

海成粘土의 石灰 및 시멘트 安定處理에 미치는 鹽分의 影響

A Study for Influence of Salt on Stabilized Marin Clay with Lime and Cement

정 두 영*
Jeong, Doo-Yung
이 병 석*
Lee, Byung-Suk

Abstract

The stabilization by lime or Portland cement has long been the most commonly used methods for clay soil. But it was the purpose of this reserch to define the effectiveness salt content on unconfined compressive strength of lime-clay mixture and cement-clay mixture. From result of a laboratory investigation, salt content in sample soil was not concernd with variation of PH value. PH value of lime 10% mixture and of cement 10% mixture were near 12.4, 11.6 respectively. In case of more than 7 curing days, PH value and Ca^{++} ion concentration were decreased with increasing curing time. Also the result of X-ray difflection analysis for stabilized soil by admixture 10% in 90 curing days showed that the diffrection intensity of Tobermorite and Ettringite and other reaction products was smaller in the case of addition of salt 8% than salt 0% in stabilized soil. When lime-soil mixture and cement-soil mixture were cured in 20°C and 5°C, 20°C cured mixture produced significantly higher compressive strength than 5°C cured mixture and air dry curing sample produced higher than cured sample in water. The addition of salt 2~4% in conjuntion with lime or cement may accelerate strenth gain or not prevent from. However, the addition of salt 8% prevent from strength gains.

요 지

석회 및 시멘트에 의한 안정처리는 이미 일반화 되어있지만 본 연구는 해안지역에서 토질안정처리를 할 경우 염분이 처리토의 강도발현에 미치는 영향에 관한 문제를 검토하였다. 실험 분석한 결과 시료토의 염분함량은 PH변화와는 거의 관계가 없으며 석회나 시멘트 첨가량 10%에서 석회의 PH는 12.4, 시멘트는 11.6에 근접하였다. 또한 양생기간이 7일 이상인 경우 시간이 경과할수록 PH와 Ca^{++} 이온 농도가 감소함을 볼 수 있었고 첨가량 10%의 처리토를 90일 양생한 후 X-ray회절 분석한 결과 NaCl 8% 함유의 처리토가 0% 함유의 것보다 Tobermonite, Ettringite 등의 반응 생성 peak가 감소함을 확인할 수 있었다. 석회와 시멘트 처리토를 20°C와 5°C로 양생했을 때 20°C로 양생한 것이 5°C로 양생한 것보다 일축압축강도가 크고, 기전양생의 처리토가 수침양생의 것보다 압축 강도가 컸다. 그리고 2~4%의 염분함량은 처리토의 일축압축강도를 촉진시키거나 강도발현을 저해하지 않았으나 8%의 경우에는 강도발현이 저하됨을 알 수 있었다.

*1 정희원, 전북대학교 공과대학 토목공학과 교수

*2 정희원, 전북대학교 대학원 박사과정

1. 서 론

연해안 지역은 지질구조에 따라서 일반적으로 층적 연약 퇴적 지반이 많아 침해단지조성, 도로, 제방 등 많은 구조물 축조에 잔층 또는 심층 안정처리 공법을 적용하는 경우가 최근 많아졌다. 연해안 지역의 층적퇴적층은 많은 염분이 흙의 간극부분에 침투되어 있으며 흙의 입자 자체도 염분을 함유하고 있어 이러한 지역의 토질 안정처리 문제에 있어서 염분의 영향을 검토하려는 경향이 진전되고 있으며 Marks 등이 지역적으로 연구한 바 있다.

또한 외국에서는 연해안 지역의 콘크리트 구조물에 있어서 골재의 염분 함유나 해수 해풍 등이 콘크리트 조기 노화 부식 등에 염분이 미치는 영향 등에 관한 연구는 크게 진전되어 그 대책까지도 거의 규정화되어 있으나 토질안정처리토의 염분이 강도에 미치는 영향에 관한 연구는 그다지 많지 않다.

본 연구에서는 많은 염분을 함유하고 있는 해저토, 연해안 퇴적해성점토 등의 안정처리에 있어서 염분이 강도발현에 어떻게 영향을 미치는가를 서해안지역의 해성퇴적토를 대상으로 하여 물리화학적 특성과 강도발현의 관계를 실험을 통하여 시도한 것이다. 분석결과 염분이 함유된 시료토에서 점토의 특성에 따라 다르겠으나 Kaolinite인 본 시료토는 염분의 함량 2~4% 범위에서는 단기양생에 있어서 염분 함량이 크게 영향을 주지 않으나 8%인 경우에는 장기양생에 있어서 강도에 영향을 주고 있음을 확인할 수 있었고 이는 장기양생 과정에 있어서 Ca^{++} 이온용량이 감소하며 처리토의 알카리 실리카 반응에 염분이 영향을 주어 결정도가 낮아진 것으로 추측되며 다량의 염분 함량은 처리토에 영향을 미치는 것으로 생각된다.

2. 처리토에 대한 자료

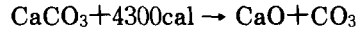
2.1 토질안정처리의 기본원리

토질안정처리방법 중 석회계의 기본원리는 흡수발열반응, 이온교환작용, pozzolan 반응, 탄

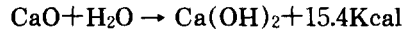
산화반응 등이 있고, 시멘트계는 ion교환작용, pozzolan 반응, 수화반응 등이 있으며 이상과 같이 석회계나 시멘트계가 거의 공통된 반응이다. 4, 11, 12, 13, 15) 각계의 반응을 요약하면 다음과 같다.

2.1.1 석회계 안정처리의 원리

생석회는 석회암을 1100℃ 이상으로 燒成하여 만든 것으로



생석회(CaO)를 물과 혼합하면 소석회[Ca(OH)₂]를 생성한다.(이와 같은 과정을 소화흡수반응이라 한다)



생석회와 물과의 화학반응으로 생성된 소석회가 점토와 혼합되면 이온교환작용과 pozzolan 반응이라 하는 반응 등으로 고결화 효과를 기대한다. 따라서 pozzolan 반응은 점토에 석회를 첨가하면 점토에서 溶出된 실리카나 알루미늄이 증대하여 Ca^{++} 와 반응하여 지금까지 존재하지 않았던 새로운 화합물을 생성하며 새로운 화합물은 Ca-Si계 화합물, Ca-Al계, Ca-Si-Al계 등이 있으며 이러한 반응생성물을 석회수화 생성물(pozzolan 반응 생성물)이라 부르며, Tobermorite, 벨트산 석회 또는 가수 gellenite 등이며 2차반응인 탄산화반응 등이 있다.

2.1.2 시멘트계 안정처리의 원리

시멘트의 주성분은 생석회(CaO)이며 그밖에 흙과 같은 성분의 실리카(SiO_2), 아르미나(Al_2O_3), 산화철(Fe_2O_3) 등이다. 그러나 이러한 성분중 어느 비율로 혼합하여 물을 가하여도 경화하지 않는 것은 위의 성분 등은 안정된 화합물로서 반응(경화반응)을 일으키지 않는다. 따라서 시멘트 燒成勿의 組成式을 종합하면 $3CaO \cdot SiO_2(C_3S)$, $2CaO \cdot SiO_2(C_2S)$, $3CaO \cdot Al_2O_3(C_3A)$ 등으로 이들 소성분에 물을 가하면 물과 반응하여 gel 생성이 시작된다.(cement paste) 즉 수경성으로서 물을 가하여 생성한 화학반응을 수화반응이라 하며 수화반응에는 Tobermorite, Ettringite 등이 생성되고 이들 반응 수화생성물에 의해 모래, 실트 등을 접착(cementation)하여 고결화 효과를 기대한다.

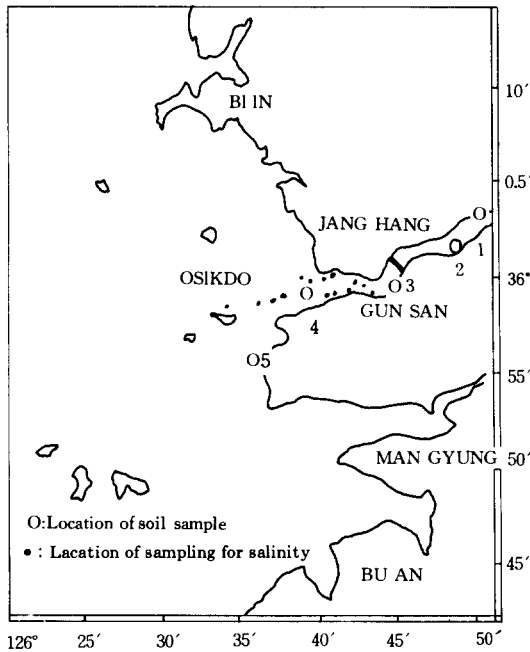


그림1. 시료토와 염분농도 측정용 해수의 채취 위치도

만일 흙중에 점토가 존재하면 cement에서 용출된 Ca^{++} 가 이온교환 작용을 하며 또한 유리된 석회(수화반응에 의해 생긴 석회)와 점토와의 pozzolan반응이 일어나게 된다.

2.2 시료토의 물리화학적 특성

해성점토의 간극수나 입자에 함유되어 있는 염분이 석회 및 시멘트의 처리에 있어서 강도 발현에 미치는 영향을 검토하기 위하여 서해 군산항을 중심으로 연안 및 근해의 해성점토를 채취하였으며 그 시료토의 물리화학적 특성을 조사하였다. 또한 시료토의 물리화학적 특성의 상세한 것은 대한 토목학회 학술발표회 개요집(1990. 10.)에도 있음¹⁹⁾

3. 실험방법

시료토의 물리화학적 특성은 앞의 2-2와 같고 이들의 실험은 시료토의 물리적 성질 실험 및 화학적 성질실험 등에서 언급되었으며 석회 및

표 1 금강하구연안 지역 해수의 염분농도(단위: %)

Months Site	1	4	6	8	9	11	비 고
하구둑부근	1.842	2.295	1.679	1.152	1.310	2.303	표본은 해수면하 0.5m, 해저면상 1.0m 지점
중 간 부 근	2.364	3.029	1.823	1.529	1.895	2.617	
오식도부근	2.863	3.108	2.293	1.923	2.193	2.670	

표-2. 시료토의 물리적 특성

시료종류 항목	내초도	의항	하구둑	나포	옹포	Kaolinite	
자연함수비(%)	23.49	73.5	62.6	73.33	63.4	100	
액성한계(%)	26	30	29	32	33.5	44.9	
소성한계(%)	19	22.6	24	26.50	26.60	23.0	
소성지수	7	7.4	5	7.9	7.9	21.9	
비 중	2.62	2.65	2.58	2.55	2.57	2.6	
단위중량(t/m^3)	1.71	1.51	1.53	1.49	1.54	0.74	
흙 분 류	sand	40	36	17	8	12	#300 이하
	silt	24	33	51	55	48	
	clay	3600	31	32	37	40	

표 3 시료토의 화학적 특성

시료종류 분석내용	내초도	외항	하구둑	나포	응포	Kaolinite
SiO ₂	62.38	61.02	63.38	70.28	58.16	22.10
CaO	1.58	1.20	1.0	1.1	1.58	0.80
Fe ₂ O ₃	4.04	6.5	7.2	4.31	5.84	0.39
Al ₂ O ₃	17.2	15.91	13.88	9.56	18.24	19.57
MgO	1.4	0.74	0.36	0.28	1.60	0.54
Na	5.7	4.9	4.5	6.2	4.1	6.2
TiO ₂	0.4	0.62	0.68	0.15	0.58	6.8
Ig.Loss	2.43	3.77	2.65	2.56	2.8	11.0
염분(%)	12.75	3.0	1.5	1.7	1.0	0.02
PH	7.74	6.81	6.35	7.4	6.85	7.1
CaO/SiO ₂	0.025	0.02	0.016	0.0156	0.027	0.036

표 4 시료토의 C.E.C

시료종류 분석내용	내초도	외항	하구둑	나포	응포	Kaolinite
C.E.C(meq/100g)	6.02	7.73	9.64	12.35	9.04	7.00
Ca/Mg	1.13	3.93	1.62	2.80	0.98	1.48

시멘트 첨가량을 0, 5, 10, 20%로 한 처리토의 실험방법은 다음과 같은 순서로 하였다.

1) 시료토의 염분 함량 조절은 염분함량측정기(SA-10Kb. 동아전과공업사)를 이용하였다.

2) 처리토의 Ca⁺⁺함량분석을 첨가량 별로 원소분석기인 ICP-ACS(Labtam-710)에 의해 염산수용액(3%)과 가성소다 수용액(20%)으로 용해하여 측정하였다.

3) 처리토의 PH측정은 첨가량별로 100ml 비이커에 시료흙 약 30g과 증류수 50ml를 넣어 포리스만으로 흙을 완전히 현탁액상태로 한다음 30분이상 방치한뒤 NOVA-210C, Digital ph/mv Meter로 측정하였다.

4) 처리토의 반응생성물의 화합물을 X-Ray 회절분석기(Rigaku D/max-III A형)를 사용하였으며 측정조건은 target: CuK α , filter: Monochrometer, Scan speed: 2DEG/Min, voltage/current: 40Kv, 200mA 하였다.

5) 일축압축강도의 공시체는 Havard식으로 다짐하고 고분자 필름으로 밀봉한 조건으로 하여 양생후 일축압축강도 측정을 Tokyo Testing machin MFG. Co. TA-311실험기로 하였으며 또한 양생조건은 상온 20℃와 5℃로 기건 양생 및 수침양생을 항온수조와 냉장장치를 이용하였다.

4. 결과 및 고찰

본 조사는 그림-1과 같이 군산지역 연안의 5개 지역을 대상으로 하였으나 연구의 대상은 나포(Na PO), 외항(Outer Port)과 Kaolinite(시멘트: JAPAN Showa Chemicals INC.)을 이용하였다. 또한 실험은 첨가제로 석회, 시멘트를 택하여 첨가량 0, 5, 10, 20%로 하였으나 처리토의 강도발현에 대한 중간영역이라 할 수 있는 10%의 처리토를 중심으로 언급하기로 한다.

4.1 시료토의 공학적 특성

표-1은 이 지역의 해수의 염분농도 분포이고 표-2~3은 시료토의 물리, 화학적 성질이며 시료토의 염분함량은 1~17% 범위의 다양한 분포를 나타내고 있다. 양이온 교환능(C.E.C)은 표-4와 같다. 이미 언급된 바와 같이 시료토를 탈염상태에서 염분 5, 10, 15%로 조절하여 KSF 규정에 따라 물리적 성질실험을 한 결과 비중의 염분 농도 10%의 것은 0.03 ~ 0.1범위로 감소하였고 입도 분포는 실험결과 염분 농도의 증대에 따라 오차가 커짐을 볼 수 있었다. 이는 현탁액의 밀도를 증가시킴으로써 생긴 것으로 생각되며 액성한계는 7~16%, 소성한계는 0~4% 정도의 감소를 하고 있다. 이상의 결과에서 염분농도의 증가에 따라 흙의 물리적 성질의 변화 현상은 염화나트륨(NaCl)이 수중에서 용해하면 부피가 감소하는 것으로 염분중의 이온의 종류나 염농도에 따라서 세립토의 물리적 특성에 큰 영향을 주는 것으로 확인되었다.

본 시료토의 화학적 성질실험에서 고찰해 보면 흙의 주성분은 이산화규소(SiO_2), 산화알루미늄(Al_2O_3), 산화제2철(Fe_2O_3) 등으로 구성되어 있으며 그 비는 $\text{SiO}_2 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ 로서 1.11~5.03범위이고 또한 Ca, Mg 등이 잔존하며 흙의 주성분의 비가 높을수록 알칼리성을 띠고 있음을 알 수 있었다. 흙이 산성이면 PH는 6 이하인데 본 대상지역의 시료토는 PH 6 이하가 없었다. 또한 이온교환용량(C.E.C)은 본 시료토의 치환성 Ca^{++} 의 양을 나타낸 것으로 시료토가 점토광물을 많이 포함할수록 이 값은 증대하며 처리토의 강도발현과 PH와도 상관관계가 있음을 알 수 있다.^{1, 5, 8, 16, 19)}

4.2 처리토의 염분변화에 따른 다짐특성

본 다짐은 Havard식 다짐기로 KSF규정에 의해 다짐하였고 시료토는 염분함량 0, 4, 8%로 조절하였으며 지역-첨가제(첨가량)의 순의 기호를 쓰고 석회 및 시멘트 첨가량 10%의 것을 다짐한 결과 다음 그림-2~6과 같다. 그림에서와 같이 다짐결과를 보면 염분함량증가에 따라 건조단위증량은 석회의 경우 증가폭이 시멘트

에 비해 크고 함수비는 염분함량 증가에 따라 감소하며 염분함량 8%의 경우 함수비가 석회 처리토는 7%범위 시멘트처리토는 3% 정도가 감소하고 있다. 따라서 염분함량 증가에 따라 건조단위 증량의 증가와 최적함수비의 감소를 확인할 수 있었다. 이는 염분이 용해하여 입자 간극을 충전해줌으로써 밀도는 증가하고 또한 토립자 사이의 Na^+ 이온의 축매작용에 의해 반응생성의 촉진으로 함수비의 감소를 가져온 것으로 생각된다.^{3, 13)}

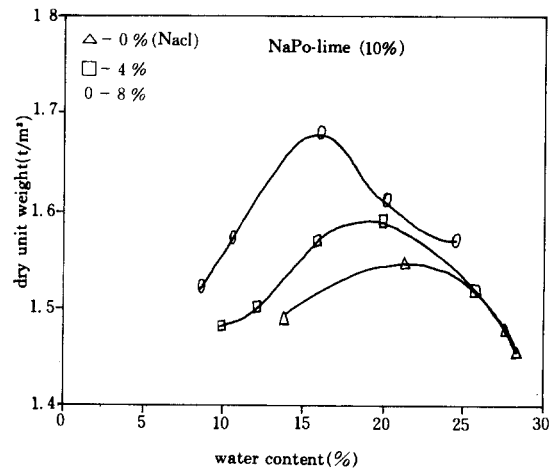


그림 2. 석회처리토의 염분 함량과 다짐관계

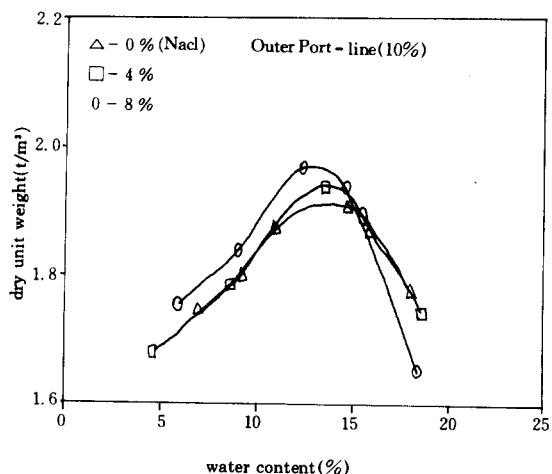


그림 3. 석회처리토의 염분 함량과 다짐관계

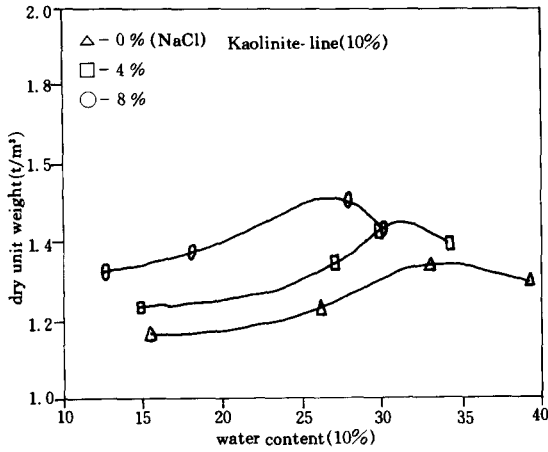


그림 4. 석회처리토의 염분 함량과 다짐관계

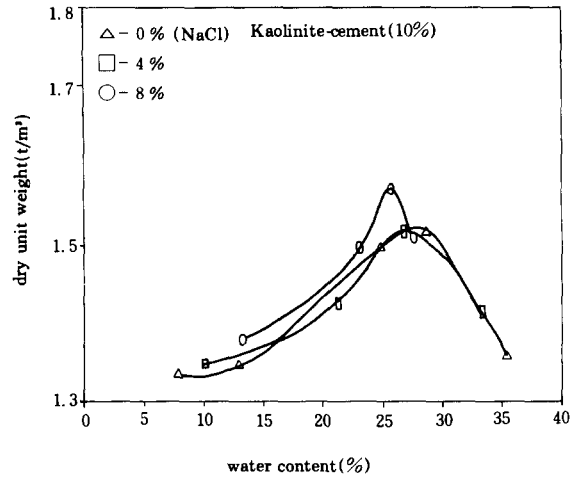


그림 7. 시멘트처리토의 염분 함량과 다짐관계

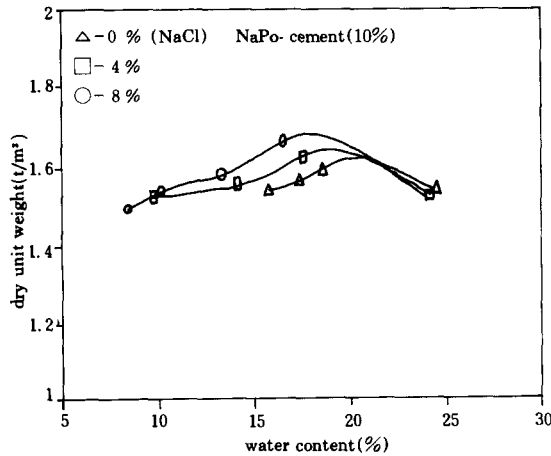


그림 5. 시멘트처리토의 염분 함량과 다짐관계

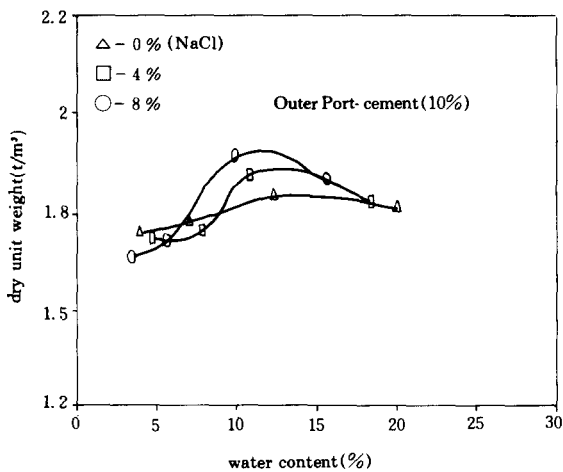


그림 6. 시멘트처리토의 염분 함량과 다짐관계

4.3 염분함량과 PH 및 Ca⁺⁺ 농도의 변화관계

본 처리토의 PH 변화는 지역-첨가제-첨가량 별로 기호를 쓰고 측정결과는 그림 8~13과 같고 석회 및 시멘트 10% 첨가에 양생 7일, 90일 경과와 PH분포는 표 5와 같다. 그림에서와 같이 무첨가 시료토의 PH는 6.8~7.4의 범위이며 첨가제를 증가함에 따라 변화폭이 크고 석회의 경우 양생경과에 따라 초기에는 상승하여 12.4 범위이고 장기양생 후에는 감소하여 10 범위이며 시멘트의 경우는 석회보다 약간 적은 값이다. 표 5는 정규 모집단의 모평균 구간 추정을 t분포를 이용하여 구한 신뢰구간을 나타낸 것이다.

처리토의 PH변화는 첨가제 증가에 따라 크게 증가하며 장기양생과정에서는 감소함을 볼 수 있었고, 시료토에 대한 염분의 영향은 거의 없음을 확인할 수 있었다. 또한 표 6은 처리토의 양생결과에 따른 Ca⁺⁺ 농도의 변화분포를 나타낸 것이다.

이상과 같은 결과에서 처리토의 PH의 초기 상승은 첨가제의 Ca⁺⁺의 용출에 따른 양ion 교환작용 현상이고 양생경과에 따라 감소되는 경향은 처리토의 Ca⁺⁺의 감소와 탄산화의 영향을 받아 저하된 것으로 예상할 수 있다. 따라서

PH의 변화는 염분의 함량과는 관계가 거의 없음을 알 수 있고 점토의 광물적 특성과 첨가제와의 반응생성에 따라 달라짐은 bentonite나 montmorillonite 등에서도 지적되고 있으며 많은 연구자들도 언급하고 있다.

석회 처리토의 경우 높은 PH영역에서 점토 표면에 흡착된 Ca^{++} 는 입자와 결합하여 粘度를 크게하고 점토광물의 단(edge)에 있는 Si-OH군의 解離度가 커져 이온용량을 증대시키어 고결화 효과를 촉진시켜 준다. Davison 등의 石灰保持(lime retention)반응설도 석회

함량 증가에 따라 PH 12.4를 한계로 한 석회처리 최적량과 같은 정의로 볼 수 있다. 시멘트 역시 제조과정의 특성에 따라 다르나 생석회(CaO)의 유리상태에서 PH상승을 초래하며 PH변화 과정이 석회와 거의 같으며 처리토의 양생과정별 Ca^{++} 이온농도 변화는 초기양생 과정에서는 상승하며 장기양생 경과에서는 감소하는 현상이다. 결과적으로 처리토의 강도발현은 PH와 이온 교환 용량과는 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.^{2,3,14,18)}

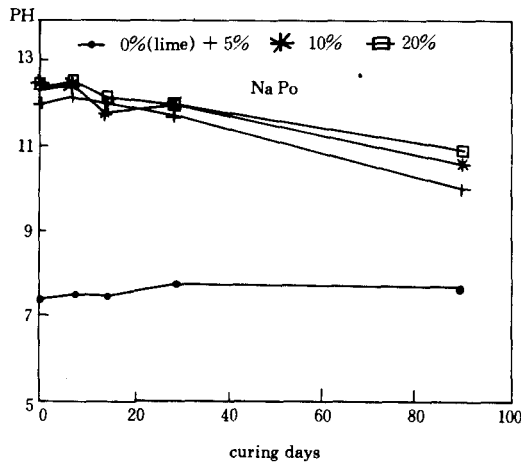


그림 8. 석회처리토의 양생기간과 PH의 관계

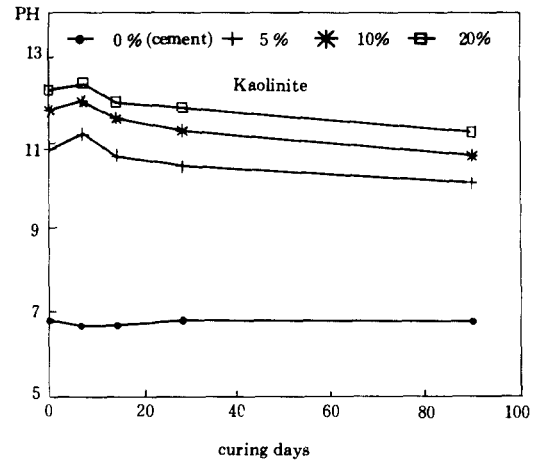


그림 10. 석회처리토의 양생기간과 PH의 관계

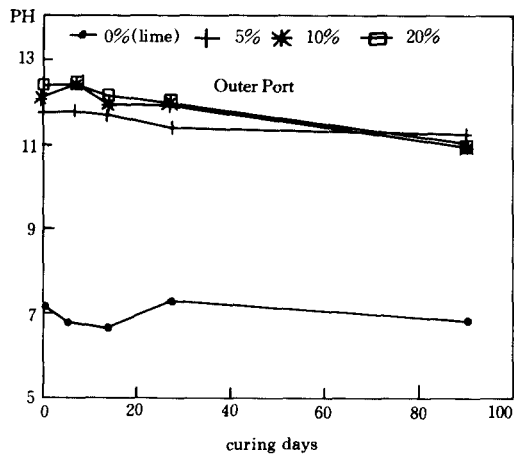


그림 9. 석회처리토의 양생기간과 PH의 관계

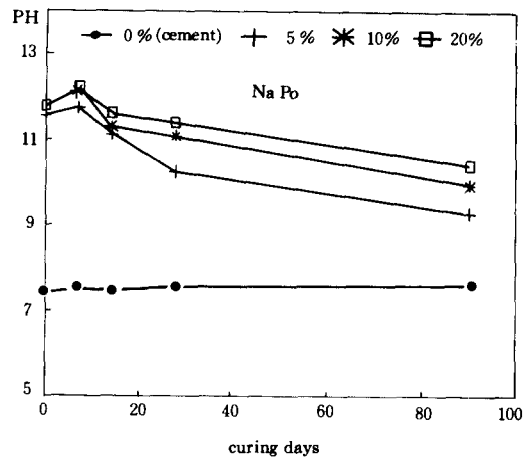


그림 11. 시멘트처리토의 양생기간과 PH의 관계

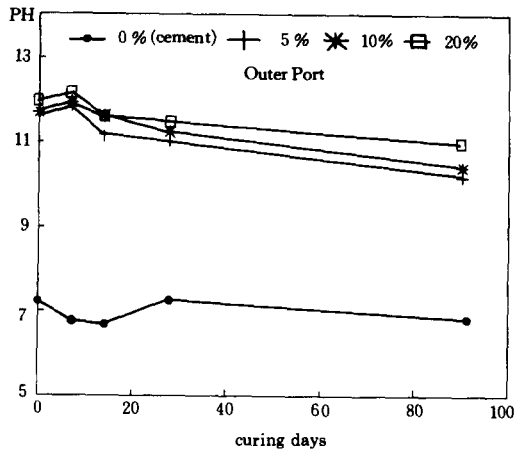


그림 12. 시멘트처리토의 양생기간과 PH의 관계

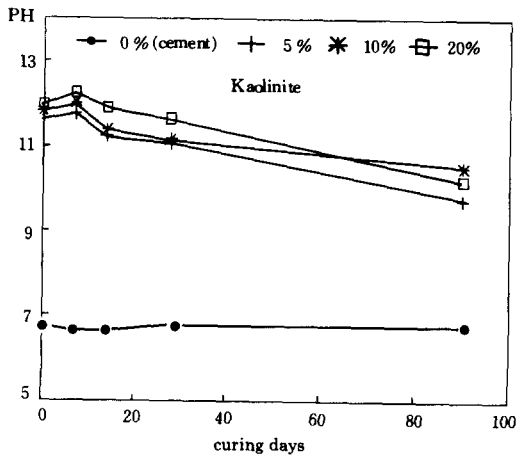


그림 13. 시멘트처리토의 양생기간과 PH의 관계

표-5. 양생 경과에 따른 PH의 분포

SAMPLE명	평균값(U)	편차	신뢰구간
N-L-10(7)	12.36	0.04	12.328<U<12.992
N-L-10(90)	10.82	0.17	10.696<U<10.947
O-L-10(7)	12.32	0.07	12.267<U<12.377
O-L-10(90)	10.96	0.06	10.922<U<11.007
K-L-10-(7)	11.87	0.06	11.826<U<11.914
K-L-10(90)	10.94	0.14	10.841<U<11.043
N-C-10(7)	11.92	0.09	11.861<U<11.988
N-C-10(90)	9.90	0.07	9.844<U<0.951
O-C-10(7)	11.72	0.03	11.699<U<11.744
O-C-10(90)	10.56	0.14	10.064<U<10.664
K-C-10(7)	11.84	0.08	11.771<U<11.892
K-C-10(90)	9.98	0.18	9.847<U<10.11

표 6 양생기간에 따른 Ca⁺⁺이온 농도의 변화

시료명	첨가제	염분량 (%)	양 생 일 수			
			7	14	28	90
나 포	석회	0%	228	165	145	113
		8%	166	130	150	105
	시멘트	0%	168	140	106	88.5
		8%	155	130	112	99
외 항	석회	0%	165	150	120	105
		8%	140	130	115	100
	시멘트	0%	148	130	100	85.5
		8%	131	120	106	92
Kaolinite	석회	0%	180	162	115	109
		8%	190	152	128	88
	시멘트	0%	172	146	112	92
		8%	138	114	95	90

4.4 X-Ray 회절 분석에 의한 처리토의 반응 생성물의 추적

본 연구의 대상처리토의 반응생성물의 추적은 첨가제 석회, 시멘트의 첨가량 10%인 중간영역을 택하여 언급하기로 한다. X-Ray 분석조건으로 측정된 결과 시료토인 나포, 외항, Kaolinite 등의 구성광물중 1차 광물은 석영, 장석, 운모 등이고 2차광물은 주로 Kaolinite이고, Montmorillonite, Illite 등도 약간 존재하고 있다. 처리토의 첨가량 10%의 것을 편의상 기호를 지역-첨가제-첨가량-염분량-양생온도-양생조건(양생일수) 등으로 [N-L-10-0-20-A(90)]과 같이 하였다.

처리토의 X-Ray 회절분석결과 반응생성물의 정성적 분석은 그림-14~19이다. 석회의 경우 그림-14~16에서와 같이 첨가량 10%에 염분함량 0%와 8%로하여 90일 양생한 반응생성물은 대체로 Ettringite(3CaO · Al₂O₃ · 3CaSO₄ · 32H₂O)가 d=9.9270(100)와 d=4.6701(104)에서 나타났으며 C₅A(5CaO · 3Al₂O₃)가 d=7.8925, CaCO₃는 d=3.0354(100), Tobermorite [3CaO · SiO₂ · n(H₂O)]는 d=2.670(312)에서 확인되었으며 시멘트의 경우는 그림-17~19에서와 같이 반응생성물은 대체로 Ettringite는 d=8.4989(101)와 Tobermorite는 d=3.0455

(220), $d=2.6345(204)$ 이고 加水 gehlenite ($3CaO \cdot SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot 8H_2O$)가 $d=1.9228(400)$ 에 출현하였다. 그러나 그림에서와 같이 반응생성 화합물이 염분 0%의 結晶強度보다 8%의 경우에는 양생경과에 따라 結晶 peak가 대체로 감소된 현상이다. 이상과 같은 추적 결과에서 고찰해 보면 석회첨가의 경우 생성화합물은 Ca-Si계와 Ca-Si-Al계 반응으로 CaO 3분자와 SiO_2 1분자 및 $n(H_2O)$ 의 수분자로 형성된 Tebermorite 등 pozzolan 반응이며 곁들여서 2차적으로 생성된 $CaCO_3$ 의 탄산화 반응 등이 처리토의 고결화 효과(cementation)에 유효했던 것으로 확인될 수 있으며 시멘트 첨가의 경우 생성화합물은 Tebermorite(calcium hydrogen silicate hydrate), Ettringite(calcium aluminum sulfate hydrate) 등인 C_3S 계 및 C_3A 계이고 gehlenite(calcium aluminum silicate)인 C-S-A계의 gel 형성으로 생긴 수화성 생성물에 의해 모래 실트 등이 접착(cementation)되어 고결화 효과를 나타내고 있으며 수화반응에서 생긴 석회와 점토와의 pozzolan 반응이 동시에 작용한 것이다.^{9, 17, 19} 처리토가 동

C_3SH_n : Tebermorite
 aC_3A : $5CaO \cdot 3Al_2O_3$
 C_3SAH_n : 가수 Gehlenite
 $CaCO_3$: Calcium Carbonate

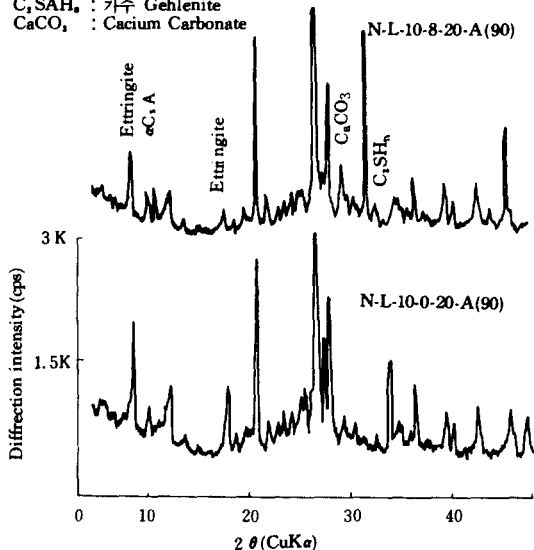


그림 14. 90일 양생된 석회처리토의 X-RAY 회절 분석

일조건에서 염분함량의 증가에 따라 X-Ray의 結晶強度의 peak가 낮아진 것의 정확한 원인 규명은 앞으로의 연구대상이 되나 처리토의 알칼리 실리카 반응에 있어서 처리토중의 Ca^{++} 이온이 장기양생에 걸쳐 감소되며 실리카 광물이 다량의 염분 함유에 의해 gel 성분의 結晶도가 낮아지기 때문에 X-Ray 結晶強度의 peak가 낮아진 것으로 생각된다.

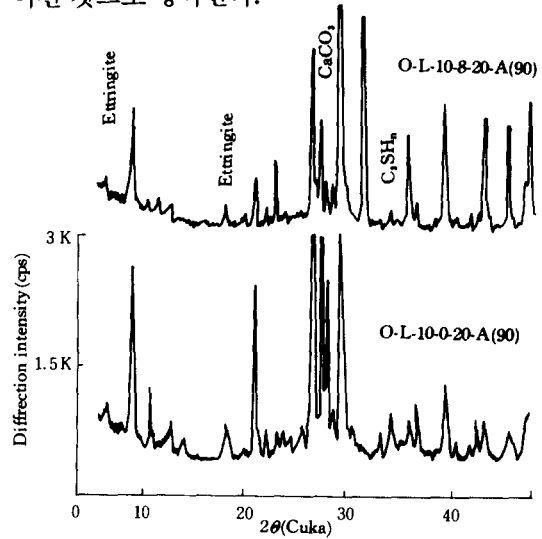


그림 15. 90일 양생된 석회처리토의 X-RAY 회절 분석

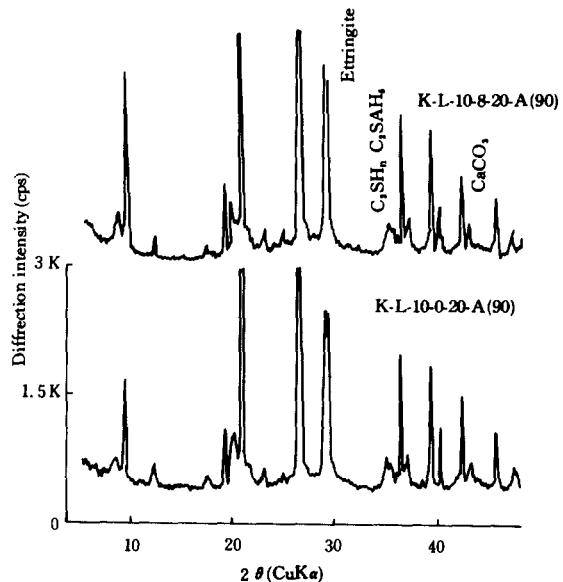


그림 16. 90일 양생된 석회처리토의 X-RAY 회절 분석

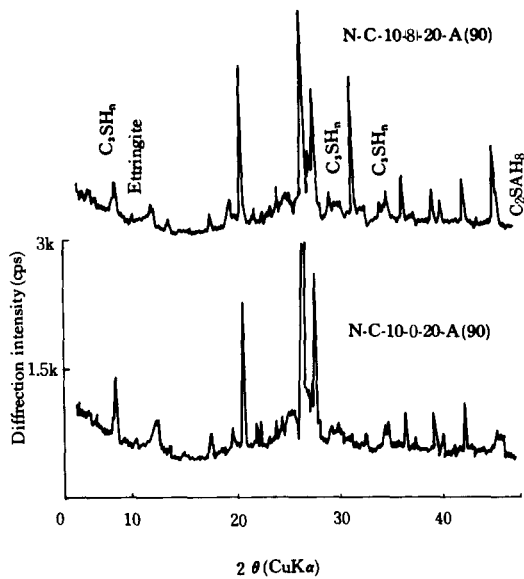


그림 17. 90일 양생된 시멘트처리토의 X-RAY 회절 분석

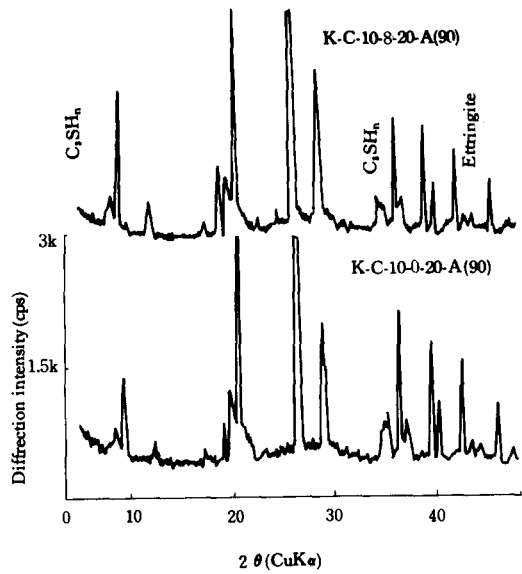


그림 19. 90일 양생된 시멘트처리토의 X-RAY 회절 분석

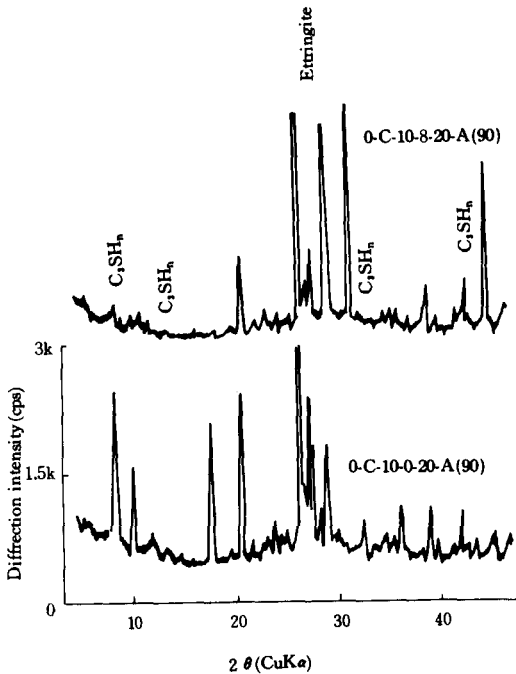


그림 18. 90일 양생된 시멘트처리토의 X-RAY 회절 분석

4.5 처리토의 강도발현과 염분관계

처리토의 대상 시료는 앞에서 언급한 바와 같고 첨가제는 석회 및 시멘트이며 온도조건은 20℃와 5℃로 하고 기건양생과 수침양생으로 구분하여 염분함량의 변화에 따른 강도 발현에 미치는 영향을 검토하였다. 첨가량 5% 및 20%의 처리토도 검토되었으나 중간영역인 10%의 것을 논하기로 한다.

4.5.1 기건 처리토의 염분변화에 따른 강도 특성

첨가량 10%에 대한 처리토의 강도특성은 염분함량을 0, 2, 4, 8%로 하고 양생 온도를 20℃와 5℃로한 기건양생에서 일축압축강도의 변화 관계는 다음 그림 20~25와 같다.

그림에서 석회처리토의 경우 시료토의 사질 함량이 많을수록 일축압축강도가 낮은 편이며 염분함량 0, 2, 4%의 범위에서는 강도발현이 양생기간 경과에 따라 크게 증가하고 염분함량 8%의 경우에는 강도 증가가 적었으며 단기양생의 경우는 장기양생에 비해 급격한 증가를 하

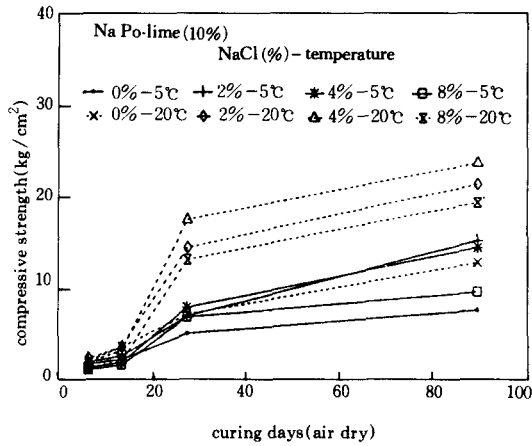


그림 20. 석회처리토의 양생과 일축압축과의 관계 (기건양생)

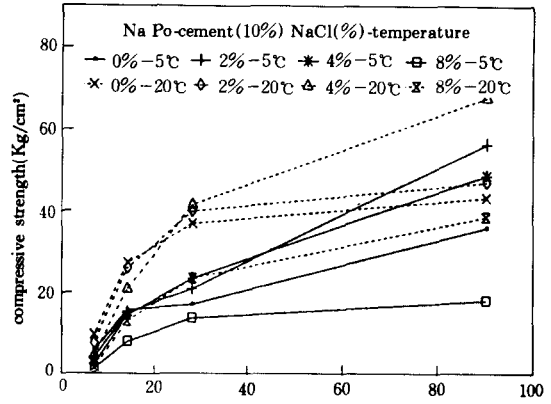


그림 23. 시멘트 처리토의 양생과 일축압축과의 관계 (기건양생)

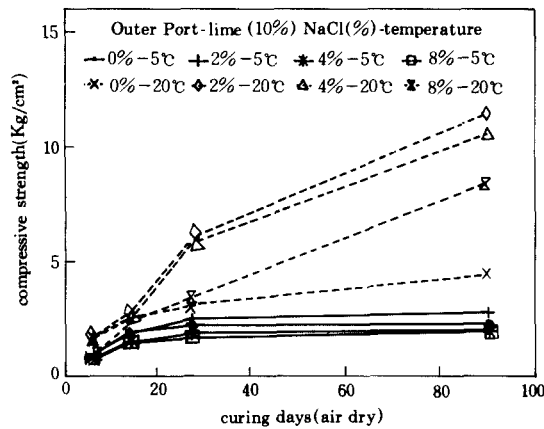


그림 21. 석회처리토의 양생과 일축압축과의 관계 (기건양생)

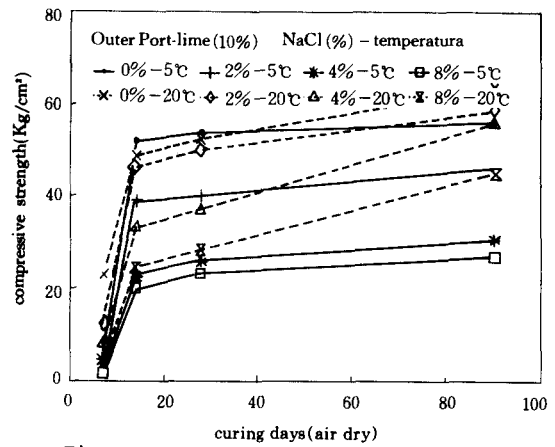


그림 24. 석회처리토의 양생과 일축압축과의 관계 (기건양생)

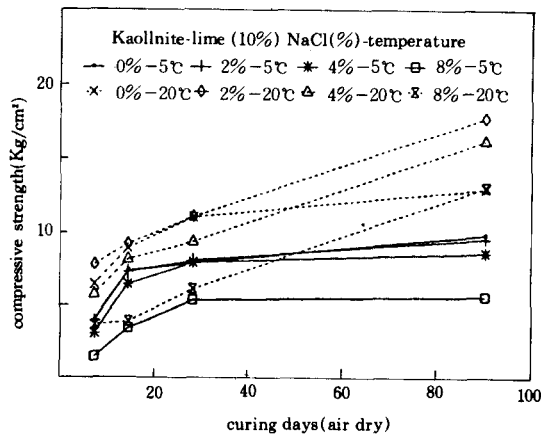


그림 22. 석회처리토의 양생과 일축압축과의 관계 (기건양생)

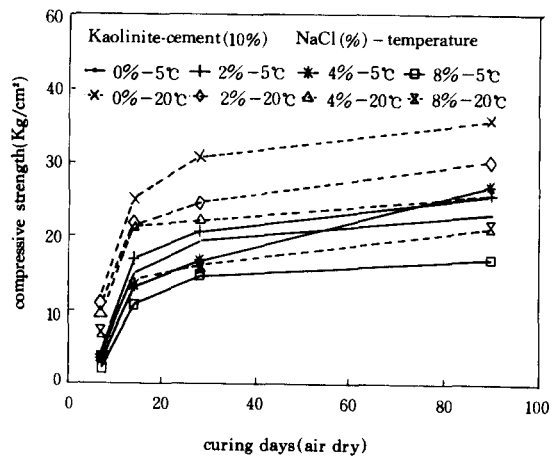


그림 25. 석회처리토의 양생과 일축압축과의 관계 (기건양생)

고 장기에는 비교적 완만한 증가를 하고 있다. 또한 온도조건에서 볼때 5℃양생의 강도발현은 20℃의 것보다 현저하게 저하되었다. 90일 양생에서 첨가량 5, 10, 20%에 대한 염분함량별과의 일축압축 강도의 관계는 그림 26~31과 같다.

그림에서와 같이 염분농도를 일축압축 강도의 관계를 보면 염분함량이 비교적 적은 2~4% 범위에서는 대체로 강도가 증가하는 경향이 나타나 적을 때에는 강도발현에 미치는 영향은 적으나

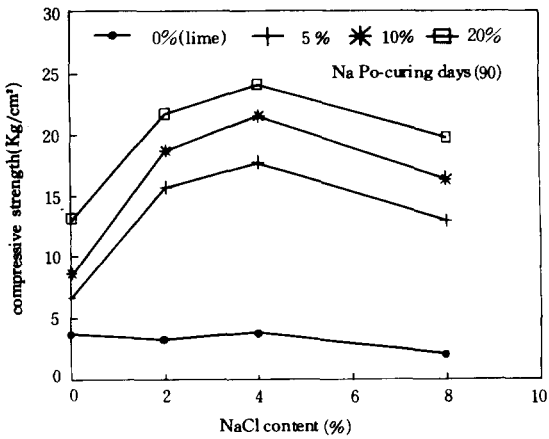


그림 26. 90일 양생의 석회처리토의 염분함량과 일축 압축강도와의 관계

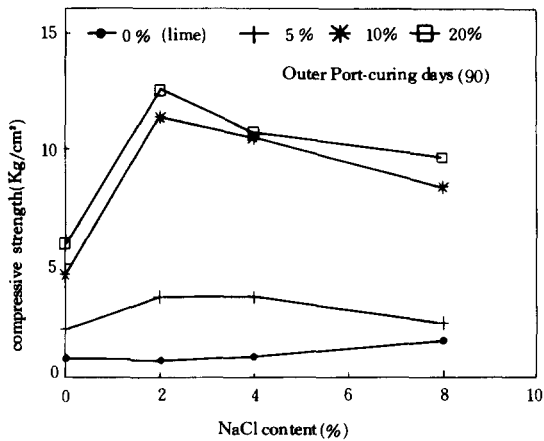


그림 27. 90일 양생의 석회처리토의 염분함량과 일축 압축강도와의 관계

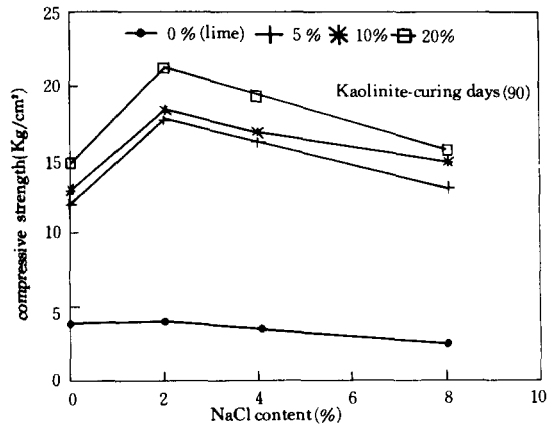


그림 28. 90일 양생의 시멘트처리토의 염분함량과 일축 압축강도와의 관계

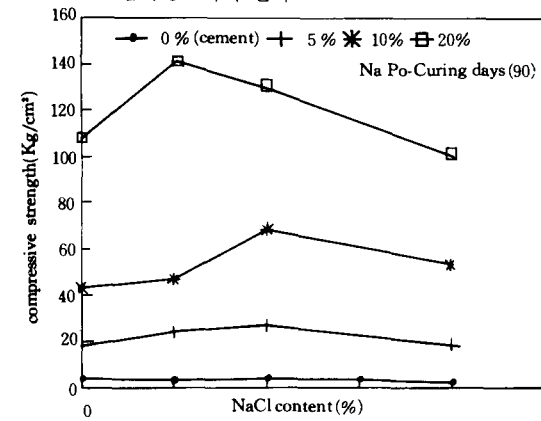


그림 29. 90일 양생의 시멘트처리토의 염분함량과 일축압축강도와의 관계

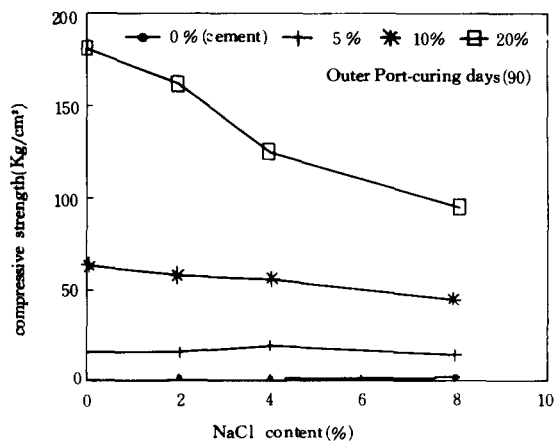


그림 30. 90일 양생의 시멘트처리토의 염분함량과 일축압축강도와의 관계

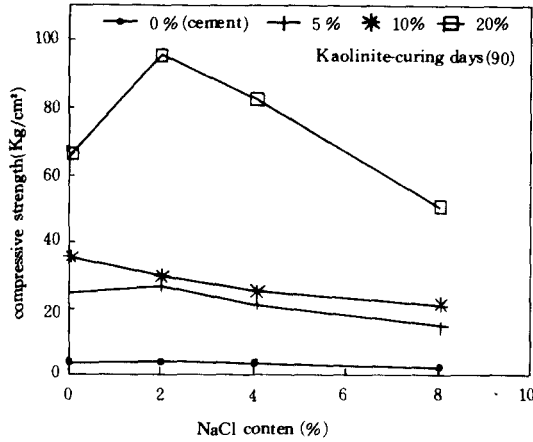


그림31. 90일 양생의 시멘트 처리토의 염분함량과 일축압축강도와와의 관계

8%와 같이 염분함량이 다량일 때는 강도발현이 저하되는 현상이다.

따라서 염분함량이 적은 경우 단기양생에서는 고결화를 촉진시키며 장기양생인 경우는 Ca^{++} 이온양의 감소로 결정도가 낮아져 강도가 약간 감소하는 경향이고 Dan. Marks 등도 석회-점성토의 처리에 있어서 초기양생에 있어서는 NaCl 첨가 2% 내외에서 고결화 과정을 촉진시키는 효과에 대하여 언급한바 있다.^{7,9,11)}

시멘트 처리토의 경우의 0, 2, 4%에서도 0% 경우가 가장 크고 장기양생에 있어서는 강도발현의 증가폭이 적다. 온도변화에 따른 영향은 석회처리토에 비해 크지 않았다. 그러나 일축압축 강도의 최대치는 석회처리토에 비해 시멘트 처리토가 매우 크고 사질성분이 있는 나포, 외항 등에 비해 Kaolinite점토의 일축압축 강도가 낮다. 따라서 석회나 시멘트처리토의 경우 염분함량 8% 이상의 다량의 염분이 함유되면 Na^+ 이온 용량이 증가하여 처리토의 結晶度를 저하시키는 것으로 생각되며 Marks 등은 NaCl의 촉매작용과 Na^+ 의 반응생성물을 생성시킨 결과라고 추정하였으며 또한 蒔田은 시멘트중의 알카리(Na^+ 및 K^+)와 시료토중의 실리카가 물에 의해 반응하여 수산화규산나트륨($Na_2O \cdot mSiO_2 \cdot nH_2O$)이 gel화하여 팽창하고 균열이 발생하는 것은 알카리 실리카 반응으로서 海砂에 포함된 염분이나 첨가제 등 다른 재료에서

반입된 염화물의 영향도 무시할 수 없으며 콘크리트 구조물인 연안지역의 도로포장이나 호안 등에서 알카리 골재 반응에 의한 것이 확인된 것도 많이 있었다고 한다.^{4,6,10)}

4.5.2 수침처리토의 염분변화에 따른 강도 특성

처리토의 수침양생도 기건양생의 조건과 같이 첨가제 10% 처리토의 염분함량 0, 2, 4, 8% 별, 온도 5℃와 20℃별로 구분하고 수침조건은 항온수조와 냉장장치의 온도조절로 하였으며 고분자 필름으로 밀봉하여 공기체의 상하면에 미세한 다공을 만들어 수침시켰다. 양생 경과별 수침한 처리토의 강도변화는 다음 그림 32~37과 같다.

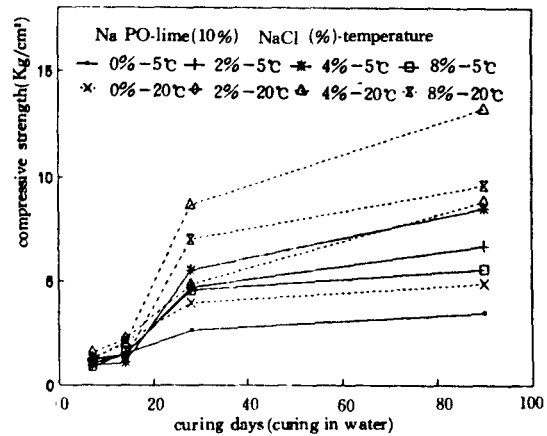


그림 32 석회처리토의 양생과 일축압축과의 관계 (수침양생)

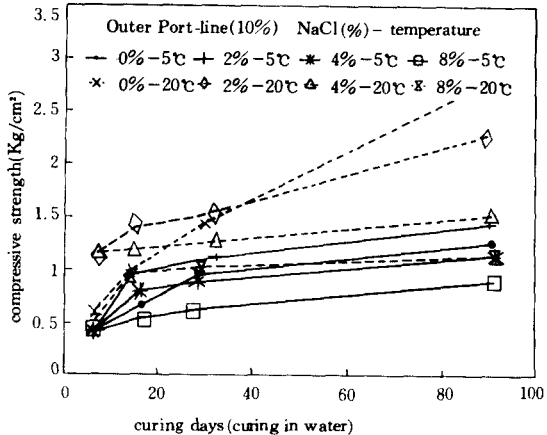


그림 33 석회처리토의 양생과 일축압축과의 관계 (수침양생)

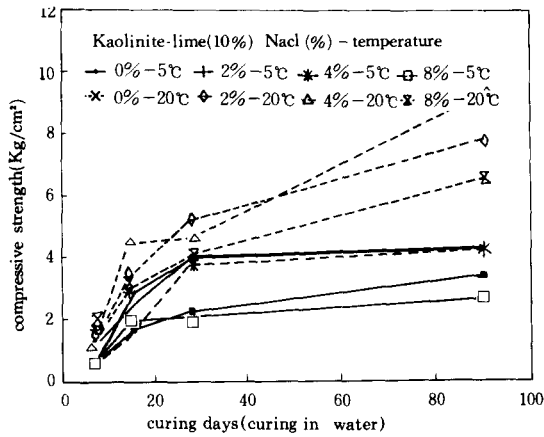


그림 34 석회처리토의 양생과 일축압축과의 관계 (수침양생)

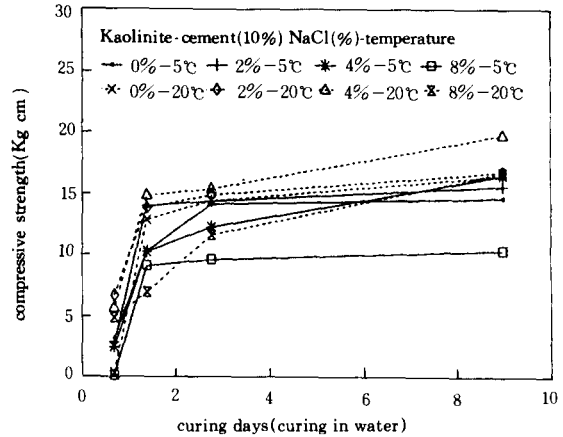


그림 37. 시멘트처리토의 양생과 일축압축과의 관계 (수침양생)

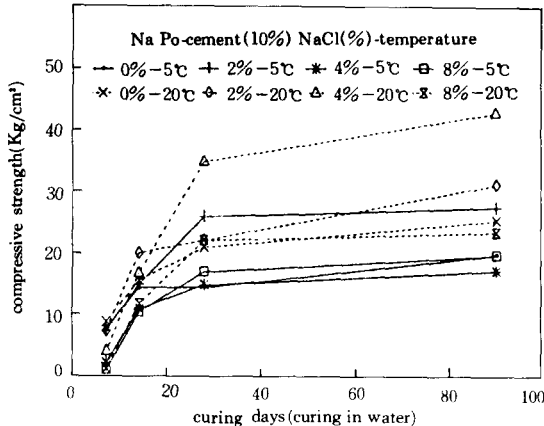


그림 35. 시멘트처리토의 양생과 일축압축과의 관계 (수침양생)

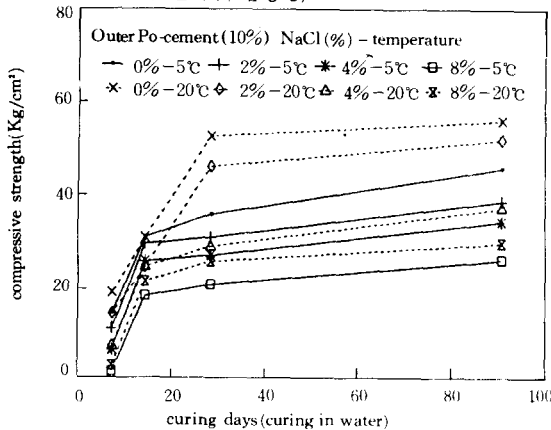


그림 36. 시멘트처리토의 양생과 일축압축과의 관계 (수침양생)

그림과 같이 석회의 경우 염분함량 2~4% 범위에서는 단기양생에 있어서 강도발현의 증가 폭이 크지 않으며 염분 0%의 것도 기건양생과는 달리 매우 낮았고 장기양생에 있어서도 낮은 편이었다. 온도조건에서 볼때 20°C보다 5°C에서 약간 감소하는 경향이고 사질분이 많은 시료토의 강도발현은 염분 0%인 경우는 단기 및 장기 양생에 있어서 꾸준한 증가를 하나 염분함량 2~4% 범위에서는 강도증진이 미미한 상태이며 8%의 경우는 거의 없었다. 또한 시멘트의 경우 염분 0, 2, 4% 등은 양생기간이 경과함에 따라 강도의 증진이 비교적 컸으나 2, 4%의 경우가 0%보다 강도증진의 폭이 컸고 8%의 경우는 강도증진이 가장 저조하였다. 사질함량이 많은 경우에는 온도차에 관계없이 염분함량 증가에 따라 강도증진 폭이 낮아짐을 볼 수 있었다. 이상의 결과 수침양생의 강도발현은 대체로 불규칙하며 기건처리토에 비해 대체로 낮은 현상이고 강도증대는 pozzolan반응의 촉진, 결합성 물질의 생성 등 기건조건과 같으나 염분함량이 많은 경우는 수침에 있어서 염분이 물에 의해 용출되므로 기건조건보다 효과가 적다. 일반적으로 수침 강도발현은 기건상태에 비해 낮아지는 것이 정상이며 지하수위의 변동이 많은 곳에서는 안정처리 계획에 있어서 시료토인 점토의 특성에 따라 석회, 시멘트 등 1차 첨가와 2차적인

첨가제를 계획할 필요가 있으며 2차 첨가제로서 fly ash, 염화칼슘, 가성소다 등 많이 개발되어 있다.^{5, 8)} 따라서 해저토, 해성점토 등 염분함량이 다량인 경우에는 장기양생에 있어 강도발현이 저하됨으로 처리과정에 있어서 대책이 강구되어야 할 것이다.

5. 결 론

석회 및 시멘트에 의한 안정처리는 이미 일반화되어 있지만 본 연구는 연해안 지역에서 토질 안정처리를 할 경우 염분이 처리토의 강도발현에 미치는 영향에 관한 문제를 검토했으며 그 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1) 시료토의 염분함량은 PH변화와는 거의 무관하고 처리토의 석회나 시멘트 첨가량 10% 범위에서 석회의 PH는 석회한계점인 12.4에 근접하며 시멘트는 11.6범위이었다. 또한 첨가량의 증가에 따라 초기양생에서는 PH가 급격히 증가하고 장기양생에 있어서는 감소하고 있으며 Ca^{++} 이온 농도도 양생기간의 경과에 따라 감소함을 확인할 수 있었다.

2) 석회 및 시멘트의 처리토에서 고결화 효과를 도모하는 수화반응 생성물은 석회에 있어서는 Tobermorite와 Ettringite, $CaCO_3$, $5CaO$, $3Al_2O_3$ 등이고, 시멘트의 경우에는 Tobermorite, Ettringite,加水Gehlinite 등임을 확인할 수 있었다. 또한 장기양생에 있어서 염분 8%의 경우 반응생성물의 X-Ray의 결정강도가 낮아짐은 점토중에 함유되어 있는 실리카의 gel화가 장기양생에 있어서 결정도를 낮게해준 이유로 생각된다.

3) 석회 및 시멘트의 처리토는 상온시의 강도발현에 비해 저온상태에서는 강도발현이 감소되고 염분 함량 2~4% 범위에서는 강도발현을 촉진시키며 8%인 경우에는 강도발현이 저하됨을 확인할 수 있었다.

REFERENCE

1. 小林正樹, 小川富美子(1988), “海底 粘成土の物理特性に及ぼす鹽分の影響について”, 第23回日本土質工學會, pp.121~126.
2. 宋永混(1987. 9), “PH法による水砕スラク安定處理土の2次的添加材に關する研究”, 日本材料學會土質安定材料シンポジウム發表論文集, pp.17~22.
3. 日本土質工學會編(1978), “土質工學における化學基礎と應用”土質基礎工學 라이브러리-15, pp.186~189.
4. 吉田信夫, 宮本康顔, 古賀統基(1981. 3), “セメント系地盤改良の原理から施工まで”, 土木施工22卷3號, pp.44~52.
5. 中司泰雄(1986. 1) “イオン交換容量(C.E.C)の異なる海底土の處理土強度發現”, 日本第21回土質工學研究發表會, pp.1967~1968.
6. 細田初敏, 關口昌男, 岡田能顔(1990. 7), “セメント系固化材の特性と固化特性”, 第26回日本土質工學研究發表會, pp.1959~1962.
7. 中村降照, 大草重康, 福江正治(1987. 6), “海底土の工學的特性に及ぼす鹽分の影響について”, 第22回日本土質工學研究發表會, pp.187~188.
8. 三浦哲顔, 坂井晃, 毛利一己(1987. 6) “有明粘土の安定處理の効果に關する實驗的考察”, 日本土質工學研究發表會概要集, pp.1985~1986.
9. 松尾新一郎, 宋永混(1971. 9), “x線および電子顯微鏡による石灰安定處理土の構造的 研究”, 日本土木學會論文報告集第193號, pp.59~68.
10. 蒔田實(1985. 8), “コンクリトの早期劣化と問題點”土木施工26卷10號, pp.21~27.
11. Marks, B.D. and Haliburton, T. A.(1972. 4), “Acceleration of lime - clay Reactions With Salt”, Soil Mechanics and Foundations Division, A.S.C.E, pp.327~339.
12. Das, B.M.(1984), “Principles of Foundation Engineering”, Brooks/Cole Engineering Division Wadsworth, Inc, pp.531~537.
13. Lee, L.K. White, W. Ingles, O.G. (1983), “Geotechnical Engineering”, Pitman, pp.457~466.
14. Mitchell, K.(1976), “Fundamental of Soil Behavior”, John Willey & Sons. Inc, pp.86~87.
15. Marks, B. D. and Halibuton, T. A.(1970. 6), “Final Report-A Salt-Lime Soil Stabilization

- Feasibility Study", Project Agreement No. 6, Oklahoma Reserch Program, School of Civil Engineering, Oklahoma State Univ, Stillwater, Okla.
16. Ohtsubo, M. Takayama, M. Egashira, K. (1983. 3), "Relationships of Consistency Limits and activity to some physical and chemical properties of ariake marine clays", Soil and Foundation, vol. 23, No.1, Japanese society of soil mechanics and Foundation Engineering, pp.38~46.
 17. Kamon, M. and Nontananandh, S. (1991. 1) "Combining Industrial Wastes with Lime for Soil Stabilization", Geotechnical Engineering Division Vol. 117, No.1~17.
 18. Kawamura, M. Hasaba, S. Sugiura, S. (1971), "A Function of free Lime and Characteristics of Cement Hydration in compacted Clay-Cement Mixtures", Proc of JSCF, No. 191, pp.117~131.
 19. 정두영, 이병석(1990. 10), "해성 점토의 물리화학적 특성에 미치는 염분의 영향", 대한 토목학회 학술발표회 개요집, pp.415~420.
 20. 정두영, 최길렬, 이병석, (1986. 12), "Ca, Al계 안정처리토의 구조적 특성 비교", 대한 토질공학회 지 제2권 제3호, pp.5~14.

(접수일자 1991. 8. 19)