

석회 및 화학첨가제에 의한 건설잔토의 안정처리

Soil Stabilization with Lime and Chemical Additives

민 덕 기*
황 광 모**
박 근 호**

Min, Tuk-Ki

Hwang, Kwang-Mo

Park, Geun-Ho

Abstract

Weak and soft compressible clay deposits are commonly found in natural subgrade soils. These soils need to be stabilized for the use of subbase materials of highway constructions. This paper presents a chemical treatment using chemical additives comprised of sulfates(SO₄) and chloride(Cl). The additives have been evaluated for the capability to stabilize 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 encourages the efficiency of lime stabilization, and the use of calcium chloride with quicklime is the best additives of the tested ones for improving soil behavior. Therefore, the treated soil with lime-calcium chloride can have the adaptability to the subbase materials for highway constructions.

요 지

본 연구에서는 울산 삼산지역의 도시 개발로 인하여 다량 발생되고 있는 건설잔토의 유효이용을 목적으로 대상토에 생석회와 화학 첨가제를 혼합하여 안정처리를 할 경우 보조기층 및 노상용 재료로써의 사용 가능성을 평가하였다.

1가 이온(Na⁺, K⁺)과 2가 이온(Ca²⁺, Mg²⁺), 염화물(Cl)과 황산염(SO₄)으로 구성된 화학 첨가제의 첨가에 따른 일축압 축강도를 비교한 결과, 1가 이온의 첨가시 장기강도 발현이 우수한 것으로 나타났고, 염화물(Cl)의 첨가시 강도 발현이 우수한 것으로 나타났다. 건설잔토에 생석회와 CaCl₂를 첨가하면, 생석회로 처리된 시료에 비해 2배~4배의 강도가 증가되어 생석회 안정화에 대한 효과가 좋은 것으로 나타났다. 원시료토에 생석회, 생석회와 화학 첨가제로 안정처리 하여 도로의 보조기층재료나 노상용 재료로의 사용여부를 평가한 결과, 생석회와 CaCl₂로 안정처리한 경우만이 시방 기준 CBR 10%이상, 소성지수 10%이하를 만족시켜 노상용 재료로써의 사용가능성을 확인할 수 있었다.

Keywords : Chloride, Clay deposits, Subbase materials, Sulfate

1. 서 론

해안지역의 건설활동이 증가함에 따라 건설잔토의 발생량이 급증하고 있는 추세이며, 그 처리 과정에 많은 부작용 및 경비가 소요되고 있어 많은 연구자들에게서 해 해성퇴적토에 석회와 시멘트, 플라이애쉬 등을 첨

가하여 지반을 안정화하기 위한 연구가 수행되고 있다. 이들 대부분의 연구는 해성점토의 함수비를 저감하여 토목재료로써 성상을 향상시키는 것과 포졸란반응을 통한 장기적인 강도발현, 연경도의 개량으로부터 지반 안정재의 효과를 평가하는 등에 관한 연구들이다. 鬼塚克忠, 南里 勝(1996)은 생석회와 포졸란 재료 첨가

*1 정희원, 울산대학교 공과대학 토목환경공학부 교수
*2 정희원, 울산대학교 대학원 토목환경공학과 박사과정
*3 정희원, 울산대학교 대학원 토목환경공학과 석사과정

에 의한 강도발현 특성 연구에서 건설발생토와 포졸란 재료의 화학구성 성분($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$)이 커지면 포졸란반응에 의하여 처리토의 강도가 증가함을 밝혔다. G. Rajasekaran(1997)과 S. N. Rao등(1996)은 석회에 다양한 염화물과 황산염을 첨가하여 함수비 저감효과와 전단강도 개선을 위해 연구를 수행하여 염화물과 황산염을 첨가할 경우, 함수비의 저감은 물론 장기적인 강도발현에 효과가 있음을 밝힌 바 있다. 국내의 경우, 토질안정 처리 방법으로 석회와 시멘트를 토질안정재로 사용하여 도로기층, 보조기층 및 노상층 등에 활용하기 위한 연구가 수행되어 오고 있다(전몽각, 1975; 정두영 등, 1986).

본 연구에서는 울산 삼산지역에서 다량 발생되고 있는 고탍수비의 건설잔토를 유효하게 이용할 목적으로 생석회와 염화물(Cl), 생석회와 황산염(SO_4)을 첨가하여 그 효과를 실내실험을 통하여 분석하였다. 개량효과의 평가를 위하여 생석회와 화학 첨가제에 의한 함수비 저감성을 조사하고, 함수비 저감율과 강도와의 상관관계를 조사하였다. 또한, 일축압축강도시험을 통하여 강도발현특성을 검토하였으며, 혼합 처리된 시료토의 화학구성성분을 분석하여 화학적 반응에 의한 강도발현 특성을 검토하였다. 아울러 원시료토를 생석회와 화학 첨가제로 안정처리를 할 경우 보조기층 및 노상용 재료로서의 사용가능성을 평가하였다.

2. 생석회, 화학 첨가제에 의한 강도 발현특성

흙과 안정재에 의한 토질안정처리는 흙과 안정재 사이에 화학반응으로 인하여 흙의 역학적 성질을 개선한다는 것이 기본이론이다. 석회에 의한 화학반응은 점토나 콜로이드와 같은 세립분에 잘 적용되는 것으로 알려

져 있다(M. Mateos, 1964). 흙과 시멘트, 흙과 아스팔트 계 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, 일반적인 주요 반응은 다음과 같다. 첫째, 이온반응이다. 석회 중의 Ca^{++} 이온이 점토입자표면의 이온과 교환, 흡착되어 점토입자표면의 대전상태가 변하게 되고, 점토입자가 응집되어 단립화되는 현상이다. 이는 초기재령의 강도의 증가와 연경도의 변화에 기여한다. 둘째, 포졸란 반응이다. 석회안정처리에서 가장 중요한 반응으로 SiO_2 , Al_2O_3 가 소석회와 혼합되면 수경성을 나타내고, 장기간에 걸쳐 서서히 경화되는 반응을 말한다. 포졸란 반응에 의한 반응생성물은 $\text{CSH}(3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O})$ 와 $\text{CAH}(3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ 등이 있고, 흙 입자 내부에 존재하는 SiO_2 , Al_2O_3 가 석회의 CaO와 반응해서 생성된다. 이와 같은 반응 이외에도 석회가 흙 속의 탄산이나 탄산가스와 반응해서 고결화하는 탄산화 반응 등의 여러 반응이 존재한다(日本石灰協會, 1970).

3. 실험

3.1 대상토의 물리 화학 특성 및 성분

울산 삼산지역에서 채취된 대표적 시료에 대한 흙의 물리적 성질은 표 1과 같다. 본 연구에서 사용된 건설잔토의 자연상태의 함수비는 57%~65%, 염분함량은 0.29%, 수소이온농도(pH)는 4.54로 토양이 산성화된 것으로 나타났다. 삼산지역에서 발생하는 건설잔토를 구성하고 있

표 1. 흙의 물리적 특성

Soil type	Atterberg Limit			Gs	pH	Organic Content (%)	# 200 Passing (%)	γ_{dmax} (t/m^3)	Soil Type	Depth (m)
	ω_L (%)	ω_P (%)	I_P							
대상토	75.82	42.05	33.77	2.68	4.54	8.89	94	1.63	OH	7m

표 2. 흙의 구성 성분

구 분	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MnO	MgO	K_2O	Na_2SO_4
대상토	69.82	15.67	5.075	0.81	1.19	0.07	2.02	2.69	2.58

표 3. 생석회의 구성 성분

구 분	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MnO	MgO	K_2O	Na_2SO_4
생석회	6.08	1.53	0.54	0.16	92.97	0.03	0.5	0.14	0.17

는 화학성분을 분석하고자 건조시료를 이용하여 XRF (X-ray Fluorescence Spectrometer) 분석을 실시하였다. 그 결과를 표 2에 나타내었으며, SiO₂가 69.82%, Al₂O₃이 15.67%로 두 성분이 전체의 85.49%를 차지하며, 그 외 성분은 Fe₂O₃, K₂O, Na₂SO₄, CaO의 순으로 구성되어 있었다.

3.2 생석회 및 화학 첨가제 특성

우리나라는 생석회의 주원료가 되는 석회석 산지가 전국적으로 분포되어 있으며, CaO 함유량과 불순물의 정도에 따라 그 등급을 결정한다.

본 실험에 사용되는 단양산 생석회는 CaO 함유량이 93%로 1호에 속하는 생석회로써 비중이 3.03, No.200 통과량은 92%로 나타났다. XRF 분석결과는 표 3과 같다.

본 연구를 위하여 사용된 화학 첨가제는 생석회와 혼합시 각종 첨가제에 의한 지반강도 개선효과를 확인하기 위하여 사용되어 졌다. 화학 첨가제는 시중에서 판매되는 분말형태의 1가 이온(KCl, K₂SO₄, NaCl, Na₂SO₄) 과 2가 이온(CaCl₂, CaSO₄, MgCl₂, MgSO₄)의 8가지 첨가제를 사용하였다.

3.3 시험조건

본 연구에서는 건설잔토에 생석회를 첨가하여 재령에 따른 압축강도발현에 대하여 평가하였으며, 생석회를 첨가한 건설잔토에 생석회 중량의 50%에 해당하는 화학 첨가제를 첨가하여 재령에 따른 강도를 측정함으로써 염화물 및 황산염에 대한 효과를 검토하였다.

표 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 자유낙하시켜 공시체를 제작하였다. 이 경우 다짐일량, $E_c = 5.7 \text{cm} \cdot \text{kgf/cm}^2$ 이다.

표 4. 시험조건

시험종류	일축압축시험
첨가제율	생석회-10% 화학첨가제-생석회 중량의 50%
공시체 제작 방법	동적다짐 - rammer로 5회/3층,
양생기간	1일, 3일, 7일, 28일, 90일
양생온도	23±2℃

지만 안정화처리를 위한 실내시험의 경우, 재령에 따른 강도발현 특성에 관한 연구를 위하여 양생일수(1일, 3일, 7일, 28일, 90일)에 따른 일축압축시험을 수행하였다.

3.4 석회와 흙의 반응

자연상태 점성토의 고결력은 확산이중층에 의한 토립자간 인력, 화학물질에 의한 고결화, 모세관현상에 의한 흡인력 등에서 이루어진다. 또한, 함수비가 높은 층적점토에도 크지는 않지만 고결력이 존재하고 있다. 이러한 점성토에 고화재를 첨가시켜 교반하면 당초의 고결력이 소실되지만, 시간이 흐르면 고결력이 재생된다. 이러한 고결력의 대부분은 화학적인 고결력으로, 포졸란반응생성물에 의해 형성된다. 점토광물·물·공기(이산화탄소)가 있고, 흙에 생석회가 첨가된다면, 그림 1의 반응도에서와 같이 반응생성물이 생긴다(鬼塚克忠, 南里 勝(1996)).

4. 실험결과

4.1 함수비 저감에 의한 개량효과

건설현장에서 발생하는 건설잔토는 높은 함수상태이며, 유효이용을 위해서는 함수비를 저감시키는 것이 효과적이다. 그림 2에는 건설잔토에 생석회 및 화학 첨가제를 혼합하여 양생시간의 경과에 따른 함수비 저감을 $\omega_d(\%)$ 을 나타내었다. 함수비 저감율은 건설잔토의 고 함수비가 생석회의 소화반응에 의해 대부분 저감되는 것으로 나타나고 있다. 양생 3일까지는 함수비가 크게 감소되었고, 3일 이후의 함수비 저감율은 작게 나타났다

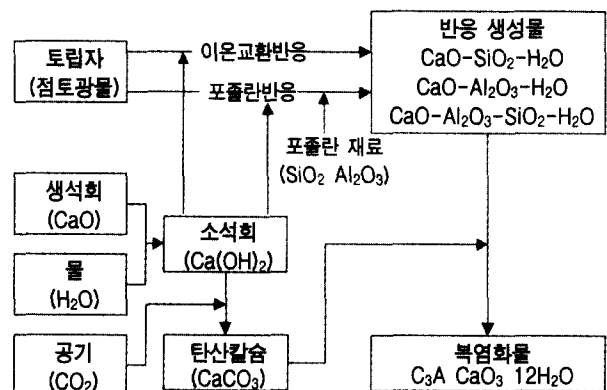


그림 1. 석회와 흙의 반응도

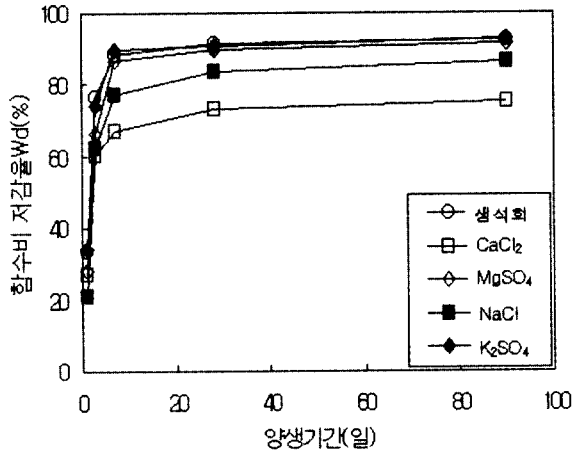


그림 2. 혼합 처리토의 양생 일별 함수비 저감효과

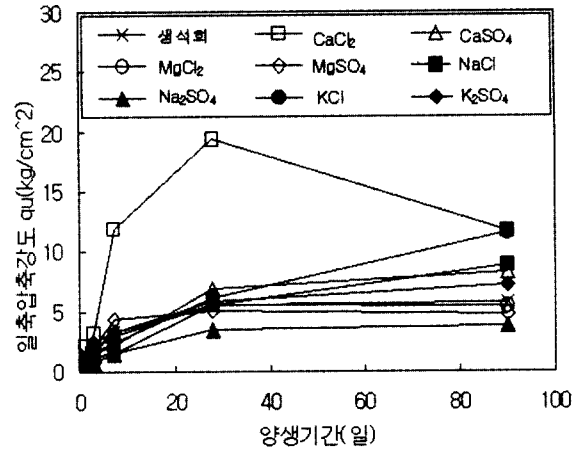


그림 3. 양생시간별 일축압축강도

다. 함수비 저감율은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\omega_d = \frac{\text{저감된 함수량}(\%)}{\text{공시체 제작에 사용된 함수량}(\%)} \times 100(\%)$$

4.2 일축압축 시험결과

생석회를 10%첨가한 건설잔토에 CaCl₂, CaSO₄, MgCl₂, MgSO₄, KCl, K₂SO₄, NaCl, Na₂SO₄를 각각 첨가하여 양생기간 1일, 3일, 7일, 28일, 90일에 대한 일축압축강도를 측정하였다. 그림 2에서 재령 28일까지의 강도는 생석회만 사용한 시료의 일축압축강도가 화학 첨가제를 첨가한 경우와 비슷한 경향을 나타내고 있으나, 재령 90일의 장기강도의 경우 화학 첨가제를 첨가했을 때 강도 증가 효과가 큰 것으로 나타났다. 단, CaCl₂를 첨가한 경우, G. Rajasekaran 등의 연구와 같이, 생석회만을 첨가했을 경우보다 단기 및 장기 강도증가비가 2배~4배 정도로 나타나 생석회의 안정화 효율을 증진시킨다는 것을 확인할 수 있다.

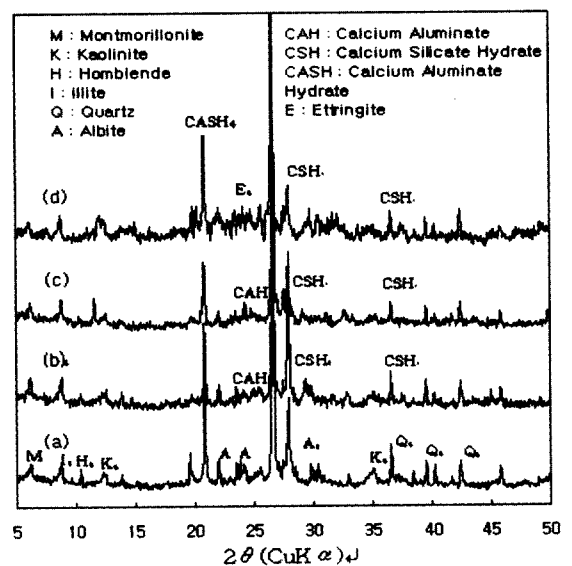
Na₂SO₄를 첨가한 경우는 생석회의 안정에 효과적이지 못한 것으로 나타났다.

5. 실험결과의 분석

5.1 X-선 회절 분석

건설잔토의 광물학적 특성을 검토하기 위하여 X-선 회절분석을 실시한 결과는 그림 4와 같으며, 얻어진 XRD pattern은 standard ASTM(1991) powder diffraction file을 기준으로 검토되어 졌다. 그림 4(a)에서 보는바와 같이, 원시료의 광물학적 분석에서는 고 팽창성 광물인

montmorillonite, 팽창성이 보통인 illite, 저 팽창성 광물인 kaolinite의 존재가 확인되었으며(민덕기 등, 2000. 12), 비점토 광물에서는 quartz와 albite가 대부분을 차지하고 있다. X-선 회절분석은 양생시간 7일, 28일, 90일, 150일의 시료에 대해 각각 실시하였으며, 양생시간 7일 경과 후부터 포졸란 반응에 의한 새로운 생성물이 나타나기 시작하였다. 그림 4(b), (c), (d)에는 양생시간 28일 경과 후 생석회, 생석회와 CaCl₂, 생석회와 Na₂SO₄로 처리된 시료토에 대한 전형적인 XRD pattern을 보여주고 있다. 흙과 생석회의 반응 때문에 생긴 CSH, CAH, CASH와 같은 새로운 반응물이 보여지고 있다. 이러한 화합물들은 입자간을 결속시키도록 응집체의 형성에 도움을 주고, 전반적으로 흙의 거동을 향상시킨다.



(a) 원시료 (b) 원시료+생석회
(c) 원시료+생석회+CaCl₂ (d) 원시료+생석회+Na₂SO₄

그림 4. 양생 28일경과 후 X-선 회절분석

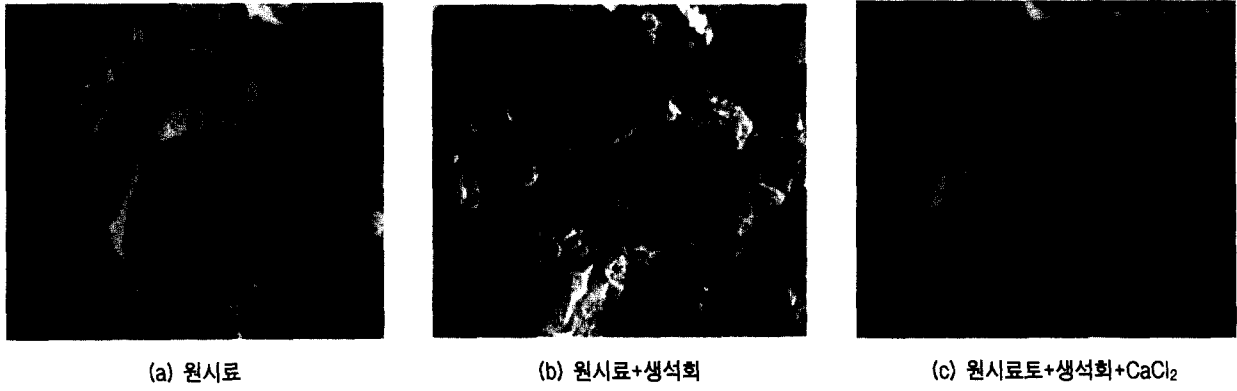


그림 5. 원시료토 및 혼합 처리토의 양생 90일 경과 후 주사전자현미경 촬영결과

5.2 주사전자현미경 관찰

주사전자현미경(scanning electron microscope, SEM)의 특징은 초점이 높은 심도를 이용해서 비교적 큰 표본을 입체적으로 관찰할 수 있다는 것이다. 본 연구에서는 원시료토와 원시료토에 첨제를 첨가한 후 양생기간에 따른 구조적인 변화를 관찰하였다. 그림 5는 첨가제별 양생시간 90일 경과 후의 전자주사현미경 촬영결과로써 원시료토에 비해 혼합 처리된 시료토에서 입자간 응집현상·면모현상을 관찰할 수 있다. 그 원인으로는 생석회의 수화반응에 의해 생성된 소석회가 간극수에서 분해가 발생하여 칼슘 2가 이온과 수산기 이온으로 분해되고, 칼슘이온은 양이온교환이 발생하게 되어 면모화나 응집현상을 발생시킨 결과로 판단된다.

5.3 원자기에 따른 강도발현

1가 이온(Na^+ , K^+)과 2가 이온(Ca^{2+} , Mg^{2+})으로 구성된 화학 첨가제의 첨가에 따른 압축강도를 비교한 결과를 그림 6과 그림 7에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이, 28일까지는 거의 유사한 강도 발현특성을 나타내고 있으나, 장기강도(90일)의 경우에는 1가 이온의 강도발현이 우수한 것으로 나타났다. 1가와 2가 이온 중에서 Ca^{2+} 이온으로 혼합된 시료의 경우, 강도발현이 우수하게 나타났는데, 이는 흙 입자 내에 Ca^{2+} 이온의 확산이 흙 입자 부근에 양이온을 농축시키고, 포졸란 반응생성물을 잘 형성시키기 때문으로 판단된다.

5.4 염화물과 황산염의 강도발현

그림 8과 그림 9에서 보는 바와 같이, 염화물(Cl)과

황산염(SO_4)의 첨가에 따른 압축강도를 비교한 결과, 염화물(Cl)의 첨가시에 강도 발현이 우수하였다. 생석회에 염화물(Cl)의 첨가시에는 포졸란 반응물을 잘 형성하여 생석회의 안정에 대한 효율을 증진시키지만, 황산염(SO_4)의 첨가시에는 X-선 회절분석에서 알 수 있듯이 ettringite와 같은 팽창성 화합물을 형성하기 때문에 공

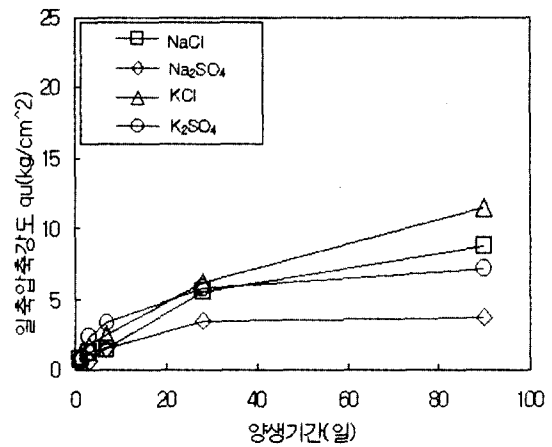


그림 6. 1가 첨가제에 따른 강도 특성

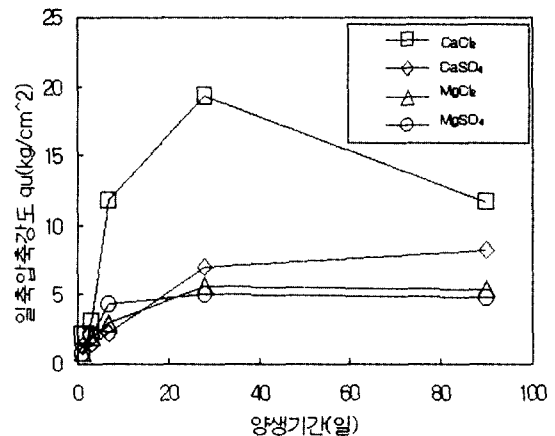


그림 7. 2가 이온 첨가제에 따른 강도 특성

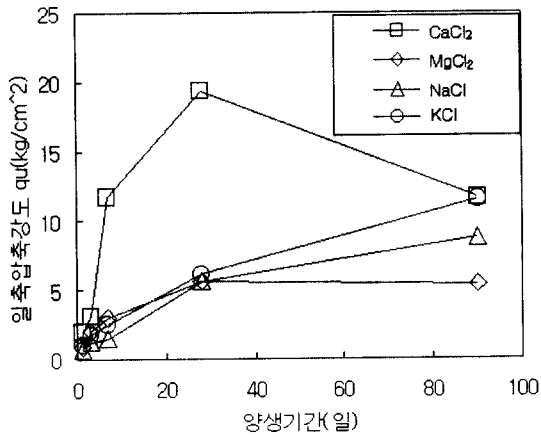


그림 8. 염화물 첨가에 따른 강도 특성

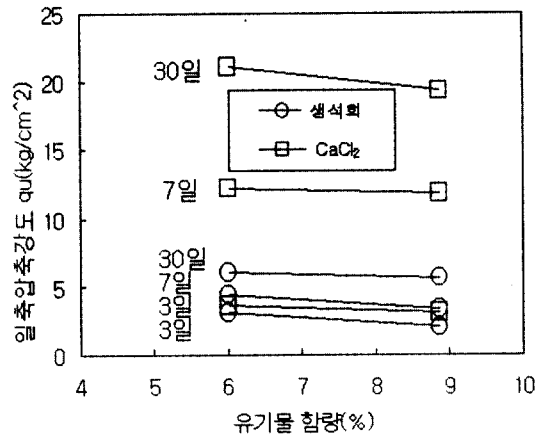


그림 10. 유기물 함량(%)과 일축압축강도의 관계

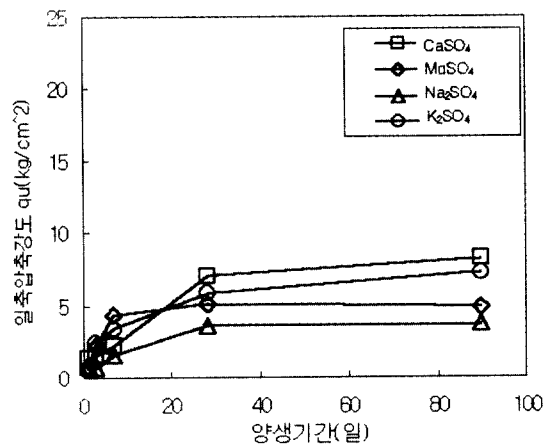


그림 9. 황산염 첨가에 따른 강도 특성

학적 거동에 관해 불리한 효과를 일으키는 것으로 판단된다.

5.5 유기물의 영향

본 연구에서 사용된 원시료토의 유기물 함량은 8.89%로 많은 유기물을 함유하고 있으므로 유기물이 개량효과에 영향을 미치는지를 분석하기 위하여 350℃에서 대상토를 24시간 동안 강열감량하여 유기물을 제거하였다. 그 후, 생석회와 화학 첨가제를 혼합하여 양생시간 3일과 7일의 처리토에 대해 일축압축강도를 실시하였다. 대상토에 대한 강열감량을 실시한 후 유기물 함량은 5.99%로 약 3%정도 제거되었으며, 대상토의 유기물이 개량강도에 미치는 영향을 그림 10에 나타내었다. 그림 10에는 유기물 함량에 대한 일축압축강도와와의 관계로서, 유기물 함량이 커지면 일축압축강도가 작아지는 것으로 나타나 유기물 함량이 개량강도의 요소 중 하나라는 것을 알 수 있다.

5.6 CBR치 및 연경도의 개량

일반적으로 발생토를 도로 노상재료나 보조기층재료로 사용하기 위해서 CBR치와 Ip값을 규정을 만족하여야 한다. 지방서에는 노상재료에서 CBR치 10%이상, Ip값 10%이하, 보조기층재료에서 CBR치 20%~30%이상, Ip값 6%이하로 규정하고 있다. 본 연구에서는 기준치에 미달되는 원시료토에 석회 및 화학 첨가제를 혼합하여 CBR치 및 연경도의 개량효과를 얻고자 하였으며, 그 결과를 그림 11, 그림 12에 나타내었다.

대상토 및 혼합 처리토에 대해 3일간 실험실 내에서 공기건조 양생을 실시하고 4일간 수침시킨 후 CBR 시험을 실시한 결과, 원시료토의 경우 흐트러짐 현상이 발생하여 CBR치를 측정할 수 없었다. 반면, 생석회, 생석회와 화학 첨가제로 안정처리를 한 결과, 모든 경우에 대해 CBR치를 10%이상 얻을 수 있으므로 노상용 재료로서의 사용 가능성이 있다는 것을 알 수 있었으며, 원

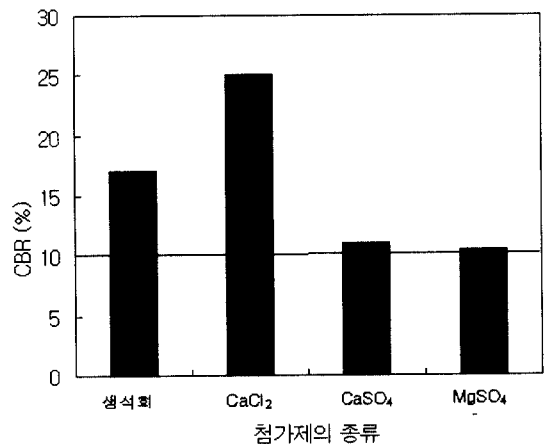


그림 11. 첨가제의 종류에 따른 CBR(%)

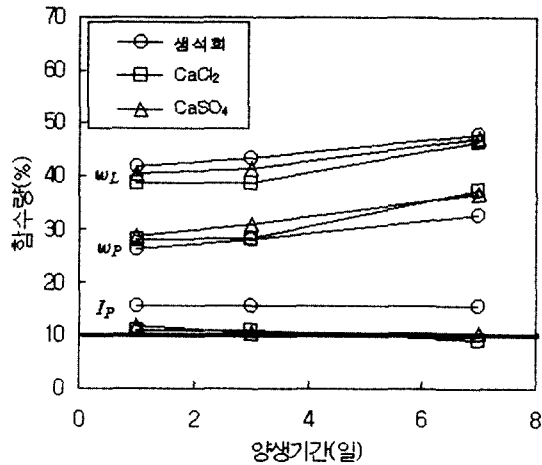


그림 12. 양생기간별 Atterberg 한계의 변화

시료토에 생석회와 CaCl₂로 혼합 처리한 경우의 CBR치가 25%로 가장 크게 나타났다.

본 연구에서 사용된 울산 삼산지역 건설잔토는 소성지수 Ip가 33.77%로 높게 나타나고 있으므로 연경도의 개량효과를 위하여 원시료토에 생석회, 생석회와 화학첨가제를 혼합하여 Atterberg 한계시험을 실시하였다. 그림 12에서 알 수 있는 바와 같이, 액성한계 w_L 과 소성한계 w_P 는 모두 증가하여 소성지수 Ip는 거의 일정한 값을 나타내고 있지만, 양생시간에 따라 조금씩 감소하는 경향을 나타내고 있다.

건설잔토에 생석회와 CaCl₂를 혼합한 경우 노상재료의 시방기준인 소성지수 Ip 10%이하를 만족하는 것으로 나타났다.

6. 결론

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

- (1) 건설잔토에 생석회를 첨가시 소화와 흡수에 의한 함수비의 저감효과가 유효한 것으로 나타났으며, 생석회 혼합율이 많을수록 함수비 저감율과 일축압축강도가 증가하는 경향을 나타내었다.
- (2) 건설잔토에 생석회와 화학첨가제(CaSO₄, NaCl, KCl, K₂SO₄)를 첨가하면, 28일까지의 강도발현은 생석회로 처리된 시료와 비슷한 경향을 나타내지만, 장기강도(90일)의 경우 1.3배~2배의 강도가 증가되어

건설잔토의 장기적인 강도발현을 위해 유효할 것으로 판단된다. 건설잔토에 생석회와 CaCl₂를 첨가하면, 생석회로 처리된 시료에 비해 2배~4배의 강도가 증가되어 생석회 안정화에 대한 효과가 좋은 것으로 나타났다.

- (3) 유기물함량(%)이 커지면 일축압축강도가 작아지는 것으로 나타났다. 따라서, 건설잔토의 유기물 함량이 생석회 및 화학첨가제의 개량특성에 영향을 미치는 중요한 요인 중 하나인 것으로 분석되었다.
- (4) 원시료토에 생석회, 생석회와 화학첨가제로 안정처리하여 도로의 보조기층재료나 노상용 재료로의 사용여부를 평가한 결과, 생석회와 CaCl₂로 안정처리한 경우만이 시방기준 CBR 10%이상, Ip 10%이하를 만족시켜 노상용 재료로서의 사용가능성을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

1. 전몽각.(1975. 9), "석회에 의한 토질안정처리", 대한 토목학회지 제23권 3호, pp.61-66.
2. 민덕기, 황광모, 강문기.(2000. 12), "울산 퇴적 점토의 화학적, 광물학적 특성", 한국지반공학회논문집 제16권 제6호, pp.51-58.
3. 정두영, 최길필, 이병석.(1986. 12), "Ca, Al계 안정처리토의 구조적 특성 비교", 대한 토질공학회 제2권 3호, pp.1-5.
4. 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.
5. 日本石灰協會.(1970), "石灰에 의한 土質安定處理工法", 山梅 薫, pp.184-192.
6. 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.
7. James K. Mitchell.(1992), Fundamentals of Soil Behavior-2nd Edition, John Wiley and Sons, New York, pp.84-99, pp.131-159.
8. Manuel Mateos.(1964. 3), "Soil Lime Research at Iowa State University", J of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol.90, No.SM2, pp.127-153.
9. 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.
10. S. N. Rao, G. Rajasekaran.(1996), "Reaction Products Formed in Lime-Stabilized Marine Clays", Journal of Geotechnical Engineering, pp.329-336.

(접수일자 2001. 1. 16)