

# 섬유혼합 점토의 비배수 강도 특성에 대한 연구

## Study on the Undrained Strength Characteristics of Fiber Mixed Clay

박 영 곤\*(서울대) · 장 병 옥(서울대)

Park, Young Kon · Chang, Pyoung Wuck

### Abstract

Triaxial compression tests were run to study on the undrained strength characteristics of fiber mixed kaolin clay(Hadong). The influence of various test parameters such as amount and aspect ratio(ratio of length to diameter) of fiber, confining stress was also investigated. Test results showed that the increase in aspect ratio was increased in deviator stress at failure, but no effect on pore water pressure at failure. Deviator stress at failure was also increased at 0.5% mixing ratio(weight fraction of fiber to that of soil solid) of fiber but it was, thereafter, decreased and was reached to constant after 2% mixing ratio. On the contrary, Pore water pressure at failure was increased as mixing ratio of fiber was greater than 1%. Deviator stress and pore water pressure of both clay and fiber mixed clay(FMC) at failure were increased as confining stress was increased. Deviator stress of FMC at failure was about 10% larger than that of clay, but pore water pressure of FMC at failure was almost similar to that of clay.

### I. 서론

구조물 건설재료로서 섬유의 이용은 매우 오랜 역사를 가지고 있는데 그 대표적인 것은 섬유를 서로 직조하여 제품화한 평면적인 형태의 토목섬유이다. 이와 같은 토목섬유에 대한 이용은 현재 전세계적으로 각종 구조물에 적용되어 활성화되어 있지만 선형적인 형태의 섬유자체를 흙과 혼합하여 흙의 역학적인 성질을 개선하고자 하는 연구는 아주 미진한 실정이다. 실제 단사(mono-filament) 형태의 섬유는 시멘트나 석회와 같이 흙과의 혼합이 용이하고, 강도의 등방성과 지속성이 우수하며 토목섬유를 이용한 공법의 단점인 보강재를 따라 진전되는 잠재적인 취약면이 발생하지 않는 등의 장점을 가지고 있어 새로운 연약지반 개량공법으로 그 연구가치가 크다 볼 수 있다.

따라서 본 연구에서는 연약지반 개량공법을 연구하기 위하여 실내에서 섬유혼합 점토를 재성형하고 비배수 삼축시험을 실시하여 개량된 연약지반 위에 구조물 건설 등의 급작스런 재하가 발생할 경우 섬유혼합 지반내의 전단강도 변화에 대한 기초 자료를 제시하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1 재료

#### 2.1.1 흙

본 연구에 사용된 흙 시료는 하동 지역의 회백색 고령토로서 #200번 체를 모두 통과하는 실크분이 많고 소성도가 낮은 흙이다. 시료의 주요 물리적인 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Physical properties of kaolin clay

Location	Specific gravity <i>G<sub>s</sub></i>	Liquid limit <i>LL</i> (%)	Plasticity Index <i>PI</i> (%)	Grain composition		USCS
				Silt(%)	Clay(%)	
Hadong	2.62	44	8	73	27	CL

#### 2.1.2 섬유

섬유는 국내에서 생산되고 있는 모노필라멘트(mono-filament)를 사용하였는데 그 특성값은 Table 2와 같다.

Table 2. Fiber characteristics

Type	Specific gravity <i>G<sub>r</sub></i>	Diameter <i>d</i> (mm)	Tensile strength (kPa)	Tensile modulus (kPa)
Polyester (synthetic)	1.38	0.20	$5.1 \times 10^5$	$9.8 \times 10^6$

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 공시체 제조과정

실험에 사용된 공시체는 분말상태의 고령토를 물과 혼합하여 액성한계의 2배의 함수비(88%)인 슬러리 상태로 만들어 38cmHg의 진공을 가해 점토 슬러리 속의 기포를 충분히 제거하였다. 그런 후 이미 계량된 섬유를 점토 슬러리 속에 넣어 교반기로 혼합한 후 Fig.1의 재하장치를 이용하여 공시체를 성형하였다. 하중은 압밀응력이 80kPa가 되도록 단계적으로 가하였고, 2주일 이상 압밀시킨 후 공시체 성형 실린더를 뒤집어 다시 1주일 이상 압밀시켰다.

### 2.2.3 시험의 종류 및 방법

재성형된 공시체에 대한 삼축 시험의 종류를 요약하면 Table 3과 같다. Table 3에서 섬유의 형상비는 섬유의 길이에 대한 직경의 비이며, 섬유의 혼합율은 흙의 건조중량에 대한 섬유의 중량비로 나타내었다.

삼축 시험은 압밀 비배수 시험을 실시하였고 하중제어 방식은 변형제어이다. 공시체의 크기는 직경 47mm, 길이 100mm인 원통형 시료를 사용하였다. 공시체의 포화는 배압을 가하여 B값이 0.97이상 되도록 한 후 압밀을 실시하였고 공시체의 전단시 재하장치의 전단속도는 5mm/hr(0.08%/min)이다. 압밀 과정에서 수직형대(vertical drain)의 Whatman No.54 필터를 사

용하여 측면배수를 실시하였고 멤브레인(membrane)은 두께가 0.2mm를 사용하였는데 이에 대한 영향은 보정되었다.

Table 3. Summary of test type

Test No.	Confining Stress (kPa)	Aspect ratio*	Fiber content** (%)
1	100	-	-
2	200	-	-
3	400	-	-
4	200	80	0.5
5	200	80	1
6	200	80	2
7	200	80	4
8	200	120	1
9	200	160	1
10	100	80	1
11	400	80	1

\* Aspect ratio ( $\eta$ ) : length of fiber / diameter of fiber

\*\* Fiber content ( $w_f$ ) : % weight of soil solid

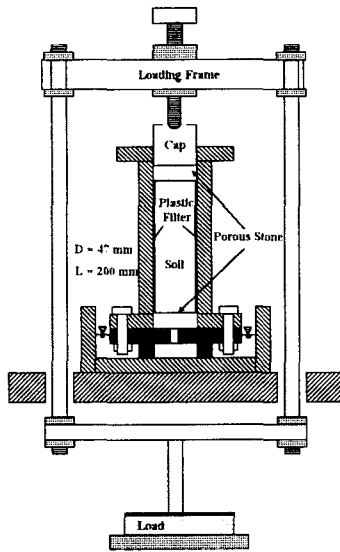


Fig.1. Consolidation device for remolded samples

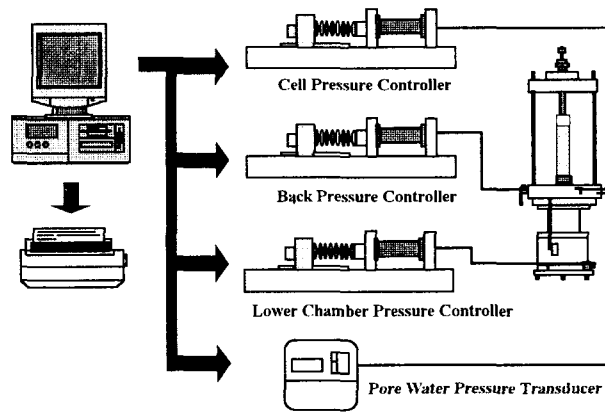


Fig.2. Diagrammatic layout of the system

본 연구에 사용된 삼축시험 장치는 영국의 GDS사 제품으로 3개의 압력조절기(digital controller) 및 공극수압 변환기가 컴퓨터로 조작이 되는 수리적인 시험기이다. 각 조절기들은 축하중, 셀(cell)내의 압력, 배압력을 조절하기 위해 셀내로 공급되는 공기 제거된 물의 압력과 체적의 변화를 정확히 측정하며, 컴퓨터의 IEEE488 표준 병렬 인터페이스(interface)에 인터페

이스 버스(bus) 케이블로 연결된다. 시스템의 개략도는 Fig.2와 같다.

### III. 결과 및 고찰

#### 3.1 섬유형상비에 따른 전단특성

본 연구에서는 섬유의 형상비에 따른 섬유혼합 점토의 전단특성을 구명하기 위하여 섬유의 길이가 각각 8mm, 16mm, 24mm, 32mm 4종을 사용하여 비배수 삼축시험을 실시하였다. Fig.3은 섬유의 형상비 즉, 섬유의 길이에 대한 직경의 비가 각각 40, 80, 120, 160에 대해 200kPa의 구속압력으로 압밀시킨 후 전단시험을 실시했을 때의 결과이다. 이 때 섬유의 혼합율은 1%이다. 여기서, 섬유의 형상비가 증가할수록 파괴시 혼합토의 전단강도( $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ )는 증가하였으며, 형상비가 120에서 가장 큰 값을 나타내었다. 또한 파괴시 공극수압( $U_f$ )은 섬유의 형상비가 증가할수록 상대적으로 감소하다가 형상비가 160에서 증가하였다.

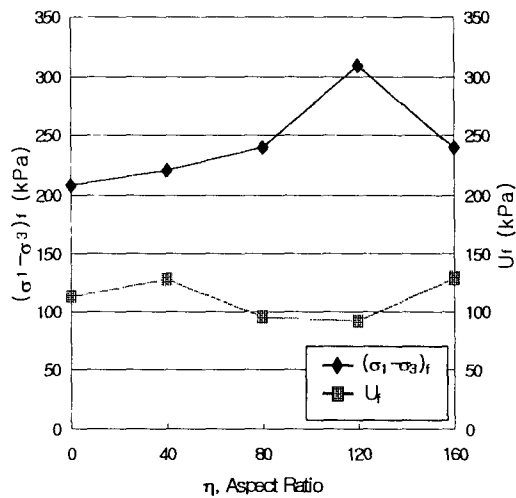


Fig.3. Shear characteristics of fiber mixed clay according to aspect ratio ( $\sigma_3=200\text{kPa}$ ,  $w_f=1\%$ )

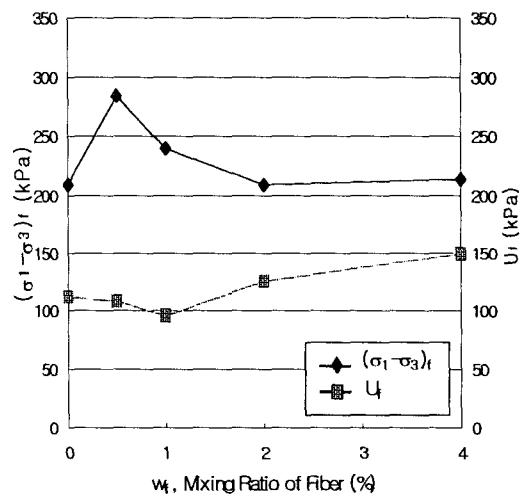


Fig.4. Shear characteristics of fiber mixed clay according to mixing ratio of fiber ( $\sigma_3=200\text{kPa}$ ,  $\eta=80$ )

#### 3.2 섬유의 혼합율에 따른 전단특성

섬유혼합 점토의 섬유 혼합율에 따른 전단강도 특성은 Fig.4와 같다. 이 때 구속응력은 200kPa이며 섬유의 형상비는 80을 대상으로 시험을 수행하였다. 여기서, 혼합토의 전단강도는 섬유의 혼합율이 0.5%일 경우에 가장 크며 2% 이상 섬유를 혼합할 경우 점토에 있어서는 강도증가에 별로 영향을 미치지 못함을 알 수 있었다. 또한 공극수압은 0.5%, 1%의 경우 비혼합토의 경우보다 적어지다가 섬유의 혼합율이 커질수록 비혼합토의 경우보다 증가하였다.

### 3.3 구속응력에 따른 전단특성

섬유혼합 점토의 구속응력에 따른 전단특성의 변화는 Fig.5, 6과 같다. 이 때 섬유의 형상비는 80이고 섬유의 혼합율은 1%이다. 여기서 파괴시 전단응력은 구속응력이 200kPa 이상일 경우 비혼합토에 비해 약 10% 이상 증가하였다. 또한 파괴시 공극수압은 구속응력이 증가할수록 200kPa에서 비혼합토에 비해 약 14%정도 감소한 것을 제외하고는 약간 증가하는 경향을 보여 주었다.

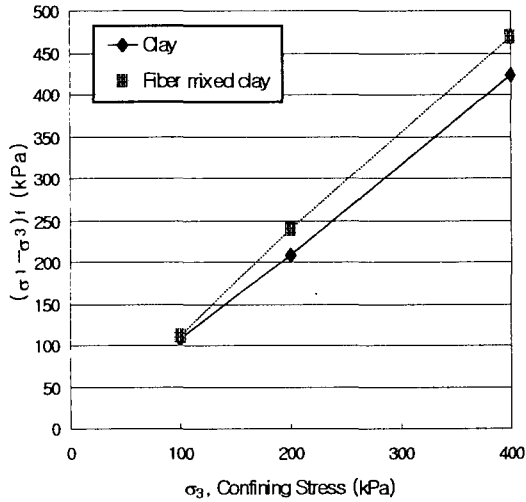


Fig. 5. Comparison of deviator stress at failure vs. confining stress of clay and fiber mixed clay ( $\eta=80$ ,  $w_f=1\%$ )

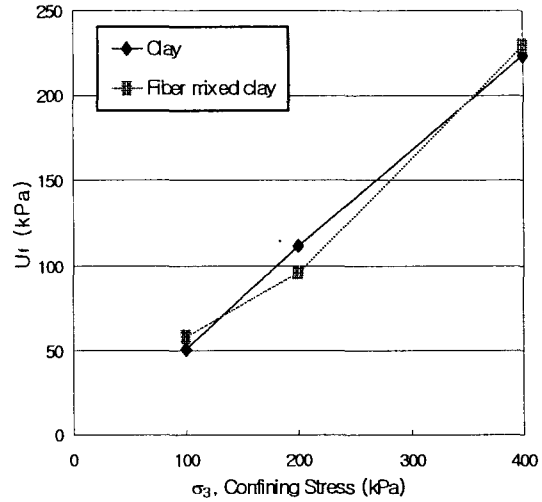


Fig. 6. Comparison of pore water pressure at failure vs. confining stress of clay and fiber mixed clay ( $\eta=80$ ,  $w_f=1\%$ )

#### IV. 결론

재성형된 섬유혼합 점토의 비배수 전단강도 특성을 살펴보기 위해 섬유의 형상비 및 섬유의 혼합율을 변화시켜 각각에 대한 압밀 비배수 삼축시험을 수행하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 섬유의 형상비에 따른 섬유혼합 점토의 전단강도는 섬유의 혼합율과 구속응력이 일정할 경우 섬유의 형상비가 증가할수록 증가하였으며, 형상비가 120에서 가장 큰 값을 나타내었다. 또한 공극수압은 섬유의 형상비가 증가할수록 상대적으로 감소하다가 형상비가 160에서 증가하였다.
2. 섬유의 혼합율에 따른 섬유혼합 점토의 전단강도는 섬유의 형상비와 구속응력이 일정할 경우 섬유의 혼합율이 0.5%일 경우에 가장 크며, 섬유를 2% 이상 혼합해도 강도증가에 별로 영향을 미치지 못하였다. 또한 공극수압은 1% 이하에서 비혼합토의 경우보다 적어지다가 섬유의 혼합율이 커질수록 증가하였다.
3. 섬유혼합 점토의 구속응력에 따른 전단강도는 구속응력이 200kPa 이상일 경우 비혼합토에 비해 약 10% 이상 증가하였고 공극수압은 구속응력이 200kPa 이상 증가할 경우 약간 증가하는 경향을 보여주었다.

참고문헌

1. Bishop, A.W. and Wesley, L.D., 1975, A hydraulic triaxial apparatus for controlled stress path testing, *Geotechnique* 25, No.4, pp.657-670
2. Donaghe, R.T, R.C. Chaney and M.L. Silver, 1988, *Advanced triaxial testing of soil and rock*, ASTM
3. Hambly, E.C., 1972, Plane strain behavior of remolded normally consolidated kaolin, *Geotechnique* 22, No.2, pp.301-317
4. Head, K.H. 1986, *Manual of soil laboratory testing*, Vol.3
5. 김경환, 조현욱, 1989, *섬유시험법*, 형설출판사
6. 김경환, 1996, *신판 섬유재료학*, 문운당