

# 구조용 합성섬유 표면형상에 따른 부착특성

## Bond Characteristics of Structural Synthetic Fibers

원종필\*      임동휘\*\*      박찬기\*\*\*      한일영\*\*\*\*      김방래\*\*\*\*  
Won, Jong Pil      Lim, Dong Hui      Park, Chan Gi      Han, Il Yeong      Kim, Bang Lae

### ABSTRACT

Recently in abroad, structural synthetic fiber developed, has been studied extensively as a substitute for steel fiber due to its properties such as corrosion-resistance, low density, good pumping, and in-place safety, etc.

In this study, we conducted pull-out test, for seven different geometries of structural synthetic fibers and obtained optimum geometry for structural synthetic fiber which fully utilizes matrix anchoring without revealing fiber fracturing. According to pull-out test results, it was found that crimped type structural synthetic fiber give significant improvement in the interface toughness(pull-out energy) and pull-out load.

### 1. 서론

터널공사시 많이 사용되고 있는 강섬유보강 슛크리트의 사용은 인성 및 파괴저항성을 확보할수 있어 현재 많이 사용되고 있다.<sup>1,2)</sup> 강섬유보강 슛크리트는 철근 및 와이어 매쉬등이 가지는 단점, 즉 리바운드량 감소, 공사기간의 단축등 장점을 가지고 있으나 강섬유는 자체의 비중이 높고, 작업의 안정성 그리고 수분이 다량으로 포함되어있는 장소나 지하수가 침투되는 곳에서의 부식발생으로 인한 단점을 가지고 있다.<sup>3,4,5)</sup> 이러한 단점을 해소하기 위하여 개발된 구조용 합성섬유는 자체의 중량이 작아서 리바운드량의 감소 및 비부식성으로 인한 내구성 저하의 문제점을 해결할 수 있다.<sup>3,4,5)</sup> 그러나 강섬유 및 구조용 합성섬유는 표면의 비 친수성 재료로써 시멘트 모체와 부착성이 안 좋은 근본적인 단점을 가지고 있다. 일반적으로 부착성능이 우수한 섬유가 성능면에서 우수한 콘크리트 및 슛크리트를 보여주었다.<sup>6)</sup> 따라서 본 연구에서는 7가지의 역학적 변형을 가진 구조용 합성섬유를 가지고 부착시험을 실시하여 부착성능이 뛰어난 형상을 가진 형상을 찾아내고, 이렇게 결정된 섬유를 가지고 섬유의 높이 및 주기를 바꾸어 다시 부착시험을 실시하여 최적형상의 구조용 합성섬유를 찾아 내려한다.

### 2. 사용재료 및 시험방법

#### 2.1 사용재료

- \* 정회원, 건국대학교 농공학과 교수
- \*\* 정회원, 건국대학교 농공학과 석사과정
- \*\*\* 정회원, 건국대학교 농공학과 박사과정
- \*\*\*\* 정회원, SK건설 기술연구소

2.1.1 시멘트

본 시험에서 사용된 시멘트는 비중이 3.15인 국내 H사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

2.1.2 잔골재

잔골재는 비중 2.62, 흡수율 0.48%, 조립률인 2.92인 주문진 표준사를 사용하였다.






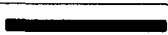


2.1.3 구조용 합성섬유

구조용 합성섬유의 특성은 표 1과 같으며, 본 연구에서 사용된 기본형상은 표 2와 같다.

표 1 구조용 합성섬유의 특성 <sup>4)</sup>

Property	Structure Synthetic Fiber
Elastic modulus(kgf/cm <sup>2</sup> )	3.5×10 <sup>4</sup>
Specific gravity	0.91
Fiber length(mm)	50
Tensile strength(kgf/cm <sup>2</sup> )	4500
Ultimate Elongation	15%
Water Absorption	0
Melting Temperature	175℃
Ignition Temperature	360℃
Acid/Alkali Resistance	High
Electrical Conductivity	Very Low

표 2 섬유의 기본형상

Schematic	Fiber	Fiber geometry	Schematic	Fiber	Fiber geometry
	F1	Crimped type		F5	Hooked type
	F2	Twist type		F6	Double duoform type
	F3	Enlarged type		F7	Straight type
	F4	Sinusoidal ends type		F8	Steel fiber(hooked type)

## 2.2 시험방법

JCI SF 8의 "METHOD OF TEST FOR BOND OF FIBERS"에 규정된 기준 모르타르의 배합에 의해 시험시편을 제작하여 부착시험을 실시하였으며 모르타르배합은 표 3과 같다.

표 3 모르타르의 표준배합

Type	Water-Cement Ratio	Cement-Sand Ratio(wt.)
I	0.50	1:1.7
II	0.65	1:1

## 3. 최적형상을 얻기 위한 기본 부착시험

최적형상을 얻기 위해서 선택된 7가지 형상의 표2와 같은 구조용 합성섬유를 가지고, JCI SF 8의 "METHOD OF TEST FOR BOND OF FIBERS"에 의거하여 시편의 양쪽을 분할하는 5mm두께의 플라스틱 판에 4개의 섬유가 끼워진 상태에서 모르타르 모체로부터의 부착시험을 실시하였다.

### 3.1 모르타르의 압축강도 결과

JCI SF-8의 "METHOD OF TEST FOR BOND OF FIBERS"에 규정된 기준 모르타르의 배합설계에 모체의 압축강도를 측정하기 위하여 KS L 5105에 따라 압축강도를 측정하였다. 재령 28일에서의 압축강도시험결과는 그림 1에 보여지고 type I 배합은  $400\text{kgf/cm}^2$  이상의 고강도를 보여주었으며, type II는 약  $250\text{kgf/cm}^2$ 의 보통강도를 보여주었다.

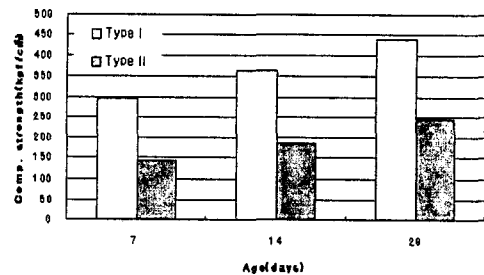


그림 1 모르타르의 압축강도

### 3.2 기본형상에 대한 결과

각 섬유의 형상에 대한 모르타르 모체에서 인발에 의한 거동은 그림 2와 같다. 그림 3~4에서는 섬유형상에 대한 부착시험 결과(인발하중, 계면인성)를 보인다. 부착시험 결과 crimped type이 인발하중과 계면인성에서 모두 가장 우수한 성능을 보여주었다. Crimped type의 구조용 합성섬유와 30mm의 강섬유와 비교하였을 때 인발하중과 계면인성이 약 2배이상 높음을 보였다. 한편 구조용 합성섬유의 double duoform type과 enlarged ends type에서는 섬유의 변형된 부분에서 섬유의 파괴가 발생하였고 계면인성에서의 급격한 떨어짐이 발생하였다. Twist type은 crimped type과 마찬가지로 섬유의 전 부분에서 변형되었지만 섬유전체의 꼬임으로 인한 섬유의 단면변화로 인하여 형상비(aspect ratio)가 작아짐으로 인해 인발강도 및 계면인성이 작게 나타났다. 구조용 합성섬유의 일부분 변형이 있는 hooked type과

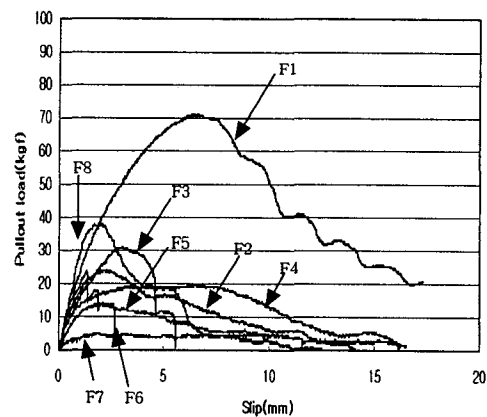


그림 2 섬유형상 별 인발거동

sinusoidal ends type은 작은 인발강도와 계면인성이 나타났다. 섬유에 어떠한 변형도 없는 straight type은 인발하중과 계면인성이 제일 작게 나타났다.

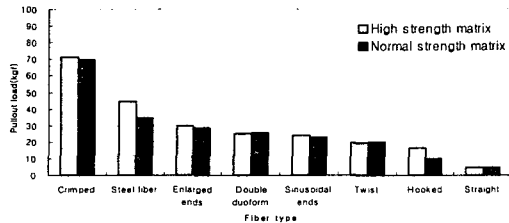


그림 3 구조용 합성섬유의 인발하중



그림 4 10mm까지의 인발에너지(계면인성)

#### 4. 구조용 합성섬유의 최적형상 결정을 위한 부착시험

##### 4.1 부착시험 계획 및 분석방법

7가지 서로 다른 형상의 구조용 합성섬유를 가지고 부착시험을 통하여 인발강도 및 계면인성이 가장 우수한 그림 5와 같은 crimped type의 구조용 합성섬유를 선택하였다. Crimped type의 최적형상결정을 위하여 표 4와 같이 주기( $\lambda$ )와 높이( $a_0$ )를 바꾸어 구조용 합성섬유와 시멘트 모체와의 인발강도와 계면인성을 최대로 할 수 있는 섬유형상을 결정하려 한다. 15mm까지 계면인성을 측정하였으며 이로 인한 각 섬유에서의 인발하중 및 계면인성을 비교 분석하였다.

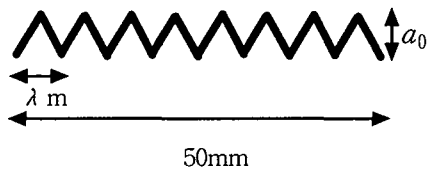


그림 5 최적형상의 crimped type

표 4 Crimped type의 치수

crimped type	$a_0$	$\lambda$
#1	1.2mm	6mm
#2	1.2mm	4mm
#3	1.8mm	6mm
#4	1.8mm	4mm

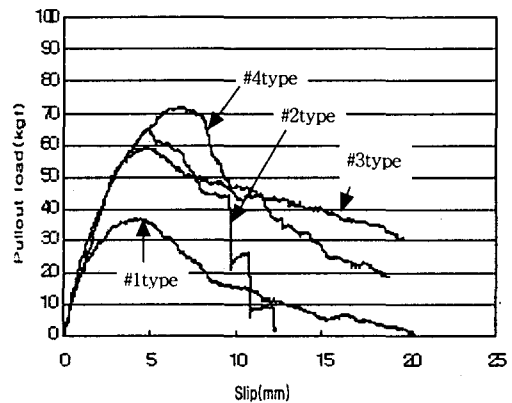


그림 6 Crimped type 별 인발거동

## 4.2 부착시험결과 및 분석

Crimped type의 섬유형상을 주기 및 높이를 변수로 하여 부착시험을 실시하였으며, crimped type 별 각 치수에 대한 전체적인 인발의 거동은 그림 6에서 보여지고, 그 결과는 그림 7~8와 같다. 계면 인성은 섬유의 높이가 커질수록 증가하는 경향을 보였다. #1, #2, #3type의 섬유형상은 비슷한 인발강도를 보였고, 인성측면에서는 #3, #4type의 섬유가 가장 큰 계면인성을 보였다. 인발강도 측면에서 #3type보다 #4type이 약간 큰 것으로 나타났으나, 계면인성 측면에서는 #3type이 #4type보다 큰 것으로 나왔다. 인발하중, 계면인성 및 임계길이와 연관한 섬유의 파괴를 고려하여 구조용 합성섬유의 crimped type 중에서  $\lambda=6$   $a_0=1.8$ 인 #3type이 그 성능면에서 가장 우수하게 나타났다.

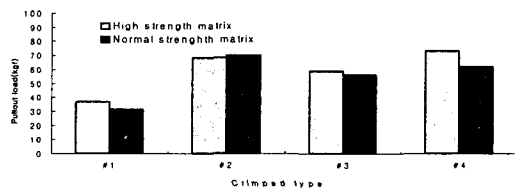


그림 7 Crimped type 별 다섬유 인발강도

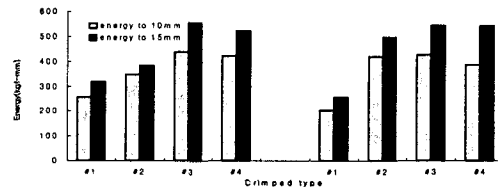


그림 8 Crimped type 별 인발에너지(계면인성)

## 5. 결론

본 연구는 최적형상을 가진 구조용 합성섬유를 결정하기 위하여 부착성능이 우수하다고 알려진 7가지 섬유형상을 가지고 JCI SF-8에 의한 부착시험을 통하여 가장 우수한 구조용 합성섬유의 최적형상을 결정하였다. 부착시험에 의한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 7가지 다른 섬유형상의 구조용 합성섬유를 가지고 JCI SF-8에 의한 부착시험의 결과, crimped type이 인발강도 및 계면인성이 가장 우수한 형상을 가진 섬유임을 알 수 있었다.
2. Crimped type의 섬유의 형상을 주기 및 높이를 변수로 하여 JCI SF-8에 의한 부착시험을 실시한 결과 계면인성은 고강도 및 보통강도 배합에 상관없이 섬유의 높이가 커질수록 증가하는 경향을 보였다. 본 연구에서는 섬유의 인발강도 및 계면인성과 섬유의 임계길이와 관련된 섬유의 파괴와 같은 모든 조건을 고려하여 6mm의 주기와 1.8mm의 높이를 가진 #3 type의 형상을 최적형상으로 결정하였다.

## 참고문헌

1. D.R. Morgan, "Steel Fiber Reinforced Shotcrete for Support of Underground Openings in Canada," Concrete International, November, 1991. pp.56-64.
2. 이정렬, "강섬유 보강 슛크리트의 현장 적용성 연구," 96-C05-140, 삼성건설 기술연구소, 1996,10.

pp.1~3.

3. D.R. Morgan, R. Heere, N. McAskill and C. Chan, "Comparative evaluation of system ductility of mesh and fibre reinforced shotcretes," Engineering Foundation, New York sponsored Conference Shotcrete for Underground Support VIII Campos do Jordao, Brazil, April 11-15, 1999.
4. SYNTHETIC INDUSTRIES "S-152 HIGH PERFORMANCE POLYMER,"-(Tech. Notes), 1998.
5. Morgan, D.R., Heere, R., McAskill, N., and Chan, C., "System ductility of mesh and fibre reinforced shotcrete," ACI Spring Convention ,Chicago(USA), 1999.
6. Balaguru, P.N. and Shah, S.P., "Fiber-Reinforced Cement Composites," McGraw-Hill, Inc., New York, 1992.