

석회와 여러 첨가제에 의한 토질안정처리 Soil-Lime and Additives Stabilization

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 : Weak and soft compressible clay deposits are commonly found in natural subgrade soils. These Soils need to be stabilized for using the subbase materials of highway constructions. This paper presents that a chemical treatment using chemical additives comprised of sulfate(SO₄) and chloride(Cl) is evaluated for stabilizing soft clay deposits and lime. The physical and mechanical characteristics of soil-lime and additives are described by means of a laboratory study.

The study results indicate that the presence of chlorides encouraged the efficiency of lime stabilization, and the use of calcium chloride with quicklime is the best additive for improving soil behavior. The treated soil with lime-calcium chloride can have the adaptability to the subbase materials of highway constructions.

주요어(Key word) : clay deposits, subbase materials, sulfate, chloride

1. 서론

해안지역의 건설활동이 증가함에 따라 건설잔토의 발생량이 급증하고 있는 추세이며, 그 처리 과정에 많은 부작용 및 경비가 소요되고 있다. 외국의 경우 건설잔토의 적정처리를 위하여 많은 연구가 수행되었으나, 국내의 경우 관련 연구와 자료가 부족한 상태이다.

많은 연구자들에 의해 해성퇴적토에 석회와 시멘트, fly-ash 등을 첨가하여 지반을 안정화하기 위한 연구가 수행되어 오고 있다. 이들 대부분의 연구는 해성점토의 함수비를 저감하여 토목재료로써 성상을 향상시키는 것과 포졸란반응을 통한 장기적인 강도발현, consistency의 개량으로부터 지반 안정재의 효과를 평가하는 등에 관한 연구들이다. 鬼塚克忠 등은 생석회와 포졸란 재료 첨가에 의한 강도발현 특성 연구에서 건설발생토와 포졸란 재료의 화학구성 성분(SiO₂+Al₂O₃)이 커지면 포졸란반응에 의하여 처리토의 강도가 증가함을 밝혔다. G. Rajasekaran 등은 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 토질안정 처리방법으로 석회와 시멘트를 토질안정재로 사용하여 도로기층, 보조기층 및 노상층 등에 활용하기 위한 연구가 수행되어 오고 있다.

본 연구에서는 울산 삼산지역의 건설공사로 인하여 다량 발생하고 있는 함수비가 높은 건설잔토의 유

효 이용을 목적으로 생석회와 염화물(Cl), 생석회와 황산염(SO₄) 첨가시 생석회 안정화에 대한 효과를 실내실험을 통하여 연구하였다. 개량효과의 평가를 위하여 생석회와 화학 첨가제에 의한 함수비 저감성을 조사하여 함수비 저감율과 강도와의 상관관계를 조사하였으며, 일축압축강도를 이용하여 강도발현특성을 검토하였다. 혼합처리된 시료토의 화학구성성분을 분석하여 화학적 반응에 의한 강도발현특성을 검토하였다. 아울러 원시료토를 생석회와 화학 첨가제로 안정처리를 할 경우 보조기층 및 노상용 재료로의 사용가능성을 평가하였다.

2. 생석회, 화학 첨가제의 의한 강도 발현특성

흙과 안정제에 의한 토질안정처리는 흙과 안정제 사이에 화학반응으로 인하여 흙의 역학적 성질을 개선한다는 것이 기본 이론이다. 석회에 의한 화학반응은 점토나 Colloid와 같은 세립분에 잘 적용되는 것으로 알려져 있다. 흙과 시멘트, 흙과 아스팔트계 안정처리에서는 점착력을 이용하는 것이 그 원리이며, 대상이 되는 토질의 점토함량에 제한을 받게 된다. 반면, 석회안정처리에서는 오히려 어느 정도의 점토분이 역학적 성질을 개량하는데 중요한 요인으로 작용하고 있다. 석회를 흙에 혼합했을 경우, 일반적으로 인정을 받고 있는 주요작용은 다음과 같다

첫째, 이온반응이다. 석회 중의 Ca⁺⁺이온이 점토입자표면의 이온과 교환, 흡착되어 점토입자표면의 대전상태가 변하게 되고, 점토입자가 응집되어 단립화되는 현상이다. 이는 초기재령의 강도의 증가와 consistency의 변화에 기여한다.

둘째, 포졸란 반응이다. 석회안정처리에서 가장 중요한 반응으로서 SiO₂, Al₂O₃가 소석회와 같이 있으면 수경성을 나타내고, 장기간에 걸쳐 서서히 경화되는 반응을 말한다. 포졸란 반응에 의한 반응생성물은 CSH(3CaO₂·SiO₂·3H₂O)와 CAH(3CaO·Al₂O₃·6H₂O) 등이 있고, 흙 입자 내 SiO₂, Al₂O₃가 석회의 CaO와 반응해서 생성된다.

물론 이와 같은 반응 이외에도 석회가 흙 속의 탄산이나 탄산가스와 반응해서 고결화하는 탄산화 반응 등의 여러 반응이 있다.

3. 실험 방법

3.1 대상토의 물리 화학 특성 및 화학 성분

삼산지역에서 채취된 대표적 시료에 대한 흙의 물리적 성질은 표 3.1과 같다. 본 연구에서 사용된 건설잔토의 #200체 통과량은 94%로 나타났으며, 자연상태의 함수비는 57%~65%, 수소이온농도(pH)는 4.54, 유기물 함량은 8.89%, 염분함량은 0.29%로 나타났다. 또한 수소이온농도(pH)는 4.54로 토양이 산성화되어 있는 것으로 나타났다.

삼산지역에서 발생하는 건설잔토를 구성하고 있는 화학성분을 분석하고자 건조시료를 이용하여 XRF 분석을 실시하였다. 그 결과는 표 3.2와 같으며, SiO₂가 69.82%, Al₂O₃이 15.67%로 두 성분이 전체의 85.49%를 차지하며, 그 외 성분은 Fe₂O₃, K₂O, Na₂SO₄, CaO의 순으로 구성되어 있었다.

표 3.1 흙의 물리적 특성

Soil type	Atterberg limit			Gs	pH	유기물 함량 (%)	#200 통과량(%)	γ _{dmax} (kg/cm ³)	흙의 분류	Depth (m)
	WL (%)	Wp (%)	PI							
대상토	75.82	42.05	33.77	2.68	4.54	8.89	94	1.63	OH	7m

표 3.2 흙의 화학성분 분석

화학성분 분석(%)										
구 분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MnO	MgO	K ₂ O	Na ₂ SO ₄	합계
대상토	69.82	15.67	5.075	0.81	1.19	0.07	2.02	2.69	2.58	100

3.2 생석회 및 화학 첨가제 특성

우리나라는 생석회의 주원료가 되는 석회석 산지가 전국적으로 분포하고 있으며, CaO함유량이나 불순물의 정도에 따라 그 등급을 결정한다. 본 실험에 사용되는 단양산 생석회는 CaO함유량이 93%로 1호에 속하는 생석회로써 비중이 3.03, # 200 통과량은 92%로 나타났다. XRF 분석결과는 표 3.3과 같이 나타났다.

본 연구를 위하여 사용된 화학 첨가제는 시중에서 판매되는 분말형태의 1가이온(KCl, K₂SO₄, NaCl, K₂SO₄)과 2가 이온(CaCl₂, CaSO₄, MgCl₂, MgSO₄)형태의 8가지로 구성되어 있으며, 생석회와 혼합시 첨가제에 의한 지반강도 개선효과를 확인하기 위하여 사용되어 졌다.

표 3.3 생석회의 화학구성성분

화학성분 분석(%)										
구 분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MnO	MgO	K ₂ O	Na ₂ SO ₄	합계
생석회	6.08	1.53	0.54	0.16	92.97	0.03	0.5	0.14	0.17	102

3.3 시험조건

본 연구에서는 건설잔토에 생석회를 첨가하여 재령에 따른 일축압축강도발현에 대하여 평가하였으며, 생석회를 첨가한 건설잔토에 생석회 중량의 50%에 해당하는 화학 첨가제를 첨가하여 재령에 따른 강도를 측정함으로써 염화물 및 황산염에 대한 효과를 검토하였다. 표 3.4에 일축압축시험의 조건을 나타내었다. 다짐의 방법은 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, $E_c=5.7\text{cm} \cdot \text{kgf}/\text{cm}^2$ 이다. 지반 안정화처리를 위한 실내시험의 경우, 재령에 따른 강도발현 특성에 관한 연구를 위하여 양생조건(공기건조양생, 습윤양생, 수중양생)을 다양하게 하여 강도시험을 수행하였다. 다져진 공시체는 양생일수(1, 3, 7, 28, 90일)에 따라 실내에서 공기건조 양생되었으며, 1축압축시험 7일 전에 습윤양생을 시켰으며, 2시간 전에 수침시킨 후 일축압축시험을 수행하였다.

표 3.4 시험조건

시 험 종 류	일 축 압 축 시 험
첨가재율	생석회 10% 화학첨가제 생석회 중량의 50%
공시체 작성 방법	동적다짐 - rammer로 3층, 층 당 5회
양생기간	1, 3, 7, 28, 90일
양생온도	23±2 °C

4. 실험 결과 및 분석

4.1 XRD, SEM 분석

건설잔토의 광물학적 특성을 검토하기 위하여 X-선 회절분석(XRD)을 실시한 결과는 그림 4.1과 같으며, 얻어진 XRD pattern은 standard ASTM(1991) powder diffraction file을 기준으로 검토되어 졌다. 그림 4.1 (a)에서 보는바와 같이, 원시료의 광물학적 분석에서는 고펡창성 광물인 montmorillonite, 팽창성이 보통인 illite, 저팽창성 광물인 kaolinite의 존재가 확인되었으며, 비점토광물에서는 quartz와 albite가 대부분이었다. X-선 회절분석은 양생시간, 7, 28, 90, 150일에 대해 각각 실시하였으며, 양생시간 7일 경과 후부터 포졸란 반응에 의한 새로운 생성물이 나타나기 시작하였다. 그림 4.1 (b), (c), (d)에는 양생시간 28일 경과 후 생석회, 생석회와 CaCl₂, Na₂SO₄로 처리된 시료토에 대한 전형적인 XRD pattern을 보여주고 있다. 흡과 생석회의 반응 때문에 생긴 CSH, CAH, CASH와 같은 새로운 반응물이 보여지고 있다. 이러한 화합물들은 입자간을 결속시키도록 응집체의 형성에 도움을 주고, 전반적으로 흙의 거동을 향상시킨다.

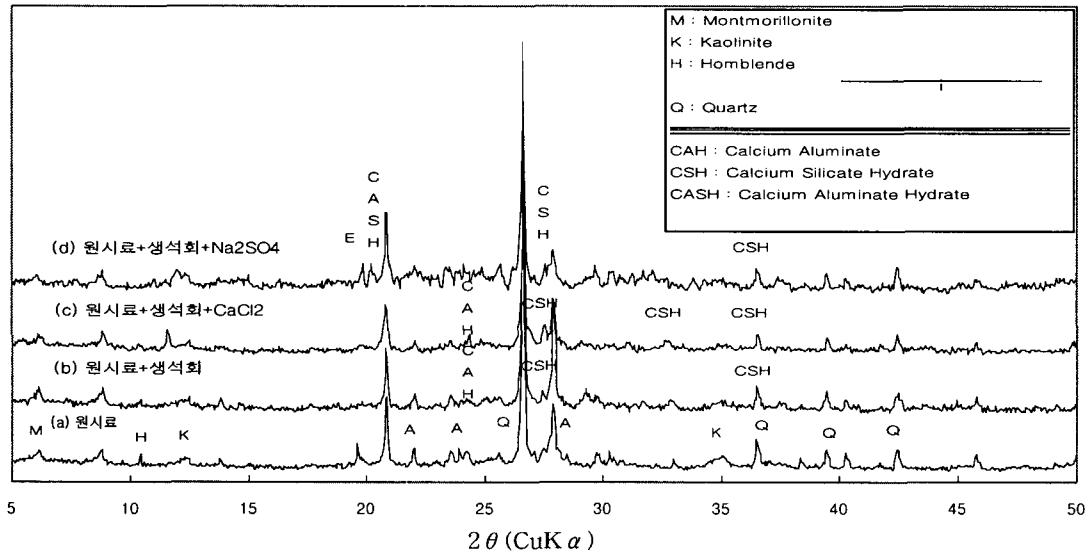


그림 4.1 양생 28일경과 후 X-선 회절분석

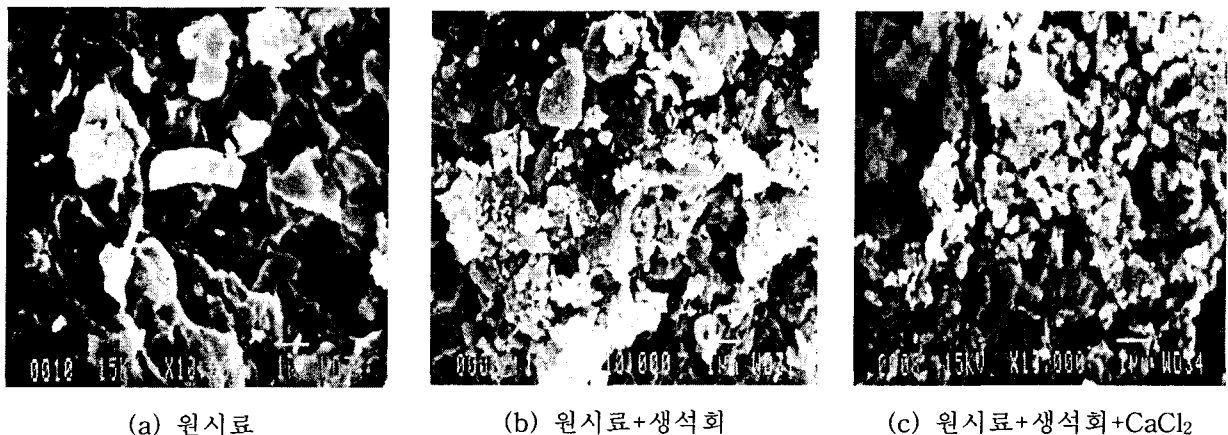


그림 4.2 원시료토 및 혼합 처리토의 양생 90일 경과 후 주사전자현미경 촬영결과

그림 4.2는 첨가제별 양생시간 90일 경과 후의 전자주사현미경 촬영결과로써 원시료토에 비해 혼합 처리된 시료토에서 입자간 응집현상·면모현상을 관찰할 수 있다. 이와 같은 이유는 생석회의 수화반응에 의해 생성된 소석회가 간극수에서 분해가 발생하여 칼슘 2가이온과 수산기이온으로 분해되고, 칼슘 이온은 양이온교환이 발생하게 되어 면모화나 응집현상을 발생시킨다.

4.2 함수비 저감에 의한 개량 효과

건설현장에서 발생하는 건설잔토는 고 함수상태이며, 유효이용을 위해서는 함수비를 저감시키는 것이 효과적이다. 그림 4.3에는 건설잔토에 생석회 및 화학 첨가제를 혼합하여 양생시간의 경과에 따른 함수비 저감량 Wd(%)을 나타내었다. 함수비 저감량 Wd(%)는 건설잔토의 고함수비가 생석회의 소화반응에 의해 대부분 저감되는 것으로 나타나고 있다. 양생일수 3일 까지는 함수비의 큰 저감이 있고, 3일 이후의 함수비 저감량은 작게 나타나고 있다. 그림 4.3에서 보는바와 같이 화학 첨가제의 첨가에 의한 함수비 저감효과는 나타나지 않으므로 생석회의 함유량(20%)을 증가시켜 함수비 저감율에 대한 일축압축강도와의 관계를 조사하였다.

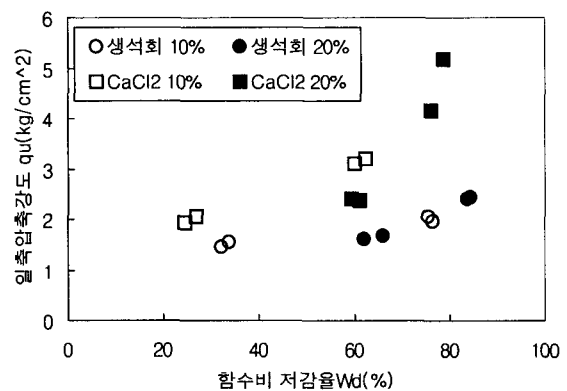
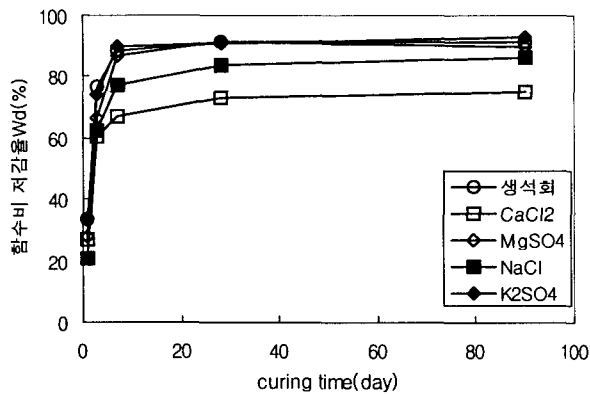


그림 4.3 혼합 처리토의 양생일별 함수비 저감효과 그림 4.4 함수비 저감율에 따른 일축압축강도

본 연구에서는 양생시간 1일과 3일의 일축압축강도를 함수비 저감(생석회의 소화, 흡수에 의한 것)에 의한 강도라고 하였으며, 일축압축강도 q_u 와 함수비 저감량의 관계를 그림 4.4에 나타내었다. 양생시간 3일 까지 소화반응에 의한 함수비 저감이 끝나고, 그 후는 포졸란반응이 진행되어 강도증가의 대부분이 이 반응에 의한 것이다. 그림 4.4에는 함수비 저감량의 증대에 의한 일축압축강도의 증가가 뚜렷이 나타나고, 생석회 첨가(20%)에 의한 강도증가가 확인되고 있다.

4.3 1축 압축 시험 결과 및 분석

생석회를 10% 첨가한 건설잔토에 $CaCl_2$, $CaSO_4$, $MgCl_2$, $MgSO_4$, KCl , K_2SO_4 , $NaCl$, Na_2SO_4 를 첨가하여 양생시간 1, 3, 7, 28, 90일에 따른 일축압축강도를 측정하였다.

그림 4.5에서, 재령 28일까지의 강도는 생석회만을 사용한 시료의 일축압축강도가 화학 첨가제를 첨가한 경우와 비슷한 경향을 나타내고 있으나, 재령 90일의 장기강도의 경우 화학 첨가제를 첨가했을 때 강도증가 효과가 큰 것으로 나타났다. 단, $CaCl_2$ 를 첨가한 경우 G. Rajasekaran 등의 연구와 같이, 생석회만을 첨가했을 경우보다 단기·장기의 강도증가비가 2 ~ 4배 정도로 나타나 생석회의 안정화 효율을 증진시킨다는 것을 확인할 수 있다. Na_2SO_4 를 첨가한 경우 생석회만을 첨가한 경우 보다 강도증대 효과가 떨어져 생석회에 안정에 효과적이지 못한 것으로 나타났다. 대상토에 대한 일축압축강도시험은

slaking 현상이 일어나 측정하지 못하였다

1가 이온(Na^+ , K^+)과 2가 이온(Ca^{2+} , Mg^{2+})으로 구성된 화학 첨가제의 첨가에 따른 일축압축강도를 비교한 결과, 28일까지는 거의 비슷한 강도 발현을 나타내고 있으나, 장기강도(90일)의 경우에는 1가 이온의 강도발현이 우수한 것으로 나타났다. 1가와 2가 이온 중에서 Ca^{2+} 이온으로 혼합된 시료의 경우 강도 발현이 우수했는데, 이것은 흙입자 내에 Ca^{2+} 이온의 확산이 흙입자 부근에 양이온을 농축시키고, 포졸란 반응생성물을 잘 형성시키기 때문이다.

염화물(Cl)과 황산염(SO_4)의 첨가에 따른 일축압축강도를 비교한 결과, 염화물(Cl)의 첨가시에 강도 발현이 우수하였다. 생석회에 염화물의 첨가시에는 포졸란 반응물을 잘 형성하여 생석회의 안정에 대한 효율을 증진시키지만, 황산염의 첨가시에는 ettringite와 같은 팽창성 화합물을 형성하기 때문에 공학적 거동에 관해 불리한 효과를 일으킨다.

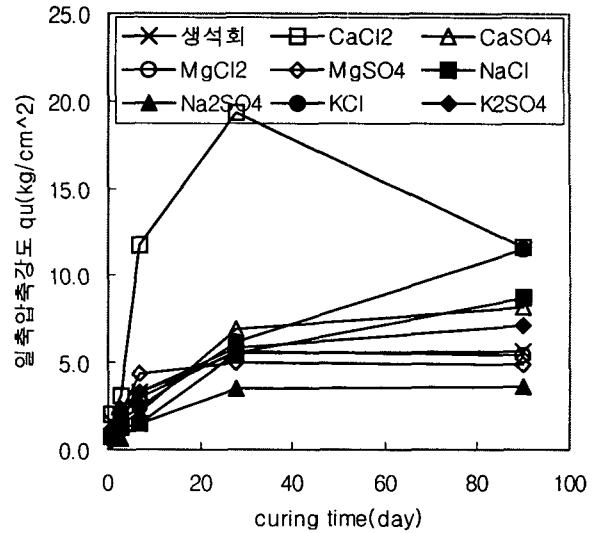


그림 4.5 양생시간별 일축압축강도

4.4 화학 구성 성분의 종류와 그 양에 따른 강도 특성의 평가

건설잔토에 생석회와 여러 화학 첨가제를 혼합할 경우 각각의 첨가제에 따라 강도증가의 경향에 차이가 있는데, 이는 첨가한 재료의 화학구성성분, 포졸란 반응의 속도, 반응생성물의 조성 등이 영향을 주기 때문이다. 본 연구에서는 혼합 처리토에 함유된 화학구성성분을 분석하기 위하여 XRF시험을 실시하였으며, 이에 포함된 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ 의 함유량(%)을 개량강도 특성의 요소로 나타내었다. 그림 4.6에서 보는 바와 같이, 양생시간의 경과에 따라 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ 의 함유량(%)이 많을수록 강도가 증가하는 것을 알 수 있다. 화학 첨가제의 종류에 따라 다소의 차이가 있지만, $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ 량(%)은 혼합토의 개량강도에 중요한 요소로 작용하고 있다는 것을 알 수 있다.

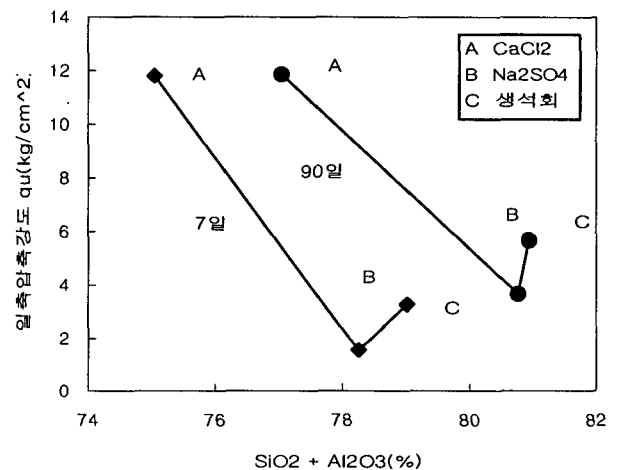


그림 4.6 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ 량과 일축압축강도의 관계

4.5 유기물에 의한 개량강도 발현의 저해

본 연구에서 사용된 원시료토의 유기물 함량은 8.89%로 많은 유기물을 함유하고 있으므로 유기물이 개량효과에 영향을 미치는지를 분석하기 위하여 350 °C에서 대상토를 강열·감량하여 유기물을 제거한 후 생석회와 화학 첨가제를 혼합하여 양생시간 3일과 7일의 처리토에 대해 일축압축강도를 실시하였다. 대상토에 대한 강열·감량을 실시한 후 유기물 함량은 5.99%로 약 3%정도 제거되었으며, 대상토의 유기물이 개량강도에 미치는 영향을 그림 4.7에 나타내었다. 양생시간 t에 대한 강도증가율을 $qu/\log t$ 로 표시하고, 이것과 강열·감량의 관계를 나타낸 것이 그림 4.8이다. 강열·감량이 커지면 강도 증가율 $qu/\log t$ 가 작아지며, 강열·감량이 개량강도의 중요한 요소라는 것을 알 수 있다.

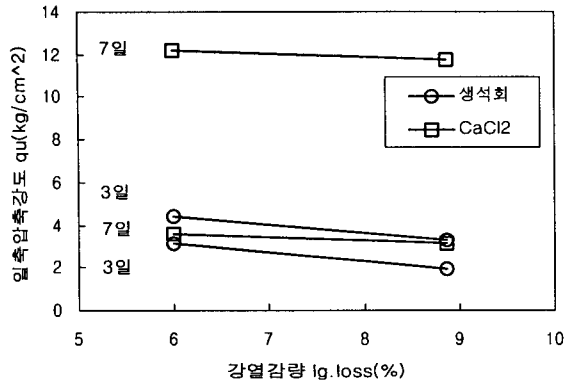


그림 4.7 강열 · 감량 Ig.loss와 일축압축강도의 관계

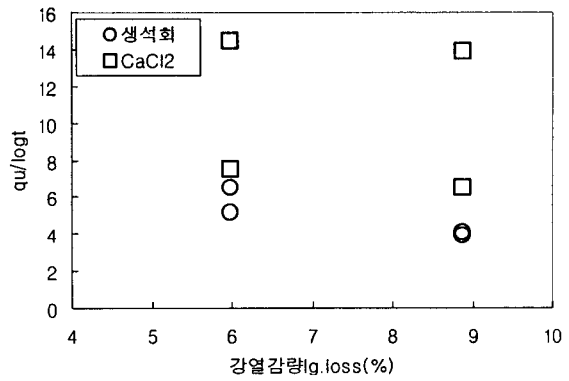


그림 4.8 강열 · 감량 Ig.loss와 qu/logt의 관계

4.7 C.B.R치 및 Consistency의 개량

일반적으로 사용시료를 도로 노상재료나 보조기층재료로 사용하기 위하여 C.B.R치와 Ip값을 규제하고 있다. 우리나라 지방서에는 노상재료에서 C.B.R치 10%이상, Ip값 10%이하, 보조기층재료에서 C.B.R치 20~30%이상, Ip값 6%이하로 되어 있다. 본 연구에서는 기준치에 미달되는 원시료토에 석회 및 화학 첨가제를 혼합하여 C.B.R치 및 consistency의 개량효과를 얻고자 하였다. C.B.R 및 consistency 시험은 일축압축시험에서 강도발현이 우수한 첨가제, 생석회, CaCl₂, CaSO₄, MgSO₄를 선별하여 실시하였다. 그 결과가 그림 4.9, 그림 4.10에 나타나 있다.

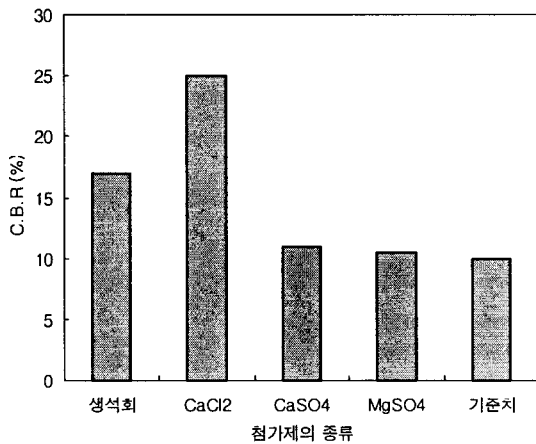


그림 4.9 첨가제의 종류에 따른 C.B.R(%)

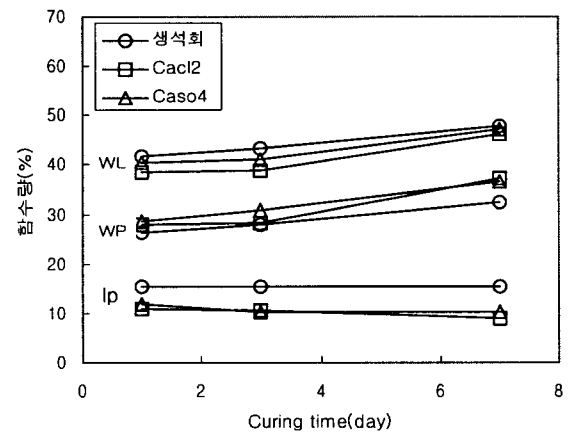


그림 4.10 양생기간별 Atterberg한계의 변화

대상토 및 혼합 처리토에 대해 3일을 실험실 내에서 공기건조 양생을 실시한 후 4일을 수침시켜서 C.B.R 시험을 실시한 결과, 원시료토의 경우 slaking 현상이 발생하여 C.B.R치를 측정할 수 없었다. 생석회, 생석회와 화학 첨가제로 안정처리를 한 결과, 모든 경우에 대해 C.B.R치를 10%이상 얻을 수 있으므로 노상용 재료로의 사용 가능성이 있다는 것을 알 수 있었으며, 원시료토에 생석회와 CaCl₂로 혼합 처리한 경우의 C.B.R치가 25%로 가장 크게 나타났다.

본 연구에서 사용된 울산 삼산지역에서 채취한 건설잔토는 소성지수 Ip가 33.77%로 높게 나타나고 있으므로 consistency의 개량효과를 위하여 원시료토에 생석회, 생석회와 화학 첨가제를 혼합하여 Atterberg 한계시험을 실시하였다. 그림 4.10에서 알 수 있는 바와 같이 액성한계 ω_L 과 소성한계 ω_P

는 모두 증가하여 소성지수 I_p 는 거의 일정한 값을 나타내고 있지만, 양생시간에 따라 조금씩 감소하는 경향을 나타내고 있다.

5. 결 론

본 연구는 울산 삼산지역에서 발생하는 건설잔토를 건설재료로 활용하기 위하여 원시료토에 생석회, 생석회와 화학 첨가제를 혼합하여 첨가제에 따른 개량효과를 연구하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 건설잔토에 생석회를 첨가시 소화와 흡수에 의한 함수비의 저감효과가 유효한 것으로 나타났다. 생석회 혼합율이 많을수록 함수비 저감율은 증가하고, 일축압축강도는 증가하는 경향이 나타났다.
- (2) 생석회, 생석회와 화학 첨가제로 혼합된 시료에 함유된 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ 량으로 강도를 평가하면 양생시간의 경과에 따라 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ 함유량(%)이 증가하였으며, 또한 강도가 증가하는 것을 알 수 있다.
- (3) 건설잔토의 강열·감량이 생석회 및 화학 첨가제의 개량에 있어서 강도를 좌우하는 요인으로 밝혀졌다. 양생시간에 대한 강도증가의 정도를 나타내는 $qu/\log t$ 는 강열·감량이 커지면 작아지기 때문에 강열·감량의 증가에 따라 포졸란 반응물이 작아진다는 것을 알 수 있다.
- (4) 건설잔토에 생석회와 화학 첨가제(CaSO_4 , NaCl , KCl , K_2SO_4)를 첨가하면, 28일까지의 강도발현은 생석회로 처리된 시료와 비슷한 경향을 나타내지만, 장기 강도(90일)의 경우 1.3 ~ 2배의 강도가 증가되어 건설잔토의 장기적인 강도발현을 위해 유효할 것으로 판단된다. 건설잔토에 생석회와 CaCl_2 를 첨가하면, 생석회로 처리된 시료에 비해 2 ~ 4배의 강도가 증가되어 생석회 안정화에 대한 효과가 좋은 것으로 나타났다.
- (5) 원시료토에 생석회, 생석회와 화학 첨가제로 안정 처리하여 도로의 보조기층재료나 노상용 재료로의 사용여부를 평가한 결과, 생석회와 CaCl_2 로 안정처리한 경우만이 지방기준 C.B.R 10%이상, I_p 10%이하를 만족시켜 노상용 재료로의 사용가능성을 확인할 수 있었다.
- (6) 본 연구에서 사용된 화학첨가제는 생석회의 안정화에 대한 효과가 높다는 것을 알 수 있었으나, 흙의 안정처리를 위하여 경제적이지는 못하다. 흙의 안정처리를 위하여 저렴한 화학 첨가제의 생산이 가능하게 된다면 경제적인 면에서 더욱 유리하게 될 것이다.

참 고 문 헌

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. S. Narasimha Rao, G. Rajasekaran(1996), “Reaction Products Formed in Lime-Stabilized Marine Clays”, Journal of Geotechnical Engineering, pp329~336.