

Rice husk ash를 이용한 토질안정처리

Soil Stabilization with Lime and Rice Husk Ash

민 덕 기*¹ Min, Tuk-Ki

황 광 모*² Hwang, Kwang-Mo

김 현 도*³ Kim, Hyun-Do

황 택 진*⁴ Hwang, Taek-Jin

Abstract

In this paper, a laboratory investigation was carried out to change the geotechnical properties of clayey soil with quicklime and rice husk ash for surplus soil strength improvement. The organic content of soils is 8.67%, 6.45% and 3.84% respectively. The geotechnical properties of treated soil were evaluated by a series of laboratory unconfined-compression test, consolidation test and etc. The test results indicated that the presence of RHA enhanced the efficiency of lime stabilization. Especially, the increase in strength is very high at the first stage, while the significant improvement occurs in a sample C with organic content of 3.84%. These results can be identified by X-ray diffraction(XRD) and scanning electron microscope(SEM). The results of consolidation test indicate that the presence of RHA with lime reduces the properties of swelling of soil. Thus, it was verified that the addition of RHA is more effective than using only lime for soil stabilization.

요 지

생석회 혼합처리에 의한 지반개량은 토중수의 흡수, 팽창 그리고 지반을 구성하고 있는 광물들과의 화학적 반응들에 의해 이루어지며, 흙 속에 함유된 실리카(SiO_2)와 알루미늄(Al_2O_3)의 함유량이 혼합토의 강도개선에 크게 영향을 미친다. 따라서, 본 연구에서는 실리카를 주 구성성분으로 하는 rice husk ash(RHA, $\text{SiO}_2=91.65\%$, 왕겨재)를 생석회와 함께 첨가하여 연약토를 개량하고자 하였다. RHA가 첨가된 혼합토에 대한 각종 실험결과, 생석회에 의한 강도발현을 더욱 촉진시키고, 압축특성 및 팽창특성이 감소되는 것으로 나타났다. 대상토에서 유기물을 제거한 후 생석회와 RHA를 첨가한 경우, 유기물 함유율이 적을수록 혼합토의 강도가 증진되는 것으로 나타났다. 따라서, 지반 개량을 위한 첨가재로써 생석회만 사용하는 경우보다 2차 첨가재인 RHA를 첨가하는 것이 강도개선 및 압축특성 개선에 유효함을 확인할 수 있었다.

Keywords : Organic content, Rice husk ash, Strength, Surplus soil, Quick lime

1. 서 론

고함수비의 해성 퇴적 점성토는 세계 여러 해안 및 델타 퇴적지역을 따라 넓고 깊게 분포하고 있으며, 최근 이 지역의 대규모 건설공사로 인하여 양호한 구조

물의 기초지반을 찾기 어렵게 되었다. 일반적으로 해성 퇴적토는 함수비가 높고, 동물성, 식물성 유기물을 다량 함유하고 있어 지반 개량에 악재로 작용하는 경우가 많다. 따라서, 연약지반의 지반공학적인 특성을 개선하기 위해 과도한 비용이 소요되며, 연약지반에

*1 정희원, 울산대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 교수 (Member, Prof., Dept. of Geo-Environmental System Engrg., Univ. of Ulsan, tkmin@mail.ulsan.ac.kr)

*2 정희원, 경북전문대학 건설환경과 전임강사 (Member, Instructor, Dept. of Civil & Environmental Engrg., KyungBuk College)

*3 정희원, 울산대학교 대학원 지구환경시스템공학부 대학원 (Member, Dept. of Geo-Environmental System Engrg., Univ. of Ulsan)

*4 정희원, 부산광역시 도시계획국 국장 (Member, Director, General Urban Planning Bureau, Busan Metro-City)

농이는 구조물의 하중에 의해 과도한 지반 침하와 지반 파괴 등의 지반공학적 문제점들을 야기 시키고 있다. 연약지반 개량 공법 중 석회계 및 시멘트계 고화제를 이용한 공법은 오래 전부터 사용되고 있으며, 석회에 의한 흙의 안정처리는 고대 그리스, 로마 그리고 고대 중국에서 도로건설을 위해 사용된 것으로 알려져 있다. 鬼塚克忠 등(1996)은 생석회와 포졸란 재료 첨가에 의한 강도발현 특성 연구에서 건설 발생토(surplus soil)와 포졸란재료의 화학적 구성성분 중 실리카와 알루미늄(SiO_2 , Al_2O_3)의 량이 증가되면 포졸란반응이 촉진되어 처리토의 강도가 증가됨을 밝힌바 있다. Anday(1963)와 Metcalf(1963)는 세립토에서 석회 혼합의 효과는 양생기간과 양생온도에 비례하여 증대된다고 보고하였으며, Herrin(1961)은 석회 혼합토에 대한 소성, 밀도시험, 강도시험을 실시하여 도로의 안정화를 꾀하였다.

최근 들어 많은 연구자들에 의해 연약한 해성 퇴적토 및 준설토의 강도를 개선하고, 고화제에 의한 개량효과를 증진시키고자 $CaCl_2$, $MgSO_4$ 등의 화학적 첨가제를 첨가한 연구사례가 증가하고 있으며, 폐자원의 재활용을 목적으로 fly ash, 화산재, rice husk ash 등과 같은 포졸란 재료를 지반 안정화에 적용한 연구가 활발히 진행되고 있다. 지반 안정화를 위한 포졸란 재료로써 rice husk ash(RHA, 왕겨재)는 농업 부산물로써, 실리카를 다량 함유한 재료이다. 국내의 왕겨재의 활용성 향상을 위한 연구로서 왕겨 및 왕겨재의 화학적 조성 성분에 대한 연구(박승제, 1997)와 콘크리트의 강도 증진재료로써의 연구가 수행된 바 있다. 외국의 경우, Agus Setyo Muntohar, A.S. Balasubramaniam(2000) 등은 점토에 RHA와 생석회를 혼합하여 강도특성, 압밀특성 및 투수특성에 대하여 연구한 결과, 점토질 흙의 전단 강도 및 압축특성이 개선됨을 밝혔다.

Mousa F. Attom(1998)은 burned olive waste를 생석회와 함께 점토질 흙에 혼합하여 공학적 특성을 개선시킨 바 있으나, 아직까지 국내외적으로 RHA를 이용한 연구 자료는 빈약한 상태이다. 따라서, 본 연구에서는 울산지

역의 건설활동으로 인해 발생하는 함수비가 높고 유기물 함유량이 높은 건설 발생토의 유효이용 및 지반개량을 목적으로 생석회와 RHA를 건설 발생토에 첨가하여 혼합토의 물리·화학적 특성 및 지반공학적인 특성에 대한 실내시험을 실시하고, 그 적용성 및 효과를 분석하였다.

2. 연구방법

본 논문에서는 울산광역시 삼산동 일원에서 발생하는 연약한 건설발생토의 토질 안정화를 목적으로, 생석회 및 RHA를 흙에 첨가하여 공학적 특성들을 평가하였다. 본 연구를 위한 대상토는 자연 건조시료(시료 A), $350^\circ C$ 가열 처리토(시료 B), $700^\circ C$ 가열 처리토(시료 C)로써, 유기물 함유량의 차등을 두어 시험에 사용되었으며, 유기물 함유량에 따른 강도 변화 및 첨가재와의 반응성을 분석하였다. 개량효과를 평가하기 위하여 일축 압축강도 시험과 입도 분석, Atterberg 한계 시험 등의 실내 시험을 실시하여, 시험 결과들의 상호관계를 분석하였다. 그리고 첨가재 혼합 및 재령에 따른 공학적 특성 변화에 대한 원인을 파악하기 위하여 X-선 회절(XRD) 분석, 주사전자현미경(SEM) 촬영과 X-선 형광 분석법(XRF)을 실시하였다.

2.1 시료채취 및 대상토의 성질

시료채취 위치는 울산광역시 삼산동 일원의 택지개발 현장으로 이 지역의 연약 점토층은 최고 30m~40m의 깊이로 넓게 분포되어 있으며, 본 연구를 위한 시료는 지표 하 6m에서 교란된 상태로 채취되었다. 흙의 유기물 함유량에 따른 혼합토의 공학적 특성을 분석하고자, 자연건조시료, $350^\circ C$ 및 $700^\circ C$ 에서 가열 처리된 시료를 준비하였다. 대상토의 자연상태 함수비는 60.3%~76.5%, 유기물 함유량이 8.37%~9.09%, 염분 함유율은 0.72%, 수소이온농도(pH)는 4.59로 유기물을 다량 함유

표 1. 대상토의 물리적 특성

구 분	Atterberg 한계 (%)		비중 (G_s)	수소이온농도 (pH)	#200체 통과율 (%)	유기물 함유량 (%)	흙의 분류 (USCS)
	w_L	I_P					
시료 A	56.19	26.51	2.64	4.59	91.36	8.67	CH 또는 OH
시료 B	33.75	15.18	2.64	4.33	92.44	6.45	CL
시료 C	36.94	12.20	2.67	3.92	90.69	3.84	CL

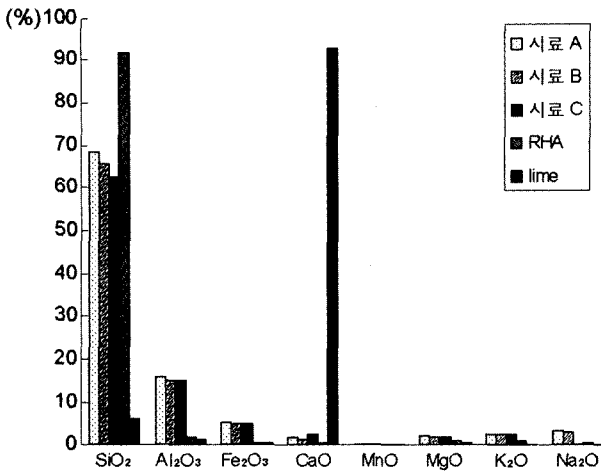


그림 1. 대상토 및 첨가재의 화학적 성분

한 해성 퇴적점으로 산성화된 상태로 존재하고 있었다. 표 1의 시료 B와 시료 C는 각각 350℃ 및 700℃에서 가열 처리된 흙으로써, 자연건조 시료인 A시료보다 소성특성이 저하되었으며, 유기물 함유율은 각각 6.45%, 3.84%로 나타났다.

대상토의 구성성분을 확인코자 X-선 형광분석(X-Ray Fluorescence, XRF)을 실시한 결과, 대상토의 구성성분은 그림 1에 나타난 바와 같이, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, Na₂O, K₂O, MgO, CaO, MnO의 순으로 구성되어 있었으며, SiO₂, Al₂O₃가 전체 구성비의 약 80%를 차지하고 있다.

2.2 Rice husk ash의 특성

RHA는 벼의 품종 및 발생지역에 따라 약간의 차이가 있으나, SiO₂의 함량이 90% 내외이며, 연소온도에 따라 결정화 특성을 달리한다. 연소온도가 700℃ 이상 증가할수록 회분색깔이 점점 검어지는 현상이 나타나며, 이러한 현상은 회분내의 SiO₂가 SiO로 변화되는 현상 또는, 미량의 탄소성분이 SiO₂가 결정화되는 과정에서 결정 속에 갇히는 것에 기인한 결과이다(박승제, 1997).

Qijun Yu, K. Sawayama 등(1999)의 연구에서, RHA가 첨가된 Ca(OH)₂ 용액의 pH 및 전기 전도성이 상당히 빠르게 감소됨을 밝힌 바 있다. 이는 구성성분의 대부분이 무정형의 실리카(SiO₂)로 구성되어 있는 RHA와 칼슘이온(Ca²⁺)의 반응에 의한 것으로, RHA의 실리카(SiO₂)와 칼슘이온(Ca²⁺)의 반응이 매우 신속히 진행됨을 의미한다. 반응에 의한 결과로써 강도 증진에 유효한 결합물질인 CSH, CAH 등이 발생되었다. 그러므로, XRF

분석 결과에서 알 수 있는 바와 같이, RHA의 주 구성성분은 SiO₂로써 전체 구성성분의 90% 이상 함유하고 있으므로 강도 발현을 위한 포졸란 재료로 유효함을 알 수 있다.

3. 시험 결과

대상토에 생석회 및 RHA를 첨가하였을 경우, 흙과 생석회 및 RHA의 반응 메커니즘은 매우 복잡하나, 일축압축강도시험과 압밀시험을 통하여 흙의 개량 정도를 평가하였다. 일축압축강도를 이용한 평가방법으로 1) 재령에 따른 강도변화, 2) 첨가재의 혼합율에 의한 강도변화, 3) 유기물 함유량에 따른 강도 변화를 분석하였으며, 압밀시험을 통하여 첨가재에 의한 압축특성의 변화를 분석하였다.

3.1 일축압축강도시험

혼합토의 종류 및 재령에 따른 전단강도 증진을 평가하기 위하여 일축압축강도시험을 수행하였다. 본 연구에서는 정적 다짐방법을 이용하여 공시체를 제작하였으며, 일축압축강도시험용 공시체의 배합 함수비는 슬러리 상태의 혼합토를 만들고자 무처리토의 액성한계(w_L)+10%로써 65%의 함수비로 하였다. 공시체의 첨가재 배합비율은 생석회를 10%로 고정하였으며, 2차 첨가재인 RHA를 0%, 10%, 20%로 변화시켜 첨가하였다. 공시체의 양생은 지반의 조건을 지하수위 이하 또는, 수중 상태를 고려하여 수중양생법을 이용하였으며, 균일한 양생조건을 유지하기 위하여 공시체 상부의 수

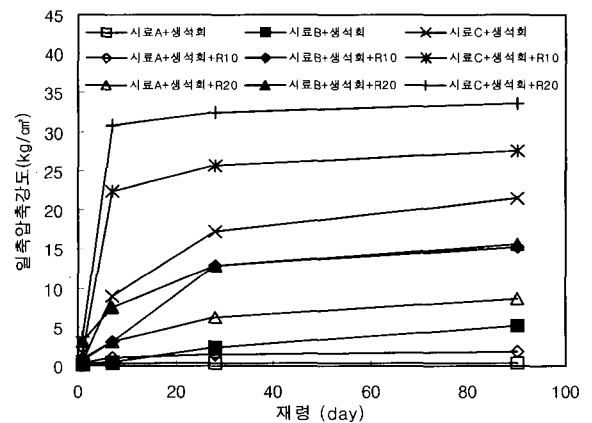


그림 2. 재령에 따른 일축압축강도

위를 5cm로 유지시켜 그늘에서 양생하였다. 이 공시체를 재령 1일, 7일, 28일, 90일에 대하여 일축압축강도시험을 수행하였다. 그림 2에 나타난 바와 같이, 시료 A의 경우에서 재령에 따른 일축압축강도 발현이 매우 낮은 반면, 시료 B 및 시료 C의 경우, 생석회 및 RHA가 첨가됨으로 인하여 강도가 상당히 발현되었음을 알 수 있다. 따라서, 유기물 함유율이 낮을수록 강도발현이 유효하며, RHA와 생석회가 첨가됨으로 인하여 재령 초기에 최대 강도의 상당 부분이 발현됨을 알 수 있다.

3.2 압축특성

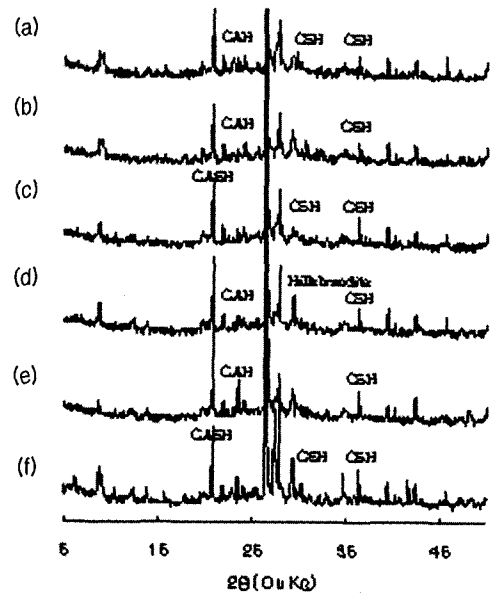
본 연구에 사용된 자연건조시료의 유기물 함유율은 8.37%~9.09%로 비교적 높은 것으로 나타나 350℃ 및 700℃에서 가열 처리하여 유기물을 제거하였다. 이 시료토에 첨가재를 혼합하여 압밀시험을 수행하여, 유기물 함유율과 첨가재에 의한 압축특성을 평가하였다. 압밀시험에 사용된 시료는 No.200체 통과분(75 μm 이하)을 사용하였으며, 동일한 조건의 압밀시료를 제작하기 위하여 자중 침강법을 이용하였다. 먼저, 시료의 함수비를 1000%로 준비하여 침강고가 일정할 때까지 자중 침강하였으며, 침강 완료 후 0.5kg/cm², 1.0kg/cm², 1.5kg/cm², 2.0kg/cm²의 압력을 가하여 예비 압밀을 수행하였다.

본 연구에서는 첨가재가 혼합되지 않은 시료 A, 시료 B, 시료 C와 생석회 및 RHA를 혼합 처리한 흙에 대하여 압밀시험을 실시하였으며, 재 압축지수와 압축지수의 비(Cr/Cc값)를 이용하여 시료들 간의 팽창/압축특성을 비교하였다. Cr/Cc의 값은 흙의 팽창성을 의미하는 것으로 시료 A, 시료 B, 시료 C 혼합토에 있어서 Cr/Cc 값의 범위는 0.0424~0.100의 범위를 나타내었으며, 생석회만 첨가된 경우에 최소의 값을 나타내어 압축특성이 가장 크게 개선된 것으로 나타났다.

4. 시험결과의 분석

4.1 X-선 회절 분석

G. Rajasekaran 등(1997)은 흙과 생석회 혼합물에 다양한 염화물과 황산염을 첨가하여 함수비 저감효과와 전단강도 개선을 위한 연구를 수행하였는데, 흙에 생석회가 첨가되어 흙의 성질을 변화시키게 되는 주된 원인으로 규산 칼슘 수화물(3CaO · SiO₂ · 3H₂O, CSH)와



(a) 시료A+생석회 (b) 시료A+생석회+R20
(c) 시료B+생석회 (d) 시료B+생석회+R20
(e) 시료C+생석회 (f) 시료C+생석회+R20

그림 3. 대상토에 대한 XRD 분석 결과(90일)

알루미늄산 칼슘 수화물(3CaO · Al₂O₃ · 6H₂O, CAH), ettringite(C₃A₃CSH₃₂) 등의 여러 혼합물의 형성과 미세구조의 변화 때문이라 보고하였다. S. Narasimha Rao와 G. Rajasekaran(1996) 등의 여러 연구자들의 연구결과, CAH는 kaolinite와 석회의 반응 결과로서 형성되며, CSH(I)과 CSH(II)는 montmorillonite와 석회의 반응으로 생성된다. 또한, CSH는 석영과 석회의 반응으로 생성되는 것으로 밝혀졌다.

본 연구에서는 재령 90일의 생석회 및 RHA가 첨가된 시료에 대하여 XRD 분석을 실시하여 반응 생성물을 확인하였다. 반응 생성물로는 CSH, CAH, 알루미늄칼슘(CA) 등이 발견되었다. 이러한 반응 생성물은 흙의 강도를 증가시키며, 압축성을 감소시키는 효과를 나타낸다. 그러나, CSH, CAH 결합물질을 생성하는데 있어, 실리카(SiO₂), 산화알루미늄(Al₂O₃)와 칼슘이온(Ca²⁺) 중 일부가 부족하게 되는 경우 결합 물질에 의한 회절강도가 뚜렷이 발생되지 않는다. 본 연구의 XRD 결과를 분석한 경우, CSH, CAH 등 결합 물질이 발견되었으나, 회절강도가 약하게 나타난 것은 RHA에 의한 실리카(SiO₂)가 다량 첨가됨에 따라 반응에 필요한 칼슘이온(Ca²⁺)의 부족이 원인으로 판단된다. 따라서, RHA가 첨가되는 경우, 생석회 또는 칼슘계 첨가재의 소요량이 증가되어야 할 것이다.

4.2 주사전자 현미경 분석

흙에 생석회를 첨가하는 경우, 화학적 반응에 의해 원시료의 입자형상을 변화시키게 된다. 그 이유는 생석회의 수화반응에 의해 생성된 소석회가 간극수에 의해 분해되어 칼슘 2가 이온(Ca^{2+})과 수산화 이온(OH^-)으로 분해되고, 칼슘이온은 양이온교환이 발생하게 되어 면모화나 응집현상을 발생시키기 때문이다. 본 연구에서는 자연건조시료(시료 A) 및 가열 처리토(시료 B, 시료 C)에 생석회 및 RHA를 첨가하여 화학적 반응으로 인한 입자 형상의 변화를 주사전자현미경(SEM) 분석을 통하여 관찰하였다. 그림 4 (a)~(c)는 첨가재가 혼합되지 않은 것으로, 시료 A의 경우 다수의 유기물이 관찰되었으나, 시료 B, 시료 C에서는 가열처리로 인하여 유기물이 거의 관찰되지 않았다. 그림 4 (d)는 시료 A+생석회+RHA20%에 대한 것으로 (e), (f)와는 달리 첨가재에 의한 응집 구조를 관찰하기 어려웠다. 이는 일축압축강도시험결과에서 확인할 수 있듯이, 첨가재와 화학적 반응이 원활히 발생되지 않은 것이 원인으로 판단된다.

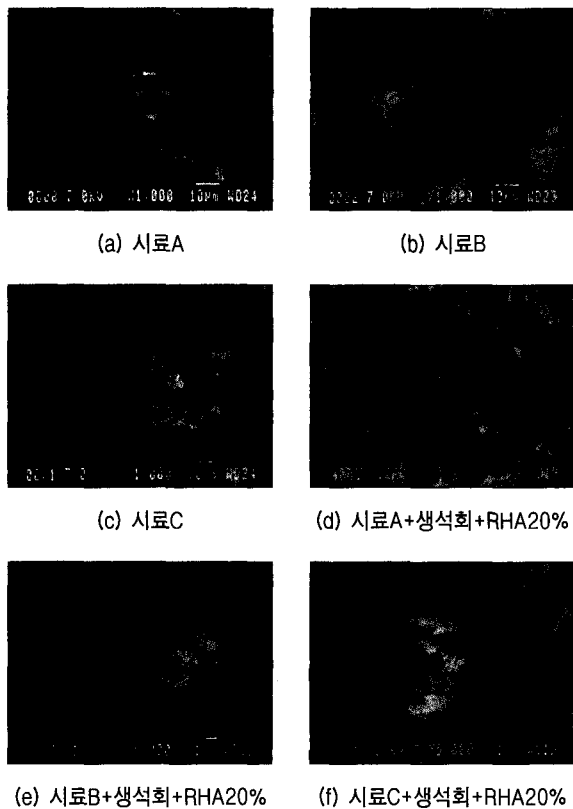


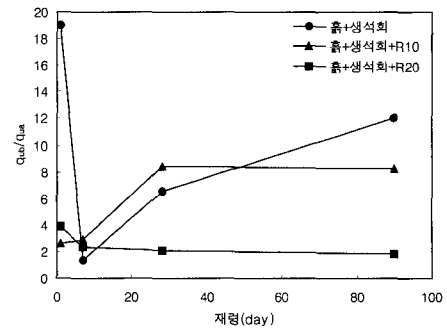
그림 4. 대상토에 대한 SEM 촬영 결과

4.3 유기물 제거에 의한 강도증가

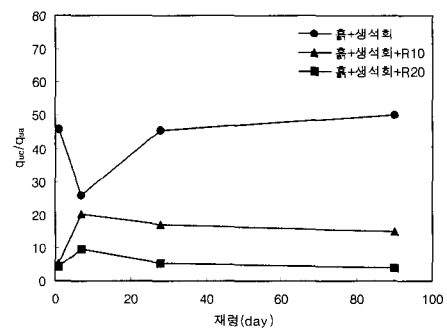
자연 건조 시료(시료 A)를 350℃, 700℃에서 가열 처리한 결과, 시료 B, 시료 C의 유기물 함유율은 감소하는 것으로 나타났다. 유기물 함유율에 따른 강도 변화는 앞 절의 시험결과에서와 같이 유기물이 적을수록 강도 증대가 크게 일어남을 확인하였다. 그림 6 (a)는 시료 A에 대한 시료 B의 일축압축강도비를 재령에 따라 나타낸 것으로, 유기물 함유율이 8.67%에서 6.45%로 감소됨으로 인하여 최대 12배 정도의 강도증가를 나타내었다. 그림 6 (b)는 시료 A에 대한 시료 C의 강도비로, 유기물 함유율이 감소됨으로 인해 최대 50배 정도의 강도 증가를 나타내었다. 이 결과에서 알 수 있듯이, 유기물 함유율이 증가할수록 생석회와 RHA의 화학적 반응을 저해하는 것으로 나타났다.

4.4 일축압축강도와 pH의 관계

공시체의 강도발현과 pH의 관계를 분석하고자 재령에 따른 혼합토의 pH를 측정하였다. 그림 7에 보는 바

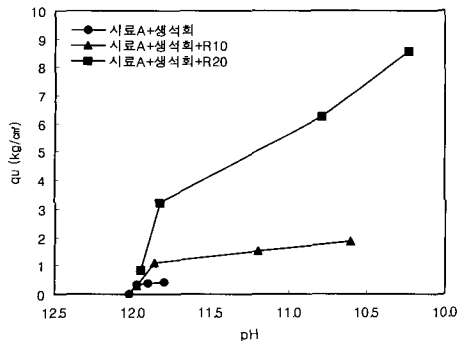


(a) 재령에 따른 시료 B의 일축압축강도 시료 A의 일축압축강도 의 변화

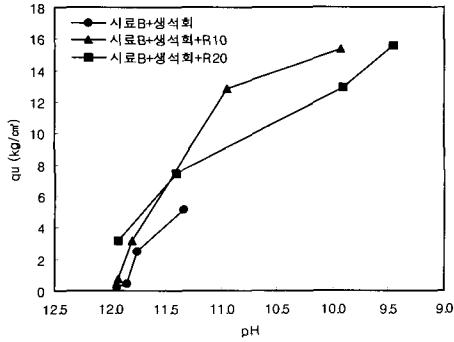


(b) 재령에 따른 시료 C의 일축압축강도 시료 A의 일축압축강도 의 변화

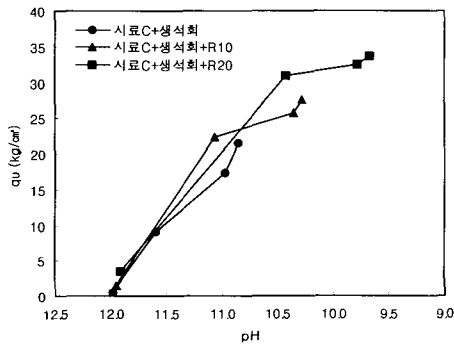
그림 5. 유기물 함유율에 따른 강도비



(a) 시료A 혼합토의 pH와 일축압축강도의 관계



(b) 시료B 혼합토의 pH와 일축압축강도의 관계



(c) 시료C 혼합토의 pH와 일축압축강도의 관계

그림 6. pH와 일축압축강도의 관계

와 같이 생석회만 첨가된 경우, RHA가 첨가된 공시체에 비하여 pH 변화 폭이 작음을 알 수 있다. 이러한 경향은 시료 A에서 더욱 뚜렷이 나타나고 있다. pH의 감소는 Qijun Yu, K. Sawayama의 연구결과와 같이 생석

회와 포졸란의 화학적 반응에 의한 것으로서 RHA가 첨가된 경우, 큰 폭의 pH 감소가 발생되며, 이와 비례하여 일축압축강도가 증가되었다. 생석회만 첨가된 공시체 중 시료 A의 pH와 일축압축강도 변화 폭이 가장 작게 나타났으며, 이는 흙에 함유된 유기물에 의한 화학적 반응성의 저해됨으로써 발생한 것으로 판단된다.

4.5 혼합토의 압축특성

첨가제가 혼합되지 않은 시료 A, 시료 B, 시료 C와 생석회 및 RHA를 혼합 처리한 흙에 대하여 압밀시험을 실시하여 압축특성을 분석하였다. 본 연구에서는 C_c/C_c 값을 이용하여 시료들 간의 팽창/압축특성을 비교하였다. 시료 A, 시료 B, 시료 C 혼합토에 있어서 C_c/C_c 값의 범위는 0.0424~0.100의 범위를 나타내었으며, 생석회만 첨가된 경우에 최소의 값을 나타내었다. 반면, RHA는 비표면적이 크며, 물을 흡수하는 성질을 지니고

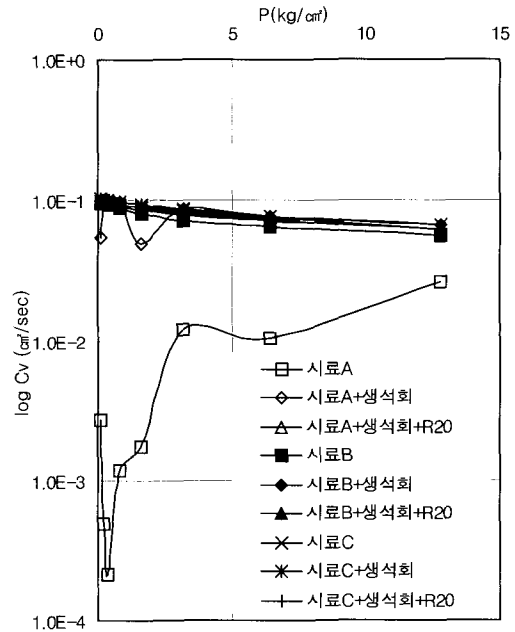


그림 7. 혼합토의 하중에 따른 입밀계수 변화

표 2. 혼합토의 C_c 와 C_r

첨가제	시료 A			시료 B			시료 C		
	-	생석회	생석회+R20%	-	생석회	생석회+R20%	-	생석회	생석회+R20%
C_c	0.597	0.482	0.562	0.476	0.446	0.531	0.410	0.638	0.605
C_r	0.060	0.029	0.043	0.034	0.026	0.032	0.032	0.027	0.036
C_c/C_c	0.100	0.061	0.077	0.071	0.059	0.060	0.079	0.042	0.059
ΔH	6.69	4.45	4.75	5.40	4.00	4.60	3.96	4.58	4.47

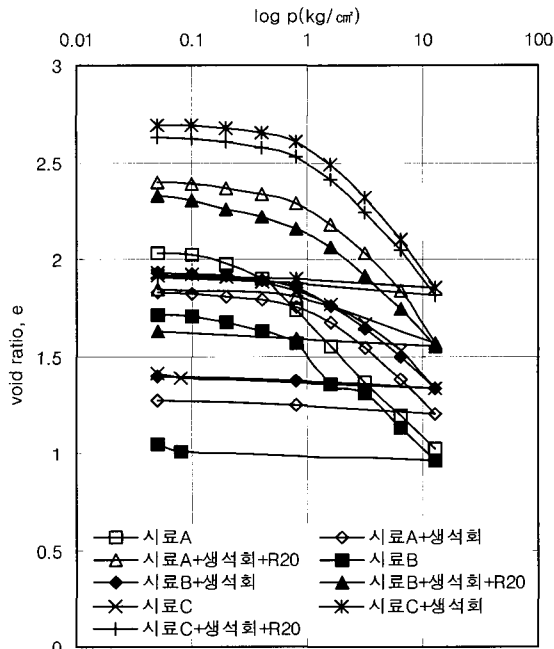


그림 8. 혼합토에 대한 e-logP 곡선

있어 생석회만 첨가된 경우보다 약간 큰 값을 나타내었다. 그러나, 첨가제가 혼합되지 않은 흙과 비교하였을 경우, 생석회 및 RHA가 첨가됨으로써 팽창특성이 개선되었다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 태화강과 동해가 인접한 울산광역시 삼산지역의 연약지반에서 발생하는 연약한 건설 발생토에 생석회 및 RHA를 첨가하여 지반 공학적 특성을 개선코자 하였다. 이를 위하여 혼합토에 대한 일축압축 강도시험 및 압밀시험을 실시하였으며, 각종 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 대상토에 생석회 및 RHA를 혼합한 경우, 고함수비의 해성 퇴적토의 강도 발현에 유효한 것으로 나타났으며, 혼합토의 일축압축강도가 최대 $8.5\text{kg/cm}^2 \sim 33.0\text{kg/cm}^2$ 로 나타났다.
- (2) 유기물 제거에 따른 강도 증가비를 분석한 결과, 유기물 함유율이 8.67%에서 6.45%, 3.84%로 저감됨에 따라, 각각 최대 12배, 50배의 강도 증가를 나타내었다.
- (3) 생석회와 함께 RHA가 첨가된 경우, 재령에 따른 pH 감소와 함께 강도 발현이 매우 신속하게 발생됨을 확인하였다.

- (4) C_s/C_u 값을 이용하여 팽창특성을 비교한 결과, 생석회만 첨가된 경우가 가장 효과적인 것으로 나타났으나, 강도발현과 압축성을 동시에 개선코자 할 경우에는 생석회와 함께 RHA를 첨가하는 것이 좀 더 유효할 것으로 판단된다.

따라서, 해성 퇴적토 및 해안 준설토와 같은 연약토를 대상으로 지반공학적 특성을 개선코자 하는 경우, 생석회와 함께 RHA와 같은 제 2의 첨가제를 적용하는 것이 바람직하며, 대상토의 유기물을 제거하는 경우에는 그 효과가 증대될 것이다.

참고 문헌

1. 박승재(1997), 우리나라 왕겨 및 왕겨재의 화학적 조성성분, 전북대 농과대학.
2. 박승재, 김명호, 윤상대(1997), 콘크리트용 혼화재료로서 왕겨활용에 관한 연구, 농어촌진흥공사 농어촌연구원.
3. 강문기(1999), 삼산지역 퇴적점토의 광물조성 특성, 울산대학교 대학원 토목환경공학과, 석사학위 논문, pp.26-51.
4. 정두영, 최길렬, 이병식(1986), "Ca, Al계 안정처리토의 구조적 특성 비교", 대한토질공학회지, 제2권 제3호, pp.5-14.
5. 鬼塚克忠, 南里 勝(1996), "生石灰とホソラン材料添加による建設發生土(有明粘土)の強度發現特性", 日本 土木學會 論文集 No.547/III-36, pp.97-106.
6. Anday, M. C.(1963), "Curing Lime-Stabilized Soils", HRB, No. 29, pp.13-24
7. Agus Setyo Muntohar and Gendut Hantoro(2000), "In fluence of Rice Husk Ash and Lime on Engineering Properties of a Clayey Sub Grade", electronic journal of geotechnical eng. Vol.5.
8. Changling He, Bjarne Osbaeck, and Emil Makovicky.(1995), "Pozzolanic reactions of six principal clay minerals :Activation reactivity assessments and technological effects", Cement and Concrete research, Vol.25, No.8, pp.1691-1702.
9. G. Rajasekaran, K. Murali and R. Srinivasaraghavan.(1997), "Fabric and Mineralogical Studies on Lime Treated Marine Clays", Ocean Engineering, Vol.24, No.3, pp.227-234.
10. Herrin, M. and Mitchell, H.(1961), "Lime Soil Mixture", HRB. Bul 304, pp.99-138.
11. Metcalf, J. B.(1963), "The Effect of Highcuring Temperature on the Unconfined Compressive Strength of a Heavy Clay Stabilized with Lime and with Cement", 4th Australia, Newzealand Conf, pp.126-130.
12. Mitchell, J. K.(1992), Fundamentals of Soil Behavior-Second Edition, John Wiley and Sons, New York, pp.84-99, pp.131-159.
13. Mousa F. Attom, and Munjed M. Al-Shrif(1998), "Soil stabilization with burned olive waste", Applied Clay Science 13, pp.219-230.
14. Qijun Yu, K. Sawayama, S. Sugita, M. Shoya, and Y. Isojima (1999), "The reaction between rice husk ash and Ca(OH)₂ solution and the nature of its product", Cement and Concrete Research 29, pp.37-43
15. S. Narasimha Rao and G. Rajasekaran(1996), "Reaction Products Formed In Lime-Stabilized Marine Clays", Journal of Geotechnical Engineering, May 1996, pp.329.

(접수일자 2002. 1. 25, 심사완료일 2002. 10. 1)