

# 생석회 혼합토의 압축특성에 관한 연구

## Compressibility Characteristics of the Lime Treated Clay

민 덕 기\*<sup>1</sup> Min, Tuk-Ki  
 황 광 모\*<sup>2</sup> Hwang, Kwang-Mo  
 오 미 희\*<sup>3</sup> Oh, Mi-Hee

### Abstract

In this paper, effects of the acidification of ground and the chemical additive materials-ferric oxide, calcium chloride and calcium sulphate on the compressibility characteristics of the marine clay treated with quick lime were investigated. The rapid inflection point method was carried out. Results showed that the compression index of the untreated marine clay increased as the pH of pore water decreased. Also, the preconsolidation pressure, the coefficient of consolidation and the coefficient of permeability of the untreated marine clay decreased with pH of pore water. In the case of the marine clay treated with the quick lime-calcium chloride, the compression index decreased and the coefficient of consolidation and the coefficient of permeability increased. Specially, the preconsolidation pressure of sample treated with the quick lime-ferric oxide was higher than that of another samples.

### 요 지

본 연구에서는 외부적인 원인에 의한 지반의 산성화가 생석회 혼합토의 압축특성에 미치는 영향을 조사하고, 생석회 처리효과를 증대시키기 위해 산화철, 염화칼슘, 황산칼슘 등의 제 2의 화학적 첨가제를 혼합하였다. 이 생석회 혼합토의 압축특성을 알아보기 위해 rapid inflection point method을 이용하여 신속한 압밀시험을 실시하였다. 공장 폐수 또는, 산성비 등에 기인한 지반 산성화는 토양 속에 존재하는 황산염과 생석회의 칼슘이온이 반응하여 팽창성 광물인 ettringite 등을 생성시키므로 인공 산성비를 이용하여 pH를 변화시켜 생석회 혼합토에 혼합하였다. 실험결과, pH가 감소함에 따라 압축지수는 증가되고, 선형압밀하중과 압밀계수는 감소하는 경향을 보여 생석회 혼합토의 압축 특성에 악영향을 미치는 것으로 나타났다. 화학적 첨가제 중 염화칼슘을 혼합한 생석회 혼합토의 경우, 압축지수를 감소시키고, 압밀계수와 투수계수는 증가하는 경향을 보였다. 산화철을 혼합한 생석회 혼합토의 경우, 생석회 혼합토에 비해 선형압밀하중이 크게 증가하는 것으로 나타나 압축특성을 개선시키는데 효과적인 것으로 나타났다.

**Keywords :** Calcium chloride, Calcium sulphate, Compressibility, Ferric oxide, Quick lime

### 1. 서 론

도시화, 산업화로 인한 중량 구조물 건설이 증가하고 있으며, 이러한 건설공사에 필요한 양호한 기초지반은

한정되어 있다. 또한, 굴착공사 시 발생하는 건설 잔토가 대량 매립되고 있어 지반 공학적 처리과정을 거쳐 재활용하기 위한 연구가 필요하게 되었다. 해안 및 하구지역을 중심으로 형성된 해성 퇴적점토는 고함수비

\*1 정희원, 울산대학교 공과대학 건설환경공학부 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil and Environment Engrg., Univ. of Ulsan, tkmin@mail.ulsan.ac.kr)  
 \*2 정희원, 경북전문대학 토목과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil Engrg., Kyungbuk College)  
 \*3 정희원, 울산대학교 대학원 건설환경공학부 석사과정 (Member, Graduate School, Dept. of Civil and Environment Engrg., Univ. of Ulsan)

의 연약한 점토로 전단강도를 기대할 수 없으며, 장기적인 침하를 유발하는 등의 공학적 문제점을 발생시키고 있는 실정이다. 따라서, 민덕기 등(2001), Tao-Wei Feng 등(2001)에 의하여 염분 및 유기물 함유량이 높아 매립에 의존하던 해성 퇴적점토에 생석회 등을 혼합하는 방법으로 공학적 성질을 개선하고, 지반 안정화를 꾀하기 위한 연구가 수행되었다. 생석회를 이용한 안정처리는 첨가제의 첨가량, 흙의 구성성분 등의 원인뿐 아니라, 외부의 환경적 원인에 의해 그 반응성에 큰 영향을 받는다. National Lime Association(2000)의 보고서에 따르면, 흙 속에 황산염이 0.3% 이상 함유되어 있으면, 황산염에 의한 피해가 발생되며, 0.8% 이상에서는 생석회 안정처리를 가급적 피하는 것이 좋다고 발표하였다. 이는 생석회 안정처리 시 환경적인 영향을 고려해야함을 강조한 것이다. 울산지역은 해성 퇴적점토가 폭넓게 분포되어 있고, 화학공단이 근접한 지리적 여건으로 인해 미처리된 공장 폐수의 지반유입 및 광역적으로 발생되고 있는 산성비의 침투로 인하여 지반 산성화가 초래되었다. 이에 생석회 및 시멘트를 이용한 연약지반 안정처리 시 지반 산성화의 영향을 고려할 필요가 있다.

최근, 국내에서도 민덕기 등(2001)에 의하여 생석회 안정처리 효과를 더욱 증대시킬 목적으로 염화칼슘, 황산마그네슘 등의 화학적 첨가제를 첨가한 연구사례가 발표되었으며, Ramesh 등(1999), 민덕기 등(2002a)에 의하여 폐자원을 재활용코자 fly ash, 화산재, rice husk ash 등과 같은 포졸란 재료를 첨가한 연구가 수행되었다. 또한, 김재영 등(1992)은 석회와 연탄재를 첨가한 해성 퇴적토의 압축특성 개선에 관한 연구를 수행하였다.

외국의 경우, Rajasekaran 등(1997)은 해성 퇴적토의 공학적 특성을 개선하기 위해 염화물, 황화물 등의 무기질 첨가제와 생석회를 혼합하여 전단강도와 압축특성이 개선됨을 확인하였다. Sridharan 등(1995)은 생석회와 황산나트륨의 첨가는 장기간 양생 시 압축지수를 증가시켜 생석회 혼합토의 압축특성에 나쁜 영향을 미친다는 결론을 얻었다. 반면에, 국내에서는 생석회를 이용한 대부분의 연구가 지반을 고화시켜 전단강도를 증가시키는데 주안점을 두고 있어 생석회 혼합토에 대한 압축특성 연구는 미비한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 지반의 산성화가 생석회를 이용한 지반 안정처리에 미치는 영향을 분석하고, 생석회 안정처리의 효과를 향상시키기 위해 화학적 첨가제로써 산화철, 염화칼슘, 황산칼슘을 첨가하여 실내 압밀시험을 통해 지반 산성화에

다른 생석회 혼합토의 압축특성에 대해 조사·분석코자 하였다.

## 2. 연구방법

본 연구에서는 울산광역시 태화강 인접지역 및 해안 인접한 지역에서 발생하는 해성 퇴적점토를 건설재료로 재활용하기 위하여 점성토 지반에 유효한 생석회를 적용코자 하였다. 또한, 이 지역의 산성도가 높아 지반의 산성화가 생석회 안정처리에 미치는 영향을 조사하고, 생석회 처리효과를 증대시키기 위해 화학적 첨가제인 산화철, 염화칼슘, 황산칼슘을 혼합하여 첨가제의 혼합에 따른 생석회 혼합토의 압축특성을 아울러 분석코자 하였다. 압밀시험은 많은 시료를 짧은 시간 내에 수행할 수 있는 rapid inflection point method를 적용하여 수행하였으며, 이 실험결과를 바탕으로 생석회 혼합토에 대한 압축특성을 분석하였다.

### 2.1 시료채취 및 대상토의 성질

시료의 채취는 울산광역시 삼산동 일원의 택지개발 현장으로 이 지역 점토층은 깊이에 따라 초기 간극비는 1.29~1.96, 압축지수는 0.5~1.0인 연약한 상태로 30m~40m의 깊이로 폭넓게 분포하고 있다. 본 연구를 위해서 대량의 시료가 필요하여 대상토를 지표 하 6m에서 교란된 상태로 채취하였다. 대상토의 물리·화학적 특성을 정리하면 표 1과 같으며, 대상토의 함수비는 60.3%~76.5%, 유기물 함유량 8.37%~9.09%, 염분 함유율 0.72%로 유기물을 다량 함유한 해성 퇴적점토로 나타났다.

대상토 및 첨가제의 화학적 구성성분을 확인하고자 X-선 형광분석을 실시하고, 그 결과를 표 2에 나타내었다. 표 2에 나타낸 바와 같이, 대상토의 구성성분은 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 기타 순으로 구성되어 있으며, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 전체 구성비의 약 80%를 차지하고 있어 생석회 안정처리에 유효한 흙으로 나타났다. 첨가제로 사용

표 1. 대상 시료토의 물리·화학적 특성

구 분	흙의 연경도(%)		Gs	P. NO200(%)
	LL	PI		
대상토	56.19	26.51	2.64	91.36
구 분	pH	O.C(%)	Cl <sup>-</sup> (%)	USCS
대상토	4.70	9.63	0.72	CH, OH

표 2. 대상토 및 첨가제의 화학적 성분

[구성비 : %]

구 분	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	etc
대상토	68.48	15.75	5.12	1.85	8.79
생석회	6.08	1.53	0.54	92.97	1.0
산화철	2.64	ND	95.95	0.03	0.54

주) ND : Not Detected

etc : TiO, MnO, MgO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O

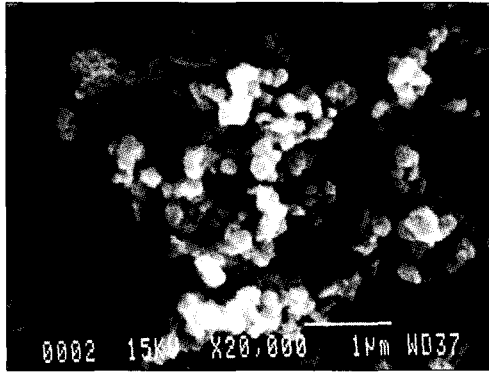


그림 1. 산화철의 SEM 촬영 결과

된 생석회와 산화철은 각각 CaO와 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함유량이 90% 이상을 차지하는 것으로 나타났다. 산화철에 대한 주사 전자 현미경 촬영결과는 그림 1에 나타내었으며, 입자 크기는 매우 미세하고, 둥근 모양의 입자의 형태를 보이고 있다.

## 2.2 시험조건

본 연구를 위한 최적 생석회 첨가량은 Eades 등(1966)이 제안한 pH 시험과 연경도 시험, 일축압축강도 시험을 통하여 대상토 건조중량의 8%로 결정하였다. 화학적 첨가제인 산화철의 첨가량은 강도시험 등을 통해 최적 생석회 함유량의 20%로 결정하였으며, 염화칼슘과 황산칼슘 혼합량은 민덕기 등(2001)에 의해 수행된 실험 결과를 바탕으로 최적 생석회 함유량의 50%로 결정하였다. 양생기간에 따른 혼합토의 압축특성에 대한 변화를 관찰하기 위한 항온수조 내의 온도를 25±1℃로 유지하여 습윤 상태에서 3일, 7일간 양생을 실시하였다. 또한, 28일 양생은 Biswas(1972)가 제안한 40±2℃에서 72시간 양생하는 급속 양생방법을 적용하였다.

일반적으로, 산성비의 원인이 되는 성분은 황산 65%, 질산 35%, 염산 5% 등의 순으로 구성되어 있다. 따라서, 지반 산성화를 실내에서 재현하기 위해, 산성비에 가장 많은 비율을 차지하고 있는 황산을 증류수로 혼합하여

표 3. 공시체 제작 조건

구 분	조 건	비 고	
첨 가 제	1차	생석회-8%	대상토의 건조중량 대비
	2차	산화철-1.6%	
		염화칼슘-4%	
		황산칼슘-4%	
혼합 함수비	56%	대상토의 액성한계	
간극수 pH	3.0, 4.0, 5.0, 6.4	황산수용액 이용	
양생 기간	3일, 7일, (28일)		
양생 온도	25±1℃, (40±2℃)		

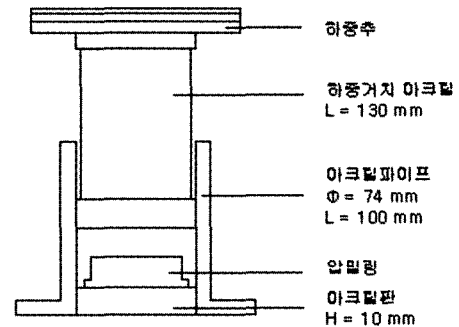


그림 2. 공시체 제작 장치

황산수용액을 만들어 간극수의 pH를 3.0, 4.0, 5.0, 6.4로 변화시켜 각종 실내시험에 적용하였다. 표 3은 압밀시험을 위한 공시체 제작조건을 정리한 것이다.

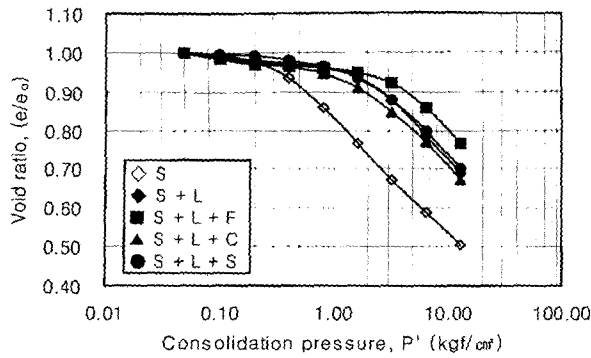
압밀시험은 동일한 조건에서 단위중량 및 함수비가 일정하여야하므로 그림 2와 같은 공시체 제작 장치를 고안하였다. 압밀시험용 공시체는 지름 60mm, 높이 20mm인 압밀링을 이용하여 습윤단위중량을 1.6t/m<sup>3</sup>으로 일정하게 유지하였다. 압밀시험은 표준압밀시험이 10일 이상의 시간이 소요되어 양생 당일의 변화를 관찰할 수 없다는 단점을 보완하기 위해서 짧은 기간에 압밀시험을 완료할 수 있는 신속한 압밀시험 방법을 적용하였다.

## 3. 시험 결과 및 분석

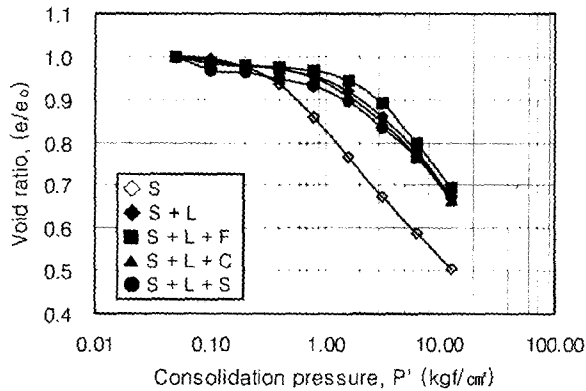
지반 산성화가 생석회 혼합토 및 화학적 첨가제를 혼합한 생석회 처리토의 압축특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 압밀시험을 실시하였다. 이 결과를 바탕으로 생석회 혼합토의 압축지수, 선형압밀하중, 압밀계수, 투수계수를 첨가제별, pH 변화에 따라 분석하였다.

### 3.1 간극비-하중 곡선

대상토에 생석회를 비롯한 화학적 첨가제를 혼합한



(a) pH = 3.0



(b) pH = 6.4

그림 3. 대상토와 혼합토의 e-logP 곡선(28일양생)

생석회 혼합토의 간극비를  $0.05\text{kgf/cm}^2$ 의 하중을 가한 초기 간극비로 나누어 간극비 변화를 정규화하여 나타낸 것이 그림 3이다. 그림 3에 나타난바와 같이, 대상토( $\diamond$ Soil)에 비해 생석회 혼합토( $\blacklozenge$ Soil+Lime)를 비롯한 첨가제를 혼합한 생석회 혼합토( $\blacksquare$ S+L+Ferric oxide,  $\blacktriangle$ S+L+Calcium chloride,  $\bullet$ S+L+calcium Sulfate)의 e-logP 곡선이 상향으로 이동하여 간극비의 변화 폭이 감소하는 경향을 나타내어 대상토의 압축성이 개선됨을 확인할 수 있었다. 이러한 경향은 간극수의 pH에 관계없이 동일하게 나타났으며, 세립토에 생석회와 첨가제의 첨가는 응집·면모화, 포졸란 반응으로 조립화됨에 따라 용적이 감소되기 때문인 것으로 분석되었다.

### 3.2 압축지수

그림 4는 생석회를 혼합토의 압축지수를 나타낸 것이며, 양생기간이 증가됨에 따라 압축지수는 감소하는 경향을 보인다. 이러한 경향은 첨가제를 혼합한 경우에도 동일하게 관찰되었다. 또한, 간극수의 pH가 낮아짐에 따라 압축지수는 증가하는 경향을 보이는데, 지반 산성화

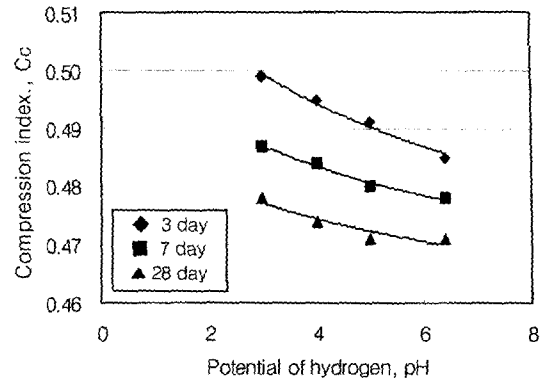


그림 4. 생석회 혼합토의 압축지수

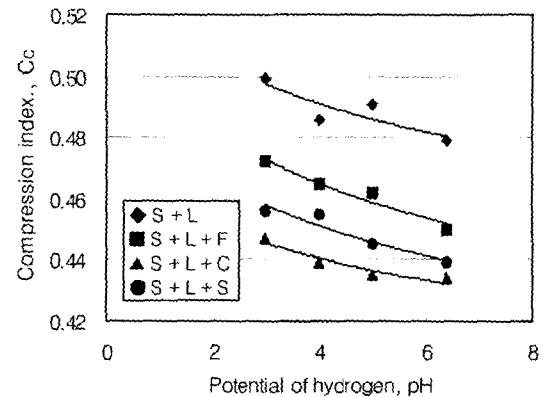


그림 5. 혼합토의 압축지수(3일 양생)

가 생석회 혼합토의 압축지수를 증가시키는 것으로 나타났다. 생석회 혼합토의 압축지수 증가는 지반의 산성화에 따른 황산염의 유리와 생석회 첨가로 인하여 증가된 칼슘이온이 반응하여 팽창성 반응 생성물인 ettringite 등이 생성되었기 때문으로 판단된다. 이 결과는 생석회와 황산나트륨을 첨가한 Sridharan 등(1995)의 연구와 동일한 경향을 나타내었다.

생석회 및 화학적 첨가제별 생석회 혼합토의 압축지수 변화를 그림 5에 나타내었다. 그림 5에 나타난바와 같이, 생석회 혼합토의 압축지수는 대상토에 비해 약 20%의 감소를 보였으며, 화학적 첨가제를 첨가한 생석회 혼합토에서는 대상토에 비해 약 30%의 압축지수 감소를 보였다. 특히, 염화칼슘을 첨가한 경우, 압축지수가 가장 작게 나타나 지반의 침하량을 감소시켜 지반의 압축특성을 개선하는데 가장 효과적인 것으로 나타났다.

### 3.3 선행압밀하중

대상토는 물론, 생석회 혼합토 및 첨가제를 첨가한 생석회 혼합토의 선행압밀하중은 Jose 등(1989)이 제안한

log<sub>e</sub>-logP' 방법으로 산정하였다. 특히, 대상토의 선행압밀하중을 정리하면 표 4와 같으며, 간극수의 pH가 6.4인 경우의 대상토의 선행압밀하중은 0.41kgf/cm<sup>2</sup>, 간극수의 pH가 3.0인 경우, 0.30kgf/cm<sup>2</sup>으로 pH가 변화함에 따라 약 27%의 선행압밀하중 감소를 보였다. 따라서, 지반의 산성화는 선행압밀하중을 감소시켜 증량구조물의 기초로써 지반의 사용성을 저하시키는 것으로 나타났다.

그림 6은 혼합토별 pH 변화에 따른 선행압밀하중의 변화를 나타낸 것으로, 7일 양생한 혼합토의 선행압밀하중은 간극수의 pH가 감소함에 따라 감소하는 경향을

표 4. 대상토의 선행압밀하중

Potential of hydrogen, pH	P <sub>c</sub> ' (kgf/cm <sup>2</sup> )
3.0	0.30
4.0	0.32
5.0	0.37
6.4	0.41

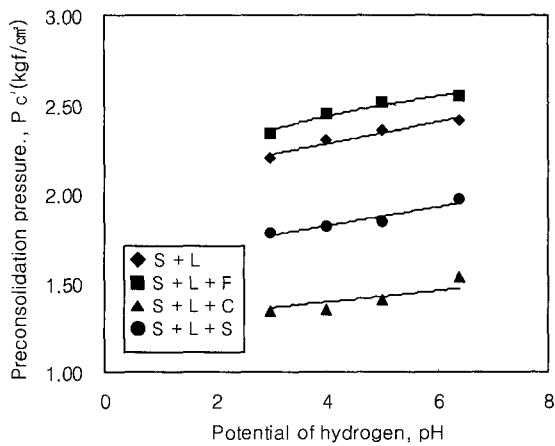


그림 6. 혼합토의 선행압밀하중(7일 양생)

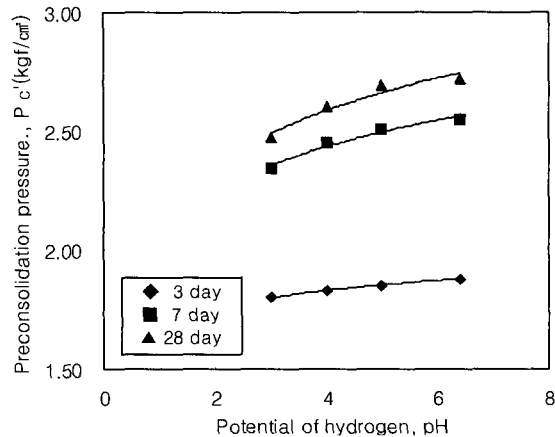


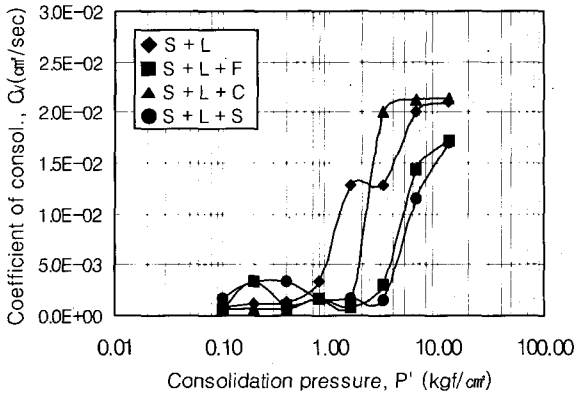
그림 7. 산화철을 첨가한 생석회 혼합토의 선행압밀하중

나타내었다. 이는 생석회를 비롯한 화학적 첨가제를 첨가한 생석회 혼합토에서 동일한 경향을 보인다. 화학적 첨가제 중 산화철을 사용한 경우에서 2.34kgf/cm<sup>2</sup>~2.55kgf/cm<sup>2</sup>의 비교적 큰 선행압밀하중을 나타내었다. 또한, 생석회 혼합토 및 산화철을 첨가한 생석회 혼합토는 생석회로 안정처리를 실시하지 않은 경우에 비하여 6배~8배의 선행압밀하중의 증가를 나타내어 지반개량은 물론, 압축특성의 개선에 가장 효과적인 것으로 나타났다. 이는 산화철의 입자가 매우 미세하여 입자간의 결합력을 증대시켜, 강도를 증가시키기 때문인 것으로 판단된다.

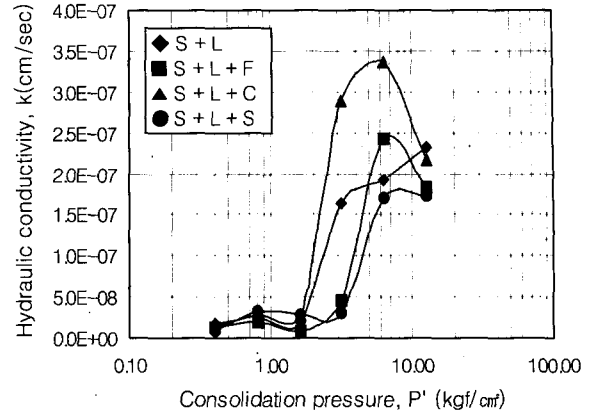
산화철을 첨가한 혼합토의 양생기간에 따른 선행압밀하중의 변화는 그림 7과 같다. 그림 7에 나타난바와 같이, 7일 양생한 혼합토의 선행압밀하중은 3일 양생한 혼합토에 비해 약 1.3배의 증가를 보였다. 이에 비해 28일 양생은 7일 양생의 선행압밀하중과 그리 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 따라서, 산화철의 사용은 양생초기에 반응성이 증대되어 선행압밀하중을 증가시키는데 효과적임을 확인할 수 있었다.

### 3.4 압밀계수

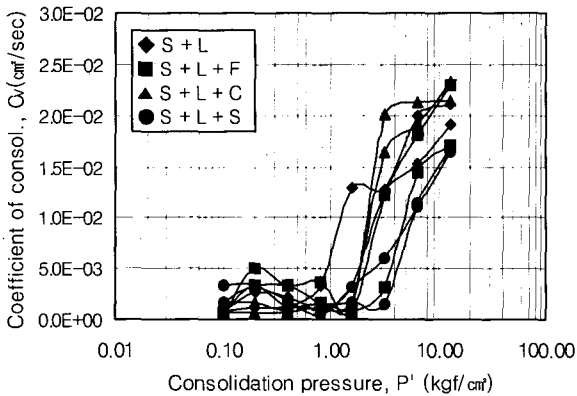
생석회 혼합토 및 화학적 첨가제를 첨가한 생석회 혼합토의 압밀하중 증가에 따른 압밀계수의 변화는 그림 8과 같다. 그림 8(a)에 나타난바와 같이, 간극수의 pH가 3.0인 경우는 pH 6.4에 비해 작은 압밀계수 값을 나타내었다. 이는 지반 산성화가 각종 생석회 혼합토의 압축특성에 악영향을 미친 결과로 분석되었다. 첨가제를 첨가한 생석회 혼합토의 경우, 간극수의 pH에 상관없이 염화칼슘을 첨가한 생석회 혼합토에서 가장 큰 압밀계수를 보여, 생석회와 염화칼슘을 혼합할 경우, 압밀계수를 증가시켜 압밀을 종료시키는 시간을 단축시켜 경제적인 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 그림 8의 압밀하중 증가에 따른 압밀계수의 변화를 분석하면, 압밀계수는 선행압밀하중 이상의 하중단계에서 첨가제의 종류에 상관없이 급격히 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 압밀계수의 급격한 증가는 선행압밀하중 근처의 하중에서 입자배열이 안정되어 지반개량이 이루어지기 때문으로 분석되었다. 이러한 경향은 석회와 연탄재를 이용한 김재영 등(1992)의 연구에서 유사한 결과이다.



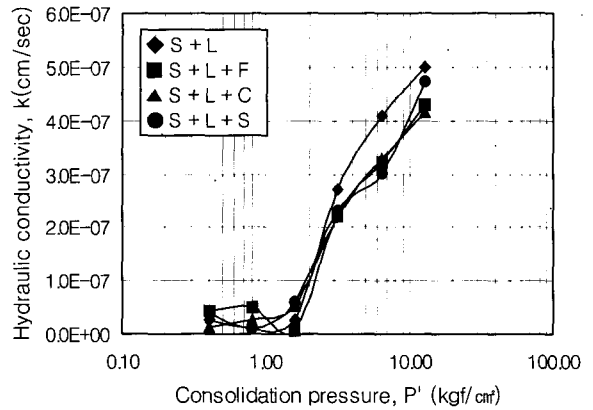
(a) pH = 3.0



(a) pH = 3.0



(b) pH = 6.4



(b) pH = 6.4

그림 8. 혼합토의 압밀계수(7일 양생)

그림 9. 혼합토의 투수계수(7일 양생)

### 3.5 투수계수

그림 9는 생석회 혼합토 및 산화철, 염화칼슘, 황산칼슘을 첨가한 생석회 혼합토의 압밀하중 증가에 따른 투수계수의 변화를 나타낸 것이다. 그림 9에서 나타낸 바와 같이, 압밀하중 증가에 따른 투수계수의 변화는 선형 압밀하중 보다 큰 하중단계에서 급격한 증가를 보여, 압밀계수의 경우와 동일한 경향을 나타낸다. 그림 9(a)와 그림 9(b)에서 보는 바와 같이, 간극수의 pH가 3.0인 경우, pH 6.4에 비해 약 55%의 투수계수가 감소하는 것으로 나타났다. 이처럼 지반 산성화는 각종 생석회 혼합토의 유의한 화학 반응성을 저해시켜 혼합토 입자의 응집 및 조립화를 방해함은 물론, 혼합토의 투수계수를 감소시키는 역할을 하는 것으로 나타났다.

그림 10은 생석회의 투수특성을 향상시키는데 효과적인 첨가제의 영향을 알아보기 위해 생석회의 투수계수로 정량화한 혼합토의 투수계수를 나타낸 것이다. 간극수의 pH가 3.0인 경우, 투수계수비( $k/k_0$ )는 1.0~1.4의

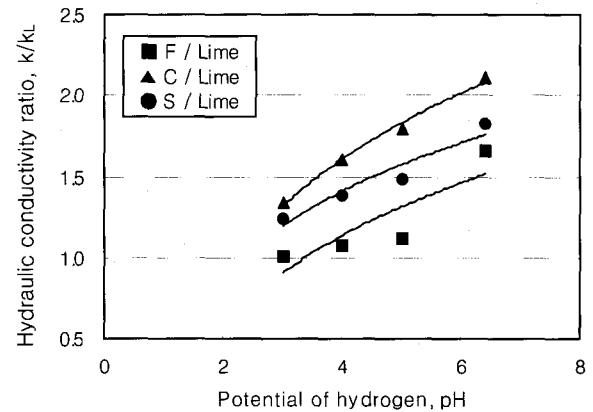


그림 10. 첨가제별 pH 변화에 따른 투수계수비

작은 값을 보이는데 반해, 간극수의 pH가 6.4로 증가됨에 따라 투수계수비가 1.7~2.1로 증가되는 것으로 나타났다. 염화칼슘을 혼합한 생석회 혼합토의 경우에서 가장 큰 투수계수비의 증가를 보여 생석회의 반응성을 증대시키는데 가장 효과적인 첨가제임을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

해안 및 하구 인접지역에 퇴적된 해성 퇴적점토는 지반공학적인 재처리 과정이 없는 매립처분을 실시해야 하는 등의 많은 문제점을 안고 있다. 따라서, 본 연구에서는 울산광역시 남구 삼산지역 및 해안 인근지역 해성 퇴적점토의 유효이용을 목적으로 해성 퇴적 점토에 생석회를 첨가하여 압축특성을 개선시키고자 하였다. 또한, 지반 산성화에 따른 생석회 혼합토의 압축특성과 화학적 첨가제의 영향을 알아보기 위해 황산수용액으로 pH를 조절하여 혼합·양생을 실시한 후, 생석회 혼합토 및 각종 첨가제를 첨가한 생석회 혼합토에 대하여 압밀 시험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 생석회 혼합토의 경우, 대상토에 비해 20%의 압축 지수 감소를 보였고, 첨가제인 산화철, 염화칼슘, 황산칼슘을 첨가한 생석회 혼합토의 경우에서 압축지수가 30% 감소하는 것으로 나타나 생석회 및 각종 첨가제 첨가가 해성 퇴적점토의 압밀특성을 개선하는데 효과적인 것으로 분석되었다.
- (2) 토양의 산성화에 따른 압밀특성을 분석한 결과, 생석회 혼합토의 pH가 낮아질수록 압축지수가 증가하는 경향을 나타내었다. 반면에, 생석회 혼합토에 비하여 첨가제를 첨가한 생석회 혼합토에서 압축지수는 첨가제에 따라 6%~11% 감소되었고, 선형압밀 하중은 크게 증가되어 첨가제를 첨가한 생석회 혼합토에서 정규 압밀점토가 과 압밀점토의 거동으로 개선되는 효과가 있음이 발견되었다.
- (3) 지반의 산성화는 생석회 및 각종 첨가제를 첨가한 생석회 혼합토의 압밀특성 및 수리특성에 악영향을

미치며, 이를 개선하기 위한 첨가제로써 염화칼슘과 산화철이 가장 효과적인 것으로 나타났다.

#### 참 고 문 헌

1. 김계영, 유병욱, 주재우(1992), "석회 및 연탄재 안정처리토의 압밀특성에 관한 연구", 한국농공학회지, 제34권, 제4호, pp.48-58.
2. 민덕기, 황광모, 강문기(2000), "울산 퇴적 점토의 화학적, 광물학적 특성", 한국지반공학회논문집, 제16권, 제6호, pp.51-58.
3. 민덕기, 황광모, 박근호(2001), "석회 및 화학첨가제에 의한 건설잔토의 안정처리", 한국지반공학회논문집, 제17권, 4호, pp.145-151.
4. 민덕기, 황광모, 김현도, 황백진(2002a), "Rice husk ash를 이용한 토질안정처리", 한국지반공학회논문집, 제18권, 5호, pp.19-25.
5. 민덕기, 황광모, 최규환(2002b), "변곡점에 의한 신속 압밀시험", 한국지반공학회논문집, 제18권, 제4호, pp.85-93.
6. Biswas, B. R.(1972), "Study of Accelerated Curing and Other Factors Influencing Soil Stabilization", Ph.D Dissertation, Texas A&M University, Texas.
7. Eades, J. L., and Grim, R. E.(1966), "A Quick Test to Determine Lime Requirements for Lime Stabilization", *Highway Research Record*, No.139, pp.62-72.
8. Jose, B. T. et al(1989), "Log-Log Method for Determination of Preconsolidation Pressure", *GTJ*, ASTM, Vol.12, No.3, pp.230-237.
9. Rajasekaran, G., Murali, K., and Srinivasaraghavan, R.(1997), "Effects of Chlorides and Sulphates on Lime Treated Marine Clays", *Soils and Foundations*, Vol.37, No.2, pp.105-115.
10. Ramesh, H. N., Siva Mohan, M., and Sivapullaiah, P. V.(1999), "Improvement of Strength of Fly Ash with Lime and Sodium Salts", Vol.3, pp.163-167.
11. Sridharan, A., Sivapullaiah, P. V., and Ramesh, H. N.(1995), "Consolidation Behaviour of Lime Treated Sulphatic Soils", *Compression and Consolidation of Clayed Soils*, pp.183-188.
12. Tao-Wei Feng, Jia-Yih Lee, and Yi-Jiuan Lee(2001), "Consolidation Behavior of a Soft Mud Treated with Small Cement Content", *Engineering Geology*, Vol.59, pp.327-335.
13. National Lime Association(2000), "Technical Memorandum : Guidelines for Stabilization of Soils Containing Sulfates", *National Lime Association*, pp.1-8.

(접수일자 2003. 1. 3, 심사완료일 2003. 10. 16)