

공학석사 학위논문

생석회 및 일반토사를 이용한  
고함수비 점토의 재활용에  
관한 연구



이 논문을 제출함

2005년 2월

부경대학교 대학원

토목공학과

임창규

# 임창규의 공학석사 학위논문을 인준함

2004년 12월 23일

주 심 농공학박사 이 영 대 

위 원 공학박사 손 인 식 

위 원 공학박사 정 진 호 

# 목 차

표목차.....	III
그림목차.....	V
사진목차.....	VII
Abstract.....	VIII
<b>1 서론.....</b>	<b>1</b>
1.1 연구의 배경.....	1
1.2 연구의 목적.....	2
1.3 연구의 범위.....	3
<b>2 이론적 고찰.....</b>	<b>5</b>
2.1 생석회의 성질.....	5
<b>3 점토 및 일반토사에 대한 토질실험.....</b>	<b>7</b>
3.1 점토의 물성시험.....	7
3.2 점토의 유기물 함유량 시험.....	8
3.3 점토와 생석회 혼합시 함수량 변화율.....	11
3.4 점토와 생석회의 중량비 혼합에 따른 토질실험.....	12

3.5 생석회로 혼합된 점토와 일반토사의 중량비 혼합에 따른 토질실험.....	18
3.5.1 일반토사의 물성시험.....	18
3.5.2 생석회로 혼합된 점토와 일반토사의 혼합에 따른 토질실험 .....	19

#### 4 생석회와 일반토사 중량비 혼합 결정에

따른 토질실험.....	34
4.1 노체에 대한 기준.....	34
4.2 생석회 및 일반토사의 혼합을 결정.....	35
4.3 결정된 혼합을 1:2.5에 대한 토질실험.....	36
4.4 사면 안정해석.....	39

5 결 론.....	41
------------	----

참고문헌.....	43
-----------	----

## 표 목차

표 3.1.1 점토 시료에 대한 물성시험 결과표.....	7
표 3.1.2 시료 채취날짜에 따른 자연함수비 비교.....	8
표 3.2.1 전기로법.....	10
표 3.2.2 중클롬산 용액 산화법.....	10
표 3.3.1 혼합시 함수 변화량 및 함수량 변화율.....	12
표 3.4.1 점토와 생석회 중량비 혼합 결과표.....	14
표 3.4.2 생석회 혼합비율에 따른 다짐시험과 CBR시험 결과 비교.....	14
표 3.4.3 생석회 혼합비율에 따른 직접전단강도와 일축압축강도 비교.....	17
표 3.5.1 일반토사 시료에 대한 물성시험 결과표.....	18
표 3.5.2 점토와 생석회와 일반토사의 중량비 혼합 결과표.....	21
표 3.5.3 일반토사 혼합비율에 따른 다짐시험과 CBR시험 결과 비교.....	22
표 3.5.4 일반토사 혼합비율에 따른 직접전단강도와 일축압축강도 비교.....	31
표 3.5.5 일반토사 혼합비율에 따른 압밀시험 비교.....	32
표 4.1.1 노체에 사용하는 재료의 품질 및 다짐.....	34
표 4.1.2 노체구비조건.....	35
표 4.3.1 점토와 생석회와 일반토사의 중량비 혼합 결과표.....	37

표 4.3.2 일반토사 혼합비율에 따른 다짐시험과 CBR시험 결과.....	37
표 4.3.3 일반토사 혼합비율에 따른 직접전단강도와 일축압축시험 결과.....	38
표 4.3.4 일반토사 혼합비율에 따른 압밀시험 결과.....	38
표 4.3.5 노체구비조건.....	39
표 4.4.1 사면해석에 적용한 토질정수값.....	40

## 그림 목차

그림 1.1 연구대상지역 위치도.....	4
그림 3.3.1 생석회 혼합시 함수비의 변화추이.....	11
그림 3.4.1 다짐시험[점토+생석회(5.0%)]......	15
그림 3.4.2 다짐시험[점토+생석회(7.5%)]......	15
그림 3.4.3 다짐시험[점토+생석회(10.0%)]......	16
그림 3.4.4 다짐시험[점토+생석회(12.5%)]......	16
그림 3.5.1 {[점토+생석회(5.0%)] + 일반토사(1:1.0)}일 경우.....	23
그림 3.5.2 {[점토+생석회(5.0%)] + 일반토사(1:1.5)}일 경우.....	23
그림 3.5.3 {[점토+생석회(5.0%)] + 일반토사(1:2.0)}일 경우.....	24
그림 3.5.4 {[점토+생석회(5.0%)] + 일반토사(1:3.0)}일 경우.....	24
그림 3.5.5 {[점토+생석회(7.5%)] + 일반토사(1:1.0)}일 경우.....	25
그림 3.5.6 {[점토+생석회(7.5%)] + 일반토사(1:1.5)}일 경우.....	25
그림 3.5.7 {[점토+생석회(7.5%)] + 일반토사(1:2.0)}일 경우.....	26
그림 3.5.8 {[점토+생석회(7.5%)] + 일반토사(1:3.0)}일 경우.....	26
그림 3.5.9 {[점토+생석회(10.0%)] + 일반토사(1:1.0)}일 경우.....	27
그림 3.5.10 {[점토+생석회(10.0%)] + 일반토사(1:1.5)}일 경우.....	27
그림 3.5.11 {[점토+생석회(10.0%)] + 일반토사(1:2.0)}일 경우.....	28
그림 3.5.12 {[점토+생석회(10.0%)] + 일반토사(1:3.0)}일 경우.....	28
그림 3.5.13 {[점토+생석회(12.5%)] + 일반토사(1:1.0)}일 경우.....	29
그림 3.5.14 {[점토+생석회(12.5%)] + 일반토사(1:1.5)}일 경우.....	29
그림 3.5.15 {[점토+생석회(12.5%)] + 일반토사(1:2.0)}일 경우.....	30

그림 3.5.16 {[점토+생석회(12.5%)] + 일반토사(1:3.0)}일 경우.....	30
그림 4.3.1 다짐 및 CBR시험[점토+생석회(7.5%):일반토사] - 1:2.5.....	37
그림 4.3.2 직접전단시험[점토+생석회(7.5%):일반토사] - 1:2.5.....	38
그림 4.4.1 사면 해석용 단면도.....	40
그림 4.4.2 조성된 흙(1:2.5) 사면의 사면안정해석 결과.....	40

## 사진 목차

사진 1.1 고탐수비의 점토.....	4
----------------------	---

# A Study on the Reclaiming the Embankment Material from the High Water Content Clay by Mixing Quicklime and Sandy Soil

Chang-Kyu Lim

*Department of Civil Engineering, Graduate School,  
Pukyong National University*

## **Abstract**

This work reports results of our study on the most economic and effective method to reuse the useless very soft clays whose the natural moisture contents are higher than 130% as a useful refilling construction material. A large amount of 25,000m<sup>3</sup> of the soft clays lain to the depth of 5m from bottom of the river on which some part of a new highway will be constructed are entirely replaced by as much granular soils.

To make use of the soft clays as a useful refilling construction material without dumping them to other place like landfills, we have selected the method of making the mixture of the soft clays and some quicklimes and some general granular soils.

We have determined the optimum mixing rate by the weight of quicklimes and general granular soils, and then experimentally examined the suitability of the mixture for a foundation material of the

highway. From the results of the various soil tests, the optimum mixing rates have been determined to be 7.5% for quicklimes and 1:2.5 for general granular soils by the wet weight of the high moisture content clays.

We have successfully used the mixture made by field construction equipment in the optimum mixing rate as construction materials not only for the subgrade of the new highway but also embankment for preloading to improve the soft soil under the ground surface on which the new highway will be constructed.

# 제1장 서 론

## 1.1 연구의 배경

도시화, 산업화로 인한 도로건설이 증가하고 있으며, 이러한 건설공사에 필요한 양호한 기초지반은 한정되어 있다. 또한, 계획된 도로부지 지반아래 비교적 얇은 두께의 고함수비 점토가 분포되어 있을 경우 도로 기초지반으로서 적절히 양호한 흙으로 치환할 필요가 있다. 이 경우 고함수비 점토의 사토처리가 수반되는 등의 문제점을 야기시키므로 고함수비 점토를 도로 기초지반으로 재활용하기 위한 연구의 필요성이 증대하고 있다. 해안 및 하구지역을 중심으로 형성된 해성 퇴적점토는 고함수비의 연약한 점토로서 소정의 전단강도를 기대할 수 없으며, 이러한 고함수비의 연약 점토지반상에 도로용 제방을 성토할 경우 장기적인 침하를 유발하는 등의 공학적 문제점을 발생시키고 있다. Tao-Wei Feng 등(2001)에 의하여 염분 및 유기물 함유량이 높아 매립에 의존하던 해성 퇴적점토에 생석회 등을 혼합하는 방법으로 공학적 성질을 개선하고, 지반안정화를 꾀하기 위한 연구가 수행되었다. 민덕기 등(2001, 2003)에 의하면 생석회를 이용한 안정처리는 첨가제의 첨가량, 흙의 구성성분 등의 원인뿐 아니라, 외부의 환경적 원인에 의하여 그 반응성에 큰 영향을 받는다. 그리고 생석회 안정처리 효과를 더욱 증대시킬 목적으로 염화칼슘, 황산마그네슘 등의 화학적 첨가제를 첨가한 연구사례 및 fly ash, 화산재, rice husk ash 등과 같은 포졸란 재료를 첨가한 연구가 수행된바 있다.

현재 시공중인 다대항 배후도로 건설 2단계 덕천LC 공사장내의 도로신설 예정부지가 낙동강 연변을 따라 설계되어 있고 그 기초지반에는 두께

5m이내의 고탐수비의 퇴적점토층이 폭넓게 분포되어 있다. 도로건설을 위한 계획고까지 성토계획이 수립되어 있으나 도로용 제방을 성토할 경우 하부의 고탐수비 점토가 도로용 제방 측면 위로 용기되는 현상이 발생하게 되며 이는 강의 유수단면적이 줄어들어 우천시 인접한 농지로 유수가 유입될 수 있는 원인이 되어 이로 인해 농작물의 피해가 예상되는바 계획된 도로부지 지반 아래에 분포하고 있는 이들 고탐수비의 점토를 사토시킴 필요성이 제기되고 있다. 본 연구에서는 고탐수비의 점토를 사토시키기 위한 함수비의 저감대책 뿐만 아니라 더 나아가서 연약지반 개량시 사용될 재하중 성토재료 및 도로 노체 흙으로서의 재활용을 위한 생석회 적용성에 대해서 연구하고 저 한다.

## 1.2 연구의 목적

본 연구는 현재 시공중인 다대항 배후도로 건설 2단계 덕천 IC공사장 내에서 발생한 약 50,000m<sup>3</sup>의 고탐수비의 점토에 대하여

- 1)사토시키기 위한 함수비 저하 대책
- 2)본 공사장내에서 연약지반 개량을 위한 재하중 성토재료로서의 재활용
- 3)도로 노체용 흙으로서의 고탐수비 점토의 재활용

상기 연구 목적을 위해 생석회 및 일반토사를 이용하고 저 한다. 적절한 함수비의 저감을 도모하기 위한 생석회의 혼합율을 결정하고, 재하중 성토재료 및 노체 흙으로서 재활용하기 위한 적절한 생석회 및 일반토사의 혼합율을 결정함이 본 연구의 목적이다.

### 1.3 연구의 범위

<그림 1.1>은 현장의 위치도를 나타냈으며, <사진 1.1>은 고함수비의 점토를 보여주는 사진이다. 본 연구의 목적 1)을 검토하기 위해 아래와 같은 토질실험을 수행하기로 하였다.

#### (가) 고함수비 점토와 생석회 혼합시험

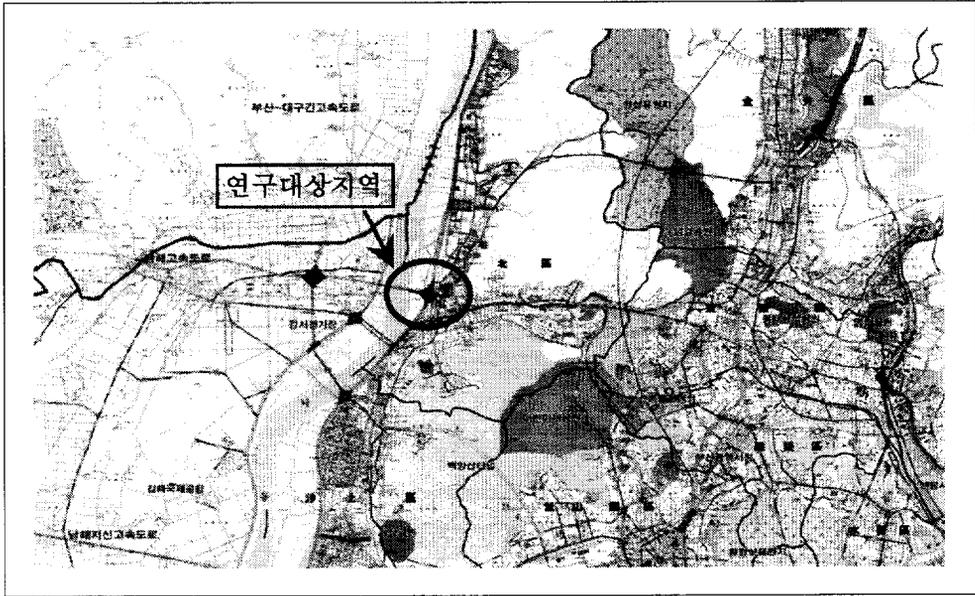
- 고함수비의 점토의 물리실험
- 생석회 혼합율 : 5.0, 7.5, 10.0, 12.5%
- 각 혼합율에 따른 토질실험  
: 다짐시험, 수정C.B.R 시험, 직접전단시험, 일축압축강도시험, 압밀시험

본 연구의 목적 2), 3)를 검토하기 위해 아래와 같은 토질실험을 수행하기로 하였다.

#### (나) 생석회 혼합 점토와 일반토사 혼합시험

- 일반토사의 물리실험
- 생석회 혼합 점토와 일반토사의 혼합율 : 1:1.0, 1:1.5, 1:2.0, 1:3.0
- 각 혼합율에 따른 토질실험  
: 다짐시험, 수정C.B.R 시험, 직접전단시험, 일축압축강도시험, 압밀실험

상기의 실험 결과로부터 가장 경제적이면서 재활용의 가능성이 있는 생석회의 혼합율과 일반토사의 혼합율을 제시하며, 제시된 혼합율(점토+생석회+일반토사)에 따라 조성된 흙에 대한 노체의 적합성 검토 및 성토된 제방사면의 안정해석을 수행한다.



<그림 1.1> 연구대상지역위치도



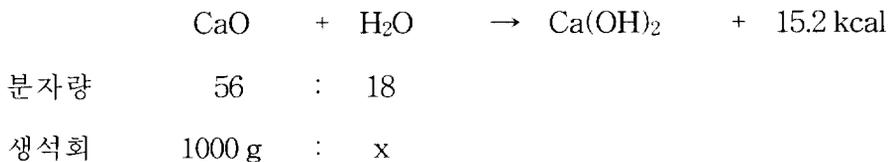
<사진 1.1> 고함수비의 점토

## 제 2 장 이론적 고찰

### 2.1 생석회의 성질

산소와 칼슘의 화합물로서 석회·생석회(生石灰)라고도 한다. 생석회의 화학적 분자식은 CaO, 분자량 56을 가지고 있으며, 석회석(CaCO<sub>3</sub>)을 소성(열분해)하여 얻어지는 산화칼슘(CaO)을 주성분으로 Quick Lime이라고도 한다. 일반적으로 백색을 띠며, 소피상으로 활성이 크고 산화중화력은 석회질 중 가장 강하므로 흡수성이 크며, 수화시 발열하여 용적이 팽창하므로 저장 및 사용시 물과의 반응에 의한 화상 및 가연물에 의한 화재발생에 주의를 요한다. 장기 보관 중에도 습기를 흡수하여 소석회(Ca(OH)<sub>2</sub>)가 되고 응고 및 풍화되기 쉬우므로 수송에 주의를 요한다.

생석회에 수분을 접촉시키면 생석회는 수분을 흡수하면서 수산화칼슘(소화)이 되며, 이때 급속한 발열반응을 일으킨다. 이 반응을 소화(slaking)반응이라고도 하며 반응식과 물질수지는 아래와 같다.

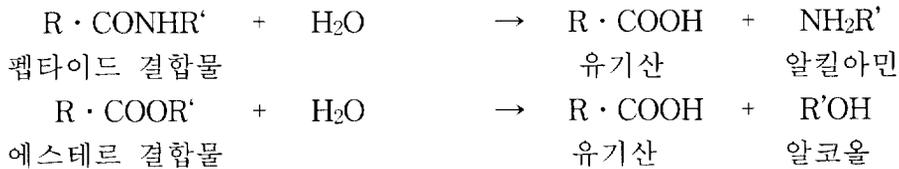


$$\text{소화 반응의 수량} = \frac{18 \times 1000}{56} = 321 \text{ g}$$

생석회 1 kg 당 소화반응의 수량은 0.321 kg이며, 반응할 때 발생열(생석회 56 g 당 상온(25°C)의 물 200 g을 끓게 할 수 있다.)로 인한 수분증발

도 다소 일어날 것이다. 또한 이 반응에서 방출되는 열에 의하여 대장균이나 병원성 미생물인 salmonella typhosa 등이 사멸되는 효과를 부수적으로 얻고 있다. 생석회의 소화반응과 함께 유기성물질 중 일부는 알칼리에 의한 가수분해 과정을 거쳐 분리되는 것으로 추정된다. 유기물 중 ester, amide, ether 결합 등을 갖는 물질은 80~100 °C 정도의 온도에서 산 또는 알칼리에 의해 가수분해되어 저분자로 되는데, 일반적으로 천연 고분자 중 glucoside 결합, 단백질의 peptide 결합, 핵산의 ester 결합 쪽이 더 용이하게 가수분해가 일어난다.

일반적으로 알려진 가수분해 반응식의 예는 다음과 같다.



생석회는 오래 전부터 냄새를 제거하거나 슬러지를 안정화하는데 사용되어 왔으며 생석회의 주 반응은 소화반응과 유기성물질의 가수분해 반응이다. 음식물쓰레기, 인분, 축분, 도축 폐기물 등의 유기성 폐기물을 생석회와 혼합하여 토지를 안정화시키는 작용을 한다. 또한, 혼합처리기에 대상 폐기물과 생석회를 혼합 및 교반 시키면 폐기물에 함유된 수분과 생석회 사이에서 발열반응이 일어나 혼합기 내부온도가 100~130 °C 가 되고, 이때 발생하는 열량을 이용하여 유기성 폐기물에 함유된 수분을 감량시킨다. 또한, 일부는 알칼리에 의한 가수분해 과정을 거쳐 유기성분이 분리되며 동시에 생석회 중의 잡석은 혼합기 내에서 분쇄작용을 하여 유기성폐기물을 안정화 시키는 작용을 한다.

## 제 3 장 점토 및 일반토사에 대한 토질실험

### 3.1 점토의 물성시험

점토 시료에 대한 기본적인 물성에 대하여 정리를 하면 <표 3.1.1>과 같다. 이 표에 나타난 물성시험 결과는 시료를 채취한 시료에 한하여 시험된 값이다.

또한, 시료 채취날짜에 따른 자연함수비가 다소 차이를 나타내고 있어 <표 3.1.2>에 시료 채취날짜에 따른 자연함수비 비교를 하였으며, 생석회 혼합시 동일한 자연함수비를 유지하도록 하였다.

<표 3.1.1> 점토 시료에 대한 물성시험 결과표

시 험 항 목		고함수비 점토			
		4월 2일		4월 12일	
		자연건조상태	노건조상태	자연건조상태	노건조상태
자연함수비		79.17 %		138.34 %	
비 중		2.75		2.75	
액성한계		64.55 %	40.02 %	65.30 %	41.65 %
소성한계		-	19.61 %	-	19.87 %
소성지수		-	20.41 %	-	21.78 %
No.200번체 통과량		98.48 %		98.59 %	
다짐시험	최대건조밀도	1.095 g/cm <sup>3</sup>	1.143 g/cm <sup>3</sup>	1.071 g/cm <sup>3</sup>	1.097 g/cm <sup>3</sup>
	최적함수비	45.41 %	39.82 %	46.39 %	41.17 %
흙 분류		OH		OH	

<표 3.1.2> 시료 채취날짜에 따른 자연함수비 비교

채취날짜	자연함수비	비 고
2003. 4. 2.	79.17 %	점토 + 생석회(5.0%)
2003. 4. 7.	156.29 %	점토 + 생석회(7.5%, 10.0%, 12.5%)
2003. 4. 12.	138.19 %	【점토 + 생석회(5.0%, 7.5%, 10.0%, 12.5%)】 + 일반토사 혼합비율 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:3
2003. 4. 14.	138.74 %	
2003. 4. 28.	138.34 %	【점토 + 생석회(7.5%)】 + 일반토사 중량비 혼합비율 1:2.5

※ 시료를 채취하여 운반하는 과정에 시료를 밀봉하지 않았으며, 운반시 충격과 중력으로 인하여 물이 고여 있는 현상이 있었음.

### 3.2 점토의 유기물 함유량 시험

점토의 유기물 함유량 시험을 통하여 유기물 함유량을 측정하였으며 유기물 함유량 시험은 시료를 고온으로 가열하거나 화학적 산화로 시료 속에 포함된 동·식물 부패과정에서 생긴 잔적물(유기물)이 소거되는 무게를 측정하는 것이 목적이며, KS F2104-88(98)에 제시되어 있고 시험방법으로는 전기로법(연소로법)과 중크롬산 용액 산화법(화학산화법)이 있다.

전기로법은 110℃로 건조시킨 무게와 시료에 함유된 무기물량과 화합수나 결정수를 700~800℃의 고온으로 태워 없앤 무게 차이를 유기물 함유량으로 정의한다. 다만, 전기로에서 반복 가열한 후 무게가 항량(恒量)에

도달된 여부에 따라 시험의 정밀도가 좌우된다. 이 구별방법은 유기물질이 연소된 흡 시료에 백금선을 넣어 흑색으로 변하면 일정 무게에 도달한 것으로 판단한다.

화학산화법은 중크롬산 칼륨 용액의 산화력이 흡 속의 유기물 중의 탄소가 산화·반응하여 탄산가스로 변할 때의 진한 황산의 회색열을 이용하는 시험법이다. 1N 중크롬산 칼륨 용액( $K_2Cr_2O_7$ )에 디펠닐아민  $[(C_6H_5)_2NH]$  과 황산( $H_2SO_4$ )을 섞은 “피적정액”에 ‘적정제’{0.5N 황산 제1철암모늄  $[FeSO_4(NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O]$ }을 떨어뜨려서 연두색으로 변할 때의 떨어뜨린 적정제의 양을 구한다. 이처럼 어딘 용액을 다른 용액에 떨어뜨려서 혼합된 용액의 색깔이 분명하게 변한 때를 종말점, 떨어뜨린 양을 적정량이라 한다. 피적정 용액에 인산( $H_3PO_4$ )을 섞으면 종말점이 분명하게 나타나고, 불화나트륨( $NaF$ )을 넣으면 흡 속의 2산화망간( $MnO_2$ ) 따위에 영향에 따른 오차가 감소되는 효과가 있다.

<표 3.2.1>과 <표 3.2.2>는 시험방법에 따른 결과를 나타낸 것이다.

전기로법으로 측정한 유기물 함유량은 평균 9.13%였으며, 화학 산화법으로 측정한 유기물 함유량은 평균 1.90%였다. 이들 시험의 결과의 차이가 나타나는 것은 구성된 유기물질의 종류에 따라 두 시험법의 결과의 차이가 나타남을 알 수 있으며 본 연구에서는 전기로법에 의한 결과를 유기물 함유량으로 채택하였다.

<표 3.2.1> 전기로법 (Ignition furnace method)

시료번호 시험 항목		점토 (4월9일 ~12일)			점토 (4월12일 ~15일)			
		1	2	3	1	2	3	
도가니 번호(Crumble No.)								
무 계 g	도가니 + 건조토, $W_a$							
	도가니 + 연소토, $W_b$							
	도가니, $W_c$							
	건조토, $W_s$	2.505	2.527	2.507	2.502	2.499	2.503	
연소후 소거량, $W_o$		0.241	0.242	0.233	0.222	0.221	0.215	
유기물 함유율( $L_i$ , %)		each	9.62	9.58	9.29	8.87	8.84	8.59
		ave.		9.50			8.76	

<표 3.2.2> 중크롬산 용액 산화법 ; Bichromate( $K_2Cr_2O_7$ ) solution method

시료번호 시험 항목		점토 (4월9일 ~12일)			점토 (4월12일 ~15일)		
Flask No.(+ $W_s$ ; 시료 있음)							
노건조시킨 시료 무게( $W_s$ , g)			1.011			1.006	
$W_s + 0.5N[FeSO_4(NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O]$ 을 넣고 滴定한 Burette 눈금	시작( $T_1$ )						
	종말( $T_2$ )						
	$\Delta T$ , cc	8.7	8.7	8.8	8.8	8.9	8.6

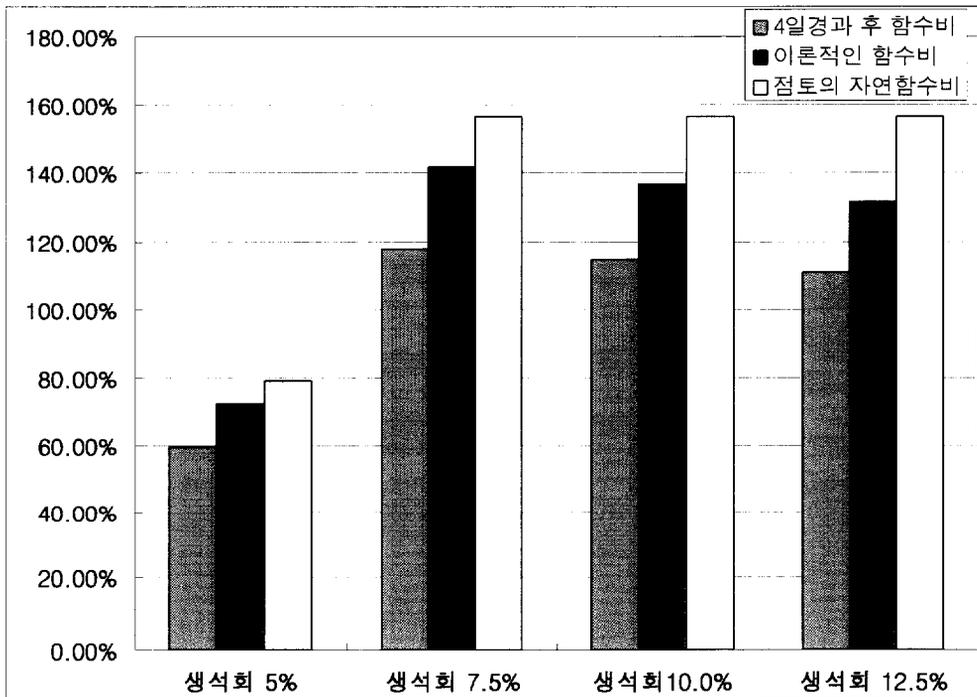
Flask No.(+ $W_s$ ; 시료 없음)							
0.5N $[FeSO_4(NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O]$ 을 넣고 滴定한 Burette 눈금	시작( $T_1$ )						
	종말( $T_2$ )						
	$\Delta S$ , cc	12.2	12.4	12.3	12.3	12.1	12.2
	Factor(f)		12.3			12.2	
유기물 함유율 Organism content ( $C_o$ , %)	$\Delta S - \Delta T, cc$		3.6			3.4	
	도가니						
	평균치		1.94			1.86	

$$L_i = \frac{W_a - W_b}{W_a - W_c}, \quad C_o(\%) = \frac{0.335f(\Delta S - \Delta T)}{W_s}$$

### 3.3 점토와 생석회 혼합시 함수량 변화율

점토와 생석회 혼합시 함수 변화량 및 함수량 변화율을 <표 3.3.1>에 나타내었다. 여기서 생석회 혼합율은 고탄수비 점토의 중량에 대한 생석회 중량의 백분율로 나타낸 것이다.

<표 3.3.1>에서 알 수 있듯이 함수량 변화율(%)은 24.54 ~ 28.89%로서 생석회의 혼합율에 따른 함수량(물의 량)의 감소효과는 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 따라서 함수비의 변화도 38.36 ~ 45.15%로 감소되어짐을 알 수 있다.(자연함수비 156.29% 기준)



<그림 3.3.1> 생석회 혼합시 함수비의 변화추이

<표 3.3.1> 혼합시 함수 변화량 및 함수량 변화율

구 분	점토 + 생석회(5%)	점토 + 생석회(7.5%)	점토 + 생석회(10%)	점토 + 생석회(12.5%)
점토의 중량, (g)	6987	9760	7460	8900
자연 함수비, (%) $w_1$	79.17	156.29	156.29	156.29
물의 중량, (g) $W_w$	3087.35	5951.81	4549.23	5427.37
흙 입자의 중량, (g) $W_s$	3899.65	3808.19	2910.77	3472.63
4일 경과시 함수비, (%) $w_2$	59.63	117.93	114.85	111.14
물의 중량, (g) $W_{w1}$	2325.36	4490.99	3343.01	3859.48
흙입자의 중량, (g) $W_s$	3899.65	3808.19	2910.77	3472.63
함수 변화량, (g) $\Delta W_w (= W_w (w_2 - w_1))$	-761.99	-1460.82	-1206.22	-1567.89
함수량 변화율, (%) $M(= \frac{\Delta W_w}{W_w} \times 100)$	24.68	24.54	26.51	28.89
생석회 중량	349.35	732.00	746.00	1112.50
소화반응의 수량, (g) $w'_1$	112.29	235.29	239.79	357.59
반응열 (kcal)	94.82	198.68	202.49	301.96
기화 수량, (g) $w'_2$	154.43	323.58	329.79	491.79
총 수 량, (g) $W_{w2} = w'_1 + w'_2$	266.72	558.87	569.58	849.38
생석회 반응 후 함수비, (%) $(= \frac{W_w - W_{w2}}{W_s} \times 100)$	72.33	141.61	136.72	131.83

### 3.4 점토와 생석회의 중량비 혼합에 따른 토질실험

고함수비의 점토와 생석회의 소정의 혼합율에 따른 다짐시험과 수정 CBR시험, 일축압축강도시험, 직접전단시험을 수행하였다. 이를 위해 생석회의 혼합비율을 고함수비 점토의 중량비로서 5.0%, 7.5%, 10.0%, 12.5%로 결정하였으며, 혼합 후 4일간 방치시켜 두었다. 혼합방법은 각종시험에 따른 총 점토시료의 1/5과 중량비에 따른 총 생석회의 1/5씩을 5분간 인위적으로 혼합한 후 다시 1/5씩 증가하는 방법으로 혼합하였다. <표 3.4.1>은 고함수비의 점토와 소정의 혼합율로 생석회를 섞어 조성한 시료에 대한 혼합 결과를 나타낸 표이다.

생석회 혼합비율에 따른 다짐시험과 CBR시험 결과는 <표 3.4.2>에 나타내었으며, 다짐시험방법은 표준다짐시험인 A방법을 사용하였고 CBR시험은 다짐시험에서 구한 최적함수비(O.M.C)로 조성한 후 시험을 하여야 하나 현장에서의 시공 여건을 고려하면 최적함수비로 조성함이 사실상 어려우므로 본 연구에서는 고함수비의 점토와 생석회를 소정의 혼합율로 혼합하여 4일간 방치한 다음, 이로 인해 조정된(감소된) 함수비 상태에서 10회, 25회, 55회로 다진 후 4일간 수침하여 CBR 관입시험을 수행하였다.

<표 3.4.2>에서 보인 바와 같이 최대건조밀도의 범위는  $1.102 \sim 1.246\text{g/cm}^3$ 이고 최적함수비(O.M.C)의 범위는 25.72 ~ 32.05%이다. 생석회 혼합율, 5.0%가 최대건조밀도가 크게 나온 이유는 초기 자연함수비가 다른 날짜에 채취된 점토보다 작기 때문이다. 다짐시험에서 O.M.C의 습윤축 다짐곡선은 포화도 80%, 90% 선에 들어 있으며 이를 <그림 3.4.1> ~ <그림 3.4.4>에 나타내었다. CBR시험에서 수침 후 관입시험 결과 생석회 혼합율 5.0%, 7.5%, 10.0%, 12.5% 모두에 대해 CBR값이 0%가 되어 수정 CBR값은 0%가 됨을 알 수 있다. 따라서 본 실험에서 고함수비 점토에

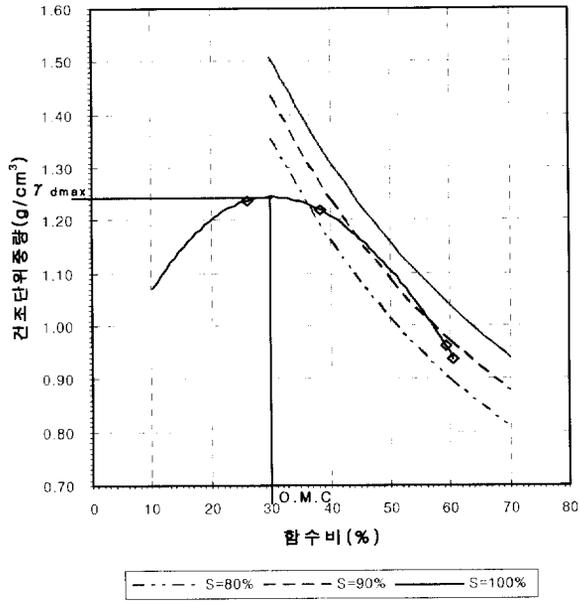
대한 생석회 혼합의 효과는 함수비의 감소효과만 있을 뿐, 그 이외의 개량 효과는 없는 것으로 보인다.

<표 3.4.1> 점토와 생석회 중량비 혼합 결과표

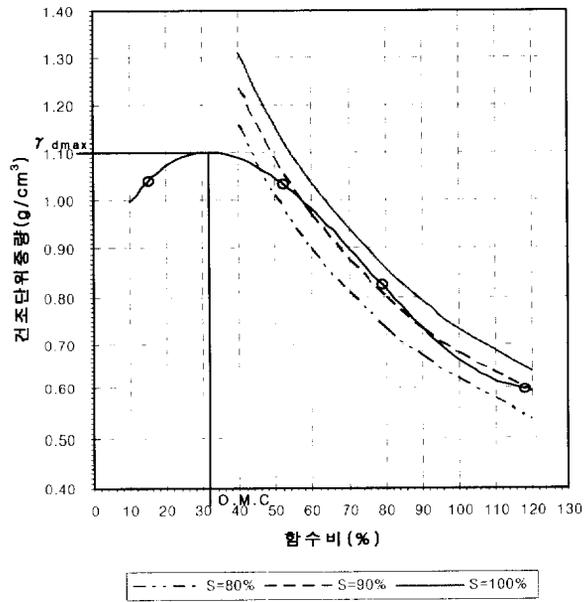
구 분	점토 중량		생석회 중량 (g)	자연 함수비 (%)	점토+생석회 혼합 4일 경과 후 함수비
	시험항목	시료량 (g)			CBR시험 수침 후 함수비
점토+생석회 (5.0%) 혼합	다짐시험	6987	349.35	79.17	59.63 %
	CBR시험	15777	788.85		54.86 %
점토+생석회 (7.5%) 혼합	다짐시험	9760	732.00	156.29	117.93 %
	CBR시험	18189	1364.18		108.50 %
점토+생석회 (10.0%) 혼합	다짐시험	7460	746.00	156.29	114.85 %
	CBR시험	18188	1818.80		105.66 %
점토+생석회 (12.5%) 혼합	다짐시험	8900	1112.50	156.29	111.14 %
	CBR시험	18190	2273.75		102.25 %

<표 3.4.2> 생석회 혼합비율에 따른 다짐시험과 CBR시험 결과 비교

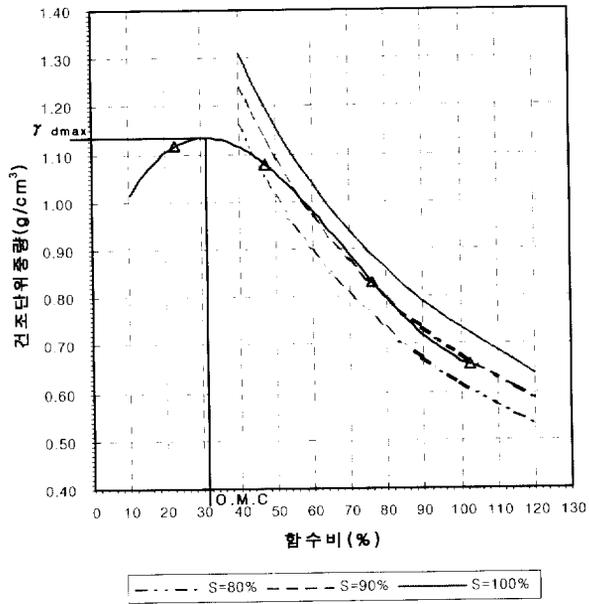
생석회 혼합비율	점토의 자연함수비	CBR시험 수침 후 함수비	최대건조 단위중량	최적함수비 (O.M.C)	수정 CBR
5.0 %	79.17 %	54.86 %	1.246 (g/cm <sup>3</sup> )	30.03 %	0 %
7.5 %	156.29 %	108.50 %	1.102 (g/cm <sup>3</sup> )	32.05 %	0 %
10.0 %	156.29 %	105.66 %	1.138 (g/cm <sup>3</sup> )	31.45 %	0 %
12.5 %	156.29 %	102.25 %	1.168 (g/cm <sup>3</sup> )	25.72 %	0 %



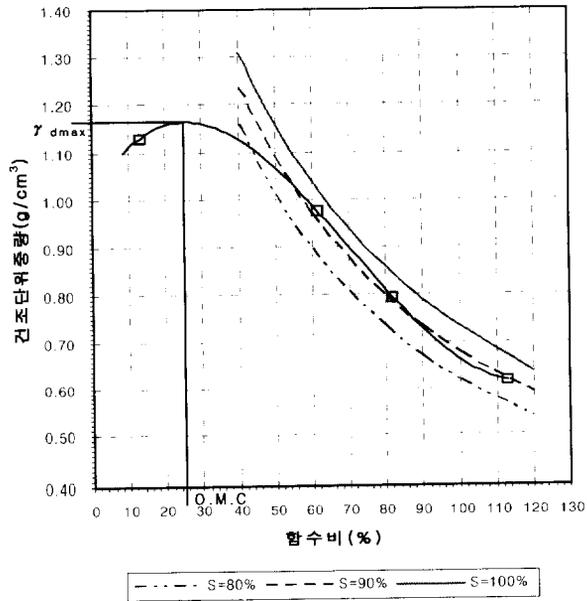
<그림 3.4.1> 다짐시험 [점토+생석회(5.0%)]



<그림 3.4.2> 다짐시험 [점토+생석회(7.5%)]



<그림 3.4.3> 다짐시험 [점토+생석회(10.0%)]



<그림 3.4.4> 다짐시험 [점토+생석회(12.5%)]

생석회 혼합비율에 따른 직접전단시험과 일축압축시험 결과를 <표 3.4.3>에 수록하였으며, 직접전단시험과 일축압축시험에 사용된 시료는 CBR시험에서 55회로 다진 후 4일간 수침시킨 몰드에서 샘플링하여 시험을 수행하였다.

**<표 3.4.3> 생석회 혼합비율에 따른 직접전단강도와 일축압축강도 비교**

생석회 혼합비율	자연함수비	CBR시험 수침 후 함수비	직접전단강도시험		일축압축강도시험 $q_{ur}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
			c (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	
5.0 %	79.17 %	54.86 %	0.019	5.2	0.074
7.5 %	156.29 %	108.50 %	0.036	12.4	0.031
10.0 %	156.29 %	105.66 %	0.040	15.7	0.050
12.5 %	156.29 %	102.25 %	0.045	19.7	0.070

<표 3.4.3>에서 보인 바와 같이 생석회 중량비 혼합비율에 따른 직접전단시험결과를 보면 점착력(c)은 0.019 ~ 0.045kg/cm<sup>2</sup>를 나타내었으며, 내부마찰각( $\phi$ )은 5.2 ~ 19.7°로 나타났다. 일축압축강도시험 결과를 보면 0.031 ~ 0.070kg/cm<sup>2</sup>로 매우 작은 강도로 나타났다. 이는 생석회를 혼합한 결과 함수비의 감소가 발생하였더라도 여전히 고함수비를 가진 상태이므로 강도의 상승효과는 얻을 수 없음을 나타낸다. 따라서, 156.2%의 고함수비를 점토를 가지고 있는 현장에서 점토를 사토시키기 위하여 덤프트럭의 적제시 함수비의 감소효과를 도모하기 위한 생석회 처리방안은 효과가 있을 것으로 보인다.

### 3.5 생석회로 혼합된 점토와 일반토사의 중량비 혼합에 따른 토질시험

#### 3.5.1 일반토사의 물성시험

덕천I.C. 현장에서 채취한 점토 시료와 썩기 위한 일반토사의 물성시험 결과를 <표 3.5.1>에 수록하였다. 4월 2일 채취된 토사는 통일분류법으로 CL로 분류되어 본 연구의 목적에 부합되지 않기에 사용하지 않고 4월 12일 채취된 실트질모래 SM으로 분류되는 토사를 사용하였으며 일반토사라고 명칭하기로 한다.

<표 3.5.1> 일반토사 시료에 대한 물성시험 결과표

시 험 항 목		토 사	
		4월 2일 채취 토사	4월 12일 채취 토사
자연함수비		29.49 %	11.80 %
비 중		2.68	2.66
액성한계		35.35 %	N.P
소성한계		12.62 %	N.P
소성지수		22.73 %	N.P
No.200번체 통과량		61.32 %	19.31 %
다짐시험	최대건조밀도	1.478 g/cm <sup>3</sup>	1.941 g/cm <sup>3</sup>
	최적함수비	22.46 %	9.45 %
흙 분류		CL	SM

### 3.5.2 생석회로 혼합된 점토와 일반토사의 혼합에 따른 토질실험

생석회와 혼합된 점토와 일반토사와의 혼합으로 조성된 시료에 대하여 현장의 연약지반의 성토재료 및 노체재료로서 고탍수비의 점토를 재활용할 수 있는지의 여부를 검토하기 위해 다짐시험, 수정CBR시험, 일축압축시험, 직접전단시험, 압밀시험을 수행하였다. 이를 위해 우선, 생석회의 혼합비율을 고탍수비 점토에 대한 중량비로서 5.0%, 7.5%, 10.0%, 12.5%로 결정하였으며, 혼합 후 4일간 방치한 뒤, 일반토사를 중량비율로 1:1.0, 1:1.5, 1:2.0, 1:3.0으로 혼합하여 시료를 조성하였다. 혼합방법은 총 점토시료의 1/5과 중량비에 따른 총 생석회의 1/5씩을 5분간 인위적으로 혼합한 후 다시 1/5씩 증가하는 방법으로 혼합하였으며, 4일간 자연상태로 유지한 후 일반토사를 점토와 생석회의 혼합방법과 동일하게 혼합하였다.

<표 3.5.2>은 점토와 생석회와 일반토사 중량비 혼합 결과를 나타낸 표이다. 다짐시험에 사용한 점토의 자연함수비는 138.19%였으며, 소정의 생석회 혼합율인 5, 7.5, 10, 12.5%로 조성한 후, 4일간 방치함으로서 91.20 ~ 84.50%까지의 함수비의 경감효과를 얻을 수 있었다. 이 후 소정의 생석회 혼합율로 조성된 점토에 대해서 일반토사를 각각 1:1.0, 1:1.5, 1:2.0, 1:3.0의 중량비율로 혼합시켜 조성된 시료에 대해서, 5%의 생석회 혼합 점토에 대해서는 40.13 ~ 25.54%까지, 7.5%의 생석회 혼합 점토에 대해서는 37.90 ~ 22.80%까지, 10%의 생석회 혼합 점토에 대해서는 37.44 ~ 25.96%까지, 12.5%의 생석회 혼합 점토에 대해서는 37.35 ~ 23.66%까지의 함수비 경감효과를 얻을 수 있었다. 이는 일반토사가 혼합됨으로서 흙입자의 중량 증가로 인해 함수비의 감소효과가 나타남을 의미한다. CBR 몰드 시료에 대해서도 비슷한 경향을 나타내며 CBR몰드 시료의 4일간 수침 후 소량의 함수비 변화를 보이는 것은 CBR몰드 시료 위에 올려놓

은 추의 중량에 의한 압축현상에 기인하는 것으로 판단된다. <표 3.5.3>는 생석회로 혼합된 점토에 대해 일반토사를 소정의 중량비율로 조성한 시료에 대해 실시한 다짐시험과 CBR시험 결과를 나타낸 것이다. 다짐시험방법은 표준다짐시험인 A방법을 사용하였고 CBR시험은 다짐시험을 통한 최적함수비(O.M.C)로 시험을 하여야 하나 현장여건상 어려우므로 점토와 생석회 그리고 일반토사를 소정의 혼합율로 혼합하였을 때 얻어지는 함수비 상태에서 10회, 25회, 55회로 다진 후 4일간 수침하여 CBR 관입시험을 수행하였다.

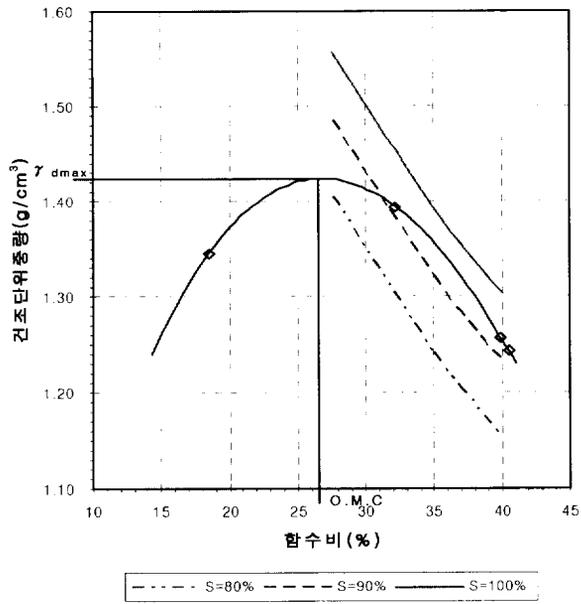
<표 3.5.3>에서 보인 바와 같이 다짐시험에서 일반토사 혼합비율에 따라 최대건조밀도의 범위는  $1.434 \sim 1.722\text{g/cm}^3$ 이고 최적함수비(O.M.C)의 범위는 15.93 ~ 26.05%이다. CBR시험에서 수침 후 관입시험을 통한 수정 CBR값의 범위는 일반토사 혼합비율에 따라 0.74 ~ 4.37%로 나타났다. <그림 3.5.1> ~ <그림 3.5.16>은 다짐시험 결과를 나타낸 것이다.

<표 3.5.2> 점토와 생석회와 일반토사의 중량비 혼합 결과표

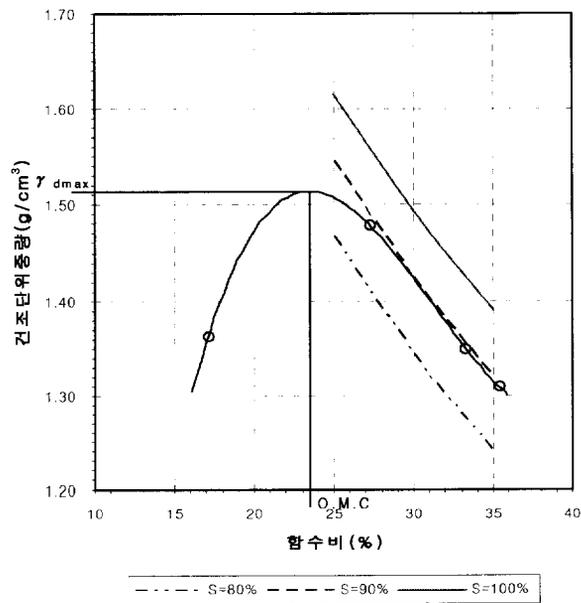
구 분	점 토 중 량		생 석 회 중 량 (g)	혼 합 중 량			점 토 자 연 함수비 (%)	점토+ 생석회 4일 경과시 함수비 (%)	점토+ 생석회 +토사 혼합시 함수비 (%)	CBR 시험 수침후 함수비 (%)
	시험항목	시료량 (g)		혼합비	중 량 (g)					
					점토+생석회	일반토사				
점토 + 생석회 (5%)	다검시험 혼합	20000	1000.00	1:1.0	2600	2600	138.19	91.20	40.13	-
				1:1.5	2910	4365			32.83	
				1:2.0	2560	5120			29.18	
				1:3.0	2860	8580			25.54	
	CBR시험 혼합	30000	1500.00	1:1.0	6000	6000	138.19	91.20	41.04	40.49
				1:1.5	5000	7500			32.83	32.36
				1:2.0	4000	8000			30.10	29.59
				1:3.0	3000	9000			26.45	25.94
점토 + 생석회 (7.5%)	다검시험 혼합	21560	1617.00	1:1.0	2500	2500	138.19	88.37	37.90	-
				1:1.5	2860	4290			31.54	
				1:2.0	2460	4920			29.07	
				1:3.0	3030	9090			22.80	
	CBR시험 혼합	35934	2695.05	1:1.0	6000	6000	138.19	88.37	40.53	39.99
				1:1.5	5000	7500			32.70	32.23
				1:2.0	4000	8000			28.00	27.53
				1:3.0	3000	9000			24.97	24.53
점토 + 생석회 (10%)	다검시험 혼합	18348	1834.80	1:1.0	2480	2480	138.19	89.53	37.44	-
				1:1.5	2040	3060			30.97	
				1:2.0	2130	4260			27.42	
				1:3.0	1860	5580			25.96	
	CBR시험 혼합	34558	3455.80	1:1.0	6000	6000	138.19	89.53	40.29	39.75
				1:1.5	5000	7500			32.23	31.77
				1:2.0	4000	8000			26.70	26.25
				1:3.0	3000	9000			24.17	23.71
점토 + 생석회 (12.5%)	다검시험 혼합	18220	2277.50	1:1.0	2820	2820	138.74	84.50	37.35	-
				1:1.5	2160	3240			28.73	
				1:2.0	2120	4240			25.72	
				1:3.0	1750	5250			23.66	
	CBR시험 혼합	34444	4305.50	1:1.0	6000	6000	138.74	84.50	39.72	39.19
				1:1.5	5000	7500			29.58	29.15
				1:2.0	4000	8000			27.04	26.14
				1:3.0	3000	9000			23.66	23.20

<표 3.5.3> 일반토사 혼합비율에 따른 다짐시험과 CBR시험 결과 비교

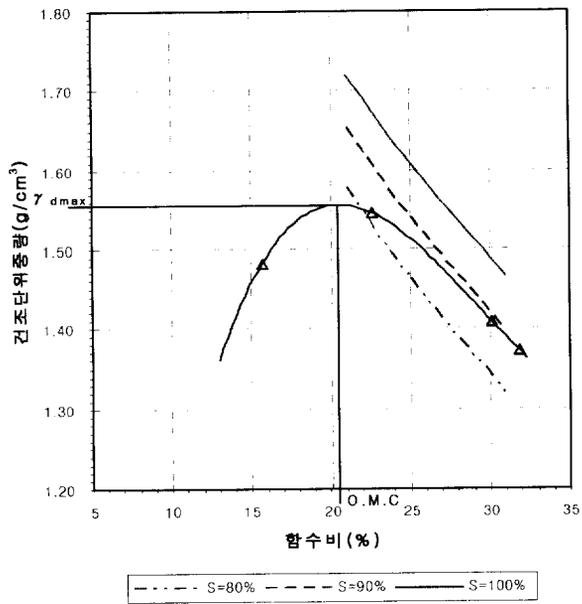
혼합비율		점토 자연함수비	CBR시험 수침 후 함수비	최대건조 단위중량	최적함수비 (O.M.C)	수정 CBR
생석회	일반토사					
5.0 %	1 : 1.0	138.19 %	40.49 %	1.427 (g/cm <sup>3</sup> )	26.62 %	0.74 %
	1 : 1.5		32.36 %	1.516 (g/cm <sup>3</sup> )	23.35 %	1.52 %
	1 : 2.0		29.59 %	1.557 (g/cm <sup>3</sup> )	20.57 %	2.36 %
	1 : 3.0		25.94 %	1.672 (g/cm <sup>3</sup> )	18.01 %	3.84 %
7.5 %	1 : 1.0	138.19 %	39.99 %	1.434 (g/cm <sup>3</sup> )	26.05 %	0.80 %
	1 : 1.5		32.23 %	1.523 (g/cm <sup>3</sup> )	22.22 %	1.63 %
	1 : 2.0		27.53 %	1.571 (g/cm <sup>3</sup> )	20.16 %	2.41 %
	1 : 3.0		22.53 %	1.683 (g/cm <sup>3</sup> )	16.57 %	4.23 %
10.0 %	1 : 1.0	138.19 %	39.75 %	1.449 (g/cm <sup>3</sup> )	25.69 %	0.82 %
	1 : 1.5		31.77 %	1.548 (g/cm <sup>3</sup> )	21.27 %	1.64 %
	1 : 2.0		26.25 %	1.587 (g/cm <sup>3</sup> )	18.76 %	2.45 %
	1 : 3.0		23.71 %	1.704 (g/cm <sup>3</sup> )	16.21 %	4.29 %
12.5 %	1 : 1.0	138.74 %	39.19 %	1.474 (g/cm <sup>3</sup> )	22.35 %	0.84 %
	1 : 1.5		29.15 %	1.560 (g/cm <sup>3</sup> )	19.97 %	1.66 %
	1 : 2.0		26.59 %	1.612 (g/cm <sup>3</sup> )	17.51 %	2.48 %
	1 : 3.0		23.20 5	1.722 (g/cm <sup>3</sup> )	15.93 %	4.37 %



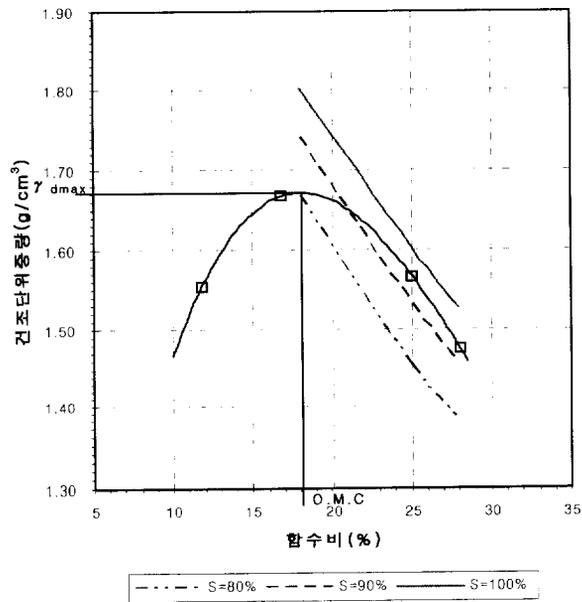
<그림 3.5.1> [[점토+생석회(5.0%)] + 일반토사(1:1.0)]일 경우



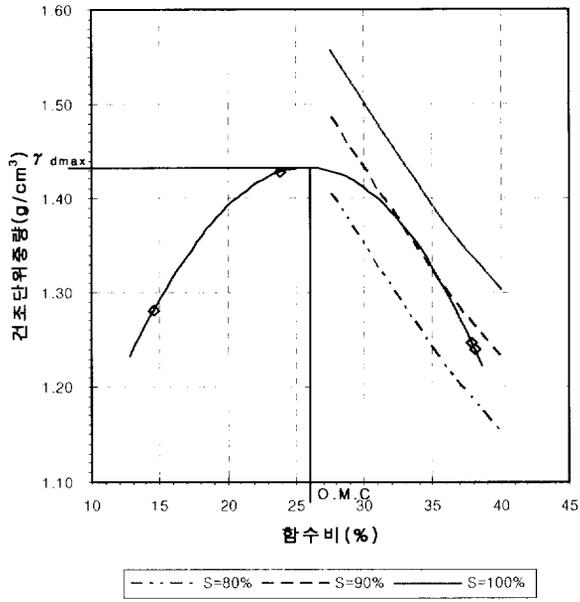
<그림 3.5.2> [[점토+생석회(5.0%)] + 일반토사(1:1.5)]일 경우



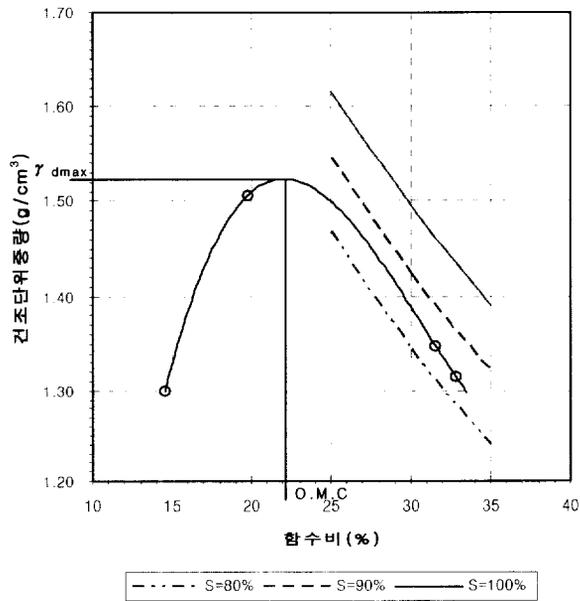
<그림 3.5.3> [[점토+생석회(5.0%)] + 일반토사(1:2.0)]일 경우



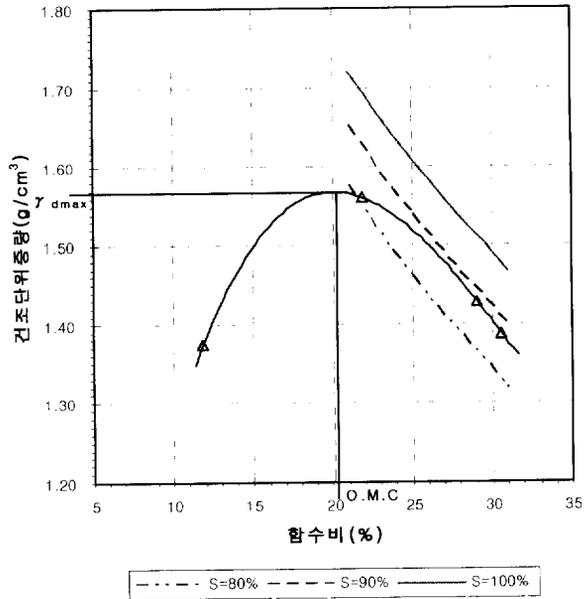
<그림 3.5.4> [[점토+생석회(5.0%)] + 일반토사(1:3.0)]일 경우



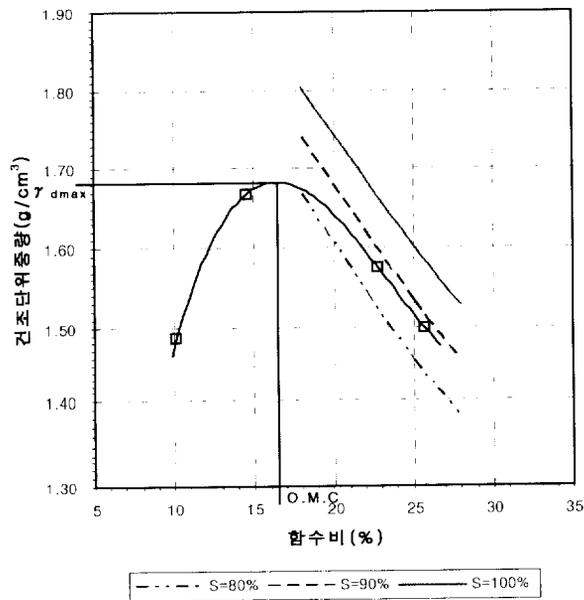
<그림 3.5.5> [[점토+생석회(7.5%)] + 일반토사(1:1.0)]일 경우



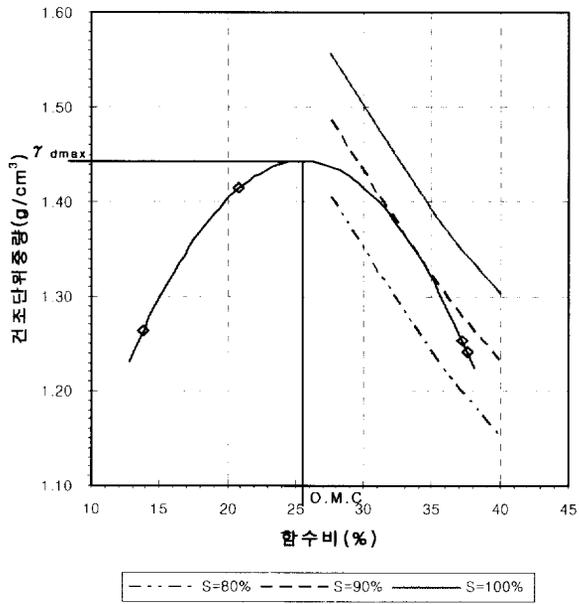
<그림 3.5.6> [점토+생석회(7.5%)] + 일반토사(1:1.5)]일 경우



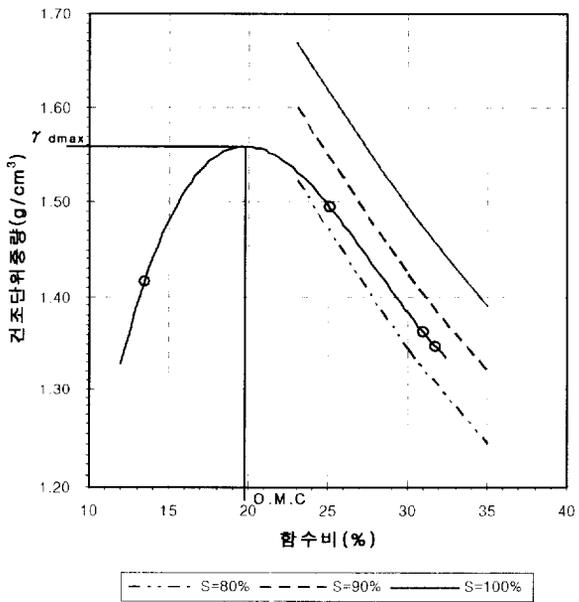
<그림 3.5.7> [[점토+생석회(7.5%)] + 일반토사(1:2.0)]일 경우



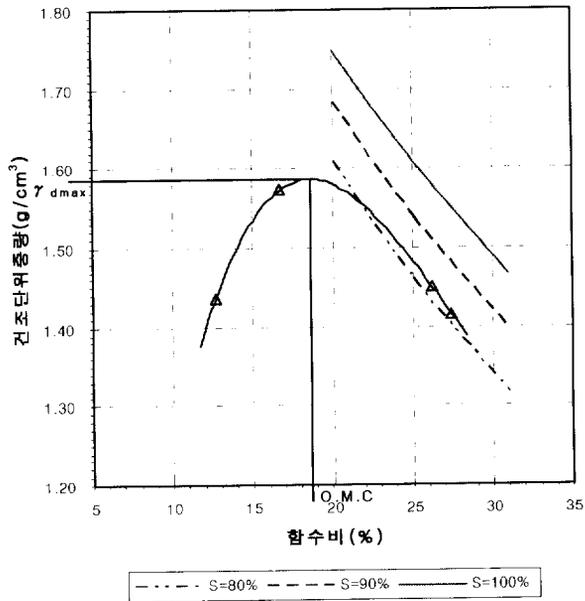
<그림 3.5.8> [[점토+생석회(7.5%)] + 일반토사(1:3.0)]일 경우



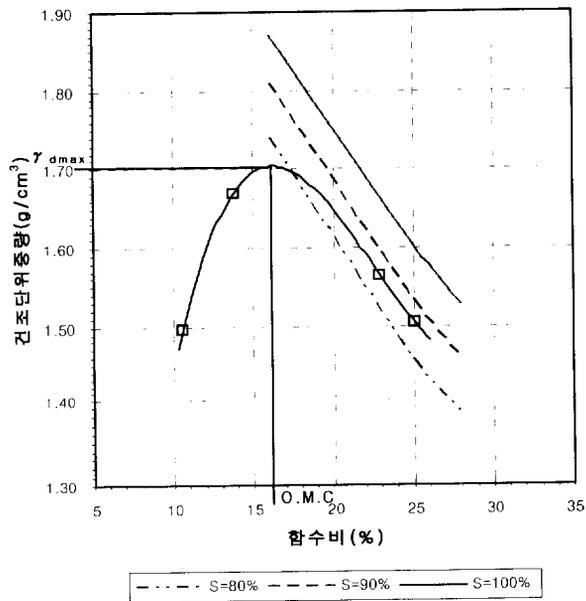
<그림 3.5.9> [[점토+생석회(10.0%)] + 일반토사(1:1.0)]일 경우



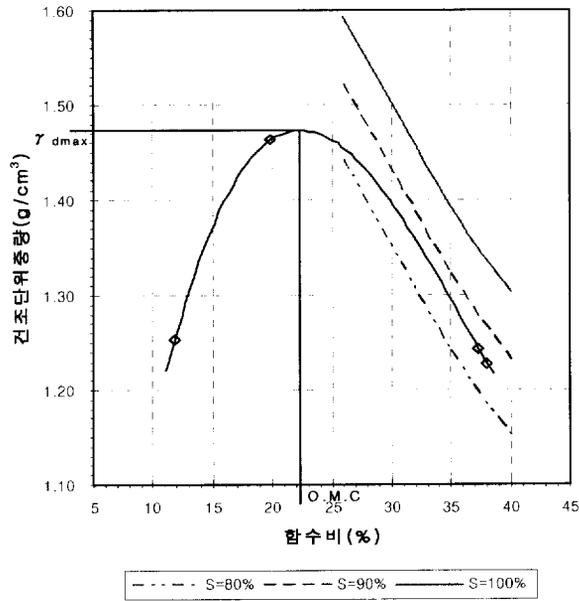
<그림 3.5.10> [[점토+생석회(10.0%)] + 일반토사(1:1.5)]일 경우



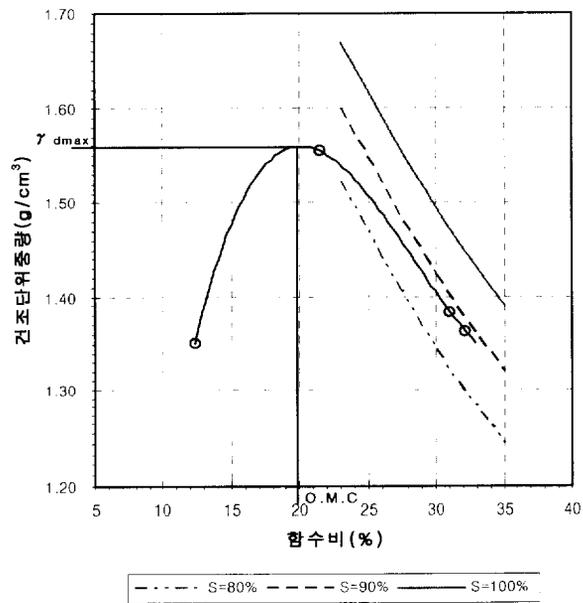
<그림 3.5.11> [[점토+생석회(10.0%)] + 일반토사(1:2.0)]일 경우



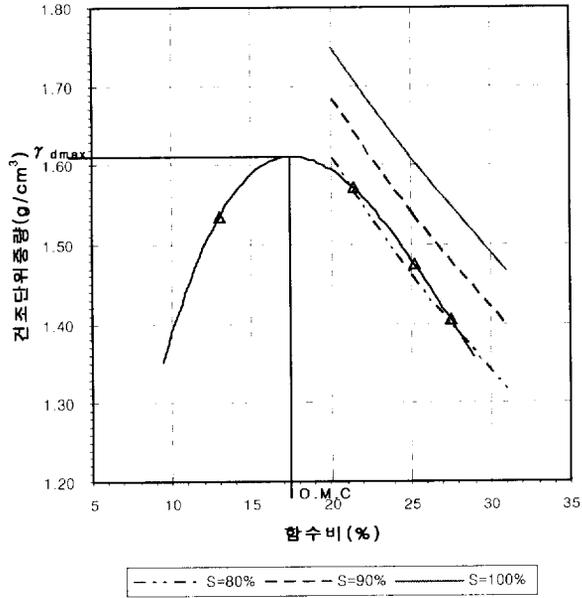
<그림 3.5.12> [[점토+생석회(10.0%)] + 일반토사(1:3.0)]일 경우



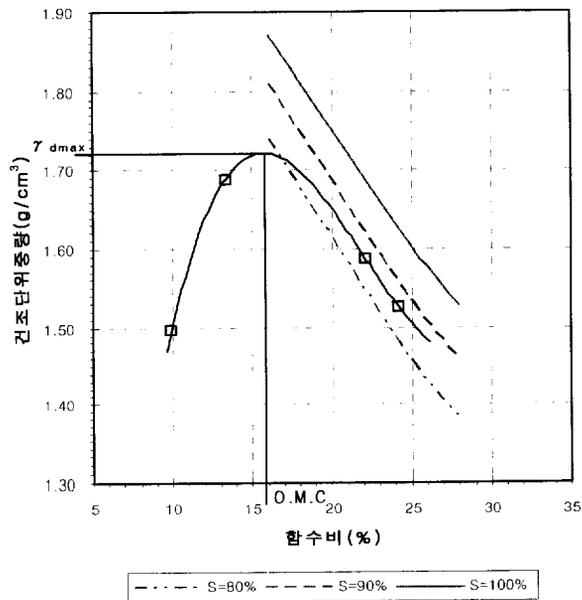
<그림 3.5.13> [[점토+생석회(12.5%)] + 일반토사(1:1.0)]일 경우



<그림 3.5.14> [[점토+생석회(12.5%)] + 일반토사(1:1.5)]일 경우



<그림 3.5.15> [[점토+생석회(12.5%)] + 일반토사(1:2.0)]일 경우



<그림 3.5.16> [[점토+생석회(12.5%)] + 일반토사(1:3.0)]일 경우

<그림 3.5.1> ~ <그림 3.5.16>에서 알 수 있듯이 노체재료로서의 재활용이 가능한 일반토사의 혼합율은 1:3.0인 것으로 나타났다. 노체재료의 적합성 구비조건인 수침 CBR, 2.5%이상이 얻어 질 수 있는 일반토사 혼합율은 1:3.0만이 가능한 시험 결과에 의한 것이다.

일반토사 혼합비율에 따른 직접전단시험과 일축압축시험 결과 비교를 <표 3.5.4>에 나타내었으며, 직접전단시험과 일축압축시험에 사용된 시료는 CBR시험에서 55회로 다진 후 4일간 수침시킨 몰드에서 샘플링하여 시험을 수행하였다.

<표 3.5.4> 일반토사 혼합비율에 따른 직접전단강도와 일축압축강도 비교

혼합비율		점토 자연함수비	CBR시험 수침 후 함수비	직접전단강도시험		일축압축강도시험 $q_{ur}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
생석회	일반토사			c (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	
5.0 %	1 : 1.0	138.19 %	40.49 %	0.24	17.7	0.062
	1 : 1.5		32.36 %	0.22	20.1	0.110
	1 : 2.0		29.59 %	0.17	28.9	0.170
	1 : 3.0		25.94 %	0.12	31.7	0.315
7.5 %	1 : 1.0	138.19 %	39.99 %	0.26	18.1	0.064
	1 : 1.5		32.23 %	0.24	21.7	0.118
	1 : 2.0		27.53 %	0.19	29.7	0.179
	1 : 3.0		24.53 %	0.14	33.2	0.326
10.0 %	1 : 1.0	138.19 %	39.75 %	0.27	18.4	0.065
	1 : 1.5		31.77 %	0.25	22.2	0.131
	1 : 2.0		26.25 %	0.20	30.2	0.197
	1 : 3.0		23.71 %	0.15	34.0	0.344
12.5 %	1 : 1.0	138.74 %	39.19 %	0.29	18.9	0.070
	1 : 1.5		29.15 %	0.26	22.9	0.136
	1 : 2.0		26.59 %	0.22	30.4	0.218
	1 : 3.0		23.20 %	0.17	34.3	0.362

<표 3.5.4>에서 보인 바와 같이 일반토사 중량비 혼합비율에 따른 직접 전단시험결과를 보면 점착력(c)은 0.12 ~ 0.29kg/cm<sup>2</sup>를 나타냈으며, 내부마찰각( $\phi$ )은 17.7 ~ 34.3°로 나타났다. 일축압축강도시험 결과를 보면 0.062 ~ 0.362kg/cm<sup>2</sup>로 나타났으나 이 값의 설계에 대한 적용은 무리가 있을 것으로 판단된다. 이는 일반토사를 혼합한 결과 통일분류법으로 SM로 분류되는 실트질의 모래이므로 실트 및 점토에 적용하는 일반적인 일축압축시험 결과를 본 일반토사 혼합토에 적용은 너무 과소평가되므로 적용상 문제가 있다고 생각된다. 그러나 직접전단시험 결과를 설계에 이용함은 이론상 무리가 없다고 판단된다.

일반토사 혼합비율에 따른 압밀시험 결과를 <표 3.5.5>에 나타내었다. 압밀시험에 사용된 시료는 CBR시험에서 55회로 다진 후 4일간 수침시킨 몰드에서 샘플링하여 시험을 수행하였다.

**<표 3.5.5> 일반토사 혼합비율에 따른 압밀시험 비교**

혼합비율		점토 자연함수비	CBR시험 수침 후 함수비	압밀시험	
생석회	일반토사			P <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	C <sub>c</sub>
5.0 %	1 : 1.0	138.19 %	40.49 %	1.11	0.33
	1 : 1.5		32.36 %	1.13	0.29
	1 : 2.0		29.59 %	1.18	0.25
	1 : 3.0		25.94 %	1.25	0.23
7.5 %	1 : 1.0	138.19 %	39.99 %	1.14	0.35
	1 : 1.5		32.23 %	1.15	0.31
	1 : 2.0		27.53 %	1.18	0.26
	1 : 3.0		24.53 %	1.27	0.22
10.0 %	1 : 1.0	138.19 %	39.75 %	1.11	0.35
	1 : 1.5		31.77 %	1.15	0.28
	1 : 2.0		26.25 %	1.22	0.25
	1 : 3.0		23.71 %	1.31	0.23
12.5 %	1 : 1.0	138.74 %	39.19 %	1.12	0.34
	1 : 1.5		29.15 %	1.15	0.26
	1 : 2.0		26.59 %	1.21	0.26
	1 : 3.0		23.20 %	1.32	0.23

<표 3.5.5>에서 보인 바와 같이 일반토사 중량비 혼합비율에 따른 압밀 시험결과를 보면 선형압밀응력( $P_c$ )은 1.11 ~ 1.32kg/cm<sup>2</sup>를 나타냈으며, 압축지수( $C_c$ )는 0.22 ~ 0.35로 나타났다. 일반토사의 혼합율이 높을수록 압축성은 감소되어 짐을 알 수 있다.

## 제 4 장 생석회와 일반토사 중량비 혼합을 결정에 따른 토질실험

### 4.1 노체에 대한 기준

노체에 사용하는 재료의 적합성 기준은 <표 4.1.1>과 <표 4.1.2>와 같다.

<표 4.1.1> 노체에 사용하는 재료의 품질 및 다짐

구 분	노 체		시험방법
	토사	암괴	
시방 최소밀도에서의 수침 CBR	2.5%이상		KSF 2320
다짐도	90%이상	시험시공에 의해 결정	KSF 2312 표준A,B,수정C,D,E
시공함수비	다짐시험방법에 의한 최적함수비 부근과 다짐곡선의 90%밀도에 대응하는 습윤축 함수비 사이	자연함수비	
시공층 두께	30 cm 이하	시험시공에 의해 결정	한층의 마무리 두께

**<표 4.1.2> 노체구비조건**

구 분	구 비 조 건
시방서 최소밀도에서 수침 CBR	2.5 %이상
액성한계( $W_L$ )	50 %이하
소성지수( $I_p$ )	25 %이하
건조밀도( $\gamma_d$ )	1.5 g/cm <sup>3</sup> 이상

**4.2 생석회 및 일반토사의 혼합율 결정**

<표 3.4.1>에서 알 수 있듯이 생석회의 혼합율, 5, 7.5, 10, 12.5%에 따른 함수량 변화율(%)은 24.54 ~ 28.89%로서, 함수량(물의 량)의 감소효과는 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 따라서 경제성을 고려하여 생석회 혼합율을 7.5%로 택하였다.

<표 3.5.3>과 <그림 3.5.1> ~ <그림 3.5.16>에서 알 수 있듯이 노체재료로서의 재활용이 가능한 일반토사의 혼합율은 1:3.0인 것으로 나타났다. 이는 4.1절에서 언급되는 노체재료의 적합성 구비조건인 수침CBR, 2.5% 이상이 얻어질 수 있는 일반토사 혼합율은 1:3.0만이 가능한 시험 결과에 의한 것이다. 따라서 보다 경제적인 혼합율을 결정하기 위해 1:2.5의 혼합율을 택하였다.

### 4.3 결정된 혼합율 1: 2.5에 대한 토질시험

7.5%의 생석회를 138.34%의 자연함수비를 갖는 고함수비 점토에 혼합하여 4일간 자연상태로 방치한 후, 동일한 방법으로 일반토사를 1:2.5의 비율로 혼합하였다. 결정된 중량비 혼합율에 대한 시험결과를 <표 4.3.1> ~ <표 4.3.4>와 <그림 4.3.1> ~ <그림 4.3.2>에 나타내었다.

<표 4.3.1>은 혼합결과를 나타낸 것으로 생석회 7.5%를 첨가함으로써 42.11%의 함수비 감소효과를 얻었으며, 1:2.5 비율의 일반토사를 혼합함으로써 75.27%의 함수비 감소효과를 얻어 최종적으로 20.96%의 함수비가 되어짐을 알 수 있다.

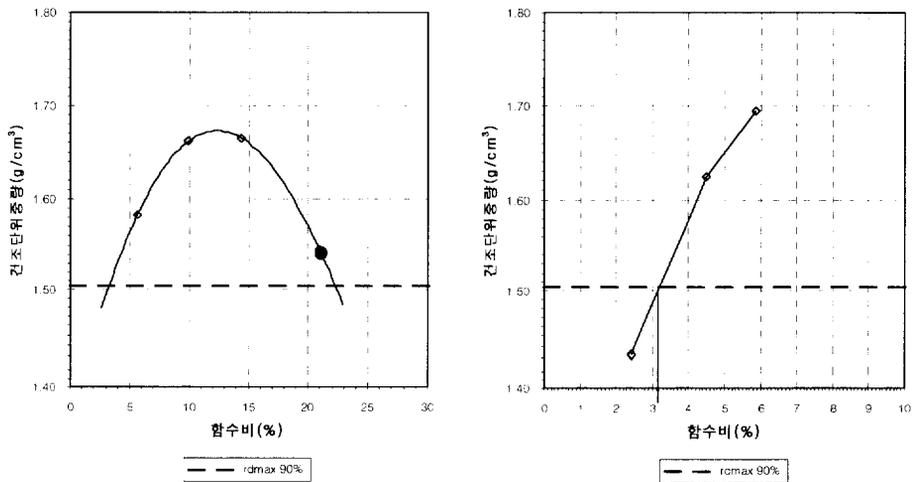
<표 4.3.2>는 다짐시험과 수정CBR시험 결과를 나타낸 것으로 최대건조단위중량은  $1.637\text{g/cm}^3$ , 최적함수비(O.M.C)는 12.38%가 얻어졌고 수정 CBR값은 3.16%로 나타나 노체재료로서의 기준값인 2.5%를 상회하므로 노체재료로서의 적합성을 만족하는 결과를 얻었다. 또한 최적함수비보다 더 높게 조성된 시료의 함수비인 20.96%에 대한 다짐시험 결과인 건조단위중량 값이 상대다짐도 90%에 상응하는 값보다 더 큰 값을 나타내므로 이러한 조건으로 현장다짐이 수행된다면 노체재료로서의 재활용은 가능하다고 판단된다.

<표 4.3.1> 점토와 생석회와 일반토사의 중량비 혼합 결과표

구분	이 토 중 량		생 석 회 중 량 (g)	혼 합 중 량			이 토 자 연 함 수 비 (%)	점 토 + 생 석 회 4 일 경과 시 함 수 비 (%)	점 토 + 생 석 회 + 토 사 혼 합 시 함 수 비 (%)	CBR 시 험 수 침 후 함 수 비 (%)
	시 험 항 목	시 료 량 (g)		혼 합 비	중 량 (g)					
					점 토 + 생 석 회	일 반 토 사				
생 석 회 (7.5%)	다 짐 시 험 혼 합	13450	1008.75	1:2.5	2000	5000	138.34	96.23	20.96	20.94
	CBR 시 험 혼 합	12890	966.75	1:2.5	3000	7500				

<표 4.3.2> 일반토사 혼합비율에 따른 다짐시험과 CBR시험 결과

혼합비율		점 토 자 연 함 수 비	CBR 시 험 수 침 후 함 수 비	최 대 건조 단 위 중 량	최 적 함 수 비 (O.M.C)	수 정 CBR
생 석 회	일 반 토 사					
7.5 %	1 : 2.5	138.34 %	20.94 %	1.673 (g/cm <sup>3</sup> )	12.38 %	3.16 %



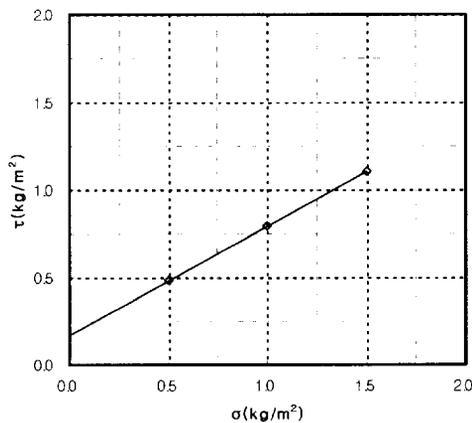
<그림 4.3.1> 다짐 및 CBR시험 [점토+생석회(7.5%):일반토사] - 1:2.5

<표 4.3.3>은 직접전단시험과 일축압축시험 결과로서 점착력은 0.17 kg/cm<sup>2</sup>, 내부마찰각은 31.9° 그리고 일축압축강도는 0.29 kg/cm<sup>2</sup>가 됨을 알 수 있다.

<표 4.3.4>와 같이 압밀시험의 결과, 압축지수는 0.21로 나타났다.

<표 4.3.3> 일반토사 혼합비율에 따른 직접전단강도와 일축압축시험 결과

혼합비율		점토 자연함수비	CBR시험 수침 후 함수비	직접전단강도시험		일축압축시험 $q_{ur}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
생석회	일반토사			c (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	
7.5 %	1 : 2.5	138.34 %	20.94 %	0.17	31.9	0.29



<그림 4.3.2> 직접전단시험[점토+생석회(7.5%):일반토사] - 1:2.5

<표 4.3.4> 일반토사 혼합비율에 따른 압밀시험 결과

혼합비율		점토 자연함수비	CBR시험 수침 후 함수비	압밀시험	
생석회	일반토사			$P_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$C_c$
7.5 %	1 : 2.5	138.34 %	20.94 %	1.21	0.24

이상과 같은 실험결과로 부터 <표 4.3.5>에서와 같이 노체재료의 적합성에 만족함을 알 수 있다.

**<표 4.3.5> 노체구비조건**

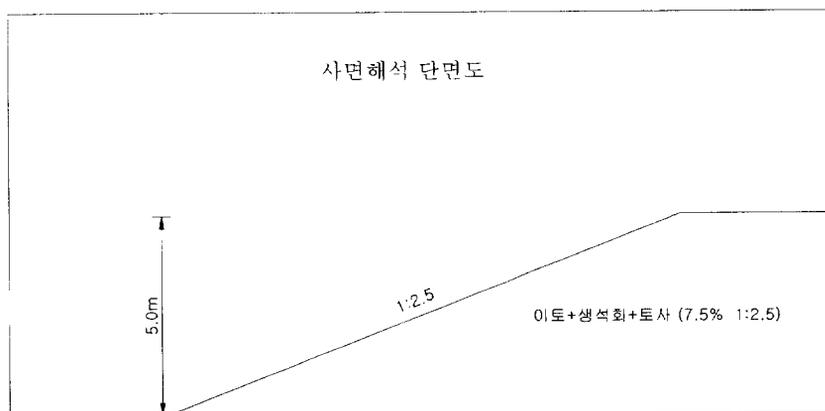
구분	구비조건	실험결과	적합성
시방서 최소밀도에서 수침 CBR	2.5 %이상	3.16 %	O.K
액성한계(W <sub>L</sub> )	50 %이하	36.16 %	O.K
소성지수(I <sub>p</sub> )	25 %이하	17.93 %	O.K
건조밀도(γ <sub>d</sub> )	1.5 g/cm <sup>3</sup> 이상	1.673 g/cm <sup>3</sup>	O.K

#### 4.4 사면 안정해석

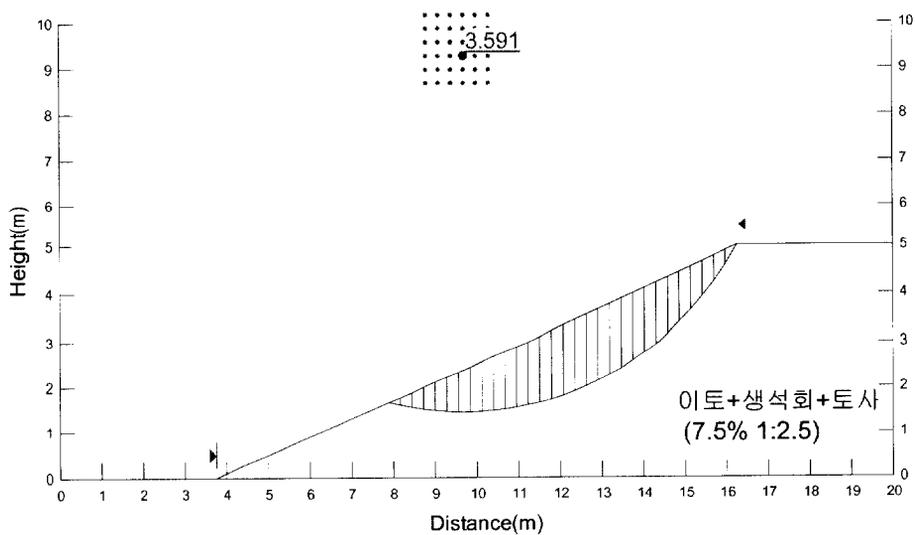
덕천IC 현장에서 고함수비의 점토를 중량비로 7.5%의 생석회와 혼합하여 1차적인 함수량을 감소시키고 생석회가 혼합된 점토에 대하여 일반토사의 혼합비를 중량비로 1:2.5로 혼합하여 2차적인 함수비 감소 효과를 통해 조성된 재활용 흙을 이용하여 <그림 4.4.1>와 같이 사면 경사, 1:2.5, 높이, 5.0m로 성토할 경우, 비탈면에 대한 안정성 여부를 검토하고 제한다. 앞에서 언급된 7.5%의 생석회를 138.34%의 자연함수비를 갖는 고함수비 점토에 혼합하여 4일간 자연상태로 방치한 후, 통일분류법으로 SM으로 분류되는 일반토사를 중량비 1:2.5의 비율로 혼합한 흙을 조성된 재활용 흙으로 보고 이 흙에 대해 수행된 직접전단시험 결과치는 <표 4.4.1>과 같으며 간극수압비, 0.5에 대한 사면의 안정해석의 결과는 <그림 4.4.2>와 같이 3.591의 높은 안전율이 산정되었다. 이는 성토사면의 안전율 1.5를 상회하는 값으로 안정된 사면을 형성할 수 있다고 판단된다.

<표 4.4.1> 사면해석에 적용한 토질정수값

해석단면	$\gamma_t$ (t/m <sup>3</sup> )	c (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	$r_u$
점토+생석회+토사 (7.5% 1:2.5)	2.004	1.7	31.9	0.5



<그림 4.4.1> 사면 해석용 단면도



<그림 4.4.2> 조성된 흙(1:2.5) 사면의 사면안정해석 결과

## 제 5 장 결 론

본 연구는 시공중인 다대항 배후도로 건설 2단계 덕천 IC 공사장내에서 발생한 고탄수비의 점토에 대하여 사토시키기 위한 함수비 저하 대책으로서 생석회의 활용 방안과 공사장내에서 연약지반 개량을 위한 재하중 성토재료와 더 나아가 노체용 흙으로서의 고탄수비 점토의 재활용 가능성에 대한 연구를 위하여 토질실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 생석회의 혼합율, 5.0, 7.5, 10.0, 12.5%에 따른 함수량 변화율(%)은 24.54 ~ 28.89% 함수량(물의 량)의 감소효과는 큰 차이가 없음을 알 수 있다.
2. 생석회의 혼합비율을 고탄수비 점토에 대한 중량비로서 5.0%, 7.5%, 10.0%, 12.5%로 혼합 후 4일간 방치한 뒤, 통일분류법 SM으로 분류되는 일반토사를 중량비율로 1:1.0, 1:1.5, 1:2.0, 1:3.0으로 혼합하여 조성한 시료에 대하여 최대 40.13 ~ 37.35%까지의 함수비 경감효과를 얻을 수 있었다. 또한, 다짐시험에서 일반토사 혼합비율에 따라 최대건조 밀도의 범위는 1.427 ~ 1.722g/cm<sup>3</sup>이고 최적함수비(O.M.C)의 범위는 15.93 ~ 26.62%이다. 수침 후 관입시험을 통한 수정 CBR값의 범위는 일반토사 혼합비율에 따라 0.74 ~ 4.37%로 나타났으며, 일반토사 중량비 혼합비율에 따른 직접전단시험결과를 보면 점착력(c)은 0.12 ~ 0.29kg/cm<sup>2</sup>를 나타냈으며, 내부마찰각( $\phi$ )은 17.7 ~ 34.3°로 나타났다. 일축압축강도시험 결과는 0.062 ~ 0.362kg/cm<sup>2</sup>로 나타났다. 일반토사 중량비 혼합비율에 따른 압밀시험결과는 선형압밀응력( $P_c$ )은 1.11 ~ 1.32kg/cm<sup>2</sup>를 나타냈으며, 압축지수( $C_c$ )는 0.22 ~ 0.35로 나타났다. 일반

토사의 혼합율이 높을수록 압축성은 감소되어짐을 알 수 있다.

3. 결정된 혼합율 7.5% 1:2.5(생석회 혼합 점토 : 토사) 비율의 일반토사를 혼합함으로서 최종적으로 20.96%의 함수비가 되어짐을 알 수 있다. 직접전단시험과 일축압축시험 결과로서 점착력은  $0.17 \text{ kg/cm}^2$ , 내부마찰각은  $31.9^\circ$  그리고 일축압축강도는  $0.29 \text{ kg/cm}^2$ 가 됨을 알 수 있다. 압밀 시험의 결과는 선행압밀응력( $P_c$ )은  $1.21 \text{ kg/cm}^2$ 를 나타냈으며, 압축지수( $C_c$ )는 0.24로 나타났다. 다짐시험과 수정CBR시험 결과를 보면 최대건조단위중량은  $1.637 \text{ g/cm}^3$ , 최적함수비(O.M.C)는 12.38%가 얻어졌고 수정 CBR값은 3.16%로 나타나 노체 재료로서의 적합성을 만족하는 결과를 얻었다.

## 참 고 문 헌

1. 천병식, 김수삼, 고경환, 오민열, 임해식(1996). “생석회에 의한 연약지반개량에 관한 기초적 연구”, 한국지반공학회 1995년도 봄학술발표회 논문집
2. 천병식, 김수삼, 강부건, 고경환, 김준섭(1996). “생석회공법에 의한 지반개량효과에 관한 연구”, 한국지반공학회 1996년도 봄학술발표회 논문집. pp 275-292
3. 천병식, 김수삼, 고경환, 김응규(1997). “생석회에 의한 해성점토지반의 개량효과”, 대한토목학회 학술대회논문집(Ⅲ). pp 317-320
4. 천병식, 김수삼, 고경환(1997). “국산생석회 혼합처리에 의한 개량효과”, 대한토목학회 학술대회논문집, 제17권 제Ⅲ-5호. pp 589-596
5. 김찬기, 정진섭, 장용채(1998). “생석회말뚝에 의한 연약지반개량효과”, 대한토목학회논문집, 제18권, 제Ⅲ-6호. pp 853-362
6. 천병식, 고갑수, 임종윤, 장은석(1998). “국내 산지별 생석회에 따른 생석회파일의 연약 지반개량효과”, 한국지반공학회 1998년도 봄학술대회 논문집. pp 389-396
7. 임종석(2001). “생석회말뚝 타설면적비의 변화에 따른 연약점토지반의 개량효과”, 한국지반공학회논문집 제17권 5호 2001년 10월. pp 37-42
8. 민덕기, 황광모, 박근호(2001). “석회 및 여러 첨가제에 의한 건설잔토의 안정처리”, 한국지반공학회논문집 제17권 4호. pp 23-29
9. 민덕기, 황광모, 김현도, 황택진(2002a). “Rice husk ash를 이용한 토질 안정처리”, 한국지반공학회논문집 제18권 5호. pp 19-25
10. 민덕기, 황광모, 오미희(2003). “생석회 혼합토의 압축특성에 관한 연구”, 한국지반공학회논문집 제19권 6호 2003년 12월. pp 23-29

11. 민덕기, 황광모, 정진형(2003). “생석회와 화학 첨가제 혼합토에 대한 황산염의 영향”, *한국지반공학회논문집 제19권 6호 2003년 12월*. pp 31-38
12. 한국지반공학회(1999). *준설매립과 환경매립*, 구미서관. pp 163-164, 217, 223
13. Biswas, B. R.(1972). *Study of Accelerated Curing and Other Factors Influencing Soil Stabilization, Ph.D Dissertation*, Texas A&m university, Texas
14. Chen, P. A & Law, K. T(1993). *Potr Pressure Change in Soft Soils Improved by Lime-Fly Ash Poles, Eleventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Vol. 1*. pp 363-367
15. J.k. Mitchell, A. Holyman(1983), *Assessment of Quick Lime Pile Behavior, Improvement of Ground, Vol2*, pp 897-902
16. National Lime Association(2000). *Technical Memorandum : Guidelines for Stabilization of Soils Containing Sulfates, National Lime Association*. pp 1-8
17. Ramesh, H. N., Siva Moham, M., and Sivapullaiah, P. V.(1999). *Improvement of Strength of Fly Ash with Lime and Sodium Salts. Vol. 3*. pp 163-167
18. T. Leonards, *Foundation Engineering, McGraw-Hill Company*. pp 398-437

## 감 사 의 글

대학원 입학 후부터 지금까지 힘을 북돋아 주시며 부족한 저를 배움의 길로 지도하여 주신 정진호 지도교수님께 무한한 감사의 말씀을 지면을 통하여 대신하고 저 합니다.

연구와 강의 등 바쁘신 중에서도 저의 부족한 논문지도를 위하여 시간을 내어 세심한 지적과 충고를 하여 주신 이영대 교수님과 손인식 교수님께 마음깊이 감사드리며 부족한 저를 재학기간동안 지도와 가르치심을 주신 김상용 교수님, 김종수 교수님, 이종출 교수님, 장희석 교수님, 이종섭 교수님, 이동욱 교수님, 김명식 교수님, 이환우 교수님, 정두희 교수님, 국승규 교수님, 이상호 교수님, 김수용 교수님과 응용수학과 신준용 교수님께 감사의 마음을 거듭 거듭 전합니다.

지금까지 논문이 완성이 되는데 많은 도움을 준 이병길 박사님과 동생이지만 대학원 동기로서 많은 도움을 준 장봉현, 그리고 저 때문에 고생을 많이 한 연구실의 김성반, 김춘진, 김종식과 각 연구실의 동기생들에게 감사의 마음을 전합니다. 그리고 석사과정 동안 많은 격려와 도움을 주신 박병호 국장님, 권오성 소장님, 이영수 부장님께 또한 무한한 감사의 마음을 전합니다.

그리고 언제나 걱정을 끼쳐드리는 저를 사랑으로 감싸주신 할머니와 무엇을 하든 저를 믿어주신 부모님과 정신적 지주인 형과 동생에게 너무 고마움을 전합니다.

끝으로 관심과 도움을 주신 주위의 모든 분께 감사의 글을 대신하고 저 합니다.