

혼합대상 토질에 따른 지반개량재의 강도 변화에 관한 연구 A study on the variety of strength about soft ground improvement material according to Mixed soil

이광준¹⁾, Kwang-Joon Lee

¹⁾ 서남대학교 토목공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Seonam Univ.

개요(SYNOPSIS) : This study is an experiment paper about the ground improvement material which using the waste residual(slag and paper fly ash) by fire. we are research to concern according to the soil to mix the ground improvement material at show strength effectiveness. Also, we can expect a long time strength increase effectiveness as reduce the dryness contraction. They are distinguished to the clay of the reclamation ground and silty sand soil. We examined around an uniaxial compress test and scanning electron microscopy. The uniaxial stress increases according to the increase of the mixed ratio of ground improvement material and the water contents have been reduced the strength value. A clay's improvement effectiveness is big but in the silty sand soil to express small effectiveness. A ground improvement material mixing of the quantity to write can not expect the effect of Ettringite.

주요어(Key words) : Slag, Paper fly ash, UCS, Ettringite, SEM

1. 서론

본 연구는 고로슬래그와 제지류를 소각하고 남은 Paper fly ash (PFA:제지회) 등의 소각잔재물을 해성점토로 구성된 초연약지반의 개량이나 자연형 하천 및 농수로의 개수 시 사용되는 지반개량재로 사용할 경우, 지반개량재를 혼합하는 대상토에 따라서 어떠한 강도발현 효과를 보이는지에 관한 연구이다. 시멘트계는 시공 후 건조수축으로 인한 문제점과 육가크롬 등의 문제가 있고, 생석회계는 지반과의 반응 후 고화된 지반에 다시 물이 침투하면 진탕화 될 수 있는 문제점이 대두되고 있으나, 제지회나 고로슬래그를 혼합하여 제조된 지반개량재는 시멘트계의 고화재와는 달리 환경유해성 물질이 지중으로의 침출될 가능성이 없으면서 지반개량에 필요한 주요성분(SiO_2 , CaO , Al_2O_3) 물질을 다량 함유하고 있는 것으로 알려져 있기 때문에 재활용이 가능한 친환경적인 지반개량효과를 얻을 수 있다고 보고 있으며 건조수축을 줄이면서 장기강도 증진효과를 기대할 수 있다고 본다. 따라서, 지반개량 대상토를 해성매립지반 점토와 육상의 사질실트 지반으로 구분하여 일축압축강도시험과 SEM 촬영을 중심으로 Ettringite 효과를 검토하였다.

2. 배합대상토의 물리적 특성

본 연구에 사용된 배합대상토는 자연함수비가 90% 정도의 고탍수비인 광양만 해성매립대상지의 초연약 점토(CL)와 농수로 개수시설예정지인 논에서 채취한 유기질이 함유된 사질실트(논흙)를 배합대상으로 선정하였다. 표 1은 배합대상토 시료에 대한 기본 물성시험결과를 요약한 것이다.

표 1. 배합대상토의 기본 물성시험 결과

토성	G_s	D_{50} (mm)	Clay fraction(%)	Silt fraction(%)	Sand fraction(%)
해성점토	2.675	0.03	40	58	2.0
사질실트	2.508	0.054	-	63.2	36.8
토성	w_n (%)	Liquid Limit(%)	Plastic Limit(%)	PI	USCS
해성실트	89.65	37.66	23.87	13.79	CL
사질실트	58.00	NP	NP	-	SM

3. 시험 및 분석

3.1 시료의 제작 및 시험조건

일축압축시험을 위한 시료는 각각의 조건별로 직경 5cm, 높이 10cm의 성형몰드를 이용하여 제작하고 양생시 대기노출로 인한 함수비 변화의 차단을 위하여 wrap으로 밀봉 처리한 후 상온을 유지할 수 있는 항온수조를 이용하여 습윤양생 한 후 소요 양생일에서 일축압축시험을 실시하였다.

시료의 혼합비의 산출방법은 아래의 수식과 같다.

$$\text{개량재혼합비}(\%) = \frac{\text{지반개량재 중량}}{\text{물중량} + \text{흙중량}} \times 100 \quad (1)$$

표 2는 각 시험명칭별 지반개량재 제조시의 소각잔재물의 배합비율을 요약한 것이며 50% 이상이 되는 주성분은 PFA 와 고고슬래그 분말을 이용하였으며 CaSO_4 및 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 는 흙과의 물리·화학적반응에 도움이 되는 물질로 첨가하였다. 표 3은 시험수행에 필요한 공시체 제작 구성표이다.

사질실트 대상토에서 혼합 함수비는 시료채취당시의 자연상태의 함수비를 고려하여 60%로, 해성점토는 자연상태에서 고함수비인 점을 감안하여 60%~120%의 범위로 수분을 조절하였으며, 배합된 개량재의 혼합비는 4%~16% 범위로 증가시켰으며, 양생은 1, 3, 7 28일 동안 실시한 후 일축압축시험을 수행하였다.

표 2. 지반개량재 제조시 소각잔재물의 배합비율

명칭 구분	Paper Fly Ash (%)	고로슬래그 분말 (%)	Cement (%)	CaSO_4 (%)	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (%)
PS-20	35	35	20	4	6
PS-30	30	30	30	4	6
PS-40	25	25	40	4	6

표 3. 공시체 제작 구성표

개량재혼합 함수비(%)		혼합비(%)	일축압축시험용 공시체 양생일(일)
해성점토	60,80,100,120	4, 8, 12, 16	1, 3, 7, 28
사질실트	60		

3.2 일축압축강도

지반개량 대상토에 개량재를 혼합한 후 양생일별, 혼합비별 일축압축 강도를 조사한 결과를 다음 그림 2~그림 5에서 검토하였다.

두 종류의 지반개량 대상토 모두 지반개량재의 혼합비율의 증가 및 양생일수의 증가에 따라 일축압축강도가 증가하는 경향을 보이고 있으며 혼합비가 12%이상에서 증가경향이 현격하게 높게 나타나고 있으나 혼합비가 작을수록 양생에 따른 강도의 증가경향은 미미하게 나타나고 있다.

해성점토는 양생일수가 3일이 경과한 후에 강도 증가의 변화폭이 뚜렷해지는 것을 알 수 있었다. 지반개량재 혼합시의 함수비가 증가함에 따라서 전반적으로 양생일수에 따른 일축압축강도는 감소하는 양상을 보이고 있다. 두가지 종류의 대상토를 함수비 60%로 혼합할 때를 기준으로 해서 양생 28일에서의 강도증가 변화를 검토한 결과 SC-20 에서는 약 2.7배, SC-30 에서는 약 11.0배, SC-40에서는 약 7.3 배 정도로 해성점토에서의 지반개량의 증가 효과가 큰 것을 확인할 수 있었다.

해성점토의 일축압축강도시험에서 알 수 있듯이 지반개량재 SC-30을 혼합했을 때 강도증가의 효과를 가장 많이 볼 수 있었다.

한편 해성점토에서의 양생 초기(3일이내)에는 강도의 발현이 되지 않고 있는 것으로 나타나고 있는데, 이것은 포졸란 반응에 의해 서서히 강도가 증가하는 것으로 초기강도에는 영향을 주지 못하는 것으로 판단된다. 특히 SC-20의 경우는 7일 이내에는 강도 증가율이 나타나고 있지 않는 것으로 나타났으며, 배합비가 적을수록 그러한 현상은 더욱 크게 나타나고 있다.

각각의 경우에 모두 혼합비가 증가하는 경향을 나타내고 있으나, 혼합비가 4% 이하에서는 뚜렷한 강도 증가경향을 보이고 있지 않고 있다. 특히, SC-20의 경우 12%이하에서도 강도 발현이 잘되지 않고 있는 것으로 나타났다.

일축압축강도의 경우 SC-30에서 SC-20이나 SC-40보다 높게 나타나고 있는데, 이것은 시멘트의 증가만이 강도에 영향을 미치는 것이 아니고 원지반과의 효과적인 적절한 배합이 높은 강도를 나타냈음을 의미하고 있다고 본다.

해성점토와 사질실트 대상토 모두 지반개량재 혼합비율이 4%미안에서는 양생일수가 증가하여도 강도증진의 효과를 볼 수 없었다. 함수비 상태에 관계없이 너무 적은 양의 지반개량재 투입은 Ettringite의 효과를 기대할 수가 없다는 것을 알 수 있었다.

해성점토와 사질실트(논흙)의 지반개량재 투입에 따른 강도변화를 살펴보면 해성점토는 고로슬래그분말이나 제지회의 개량효과가 뚜렷한데 반해서 논흙에서는 작은 효과를 나타내는 것을 확인하였다. 이는 논흙에 존재하는 유기물질의 잔류 또는 객토 등에 의한 입도의 입상화로 인해서 Ettringite의 효과를 작게 발현 하는 것을 확인할 수 있었다.

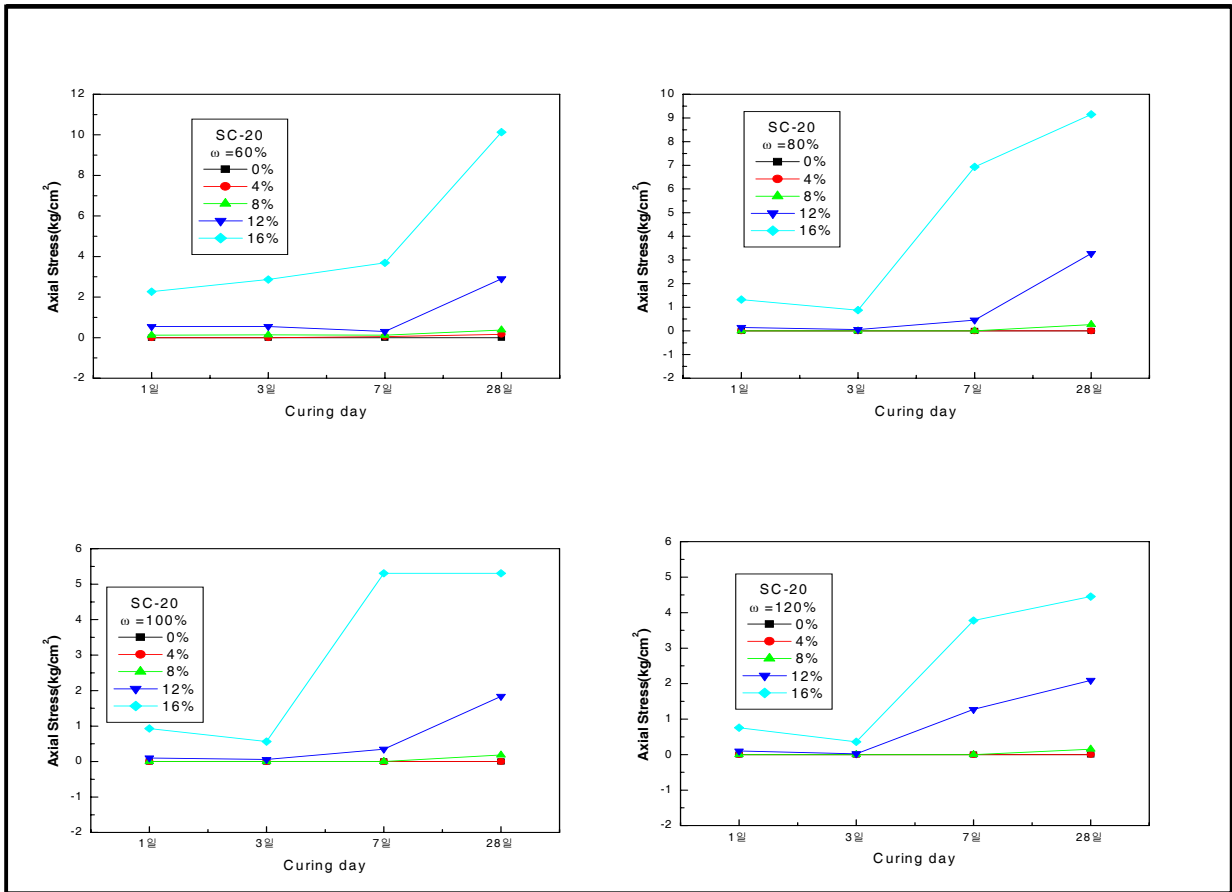


그림 1. 해성점토 대상토의 일축압축강도 (SC-20)

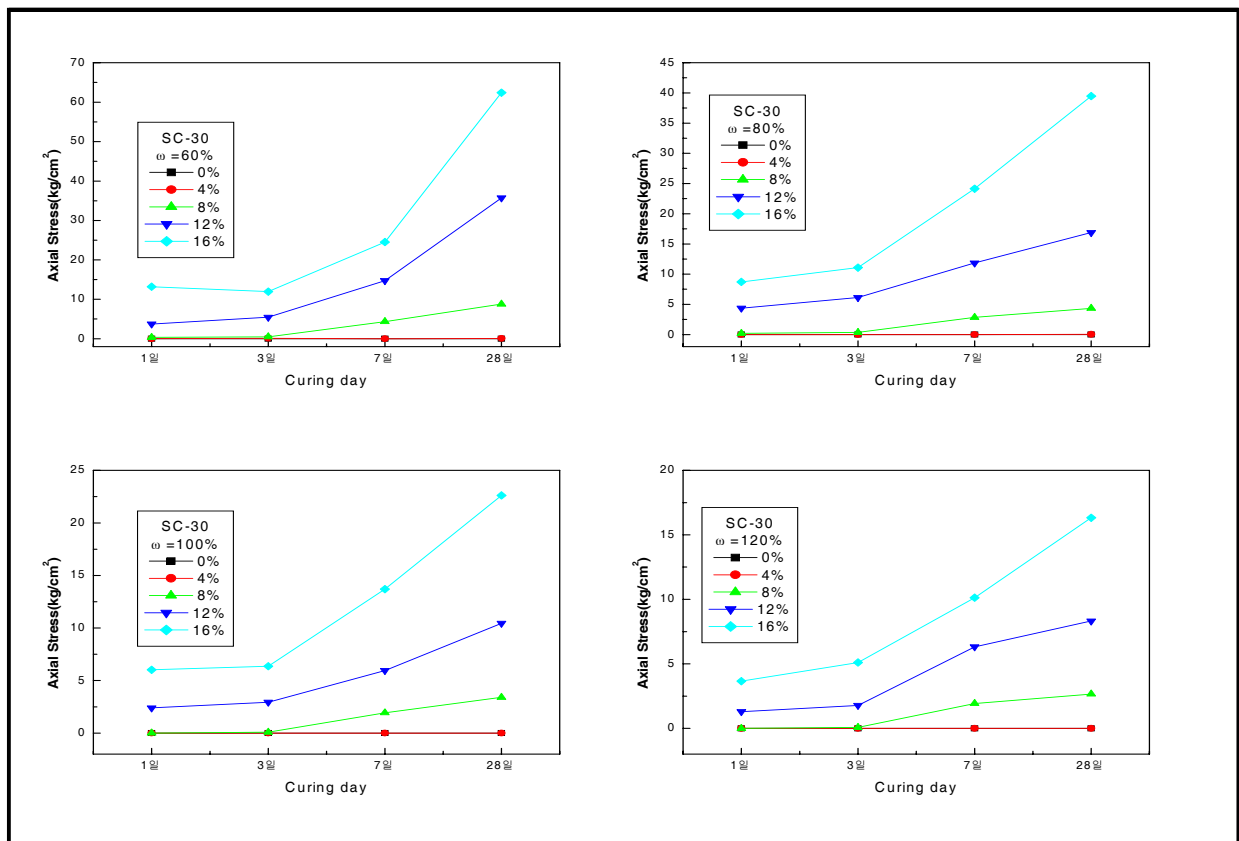


그림 2. 해성점토 대상토의 일축압축강도 (SC-30)

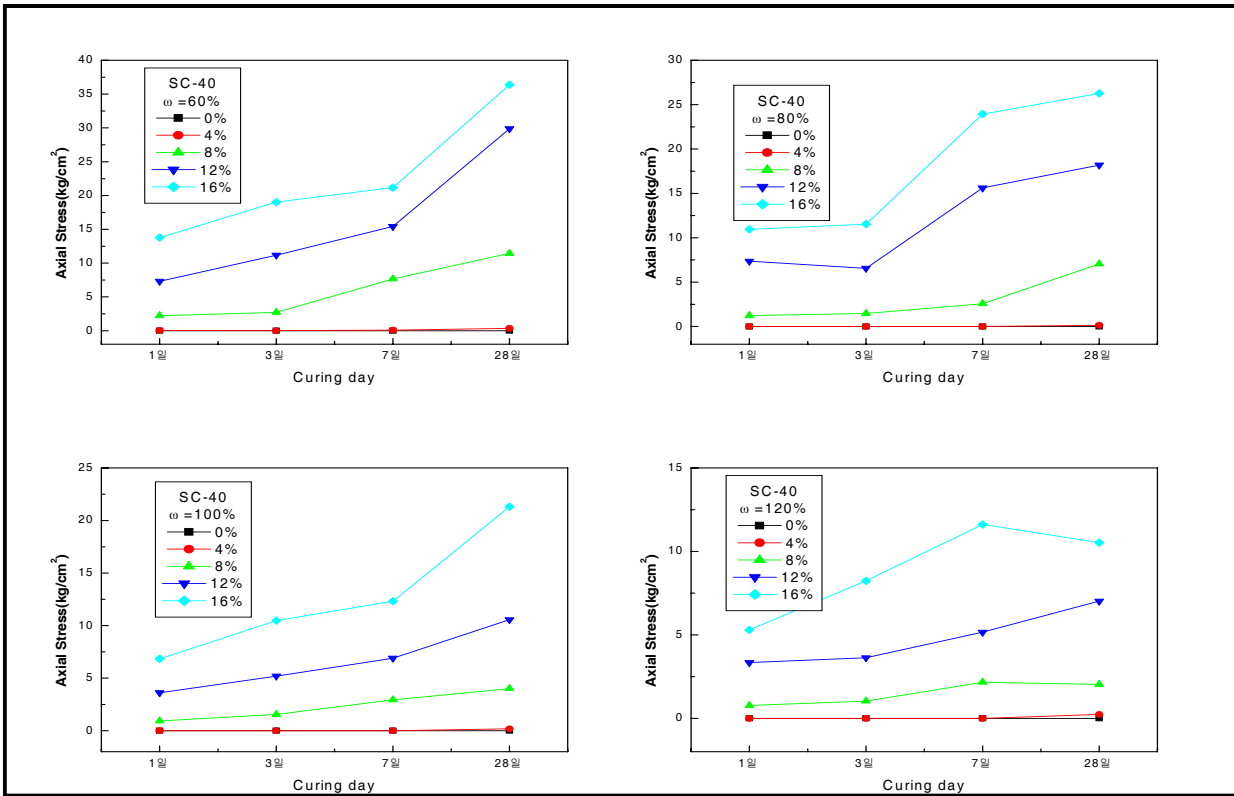


그림 3. 해성점토 대상토의 일축압축강도(SC-40)

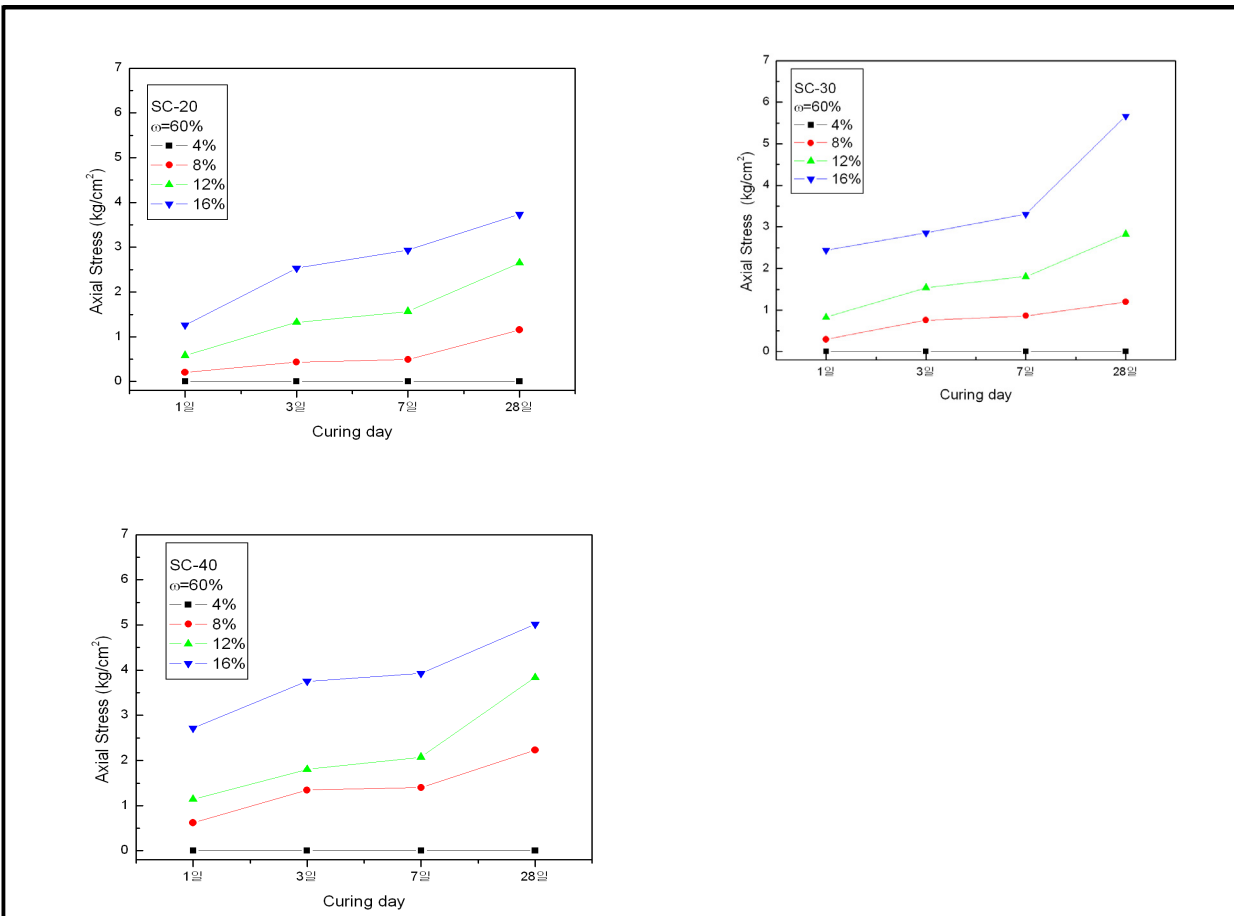


그림 4. 사질실트 대상토의 일축압축강도

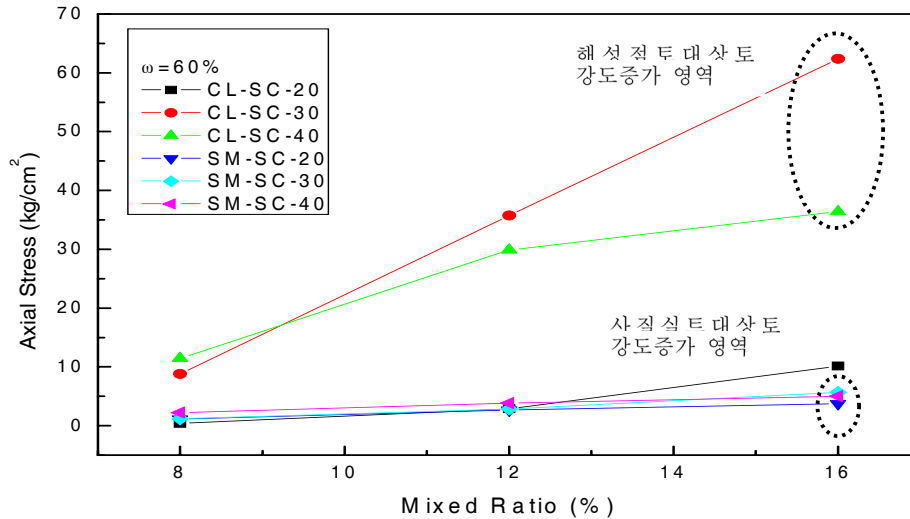
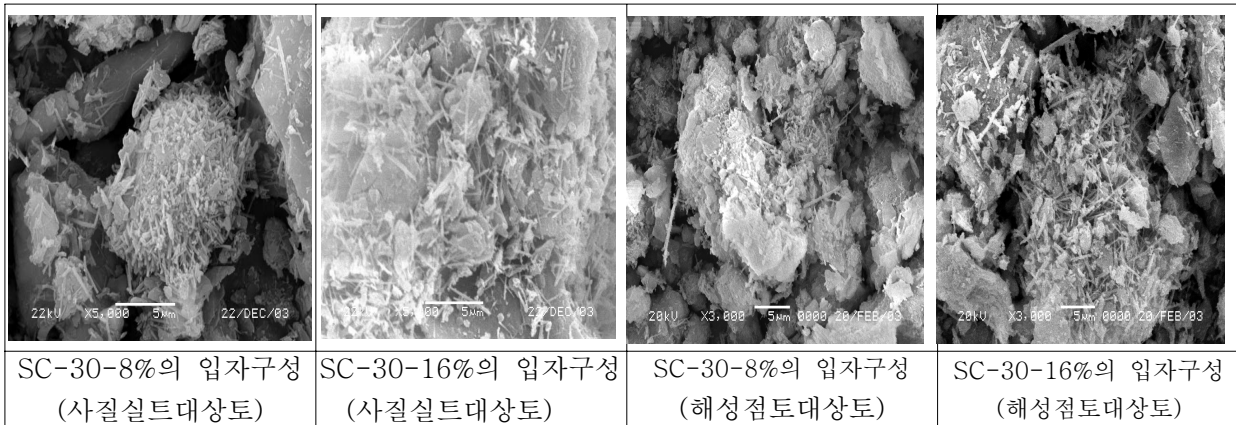


그림 5. 지반개량재 혼합비에 따른 강도증가 변화 (함수비60%, 양생28일)

3.3 SEM 분석결과

SEM 촬영은 고로슬래그 분말과 제지회를 이용한 지반개량재의 Ettringite의 반응효과를 미시적인 광물의 형태 및 간극의 분포, 포조란 반응현상을 관찰하기 위해서 실시하였으며 각 시료 당 3000배로 확대 촬영하였다. 28일 양생을 마친 공시체의 일축압축시험을 마친 시료를 0.074mm 이하의 분말상태로 분쇄하여 전자현미경을 이용하여 관찰하였으며, 일축압축강도 발현이 뚜렷한 SC-30을 혼합한 시료를 대상으로 실시한 바, 혼합비가 증가할수록 지반개량재의 Ettringite 반응을 나타내는 침상구조가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

그림 6. 각 혼합토별 전자현미경의 입자구성(재령 28일)



3.4 X-ray Diffraction

X-ray 분석의 어려운 점을 감안하여 사질실트 대상토에 지반개량재를 혼합했을 경우 구성물질을 확인하기 위해 실시한 SEM 촬영 시에 검출된 대략적인 구성물질은 다음 그림 8과 같이 나타났다.

SEM 촬영시 사용된 분말시료를 이용하여 X-Ray 촬영을 통하여 지반개량재가 투입된 대상토의 구성물질을 확인

하였으나 Peak상으로서의 정성적인 뚜렷한 변화 양상은 확인하기 어려운 점이 있다.

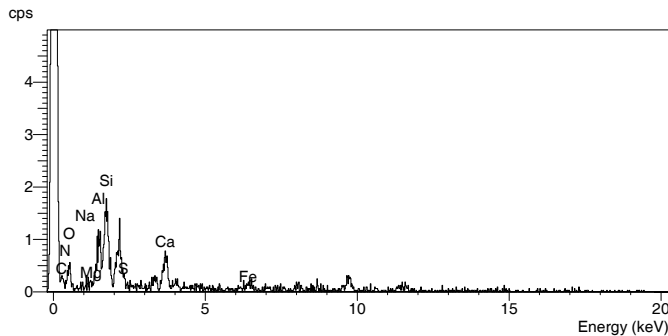


그림 8. 대상토의 지반개량재 혼합시 화합물 성분 분석 (SC-30-16%)

반응화합물을 확인하기 위해서 SEM 촬영 시에 검출되는 화합물의 Peak도 Attringite 효과를 확인하는 유용한 방법이라고 보며, 주된 화합물의 구성은 SiO_2 , AlPO_4 , Al_2O_3 , $\text{CaMg}(\text{SiO}_3)_2$ 로 나타났으며, XRD 변화상황을 보면 모든 혼합 처리토에서 공통적으로 나타나는 결과를 보이고 있으며, Ca화합물의 Peak가 정량적으로 증감하는 양상을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- (1) 해성점토와 사질실트 두 종류의 지반개량 대상토 모두 지반개량재의 혼합비율의 증가 및 양생일수의 증가에 따라 일축압축강도가 증가하는 경향을 보이며, 함수비가 증가함에 따라서 전반적으로 양생일수에 따른 일축압축강도는 감소하는 양상을 보이고 있다.
- (2) 해성점토는 고로슬래그분말이나 제지회와 개량효과가 뚜렷한데 반해서 논흙에서는 작은 효과를 나타내는 것을 확인하였다. 두 종류의 대상토를 함수비 60%로 혼합할 때를 기준으로 해서 양생 28일에서의 강도증가 변화를 검토한 결과 SC-30 에서 약 11.0배 정도로 해성점토에서의 지반개량의 효과가 큰 것을 확인할 수 있었다.
- (3) 해성점토와 사질실트 대상토 모두 지반개량재 혼합비율이 4%미안에서는 양생일수가 증가하여도 강도증진의 효과를 볼 수 없어, 함수비 상태에 관계없이 너무 적은 양의 지반개량재 투입은 Ettringite의 효과를 기대할 수가 없다는 것을 알 수 있었다.
- (4) 전자현미경을 이용하여 고화처리토의 입자구성을 조사한 결과 혼합비가 증가할 수 록 지반개량재의 Ettringite 반응을 나타내는 침상구조가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. 김광빈(2003), “제지회 지반개량재를 혼합한 고함수비 준설퇴립토의 공학적 특성에 관한 연구”, 전북대학교 석사학위 논문
2. 전북대학교 부설 공학연구원 공업기술연구센터(2002), 초연약지반의 표층고화처리공법에 관한 연구,

pp.58~86.

3. 김광빈, 이용안, 이광준, 김유성(2002), “연약점토의 함수비 변화가 고화처리토의 강도에 미치는 영향”, 한국지반공학회 2002 가을학술발표회 논문집, pp.553~560.
4. 이광준, 이재열(2003), “고로슬래그와 제지회 기반개량 혼합토의 비교 연구”, 대한토목학회 2003 학술발표회 논문집.
5. 정두영, 이병석, 이광준(2001), “적황색토와 프라이애쉬 안정처리토의 반응 특성”, 한국지반공학회 논문집, pp.59~72.
6. Glen Ferguson(1993), “Use of Self-Cementing Fly Ashes as a Soil Stabilization Agent”, ASCE Geotechnical Special Publication, No. 36, pp.1~14.
7. Shenbaga R. Kaniraj, Vasant G. Havanagi(1999), “Compressive Strength of Cement Stabilized Flyash-Soil Mixtures”, Cement and Concrete Research 29, pp.673~677.
8. 土質工學會(1994), 土質試驗法-第二回改訂版-社團法人 土質工學會, pp.2-1-1~6-3-23.