# 석회계 고화재를 이용한 간척지내 경작로 포장방안

The Pavement Method of Farm Road with Geo-Cement(Lime)

공길용*·김현태*(농업기반공사)·이규섭**·김영호**(두원C&C)
Kong, Kil Yong·Kim Hyun Tae·Lee Kyu Seop·Kim Young Ho

**Abstract**

In order to construct the farm road in Shi-Hwa project, coarse soils excavated from hillsides have been used as road materials for reclamation. Suitable borrow pits available in land are now limited and also they bring about environmental problems when soils are excavated at the borrow pits and transported to the site.

When using fine and wet materials as fill, however, many engineering problems can be encountered. Usually, the materials have high water contents, low strength, and high compressibility. In order to use them, we need research that can improve the inherent properties of those materials.

In order to tackle with the problems, researches on soil improvement involve mixing lime geo-cement to the fine wet soils. A lab model test is necessary to verify effectiveness and comparison of those techniques. A field test is also required to show applicability and to find problems that may exist in the design and construction stages.

## I. 서론

우리나라 서남해안 간척사업에서 내부개답시 경작로 등의 도로시공에 필요한 포장재료를 육상토취장(현재 임야 및 전답)을 개발하여 이용하고 있으나 건설사업의 번창과 더불어 육상토취장의 개발이 어렵고, 운반과정에서 공해문제와 민원문제로 공사지연은 물론 공사비의 증가원인이 되고 있다.

특히 수도권 인근지역의 경우 토취장개발 후보지의 보상비가 높고, 토취장 개발 적지가 거의 없어, 육상토취장의 개발 대신 내부개답지구내 표고가 높은 곳의 연약지반토와 배수로 굴착토 등을 성토재료로 활용하는 고함수비 간척지토 성토공법의 개발도 이루어진 바 있다.

그러나 연약지반토(저질토)는 함수비가 높고 압축성이 크며 전단강도 및 지지력비(CBR)가 적고 흡수팽창성 및 동상파괴특성이 있으므로 일정강도 이상의 확보가 어려우므로 도로용 포장재료로 직접 사용하기는 어렵다.

또한 농업용구조물에 사용되는 재료는 환경유해물($Cr^{+6}$ 등)이 용출되지 않는 재료를 사용해야 하며, 장기적으로 안정적인 구조물을 유지할 수 있는 것이어야 한다. 따라서 고함수비의 흙을 단기간에 안정화시킬 수 있으며, 환경문제를 일으키지 않는 석회계제품을 본 연구의 시험대상재료로 선정하였으며, 이를 포장재료로서 적합한 특성을 갖도록 개량하는 석회계고화재 혼합처리공법의 가능성을 판단해볼 필요가 있다.

본 연구에서는 내부개답이 진행중인 시화지구 기계화경작로를 대상으로 하였다. 국내에서 제조된 석회계 고화재(9종)로 최적의 배합비와 고화재를 찾기 위한 실내배합시험을 수행하였으며, 그에 따른 강도 및 내구성(동결융해시험)을 측정하였다. 실내에서 얻은 최적의 배합비로 현장 시험시공을 3개 구간으로 나누어 실시하였으며, 시간에 따른 현장강도 및 내구성 변화를 측정하여 향후 실용화시 기초자료로 이용될 수 있도록 하였다.

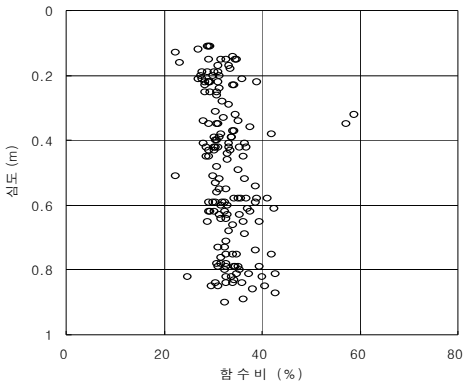
## II. 실내시험 결과 및 고찰

### 1. 시화지구 간척지토 현황

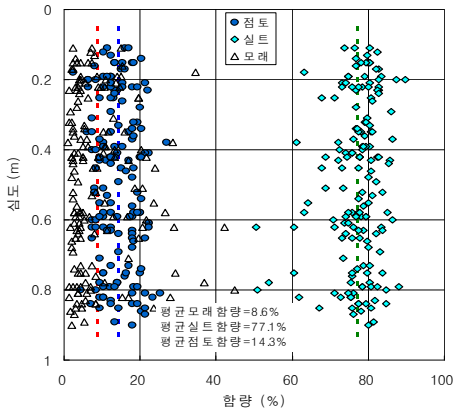
2005년 한국농공학회 학술발표회 논문집(2005년 10월 28일)

시화지구 간척지 연약지반토의 공학적특성을 분석하기 위하여 간척지 표층토에 대한 토질조사 시험을 실시하였다. 조사분석결과 <그림 2>와 같이 점토함량(0.005mm) 5～25%, 실트(0.005～0.047mm) 50～90%, 모래(0.047mm이상) 0～45%로 실트가 주를 이루고 있다.

현장함수비와 액성 및 소성한계분포를 보면 <그림 1>과 같이 현장함수비 21～59%, 액성한계 25～40%, 소성지수 0～20%으로 국부적인 구역을 제외하고는 비소성의 실트질 흙이다. 국부적으로 해성점토가 퇴적되어 있는 곳은 지형상 계곡부분으로 조류속이 거의 없는 퇴적환경인 위치에 국부적으로 퇴적되어 있다.




<그림 1> 현장함수비 분포도



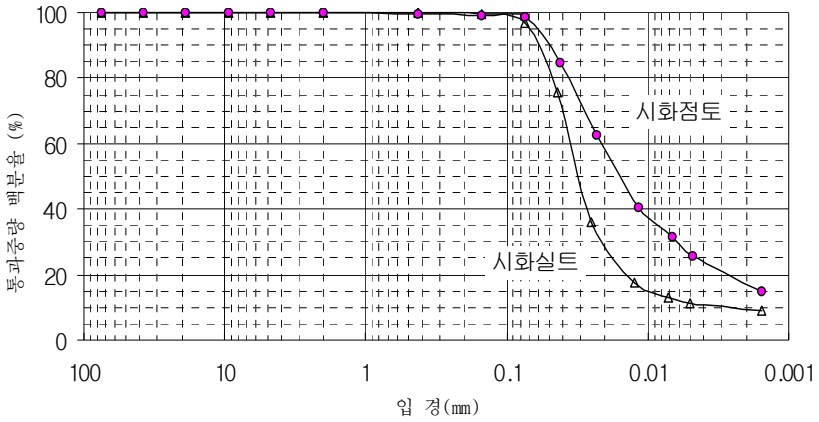

<그림 2> 점토, 실트 및 모래함량(입도) 분포도

그러므로 본 연구에서는 실트질 흙(ML)에 대하여 중점적으로 현장 및 실내시험을 실시하였으며, 타지구 또는 본 지구중의 해성점토구간에 적용하기 위하여 해성점토에 대하여 실내시험을 실시하였다. 물리적특성은 <표 1>과 같고 입도분포 곡선은 <그림 3>과 같다.

<표 1> 시화지구 간척지토 물리적 특성

| 시 료 명 (Sample) | | 점토 | 실트 |
|---|---|---|---|
| 심 도 (Depth) (m) | | 0～3 | 0～3 |
| 입도 | 자 갈 (4.75㎜이상) | | |
| | 모 래(0.075-4.75㎜) | 1.5 | 3.1 |
| | 실 트(0.005-0.075㎜) | 72.7 | 85.1 |
| | 점 토(0.005㎜이하) | 25.8 | 11.8 |
| 조도 | 액성한계 LL(%) | 48.8 | |
| | 소성한계 PL (%) | 21.3 | |
| | 소성지수 PI (%) | 27.5 | NP |
| 통일흙 분류 (U. S. C) | | CL | ML |
| 흙의 비중 (Specific Gravity) | | 2.721 | 2.709 |
| 자연함수비 ($\omega_n$) (%) | | 54.3 | 40.3 |
| 다짐 시험 | 최적함수비 $\omega_{opt}$ (%) | 23 | 20 |
| | 최대건조밀도 $r_{dmax}$ (g/cm$^3$) | 1.60 | 1.63 |

2005년 한국농공학회 학술발표회 논문집(2005년 10월 28일)




<그림 3> 사용시료의 입도분포곡선

**2. 석회계 고화재 특성**

가. 화학성분

본 연구에 사용한 석회계 고화재는 D사에서 개발한 고화재 9종류를 사용하였으며, 각 고화재의 화학성분은 표 2와 같다.

**<표 2> 석회계 고화재의 화학성분 분석(단위:%)**

| 시료 종류 | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO | MgO | $Na_2O$ | $K_2O$ | lg-Loss | SUM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| D1~D4 | 1.8 | 0.5 | 0.3 | 93.2 | 1.8 | 0.01 | 0.04 | 2.30 | 100 |
| D5~D9 | 1.2 | 0.6 | 0.4 | 92.3 | 1.2 | 0.1 | 0.02 | 4.2 | 100 |

나. 석회계 고화재의 지반 내에서의 주요반응 원리

고화재 혼합처리에 의한 지반개량의 원리는 지반의 함수비 저감과 소성저하, 지반강도의 증가 및 작업성의 향상 등을 목적으로 실시하며 이러한 개량효과는 함수비가 비교적 높은 간척지토에 효과 클 것으로 판단되며, 다음과 같은 반응원리에 따라 발생한다.

1) 소화반응에 의한 압밀·배수효과

생석회의 주성분인 CaO는 토중수와 반응하여 식(1)에서와 같이 $Ca(OH)_2$로 변한다. 이 과정에서 생석회는 체적이 팽창하게 되어 주변지반을 압밀하는 효과를 나타내고 반응에 필요한 물을 지반에서 흡수하고 반응 시 고온의 열을 발산하게 되므로 주변지반의 함수비 저감효과가 다른 재료에 비해 크게 나타내게 된다.

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + 15.6kal/mol \qquad (1)$$

2) 이온 전환 효과

세립점토입자의 표면이 음전기성으로 포화될 때 점토 입자의 표면은 소화된 석회의 $Ca^{++}$ 칼슘 이온을 흡수하게 되고, 점토입자 접착활동에 의해 서로서로 이어져 있다. 결과적으로 연약 점토는 전단력의 부가적 증가와 더불어 개량된다.

3) 포졸란 반응효과

이 반응생성물이 결합재로 작용하여 지반의 강도·내구성이 발휘된다. 또한 다른 첨가재료로서는 처리하기 어려운 Allophane($Al_2O_3$·$Fe_2O_3$·$SiO_2$ 화합물), Montmorillonite 등의 점토광물과의 사이에도 Pozzolan 반응 생성물을 만들 수 있어 연약점토층의 지반개량에 효과적이다.

4) 탄산화반응

탄산가스와 반응하여 $CaCO_3$를 형성하고, 알루민산칼슘이 탄산칼슘과 반응하여 흙을 고결시킨다. 이러한 일련의 반응은 토중에서 석회와 토중수 사이 및 석회와 점토광물 사이에 일어나며 Ingles에 의하면 식 (2)의 화학 반응식으로 설명된다.

$$NAS_4H + CH \rightarrow NH + CAS_4H \qquad (2)$$

$$\rightarrow NS + degradation\ proudt$$

$$NH + C_2SH$$

여기서, S : $SiO_2$. H : $H_2O$. A : $Al_2O_3$ C : CaO. N : $Na_2O$

**3. 흙-고화재 배합시험**

가. 흙-석회계고화재(이하 고화재) 혼합 및 양생

흙-고화재 혼합비는 흙의 건중량대비 고화재중량의 비로 계산하였다. 흙과 고화재의 혼합은 흙에 고화재를 넣고 혼합이 완전히 이루어질 때까지 믹싱을 하고 시험용 몰드에 혼합된 흙을 공극이 발생되지 않토록 몰드에 압입하는 방식으로 몰드를 채워 몰드에 충격을 주어 완전히 시료가 몰드에 채워지도록 하였다.

흙의 함수비가 높은 조건에서 혼합토의 상태는 포화조건으로 몰드제작에는 큰 어려움은 없었으며, 가급적 혼합후 10~20분 안에 몰드제작이 완료되도록 하였다. 양생은 6일간 몰드와 함께 완전 밀폐조건의 습윤상태로 양생후 탈형하여 수중에 1일간 수침양생 후 7, 28일조건의 일축압축강도시험, 동결융해시험을 실시하였다. 배합비는 5, 10, 20, 30%로 하였다.

나. 일축압축시험

일축압축시험 몰드는 직경 38mm 높이 76mm의 원통형몰드를 사용하였으며 일축압축시험전에 몰드양단에 캐핑 또는 연마기로 갈아서 완전 직각조건이 되도록 하여 일축압축시험기로 압축강도를 측정하였다.

다. 동결융해시험

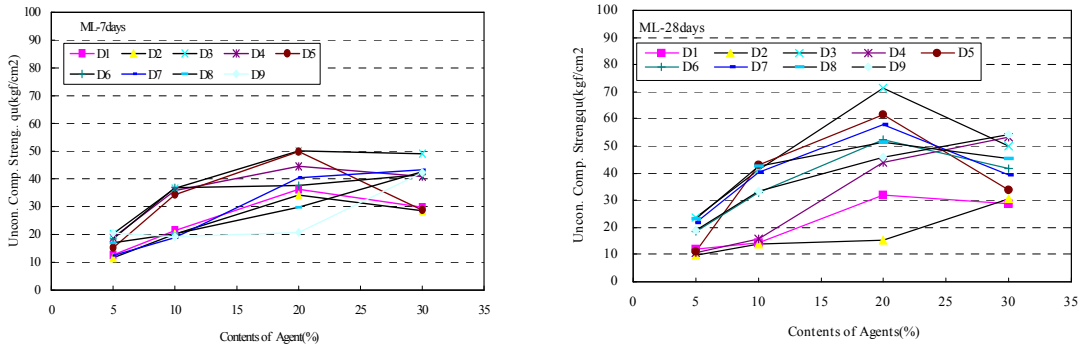
각각의 고화재별로 동결융해에 대한 저항성을 알아보기 위한 시료조제 및 공시체 제작은 일축압축 시험용 공시체와 같은 방법으로 제작하였으며, 7일과 28일 양생 후 동결융해 시험을 실시하였다. 동결조건은 동결챔버 내에서 -20℃로 24시간 유지시키는 방법을 이용하였고, 융해는 20±3℃로 24시간 수침시키는 방법을 이용하였다. 이 동결융해 조건은 시험된 고화재간의 상대적인 동결융해 저항성을 측정하고자 하는 목적으로 최악의 현장상태를 재연한 것으로 절대적인 조건이라고 보기는 어렵다. 동결융해를 5Cycle 반복한 후에 일축압축시험과 같은 방법으로 강도를 측정하여 동결융해 저항성을 평가하였다.

**4. 배합시험결과**

가. 일축압축시험 결과

<그림 3>은 실트를 대상으로 9종의 고화재를 배합비 5%, 10%, 20%, 30%로 혼합하여 7일과 28일 동안 양생시킨 후 측정한 일축압축강도를 배합비 별로 나타낸 것이다. 고화재 배합비 5%인 경우 7일 강도는 평균적으로 16.3kgf/㎠, 10%인 경우는 27.0kgf/㎠, 20%인 경우는 38.2kgf/㎠ 그리고 30%인 경우는 38.5kgf/㎠로 나타났고, 28일 강도는 5%인 경우 평균적으로 16.6kgf/㎠, 10%인 경우는 30.9kgf/㎠, 20%인 경우는 48.0kgf/㎠ 그리고 30%인 경우는 41.9kgf/㎠로 나타났다. 재령 7일과 28일 강도를 비교해 볼 때 양생기간에 따른 강도 증가량이 일부를 제외하고는 대부분이 그리 크지는 않은 것을 알 수 있다. 이 또한 실트질 흙의 다짐시 함수비가 크기 때문에 수화반응시의 충분한 유효수분의 공급에 의한 것이라 할 수 있겠다. 그러나 여러 종류의 고화재에서 배합비가 30%인 경우가 20%인 경우보다 오히려 강도가 감소하는 경향이 나타났다. 이는 대상토로 사용

한 실트질 흙의 입도가 너무 편중되어 있어 다짐시 함수비를 적당하게 조절하더라도 다짐시의 다짐불량과 시험자의 혼합불량으로 인해 오히려 강도가 감소한 것으로 보인다. 이는 점토와 같이 일정 배합비 이상에서는 강도 증진효과가 미비하기 때문에 현장에서 적당한 배합비를 선정해서 시공시에 더욱더 균질한 혼합과 다짐에 신경을 써야 할 것으로 사료된다. 각 고화재별 배합비 증가에 따른 강도특성은 특정 고화재가 배합비 증가에 따라 일률적으로 높은 강도를 보이는 것이 아니라 배합비 변화에 따라 강도발현 특성이 일정하지 않은 것으로 나타났다. 기계화경작로 포장의 목표강도(30kg/cm$^2$)에 도달하기 위한 최적배합비는 고화재별로 차이가 있으나 고화재 함량10%~20%내외에서 결정되었다.

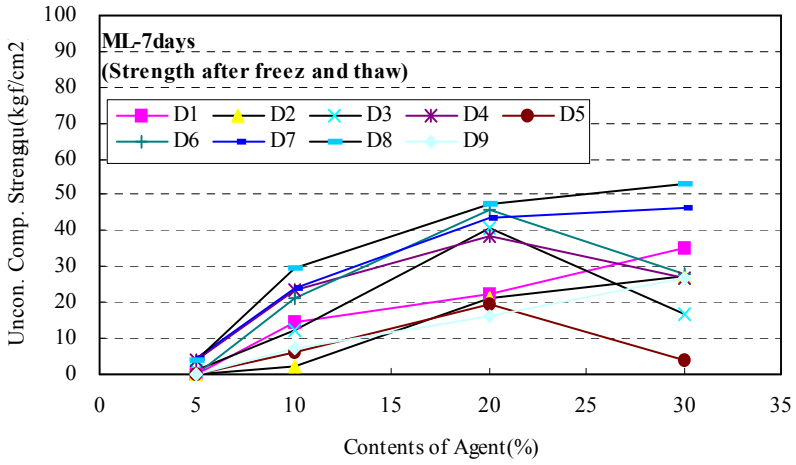



(a) 7일강도 (b) 28일 강도

<그림 4> 일축압축강도시험 결과

다. 내구성시험결과

<그림 5>는 실트를 대상으로 9종의 고화재를 배합비 5%, 10%, 20%, 30%로 혼합하여 7일과 28일 동안 양생시킨 공시체를 동결융해 5Cycle 강제 반복한 후 측정한 일축압축강도를 배합비 별로 나타낸 것이다. 일부 고화재에서 배합비 5%인 경우에 7일 양생된 공시체를 동결융해 조건에 노출시키는 과정에서 파괴되어 버렸다. D2와 D5 고화재인 경우에는 28일 양생된 경우에도 파괴가 발생하였으며 점성토에서도 이 고화재는 28일 양생된 경우에 동결융해과정에서 파괴된 고화재들이다. 그러나 모든 고화재에서 배합비가 10%이상으로 증가할 때는 동결융해과정에서 파괴가 일어나지 않았다. 동결융해과정에서 파괴가 일어나지 않았다는 것은 고화과정에서 주위로부터의 수분흡수가 억제되었다는 것을 의미하며, 상대적으로 내구성이 큰 재료인 것으로 판단된다.




<그림 4> 내구성시험 결과

## Ⅲ. 현장 시험시공

### 1. 시험시공 개요

시험시공 대상지는 시화지구(대송단지) 2공구 내 기계화경작로를 대상으로, 폭은 약 4.0m, 연장은 약 200m의 규모로, 고화재 배합비, 토질별로 강도발현 특성 및 동결융해저항성에 차이를 나타내므로 최적의 배합비(10%~15%)를 선정하여 3개 구간으로 나누어 시험시공을 실시하였다.

본 시험시공은 현재 시공현장에서 고화재를 사용하여 도로포장을 실시하는 현장 기술자들의 시공능력 및 실태를 점검하고 문제점을 파악하는 한편, 보다 합리적인 시공지침을 마련하여 흙-고화재 포장공법을 조기에 실용화시키기 위한 목적이며, 시험시공구간에 대해 코어채취, 모니터링 등 현장평가를 통하여 실용화 가능성을 파악하고자 하였다.

### 2. 시험시공 현황

가. 포장단면

D사에서 개발한 석회계 고화재를 사용하여 시험시공을 실시한 결과 전 구간을 3개의 배합비(약10, 12, 15%)로 하여 약 50cm 내외의 두께로 시공하였다.

나. 시공방법

① 터파기:흙과 고화재를 혼합하기 위한 혼합용기 내로 백호를 사용하여 터파기를 실시하였다.

② 고화재 혼합: 혼합용기 내에 집토한 모토에 고화재를 적량 첨가하여 혼합장비를 사용하여 균질하게 혼합하였다. (농업기반공사 개발 장비)

③ 혼합토 포설, 다짐:혼합장비에서 토출된 고화재 혼합토를 백호를 사용하여 포설하고 다짐하였다.

(a) 시험시공 노선 터파기

(b) 흙-고화재 혼합

(c) 흙-고화재 혼합토 다짐

(d) 시공완료 광경

<사진 1> 시험시공 광경

### 3. 시험시공현장 평가

가. 개요

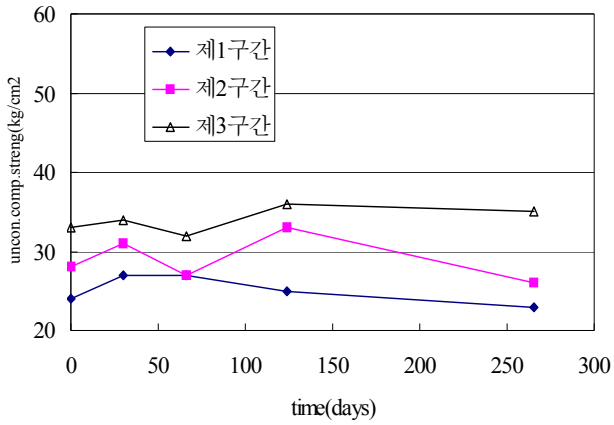
기계화 경작로를 포장하기 위해 고화재를 사용하고자 할 때는 시공대상지의 기초지반여건 및 환경여건이 다르기 때문에 조사, 계획단계에서 충분히 고려하여 시공시 반영하여야 한다.

본 연구에서는 장기내구성 등을 파악하여 실용화를 도모하기 위하여 시험시공노선에 대하여 현장코어채취, 모니터링(육안관찰) 등을 실시하였다.

나. 시험시공현장 코어채취

시험시공 현장노선에 대하여 시공 후 임의지점의 강도 및 포장체 내부의 변화를 알아보기 위하여 포장체 두께 전체에 대하여 코어를 채취하였다<사진 2참조>. 장비는 일반 콘크리트 코어채취기를 사용하였으며, 흙-고화재 혼합토 특성상 가급적 건식으로 채취하였다.

채취된 코어는 실내에서 압축강도 및 내구성시험을 실시하여 시공 후 변화상태를 알아보았으며, 일부 노선에서는 배합상태의 불량, 다짐 불충분 등으로 코어채취가 불가능한 구간도 나타났다.




**<그림 5> 시험시공현장의 시간에 따른 강도변화**

<그림 5>에서 보는 바와 같이 현장시험시공 3개 구간에 대한 현장 코어채취후 실내 압축강도 시험 결과 약간의 차이는 있지만 강도의 변화는 미비한 것으로 나타났다. 이는 현장배합시 균일하게 배합되었음을 의미하며 이로 인하여 장기적으로도 안정한 구조물이 될 것으로 판단된다.

## Ⅳ. 결론

1. 흙-고화재 실내배합시험 결과 고화재 함량에 따라 강도가 증가하는 것으로 나타나고 있으나, 고화재의 종류에 따라 강도발현효과는 일정하게 나타나지 않아, 현장시공시 지반조건에 맞는 충분한 배합시험이 선행되어야 함을 알았다.
2. 내구성시험결과 일축압축강도 시험결과와는 일치하지 않는 경향을 나타내어 실내배합시험시 내구성시험이 반드시 병행되어야 할 것으로 판단된다.
3. 현장시험시공결과 시공 후 강도 및 내구성 변화는 경미하게 나타나고 있으나, 실용화를 위해 장기적으로 관찰 할 필요가 있을 것으로 판단된다.
4. 시험시공 노선 일부 구간에 배합이 완전히 이루어지지 않아 패임현상이 발생하였으며, 연약지반토의 경우 고품질의 재료확보 뿐만 아니라 배합을 충분히 해야 할 것으로 판단되었다.

**참고문헌**


1. 공길용(1997), “시멘트계 고화재를 이용한 농로의 보조기층 안정처리 공법”,건국대학교 박사학위논문.
2. 농어촌진흥공사(1986), “농어촌도로포장공법연구”
3. 농어촌진흥공사(1995), “연약점토지반의 표층처리 및 보강공법 실용화연구”
4. 유 찬(1999), “오염토양에 대한 고결공법의 처리효과에 관한 연구”, 건국대학교 박사학위논문.
5. 유능환, Alan,McGown, 유형선(1990), “凍結—融解作用이 흙의 諸强度特性에 미치는 影響(Ⅱ)”, 한국농공학회지 V.32 No.2, pp.53 - 57
6. 천병식 외1(1992), “석탄회의 도로성토재 및 노상재로서의 활용을 위한 비회와 저회의 적정혼합비”, 대한토목학회논문집 Vo1.2, No.1, pp.115-124
7. 한국건설기술연구원(1988), “연약지반 천층안정처리연구”
8. 한국토지공사(1999), “연약지반의 압밀특성에 관한연구”
9. Broms, B.B. (1984), “Stabilization of soft clay with lime columns”, Proc. Seminar on Soil Improvement and Construction Techniques in Soft Ground, Nanyang Technological Institute, Singapore.
10. Broms, B.B. (1986), “Stabilization of soft clay with lime and cement columns in Southeast Asia”, Applied Research Project RP10/83, Nanyang Technical Institute Singapore.
11. Giroud,J.P.(1981)“Designing with Geotextiles”, Materiaux et Constructions, Vol. 14, No. 82, pp. 257-277
12. Lambe, T. W., and Whitman, R. V.(1969), “Soil Mechanics”, John Wiley and Sons, Inc., New York.
13. Miura, N., Koga, Y., and Nishida, K. (1986), “Application of a deep mixing method with quicklime for the Ariake clay ground” J. of Japan Soc. Soil Mech. and Found. Eng'g., Vol 34, no. 4, pp. 5-11.
14. Taylor, D. W.(1948), “Fundamentals of Soil Mechanics”, John Wiley and Sons, Inc., New York N. Y.
15. Thomas, B. R.(1993), “Wet fills : evaporative dewatering techniqes applied to earthworks construction”, ENGINEERED FILLS edited by B.G. CLARKE, C.J.F.P. JONES & A.I.B. MOFFAT pp. 99～108
16. Woo, S. M. (1971), “Cement and lime stabilization of selected lateritic soils”, Thesis No. 409, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
17. 松尾新一郎 外 1(1984), “石灰安定處理における添加材量と處理土の强度”, 土と基礎, 32-5, pp. 5-9
18. 石田 宏(1991), “生石灰 スラグによる高含水比火山灰質粘性土の凍上防止” 土と基礎, 39-8, pp. 5-10
19. 中村 俊行(1994), “路床. 路盤の安定處理”, 基礎工, pp. 28-34
20. 朴永穆(1994), “低平地に堆積する 海成粘土の 土質特性と 鉛直排水工法による 地盤改良に關する硏究", 博士學位論文, 佐賀大學大學院
21. 長澤徹明(1981), “凍結融解土の諸性質について, 土と基礎”, V.29 No.2 pp.39 - 46
22. 梅田美彦, 共著(1993), “クロ-ズドシステムにおける地盤凍結による土中水の移動の豫測に關する硏究”, 土木學會論文集, No.481 pp.165 - 174