

# 시간경과에 따른 점토 지반의 개량 특성

이 준 대

세명대학교 토목공학과

(2000. 12. 30. 접수 / 2001. 3. 6. 채택)

## Improvable Characteristics of Clay Layers with Time Lapse

Jun-Dae Lee

Department of Civil Engineering, Semyung University

(Received December 30, 2000 / Accepted March 6, 2001)

**Abstract :** Constructions on the soft clay layer of low strength and high compression bring out many problems. Recent studies show that strength of the soft clay layer could be substantially improved by mixing quicklime. For the purpose, a series of uniaxial compression tests were performed, using quicklime, in order to analyze strength characteristics.

The major test results are summarized following :

When water content is 90%, the strength is observed to precipitously increase between 3 ~ 14 days, then, the extent slowly increase in relative terms. When water content is 130%, the strength is observed to precipitously increase up to 28 days. When the strength of water content 90% is compared to that of water content 130%, the initial strength of the former is higher than that of the latter. The analyses show that the improvement of soft clay layers can be realized by the mixture of both quicklime and sand, and by the mixture of quicklime only.

**Key Words :** strength, soft clay layer, mixing quicklime, uniaxial compression tests, water content, improvement, mixture of both quicklime and sand

### 1. 서 론

최근의 지반개량공사의 특징은 깊은 연약층에 대해 단기간에 고강도의 개량을 요구하는 경우가 많아지고 있다. 특히 강도가 낮고 압축성이 큰 서해안 매립 간척, 도로공사 및 각종 구조물의 기초 등과 같은 연약지반의 문제가 대두되고 있다. 현재 시공되고 있는 연약지반처리공법<sup>1)</sup>으로는 배수공법, 다짐공법, 치환공법, 고결공법 등이 사용되고 있다.

최근 인구증가와 더불어 산업의 발달, 경제규모의 성장은 종합적인 국토의 개발을 요하게 되었고, 1960년대 초부터 서해안과 남해안의 간척사업이 활발히 진행되어 도로축조, 주택단지 및공단조성에 이용되어 농지활성을 꾸준히 함에도 불구하고 상대적으로 열악한 지역의 개발이 불가피하게 되었다.

이에 따라 각종 국토개발사업과정에서 연약지반처리문제<sup>2)</sup>가 대두되기 시작하였다.

따라서, 연약지반의 특성에 맞는 설계 시공이 요구되고, 기존의 연약지반처리공법은 설계시공 및 유지관리에 많은 문제점을 안고 있음에, 이들 문제점을 보완 내지 해결하기 위하여 보다 효율적이고 경제성 높은 연구가 절실히 요구<sup>3)</sup>되고 있다.

이 연구에서는 생석회를 사용하여 점토지반의 압축강도를 측정하고 실험 결과의 비교 분석을 통한 현장적용에 대한 타당성 및 효용성을 검토하여 생석회를 향후 연약 점토지반에 활용할 수 있도록 한다.

### II. 석회혼합공법

생석회공법은 지반내에 석회류를 주입하여 흡수작용에 의한 지반의 함수비 저하와 밀도의 증가로 인한 지반의 강도증가 및 침하의 감소를 도모하는 공법이며, 도로와 철도의 성토 및 석유탱크에서와

jdlee@venus.semyung.ac.kr

같이 지지력 강화와 침하감소 등 기초지반의 개량<sup>4)</sup>을 목적으로 하는 경우와 지하철, 하수도, 건축물 기초에서와 같이 지반의 히빙 방지와 굴착토의 재질 개량 등 굴착지반의 개량<sup>5)</sup>을 목적으로 하는 경우에 사용된다.

생석회를 주입한 경우 함수비의 저하는 생석회가 소석회로 변화할 때 발생하는 소화 흡수반응과 생성된 소석회가 주변의 흙에서 흡수하는 모세관 흡수에 의해 발생한다. 소화 흡수반응에 대하여 생석회는 주변 흙으로부터 물을 흡수하여 생석회 실체적의 약 2배에 달하는 소석회로 되며, 생성된 소석회는 건조상태로서 주변토와 평형상태에 도달하기 까지 모세관 흡수를 계속하여 습윤상태의 소석회로 된다. 생석회파일의 효과<sup>6,7)</sup>에는 소화흡수와 모세관 흡수 외에 발열반응에 의한 증발효과 및 소화할 때 석회의 팽창으로 인하여 파일이 점성토를 압축하는 압밀효과와 경화된 파일의 강도가 고려된다.

석회혼합토의 공학적 특성<sup>8)</sup>에 영향을 미치는 요인으로는 대상지반의 함수비, 혼합비, 양생온도, 양생기간, pH, 입도 등이 있으며 함수비가 증가할수록 강도는 감소하며, 혼합비가 증가하면 강도는 증가하나 혼합비의 증가가 크면 효과는 오히려 적을 수도 있으므로 적절한 혼합비를 선정할 필요가 있다. 또한 양생온도가 높은 경우에는 초기강도가 크고 온도가 낮은 경우에는 강도의 발현이 늦으나 어떠한 경우에서도 장기적으로 표준온도에 의한 강도와 일치하는 경향이 있다.

### III. 실험장치 및 방법

#### 3.1. 실험 방법

실내압축시험은 대상 지반의 개량효과에 영향을 미치는 요소인 생석회와 모래의 혼합량을 추정하여 개량지반의 강도를 예측하는 것에 그 목적을 두었으며, 일축압축강도시험은 변형을 제어방법으로 수행하였다.

양생기간에 따른 강도의 변화를 추정하기 위하여 생석회와 모래를 벤토나이트에 혼합·교반하였을 경우 4가지의 혼합비(20%, 30%, 40%, 50%)와 2가지의 함수비(90%, 130%)일 때 양생기간(3일, 7일, 14일, 28일)에 따른 점토 지반의 강도특성을 실내압축시험을 통하여 측정하고 개량된 지반의 강도를 비교 분석하였다.

Table 1. Chemical component properties of quicklime

Comp-onent	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
Perce-ntage	2.21	90.57	0.87	0.51	0.32	0.05	0.01

#### 3.2. 시료의 성질

이 연구에서 원지반으로 사용된 시료는 균질한 연약 점토지반에서 생석회와 모래의 혼합에 따른 강도 특성을 나타내기 위하여 벤토나이트로 재성형한 시료를 사용하였으며 벤토나이트와 생석회 및 모래의 중량비에 대한 물의 중량을 가하여 시료의 함수비를 조정하였다.

다짐은 표준 3층 다짐으로 몰드의 직경 5cm, 높이 12cm로 제작하였고 18℃±2℃의 온도로 습윤상태(80%±5%)에서 양생하였다.

실험에 사용된 생석회는 CaO 함유량, 반응열, 입자의 미세 정도가 우수한 단양산 생석회로 화학분석 실험은 Table 1과 같으며, 표준사는 강도증가 효과를 비교하기 위하여 사용되었다.

### IV. 분석 및 고찰

Fig 1(a)는 혼합물이 20%이며 함수비가 90%인 경우를 나타낸 것으로 생석회와 모래를 10%씩 혼합한 경우의 양생일에 따른 압축강도변화는 0.035~0.437 kg/m<sup>2</sup>의 범위를 나타내었으며, 원지반에 대한 강도의 증가는 5.4~9.9배이고 3일 강도에 비하여 7일은 4.3배, 14일은 8.6배, 28일은 12.5배 강도가 증가한 것으로 나타났다. 생석회의 혼합비 20%인 경우는 3일에 비하여 7일은 1.5배, 14일은 2.7배, 28일은 3.7배 강도가 증가한 것으로 나타났으며 원지반에 대한 강도의 증가는 8.2~21.4배, 모래의 혼합비 20%인 경우 1.1~1.2배 강도가 증가한 것으로 나타났다.

Fig 1(b)는 함수비가 130%인 경우를 나타낸 것으로 생석회와 모래를 10%씩 혼합한 경우 원지반에 대한 강도의 증가는 5.5~14.0배이며, 3일 강도에 비하여 7일은 1.8배, 14일은 3.8배, 28일은 6.5배 증가한 것으로 나타났다. 생석회의 혼합비가 20%인 경우 3일 강도에 비하여 7일은 1.6배, 14일은 3.3배, 28일은 5.6배 증가한 것으로 나타났으며 원지반에 대한 강도의 증가는 7.2~20.3배, 모래의 혼합비가 20%인 경우 1.1~1.3배 강도가 증가한 것으로 나타났다.

함수비가 90%에서는 생석회를 혼합하였을 경우

시간경과에 따른 점토 지반의 개량 특성

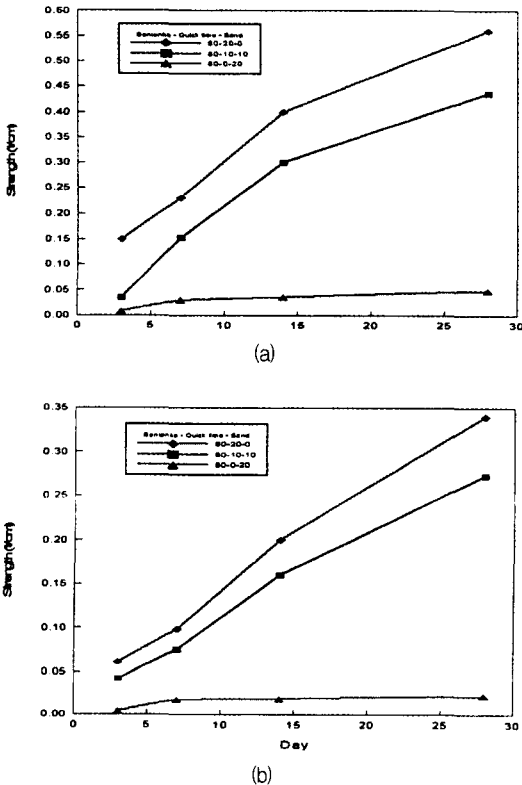


Fig. 1. The relationship between strength and curing period in mixing ratio=20%

14일까지는 급격하게 강도가 증가하다가 그 후에는 다소 완만해지는 경향을 보이고 있으며, 130%의 함수비에서는 28일까지 강도가 계속적으로 증가되고 있는데, 이것은 함수비가 증가하면 수분이 흡수되어 강도가 증가되는 시간이 함수비가 작은 경우보다 장기적이기 때문이다.

Fig 2(a)는 함수비가 90%이며 혼합률이 30%인 경우를 나타낸 것으로 생석회와 모래를 20%와 10% 혼합한 경우의 강도변화는 0.158~0.6kg/m<sup>2</sup>이며, 3일보다 7일은 1.6배, 14일은 2.8배, 28일은 3.8배 강도가 증가한 것으로 나타났다. 생석회와 모래를 10%와 20% 혼합한 경우의 강도는 0.078~0.48kg/m<sup>2</sup>이며, 3일 강도보다 7일은 2.1배, 14일은 4.1배, 28일은 6.2배로 생석회 20%와 모래 10%를 혼합한 경우보다 양생일에 따른 강도증가 소요시간이 길게 나타났다. 생석회 혼합비 30%인 경우 3일에 비하여 7일은 1.3배, 14일은 2.2배, 28일은 3.1배 강도가 증가한 것으로 나타났으며 원지반 보다 양생일에 따라 10.4~32.9배의 강도 증가가 나타났으며, 모래의 혼합비

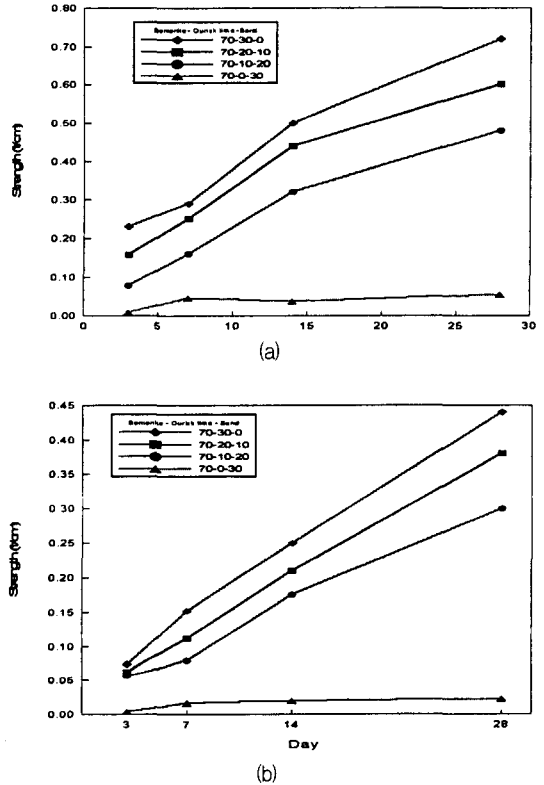


Fig. 2. The relationship between strength and curing period in mixing ratio=30%

30%의 경우에는 약1.2배의 강도 증가가 나타났다.

Fig 2(b)는 함수비가 130%인 경우를 나타낸 것으로 생석회와 모래를 20%와 10% 혼합한 경우의 강도변화는 0.064~0.38 kg/m<sup>2</sup>이며, 3일보다 7일은 1.8배, 14일은 3.3배, 28일은 5.9배 강도가 증가한 것으로 나타났다. 생석회와 모래를 10%와 20% 혼합한 경우의 강도변화는 0.057~0.3kg/m<sup>2</sup>로 3일에 비하여 7일은 1.4배, 14일은 3.1배, 28일은 5.3배의 강도변화를 나타냈다. 생석회의 혼합비가 30%인 경우 3일에 비하여 7일은 2.0배, 14일은 3.3배, 28일은 5.9배 강도가 증가한 것으로 나타났으며 원지반에 대한 강도 증가는 11.2~25.0배, 모래의 혼합비가 30%인 경우 1.2~1.4배로 나타났다.

생석회를 혼합하였을 경우 시간 경과에 따른 강도의 변화는 함수비가 작을수록 초기의 강도 증가가 크고 함수비가 클수록 강도 증가를 위한 시간이 긴 것으로 나타났으며, 모래만을 혼합하였을 경우 생석회를 혼합한 경우보다 강도 증가 변화가 적게 나타난 것은 생석회처럼 흡수·팽창 효과가 없이

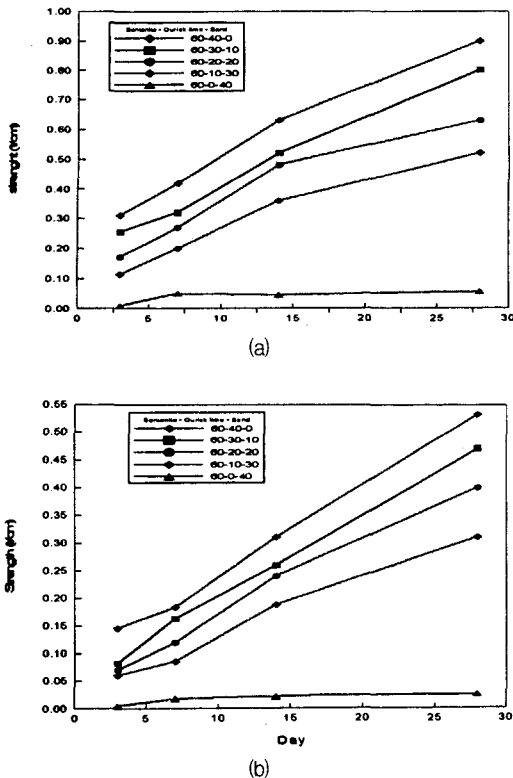


Fig. 3. The relationship between strength and curing period in mixing ratio=40%

배수기능만을 갖고있기 때문인 것으로 분석된다.

Fig 3(a)는 혼합율이 40%이며 함수비가 90%인 경우를 나타낸 것으로 생석회 30%와 모래 10%를 혼합한 경우 양생일에 따른 강도는 0.256~0.8kg/m<sup>2</sup>로 3일에 비하여 7일은 1.3배, 14일은 2.0배, 28일은 3.1배 강도가 증가한 것으로 나타났다. 모래와 생석회를 각각 20%씩 혼합한 경우의 강도는 0.171~0.63 kg/m<sup>2</sup>로 3일 강도보다 7일은 1.6배, 14일은 2.8배, 28일은 3.7배 증가한 것으로 나타났으며, 생석회 10%와 모래 30%를 혼합한 경우의 강도는 0.113~0.52 kg/m<sup>2</sup>로 3일에 비하여 7일은 1.8배, 14일은 3.2배, 28일은 4.6배 강도가 증가한 것으로 나타났다. 생석회 40%를 혼합한 경우 3일에 비하여 7일은 1.4배, 14일은 2.0배, 28일은 2.9배 강도가 증가한 것으로 나타났으며 원지반에 비하여 양생일에 따라 15.0~44.3 배, 모래 40%를 혼합한 경우에는 1.2~1.5배의 강도 증가를 나타내고 있다.

Fig 3(b)는 함수비가 130%인 경우를 나타낸 것으로 생석회 30%와 모래 10%를 혼합한 경우의 강도

는 0.082~0.47kg/m<sup>2</sup>로 3일에 비하여 7일은 2.0배, 14일은 3.2배, 28일은 5.7배의 강도 증가를 나타냈으며, 생석회와 모래를 20%씩 혼합한 경우의 강도는 0.07~0.4kg/m<sup>2</sup>로 3일보다 7일은 1.7배, 14일은 3.4배, 28일은 5.7배의 강도증가를 나타냈다.

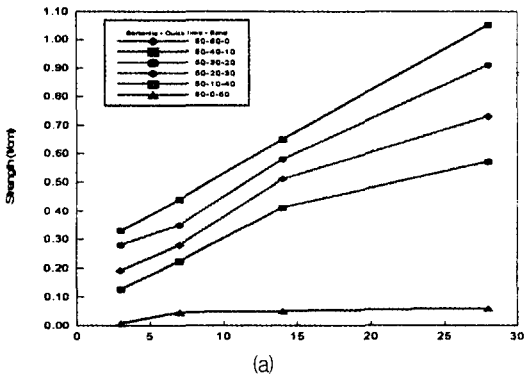
그리고 생석회 10%와 모래 30%를 혼합한 경우의 강도는 0.06~0.31kg/m<sup>2</sup>로 3일에 비하여 7일은 1.4배, 14일은 3.1배, 28일은 5.2배 강도가 증가한 것으로 나타났다. 생석회 40%를 혼합한 경우 3일 강도에 비하여 7일은 1.3배, 14일은 2.1배, 28일은 3.7배 강도가 증가한 것으로 나타났으며 원지반에 비하여 13.5~48.3배, 모래 40%를 혼합한 경우 1.3~1.5배 강도가 증가한 것으로 나타났다.

함수비가 증가할수록 원지반과의 강도를 비교할 때 생석회의 혼합에 따른 강도 증가 효과는 더욱 크게 나타났으며, 생석회만을 혼합한 경우와 생석회와 모래를 함께 혼합한 경우 모두 강도 증가 효과가 크게 나타나는 경향을 보이고 있다. 생석회를 혼합한 경우 함수비 90%의 3일 강도가 130%의 14일 강도와 비슷한 강도 변화를 보이고 있으며, 모래를 함께 혼합한 경우에 이러한 현상이 더욱 뚜렷이 나타나고 있는 것은 함수비의 증가에 따라 생석회의 반응시간이 장기간에 이루어지기 때문이다.

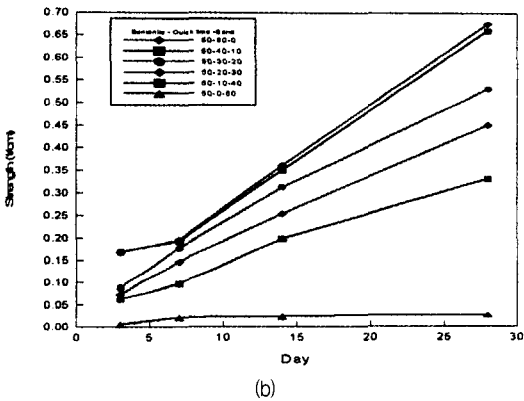
Fig. 4(a)는 함수비가 90%이며 혼합율이 50%인 경우를 나타낸 것으로 원지반에 중량비로 생석회 40%와 모래 10%를 혼합한 경우의 강도는 0.33~1.05 kg/m<sup>2</sup>이며 3일에 비하여 7일은 1.3배, 14일은 2.0배, 28일은 3.2배 강도가 증가한 것으로 나타났다. 생석회 30%와 모래 20%를 중량비에 따라 혼합한 경우 강도는 0.28~0.91kg/m<sup>2</sup>로 3일보다 7일은 1.3배, 14일은 2.1배, 28일은 3.3배 강도가 증가한 것으로 나타났으며, 생석회 20%와 모래 30%를 혼합한 경우의 강도는 0.192~0.73kg/m<sup>2</sup>로 3일에 비하여 7일은 1.5배, 14일은 2.7배, 28일은 3.8배의 강도 증가를 나타내었다. 생석회 10%와 모래 40%를 혼합한 경우의 강도는 0.125~0.57kg/m<sup>2</sup>로 3일에 비하여 7일은 1.8배, 14일은 3.3배, 28일은 4.6배 강도가 증가한 것으로 나타났다.

그리고 생석회 50%를 혼합한 경우 3일 강도에 비하여 7일은 1.3배, 14일은 1.9배, 28일은 3.2배 강도가 증가한 것으로 나타났으며 원지반에 비하여 16.1~48.6배, 모래 50% 혼합한 경우 1.3~1.6배 강도가 증가한 것으로 나타났다.

Fig 4(b)는 함수비가 130%인 경우를 나타낸 것으로



(a)



(b)

Fig. 4. The relationship between strength and curing period in mixing ratio=50%

로 중량비로 생석회 40%와 모래 10%를 혼합한 경우의 강도는  $0.168 \sim 0.66 \text{ kg/m}^2$ 이며 3일에 비하여 7일은 1.2배, 14일은 2.1배, 28일은 3.9배 강도가 증가한 것으로 나타났다. 생석회 30%와 모래 20%를 중량비에 따라 혼합한 경우 강도는  $0.088 \sim 0.53 \text{ kg/m}^2$ 이며 3일 보다 7일은 2.0배, 14일은 3.5배, 28일은 6.0배의 강도 증가를 나타냈다. 생석회 20%와 모래 30%를 혼합한 경우의 강도는  $0.074 \sim 0.45 \text{ kg/m}^2$ 로 3일에 비하여 7일은 2.0배, 14일은 3.4배, 28일은 6.1배의 강도 증가를 나타내었으며, 생석회 10%와 모래 40%를 혼합한 경우의 강도는  $0.062 \sim 0.33 \text{ kg/m}^2$ 로 3일 강도보다 7일은 1.6배, 14일은 3.2배, 28일은 5.3배 증가한 것으로 나타났다.

그리고 생석회 50%를 혼합한 경우에는 3일 강도에 비하여 7일은 1.2배, 14일은 2.2배, 28일은 4.0배 증가한 것으로 나타났으며 원지반에 비하여 14.4~55.7배, 모래 50%를 혼합한 경우에는 1.3~1.5배 강도가 증가한 것으로 나타났다.

원지반과의 강도를 비교할 때 생석회의 혼합에 따른 강도 증가 효과는 함수비가 증가할수록 더 크게 나타났으며, 생석회만을 혼합한 경우가 강도 증가 효과는 더 크게 나타났으나 생석회와 모래를 혼합한 경우의 효과보다 월등히 큰 차이는 없었으며 장기적인 강도 증가율도 모래와 혼합한 경우와 비슷하므로 모래와 혼합하여 사용하더라도 강도 증가 효과는 충분히 나타낼 수 있을 것이다.

## V. 결론

연약한 점토지반에 생석회와 모래를 혼합하였을 경우 지반에 미치는 강도 변화 특성을 연구하고 지반 개량제의 개량 특성과 활용방안을 얻기 위하여 실내 압축시험을 실시하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 함수비 90%에서 생석회를 혼합하였을 경우 생석회의 혼합비가 40%까지는 양생 후 14일까지 급격하게 강도가 증가하다가 그 이후에는 다소 완만해지는 경향을 보이고 있으며, 130%의 함수비에서는 생석회의 혼합비와 무관하게 28일까지 강도가 계속적으로 증가되고 있는데 이것은 함수비가 크면 수분이 흡수되어 강도가 증가되는 시간이 함수비가 작은 경우보다 장기적이기 때문이다.

2. 생석회를 혼합하였을 경우 시간 경과에 따른 강도의 변화는 함수비가 작을수록 초기강도 증가가 크고 함수비가 클수록 장기강도 증가가 큰 것으로 나타났으며, 모래만을 혼합하였을 경우 원지반에 비하여 1.1~1.6배로 생석회를 혼합한 경우보다 강도 증가 변화가 적게 나타난 것은 생석회처럼 흡수·팽창 효과가 없이 배수기능만을 갖고있기 때문인 것으로 판단된다.

3. 원지반과의 강도를 비교할 때 생석회만을 혼합한 경우가 강도증가 효과는 더 크게 나타났으나 생석회와 모래를 혼합한 경우의 효과보다 월등히 큰 차이는 없었으며, 장기적인 강도 증가율도 모래와 혼합한 경우와 비슷하므로 모래와 혼합하여 사용하더라도 강도 증가 효과는 충분히 나타낼 수 있을 것이다.

감사의 글 : 이 논문은 1999학년도 세명대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 천병식, “연약지반(V-2)”, 한국지반공학회지, Vol. 12, No. 3, 1996, p. 175.
- 2) 한국도로공사 도로연구소, “연약지반처리를 위한 심층혼합공법연구”, 한국도로공사, 1993.
- 3) 千田昌平, “軟弱地盤改良工法”, 鷹島出版社, 1992.
- 4) 홍원표, “표층고화처리된 초연약지반의 거동(I)”, 대한토목학회논문집, 제17권, 제III-4호, 1997, p. 431.
- 5) 이준대, 오세욱, “하중증가비에 따른 충주대 퇴적지반의 압밀 특성”, 한국산업안전학회지, Vol. 15, No. 4, pp. 123~126, 2000
- 6) Sven Hansbo, “Foundation Engineering”, Elsevier, 1994.
- 7) Mathew, P. K., and Narasimha Rao, S., “Effect of Lime on Cation Exchange Capacity of Marine Clay”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 1997, pp. 183~185.
- 8) 石田宏, “生石灰パイルによる軟弱地盤の改良”, 土の基礎, Vol. 28, No. 4, 1980, pp. 17~22.
- 9) 石田宏, “石灰パイルによる含水比の低下について”, 日本土質工學研究發表會, No. 321, 1977, pp. 37 ~42.