

## 보강 혼합토의 역학적 특성(I)

-시멘트 혼합토-

송창섭<sup>1)</sup> · 임성운<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 충북대학교 농공학과 · <sup>2)</sup> 충북대학교 대학원

## Mechanical Characteristics of Reinforced Soil(I)

-Cement Reinforced Soil-

**Song, Chang-Seob<sup>1)</sup> and Lim, Seong-Yoon<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Dept. of Agricultural Engineering, Chungbuk Nat'l Univ., <sup>2)</sup> Graduate school, Chungbuk Nat'l Univ.

### ABSTRACT

This study has been performed to investigate the physical and mechanical characteristics of compaction, volume change and compressive strength for reinforced soil mixed with cement. And confirm the reinforcing effects with admixture such as cement. To this end, a series of compaction test and compression test was conducted for clayey soil(CL) and cement reinforced soil. In order to determine proper moisture content and mixing ratio, pilot test was carried out for soil and cement reinforced soil. And the mixing ratio of cement admixture was fixed 3%, 6%, 9% and 12% by the weight of dry soil.

As the experimental results, the maximum dry unit weight( $\gamma_{dmax}$ ) was increased with the mixing ratio and then shown the peak at 10% reinforced soil, but the optimum moisture content(OMC) and the volume change was decreased with the ratio increase. And the compressive strength volume change was decreased with mixing ratio increased.

Key words : *cement reinforced soil, mechanical characteristics, compressive strength*

### I. 서 론

최근 건설공사의 대형화에 따라 양질의 건설 자재를 다량 확보하기 위하여 여러 방안을 강구하고 있는 실정이다. 특히, 지지력이 양호한 지역은 이미 개발이 완료된 상태에 도달하였으

며, 개발이 가능한 지역은 지반이 불량하여 연약지반에 속하며 지지력 증가를 위한 지반개량이나 많은 치환토가 필요하다.

그러나, 양질의 축제재료 구득에 많은 비용, 장비 및 시간이 소요되고 있지만, 요구되는 강도 및 조건을 만족시키는 재료를 확보하는 데

는 많은 어려움을 겪고 있다. 이러한 문제점을 해결하는 방안으로 지금까지는 흙의 단점을 보완할 수 있는 여러 보강재를 혼합하여 사용하고 있다. 특히, 이러한 재료는 도로의 보조기층재, 옹벽의 뒷채움재 등으로 사용되고 있으며, 절토 또는 성토사면에 사면안정용 재료로 사용되고 있다.

초기의 보강의 개념은 흙 속에 일정한 아연도금 강철 등의 띠나 막대 등으로 부족한 전단강도를 보충하는 의미로 사용되었으나, 근래에는 낮은 강성을 가지는 직물이나 합성섬유, 혼합재 등을 사용하여 보강이 이루어지고 있다(Gray, 1983). 특히, 토목섬유의 사용은 1977년에 3,800만m<sup>2</sup>에서 1989년에는 24,500만m<sup>2</sup>으로 약 6.5배의 신장율을 보이고 있다(Masami, 1993). 그러나, 최근에는 짧은 형태의 천연섬유나 합성 또는 인조섬유를 흙과 혼합하여 다져 흙 속이 내부균열을 최소화하여 흙의 강도를 높이는 방법이 시도되고 있으며(송 외, 1999; Austin, 1993), 또한 흙의 여러 성질을 개선할 수 있는 혼합재를 섞어 사용하는 방법도 시도되고 있다.

특히, 시멘트를 혼합한 소일시멘트는 이미 오래 전부터 사용되어 왔으나, 주로 사질토에 적용이 가능하다. 그 외 여러 혼합재를 사용하여 흙이 가지는 단점을 보완하고 있지만, 그 때의 사용처가 한가지 또는 특수한 어떤 문제를 해결하기 위하여 혼합하여 사용되었기 때문에 단편적인 해결방안을 제시하고 있는 관계로(도, 1979), 종합적인 의미의 단점 보완 또는 강도증진을 위한 기초자료를 제시한다는 측면에서는 연구가 아주 미미한 상태이다.

본 연구에서는 혼합토에 주로 사용되고 있는 시멘트, 토목섬유, 석고, 생석회, 마그네샤, 고화재 등 보강 혼합재의 특성을 파악하여 물리적 또는 역학적 특성을 보완할 수 있는 혼합비율을 도출하고, 도출된 혼합비를 바탕으로 공시체를 제작하여 각 혼합비율에 따른 혼합토의 역학적 특성을 분석하여, 흙을 재료로 사용되는 축재, 기초지반, 사면안정, 도로의 보조기층, 코어재 등 사용목적에 활용할 수 있는 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

본 보는 제 1보로 흙과 시멘트를 혼합하여 다짐특성, 강도 및 체적변화를 바탕으로 시멘트 혼합토의 역학적 특성을 분석하여 시멘트에 의한 보강효과를 규명하였다.

## II. 재료 및 실험방법

### 1. 재료

사용된 흙은 경기도 수원시 근처에서 채취한 화강토로, 쉽게 주변에서 접할 수 있는 흙으로 풍화는 비교적 많이 진행된 상태로 밝고 붉은 빛을 띠고 있다. 특히, 이러한 흙은 건설공사장에서 쉽게 볼 수 있는 재료로 수분의 함유정도 및 다짐정도에 따라 강도 및 투수성이 완연하게 달라지는 문제가 있는 재료로 간주되고 있다.

사용된 흙의 물리적 특성은 표 1과 같으며, 입도분포곡선은 그림 1과 같다.

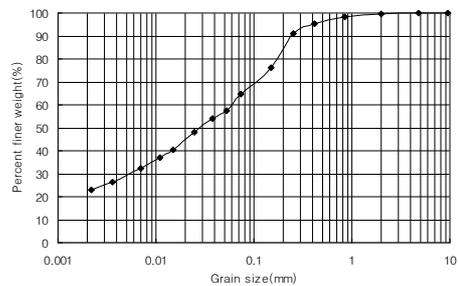
시멘트는 국내에서 생산되는 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 물리적 성질은 표 2와 같다.

**Table 4.** Physical and mechanical properties of soil used.

Gs	LL (%)	PI (%)	Passing of #200	OMC (%)	$\gamma_{dmax}$ (tf/m <sup>3</sup> )	USCS
2.62	38	21	64.567	18.86	1.625	CL

**Table 2.** Physical properties of cement used.

Specific Gravity	Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	Setting time		Soundness (%)
		Initial(min)	Final(hr)	
3.14	3,100	205	5.15	0.09



**Figure 1.** Grain size distribution curve of soil

2. 실험방법

시료는 KS F 2301 규정에 따라 교란시료를 채취하여, 자연상태에서 기건시켜 유발로 잘게 부순 후 4분법에 의하여 시료를 조제하였다. 다짐시험은 KS F 2312에 의하여 A다짐방법으로 시험하였다.

시료는 흙 시료의 건조중량에 대한 중량비 3%, 6%, 9%, 12% 비율로 시멘트를 혼합하여 4종류로 조제하였으며, 스프레이를 사용하여 다짐시험에서 도출된 최적함수비가 되도록 물을 가하여 함수비를 조절하였다.

공시체는 직경 5cm, 높이 10cm의 몰드를 사용하여, Proctor의 표준다짐 에너지로 가압하여 각각의 비율에 대하여 6조씩 24개를 제작하였으며, 3조는 체적변화, 3조는 압축강도 측정에 사용하였다. 제작된 공시체는 통풍이 양호한 실내에서 양생기간 0일, 1일, 7일 및 14일에 따라 체적변화 및 압축시험을 KSF 규정에 따라 수행하였다. 체적변화는 공시체의 윗부분, 중간 및 아래부분의 직경을 측정하여 부피의 변화과정을 검토하였으며, 압축강도는 정해진 양생기간이 경과된 후 일축압축시험기를 이용하여 변위 및 압축응력을 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 다짐특성

지반이 상부의 하중을 버틸 수 있는 흙의 지지력은 흙의 다짐정도에 따라 달라지게 되는데, 다짐에너지가 일정할 때 가장 우수한 다짐효과를 내는 함수비가 최적 함수비(OMC)이며, 그 때의 건조단위중량( $\gamma_{dmax}$ )을 최대가 된다.

자연토 및 시멘트 혼합토의 혼합비율에 따라 수행된 다짐시험의 결과, 도출된 최적함수비 및 최대건조단위중량을 요약하면 표 3과 같다.

최적 함수비(OMC)는 자연토에 비하여 시멘트 혼합토가 0.6%~2.2% 정도 감소하게 되는데, 시멘트 혼합비율이 증가할수록 최적 함수비는 거의 선형적으로 감소하는 것으로 나타났다. 이는 시멘트의 혼합으로 인하여 입자의 간극이 세립분으로 채워주는 효과에 의한 것으로

판단된다.

Table 7. OMC and  $\gamma_{dmax}$  of natural soil and cement reinforced soil.

Mixing ratio(%)	OMC(%)	$\gamma_{dmax}$ (t <sub>f</sub> /m <sup>3</sup> )
0	18.87	1.625
3	18.75	1.632
6	18.70	1.641
9	18.60	1.645
12	18.45	1.638

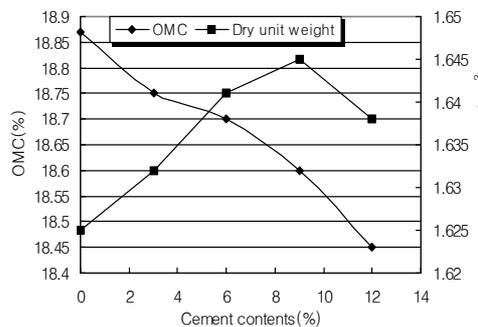


Figure 2. OMC and  $\gamma_{dmax}$  for cement reinforced soil.

2. 체적변화

일반적으로 흙의 단점으로 나타나는 건조에 따른 부피의 감소는 축조물의 균열이나 단면 축소 등 당초의 설계에서 요구되는 규격이나 사용성을 만족시키지 못하기 때문에 흙이 가지는 여러 장점에도 불구하고 그 사용처가 한정되어 있다.

이러한 단점을 보완하기 위하여 혼합된 시멘트에 의한 시멘트 혼합토의 공시체의 부피를 측정하여 체적특성을 분석하였다. 각 혼합비율에 따른 공시체의 건조에 소요된 경과시간에 따른 부피의 변화과정을 요약하면 표 3과 같다.

그림 3은 각 공시체의 재령에 따른 체적변화를 도시한 것이다. 자연시료의 경우, 건조에 의한 체적변화가 약 7일 정도 지나면 완료되어 거의 일정한 체적이 되는 것을 볼 수 있는 반면, 시멘트 혼합토의 경우는 시간의 경과에 따라 계속 체적변화가 발생하는 것을 알 수 있는

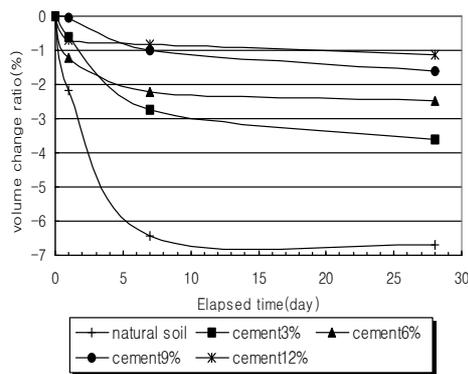
데, 이는 시멘트의 경화에 따른 지연으로 사료된다. 그러나, 시멘트의 혼합량이 증가할수록 건조에 따른 체적변화가 적게 나타남을 알 수 있어 부피의 변화에 영향을 받는 축조물인 경우는 시멘트 혼합토를 사용하는 것이 아주 효과적으로 판명되었다.

재령 28일의 경우, 시멘트를 흙의 건조중량 비로 3%를 섞으면 46%, 6%인 경우는 63%, 9%인 경우는 76% 그리고 12%를 섞으며 체적변화를 약 83%까지 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.

따라서, 필댐의 코어재, 차수벽 등 누수나 차수를 목적으로 하는 경우에는 이러한 혼합토를 사용하면 재료의 건조에 따른 수축으로 인한 균열, 체적변화 등에 의하여 발생하는 침투문제를 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

**Table 8.** Volume change of natural soil and cement reinforced soils.

Mixing ratio	Volume change ratio(%)			
	0 day	1 day	7 day	28 day
0%	0	-2.18	-6.44	-6.71
3%	0	-0.62	-2.76	-3.61
6%	0	-1.21	-2.19	-2.46
9%	0	-0.04	-1.00	-1.60
12%	0	-0.70	-0.83	-1.14



**Figure 3.** Volume change of natural soil and cement reinforced soil for elapsed time.

### 3. 강도특성

흙이 다른 건설재료와 비교할 때 가장 취약한 부분은 강도가 작아 보강 구조물이 없이 단독으로 대형의 구조물을 만들 수 없다는 것이다. 그러나, 건조한 지역에서는 흙벽돌 또는 토담으로 대형의 구조물이나 건축물을 축조하여 현재까지 사용되고 있는 곳도 있다.

우리 나라와 같이 강우량이 많고 짧은 시기에 집중되는 곳에서는 이런 구조물은 내구성이 작아 경제성이 없게 된다. 그러나, 흙이 가지는 단점을 보완하면 어느 정도까지 개선될 수 있는 것이다. 이런 관점에서 시멘트 혼합토의 혼합비에 따른 공시체를 재령의 경과에 따라 시행한 압축강도를 요약하면 표 4와 같고, 도시하면 그림 4와 같다.

자연토 및 혼합토의 재령에 따른 압축강도의 증가는 유사한 경향을 나타내고 있으나, 시멘트 혼합량의 증가에 따라 급격한 강도의 증가를 보인다. 특히, 자연토나 3% 혼합토의 경우는 재령 7일 이후에는 강도의 증가가 거의 없으나, 6% 이상의 시멘트를 혼합한 경우에는 재령이 경과함에 따라 계속적인 강도의 증가를 나타내고 있다. 이는 시멘트의 경화에 따라 입자를 결속하므로 발생하는 강도의 증가효과로 판단된다. 또한, 9% 혼합토의 경우에는 재령 28일의 강도가 아주 우수하므로 장기강도에 유리한 것으로 나타났다. 재령 28일 기준으로 3% 혼합토는 자연토의 약 30% 정도의 강도 증가가 있으나, 9% 또는 12% 혼합토는 약 2배 이상의 강도증가를 나타내고 있다.

**Table 5.** Compressive strength of natural soil and cement reinforced soil with elapsed time.

Mixing ratio	Compressive Strength(kgf/cm <sup>2</sup> )			
	0day	1day	7day	28day
0 %	1.68	3.87	12.04	12.49
3 %	2.43	5.31	16.01	16.36
6 %	4.83	9.98	25.46	32.46
9 %	7.02	14.74	32.27	41.48
12 %	8.36	25.63	35.37	41.88

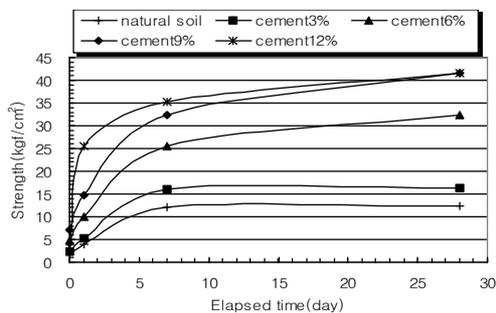


Figure 4. Compressive strength of natural soil and cement reinforced soil with elapsed time.

#### IV. 결 론

비교적 풍화가 진행된 화강토를 재료로 흙이 가지는 각종 단점을 보완하기 위하여 시멘트의 혼합비를 3%~12%로 달리하여 공시체를 제작하여 일련의 시험을 행하였다. 시험 결과 도출된 시멘트 혼합토의 다짐, 체적변화 및 압축강도 특성을 요약하면 다음과 같다.

1. 시멘트의 혼합에 의하여 최적 함수비는 자연토에 비하여 0.6%~2.2% 정도 선형적으로 감소하였고, 최대 건조단위중량은 증가하는 경향을 보이는데, 중량비로 9% 혼합시 최대값을 보였다.

2. 공시체의 재령에 따른 체적변화는 시멘트의 혼합에 따라 급격한 변화를 보이는데, 혼합 비율에 따라 자연토의 46%~83%까지 체적변화를 줄일 수 있는 것으로 나타나 차수 등을 목적으로 하는 경우에는 시멘트 혼합토가 아주 효과적인 것으로 나타났다.

3. 시멘트 혼합토의 압축강도는 재령에 따라 증가하는 경향은 자연토와 비슷하나, 강도의 증가 측면에서 매우 효과적인 것으로 나타났

다. 특히, 중량비 9% 이상 혼합한 경우에는 재령 28일일 때 자연토의 2배 이상의 강도를 나타내는 것으로 나타났다.

4. 화강토는 풍화의 진행에 따라 물과 접촉하게 되면 급격하게 전단강도가 떨어지는 특수토로 취급되고 있으나, 시멘트를 적당량을 혼합하면 다짐, 체적변화 및 강도 측면에서 화강토가 가지는 단점을 충분히 보완할 수 있음을 실험을 통하여 규명하였다.

#### 인 용 문 헌

- 농림부. 1999. 농업구조물체의 이용을 위한 보강 흙벽 및 공법개발.
- 도덕현. 1979. 첨가제에 의한 soil-cement의 성질 개량. 한국농공학회지 21(1) : 63-77.
- 성찬용 · 이신호 · 송창섭. 2001. 폴리프로필렌 섬유를 혼합한 에코콘크리트의 물리·역학적 특성. 한국농공학회지 43(1) : 116-121.
- 송창섭 · 이신호 · 장병욱 · 반창현. 1999. 섬유 보강토의 균열 특성 연구. 한국농공학회지 41(3) : 59-66.
- 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.
- Colin J. F. and P. Jones. 1996. Earth reinforcement and soil structures. New York. Thomas Telford.
- Gray, D. H. and H. Ohashi. 1986. Mechanics of fiber reinforcement in sand. J. of Geotech. Eng.Div. ASCE 112(8) : 804-820.

接受 2002年 10月 19日