

## 터널 지보특성 개선을 위한 보강합성섬유 슛크리트공법 연구

### A Study on the construction method of reinforced shotcrete using structural synthetic fiber

한일영<sup>1)</sup>, Han Il Yeong, 김방래<sup>2)</sup>, Kim Bang Lae, 원종필<sup>3)</sup>, Won Jong Pil

<sup>1)</sup> SK건설(주) 연구소 소장, Head of R&D Center, SK Engineering & Construction Ltd.

<sup>2)</sup> SK건설(주) 연구소 선임연구원, Senior Research Engineer, SK Engineering & Construction Ltd.

<sup>3)</sup> 건국대학교 지역건설환경공학과 교수, Professor, Department of Rural Engineering, Konkuk Univeristy

**SYNOPSIS** : The needs of improving the performance of wet shotcrete has become one of the most important issues in the tunnel field. The aim of this paper is to research the construction method of reinforced shotcrete using structural polymer fiber which exhibits a high quality in toughness and durability for the support of tunnel.

**Key words** : Reinforced shotcrete, Structural Synthetic Fiber, Toughness and durability

## 1. 서론

습식 슛크리트 공법에 사용되는 강섬유보강 슛크리트는 압송호스의 마모손상 및 과열, 강섬유의 팀으로 인한 안전관리상의 문제등이 발생하고 있고 특히 내수성 및 내산성이 불량하여 부식으로 인한 균열 및 박리현상 발생의 여지, 별도의 마감처리가 필요한 점, 가격이 고가인 점등이 단점으로 지적되고 있다. 강섬유보강 슛크리트의 단점을 보완한 대안으로서 폴리프로필렌 섬유 및 셀룰로스 섬유 등이 슛크리트에 고려되었으나 망사형 및 단사형 폴리프로필렌의 경우 다량 함유시 섬유뭉침현상(Fiber Balling)이 발생하고 휨인성 특성이 미흡하여 터널용 슛크리트에는 한계가 있다.

따라서 기존의 섬유보강스�크리트의 작업성, 안전성, 내구성을 보완한 구조보강합성섬유(Structural Synthetic Fiber)에 대한 연구의 필요성이 대두되어 인발강도실험을 통하여 구조합성섬유 보강재의 최적형상을 도출하였고, 도출된 구조합성섬유 보강재의 현장 적용성을 평가하기 위하여 슛크리트 모형타설 실험 및 현장실험을 수행하였다.

## 2. 구조합성섬유 보강재의 최적형상 도출

섬유의 형상에 따른 인발강도 시험결과, 그림1과 같이 굴곡형(Sinusoidal type)과 절곡형(Crimped type)이 가장 우수한 인발강도를 보여주었다. 이는 다른 형상의 섬유와 비교하여 굴곡형과 절곡형섬유는 섬유전체 길이가 모두 시멘트 모체와 마찰력을 발생시켜 우수한 부착 특성을 보여주는 것으로 판단되었다. 또한, 인발하중 측면에서는 굴곡형섬유가 인성측면에서는 절곡형섬유가 우수한 것으로 나타났다. 절곡형섬유의 형상을 주기 및 높이를 변수로 하여 시험을 실시한 결과, 주기 및 높이에 따른 인발성능은 인발강도 및 계면인성 모두 섬유의 높이가 커질수록 증가하는 경향을 나타냈으며, 주기가 6mm이고 높이가 1.8mm인 절곡형섬유의 인발성능이 가장 우수한 것으로 나타났다.

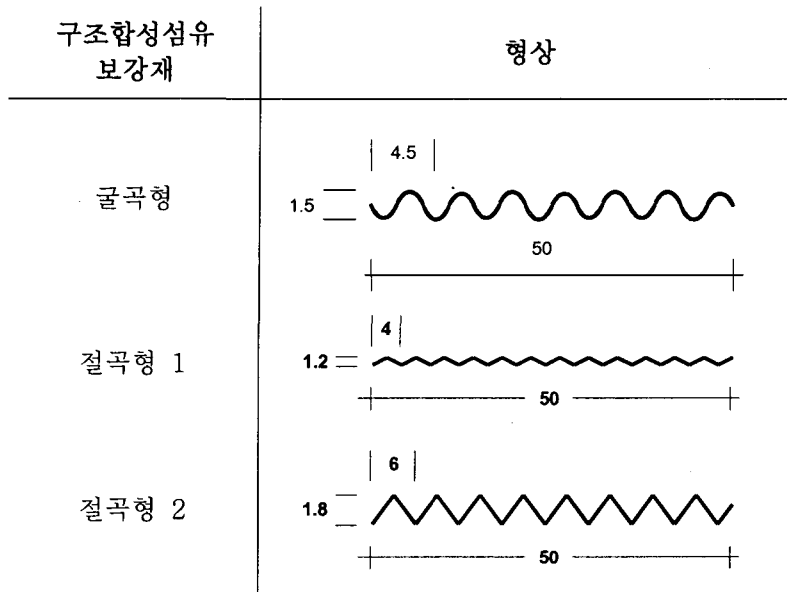


그림. 1 구조합성섬유보강재의 형상

### 3. 구조합성섬유보강재의 현장적용성 평가

#### 3.1 모형타설실험

도출된 구조합성섬유보강재 절곡형 1과 절곡형 2의 성능을 비교, 검증하기 위하여 현장실험에 앞서 터널상황을 모사하기 위한 Frame을 제작하고, Frame에 Plate 몰드를 설치하여 슛크리트를 타설하였다. 슛크리트의 압축강도는 혼입률이 낮을수록 절곡형 1이 절곡형 2보다 압축강도가 더 높은 것으로 나타났다. 슛크리트 Beam의 휨인성특성은 섬유의 혼입률이 증가할수록 휨강도도 증가하는 경향을 나타냈다. 절곡형 2의 경우 혼입률이 감소함에 따라 휨강도가 급격히 감소하였다. 타설시 절곡형 2는 혼입율이 증가할수록 섬유의 뭉침현상이 발생하여 시공성은 절곡형 1이 우수한 것으로 나타났다.

#### 3.2 현장실험

##### (1) 실험개요

모형타설실험을 통하여 도출된 구조합성섬유 보강재 절곡형 1의 현장적용성을 평가하기 위하여 여수의 지하 LPG 저장공동 건설현장에서 실험을 실시하였다. 실내실험을 통해 가장 적절한 잔골재율 및 섬유혼입율을 산정하여, 물-시멘트비에 따른 구조합성섬유 슛크리트의 압축강도 및 휨강도, 휨인성 실험을 수행하였다. 표 1은 본 현장실험에 사용된 시방배합을 나타내고 있다.

표 1. 현장실험 시방배합표

w/c (%)	s/a(%)	물(kg)	시멘트(kg)	모래(kg)	자갈(kg)	유동화제(kg)	섬유량(%)
SSF* 41	70	180.0	480	1205	441	2.4	1(9.1kg)
SSF 44	70	197.5	480	1141	478	2.25	1(9.1kg)
SSF 47	70	203.5	480	1116	455	2.25	1 (9.1kg)
SF** 44	70	180.5	450.5	1136	548	2.25	0.53(40kg)

\* Structural Synthetic Fiber

\*\* Steel Fiber

## (2) 실험결과

물-시멘트비가 증가함에 따라 압축강도 및 휨강도는 감소하는 경향을 나타냈다. 물-시멘트비가 44%일 경우, 등가휨강도는 강섬유보강 슛크리트는  $32.2 \text{ kgf/cm}^2$ 이고, 구조합성섬유보강 슛크리트는  $19.4 \text{ kgf/cm}^2$ 로 나타났다.

국내 휨인성평가방법(JSCE SF-4, 1990)인 등가휨강도비는 물-시멘트비가 44% 일때, 강섬유보강 슛크리트는 74.8%이고, 구조합성섬유보강 슛크리트는 55.4%로 나타났다. 그러나 유럽 휨인성 평가방법(EFNARC Test, 1996)에서는 에너지흡수량이 물-시멘트비 44%의 경우, 3200J 로써 휨인성 최고등급임을 보여 강섬유보강 슛크리트 1700J에 비해 구조합성섬유보강 슛크리트의 에너지흡수량이 상당히 큰 것을 알 수 있었다.

물-시멘트비가 44%일 경우, 강섬유 보강 슛크리트의 리바운드율은 11%, 구조합성섬유보강 슛크리트의 리바운드율은 7.4% 로써 구조보강합성섬유 슛크리트가 경제적임을 알 수 있었다.

## 4. 시공성

스�크리트의 타설은 적정타설압으로 타설이 되지 않은 경우에는 노즐부분에서의 폐색현상이 발생하였으며, 혼입율이 1.5%이상일 경우 합성섬유의 길이(30mm, 40mm, 50mm)에 따른 시공성은 길이가 길수록 압송성이 저하되었으며 길이가 50mm인 경우는 폐색현상이 일어나는 경우도 있어, 혼입율은 1.2% 이 내가 적정한 것으로 판단되었다. 또한 슛크리트내 섬유혼입 여부 및 보강섬유 종류에 따라 다양한 Screen이 제작될 필요가 있었다.

## 5. 경제성

스�크리트의 제성능을 발휘하기 위한 보강재의 혼입율은 강섬유는 0.5%, 구조 합성섬유는 0.8~1.2%이며, 이 경우 탈락율을 고려한 슛크리트 타설비는 구조합성섬유가 강섬유에 비해 10% 저렴한 것으로 분석되었다.

## 6. 결론

국내에서 적용되고 있는 휨인성 평가방법에 의한 결과는 구조합성섬유 보강재가 강섬유 보강재에 비해 낮은 결과가 나타났으나 유럽 휨인성 평가방법에서는 구조합성섬유 보강재가 강섬유 보강재에 비해 높은 에너지 흡수량을 보여주었다. 이는 Beam Test는 1차원거동을 측정하는데 반해 Plate Test는 2차원 거동을 측정하기 때문이다. 따라서 국내의 획일적인 휨인성 평가방법에서 벗어나 슛크리트의 성능을 제대로 측정할 수 있는 평가방법을 검토할 필요가 있을 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 건교부 산학연지원 과제로 수행되었으며, 실내실험을 수행한 서울대학교 오병환 교수님과 급결제와 모형타설장비를 지원해주신 (주)엠비티 코리아에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. JCI-SF4 (1990), Method of Test for Flexural Strength and Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete.
2. EFNARC (1996), European Specification for Sprayed Concrete.