

섬유 보강토의 다짐 및 강도 특성

Characteristics of compaction and strength for synthetic fiber reinforcement soils

송 창 섭(충북대) · 장 병 옥(서울대) · 이 용 범*(충북대) · 임 성 윤(충북대)
Song, Chang-Sub · Chang, Pyoung-Wuck · Lee, Yong-Bum · Lim, Sung-Yoon

Abstract

This paper presents the results of an experimental investigation on the compaction and compressive strength of polypropylene fiber reinforced soils. This study has been performed to obtain the physical properties of PFRS(polypropylene fiber reinforced soil) such as strain-stress relationships, OMC(optimum moisture contents) and γ_{dmax} (maximum dry unit weight), with four different concentrations(i.e., 0.1%, 0.3%, 0.5% and 1.0% weights) of mono-filament and fibrillated polypropylene fibers.

The test results indicate an appreciable increase in strength due to addition of fibers. OMC is increased with the concentration ratio of fiber, but γ_{dmax} is decreased. From the viewpoint of strength, the fibrillated polypropylene fiber soil is more effective than the mono-filament polypropylene fiber soil.

1. 서론

일반적으로 흙은 다른 재료에 비하여 균질하지 못하며, 강도가 약하고 수분의 함유량에 따라 특성이 달라지는 등의 단점을 가지고 있다. 따라서, 이러한 흙의 단점을 보완하기 위하여 여러 첨가제를 사용하고 있다. 그 중에서 토목섬유를 이용한 보강토 공법은 이미 널리 사용되고 있으며 아직도 연구의 대상이 되고 있다. 특히, 흙을 이용하여 축조하는 경우에는 주로 Geotextile, Geogrid, Geoweb 등을 사용하여 섬유의 인장력으로 흙의 단점을 보완하는 측면에서 활용되고 있다.

최근에는 지반보강이나 재료의 보강이라는 측면에서 Web의 형태가 아닌 짧은 형태의 섬유 혼합토에 대한 연구가 시도되고 있는 추세이다. 섬유 혼합토는 흙의 강도증진이라는 측면외에 인성에 대한 저항력을 증가시켜 건조에 따르는 균열의 감소효과를 목적으로 하는 경우에 주로 사용하고 있다. 그러나, 섬유의 혼합에 따른 강도변화나 응력-변형 특성 또는 다짐에 대한 연구는 미비한 상태에 있다.

따라서, 본 연구에서는 국내에서 콘크리트용으로 사용되고 있는 폴리프로필렌 섬유를 혼합하여 혼합비에 따른 다짐특성과 강도특성을 규명하고자 한다.

1998년 한국농공학회 학술발표회 논문집(1998년 10월 24일)

2. 재료 및 실험방법

가. 재료

자연 흙시료는 경기도 수원시에서 채취한 화강 풍화토이며, 상당히 풍화가 진행된 상태로 일반적으로 주변에서 쉽게 접할 수 있는 흙으로 밝고 붉은 빛을 띄고 있었다. 흙의 물리적 특성은 Table-1과 같다.

섬유는 국내 S사의 폴리프로필렌 섬유를 사용하였으며, 섬유의 형태는 단사형과 망사형의 두 종류를 사용하였으며, 섬유의 구성성분비와 물리적 특성은 Table-2 및 Table-3와 같다.

Table-1 physical and mechanical properties of samples used

sample	Gs	LL(%)	PI(%)	Passing of #200	USCS	$\gamma_d(\max)$	OMC(%)
soil	2.62	38	21	64.567	CL	1.68	20.09

Table-2 Chemical components of Fiber used

components	Sodium chloride	Potassium chloride	Magnesium chloride	Calcium chloride	Ferric chloride	Sodium sulfate	Citric acid	Others	Total
values(%)	20	31	20	15	2	3	3	6	100

Table-3 Physical properties of Fiber used

	Quality of material	Shape of Fiber	Length	Absorption	Specific Gravity	Melt Point	Acid Resistance	Alkali Resistance	Tensile Strength	Young's Modulus
PM TYPE	Homopolymer	Fibrillated Bundle	19mm	nothing	0.91	162°C over	very high(in-activity)	very high(in-activity)	3500~7700 kg/cm ²	35×10 ³ kgf/cm ² over
PF TYPE	Polypropylene	Multifilament								

나. 실험방법

다짐시험은 A-다짐으로 각각의 혼합토는 단사형 및 망사형에 대하여 건조중량비의 0.1%, 0.3%, 0.5%, 1.0%로 혼합하여 시료를 조제한 후, 각각의 재료별, 혼합비에 대하여 실시하였다.

먼저 자연시료에 대한 다짐시험을 행한 후, 이를 바탕으로 각각의 시료에 대하여 다짐시험을 행하였다.

압축강도는 각 시료에 대한 다짐시험의 결과로 도출된 최적함수비 상태로 시료를 조제한 후, 공시체를 제작하여 기건상태로 양생재령에 따라 체적변화와 동시에 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 자연시료 및 섬유 혼합토의 다짐특성

자연시료에 대한 다짐시험 결과, 최적함수비(OMC)는 약 18.9 % 정도, 최대건조단위중량

(γ_{dmax})는 1.625 t/m^3 으로 일반적인 산토의 다짐특성을 보이는 것으로 나타났다.

자연시료 및 각 혼합시료의 최적함수비 및 최대건조단위중량을 요약하면 Table-4와 같다. 표에서 볼 수 있듯이 단사형이나 망사형 섬유 혼합으로 인하여 건조단위중량은 감소하며, 최적함수비는 증가하는 것을 알 수 있다. 섬유의 혼합에 따른 건조단위중량은 자연시료와 비교하여 단사형에서는 0.12% ~ 1.85%, 망사형에서는 0.62% ~ 2.03% 정도 감소하는 것으로 나타

Table-4 Maximum dry unit weight and optimum moisture contents of natural soil and fiber reinforced soils.

samples		OMC(%)	$\gamma_{dmax}(\text{t/m}^3)$
natural soil		18.86	1.625
mono-filament fiber	0.1 %	18.96	1.623
	0.3 %	19.20	1.616
	0.5 %	19.50	1.605
	1.0 %	19.87	1.595
fibrillated fiber	0.1 %	19.06	1.615
	0.3 %	19.30	1.600
	0.5 %	19.50	1.595
	1.0 %	19.60	1.592

났다. 최적함수비는 자연시료에 비해 높게 나타나는데, 단사형에서는 0.53%~5.36%, 망사형에서는 1.06%~3.92% 정도 높게 나타나고 있다. 이들의 관계를 도시하면 Fig.1 및 Fig.2와 같다.

단사형의 경우는 혼합량의 증가에 따라 건조단위중량의 감소나 최적함수비의 증가가 거의 선형적인 관계를 보이고 있으나, 망사형의 경우는 급격한 변화를 보이고 있는데, 이는 흙과의 혼합에 있어 단사형이 망사형보다 혼합이 용이하기 때문으로 사료된다. 그러나, 콘크리트 등 비교적 함수량이 많은 경우에는 혼합이 용이한 망사형이 효과적인 것으로 보고되고 있다. 따라서, 섬유를 흙과 혼합하여 사용하는 경우 최적함수비 근처에서의 다짐은 망사형보다 단사형이 약 0.2~0.6%정도 효과적인 것으로 판단된다. 또, 그 사용량은 섬유의 양을 많이 할수록 재료의 자중을 줄일 수 있는 이점이 있으나, 비비기, 타설 등의 시공성에 문제점이 있고, 마감처리 등이 문제가 되기 때문에 다짐측면에서는 0.3%~0.5%가 적당할 것으로 사료된다.

나. 자연시료 및 섬유 혼합토의 압축강도 특성

자연시료의 최적함수비 상태에서 제작한 공시체의 재령에 따른 압축강도를 도시하면 Fig.3과 같다. 자연시료의 경우에는 약 7일 정도가 경과하면 거의 건조상태에 도달하여 약 12 kg/cm^2 정도의 강도를 나타내는 것으로 나타났다. 또, 공시체의 피크(peak)시의 변형률을 보면 재령이 길수록 점차 작은 변형에서 파괴되는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 흙재료를 사용하는 구조물에서 거의 비슷한 양상을 보이고 있는 것이 특징이다. 그러나, 짚이나 여물, 섬유 등을 첨가하는 경우에는 인성의 증가로 인하여 상당한 변위에도 강도가 유지되며 동시에 잔류강도도 크게 나타난다.

자연시료 및 섬유 혼합토의 응력-변형률 특성을 도시하면 Fig.4와 같다. 그림은 재령 28일의

망사형 섬유 혼합토 및 자연시료의 응력-변형률 곡선을 나타내고 있으며, 이러한 응력-변형

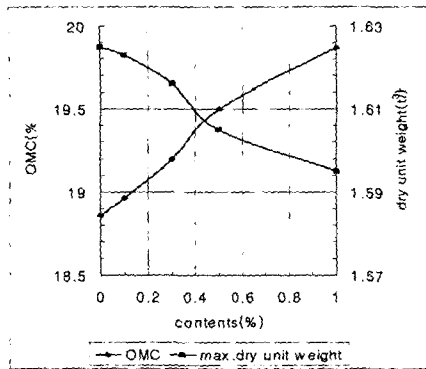


Fig.1 OMC and γ_{dmax} for fiber contents of mono-filament fiber.

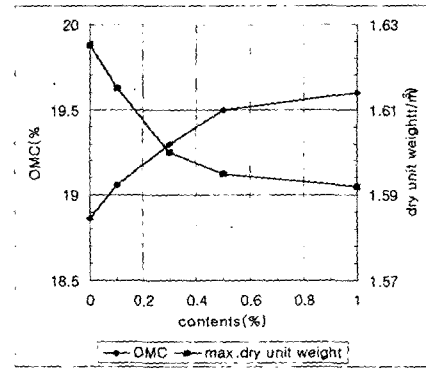


Fig.2 OMC and γ_{dmax} for fiber contents of fibrillated fiber.

특성은 다른 혼합토에서도 비슷한 경향을 나타내고 있다. 자연시료에 비하여 섬유 혼합토의 강도는 섬유의 혼합비가 많을수록 증가하며 잔류강도도 증가하는 것을 볼 수 있다. 동시에 최대 응력을 나타내는 변형률이 증가하고 있음을 알 수 있다. 이는 섬유와 흙이 부착하여 섬유의 인장력이 강도로 전이되어 나타나는 현상으로 사료된다.

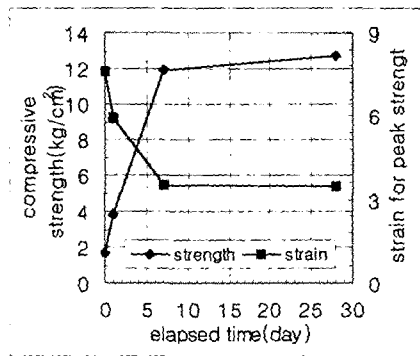


Fig.3 Strength and strain for peak time of natural soil.

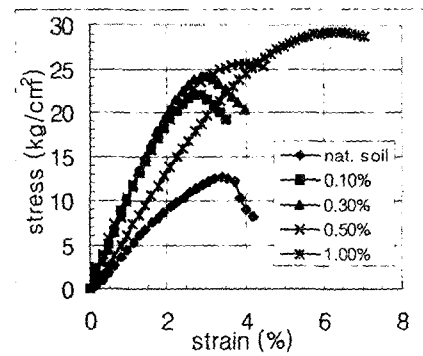


Fig.4 Stress-strain relationship for fibrillated reinforced soil.

재령에 따른 각각의 시료에 대한 강도를 비교하면 Fig.5 및 Fig.6과 같다. Fig.5는 단사형 섬유 혼합토의 강도를 나타내며, Fig.6은 망사형 섬유 혼합토의 강도를 비교한 것이다. 단사형의 경우에는 혼합비의 증가에 따른 강도의 변화가 미소한 반면, 망사형의 경우에는 혼합비의 증가에 따라 계속적으로 강도가 증가되는 것을 볼 수 있다. 또한, 재령에 따라 비교하면 단사형의 경우 재령 7일 이하에서는 망사형보다 강도가 크게 나타나고 있으나, 28일에서는 망사형이 크게 나타나 단사형보다 약 7~24%정도 효과적인 것으로 나타났다. 이는 단사형인 경우는 단순히 흙사이에서 부착에 의하여 접촉되는 정도이나, 망사형의 경우는 섬유의 혼합에 의하여 망사 사이에 흙이 알갱이처럼 뭉쳐지면서 강도를 발휘하기 때문으로 사료된다.

따라서, 강도의 보강측면에서 단사형보다 망사형이 효과적이며, 혼합비는 약 1.0%정도가 타

당할 것으로 판단된다. 이는 너무 많은 섬유를 혼합한 경우에는 혼합과정에서 섬유끼리 뭉쳐져 오히려 강도의 발현에 제약을 가하는 요인이 되기 때문이다.

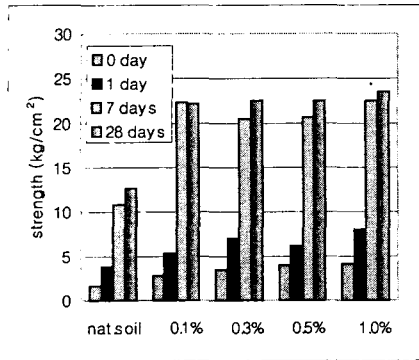


Fig.5 Comparison between natural soil and mono-filament fiber reinforced soil for strength.

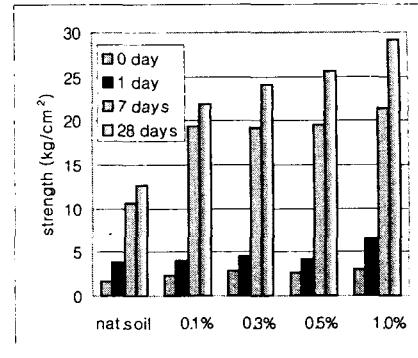


Fig.6 Comparison between natural soil and fibrillated fiber reinforced soil for strength.

4. 요약 및 결론

흙의 단점을 개량, 개선하기 위해 단사형과 망사형의 폴리프로필렌 섬유를 사용하여, 혼합비율에 따라 다짐과 강도시험을 행하여, 자연시료와 비교·검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 폴리프로필렌 섬유를 혼합하는 경우, 최적함수비는 혼합비의 증가에 따라 증가하는 반면, 최대건조단위중량은 감소하여 섬유 혼합토를 사용하여 축조하는 경우 자중을 상당히 줄일 수 있을 것으로 판단되었다.
2. 다짐의 측면에서는 망사형보다 단사형이 효과적인 것으로 나타났으며, 혼합비는 0.3~0.5% 정도가 타당한 것으로 판단되었다.
3. 망사형 섬유 혼합토의 재령 28일 경우, 섬유 보강토의 응력-변형률 곡선은 자연시료에 비하여 상당히 우측상단에 위치하여, 강도 뿐만 아니라 인성에서도 효과적인 것으로 나타났다.
4. 강도보강이라는 측면에서는 단사형보다 망사형이 7~24%정도 효과적인 것으로 나타났다.
5. 강도보강을 위한 섬유 혼합비는 약 1.0%정도가 타당할 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. 박성범 외 2인, 1996. 폴리프로필렌 섬유보강콘크리트의 섬유형태에 따른 역학적 특성에 관한 연구, 1996년 가을학술발표회 논문집, Vol.8, No.1, pp.321-327.
2. 정한용, 1998. 토목섬유의 종류 및 시험방법. 1998년도 토목섬유 기술세미나, 한국원사직물 시험연구원, pp.229-267.
3. Ingold, T.S., 1994. The geotextiles and geomembranes manual, Oxford, Elsevier, pp.71-90.
4. Jone, C.J.F.P., 1996. Earth reinforcement and soil structures, London, Thomas Telford, pp.219-220.