



석회-시멘트 혼합토의 압축강도 및 내구 특성

The Compressive Strength and Durability Characteristics of Lime-Cement-Soil Mixtures

오상은* · 연규석** · 김기성** · 김용성**†

Oh, Sang Eun · Yeon, Kyu Seok · Kim, Ki Sung · Kim, Yong Seong

ABSTRACT

In this study, the compressive strength characteristics of lime-cement-soil mixtures, composed of lime, soil, and a small amount of cement, were investigated by performing the unconfined compression tests, the freezing and thawing tests, the wetting and drying tests and the permeability tests. The specimens were made by mixing soils with cement and lime. The cement contents were 0, 6, 8 and 10 %, and the lime contents were 2, 4, 5, 10, 15 and 20 % in weight. Each specimen was cured at constant temperature in a humidity room for 3, 7 and 28 days. The compressive strength characteristics of the lime-cement-soil mixtures were then investigated using the unconfined compression tests, freezing and thawing tests and the wetting and drying tests. Based on the test results, a discussion was made on the applicability of the lime-cement-soil mixtures as a construction material.

Keywords: lime; soil mixtures; compression test; freezing and thawing test; wetting and drying test

1. 서 론

2010년 11월 경북 안동에서 처음 발생한 구제역이 경기 연천을 거쳐 강원도 등 9개 시·도 76개 시·군으로 확대되었고 구제역으로 인해 살처분 된 소와 돼지가 약 292만두에 이르고 매몰지가 4,054개에 달하였으며, 전북 익산군 등 5개 시·도 18개 시·군에서는 조류 인플루엔자로 인해 닭·오리 500만두가 197개 매몰지에 매몰되었으나 최근 침출수 유출 등으로 토양 및 지하수 오염 문제가 심각히 대두되고 있다.

가축 매몰지 환경관리지침에 따르면, AI·구제역 긴급행동지침의 매몰절차는 지하수(지하수위와 1 m 이상), 하천, 수원지, 집단가옥으로부터 이격(하천, 수원지 등과 30 m 이상)한 곳으로 선정하고, 매몰 수량을 고려하여 매몰지 크기를 결정하되, 매몰지별 크기는 가급적 바닥 폭 4~5 m, 깊이 5 m를 넘지 않도록 하며, 지하수위·관정·하천·주거지 등 주변 환경 등을 고려하여 적절한 깊이 및 크기로 설정하도록 되어 있다.

또한, 매몰 절차 및 방법을 보면 매몰 구덩이 바닥과 측면에

벤토나이트 등 점토광물 혼합토(벤토나이트: 흙의 비율 15:85 권장)를 바닥 30 cm 이상, 측면 10 cm 이상 포설하도록 되어 있고 구덩이 바닥에는 차수재로부터 1m의 흙을 투입하되, 흙의 중간부위(약 50~60 cm 구간)에 생석회(5 cm)를 투입하도록 되어 있다. 1차적인 차수역할을 비닐이 담당하게 되어 있으나 가축 매몰지 현장에서는 매몰 작업시 차수재가 사체의 하중을 받아 찢어지거나 암석의 돌출된 부분에 훼손될 가능성이 있고, 가축 안락사에 필요한 약품 공급이 끊겨 생매장으로 인한 가축의 발버둥으로 비닐이 찢어지기도 하는데, 이러한 경우 차선책으로 혼합토의 차수성을 기대하고 있으나 계절적인 요인으로 인해 혼합토의 동결과 융해의 반복, 건조와 습윤의 반복에 대한 내구성이 문제로 대두된다.

이에 따라 많은 연구자들이 가축 매몰지 관리시 활용되는 석회 혼합토, 벤토나이트 혼합토 등에 공학적 및 환경적으로 문제가 없는지에 대해 관심을 기울이고 있다. 본 연구에서는 석회 혼합토의 강도 및 동결융해, 건조습윤 저항성에 주목하고자 하며, 이후 추가 연구를 통해 석회 혼합토의 차수 특성, 벤토나이트 혼합토의 강도 및 내구성, 차수 특성 등에 대해 고찰하고자 한다.

석회안정처리되는 시멘트에 비하여 큰 강도를 기대할 수 없기 때문에 그의 적용 범위는 주로 큰 강도를 요하지 않는 구조물로서 강도 또는 안정성이 부족한 노반재료의 개량, 고탍수비 점성토를 노상 및 노반재료로의 개량, 고탍수 점성토의 주행성 개량, 동상 방지를 위한 차단층으로의 이용 및 석회 파일 시공에 의한 연약한 기초지반의 개량 등을 들 수 있다.

* 강원대학교 농업생명과학대학 바이오자원환경학과

** 강원대학교 농업생명과학대학 지역건설공학과

† Corresponding author Tel.: +82-33-250-6463

Fax: +82-33-251-6463

E-mail: yskim2@kangwon.ac.kr

2011년 8월 10일 투고

2012년 1월 10일 심사완료

2012년 1월 10일 게재확정

석회안정처리의 원리는 분산되어 있는 토립자에 칼슘이온이 가해지면 작은 점토입자가 결합하여 고결화되는 이온교환 작용과 포졸란 반응 등의 화학적 반응이며, 이로 인하여 함수비의 저하, consistency의 개선, 강도의 증가 등으로 흙의 공학적 성질이 개선된다.

석회 혼합토에 대한 국외연구로서 Kamon and Nontananandh (1991)는 석회를 이용한 토질안정화 방안을 고찰하였으며, Consoli et al. (2001)은 다져진 비회-카바이드 석회 혼합토에 대한 거동 특성을 구명하였다. Cai et al. (2006)은 토목섬유-석회 혼합토의 압축강도 특성, 수축 팽창 특성 및 미세구조 특성에 대해 검토하였으며, Ghosh and Subbarao (2007)는 석회 및 석고가 혼합된 비회의 일축압축강도 및 삼축압축강도 특성을 검토한 바 있고, Jauberthie et al. (2010)는 석회 처리토를 하천의 지반 개량에 활용하고자 하는 연구를 수행한 바 있다.

국내 연구로는 석회혼합토의 압축강도 고찰 (Kim et al., 1972; Kim, 1976; Cho, 1980, Min et al., 2003), 석회에 의한 토질안정처리 및 지반개량 연구 (Jeon, 1975; Jeong and Lee, 1991; Chun et al., 1997), 석회 및 화학첨가제에 의한 건설잔토의 안정처리 검토 (Min et al., 2001) 등의 연구가 수행된 바 있다.

본 연구는 석회 및 시멘트를 흙과 혼합한 혼합토를 차수재, 성토재 등 건설재료로 활용하고자 하는 기초적 연구로서 석회 및 시멘트 혼합물에 따른 혼합토의 강도 특성, 동결융해 및 건습 특성, 투수 특성 등의 분석을 통해 석회-시멘트 혼합토의 강도 및 내구 특성을 구명하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 사용 재료

본 연구에 사용한 시료는 사질토 및 점성토, 석회, 시멘트 등으로 사질토는 OO대학교 인근 현장의 터파기시 발생된 굴착토를 사용하였고, 점성토는 강원도 OO저수지 뚝높이기 현장에서 채취한 점성토를 사용하였다. 석회는 강원도 원주시 소재 OO화학에서 판매되고 있는 제품을 사용하였으며 시멘트는 국내 H사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

Table 1 및 Fig. 1은 본 연구에 사용된 사질토 및 점성토의 기본 물성과 입도분포곡선을 나타낸다. Table 2 및 3은 각각 사용된 시멘트의 역학적 특성 및 석회의 물리·화학적 특성을 나타낸다.

Table 3 Physical property and chemical compositions of lime

Additive	Item	Specific gravity	Per. finer than No.200 sieve	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Ig-loss (%)
Lime		2.40	95.08%	0.71	0.13	0.04	71.4	0.69	26.6

2. 배합설계 및 공시체 제작

가. 배합

석회-시멘트 혼합토의 배합 설계는 Table 4에 나타난 바와 같이 최적 배합 조건을 찾기 위해 혼합토의 전체 중량에 대한 중량비로 시멘트는 0, 6, 8, 10 %, 석회는 2, 4, 5, 10, 15, 20 %를 혼입하는 10가지 조건으로 하여 시험을 수행하였다.

나. 공시체 제작

다짐시험에서 산출된 최적함수비와 최대건조단위중량을 기준으로 하여 수량 및 물량을 산정한 후 다짐 시험과 동일한 수준의 다짐에너지를 나타낼 수 있도록 ø50×100 mm 몰드에 재료를 투입하고 3층으로 나누어 다짐을 실시하였다. 재령에 따른 강

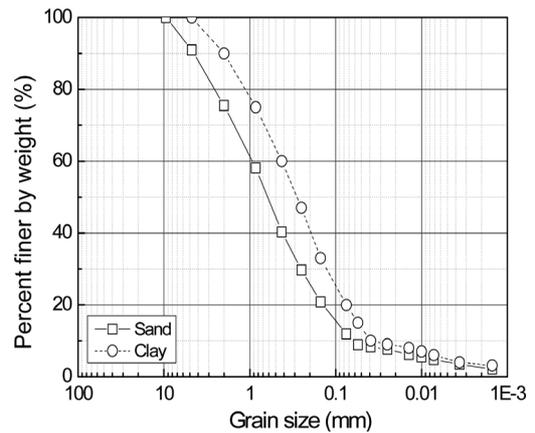


Fig. 1 Grain size distribution curve

Table 1 Physical properties of coarse aggregates

Type	Size (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	F.M	Bulk density (kg/m ³)	
Coarse	4.75~40	2.73	1.36	6.77	1,592	
	0.15~4.75	2.66	1.62	6.54	1,559	
Type	Specific gravity	Liquid limit	Plastic index	USCS	Coeff. of Uniformity	Coeff. of Uniformity
fine	2.62	38.59	23.75	CL	10.9	1.2

Table 2 Mechanical properties of normal portland cement

S.G	Setting time (h-min)		Compressive strength (MPa)		
	Initial	Final	3 days	7 days	28 days
3.15	5-7	7-20	19.4	21.6	32.3

Table 4 Mix designs of lime cement soil mixtures (Unit: %)

Case	Lime	Cement	Soil (Sand/Clay)	Remarks
1	5	0	95	L5
2	10		90	L10
3	15		85	L15
4	20		80	L20
5	2	6	92	L2C6
6		8	90	L2C8
7		10	88	L2C10
8	4	6	92	L2C6
9		8	90	L2C8
10		10	88	L2C10

도 특성을 구명하기 위하여 재령 3, 7일 및 28일 동안 양생을 실시하였다.

3. 시험방법

가. 일축압축강도 시험

일축압축강도시험은 KS F 2314 (흙의 일축 압축 시험 방법)에 준하여 재령 3, 7일 및 28일에 $\phi 50 \times 100$ mm인 공시체를 일축압축시험기를 사용하여 1 mm/min의 속도로 하중을 재하하였다.

나. 동결융해 시험

동결융해 시험은 KS F 2332 (다져진 흙 시멘트 혼합물의 동결 융해 시험 방법)에 준하여 공시체를 성형한 후에 습윤 양생실에서 7일간 양생한 후 -23 °C 보다 높아지지 않는 동결캐비닛에 24시간의 동결과 온도 21 °C, 상대습도 100 %인 습윤 양생실에서 24시간동안 융해하기를 12주기 반복하여 다음의 (1) 식에 의해 흙-시멘트 손실량을 측정하였다.

$$\text{흙 시멘트의 손실율 (\%)} = \frac{A}{B} \times 100 \quad (1)$$

여기에서

A : 처음에 계산된 노 건조 질량에서 최종 수정된 노 건조 질량을 뺀 값

B : 처음에 계산된 노 건조 질량

다. 건습 시험

건습시험은 KS F 2330 (다져진 흙 시멘트 혼합물의 습윤 및 건조 시험 방법)에 준하여 공시체를 성형한 후에 습윤 양생실에서 7일간 양생한 후 5시간의 수침과 42시간동안 71 °C의 건조

로에서 건조하기를 12주기 반복하여 동결융해시험과 동일한 방법으로 흙-시멘트 손실량을 측정하였다.

라. 투수 시험

투수시험은 KS F 2322 (흙의 투수 시험 방법)에 준하여 공시체를 성형한 후에 습윤 양생실에서 0일, 7일, 28일간 양생한 후 각 시료별로 변수위 투수시험을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 압축강도 특성

가. 사질토의 석회 혼합률에 따른 강도 특성

석회 및 시멘트, 사질토의 혼합률에 따른 일축압축강도의 영향을 분석하기 위하여 Table 4의 Case 1~10과 같이 석회-시멘트-사질토 혼합토의 공시체를 만든 후 일축압축시험을 실시하였다.

Fig. 2(a)~2(c)는 각각 재령 3일 및 7일, 28일에서의 석회-시멘트-사질토 혼합토의 압축강도시험 결과를 나타낸 것으로 석회-시멘트-사질토 혼합토는 석회 혼합률에 관계없이 시멘트를 혼입하지 않고 석회만 혼합한 경우보다 압축강도가 큰 경향을 나타내었다.

Fig. 2(a) 재령 3일의 경우, 석회 5, 10, 15, 20 % 혼입에 따라 압축강도는 각각 0.56, 0.64, 0.71, 0.82 MPa이나 석회 2 % 및 시멘트 6, 8, 10 % 혼합하였을 때 0.91, 1.19, 1.71 MPa로 석회만 혼합한 경우보다 강도가 높음을 알 수 있다.

한편, 석회 4 % 및 시멘트 6, 8, 10 % 혼합하였을 때에는 1.16, 1.24, 1.95 MPa로 강도가 더 증가함을 볼 수 있다. 이러한 현상은 Fig. 2(b), 2(c)의 재령 7일 및 28일 경우에도 같은 경향을 나타내고 있는데, 이와 같은 강도 증가는 석회 및 시멘트 성분에 의한 포졸란 반응이 발생하였기 때문으로 판단되며, 사질토 혼합토에서는 석회 성분 보다는 시멘트 성분에 의한 강도 증가 영향을 더 많이 받는 것으로 판단된다.

나. 점성토의 석회 혼합률에 따른 강도 특성

석회 및 시멘트, 점성토의 혼합률에 따른 일축압축강도의 영향을 분석하기 위하여 Table 4의 Case 1~10과 같이 석회-시멘트-점성토 혼합토의 공시체를 만든 후 일축압축시험을 실시하였다.

Fig. 3은 재령 3일 및 7일, 28일에서의 석회-시멘트-점성토 혼합토의 압축강도시험 결과를 나타낸 것으로 석회만 혼합된 석회-점성토 혼합토는 석회 혼합율이 10 %일 때 다른 혼합율에 비해 압축강도가 큰 경향을 나타내었다.

Fig. 3(a)의 재령 3일의 경우, 석회 5, 10, 15, 20 % 혼입 시 압축강도는 각각 0.67, 0.70, 0.63, 0.33 MPa로서, 석회 혼합율

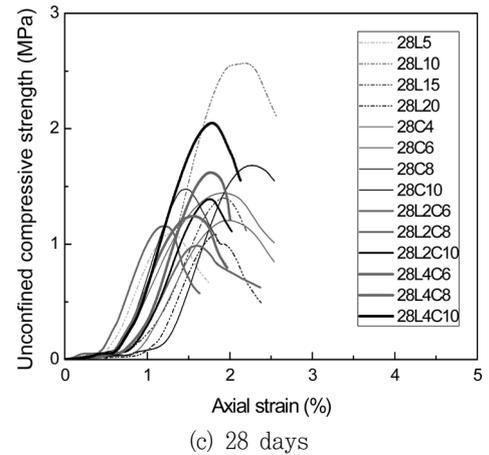
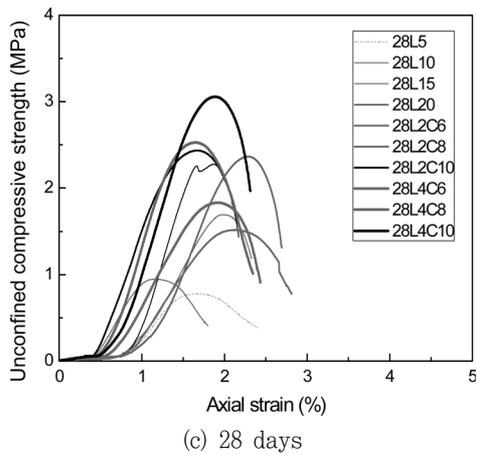
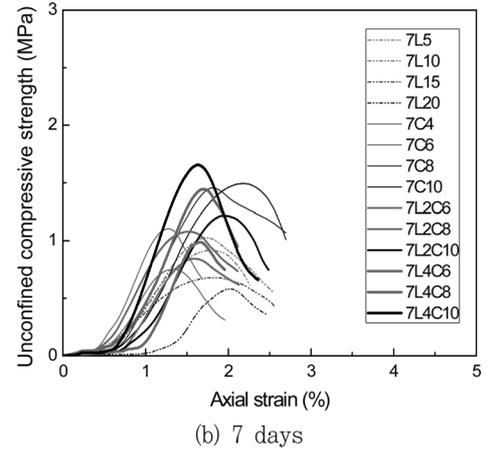
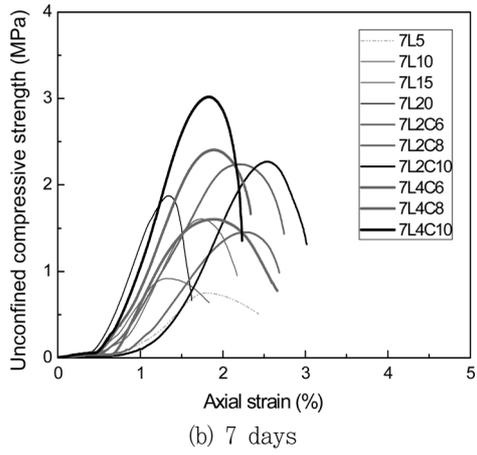
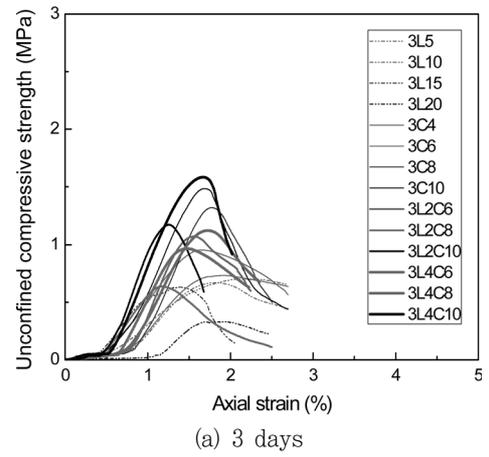
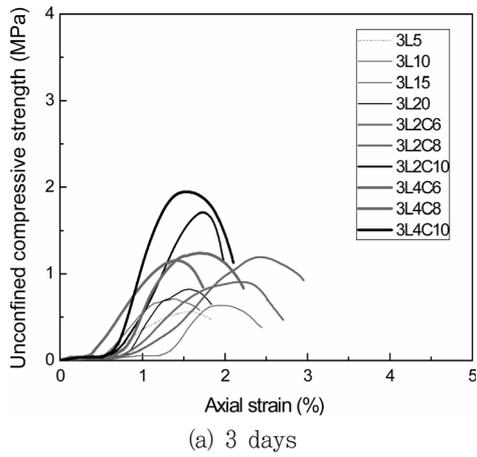


Fig. 2 Unconfined compressive strength vs. axial strain of lime-cement-sand mixtures

Fig. 3 Unconfined compressive strength vs. axial strain of lime-cement-clay mixtures

이 10 % 이상이 될 경우 강도가 오히려 하락하는 양상을 보였다. 이러한 현상은 Fig. 2(b), 2(c)의 재령 7일 및 28일의 경우에도 같은 경향을 나타냈으며, 28일 강도의 경우 석회 혼합물 10

%에서 가장 높은 강도 값을 기록하였다. 석회-시멘트-점성토 혼합토는 재령이 늘어날수록 또한 석회 및 시멘트 량이 늘어날수록 압축강도는 증가하는 경향을 보였다.

Table 5는 정량적 분석을 위해 압축강도 최대 값을 수치로 나타낸 것이다. 사질토 혼합토의 경우 3일 강도를 기준으로 했을 때 7일 및 28일 압축강도는 석회 혼합토에서 1.34~2.28배 및 1.39~2.78배, 석회 2 % 및 시멘트 혼합토에서 1.33~1.88배 및 1.42~1.98배, 석회 4 % 및 시멘트 혼합토에서 1.39~1.94배 및 1.57~2.04배를 나타내었다. 점성토 혼합토의 경우 3일 강도를 기준으로 했을 때 7일 및 28일 압축강도는 석회 혼합토에서 1.08~1.76배 및 1.63~3.67배, 석회 2 % 및 시멘트 혼합토에서 1.01~1.31배 및 1.08~1.53배, 석회 4 % 및 시멘트 혼합토에서 1.03~1.29배 및 1.29~1.45배를 나타내었다.

Table 5 The list of peak strength and strength ratio

Proportion (%)		Days	Sand			Clay		
Lime	Cement		Compressive strength		Strength ratio	Compressive strength		Strength ratio
			Peak (Mpa)	Strain (%)		Peak (Mpa)	Strain (%)	
5	0	3	0.56	1.58	1.00	0.67	1.80	1.00
		7	0.75	1.78	1.34	0.92	1.77	1.37
		28	0.78	1.65	1.39	1.09	1.28	1.63
10	0	3	0.64	1.94	1.00	0.70	2.21	1.00
		7	0.92	1.30	1.44	1.03	1.71	1.47
		28	0.95	1.15	1.48	2.57	2.17	3.67
15	0	3	0.71	1.39	1.00	0.63	1.38	1.00
		7	1.61	1.73	2.27	0.68	1.77	1.08
		28	1.69	1.98	2.38	1.40	1.91	2.22
20	0	3	0.82	1.56	1.00	0.33	1.70	1.00
		7	1.87	1.33	2.28	0.58	2.02	1.76
		28	2.28	1.87	2.78	1.09	1.82	3.30
6	0	3	0.91	2.16	1.00	0.64	1.16	1.00
		7	1.45	2.24	1.59	0.84	1.57	1.31
		28	1.52	2.12	1.67	0.98	1.59	1.53
2	8	3	1.19	2.40	1.00	1.07	1.54	1.00
		7	2.24	2.18	1.88	1.08	1.49	1.01
		28	2.36	2.27	1.98	1.16	1.20	1.08
10	0	3	1.71	1.72	1.00	1.17	1.25	1.00
		7	2.27	2.52	1.33	1.22	1.93	1.04
		28	2.43	1.67	1.42	1.39	1.75	1.19
6	0	3	1.16	1.41	1.00	0.96	1.45	1.00
		7	1.61	1.89	1.39	0.99	1.65	1.03
		28	1.83	1.89	1.58	1.24	1.53	1.29
4	8	3	1.24	1.67	1.00	1.12	1.71	1.00
		7	2.40	1.88	1.94	1.45	1.69	1.29
		28	2.53	1.64	2.04	1.62	1.77	1.45
10	0	3	1.95	1.51	1.00	1.58	1.66	1.00
		7	3.02	1.83	1.55	1.66	1.63	1.05
		28	3.06	1.89	1.57	2.05	1.78	1.30

다. 석회 혼합 사질토의 재령에 따른 강도 특성

Fig. 4는 석회-시멘트-사질토 혼합토의 양생일수에 따른 강도 변화를 검토하기 위해 재령에 따른 석회 및 시멘트 함유 비율에 따른 압축강도를 나타낸 것이다.

Fig. 4(a)에서 석회 혼합률이 커질수록 강도는 커지는 경향을 나타냈으며, Fig. 4(b), 4(c)와 같이 석회 및 시멘트를 혼합했을 경우에는 석회만 혼합했을 경우보다 압축강도는 더 커지는 것을 알 수 있다. 이는 시멘트의 수화작용에 의해서 흙 입자가 덩어리 형태가 되기 시작하여 시멘트 량이 많아지면 흙 입자는 그 자체의 형태를 잃어버리고, 큰 덩어리 형태로 변해서 새로운 형태의 재료가 되기 때문이다. 또한 재령이 늘어날수록 수화작용을 하는 시멘트 gel로부터 수산기 이온들이 처음에는 약한 결합을 이루면서 부분적으로 막을 형성하는 silicon 이온에 의해 흡착되어 시간이 경과할수록 흡입자 표면은 활발한 復極 (depolarization) 현상이 일어나 강도가 증가한다 (Catton, 1940; Handy, 1958).

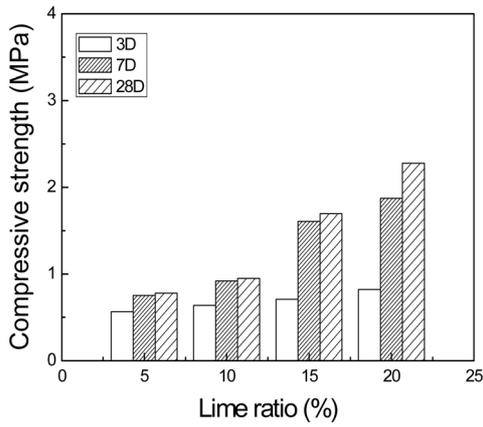
라. 석회 혼합 점성토의 재령에 따른 강도 특성

Table 6은 재령에 따른 압축강도의 변화를 정량적으로 분석하기 위해 재령별 최대 값을 수치로 나타낸 것이다. 사질토 혼합토의 경우 28일 강도를 기준으로 했을 때 7일 압축강도는 석회 혼합토에서 0.82~0.97배, 석회 2 % 및 시멘트 혼합토에서 0.93~0.95배, 석회 4 % 및 시멘트 혼합토에서 0.88~0.99배를 나타내었다. 점성토 혼합토의 경우 석회 혼합토에서 0.40~0.84배, 석회 2 % 및 시멘트 혼합토에서 0.86~0.93배, 석회 4 % 및 시멘트 혼합토에서 0.80~0.91배를 나타내어 사질토 혼합토의 경우 초기 재령에서 강도의 증가가 완연하며 점성토 혼합토의 경우는 장기 재령에서도 강도의 증가가 발생하는 것으로 판단된다.

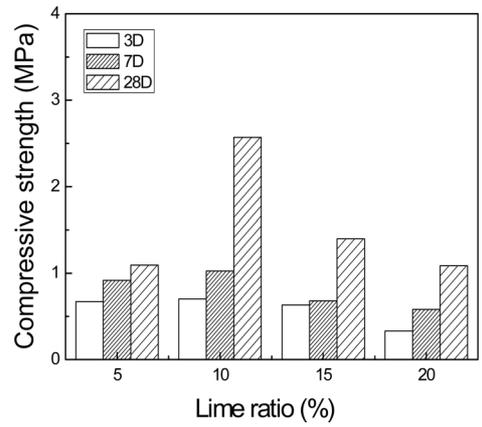
Fig. 5는 석회-시멘트-점성토 혼합토의 양생일수에 따른 강도

Table 6 The list of compressive strength ratio with curing days

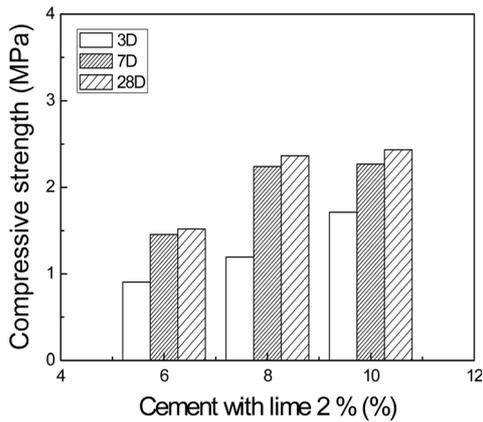
Proportion (%)		Sand					Clay				
Lime	Cement	Compressive strength (MPa)									
		3 days	7 days	28 days	3/28	7/28	3 days	7 days	28 days	3/28	7/28
5	0	0.56	0.75	0.78	0.72	0.96	0.67	0.92	1.09	0.61	0.84
10		0.64	0.92	0.95	0.67	0.97	0.7	1.03	2.57	0.27	0.40
15		0.71	1.61	1.69	0.42	0.95	0.63	0.68	1.4	0.45	0.49
20		0.82	1.87	2.28	0.36	0.82	0.33	0.58	1.09	0.30	0.53
2	6	0.91	1.45	1.52	0.60	0.95	0.64	0.84	0.98	0.65	0.86
	8	1.19	2.24	2.36	0.50	0.95	1.07	1.08	1.16	0.92	0.93
	10	1.71	2.27	2.43	0.70	0.93	1.17	1.22	1.39	0.84	0.88
4	6	1.16	1.61	1.83	0.63	0.88	0.96	0.99	1.24	0.77	0.80
	8	1.24	2.4	2.53	0.49	0.95	1.12	1.45	1.62	0.69	0.90
	10	1.95	3.02	3.06	0.64	0.99	1.58	1.66	2.05	0.77	0.81



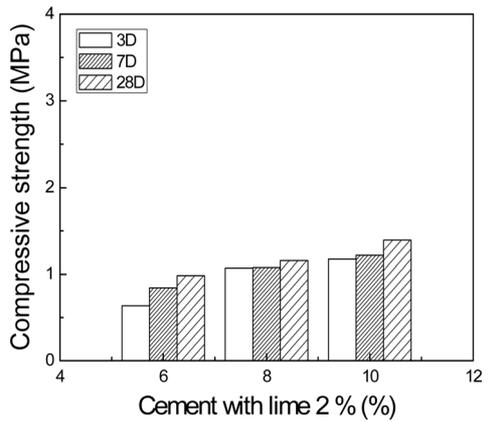
(a) Lime-sand mixtures



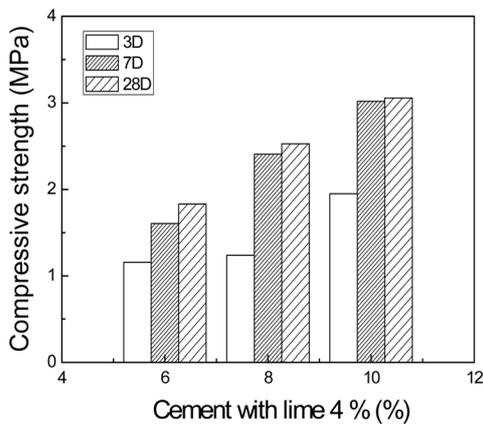
(a) Lime-clay mixtures



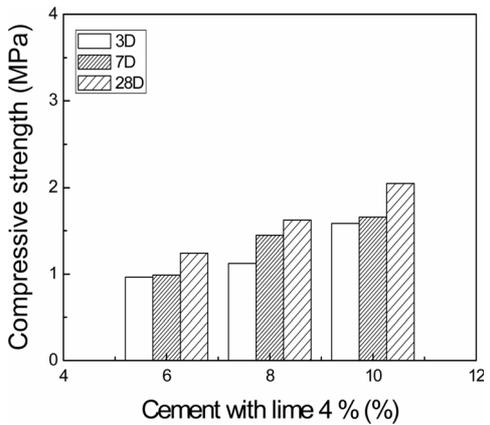
(b) Lime-cement-sand mixtures (lime 2 %)



(b) Lime-cement-clay mixtures (lime 2 %)



(c) Lime-cement-sand mixtures (lime 4 %)



(c) Lime-cement-clay mixtures (lime 4 %)

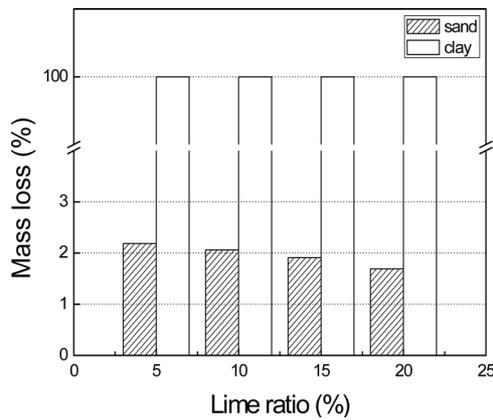
Fig. 4 Compressive strength distribution with curing ages of lime-cement-sand mixtures

Fig. 5 Compressive strength distribution with curing ages of lime-cement-clay mixtures

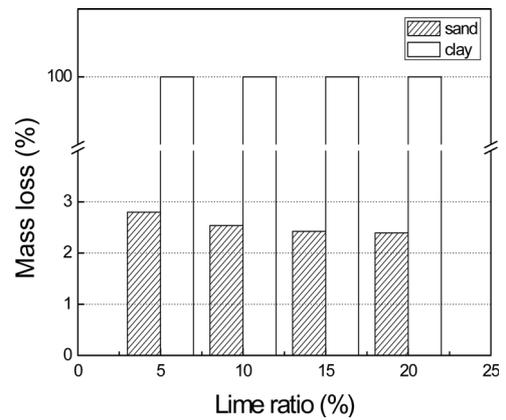
변화를 검토하기 위해 재령에 따른 석회 및 시멘트 함유 비율에 따른 압축강도를 나타낸 것이다.

Fig. 5(a)에서 볼 수 있듯이 석회 혼합률이 10 %일 경우 압축

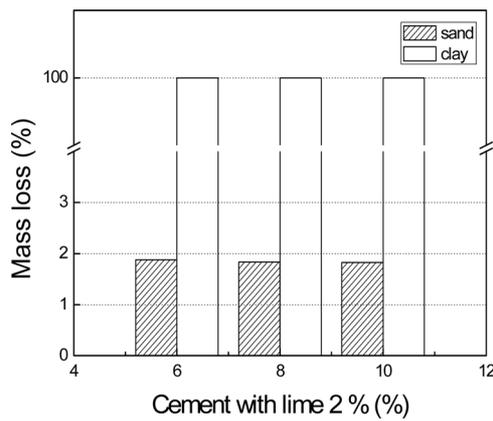
강도는 가장 컸으며 석회 혼합률이 10 % 보다 작거나 많았을 때는 강도가 작아지는 현상을 나타내었다. 일반적으로 석회는 흙과 반응하여 흙의 강도를 증가시키는 고결성분을 생성시키고 습



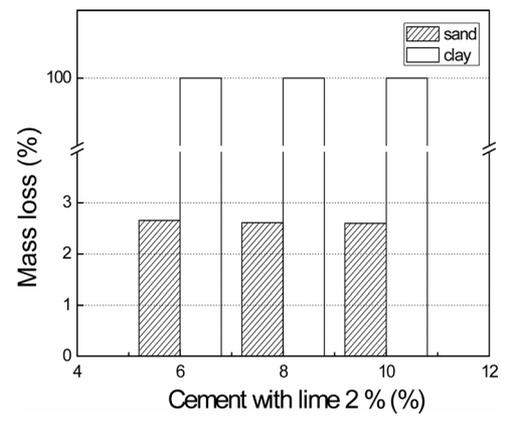
(a) Lime-soil mixtures



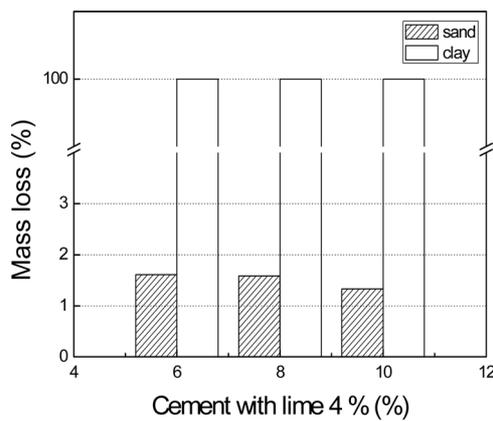
(a) Lime-soil mixtures



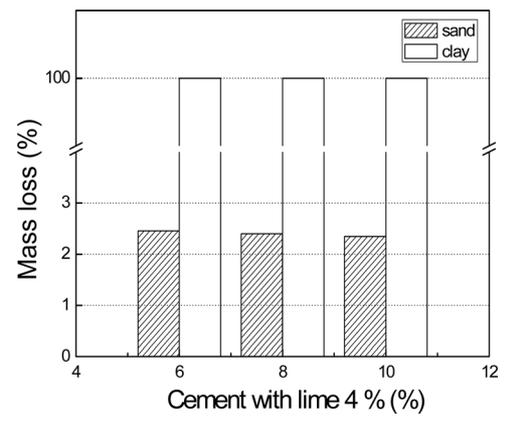
(b) Lime-cement-soil mixtures (lime 2%)



(b) Lime-cement-soil mixtures (lime 2%)



(c) Lime-cement-soil mixtures (lime 4%)



(c) Lime-cement-soil mixtures (lime 4%)

Fig. 6 The results of freeze-thaw test of lime-cement-soil mixtures

Fig. 7 The results of wet-dry test of lime-cement-soil mixtures

윤양생을 시키면 흙의 강도를 증가시키나, 석회처리 효과는 흙의 종류에 따라 다르다 (Ladd et al., 1960). 석회 혼합토는 석회 혼합율 10% 정도에서 압축강도가 최고치를 나타내는 경우

도 있고 (Mateos and Davidson, 1962; Cho, 1980), 석회 혼합율 4~6%에서 최고치를 나타내는 경우도 있다 (Pietsch and Davidson, 1962; Wang et al., 1962). 즉 석회 혼합토의 경우

에서는 시멘트 혼합토와는 달리 점토광물이 반듯이 있어야 소요 강도를 얻을 수 있는 것으로 판단된다.

Fig. 5(b) 및 5(c)는 석회-시멘트-점성토 혼합토의 압축강도 실험 결과를 나타내며, 석회 혼합토와는 다른 양상을 나타내고 있다. 점토의 경우 석회의 혼합량이 작은 상태에서 시멘트 혼합량이 많은 경우는 석회보다 시멘트의 영향을 받는 것으로 판단된다.

2. 동결융해 및 습윤건조 특성

Fig. 6은 석회-시멘트-사질토 혼합토 및 석회-시멘트-점성토 혼합토의 동결융해 싸이클에 따른 손실량과 석회 및 시멘트 혼합물과의 관계를 나타낸 것이다. 석회-사질토 혼합토에서는 석회 혼합물이 클수록 손실률이 작아지는 경향을 보였으며, 석회-시멘트-사질토 혼합토에서는 석회 2% 및 시멘트의 혼합율에서는 1.8% 정도, 석회 4% 및 시멘트의 혼합율에서는 1.5% 정도를 나타내었다. 석회-점성토 혼합토 및 석회-시멘트-점성토 혼합토는 동결융해 시험 후 손실률이 100%에 달해 동결융해에 매우 취약함을 알 수 있었으며 대기에 노출되는 구조물 제조용 재료로 사용하기에는 별도의 보강방안이 선결되어야 할 것으로 사료된다.

Fig. 7은 석회-시멘트-사질토 혼합토 및 석회-시멘트-점성토 혼합토의 건조-습윤 싸이클에 따른 손실량과 석회 및 시멘트 혼합물과의 관계를 나타낸 것으로 동결융해시험과 거의 유사한 결과를 나타내었다.

Catton (1959)은 시멘트 혼합토의 동결융해로 인한 중량손실은 흙 시료의 성질에 따라 상이하며, 허용범위에 있어서 A-1-a, A-1-b, A-3, A-2-4, A-2-5군의 흙은 14% 이하, A-2-6, A-2-7, A-4, A-5군의 흙은 10% 이하, 그리고 A-6, A-7-5, A-7-6군에서는 7% 이하이어야만 사용이 가능하며 과도한 손실은 여타의 공학적 조건을 만족하더라도 이용적 측면에서 불리하다고 지적하였다.

본 연구 결과 석회-사질토 혼합토 및 석회-시멘트-사질토 혼합토는 Catton (1959)의 연구 결과를 참고로 할 때 공학적으로 활용시 문제가 되지 않은 수준으로서 건조 및 동결융해 저항성을 확보한 것으로 판단된다.

3. 투수 특성

Table 7은 석회-시멘트-사질토 혼합토 및 석회-시멘트-점성토 혼합토의 재령에 따른 투수계수와 관계를 나타낸 것이다. 두 가지 경우 모두 상기의 결과를 토대로 가장 활용성이 크다고 판단되는 석회 4%, 시멘트 10%, 흙 86%의 혼합비를 대상으

Table 7 The permeability characteristics with curing days

Case	Lime-cement-sand mixtures			Lime-cement-clay mixtures		
	Curing days	0	7	28	0	7
Permeability (cm/sec)	2.75E-5	1.02E-5	9.71E-6	1.06E-5	1.69E-6	4.13E-7

로 하여 투수시험을 수행하였다. 폐기물 처분시설 또는 재활용 시설의 관리기준에서 차단층은 점토·점토 광물 혼합토 등으로 두께 45 cm 이상이고 투수계수가 1.0E-6 cm/sec 이하가 되도록 설치하거나, 점토·점토 광물 혼합토 등으로 두께 30 cm 이상이고 투수계수가 1.0E-6 cm/sec 이하가 되도록 설치한 후 그 위에 두께 1.5 mm 이상인 합성 고분자 차수막을 설치하도록 되어 있다. 본 연구에서의 투수실험 결과에 따르면 석회-시멘트-점성토 혼합토는 타설 후 28일 경과 후에 그 기준을 만족하였으며, 석회-시멘트-사질토 혼합토는 기준에 약간 미달하였으나 이는 투수시험 재료의 높이가 10 cm이었음을 고려할 때 기준에 부합 가능함을 예측할 수 있다. 다만 정확한 판단을 위해서는 투수시험 시 시료 두께를 45 cm로 하여 재시험 하는 것이 타당함으로 추후 재시험을 진행할 계획이다.

IV. 결 론

본 연구에서는 석회 및 시멘트 혼입율에 따른 석회-시멘트-혼합토의 압축강도, 동결융해, 건조 특성, 투수 특성 등의 분석을 통해 석회 시멘트 혼합토의 강도 및 내구 특성을 구명하고자 하였으며, 본 연구를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 석회-시멘트-사질토 혼합토는 석회 및 시멘트 혼합비율이 증가함에 따라 압축강도는 증가하는 경향을 나타냈으며, 석회-시멘트-사질토 혼합토에서는 석회 성분 보다는 시멘트 성분에 의한 강도 증가 영향을 더 많이 받는 것으로 판단된다.
2. 석회-점성토 혼합토는 석회 혼합율이 10%일 때 압축강도가 가장 크며 석회-시멘트-점성토 혼합토 보다 더 높은 압축강도를 나타내어 공학적으로 활용할 경우 강도적인 측면을 고려한다면 석회 및 시멘트를 동시에 혼합하기 보다는 석회 10% 혼합이 적절할 것으로 판단된다.
3. 석회-시멘트-사질토 혼합토의 동결융해 및 건조 습윤시험 결과 모두 3% 이하로 나타나 석회-시멘트-사질토 혼합토는 동결융해 및 건조 습윤 저항성을 확보할 수 있는 것으로 판단된다.
4. 석회-시멘트-점성토 혼합토는 타설 후 28일 경과 후에 「폐기물 처분시설 또는 재활용 시설의 관리기준」의 차단층으로 활용 가능한 투수계수를 나타내었으며, 석회-시멘트-사질토 혼합토는 투수계수가 그 기준에는 약간 미달하였으나, 이는 시료의 두께가 10 cm로 시험하였기 때문이므로 향후 그 기준에서

정한 45 cm 두께로서 투수시험을 수행한 후 재평가가 필요한 것으로 판단된다.

본 연구는 농림수산물부 생명산업기술개발사업 (과제번호 111112-1) 및 소방방재청 재난안전기술개발기반구축사업 (NEMA-기반-2011-4)에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

1. Cai, Y., B. Shi, C. Ng, and C. Tang, 2006. Effect of polypropylene fibre and lime admixture on engineering properties of clayey soil. *Engineering Geology* 87: 230-240.
2. Catton, M. D., 1940. Research on the physical relations of Soil & Soil Mechanics. *Highway Research Board Bulletin* 23: 831-855.
3. Catton, M. D., 1959. Farly soil-cement research and development. *J. of the Highway Div., ASCE* 1-15.
4. Cho, S. J., 1980. A study on the strength characteristics of lime-soil mixtures. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 22(3): 46-59 (in Korean).
5. Chun, B. S., S. S. Kim, and K. H. Koh, 1997. Soil improvement by quick lime mixing. *The KSCE Journal of Civil Engineering* 17(III-5): 589-596 (in Korean).
6. Consoli, N. C., P. Prietto, J. Carraro, and K. Heineck, 2001. Behavior of compacted soil-fly ash-carbide lime mixtures. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 127(9): 774-782.
7. Ghosh, A., and C. Subbarao, 2007. Strength characteristics of class F fly ash modified with lime and gypsum. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 133(7): 757-766.
8. Handy, R. L., 1958. Cementation of soil minerals with Portland cement or Alkilis. *Highway Research Board Bulletin* 198.
9. Jauberthie, R., F. Rendell, D. Rangeard, and L. Molez, 2010. Stabilsation of estuaine silt with lime and/or cement. *Applied Clay Science* 50: 395-400.
10. Jeon, M. K., 1975. Soil-lime stabilization. *The KSCE Journal of Civil Engineering* 23(3): 61-64 (in Korean).
11. Jeong, D. Y., and B. S. Lee, 1991. A study for influence of salt on stabilized marin clay with lime and cement. *Journal of the Korean Geotechnical Society* 7(4): 50-64 (in Korean).
12. Kamon, M., and S. Nontananandh, 1991. Combining industrial wastes with lime for soil stabilization. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 117(1): 1-17.
13. Kim, J. Y., 1976. The effect of grain size distribution of soils on unconfined compressive strength of soil cement and lime soil mixtures. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 24(4): 93-99 (in Korean).
14. Kim, S. W., Y. M. Kang, and S. S. Cho, 1972. Studies on the compressive strength in lime-soil mixtures. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 14(4): 2761-2769 (in Korean).
15. Ladd, C. C., Z. C. Moh, and T. W. Lambe, 1960. Recent soil-lime research at the MIT. *Highway Research Board Bulletin* 262: 64-85.
16. Mateos, M. and D. T. Davidson, 1962. Lime and flyash proportion in soil, lime and flyash mixtures, and some aspects of soil lime stabilization. *Highway Research Board Bulletin* 335: 40-64.
17. Min, T. K., K. M. Hwang, and G. H. Park, 2001. Soil stabilization with lime and chemical additives. *Journal of the Korean Geotechnical Society* 17(4): 145-151 (in Korean).
18. Min, T. K., K. M. Hwang, and M. H. Oh, 2003. Compressibility characteristics of the lime treated clay. *Journal of the Korean Geotechnical Society* 19(6): 23-29 (in Korean).
19. Pietsch, P. E. and D. T. Davidson, 1962. Effects of lime on plsticity and compressive strength of representative Iowa soils. *Highway Research Board Bulletin* 335: 11-30.
20. Wang, W. H., M. Mateos, and D. T. Davidson, 1962. Comparative effects of hydraulic, calcitic and dolomitic limes and cement in soil stabilization. *Highway Research Record* 29: 42-54.