

# 섬유혼합토의 공학적 특성과 활용방안

## Engineering Properties of Fiber Mixed Soil and Its Use

박 영 곤\*(철도연) · 장 병 옥(서울대) · 이 상 호(경북대) · 송 창 섭(충북대)  
Park, Young Kon · Chang, Pyoung Wuck · Lee, Sang Ho · Song, Chang Seob

### Abstract

Soil is potentially suitable alternatives for use in many environments because many of the conventional materials have been encountered to be shortage due to excessive use by human. However soil without any modifications has been found to be unsuitable for building construction materials. Soil with reinforcement are naturally an answer to these alternatives. Through recent studies about fiber mixed soil, it has been shown that fiber is a good material to be applied to the building wall. In this study, engineering properties of fiber mixed soil are collectively shown and ideas about use of fiber mixed soil are proposed in addition to the use for building wall.

### I. 서론

모래, 자갈, 돌등과 같은 건설재료의 고갈 그리고 콘크리트 이용에 따른 전체 환경의 부조화 등은 새로운 대체재료에 대한 요구를 가져오고 있으며 자연재료, 특히 흙 자체를 구조물(흙벽)로 이용하는 것에 대한 연구에 그 관심이 증대되고 있다. 이미 알고있는 바와 같이 흙은 예로부터 인류가 각종 토기, 흙벽돌 등에 사용해 온 자연 친화적인 재료로서, 흙으로 만든 구조물은 다른 재료로 이루어진 구조물보다 탁월한 기능들을 가지고 있다. 그 대표적인 기능으로 보온 및 보습의 우수성을 들 수 있는데, 흙을 이용하여 벽체를 만들 경우 인간과 동·식물 그리고 각종 곡물·원예작물 등의 저장고로서 매우 유익한 혜택을 가져다 줄 수 있을 것으로 사료된다. 따라서, 최근 3-4년 동안 흙벽에 대한 연구는 단섬유 및 각종 첨가제를 흙에 적용하여 기본적인 강도 특성 및 전단특성, 흙벽 자체의 열전달 특성 등 각종 공학적인 특성이 순차적으로 규명되어 왔다. 그러나 불행히도 현재 이에 대한 종합적인 정리가 미흡한 상태이고, 그 활용에 있어서도 극히 제한적이다.

본 연구에서는 상기의 문제점을 해결하고 그 활용도를 제고하기 위해 섬유혼합토의 각종 공학적인 특성을 종합적으로 살펴보고, 새로운 활용방안을 제시함으로써 향후 단섬유의 현장 적용성의 증대를 도모하고자 하였다.

### II. 재료 및 시험

본 연구에서 사용한 흙은 국내에 널리 분포하며 물리적 특성이 크게 차이나는 모래질 흙과 점토질 흙을 선정하였다. 사용된 흙의 물리적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1 Physical properties of soils

Sampling location	Specific gravity	Liquid limit(%)	Plasticity index(%)	USCS	OMC(%)	$\gamma_{dmax}$ (kN/m <sup>3</sup> )
Suwon	2.62	38	21	CL	19.2	16.7
Palan	2.67	N.P	N.P	SM	14.1	17.5
Hadong	3.62	44	8	CL	27.7	14.4

섬유는 보강용 재료로서 널리 사용되는 폴리프로필렌과 폴리에스테르의 2가지를 선정하였고 물리적인 특성은 Table 2와 같으며 그 형태 및 기호는 Table 3과 같다.

Table 2 Physical properties of fiber elements

Fiber element	Specific gravity	Tensile Strength(MPa)	Melting point(°C)	Young's modulus(MPa)	Diameter (mm)
Polypropylene	0.91	350~770	164	3500	0.083
Polyester	1.38	700~900	240	8000	0.27

Table 3 Fiber types and notations

Fiber element	Fiber length (mm)				
	6	12	19	25	38
Polypropylene	Monofilament type			Fibrillted type	
	PP6	PP12	PP19	PPF19	PPF25
Polyester	PE0.20 : diameter 0.20mm (Monofilament type)				

### III. 섬유혼합토의 공학적 특성

#### 1. 다짐 및 강도특성

섬유혼합토의 다짐특성은 Fig.1과 같다. 그림에서 혼합비에 따른 최대건조중량은 섬유의 비중이 흙에 비해 상대적으로 낮기 때문에 혼합비가 증가할수록 감소하였으며, 최적함수비는 점점 증가하는 경향을 보였다.

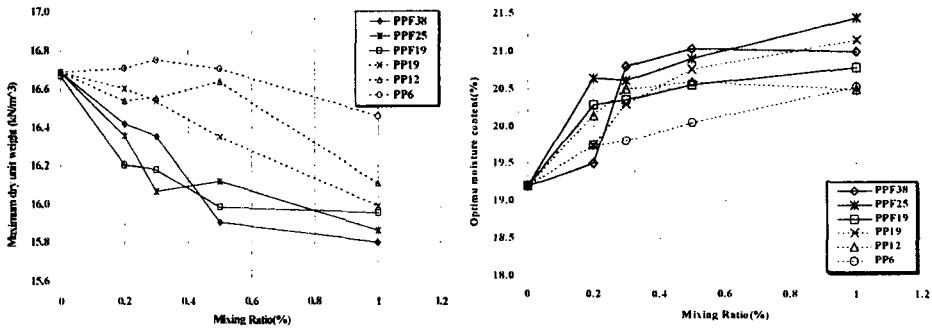


Fig.1 Maximum dry unit weight and optimum moisture content of clayey soil mixed with polypropylene fiber

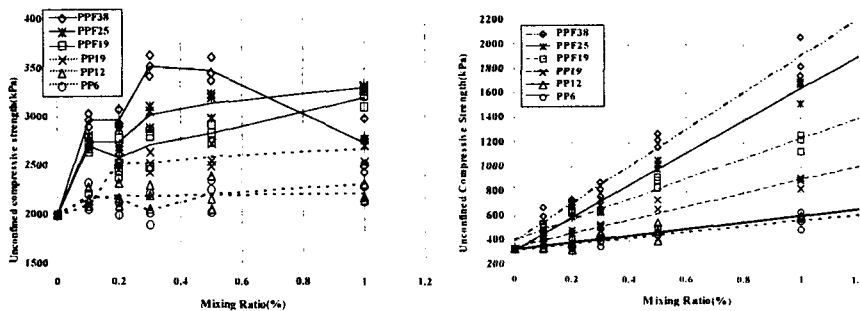


Fig.2 Unconfined compressive strength of clayey soil and sandy soil mixed with polypropylene fiber

Fig.2는 수원시료 및 발안시료를 대상으로 섬유를 혼합하였을 경우 일축압축강도 특성을 나타낸 것이다. 그림에서 수원시료의 경우 가장 높은 압축강도는 세섬유 38mm를 0.3% 혼합하였을 경우 약 3500kPa의 값을 나타내었고, 무보강한 경우보다 1.5배 큰 값을 보였다. 마찬가지로 발안시료의 경우에도 세섬유 38mm가 가장 높은 값을 보였지만 혼합비의 증가에 따라 압축강도의 값이 선형적으로 증가하는 경향을 보였다.

Fig.3은 흙에 섬유를 0.3% 보강하였을 경우 post-peak 강도저감 및 변형률의 관계를 보여준다. 무보강토에 비해 세섬유 38mm로 보강된 흙이 훨씬 높은 변형률에서 최대강도를 보였고, post-peak 강도저감 또한 무보강토에 비해 변형률이 10% 이상 진행되어도 무보강토의 강도를 유지하는 것으로 나타났다.

원기둥형의 공시체에 대한 간접인장강도시험을 통해서 인장강도와 직경방향의 변위를 컴퓨터 제어에 의해 측정하였다. Fig.4는 폴리프로필렌섬유와 점토질 흙, 모래질 흙을 혼합한 섬유혼합토에 대한 인장강도를 보여주는 것으로, 양자 모두 섬유혼합토의 인장강도는 무보강토의 인장강도보다 큰 값을 보이고 있다. 그림에서 점토질 흙의 경우 25mm 망사에 대해서 혼합비를 0.5%로 하였을 경우 580kPa로서 무보강토(210kPa)의 약 2.8배의 강도를 나타냈으며, 모래질 흙의 경우에는 무보강토의 약 5.3배에 해당하는 강도(185kPa)가 발현되었다.

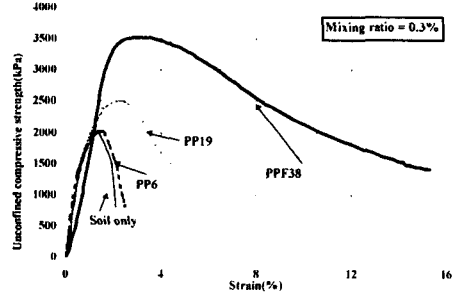


Fig.3 Unconfined compressive strength of clayey soil mixed with polypropylene fiber (mixing ratio=0.3%)

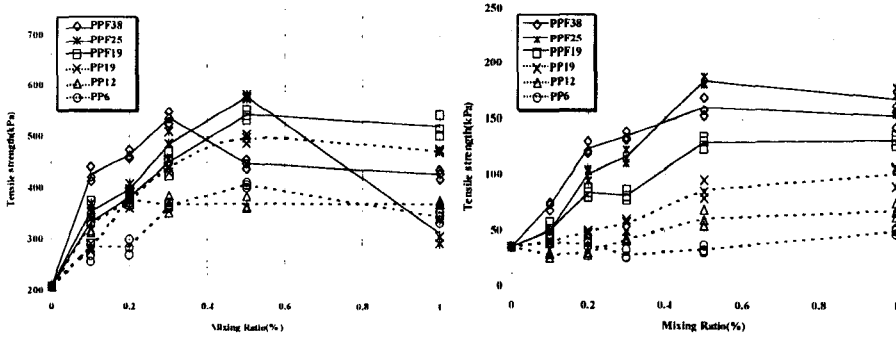


Fig.4 Indirect tensile strength of clayey soil and sandy soil mixed with polypropylene fiber

## 2. 전단특성

Fig.5는 형상비( $\eta = \ell/d$ )가 80인 직경 0.20mm의 폴리에스테르 섬유를 흙에 혼합하였을 경우 혼합비에 따른 강도증진비를 도시한 것으로, 섬유에 의한 보강효과는 구속응력이 증가할수록 감소하였다. 재성형된 경우 가장 큰 보강효과는 구속응력이 100kPa인 경우로서 2.4%의 혼합비에서 약 45%의 보강효과를 가져왔고 400kPa의 높은 구속응력에서는 1.2%의 혼합비에서 보강효과가 가장 크게 나타났다. 따라서 재성형된 얇은 현상지반에 적용하기 위한 적절한 혼합비는 2.4%로 나타났다. 다짐된 경우, 재성형된 경우와 마찬가지로 구속응력이 증가할수록 섬유혼합에 의한 보강효과는 감소하였으며 최대 강도증진비는 50kPa의 낮은 구속에서, 섬유의 혼합비가 1.2%일 때 약 40% 정도 보강효과를 보였다.

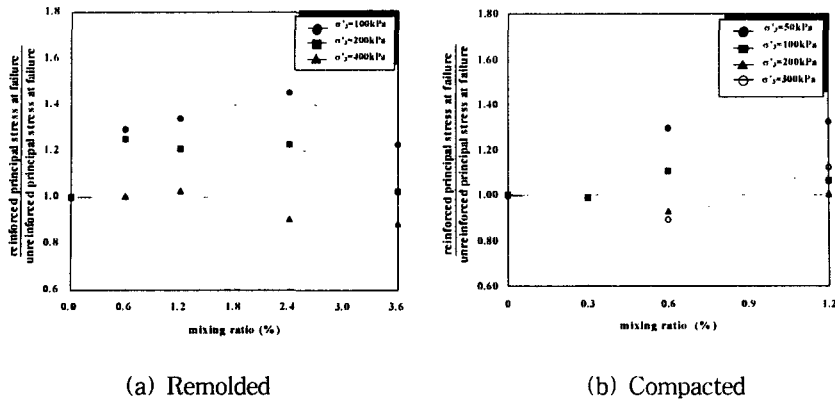


Fig.5 Influence of mixing ratio of fiber on fiber contribution (PE0.20,  $\eta = 80$ )

### 3. 수축균열특성

흙벽을 시공한 후, 시간의 경과에 따라 흙재료의 건조에 따라 수축을 하게 되면서 벽체는 서서히 균열이 발생하게 된다. 이러한 건조수축에 의한 균열은 흙 재료의 특성상 방지할 수 있는 대안이 없다. 그러나 적당한 첨가제를 혼합하여 균열을 넓게 골고루 분포시키면 사용상 또는 구조상에 별다른 문제점을 일으키지 않게 된다. 본 연구에서는 흙벽의 균열을 방지할 수 있는 첨가제를 적당한 비율로 혼합하여 시간의 경과에 따른 균열갯수, 균열폭, 균열길이 등을 측정하여 첨가제의 균열제어 특성을 검토하였다. 첨가제는 섬유(폴리프로필렌섬유계)를 사용하였으며, 섬유는 19mm로 단사형과 망사형에 대해서 비교하였다.

Fig.6은 섬유(단사형과 망사형) 혼합토의 시간에 따른 균열면적을 비교한 그림으로, 약 2일정도 경과한 후에 초기균열이 시작하여 약 11일 정도가 지나면 더 이상의 균열의 확장이 없는 것으로 나타났다. 자연시료의 경우 약 10% 정도의 균열이 발생하는 것으로 나타나는데 비하여 섬유의 단사형인 경우는 약 6%~8%, 망사형인 경우는 4%~8% 정도의 균열면적이 발생하였다.

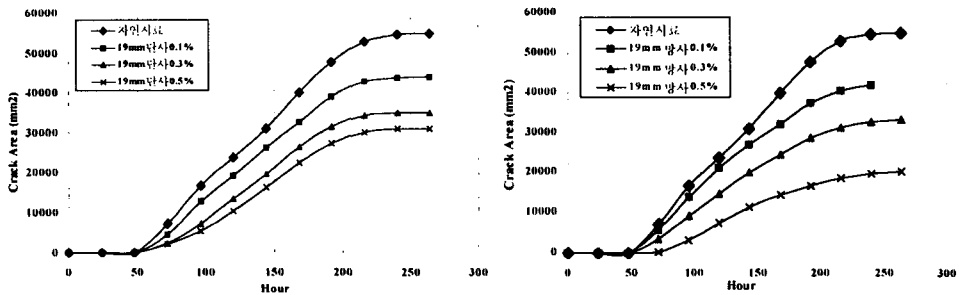


Fig.6 Crack area of fiber mixed soil by time

### 4. 열전달특성

일반적으로 콘크리트의 열전도율은  $1.40 \sim 1.5 W/m \cdot K$ 이며 시멘트 벽돌의 열전도율은  $1.2 W/m \cdot K$ 이다. 시험에 쓰인 시멘트벽체(CW)는 시멘트벽돌을 조적하였고 시멘트 모르타르를 사용하여 벽체표면을 외장처리하였다. 간이벽체(TW)는 폴리스티렌으로 이루어진 벽을 사용하였다.

시멘트벽체를 실험한 결과 설정온도(Temp.)  $15^\circ C$ 와 상대습도(RH) 70%일 때, 열전도율은  $1.25 W/m \cdot K$ , 열관류율은  $1.18 W/m^2 \cdot K$ 로 나타났으며 간이벽체의 열전도율은  $0.13 W/m \cdot K$ , 열관류율은  $0.91 W/m^2 \cdot K$ 로 나타났다. 이들 결과치를 흙벽의 열전도율 및 열관류율과 비교한 결과가 Fig.7과 같다. 여기서 흙벽의 열관류율은 시멘

트벽보다 낮게 나타나고 있으나 간이벽체와는 큰 차이를 보이지 않고 있다. 시멘트벽의 열전도율이 흙벽의 열전도율보다 대략 7배 이상으로 나타나며 시멘트벽의 열관류율은 흙벽의 열관류율보다 36.8%로 높게 나타난다. 또한 흙벽의 열전도율은 간이벽체의 열전도율보다 15.7%로 높고 열관류율은 서로 비슷한 값을 나타낸다.

Fig.8의 열전도율을 비교한 그림에서는 흙벽이 시멘트벽체보다 대부분 열전도율이 낮게 나타나 흙벽이 시멘트벽체보다 단열이 더 잘되고 보온이 더 잘된다고 판단할 수 있다. 여기서 S는 수원시료, U는 무보강상태(Unreinforced), P는 발안시료, R은 보강상태(Reinforced)를 나타낸다.

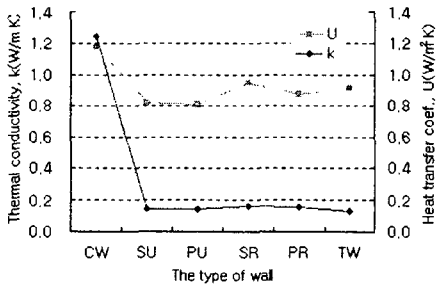


Fig.7 Thermal conductivity and overall heat transfer coefficient to types of wall (Temp. = 15°C, RH=70%)

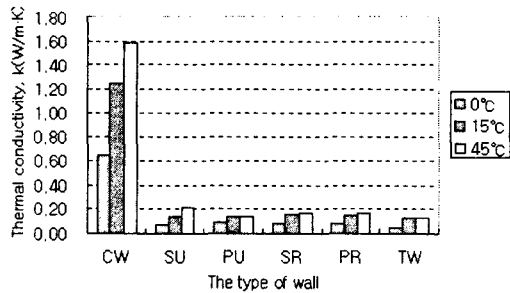


Fig.8 Thermal conductivity to types of wall (RH=70%)

#### IV. 섬유혼합토의 활용방안

섬유혼합토는 강도증진을 위한 모래발톱의 보강, 재하지지능 개선을 위한 지반개량제/안정제, 폐기물 부등침하 방지를 위한 라이너의 보강, 자연수로, 공원의 소규모 언덕/비탈 등 자연친화적인 재료로의 이용, 곡물저장고 및 주택의 비내력벽인 흙벽의 이용, 지반진동에 따른 면진재료, 낙석 등을 방호하기 위한 방호책, 기존의 평면보강재와 선형보강재를 복합적으로 이용함으로써 용벽 등 보강토 영구구조물로서 적극적으로 활용가능할 것으로 판단된다.

#### V. 결론

단섬유를 이용한 연약지반의 개량 및 각종 구조물의 보강재로서 현장 적용성의 증대를 도모하기 위해 섬유혼합토의 각종 공학적인 특성을 종합적으로 살펴보고, 그 활용방안을 제시하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 섬유혼합토의 공학적인 특성 즉, 다짐특성, 강도특성, 전단특성, 균열특성, 열전달 특성을 종합적으로 살펴보았다.
2. 섬유혼합토의 활용방안에 대해 제시하였다.

#### 참고문헌

1. 농림부, 1999, 농업구조물에서의 이용을 위한 보강흙벽 및 공법개발, 최종보고서
2. 장병욱, 박영곤, 우철웅, 김강석, 1999, 섬유혼합토의 일축강도특성, 한국농공학회지, 41(1), pp.72-78
3. 박영곤, 1999, 섬유혼합토의 파괴예측 모델의 개발과 비배수 강도 특성 분석, 서울대학교 박사학위논문
4. 박영곤, 장병욱, 2000, 섬유혼합토의 전단파괴해석, 한국농공학회지, 42(2), pp.86-92
5. 박영곤, 장병욱, 2000, 재생형된 단섬유 보강점토의 구성과 보강 효과, 한국지반공학회는문집, 16(6), pp.87-95
6. 서동욱, 2000, 흙벽의 열전도 특성에 대한 연구, 서울대학교 석사학위논문