

현장발생토 활용 식재기반 조성유형별 졸참나무 생육 특성 평가*

오득균**·윤용한***·김원태****

Evaluation of *Quercus serrata* Growth Characteristics by Conditions Based on Planting Ground Utilizing Civil Work Soil*

Deuk-kyun Oh**·Yong-han Yoon***·Won-tae Kim****

요약 : 이 연구는 도시의 개발에 불가항력으로 발생하고 있는 현장발생토를 자원으로 인식을 확대하고, 표토자원 활용 의무화의 기초자료로 활용하는 것이 목적이다. 이에 현장발생토를 토양층위 특성을 고려하고 식재기반으로 활용하였을 때, 졸참나무의 생존율과 생육반응을 분석하였다. 분석 결과, 토양물리성은 표토의 배합비가 높은 실험구가 양토, 심토만 사용된 실험구는 사질양토인 것으로 확인됐으며, 표토의 배합비가 높을수록 공극률과 내수성 입단율이 높은 것으로 나타나 식물생육에 더욱 유리한 환경인 것으로 판단되었다. 또한 표토층에 가까운 토양을 식재기반으로 활용할수록 토양의 화학성이 안정되는 결과로 확인됐다. 하지만 일부 복합비료와 유기질비료 사용 시 유효인산, 치환성 양이온 용량 등 항목에서 과다 공급이 나타났다. 이에 따른 졸참나무의 생존율은 O층(100%) > 무처리비료(83%) = 유기질비료(83%) > 복합비료(67%) > 유기질비료+복합비료(0%)의 순으로 나타났다($p < 0.05$). 이에 토양을 유기물층과 표토층, 심토층을 구분하여 조경공사에 활용하면 별도의 관리가 불필요할 정도로 식물하자 저감에 기여할 수 있을 것으로 예상되었다. 또한 식물의 관리 필요성이 감소해 추가적인 경제성까지 고려될 수 있을 것으로 판단되었다.

주제어 : 도시개발, 토목공사, 조경식재, 반복측정 분산분석

ABSTRACT : The purpose of this research is to expand awareness about civil work soil as resources, which are being created as a result of city development and to provide foundational data for mandatory utilization of A horizon resources. Therefore, It was examine the survival rate and growth responses of *Quercus serrata* when using civil work soil as planting ground by considering the characteristics of soil horizons.

As a result, using soil closer to A horizon as planting ground enabled stabilized physicochemical features of soil, leading to favorable plant growth. As such, it is expected that using soil for civil work soil by categorizing them into O horizon, A horizon, and B horizon will contribute to reducing plant defects without the necessity for additional management. Also, additional economic effects are expected by the reduced necessity for plant management.

KeyWords : *Urban Development, Civil Work, Landscape Planting, Repeated Measure Anova*

* 이 논문은 환경부의 환경산업선진화기술개발사업(과제번호 : 2014000130009)에 의하여 연구되었습니다.

** 건국대학교 녹색환경시스템전공 조교수(Assistant Professor, Dept. of Green Environment System, Kunkuk Univ.)

*** 건국대학교 녹색환경시스템전공 교수(Professor, Dept. of Green Environment System, Kunkuk Univ.)

**** 연암대학교 환경조경전공 부교수 (Associate Professor, Dept. of Environment and Landscape Architecture, Yonam Univ.)

교신처(E-Mail : midori66@hanmail.net, 041-580-1171)

I. 서론

1. 연구의 배경과 목적

토양은 인간생활에 기반으로서의 역할을 수행하며, 오염물질 정화, 수자원함양, 대기정화, 대기냉각, 수질정화 기능을 수행한다. 이에 우리나라의 전체 토양의 직접사용가치는 3,277조 원, 간접사용가치는 51.8조 원으로 추산되고 있다(박소연 외, 2016). 특히 표토는 오염물질 정화와 수자원 순환 및 탄소저장, 그리고 자원저장 등 약 26.4조 원의 가치를 지닌 것으로 추정된다(환경부, 2010). 이러한 경제적 가치를 가지고 있는 토양의 유실은 국가경제적으로도 매우 큰 손실이라고 할 수 있을 것이다.

우리나라의 도시는 경제활동 인구의 증가와 집중화로 인해 수요분산을 위한 신도시 정책을 펼치며 지속적으로 팽창하고 있다. 도시개발에서는 필수불가결하게 토양의 유실이 일어나는데, 자연적인 현상으로 인한 토양유실과 달리 도시, 도로개발 등 인간의 개발활동은 훨씬 더 큰 유실을 유발하며, 이를 가속화된 침식현상이라 한다(김주훈 외, 2009). 현재 우리나라의 도시화 및 개발로 인한 토양유실은 연간 개발 사업지 토양의 10%가 유실되고 있는 것으로 추정되고 있지만 구체적인 수치는 아직까지 제시되지 않고 있다(환경부, 2012).

도시개발 과정에 발생하는 토양침식, 특히 표토의 유실은 일찍이 환경문제로 인식되었다. 이에 환경부에서는 2013년~2017년 ‘표토보전 종합계획’을 수립하여 표토를 자원적 측면에서 수집, 보전 및 재활용계획을 환경영향평가를 통해 평가하여 표토의 보전을 강화하는 방안을 제시하고 있다(환경부, 2013; 신경희, 2015). 이러한 노력에 따라

도시개발 사업에 대하여 표토유실 관리를 위하여 표토 수집, 보관, 재활용에 대한 가이드라인을 제공하고 있지만, 대규모 개발사업에 한하여 적용되고, 의무제가 아니기 때문에 각종 개발현장에서는 공사 중 발생하는 유용자원인 표토를 제대로 활용하지 못하고 있는 실정이다.

실제로 우리나라의 개발현장에서 발생한 대부분의 토양은 본래의 식재기반으로 목적과 기능을 상실한 채 시설물·구조물의 기반재로 사용되거나 외부로 폐기처분되고 있는 것이 현실이다. 이러한 행태는 유용자원으로서 토양을 낭비할 뿐만 아니라, 해당현장이 식재기반으로서의 기능을 상실하여, 조경식재 공사 시 추가적인 비배관리를 실시하게 되어 경제적인 부담으로도 이어지게 된다(김원태 외, 2012).

향후 우리나라는 단순 도시개발뿐만 아니라 국가균형발전 정책의 영향으로 인해 전국적으로 지속적인 개발이 예상되는 바 개발현장의 현장발생토 활용의 의무화가 필요한 시점이다.

개발현장 현장발생토에 관한 국내연구는 크게 현장발생토 처리현황 연구와 현장발생토 효용 검증연구로 구분 지을 수 있다. 첫 번째로 국내 현장발생토 처리현황연구는 개발현장 등에서 발생하는 표토가 활용되는 현황 및 표토의 이화학성 분석연구가 주를 이루었다(김원태 외 2012; 조용현 외, 2013). 두 번째로 현장발생토 효용 검증연구들은 표토를 자원으로서의 활용가치를 실제적으로 검증하고 표토의 수집 이용에 관한 기준을 정립하기 위하여 수행되었는데, 우리나라의 표토 보전을 위한 표토활용 및 관리 현황 및 가이드라인 제공(김성미 외, 2007; 신경희, 2015), 식물 식재공사에 표토를 활용하기 위한 효용성 검증연구(김원태 외, 2014; 양경, 2016; 강현미 외, 2017)가 대표적이었다.

위와 같이 선행연구들은 현재 우리나라에서 표토의 이용 및 관리 실태에 대해 조사 분석한 연구가 주를 이루고 있으며, 일부 표토의 이화학적 성에 관한 연구 및 식물의 생육반응에 대한 연구(강현미 외, 2017)가 수행되었으나, 대규모 산지공사에 적용한 연구였다. 식물의 생육에는 매우 다양한 요인이 영향을 미치는데 이러한 연구는 연구대상지가 매우 넓어 각각의 요인을 정확하게 통제하였다고 가정하는 데에는 한계가 있는 것으로 판단되었다.

이에 이 연구에서는 도시개발현장에서 발생하는 토양을 유용자원으로서 인식하고 현장발생토 종류별 식물생육을 분석하여 표토자원활용 효율성 확인 및 실제 현장에서 토양채취 및 활용의 의무화에 대한 기초자료로 활용하고자 수행하였다.

2. 연구의 범위 및 방법

1) 연구범위

이 연구는 충청북도 충주시에 위치한 건국대학교 글로벌캠퍼스 녹색기술융합학과 전공실습장에서

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

2) 연구방법

연구에 사용된 토양은 건국대학교 글로벌 캠퍼스 소재의 야산 상수리나무 군락 토양을 대상으로 하였다. 토양 채취에 앞서 토양단면 조사를 실시하였으며, 조사결과에 따라 유기물층(O Horizon), 표토층(A Horizon), 집적층(B Horizon)으로 분류하여 채취하였다. 이후 채취된 토양을 4kg 기준으로 표토 100%(이하 control)를 대조구로 설정하고, 심토 100%(이하 B), 표토 50%+심토 50%(이하 AB)를 기준 실험구로 설정하였다. 또한 심토 처리구(B)의 경우 식물의 생육불량이 예상되므로, 적절한 토양개량 방법에 대해 알아보기 위하여 기준 실험구에 유기질비료 1kg(Organic fertilizer; 이하 C), 복합비료 6g(Complex fertilizer; 이하 D), 유기질 1kg+복합 비료 6g(이하 CD), 유기물층 처리 1kg(이하 O) 등 4가지의 토양개량제 처리를 적용하였다. 이에 따라 총 11개의 유형을 3반복으로 실시하여 총 33개의 실험구를 조성하였다(〈표 1〉).

〈표 1〉 실험구 조성 방법

구분	배합비
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)

이상 조성된 토양을 직경 190mm, 높이 200mm 플라스틱 4L 포트에 각각 4kg 충전하고 토양재료 채취현장과 동일 수종인 졸참나무(*Quercus serrata*) 2년생을 1주씩 식재하였으며, 실험구 조성 초기 졸참나무의 평균 규격은 <표 2>와 같다. 이후 2주 동안 식재된 수목의 원활한 활착을 위하여 온실 내부에 비치하여 순화과정을 거친 후 일반 노지에 배치하였다. 또한 노지에 배치함에 있어 위치의 차이에 따른 결과의 오차를 방지하기 위하여 난괴법을 적용하였다.

<표 2> 실험구 조성 초기 졸참나무(*Quercus serrata*) 규격

구분	규격	표준편차
수고(cm)	51.5758	1.44471
근원직경(mm)	5.4576	0.25670

3) 분석방법

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

졸참나무 생육반응 측정항목으로는 생육정도를 정량적으로 표현할 수 있는 생존율과 수고, 근원직경으로 선정하였다. 수고 측정은 근원부 시작점에서 초두부까지의 직선길이를 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 2주 간격으로 실험포지에 목측을 통하여 졸참나무의 생존여부를 조사하였다.

실험결과의 분석은 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 시점별, 유형별 차이를 검정하기 위하여 Duncan's multiple range test를 활용하여 사후검정을 실시하였다. 또한 Kaplan-Meier 분석을 통해 식물의 누적생존율을 분석하고 시점별 생존율의 통계적인 차이를 검정하기 위하여 Log Rank Test를 적용하였다. 한편, 모든 통계분석은 자연과학연구에서 통상적으로 인정되는 유의확률 5%를 적용하였다($P < 0.05$).

II. 이론적 고찰 및 선행연구 검토

1. 토양 및 표토의 가치와 보전문제

토양은 모암이 풍화작용을 받아 동식물의 유체가 혼합되어 기후, 지형, 생물 등의 작용을 받아 변화되어 특정한 층위의 단면형태를 이루는 자연체를 말하는데, 토양은 층위마다 고유의 특성을 가지

고 있다. 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, 토양의 질에 지대한 영향을 미친다. 반면 표토의 생성은 1cm 두께의 양이 생성되는데 200여 년이 걸릴 만큼 생성속도가 매우 느리기 때문에, 토양자원 중 가장 중요한 자원이라고 할 수 있다(환경부, 2010; 양경, 2016). 이러한 표토는 토양의 최상단에 위치한다는 위치적 특성에 의하여 무분별한 개발과 과도한 토지 이용, 인위적 방목으로 유실에 취약한 상태에 놓여 있으며, 유실에는 불과 1~2년 밖에 소요되지 않기 때문에 사회적, 환경적인 이슈로 대두되고 있다(신경희, 2015). 또한 개발에 따른 표토의 유실은 지형, 기후, 기상, 계절적인 변인과 연계되지 않아 더욱 심각하다고 볼 수 있다.

2. 국내의 현장발생토 관리 현황

토양은 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 33ton/ha로 추산되고 있지만(환경부, 2013), 도시화 및 개발로 인한 유실량은 산정되지 않고 있다.

이렇게 유실되는 토양을 관리하기 위하여 환경부는 수질 비점오염원 저감 관점에서 흙탕물저감 사업, 농림부에서는 농업 생산성 유지관점의 밭 기

반 정비사업 및 토양유실 및 토양양분 유출연구, 산림청의 경우 산림자원 보전을 위한 입도 관리강화, 토석 채취 제한 등의 연구와 사업이 시행되고 있다. 또한 관계부처 협의로 제2차 비점오염원 관리 종합대책을 수립하여 표토를 일부 관리항목으로 설정하고 있으며(환경부, 2010), 환경부에서는 2013년 ‘표토보전 종합계획’을 수립하여 표토를 자원적 측면에서 수집, 보전 및 재활용계획을 환경영향평가를 통해 평가하여 표토의 보전을 강화하는 방안을 제시하고 있다(신경희, 2015). 하지만 앞서 언급한 바와 같이 개발현장에서 발생하는 토양에 대해 표토 수집, 보관, 재활용에 대한 가이드라인은 제시되고 있으나, 의무제가 아니기 때문에 많은 개발현장에서 적용되지 않고 있어 이에 대한 적절한 대응이 필요한 시점이다.

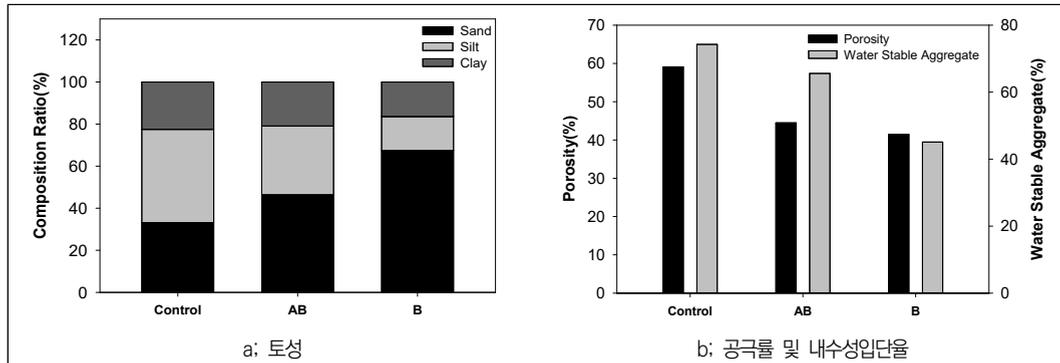
III. 결과 및 고찰

1. 현장발생토 활용 식재기반 조성유형별 토양 이화학적 특성

1) 식재기반 조성유형별 토양 물리적 특성

식재기반 조성유형별 국제토양학회법에 따른 토성은 표토 100% 사용한 control와 표토+심토 처리구인 A의 경우 양토인 것으로 분석되었으며, 심토만 사용된 B 실험구의 토성은 사질양토인 것으로 나타났다. B실험구의 경우 다른 유형에 비하여 모래의 함량이 가장 높았으며, 그에 비해 미사와 점토의 비율이 낮은 것으로 나타났다(그림

〈그림 1〉 식재기반 조성유형별 토양 물리적 특성



1a)). 이는 심토의 위치적 특성상 집적층으로 토양의 깊은 곳에 위치하며 상대적으로 적은 풍화작용을 받았기 때문인 것으로 판단되었다.

표토와 심토를 혼합한 AB실험구는 표토와 심토를 각각 50%를 혼합한 형태로 입경분포에 있어 수치적으로는 두 실험구의 중간정도의 수치를 보이고 있으나, 실제 토성은 표토에 더 가까운 것으로 분석되었다. 이를 통하여 현장에서 표토와 심토를 구분하지 않고 일괄적으로 채취할 경우 각각의 토양층위가 가지고 있는 고유의 토성이 훼손될 것으로 판단되었다. 하지만 표토와 심토의 깊이와 비율을 고려하여 채취하게 되면, 토양자원의 채집에 대한 경제성과 활용성을 극대화 할 수 있을 것으로 판단되었다.

유형별 공극률은 control에서 가장 높은 것으로 분석되었으며, 표토의 함유량이 줄어들수록 공극률 또한 감소하는 경향인 것으로 나타났다. 내수성입단율 또한 공극률과 같은 경향으로 나타났다. 이는 토양 공극을 이루는데 토양수분, 입경, 유기물함량 등 다양한 요인이 영향을 미치는데, 이 중 유기물은 내수성입단물에 가장 큰 영향을 미친다. 이에 토양층위 특성상 심토층보다 표토층에 유기물함량이 높기 때문인 것으로 판단되었다(그림 1b)).

2) 식재기반 조성유형별 토양 화학적 특성

실험구 조성유형별 토양 화학성 분석 결과, 경질계기준(한국조경학회, 2016)을 기준으로 전질소량을 제외한 대부분의 측정항목이 중급 이하를 나타내었으며, 전질소량에서 control과 AB는 상급인 것으로 분석되었다(표 3)). 실험구별 비교 분석결과, pH를 살펴보면 표토만 사용된 실험구 control의 경우 4.7로 산성, 하급이었으며, 표토가 혼합된 실험구 AB에서는 5.5로 산성, 중급을 나타내었다. 심토만 사용된 B는 8.0으로 알칼리성, 불량을 나타내었다. 유기물함량, 전질소량의 경우 표토의 함량이 높을수록 그 값이 높은 것으로 분석되었다. 반면, 유효인산, 치환성 양이온 교환용량, 치환성 칼륨, EC는 토양층위 차이에 따른 뚜렷한 경향은 나타나지 않았다. 그러나 치환성 칼슘, 마그네슘은 표토의 함량이 높을수록 그 수치는 낮은 것으로 나타났다. EC는 뚜렷한 경향을 나타내지는 않았으나, 심토의 배합이 높을수록 control에 비해 상대적으로 높은 것으로 분석되었다(그림 2)). 위와 같은 결과들을 통하여 토양층위에 따른 토양 화학적 특성은 각기 상이한 것으로 판단되었으며, 표토와 심토의 특성이 상이할 경우 두 토양층위의 혼합은 화학적 안정화를 도모할 수 있을 것으로 판단되었다. 또한 표토의 함유량이 많을수록 유기물

함량이 더 높은 것으로 분석되어 앞선 내수성입단 율에 대한 가설을 방증하였다.

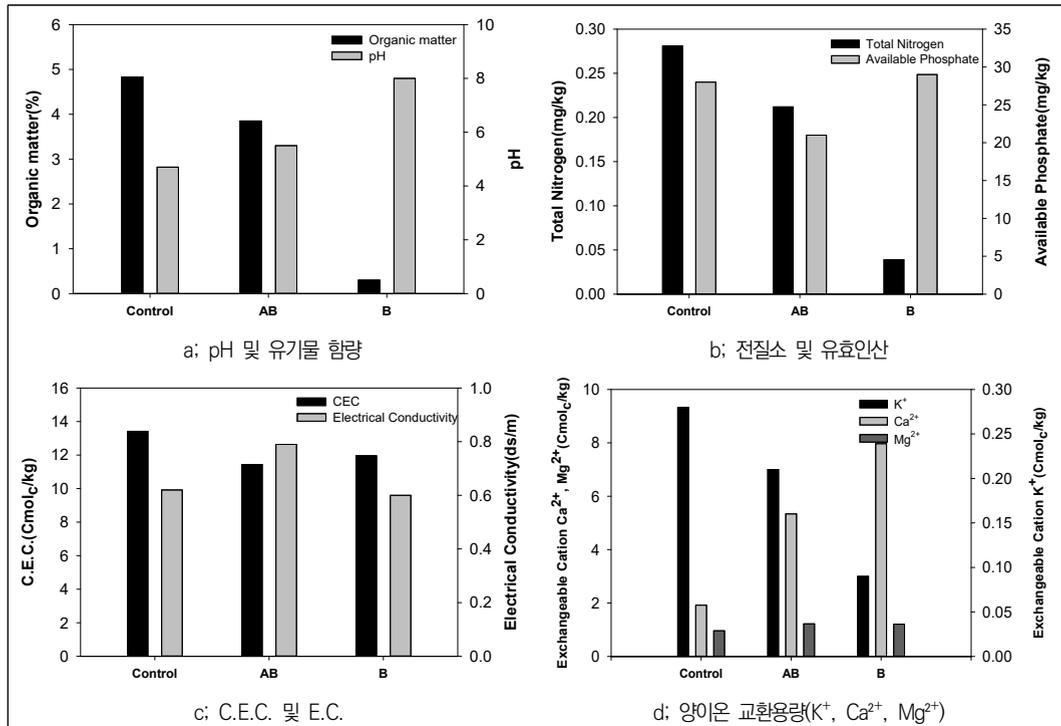
실험구별 생육을 비교 분석결과, 생존율은 control과 AB의 경우 100%인 것으로 나타났으나, 심토만 사용한 B의 경우 66%인 것으로 분석되었다. 수고는 표토만 사용한 control에서 실험기간 31주 동안 평균 $17.33 \pm 3.56\text{cm}$ 성장한 것으로 나타났으며, 평균 변화율은 $34.44 \pm 16.36\%$

2. 현장발생토 활용 식재기반 조성유형별 줄참나무 생육 특성

〈표 3〉 조건설계기준에 따른 식재기반 유형별 토양 화학적 특성

구분	control		AB		B		
	값	지표	값	지표	값	지표	
pH	4.7	하급	5.5	중급	8	불량	
유기물 함량(%)	4.83	중급	3.85	중급	0.3	하급	
전질소(mg/kg)	0.281	상급	0.212	상급	0.039	하급	
유효인산(mg/kg)	28	하급	21	하급	29	하급	
C.E.C.(cmolc/kg)	13.42	중급	11.44	중급	11.96	중급	
치환성양이온 (cmolc/kg)	K+	0.28	하급	0.21	하급	0.09	하급
	Ca ²⁺	1.92	하급	5.34	상급	7.97	상급
	Mg ²⁺	0.96	중급	1.22	중급	1.21	중급
E.C. (ds/m)	0.62	중급	0.79	중급	0.6	중급	

〈그림 2〉 식재기반 유형별 토양 화학적 특성



분석되었다. 표토와 심토의 혼합처리구인 AB의 경우, $12 \pm 4.72\text{cm}$ 성장한 것으로 분석되어 성장률은 $23.86 \pm 10.15\%$ 였다. 반면, 심토만 사용된 B는 실험기간 동안 초두부의 고사가 이루어져 평균 $-11.67 \pm 13.25\text{cm}$ 감소한 것으로 나타났으며, 성장률은 $-31.74 \pm 34.22\%$ 인 것으로 분석되었다(그림 3a).

근원직경은 control에서 실험기간 31주일 동안 평균 $4.99 \pm 0.466\text{mm}$ 가 증가하여 변화율은 $104.18 \pm 8.95\%$ 로 부피생장이 이루어진 것으로 나타났다. AB의 경우 $3.64 \pm 0.92\text{mm}$ 가 증가하여, 그 성장률은 $66.92 \pm 19.75\%$ 인 것으로 분석되었다. 그러나 B의 경우 각각 -0.29mm 로 감소하여 $-16.58 \pm 43.22\%$ 의 부피생장률로 나타나 control에 비하여 상대적으로 낮은 것으로 분석되었다(그림 3b).

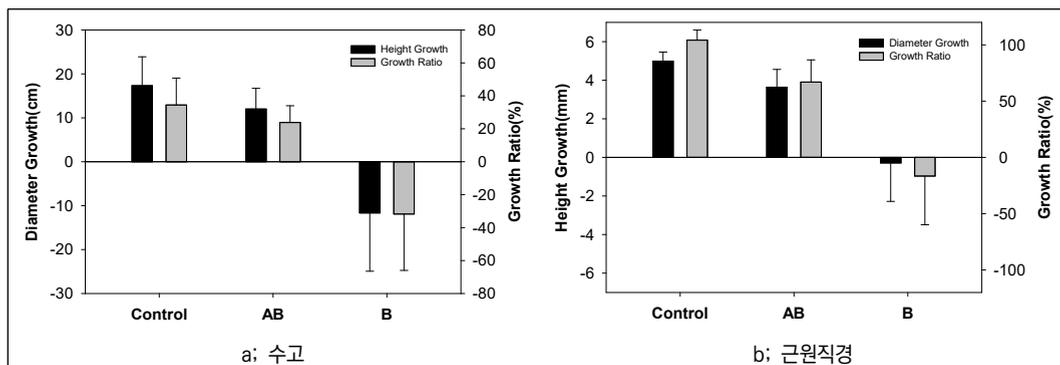
결론적으로 현장발생토 활용 식재기반 조성유형별 줄참나무 수고 및 부피생육은 표토의 함량이 100%일 때 가장 좋았지만, 심토의 배합비가 늘어나면 점차 생육이 불량해지는 것으로 나타났다. 이에 따라 표토의 활용이 줄참나무 생육에 더욱 효과적인 것으로 판단되어 조경식재공사에서 조경식물 하자 저감을 위한 표토자원 효용을 확인할 수 있었다.

3. 현장발생토 활용 식재기반 조성유형별 줄참나무 생육 특성

1) 토양개량제 처리별 식재기반 물리성 변화

앞선 분석결과 심토 혼합비율이 증가할수록 줄참나무 생육이 저조해지는 것으로 판단되었다. 이에 토양기능 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 토양개량제의 종류에 상관없이 공통적으로 표토+심토 처리구에서는 양토, 심토 처리구에서는 사질양토인 것으로 나타났다. 이에 유기질비료, 복합비료, O층 처리는 토성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다(그림 4a). 공극률의 경우 유기물비료 처리구(ABD, BD)를 제외한 대부분에서 표토+심토처리구가 심토처리구에 비해 더 큰 것으로 나타났으나, 토양개량제 처리별 뚜렷한 경향은 나타나지 않았다. 또한 내수성입단율은 공통적으로 표토+심토 혼합처리구(ABD, ABC, ABCD, ABO)에 토양개량제를 처리했을 때

〈그림 3〉 식재기반 유형별 줄참나무(*Quercus serrata*) 생육특성



심토처리구(BD, BC, BCD, BO)에 비하여 상승폭이 더 큰 것으로 분석되었다. 특히 유기물(O)층 처리구 중 표토+심토처리구(ABO) 그 상승폭이 가장 큰 것으로 분석되었다(그림 4b)).

이상의 결과를 종합하여 현장발생토의 개량을 위해 토양개량제를 적용할 경우 토성에 미치는 영향은 미미한 것으로 판단되었으나, 공극률 및 내수성입단율에는 상대적으로 많은 영향을 미치는 것으로 사료되었다.

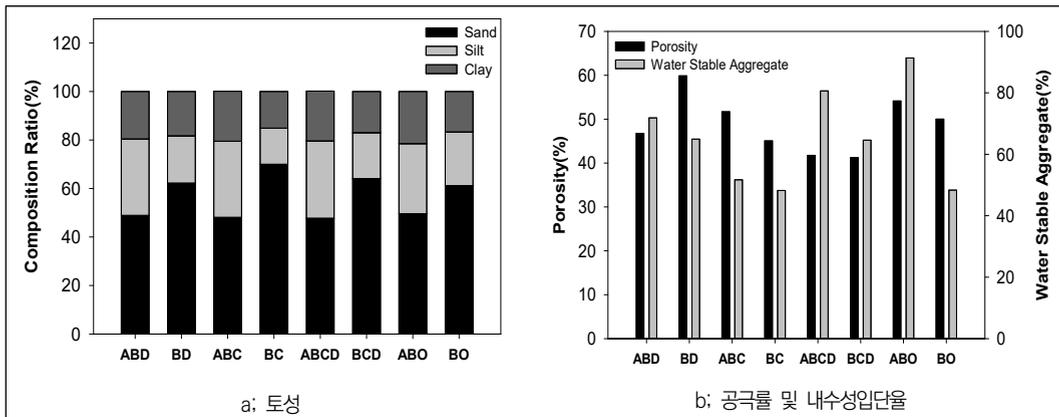
2) 토양개량제 처리별 식재기반 화학성 변화

실험구 조성유형별 토양 화학성 분석 결과, 조성설계기준(한국조경학회, 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 치환

성 양이온 변화에도 뚜렷하게 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 특히, 유기질비료 처리구에서 변화가 뚜렷하게 나타났다. EC는 유기질비료를 사용한 실험구에서는 모두 불량인 것으로 분석되었으며, 복합비료와 O층을 사용한 실험구에서는 중급인 것으로 나타났다(표 4)).

토양개량제 처리구별 비교분석 결과, pH의 경우 표토가 배합되지 않은 실험구에서 공통적으로 알칼리성을 나타내었으며, 표토가 포함된 실험구는 상대적으로 pH가 낮은 것으로 분석되었다. 유기물함량과 전질소량, 양이온교환용량을 살펴보았을 때, 유기질비료를 적용한 실험구(ABD, BD, ABCD, BCD)에서 다른 실험구에 비하여 상대적으로 높았으며, 복합비료 적용 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 실험구(ABD, BD, ABCD, BCD)에서 1,000mg/kg이 넘

〈그림 4〉 토양개량제 처리별 식재기반 물리적 변화 특성



는 것으로 나타났으며, EC의 경우에도 유사한 경향을 나타내었다(그림 5)). 이에 따라, 유기질비료가 포함된 처리구에서는 치환성 양이온 함량, 유효인산함량, 유기물함량에서 큰 폭의 상승이 있었다.

이상의 결과를 정리해보면 토양개량제 종류의 차이에 따라 토양의 화학성 변화에 미치는 영향을 뚜렷한 것으로 판단되었다. 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.

하지만 복합비료 처리구에서는 일부 측정항목에서 국립농업과학원(2019)에서 권고하는 수치에

〈표 4〉 조경설계기준에 따른 토양개량제 처리별 식재기반 화학성

Division		ABD	BD	ABC	BC	ABCD	BCD	ABO	BO	
pH	값	7.7	8.2	5.5	7.7	7.8	8.3	5.4	7	
	지표	하급	불량	중급	하급	하급	불량	중급	하급	
유기물 함량(%)	값	6.4	4.04	3.6	0.33	6.28	3.89	4.13	2.61	
	지표	상급	중급	중급	하급	상급	중급	중급	하급	
전질소 (mg/kg)	값	0.463	0.303	0.199	0.039	0.436	0.29	0.228	0.139	
	지표	상급	상급	상급	하급	상급	상급	상급	상급	
유효인산 (mg/kg)	값	1,299	1,446	22	28	1,227	1,248	24	36	
	지표	상급	상급	하급	하급	상급	상급	하급	하급	
C.E.C. (cmolc/kg)	값	22.18	17.06	13.09	10.88	21.06	15.2	13.31	13.28	
	지표	상급	중급							
양이온 교환용량 (cmolc/kg)	K+	값	4.19	3.68	0.2	0.1	2.8	3.25	0.23	0.11
		지표	상급	상급	하급	하급	중급	상급	하급	하급
	Ca ²⁺	값	8.26	9.43	5.44	8.4	7.78	5.62	4.96	6.96
		지표	상급	상급	상급	상급	상급	상급	중급	상급
	Mg ²⁺	값	3.63	4.29	1.31	1.22	2.89	2.94	1.25	1.4
		지표	상급	상급	중급	중급	중급	중급	중급	중급
E.C. (ds/m)	값	5.57	4.99	0.95	0.59	4.9	4.47	1.11	1.11	
	지표	불량	불량	중급	중급	불량	불량	하급	하급	

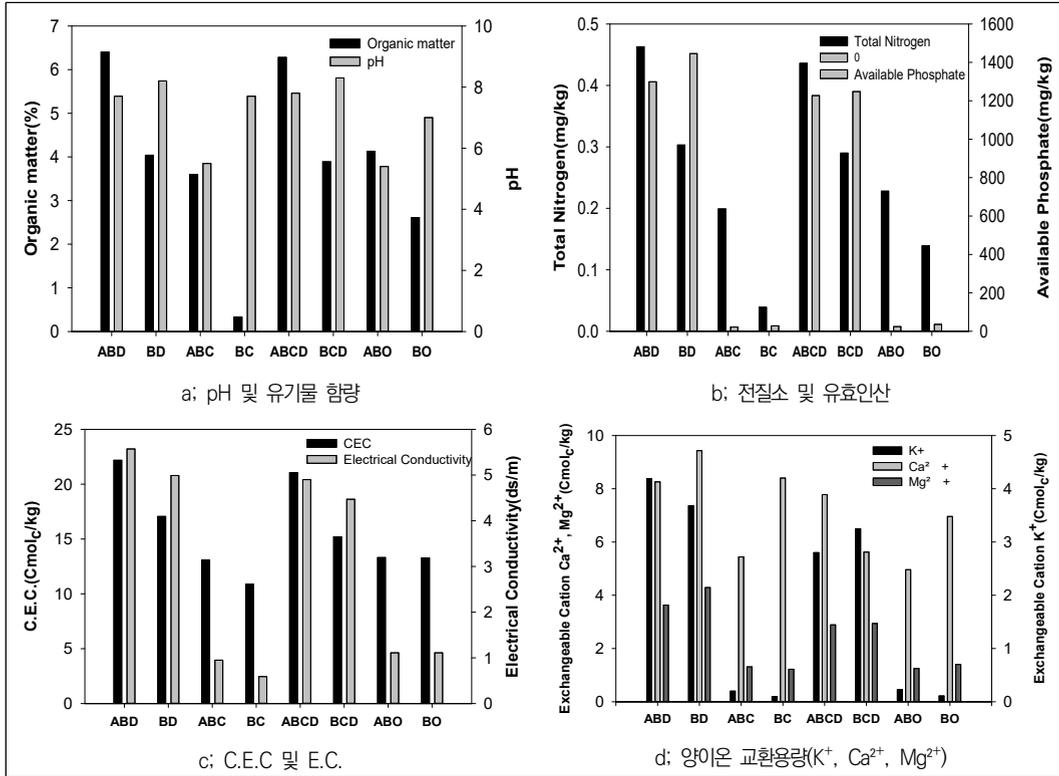
비해 과도하게 높은 것으로 분석되었다. 특히 유효인산과 치환성양이온 함량이 높은 것으로 나타났는데, 국립농업과학원에서는 유효인산 200~ 300 mg/kg, 치환성 양이온 함량 10~15cmol/kg으로 권고하고 있다. 더구나, 연구에 사용된 수목은 생산목적이 아닌 일반조경수목으로 생육 및 생존에 필요로 하는 양이 유실수에 비하여 상대적으로 많지 않음에도 불구하고, 최대 3배에 이르는 수치를 보이고 있었다.

4. 현장발생토 활용 식재기반 조성유형별 줄참나무 생육 특성

1) 줄참나무 생육 특성

토양개량제 처리구별 줄참나무 생존율을 살펴보면 O층(100%) > 무처리비료(83%) = 유기질비료(83%) >

〈그림 5〉 토양개량제 처리별 식재기반 화학적 변화 특성

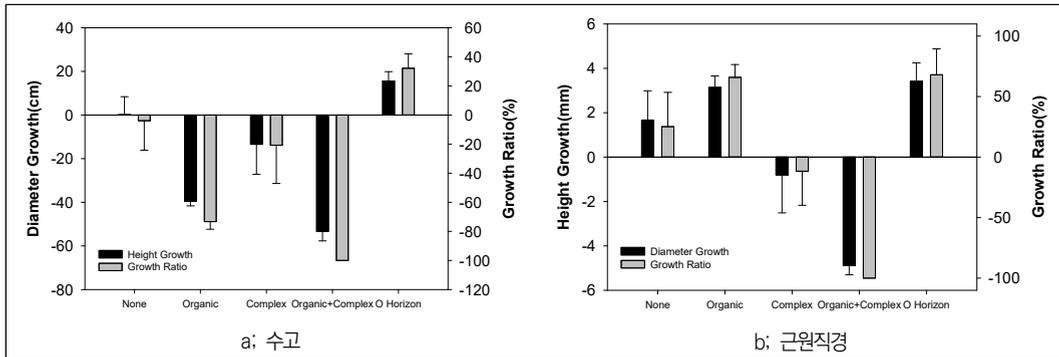


복합비료(67%) > 유기질비료+복합비료(0%)의 순으로 나타났다. 유기질비료+복합비료 실험구는 토양 화학성 분석결과와 부합하게 모두 고사한 것으로 나타났다. 이는 과도한 유효인산 및 치환성 양이온함량, EC로 인한 고사일 것으로 예상되었다. 실험구별 수고 성장률은 O층(32.13%) > 무처리(-3.94%) > 복합비료(-20.76%) > 유기질비료(-73.30%) > 유기질비료+복합비료(-100%)의 순으로 나타났으며, O층을 토양개량제로 처리한 실험구에서만 양(+)의 성장을 한 것으로 분석되었다. 근원직경 성장률은 O층(68.01%) > 무처리(25.17%) > 유기질비료(65.86%) > 복합비료(-11.69%) > 유기질비료+복합비료(-100%)의 순으로 나타났다. 근원직경 생장은 O층, 무처리구, 유기질비료 처리구에서 양(+)의 성장을 한 것으로

분석되었으며, O층 처리구에서 부피생장률이 가장 높은 것으로 나타났다(〈그림 6〉).

이상의 토양개량제 처리별 생육결과를 종합해 보면 수고생장, 부피생장 모두 O층 처리구에서 생육이 가장 좋았으며, 유기질비료 및 복합비료의 처리는 졸참나무의 생육 및 활착에 저해가 되는 요소가 되는 것으로 판단되었다. 이러한 결과로 미루어볼 때 토양개량제의 사용에 있어 유기질비료, 복합비료를 사용하는 것보다 실제 현장에서 발생하는 O층을 활용하는 것이 졸참나무의 초기 활착 및 생육에 긍정적인 결과를 나타낼 수 있음을 알 수 있었다. 이에 표토 외에 유기물층의 효용 가능성에 대해서도 확인할 수 있었다. 하지만 유기질비료+복합비료 처리구에서 비료 과다 사용에 의한 피해로 생육이 저조할 수 있다는 가능성을 배제할 수 없었다.

〈그림 6〉 토양개량제 처리별 식재기반 졸참나무(*Quercus serrata*) 생육특성

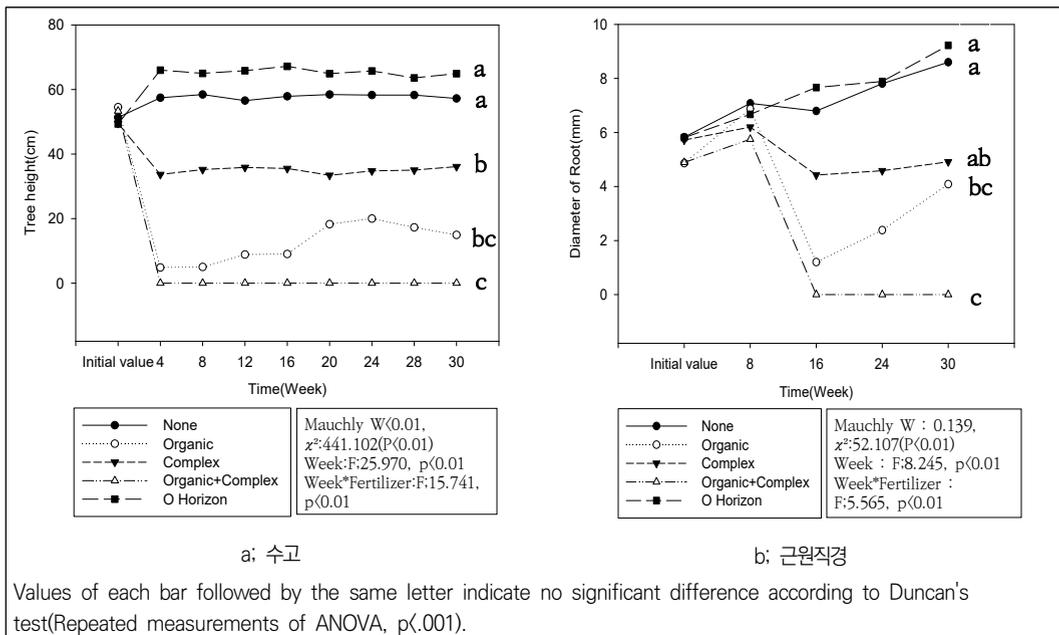


주차별 졸참나무 수고 생육결과와 토양개량제 적용 종류의 교호작용을 확인하기 위한 반복측정 분산분석 실시 결과, 주차별 수고는 통계적으로 유의한 차이(F=25.970, p<0.001)를 나타내었다. 또한 주차별 수고는 토양개량제 적용 종류의 차이에 따라서 상호작용이 있는 것을 확인할 수 있었다 (F=15.741, p<0.01). 수고생육을 크기 순으로 유기물층 = 무처리 > 복합비료 > 유기질비료+복합비료 >

유기질비료의 순인 것으로 분석되었다(그림 7a).

근원직경에 대한 결과와 토양개량제 적용 종류의 반복측정 분산분석 결과, 월별 흉고직경은 통계적으로 유의한 차이(F=8.245, p<0.001)를 나타내었으며, 토양개량제 적용 종류와 교호작용이 확인되었다(F=5.565, p<0.001). 이에 따른 토양개량제 별 근원직경은 유기물층 = 무처리 > 복합비료 > 유기질비료+복합비료 > 유기질비료의 순인 것으로

〈그림 7〉 토양개량제 처리별 시간변화에 따른 졸참나무(*Quercus serrata*)의 생육 차이 특성



Values of each bar followed by the same letter indicate no significant difference according to Duncan's test(Repeated measurements of ANOVA, p<.001).

분석되었다(그림 7b)). 이에 따라 토양개량제의 차이에 따른 줄참나무의 생육차이는 시간이 경과 할수록 더욱 증가하는 것으로 나타났다.

2) 누적생존율 변화 특성

현장발생토 활용 식재기반 조성유형별 누적생존율 분석결과, 생존율 80% 구간은 표토+심토 처리구 AB의 경우 4주에 미치지 못하였으며, 표토+심토 처리구의 최종생존율은 73%, 심토 처리구는 60%에 불과하였다(그림 8a)). 이에 식재기반 조성유형별 누적생존 곡선의 통계적인 차이가 있는지 검정하기 위하여 Log Rank Test를 실시한 결과 통계적으로 유의한 차이는 없는 것으로 분석되었다($p>0.05$).

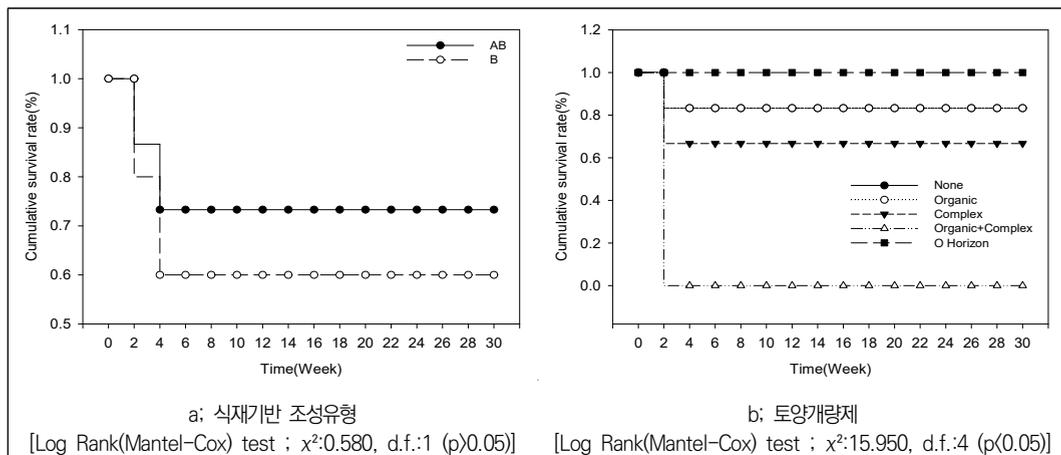
토양개량제 처리별 누적생존율 분석 결과(그림 8b)), 무처리구와 유기물층 처리구의 최종생존율은 100%로 분석되었다. 유기질비료의 경우 최종생존율은 82%, 복합비료 처리구에서는 66%, 유기질비료+복합비료 처리구에서는 0%인 것으로 나타났다. 처리별 누적생존율을 분석해보면 80% 생존구간은 무처리, 유기물층 처리, 유기질비료 처리에

서 실험종료시점까지 유지되었으나, 유기질비료+복합비료 처리구는 2주에 불과하였다. 처리구별 누적생존율 변화의 통계적인 차이를 분석하기 위하여 Log Rank Test를 실시하였다. 그 결과 토양개량제 처리구별 생존 곡선은 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다($p<0.05$). 이에 적용토양개량제의 차이는 줄참나무의 생존율에 영향을 뚜렷하게 미치는 것으로 판단되었으며, 그 결과는 유기물층 > 무처리 > 유기질비료 > 복합비료 > 유기질비료 + 복합비료의 순이었다.

토양환경변화 특성과 비교하였을 때, 줄참나무의 생육 및 생존율은 유기물층 처리구(ABO, BO)에서 복합비료 및 유기질 비료 처리구(BC, BD, BCD)에 비하여 높은 생장 및 생존율을 나타내었는데, 이는 유기물층 처리구에서 다른 처리구에 비해 물리성의 변화가 뚜렷하게 나타났기 때문인 것으로 판단된다.

또한, 복합 및 유기질 비료는 토양 내 영양염류를 과도하게 공급한 반면, 표토 및 유기물층 처리구는 적정하게 공급되었기 때문인 것으로 판단된다.

〈그림 8〉 식재기반 유형 및 토양개량제 처리유형별 누적생존율



조경 식재공사 하자발생 사례 연구(김혜진, 2008)를 살펴보면, 식재공사 4년 이내의 낙엽활엽 교목의 하자 발생률이 최대 24%인 것으로 보고된 바, 조경공사에서 식재된 수목의 초기 고사율이 매우 높은 것을 알 수 있다. 이에 이 연구에서는 식재 1년 이내 초기 수목생존율이 유형별로 뚜렷한 차이를 나타낸다는 점에서 결과의 활용 가능성을 시사하였다.

IV. 결론

1. 결론 및 제언

이 연구는 각종 개발현장에서 발생하는 현장발생토의 토양층위 특성을 고려한 표토자원의 활용을 의무화하기 위한 기초자료로 활용코자 수행하였다. 이에 따라 토양층위를 고려하여 채취하였을 때와 고려하지 않고 채취하였을 때 줄참나무의 생육을 분석하였다. 그 결과 첫째, 현장에서 토양단면을 고려한 토양 채취가 이루어질 경우 각각의 층위별 토양의 이화학성의 차이가 뚜렷하게 나타났으며, 층위별 줄참나무의 생육은 심토의 배합비가 높을수록 불량한 것으로 나타났다. 둘째, 심토가 처리된 실험구의 줄참나무 생육 증진을 위한 토양개량제 처리 시 토양의 물리성은 크게 변화하지 않지만 화학성은 토양개량제 특성에 따라 명확한 차이를 나타내었다. 셋째, 토양개량제 처리에 따른 줄참나무의 생육은 유기물층 > 무처리 > 유기질비료 > 복합비료 > 유기질비료+복합비료의 순인 것으로 판단되

었으며, 생존율 또한 동일한 결과였다($p < 0.05$).

이상의 결과를 종합하여 각종 건설공사 현장에서 유기물층과 표토, 심토를 적절한 비율로 혼합 채취하여 사용하는 것만으로도 별도의 비배관리가 불필요할 만큼 조경식물 하자 저감에 기여할 수 있을 것으로 판단되었으며, 추가적으로 경제성까지 고려할 수 있을 것으로 예상되었다. 다만, 토양은 식물의 타감작용 물질의 전이체 역할을 수행하므로 개발 현장에서 발생한 토양의 현존식생을 고려하여 조경 식재공사에 활용하는 것을 제언하는 바이다.

2. 연구의 한계 및 시사점

이 연구결과에 따라 표토자원의 활용 가능성을 확인할 수 있는 객관적인 자료를 취득할 수 있었다. 하지만, 결과 중 일부가 비로 과다 사용 피해일 가능성이 있었다. 뿐만 아니라, 수목 생육에는 다양한 요인이 영향을 미치는데 반하여, 수목의 활용에 묘목을 활용한 점과 1년이라는 비교적 짧은 기간의 생육 결과를 통하여 결과를 제시하였다는 점에서 모든 영향을 고려했다고 가정하기에는 한계가 있었다.

이에 토양개량제의 적용량 보원과 다양한 수종을 대상으로 반복 수행하여 현장발생토의 식재현장 적용방법과 채취방법에 대해 추가적으로 논의해야 할 것이다. 뿐만 아니라 경제성 평가를 거쳐 경제적 측면의 현장발생토의 가치 검증이 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 국립농업과학원, 2019, “작물별 비료사용처방 기준”, 농촌진흥청.
- 강현미·최송현·김동호·송재택, 2017, “식생복원 유형별 복원 효과 연구”, 『한국환경생태학회지』, 31(2): 174~187.
- 김성미·이인성, 2007, “토지개발사업의 표토보존에 있어서의 과제”, 『한국조경학회지』, 35(2): 91~96.
- 김세창·박봉주·김원태·윤용한·조용현·강희경·오현경·신경준·어양준·윤택승·장광은, 2012, “농촌하천 표토내 매토종자의 발아량 및 증구성”, 『한국환경과학지』, 21(11): 1419~1424.
- 김원태·조용현·이종문·윤용한·강희경·박봉주·윤택승·장광은·신경준·어양준·곽무영·송홍선, 2014, “산지개발사업에서 표토관리 실태에 관한 연구”, 『한국환경복원기술학회지』, 17(1): 13~25.
- 김원태·윤용한·조용현·강희경·박봉주·신경준·어양준·윤택승·장광은·곽무영, 2012, “산지개발지역과 비개발지역 표토의 이화학적 특성 비교”, 『한국환경과학학회지』, 21(11): 1389~1394.
- 김주훈·김경탁·이효정, 2009, “한국토양유실량 및 토양 유실위험 지역 분석”, 『한국공간정보시스템학회 논문지』, 35(2): 91~96.
- 김혜진, 2008, “해안 매립지 조경수목 하자분석 연구 : 인천 송도지구 공원 녹지 조성공사 사례를 중심으로”, 한양대학교.
- 박소연·유승훈, 2016, “토양의 총 경제적 가치”, 『지하수토양환경』, 21(6): 156~168.
- 신경희, 2015, “개발사업과 표토자원 관리”, 『환경포럼』, 19(5): 1~19.
- 양경, 2016, 「토양자원 관리를 위한 전략환경영향평가 개선 기초연구:도시개발사업을 중심으로」, 한국환경정책평가 연구원.
- 한국조경학회, 2016, 「조경설계기준 : 국토해양부승인」, 서울: 한국조경학회.
- 조용현·이종문·김원태·윤용한·강희경·박봉주·윤택승·장광은·신경준·어양준·곽무영·송홍선, 2013, “하천복원현장에서 표토관리 실태에 관한 연구”, 『한국조경학회지』, 41(1): 34~43.
- 환경부, 2010, 「토양·지하수 경제가치 평가를 위한 진화적 방법론 연구」.
- 환경부, 2012, 「표토 침식 조사 및 보전 종합대책 마련 연구」.
- 환경부, 2013, 「표토보전 종합계획」.
- 황재복·윤율수·박창영·박성태·남민희, 2011, “경남지역 시 설원예작물 재배지 및 표토관리별 잡초발생 양상”, 『한국잡초학회지』, 31(3): 221~228.
- 김혜진, 2008, 「해안 매립지 조경수목 하자분석 연구 : 인천 송도지구 공원 녹지 조성공사 사례를 중심으로」.

원 고 접 수 일 : 2019년 6월 14일

1 차 심 사 완 료 일 : 2020년 3월 26일

최 종 원 고 채 택 일 : 2020년 6월 20일