

군산 인근해역 준설토를 활용한 식생발아 특성 연구

A Study of Germination Characteristics of Dredged Soil Collected in Gunsan

김 대 현¹ Kim, Dae-Hyeon

윤 길 림² Yoon, Gil-Lim

김 민 석³ Kim, Min-Seok

박 경 호⁴ Park, Kyung-Ho

Abstract

This study aimed to analyze germination characteristics of dredged soil collected in Gunsan. This study develops the ecological environment materials for useable green soil that can be used in the stabilization of the dredged slope. In order to analyze the germination characteristics of dredged soil, specimens treated with Bio ameliorant (0, 6%), AC (Amino acid) ameliorant (0, 6%), Sawdust (0, 6%) and loess (0, 50%) were made. Based on the test results, it was found that dredged soils of Gunsan Saemangeum were classified as SM, and poor arboreal growth conditions were necessary to be treated with ameliorants (Sawdust, Bio ameliorant, etc.).

요 지

본 연구에서는 군산 인근해역의 준설토를 식생이 가능한 녹색토로써 토목현장의 사면안정화 및 해양공간개발에 사용이 가능한 생태 환경형 재료를 만들고자 한다. 식생발아 특성을 분석하기 위해서 군산 인근해역의 준설토에 Bio 개량제(0%, 6%), AC(아미노산) 개량제(0%, 6%), 톱밥비료(0%, 6%), 산 흙(0%, 50%)으로 처리한 준설토 개량제 실내 실험을 수행하였다. 실험 결과, 군산 새만금 준설토의 경우 SM시료로 분류되었으며, 수목생장조건이 불량하여 개량제(톱밥비료, Bio 개량제 등)의 사용이 필요한 것으로 판단된다.

Keywords : Dredged soil, Green soil, Germination, Ecological environment materials

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

좁은 국토에서 토지 확보를 위한 노력으로 간척 가능 면적이 60만 ha에 달하며 준설토의 지속적인 증가가 이루어질 것으로 판단되는 가운데 항만건설, 항만재개발

및 항로수심 확보를 위한 대규모 준설토사업의 시행으로 많은 양의 준설토가 발생하고 있으나, 효율적인 활용방법이 전무한 실정이다.

매립토양은 임해매립지 외에도 여러 방면에서 필요할 것이나, 현재는 외부에서 반입되는 산 흙, 준설토, 준설토와 산 흙, 혼합지 등으로 구분하여 이용되고 있으며, 이러한 토양 등으로 조성된 식재지반의 이화학적 특

1 정희원, 조선대학교 토목공학과 부교수 (Member, Associate Prof, Dept. of Civil Engrg., Chosun Univ.)

2 정희원, 한국해양과학기술원 책임연구원 (Member, Principal Researcher, Korea Institute of Ocean Science & Technology)

3 비희원, 조선대학교 토목공학과 석사과정 (Graduate Student, Dept. of Civil Engrg., Chosun Univ.)

4 정희원, 조선대학교 토목공학과 박사과정 (Member, Graduate Student, Dept. of Civil Engrg., Chosun Univ., Tel: +82-62-230-7093, munhakng@nate.com, Corresponding author, 교신저자)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2015년 11월 30일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

성은 매립된 기반토양에 따라 다르게 조성된다.

식재지반에 조성되는 외부반입토양은 반입하는 토취, 운반, 포설 과정에서 중장비를 이용함으로써 환경적 문제가 발생하고, 토양 확보 시 토양보상비 등 간접비용이 증가함으로 토양 확보가 점차 어려워지고, 무리하게 토양을 확보하여 2차적인 환경훼손의 우려가 높다. 또한, 이러한 토양은 심토를 굴취하여 조성함으로 식물이 정상적으로 성장하기 위한 이화학적 기준에서 부족한 범위에 있다.

따라서 본 연구에서는 군산 인근해역의 준설토를 식생이 가능한 녹생토로써 토목현장의 사면안정화 및 해양공간개발에 사용이 가능한 생태 환경형 재료를 만들고자 한다. 또한 무 처리구와 각각의 개량제인 Bio 개량제(0%, 6%), AC 개량제(0%, 6%), 톱밥비료(0%, 6%) 및 산 흙의 비율(0%, 50%)을 사용하여 개량한 후 준설토가 식물발아에 미치는 영향을 알아보하고자 하였다.

1.2 선행연구 동향

국내의 준설토를 이용한 식생토 개발에 관한 연구의 경우 2000년대에 들어서 각광받기 시작하였으며 소수의 연구자에 의해 연구가 진행되기 시작하였다. 따라서 연구적으로 매우 기초단계임을 확인 할 수 있었으며, 식생토의 개발은 대부분 하수슬러지 및 골재부산물을 이용한 식생토 개발 연구가 이루어져 있었다(Kim, 2008). 국내의 경우 준설토 활용도는 투기장 투기가 약 80%, 외해투기가 9%로 배후부지 매립등 기타 10%만이 활용되어 활용율이 극히 낮음을 확인 할 수 있었다.

국내의 선행연구를 살펴보면 하수 준설토 및 해양 준설토 유해성을 분석하고 재활용 방안에 대한 연구를 수행한 바(Park et al., 2011; Yoon and Cho, 2002; Yoo, 2004) 있으며, 염생식물을 이용하여 메조코즘의 서식안정성 평가를 수행하고 식재 기질로서 준설토 이용에 관한 연구를 수행하였다(Jung, 2009; Ryu, 2010; Ann, 2012; Lee et al., 2014).

국외의 경우 해양환경 복원 사업의 측면에서 다양하게 준설토가 활용되고 있다(Mulligan et al., 2001; Teal and Weishar 2005; Ruiz Diaz et al., 2010; Chiellini et al., 2013). 준설토 활용여부에 관계없이 서식지 조성사

업이 활발하게 추진되어 왔으며, 최근에는 준설토를 재 활용하는 측면에서도 활발하게 수행되고 있다(Yoon and Cho, 2002). 또한 국외의 준설토 실용화 현황을 살펴보면 해안 및 외해투기는 60%에 불과하며 내륙의 육지 및 습지에 활용되는 비율은 약 37%로, 국내에 비해 약 20% 높은 수치이다.

앞서 수행된 국내·외 선행연구는 준설토를 이용한 식생기반 조성을 하기 위한 연구였으나, 선정된 식물의 종류가 염생식물로 제한적이고, 일반 육상식물의 적용 시 식생에 대한 신뢰도가 떨어지는 문제점이 있었다. 따라서 본 연구에서는 준설토에 일반 육상식물의 적용이 가능한 토양개량제를 사용하여 실내실험을 통해 배합비를 선정하고 개량된 준설토가 식물 발아에 미치는 영향을 알아보하고자 하였다.

2. 군산 준설토의 특성

2.1 군산 준설토 채취구역

군산 준설토의 시료채취 구역은 군산 새만금 간척지 만경 3공구 내 준설토를 채취하였으며, C 시료는 군산 새만금 내에 바다에서 준설했 준설토로 준설했 후 약 1년에 걸쳐 방치된 준설토이고, D 시료는 군산 새만금 내에 현장에서 즉시 준설했 준설토이다.

다음 Fig. 1과 Table 1은 군산 새만금 간척지 시료채



Fig. 1. Dredged soils in Mankyung 3 zone of Gusan Saemangeum reclamation area

Table 1. Sampling location and term of reclamation

Classification	Location	Period of reclamation	U.S.C.S
C Sample	in Mankyung 3 zone	2013. 11 ~ Present	SM
D Sample	in Mankyung 3 zone	2014. 7	SM

취 위치와 준설 기간을 나타내었다.

2.2 군산 준설토의 물리적 특성

Ann et al.(2012)은 토양의 물리적 성질은 화학적 성질 및 미생물적 성질과 더불어 토양의 생성이나 분류 및 이용성과 직접적인 관계가 있고, 토양의 물리적 조성인 토성은 통기성, 보수력, 공극량, 양분흡수능력, 수분함량, 점착력 등을 결정함으로써 식물생육에 영향을 미친다고 하였다. 또한 토양의 성분에 따라 식물 종을 선택하는 것은 훼손 지를 복원한 후, 차후에 복원의 질과 주변 환경과의 조화 및 경관의 품질을 결정짓는 중요한 요소이기 때문에 매우 중요하다고 할 수 있다고 하였다.

따라서 각각의 준설토 특성에 맞는 일반적인 식물을 선정하고자 군산 새만금 내의 준설토를 채취하고, 시료의 물리적 성질을 파악하기 위해 한국 농업규격에 준하여 비중(KS F 2308), 체가름(KS F 2309), 입도(KS F 2302), 함수량 시험(KS F 2306), 비중계 시험(KS F 2302), 액·소성한계(KS F 2303~4) 시험을 실시하였다.

본 연구에서 사용된 시료는 군산 새만금 만경 3공구 내

채취한 준설토이다. Table 2는 준설토의 물리적 특성을 나타낸 것으로 비중, #200체 통과율은 다음 Table 2와 같고 토질시험법 통일분류법(Unified Soil Classification System)에 의하여 준설토를 분류하였다. 군산 C 시료 및 D 시료는 SM시료로 분류되었다.

2.3 군산 준설토의 이화학 특성 및 토양오염 분석

C시료의 경우 준설 후 약 1년에 걸쳐 자연방치 된 준설토이며, D시료의 경우 현장에서 즉시 준설하여 채취한 준설토이다. 군산 준설토의 이화학 특성을 분석한 결과, pH의 경우 7.2~7.5 사이이며, 유기물 및 유효인산의 경우 D 시료에서 가장 낮게 나타났고, 염농도 및 EC(전기전도도)는 가장 높게 나타나 즉시 준설된 시료가 수목생장 조건에서 가장 좋지 않은 조건으로 나타났다. 또한 준설토의 기본적인 조건은 수목생장조건에 매우 못 미치는 것으로 나타나 준설토의 개량이 필요함을 확인 할 수 있었다.

다음 Table 3은 군산 새만금 간척지 만경 3공구 내 준설토의 이화학 특성이다.

Table 2. Physical characteristics of the samples

Classification	G_s	W_n (%)	#200 (%)	r_{dmax} (g/cm ³)	OMC (%)	LL	PL	PI	U.S.C.S
C Sample	2.583	19.3	27.47	1.505	18.07	NP	NP	NP	SM
D Sample	2.607	23.05	27.85	1.548	19.01	NP	NP	NP	SM

Table 3. Results of physiochemical properties

Classification	pH	Organism (mg/kg)	Available phosphate (mg/kg)	Salt concentration (%)	E.C (ds/m)
C Sample	7.55	1.220	12.732	0.070	1.099
D Sample	7.28	0.468	10.171	0.747	11.669
Arboreal growth condition	5.5-6.5	3.00	100 more	0.05 less	0.4 less

Table 4. Results of soil pollution analysis

Soil pollution analysis (mg/kg)		Hg	As	Cd	Cr6+	Pb
C Sample		-	3.259	-	1.766	5.202
D Sample		-	3.328	-	0.778	6.919
Standard	Concern/action 1st location	4/12	25/75	4/12	5/15	200/600
	Concern/action 2nd location	10/30	50/150	10/30	15/45	400/1200
	Concern/action 3rd location	20/60	200/600	60/180	40/120	700/2100
Dredged soil	Concern/action standard	0.32/2.47	21/65	1.55/11.8	-	62/404

한국환경조사평가원에 의뢰하여 채취한 준설토의 토양오염 분석을 한 결과 중금속은 1지역 우려/대책 허용 기준치를 만족함으로써, 오염이 되지 않은 것을 확인 할 수 있었다. 이는 기존 선행연구와 달리 지역에 따라 준설토의 특성이 다른 것으로 판단이 된다.

Table 4는 군산 새만금 만경 3공구 내 준설토 토양오염 분석결과이다.

3. 실내실험

3.1 시료의 배합비

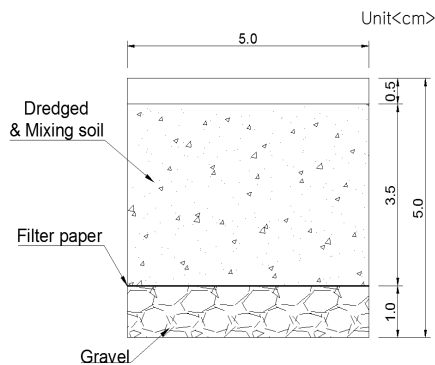
준설토를 이용한 식재기반 조성을 위한 재활용 선행연구를 조사하였으나 다양한 준설토 배합비에 의해 식물생장에 영향을 미치는 정도에 대한 연구가 미비하였다. 실험을 진행하면서 다수의 세미나와 전문가의 자문을 통하여 그동안의 경험과 데이터를 최대한 확보하여 실험 시 유의사항과 조건을 명확히 하고 변수를 줄여 실험을 하였다.

일반 육상식물을 적용하여 진행된 선행연구의 데이터가 부족한 문제점이 제기 되었는데 본 실험에서는 다

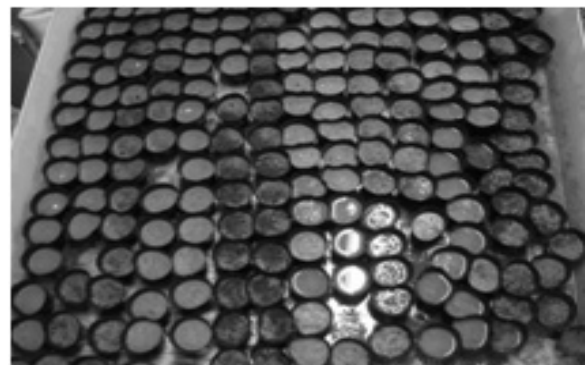
양한 배합비와 개량제의 종류를 증가시키고 새만금 간척지의 조성 목적이 농업용지인 것을 감안하여, 벼와 보리를 포함한 일반 육상식물의 종류인 잔디, 유채, 술패랭이를 증가시켜 실험을 진행하였다.

본 실험에 사용 된 군산 새만금 만경 3공구 준설토 시료의 배합비는 식물생장에 영향을 미치는 정도에 대한 연구가 미비하기 때문에 준설토의 배합정도에 따른 영향을 알아보기 위하여 산 흙과 개량제의 배합비를 다양하게 선정하였다. D5 × H5(cm)의 pot을 정하고 상대밀도(D_r)를 60%를 기준으로 건조단위중량을 이용하여 시료의 양을 결정하였다.

준설토를 채취한 후 건조된 시료의 pH, 염분, 시료의 공극 등의 식물생장에 미치는 영향을 알아보기 위하여 45°C에서 완전히 건조시킨 후 배합비 종류별 64개 케이스 당 일반 육상식물 중 벼, 보리, 잔디, 유채, 술패랭이 등 5종을 선정하여 D5×5(cm) pot에 총 320개 케이스를 실험하였다. 케이스의 조성은 배수 층의 확보를 위하여 바닥에 1cm 자갈을 놓고 군산지역 준설토 SM(실트질모래)의 특성 상 관수 시 준설토의 유실을 방지하기 위하여 자갈층위에 지름 5cm의 페이퍼 필터를 설치하였으며 3.5cm



(a) Manufacturing a pot



(b) View of indoor experiment

Fig. 2. Indoor experiment

Table 5. Mixing ratio of the sample materials

Sample	Classification	Seed	Soil conditioners				
			Dredged soil (%)	Loess (%)	Bio ameliorant (%)	AC ameliorant (%)	Sawdust (%)
Gunsan C Sample D Sample	C-A-1-1	Barley (A) Rice (B) Grass (C)	100	0	0	0	0
	C-A-1-2		100	0	6	0	0
	C-A-1-3		100	0	0	6	0
	C-A-1-4		100	0	0	0	6
	C-A-2-1	Rapeseed (D)	50	50	0	0	0
	C-A-2-2	Dianthus superbus (E)	50	50	6	0	0
	C-A-2-3		50	50	0	6	0
	C-A-2-4		50	50	0	0	6

의 높이로 시료를 충전 후, 상층에 0.5cm의 여유를 두었다.

Fig. 2(a)는 모형도이며 Fig. 2(b)는 실내실험 전경이다.

Table 5는 준설토의 배합비로 산 흙을 이용하였고, 개량제는 Bio 개량제, AC 개량제, 톱밥비료를 사용하였다. Case No.는 C-A-1-1의 순서로 명칭하였으며, C는 균산 C시료, D는 균산 D시료이며, A, B, C, D, E는 씨앗의 종, 1과 2는 준설토와 산 흙의 비율 100, 50%를 나타내며 다음 1, 2, 3, 4는 개량제의 효과를 비교하기 위해서 무처리, Bio 개량제, AC 개량제, 톱밥 개량제를 순서대로 나열한 것이다.

3.2 준설토 개량제 실험결과

3.2.1 발아율 평가

종자 파종하기 전, 종자의 일반적인 발아율에 대한 기준을 확인하고자 페트리디쉬에 여과지를 깔고 씨앗을

10개씩 놓고 발아시켜 발아율을 확인한 후에 실내실험을 실시하였다. 실험을 시작하기 전 2차례 관수 및 완전 건조를 반복한 후 종자를 파종하였다. 실험 결과, Fig. 3과 Fig. 4와 같이 균산 C, D시료의 경우 식물의 발아 속도 및 개수는 Bio 개량제 및 톱밥 비료에서 무처리구보다 약 30~50% 이상 발아율이 높은 것을 확인 할 수 있었으며, AC 개량제의 경우 다른 개량제에 비해 무처리구와 비슷하거나 발아율이 극히 낮음을 확인 할 수 있었다. 이는 AC 개량제의 경우 주성분이 단백질(pH 9~11)로 구성되어 pH가 높아짐에 따라 발아가 되지 않는 것으로 판단된다.

3.2.2 중량 측정

식물의 중량 측정 결과, 식물생장의 경향을 명확히 확인이 가능한 보리, 벼, 잔디를 중심으로 측정하였다. Fig. 5와 Fig. 6과 같이 균산 C, D시료 모두 개량제 처리에 따

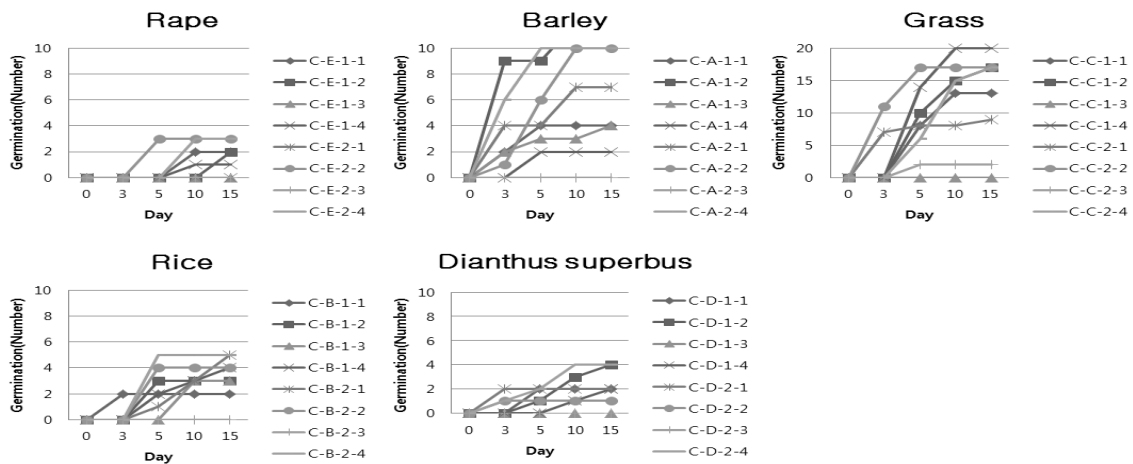


Fig. 3. Results of germination test of Gunsan C sample

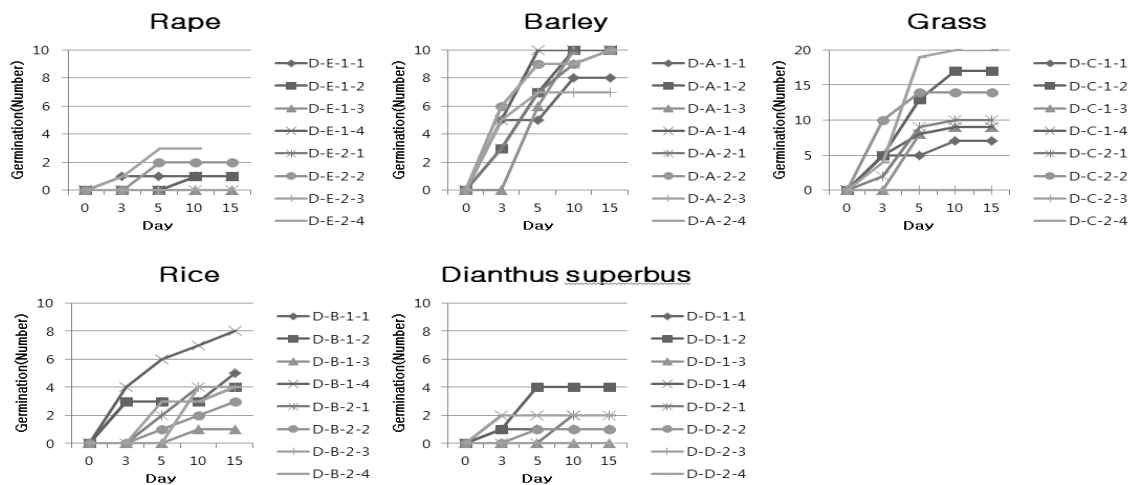


Fig. 4. Results of germination test of Gunsan D sample

라 차이를 보였는데 Bio 개량제와 톱밥비료에서 중량이 무처리구에 비해 1.5~3배 정도의 중량 차이를 보였고, 두 개량제의 중량 차이가 크지 않음을 확인 할 수 있었다. 또한 AC 개량제의 경우 무처리구 보다 더 낮은 중량을 나타내었는데 이는 AC 개량제의 입자가 매우 미소하여 준설토의 공극을 메움으로서 발아가 되지 못하고 pH의 영향으로 뿌리가 정착하지 못한 것으로 판단된다.

3.2.3 최대 생장길이 측정

Bio 개량제에서 식물의 생장 길이 대비 뿌리가 많이 발달하였으며, 무처리의 경우 3주 경과 후 잎이 시들기 시작하였다. 이는 무 처리구의 유기물 함량이 부족한 현상으로 나타났으며, Bio개량제와 톱밥비료에서 생기가 있고 힘이 있는 뿌리의 개수가 많이 발달함을 Fig. 7을 통해 확인 할 수 있었다. 또한 기존 개발된 Bio 개량제

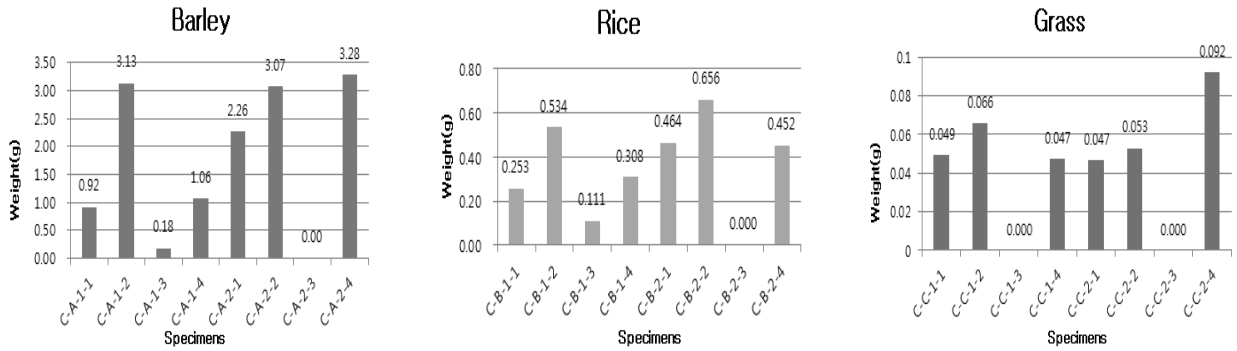


Fig. 5. Results of gross weight test of Gusan C sample

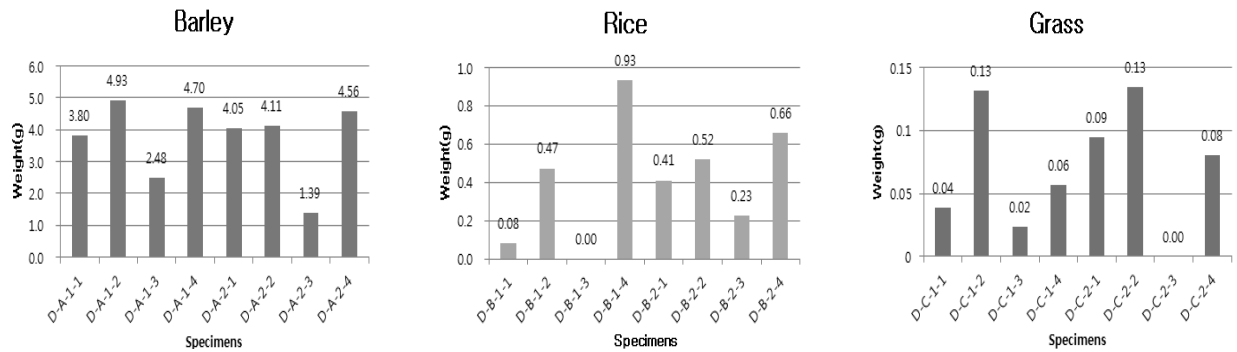
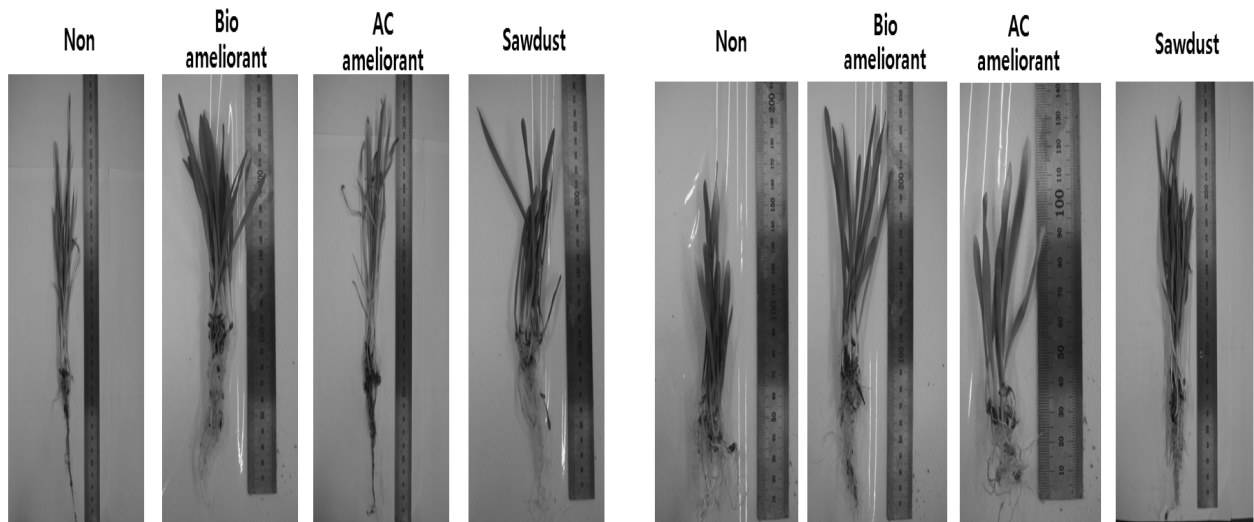


Fig. 6. Results of gross weight test of Gusan D sample



(a) Comparisons of maximum straight growth of Gusan C sample (b) Comparisons of maximum straight growth of Gusan D sample

Fig. 7. Comparisons of maximum straight growth

Table 6. Results of physiochemical properties

Classification	pH	Organism (mg/kg)	Available phosphate (mg/kg)	Salt concentration (%)	Electric conductivity (ds/m)	Total nitrogen
C Sample	8.48	0.755	11.618	0.085	1.328	92.459
Bio ameliorant 6%	7.19	1.030	187.316	0.445	6.960	152.654
Sawdust 6%	7.80	2.022	110.932	0.029	0.455	216.547
C Sample + loess 30%	8.04	3.935	9.283	0.017	0.266	485.264
Loess 30% + Bio ameliorant 6%	6.95	3.267	93.352	0.544	8.501	359.495
Loess 30% + Sawdust 6%	7.55	3.845	52.968	0.027	0.426	492.661
Arboreal growth condition	5.5-6.5	3.00	100 more	0.05 less	0.4 less	200 more

(650원/m³)보다 가격 대비 톱밥비료(17.5원/m³)에서 약 40배 정도 경제적 효율을 나타낼 수 있었지만 장기적 측면을 고려하여 실험을 진행할 필요성이 있고, 현장 시공시험을 통하여 여러 가지 현장에 대한 변수를 고려한 장기적인 추가실험이 필요하다고 판단된다.

3.2.4 토양시료 이화학분석 결과

식물이 성장하여 잎 끝이 시들기 시작하고 1주일 후 케이스의 시료를 채취하여 이화학분석을 실시하였다. 이화학 분석결과, Bio 개량제로 처리된 시료에서 염분농도와 E.C가 무처리구 보다 높아지는 결과를 나타냈으며, 톱밥비료가 들어간 시료에서 수목성장조건에 매우 근접하는 결과를 나타내었다. 따라서 준설토에 산흙이나 톱밥비료를 배합하여 관수를 한다면 식물생장에 좋은 식재기반으로 개량할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 실내실험 결과를 통해 개량제 및 산 흙을 사용하여 균산의 대표적 준설토인 SM시료를 개량한 후 식물발아에 미치는 영향을 평가하였고 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 균산 새만금 준설토의 경우 SM시료로 분류되었으며, 수목성장조건이 불량하여 개량제(톱밥비료, Bio 개량제 등)의 사용이 필요한 것으로 판단된다.
- (2) AC(아미노산) 개량제의 경우 다른 개량제에 비해 발아율이 무 처리구보다 비슷하거나 현저히 낮은 결과를 보였다. 이는 AC 개량제의 입자가 미립하여 공극을 메움으로서 발아율이 저조하고 뿌리가 정착하지 못한 것으로 판단되며, AC의 주성분이 단백질

(pH 9~11)이므로 pH영향으로 생육하지 못한 것으로 판단된다.

- (3) 준설토 개량제 실험 결과, 개량제 종류마다 발아율, 식물성장속도, 식물 최대상장길이가 다르며 Bio 개량제 및 톱밥비료에서 우수한 결과를 보였으나, 추후 장기적인 식생발아 기간(3-4년)과 현장의 여러 가지 변수를 고려한 현장시험 시공이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통기술촉진연구사업(12기술혁신E12) “환경친화적 준설토 확보, 매립 및 운송거리 30km이상 급 이송기술 개발” 한국해양과학기술원의 위탁연구를 수행한 연구로서 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌 (References)

1. Ann, P.G. (2012), “A Study of Characteristics of Sowing Plants through Improvements of Dredge Vegetation-Base”, Dankook University, Master Thesis.
2. Chiellini, C., Iannelli, R., and Petroni, G. (2013), “Temporal Characterization of Bacterial Communities in a Phytoremediation Pilot Plant Aimed at Decontaminating Polluted Sediments Dredged from Leghorn Harbor, Italy”, *New Biotechnology*, Vol.30, pp.772-779.
3. Jung, J.Y. (2009), “Study on The Use of Dredged Material as Halophyte Planting Substratum”, Pukyong National University, Master Thesis.
4. Kim, D.W. (2008), “Development of Soil Materials for Slope Revegetation Using Byproduct Aggregates from Quarries”, The University of Seoul, Master Thesis.
5. Lee, M.J., Moon, K.J., Yoon, K.L., Em, H.M., and Kim, Y.T. (2014), “Mechanical and Germination Characteristics of Stabilized Dredged Soil”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.15, pp.33-40.
6. Mulligan, C.N., Yong, R.N., and Gibbs, B.F. (2001), “An Evaluation

- of Technologies for The Heavy Metal Remediation of Dredged Sediments”, *Journal of Hazardous Materials*, Vol.85, pp.145-163.
7. Park, J.B., Woo, H.S., Lee, G.H., and Lee, J.W. (2011), “Problems of Disposal of Dredged Materials and Increase of Recycling”, *Korean Society of Civil Engineers*, Vol.59, pp.65-74.
 8. Ruiz Diaz, D. A., Darmody, R. G., Marlin, J. C., Bollero, G. A., and Simmons, F. W. (2010), “Trace Metal Bioaccumulation and Plant Growth on Dredged River Sediments and Biosolids Mixtures”, *Water Air Soil Pollut*, Vol.206, pp.321-333.
 9. Ryu, S.H. (2010), “A Study on Habitat Stability in Mesocosm of Halophytes by Using Marine Dredged Soil”, Pukyong National University, Master Thesis.
 10. Teal, J.M. and Weishar, L. (2005), “Ecological Engineering, Adaptive Management, and Restoration Management in Delaware Bay Salt Marsh Restoration”, *Ecological Engineering*, Vol.25, pp.304-314.
 11. Yoon, K.L. and Cho, H.Y. (2002), “Recycling Strategies and Case Histories of Dredged Soils”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.3, pp.48-63.
 12. Yoo, J.Y. (2004), “A Study on the Application of Vegetation Protection Methods for the Slope Stability of Dredged Marine-Sand Embankment”, Hanyang University, Master Thesis.

Received : March 4th, 2015

Revised : April 16th, 2015

Accepted : May 8th, 2015