

# 장기적 건조수축에 의한 보강혼합토의 단위 중량 및 압축강도 분석

## Variation of Unit Weight and Compressive Strength by Long-Term Dry Shrinkage of Reinforced Soil Mixture

이 상 호\* · 차 현 주\*\* · 장 병 옥\*\*\*  
Lee, Sang Ho · Cha, Hyun Ju · Chang, Pyoung Wuck

### Abstract

In this study, the variation of unit weight and unconfined compressive strength were investigated, calcium carbonate, quicklime, portland cement, 19mm length monofilaments and fibrillated fiber 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 unit weight is highest in calcium carbonate reinforced soil mixture with mixing rate of 9%. According to increasing the amount of fiber in soil mixture, the unit weight decreased. It shows that the more the amount of monofilament fiber is added in soil mixture, the higher the compressive strength is, but the compressive strength is decreased in fibrillated fibrillated fiber added soil mixture with more than 1.0% of mixing rate.

### I. 서 론

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 저항

항력이 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, 나무 가지 등을 섞어서 단단한 벽돌이나 벽체 등을 만들어 구조물의 재료로 사용

\* 경북대학교 농과대학

\*\* 경북대학교 농과대학 대학원

\*\*\* 서울대학교 농업생명과학대학

키워드 : 보강혼합토, 섬유혼합토, 단사, 망사, 건조수축, 단위 중량, 압축강도

하였던 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 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 점토에 생석회를 섞으면 굳어지고 강도를 증진시켜준다.

이에 본 연구는 국내 부존자원으로서 매장량이 비교적 풍부한 석회석에서 제조된 생석회, 탄산석회, 시멘트 및 콘크리트구조물의 보강재로 널리 사용되고 있는 폴리프로필렌 섬유를 흙과 혼합한 보강혼합토의 장기적 건조수축에 의한 단위 중량 변화를 분석하고 보강재별 압축강도를 비교하여 보강흙벽의 보강재료로서 이용가능성을 도모하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 사용재료

#### 가. 흙 재료

본 연구에 사용된 흙 재료는 전통적 건축구조물의 재료로 적합할 것으로 판단되는 시료로서 경기도 수원시에서 채취하였으며 흙의 물리적 특성은

Table 1. Physical properties of soil

Specific gravity	Specific surface area (cm <sup>2</sup> /g)	Liquid limit (%)	Plastic limit (%)	$\gamma_{dmax}$ (gf/cm <sup>3</sup> )	OMC (%)	USCS
2.63	4,028	38.5	21	1.65	18.2	CL

Table 1과 같고, 통일분류법으로 CL로 구분되는 흙의 입도분포곡선은 Fig. 1과 같다.

#### 나. 보강재료

본 연구에서는 일반적으로 보강재료로 널리 사용되고 있는 석회, 시멘트 및 섬유를 사용하였다. 비중이 2.7, 평균 입경이 3.6 $\mu$ m인 탄산석회는 점토의 소성지수를 감소시키고, 최적함수비를 증가시킬 목적으로 사용하였으며 본 시험에서는 강열잔사(Ig-Loss)가 43% 정도인 중질 탄산석회의 물리적 성질 및 화학적 특성은 Table 2, 3과 같다.

Table 2. Physical properties of calcium carbonate

Specific gravity	Specific surface area (cm <sup>2</sup> /g)	Absorption (cc/g)	Moisture content (%)	pH	Mean diameter ( $\mu$ m)	# 325 Residual (%)
2.70	5,801	0.3	0.16	8.7	3.6	0.01

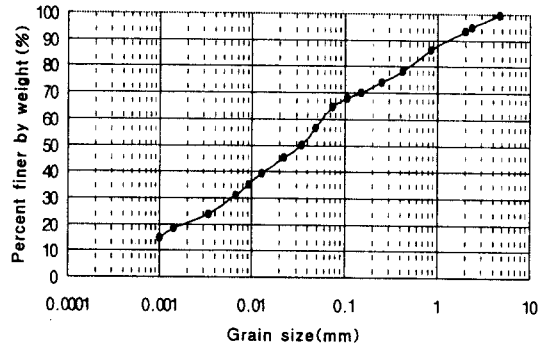


Fig. 1. Grain size distribution curve of soil

Table 3. Chemical properties of calcium carbonate

(Unit : %)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Ig-Loss
1.25	0.21	0.12	54.46	0.61	43.35

본 연구에 사용한 생석회는 국내 B사의 제품으로서 CaO 함유량이 84% 정도로 점토의 안정처리와 점성을 향상시킬 목적으로 사용하였으며 화학적 특성으로는 Table 4와 같다.

시멘트는 H사의 제품으로 비중 3.15, 비표면적

Table 4. Chemical properties of quicklime

Specific gravity	Specific surface area (cm <sup>2</sup> /g)	CaO (%)	MgO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)
2.76	3,388	83.51	1.42	4.21

3,507cm<sup>2</sup>/g인 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 물리적 특성은 Table 5에 요약하였다.

Table 5. Physical properties of portland cement

Specific gravity	Specific surface area (cm <sup>2</sup> /g)	Setting time (h:min)		Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )		
		Initial	Final	3 days	7 days	28 days
3.15	3,507	4:28	6:05	259	321	404

본 연구에서는 섬유 절단길이에 따른 19mm 단사와 망사 2종을 선정하였다. 폴리프로필렌 섬유는 콘크리트 구조물의 균열방지 및 인장강도를 보강하기 위하여 개발된 것으로 비중은 0.91이며 인장강도는 각각 2.3×10<sup>3</sup>kgf/cm<sup>2</sup>, 3.3×10<sup>3</sup>kgf/cm<sup>2</sup>이다. Table 6은 이들 섬유의 물리적 특성을 요약하였다.

촉진제로서 염화칼슘(CaCl<sub>2</sub>)은 시멘트의 응결경화를 촉진하여 조기강도의 증대 및 동결온도를 저하시킨다. 따라서 본 연구는 염화칼슘을 시멘트 및 석회에 적정량을 혼합하여 압축강도를 알아보고자 사용하였다.

## 2. 시험방법

### 가. 보강혼합토의 건조수축 시험

건조수축은 수분의 증발로 인하여 혼합토의 체

적이 줄어드는 현상으로서 보강혼합토의 강도 및 내구성을 결정짓는 중요한 요인이 된다. 물의 혼합비가 낮을수록 수축률이 적으나 시공이 어렵게 되므로 본 연구에서 보강혼합토의 적정 함수비를 결정하고자 시험을 하였다.

보강혼합토의 공시체 제작은 직경이 10cm이고 높이가 20cm인 몰드에 혼합한 시료를 넣어 4층 24회씩 다짐을 하여 제작하였다. 이때 래머의 중량은 2.85kgf, 낙하고는 29cm, 다짐에너지(E)는 5.625kgf·cm/cm<sup>3</sup>로 하였으며, 시료가 몰드 표면에 부착되는 것을 방지하기 위하여 그리스(grease)를 몰드 표면에 고르게 칠하였다. 몰드 해체는 공시체의 급작스런 표면균열 등의 우려가 있기 때문에 3시간 동안 공기 중에 건조시킨 후 몰드를 해체하여 3, 6, 12, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168(7일), 240(10), 336(14일), 480(20일), 672(28일), 960(40일), 1,200(50일), 1,440(60일)시간 건조수축 시험을 하였다. 한편 시료배합은 반죽질기 여하에 따르는 작업의 난이도에 따라 함수비를 다르게 주었다. 흙 재료 및 9% 탄산석회 혼합토, 9% 생석회 혼합토, 9% 시멘트 혼합토, 0.3% 섬유혼합토에 함수비를 각각 20, 30, 40%를 첨가하였으며, 3%, 6% 탄산석회 혼합토와 0.5%, 1.0% 섬유혼합토에는 함수비를 각각 20%를 첨가하였다. 또한 촉진제를 1, 2, 3% 및 2%를 첨가한 9% 탄산석회 혼합토 및 9% 시멘트 혼합토에 함수비를 20%에서 40%까지 혼합하였으며 탄산석회, 생석회, 시멘트, 섬유혼합토는 노건조 흙 시료에 대한 증량비로, 촉진제 혼합토의 경우 석회 및 시멘트에 대한 증량비에 의하여 단위 증량 및 압축강도를 측정하였다.

Table 6. Physical properties of polypropylene fiber

Type of fiber	Shape of fiber	Specific gravity	Length (mm)	Melt point (°C)	Tensile strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Young's modulus (kgf/cm <sup>2</sup> )	Diameter (mm)
PM type	Fibrillated	0.91	19	168	3.3×10 <sup>3</sup>	3.96×10 <sup>4</sup>	0.08
PF type	Monofilament				2.3×10 <sup>3</sup>	3.3×10 <sup>4</sup>	0.68

나. 보강혼합토의 압축강도 시험방법

흙 및 보강재에 물을 첨가한 보강혼합토는 토립자를 결합시키는 중요한 역할을 하며 궁극적으로 재료의 강도를 결정하는데 많은 영향을 미친다. 따라서 압축강도는 60일간 건조수축시험을 행한 공시체를 가지고 하였으며, 만능재료 시험기를 이용하여 압축하중을 재하하여 최대하중을 읽고 원단면적으로 나누어 압축강도를 구하였다.

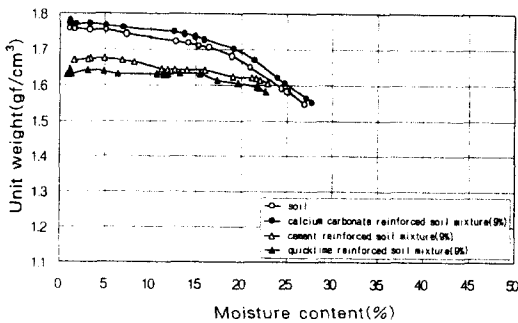
Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 보강혼합토의 단위 중량 변화

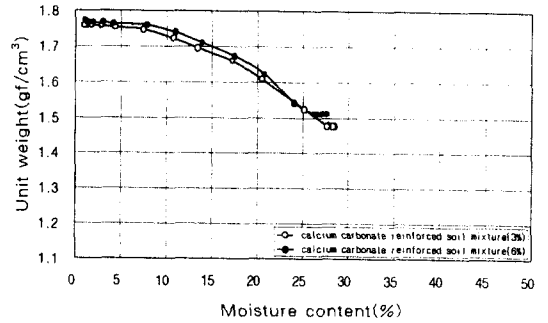
보강혼합토는 장기적인 건조에 의하여 함수비가 감소함에 따라 공시체의 부피는 감소하고 단위 중

량은 증가한다. Fig. 2는 보강혼합토의 함수비와 단위 중량 변화를 나타낸 것으로 보강혼합토의 성형 및 작업성을 고려하여 초기함수비를 20%, 30%, 40% 첨가하여 시간이 경과함에 따라 진행되는 과정에서 함수비와 단위 중량의 변화를 측정하였다. 혼합토에 초기함수비를 20~40% 증가할수록 단위 중량은 전반적으로 작게 나타났다.

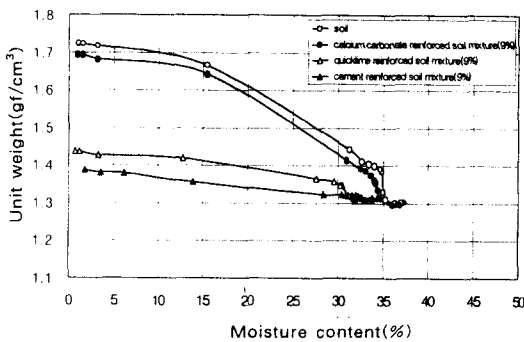
초기함수비 20%의 경우 함수비 5%에서 9% 탄산석회 혼합토의 단위 중량이 1.764kgf/cm<sup>3</sup>로 가장 높게, 흙 자체 1.753kgf/cm<sup>3</sup>, 9% 시멘트 혼합토 1.676kgf/cm<sup>3</sup>, 9% 생석회 혼합토는 1.637kgf/cm<sup>3</sup> 정도로 가장 작게 나타났으며 함수비의 변화에 따라 9% 탄산석회 혼합토와 흙 자체는 단위 중량 감소의 폭이 크게, 9% 시멘트 혼합토 및 9% 생석회 혼합토는 전반적으로 단위 중량 변화의 폭이



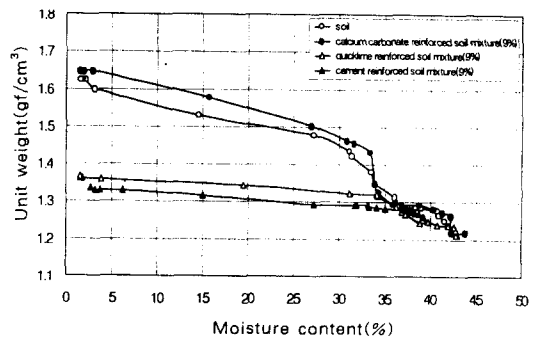
(a) Initial moisture content(20%)



(b) Initial moisture content(20%)



(c) Initial moisture content(30%)



(d) Initial moisture content(40%)

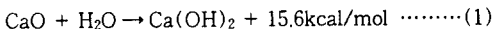
Fig. 2. Unit weight of reinforced soil moisture with according to variation of moisture content

작게 나타났다.

초기함수비 20%에서의 혼합토는 9% 탄산석회 혼합토의 단위 중량이 가장 높게 나타나는 경향을 보였으나 함수비의 변화에 따라 흙 자체와 같이 단위 중량 감소의 폭이 크게 나타난 것은 점토 성분이 많은 수원토는 많은 함수량을 요구하므로 다짐 상태에서는 점토 함유량이 증가함에 따라 토립자간의 공극률이 증대되어 이 공극에 토립자 대신 물로 채워져 있기 때문이다. 따라서 단위 중량의 변화가 큰 원인도 물의 증가량이 많을수록 흙이 감소되므로 비중이 물보다 훨씬 큰 흙의 감소는 단위 중량을 감소시키는 것으로 사료된다.

또한 9% 탄산석회 혼합토의 경우 초기함수비가 20%, 30%, 40%에서 공히 단위 중량이 급격히 감소되는데 이는 입자가 가는 탄산석회도 점토와 같은 역할을 하기 때문으로 사료되며 탄산석회 혼합량이 증가할수록 단위 중량의 감소율이 커지는 이유는 점토에 비하여 비중이 큰 석회가 비중이 작은 흙과 대치되기 때문으로 판단된다.

한편, 9% 시멘트 혼합토 및 9% 생석회 혼합토의 경우 초기함수비가 20%, 30%, 40%에서의 단위 중량은 전반적으로 변화가 작게 나타났다. 이 원인은 시멘트의 수화반응에 의한 주산물은 시멘트 겔로서 흙과 혼합시 건조 수축에 영향을 주는 중요한 물질이다. 시멘트 겔은 거의 비결정질 물질로서 화학성분이 유동적이어서 시간, 온도, 함수량 등의 조건에 따라 조금씩의 변화가 일어난다. 따라서 비표면적이 점토에 비해 작기 때문에 건조 수축을 구속하는 효과가 클 것으로 사료된다. 또한 생석회 혼합토에서 생석회는 소화작용을 하므로 식 (1)과 같이 생석회의 수화 반응식으로 나타낼 수 있다.



여기서, 생석회는 소화흡수와 팽창작용 및 발열반응이 일어나고,  $\text{Ca(OH)}_2$ 는 물과 점토광물을 혼합하였을 때 모세관 흡수와 흡착작용 및 수화물을 생성하게 된다.

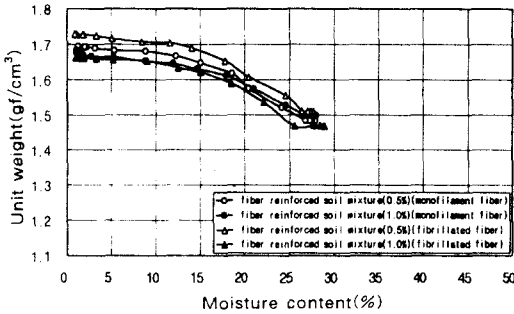
Fig. 3은 섬유혼합토의 함수비에 따른 단위 중량 변화를 도시한 것이다. 초기함수비를 20% 첨가하였을 때 섬유혼합토의 단위 중량변화는 함수비 5%에서 0.5% 섬유혼합토 망사가 1.715kgf/cm<sup>3</sup>, 단사 0.5%는 1.683kgf/cm<sup>3</sup>, 1.0% 섬유혼합토 단사는 1.660kgf/cm<sup>3</sup>, 망사 1.0%에서는 1.656kgf/cm<sup>3</sup> 정도로 망사를 0.5% 첨가한 섬유혼합토가 가장 높게 나타났으며 함수비 20% 이후에서는 1.0% 섬유혼합토 단사가 0.5% 섬유혼합토 단사보다 단위 중량이 높게 나타났다.

Fig. (b)의 혼합률이 0.3%에서는 단사가 1.757~1.545kgf/cm<sup>3</sup> 범위를, 망사는 1.743~1.528kgf/cm<sup>3</sup>의 범위로 단위 중량이 변화하였다. 함수비 0~3%에서는 단사가 망사보다 높게 나타났으나 이후 감소하는 경향을 보였다.

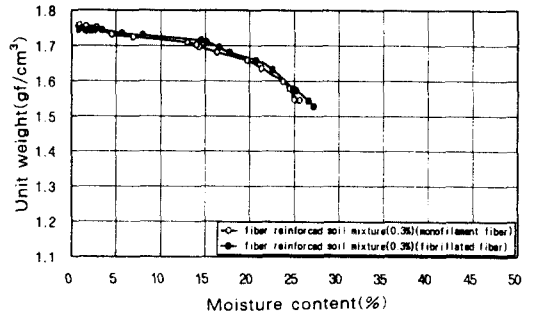
초기함수비를 30% 첨가한 Fig. (b)에 비해 단위 중량이 낮게 나타났다. 이것은 수분의 증가로 인하여 흙 재료의 중량 및 체적이 감소되었기 때문으로 판단된다. 함수비 변화에 따른 단위 중량 변화는 단사가 1.669~1.307kgf/cm<sup>3</sup>, 망사는 1.681~1.340kgf/cm<sup>3</sup> 정도의 범위를 보였다.

초기함수비 40%를 첨가한 경우 함수비 30~40%에서는 수분의 포화상태로 인하여 단위 중량 변화가 다양하게 나타났지만 초기함수비를 20~40% 첨가한 결과 0.3% 섬유혼합토에서 망사가 단사보다 단위 중량이 전반적으로 높게 나타났다. 또한 섬유 양이 증가함에 따라 단위 중량은 감소하였는데 이는 섬유의 양이 증가할수록 흙이 차지하는 체적과 중량이 상대적으로 감소하기 때문이다. 또한 섬유의 형태에 따른 단위 중량은 섬유의 양에 따라서 다소 차이는 있지만 단사, 망사 2종 모두 단위 중량이 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 많은 뿐만 아니라 서로 엉킴현상이 일어나 작업시 어려움이 다소 있다. 이러한 현상은 섬유의 혼합

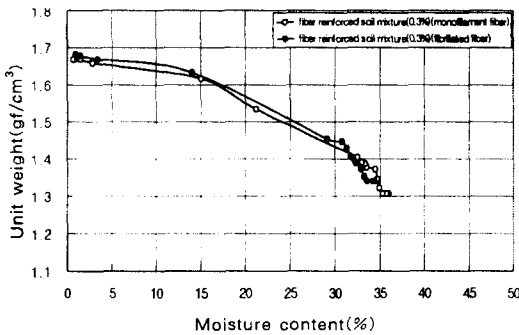
장기적 건조수축에 의한 보강혼합토의 단위 중량 및 압축강도 분석



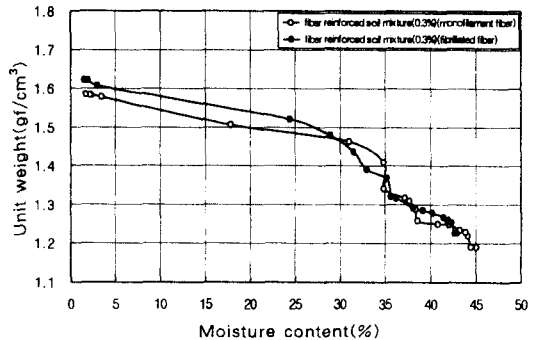
(a) Initial moisture content(20%)



(b) Initial moisture content(20%)



(c) Initial moisture content(30%)



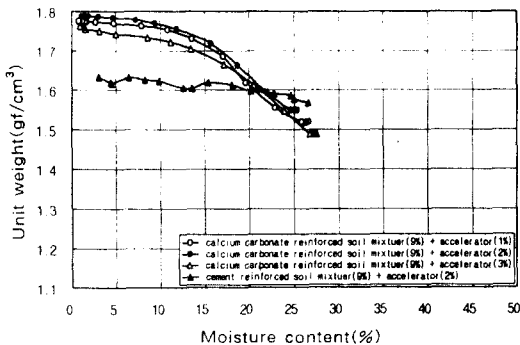
(d) Initial moisture content(40%)

Fig. 3. Unit weight of fiber reinforced soil moisture with according to variation of moisture content

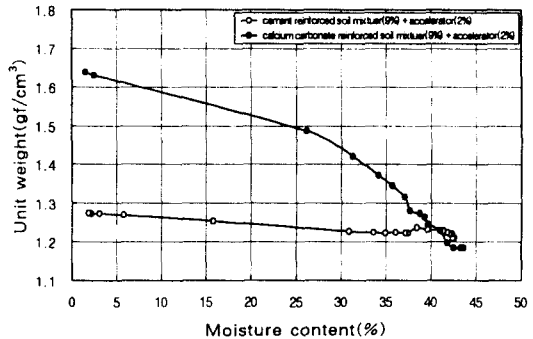
률이 증가할수록 점점 심해졌다. 한편 0.3% 섬유 혼합토 단사와 0.3% 섬유혼합토 망사에 초기함수비가 20%, 30%, 40%를 각각 혼합한 결과 단사와 망사보다 단위 중량이 전반적으로 낮은 이유는 점토의 점착성 때문에 흙과 섬유의 혼합이 용이하지

않아 섬유의 엉켜진 덩어리 형태가 존재하기 때문으로 사료된다.

보강혼합토에 촉진제를 첨가한 결과 단위 중량 변화는 Fig. 4와 같다. 초기함수비 20% 첨가한 (a)의 경우 9% 탄산석회 혼합토에 촉진제 1, 2,



(a) Initial moisture content(20%)



(b) Initial moisture content(40%)

Fig. 4. Relationship of unit weight with moisture content for reinforced soil mixture added accelerator

3%를 혼합한 결과 염화칼슘을 2% 첨가한 탄산석회 혼합토에서 단위 중량이 1.787~1.549kgf/cm<sup>3</sup>로 가장 높게 나타났다.

초기함수비 40%를 첨가하였을 때는 단위 중량이 전반적으로 낮게 나타났으며 9% 시멘트 혼합토의 경우 시멘트의 수화작용으로 인하여 단위 중량은 낮으나 함수비 변화에 따른 단위 중량은 탄산석회 혼합토 보다 작게 나타났다. Fig. 4의 경우 9% 탄산석회 혼합토와 9% 시멘트 혼합토의 단위 중량 변화의 폭이 축진제를 혼합하지 않은 경우와 비슷하게 나타났다. 따라서 축진제는 탄산석회 및 시멘트 혼합토의 단위 중량에는 영향을 주지 않을 것으로 판단된다.

## 2. 장기적 건조수축에 의한 보강혼합토의 압축강도

흙 자체 및 보강재를 혼합한 보강혼합토의 공시체를 60일간 건조시킨 후 압축강도시험을 실시한 결과 Fig. 5와 같다. 함수비가 20%에서의 강도는 9% 탄산석회 혼합토 29kgf/cm<sup>2</sup>, 흙 자체 27kgf/cm<sup>2</sup>, 9% 시멘트 혼합토 25kgf/cm<sup>2</sup>, 9% 생석회 혼합토 17kgf/cm<sup>2</sup> 정도로 나타났다.

함수비 30%에서는 입자가 가늘고 비표면적 (5,800cm<sup>2</sup>/gf)이 높은 9% 탄산석회 혼합토의 강도가 55.63kgf/cm<sup>2</sup>로 가장 큰 폭으로 증가하였으며 함수비를 40% 첨가한 경우 혼합토의 강도가

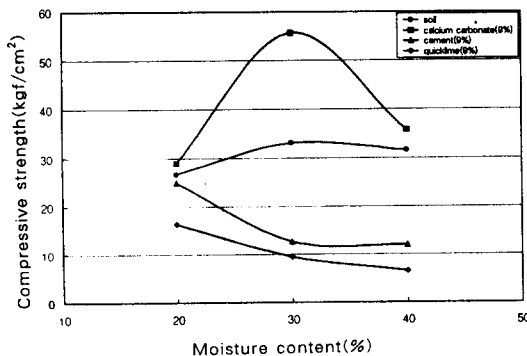


Fig. 5. Compressive strength of reinforced soil mixture in 60 days

전반적으로 떨어지는 경향을 보였다. 따라서 9% 탄산석회 혼합토의 시공시 함수비는 30%가 적당할 것으로 사료되는 반면 9% 생석회 및 시멘트 혼합토의 경우 흙 자체보다 강도가 작게 나타났다. 이는 발열 및 수화반응으로 인한 함수비 감소와 생석회 입자가 작은 알갱이로 뭉쳐져 강도를 발휘하지 못하는 것으로 사료되며, 점토질 흙에 생석회 및 시멘트를 혼합한 경우 응결 촉진효과는 기대할 수 있으나 보강효과는 기대할 수 없을 것으로 판단된다.

섬유혼합토 및 축진제를 첨가한 보강혼합토의 재령 60일에 대한 압축강도 시험 결과 Fig. 6, 7과 같이 도시하였다. 단사의 경우 혼합량이 증가할수록 강도가 미소하게 증가하였으나 망사의 경우 혼

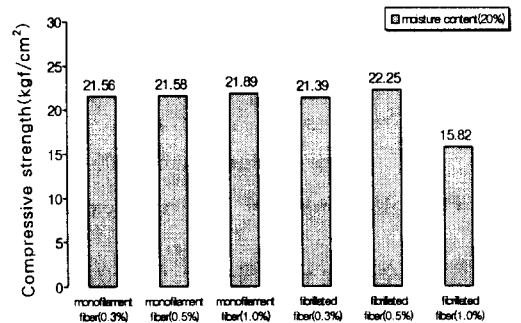


Fig. 6. Compressive strength of fiber reinforced soil mixture in 60 days

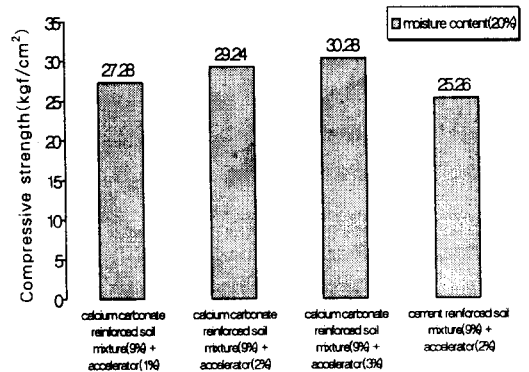


Fig. 7. Compressive strength in 60 days reinforced soil mixture added accelerator

합량이 0.5%에서 22.3kgf/cm<sup>2</sup>에 비하여 1.0%에서는 15.8kgf/cm<sup>2</sup> 정도로 강도가 급격히 감소하였다. 따라서 망사의 경우 1.0% 이상 혼합시 보강효과가 떨어질 것으로 판단된다.

촉진제를 첨가한 보강혼합토의 경우 9% 탄산석회 혼합토에 촉진제 3%를 첨가한 공시체의 강도가 30.3kgf/cm<sup>2</sup> 정도로 가장 높게 나타났으나 촉진제를 첨가하지 않은 경우(Fig. 5)에 비하여 강도 발현이 미비한 것으로 나타나 보강혼합토에 대한 촉진제의 영향은 크지 않을 것으로 사료된다.

#### IV. 결 론

본 연구는 점토질 흙에 탄산석회, 생석회, 시멘트 및 섬유(단사, 망사)를 일정한 비율로 배합하였으며, 촉진제를 시멘트 및 탄산석회에 첨가하여 장기적 건조수축에 의한 단위 중량 변화와 압축강도 시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 9% 탄산석회 혼합토에서 단위 중량이 전반적으로 크게 나타났으며 함수비 30%에 압축강도가 가장 크게 나타났다.

2. 생석회와 시멘트를 사용한 보강혼합토의 경우 다른 보강혼합토 보다 단위 중량의 변화는 미소하였으나 강도는 흙 자체보다 낮게 나타났다. 따라서 점토질 흙에 생석회 및 시멘트를 혼합한 경우 연약지반 보강시 이용 가능할 것으로 판단되나 보강효과로는 부적합할 것으로 사료된다.

3. 섬유혼합토의 섬유의 양이 증가함에 따라 단위 중량은 감소하였고, 압축강도는 단사의 양이 증가할수록 강도는 대체적으로 증가하지만 혼합비가 1.0% 이상인 망사에서는 강도가 감소하였다.

4. 9% 탄산석회 및 섬유혼합토의 공시체 작업은 시료배합 및 다짐에 있어서 다소 차이가 있으나 함수비가 30%가 적당할 것으로 판단된다.

본 연구는 1998년도 농림부 농특과제 연구비에 의하여 수행된 연구결과의 일부임

#### 참 고 문 헌

1. 고흥석 외 2인., 1991, 흙-토목섬유 Interface 특성에 관한 연구, 한국농공학회지 33(2), pp. 82~93.
2. 김기탁 외 2인., 1999, 강섬유 보강 폴리머 콘크리트의 재료적 특성, 한국농공학회지 41(3), pp. 73~80.
3. 김유성, 이재열., 1998, 부직포 보강 점성토의 보강효과에 관한 기초적 연구, 한국지반공학회지 14(4), pp. 61~75.
4. 송창섭 외 3인., 1999, 섬유 보강토의 다짐 및 강도 특성, 한국농공학회지, 41(5), pp. 93~98.
5. 송창섭 외 3인., 1999, 섬유 보강토의 균열 특성 연구, 한국농공학회지, 41(3), pp. 59~65.
6. 장병욱 외 3인., 섬유혼합보강토의 일축강도 특성, 한국농공학회지 41(1), pp. 72~78.
7. 조삼덕, 김진만, 1995, 섬유혼합 보강토의 공학적 특성에 관한 실험연구, 한국지반공학회지 11(2), pp. 107~120.
8. 진병익, 류연길, 1987, 보강토의 거동특성과 그 이용에 관한 개발연구 3(4), pp. 55~67.
9. 천병식 외 4인, 1996, 생석회공법에 의한 지반 개량효과에 관한 연구, 한국지반공학회지, '96 봄 학술발표회 논문집.
10. 천병식 외 2인., 1997, 국산 생석회 혼합처리에 의한 지반개량, 대한토목학회논문집, 17(III-5), pp. 589~596.
11. 한만엽, 1991, 건조 수축의 메카니즘과 물의 역할, 콘크리트학회지 3(2), pp. 46~52.