Journal of Environmental Science International
28(8); 655~667; August 2019

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
https://doi.org/10.5322/JESI.2019.28.8.655

ORIGINAL ARTICLE

현장발생토 활용 식재기반 조성유형별 소나무 생육 특성 평가

오득균 · 김필립[1] · 윤용한 · 김원태[2]*

건국대학교 녹색환경시스템전공, [1]산림조합중앙회 산림자원조사본부, [2]연암대학교 환경조경전공

Growth Characteristic of *Pinus densiflora* by Soil Generated at Civil Works Site

Deuk-Kyun Oh, Phil-Lip Kim[1], Yong-Han Yoon, Won-Tae Kim[2]*

Department of Green Environment System, Konkuk University, Chungju 27478, Korea

[1]Division of Forest resources research, National forestry cooperative federation, Daejeon 05601, Korea

[2]Department of Environment and Landscape Architecture, Yonam College, Cheonan 31005, Korea

Abstract

This research aims to identify the possibility of developing A horizon resources that can be used for construction and civil engineering work. As such, the utility of A horizon resources was examined by establishing planting ground through a mixture of soil layers and by analyzing the growth and development of Pinus densiflora. The physicochemical and physical properties of the soil were as follows: the A horizon was sandy clay loam, B horizon was sandy loam, and the mixture of two layers appeared as sandy loam, which was identical to the B horizon. The experimental groups did not show any significant difference in their physical properties of porosity and degree of water-stable aggregates. With regards to chemical properties, the A horizon as well as the mixture of A and B horizon showed acidity while the B horizon showed alkalinity. The figures of organic matter, total nitrogen, available phosphate, and replaceable potassium were greater as the A horizon content increased, whereas the figures of replaceable calcium, replaceable magnesium, and conductivity increased as the A horizon content decreased. As a result of the growth and development of Pinus densiflora in each planting ground, the final survival rates were all above 100%. However, the tree height and the rate of growth for the diameter of root were higher in the order of A horizon > A horizon + B horizon > B horizon,indicating that the increased A horizon content is related to the growth and development of Pinus densiflora. The treatment of soil with improvement agents, used to recover the functions of in-situ soil showing poor growth and development, did not have a clear impact on the soil texture and porosity. However, the degree of water-stable aggregates increased significantly when using O horizon as the soil improvement agent among the types of in-situ soil. In contrast, all items related to the chemical properties showed significant differences following the treatment by soil improvement agents. The survival rate according to the treatment of soil improvement agents for the growth and development of Pinus densiflora was higher in the order of organic horizon = no treatment > compound fertilizer > organic fertilizer + compound fertilizer > organic fertilizer; this result was statistically significant with a marginal significance value of the log-rank test($p < 0.05$).

Key words : Topsoil, Soil horizon, A horizon, Soil layers, Soil loss

Received 20 May, 2019; **Revised** 17 July, 2019;
Accepted 5 August, 2019

***Corresponding author**: Won-Tae Kim, Department of Environment and Landscape Architecture, Yonam College, Cheonan 31005, Korea
Phone: +82-41-580-1171
E-mail: midori66@hanmail.net

ⓒ The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

토양은 모암이 풍화작용을 받아 동식물의 유체가 혼합되어 기후, 지형, 생물 등의 작용을 받아 변화되어 특정한 층위의 단면형태를 이루는 자연체를 말한다. 이러한 토양은 인간생활에 기반으로서의 역할을 수행하며, 오염물질 정화, 수자원저수, 대기정화, 대기냉각, 수질정화 기능을 수행한다. 이에 우리나라의 전체 토양의 직접사용가치는 3,277조 원, 간접사용가치는 51.8조 원으로 추산되고 있다(Park and Yoo, 2016).

토양은 층위마다 고유의 특성을 가지고 있는데, 그 중 표토는 토양단면 중 유기물이 매우 많고 미생물의 활동이 활발한 O층과 A층을 포함하는 표층에 있는 토양을 일컫는 말이다. 이러한 표토는 농업과 환경, 식물의 생육에 필수적인 역할을 담당하며, 토양품질에 지대한 영향을 미친다. 반면 표토의 생성은 1 cm 두께의 양이 생성되는데 200여 년이 걸릴 만큼 생성속도가 매우 느리기 때문에, 토양자원 중 가장 중요한 자원이라고 할 수 있다(Ministry of Environment, 2010; Yang, 2016).

이러한 표토는 다양한 원인에 의하여 유실되는데 대표적으로 자연적 요인과 인위적 요인으로 구분할 수 있다. 자연적 요인으로는 바람, 강우, 자연재해 등에 의한 유실이며, 인위적 요인으로는 농업의 토양 경운에 의한 유실, 도시화로 인한 개발 등으로 인해 일어난다. 전국 표토침식량 예비조사에 따르면 우리나라의 한 해 침식으로 인한 토양유실량은 국토의 30% 이상에서 33 ton/ha로 추산되고 있으며, 자연요인에 의한 유실과 경작지 행위에 의해 일어나는 인위적 요인이 많은 영향을 주고 있는 것으로 파악되고 있다. 이에 대한 대응으로 토양유실량을 줄이기 위하여 등고선재배 등 보전농법이 제시되고, 환경부는 수질 비점오염원 저감 관점에서 흙탕물저감사업, 농림부에서는 농업 생산성 유지관점의 밭 기반 정비사업 및 토양유실 및 토양양분 유출연구, 산림청의 경우 산림자원 보전을 위한 임도 관리강화, 토석 채취 제한 등의 연구와 사업이 시행되고 있다. 또한 관계부처 협의로 제2차 비점오염원 관리 종합대책을 수립하여 표토를 일부 관리항목으로 설정하고 있다(Yang, 2016).

반면 인위적 요인 중 도시화 및 개발로 인한 토양유실은 연간 개발 사업지 표토의 10%가 유실되고 있는 것으로 추정하고 있으나, 구체적인 유실량은 파악되어 않은 실정이다. 또한 개발 사업 때 표토유실 관리를 위하여 표토 수집, 보관, 재활용에 대한 가이드라인을 환경부에서 제공하고 있으나 대규모 개발사업에 한하여 적용하고 있다. 다만, 의무제가 아니기 때문에 각종 개발현장에서는 공사 중 발생하는 유용자원인 표토를 제대로 활용하지 못하고, 시설물 · 구조물의 기반재로 사용하거나 또는 폐기처분 하고 있다(Kim et al., 2012a). 이렇게 공사 중 발생하는 표토의 폐기행태로 인하여 토양환경의 악화가 야기되고, 조경 식재공사 때 별도로 식재 기반을 조성해야 하므로 경제적인 문제 또한 발생하는 이중적인 문제가 발생하고 있다(Kim et al, 2014). 이에 따라 환경부에서는 2013년 '표토보전 종합계획'을 수립하여 표토를 자원적 측면에서 수집, 보전 및 재활용계획을 환경영향평가를 통해 평가하여 표토의 보전을 강화하는 방안을 제시하고 있다(Shin, 2015).

표토의 중요성은 일찍이 인식되어 다양한 연구가 진행되었는데, 환경부의 표토보전 종합계획이 수립된 2013년을 전후로 연구의 방향성이 상이하다. 2013년 이전의 연구들은 표토를 독립된 자원으로 인지하고 활용가능성을 모색하는 연구들로, 표토자원의 활용가능성을 검증하고 개발현장 등에서 발생하는 표토가 활용되는 현황에 대한 분석연구가 주를 이루었다(Kim and Lee, 2007; Kim et al. 2012; Kim et al., 2012a; Kim et al., 2012b; Cho et al., 2013). 반면 2013년 이후의 연구들은 표토의 자원으로서의 활용가치를 실제적으로 검증하고 표토의 수집 이용에 관한 기준을 정립하기 위하여 수행되었는데, 우리나라의 표토 보전을 위한 표토활용 및 관리 현황 및 가이드라인 제공, 식물 식재공사에 표토를 활용하기 위한 효용성 검증연구(Shin, 2013; Kim et al., 2014; Yang, 2016; Kang et al., 2017)가 대표적이었다.

이렇게 표토의 자원화 및 활용을 위한 기초연구는 다양하게 수행되었다. 그러나 대부분 현재 우리나라에서 표토의 이용 및 관리 실태에 대해 조사 분석한 연구가 주를 이루고 있다. 일부 표토의 이화학성에 관한 연구 및 식물의 생육반응에 대한 연구(Kang et al., 2017)가 수행되었으나, 대규모 공사지에 적용한 연구였다. 식물의 생육에는 매우 다양한 요인이 영향을 미치는데 이러한 연구는 연구대상지가 매우 넓어 각각의 요인을 정확하게 통제하였다고 가정하는 데에는 한계가 있는 것으로 사료되었다. 또한 일부 식물의 흉고직경을 비교하여 표토 사용

Table 1. Experimental composition method of soil

Division	Protocol
control	A Horizon 100%
AB	A Horizon 50% + B Horizon 50%
B	B Horizon 100%
ABC	A Horizon 50% +B Horizon 50% + Complex fertilizer(6 g)
BC	B Horizon 100% + Complex fertilizer(6 g)
ABD	A Horizon 50% + B Horizon 50% + Organic fertilizer(1 kg)
BD	B Horizon 100% + Organic fertilizer(1 kg)
ABCD	A Horizon 50% + B Horizon 50% + Organic fertilizer(1 kg)+Complex fertilizer(6 g)
BCD	B Horizon 100% + Organic fertilizer(1 kg) + Complex fertilizer(6 g)
ABO	A Horizon 50% + B Horizon 50% + O Horizon(1 kg)
BO	B Horizon 100% + O Horizon(1 kg)

Table 2. Initial experimental composition specification of *Pinus densiflora*

Division	Size	Standard error
Height(cm)	52.000	1.4835
Diameter(mm)	9.7542	0.3631

으로 인한 식물 생장량을 분석하였으나 미세한 생육반응에 대한 결과는 알 수 없었다. 이에 본 연구는 각종 건설현장에서 발생하는 현장발생토를 표토와 심토로 구분하고 식물을 식재하여 일정하게 통제된 환경에서 식물의 생육반응을 분석함으로써 표토자원의 활용 의무화에 대한 기초자료로 활용하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료 및 실험구 조성

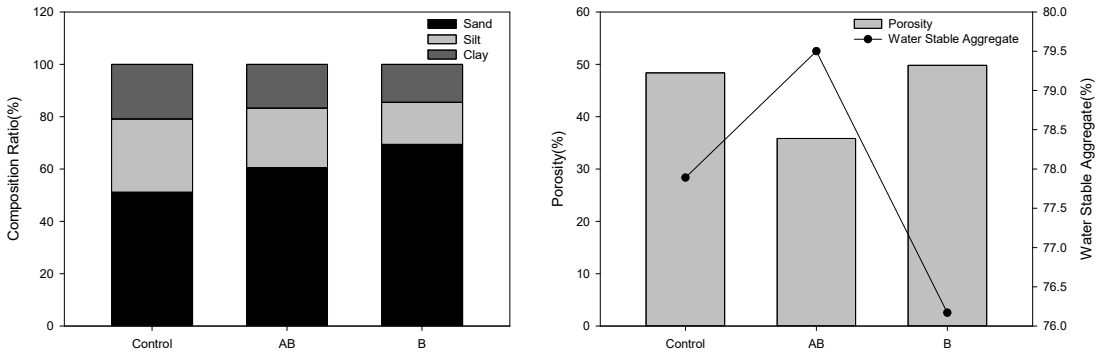
연구에 사용된 공시식물은 척박한 토양에도 양호한 생육을 나타내는 소나무(*Pinus densiflora*)를 선정하였다. 연구를 진행하기 앞서 토양은 식물의 타감작용 물질의 전이체 역할을 수행한다(Kim et al., 2012). 이에 따라 공시토양은 건국대학교 글로컬 캠퍼스 소재의 야산 소나무 군락 토양을 대상으로 하였다. 토양 채취에 앞서 토양단면 조사를 실시하였으며, 조사결과에 따라 유기물층(O층, 표면에서 2 cm 깊이까지), 표토층(A층, 표면에서 27 cm 깊이까지), 집적층(B층, 표면에서 27 cm 깊이 이상)으로 분류하여 채취하였다.

이후 채취된 토양을 4 kg 기준으로 표토 100%(이하 대조군)를 대조구로 설정하고, 표토 50%+심토 50%(이하 AB)와 심토 100%(이하 B)를 기준 실험구로 설정하였다. 또한 심토 처리구의 경우 식물의 생육불량이 예상되므로, 적정한 토양개량 방법에 대해 알아보기 위하여 기준 실험구(AB, B)에 유기질비료 1 kg(이하 ABC, BC), 복합비료 6 g(이하 ABD, BD), 유기질 1 kg+복합비료 6 g(이하 ABCD, BCD), 유기물층 처리 1 kg(이하 ABO, BO) 등 4가지의 토양개량제 처리를 적용하였다. 이에 따라 총 11개의 유형을 3반복으로 실시하여 총 33개의 실험구를 조성하였다(Table 1). 이상 조성된 토양을 직경 190 mm, 높이 200 mm 플라스틱 4 L포트에 각각 4 kg 충진하고 토양재료 채취지점과 동일한 수종 소나무(*Pinus densiflora*) 2년생을 1주씩 식재하였으며, 실험구 조성 초기 소나무의 평균 규격은 Table 2와 같다. 이후 원활한 활착을 위하여 온실 내부에 2주간 비치하고 이후 일반 노지에 배치하였다.

2.2. 조사·분석 방법

2.2.1. 조사 방법

본 연구는 충청북도 충주시 단월동에 위치한 건국대학교 글로컬캠퍼스 녹색기술융합학과 전공실습장에서



a; Soil texture b; Porosity and water stable aggregate

Fig. 1. Physical properties of soil type(n=3).

실시하였으며, 2015년 4월에 실험구를 조성하여 10월까지 31주 간 생육변화를 측정하고 분석하였다.

토양환경 측정 항목으로는 입경분석에 의한 토성, 토양산도(이하 pH), 전질소, 유효인산, 유기물함량, 양이온교환용량, 칼륨, 칼슘, 마그네슘함량, 전기전도도(EC)로 설정하여 한국임업진흥원에 토양분석을 의뢰하여 분석을 실시하였다. 또한 실험초기 Core법을 활용하여 실험구 유형별 토양3상을 분석하였으며, 내수성입단율 측정기(wet sieving apparatus, Eijkelkamp, Netherlands)를 통하여 실험구별 내수성입단율을 분석하였다.

소나무 생육반응 측정항목으로는 생육정도를 정량적으로 표현할 수 있는 생존율과 수고, 근원직경으로 선정하였다. 수고 측정은 근원부 시작점에서 초두부까지의 직선길이로 정의하였으며, 실험구 조성일을 기점으로 4주 간격으로 측정하였다. 근원직경의 경우 실험구 토양으로부터 2 cm 높이의 수목직경을 측정지점으로 정의하였으며, 근원직경은 생장이 빠르지 않으므로 8주에 1회 측정을 진행하고 기록하였다. 생존율의 경우 1주 간격으로 실험포지에 목측을 통하여 소나무의 생존여부 조사하였다.

2.2.2. 분석 방법

실험구별 식재기반 이화학적 특성을 비교 분석하여 표토 및 토양개량제 처리가 토양환경에 미치는 영향에 대해 분석하고 식물의 생육반응 차이를 검증하기 위하여 통계분석을 실시하였다. 토양환경 분석은 기술통계분석을 통한 상호 비교분석을 실시하였다. 식물의 생육변화 분석은 기술통계분석을 통한 비교분석 외에 시간변화에 따른 식물의 수고 및 근원직경 변화를 검정하고 분석하기 위하여 반복측정 분산분석을 실시하였다. 또한 반복측정 분산분석 결과가 통계적으로 유의할 경우 각 시점별, 유형별 차이를 검정하기 위하여 Duncan's multiple rage test를 활용하여 사후검정을 실시하였다. 또한 Kaplan-Meier분석을 통해 식물의 누적생존율을 분석하고 시점별 생존율의 통계적인 차이를 검정하기 위하여 Log Rank Test를 적용하였다. 한편, 모든 통계분석은 자연과학연구에서 통상적으로 인정되는 유의확률 5%를 적용하였다($P < 0.05$).

3. 결과 및 고찰

3.1. 현장발생토 활용 식재기반 조성유형별 토양 이화학적 특성

3.1.1. 식재기반 조성유형별 토양 물리적 특성

식재기반 조성유형별 토성은 표토 100% 사용한 대조군은 사질식양토인 것으로 분석되었으며 AB, B 실험구의 토성은 사질양토인 것으로 나타났다. 대조군은 다른 실험구에 비하여 모래의 함량이 상대적으로 낮았으며, 그에 반해 미사와 점토의 비율이 높은 것으로 나타났다(Fig. 1a). 이는 표토의 위치적 특성상 토양의 표면에 위치하며 다양한 풍화작용을 심토에 비해 더 많이 받기 때문인 것으로 예상되었다. AB실험구의 경우 표토와 심토를 각각 50%를 혼합한 형태로 입경분포에 있어 수치적

Table 3. Chemical characteristics of soil treatment according to landscape design standards(n=3)

Division		Control		AB		B	
		Value	Index	Value	Index	Value	Index
pH		5.1	Lower	5.5	intermediate	8.1	Faulty
Organic matter(%)		2.86	Lower	1.99	Lower	0.32	Lower
Total nitrogen(mg/kg)		0.164	Upper	0.124	Upper	0.038	Lower
Available phosphate(mg/kg)		41	Lower	30	Lower	27	Lower
C.E.C.($cmol_c$/kg)		14.08	intermediate	11.55	intermediate	10.86	intermediate
Exchangeable Cation($cmol_c$/kg)	K^+	0.22	Lower	0.16	Lower	0.09	Lower
	Ca^{2+}	1.08	Lower	4.41	intermediate	6.59	Upper
	Mg^{2+}	0.4	Lower	0.93	Lower	1	intermediate
Electrical conductivity(ds/m)		0.32	intermediate	0.65	intermediate	0.62	intermediate

으로는 두 실험구의 중간정도의 수치를 보이고 있으나, 실제 토성은 심토에 더 가까운 것으로 분석되었다. 이를 통하여 현장에서 표토와 심토를 구분하지 않고 일괄적으로 채취할 경우 각각의 토양층위가 가지고 있는 고유의 토성이 훼손될 수 있을 것으로 판단되었다.

대조군, B의 공극률은 48.38%, 49.79%로 AB에 비하여 상대적으로 높은 것으로 분석되었다. 반면 내수성 입단율은 표토와 심토를 혼합한 실험구인 AB에서 79.5%로 가장 높은 것으로 나타났는데, 이는 토양이 혼합되며 입경이 다른 각각의 토양입자에 의해 공극이 상대적으로 감소하였으나, 내수성입단율은 표토의 영향을 받아 증가한 것으로 예상되었다(Fig. 1b).

3.1.2. 식재기반 조성유형별 토양 화학적 특성

실험구 조성유형별 토양 화학성 분석 결과, 조경설계기준(KILA, 2016)을 기준으로 전질소량을 제외한 대부분의 측정항복이 중급 이하를 나타내었으며, 전질소량에서 대조군과 AB는 상급인 것으로 분석되었다(Table 3).

실험구별 비교 분석결과, pH를 살펴보면 표토만 사용된 실험구 대조군과 표토가 혼합된 실험구 AB에서는 산성을 나타내었으며, 심토만 사용된 B는 알칼리성을 나타내었다. 유기물함량, 전질소, 유효인산, 양이온교환용량, 치환성 칼륨의 경우 토양이 채취된 층위에 따라 명확한 차이를 나타내었으며, 표면에 가까울수록 상대적으로 높은 수치를 나타내었다. 그러나 치환성 칼슘, 마그네슘의 경우 정반대의 경향을 나타내어 심토에 가까울수록 수치가 높은 것으로 분석되었으며, EC의 경우 뚜렷한 경향을 나타내지는 않았으나, 심토의 배합이 높을수록 대조군에 비해 상대적으로 높은 것으로 분석되었다(Fig. 2).

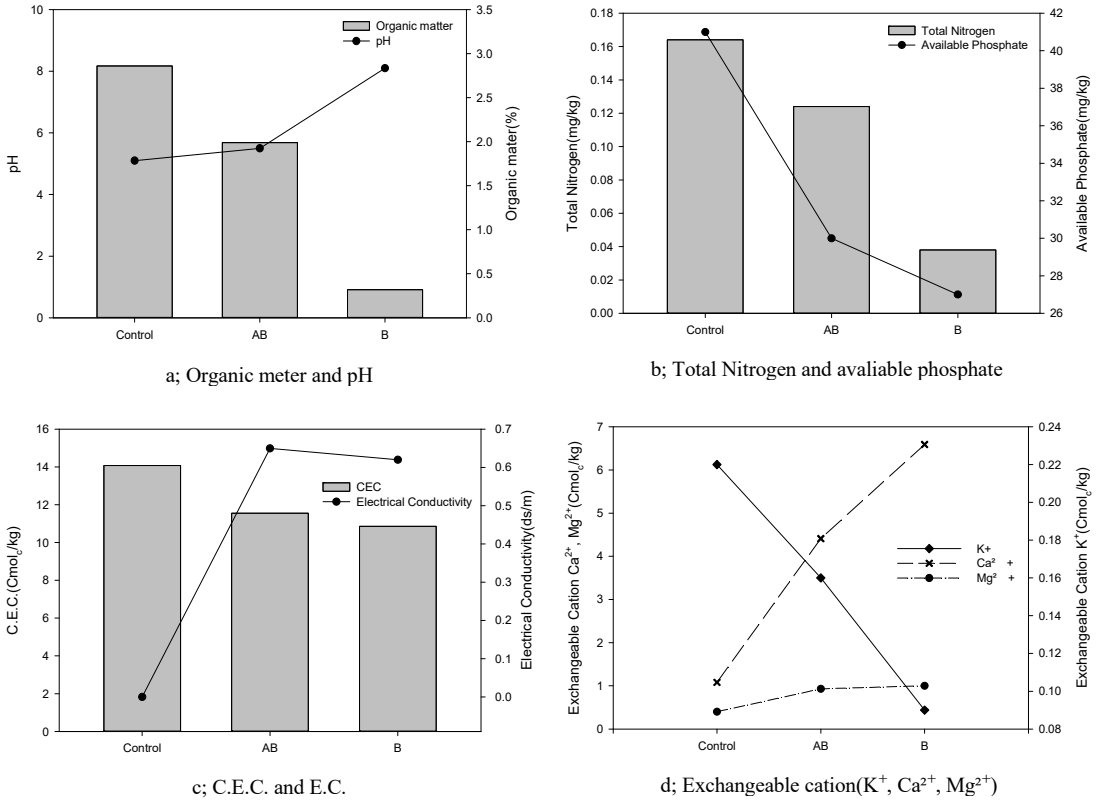
이상의 결과를 토대로 현장에서 토양을 채취할 때 토양층위를 고려하지 않고 채취하게 된다면 토양층위에 따른 고유의 토성을 해칠 수 있으며, 토양의 이화학성 또한 변화할 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 토양층위가 고려되지 않고 채취된 토양은 식재공사에 활용할 때 식물의 생육 및 생존에 영향을 미칠 수 있을 것으로 예상되었다.

3.2. 현장발생토 활용 식재기반 조성유형별 소나무 생육 특성

대조군과 실험구의 생육을 비교 분석하기 위해 소나무의 수고, 근원직경, 생존율 분석결과, 최종생존율은 모두 100%인 것으로 나타났으나, 생육상태는 실험구별로 상이한 것으로 분석되었다.

소나무의 수고는 표토만 사용한 대조군에서 실험기간 31주일 동안 평균 변화율은 0.16±3.47%로 크게 변화하지 않은 것으로 분석되었다. 반면 B의 경우 실험기간 동안 초두부의 고사가 이루어져 평균 -3.97±0.61%로 감소하였으며, AB는 -13.32±13.71%로 감소한 것으로 나타났다. 근원직경은 대조군에서 실험기간 31주일 동안 평균 2.67 mm가 증가하여 변화율은 38.59±8.64%로 부피생장이 이루어진 것으로 나타났다. 그러나 B, AB의 경우 각각 0.99, 0.97 mm가 증가하여 14.96%, 19.85%의 부피생장률로 나타나 대조군에 비하여 상대적으로 낮은 것으로 분석되었다(Fig. 3).

결론적으로 현장발생토 활용 식재기반 조성유형별



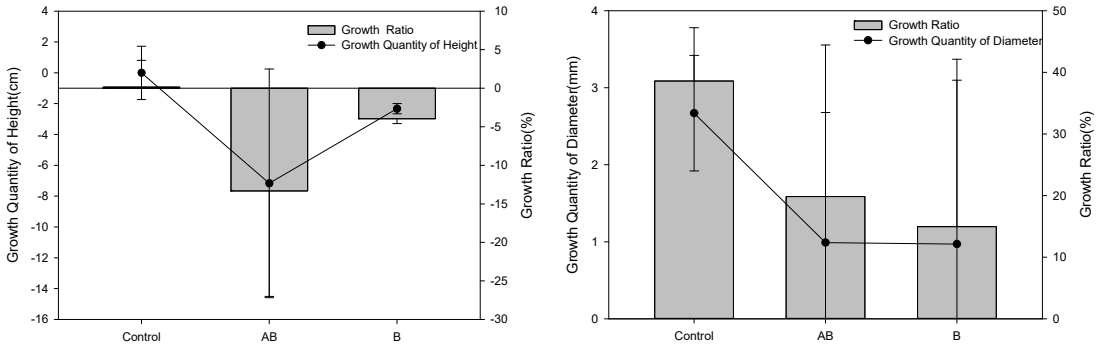
a; Organic meter and pH

b; Total Nitrogen and avaliable phosphate

c; C.E.C. and E.C.

d; Exchangeable cation(K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+})

Fig. 2. Soil chemical properties by soil treatment(n=3).

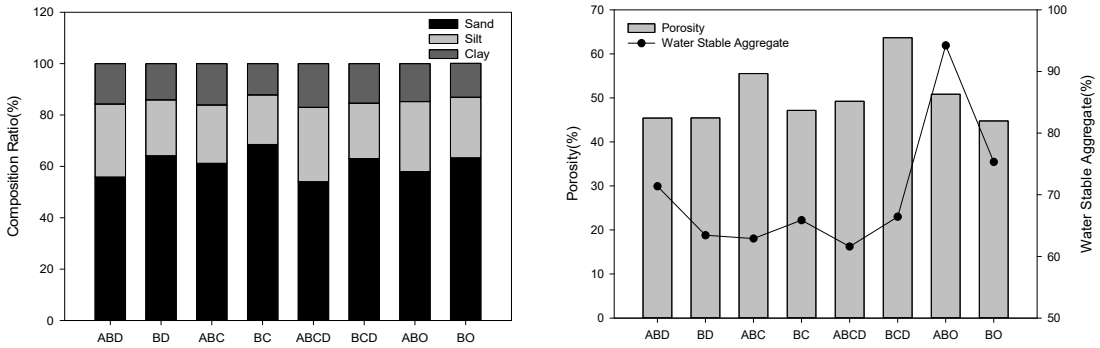


a; Height

b; Diameter of root

Fig. 3. The growth of *Pinus densiflora* by soil treatments(n=3).

소나무 수고 및 부피생육은 표토의 함량이 100%일 때 가장 좋았으나, 심토의 배합비가 늘어나면 생육이 불량해지는 것으로 나타났다. 또한 표토를 다량 포함할수록 소나무의 부피생장률이 더 큰 것으로 나타났다. 이에 따라 표토의 활용이 소나무 생육에 더욱 효과적인 것으로 판단되어 조경식재공사에서 조경식물 하자 저감을 위한



a; Soil texture b; Porosity and water stable aggregate

Fig. 4. Soil physical properties by soil conditioner treatment(n=3).

표토자원 효용을 확인할 수 있었다.

3.3. 현장발생토 기능회복을 위한 토양개량제 처리별 토양 이화학성 변화

3.3.1. 토양개량제 처리별 식재기반 물리성 변화

앞선 결과에 따라 표토와 심토 혼합처리구와 심토 처리구에서 소나무 생육의 불량이 확인되었다. 이에 토양 기능 회복을 위하여 현장발생토 활용 식재기반 조성유형별로 토양개량제를 유기질비료, 복합비료, 유기질비료+복합비료, 현장의 유기물(O)층 등 4가지로 구분하여 적용하고 토양 이화학성 변화를 분석하였다. 토양개량제 처리에 따른 토성 변화를 살펴보면 유기질비료, 복합비료, O층 처리는 토성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타나 토양개량제를 처리하지 않은 AB, B 실험구와 동일한 사질양토인 것으로 분석되었다(Fig. 4a). 공극률의 경우 유기물층 처리구에서 다른 토양개량제 처리구에 비하여 상대적으로 낮았으나, 내수성입단율이 가장 높은 수치를 나타내었다. 특히, 표토와 심토 혼합처리구인 ABO의 경우 내수성입단율이 94.22%로 가장 높은 것으로 나타났다. 이외 유기질비료, 복합비료, 유기질비료+복합비료처리구의 경우 뚜렷한 경향은 나타나지 않았으나, 토양개량제 미처리구(대조군, AB, B)에 비하여 공극률, 내수성입단율이 소폭 상승한 것으로 분석되었다(Fig. 4b).

이상의 결과를 종합하여 현장발생토의 개량을 위해 토양개량제를 적용할 경우 토성에는 크게 영향을 미치지 않으나 공극률, 내수성입단율에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 특히 현장에서 발생한 O층을 토양개량제로 적용할 때 다른 토양개량제와 다르게 내수성입단율 증가에 뚜렷한 효과를 나타내었다.

3.3.2. 토양개량제 처리별 식재기반 화학성 변화

실험구 조성유형별 토양 화학성 분석 결과, 조경설계기준(KILA, 2016)을 기준으로 pH는 불량~중급을 나타내었으며, 이외의 측정 항목은 토양개량제 처리에 따른 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다. 유기물함량, 전질소량, 유효인산의 경우 상급~하급인 것으로 측정되어 토양개량제 처리에 따른 뚜렷한 차이를 나타내었으며, 특히 유기질비료 처리구에서 뚜렷한 증가를 확인할 수 있었다. 양이온교환용량은 모두 중급이었으며, 치환성 양이온 중 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 상급~하급인 것으로 분석되었다. 토양개량제의 사용은 토양 내 치환성 양이온 변화에도 뚜렷하게 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 특히, 유기질비료 처리구에서 변화가 뚜렷하게 나타났다. EC의 경우 유기질비료를 사용한 실험구에서는 모두 불량인 것으로 분석되었으며, 복합비료와 O층을 사용한 실험구에서는 중급인 것으로 나타났다(Table 4; Table 5).

이상의 결과를 살펴보면 토양개량제의 처리는 토양의 화학성 변화에 뚜렷한 영향을 주는 것으로 판단되었으며, 특히 유기질비료가 전체 항목에 대하여 뚜렷한 변화를 나타내었다. 반면 복합비료나 O층 경우 각 항목에서 증가하는 경향을 확인하였으나, 유기질비료에 비하여 상대적으로 미약한 변화인 것으로 판단되었다.

토양개량제 처리구별 비교분석 결과, pH의 경우 표토가 배합되지 않은 실험구에서 공통적으로 약알칼리성을

Table 4. Soil chemical properties by soil conditioner treatment according to landscape design standards(1)

Division	pH		Organic matter(%)		Total nitrogen(mg/kg)		Available phosphate(mg/kg)	
	Value	Index	Value	Index	Value	Index	Value	Index
ABD	7.9	Lower	5.21	Upper	0.397	Upper	1108	Upper
BD	8.1	faulty	4.93	intermediate	0.365	Upper	1484	Upper
ABC	5.5	intermediate	2.64	Lower	0.153	Upper	31	Lower
BC	7.9	Lower	0.33	Lower	0.041	Lower	29	Lower
ABCD	7.8	Lower	5.02	Upper	0.367	Upper	1281	Upper
BCD	8.2	Lower	3.48	intermediate	0.275	Upper	1156	Lower
ABO	5.7	intermediate	3.35	intermediate	0.173	Upper	56	Lower
BO	7	Lower	2.43	Lower	0.12	Upper	49	Lower

A:A horizon, B:B horizon, C:Organic fertilizer, D:Complex fertilizer, n=3

Table 5. Soil chemical properties by soil conditioner treatment according to landscape design standards(2)

Division		C.E.C. ($cmol_c$/kg)	Exchangeable cation($cmol_c$/kg)			Electrical conductivity(ds/m)
			K+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	
ABD	Value	17.26	3.36	5.44	2.18	4.59
	Index	intermediate	Upper	Upper	intermediate	faulty
BD	Value	16.04	4.08	7.25	3.15	5.37
	Index	intermediate	Upper	Upper	Upper	faulty
ABC	Value	12.1	0.26	4.16	0.94	0.63
	Index	intermediate	Lower	intermediate	intermediate	intermediate
BC	Value	12.56	0.1	6.72	0.94	0.57
	Index	intermediate	Lower	Upper	intermediate	intermediate
ABCD	Value	19.64	3.19	5.59	2.05	4.78
	Index	intermediate	intermediate	Upper	intermediate	faulty
BCD	Value	15.04	2.9	7.03	2.75	4.08
	Index	intermediate	intermediate	Upper	intermediate	faulty
ABO	Value	12.54	0.4	4.76	1.08	0.74
	Index	intermediate	Lower	intermediate	intermediate	intermediate
BO	Value	13.06	0.11	7.0	1.38	0.95
	Index	intermediate	Lower	Upper	intermediate	intermediate

A:A horizon, B:B horizon, C:Organic fertilizer, D:Complex fertilizer, n=3

나타내었으며, 표토가 배합된 실험구에서는 대부분 산성 토양인 것으로 분석되었다. 유기물함량과 전질소량, 양이온교환용량을 살펴보았을 때, 유기질비료가 공통적으로 적용된 실험구(ABD, BD, ABCD, BCD)에서 타실험구에 비하여 상대적으로 높은 것으로 나타났으며, 복합비료만 적용된 실험구(ABC, BC)에서 가장 낮은 수치를 나타내었다. 또한 유기물층(O층)을 토양개량제로 적용한 실험구(ABO, BO)에서는 유기물함량이 복합비료 적용 실험구에 비하여 높은 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 적용 토양개량제의 특성 차이가 식재기반 내 화학성 변화에 차이를 나타낸 것으로 판단되었다. 유효인산함량을 살펴보면 공통적으로 유기질비료가 적용된

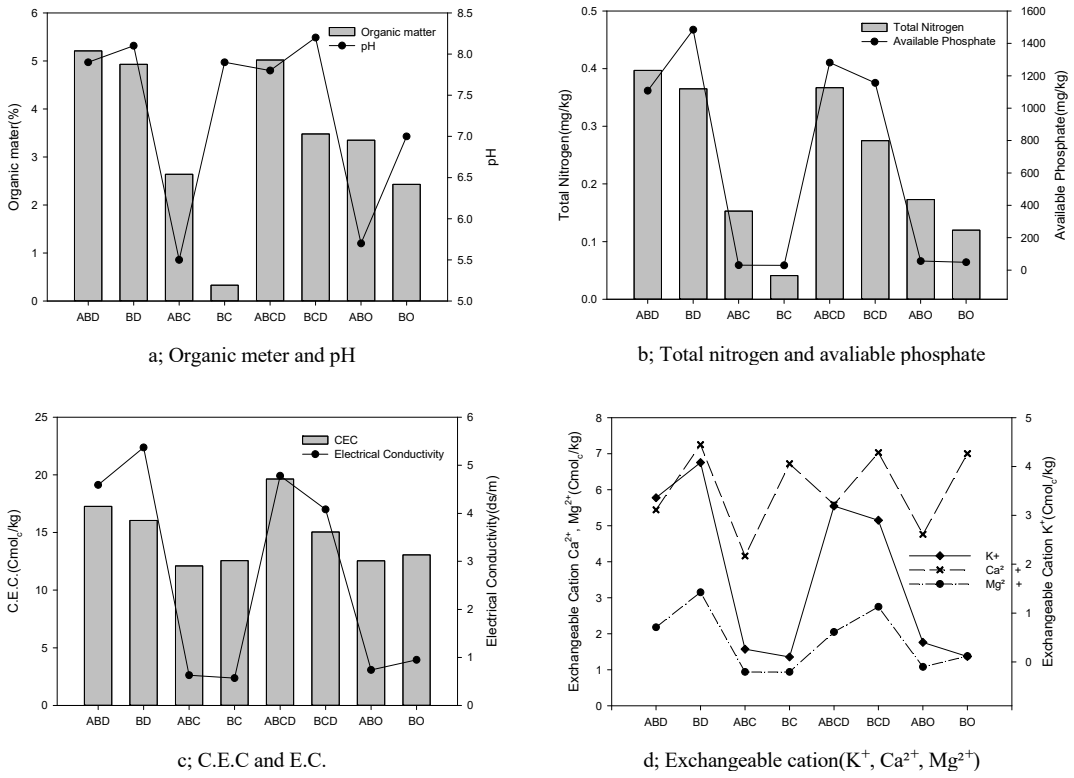


Fig. 5. Soil chemical properties by soil conditioner treatment(n=3).

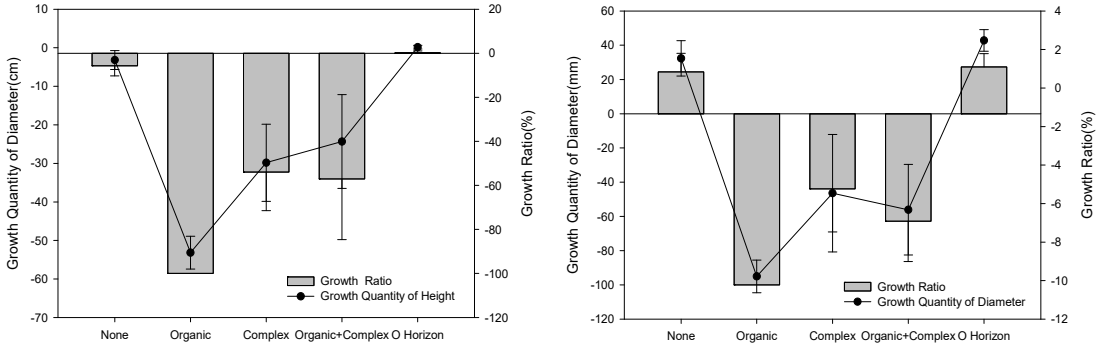
실험구(ABD, BD, ABCD, BCD)에서 1,000 mg/kg이 넘는 것으로 나타났으며, EC의 경우에도 유사한 경향을 나타내었다(Fig. 5).

이상의 결과를 종합해보면 토양개량제 종류의 차이에 따라 토양의 화학성 변화에 미치는 영향을 뚜렷하였다. 또한, 표토가 포함된 실험구는 공통적으로 유기물함량, 전질소량, 유효인산에서 표토가 포함되지 않은 실험구에 비하여 더 큰 폭으로 증가하는 뚜렷한 경향을 확인하였다. 이는 집적층(B층) 토양에 비해 표토(A층)에 더 많은 유기물, 질소, 인산이 포함되어 있기 때문인 것으로 예상되었다. 또한 유기질비료가 포함된 처리구에서는 치환성 양이온 함량, 유효인산함량, 유기물함량에서 큰 폭의 상승이 있었으나, EC의 경우 일부 실험구에서 대조구에 비해 최대 4,637배, 조경설계기준(KILA, 2016) 상급의 7420배, 불량의 989배 높은 것으로 나타나 과도한 증가로 인해 생육불량 및 고사가 예상되었다.

3.4. 현장발생토 기능회복을 위한 토양개량제 처리별 소나무 생육 특성변화

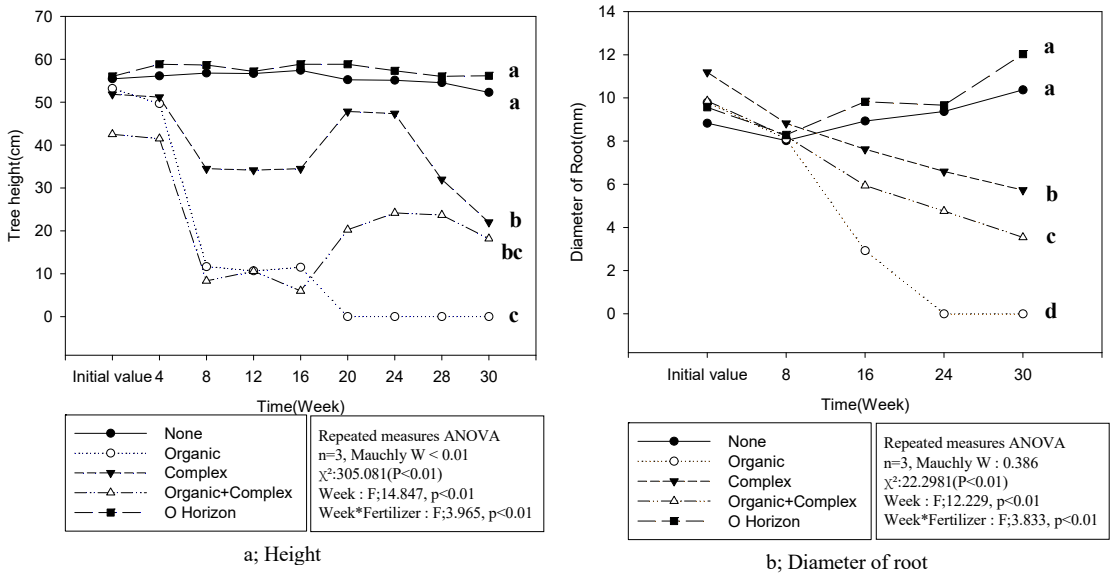
3.4.1. 소나무 생육 특성

토양개량제 처리구별 소나무 생존율을 살펴보면 무처리(100%) = O층(100%) > 복합비료(50%) > 유기질비료+복합비료(33%) > 유기질비료(0%)의 순으로 나타났다. 유기질비료 실험구의 경우 토양 화학성 분석결과와 부합하게 모두 고사한 것으로 나타났다. 이는 과다한 유효인산 및 치환성 양이온함량, EC로 인한 고사(R.D.A., 2002)일 것으로 예상되었다. 각 실험구별 수고 생장율은 O층(0.21%) > 무처리(-5.71%) > 복합비료(-53.95%) > 유기질비료+복합비료(-57.05%) > 유기질비료(-100%)의 순으로 나타났으며, O층 처리구에서만 유일하게 양(+)의 성장을 한 것으로 분석되었다. 근원직경 생장율은 O층(27.29%) > 무처리(24.47%) > 복합비료(-43.93%) > 유기질비료+복합비료(-62.83%) > 유기질비료(-100%)



a; Height b; Diameter of root

Fig. 6. Growth of *Pinus densiflora* by soil amendment treatment(n=3).

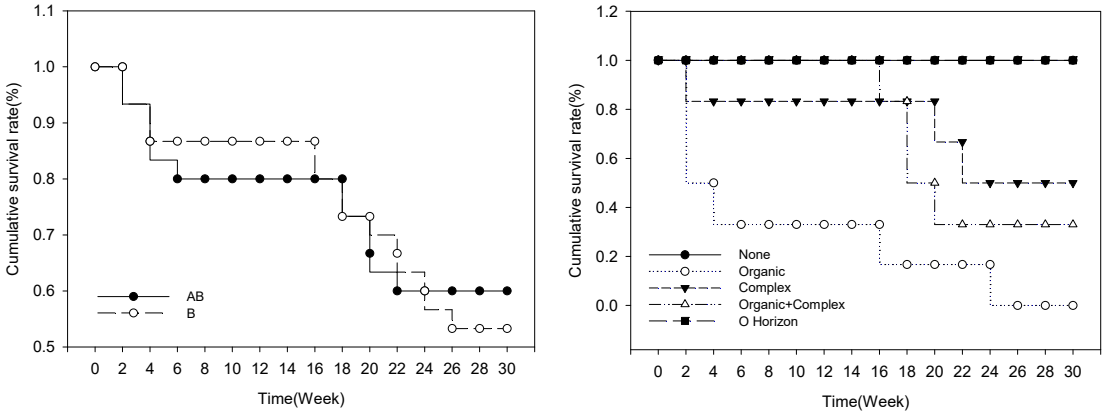


a; Height b; Diameter of root

Fig. 7. Changes on growth of *Pinus densiflora* according to time and soil conditioner treatment.

의 순으로 나타났다. 근원직경 생장의 경우 O층, 무처리구에서 양(+)의 성장을 한 것으로 분석되었으며, O층 처리구에서 부피생장율이 가장 높은 것으로 나타났다. 또한 일부 실험구의 경우 음의 생장율을 나타내었는데, 이는 실험기간 중 고사목의 발생으로 인해 그 값이 음의 값을 나타내었다.

이상의 토양개량체 처리별 생육결과를 종합해보면 수고생장, 부피생장 모두 유기물층 (O층) 처리구에서 생육이 가장 좋았으며, 유기질비료 및 복합비료의 처리는 오히려 소나무의 생육 및 활착에 저해가 되는 요소인 것으로 판단되었다(Fig. 6). 이러한 결과를 미루어볼 때 토양개량제의 사용에 있어 유기질비료, 복합비료를 사용하는 것보다 실제 현장에서 발생하는 O층을 활용하는 것이 소나무의 초기 활착 및 생육에 긍적적인 결과를 나타낼 수 있음을 알 수 있었다. 이에 표토 외에 유기물층의 효용 가능성에 대해서도 확인할 수 있었다. 하지만 유기질비료 및 복합비료 처리구에서 비료 과다 시용 피해 의한 생육 저조일 가능성을 배제할 수 없었다. 이에 적정 비료 사용



a; Soil treatment
[Log Rank(Mantel-Cox) test ; χ^2:0.060, d.f.:1 ($p > 0.05$)]

b; Soil Conditioner treatment
[Log Rank(Mantel-Cox) test ; χ^2:30.748, d.f.:4 ($p < 0.05$)]

Fig. 8. Cumulative survival rate by soil and soil amendment treatment(n=3).

등을 통한 유기물층의 효용을 추가적으로 검증하고 일반화해야 할 것이다.

주차별 소나무 수고 생육결과와 토양개량제 적용 종류의 교호작용을 확인하기 위한 반복측정 분산분석 실시 결과, 주차별 수고는 통계적으로 유의한 차이($F=14.847$, $p < 0.001$)를 나타내었다. 또한 주차별 수고는 토양개량제 적용 종류의 차이에 따라서 상호작용이 있는 것을 확인할 수 있었다($F=3.965$, $p < 0.01$). 수고생육을 크기 순으로 유기물층 = 무처리 > 복합비료 > 유기질비료+복합비료 > 유기질비료의 순인 것으로 분석되었다(Fig. 7a). 근원직경에 대한 결과와 토양개량제 적용 종류의 반복측정 분산분석 결과, 월별 흉고직경은 통계적으로 유의한 차이($F=12.229$, $p < 0.001$)를 나타내었으며, 토양개량제 적용 종류와 교호작용이 확인되었다($F=3.833$, $p < 0.001$). 이에 따른 토양개량제별 근원직경은 유기물층 = 무처리 > 복합비료 > 유기질비료+복합비료 > 유기질비료의 순인 것으로 분석되었다(Fig. 7b).

3.4.2. 누적생존율 변화 특성

현장발생토 활용 식재기반 조성유형별 누적생존율 분석결과, 생존율 80% 구간은 표토+심토 처리구 AB의 경우 4주에 불과하였으며, 심토 처리구 B의 경우 모두 18주인 것으로 분석되었다(Fig. 8a). 이후 점차 감소하는 경향으로 나타나 최종생존율은 AB의 경우 60%, B의 경우 53.3%인 것으로 나타나 표토의 배합비가 높을수록 최종생존율이 높은 것으로 판단되었다. 이에 식재기반 조성유형별 누적생존 곡선의 통계적인 차이가 있는지 검정하기 위하여 Log Rank Test를 실시한 결과 통계적으로 유의한 차이는 없는 것으로 분석되었다($p > 0.05$).

토양개량제 처리별 누적생존율 분석결과(Fig. 8b), 비료 무처리구와 유기물층 처리구의 최종생존율은 100%로 분석되었다. 유기질비료의 경우 최종생존율은 0%로 모두 고사하였으며, 유기질비료+복합비료 처리구에서는 33%, 복합비료 처리구에서는 50%인 것으로 나타났다. 각 처리별 누적생존율을 분석해보면 50%생존기간은 유기질비료 처리구에서는 생존율이 3주에 불과하였으며, 유기질비료+복합비료 처리구는 20주, 복합비료 처리구는 24주로 나타났다. 또한 유기질비료 처리구는 실험 시작 초기 생존율이 급격하게 낮아진 반면 동일하게 유기질비료를 사용하였으나 추가적으로 복합비료를 처리한 실험구에서는 16주차까지 생존율이 100%였다. 처리구별 누적생존율 변화의 통계적인 차이를 분석하기 위하여 Log Rank Test를 실시하였다. 그 결과 토양개량제 처리구별 생존 곡선은 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다($p < 0.05$).

4. 결 론

본 연구는 각종 건설현장에서 발생되는 현장발생토에서 토양층위 특성을 고려한 표토자원의 활용 가능성을

확인하고 식물 생육을 고려한 표토자원 채취 방법에 대해 알아보기 위하여 연구를 진행하였다. 이에 따라 토양층위를 고려하여 채취하였을 때와 고려하지 않고 채취하였을 때 소나무의 생육을 분석하여 표토자원의 효용성에 대해 검증하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 토양층위별 토양 이화학성 중 토성은 표토의 경우 사질식양토, 심토의 경우 사질양토였으며, 두 층위를 혼합할 경우 심토와 같은 토성인 사질양토로 분석되었다. 각 실험구는 물리성 항목에서 공극률, 내수성입단율은 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다. 화학성의 경우 표토 및 표토+심토 혼합토는 산성, 심토는 알칼리성을 나타내었으며, 유기물함량, 전질소량, 유효인산, 치환성 칼륨은 표토의 함량이 높을수록, 치환성 칼슘, 치환성 마그네슘, EC는 표토의 함량이 낮을수록 그 값이 높은 것으로 분석되었다.

2) 각 식재기반별 소나무 생육 결과 수고의 경우 표토 실험구에서 평균 생장율은 0.16%로 초기 값에서 크게 변화하지 않았으며, 표토+심토 처리구와 심토 처리구에서는 －13.32%, -3.97%로 모두 음의 생장률을 기록하였다. 근원직경 생장률은 표토(38.59%) > 표토+심토(19.85%) > 심토(14.96%)의 순으로 나타났다. 이상의 결과를 종합하여 표토의 함량이 높을수록 소나무의 생육이 더 원활한 것으로 판단되었다.

3) 심토 처리구의 소나무 생육 불량을 보완하기 위하여 토양개량제를 처리하였다. 식재기반 이화학성 변화를 살펴본 결과 물리성에서는 크게 변화하지 않았으나, 공극률 및 내수성입단율에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 특히 현장에서 발생한 O층을 토양개량제로 적용할 때 다른 토양개량제와 다르게 내수성입단율 증가에 뚜렷한 효과를 나타내었다. 화학성의 경우 각 토양개량제의 특성에 따라 변화 양상이 뚜렷하였다. 또한, 표토가 포함된 실험구는 공통적으로 유기물함량, 전질소량, 유효인산에서 표토가 포함되지 않은 실험구에 비하여 더 큰 폭으로 증가하는 경향을 확인하였다. 이는 표토층에서 집적층 토양에 비해 더 많은 유기물, 질소, 인산이 포함되어 있기 때문인 것으로 예상되었다. 뿐만 아니라 유기질비료를 적용한 일부 실험구에서는 유효인산 및 EC가 과도하게 높은 것으로 나타나 비료 과다 시용 피해가 예상되었다.

4) 토양개량제 처리별 식물생육은 유기물층 > 미처리 > 복합비료 > 유기질비료+복합비료 > 유기질비료의 순인 것으로 분석되었다. 반복측정 분산분석 결과 토양개량제의 처리 유형에 따라 생육변화는 통계적으로 유의한 것으로 분석되었으며, 시간의 흐름에 따라 그 차이는 뚜렷한 차이를 나타내는 것으로 나타났다. 전체 실험구를 대상으로 50% 생존율은 유기질비료 처리구에서 3주에 불과하였으며, 복합비료 및 유기질비료+복합비료 처리구는 10주로 나타났다. 반면 유기물층과 미처리 실험구에서는 최종 생존율이 100%인 것으로 나타났다. 최종생존율은 유기물층 = 미처리 > 복합비료 > 유기질비료+복합비료 > 유기질비료의 순인 것으로 나타났으며, Log Rank Test를 통해 토양개량제 처리구별 생존율 변화가 통계적으로 유의($p < 0.05$)한 것을 확인하였다.

이상의 결과를 종합해보면 현장에서 발생하는 토양 중 표토와 유기물층은 식물생육 증진을 위한 목적으로 조경식재공사에 활용가치가 있는 것으로 판단되었으며, 각종 건설공사 현장에서 토양을 무분별하게 처리하는 것보다는 토양층위별 자원가치를 충분히 고려해야 할 것으로 사료되었다. 이에 토목공사현장에서 발생하는 토양에 대하여 유기물층, 표토, 심토를 별도로 구분 채취 · 활용하여 해당 지역의 조경식재공사에 활용하는 것이 식물의 생육 및 생존에 가장 효율적일 것이다. 하지만 다양한 현장의 상황을 감안하여, 유기물층과 표토, 심토를 적절한 비율로 혼합 채취하여 사용하는 것만으로도 별도의 식재기반 조성이 불필요할 만큼 조경식물 하자 저감에 기여할 뿐만 아니라 경제성까지 고려할 수 있는 방안으로 활용될 수 있을 것이다. 하지만 본 실험결과 중 일부가 비료 과다 시용 피해일 가능성을 완전히 배제할 순 없었다. 이에 토양개량제의 적용량 보완과 다양한 수종을 대상으로 반복 수행하여 현장발생토의 현장 적용가능성과 채취방법에 대해 추가적으로 논의해야 할 것이다. 뿐만 아니라 경제성 평가를 통해 경제적 측면의 현장발생토의 가치 검증이 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 환경부의 환경산업선진화기술개발사업(과제번호 : 2014000130009)에 의하여 연구되었음

REFERENCES

Cho, Y. H., Lee, J. M., Kim, W. T., Yoon, Y. H., Kang, H. K., Park, B. J., Yoon, T. S., Jang, K. E., Shin, K. J., Eo, Y. J., Kwak, M. Y., Song, H. S., 2013, A Study on the actual condition of topsoil management at river restoration projects, J. KILA, 41(1), 34-43.

Kang, H. M., Choi, S. H., Kim, D. H., Song, J. T., 2017, A Study on the restoration effects of vegetation restoration types, Korean J. Environ. Ecol. 31(2): 174-187.

KILA, 2016, Landscape design standards, 4th ed, J. KILA, 400.

Kim, S. C., Park, B. J., Kim, W. T., Yoon, Y. H., Cho, Y. H., Kang, H. K., Oh, H. K., Shin, K. J., Eo, Y. J., Yoon, T. S., Jang, K. E., Kwak, M. Y., 2012, Density and species composition of soil seed bank in rural stream topsoil, J. Env. Sci., 21(11), 1419-1424.

Kim, S. M., Lee, I. S., 2007, The issues of topsoil preservation in land development projects, J. KILA, 35(2), 91-96.

Kim, W. T., Cho, Y. H., Lee, J. M., Yoon, Y. H., Kang, H. K., Park, B. J., Yoon, T. S., Jang, K. E., Shin, K. J., Eo, Y. J., Kwak, M. Y., Song, H. S., 2014, A Study on actual condition of topsoil management at forest development projects, J. Korean Env. Res. Tech. 17(1), 13-25.

Kim, W. T., Yoon, Y. H., Cho, Y. H., Kang, H. K., Park, B. J., Shin, K. J., Eo, Y. J., Yoon, T. S., Jang, K. E., Kwak, M. Y., 2012a, Comparison of physicochemical properties of topsoil from forest development and non-development area, J. Env. Sci., 21(11), 1389-1394.

Ministry of Environment, 2010, Research on progressive methodology for economic value evaluation of soil and groundwater, Sejong Special Autonomy City, Korea.

Park, S. Y., Yoo, S. H., 2016, The total economic value of soil in korea, J. Soil Groundw. Environ., 21(6), 156-168.

R.D.A, 2002, How to use the correct fertilizer, 1st ed, R.D.A., 127-132.

Shin, K. H., 2015, Development project and topsoil resource management, Environment Forum, 19(5), 1-19.

Yang, K., 2016, Preliminary study on Improvement of strategic environmental assessment for soil resource management : focusing on urban development projects, Korea Environment Institute.

• 오득균, 건국대학교 녹색환경시스템전공 교수
nice10214@kku.ac.kr
• 김필립, 산림조합중앙회 산림자원조사본부 계장
kim_phillip@naver.com
• 윤용한, 건국대학교 녹색환경시스템전공 교수
yonghan7204@kku.ac.kr
• 김원태, 연암대학교 환경조경전공 교수
midori66@hanmail.net