

생석회 말뚝을 이용한 연약점토지반의 개량효과

Improvement Effects of Soft Clay Soils Using Quick Lime Piles

김 영 훈¹⁾ · 천 병 식[†]

Kim, Younghun · Chun, Byungsik

ABSTRACT : This study is to evaluate an application of technology to the soft ground stability using quick lime pile in the field. We investigated properties of Korean quick lime by conducting loading test and theoretical consideration about a principle and property of soft ground improvement by quicklime. According to the test results, it was estimated that quick lime pile method has dehydration effect by absorption of quick lime, consolidation effect by swelling of pile, increasing bearing by strength of pile itself and decreasing sinking effect, etc. A material property of quick lime is favorable for construction and considerable strength. In the case of higher strength is required, using cement as additive would increase material strength.

Keywords : Quick lime, Quick lime pile, Loading test, Soft ground improvement

요 지 : 본 연구에서는 생석회 말뚝에 의한 연약지반 안정처리공법으로써의 현장 적용성을 평가하기 위하여 한국산 생석회에 대한 공학적 특성 규명은 물론 지중에서의 생석회에 의한 지반개량 원리 및 주변지반의 개량특성에 대한 이론적 고찰과 함께 실내모형시험을 수행하여 이를 바탕으로 실제 현장에서의 적용성과 활용성을 평가하고자 하였다. 실험결과 생석회 말뚝 공법은 생석회의 소화·흡수에 의한 탈수효과, 말뚝의 팽창에 의한 압밀효과 및 말뚝 자체의 강도에 의한 지지력 증가, 침하감소 효과 등의 개량효과를 얻을 수 있는 것으로 평가되었다. 생석회는 재료 특성이 매우 양호하여 그 자체로써 상당한 강도를 가지고 있으나 보다 큰 강도가 요구될 시에는 시멘트 등을 첨가하면 효과가 있을 것으로 판단된다.

주요어 : 생석회, 생석회 말뚝, 실내재하시험, 연약지반개량공법

1. 서 론

우리나라는 자연적 여건으로써 삼면이 바다로 둘러싸여 있고 3,200여 개에 달하는 도서와 간석지를 포함하여 국토 면적의 2배에 달하는 약 50만km²(남한 34.5만km²)의 대륙붕(이중 약 80%가 서해안에 분포) 및 국토의 65.7%가 산지로 이루어진 지형적인 특성을 갖고 있다. 지정학적으로는 아시아 대륙의 동북단에 위치함으로써 동북아 교류의 요충지이자 환태평양 진출의 거점으로써 국제사회의 중요한 위치에 놓여 있어 국토개발이 연안개발에 치중될 수 밖에 없다. 최근 영종도 인천국제공항 건설사업, 인천·평택 LNG기지 조성사업, 남해고속도로 건설사업, 가덕도 신항만개발사업 등 서·남해안 개발사업은 이와 맥을 같이 하고 있으며, 앞으로도 이러한 해안지역의 대규모 국토개발사업의 필요성은 계속 증대될 것이다. 따라서 연약지반 처리 공사에 있어 기존의 연약지반 개량제보다 개량효과가 우수하고 경제적인 재료를 개발하면 안전한 국민생활과 국가경제에 크게 이바지 할 수 있다. 이러한 관점에서, 국내에 생석회 매장량

이 풍부하므로 이를 이용한 연약지반 안정처리가 선진 외국에서와 같이 활성화 될 수 있다면 막대한 매장량과 대량생산에 따른 경제성 확보뿐만 아니라 국내자원의 활용 면에서도 매우 바람직하다고 할 수 있다.

토목공사에 생석회를 이용한 지반안정처리공법을 적용한 예는 미국에서 1920년대에 여러 주에서 토사 도로의 손상을 방지할 목적으로 소석회를 사용하였으나 표면처리 미숙으로 자동차 통행에 따른 표면바리현상 등의 문제점이 나타났다. 그러나 1950년대에 이르러서는 공군기지 활주로, 고속도로 등의 노반개량에 생석회 처리공법이 적용되면서 급속하게 보급되기 시작하였다(日本石灰協會, 1970). 일본에서는 1950년대 점성토를 생석회로 처리하여 지반을 안정화시키는 공법이 개발되어 생석회 처리공법의 전기가 되었으며, 이후 시공장비의 개선을 통하여 연약지반 처리공법으로 많이 이용되고 있다(日本石灰協會, 1970). 생석회에 의한 지반개량원리 연구는 Holyman과 Mitchell(1983)이 생석회의 소화, 흡수, 발열, 압축 및 팽창을 고려하여 생석회 말뚝 주변지반의 거동분석을 위한 간극수압 예측이론을 발표하였

1) 정회원, 한양대학교 대학원 건설환경공학과 박사과정

† 정회원, 한양대학교 공과대학 건설환경공학과 교수(E-mail : hengdang@unitel.co.kr)

다. Chen과 Law(1993)는 Holyman과 Mitchell의 이론상의 문제점을 보완하여 새로운 모델식을 제안하였고 Broms와 Boman(1977)은 새로운 형태의 수직 배수재로 생석회 말뚝의 적용가능성을 제안하였다. 그러나 우리나라의 경우, 한국산 생석회를 이용한 지반개량공법에 관한 본격적인 연구가 미흡한 실정으로써, 근래 들어 생석회 말뚝의 실내모형 시험 및 현장시험시공(천병식 등, 2000)등 생석회 말뚝의 국내 적용에 대한 연구가 이루어지고 있다. 한국산 생석회는 외국산 생석회와 비교하여 품질이 매우 우수한 것으로 알려져 있고 연간 생석회 생산량은 약 95,000톤(2005년)이며 대부분 공업용으로 이용되어 왔다. 그러나 지반개량재로서의 활용가능성 또한 매우 크다는 것이 보고되고 있다(천병식 등, 1998). 특히 심층혼합처리공법으로써 생석회 말뚝을 이용할 경우, 일반적인 연직배수공법의 최소 안정처리기간이 샌드드레인의 경우 90~150일, 페이퍼드레인의 경우 20~30일 정도 소요되는 것과 비교할 때 매우 짧은 5~7일 만에 개량이 완료될 수 있어 공사기간을 단축할 수 있는 장점을 갖고 있으며, 배수효과의 증진을 위한 재하가 필요하지 않는 등 경제적인 공법이 될 수 있다. 따라서 생석회 말뚝 공법은 연약한 층적지반의 개량공사에 유용하게 이용될 수 있으며 도로와 철도지반의 침하량 감소 및 지지력 증가, 영구 구조물 하부 기초지반의 지반개량, 댐 심벽의 안정처리(日本石灰協會, 1988) 등에 매우 유용한 공법으로 적용될 수 있으므로 도로, 공항, 철도, 항만, 하천, 하수도 등 국내 대규모 토목공사에 널리 적용될 수 있을 것이다.

본 연구는 한국산 생석회의 공학적 특성과 이에 의한 지반개량효과를 검토하고, 주로 생석회 말뚝 타설에 의한 연약지반 개량공법의 현장 적용성을 평가하는 데에 그 목적이 있다. 생석회 말뚝에 의한 연약지반 안정처리공법으로써의 현장 적용성을 평가하기 위하여 한국산 생석회에 대한 공학적 특성 규명은 물론 지중에서의 생석회에 의한 지반개량 원리 및 주변지반의 개량특성에 대한 이론적 고찰과 함께 실내모형시험을 수행하여 이를 바탕으로 실제 현장에서의 적용성과 활용성을 평가하고자 하였다.

2. 이론적 배경

2.1 생석회 말뚝의 지반개량원리

생석회를 이용한 지반개량은 주로 연약점성토 지반에서 압밀축진에 의한 전단강도 및 지지력 증대를 목적으로 적용하는 공법으로써 흙 중의 점토광물과 생석회의 화학적 반응 원리를 이용한 것이다. 점성토는 카올리나이트, 일라이트, 몬모릴로나이트 등 점토광물의 전기 화학적 힘에 의해 형성

되기 때문에 표면이 활성적이고 친수성이 강하여 역학적 강도가 부족하고 연약한 특징이 있어 이를 개량하기 위해서는 점토광물과 생석회의 화학반응을 이용한 지반개량공법이 매우 효과적이다. 생석회를 이용한 지반개량은 흙속의 물과 생석회가 화학반응을 하여 흙의 구조를 변화시키는 특성을 이용하는 것으로서 흙에 생석회를 첨가하면 흙속의 물과 생석회가 화학반응을 일으켜 흙의 공학적 성질이 개선되는 원리를 이용한 것이다.

연약지반의 개량정도는 흙의 입도 및 함유 점토광물의 종류에 따라서 차이가 크다. 일반적인 경향으로써 흙이 단립화를 일으켜 흙의 구조가 변화하고 소성한계가 크게 증가하여 소성시수가 감소되며 흙의 강도를 크게 증가시키는 등 흙의 공학적 성질이 개선된다(Lisette, 1986; 石田, 1978). 이와 같이 생석회에 의해 흙이 개량되는 화학반응의 원리는 현재에도 명확하게 규명되지 않은 부분이 많으며 이에 대한 많은 연구가 필요하다. 일반적으로 점토립자는 표면에 (-)전하를 띠고 있으며 수분이 없는 경우 흙 속의 양이온 성분들(K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+})과 전기적인 균형을 이룬 상태로 존재한다. 그러나 흙 속에 수분이 가해지게 되면 물분자와의 전기적인 작용에 의해 위의 양이온 성분들은 점토립자와 결속력이 떨어지게 된다. 여기에 생석회(CaO)를 가하게 되면 생석회가 수분을 흡수함은 물론 위의 이온 성분들 중 결속력이 상대적으로 약한 K^+ , Na^+ 이온과 생석회가 물과 반응하여 생긴 Ca^{2+} 이온 사이에 이온교환을 일으키게 되며 이렇게 점토립자에 흡착된 Ca^{2+} 이온은 점토립자를 응집화시키는 작용을 하게 된다. 또한, 생석회는 흙속의 점토광물과 콜로이드를 형성하고 있는 실리카(SiO_2)와 알루미늄(Al_2O_3)가 화학적으로 결합하여 규산석회수화물($CaO-Al_2O_3-H_2O$ 계)과 알루미늄산석회수화물($CaO-Al_2O_3-H_2O$ 계)을 형성하여 강도를 증가시키게 되는데 이를 포졸란 반응이라 한다. 생석회에 의한 지반의 강도 및 내구성 증진은 장기적으로 진행되는 포졸란 반응에 의한 것이며 포졸란 반응은 생석회에 의한 지반개량의 장기강도 증진에 크게 영향을 미친다(Lisette, 1986; 日本石灰協會, 1988).

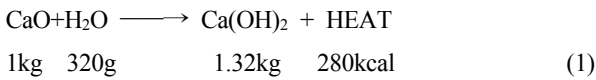
생석회의 이온교환반응과 응집작용 및 화학작용 외에 탄산화작용은 흙 중에 포함된 탄산 또는 탄산가스에 의해 탄산화함으로써 탄산석회($CaCO_3$)를 생성하며 탄산석회를 생성하는 과정 중에도 고결작용은 계속된다. 탄산화작용은 생석회와 점토간의 유효한 고결작용의 하나이지만 포졸란반응 이외에는 중요시 되지 않고 있다. 그러나 탄산석회는 포졸란반응에 의해 생기는 알루미늄산칼슘의 일부와 결합해서 안정된 결정광물을 생성한다. 생석회를 이용한 지반개량은 생석회의 수화에 의한 발열작용과 팽창작용을 이용한 것으로서 흙 속에 생석회를 첨가하면 생석회량의 약 32% 정도

의 물을 결정수로 흡수하는 수화반응이 일어나게 되어 흡속의 함수비는 크게 저하된다. 또한, 위와 같은 수화반응이 일어나면 생석회의 비중은 대략 3.40에서 2.24로 크게 변화하면서 체적이 약 1.5배 증가한다. 이와 같은 수화반응에 따른 생석회의 체적 팽창은 주변의 흙을 압축하게 된다. 생석회에 의한 지반개량 원리는 수화반응, 이온교환, 포졸란반응, 탄산화반응 등의 주요반응에 의해 발현되며, 그 원리를 항목별로 요약하면 다음과 같다.

2.2 생석회의 주요반응원리

2.2.1 수화반응

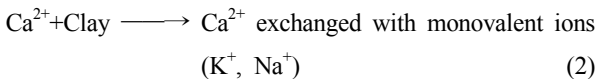
생석회(CaO)는 흡속의 간극수와 수화반응을 일으켜 소석회로 되면서 흙 속의 물을 흡수하고 높은 열을 발생하며 함수비가 감소된다.



식 (1)에 나타난 바와 같이 생석회의 수화반응에 의해 1kg의 생석회가 수화하여 소석회로 변화할 때 약 320g의 수분이 소요되며 이에 따라 흡속의 함수비는 크게 감소한다. 또한 이 반응으로 약 280kcal의 열이 발생하여 함수비 저하를 가져오고 체적은 약 1.5~1.7배 증가하게 된다. 이러한 작용에 의해 흙 속의 물이 강제 탈수되고 생석회의 체적증가에 따른 주변지반의 압축으로 지반이 개량되는 것이다.

2.2.2 이온교환

점토광물표면에 녹아있는 나트륨이온(Na⁺)과 다른 양이온들이 생석회 말뚝의 칼슘이온(Ca²⁺)과 교환되는 현상을 이온교환이라고 한다. 이온교환은 점토광물의 구조적인 성분에 영향을 미친다. 물과 반응한 생석회는 소석회 즉, Ca(OH)₂로 되고 점토광물의 전기적인 힘을 바꾸는 Ca²⁺와 (OH)⁻로 분해된다. 이러한 흙의 구조적인 변화는 흙 입자 간에 결집을 일으키고 점성토의 소성을 감소시켜 강도가 증가하게 된다.

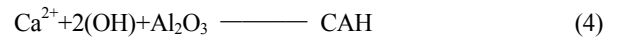
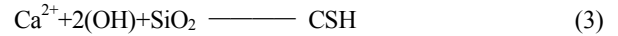


일반적으로 이온교환 과정은 점토표면의 결합력이 약한 이온을 금속성이온이 대체하며(Na⁺ < K⁺ < Ca²⁺ < Mg²⁺) 점토광물 중 몬토릴로나이트는 가장 높은 이온교환능력을 갖고 카올리나이트는 가장 낮은 이온교환 능력을 갖고 있다.

2.2.3 포졸란반응

생석회 말뚝 주변지반의 전단강도는 포졸란반응에 의해

시간경과에 따라 점진적으로 증가한다. 지반 중의 점토광물이나 콜로이드를 형성하고 있는 실리카(SiO₂), 알루미나(Al₂O₃)는 생석회와 화학적으로 결합하여 규산석회수화물(CSH계), 알루미늄산석회수화물(CAH계) 등을 형성한다. 이러한 반응을 포졸란반응이라 하며 반응과정은 장기간에 걸쳐 이루어지고 반응생성물은 결합재로 되어 흙의 강도를 증대시키는 작용을 하게 된다.



식 (3), 식 (4)에서 생석회의 결속효과는 시멘트보다 장기간 반응하게 되는데 이러한 반응은 생석회 혼합 후 1~5년이 지난 후에도 끝나지 않고 지속된다.

2.2.4 탄산화반응

석회의 일부는 흡속에 포함된 탄산 또는 탄산가스에 의해 식 (5)와 같이 탄산칼슘(CaCO₃)을 생성하며, 탄산칼슘은 점토입자를 치밀화하고 강도를 증가시키며 수밀화시키는 작용을 한다.



수화반응부터 탄산화반응에 이르는 생석회 말뚝의 반응원리를 도해로 나타내면 그림 1과 같다.

2.3 국산 생석회의 공학적 특성

2.3.1 국산 생석회의 비중

일반적으로 외국에서 사용되는 생석회의 비중은 약 3.3

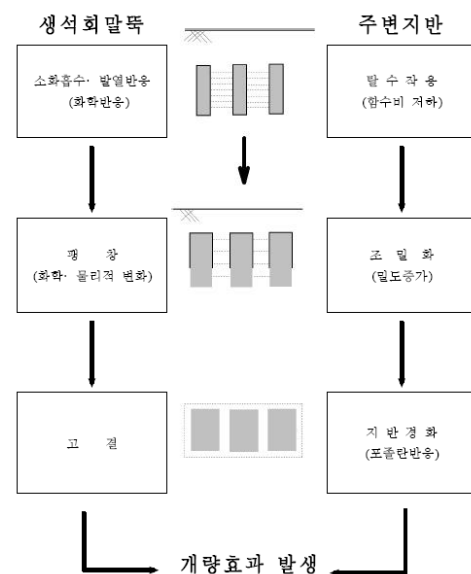


그림 1. 생석회 말뚝의 개량원리

표 1. 산지별 국산 생석회의 비중(천병식 등, 1998)

산지	비중
논산	3.04
단양	3.06
국외	3.01~3.37

정도이며 소석회의 비중은 2.2정도이다. 반면, 본 연구에서 측정된 국산 생석회의 평균비중은 논산산이 3.04, 단양산이 3.06이어서 외국산에 비해 다소 낮음을 알 수 있다. 본 연구에서는 비중시험시 생석회의 수화반응 특성상, 시멘트의 비중시험방법을 사용하였다. 표 1은 국산 생석회와 외국산 생석회의 비중을 비교·정리한 것이다.

2.3.2 국산 생석회의 입도분석

표 2에는 생석회 혼합처리시 효과적인 대상토의 입도범위를 나타내었다. 또한, 국산 생석회의 입도분석 결과는 표 2, 표 3과 같다. 표 3에서 보는 바와 같이 국산 생석회의 #200체 통과백분율은 94.3%이며 입도분포 또한 미세하므로 혼합처리시 반응성이 우수할 것으로 판단된다.

2.3.3 국산 생석회의 화학조성 성분

생석회의 화학조성시험은 생석회의 풍화도 및 생석회의 품질을 판별할 수 있는 기준을 제시하여 준다. 다음 표 4는 국산 생석회의 화학조성시험을 수행한 결과이다.

국산 생석회의 화학조성 시험결과 단양산 생석회와 논산산 생석회는 CaO의 함유율에 있어서 각각 93.2%, 92.3%로 일본의 공업용 생석회의 분류기준에 의하면 1호~특호에

표 2. 생석회 혼합처리시 효과적인 흙의 입도범위(천병식 등, 1998)

입경(mm)	통과량(%)
30이상	90~100
10	65~100
5	55~95
0.4	30~60
0.074이하	20~30

표 3. 국산 생석회의 입도분포(천병식 등, 1998)

입도분포	체번호(No.)		4	10	20	40	60	140	200	Pan
	잔유량(%)	논산산	0	0	4.6	13.7	13.6	19.9	11.1	37.1
		단양산	0	0	0	0	0	0	5.7	94.3

표 4. 산지별 국산 생석회 화학조성시험(천병식 등, 1998)

화학조성	산지	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Ig-Loss	SUM
	논산산	1.2	0.6	0.4	92.3	1.2	0.1	0.02	4.2	100
	단양산	1.8	0.5	0.3	93.2	1.8	0.01	0.04	2.30	100

해당하는 양질의 생석회로 판단된다.

3. 실내모형실험

3.1 모형실험의 개요 및 방법

실내모형시험에서 실험방법은 모형토조에 지반형성 전 생석회 말뚝 시공을 위한 Casing($\phi 100\text{mm}$ pvc관)을 미리 위치시켜둔 상태에서 연약점토를 재성형 재압밀하여 모형기초 지반을 형성하게 된다. 압밀과정을 거친 후 베인시험을 통해 목표로 하는 전단강도의 지반이 조성될 경우 실험을 실시하였다. 그림 2와 같이 선 시공된 Casing에 생석회를 투입함과 동시에 다짐봉으로 다지면서 Casing 인발을 반복하여 생석회



그림 2. 생석회 말뚝 시공 광경



그림 3. LVDT 거치 광경

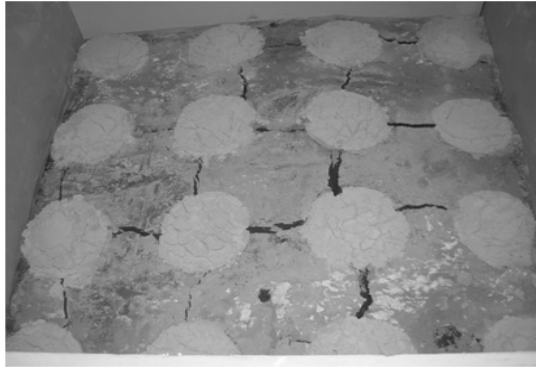


그림 4. 탈수 및 고결반응이 완료된 모형지반 상태



그림 5. 재하시험 실시후 광경

말뚝을 시공한다. 시공이 완료된 생석회 말뚝상단에 그림 3과 같이 LVDT 거치대를 고정시킨다. 다음은 그림 5와 같이 재하판을 설치한 후 실험을 실시한다. 실험 중 응력-변형곡선 및 지반변위량을 계측 프로그램을 이용하여 실시간으로 계측하여 극한지지력과 생석회 말뚝 중심으로부터 거리에 따른 수직변형량을 측정하여 지반의 거동을 정량적으로 파악한다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1 원지반 재하실험 결과

그림 6은 보강되지 않은 원지반을 모사한 모형지반에 대한 재하시험결과이다. 뚜렷한 극한하중을 찾기 어려우므로 P(하중)-S(침하)곡선법을 이용하여 항복하중을 약 76kPa로 산정하였고 안전율 2로 나누어 원지반의 허용지지력을 38kPa로 산정하였다.

본 연구에서 모사하고자 하는 지반은 N값이 1이하인 초연약지반이며 허용지지력(q_a)는 식 (6)과 같이 N값으로 표현될 수 있다.

$$q_a = 30N'_{55} (kPa) \quad (6)$$

따라서 N값이 1인 경우의 연약한 지반의 허용지지력은



그림 6. 원지반에 대한 재하시험 완료 상태

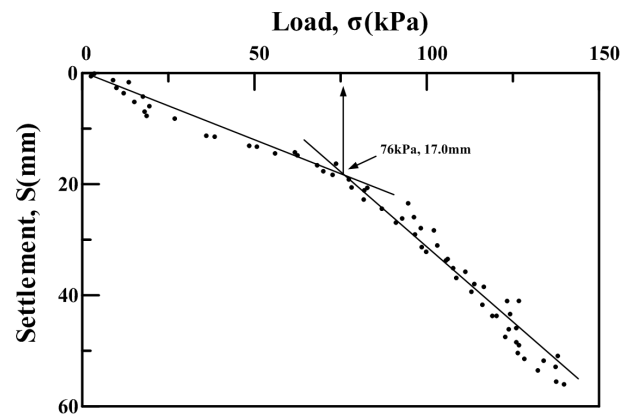


그림 7. 원지반에 대한 재하시험결과

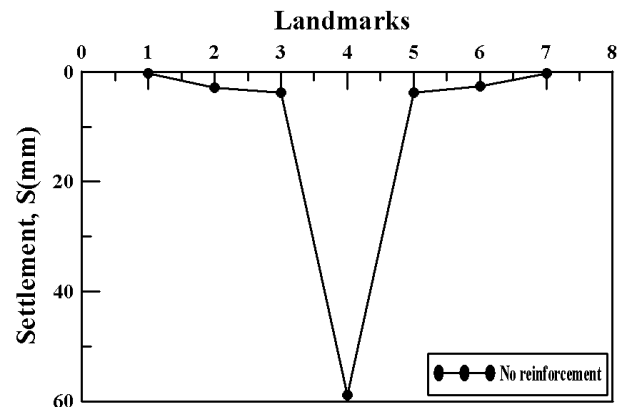


그림 8. 원지반 재하시험시 침하형상

약 30kPa이라고 추정할 수 있다. 이러한 결과를 본 연구에서 산정한 모형지반의 지지력과 비교해 볼 때 본 연구에서 산정한 연약지반의 지지력이 합리적이라고 볼 수 있다.

그림 8은 원지반 재하시험시 최종 침하형상이며 이때 재하된 하중을 응력으로 표시하면 약 151kPa이다. 침하형상은 느슨한 지반에서 발생하는 파괴형태인 관입전단파괴와 유사하다. 이 결과는 점토로 구성된 모형지반의 전단강도가 약 20kPa로 낮아 이러한 침하형상을 보인다고 판단된다.

4.2 생석회 말뚝 재하시험결과

그림 9는 생석회 말뚝의 수직응력-변위의 결과이다. 치환율 20%, 30%, 40%로 증가함에 따라 하중이 증가할수록 파괴가 일어나지 않고 변위-하중이 계속 증가하는 양상을 보이고 있어 전침하량에 의한 분석을 실시하였다. 전침하량에 의한 분석에서는 말뚝 직경의 10%에 해당하는 침하가 일어나는 하중을 극한하중 또는 파괴하중이라고 하고 있다. 생석회 말뚝에서는 전침하량에 대한 분석결과 표 5와 같이 극한하중이 치환율별로 780, 1002, 1323kPa로 분석되었고, 치환율이 증가함에 따라 각각 128, 170% 증가하였다.

생석회 말뚝으로 보강된 지반의 지지력 증대 효과를 평가

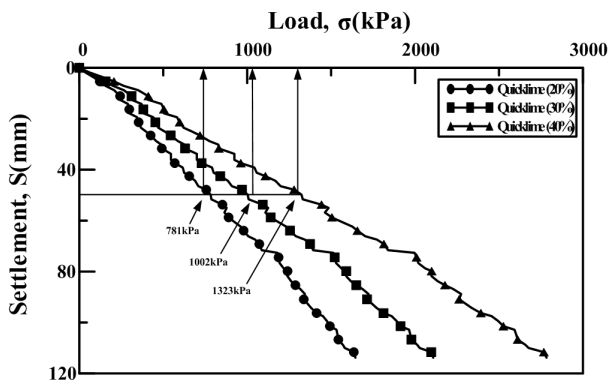


그림 9. 수직응력-변위결과

표 5. 치환율에 따른 극한하중 및 증가량

a_s (치환율)	극한하중(kPa)	증가량(%)
20	780	-
30	1002	128
40	1323	170

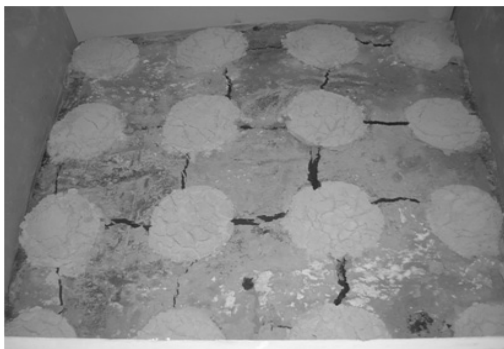


그림 10. 탈수 및 고결반응이 완료된 모형지반



그림 11. 재하시험 실시

하기 위해서는 보강 전 원지반의 허용지지력(q_0)과 보강 후 허용지지력(q_r)의 비로 평가할 수 있는데 생석회 말뚝의 치환율별 허용지지력은 20%, 30%, 40%에 대해 390kPa, 501kPa, 662kPa로 산정되어 진다. 원지반의 허용지지력은 38kPa로 허용지지력의 비를 산정하면 생석회 말뚝의 치환율 20%, 30%, 40%에 대해 각각 10.26, 13.18, 17.42이며 치환율이 증가할수록 허용지지력비(BCR)가 증가하는 경향을 나타내었다.

생석회로 보강된 지반의 침하량 저감 효과는 보강 전 원지반의 침하량(S_0)과 보강 후 침하량(S_r)의 비(SR)로 평가할 수 있다. 원지반 재하시험에서 하중 150kPa일 때 침하량이 최대 58.86mm를 나타냈고 생석회 치환율 20%일 때 동일 하중에서 최대 침하는 18.1mm로 나타나 SR=0.31로 산정할 수 있다. 같은 방법으로 치환율 30%, 40%에서 SR은 각각 0.18, 0.13으로 나타났다. 치환율에 따른 침하량은 표 6과 같다.

각 치환율별 침하양상은 그림 12와 같이 하중이 재하된 위치에서 측정된 1번의 침하량이 18.1, 11.0, 8.2mm로 가장 크게 나타났고 1~3번, 5~7번에서의 침하량은 약 10mm 내외로 전체 침하량의 약 10%로 나타났고, 원지반의 침하 그래프와 비교해 보면 전체 침하형상은 유사하게 나타났다.

각 생석회 말뚝 치환율별로 침하형상을 분석하여보면 치환율 0%(원지반)의 경우와 비교하여 치환율이 증가할수록 재하판 주변지반의 거동이 커짐을 알 수 있다. 생석회 말뚝 치환율이 커질수록 재하판 주변지반의 거동이 커지는 것은 개량지반의 강성이 증가한 것으로 보여진다. 재하판폭(1.0B)의 두배인 2.0B지점에서의 침하량은 미미하여 이격거리 2.0B 이상의 지반에서는 침하에 대한 영향이 거의 없음을 알 수

표 6. 치환율에 따른 침하양상

a_s (치환율)	4번 채널	3번 채널	2번 채널	1번 채널	5번 채널	6번 채널	7번 채널	SR
20	0.5	1.56	4.21	18.1	12.5	8.87	1	0.31
30	0.14	0.77	2.07	11.0	7.88	4.07	0.52	0.18
40	0.05	0.31	1.7	8.2	6.55	3.21	0.32	0.13

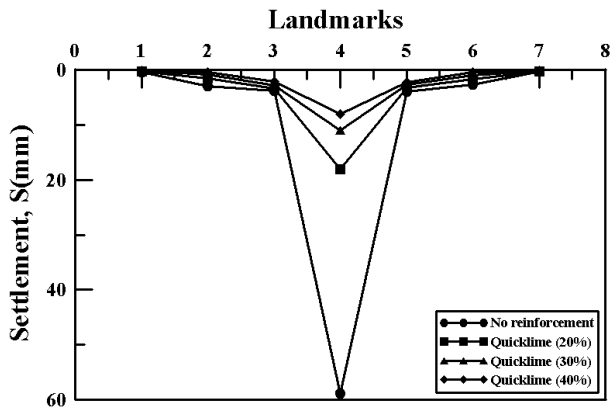


그림 12. 원지반과 생석회 말뚝 설치시 침하형상 비교

있었다. 그림 12에서 재하판을 중심으로 2D거리에 위치한 Ch 4, 7번은 변위가 미미하여 1~2mm 내외의 변위를 나타내었다.

생석회 말뚝에 의한 지반개량은 여타 공법과 비교시 짧은 시일에 개량효과를 얻을 수 있으며, 생석회 말뚝의 중심에 근접할수록 지반강도의 증대는 크게 나타났다.

실험 완료 후에는 생석회의 탈수 팽창이 완료된 모형지반의 모습을 관찰할 수 있다. 이 결과에 나타난 바와 같이 지반에 작용하는 생석회 말뚝에 의한 팽창압은 계속 증가하여 수렴하는 현상을 보이고 있고 이는 생석회 자체가 간극수와 수화·발열작용을 일으켜 팽창하다가 시간이 경과함에 따라 생석회가 소석회로 모두 변화하여 더 이상의 팽창이 발생되지 못하기 때문이라고 판단된다. 생석회 말뚝은 팽창작용에 의한 주변지반의 압밀특성 개선으로 SCP같은 일반적인 연직배수공법에 비해 안정처리기간이 크게 단축됨을 알 수 있다.

치환율이 증가할수록 허용지지력비가 증가하여 초연약 지반 개량효과가 증대함을 알 수 있으나, 공법의 경제성을 고려하여 적정한 소요강도를 목표로 하는 치환율을 선정하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 생석회 말뚝에 의한 연약지반 안정처리공법으로써의 현장 적용성을 평가하기 위하여 한국산 생석회에 대한 공학적 특성 규명은 물론 지중에서의 생석회에 의한 지반개량 원리 및 주변지반의 개량특성에 대한 이론적 고찰과 함께 실내모형시험을 수행하여 이를 바탕으로 실제 현장에서의 적용성과 활용성을 평가하고자 하였으며 그 결과를 요약·정리하면 다음과 같다.

- (1) 생석회 말뚝의 치환율별 허용지지력은 20%, 30%, 40%에 대해 390kPa, 501kPa, 662kPa로 산정되었고 원지반의 허용지지력은 38kPa로 허용지지력의 비를 산정하면 생석회 말뚝의 치환율 20%, 30%, 40%에 대해 각각 10.26, 13.18, 17.42로 산정되어 치환율이 증가할수록 허용지지력비(BCR)가 증가하는 경향을 나타내었다.
- (2) 생석회는 재료 특성이 매우 양호하여 그 자체로서 상당한 강도를 가지고 있으나 보다 큰 강도가 요구될 시에는 시멘트 등을 첨가하면 효과가 있을 것으로 판단된다.
- (3) 생석회를 지반개량재로 활용하기 위해서는 지반개량재 생산을 목적으로 한 생산시스템을 구축하고, 품질관리를 철저히 할 경우 연약지반 안정처리공법의 재료로서의 활용이 가능할 것으로 사료된다.
- (4) 생석회에 의한 지반개량공법을 실용화하기 위해서는 수화반응시 발생한 열에 대한 주의 및 분진문제를 해결하고, 효율적인 생석회 말뚝 시공을 위한 장비 개선 등에 대한 연구가 병행되어야 한다.

참 고 문 헌

1. 천병식, 고갑수(1998), 남해 울촌 해성점토의 생석회 파일에 의한 개량효과, *대한토목학회 논문집*, Vol. 18, No. 4, pp. 521~530.
2. 천병식, 고갑수(2000), 생석회파일에 의한 안산지역 연약지반 개량효과에 관한 실험적 연구, *대한토목학회 논문집*, Vol. 20, No. 1-C, pp. 67~77.
3. 日本石灰協會土質安定處理工法委員會(1970), *石灰による土質安定處理工法*, 山海堂, pp. 1~39.
4. 日本石灰協會石灰安定處理委員會應用分科會(1988), *石灰安定處理工法應用事例集*, pp. 1~28.
5. 石田宏(1978), 生石灰パイルによる軟弱地盤の改良効果, *日本土質工學研究發表會*, pp. 54~62.
6. Broms, B. and Boman, P.(1977), Lime Columns-A New Type of Vertical Drains, *Proceeding 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Japan, Vol. 14, pp. 427~432.
7. Chen, P. A. and Law, K. T.(1993), Pore Pressure Change in Soft Soils Improved by Lime-Fly Ash Piles, *11th Southeast Asian Geotechnical Conference*, Singapore, pp. 145~165.
8. Holyman, A. and Mitchell, J. K.(1983), Assessment of Quicklime Pile Behavior, Improvement of Ground, *Proceedings of the 8th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Finland, Vol. 2, pp. 897~902.
9. Lisette Chou(1986), Lime Stabilization, *Transportation Research Board*, pp. 3~32.

(접수일: 2010. 1. 22 심사일: 2010. 2. 25 심사완료일: 2010. 4. 15)