

새만금 방조제 개활지의 준설토 기반에 대한 배수층재 처리가 수목 생육에 미치는 효과*

이하나 · 임주훈 · 구남인 · 배상원

국립산림과학원 산림수토보전과

Effects of Materials of Drainage Layer at the Reclaimed Soil Base on Tree Growth at the Open Space of Saemangeum Sea Dike*

Lee, Hanna · Lim, Joo-Hoon · Koo, Namin and Bae, Sang-Won

Division of Forest Soil and Water Conservation, Korea Forest Research Institute.

ABSTRACT

This study was performed to compare the effects of different drainage layers on tree growth at the exposed sites of Saemangeum sea dike. 4 types of drainage layers including control(dredged soil), specially prepared bark, gravel, and wood chip were set in 150~165cm depth of soil. *Pinus thunbergii* and *Celtis sinensis* were planted after 9 months of soil treatment. Electrical conductivity(EC) of soil in all treated plots were decreased under $4\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, and NaCl(%) was decreased under 0.05% after 1 year from soil treatment. Soil moisture at the 120cm depth of the bark treated plot was higher than that of the 180cm soil depth, below the drainage layer. It is considered that vertical mobility of water was inhibited. Organic matter(OM) at the 120cm soil depth increased at bark and wood chip treated plots. Survival rates after 4 years of *P. thunbergii* and *C. sinensis* were 100% in all treatments. The height of *P. thunbergii* was not significantly different among the treatments while the height of *C. sinensis* was significantly different among the treatments and it was highest at the bark treated plot.

Key Words : *Dredged soil, Salt capillary rising, Drainage materials, Pinus thunbergii, Celtis sinensis.*

* 본 연구는 2013년도 국립산림과학원 리서치 펠로우십의 지원에 의해 이루어진 것임.

First author : Lee, Hanna, Division of Forest Soil and Water Conservation, Korea Forest Research Institute,
Tel : +82-2-961-2930, E-mail : restore@forest.go.kr

Corresponding author : Lim, Joo-Hoon, Division of Forest Soil and Water Conservation, Korea Forest Research Institute,
Tel : +82-2-961-2632, E-mail : forefire@forest.go.kr

Received : 6 October, 2014. **Revised** : 2 December, 2014. **Accepted** : 8 December, 2014.

I. 서론

새만금 간척 사업은 전북 군산시와 부안군을 연결하는 33.9km의 방조제를 축조하여 약 28,000ha의 토지를 조성하기 위해 시행한 사업이다(Prime minister's office, 2011). 임해 매립지의 조성 공법은 일반 토사 매립 공법, 준설토 매립 공법, 일반 토사와 준설토를 혼합한 매립 공법으로 나눌 수 있다. 새만금 간척 사업에는 산지 환경 파괴 및 주변 지역의 토양 채취장 확보 등의 문제를 일으키는 산지 채취토 매립 공법 대신 해저 준설토를 이용하여 메우는 공법으로 설계하였다. 따라서, 새만금 방조제도 해저 준설토로 충전하였다(Prime minister's office, 2011; Seo, 2012).

일반적으로 임해 매립지의 토양은 일반 토양보다 비옥도가 낮으며, 미사토 혹은 미사질 양토가 약 90%에 달한다. 매립 시 토양 답압이 심하여서 통기성과 배수성이 불량한 것으로 알려졌다. 매립지의 염분 농도는 $20\sim 40\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, 토양 산도(pH)는 6.5~7.9로 염류성 알칼리 토양에 속한다(Koo et al., 1998; Lee, 1996). 또한, 임해 매립지의 입지 특성상 상층부의 염을 제거하더라도 건조기에는 모세관 현상으로 인하여 염분이 재축적될 우려가 있어 식재 기반 개량이 꼭 필요하다. 임해 매립지에 수목 식재를 위한 토양 개량 방법으로는 근권부만 부분적으로 개량하는 방법과 부지 전체를 전면적으로 개량하는 방법이 있으며 개량 특성에 따라 물리적 방법과 화학적 방법으로 나뉜다. 물리적인 방법으로는 염분 차단층 조성 방법과 유·무기 다공질 체를 통한 방법이 있으며, 화학적 방법으로는 흡착제를 이용한 Na 흡착 제거 방법과 Ca을 이용한 Na 치환 제거 방법이 있다(Park, 2010). 염분 차단 재료로는 자갈/쇄석, 수피, 목질칩, 석고 등을 주로 이용한다. 국제 인천공항의 경우에는 직경 3~10cm의 자갈/쇄석을 하부에 15~50cm 두께로 포설하는 방법으로 갯벌 기반 상부에 준설토 혹은 쇄석을 이용한 염분 차단 층을 조성함으로써 물리적으로 모세

관수를 차단하였다(Incheon International Airport Corporation, 2000). 근권부만을 부분 개량하는 방법은 직경 1~5cm인 수피 및 목질칩을 이용하나 재료 특성상 시간 경과에 따라 부속으로 지속적인 효과를 기대하기 어렵다(Choe and Hwang, 2000). 그 외에 화학적 염류 차단 방법으로 석고를 사용하는데 이 방법은 염류 차단 효과는 있으나 흡착된 염분을 제거하기 위한 배수 층이 함께 설치되어야 한다(Seo, 2012).

임해 매립지의 토양은 수목 생육에 매우 불리한 환경이다. 임해 매립지에 식재한 수목의 생육 상태는 시간이 경과하면서 생장이 불량하고, 고사율이 증가하는 현상이 일어난다. 수목이 생육할 수 있는 환경을 조성해 주고 유지 관리가 중요할 것으로 판단된다. 또한, 서로 다른 식재 기반 토양에서 수목 세근의 발달 차이가 발생한 결과는 매립지의 토양 개량이 수목 생육에 영향이 있다는 것을 보여 주었다(Kim and Kwak, 2004). 새만금 사업의 계획에는 녹지축 사업과 수목원 조성 사업, 목재 에너지림 사업 등이 있다(Prime minister's office, 2011). 본 연구에서는 녹지축 구성을 위한 연구의 일환으로 수행하였다.

따라서, 본 연구는 해저 준설토로 충전하여 조성한 방조제 사면에 수림대를 조성하기 위한 기초연구이다. 해저 준설토 식생 기반에 가장 적합한 배수층재를 탐색하고자 배수층재로 주로 사용하는 자갈과 유기성 재료인 수분 보유력이 있는 목질칩, 다양한 입자 크기로 상부층 토양의 충전 역제가 가능한 수피를 이용하였다. 토심 150~165cm 사이에 특수 조제된 수피, 자갈, 활엽수 목질칩을 처리하였다. 그 위에 토양 개량제를 혼합한 준설토를 충전한 후 각 처리별 곰솔과 팽나무의 생장 차이를 비교하였다.

II. 재료 및 방법

본 연구는 전라북도 군산시 비응도동 새만금 방조제 내측에 조성된 5% 경사지에서 수행하였

으며 시험지는 군산 기점(비응도동)에서 약 1.3Km 거리에 있다. 2009년 7월, 각 처리구별로 폭 3m, 길이 20m, 깊이 1.65m의 규모로 준설토를 파낸 후 바닥에 15cm 두께로 대조구(준설토), 특수 조제한 수피, 자갈, 활엽수 목질칩을 이용하여 배수층을 조성하였다(Figure 2). 특수 조제한 수피는 모세관수 상승을 효과적으로 차단할 수 있도록 입경 1cm 이상, 유기성재 70%와 0.5cm 정도의 유기성재 30%로 구성되어 있다. 배수 층 상부는 뿌리 생장 및 분포 범위를 고려하여 토양 개량제를 혼합한 준설토로 충전하였다. 토양 개량제의 혼합량은 토심 0~20cm 구간은 60kg·m⁻³, 토심

20~70cm는 40kg·m⁻³, 토심 70~150cm는 20kg·m⁻³이다(Figure 1). 토양 개량제는 칼슘-마그네슘 화합물 45%, 철-알루미늄 화합물 1%, 규소 화합물 5%, 식물성 유기물 45%, N-P-K 화합물 3.5%, 미생물 0.5% 등으로 구성된 것을 시중에서 구매하여 사용하였다. 식생 기반 조성 후 9개월이 지난 2010년 4월에 곰솔(*Pinus thunbergii*)과 팽나무(*Celtis sinensis*) 1년생 묘목을 0.7m 간격으로 처리구 당 각각 15본, 6본씩 식재하였다.

새만금 방조제의 기상자료는 2009년 1월부터 2013년 12월 기간 동안의 기상청 수집 자료[강수량-AWS(새만금), 기온-기상대(군산)]를 이용

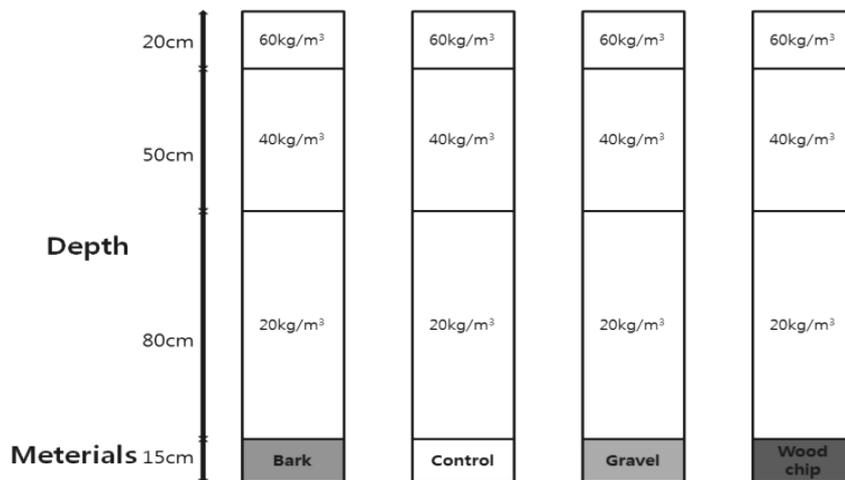


Figure 1. Construction of drainage layer and treatment of soil layer by mixing of dredged soil and soil conditioner.



Figure 2. Construction processing of drainage layer for study plots.

하였다(http://www.kma.go.kr). 2009년부터 2013년까지 5년간 토심 30cm와 120cm에서 채취한 토양을 풍건한 후 분쇄하여 토양 분석을 시행하였다. 토양 산도(pH)와 전기 전도도(EC)는 공시 토양의 포화 추출액을 이용하여 측정하였으며 토양 내 염분 함량은 Mohr법을 이용하여 측정하였다. 토양 함수율은 각 처리구별로 토심 10cm, 50cm, 120cm와 배수 층 하부인 180cm에 설치한 토양 수분 측정 센서(Enviro smart, Sentec, 호주)를 이용하여 1시간 간격으로 측정하였다. 2009년 7월부터 2012년 6월까지 토심 10cm 깊이의 데이터와 2009년 7월, 2012년 6월 토심별 자료를 분석하였다.

생존율은 식재 3년 후(2013년)에 생존하고 있는 수목을 대상으로 계산하였으며 수고는 2010년부터 2013년까지 4년간 측정하였다. 수고 생장의 통계 분석은 SAS(Ver. 9.3)를 이용하여 일원 배치 분산 분석(ANOVA)과 사후 검증(Duncan test)을 하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 새만금 지역의 기온 및 강수량

새만금 지역의 기온과 강수량은 기상청의 자

료를 이용하였다. 기온은 군산시 성산면에 있는 기상관측소에서 측정한 자료이고 강수량은 기상청의 AWS에서 얻은 자료로 시험지와는 약 17km 떨어져 있는 전라북도 군산시 옥도면 비안도리에 위치한다. 연 평균 기온은 12~13°C로 나타났다. 한국의 연 평균 기온 10~15°C와 비슷한 수준을 보였다. 4년간의 연 평균 강수량은 1,202mm로 경북 지역의 연 평균 강수량 1,000~1,300mm와 비슷한 수준이며, 7월과 8월에 연강수량의 55% 이상을 차지하고 있다(Figure 3).

2. 토양 분석

1) 토양 산도(pH)와 전기 전도도(EC)

각 처리구별로 깊이 30cm와 120cm 지점에서 pH를 분석한 결과, 조성 직후(2009년)에는 모든 처리구에서 pH 7.1~8.3의 범위를 보였으나 조성 3년 후에는 pH 7.6~6.7로 낮아 졌다(Figure 4). pH가 낮아진 것은 토양의 Na과 Ca의 함량이 감소하여 제염 작용이 발생했기 때문으로 판단된다. 120cm 지점이 30cm 지점보다 pH가 높은 것은 객토 매립 지역에서는 토심이 깊어질수록 pH가 증가한다는 Kim (2001)의 결과와 같았다.

전기 전도도는 조성 직후에는 8.6~1.1dS·m⁻¹으로서 모든 처리구에서 나타나 수목 생장 한계

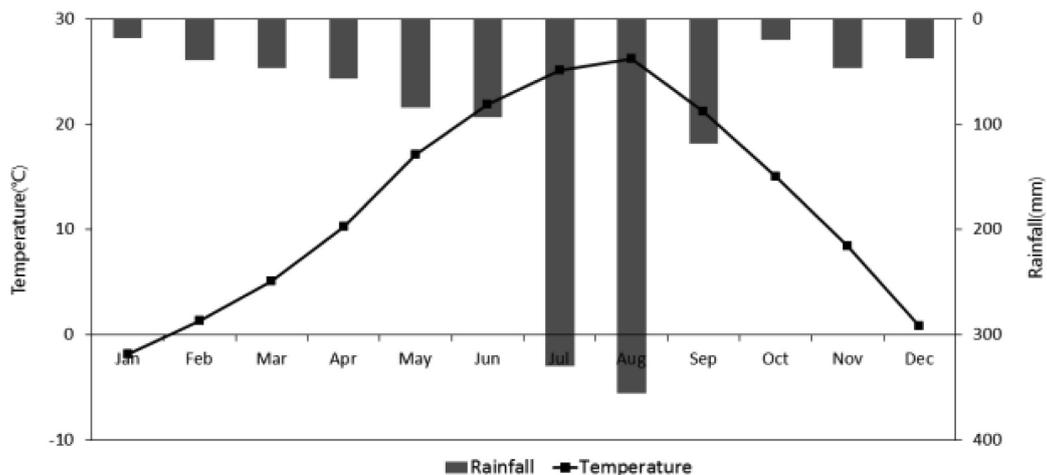


Figure 3. Average of temperature and rainfall during 2009~2013.

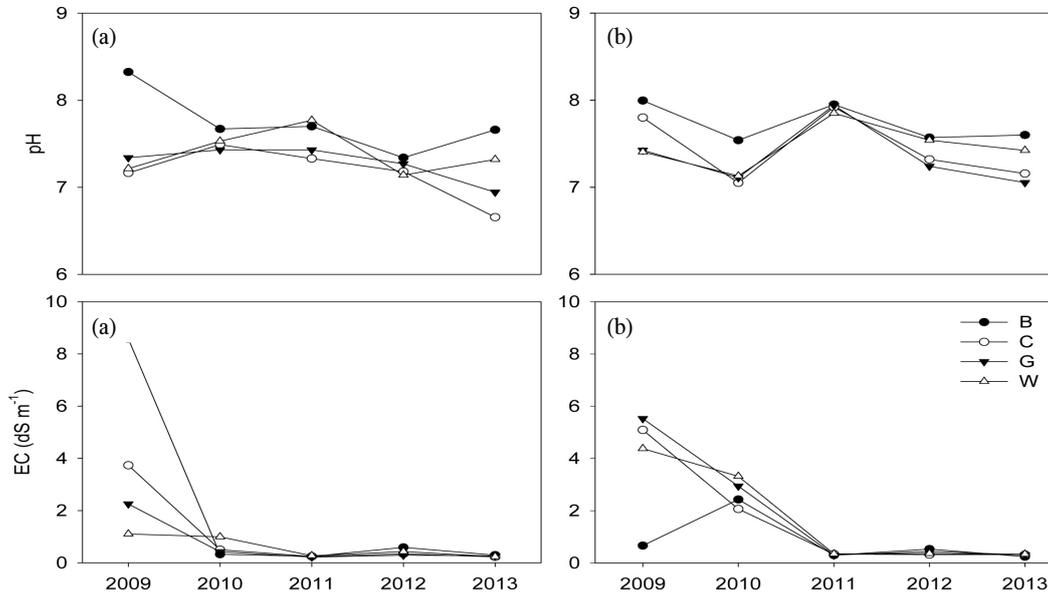


Figure 4. pH and electrical conductivity (EC) changes in soil from 2009 to 2013. [(a), 30cm depth of soil; (b), 120cm depth of soil; B, specially prepared bark; C, control(dredged soil); G, gravel; W, wood chip].

치인 4dS·m⁻¹(Brady and Weil, 2010) 보다 높았으나 조성 1년 후에는 모든 처리구에서 1dS·m⁻¹ 이하로 감소하였다(Figure 4). 이 결과는 처리구 조성 후 1년 이내에 토양 내 염류의 함량이 수목 생장 한계치보다 낮아져 식물 생육에 적합하게 변한 것을 뜻한다. 따라서 처리 종류에 상관없이 배수 층의 조성은 토양의 EC를 조절하는데 효과적인 것으로 나타났다.

2) 염분 농도(NaCl)

2009년, 특수 조제 수피 처리구를 제외한 준설토, 자갈, 목질칩 처리구들은 토심 30cm에서 수목 생육 한계치 0.05% 보다 낮은 염분 농도를 보였고 조성 1년 후에는 특수 조제 수피 처리구도 수목 생육 한계치보다 낮은 수치를 보였다(Figure 5). 토심 120cm의 경우에는 모든 처리구에서 2009년부터 2012년까지 염분 농도가

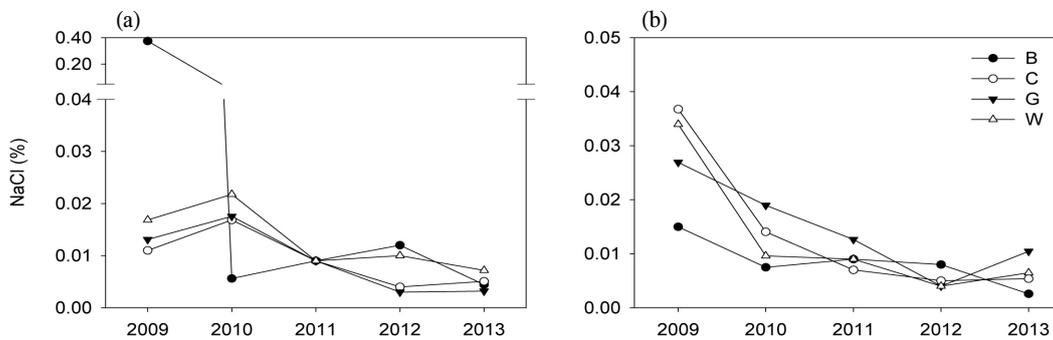


Figure 5. Exchangeable sodium percentage(%) in soil by treated materials of drainage layer from 2009 to 2013. [(a), 30cm depth of soil; (b), 120cm depth of soil; B, specially prepared bark; C, control(dredged soil); G, gravel; W, wood chip].

감소하는 경향을 보였으나, 2012년 후부터 특수 조제 수피 처리구를 제외한 모든 처리구에서 기준치 안에서 염분 농도가 상승하는 경향을 보였다(Figure 5). 염분 농도의 증가는 강우나 해풍, 해무에 의해 표층에 집적된 염분의 하향 이동에 의한 것인지 심토에 있던 염분의 상승에 의한 것인지는 불확실하지만, 염분 상승의 가능성이 있음이 추측된다.

3) 토양 수분 함량

토양 수분 함량과 강수량과의 관계는 밀접한

관계가 있다. 강수량과 증발량은 토양 수분의 함량을 변화시키는 요인으로 수목의 생육에 중요한 부분 중 하나이다. 봄과 가을은 강수량이 적어 토양이 건조할 수 있으며, 특히 준설토의 경우 토양 수분 함량이 산림 토양에 비해 매우 낮아 토양 수분의 함량의 모니터링이 중요하다. 지표면과 가장 가까운 토심 10cm의 토양 수분의 함량은 Table 1과 같다. 강수량이 가장 높았던 7월과 8월에는 특수 조제 수피 처리구와 활엽수 목질칩 처리구 또한 연중 가장 높은 토양 수분 함량을 보였다. 이러한 결과는 2008년과

Table 1. Average and standard deviation of soil moisture contents at 10cm depth during 2009~2012. (unit : %)

Month		Bark	Control	Gravel	Wood chip
Jan.	Avg.	4.3	10.8	7.9	9.1
	Std.	1.3	3.3	1.3	2.4
Feb.	Avg.	3.9	10.0	7.1	8.3
	Std.	1.4	4.3	2.1	3.0
Mar.	Avg.	4.1	12.0	13.8	9.9
	Std.	1.0	3.1	6.7	1.6
Apr.	Avg.	4.0	13.2	17.2	9.3
	Std.	1.8	5.5	5.5	3.1
May	Avg.	4.4	14.8	15.4	8.9
	Std.	1.2	5.7	4.5	3.2
Jun.	Avg.	4.9	17.8	12.3	10.2
	Std.	1.4	5.0	2.0	2.6
Jul.	Avg.	6.9	15.7	14.6	11.4
	Std.	5.1	2.9	3.5	2.4
Aug.	Avg.	7.3	12.3	11.9	9.7
	Std.	4.1	3.9	3.7	3.2
Sep.	Avg.	6.5	8.6	8.8	7.1
	Std.	3.4	3.9	4.0	3.6
Oct.	Avg.	5.6	5.7	5.0	4.9
	Std.	3.7	4.0	1.7	3.1
Nov.	Avg.	5.2	8.6	10.4	7.5
	Std.	2.6	3.8	5.0	3.5
Dec.	Avg.	3.7	11.1	11.2	9.4
	Std.	0.8	3.9	4.3	2.9

2009년에 강수량이 가장 많은 7월에 월평균 토양 수분 함량이 높았다는 Hong et al.(2011)의 결과와 일치하였다. 반면, 무처리구는 6월에, 자갈 처리구는 4월에 가장 높게 나타났고 10월은 모든 처리구에서 가장 낮은 토양 함수량을 보였다. 토양 수분 함량의 감쇄 기울기는 무처리, 자갈 > 활엽수 목질칩 > 특수 조제 수피 처리구 순으로 상대적으로 높아 특수 조제 수피 처리구의 토양 수분 함량의 변화가 적었다. 한 연구는 봄부터 여름까지 토양 수분 함량이 감소하였지만 가을에서 겨울까지 토양 수분 함량이 증가하는 현상을 보였다고 보고하였다(Oh, et al., 2006). 하지만 본 연구에서는 여름부터 가을까지 감소하는 경향을 보이고 가을부터 겨울까지 증가하는 경향을 보였다.

토양 수분 함량은 식물 생육에 중요한 요소 중 하나로 토양이 건조하면 수분 장력이 커져 식물 성장 속도가 느려지고, 토양 수분 함량이 지나치게 많으면 산소 결핍으로 식물의 생육이 감소한다(Chae et al., 2006). 2009년과 2012년, 토심에 따른 토양 수분 함량을 관측하였다. 처리 후 토심 120cm에서의 토양 수분 함량은 토심 10cm의 토양 수분 함량보다 활엽수 목질칩 처리구(2.7배), 대조구(준설토 처리구, 2.4배), 특수 조제 수피 처리구(2.1배), 자갈 처리구(1.2배) 순

이며, 3년 후 활엽수 목질칩처리구(3.0배), 특수 조제 수피 처리구(2.9배), 자갈 처리구(2.5배), 대조구(준설토 처리구, 0.7배) 순으로 나타났다(Figure 6). 강우의 영향이 있음에도 불구하고 처리구 모두 심토보다 표토에서 낮은 수분 함량을 보인 것은 토양수의 하향 이동 또는 증발산으로 인한 지표의 수분 손실(Jo et al., 1998)과 근권부가 집중되어 생육 시 토양 수분을 소비하였기 때문으로 판단된다(Hong et al., 2012). 배수 층 상부인 토심 120cm와 하부인 180cm 간의 토양 수분 함량은 180cm에서 자갈 처리구, 활엽수 목질칩 처리구, 대조구(준설토 처리구), 특수 조제 수피 처리구 각각 1.7배, 1.5배, 1.3배, 0.7배 수준이었으며, 3년 후에는 대조구(준설토 처리구), 활엽수 목질칩 처리구, 특수 조제 수피 처리구, 자갈 처리구 각각 2배, 1.1배, 0.9배, 0.8배 수준으로 나타났다(Figure 6). 토심 120cm의 토양 수분 함량이 토심 180cm에서 보다 높은 것은 수피의 직경이 작고 수분 보유능을 가지는 특성으로 중력수와 지하수의 수분을 저장하여 물의 하향, 상향 이동을 차단했기 때문으로 판단된다(Brady and Weil, 2010). 한편 모든 처리구의 토양 수분 함량은 식물의 최적 함수량 60~80% 보다 낮은 12~55%와 4~37%의 범위로 수목이 생육하는데 어려운 환경으로 판단되었다. 따라서 준설토

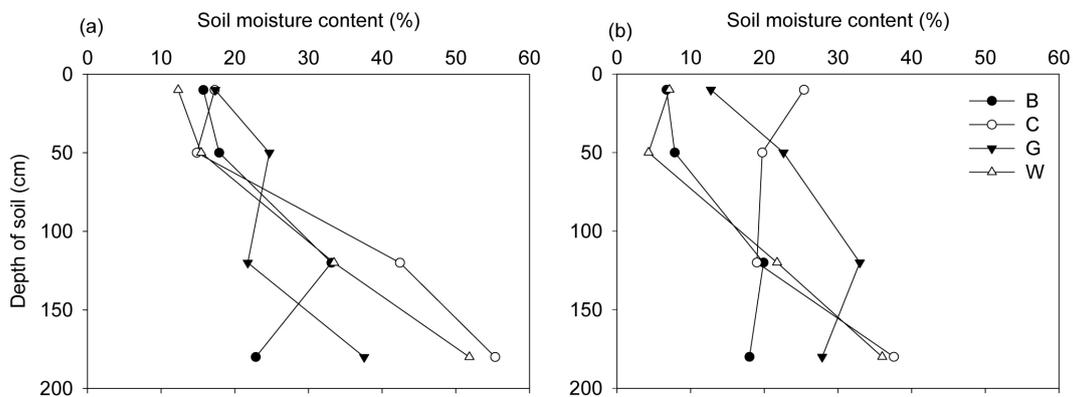


Figure 6. Soil moisture content(%) in the soil profile by treatment of drainage layer. [(a), 2009; (b), 2012; B, bark; C, control(dredged soil); G, gravel; W, wood chip].

로 메운 지역에 보수성이 있는 재료를 이용한 배수 층을 조성하면, 물의 하향 이동을 차단함으로써 토양 수분 보수력을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

4) 유기물 함량

배수 층이 있는 토심 120cm에서 2009년부터 2013년까지 유기물 함량의 변화를 관찰하였다. 모든 처리구의 유기물 함량이 1% 미만이며, 유기물 재료인 수피와 목질칩으로 처리한 배수 층 처리구는 지속해서 유기물의 함량이 증가하였다(Figure 7). 특히 2012년부터 2013년도 특수 조제 수피 처리구의 유기물 함량이 다른 배수층재 처리구보다 증가한 것은 유기물인 수피가 부속하여 유기물의 함량이 증가한 것으로 판단된다. 하지만 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 보인다.

3. 수목 생육

준설토는 모래 성분이 높아 풍식과 수식에 쉬우며, 해안가의 특성상 바람이 많이 불어 진행 속도가 빠르다. 따라서 잔디나 수목을 식재하여 지표 고정을 해 주는 것이 필요하다(Jeong, 2009). 또한, 수목은 해풍을 막는 방풍림의 역할

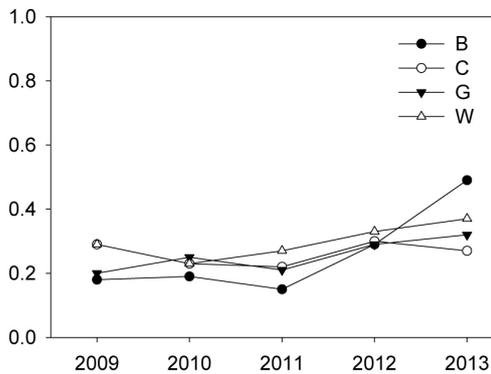


Figure 7. Organic matter(%) in soil by treatment of drainage layer at 120cm depth of soil from 2009 to 2013. [B, bark; C, control(dredged soil); G, gravel; W, wood chip].

과 염해방지효과, 경관 향상, 생태적 효과를 기대할 수 있다(Park, 2009). Hwang et al.(2008)는 군산 지역의 간척지의 비산 먼지 모니터링 결과, 염생 식물의 피복으로 비산 먼지의 농도가 감소하였다고 보고하였다.

모든 처리구의 곱솔과 팽나무의 생존율은 100%로 나타나 배수층재 처리 효과를 비교하는데 토양 양분 상의 문제가 없는 것으로 나타났다.

배수 층 처리구간의 곱솔과 팽나무의 수고 생장을 조사하였다(Figure 9). 유의수준 5%에서 곱솔은 처리구간 유의차를 보이지 않았으나($p > 0.05$) 팽나무는 식재 2년 이후부터 처리구간 유의한 생장 차이가 나타났다(Figure 8). 3년 후에는 특수 조제 수피 처리구(242cm, a), 대조구(준설토 처리구, 216cm, ab), 활엽수 목질칩 처리구(181cm, b), 자갈 처리구(177cm, b) 순으로 나타났다($p < 0.05$).

곱솔과 팽나무 모두 식재 후 1년 사이의 생장이 저조한 것은 Kim et al.(2002)의 연구와 마찬가지로 시험구 조성 시 스트레스를 받았기 때문으로 판단된다. 식재 2년 이후에 수고 생장 활동이 활발한 것은 시간의 경과에 따라 제염작용이 일어나 EC와 NaCl의 농도 감소와 뿌리 활착을 안정적으로 하였기 때문으로 판단된다. Park et al.(2008)의 연구에서 시비 반응이 침엽수인 잣나무와 전나무보다 물푸레나무와 들메나무의 시비 반응이 높게 나타났다는 결과를 토대로 보았을 때 곱솔에서 생장의 차이가 나지 않은 것은 상대적으로 양분 요구도가 낮아 처리구간 양분 이용의 차이가 없었기 때문으로 생각된다(Figure 10).

Park(1998)은 전북지역의 해안 숲과 마을 숲을 비교시, 해안 숲 부분이 곱솔로 이루어져 있으며, 수고와 흉고직경은 마을 숲보다 0.5배, 0.6배라고 하였다. 하지만 숲의 밀도는 3.7배 높아 방풍을 목적으로 사용한 것을 확인하였다. Kim(2010)은 한국 남해안 지대별 토양 염분도와 출현 수종을 분석한 결과, 전 지대에서

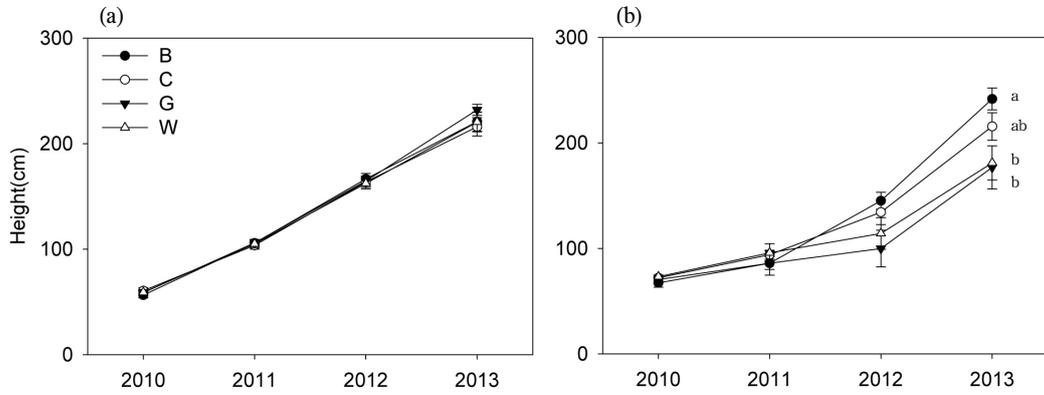


Figure 8. The pattern of height growth of *Pinus thunbergii* (a) and *Celtis sinensis* (b) saplings from 2010 to 2013. [B, specially prepared bark; 2B, C, control(dredged soil); G, gravel; W, wood chip].



Figure 9. *Pinus thunbergii* and *Celtis sinensis* in bark plot [(a) 2009, (b) 2013].



Figure 10. *Pinus thunbergii* in treatment plots(bark, control, gravel, wood chip).

중요도가 높다고 판단되는 수종 중에 팽나무가 포함되어 염분에 강한 것으로 생각된다고 하였다. 본 연구도 곰솔과 팽나무를 이용한 조립은 방풍의 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 새만금 방조제 사면에 수림대 조성을 위한 기반 구축 실험의 하나로 염분 차단 및 배수층재 처리가 토양 변화 및 수목 생육에

미치는 영향을 비교하고자 수행하였다. 토심 150~165cm 사이에 준설토, 특수 조제한 수피, 자갈, 목질칩을 이용하여 염분 차단 및 배수 층을 조성하였다. 그 후 토양 개량제를 혼합한 준설토를 충전하고, 곱솔과 팽나무를 식재하였다. 배수 층 조성 1년 후, 모든 처리구의 염분 농도와 전기 전도도가 수목 생육 한계치 이하로 감소하여 배수 층 조성이 염분 차단 효과가 있는 것으로 나타났다. 배수 층 조성 3년 후, 특수 조제 수피 처리구를 제외한 나머지 처리구는 수목 생육 한계치 염분 농도 0.05%, EC 4dS·m⁻¹ 이하였지만 염분 농도 값이 증가하는 경향을 띄어 염의 재 축적이 우려되었다. 토양 수분 함량은 특수 조제 수피 처리구에서 배수 층 아래보다 위에서 토양 수분 함량이 높게 나타나 수분 이동 차단 효과가 뚜렷한 것으로 나타났다. 곱솔의 수고 성장량은 처리구간 유의차가 나타나지 않았으나 팽나무의 수고 생장은 특수 조제 수피 처리구에서 가장 우수한 것으로 나타났다. 따라서 새만금 방조제 사면 개활지에 곱솔을 식재할 경우에는 배수 층 처리를 하지 않아도 될 것이지만, 팽나무의 경우에는 수피를 이용한 염분 차단 및 배수 층을 조성하는 것이 수목 성장에 도움이 될 것으로 판단된다.

References

- Brady, N. C. and Weil, R. R. 2010. Elements of the nature and properties of soils. Pearson educational international.
- Chae JC · Park, SJ · Kang, BH and Kim, SH. 2006. Ackerbaukunde. Hyangmunsa.
- Choe IH and Hwang KH. 2000. A case study on planting environment and improvement in reclaimed seaside areas. Research report to korea national housing corporation.
- Hong EM · Choi JY · Yoo SH and Nam WH. 2012. Analysis of soil moisture characteristics in nut pine forest about seasons and soil layers. Journal of the korean society of agricultural engineers. 54(4): 105-114.
- Hong EM · Choi JY · Nam WH and Yoo SH. 2011. Analysis of soil moisture recession characteristics in conifer forest. Journal of the korean society of agricultural engineers. 53(4): 1-9.
- Hwang HS · Shim MH · Hong SW · Seo IH · Ryu JI and Lee SK. 2008. Monitoring of the fugitive and suspended dust dispersion at the reclaimed land and neighboring farms: monitoring in Gunsan. Journal of the korean society of agricultural engineers. 50(4): 39-50
- Incheon International Airport Corporation(IIAC). 2000. 1992.11.5~2000.3.31 = Incheon international airport. Incheon international airport corporation. pp. 233.
- Jo BH · Jo SJ · Park CS and Eom DE. 1998. Soil. Hyangmunsa. pp. 100, 186.
- Jeong WH. 2009. <http://www.sanimji.com>
- Kim DG. 2010. Soil salinity and salt spray drift tolerance of native trees on the coastal windbreaks in the South-sea, Korea. Korean journal of environment and ecology. 24(1): 14-25.
- Kim DG · Park WK and Seo JW. 2002. Tree-ring growth characteristics of *Pinus thunbergii* Parl. after replanting on the reclaimed land from the sea in Gwangyang bay. Korean journal of environment and ecology. 16(1): 1-9.
- Kim DG and Kwak YS. 2004. Growth Characteristics of *Pinus thunbergii* Parl. after replanting in reclaimed from the sea(1) - On the spatial distribution of fine root phytomass -. Journal of the korea society

- of environmental restoration technology. 31(6): 77-84.
- Kim KD. 2001. Vegetation structure and ecological restoration of the waste landfills in Seoul metropolitan area. Ph. D dissertation, Seoul national university, Korea.
- Koo JW · Choi JK and Son JG. 1998. Soil properties of reclaimed tidal lands and tidelands of western sea coast in Korea. Journal of korean society of soil science and fertilizer. 31(2): 120-127.
- Lee CY. 1996. Forest environment soil. Bosung. pp. 48-75.
- Oh KJ · Lee HS · Kim DH · Kim SH · Kim HJ and Kim NW. 2006. Soil moisture monitoring at a hillslope scale considering spatial-temporal characteristics. Journal of korea water resources association. 39(7): 606-615.
- Prime minister's office. 2011. Seamangum Master Plan. pp. 10-50.
- Park BB · Pyon JK · Park SY · Chae GS · Jeong YG · Jeong YH · Lee SW and Choe JH. 2008. Fertilizer effects on seedling growth and nutrient balance of deciduous and coniferous species, Proceedings of korea forestry society. pp. 48-51.
- Park JC. 1998. Comparative review of the village groves and seaside groves in Chonbuk-Do province. Journal of the korean institute of landscape architecture. 26(2): 133-142.
- Park JM. 2009. Construction and management of nursery for environmental forests in Seamangum. Proceeding of korean society of environment and ecology conference. 19(2): 256-259.
- Park HJ. 2010. The soil for tree species. Korea landscaping tree association. 115: 53-64.
- Seo ES. 2012. Study on the planting foundation design for preventing salt capillary rising in coastal reclaimed area, Master dissertation, Hanyang university, Korea. <http://www.kma.go.kr>