장기적 건조수축에 의한 보강혼합토의 밀도 및 강도 변화

Variations of Density and Strength for Reinforced Soil Mixture by Long-Term Dry Shrinkage

이 상 호(경북대) · 차 현 주*(경북대) · 장 병 욱(서울대) · 박 영 곤(서울대)
Lee, Sang Ho · Cha, Hyun Ju · Chang, Pyoung Wuck · Park, Young Kon

Abstract

In this study, the variations of dry density and unconfined compressive strength were investigated, calcium carbonate, quicklime, portland cement, 19mm monofilaments and fibrillated fibers were used as reinforcement materials. And calcium chloride was added to cement and calcium carbonate reinforced soil mixture in order to accelerate setting and hardening speed. It appears that dry density is highest in calcium carbonate reinforced soil mixture with 9% of mixing rate. According to increasing the amount of fibers, in soil mixture, the dry density decreased. The more the amount of monofilament fibers is the higher the compressive strength. But the compressive strength is decreased in fibrillated fiber added soil mixture with more than 1.0% of mixing rate.

Ⅰ. 서론

보강토는 Henri Vidal(1969)에 의해 개발된 이후, 이에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔으며 그 이용 또한 급속히 확산되고 있다. 보강토의 기본적인 현상은 흙의 성질을 개선하기 위한 것이다. 흙과는 다른 이질의 보강재를 사용하여 흙과 보강재의 마찰을 통하여 인장에 약한 흙의 특성을 보완하는 것으로 흙 속의 어느 한 부분에서 흙과 보강재의 마찰에 의하여 발휘되는 점착력과 마찰 저항력이 흙덩이 전체에 걸쳐서 전달되고, 이때 보강재의 배치 방향은 자유로이 조절할 수 있으므로 보강토는 모든 방향으로 강도를 나타낼 수 있다. 또한 보강토는 유연성이 있을 뿐만 아니라 높은 인장응력을 가질 수 있다. 이와 같이 흙은 전단력에는 어느 정도 강하나 인장력에는 약하므로 흙의 하중지지 능력을 증가시키기 위해서 흙의 약점인 인장응력 증가에 대한 연구가 오래 전부터 시도되어 왔다. 흙에 짚, 나무가지 등을 섞어서 단단한 벽돌이나 벽체등을 만들어 구조물의 재료로 사용하였던 전통적인 방법에서 새로운 기술 개발로 인하여 강판, 알루미늄 등이 쓰이다가 최근 들어 섬유공업의 발달로 주로 합성섬유가 보강재로 쓰이게 되었다.

흙에 섬유를 보강재로 사용한 섬유혼합토의 역학적 기본 개념은 인장강도가 크고 탄성계수가 큰 재료를 흙 속에 매설함으로써 압축력에는 비교적 강하나 인장력에는 약한 흙의 성질을 개선하여 보강구조물의 지반 안정과 내구성을 증진시켜주는 것이다.

연약지반 안정처리에 있어서 석회가 널리 사용되고 있는 석회는 공학적으로 생석회와 소석회로 분류한다. 소석회는 생석회에 물을 섞어 소화작용을 한 것으로서 생석회가 소석회로 변화하는 과정에서 많은 물을 흡수하고, 많은 열을 방출한다. 이와 같은 원리를 통해 반죽덩어리가 된

1999년도 한국농공학회 학술발표회 논문집(1999년 10월 16일)

점토에 생석회를 섞으면 굳어지고 강도를 증진시켜준다.

이에 본 연구는 국내 부존자원으로서 매장량이 비교적 풍부한 석회석에서 제조된 생석회, 탄산석회, 시멘트 및 보강구조물의 보강재로 널리 사용되고 있는 폴리프로필렌 섬유를 흙과 혼합한 보강혼합토의 건조밀도변화 및 장기적 일축압축강도를 측정하여 보강흙벽 재료 개발에 기초 자료를 제공하기 위하여 수행하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 사용재료

가. 흙

연구에 사용한 흙 시료는 수원지역에서 채취하였다.

나. 석회

석회는 국내 부존자원으로서 매장량이 비교적 풍부한 석회석에서 제조된 탄산석회와 생석회를 보강재로 사용하였다.

다. 시멘트

시멘트는 S회사에서 생산한 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

라. 섬유

섬유는 보강구조물의 재료로 널리 사용되고 있는 폴리프로필렌 섬유를 사용하였으며 섬유의 절단길이에 따른 19mm 단사와 망사 2종을 선정하여 시험을 실시하였다.

마. 촉진제

촉진제로서 염화칼슘을 첨가하여 보강혼합토의 건조밀도 및 강도 시험에 미치는 영향을 규명하고자 사용하였다.

2. 시료배합

보강혼합토의 건조밀도 및 일축압축강도시험을 하기 위한 수원시료의 혼합은 <표 1>과 같다.

<표 1> 보강혼합토의 시료조성

사용재료	혼합비 (%)					함수비 (%)	비고
	탄산석회	생석회	시멘트	섬 유	촉진제		
수원시료	-	-	-	-	-	20, 30, 40	수원토 자체
탄산석회혼합토	3	-	-	-	-	20	노건조 수원토에 대한 중량비
	6	-				20	
	9	-				20, 30, 40	
생석회혼합토	-	9	-	-	-	20, 30, 40	
시멘트혼합토	-	-	9	-	-	20, 30, 40	
섬유혼합토	-	-	-	0.3	-	20, 30, 40	
				0.5		20	
				1.0		20	
촉진제혼합토	9	-	-	-	1	20	노건조 석회에 대한 중량비
					2	20, 30, 40	
					3	20	
	-	-	9	-	2	20, 40	노건조 시멘트에 대한 중량비

3. 시험방법

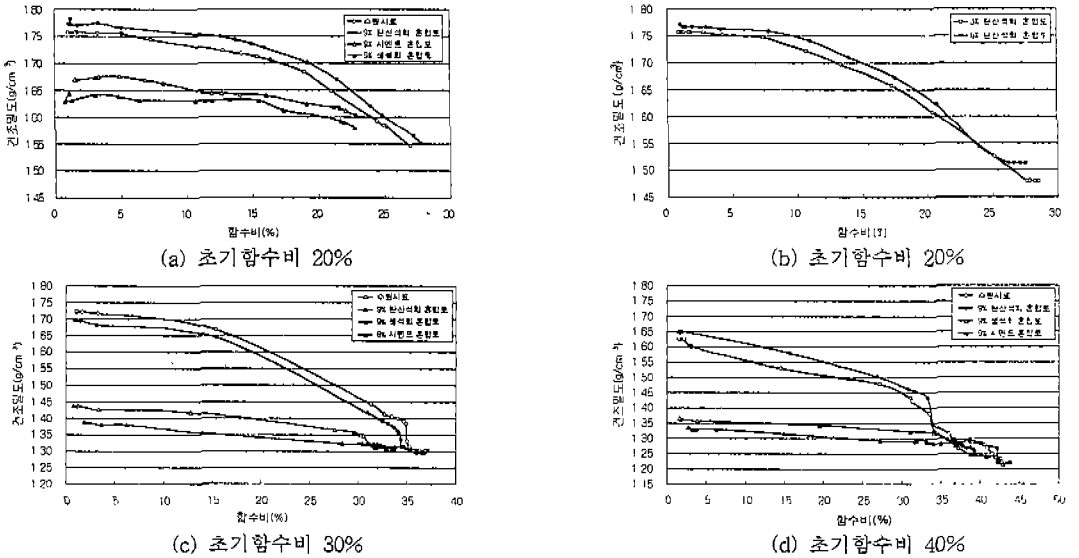
공시체는 직경이 10cm이고 높이가 20cm인 몰드에 혼합한 시료를 넣어 4층 24회씩 다짐을 하여 제작하였다. 이때 래머의 중량은 2.85kg, 낙하고는 29cm, 다짐에너지(E)는 5.625 kg · cm/cm^{3}로 하였으며, 몰드 해체는 공시체의 급작스런 표면균열 등의 우려가 있기 때문에 3시간 동안 공기 중에 건조시킨 후 몰드를 해체하여 시험을 실시하였다. 이때 시료의 건조밀도변화 및 일축압축강도 측정을 하기 위한 재령은 60일간 행하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 보강혼합토의 건조밀도 변화

보강혼합토의 함수비에 따른 건조밀도 변화는 그림 1과 같다. 초기함수비 20%에서의 혼합토는 9%탄산석회혼합토의 건조밀도가 가장 높게 나타나는 경향을 보였으나 함수비의 변화에 따라 수원시료와 같이 건조밀도 감소의 폭이 크게 나타났다. 이것은 점토 성분이 많은 수원토는 많은 함수량을 요구하므로 다짐 상태에서는 점토 함유량이 증가함에 따라 토립자간의 공극량이 증대되어 이 공극에 토립자 대신 물로 채워져 있기 때문이다. 따라서 건조밀도의 변화가 큰 원인도 물의 증가량이 많을수록 흙이 감소되므로 비중이 물보다 훨씬 큰 흙의 감소는 건조밀도를 감소시키는 것으로 사료된다. 또한 9%탄산석회혼합토의 경우 초기함수비가 20%, 30%, 40%에서 공히 건조밀도가 급격히 감소되는데 이는 입자가 가는 탄산석회도 점토와 같은 역할을 하기 때문으로 사료되며 탄산석회 혼합량이 증가할수록 건조밀도의 감소율이 커지는 이유는 점토에 비하여 비중이 작은 석회가 비중이 큰 흙과 대치되기 때문으로 판단된다.

한편, 9%시멘트혼합토 및 9%생석회혼합토의 경우 초기함수비가 20%, 30%, 40%에서의 건조밀도는 전반적으로 변화가 작게 나타났다. 이 원인은 시멘트의 수화반응에 의한 주산물은 시멘트겔로서 흙과 혼합시 건조 수축에 영향을 주는 중요한 물질이다. 시멘트겔은 거의 비결정질 물질로서 화학성분이 유동적이어서 시간, 온도, 함수량 등의 조건에 따라 조금씩의 변화가 일어난다.



(a) 초기함수비 20%　　(b) 초기함수비 20%

(c) 초기함수비 30%　　(d) 초기함수비 40%

그림 1. 보강혼합토의 함수비에 따른 건조밀도 변화

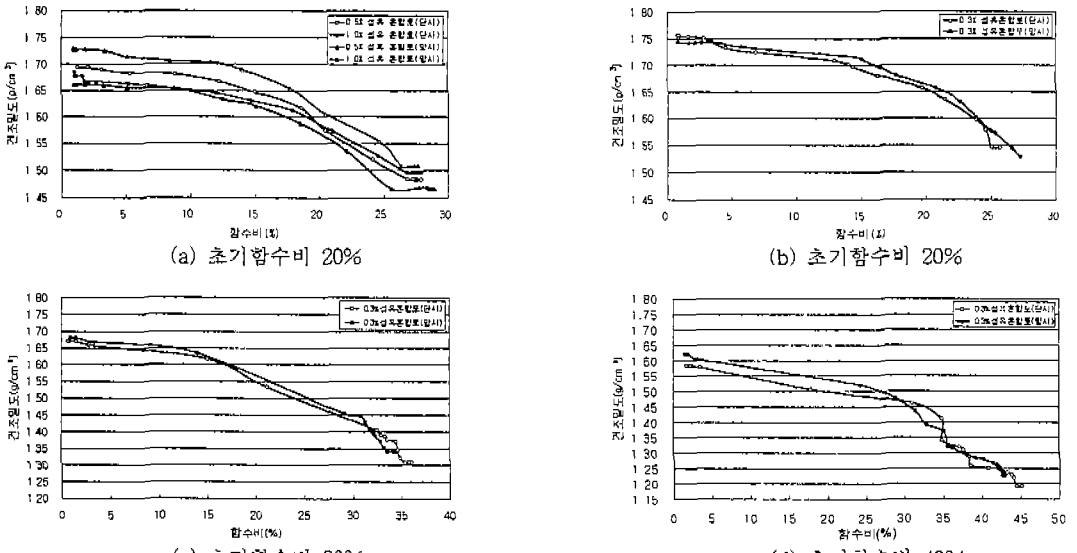
따라서 비표면적이 점토에 비해 작기 때문에 건조수축을 구속하는 효과가 클 것으로 생각된다. 또한 생석회혼합토에서 생석회는 소화작용으로 흙 속의 함수량 저하와 체적팽창 작용을 한다.

생석회의 화학반응식으로는 다음과 같다.

$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + 15.6kcal/mol$

생석회는 소화흡수와 팽창작용 및 발열반응이 일어나고,

$Ca(OH)_2 + H_2O$ + 점토광물 → 모세관 흡수와 흡착작용 및 수화물을 생성한다.



(a) 초기함수비 20%　(b) 초기함수비 20%

(c) 초기함수비 30%　(d) 초기함수비 40%

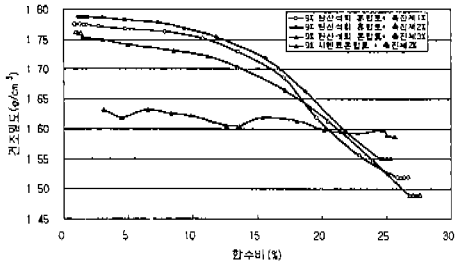
그림 2. 섬유혼합토의 함수비에 따른 건조밀도 변화

그림 2는 섬유혼합토의 함수비에 따른 건조밀도변화를 나타낸 것으로서 섬유의 양이 증가함에 따라 건조밀도는 감소하였는데 이는 섬유의 양이 증가할수록 흙이 차지하는 체적과 중량이 상대적으로 감소하기 때문이다. 또한 섬유의 형태에 따른 건조밀도는 섬유의 양에 따라서 다소 차이는 있지만 단사, 망사 2종 모두 건조밀도는 감소하는 경향을 보였다.

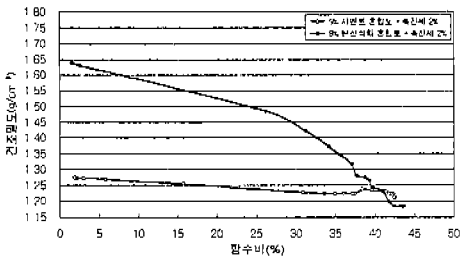
단사의 경우 혼합률이 1% 이상 되면 섬유의 양이 많아 혼합토내에서 낮은 단위중량의 섬유가 차지하는 부피가 커질 뿐만 아니라 섬유의 스폰지현상이 보다 크게 발휘될 것으로 판단된다. 그러나 섬유는 동일한 혼합률에서 망사보다 단사의 양이 많을 뿐만 아니라 서로 엉킴현상이 일어나 작업시 어려움이 다소 있다. 이러한 현상은 섬유의 혼합률이 증가할수록 점점 심해졌다. 한편 0.3%섬유혼합토 단사와 0.3%섬유혼합토 망사에 초기함수비가 20%, 30%, 40%를 각각 혼합한 결과 단사가 망사보다 건조밀도가 전반적으로 낮은 이유는 점토의 점착성 때문에 흙과 섬유의 혼합이 용이하지 않아 섬유의 엉켜진 덩어리 형태가 존재하기 때문으로 사료된다.

보강혼합토에 촉진제를 첨가한 결과 건조밀도의 변화는 그림 3과 같다. 9%탄산석회혼합토에 촉진제 1, 2, 3%를 혼합한 결과 염화칼슘을 2% 첨가한 탄산석회혼합토에서 건조밀도가 가장 높게 나타났으나 9%탄산석회혼합토와 9%시멘트혼합토의 건조밀도 변화의 폭이 촉진제를 혼합하지 않은 경우와 비슷하였다. 따라서 촉진제는 탄산석회 및 시멘트혼합토의 건조밀도에는 영향을

주지 않을 것으로 판단된다.



(a) 초기함수비 20%



(b) 초기함수비 40%

그림 3. 보강혼합토에 촉진제를 첨가한 건조밀도 변화

2. 보강혼합토의 압축강도 시험

수원시료 자체 및 보강재를 혼합한 보강혼합토의 공시체를 60일간 건조시킨 후 압축강도시험을 실시한 결과 그림 4, 5와 같다. 함수비가 20%에서는 6%탄산석회, 9%탄산석회혼합토 순으로강도가 크게 나타났으며 9%시멘트 및 9%생석회는 수원시료 자체보다 강도가 낮다. 이 결과로 9%시멘트 및 생석회혼합토에 의한 보강 효과는 기대할 수 없을 것으로 사료된다.

또한 함수비 30%에서 9%탄산석회 혼합토의 강도가 가장 높게 나타난 것처럼 함수비는 압축강도 시험에 많은 영향을 미치는 것으로 판단된다.

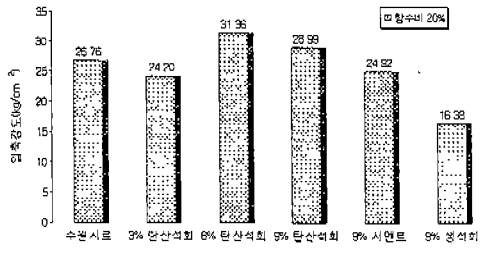


그림 4. 재령 60일에 대한 보강혼합토의 압축강도시험

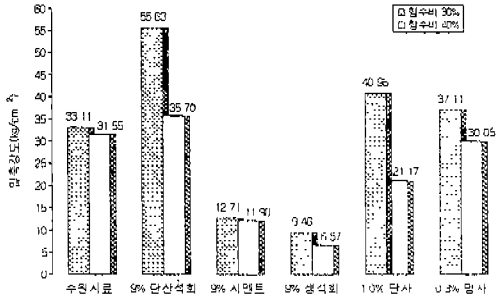


그림 5. 재령 60일에 대한 보강혼합토의 압축강도시험

섬유혼합토 및 촉진제를 첨가한 보강혼합토의 재령 60일에 대한 압축강도 시험 결과 그림 6, 7과 같다. 섬유혼합토의 경우 단사의 양이 증가할수록 강도가 높게 나타났으나, 망사의 경우 혼합량 1.0%에서는 강도가 오히려 급격히 감소하였다. 따라서 망사의 경우 1.0%이상 혼합시 보강효과가 떨어질 것으로 판단된다.

촉진제를 첨가한 보강혼합토의 경우 9%탄산석회혼합토에 촉진제3%를 첨가한 공시체의 강도가 9%시멘트혼합토 촉진제2%를 첨가한 공시체보다 높게 나타났다. 그러나 촉진제를 첨가하지 않은 공시체에 비해 강도의 효과가 미비한 것으로 보아 보강혼합토에 촉진제의 영향이 크지 않은 것으로 사료된다.

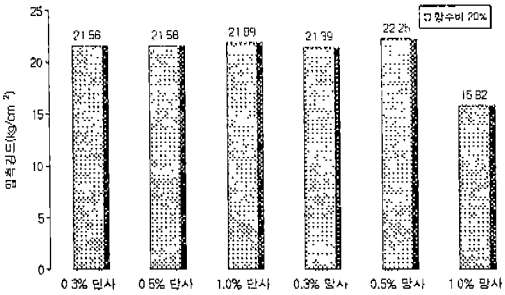


그림 6. 재령 60일에 대한 섬유혼합토의 압축강도시험

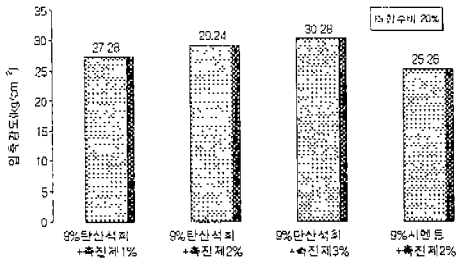


그림 7. 촉진제를 첨가한 보강혼합토의 재령 60일에 대한 압축강도시험

Ⅳ. 요약 및 결론

보강흙벽의 재료개발에 대한 기초 연구로서 수원지역에서 채취한 점토질 흙에 탄산석회, 생석회, 시멘트 및 19mm섬유 단사, 망사를 일정한 비율로 배합하여 건조밀도 변화와 압축강도 시험을 하였다. 또한 촉진제를 9%시멘토혼합토에 2%, 9%탄산석회혼합토에 1, 2, 3%를 첨가하여 시험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 9%탄산석회혼합토에서 건조밀도가 전반적으로 크게 나타났으며 함수비 30%에 압축강도가 가장 크게 나타났다.
2. 생석회와 시멘트를 사용한 보강혼합토의 경우 다른 보강혼합토 보다 건조밀도의 변화는 미소하였으나 강도는 흙 자체보다 낮게 나타났다. 따라서 생석회 및 시멘트혼합토는 연약지반 보강시 이용 가능할 것으로 판단되나 보강흙벽으로는 부적합할 것으로 사료된다.
3. 섬유혼합토의 섬유의 양이 증가함에 따라 건조밀도는 감소하였고 압축강도는 단사의 양이 증가할수록 강도는 대체적으로 증가하지만 혼합비가 1.0%이상인 망사에서는 강도가 감소한다.
4. 9%탄산석회 및 섬유혼합토의 공시체 작업은 시료배합 및 다짐에 있어서 다소 차이가 있으나 함수비 30%가 적당할 것으로 판단된다.
5. 보강혼합토에 촉진제 혼합은 큰 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다.

참고 문헌

1. 김유성, 이재열, 1998, 부직포 보강 점성토의 보강효과에 관한 기초적 연구, 한국지반공학회지 14(4), pp61-75
2. 문한영, 1996, 건설재료학, 동명사
3. 류능환, 1983, 보강토 공법에 관한 연구, 한국농공학회 25(2), pp54-66
4. 유한규, 1997, 보강점토의 파괴거동에 관한 연구, 한국지반공학회지 13(1), pp159-168
5. 장병욱, 박영곤, 우철웅, 김강석, 1999, 섬유혼합보강토의 일축강도 특성, 한국농공학회지 41(1), pp72-78
6. 조삼덕, 김진만, 1995, 섬유혼합 보강토의 공학적 특성에 관한 실험연구, 한국지반공학회지 11(2), pp107-120
7. 조성정, 강예묵, 1985, 흙의 입도분포가 석회혼합토의 강도특성에 미치는 영향, 한국농공학회지 27(2), pp57-71