

생태복원지에 식재된 낙엽활엽수종의 이식 후 성장량 분석을 통한 관리기간 설정 연구¹

이수동² · 배순형^{3,4*}

Management Period Setting Study of through Analysis of the Growth Amount after Planting of Deciduous Broadleaf Species Planted in Ecological Restoration Sites¹

Soo-Dong Lee², Soon-Hyoung Bae^{3,4*}

요약

이식 과정을 통해 식재된 수목은 뿌리 절단, 수관 훼손과 같은 극단적인 교란으로 인해 식재 직후 성장량은 급격히 감소한다. 이후 시간이 경과하면서 원래의 성장량을 회복하는데 이때 소요되는 시간은 수종별로 차이가 있다. 따라서 이식 후 활착을 위한 수목관리를 위해 수종별 연간성장량의 변화를 분석하여 적정 관리 기간을 설정할 필요가 있다고 판단하였다. 이에 본 연구에서는 수변생태벨트 조성 지역에 식재된 낙엽활엽수를 대상으로 성장량을 분석하고 그 결과를 바탕으로 적정 관리 기간을 제안하고자 하였다. 이식과정에서 수목 활착율을 높이기 위해 시행하는 사전 작업인 뿌리돌림, 단근, 가지치기 등으로 인해 식재 직후의 성장량 둔화는 일반적인 현상이다. 이후 시간이 경과하면서 원래의 성장량을 회복하게 되는데, 소요되는 시간은 수종별, 식재 환경 등에 따라 차이가 존재할 수 있다. 연구결과 대부분의 수목은 이식 직후 급격한 성장량 감소를 보이는 것으로 나타났으며, 이후 수종별로 상이하긴 하나 대부분 2년 이후부터 서서히 성장량을 회복하는 것으로 나타났다. 수종별 성장량을 분석한 결과 공통적으로 이식 직후 급격한 성장량 감소를 보인 후, 이식전의 성장 수준을 회복하기 까지는 수종에 따라 2~4년 정도의 시간이 필요한 것으로 확인되었다. 결과적으로, 생태복원 및 오염물질 저감이라는 본 사업의 목적에 부합하기 위해서는 식재한 수목의 하자율 개선이 필요하며, 이를 위해서는 적절한 기반환경을 조성하는 것 외에 최소 2년간의 수목 관리기간을 설정하는 것이 필요하다.

주요어: 수목관리, 성장량, 생태복원, 수목관리기간

ABSTRACT

The growth of trees planted through transplantation rapidly decreases immediately after planting due to extreme disturbances such as root cutting and crown damage. Although the growth rate is recovered as time elapses, the time required to restore the original growth varies by species. Therefore, it is necessary to set an

1 접수 2022년 8월 3일, 수정 (1차: 2022년 9월 14일), 게재확정 2022년 9월 28일

Received 3 August 2022; Revised (1st: 14 September 2022); Accepted 28 September 2022

2 경상국립대학교 조경학과 교수 Dept. of Landscape Architecture, Gyeongsang National University, 52725, Korea (ecoplan@gnitech.ac.kr)

3 경상국립대학교 대학원 도시시스템공학과 박사과정 Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, Gyeongsang National University, 52725, Korea (nucle99@epa.or.kr)

4 대전·충남 환경보전협회 계장 Environmental Preservation Association 34013, Korea (nucle99@epa.or.kr)

* 교신저자 Corresponding author: nucle99@epa.or.kr

appropriate tree management period for survival after transplantation by analyzing each species' annual growth change. In this study, we analyzed the growth amount of deciduous broad-leaf species planted in the area where the riparian ecological belt was formed and proposed the management period based on the results. Slowed growth immediately after planting is a common phenomenon due to root cutting and pruning, the pre-works performed to increase tree survival rate during the transplantation process. Afterward, the original growth rate is recovered as time passes, but the time required may vary depending on the species and planting environment. Most of the trees showed a rapid decrease in growth immediately after transplantation. After that, although it is different for each species, most of them showed a gradual recovery from 2 years onwards. The analysis of the growth rate by tree species confirmed that it took 2 to 4 years, depending on the tree species, to recover the growth level before transplantation after a rapid decrease in growth immediately after transplantation. The results suggest that improving the defect rate of planted trees is necessary to meet the project objectives: ecological restoration and pollutant reduction. It requires setting a tree management period of at least two years and creating an appropriate base environment.

KEY WORDS: TREE MANAGEMENT, TREE GROWTH, ECOLOGICAL RESTORATION, TREE MANAGEMENT PERIOD

서 론

수목의 나이테(연륜)는 시계열적 생육환경조건을 반영하여 결정되며, 외부 요인에 어떻게 반응하는지 이해할 수 있는 다양한 환경 및 시간에 대한 정보를 담고 있다(Cerano-Paredes *et al.*, 2022). 일년에 고리가 하나씩 만들어지기 때문에 정확한 연대 부여가 가능하다라는 특성을 지니고 있다(Seo, 2017). 이러한 특성으로 인해 거시적으로는 과거의 장기적인 기후 또는 환경 변화 등 대기후의 맥락을 (Allena *et al.*, 2018), 미시적으로는 토양의 환경조건이나 외부 물리적 환경에 대한 수목의 적응 정도를 파악할 수 있다고 하였다(Lee *et al.*, 1993; Jo *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2018). 연간 성장량을 나타내는 나이테 분석은 기후 및 환경 변화와 수목 성장과의 관계(Chung *et al.*, 2015; Lee *et al.*, 2009; Byun *et al.* 2010; Cerano-Paredes *et al.*, 2022), 식재한 수목의 적응력 또는 성장특성(Rybnick *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2012; Kim, 2017), 문화재 또는 유물, 건축물의 수종 및 연대측정(Lee *et al.*, 2022; Lee *et al.*, 2020)과 같은 다양한 분야에서 활용되고 있다. 이와 같이 수목의 나이테는 수목에 영향을 미치는 자연적인 외부 환경 조건 뿐만 아니라 인위적인 간섭과 같은 외부 요인을 추정할 수 있으며(Fritts, 1976; Kim, 2006), 이를 통해 수목의 과거 성장 역사와 더불어 미래를 예측할 수 있는 정보를 수집할 수 있다.

또한 수목의 나이테는 기후변화 또는 교란, 토양 등 외부의 물리 환경적 요인으로 인해 생육환경이 좋지 않을 때

폭이 좁아지고 반면 환경에 적응하거나 개선되었을 때 넓어지는 등 성장량에 차이를 보이는 특징이 있어(Lee, 1995) 해당 연륜을 통한 수목의 적응도, 적응 기간 정도를 파악할 수 있을 것으로 판단되었다. 국내에서 성장량과 관련된 연구는 식재수목 및 자연림을 대상으로 연간 성장량 및 성장 특성, 관리 시기 등을 파악하기 위한 연구가 주로 이루어졌다. 자연림의 경우 수종별 연간성장량은 물푸레나무 0.26cm, 느릅나무 0.25cm, 팽나무 0.17cm(Lee *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2011), 산벚나무 0.21cm(Seo *et al.*, 2009b)로 제시하였으며, 굴취하여 식재한 조경수목의 경우 이팝나무 0.54cm (Jo and Park, 2017), 단풍나무 0.64cm, 느티나무 0.99cm, 왕벚나무 0.91cm, 은행나무 0.72cm(Jo and Ahn, 2012; Jo *et al.*, 2013)로 분석한 바 있다. 이들 연구는 수목의 연간 및 시계열적인 성장량 변화 특성 또는 환경요인과의 관계를 밝히는 것에 목적으로 두고 있는 것이 대부분이었다(Seo *et al.*, 2009a; 2009b; Shin and Chun, 1996). Lee *et al.*(2021)이 식재된 소나무를 대상으로 집중관리시기에 대한 연구를 진행하였으나 낙엽활엽수의 식재 후 관리시기와 관련된 연구는 사례를 찾아보기 어렵다. 수목의 식재 이후 관리를 위해서는 수종별 생육특성에 대한 객관적인 자료가 전제되어야 할 것이다. 특히 식재된 수목은 생육 장소의 이동, 일조량, 온도 및 습도의 변화, 뿌리 및 수관의 손상 등 외부 교란에 대한 정보가 연륜 구조에 반영되며(Kramer and Kozlowski, 1979) 특히 이식 당시 뿌리돌림과 같은 극단적인 교란으로 인해 연륜의 구조가 극명하게 나뉜다. 따라서 수종별 성장량 분석을 통해 도출된 수목의 연륜별 생

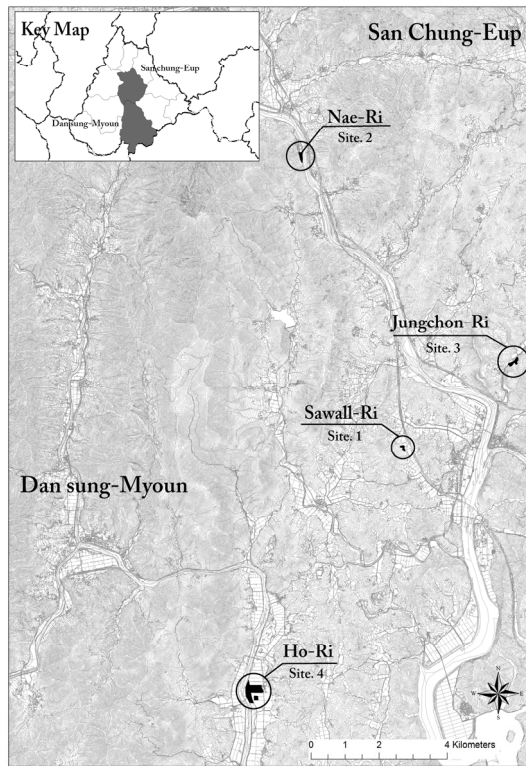


Figure 1. Location map of Study Site.

장 특성은 식재된 수목의 식재이후 관리에 관한 연구에서 객관적인 자료로서 활용 가능할 것으로 판단되었다.

수변생태벨트 조성 사업은 환경부에서 한강, 낙동강, 영산강, 금강 등 4대강을 대상으로 시행 중이며, 낙동강 수계의 경우 2002년 ‘낙동강수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률’을 제정하면서 시작되었다. 이후 2003년 동법 제8조의 규정에 의해 토지매수를 진행하고 있으며(Ki and Kim, 2012), 매수된 토지에 대해서는 하천 분류로 유입되는 점오

염원 및 비점오염원을 감소시키고자 습지 조성 및 수목식재를 통한 식생복원을 진행하고 있다(Mev, 2018). 수변생태벨트 조성 사업의 목표는 오염원의 제거 및 양호한 수립대의 형성을 통한 낙동강 본류의 수질개선 효과 증진에 있으므로, 오염원 제거를 위해 조성된 습지복원지 또는 식생복원지에 식재된 수목의 고사율 증가는 본 사업의 목적인 오염원 저감효과를 감소시키는 원인이 될 수 있다(Mev, 2018). 수목 고사율은 사업의 성패를 좌우하는 중요한 요소이며(Ki and Kim, 2012), 수목의 고사율을 낮추기 위한 관리 방법과 기간에 대한 객관적인 방법을 제시하는 것은 필수적이라는 판단이다. 이에 본 연구는 생태복원지내에 식재된 수목을 대상으로 수종별 연륜 생장의 시계열적인 변화 분석을 통해 안정적인 활착에 필요한 적정한 관리기간을 제안하고자 한다.

연구방법

수변생태벨트 조성사업은 상수원 수질에 직접적인 영향을 미치는 공장·축사·식당 등 오염물질 배출원을 매입한 후 녹지대를 조성하여 정화시키는 완충지대를 조성하는 것이다. 이를 통해 하천 분류로 유입되는 오염물질을 사전에 차단하여 수질을 개선하려는 목적으로, 하천 및 호수 경계로부터 0.5~1km 이내 지역을 수변구역으로 지정하여 2004년부터 매수를 실시해오고 있다(Mev 2018) 토지매수의 경우 2004년부터 이루어졌으며 본격적인 복원사업은 2005년부터 진행되었다. 하지만 2005년부터 2006년까지는 복원지 개수와 면적이 적었을 뿐만 아니라 시범적 조성지로 연구대상지로서의 가치는 부족하였다. 이에 연구대상지는 본격적인 복원 사업이 진행된 시점인 2006년도 이후에 조성된 곳을 선정하였다.

Table 1. Overview of the study Stie and plant species

Survey site	Location(Sancheong-gun)	Planted species	Number of population	Area(m ²)	Construct Year
Site 1	Danseung-myeon Sawall-ri 1272	<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	32	5,948	2006
		<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	23		
Site 2	Sanchung-ep Nac-ri 578	<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	10	13,113	2007
		<i>Chionanthus retusa</i>	16		
		<i>Celtis sinensis</i> Persoon	10		
Site 3	Danseung-myeon Jungchon-ri 839-1	<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i>	9	28,479	2008
		<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	10		
Site 4	Danseung-myeon Ho-ri 478-4	<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i>	18	33,504	2008
		<i>Salix koreensis</i>	11		

전체적인 기간 파악이 가능할 수 있도록 조성한지 10년이 지난 곳을 우선 선정하였는데, 성장 불량, 고사 등 수종 선택의 문제점이 노출된 곳은 배제하였다. 선정된 대상지의 수종별 성장량 측정·분석을 통하여 활착 상태 및 기간, 활착 이후 수목이 본격적인 부피생장을 하기까지의 전체적인 기간을 파악하고자 하였다. 분석 자료를 바탕으로 이식 후 고사율을 낮추기 위한 적정 관리 기간을 제공함으로써 복원지의 중·장기적인 관리 계획 수립을 위한 객관적인 자료로 활용하고자 하였다.

대상지는 낙동강 수변생태벨트 조성 사업의 일환으로 조성된 식생복원지이며, 위치는 경상남도 산청군 단성면 사월리 1271-2번지 일원(이하 Site 1), 산청군 산청읍 내리 78번지 일원(이하 Site 2), 산청군 단성면 중촌리 839-1번지 일원(이하 Site 3), 산청군 단성면 호리 478-4번지 일원(이하 Site 4)에 각각 위치한 4개소이며 규모는 총 81,044m²이다. Site 1은 2006년, Site 2는 2007년, Site 3과 Site 4는 2008년에 복원되어, 4곳 모두 조성한지 10년이 경과하여 수목의 성장량 및 활착기간을 파악하기에 적합하다고 판단되었다.

대상지별 특성을 살펴보면 Site 1(사월리)의 경우 산림의 하단부에 위치하고 있으며 자연림으로 둘러싸여 있었다. 조성 당시 습윤지성 낙엽활엽수림 조성을 목표로, 갈참나무, 귀룽나무, 느릅나무, 물푸레나무, 복자기나무, 산단풍, 층층나무 등 19종을 교목층과 관목층에 식재하였다. 10년이 지난 현재에는 교목층의 밀도가 높아졌을 뿐만 아니라 외부로부터 다양한 종이 유입되어 교목성상의 수종은 생존했으나 관목성상의 수종은 외부에서 침입한 자생종으로 대체되었다. Site 2(내리)는 서쪽으로는 자연림, 동쪽으로는 남강과 접하는 평탄한 지역에 습윤지성 낙엽활엽수림대를 조성하였다. 식재 수종으로는 습윤지성인 갈참나무, 귀룽나무, 느릅나무, 느티나무, 말채나무, 물푸레나무 등 교목과 관목 21종을 식재하였으나 관목의 경우 피압과 자생종과의 경쟁으

로 도태된 상태이었다. 교목층에 식재된 수종 중 느릅나무, 팽나무, 말채나무, 이팝나무 등 일부만 생장이 양호하였다. Site 3(중촌리)은 소하천과 접한 북쪽을 제외하면 민가와 경작지 등에 둘러싸인 평탄지를 2008년도에 복원하였다. 침엽수인 소나무와 낙엽활엽수인 갈참나무, 느릅나무 등을 혼합식재한 지역으로 생육상태는 양호한 것으로 조사되었다. 2008년도에 덕천강과 접한 발경작지에 조성된 Site 4(호리)에는 갈참나무, 신갈나무, 졸참나무, 버드나무, 뽕나무 등 참나무림 복원을 목표로 조성되었다. 참나무림을 복원하였으나 하천변이라는 대상지의 특성으로 인해 버드나무와 같은 습윤지성 낙엽활엽수를 토양특성에 따라 혼합식재한 상태이었다.

2017년 6월, 2018년 7월 두 차례에 걸쳐 목편을 채취한 후 수종별 성장 상태를 측정·분석하였다. 조성 당시 연구대상지에 식재된 교목층의 규격은 근원직경 4cm ~ 10cm로 대부분 생육 초기 상태이었으며, 4곳 모두 비슷한 크기의 수목을 식재한 것으로 나타났다. 대상지 내부의 전체 수목에 대한 수고와 흉고직경을 조사한 후, 가능한 평균 흉고직경급 이상에 해당되는 교목층 수목에 대해서만 목편을 채취하였다. 수목의 수고는 수고측정기(SK逆目盛檢測桿)를, 흉고직경은 직경테이프를 활용하여 측정하였다. 식재 후 10년이 지난 현재 일부 생장이 불량한 수목의 경우 성장량 측정이 물리적으로 불가능할 것으로 판단되어 제외하였다.

Table 2는 표본목 낙엽활엽수의 흉고직경급 및 수고, 목편 채취 시기를 나타낸 것이다. 성장량 측정을 위해 수목의 목편은 지상 1.2m~1.5m의 가슴높이에서 직경 5.15cm인 하그로프 성장추(MORA Sweden Haglof Tree Core)를 이용하여 추출한 후, 정확한 수령 파악이 가능하도록 수(pith)를 관통하여 채취하였다. 수령 측정은 정확한 생육 연도를 파악하고자 크로스데이팅(cross-dating)을 실시하였으며, 인위적 간섭이 수목의 성장에 미치는 영향을 파악하기 위해 연륜연대학기법

Table 2. Tree Status by Study Site

Site	Species	DBH		Height		Year of measurement
		mean	Range	mean	Range	
Site 1 (Sawal-Ri)	<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	13.0	9.0~17.5	6.8	5.0~8.0	2017
	<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	10.8	9.0~14.0	6.7	5.0~8.5	
Site 2 (Nae-Ri)	<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	14.2	11.0~18.2	7.3	6.0~10.5	2017
	<i>Chionanthus retusa</i>	10.7	8.0~16.0	6.7	5.5~9.0	
	<i>Celtis sinensis</i> Persoon	14.7	10.0~19.0	8.7	8.0~10.0	
Site 3 (Jungchon-Ri)	<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i>	12.9	11.0~17.5	6.2	6.0~7.0	2018
	<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	11.1	7.0~13.5	6.9	5.5~8.0	
Site 4 (Ho-Ri)	<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i>	14.8	11.0~20.0	6.7	5.5~8.0	2018
	<i>Salix koreensis</i> ANDERSS.	14.1	10.0~19.0	7.3	6.0~9.0	

을 활용하여 진행하였다(Fritts, 1976). 채취한 목편은 모눈종이와 AUTOCAD 프로그램을 이용하여 연도별 성장량을 숫자로 기록하였으며, 4개 대상지에 식재된 같은 수종의 수목을 종합하여 분석한 후 유사 성장구간을 구분하였다. 성장량을 그래프로 변환하면 성장 간격이 확연히 좁아지는 구간을 확인할 수 있는데, 이는 식재한지 10년이 지난 수목의 성장 간격을 역으로 계산하여 식재시기를 추정하였다. 유사 성장구간의 구분을 위해 수종별 성장량 분석 결과를 통계분석 프로그램(R3.6.1)을 이용해 분산분석을 실시하였다. 이후 구간별 성장의 차이가 통계적으로 유의한지를 확인하고자 일원배치분산분석(One-way ANOVA)을 실시하여 수종별로 성장상태가 상이해지는 구간을 도출하고자 사후분석(PostHocTest)를 진행하였다.

결과 및 고찰

1. 성장량 분석결과

Table 3은 성장량을 분석한 수종별 표본목 수, 흉고직경, 수고, 수령, 연간성장량을, Table 4는 연도별 평균 성장량을 수종별로 정리한 것이다. 우선 벚나무를 살펴보면 표본수는 27주로, 평균흉고직경은 14.2(9~20)cm, 수령은 16~24년이

었으며, 평균 직경성장량은 0.411cm이었다. 표본수 16주인 이팝나무의 흉고직경은 8~16cm, 수령은 17~22년으로 연간 0.303cm의 평균 성장량을 보였다. 팽나무는 표본수 10주, 흉고직경 10~19cm, 수령 16~20년이었으며 연간 직경성장량은 0.522cm로 가장 빠른 부피생장을 보였다. 물푸레나무의 경우 표본수 23주, 흉고직경 9~14cm, 수령 16~26년으로 연간 0.306cm의 평균 성장량을, 버드나무는 표본수 11주, 흉고직경 10~21cm로 평균 직경 성장량은 0.445cm로 팽나무와 유사한 부피생장을 나타내었다. 느릅나무는 표본수 52주, 평균흉고직경 12.9(7~18.2)cm, 수령 16~28년으로 연간 평균 직경성장량은 0.342cm로 분석되었다.

Table 4와 Figure 2는 식재 2년 전부터 식재 후 10년까지의 수종별 평균 성장량을 분석한 결과를 나타낸 것이다. 식재 전과 후의 평균 성장량을 비교해보면 벚나무(전:후 = 0.42cm:0.417cm), 물푸레나무(전:후 = 0.296cm:0.308cm)는 차이가 없었으나, 버드나무(전:후 = 0.499cm:0.442cm), 느릅나무(전:후 = 0.383cm:0.335cm)는 식재 후에 성장량이 감소한 것으로 분석되었다. 반면, 이팝나무(전:후 = 0.237cm:0.317cm)와 팽나무(전:후 = 0.388:0.551cm)는 식재 후에 성장량이 증가하였는데, 두 수종 모두 동일한 대상지에 식재된 것으로 확인되었다. 결과적으로 수종별 성장량의 차이는 생육환경이 달랐기 때문인 것으로 판단되었다.

수종별로 살펴보면(Table 3), 벚나무의 성장량은 0.411cm

Table 3. An estimated age and growth statuses of major species

Species	Number of samples	Age		Growth	
		Mean	Range	Mean	Range
<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i>	27	19	16~24	0.411	0.074~1.006
<i>Chionanthus retusa</i>	16	18	17~22	0.303	0.066~0.764
<i>Celtis sinensis</i> Persoon	10	18	16~20	0.522	0.126~1.272
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	23	21	16~26	0.306	0.049~0.810
<i>Salix koreensis</i> ANDERSS.	11	18	15~24	0.445	0.088~1.135
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	52	20	16~28	0.342	0.053~1.142

Table 4. Annual average growth

Species	Before					After									
	-2	-1	mean	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9	+10	mean	
<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i>	0.443	0.397	0.42	0.203	0.329	0.422	0.429	0.419	0.433	0.449	0.451	0.503	0.534	0.417	
<i>Chionanthus retusa</i>	0.237	0.236	0.237	0.143	0.206	0.245	0.305	0.370	0.335	0.356	0.379	0.402	0.430	0.317	
<i>Celtis sinensis</i> Persoon	0.342	0.433	0.388	0.236	0.441	0.535	0.545	0.531	0.526	0.664	0.634	0.713	0.681	0.551	
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	0.302	0.289	0.296	0.152	0.243	0.381	0.356	0.379	0.313	0.310	0.305	0.334	0.306	0.308	
<i>Salix koreensis</i> ANDERSS.	0.563	0.434	0.499	0.230	0.377	0.427	0.477	0.497	0.464	0.499	0.435	0.481	0.534	0.442	
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	0.383	0.382	0.383	0.154	0.208	0.318	0.400	0.393	0.375	0.374	0.388	0.352	0.385	0.335	

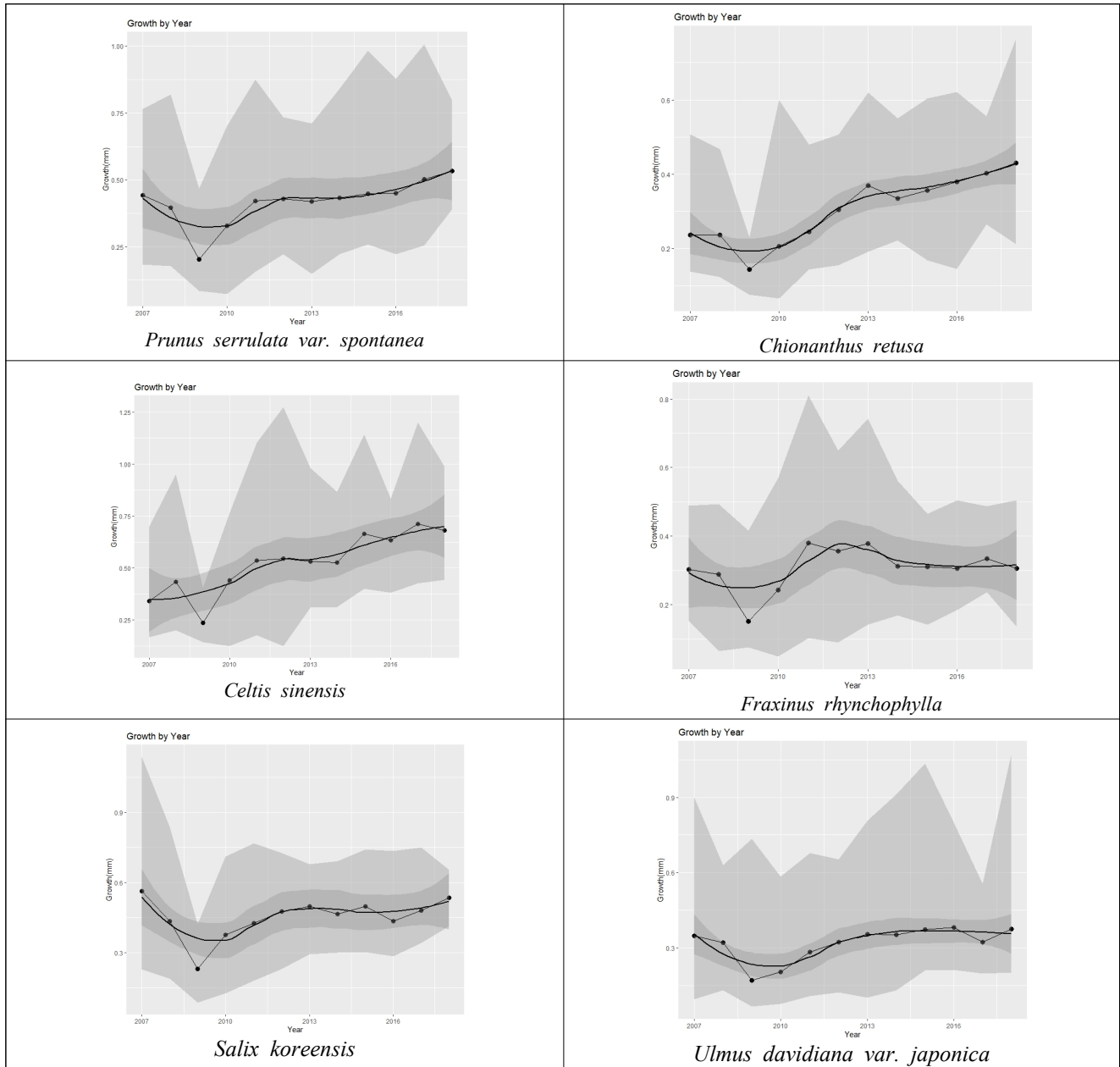


Figure 2. Average growth of year by tree species.

로 자연림 산벚나무(0.21cm)보다 높았으나, 조경수로 식재된 왕벚나무(0.91cm)보다는 낮았다(Jo and Ahn, 2012; Seo *et al.*, 2009). 이팝나무이 성장량은 0.303cm로 조경수로 식재된 이팝나무(0.54cm)보다는 낮았으나(Jo and Park, 2017), 식재 후 시간이 지날수록 성장량은 증가하였다. 팽나무(0.522cm), 물푸레나무(0.306cm), 느릅나무(0.342cm)는 자연 상태에서 생육하는 수목(팽나무 0.17cm, 물푸레나무 0.26cm, 느릅나무 0.25cm)보다는 높은 것으로 나타났다. 이상을 종합하면, 벚나무, 팽나무, 물푸레나무, 느릅나무의 경우 자연 상태보다는

연간성장량이 높은 것으로 분석되었는데, 이는 종내 또는 종내 경쟁이 발생하는 자연 상태와는 달리 경쟁이 없는 복원지의 경우는 외부 환경 조건의 양호하기 때문이 영향을 미친다고 한 Allena *et al.*(2018), Lee(2003)의 연구결과와 일치하였다.

2. 식재 후 성장량변화 비교

Table 5는 식재한 연도부터 10년간의 연간성장량 차이가

유의미한지를 확인하기 위해 일원배치분산분석(One-way ANOVA)을 실시한 결과이다. 식재한 직후인 2009년과 이후의 성장량을 비교한 결과, 벚나무, 이팝나무, 물푸레나무, 느릅나무는 99% 신뢰수준에서 2.76E-14~1.50E-07로 집단간 평균의 차이가 없다는 가설을 기각하는 것으로 분석되었다. 버드나무와 팽나무는 각각 95%와 90% 신뢰수준에서 p-value가 0.00226, 0.0434로 집단간 차이가 있다고 분석되었다. 다만, 벚나무, 이팝나무, 팽나무, 느릅나무의 경우 성장량의 변화가 유의미한 것으로 나타났으나 등분산가정을 통과하지 못하여 Welch's ANOVA를 실시하였으며, 99% 신뢰수준에서 집단 간 평균의 차이가 없다는 가설을 기각하는 것으로 나타났다.

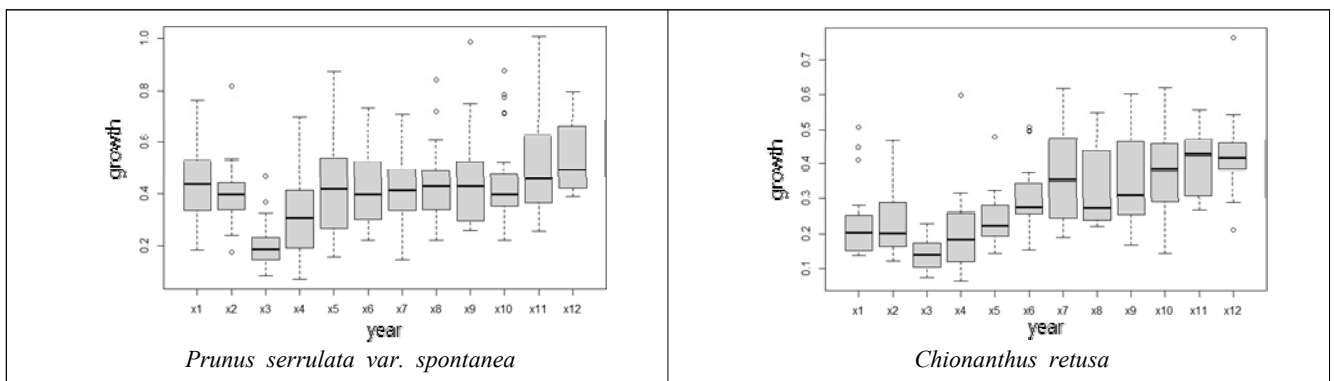
Table 6과 그림 4은 던칸(Duncan's) 다중비교검정을 통해 수종별 식재 후 성장량이 다르다는 결과를 바탕으로 그룹화한 결과이다. 수종별로 그룹화되는 시기에는 차이가 있었는데, 벚나무와 물푸레나무는 식재 후 1년차, 2년차, 3~5

년차가 각각 같은 그룹으로 묶였다. 이팝나무는 1~2년차, 3~4년차, 5년차를 같은 그룹으로 구분할 수 있었는데, 식재 후 첫 1년은 생장이 불량하였으나 2~3년차를 거치면서 양호한 상태로 변화되었다. 팽나무는 1~2년차와 3~5년차로, 버드나무는 경우 1년차와 2~5년차로, 느릅나무는 1~2년차, 3년차, 4~5년차로 그룹화되었다. 성장량을 바탕으로 수종별 관리기간을 살펴보면, 벚나무, 물푸레나무, 팽나무는 식재한 지 3년차부터, 버드나무는 2년차부터, 이팝나무는 2~3년이 지난 시점부터 정상적인 생장이 시작되는 것으로 분석할 수 있었다. 낙동강 매수토지 복원을 위해 식재한 낙엽활엽수종의 경우 성장량을 회복하는 기간은 수종별로 차이가 있었으나, 식재 후 최소 2~3년차까지는 적극적인 관리가 필요한 것으로 확인되었다.

Table 5. The analysis of One-way ANOVA for testing the difference in growth before and after planting

Species		Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	Welch's ANOVA Pr(>WJ)
<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i>	year	4	1.018	0.25459	11.82	3.20E-08***	1.593325e-11
	Residuals	130	2.799	0.02153			
<i>Chionanthus retusa</i>	year	4	0.4919	0.12298	10.65	6.89E-07***	2.251376e-7
	Residuals	75	0.866	0.01155			
<i>Celtis sinensis</i> Persoon	year	4	0.6221	0.15551	2.683	0.0434*	0.001713859
	Residuals	45	2.6087	0.05797			
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	year	4	0.9463	0.23657	11.02	1.50E-07***	-
	Residuals	110	2.3622	0.02147			
<i>Salix koreensis</i> ANDERSS.	year	4	0.4998	0.12496	4.831	0.00226**	-
	Residuals	50	1.2934	0.02587			
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	year	4	2.529	0.6322	19.92	2.76E-14***	6.883383e-15
	Residuals	255	8.094	0.0317			

Signif. codes: 0 '***', 0.001 '**', 0.05 '*',



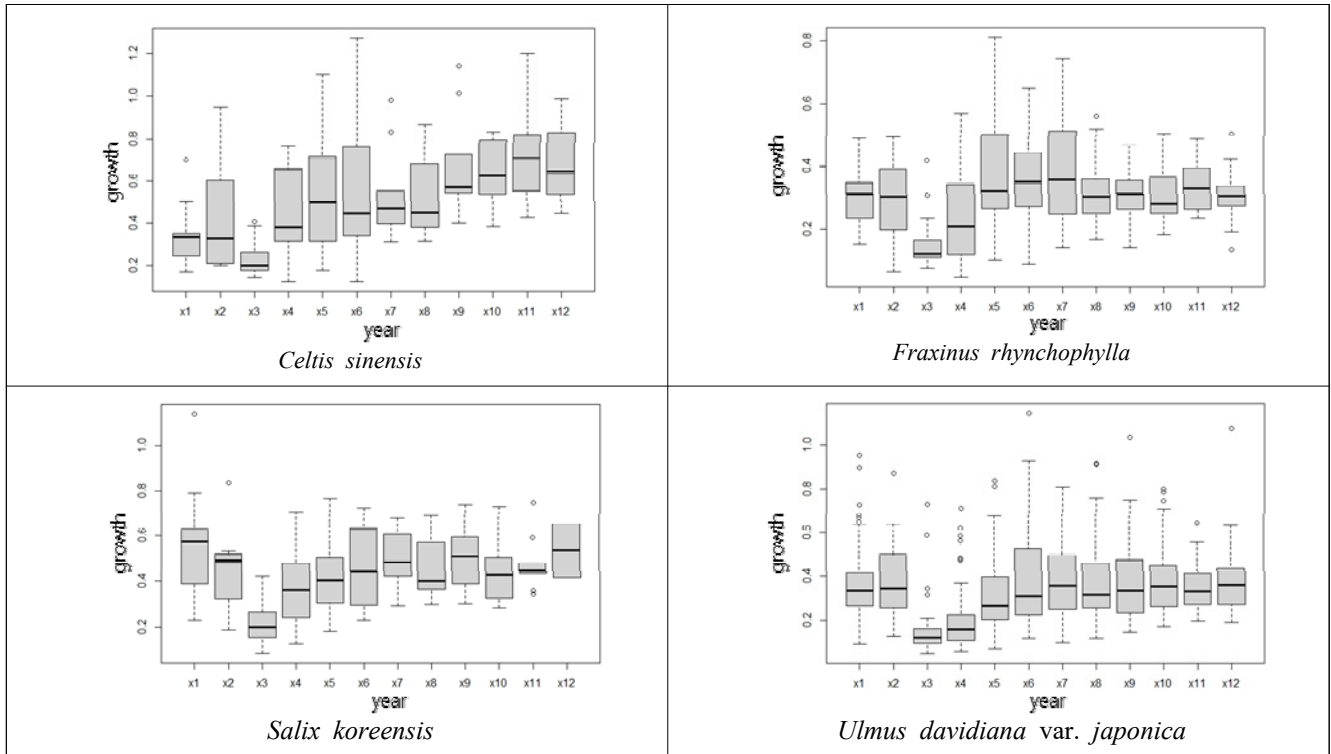


Figure 3. Boxplot expressing growth by years(abbreviation: x1: 2007, x2: 2008, x3: 2009, x4: 2010, x5: 2011, x6: 2012, x7: 2013, x8: 2014, x9: 2015, x10: 2016, x11: 2017, x12: 2018).

3. 결론 및 제언

수목의 연륜 분석을 통해 거시적으로는 기후변동성을 확인할 수 있을 뿐만 아니라(Cerano-Paredes *et al.*, 2022), 미시적으로는 뿌리계의 상태 예상(Rybníek *et al.*, 2007), 답압, 건조와 같은 토양환경의 특성 등을 예측할 수 있다고 하였다(Lee *et al.*, 2013). 또한, 연륜연대학기법(Dendrochronology)은 과거의 기후 및 환경 현상을 파악할 수 있다고 하였기 때문에(Allena *et al.*, 2018), 복원지에 식재된 수목의 성장량을 분석함으로써 고사율을 낮추기 위한 관리방법과 기간을 제안할 수 있을 것으로 판단되었다. 이에 본 연구는 생태복원지내에 식재된 수목을 대상으로 수종별 연륜 생장의 시계열적인 변화 분석을 통해 안정적인 활착에 필요한 적절한 관리기간을 제안하고자 한다.

본 조사결과, 수변생태벨트 조성지에 식재된 낙엽활엽수의 연간 평균성장량은 벚나무 0.411cm, 이팝나무 0.303cm, 팽나무 0.522cm, 물푸레나무 0.306cm, 느릅나무 0.342cm, 버드나무 0.445cm로 분석되었다. 수종 대부분이 자연상태에서 생육하는 수목보다 연간성장량이 높았는데, 이는 종간 또는 종내 경쟁이 없고, 물리적 환경이 자연상태보다 양호하게 조성되었기 때문인 것으로 판단되었다. 또한 식재된

수목은 이식 직후에 성장량이 급격히 감소하였는데, 이는 이식 후 1년간은 생장이 급격히 감소하는 경향이 있는 소나무, 곰솔, 느티나무 등의 성장량과 일치하였다(Kim, 2002; 2006; Lee *et al.*, 2021). 이후 2~3년째 부터 서서히 성장량이 좋아지는 것으로 확인되었는데, 이 기간을 줄이기 위해서는 이식 과정에서 수목이 받는 스트레스를 최소화할 필요가 있다는 것을 시사한다(Jo and Park, 2017).

식재후 활착에 소요되는 기간을 파악하기 위해 던칸(Duncan's) 다중비교검정을 실시한 결과 벚나무와 물푸레나무, 팽나무, 느릅나무는 식재 후 3년차부터 성장량이 정상적으로 회복되는 것으로 나타나 성장량을 회복하기까지 가장 긴 시간이 소요되는 것으로 분석되었다. 버드나무는 2년차부터 성장량을 회복하여 타 수종에 비해 비교적 회복속도가 빨라, 낙동강 수변녹지 조성지역에 식재된 조경수목들중 식재후 성장량이 2배이상 높다는 연구결과와 유사하였다(Jo and Park, 2016). 이팝나무는 식재후 1년차와 이후의 성장량의 변화가 미미한 것으로 나타나 회복 속도가 가장 빨랐는데 성장량 회복속도가 빠르다는 것은 이식에 대한 용이성이 높다는 것을 의미한다. 아파트에 식재된 조경수목의 하사율에 대한 연구결과에서 이팝나무의 고사율은 3.05%로(Lim and Kim, 2001) 상대적으로 타 수종에 비해

고사율이 낮은 것으로 나타나 이를 뒷받침 하였다. 일반적으로 수목은 식재하기 전에 시행하는 뿌리 절단과 전정 및 전지, 이식 후의 생육환경 변화, 관수 부족 등의 원인으로 (Schweingruber, 1996; Kim *et al.*, 2002) 인해 이식 직후에 성장량이 급격하게 감소하는 것으로 나타났다. 공원, 녹지, 또는 복원지에 이식한 수목이 원래의 성장 수준을 회복하기까지는 수종에 따라 짧게는 2년에서, 길게는 3년 정도의 시간이 필요한 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 수변구역의 생태복원지에 식재한 수목의 경우 시공 3년 후 활착한다고 하였는데(Jo and Park, 2016), 이는 느티나무, 단풍나무, 이팝나무, 산수유, 은행나무 등 낙엽활엽수와 소나무, 잣나무 등 침엽수의 식재 후 성장량 회복에 관한 연구 결과와도 유사한 것으로 나타났다(Kim, 2006; Jo and Park, 2017; Lee *et al.*, 2021). 대부분의 수목은 식재후 성장불량 단계와 성장량 회복 단계를 거쳐, 완전한 활착 단계로 이어지는 것으로 나타났으며 각 단계에 소요되는 기간은 수종별로 다른 것으로 확인되었다.

본 연구는 식재된 수목의 적정관리 기간을 도출하기 위해 수종별 식재이후 활착 그리고 성장량 회복까지 소요되는 기간을 파악하고 수종별 식재 초기 필수 관리기간에 대한 차이를 알아보고자 진행되었다. 다만, 수목의 성장 상태 분석을 주요 목적으로 한 연구이기 때문에, 기후 및 토양 등 자연환경에 대한 조건은 배제하였다. 낙동강수계 매수토지의 경우 대부분 토양, 수분 등 생육환경이 양호한 지역이며, 수목 활착을 위한 관리를 실시하였음에도 성장량 회복에 최소 2년의 기간이 소요되었음을 고려하였을 때 생육환경이 열악한 장소에 식재된 수목의 경우 성장량 회복에 더 오랜기간이 필요할 것으로 예상되었다. 따라서, 수변생태복원지를 비롯한 공원, 녹지, 도심내 유휴지 등에 수목을 신규 식재하는 경우 수목의 활력도와 성장능력이 취약해진 식재 후 최소 2~3년 간은 수목의 활착을 돕기 위한 집중적 관리가 필요한 것으로 판단되었다.

하지만 기상인자와 같은 자연환경은 임목의 성장에 영향을 주는 중요한 지표로서의 역할을 할 뿐 아니라(LaMarche *et al.*, 1971), 같은 수종이라 할지라도 입지, 환경 및 유전적 요인에 따라 각각 다르게 나타난다. 임목의 성장에 관여하는 주요 인자(기상, 생물, 토양 등)를 통해 임목의 형체가 이루어진다고 하였기 때문에(Lee, 2003, Kramer and Kozlowski, 1979) 대상지 또는 주변의 환경적 특성을 고려하여야 한다. 또한 Lee *et al.*(2021) 연구에서 밝힌바와 같이 수변생태벨트에 식재된 소나무의 최소 관리기간 3~4년이 필요한 것과 비교하여 낙엽활엽수의 경우 보다 짧은 기간에 성장량이 회복된 것을 확인할 수 있었다. 이는 식재 수종에 따라 생육에 적합한 환경이 다른 것에 기인한 결과로 동일한 환경조건에서도 수종에 따라 집중관리 기간이 다르게

설정될 필요가 있음을 시사한다.

본 연구는 낙동강 수변벨트와 유사한 환경조건에서 낙엽 활엽수를 식재하였을 때 수목의 성장량 회복에 필요한 최소 관리 기간을 설정하는데 그 의의가 있으며, 식재 수목에 대한 종합적인 관리방안을 제안하기 위해서는 추후 생육환경이 열악한 산업단지, 매립지, 신규 도시개발지의 식재수목 및 가로수 등의 성장량 회복속도와 비교하여 조경공사에 활용되는 수목의 입지, 환경, 소종 등에 따른 최소관리기간 도출 등으로 연구가 심화되어야 할 것이다.

REFERENCES

- Allena, K.J., R. Villalbab, A. Lavergne, J.G. Palmerd, E.C. Cooke, P. Fenwickf, D.M. Drewg, C.S.M. Turneyd and P.J. Bakera(2018) A comparison of some simple methods used to detect unstable temperature responses in tree-ring chronologies. *Dendrochronologia* 48: 52-73.
- Byun, J.G., G.W. Lee, D.G. No, S.H. Kim, J.G. Choi and Y.J. Lee(2010) The relationship between tree radial growth and topographic and climatic factors in red pine and oak in central regions of Korea. *J. Korean For. Soc.* 99(6): 908-913. (in Korean with English abstract)
- Cerano-Paredes, J., P. Szejner, G. Gutiérrez-García, R. Cervantes-Martínez, V.H. Cambrón-Sandoval, J. Villanueva-Díaz, J.R. Estrada-Arellano, O. Franco-Ramos, L. Vázquez-Selem and L.U. Castruita-Esparza(2022) How to extract climate variability from tree-rings. *Journal of Visualized Experiments : JoVE* (181): e63414.
- Chung, J.M., H.S. Kim, S.T. Lee, G.J. Lee, M.S. Kim and Y.W. Chun(2015) Correlation analysis and growth prediction between climatic elements and radial growth for *Pinus koraiensis*. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 17(2): 85-92. (in Korean with English abstract)
- Fritts, H.C.(1976) *Tree rings and climate*. Academic Press Inc., London Ltd., 567pp.
- Jo, H.G.(1999) Carbon uptake and emissions in urban landscape, and the role of urban greenspace for several cities in Kangwon Province. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 27(1): 39-53. (in Korean with English abstract)
- Jo, H.K. and H.M. Park(2016) Exploring planting strategies through monitoring of a greenspace established in the riparian zone-The case of an implementation site in Gapyeong County-. *Journal of Environmental Science International* 25(12): 1689-1699. (in Korean with English abstract)
- Jo, H.K. and H.M. Park(2017) Changes in growth rate and carbon sequestration by age of landscape trees. *J. KILA* 45(5): 97-104. (in Korean)

- Jo, H.K. and T.W. Ahn(2012) Carbon storage and uptake by deciduous tree species for urban landscape. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 40(5): 160-168. (in Korean with English abstract)
- Jo, H.K., J.Y. Kim and H.M. Park(2013) Carbon storage and uptake by evergreen trees for urban landscape-For *Pinus densiflora* and *Pinus koraiensis*. *Korean J. Environ. Ecol.* 27(5): 571-578. (in Korean with English abstract)
- Jo, H.K., O.H. Seo, I.H. Choi and T.W. Ahn(2011) Growth environments and management strategies for *Pinus densiflora* village groves in Western Gangwon Province. *Kor. J. Env. Eco.* 25(6): 893-902. (in Korean with English abstract)
- Jung, S.H., M.G. Choi and S.L. Geun(1983) Articles: A study on the diameter increment of major hardwood in middle area of Korea. *J. Korean For. Soc.* 60: 24-29. (in Korean with English abstract)
- Ki, K.S. and J.Y. Kim(2012) Monitoring of plant community structure change for four years (2007~2010) after riparian ecological restoration, Nakdonggang(River). *Korean Journal of Environment and Ecology* 26(5): 707-718. (in Korean with English abstract)
- Kim, D.G.(2006) Articles: Tree-ring growth characteristics of *zelkova serrata makino* after replanting on the reclaimed land from the sea in Gwangyang Bay. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 33(6): 40-50. (in Korean with English abstract)
- Kim, D.G., W.G. Park and J.W. Seo(2002) Tree-ring growth characteristics of *pinus thunbergii* parl. after replanting on the reclaimed land from the sea in Gwangyang Bay. *Korean Journal of Environment and Ecology* 16(1): 1-9. (in Korean with English abstract)
- Kim, D.W., B.S. Hu, S.J. Lee and H.J. Kim(2011) Tree growth and ecosystem conditions of Docheon Forest (Natural Monument No. 514) in Docheon-ri, Yeongdeok-Focusing on plant ecosystems-. *Annual Review in Cultural Heritage Studies* 44(1): 122-137. (in Korean with English abstract)
- Kim, H.(2017) Plan to construct tree belt around Saemangeum Reclaimed Land-Analysis of initial growth amount of *pinus thunbergii* and *quercus serrata*-. *J. Korean Env. Res. Tech.* 20(1): 117-129. (in Korean with English abstract)
- Kim, H.P., H.H. Lee and J.H. Lee(2012) Article: Studies on the characteristics of growth of *pinus thunbergii* planted in a costal sand zone. *J. Korean For. Soc.* 101(4): 656-662. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.H.(2007) Social benefits of improved water quality at the Taehwa River based on citizen`s willingness-to-pay. *Journal of Environmental Policy* 6(1): 83-109. (in Korean with English abstract)
- Korean Institute of Landscape Architecture(2014) Standard specification for landscape construction. 408pp. (in Korean)
- Kramer, P.J. and T.T. Kozlowski(1979) *Physiology of wood Plants*. New York: Academic Press
- Larmarache, V.C. and H.C. Fritts(1971) Abnormally patterns of climate over the western United States. 1700-1930, derived from principal component analysis of tree-ring data. *Mon. Weater Rev.* 99: 138-142.
- Lee, G.H., C.H. Park and S.C. Kim(2020) Species identification and tree-ring analysis of wooden elements in Daewoong-jeon of Hwagye-temple, Seoul, Korea. *J. Conserv. Sci.* 36(5): 326-332. (in Korean with English abstract)
- Lee, G.H., S.Y. Jo and S.C. Kim(2022) Species identification and tree-ring dating of wooden elements in Myeongjeong-gate of Changgyeong-palace, Seoul, Korea. *Journal of Conservation Science* 38(2): 87-95. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.B., C.H. Lee, B.J. Choi and J.K. Lee(2013) Management improvement of big and old trees in the Byeol-seo Scenic Sites. *Korea Institute of Traditional Landscape Architecture* 31(1): 98-107. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.J.(1995) *Tree physiology*. Seoul: Seoul National University Publishing House. (in Korean)
- Lee, K.S., K.S. Kim, K.W. Hwang and K.K. Shim(1993) Development and application of the park tree management information system. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 21(3): 89-98. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.D., H.G. Kang and G.S. Song(2021) Setting of intensive management timing for planting trees in the riverine zone based on growth analysis-Focusing on planting of *pinus densiflora* in the Nakdong River's Riverine Ecobelt-. *Korean J. Environ. Ecol.* 35(2): 126-134. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.T.(2003) *Dedroecological study on the relationship between major climatic factors and diameter growth of pinus densiflora*. Ph. D. Dissertation. Gyeongsang National University, Gyeongsangnamdo. 9pp. (in Korean with English abstract)
- Lee, W.A., J.G. Choi, W.G. Lee, Y.J. Lee, S.H. Kim and D.J. Jung(2009) Comparison of growth characteristics for Korea red pine, Korea white pine, Japanese Larch in Gang Won Province. *J. Korean For. Soc.* 2009: 410-413. (in Korean with English abstract)
- Lee, W.A., J.W. Sin, J.G. Choi, W.G. Lee, Y.J. Lee, S.H. Kim and D.J. Jung(2011) Diameter growth analysis for major species using national forest resource inventory-In the Gangwon-do Forests-. *Journal of Forest and Environmental Science* 27(2): 113-118. (in Korean with English abstract)
- Lim, W.H. and Y.S. Kim(2001) Defects of planting in landscape plants in apartment complex. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 29(2): 61-67.
- Ministry of Environment(2018) *Management of the 3rd Nakdong River waterfront area master plan (2019-2023) Report*.

- pp.60-77. (in Korean)
- Rybníek, M., V. Gryc, H. Vavřík and P. Horáček(2007) Annual ring analysis of the root system of scots pine. *Wood Research* 52(3): 1-14.
- Schweingruber, F.H.(1987) *Tree rings: Basics and applications of dendrochronology*. Dordrecht, Kluwer: Bostam: Re-dial Publishing Company.
- Seo J.W.(2017) Past, present, and future of tree-ring dating. *Korean Ancient Historical Society* 2017: 1-4. (in Korean)
- Seo, Y.O., Y.J. Lee, S.M. Park, J.K. Pyo, J.H. Jeong, S.H. Kim, J.K. Choi, W.K. Lee, D.J. Chung and H.S. Moon(2009) Annual tree ring growth characteristics for major species in Chungbuk Province. *Journal of Agriculture & Life Science* 43(6): 1-6. (in Korean with English abstract)
- Seo, Y.O., Y.J. Lee, S.M. Park, J.K. Pyo, J.H. Jeong, S.H. Kim, W.K. Lee, J.K. Choi and H.H. Kim(2009) Study on the annual diameter growth characteristics for major species distributed in Chungnam Province. *Journal of Agriculture & Life Science* 43(3): 7-14. (in Korean with English abstract)
- Shin, M.Y. and J.W. Chun(1996) Quantitative analysis of effects on tree growth of the changes in meteorological environment around Imha dam. *Jour. Korean For. Soc.* 85(3): 462-471. (in Korean with English abstract)
- Zhang, L., Y. Jiang, S. Zhao, L. Jiao and Y. Wen(2018) Relationships between tree age and climate sensitivity of radial growth in different drought conditions of Qilian Mountains, Northwestern China. *Forests* 9: 135.