

The Effect of Dredged Soil Improvement on Soil Chemical Conditions and Plant Growth at the Slope of Saemangeum Sea Dike

Chanwoo Park, Namin Koo, Jino Kwon, Joo-Hoon Lim*, Yong-Ho Jeong, and Jung-Ho Kim¹

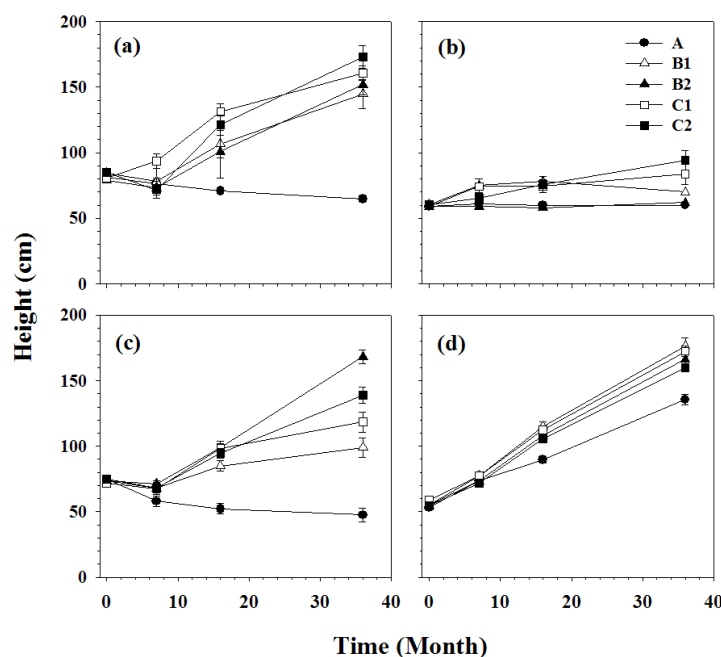
Division of Forest Soil and Water Conservation, Korea Forest Research Institute, Seoul, Korea

¹Kalim environment co., LTD, Seoul, Korea

(Received: October 4 2013, Accepted: January 15 2014)

This study was conducted to determine the changes in soil chemical properties and the growth of seedling according to the different dredged soil improving methods at slope of Saemangeum sea dike. Undersea dredged soil was improved by five different methods. Seedlings of *Ulmus davidiana* var. *japonica*, *Chionanthus retusa*, *Celtis sinensis*, and *Pinus thunbergii* were planted after 9 month of experience site installation, then soil pH, NaCl concentration in soil, soil organic matter (SOM), and survival rate and height of seedling was measured. Initial soil pH was highest in the control plot but it decreased to the similar level with other soil improving plots after 35 months. There were no differences in NaCl concentration between the control and soil improving plots, and it showed decreasing tendency during the study period. In the control plot, initial SOM was lowest among that of other plots during the study period. The survival rate of 36 months after planting of *P. thunbergii* was highest among the species. The gap of the tree growth of *P. thunbergii* between the control plot and the soil improving plots was small, however, other species showed relatively higher tree height in the soil improving plots than the control plots. Creation forest with *P. thunbergii* might be a cost effective afforestation in coastal reclaimed land since it rarely needs additional improvement of dredged soil.

Key words: *Pinus thunbergii*, Saline soil, Soil organic matter, Soil pH, Undersea dredged soil



Height of *Ulmus davidiana* var. *japonica* (a), *Chionanthus retusa* (b), *Celtis sinensis* (c), and *Pinus thunbergii* (d) during the study period.

*Corresponding author : Phone: +8229612632, E-mail: forefire@forest.go.kr

§Acknowledgement: This study was conducted by support of Korea Forest Research Institute (Project No. FE0100-2009-19).

Introduction

새만금 방조제는 임해매립지를 조성하기 위해 33.9 km 길이로 축조되었으며, 해저준설토로 충전 후 그 위에 산흙을 15–30 cm 높이로 복토를 한 상태이다. 새만금 방조제는 4차선 도로와 2차선 도로 사이에 폭 36 m에 달하는 거대한 녹지공간을 포함하고 있으며 잔디밭 조성뿐만 아니라 명품 숲 조성에 대한 요구도 크다. 그러나 현재 방조제에 충전되어 있는 해저준설토는 통기성, 배수성과 같은 물리성이 불량할 뿐만 아니라 화학적으로도 염분 과다, 유기물 결핍 등의 특성을 지니고 있어 수목의 원활한 생육을 기대하기 어렵다 (Cantré and Saathoff, 2013; Jeong et al., 2010; Park et al., 2003). 따라서 경관이나 방풍 등을 목적으로 새만금 방조제에 수림대를 조성할 경우에는 적절한 수종 선정이나 생육환경 개량과 같은 방안을 우선적으로 고려하는 것이 중요하다고 할 수 있다 (Han et al., 2011). 해저준설토와 같이 염분 농도가 높은 알칼리성 토양환경에서 생육할 수 있는 수종을 찾기 위한 연구는 국내외적으로 다양하게 이루어진 바 있으나 (Choi, 2003; Kim, 2010a; Kim, 2010b; Niknam and McComb, 2000), 인위적으로 해저준설토를 개량하고 묘목을 심어 토양 및 묘목 생장을 관찰하는 실험은 미진하다. 최근에는 토양의 특성에 맞춰 물리성 및 화학성을 변화시킬 수 있는 다양한 개량제가 개발되었으며, 해저준설토와 같은 토양의 개량에 사용가능한 제품들도 시판되고 있다. 본 연구에서는 일반적으로 간척지에 식재가 용이하다고 여겨지는 수종인 느릅나무 (*Ulmus davidiana* var. *japonica*), 이팝나무 (*Chionanthus retusa*), 팽나무 (*Celtis sinensis*), 곰솔 (*Pinus thunbergii*)을 대상으로 (Choi, 2003), 시중에서 쉽게 구입가능한 개량제를 이용하여 각기 다른 방법으로 해저준설토를 개량 처리한 후, 토양의 화학성 변화 및 수목 생장 변화를 파악하여 해저 준설토 조건에서 수목생육기반 및 수림대를 효율적으로 조성할 수 있는 방안을 모색하기 위하여 수행되었다.

Materials and Methods

연구대상지 2009년 7월 전라북도 군산시 새만금 방조제 사면 (N 35° 55′ 38″ E 126° 31′ 52″)에 토양개량 시험지를 조성하였다. 연구 대상 지역의 연평균 기온은 12.9°C, 상대 습도는 76.5%이다. 사면의 경사도는 5°이며 각 처리구는 폭 3 m, 길이 13 m로서 기존 매립되어있던 해저 준설토를 1.65 m 깊이만큼 퍼낸 후 바닥에 15 cm 두께로 배수층재를 포설하였다. 배수층재 포설 후 각 처리별로 비율을 달리하여 준설토, 개량제 및 산지채취토를 혼합하여 충전하였다. 본 연구에 사용한 해저준설토 및 산지채취토의 이화학적 특성은 Table 1과 같으며, 개량제의 품질은 Table 2에 제시하였다. 해저준설토는 나트륨 이온 함량이 매우 높은 특징을 가지고 있으며 염분 및 모래 함량이 높아 양분 흡착력이 떨어질 것으로 판단되었다. 따라서 양분 함량이 상대적으로 높은 개량제와 점토 함량이 높은 산지채취토를 이용하여 토양 개량을 실시하였다.

개량제는 시중에서 구입 가능한 K사의 제품을 사용하였다. 본 제품은 유기물 및 보수력 증대 물질을 포함하고 있으며 점토질을 떼알입자화하여 통기 및 배수를 촉진 시키는 작용을 한다. 또한 토양 내 과다 이온을 치환하여 pH를 조절하고, 양분이온을 공급하는 등 토양의 물리성 및 화학성을 개량하는 것이 특징이다. 해저준설토 개량은 ‘준설토 (100%) + 개량제’ 처리 및 ‘준설토 (80%) + 산지채취토 (20%) + 개량제’ 처리 두 가지 방법으로 하였으며, 개량제 처리를 하지 않은 준설토 시험구를 대조구로 하였다. 추가적으로 각 처리 방법별로 개량제를 표준량의 절반만 처리한 개량제 반량 처리구도 조성하였다. 각 처리구는 깊이별로 지표면으로부터 20 cm까지는 60 kg m⁻³, 깊이 20–70 cm는 40 kg m⁻³, 깊이 70–150 cm는 20 kg m⁻³로 처리하였고, 반량구는 각 처리량을 반으로 줄여 윗층으로부터 30 kg m⁻³, 20 kg m⁻³, 10 kg m⁻³로 하였다 (Fig. 1).

준설토 개량 처리 9개월 후인 2010년 4월, 각 처리구에 느릅나무, 이팝나무, 팽나무 1년생 묘목을 각각 12본, 곰솔

Table 1. The initial physico-chemical properties of dredged soil (DS) and forest soil (FS) in the study site.

Soil texture	pH	Organic matter (%)	TN (%)	Available P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Salinity (mg g ⁻¹)	K ⁺ (cmolc kg ⁻¹)	Na ⁺ (cmolc kg ⁻¹)	Ca ²⁺ (cmolc kg ⁻¹)	Mg ²⁺ (cmolc kg ⁻¹)
DS LS	10.13	0.10	0.027	14.85	2.51	1.01	6.43	1.26	2.30
FS SL	4.74	0.24	0.02	24.91	0.16	0.37	0.25	2.13	1.98

Table 2. Chemical properties of the soil conditioner used in study site.

Organic matter (%)	Water contents (%)	Salinity (mg g ⁻¹)	Phosphoric acid (%)	N (%)	K (%)	MgO (%)	Lime (%)
35.50	41.99	6.5	0.79	1.14	0.68	0.34	3.81

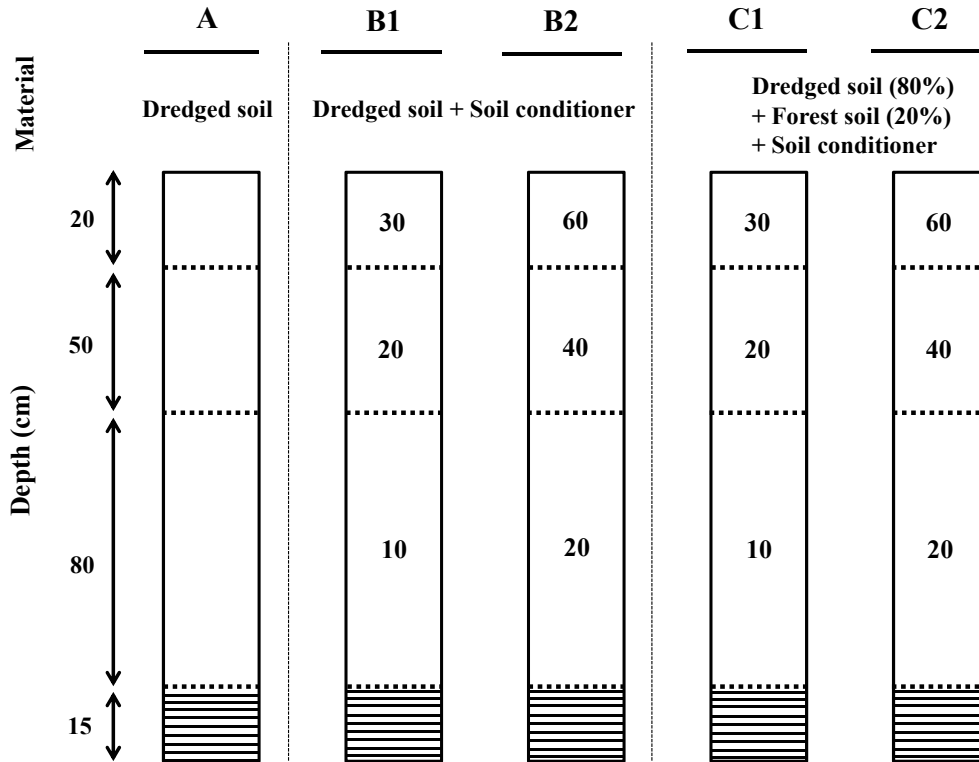


Fig. 1. Schematic soil profile of the study site. The numbers in the square indicate the amount of soil conditioner (kg m^{-3}). Drainage material (Biogro-Bark) was laid at the bottom to a thickness of 15 cm (A: control, B1: 1/2 soil conditioner, B2: soil conditioner, C1: forest soil + 1/2 soil conditioner, C2: forest soil + soil conditioner).

묘목을 30분씩 식재하였다. 식재 방법은 3열 식재로 개체 간 0.7 m 간격으로 식재하였다. 또한 바람에 의한 피해를 방지하기 위하여 시험지 주위에 높이 3 m의 폴리에틸렌 및 폴리카보네이트 재질의 방풍책을 설치하였다.

토양분석 및 수목 성장 측정 개량제에 의한 토양 화학성 변화를 분석하기 위해 준설토 개량처리 후 2009년 8월, 2010년 3월 및 11월, 2011년 11월, 2012년 6월, 2013년 3월 총 6차례에 걸쳐 깊이 별 토양 시료를 오거를 이용하여 채취하였다. 각 처리구별 10 cm, 30 cm, 70 cm 깊이에서 3회 반복으로 토양을 채취하여 혼합시료를 조제하였다. 조제한 시료는 실험실로 옮겨 풍건한 후 토양 pH, 토양 내 유기물 및 염분 함량에 대한 분석을 실시하였다. 토양 내 유기물은 원소분석기를 이용하여 (Vario Max elemental Analyzer, Elementar Analysensysteme GmbH, Germany) 측정된 탄소값에 1.724를 곱하여 추정하였다 (Rural Development Administration, 2010). 토양 pH는 HM-30R (TOA, Japan)를 이용해서 측정하였으며, 토양 내 염분은 Mohr법을 이용하여 측정하였다 (Denny, 1927). 분석된 항목의 깊이 및 시간에 따른 변화 경향을 파악하였다. 또한 개량된 준설토에서의 식물 성장 경향 변화를 파악하기 위해 총 4차례 (2010년 4월 및 11월, 2011년 8월, 2013년 3월)에 걸쳐 식재된 수목에 대한 생존율

및 수고를 조사하여 각 처리방법에 따른 차이를 분산분석을 이용하여 파악하였다. 모든 통계분석에는 Microsoft Excel 2007을 사용하였다.

Results and Discussion

토양개량효과 시험지 조성 직후 10 cm 깊이에서의 토양 pH는 무처리구 9.4, 개량제 처리구 7.2-7.9, 개량제 및 산지채취토 처리구 7.0-7.2로 나타났고, 30 cm 깊이에서는 무처리구 9.8, 개량제 처리구 7.5-7.7, 개량제 및 산지채취토 처리구 7.0-7.3이었으며, 70 cm 깊이에서는 무처리구 9.8, 개량제 처리구 7.4-7.5, 개량제 및 산지채취토 처리구 6.8-7.2로 나타났다 (Fig. 2(a), (d), (g)). 무처리구의 경우 토양 pH는 시간이 지남에 따라 감소하는 경향을 나타냈으며, 35개월 이후부터는 모든 깊이에서 토양 개량 처리구와 비슷한 수준으로 감소하였다. 토양 개량 처리구에서는 연구 시험지 조성 직후부터 무처리구에 비해 낮은 토양 pH 값을 나타냈으며, 이는 토양 개량 처리구에 혼합한 개량제 및 산지채취토에 포함된 산성 물질에 의한 것으로 여겨진다. 또한 토양 개량 처리구에서는 시간 경과에 따른 토양 pH의 일정한 변화 경향이 보이지 않았다. 44개월 후 토양 pH는 모든 처리구에서 6.5-7.6으로 관측되었다. 이는 일반적인 국

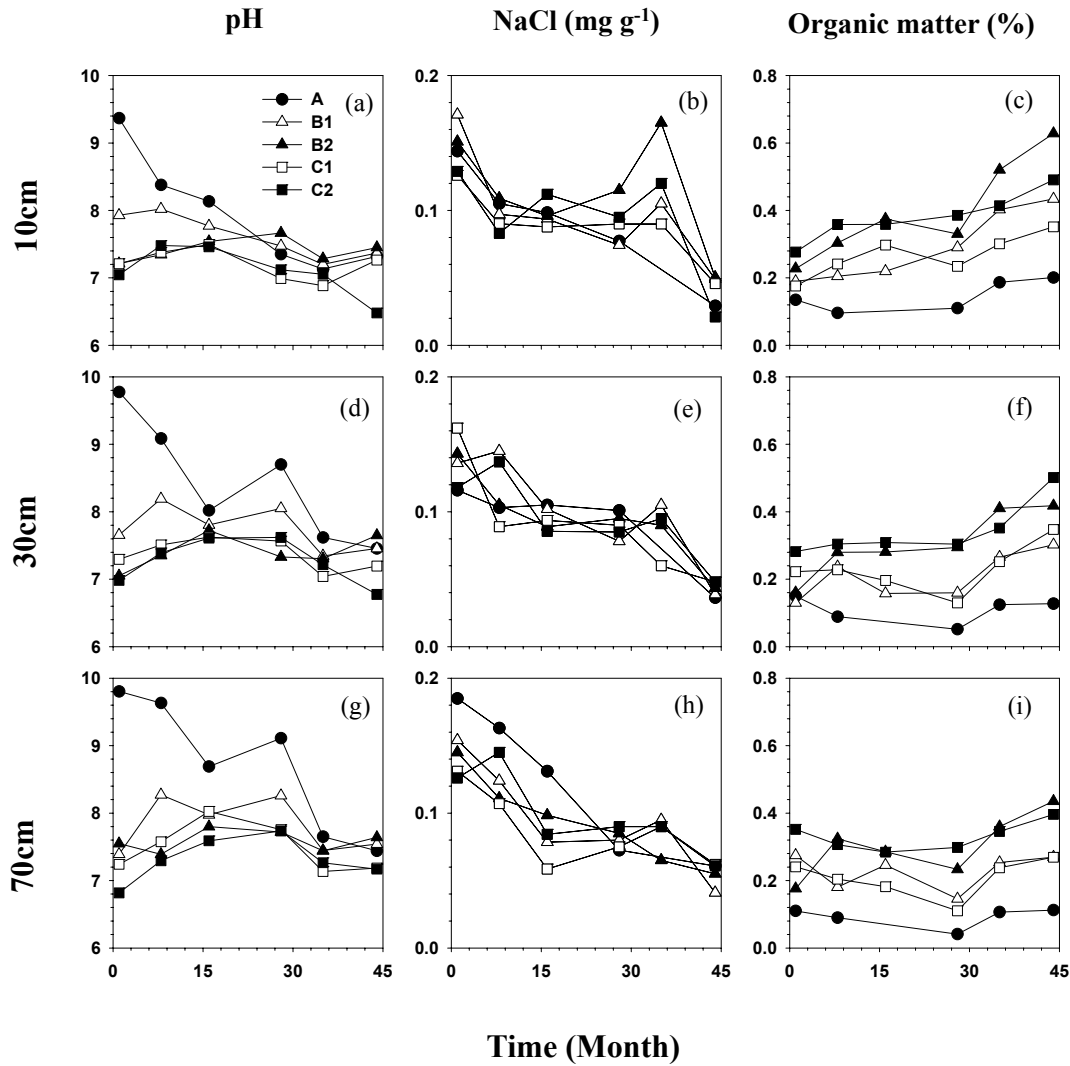


Fig. 2. Changes in the average soil pH (a, d, and g), amount of NaCl in soil (b, e, and h), and soil organic matter (c, f, and i) within depth of 70 cm (A: control, B1: 1/2 soil conditioner, B2: soil conditioner, C1: forest soil + 1/2 soil conditioner, C2: forest soil + soil conditioner).

내 산림토양 pH인 5.5 (Korea Forest Research Institute, 2005)와 비교하였을 때 비교적 높지만, 알칼리성 토양에서 생육 가능한 수종을 식재하기에는 적합한 범위로 판단된다.

토양 염분 농도의 경우 시험지 조성 직후 깊이 10 cm에서 0.13–0.14 mg g⁻¹, 30 cm에서 0.12–0.16 mg g⁻¹, 70 cm에서 0.13–0.18 mg g⁻¹로 나타났다 (Fig. 2(b), (e), (h)). 연구 초기 70 cm 깊이에서 무처리구의 염분이 토양 개량 처리구에 비해 높은 수치를 나타내었는데 이는 하층으로부터의 해수 상승에 의한 영향으로 보인다. 염분 함량이 매우 높은 해저준설토를 사용했음에도 시험지 조성 직후의 염분이 대체적으로 낮은 것은 준설 후 시공되기 전까지 상당기간 강우에 노출되어 있으면서 염분이 세탈되었기 때문으로 여겨진다 (Jeong et al., 2011; Kim et al., 2013). 깊이별 토양염분의 차이는 크게 나타나지 않았지만 모든 처리구에서 시간 경과에 따라 염분 농도가 감소하는 경향을 보였으며, 44개

월 이후에는 깊이 10 cm에서 0.02–0.05 mg g⁻¹, 30 cm에서 0.04–0.06 mg g⁻¹, 70 cm에서 0.04–0.06 mg g⁻¹로 일반적인 수목의 내염한계치인 0.5 mg g⁻¹ (Jeong et al., 2010)미만을 나타내었다. 시간 경과에 따른 염분 농도 감소는 강우에 의한 염분 세탈에 의한 것으로 판단된다 (Jeong et al., 2011).

한편, 시험지 조성 초기 토양 유기물 농도는 10 cm 깊이에서 0.14–0.28%, 30 cm 깊이에서 0.13–0.28%, 70 cm 깊이에서 0.11–0.35%로 깊이별 토양 유기물 농도의 차이는 보이지 않았다 (Fig. 2(c), (f), (i)). 무처리구의 토양 유기물은 모든 깊이에서 연구기간 동안 토양 개량 처리구들에 비해 낮았으며 큰 변화가 나타나지 않았다. 그러나 토양 개량 처리구에서는 시간이 지남에 따라 유기물이 증가하는 경향이 관측되었으며, 44개월 후 개량제 반량 처리구와 표준량 처리구에서의 토양 유기물 농도는 각각 10 cm 깊이에서 0.35–

0.43%, 0.49–0.63%, 30 cm 깊이에서 0.30–0.35%, 0.44–0.50%, 70 cm 깊이에서 0.27–0.28%, 0.40–0.44%로 개량제를 표준량 넣은 시험구의 토양 유기물 농도가 개량제를 반량 넣은 시험구의 토양 유기물 농도보다 높았다. 이는 개량제에 부식 등 토양 유기물원이 많이 함유되었기 때문이다.

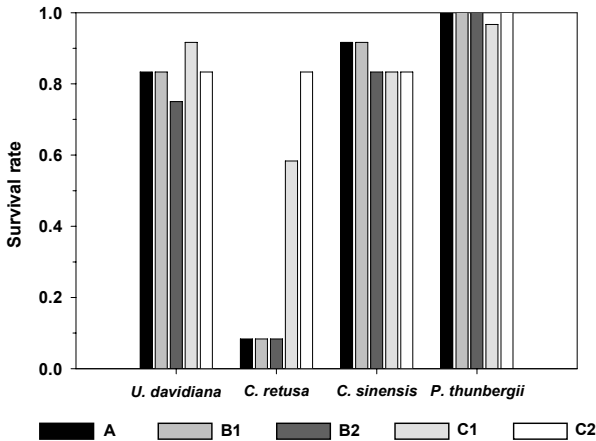


Fig. 3. Survival rate of *Ulmus davidiana* var. *japonica*, *Chionanthus retusa*, *Celtis sinensis*, and *Pinus thunbergii* in 36 months (A: control, B1: 1/2 soil conditioner, B2: soil conditioner, C1: forest soil + 1/2 soil conditioner, C2: forest soil + soil conditioner).

수목 생존율 식재 36개월 후, 각 수종의 준설토 개량 처리에 따른 생존율은 수종마다 달라 느릅나무 75–92%, 이팝나무 8–83%, 팽나무 83–92%, 곰솔 97–100%로 곰솔의 생존율이 가장 높은 것으로 나타났다 (Fig. 3). 느릅나무, 팽나무, 곰솔은 준설토 개량 방법별 생존율이 크게 차이를 보이지 않았다. 그러나 이팝나무의 경우 무처리 또는 개량제만 처리했을 때의 생존율은 8%로 매우 낮은 반면, 개량제와 산지채취토를 함께 처리했을 때의 생존율은 그보다 7–10배 높게 나타났다. 산지채취토를 처리한 시험구에서 이팝나무 생존율이 높게 나타난 이유는 토양 유기물의 농도와 관련이 있을 것으로 여겨지며, Lee et al. (2006)의 연구에서도 유기물의 양이 많을 경우 이팝나무 묘목의 활착이 원활한 것으로 보고되었다. 수목 생존율에 대한 조사결과 준설토 위에 느릅나무, 팽나무, 곰솔 식재 시 외부로부터 별도의 산지채취토를 도입하지 않아도 생존율에는 큰 변화가 없을 것으로 여겨지지만, 이팝나무를 식재할 경우에는 산지채취토를 혼합하면 생존율이 증가할 수 있을 것이라고 판단된다.

수목성장 36개월 이후 무처리구, 개량제 표준량 처리구, 개량제 반량 처리구, 산지채취토 및 개량제 표준량 처리구, 산지채취토 및 개량제 반량 처리구에서의 수고는 느릅나무의 경우 64.6 cm, 152.0 cm, 145.0 cm, 173.1 cm, 160.8

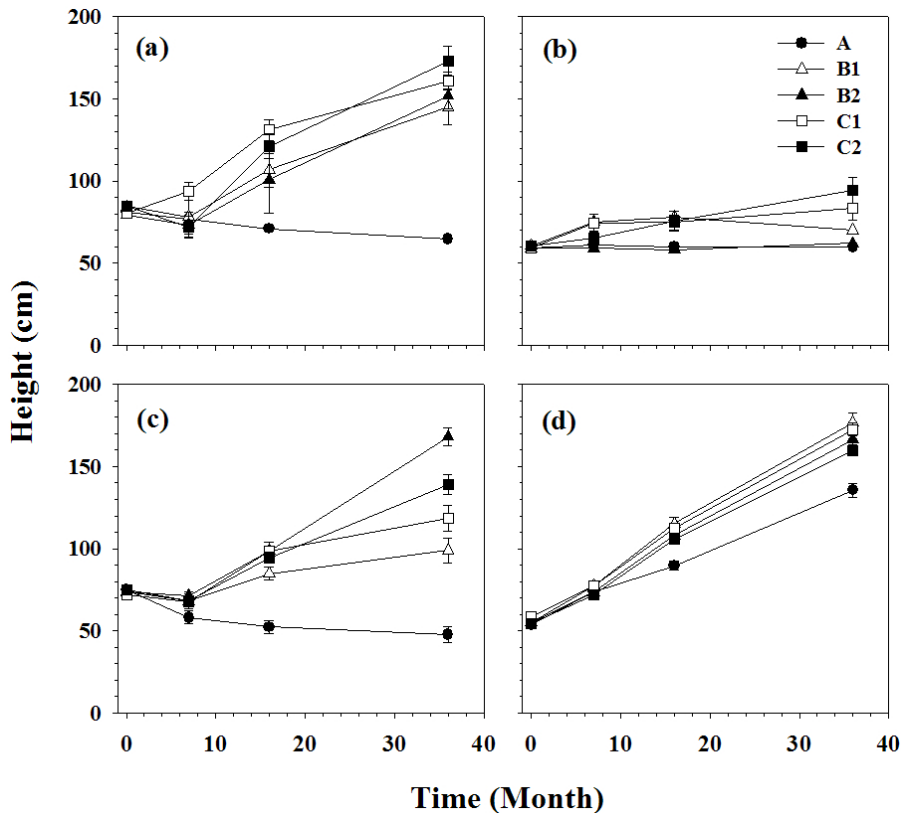


Fig. 4. Height of *Ulmus davidiana* var. *japonica* (a), *Chionanthus retusa* (b), *Celtis sinensis* (c), and *Pinus thunbergii* (d). Error bars indicate standard error (A: control, B1: 1/2 soil conditioner, B2: soil conditioner, C1: forest soil + 1/2 soil conditioner, C2: forest soil + soil conditioner).

cm, 이팝나무 60.0 cm, 70.0 cm, 62.0 cm, 83.7 cm, 94.3 cm였고, 팽나무 47.6 cm, 168.2 cm, 99.0 cm, 139.0 cm, 118.4 cm로 나타났으며, 곰솔 135.6 cm, 166.5 cm, 176.5 cm, 159.8 cm, 172.5 cm로 각각 나타났다 (Fig. 4). 이팝나무를 제외하고 모든 수종에서 토양 개량 처리를 하였을 때의 수고가 무처리구에서의 수고에 비하여 유의적으로 높았다 (느릅나무: 2.2-2.7배, 팽나무: 2.1-3.5배, 곰솔: 1.2-1.3배). 이팝나무와 팽나무의 경우 준설토 개량 처리 방법별로 수고 생장이 유의적으로 다르게 나타났는데, 팽나무는 개량제를 표준량 처리할 경우 개량제를 반량 처리했을 때에 비해 수고 생장이 활발하였으며, 이팝나무는 개량제 및 산지채취토를 처리하였을 때 개량제만 처리했을 때에 비해 수고 생장이 우수하였다. 이는 이팝나무의 생존율이 개량제 및 산지채취토 처리구에서만 높게 나타난 경향과도 유사하였다. 느릅나무와 곰솔에서는 토양 개량 방법별 수고의 차이는 크게 나타나지 않았다. 한편 느릅나무와 팽나무 경우 무처리구에서 36개월 후 평균 수고가 식재 시기의 평균 수고보다 오히려 감소하였다. 느릅나무와 팽나무 개체에서 초두부가 고사하여 절단된 경우가 많았는데, 이로 인해 평균 수고가 감소한 것으로 판단된다. 그러나 곰솔은 무처리구에서도 다른 수종들에 비해 비교적 생장이 잘 이루어졌다.

토양의 개량과 수목 생육과의 관계 이팝나무를 제외하고는 토양을 개량하지 않았을 때와 개량하였을 때의 생존율은 크게 차이가 나지 않았다. 그러나 수고 생장은 토양을 개량하였을 때 토양을 개량하지 않았을 때에 비해 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 본 연구에서의 토양 환경 변화 결과를 고려하였을 때 pH와 유기물의 차이에 의한 것으로 보인다. 무처리구에서는 시험지 조성 이후 약 28개월에 이르기까지 pH가 토양 개량 처리구에 비해 높게 유지되었으며, 이러한 강알칼리 조건에서 모목들의 정상적인 생육이 저해되었을 것으로 여겨진다. 또한 토양 유기물은 식물 생장에 필요한 양분의 함량을 나타내는 동시에 토양 미생물의 양과 상관관계가 있으며, 토양 미생물은 토양 입단화를 촉진시켜 투수성 및 통기성을 향상시키고, 낙엽이나 고사 잔뿌리 등의 분해에 관여하며 토양으로의 유기성 물질 공급을 원활하게 한다고 알려져 있다 (Forster, 1990; Park et al., 2012; Six et al., 2004). 따라서 토양 개량 처리구에서는 개량제에 포함된 다량의 유기물에 의해 식생 생육의 증진과 토양 유기물의 증가 현상이 나타난 반면 무처리구에서는 이러한 현상이 나타나지 않은 것으로 판단된다. 따라서 해저준설토 위에 빠르게 수목생육기반을 조성하기 위해서는 개량제 사용이 필요할 것으로 여겨진다. 한편 곰솔을 이용하여 수립대를 조성할 경우에는 별도의 준설토 개량처리 없이도 개량하였을 때와 큰 차이 없이 수목을 생장시킬 수 있어 경제적인 뿐만 아니라 신속한 수립대 조성이 가능

할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 토양 개량 효과 및 이로 인한 수목 생육의 차이를 토양의 pH, 염분 및 유기물의 농도 변화를 통해 비교하였다. 그러나 수목의 생육에 있어 N, P, K와 같은 양분의 변화도 중요하며, 특히 준설토의 경우 양분 함량이 매우 적은 척박한 토양이므로 pH, 염분 및 유기물 농도만으로 수목 생육 차이의 원인을 파악하기에는 한계가 있을 수 있다.

Conclusions

해저 준설토에 대한 토양 개량을 수행하였을 경우 토양 pH는 모든 깊이에서 무처리구에 비해 초기부터 낮은 경향을 나타내었지만, 시간이 경과하면서 무처리구의 pH는 낮아져 토양 개량 처리구와 비슷한 수준으로 유지되었다. 토양 염분 농도는 심토를 제외하고는 무처리구와 개량처리구에서 큰 차이가 없었으며, 심토의 경우에도 초기에는 무처리구에서의 염분 농도가 높았지만 일정 기간이 지난 후에는 무처리구와 개량처리구에서 거의 비슷한 농도를 보였다. 토양 유기물 농도는 개량 처리구에서 무처리구에 비해 높았으며 개량제 표준량 처리구 > 개량제 반량 처리구 > 무처리구 순으로 유기물 농도가 높았다. 한편 대부분의 수종은 토양 개량 여부와 상관없이 식재 36개월 이후 생존율이 양호하였지만, 이팝나무는 개량제 및 산지채취토 처리구를 제외하고는 생존율이 낮았다. 또한 모든 수종에서 준설토 개량처리를 하였을 경우 준설토 개량처리를 하지 않았을 경우에 비하여 수고 생장이 뛰어났으며, 곰솔은 준설토 개량 처리구와 미처리구에서의 수고 생장량 차이가 적었다. 따라서 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 1) 해저 준설토 환경에 수목 생육기반을 빠르게 조성하기 위해서는 준설토 개량이 필수적인 것이며 2) 또한 곰솔을 이용하여 수립대를 조성할 경우 준설토 개량에 필요한 추가적인 비용을 들이지 않아도 준설토 개량 시와 비슷한 결과를 얻을 수 있을 것이라 판단된다. 향후 지속적인 모니터링 및 기후조건에 따른 염분 농도 변화 파악 등 장기적이면서도 보다 세부적인 연구가 수행된다면 해저 준설토 조건에서의 수목 생육 기반 조성 및 관리에 효과적인 자료를 획득할 수 있을 것이라 사료된다.

References

- Cantré, S. and F. Saathoff. 2013. Investigation of dredged materials in combination with geosynthetics used in dike construction. *Procedia Engineering* 57:213-221.
- Choi, M.B. 2003. Selection of tolerant tree species to salt and sea wind. *The Journal of Korean Institute of Forest Recreation* 7: 57-66.
- Denny, F.E. 1927. Field method for determining the saltiness of

- brackish water. *Ecology* 8:106-112.
- Forster, S.M. 1990. The role of microorganisms in aggregate formation and soil stabilization: Types of aggregation. *Arid Soil Res. Rehab.* 4:85-98.
- Han, S.G., H.J. Kim, J.A. Song, and D.Y. Chung. 2011. Fate of nitrogen influenced by circumstances of a reclaimed tidal soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:745-751.
- Jeong, Y.H., J.H. Lim, I.K. Lee, J.H. Kim, H.S. Kim, and K.W. Seo. 2010. Development of vegetation base to promote tree growth in dredged sediment using soil conditioner- Impressive view the soil conditioner in Saemankum on the slope of sea dike. *Proceedings of the J. Korean For. Soc.* p. 385 (Abstr.).
- Jeong, Y.H., I.K. Lee, K.W. Seo, J.H. Lim, J.H. Kim, and M.H. Shin. 2011. Soil surface fixation by direct sowing of *Zoysia japonica* with soil improvement on the dredged soil slope. *J. Korean Env. Res. Tech.* 14:1-10.
- Kim, D.G. 2010a. Soil salinity and salt spray drift tolerance of native trees on the coastal windbreaks in the south-sea, Korea. *Kor. J. Env. Eco.* 24:14-25.
- Kim, D.G. 2010b. Native tree species of tolerance to saline soil and salt spray drift at the coastal forest in the west-sea, Korea. *Kor. J. Env. Eco.* 24:209-221.
- Kim, S., J.H. Jeong, W.Y. Choi, J.H. Lee, K.B. Lee, and I.B. Im. 2013. Change of vegetation characteristics and soil chemical properties at Saemangeum reclaimed land in Korea. *Weed Turf. Sci.* 2:260-266.
- Korea Forest Research Institute. 2005. Forest soil profiles in Korea. p. 143.
- Lee, S.W., J.H. Choi, S.K. Kim, J.H. Bae, and H.S. Kyo. 2006. Effect of raw material properties on growth characteristics of broad-leaved container seedlings. *J. Bio-Env. Cont.* 15: 244-249.
- Niknam, S. R. and J. McComb. 2000. Salt tolerance screening of selected Australian woody species — a review. *Forest Ecol. Manag.* 139:1-19.
- Park, C.W., S. Ko, T.K. Yoon, S. Han, K. Yi, W. Jo, L. Jin, S.J. Lee, N.J. Noh, H. Chung, and Y. Son. 2012. Differences in soil aggregate, microbial biomass carbon concentration, and soil carbon between *Pinus rigida* and *Larix kaempferi* plantations in Yangpyeong, central Korea. *Forest Sci. Tech.* 8:38-46.
- Park, H.S., S.S. Lee, and S.C. Lee. 2003. Physiological characteristics and death rate of planted trees in reclaimed seaside areas. *J. Korean Inst. Landsc. Archit.* 31:94-101.
- Rural Development Administration. 2010. Methods of soil chemical analysis. p. 319.
- Six, J., H. Bossuyt, S. Degryze, and K. Denef. 2004. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Till. Res.* 79:7-31.