

해양점토와 현장토를 활용한 유동성 채움재의 공학적 특성

Engineering Characteristics of Liquid Filler Using Marine Clay and In-situ Soil

오 세 옥¹⁾ · 방 성 택[†]
Sewook Oh · Seongtaek Bang

Received: July 15th, 2020; Revised: July 29th, 2020; Accepted: August 21st, 2020

ABSTRACT : The underground utilities installed under the ground is an important civil engineering structure, such as water supply and sewerage pipes, underground power lines, various communication lines, and city gas pipes. Such underground utilities can be exposed to risk due to external factors such as concentrated rainfall and vehicle load, and it is important to select and construct an appropriate backfill material. Currently, a method mainly used is to fill the soil around the underground utilities and compact it. But it is difficult to compact the lower part of the buried pipe and the compaction efficiency decreases, reducing the stability of the underground utilities and causing various damages. In addition, there are disadvantages such as a decrease in ground strength due to disturbance of the ground, a complicated construction process, and construction costs increase because the construction period becomes longer, and civil complaints due to traffic restrictions. One way to solve this problem is to use a liquid filler. The liquid filler has advantages such as self-leveling ability, self-compaction, fluidity, artificial strength control, and low strength that can be re-excavated for maintenance. In this study, uniaxial compression strength test and fluidity test were performed to characterize the mixed soil using marine clay, stabilizer, and in-situ soil as backfill material. A freezing-thawing test was performed to understand the strength characteristics of the liquid filler by freezing, and in order to examine the effect of the filling materials on the corrosion of the underground pipe, an electrical resistivity test and a pH test were performed.

Keywords : Underground utility, Fluidity test, Freezing-thawing, Electrical resistivity

요 지 : 지반의 하부에 설치되는 지하매설물은 중요한 토목구조물로서 상·하수도관, 지중전력선, 각종 통신선로, 도시가스관 등이 이에 해당한다. 이런 지중매설물들은 시공 시 집중강우, 차량하중 등과 같은 외부적인 요인에 의해서 위험에 노출될 수 있고 이로 인한 피해가 발생할 수 있어 적절한 뒤채움재의 선정과 시공이 중요하다. 현재 주로 사용하는 공법으로는 지하매설물 주변을 흙으로 메우고 다짐을 하는 방법이 사용되고 있는데 이는 매설관 하부의 다짐이 어렵고 다짐효율이 떨어져서 지하매설물의 안정성을 저감시키고 이로 인해 각종 파손이 발생한다. 또한 개착 시 원지반 교란에 따라 지반의 강도가 저하되고 시공 과정이 복잡하며 공기가 길어져 공사비가 증가하는 등의 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하는 방법 중 하나가 유동성 채움재를 활용하는 것이다. 유동성 채움재는 자기 수평능력, 자기다짐, 유동성, 인위적인 강도조절, 유지보수를 위한 재굴착이 가능한 저강도 발현 등의 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 지하매설물을 설치한 후 되메움을 하는 재료로서 해양점토와 고화재 및 현장에서 발생하는 현장토를 활용한 유동성 채움재의 특성을 규명하기 위하여 일축압축강도 시험과 유동성 시험을 수행하였으며, 동결에 의한 강도 특성을 파악하기 위하여 동결융해시험을 수행하였고 채움재가 지중배관의 부식에 미치는 영향을 검토하기 위하여 전기비저항시험과 pH시험을 수행하였다.

주요어 : 지하매설물, 유동성 시험, 동결융해, 전기비저항

1. 서 론

최근 대규모 주거단지 및 상업단지가 많이 생기면서 도시미관 향상, 선로의 인덕턴스 감소 및 정전용량 증가, 풍수해 등 기상에 의한 영향 감소 등의 이유로 전력, 통신, 상하수도 등 다양한 선로들이 지중에 매설되고 있다. 이런 지중관로는 시공 시 집중강우, 차량하중 등과 같은 외부적인 요

인에 의해서 위험에 노출될 수 있고 이로 인한 피해가 발생할 수 있어 적절한 뒤채움재의 선정과 시공이 중요하다(Oh & Kim, 2010). 현재 주로 사용하는 되메움 공법으로는 지하매설물 주변을 흙으로 메우고 다짐을 한 후, 도로 및 상부구조물을 재시공하는 방법이 사용되고 있는데 이는 개착 시 원지반이 교란됨에 따라 지반의 강도가 저하되고 시공 과정이 복잡하며 공기가 길어져 공사비가 증가하는 등의 단점이

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

† Lecturer, Department of Construction & Disaster Prevention Engineering, Kyungpook National University (Corresponding Author : bst91@knu.ac.kr)

있다. 또한, 뒤채움 공간에 지하수의 흐름이 발생하는 경우 주 재료인 토사의 유실이 발생할 가능성이 매우 높다(Go, 2017). 지하매설물 설치가 끝나면 굴착된 나머지 부분에 되메움을 실시해야 하는데 채움재의 밀도를 확보하기 위해서는 일정 규모 이상의 다짐장비를 이용하여야 하나 도심지 시공여건상 다짐장비를 운용할 공간이 충분하지 않아 관 접속부위나 관하부의 틈새를 밀실하게 다짐하는 것이 매우 어렵다(Bae et al., 2017). 또한, 도심지 관거 등 지하매설물 유지관리를 위한 굴착복구공사를 수행할 때, 모래 등 토사로 되메우기를 하는 경우가 많으나 토사 되메우기로는 충분한 지지력을 확보하기 어려우므로 모래 등의 재료를 대체할 수 있는 재료의 개발이 절실히 요구된다. 이러한 문제를 해결하는 방법 중 하나가 유동성 채움재를 활용하는 것이다. 유동성 채움재는 자기 수평능력, 자기 다짐, 유동성, 인위적인 강도조절, 유지보수를 위한 재굴착이 가능한 저강도 발현 등의 장점을 가지고 있다. 유동성 채움재는 가소성 뒤채움재 라고도 하며, 유동성 및 속경성을 갖고 있어 구조물의 배면 및 하부 뒤채움 시공 시 다짐이 필요 없는 재료를 말한다. 따라서 시공 시 장소의 제약이 적으며 다짐이 필요 없기 때문에 비용 절감, 작업자의 안정성 증진, 시공의 단순화로 인한 인력감소 등의 장점이 있다. 또한, 유동성 채움재는 빨리 굳는 속경성을 띄고 있어 긴급한 공사에 유용하게 활용할 수 있다. Oh & Kim(2010)은 지중전력구조물 현장에서 급결 고화재를 사용하여 급속시공에 따른 시공품질 검증 및 시공방법 설정에 관한 연구를 수행하였고 Ryu et al.(2015)은 조기강도 발현, 재료유실 방지를 위한 가소성, 시공품질 확보를 위한 수중분리성을 갖춘 유동성 채움재의 공학적 특성을 평가하여 하수관로 뒤채움재로서의 사용 가능성을 제시하였다.

본 연구에서는 지하매설물을 설치한 후 되메움을 하는 재료로서 해양점토와 고화재 및 현장에서 발생하는 현장토를 활용한 유동성 채움재의 특성을 규명하기 위하여 일축압축강도 시험과 유동성 시험을 수행하였으며, 동결에 의한 강도 특성을 파악하기 위하여 동결융해시험을 수행하였다. 또한, 유동성 채움재가 지중배관의 부식에 미치는 영향을 검토하기 위하여 전기비저항시험과 pH시험을 수행하였고 ACI comitee 229(1994)에서 규정한 강도 기준에 적합한 배합비를 제안하였다.

2. 유동성 채움재의 일반사항

2.1 채움재의 강도기준

유동성 채움재의 주된 적용 대상은 다짐된 토사를 대체하

는 충전재료이다. 유동성 채움재는 자체의 유동성과 다짐의 불필요성 때문에 재료의 타설이 용이하고 다짐이 어려운 현장의 시공에 적합하다. 또한, 시공 후 재굴착 여부에 따라 적용이 가능한 강도의 범위는 인력굴착이 가능한 강도는 0.7MPa 이하, 장비로 재굴착이 가능한 강도는 7~2.1MPa 그리고 비굴착 강도는 2.1MPa 이상으로 구분할 수 있다(ACI, 1994).

2.2 지하매설관의 뒤채움

1970년대 중반 미국과 캐나다에서는 지하매설관의 지지력을 감소시키는 관의 바닥과 하부 사이에 물의 침입을 막기 위해 유동성 채움재와 같은 낮은 강도로 제어진 재료로 지하매설관의 하부를 충전했다. 작업 과정 중 매설관을 설치하기 위한 굴착도 유동성 채움재가 사용되면 다짐이 필요 없기 때문에 시공규모가 작아지게 된다(Seo, 2009). 그러나 다짐기계의 작업공간이 있는 경우에는 전체 깊이에 유동성 채움재가 타설 되는 것이 아니라 매설관의 중간지점에만 타설하고 나머지 부분은 기존의 다짐과 충전방법을 사용할 수도 있다(Brewer, 1994). 유동성 채움재로 매설관 전체를 감싸는 것은 시공 후 외부요인에 의한 손실로부터 관을 보호해주고 재굴착이 가능한 0.7~2.1MPa의 범위의 강도를 가지고 있으므로 백호 등의 장비로 쉽게 굴착이 되므로 향후 보수에 유리하다(Hook & Clem, 1998).

2.3 유동성 채움재의 품질관리

유동성 채움재의 품질관리 계획의 범위는 예전의 경험, 적용대상, 사용한 재료 및 요구하는 품질수준에 따라 다양하다. 품질관리 계획은 표준 실험을 거친 배합이 사용된 경우 간단하게 육안으로 검사해도 무관하나 적용대상이 중요하고, 비표준적인 재료가 사용되거나 제품의 균일성이 의심스러운 경우에는 컨시스턴시와 강도에 대한 정식시험이 고려되어야 한다. 대부분의 시공계획에 대해서 유동성 채움재는 굳지 않는 성질(유동성, 컨시스턴시, 단위중량)과 경화된 성질(강도, 강성, 내구성, 투수성)을 가지는 배합설계를 하기 위해 시공에 사용되는 재료를 사용하여 예비실험을 하고 압축강도와 컨시스턴시 등 유동성 채움재의 품질관리를 해야 한다(Seo, 2009).

3. 실험방법

3.1 해양점토의 특성

본 연구에 사용된 시료는 부산 00지역에서 교란된 상태

로 채취하였으며 평균입경 0.01mm 이하의 미세입자(세립토)가 대부분을 차지하고 있다. 자연함수비는 평균 40%, 최대건조단위중량은 15.5kN/m³로 산정되었고 #200체 통과율 약 90% 이상이며 애터버그한계시험에 의한 액성한계는 42%, 소성지수는 16.0으로 통일분류법(U.S.C.S)상 ‘압축성이 작은 점토(CL)’로 분류된다. Table 1은 각각의 시험 항목에 따른 해양점토의 물리적 특성을 나타내고 있다.

Table 1. Physical properties of marine clay

Physical properties	Symbol	Unit	Marined clay
Initial moisture content	w_o	%	40
Unit weight	$\gamma_{d\ max}$	kN/m ³	15.5
Liquid limit	W_L	%	42.0
Plastic index	I_P	-	16.0
Specific gravity	G_s	-	2.65
Degree of saturation	S_r	%	98.5
USCS	-	-	CL

3.2 현장토의 특성

실험에 사용된 현장토(화강풍화토)는 상주시 인근현장에서 채취하였으며 시료의 물리적인 특성을 평가하기 위하여 입도분석, 비중 및 실내다짐시험을 수행한 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Physical properties of in situ soil

Physical properties	Symbol	Unit	Value
Unit weight	γ_{dmax}	(kN/m ³)	19.8
O.M.C	w_{opt}	%	14.0
Specific gravity	G_s	-	2.60
USCS	-	-	SW

3.3 고화재의 특성

본 연구에 사용된 고화재는 탄산칼슘($CaCO_3$)과 실리카(SiO_2)로 구성되어있으며 시멘트의 성분과 유사하게 분석되었다. 고화재의 물리 화학적 특성은 Table 3과 같으며 보

Table 3. Physicochemical properties of stabilizer

Stabilizer	Specific gravity	Fineness (cm ² /g)	Hydration heat (cal/g)	Setting (h:m)	
				Initial set	Final set
Normal cement	3.01	3,690	39	04:20	07:45
Stabilizer	3.08	3,770	12.59	00:50	01:15

토포틀랜드시멘트 보다 수화열은 낮으며 응결시간은 빠른 것으로 나타났다. 이는 본 연구에 사용된 고화재의 초기강도 발현이 우수하다고 판단 될 수 있다.

3.4 일축압축 강도시험

본 연구에서는 해양점토에 고화재 및 현장토의 혼합비율을 변화시켜가며 양생기간별로 공시체를 제작하여 KS F 2314의 규정에 따라 일축압축강도 시험을 수행하였다.

일축압축강도 시험은 직경 50mm, 길이 100mm의 몰드에 해양점토 중량대비 고화재를 4%, 8%, 12%, 현장토를 0%, 10%, 20%, 30% 혼합하여 제작하였으며, 7일, 14일, 28일, 56일 양생한 공시체로 일축압축강도 시험을 수행하였다. 유동성 채움재의 목표강도는 ACI Committee 299에서 제시한 값을 참고하여 재령 28일 기준으로 장비로 재굴착이 가능한 0.7~2.1MPa로 설정하였다(ACI, 1994). 시험조건은 Table 4와 같다.

Table 4. Experimental condition (weight ratio)

Unit weight (kN/m ³)	Stabilizer (%)	Weathered soil (%)	Curing period (day)
13.2 (γ_{dmax} 85%)	4	0	7, 14, 28, 56
		10	
		20	
		30	
	8	0	
		10	
		20	
		30	
	12	0	
		10	
		20	
		30	

3.5 동결융해시험

동결융해 현상은 계절적인 환경변화로 인한 지반의 역학 외적인 현상 중 하나로서 토류구조물 측면에서 동결융해는 배면 지반의 토압에 의한 작용외력을 비롯한 다양한 지반 공학적 특성의 변화를 유발시키며, 장기적 관점에서 토류구조물의 시간 의존적 안정성에 많은 영향을 미칠 수 있다 (Yoo & Shin, 2011). 동결융해 시험은 고화재와 적정량의 흙을 혼합한 후 동결융해 반복시험을 하여 고화재 첨가량과 동결융해 반복에 따른 압축강도의 변화를 검토하고 건설재료로서의 활용성과 기초지반의 성토 및 매립재, 되메움재로서의 활용성을 검토하는 시험방법이다. 본 연구에서는 유동성 채움재에 동결융해 반복작용을 부과하여 동결융해 반복

작용이 채움재의 일축압축강도에 미치는 영향에 대하여 연구를 수행하였다. 시험을 위한 공시체는 해양점토에 현장토 20%, 고화재를 4%, 8%, 12% 혼합하여 제작하였으며 28일 상온에서 양생시킨 후 KS F 2332 규정에 의하여 동결융해 시험을 수행하였다. 시험이 종료되면 각 사이클별로 일축압축강도시험 및 전기비저항시험을 수행하여 동결융해 반복작용이 채움재에 미치는 영향을 규명하였다.

3.6 유동성 시험

고화재 및 현장토의 혼합비에 따른 채움재의 유동성 확인을 위하여 ACI committee 229에서 규정하고 있는 ASTM D 6103(2004) 규정에 의거하여 유동성 시험을 수행하였다. 흐름값 측정 시에는 시료의 중심을 지나는 최소값, 최대값을 측정하여 평균값을 사용하였다. Table 5는 ASTM D 6103 규정을 보여주고 있다.

Table 5. Standard of flow test (ASTM D 6103)

Division	Flow value
High liquidity	Over 20cm
Middle liquidity	15~20cm
Low liquidity	Below 15cm

3.7 전기비저항시험

토양비저항값은 지하매설물의 부식작용에 영향을 미친다. 즉, 토양비저항값이 작으면 전기전도도가 커서 부식될 가능성이 크고, 토양비저항값이 크면 전기전도도가 낮으므로 부식될 가능성이 적다. 일본의 가스관련 법령에서는 토양비저항값이 4,000($\Omega \cdot \text{cm}$) 미만인 배관부분에 대해서는 방식조치를 강구하도록 하고 있고 토양비저항값이 1,000($\Omega \cdot \text{cm}$) 이하인 토양은 채움재로 사용하지 않도록 권장하고 있다 (Ryu et al., 2008). 본 연구에서는 웨너의 4-전극법을 이용한 전기비저항을 사용하여 토양비저항값을 측정하였다. 웨너의 4-전극법(Wenner's 4-electrode method)은 1915년 Frank Wenner가 제안한 비저항 측정기법으로 전류 전극(current electrodes) 및 전압 전극(potential electrodes)을 동일한 간격으로 설치하여 지반의 비저항(earth resistivity) 측정에 사용되어왔다(Lee & Yim, 2017). 시험은 전류와 전극사이에 전류계 및 전원을 연결하여 일정한 전원에 의해 전류 전극 사이에 샘플 내부 전류(I)를 측정하게 된다. 내부 전극은 전압계와 연결 하여 전극 간의 유도되는 전압(V)을 측정한다. 즉, 외부 전극 사이 전원을 연결하여 전류를 흘리고, 전압계와 전류계의 측정 결과와 옴의 법칙($R=V/I$)에 따라 접지저항이 산출된다. 따라서 전극의 간격을 a 라 하면, 재료 내 전기비

저항은 Eq. (1)로부터 산출이 되고, 산출된 전기비저항 값은 a 깊이만큼의 평균 전기비저항을 나타낸다(Wenner, 1915).

$$\rho = 2\pi aR \quad (1)$$

여기서, ρ : 전기비저항($\Omega \cdot \text{cm}$)

a : 전극의 간격(cm)

R : $V/I(\Omega)$

본 연구에서는 유동성 채움재의 토양비저항특성을 파악하기 위하여 해양점토에 현장토를 0%, 10%, 20%, 30%를 혼합하여 만든 공시체를 이용하여 전기비저항 시험을 수행하였다. 또한, 동결융해시험이 끝난 후에 전기비저항시험을 수행하여 환경적인 영향을 받기 전과 후의 토양비저항값을 비교·분석하였다.

3.8 pH특성 시험

지하매설물용 채움재로서 산성 토양을 사용할 경우 강관의 부식을 야기할 우려가 있다. 특히 pH가 4 이하인 경우 부식의 우려가 높으므로 적절한 산성도(pH 5~8)를 가진 채움재를 사용하여야 한다(Ryu et al., 2008). 본 연구에서는 해양점토에 현장토 20%, 고화재 8%를 혼합한 현탁액으로 pH값을 측정하였다.

4. 결과 및 분석

4.1 유동성 채움재의 일축압축강도 특성

Fig. 1~4는 고화재를 혼합한 유동성 채움재의 양생기간에 따른 일축압축강도를 나타낸 것이다. 그림에서 나타나듯이 양생기간이 증가할수록 일축압축강도가 증가하는 것을 알 수 있으며 현장토(Weathered Soil, W.S)의 혼합비율이 증가할수록 일축압축강도는 감소하는 것을 알 수 있었다. 현장토의 혼합비율이 0%인 경우 증가양상은 양생기간 7일까지 일축압축강도가 급격히 증가하고 7일이 지나면서부터 양생기간 56일까지 강도가 꾸준히 증가하는 것을 알 수 있었고 현장토의 혼합비율이 10% 이상인 경우에서는 양생기간 7일까지 일축압축강도가 급격히 증가하다가 7일이 지나면서부터 증가양상이 둔화되는 것을 알 수 있었다. 양생기간이 56일인 경우에는 일축압축강도는 7일 양생인 경우보다 최대 2배 이상 증가하는 것을 알 수 있었으며, 현장토의 혼합비율이 0%, 10%이고 고화재 혼합비율 4%인 경우 양

생기간 28일 이상에서 목표강도를 만족하였고 현장토의 혼합비율이 20% 이상인 경우에는 고화재 혼합비율 8% 이상 양생기간 28일 이상에서 목표강도를 만족하였다. 현장토의 혼합비율이 0%이고 고화재의 혼합비율이 12%인 경우에는

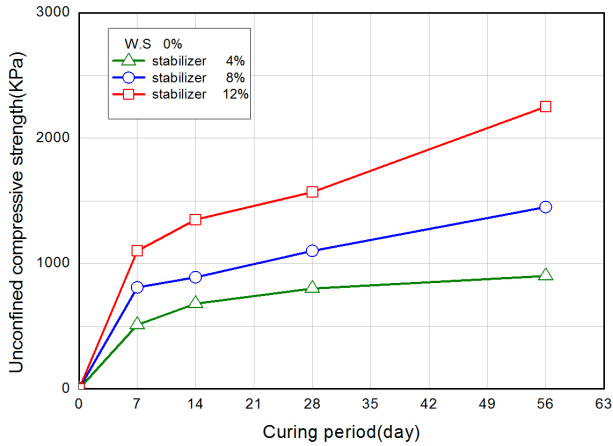


Fig. 1. Variations of unconfined compressive strength with curing period (W.S 0%)

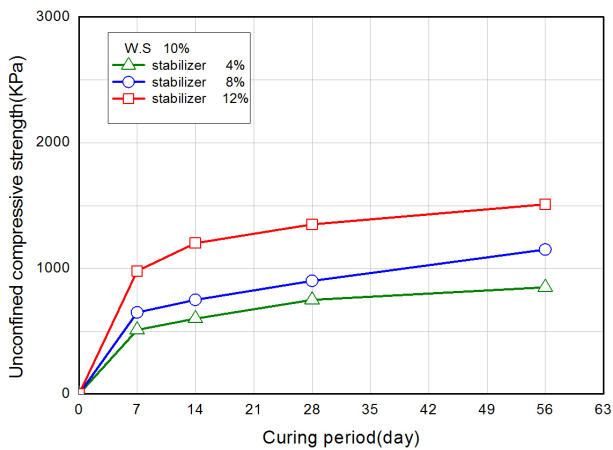


Fig. 2. Variations of unconfined compressive strength with curing period (W.S 10%)

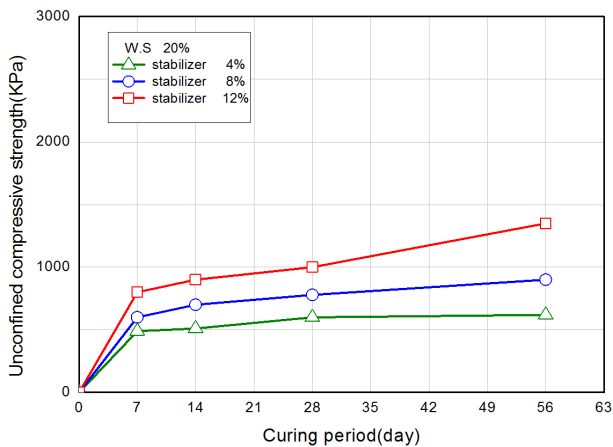


Fig. 3. Variations of unconfined compressive strength with curing period (W.S 20%)

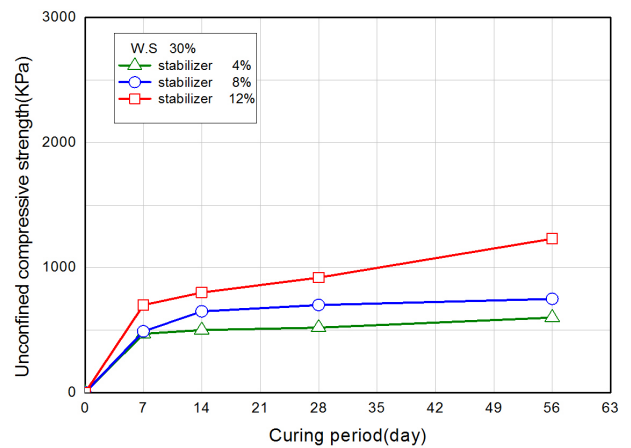


Fig. 4. Variations of unconfined compressive strength with curing period (W.S 30%)

양생기간 56일에서의 일축압축강도가 2.2MPa로 재굴착을 할 수 있는 강도를 초과하였으므로 재굴착을 위한 공사일 경우 고화재를 8% 이하로 혼합할 것을 제안한다.

4.2 동결융해 시험에 의한 강도특성

Fig. 5는 현장토의 혼합비율이 20%인 경우 고화재의 혼합비율이 4%, 8%, 12%일 때 동결융해 반복 사이클에 따른 일축압축강도의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 나타나듯이 동결융해 반복 사이클에 따라 강도가 감소하는 것을 알 수 있었으며, 특히 동결융해 6사이클까지는 강도감소가 17~26% 정도로 크게 발생하였으나 6사이클 이후 동결융해 종료사이클인 12사이클에서는 초기강도의 91~96%를 나타내며 강도를 회복하는 것을 알 수 있다. 이는 동결융해 반복과정 동안 습윤양생의 효과와 함께 토립자 미세구조의 변화를 가져왔기 때문이라고 판단된다. 또한, 시멘트와 조립질의 재료를 혼합하여 동결융해 반복시험을 수행한 기준

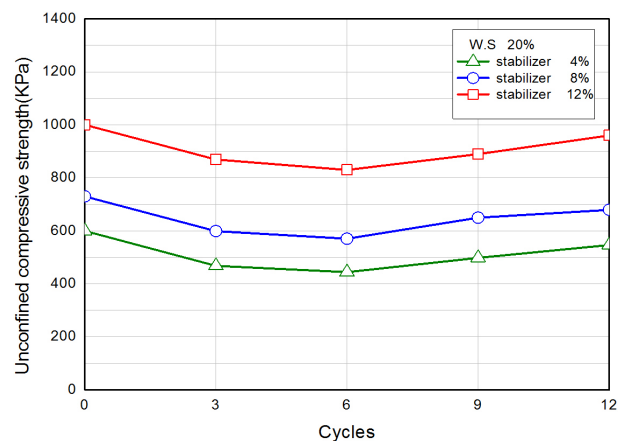


Fig. 5. Variations of unconfined compressive strength with freezing-thawing cycles (W.S 20%)

의 연구 결과에서 강도감소율이 40~50%인 것과 비교하여 본 연구에 사용된 고화재 및 해양점토는 강도감소율이 상대적으로 작으므로 동결융해 반복작용에 의한 영향을 적게 받는 것을 알 수 있었다.

4.3 유동성 시험에 의한 특성

Table 6은 함수비가 46%, 고화재 혼합비율이 8% 일 때 현장토를 0%, 10%, 20%, 30% 혼합하였을 경우 유동성 시험결과를 나타내고 있다. 표에서 나타나듯이 현장토의 혼합비율이 20% 이하인 경우에는 흐름치가 21.5~25.2cm로 고 유동성을 나타내고 있으며, 현장토의 혼합비율이 30%인 경우에는 흐름치가 17.4cm로 중간 유동성을 나타내고 있어 현장토의 혼합비율이 증가할수록 유동성이 저하되는 것을 알 수 있었다. 따라서 지하매설물용 채움재로 사용하기 위한 최소 배합비율은 해양점토에 고화재 8%, 현장토를 20% 이하로 혼합할 것을 제안한다.

Table 6. Result of flow test

Weathered soil (%)	Stabilizer (%)	Water content (%)	Result (cm)
0	8	46	25.2
10	8	46	23.4
20	8	46	21.5
30	8	46	17.4

4.4 전기비저항시험에 의한 특성

유동성 채움재가 지하매설물의 부식작용에 미치는 영향을 규명하기 위하여 해양점토에 현장토를 0%, 10%, 20%, 30% 혼합하고 고화재를 4%, 8%, 12% 혼합하여 전기비저항시험을 수행 한 결과를 Fig. 6~9에 나타내었다.

4.4.1 현장토 혼합비율에 따른 토양비저항 특성

Fig. 6은 현장토의 혼합비율에 따른 토양비저항값을 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 현장토의 혼합비율이 증가할수록 토양비저항값이 증가하는 것을 알 수 있다. 특히 현장토의 혼합비율이 10% 미만일 경우에는 토양비저항값이 490~680($\Omega \cdot \text{cm}$)로 전기비저항값이 작아 지하매설물이 강관일 경우 부식의 우려가 있으나 현장토의 혼합비율이 20% 이상이고 고화재의 혼합비율이 8% 이상인 경우에는 토양비저항값이 1,050~1,400($\Omega \cdot \text{cm}$)으로 일본의 가스법령에서 규정하고 있는 1,000($\Omega \cdot \text{cm}$)을 초과하므로 강관 부식의 염려 없이 지하매설물 주변을 되메움 할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 상하수도관이나 가스관이 매설된 지반의

경우 해양점토에 고화재를 8% 이상, 현장토를 20% 이상 혼합하여 사용할 것을 제안한다.

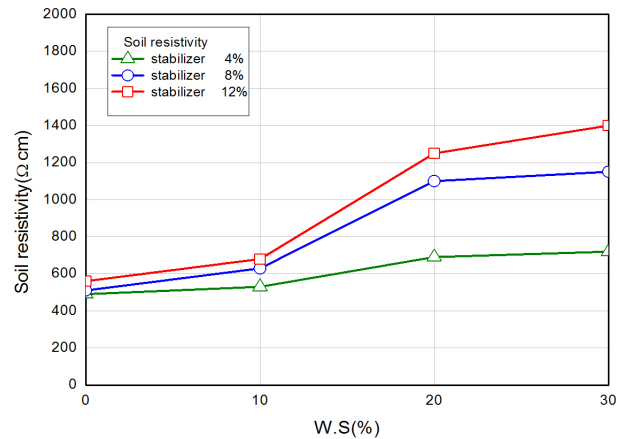


Fig. 6. Variations of soil resistivity with weathered soil content

4.4.2 고화재 혼합비율에 따른 토양비저항 특성

Fig. 7은 고화재의 혼합비율에 따른 토양비저항값을 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 고화재의 혼합비율이 증가할수록 토양비저항값이 증가하는 것을 알 수 있다. 특히 고화재의 혼합비율이 12% 경우 4%인 경우보다 최대 1.9 배 큰 것을 알 수 있었으며 그 양상은 현장토의 혼합비율이 20% 이상일 경우 더욱 뚜렷한 것을 알 수 있었다.

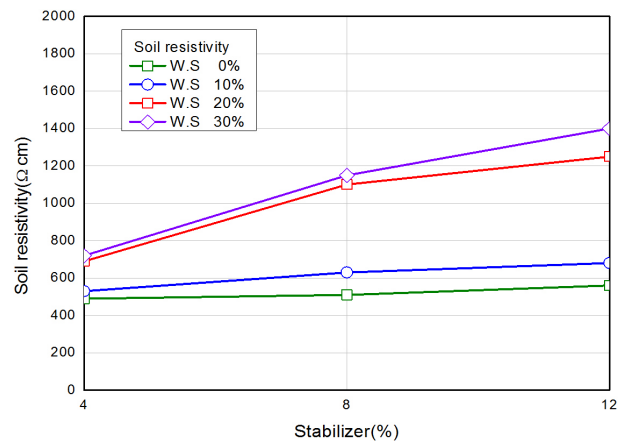


Fig. 7. Variations of soil resistivity with stabilizer content

4.4.3 동결융해 반복 작용 후 토양비저항 특성

Fig. 8은 동결융해 반복 작용을 받은 후 고화재의 혼합비율에 따른 토양비저항값을 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 동결융해 반복 적용 후에는 토양비저항값이 감소하는 것을 알 수 있었으나 감소비율은 6~14%로 작은 것을 알 수 있었다. 특히 고화재의 혼합비율이 12%인 경우는 동결융해 반복작용을 받기 전의 토양비저항값의 96%를 나타

내고 있어 동결융해 반복작용이 토양비저항값에는 거의 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있었다. 또한 동결작용을 받은 직후의 토양비저항값을 측정해본 결과 1,650($\Omega \cdot \text{cm}$)을 나타내어 동결 시에는 토양비저항값이 급격히 증가하였는데 이와 같은 현상은 주위의 온도가 영하로 떨어질 경우 시료의 부동수분량이 감소하여 토양비저항값이 일시적으로 증가되었다고 판단된다.

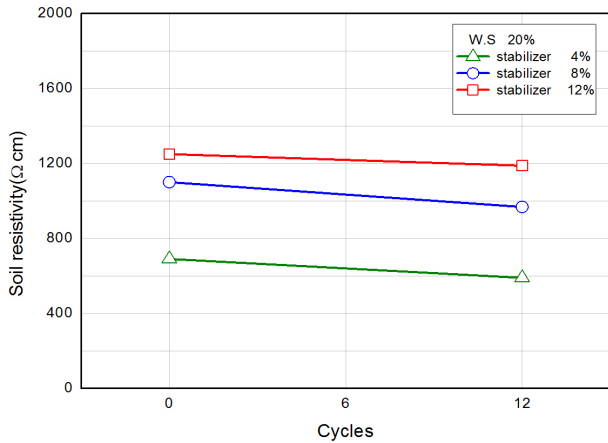


Fig. 8. Variations of soil resistivity with freezing-thawing cycles

4.4.4 함수비에 따른 토양비저항 특성

일반적으로 채움재의 유동성은 양생온도가 높고 물-시멘트비가 작을수록 그리고 골재의 혼합량이 많을수록 전기비저항값이 커지며 채움재 내부의 입자분포, 입자 용적률, 공극분포에 영향 때문에 유동성이 큰 재료일수록 토양비저항값은 감소한다. Fig. 9는 함수비의 변화에 따른 토양비저항값을 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 함수비가 증가할수록 토양비저항값이 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 유동성이 증가하면서 채움재 내부의 전기전도성이 증가하여 토양비저항값이 감소하는 것으로 판단된다.

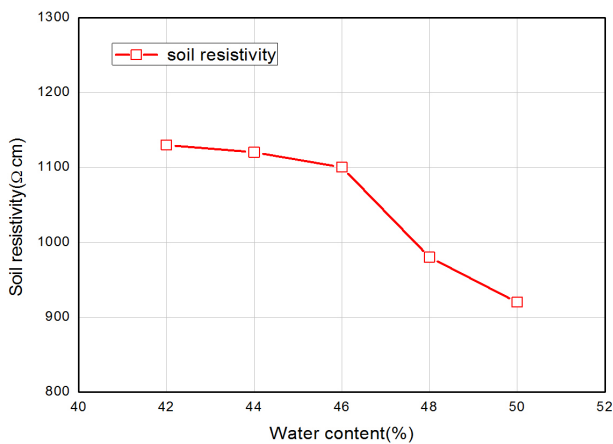


Fig. 9. Variations of soil resistivity with water content

4.5 pH 특성

pH는 수용액이 산성 또는 알칼리성으로 나타내는 지표이며 현탁액으로는 유동성 채움재의 pH값을 측정하였다. 시험방법은 폐기물 공정시험법을 토대로 수행하였으며, 시험결과 pH는 7.09로 측정되어 중성임을 알 수 있었다. 따라서 지하매설물용 채움재로서 강관의 부식을 야기할 우려가 적음을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 지하매설물을 설치한 후 되메움에 사용되는 유동성 채움재의 특성을 평가하기 위하여 일축압축강도 시험, 동결융해시험, 유동성 시험, 전기비저항시험과 pH시험 등을 수행하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 유동성 채움재의 일축압축강도 시험결과 현장토의 혼합비율이 0%, 10%이고 고화재의 혼합비율이 4% 이상인 경우 양생기간 28일 이상에서 목표강도를 만족하였다. 고화재의 혼합비율이 12%인 경우 56일강도가 2.2MPa로 재굴착을 할 수 있는 강도를 초과하였으므로 재굴착이 요구되는 경우 고화재를 8% 이하로 혼합할 것을 제안한다.
- (2) 동결융해 시험결과 동결융해 6사이클까지는 17~26% 정도의 강도감소를 가져왔으나 6사이클 이후 종료사이클에서는 초기강도의 91~96%를 나타내며 강도를 회복하였다. 이는 동결융해 반복과정 동안 습윤양생의 효과와 함께 토립자 미세구조의 변화를 가져왔기 때문이라고 판단된다.
- (3) 유동성 시험 결과 고화재의 혼합비율이 8%이고 함수비가 46%인 일 때 현장토의 혼합비율이 20% 이하인 경우는 고유동성을, 30% 이상에서는 중간유동성을 나타내었다. 따라서 시공성 및 목표강도 확보를 위한 최소 배합비율은 해양점토에 고화재 8% 이하, 현장토를 20% 이하로 혼합할 것을 제안한다.
- (4) 현장토의 혼합비율이 20% 이상이고 고화재의 혼합비율이 8% 이상인 경우 토양비저항값이 1,050~1,400($\Omega \cdot \text{cm}$)으로 일본의 가스법령에서 규정하고 있는 1,000($\Omega \cdot \text{cm}$)을 초과하므로 강관 부식의 염려 없이 지하매설물 주변을 되메움 할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, pH시험결과 채움재의 pH값은 7.09로 측정되어 강관의 부식을 야기할 우려가 적음을 알 수 있었다.

- (5) 동결융해 반복작용 후 토양비저항값은 초기값의 96%를 나타내고 있어 동결융해 반복 작용이 토양비저항값에는 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다. 함수비에 의한 토양비저항 값은 유동성이 증가하면서 채움재 내부의 전기전도성이 증가하여 함수비가 증가할수록 토양비저항값이 감소하는 것으로 나타났다.
- (6) 이상의 연구 결과에서 지하매설물을 설치한 후 재굴착을 위한 일축압축강도, 자기다짐을 위한 유동성 확보, 강관의 부식을 방지할 수 있는 유동성 채움재의 적정 배합비율은 해양점토에 고화재 8% 이하, 현장토 20% 이하로 혼합하여 28일 이상 양생할 것을 제안하며 긴급한 공사일 경우 고화재를 12% 이상 혼합하여 시공할 것을 제안한다.

References

1. ASTM D 6103 (2004), Standard test method for flow consistency of controlled low strength material (CLSM), West conshohocken, PA.
2. Bae, Y. S., Kim, K. T. and Lee, S. U. (2017), The road subsidence status and safety improvement plans, Journal of the Korea Academy Industrial Cooperation Society, Vol. 18, No. 1, pp. 545~552 (In Korean).
3. Go, D. G. (2017), Study on fundamental characteristics of inorganic filler for emergency repair of ground sink, Master's thesis, Korea National University of Transportation, pp. 1~17 (In Korean).
4. Hook, W. and Clem, D.A. (1998), Innovative uses of controlled low strength material (CLSM) in colorado, The Design and Application of Controlled Low-Strength Materials (Flowable Fill), ASTM SPT 1331, A. K. Howard and J. L. Hitch, Eds., American Society for Testing and Materials, pp. 137~150.
5. Lee, H. J. and Yim, H. J. (2017), Setting time evaluation of concrete using electrical resistivity measurement, Journal of the Korea Concrete Institute, Vol. 29, No. 4, pp. 361~369 (In Korean).
6. Oh, G. D. and Kim, D. H. (2010), A experimental study on the determination of construction method of controlled low-strength material accelerated flow ability using surplus soil for underground power line, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, Vol. 11, pp. 84~93 (In Korean).
7. Report by ACI Committee 229 (1994), Controlled low strength materials, Concrete International, July, pp. 55~64.
8. Ryu, Y. D., Kwak, C. S., Ryu, Y. J. and Lee, S. K. (2008), A Study on the improvement of the standards of backfill materials for underground pipelines carrying natural gas, Journal of the Korean Institute of Gas, Vol. 12, No. 3, pp. 75~80 (In Korean).
9. Ryu, Y. S., Han, J. G., Chae, W. R., Koo, J. S. and Lee, D. Y. (2015), Development of rapid hardening backfill material for reducing ground subsidence, Journal of Korean Geosynthetics Society, Vol. 14, No. 3, pp. 13~20 (In Korean).
10. Seo, C. B. (2009), A study on stiffness evaluation technique for controlled low-strength materials as backfill, Master's thesis, Paichai University, pp. 4~20 (In Korean).
11. Brewer, W. E. (1994), Durability factors affecting CLSM, SP 150-3, American Concrete Institute, Detroit, pp. 39~51.
12. Wenner, F. (1915), A method of measuring earth resistivity, Journal of the Franklin Institute, Vol. 180, No. 3, pp. 373~375.
13. Yoo, C. S. and Shin, B. N. (2011), Effect of cyclic freezing-thawing on compressive strength of decomposed granite soils, Journal of Korean Geosynthetics Society, Vol. 10, No. 1, pp. 19~28 (In Korean).