

생석회와 첨가제에 의한 해성퇴적토의 강도개선 Strength Improvement of Lime-treated Soil with Chloride and Sulphate

민덕기¹⁾, Tuk-Ki Min, 황광모²⁾, Kwang-Mo Hwang, 박근호³⁾, Geun-Ho Park

- ¹⁾ 울산대학교 토목환경공학부 교수, Professor, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Univ. of Ulsan
²⁾ 울산대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Univ. of Ulsan
³⁾ 울산대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Univ. of Ulsan

SYNOPSIS : In this paper, a laboratory investigation was carried out to estimate the strength improvement of quicklime mixture for the effective use of surplus soils, and the shear strength with curing time was estimated at the content of lime. The effect of strength improvement has been established through the change of lime content with chlorides and sulfates from the samples taken at Samsan region, Ulsan.

The test results indicated that the presence of calcium sulphate encouraged the efficiency of lime stabilization, and increased shear strength. Furthermore, it is necessary for inquiring into the relationship between the characteristics of strength and the chemical components.

Key words : quicklime, surplus soils, calcium chloride, calcium sulphate, strength improvement

1. 서 론

해안지역 건설활동량의 증가에 따라 건설잔토의 발생량이 급증하고 있는 추세이며, 그 처리에 많은 어려움과 과도한 비용이 지출되고 있는 실정이다. 외국의 경우 건설잔토의 적정처리를 위하여 다양한 연구가 수행되고 있고, 제반기술과 관련법규가 마련되어 운영되고 있다. 반면, 국내의 경우 건설잔토의 건설재료로서의 이용에 관한 연구와 자료가 부족한 상태이며, 그 유효한 이용 사례 또한 미미한 실정이다.

많은 연구자들에 의해 해성퇴적토에 석회와 시멘트, fly ash 등을 첨가하여 지반을 개량한 사례가 보고되고 있다. 이들 대부분의 연구는 퇴적토의 함수비를 저감하여 토목재료로서 성상을 향상시키는 것과 포졸란반응을 통하여 장기적인 강도발현에 대한 연구들이다. 鬼塚克忠 등[1]은 생석회와 포졸란 재료 첨가에 의한 강도발현 특성 연구에서 건설발생토와 포졸란 재료의 화학구성 성분($SiO_2 + Al_2O_3$)이 커지면 포졸란반응에 의하여 처리토의 강도가 증가함을 밝혔다. G. Rajasekaran 등[2]은 석회에 다양한 염화물과 황산염을 첨가하여 함수비 저감효과와 전단강도 개선을 위해 연구를 수행하여 염화물과 황산염을 첨가할 경우 함수비의 저감은 물론 장기적인 강도발현에 보다 효과가 있음을 밝힌 바 있다. 국내의 경우 화학적 토질안정처리방법으로 초연약지반에 표층고화처리를 실시하고 있으며, 건설장비의 주행성 확보는 물론 도로기층, 보조기층 및 매립장 보조 차수층 등에 활용되고 있다.

본 연구에서는 울산 삼산지역의 신도시 개발로 인하여 다량 발생하고 있는 함수비가 높은 건설발생토의 유효이용을 목적으로 생석회의 첨가에 의한 강도특성을 평가하고, 생석회와 염화물($CaCl_2$), 생석회와 황산염($CaSO_4$) 첨가시 강도발현특성에 관하여 연구하였다.

2. 건설발생토의 공학적 특성

2.1 건설발생토의 물리화학특성

울산광역시 삼산지역에 분포하고 있는 해성퇴적토는 굴착위치와 굴착깊이에 따라 그 성상이 다양하게 분포되어 있다. 본 연구를 위하여 5m 정도의 깊이를 굴착한 건설잔토를 대상으로 시료를 채취하였으며, 굴착잔토의 자연상태 함수비는 30%~60%로 높은 함수비를 가지고 있다. 굴착잔토의 액성한계는 22.5%~25.1%로 나타났고, 소성지수는 NP로 나타났으며, 비중은 2.73으로 나타났다. 특히 이 지역은 염소이온농도가 깊이에 따라 0.21%~0.39%로 높게 나타났으며, 유기물 함유량은 깊이에 따라 8.24%~14.1%로 나타났다. 또한 수소이온농도(pH)는 3.84로 토양이 산성화되어 있는 것으로 나타났다.

표 1. Properties of Soils

Liquid limit (%)	Plastic index (%)	Gs	pH	Particle size distribution(%)			Depth (m)
				0.075mm-0.425mm	0.002mm-0.075mm	< 0.002mm	
22.5~25.1	NP	2.73	3.84	25.53	60.04	13.87	5m

2.2 건설발생토의 점토광물

흙의 특성은 광물학적 및 화학적 조성, 조직, 입자의 배열, 환경의 영향 등에 직접적인 관계가 있다. 따라서, 삼산지역 퇴적토를 구성하고 있는 화학성분을 분석하고자 건조시료의 표면에서의 EDX(energy dispersive x-ray spectrometer)분석을 실시하였다. 그 결과는 표 2와 같으며, SiO_2 가 61.8%, Al_2O_3 이 17.9%로 두 성분이 전체의 79.7%를 차지하며, 그 외 성분은 Fe_2O_3 , SO_2 , K_2O , CaO 의 순으로 구성되어 있었다. 이는 일반적인 Kaoline mineral의 구성성분과 비교할 때, SiO_2 의 함유량은 많고, Al_2O_3 의 함유량은 적은 량이다.

해성퇴적토의 광물학적 검토를 위하여 X-선 회절(XRD)분석을 실시한 결과는 그림 1과 같다. 그림 1에서와 같이 XRD 분석결과, 본 굴착잔토에는 점토광물은 존재하지 않았으며, Quartz와 Feldspar가 주를 이루고 있었다. 광물학적 분석 결과와 실내시험의 결과에서 알 수 있듯이 본 시료는 소성이 비교적 작은 시료임을 알 수 있다.

표 2. The Surface Ion Composition of 'Samsan' Soil

구성 원소	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	SO_2	K_2O	CaO	TiO_2
구성비(%)	61.8	17.9	9.4	4.2	3.9	1.8	1.0

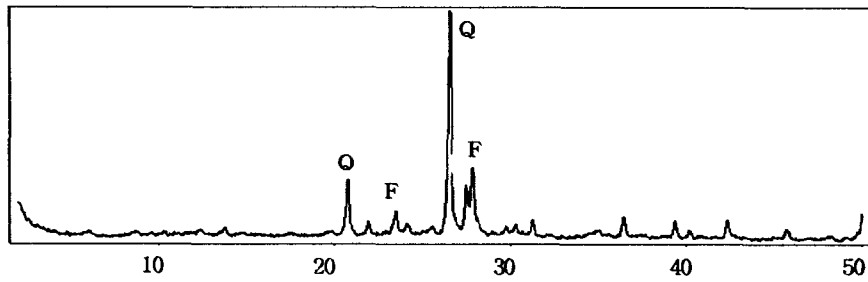


그림 1 XRD 분석 결과

3. 시험방법

삼산지역의 건설발생토는 자연시료의 함수비가 액성한계 보다 높고, 표 1에서 알 수 있는 바와 같이 실트입자 크기가 60.04%, 점토입자 크기($2 \mu m$ 이하)가 13.87%로 구성되어 있었다. 이 흙(건조중량)에 대한 배합 함수비를 액성한계로 하여 생석회의 첨가량 및 재령에 따른 일축압축강도발현을 평가하였다. 또한 생석회에 염화물과 황산염을 추가로 첨가하여 재령에 따른 강도발현과 환경공학적 측면에서 pH의 변화에 대하여 평가하였다.

3.1 생석회, 염화물, 황산염의 첨가

연약지반 안정화처리에서 실리카(SiO_2)량이 많을수록 일축압축강도가 증가되고, 자연상태 함수비를 단기간에 저하시킬 수 있으므로 시멘트, 생석회와 소석회를 첨가하여 재령에 따른 강도를 평가하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 건설잔토(건조중량)에 생석회를 첨가하여 재령에 따른 일축압축강도발현에 대하여 평가하였으며, 생석회를 첨가한 건설잔토에 생석회 중량의 50%에 해당하는 $CaCl_2$ 과 $CaSO_4$ 을 첨가하여 재령에 따른 강도를 측정하므로 염화물 및 황산염에 대한 효과를 검토하였다.

3.2 다짐 및 양생조건

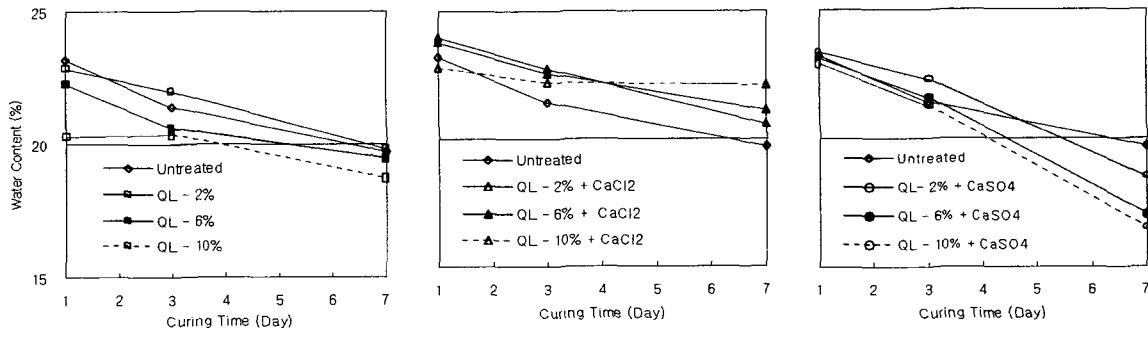
다짐방법에는 동적다짐과 정적다짐으로 나눌 수 있다. 정적다짐의 경우 공시체를 제작하는 시간이 동적다짐에 비해 길고, 정적다짐과 동적다짐 강도시험 결과가 비슷한 값을 나타내므로[1], 본 연구의 경우 ASTM STP 479(Wilson, 1970)에서 제안한 Harvard Compaction Method를 적용하였다. 동적다짐에 의한 공시체 몰드는 직경 5.0cm, 높이 10.0cm로 시료를 3층으로 하여 2.5kg의 rammer로 30cm의 높이에서 5회 자유 낙하시켜 공시체를 제작하였다. 이 경우 다짐일량, $E_c=5.7cm \cdot kgf/cm^2$ 이다.

지반 안정화처리를 위한 실내시험의 경우, 재령에 따른 강도발현 특성에 관한 연구를 위하여 양생조건(공기건조양생, 습윤양생, 수중양생)을 다양하게 하여 강도시험을 수행한다. 본 연구에서는 현장조건에 적합토록 습윤조건(온도 $29 \pm 1^\circ C$)에서 양생하여 재령에 따른 일축압축강도를 평가하였다.

4. 생석회 첨가와 함수비

건설현장에서 발생하는 건설잔토가 고함수비인 경우, 그 함수비를 저감시키는 것이 효과적이다. 따라서, 고함수비 퇴적토를 건설재료로 이용하기 위해 생석회, 포졸란재료 등을 첨가하는 방법들이 일반적으로 이용되고 있다. 본 연구에서는 건설발생토에 생석회를 이용하여 지반개량을 시도하였으며, 지반개량 효과를 증진시킬 목적으로 $CaCl_2$, $CaSO_4$ 를 첨가제로 사용하였다. 재령기간에 따른 함수비 저감을 평

가하고, 그 결과를 그림 2에 나타내었다. 그림 2에서, 생석회를 첨가한 경우 초기 함수비 저감효과는 $CaCl_2$ 과 $CaSO_4$ 을 첨가한 경우에 비하여 크게 나타났으며, $CaSO_4$ 을 첨가했을 때 장기적인 함수비 저감효과가 큰 것으로 나타났다. 배합 함수비 25%에 대하여 생석회를 첨가한 경우, 생석회 첨가비 2%, 6%, 10%에 대하여 재령기간에 따라, 함수비는 각각 8.6%~20.8%, 10.9%~17.6%, 18.8%~25.2% 감소하였다. 생석회와 $CaSO_4$ 를 첨가한 경우, 함수비는 6.6%~34% 감소하였으며, $CaSO_4$ 를 첨가한 경우 함수비 저감효과가 가장 큰 것으로 나타났다. 반면, 생석회와 $CaCl_2$ 를 첨가한 경우, 함수비 저감효과가 최고 17.6%로 생석회만 사용하였을 경우에 비해 오히려 함수비 저감효과가 반감되었다. 이는 본 건설잔토에 함유된 염분과 유기물 및 기타 불순물에 의한 영향으로 예측할 수 있다.



(a) 생석회 (b) 생석회 + $CaCl_2$ (c) 생석회 + $CaSO_4$
 그림 2 생석회 첨가와 재령에 따른 함수비 변화

5. 첨가제에 의한 강도 특성의 평가

5.1 생석회 첨가에 따른 일축압축강도

해성퇴적도에 소화와 흡수효과가 큰 생석회를 각각 2%, 6%, 10%를 첨가하여 습윤상태(온도 $29 \pm 1^\circ C$)로 각각 1일, 3일, 7일 양생한 후 일축압축시험을 실시하였다. 그 결과는 표 3과 그림 3과 같다.

표 3. 첨가제의 첨가에 따른 흙의 특성

Type of treatment	Water content (%)			Dry density (g/cm^3)			Shear strength (kg/cm^2)			pH		
	1day	3day	7day	1day	3day	7day	1day	3day	7day	1day	3day	7day
Untreated	23.18	21.40	19.7	1.491	1.520	1.56	0.347	0.423	0.548	3.84	4.23	4.04
Lime treated*	20.12	20.56	18.71	1.471	1.482	1.462	1.656	1.915	2.751	9.78	9.79	9.58
Lime and calcium chloride*	22.79	22.22	22.11	1.495	1.499	1.550	0.751	0.846	1.831	11.59	11.46	11.78
Lime and calcium sulphate*	22.89	21.25	16.49	1.453	1.452	0.736	1.111	2.389	3.387	11.50	11.54	11.82

* 생석회 10% 첨가

그림 3(a)와 같이 생석회 첨가량이 10% 이내일 경우 생석회 첨가량에 따라 건설잔토의 전단강도는 선형적으로 증가하였으며, 7일 양생시 전단강도, $S = 0.23L + 0.49$ ($r=0.99$)의 관계가 있다. 여기서, S는 전단강도, L은 생석회 첨가비(%)이다. 그림 3(b)는 생석회 첨가에 따른 건조단위중량의 변화를 보인 것

으로 실트성분을 많이 함유하고 있는 건설잔토에 비해 생석회의 건조단위중량이 작아 생석회의 첨가량이 증가할수록 건조단위중량은 감소하였다. 또한 본 건설잔토의 수소이온농도(pH)는 3.8~4.23로, 생석회의 첨가에 따라 pH가 9.58~9.79로 바뀌었다. 재령에 따른 수소이온농도는 큰 변화를 나타내지 않았으나, 산성화된 토양을 처리함에 있어서 생석회의 첨가는 토양의 산성도를 변화시키는데 효과적임을 알 수 있다.

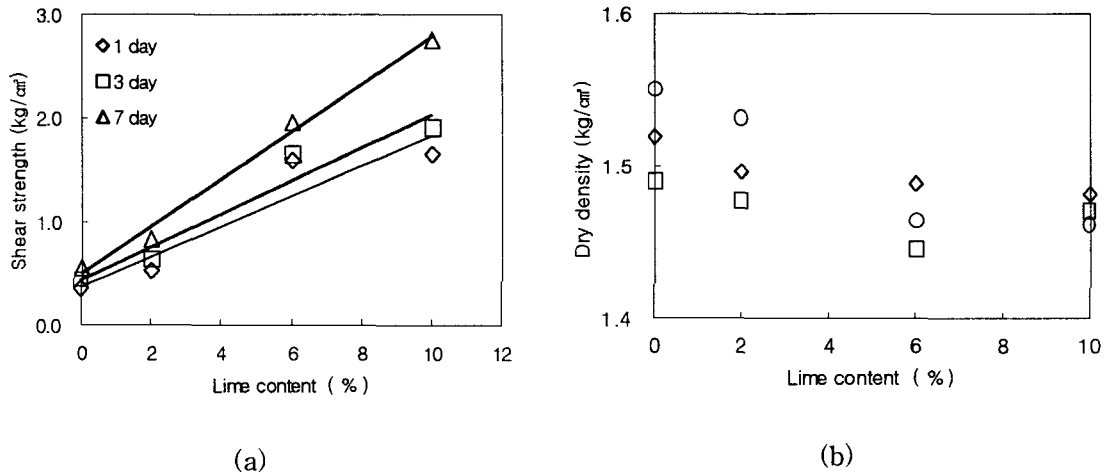


그림 3. 생석회 첨가에 따른 건조단위중량과 전단강도

5.2 염화물과 황산염 첨가에 따른 강도특성

점성토의 고결은 확산이중층에 기초한 입자간 인력, 화학물질에 의한 고결과, 모세관에 의한 흡인력 등에 기인한다. 함수비가 높은 층적토에는 작은 고결력이 존재한다. 이 경우 화학적인 반응에 의해 높은 고결력을 얻기 위하여 건설잔토에 생석회를 첨가한 결과, 생석회 첨가량과 처리토의 전단강도가 선형관계를 보였다. 또한 처리토의 화학적 반응에 의한 강도발현특성을 촉진시키기 위해 생석회를 첨가한 퇴적토에 CaCl₂ 과 CaSO₄ 를 첨가하여 재령에 따른 일축압축강도를 측정하였다. 그 결과는 그림 4와 그림 5와 같다.

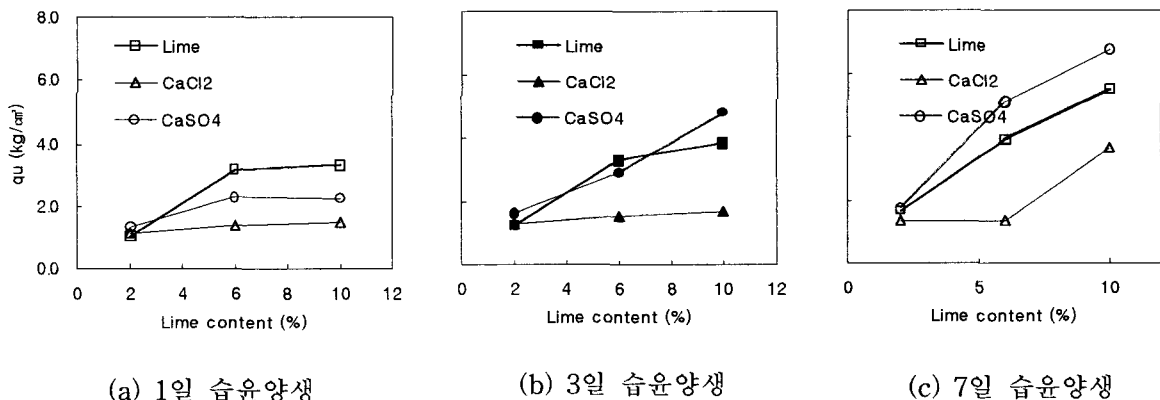


그림 4 생석회 첨가에 따른 일축압축강도

그림 4에서, 생석회 첨가에 따라 초기강도는 생석회만을 사용한 시료의 일축압축강도가 첨가제를 첨가한 경우에 비해 크게 나타났으며, 재령이 증가할수록 CaSO₄ 를 첨가하였을 때 강도증가 효과가 큰 것으로 나타났다. G. Rajasekaran 등[2]의 연구에서는, CaCl₂ 과 CaSO₄ 를 첨가하였을 때 강도증가비

가 3배 이상임을 보고하였으나, 본 퇴적토의 경우, $CaCl_2$ 를 첨가한 경우 오히려 강도증대 효과가 떨어지는 것으로 나타났다. D. T. Bergado 등[5]에 따르면, 염소함유량이 2~4% 정도일 경우 처리토의 일축 압축강도 발현을 촉진시키나, 그 이상일 경우 강도발현이 저하된다고 보고하였는데, 본 시료의 경우 퇴적토에 해수 및 폐수의 유입으로 흡과 첨가제의 화학적 반응특성이 감소되어 강도발현이 저하된 결과로 예측되었다.

그림 5는 양생기간에 따른 일축압축강도를 나타낸 것으로 양생기간이 증가할수록 생석회와 $CaSO_4$ 를 첨가한 경우, 강도발현이 촉진되고 있는 것을 보여준다. 반면에 $CaCl_2$ 를 첨가한 경우, 생석회만 첨가한 경우와 같은 비율로 재령에 따라 강도가 증가하였다.

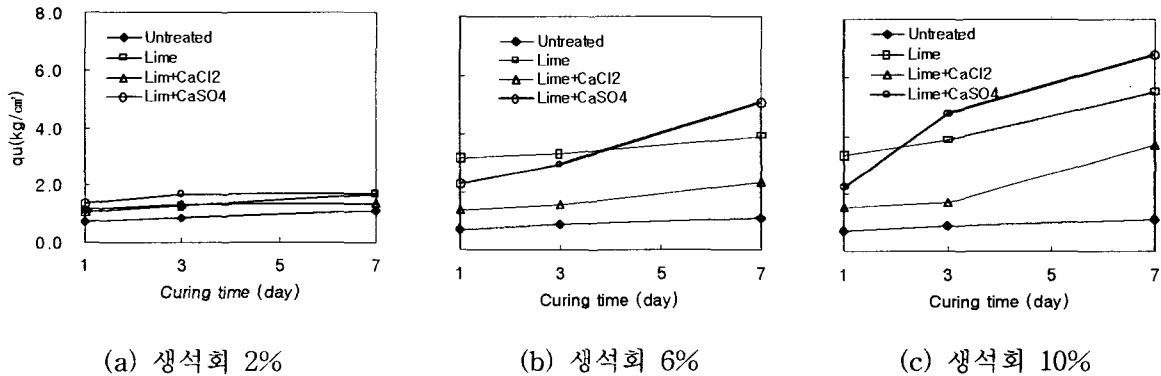


그림 5. 양생기간에 따른 일축압축강도

6. 결 론

본 연구는 고탍수비의 건설잔토를 건설재료로 활용하기 위하여 생석회의 첨가에 따른 강도발현특성을 검토하였다. 염분함유량과 수소이온농도가 높은 '삼산'지역 건설잔토에 대하여 소화와 흡수에 의한 함수비의 저감효과는 생석회가 유효한 것으로 나타났다. 또한, 화학적 반응특성 연구에서 생석회와 염화물, 생석회와 황산염을 첨가하여 화학적 반응특성을 검토하고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 건설잔토에 생석회와 $CaSO_4$ 을 첨가하면, 무처리토에 비해 2~5배의 강도가 증가되어, 건설잔토의 장기적인 강도발현을 위해 생석회와 $CaSO_4$ 에 의한 처리가 유효할 것으로 판단된다.
- (2) 건설잔토에 생석회와 $CaCl_2$ 을 첨가한 경우, 생석회 첨가에 비해 강도발현효과가 감소되는 것으로 나타났다.

따라서, 건설발생토와 첨가제에 대한 화학반응특성과 정성적·정량적(SEM, EPMA)인 연구가 계속되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 鬼塚克忠, 南里 勝(1996), "生石灰とホ`ソ`ラン材料添加による建設發生土(有明粘土)の強度發現特性", 日本 土木學會論文集 No.547/III-36, pp.97~106.
2. G. Rajasekaran, K. Murali, R. Srinivasaraghavan(1997), "Effect of Chlorides and Sulphates on Lime Treated Marine Clays", Japanese Geotechnical Society, Soils and Foundations Vol. 37, No. 2, pp.105~115.
3. T. Lopez-Kara, J. A. Zepeda-Garrido, V. M. Castario(1999), " A Comparative Study of the Effectiveness of Different additives on the Expansion Behavior of Clays", EJGE
4. Transportation Research Board(1987), "Lime Stabilization, Reactions, Properties, Design, and Construction", State-of-the-Art Report 5, pp.1~32, National Research Council Washington, D.C.
5. D. T. Bergado, L. R. Anderson, N. Miura, A. S. Balasubramaniam(1996), "Soft Ground Improvement - In lowland and other environments", ASCE press, New York, pp.234~253.