

컨테이너 재배에서 용기 재질에 따른 조경수목 성장 비교 연구[†]

A Comparative Study of Tree Growth by Container Materials[†]

김한수*, 이상석**, 박석철***

*한연종합개발(주) 이사, **서울시립대학교 조경학과 명예교수, ***서울시립대학교 도시과학연구원 연구원

Kim, Han-Su*, Lee, Sang-Seok**, Park, Seok-Cheol***

*Director, Hanyeon comprehensive development

**Professor Emeritus, Dept. of Landscape Architecture, University of Seoul

***Researcher, Institute of Urban Science, University of Seoul

Received: June 4, 2025

Revised: June 28, 2025 (1st)

July 16, 2025 (2nd)

Accepted: July 16, 2025

3인익명 심사필

Corresponding author :

Seok-Cheol Park

Researcher, Institute of Urban

Science, University of Seoul,

Seoul 02504, Korea

Tel.: +82-2-6490-5521

E-mail: psc9987@uos.ac.kr

국문초록

본 연구는 국내 기후와 지리 조건에 맞는 컨테이너 재배 기술 보급의 필요성 증대, 기존 노지 재배 방식의 한계를 개선하고자 수행하였다. 조경수목 컨테이너 재배 시 사용되는 고밀도 폴리에틸렌(HDPE) 포트, 폴리프로필렌(PP) 부직포 포트, 황마(JUTE) 포트가 수목 성장량에 미치는 영향을 소나무와 느티나무를 대상으로 노지와 온실 환경에서 비교 분석하였다. 연구대상지는 경기도 포천에 있는 조경수목 농장이며, 노지와 온실의 외기 온도, 포트 내 토양 온도, 수목의 근원경 성장량, 수고 성장량, 수관폭 성장량, 지하부 성장량을 조사·분석하였다. 효과검증은 측정된 값을 가지고 포트별·환경별·수종별 영향 요인과의 관계를 일원배치분산분석(ANOVA)를 통해 파악하였다. 토양 온도는 HDPE 포트가 PP 포트나 JUTE 포트에 비해 전반적으로 높게 나타났다. 느티나무의 경우 노지에서는 PP 포트, 온실에서 JUTE 포트에서 근원경 성장량이 높게 나타났다. 노지에서는 PP 포트의 수분 유지력, 온실에서는 JUTE 포트의 통기성이 긍정적 영향을 미친 것으로 판단되었다. 수고 성장량은 근원경 성장량과 유사한 경향을 보였다. 수관폭 성장량은 JUTE 포트와 PP 포트가 비슷한 수치의 높은 성장량을 보였다. 지하부 성장량은 PP 포트와 JUTE 포트에서 높게 나타났다. JUTE 포트는 소나무의 뿌리 호흡을 도와 지하부 성장량 증가에 기여하는 것으로 판단되었다. 포트 재질과 환경 조건이 수목 성장에 영향을 미치며, 수종별로 최적의 포트 재질이 다를 수 있을 것으로 판단되었다. 본 연구는 JUTE 포트와 폴리프로필렌(PP) 포트를 만들어서 HDPE 포트와의 지상부, 지하부 성장량을 비교하였다는 점에 의의가 있다.

주제어: 재배방식, 생육 환경, 수고 성장, 뿌리 성장, 황마(JUTE) 포트

ABSTRACT

This study was conducted to increase the dissemination of container cultivation technology suitable for domestic climate and geographical conditions and to mitigate the limitations of existing field cultivation methods. The effects of high-density polyethylene (HDPE) pots, polypropylene (PP) non-woven pots, and jute pots on tree growth in landscape container cultivation were compared and analyzed in both field and greenhouse environments for pine and zelkova trees. A landscape tree farm in Pocheon, Gyeonggi-do, was selected as the study site. The outdoor and greenhouse temperatures, soil temperature in the pots, root rhizome growth, tree height growth, crown width growth, and underground growth of the trees were investigated and analyzed. Effectiveness was verified by one-way analysis of variance (ANOVA) using the measured values to identify the relationships between the influencing factors, including pot, environment, and tree species. The results showed that soil temperature was generally higher in HDPE pots than in PP non-woven pots or jute pots. In the case of zelkova trees, root rhizome growth was higher in PP non-woven pots in the field and jute pots in the greenhouse. In the field, the moisture retention of the PP non-woven pot was found to have a positive effect, and in the greenhouse, the breathability of the jute pot was found to have a positive effect. Tree height growth showed a similar trend to root rhizome growth. Crown width growth was found to be high and similar in the jute pots and PP non-woven pots. Underground growth was

[†]본 논문은 김한수의 2020년도 서울시립대학교 대학원 석사학위논문 일부를 수정·보완하여 발전시킨 것임.

found to be high in the PP non-woven pots and the jute pots. Jute pots were found to contribute to an increase in underground growth by aiding the root respiration of pine trees. It was found that the type of pot material and environmental conditions affect tree growth, and the optimal pot material may vary depending on the tree species. The significance of this study lies in its comparison of the above-ground and underground growth of jute (JUTE) pots and polypropylene (PP) pots with that of high-density polyethylene (HDPE) pots.

Keywords: Cultivation Method, Growth Environment, Height Growth, Root Growth, JUTE port

1. 서론

과거의 조경수목은 노지재배로 인하여 규격화 및 균일한 품질의 조경수목 재배가 힘들었을 뿐만 아니라 수목성장을 조절하지 못하였다. 노지 재배 방식으로 키운 조경수목은 이식하는 과정에서 인력 비중이 높고 작업 공정의 시간 소요가 많이 발생하고 현장에서 질적으로 균일한 식재를 하기가 어렵다. 또한 폭염과 같은 부적기 시기의 식재나 토양이 좋지 않은 곳에 식재를 하는 경우에는 수목 하자율이 높게 발생한다.

컨테이너 재배방식은 뿌리가 포트 밖으로 나오지 않은 상태에서 재배하는 수목 생산 방식이며, 포트에서 재배하므로 용기 재배 또는 포트 재배라고 한다. 컨테이너에서 수목을 재배하면 노지 재배방식과는 다르게 수목 분의 뿌리 손상이 줄어드는 식재가 가능하기 때문에 식재 부적기 시기의 제약을 적게 받고, 뿌리의 세균 발달로 인하여 활착률이 향상되어 하자율이 낮아진다. 또한 수목을 균일한 규격으로 생산할 수 있다.

컨테이너를 이용하여 조경수목을 생산하는 농가에서 흔하게 쓰는 포트는 고밀로 폴리에틸렌(HDPE)포트이다. HDPE 포트는 경량이며 내구성이 뛰어나고 기계화에 적합하다. 하지만 HDPE 포트는 수목 생산 재배 중에 잔뿌리 발생률이 낮고, 태양열로 인한 포트 온도 상승을 유발하여 뿌리 손상을 일으킬 수 있다. 또한 수명이 다한 HDPE 포트를 폐기 처분하는 부분도 문제이다.

본 연구는 토양 온도 변화를 저감시키고 거들링 현상을 줄일 수 있는 폴리프로필렌(PP) 부직포 포트와 자연소재인 황마(JUTE) 포트를 제작하여 HDPE 포트와 수목의 생장량에 미치는 영향을 비교 분석하였다. 본 연구는 환경적 조건과 포트의 종류별, 수중에 따라 서로 영향을 주므로 이들의 상호관계를 비교 분석하였다.

인건비 절감과 고품질 수목 생산을 위해 용기-노지 연계 양묘 시스템이 노지 양묘 위주 체계의 대안으로 제시되고 있다. 김태진과 김학범(1999)은 노지에서 생산되는 조경수목의 생산단계에서 인건비와 운반비가 50%를 초과한다고 밝혔고, 인건비 비중이 커지므로 컨테이너 생산 방식의 도입이 필요하다고 하였다. 윤택승(2007)은 수목 시장의 발전으로 다양한 형태와 크기의 수목 요구가 증가하고, 컨테이너 재배가 노지 재배보다 장점이 많다고 하였다. 컨테이너 재배는 단기간에 균일한 고품질 수목을 대량 생산할 수 있으며, 식재 시 활착율과 생육상황이 좋고 전정 작업이 필요 없어 미관이 향상될 수 있다. 이상석(2019)은 유묘-노지 연계 양묘와 컨테이너 대묘-노지 연계 양묘의 생산 기술이 발전하고 있다고 하였다. 정영숙(2009)은 소나무 용기대묘 생산체계를 개발하기 위해 다양한 용기를 연구한 결과 용기-노지-용기와 용기-용기 연계 양묘 시스템이 타당하다고 하였다.

조경수목 생산 효과에 관한 연구로 정양수(2019)는 일본잎갈나무의 우량 묘목 생산을 위한 노지-용기 연계 양묘의 생산 효과를 연구하였다. 연구 결과 용기-노지 시험구에서 묘목의 간장 및 근원경 생장이 높았고, 노지 이식 후 간장 생장이 월등한 차이를 보였다. 이종화(2010)는 소나무 유묘를 노지 양묘에 의존하는 체계를 신개념으로 전환할 필요가 있다고 하였다. 정용조 등(2016)은 한국형 컨테이너 재배기술로 조경수목의 세균 발달을 연구하였다.

재배 방식의 비교 분석 관련 연구로 권영희(2018)는 플라스틱 포트, 이탄화분, 부직포 컨테이너, 목재 컨테이너의 장·단점을 비교 분석하였다. 김태진(2002)은 폴리프로필렌(PP)과 폴리에스테르(PET)로 근권제한 효과를 연구한 결과, 폴리에스테르가 우수하다고 하였다. 박용진(1999)은 부직포 포트가 조경수목의 재배와 시공성을 향상시킬 수 있는 좋은 소재라고 고찰하였다.

정용조 등(2016)은 컨테이너 모듈과 단근 처리된 노지 재배의 성능을 비교한 결과, 컨테이너 모듈이 우수하다고 하였다. 윤택승과 홍성각(2002)은 공기 단근 효과를 연구하여, 근원경 생장이 더 큰 영향을 미친다고 주장하였다. 김태진과 김학범(2001)은 컨테이너에서 생산된 조경수목의 활착 성공률을 조사하고, 플라스틱 분의 필요성을 강조하였다.

재배방식에 따른 수목의 생장량 비교를 위해 SPSS 통계 프로그램의 분산분석(ANOVA)을 실시한 후, 통계적으로 유의한 경우 Duncan's Multiple Range Test를 실시한 연구가 있었다(차영근 등, 2017). 조경수목 생장량 측정

은 근원경, 수고, 뿌리 발달 형태 및 상태 등 주요 항목을 측정하는 방법을 선행연구에서 확인할 수 있었다(윤국상, 2013, 김태진, 2002). 최근까지 기존 HDPE 포트, PP 포트와 JUTE 포트의 조경수목 성장량 비교에서 시험구 설정, 실측값 측정을 통한 효과성을 검증한 연구는 미미한 실정이다.

본 연구는 HDPE 포트와 PP 포트, 황마 재질을 이용한 JUTE 포트를 사용하여 포트별 수목 성장에 어떠한 영향을 미치는지를 규명하고자 수행하였다. 수목의 성장량은 근원경 성장량, 수고 성장량, 수관폭 성장량, 지하부 성장량 등을 측정하였다. 이를 통해 지하부 생장이 지상부 성장에 미치는 영향과 환경에 따른 토양 내의 온도를 측정하여 토양 내 온도가 포트에 미치는 영향을 파악하였다.

2. 연구 방법

2.1 공시 재료

수목의 선정은 실험 도중 고사되는 확률을 줄이기 위하여 유묘에서 성목으로 가는 3~4년생 묘목을 선택하였다. 공시 수목은 소나무(*Pinus densiflora*)와 느티나무(*Zelkova serrata*)를 선정하였다. 두 수종은 묘목의 구입이 용이하며, 속성수이고 근계부 발달이 빠른 수종이라 단기간 내의 연구에 적합하여 선정하였다.

공시 포트의 선정은 기계화 및 자동화가 가능하고 포트끼리 포개어 놓을 수 있는 HDPE 포트, 다공질로 이루어진 부직포를 생산해 만들었다. 컨테이너 재배방식과 노지재배방식의 절충형인 PP 포트와 그동안 연구되지 않은 자연소재 JUTE 포트를 선정하였다. 포트는 12ℓ(상부 ø 32 × 하부 ø 21.5 × 높이 22cm) 크기로 제작하였다(그림 1 참조).

공시 토양인 생육 상토는 보습과 배수, 양분 보유 기능을 골고루 가질 수 있도록 피트모스, 펠라이트, 버미큘라이트를 1:1:1로 혼합하여서 만들었다. 피트모스는 늪의 식물이 습지 바닥에 퇴적되어 산소가 부족한 상태에서 부분적으로 부식된 토양으로, 현재 상토의 유기물 자재로 많이 사용되고 있다. 또한 펠라이트는 토양의 통기성과 보수력을 향상시키며, 오랫동안 습기를 유지해 이식 수목의 활착에 좋은 편이라고 알려져 있다. 버미큘라이트는 가볍고 보습력이 좋으며, 균이 없어 파종, 삼목, 실내 조경용 토양으로 쓰이고 있다.

2.2 실험 기간 및 시험구 조성

실험 시작 시기는 2019년 7월 1일이며, 연구 종료 시기는 2020년 6월 30일이었다. 1년 동안 온도에 따른 느티나무, 소나무의 지상부 및 지하부 성장을 관찰하였다. 장소는 경기도 포천시 화현면 지현리에 있는 조경수목 농장이다. 모든 시험구 하부에는 UV 성능이 가미된 폴리프로필렌(P.P)으로 만들어진 잡초방지 매트를 설치하여 잡초로부터의 영향을 최소화하였다.

모든 시험구는 환경조건을 동일하게 유지할 필요가 있어 서로 인접하게 배치하였고, 일조량도 최대한 비슷하게 유지하려고 노력하였다. 온실과 노지 시험구의 위치는 대략 10m 정도 떨어져 있고, 지반 높이는 약 2m 정도의 차이를 보였다. 온실 제작은 에틸렌-아세트산비닐 공중합체(Ethylene-Vinyl Acetate copolymer, EVA)로 두께 0.1cm 2중으로 설치하였다. 또한 자동 개폐기를 통하여 고온의 날씨에는 상부와 측면을 개방하여 온도를 낮추며, 저온의 날씨에는 상부와 측면을 폐쇄하여 온도를 유지하였다. 온실 1동의 크기는 가로 8m, 세로 18m, 높이 3m로 되어 있다. 관수는 노지에서는 처음 식재 후 충분한 관수를 하였다. 여름철 고온 시기에는 수시로 3~4분 정도의 짧은 관수처리를 실시하여 포트 외기 온도의 최고온도가 생육에 지장을 주는 35℃ 이상으로 상승하는 것을 억제시켰다. 온실 내에서는 소형 스프링쿨러를 설치하여 하향 회전 살수 방식으로 실시하였으며, 매일 오전 7시부터 8분 정도 실시하였다. 시비 처리와 병해충 방제 작업은 따로 실시하지 않았다.

공시 수종인 느티나무와 소나무 시험구를 HDPE 포트, PP 포트, JUTE 포트에 각각 20주씩 식재하였고 장소별



그림 1. 조경수목 포트 종류

로 온실에 느티나무 시험구 HDPE 포트에 10주, PP 포트 10주, JUTE 포트 10주, 소나무 시험구를 HDPE 포트에 10주, PP 포트 10주, JUTE 포트 10주를 배치하였다. 야외 생육 시설에 느티나무 시험구를 HDPE 포트에 10주, PP 포트 10주, JUTE 포트 10주, 소나무 시험구를 HDPE 포트에 10주, PP 부직포 포트 10주, JUTE 포트 10주를 배치하여 총 120주의 실험 포트를 조성하였다.

2.3 시험구 측정

온도의 측정은 HTC-1 전자 온·습도계(K06184376)와 수온 온·습도계를 이용하였다. 전체적인 시험구의 토양 내 온도 측정을 위하여 토양 내 온도 측정기(MTPH89)와 토양 내 습도 측정을 위하여 토양습도측정기(SMN-6115)를 이용하여 측정하였다. 시험구의 생장 조사는 수고와 근원경을 첫 실험 시작 시기인 2019년 7월 01일에 조사하였다. 수고(cm)는 접이식 자를 사용하여 뿌리 바로 윗부분인 근원에서 수목의 가장 높은 부분을 측정하였다. 수관폭(cm)은 스틸자를 이용하여 수목 가지가 벌어진 부분을 측정하였다. 근원경(mm) 측정은 전자식 캘리퍼스를 이용하여 측정하였으며, 수목의 뿌리 바로 윗부분, 수간의 직경을 최대치와 최소치를 측정하여 평균값을 내었다. 지하부(cm) 생장 조사는 2020년 6월에 실시하였으며, 육안 뿌리 측정법을 적용하여 1cm 이상으로 길이 생장이 뚜렷한 뿌리의 길이를 스틸자를 이용하여 시험구별로 측정하였다. 채집된 묘목을 육안으로 확인하며 뿌리 중 기존 뿌리와 다른 엷은 색깔을 가진 뿌리들만 골라 길이를 재어 측정 후 합계를 산출하였다.

2.4 효과 분석 및 검증

수목 생육환경의 효과 분석은 실험 기간인 1년 동안 환경적인 요소인 노지와 온실의 외기 온도와 HDPE 포트, PP 포트, JUTE 포트의 토양 내 온도 변화를 조사 분석하였다. 노지, 온실 내부의 기온 변화를 2019년 7월 1일부터 2020년 5월 31일까지 매주 2회씩 오전 7~8시경, 오후 1~2시경에 측정하였으며, 토양 내 온도가 포트의 생장량에 어떠한 영향을 미치는지 조사 분석하였다.

수목 생장량은 느티나무와 소나무를 식재한 HDPE 포트와 PP 포트, JUTE 포트에서의 근원경, 수고, 수관폭, 지하부 생장량을 조사 분석하였다. 효과 검증은 포트별·수종별 노지와 온실로 구분 근원경 생장과 수고 및 수관폭, 지하부 생장량을 비교 분석하기 위하여 SPSS Version 22의 일원배치분산분석(ANOVA)을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 생육 환경

3.1.1 생육 환경의 온도

월 오전 온도와 오후 온도의 차이는 15~20°C이며, 큰 차이를 보이는 것으로 조사되었다. 실험 기간 동안 월평균 최고 기온이 가장 높았던 8월에는 31.5°C로 분석되었다. 월 평균 기온이 가장 높았던 8월에서 일 최고온도가 가장 높았던 날은 8월 10일이다. 이 날짜의 최고 기온은 노지에서 35°C 온실에서 39°C로 조사되었다. 높은 기온은 온실의 상부와 측면은 개방되어 있으나 지형상 온실 한쪽 측면이 완전히 개방되지 않았던 이유 때문인 것으로 판단되었다. 또한 온실이 이중으로 설치되어 겨울철 보온효과는 뛰어나지만 기온이 올라가는 여름철에는 기온 상승이 높게 측정되었다(그림 2 참조).

3.1.2 생육 환경 토양 내의 온도

온실 시험구는 노지 시험구보다 전체적으로 온도 차이가 적게 나타났다. 온실은 겨울철에 천정과 측면의 문을 닫고, 여름철에는 문을 열어 온도 관리를 하여 전체적인 토양 내 온도의 변화 폭이 적게 나타났다. 그리고 시험구 조성장의 근처가 임야로 되어 있어서 겨울철 노지 온도의 폭이 크게 나타났다(표 1 참조).

3.1.3 생육 환경 고찰

실험기간 동안 외기 온도에 따라 포트 내 토양 온도가 변화하는 것을 볼 수 있었다. 여름철에는 수중에 상관없이 HDPE 포트가 JUTE 포트, PP 포트보다 높은 토양 온도를 보였다. 겨울철에는 모든 포트의 온도 차이가 비슷하게 나타났다. 여름철 고온 현상으로 인하여 검은색인 HDPE 포트가 태양 복사열을 흡수하여 포트 내 토양 온도가 상승하는 것으로 볼 수 있었다.

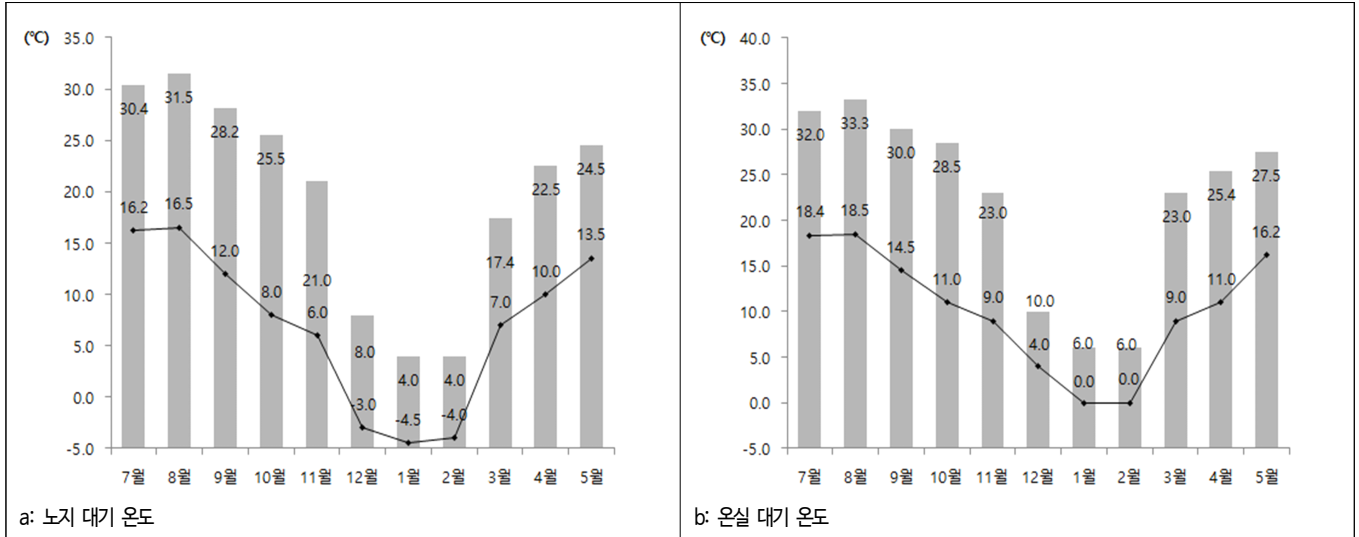


그림 2. 생육 환경별 온도 변화 그래프
 범례 : ← 오전 온도(°C) ■ 오후 온도(°C)

표 1. 생육 환경 토양 월별 오전/오후 온도 (단위: °C)

구분			2019년						2020년				
			7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월
노지-포트별 토양	오전	고밀도 폴리에틸렌 포트	16	16	12	7	4	-4	-5	-5	6	9	11
		폴리프로필렌 포트	15	15	11	6	3	-5	-6	-6	5	8	10
		황마 포트	15	15	11	6	3	-5	-6	-6	5	8	10
	오후	고밀도 폴리에틸렌 포트	28	28	22	21	20	7	3	4	17	22	24
		폴리프로필렌 포트	26	26	20	19	18	6	3	4	16	21	23
		황마 포트	25	26	20	19	17	6	3	4	16	21	23
온실-포트별 토양	오전	고밀도 폴리에틸렌 포트	22	22	17	11	9	4	1	1	-1	5	16
		폴리프로필렌 포트	22	22	17	10	8	4	1	1	-2	5	15
		황마 포트	22	22	17	10	8	4	1	1	-3	5	16
	오후	고밀도 폴리에틸렌 포트	31	32	30	27	22	10	6	6	22	24	28
		폴리프로필렌 포트	30	31	29	26	21	10	5	6	21	23	27
		황마 포트	30	31	29	26	21	10	6	5	21	23	27

수목은 15~27°C의 뿌리 온도를 선호하는 것으로 알려져 있다(Johnson and Ingram 1984). 30°C 이상에서는 뿌리 성장이 지연되고(Mathers, 2003), 39°C 이상에서는 뿌리 성장을 하지 못한다(Johnson and Ingram, 1984; Mathers, 2003). 7~8월 30°C가 넘는 외기 온도가 지속되는 경우 토양 내 온도도 상승하므로 포트 내 뿌리의 성장을 저해한 것으로 판단되었다.

온실 내 광 환경은 구조재와 피복재의 종류에 의해 광질 변화, 광량 감소, 광 분포도 불균일해지기 때문에 노지 재배와 비교해 광 환경은 나빠진다고 할 수 있다. 황사와 미세먼지는 햇빛을 차단하기 때문에, 온실의 경우 봄철 일조량 부족이 수목의 품질 저하로 이어진다. 시설재배에서 황사와 미세먼지로 인한 투광율을 조사한 결과에 따르면 황사가 오기 전에 57.6%이었는데 황사가 발생한 후에는 50%로 투광율이 7.6% 이상 감소하였다. 필름을 피복한지 오래된 비닐하우스에는 먼지의 부착량이 증가됨에 따라 투광율도 10% 이상 낮아졌다(이재한, 2020).

3.2 수목 생장량

노지, 온실에서 느티나무, 소나무의 포트별 근원경 생장량, 수고 및 수관폭 생장량, 지하부 생장량을 측정하였다. 고사된 수목을 제외하고 식재 전 수목의 근원경, 수고, 수관폭과 식재 후의 근원경, 수고, 수관폭을 측정하여 생장량의 변화를 보기 쉽게 종합 표로 작성하였다(표 2 참조).

표 2. 포트별 조경수목 생장량 종합

구분	장소	수종	포트	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
근원경 생장량 (mm)	노 지	느티나무	고밀도 폴리에틸렌 포트	0.47	2.8	0.95	-	1.1	0.46	-	-	-	-	
			폴리프로필렌 포트	0.55	4.01	-	3.92	2.29	-	5.55	2.26	-	2.3	
			황마 포트	4.61	4.16	3.76	3.55	2.3	-	0.66	4.22	0.65	0.95	
		소나무	고밀도 폴리에틸렌 포트	-	-	0.1	0.94	0.21	0.36	-	0.59	0.69	-	-
			폴리프로필렌 포트	-	-	5.89	5.35	5.52	3.09	5.45	2.3	3.85	1.85	-
			황마 포트	1.81	-	-	3.57	0.63	2.55	0.46	2.53	5.31	3.24	-
	온 실	느티나무	고밀도 폴리에틸렌 포트	3.2	4.7	1.89	2	1.38	2.5	-	0.9	2.29	-	-
			폴리프로필렌 포트	3.7	2.83	3.2	3.16	3.84	2.43	-	-	-	-	-
			황마 포트	4.03	3.69	2.17	2.67	2.2	-	2.44	3.66	2.05	4.41	-
		소나무	고밀도 폴리에틸렌 포트	0.48	-	2.01	1.05	0.67	1.3	1.87	1.44	0.35	1.36	-
			폴리프로필렌 포트	-	0.89	1.33	-	0.46	-	-	0.87	-	1.15	-
			황마 포트	-	0.46	1.88	1.79	-	2.43	2.22	0.36	1.68	-	-
수고 생장량 (cm)	노 지	느티나무	고밀도 폴리에틸렌 포트	3	1	6	-	9	6	-	-	-	-	
			폴리프로필렌 포트	19	4	-	7	5	-	17	7	-	8	
			황마 포트	7	9	14	7	2	-	10	13	8	8	
		소나무	고밀도 폴리에틸렌 포트	-	-	4	2	2	4	-	4	2	-	-
			폴리프로필렌 포트	-	-	3	4	3	4	2	4	3	2	-
			황마 포트	3	-	-	3	2	3	3	3	2	5	-
	온 실	느티나무	고밀도 폴리에틸렌 포트	11	6	8	10	6	4	-	7	15	-	-
			폴리프로필렌 포트	15	9	13	5	10	12	-	-	-	-	-
			황마 포트	7	21	6	17	16	-	7	17	8	11	-
		소나무	고밀도 폴리에틸렌 포트	3	-	3	3	4	4	3	3	3	2	-
			폴리프로필렌 포트	-	3	3	-	3	-	-	4	-	5	-
			황마 포트	-	2	5	3	-	4	4	4	4	4	-
수관폭 생장량 (cm)	노 지	느티나무	고밀도 폴리에틸렌 포트	47	19	85	-	16	13	-	-	-	-	
			폴리프로필렌 포트	68	47	-	37	35	-	42	49	-	57	
			황마 포트	43	41	24	56	47	-	52	54	68	60	
	온 실	느티나무	고밀도 폴리에틸렌 포트	45	25	27	86	63	9	-	40	15	-	
			폴리프로필렌 포트	38	38	43	77	36	64	-	-	-	-	
			황마 포트	42	41	24	55	47	-	52	54	69	60	
지하부 생장량 (cm)	노 지	느티나무	고밀도 폴리에틸렌 포트	108	144	132	-	146	147	-	-	-	-	
			폴리프로필렌 포트	102	173	-	182	138	-	165	119	-	169	
			황마 포트	158	116	157	161	104	-	107	112	147	190	
		소나무	고밀도 폴리에틸렌 포트	235	220	250	265	225	195	-	232	160	-	
			폴리프로필렌 포트	199	285	242	250	222	210	-	-	-	-	
			황마 포트	189	218	270	235	198	-	236	268	184	218	
	온 실	느티나무	고밀도 폴리에틸렌 포트	-	-	255	183	153	194	-	264	230	-	
			폴리프로필렌 포트	-	-	197	211	233	275	255	219	170	278	
			황마 포트	287	-	-	270	144	243	247	202	135	225	
		소나무	고밀도 폴리에틸렌 포트	147	-	125	105	210	192	185	109	98	180	
			폴리프로필렌 포트	-	164	134	-	182	-	-	154	-	160	
			황마 포트	-	191	165	139	-	184	195	172	125	-	

3.2.1 근원경 생장량

노지 느티나무 시험구에서 근원경 생장량은 PP 포트가 2.982mm로 가장 높고, JUTE 포트는 2.762mm, HDPE 포트는 1.094mm 순으로 나타났다. 이러한 포트별 생장량의 차이는 초기 식재 이후 관수에 대한 인위적인 간섭이 적은 노지에서 PP 포트의 생장량이 다른 두 종류의 포트들보다 평균 근원경 생장량이 1~1.5mm정도 높은 차이를

보였다. 이것은 PP 포트가 주기적인 수분 공급이 없는 조건에서 HDPE 포트와 JUTE 포트에 비하여 재질적으로 수분 유지력이 높아서 나온 결과로 보여진다. 또한 HDPE 포트에 비하여 포트 내 토양 온도 상승에 따른 뿌리의 고온 스트레스는 적게 받은 것으로 판단되었다.

온실 느티나무 시험구에서 근원경 생장량은 PP 포트가 3.19mm로 가장 높고, JUTE 포트는 3.04mm, HDPE 포트는 2.35mm 순으로 나타났다. JUTE 포트와 PP 포트는 HDPE 포트 보다 0.6~0.8mm 차이를 보였다. 이것은 JUTE 포트가 노지와는 다르게 온실에서 충분한 수분 공급이 이루어짐으로써 활발한 증산작용을 하게 되어 생장량이 높게 나온 결과라 판단되었다.

노지에서 소나무 시험구의 HDPE 포트와 PP 포트, JUTE 포트의 근원경 생장 차이점을 분석해 본 결과, 근원경 생장량은 PP 포트가 4.16mm로 가장 높고, JUTE 포트는 2.61mm, HDPE 포트는 0.48mm 순으로 나타났는데, 이러한 결과는 온실에 비하여 수분 공급이 부족한 노지에서 PP 포트가 다른 포트에 비해 포트 내 토양의 원활한 습도 유지력에 따른 결과라 판단되며, HDPE 포트는 여름철 뿌리의 고온 스트레스로 인하여 생장량이 적게 나온 것으로 판단되었다.

온실 소나무 시험구에서 근원경 생장량은 JUTE 포트가 1.545mm로 가장 높고, HDPE 포트는 1.18mm, PP 포트는 0.94mm 순으로 나타났다. JUTE 포트는 포트 구조상 통기성이 원활하고 관수 시 자연 배수가 이루어지는 구조적 특성으로 토양 내 적절한 습도 유지가 가능하여 높은 생장량이 나타난 것으로 보인다.

느티나무 시험구는 노지에서 PP 포트가 다른 두 종류의 포트보다 생장량이 0.22~1.89mm 높게 나타났으며 온실에서도 다른 두 종류의 포트보다 생장량이 0.15~3.68mm 높게 나타났다. 소나무 시험구의 경우 노지에서는 PP 포트가 다른 두 종류의 포트보다 2~4mm의 높은 생장량을 보여줬으며, 온실에서는 JUTE 포트가 다른 두 종류의 포트보다 생장량이 0.4~0.6mm 만큼 높게 나타났다. 포트별 생장량의 차이는 크지 않았지만, 느티나무 시험구와는 다른 결과로 나타났으며, 소나무 시험구 경우는 토양 내 유효수분의 범위 안의 수분함량 여부와 일조량의 영향이 생장량에 영향을 미친 것으로 판단되었다(그림 3 참조).

3.2.2 수고 및 수관폭 생장량

노지 느티나무 시험구에서 3개 포트 수고 생장의 차이점을 분석해 본 결과, 수고의 생장량은 PP 포트가 9.57cm로 가장 높고, JUTE 포트는 8.6cm, HDPE 포트는 5cm 순으로 나타났다. 수관폭의 생장량은 JUTE 포트가 49.4cm로 가장 높고, PP 포트는 47.8cm, HDPE 포트는 36cm 순으로 나타났다. JUTE 포트와 PP 포트의 수관폭 평균 생장량은 비슷하게 나타났으며, HDPE 포트의 수관폭은 다른 2개의 포트에 비하여 11~13cm 적게 나타났다. 이 결과로 수목의 지하부의 생장량만큼 지상부인 수관폭의 생장하고도 관계된 것으로 판단되었다.

온실 느티나무 시험구에서 3개 포트 수고 생장의 차이점을 분석해 본 결과, 수고 생장량은 JUTE 포트가 12.22cm로 가장 높고, PP 포트는 10.66cm, HDPE 포트는 8.37cm 순으로 나타났으며, 수관폭 생장의 차이점을 분석해 본 결과, 수관폭 생장량은 JUTE 포트가 49.33cm, PP 포트는 49.3cm, HDPE 포트는 38.75cm로 JUTE 포트가 가장 높게 나타났다. 이 결과는 지속적인 관수 작업으로 인하여 지하부 생장에 따라 근원경, 수고, 수관폭 생장량이 높게 나타난 것으로 판단되었다.

평균 수고 생장량은 노지에 비해 온실에서 1~3cm가량 차이의 생장량을 보였으며, 수관폭 생장량은 2cm 가량

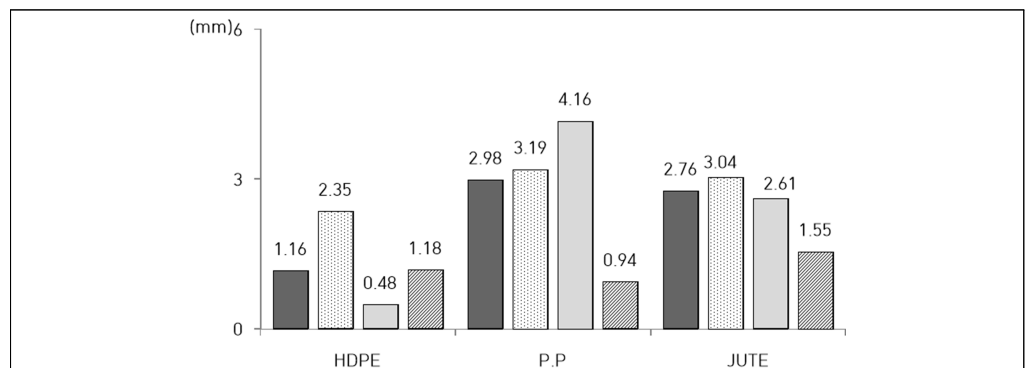


그림 3. 근원경 평균 생장량 비교

범례 : ■ 노지-느티나무 □ 온실-느티나무 ▨ 노지-소나무 ▩ 온실-소나무

* HDPE: 고밀도 폴리에틸렌 포트, P.P: 폴리프로필렌 포트, JUTE: 황마 포트

의 차이를 보여 수고 성장량과 수관폭 성장량은 비례하는 것으로 판단되었다.

노지 소나무 시험구에서 3개 포트 수고 성장 차이점을 분석해 본 결과, 수고의 성장량은 PP 포트에서 3.15cm로 가장 높고, JUTE 포트와 HDPE 포트는 3cm순으로 나타났으며, 포트별 성장량의 차이는 크지 않게 나타났다. 온실 소나무 시험구에서 3개 포트 수고 성장의 차이점을 분석해 본 결과 수고의 성장량은 JUTE 포트가 3.714cm로 가장 높고, PP 포트는 3.6cm, HDPE 포트는 3.11cm 순으로 나타났다(그림 4 참조).

3.2.3 지하부 생장

모든 시험구에서 거들링 현상(나선형 뿌리 발생)은 나타나지 않았다. 이는 1년의 시간적 요소에 따른 환경적 요소, 포트별, 수종별 영향을 받지 않는 것으로 판단된다.

노지 느티나무 시험구에서 뿌리의 길이 성장량은 PP 포트가 149.7cm로 가장 높고, JUTE 포트는 139.1cm, HDPE 포트는 135.4cm 순으로 나타났다. 수분 공급이 지속적이지 못하는 노지의 특성상 재질적으로 수분 흡수성이 있으면서 고온의 날씨에 뿌리 열 스트레스를 적게 받은 PP 포트에서 뿌리의 길이 성장량이 높게 나타났다.

온실 느티나무 시험구에서 뿌리의 길이 성장량은 PP 포트가 234.6cm로 가장 높게 나타났으며, JUTE 포트는 224cm, HDPE 포트는 222.7cm 순으로 나타났다. 온실 안에서의 느티나무 뿌리 성장량은 3가지 종류의 포트에서 비슷하게 나타났으나 PP 포트의 시험구는 다른 두 종류의 포트보다 고사율이 높게 나타났다. 이러한 결과는 온실 내의 수분 공급량이 PP 포트 내 토양의 유효수분 범위를 넘어서 과습에 인한 고사로 판단되었다.

노지 소나무 시험구에서 뿌리의 길이 성장량은 PP 포트 229.75cm로 가장 높고, JUTE 포트 219.1cm, HDPE 포트 213.1cm 순으로 나타났다. 수분공급이 원활하지 못한 노지에서 내건성이 뛰어난 소나무 시험구는 포트 내 수분 함유량이 높은 PP 포트에서 뿌리 성장량이 높은 것으로 보여지며 뿌리의 호흡량이 많은 소나무의 특성상 통기성이 뛰어난 JUTE 포트에서의 성장량도 높게 나타난 것으로 판단되었다. 또한 소나무는 극양수로 광 조건의 영향을 많이 받는 수종이며, 다른 광 조건을 가지고 있는 노지와 온실에서 지하부 생장뿐만 아니라 지상부 생장량에서도 차이를 보였다.

온실 소나무 시험구 포트에서 뿌리의 길이 성장량은 JUTE 포트가 167.2cm로 가장 높고, PP 포트는 158.8cm, HDPE 포트는 150.1cm 순으로 나타났다. 이러한 결과는 재질적으로 적절한 배수와 통기성을 가지고 있어 소나무 생육특성 조건에 부합되어 뿌리 성장량이 높게 나타났다고 판단되었다. 이러한 결과로 보았을 때 느티나무 경우 노지에 비해 온실에서 뿌리 성장량이 더 높게 나왔으며, 소나무의 경우 온실에 비해 노지에서 뿌리 길이가 길게 나왔다. 느티나무의 경우 주기적인 관수에 따른 뿌리 성장량이 소나무의 경우보다 영향을 많이 받는 것으로 보여지며, 소나무 시험구는 적절한 수분 공급과 일조량의 차이에 의한 것으로 판단된다(그림 5 참조).

3.3 수종 · 포트별 · 환경적 요소에 따른 생장 특성

3.3.1 수종에 따른 생장 특성

느티나무의 생장 속도가 소나무보다 빠르게 나타났으며, 소나무 수고의 생장은 느티나무 시험구와는 다르게 노지, 온실 생장 환경에 따른 차이가 많지 않았다. 이 결과는 고정 생장을 하는 소나무의 특성과 자유 생장을 하는 느티나무의 특성에 따른 결과라 볼 수 있다. 고정 생장을 하는 수목 중 묘목 시기 또는 왕성한 생장 조건에서는 자

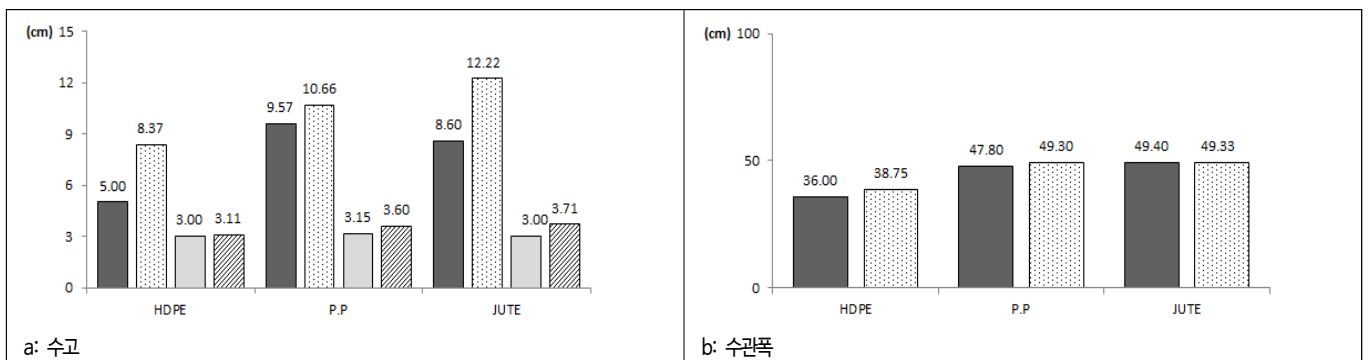


그림 4. 수고 및 수관폭 평균 성장량 비교
 범례 : ■ 노지-느티나무 □ 온실-느티나무 ▨ 노지-소나무 ▩ 온실-소나무
 * HDPE: 고밀도 폴리에틸렌 포트, P.P: 폴리프로필렌 포트, JUTE: 황마 포트

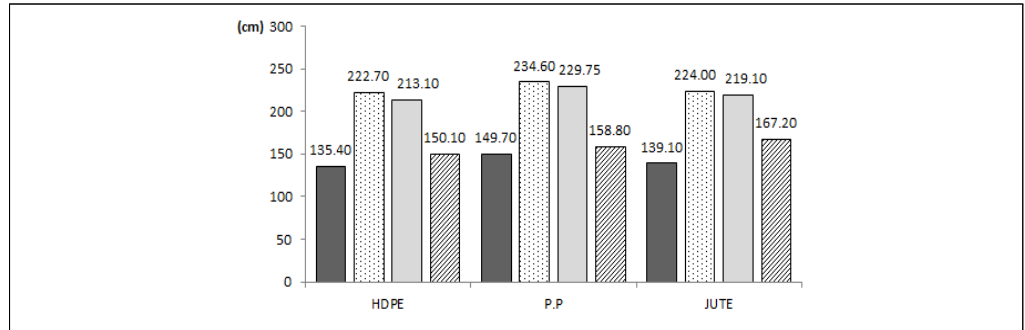


그림 5. 지하부 평균 생장량 비교
 범례 : ■ 노지-느티나무 □ 온실-느티나무 ▨ 노지-소나무 ▩ 온실-소나무
 * HDPE: 고밀도 폴리에틸렌 포트, P.P: 폴리프로필렌 포트, JUTE: 황마 포트

유 성장을 보인다고 알려져있지만, 본 연구에서는 일치하지 않았다.

성목의 경우 소나무의 증산량은 엽면적당 증산량은 적지만 총 엽면적이 많기 때문에 환습수와 큰 차이는 없다고 볼 수 있지만, 묘목의 경우에는 총 엽면적이 적어서 증산량의 차이가 발생하는 것으로 판단되었다. 심근성인 소나무는 천근성인 느티나무에 비하여 관수의 효과가 미비한 노지에서 고사율이 더 적었으며, 이러한 성장 특성으로 인하여 느티나무는 소나무 묘목에 비하여 주기적인 관수 작업이 필요하다고 판단되었다.

3.3.2 포트에 따른 성장 특성

느티나무 시험구 경우 노지와 온실에서 PP 포트와 JUTE 포트에서의 수목 생장률이 HDPE 포트에서의 수목 생장률보다 높게 나타났다. 수목은 15~27°C 사이의 뿌리 온도를 선호하며 30°C 이상에서는 뿌리 성장이 지연되는데 7~8월 오후 시간대의 노지 온도는 HDPE 포트의 토양 내 온도는 28°C로 PP 포트와 JUTE 포트에 비하여 2~3°C 높은 토양 내 온도가 지속되어 뿌리 성장이 지연되었다고 보인다. 이러한 뿌리의 열 스트레스는 고온의 날씨에 HDPE 포트의 재질적 특성으로 인한 것으로 판단되며, 온실의 낮 온도는 30~32°C로 높은 온도를 나타내었지만, 주기적인 관수 작업으로 인하여 뿌리의 열 스트레스가 노지에 비하여 적게 영향을 받은 것으로 보인다.

온실 내 느티나무 시험구의 근원경 생장량은 JUTE 포트와 PP 포트의 시험구에서 HDPE 포트의 시험구에 비하여 높게 나타났으나, PP 포트 시험구의 수목 고사율은 다른 두 개의 포트보다 높았다. 이 이유는 주기적인 관수 작업과 수분 함유량이 높은 폴리프로필렌의 재질상 포트 내 토양수분 과다와 통기 불량으로 보여진다. 반면 JUTE 포트는 온실 내 느티나무 시험구의 고사율이 낮으면서 생장량이 높았는데 황마 재질상 공급되는 수분에 비례하여 적당한 배수가 이루어져서 다른 포트에 비해 적당한 유효수분 범위를 유지한 것으로 판단되었다.

소나무 시험구 같은 경우 수고 성장 특성의 차이가 확연히 나타나지 않았지만 노지 시험구에서 근원경 생장량은 PP 포트가 JUTE 포트와 HDPE 포트에 비하여 생장량이 높게 나타났다. 소나무의 생장량은 일조량과 포트의 토양 내 수분 함유량이 영향을 미친 것으로 판단되었다.

3.3.3 환경적 요소에 따른 성장 특성

일조량이 좋은 노지와 주기적인 관수시설이 있는 온실의 환경적 요소에 따른 성장 특성을 비교하여 본 결과 느티나무 시험구의 근원경 생장은 노지 시험구에 비하여 온실 시험구에서 높은 생장량을 보였으며, 낮은 고사율을 나타내었다. 또한 수고의 생장량과 수관의 폭 생장량, 지하부 생장량은 온실 시험구가 노지 시험구에 비하여 평균적으로 높은 값을 보였다. 지상부 생장량과 지하부 생장량 모두 노지 시험구에 비하여 일조량이 떨어지는 온실 시험구에서 높게 나타난 결과는 일조량에 의한 영향보다는 수분 공급을 통한 증산작용의 영향이 큰 것으로 판단되었다.

소나무 시험구의 근원경 생장, 수고 생장, 지하부 생장은 노지 시험구가 온실 시험구에 비하여 높게 나타났다. 이 이유는 2중 비닐로 설치된 온실은 노지 시험구 조성지에 비하여 광합성에 사용되는 400~700nm 가시광선의 광량이 감소되고 광 분포도 불균일해졌기 때문이라고 예측된다. 또한 미세먼지 등의 영향으로 인하여 온실은 노지에서 보다 봄철에도 일조량이 감소 되므로 극 양수의 성격을 갖는 소나무의 생장에 영향을 미친다고 판단되었다. 온실 안의 과도한 습도로 인하여 토양의 산소 부족과 뿌리의 호흡량을 감소시켜 소나무의 생장량에 좋지 않은 영향을 미친다고 판단되었다.

노지 시험구에서는 HDPE 포트에 식재된 수목의 고사율이 높았으며, 온실에서는 PP 포트에 식재된 수목의 고사

율이 높게 나타났다. 이러한 결과는 HDPE 포트의 경우에는 지속적인 관수가 이루어지지 않으며, 여름철 뿌리가 고온 스트레스를 받은 영향이라고 판단되었다. PP 포트의 경우 주기적인 관수로 인하여 배수가 적절하게 되지 못하여 수분 과다로 인한 토양 내 습윤 상태가 오히려 뿌리에 영향을 미치며 고사로 이어졌다고 판단되었다.

3.4 고사목 조사

고사목 조사는 잎이 마르고 상태가 좋지 못한 수목을 육안으로 확인하여 기록하였다. 느티나무 시험구는 노지에서 HDPE 포트의 고사율이 전체 수량의 절반이 고사하였는데, 여름철 외기 온도 상승이 토양 온도 상승에 영향을 미치어 느티나무 고사율이 높게 나타난 것으로 판단된다. 반면 온실에서의 고사율은 1/5로 나타났는데, 지속적인 관수 작업으로 여름철 고온 현상 시기에 포트 내 토양 온도를 낮추어 뿌리가 받는 스트레스를 줄여줬다고 판단된다. PP 포트는 노지에서 전체 시험구 중 1/3의 고사율이 나타났으며, 수분 흡수력이 좋은 재질임에도 불구하고 고사율이 JUTE 포트에 비하여 높은 이유는 겨울철 포트 내 토양의 보온효과가 떨어져 수목 뿌리의 흡수력 저하에 의한 고사로 보여지며, 온실에서는 겨울철 보온효과와 원활한 수분공급이 고사율을 낮춘 것으로 판단된다. JUTE 포트는 노지, 온실 1/10의 고사율을 보였는데, 재질적으로 노지에서는 겨울철 보온의 효과로 인하여 포트 내 뿌리의 손상이 적은 점과 온실에서는 적절한 통기성 및 포트 내 토양이 유효수분 범위 안의 수분함량을 유지한 점이 이러한 결과가 나타난 것으로 보여진다(표 3 참조).

소나무 시험구는 노지에서 HDPE 포트의 고사율이 2/5로 나타났으며, 이러한 결과는 여름철 고온 현상으로 인하여 포트 내 뿌리의 스트레스로 인하여 나타난것으로 보여진다. 온실에서는 다른 두 종류의 포트에 비하여 높은 생존율을 보여주었다. 반면 재질적으로 수분 흡수력이 뛰어난 PP 포트는 노지에서의 고사율은 적었지만, 지속적인 수분 공급이 된 온실 안에서는 소나무의 고사율이 높았다. JUTE 포트는 노지에 비하여 온실에서의 고사율이 높았는데, 이 이유는 PP 포트의 경우처럼 관수의 양이 소나무 묘목의 유효수분 범위 이상으로 공급된 결과라 판단되었다.

3.5 조경수목 재배 컨테이너별 효과검증

3.5.1 수목 평균 성장량

일원배치분산분석(ANOVA)을 한 결과 시험구별 근원경 성장량, 수고 성장량, 수관폭 성장량, 지하부 성장량의 기술통계는 표 4와 같다. 근원경 성장량은 노지 소나무 JUTE 포트·PP 포트의 평균값 3.33으로 가장 높았으며, 노지 소나무 HDPE 포트의 평균값 0.48로 가장 낮게 나타났다. 수종별로 보면 느티나무 시험구는 온실 JUTE 포트·PP 포트의 평균값이 3.09로 가장 높게 나타났으며, 노지 HDPE 포트는 평균값이 1.09로 가장 낮게 나타났다.

수고 성장량은 온실 느티나무 JUTE 포트·PP 포트 평균값이 11.6으로 가장 높게 나타났으며, 노지 소나무 HDPE 포트 평균값이 3.0으로 가장 낮게 나타났다. 수종별로 보면 느티나무 시험구는 JUTE 포트·PP 포트 평균값이 가장 높고, 노지 느티나무 HDPE 포트의 평균값이 5.0으로 가장 낮았다. 소나무 시험구는 온실 소나무 JUTE 포트·PP 포트 평균값이 3.6으로 가장 높았으며, 노지 소나무 HDPE 포트의 평균값이 3으로 가장 낮은 값으로 나타났다. 수관폭 평균 성장량은 노지 느티나무 JUTE 포트·PP 포트 평균값이 16으로 가장 높게 나타났으며, 노지 느티나무 HDPE 포트의 평균값이 5로 가장 작게 나타났다. 지하부 성장량은 온실 느티나무 JUTE 포트·PP 포트 평균값이 228.26으로 가장 높게 나타났으며, 노지 느티나무 HDPE 포트가 141.40으로 가장 낮게 나타났다. 소나무

표 3. 시험구별 고사율 종합

구분		느티나무		소나무	
		노지	온실	노지	온실
고밀도 폴리에틸렌 포트	고사수량(주수)	5	2	4	1
	전체수량(주수)	10	10	10	10
고사율(%)		50	20	40	10
폴리프로필렌 포트	고사수량(주수)	3	1	2	5
	전체수량(주수)	10	10	10	10
고사율(%)		30	10	20	50
황마 포트	고사수량(주수)	1	1	2	3
	전체수량(주수)	10	10	10	10
고사율(%)		10	10	20	30

표 4. 수목 생장량 기술통계표

구분		개체수	평균	표준편차	표준오차
근원경생장량	노지 느티나무 고밀도 폴리에틸렌 포트	5	1.0940000	.8308008	.37154542
	노지 느티나무 황마 포트, 폴리 프로필렌 포트	16	2.8587491	1.583057	.39576283
	노지 소나무 고밀도 폴리에틸렌 포트	6	.481666666	.316064339	.12903272
	노지 소나무 황마 포트, 폴리 프로필렌 포트	16	3.33750000	1.76209534	.440523835
	온실 느티나무 고밀도 폴리에틸렌 포트	8	2.35750000	1.17401326	.415076369
	온실 느티나무 황마 포트, 폴리 프로필렌 포트	15	3.09866666	.759867156	.196196856
	온실 소나무 고밀도 폴리에틸렌 포트	9	1.18000000	.601331855	.200443951
	온실 소나무 황마 포트, 폴리 프로필렌 포트	12	1.29333333	.708061801	.20439983
	총계	87	2.14965517	1.48763777	.159491510
수고생장량	노지 느티나무 고밀도 폴리에틸렌 포트	5	5.000	3.0822	1.3784
	노지 느티나무 황마 포트, 폴리 프로필렌 포트	16	9.063	4.5821	1.1455
	노지 소나무 고밀도 폴리에틸렌 포트	6	3.000	1.0954	.4472
	노지 소나무 황마 포트, 폴리 프로필렌 포트	16	3.063	.8539	.2135
	온실 느티나무 고밀도 폴리에틸렌 포트	8	8.375	3.5026	1.2383
	온실 느티나무 황마 포트, 폴리 프로필렌 포트	15	11.600	4.7779	1.2337
	온실 소나무 고밀도 폴리에틸렌 포트	9	3.111	.6009	.2003
	온실 소나무 황마 포트, 폴리 프로필렌 포트	12	3.667	.8876	.2562
	총계	87	6.322	4.5507	.4879
수관폭생장량	노지 느티나무 고밀도 폴리에틸렌 포트	5	36.000	30.5778	13.6748
	노지 느티나무 황마 포트, 폴리 프로필렌 포트	16	48.750	11.8631	2.9658
	노지 소나무 고밀도 폴리에틸렌 포트	0	-	-	-
	노지 소나무 황마 포트, 폴리 프로필렌 포트	0	-	-	-
	온실 느티나무 고밀도 폴리에틸렌 포트	8	38.750	25.7391	9.1001
	온실 느티나무 황마 포트, 폴리 프로필렌 포트	15	49.333	14.1101	3.6432
	온실 소나무 고밀도 폴리에틸렌 포트	0	-	-	-
	온실 소나무 황마 포트, 폴리 프로필렌 포트	0	-	-	-
	총계	44	45.682	18.3503	2.7664
뿌리길이	노지 느티나무 고밀도 폴리에틸렌 포트	5	141.400	19.9950	8.9420
	노지 느티나무 황마 포트, 폴리 프로필렌 포트	16	143.750	29.8116	7.4529
	노지 소나무 고밀도 폴리에틸렌 포트	6	213.167	43.6230	17.8090
	노지 소나무 황마 포트, 폴리 프로필렌 포트	16	224.438	46.3148	11.5787
	온실 느티나무 고밀도 폴리에틸렌 포트	8	222.750	32.6967	11.5600
	온실 느티나무 황마 포트, 폴리 프로필렌 포트	15	228.267	30.6628	7.9171
	온실 소나무 고밀도 폴리에틸렌 포트	9	150.111	42.6217	14.2072
	온실 소나무 황마 포트, 폴리 프로필렌 포트	12	163.750	22.6440	6.5368
	총계	87	188.494	50.4178	5.4054

시험구는 노지 JUTE 포트·PP 포트 평균값이 224.43으로 가장 높게 나타났으며, 온실 소나무 HDPE 포트 평균값이 150.11으로 가장 낮게 나타났다.

3.5.2 평균 생장량 검증

로버스트 검정을 통해 근원경 생장량, 수고 생장량, 지하부 생장량은 유의수준이 0.05 미만으로 유의성이 있었다. 근원경 생장량, 수고 생장량, 지하부 생장량은 집단 간 차이가 있다는 것으로 나타났으며, 수관폭 생장량은 집단 간 차이가 없다는 것을 보여준다(표 5 참조).

3.5.3 종합고찰

각 시험구의 근원경 생장량, 수고 생장량, 수관폭 생장량, 지하부 생장량을 비교 분석하기 위하여 일원배치분산

표 5. 평균등식의 로버스트 검정

구 분		통계	자유도 1	자유도 2	유의수준
근원경 생장량	웰치	12.269	7	27.614	.000
수고 생장량	웰치	11.411	7	25.226	.000
수관폭 생장량	웰치	.602	3	12.312	.626
지하부 생장량	웰치	15.075	7	26.045	.000

a: 근사적으로 F 분배되었습니다.

분석 (ANOVA) DUNCAN의 다중범위검정을 실시하여 유의성의 유무를 판별하였다(표 6 참조).

근원경 생장량은 소나무 시험구에서 포트별 유의성이 발견되나 느티나무 시험구 경우는 포트별 유의성이 발견되지 않았다. 소나무 시험구 중 노지 JUTE 포트·PP 포트가 HDPE 포트와의 유의성이 나타났으며, JUTE 포트·PP 포트의 근원경 생장량이 HDPE 포트의 근원경 생장량에 비하여 높은 생장량을 보이는 것을 알 수 있었다.

환경에 따른 유의성이 나타난 시험구는 JUTE 포트·PP 포트이며, 이는 JUTE 포트·PP 포트의 근원경 생장량은 온실 시험구에 비해 노지 시험구에서 생장량이 높게 나타난 것이라고 볼 수 있다. JUTE 포트는 PP 포트에 비하여 수분 흡수력이 떨어지는 재질이지만 겨울철 뿌리 보온효과와 통기성이 뛰어나서 높은 생장량과 적은 고사율을 보였다.

노지의 느티나무 시험구는 관수로 수분이 공급되는 온실과의 생장량과 고사율을 비교해 보았을 때 3가지 종류의 포트에서 낮은 생장량과 높은 고사율을 보여줌으로써 광 조건의 영향보다는 수분 공급에 더 큰 영향을 받는 것으로 판단되었다. JUTE 포트는 적절한 포트 내 토양 온도 유지와 통기성으로 뿌리 호흡력을 도와 낮은 고사율을 보인 것으로 판단되었다. 수분 흡수력이 있는 PP 포트와 JUTE 포트는 온실 안의 높은 습도 유지와 유효수분 범위를 넘어선 수분 공급으로 인하여 포트 내 토양의 습도가 높아져 고사 된 것으로 보인다.

광 조건은 2중 비닐로 설치된 온실의 일조량이 노지 모목장에 비하여 낮았으며, 극양수인 소나무의 근원경 생장량이 온실 시험구보다 노지 시험구에서 더 높게 나타났다. 느티나무는 노지 시험구에 비하여 온실 시험구에서 생장량이 더 높게 나타났으며 소나무가 느티나무 보다 일조량의 영향을 더 받았다고 판단되었다.

지하부 생장량은 느티나무 시험구 중 노지의 HDPE 포트와 온실의 JUTE 포트에서 유의성이 발견되었다. 환경적인 요소와 포트의 재질에 따른 차이가 있다고 판단되었으며, 온실 느티나무 JUTE 포트에서 뿌리 생장이 더 활발하게 이루어졌다고 볼 수 있다. 느티나무 시험구에서 각각의 포트별로 노지와 온실에서 유의성이 발견되었으며, 느티나무 시험구는 노지 시험구에 비하여 온실 시험구에서 뿌리 생장량이 높은 것으로 나타났다. 소나무 JUTE 포트와 PP 포트는 노지와 온실에서 유의성이 나타났으며, 이러한 결과는 지하부 생장이 환경적 요소의 영향을 받는 것으로 판단되었다. 온실 소나무 시험구에서 JUTE 포트와 PP 포트와 HDPE 포트는 통계적 유의성을 보였으며, 온실 안에서 지하부 생장은 포트의 재질에 영향을 받는 것으로 보인다. 온실에서는 느티나무 시험구가 뿌리 생장이 활발하며, 노지에서는 소나무 시험구가 높은 뿌리 생장량을 보였다. 지하부 평균 생장량은 노지 느티나무 시험구의 경우 여름철 고온에 의한 열 스트레스를 가장 많이 받은 HDPE 포트이며 생장량이 가장 적게 나타났다. 수분 함유성이 높고 잔뿌리 발생률이 높은 재질의 PP 포트의 생장량이 가장 높게 나타났다. 일조량이 좋은 노지 모목장 보다 일조량은 적지만 수분 공급이 원활한 온실에서의 뿌리 생장량은 모든 포트에서 높게 나타났으며 PP 포트에서의 생장량이 가장 높게 나타났다.

소나무 시험구의 경우 수분 공급량은 불규칙적이며 적으나 일조량이 강한 노지에서의 생장량이 높게 나타났으며 노지에서는 PP 포트의 생장량이 높게 나타났다. 그에 반해 온실에서는 재질적으로 통기성을 가지고 유효수분 범위 안의 수분을 함유한 JUTE 포트의 생장량이 가장 높게 나타났으며 이는 과습에 의한 피해를 줄인 결과라 판단되었다. HDPE 포트는 고온에 의한 뿌리 열 스트레스로 인하여 낮은 생장량을 보였지만 주기적인 수분 공급으로 인하여 토양 내 온도가 낮아지고 포트 측면 구멍으로 빠른 자연 배수를 하여 낮은 고사율을 보인 것으로, 예측된다.

수고의 생장량은 느티나무 시험구와 소나무 시험구의 유의성만 나타났으며, 환경적 요소나 포트의 재질적 요소로 인한 유의성은 나오지 않았다. 수고 평균 생장량의 경우 활엽수인 느티나무와 침엽수인 소나무의 수종 특성에 따른 것이라 보이며, 노지에서 느티나무 시험구의 수고 평균 생장량은 주기적인 수분 공급이 없지만, 재질적으로 수분 유지력이 있는 PP 포트에서 가장 높은 생장량을 보였으며 고온의 온도에 의해 토양 내 온도가 높아진 HDPE 포트에서 낮은 생장량을 보였다.

온실에서는 통기성과 수분 흡수력이 좋은 JUTE 포트의 생장량이 가장 높게 나타났고, 수분 함유성이 좋은 재질의 PP 포트도 높은 생장량을 보였으며 뿌리가 고온에 스트레스를 받은 고밀도 폴리에틸렌(HEPE)포트는 생장량은

표 6. 수목 생장량별 사후검정

종속 변수	(I) 포트별	(J) 포트별	평균차이 (I-J)	표준오차	유의 수준
기원정 생장량	노지 느티나무 고밀도 폴리에틸렌	노지 소나무 황마, 폴리프로필렌	-2.24350*	.576287	.033
		노지 소나무 고밀도 폴리에틸렌	2.37708*	.416266	.001
	노지 느티나무 황마, 폴리프로필렌	온실 소나무 고밀도 폴리에틸렌	1.67874*	.443628	.027
		온실 소나무 황마, 폴리프로필렌	1.56541*	.393313	.048
	노지 소나무 고밀도 폴리에틸렌	노지 느티나무 황마, 폴리프로필렌	-2.37708*	.416266	.001
		노지 소나무 황마, 폴리프로필렌	-2.85583*	.4590323	.000
		온실 느티나무 고밀도 폴리에틸렌	-1.87583*	.434669	.043
	노지 소나무 황마, 폴리프로필렌	온실 느티나무 황마, 폴리프로필렌	-1.81966*	.28867	.000
		노지 느티나무 고밀도 폴리에틸렌	2.24350*	.57628747	.033
		노지 소나무 고밀도 폴리에틸렌	2.85583*	.4590323	.000
	온실 느티나무 고밀도 폴리에틸렌	온실 소나무 고밀도 폴리에틸렌	2.15750*	.4839824	.006
		온실 소나무 황마, 폴리프로필렌	2.04416*	.4856341	.010
	온실 느티나무 황마, 폴리프로필렌	노지 소나무 고밀도 폴리에틸렌	1.87583*	.434669	.043
		노지 소나무 고밀도 폴리에틸렌	1.819666*	.288678	.000
	온실 소나무 고밀도 폴리에틸렌	노지 느티나무 황마, 폴리프로필렌	-1.678749*	.443628	.027
노지 소나무 황마, 폴리프로필렌		-2.15750*	.483982	.006	
온실 느티나무 황마, 폴리프로필렌	노지 소나무 고밀도 폴리에틸렌	1.81966*	.288678	.000	
	노지 느티나무 황마, 폴리프로필렌	-1.56541*	.445429	.048	
온실 소나무 황마, 폴리프로필렌	노지 소나무 황마, 폴리프로필렌	-2.04416*	.485634	.010	
	노지 소나무 황마, 폴리프로필렌	-83.0375*	14.6296	.001	
지하부 생장량	노지 느티나무 고밀도 폴리에틸렌	온실 느티나무 고밀도 폴리에틸렌	-81.3500*	14.6149	.004
		온실 느티나무 황마, 폴리프로필렌	-86.8667*	11.9432	.000
		노지 소나무 황마, 폴리프로필렌	-80.6875*	13.7700	.000
	노지 느티나무 황마, 폴리프로필렌	온실 느티나무 고밀도 폴리에틸렌	-79.0000*	13.7543	.002
		온실 느티나무 황마, 폴리프로필렌	-84.5167*	10.8732	.000
		노지 느티나무 고밀도 폴리에틸렌	83.0375*	14.6296	.001
	노지 소나무 황마, 폴리프로필렌	노지 느티나무 황마, 폴리프로필렌	80.6875*	13.7700	.000
		온실 소나무 고밀도 폴리에틸렌	74.3264*	18.3279	.019
		온실 소나무 황마, 폴리프로필렌	60.6875*	13.2964	.004
	온실 느티나무 고밀도 폴리에틸렌	노지 느티나무 고밀도 폴리에틸렌	81.3500*	14.6149	.004
		노지 느티나무 황마, 폴리프로필렌	79.0000*	13.7543	.002
	온실 느티나무 황마, 폴리프로필렌	노지 느티나무 고밀도 폴리에틸렌	86.8667*	11.9432	.000
		노지 느티나무 황마, 폴리프로필렌	84.5167*	10.8732	.000
		온실 소나무 황마, 폴리프로필렌	64.5167*	10.2669	.000
	온실 소나무 고밀도 폴리에틸렌	노지 소나무 황마, 폴리프로필렌	-74.3264*	18.3279	.019
온실 느티나무 고밀도 폴리에틸렌		-72.6389*	18.3161	.030	
온실 느티나무 황마, 폴리프로필렌		-78.1556*	16.2643	.008	
수고 생장량	노지 느티나무 황마, 폴리프로필렌	노지 소나무 고밀도 폴리에틸렌	6.0625*	1.2297	.003
		노지 소나무 황마, 폴리프로필렌	6.0000*	1.1653	.002
		온실 소나무 고밀도 폴리에틸렌	5.9514*	1.1629	.003
		온실 소나무 황마, 폴리프로필렌	5.3958*	1.1738	.007
	노지 소나무 고밀도 폴리에틸렌	노지 느티나무 황마, 폴리프로필렌	-6.0625*	1.2297	.003
		온실 느티나무 황마, 폴리프로필렌	-8.6000*	1.3122	.000
	노지 소나무 황마, 폴리프로필렌	노지 느티나무 황마, 폴리프로필렌	-6.0000*	1.1653	.002
		온실 느티나무 황마, 폴리프로필렌	-8.5375*	1.2520	.000
	온실 느티나무 황마, 폴리프로필렌	노지 소나무 고밀도 폴리에틸렌	8.6000*	1.3122	.000
		노지 소나무 황마, 폴리프로필렌	8.5375*	1.2520	.000
		온실 소나무 고밀도 폴리에틸렌	8.7889*	1.2498	.000
	온실 소나무 고밀도 폴리에틸렌	온실 소나무 황마, 폴리프로필렌	7.9333*	1.2600	.000
		노지 느티나무 황마, 폴리프로필렌	-5.9514*	1.1629	.003
		온실 느티나무 황마, 폴리프로필렌	-8.4889*	1.2498	.000
	온실 소나무 황마, 폴리프로필렌	노지 느티나무 황마, 폴리프로필렌	-5.3958*	1.1738	.007
노지 소나무 황마, 폴리프로필렌		-7.9333*	1.2600	.000	

* 평균 차이가 0.05 수준에서 유의함. p<0.05

3개 포트 중 가장 낮게 나타났다. 수고 생장량은 일조량의 영향보다는 수분 공급에 의한 영향이 큰 것이라 판단되었다. 통기성과 수분 흡수력이 있는 JUTE 포트는 노지와 온실에 따른 생장량의 차이는 없었지만 3가지의 포트 중에서는 생장량이 가장 높게 나타났다. 이러한 결과를 토대로 수관폭 생장량도 수고 생장량과 같이 수분 공급에 영향을 받는 것으로 판단되었다.

전체적인 연구 데이터에서 평균 생장량 차이는 있으나 통계적 유의성이 없는 부분은 약 1년의 연구 기간 동안에 작은 생장량 차이가 나타난 부분과 각 수목의 고유 생장 특성에 따른 생장량 차이에 따른 것으로 보인다.

4. 결론

본 연구는 HDPE 포트와 PP 포트, 황마 재질을 이용한 JUTE 포트를 사용하여 포트별 수목 생장에 어떠한 영향을 미치는지를 규명하고자 수행하였다. JUTE 포트에 대한 기본적인 정보에 관한 연구는 많지 않은 실정이며, JUTE 포트를 이용하여 수목의 지상부 생장량, 지하부 생장량에 어느 정도의 영향이 미치는지에 대한 연구가 필요한 시점이었다. 또한 플라스틱 재활용의 관심이 깊어지는 가운데에 JUTE 포트를 이용한 기초 자료 축적이 절실한 시점이라 판단되었다.

본 연구 결과 근원경 생장량은 소나무 시험구에서만 포트별 통계적 유의성이 나타났으며, 온실 시험구에 비하여 노지 시험구에서의 생장량이 높게 나타났다. 이는 일조량, 수분 공급, 포트 내 토양 온도, 통기성 등 여러 요인 중 일조량의 영향이 큰 것으로 판단되었다. 소나무 시험구 중 JUTE 포트와 PP 포트는 HDPE 포트에 비하여 생장량이 높게 나타났다. 그 이유는 여름철 고온일 때 뿌리의 열 스트레스가 근원경 생장량에 직접적인 영향을 미치는 것이라 판단되었다. 반면 느티나무 시험구는 노지 시험구에 비하여 온실 시험구에서 근원경 생장량이 높게 나타났으며, 충분한 수분 공급이 큰 요인이라고 판단되었다.

지하부 생장량은 느티나무 시험구와 소나무 시험구에서 통계적 유의성이 부분적으로 나타났으며, 느티나무 시험구의 경우는 노지 HDPE 포트와 온실의 JUTE 포트에서 유의성이 나타났다. 이는 환경적인 요소와 포트의 재질에 따른 차이에서 나온 결과라 판단되었으며, 온실의 JUTE 포트에서 뿌리 생장량이 크다고 볼 수 있다. 소나무 시험구의 경우는 JUTE 포트와 PP 포트가 노지와 온실에서 유의성이 나타났으며, 이는 소나무의 지하부 생장량은 환경적 요소에 큰 영향을 받는 것으로 판단되었다.

수고 생장량과 수관폭 생장량은 자유생장을 하는 느티나무 시험구와 고정생장을 하는 소나무 시험구에 비하여 큰 생장량을 보였다. 또한 JUTE 포트가 다른 포트에 비하여 생장량이 높게 나타났으며, 고온에 의한 뿌리 열 스트레스가 적은 부분, 포트 내 토양의 통기성에 의한 뿌리의 원활한 호흡량, 포트의 보습력에 의한 것으로 판단되었다.

최근 조경수목 재배 관련 다양한 컨테이너 유형이 묘목의 생존율에 미치는 영향을 조사하고, 재배 방법 개선을 통해 환경적 지속 가능성과 생산성 향상에 기여하고자 하는 많은 시도를 진행하고 있다. 본 연구는 조경수목 식재 시 포트와의 분리가 필요 없는 JUTE 포트를 가지고 기존 연구에서 사용되던 포트와의 비교 실험을 통한 실질적인 기초자료로서 의미가 있다. 본 연구는 단기 연구이므로 향후 장기간에 걸친 포트별 조경수목 생장량 비교 연구를 통해 효율적인 포트 선정 및 상용화에 관한 연구가 필요하다. 또한 시험구에 시비 종류별-용량별 첨가에 따른 포트별 수목 생장량 비교 연구가 필요하다.

References

1. 권영휴(2018) 조경수 컨테이너 재배 신기술. (쑤푸른행복).
2. 김태진(2002) 조경수 생산용 부직포 생장 bag의 근권 제한 효과 비교. 한경대학교 논문집 33: 293-300.
3. 김태진, 김학범(1999) 조경수목의 컨테이너 생산과 노지 생산 방식에 대한 비교 연구. 한경대학교 논문집 31: 171-178.
4. 김태진, 김학범(2001) 컨테이너에서 재배된 백목련과 자귀나무의 이식전후 생장률 평가. 한국조경학회 29(5): 92-100.
5. 박용진(1999) 부직포 포트크기에 따른 조경수목의 생장 특성. 동해안연구지 10(2): 49-63.
6. 윤국상(2013) 소나무 유묘의 근계발달 촉진기술에 관한 연구. 건국대학교 농축대학원 석사학위논문.
7. 윤택승(2007) 조경수목의 컨테이너 재배 기술 현황 및 발전 방향. 한국조경수협회 99: 30-34.
8. 윤택승, 홍성각(2002) 헛개나무 플라스틱 망포트 포트묘 생산에 관한 연구. 농자원개발논집 24: 43-48.
9. 이상석(2019) 하자저감을 위한 조경수목 선진화 방안연구. 한국토지주택공사 보고서.
10. 이재한(2020) 온도차 커지는 봄, 시설재배관리의 모든 것. 국립원예특작과학원 시설원예연구소, 월간원예.
11. 이종화(2010) 시설-노지 연계양묘를 활용한 소나무 묘목생산에 관한 연구. 건국대학교 농축대학원 석사학위논문.
12. 정양수(2019) 시설-노지 연계 양묘를 활용한 일본 잎갈나무 묘목생산에 관한 연구. 강원대학교 대학원 석사학위논문.

13. 정영숙(2009) 소나무 용기대묘 생산을 위한 연계양묘체계 개발에 관한 연구. 건국대학교 대학원 박사학위논문.
14. 정용조, 임병을, 오장근(2016) 한국형 컨테이너 조경수 생산기술로서 컨테이너 모듈의 성능 평가 한국조경학회 44(5) 59-67.
15. 차영근, 최규성, 송기선, 구다운, 성환인, 김종진(2017) 관수수준에 따른 소나무 용기묘 1년생의 성장특성 한국 생물환경조절학회 26(3): 167-174.
16. Johnson, C. R. and D. L. Ingram(1984) *Pittosporum tobira* response to container medium temperature. HortScience 19: 524-525.
17. Mathers, H. M.(2003) Top 10 ways to conserve water. Nursery Mgt. Production, 19(11):30-35.