안정처리토의 강도특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on The Compressive Strength of Soil Stabilized with Quick Lime and Briquette ash

김재영 · 최혁재 · 유병옥 · 안성율(전북대) · 박승해(농업기반공사)
Kim, Jae Young, Choi, Hyuk Jae, You, Byung Ok, Ann, Sung Yeul, Park, Seung Hae

Abstract

In order to have compressive strength tests and frost heaving tests, two sorts of soil samples at Chonbuk-Do area were used.

According to this research, the compressive strength of soil which was mixed by quick lime, was largely increased until 28 days but after 28 days, the increment of strength was seldom found and its maximum compressive strength increasing rate for content of quick lime was 10~15% scope.

In the mixed rates of quick lime and briquette ash, the compressive strength of soil which was mixed by quick lime and briquette ash, was increased by increasing mixed rates of quick lime and its compressive strength was increased by additional quantity.

The compressive strength of mixed soil within freezing-thawing 1 cycle was diminished around 30% compared to non-freezing soil's 28 days compressive strength but there were no movements after 2 cycle.

I. 서 론

자연 상태의 흙이 토목공사의 재료로서 만족스럽게 사용할 수 없을 경우 흙의 성질을 개선하기 위하여 안정처리공법(安定處理工法)이 이용되고 있다.

습윤 상태의 점성토에 생석회(生石灰)를 혼합하면 여러 가지 화학적 및 물리적 반응을 일으 킨다. 생석회를 이용한 지반개량의 원리는 ⑴ 흡수, 팽창 및 발열반응, ⑵ ion 화 및 ion 교환, ⑶ 면모화(綿毛化)와 응집반응, ⑷ pozzolan 반응, ⑸ 탄산화 반응 등 이들 반응에 의해 주변 지반 교란의 최소화는 물론 탈수 및 지반강도 증대 등 우수한 공학적 성질 개선효과를 나타 난다.

본 연구에서는 도로의 노상토로 사용이 가능한 시료에 첨가재로 비교적 저렴한 생석회를 선택하였다. 또한 손쉽게 다량으로 구할 수 있으며 환경오염 및 위생적 차원에서 재활용이 요구되며 우리나라 폐기물 중 상당한 비중을 차지하는 연탄회를 사용하였으며 첨가재 혼합비를 각각 변화시켜 공시체를 제작하였다.

본 연구의 목적은 생석회 및 연탄회를 혼합한 안정처리토의 강도개선 효과를 분석하여 농촌 도로포장설계에 필요한 기초 자료로서 제공하고자 본 연구를 수행하였다.

II. 재료 및 시험방법

1. 재료

1-1. 흙 시료

본 연구에서 사용한 흙시료는 우리나라에 많이 분포되어 있으며 노상토 재료로도 많이 사용되는 화강풍화토로서 전주시 덕진동 건지산 주위에서 채취하였다. 사용된 흙 시료들의 물리적 성질은 Table 1과 같다.

2005년 한국농공학회 학술발표회 논문집(2005년 10월 28일)

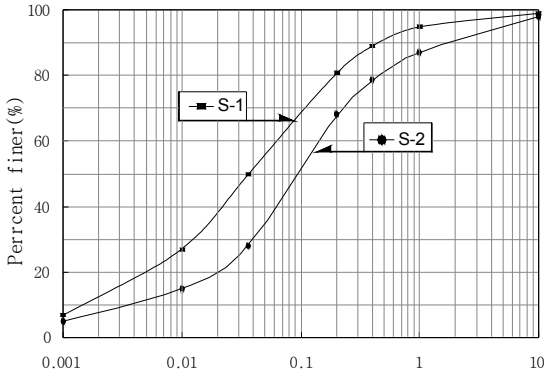

Fig. 1 Grain size distribution curves

Table 1. Physical properties of soil used

Item	Gs	LL	PI	Cu	$\gamma_{d(max)}$ (gf/㎤)	OMC (%)	USCS	Organic Matter (%)	pH
S-1	2.74	35.4	10.5	30	1.745	22.4	ML	0.34	7.85
S-2	2.68	20.5	N.P	50	1.836	19.2	SM	0.25	7.02

1-2. 첨가재

본 연구에서 사용된 생석회는 Y회사 제품으로 No. 40체에 통과된 것을 사용하였으며, Table 2는 사용된 생석회의 물리적 및 화학적 특성을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 손쉽게 다량으로 구할 수 있으며 환경오염 및 위생적 차원에서 재활용이 요구되며 우리나라 폐기물 중 상당한 비중을 차지하는 연탄회를 첨가재로 사용했으며, 사용된 연탄회는 가정용 22공탄을 완전 연소시킨 것으로 전북 완주군 상관면 신리에서 수집하였으며 파쇄 시킨 후 No. 40체에 통과된 것을 사용하였다. Table 3은 사용된 연탄회의 물리적 및 화학적 성질을 나타낸 것이다.

Table 2. Physical properties and chemical composition of quick lime used

Item	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	Ig-Loss	Sum
Content (%)	2.0	0.6	0.4	92.2	1.8	0.02	0.06	2.33	100

Table 3. Characteristics of briquette ash used

Item	G.S	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Ig-Loss	Max. Grain Size	Per. finer than No.200 Sieve
Content (%)	2.5	54.0	33.3	5.6	0.3	0.9	0.86	0.07	0.5(mm)	6.0

2. 시험방법

흙 시료 S-1, S-2 각각에 대하여 생석회를 흙 중량비로 0, 5, 10, 15, 20%씩 혼합한 후 개량형 소형 다짐시험기를 사용하여 다짐시험을 실시하여 최적함수비와 최대건조단위중량을 측정하였다. 생석회와 연탄회의 혼합비율은 1:9, 3:7, 5:5, 7:3, 9:1, 10:0으로 혼합하여 흙 시료에 5%, 10%, 15%, 20%씩 첨가하였다.

압축시험용 공시체는 BS 1924(1957)에 의하여 Fig. 2와 같은 몰드에 높이가 직경의 2배가 되도록 공시체(43×86㎜)를 제작하였다.

이 공시체 제작은 시료를 다짐시험에서 구한 최적함수비로 조제하여 최대건조단위중량에 상당하는 흙 시료를 Mold에 1회에 넣고 상·하(上·下)에서 Plug에 의하여 유압잭크로 압축하여 단위체적중량이 균일하게 되도록 제작하였다.

공시체는 수분을 차단하기 위해서 비닐로 밀봉하였으며 양생을 위해서 항온·항습기에서 20±1℃로 유지하였다.

2005년 한국농공학회 학술발표회 논문집(2005년 10월 28일)

양생기간은 생석회 혼합토는 각 공시체별로 0, 7, 14, 28, 30, 60, 90일간으로 하였으며 생석회와 연탄회 혼합토는 28일간 양생하였다. 압축강도시험은 일축압축강도시험기(용량ton)를 사용하였다.

동결-융해시험은 공시체를 20±1℃로 28일간 양생한 후에 -20℃에서 24시간 동결시킨 후, 항온장치에서 다시 +20℃로 24시간 융해하는 것을 1cycle로 7cycle까지 반복하여 실시하였다.

냉동장치는 미국 Fisher Scientific Co.제품(H×W×D=210×79×97㎝)을 사용하였다.

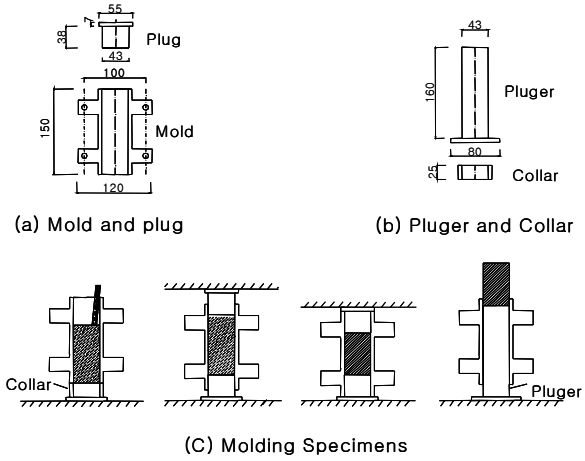

Fig. 2 Sketch of mold used

III. 결과 및 고찰

1. 양생기간별 생석회 혼합토의 압축강도 분석

생석회 혼합처리토의 양생기간 및 혼합비에 따른 압축강도의 증가 효과를 조사·분석 하고자 S-1, S-2 두 흙 시료의 건조중량에 대하여 생석회를 0, 5, 10, 15, 20%로 혼합하여 양생기일 0, 7, 14, 28, 30, 60, 90일의 압축강도를 시험한 결과는 각각 Table 4와 같다.

Table 4. Unconfined Compressive strength of quick lime soil mixtures

양생기간 (일)	생석회함량 (%)	S-1 Soil (kgf/㎠)	S-2 Soil (kgf/㎠)	양생기간 (일)	생석회함량 (%)	S-1 Soil (kgf/㎠)	S-2 Soil (kgf/㎠)
0	0	1.2	1.0	30	0	1.8	1.5
	5	2.0	1.8		5	10.3	6.2
	10	2.3	2.0		10	19.8	9.8
	15	2.7	2.2		15	25.0	13.0
	20	2.9	2.5		20	25.5	13.7
7	0	1.3	1.3	60	0	1.9	1.6
	5	1.5	3.2		5	11.2	6.5
	10	6.7	4.0		10	20.7	10.2
	15	8.1	5.7		15	25.8	13.5
	20	10.5	6.6		20	26.4	13.9
14	0	1.5	1.5	90	0	2.0	1.7
	5	6.8	4.2		5	11.5	6.7
	10	9.8	5.6		10	20.8	10.5
	15	12.1	7.8		15	25.9	13.7
	20	15.2	9.5		20	26.8	14.0
28	0	1.8	1.5	–			
	5	11.2	6.2				
	10	19.7	9.8				
	15	24.8	13.1				
	20	25.7	13.7				

Fig. 3과 4는 Table 5의 S-1, S-2시료에 대한 생석회 혼합토의 양생기간별 압축강도 결과를 나타낸 것으로 초기 양생 7일까지 급격히 강도는 증가하였으며 14일, 28일 양생기간까지는 계속 크게 증가하는 경향을 나타냈다. 양생기일 30일 이후부터는 강도증가가 둔화되는 현상을 나타냈다. 또한 S-2시료보다 점토함량이 많은 S-1 시료가 압축강도는 더 크게 나타났다.

2005년 한국농공학회 학술발표회 논문집(2005년 10월 28일)

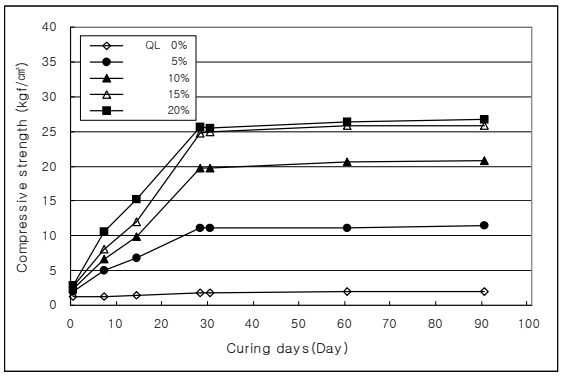

Fig. 3 Relationship between compressive strength and quick lime content at various curing days (S−1 soil)

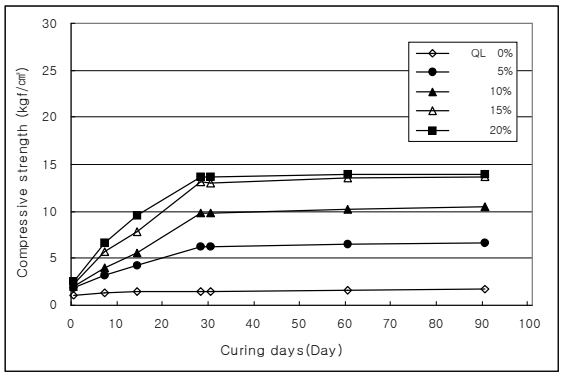

Fig. 4 Relationship between compressive strength and quick lime content at various curing days (S−2 soil)

이처럼 양생초기에 생석회 혼합량의 증가에 따라서 압축강도가 급격히 증가하는 현상은 생석회 혼합량이 증가할수록 점토와의 화학반응이 더욱 촉진되어 혼합토 내부에 화학반응생성물이 증가하여 혼합토가 더욱 더 응집 및 면모화 되기 때문으로 생각되며 또한 양생기간이 길어짐에 따라서 여러 가지 물리·화학적인 반응에 의한 cementing 작용이 더욱 촉진되는 것에 기인되는 것으로 생각된다. 생석회 혼합량 20% 혼합토의 압축강도는 30일 이후에는 혼합량 15%의 압축강도와 별 차이가 없어서 강도증가율이 큰 최적생석회 혼합비율은 10~15% 범위임을 알 수 있다.

2. 생석회와 연탄회 혼합토의 28일 압축강도 분석

S-1, S-2 두 종류의 흙시료에 생석회와 연탄회의 비율을 1:9, 3:7, 5:5, 7:3, 9:1, 10:0으로 혼합한 첨가재를 흙의 건조중량에 대하여 5, 10, 15, 20%씩 첨가하여 28일 압축강도를 측정한 결과는 Table 5과 같다.

Fig. 5, 6는 Table 5의 결과를 도시한 것으로서 생석회와 연탄회의 혼합비율에서 생석회의 양이 증가함에 따라서 압축강도는 증가하였으며 첨가재의 양이 증가함에 따라서 높은 강도를 나타내었다. 또한 첨가재의 양 20%에서는 뚜렷한 증가현상이 나타나지 않았다.

S-1 시료의 생석회와 연탄회 혼합비율 1:9에서의 압축강도는 생석회 연탄회 혼합비율 10:0 압축강도의 약 9%, 3:7은 35%, 5:5는 63%, 7:3은 81%, 9:1은 89%의 값을 나타냈다.

또한 S-2 시료의 경우에서 1:9는 약 14%. 3:7은 28%, 5:5는 58%, 7:3은 71%, 9:1은 80%의 값을 나타냈다.

Table 5. Unconfined compressive strength values obtained for several combinations of quick lime and briquette ash at 28 days curing periods

생석회 :연탄회	첨가재의 양에 따른 28일 압축강도 (kgf/㎠)							
	5%		10%		15%		20%	
	S−1	S−2	S−1	S−2	S−1	S−2	S−1	S−2
1 : 9	0.5	0.3	1.6	0.9	2.0	1.2	2.2	1.9
3 : 7	2.3	1.2	5.5	2.7	7.2	3.2	9.1	3.9
5 : 5	3.4	1.9	13.4	6.7	15.2	7.2	16.2	8.0
7 : 3	6.9	3.8	17.7	8.0	19.8	9.1	20.8	9.7
9 : 1	9.5	5.3	18.1	9.0	22.0	10.2	22.8	11.0
10 : 0	11.2	6.2	19.7	9.8	24.8	13.1	25.7	13.7

2005년 한국농공학회 학술발표회 논문집(2005년 10월 28일)

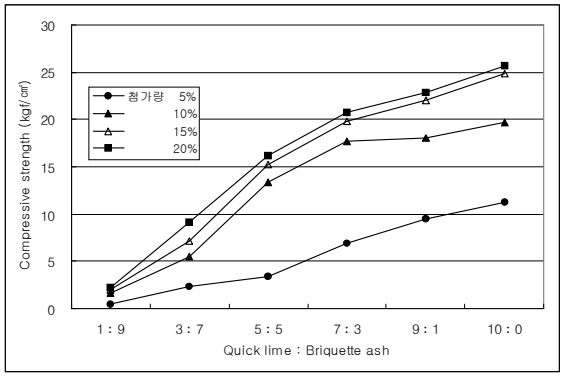

Fig. 5 Effect of variations in quick lime to briquette ash on compressive strength of 28 days cured specimens (S−1 soil)

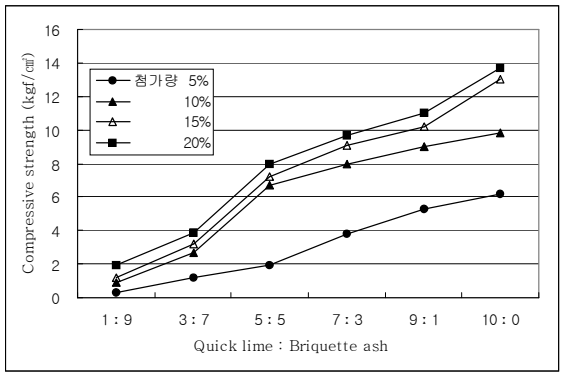

Fig. 6 Effect of variations in quick lime to briquette ash on compressive strength of 28 days cured specimens (S−2 soil)

3. 반복 동결-융해에 따른 생석회 혼합토의 강도 분석

동결-융해시험용 공시체를 28일 압축강도 시험용 공시체와 동일하게 제작하여 양생온도 20±1℃로 28일간 양생한 후 -20℃에서 24시간 동결시킨 후, 항온장치에서 다시 +20℃로 24시간 융해하는 것을 1cycle로 하여 동결-융해를 7cycle까지 반복하여 실시하였다. Table 6은 반복 동결-융해에 따른 생석회 혼합토의 압축강도 시험결과이다.

Table 6. Unconfined compressive strength of quick lime soil mixtures after freezing thawing

생석회 (%)	동결 · 융해 Cycle (단위: kgf/㎠)															
	0회		1회		2회		3회		4회		5회		6회		7회	
	S−1	S−2	S−1	S−2	S−1	S−2	S−1	S−2	S−1	S−2	S−1	S−2	S−1	S−2	S−1	S−2
0	1.8	1.5	1.2	1.0	1.0	0.8	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5
5	11.2	6.2	8.2	5.8	7.5	5.0	7.2	4.7	6.8	4.3	6.5	4.2	6.4	4.2	6.4	4.0
10	19.7	9.8	14.0	7.0	13.1	6.0	12.3	5.8	12.2	5.5	12.0	5.5	12.0	5.4	11.9	5.4
15	24.8	13.1	17.3	9.1	16.8	7.8	16.2	7.5	16.0	7.0	16.0	7.2	15.8	7.0	15.8	6.8
20	25.7	13.7	18.8	9.9	18.0	8.8	17.9	8.2	18.0	8.0	18.0	8.0	17.9	7.9	17.7	8.0

Fig, 7, 8은 Table 6의 결과를 도시한 것으로 생석회 혼합량이 0, 5, 10, 15, 20%로 변화 시킨 경우 생석회 혼합토의 동결-융해에 따른 압축강도 감소현상을 나타낸 것이다.

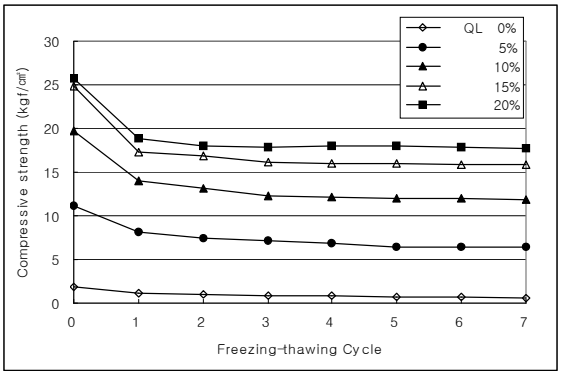

Fig. 7 Relationship between compressive strength and freezing − thawing of quick lime soil mixtures(S−1 soil)

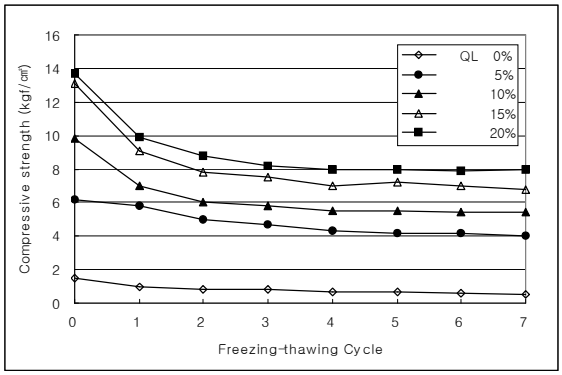

Fig. 8 Relationship between compressive strength and freezing − thawing of quick lime soil mixtures(S−2 soil)

2005년 한국농공학회 학술발표회 논문집(2005년 10월 28일)

S-1, S-2 두 시료의 동결-융해에 따른 생석회 혼합토의 압축강도는 동결-융해 1 Cycle에서 비동결토의 약 30% 의 압축강도가 감소하였으며 2 Cycle 이후에는 뚜렷한 증감현상이 나타나지 않았다.

IV. 결 론

생석회 및 연탄회 안정처리토의 압축강도특성을 분석하기 위해서 전북지역에서 채취한 S-1, S-2 두 종류의 흙을 사용하여 압축강도 및 동결-융해시험을 실시하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 최적함수비는 생석회 및 연탄회 첨가량이 증가함에 따라서 증가하였으나 최대건조단위중량은 일정한 증감현상이 나타나지 않았다.
2. 생석회 혼합토의 양생기간별 압축강도는 28일까지는 크게 증가하는 경향을 보였으며 양생기간 28일 이후에는 증가현상이 완만하였다. 생석회 함량이 증가할수록 압축강도는 큰 경향을 보였으나 생석회 20% 첨가량에서는 증가현상이 나타나지 않았다.

   따라서 본 연구에서의 생석회 혼합량 20% 혼합토의 압축강도는 30일 이후에는 혼합량 15%의 압축강도와 차이가 없으므로 강도증가율이 큰 최적생석회 혼합비율로 10~15% 범위를 얻었다.
3. 생석회와 연탄회 혼합토의 28일 압축강도는 생석회와 연탄회의 혼합비율 중 생석회 혼합비율이 증가함에 따라서 증가하였으며 첨가재의 양이 증가함에 따라서 높은 강도를 나타냈다. 또한 첨가재의 양 20%에서는 뚜렷한 증가현상이 나타나지 않았다.
4. 동결-융해에 따른 생석회 혼합토의 압축강도는 동결-융해 1 Cycle에서 비동결토 28일 압축강도에 비하여 약 30%가 감소하였으며, 2 Cycle 이후에는 뚜렷한 증감현상이 나타나지 않았다.

참고문헌

1. George, K. P. 1963. Base Course Mix Design Criteria for Cementtreated Loess. Iowa State Univ. of Science and Techenology, 1-2.
2. Glenn, G. R. and Handy, R. L. 1963. Lime-clay mineral reaction products. HRR, 29. 70-82.
3. Herrin, M. and Michell, H. 1961. Lime-soil mixtures. HRB, 304, 99-138.
4. Herzog, A. and Michell, J. K. 1963. Reactions accompanying stabilization of clay with cement. HRR, 36, 146-171.
5. Hilt, G. H. and Davidson, D. T. 1960. Lime fixation in clayey soils. HRB, 262, 20-32.
6. Ishida Hiroshi. 1976. Improvement of strengrh properties of Iwate loam with Quicklime. 土質工學會論文報告集, 16(2), 65-75.
7. Ishida Hiroshi. 1989. Strength properties of quicklime-soil mixture on Iwate loam. Soil & Foundation, 37-4(375), 17-22.
8. Jan, M. A. and Walker, R. D. 1963. Effect of lime, moisture and compaction on a clay soil. HRR, 29, 1-12.
9. Mateos, M. 1964. Soil lime research at Iowa State University. Jour. of soil mechanics and foundation division. ASCE, Proc., 127-153.
10. Rajasekaran, G., Murali, K. and Srinivasaraghavan, R. 1997. Effects of chlorides and sulphates on lime treated marine clays. Soil and Foundation, 37(2), 105-115.
11. Ramesh, H. N., Siva Mohan, M. and Sivapullaiah, P. V. 1999. Improvement of strength of fly ash with lime and sodium salts. 3, 163-167.

2005년 한국농공학회 학술발표회 논문집(2005년 10월 28일)