

# 섬유 보강토의 균열 특성 연구

## A study on the crack characteristics of the Synthetic Fiber reinforced Soil

송창섭 (충북대) · 이신호 (충북대) · 반창현\* (충북대) · 인현식 (충북대)  
Song, Chang Seob · Rhee, Shin Ho · Ban, Chang Hyun · In, Hyun Sik

### Abstract

This study was performed to ascertain the three-dimensional effect of the crack reduction and the restrained effect of crack growth, and to yield a suitable mixing ratio of the synthetic fiber reinforced soil. The results of the study are as follows ; 1) The synthetic fiber has the resisting force for crack because of the adhesion due to the attraction of soil particles. 2) As the synthetic fiber length and the mixing ratio are increased, mono filament synthetic fiber reinforced soil is increased the effects of crack reduction and the restraint of crack growth. 3) The fibrillated synthetic fiber is more effective than mono filament synthetic fiber for crack. 4) A suitable mixing ratio of synthetic fiber reinforced soil is 0.5% of the fibrillated synthetic fiber.

### I. 서론

토목섬유는 1926년 미국 South Carolina Highways Department에서 발주한 도로 공사에 처음으로 사용된 이래, 주로 분리, 여과, 보강, 배수, 액체/기체 차단기능 등의 용도로 각종 토목건설 및 환경분야에서 그 사용 영역을 확장해 나가고 있다. 토목섬유의 종류에는 투과성을 가진 지오텍스타일(Geotextiles), 차수성의 지오 멤브레인(Geomembranes), 보강용의 지오그리드(Geogrids), 배수용의 지오네트(Geonets) 그리고 지오웹(Geowebs), 토목섬유 점토차수재(Geosynthetic clay liners), 지오매쉬(Geomesh) 및 지오 복합재료(Geocomposites)등을 들 수 있다. 토목섬유 보강의 기능에 대한 역학적 기본 개념은 인장강도가 크고 탄성계수가 큰 재료를 흙속에 매설함으로써, 압축력에는 비교적 강하나 인장력에는 약한 흙의 공학적 성질을 개량하고, 이 보강 구조물의 수직 및 수평 활동을 억제시킴으로서 지반의 안정과 구조물의 내구성을 증진시켜 주는 것이 토목섬유의 보강에 대한 개념이다. 이러한 토목섬유 보강개념은 흙-토목섬유의 층상 interface 작용에 의한 2차원적인 개념에 한정되어 있는 것이 사실이며, 3차원적인 입체 섬유보강토의 성질 및 역학적 특성들에 대

---

1998년 한국농공학회 학술발표회 논문집 (1998년 10월 24일)

한 연구는 미흡한 실정이다.

한편, 흙은 분자간 결합이론에 의하여 거리가 15Å 이내이면 입자간 인력이 작용한다. 이들 힘은 건조 또는 압밀에 의하여 입자가 아주 접근될 때에 나타나며, 이때 발생하는 건조수축으로 인해 유발되는 수축 균열은 지반이나 토목구조물에서 여러 가지 문제점들을 안고 있다. 만약 흙의 광물조성, 흙의 입자 배열구조, 그리고 수분 감소에 따른 건조수축율이 소성 수축판의 전단면에서 일정하다면 건조수축에 의한 균열은 일어나지 않을 것이다. 그러나 흙입자간 인력의 차이는 수축시 균열을 발생시키게 되며, 일단 발생된 균열은 지속적으로 성장하게 된다. 흙에 혼합된 섬유는 흙의 건조시 발생하는 흙 입자사이의 인력권 내에 위치하여 입자사이에 부착된다. 이렇게 부착된 섬유는 인력권과 비 인력권사이의 이탈을 방지하게 되어 건조수축시 발생하는 균열을 제어하는 효과와 더불어 균열의 성장을 억제하는 효과를 동시에 발휘하게 된다.

본 연구의 목적은 3차원적인 입체 섬유 보강토의 균열에 대한 저항능력과 균열성장 제어능력을 규명함과 동시에 그 적정 혼합비를 산출해 내는데 있다.

## II. 재료 및 실험방법

### 1. 재료

섬유 보강토를 만들기 위해 사용한 합성섬유는 국내 S사에서 제조된 제품으로 재질은 Homopolymer Polypropylene 섬유로써 단사형(여러개의 단사형 압출섬유)과 망사형(수십개의 Fiber가 망형으로 연결된 섬유물치)으로 나누어 진다. Table-1은 사용된 합성섬유의 물성치를 나타낸 것이다. 그리고 자연 시료는 경기도 수원시 서둔동에서 채취한 시료로서 사질성분을 많이 함유한 화강암 풍화토이며 Table-2는 자연시료의 물리적 특성을 나타낸 것이다.

Table-1. Physical properties of Synthetic Fiber

Absorption	Specific Gravity	Melting Point ℃	Acid Resistance	Alkali Resistance	Tensile Strength kgf/cm <sup>2</sup>	Young's Modulus kgf/cm <sup>2</sup>
none	0.91	162	very high	very high	3,500~7,700	35×10 <sup>4</sup>

Table-2. Physical properties of soil

Atterberg limits (%)		Gs	Grain size distribution (%)						U.S.C.S
LL	PI		No.4	No.10	No.40	No.200	m/m 0.01	m/m 0.002	
38	21	2.62	100	99.6	95.5	64.6	40.6	23.1	CL

## 2. 실험 방법

### 가. 소성 수축판 제작

60cm×90cm×2.5cm 크기의 소성 수축판을 제작한 후 소성 수축판내 건조수축의 중앙 집중을 방지하고 균열을 유도하기 위한 장치를 부착한다.

### 나. 시료 조제 및 균열 측정 방법

자연 건조시킨 시료에 합성섬유를 일정비율 혼합한 후 28%~33% 범위의 함수비로 성형한 후 소성 수축판에 타설한다. 망사형 섬유인 경우는 섬유가 끊어지지 않고 망형으로 분리되도록 주의해야 한다. 33%이상의 함수비에서는 소성 수축판에 타설시 팽윤현상이 발생함으로 주의해야 한다. 소성 수축판에 타설이 끝나면 균열 측정 방안 격자를 설치하고 자연 건조시키면서 시간의 경과에 따라 균열크기, 길이, 갯수등을 측정한다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 단사형 섬유 보강토의 균열 특성

자연시료 및 섬유보강토의 균열은 수축판 타설후 1~2일이 경과한 후, 미세하게 발생하여 차츰 시간의 경과에 따라 확대, 발전하게 된다.

Table-3은 자연시료 및 단사형 섬유 보강토의 균열상수를 나타낸 것이다.

Table-3. Summary of crack constants of mono filament synthetic fiber reinforced soil

Sample	Volume fraction(%)	Crack number	Crack width(m/m)	Crack length(m/m)	Crack area		
					Area	Ratio (%)	Relative ratio (%)
Soil	0	60	0.3-10	10-880	54926.5	10.17	100
19mm Polypropylene fiber	0.1	63	0.5-9.8	10-870	44000.6	8.15	80.1
	0.3	144	0.1-8	10-300	35023.0	6.49	63.8
30mm Polypropylene fiber	0.5	149	0.1-6.4	10-220	31002.0	5.74	56.4
	0.1	90	0.3-9	20-490	39600.5	7.33	72.1
40mm Polypropylene fiber	0.3	127	0.3-5.7	20-230	31520.7	5.84	57.4
	0.5	138	0.2-4.9	20-210	27901.8	5.17	50.8
40mm Polypropylene fiber	0.1	82	0.5-7.7	20-360	36189.9	6.70	65.9
	0.3	230	0.2-4.5	15-220	30060.7	5.57	54.7
	0.5	239	0.2-3.3	15-180	25562.1	4.73	46.5

단사형 합성섬유(Polypropylene) 19mm, 30mm, 40mm 각각에 대해 혼합비 0.1%, 0.3%, 0.5%로 혼합된 보강토의 균열상수들을 비교해 보면, 혼합비의 증가에 따라 그리고 섬유길이가 길어짐에 따라 미세한 균열은 증가하는 반면, 균열폭과 균열길

이의 성장은 감소함을 알 수 있다. 이는 혼합토의 균열 성장 제어 효과를 나타내는 것으로써 혼합비의 증가에 따라 그리고 섬유길이의 증가에 따라 균열 성장 제어 효과는 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig.1~Fig.3은 단사형 섬유보강토의 혼합비에 따른 균열면적을 시간의 경과에 따라 도시한 것으로써, 자연시료에 비해 그리고 혼합비의 증가에 따라 균열면적이 감소하는 것을 알 수 있으며, 40mm 단사형 섬유 보강토 혼합비 0.5%의 경우 4.73% 가량의 균열발생율을 나타내어 균열제어 능력이 가장 뛰어난 것으로 나타났다.

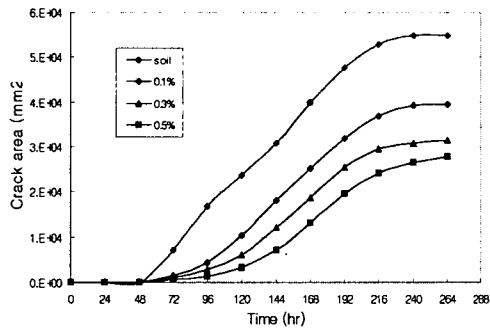


Fig.1 Relationship between crack area and elapsed time for 19mm mono filament synthetic fiber reinforced soils

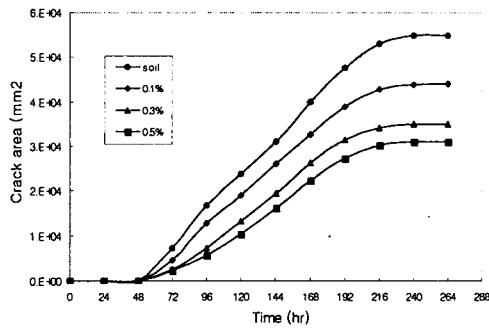


Fig.2 Relationship between crack area and elapsed time for 30mm mono filament synthetic fiber reinforced soils

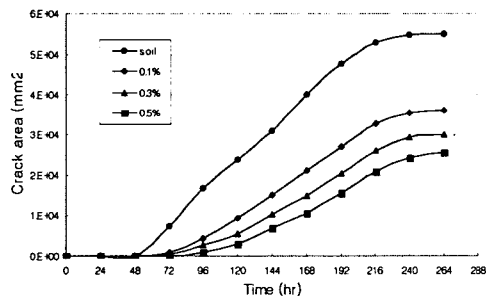


Fig.3 Relationship between crack area and elapsed time for 40mm mono filament synthetic fiber reinforced soils

## 2. 망사형 섬유보강토의 균열 특성

Table-4는 단사형 섬유보강토와 같은 방법으로 자연시료 및 각각의 섬유 혼합비에 따른 망사형 섬유보강토의 균열상수를 나타낸 것이다.

혼합비의 증가와 섬유길이의 증가에 따라 균열폭과 균열길이의 성장이 제어되는 것을 알 수 있다. 단사형 섬유보강토와 비교하면 각각의 섬유길이와 혼합비에서 균열 제어효과와 균열 성장 억제효과가 증가하는 것을 알 수 있는데, 이는 단사형인

경우 1방향의 균열 제어효과에 한정되는 반면, 망사형인 경우 2방향 균열 제어효과를 발휘하기 때문으로 판단된다.

Table-4. Summary of crack constants of fibrillated synthetic fiber reinforced soil

Sample	Volume fraction(%)	Crack number	Crack width(m/m)	Crack length(m/m)	Crack area		
					Area	Ratio (%)	Relative ratio (%)
Soil	0	60	0.3-10	10-880	54926.5	10.17	100.0
19mm Polypropylene fiber	0.1	62	0.3-7.5	15-500	42547.0	7.88	77.5
	0.3	94	0.3-5.8	20-230	33189.4	6.15	60.4
	0.5	113	0.3-5.1	20-180	20458.5	3.79	37.2
30mm Polypropylene fiber	0.1	86	0.3-7	30-370	38292.3	7.09	69.7
	0.3	128	0.3-5.2	20-220	29870.5	5.53	54.4
	0.5	141	0.3-4.5	20-180	18412.7	3.41	33.5
40mm Polypropylene fiber	0.1	82	0.3-6.3	10-350	35244.4	6.53	64.2
	0.3	136	0.3-4.2	15-210	25479.6	4.72	46.4
	0.5	164	0.3-3.1	20-170	17255.5	3.20	31.4

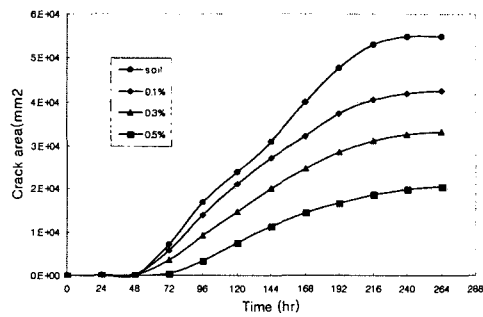


Fig.4 Relationship between crack area and elapsed time for 19mm fibrillated synthetic fiber reinforced soils

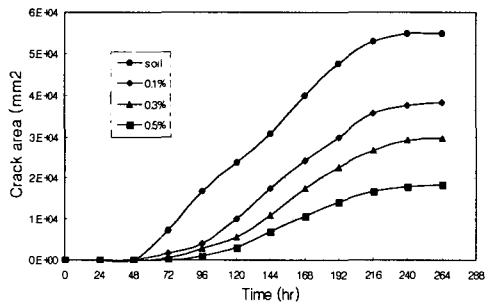


Fig.5 Relationship between crack area and elapsed time for 30mm fibrillated synthetic fiber reinforced soils

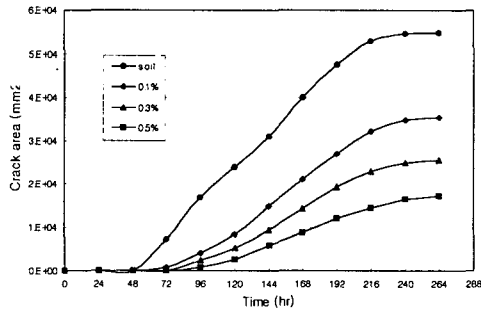


Fig.6 Relationship between crack area and elapsed time for 40mm fibrillated synthetic fiber reinforced soils

Fig.4~Fig.6은 자연시료 및 망사형 섬유혼합토의 시간에 따른 균열면적을 나타낸 것이다. 자연시료에 비해 그리고 혼합비의 증가에 따라 균열면적이 증가하는 것을 알수 있으며, 40mm의 망사형 섬유 보강토 혼합비 0.5%인 경우 3.20%의 균열 발생율을 보이고 있다.

### 3. 섬유 보강토의 적정 혼합비 추정

Fig.7과 Fig.8은 각각 자연 시료에 대한 단사형과 망사형 섬유 보강토의 혼합비에 따른 상대 균열면적비를 도시한 것으로써 단사형인 경우 40mm 섬유, 혼합비 0.5%에서 상대 균열면적비가 46.5%로 가장 낮게 나타났고 망사형인 경우도 마찬가지로 40mm 섬유, 혼합비 0.5%에서 상대 균열면적비가 31.4%로 가장 낮게 나타났다. 또한 단사형과 망사형을 비교해 볼 때, 40mm 섬유, 혼합비 0.5%에서 망사형이 단사형에 비해 상대 균열면적비가 15.1%정도 낮게 나타났다. 이는 섬유 보강토의 균열 제어 효과와 균열성장 억제효과 모두에서 그 효용성을 입증할 수 있는 결과이다.

따라서 본 연구에서 추정한 균열 제어효과와 균열성장 억제효과에 적합한 섬유 보강토의 적정 혼합비는 40mm 망사형 섬유 0.5%이다.

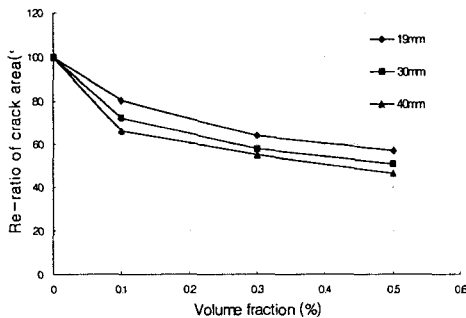


Fig.7 Relationship between relative crack ratio and volume fraction for mono filament synthetic fiber reinforced soils

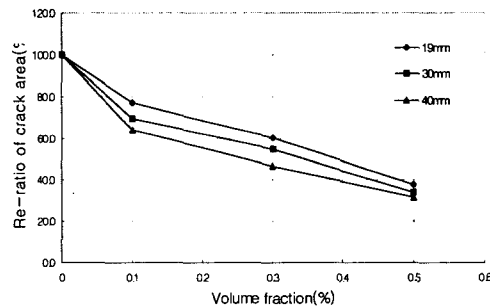


Fig.8 Relationship between relative crack ratio and volume fraction for fibrillated synthetic fiber reinforced soils

### IV. 결론

본 연구에서는 3차원적인 입체 섬유 보강토의 균열 제어효과와 균열 성장 억제효과를 규명하기 위해, 19mm, 30mm, 40mm 단사형과 망사형 합성섬유( Polypropylene )에 대하여 혼합비를 달리하여 시간에 따른 균열면적을 측정하였으며, 균열특성을 요약하면 다음과 같다.

1. 섬유 보강토의 균열제어 원인은 건조에 의한 흙 입자간 인력에 의한 부착력 때

문이다.

2. 단사형 섬유 보강토는 섬유길이가 길수록, 혼합비가 증가할수록 균열 제어효과와 균열 성장 억제효과가 증가하는 것으로 나타났다.
3. 망사형 섬유 보강토는 2방향 부착효과로 단사형 섬유 보강토보다 균열에 대하여 효과적이며, 섬유길이와 혼합비의 증가에 따라 균열에 대한 저항성이 증가하였다.
4. 균열에 대하여 가장 효과적인 섬유의 적정 혼합비는 40mm 망사형 섬유 0.5%로 나타났다.

#### 참고문헌

1. Das, Braja M., 1993, Soil structure, Principles of geotechnical engineering, pp. 58~62
2. Das, Braja M., 이형수, 이병수 공역, 1994, 토질공학 특론, pp. 13~29.
3. 권무남 외 6인 공저, 1994, 토질역학, pp. 12~24.
4. 고흥섭, 고남영, 홍순영, 1991, 흙-토목섬유 Interface 특성에 관한 연구, 한국농공학회지, Vol. 33, No 2, pp. 82~93.
5. 전한용, 1998, "토목섬유 종류 및 시험방법, 98년도 토목섬유 기술세미나, 한국원사직물시험연구원, pp. 229~267.
6. 한국도로공사 도로연구소, "합성섬유 콘크리트에 대한 실험적 연구", 1996년도 실용화 연구보고서, pp. 43~48.
7. 농림부, 1997, "전통·환경보존형 농촌주택 모형 개발 연구", pp. 83~188.