

# 섬유보강 혼합토의 일축압축강도 특성에 관한 연구

## A study on the unconfined compressive strength(UCS) of fiber-reinforced soil.

장 병 옥(서울대) · 김 강 석\*(서울대) · 박 영 곤(서울대)  
Chang, Pyoung Wuck · Kim, Kang Suk · Park, Young Kon

### Abstract

The purpose of this study was to evaluate the properties of unconfined compressive strength(UCS) of dry soil which was reinforced with short polypropylene fiber(SPPF). And the results were summarized as follows:

1. As water content was increased, unconfined compressive strength and strain of dry soil with no fiber added were decreased
2. As mixing ratio of fiber was increased, unconfined compressive strength and strain at failure of dry soil reinforced with SPPF were increased.
3. When mixing ratio was larger than 0.5%, unconfined compressive strength was gradually increased.
4. The longer fiber was, the larger post peak strength was obtained and the larger strain was reached.

### I. 서론

흙을 건설재료로 사용함에 있어서 가장 큰 관심사는 강도 증진이며, 현장지반에 대한 흙의 연구 및 시공은 강도 증진을 위한 각종 재료의 혼합과 공법을 중심으로 이루어졌다. 현장지반의 강도 증진뿐만 아니라 흙을 건조하여 벽체나 벽돌 등 구조물의 재료로 사용할 때 강도의 증진은 중요한 문제이었으며 이때 보강재로서 짚 등을 사용하여 보강의 효과를 본 전통적인 방법이 있다. 그러나 전통적으로 건축 구조용 재료로 사용되었던 흙에 대한 공학적인 연구는 국내적으로 미미 할뿐만 아니라 이의 보강에 대한 연구 또한 그러하다.

따라서 본 연구에서는 보강흙벽 연구의 일환으로 구득이 용이한 화강풍화토와 부식성이 있는 자연재인 짚대신 보강콘크리트에 널리 사용되는 단섬유(short fiber)를 보강재로 선정하여 이의 보강효과를 구명하고 섬유보강되지 않은 건조된 흙 재료의 강도특성과 상호 비교해 보고자 한다.

### II. 재료 및 시험방법

#### 2.1 재료

##### 2.1.1 흙 시료

연구에 사용한 흙 시료는 일반적으로 구할 수 있는 화강풍화토로서 구득장소는 수원지역이

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

다. 시료의 기초물성치는 Table 1과 같다.

Table 1. Physical properties of soil

Place	Specific gravity	Liquid Limit(%)	Plastic Index(%)	USCS	OMC(%)	Max. Dry Density(g/cm <sup>3</sup> )
Suwon	2.62	38	21	CL	19.6	1.70

### 2.1.2 섬유시료

연구에 사용한 폴리프로필렌(polypropylene)섬유는 국내의 S사에 제작한 것으로 보강콘크리트의 보강재료로 널리 사용되고 있다. 섬유의 물리화학적 특성은 Table 2와 같다.

Table 2. Chemical and Physical Properties of fiber

Specific gravity	Tensile Strength(MPa)	Melting point(°C)	Young's modulus(MPa)	Thickness (mm)
0.91	350~770	164	3500	0.082

폴리프로필렌섬유는 섬유제조 방식이 서로 다른 단사(filament type, PF)와 망사(fibrillated type, PM)가 있으며 본 연구에서는 섬유 길이에 따라 단사 3종(6mm, 12mm, 19mm), 망사 3종(19mm, 25mm, 38mm)의 6종을 선정하였다.

## 2.2 시험방법

### 2.2.1 시료의 혼합

재료의 혼합은 OMC 상태를 기준으로 이미 계량된 섬유, 흙, 물을 섬유혼합기(Fig. 1)를 이용하여 혼합하였으며 혼합시간은 섬유길이가 긴 경우는 짧은 경우보다 혼합시간을 늘렸다. 즉 단사 6mm와 단사 12mm의 경우는 30분, 단사 19mm와 망사 19mm의 경우는 1시간, 망사 25mm와 망사 38mm의 경우는 1시간 30분 동안 혼합하였다. 혼합비는 건조토의 중량에 대한 섬유의 중량비로 정의한다.

### 2.2.2 공시체의 제작과 건조

공시체는 직경은 10cm이고 높이가 20cm로 직경과 높이의 비가 2이다. 한가지 실험조건에 대해서 공시체는 3개를 제작하여 평균치를 구하였다. 60°C의 건조 장치를 이용하여 4일 동안 건조하였다.

### 2.2.3 시험 기구

시험에 사용된 UTM은 Zwick(France & Germany)사의 Z101모델로서 최고 10ton의 하중을 재하 할 수 있다. 3mm/min의 속도로 하중을 재하하여 일축압축강도(unconfined compressive strength, 이하 UCS)를 구하였다.

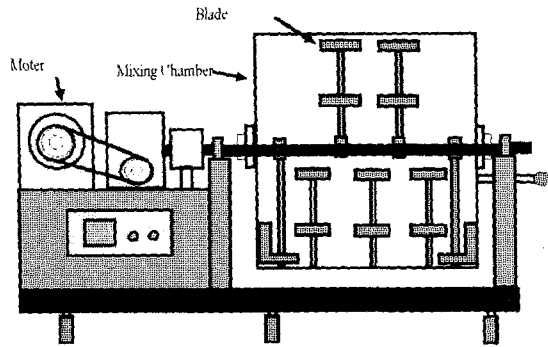


Fig. 1. Schematic view of fiber mixer

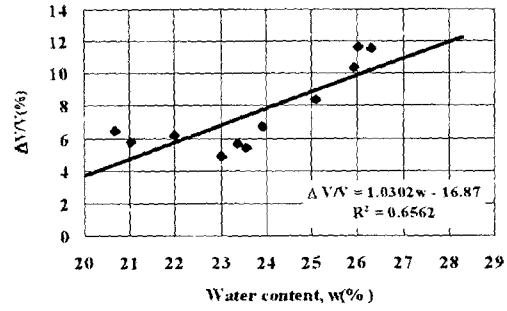


Fig. 2. Relationship between water content at making specimen and volume change after dry

### III. 결과 및 고찰

#### 3.1 공시체의 함수비와 건조 후의 체적변화

건조가 완료되었을 때의 함수비는 6.72% ~ 8.29%의 범위이며 주로 6.8% ~ 7.2%사이로서 비교적 균일하게 건조가 되었다.

공시체 제작시의 함수비와 건조가 끝났을 때의 체적변화는 Fig. 2에서와 같이 공시체 제작시의 함수비가 커질수록 건조 후 체적변화는 크게 나타났다.

#### 3.2 섬유보강 혼합토의 다짐특성

##### 3.2.1 섬유 혼합비에 따른 최대건조밀도와와의 관계

섬유 혼합비에 따른 최대건조밀도와와의 관계는 Fig. 3과 같다. 그림에서 섬유의 양이 증가함에 따라 최대건조밀도는 감소하였고 섬유를 혼합한 양에 따라서 다소 차이는 있지만 섬유의 길이가 증가함에 따라 최대건조밀도가 대체적으로 감소하였다. 또한 섬유의 길이가 같은 경우 단사가 망사보다 최대건조밀도가 더 크게 나타났다.

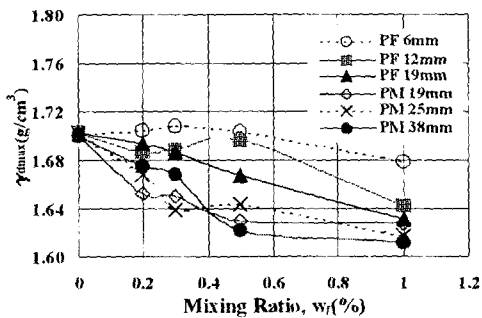


Fig. 3. Mixing ratio and max. dry density

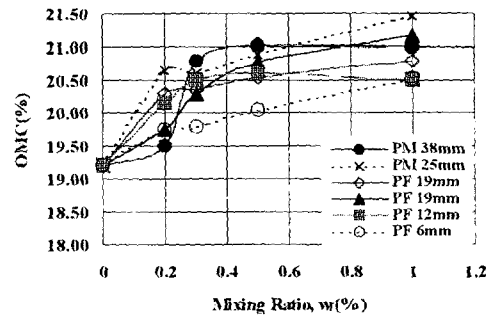


Fig. 4. Mixing ratio and optimum moisture content

### 3.2.2 섬유 혼합비에 따른 최적함수비와의 관계

섬유 혼합비에 따른 최적함수비와의 관계는 Fig. 4와 같다. 그림에서 섬유의 양이 증가함에 따라 최적함수비는 증가하지만 섬유의 종류에 따라서 최적함수비의 일관된 특징을 찾아내기는 어렵다. 같은 혼합비 조건에서 최적함수비는 1%~1.2%의 차이를 보였고 모든 경우에 있어서 섬유를 혼합하지 않은 경우보다 최적함수비가 크게 나타났다.

### 3.3 비건조 섬유보강 혼합토의 강도특성

건조한 공시체의 강도를 알아보기 전에 섬유를 혼합한 경우와 혼합하지 않은 경우에 대해서 공시체 제작 직후(비건조) 일축압축강도를 알아보았다. 섬유보강 혼합토는 Fig. 5와 같이 섬유의 종류에 따라서 큰 강도 변화가 없었으며 일축압축강도는 200kPa 전·후의 값을 보여 주었다. 한편 파괴시의 변형율은 대체적으로 증가하였다.

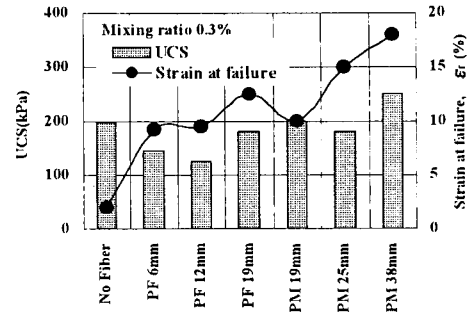


Fig. 5. UCS and strain of wetted soil and wetted fiber-reinforced soil

### 3.4 건조된 섬유보강 혼합토의 강도특성

#### 3.4.1 일축압축강도

##### 3.4.1.1 섬유를 혼합하지 않은 경우

섬유를 혼합하지 않은 공시체에 대한 공시체 제작시의 함수비와 건조 후 일축압축강도와의 관계는 Fig. 6과 같다. 그림에서 최적함수비보다 1~7%이상 높은 함수비에서 일축압축강도는 1929~2025kPa의 범위였으며 평균강도는 1988kPa(표준편차 25.5kPa)이다.

공시체를 제작할 때의 함수비가 증가함에 따라 일축압축강도는 감소하였는데 함수비는 일축압축강도에 큰 영향을 미치므로 많은 주의가 필요하다.

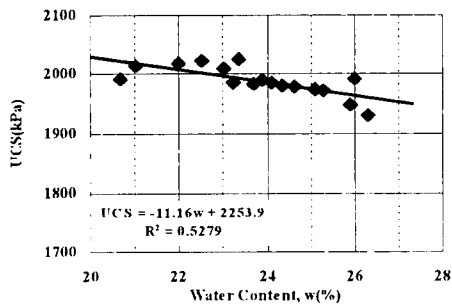


Fig. 6. UCS vs. water content of dried no fiber soil

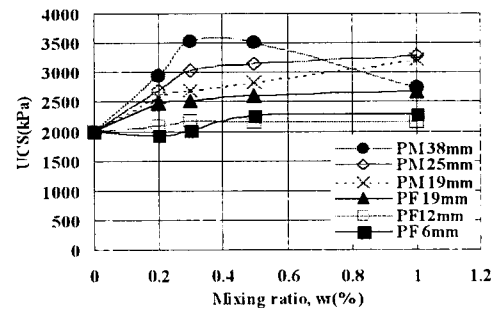


Fig. 7. Mixing ratio, fiber type and UCS of dried fiber-reinforced soil

##### 3.4.1.2 섬유를 혼합한 경우

섬유 보강된 혼합토에서 섬유의 혼합비, 섬유의 형태에 따른 일축압축강도와의 관계는 Fig. 7

과 같다. 그림에서 섬유 양이 증가할수록 대부분의 섬유 형태에 대해 일축압축강도는 증가한다. 그러나 단사 6mm와 단사 12mm, 망사 38mm에서는 이와 다른 결과를 보여 주고 있다. 즉 단사 6mm를 0.2% 혼합하였을 경우에 강도는 약간 감소하였고 단사 12mm의 경우에는 0.3%~1.0%까지 강도는 점차적으로 감소하였으며 망사 38mm의 경우는 1.0%를 혼합하였을 경우에 강도가 급격히 감소하였다. 이상의 결과에서 섬유의 양이 증가하면 대체적으로 일축압축강도가 증가하지만 섬유의 길이가 대단히 긴 경우에는 섬유혼합의 효과를 크게 기대할 수 없다.

### 3.4.2 파괴시의 변형율

#### 3.4.2.1 섬유를 혼합하지 않은 경우

섬유를 혼합하지 않은 공시체에 대해서 공시체를 제작할 때의 함수비와 파괴시의 변형율과의 관계는 Fig. 8과 같다. 그림에서 파괴시의 변형율은 0.75~1.61%(평균 1.27%, 표준편차 0.25%)로 나타났으며 공시체를 제작할 때의 함수비가 증가하면 건조한 공시체의 파괴시 변형율이 작아짐을 알 수 있다.

#### 3.4.2.2 섬유를 혼합한 경우

섬유보강 혼합토에 대한 파괴시의 변형율과 섬유의 종류 및 양과의 관계는 Fig. 9와 같다. 즉 섬유 양이 증가할수록 모든 경우에 있어서 파괴시의 변형율이 증가하였다. 증가하는 형태는 대수적이기보다는 지수적으로 증가하였다. 각각의 경우를 보면 단사 6mm의 경우 섬유의 양이 가장 많은 1.0%에서 비혼합토에 비해 변형율이 약 70% 정도 증가하였다. 한편 섬유의 길이가 가장 긴 망사 38mm의 경우는 10배 정도 큰 변형율에서 최대 일축압축강도를 발현하였다.

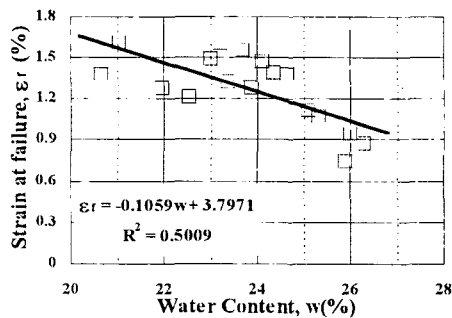


Fig. 8. Strain at failure vs. water content of dried no fiber soil

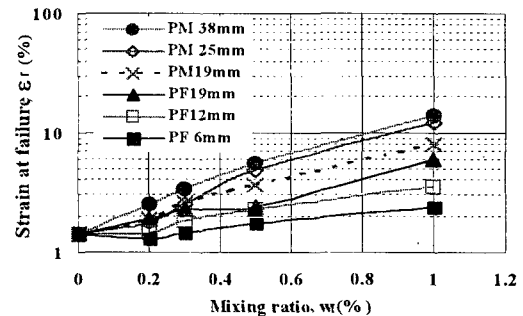


Fig. 9. Mixing ratio, fiber type and strain of dried fiber-reinforced soil

### 3.4.3 섬유보강 혼합토의 강도-변형 관계

섬유 혼합토의 일축압축강도와 변형율과의 관계를 섬유를 혼합하지 않은 경우와 비교하면 Fig. 10과 같다. 그림은 단사 6mm, 단사 19mm, 망사 38mm의 섬유를 각각 0.3% 혼합하였을 경우와 섬유를 혼합하지 않았을 경우에 대해서 최대 강도의 60%에 해당하는 강도를 발현할 때까지 도시한 것이다. 섬유의 길이가 증가할수록 최대압축강도는 증가하며 변형율도 증가한다. 섬유를 혼합하지 않은 흙의 경우와 단사 6mm를 0.3%를 혼합한 경우에 있어서 건조토의 강도 및 변형율은 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 망사 38mm의 경우 파괴 이후 큰 변형량에

서도 급작스런 강도저하가 발생하지 않았다.

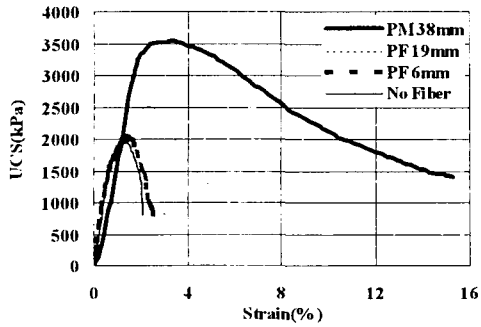


Fig. 10. UCS and strain of dried soil and dried fiber-reinforced soil

#### IV. 요약 및 결론

보강흙벽 연구의 하나로 화강풍화토를 대상으로 단섬유 보강의 일축압축강도특성 연구결과는 다음과 같다.

1. 섬유를 혼합하지 않은 건조토는 공시체를 제작할 때의 함수비가 증가함에 따라 일축압축 강도 및 파괴시의 변형율은 감소한다.
2. 섬유를 혼합한 건조토에서 섬유의 양이 증가할수록 대체적으로 강도는 증가하며 파괴시의 변형율도 증가한다.
3. 섬유의 길이가 길어질 때 강도는 증가하지만 혼합비가 0.5%이상일 때 강도의 증가폭이 둔화되거나 감소한다.
4. 섬유의 길이가 길어질수록 최대 강도 후 상당히 큰 변형율에 이르기까지 강도를 발현한다.

#### 참고문헌

1. 김경환, 1996, 최신 섬유재료학, 문운당, pp. 185-197.
2. 백상현, 1996, 폴리프로필렌 합성섬유보강 콘크리트의 강도 및 건조수축균열제어 특성 연구, 서울대학교 대학원 석사학위 논문.
3. 조삼덕, 김진만, 1993, 섬유혼합 보강토의 전단 특성, '93년도 한국지반공학회 가을 학술발표회 논문집-지반보강, pp. 23-28.
4. 한국건설기술연구원, 1994, 섬유혼합 보강토 연구.
5. Barzegar, A.R., Dades, J.M., Rengasamy, P. and Murray, R.S., 1995, Tensile strength of dry, remoulded soils as affected by properties of the clay fraction, Geoderma, Vol. 65, pp.93-108.
6. Gray, D.H. and Ohashi, H., 1983, Mechanics of fiber reinforcement in sand, ASCE Jr. of Geotechnical Engineering. Vol.109, No.3, pp.335-353.