



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

염생식물 식재 기질로서
준설토 이용에 관한 연구



2009 년 8 월

부 경 대 학 교 대 학 원

생 태 공 학 과

정 직 영

공학석사 학위논문

염생식물 식재 기질로서
준설토 이용에 관한 연구

지도교수 이 석 모

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함



2009 년 8 월

부경대학교 대학원

생 태 공 학 과

정 직 영

丁直英의 工學碩士 學位論文을 認准함.

2009 년 8 월



주 심 공학박사 김 동 명



위 원 공학박사 강 대 석



위 원 공학박사 이 석 모



목 차

I. 서론	1
II. 이론적 배경	4
1. 준설토의 발생현황과 재활용	4
2. 염생식물	18
3. 황토(풍화토)	24
III. 재료 및 방법	27
1. 대상 준설토	28
2. 대상 염생식물 선택	29
3. 염생식물의 발아·성장 실험	29
가. 기상 자료	30
나. 부산신항 준설토를 이용한 발아·성장 실험	30
다. 준설토와 다른 기질을 배합한 발아·성장 실험	31
라. 토양분석	35
IV. 결과 및 고찰	37
1. 대상 준설토에 식재 가능한 염생식물 선정	37
가. 여수신항 준설토	37
나. 부산신항 준설토	39
2. 염생식물의 발아와 성장	41

가. 기후 조건	42
나. 부산신향 준설토를 이용한 발아와 성장	45
(1) Mesocosm을 통한 염생식물 발아·성장 결과	45
(2) 토양 분석 결과	46
다. 준설토와 다른 기질 배합비에 따른 발아와 성장	47
(1) Mesocosm을 통한 염생식물 발아·성장 결과	48
(2) 토양분석 결과	58
3. 준설토의 염생식물 식재 기질로서 적용 방안	66
 V. 결론	 68
 참고문헌	 70
 감사의 글	 75



List of tables

Table 1. General classification and identification of dredged materials	5
Table 2. Dredging result of each Intendence	7
Table 3. Criteria of soil pollution	10
Table 4. The pollution level of dredged materials	11
Table 5. Disposal method and volume of major harbor	13
Table 6. Dredged material disposal of other country	14
Table 7. Soil properties of study area	22
Table 8. Grain size of Gwangyang bay dredged materials	37
Table 9. The soil texture range of halophyte community	38
Table 10. Meteorological data during monitoring period	43
Table 11. Germination Individual in Busan new harbor dredged material mesocosm	46
Table 12. Soil analysis of Busan new harbor dredged material	46
Table 13. Germination Individual of Salicornia herbacea in mesocosm	52
Table 14. Growth rate of Salicornia herbacea mesocosms	53
Table 15. The soil texture range of Salicornia herbacea communities	58
Table 16. Soil properties of lateritic soil and dredged material	67

List of Figures

Fig. 1. The master plan of harbor redevelopment	6
Fig. 2. Dredging result of each years in korea	8
Fig. 3. Gravel and sand beneficial use options	16
Fig. 4. Consolidated clay beneficial use options	17
Fig. 5. Silt/soft clay beneficial use options	17
Fig. 6. Busan new harbor reclaimed land	28
Fig. 7. Mesocosm scale	30
Fig. 8. Mesocosm scale	32
Fig. 9. A real picture of mesocosms	34
Fig. 10. Salicornia herbarcea	40
Fig. 11. Commercial plantation of Salicornia herbacea	41
Fig. 12. Climatic diagram of study area	42
Fig. 13. Amount of rainfall during monitoring period	44
Fig. 14. Average temperature during monitoring period	44
Fig. 15. Busan new harbor Dredged material mesocosm	45
Fig. 16. Grain size of Busan new harbor dredged material	47
Fig. 17. The germination of dredged material·mudflat soil mesocosms.	49
Fig. 18. The germination of dredged material·lateritic soil mesocosms	50
Fig. 19. The germination of dredged material·upland soil	

mesocosms	51
Fig. 20. Mean growth rate of Dredged material·mudflat soil	54
Fig. 21. Mean growth rate of combined dredged material with mudflat soil per month	54
Fig. 22. Mean growth rate of Dredged material·lateritic soil	55
Fig. 23. Growth rate of combined dredged material with lateritic soil per month	56
Fig. 24. Mean growth rate of Dredged material·upland soil	57
Fig. 25. Mean growth rate of combined dredged material with upland soil per month	57
Fig. 26. Analysis result of grain size	59
Fig. 27. Analysis result of each mesocosm grain size	59
Fig. 28. Analysis result of pH in mesocosms	60
Fig. 29. Analysis result of salinity in mesocosms	61
Fig. 30. Analysis result of electric conductivity in mesocosms	62
Fig. 31. Analysis result of organic matter in mesocosms	63
Fig. 32. Analysis result of phosphate in mesocosms	64
Fig. 33. Analysis result of total nitrogen in mesocosms	65

Study on the use of dredged material as halophyte planting substratum

Jik Young Jung

*Department of Ecological engineering, Graduate school,
Pukyong National University*

Abstract

Massive amount of dredged material occurs every year in coastal area, and it goes mostly to landfill or ocean dumping. But, These disposal method has cause to many environmental problems. On the other hand, leading countries study the soil properties and the pollution level to beneficial used as bio habitat substratum.

In this study, halophyte germination and growth tests were carried out in a dredged material reclaimed land to present alternatives that reuse dredged materials.

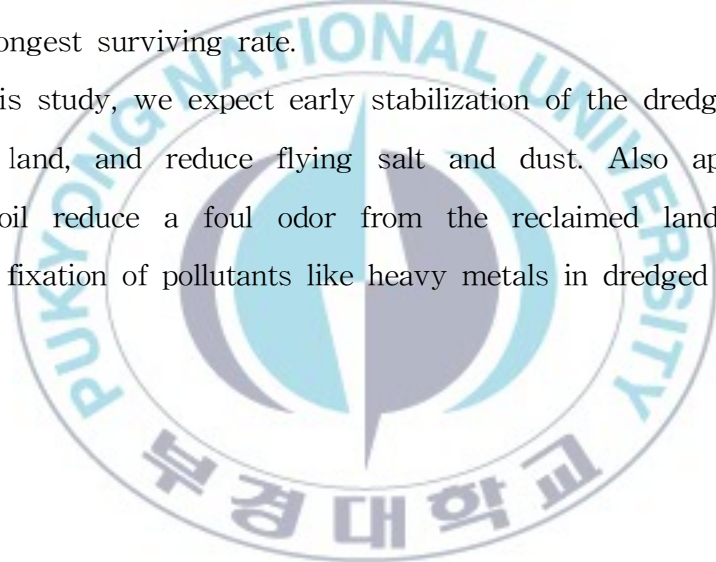
Tested halophyte species was *Salicornia Herbacea* which has tolerance about high salt and dry condition, then germination test was carried out in mesocosm with similar condition of dredged material reclaimed land. As a result of preliminary test, there hasn't any germination in the mesocosm with 100 % of Busan New harbor

dredged material.

Hence, for reuse of the dredged material, we select the mixing soils that was readily offered, then mixed lateritic soil, upland soil, mud flat soil with different mix rates. Each mesocosms were monitored for 3 month about germination and growth of *Salicornia herbacea*.

As a result, the mixture with lateritic soil mesocosm has the highest growth rate among other mesocosms. And setting with dredged material to lateritic soil ratio as 2:8 has the highest germination and 5:5 rate had longest surviving rate.

From this study, we expect early stabilization of the dredged material reclaimed land, and reduce flying salt and dust. Also applying with lateritic soil reduce a foul odor from the reclaimed land and may contribute fixation of pollutants like heavy metals in dredged material.



I. 서론

우리나라는 지리적 요건으로 인하여 국내 물동량의 대부분이 해양으로 이루어지고 있는 실정이며 선박의 대형화, 물류의 컨테이너화로 인한 항로의 수심유지 및 신항만건설과 오염해역 정화사업 등으로 인해 준설토(Dredged material)가 발생하고 있다. 또한 준설토는 현재 폐기물로 분류되어 있고 매년 엄청난 양이 발생하고 있으며 앞으로 지속적으로 발생되어 질 전망이다.

국내 연안에서 준설토 발생량은 1976년 첫 조사 이래로 꾸준히 상승하는 추세이며(윤과 조, 2002), 2000년에 약 2500만 m^3 으로 시작한 준설토량이 2000년부터 2005년까지 약 27900만 m^3 으로 기록되는 등(박, 2007), 최근 국내에서 발생하는 준설토의 양은 증가하는 추세에 있다. 또한 해양수산부(2007)에서 고시한 “전국항만기본계획”에 의거하여 장래에 준설토가 대량 발생될 것을 예견하고 있다.

국내에서는 대부분의 준설토를 육상 매립지 조성과 해양투기에 의존하여 처분 해왔으나, 현재 기존 매립지의 포화와 매립지 주변의 환경오염 등으로 신규 매립지의 확보가 매우 어려운 상태이며, 매립이 끝난 준설토매립지는 다년간 압밀 침하과정을 거치며 그 기간 동안은 유헴지로 방치되어 있는 실정이다. 한국정책평가원(<http://epic.kdi.re.kr>)에 따르면 매립장 주위의 마을주민들이 매립장에서 대량으로 발생하는 깔따구와 물가파리 등의 해충 피해와 여름철의 악취 등으로 생활고를 겪고 있는 것으로 나타났다.

또한 준설토는 국내 해양투기항목의 많은 부분을 차지하고 있으며 환경적으로 유해한 오염물질을 포함할 가능성이 높아 해양오염을 유발할 수 있으므로 런던협약(1972)등의 세계적인 동향과 국제조약의 비준으로 인하여

현재 국내에서는 해양투기 허가 및 규제, 해양투기 행위기록, 해양상태 모니터링 등의 이행체계 구축방안 마련이 현안으로 대두됨으로서 폐기물 정보 종합망을 구축(해양수산부, 2005a)하고, 각 항목별 기초 환경조사를 실시 중에 있다.

이에 선진국에서는 준설토를 단순히 육상과 해양에 투기하지 않고 준설토도 자원이라는 개념으로 준설토의 토성과 오염도를 파악한 후 자원으로 재활용하는 방안을 다각적으로 연구하고 있으며 해안의 침식 저감 용토 등의 공학적인 건설재료로 이용 등의 재활용 기술을 적극적으로 활용하는 상태이다. 또한 준설토를 재활용하여 훼손된 서식처의 환경저감(mitigation) 개념에 기초한 인공간석지 및 염습지 조성 연구가 활발히 진행 중이며, 그 중 서식지 개발(habitat development)을 위한 토양으로서 준설토의 재활용은 가장 일반적인 방법으로 간주되고 있다(해양수산부, 2002).

그러나 국내에서는 생물 서식처 조성 기질과 같은 유효활용을 하고자 할 경우 재활용에 관한 법적 오염도 기준이 정립되지 않은 실정이다. 따라서 이와 같은 전 세계적인 동향에 따라 준설토의 처리와 활용방안의 모색이 절실히 요구되며, 비교적 최근에 이르러 준설토 재활용방안에 대한 연구가 시행되었다(해양수산부, 2000; 윤과 조, 2002; 해양수산부, 2002; 해양수산부, 2003; 김 등, 2005; 윤 등, 2008).

한편, 갯벌의 염생식물 군락은 일차 생산자로서 퇴적물 내 질소, 인 등의 생물학적 펌프기능을 하고 염생식물의 뿌리와 줄기는 지반의 고형화 및 안정화를 유도하여 연안의 침식을 보호하며, 해풍에 의해 야기되는 염분, 먼지의 비사현상을 방지하는 등 연안 생태계에 있어서 매우 효율적인 기능을 가지는 것으로 보고되어 있다.

따라서, 본 연구에서는 염생식물 식재 기질로서 준설토를 이용할 수 있

는 방안을 모색하여 오랜 시간동안 불모지로 방치되어 있는 준설토 매립장과 같은 육상환경에 염생식물 군락을 조성하기 위한 방안을 찾고, 염생식물의 생태적 기능을 이용하여 준설토 매립장 주위 환경에 미치는 악영향을 저감하는데 이용될 수 있는 염생식물 군락 식재 기질로서의 준설토 재활용 방안을 제시하고자 하는 것에 목적이 있다.

또한, 이러한 생태계 조성효과로 준설토를 이용한 항만시설 및 육상시설 공사로 인해 파생되는 주변 해양환경에 대한 부정적 영향을 저감 또는 완화시킴과 동시에 새로운 서식처 조성으로 환경적으로 열악한 상태의 서식처를 개선하거나 또는 훼손된 생태계를 대체하는 신규 서식처 조성에 대한 학문적 기초자료를 제공하고자 한다.



II. 이론적 배경

1. 준설토의 발생현황과 재활용

가. 준설토의 정의 및 분류

하천이나 해양의 수저에 쌓이는 퇴적물은 육상으로부터 기인한 암석, 자갈, 모래, 점토 등의 광물질과 유기물, 무기물 등을 통칭하는 의미이며(이와 김, 1998), 이런 퇴적물을 준설했던 것을 준설토라 부른다.

PIANC(1996)에는 준설토를 “수로의 수심유지, 항만시설 개발, 범람 완화 등을 목적으로 퇴적물을 제거 하는 행위”라 정의하며, 국내의 해양환경관리법(2008)에서는 정화용 준설토, 항로 준설토, 항만개발 준설토 등으로 구분하여 정의하고 있다. 오염된 해역에서 발생하는 정화용 준설토 등, 중금속과 발암물질이 다량 함유되어 있는 준설토는 생물이나 인간에게 위해성이 미칠 수 있는 위험성을 잠재하고 있기 때문에 재활용하거나 처분함에 있어서 많은 어려움이 따를 수 있다. 그러나 준설토는 일반적으로 모래, 자갈, 점토와 같은 자연 상태에 존재하는 광물질이므로, 준설토에 포함되어있는 광물질 이외의 물질의 농도는 자연의 배경농도와 매우 유사하다(해양수산부, 2005a).

일반적으로 퇴적물이 오염되는 원인은 육상으로부터 기인한 오염물질의 유입과 선박으로부터의 유입이며 수저 내에 장기간 축적되어 오염퇴적물을 생성하며 주로 환경 부하가 많은 항만시설의 내측에서 발생한다. 반면, 일반퇴적물은 조류, 파랑 등의 영향이나 해저지형 변화로 모래와 같은 퇴적물이 다른 해역으로 이동되는 형태로서 주로 항만외측 해역에서 발생하게

된다(해양수산부, 2005b).

한편, 준설토사의 분류 방법에는 여러 가지가 있으나, 대표적으로 세계항로협회(PIANC)에서는 준설토사의 물리화학적 입경과 지반경도에 따라 Table 1과 같이 준설토를 분류하고 각 단계별로 식별법을 제시하고 있다(정, 2001).

Table 1. General classification and identification of dredged materials

Main soil type	Particle diameter (mm)	Identification
Boulders Cobbles	larger than 200 between 200~60	visual examination and measurement
Gravels	coarse 60~20 medium 20~6 fine 6~2	easily identifiable by visual examination
Sands	coarse 2~0.6 medium 0.6~0.2 fine 0.2~0.06	all particles visible to the naked eye very little cohesion when dry
Silts	coarse 0.06~0.02 medium 0.02~0.006 fine 0.006~0.002	generally particles are invisible and only grains of a coarse silt may just be seen with the naked eye
Clays	below 0.002	clay exhibits strong cohesion and plasticity, without dilatancy
Peats and Organic soils	varies	generally identified by black or brown colour with strong organic smell.

나. 준설토 발생현황

해양수산부는 국내 노후·유헴항만의 발생과 휴양 및 레저공간 수요증대로 2007년, 항만과 그 주변지역의 개발 및 이용에 관한 법률 제5조 제1항, 통법 시행령 제4조의 규정에 의하여 “제1차(2007~2016) 항만 재개발 기본계획”을 고시하고 10개의 대상항만(인천항, 군산항, 목포항, 제주항, 광양항, 여수항, 부산항, 포항항, 묵호항, 대천항)을 선정하여 구항과 주변지역의 재개발 계획을 확정하였다(Fig. 1).

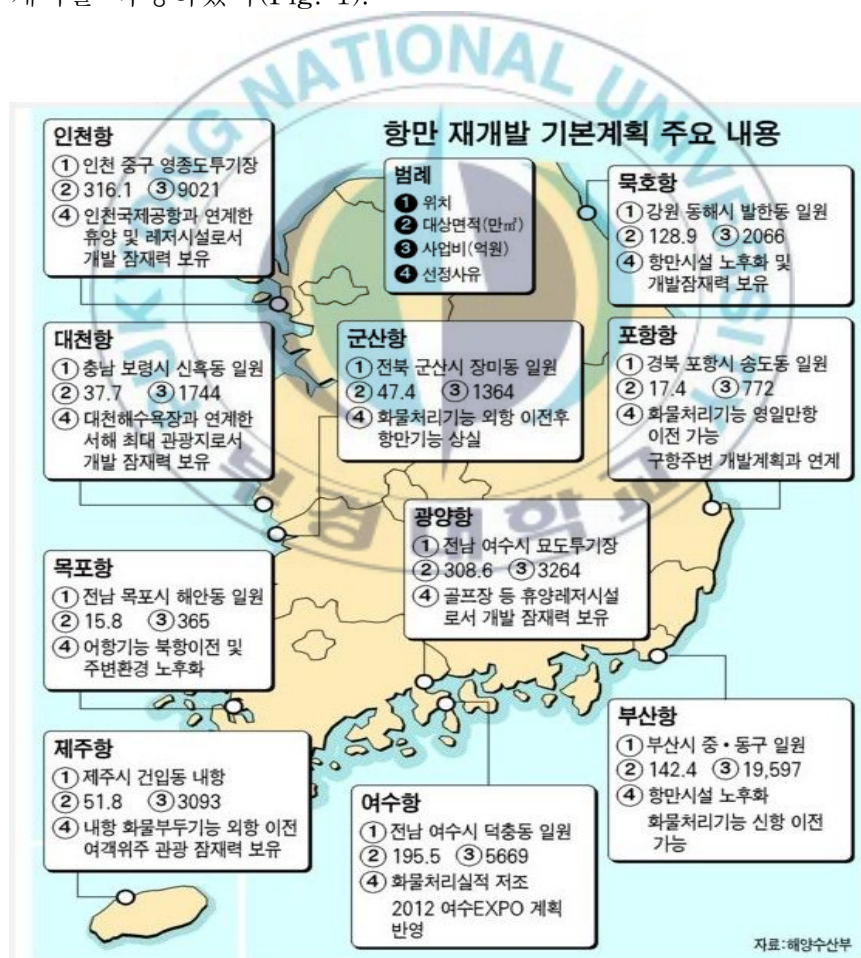


Fig. 1. The master plan of harbor redevelopment(MOMAF, 2007).

특히 선박의 대형화, 화물의 컨테이너화 등 물류환경이 급격히 변화함에 따라 국내에서는 새로운 항만 및 수로의 개발과 같은 기본준설과 기존 항만수로의 수심유지 등의 목적을 위한 유지준설 등으로 준설토가 발생하고 있고 앞으로 다년간 막대한 양의 준설토가 발생 예정 중에 있다.

한편 박(2007)은 전국 15개소의 항만관련기관의 2000년부터 2006년까지 무역항의 준설실적을 조사하였고 그 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Dredging result of each Intendence(Park, 2007)

Intendence	Dredging volume(m ³)	Percent(%)
Gunsan	5,112,800	1.83
Daesan	1,716,000	0.61
Donghae	91,900	0.03
Masan	1,286,367	0.46
Mokpo	2,679,000	0.96
Busan	75,880,000	27.12
Yeosu	47,707,000	17.05
Ulsan	4,510,000	1.61
Inchun	25,892,000	9.26
Jeju	59,885	0.02
Kwangyang(container)	79,490,000	28.42
Peongtaek	31,980,000	11.43
Pohang	287,400	0.10
Busanharbor	3,050,000	1.09
Total	279,742,352	100.00

Table 2와 같이 지방청별 준설량을 보면 광양컨테이너공단의 준설량이 28.42 %로 가장 많은 것으로 나타났으며 부산지방항만청에서 27.12 %로 집계되었고 다음으로 여수지방항만청에서 17.05 %로 집계되었다. 따라서 2000년 이후, 최근에 여수, 광양, 부산 등에서 신항만의 개발이 활발하게 이루어지고 있음을 알 수 있다.

한편 2000년도 이후, 전국 항만의 준설량을 연도별로 보면 Fig. 2처럼 매년 점차 준설량이 증가하는 추세를 보이고 있으며 2002년과 2004년에 여수, 부산 등의 신항 건설로 인해 준설량이 급격히 증가한 것을 볼 수 있다 (해양수산부, 2005a).

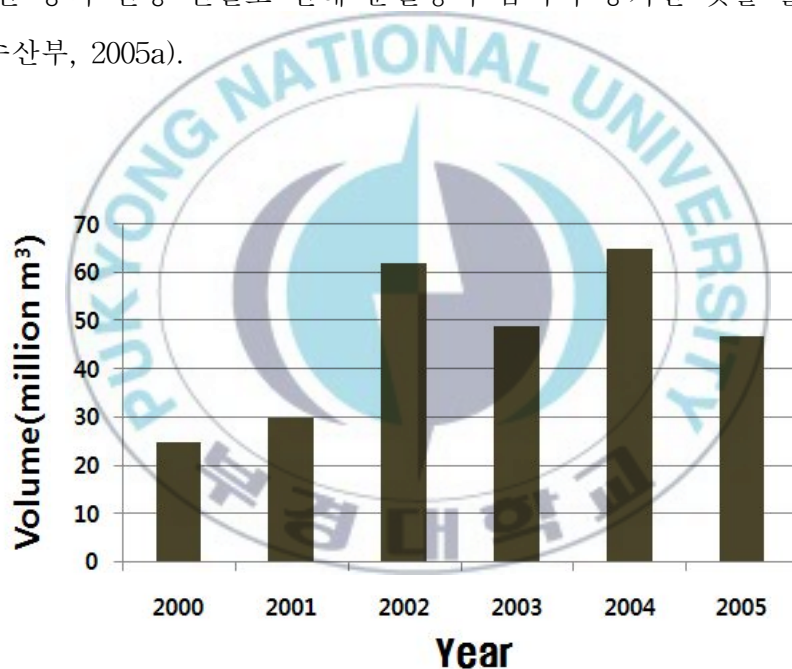


Fig. 2. Dredging result of each years in Korea (MOMAF, 2005a).

이와 같은 결과를 볼 때 준설토는 국내 항만시설계획(항만재개발 기본계획 등)이 완료되기 전까지는 지속적으로 많은 양이 발생할 것으로 예상되며 신항만 등의 대형 항만시설이 완료된 이후부터 점차 감소할 것으로 예상된다.

다. 국내 발생 준설토의 오염도 파악

준설토된 해양퇴적물은 오염도를 판단하여 처리해야 한다. 그러나 국내의 폐기물관리법상 준설토사는 일반폐기물로 지정 되어있고, 해양환경관리법(국토해양부, 2008)의 법 조항 상의 준설토물질은 오염여부와 관계없이 해양 폐기물로 분류되어 있어 현실적으로 재활용이 불가능한 상태이다.

그러므로 준설토를 재활용하여 생물서식처를 조성하기 위해서는 준설토의 오염정도와 오염물질별 생물에게 미치는 영향을 파악하여 생물서식처 기질(substratum)로서 활용가능성을 판단 하여야한다.

미국의 경우, 해양퇴적물의 재활용에 있어서 생물영향과 관계된 기준(NOAA, 1999)이 정해져 있으나, 국내에서는 퇴적물의 화학적 분석은 이루어졌으나 생물영향과 관련된 자료는 부족하며 자체적 기준이 정해져 있지 않은 실정이다.

한편 토양 이용에 있어서 국내의 경우, 토양 관련기준은 토양환경보전법 시행규칙을 들 수 있다. 해양퇴적물을 준설토하여 육상부에서 처리하고자 할 경우에는 토양환경보전법에 적용을 받으며, 이 때 적용 되는 기준은 토양 오염 우려기준 및 토양환경대책기준이다. 본 연구에서는 염생식물 서식 기반재로서의 준설토 육상 재활용 가능성을 검토하기 위해서, 염생식물이 서식하는 구간인 조간대 최상부로부터 그 이상 고도를 연구 적용대상 지역으로 설정하였으며, 이 구간은 토양환경보전법이 적용되는 지역이다.

Table 3. Criteria of soil pollution(MEV, 2005), (Unit: mg/kg)

Substance	'가'area	'나'area
Cd	1.5	12
Cu	50	200
As	6	20
Hg	4	16
Pb	100	400
Cr ⁺⁶	4	12
Zn	300	800
Ni	40	160
F	400	800
organic compounds	10	30
PCBs	-	12
CN	2	120
Phenol	4	20
Oil(Exclude from plant & animal)	-	80
BTEX	500	2,000
TPH	8	40
TCE	4	24
PCE		

Table 3과 같이, 토양오염우려기준 '가'지역을 생물서식처 조성 시에 고려되어야 할 기준으로 설정하였다. 반면에 토양환경보전법 시행규칙 중 토양오염대책기준은 토양오염우려기준보다 기준 농도가 높아 고려대상에서 제외하였다.

한편, 국내에서 발생하는 준설토사 오염 현황 조사는 국내 주요 항만 중 장래 준설 계획이 수립되어 있는 주요항만 중 10개 항만을 대상으로 선정하였으며, 각 항만별 이화학적 오염도를 조사하였다.

오염도 평가를 위한 조사 항목은 별도의 준설토에 대한 환경 기준이 수립되어 있는 경우 환경 기준상의 조사항목을 따르며 되나, 현재 국내에 해양퇴적물의 오염도를 정량적으로 평가할 수 있는 환경 기준이 없으므로 퇴적물 오염 중 가장 큰 비중을 차지하는 중금속(heavy metal) 오염도를 조사하여

토양환경보전법의 시행 규칙과 비교하였다.

중금속류는 해양에서 극히 미량이 존재하나, 연안 해역에서는 산업활동이 급격히 증가함에 따라 산업폐수 또는 기타 오염원 등에 의해 유해 중금속들이 유입되어 그 존재량이 급격히 증가하는 추세에 있다.

Table 4는 국내 10개의 주요 항만에서 발생한 준설토의 중금속 자료이다.

Table 4. The pollution level of dredged materials(Park, 2007), (Unit: mg/kg)

Substance Harbor	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Cr	Zn
Gunsan	0.152	18.837	7.848	0.130	20.436	44.795	52.213
Daesan	0.139	18.103	2.868	0.020	22.492	43.379	45.172
Mokpo	0.176	39.790	3.341	0.037	31.977	52.452	45.005
Busan	0.311	19.132	4.139	0.023	26.830	39.833	100.737
Yeosu	0.228	23.092	3.443	0.033	26.387	43.162	104.517
Sokcho	0.258	24.370	3.476	0.035	40.550	35.150	68.647
Pohang	0.228	29.236	3.942	0.017	40.146	27.367	56.548
Ulsan	5.487	33.959	9.259	0.010	45.594	45.364	57.824
Inchun	0.088	8.603	3.133	N.D	18.447	32.847	55.637
Pyengtaek	0.141	28.561	3.098	0.003	24.549	45.950	77.751

국내 주요항의 중금속 자료를 보면, Cd은 0.088~5.487 mg/kg의 범위로 대부분의 준설토는 토양오염우려기준을 만족하였다. 그 중, 울산신항은 5.487 mg/kg으로 토양오염우려기준 중 ‘가’지역의 기준을 초과하였다.

Cu는 전체 항에서 8.603~39.790 mg/kg의 농도 범위를 나타내며 토양오

염우려기준의 ‘가’지역을 만족하였다.

As는 2.868~9.678 mg/kg 범위로 군산항(7.848 mg/kg)과 울산항(9.259 mg/kg)이 기준을 초과한 것으로 나타났고, 그 외의 주요 항만 준설토는 기준을 만족한 것으로 나타났다.

Hg은 0~0.130 mg/kg으로 국내 전체항만 발생준설토가 토양오염우려기준을 만족하였고 Pb(18.447~45.594 mg/kg)도 전체항만이 토양오염우려기준을 만족하였으며 Zn도 42.838~104.517 mg/kg으로 토양오염우려기준 ‘가’지역의 기준농도인 300 mg/kg을 못 미치는 것으로 나타났다.

한편, 위에서 조사한 중금속 항목 이외에 Cr의 경우 토양오염우려기준에는 Cr^{+6} 의 형태로 농도를 규정하여 국내항 Cr의 오염정도를 판단할 수가 없어, 준설토와 관련된 기준 중, 해양수산부(2007)에서 제안한 준설토사 처리·활용기준을 비교하여 판단한 결과, 활용기준으로서 Cr농도는 134 mg/kg으로 모든 항만의 Cr농도 범위를 만족하였다.

이와 같이 국내 주요항만 발생 준설토 중의 중금속 오염현황을 평가한 결과, 일부 항만을 제외한 대부분의 항만에서 발생하는 준설토는 기준을 만족하여 육상의 생물 서식처로서의 재활용이 가능한 것으로 나타났다.

라. 준설토 재활용 사례

(1) 국내 준설토 재활용 현황

국내에서는 준설토를 폐기물로만 간주하여 재활용을 하고자 할 경우, 준설토 재활용에 관련된 법 조항과 관련 기술의 부족으로 현장에서 재처리 및 유효 활용 등 자원으로서 재활용이 이루어지지 못하고 있는 상황이다.

Table 5. Disposal method and volume of major harbor(MOMAF, 2005a)

Harbor	Production volume(m ³)	Disposal methods		
		Landfill(m ³)	Ocean dumping(m ³)	Other(m ³)
Gunsan	37,365,500	37,365,500	-	-
Daesan	3,166,000	1,283,000	-	1,883,000
Masan	2,200,696	1,658,900	199,433	342,363
Mokpo	5,210,000	4,260,000	950,000	-
Busan	182,800,000	133,000,000	49,800,000	-
Yeosu	121,788,000	121,085,000	-	703,000
Ulsan	610,000	-	360,000	250,000
Inchun	58,035,000	13,077,000	310,000	44,648,000
Peongtaek	137,520,000	81,360,000	-	56,160,000
Pohang	44,000	41,000	-	3,000

Table 5와 같이 현재 주요 항만 및 어항지역에서 발생하는 준설토사는 대부분 외해투기와 매립장투기에 의하여 처리되고 있다. 구체적으로 보면 준설토의 대부분(80.97 %)인 226,512,262 m³가 투기장으로 투기되고 있고 다음으로 배후부지 매립 등 기타방법이 10.04 %로 활용되고 있으며, 나머지 8.99 %는 외해투기를 하고 있는 실정이다(해양수산부, 2005a).

따라서 국내에서는 해양 폐기물의 큰 비중을 차지하는 해양준설토에 대한 재활용 방안이 매립지 조성의 목적으로 단순화 되어 있으며 대부분 공유수면에 매립하는 실정이다. 또한 향후 준설토는 대량, 지속적으로 발생할 예정에 있고 매립지 부지 선정이 어려워질 것으로 예상됨에 따라 준설토 재활용에 대한 기술 개발이 요구되고 있다(윤과 조, 2005).

(2) 해외 준설토 재활용사례

Table 6과 같이 해외의 준설토 처리사례를 보면, 육상과 습지조성에 각각 10.96 %, 26.48 %로 이용되고 있으며 해안 및 외해투기는 약 60 % 정도로 국내의 준설토 처리 실태에 비해 해외에서는 준설토 재활용률이 높은 것을 알 수 있다(건설교통부, 2003). 지역별로 보면 아프리카에서는 습지의 재활용이 매우 많았으며 다음으로 북유럽 등에서 준설토를 이용하여 육상과 습지의 재활용률이 높게 나타난 것을 볼 수 있지만 선진국에서는 준설토 발생량에 비해 육상, 습지의 유효활용보다 해안매립이나 외해투기로 처분하는 비율이 높은 것을 알 수 있다.

Table 6. Dredged material disposal of other country(MOCT, 2003)

Region	Disposal method(1000m ³)					Total(%)
	Upland	Wetland	Coastal	Ocean	Other	
Northern Europe	39,196	59,520	42,936	62,044	29,412	233,108(22)
Mediterranean	-	13,774	15,001	664	-	29,439(3)
Africa	-	152,942	76,471	25,549	-	254,962(24)
Southern Asia	62,484	11,197	121,831	89,149	-	284,661(26)
Southeast Asia	-	3,078	3,698	15,190	-	21,966(2)
East Asia	5,783	32,220	102,451	4,323	-	144,777(13)
South Pacific	3,972	2,687	26,335	32,588	-	65,582(6)
North America	6,012	9,696	8,459	16,549	159	40,875(4)
Caribbean	820	646	-	2,484	-	3,950(0)
Total(%)	118,267 (10.96)	285,760 (26.48)	397,182 (36.80)	248,540 (23.03)	29,571 (2.74)	1,079,320 (100.00)

일반적으로 준설토를 활용하여 조성이 가능한 서식지 형태는 습지, 육상, 수중, 섬으로 구분할 수 있다(해양수산부, 2000).

미국에서는 조류 및 어류의 서식지 조성, 모래가 유실되는 해안의 모래 공급(beach nourishment) 등에 준설토가 활용되고 있으며 그 중 서식지 조성 사례를 살펴보면, Florida주의 인공 섬 서식지, Alabama주의 습지 및 인공서식지, Connecticut River의 조류·사슴 및 작은 포유류 서식지, Gaillard Island의 Pelican 서식지, North Carolina의 조류 산란지(섬 서식지)를 들 수 있다.

또한 일본의 준설토 재활용 사례를 보면, 히로시마 이즈카이치, 미에현 아이고항(harbor), 헤이와(island), 히로시마 남단의 니노시마(island) 등의 인공 간석지를 들 수 있으며 이것 역시 생물 서식처 조성 사례라 할 수 있다.

한편, 준설토 처분을 위하여 선진국에서 선택한 재활용 방법들은 주로 준설토의 구성 성분과 입자의 크기분포에 따른다(PIANC, 1992). 재활용 방법들은 크게 공학적인 사용법과 농업적 사용법, 환경 증진과 같이 나누고 있는데, 생물 서식처 조성방법과 밀접한 관련이 있는 공학적인 방법과 환경증진 방법을 다음과 같이 Fig. 3~5에 정리하였다.

Fig. 2와 같이 PIANC(1992)에서는 Silt와 Clay와 같이 입자가 미세하고 고운 준설토보다 Gravel과 Sand와 같이 입자가 거칠고 큰 준설토를 건설 골재로서의 활용이나 육상 부지조성, 부지개량, 복토재(Capping), 해변보완 등과 같은 공학적인 재활용에 적합한 것으로 분류하고 있으며, 환경 증진을 위한 재활용 방법으로 육상 서식지 개발과 양식어장의 저질개선의 방법으로 분류하고 있다.

Silt, Clay 질의 준설토는 건설 골재로서 재활용 할 시에 전처리 비용 등의 경제적인 비용이 발생하여 재활용하기에 비효율적이며, Gravel과 Sand

가 대량 함유 되어있는 준설토는 건설 골재로의 재활용이 유리하며 기존 건설재료의 자연자원보호와 함께 경제적인 비용의 유리함이 있다.

또한 공학적인 재활용 방법으로 해안가 조성이나 해변보호와 같이, 손실된 해변 구성물들이 자연적으로 복원되지 않을 때 자갈과 모래와 같이 입자가 무겁고 큰 준설토를 재활용 한 해변 조성은 파도에 의한 해변침식에 큰 제어 효과를 가져다 줄 수 있기 때문에 선진국에서는 자갈과 모래 준설토는 생물 서식처 기질로의 이용보다 건축 재료와 공학적인 토지조성용 재료로의 재활용에 큰 비중을 두고 있다.



Fig. 3. Gravel and sand beneficial use options(PIANC, 1992).

한편, PIANC(1992)에서는 Fig. 4, 5와 같이 Silt나 Clay로 구성된 준설토는 공학적인 재활용과 함께 습지조성이나 육상서식지, 어장개선 등의 환경 증진 방법을 제시하고 있다.

준설토를 이용한 습지나 생물서식지 개발은 준설토 처리 방법으로서 매우 유용한 재활용 방법으로 분류되고 있다.

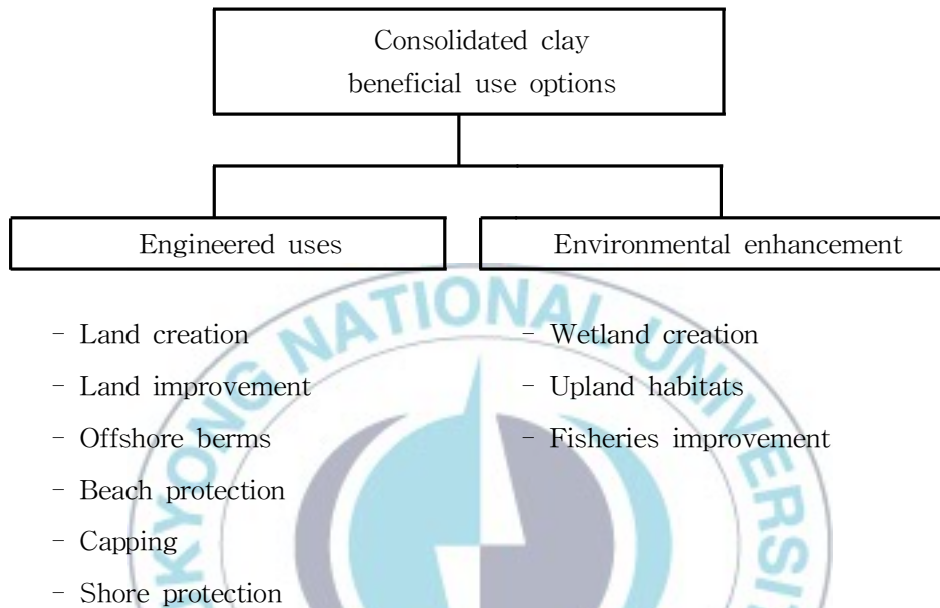


Fig. 4. Consolidated clay beneficial use options(PIANC, 1992).

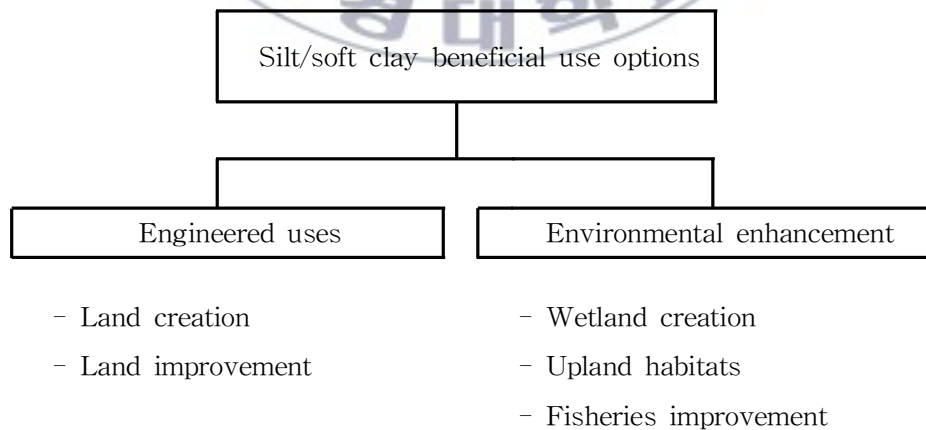


Fig. 5. Silt/soft clay beneficial use options(PIANC, 1992).

위와 같이 현재 선진국에서는 공학적인 이용, 환경 증진과 같이 다양한 방면으로 준설토를 재활용 하고 있다.

그러나 국내에서 준설토는 육상 매립재로서의 활용 이외에 재활용이 불가능한 실정이며 조성된 준설토 투기장은 2003년을 기준으로 약 1천만평(임, 2003)에 이르렀다.

따라서 현재, 국내의 실정에 맞는 준설토 재활용 방법은 준설토를 매립하여 다년간 방치하는 준설토 투기장 토지의 다목적의 이용이라 판단된다.

2. 염생식물

가. 염생식물의 정의

해안 염습지는 육상과 해양의 물리·화학·생물학적 상호작용이 복잡하게 얽혀 독특한 생태계를 이루고 있으며, 해안염습지의 식생분포는 조수의 침수시간과 빈도에 따라 시간과 공간적으로 환경변화가 심하고 높은 염분농도에 따른 토양의 염류축적으로 소수종으로 구성된 식생군락이 대상구조(zonation)를 나타내고 있다(Odum, 1969). 또한 염습지란 토양 이온을 추출하였을 때 NaCl의 농도가 최소 100 mEQ이며 pH가 8.5 이하인 곳을 의미한다(Richards, 1954).

염생식물의 정의를 살펴보면, 일반적으로 토양의 염분농도가 높아 일반 육상식물이 생육할 수 없는 지역에 생육하는 식물을 염생식물(halophyte)이라 하며, 이에 상대되는 식물을 중성식물(glycophyte)이라 한다(민, 1998). 그리고 일반 육상 생육지보다 NaCl이 더 높은 농도에서 잘 자라며 체내의 염분을 제거하기 위한 생리적 기작을 가지고 있는 식물로 정의하기도 한다(Waisel, 1972). 염생식물은 줄기와 잎에 Na를 축적하여 육질인 것

이 많으며, 생육하고 있는 지대의 수분 정도에 따라서 건염생식물과 습염생식물로 구분하기도 한다.

나. 염생식물 군락형성 주요요인

일반적으로 염생식물의 분포와 생육에 미치는 환경요인으로서는 해수의 유입, 토양의 염 함량과 배수성, 담수의 유입, 침수, 강수, 증발, 토성 등의 물리·화학적 요인(Ranwell, 1972; 임과 이, 1998)이 있다. 또한 염생식물의 분포에는 생물적 요인보다 물리적 요인이 더 중요하며(Cooper, 1982), 이러한 물리적 요인이 복합적으로 작용하여 염생식물의 생태적인 과정에 영향을 미침으로써 염생식물의 군집 분포를 결정한다는 이른바 생태적 요인(ecological factor)의 중요성이 제기 되었다(Snow & Vince, 1984).

우리나라 서·남해안은 세계적으로 유명한 염생식물 서식지역이다. 국내 염생식물에 관한 연구는 1950년대부터 시작되어 해안염습지에서 식물분포에 미치는 환경요인을 중심으로 연구되어 왔다.

최근, 환경부(2006)에서는 염습지 염생식물 군락에 미치는 환경요인을 규명하기 위하여 지역별, 염생식물 군락별, 염습지 유형별 주요 우점군락의 현장 모니터링과 토양분석을 수행한 결과, 식물군락에 미치는 환경요인으로 pH, 총질소 함량 등은 생육지 별로 차이가 없었고, 수분함량, 유기물함량, 염도 및 토성 등의 차이가 뚜렷한 것을 밝혀내었다. 또한, 토성을 결정하는 sand와 clay의 함량에 따라 토양의 수분함량, 유기물함량 및 염분 함량 등의 조성 비율이 결정되어, 갯벌 염생식물 군락 분포의 결정적인 요인은 토성임을 규명하였다.

다. 간척지 염생식물

간척지는 해안습지와 내륙습지의 특성이 공존하는 공간이며(이, 2000),

또한 간척지내의 환경은 해안성과 내륙성 염습지 특성을 함께 가지는데, 초기에는 해안성 염습지 특성을 가지고 시간이 흐르면 강우 등에 의해 세탈되어 내륙성 염습지의 특성을 가지게 된다(최, 1998).

갯벌을 간척하면 강우에 의해 염분이 탈락되며 지형에 따라서 염분 세탈 속도가 달라 공간적으로 염분농도가 달라지게 된다(Noordwijk-Puijk et al., 1979). 따라서 다른 지형보다 고도가 상대적으로 낮은 곳은 소금이 모여 높은 염분 농도를 가지는 salt pan을 형성하고 salt pan을 중심으로 가장자리에는 퉁퉁마디, 해홍나물과 같은 염생식물이 정착하여 있고, 그 바깥으로 산조풀과 같은 비염생식물이 존재한다(김, 2005).

이렇듯, 갯벌 간척지에서의 식생분포는 고도에 따라 다양하게 나타나고 있는 것으로 보이며 염분농도에 따라 염생식물 군락 형성의 경향이 나타나는 것을 볼 수 있다.

또한 간척지는 여러가지 측면에서 주요 연구대상이 된다고 할 수 있는데, 그 중 염분의 세탈로 인해 새로운 염생식물의 출현 등의 식생 천이 경향이 뚜렷한 것을 알 수 있다(민, 1986).

라. 국내 간척지 식생과 토양환경에 관한 연구 사례

간척지는 지형에 따라 탈염의 정도가 달라 공간적으로 변이가 다양하다. 국내 간척지 식생에 관한 연구는 토양환경과 식물상의 관계, 탈염에 따른 식생의 변화, 식물상호간 공간의 배열 등에 관한 것과 토양의 효율적 탈염 방법에 관한 것이다.

강화도 초지리 간척지는 1960대에 제방이 축조되었고, 약 10년이 지난 1970년에 홍등(1970)에 의해 고염도 토양환경에서의 염생식물 생태에 관한 조사가 시행되었다. 주요 조사내용은 고염도 토양에서 염생식물 군락형성으로 기대되는 생물학적 토성개량 가능성 평가였다. 이 연구에서는 고염도

토양에서 염생식물을 인위적으로 육성할 때 강화도 초지리 등 조사지역과 유사한 조건하에서 연간 $2.46 \text{ g}/100\text{cm}^2$ 정도의 제염효과를 기대할 수 있다고 하였다.

간척년도에 따른 식생 변화과정 추정으로서 민(1986)은 한국 서해안 간척지의 토양과 식생변화를 연구하였다. 간척 후 시간경과에 따른 식물종의 증가는 전기전도도와 함수량에 의해 주로 영향을 받는다고 했으며, 전기전도도와 토양함수량에 따라 간척지 염생식물 군락을 분류하였다.

또한, 서해 대호간척지 토양의 물리화학적 특성과 식생분포와의 관계 연구를 위해 김(2005)은 식생의 분포와 관련한 토양의 물리화학적 특성을 파악하고 식생조사를 위해 설정한 방형구 내의 표층토양의 특성분석을 실시하였고, 식생분포와 토양특성 간의 상관성을 밝히기 위하여 DCCA (Detrended Canonical Correspondence Analysis)를 실시한 결과, 연구지역인 대호간척지에서는 식생의 분포와 토양염분도의 주요 지표가 되는 Na 함량, 전기전도도에서 많은 관련을 보였고 토양탈염화의 과정에서 식생의 분포가 강하게 관련을 맺고 있음을 확인하였다. 한편 식생의 분포를 DCCA로 나타내고 분석을 실시한 결과, Na의 함량과 전기전도도가 가장 큰 연관성을 가지고 있는 환경요인으로 밝혀졌으며, 다음으로 pH, P 순서로 나타났다. 토양 내 Na, 전기전도도, P 값이 높은 곳에는 해홍나물, 갯개미취, 나문재, 통통마디, 가는갯능쟁이, 천일사초와 같은 염생식물이 출현하였으며, 갈대, 갯잔디는 수분함량과 점토 함량이 높은 곳에 분포하였다. 이 연구에서는 염분에 내성이 강한 통통마디, 갯능쟁이, 나문재, 해홍나물이 salt pan을 중심으로 염분 농도가 높은 지역에 부분적으로 나타났다고 보고 되어 있다.

국내 서해안 간척지 내 갯벌지역의 토양과 염생식물과의 관계를 조사하기 위해 최(1998)는 간척지인 인천신공항 건설부지 내 갯벌지역의 육지로

부터 100 m 간격으로 시작하여 10개 지점의 pH, EC 등 토양의 주요성분을 조사하였으며 그 결과는 Table 7과 같다.

Table 7. Soil properties of study area(Choi, 1998)

Depth (cm)	pH	EC (mS/cm)	available-P (mg/kg)	Na (cmol/kg)	Cl (cmol/kg)
0-20	7.39	37.6	61.23	4.62	6.24
0-20	7.93	17.19	48.04	4.47	3.58
0-20	7.70	30.0	47.47	4.51	9.87
0-20	7.72	30.9	39.73	4.51	9.69
0-20	7.93	27.03	52.06	4.44	8.85
0-20	8.00	36.3	32.85	4.67	12.49
0-20	7.99	35.8	31.13	4.62	13.38
0-20	7.56	29.69	25.69	4.58	9.99
0-20	7.52	40.6	23.97	4.59	14.72
0-20	7.81	33.7	37.44	4.64	10.99

또한, 최(1998)는 식생조사 간격을 150 m로 하여 탈염에 따른 식생 분포를 연구하여 수로지역은 갈대, 부들, 지채 등이 서식하며, 탈염이 어느 정도 진행된 갯벌지역은 칠면초, 갯개미취, 갯질경, 비쭈, 갯잔디 등을 관찰하였으며 탈염의 초기단계인 갯벌지역에서 나문재, 칠면초, 통통마디가 자생하는 것을 확인하였다.

마. 염생식물 활용 방안

(1) 오염된 토양 정화

염생식물은 유기물, N, P 등의 영양염을 흡수하기 때문에 육상으로부터 유입되는 각종 생활하수, 농축산폐수 등의 오염물질을 직접 흡수하여 연안

해역의 부영양화를 방지하고 간접적으로는 염생 식물의 뿌리가 토양 내에 존재하는 미생물에게 산소와 영양물질을 공급하거나 생리활성 물질을 분비하여 줌으로써 미생물이 오염물질을 잘 분해할 수 있는 조건을 제공 한다. 또한 염생식물은 탈염을 촉진시켜 해양준설토 매립지와 같은 고염도 토양을 육상토로 개량하기 위해 염생식물을 활용할 수 있다. 또한 최근 토양 개량에 있어서 물리·화학적 처리보다 경비가 적게 소요되고 친환경적인 오염물질의 제거방법으로 식물 치료법(Phytoremediation)이 대두되고 있는데 염생식물은 고염도의 토양을 개량할 경우, 매우 유용한 식물이라고 할 수 있다.

(2) 토양의 물리적 안정화

신규로 조성된 간척지에서는 방조제에 의해 조수 움직임이 차단되어 이전에 해수가 드나들던 갯벌의 일부가 항상 대기 중에 노출되어 건조한 기상조건에서 바람이 불면 간척지 표면으로부터 먼지가 발생한다. 또한 염분이 표토로 용출하여 건조해지면 바람에 날리게 된다. 이러한 염분과 먼지의 비사현상은 주변 농작물에 대한 피해, 시설과 기계의 마모, 대기오염 등을 유발시키며 시각적으로도 불량한 경관을 조성한다. 따라서 간척지와 같이 다년간 유휴지로 방치되는 곳에는 염생식물을 이용하여 비사현상 및 침식 방지효과를 도모할 수 있다.

(3) 심미적 가치

염생식물은 녹색에서 붉은색으로 변화되는데 칠면초, 통통마디 등의 염생식물은 해안 염습지를 붉게 물들임으로써 경관적인 가치를 창출한다. 홍(1956)은 “인천광역시의 남동구 소래역 부근의 해변일대가 마치 피로 물들인 것처럼 근 10 km나 되는 조간대가 완전히 칠면초 군락으로 덮혀 있다”

라고 기술하였다. 이것으로 보아 염생식물 군락을 조성하면 인간으로 하여금 심미적, 자연 학습적 기능을 제공할 수 있으리라 판단된다.

(4) 준설패립지 녹화

광양만 임해준설패립지의 경우, 1986년부터 1996년까지 263만 m² 정도의 면적이 준설토에 의해 매립 되었다. 그 후 10~20년 동안 인위적 교란이 없이 자연 상태로 유지되어 왔으며, 자연강우와 지반침하 등에 의한 토양 환경의 변화로 갈대, 통통마디, 비쭉, 갯질경 등의 염생식물과 토양 고도에 따라 중성식물로의 변화가 뚜렷하게 구분되어 분포하였다(남 등, 2008).

이러한 결과를 유출해 볼 때, 식재 대상 염생식물의 특성을 파악하고 물리적으로 준설토의 토양환경의 변화를 준다면, 염생식물이 생육하기에 유리한 조건의 준설토로 육상환경에 새로운 염생식물 서식처를 조성할 수 있으리라 판단되며, 염생식물 군락의 출현 시기를 앞당길 수 있는 방안을 고안하여 준설토로 조성한 매립지에 인위적으로 염생식물 군락을 조성함으로써 염생식물이 가지는 생물학적 기능을 이용하여 매립지와 매립지 주변의 훼손된 환경을 저감할 수 있으리라 추측한다.

3. 황토(풍화토)

가. 황토의 정의

점토를 구성하고 있는 물질은 1차 광물(조암광물)인 장석, 석영 등 조립 광물과 2차 광물(1차광물의 풍화작용에 의한 광물)인 점토광물로 이루어져 있으며(이, 2003), 일반적으로 황토는 1차 점토에 속한다. 점토광물은 물을 다량으로 함유하고 있는 규산염 형태의 화학조성을 갖게 된다(문, 1996).

일반적으로 황토는 비옥한 토양으로 이루어져 있어 농업에 적합하기 때문에 항상 인구 집중에 영향을 미쳐 왔다(류, 1997). 황토의 입자는 주로 0.02~0.05 mm (중량비의 50 %)이며, 탄산칼슘에 의해 느슨하게 교결되어 있고, 대개 균질하고 층리가 발달되어 있지 않으며, 공극률이 50~55 %로 크다(최, 2002).

한편, 우리나라의 황토는 대부분 고령토의 표층에 분포하는 빨간 흙을 의미한다. 국내 서해 내륙지방에 분포된 적황토는 중국의 황토(Loess)와는 다르며 국제적인 명칭으로 적황토는 Laterite나 Lateritic soil로 구분되어 있으며 중국 황토와 비교하여 물리화학적 성질이나 광물학적 형태가 다르다(Derbyshire, E. & Mellors, T.W. 1988; 정, 2008). 본 연구에서 적용된 황토는 적황토(Lateritic soil)를 의미한다.

나. 황토의 유용한 기능

황토는 입자가 곱고 많은 산소를 함유하고 있으며 정화능력이 뛰어나고 탈취, 탈지의 성질이 있는 등 지구 표면에 있는 60여종의 흙 가운데 가장 우수한 광물질로 평가받고 있다(윤, 2001).

이러한 황토 한 스푼에는 약 2억 마리의 미생물이 살고 있기 때문에 매우 다양한 효소들이 순환작용을 하며 흙속을 정화시키는 역할을 한다(이, 2002). 또한 이(2003)는 양파를 이용한 식물 성장실험을 통해 황토의 효능을 검증하였고, 서와 김(2007)은 황토와 Mud의 혼용 배지를 이용해 상추 등의 원예식물의 생육 및 개화에 미치는 실험 중 황토 배합구에서 식물의 뿌리생장이 높게 나타나는 결과를 도출하였다.

한편, 황토는 흡착력이 강하여 여름철 해양에서 적조 구제물질로 통상적으로 많이 쓰이고 있다. 이(2002)는 황토의 중금속 흡착제로서의 효율을 알아보기 위해 흡착 실험을 한 결과, 중금속의 흡착 제거율은 납, 구리, 아연

의 순서로 나타났고 활성탄에 비해 흡착 제거율은 낮았지만 경제성이 있는 유용한 흡착제라는 것을 알게 하였다.

한편, 황토는 예로부터 식물 식재용 토양으로 광범위하게 이용되어지고 있으며, 식물을 활성화 하는 효과가 뛰어난 것으로 알려져 있다.

식물은 토양 속의 화학물질에 민감하게 반응하기 때문에 토양 pH는 중요하며 많은 토양 양분이 중성에 가까운 pH 6~7에서 최고의 가용성을 유지하기 때문에 대부분의 식물은 pH 6~7을 선호함(신 외, 2005)으로 산성 황토는 식물 식재용 토양으로서 이상적인 흙이라는 판단을 할 수 있는데, 산성이 강한 황토는 알칼리성인 토양과 배합하여 식생이 선호하는 pH 6~7의 범위를 인위적으로 맞춰주면 식물이 성장하기에 좋은 조건의 토양이 될 것이라는 추측을 할 수 있다.



Ⅲ. 재료 및 방법

최근 선박의 대형화, 화물의 컨테이너화 등 국내의 물류환경이 급격히 변화함에 따라 신항만 및 대형선박 수로개발과 같은 기본준설과 기존 항만 수로의 수심유지 등의 목적을 위한 유지준설 등으로 준설토가 발생하고 있고 해양수산부의 “항만재개발기본계획”에 의거하여 앞으로 다년간 막대한 양의 준설토가 발생할 것으로 예상하고 있다.

한편, 문헌연구에서 언급 되었듯이 간척지나 준설토 매립지등 해수의 유입이 없는 육상 환경에서도 염생식물이 발아하여 생존하는 염생식물 군락의 생존 특성에 착안하여 본 연구에서는 준설토 매립지 조성으로 인해 발생하는 매립지 주변 환경의 악영향을 저감하고, 염생식물의 유용한 기능을 제공하고자 다년간 단순히 방치되어 있는 준설토 매립장에 염생식물 군락 조성의 기반을 제공하기 위한 방안을 제시하고자 한다.

본 연구에서는 현재 국내에서 발생하는 해양준설토의 처분 방법 중에 가장 많이 적용되고 있으며 육상 환경으로 조성되는 공유수면 매립지를 연구 대상으로 선정하였고 오랜 시간동안 불모지로 방치되어있고 고염도 토양인 준설토 매립지 환경에 염생식물 군락을 조성하고자 본 연구에서는 고염분과 건조한 토양에도 생육이 좋은 염생식물을 대상 종(Species)으로 하여 준설매립지에 조성할 수 있는 방안을 찾고자 Mesocosm을 설정하여 파종 실험을 실시하였다.

1. 대상 준설토

해양수산부(2007)에서 발표한 “항만재개발기본계획”에 의거하여 장래 준설품계획을 조사한 결과, 신항만으로 지정된 부산신항, 평택·당진항, 여수신항의 계획 준설품량이 다른 준설품 예정지에 비해 상대적으로 많을 것으로 조사되었다.

따라서 전국 항만재개발지역 중 장래 준설품량이 상대적으로 많은 지역 중 매립장에 단순히 매립하여 다년간 방치 할 여수·부산신항 준설품 매립지의 준설품토를 본 연구의 대상 재료로 선정하였고 준설품토 매립지와 같은 육상 환경에서 염생식물 식재 지반 토양으로의 재활용 가능성을 검증하기 위해 준설품토 매립지 환경과 유사한 Mesocosm을 조성하여 실험을 통해 매립지의 염생식물 식재 지반 토양으로의 재활용 가능성을 연구하였다.



Fig. 6. Busan new harbor reclaimed land.

2. 대상 염생식물 선택

환경부(2006)에서는 서·남해안 자생지 염생식물의 군락 형성 주요 요인 중 결정적인 요인은 토성이라 하였으며 입도조성 중 Clay, Sand 함량 비율이 토성 형성에 가장 밀접한 연관성이 있는 것을 나타내었다.

이에 본 연구에서는 우선적으로 여수신항 준설토와 부산신항 준설토의 입도조성과 자생지 염생식물 우점군락의 입도조성을 비교하여 대상 준설토에 식재 할 염생식물 군락을 분류하였다.

한편, 대상 염생식물은 준설토 매립지 환경과 유사한 서해 갯벌 간척지 환경에서 자생하며 간척 초기에 높은 농도의 염분과 영양염, 유기물 등이 포함되어 있고 건조한 환경 조건에서도 적응하여 발아하여 성장할 수 있으며 매립지와 같이 넓은 지역에 식재하기에 유리한 염생식물 종(Species)으로 선별하였다.

3. 염생식물의 발아·성장 실험

실험에 적용한 염생식물은 해안염습지와 갯벌간척지의 환경에서 군락을 이루며, 특히 간척지 환경에서 선구적으로 자생하는 통통마디(*Salicornia herbacea*)를 이용하였다.

실험 환경은 육상에 mesocosm을 설치하였고 간척지와 준설토 매립지의 환경과 유사하게 설정하기 위해, 수분공급은 오직 강우에만 의존하였다. 배수는 실험구 바닥에 수분이 천천히 빠지도록 하여 설정하였다.

가. 기상 자료

준설토 매립지와 같은 육상 환경 조건과 유사한 Mesocosm을 조성하여 대상 염생식물의 발아와 성장에 관한 실험 중, 수분공급은 오직 강우에 의존하며 방치하였다. 따라서 Mesocosm을 설치한 부산지역 기상청의 2008년 7월~9월 자료를 바탕으로 발아와 성장 실험 기간 동안의 기온, 강수량, 상대습도 자료를 참고하여 Climatic digram을 작성하였고, 시간 경과에 따른 Mesocosm내 염생식물의 발아·성장 결과와 일간 평균기온, 강수량, 상대습도와의 관계를 파악하기 위해 Climatic digram을 비교·분석하였다.

나. 부산신항 준설토를 이용한 발아·성장 실험

Silt함량이 비교적 많은 부산신항 준설토를 이용하여 시간이 지남에 따라 변화하는 통통마디의 발아와 성장 동태를 파악하기 위해 다음과 같은 Mesocosm 환경을 설정하여 관찰하였다.

(1) Mesocosm 규격

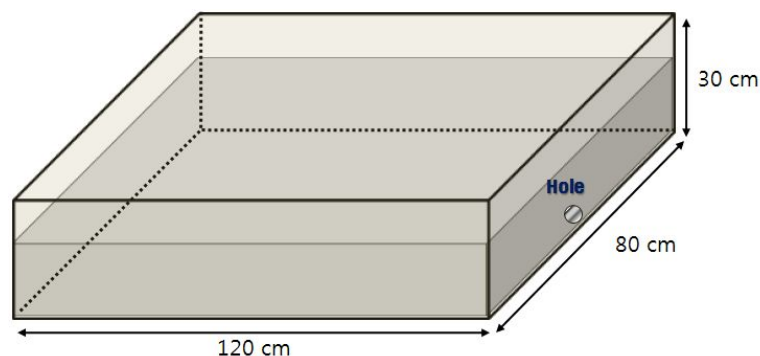


Fig. 7. Mesocosm scale.

(2) 식재방법

부산신항 준설토를 이용하여 Mesocosm을 설정하고 실험구 표면에 5 line으로 5mm의 골을 내어 line 당 200개체씩 총 1000개체를 Seeding(점과종)하였다. 과종은 6월에 실시하였고 3개월간 발아 경향을 관찰하였다.

(3) 수문조건

수분공급은 오직 강우에 의존하며 방치하였고, 실험구 바닥의 가장자리에 1개의 Hole(5 cm)을 내어 수분이 천천히 빠지도록 배수하였다. 또한 집중호우 시 실험구내의 Seed 이탈을 방지하고자 표토 가장자리에 10개의 Hole을 내어 배수처리 하였다.

다. 준설토와 다른 기질을 배합한 발아·성장 실험

자생지 염생식물의 군락형성에 주요한 영향을 미치는 물리·화학적인 토양요인과 부산신항 준설토의 토양을 비교한 결과 부산신항 준설토 자체만으로는 염생식물 서식처 토양으로서 재활용이 어렵다는 가정을 하게 되었고 부산신항 준설토는 염생식물 자생지 토양과는 이질적으로 Silt가 상당히 많이 포함되어 있는 것을 확인하였다.

따라서 부산신항의 준설토는 염생식물 서식처 토양에 자체적으로는 적용이 불가능하다는 결론을 내렸으며, mesocosm을 조성하여 부산신항 준설토의 토양 특성과는 다른 특성을 가지고 있는 황토, 육상토, 갯벌토를 배합하는 방법으로 실험조건을 설정하였다.

군락 조성을 목표로 하는 대상 염생식물을 효과적으로 조성하기 위하여 부산신항 준설토와 토성이 다르고 주위의 일반 환경에서 흔하게 구할 수 있는 황토, 육상토(산의 흙), 갯벌토를 혼합비율을 달리하여 준설토와 혼합

하였고 염생식물 서식처 토양기질로 재활용 시 발아효율과 성장효율을 관측하기 위하여 Fig. 8과 같은 실험 조건을 설정하고 Mesocosm 내에서의 염생식물의 발아와 성장에 관한 모니터링을 실시하였다.

황토, 육상토, 갯벌토를 배합기질로 선택한 이유는 부산신항 준설토와 토양기질이 다르며 주위의 일반 환경에서 비교적 구하기 쉬운 토양이며, 특히 황토는 일반적으로 식물의 발아와 성장에 유용하고 비옥한 성질을 가지고 있는 토양으로 분류되기 때문에 배합기질로 선정하였다.

토양 조건별 염생식물의 발아와 성장 경향을 Monitoring 하고자 한 실험의 Mesocosm 환경은 다음과 같다.

(1) Mesocosm 규격

Fig. 8과 같이 실험구를 설정하고 실험구 바닥은 원지면의 전도열(傳導熱)을 막고자 통풍이 이루어지는 Plastic 재질의 Pallet를 설치하였다.

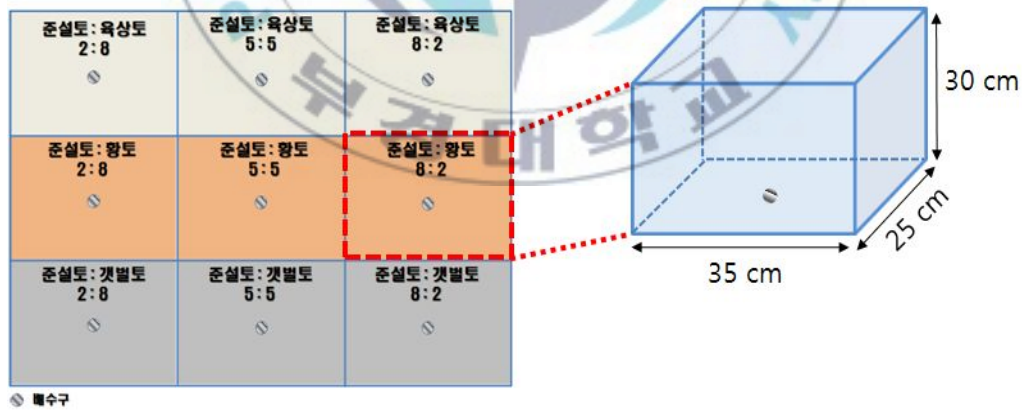


Fig. 8. Mesocosm scale.

(2) 준설토와 배합한 토양

(가) 준설토

부산신항 예정부지인 용원 매립지에서 준설토를 채취하였다.

(나) 갯벌토

충남 당진군 삼교호 인근 펄 갯벌에서 채취하였다.

(다) 황토

전남 무안에 산재해 있는 적황토(Lateritic soil)를 채취하여 실험에 적용하였다.

(라) 육상토

부산시 이기대공원 인근 야산에서 채취하였다.

(3) 토양 배합비율(dry weight base)

(가) 준설토+갯벌토(2:8 ratio)

(나) 준설토+갯벌토(5:5 ratio)

(다) 준설토+갯벌토(8:2 ratio)

(라) 준설토+황토(2:8 ratio)

(마) 준설토+황토(5:5 ratio)

(바) 준설토+황토(8:2 ratio)

(사) 준설토+육상토(2:8 ratio)

(아) 준설토+육상토(5:5 ratio)

(자) 준설토+육상토(8:2 ratio)

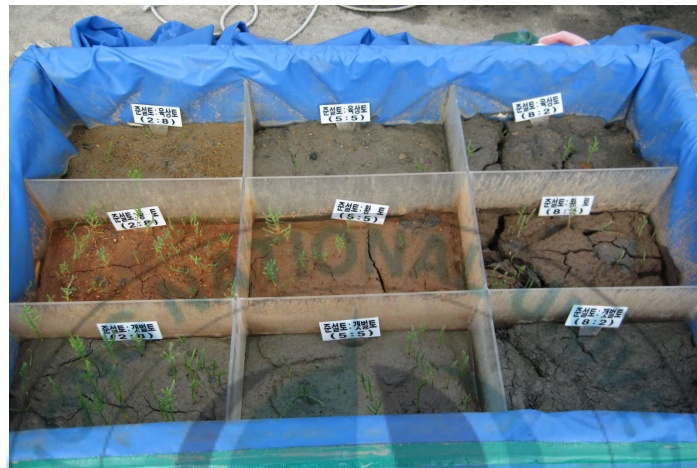


Fig. 9. A real picture of mesocosms.

(4) 염생식물 식재 방법

실험구 표토에 5개의 Line으로 5mm의 골을 내어 Line 당 100개체씩 염생식물 종자를 총 500개체 Seeding(짐파종)하였다.

(5) 실험구의 수문 설정

수분 공급은 오직 강우에 의하며 실험구 표층 가장자리와 바닥에 수분이 천천히 빠지도록 배수 처리하였다.

또한, 집중호우 시 실험구의 월류로 인한 Seed의 탈락을 방지하기 위하여 표토 가장자리에 Hole을 내어 월류를 방지하였다.

(6) Monitoring 기간

염생식물 seed를 파종하였던 2008년 6월 25일부터 2008년 9월30일 까지 약 3개월간 발아와 성장에 관한 모니터링을 실시하였다.

라. 토양분석

염생식물이 발아하고 성장하는데 중요한 영향을 미치는 토양인자인 입도 조성, pH, 유기물함량(Organic matter), 염분농도(Salinity), 전기전도도(Electric conductivity), 총질소(Total nitrogen) 및 인산염 인(phosphate)을 분석하였다.

(1) 입도(Grain size)

토양시료를 H_2O_2 를 이용하여 유기물을 제거한 후 사질과 니질시료를 분석하여 사질시료는 체분석법으로 구분, 중량을 측정하고 니질 시료는 칼콘 용액(sodium hexameta phosphate)를 이용하여 확산시킨 후 토양오염공정 시험방법의 침전속도를 고려한 습식분석방법(pipeting 법)을 이용하여 조립질 시료 무게와 세립질 시료 무게를 합하여 각 구간에서의 무게 백분율을 구하여 퇴적물 형태를 분류하였다.

(2) pH

일정량의 풍건토양과 증류수를 혼합하여 30분간 진탕 한 후, 1시간 방치하고 난 다음 pH meter를 이용하여 측정하였다.

(3) 염농도, 전기전도도(Electric conductivity)

일정량의 풍건토양과 증류수를 1:5(W/W)로 혼합하여 30분간 진탕하고 여과지(Whatman No. 44)로 여과한 다음 conductivity meter로 전기전도도와 염농도를 측정하고 다음과 같은 계산과정을 통해 분석하였다.

(가) 전기전도도(mS/cm) = 측정치(mmhos/cm) × 온도보정계수

(나) 염농도(%) = 0.064 × 증류수 ml / 토양무게 × 측정치
(mmhos/cm) × 온도보정계수

(4) 유기물함량(Organic Matter)

음건토양 시료를 도가니에 넣어 105 °C에서 건조시킨 무게를 측정하고, 다시 전기로의 고온(550 °C)에서 강열 한 후, 강열 전 후 무게차를 이용하여 유기물 함량을 측정하였다.

(5) 총질소(T-N)

토양시료를 환산용액 및 촉매를 가하여 증류 후 적정하는 방법으로서 TKN 분석장치인 Buchi kjeldahl 증류장치(B-324)를 이용하여 토양내의 질소 함량을 측정하였다.

(6) 인산염 인(PO_4^{3-} -P)

몰리브덴 청법을 이용하여 720nm에서 흡광도를 측정하여 비색 정량 하였고, 계산식은 다음과 같다.

$$\text{P in soil(ppm)} = \text{ppm in solution} \times \text{침출액량(mL)} / \text{토양무게(g)}$$

IV. 결과 및 고찰

1. 대상 준설토에 식재 가능한 염생식물 선정

장래에 준설토 발생 계획이 가장 많은 지역인 여수신항 발생 준설토와 부산신항 발생 준설토의 토성을 파악하고 염생식물 서식처 조성 기질로서의 재활용을 위해 자생지 염생식물 우점군락의 입도 구성과 비교하여 대상 염생식물을 선정하였다.

가. 여수신항 준설토

다음은 여수 인근 지역의 준설토의 입도조성을 나타낸 표이다.

Table 8. Grain size of Gwangyang bay dredged materials(Nam et. al, 2008)

Site	Soil texture(%)		
	Clay	Silt	Sand
1	9.37	10.61	80.03
2	7.47	9.79	80.73
3	4.1	2.39	93.51
4	14.87	19.34	66.59

남 등(2008)의 연구 자료인 Table 10의 광양준설토매립지 준설토의 입도조성을 보면 Sand의 비율이 평균 80 %로 대부분 모래로 이루어져 있는 것을 확인 할 수 있었고, 지점 4곳에서 통통마디, 갯질경, 갈대, 비쭉 등의 염생식물이 우점하여 자생하는 것으로 나타났으며 그 중 갈대의 식피율이 가장 높은 것을 알 수 있었다. 또한 해양수산부(2005a)의 여수항 발생 준설토

의 입도자료를 보면 Clay 11.66 %, Silt 9.08 %, Sand 78.25 %로 모래함량이 매우 높은 것을 확인하였다.

결과적으로 여수 인근 연안의 퇴적물은 대부분 사질인 것을 확인 하였고 갈대와 같은 염생식물을 식재하기에 매우 유리한 토양임을 알 수 있었다.

또한 환경부(2006)에서는 우리나라 서·남해안의 대표적인 염습지의 염생식물상, 종조성과 군락구조, 우점군락의 분포 현황 및 현존량 등을 측정하여 염습지의 특이성과 토양 기질에 따라 유형별로 해안염습지와 하구염습지로 구분하고 염습지별 우점군락의 입도조성을 조사하였다.

Table 9는 문헌연구를 통해 염습지 유형별 염생식물 우점군락의 입도분포 범위를 정리하여 나타낸 표이다. Sand가 대부분 100%로 구성되는 사구식물은 본 연구에서 적용하기에 부적합하여 목록에서 제외하였고, 여수신항 준설토의 Sand 함량보다 높은 토양에서 우점군락을 이루는 기수초, 갯잔디 등의 종들도 제외하였다.

Table 9. The soil texture range of halophyte community(MEV, 2006)

Community	Soil texture(%)		
	Clay	Silt	Sand
<i>Artemisia fukudo</i>	5.5~13.6	60.4~62.8	26~31.7
<i>Aster trifolium</i>	4.2	44.2	51.6
<i>Carex scabrifolia</i>	0.7~6.4	33.1~42.5	53.8~65.9
<i>Limolietum tetragoni</i>	11.9	48.3	39.8
<i>Phragmites communis</i>	0~7.2	0.5~53.0	39.8~99.5
<i>Salicornia herbacea</i>	0~0.3	3.1~32.7	67~96.9
<i>Suaeda asparagoides</i>	0~6.4	3.3~43.9	49.7~96.7
<i>Suaeda japonica</i>	1.4~5.8	36.4~57.4	36.8~61.8
<i>Suaeda maritima</i>	0~8	0.3~43.2	48.8~99.7
<i>Triglochin maritimum</i>	0.2~11.9	29.4~51.2	40.2~70.4

Table 8과 9의 입도조성 자료를 검토해 본 결과, 광양매립지의 경우와 같이 여수 인근해역 발생 준설토와 서남해안 갈대 우점군락의 입도조성 중 Clay와 Sand의 함량비가 가장 유사한 것을 확인할 수 있다.

결과, 여수신항과 같이 여수·광양만 발생 준설토를 이용하여 육상에 염생식물 군락을 조성 시, 적용 가능한 염생식물은 갈대, 통통마디, 나문재, 해홍나물이라 판단되며 특히 갈대, 해홍나물, 나문재를 적용하면 높은 식피율을 얻을 수 있으리라 판단된다.

나. 부산신항 준설토

여수·광양 지역의 경우와 같이 부산신항 매립지의 준설토의 입도조성을 분석하여 서·남해안 자생지 염생식물 우점군락의 토성과 비교하였고 부산신항 준설토에 식재 가능하리라 판단되는 염생식물을 조사하였다.

결과, 부산신항 준설토는 Silt와 Clay함량이 여수신항 준설토에 비해 매우 높게 나타났고 Sand가 약 8 %의 낮은 비율로 나타났다. 또한 부산신항 준설토 입도조성 결과와 자생지 염생식물 군락 토양의 입도조성 비율을 검토 하였을 때 부산신항 준설토는 Sand의 함량이 매우 저조하고 Silt 함량이 비교적 많아 부산신항 발생 준설토를 식재 지반으로 할 수 있는 적합한 염생식물 군락을 선정 할 수 없었다.

한편, 문헌조사 결과 국내 연안에서 준설토되어지는 해저 퇴적물은 Silt와 Clay 입자가 많은 것을 알게 되었고, PIANC(1992)에서 입자크기에 따라 분류한 준설토 재활용 방법에 준하여 Silt·Clay 준설토의 염생식물 서식처 기질로서 재활용 방안을 찾기 위해 준설토매립지와 갯벌 간척지와 같이 고염분이 함유되어 있고 건조한 환경에 적응하며 자생하는 통통마디(*Salicornia herbarcea*)를 대상 식물로 선정하였다.

또한, 부산신항 준설토매립지의 환경과 유사하게 조성한 Mesocosm에 염생

식물의 발아와 성장에 관한 식물생장 Monitoring을 실시하기 위하여 통통마디 Seed를 이용하였다.



Fig. 10. *Salicornia herbarcea*(PKNU, 2007).

통통마디는 명아주과의 1년생 초본으로 내염성이 매우 강하나(Waisel, 1972) 침수에는 약한 것(김과 임, 1988)이 특징이다. 또한 생물학적으로 잎에 다량의 Na를 축적하여 다육성의 형태를 보이며 체내의 수분포텐셜을 낮게 함으로써 적응한다(임 등, 1995). 이 종은 폐염전이나 간척 직후 초기 2~5년 사이에 넓은 군락을 형성하다 다른 식물이 가입하면 사라지는 생태적 천이를 보여(민, 1998) 기회적으로 형성된 군락이 많다. 통통마디는 서해 간척지 환경에서 탈염이 초기단계인 갯벌지역에 높은 농도의 염분과 영양염, 유기물 등이 포함되어 있고 건조한 환경 조건에서도 적응하여 발아하여 성장할 수 있다.

또한, 한방에서는 함초라 불리우며 약재로 쓰이고 있고 최근 Well-being 식품으로써 상업적으로 가치가 높은 염생식물로 알려져 있다.

따라서, 부산신항 준설매립지와 같이 광범위한 부지에 염생식물을 식재하기 위해서는 초기 Seed의 확보가 매우 중요할 것으로 판단되어 서·남해

안에서 자생하는 염생식물 중, 상업적으로 대량 재배하는 통통마디를 본 연구의 대상 식물로 선정하였다.

한편, Fig. 11은 전남 신안군에 위치한 통통마디 육상 재배지의 모습이며 이곳에서는 봄철, 강우가 많은 시기에 파종하여 발아를 유도하며 10월~11월에 성체를 수확한다. 본 재배지에서 획득한 통통마디 Seed를 Mesocosm을 이용한 발아·성장 실험에 적용하였다.



Fig. 11. Commercial plantation of *Salicornia herbacea*.

2. 염생식물의 발아와 성장

자생지의 통통마디는 통상적으로 4월에 발아를 시작하나 조 등(2002)의 연구 결과, 25 °C의 온도조건에서 통통마디의 발아·성장효율이 높은 것으로 나타나 통통마디 발아와 성장에 관한 선행 연구결과를 토대로 본 연구에서는 통통마디의 발아와 성장의 효율을 높이기 위해 일간 평균온도가 25 °C와 근

접한 시기인 2008년 6월 25일에 파종을 실시하였다.

가. 기후 조건

본 실험지역의 평균기온, 강수량, 상대습도를 알아보기 위하여 2008년 7월 부터 9월까지 3개월간의 부산 지방 기상청 기상연보 자료를 바탕으로 Climatic diagram을 작성하였고 Fig. 12와 같이 나타내었다.

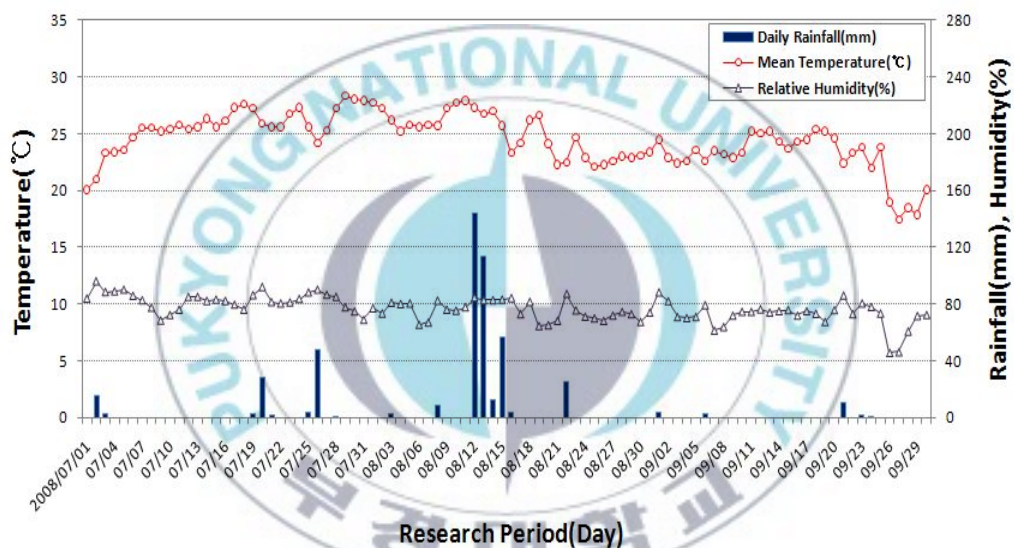


Fig. 12. Climatic diagram of study area.

기후도를 보면, 강수량은 7월과 8월에 가장 많았으며 특히, 8월의 자료를 보면 12일부터 15일까지 집중적인 강우량을 기록하였으며 9월에는 7, 8월에 비해 낮은 강우량을 나타내었다. 또한 상대습도는 7월이 8, 9월에 비해 비교적 높은 것이 관측되었다.

Table 10. Meteorological data during monitoring period

day	Mean temp(°C)			Rainfall(mm)			Relative humidity(%)		
	July	Aug	Sep	July	Aug	Sep	July	Aug	Sep
1	20.1	27.7	24.5	0.1	0	4.5	83.8	77.0	88.0
2	21.0	27.2	22.9	16.0	0	0	95.8	73.4	81.9
3	23.3	26.2	22.4	3.5	3.0	0	88.3	80.8	70.8
4	23.4	25.2	22.6	0	0	0	88.8	79.9	70.1
5	23.6	25.8	23.6	0	0	0	89.9	80.4	70.9
6	24.7	25.6	22.6	0	0	3.0	85.6	65.5	79.1
7	25.5	25.8	23.5	0	0	0	82.5	67.0	61.4
8	25.5	25.7	23.2	0.5	8.5	0	77.3	82.3	63.9
9	25.2	27.2	22.9	0	0	0	68.5	75.9	71.8
10	25.4	27.7	23.3	0	0	0	72.3	75.3	74.5
11	25.8	27.9	25.2	0	0	0	76.0	77.6	74.4
12	25.4	27.3	25.0	0	144.0	0	84.9	84.4	76.3
13	25.6	26.7	25.2	0	114.0	0	85.0	82.6	74.0
14	26.3	27.0	24.3	0	13.0	0	82.1	82.6	74.9
15	25.6	25.7	23.7	0	56.5	0	83.0	83.0	75.6
16	26.1	23.3	24.3	0	4.0	0	82.1	84.0	71.8
17	27.3	24.2	24.5	0	0	0	79.5	72.9	74.9
18	27.6	26.2	25.4	0	0	0	76.0	81.4	73.1
19	27.2	26.6	25.2	3.0	0	0	86.1	64.6	67.4
20	25.9	24.1	24.6	28.5	0	0.1	91.8	65.1	75.6
21	25.6	22.3	22.4	2.0	0	11.0	81.3	68.3	85.8
22	25.6	22.5	23.3	0	25.5	0	80.3	87.0	72.9
23	26.7	24.7	23.8	0	0	2.0	81.0	75.4	80.3
24	27.3	22.9	22.0	0	0	1.0	83.5	71.0	77.8
25	25.6	22.1	23.8	4.0	0	0.1	88.0	69.9	73.3
26	24.2	22.3	19.0	48.0	0	0	89.9	68.1	45.8
27	25.3	22.6	17.5	0	0	0	86.4	71.8	46.3
28	27.2	23.0	18.5	1.5	0	0	85.0	74.4	60.8
29	28.3	22.9	17.9	0	0	0.5	77.6	72.9	71.6
30	28.0	23.1	20.1	0	0	0	74.8	67.5	72.3
31	27.9	23.4		0	0		68.9	73.9	
avg	25.6	25.0	22.9	107.1	368.5	22.2	82.5	75.4	71.9

한편, 기온 변화 그래프를 보면 7월 초에 일간 평균기온이 급상승 하여 7월 후반과 8월초에 일간 평균기온이 25 °C를 초과하여 나타났으며 8월 중순 이후 25°C 이하로 낮아지는 경향을 볼 수 있다.

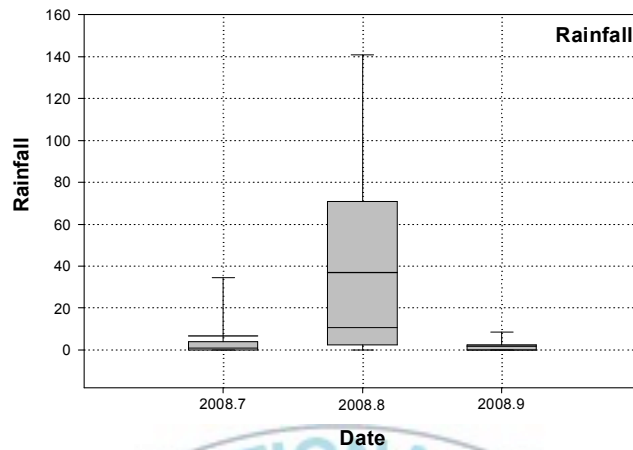


Fig. 13. Amount of rainfall during monitoring period.

Mesocosm내 통통마디의 모니터링 기간 동안의 평균기온 범위를 보면 7월은 20.1 °C~28.3 °C로 집계되었고 8월은 22.1 °C~27.9 °C로 나타났으며 9월은 17.5 °C~25.4 °C로 나타났다.

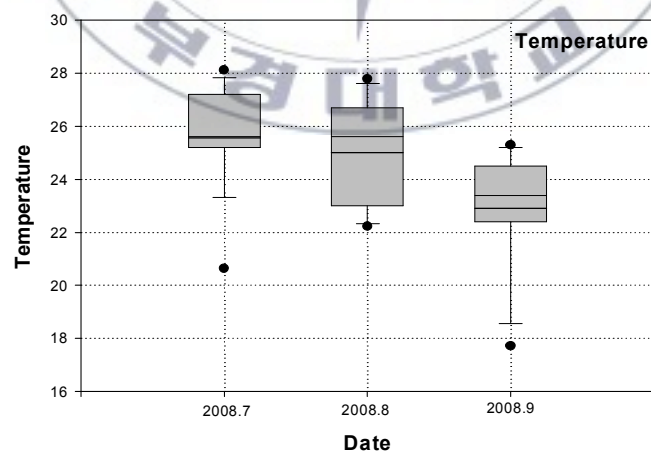


Fig. 14. Average temperature during monitoring period.

나. 부산신항 준설토를 이용한 발아와 성장

(1) Mesocosm을 통한 염생식물 발아·성장 결과

육상 환경으로 mesocosm을 제작하여 2008년 6월부터 9월까지 3개월간 통통마디의 발아유무를 파악하고 Silt 성분이 다량 함유된 부산신항 준설토의 염생식물 식재 기반 용토로서의 활용가능성을 검증하고자 Fig. 15와 같이 준설텔립지 환경과 유사한 조건하에서 실험을 실시하고 염생식물의 발아량과 성장 동태를 모니터링 하였다.



Fig. 15. Busan new harbor Dredged material mesocosm.

결과, Table 11과 같이 부산신항 준설토만을 이용하여 통통마디를 파종한 Mesocosm에서 파종한지 3개월이 경과할 때 까지 실험구 내에서 통통마디의 새 순을 관찰할 수 없었고, Mesocosm의 표면은 건조에 의해 갈라지는 현상을 보여 부산신항 준설텔립지 현장과 매우 유사한 것을 볼 수 있었다.

Table 11. Germination Individual in Busan new harbor dredged material mesocosm

Date	Germination Individual
2008. 07	None
2008. 08	None
2008. 09	None

(2) 토양 분석 결과

문헌연구에서 나타난 염생식물 자생지 토양의 주요 물리·화학적 요인을 분석하여 Mesocosm 내 통통마디의 발아·성장 동태를 파악하기 위한 실험의 결과는 Table 12, Fig. 16과 같다.

Table 12. Soil analysis of Busan new harbor dredged material

pH	OM (%)	Salinity (%)	EC (mS/cm)	PO ₄ ⁻³ -P (mg/kg)	T-N (mg/g)
8.28	7.4	2.99	11.85	115.22	85.6

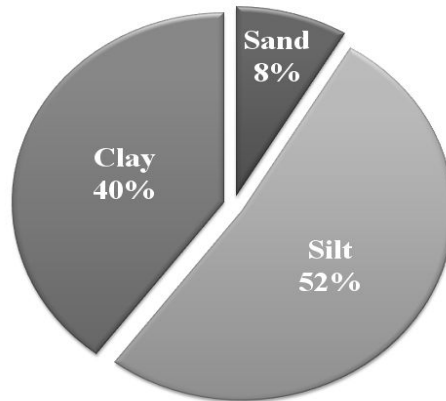


Fig. 16. Grain size of Busan new harbor dredged material.

위와 같이 부산신항 준설토를 이용, Mesocosm을 조성하여 염생식물의 발아와 성장 동태를 Monitoring한 실험은 수문조건을 오직 강우에만 의존하여 방치한 결과로서, Mesocosm 내 준설토의 표토는 우천 시를 제외한 경우는 항상 건조하게 굳어 있어 염생식물이 발아하기에 부적절한 토양임을 알 수 있었고, 문헌연구에서 조사되었던 염생식물 군락형성 주요 요인 중 입도조성, 즉 모래 함량과 수분함량이 매우 낮은 것이 실험결과에 결정적인 영향을 미친 것으로 판단되어 진다.

따라서, 부산신항 준설토매립지는 통통마디와 같은 염생식물을 식재하기에 불리한 토양조건을 갖추고 있는 것으로 판단되며 매립지 환경에서 염생식물 군락을 조성하기 위해서는 준설토의 물리·화학적인 토양 조건을 인위적으로 조절 해 줌으로써 가능할 것이라는 판단을 하였다.

다. 준설토와 다른 기질 배합비에 따른 발아와 성장

부산신항의 준설토와 같이 silt질이 많이 포함된 준설토의 재활용 가능성을 파악하기 위해 다음과 같이 입도조성과 토양의 화학적 성질이 다른 토

양(황토, 육상토,갯벌토)과 준설토를 배합하고 배합비율을 달리하여 통통마디의 발아와 발아 이후의 성장 동태를 관찰하였다.

통통마디는 생물학적인 특성 중 간조 시 노출되는 하구역 조간대 상부와 개간 전의 간척지를 중심으로 염분농도가 높은 토양에서 분포대가 형성되기 때문에 염습지, 간척지 및 폐염전에서 선구종으로 밝혀지고 있으며(김, 1971; Beefrink, 1977), 간조 시 해수에 침수되면 정착하지 못하는 특성(Chapman, 1960; Clark & Hannon, 1971)을 지니고 있는 등 육상 환경에서 생육이 유리한 종으로 보고되어 왔으므로 실험 대상 종으로 선정하였다.

따라서 2008년 6월 25일에 파종(Seeding)을 실시하였고 3개월간 발아와 발아 이후, 성장에 관한 모니터링을 실시한 결과는 다음과 같다.

(1) Mesocosm을 통한 염생식물 발아·성장 결과

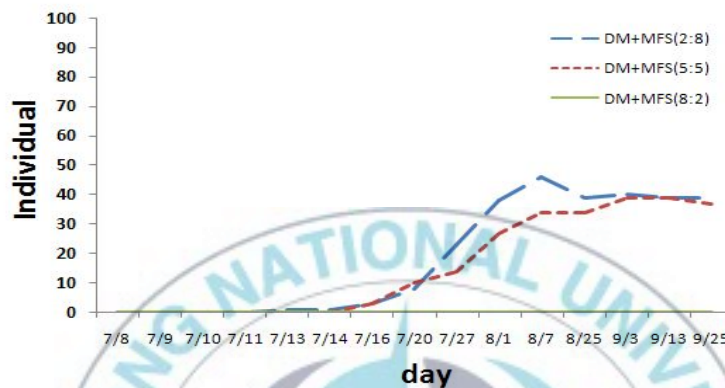
(가) Mesocosm 내 통통마디 발아 결과

① 준설토·갯벌토 실험구

Fig. 17은 준설토와 갯벌토를 혼합하여 관찰한 발아 개체수의 누적곡선을 나타낸 것이며, 곡선의 하향은 발아했던 통통마디 개체의 고사량을 의미한다.

6월 25일에 파종을 실시하여 약 2주 후에 준설토·갯벌토 2:8비율의 실험구에서는 통통마디의 발아가 시작되었고 강우량이 비교적 많았던 2008년 7월 20일 전후로 통통마디의 발아가 전반적으로 이루어 졌다. 결과적으로 준설토와 갯벌토의 2:8, 5:5배합에서 통통마디의 발아율이 약 9 %로 나타난 것을 확인하였고, 부산신항 준설토가 80 %함유된 실험구에서는 통통마디가 발아하지 않았다. 발아가 이루어지지 않은 8:2 실험구에서는 강우 시를 제외한 monitoring 기간 중에 표토(Top soil)가 항상 견고하게 굳어 있

는 것을 관찰하였다. 이것은 부산신항 준설토 만으로 통통마디를 파종했던 선행 실험에서와 같은 현상이라 판단되어 진다.



Abbreviations :
DM : Dredged material
MFS : Mud flat soil

Fig. 17. The germination of dredged material·mudflat soil mesocosms.

② 준설토·황토 실험구

Fig. 18을 보면, 준설토와 황토의 배합비율에 따라 나타난 결과이며 그림에서 보는 바와 같이 준설토·황토의 비가 2:8인 실험구에서 seeding한지 9일이 경과한 7월 4일에 3개체를 시작으로 발아가 시작되었고 강우량이 비교적 많았던 20일 이후를 기점으로 총 151개체가 발아하여 발아율이 30 %인 것을 관찰 하였으며 발아가 끝난 시기에 약 100개체가 생존하여 총 발아된 개체수의 생존율이 약 66 %인 것으로 나타났다.

5:5의 배합비의 실험구에서는 2:8 배합구와는 다르게 강우량이 비교적 많았던 20일 이후부터 전반적으로 발아가 시작되어 22개체가 발아 하였고 8

월 중반까지 발아가 53개체까지 진행되는 것을 관찰하였으며 결과적으로 38개체가 고사하지 않고 생존하여 생존율 약 72 %로 성장하는 것을 확인하였다.

한편, 8:2 배합구에서는 파종한지 약 20일 만에 2개체가 발아하였고 강수량이 많았던 7월 20일 이후로 발아가 전반적으로 이루어졌으며 5:5 비율의 실험구와 같이 발아 개체수와 최후의 생존 개체수가 유사하게 나타났다.



Abbreviations :
DM : Dredged material
LS : Lateritic soil

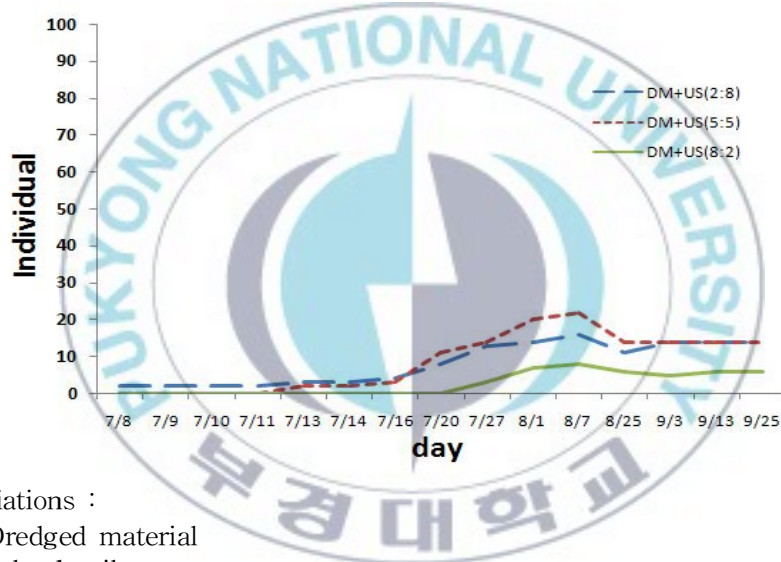
Fig. 18. The germination of dredged material-lateritic soil mesocosms.

③ 준설토·육상토 실험구

준설토와 육상토의 배합비에 따른 발아량의 결과 그래프를 보면, 2:8비율에서는 파종한지 13일 만인 7월 8일에 발아가 시작되었고 5:5비율은 18일, 8:2비율은 32일 만에 발아가 시작되는 것을 볼 수 있다. 일별 강수량의 기후도 자료와 각 실험구의 발아양상을 비교해 보면 7월 중 비교적 많은 강

우량을 기록했던 19일부터 26일까지의 기상청 자료와 통통마디의 발아량이 전반적으로 많았던 시기가 같은 것을 확인할 수 있었다.

한편, 2:8비율과 5:5비율의 실험구에서는 통통마디의 발아 경향이 비슷하며 최후 생존 개체수도 유사하게 나타났으며, 8:2비율의 실험구에서는 7월 중 강우량이 많았던 중순 이후로 발아를 시작하였고 다른 비율의 실험구에 비해 6개체만 발아하여 발아가 대부분 이루어지지 않은 것을 확인하였다.



Abbreviations :
 DM : Dredged material
 US : Upland soil

Fig. 19. The germination of dredged material·upland soil mesocosms.

Table 13. Germination Individual of *Salicornia herbacea* in mesocosm

Date (2008)	Germination Individual								
	DM+MFS			DM+LS			DM+US		
	2:8	5:5	8:2	2:8	5:5	8:2	2:8	5:5	8:2
07-04	0	0	0	3	0	0	0	0	0
07-08	0	0	0	4	3	0	2	0	0
07-09	0	0	0	12	3	0	2	0	0
07-10	0	0	0	27	3	0	2	0	0
07-11	0	0	0	44	4	0	2	0	0
07-13	1	0	0	44	4	0	3	2	0
07-14	1	0	0	124	4	2	3	2	0
07-16	3	3	0	143	4	2	4	3	0
07-20	8	10	0	151	9	6	8	11	0
07-27	23	14	0	150	22	27	13	14	3
08-01	38	27	0	142	38	44	14	20	7
08-07	46	34	0	121	41	53	16	22	8
08-25	39	34	0	109	53	53	11	14	6
09-03	40	39	0	103	50	53	14	14	5
09-13	39	39	0	99	42	44	14	14	6
09-25	39	37	0	99	38	41	14	14	6

Abbreviations :

DM : Dredged material

MFS : Mudflat soil

LS : Lateritic soil

US : Upland soil

(나) Mesocosm 내 통통마디의 성장 결과

간척지나 준설토 매립지와 유사한 환경의 Mesocosm하에서 통통마디의 발아경향을 3개월간 모니터링하면서 발아하여 성장하는 각 개체의 지상부 길이를 측정하였고, 배합비율에 따른 9구간의 각 실험구 통통마디의 길이 평균을 정리하여 나타낸 성장률의 결과는 Table 14와 같다.

준설토와 혼합하여 만든 총 9개의 Mesocosm에서는 성장에 관한 경향이

유사하게 나타났으며, 7월 8일에서 8월 7일까지, 8월 7일에서 9월 13일, 9월 13일에서 9월 25일까지의 3구간으로 분류되는 특징을 보였다.

한편, 배합구별 평균 성장률은 준설토와 황토를 배합한 구간에서 가장 높게 나타났고 그다음으로 준설토와 갯벌토를 배합한 구간에서 비교적 높게 나타났으며 육상토를 배합한 실험구에서는 성장률이 저조한 것을 볼 수 있었다. 또한 준설토와 배합한 비율별로 보면 준설토를 20 % 혼합한 구간에서 다른 배합비에서 보다 성장률이 높게 나타나는 것이 관찰되었다.

Table 14. Growth rate of *Salicornia herbacea* mesocosms (Unit: cm/day)

Date (2008)	DM+MFS			DM+LS			DM+US		
	2:8	5:5	8:2	2:8	5:5	8:2	2:8	5:5	8:2
07.08 - 8.07	0.04	0.04	0.00	0.17	0.03	0.04	0.08	0.06	0.03
08.07 - 9.13	0.34	0.33	0.00	0.31	0.20	0.21	0.12	0.13	0.17
09.13 - 9.25	0.16	0.15	0.00	0.07	0.08	0.17	0.15	0.05	0.14
Mean Growth Rate	0.17	0.17	0.00	0.20	0.11	0.12	0.10	0.08	0.10

Fig. 20을 보면 준설토·갯벌토 실험구에서는 발아가 완료된 8월 초순부터 성장률의 일간속도가 2:8 배합비에서 0.34 cm/day로 다른 구간에 비해 높게 나타난 것을 관찰 할 수 있었으며, 최장 길이 또한 2:8 구간에서 15.2 cm로 가장 높게 나타났으며, 이러한 원인은 7월과 8월에 많은 양을 기록했던 강우에 의한 것으로 판단된다.

한편 발아시기가 전반적으로 끝난 후, 각 배합비별 통통마디의 생존률을 보면 2:8 구간에서는 총 발아량과 비교하여 최후 생존율은 84.7 %로 나타났으며, 5:5 실험구에서는 최후 생존율이 94.8 %로 높게 나타난 것을 관찰 할 수 있었다.

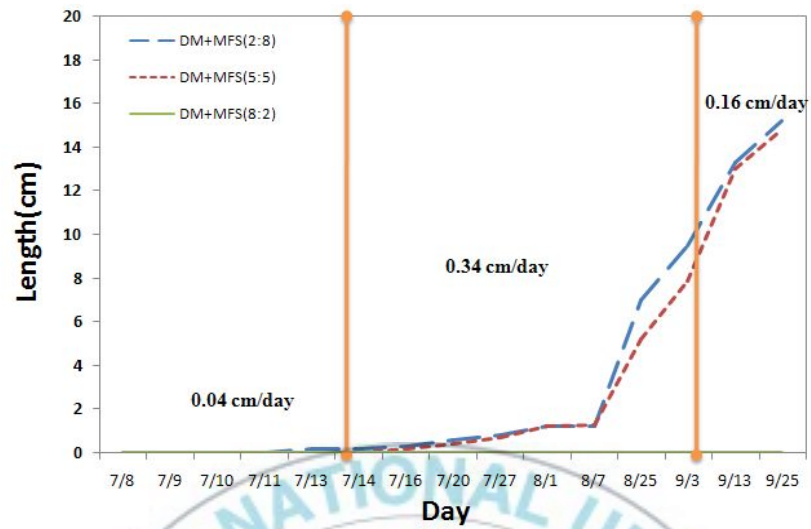


Fig. 20. Mean growth rate of Dredged material + mudflat soil.

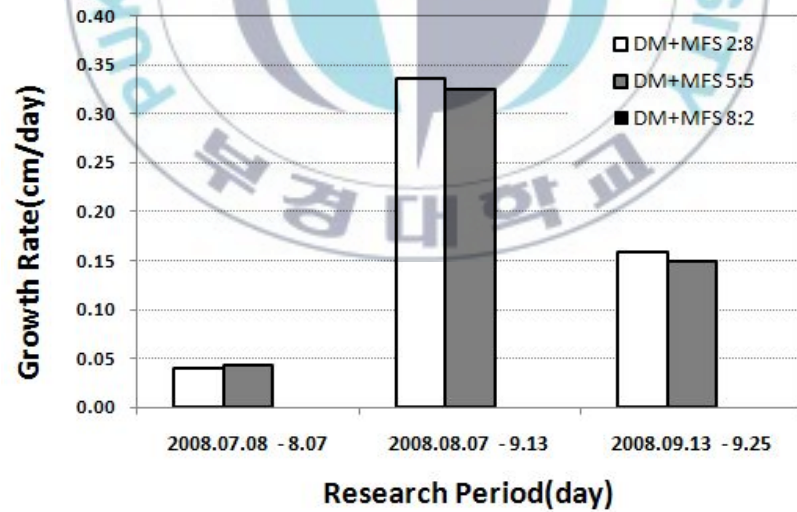


Fig. 21. Mean growth rate of combined dredged material with mudflat soil per month.

Fig. 22는 준설토와 황토의 배합비율을 달리하여 나타난 통통마디의 성

장률 그래프로써, 모니터링 기간 동안 각 배합구에서 성장률이 매우 유사하게 나타난 것을 볼 수 있었다.

2:8 실험구에서 일간 성장속도가 0.31 cm/day로 높게 나타났으며, 평균 성장 길이가 17.3 cm로 실험구 중에서 성장효율이 가장 좋은 것으로 나타났다. 전반적으로 전체 실험구에서 강우량이 많았던 시기인 8월 초·중반 경에 성장률이 증가하는 것을 볼 수 있었다.

한편, 준설토의 배합비가 낮은 2:8구에서 최대 발아 개체수에 따른 최후 생존율이 65.5 %로 나타난 반면에, 5:5, 8:2 비율에서는 성장률의 경향이 유사하게 나타났으나 최후 생존율은 각각 71.6 %와 77.3 %로 나타나 준설토의 배합이 80 %인 실험구에서 생존율이 가장 높게 나타난 것을 확인하였다.

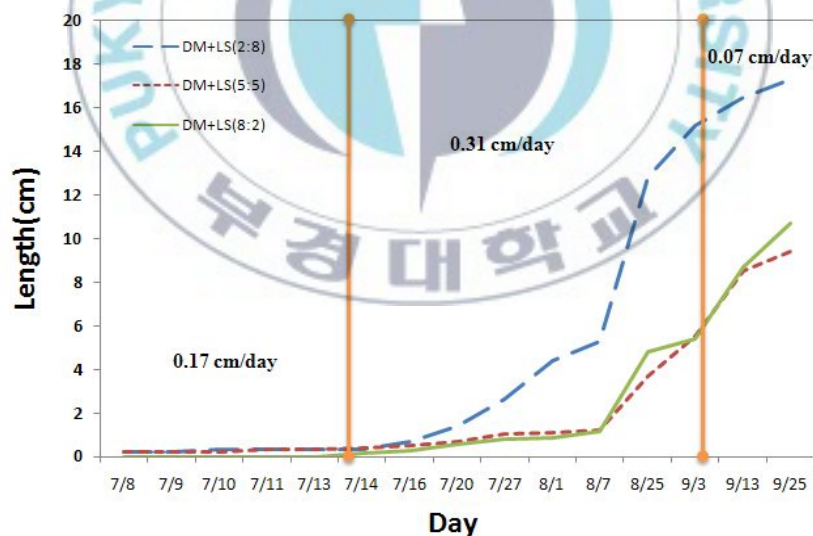


Fig. 22. Mean growth rate of Dredged material·lateritic soil.

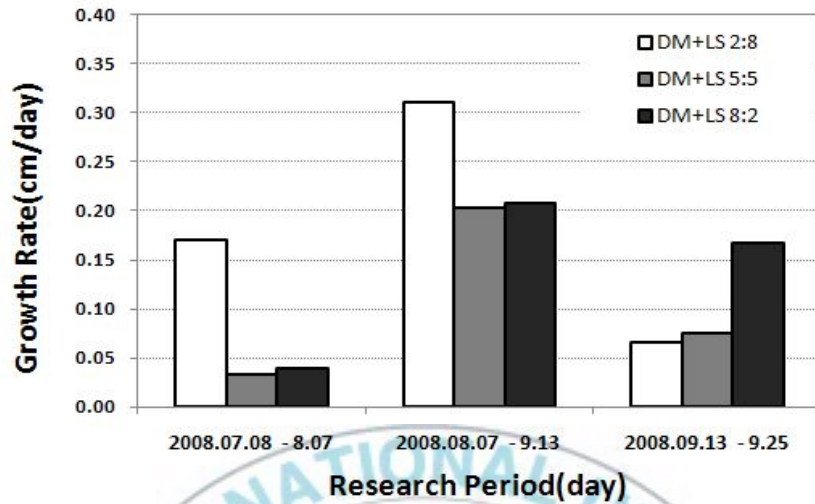


Fig. 23. Growth rate of combined dredged material with lateritic soil per month.

Fig. 24의 준설토·육상토 실험구의 성장결과를 살펴보면, 앞서의 통통마디 발아 결과와 유사한 경향을 보였으며, 모든 배합구에서 0.08cm/day ~ 0.15cm/day의 성장속도로 다른 기질 배합구에 비해 낮은 성장률을 보이는 것으로 나타났다.

이것은 발아·성장실험 초기 기대했던 염생식물 군락 형성요인 중 주요한 요인인 토성만을 고려하여 육상토에 다량 포함 되어 있는 Sand 기질의 배합 효율을 기대하였으나 준설토·육상토 배합구에서는 발아·성장효율이 다른 기질 배합구에 비해 현저히 낮게 관찰되어, 통통마디가 발아하고 성장하는데 필요한 물리적인 환경요인 이외에 화학적·생물학적 요인이 복합적으로 작용함을 인지하였다.

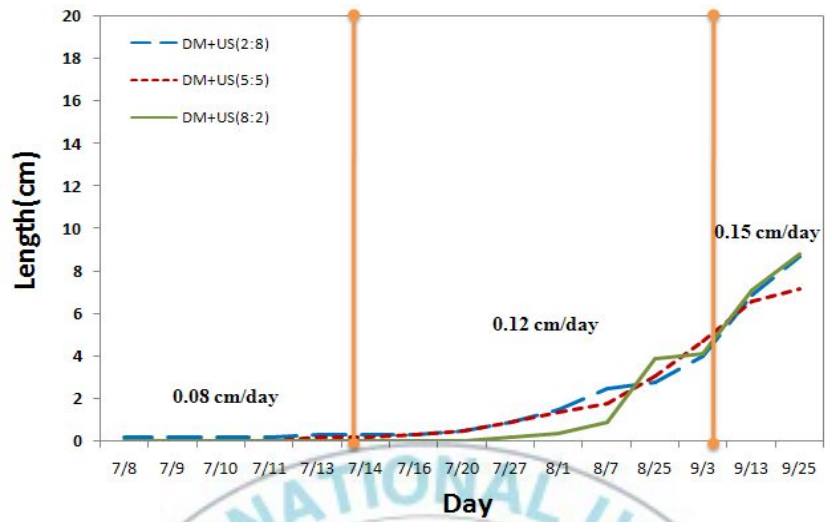


Fig. 24. Mean growth rate of Dredged material upland soil.

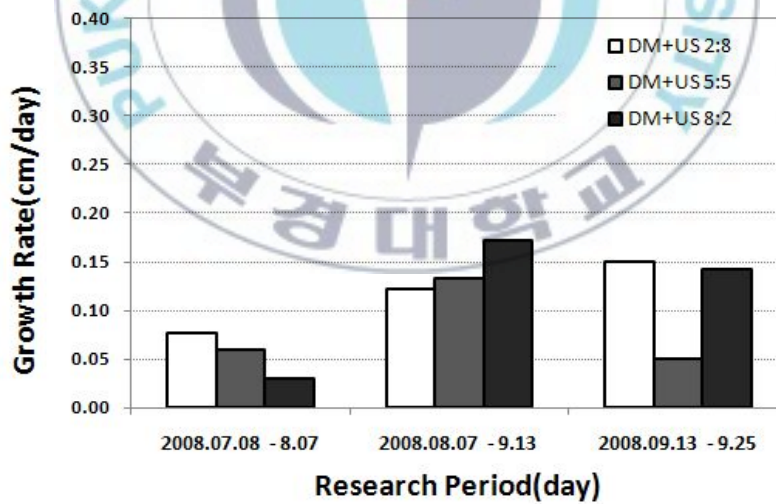


Fig. 25. Mean growth rate of combined dredged material with upland soil per month.

(2) 토양분석 결과

통통마디(*Salicornia herbacea*)가 발아하고 성장하는데 필요한 토양환경의 최적조건을 파악하기 위해, 3개월의 모니터링 기간에 관찰되었던 배합구별 토양의 물리·화학적인 요인을 찾고자 토양분석을 실시하였다.

분석항목은 입도, 강열감량, 토양 pH, 염분도, 전기전도도, 총질소와 인산염 인으로 분석 결과와 선행 연구자료인 서·남해안의 해안성염습지와 간척지의 통통마디 자생지 토양환경과 비교하였다.

(가) 입도(Grain size)

통통마디 실험에 사용되었던 기질의 입도조성은 Fig. 26과 같다. 황토와 육상토는 다른 기질에 비해 모래함량이 매우 많이 포함되어있으며 자갈도 포함하고 있으나 준설토와 갯벌토는 이와는 다르게 silt와 clay기질이 많이 포함되어 있는 것으로 나타났다.

서·남해안 염습지에서 자생하는 통통마디 군락의 토양환경조건 중 입도 조성 범위(환경부, 2006)는 다음과 같다.

Table 15. The soil texture range of *Salicornia herbacea* communities(MEV, 2006)

Soil texture(%)		
Clay	Silt	Sand
0~0.3	3.1~32.7	67~96.9

Fig. 27은 배합비 별 입도조성 변화를 누적그래프로 나타낸 것이다. 그림과 같이 9개의 구간 중 준설토와 황토를 2:8, 5:5로 배합한 실험구와 준설토·육상토 배합구의 2:8, 5:5 실험구가 통통마디 자생지 입도조성과 가장 근접한 비율을 나타내고 있다. 이것은 황토와 육상토 자체의 모래분포 비

율이 높기 때문에 나타난 결과로 보여 진다.

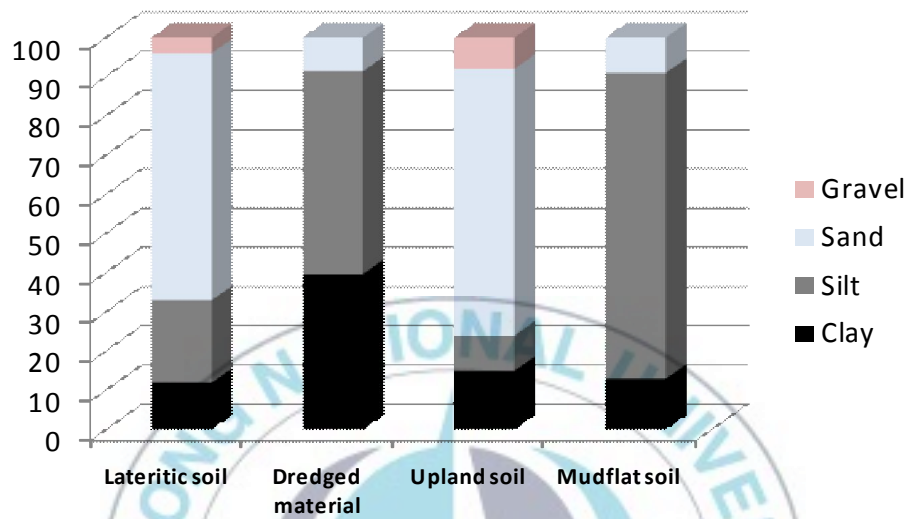


Fig. 26. Analysis result of grain size.

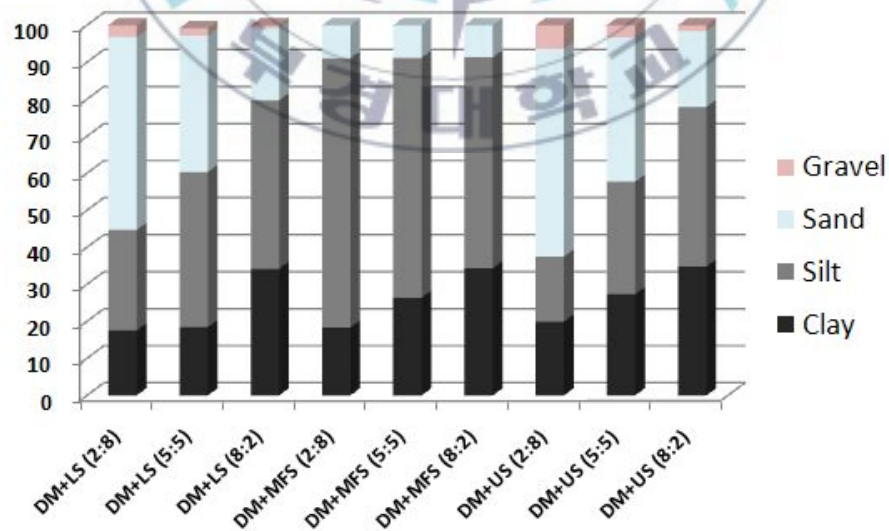


Fig. 27. Analysis result of each mesocosm grain size.

(나) pH

Mesocosm 내 배합구별 토양 pH를 보면, 황토와 준설토를 배합한 구간에서 pH가 다른 실험구에 비해 낮게 측정되었고, 발아율이 가장 높았던 준설토·황토 2:8 비율의 구간에서 7.21로 가장 낮게 측정되었다. 이것은 황토 자체의 pH가 4.85로 산성이기 때문에 나타난 결과로 보이며, 대부분의 식물이 성장하는데 유리한 최적의 pH 범위가 6~7이며, 그 조건에 가장 근접한 황토 80 %의 실험구에서 통통마디의 발아량이 많은 것으로 유추된다. 한편 황토 구간을 제외한 다른 구간에서는 pH가 약 8.3이상으로 알칼리성을 띄고 있다는 것을 알 수 있으며, 염생식물이 발아하고 성장하는데 토양 pH가 매우 중요한 환경 요인인 것을 알게 하였다.

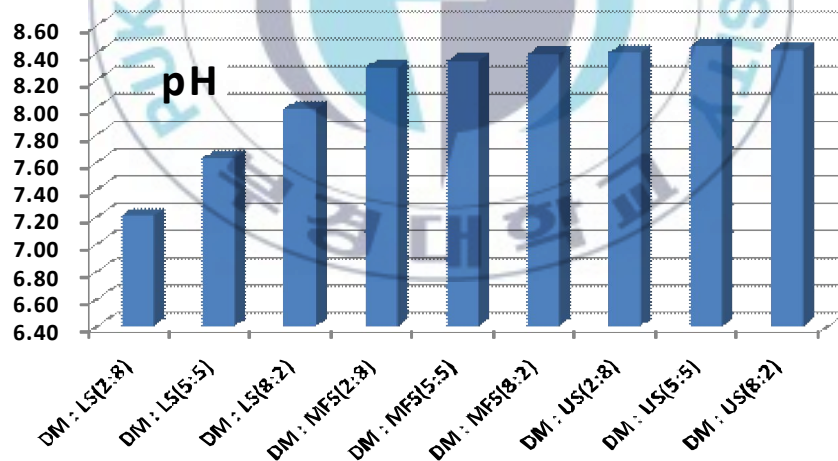


Fig. 28. Analysis result of pH in mesocosms.

(다) 염농도(Salinity)

Fig. 29는 토양 염농도에 관한 결과로서, 통통마디는 간척지 고염도 토양에서 발육이 좋은 종으로 준설토를 20 %로 배합한 구간에서 다른 배합비에 비해 낮은 값을 나타내었고, 준설토의 배합비가 커짐에 따라 염농도가 점점 증가하는 현상을 관찰하게 되었다.

한편, 통통마디의 생장특성을 규명한 조 등(2002)의 실험결과 중 토양염분농도 변화에 따른 통통마디의 초장성장 결과자료를 보면 1 %~4 %의 염분농도에 통통마디가 잘 적응하여 발아와 생장을 하는 것을 알게 하였고, 특히 1 % 농도에서 발아율이 우수하며 생장하는 것을 알 수 있다. 이것과 비교하여 Mesocosm의 경향을 보면 Monitoring 기간 중에 발아량이 가장 많았던 황토 80 % 실험구와 육상토 80 %에서 1 %이하의 낮은 염농도가 측정되었고 준설토와 갯벌토를 배합한 구간에서 토양의 염농도가 2 % 이상으로 측정되어졌다.

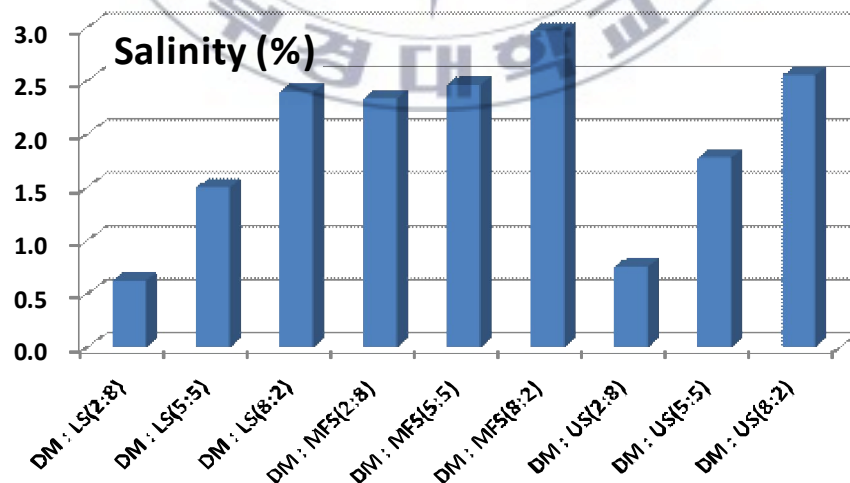


Fig. 29. Analysis result of salinity in mesocosms.

(라) 전기전도도(Electric Conductivity)

간척지에서 염생식물의 분포에 많은 영향을 미치는 요인 중 가장 큰 연관성이 있는 요인은 Na과 전기전도도인 것으로 보고되고 있다(김, 2005).

간척지와 준설패립지의 환경과 유사하게 설정한 Mesocosm 토양의 전기전도도 측정치는 Fig. 30과 같으며 준설토의 배합비율에 따라 Fig. 29의 염농도와 유사한 경향을 나타내었다.

각 Mesocosm에서 나타난 전기전도도 측정값은 서해 대호간척지 사례(김, 2005)의 토양조건과 유사하게 나타나고 있으며, 발아율은 저조하나 최종 생존율이 높게 나타났던 준설토 80 % 함유 구간과 통통마디의 최대 성장 길이가 가장 높았던 준설토·갯벌토를 배합한 실험구에서 비교적 높게 나타났다.

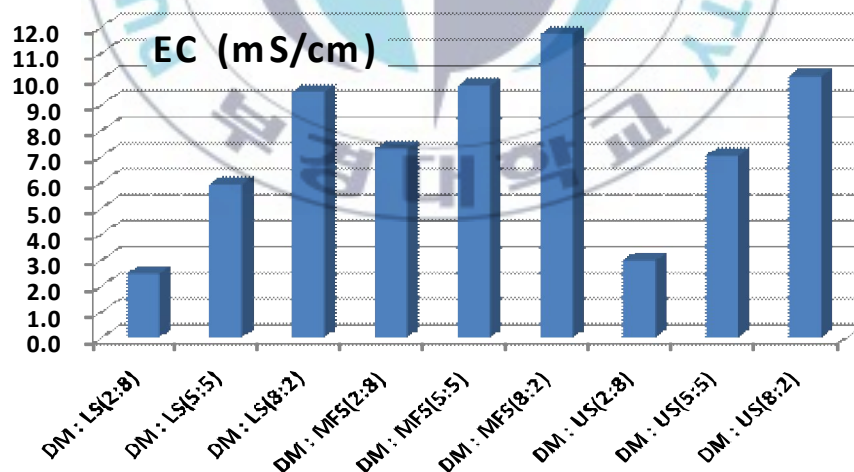


Fig. 30. Analysis result of electric conductivity in mesocosms.

(마) 유기물 함량(Organic matter)

염생식물의 성장에 있어서 유기물은 중요한 요소로 작용한다. Fig. 31과 같이 전체적으로 준설토(7.46 %)의 비율이 높을수록 유기물 함량비가 높아지는 것을 볼 수 있다. 또한 황토, 갯벌토, 육상토 중 황토에서 유기물 함량이 높은 경향을 나타내고 있고, 육상토 배합구에서는 유기물함량이 낮게 나타났다.

그래프에서 보는 바와 같이 각 Mesocosm별 유기물함량과 발아·성장률과의 관계에서는 뚜렷한 요인을 찾을 수는 없지만 유기물함량이 많은 실험구일수록 최종 발아 개체수에 반비례하며 발아 후 최종 생존률에 비례하는 경향을 나타내었고, 염생식물의 최장 성장 길이는 유기물 함량이 많은 실험구일수록 높게 나타나는 경향을 보였다.

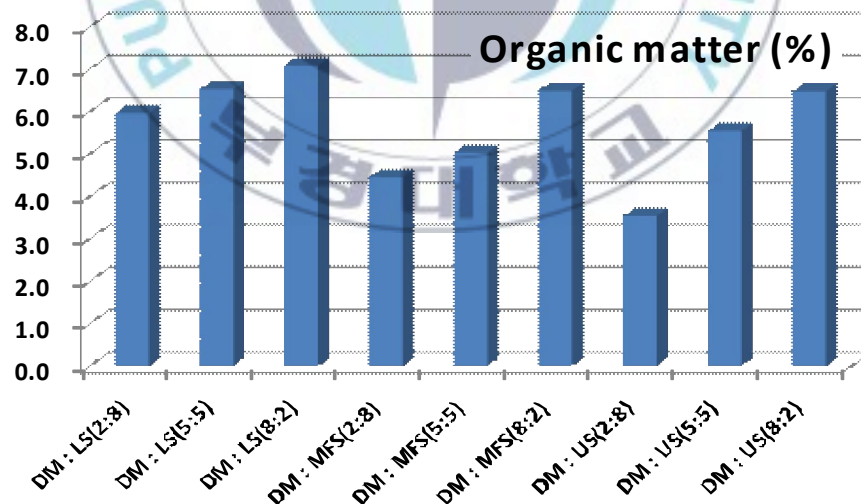


Fig. 31. Analysis result of organic matter in mesocosms.

(바) 인산염 인(Phosphate)

인은 식물이 성장하는데 필요한 중요한 화학적 제한인자이며(Deevey, 1970) 토양에서의 인은 염생식물이 성장하는데 필수 요소라 할 수 있다.

Fig. 32는 준설토와 다른 기질의 배합비에 따른 인산염 인의 농도 변화를 나타낸 그래프이다. 그림에서 보는 바와 같이 준설토와 황토를 배합한 실험구는 다른 기질의 배합구에 비해 인산염 인의 농도가 낮은 것을 볼 수 있는데, 이것은 황토 자체의 인 함유율이 낮을 것을 알 수 있다. 한편, Mesocosm 전체적으로 준설토의 배합비율이 높을수록 토양에서의 인의 함량이 높게 나타나는 것을 확인 할 수 있다.

또한 발아·성장을 실험의 결과를 비교해보면, 준설토의 함량이 높은 구간은 발아율이 높지는 않지만 최후 발아된 개체수의 생존율이 높게 나타난 것을 볼 때 토양에서 인의 함량은 염생식물이 고사하지 않고 생존하는데 중요한 영향을 미치는 것으로 판단된다.

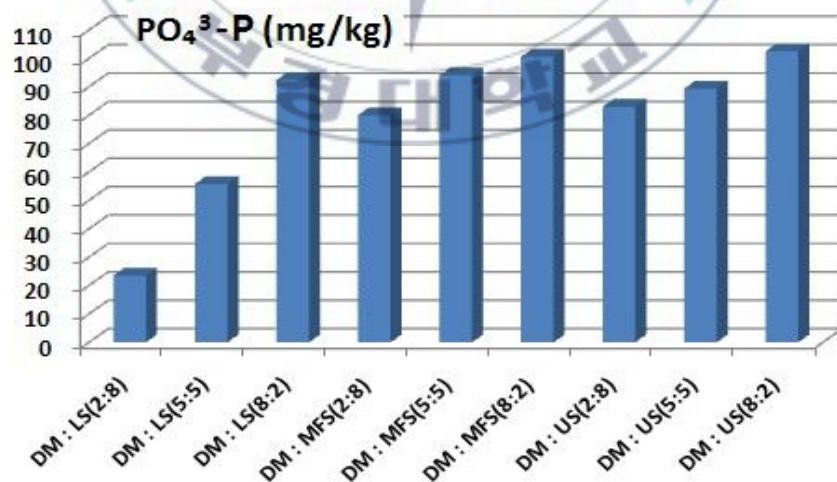


Fig. 32. Analysis result of phosphate in mesocosms.

(사) 총질소(Total Nitrogen)

Fig. 33과 같이 준설토를 많이 함유한 실험구 일수록 총질소의 농도가 높게 나타나는 것을 볼 수 있었다.

통통마디의 발아경향과 성장 동태를 살펴본 결과 황토의 함유비가 높은 실험구에서 다른 실험구에 비해 월등히 높은 발아율을 나타내었고, 또한 준설토를 20 % 함유한 구간에서 비교적 높게 나타났다. 그러나 발아된 최종 개체수의 최 후 생존율은 준설토를 50 %, 80 %함유한 실험구에서 높게 나타나는 경향을 보였다.

이것은, 앞서의 인산염 인의 농도분포와 비슷한 경향을 나타내며 통통마디의 발아율의 결과에는 반비례하는 현상이라 판단되어지며 생존율에 비례하여 질소의 함량이 높을수록 통통마디의 생존율에 영향을 미치는 것으로 판단되어진다.

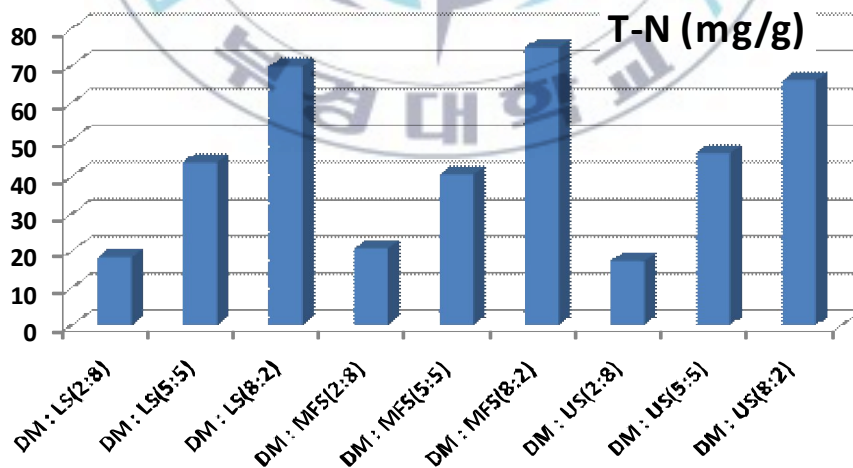


Fig. 33. Analysis result of total nitrogen in mesocosms.

3. 준설토의 염생식물 식재 기질로서 적용 방안

부산신항 준설토와 물리·화학적으로 다른 황토, 갯벌토, 육상토를 배합하고 배합비율을 달리하여 설정한 통통마디 발아·성장 실험의 생물 현상과 각 실험구의 토양분석 결과와 선행 연구사례를 비교하여 다음과 같이 염생식물이 생육하기에 불리한 조건의 준설토 매립지 환경에 적용할 수 있는 토양과 토양 배합 비율을 선정하였고 결과는 다음과 같다.

준설토 매립지 환경에서 통통마디가 발아하고 성장하는데 가장 큰 영향을 미친 요인은 강우에 의한 수분공급인 것으로 사료되며, 고온성장에 유리한 것으로 나타났다.

자생지 통통마디의 군락 형성 요인 중 입도 조성은 황토와 육상토 배합하여 달리 나타난 입도 조성과 생물 현상과의 관계에서 보듯, 통통마디의 발아경향과 관계가 있는 것으로 보여 지며 토양 공극률에 따른 수분함량 등의 토성 형성으로 식생 군락 형성의 주요 요인이라 판단되어진다.

부산신항 준설토와 배합한 토양 중 다른 실험구에 비해 황토 80 % 구간에서 발아율이 매우 높게 나타났으며 다른 실험구에 비해 pH가 가장 높았던 준설토·육상토 구간에서 통통마디의 발아율이 가장 저조하게 나타났으며 실험 결과와 문헌 연구를 통하여 알게 된 최적 발아 조건의 pH와 염분농도 경향과 유사한 것을 확인할 수 있었다.

또한, 토양 분석 결과, 부산신항 준설토는 고농도의 염분, 인, 질소, 유기물을 포함하고 있는 것을 알게 되었으며 9 구간의 Mesocosm 내 통통마디의 성장과 생존에 관한 결과를 토대로 준설토 함유량이 많은 구간 일수록 통통마디의 최종 생존율이 높은 것을 알 수 있었다. 또한 염분농도와 전기전도도가 가장 높았던 준설토·갯벌토 구간에서는 통통마디의 최종 성장 길

이와 생체량이 다른 기질 배합구에 비해 높게 나타났으며 간척지 염생식물 사례연구(민, 1985; 최, 1998; 김, 2005)에서 나타난 고염도 토양의 대표적 선구종인 통통마디의 생물학적 특성에 비례하는 경향을 나타내었다.

결과적으로, 황토를 배합한 구간에서 염생식물 조성 효율이 가장 높게 나타난 것으로 확인되었으며 황토·준설토 5:5 배합비에서는 2:8 배합구에 비해 발아율이 저조하지만 통통마디가 선호하는 토양환경에 보다 근접하므로 전체 기질별 Mesocosm의 발아와 성장결과를 고려하였을 때 발아와 성장, 생존율이 양호하여 부산신항 준설토 매립지에 통통마디와 같은 염생식물을 식재하기 위한 표토로서 준설토·황토 5:5 배합비율이 가장 적합한 토성인 것으로 판단된다. 이로써 염생식물 군락의 효과적인 조성을 위해서는 초기 발아시기의 환경요인이 가장 중요한 것으로 판단되며, 통통마디를 이용하여 부산신항 준설토 매립지에 통통마디 군락을 조성할 시, 강우에 의한 수분 공급이 많은 시기에 준설토와 황토를 5:5로 배합한 토양 표면에 통통마디를 파종하여 발아를 유도하여 통통마디 군락을 경제적이며 효율적으로 조성 할 수 있으리라 판단되어진다.

Table 16. Soil properties of lateritic soil and dredged material

	pH	OM (%)	Salinity (%)	EC (mS/cm)	Phosphate (mg/kg)	T-N (mg/g)
Lateritic soil (Muan)	4.85	5.6	2.61	8.18	3.58	0.83
Dredged material (busan)	8.28	7.4	3.41	10.15	115.21	85.62
L·S+D·M (5:5)	7.63	6.5	1.50	5.94	55.79	43.94

V. 결론

국내 발생 해양 준설토를 염생식물 식재 기질로서 재활용을 위해 준설토 발생 현황을 조사한 결과, 여수신항과 부산신항이 가장 많았으며 여수신항 준설토와 인접한 위치의 발생 준설토는 입도조성 중 Sand함량이 약 80 %로 조사 되었고, 갈대, 나문재, 해홍나물을 식재하기에 유리한 토양으로 나타났다.

한편, 부산신항 준설토의 재활용 가능성을 검증하기 위한 사전 실험결과, 부산신항 준설토가 100 %인 실험구에서는 통통마디가 발아하지 않았다. 그리하여 부산신항 준설토와 토성(soil texture)이 다른 황토, 육상토, 갯벌토를 배합재로 선정하고, 준설토의 비율을 20 %, 50 %, 80 %로 하여 조성한 Mesocosm 내에서 3개월간 통통마디의 발아와 성장에 관한 실험을 실시하였으며 결론은 다음과 같다.

첫째, 모니터링 기간 동안의 기상자료와 Mesocosm 내 통통마디의 발아와 성장 경향을 비교한 결과, 대기의 평균온도가 25 °C 이상이며 강우량이 많은 시기에 통통마디의 성장률이 높게 나타나 통통마디의 성장에는 온도와 강우가 크게 작용하는 것을 확인하였다.

둘째, 황토, 갯벌토, 육상토 등을 배합하고 배합비율을 달리한 실험구 중, 준설토·황토를 2:8로 배합한 실험구에서 통통마디의 발아 효율이 가장 높게 나타났으나 준설토·황토 5:5 비율에서 2:8 비율에 비해 발아율은 낮지만 최종 생존율이 높은 것으로 나타나, 부산신항 준설토 매립지 환경에서 준설토·황토를 5:5 비율로 배합하여 매립지 표면에 약 20 cm 두께로 Capping하면 통통마디가 발아하고 성장하기에 적절한 식재 용토라 판단된다.

한편, 실험기간 중 토양분석은 Mesocosm 조성 초기 토양의 물리·화학적 분석만 이루어져 향후, 이와 같은 실험을 실시할 시에 시간변화에 따른 토양분석을 해야 할 것으로 판단되며, 또한 토양 식물성장에 중요한 영향을 미치는 CEC, 미생물활성도 등의 토양분석을 병행하여 생물현상과 함께 고려하면 부산신항 매립지에 황토와 통통마디의 적용 가능성에 대한 좀 더 명확한 과학적 근거자료가 뒷받침 될 것으로 사료된다.

본 연구결과로 유추하여, 부산신항 준설토 매립지에 준설토와 황토로 배합하여 만든 토양을 복토하여 통통마디를 과종하면 다음과 같이 매립지와 매립지 주변 환경에 긍정적인 효과를 줄 수 있는 기대효과는 다음과 같다.

염생식물 군락조성으로 매립지 표토의 염분 및 먼지 비사를 방지할 수 있고, 배합재인 황토의 탈취효과 및 무기질 흡착능으로 여름철 매립지의 악취 문제 개선, 준설토 내 오염물질 고정화를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

또한, 매립장 준설토의 오염정도를 판단하여 인체에 유해하지 않는 범위의 오염물질을 함유한 준설토 투기장은 매립장 주변 주민들에게 통통마디를 이용하여 부가가치를 창출해 줌으로써 환경 훼손으로 인한 이해 당사자간의 마찰 해소에 기여를 할 수 있으며, 황무지와 같은 준설토 매립지를 염생식물로 녹화하여 인간으로 하여금 심미적인 경관가치를 제공할 수 있으리라 기대한다.

참고문헌

- 국토해양부. 2008. 해양환경관리법 시행규칙. 해양배출처리기준.
- 건설교통부, 한국건설 교통기술평가원. 2003. “호소 및 하천의 퇴적오니 분포조사 및 환경친화적인 준설·재이용 기술개발”. pp. 1
- 김성환. 2005. 간척지 토양의 물리화학적 특성과 식생분포와의 관계 연구, “대호간척지를 사례로”.
- 김원태, 윤용한. 2005. 식재지반 용토로서 준설토의 이화학적 특성.
- 김철수. 1971. 간척지 식물군락형성과정에 대한 연구. 한식지 14. pp. 129-134.
- 김철수, 임병선. 1988. 한국 서남해안 간척지 식생에 관한 연구. 한생태지. 11. pp. 175-192.
- 남웅, 곽영세, 정인호, 이덕범, 이상석. 2008. 임해준설매립지 식물분포와 표층토양의 이화학적 특성. 한국조경학회지 36(3). pp. 52-62.
- 류도옥. 1997. 황토의 신비. 행림출판. pp. 53
- 문희수. 1996. 점토광물학. 민음사.
- 민병미. 1986. 한국 서해안 간척지의 토양과 식생변화. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 민병미. 1998. 한국 서해안의 해안식생에 대하여. 해양연구 20(2). pp. 167-178.
- 박진태. 2007. 전국주요항만 발생퇴적물(준설토사)의 골재활용을 위한 성분 분석에 관한 연구. 광운대학교 대학원 석사학위 논문.
- 부경대학교, 해양과학공동연구소. 2007. 인천신항 진입도로 및 호안축조공사 TK [1공구] 설계.

- 서정근, 김지희. 2007. 머드(Mud) 혼용 배지가 몇가지 원예식물의 생육 및 개화에 미치는 효과. 한국식물·인간·환경학회지. 10(4). pp. 162-168.
- 신현동, 최철호, 권오섭, 송홍규, 양성렬, 오계현, 이의삼. 2005. 토양미생물학. “원리와 응용”. 동화기술.
- 윤길림, 조홍연. 2005. 준설토 재활용 방안 및 적용사례 분석.
- 윤길림, 이찬원, 정우섭. 2008. 준설토 유효활용을 위한 한국형 환경기준 개발. 한국지반공학회 24(5). pp. 5-13
- 윤원태. 2001. 생태건축과 전통흙집, 생태건축.
- 이경호. 2002. 수중 속에 존재하는 중금속에 대한 활성탄과 황토의 흡착거동. 한국환경분석학회지. 5(2). pp. 123-130.
- 이기식. 2003. 황토재료가 동식물의 생장에 미치는 영향에 관한 연구. 목포대 산업기술대학원 석사논문.
- 이창희, 김은정. 1998. 호소 및 하천 오염퇴적물 관리방안. 한국환경정책·평가연구원.
- 이효혜미. 2000. 한국의 습지 분류. 인하대학교 대학원 석사학위논문.
- 임병선, 이점숙. 1998. 한국 서남해안 습지의 식물 군집에 미치는 토양요인. 한국생태학회지. 21(4). pp. 321-328
- 임병선, 이점숙, 김하송, 곽애경, 임현빈. 1995. 염분농도의 변화에 따른 수종 염생식물의 적응. 연안환경연구. 12. pp. 1-10.
- 임윤택, 한국해양수산개발원. 2003. 항만 준설토 투기장의 효율적 활용방안. 월간해양수산.
- 정대득. 2001. 투기준설토의 거동해석에 관한 연구. 한국해양대학교 대학원 박사학위 논문.
- 정두영. 2008. 황토와 적황토는 다르다. 한국지반공학회. 24(3). pp. 54-56.

- 조영철, 이경식, 전송미, 변도성. 2002. 토양염분·시비 조건에 따른 통통마디 생장 및 발아 특성. 전라남도수산시험연구소.
- 최병권. 1998. 간척지 염생식물의 조경적 활용방안에 관한 연구. 한국조경학회지. 26(3). pp. 278-287.
- 최희용. 2002. 황성황토의 건설자원화에 관한 연구. 충남대학교 대학원 박사학위 논문.
- 홍순우, 하영칠, 최영길. 1970. 고염도 토양에 있어서 몇가지 염생식물의 생태에 관하여. 한국식물학회지. 13(1). pp. 25-32.
- 홍원식. 1956. 한국 서해안 해변 식물 군락의 연구 I. 생물학회보1. pp. 17-24.
- 해양수산부. 2000. 준설토 재활용방안연구.
- 해양수산부. 2002. 준설토 재활용방안연구Ⅱ.
- 해양수산부. 2003. 준설토 재활용방안연구Ⅳ. 최종보고서.
- 해양수산부. 2005a. 해양오염퇴적물 조사 정화·복원체계 구축[2]. pp. 239-288.
- 해양수산부. 2005b. “해사채취의 친환경적 관리방안 연구(Ⅰ). 한국해양수산개발원. pp. 6-7.
- 해양수산부. 2007. 전국항만재개발기본계획.
- 환경부. 2005. 토양환경보전법 시행규칙. 토양오염우려기준.
- 환경부. 군산대. 2006. 우리나라 서·남해안 염습지 염생식물 군락의 생태적 현장보존 및 관리기술 개발.
- 부산지방기상청 <http://busan.kma.go.kr/>
- 한국정책평가원 <http://epic.kdi.re.kr>
- Beeftink, W.G. 1977. The coastal salt marshes of Western and Northern Europe: An ecological and phytosociological approach.

- Chapman, J.V. 1960. Salt marshes and salt desert of the world. Leonard Hill books. Ltd. London. pp. 392.
- Clark, L. and N.J. Hannon. 1971. The mangrove swamp and salt marsh communities of the Sydney district. IV. The significance of species interaction. J. Ecol. 59. pp. 535-553.
- Cooper, A.C. 1982. The effects of standing water and drainage potential on the *Spartina alterniflora*-substrate complex in a North Carolina marsh. Estua. Coast. Mar. Sci. 11. pp. 41-52.
- Deevey, E.S Jr. 1970. Mineral cycles. Sci. Amer. 223. pp. 148-160.
- Derbyshire, E. & Mellors, T.W. 1988. Geological and Geotechnical Characteristics of some Loess and Loessic Soils from China and Britain: a comparison. Eng. Geol. 25. pp. 135-175.
- Grace, J. G. and R. G. Wetzel. 1981. Habitat partitioning and competitive displacement in Cattails (*Typha*) experimental field studies. Amer. Nat. 118. pp. 463-474.
- NOAA. 1999. Sediment Quality Guidelines Developed for the National Status And Trends Program.
- Noordwijk-Puijk, k. van, W. G. Beeftink, and P. Hogeweg. 1979. Vegetation development on salt-marsh flats after disappearance of the tidal factor. Vegetatio 39. pp. 1-13.
- Odum, E.P. 1969. The strategy of ecosystem development. Science 162. pp. 262-270.
- Palermo, M.R. 1986. Dredged material disposal, Handbook of Coastal and Ocean Engineering (Edited by J.B. Herbich), Vol. 3. pp. 393-464.
- PIANC. 1992. Beneficial uses of Dredged Material, A Practical Guide,

Report of PIANC Working Group 19, IADC.

PIANC. 1996. Handling and treatment of contaminated dredged material from ports and inland waterways "CDM", Vol. 1, Report of working Group 17.

Richards, L. A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S. Dept. Agr. Handb. No. 60.

Snow J. A. & Vince S. W. 1984. Plant Zonation in an Alaskan Salt March. An Experimental Study of the Role of Edaphic Conditions. *Journal of Ecology*. 71. pp. 669-684.

Waisel Y. 1972. *Biology of Halophytes*. Academic Press. New York.



감사의 글

낮설고 생소하기만 하던 2년 동안의 대학원 생활을 마감하는 이 시점에 이렇게 작은 글로 대신하여 저에게 도움을 주시고 격려해 주신 모든 분들께 고마움을 전하고자 합니다.

한 없이 모자란 저를 제자로 받아 주시고 따뜻하게 대해 주신 이석모 교수님께 먼저 진심으로 감사의 뜻을 전하고자 합니다. 지나온 대학원 생활을 돌이켜 보면 직장인이라는 핑계로 교수님께 너무나도 못했던 저여서 항상 교수님 뵈 땀 때마다 죄송한 마음만 가득합니다. 평생, 교수님 은혜 잊지 않겠습니다. 아울러 생태공학과 대학원생활에서 많은 가르침과 생태공학이라는 학문을 일깨워주신 강대석 교수님, 정용현 교수님, 성기준 교수님, 김동명 교수님께도 감사의 마음을 전합니다. 대학원이란 학문의 길을 열어주시고 철없는 저를 너그럽게 대해주신 해양생태기술연구소의 손민호 박사님을 비롯하여 곽석남 박사님, 서인수 박사님, 김미향 박사님께 항상 죄송한 마음을 가지며 감사드린다는 뜻을 전하고자 합니다. 또한 제가 속해 있고 영원히 속해 있을 하천 및 해양생태공학 연구실의 선배님들, 최영근 선배님을 비롯하여 졸업하신 모든 선배님들께 감사의 뜻을 전합니다. 학교에서 저와 함께한 선·후배님들께도 감사의 뜻을 전합니다. 말없이 지켜봐 주시고 배려해 주신 정혁형, 봉균형, 후배로서 잘하는 거 없는데 고마워요. 같이 힘냅시다. 문보형, 말만 그렇지.. 마음이 따뜻한 사람^^ 고마워요. 용수형님, 장가가서 부러워요. 빨리 친해지고 싶네요. 멋진 영운아! 선배로써 친구로서 항상 고맙게 생각한다. 니 없었으면 나 공부 안했을꺼야^^. 상현아, 니가 했던 값진 말들 안 잊을게, 좋은 가정 이루길~. 헤민아, 긍정적인 마

인드^^ 옆에서 도와줘서 정말 고맙다. 주훈아, 연구 잘 해서 꼭 대박나길^^. 내보다 키는 크지만 친동생 같은 광섭, 항상 변치 않는 모습이 너무 좋다. 종명아, 어느 곳에 있든지 항상 행복해라^^. 혜옥, 혜현, 대학원에 처음 들어왔을 때 너희들이 친절하게 대해줘서 항상 고맙게 생각해^^. 하나야, 즐겁게 살자^^힘내자!! 로라, 동기님이시자 인생 대선배님!! 많은걸 배웠어요. 존경합니다. 윤빈, 화숙아 같이 지낸 시간이 너무 짧은 것 같아 아쉬웠다. 남은 대학원 생활마무리 잘하길 바랄게^^. 우리 연구실의 주인들인 병현, 성훈, 주연, 효선~ 뽀뽀한 연구실 생활도 대학시절의 소중한 추억이 되고 있제?^^ 듬직하고 유쾌한 병현이, 정 많고 부드러운 성훈이, 애살 많고 세심한 주연이, 뭔가의 재능이 뛰어날 것 같은 막내 효선, 나 졸업하면 너희들 많이 보고 싶을 것 같다.

해양생태기술연구소의 대익형, 재성형, 명백형, 미숙누님, 상희씨, 현정씨, 같이 회사 생활 하면서 아주 좋은 경험과 배움을 얻어서 감사의 뜻을 전합니다. 또한 종욱, 철희, 재영, 배성, 태원, 소은, 윤주, 이정누님, 모두들 정말 감사드립니다. 재영아, 넌 꼭해낼 수 있을 거야, 힘내라!

마지막으로 멀리에 계시지만 저에게 공부에 대한 동기 부여를 해 주셨던 경상대 김기범 교수님, 진심으로 감사드리며 마음 졸이며 제 앞길 바라보시며 걱정하시는 부모님에게 감사한 마음을 전하며 영광을 돌리고 싶습니다.