

# 새만금 해안간척지의 토양염분 차단재료와 차단위치별 토양염분 경시적 변화<sup>†</sup>

김주성\* · 김도균\*\* · 이임균\*\*\* · 이재현\* · 이영상\* · 채정석\* · 박석곤\*\*

\*순천대학교 대학원 · \*\*순천대학교 산림자원조경학부 · \*\*\*국립산림과학원 산림복원연구과

## The Change of Longitudinal Salt Movement in the Soil according to the Materials and Place of Salt Movement Prevent at Saemangum Reclaimed Land from the Sea

Kim, Ju-Soeng\* · Kim, Do-Gyun\*\* · Lee, Im-Kyun\*\*\* · Lee, Jae-Heon\* · Lee, Yeung-Sang\*  
Chae, Jeung-Seug\* · Park, Seok-Gon\*\*

\*Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, Suncheon National University

\*\*Dept. of Landscape Architecture, Suncheon National University

\*\*\*National Institute of Forest Science

### ABSTRACT

This study was carried out to figure out on the changes of longitudinal salt movement in the soil through the soil according to the materials and thickness of salt prevent materials and the place of salt prevent at reclaimed land from the sea which is one of the most serious problems when tree planting. Changes of soil salinity were different depending on the seasons. In particular, the soil salinity was lower during the rainy season. But during the dry seasons including early summer before the rainy season and winter season, salinity was relatively higher. Among the seven interruption materials, crushed stone, dredged sand and wood chips showed better interruption effects than the other materials. The interruption effect of salt movement was highest in the both of side and bottom interruption treatment of salt movement than the side interruption treatment of salt movement or the bottom interruption treatment of salt movement. The thickness of the layer should be at least 20cm to prevent salinity effectively.

*Key Words* : *Foreshore Soil, Planting Tree in the Reclaimed Land, Tree Planting Ground, Capillary Phenomenon, Electronic Conductivity*

<sup>†</sup>: 본 논문은 2011~2014년 산림청 기획과제 '새만금간척지 수목생육기반 및 수목보호시설 구축 연구'에 의해 수행되었음.

**Corresponding author:** Do-Gyun Kim, Dept. of Landscape Architecture, Suncheon University, Suncheon, 57922, Korea, Tel.: +82-61-750-3871, E-mail: doaha@suncheon.ac.kr

## 국문초록

간척지 갯벌지반 식재 수목에 생장 저해하는 토양염분의 이동을 차단하는 염분차단재, 염분차단 위치 및 염분차단 두께에 따른 토양염분의 경시적 변화에 대하여 조사·분석하였다. 7가지의 토양염분이동 차단재료, 3가지의 차단두께 유형 그리고 토양염분이동차단 3가지 유형별로 염분의 변화가 다르게 나타났다. 갯벌지반은 초기에 토양염분이 높았으나, 점차 낮아졌다. 식생토인 객토는 초기에 토양염분이 낮았지만, 토양염분이동 무차단구에서는 점차적으로 토양염분이 높아졌고, 토양염분이동 차단구에서 전면차단구는 토양염분의 변화가 크지 않지만, 토양염분이동 벽면차단이나 밑바닥 차단만한 곳에서는 토양염분이 높아졌다. 토양염분은 강우시에는 토양염분이 낮아지나, 가뭄기에나 겨울철에는 토양염분이 높아지는 현상이 있었다. 토양염분이동 차단재료별 토양염분이동 차단능은 쇠석, 준설토, 목질칩이 다른 재료들보다 우수하였다. 토양염분이동 차단벽은 최소한 20cm 이상 되어야 효과가 있는 것으로 나타났다.

주제어 : 갯벌토양, 간척지 조경식재, 식재지반, 모세관현상, 전기전도도

## 1. 서론

우리나라는 87,000ha의 간척지가 개발되어 있는데, 새만금간척지는 2010년 방조제를 완공하여 401km<sup>2</sup>로 방대한 간척지가 조성되었다(Korea Rural Community Corporation, 2009). 새만금간척지의 토지이용은 주거, 산업, 상업·업무, 관광, 농업, 기반시설, 환경·생태용지 등으로 유발되는 인구는 총 76만 명(Korea Agency for Saemangum Development & Investment, 2016)으로 대단히 큰 면적에 많은 인구가 유입될 예정이다.

새만금간척지는 간척과정에서 자연 환경, 생태계, 경관이 대규모로 훼손 또는 파괴되었고, 인접한 바다로 부터 강한 바람과 염분 등으로 인간정주생활, 산업생산, 업무, 관광 등의 활동에 어려움이 예상되고 있다. 따라서 새만금간척지의 토지이용 목적에 맞게 활용하기 위해서는 각종 환경압의 조절, 실용적 이용, 심미적으로 아름답고 쾌적한 정주환경의 조성, 생태계의 기초 서식지로서의 역할을 할 수 있도록 대단위의 조경식재, 가로수, 경관림, 환경녹지, 방풍림, 완충림, 녹음수, 환경조절식물, 생물서식처 등의 수목 식재가 필요하다. 그러나 새만금 간척지는 해수를 흘러 보내고, 갯벌이 노출된 간척지로서 부지가 해수면보다 낮아 갯벌지반 토양 중에 높은 염분지하수위가 식재지반으로 이동하여 토양염분이 높아져 수목 생장 피해가 예상되고 있다.

바닷물 지하수위가 높아 배수가 불량한 간척지에서 양호한 조경식물 생장을 도모하기 위해서는 토양염분 이동의 차단 및 역제가 급선무이다(Korea Forest Service, 2011). 바다 간척지에서 수목 생장에 지장을 초래하지 않을 안정적인 토양염분이동 차단방법은 갯벌 원지반 위에 모세관현상이 발생되지 않을 자갈이나 모래 등과 같은 두꺼운 다공질 재료를 포설하는 것이다. 그러나 가로수, 공원수, 정원수, 녹음수, 풍경수, 기념식수, 표본목, 지표목, 랜드마크 등과 같이 독립목으로 식재를 해야

하는 곳에서는 식재면적의 제한, 양질의 객토자원 확보, 장비의 이동, 토사채취에 따른 또 다른 자연경관과 생태계의 훼손, 토사이동에 따른 환경비용 발생, 공사비, 경제성 등 때문에 전면성토나 갯벌치환을 하지 못하고 단목객토법이 주로 적용되고 있다.

단목객토법은 대부분 갯벌을 파내고, 식생토를 충전하는 것으로 지하부 또는 인접 갯벌에 상존하는 토양염분이 모세관 현상에 의하여 수직 또는 수평적으로 이동하여 식생토를 염류화되기 때문에 수목 생장에 저해 요인이 된다(Kim, 2013). 단목객토법은 충분한 토심 및 폭을 확보하지 못할 경우에 모세관 현상에 의한 수분이동으로 식재구덩이가 과습되거나, 염해피해가 발생하여 수목의 생육불량 및 고사로 이어진다(Oh and Choi, 2001). Goh(2010)는 임해매립지에서 염분차단시설 없이 성토만 시행한 녹지대의 수목 고사율이 높다고 보고하여 염해 토양에서는 염분차단 공법 개발이 시급함을 시사하고 있다.

간척지 염분상승 차단에 대한 기존의 연구들은 준설토의 염분 상승 높이(Koo *et al.*, 2000b), 자갈·모래·퇴비·일반성토재의 모세관 상승높이(Lee, 2005), 간척지 흙의 포화상태 및 불포화상태의 모세관상승 모델(Seo, 2011), 염해지에서 바텀 에쉬를 이용한 염분차단(Kim *et al.*, 2012), 파쇄석 모세관수 차단층 설치 유무에 따른 잔디류의 생장(Kim *et al.*, 2009), 모래 상토층에 모세관수 차단층에 따른 염류집적(Rahayu *et al.*, 2010), 대수층의 수평적 배수우물공법에 의한 염분차단(Howles and Smith, 2005; Costar *et al.*, 2006) 등이 있다.

이러한 연구들은 실내실험, 특정 재료 및 공법, 뿌리가 얇은 식물 등을 대상으로 하여 간척지 염분차단에 기초자료로서 중요하게 응용되고 있으나, 뿌리가 0.7m 이상 깊이 뻗는 대형 수목을 고려한 염분차단을 위한 현장 실험연구는 찾아보기 어렵다. 염분차단에 대한 실내 실험들은 다양한 변수가 작용하는 실외 현장에 직접 적용하는데 한계가 있으므로, 실내 실험을

통하여 얻은 염분차단에 대한 이론들을 보다 현실적으로 적용할 수 있는 기초자료를 얻기 위해서는(Kim, 2013), 현장에 적용 가능한 실증적 실험연구가 필요하다.

바다 매립지나 간척지의 염분차단에 대하여 실무적 접근으로 Oh and Choi(2001)는 염분 상승을 막기 위하여 지하수위를 2~3m 이하로 낮추어야 한다고 하였다. 염분차단재료에 대하여 Kim(2013)은 갯벌과 식재지반층 사이에 모세관현상을 차단할 수 있는 공극이 큰 재료를 쌓거나 차수막을 설치하는 방법이 있는데, 재료의 공극이 클수록 유리하고, 주이용 자재는 모래, 잡석, 목질칩, 건설폐자재 등이 있다고 하였다. Choe and Hwang(2000)은 바크를 이용한 토양제염과 상승염분 차단을 제안하였고, Seo(2012)는 모세관 상승차단시설을 석고 포설, PE Sheet, 자갈 및 쇠석골재, 모래, 개량바크, 맹암거 등의 차단·배수층으로 설치한다고 하였다. 또한, Kim(2013)은 종래의 염분차단은 주로 갯벌 밑바닥에서 상승하는 염분차단에 집중하여 있는데, 수평적으로 이동하는 토양염분 차단이 필요하다고 하였다. 이러한 주장들은 기존의 이론을 유추 해석한 2차 자료이거나 현장경험에 의하여 제안된 것들로서 현장실험을 진행하지 못한 한계가 있었고(Seo, 2012), 현장에서 뿌리가 깊게 뻗는 수목 식재를 고려한 염분차단 공법과 재료 등의 특수한 상황에서 염분차단 효과에 대한 자료는 아직 충분하지 않다.

최근 새만금간척지에 가로수, 산단단지조성 녹지, 도시녹지, 완충녹지, 생태복원녹지, 수목원 조성 등의 계획, 설계, 시공 그리고 유지관리가 대단위 면적으로 빠르게 확산되고 있는 반면, 현장 기술자나 실무자들은 현장에 적용할 적합한 자료가 없어서 식재지반의 염분차단에 대한 시행착오를 거듭하고 있다. 또한, 새만금간척지 수목 식재지반 조성을 위한 전문가들의 회의에서도 토양염분 이동을 차단하는 공법에 대하여 사용재료나 공법 등에 대한 의견이 분분하지만 명확한 이론적 자료가 없기 때문에 논란이 거듭되고 있어 현장실험을 통한 토양염분 이동 차단에 대한 실증적 연구가 시급한 실정이다.

따라서 본 연구는 새만금 노출간척지 갯벌 원지반 토양의 토양환경특성을 분석하고, 수목생장에 큰 저해 요인인 갯벌 하부에 상존하는 바다염분의 수직 및 수평적 이동을 차단하는 재료와 공법의 효과를 검증하는데 그 목적이 있다. 본 연구를 통하여 간척지 토양염분의 차단에 대한 메커니즘을 파악할 수 있고, 고농도 염분토양에서 수목 식재를 위한 염분차단공법 개발에 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 연구 대상지 개황

본 실험연구 대상지는 전라북도 군산시 옥구읍 수산리 방조

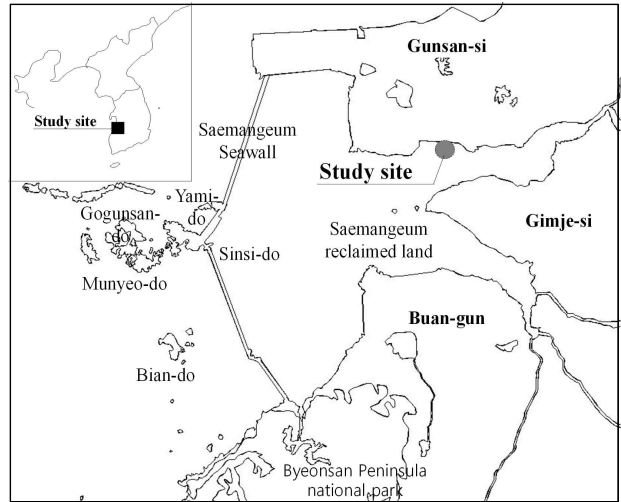


Figure 1. The location map of study sites in Saemangeum reclaimed land from the sea

제 인접지역으로 새만금간척지 제방 조성 이후 바닷물 유입 4년 동안 차단된 노출간척지이다. 지리적으로는 북위 35°53′06″~35°53′34″, 동경 126°40′29″~126°43′25″이고, 새만금 농업지역 토지이용계획에 있어서는 묘목장 조성 구역이다. 위치적으로 만경강에서 유입되는 강물과 바닷물이 섞이는 갯골과 100m 정도 인접해 있고, 북측에 논과 염전이 분포하여 있다(Figure 1 참조).

실험대상지의 지형은 E.L +2.5~3.2m 이내로 비교적 평탄한 지형이며, 갯골의 영향으로 갈수기에는 지하수위가 표면을 기점으로 -1.8m 정도이지만, 홍수 발생시에는 -0.3m 정도로 높다. 지하수위는 바다 갯벌에서 스며나온 염분농도가 2.68% 정도로 높아서 수목생장이 불가능한 상태이다. 내륙에 인접한 지역은 대부분 갈대가 우점한 상태이고, 수변부와 인접한 지역은 칠면초와 통통마디, 수송나물 등의 염생식물이 분포하고 있다.

### 2. 연구내용 및 방법

#### 1) 연구내용

본 연구는 노출간척지 원지반에서 하부에서 식재 시, 모세관현상에 의한 식재구덩이 내부로 이동하는 염분을 차단 또는 억제하는 효과적인 재료와 방법을 제안하기 위해 수행하였다.

공시재료는 쇠석, 준설토, 목질칩, 드레인보드, 왕겨, 스티로폼알갱이, 비닐 등 7종의 차단재료를 이용하였고, 토양염분이 동 전면 차단, 바닥면 차단, 벽면 차단 등의 3가지 차단방법으로 실험하였다. 염분 차단구의 재료선정은 새만금 간척지 수목생장을 위한 식재지반 조성 전문가 그룹 회의에서 도출된 의견들을 반영하였다. 갯벌지반은 갯벌의 미사 토양은 바다 간척 후에 자연 상태에서도 탈염이 잘 된다는 이론, 비닐차단은 서

해안 M골프장과 G골프장 조성시 염분차단재로 사용하고 있는 것이고, 왕겨와 목질짚은 초기 염분 차단 후 유기물로 전환되어 수목 생장에 유익할 것이라는 견해, 드레인보드와 EPS는 최근 개발된 배수재로서, 염분차단재료로 활용할 수 있다는 점, 준설토는 새만금간척지 현지 내에서 구입이 용이한 재료라는 것과 쇠석은 공극이 크기 때문에 염분차단 효과가 크다는 의견에 따라 선정하였다. 염분차단재로 사용된 쇠석은 40mm, 준설토는  $\phi 2\sim 4\text{mm}$  이내의 사양토, 드레인보드는 매트형으로 골높이 30mm, 스티로폼알갱이는  $\phi 5\text{mm}$ , 비닐은 두께 0.1mm, 목질짚은 2~7cm 정도의 거친 것으로 하였다.

토양염분이동차단 재료의 두께는 얇을수록 경제적이지만, 염분차단 두께가 얇으면 차단 효과가 낮을 것이라는 의견들을 구명하기 위하여 10cm, 20cm, 30cm의 3구배로 처리하여 객토한 토양의 염분 변화를 측정하였다.

2) 연구방법

2011년 7월 연구대상지에서 시험지 조성을 위해 굴삭기를 동원하여 표토 20cm 정도의 토양과 갈대뿌리를 제거하고, 개거 배수로(폭 3m, 깊이 2m)를 설치해 크기 22m×80m의 직사각형 실험포 2개소를 조성하였다. 2011년 9월에 각 실험구별로 식재 구덩이를 폭 1.2m, 깊이 1.5m로 파고, 배수를 위해 그 하부에 유공관(직경 10cm)을 설치한 후, 7가지의 차단재료를 이용하여 3가지 토양염분이동 차단방법(바닥면 차단, 벽면 차단, 전면 차단)과 3가지 차단 두께(10cm, 20cm, 30cm)로 나누어 63개의 세부 실험구를 조성하였으며, 갯벌지반에 차단재료를 설치하지 않고, 객토만을 처리한 염분이동 무차단구를 포함, 총 64개의 처리구를 조성하였다. 외부의 영향을 차단하기 위하여 주변에 진입방지 헨스를 설치하였고, 실험구로부터 3m 주변에는 개거를 상단폭 5.5m, 하단폭 2m, 깊이 1.8m로 설치하였고, 강우의 영향을 최소화 하기 위하여 실험포내 우수 방지를 위하여 경사를 10%로 하였다(Figure 2 참조).

간척지 갯벌지반 및 객토내의 토양염분 변화를 조사하기 위해 간척지 염분변화를 쉽게 알 수 있는 전기전도도를 측정하였다. 토양염분 조사방법은 현장에서 비파괴적인 방법으로 현장에서 직접 토양염분농도를 조사할 수 있는 ECE측정기(WT-2000)를 이용하였다. 전기전도도의 측정은 갯벌지반 토양, 염분이동 차단구, 염분이동 무차단구를 지하 10cm, 30cm, 60cm 깊이별로 구분하여 2011년 10월~2012년 2월까지(17개월간) 월 1회씩 3반복하여 측정하였다.

대상지 갯벌지반의 토양성질을 파악하기 위해서 간척지 갯벌지반을 대상으로 임의로 6지점을 선정하여 깊이별로 토양시료를 채취하고, 토양분석은 농촌진흥청 토양분석법에 의거하여 시료 전처리 후 전기전도도, 염분, 토성, pH, 유기물, 전질소, 유효인산, 치환성 양이온함량( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ), 염기치환

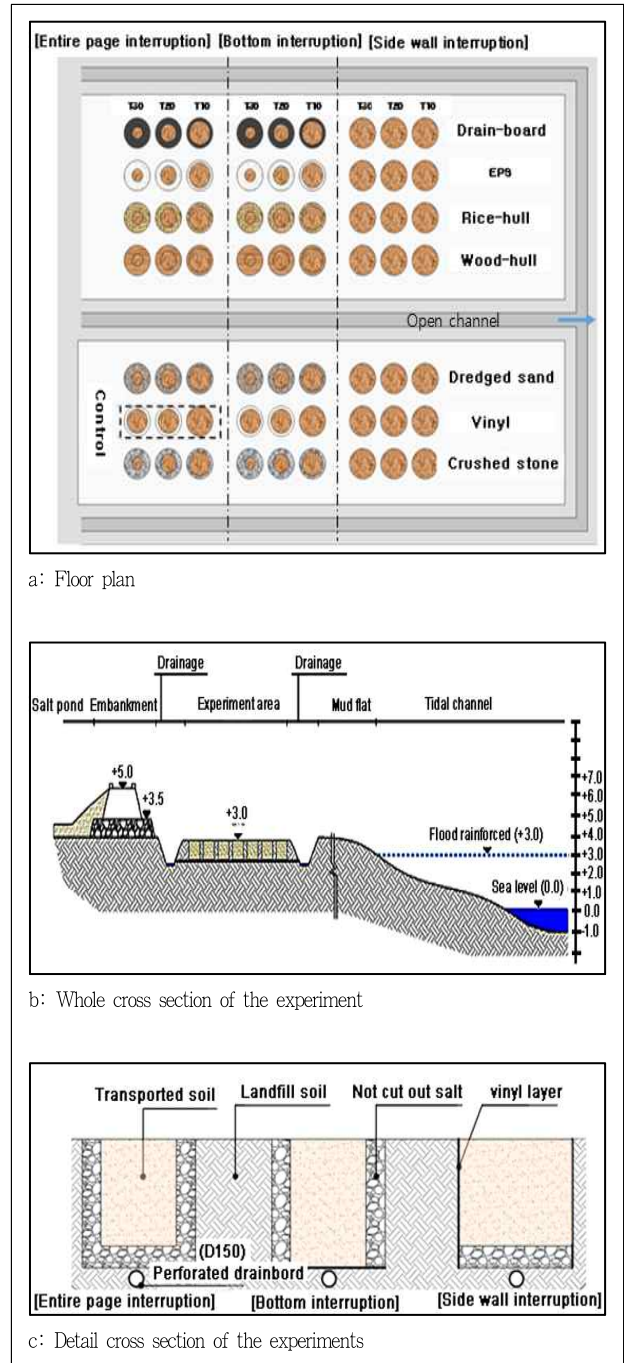


Figure 2. Drawing of the experiment at this study

용량(CEC)을 분석하였다. 토양산도 pH의 분석은 토양시료와 증류수를 1:5의 비율로 진탕한 용액에 pH메타 센서를 이용하여 측정하였다. 토양의 유기물함량은 Walkely-Black 법으로, 총질소함량은 Micro-Kjeldahl법으로, CEC는 1N-NH<sub>4</sub>OAc(pH 7.0) 침출에 의한 NH<sub>4</sub>-N 증류법으로 측정하였다(Spark *et al.*, 1996). 강수량은 조사지로부터 북쪽으로 14km 떨어진 군산기상대의 자료를 이용하였다.

차단재료 및 차단방법, 차단두께 처리구별 전기전도도의 통계적 차이는 분산분석(One-way ANOVA: analysis of variance)과 사후분석(Tukey HSD test)을 하였고, 통계프로그램은 SPSS ver 14를 이용하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 간척지 갯벌지반과 객토의 토양 특성

조사대상지의 갯벌지반에서의 토양 입경분포는 모래 11.9%, 미사 71.4%, 점토 16.7%로서, 토성은 미사질양토이었다(Table 1 참조). 갯벌 원지반에서의 토양 전기전도도는 ECe 8.9dS/m, 토양산도는 pH 7.5, 유기물함량은 0.8%, 전질소 함량은 0.1% 등으로 조사되어 수목생장이 매우 어려운 상태임을 알 수 있었다. 객토용 흙은 깊은 심토로 사양토이었고, 토양 전기전도도는 ECe 0.23dS/m, 토양산도는 중성이었다.

#### 2. 염분이동차단 처리구별 전기전도도 변화

염분이동차단 처리구별 ECe의 평균값은 갯벌지반, 염분이동무차단구, 염분이동차단구 순으로 전기전도도가 각각 ECe 3.5dS/m, ECe 1.45dS/m, ECe 1.27dS/m로 갯벌지반 토양이 가장 높았다(Figure 3 참조). 토양염분의 시계열적 변화의 크기는 갯벌지반 > 토양염분이동무차단구 > 토양염분이동차단구 순으로 식재지반조성 유형별로 다르게 변화하였다. 토양염분의 변화는 시간의 흐름, 강우량, 계절에 따라 변화하는 것으로 나타났다.

갯벌지반의 전기전도도는 실험구 조성 이전인 2011년 4월에는 ECe 8.9dS/m 정도로 매우 염분이 높았으나, 10월 이전까지는 낮아졌으며, 10월 이후 겨울철인 1월에 ECe 5.3dS/m까지 다시 높아졌다가 이듬해 6월까지 ECe 3.9dS/m로 낮아졌다. 갯벌지반의 토양염분은 측정 14개월이 경과한 2012년 6월에 이후 ECe 3.8dS/m 이하로 다시 낮아졌지만, 여전히 염분이동차단구 보다는 월등히 높은 편이다. 염분이동무차단구의 전기전도도는 2011년 10월부터 시간의 흐름에 따라 점점 더 상승하여 2013년 2월에 갯벌지반 토양과 유사한 수준까지 상승하였다.

염분이동차단구에서는 겨울철 토양염분이 높아지고, 5월 가뭄에는 그 다음 달인 6월에 다소 높아지며, 집중강우기는 6~9월에 다소 염분이 낮아졌다.

토양염분 조사기간 동안 강우량이 토양염분 변화에 크게 영향을 미친 것은 갯벌지반이며, 염분이동차단구와 염분이동무차단구에서는 미미하게 영향을 미친 것으로 보인다(Figure 4 참조). 모든 실험구에서 4월 강우에 그 다음 달인 5월에는 토양염분이 다소 낮아지고, 강우량이 적은 5월은 그 1개월 후인 6월에 염분이 다소 높아졌다가 7~9월 집중강우에 갯벌지반과 염분이동 차단구에서 다시 낮아졌다.

#### 3. 염분이동 차단재료별 토양염분의 차이

토양염분이동차단 재료별 전기전도도는 갯벌지반 > 무처리구 > 비닐차단구 > 왕겨차단구 > 드레인보드 > EPS < 목질칩 < 준설토 < 쇠석 순이었다(Figure 5 참조). 토양염분차단재료별

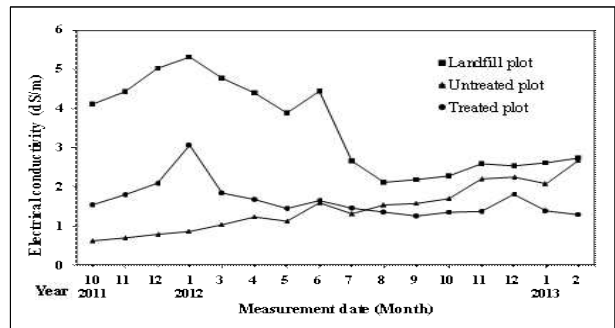


Figure 3. Monthly changes of electrical conductivity comparison in landfill plot, untreated plot and treated plot

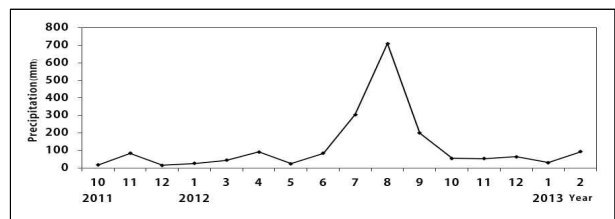


Figure 4. Precipitation of GunSan weather station which is located at 14km toward north from this study site

Table 1. Physio-chemical properties of dredged soil in the study site

Soil depth (cm)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil texture	ECe (dS/m)	Salinity (%)	Water level (cm)	Soil pH (H <sub>2</sub> O)	Organic matter (%)	Total nitrogen (%)	Total phosphorus (mg/kg)	CEC (cmolc/kg)	Exchangeable (cmolc/kg)			
													K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
Soil of tidal field 0~30cm	11.9	71.4	16.7	SiCL	8.9±0.8	0.3±0.0	58.0±11	7.5±0.3	0.8±0.1	0.1±0.0	2.8±0.9	21.9±2.2	1.4±0.2	8.7±0.8	1.2±0.2	1.3±0.3
Landfill soil	64.2	17.6	18.2	SL	0.23	-	-	6.2	-	-	-	-	-	-	-	-

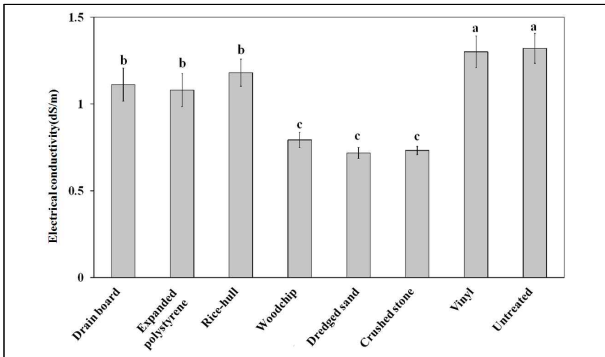


Figure 5. Monthly changes of electrical conductivity comparison in interruption materials

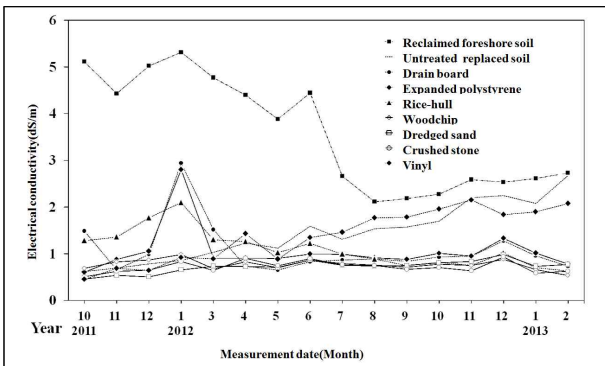


Figure 6. Monthly changes of electrical conductivity comparison in interruption materials

전기전도도의 차이를 검증하기 위하여 통계학적으로 분산분석(ANOVA: analysis of variance)을 한 결과, 0.05 수준 이내에서 유의한 차이가 있었다. 토양염분 차단재료별 전기전도도가 가장 높은 것은 무처리 객토와 비닐차단구가  $EC_e$  1.3dS/m 수준이었고, 그 다음은 왕겨, 드레인보드, 스티로폼알갱이 3종류가  $EC_e$  1.1dS/m 수준이었으며, 가장 낮은 차단재료는 준설토, 목질칩, 쇠석 3종이  $EC_e$  0.7dS/m 수준이었다. 왕겨와 목질칩은 점차 부숙되어 그 양이 적어지고, 차단구의 침하가 진행되고 있기 때문에, 향후 염분차단 효과에 대한 장기 모니터링이 필요하다. 갯벌지반토양의 전기전도도 변화는 실험처리구 조성 직후인 2011년 10월부터 2012년 7월까지의 지반별로  $EC_e$ 가 크게 차이가 있지만, 8월 이후부터는 처리구별  $EC_e$ 의 차이가 작아지고 있으며, 겨울철에 다시 차이가 커지고 있다. 준설토와 무차단객토는 실험구 조성 이후 지속적으로  $EC_e$ 가 지속적으로 조금씩 높아지고 있다(Figure 6 참조).

4. 염분차단 부위별 전기전도도 비교

갯벌 염분이동차단 부위별 평균 전기전도도는 바닥염분이동 차단구(1.35dS/m), 벽면염분이동차단구(1.21dS/m), 전면염분

이동차단구(1.19dS/m) 순으로 전면염분이동 차단구가 가장 효과적이었다. 토양염분차단 부위별 전기전도도의 차이는 통계학적으로 분산분석 결과, 유의확률 0.05%수준 이내에서 차이가 있었다(Figure 7 참조). 갯벌 염분이동차단 부위별 전기전도도 변화는 초기에는 차이가 보이지 않았지만, 2012년 7월부터는 바닥염분이동 차단구가 가장 높았고, 전면염분이동 차단구 및 벽면염분이동 차단구는 낮았다.

5. 토양염분차단 두께별 전기전도도

차단두께별 객토의 전기전도도 평균값은 10cm 차단구 > 20cm 차단구 > 30cm 차단구 순으로 각각  $EC_e$  0.79dS/m, 0.74dS/m, 0.67dS/m이었다(Figure 8 참조). 토양염분차단 두께 10cm, 20cm, 30cm 3가지 유형에 따라 식생토인 객토의 월별 전기전도도 변화는 전반적으로 두께 30cm 처리구가 0.67dS/m로 다른 10cm 또는 20cm 처리구보다 낮았다.

6. 토양염분의 수직적 차이

식재지반 깊이별 토양염분의 차이를 파악하기 위하여 상층

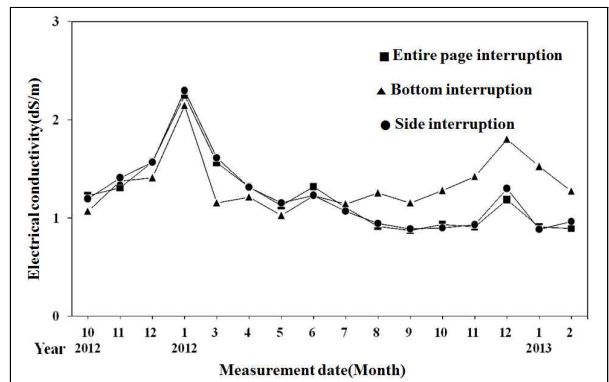


Figure 7. Monthly changes of electrical conductivity for salt interruption thickness

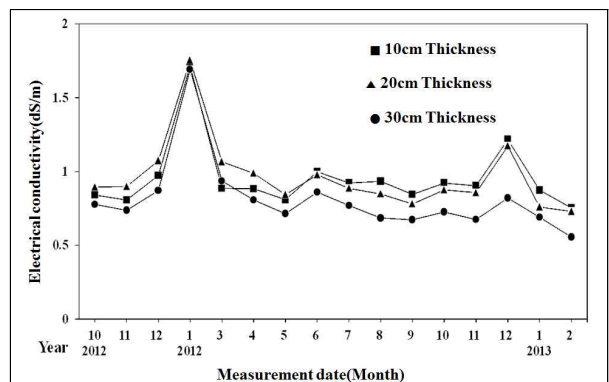


Figure 8. Monthly changes of electrical conductivity for salt interruption thickness

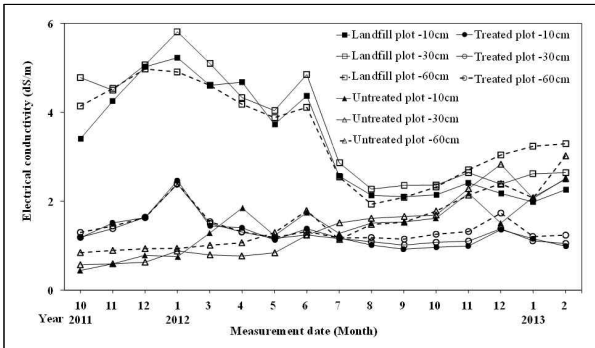


Figure 9. Monthly changes of electrical conductivity for soil depths

(-10cm), 중층(-30cm), 하층(-60cm)에서 전기전도도를 측정  
 정한 결과, 갯벌지반과 토양염분이동 무차단구에서는 층위별  
 E<sub>Ce</sub> 차이가 계절별로 뚜렷하지만, 토양염분이동 차단구에서는  
 계절별로 층위별 E<sub>Ce</sub>의 차이가 미미하게 차이가 있는 것으로  
 나타났다(Figure 9 참조). 토양층위별 전기전도도의 차이를 검  
 증하기 위하여 통계학적 분산분석 결과, 유의한 차이가 없었다.  
 갯벌지반과 토양염분이동 무차단구에서 봄, 여름, 가을에는 상  
 층의 E<sub>Ce</sub>가 하층보다 낮지만, 겨울철 상층의 E<sub>Ce</sub>는 하층보다  
 높아졌다.

7. 종합고찰

우리나라의 간척지 토양은 조립질과 미사질계 토양이 90.5%  
 인데, 본 연구 대상지도 미사 함량이 71.4%로 우리나라의 전형  
 적인 간척지 토양이었다. 미사와 점토의 비율이 높으면, 배수성  
 및 통기성이 낮아 수목생육에 적합하지 않다. 미사는 적당량이  
 있으면 보수력과 보비력이 높아 수목 생장에 유리하지만 미사  
 함량이 높은 곳에서는 배수가 잘 되지 않는 특성이 있기 때문  
 이다. 본 연구 대상지는 미사질 함량이 많기 때문에 토양입자  
 가 결합되지 못하고 분산되어 토양구조 발달이 잘 되지 못하여  
 투수성과 통기성이 나쁘고, 지내력이 약하며, 제염이 어렵기 때  
 문에 식물의 뿌리 활착과 신장이 나쁘며, 비배관리가 어려울  
 것으로 예상되었다. 미사 함량이 많은 토양은 재염화 현상이 나  
 타나기 때문에 재염화 방지 대책이 필요할 것으로 생각되었다.

조사지 갯벌지반의 최초 토양전기전도도는 E<sub>Ce</sub> 8.9dS/m로  
 나타나, 토양염분이 매우 높았다. 염분농도가 높으면 수목 생장  
 을 직접적으로 저해한다(Honma, 1973). E<sub>Ce</sub> 8dS/m 이상이면  
 염분에 저항성이 있는 식물만 생장이 가능하고, 대부분의 일반  
 적인 식물은 생장이 어렵다(Tanji, 1990). 우리나라 산림토양  
 (A층)의 이화학적 특성은 토양산도 5.34~5.94, 유기물함량  
 3.12~4.55%, 전질소 0.14~0.20%(Jeong *et al.*, 2003)에 비하여  
 본 실험구의 토양은 알칼리성으로 유기물 및 전질소가 낮은 편  
 이었다. 조경설계기준의 토양성능평가(The Korean Institute of

Landscape Architecture, 2013)로 볼 때, 갯벌지반 토양은 하급  
 에 속하여 염분에 강한 몇 수종을 제외한 일반적인 수목 생장  
 은 기대하기 어려우므로, 수목 식재 및 양호한 수목생육을 위하  
 서는 간척지 토양을 양호한 토양으로 치환하거나, 수목 생장 최  
 저토심 이상으로 객토 쌓기를 해야 할 것으로 생각되었다. 갯  
 벌지반에서 토양염분의 변화가 큰 것은 갯벌에 높은 지하수로  
 함유되어 있던 중력수가 실험구 밖으로 빠져 나가면서 토양 속  
 의 염분이 급속히 탈염되고 있기 때문이다.

조사구의 갯벌지반의 E<sub>Ce</sub>가 실험구 조성 이전인 2011년 4월  
 에는 E<sub>Ce</sub> 8.9dS/m에서 실험구 조성 후 14개월만인 6월에 이  
 후 E<sub>Ce</sub> 3.8dS/m 이하로 급격히 낮아졌다. 이것은 간척지의 토  
 양염분은 간척 이후에 자연현상에 의하여 염분이 낮아지는데  
 (Honma, 1973), “간척지의 토양 깊이 0~20cm의 E<sub>Ce</sub>는 1년에  
 0.127dS/m 떨어지며, 초기 6dS/m인 토양이 4dS/m이하로 떨  
 어지는데 16년이 소요된다(Yoo and Lee, 1988).”는 보고에 비  
 하여 상당히 빠르게 탈염된 것이다. 실험구의 염분이 빠르게  
 탈염된 것은 실험구 가장자리에 깊이 1.8m의 배수로를 설치하  
 여 토양 중의 토양염분이 토양수분과 함께 빠르게 탈수되었기  
 때문으로 보인다. 토양염분이동 무차단 실험구에서 시간이 흐  
 림에 따라 토양염분이 높아지는 것은 인접 갯벌토양에서 천천  
 히 토양염분이 교란되고 있기 때문이다. 토양염분이동 차단구  
 에서 토양염분 변화가 적은 것은 객토가 염분에 아직 교란되고  
 있지 않기 때문일 것이다.

실험구 조성 4개월 이후, 시간의 흐름에 따라 갯벌지반 토양  
 의 전기전도도는 급격히 낮아지고, 염분이동무차단구 객토에서  
 는 상승하였다. 갯벌지반의 토양이 실험구 조성 4개월 이후  
 빠르게 탈염이 되고 있는 것은 실험구 주변에 설치된 개거에  
 의하여 토양수분이 빠져 나가면서 자연적으로 염분이 탈염되  
 는 것으로 추정되었다. 염분이동무차단구의 객토에서 시간의  
 흐름에 따라 전기전도도가 점점 높아지는 것은 인접 갯벌지반  
 의 토양염분이 수직 또는 수평적으로 이동하여 토양염분이 높  
 아지기 때문으로 보인다.

토양염분이동 차단구 내의 객토의 전기전도도는 실험구 조  
 성 이후 겨울철인 2011년 12월과 이듬해 2012년 1월 그리고  
 2012년 12월에는 높고, 봄, 여름, 가을에는 비교적 일정한 패턴  
 을 유지하는 것은 차단재료 및 방법 등에 의해 염분이동이 차  
 단되어 있기 때문에 식재구덩이 내 객토의 토양염분이 크게 변  
 하지 않은 것으로 추정되었다. 겨울철인 2011년 12월과 이듬해  
 2012년 1월 그리고 2012년 12월에 갯벌지반과 염분이동차단구  
 에서 염분이 높은 것은 겨울철 토양이 동결되어 토양 중의 전  
 기전도도의 부하량이 커져서 나타난 현상으로 보인다.

강우 후 1개월 뒤에 토양염분이 낮아지는 것은 강우 후 빗물  
 이 토양 하부로 침투되는 시간이 오래 걸리기 때문으로 보인다.  
 갯벌지반에서 강우량에 의해 토양염분이 민감하게 반응한 것

은 빗물이 지반에 그대로 침투되었기 때문이고, 실험구에서 강우량에 의해 토양염분이 크지 않은 것은 실험구의 크기가 작고, 표면배수를 10% 정도로 급하게 하여 개거로 빗물이 신속히 배수되어 강우에 의한 실험구의 영향이 최소화되었기 때문일 것이다.

갯벌지반에서 전기전도도가 높은 것은 전술한 바와 같이, 갯벌지반의 토양염분이 매우 높기 때문이고, 토양염분이동차단 무처리구에서 전기전도도가 높은 것은 실험구 조성 이후 원지반 갯벌의 토양염분이 모세관현상에 의하여 객토 쪽으로 이동되어 교란되고 있기 때문으로 보인다. 비닐차단구에서 토양염분이 높은 것은 집중 호우 시 인접 갯벌의 염분이 유입되어 빠르게 배수되지 못하여 객토를 교란시키기 때문으로 추정되었다. 이것은 임해매립지 저지대의 식재지가 집중 강우 시 침수되어 염분이 상승한다(Lee, 2011). 것과 같은 맥락이다. 비닐에 의한 염분차단구를 설치할 때에는 인접 갯벌의 염분이 빗물에 유입되어 교란되지 않도록 해야 하며, 배수가 잘 될 수 있도록 하여 이차적인 문제가 발생되지 않도록 해야 할 것으로 생각되었다. 나머지 왕겨차단구, 드레인보드, 스티로폼알갱이, 목질짚, 준설토, 쇠석은 실험구 초기인 겨울철에 전기전도도는 다소 차이가 있으나 4월 이후 비교적 균질하게 나타났다.

반입된 객토의 최초 토양염분도는 0.23dS/m 정도로 낮았으나, 염분차단재료와 차단부위에 따라 토양염분도가 높아지거나, 그렇지 않은 것으로 나타났다. 객토의 초기 염분도는 E<sub>Ce</sub> 0.23dS/m이었으나, 14개월 개월만에 최고 E<sub>Ce</sub> 5.18dS/m까지 염분이 교란된 것으로 나타났다. 최고로 높아진 실험구는 EPS 수직차단구 지하 -60cm 구에서 2012년 12월 측정에서 나타났는데, 2013년 3월에 다시 E<sub>Ce</sub> 2.41dS/m까지 낮아졌다. 이러한 현상은 앞에 밝힌바와 같이 토양염분이 겨울철에 결빙으로 전기전도도 저하가 강하여 높게 나타나는 것으로 추정되었는데, 겨울철 결빙에 의한 E<sub>Ce</sub>가 높아지는 현상과 이 수치가 식물생장에 어떠한 영향을 미치는가에 대해서는 보다 정밀한 실험이 필요하다.

토양염분은 모세관 현상에 의하여 토양염분이 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동한다. 원지반인 갯벌은 염분농도가 높고, 객토는 염분농도가 낮기 때문에 시간이 흐름에 따라 갯벌의 고농도 염분이 객토로 이동하여 객토의 염분농도가 높아진다. 객토의 토양염분도가 높아지면 일반적인 조경식물은 생장할 수 없기 때문에 갯벌의 고농도 염분이 객토로 이동하지 않도록 염분차단을 한다. 기존의 전통적인 염분차단방법은 대부분 갯벌 밑바닥에서 상승하는 염분을 차단하는데 중점이 되어 있지만, 갯벌 속에 수목을 식재해야 하는 경우에는 수평적으로 염분이 이동하기 때문에 수평적 염분차단이 필요하다.

이들 6가지 염분이동 차단재료들이 전기전도도가 낮은 것은 입자들의 공극이 커서 염분 유입이 낮은 것으로 추정되지만,

향후 시간이 흐르면서 부식되어 입자가 작아질 것으로 예상되는 왕겨차단구와 목질짚 차단구의 염분이동차단 효과가 어떻게 변할 것인가를 규명하기 위해서는 보다 오랫동안 모니터링이 필요한 것으로 생각되었다.

Lee(2005)는 토양염분차단 실험에서 입자가 커서 공극이 큰 자갈이 모세관 이동 억제 효과가 가장 좋았고, 다음으로 모래, 퇴비, 일반성토 순이라고 하였다. 본 연구에서도 목질짚 및 준설토, 쇠석은 공극이 크고 토양에 의한 재료의 변형이 적어 지속적으로 대공극을 유지해 배수성이 우수해 모세관 현상억제 및 탈염효과가 타 재료보다 우수한 것으로 보인다. 특히 해안매립지의 매립재로 주로 사용하는 해안 준설토는 초기 염분농도는 높으나, 탈염이 빨라 배수층재로 사용할 수 있고(Seo, 2012), 경제적인 벽면에서 볼 때 준설토를 배수층재나 염분차단재로 사용 가능할 것으로 보인다. 준설토와 무차단객토에서 실험구 조성 이후에 지속적으로 전기전도도가 지속적으로 높아지는 것은 인접한 갯벌지반의 높은 염분농도가 모세관현상에 의하여 이동되어 축적됨에 따라 염분농도가 높아지고 있기 때문으로 추정되었다.

전기전도도가 바닥염분차단구가 전면염분차단구와 벽면염분이동차단구보다 높아지는 것은 바닥염분이동차단구에 인접한 갯벌지반의 고농도 염분이 모세관 현상에 의하여 수평적으로 이동하여 바닥염분차단구의 객토를 염류화 시키고 있기 때문으로 보인다. 이러한 현상은 갯벌의 염분이 모세관 현상에 의하여 이동하는 것이 수직적인 이동보다는 수평적 이동이 더 빠르게 진행되고 있음을 알려 주는 것이다. 3가지 염분이동 차단공법 중에서 전면염분이동차단구가 나머지 바닥염분차단구나 벽면염분이동 차단구 보다 전기전도도가 낮은 것은 전면염분이동 차단구는 바닥과 측면에서 염분이 객토를 교란하지 못하도록 장치가 되어 있기 때문이며, 바닥염분 차단구나 벽면염분이동차단구는 바닥 또는 측면에서 염분이 객토를 교란시키고 있기 때문으로 추정된다. 이러한 결과로 보아 갯벌지반에 식생토에 바닥염분이동 차단구는 측면에서 염분이 이동하고, 벽면염분이동 차단구는 바닥에서 염분이 이동하여 식생토를 염류화 시키기 때문에 염분차단 효과가 낮으며, 전면염분이동 차단구는 바닥과 측면의 염분이동을 모두 차단하기 때문에, 염분차단 효과가 큰 것으로 판단되었다. 이것으로 보아 갯벌 원지반에 수목을 식재하기 위해서는 원지반 갯벌에 상존하는 토양염분의 수직적 상승과 수평적 이동을 차단할 수 있는 토양염분 이동전면 차단구를 설치하는 것이 더 유리하다는 것을 의미한다. 이것은 염류토양에서 수직적 염분상승을 고려하여 바닥에만 염분차단을 하던 기존의 이론과 관행적 염분차단공법들을 더 발전시켜 바닥과 측면의 염분차단을 해야 함을 시사하는 것이다.

토양염분차단 두께가 10cm나 20cm보다 30cm에서 전기전도



도가 낮은 것은 염분차단 두께가 얇으면 긴 장마 또는 강우량이 많을 때 빗물에 갯벌의 염분이 혼합되어 식생토인 객토에 염분 교란을 시킬 수 있기 때문으로 추정되었다. 따라서 염분 농도가 높은 갯벌에서 식재지반을 조성할 때에는 토양염분차단 두께가 얇은 것보다는 염분차단벽이 두꺼운 것이 토양염분의 모세관 현상을 차단하는 효과가 크다는 것을 의미한다. 전기전도도가 갯벌지반과 토양염분이동 무차단구에서는 계절별로 뚜렷한 차이가 있는 것은 갯벌지반과 무차단구의 토양염분이 높아서 토양 동결에 의한 변화 값이 크게 나타나기 때문으로 추정되었다. 토양염분이동 차단구에서 계절별 차이가 미미하게 나타나는 것은 염분이동 차단구 내의 객토의 전기전도도가 낮기 때문에 토양 동결에 의한 변화 값이 토양염분이 높은 실험구보다 낮기 때문으로 보인다.

토양층위별 전기전도도가 통계학적으로 유의하지 않는 것은 ECe가 봄, 여름, 가을철에 낮았던 상층이 겨울철에 높아지는 계절적 변동 때문으로 보인다. 상층의 ECe가 겨울철에 높아지는 것은 상술한 바와 같이 토양동결에 의하여 전기전도도의 부하량이 높아지기 때문일 것이다. 토양 동결에 따라 전기전도도의 부하량 변화하는 메카니즘에 대하여 보다 심층적 연구가 후속되어야 할 것으로 생각되었다. 간척지 밭토양에서 경종적 염분상승에 대한 연구에서 심토층이 표토층보다 뚜렷한 변화가 없다(Kang *et al.*, 2010)고 하였는데, 본 실험구에서 계절별로 토양 층위별로 변동이 있는 것은 상이한 결과로서, 보다 더 장시간 모니터링을 통하여 규명할 수 있을 것으로 예상되었다.

Koo *et al.*(2000a)은 바다매립지의 염농도는 매립 초기에는 매립재의 영향으로 일정하다가 시간에 따라 염분의 상승과 교란으로 농도가 일시적으로 높아진다고 하였는데, 새만금 간척지에서도 이러한 현상이 나타날 수 있다. 따라서 실험구의 토양염분은 시계열적으로 계절별 또는 다른 교란 요인에 의하여 실내에서 예상하지 못하였던 변수들이 작용할 수 있기 때문에 더 장기간 모니터링을 통하여 이러한 문제들을 규명하여 염분이동차단공법을 개발하여야 할 것으로 사료되었다.

## IV. 결론

본 연구는 새만금간척지의 수목 식재를 위한 토양염분이동의 차단기법을 개발하기 위한 기초 연구로서, 토양염분이동 차단재료, 차단 위치, 차단 두께별로 토양염분이동 차단 실험구를 설치하여 토양염분의 변화를 측정하여 분석하였다.

1. 토양염분도(ECe)는 갯벌지반 > 토양염분이동무차단구 > 토양염분이동차단구 순으로 높아서 수목 식재를 위해서는 갯벌에 상존하는 토양염분이 식생토인 객토에 토양염분 유입을 차단할 수 있는 염분이동차단구가 갯벌지반구나 토양염분무차단구보다 유리한 것으로 판단되었다.

2. 토양염분의 시계열적 변동의 크기는 갯벌지반 > 토양염분이동무차단구 > 토양염분이동차단구 순이었다.

3. 갯벌지반에서 토양염분의 변동이 큰 것은 간척 이후 고농도 염분이 급속히 탈염되고 있기 때문이고, 토양염분이동 무차단 실험구에서 시간이 흐름에 따라 토양염분이 높아지는 것은, 인접 갯벌토양에서 천천히 토양염분이 교란되고 있기 때문이다.

4. 토양염분이동 차단구에서 토양염분 변화가 적은 것은 객토에 토양염분의 유입이 되지 않고 있거나, 미미하게 유입되고 있기 때문으로 추정되었다.

5. 염분이동 차단재료 중에서 쇠석, 준설토, 목질칩, 드레인 보드, 스티로폼알갱이, 왕겨는 염분차단 효과가 있었으나, 비닐염분차단구는 ECe가 높았다. 비닐염분 차단구에서 ECe가 높은 것은 염분차단능보다는 인접 갯벌의 염분이 빗물에 유입되어 교란 또는 탈수되지 못하기 때문으로 추정되었다. 따라서 간척지에서 염분이동 차단구를 설치할 때에는 이차적인 염분 교란을 방지할 수 있는 장치가 필요한 것으로 판단되었다. 왕겨나 목질칩은 시간의 흐름에 따라 부식될 경우, 토양염분이동 차단능이 계속 유지될 수 있을 것인지는 더 긴 시간 동안 모니터링이 필요하다.

6. 토양염분의 이동을 차단효과는 토양염분이동 차단 재료의 두께가 두꺼울수록 좋고, 차단 위치는 수직 또는 수평 어느 한 부분만 차단하는 것보다는 전면차단을 하는 것이 더 유리한 것으로 나타났다.

7. 토양염분의 수직적 변화는 봄, 여름, 가을에 ECe는 상층에서 낮으나, 겨울철에 다시 높아지는 현상이 나타났다. 겨울철에 토양 ECe가 높아지는 것은 토양 동결에 의하여 전기전도도의 부하량이 높아지기 때문으로 추정되었다. 겨울철 토양 동결에 따라 전기전도도의 부하량 변화하는 메카니즘에 대하여 보다 심층적 연구가 후속되어야 할 것으로 생각되었다.

8. 실험구의 토양염분은 시계열적으로 계절별 또는 다른 교란 요인에 의하여 실내에서 예상하지 못하였던 변수들이 작용할 수 있기 때문에 더 장기간 모니터링을 통하여 이러한 문제들을 규명하여 염분이동차단공법을 개발하여야 할 것으로 사료되었다.

본 연구는 간척지 토양염분이동 차단에 대한 경험적 주장들을 현장에서 실증적으로 실험한 것으로서, 갯벌지반의 토양염분도가 매우 높아 수목 생장에 지장을 초래할 수 있음을 밝혔고, 토양염분을 차단하는데 유용한 차단재료, 차단위치, 차단두께 등을 규명하는데 기여하였다. 그러나 여러 가지 제반 여건상 제한적인 재료, 공법, 염분동태변화 조사기간 등으로 염분차단에 대한 통합적 현상을 파악하는데 한계가 있었다. 특히, 시간이 흐름에 따라 차단재료가 변화하고, 강우와 같은 제2차 교란요인에 의하여 시계열적으로 토양염분이 변화하는 것을 규

명하는 것은 한계가 있었다. 따라서 보다 더 장기간 모니터링을 통하여 합리적이고도 경제적이며, 친환경적인 염분차단 공법을 개발하여야 할 것으로 사료되었다.

## References

- Choe, I. H. and K. H. Hwang(2000) A case study on planting environment and improvement in reclaimed seaside areas. Research Report to Korea National Housing Corporation, (in Korean with English abstract)
- Costar, A., S. Howles, M. Stadter and T. Hill(2006) Loxton Salt Interception Scheme Trial Horizontal Drainage Well Design and Construction Report, Department of Water, Land and Biodiversity Conservation, Government of South Australia, pp. 53. (in English)
- Goh, J. S.(2010) Effects of Salt Interruption Layer on Plant Growth in Reclaimed Foreshore Land, Incheon City -Focused on Sewage Treatment Plant in Gumdan, Thesis of Master's Course, The Graduate School of Dankook University, Korea, (in Korean with English abstract)
- Honma, A.(1973) Studies on the problems of planting for landscape in the area reclaimed foreshore land. Bulletin of the Institute of Landscape Architecture No 4, The University of Tokyo, Tokyo, pp. 127. (in Japan with English abstract)
- Howles, S. R. and A. G. Smith(2005) Loxton Salt Interception Scheme Aquifer Testing and Well Hydraulics, Report DWLBC 2005/20, Department of Water, Land and Biodiversity Conservation, Adelaide, (in English)
- Jeong, J. H., C. N. Kim, K. S. Goo, C. H. Lee, H. G. Woon and J. G. Byun(2003) Physic-chemical properties of Korean forest soils by parent rocks, Jour. Korean For. Soc, 92(3): 254-262. (in English)
- Kang, J. G., K. D. Lee, J. H. Lee, J. H. Jeong, G. G. Gil, J. H. Ryu, S. H. Lim, S. W. Hwang and S. J. Kim(2010) Resalinization control of saline soil in reclaimed upland, Proceeding of The 2010 Spring Conference of Korean J. Soil Sci. Fert. 43(1) 208-209. (in Korean)
- Kim, D. G.(2013) Cut rising soil salt. <http://blog.daum.net/doaha/10716565>. (in Korean with English abstract)
- Kim, H. J., H. C. Lee, G. H. Ryoo and K. H. Kim(2012) Effect of NaCl block using bottom ash, Workshop Presentation of Korean Journal of Soil Science & Fertilizer 10: 160. (in Korean with English abstract)
- Kim, J. B., G. M. Yang and J. S. Choi(2009) Effects of capillary water interruption layer on the growth of zoysiagrasses and cool-season turf grasses in reclaimed land, Weed & Turfgrass Science, 23(1): 35-44. (in Korean)
- Koo, B. H., J. S. Kang and K. S. Jang(2000b) A study of soil characteristics on coastal reclaimed areas for planting ground treatment, Korean Journal of Environment and Ecology 13(1): 89-95. (in Korean)
- Koo, B. H., K. J. Kang and J. W. Kim(2000a) Temporal changes and correlations between the chemical characteristics of soils in the case of the reclaimed costal area of Kyung-Gi Province, Korea, Journal of Korean Institute of Landscape Architecture 27(5): 161-169. (in Korean)
- Korea Agency for Saemangeum Development & Investment(2016): Function area of Master plane <http://www.saemangeum.go.kr/sda/cmm/main/enMainPage.do>
- Korea Forest Service(2011) Study on the Establishment of Facilities to Protect Tree and Vegetation Base to Promote Tree Growth in Saemangeum Reclaimed Lands, pp. 88. (in Korean with English abstract)
- Korea Rural Community Corporation(2009) Project for Development of Nursery Tree Field in Saemangeum, Seoul, pp. 216. (in Korean with English abstract)
- Lee, S. W.(2011) A Study on the Structure Characteristics and Improvement of Planting Ground in Incheon International Airport, Korea, Thesis for the Degree of Master, The Graduate School of Urban Science, University of Seoul, Korea, (in Korean with English abstract)
- Lee, J. G.(2005) A Study of the Construction of Salt Interception Layer by Analyzing of Soil Capillary Rising - Focused on Young-jong Do Golf Course "A", MS Thesis, The Graduate School of Sangmyung University, Korea, (in Korean with English abstract)
- Oh, W. Y. and B. K. Choi(2001) Fundamental Landscape Research and Technology of the Coastal Reclaimed Land for Environmental Restoration & Construction, Doseochulpan Jokyung, Seoul, pp. 295. (in Korean with English abstract)
- Rahayu, G., M. Yang and J. S. Choi(2010) Effects of interruption layer for capillary rise on salt accumulation and Kentucky Bluegrass *Poa pratensis* growth in sand growing media over the reclaimed saline soil, Korea Journal of Turfgrass Science 24(2): 106-116. (in English)
- Seo, D. U.(2011) Salt Transport Model of Unsaturated Soil in Reclaimed Land, Doctorate Thesis, The Graduate School of Seoul National University, Korea, (in Korean with English abstract)
- Seo, E. S.(2012) A Study on the Planting Foundation Design for Preventing Salt Capillary Rising in Coastal Reclaimed Area, MS Thesis, The Graduate School of Hanyang University, Korea, (in Korean with English abstract)
- Spark, D. L., A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston and M. E. Summer (1996) Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods, SSSA, Madison, Wisconsin(USA), pp. 1,264. (in English)
- Tanji, K. K.(1990) Nature and extent of agricultural salinity. In: Agricultural salinity assessment and management, ed. K. K. Tanji, American Society of Civil Engineers Manuals and Reports on Engineering Practice No. 71, ASCE. (in English)
- The Korean Institute of Landscape Architecture(2013) Standard of Design on the Landscape Architecture, Kimoondang, pp. 495. (The Korean Institute of Landscape Architecture)
- Yoo, S. H. and S. M. Lee(1988) Laboratory study on changes in hydraulic conductivity and chemical properties of effluent of soil during desalinization, Korean J. Soil Sci. Fert. 21(1): 3-10.(in Korean)

Received : 11 December, 2016

Revised : 06 January, 2017 (1st)

22 February, 2017 (2nd)

Accepted : 22 February, 2017

3인익명 심사필