

Lime-Fly Ash/Rice Husk Ash에 의한 해성 퇴적토의 강도특성 개선

민덕기 · 이경준 · 김현도
토목 · 환경공학부

<요 약>

본 연구에서는 울산광역시 남구 삼산동 일원의 지표 하 7m 지점에서 채취한 시료에 대하여 생석회 처리 후 FA(fly ash)와 RHA(rice husk ash)를 혼합하여 강도특성을 분석하였다. 연구방법으로는 채취한 시료와 혼합토에 대하여 기본물성시험과 일축압축강도 시험 및 C.B.R 시험을 실시하였다. 그리고 첨가재의 혼합에 따른 입자구조를 분석하기 위하여 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 비교·검토하였으며, 첨가재의 화학적 구성성분을 X-선 형광분석(XRF)을 통하여 조사하였다. 화학성분 분석결과, FA의 주 구성성분은 Al_2O_3 , Fe_2O_3 가 약 50%, RHA의 경우는 SiO_2 가 약 91%를 차지하는 것으로 나타났다. 일축압축강도 시험결과, FA와 RHA가 각각 10% 첨가 시 가장 큰 강도를 나타내었으며, 10% 이상 첨가시 강도가 저하되는 경향을 나타내었다. FA와 RHA가 각각 10% 첨가된 시료에 대한 C.B.R 시험결과에서 전자의 경우 118%, 후자의 경우 100%를 나타내었으며, 소성지수(PI)가 각각 9.4%, 9.1%값을 나타내어 소성지수 저감 후 보조기층, 기층재로써 사용이 가능할 것으로 판단되었다.

Strength Improvement of Lime-treated Soil with Fly Ash and Rice Husk Ash

Tuk-ki Min · Kyung-Jun Lee · Hyun-Do Kim
School of Civil & Environmental Engineering

<Abstract>

In this paper, a laboratory investigation was carried out to estimate the strength

improvement of quicklime mixture with fly ash and rice husk ash for the effective use of surplus soils, and the shear strength with curing time was estimated at lime 10 percent with the change of fly ash and rice husk ash content. The effect of strength improvement has been established through the change of fly ash and rice husk ash content from the samples taken at Samsan region, Ulsan. The change in the microstructure of materials was investigated by using the scanning electron microscope(SEM). The chemical composition of materials was investigated by using the X-ray fluorescence spectrometer(XRF).

The result of XRF analysis indicate that Al_2O_3 and Fe_2O_3 contents of fly ash is about 50%, SiO_2 content of RHA is about 91%. The results of another tests indicated that the presence of lime with fly ash and rice husk ash encouraged the stabilization efficiency of lime with fly ash and rice husk ash, and increased shear strength. Furthermore, it is necessary for inquiring into the relationship between the characteristics of strength and the chemical components.

Key words : fly ash, rice husk ash, quicklime, surplus soils, SEM, XRF

1. 서 론

많은 연구자들에 의해 해성 퇴적토에 석회, 시멘트, fly ash 등을 첨가하여 지반을 개량한 사례가 보고되고 있으며, 외국의 경우 burned olive waste, rice husk ash 등에 대한 연구가 수행된바 있다. 화력발전소의 부산물인 fly ash는 천연적으로 발생하는 포졸란과 시멘트와 유사한 성질을 가지고 있으며, 에너지 다중소비제품인 시멘트의 사용량 절감 등의 자원 절약의 유용성을 지닌 부산물이다. 또한, 국내의 경우 fly ash의 발생량이 매년 증가하고 있는 추세이나, 발생량 중 대부분이 매립되고 있는 실정이다. 왕겨는 전 세계적으로 다량 발생되고 있으며, 국내의 경우 연간 생산량이 약 80 여만 톤에 이르고 있다. 하지만, 이용사례가 퇴비나 보온재에 국한되어 있어 경제성이 낮은 것으로 조사되었다. 이에 대한 연구로서, '왕겨 및 왕겨재의 화학적 조성 성분에 대한 연구'(박승제, 1997)가 이루어졌다. 외국의 경우, 왕겨재(rice husk ash, RHA)를 sandcrete와 혼합하여 filler로써의 적용성을 연구하였으며, Agus Setyo Muntohar, A. S. Balasubramaniam(1999) 등은 점토에 RHA를 혼합하여 강도, 압축 및 투수특성에 대하여 연구한 바 있다. 그러나, 아직까지 국내외적으로 RHA를 이용한 연구자료가 매우 빈약한 상태이다. 따라서, 본 연구에서는 울산광역시 남구 삼산동 일원의 신도시 개발로 인하여 다량으로 발생되고 있는 함수비가 높은 건설발생토의 유효이용을 목적으로 석회와 함께 fly ash와 rice husk ash를 첨가한 혼합토의 물리·화학적 특성 및 역학적 특성을 연구하여 건설재료로써 그 적용성을 밝히고자 하였다.

2. 건설발생토 공학적 특성 및 첨가재의 구성성분

2.1 건설발생토의 물리·화학적 특성

울산광역시 남구 삼산동 및 해안지역에 분포하고 있는 해성 퇴적토는 굴착위치와 굴착 깊이에 따라 그 성상이 다양하게 분포되어 있다. 본 연구를 위하여 채취된 흙은 삼산동 일원의 지표 하 7m 깊이에서 채취된 건설발생토로써, 자연상태 함수비는 57%~67%로 높은 함수비를 나타내었다. Atterberg 한계 시험 결과 액성한계 75.82%, 소성지수 33.27%을 나타내었다. 본 지역 시료에 대한 깊이별 유기물 함유량이 7.35%~8.5%, 노건조 액성한계와 비 건조 액성한계의 비가 0.75이하이며, 액성한계가 50%이상을 나타내어 통일분류법상 OH로 분류되었다. 또한, 염분 함유량은 0.72%~0.82%, 수소이온농도(pH)는 5.3으로 나타내 염분 함유량이 높고, 산성화되어 있는 흙으로 분류되었다[1].

표 2.1 건설발생토의 기본 물성

심도 (m)	액성한계 LL(%)	소성지수 PI(%)	비중 Gs	pH	입도 분포(%)			유기물 함량 (%)	γ_{dmax} (g/cm ³)	흙의 분류 (UCSC)
					0.425~ 0.075 (mm)	0.075~ 0.002 (mm)	<0.002 (mm)			
7	75.82	33.27	2.68	5.3	5.57	68.43	26.0	7.35~8.5	1.478	OH

2.2 Fly Ash와 Rice Husk Ash의 구성 성분

2.2.1 Fly Ash의 구성성분

fly ash(FA)는 일반적으로 중량의 70~80%가 No. 200(0.074mm)체를 통과하며, 실리카(SiO₂), 알루미나(Al₂O₃), 산화철(Fe₂O₃)이 대부분을 차지한다. FA의 등급은 이들 세 성분을 합한 함유량과 칼슘산화물(CaO)의 함유량으로 구분되어지며, 원 탄과 연소조건에 따라 특성이 다르게 나타난다. 본 연구에 사용된 FA는 울산화력발전소에서 발생된 것으로 미연 탄소량을 많이 함유하고 있으며, 재활용되지 않고 전량 매립되고 있는 실정이다. X-선 형광분석(XRF)을 통한 화학적 성분은 일반적인 FA에 비해 SiO₂와 Al₂O₃의 양이 적고, Fe₂O₃의 양이 2~3배 많이 함유된 것으로 나타났다. 본 연구에 사용된 FA에 대한 XRF 분석결과를 표 2.2에 나타내었다.

표 2.2 fly ash의 구성성분

구성원소	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	NiO
구성비(%)	3.77	6.39	43.68	4.41	0.65	-	1.72	0.58	18.33

2.2.2 Rice Husk Ash의 구성성분

rice husk ash(RHA)의 일반적인 구성 성분은 SiO_2 가 대부분을 차지하고 있으며, 그 외의 성분은 약 1% 미만을 나타낸다. 본 연구에 사용된 RHA는 공기 중에 노출된 상태에서 연소된 것으로 밝은 회색을 띠고 있다. 박승제(1977)의 연구 결과에 따르면, 밝은 회색을 나타내는 경우 SiO_2 가 결정화되지 포졸란 재료로 구분하였다[5]. 본 연구에 사용된 RHA는 XRF 분석 결과 SiO_2 가 91.65%, Al_2O_3 가 1.59%로 나타나 포졸란 반응에 유효하고, 강도발현에 좋은 재료라 할 수 있다.

표 2.3 rice husk ash의 구성성분

구성원소	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MnO	K_2O	MgO	K_2O	Na_2O
구성비(%)	91.65	1.59	0.45	0.65	0.13	-	0.92	0.96	0.43

3. 시험방법

연약지반 안정화 처리에 있어 시멘트, 생석회를 첨가한 경우 단기간에 자연 함수비를 저감시킬 수 있으며, 흙에 실리카(SiO_2) 양이 많을수록 원 위치 점성토의 강도를 개선시키는데 효과가 크다. 본 연구에서는 건설발생토의 강도 및 물리적 특성을 개선하기 위해 fly ash와 rice husk ash를 생석회와 함께 건설발생토에 각각 첨가하여 첨가량 및 재령에 따른 강도발현 특성을 평가하였다.

3.1 시험 재료 및 혼합비 결정

건설발생토에 생석회를 첨가할 경우 생석회의 첨가량이 증가할수록 강도가 증가하지만, 10%이상 첨가하는 경우에는 경제성이 낮은 것으로 판단되어, 본 연구에서는 원시료토에 생석회 10%를 첨가하였다. fly ash와 rice husk ash의 첨가량은 흙의 건조중량에 대하여 5%, 10%, 15% 20%로 첨가하여 각 배합비에 따른 강도특성을 비교하였다. 공시체 제작을 위한 함수비 결정을 위하여 건설발생토에 대한 표준다짐시험을 수행한 결과, 최적함수비는 25.1%, 건설발생토와 생석회를 90:10으로 배합한 경우, 최적함수비가 27%로 나타났다. 따라서, 배합 함수비를 25%로 하여 공시체를 제작하였다.

표 3.1 혼합토의 구성비

clay(%)	lime(%)	FA(%)	RHA(%)	water content(%)	samples of soil
100	-	-	-	25	Soil
90	10	5	-	25	CLF 5
90	10	10	-	25	CLF10
90	10	15	-	25	CLF15
90	10	20	-	25	CLF20
90	10	-	5	25	CLR 5
90	10	-	10	25	CLR10
90	10	-	15	25	CLR15
90	10	-	20	25	CLR20

주) FA : fly ash

RHA : rice husk ash

CLF : clay + lime + fly ash

CLR : clay + lime + rice husk ash

3.2 다짐 및 양생조건

본 연구에서는 ASTM STP 479(Wilson, 1970)에서 제안한 Harvard compaction method를 적용한 동적 다짐을 실시하여 공시체를 제작하였다. 공시체 몰드는 직경 5.0cm, 높이 10.0cm로 시료를 3층으로 하여 각 층당 2.5kg의 rammer로 30cm의 높이에서 5회 자유 낙하시켜 제작되었다. 이 경우 다짐일량은 $E_c=5.7\text{cm} \cdot \text{kgf}/\text{cm}^2$ 이다. 지반 안정화처리와 재령에 따른 강도발현 특성을 분석하기 위하여 본 연구에서는 현장조건에 적합토록 습윤조건(온도 $29 \pm 1^\circ\text{C}$)에서 양생하여 일축압축강도를 평가하였다.

4. 혼합토의 물리적 특성

4.1 혼합토의 입경 변화

본 연구에 사용된 시료에 fly ash(FA)와 rice husk ash(RHA)가 첨가된 CLF, CLR(7일)에 대하여 입도분석을 실시하였다. 무처리토의 입경은 $75\mu\text{m} \sim 2\mu\text{m}$ 가 68.43%, $2\mu\text{m}$ 이하가 26%의 분포를 나타내었다. 이에 비하여 FA와 RHA로 처리한 혼합토의 경우, 입경 $75\mu\text{m} \sim 2\mu\text{m}$ 가 78.36%~82.33%로 증가하였으며, $2\mu\text{m}$ 이하의 입경은 12.5%~17.0%로 감소하였다. 이는 FA와 RHA의 첨가에 따른 흙 입자와 첨가재의 응집에 의한 것으로 보여진다. 무처리토 및 CLF와 CLR에 대한 입경변화에 대한 결과를 그림 4.1과 표 4.1에 나타내었다.

그림 4.1에서 보는 바와 같이 혼합토의 입도분포 곡선이 무처리토의 입도분포 곡선에 비해 좌측으로 이동하는 것으로 보아 입도분포가 세립토에서 좀 더 굵은 입도로 변화된 것임을 알 수 있다.

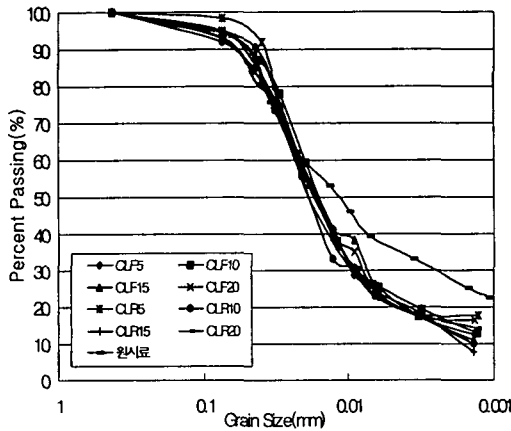


그림 4.1 무처리토와 혼합토의 입도분포

표 4.1 혼합비별 시료의 특성

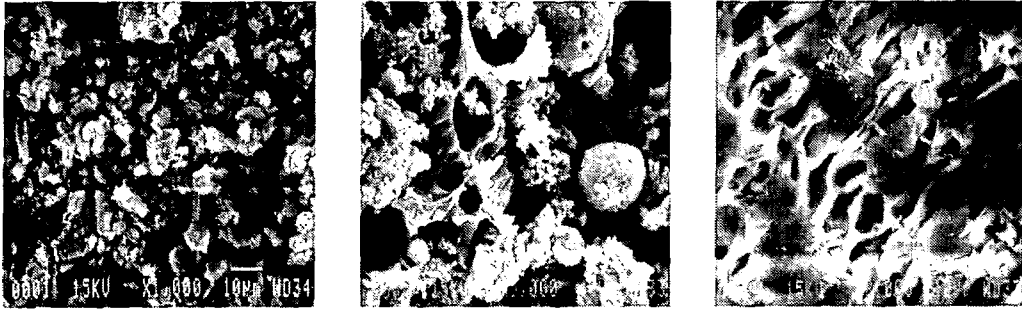
물리적 성질	입도 분포(%)			활성도
	0.425~ 0.075 (mm)	0.075~ 0.002 (mm)	<0.002 (mm)	
혼합비				
Soil	5.57	68.43	26.0	1.28
CLF 5	5.26	80.44	14.3	0.95
CLF10	5.64	78.36	16.0	0.59
CLF15	7.04	79.16	13.8	0.80
CLF20	5.25	78.65	16.1	0.59
CLR 5	1.71	81.29	17.0	0.7
CLR10	8.20	78.80	13.0	0.7
CLR15	5.17	82.33	12.5	1.24
CLR20	6.66	77.44	15.9	1.1

4.2 주사전자현미경(SEM) 촬영

그림 4.2는 주사전자현미경(SEM)의 촬영 결과를 나타낸 것이다. 그림 4.2에서 알 수 있듯이 fly ash의 입자(b)는 구형이며, rice husk ash의 입자(c)는 침상의 형태를 가진다. FA와 RHA를 첨가한 경우인 (d)와 (e)는 무처리토(a) 비해 보다 응집된 구조를 나타내고 있다.

4.3 혼합토의 연경도

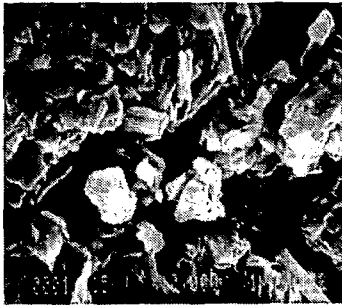
본 연구에서 FA와 RHA가 첨가된 CLF, CLR(재령 7일)에 대하여 액·소성 한계 시험을 실시한 결과, 무처리토의 소성지수가 33.27%인데 비해 FA와 RHA가 첨가된 혼합토의 경우 9.1~17.5%로 약 15%~20%의 감소를 나타내었다. 혼합비별 소성지수는 CLF10과 CLR10(FA, RHA 첨가율 10%)에서 소성지수가 가장 작게 나타났다. 통일분류법에 의한 흙의 분류는 무처리토의 경우 OH를 나타내었으나, 혼합토는 흙 입자의 응집과 consistency의 변화로 인하여 ML 또는 CL로 나타났다. 그리고 원시토에 FA를 첨가한 경우는 활성도가 무처리토에 비해 작아졌다. 이는 소성지수가 클수록, 활성도가 클수록 예민한 흙이므로, 본 연구에 사용된 무처리토의 예민한 성질이 개선된 것임을 알 수 있다.



(a) untreated soil

(b) fly ash

(c) rice husk ash



(d) CLF10



(e) CLR10

그림 4.2 SEM 촬영 결과, (a)~(c) 무처리토 및 첨가제의 입자구조, (d)~(e) FA와 RHA의 첨가율 10%에서의 흙 입자 구조

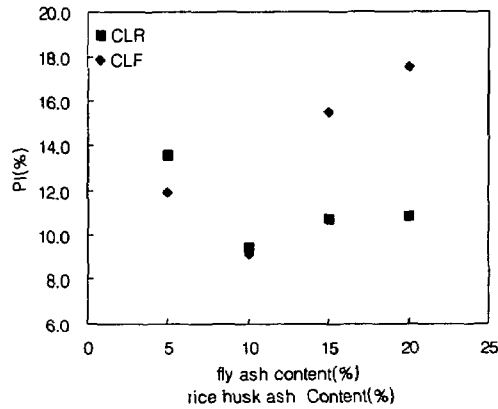


그림 4.3 FA 및 RHA의 첨가율에 따른 혼합토의 소성지수 변화

표 4.2 혼합토의 Atterberg limits

혼 합 비	Atterberg limits	액성한계 LL(%)	소성지수 PI(%)	입경 2 μ m이하 분포율 (%)
	untreated soil	75.8	33.8	26.0
	CLF 5	48.4	13.6	14.3
	CLF10	44.7	9.4	16.0
	CLF15	47.9	11	13.8
	CLF20	49.2	9.5	16.1
	CLR 5	45.1	11.9	17.0
	CLR10	42.1	9.1	13.0
	CLR15	52.9	15.5	12.5
	CLR20	56.2	17.5	15.9

4.4 pH 시험

본 연구에 사용된 재료에 대한 pH 시험결과, Lime은 12.75, FA는 1.95, RHA는 9.08으로 강알칼리성, 강산성, 약알칼리성을 나타내었다. 많은 수분을 함유한 점토에 석회를 첨가하면 석회입자는 수분을 흡수하고, 일부는 용해되어 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 분자와 Ca^{2+} 이온, 그리고 $2(\text{OH})^-$ 이온상태로 공존하게 된다. 용해되어 있는 Ca^{2+} 이온은 점토광물과 반응하여 석회를 혼합한 점토의 pH를 증가시키게 된다[4]. 일반적으로 석회는 pH 11 이상인 강알칼리 조건에서 점토광물에 침투하게 되며(Metcalf, 1972), 점토내의 수분이 강알칼리 조건이 형성되면 SiO_2 와 Al_2O_3 의 Ca^{2+} 와의 반응성이 증가하게 된다. 본 연구에서 재령에 따른 pH값은 재령 7일까지는 증가하는 경향을 보였으나, 14일 양생 후에는 pH값이 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같이 처리토의 pH가 초기에 상승하는 것은 첨가재의 Ca^{2+} 의 용출에 따른 양이온 교환작용에 따른 현상이며, 재령의 증가에 따른 pH의 감소는 처리토의 Ca^{2+} 감소와 탄산화에 의한 영향으로 보여진다. FA와 RHA의 첨가율에 따른 pH 변화는, FA의 경우 첨가재가 10% 첨가되었을 때 최대값을 나타내었다. RHA의 경우에도 배합비별 pH의 차이가 작지만, 첨가재가 10% 첨가되었을 때 최대값을 나타내고 있다. 이와 같은 결과로 볼 때, FA와 RHA가 각각 10% 첨가되었을 때, 흙과의 반응이 가장 활발하게 일어나는 것으로 판단된다.

표 4.3 무처리토와 첨가재의 pH

untreated soil	lime	fly ash	rice husk ash
5.35	12.75	1.95	9.08

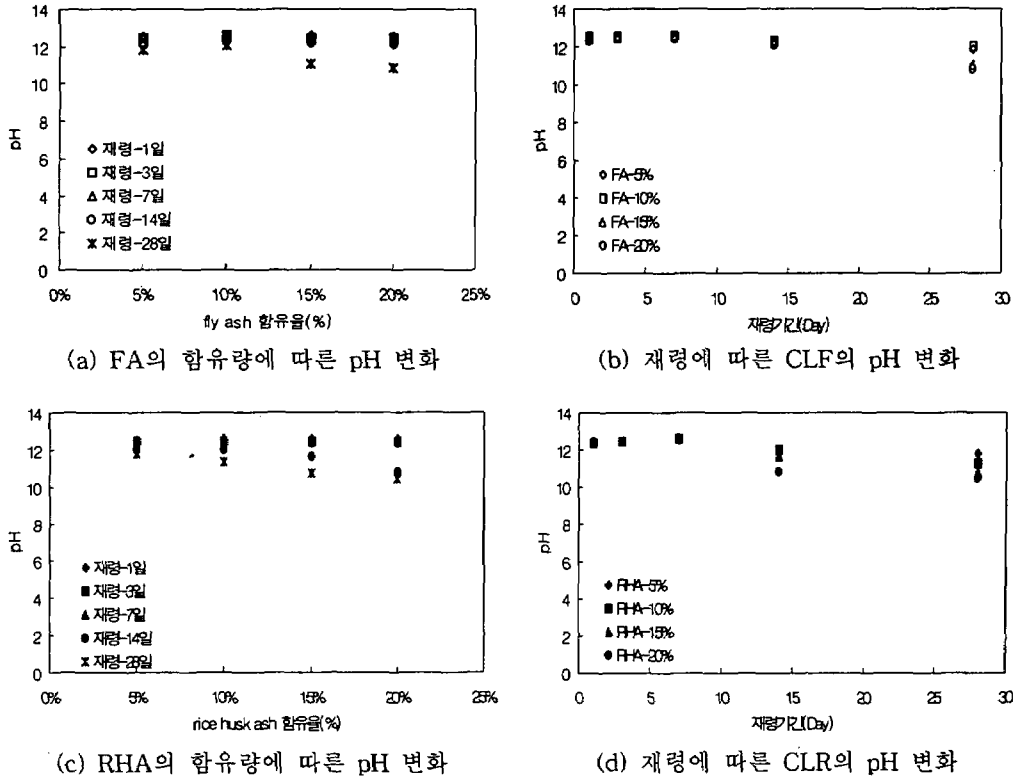


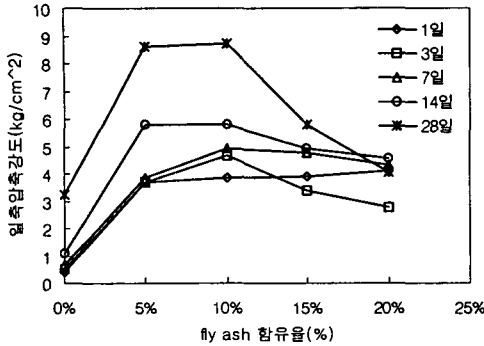
그림 4.4 FA와 RHA의 함유량과 재령에 따른 pH 변화

5. 혼합토의 역학적 특성

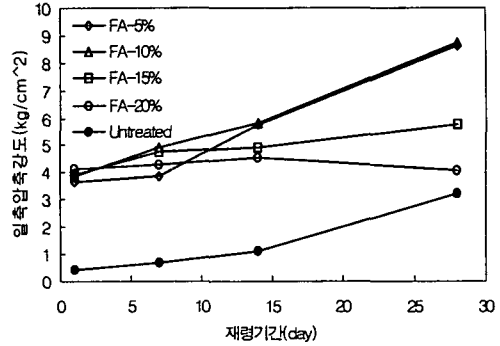
5.1 FA와 RHA 첨가에 따른 일축압축강도

본 연구에 사용된 건설 발생토에 대하여 FA와 RHA를 이용한 강도개선 효과를 평가하고자 일축압축 강도 시험을 수행하였다. 강도시험은 그림 5.1에 나타난 것과 같이 재령 및 첨가율에 따라 시험을 하였다. 그 결과, 무처리토에 비하여 FA, RHA가 첨가된 공시체의 강도가 증가되었으나, 배합비별 초기강도의 차이가 뚜렷하게 나타나지 않았다. 그러나, 재령 14일, 28일 공시체의 경우, 무처리토에 비하여 크게 강도가 발현되는 것으로 나타내었다. 재령 14일 공시체의 최대강도는, FA 10% 첨가시 5.81kg/cm², RHA 10% 첨가시 8.96 kg/cm²를 나타내었다. 배합비별 공시체의 강도는 그림 5.1의 (b), (d)에 나타난 것과 같이, FA와RHA가 10% 이상 첨가된 경우, 강도가 오히려 감소하는 경향을 나타내었다. FA와 RHA의 첨가에 따라 이러한 경향을 띠는 원인은, 포졸란 재료로써 FA와 RHA가 역할을 하지만, FA의 경우 포졸란 반응을 일으키는 SiO₂와 Al₂O₃의 구성비율이 낮기 때문에 포졸란 반응이 활발하지 않은 것으로 판단되며, RHA의 경우 SiO₂를 주 구성성분으로 나타내

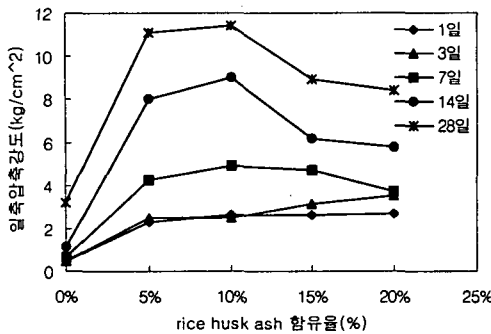
지만 RHA가 적정량 이상 첨가된 경우, 석회 및 흙과 응집하지 못한 RHA에 의해 강도가 저감되는 것으로 판단된다.



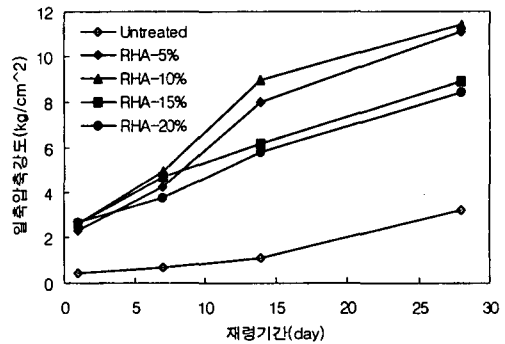
(a) FA의 첨가량에 따른 일축압축강도



(b) 재령에 따른 일축압축강도



(c) RHA의 첨가량에 따른 일축압축강도



(d) 재령에 따른 일축압축강도

그림 5.1 FA와 RHA의 함유량과 재령에 따른 일축압축강도 변화

5.2 노상토 지지력비 시험

노상토 지지력비(california bearing ratio, C.B.R) 시험은 포장을 지지하는 노상토의 강도, 압축성 등을 결정하는 시험으로 KS F2320(실내 C.B.R 시험)에 규정되어 있다. 보조기층(subbase)에는 수정 C.B.R 값이 30이상인 재료를 사용하며, 수정 C.B.R 값이 10이상이면 사용 가능하다. 그리고 No.40체 통과분의 소성지수(PI)는 6이하이어야 한다. 수정 C.B.R이 20이하의 재료나 소성지수(PI)가 6이상의 값을 가지는 재료를 보조기층에 사용하는 경우에는 소량의 시멘트, 소석회 등으로 안정처리를 실시해야 한다.

본 논문에서는 FA 및 RHA를 첨가한 공시체의 강도개선을 통한 활용성을 평가하기 위해 수정 C.B.R 시험을 실시하였다. C.B.R 시험 공시체는 최대강도를 나타내는 CLF10와 CLR10에 대하여 각각 실시하였으며, 양생 3일, 수침 4일 후 시험을 실시하였다. C.B.R 값은 CLF10에서 118%, CLR10에서 101%로서 보조기층을 위한 C.B.R 조건을 만족하는 것으로 나타났다. 그러나, CLF10과 CLR10의 소성지수는 각각 9.4%, 9.1%로써 FA, RHA 첨가

로 인하여 소성지수가 감소되었으나, 보조기층에 대한 조건에 미치지 못하여 적절한 입도 조절을 통하여 보조기층으로써 사용할 수 있는 것으로 판단된다.

표 5.1 수정 C.B.R 시험 결과

구 분	최대전조단위중량 γ_{dmax} (t/m ³)	최적함수비 O.M.C(%)	C.B.R 값(%)	소성지수 PI(%)
CLF10	1.44	23	118	9.4
CLR10	1.43	23	101	9.1

6. 결 론

본 논문은 해안과 인접한 지역의 건설공사 현장에서 발생하는 고함수비의 건설발생토에 생석회와 함께 fly ash와 rice husk ash를 첨가한 후의 개량효과를 검토하기 위하여 다짐 시험, 노상토 지지력비 시험 및 강도시험을 수행하고 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 소성지수 33.77%의 고소성의 원시료에 FA와 RHA를 혼합한 결과, 약 20%의 소성지수 감소를 나타내었으며, FA와 RHA 첨가에 의한 소성지수의 감소 효과는 비슷한 것으로 나타났다.
2. FA와 RHA의 첨가율에 따른 일축압축강도는 FA와 RHA 모두 10%일 때 최대강도를 나타내었으며, 10% 이상 첨가 시에는 오히려 감소하였다. 재령에 따른 강도증가는 FA를 첨가한 경우에 비하여 RHA를 첨가한 경우에 크게 나타났으며, 그 원인으로는 SiO₂와 Al₂O₃의 구성비가 FA에 비하여 RHA가 높아 RHA의 첨가에 따른 포졸란 반응이 더 활발하게 일어난 결과로 판단된다.
3. 수소이온 농도의 변화는 재령 초기에 증가되었으나, 재령 14일부터 감소하는 경향을 나타내었다. 배합비별 혼합토의 pH 값은 FA와 RHA의 첨가율 10%일 때 최대를 나타내었다.
4. FA와 RHA가 각각 10% 첨가된 시료에 대한 C.B.R 값은 각각 118%, 101%, 소성지수는 9.4%, 9.1%로 나타났다. 보조 기층재로써 사용되기 위한 C.B.R 값은 만족하였지만, 소성지수의 경우 감소가 요구되므로 흙의 입도조정 후 사용이 가능할 것으로 판단된다.

Reference

1. 민덕기, 황광모, 박근호(2000), “석회와 여러 첨가제에 의한 토질안정처리”, 울산대 대학원, 석사학위논문
2. 한국콘크리트학회(1997), “콘크리트 혼화재료”, 기문당, pp. 186~216.
3. 천병식(1998), “초미립자 지반주입재로서 플라이애쉬의 적용성에 관한 연구”, 韓國地盤工學會誌 第14卷 第6號, pp 114~116
4. 정두영, 이병석(1992), “지반이 해성점토의 안정처리에 미치는 영향에 관한 연구”, 전북대학교 대학원, 석사학위논문
5. 박승제(1997), “우리나라 왕겨 및 왕겨재의 화학적 조성성분”, 전북대학교 농과대학 생물자원 시스템 공학부
6. 장신남(1978), “Lime-Fly ash에 의한 토질안정처리에 대한 비교분석”, 동국대 대학원, 석사학위논문
7. 이용수, 정문경(1997), “플라이애쉬계 지반개량제로 처리된 점토의 결정구조 및 투수특성 연구”, 한국건설기술연구원
8. S. Narasimha Rao and G. Rajasekaran, “Reaction Products Formed In Lime-Stabilized Marine Clays”, Journal of Geotechnical Engineering, May 1996, pp 329
9. I.K. Cisse, M.Laquerbe(1999), “Mechanical characterisation of filler sandcretes with rice husk ash additions Study applied to Senegal”, Cement and Concrete Research 30(2000) 13-18.
10. Mousa F. Attom, Munjed M. Al-Shrif, “Soil stabilization with burned olive waste”, Applied Clay Science 13(1998) 219-230.
11. Transportation Research Board(1987), “Lime Stabilization, Reactions, Properties, Design, and Construction”, State-of-the-Art Report 5, pp.1~32, National Research Council Washington, D.C.