

섬유 보강토의 다짐 및 강도 특성

Characteristics of Compaction and Strength for Synthetic Fiber Reinforced Soils

| | | | | | |
|-------|-------|------|----------|--------|------|
| 송 | 창 | 섭* | · 장 | 병 | 욱** |
| Song, | Chang | Seob | · Chang, | Pyoung | Wuck |
| 이 | 용 | 범*** | · 임 | 성 | 윤*** |
| Lee, | Yong | Bum | · Kim, | Sung | Yoon |

Abstract

The results of an experimental investigation on the characteristics of compaction and compressive strength of polypropylene fiber reinforced soil are presented in this paper. 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 contents(i.e., 0.1%, 0.3%, 0.5% and 1.0% weights) of mono-filament and fibrillated polypropylene fibers.

From the compaction test results, it is found that OMC increased with the contents ratio of fiber, but γ_{dmax} decreased. It means that the improvement of the workability and the reduction of the weight of embankment structures by the addition of the polypropylene fiber. And, from the compression test results, it is found that the addition of the polypropylene fiber remarkably improved the compressive strength of PFRS. And it was observed in the viewpoint of strength that the fibrillated polypropylene fiber reinforced soil is more effective than the mono-filament polypropylene fiber reinforced soil.

I. 서 론

일반적으로 흙은 다른 재료에 비하여 균질하지 못하며, 강도가 작고 함수량에 따라 특성이 달라지는 등의 단점을 가지고 있다. 이러한 흙의 단점을 보완하기 위하여 여러 첨가제를 사용하고 있는데, 그 중에서 토목섬유를 이용한 보강토 공법은

이미 널리 사용되고 있으며 아직도 연구의 대상이 되고 있다. 특히, 흙을 재료로 구조물을 축조하는 경우에는 주로 Geotextile, Geogrid, Geoweb 등의 토목섬유 인장력을 이용하여 흙의 단점을 보완하고 있다.

최근에는 지반보강이나 재료의 보강이라는 측면에서 Web의 형태가 아닌 짧은 형태의 섬유 보강

*충북대학교 농과대학

**서울대학교 농업생명과학대학

***충북대학교 대학원

키워드 : 섬유보강토, 폴리프로필렌섬유, 섬유혼합비, 압축강도

토에 대한 연구가 시도되고 있는 추세이다. 섬유 보강토는 흙의 강도증진이라는 측면외에 인장에 대한 저항력을 증가시켜 건조에 따르는 균열의 감소를 목적으로 하는 경우에도 사용되고 있다. 그러나, 섬유의 혼합에 따른 흙과 섬유사이의 메카니즘, 응력-변형특성, 강도특성 또는 다짐성에 대한 연구는 미비한 상태에 있다.

따라서, 본 연구에서는 국내에서 생산되는 폴리프로필렌 섬유를 사용하여, 섬유 보강토의 섬유혼합비에 따른 다짐특성 및 강도특성을 규명하고자 한다.

II. 재료 및 실험방법

1. 재 료

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

섬유는 국내 S사의 폴리프로필렌 섬유이며, 형태는 단사형과 망사형의 두 종류를 사용하였으며, 사용된 섬유의 제원은 단사형은 2,941.2데니어(denier), 망사형은 1,233.7데니어이며, 섬유의 길이는 19.0mm이다. 폴리프로필렌 섬유의 구성성분비와 물리적 특성은 Table 2 및 Table 3과 같다.

2. 실험방법

시료는 자연상태의 흙시료를 기건시켜 잘게 부순 후, 적당량을 취하여 시험하였다. 먼저 흙시료에 대한 다짐을 실시하였다. 이를 바탕으로 기건 시료에 단사형 및 망사형 섬유를 건조중량비 0.1%, 0.3%, 0.5%, 1.0%로 혼합하여 시료를 조제한 후, 스프레이를 사용하여 최적함수비가 되도록 골고루 물을 뿌려 평형상태가 되도록 그늘진 곳에 약 2시간 방치한 후, 각 재료별 및 섬유혼합비에 따라 시험을 실시하였다. 다짐규격은 A-다짐으로 한국공업규격에 따라 실시하였다.

재료의 혼합과정에서 섬유혼합비가 1%를 초과

Table 1. Physical and mechanical properties of soil used

| Gs | Atterberg limits(%) | | Grain size distribution (%) | | | | | | OMC (%) | γ dmax (tf/m ³) | USCS |
|------|---------------------|----|-----------------------------|-------|-------|--------|---------|----------|---------|-----------------------------|------|
| | LL | PI | No.4 | No.10 | No.40 | No.200 | 0.01 mm | 0.002 mm | | | |
| 2.62 | 38 | 21 | 100.0 | 99.6 | 95.5 | 64.6 | 40.6 | 23.1 | 18.9 | 1.63 | CL |

Table 2. Chemical components of polypropylene 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 polypropylene fiber used

| Type of fiber | Quality of material | Shape of fiber | Length | Specific gravity | Melt point | Acid and alkali resistance | Tensile strength | Young's modulus |
|---------------|---------------------------|--------------------|--------|------------------|------------|----------------------------|---------------------------------|---|
| PM type | homopolymer polypropylene | fibrillated bundle | 19mm | 0.91 | 162°C over | very high | 3,500~7,700 kgf/cm ² | 35 × 10 ⁴ kgf/cm ² over |
| PF type | | multifilament | | | | | | |

할 경우에는 섬유와 흙의 분리 또는 섬유의 뭉침 현상이 너무 심하게 나타나 현실적으로 실효성이 없을 것으로 판단되어 본 연구에서는 1%까지를 한계범위로 규정하였다.

압축강도는 각각 시료에 대한 다짐시험의 결과로 도출된 최적함수비 상태로 공시체를 제작하였다. 공시체는 직경 5cm, 높이 10cm의 몰드를 사용하여 Proctor의 표준다짐압력을 가하여 제작하였으며, 제작된 공시체는 통풍이 양호한 실내에서 기건상태로 건조하며 경과시간에 따라 체적변화와 동시에 압축강도를 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 섬유 보강토의 다짐특성

흙시료에 대한 다짐시험 결과, 최적함수비(OMC)는 약 18.9%, 최대건조단위중량(γ_{dmax})는 1.625 tf/m^3 으로 일반적인 화강토의 다짐특성을 보이는 것으로 나타났다.

단사형 및 망사형 섬유보강토의 최적함수비와 최대건조단위중량을 각각의 섬유혼합비에 대하여 도시하면 Fig. 1 및 Fig. 2와 같다. 단사형이나 망사형 섬유의 혼합으로 인하여 건조단위중량은 감소하며, 최적함수비는 증가하는 것으로 나타났다. 섬유의 혼합으로 인하여, 건조단위중량은 자연시료와 비교하여 단사형에서는 0.12%~1.85%, 망사형에서는 0.62%~2.03% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 반면, 최적함수비는 자연시료에 비해 높게 나타나는데, 단사형에서는 0.53%~5.36%, 망사형에서는 1.06%~3.92% 정도 높게 나타나고 있다. 이는 섬유의 혼합으로 인한 섬유보강토의 다짐특성으로 규정지을 수 있으며, 단사형의 경우는 혼합이 비교적 용이하며 다짐성이 좋은 반면, 망사형에서는 혼합과 방향성이 다르기 때문이다.

특히, 단사형 섬유를 혼합한 경우, 혼합량의 증가에 따라 건조단위중량의 감소나 최적함수비의 증가는 거의 선형적인 관계를 보이고 있으나, 망사형 섬유를 혼합한 경우에는 약 0.5%까지는 급

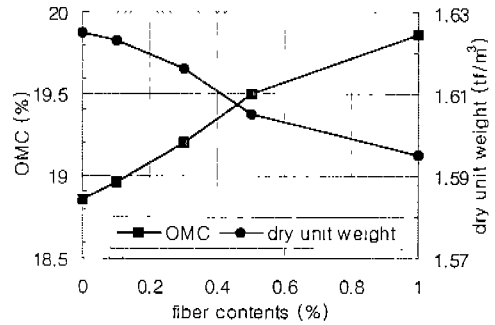


Fig. 1. OMC and γ_{dmax} for fiber contents of mono-filament fiber reinforced soil

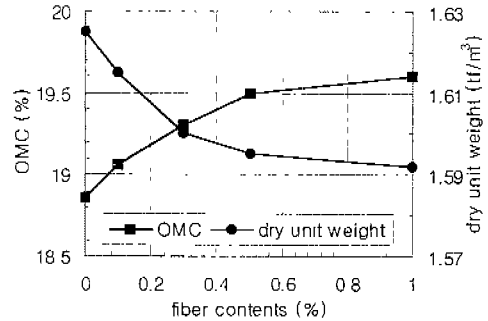


Fig. 2. OMC and γ_{dmax} for fiber contents of fibrillated fiber reinforced soil

격한 변화를 보이다가 그 이후에는 혼합비에 대하여 완만한 변화를 나타내고 있다. 이는 섬유와 흙과의 혼합에 있어 단사형이 망사형보다 용이하기 때문으로 사료된다. 그러나, 콘크리트와 같이 함수량이 많은 경우나 아주 장시간을 혼합하는 경우에는 망사형도 충분히 혼합되므로 이 때에는 단사형보다 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 양이 많을수록 재료의 자증을 줄일 수 있는 이점은 있으나, 비비기, 타설 등의 시공성에 문제점이 있고, 마감처리 등이 문제가 되기 때문에 다짐축면에서는 0.3%~0.5%가 적당할 것으로 사료된다.

Table 4. Compression compressive strength and water contents of natural soil and synthetic fiber reinforced soils

| samples | Elapsed time | 0 day | | 1 day | | 7 day | | 8 day | |
|--------------------|--------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|
| | | Water contents(%) | Strength (kgf/cm ²) | Water contents(%) | Strength (kgf/cm ²) | Water contents(%) | Strength (kgf/cm ²) | Water contents(%) | Strength (kgf/cm ²) |
| Nat. soil | | 18.86 | 1.72 | 15.18 | 3.86 | 4.98 | 10.83 | 1.75 | 12.60 |
| Mono-filament type | 0.1% | 18.96 | 2.81 | 15.43 | 5.34 | 5.12 | 22.37 | 2.13 | 22.20 |
| | 0.3% | 19.20 | 3.45 | 15.91 | 7.05 | 5.23 | 20.57 | 2.16 | 22.47 |
| | 0.5% | 19.50 | 3.95 | 16.59 | 6.15 | 5.38 | 20.59 | 2.46 | 22.51 |
| | 1.0% | 19.87 | 4.12 | 16.92 | 8.01 | 5.75 | 22.47 | 2.87 | 23.49 |
| Fibrillated type | 0.1% | 19.06 | 2.35 | 16.17 | 4.08 | 5.52 | 19.41 | 2.73 | 21.93 |
| | 0.3% | 19.30 | 2.85 | 16.39 | 4.47 | 5.71 | 19.24 | 2.76 | 24.11 |
| | 0.5% | 19.50 | 2.67 | 16.42 | 4.18 | 5.82 | 19.59 | 2.77 | 25.61 |
| | 1.0% | 19.60 | 3.08 | 17.02 | 6.65 | 5.96 | 21.39 | 2.83 | 29.22 |

2. 섬유 보강토의 압축강도 특성

흙시료 및 섬유 보강토의 경과시간에 따른 압축강도 및 그때의 공시체 함수비를 요약하면 Table 4와 같다.

흙시료의 최적함수비 상태에서 제작된 공시체의 재령에 따른 최대압축강도 및 그 때의 변형률을 도시하면 Fig. 3과 같다. 흙시료의 경우에는 약 7일 정도가 경과하면 거의 건조상태에 도달하여 약 12kgf/cm² 정도의 강도를 나타내는 것으로 나타났는데, 이 값은 초기시료의 약 6배에 달하는 강도이다. 이와같이 시간의 경과 따른 강도의 증가는 입자사이 또는 입자사이의 간극에 존재하는 수분이나 나타내는 유효작용의 감소로 입자사이의 마찰이 커졌기 때문이다. 또, 공시체의 피크(peak)시의 변형률을 보면 재령이 길수록 점차 작은 변형에서 파괴되는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은

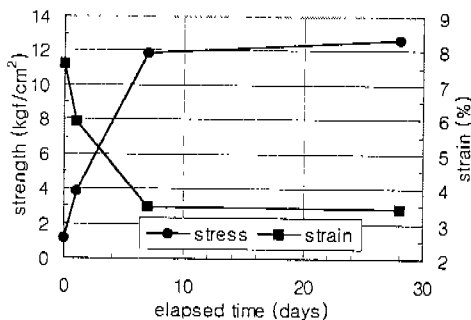


Fig. 3. Strength and strain for peak time of natural soil

흙재료를 사용하는 구조물에서 거의 비슷한 양상을 보이고 있는 것이 특징이다. 그러나, 쉘이나 여물, 섬유 등을 첨가하는 경우에는 인성의 증가로 인하여 상당한 변위에도 강도가 유지되며 동시에 잔류강도도 크게 나타난다.

이러한 효과를 규명하기 위하여 자연시료 및 망사형 섬유 보강토의 재령 28일에서의 섬유혼합비에 따른 응력-변형률 곡선을 도시하면 Fig. 4와 같다. 흙시료에 비하여 섬유 보강토의 강도는 섬유의 혼합비가 많을수록 증가하며 잔류강도도 증가하는 것을 볼 수 있다. 동시에 최대응력을 나타내는 변형률이 증가하고 있음을 볼 수 있는데, 이는 섬유와 흙이 부착하여 섬유의 인장력이 시료의 파괴를 저항하기 때문으로 사료된다. 이러한 응력-변형률 특성은 다른 시료에서도 비슷한 경향을 나타내었다.

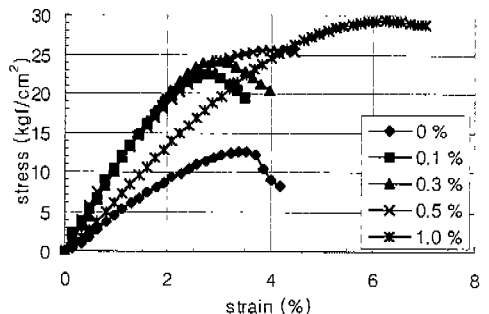


Fig. 4. Stress-strain relationship for fibrillated fiber reinforced soil

재령에 따른 각 시료에 대한 강도를 비교하면 Fig. 5 및 Fig. 6과 같다. Fig. 5에서 단사형 섬유 보강토의 7일 강도는 Fig. 6의 망사형 7일 강도와 비교하여 약간 크게 나타나고 있으나, 28일 강도

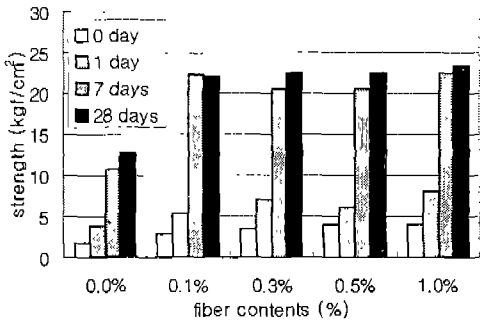


Fig. 5. Comparison between natural soil and mono-filament fiber reinforced soil for strength

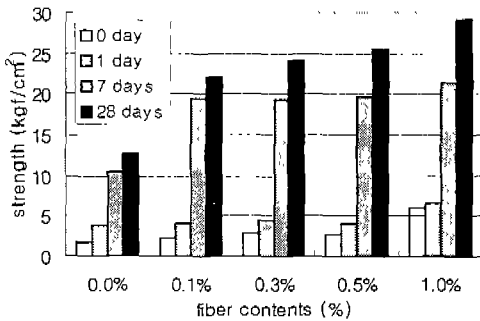


Fig. 6. Comparison between natural soil and fibrillated fiber reinforced soil for strength

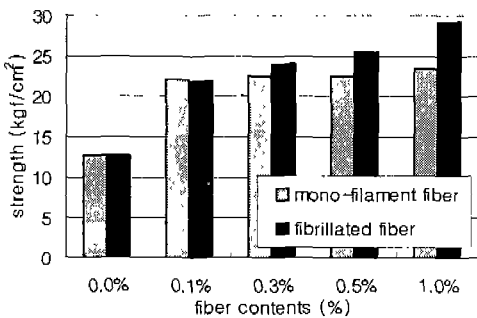


Fig. 7. Comparison between mono-filament fiber reinforced soil and fibrillated fiber reinforced soil for strength

는 망사형이 단사형보다 약 7~24% 정도로 나타났다. 이와 같이 섬유보강토의 강도는 섬유의 인장력, 섬유와 흙사이의 부착력, 마찰력 등이 작용하게 되는데, 단사형인 경우는 섬유가 흙 사이에 부착에 의하여 강도를 나타내지만, 망사형의 경우는 섬유의 혼합에 의하여 섬유의 망사이에 흙이 알갱이처럼 묻혀지면서 전단과 인장을 동시에 나타내기 때문으로 사료된다. 이러한 효과를 나타내기 위하여 재령 28일 강도를 재구성하면 Fig. 7과 같다. 단사형의 경우에는 단순히 부착에 의하여 강도를 발휘하기 때문에 약간의 섬유의 혼합에 의해서도 충분한 강도를 나타내게 되는 반면에 그 이상의 혼합비에 대해서는 강도를 증가가 미소하게 된다. 그러나, 망사형의 경우에는 작은 혼합비에서는 단사형보다 강도가 약간 낮지만 망사이의 흙이 전단에 저항하기 때문에 혼합비의 증가에 따라 계속적으로 강도가 증가되는 것을 볼 수 있다.

따라서, 강도의 보강측면에서 단사형보다 망사형이 효과적이며, 혼합비는 약 1.0% 정도가 타당할 것으로 판단된다. 이는 그 이상의 혼합비에서는 현실적으로 혼합이 어려우며, 또한 장시간 혼합한 경우에는 혼합과정에서 섬유끼리 뭉쳐져 오히려 강도의 발현에 제약을 가하는 요인이 되기 때문이다.

IV. 요약 및 결론

흙시료가 가지는 단점을 보완, 개선하기 위하여 단사형과 망사형의 폴리프로필렌 섬유를 사용하여 섬유 보강토의 다짐 및 강도특성을 규명하였다.

중량 혼합비에 따라 다짐시험을 행하여 도출된 섬유 보강토의 다짐특성과, 최적함수비 상태로 조제된 시료로 공시체를 제작하여 섬유 보강토의 압축시험을 행하여 혼합비에 따른 강도특성을 흙시료와 비교·검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 폴리프로필렌 섬유를 혼합한 섬유 보강토의 다짐에서 최적함수비는 혼합비의 증가에 따라 증가하는 반면, 최대건조단위중량은 감소하는 것으로 나타났다. 따라서, 섬유 보강토를 사용하여 축

조하는 경우, 재료의 함수량이 증가하여 시공성이 양호해질 뿐만 아니라 중량을 줄일 수 있다.

2. 섬유 보강토의 최적함수비 근처에서의 다짐은 망사형보다 단사형 섬유를 사용하면 단위중량이 0.2~0.5% 정도 높게 나타났으며, 그 사용량은 섬유의 양이 많을수록 재료의 자중을 줄일 수 있는 이점은 있으나, 비비기, 타설 등의 시공성에 문제점이 있고, 마감처리 등이 문제가 되기 때문에 다짐측면에서는 0.3%~0.5%가 적당할 것으로 사료된다.

3. 섬유 보강토는 섬유 혼합비 1%까지는 섬유의 혼합비가 많을수록 섬유의 형태에 관계없이 최대응력 및 잔류응력도 증가하는 것으로 나타났다. 동시에 혼합비에 따라 최대응력이 나타나는 변형률이 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 섬유와 흙이 부착하여 섬유의 인장력이 시료의 파괴를 저항하기 때문으로 사료된다.

4. 강도의 보강이라는 측면에서는 단순한 부착에 의한 단사형 섬유보다 전단과 인장을 동시에 나타내는 망사형 섬유가 7~24% 정도 효과적인 것으로 나타났으며, 적정 혼합비는 약 1.0% 정도가 타당할 것으로 판단되었다.

본 논문은 1998년도 농림수산기술개발사업에 의하여 수행된 연구결과의 일부임.

참 고 문 헌

1. 박성범 외, 1996. 폴리프로필렌 섬유보강콘크리트의 섬유형태에 따른 역학적 특성에 관한 연구, 1996년 가을학술발표회논문집, 8(1), pp. 321-327.
2. 박승범 외, 1996. 폴리프로필렌 섬유보강 콘크리트의 섬유형태에 따른 역학적 특성에 관한 연구, 1996년도 가을학술발표회논문집, 8(2), 한국콘크리트학회, pp. 321-327.
3. 박영곤, 1999. 섬유혼합토의 파괴예측모델의 개발과 비배수강도특성 분석, 서울대학교 박사 학위논문, pp. 11~22.
4. 송창섭 외, 1999. 섬유 보강토의 균열특성 연구, 한국농공학회지, 41(3), pp. 59-66.
5. 오병환 외, 1996. 폴리프로필렌 합성섬유보강 콘크리트의 강도특성 및 건조수축균열제어 특성에 관한 연구, 1996년도 봄학술발표회논문집 8(1), 한국콘크리트학회, pp. 146-152.
6. 이상엽 외, 1996. 섬유보강 콘크리트의 투수성 측정기법에 관한 연구, 1996년도 가을학술발표회 논문집 8(1), 한국콘크리트학회, pp. 260-265.
7. 정한용, 1998. 토목섬유의 종류 및 시험방법, 1998년도 토목섬유 기술세미나, 한국원사직물 시험연구원, pp. 229-267.
8. 한만엽 외, 1994. PPF 섬유의 첨가가 콘크리트 공극에 미치는 영향, 대한토목학회지논문집, pp. 1081-1089.
9. Austin, D. N., S. L. Shrader and D. S. Chill, 1993. Soil stabilization with discrete fibrillated polypropylene fibers, Geotech. fabrics Report, 11(4), pp. 4-10.
10. Bell, F.G., 1993. Engineering treatment of soils, E & FN SPON, pp. 178-201.
11. Gray, D. H. and H. Ohashi, 1986, Mechanics of fiber reinforcement in sand, J. of Geotech. Eng. Div., ASCE, 112(8), pp. 804-820.
12. Ingold, T. S., 1981, A laboratory simulation of reinforced clay walls, Geotechnique, 31(3), pp. 399-412.
13. Ingold, T. S., 1994. The geotextiles and geomembranes manual, Elsevier, Oxford, pp. 71-90.
14. Jone, C.J.F.P., 1996. Earth reinforcement and soil structures, Thomas Telford, London, pp. 219-220.
15. Michalowski, R. L. and A. Zhao, 1996, Failure of fiber-reinforced granular soils, J. of Geotech. Eng. Div., ASCE, 122(3), pp. 226-234.