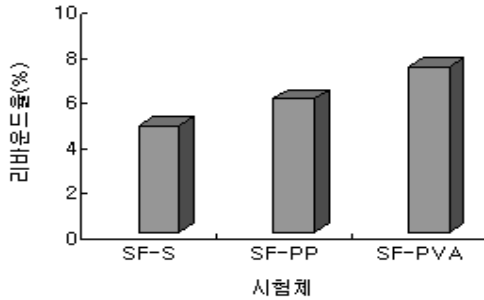


그림 1. 리바운드율 결과

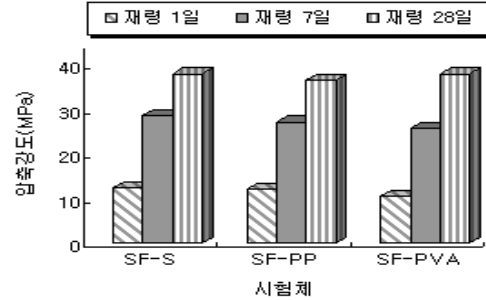


그림 2. 압축강도 결과

#### 3.3.1 리바운드율

리바운드율 실험결과, SF-S가 4.7%로 가장 우수하게 나타났으며, SF-PP(5.9%), SF-PVA(7.3%) 순으 로 측정되었다. 이는 강섬유에 비하여 상대적으로 비중이 낮은 데에서 기인되어 리바운드율이 다소 낮 게 나타났지만, 그 차이는 미미한 것으로 판단된다.

표 2. 현장타설 리바운드율 결과

배합명	슬럼프(cm)	2스트로크(kg)	10스트로크(kg)	리바운드량(kg)	리바운드율(%)
SF-S	12	85	425	20	4.7
SF-PP	12			25	5.9
SF-PVA	13			31	7.3

#### 3.3.2 압축강도

압축강도 실험결과, 섬유 혼입으로 인한 배합별 강도변화는 거의 나타나지 않았으며, 모두 터널설계기 준(2007)에 명시된 재령별 기준 압축강도를 상회하는 결과를 나타내었다.

표 3. 현장타설 압축강도 결과

배합명	재령	압축강도 (MPa)		
		1일	7일	28일
SF-S		12.4	28.5	37.9
SF-PP		12.0	27.1	36.5
SF-PVA		10.5	25.6	37.9

#### 3.3.3 휨강도 및 휨인성

휨강도 및 휨인성 시험결과, 모든 배합에서 등가휨강도 68%(KS F 2781) 이상을 나타내 슛크리트 품 질규격에 모두 만족하는 결과를 나타내었다. 특히, 합성섬유 PP, PVA를 혼입한 배합에서의 등가휨강도

및 휨인성 지수는 매우 양호하게 나타났다. 또한, SF-PP는 SF-PVA에 비하여 전체적으로 우수한 성능을 나타내었으며, SF-S(강섬유)의 결과와 거의 대등한 결과를 나타내어 섬유 적용 가능성을 확인하였다.

표 4. 현장타설 휨강도, 등가휨강도, 휨인성지수

구 분	휨강도	등가휨강도	휨인성지수		
			I <sub>5</sub>	I <sub>10</sub>	I <sub>20</sub>
SF-S	4.8	80.6	4.85	9.80	19.21
SF-PP	4.8	76.5	5.11	12.11	19.48
SF-PVA	4.6	71.1	5.00	6.03	18.49

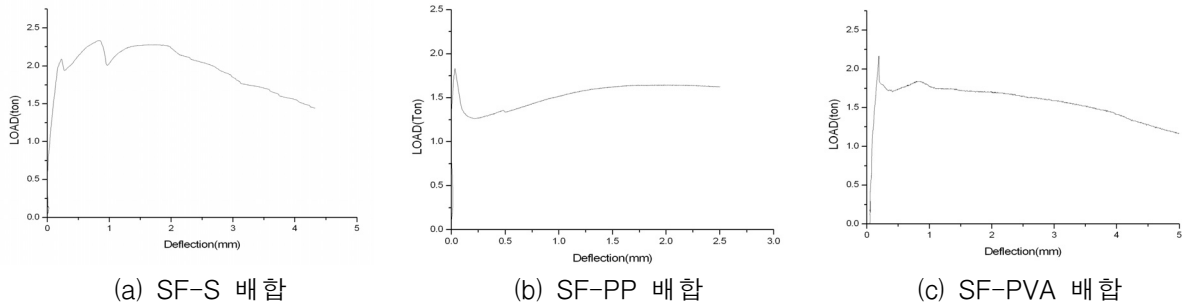


그림 3. 현장타설실험 배합의 하중-처짐 그래프

#### 4. 결론

합성섬유를 혼입한 레디믹스트 슛크리트의 현장적용성 평가에 관한 결론은 다음과 같다.

- 1) 합성섬유를 혼입한 레디믹스트 슛크리트의 리바운드 저감효과는 나타나지 않았으며, 이는 합성섬유의 비중이 낮은 데에서 기인된 것으로 판단되지만, 일반 현장에서 발생하는 리바운드율에 비하면 다소 우수한 것으로 판단된다.
- 2) 합성섬유 PP 및 PVA의 혼입배합의 등가 휨강도가 68% 이상을 나타내 품질 기준에 만족하였다. 특히, PP 합성섬유가 등가 휨강도 76.5% 및 휨인성 지수가 양호하게 나타나 가장 우수한 성능을 나타냈으며, PVA 합성섬유도 강섬유와 비슷한 성능을 나타내어 적용가능성을 확인했다.

본 연구에서는 미리 공장에서 분말형으로 재료를 계량하여 현장에 운반되는 레디믹스트 슛크리트 재료에 합성섬유를 혼입하여 기존 강섬유 슛크리트를 대체하고자 현장타설실험을 수행하였다. 그 결과, 리바운드율, 압축강도, 휨강도 및 휨인성에서 강섬유의 성능에 거의 대등한 결과를 보였으며, 특히, PP 섬유(40mm, 12kg)가 슛크리트에서 가장 중요한 측정 요소인 휨강도 및 휨인성에 대해 우수하게 나타나 그 적용가능성을 증명하는 계기가 되었다고 판단된다. 향후 합성섬유에 대해 다양한 종류 개발과 더불어 좀 더 구체적인 연구가 진행 되어져야 할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 건설교통부(2007), 터널설계기준
2. 건설교통부(1999), 터널표준시방서
3. 마상준, 김동민, 최재석, 안경철, 김선명 (2006), “현장실험과 복합열화시험을 통한 고강도 슛크리트의 장기내구성 검토”, 한국지반공학회 논문집, Vol.22 No.10, pp.77~91.
4. 마상준, 최희섭, 김동민(2008), “레디믹스트 슛크리트의 적정 골재최대치수 제안을 위한 기초적 연구”, 한국지반공학회 논문집, 제24권 제4호.
5. 한국건설기술연구원 (2008), “산업부산물물의 경제적 재활용과 시공품질 향상을 위한 분말형 레디믹스트 슛크리트 개발”.