

# 함몰지반 긴급복구를 위한 개량준설점토의 강도 특성

## Strength Characteristics of Improved Dredged Clay for Urgent Recovery of Ground Subsidence

오 세 욱<sup>1)</sup> · 백 승 주<sup>2)</sup> · 방 성 택<sup>†</sup>  
Sewook Oh · Seungju Baek · Seongtaek Bang

Received: March 15<sup>th</sup>, 2019; Revised: March 28<sup>th</sup>, 2019; Accepted: April 10<sup>th</sup>, 2019

**ABSTRACT** : Recently, there has been an increasing number of ground subsidence (sink-hole) in the downtown areas, and in such a case, it is important to minimize accidents and passages through prompt recovery. With respect to the present recovery method for ground subsidence, the methods of applying the back filling after excavating the ground subsidence or using the grouting injected materials to restore the ground are mostly used, but there has been few studies on materials used for recovering the ground subsidence. Therefore, in order to clarify the characteristics of back filling materials used in the ground subsidence, this study uses the environment-friendly hardening agent to improve the dredged clay, and then, the mixture ratio of hardening agent and mixture ratio of decomposed granite soil is changed to cure for 3, 7, 14 and 28 days to analyze the intensity characteristics of the unconfined compression, and it was compared with the unconfined compression intensity for the previously used cement, a hardening agent. In order to evaluate the characteristics of intensity on the back filling materials, the C.B.R test was carried out, and for the review on whether the back filling materials influence on corrosion of water and sewer pipes and others, the soil non-resistance test was carried out. As a result of the test, for the case of the recovery work of the ground subsidence that requires urgency, it is considered as prudent if the hardening agents of 12% are integrated to cure for 3 days or longer, and for not having the influence on the corrosion of the gas tube or water pipes, it is proposed to mix for 30% or more of the decomposed granite soil. Door model test were conducted To confirm the bearing capacity characteristics of the solidified layer.

**Keywords** : Ground subsidence, Backfill materials, Stabilizer, Compressive strength

**요 지** : 최근 도심지에서 지반함몰의 발생이 증가하고 있으며, 이러한 경우 신속한 복구를 통해 안전사고 및 통행에 대한 불편을 최소화하는 것이 중요하다. 현재의 지반함몰 복구 방법으로는 함몰지반을 개착한 후에 되메우기를 하거나 그라우팅 주입재를 사용하여 지반을 복구하는 방법이 주로 적용되고 있으나, 지반 함몰복구 시 사용되는 재료에 대한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 함몰지반에 사용되는 되메움재료의 특성을 규명하기 위하여 준설점토를 친환경 고화제를 이용하여 개량한 후 고화제의 혼합비율 및 화강풍화토의 혼합비율을 변화시켜 3, 7, 14, 28일 양생시킨 후 일축압축 강도특성을 분석하였으며, 기존에 사용되던 고화제인 시멘트의 일축압축강도와 비교하였다. 되메움재료의 강도특성을 평가하기 C.B.R 시험을 수행하였고, 되메움 재료가 상하수도관 등의 부식에 영향을 주는지에 대한 검토를 위하여 토양비저항시험을 수행하였다. 시험결과 긴급을 요하는 함몰지반 복구공사의 경우 12%의 고화제를 혼합하여 3일 이상 양생하는 것이 좋다고 판단되며, 가스관이나 상하수도관의 부식에 영향을 미치지 않도록 하기 위하여 화강풍화토를 30% 이상 혼합할 것을 제안한다.

**주요어** : 지반함몰, 되메움 재료, 고화제, 압축강도

## 1. 서 론

우리나라에서는 항만개발, 기존항만 및 하천 정비사업 등으로 많은 양의 준설점토가 발생되고 있으나, 대부분 대규모 투기장 조성을 통한 단순투기와 매립 등으로 처리되고 있으며, 단순폐기물로 인식되어 재활용에 대한 고려가 미흡한 실정이다(Yoon et al., 2015). 이러한 준설점토를 신기술

및 신공법을 개발하여 공학적 성질이 우수하며 오염도가 낮은 준설토를 인공건설재료, 방파제, 안벽 및 호안, 성토, 되메우기 등 적절하게 토공재료로 이용하는 등의 다양한 활용 기술을 적극적으로 실용화하고 있으나 국내에서는 재활용에 대한 인식부족, 폐기물로 분류하는 법규 및 관련 활용기술의 부족으로 현장에서 재처리되거나 유효활용이 활발히 진행되지 못하는 실정이다(Shin & Bark, 2018). 따라서 되

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

2) Doctor's course, Department of Disaster Prevention & Environmental Engineering, Kyungpook National University

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

매우기 및 성토재료로서 유용 점토를 다양한 개량 기술을 통하여 현장에서 재활용하는 방법에 대한 심도 있는 연구가 필요하다. 준설토의 매립은 연안환경 피해 및 갯벌의 파괴 등으로 매립이 제한될 것이며, 오염준설토를 방지할 경우 2차 오염이 유발될 것으로 예상하고 있다(윤길림 & 김한선, 2012). 그러므로 준설토의 재활용에 대한 연구 및 기술개발을 통하여 준설토를 유효하게 활용함으로써 경제적 이익을 발생시킬 수 있는 방안의 수립이 요구된다. 이러한 방안의 하나로 준설토를 고화재로 개량하여 함몰된 지반의 되메움재료 및 성토재료로 활용하는 방법이 있다. 도시가스공업개요(공급편)에서는 굴착토를 개량한 재생재료를 되메움재료 및 노반재로 사용할 수 있도록 규정하고 있을 뿐만 아니라, 재생토 이용기술에 대하여 설명하고 있다(Yuji & Fumio, 2005).

지반함몰이란 지하에 생성되어 존재하고 있는 다양한 공동의 상부지반 또는 구조물 등과 같은 다양한 하중의 무게를 견디지 못하여 공동 속으로 가라앉게 되어 지표면과 연결되는 커다란 구멍이 생기게 되는 현상이다. 지반함몰의 발생원인은 지하에서 수도관(상·하수관로) 등의 손상에 의한 지중 토사 유출, 지하굴착에 따른 여굴 발생 및 공동 형성, 굴착 후 되메움 불량에 의한 공동 발생, 지하수위 저하에 따른 공동 형성, 석회암 내 용해공동으로 구분할 수 있다(Ryu et al., 2008). 특히, 대도시의 경우 지주시설물의 노후화와 도심지 과밀화에 의한 지하공간의 개발, 과도한 지하수 사용, 상·하수관의 누수 등 인공적인 원인에 의한 피해가 대부분이었다. 이러한 지주시설물의 노후화로 인하여 누수가 발생하는데 전국 평균누수율이 전체 공급량의 11%에 이를 정도로 큰 비율을 차지하고 있다(Bae et al., 2017). 현재 지반함몰이 발생된 부분을 흙으로 되메움 한 후 지표면을 재포장하는 방법을 가장 많이 사용하고 있으나 이는 지반함몰을 일시적으로 방지하는 방법에 불과할 뿐 근본적인 해결책이 아니다. 이러한 방법으로 보강된 지반은 추가적인 지반함몰이 발생할 가능성을 배제할 수 없으며 주변 지반의 이완영역 확대에 따라 보다 넓은 범위를 두고 발생할 수 있는 지반함몰에 대한 예방도 이루어질 수 없다(Oh et al., 2015). 이러한 지반침하현상은 도로 및 철도 등 국가 기간망의 안정성에 심각한 위협요소로 작용하고 있다. 본 연구에서는 함몰지반에 활용할 수 있는 되메움 재료로서 친환경 고화재를 사용한 개량준설토의 공학적 특성을 규명하기 위하여 친환경 고화재 및 화강풍화토의 혼합비율을 변화시켜 제작한 공시체를 3, 7, 14, 28일 양생하여 일축압축강도시험을 수행하고 기존에 사용되어졌던 시멘트 고화재를 이용하여 제작한 공시체와 일축압축강도를 비교분석하였으며, 강도특성을 분석하기 위하여 C.B.R 시험을 수행하였고, 상하수도관의 파열로 인한 함몰지반의 되메움 재료로 활용하기 위하

여 pH시험 및 토양비저항시험을 실시하여 되메우기 후 상·하수도관에 미치는 영향을 분석하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 개량준설토의 공학적 특성

본 연구에서는 고화재 혼합에 따른 준설토의 특성을 평가하기 위하여 부산 OO 지역에서 채취한 준설토와 친환경 고화재 12%, 화강풍화토 30%를 혼합하여 만든 개량준설토에 대하여 한국산업규격(KS)의 시험방법에 따라 비중, 입도분포, 액성한계, 소성한계, 다짐시험 등 개량준설토의 기본적인 물리적인 특성 시험을 수행하였다. 시험결과 연구에 사용된 개량준설토의 최대건조단위중량은  $19.0\text{kN/m}^3$ , 최적함수비는 16%로 산정되었으며, 흙의 분류는 #200체 통과율 20% 이하이며, 애터버그한계시험에 의한 액성한계는 31.8%, 소성한계는 23.0%로 소성지수는 8.8로 측정되었고, 균등계수  $C_u$ 는 11.43, 곡률계수  $C_g$ 는 1.94로 통일분류법(U.S.C.S)에 근거하여 SW로 분류된다. Table 1은 각각의 시험 항목에 따른 개량준설토의 물리적 특성을 나타내고 있다.

Table 1. Physical properties of improved dredged clay

Physical properties	Symbol	Unit	Improved dredged clay
O.M.C	$w_o$	%	16
Unit weight	$\gamma_{dmax}$	$\text{kN/m}^3$	19.0
Liquid limit	$W_L$	%	31.8
Plastic limit	$W_p$	%	23.0
Plastic index	$I_p$	-	8.8
Specific gravity	$G_s$	-	2.75
Cu	-	-	11.43
Cg	-	-	1.94
USCS	-	-	SW

### 2.2 친환경 고화재의 특성

본 연구에 사용된 친환경 고화재는 준설토와 같은 고함수비의 흙을 빠른 시간 내에 고화시켜 되메움재료 및 성토재료 등으로 재활용할 목적으로 사용하고 있다. 일반적인 무기고화재로 사용되는 시멘트는 가격이 저렴하고 성능 발현이 확실하여 많이 활용되고 있지만 6가크롬 용출 등 유해성분이 검출됨에 따라 친환경 고화재의 사용이 권장되어지고 있다. 친환경 고화재는 탄산칼슘( $\text{CaCO}_3$ )과 실리카( $\text{SiO}_2$ )로 구성되어있으며 시멘트의 성분과 유사하게 분석되었다. 친환경 고화재의 물리·화학적 특성은 수화열 및 응결시간에서 보통포틀랜드시멘트 대비 빠른 것으로 나타났다. 이는

초기강도의 발현이 우수하다고 판단될 수 있다. 친환경 고화재의 환경성을 평가하기 위한 pH특성시험결과 친환경 고화재는 7.09로 중성을 나타냈으며, 시멘트는 9.82로 강알칼리성을 나타내고 있다. Table 2는 용출시험 결과를 나타내고 있으며, 결과에서 나타나듯이 친환경 고화재 자체에 포함된 유해물질은 토양환경보존법에 적합하게 분석되어 중금속 등에 의한 환경문제는 없을 것으로 판단된다. 본 연구에 사용된 친환경 고화재는 공인인증기관인 “한국건설생활환경시험연구원”에 물리 화학적 분석을 의뢰하였으며 친환경 고화재 및 시멘트의 용출시험 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Elution test result of stabilizer and cement

Content	Criteria of concern (mg/kg)	Criteria of measure (mg/kg)	Stabilizer	Cement
Cd	12	30	1	5
Pb	400	1000	9	217
Cu	200	500	-	132
Hg	16	40	0.005	0.02
Cn	120	300	-	-
C <sub>r</sub> <sup>6+</sup>	12	30	0.05	13
As	20	50	5	23

### 2.3 일축압축 강도시험

본 연구에서는 친환경 고화재와 화강풍화토를 사용하여 개량한 준설풀토의 일축압축강도 특성을 규명하기 위하여 친환경 고화재의 혼합비와 화강풍화토의 혼합비율을 변화시켜가며 양생기간별로 공시체를 제작하여 KS F 2314의 규정에 따라 일축압축강도 시험을 수행하였다. 일축압축강도 시험은 직경 50mm, 길이 100mm의 몰드에 공시체를 건조 단위중량에 맞추어 다짐하는 방법으로 준설풀토 중량대비 친환경 고화재를 0%, 4%, 8%, 12% 혼합하였고 화강풍화토를 0%, 30% 혼합하였다. 개량준설풀토의 양생기간은 초기 강도발현을 확인하기 위하여 3일, 7일, 14일, 28일로 결정하였다. 균질한 공시체의 제작을 위하여 친환경 고화재 및

Table 3. Experimental condition

Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Stabilizer (%)	Weathed soil (%)	Curing period (day)
	Cement (%)		
18.0 ( $\gamma_{dmax}$ 95%)	0	0	3, 7, 14, 28
		30	
	4	0	
		30	
	8	0	
		30	
	12	0	
		30	

화강풍화토를 충분히 혼합한 다음 최적함수비의 물을 가하여 손 비빔으로 충분히 혼합하여 제작 후 상온에서 양생하여 시험을 수행하였다. 고화재로 시멘트를 사용한 경우도 위 실험방법과 동일하게 공시체를 제작하여 일축압축강도 시험을 수행하였다. 시험조건은 Table 3과 같다. 본 연구에서는 되메움 재료 및 성토재료에 관한 연구결과를 참고하여 목표강도를 4.0MP로 설정하였다(Lee, 2012).

### 2.4 C.B.R 시험

CBR값은 도로나 비행장과 같은 가요성 포장의 설계에 이용된다. 이것은 포장 아래에 있는 노체 및 노상, 보조기층재의 지지력 및 팽창성과 같은 특성을 표시하는 반경험적 수치이므로 예상되는 차륜하중과 관련시켜 각 재료의 두께를 결정하는 자료가 되고, 흙의 전단강도를 간접적으로 측정하는 방법으로 적용성이 광범위하여 점토에서 자갈질흙에 이르기까지 거의 모든 흙에 적용할 수 있는 이점이 있다(Kim, 2014). 또한, 포장 아래층의 노상이나 보조기층의 지지력과 팽창성을 지시하는 반경험적 수치로 예상되는 교통하중과 관련하여 두께를 산정하는 기본자료로 사용되고, 간접적으로 흙의 전단강도를 측정하는 등 활용성이 커 점성토~자갈질 흙까지 모든 토질에 적용할 수 있다. 시공 후 기상조건에 따라 노상토가 포화상태가 될 때 지지력이 급격히 감소하므로 노상토의 지지력을 추정하기 위해 많은 나라에서 도로포장 설계에서 노상토지지력을 적용하고 있으며, 국내도 KS F 2320으로 규정하고 있다(Kim, 2017). 공사용 재료의 품질기준으로서 노상토지지력 값은 최소값을 규정하고 있다. 노상토지지력 시험은 KS F 2320에 규정되고, 그 결과 값은 아스팔트 및 콘크리트의 포장두께 설계 및 노반재 설계 등에 주로 이용되고 있다. 일반적으로 노상토의 설계에는 C.B.R 값을 사용하며, 노반재의 설계에는 수정 C.B.R이 적용된다. C.B.R값을 산정하기 위해서는 관입시험으로부터 산정한 하중을 피스톤의 단면적으로 나눈 하중강도를 산출하여 관입량-하중강도 관계로 표현하고 이때 3차 곡선이라면 변곡점에서 접선을 작도하여 이 접선이 y=0축과 만나는 값을 수정원점으로 수정한 관입량 2.5cm 및 5.0cm 일 때의 하중강도를 각각 70kgf/cm<sup>2</sup>와 105kgf/cm<sup>2</sup>로 나누어 100을 곱하여 각각 2.5mm 및 5.0mm 때의 C.B.R값으로 결정한다.

$$CBR = \frac{\text{하중강도}}{\text{표준하중강도}} \times 100(\%) \quad (1)$$

또는

$$CBR = \frac{\text{하중}}{\text{표준하중}} \times 100(\%) \quad (2)$$

C.B.R값은 2.5mm 관입량 때의 것을 적용하고 만약 5.0 mm일 때의 C.B.R이 2.5mm 때의 C.B.R보다 크게 나타나면 공시체를 다시 제작하여 C.B.R시험을 해야 한다. 만일에 재 측정된 결과가 5.0mm일 때의 C.B.R이 크다면 5.0mm 때의 C.B.R값을 적용한다(이송 & 김태훈 & 이재현, 2015).

본 연구에서는 준설풀토에 고화재 및 화강풍화토를 혼합하지 않은 상태의 공시체와 준설풀토에 고화재 12%, 화강 풍화토 30%를 혼합하여 공기 중에서 7일 양생한 공시체로 C.B.R 시험을 수행하였다.

## 2.5 토양비저항시험

토양비저항값은 강관의 부식작용에 영향을 미친다. 즉, 토양비저항값이 작으면 전기전도도가 커서 부식될 가능성이 크고, 토양비저항값이 크면 전기전도도가 낮으므로 부식될 가능성이 적다. 일본의 가스 관련 법령에서는 토양비저항값이 4,000( $\Omega \cdot \text{cm}$ ) 미만인 배관부분에 대해서는 방식조치를 강구하도록 하고 있고 토양비저항값이 1,000( $\Omega \cdot \text{cm}$ ) 이하인 토양은 되메움재로 사용하지 않도록 권장하고 있다(한국가스안전공사, 1998).

본 연구에서는 4-전극법을 이용한 전기비저항을 사용하여 토양비저항값을 측정하였다. 웨너의 4-전극법(Wenner's 4-electrode method)은 1915년 Frank Wenner가 제안한 비저항 측정 기법으로 전류 전극(current electrodes) 및 전압 전극(potential electrodes)을 동일한 간격으로 설치하여 대지 비저항(earth resistivity) 측정에 사용되어왔다(Lee & Yim, 2017). 시험은 전류 전극 사이에 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 a라 하면, 재료 내 전기비저항은 Eq. (3)으로부터 산출이 되고, 산출된 전기비저항 값은 a 깊이만큼의 평균 전기비저항을 나타낸다(Wenner, 1915).

$$\rho = 2\pi aR \quad (3)$$

본 연구에서는 화강풍화토의 혼합비율에 따른 토양비저항값의 영향을 알아보기 위하여 준설풀토에 화강풍화토를 0%, 10%, 20%, 30%를 혼합하여 만든 공시체를 이용하여 토양비저항 시험을 수행하였다.

## 2.6 pH특성 시험

pH는 수용액의 산성과 알칼리성을 나타내는 지수로써 흙

과 평형상태에 있는 공극수의 수소이온에 대한 몰 농도(mol/l)의 역수를 상용대수로 나타내는 시험이다. 본 연구에서는 준설풀토에 화강풍화토 30%, 친환경 고화재 12%를 혼합한 현탁액과 준설풀토에 화강풍화토 30%, 시멘트 12%를 혼합한 현탁액으로 pH값을 측정하였다.

## 3. 결과 및 분석

### 3.1 친환경 고화재로 개량된 준설풀토의 일축압축강도 특성

#### 3.1.1 양생기간에 따른 일축압축강도 특성

Fig. 1~2는 친환경 고화재를 혼합한 개량준설풀토의 양생기간에 따른 일축압축강도를 나타낸 것이다. 그림에서 나타나듯이 양생기간이 증가할수록 강도가 증가하는 것을 알 수 있으며, 증가양상은 양생기간 3일까지 급격히 증가하고

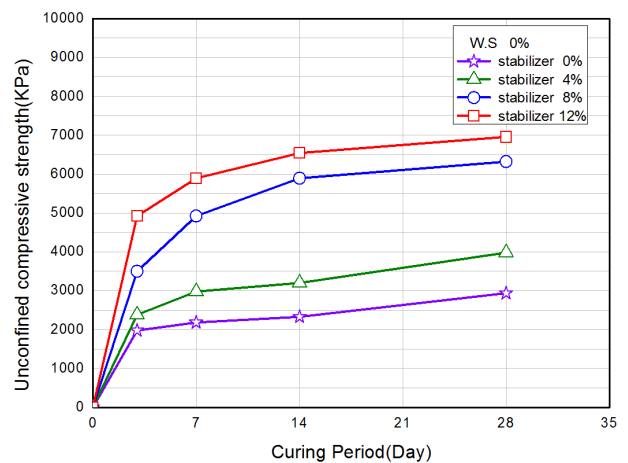


Fig. 1. Unconfined compressive strength according to the curing period (w.s 0%)

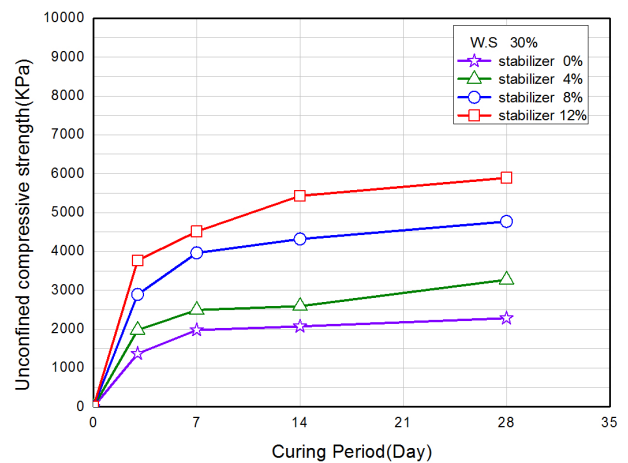


Fig. 2. Unconfined compressive strength according to the curing period (w.s 30%)

7일이 지나면서부터 점차 둔화되는 것을 알 수 있다. 고화재의 혼합비율별 일축압축강도 특성은 고화재의 혼합비율이 8% 미만인 경우 완만한 증가양상을 보이고 있으나 고화재의 혼합비율이 8%, 12%인 경우 일축압축강도가 약 1.6배 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한 화강풍화토의 혼합비율이 0%인 경우에는 고화재의 혼합비율 8%, 양생기간 7일에 목표강도인 4.0MPa를 만족하였으며, 화강풍화토의 혼합비율이 증가할수록 일축압축강도도 감소하여 화강풍화토 혼합비율이 30%인 경우에는 0%의 일축압축강도의 약 75~85%의 강도를 보이고 있다. 고화재의 혼합비율이 12%인 경우에는 양생기간 3일에서도 목표강도를 만족하였다. 따라서 긴급을 요하는 함몰지반 복구공사의 경우 12%의 고화재를 혼합하여 3일 이상 양생하는 것이 좋다고 판단된다.

### 3.1.2 화강풍화토의 혼합비율에 따른 일축압축강도 특성

Fig. 3은 고화재의 혼합비율이 12%인 경우 화강풍화토의 혼합비율에 따른 일축압축강도 특성이다. 본 연구에서 화강풍화토는 되메움 재료로서의 입도분포 기준과 토양비저항 값의 기준에 부합되도록 하기 위해서 각 고화재 혼합비율별로 0%, 30%를 혼합하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 화강풍화토의 혼합비율이 증가할수록 일축압축강도는 감소하는 것을 알 수 있으며, 28일 양생일 기준으로 약 15% 정도 강도가 감소하는 것을 알 수 있었다.

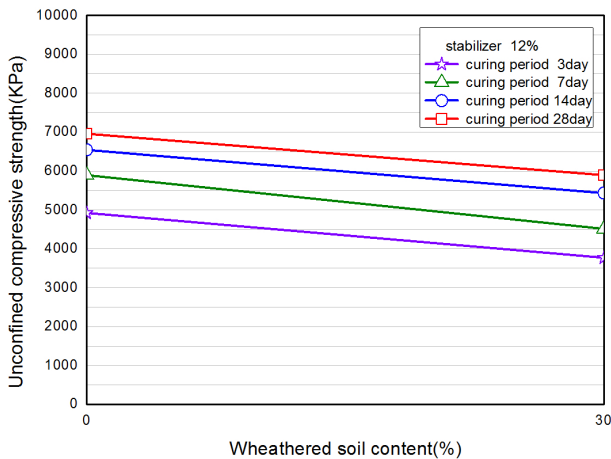


Fig. 3. Unconfined compressive strength according to the weathered soil content

### 3.2 시멘트로 개량된 준설편토의 일축압축강도 특성

Fig. 4~5는 시멘트를 혼합한 개량준설편토의 양생기간에 따른 일축압축강도를 나타낸 것이다. 그림에서 나타나듯이 시멘트의 혼합비율 및 양생기간이 증가할수록 강도가 증가하는 것을 알 수 있으며, 양생기간이 28일 경우 3일 양생

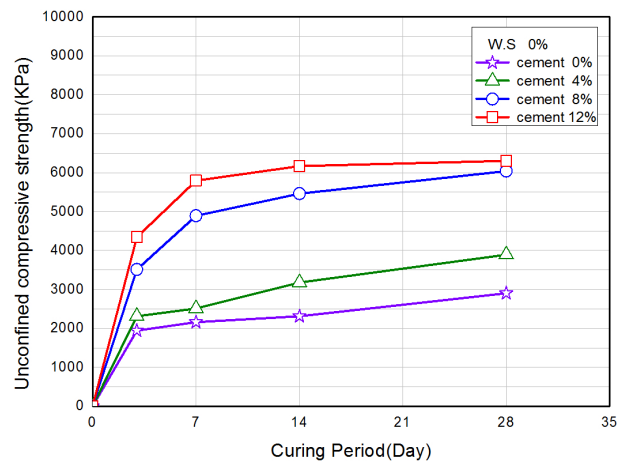


Fig. 4. Unconfined compressive strength according to the curing period (w.s 0%)

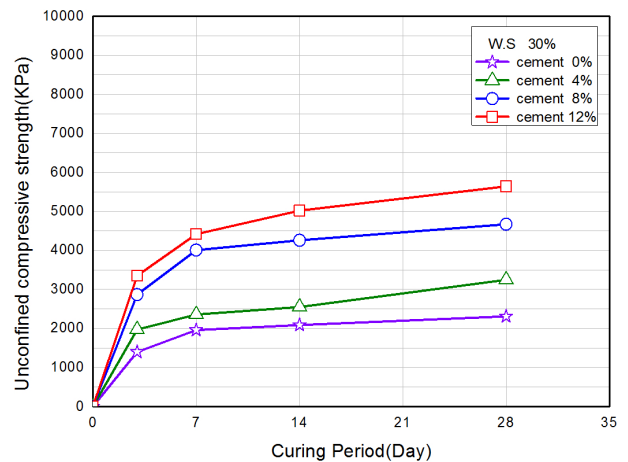


Fig. 5. Unconfined compressive strength according to the curing period (w.s 30%)

시의 일축압축강도 보다 1.23배 높은 것을 알 수 있었다. 또한 친환경 고화재를 혼합한 개량준설편토와 같이 화강풍화토의 혼합비율이 증가할수록 일축압축 강도가 감소하는 것을 알 수 있다.

### 3.3 친환경 고화재와 시멘트로 개량된 준설편토의 일축압축강도 비교

Fig. 6~8은 친환경 고화재로 개량된 준설편토의 일축압축강도와 시멘트로 개량된 준설편토의 일축압축강도를 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 친환경 고화재로 개량된 준설편토의 일축압축강도가 시멘트로 개량된 준설편토의 일축압축강도보다 큰 것을 알 수 있다. 그 경향은 고화재가 4%, 8% 혼합된 경우는 강도차이가 크지 않으나 고화재를 12% 혼합하였을 경우 친환경 고화재로 개량된 준설편토의 일축압축강도가 약 10% 정도 높은 것을 알 수 있다. 따라서 친환경 고화재로 개량된 준설편토가 지반오염을 줄이

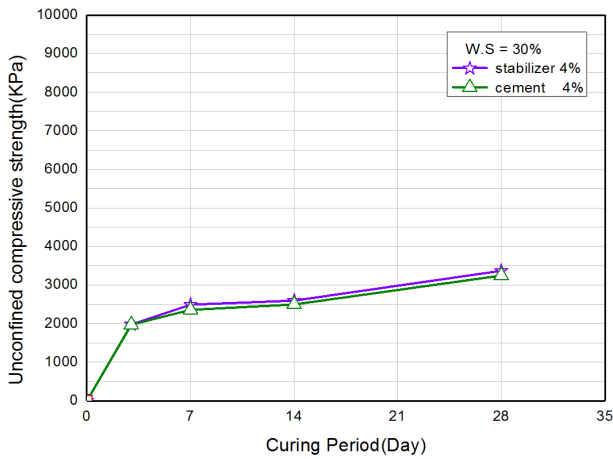


Fig. 6. Comparison of unconfined compressive strength with stabilizer and cement

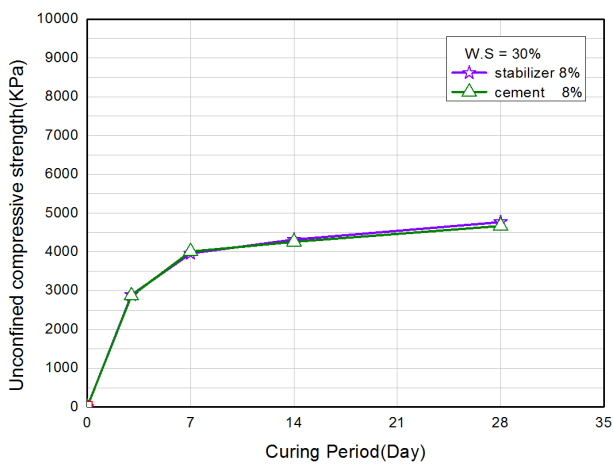


Fig. 7. Comparison of unconfined compressive strength with stabilizer and cement

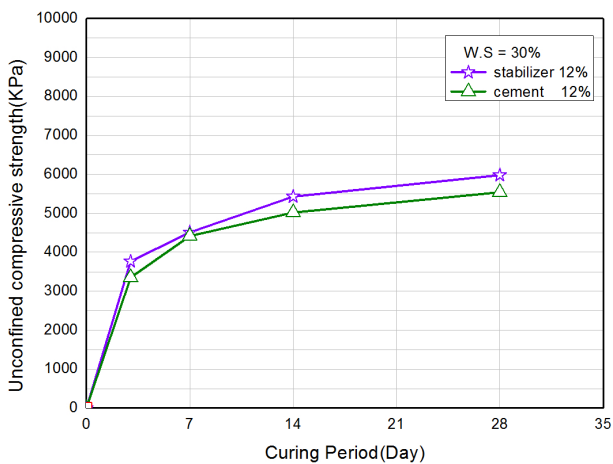


Fig. 8. Comparison of unconfined compressive strength with stabilizer and cement

면서 함몰 지반에서의 되메움 효과가 더욱 좋은 것으로 판단된다.

### 3.4 친환경 고화재와 시멘트로 개량된 준설풍토의 강도비 분석

Fig. 9는 친환경고화재 및 시멘트를 4%, 8%, 12% 혼합하고 화강풍화토를 30% 혼합하였을 경우 친환경 고화재 개량준설풍토의 28일 강도에 대한 시멘트 개량준설풍토의 강도비를 나타낸 것이다. 그림에서 나타나듯이 친환경 고화재 및 시멘트를 4%, 8% 혼합하였을 경우의 일축압축강도 차이는 크지 않았으나 12%를 혼합하였을 경우는 친환경 고화재를 혼합하여 개량된 준설풍토의 경우의 일축압축강도가 약 1.1배 정도 크게 나타나는 것을 알 수 있었다.

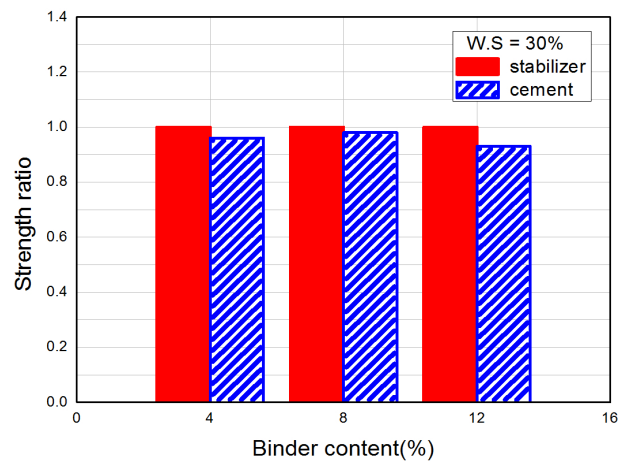


Fig. 9. Comparison of strength ratio with stabilizer and cement

### 3.5 C.B.R시험 결과 분석

본 연구에서는 개량준설풍토를 되메움 재료로 활용하기 위한 기준으로 노상토지지력비를 사용하였다. 준설풍토를 개량하지 않고 노상토지지력시험을 수행한 결과 C.B.R 값은 3.52로 국토교통부에서 규정하고 있는 도로공사표준시방서의 10 이상 기준에 부적합한 것으로 나타났으나 준설풍토에 고화재 12%, 화강풍화토 30%를 혼합하고 7일간 상온에서 양생시킨 후 노상토지지력시험을 수행한 결과, C.B.R 값이 85.4로 노상토에서 요구하는 지지력 값인 10 이상인 것으로 평가되어 되메움재의 기준에 만족하고 있음을 확인하였다. 따라서 준설풍토를 되메움 재료로 활용하기 위해 친환경 고화재를 12%, 화강풍화토를 30% 혼합할 경우 되메움재료(흙쌓기 재료)의 품질기준을 만족하는 것으로 나타났으며, 준설풍토의 활용에 대한 적합한 사용기준으로 활용할 수 있을 것이다.

### 3.6 토양비저항시험 및 pH시험 결과 분석

되메움재료가 강관의 부식작용에 미치는 영향을 규명하기

Table 4. Result of soil resistivity

Content	Weathered soil content (%)			
	0	10	20	30
Soil resistivity ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	396	510	850	1,200

위하여 준설점토에 친환경 고화재를 12% 혼합하고 화강풍화토를 0%, 10%, 20%, 30% 혼합하여 토양비저항시험을 수행한 결과 화강풍화토를 0%, 10%, 20% 혼합한 경우의 토양비저항값은 각각 396( $\Omega \cdot \text{cm}$ ), 510( $\Omega \cdot \text{cm}$ ), 850( $\Omega \cdot \text{cm}$ )으로 나타나 토양비저항값이 1,000( $\Omega \cdot \text{cm}$ ) 미만으로 전기전도도가 커서 상하수도관이 부식될 가능성이 높았으나, 화강풍화토의 혼합비율이 30%인 경우 토양비저항값이 1,200( $\Omega \cdot \text{cm}$ )으로 나타나 전기전도도가 낮으므로 상하수도관 및 가스관의 부식 우려가 없음을 알 수 있었다. 따라서 상하수도관이나 가스관이 매설된 지반이 함몰되었을 경우 되메움재료는 준설점토에 화강풍화토를 30% 이상 혼합하여 사용할 것을 제안한다.

pH는 수용액이 산성 또는 알칼리성으로 나타내는 지표이며 각각의 고화재 혼합토의 현탁액으로는 측정하였다. 시험방법은 폐기물 공정시험법을 토대로 수행하였으며, 시험결과 준설점토에 친환경 고화재를 혼합한 경우 pH는 7.09로 측정되어 중성임을 알 수 있었고 시멘트를 혼합한 경우는 9.82로 나타나 강한 알칼리성임을 알 수 있었다. 따라서 시멘트를 혼합한 경우보다 친환경 고화재를 혼합한 조건에서의 pH 지수에 대하여 장점이 있는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 친환경 고화재 및 시멘트로 개량된 준설점토를 함몰지반 되메움 재료로 활용할 수 있는지에 대한 적합성 여부를 판단하기 위해 개량준설점토의 물리적 특성 시험, 용출시험, 일축압축강도시험, 노상토지지력시험, 토양비저항시험, pH시험 등을 수행하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 친환경고화재를 혼합하여 개량한 준설점토의 일축압축강도는 고화재의 혼합비율이 8%인 경우 4%에 비해 최대 1.6배 이상 증가하는 것으로 나타났다. 또한 고화재의 혼합비율 8%, 양생기간 7일에 목표강도인 4.0MPa를 만족하였으며, 고화재의 혼합비율이 12%인 경우에는 양생기간 3일에서도 목표강도를 만족하였다. 따라서 긴급을 요하는 함몰지반 복구공사의 경우 12%의 고화재

를 혼합하여 3일 이상 양생하는 것이 좋다고 판단된다.

- (2) 친환경 고화재 및 시멘트로 개량된 준설점토의 일축압축강도를 분석한 결과, 각 고화재가 4%, 8% 혼합된 경우 강도차이가 크지 않으나 고화재를 12% 혼합하였을 경우 친환경 고화재 개량준설점토의 일축압축강도가 약 10% 정도 높은 것을 알 수 있다. 따라서 친환경 고화재 개량준설점토를 사용하는 것이 지반오염을 줄이면서 함몰 지반의 되메움 효과도 좋은 것으로 판단된다.
- (3) 개량준설점토에 대한 노상토지지력시험 결과, 개량하지 않은 준설점토의 C.B.R 값은 3.52로 도로공사표준시방서의 10 이상 기준에 부적합한 것으로 나타났으나, 준설점토에 고화재 12%, 화강풍화토 30%를 혼합하고 7일간 상온에서 양생시킨 후의 C.B.R 값은 85.4로 평가되어 되메움재료의 기준에 만족하는 것으로 나타났다.
- (4) 되메움재료가 강관의 부식작용에 미치는 영향을 규명하기 위하여 토양비저항시험을 수행한 결과, 화강풍화토를 0%, 10%, 20% 혼합한 경우의 토양비저항값은 각각 396( $\Omega \cdot \text{cm}$ ), 510( $\Omega \cdot \text{cm}$ ), 850( $\Omega \cdot \text{cm}$ )으로 나타나 상하수도관이 부식될 가능성이 높았으나, 화강풍화토의 혼합비율이 30%인 경우는 각각 1,200( $\Omega \cdot \text{cm}$ )으로 나타나 상하수도관 및 가스관의 부식 우려가 없음을 알 수 있었다. 따라서 상하수도관이나 가스관이 매설된 지반의 되메움 재료는 준설점토에 화강풍화토를 30% 이상 혼합하여 사용할 것을 제안한다.

#### References

1. 윤길림, 김한선 (2012), 준설토 활용공학, 씨아이알, pp. 61~86.
2. 이송, 김태훈, 이재현 (2015), 토질시험법, 구미서관, pp. 170~178.
3. 한국가스안전공사 (1998), 지하가스배관의 매립방식에 관한 연구, pp. 25~29.
4. Bae, Y. S., Kim, K. T. and Lee, S. U. (2017), The road subsidence status and safety improvement plans, Korea Academy Industrial Cooperation Society, Vol. 18, No. 1, pp. 545~552 (In Korean).
5. Kim, J. I. (2017), Study on utilization of subgrade soil with improved soft-ground by chemical agent, Ph D. dissertation, Incheon National University, pp. 103~104 (In Korean).
6. Kim, K. H. (2014), Engineering properties and applicability of soil mixed pavement with natural soil stabilizer Master's thesis, University of Incheon, pp. 20~22 (In Korean).
7. Lee, G. H. (2012), Study on utilization of subgrade soil with improved soft-ground by chemical agent, Ph D. dissertation, Incheon National University, pp. 103~104 (In Korean).
8. 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).
9. Oh, D. W., Kong, S. M., Lee, D. Y., Yoo, Y. S. and Lee, Y. J. (2015), Effects of reinforced pseudo-plastic backfill on the behavior of ground around cavity developed due to sewer leakage,

- Journal of Korean Geo-Environmental Society, Vol. 16, No. 2, pp. 13~22 (In Korean).
10. 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).
  11. Shin, Y. C. and Bark, S. Y. (2018), Application of paper sludge ash-stabilized soft ground for subgrade soil, Journal of the Korean Geo-Environmental Society, Vol. 19, No. 6, pp. 13~22 (In Korean).
  12. Wenner, F. (1915), A method of measuring earth resistivity, Journal of the Franklin Institute, Vol. 180, No. 3, pp. 373~375.
  13. Yoon, G. L., Lee, S. H., Oh, M. H. and Kim, S. B. (2015), Considering beneficial reuse of dredged materials in Korea, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 63, No. 4, pp. 27~34 (In Korean).
  14. Yuji, H. and Fumio, K. (2005), "External corrosion risk management for aged steel pipelines buried in high consequence areas", CORROSION at Houston, Paper No. 05166.