

Lime - Fly Ash / Rice Husk Ash에 의한 해성퇴적토의 강도특성 개선 Strength Improvement of Lime-treated Soil with Fly Ash and Rice Husk Ash

민덕기¹⁾, Tuk-Ki Min, 황광모²⁾, Kwang-Mo Hwang, 이경준³⁾, Kyung-Jun Lee, 김현도³⁾, Hyun-Do Kim

¹⁾ 울산대학교 토목환경공학부 교수, Professor, Dept. of Civil & Environmental Eng, Univ. of Ulsan

²⁾ 울산대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil & Environmental Eng, Univ. of Ulsan

³⁾ 울산대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil & Environmental Eng, Univ. of Ulsan

SYNOPSIS : 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 test results 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, strength improvement

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. 화력 발전소의 부산물인 fly ash는 천연적으로 발생하는 포졸란이나 시멘트와 유사한 성질을 가지고 있으며, 혼화재로써 에너지 다중소비제품인 시멘트 사용량의 절감, 폐자원 재활용으로 인한 자원의 절약, 그리고 2000년에 예상 발생량이 약 400만 톤으로 폐기물처리 비용의 감소 등의 경제적인 측면에서 기여도가 높은 재료이다. fly ash의 주성분은 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 이 대부분을 차지하고 있으며, 이러한 포졸란반응 및 cementation에 유익한 특성을 본 연구에서 적용코자 하였다. 왕겨는 국내의 경우 연간 생산량이 약 80여만 톤에 이르고 있으나, 보통 퇴비나 보온재의 용도로써 쓰이고 있다. 왕겨재의 활용성 향상을 위한 연구로서 왕겨 및 왕겨재의 화학적 조성 성분에 대한 연구(박승재, 1997)가 이루어졌다. 외국의 경우, 왕겨재(rice husk ash, RHA)를 sandcrete와 혼합하여 filler로써의 적용성을 연구하였으며, A. S. Balasubramaniam(1999) 등은 점토에 RHA를 혼합하여 강도, 압밀 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 fly ash와 rice husk ash를 석회와 함께 건설발생토에 첨가하고 혼합토의 물리·화학적 특성을 연구하여 건설재료로써의 그 적용성을 밝히고자 하였다.

2. 건설발생토 공학적 특성 및 첨가제 광물학적 특성

2.1 건설발생토의 물리화학적 특성

울산광역시 남구 삼산동 및 해안지역에 분포하고 있는 해성 퇴적토는 굴착위치와 굴착깊이에 따라 그 성상이 다양하게 분포되어 있다. 본 연구를 위하여 삼산동 일원의 지표 하 7m 깊이에서 굴착된 건설발생토를 대상으로 시료를 채취하였으며, 건설발생토의 자연상태 함수비는 57%~67%로 높은 함수비를 가지고 있다. 건설발생토의 액성한계는 75.82%, 소성지수는 33.27%로 나타났으며, 비중은 2.68으로 나타났다. 본 시험에 사용된 시료는 깊이에 따라 유기물 7.35%~8.5%로 노건조 액성한계와 비건조 액성한계의 비가 0.75이하, 액성한계가 50%이상이므로 통일분류법상 OH로 분류되는 흙이다. 또한 본 시료는 염분 함유량은 0.72%~0.82%, 수소이온농도(pH)는 5.3으로 염분 함유량이 높고, 산성화되어 있는 흙으로 판단된다.

표 1. Properties of Soils

Depth (m)	Atterberg Limits(%)			Gs	pH	No. 200체 통과율 (%)	Particle Size Distribution(%)			유기물 함유량 (%)	γ_{dmax} (g/cm ³)	흙의 분류 (UCSC)
	Liquid Limits	Plastic Limits	Plasticity Index				0.425-0.075mm	0.075-0.002mm	<0.002 mm			
7	75.82	42.05	33.27	2.68	5.3	94.43	5.57	68.43	26	7.35~8.5	1.478	OH

2.2 Fly Ash와 Rice Husk Ash의 광물학적 성분

2.2.1 Fly Ash의 구성성분

FA(fly ash)는 중량의 70~80%가 No. 200(0.074mm)체를 통과하며, 실리카(SiO₂), 알루미나(Al₂O₃), 산화철(Fe₂O₃)이 거의 대부분을 차지한다. 이들 세 성분을 합한 함유량과 CaO로 나타나는 칼슘혼합물의 함유량으로 FA의 등급이 나뉘어진다. FA는 원탄과 연소조건에 따라 FA의 특성이 다르게 나타나며, 본 연구에 사용된 재료는 울산화력발전소에서 발생되는 미연탄소량이 많은 FA로서 전량 매립되고 있는 실정이다. 본 연구에 사용된 FA의 비중은 2.35이며, 일반적인 FA에 비해 SiO₂와 Al₂O₃의 양이 적고, FeO₃의 양이 2~3배 많이 함유하고 있다. XRF에 의해 분석된 구성성분은 표 2와 같다.

표 2. Rice Husk 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(%)	3.774	6.396	43.686	4.411	0.656	-	1.724	0.586	18.339

2.2.2 Rice Husk Ash의 구성성분

RHA(rice husk ash)는 대부분 SiO₂로 구성되어 있으며, 입자의 크기에 따라 강도에 영향을 미치므로 본 연구에서는 No.40체를 통과한 RHA를 사용하였다. 일반적으로 SiO₂와 Al₂O₃의 양이 많을수록 CSH와 CAH계 화합물을 생성하는 포졸란반응에 유효하고, 강도발현에 좋은 재료라고 할 수 있다. 본 연구에 사용된 RHA는 90%이상 SiO₂로 구성되어 있어 강도발현에 좋은 재료로 사료된다. 본 연구에 사용된 회분은 밝은 회색을 띠는 결정화되지 않은 회분으로 사료되고, 비중은 2.18이다. XRF 통해 분석한 본 연구에 사용된 RHA 성분은 표 3와 같다.

표 3. Rice Husk Ash의 구성성분

구성원소	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MnO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
구성비(%)	91.649	1.586	0.458	0.650	0.130	0.920	0.962	0.435

3. 시험방법

본 연구에 사용된 시료는 액성한계(75.82%)가 자연함수비보다 높으며, 표 1에서 알 수 있는 바와 같이 실트입자 크기가 68.43%, 점토입자 크기(2 μ m)가 26%로 구성되어 있다. 연약지반 안정화처리에서 실리카(SiO₂)량이 많을수록 일축압축강도가 증가되고, 자연상태 함수비를 단기간에 저하시킬 수 있으므로 시멘트, 생석회와 소석회를 첨가하여 원 위치 점성토의 강도를 개선시키고 있다. 따라서, 본 연구에서는 건설발생토의 강도 및 물리적 특성을 개선하기 위해 생석회를 첨가한 건설발생토에 FA와 RHA를 각각 첨가하여 첨가량 및 재령에 따른 강도발현 특성을 평가하였다.

3.1 시험 재료 및 혼합비 결정

건설발생토에 생석회를 첨가하였을 때 일반적으로 생석회의 첨가량이 증가할수록 강도가 증가하지만, 10%이상 첨가하는 경우에는 경제성이 떨어지므로 본 연구에서는 점토에 생석회 10%를 첨가하였다. FA와 RHA의 배합비는 흙의 건조 중량에 대하여 5%, 10%, 15% 20%로 첨가하여 각 배합비에 따른 강도 특성을 비교하였다. 건설발생토에 대한 표준다짐시험을 행한 결과 최적함수비는 25.1%, 건설발생토와 생석회를 90 : 10으로 배합한 흙에 대한 표준다짐시험에서 얻은 최적함수비인 27%보다 건조측인 25%로 배합함수비를 정하여 공시체를 제작하였다. 배합비 및 함수비를 정리하면 표 4와 같다.

표 4. 배합비 및 함수비

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

FA : Fly Ash

RHA : Rice Husk Ash

CLF : Clay + Lime + Fly Ash

CLR : Clay + Lime + Rice Husk Ash

3.2 다짐 및 양생조건

다짐방법에는 동적다짐과 정적다짐으로 나눌 수 있다. 본 연구의 경우 ASTM STP 479(Wilson, 1970)에서 제안한 Harvard compaction method를 적용하였다. 동적다짐에 의한 공시체 몰드는 직경 5.0cm, 높이 10.0cm로 시료를 3층으로 하여 2.5kg의 rammer로 30cm의 높이에서 5회 자유 낙하시켜 공시체를 제작하였다. 이 경우 다짐일량, Ec=5.7cm · kgf/cm²이다. 지반 안정화처리를 위한 실내시험에서, 재령에 따른 강도발현 특성에 관한 연구를 위하여 본 연구에서는 현장조건에 적합토록 습윤조건(온도 29 \pm 1 $^{\circ}$ C)에서 양생하여 재령에 따른 일축압축강도를 평가하였다.

4. 혼합비별 기본 물성 시험 결과

4.1 입도 분포

본 연구에 사용된 시료에 FA와 RHA가 첨가된 CLF, CLR(7일)에 대하여 입도분석을 실시하였다. 원시료의 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 RHA가 첨가된 시료의 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. 즉, CLF와 CLR의 첨가로 인하여 실트 크기 입자의 분포량이 증가하였으며, 이는 FA와 RHA의 첨가에 의한 흙 입자와 첨가재의 응집에 의한 것으로 보여진다. 원시료 및 CLF10과 CLR10에 대한 입도변화에 대한 결과를 그림 1과 표 5에 나타내었다.

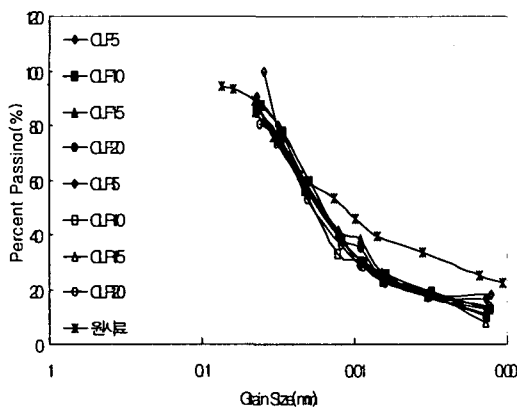


그림 1. 원시료와 혼합비별 입도분포

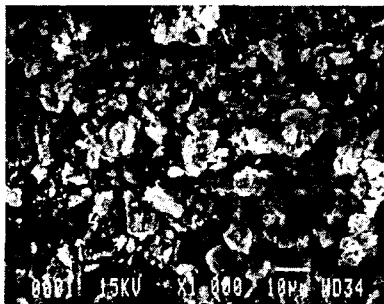
표 5. 혼합비별 시료의 특성

물리적 성질 혼합비	No.200체 통과량(%)	비중(Gs)	Particle Size Distribution(%)		
			0.425- 0.075mm	0.075- 0.002mm	<0.002mm
Soil	94.43	2.68	5.57	68.43	26.0
CLF 5	94.74	2.60	5.26	80.44	14.3
CLF10	94.36	2.59	5.64	78.36	16.0
CLF15	92.96	2.57	7.04	79.16	13.8
CLF20	94.75	2.56	5.25	78.65	16.1
CLR 5	98.29	2.58	1.71	81.29	17.0
CLR10	91.80	2.58	8.20	78.80	13.0
CLR15	94.83	2.57	5.17	82.33	12.5
CLR20	93.34	2.56	6.66	77.44	15.9

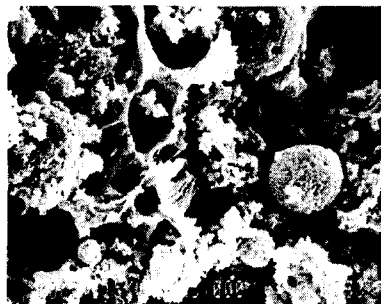
즉, 그림 1에서 보이는 바와 같이 혼합한 경우의 입도시험 결과에서 원시료에 비해 곡선이 왼쪽으로 이동하는 것으로 보아 입도분포가 세립토에서 좀 더 굵은 입도로 변화된 것을 알 수 있다.

4.2 주사전자현미경(SEM) 촬영

그림 2에는 주사전자현미경(SEM)의 촬영 결과를 나타내었다. 그림 2에서 알 수 있듯이 FA (b)의 입자는 구형이며, FA와 RHA를 첨가한 경우인 (d)와 (e)는 원시료 (a)에 비해서 응집된 구조를 나타내고 있다.



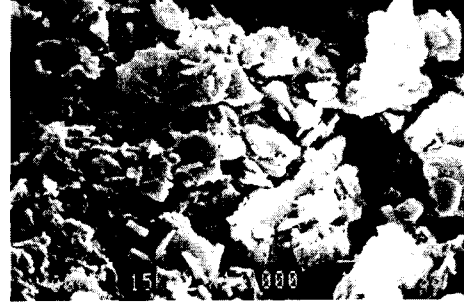
(a) Soil(원시료)



(b) FA



(c) RHA



(d) CLF10

(e) CLR10

그림 2. FA와 RHA의 첨가율 10%에서의 흙 입자 구조

4.3 Consistency 특성 및 활성도

본 연구에 사용된 시료에 FA와 RHA가 첨가된 CLF, CLR(7일)에 대하여 Atterberg Limits 시험을 실시하였다. 원시료의 소성지수가 33.27%인데 반해 원시료에 FA와 RHA를 첨가한 경우 소성지수가 약 15%~20%의 감소하였다. 혼합비별 Atterberg Limits에서 CLF10과 CLR10에서 즉, FA와 RHA 모두 첨가율 10%에서 소성지수가 가장 작은 것을 알 수 있었다. 흙 입자의 응집과 consistency의 변화로 통일 분류법에 의한 흙의 분류가 원시료의 OH에서 혼합토는 ML-CL로 좌측 아래로의 변화된 것을 알 수 있다. 그리고 원시료에 FA를 첨가한 경우는 활성도가 원시료에 비해 작아졌으며, 이는 소성지수가 클수록, 활성도가 클수록 예민한 흙이므로, 본 연구에 사용된 흙의 예민한 성질이 개선되는 것을 알 수 있다.

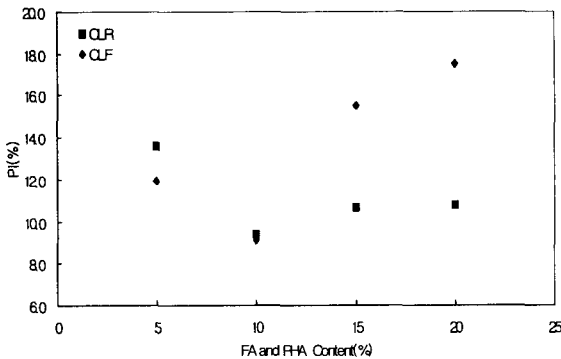


그림 3. FA 및 RHA의 소성지수(PI) 변화

표 6. 혼합비별 Atterberg Limits

Atterberg Limits	Liquid Limits (%)	Plastic Limits (%)	Plasticity Index (%)	2 μm이하 점토함유율 (%)	Activity
Soil	75.82	42.05	33.77	26.0	1.28
CLF 5	48.4	34.8	13.6	14.3	0.95
CLF10	44.7	35.3	9.4	16.0	0.59
CLF15	47.9	36.9	11	13.8	0.80
CLF20	49.2	39.8	9.5	16.1	0.59
CLR 5	45.1	33.2	11.9	17.0	0.7
CLR10	42.1	33.0	9.1	13.0	0.7
CLR15	52.9	37.4	15.5	12.5	1.24
CLR20	56.2	38.6	17.5	15.9	1.1

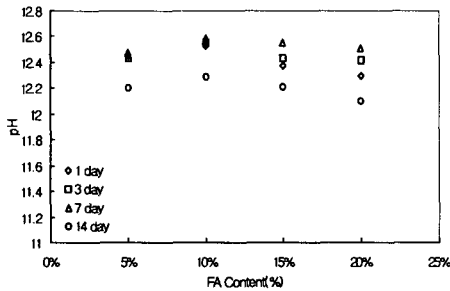
4.4 pH 시험

본 연구에 사용된 재료의 pH는 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 $2(\text{OH})^-$ 이온 상태로 공존하게 된다. 용해되어 있는 Ca^{2+} 이온은 점토광물과 반응하여 석회를 혼합한 점토의 pH를 증가시키게 된다. 일반적으로 석회는 pH 11 이상인 강알칼리 조건에서 점토광물에 침투하게되며(Metcalf, 1972), 점토내의 수분이 강알칼리 조건이 형성되면 SiO_2 와 Al_2O_3 의 점토광물의 Ca^{2+} 와의 반응성이 증가하게 된다. 본 연구에서 재령에 따른 pH값은 재령 7일까지는 증가하는 경향을 보였으나, 14일 양생 후에는 pH값이 감소하는 것을 알 수 있다. 이와 같은 처리토 pH의 초기상승은 첨가재의 Ca^{2+} 의 용출에 따른 양이온 교환작용에 따른 현상으로 사료되

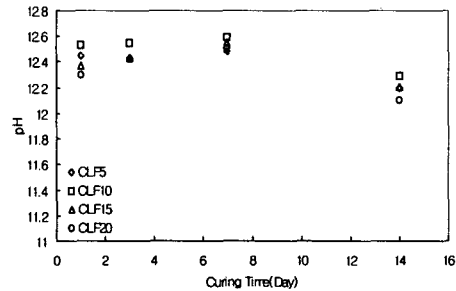
며, 재령의 증가에 따른 pH의 감소는 처리토의 Ca^{2+} 감소와 탄산화에 의한 영향으로 보여진다. FA와 RHA의 첨가율에 따른 pH 변화는, FA의 경우 첨가재가 10% 첨가되었을 때 최대강도를 나타내었다. RHA의 경우에도 배합비별 pH의 차이가 작지만, 첨가재가 10% 첨가되었을 때 최대강도를 나타내고 있다. 이와 같은 결과로 볼 때, FA와 RHA가 각각 10% 첨가되었을 때, 흙과의 반응이 가장 활발하게 일어나는 것으로 사료된다.

표 7. 건설발생토와 첨가제의 pH

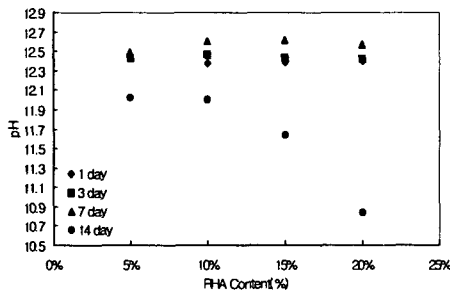
Soil	Lime	Fly Ash	Rice Husk Ash
5.35	12.75	1.95	9.08



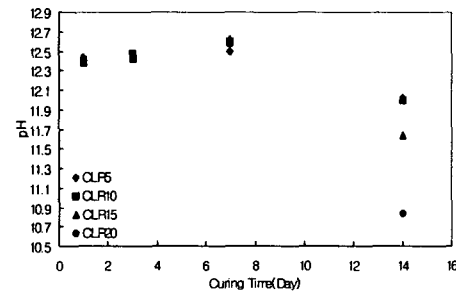
(a) FA의 함유량에 따른 pH 변화



(b) 재령에 따른 pH 변화



(c) RHA의 함유량에 따른 pH 변화



(d) 재령에 따른 pH 변화

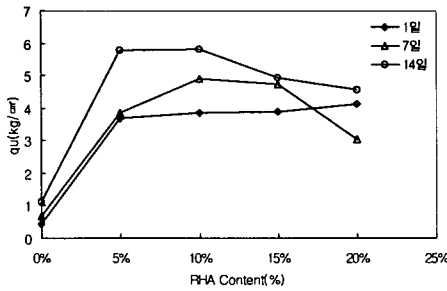
그림 4. FA와 RHA의 함유량과 재령에 따른 pH 변화

5. 역학시험 결과 분석

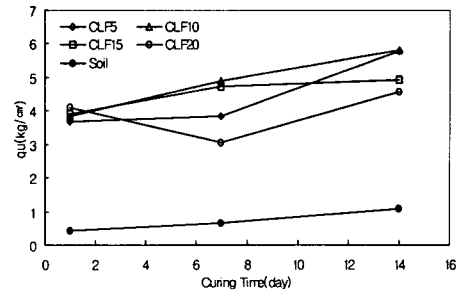
5.1 FA와 RHA 첨가에 따른 일축압축강도

FA와 RHA의 첨가율에 따른 강도를 보면 재령 1일에서는 배합율에 따른 강도의 특별한 경향이 나타나지 않고 있으나, 재령 7일 이후로 그 경향이 보여지기 시작한다. FA와 RHA가 처리된 공시체의 재령에 따른 강도는 모두 증가하는 경향을 보이고 있으나, 그림 3의 (a), (c)에 나타난 것과 같이 FA가 첨가된 공시체에 비해 RHA가 첨가된 공시체의 강도증가가 크게 나타나고 있다. 배합율에 따른 강도변화는 재령 7일부터 그 경향이 나타났으며, 재령 14일의 최대강도는 FA 10%첨가 시 $5.81\text{kg}/\text{cm}^2$, RHA 10%첨가 시 $8.96\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 나타내었다. 하지만 FA와 RHA가 10% 이상 첨가되었을 경우 강도가 감소하는 경향을 나타내었다. FA와 RHA의 첨가에 따라 이러한 경향을 띠는 원인은, 포졸란 재료로써 FA와 RHA가 역할을 하지만, FA의 경우 포졸란 반응을 일으키는 SiO_2 와 Al_2O_3 의 구성비율이 낮기 때문에 포졸란 반응이 활발하게 일어나지 않은 것으로 판단된다. 반면 SiO_2 를 주 구성성분으로 하는 RHA가 첨가된 경우에는 FA 첨가 공시체와 비슷한 경향을 나타내지만, 재령 및 첨가율에 따른 강도 증가폭이 상대적으로

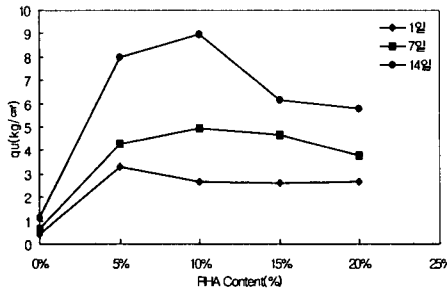
큰 것을 알 수 있다.



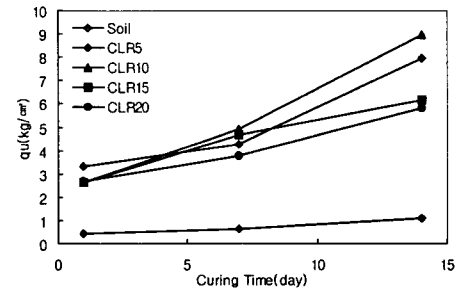
(a) FA의 첨가량에 따른 일축압축강도



(b) 재령에 따른 일축압축강도



(c) RHA의 첨가량에 따른 일축압축강도



(d) 재령에 따른 일축압축강도

그림 5. FA와 RHA의 함유량과 재령에 따른 일축압축강도 변화

5.2 CBR 시험

CBR 시험(California bearing ratio tests)은 포장을 지지하는 노상토의 강도, 압축성 등을 결정하는 시험으로 KS F2320(실내 CBR 시험)에 규정되어 있다. 보조기층(subbase)에는 수정 CBR 값은 30이상인 재료를 사용하며, 10이상이면 사용 가능하다. 그리고 No.40체 통과분의 소성지수(PI)는 6이하이어야 한다. 수정 CBR이 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 CBR 시험을 실시하였다. CBR 시험 공시체는 최대강도를 나타내는 CLF10와 CLR10에 대하여 실시하였으며, 양생 3일, 수침 4일 후 시험을 실시하였다. CBR 값은 CLF10에서 35.3%, CLR10에서 30.3%로서 보조기층을 위한 CBR 조건을 만족하였으나, CLF10과 CLR10의 소성지수(PI)는 각각 9.4%, 9.1%로서 보조기층에 대한 조건에 미치지 못하였다. CLF10과 CLR10을 상부노상(차단층, 동상 방지층)으로 사용하려면 자갈이나 모래와 함께 사용하여야 하며, 적절한 안정처리를 통하여 보조기층으로써 사용이 가능할 것으로 판단된다.

표 8. 수정 CBR 시험 결과

구분	γ_{dmax} (t/m ³)	O.M.C(%)	95% of γ_{dmax} (t/m ³)	CBR 값(%)	PI(%)
CLF10	1.44	23	1.37	35.5	9.4
CLR10	1.43	23	1.36	30.3	9.1

7. 결론

본 논문은 건설발생토에 생석회와 함께 FA(fly ash)와 RHA(rice husk ash)를 첨가한 후의 개량효과를 검토한 것으로 다음과 같은 연구결과를 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, 그 이상 첨가 시에는 오히려 감소하였다. 재령에 따른 강도증가량은 FA를 첨가한 경우에 비하여 RHA를 첨가한 경우에 크게 나타났으며, 그 원인으로는 SiO_2 와 Al_2O_3 의 구성비가 FA에 비하여 RHA가 높으므로 RHA를 첨가한 경우, 포졸란 반응이 더 활발하게 일어난 결과로 판단된다.
3. 첨가재가 혼합된 후 산성화된 원시료는 알칼리성으로 변화되었으며, 재령에 따라 수소이온농도(pH)가 증가하였으며, 재령 14일에는 감소하는 경향을 보였다. 배합비별 pH는 FA와 RHA의 첨가율 10%일 때 최대를 나타내었다.
4. FA와 RHA를 첨가한 CLF와 CLR 모두 pH가 강알칼리성일수록, 소성지수가 낮을수록, 활성도가 작을수록 더 큰 압축강도를 나타냄을 알 수 있었다.
5. FA와 RHA가 각각 10% 첨가된 시료에 대한 CBR 값은 각각 35.5%, 30.3%, 소성지수는 9.4%, 9.1%로 나타났다. 보조 기층재로서 사용되기 위한 CBR 값은 만족하였지만, 소성지수의 경우 감소가 요구되므로 흙의 입도조정 후 사용이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회(1997), “콘크리트 혼화재료”, 기문당, pp. 186~216.
2. 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
3. 박승제(1997), “우리나라 왕겨 및 왕겨재의 화학적 조성성분”, 전북대학교 농과대학 생물자원 시스템 공학부
4. 장신남(1978), “Lime-Fly ash에 의한 토질안정처리에 대한 비교분석”, 동국대 대학원, 석사학위논문
5. 이용수, 정문경(1997), “플라이애쉬계 지반개량제로 처리된 점토의 결정구조 및 투수특성 연구”, 한국건설기술연구원
6. S. Narasimha Rao and G. Rajasekaran, “Reaction Products Formed In Lime-Stabilized Marine Clays”, Journal of Geotechnical Engineering, May 1996, pp 329
7. 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.
8. Mousa F. Attom, Munjed M. Al-Shrif, “Soil stabilization with burned olive waste”, Applied Clay Science 13(1998) 219-230.
9. 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.