

Ca, Al계 안정처리토의 구조적 특성의 비교

A Comparative Study on the Structural Characteristics of
the Stabilized Soils with Ca, Al System Admixtures.

鄭 斗 永*

Jung, Doo-Young

崔 吉 烈**

Choi, Gil-Ryal

李 秉 錫***

Lee, Byoung-Suk

Abstract

The results of stabilization process in silty-clays and sand-silts, which were, respectively, treated with Calcium hydroxide of the Calcium series and Aluminium Sulphate of the Aluminium series are follows.

- 1) In the former case used calcium hydrate and calcium cabonate for silty-clays, calcium aluminium cabonate oxide hydrate and calcium carbonate for sandy-silts were produced
- 2) In the latter case used Aluminium Sulphate, by X-ray diffraction test, it was found that Aluminium Oxide was produced both in silty-clays and sandy-silts
- 3) As the results of stabilization process, in the former case, unconfined compression strength was increased greatly but in the latter case it was little increased.

要 旨

점성토인 실트질점토(CL)와 사질토인 사질실트(SM)의 시료토에 Ca계의 소석회, Al계의 황산알루미늄 첨가제로 안정처리한 결과 Ca계에 있어서는 실트질점토의 경우 알민산칼슘수화물과 탄산칼슘이 반응생성 되었으며 사질실트의 경우에는 탄산화알민산칼슘수화물과 탄산칼슘이 반응생성(反應生成)되었고 Al계의 첨가 처리 경우에는 실트질점토와 사질실트 모두에서 산화알루미늄이 생성되어 있음을 X-선 회절분석에 의한 구조적 특성을 비교함으로써 확인되었고 이들 안정처리 효과로서 일축압축강도가 Ca계의 경우는 크게 증가하였으나 Al계의 경우에는 거의 증가가 없었다.

1. 서 론

근래 흙의 구조해석에 있어서 X-선 회절분석

이나 전자현미경의 이용도가 높아짐에 따라 미시적 단위의 점토구조나 안정처리토의 고결효과를 반응구조의 차원에서 형상, 크기 또는 결정

* 正會員, 全北大學校 教授

** 正會員, 群山開放大學 助教授

*** 正會員, 群山水產專門大學 講師

도 등을 구조적으로 직접분석 및 관찰을 할 수 있게 되어 흙의 구조(fabric)와 공학적 성질과의 관계를 연구하는데 많은 진전을 보고 있다. 이러한 점성토나 안정처리토의 구조가 흙의 공학적 성질에 미치는 영향등을 연구하는 경우에 있어서 흙의 구조를 크게 화학적 구조와 기하학적 구조의 요소로 나누어 생각할 수 있다. 시료토와 안정제의 수화(水和)에 의한 반응생성물도 이러한 구조적 차원에서 기본적인 개념이 많이 제시되어 있다. 본 연구에서는 Ca 및 Al계의 첨가제에 의한 안정처리토의 반응생성과정을 X-선회절분석으로 추적하여 강도발현과의 상관관계를 비교 검토하였다. Ca계 안정처리에 있어서 실트질점토나 사질실트의 경우 주된 반응은 포조란(Pozzolan)반응과 탄산화반응이고 다가(多價)양이온인 Al계에 있어서 실트질점토나 사질실트인 경우 반응구조는 이온화반응과 수산화화합물 등 이었다. 따라서 이러한 화학적반응에 의한 흙의 구조변화는 X-선회절분석에 의하여 추적될 수 있으며 기하학적 구조변화는 전자현미경에 의해서 분석될 수 있으나 이에 대한 연구는 추후에 발표할 계획이다.

2. 안정처리토에 관한 기초 이론

일반적으로 무기계(無機系) 토질안정제는 알카리성 안정제와 산성 안정제로 나누어지며 이에 관해서는 많은 이론들이 제시되어 있으나 본 연구에서는 Ca 및 Al계의 안정제에 관해서 거론하기로 한다.

2.1 소석회계 안정처리토의 원리

소석회계 안정처리토는 연약지반의 강도발현을 도모하며 지반개량을 하기위한 공법으로서 흡수작용, 이온교환작용, 포조란반응 및 탄산화반응 등의 화학적작용이 토질안정에 크게 작용을 하고 있다.

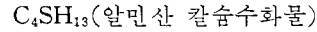
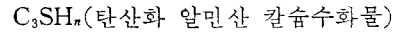
소석회를 대상토와 혼합하면 대상토에 포함된 토중수를 흡수하여 팽창하게되어 처리토의 초기 강도 증가가 일어나게 된다(흡수작용)^{1,2)}

그리고 이온교환작용에 있어서 이온교환하는 배열순서가

$$\text{Li} < \text{Na} < \text{H}^+ < \text{K} < \text{NH}_4^+ \ll \text{Mg} < \text{Ca} \ll \text{Al}$$

와 같다.

포조란반응은 Ca^{2+} 와 점토성분이 반응하여 Ca—Si계, Ca—Al계, Ca—Si—Al계의 반응생성물이 생성된다. 포조란반응화합물로서는



C_2SAH_8 (加水 gehlenite) 등이 있으며 탄산화반응 생성물로서는 탄산칼슘(CaCO_3)이 있다.

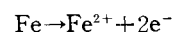
2.2 다가 양이온계 안정처리토의 원리

금속의 산화는 자연계에 있어서 부식(erosion)이라고 하는 형태로 나타나며 금속부식은 구조물을 비롯하여 지하매설물, 화학장치 등 여러분야에서 이용되고 있는 금속재료에서 생기는 현상이라 할 수 있다. 특히 지반중에 포함되어 있는 금속성분을 검토해보면 토립자와의 결합물질(cementation 재료)로서 수산화철($\text{Fe}(\text{OH})_3$) 산화알루미늄(Al_2O_3) 등이 존재하고 있다. 수산화철과 알루미늄은 흙입자 자체의 구성원소이고 일반적으로 철분은 FeO로 환산하여 10%정도 알루미늄분은 Al_2O_3 로 환산하여 30%정도 함유되어 있다. 결합물질이 되는 것은 이들이 풍화, 용탈(溶脫) 및 침적(沈積) 등에 의하여 비정질 상태가 된 입자계면(粒子界面)에 존재하는 경우에 해당한다. 따라서 이와같은 철분, 알루미늄을 인위적으로 흙중에 혼합하여주면 지반안정상 효과를 낼 수 있다는 것을 착안하였다. 일반적으로 철 또는 알루미늄의 다가양이온의 작용은 H^+ , OH^- 에 의존하여 산화물 수산화화합물의 생성 반응^{3,4)}을 한다.

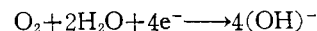
1) 금속철의 부식산화에 의한 철이온이 용출하는 경우

금속철의 부식산화기구를 간단하게 나타내보면 다음과 같다.

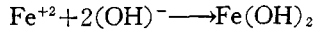
철이 이온화되어



와 같은 반응이 생기고 산소가 물분자 및 철이 이온화하면서 내놓은 전자와 반응하여



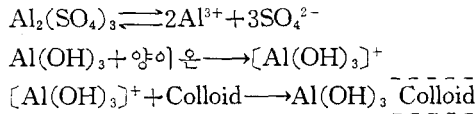
가 된다. 또한 양반응의 결과에서 생긴 생성물이 반응하여



로 된다. 이와 같이 생성된 수산화 제 1철은 매우 산화되기 쉽고 미량의 산소만 있으면 즉시 반응을 일으킨다.

2) Al 수산화작용으로 발생하는 반응 생성은 아래와 같다.

황산알미늄을 흙중에 첨가하면 흙중의 수분과 반응하여 분자가 분리되어 SO_4^{-} , Al^{3+} 가 된다. 그리고 $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})_3$ 와 $\text{Al}(\text{OH})_4^{-}$ 와 같은 알미늄 가수분해(加水分解)의 복합체가 된다. 이들중 양이온 성분을 가진 생성물은 음전하를 가진 점토입자와 결합하게 된다. 이것을 식으로 나타내면



3. 시료 및 실험방법

3.1 시 료

실트질점토인 S₁ 시료는 군산 개정지구에서,

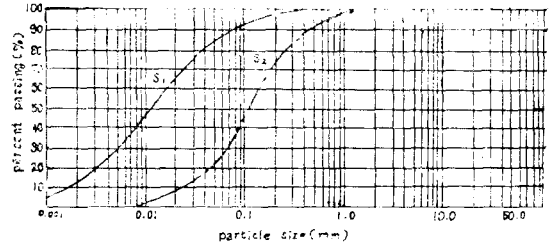


Fig. 1. Grain size distribution of soils

사질실트인 S₂ 시료는 군산 외항지구에서 채취하였으며 이들 두 시료채취 지역은 총적퇴적층으로 되어 있다.

이들 시료토의 입도분포는 Fig. 1과 같으며 또한 물리적 및 화학적 성질은 Table. 1, Table. 2, 및 Table. 3과 같다. 여기에서 S₁ 시료는 소성이 비교적 낮은 산성의 실트질점토(CL)이며 S₂ 시료는 약알카리성의 사질실트(SM)이다.

3.2 실험방법

본 처리토의 구조적 특성을 비교하기 위하여 다음과 같은 순서로 실험을 하였다.^{5,14)}

Table. 1 Physical properties of soils

testitem soil type	classification	specific gravity	mechanical analysis(%)			Atterberg limits(%)		
			sand	silt	clay	LL	PL	PI
S ₁	CL	2.55	10	55	35	39.6	21	18.6
S ₂	SM	2.6	70	25	5	NP	NP	NP

Table. 2 Chemical properties of soils

soil type	Ig. loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	pH
S ₁	6.78(%)	63.22(%)	22.64(%)	4.26(%)	1.05(%)	1.03(%)	4.3
S ₂	3.65	64.20	19.75	3.38	1.00	1.20	7.8

Table. 3 Exchangeable cation content

soil type	organic content	Ca/Mg	Cation exchange capacity (C.E.C) (meq/100g)	exchangeable cation (meq/100g)				dispersion
				Ca	Mg	Na	K	
S ₁	3.58(%)	1.13	9.90	2.83	2.50	0.40	0.47	26(%)
S ₂	1.52	0.96	8.90	2.70	2.80	0.50	0.12	56

1) 시료토의 물리적 및 화학적 성질 실험

2) 일축압축시험용 공시체 준비 :

제작한 공시체의 크기는 직경 5cm, 높이 10cm 이고 이 공시체는 Havard 식 다짐기를 사용하여 제작하였다.

3) 처리토의 첨가 및 양생과 일축압축강도 실험

첨가제는 Ca 계로서 소석회[Ca(OH)₂]와 다가 양이온인 Al 계로서 황산알루미늄[Al₂(SO₄)₃]을 사용하였으며 첨가율은 각 처리토에 대해 3%, 7%, 15% 및 30%이며 파라핀으로 피복한 시료를 실온(20~23°C)에서 3일, 7일, 28일, 60일 및 90일간 각각 양생시켰다.

4) X-선 회절분석실험

(1) 시료의 준비

시료토나 처리토를 분쇄하여 300번체(45μm)를 통과한 것을 유리판(두께 2mm)에 1×2cm의 구형(矩形)의 홈에 다져넣어 분석용 시편을 제작하는 분말법을 이용하였다.

(2) 측정조건

X-선 분석용 기체는 Rigaku D/max-III A 형을 사용하였으며 target 는 CuKα 를 사용하였고 filter 는 Monochrometer 를 이용하였으며 측정조건으로서 전압은 25KV 로 하였고 전류는 5mA 로 하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 X-선 회절분석

일반적으로 X-선은 결정(結晶)에 부딪치면 그 일부는 회절을 일으키고 그 회절방향과 회절강도(intensity)는 물질의 결정구조에 따라 달라진다. 이러한 현상을 이용하여 물질이 어떠한 결정구조를 갖는가를 분석할 수 있으며 측정방법은 X-선의 회절각(計數管의 回轉角 2θ)을 횡축으로, 회절강도를 종축으로 한 도표로 나타나며 회절분석은 정성분석(定性分析-物質의 同定)과 정량분석(定量分析)이 있다. 따라서 안정처리토의 Ca 및 Al계의 첨가제에 대한 X-선회절강도에 의하여 반응생성과정을 정성 또는 정량적으로 분석하므로써 처리토의 구조적특성을 확

인할 수 있다. 시료토에 포함된 결정성 점토광물의 판정에는 일반적으로 시료토를 약품처리 또는 열처리등을 하여 분석하고 있으나 본 처리토에 있어서는 무처리 방법을 이용하였다. 이 처리 방법은 정량분석이 아닌 정성분석으로 첨가제의 첨가에 따른 X-선회절의 결정회절강도만을 비교 검토하기 위한 것으로 이 방법을 택하였다.⁵⁾

1) 시료토의 X-선 회절분석

본 실험에서 사용된 시료토인 S₁과 S₂의 시편을 분말법으로 제작하여 회절분석실험을 하였으며, 상세한 회절분석의 결과는 참고문헌 14)에 수록되어 있다. 회절분석의 결과 동정(同定)은 흙에 함유된 광물명, 결정구조의 격자간 간

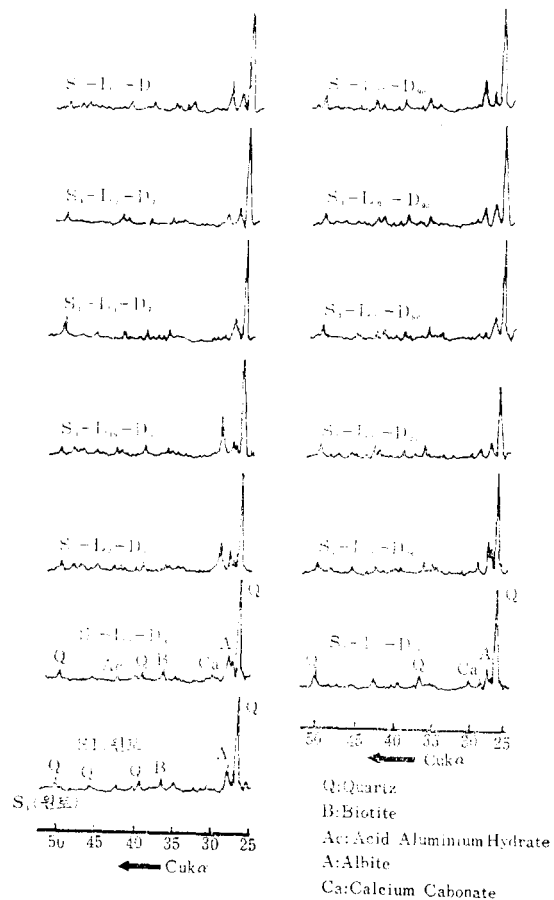


Fig. 2. Analysis of X-Ray diffraction in S₁ treated with Lime

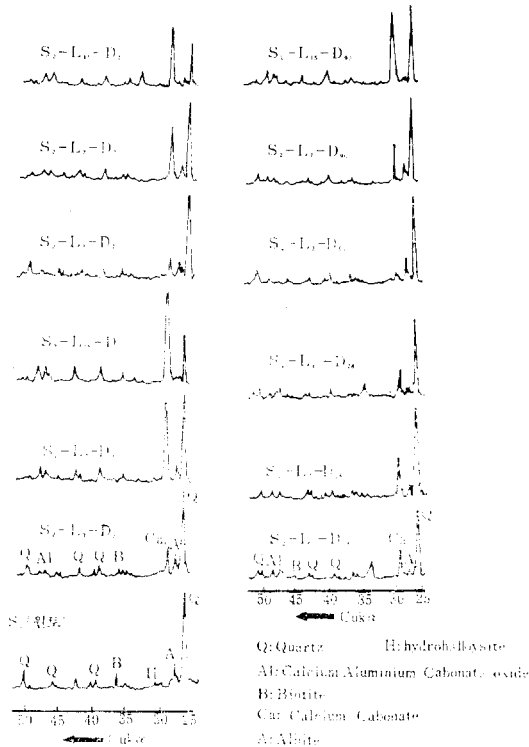


Fig. 3. Analysis of X-Ray diffraction in S_2 treated with Lime.

결과 그의 상대강도 및 결정면을 Miller 지수(h.k.l)등의 순서로 다음과 같이 나타냈다.

시료토(원토) S_1 의 1차 광물은 석영(4.26\AA)(100), (3.34\AA)(101), (1.54\AA)(202), 사장석(4.64\AA)(201), (3.176\AA)(002) 및 흑운모(10.1\AA)(001), (2.54\AA)(201)등이고 2차광물인 점토는 Kaolinite(7.15\AA)(001), (4.46\AA)(020)로 확인되었다. 그리고 시료토 S_2 의 1차광물은 석영, 사장석 및 흑운모 등으로서 S_1 과 거의 같으며 2차광물도 Kaolinite(7.15\AA)(001), (4.46\AA)(020)로 확인되었다. 사질토에서는加水 halloysite(2.938\AA)(114)의 peak가 확인되었다.

이상과 같이 S_1 및 S_2 시료의 주요 1차광물과 Kaolinite인 2차광물의 형성으로 보아 이들 두 시료의 채취지역은 지질 및 지형의 환경조건을 고려할 때 거의 같은 충적퇴적층임을 확인할 수

있었다.¹⁴⁾

2) 처리토의 X-선 회절분석

안정처리토의 대상이되는 S_1 및 S_2 시료토에 대하여 소석회 및 황산알루미늄 처리제를 흙에 첨가하여 처리한 결과를 편의상 시료별, 첨가제별 및 첨가율별, 양생일수별[예, $S_1-L_7-D_3 : S_1$ 시료에 소석회를 7% 첨가하여 3일간 양생시킨 것] 등으로 구분하여 표시하였으며 처리토를 X-선 회절분석한 결과는 Fig. 2~Fig. 5와 같이 나타내었다.

Fig. 2~Fig. 5 가운데 Fig. 2는 S_1 시료인 실트질점토(CL)에 대하여 소석회를 첨가한 처리토를 X-선 회절에 의한 반응생성물을 분석한 것으로 시료토의 Kaolinite와 소석회[$\text{Ca}(\text{OH})_2$]가 반응하여 알민산칼슘수화물($4\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3, 11\text{H}_2\text{O}$)

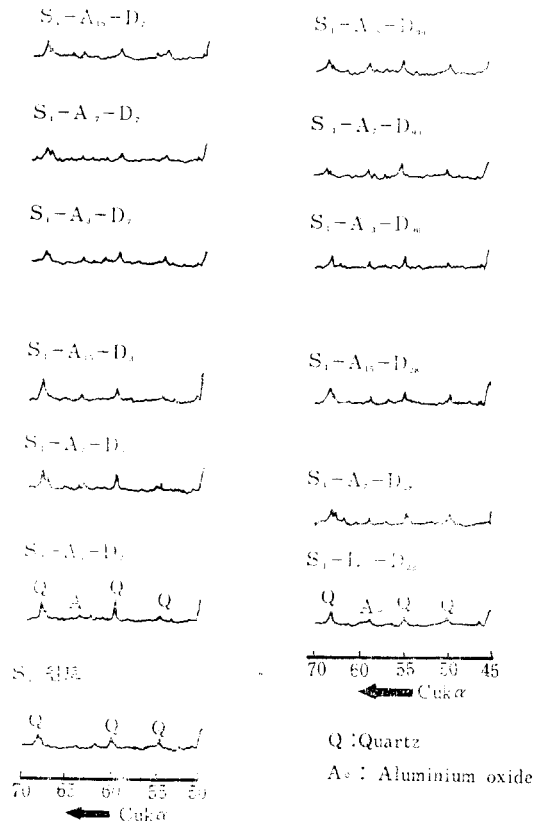


Fig. 4. Analysis of X-Ray diffraction in S_1 treated with Aluminium Sulfate.

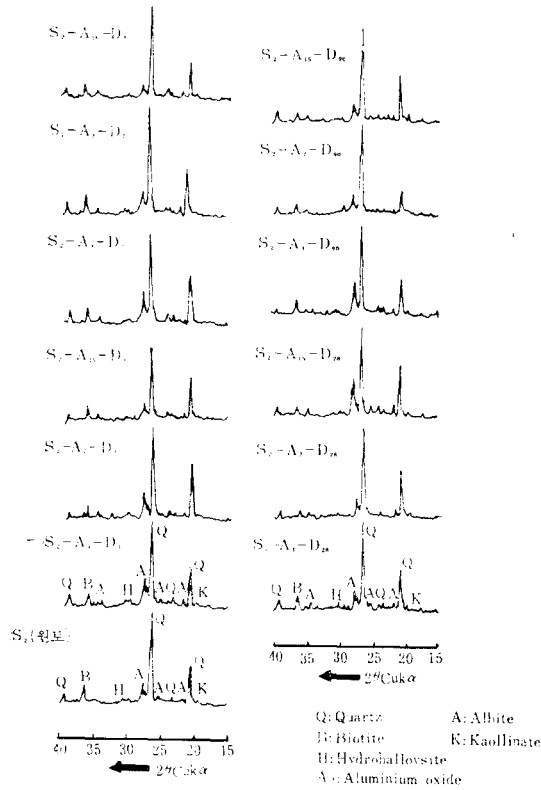


Fig. 5. Analysis of X-Ray diffraction in S_2 treated with Aluminium Sulfate

의 결정성 반응생성이 X-선회절의 peak(2.08\AA) (1028)에서 확인되었으며 알민산칼슘수화물은 첨가량증가에 따라 회절 peak가 증대하여 첨가량 3% 부근의 peak는 미약하게 나타났으나 7% 부근부터 점차 증대하고 있으며 또한 양생과정의 생성물로서 탄산칼슘(CaCO_3)의 회절 peak가 (3.02\AA) (220)에서 나타나 소석회 첨가량 증가에 따라 증대하고 있다. 또한 Fig. 3에서는 S_2 도 S_1 과 같이 시료토의 2차광물인 Kaolinite와 소석회가 반응되어 탄산칼슘(CaCO_3) (3.02\AA) (220)의 peak가 첨가량증가에 따라 증대하고 있으며 또한 반응생성물로 탄산화알민산칼슘

(3CaO , Al_2O_3 , CaCO_3 , $11\text{H}_2\text{O}$)의 peak가 3% 부근에서는 극히 적으나 7%부터 점차 증대하고 있다. 소석회첨가의 처리토에 대한 연구는 많은 연구자에 의해 보고되어 있으나 시료토의 특성에 따라 다소 다르다고 한다.

그리고 Fig. 4에서와 같이 S_1 시료에 첨가한 황산알루미늄이 토중수에 의해 분해되고 산화하여 산화알루미늄이 생성된 것을 회절 peak (1.45\AA) (020)에서 확인할 수 있었다. 그러나 첨가량과 양생기간에 따른 회절강도비의 변화가 거의 없으나 장기양생을 할 수록 회절 강도비는 미약하게 증가하는 경향이 있다. 또한 S_2 와 황산알루미늄과의 반응생성물은 Fig. 5에서 S_1 시료와 같이 산화알루미늄(Al_2O_3)이 (2.66\AA) (111)의 peak에서 확인 되었으나 S_1 , S_2 의 회절각이 각각 다르게 나타났다. 첨가제 첨가율의 증가에 따른 회절강도의 변화가 거의 없었으며 단지 양생기간 90일에서 약간 큰 폭의 증가를 보이고 있다.

X-선 회절분석에 의해 나타난 반응생성의 결정성(結晶性) peak는 첨가제 첨가량에 따라 회절강도의 변화를 초래하므로 반응생성물인 알민

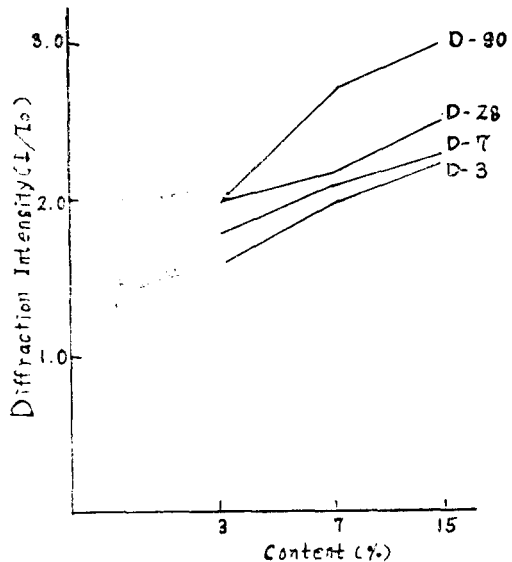


Fig. 6. Relationship between Lime content and 4CaO , Al_2O_3 , CaCO_3 , $11\text{H}_2\text{O}$ diffraction Intensity of S_1

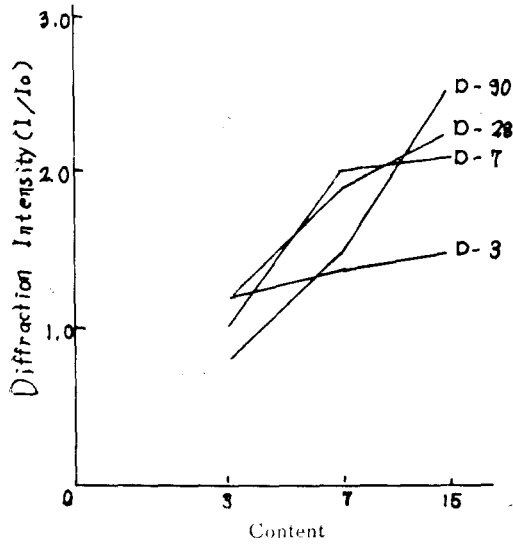


Fig. 7. Relationship between Lime content and CaCO_3 diffraction Intensity of S_2

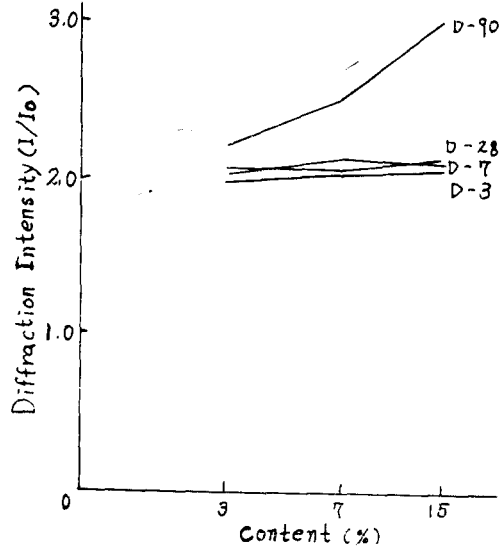


Fig. 9. Relationship between Aluminium Content and Al_2O_3 diffraction Intensity of S_2

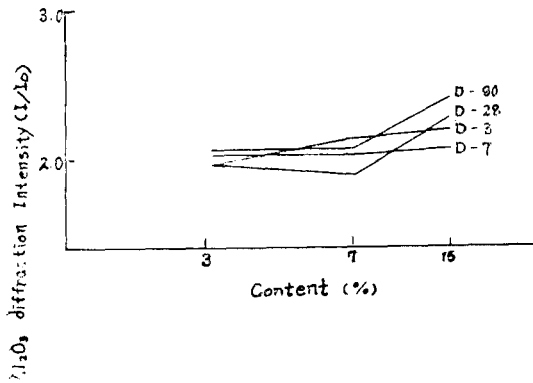


Fig. 8. Relationship between Aluminium Sulfate Content and Al_2O_3 diffraction Intensity of S_1

산칼슘수화물과 탄산칼슘 그리고 산화알루미늄의 첨가제의 함량증가에 따른 회절강도비의 변화관계를 Fig. 6~Fig. 9에서 나타내었다. Fig. 6의 S_1 시료에서와 같이 첨가제 소석회 함량의 증가에 따라 회절강도가 증가하고 있으며 Fig. 7의 S_2 시료에서도 첨가제 증가에 따라 회절강도가 증가하는 현상임을 확인할 수 있다. 한편 Fig. 8의 S_1 시료의 경우는 첨가제 황산알루미늄을 증가

시켜도 회절강도의 변화는 거의 없었으며 Fig. 9의 S_2 시료도 S_1 시료와 같이 변화폭이 거의 없는 경향이다. 이상과 같이 소석회 첨가제의 반응생성물은 주로 알민산칼슘과 탄산칼슘 등으로 점토광물과 소석회와의 결정구조가 고결효과에 영향을 주는 것으로 확인되었고 황산알루미늄의 첨가의 경우 반응생성물은 산화알루미늄으로 나타났으나 고결효과에는 크게 영향을 주지 못한 것으로 확인할 수 있었다.

소석회 처리효과에 대하여 Matsuo 등은 점성토에 있어서는 Pozzolan 반응 생성물로 C-S-A-H계 즉 알민산칼슘수화물의 반응생성을 보고한 바 있다.^{6,7,8)}

따라서 본처리토 S_1 과 같은 점성토의 경우도 예외는 아니라고 본다. 다만 처리토의 양생과정에서 양생온도나 처리과정의 조건등으로 탄산칼슘이 생성되는 경우가 많다고 한다. 이 탄산칼슘의 생성도 고결효과와 강도발현을 증강시키는 역할을 하고 있는 것으로 알려져 있으나 이에 대한 문제점의 연구도 진행되어야 할 것이다. 또한 Matsuo, Soung 등은 S_2 시료와 같은 사질토에 있어서 석회안정처리의 경우 중요반응작용을

탄산화작용과 고밀도화작용을 거론하고 있어⁹⁾ 본 소석회의 처리토에 대해서도 고찰해 보면 거의 본 실험결과와 일치하고 있음을 확인할 수 있었다.

황산알미늄의 처리효과에 대해서는 다가양이온의 작용이 일반적으로 H^+ 와 OH^- 의 농도에 의존하여 반응되나 다짐의 최적함수비의 조건에서는 황산알미늄의 분해와 산화작용이 활발하지 못한 것으로 생각되며 Kamon 등은³⁾ 다가양이온(Fe^{2+} , Al^{3+})의 이온교환효과와 산화작용의 물리적 흡착작용을 점성토의 경화효과로 정의하였고 처리토의 강도발현에도 기여한다고 하였으며 이온교환 $Ca^{2+} < Al^{3+}$ 의 정의와 산화작용의 물리적 흡착에 의존한 반응은 산화물이나 수산화물의 생성으로 산화축진을 시켜 고결화효과를 초래한다고 언급하고 있다.^{11,12)} 따라서 점성토와 같은 S_1 에 황산알미늄을 처리할 경우 최적함수비 조건에서는 산화작용이 활발하지 못하여 처리효과가 크지 않으며 S_2 의 사질토의 경우는 S_1 의 점성토보다도 더욱 효과가 없었다.

4.3 일축압축강도관계

본 S_1 및 S_2 의 시료토에 대한 소석회, 황산알미늄첨가에 의한 처리토별, 첨가제별, 양생별로 구분하여 일축압축강도를 측정 한 결과 Fig. 10~Fig. 13과 같다. 처리토의 강도발현은 S_1 의 점성토에 있어서 소석회첨가에 따른 강도변화를 보면 무첨가제와 비교할 경우에 강도발현의 증가 폭이 크며 장기양생 60~90일에 있어서는 강도의 증가폭이 감소되는 경향이다. S_1 에 있어서는 점성토로서 소석회와의 반응생성물은 알민산칼슘수화물로 강도발현의 효과면에서 볼때 속성효과로 볼 수 있고 양생과정에서 생성되는 탄산칼슘의 반응생성도 강도발현을 위한 고결효과를 초래하고 있다고 생각된다. 또한 Fig. 6과 Fig. 10에서 S_1 시료와 소석회 반응생성물인 탄산화알민산칼슘의 최종강도비의 증가가 일축압축강도의 증가에 큰 영향을 주고 있음을 알 수가 있다. S_2 의 사질토에 있어서는 강도발현이 첨가량의 증가에 따라 단기양생 7~28에 있어서 증가폭이 적으며 장기양생에 있어서 증가폭이 커진 것을 알 수 있었다. 따라서 소석회 첨가에

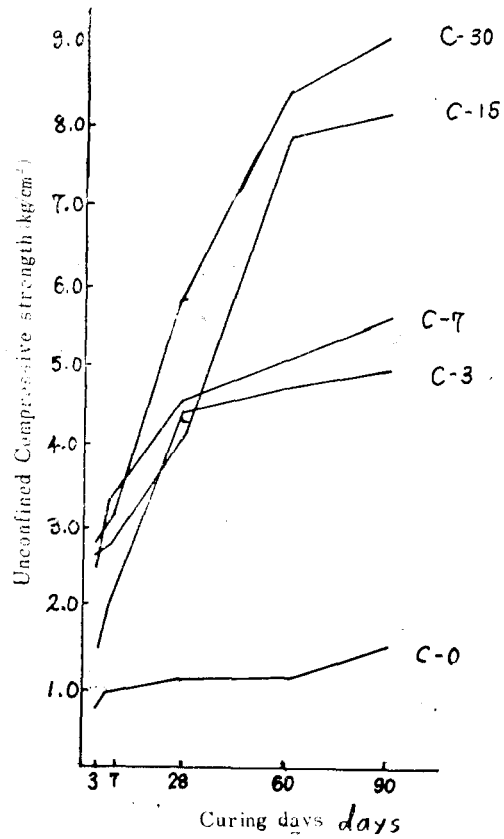


Fig. 10. Relationship between curing days and unconfined compressive strength of S_1 (Lime).

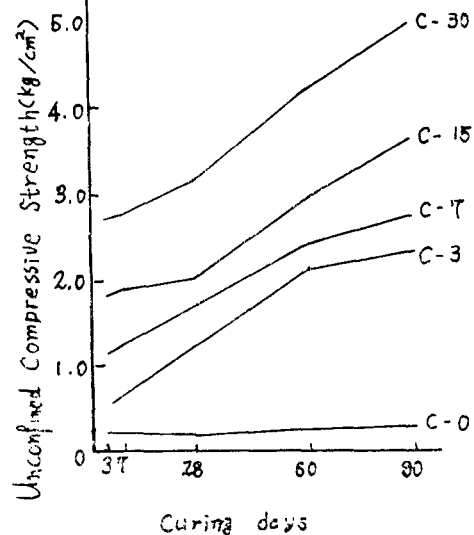


Fig. 11. Relationship between curing days and unconfined compressive strength of S_2 (Lime).

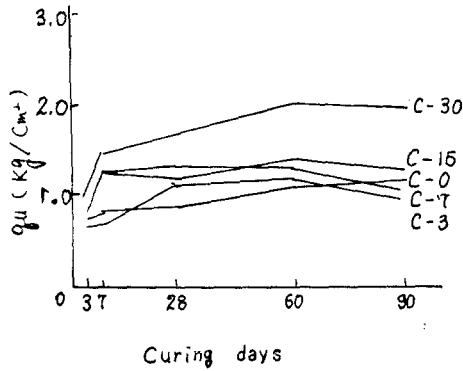


Fig. 12. Relationship between curing days and unconfined compressive strength (q_u) of S_1 (Aluminium sulfate)

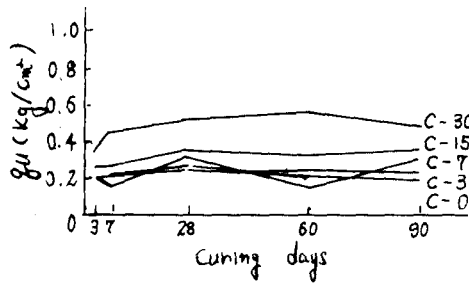


Fig. 13. Relationship between curing days and unconfined compressive strength (q_u) of S_2 (Aluminium sulfate).

있어서는 첨가량 7% 이상에서 강도가 증가함을 알 수 있고 첨가량 증가와 장기양생에 있어서는 오히려 강도의 증가폭이 감소되는 경향도 보인다. 또한 Fig. 7에서 S_2 의 반응생성물인 탄산칼슘의 회절강도비의 변화는 Fig. 11의 일축압축강도의 변화에 서로 상관관계를 가질 수 있는 것으로 보아 S_2 의 반응생성물인 탄산칼슘의 회절강도비가 일축압축강도의 변화에 영향을 주고 있음을 알 수 있었다.

松尾 등은 점성토의 소석회첨가에 의한 처리토에 있어서 양생이 강도에 주는 영향이 크며, 첨가량 8% 및 10%에 있어서 강도의 증가가 확인되었으며 8% 내외가 최적혼합량이라고 하였고 사질토에 있어서는 소석회의 첨가에 따라 단기반응에 의한 강도의 증가가 큰 것으로 보고하였

다.^{9,13)}

그러나 점토광물의 특성에 따라 안정처리토의 반응구조가 달라진다고 알려져 있으며 본 처리토에 있어서는 소석회의 반응구조로 보아 탄산화작용이 강도발현에 큰 영향을 준 것 같다.

황산알루미늄 첨가에 따른 강도변화는 Fig. 12에서 볼 수 있는데 S_1 의 점성토에서는 무첨가 때의 경우 양생에 따른 강도변화가 거의 없으며 첨가량 증가에 있어서도 강도발현의 증가폭이 거의 없고, 첨가량 30%에 있어서 장기양생에 따른 강도증가는 약간 있으나 이는 gel화의 응집고결효과가 아니고 고밀도화에 의한 것으로 생각된다.

Fig. 12에서 볼 수 있는 바와 같이 S_2 의 사질토에 있어서도 S_1 과 같이 양생 및 첨가량 증가에도 강도발현의 증가가 없음을 확인할 수 있고 첨가량 30%에 있어서 강도증가는 있으나 이 증가도 고밀도화에 의한 것으로 생각된다. Fig. 12와 Fig. 13을 비교해 보면 S_1 시료의 초기강도가 S_2 시료에 비해 큰데 이는 S_1 시료가 S_2 시료보다 점토함량이 많아 황산알루미늄의 첨가에 의해 점토입자의 표면응집과 고결효과에 변화를 주었다고 생각되며 Kamon 등도 점토입자에 대한 Zeta 전위의 감소에 의해 입자간의 응집 및 다가가이온에 의한 입자간의 Cementation 현상을 보고한 바 있다.³⁾

본 실험의 결과에서 볼 때의 황산알루미늄의 첨가에 대한 강도발현은 점성토나 사질토를 막론하고 Cementation 효과가 적으므로 2차적인 첨가제로 사용하는 것이 좋겠다고 생각된다. 그러나 반응생성물의 구조적 특성을 전자현미경의 미시적 관찰로 비교 검토하는 것도 앞으로 연구해야 할 과제이다.

5. 결 론

소석회[Ca(OH)₂]와 황산알루미늄[Al₂(SO₄)₃]으로 실토질점토(CL) 및 사질실토(SM)를 안정처리하여 X-선회절에 의해 반응생성의 구조적 특성과 강도발현에 대하여 비교 검토한 결과 다음과 같이 요약할 수 있었다.

1. Ca계 첨가제로 안정처리를 할 경우 실토

질 점토에 있어서는 반응생성물은 알린산칼슘 수화물과 탄산칼슘 등이고 사질실트는 탄산화알민산칼슘과 탄산칼슘 등으로서 첨가제를 7% 이상 가한 경우에는 회절 peak가 증대하는데 이는 Ca계의 탄산화작용 때문이다.

2. Al계 첨가제로 안정처리를 할 경우 실트 질점토에서는 반응생성물은 산화알루미늄과 수산화알루미늄 등이고 사질실트에서도 거의 동일하며 이에 대한 회절강도가 첨가제 3% 이상인 경우에서 나타나는데 이는 Al계의 산화작용 때문인 것으로 생각된다.

3. X-선의 결정성(結晶性)회절 peak의 강도 변화가 Ca계 첨가제의 경우 회절강도(diffraction intensity)비의 증가율이 크고 Al계 첨가제의 경우는 이 강도(intensity)비의 증가율이 거의 없으며 이들 회절강도비는 처리토의 강도(strength) 발현에 상관성이 있음을 비교할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 伊東範雄, “生石灰による地盤改良” 日本工業新聞社 昭和 44年 pp.31~72.
2. 吉田信夫, “セメント系地盤改良の原理から施工まで” 土本施工 Vol.22, No.3, 1981, pp.44~52.
3. Kamon Masashi, “Study on the Engineering Properties and Stabilization for Supper Consolidated Clay” Kyo to University Doctor's Thesis, kyoto Japan, Syowa 54. pp.141~172.
4. Biack, C.A., Evans, O.D., and white, J.L., “Methods of Soil Analysis” Agronomy-No.9, American Society of Agronomy, 1980, pp.341~346.
5. 淺田榮一, 貴家恕夫, 大野勝美, “X-線分析” 基礎

分析化學講座 24 共立出版株式會社, 昭和 43年 pp.44~69.

6. Quigley, R.M. and Thompson “The Fablic of Anisotropically Consolidated Sensitive Marine Clay” Canada Geotechnical Journal 3. 1966, pp.61~72.
7. Matsuo and Kamimura, “The Study of Soil Stabilization with Lime Type Additive Soil and Foundation” JSSMFE, 1984, pp.5~9.
8. 上村克己, 松尾新一郎, 森川裕一, “Pozzolan 反應生成物の追跡” 日本土質工學會 第34回 年次學術講演會概要集 昭和 54年 10月, p.163.
9. Matsuo. S, and Young-Kung Soung “The Fablic Study of Lime Stabilized Soils by X-Ray and Electron Microscope” JSCE. No.193, 1971.9, pp.59~68.
10. Soung Young-Kung “Microscope Reserch on the Relationship between Fablic and Engineering Properties of Stabilized Soils” Kyo to University Doctor's Thesis, Kyo to Japan, Syowa 46, pp.115~170.
11. Matsuo. S, and Kamon. M., “Soil Stabilization by Multivalent Cations” Proc 1st Aust Cont Engineering Meterial, 1974, pp.735~738.
12. Matsuo, Kamimura and Morikawa, “Reserch of Pozzolan Reaction Phases” Proceeding of the Japan Society of Civil Engineering 3, 1979.10, p.163.
13. 松尾新一郎, 田邊和康, 富田武溝 “尾道層群粘土の物理化學的特性および石灰安定處理特性” 日本土木學會 第34回 年次學術講演會, 昭和 54年 10月, p.171.
14. 鄭斗永, 李秉錫, “X-Ray 廻折에 의한 Ca, Al계 안정처리토의 구조적 특성의 비교” 大韓土木學會, 學術發表會, 1985.10, pp.578~586.