

점토와 석회의 혼합에 의한 반응생성물과 물성변화 Reaction Products and Properties of Clay Mixed with Lime

김병규¹⁾, Byeong-Kyu Kim, 황진연²⁾, Jin-Yeon Hwang

¹⁾ 부산대학교 지질학과 석사과정, Graduate student, Dept. of Geology, Pusan National University

²⁾ 부산대학교 지질학과 교수, Professor, Dept. of Geology, Pusan National University

SYNOPSIS : Soft marine clay deposits pose several foundation problems. Generally, lime stabilization is used worldwide for solidifying of soft marine clay deposits. In this paper, a series of laboratory tests were conducted to verify clay-lime reaction. A clay was collected from Pusan, which was mixed with various quantities of quick lime and slaked lime. Various compounds produced by clay-lime reaction were identified by X-ray diffraction analysis. The physico-chemical properties of the clay were also investigated. Compounds such as calcium silicate hydrate (CSH), calcium aluminate hydrate (CAH), calcium aluminate (CA), hillebrandite, and gehlenite were identified. It is likely that such compounds were mainly produced by pozzolanic reaction. Based on the change of physico-chemical properties obtained by the reaction, the water content was considerably decreased when lime was added to the clay. In addition, unconfined strength was increased. In the other hand, quick lime was more effective than slaked lime in decreasing and increasing of the water content and unconfined strength, respectively. Fewer cracks were produced when the clay was mixed with quick lime. It is suggested that these beneficial changes produced by the mixing of the clay and lime depend on the properties of compounds obtained by chemical reaction.

Key words : Quick lime, Slaked lime, Soft marine clay, X-ray diffraction analysis, Pozzolanic reaction,

1. 서론

연약 해성점성토는 구조물의 건설에 있어서 기초지반으로는 많은 문제점을 가진다(Rajasekaran; Narasimha, 1996). 이러한 해성점토퇴적물은 세계 여러 곳의 해안지역을 따라 넓게 분포하고 있으며, 최근 우리 나라에서도 서해안 고속도로, 서·남해안 준설패립·항만건설공사 등 여러 가지 공사가 해안지역에서 진행중이다. 자연함수비가 큰 해성퇴적점성토를 자중압밀을 거쳐 지반을 안정시키기에는 장시간이 소요되므로 고화재에 의하여 고결시켜서 성토매립 또는 공사용 장비의 진입을 시도하는 사례가 많다. 고화처리를 위한 개량재로는 석회계와 시멘트계 고화재가 주로 쓰인다. 석회와 흙이 반응해서 생성된 최종교결물과 시멘트와 흙이 반응해서 생성된 최종교결물은 서로 비슷하게 나타나지만, 그 반응경로는 다르다(Lee; White; Ingles, 1983). 시멘트를 흙과 혼합하였을 때 만들어지는 교결물질은 시멘트 자체 내의 규산칼슘의 수화반응으로 형성되지만, 석회를 흙과 혼합하였을 때 만들어지는 교결물질은 석회가 강한 알칼리조건에서 점토광물과 반응하여 형성된다(천병식, 1987). 본 연구에서는 복잡한 화학조성을 가지는 시멘트 보다 비교적 간단한 화학조성을 가지는 생석회와 소석회를 이용하여 해성점토와 혼합했을 때 일어나는 흙의 물리화학적성질의 변화와 화학반응에 따라 형성되는 반응생성물을 검토하여 그 개량원리를 밝히는데 목적을 두었다.

2. 석회에 의한 지반개량원리

2.1 석회와 흙의 반응

자연점성토의 고결력은 확산이중층에 의한 토립자간 인력, 화학물질에 의한 고결화, 모세관현상에 의한 흡인력 등에서 이루어진다. 또한 함수비가 높은 층적점토에도 크지는 않지만 고결력이 존재하고 있다. 이것에 고화재를 첨가시켜 교반하면 당초의 고결력이 소실되지만, 시간이 흐르면 고결력이 재생된다. 이런 고결력의 대부분은 화학적인 고결력으로, 포졸란반응생성물에 의해 형성된다. 점토광물·물·공기(이산화탄소)가 있고, 여기에 생석회가 첨가된다면, 그림 1의 반응도에서와 같이 반응생성물이 생긴다. Ca^{2+} 이온이 부(-)로 대전된 점토입자에 흡착되어서 표면전하가 중화되어 정전기적반발력이 약하게 되는 것에 의해서 응집된다. 계속해서 점토입자중의 규산 및 알루미늄이 석회와 서서히 반응해서, 규산칼슘수화물이나 알루미늄산칼슘수화물 등이 생성되어 흙의 역학성이 개선된다(南里; 鬼塚克忠, 1993).

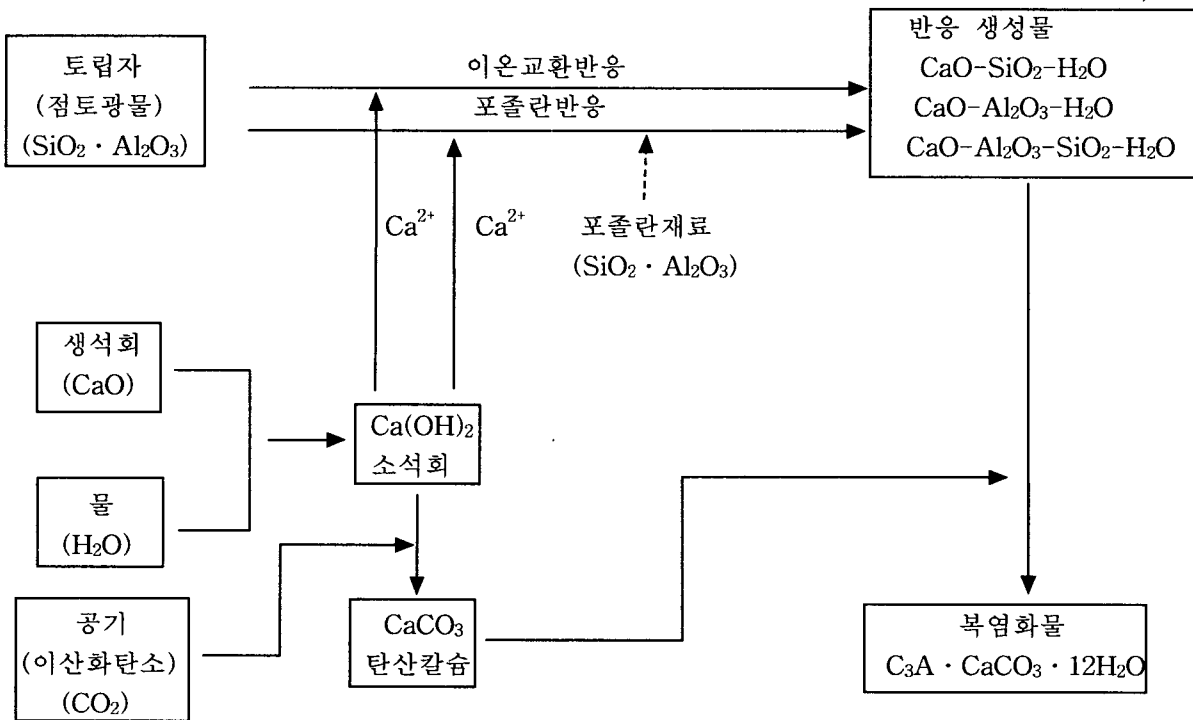


그림 1. 석회와 흙의 반응도

2.2 포졸란반응

포졸란반응은 가용성의 이산화규소(SiO_2)와 산화알루미늄(Al_2O_3), 그리고 Ca^{2+} 이온과 물이 있으면 일어난다. 그러므로 점성토를 구성하고 있는 점토광물이나 포졸란재료에 포함되어 있는 SiO_2 와 Al_2O_3 의 양은 포졸란반응에 의한 화학적인 개량효과를 알게 하는 가늠이 된다. 많은 수분을 함유한 점토와 석회를 혼합하면 석회입자는 수분을 흡수하고 일부는 용해되어서, $Ca(OH)_2$ 분자와 Ca^{2+} 이온, $2(OH)^-$ 이온상태로 공존하게 된다. 계속해서 Ca^{2+} 이온과 점토광물 사이에 이온교환반응이 일어나며, 점토내 수분의 pH값이 증가하게 된다. 또한 석회는 일반적으로 pH가 11 이상인 강알칼리조건에서 점토광물에 침투한다(Ingles; Metcalf, 1972). 그러므로 점토내 수분의 pH가 증가하면 점토광물의 SiO_2 와 Al_2O_3 가 Ca^{2+} 이온과의 반응이 잘 일어나게 된다(Gillot, 1987). 이런 반응에 의하여 생성된 생성물은 그 입자표면에 극히 미세한 활성의 gel을 형성한다. 이 gel은 수화광물로서 차츰차츰 경화되어간다. 이렇게 형성된 반응생성물들은 점토입자들을 서로 연결시켜주는 역할을 해서 장력에 의해 발생하는 균열을 억제한다(그림 2).

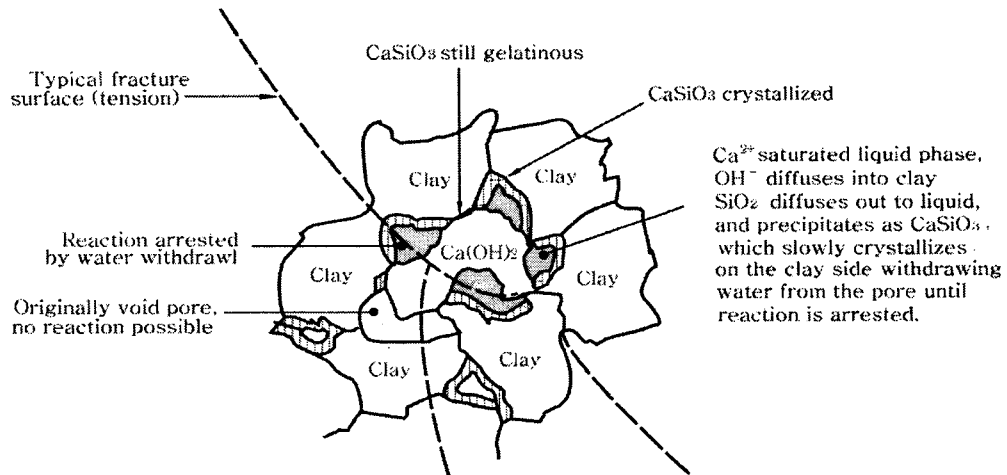


그림 2. 포졸란반응의 개념도(Mindess & Young, 1981)

3. 시료 및 연구방법

3.1 시료의 토질특성

부산 감만항부두 확장공사현장에서 시추 및 굴착에 의한 시료를 채취하였다. 시료의 토질시험 결과, 토질특성은 통일분류기호상 CH로 분류되며, 일축압축강도가 0.13 kg/cm^2 정도밖에 되지 않는 대단히 연약한 점성토에 해당된다(표 1). 반면에, 이 시료는 점토함유율이 62%로서, 점토분이 많기 때문에 이온교환반응이나 포졸란반응이 많이 기대되고, 또한 점토내의 수분이 석회와 반응해서 석회의 흡수, 팽창, 발열 등의 수화반응에 의한 함수비 감소의 효과도 기대된다.

표 1. 점토시료의 물리적 특성

항목	입도분포 (%)					자연 함수비 (%)	액성 한계 (%)	소성 한계 (%)	소성 지수 Ip	비중	일축 압축강도 (kg/cm^2)
	자갈	모래	실트	점토	#200체 통과율						
점토시료	0	2	36	62	98	77.39	83.8	24.9	58.9	2.68	0.13

3.2 시험방법

점토시료와 석회가 균질하게 혼합되게 하기 위하여 흡시료가 포화상태에 이를 때까지 일정량의 증류수를 첨가하였다. 준비된 점토시료에 시중에서 판매하는 생석회와 소석회, 그리고 석고를 각각 건조토의 중량에 7%, 15%, 30%의 비율로 첨가하여 혼합기로 10분간 혼합하였다. 혼합한 시료를 세가지 방법으로 양생하였다. 먼저 첨가재에 따른 균열발생의 양상을 알아보기 위하여 지름 11.5cm의 시계접시에 표면을 편평하게 담아 공기 중에 노출시켜 양생하였다. 다음은 일축압축강도를 측정하기 위하여 직경 40 mm, 높이 90 mm의 PVC관을 시료모울드로 이용하여 혼합한 시료를 다지지 않고 넣은 후 건조를 방지하기 위하여 비닐밀봉을 하여 방치하였다. 그리고 장기적인 화학반응에 의한 반응생성물을 검토하기 위해서 500ml 비커에 시료를 넣고 공기 중에 노출되지 않게 비닐밀봉을 하여 방치하였다. 점토 시료는 건조시켜 X-선분말회절분석을 행하여 구성광물을 식별하였고, 점토광물의 식별을 위해서 수증침강법에 의해 $2 \mu\text{m}$ 이하의 점토성분을 분리하여 정방위 시편을 만들어 에칠렌글리콜 처리를 행하여 X-선회절분석을

실시하였다. 또한 모든 혼합된 시료의 첨가재 종류와 첨가율, 그리고 양생일수와 양생방법에 따른 반응 생성물을 역시 X-선회절분석을 행하여 검토하였다. 석회와 혼합한 점토의 물리화학적 특성변화를 알아보기 위하여 함수비 감소량과 일축압축강도 변화를 측정하였으며, 시계접시에서 양생한 시료의 균열발생 양상과 현탁액의 pH를 측정하여 비교하였다. 현탁액의 pH측정은 시료 5g에 증류수 50ml을 혼합 후 약 10시간을 방치하고 원심분리하여 그 여액의 pH를 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 석회와 혼합한 점토의 물리화학적 특성 변화

흙의 개량 효과에 영향을 미치는 물리적 특성중 하나는 함수비이다(南里; 鬼塚克忠, 1993). 생석회를 흙에 첨가하면, 흙 속의 물과 격심한 화학반응 즉 수화반응(소화)을 일으켜서 소석회로 변한다. 이 사이에 생석회 중량의 32%에 상당하는 흙속의 물을 흡수하고, 석회 1몰당 15.6 Kcal의 열량을 발생시켜 반응 전후에서 석회의 실질적인 체적은 약 2배가된다. 이 시점에서 생성된 소석회는 이론적으로 절대건조 상태이기 때문에, 흡인력의 균형이 맞을 때까지 점점 물을 흡수하게 된다. 생석회와 소석회의 첨가율에 따른 함수비 저감량은 그림 3에서와 같이 수화반응이 일어난 생석회의 경우가 소석회의 경우보다 10~18%정도 더 크게 나타났다. 일축압축강도(q_u)의 경우도 그림 4에서와 같이 생석회를 첨가했을 때가 소석회를 첨가했을 때보다 더 크게 나타났으며, 그 증가량은 함수비 감소량이 클수록 더 많이 증가하였다. 그러나, 생석회 첨가율이 15%이상이 되면 함수비의 감소와 일축압축강도의 증가가 잘 나타나지 않았다. 일반적으로 일축압축강도가 최고점에 이를 때까지는, 석회가 첨가될수록 점토의 소성지수가 감소하게 된다. 이것은 선수축값과 활성점토의 팽윤성이 감소된다는 것을 의미한다. 즉 석회가 첨가될수록 점토가 보슬보슬한 모래분이 많은 흙으로 변하고, 따라서 작업이 더 용이하게 된다(鬼塚克忠; 南里; 田中, 1995).

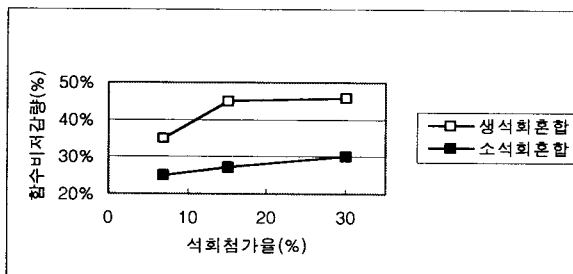


그림 3. 석회 첨가량에 따른 함수비 변화

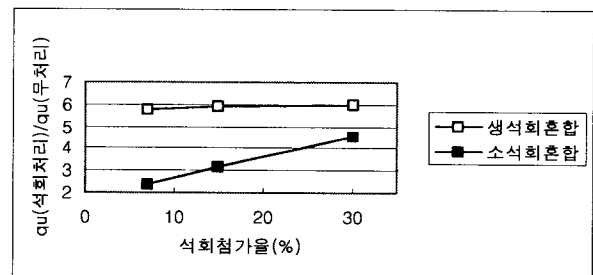
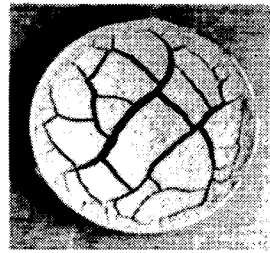


그림 4. 석회 첨가량에 따른 일축압축강도 변화

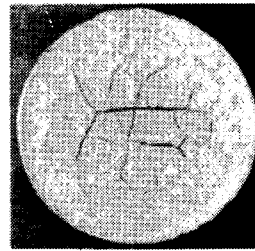
혼합시료를 시계접시에서 방치한 후 표면의 균열발생의 양상을 검토하였다. 20일 후 첨가율 15%의 시료에 대해 균열양상을 그림 5에 비교하여 나타냈다. 이들 균열의 표면 점유량을 면적비로 측정하여 현탁액의 pH값과 비교하여 표 2에 나타냈다. 모든 시료에서 현탁액의 pH가 증가할수록 균열은 감소하고 있는 경향이 나타났다. 특히 석고를 첨가한 시료에서 무처리점토 보다 현탁액의 pH가 낮고, 균열이 더 많이 발생하는 것은 석고의 SO_4^{2-} 이온에 의한 것으로 판단된다. SO_4^{2-} 이온이 점토내 수분 속에 많이 존재하게 되면, pH값의 감소로 인해 Ca^{2+} 이온이 점토광물의 표면에 흡착하여 반응이 일어나기 위한 알칼리조건을 형성할 수 없게 된다. 그러므로 석고를 첨가한 시료에서는 후술과 같이 화학반응에 의한 새로운 반응물이 형성되지 않았으며, 따라서 균열도 가장 많이 발생되었다(그림 5d). 즉 X-선회절분석 결과, 석고와 혼합한 시료에서는 석고의 회절선이 크게 나타나 석고와 점토의 반응성은 매우 낮은 것으로 판단된다. 반면에 생석회나 소석회를 첨가한 시료에서는 OH^- 이온에 의해서 강알칼리 환경이 형성되며 이에 따라 Ca^{2+} 이온이 점토광물의 표면에 쉽게 흡착하게 되어서 화학반응에 의한 반응물이 형성되었을 것이다.

표 2. 혼합 20일 후 점토시료의 현탁액 pH와 균열발생량

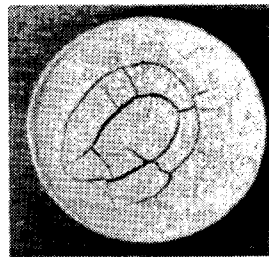
시 료	pH	균열면적/전체면적(%)
무처리점토	7.7	13.8%
생석회첨가	12.2	4.4%
소석회첨가	11.9	5.9%
석고첨가	7.5	16.5%



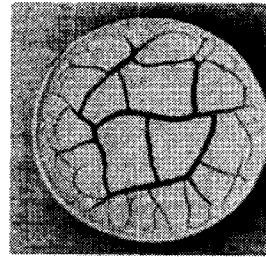
(a) 무처리점토



(b) 생석회첨가



(c) 소석회첨가



(d) 석고첨가

그림 5. 혼합 20일 후 첨가제에 따른 균열양상

4.2 X-선 회절분석에 의한 반응생성물 검토

석회와 점토가 반응하여 생성된 다양한 화합물을 확인하기 위하여, X-선회절분석 결과를 JCPDS파일을 이용하여 검토하였다(ASM, 1991). 먼저 혼합전 점토시료의 구성광물을 검토한 결과, 이들 물질에서는 석영, 장석, 방해석 등의 비점토광물과 함께 일라이트, 스멕타이트, 녹니석, 카오린광물 등의 점토광물이 주로 나타났다. 석회와 혼합후 점토광물과 석회와의 반응에 의한 반응생성물을 알아보기 위해서 먼저 첨가제 자체인 생석회와 소석회, 그리고 생석회에 물을 첨가하여 반응시킨 물질도 X-선회절분석을 실시하였다. 여기에서 회절강도는 각 시료의 최대회절강도에 대한 상대강도비로 나타내었다(표 3). 다음으로 대표적인 점토광물인 일라이트, 카오린광물, 스멕타이트 시료를 준비하여 각각의 점토광물 2g에 생석회 2g을 물과 함께 첨가시켜 반응시켜 건조된 후 X-선회절분석도 실시하였다(표 4). 그 결과 일라이트와 생석회의 반응에서는 hillebrandite를 비롯하여 규산칼슘수화물(CSH)이 주로 형성되었으며, 카오린광물과 생석회의 반응에서는 알루미늄산칼슘(CA)이 주로 형성되었다. 그리고, Ca(OH)₂에 해당되는 2.63 Å의 회절선이 일라이트와 카오린광물과의 생석회반응에서는 뚜렷하게 나타나지만, 스멕타이트와 생석회

의 반응에서는 나타나지 않는다. 그 대신에 방해석(CaCO_3)에 해당되는 3.03 Å의 회절선이 스멕타이트와 생석회의 반응에서 특히 높게 나타났다. 또한 일라이트와 카오린광물의 생석회반응에 비해 스멕타이트와 생석회반응에서 새로운 반응물의 회절선이 적게 나타났다.

표3. 석회의 구성물질

시료	면간격 (Å)	화학식	물질명	회절강도
생석회	4.97	Ca(OH)_2	portlandite	0.05
	3.03	CaCO_3	calcite	0.11
	2.78	CaO	lime	0.74
	2.63	Ca(OH)_2	portlandite	0.04
	2.40	CaO	lime	1.00
	생석회 + 물	4.97	Ca(OH)_2	portlandite
3.86		CaCO_3	calcite	0.14
3.11		Ca(OH)_2	portlandite	0.14
3.03		CaCO_3	calcite	1.00
2.78		CaO	lime	0.05
2.63		Ca(OH)_2	portlandite	0.83
2.49		CaCO_3	calcite	0.07
2.40		CaO	lime	0.07
2.29		CaCO_3	calcite	0.14
소석회		4.97	Ca(OH)_2	portlandite
	4.25	?	?	0.12
	3.86	CaCO_3	calcite	0.01
	3.50	?	?	0.04
	3.11	Ca(OH)_2	portlandite	0.32
	3.04	CaCO_3	calcite	0.26
	2.63	Ca(OH)_2	portlandite	0.99
	2.49	CaCO_3	calcite	0.01
	2.33	?	?	0.01
	2.29	CaCO_3	calcite	0.02

표4. 점토광물의 석회반응후 구성물질

시료	면간격 (Å)	물질명	회절강도
일라이트 + 생석회	10.04	일라이트	0.18
	4.97	portlandite	0.25
	4.48	?	0.15
	3.86	calcite	0.15
	3.50	?	0.05
	3.41	?	0.04
	3.34	일라이트	0.20
	3.20	규산칼슘수화물	0.09
	3.11	portlandite	0.05
	3.03	calcite	1.00
	2.85	gehlenite	0.04
	2.82	규산칼슘수화물	0.04
	2.75	?	0.07
	2.63	portlandite	0.55
	2.56	알루미늄산칼슘	0.05
	2.49	calcite	0.09
	2.45	hillebrandite	0.04
2.41	lime	0.05	
2.29	calcite	0.64	
카오린광물 + 생석회	7.13	카오린광물	0.19
	4.97	portlandite	0.15
	3.86	calcite	0.10
	3.57	카오린광물	0.24
	3.03	calcite	1.00
	2.63	portlandite	0.28
	2.56	알루미늄산칼슘	0.05
	2.49	calcite	0.12
	2.41	lime	0.06
	2.33	?	0.04
2.29	calcite	0.12	
스멕타이트 + 생석회	15.22	스멕타이트	0.02
	3.86	calcite	0.09
	3.36	?	0.02
	3.03	calcite	1.00
	2.83	규산칼슘수화물	0.03
	2.49	calcite	0.09
	2.29	calcite	0.14

점토시료에 생석회와 소석회를 첨가율을 달리해서 혼합하여 비커에서 130일동안 반응시켜 형성된 반응생성물을 표5와 표6에 나타내었다. 회절강도는 각각의 시료에 대하여 반응생성물의 결정도와 양을 비교하기 위해 모든 시료에서 거의 일정하게 나타나는 회절각 20.8° 의 석영회절선을 기준으로 그 강도비로 나타내었다. 시간이 지날수록 반응생성물들은 더 많고 다양하게 형성되었다. 본 실험에서 생성된 반응물 중에서는 7.89 Å의 알루미늄산칼슘수화물(CAH)이 가장 잘 나타났으며, 특히 소석회를 30%첨가하여 반응시킨 시료의 회절분석결과에서는 7.89 Å의 회절선이 회절각 20.8° 의 석영회절선과 비슷할 정도로 뚜렷하게 나타났다. 그 외에도 gehlenite ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$)와 hillebrandite ($\text{Ca}_2\text{SiO}_3(\text{OH})_2$), 알루미늄산칼슘(CA),

규산칼슘수화물(CSH) 등이 형성되었다. 이런 반응생성물에 의해서 흙의 공학적 특성인 강도가 증가하고 압축률이 감소되는 것으로 판단된다. 그러나 전체적으로 석회의 첨가량이 증가할수록 방해석의 회절강도가 높아지나, 반응생성물의 회절강도의 변화는 잘 나타나지 않는다. 이것은 본 실험에서는 포졸란반응을 일으켜야 할 규산과 알루미늄을 포함한 포졸란재료를 따로 첨가하지 않고, 점토시료 자체내의 성분만이 작용했기 때문으로 생각된다. 특히 규산칼슘수화물이 알루미늄산칼슘수화물보다 적게 형성된 것은 점토시료의 산화규소의 대부분이 다른 물질과 반응성이 매우 적은 저온석영으로 이루어져 있기 때문일 것이다(정문경 외, 1998). 그러므로, 첨가된 석회의 Ca이온은 포졸란반응생성물을 많이 형성하지 못하고 많은 양이 탄산화에 의해 방해석의 형태로 변했을 것이다.

표 5. 생석회와 점토의 반응생성물

	면간격 (Å)	물질명	회절강도비
생석회 30%첨가	7.89	알루미늄산칼슘수화물	0.31
	2.88	gehlenite	0.06
	2.56	알루미늄산칼슘	0.06
	2.13	알루미늄산칼슘	0.38
	1.98	규산칼슘수화물	0.23
생석회 15%첨가	7.89	알루미늄산칼슘수화물	0.22
	2.93	hillebrandite	0.07
	2.88	gehlenite	0.11
	2.56	알루미늄산칼슘	0.25
	2.33	?	0.59
	2.24	?	0.11
	2.13	알루미늄산칼슘	0.25
1.98	규산칼슘수화물	0.01	
생석회 7%첨가	5.60	?	0.12
	2.93	hillebrandite	0.09
	2.88	gehlenite	0.08
	2.56	알루미늄산칼슘	0.14
	2.24	?	0.13
	2.13	알루미늄산칼슘	0.24
	1.98	규산칼슘수화물	0.11

표 6. 소석회와 점토의 반응생성물

	면간격 (Å)	물질명	회절강도비
소석회 30%첨가	7.89	알루미늄산칼슘수화물	0.92
	5.60	?	0.15
	2.88	gehlenite	0.15
	2.56	알루미늄산칼슘	0.23
	2.24	?	0.15
	2.13	알루미늄산칼슘	0.40
	1.98	규산칼슘수화물	0.12
소석회 15%첨가	7.89	알루미늄산칼슘수화물	0.33
	4.01	?	0.08
	3.94	?	0.04
	2.56	알루미늄산칼슘	0.18
	2.24	?	0.22
	2.13	알루미늄산칼슘	0.25
	1.98	규산칼슘수화물	0.14
소석회 7%첨가	2.94	hillebrandite	0.07
	2.88	gehlenite	0.06
	2.82	규산칼슘수화물	0.16
	2.56	알루미늄산칼슘	0.11
	2.24	?	0.12
	2.09	?	0.12

5. 결론

본 연구는 한 연약해성점성토와 석회를 반응시킨 후의 개량효과를 검토한 것으로서 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 본 해성점성토에 석회를 첨가한 결과, 함수비가 크게 감소되었다. 특히 생석회를 첨가했을 경우가 수화반응이 더욱 격렬하게 일어나서 소석회를 첨가했을 경우보다 10~18%정도 더 함수비가 감소했다.
2. 일축압축강도의 경우에서도 생석회를 첨가한 시료가 소석회를 첨가한 시료보다 증가량이 더 크게 나타났다으며, 함수비 감소량에 대체로 비례한다.
3. 석회가 첨가되는 양이 많을수록 함수비감소량과 일축압축강도가 증가했으나, 생석회의 경우 첨가량이 15%이상에서는 함수비감소량과 일축압축강도가 크게 변하지 않았다.
4. 생석회, 소석회, 석고를 점토시료와 혼합해서 반응시킨 결과, 현탁액의 pH가 증가할수록 균열의 발생이 적었으며, 그 중에서도 생석회를 첨가한 시료가 균열이 가장 적게 나타났다.

5. 생석회와 소석회를 첨가한 시료가 석고를 첨가한 시료보다 균열의 발생이 적게 나타나는 것은 pH가 높은 강알칼리환경에서 포졸란 반응에 의한 반응생성물이 많이 형성되었기 때문으로 판단된다.
6. 석회와 점토를 혼합시켰을 때 알루미늄산칼슘수화물(CAH), gehlenite ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$), hillebrandite ($\text{Ca}_2\text{SiO}_3(\text{OH})_2$), 알루미늄산칼슘(CA), 규산칼슘수화물(CSH) 등의 많은 반응생성물이 형성된 것이 확인되었으며, 이런 반응생성물들이 토질특성의 개량에 관여되는 것으로 보인다.

사사

이 연구는 1997년 과학재단 산학협력연구비(과제번호: 97-2-05-01-2)의 지원에 의해 수행되고 있으며, 이에 감사한다.

참고문헌

1. 정문경, 서경원, 이용수(1998), “플라이애쉬 혼합차수재의 투수특성과 미세구조 분석”, 한국지반공학회지, 제 14권, 제1호, pp.109~124.
2. 천병식(1987), 기초지반개량공법, 건설연구사, pp.113~119.
3. 鬼塚克忠, 南里 勝, 田中 聰(1995), “軟弱な建設發生土の有効利用おけるポン`ラソ物質の効果と問題點”, 土木學會第50回年次學術講演會集, pp.1420~1421.
4. 南里 勝, 鬼塚克忠(1993), “建設發生土の改良強度に對する含水量の影響”, 土木學會第48回年次學術講演概要集, 第3部, pp.626~627.
5. ASTM(1991), Index to the Powder Diffraction File, Joint Committee on Powder Diffraction Standards, Philadelphia, PA, 19103.
6. Gillott, J.E.(1987), Clay in Engineering Geology, Developments in Geotechnical Engineering VOL.41, Elsevier, pp.251~276.
7. Ingles, O. G. and Metcalf, J. B.(1972), Soil Stabilization, Butterworths, Sydney.
8. Lee, I. K., White, W. and Ingles, O. G.(1983), Geotechnical Engineering, Pitman Publishing, Inc, pp.457~460.
9. Mindess, S. and Young, J.F.(1981), Concrete, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 07632, pp.171~199.
10. Rajasekaran, G. and Narasimha Rao, S.(1996). “Lime migration studies in marine clays”, Ocean Engineering, an international journal of research and development Oxford, UK, Pergamon Press. V.23, N.4, pp.325~355.