

보강혼합토분의 물리적 특성

Physical Properties of Reinforced Soil Mixture Powder

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

Abstract

This study was performed to evaluate the physical properties of reinforced soil mixture powder. Soil sample was prepared by passing into the standard sieve of No. 200 and reinforcement materials were calcium carbonate, quicklime and portland cement. Fineness, setting time, and compressive strength test for reinforced soil mixture powder were performed and analyzed to investigate their physical properties. The main results were summarized as follow. The compressive strength of soil mixture powder itself and most reinforced was reinforced according to increasing in the mixture rate of reinforcement and the rate of increase was remarkably higher in the cement reinforced soil moisture powder. It was appeared that the early compressive strength is considering higher in the cement reinforced soil moisture powder with 2% of moisture rate of accelerator.

I. 서 론

보강혼합토는 흙과는 다른 물질인 보강재를 사용하여 흙과 보강재의 마찰을 통하여 인장에 약한 흙의 특성을 보완하는 것으로서 흙 속의 어느 한 부분에서 흙과 보강재의 마찰에 의하여 발휘되는 점착력과 마찰 저항력이 흙덩이 전체에 걸쳐서 전달된다 이때 보강토는 유연성이 있을 뿐만 아니라 높은 인장응력을 발휘할 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.

우리 나라에서는 전통주택의 벽이나 토담을 축조함에 있어서 흙에 짚, 나무 가지, 생석회 등을 혼합하여 단단한 벽돌이나 벽체 등을 만들어 구조물의 재료로 사용하였다. 그러나 이런 재료에 대한 공학적인 연구는 국내외적으로 미흡한 실정이어서 현대구조물에 적용하기는 어려움이 있으나 자연상태의 흙이 지닌 성질을 개선하여 기존 보강옹벽의 대체 옹벽, 곡물저장고의 축벽 구조물, 주택의 벽체로서 광범위한 적용 가능성을 가지고 있다고 판단된다. 또한 보강재를 사용한 보강혼합토는 자연친화적인 재료를 이용하여 만든 구조물이

* 경북대학교 농과대학

** 경북대학교 대학원

*** 서울대학교 농업생명과학대학

키워드 : 보강혼합토분, 보강재, 비표면적, 응결시간, 표준주도

기 때문에 보온 및 보습성이 있어 콘크리트 구조물에 비해 에너지 절감효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 본 연구는 200번체를 통과한 토분에 보강재료로 널리 사용되고 있는 시멘트, 생석회, 탄산석회를 혼합하여 분말도 및 응결시간, 재령별 일축압축강도 시험과 함수비에 따른 변화를 상호비교 분석함으로써 적합한 보강재를 선정하여 보강흙벽의 재료개발에 대한 기초자료를 제공하기 위하여 수행하였다.

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

Table 1. Physical properties of soil

Specific gravity	Liquid limit (%)	Plastic limit (%)	γ dmax (gf/cm ³)	OMC (%)	USCS
2.63	38.5	21	1.65	18.2	CL

나. 보강재료

본 연구에서는 석회(중질 탄산석회), 생석회, 및 시멘트를 보강재료로 사용하였으며, 탄산석회의 물리적 성질 및 화학적 특성은 Table 2, 3과 같다.

Table 2. Physical properties of calcium carbonate

Specific gravity	Absorption (cc/gf)	Moisture content (%)	pH	Mean diameter (μ m)	# 325 Residual (%)
2.70	0.3	0.16	8.7	3.6	0.01

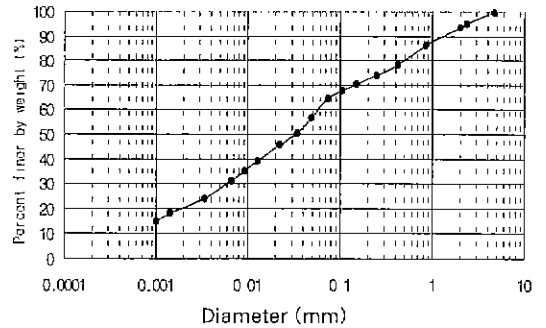


Fig. 1. Grain size distribution curve of soil

Table 3. Chemical properties of calcium carbonate (Unit : %)

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

생석회는 국내 B사의 제품으로서 점토의 안정 처리와 점성을 향상시킬 목적으로 사용하였으며 화학적 특성으로는 Table 4와 같다.

Table 4. Chemical properties of quicklime

Specific gravity	CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
2.76	83.51	1.42	4.21

시멘트는 H사의 보통 포트랜드 시멘트를 사용하였으며 물리적 특성은 Table 5와 같다.

Table 5. Physical properties of normal Portland cement

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

촉진제로서 염화칼슘(CaCl₂)은 시멘트의 응결경화를 촉진하여 조기강도의 증대 및 동결온도를 저하시키므로 본 연구에서는 염화칼슘을 시멘트 및 석회에 적정량을 혼합하여 압축강도를 알아보고자 사용하였다.

2. 시험방법

가. 보강혼합토분의 분말도 시험

분말도는 단위중량당 면적으로 결정되고 흙 내부 토분의 건조속도와 고화재의 수화속도에 영향을 미치므로 흙 재료를 실험실에서 체분석을 하여 200번체 통과분을 사용하였으며 보강재료로는 탄산석회(CaCO₃), 생석회(CaO), 시멘트를 사용하였다. 그리고 토분 및 보강혼합토분은 토분, 탄산석회, 생석회, 시멘트 자체와 노건조 토분에 대한 중량혼합비를 변화시킨 탄산석회, 생석회, 시멘트 혼합토분을 100ml 병 안에 넣고 밀봉하여 2분간 흔들어 입자를 고르게 섞은 후 KS L 5106(공기투과 장치에 의한 시멘트의 분말도 시험방법)에 의하여 시험을 하였다. 시료배합은 토분 및 탄산석회, 생석회, 시멘트 자체와 노건조 토분에 대한 중량 혼합비로 탄산석회 및 생석회 혼합토분, 시멘트 혼합토분에 각각 1, 3, 6, 9, 12, 15, 20%를 일정하게 혼합하였다.

나. 보강혼합토분의 응결 시험

표준주도(KS L 5102 : 수경성 시멘트의 표준 주도 시험 방법) 및 응결상태의 적정함수비를 측정하기 위하여 침입도 시험(KS L 5108 : 비이카 침에 의한 수경성 시멘트의 응결 시간 시험 방법)을 하였다. 이 때 응결시험의 시료배합은 토분 및 탄산석회, 생석회, 시멘트 자체와 노건조 토분의 중량혼합비로 탄산석회 혼합토분 및 생석회 혼합토분, 시멘트 혼합토분에 각각 3, 6, 9, 12%를 일정하게 혼합하였으며 6, 9% 탄산석회 혼합토분과 시멘트 혼합토분에 촉진제를 1, 2, 3% 및 6% 첨가하여 공시체를 제작하여 항온항습기(25°C, 50%)를 이용하여 시험을 하였다.

다. 혼합토분의 압축강도 시험

혼합토분의 강도 시험은 혼합토가 갖는 강도를 알고 그 시험 결과로부터 동일한 혼합토를 사용하였을 때 보강혼합토의 강도를 추정하기 위하여 시험하였다. 플로우 시험(flow test)은 시료의 반죽

질기를 결정하기 위한 것으로 KS L 5111(시멘트 시험용 플로우 테이블)의 시험방법으로 실시하였으며, 토분 및 혼합토분의 압축강도시험용 시료의 주도결정을 위한 장치로 플로우 테이블(flow table)과 플로우 몰드(flow mold)를 이용하였다. 또한 압축강도시험은 관련 규격 KS L 5105(시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법)의 시험방법에 의하여 플로우 시험 후 시료를 소정의 다짐방법으로 큐브몰드에 채우고 항온항습기에 넣어 각각 3, 7, 14, 28일의 재령까지 양생시킨 후 압축강도를 구하였다.

III. 결과 및 고찰

토분 및 고화재 혼합토분을 사용한 최적의 보강 혼합토분을 구하기 위하여 탄산석회, 생석회, 시멘트의 보강재를 각각 일정한 비율로 배합하였으며 촉진제를 6%, 9% 탄산석회 혼합토분과 6%, 9% 생석회 혼합토분에 1, 2, 3%를 첨가하여 물리·역학적 특성인 분말도와 응결시간 및 압축강도시험에 대한 결과를 비교 분석하면 다음과 같다.

1. 보강혼합토분의 비표면적

보강혼합토분의 비표면적은 건조로 인한 흙 내부 미세립 토분의 응집력 증가와 고화재의 수화작용에 의하여 응결시간과 강도에 영향을 준다. Table 6은 토분 및 보강재 자체의 비표면적에 대한 시험결과로서 탄산석회, 토분, 생석회, 시멘트의 순으로 나타났다.

보강혼합토분의 비표면적은 탄산석회, 생석회

Table 6. Specific surface area of soil and reinforcing materials

	(cm ² /gf)			
Sample	soil powder	calcium carbonate	qucklime	cement
Specific surface area	4,028	5,801	3,388	3,230

및 시멘트의 중량혼합비에 의한 시험치와 이론치를 비교한 결과는 Fig. 2와 같다. 탄산석회의 비표면적은 토분보다 크나 생석회 및 시멘트의 비표면적은 작기 때문에 혼합비가 1%~20%로 증가됨에 따라 탄산석회 혼합토분의 비표면적 시험치는 4,113~4,495cm²/gf로 증가하였으나 생석회 및 시멘트 혼합토분은 3,998~3,721cm²/gf 및 3,903~3,487cm²/gf로 감소하였다. 비표면적은 탄산석회 혼합토분에서는 이론치가 작고, 생석회 혼합토분과 시멘트 혼합토분에서는 이론치가 거의 일치하지만 시험치보다 크게 나타났다. 이와 같이 토분에 혼합된 보강재의 양이 증가함에 따라 비중의 차에 의하여 비표면적은 감소하고, 비표면적의 시험치와 이론치의 차는 보강재의 혼합비가 증가할수록 크게 나타나는 경향을 보였다.

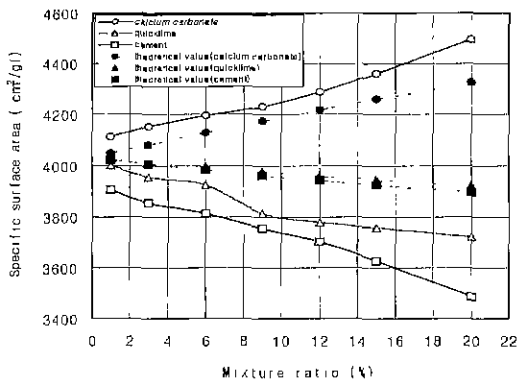


Fig. 2. Specific surface area of reinforced soil mixture powder

2. 토분 및 보강재의 응결시간

토분 및 보강재 자체의 응결시간은 Table 7과 같이 토분 52.0, 탄산석회 11.8, 생석회 6.0, 시멘트 3.0 시간 순으로 진행되었다.

Fig 3은 탄산석회, 시멘트 및 생석회 혼합토분의 응결시간에 대한 결과로서 보강재의 혼합비가 3%~12%로 증가함에 따라 탄산석회 혼합토분에서는 32h~31h 정도의 범위로 가장 길게, 생석회 혼합토분에서는 30h~20h 정도, 시멘트 혼합토분

Table 7. Setting time of soil powder and reinforcing materials (h)

Sample	soil	calcium carbonate	quicklime	cement
Setting time	52.0	11.8	6.0	3.0

에서는 24h~13h 정도의 범위로 가장 짧게 나타났다. 이 결과 시멘트를 12% 혼합한 보강혼합토분에서는 토분 자체의 응결시간에 비해 39시간이나 빨라지는 것으로 나타났다. 시멘트 혼합토분에서 응결시간이 빠른 것은 시멘트의 수화작용으로 인해 입자의 크기가 작은 토분과의 응집력이 커져서 혼합비가 증가함에 따라 응결이 촉진된 것으로 판단된다.

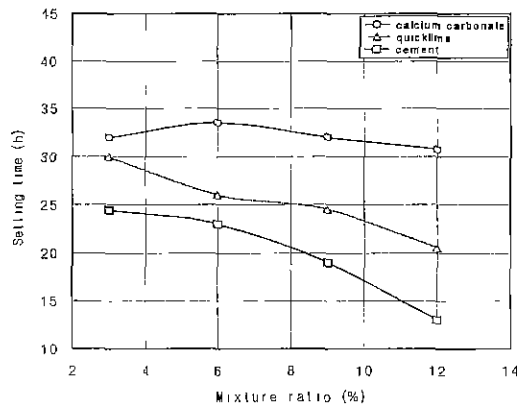


Fig. 3. Setting time of reinforced soil mixture powder

보강혼합토분에 촉진제를 첨가한 후 응결시간을 측정된 결과는 Fig 4와 같다 촉진제 혼합비가 1%~6%로 증가함에 따른 탄산석회 혼합토분의 응결시간은 6%일 때는 감소하였고, 9%일 때는 35h~44h로 증가하여 응결촉진제로 사용한 염화칼슘이 오히려 응결지연제로 작용되었다. 따라서 탄산석회 혼합토분에 대한 촉진제의 장기강도 증진 효과는 예상되나 혼합비율이 증가할수록 촉진제가 응결시간에 미치는 영향은 현저히 감소될 것으로 판단된다. 시멘트 혼합토분의 응결시간은 혼합비

가 증가할수록 약간씩 감소하는 경향을 나타냈다.

촉진제는 사용하지 않았을 경우(Fig. 3)와 촉진제를 3% 사용하였을 경우(Fig. 4)의 응결시간을 비교하면, 탄산석회 혼합토분에서는 6%일 때 5h 정도 단축되었고, 9%에서는 6h 연장되었으며, 시멘트 혼합토분에서는 6%일 때 7h 정도, 9%에서는 2h 정도 단축되어 전반적으로 촉진제의 응결효과와는 시멘트 혼합토분에서 크게 나타났다.

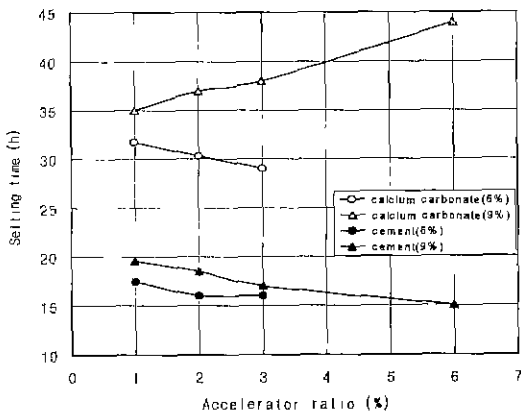


Fig. 4. Setting time of reinforced soil mixture powder with accelerator mixing

3. 토분 및 보강재의 표준주도 및 응결상태의 함수비

Table 8은 토분, 탄산석회, 생석회 및 시멘트 자체의 표준주도와 응결상태의 함수비를 나타낸 것이다. 이 결과 토분 및 보강재의 표준주도 상태의 함수비는 토분, 생석회, 탄산석회, 시멘트 순으로, 응결상태의 함수비는 생석회, 토분, 탄산석회, 시멘트 순으로 크게 나타났다. 표준주도 및 응결상태 함수비의 차는 토분에서 18% 정도로 가장 크게, 탄산석회에서 9% 정도, 시멘트에서 8% 정도, 생석회에서는 4% 정도로 상당히 작게 나타났는데 이는 생석회가 초기에 급격한 수화작용에 의하여 수분이 제거되면서 소석회(Ca(OH)₂)로 되기 때문인 것으로 사료된다.

보강혼합토분에 촉진제를 첨가한 후 표준주도

Table 8. Moisture content and standard consistency for soil and reinforcing materials (%)

Sample	soil	calcium carbonate	quicklime	cement
Standard consistency	48.46	29.13	45.13	26.80
Setting condition	30.33	20.00	41.51	19.20

및 응결상태의 함수비를 시험한 결과는 Fig. 5와 같다. 촉진제 혼합비를 1%~6% 변화시킴에 따른 촉진제 보강혼합토분의 표준주도 상태의 함수비는 시멘트 혼합토분에서 49%~47% 정도, 탄산석회 혼합토분에서 44%~47% 정도의 범위를 보여 시멘트 혼합토분에서 약간 크게 나타났다.

응결상태의 함수비는 시멘트 혼합토분에서 33%~39% 정도, 탄산석회 혼합토분에서 27%~31% 정도의 범위로 시멘트 혼합토분에서 상당히 크게 나타났다. 2종의 보강혼합토분에서 모두 보강재의 혼합비가 9%일 때는 촉진제의 증가에 따라 현저하게 증가하는 것으로 나타났다.

촉진제 혼합토분에 대한 표준주도 상태의 평균 함수비를 Table 8과 비교한 결과, 토분 자체에서 보다 탄산석회 및 시멘트 혼합토분에서 0%~4% 정도로 작게 나타났으며 응결상태의 평균함수비는 탄산석회 혼합토분에서는 3% 정도 크게, 시멘트

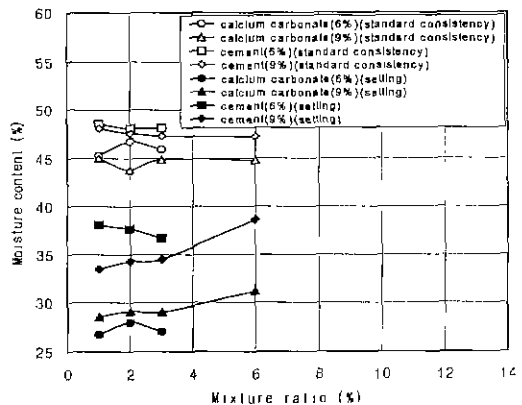


Fig. 5. Moisture content of standard consistency and setting condition for reinforced soil mixture powder with accelerator

혼합토분에서는 5%~7% 정도 작게 나타나 촉진제를 사용하지 않은 보강혼합토분의 경우와 거의 유사하게 변화하였다

4. 보강혼합토분에 대한 비표면적과 응결시간

Fig. 6은 시멘트, 생석회 및 보강혼합토분의 비표면적과 응결시간을 도시하였다. 이 결과 시멘트와 생석회 혼합토분은 혼합비율이 작을수록 비표면적이 크고, 응결시간이 길어지는 반면, 탄산석회 혼합토분은 혼합비율이 12%에서 비표면적이 가장 크고, 응결시간이 가장 짧은 것으로 사료된다. 시멘트, 생석회 및 각종 보강혼합토분에 대하여 전반적으로 비표면적이 증가할수록 응결시간은 직선적으로 증가하는 것으로 나타났다.

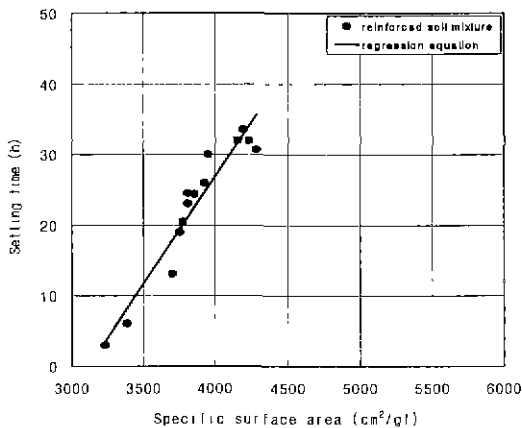


Fig. 6. Correlation diagram of specific surface area and setting time

5. 토분 및 보강혼합토분의 압축강도

토분 및 보강토분에 대한 재령과 압축강도의 관계를 시험한 결과는 Fig. 7과 같다. 토분의 압축강도는 재령이 증가함에 따라 완만하게 증가하는 경향으로 나타나 재령 3일 및 28일의 압축강도는 각각 32kgf/cm² 및 36kgf/cm²로 나타났으며, 특히 9% 탄산석회 혼합토분에서는 16kgf/cm² 및 40kgf/cm²로 비교적 크게 증가하였고, 생석회 혼

합토분에서는 생석회와 물의 화학적 반응에 의하여 7일까지는 감소하는 경향으로 나타났다.

대부분의 보강혼합토분에서 압축강도는 보강재의 혼합비가 6%에서 9%로 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났으며 그 증가율은 시멘트 혼합토분에서 현저하였다.

촉진제 혼합토분에 대한 압축강도는 보강재의 종류에 따라 상이한 차이를 보여 재령이 증가함에 따라 시멘트 혼합토분에서는 완만하게 증가하는 것으로 나타났으나 탄산석회 혼합토분에서는 탄산석회와 촉진제의 화학적 반응에 의하여 재령 7일 강도에서 최대로 나타났으며, 7일 이후에는 감소하는 경향을 보였다.

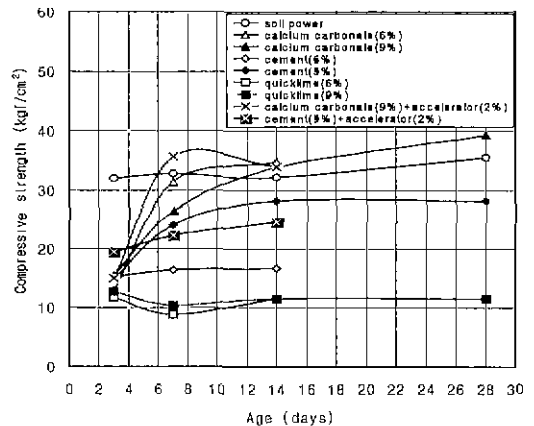


Fig. 7. The relation of age and compressive strength for soil and reinforced soil mixture powder

Fig. 8은 토분 및 보강혼합토분의 재령과 함수비를 시험한 것으로 온도 25°C 및 습도 50%의 항온항습 상태의 양생조건에서 보강혼합토분의 건조상태를 결정하는 함수비는 전반적으로 재령 7일까지는 급격하게 감소하였으나 그 이후로는 완만하게 감소하여 재령 14일 이후부터는 거의 변화가 없는 것으로 나타났으며 토분 자체에서는 다른 종류의 보강혼합토분에서 보다 조기에 안정되어 4일 이후에는 변화가 없고, 시멘트 혼합토분의 재령 3일~7일의 함수비는 다른 종류의 보강혼합토분에서 보다 다소 크게 나타났다.

토분 및 대부분의 보강혼합토분의 초기함수비 (플로우 시험 직후)는 50% 정도로, 초기함수비에서 재령 28일 함수비는 5% 정도로 나타나 45% 정도의 감소를 보이는 것으로 나타났다.

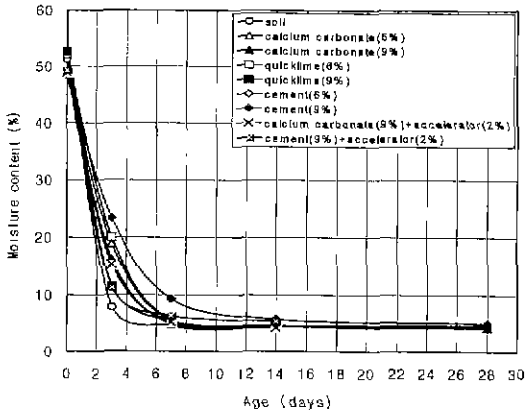


Fig. 8. The relation of age and moisture content for soil powder and reinforced soil mixture powder

토분 및 보강혼합토분에 대한 함수비와 압축강도를 분석한 결과 Fig. 9와 같으며, 전반적으로 함수비가 감소할수록 압축강도는 증가하는 것으로 나타났으며 그 증가율은 보강혼합토분의 종류에 따라 다양하게 나타났다. 생석회 경우에는 생석

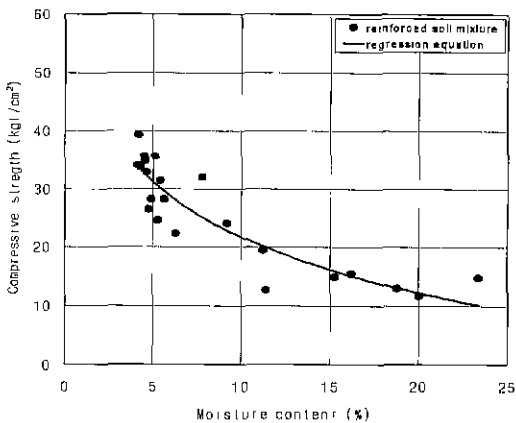


Fig. 9. Correlation diagram of moisture content and compressive strength

회의 수화 및 발열 반응에 의하여 함수비 4%~5%에서는 압축강도가 감소하였으나 이후 함수비가 증가할수록 오히려 압축강도도 증가하는 것으로 나타났다. 또한 함수비와 압축강도의 관계에서 함수비가 증가할수록 압축강도는 대체로 로그함수의 형태로 변화하였다.

V. 결 론

본 연구는 토분 및 고화제 혼합토분을 사용한 최적의 보강혼합토분을 구하기 위하여 탄산석회, 생석회, 시멘트의 보강재를 각각 일정한 비율로 배합하였으며, 촉진제를 혼합토분에 첨가하여 물리·역학적 특성인 분말도와 응결시간 및 압축강도 등을 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 보강제의 혼합비가 증가함에 따라 탄산석회 혼합토분의 비표면적은 증가한 반면 생석회 및 시멘트 혼합토분의 비표면적은 감소하였다. 또한 생석회 혼합토분 및 시멘트 혼합토분은 비표면적이 감소함에 따라 응결시간이 급격히 단축되었으며 비표면적과 응결시간은 직선적으로 변화하는 것으로 나타났다.

2. 토분 및 대부분의 보강제 혼합토분의 압축강도는 재령과 보강제의 혼합비가 증가함에 따라 증가하였으며 그 증가율은 시멘트 혼합토분에서 현저하게 나타났다.

3. 시멘트 혼합토분에 2% 혼합비로 촉진제를 첨가한 압축강도는 촉진제를 첨가하지 않은 경우보다 초기강도가 상당히 증가하였고, 재령이 길어짐에 따라 압축강도는 지속적으로 증가될 것으로 판단된다.

4. 양생조건에서 보강혼합토분의 건조상태를 결정하는 함수비는 재령 7일까지는 급격하게 감소하였으나, 재령 14일 이후부터는 거의 변화가 없고 재령 28일후에는 45% 정도의 감소를 나타냈다.

본 연구는 1998년도 농림부 농특과제 연구비에 의하여 수행된 연구결과의 일부임

참 고 문 헌

1. 김영수, 1976, 생석회 Pile에 의한 심층 연약 점토의 지반 개량에 대한 실험적 연구, 고려대학교대학원 석사학위논문, pp. 4~7.
2. 류능환, 1983, 보강토 공법에 관한 연구, 한국농공학회 25(2), pp. 54~66.
3. 문한영, 1996, 건설재료학, 동명사.
4. 이종근, 1979, 무기재료원료공학, 반도출판사, pp. 383~387.
5. 진병익, 류연길, 1987, 보강토의 거동특성과 그 이용에 관한 개발연구 3(4), pp. 55~67.
6. 천병식 외 3인, 1996, 생석회공법에 의한 지반 개량효과에 관한 연구, 한국지반공학회지, '96 봄 학술발표회 논문집.
7. Darbin M., 1970, The Reinforced Earth for the Construction of Road and Motor Roads, revue Geerale des Routes of Aerodromes, No. 457, pp. 118~127.
8. Schosser F. and H. Vindal, 1969, Reinforced Soil, Bulletin No. 41, pp. 101~144.
9. Schosser F., 1973, Reinforced Earth Structure on Loose Soils, Proc. 8th Intl. Conf. on SMFE, 2(2), pp. 201~205.
10. Vindal H., 1969, Reinforced Earth, Recent Application, English Translation of the Text Entitled La Terre Armée, No. 259-260, pp. 37~42.