

Research Paper

훼손 수목의 이식을 위한 토양의 물리·화학적 특성 분석과 개선 방안

김혜수* · 김정호** · 문윤정*** · 이선미***

(주)가림환경개발*, 한국토양자원연구소**, 국립생태원 생태평가연구실***

Analysis and Improvement of Soil Physical and Chemical Properties for Transplantation of Damaged Trees

Hyesu Kim* · Jungho Kim** · Yoonjung Moon*** · Seonmi Lee***

Kalim Environment co., LTD*

Korea Soil Resources Research Institute**

Division of Ecological Assessment, National Institute of Ecology***

요약: 환경영향평가서 작성 및 검토 매뉴얼에 따라 훼손되는 수목의 일부를 이식하고 있다. 수목이 원래 서식하고 있는 산림에서 가이식장과 최종 이식장으로 이식하는 과정에서 고사하거나 생육이 불량한 등의 문제점이 지속적으로 제기되고 있다. 이 연구의 목적은 가이식장과 최종 이식장의 토양 특성을 파악하여 기존에 서식하던 산림 토양과의 차이를 분석하고, 이식한 수목의 생육에 적합한 토양으로 개선하는 방안을 제시하는 것이다. 10개의 환경영향평가 사업을 대상으로, 원래의 서식지인 주변의 산림지역, 훼손수목의 일부를 임시로 이식하고 있는 가이식장, 공사가 완료된 후 최종 이식을 하게 되는 공사장을 대표하는 지점에서 각각 2개씩, 총 60개의 토양을 샘플링하여 물리적 특성과 화학적 특성을 분석하였다. 물리적 특성 중 투수계수, 유효수분율, 경도, 화학적 특성 중에서 산도, 유기물함량, 전질소, 유효인산에서 집단 간 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 공사장의 토양은 공사 장비로 인한 답압으로 주변의 산림보다 경도가 높고, 모래 함량이 많아 투수계수는 높으며 유효수분율은 낮아 식물이 필요한 토양 내 수분을 보유하지 못하고 배수되는 양이 많다. 경도가 높은 토양의 공극량을 증가시키고 물리적 구조를 개선하기 위하여 경운을 실시할 필요가 있다. 또한 토양의 물리성과 화학성을 함께 개선하기 위하여 토양 내 부숙된 유기물을 첨가한 후 우드칩이나 낙엽으로 표면을 덮어주는 것이 필요하다.

주요어: 환경영향평가, 가이식, 정이식, 토양 특성

Abstract: Parts of damaged trees are being transplanted in accordance with the Environmental Impact Assessment Manual. Problems such as death or poor growth are constantly being addressed in the process of transplanting trees from the forest they originally inhabited to temporary and final

First Author: Hyesu Kim, Tel: +82-63-465-3398, E-mail: plus3661@hanmail.net, ORCID: 0000-0001-6997-6915

Corresponding Author: Seonmi Lee, Tel: +82-41-950-5442, E-mail: planteco@nie.re.kr, ORCID: 0000-0003-3818-3714

Co-Authors: Jungho Kim, Tel: +82-2-2699-3454, E-mail: soilkorea@hanmail.net, ORCID:0000-0001-7921-5474

Yoonjung Moon, Tel: +82-41-950-5468, E-mail: yjmoon@nie.re.kr, ORCID: 0000-0002-5602-3936

Received: 21 November, 2022. Revised: 9 December, 2022. Accepted: 12 December, 2022.

transplant sites. The purpose of this study is to analyze the differences in soil properties in the surrounding forest, the temporary transplant site, and the construction site and to suggest methods for improving the soil to make it suitable for the growth of transplanted trees. For 10 development projects, 2 soil samples were sampled from the surrounding forest, temporary transplant site, and construction site. A total of 60 soil samples were analyzed for physical and chemical properties. Among the physical properties such as coefficient of permeability, available moisture, and hardness, and chemical properties such as acidity, organic matter content, total nitrogen, and available P showed significant differences among groups. The soil of the construction site is harder than the surrounding forest because of construction equipments, the coefficient of permeability is higher than the surrounding forest because of high sand content, and the available moisture was low. It does not retain the moisture necessary for plants in the soil and drains immediately. It is necessary to implement tillage to improve the physical properties and structure of the soil. In addition, it is necessary to cover the surface with wood chips or fallen leaves after adding mature organic matter to improve the physical and chemical properties of the soil together.

Keywords : Environmental Impact Assessment, Temporary Transplant, Final Transplant, Soil Properties

I. 서론

토양은 토지의 주요 구성요소이고, 여러 가지 기능을 하는 동적 시스템이다(Adhikari & Hartemink 2016, Tóth et al. 2018). 토양은 탄소 저장고로서 기후를 조절하고(Lal et al. 2021), 담수의 양과 흐름을 조절하며(Keesstra et al. 2021), 담수와 해안의 수질을 조절하는 역할을 한다(Cheng et al. 2021). 또한 육상생태계의 기본 요소로서 서식지를 조성하고 유지하는데 필요하고(de Deyn & Kooistra, 2021), 대기질을 조절하며(Giltrap et al. 2021), 인간에게 해로운 생물을 규제하는 역할도 한다(Samaddar et al. 2021). 이외에도 식물의 생육 기반으로서의 역할(Abdul Khalil et al. 2015) 및 식물의 수분과 종자의 산포에 기여(Carvalho et al. 2021) 하는 등 다양한 역할을 한다(Smith et al. 2021).

식물들은 자라면서 정착한 토양의 환경(이용가능한 영양소와 토양 내 생물상 등)을 변화시킨다. 이러한 변화는 다시 유묘의 생존과 성장, 식물 개체군과 군락 동태에 영향을 미친다(Bennett et al. 2017, Bennett and Klironomos 2018). 이렇게 토양의 환경은 식물의 생육에 다양한 영향을 미치며 상호작용한다. 식물은 성장과 번식을 위해 빛, 물, 영양소를

필요로 하는데, 이중 물과 영양소는 주로 토양 내 뿌리로 흡수한다. 따라서 토양이 식물의 뿌리 발달에 유리한 환경을 제공해야 한다(Abdul Khalil et al. 2015). 토양의 표토에는 종자, 유기물, 미생물이 포함되어 있어(Golos et al. 2016; Birnbaum et al. 2017) 자생식물이 정착하는데 중요한 역할을 한다(Munoz-Rojas et al. 2016).

우리나라에서는 환경영향평가 시 「환경영향평가서 작성 및 검토 매뉴얼」(Korea Environment Institute 2017)에 따라 개발사업으로 인한 부정적 영향을 상쇄하는 하나의 저감방안으로서 훼손되는 수목의 10% 이상을 이식 또는 재활용하고 있다(Moon et al. 2021). 이에 따라 양호한 산림에서 생육하던 수목들은 토양 환경이 매우 열악한 가이식장으로, 공사가 완료된 후 가이식장에서 다시 최종 이식장으로 이식되고 있다. 두 번의 이식 과정을 거치며 많은 수목들이 고사하고 있다.

훼손 수목의 이식과 관련하여 이식 성공률(Lee et al. 2015), 이식에 따른 탄소배출(Choi 2014), 토취장 개발에 따른 이식 방안(Lee & Kang 2012), 이식 수목 선정 기준(Lee & Choi 2009), 대형 수목 이식(Lim et al. 2002) 등의 연구가 진행되었다. 또한 훼손 수목을 이식하는 과정에서 발생하는 다양한 문제

점들이 제기되었다. 이식하는 장소의 환경을 고려하지 않아서 발생한 이식 수목의 생육 불량(Korea Land Development Corporation 1994), 척박한 토양에 식재하여 발생한 수목의 잦은 고사(Lee et al. 2015), 가이식장의 충분하지 않은 면적과 관리의 부실(Jung 2012) 등의 문제점들이 제기되었다. 그러나 토양과 식물은 상호작용하며, 토양이 식물에 미치는 영향이 크다는 국외의 다양한 연구 결과(Bennett et al. 2017, Bennett and Klironomos 2018, Putten et al. 2016, Smith et al. 2021, Xi et al. 2021)와 1년에 약 2,583건(2021년도)의 환경영향평가 및 소규모 환경영향평가를 동의 또는 조건부 동의로 협의 완료한 사업에서(EIASS 2022) 훼손 수목이 발생함에 따라 10% 이상의 수목을 이식 또는 재활용하고 있음에도 불구하고, 수목을 이식하는 장소인 가이식장과 최종 이식장의 토양이 식물의 생육에 적합한지에 대한 연구는 거의 진행되지 않았다.

이 연구의 목적은 훼손 수목을 이식하는 가이식장과 최종 이식장의 토양의 물리적 및 화학적 특성을 파악하여 기존에 서식하던 산림의 토양 특성과의 차이를 분석하고, 이식하는 수목의 생육에 적합하지 않은 토양의 특성을 개선하는 방안을 제시하는 것이다.

II. 연구 내용 및 방법

1. 토양 샘플링 방법

이식되는 지역의 토양 환경의 적정성을 판단하기 위해 원래의 서식지인 주변의 산림지역(Surrounding

forest), 훼손 수목의 일부를 임시로 이식하고 있는 가이식장(Temporary transplant site), 공사가 완료된 후 최종 이식을 하게 되는 공사장(Construction site)을 대표하는 지점의 토양을 샘플링하여 분석하였다. 토양 샘플링은 2021년 6월부터 10월까지 수행하였고, 10개의 사이트에서 산림지역 20개, 가이식장 20개, 공사장 20개, 총 60개의 샘플을 채취하였다(Figure 1, Table 1, Photo 1). 토양 시료를 채취한 깊이는 긴 수명을 가지고 지방부를 지탱하는 장근(long root) 보다 1년 내외의 수명을 가지고 토양 내 수분과 양분을 흡수하는 세근(fine root)이 약 90% 정도 분

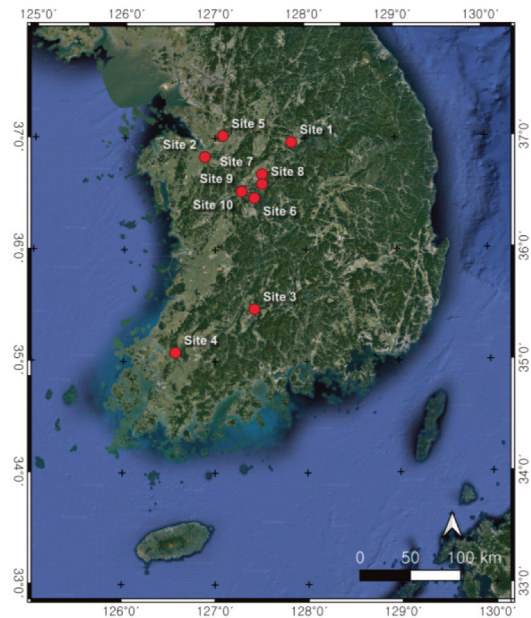


Figure 1. A map showing the soil sampling sites.

Table 1. Sampling sites and dates

Site no.	Date	Study area	Elevation(m)
1	2021.06.01.	Daesowon-myeon, Chungju-si, Chungbuk	72~129
2	2021.09.10.	Inju-myeon, Asan-si, Chungnam	41~51
3	2021.09.10.	Sandong-myeon, Namwon-si, Jeonbuk	203~247
4	2021.09.29.	Daedong-myeon, Hampyeong-gun, Jeonnam	58~77
5	2021.09.30.	Segyo-dong, Pyeongtaek-si, Gyeonggi-do	25~31
6	2021.10.07.	Seowon-gu, Cheongju-si, Chungbuk	83~98
7	2021.10.29.	Cheongwon-gu, Cheongju-si, Chungbuk	96~99
8	2021.10.29.	Sangdang-gu, Cheongju-si, Chungbuk	83~92
9	2021.10.30.	Yeongi-myeon, Sejong	44~79
10	2021.10.30.	Yeongi-myeon, Sejong	48~80

Photo 1. Soil photographs of each sampling site

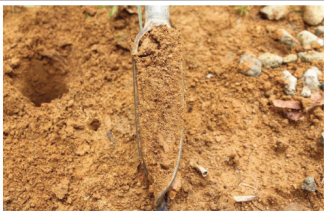
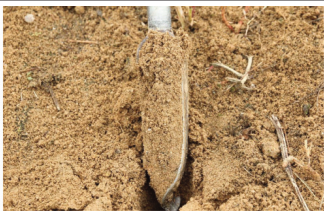
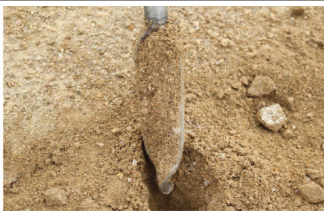
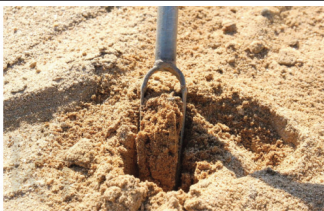
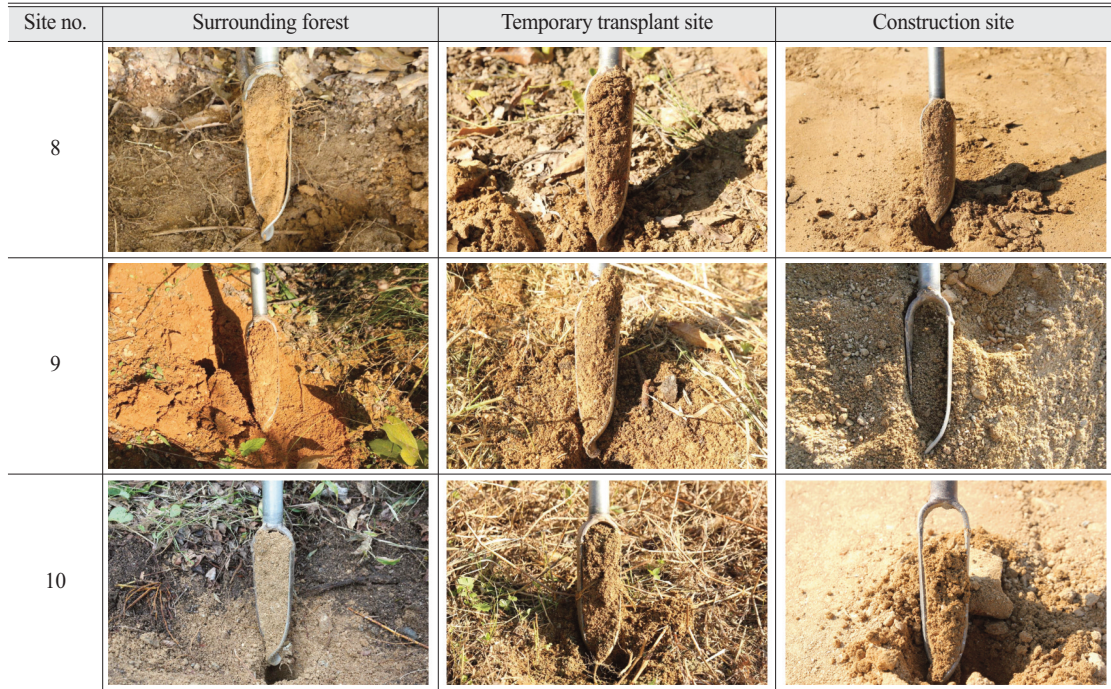
Site no.	Surrounding forest	Temporary transplant site	Construction site
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

Photo 1. Continued



포하고 있는 표토 0.5m 범위 이내이다(Kim et al. 2011). 샘플링한 토양은 식물의 생육에 적합한 토양 인지 알아보기 위하여 전처리를 실시한 후 물리적 및 화학적 특성을 분석하였다.

2. 토양의 전처리 방법

토양채취기를 이용하여 고정 조사지의 4방위에서 총 500g의 토양시료를 채취하였다. 채취한 시료는 실험실 내에서 약 2주 동안 풍건 한 후, 표준체를 사용하여 2mm 이하의 입자를 선별하였다. 선별한 토양은 토성(Soil texture), 산도(pH), 유기물함량(OM), 전기전도도(EC), 유효인산(Available P), 전질소(TN), 양이온치환용량(CEC), 염화나트륨(NaCl), 치환성 양이온(K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})의 분석에 사용하였다(Institute of Agricultural Science and Technology

2000). 물리적 및 화학적 특성별 분석 항목은 Table 2에 나타내었다.

3. 토양의 물리적 특성 분석 방법

경도는 현장에서 산중식경도계를 이용하여 측정하였다(Daiki, DIK-5553, Japan). 투수계수와 유효수분율은 100ml 코어로 시료를 채취하여 현장에서 밀봉한 후 실험실에서 측정하였다. 토양의 투수성을 나타내는 투수계수는 수두의 차를 변화시켜 측정하는 변수 투수시험으로 진행하였다. 이 방법은 투수원통의 단면적(cm^2), 다짐 후 시험체 길이(cm), 질량(g)을 측정하고 물 공급을 중단하면 일정 시간(t) 동안의 수위가 내려가는데 월류 수조에서 스탠드 파이프 수면까지의 높이(h_1 , h_2)를 기록하여 계산하였다. 유효수분율은 압력 챔버 안에 다공질판을 통과하는 침출 속

Table 2. Physical and chemical factors of soil analysis

Division	Factor
Physical	Soil texture, Coefficient of permeability, Available moisture, Hardness
Chemical	pH, OM, EC, Available P, TN, CEC, NaCl, Exchangeable cation (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})

도를 측정한다. 수분장력 10~1,500kPa의 다양한 장력 범위에서의 토양수분함량으로 토양과 압력판을 물로 포화시킨 후 압력 챔버에 각 장력(포장용수량 10~33kPa, 위조계수 약 1,500kPa)에 해당하는 압력까지 서서히 증가시키면서 초과된 수분이 모두 제거되어 측정하고자 하는 수분장력과 평행상태에 도달하면 중량수분함량(포장용수량, 위조계수)을 측정한다. 유효수분율은 포장용수량에서 위조계수를 뺀 값으로 하였다. 토성과 입도 분석은 비중계법으로 실시하였다. 110℃의 건조기에서 건조시킨 토양 50g에 5% NaPO₃ 100ml를 첨가하였다. 이후 분산된 시료를 1L 메스실린더에 옮겨서 1분에 20회를 상하로 휘저어 섞은 후 실린더의 입자별로 침강하는 속도의 차이에 따른 시간을 기록하였는데, 각각 46초와 8시간 후의 비중계 수치의 차이로 점토의 함량을 계산하였다. US No. 300번 체에 측정한 현탁액을 넣고 흔들어 체로 거른 후 증발접시에 올려 건조한 뒤 모래의 함량을 측정하였다.

4. 토양의 화학적 특성 분석 방법

산도와 전기전도도는 pH(EC)-meter를 이용하여 측정하였다(HM-501, Korea). pH(EC)-meter는 표준 용액으로 보정하였다. 토양 시료 5g을 정량하여 50ml 비커에 담은 후 증류수 25ml를 넣고 섞어주었다. 1시간 동안 방치한 후 산도와 전기전도도를 측정하였다. 유기물함량은 Tyurin법으로 측정하였다. 토양 내 유기탄소는 강산화성인 농황산에 존재하는 조건에서 강력한 산화제인 K₂Cr₂O₇로 산화시키며, 이때 산화에 사용된 K₂Cr₂O₇의 양으로부터 측정된 탄소의 함량에 1.724를 곱해서 유기물의 양을 측정하였다. 유효인산은 Spectronic 분광법을 이용하여 측정하였다. 토양 시료 5g을 100ml 삼각플라스크에 넣고 20ml의 침출액을 첨가한다. 10분간 진탕한 다음 NO₂ 여과지로 여과하였다. 3ml의 침출액과 표준액을 각각 시험관에 넣고 몰리브덴산 암모늄 황산 시액을 6ml씩 넣은 후 0.4ml의 1, 2, 4 amino naphthol-sulfonic acid를 첨가한 후 30℃에서 30분 동안 발색시킨 다음 UV-Spectrophotometer(Shimadzu UV-2501 PC)로 720nm의 파장에서 측정하였다. 전질소는 킬달 황

산 분해 증류법으로 분석하였다. 토양 시료 5g을 킬달플라스크에 넣고 황산염혼합분말 5g과 진한 H₂SO₄ 25ml를 첨가한 후 킬달플라스크를 분해용 전기로에서 처음에는 끓지 않는 낮은 온도로 10~30분 가열하고 산화가 완료된 후 끓을 정도로 온도를 높여 무색이 될 때까지 가열한 다음 1시간 정도 분해하였다. 플라스크를 냉각한 후 350ml의 물을 넣어 잘 혼합하였다. 입상의 아연 분말 0.5g을 킬달플라스크에 넣고 NaOH 포화용액 50ml를 넣었다. 150ml 정도가 증류되면 내용물을 0.1N-H₂SO₄ 표준용액으로 적정하였다. 양이온치환용량은 토양 시료 5g을 2개의 100ml 삼각플라스크에 넣은 후 각각 1N-NH₄OAc (pH 7.0)와 1N-CH₃COOH(pH 2.31) 50ml를 넣고 30분간 진탕 한 후 현탁액을 100ml 비커에 옮겨 담았다. pH-meter(Orion 720A)로 소수점 둘째 자리까지 정확히 측정하여 Base 환산표에 의해 총 치환성양이온 함량을 구하였다. 염분농도는 토양 시료 5g을 증류수로 침출시킨 후 완전히 세척(AgNO₃ 무반응) 시킨다. 이후 NaHCO₃와 5% NaCr₂O₅를 넣고 0.1N 또는 0.05N로 적정하여 Cl 함량을 구하여 염분농도를 계산하였다. 토양 내 치환성 양이온인 칼륨과 나트륨 이온의 측정은 1N-Ammonium acetate (NH₄OAc)로 침출한 토양시료 용액을 10ppm의 표준용액에 고정한 후 Flame photometer에 태워서 측정하였다. 칼슘과 마그네슘 이온은 풍건한 토양 5g에 1N-Ammonium acetate(NH₄OAc)로 침출한 침출액 50ml를 EDTA로 적정한 후 계산하였다. 칼슘 이온은 침출한 토양용액과 표준 칼슘용액 5cc에 8M-NaOH 5cc, 10% KCN 1cc, 증류수 20cc를 넣고 N·N 지시약을 넣어 보라색으로 발색시킨 후 0.005N-EDTA로 청색이 되기까지 적정하여 환산하였다. 마그네슘 이온은 침출한 토양용액 5cc에 암모니아 완충액 5cc, 10% KCN 1cc, 증류수 20cc를 넣고 EBT지시약을 넣어 적색으로 발색시킨 후 0.005N-EDTA로 청색이 되기까지 적정하여 환산하였다.

5. 데이터 분석

모든 그래프의 작성과 통계 분석은 RStudio(Ver. 1.4)를 이용하여 수행하였다(RStudio Team, 2022).

물리적 특성 중에서 토성의 분류는 ‘ggplot2’와 ‘ggtern’ 패키지를 이용하여 분석하였다(Hamilton and Ferry, 2018; Wickham, 2016). 각 그룹별 물리적 및 화학적 특성의 차이를 분석하기 전 Shapiro-wilk 검정을 실시하여 정규성을 확인하였다. 정규성 검정을 만족하지 않는 항목이 있어 Kruskal-Wallis 검정을 실시하였고, 유의한 차이가 있는 항목은 Bonferroni 사후 검정을 실시하였다.

III. 결과

1. 토양의 물리적 특성

토성은 모래, 미사, 점토의 비율에 따라 달라지고, 토양 수분 함량, 식물의 생장 등은 이 세 가지의 비율

과 관련이 있다(Barman and Choudhury 2020). 물리적 특성 중에서 토성은 미국 농무부(USDA)에서 제시하는 기준에 따라 분류하였다(Figure 2). 대부분의 토양은 조경설계기준의 상급에 해당하는 사질양토(Sandy loam, SL)와 중급인 사질식양토(Sandy clay loam, SCL)에 해당하였으나, 일부 공사장의 토양은 하급인 양질사토(Loamy sand, LS)에 해당하였다. 특히 4번 지점의 공사장, 가이식장, 주변 산림의 토양은 모두 조경설계기준 하급인 식양토(Clay loam, CL)로 나타났다. 모래의 함량은 대체로 공사장, 가이식장, 주변 산림의 순서로 많게 나타나는 경향이였다.

물리적 특성 중에서 토성을 제외한 투수계수, 유효수분율, 경도의 기술통계량을 Table 3에, 결과 그래프를 Figure 3에 나타내었다. 투수계수의 평균은 공

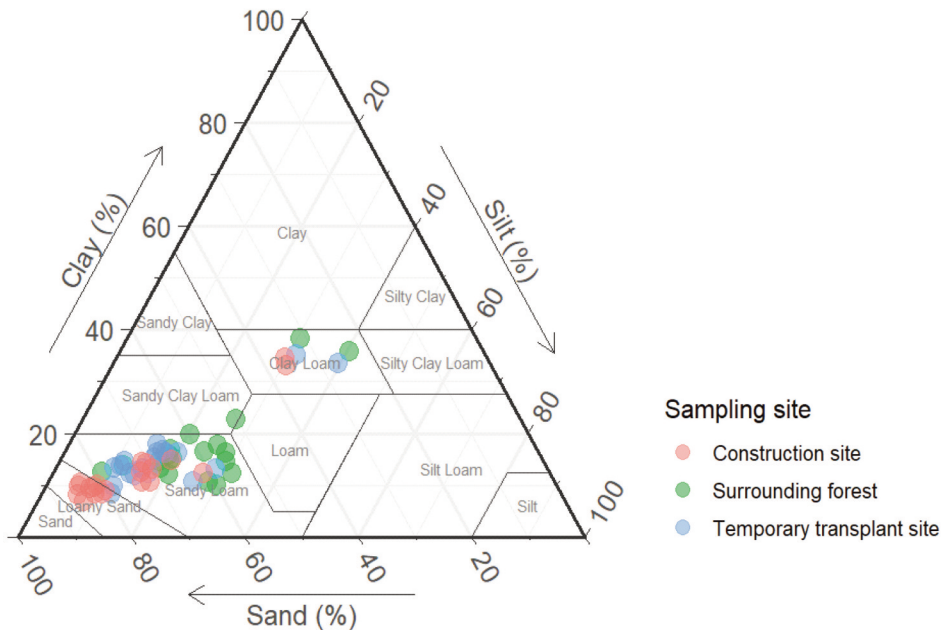


Figure 2. Soil texture triangle of sampling sites based on the proportion of sand, silt, and clay particles by USDA.

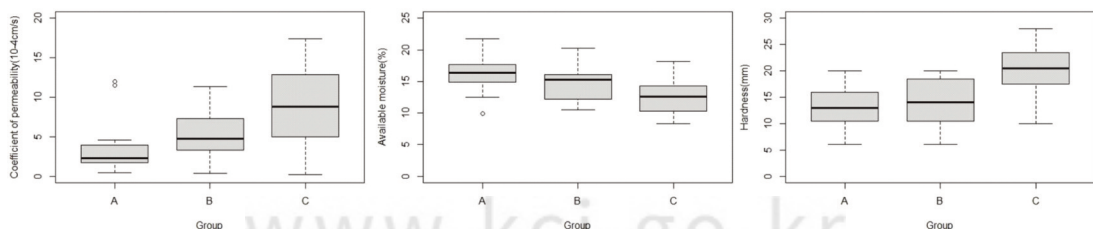


Figure 3. Results of physical properties (A: Surrounding forest, B: Temporary transplant site, C: Construction site)

Table 3. Descriptive statistics and normality test of physical properties

Physical properties	Sampling site	N	Mean	SD	Min	Median	Max	Shapiro
Coefficient of permeability (10-4cm/s)	Surrounding forest	20	3.30	±3.13	0.43	2.26	12.02	W=0.898 p=0.000
	Temporary transplant site	20	5.41	±3.11	0.38	4.75	11.37	
	Construction site	20	8.72	±5.48	0.21	8.80	17.42	
Available moisture (%)	Surrounding forest	20	16.29	±2.58	9.89	16.39	21.74	W=0.986 p=0.708
	Temporary transplant site	20	14.61	±2.65	10.47	15.27	20.21	
	Construction site	20	12.54	±2.77	8.32	12.59	18.17	
Hardness (mm)	Surrounding forest	20	12.75	±3.96	6.00	13.00	20.00	W=0.977 p=0.299
	Temporary transplant site	20	13.90	±4.73	6.00	14.00	20.00	
	Construction site	20	19.95	±4.75	10.00	20.50	28.00	

Table 4. Kruskal-Wallis and Bonferroni test results of physical properties

Factor	Chi-squared	p-value	Bonferroni
Coefficient of permeability	13.859	0.000*	A, B vs. C
Available moisture	15.248	0.000*	A vs. C
Hardness	19.445	0.000*	A, B vs. C

* $p < 0.05$

사장에서 8.72로 가장 높았고, 주변 산림에서 3.30으로 가장 낮았다. 유효수분율의 평균은 주변 산림에서 16.29로 가장 높았고, 공사장에서 12.54로 가장 낮았다. 경도의 평균은 공사장에서 19.95로 가장 높았고, 주변 산림에서 12.75로 가장 낮았다.

Kruskal-wallis 검정 결과, 물리적 특성은 투수계수, 유효수분율, 경도 모두 집단 간 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. Bonferroni 사후검정 결과, 투수계수는 주변 산림과 공사장, 가이식장과 공사장, 유효수분율은 주변 산림과 공사장, 경도는 주변 산림과 공사장, 가이식장과 공사장 사이에 유의한 차이가 있었다(Table 4).

2. 토양의 화학적 특성

화학적 특성의 기술통계량을 Table 5에, 결과 그래프를 Figure 4에 나타내었다. 산도의 평균은 공사장에서 6.57로 가장 높았고, 주변 산림에서 5.01로 가장 낮았다. 유기물함량의 평균은 주변 산림에서 0.48로 가장 높았고, 공사장에서 0.26으로 가장 낮았다. 주변 산림과 가이식장의 유기물함량은 큰 차이가 없었다. 전질소의 평균은 주변산림과 가이식장에서 0.03으로 동일하였고, 공사장에서 0.01로 낮았다. 유

효인산의 평균은 가이식장에서 37.47로 가장 높았고, 주변 산림에서 24.18로 가장 낮았다. 주변 산림과 공사장의 유효인산은 큰 차이가 없었다. 양이온치환용량은 주변산림에서 7.29로 가장 높았고, 공사장에서 6.23으로 가장 낮았다. 주변 산림과 가이식장의 양이온치환용량은 큰 차이가 없었다. 칼륨이온은 가이식장에서 0.15로 가장 높았고, 주변 산림과 공사장에서 0.13으로 동일하였다. 칼슘이온은 공사장에서 4.61로 가장 높았고, 주변 산림에서 3.34로 가장 낮았다. 주변 산림과 가이식장의 칼슘이온 함량은 큰 차이가 없었다. 마그네슘이온은 가이식장에서 가장 높았고, 주변 산림에서 가장 낮았다. 나트륨이온은 가이식장에서 0.13으로 가장 높았고, 공사장에서 0.11로 가장 낮았다. 그러나 주변 산림, 가이식장, 공사장의 나트륨이온 함량은 큰 차이가 없었다. 전기전도도는 주변 산림과 가이식장은 0.05, 공사장은 0.04로 큰 차이가 없었다. 염분농도는 주변 산림, 가이식장, 공사장이 모두 0.004로 동일하게 나타났다.

Kruskal-wallis 검정 결과, 화학적 특성은 산도, 유기물함량, 전질소, 유효인산에서 집단 간 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. Bonferroni 사후검정 결과, 산도는 주변 산림과 가이식장, 주변 산림과 공

Table 5. Descriptive statistics and normality test of chemical properties

Chemical properties	Sampling site	N	Mean	SD	Min	Median	Max	Shapiro
pH	Surrounding forest	20	5.01	±0.34	4.27	5.04	5.73	W=0.926 p=0.001
	Temporary transplant site	20	6.13	±0.88	4.88	5.93	7.75	
	Construction site	20	6.57	±0.85	4.85	6.79	7.83	
O (%)	Surrounding forest	20	0.48	±0.19	0.10	0.50	0.83	W=0.939 p=0.005
	Temporary transplant site	20	0.42	±0.15	0.17	0.43	0.62	
	Construction site	20	0.26	±0.21	0.10	0.17	0.80	
TN (%)	Surrounding forest	20	0.03	±0.02	0.01	0.03	0.07	W=0.895 p=0.000
	Temporary transplant site	20	0.03	±0.02	0.01	0.03	0.07	
	Construction site	20	0.01	±0.01	0.01	0.01	0.04	
Available P (mg/kg)	Surrounding forest	20	24.18	±14.61	7.24	21.05	53.04	W=0.928 p=0.002
	Temporary transplant site	20	37.47	±17.23	13.52	37.47	77.80	
	Construction site	20	26.72	±12.66	8.71	23.01	61.66	
CEC (cmol+/kg)	Surrounding forest	20	7.29	±2.27	3.85	6.96	13.28	W=0.862 p=0.000
	Temporary transplant site	20	7.12	±2.88	4.01	6.25	15.43	
	Construction site	20	6.23	±2.37	3.75	5.32	12.77	
K ⁺ (cmol+/kg)	Surrounding forest	20	0.13	±0.04	0.05	0.12	0.22	W=0.923 p=0.001
	Temporary transplant site	20	0.15	±0.05	0.08	0.14	0.27	
	Construction site	20	0.13	±0.06	0.06	0.11	0.32	
Ca ²⁺ (cmol+/kg)	Surrounding forest	20	3.34	±2.69	0.53	2.60	9.83	W=0.900 p=0.000
	Temporary transplant site	20	3.49	±2.79	0.54	2.75	11.50	
	Construction site	20	4.61	±2.32	1.26	3.98	9.34	
Mg ²⁺ (cmol+/kg)	Surrounding forest	20	0.87	±0.47	0.12	0.88	1.75	W=0.961 p=0.053
	Temporary transplant site	20	0.98	±0.47	0.22	1.03	1.67	
	Construction site	20	0.92	±0.43	0.27	0.84	1.66	
Na ⁺ (cmol+/kg)	Surrounding forest	20	0.12	±0.06	0.03	0.11	0.23	W=0.972 p=0.184
	Temporary transplant site	20	0.13	±0.06	0.02	0.13	0.29	
	Construction site	20	0.11	±0.04	0.03	0.11	0.17	
EC (dS/m)	Surrounding forest	20	0.05	±0.03	0.01	0.04	0.14	W=0.909 p=0.000
	Temporary transplant site	20	0.05	±0.03	0.02	0.05	0.12	
	Construction site	20	0.04	±0.02	0.01	0.04	0.07	
Salinity (%)	Surrounding forest	20	0.004	±0.001	0.001	0.004	0.006	W=0.939 p=0.005
	Temporary transplant site	20	0.004	±0.002	0.001	0.004	0.009	
	Construction site	20	0.004	±0.002	0.001	0.004	0.009	

사장 사이에 유의한 차이가 있었다. 유기물함량과 전 질소는 주변 산림과 공사장, 가이식장과 공사장 사이에 유의한 차이가 있었다. 유효인산은 주변 산림과 가

이식장 사이에 유의한 차이가 있었다. 그 외의 항목은 유의한 차이가 없었다(Table 6).

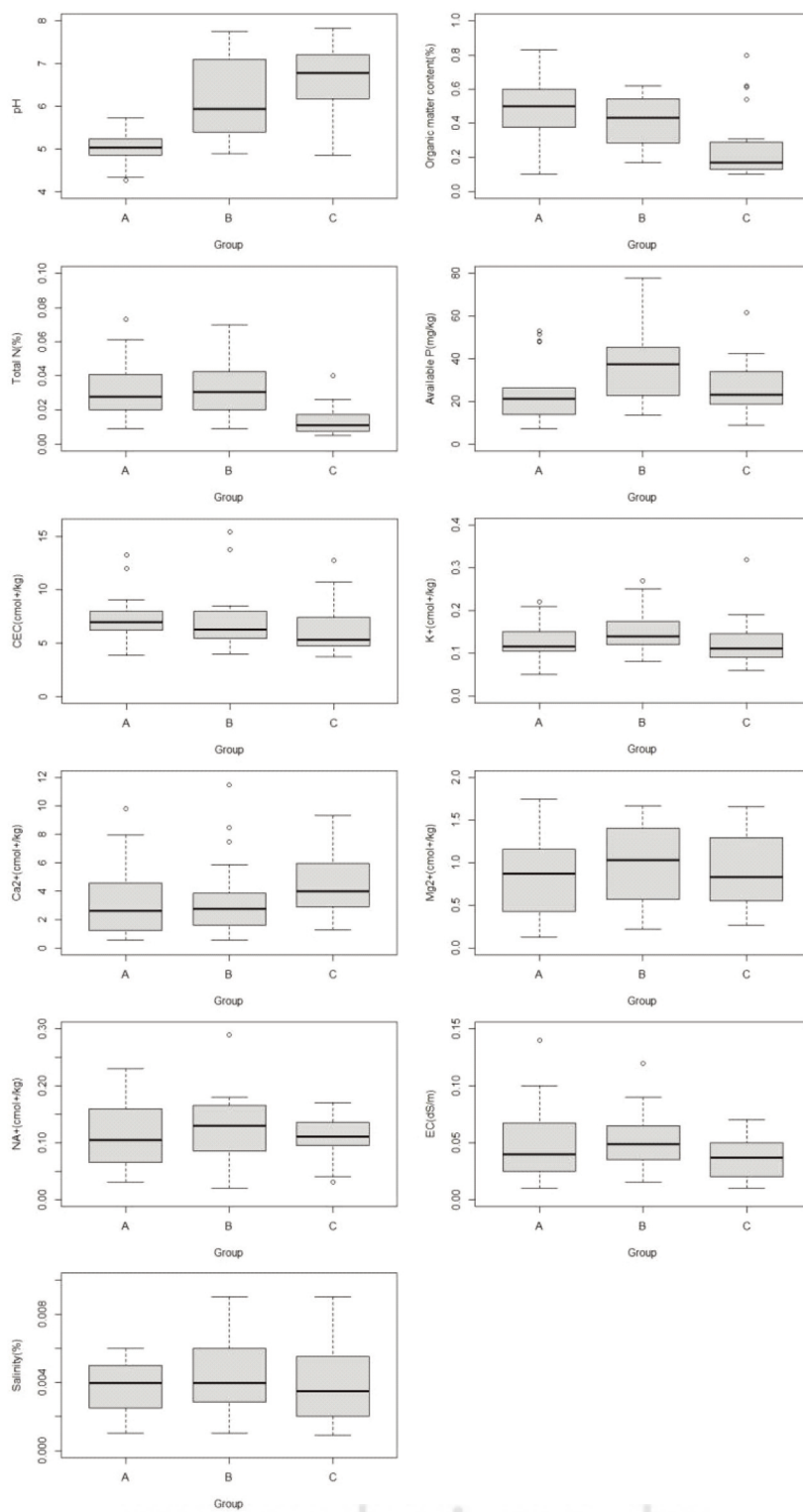


Figure 4. Results of physical properties (A: Surrounding forest, B: Temporary transplant site, C: Construction site)

Table 6. Kruskal-Wallis and Bonferroni test results of chemical properties

Factor	Chi-squared	p-value	Bonferroni
pH	30.258	0.000*	A vs. B, C
OM	12.597	0.002*	A, B vs. C
TN	22.562	0.000*	A, B vs. C
Available P	7.2833	0.026*	A vs. B
CEC	4.0927	0.129	-
K ⁺	4.5033	0.105	-
Ca ²⁺	5.6619	0.059	-
Mg ²⁺	0.42136	0.81	-
Na ⁺	0.81022	0.667	-
EC	3.7536	0.153	-
Salinity	0.47425	0.789	-

* $p < 0.05$

IV. 논의

사질토(sandy soils)는 수분 보유 능력이 낮고, 비가 와도 과도하게 배수가 되며, 관개용수가 뿌리영역의 아래에 분포하여 식물이 이용하기 어렵다(Andry et al., 2009). 본 연구에서 공사장의 토양은 총 20개의 샘플링 지점 중 40%인 8개 지점의 토양이 양질사토(LS)로 나타났다. 미소환경의 개선은 식물의 생장에 직접적으로 영향을 주는데(Xiong et al., 2019), 사질토 또는 양질사토를 개선하는 간단한 방법은 토양 유기물의 함량을 증가시키는 것이다(Andry et al., 2009). Li et al. (2018)은 토양의 수분을 유지하고 토양의 특성을 개선하여 식물의 생장을 강화하기 위한 유기 개량제인 우드칩의 효과를 제시하였다. 그 효과는 구체적으로 토양 수분 함량의 개선, 유기탄소 함량 증가, 토양 비옥도 향상, 미생물 활동 강화, 작물의 생장 향상이었다. 식물의 낙엽은 식물 생장에 필요한 토양 수분과 영양소에 영향을 주고, 표토의 미소환경을 개선하는 역할을 한다(Xiong et al., 2019). 따라서 수목의 이식 후 우드칩으로 표면을 덮어주거나(Photo 2), 공사 시 훼손되는 산림의 비옥도와 함께 낙엽을 모아놓았다가 활용하는 방안도 필요하다.

점토의 함량이 높으면 입자 간 지속적인 팽창으로 입단화되지만, 사질성 토양은 입자간 뭉침이 적다(Son and Cho 2009, Yun et al., 1996). 4번 지점

의 토양은 주변 산림, 가이식장, 공사장 모두 점토의 함량이 높은 식양토로 나타났는데(Figure 2), 주변 산림은 유기물의 함량이 보다 높고 유기물층이 분포하여 식물의 생육이 가능하지만, 가이식장과 공사장에 수목을 식재할 경우 배수가 불량함에 따른 여러 가지 문제가 발생할 수 있을 것으로 판단된다. 일반적으로 점토의 함량이 높으면 배수가 불량해지는데, 배수가 불량하면 통기성이 감소되고, 무기물의 흡수 능력이 감소하거나 뿌리의 발달이 저하되는 등의 부정적 영향이 나타날 수 있다(Puhalla et al., 2002). 또한 토양 내 수분의 이용가능성은 식물과 토양 피드백의 매커니즘을 변화시킬 수 있는데(Bennett and Klironomos 2018), 습한 환경에서의 영양소 침출이나 건조한 환경에서의 영양소 이용이 어려울 수 있다(Kaisermann et al., 2017). 따라서 점토의 함량이 높은 토양은 물리성과 구조를 개선하기 위하여 유기물을 첨가해 줄 필요가 있다(Son and Cho 2009).

토양의 물리적 특성인 투수계수, 유효수분율, 경도는 주변 산림과 공사장, 가이식장과 공사장 사이에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(Table 4). 공사장의 투수계수와 경도는 주변 산림과 가이식장 보다 높게 나타났고, 유효수분율은 낮게 나타났다(Figure 3). 공사장은 장비와 사람의 이용 등으로 인해 경도는 높게 나타났고, 모래와 미사의 함량은 높고 점토의 함량은 낮아(Figure 2) 토양 내 수분이 지나는 대공극이 많으므로 투수계수는 높게 나타나고, 유효수분율은 낮게 나타난 것으로 판단된다. 공사장의 경도를 낮추기 위하여 수목을 최종 이식 하기 전에 토양 개량, 경운, 배토 등을 실시하여 물리성을 개선할 필요가 있다(Kim et al., 2002).

유기물함량과 전질소는 주변 산림과 공사장, 가이식장과 공사장 사이에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(Table 6). 공사가 시작되면 산림의 유기물층(O층)과 표토층(A층)은 제거되므로 공사장 토양의 유기물과 전질소의 함량이 낮게 나타난 것으로 판단된다. 가이식장도 수목의 식재를 위해서 단기간에 지반을 조성한 것으로 유기물층이 부족하다. 표토의 깊이는 일반적으로 30cm이므로(Lee et al., 2019), 이에 해당하는 깊이 이내에 부숙된 유기물을 혼합하여 인

위적으로 유기물층을 조성해줄 필요가 있다. 공사 시 모아놓은 비옥토를 활용한다면 더 효과적일 것으로 판단된다. 이러한 유기물층의 조성은 입단화를 촉진하여 배수가 잘 되도록 도와주고 식물이 이용할 수 있는 수분인 유효수분율을 높여 이식된 수목의 뿌리 생장을 촉진시킬 수 있다.

유효인산은 주변 산림과 가이식장 사이에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(Table 6). 주변 산림은 평균 24.18이고, 가이식장은 평균 37.47로 매우 높게 나타났다. 가이식장은 이식 작업에서 필수적으로 뿌리발근제를 살포하여 뿌리의 발근을 촉진시키므로 (Lim et al, 2002), 뿌리의 생육에 기여하는 인산이 포함된 뿌리발근제의 사용에 따른 영향일 수 있을 것으로 판단된다.

V. 결론

우리나라에서는 매년 약 2,583건의 환경영향평가 사업에 대한 협의가 이루어지고 있으며, 사업으로 인해 훼손되는 수목의 일부를 이식하고 있다. 양호한 산림에서 서식하던 수목들을 토양 환경이 열악한 가이식장과 최종 이식장인 공사장에 이식하고 있다. 식물과 토양은 직접적 영향을 주고받으며 상호작용을 하는데, 수목의 생육에 직접적 영향을 미치는 가이식장과 최종 이식장인 공사장의 토양 현황과 개선 방안에 대한 연구는 거의 없다. 이 연구에서는 주변 산림, 가이식장, 공사장의 토양을 샘플링 한 후 물리적 및 화학적 특성을 분석하여 비교하고, 식물이 원래 살았던 산림 토양 환경의 조건으로 회복할 수 있는 개선 방안을 제시하였다.

물리적 특성은 토성, 투수계수, 유효수분율, 경도 등 4가지 항목을 분석하였고, 화학적 특성은 산도, 유기물함량, 전질소, 유효인산, 양이온치환용량, 칼륨이온, 칼슘이온, 마그네슘이온, 나트륨이온, 전기전도도, 염분농도 등 11가지 항목을 분석하였다. 주변 산림, 가이식장, 공사장의 토양은 화학적 특성보다 물리적 특성에서 분명한 차이가 나타났다.

인간의 활동은 안정된 지표면의 토양과 식생의 상태를 급속히 변화시키고 침식을 가속화시킨다. 같은

조건의 비가 오더라도 유실되는 토양이 훨씬 많다 (Goldman et al, 1986, Kim et al, 2009). 최종 이식이 이루어지는 공사장은 식물, 토양을 지지해주는 식물의 뿌리, 토양의 유기물층을 제거한 후 강우 등으로 인해 미사와 점토가 유실되어 모래의 함량이 주변 산림과 가이식장보다 높게 나타나는 경향이었다. 모래 함량이 많은 토양은 투수계수는 높고 유효수분율은 낮은 결과와 관련이 있는 것으로 판단된다. 동일한 이유로 모래 함량이 많은 토양은 양분을 보유하는 양이온치환용량이 낮아 공사장 토양의 화학적 특성 중 유기물과 전질소 함량과 같은 양분 이온이 낮게 나타났다.

최종 이식이 이루어지는 공사장 토양의 물리적 특성은 식물이 이용할 수 있는 수분을 확보하는 것이 가장 중요하다. 경도가 높은 단단한 토양은 토양 개량과 경운을 통해 경도를 낮춰주고 미사 및 점토 함량이 많아 배수가 불량한 토양은 마운딩 및 멍거 배수 등으로 표면 배수를 촉진시킬 필요가 있다. 또한 투수계수를 낮추고 유효수분율을 높일 수 있도록 부숙된 유기물을 첨가하여 인위적으로 유기물층을 조성한다면 이식한 수목이 고사하거나 생육이 불량한 비율이 감소할 것으로 판단된다.

이 연구를 통해 가이식장과 최종 이식이 이루어지는 공사장의 토양 특성을 파악하였고, 그에 따라 적합한 개선 방안을 제시하였다. 훼손되는 수목의 이식은 토양의 물리적 및 화학적 특성을 개선한 후에 실시하여 고사율을 낮추고 생육이 불량하지 않도록 관리하는 것이 필요하다. 향후 충분한 샘플링을 확보하여 정교한 분석을 할 필요가 있으며 토양의 물리적 및 화학적 특성과 식물 생육과의 상관관계를 분석하여 토양의 특성이 식물의 생육에 미치는 영향을 파악하기 위한 연구가 필요하다.

사사

본 연구는 국립생태원의 「환경영향평가 가이식장 운영 개선 연구(NIE-기반연구-2021-30)」와 국립환경과학원의 「환경영향평가서 등의 검토사업」의 지원을 받아 수행하였습니다.

References

- Abdul Khalil HPS, Hossain MS, Rosamah E, Azli NA, Saddon N, Davoudpoura Y, Islam MN, Dunbgani R. 2015. The role of soil properties and it's interaction towards quality plant fiber: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 43: 1006-1015.
- Adhikari K, Hartemink AE. 2016. Linking soils to ecosystem services-a global review. *Geoderma* 262:101-111.
- Andry H, Yamamoto T, Irie T, Moritani S, Inoue M, Fujiyama H. 2009. Water retention, hydraulic conductivity of hydrophilic polymers in sandy soil as affected by temperature and water quality. *Journal of Hydrology* 373: 177-183.
- Barman U, Choudhury RD. 2020. Soil texture classification using multi class support vector machine. *Information Processing in Agriculture* 7: 318-332. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.08.001>.
- Bennett JA, Klironomos J. 2018. Mechanisms of plant-soil feedback: interactions among biotic and abiotic drivers. *New Phytologist* 222: 91-96. (doi: 10.1111/nph.15603)
- Bennett JA, Maherali H, Reinhart KO, Lekberg Y, Hart MM, Klironomos J. 2017. Plant-soil feedbacks and mycorrhizal type influence temperate forest population dynamics. *Science* 355: 181-184.
- Birnbaum C, Bradshaw LE, Ruthrof KX, Fontaine JB. 2017. Topsoil stockpiling in restoration: impact of storage time on plant growth and symbiotic soil biota. *Ecological Restoration* 35: 237-245.
- Carvalho LG, Bartomeus I, Rollin O, Timoteo S, Tinoco CF. 2021. The role of soils on pollination and seed dispersal. *Philosophical Transactions Royal Society B* 376, 20200171. (doi:10.1098/rstb.2020.0171)
- Cheng K, Xu X, Cui L, Li Y, Zheng J, Wu W, Sun J, Pan G. 2021. The role of soils in regulation of freshwater and coastal water quality. *Philosophical Transactions Royal Society B* 376, 20200176. (doi:10.1098/rstb.2020.0176)
- Choi Y. 2014. Carbon emission study of transplanting large trees - Focused on red pine tree (*Pinus densiflora*) from Gangwon Province, South Korea - Master's Degree, Graduate School of Seoul National University, p. 57. [Korean Literature]
- De Deyn GB, Kooistra L. 2021. The role of soils in habitat creation, maintenance and restoration. *Philosophical Transactions Royal Society B* 376, 20200170. (doi:10.1098/rstb.2020.0170)
- Giltrap D, Cavanagh J, Stevenson B, Ausseil A-G. 2021. The role of soils in the regulation of air quality. *Philosophical Transactions Royal Society B* 376, 20200172. (doi:10.1098/rstb.2020.0172)
- Goldman SJ, Jackson K, Bursztynsky TA. 1986. *Erosion and Sediment Control Handbook*. McGraw Hill, pp. 5.1-5.32.
- Golos PJ, Dixon KW, Erickson TE. 2016. Plant recruitment from the soil seed bank depends on topsoil stockpile age, height, and storage history in an arid environment. *Restoration Ecology* 24: S53-S61.
- Hamilton NE, Ferry M. 2018. ggtern: Ternary Diagrams Using ggplot2. *Journal of Statistical Software, Code Snippets* 87(3): 1-17. (doi: 10.18637/jss.v087.c03).
- Jung SG. 2012. An Analysis on the use situation of the reusing Landscape tree in lanscaping of re-construction Apartment Complex. Master's degree, the Graduate School of Engineering, Hanyang University, p. 143. [Korean Literature]

- Kaisermann A, Vries FT, Griffiths RI, Bardgett RD. 2017. Legacy effects of drought on plant-soil feedbacks and plant-plant interactions. *New Phytologist* 215: 1413-1424. (<https://doi.org/10.1111/nph.14661>)
- Keesstra S, Sannigrahi S, Lopez-Vicente M, Pulido M, Novara A, Visser S, Kalantari Z. 2021. The role of soils in regulation and provision of blue and green water. *Phil. Philosophical Transactions Royal Society B* 376, 20200175. ([doi:10.1098/rstb.2020.0175](https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0175))
- Kim DY, Lee SH, Im SJ. 2011. Analysis of the effects of tree roots on soil reinforcement considering its spatial distribution. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 14(4): 41-54. [Korean Literature]
- Kim IC, Lee JH, Joo YK, Minner D. 2002. Effects of rubber chips from used tires on spots turf ground as soil conditioner. *Korean Journal of turfgrass science* 16(1): 19-30. [Korean Literature]
- Kim JH, Kim KT, Lee HJ. 2009. Analysis of Korea Soil Loss and Hazard Zone. *The Journal of GIS Association of Korea* 17(3): 261-268. [Korean Literature]
- Korea Environment Institute. 2017. 「EIA Guideline Series A(Ver2.0)」, p. 21. [Korean Literature]
- Korea Land Development Corporation. 1994. *The Study of Utilizing Wild Plants in Land Development District-Focused on New Town (Bundang and Ilsan)-*. Korea Land Development Corporation Report, p. 113. [Korean Literature]
- Lal R, Monger C, Nave L, Smith P. 2021. The role of soil in regulation of climate. *Phil. Philosophical Transactions Royal Society B* 376, 20210084. ([doi:10.1098/rstb.2021.0084](https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0084)).
- Lee SC, Jo BY, Choi SH. 2015. A study of establishment ratio of native tree transplant. *Korean Institute of Landscape Architecture* 43(2): 23-29. [Korean Literature]
- Lee SD, Kang HK. 2012. Transplantation method of damage ecosystem associated with development of the borrow pits. *Korean Journal of Environment and Ecology* 26(3): 394-405. [Korean Literature]
- Lee SD, Choi SH. 2009. Study on the selection criteria for transplanting trees in the forest reserve areas designated for future development. *Korean Journal of Environment and Ecology* 23(6): 535-544. [Korean Literature]
- Lee TH, Kim SW, Shin YC, Jung YH, Lim KJ, Yang JE, Jang WS. 2019. Development of soil organic carbon storage estimation model using soil characteristics. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 61(6): 1-8. [Korean Literature]
- Li Z, Schneider RL, Morreale SJ, Xie Y, Li C, Li C. 2018. Woody organic amendments for retaining soil water, improving soil properties and enhancing plant growth in desertified soils of Ningxia, China. *Geoderma* 310: 143-152.
- Lim JH, Lee JK, Kim HH. 2002. A study on the transplantation methods of large trees – The case of *Celtis sinensis* in Chonan and *Ginkgo biloba* in Andong –. *Journal of Korean Institute of Landscape Architecture* 30(4): 92-104. [Korean Literature]
- Moon YJ, Park HJ, Cha JG, Na JJ, Lee SM. 2021. Stakeholder perception on the transplanting damaged Trees. *Journal of Environmental Impact Assessment* 30(6): 361-379. [Korean Literature]
- Munoz-Rojas M, Erickson TE, Martini DC, Dixon KW, Merritt DJ. 2016. Climate and soil factors influencing seedling recruitment of

- plant species used for dryland restoration. *The Soil* 2: 287-298.
- Puhalla J, Krans J, Goatley M. 2002. Sports fields: A manual for design, construction and maintenance. Ann Arbor Press, MI, USA.
- Putten WH, Bradford MA, Brinkman EP, Voorde TFJ, Veen GF. 2016. Where, when and how plant-soil feedback matters in a changing world. *Functional Ecology* 30(7): 1109-1121.
- Institute of Agricultural Science and Technology. 2000. Soil and plant analysis methods. p. 202. [Korean Literature]
- Samaddar S, Karp DS, Schmidt R, Devarajan N, McGarvey JA, Pires AFA, Scow K. 2021. Role of soil in the regulation of human plant pathogens: soils' contributions to people. *Philosophical Transactions Royal Society B* 376, 20200179. (doi:10.1098/rstb.2020.0179)
- Smith P, Keesstra SD, Silver WL, Adhya TK. 2021. The role of soils in delivering Nature's Contributions to People. *Philosophical Transactions Royal Society B* 376: 20200169. <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0169>
- Son JG, Cho JY. 2009. Effect of organic material treatments on soil aggregate formation in reclaimed tidelands. *Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 42(3): 201-206. [Korean Literature]
- Tóth G, Hermann T, da Silva MR, Montanarella L. 2018. Monitoring soil for sustainable development and land degradation neutrality. *Environmental Monitoring and Assessment* 190: 57.
- Xi N, Adler PB, Chen D, WU H, Catford JA, Bodegom PM, Bahn M, Crawford KM, Chu C. 2021. Relationships between plant-soil feedbacks and functional traits. *Journal of Ecology* 109: 3411-3423. (doi:10.1111/1365-2745.13731)
- Xiong Y, Yu B, Bai M, Zhang X, Huang G, Furman A. 2019. Soil properties and plant growth response to litter in a prolonged enclosed grassland of Loess Plateau, China. *Journal of Earth Science* 30(5): 1041-1048.
- Yun BK, Jung PK, Oh SJ, Kim SK, Ryu IS. 1996. Effects of compost application on soil loss and physico-chemical properties in lysimeters. *Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 29(4): 336-341. [Korean Literature]
- EIASS (Environmental Impact Assessment Information Support System). Consultation status statistics. <https://www.eiass.go.kr/statistic/statusStatsNew.do> (2022.10.28. accessed). [Korean Literature]
- RStudio Team. 2022. RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC, Boston, MA. URL <http://www.rstudio.com/>.
- Wickham H. 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer International Publishing, New York. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-24277-4>.