

생석회 주입 점토의 시간경과에 따른 압축강도 특성

Characteristics of Compressive Strength Corresponding to the Time Lapse of Quicklime Injected Clay

이준대[†] · 배우석¹⁾

Lee, Jundae · Bae, Wooseok

ABSTRACT : Improvement of soft clay layers is highly significant for the efficient utilization of the national land. Thus, the development of advanced methods and materials is currently necessary. Quicklime, as a injection material for the soil improvement, is possibly applied as the useful method for the improvement of soft clay layers. Based upon the experimental study, the following conclusions were obtained. When quicklime was employed, a substantial strength increase was observed from the initial stage of injection. In overall, the present experiments showed that the improvement effects of soft clay layers using the quicklime are appeared to be substantially better than those of lime or sand. Therefore, the possibility of quicklime usage is significantly high in domestic country with abundant lime reserves.

Keywords : Improvement, Quicklime, Injection material, Soft clay layers, Strength increase

요지 : 연약점토층의 개량은 국토의 효율적인 이용을 위하여 중요하며, 효과적인 공법과 재료의 개발을 위한 필요성은 증가되고 있다. 지반을 개량하기 위하여 주입되는 재료인 생석회는 연약한 점토층의 개량을 위한 유용한 방법으로 이용이 가능하다. 실험적 연구에 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 생석회를 사용했을 때 실질적인 강도의 증가를 주입 초기단계부터 얻을 수 있었다. 실험 결과 전반적으로 생석회에 의한 연약 점토지반의 개량 효과가 석회석이나 모래를 주입한 경우 보다 더 우수한 것으로 나타났으며, 석회석 매장량이 풍부한 우리나라에서는 활용 가능성이 매우 높다고 할 수 있다.

주요어 : 지반개량, 생석회, 주입재료, 연약점토층, 강도증가

1. 서론

우리 나라의 공업단지 조성을 위한 부지가 상당히 부족하나 이용 가능한 국토는 협소하여 연약지반의 개량은 국토의 효율적 이용이라는 측면에서 상당한 가치가 있으므로 이에 대한 새로운 공법 및 재료의 필요성이 점점증하는 추세에 있다(이용안 등, 2006; 천병식, 2001). 매립지반 조성을 위하여 실시하는 준설사업 시 연약 점토가 침강과 함께 압밀과정을 거쳐 소정의 지지력을 갖는 지반을 형성함에 있어서 지반의 깊이에 따른 정확한 침하량 분포의 추정 및 지지력 산정이 경제적인 설계를 위하여 요구되고 있는 바이다.

우리나라는 1960년대 초부터 서해안과 남해안의 간척사업이 활발히 진행되어 도로축조, 주택단지 및 공단조성에 이용되어 농지활성을 꾸준히 함에도 불구하고 상대적으로 열악한 지역의 개발이 불가피하게 되었다. 이에 따라 각종 국토개발사업과정에서 연약지반처리문제가 대두되기 시작

하였다.

따라서, 연약지반의 특성에 맞는 설계 시공이 요구되고(藤田圭一, 1995), 기존의 연약지반처리공법은 설계시공 및 유지관리에 많은 문제점을 안고 있음에, 이들 문제점을 보완 내지 해결하기 위하여 보다 효율적이고 경제성 높은 연구가 절실히 요구되고 있다. 퇴적 점토지반의 침하량 산정에 관련된 문제 중에서 적정한 지지력 측정을 결정하는 것은 중요하며, 이와 같은 현장에서의 연약 점토지반에 대한 지지력 증대 효과를 실험실에서 재현시키기 위하여 지반 개량재로 많이 활용하고 있는 생석회를 주입재료 사용하면 탈수 및 팽창으로 인한 지지력 증대를 촉진시킬 수 있으므로 침하량이 비교적 큰 연약 점토지반의 개량촉진을 위한 방법으로 유용하게 사용될 수 있을 것이다(Rao 등, 1993; Thompson 등, 1966).

이 연구에서는 이와 같이 생석회를 사용하여 실내실험 및 압축강도를 측정 후, 실험 결과의 비교 분석을 통하여 현장적용에 대한 타당성 및 효율성을 검토하고 생석회

† 정희원, 세명대학교 토목공학과 부교수(E-mail : jdlee@semyung.ac.kr)

1) 정희원, 청주대학교 토목환경공학과 전임강사

를 향후 내륙 점토지만뿐만 아니라 해안의 점토층에 까지 활용할 수 있도록 한다.

2. 작용 원리

석회화 이용되고 있는 주된 공법으로는 표층혼합처리공법, 생석회 파일공법(권무남 등, 2006; 石田宏, 1980), 심층혼합 처리공법 등이 있으며 심층혼합 처리공법을 연약지반 개량에 이용하는 경우 파일상, 벽상, 격자상, 블록상 혹은 그들의 조합이 이용되는데 파일상의 시공 예가 가장 많으며 개량 토양으로서의 벽상, 블록상이 많다. 생석회공법은 지반내에 석회류를 주입하여 흡수작용에 의한 지반의 함수비 저하와 밀도의 증가로 인한 지반의 강도증가 및 침하의 감소를 도모하는 공법이며, 도로와 철도의 성토 및 석유탱크에서와 같이 지지력 강화와 침하감소 등 기초지반의 개량을 목적으로 하는 경우와 지하철, 하수도, 건축물 기초에서와 같이 지반의 히빙 방지와 굴착토의 재질 개량 등 굴착지반의 개량을 목적으로 하는 경우에 사용된다(日本材料學會, 1982; 下田正雄, 1983).

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 소석회로 되며, 생성된 소석회는 건조상태로서 주변토와 평형상태에 도달하기까지 모세관 흡수를 계속하여 습윤상태의 소석회로 된다(Law 등, 1993). 생석회파일의 효과에는 소화흡수와 모세관 흡수 외에 발열반응에 의한 증발효과 및 소화할 때 석회의 팽창으로 인하여 파일이 점성토를 압축하는 압밀효과와 경화된 파일의 강도효과가 있다(천병식 등, 2001; Holyman 등, 1983).

석회혼합토의 공학적 특성에 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.

3. 실험 방법

압축강도 실험을 위하여 100cm×60cm×25cm의 직사각

형 모형토조를 플라스틱으로 제작하고, 생석회와 모래 및 석회석을 각각 직경 1.0cm와 2.5cm의 케이싱을 넣어서 구멍을 뚫고 그림 1과 같이 20cm 마다 정사각형 간격으로 배열하여 주입하는 방법으로 지반을 조성하였다. 압축강도 실험용 시료채취를 위한 몰드로 직경 55mm, 높이 150mm의 플라스틱 관을 세로축으로 1/2 절단하여 사용하였으며, 채취한 시료는 손상되지 않도록 분리하여 시료의 손상에 서 오는 강도의 변화를 최소화하였다. 사용한 몰드는 깨끗이 세척하여 건조시킨 후 보관하고, 재사용 시에는 몰드에 충분한 양의 윤활재를 도포 하여 시료분리를 원활하게 하였다.

양생기의 아래 부분에 모래를 깔고 각각의 모형토조를 충분한 간격으로 배열하였으며, 윗부분은 젖은 수건으로 덮고 수분 건조를 방지하였다. 또한, 온습계를 설치하여 온도와 습도를 일정하게 유지하도록 하며 동일하게 양생하였다. 그리고, 모형토조에서 각각 3일, 7일, 14일, 28일이 경과된 시료를 교란되지 않도록 채취하고 직경 50mm와 높이 110mm가 되도록 동일하게 공시체를 제작한 후 압축강도를 측정하였다.

기초지반으로 사용된 시료는 충북 단양군 단성면에 위치한 남한강 충주댐 상류지역의 퇴적점토이며, 대상 토질의 공학적 특성을 알기 위하여 함수비, 액성한계, 소성한계, 토립자의 비중 등 물리적 실험을 실시하였으며, 시료로 사용된 점토의 물리적 성질은 표 1과 같다.

실험에 사용된 생석회는 CaO 함유량, 반응열, 입자의 미세 정도가 우수한 단양생석회이며, 생석회의 특성을 파악하기 위하여 비중 및 수화반응열 측정 등 물리적 실험과 화학분석 실험을 실시하였다. 단양생석회를 측정된 결과 비중은 3.18이며 200번체 통과율이 97%로써 미세하고 입도가 균등한 것으로 나타났으며, 생석회 150g과 20℃의 물 600g을 사용하여 측정된 생석회의 시간에 따른 수화반응열 실험은 표 2와 같고, 표 3은 생석회의 화학적 성질을

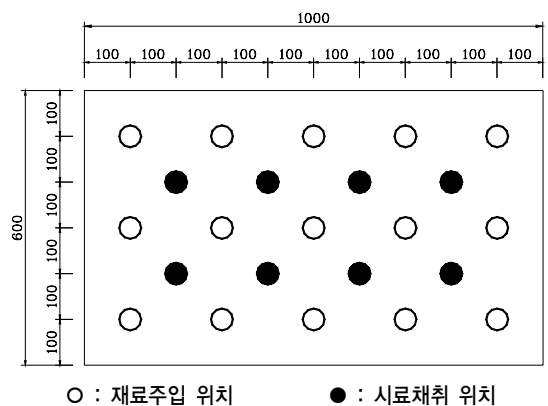


그림 1. 모형토조에서의 시료채취 개요도

표 1. 점토의 물리적 성질

w_n (%)	LL(%)	PL(%)	Π (%)	G_s
54.5	39.7	27.6	12.1	2.61

표 2. 시간에 따른 생석회의 수화반응열

시간(분)	1	5	10	15	20	30	60	120
온도(°)	28.0	49.5	53.6	57.8	65.3	64.1	53.4	48.7

표 3. 생석회의 화학적 성질

성분	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O
비율(%)	2.21	90.57	0.87	0.51	0.32	0.05	0.01

나타내었다. 또한, 배수에 대한 강도증가 효과를 측정하기 위하여 사용된 모래는 주문진 표준사이며, 석회석은 생석회와 같은 지역의 단양석회석을 분말로 하여 사용하였다.

4. 실험결과 및 분석

그림 2 및 그림 3에서와 같이 3일이 경과했을 때의 강도

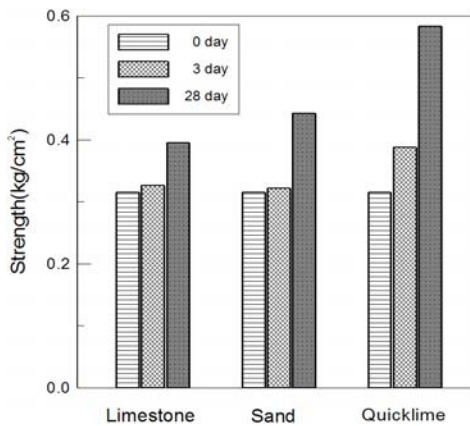


그림 2. 양생기간 3일에서 파일 직경이 1.0cm인 경우 주입재료에 대한 압축강도

는 파일 직경이 1.0cm인 경우 0.388kg/cm², 직경이 2.5cm인 경우 0.532kg/cm²로써 생석회가 가장 크고 석회석과 모래의 순서로 강도가 증가되었으나 원지반과 비교하면 증가의 정도는 크지 않았다.

양생기간이 28일 경과했을 때의 강도와 비교하면 석회석과 모래의 28일 강도는 3일 경과 강도와는 달리 모래와 석회석의 순서로 강도가 증가되었으며, 파일 직경이 1.0cm인 경우의 생석회는 3일 강도보다 28일 강도가 약 1.5배정도 증가되었고 모래는 1.4배, 석회석은 1.2배의 강도 증가가 있는 것으로 나타났다. 또한, 파일 직경이 2.5cm인 경우의 생석회는 3일 강도보다 28일 강도가 약 2.3배정도 큰 폭으로 증가되었으나 모래는 1.5배, 석회석은 1.2배의 강도 증가로 증가폭이 상대적으로 생석회보다 작게 나타났다.

양생기간이 7일 경과했을 때의 강도를 그림 4와 그림 5에서 나타내었으며, 파일 직경이 1.0cm인 경우와 2.5cm인 경우 모두 생석회의 강도가 상당히 높았고 모래와 석회석의 순서로 강도가 증가되었으나 차이는 크지 않았다.

파일 직경이 1.0cm인 경우의 생석회는 7일 강도보다 28일 강도가 약 1.32배정도 증가되었으며 모래와 석회석은 모

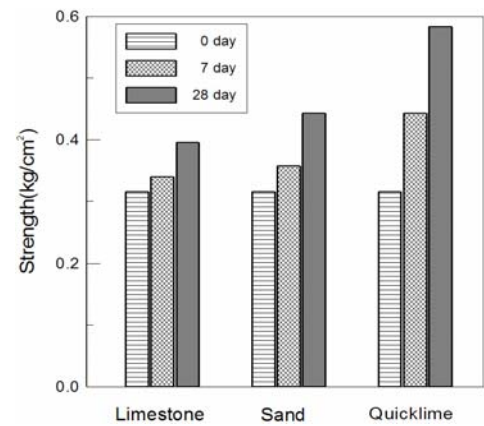


그림 4. 양생기간 7일에서 파일 직경이 1.0cm인 경우 주입재료에 대한 압축강도

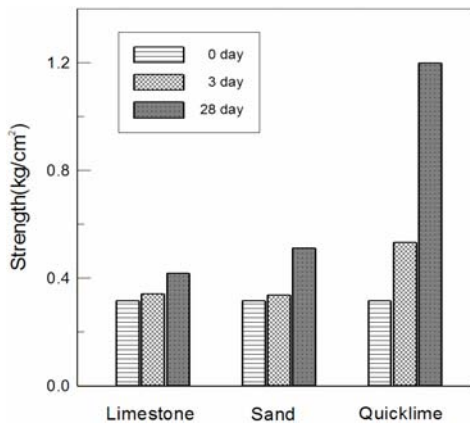


그림 3. 양생기간 3일에서 파일 직경이 2.5cm인 경우 주입재료에 대한 압축강도

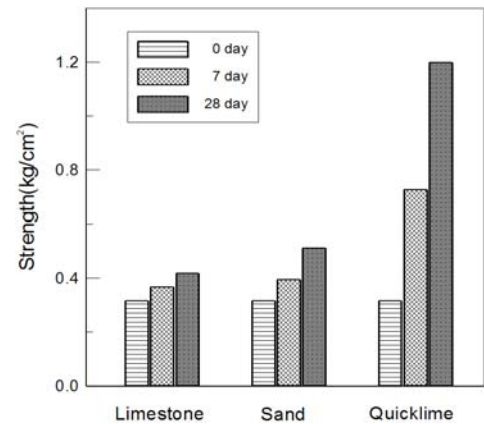


그림 5. 양생기간 7일에서 파일 직경이 2.5cm인 경우 주입재료에 대한 압축강도

두 1.2배의 강도 증가를 보이고 있다. 그리고, 직경이 2.5cm인 경우의 생석회는 7일 강도보다 28일 강도가 약 1.7배정도 증가되었으며 모래는 1.3배, 석회석은 1.1배의 강도 증가가 있는 것으로 나타났다.

그림 6 및 그림 7에서와 같이 14일이 경과했을 때의 강도에서도 역시 파일 직경이 1.0cm인 경우와 2.5cm인 경우 모두 생석회의 강도가 매우 높았으며 파일 직경이 1.0cm

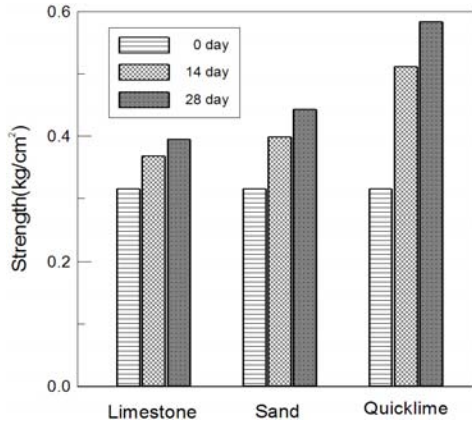


그림 6. 양생기간 14일에서 파일 직경이 1.0cm인 경우 주입재료에 대한 압축강도

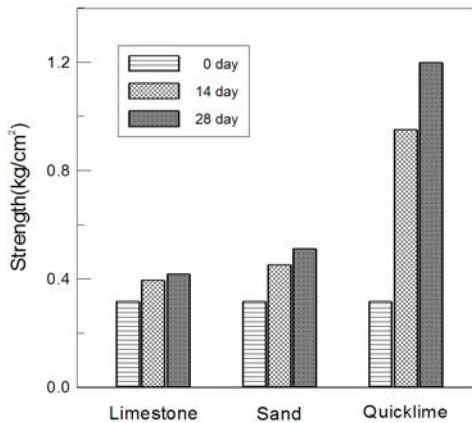


그림 7. 양생기간 14일에서 파일 직경이 2.5cm인 경우 주입재료에 대한 압축강도

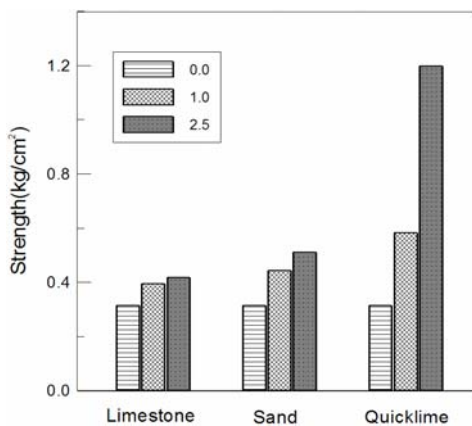


그림 8. 양생기간 28일에서 파일 직경별 주입재료에 대한 압축강도

인 경우에 생석회 14일 강도보다 28일 강도가 약 1.2배정도 증가되었고 모래와 석회석은 모두 1.1배의 강도 증가가 있었다.

또한, 파일 직경이 2.5cm인 경우 생석회의 14일 강도보다 28일 강도가 약 1.3배정도 증가되었으나 모래와 석회석은 모두 1.1배의 강도 증가가 있는 것으로 나타났으며, 특히 직경이 2.5cm인 경우에 모래와 석회석의 14일 강도는 28일 강도와 거의 일치하는 경향을 보이고 있다.

그림 8은 양생기간 28일 경과 후의 강도를 파일 직경별로 나타낸 것으로 생석회를 주입한 경우 개량하지 않은 원지반보다 파일 직경 1.0cm에서 2배정도 증가하였으며, 2.5cm에서는 4배정도 증가하여 파일 직경이 클수록 강도증가 효과의 차이가 크지만 석회석과 모래를 주입한 경우에는 파일 직경에 따른 강도 증가의 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

5. 결 론

생석회의 개량특성과 활용방안을 찾기 위하여 점토지반에 파일 직경을 1.0cm와 2.5cm의 두 종류로 하여 생석회와 모래 및 석회석을 주입하였으며, 생석회 주입 후 3일, 7일, 14일, 28일이 경과한 점토의 압축시험을 실시하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 주입재료에 따른 강도의 변화는 생석회를 주입한 경우가 석회석과 모래를 주입한 경우 보다 강도증가 효과가 우수하였으며, 생석회 주입 면적이 큰 파일 직경 2.5cm에서의 강도가 1.0cm에서의 강도보다 2배 이상 크게 나타났다.
- (2) 양생기간 28일 경과 후의 강도는 생석회를 주입한 경우 개량하지 않은 원지반보다 파일 직경 1.0cm에서 2배정도 증가하였으며 2.5cm에서는 4배정도 증가하였으나, 석회석과 모래를 주입한 경우에는 파일 직경에 따른 강도 증가의 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.
- (3) 생석회를 주입한 연약지반의 개량효과는 석회석이나 모래를 주입한 경우보다 확실한 개량효과가 있으며 매장량이 풍부한 우리나라에서는 활용 가능성이 매우 높다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 권무남, 구정민(2006), 생석회 파일을 이용한 얇은 사면 파괴의 안정화에 대한 기초 연구, *한국지반환경공학회 논문집*, 제

- 7권, 제5호, pp. 49~55.
2. 이용안, 이홍주, 김유성(2002), 지반개량재로서 제지회의 활용에 관한 연구, *한국지반환경공학회 논문집*, 제3권, 제2호, pp. 23~33.
 3. 천병식(2001), 고화재 혼합치리를 이용한 연약지반개량효과, *한국지반환경공학회 논문집*, 제2권, 제2호, pp. 59~64.
 4. 천병식, 고갑수(2001), 생석회 말뚝에 의한 연약지반의 개량효과, *한국지반환경공학회 논문집*, 제2권, 제1호, pp. 91~101.
 5. 藤田圭一(1995), 實用軟弱地盤對策總覽, 圖書出版 日本東和技術, pp. 690~700.
 6. 石田宏(1980), 生石灰パイルによる軟弱地盤の改良, *土の基礎*, Vol. 28, No. 4, pp. 17~22.
 7. 日本材料學會(1982), 石灰安定處理工法, *地盤改良工法便覽*, pp. 169~185.
 8. 下田正雄(1983), 石灰安定處理工法, 日本鹿島出版會, pp. 12~38.
 9. Holyman, A. and Mitchell, J. K.(1983), Assessment of Quicklime Pile Behavior, *Improvement of Ground*, Vol. 2, pp. 897~902.
 10. Law, K. T. and Chen, P. A.(1993), Pore Pressure Change in Soft Soils Improved by Lime Fly Ash Piles, *11th Southeast Asian Geotechnical Conference*, Singapore, May, pp. 363~367.
 11. Rao, S. N. and Prasad, C. V.(1993), Lime Column Method of Stabilization in a Marine Clay, *11th Southeast Asian Geotechnical Conference*, Singapore, May, pp. 397~402.
 12. Thompson, M. R.(1966), Lime Reactivity of Illinois Soils, *Proc. ASCE*, Vol. 92, SM-5.

(접수일: 2007. 3. 16 심사일: 2007. 3. 16 심사완료일: 2007. 5. 3)