

## 준설토와 친토양 경화재 혼합지반의 일축강도특성

# Characteristics of Unconfined Compressive Strength of Dredged Clay Mixed with Friendly Soil Hardening Agent

오 세 옥<sup>1)</sup> · 연 용 흙<sup>2)</sup> · 권 영 철<sup>†</sup>

Sewook Oh · Yonghum Yeon · Youngcheul Kwon

Received: August 17<sup>th</sup>, 2016; Revised: September 6<sup>th</sup>, 2016; Accepted: September 22<sup>nd</sup>, 2016

**ABSTRACT** : In the construction on low strength and high compressible soft ground, the many problems have been occurred in recent construction project. therefore, the soil improvement have been developed to obtain high strength in relatively short period of curing time. Based on the laboratory tests using undisturbed marine clay, the effect of improvement on soft ground was estimated. Deep mixing method by cement have been virtually used for decades to improve the mechanical properties of soft ground. However, previous researches set the focus on the short term strength the about 10% of cement treated clay. In this paper, cement and Natural Soil Stabilizer (NSS) were used as the stabilizing agent to obtain trafficability and mechanical strength of the soft clay. Based on the several laboratory tests, optimum condition was proposed to ensure the mechanical strength and compressibility as the foundation soil using cement and NSS mixed soil. Finally, research data was proposed about the applicability of NSS as the stabilizing agent to soft clay to increase the mechanical strength of soil.

**Keywords** : Dredged clay, Unconfined compressive strength, Hardening agent, Mixed soil

**요 지** : 선진국에서는 준설토의 고풍수비 특성을 제어하기 위해 다양한 고화제를 이용하는 공법을 개발하고 있으며 이 중 점토에 시멘트를 혼합하는 방법은 주로 심층혼합공법 등 연약지반의 개량공법으로 사용되어 왔다. 그러나 이에 관련된 연구는 고화제가 10% 전후의 혼합률을 갖고 있으며 이러한 혼합점토의 단기적인 특성에 대한 실험적 구명에 집중되어 왔다. 본 연구에서는 연약지반의 개량공법 적용 시 준설점토를 시멘트와 친토양 경화재로 고결시켜 장비의 주행성을 확보할 목적으로 시멘트와 친토양 경화재(NSS)를 혼합교반 하였다. 이를 바탕으로 원지반의 건조중량 대비 시멘트, NSS의 혼합비 및 양생기간(7일, 14일, 28일)에 따른 개량토의 일축압축강도 특성을 규명하고자 하였으며, 준설토 재활용을 위한 기술개발을 위하여 경량화제를 첨가하지 않은 시멘트혼합처리 방법과 친토양 경화재인 NSS를 혼합한 지반의 강도특성을 제공함으로써 차후 연약지반 개량을 위한 장비의 주행성을 확보하는데 연구의 목적을 두었다.

**주요어** : 준설점토, 일축압축강도, 친토양 경화재, 혼합지반

## 1. 서 론

준설토란 항만이나 호수, 하천, 하수도 등지의 바다면에 퇴적된 미세토로 수심을 유지하기 위하여 저부로부터 준설된 흙으로 함수비가 매우 높고 입자가 미세한 흙을 일컫는다. 국내 각 항만에서는 항로의 수심을 유지하기 위한 준설에 의해 매년 막대한 양의 토사가 발생하고 있으며, 2015년 현재 처리 물량에서는 2,800만<sup>3</sup>, 투자비용 측면에서는 1,545억 원을 넘어서고 있다(MOF, 2016). 준설에 의해 발생하는 토사 중에 공학적으로 처리가 어려운 흙은 미세한 입자로 구성된 준설점토이며, 준설점토의 처리 중 매립을 통한 처리는 효과적인 대안일 수 있지만 준설, 투기 후에 방지기간

을 갖는 현재의 처리방법은 효율성 측면에서 재고의 여지가 있다. 또한, 친환경적인 재활용 등 보다 효과적이고 부가가치가 높으며 해양 환경의 개선이나 창조, 환경 부하의 저감을 도모할 수 있는 등의 다양화된 준설점토의 활용 방안의 모색은 반드시 필요한 실정이다(Lee, 1996).

지금까지 준설토는 서해에 지정된 3개소의 해양 투기장에 투기하는 방법과 준설 후 매립하여 매립지를 조성하는 방식으로 처리되어 왔으나, 환경오염과 어장의 황폐화 등 환경의 부하 증가로 인한 국제적인 제약이 따르는 문제와 형성된 연약지반의 사용을 위해 고풍수비의 준설토 침강과 연약지반 처리에 막대한 시간과 자금이 소요된다는 문제점이 대두되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 준설점

1) Department of Construction & Disaster Prevention Engineering, Kyungpook National University

2) Department of Civil Engineering, Chungbuk National University

† Department of Construction System Engineering, Korea Soongsil Cyber University (Corresponding Author : kyc@mail.kcu.ac)

토의 유효이용 측면에서는 경량화를 도모하는 공법(SGM이나 LWFS)을 위주로 개발되어왔으나, 수중 시공이 많은 해안공사의 경우 수중 타설 중에 기포가 끼지는 소포현상이나 EPS의 낮은 비중 때문에 타설 속도가 빠른 경우에는 재료 분리가 심각하게 우려되는 등 심각한 단점이 나타나고 있는 실정이다. 이와 같은 준설패립지반은 대부분이 연약한 상태의 지반으로서 안정처리 없이 구조물이 축조되거나 성토가 진행된다면 과대한 압밀 침하와 전단파괴로 인한 문제가 발생할 가능성이 높다. 따라서 연약 매립지반이나 해안의 기초지반을 개량하기 위하여 다양한 공법이 제시되고 있으며, 초연약지반을 시멘트 고화제로 개량하는 방법이 활발히 진행되고 있다(Hong et al., 1997a).

준설패립토의 재활용 측면에서 그동안 국내 연구의 주요한 관심은 매립지에 투기 된 준설패립토가 어떠한 침강, 압밀 거동을 보일 것인가에 대한 예측(Lee et al., 1994; Lee & Shim, 2001; Cheong et al., 2004) 및 유한변형해석을 위한 간극비-유효응력과 간극비-투수계수 등 구성모델의 제안에 집중되었다(Lee & Kang, 2002; Kang & Lee, 2003). 이와 더불어 대규모 매립지에서의 장기압밀 침하량 예측에 관한 연구 결과도 보고된 바 있다(Lee et al., 2004; Park et al., 2006). 또한 압밀침하와 더불어 매립지의 공학적 활용 측면에서 중요한 판단 기준인 전단강도의 증가에 대한 연구가 진행되다 있으며(Hong et al., 1999), 이 결과를 이용하여 준설패립지반 공사에 있어 장비 투입시기를 결정하는 등의 현실적인 문제와 관련한 연구 결과들이 제안되었다(Kim et al., 2001). 더불어, 준설패립지반에서는 장비 투입을 위해 일시적으로 표층부를 고화 처리하는 표층처리공법에 관한 연구결과도 제안되고 있다(Hong et al., 1997a; Hong et al., 1997b). 이와 같이 대부분의 연구는 매립지에 투기 되는 준설패립토의 침강 및 압밀거동 메카니즘을 구명하고 예측하는 구성모델을 개발하는 데 집중되어 있으며 일부 표층을 처리하는 방법에 대한 연구만이 간간히 수행되고 있는 실정이다. 그러나 일본 등 많은 나라들은 단순한 매립을 통해 처리하기보다는 고도 이용 및 고부가가치를 추구함과 동시에 환경에의 부하를 줄일 수 있는 이용 기술을 개발하고 있는 실정이다. 다른 나라에서는 준설패립토의 고함수비 특성을 제어하기 위해 다양한 고화제를 이용하는 공법을 개발하고 있으며 이 중 점토에 시멘트를 혼합하는 방법은 주로 심층혼합공법 등 연약지반의 개량공법으로 사용되어 왔다. 그러나 이에 관련된 연구는 고화제가 10% 전후의 혼합률을 갖고 있으며 이러한 혼합점토의 단기적인 특성에 대한 실험적 구명에 집중되어 왔다(Cho, 1997; Lee et al., 2002). 또 매트공법이나 시멘트를 혼합한 개량 공법 등을 통해 단기적인 점지압 개선 공법 등을 사용하여 초연약지반의 개량을 위한 기계진입이 용이

하도록 공법이 개발되고 있다.

본 연구는 해성점토 및 준설패립토 지반에서의 고강도화 및 비압축성 지반을 신속히 조성하여 상부구조물을 지지하기 위한 충분한 지반 조건을 조성하는 기술로 이를 위해 기존 점토지반에 고화제를 혼합하여 강도를 증진시키는 방법에 대한 기초자료를 제공하고자 한다. 특히, 연약지반 개량 목적으로 시멘트 안정재를 혼합·교반하였을 경우 모래혼합비(시멘트 중량대비), 시멘트 혼합비(10%, 20%, 30%, 40%), 원지반의 함수비(40%, 60%, 80%) 및 양생기간(7일, 14일, 28일)에 따른 개량토의 일축압축강도 특성을 규명하고자 한다. 또한 지반개량형태로서 블록식, 벽식, 격자식, 말뚝식 등의 형태가 있으나 본 연구에서는 연직의 MAT형 개량형식에 대하여 원지반의 함수비(40%, 60%)에 따라 개량률(20%, 30%, 40%, 50%)을 변화시켜 실내모형실험을 통하여 개량률에 따른 장벽 간의 간격 변화로 연직MAT 장벽 상호 간의 간섭효과를 분석하였으며, 원지반과 개량지반의 지지력을 비교하였다. 따라서 본 연구에서는 준설패립토의 재활용을 위한 기술개발을 위하여 경량화제를 첨가하지 않은 시멘트혼합처리 방법과 친토양 경화제인 NSS(Natural Soil Stabilizer)를 혼합한 지반의 강도특성을 제공함으로써 차후 연약지반 개량을 위한 장비의 주행성을 확보하는 데 연구의 목적을 두었다.

## 2. 실험 환경 및 방법

### 2.1 시료의 공학적 특성

실험에 사용된 점토는 부산지역에서 준설패립토와 해안 퇴적점토를 교란상태로 채취하였으며, 시료의 물리적 특성은 Table 1과 같다.

준설패립토는 자연함수비가 액성한계보다 크고 액성지수(LI)가 43.0으로 전단 시 흙의 구조가 허물어져 버리는 예민성 점토이다(Holtz & Kovacs, 1981). 입도분석결과 0.075mm 이하의 통과백분율이 98.5%, 액성한계 43.0%, 소성지수는 24.0

Table 1. Physical properties of in-situ clayey soils

Property	Unit	Dredged clay	Deposited clay
Initial water content, $w_o$	%	65.83	44.3
Unit weight, $\gamma_t$	kN/m <sup>3</sup>	17.8	17.6
Liquid limits, $W_L$	%	43.0	31.0
Plastic index, $I_p$	-	24.0	10.6
Initial void ratio, $e_o$	-	1.78	1.20
Specific weight, $G_s$	-	2.68	2.67
Saturation, $S_r$	%	98.5	97.5

으로 통일분류법상 CL로 분류된다. 이에 비해 낙동강 하구에서 퇴적된 층적해성점토는 자연함수비가 액성한계보다 크고 액성지수(LI)가 2.23으로 전단 시 흡의 구조가 허물어져 버리는 예민성 점토이다(Holtz & Kovacs, 1981). 시료의 물리적 특성은 Table 1과 같다. 입도분석결과 0.075mm 이하의 통과백분율이 96%, 액성한계 31.0%, 소성지수는 10.6으로 통일분류법상 CL로 분류된다.

시료의 구성성분을 조사하기 위하여 분석용 전자현미경(SEM)으로 분석하였으며, 분석결과를 Table 2와 Fig. 1에 나타나 있는 바와 같다. 본 연구에서는 준설향점토와 퇴적점토를 대상으로 시멘트계 고화재와 친토양 경화재(NSS)의



Fig. 1. Mineral structure by SEM analysis

Table 2. Component analysis by SEM

Component	Weight ratio (%)	K-Ratio	Cnts/s	Atomic (%)
Si	69.14	0.3580	571.65	79.68
K	7.63	0.0336	53.54	6.31
Ti	5.67	0.0341	45.37	3.83
Fe	17.57	0.1362	117.76	10.18
Total	100	-	-	-

Table 3. Test conditions for unconfined compressive strength

Specimen	Mixing ratio (%)		Water content (%)	Curing time (day)
	Cement	NSS		
Dredged clay	5	5	40, 60, 80	7, 14, 28, 56
	7	7		
	10	10		
	20	20		
Deposited clay	5	5	40, 60, 80	7, 14, 28, 56
	7	7		
	10	10		
	20	20		

유용성을 검증하기 위하여 일축압축강도 실험을 수행하였으며, 시험조건은 Table 3과 같다. 일축강도 실험은 직경 50mm, 길이 100mm의 몰드에 공시체를 단위중량에 맞추어 다짐하는 방법으로 제작하였으며, 점토시료 공시체는 중량대비 친토양 경화재(NSS)를 7%, 10%, 20% 혼합하였고, 시멘트는 5%, 7%, 10%, 20%로 혼합하여 제작하였다. 양생기간은 장기강도 특성을 고찰하기 위하여 시멘트 혼합 점토시료는 1주(7일) 단위로 최대 54주까지 양생시켰을 때의 강도를 측정하였다. 시료의 혼합은 균질한 공시체의 제작을 위하여 함수비를 액성한계의 2배로 조절하여 교반기로 충분히 혼합하여 공시체를 제작한 다음 3일간 공기 중 양생을 거쳐 함수비가 현장함수비와 유사해지면 수중에서 양생하였다.

## 2.2 실험장치

본 연구에 사용된 실내모형실험장치는 일축압축강도를 측정하기 위한 시험 장치와 원지반과 개량률에 따른 개량지반의 지지력을 비교하기 위한 모형시험장치이다. 일축강도를 측정하기 위한 시험 장치는 Fig. 2와 같으며 하중은 1mm/min으로 측정하였다.

원지반과 MAT형으로 보강된 개량지반의 하중-변위 특성과 지지력을 비교하기 위한 모형시험은 지반의 함수비를 40%, 60%로 변화시키고, Fig. 2와 같이 MAT의 폭(B)과 간격(S)의 비(S/B)를 각각 20%, 30%, 40%, 50%로 변화시켜 지지력 시험을 수행하였다. 모형지반은 함수비를 각각 40%, 60%로 조정하여 40cm 두께로 조성하였으며, 하중을 가하는 동안 평면변형률 조건을 만족시키기 위하여 중앙부는 가로 1.2cm×세로 12cm의 모델박스 폭과 기초의 길이가 같은 하중재하판에 높이 20cm의 연직 MAT 개량벽체를 조성하였다. 연직 MAT 개량벽체는 배합비에 따라 교반 혼합하여 소요양생기간(28일) 동안 양생이 되도록 미리 설치하였으며, 연직 MAT 개량벽체의 배합조건은 Table 3과 같다.

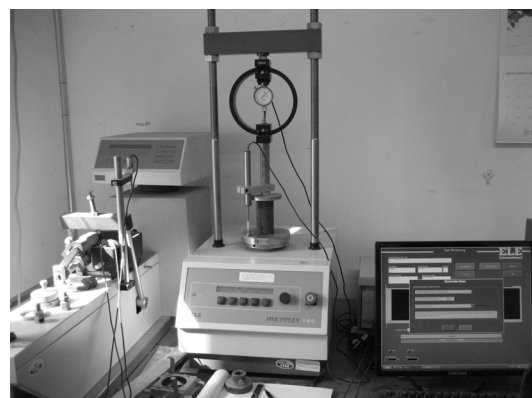


Fig. 2. Experimental apparatus

### 3. 실내시험 결과 및 분석

#### 3.1 목표 강도의 설정

준설점토와 시멘트 혼합지반의 장비 주행성을 확보하기 위하여 목표 강도를 설정하였다. 먼저 원지반의 전단강도 특성을 파악하기 위하여 시료 채취 현장에서 현장 베인시험을 수행하였으며, 시험결과 Fig. 3과 같이 부산지역 점토층의 비배수 전단강도의 평균값은 20kPa로 평가되었다. 본 연구에서는 장비 주행성과 소형 건물의 하중을 고려하여 도로의 보조기층 지지력(약 800~1,000kPa)을 기준으로 1,000kPa로 목표 강도로 설정하였다. Table 4는 목표 강도 선정을 위한 장비의 접지압을 나타내고 있다.

#### 3.2 시멘트 혼합점토의 일축강도특성

##### 3.2.1 혼합점토의 일축압축강도 특성

Fig. 4는 지반의 함수비가 40%인 경우 양생기간에 따른 시멘트 혼합 퇴적점토의 강도변화를 보여주고 있으며, 그림에 나타난 바와 같이 시멘트 혼합비 7% 이상, 14일 양생 시 목표 강도에 도달하는 것으로 나타났다.

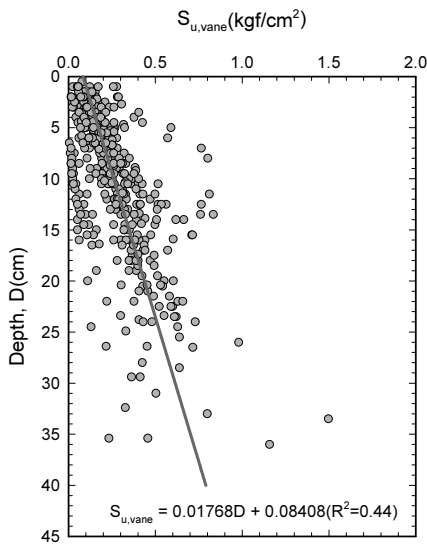


Fig. 3. Results of in-situ vane test

Table 4. Contact pressure to decide the target strength of mixture

Equipment	Bearing capacity (kPa)		Contact pressure (self-weight, kPa)	Contact pressure (self-weight+ impact, kPa)
	Ultimate (q <sub>ult</sub> )	Allowed (q <sub>a</sub> )		
Wet type dozer	73.20	48.80	27.23	35.42
PDB equipment	Hydraulic	91.25	60.83	43.86
	dynamic	91.25	60.83	80.40

Fig. 5는 지반의 함수비가 60%인 경우 양생기간에 따른 시멘트 혼합 퇴적점토의 강도변화를 보여주고 있으며, 그림에 나타난 바와 같이 시멘트 혼합비 10% 이상에서는 약 10일, 시멘트 혼합비 7%인 경우 약 20일 양생 시 목표 강도를

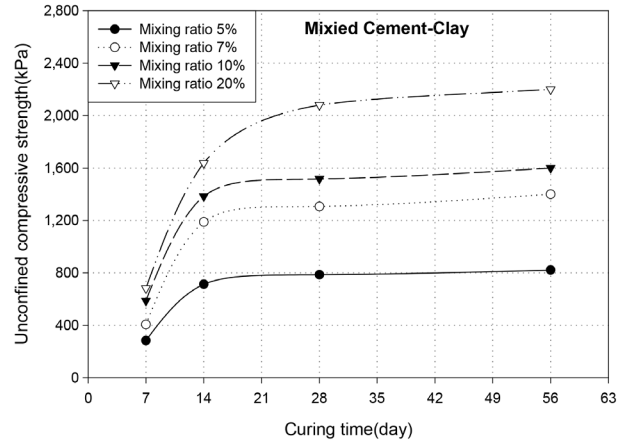


Fig. 4. Strength of deposit clay-cement mixture by curing time (water content 40%)

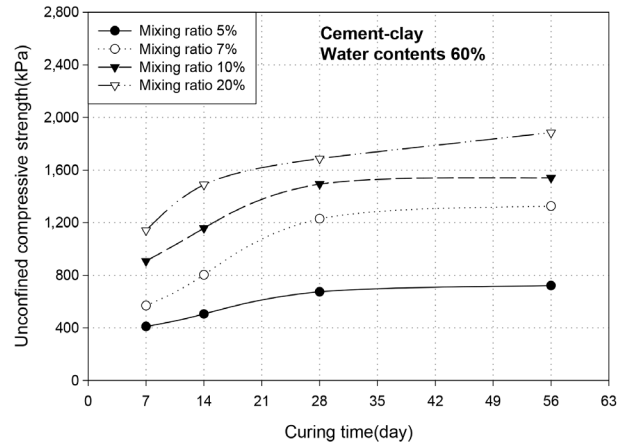


Fig. 5. Strength of deposit clay-cement mixture by curing time (water content 60%)

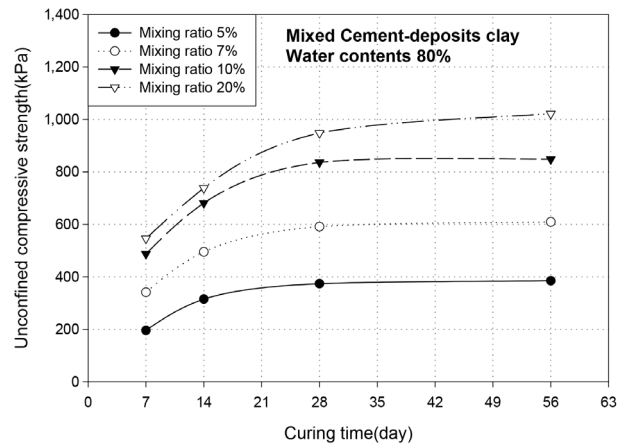


Fig. 6. Strength of deposit clay-cement mixture by curing time (water content 80%)

발휘하는 것으로 나타났다. 그러나 Fig. 6에서 보여주듯이 지반의 함수비가 80% 시멘트 혼합비에 관계없이 목표 강도에 도달하지 못하는 것으로 나타났다.

Fig. 7은 지반의 함수비가 40%인 경우 양생기간에 따른

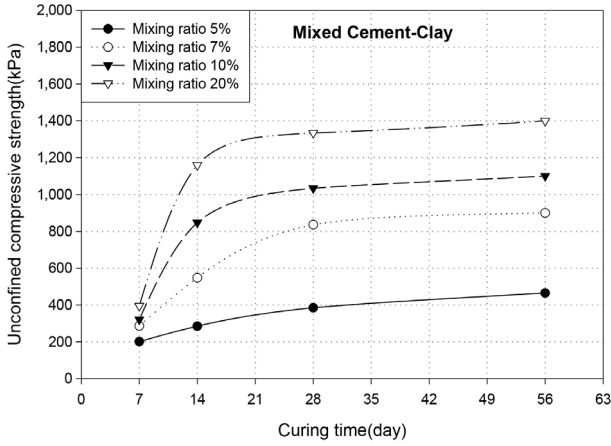


Fig. 7. Strength of dredged clay-cement mixture by curing time (water content 40%)

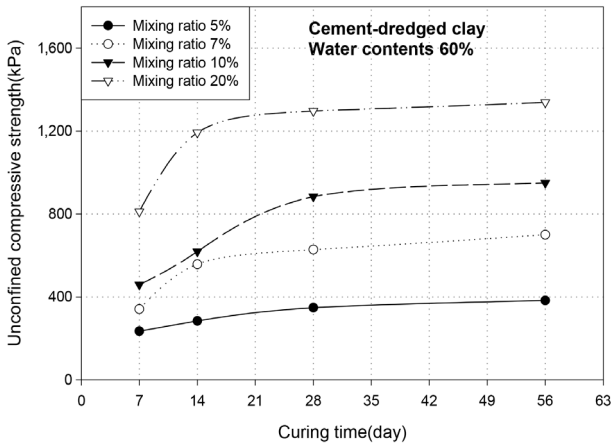


Fig. 8. Strength of dredged clay-cement mixture by curing time (water content 60%)

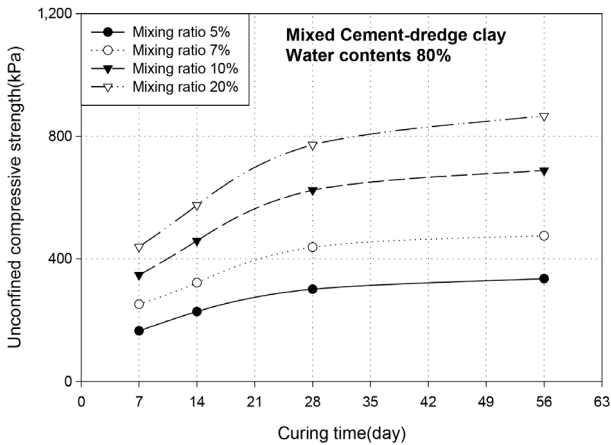


Fig. 9. Strength of dredged clay-cement mixture by curing time (water content 80%)

시멘트 혼합 준설 점토의 강도변화를 보여주고 있으며, 그림에 나타난 바와 같이 시멘트 혼합비 20% 이상은 10일 양생 시, 시멘트 혼합비 10%는 24일 이상 양생 시 목표 강도에 도달하는 것으로 나타났다. 그러나 시멘트 혼합비가 5%, 7%인 경우는 목표 강도에 도달하지 못하는 것으로 나타났다. Fig. 8은 지반의 함수비가 60%인 경우 양생기간에 따른 시멘트 혼합 준설 점토의 강도변화를 보여주고 있으며, 시멘트 혼합비 20% 이상에서는 약 10일 양생 시 목표 강도에 도달하는 것으로 나타났으나, 그 이하에서는 목표 강도에 도달하지 못하였다. Fig. 9는 지반의 함수비가 80%인 경우 양생기간에 따른 시멘트 혼합 준설 점토의 강도변화를 보여주고 있으며, 그림에서 보는 바와 같이 시멘트 혼합비에 관계없이 목표 강도에 도달하지 못함을 알 수 있다.

### 3.2.2 강도비 분석결과

Fig. 10과 11은 목표 강도에 대한 공시체의 일축강도의 비를 나타낸 그림으로 목표 강도에 대한 강도비(Unconfined Compressive strength Ratio, UCR)는 다음과 같이 정의하였다.

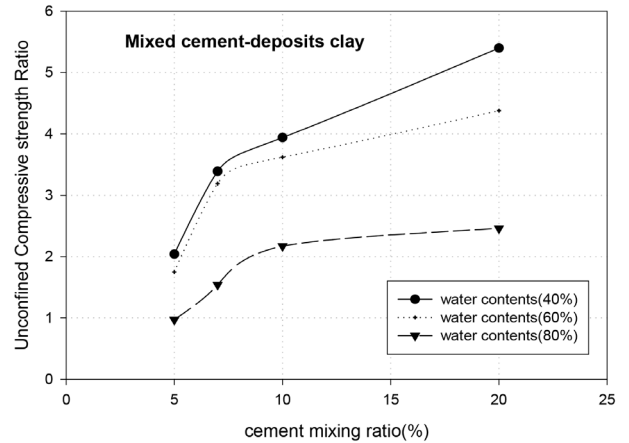


Fig. 10. UCR of deposit clay according to cement mixing ratio

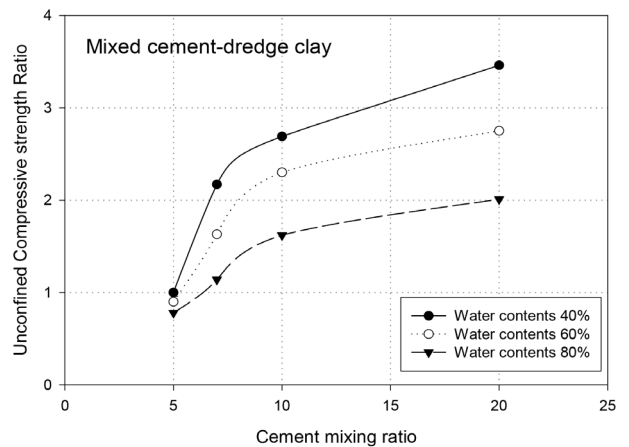


Fig. 11. UCR of dredged clay according to cement mixing ratio

$$UCR = \frac{\text{공시체 일축압축강도}}{\text{목표강도(본연구의 경우 1,000kPa)}} \quad (1)$$

Fig. 10은 퇴적점토의 시멘트 혼합비에 따른 강도비를 나타낸 그림으로 퇴적점토인 경우 양생기간 28일 강도를 기준으로 시멘트 혼합비 7%, 지반 함수비 40%, 60% 조건에서 목표 강도를 만족하므로 가장 효율적인 배합인 것으로 판단된다. Fig. 11은 준설향토의 시멘트 혼합비에 따른 강도비를 나타낸 것으로 준설향토인 경우 양생기간 28일 강도를 기준으로 지반 함수비 40%에서는 시멘트 혼합비 9% 일 경우 목표 강도를 만족하며, 지반 함수비 60%에서는 시멘트 혼합비 약 17%에서 목표 강도를 만족하므로 효율적인 처리를 위해서는 지반 함수비를 40% 이하로 자연건조 시키는 것이 경제적인 것으로 판단된다.

Fig. 12는 함수비에 따른 시멘트-퇴적점토의 강도변화를 보여주는 그림으로 시멘트 혼합비가 5%, 7%, 10%인 퇴적점토의 28일 강도는 함수비가 증가함에 따라 강도가 급격하게 저하되며 특히 시멘트 혼합비가 20%인 경우 함수비

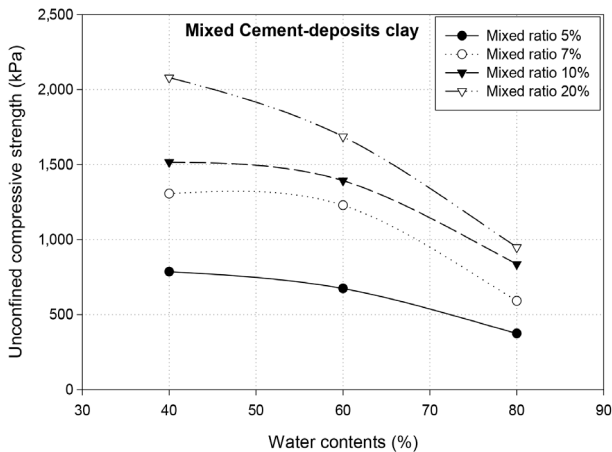


Fig. 12. UCR of deposit clay according to water content

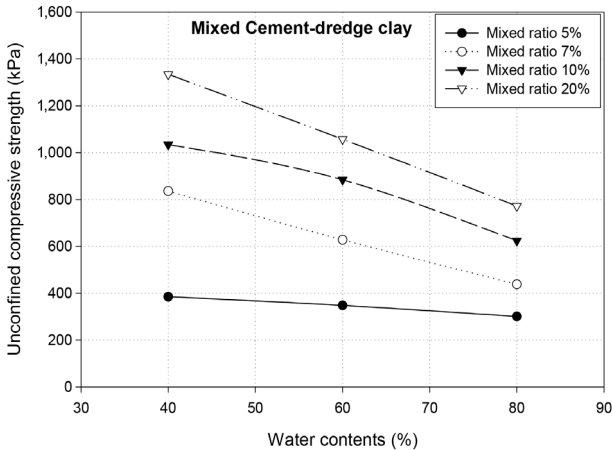


Fig. 13. UCR of dredged clay according to water content

증가에 따른 강도저하가 매우 큰 것으로 나타났다.

Fig. 13은 함수비에 따른 시멘트-준설향토의 강도변화를 보여주고 있으며, 그림에 나타나 있듯이 시멘트 혼합비가 5%인 준설향토의 28일 강도는 함수비가 증가함에 따라 강도가 약간 저하되지만 시멘트 혼합비가 증가할수록 함수비 증가에 따른 강도저하가 큰 것으로 나타났다.

### 3.3 친토양 경화제 혼합점토의 일축강도특성

#### 3.3.1 혼합점토의 일축압축강도 특성

Fig. 14는 친환경 소재인 NSS를 고화제로 사용하여 퇴적점토와 혼합하여 양생기간에 따른 강도변화를 나타낸 그림으로 NSS를 건조 점토의 중량대비 각각 5, 7, 10, 20%를 혼합하였다. 점토지반의 함수비는 원지반 상태를 고려하여 40, 60, 80%로 적용하였으며, 시험결과 지반의 함수비가 40%인 경우 Fig. 12에서 보여 주듯이 NSS의 혼합비가 20%에서는 약 10일 양생 시 목표 강도에 도달하며, NSS 혼합비가 10%에서는 21일 양생 시 목표 강도에 도달하는 것으로 나타났다.

Fig. 15와 16은 지반의 함수비가 각각 60%와 80%인 경우 양생기간에 따른 강도변화를 나타낸 것으로 그림에 나타난 바와 같이 NSS 혼합비에 관계없이 목표 강도에 도달하지 못하는 것으로 나타났다.

Fig. 17은 NSS가 혼합된 준설향토지반의 양생기간에 따른 강도변화를 보여 주는 그림으로 그림에서 보는 바와 같이 함수비 40% 지반의 경우 혼합비 10% 이상에서 재령 56일 이상이 소요되었으나 충분한 강도로 볼 수 없다.

Fig. 18과 19는 지반의 함수비가 각각 60%와 80%인 경우 양생기간에 따른 강도변화를 보여 주고 있으며, 그림에서 보는 바와 같이 혼합비와 양생기간에 관계없이 목표 강

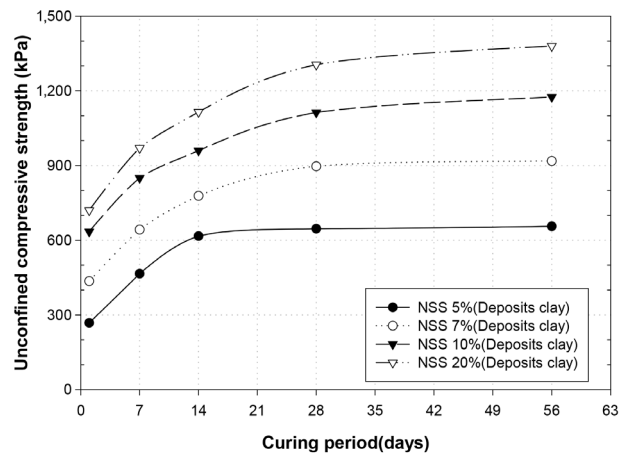


Fig. 14. Strength of deposit clay-NSS mixture by curing time (water content 40%)

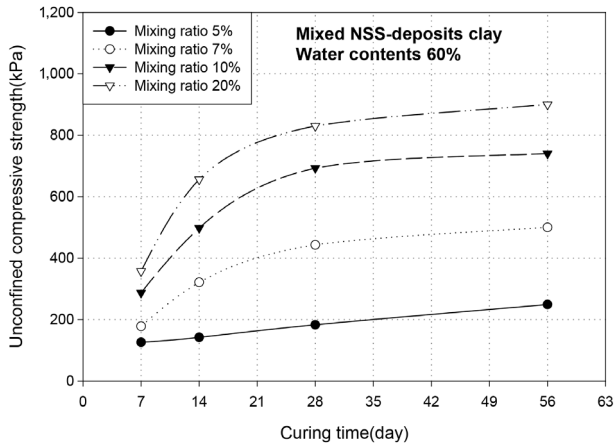


Fig. 15. Strength of deposit clay-NSS mixture by curing time (water content 60%)

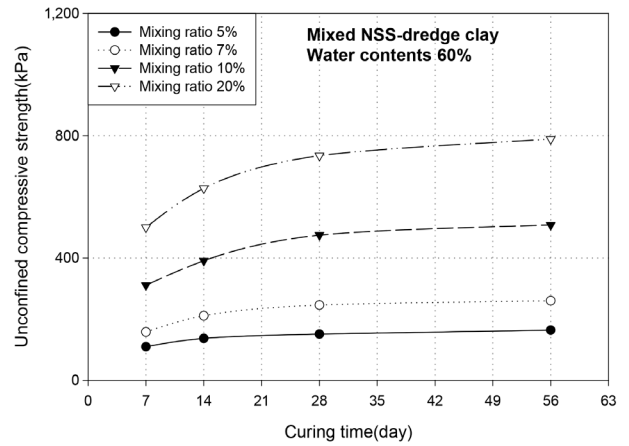


Fig. 18. Strength of dredged clay-NSS mixture by curing time (water content 60%)

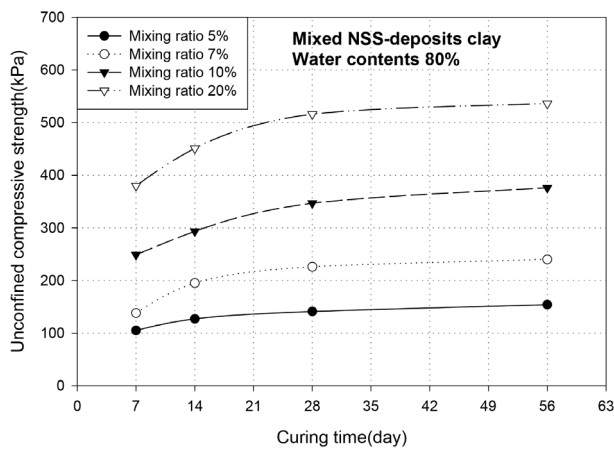


Fig. 16. Strength of deposit clay-NSS mixture by curing time (water content 80%)

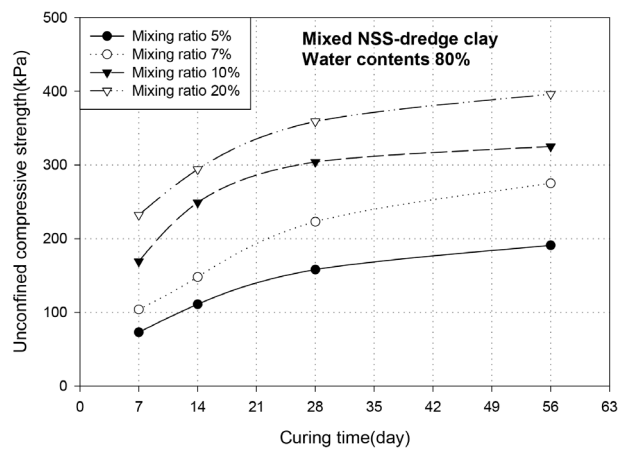


Fig. 19. Strength of dredged clay-NSS mixture by curing time (water content 80%)

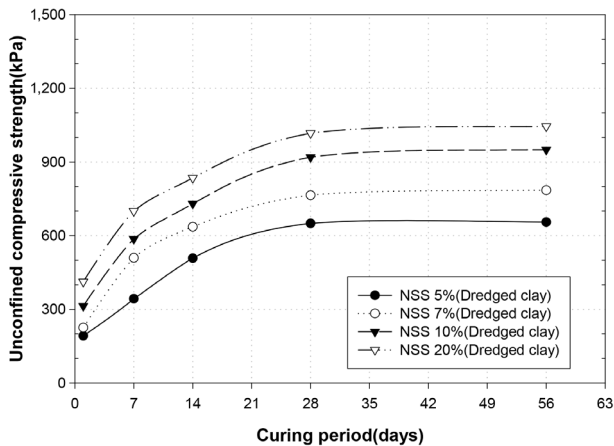


Fig. 17. Strength of dredged clay-NSS mixture by curing time (water content 40%)

도에 도달하지 못하는 것으로 나타났다.

### 3.3.2 강도비 분석결과

Fig. 20과 21은 목표 강도에 대한 공시체의 일축강도비를

나타낸 그림이다.

먼저 Fig. 20은 퇴적점토의 NSS 혼합비에 따른 강도비를 나타낸 그림으로 퇴적점토인 경우 양생기간 28일 강도를 기준으로 NSS 혼합비 8%, 지반 함수비 40% 조건에서 목표 강도를 만족하므로 가장 효율적인 배합으로 판단된다.

다음으로 Fig. 21은 준설향토의 NSS 혼합비에 따른 강도비를 나타낸 것으로 준설향토인 경우 양생기간 28일 강도를 기준으로 지반 함수비 40%에서는 시멘트 혼합비와 NSS 혼합비가 17%일 경우 목표 강도를 만족하며, 지반 함수비 60%, 80%에서는 혼합비에 관계없이 목표 강도를 만족하지 못하므로 효율적인 처리를 위해서는 지반 함수비를 40% 이하로 자연건조 시키는 것이 경제적인 것으로 판단된다.

Fig. 22는 함수비에 따른 NSS-퇴적점토의 강도변화를 보여주는 그림으로 시멘트 혼합비가 5%, 7%, 10%인 퇴적점토의 28일 강도는 함수비가 증가함에 따라 강도가 급격하게 저하되는 것으로 나타났다.

Fig. 23은 함수비에 따른 NSS-준설향토의 강도변화를 보

여주는 그림으로 그림에 나타나 있듯이 준설향토의 28일 강도는 함수비가 40%에서 60%로 증가함에 따라 강도가 크게 저하되어 NSS 고화제는 함수비가 큰 지반에서 사용이 불리한 것으로 판단된다.

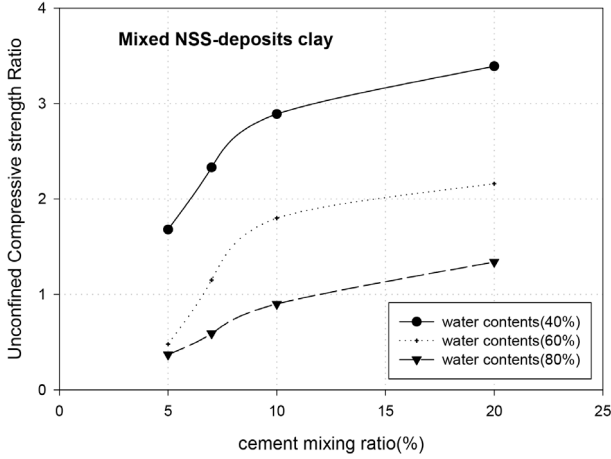


Fig. 20. UCR of deposit clay according to NSS mixing ratio

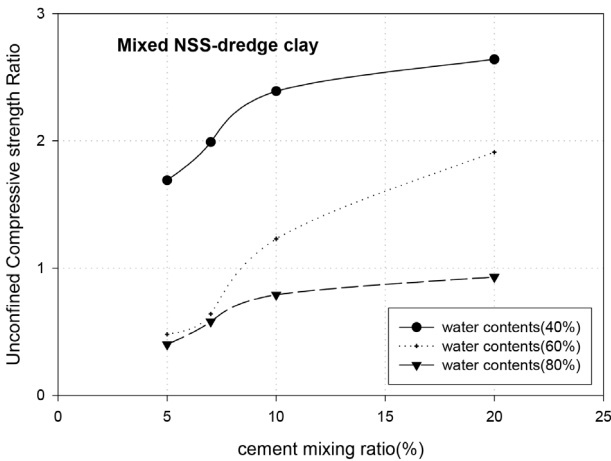


Fig. 21. Strength of dredged clay-NSS mixture by curing time

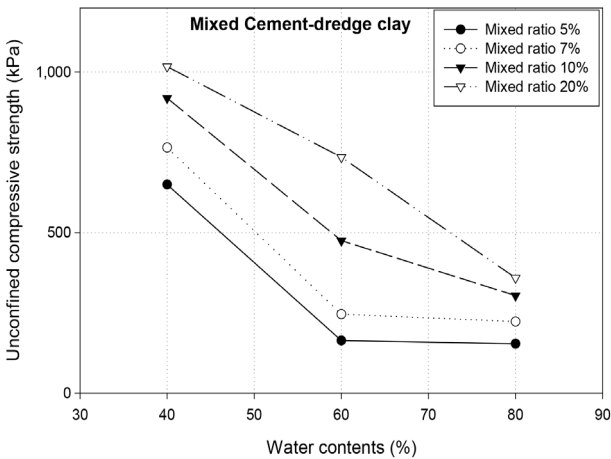


Fig. 22. UCR of deposit clay and NSS mixture according to water content

### 3.4 (점토+물)-시멘트비에 따른 일축강도 특성

Fig. 24는 물/시멘트비(w/c)에 따른 일축강도특성을 보여 주고 있으며 물-시멘트비가 150%까지 급격하게 강도가 감소하는 것으로 나타났으며, 물-시멘트비가 150% 이상에서는 모래의 혼합비가 강도에 미치는 영향은 매우 감소함을 알 수 있다. Fig. 24는 (원지반 점토+물)과 시멘트비(w/c)가 압축강도에 미치는 영향을 나타낸 그림으로 Miura et al.(2001)에 의한 기존의 연구결과와 비교하였다. 본 연구결과에서는 모래를 혼합하지 않은 경우(S1)에는 Miura et al.(2001)이 식이 가장 근접하게 나타났으며, 모래를 시멘트대비 200% 혼합한 경우에는 Nagaraj(2002)의 식이 가장 근접하는 것으로 나타났다. 일축압축강도와 w/c의 관계식은 다음과 같다.

$$q_{128} = 2,461 e^{-0.91(w/c)} \quad (\text{Miura et al., 2001}) \quad (2)$$

$$q_{128} = 1,700 e^{-0.23(w/c)} \quad (\text{Jacobson, 2002}) \quad (3)$$

$$q_{128} = 8,557 e^{-0.21(w/c)} \quad (\text{Nagaraj, 2002}) \quad (4)$$

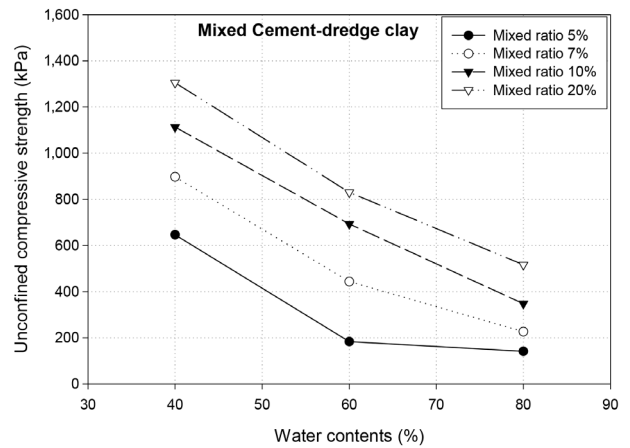


Fig. 23. UCR of dredged clay and NSS mixture according to water content

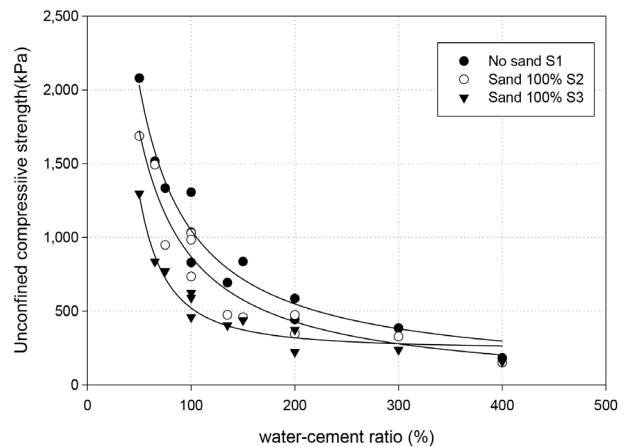


Fig. 24. Unconfined compressive strength vs wc/c



## 5. 결 론

준설풀점토의 공학적 재활용을 위한 고화재 처리공법에 대한 연구결과 다음과 같은 결론을 도출하였다. 원지반의 전단강도를 파악하기 위한 현장 베인시험 결과 평균 강도는 20kPa로 평가되었으며, 장비 주형성 등을 고려한 목표 강도는 1,000kPa로 설정하였다.

- (1) 준설풀점토+시멘트 혼합의 경우 양생기간 28일 강도를 기준으로 시멘트 혼합비 7%, 지반 함수비 40%, 60% 조건에서 목표 강도(1,000kPa)를 만족하므로 가장 효율적인 것으로 나타났다. 준설풀점토+시멘트 혼합의 경우 원지반 함수비 40%에서는 시멘트 혼합비 9%일 경우 목표 강도를 만족하며, 함수비 60%에서는 시멘트 혼합비 약 17%에서 목표 강도를 만족하므로 효율적인 처리를 위해서는 자연 건조 등의 방법으로 지반 함수비를 40% 이하로 조정하여 사용하는 시키는 것이 경제적인 것으로 판단된다.
- (2) 준설풀점토+NSS 혼합의 경우 양생기간 28일 강도를 기준으로 NSS 혼합비 8%, 지반 함수비 40% 조건에서 목표 강도를 만족하므로 가장 효율적으로 판단된다. 준설풀점토+NSS 혼합의 경우 지반 함수비 40%에서는 NSS 혼합비 17%일 경우 목표 강도에 도달하는 것으로 나타났다
- (3) 친토양 경화제는 시멘트를 사용하지 않는다는 장점이 있으나 물에 민감하여 강도를 유지하기 어려우므로 본 연구에서 제시한 함수비 이하의 지반에서 효과가 뛰어나 것으로 판단한다. 또한 배합설계를 위한 (점토+물)-시멘트비는 Miura식이 실험결과와 가장 근접하는 것으로 나타나므로 Miura식을 활용할 것을 제안한다.

## References

1. Cheong, K., Kim, Y. and Ju, J. (2004), Consolidation characteristics and consolidation period of dredged soil by considering change of strain and stratum thickness, Journal of Korea Geotechnical Society, Vol. 20, No. 9, pp. 105~114 (in Korean).
2. Cho, K. (1997), Engineering properties of marine clay-cement subbase material mixtures, Master Thesis, Hanyang University, pp. 1~54 (in Korean).
3. Holtz, R. D. and Kovacs, W. D. (1981), An introduction to geotechnical engineering, Prentice-Hall, pp. 39.
4. Hong, B., Kim, S., Kim, S., Kim, S., Kim, H. and Kang, I. (1999), A study on characteristics of the desiccation shrinkage in reclaimed hydraulic fills, Journal of Korea Geotechnical Society, Vol. 15, No. 6, pp. 219~238 (in Korean).

5. Hong, W., Jin, S., Park, K. and Lee, J. (1997b), The behavior of very soft ground with cement-stabilized surface layer (II) -Field tests-, Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol. 17, No. 4, pp. 435~442 (in Korean).
6. Hong, W., Kim, D., Yoon, J. and Yoo, S. (1997a), The behavior of very soft ground with cement-stabilized surface layer (I) -Model Tests-, Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol. 17, No. 4, pp. 425~434 (in Korean).
7. Jacobson, J. R. (2002), Factor affecting strength gain in lime-cement columns development of a laboratory testing procedure, Master of thesis, Virginia Tech. Institute, pp. 45~78.
8. Kang, M. and Lee, S. (2003), An equation for the prediction of material function of super soft clay, Journal of Korea Geotechnical Society, Vol. 19, No. 1, pp. 221~228.
9. Kim, H., Kim, S., Kang, I. and Kim, S. (2001), A study on the prediction of increased strength due to desiccation shrinkage and determination of deposit time for equipments in dredged fills, Journal of Korean Geo-Environmental Society, Vol. 2 No. 3, pp. 47~56 (in Korean).
10. Lee, S. and Shim, M. (2001), Characteristics of and sedimentation for a non-plastic dredged soil, Journal of Korea Geotechnical Society, Vol. 17, No. 2, pp. 113~122 (in Korean).
11. Lee, H., Park, S., Yoo, S. and Kim, H. (2004), An estimation of long-term settlements in the large reclamation site and determination of additional sampling positions using geostatistics and GIS. Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol. 20, No. 2, pp. 131~141.
12. Lee, J. (1996), Problems of port in Korea and environmentally sound port development scheme, Journal of the Korean Institute of Port Research, Vol. 10, No. 2, pp. 1~6.
13. Lee, K., Lee, S. and Yi, C. (2002), Mechanical characteristics of kaolinite-cement mixture, Journal of Korean Geotechnical Society, Vol. 18, No. 1, pp. 113~125.
14. Lee, S. and Kang, M. (2002), A experimental study for obtaining material function of very soft clay, National conference of Korea Geotechnical Society, pp. 491~498 (in Korean).
15. Lee, S., Yang, T. and Hwang K. (1994), A study on self-weight consolidation characteristics in dredged and reclaimed clay, Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol. 14, No. 4, pp. 953~964 (in Korean).
16. Ministry of Oceans and Fisheries (MOF) (2016), Statistical data: Harbour facility and capacity of Korea (1998~2015), <http://kosis.kr> (in Korean).
17. Miura, N., Horpibulsuk, S. and Nagaraj, T. S. (2001), Engineering behavior of cement stabilized clay at high water contents, Soil and Foundations, Japanese Geotechnical Society, Vol. 41, No. 5, pp. 33~46.
18. Nagaraj, T. S. (2002), One day lecture on ground improvement techniques, Technical Committee of Thick Deposit (ATC-7), Dong-A University, Busan, Korea, pp. 59~95.
19. Park, S., Kim, H., Park, S., Baek, S. and Park, S. (2006), A prediction of long-term settlement in large reclaimed sites using laboratory consolidation tests and GIS techniques, Journal of Korean Geo-Environmental Society, Vol. 7 No. 3, pp. 5~19 (in Korean).