

유기질 함량에 따른 고화토의 역학적 특성과 식생발아 특성과의 관계 분석

A Study of Relationship Between Engineering and Germination Characteristics of Stabilized Soils with Various Organic Contents

윤 대 호¹⁾ · 김 윤 태[†]

Daeho Yun · Yuntae Kim

Received: August 18th, 2014; Revised: September 2nd, 2014; Accepted: October 30th, 2014

ABSTRACT : Organic matter in dredged soil has a lot of engineering problem in ground including a large settlement, crack propagation, low bearing capacity and low friction angle. From an agricultural point of view, however, organic matter contributes greatly soil quality and plant health. This paper investigated the relationship between engineering and germination characteristics of stabilized mixture consisting of different ratios of organic content (0 %, 10 %, 20 %, 30 %) for recycling dredged soil including organic matter. Several series of laboratory tests such as flow test, unconfined compressive test and consolidation test were performed to find out engineering characteristics. pH, percent of germination and growth of plants were also measured to investigate the germination characteristics. The experimental results indicated that, as organic content increased, unconfined compressive stress decreased and compression and swelling indices increased. However, percent of germination and plant growth increases as organic content increases.

Keywords : Dredged soil, Organic content, Recycling, Germination

요 지 : 준설토 내 유기물질은 지반침하, 균열, 지지력 저하 및 내부마찰각 감소 등 지반공학적으로 많은 문제를 가지고 있는 반면 농업의 관점에서는 지반 내 유기물질이 함유되어 있을수록 양질의 토사로서 식생의 성장에 크게 기여한다. 따라서 본 논문에서는 유기질을 함유한 준설토를 재활용하여 고화토를 제작하였으며, 고화토의 유기질 함량(0 %, 10 %, 20 %, 30 %)에 따른 역학적 특성과 식생발아 특성과의 관계를 분석하였다. 유동성 시험, 일축압축 시험 및 압밀 시험 등 다양한 실내 시험을 통해 고화토의 역학적 특성을 알아보았으며, pH, 발아율 및 초장길이 측정을 통해 식생발아 특성을 알아보았다. 실험 결과 유기질 함량이 증가할수록 일축 압축강도는 감소하고 압축지수 및 팽창지수는 증가하는 것으로 나타났다. 반면 식생의 발아율 및 초장길이는 유기질 함량이 증가함에 따라 점차 증가하는 경향을 보였다.

주요어 : 준설토, 유기질 함량, 재활용, 식생발아

1. 서 론

국내 해양산업의 발전 및 항만의 증설 등에 의하여 많은 양의 준설토가 발생하고 있으나 이렇게 발생하는 준설토는 현재 대규모 투기장에 단순 투기 및 매립에 의존하며 재활용률은 선진국에 비해 상당히 낮은 실정이다. 특히 이렇게 발생하는 준설토는 일반적으로 유기물을 포함하고 있어 단순 매립할 경우 통기, 배수 등의 불량으로 인해 불투수층 내 유기물 등이 시간 경과에 따라 부패, 악취 등이 발생하여 환경적인 문제를 야기시킨다. 준설토 내 유기물질은 해저, 습지, 늪 등의 수생식물과 같은 식물체가 일부 부식화되어 쌓이면서 발생한 것으로 보수력 및 팽창성이 크고 탈수 시에도 수축성이 큰 특징을 가지고 있다(Park & Kweun, 1998). 현장토에 포함되어 있는 유기물은 경화체에서 수화 반응에

관여하는 Ca^{2+} 와 Al^{3+} , Fe^{3+} 이온 등과 착체를 형성함으로써 수화반응을 지연시켜 압축강도 감소와 투수계수 증대를 일으키며(Jo et al., 2004; Sireesh et al., 2013; Kuo et al., 2013), 전단강도가 감소하고 팽창성이 증대된다(Park & Koo, 2002). 또한 유기물 함유량이 증가함에 따라 인한 1차 압밀 침하량과 2차 압밀 침하량이 과다하게 발생한다(Mesri et al., 1997; Jang, 2011; Kim, 2002). 유기질토의 역학적 특성에 관한 기존 연구는 유기물의 범위가 대부분 약 10 % 부근으로 유기질 비율이 전체 지반에 비해 상대적으로 낮은 저유기질 토에 대한 연구가 주를 이루었으나, 유기질토 지반의 활용 빈도가 증가함에 따라 저유기질토 뿐만 아니라 고유기질토에 대한 연구에 대한 필요성이 점차 대두되고 있는 실정이다.

반면 지반 내 유기질은 식생의 성장을 돕기 위한 필수 요소 중 하나로 일반적으로 지반 내 유기물 함량이 풍부할수

1) Department of Ocean Engineering, Pukyong National University

† Department of Ocean Engineering, Pukyong National University (Corresponding Author : yuntkim@pknu.ac.kr)

록 식생의 생육이 증대되는 결과를 가져오게 된다(Choi et al., 2008; Choi, 2011). 식생 성장의 중요 요소 중 하나인 pH는 일반적인 시멘트 혼합토의 경우 약 11~13 정도의 범위로 식물이 생육할 수 없는 강알카리성 조건을 가지게 되는데(Lee, 2003), 지반에 유기물이 혼합되면 양이온 치환능(Cation Exchange Capacity, CEC) 및 pH의 개선이 이루어져 식생 성장에 효과적인 환경으로 작용하게 된다(Kim et al., 1998; Lee et al., 2009; Oh & Kim, 2013;). 또한 유기물질은 지반 내 공극을 생성하여 식물 성장에 필수적인 토양 조건인 보수성, 통기성, 투수성 등을 가지게 하여 식생의 성장을 원활하게 할 수 있는 환경을 향상시킨다(Kim & Kim, 1996; Rosen & Allan, 2007).

유기물질과 식생발아 특성에 관한 기존의 연구는 주로 식생의 생육에 관한 연구로서 지반공학적인 관점에서 본 역학적 특성 분석이 결여되어 있다. 하지만 유기질이 함유된 준설토를 해양친수공간 조성을 위한 식생성장 가능 고화지반으로 이용하기 위해서는 식생의 생육조건뿐만 아니라 지반의 역학적인 거동 특성에 대한 규명 또한 필요하다. 따라서 본 연구에서는 유동성 시험, 일축압축시험, 압밀시험 등을 통해 저유기질 및 고유기질 고화토의 역학적 특성을 규명함과 더불어 pH 측정, 발아율 시험, 초장 길이 측정 등을 통해 식생발아 특성을 규명하였다. 이를 통해 유기물 함량에 따른 고화토의 역학적 특성과 식생발아 특성과의 상관성을 분석함으로써 현장 조건에 맞는 적절한 배합비 결정을 위한 기초적인 연구를 수행하고자 하였다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1 실험재료

유기질이 함유된 준설토를 해양친수공간 조성을 위한 식

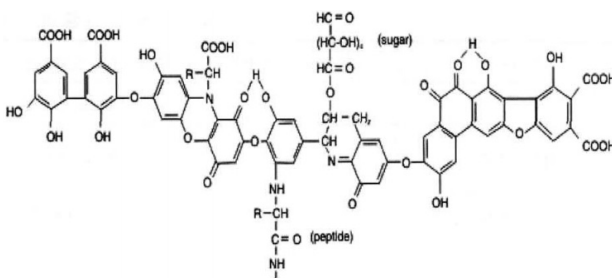


Fig. 1. Structure of humic acid (Stevenson, 1982)

Table 2. Composition of humic acid

Carbon (%)	Oxygen (%)	Hydrogen (%)	Nitrogen (%)	Sulfur (%)	Ash (%)
59	36	3.2	1.5	0.8	11

생성장 가능 고화지반으로서의 사용 가능성을 분석하기 위해 다양한 유기물 함량이 포함된 유기질토를 제작하였다. 본 연구에서 제작된 유기질토는 점토, 저회 및 유기물을 혼합하였다. 우선 점토와 저회를 3:7의 비율로 혼합한 후 유기질 0%, 10%, 20%, 30%를 각각 혼합하여 다양한 배합비의 유기질토를 준비하였다. 사용된 점토는 대표적인 점토 광물인 카올리나트로서 Table 1은 기본적인 특성을 나타낸다. 비중은 2.77이며 액성한계와 소성한계는 각각 49.6%와 35.5%, 소성지수는 14.1이다. 입도분포시험을 통해 통일분류법(USCS)으로 분류한 결과 실트질 점토인 CL로 나타났다. 또한 산업부산물인 저회의 재활용과 더불어 고화토의 강도 증진을 위하여 저회를 혼합하였다. 저회에 혼합된 실리카(SiO₂)와 알루미늄(Al₂O₃) 성분은 포졸란 반응을 유발시켜 전단강도를 개선하는 것으로 알려져 있다(Kim & Kang, 2010; 2011). 본 연구에서 사용된 저회는 삼천포 화력발전소에서 채취하였으며, 일관된 시험결과를 얻고자 No. 4체에 통과시켜 자갈크기의 입자를 배제하였다. 유기물로 사용된 휴믹산은 황갈색-흑갈색을 띠는 고분자의 산성물질로 일반적으로 탄소 약 40~50%, 산소 약 35~40%, 수소 및 질소 약 3~5%, 황 약 1% 등으로 구성되어 있으며 양이온 치환능(Cation Exchange Capacity, CEC)이 높기 때문에 토양의 CEC 증진, 촉매작용 등의 기능도 한다(Han et al., 2009). 휴믹산의 구성성분 및 구조를 Table 2와 Fig. 1에 나타내었다.

2.2 시험 방법

Table 3은 본 연구에서 제작한 고화토의 배합 조건 및 수행한 실내시험을 나타낸다. 다양한 유기질 함유량을 가지는 유기질토에 고화제 및 물을 Table 3과 같이 혼합하여 28일간 습윤 양생하였다. 유기물 함량에 따른 고화토의 역학적

Table 1. Geotechnical properties of kaolinite

Specific gravity		2.77
Atterberg limits	Liquid limit (%)	49.6
	Plastic limit (%)	35.5
	Plasticity index	14.1
Characteristic of particles size	Clay content (%)	16.8
	Silt content (%)	83.2
	Sand content (%)	-
	D ₅₀ (1×10 ⁻³ mm)	6.54
USCS		CL

Table 3. Mixing ratio and laboratory test

Mixing ratio (%)			Organic content (%)	Curing time (day)	Laboratory test*						
Soil	Binder	Water			FT	UW	UCS	CT	PG	GP	pH
55	5	40	0	28	○	○	○	○	○	○	○
57	3	40	10		○	○	○				
55	5	40	10		○	○	○	○	○	○	○
53	7	40	10		○	○	○				
55	5	40	20		○	○	○	○	○	○	○
57	3	40	30		○	○	○				
55	5	40	30		○	○	○	○	○	○	○
53	7	40	30		○	○	○				

*FT : Flow test, UW : Unit weight, UCS : Unconfined compressive stress, CT : consolidation test, PG : Percent of germination, GP : Growth of plant

특성을 알아보기 위해 유동성 시험, 일축압축시험, 압밀시험을 수행하였다. 유동성 시험은 JHS A 313(몰드 : 직경 80 mm, 높이 80 mm) 방법을 이용하였으며, 흐름 값의 최적범위는 200 ± 50 mm이다. 유기물 함량에 따른 고화토의 압축강도와 유기물 함량이 동일할 때 고화제 함량에 따른 압축특성을 알아보기 위해 일축압축시험을 실시하였다. 시험용 공시체는 직경 50 mm, 높이 100 mm이며, 일축압축시험 시 축 변형률 속도는 1.0 %/min으로 하여 축 변형률이 약 9.0 %일 때 중지하였다. 또한 고화토의 압밀특성을 알아보기 위해 유기물 함량에 따른 표준압밀시험을 각각 실시하였다. 높이 20 mm, 직경 60 mm인 압밀링을 이용하여 공시체를 제작하였으며, 유기물 함량에 따른 압밀특성을 알아보았다.

유기물에 따른 고화토의 식생발아 특성을 알아보기 위해 식생발아 시험 및 양생일에 따른 pH를 측정하였다. 사용된 씨앗은 잔디 종류 중 하나인 페레니얼 라이그라스를 이용하였으며, 약 0.5 g의 씨앗을 모든 시료에 균등하게 파종하여 발아율 및 초장길이 변화를 보고자 하였다. 식생의 성장은 지반의 조건뿐만 아니라 환경적인 영향(햇빛, 온도, 수분 등)에 크게 좌우하므로 모든 시료는 항온기에 두어 동일한 환경 조건으로 관찰하였다. Fig. 2는 식생발아 공시체의 모식도를 나타낸다. 고화토 상부에 씨앗을 파종한 후 배양토를 약 1 cm로 덮어 씨앗의 유실 방지 및 초기 발아를 돕고자 하였다. 또한 양생일이 경과함에 따라 시료의 pH를 각각 측정하여 시간 경과에 따른 pH 변화 양상을 알아보았다.

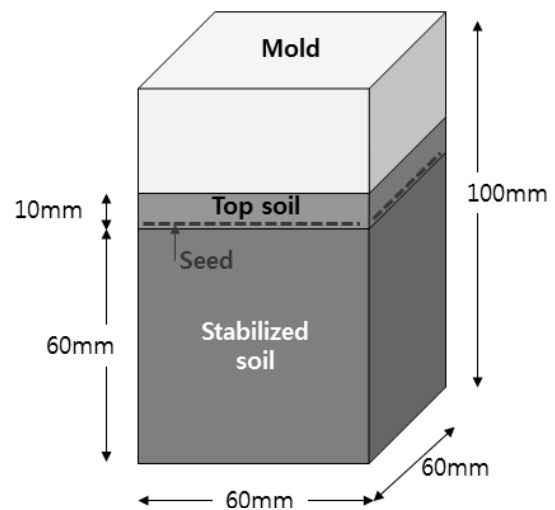


Fig. 2. Schematic diagram of germination test

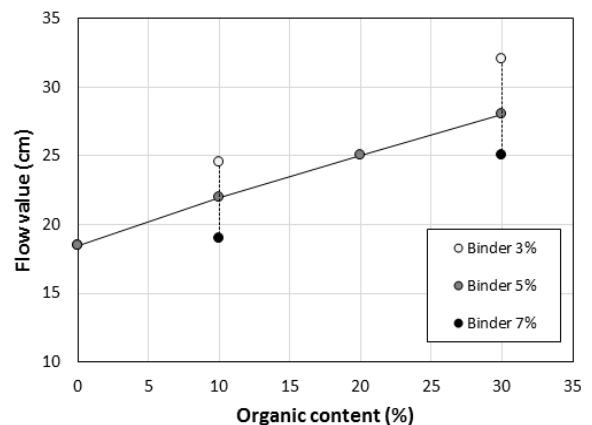


Fig. 3. Flow value with organic content

3. 실험 결과

3.1 역학적 특성

3.1.1 흐름 및 단위중량 특성

Fig. 3은 각 배합 조건에 따른 고화토의 흐름 값 시험 결

과를 나타낸다. 유기물의 함량이 0 %에서 30 %로 증가함에 따라 흐름 값이 18.5 cm에서 28.0 cm로 선형적으로 증가하는 경향을 보였다. 또한 동일한 유기물 함량일 때 고화제의 혼합비에 따라 흐름 값의 변화는 약 ± 3.5 cm의 차이를 가지는 것으로 나타났다. Han et al.(2009)은 유동화 처리토에 휴믹산을 혼합할 경우 휴믹산의 함량이 증가함에 따라 재료분

리 특성이 증가하며 유동성 역시 증가하는 경향을 나타내었다고 밝힌 바 있다.

28일간 양생 후 탈형한 공시체의 단위중량을 측정하였으며 그 값을 Fig. 4에 나타내었다. 유기물의 함량이 증가함에 따라 단위중량 값이 약 15.04 kN/m³에서 약 14.03 kN/m³로 점차 감소하는 경향을 보였다. 또한 동일한 유기물 함량에서 고화제 함량이 증가할수록 단위중량 값은 약간 증가하였다. 고화제의 함량에 따라 단위중량 값의 변화는 약 ±0.3 kN/m³의 범위를 가졌다. 단, 유기물의 함량이 30 %, 고화제의 함량이 3 %인 고화토의 경우 공시체의 경화가 이루어지지 않아 단위중량 값은 측정하지 못하였다.

3.1.2 압축강도 특성

Fig. 5는 유기물 함량에 따른 고화토의 응력-변형 곡선을 나타낸다. 유기물 함량이 낮은 고화토의 경우 최대 일축압축강도 이후 응력감소가 큰 취성적인 파괴거동을 나타내었으나, 유기물 함량이 증가함에 따라 침투강도가 뚜렷이 나타나지 않고 최대 일축압축강도 이후에 응력감소율이 낮은 연성적인 파괴거동을 보였다. 또한 파괴 시 축 변형률은 유기물의 함량이 0 %일 때 약 2.8 %에서 유기물의 함량이 30

%일 때 약 5.0 %로 유기물의 함량이 증가함에 따라 파괴 시 축 변형률도 점차 증가하는 경향을 보였다. 유기물로 사용된 휴믹산은 시멘트의 수화반응에 의해 생성되는 수산화칼슘[Ca(OH)₂]과 반응하여 휴믹산칼슘[HA-Ca(OH)₂]을 생성하여 Ca(OH)₂의 지속적인 수화반응을 지연시키므로 고화토 내의 유기물의 함량이 증가함에 따라 수화반응의 지연이 점차 증가되어 압축강도의 감소 및 축 변형률 증가가 나타난 것으로 판단된다. Fig. 6은 유기물 함량에 따른 일축압축강도를 나타낸다. 동일한 고화제 함량을 가지는 시편에서 유기물 함량이 0 %인 경우 최대 일축압축강도를 가진다. 유기물 함량이 30 %, 고화제 함량이 3 %인 경우 시료가 자립되지 않았기 때문에 일축압축강도를 측정하지 못했다. 일축압축강도는 유기물 함량이 증가함에 따라 선형적인 거동으로 감소하는 경향을 보였다. 또한 유기물 함량이 10 %인 고화토의 경우 고화제의 함량을 5 % 및 7 %로 증가시키면 압축강도는 고화제 함량이 3 %일 때와 비교해서 각각 약 3.3배 및 5.1배 증가하였다.

3.1.3 압밀 특성

유기물의 함량에 따른 간극비와 하중의 관계를 Fig. 7에

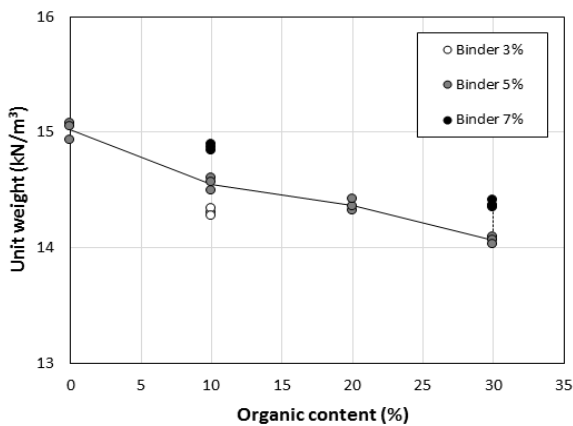


Fig. 4. Unit weight with organic content

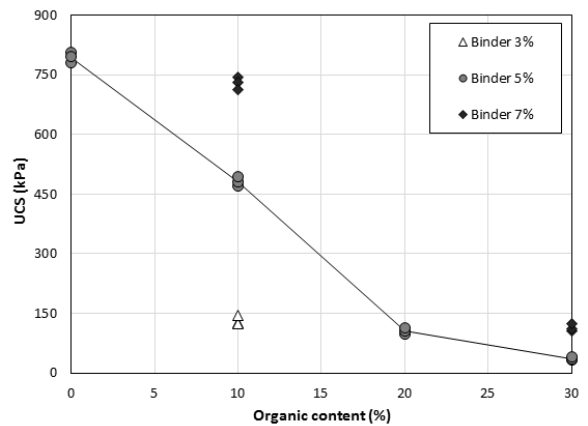


Fig. 6. UCS with organic content

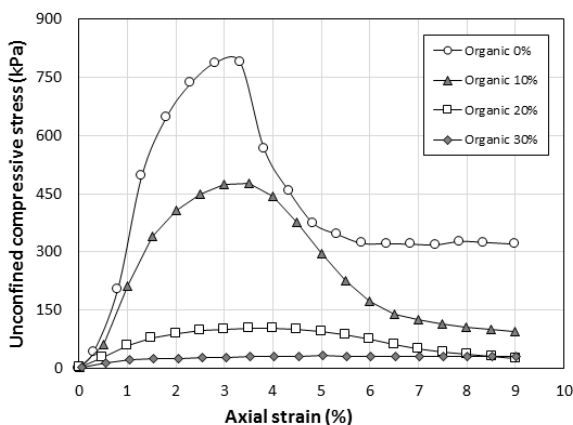


Fig. 5. Stress-strain curve with organic content

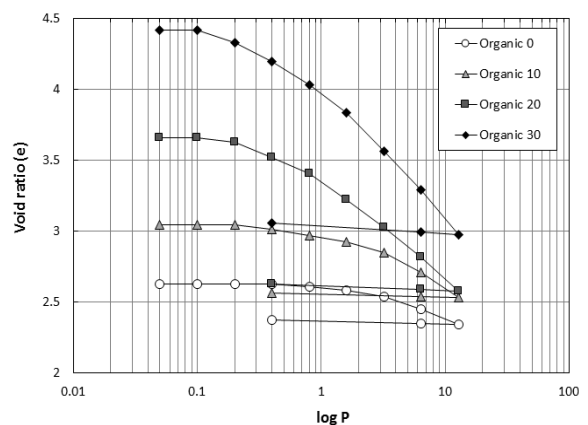


Fig. 7. e-log p curve with organic content

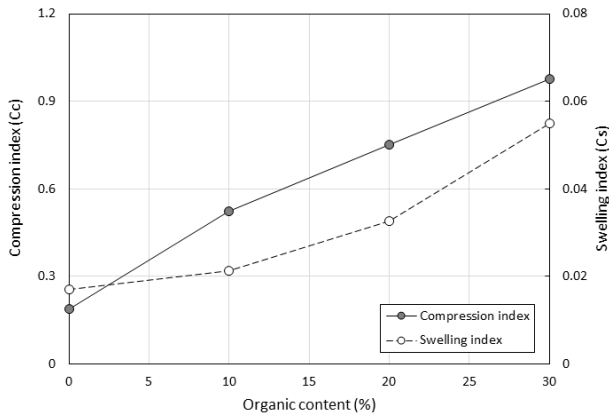


Fig. 8. Consolidation parameters with organic content

나타내었으며, 이를 통해 산정한 압축지수(compression index, Cc) 및 팽창지수(swelling index, Cs) 값을 Fig. 8에 나타내었다. 유기물의 함량이 증가함에 따라 고화토의 e-log p 곡선이 상향으로 이동하며, 간극비의 변화폭이 커짐을 알 수 있다. 또한 유기물 함량에 따른 압축지수의 변화를 살펴보면 유기물 함량이 0 %일 때 약 0.186에서 30 %일 때 0.978로 약 5.2배 증가하는 경향을 나타냈으며, 팽창지수는 유기물 함량이 0 %일 때 0.017에서 30 %일 때 0.055로 약 3.2배 증가하였다. 일반적으로 유기물의 함량이 증가할수록 압축성과 팽창성은 증가하는 경향을 보이며, 고유기질 지반일수록 압밀거동은 유기질 부분의 거동에 의해 크게 지배를 받는다(Arman, 1970; Park & Koo, 2001; Kim, 2002). 본 연구에서 수행한 유기물 함량에 따른 고화토의 압밀 시험 결과 유기물 함량이 증가함에 따라 고화토의 압축성 및 팽창성이 크게 증가한다는 것을 알 수 있었다. 이는 고화제가 물과 반응 시 수화반응으로 인해 C-S-H 수화물 및 에트린자이트를 형성하여 강도의 증진 및 입자간의 간격이 조밀하게 되는 반면, 유기물 함량이 증가할수록 수화반응 억제로 인해 강성도의 감소와 더불어 지반 내 공극이 형성됨으로 인해 나타난 결과로 판단된다.

3.2 식생발아 특성

식생발아에 영향을 미치는 요소는 토양, 수분, 햇빛, 온도, 산소 등 다양한 환경적 요소가 있다. 또한 식물별로 발아에 요구되는 환경요인에 차이가 있다. 본 연구에서는 고화토의 유기물 함량에 따른 식생의 생육 특성에 대해 알아보기 위해 모든 시료는 동일한 환경적 조건을 최대한 가질 수 있도록 시험이 종료될 때까지 항온기(25 °C)에 보관하였다. 또한 12시간 간격으로 조명의 밝기를 조절하고 주기적으로 수분을 공급하여 자연과 유사한 환경을 모사하여 유기물 함량을 제외한 모든 환경적 요소의 영향을 최소화하고자 하였다.

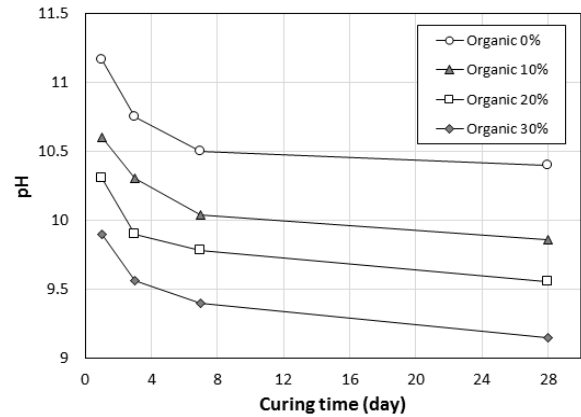


Fig. 9. pH with curing time

3.2.1 pH 특성

일반적으로 pH의 경우 식생의 성장에 많은 영향을 미치는 요소 중 하나로 pH가 높을수록 식생의 성장을 저해하는 요인이 된다. pH의 측정은 배합 직후부터 양생 28일까지 측정을 하였으며, 그 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 유기물의 함량이 증가할수록 초기 pH의 범위는 11.6에서 9.9로 낮아지는 경향을 보이며, 양생일이 경과함에 따라 전체적으로 pH가 점차 감소하였다. 이는 시멘트의 수화반응 시 C-S-H 및 C-A-H 계열의 수화물을 생성하며, 이러한 과정에서 Ca 이온이 용출됨에 따라 초기 pH가 상승하게 되는데 유기물로 사용된 휴믹산의 경우 pH의 범위가 일반적으로 5.5~6.0인 약 산성으로 pH의 감소에 큰 영향을 미친 것으로 판단된다. 재령 28일에서 고화토의 최종 pH 범위는 10.4에서 9.2로 유기물의 함량에 따라 최대 1.2의 pH 차이를 보였다.

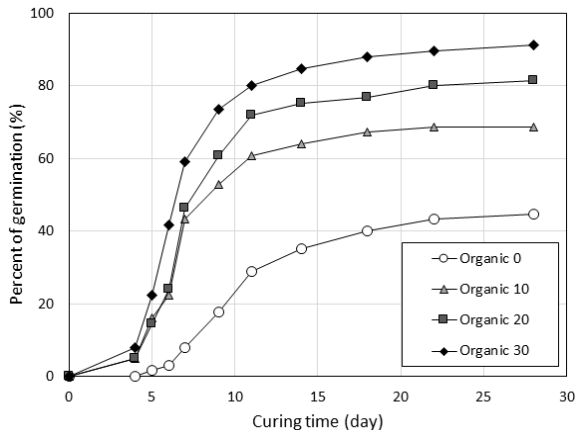
3.2.2 식생발아 특성

Fig. 10의 (a)와 (b)는 각각 양생일에 따른 잔디의 발아율(percent of germination)과 초장길이(length of plant)를 나타낸다. 대부분의 시료에서 씨앗포설 후 약 4일경과 시점에서 첫 발아가 시작되었으나, 유기물의 함량이 0 %인 시료에서는 하루 늦은 5일 후 첫 발아가 시작되었다. 양생일에 따른 발아율을 살펴보면 약 10일 전후로 대부분의 발아가 진행되었다. 특히 유기물의 함량이 10 % 이상인 시료부터 초기 발아율이 상당히 높게 나타났다. 반면 유기물 함량이 0 %인 경우 초기 발아는 5일부터 시작되었으나 발아율은 상당히 낮았으며, 약 7일부터 본격적인 발아가 진행되는 경향을 보였다. 유기물 함량에 따른 최종 발아율을 살펴보면(파종 28일 후) 유기물 함량이 0 %일 때 약 44.8%, 10 %일 때 약 68.8%, 20 %일 때 약 81.6%, 30 %일 때 약 91.2 %로 유기물 함량이 0 %에서 30 %로 증가함에 따라 발아율이 약 2배 이상 증가하는 경향을 보였다. 일반적으로 페레니얼 라이그라스 잔디의 초기 발아는 약 5일 이내로 나타나며 최종적으로

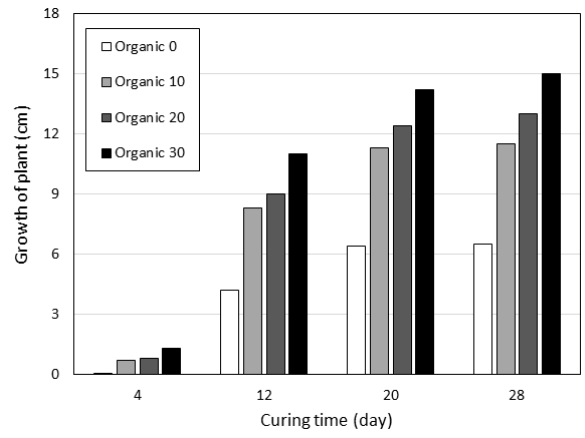
로(파종 28일 후) 약 95 ± 2 %가량의 발아율을 보이므로 (Kim & Nam, 2003), 유기물 함량이 30 %인 경우 대부분의 발아가 나타났다고 볼 수 있다.

잔디의 초장길이 변화를 살펴보면 약 20일까지는 꾸준한

속도로 증가하였으며 이후 성장 속도가 점차 둔화되는 경향을 보였다. 또한 28일경과 시점에서 식생의 초장길이는 유기물 함량이 0 %일 때 약 6.5 cm, 10 %일 때 약 11.5 cm, 20 %일 때 약 12.5 cm, 30 %일 때 약 14 cm로 유기물의 함량



(a) Germination with curing time



(b) Length with curing time

Fig. 10. Result of germination test



(a) Organic 0 %



(b) Organic 10 %



(c) Organic 20 %



(d) Organic 30 %

Fig. 11. Photo of germination results

이 증가함에 따라 성장률 또한 증가함을 보였다(Fig. 10(b)). 또한 초장길기와 발아율 모두 유기물의 함량이 0 %에서 10 % 이상으로 증가됨에 따라 월등히 높아지는 것을 알 수 있다.

유기물 함량에 따른 식생의 성장 및 뿌리의 근입량을 관찰하기 위해 파종 후 28일이 경과한 후 식생 공시체들을 각각 촬영하였다(Fig. 11). 유기물 함량이 0 %인 고화토의 경우 식생의 성장은 아주 저조하며, 유기물의 함량이 증가할수록 식생의 발아율 또한 점차 높아지는 것을 육안으로 관찰할 수 있다. Fig. 12는 유기물 함량에 따른 고화토 내 식생



Fig. 12. Plant's sample after germination test

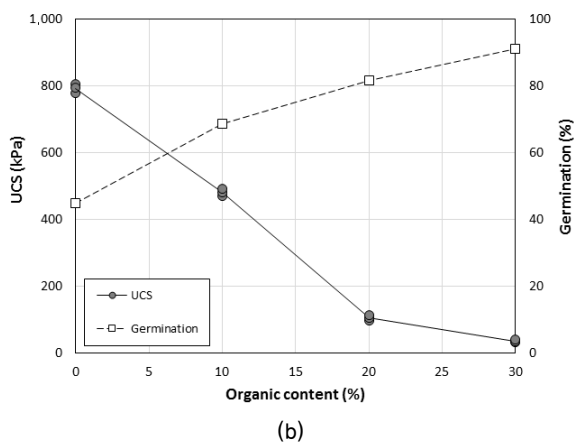
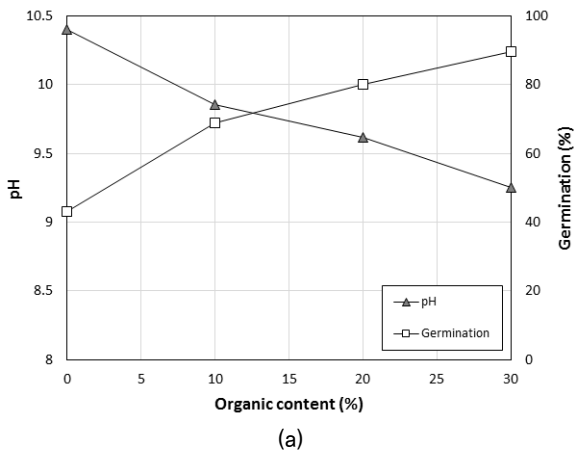


Fig. 13. Relationship between pH-UCS and germination with organic content

의 뿌리 근입량을 촬영한 것으로 왼쪽부터 유기물의 함량이 0 %, 10 %, 20 %, 30 %인 고화토에서 채취한 것이다. 유기물 함량이 0 %인 경우 뿌리의 성장이 잘 이루어지지 않아 뿌리가 짧고 식생의 성장이 잘 이루어지지 않았으며 고화토 내 유기물 함량이 증가함에 따라 뿌리의 성장률이 점차 높아지는 경향을 보였다.

Fig. 13(a)와 (b)는 유기물 함량에 따른 pH, 강도 및 발아율과의 관계를 나타낸다. 유기물의 함량이 증가할수록 pH와 압축강도는 감소하는 반면 발아율은 점차 증가하는 경향을 보였다. 동일한 환경 조건에서 수행된 식생발아시험으로부터 유기물 함량이 증가함에 따라 pH가 점차 감소되어 식생발아에 큰 영향을 줄 수 있다. 압축강도와 식생발아율 관계곡선(Fig. 13(b))으로부터 지반 내 유기물은 압축강도와 발아율에 서로 상반되는 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 유기물 함량이 높은 지반의 경우 압축강도가 상대적으로 감소하므로 이로 인해 식생의 뿌리 근입이 가능해져 더 높은 성장률을 나타낸 것으로 보인다. 이를 통해 유기물의 함량은 pH, 압축강도, 발아율 등 역학적 특성과 식생발아 특성에 서로 상반되는 영향을 미치며, 특히 압축강도와 발아율에 지배적인 인자로 작용하는 것을 알 수 있다. 따라서 지반 내 유기물이 함유된 경우 시간 경과에 따라 공극 및 투수성을 향상시키며 수화반응을 억제시키므로 압축강도의 감소를 일으키는 반면, 공극 및 낮은 강도로 인해 식생의 뿌리 근입이 수월해져 식생의 성장률을 높이게 된다. 따라서 준설토 지반 내 유기물 함량을 정확하게 파악하여 그에 맞는 적절한 배합비를 제공해 줄 경우 고유기질 준설토를 해양친수공간 조성을 위한 지반으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 고유기질 준설토를 해양친수공간 조성을 위한 식생성장 가능 고화 지반으로 이용하고자 저유기질 및 고유기질 고화토를 제작한 후 역학적 특성(흐름 특성, 단위중량 특성, 응력-변형 특성, 압밀 특성 등)과 식생발아 특성(식생발아율 특성, 식생 성장률 특성, pH 등)을 규명하고 상관성을 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 고화토의 흐름 값은 유기질 함량에 따라 증가하는 경향을 보였다. 또한 동일한 유기질 함량에서 고화제의 함량이 증가할수록 흐름 값이 감소하는 경향을 보였다. 단위중량 값의 변화는 유기질 함량에 따라 0 %일 때 15.04 kN/m³에서 30 %일 때 14.03 kN/m³로 유기질 함량이 증

가할수록 단위중량 값이 감소하는 경향을 보였다. 고화제 함량에 따른 단위중량의 변화는 고화제 함량이 5 % 일 때를 기준으로 $\pm 0.3 \text{ kN/m}^3$ 의 범위를 가졌다.

- (2) 유기질 함량에 따른 고화토의 응력-변형 곡선을 살펴보면 유기질 함량이 낮은 경우 취성적인 거동을 나타내었으나, 유기질 함량이 증가함에 따라 연성적인 거동을 나타내었으며 파괴 시 축 변형률은 점차 증가하는 경향을 보였다. 이는 유기질로 사용된 휴믹산이 시멘트의 수화 반응을 지연시켜 나타난 결과로 판단된다.
- (3) 압밀실험 결과 유기질 함량이 0 %에서 30 %로 증가함에 따라 압축지수(C_c)는 약 5.2배, 팽창지수(C_s)는 약 3.2배 증가하였다. 이를 통해 유기질은 고화토의 압밀특성에 지배적인 인자로 작용한다는 것을 알 수 있다.
- (4) 고화토의 초기 pH는 유기질 함량이 증가함에 따라 11.16에서 9.9로 감소하는 경향을 보였다. 이는 시멘트의 수화반응 시 생성되는 C-S-H 및 C-A-H 계열의 수화물이 pH를 상승시키게 되는데 유기질로 사용된 휴믹산의 경우 pH의 범위가 일반적으로 5.5~6.0인 약 산성이므로 이로 인해 감소한 것으로 판단된다.
- (5) 식생발아 시험 결과 유기질의 함량이 증가할수록 잔디의 발아율 및 초장길이가 증가하였다. 특히 유기물의 함량이 10 %, 20 %, 30 %인 경우 씨앗 포설 후 약 4일부터 발아가 시작되었으나, 유기물 함량이 0 %인 경우 하루 늦은 5일부터 발아가 시작되었다. 또한 유기물 함량이 30 %인 고화토에서의 최종 발아율은 약 91.2 %를 보인 반면 유기물 함량이 0 %인 경우 44.8 %로 절반에도 못 미치는 결과를 보였다. 초장 길이 역시 유기물 함량이 30 %일 때 14 cm, 유기물 함량이 0 %일 때 6.5 cm로 유기물 함량에 따라 식생발아는 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.
- (6) 유기물에 따른 pH, 강도 및 발아율과의 관계 곡선을 통해 유기질 함량에 따른 고화토의 역학적 특성과 식생발아 특성은 서로 반비례하는 관계를 가진다는 것을 알 수 있다. 유기질은 역학적 특성과 식생발아 특성에 지배적인 인자로 함을 알 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2011-0029426) 및 공공복지안전사업(NRF-2012M3A2A1050977)의 성과이며 이에 깊은 감사를 드립니다.

References

1. Arman, A. (1970), Engineering classification of organic soils, Highway research record, No. 310, pp. 75~89.
2. Choi, B. S. (2011), Development of planting model and growth characteristics depending on the fundamental environment of hydrophytes for aquatic ecosystem restoration, Sangmyung University Doctor's theory, pp. 1~113 (in Korean).
3. Choi, J. S., Yang, G. M., Ahn, S. H. and Cho, Y. S. (2008), Effect of cornstarch-based absorbent polymer on the growth of cool season turfgrasses in sand-based mixture, Journal of Weed & Turfgrass Science, Vol. 22, No. 1, pp. 75~83 (in Korean).
4. Mersi, G., Stark, T. D., Ajiloulni, M. A. and Chen, C. S. (1997), Secondary compression of peat with or without surcharging, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol. 123, No. 5, pp. 411~421.
5. Han, S. J., Ahn, D. W., Park, J. M. and Kim, S. S. (2009), Engineering properties of liquefied stabilized soil by contents of humic acid, Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol. 29, No. 5C, pp. 229~237 (in Korean).
6. Jang, D. H. (2011), An experimental study on the engineering characteristics of organic soil in dong-hae, Kwandong University Master's theory, pp. 1~29 (in Korean).
7. Jo, J. B., Hyun, J. H. and Hwang, Y. S. (2004), Impact of soil organic matter in the cement-based landfill liner system, Journal of Korea Society of Waste Management, Vol. 21, No. 4, pp. 297~302 (in Korean).
8. Kim, H. D. (2002), Soil stabilization with lime and rice husk ash, Master's theory, pp. 1~50 (in Korean).
9. Kim, K. N. and Nam, S. Y. (2003), Comparison of early germination vigor, germination speed and germination rate of varieties in *Poa pratensis* L., *Lolium perenne* L., and *festuca arundinacea* schreb. Grown under different growing conditions, Korean Journal of Turfgrass Science, Vol. 17, No. 1, pp. 1~12 (in Korean).
10. Kim, M. S., Chung, B. J., Park, G. C., Park, T. D., Kim, S. C. and Shim, J. H. (1998), Effect of organic fertilizers on growth and yield of *achyranthes japonical* n., Journal of Medicinal Crop Science, Vol. 6, No. 2, pp. 131~136 (in Korean).
11. Kim, S. Y. and Kim, T. H. (1996), Effect of organic fertilizer from diatom on the growth of pepper, Basic Science of Andong National University, Vol. 7, pp. 71~84 (in Korean).
12. Kim, Y. T. and Kang, H. S. (2010), Engineering properties of flowable composite soil with waste tire and bottom ash, Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 24, No. 3, pp. 52~58 (in Korean).
13. Kim, Y. T. and Kang, H. S. (2011), Shear and CBR characteristics of dredge soil-bottom ash-waste tire powder-mixed lightweight soil, Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 25, No. 3, pp. 34~39 (in Korean).
14. Kuo, W. T., Wang, Y. H., Shu, C. Y. and Su, D. S. (2013), Engineering properties of controlled low-strength materials containing waste oyster shells, Journal of Construction and Building Materials, Vol. 46, pp. 128~133.
15. Lee, J. A., Kim, W. S. and Choi, H. S. (2009), Effects of compost application on soil properties and leaf and bud characteristics of pear trees in orchard farms, Journal of Organic Agriculture,

- Vol. 17, No. 4, pp. 567~575 (in Korean).
16. Lee, J. W. (2003), Study on the pH reducing plan about eco-concrete, Yeungnam University Master's theory, pp. 1~30 (in Korean).
 17. Oh, T. S. and Kim, C. H. (2013), Effect of using organic fertilizer on the growth of rice and soil, Journal of Crop Science, Vol. 58, No. 1, pp. 36~42 (in Korean).
 18. Park, H. G. and Kweun, D. Y. (1998), A study on the consolidation characteristics of organic soil in yang-yang region, Journal of the Institute of Industrial Technology and Development Kwangdong, No. 14, pp. 14~27 (in Korean).
 19. Park, H. G. and Koo, J. M. (2001), A study on the engineering characteristics of yang-dong organic soils, Journal of Geo-Environmental society, Vol. 2, No. 1, pp. 23~30 (in Korean).
 20. Park, H. G. and Koo, J. M. (2002), A study on the utilization of organic mixed soil as earthwork materials, Journal of Geo-Environmental society, Vol. 3, No. 4, pp. 29~35 (in Korean).
 21. Rosen, C. J. and Allan, D. L. (2007), Exploring the benefits of organic nutrient sources for crop production and soil quality. Hort Tech. 17: pp. 422~430.
 22. Sireesh, S., Anand, J. P. and Srujan, R. C. (2013), Swell-shrink and strength behaviors of lime and cement stabilized expansive organic clays, Journal of Applied Clay Science, Elsevier, Vol. 85, pp. 39~45.
 23. Stevenson, F. J. (1982), Organic forms of soil nitrogen, in F.J. Stevenson (ed.) Nitrogen in agricultural soils. Agron. Monogr. 22 ASA and SSSA, Madison, WI. pp. 67~114.