

## 생석회파일 현장시험시공 통한 연약지반 개량효과에 관한 연구

### A Study on the Improvement Effects of Soft Ground through In-Situ Construction of Quick Lime Pile

천병식<sup>1)</sup>, Byung-Sik Chun, 고갑수<sup>2)</sup>, Kab-Soo Ko, 이용환<sup>3)</sup>, Yong-Han Lee

<sup>1)</sup> 한양대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Hanyang University

<sup>2)</sup> 감사원 과장, Director, Board of Audit and Inspection Republic of Korea

<sup>3)</sup> 한양대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Hanyang University

**SYNOPSIS** : Most land development projects and large scale civil works require a great amount of sand. And sand is also the most favorable material for soft ground improvement. The demand for sand is soaring rapidly due to increased number of projects regardless of its limited supply.

Therefore, it is not difficult to predict that sand may become depleted and no longer be available as ground improvement material in the near future. Against this backdrop, developing an inexpensive sand-substitution material with an efficient accessibility will be necessary and urgently called for. So quick lime could be recommended as the substitutional material for sand. Quick lime is now preferred by forward developed nations. If Korea is able to take advantage of its abundant supply, economical efficiency could be achieved through massive production as well as being able to take advantage of utilization of natural resources.

In this respect the purpose of this paper was to estimate improvement effect of soft ground though in-situ construction of quick lime pile. In-situ construction was performed in road construction site of soft clay and in this study quick lime from Dan-yang that was estimated prominently in aspect of engineering characteristics was used.

Quick lime piles were installed by 1.5m, 2.0m, 3.0m spacing to confirm improvement effect according to spacing and installed piles are 0.4m in diameter, up to 5m in length and the density of quick piles installed is 1.4 t/m<sup>3</sup>. Vibrating wire pore water pressure cell was installed to confirm consolidation characteristics in surrounding of quick lime piles and both laboratory test and field test were carried out to confirm strength increase. In conclusion, soft ground improvement by quick lime piles was confirmed.

**Key words** : quick lime pile, in-situ construction, soft ground improvement, laboratory test, field test

## 1. 서 론

기존의 연약지반 개량재로 사용되어온 모래는 대규모 건설공사의 건설재료로 막대한 양이 사용되고 있어 현재에도 연약지반 안정처리의 주 개량재료로 이용하기에는 공급이 부족한 실정에 있다. 더우기

향후 자원의 고갈로 인해 모래를 연약지반 개량재로 활용하는 것은 어려움이 매우 클 것으로 예측된다. (삼성중공업(주) 건설기술 연구소, 1996) 그러므로 국토개발 및 사회간접자본시설의 확충에 있어 불가피하게 소요되는 연약지반 안정처리용 대체재료의 개발은 절실하다 하겠다.

따라서 원료 매장량이 풍부한 한국산 생석회를 이용한 연약지반 안정처리가 선진외국에서와 같이 활성화 될 수 있다면 막대한 매장량과 대량 생산에 따른 경제성 확보 뿐만 아니라 국내 자원의 활용면에서도 매우 바람직할 것으로 판단된다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 현장시험시공을 실시하여 생석회 파일에 의한 연약지반의 개량효과에 대해 알아보았다.

## 2. 생석회파일의 지반개량 원리

생석회파일 공법은 주로 연약점성토 지반에서 압밀축진에 의한 전단강도 및 지지력 증대를 목적으로 적용하는 공법으로서 생석회파일의 지반개량 원리는 흙중의 점토광물과 생석회의 수화반응, 이온교환, 포졸란반응, 탄산화반응 등에 의한 것이다.

특히 주된 개량원리인 수화반응에 따른 발열작용과 팽창작용으로 흙 속에 생석회를 타설하면 생석회량의 약 32% 정도의 물을 결정수로 흡수하여 흙속의 함수비는 크게 저하된다. 이와 같은 수화반응이 일어나면 생석회의 비중은 대략 3.40에서 2.24로 크게 변화하면서 체적이 약 1.5배로 팽창하여 지반을 압밀시킨다.(Lisette, 1986)

## 3. 단양산 생석회의 공학적 특성

### 3.1 단양산 생석회의 입도분석

단양산 생석회에 대하여 입도분석시험을 수행한 결과는 다음과 같다.

표 1. #200 통과 단양산 생석회의 입도분포

체크기 ( $\mu\text{m}$ )	192	128	96	64	48	32	24	16	12	8	6	4	3	2	1.5	1
잔류량 (%)	0	0.9	5.4	17	19.5	36.7	54.7	63.8	78.7	85.4	89.9	92.1	94.8	95.1	97.2	97.5

### 3.2 단양산 생석회의 화학조성 및 수화발열 측정시험

생석회의 화학조성시험으로 생석회의 풍화정도 및 생석회의 품질을 판별할 수 있다. 표 2는 본 연구에서 사용한 단양산 생석회의 화학조성시험을 수행한 결과이다.

표 2. 단양산 생석회의 화학조성시험 결과

구 분	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Ig-Loss	SUM
함유율 (%)	2.0	0.6	0.4	92.2	1.8	0.02	0.06	2.33	100

표 2의 단양산 생석회의 화학조성 시험결과에 의하면 단양산 생석회는 CaO 함유율이 92.2%로서 일본의 공업용생석회의 분류기준에 의하면 1호에 속하는 양질의 생석회로 분류되었다. 또한 표 3에서와 같이 수화발열 측정 시험에서도 단양산 생석회는 매우 뛰어난 반응성을 보이는 것을 알 수 있다.(천병식, 1999 ; 石田宏, 1977)

표 3. 단양산 생석회의 수화발열 측정시험 결과

구분	1분	2분	4분	5분	6분	8분	10분	15분	20분	25분	30분	35분	45분	55분	65분
온도(℃)	37.2	40.6	47.6	50.6	52.9	56.0	57.8	61.1	63.1	64.6	65.6	66.2	66.8	66.6	--

## 4. 현장시험시공

### 4.1 시험시공 대상부지의 지반공학적 특성

시험시공 대상현장은 안산의 연약점성토 지역으로서 아파트건설부지이며 시험시공 대상지반의 지반공학적 특성을 나타내면 표 4와 같다.

표 4. 대상지반의 물리·역학적 특성

자연함수비 (%)	통일분류	비중	액성한계 (%)	소성한계 (%)	소성지수	C <sub>c</sub>	P <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
46.36	MH	2.67	51.14	29.86	21.27	0.673	0.27

### 4.2 시험시공방법

생석회파일의 시험시공은 생석회파일의 거리에 따른 개량효과를 파악하기 위하여  $\phi 400\text{mm}$ 의 생석회파일 간격을 다르게 하였다. 시험시공 방법은 개량심도는 5m, 생석회 타설 밀도는 1.4t/m<sup>3</sup>으로 케이싱 압입방식을 선택하였다. 또한 생석회파일은 삼각형으로 배치하였으며 자세한 현장시험 배치도는 그림 1과 같다.(천병식 등, 1998 ; 천병식 등, 1999)

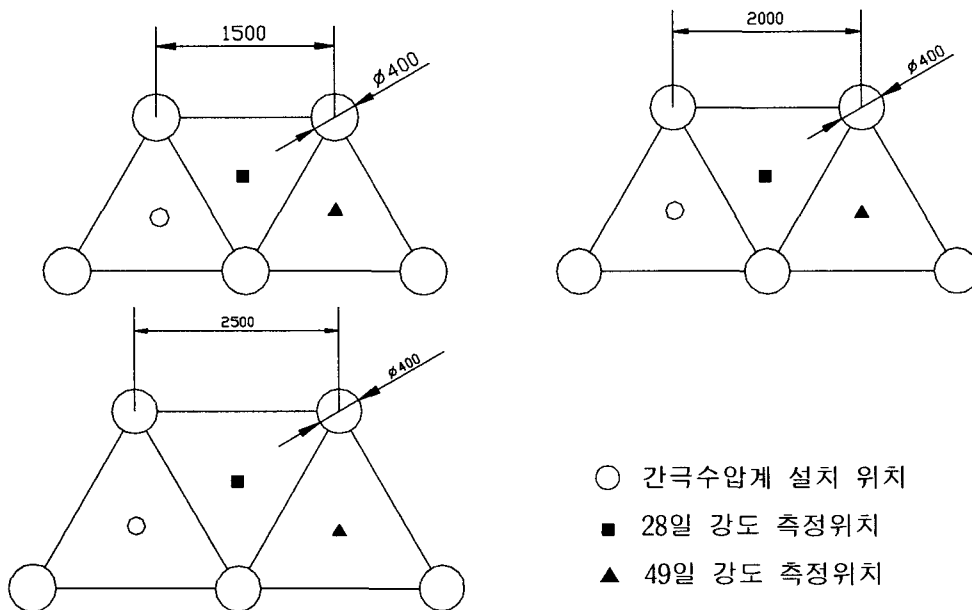


그림 1. 생석회파일 현장시험 배치도

## 5. 개량효과 평가들 위한 시험

### 5.1 시험 개요

생석회파일 주변지반에서의 압밀특성을 파악하기 위하여 생석회파일 주변지반에 진동현식 간극수압계를 설치하고 시간경과에 따른 간극수압을 측정하였다. 그리고 생석회파일에 의한 주변지반 개량효과를 파악하기 위하여 양생일별로 현장 콘관입시험, 현장 배인전단시험을 실시하였고, 양생일별로 UD Sample을 채취하여 압밀시험과 삼축압축시험을 병행하였다.

### 5.2 생석회파일 주변지반의 간극수압 특성

생석회파일 주변지반에서의 압밀특성을 파악하기 위하여 생석회파일 주변지반에 진동현식 간극수압계를 설치하고 시간경과에 따른 간극수압을 측정하였다. 간극수압계 설치위치는 생석회파일 사이의 중앙부 깊이 2.0m로 하였으며 그 결과는 그림 2와 표 5에 나타나 있다.

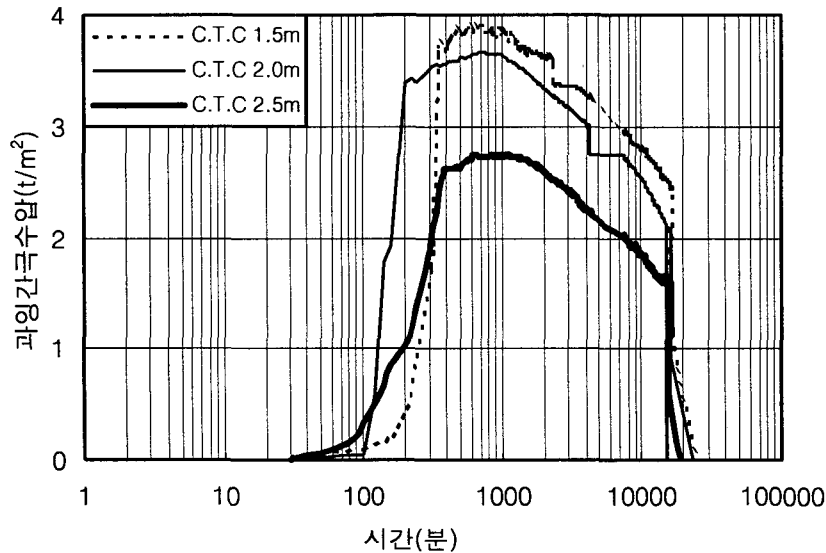


그림 2. 생석회파일 주변지반의 간극수압 분포

표 5. 과잉간극수압 측정결과

구 분	최대과잉간극수압(t/m <sup>3</sup> )	최대과잉간극수압 발생시간(분)
C.T.C 1.5m	3.923	720
C.T.C 2.0m	3.673	740
C.T.C 2.5m	2.733	802

위의 결과에서처럼 생석회파일 간격이 가까울수록 최대과잉간극수압이 크고 그 발생시간은 빨라짐을 알 수 있다. 따라서 생석회파일 간격이 가까울수록 압밀효과가 증대됨을 파악할 수 있었다.(Holyman 등, 1983 ; Lo 등, 1965)

### 5.3 현장 배인시험결과

현장 배인시험은 BX크기의 시험기를 사용하여 지반의 전단강도 증가정도를 확인하였다. 측정위치는 생석회파일 사이 중심부 1.5, 4.5m에서 실시하였다. 시험결과는 그림 3, 4, 5와 표 6에 나타나있다.

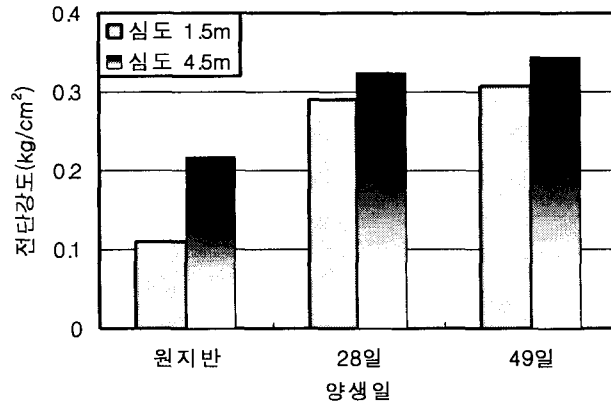


그림 3. 양생일에 따른 전단강도(φ400mm, C.T.C 1.5m, 삼각형배열)

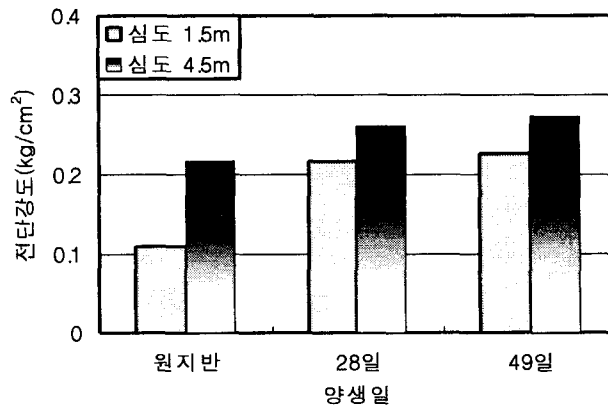


그림 4. 양생일에 따른 전단강도(φ400mm, C.T.C 2.0m, 삼각형배열)

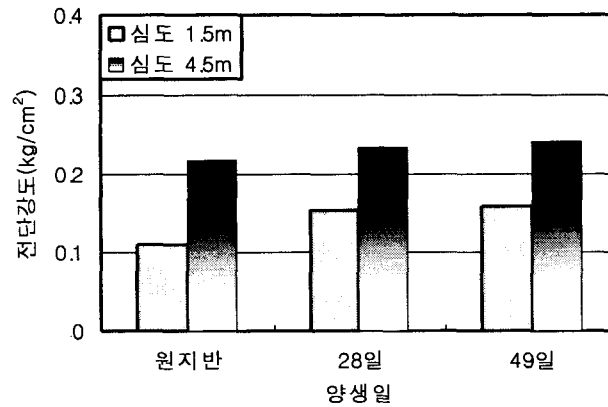


그림 5. 양생일에 따른 전단강도(φ400mm, C.T.C 2.5m, 삼각형배열)

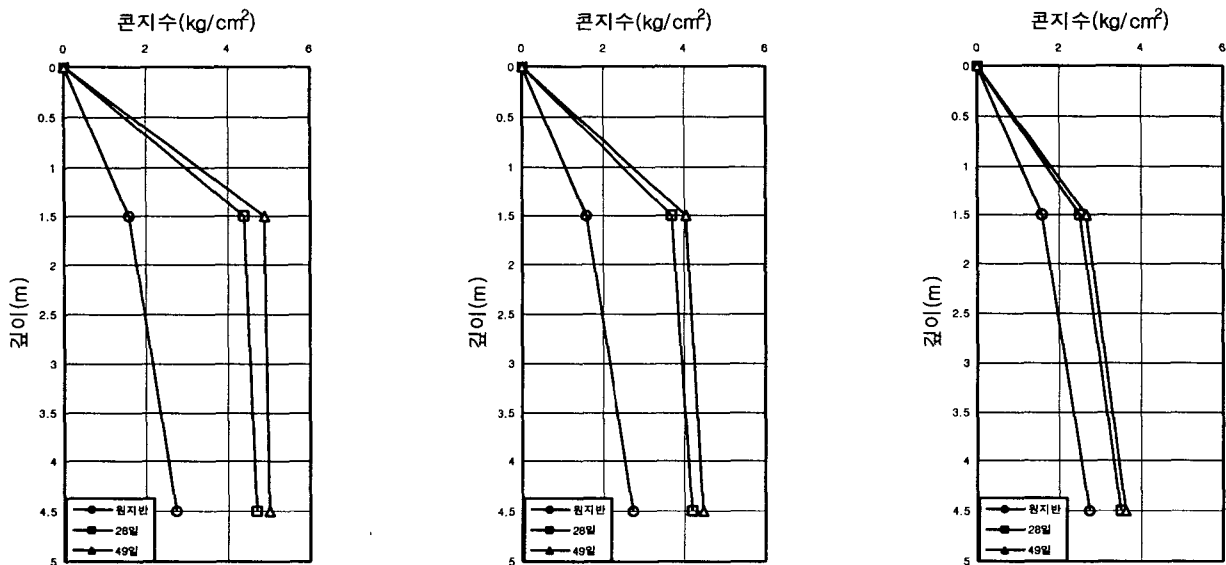
표 6. 현장 배인전단시험 결과

구분	심도	φ400mm C.T.C 1.5m	φ400mm C.T.C 2.0m	φ400mm C.T.C 2.5m
원지반(kg/cm <sup>2</sup> )	1.5m	0.109		
	4.5m	0.218		
28일(kg/cm <sup>2</sup> )	1.5m	0.291	0.218	0.153
	4.5m	0.325	0.262	0.234
49일(kg/cm <sup>2</sup> )	1.5m	0.308	0.227	0.158
	4.5m	0.343	0.273	0.241

현장 배인전단시험 결과에 의하면 생석회파일의 재령 28일을 기준으로 할 때 원지반에 대한 강도증가는 약 2배 정도 되지만 그 이후에는 강도증가 경향은 둔화하여 수렴하는 것으로 나타났다.

### 5.4 콘관입시험

지반개량효과를 확인하기 위해 양생일수에 따른 콘관입시험을 실시하였으며 콘지수의 변화를 측정 한 후 콘지수로부터 얻어진 대략적인 저항치와 일축압축강도의 증가를 평가하였다. 콘관입 시험결과 생석회파일 타설 후 시간경과에 따라 콘지수가 증가하였으며, 심도증가에 따라서도 그 수치는 증가하는 것으로 나타났으며 그 결과는 다음과 같다.



(a) φ400mm, C.T.C 1.5m

(b) φ400mm, C.T.C 2.0m

(c) φ400mm, C.T.C 2.5m

그림 6. 양생일에 따른 콘지수 변화

### 5.5 압밀시험

생석회파일에 의한 주변지반의 개량효과를 확인하기 위하여 시험시공을 실시하기 전·후의 대상시료를 채취하여 압밀시험을 실시하였다. 그 결과는 표 7과 같다.

표 7. 지반개량 전·후 압밀시험에 의한  $C_c$  및  $P_c$  값의 변화

구 분	원지반		Φ400mm C.T.C 1.5m		Φ400mm C.T.C 2.0m		Φ400mm C.T.C 2.5m	
	1회	2회	1회	2회	1회	2회	1회	2회
압축지수 $C_c$	0.674	0.671	0.492	0.487	0.551	0.549	0.605	0.612
선행압밀하중 $P_c(t/m^2)$	2.6	2.7	5.3	5.2	4.9	4.8	4.5	4.4

압밀시험 결과  $C_c$ 값이 개량전 원지반의  $C_c$ 값보다 작게 나타나고  $P_c$ 값은 약 2배 정도 증가하여 전반적으로 지반의 강도가 증가되는 것으로 나타났다. 따라서 지반개량완료 후 상재하중 재하시 개량전 지반보다 압밀침하량이 크게 저하할 것으로 예측할 수 있다.

### 5.6 삼축압축시험

시험시공 전·후 개량 대상층 GL-1.5m에서 시료를 채취하여 실시한 삼축압축시험(UU TEST)결과는 표 8과 같다.

표 8. 지반개량 전·후의 전단강도 값의 변화

구 분		원지반	Φ400mm C.T.C 1.5m	Φ400mm C.T.C 2.0m	Φ400mm C.T.C 2.5m
점 착 력 $C(t/m^2)$	1회	2.79	4.95	4.88	4.77
	2회	2.73	4.95	4.80	4.79
내부마찰각 $\phi(^\circ)$	1회	0	0	0	0
	2회	0	0	0	0

지반개량 전·후의 삼축압축시험(UU TEST)결과에 나타난 바와 같이 생석회파일 간격이 가까울수록 개량정도가 큰 것으로 나타났다.(Chen 등, 1994)

## 6. 결 론

- (1) 시험시공대상 생석회인 단양산 생석회는 화학조성분석결과 CaO 함유율이 92.2%이며 수화반응 측정 결과 뛰어난 반응성을 나타내므로 지반개량재로서 적절한 것으로 판단된다.
- (2) 압밀특성을 파악하기 위하여 간극수압을 측정된 결과 생석회파일 간격이 가까울수록 압밀효과가 증대됨을 알 수 있었다. 또한 실내압밀시험 결과 생석회파일 타설 후  $C_c$ 값 감소하고  $P_c$ 값은 증가하는 것으로 나타나는 것으로 보아 지반개량완료 후 상재하중 재하시 개량전 지반보다 압밀침하량이 크게 저하할 것으로 판단된다.
- (3) 생석회파일에 의한 주변지반 강도증대를 확인하기 위하여 현장시험과 실내시험을 실시한 결과 28일 강도가 원지반의 강도보다 약 2배 정도 증가함을 알 수 있었고 그 후로는 강도증가 경향은 둔화하여 수렴하는 것을 알 수 있다.

## 참고문헌

1. 삼성중공업(주) 건설기술 연구소(1996), “해안매립과 연약지반 개량을 위한 신기술 개발에 관한 연구”, pp.6/29~6/106.
2. 천병식, 고갑수, 장은석(1998), “국내산지별 생석회에 따른 생석회 파일의 연약지반 개량효과 비교”, 한국지반공학회 '98가을 학술발표회, pp.387~396.
3. 천병식, 고갑수, 임지섭(1999), “생석회파일 시험시공에 의한 연약지반 개량효과”, 1999년도 대한토목학회 학술대회 논문집(Ⅱ), pp.415~418.
4. 천병식(1999), “국산생석회에 의한 연약지반 처리공법연구”, 한국과학재단 최종보고서, 97.9.1~99.8.31, pp.47~95.
5. 石田宏(1977), “生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, pp.1265~1268.
6. Chen, P. A. and Law, K. T.(1994), “Predicting Strength Increase of Soft Soil by Lime-fly Ash Piles”, 13th ICSMFE, pp.1165~1170.
7. Holyman, A. and Mitchell, J. K.(1983), “Assessment of Quicklime Pile Behavior”, *Improvement of Ground*, Vol 2, pp.897~902.
8. Lisette Chou(1986), “Lime stabilization”, *Transportation Research Board*, pp.3~32.
9. Lo, K. Y. and Stermac, A. G.(1965), “Induced pore pressures during pile driving operations”, *Proc. 6th Int. Conf. on Soils Mech and Found. Eng.*, Montreal, pp.284~289.