

우리나라 임목의 초기 성장 특성에 따른 유령림의 임목축적 산출방안 고찰

문가현¹ · 문나현² · 임종수^{1*} · 강진택¹

¹국립산림과학원 산림산업연구과, ²국민대학교 산림환경시스템학과

Methodological Consideration for Estimating Growing Stock of Young Forests based on Early Growth Characteristics of Standing Trees in Korea

Ga Hyun Moon¹, Na Hyun Moon², Jong Su Yim^{1*}, Jin Taek Kang¹

¹Division of Forest Industry Research, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

²Department of Forest, Environment, and System, Kookmin University, Seoul 02707, Korea

요 약: 우리나라의 산림자원 중 유령림에 포함되는 I 영급(10년생 이하)은 임목이 존재함에도 불구하고 임목축적을 '0'으로 가정하여 국가통계를 산출하고 있으며, 온실가스 배출 및 흡수량 산정을 위한 탄소흡수량에서도 누락되고 있다. 지속가능한 산림경영의 이행 및 산림부문 탄소저장량을 산출하기 위해서는 유령림의 산림자원에 대한 정확한 통계정보의 수집이 필요하다. 본 연구는 유령림의 초기 성장 특성을 파악하고 국가산림자원조사에서 수집된 자료를 활용하여 유령림의 임목축적을 추정할 수 있는 방법을 개발하기 위하여 수행하였다. 유령림의 초기 성장 특성을 분석하기 위하여 유령림의 초기 성장에 관한 문헌조사, 수종별 수간석해 분석 및 현실림 임분수확표에 의한 지위지수별 유령림의 성장 특성 등을 분석하였다. 결과적으로 유령림에서 대부분의 임목은 흉고직경 6 cm 미만으로 나타났으며, 흉고직경 6 cm에 도달하는데 평균 12년 이 소요되는 것으로 분석되었다. 국가산림자원조사 자료를 활용하여 유령림의 임목축적을 산출하기 위해서는 치수조사구에서 근원경의 경급별 평균모고가 조사되어야 하며, 교목을 비롯한 다양한 관목이 조사되고 있으므로 교목 수종을 구분할 수 있도록 분석시스템의 개선이 필요한 것으로 나타났다.

Abstract: The growing stocks of young forests that are less than 10 years of age have been excluded from the Korean forest resource statistics, despite the existence of standing trees; however, sustainable forest management and carbon removals in the forestry section require complete information regarding forest resources. This study developed a method to estimate the growing stocks for young forests from National Forest Inventory (NFI) data. After reviewing previous research on growth characteristics for young forests, we conducted stem analysis of major species, and examined stand characteristics by site index, based on real yield tables. Our statistical analysis results showed that there were few standing trees with diameters at breast height (DBH) above 6 cm in young stands, and that it would have taken 12 years, on average, to reach 6 cm DBH. This suggests that mean tree height by diameter should be assessed at the root, in order to assess growing stocks for young stands through the NFI. Moreover, the database system should be improved to differentiate tree species, since diverse shrubs, including trees, have been surveyed.

Key words: growing stock, seedling trees, ingrowth, nfi data, stem analysis

서 론

우리나라의 산림은 과거 일제강점기(1910~1945년)와 한국전쟁(1950~1953년)을 겪으면서 황폐화되었으나,

2018년 기준 ha당 임목축적이 157.8 m³/ha를 차지할 정도로 울창한 산림으로 탈바꿈하였다(Korea Forest Service, 2019a). 단기 국토녹화 성공의 이면에는 산림녹화의 이행을 위한 종합적인 계획으로서 수립된 '제1차 치산녹화 10개년 계획'의 거국적인 조림사업과 더불어 조림, 임목 육종 및 사방분야에서 기술력을 뒷받침한 임업인의 노력이 자리하고 있다(Bae et al., 2010; Lee et al., 2017).

우리나라에서는 전체 산림을 대상으로 산림자원(산림

* Corresponding author
E-mail: yimjs@korea.kr

ORCID

Jong Su Yim  https://orcid.org/0000-0001-7316-6093

면적, 임목축적 등)의 현황을 파악하고 시간경과에 따른 변화를 모니터링하기 위하여 1970년대부터 국가산림자원 조사(National Forest Inventory; NFI)가 수행되고 있다. 최근 유엔기후변화협약 등 다양한 국제협약 및 기구에서 국가산림통계의 제출을 의무화하는 추세에서 산림청은 국내·외 산림자원통계에 대한 수요에 부합하기 위하여 조사 항목 및 조사체계를 개편하여 제5차 NFI(2006~2010년)를 수행하였으며, 현재까지 동일 표본점을 주기적으로 재조사하는 모니터링이 수행되고 있다(Korea Forest Service, 2019b). 고정표본점에서 수집된 시계열 자료는 산림자원의 변화에 대한 모니터링이 가능하므로 산림생태계의 영향 및 산림자원량(임목축적, 바이오매스, 탄소저장량)에 관한 정확한 예측이 가능하게 되었다(Gills et al., 2005; Korea Forest Service, 2018).

지속가능한 산림경영의 이행 및 산림부문 온실가스 배출·흡수량을 산출하기 위해서는 산림자원에 대한 정확한 통계정보가 필요하다. 우리나라의 산림자원통계는 전체 산림을 I~VI 영급으로 구분하여 산림면적 및 임목축적을 제공하고 있으나, I 영급의 경우 유령림으로 임목축적에 관한 정보를 제공하지 않고 있다(Korea Forest Service, 2019a). 산림청에서 실시한 산림자원통계 수요조사 결과에 의하면 I 영급을 포함하여 최소한 VIII 영급까지의 통계 산출이 필요하다는 의견이 제시된 바 있다(Korea Forest Service, 2014). 이러한 요구는 우리나라 산림의 임령을 고려한 영급의 세분화를 통해 산림자원통계를 보다 명확하게 산출하기 위한 것으로 파악된다.

NFI를 비롯한 우리나라 대부분의 산림경영을 위한 산림 조사에서 흉고직경 6 cm 미만의 입목은 치수(Infant trees)로 간주하여 조사대상에서 제외되고 있으며(Korea Forest Service and Korea Forestry Promotion Institute, 2017), 흉고직경 6cm에 도달하는 수령에 관한 정보는 부족한 실정이다. 또한, 흉고직경 6 cm 미만의 입목에 관한 수간재 적식도 제공하고 있지 않으므로(Korea Forest Service and National Institute of Forest Science, 2018), 입목의 수령과 흉고직경 생장에 관한 관계를 규명할 필요가 있다.

유령림의 생장에 관한 국내 선행연구는 주요 육종분야에서 선발육종을 위한 연구가 진행되었으며(Forestry Research Institute, 1999; Ryu et al., 2003; National Institute of Forest Science, 2016a; Eo et al., 2020), 양묘 및 천연갱신에 따른 생장 특성 규명에 관한 연구가 수행되었다(Kim et al., 2013; Cho et al., 2017; Yang et al., 2017). 하지만, 대부분 6년생 이하 입목의 초기 생장에 관한 모니터링이 진행되고 있으며 장기간 모니터링에 관한 연구는 많지 않다(Chun et al., 1999a; National Institute of Forest Science, 2019). 한편, 산림청(2004)에서 제시한 지속가능한 산림

자원 관리지침의 목표생산재별 시업기준에서 잣나무의 경우 어린나무가꾸기 작업을 시작하는 시기는 10년이며, 이때의 평균흉고직경과 평균수고는 각각 4 cm와 3.5 m를 기준으로 제시하고 있다.

다양한 실험조건에서 유묘의 생장에 미치는 영향을 구명하기 위한 연구가 수행된 바 있으나, 유묘의 생장에 관한 정보는 근원경과 묘고를 측정하고 있으므로 수간재적표의 적용이 불가능하다. 따라서 본 연구는 흉고직경 6 cm 미만에 해당하는 입목의 생장 특성과 수령과의 관계를 규명하고, NFI에서 수집된 자료를 활용하여 유묘 및 유령림의 임목축적을 산출할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

재료 및 방법

1. 유령림의 면적변화

본 연구에서 유령림은 10년생 미만의 산림으로 임업통계연보에서 제공하는 영급별 산림면적에서 I 영급(1년생~10년생)에 해당된다. 우리나라의 산림면적에 관한 조사는 1970년대 전국산림실태조사부터 시작되었으며, 임상도 구축을 통해 임상 및 영급별 면적이 수집되고 있다. 하지만, 전국산림실태조사의 조사주기가 상이하므로 본 연구는 현지조사가 완료된 시점에서의 I 영급의 면적을 조사하여 면적의 변화를 비교하였다(Korea Forest Service, 1975, 1981, 1993, 2006, 2011, 2016).

2. 입목의 초기 생장 특성 분석

1) 문헌조사

유령림의 임목축적 산출방안을 고찰하기 위해서는 1~10년생 유묘의 생장 특성에 관한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 입목의 초기 생장 특성을 파악하기 위하여 선행 연구사례를 분석하였다. 이를 위하여 학술연구정보서비스(RISS), 구글스칼라(Google scholar), 국가과학기술정보센터(NDSL), 국립산림과학원(NIFoS)의 사이트에서 제공하는 학위논문, 국내외 학술논문, 연구보고서 등을 대상으로 조림·무육(Silviculture and tending), 유전·육종(Genetics and breeding), 초기 생장(Early growth), I 영급(Age-class I), 유묘(Seedlings), 생장 특성(Growth characteristics) 등의 분석용 키워드를 사용하여 연구자료를 탐색하였다.

2) 수간석해

수종별 10년생에 도달하는데 소요되는 생장기간을 파악하고 흉고직경 6 cm에 도달하지 못하여 누락되는 여부를 판가름하기 위해 수종별 수간재적표 조제를 위하여 수집된 수간석해 자료를 분석하였다. 수간석해는 임분의 생장 상태를 파악하고 미래의 생장을 추정하기 위하여

원판(Disk)의 직경 및 단면적을 분석하는 것으로, 단목의 성장과정을 정밀히 측정하여 임목의 성장과정을 파악할 수 있는 방법이다(Byun et al., 1990; Bae et al., 2007).

국립산림과학원에서는 전국 공용으로 사용되고 있는 재적표와 지역별 현실 재적 간의 차이가 발생함에 따라 각 지역의 성장 특성을 반영한 지방별 재적표 조제를 위해 전국의 27개 국유림 관리소 소관의 산림을 대상으로 산림 조사를 실시하고 수간석해 분석을 위한 시료를 채취하였다. 표준지 조사는 권역별로 임상이 균일한 대상지를 선정하여 실시하였으며, 소(6~18 cm 미만)·중(18~29 cm)·대(30 cm 이상)로 구분되는 경급별 표준목을 선정하여 별채하였다(Ko et al., 2019). 별채목은 지면으로부터 20 cm 높이의 위치에서 별채하였으며 가지를 제거한 후 전체 수고 및 수간고별 직경을 측정하였다. 본 연구에서는 굴참나무, 잣나무, 낙엽송, 신갈나무의 4개 수종을 대상으로 수집된 개체목의 수간석해용 원판 시료를 활용하여 수간석해도를 제작하였다. 임목의 1.2 m에서 채취된 단판의 연륜폭은 네 방향에서 측정한 후 평균값을 산출하였으며 이를 적용하여 수령에 따른 흉고직경을 분석하였다.

3) 임분수확표 분석

수종별 진계에 소요되는 기간을 파악하기 위한 자료로는 국립산림과학원에서 우리나라의 11개 수종을 대상으로 개발한 법정림 임분수확표와 현실림 임분수확표를 활용하였다(National Institute of Forest Science, 2016b, 2018). 임분수확표의 대상수종은 강원지방소나무, 중부지방소나무, 리기다소나무, 잣나무, 낙엽송, 편백의 침엽수 6종과 상수리나무, 굴참나무, 신갈나무, 자작나무, 백합나무의 활엽수 5종이며, 임분단위 임령과 지위지수에 따른 성장 정보를 제시하고 있다. 본 연구에서는 유령림의 임령과 흉고직경의 추정식을 개발하기 위하여 식 1과 같이

현실림 임분수확표 개발에 적용된 Chapman-Richards 성장 모형을 사용하였다.

$$DBH = b_0 [1 - e^{-b_1 Age}]^{b_2} \tag{1}$$

여기서, DBH = 흉고직경 추정치, Age = 임령, e = 지수, 그리고 b_0, b_1, b_2 = 회귀계수이다. 본 연구에서 분석한 대상수종은 강원지방소나무, 중부지방소나무, 잣나무, 낙엽송, 상수리나무, 신갈나무, 그리고 굴참나무의 7개 수종이며, 각각에 대해 지위지수별 회귀계수를 추정하여 수종별 진계에 소요되는 기간을 분석하였다. 임령-평균흉고직경 추정식의 설명력을 나타내기 위한 지표로는 기존의 다양한 통계량을 대체하기 위한 방법으로 평가되어 온 적합도 지수(Fit Index; FI)를 사용하였다. 이는 표본의 크기가 크거나 측정변수가 많은 경우에 적합도가 낮아지는 χ^2 통계량의 한계를 극복하고 표본의 크기에 민감하게 영향을 받지 않으면서도 모형의 적합도를 평가하는 장점이 있다(McCullagh and Nelder, 1989; Moon et al., 2018).

3. 유령림의 임목축적 산출방법

산림환경, 산림생태, 산림탄소 자원을 포괄하는 통계수요에 부응하기 위하여 제5차 NFI부터는 계통추출법에 의해 5년 주기로 조사가 수행되고 있다. NFI의 고정표본점은 집락표본점(Cluster plot)으로 구성되며, 원점을 중심으로 정북(0°), 120°, 240°의 3방향으로 각각 부표본점(Sub plot)이 설치된 구조이다[Figure 1(a)]. 표본점 구조에서 하나의 부표본점을 확대하여 살펴보면, 조사항목의 중요도에 따라 크기가 다른 대경목조사원, 기본조사원, 그리고 치수조사원의 다중원 구조로 설계되어 있음을 알 수 있다[Figure 1(b)].

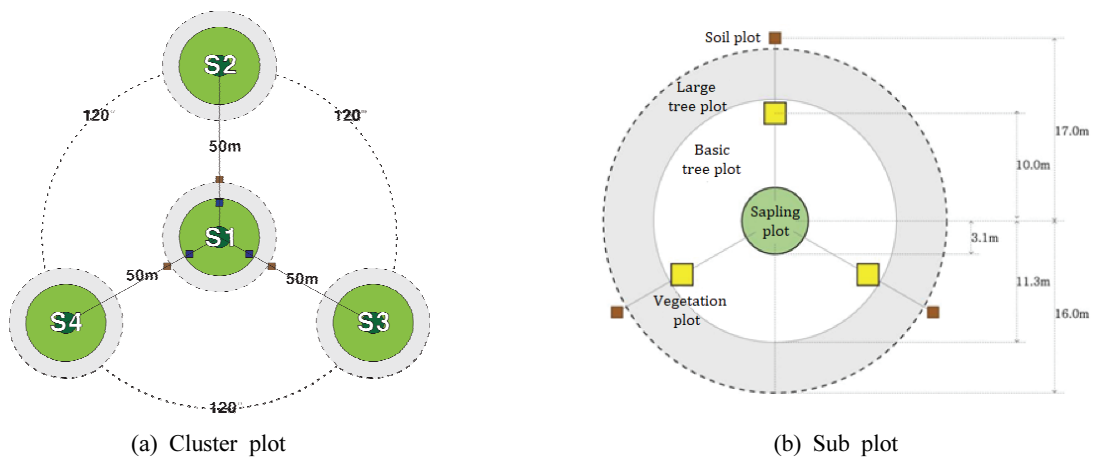


Figure 1. Structure of a permanent sample plot in Korea NFI system(National Institute of Forest Science, 2011).

대경목조사원과 기본조사원에서는 흉고직경 6 cm 이상의 모든 임목에 대하여 조사하는 반면, 치수조사원의 경우 흉고직경 6 cm 미만의 모든 목본성식물을 대상으로 종명 및 근원경의 경급별 출현본수를 수집하고 있다. 본 연구에서는 NFI를 통해 수집된 표본점 자료를 활용하여 유령림의 현황을 파악하고, 수간석해 자료 및 임분수확표 자료 등 활용가능한 자료를 통해 유령림의 임목축적을 산출할 수 있는 방안을 고찰하였다.

결과 및 고찰

1. 유령림의 면적변화

과거 황폐화된 산림의 복구를 위해 우리나라 정부는 1967년 산림청을 설립하고 산림 복원 및 보호를 위한 노력을 기울였다. 이러한 노력에도 불구하고 1970년대 초반까지 산림자원은 별다른 변화를 나타내지 않았으나 (Bae et al., 2010), 1973년부터 가시적으로 임목축적이 증가하는 추세를 나타내게 되었다(Park et al., 2017).

Figure 2는 NFI가 완료된 시점의 연도별 I 영급의 산림 면적 변화를 나타낸 그림이다. 전국산림실태조사를 통해 1974년과 1981년에 조사된 I 영급의 면적은 각각 3,158천ha(53.3%)와 3,085천ha(48.9%)였으며(Korea Forest Service, 1975, 1981), 1992년 조사에서 1,044천ha(16.5%)로 I 영급의 면적이 대폭 감소하였다(Korea Forest Service, 1993). 이후 2005년과 2010년의 면적은 383천ha(6.1%)와 160천ha(2.5%)로 조사되었고(Korea Forest Service, 2006, 2011), 2015년에는 203천ha(3.3%)로 조사되어 꾸준한 감소추세를 나타내던 I 영급의 면적이 최근에는 다소 증가하였다(Korea Forest Service, 2016). 이는 2009년도 이후 연간 벌채면적이 기존의 63천ha에서 124천ha로 두 배가량 증가하면서 재조림이 이루어진 결과로 판단된다(Korea Forest Service, 2011).

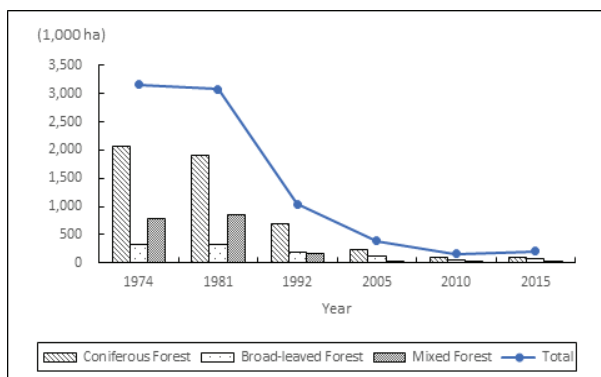


Figure 2. Forest area of age-class I (ha) by stand type over time.

I 영급의 면적을 임상별로 살펴보면 조사주기별 침엽수림, 활엽수림, 그리고 혼효림의 비율은 다음과 같다. 1974년(65%, 10%, 25%)과 1981년(62%, 11%, 28%), 그리고 1992년(66%, 18%, 16%)의 경우 모두 침엽수림의 비율이 60% 이상인 것으로 나타났으며, 활엽수림 보다 혼효림의 비율이 높았던 1974년과 1981년의 조사와 달리 1992년 조사에서는 활엽수림(18%)과 혼효림(16.5%)의 비율이 유사한 것으로 나타났다. 2005년(62%, 31%, 7%), 2010년(55%, 33%, 12%), 2015년에 발표된 임상별 비율은 침엽수림(45%), 활엽수림(37%), 그리고 혼효림(18%)로 전반적으로 조림수종의 다양화로 인하여 침엽수림의 면적이 감소하고 활엽수림의 면적이 증가한 것으로 나타났다.

2. 유령림의 초기 생장 특성

1) 문헌조사에서의 초기 생장 특성

국내에서는 임목의 초기 생장 특성을 구명하기 위한 목적으로 어린나무를 대상으로 생육환경별 치수발생 및 치수생장을 분석한 연구가 상당수 수행된 바 있다(Ji et al., 2011; Na et al., 2011; Kim and Lee, 2013; Byeon et al., 2019). 조림·육종 분야에서 임목의 생장을 모니터링하기 위하여 묘고, 근원경, 흉고직경, 그리고 수고 등의 자료를 수집하고 있으나, 실제 조림 후 1~2년 간의 단기 생장 정보만을 제공하여 본 연구의 분석자료로 활용하기에는 어려운 것으로 판단하여 분석대상에서 제외하였다.

본 연구목적에 적합한 문헌분석을 통해 기초자료를 수집하고 대상수종별 초기 생장 특성을 파악하여 이에 따른 결과를 취합하였다. 각각의 연구목적에 따라 측정된 임목의 수령, 수고, 근원경, 그리고 흉고직경 등 임목의 초기 생장 특성을 파악할 수 있는 자료는 Table 1과 같다.

소나무의 천연갱신에 의한 치수림을 대상으로 수행된 연구 결과에 의하면(Kim et al., 2013), 수령 13년에 이르면 수고는 5 m, 근원경 8.3 cm, 흉고직경 5.1 cm에 도달하는 것으로 발표하였다. 낙엽송 별채지 내 낙엽송 조림목의 초기 생장에 미치는 영향을 구명하기 위한 연구에서는 수령이 6년생일 때 평균수고와 근원경은 각각 3.03 m와 4.5 cm로 보고한 바 있다(Yang et al., 2018). 잣나무 인공림을 대상으로 한 연구에서는 15년생 잣나무의 평균 수고와 흉고직경은 각각 3.9 m와 5.5 cm이며, 지역별로 비교한 결과 가평 지역이 수고 4.8m, 흉고직경 6.7 cm이고, 광주 지역이 4.3 m와 6.3 cm, 그리고 영동 지역의 임목은 각각 2.7 m와 3.6 cm로 가장 불량한 성장 상태를 나타내었다(Chon et al., 1999b). 즉, 임목의 생장은 입지조건에 따라 차이가 있음을 알 수 있다.

경기도 지역 참나무류 천연림을 대상으로 수종별 흉고

Table 1. Early growth characteristics by tree species.

Tree Species	Age(yr)	Height(m)	RCD(cm)	DBH(cm)	Reference	
<i>Pinus densiflora</i>	13	5	8.3	5.1	Kim et al.(2013)	
<i>Larix kaempferi</i>	Yeongju*	6	2.38	3.13	-	Yang et al.(2018)
	Gimcheon*	6	3.27	5.33	-	
	Inje*	6	2.67	4.21	-	
	Chuncheon*	6	3.81	5.5	-	
<i>Pinus koraiensis</i>	Gapyung*	19	6.9	-	10.7	Chon et al.(1999a)
	Youngdong*	19	4.9	-	6.4	
<i>Pinus koraiensis</i>	Gapyung*	15	4.8	-	6.7	Chon et al.(1999b)
	Gwangju*	15	4.3	-	6.3	
	Youngdong*	15	2.7	-	3.6	
<i>Quercus dentata</i>	15	<4	-	<4	Park et al.(1996)	
<i>Quercus variabilis</i>	15	<8	-	<6		
<i>Quercus mongolica</i>	15	<6	-	<6		
<i>Quercus acutissima</i>	15	<8	-	<8		
<i>Pinus densiflora</i>	1**	8	4	-	4	KFS(2004)
	2**	12	7	-	6	
<i>Pinus thunbergii</i>	1**	8	4	-	4	
	2**	12	7	-	6	
<i>Larix kaempferi</i>	1**	8	8	-	8	
<i>Pinus koraiensis</i>	1**	10	3.5	-	4	
	2**	15	6	-	8	
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	1**	10	5	-	6	
<i>Cryptomeria japonica</i>	2**	15	7.5	-	8	
<i>Quercus spp.</i>	1**	10	5	-	6	

*Region, **Number of tending operation

직경과 수고의 생장을 비교한 결과(Park et al., 1996), 상수리나무, 굴참나무, 신갈나무, 그리고 떡갈나무 순서로 초기 생장이 대체로 직선적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 수종별 10개의 표준목을 대상으로 수간석해 분석을 실시한 결과 10년생일 때의 흉고직경은 1~4 cm에 불과하였으며, 생장이 가장 빠른 상수리나무가 흉고직경 6 cm에 도달하는데 약 13년이 소요되었으며, 떡갈나무의 경우에는 약 26년이 소요된 것으로 나타났다.

산림청(2004)에서 고시한 지속가능한 산림관리 지침에서는 소나무림과 곶솔림의 어린나무 가꾸기의 시점을 8년생과 12년생으로 제시하고 있으며, 8년생의 평균수고와 흉고직경은 각각 4 m와 4 cm를 기준으로 하며, 12년생의 경우 각각 7 m와 6 cm로 제시하고 있다. 잣나무는 10년생일 때 어린나무 가꾸기를 실시하며, 이때의 평균수고와 흉고직경은 각각 3.5 m와 4 cm이다. 주로 난대 지역에 조림되고 있는 편백과 삼나무의 어린나무 가꾸기를 위한 임령은 10년으로 잣나무와 동일하지만 평균수고

와 흉고직경은 각각 5 m와 6 cm이다. 생장이 가장 빠른 일본잎갈나무는 8년생에 어린나무 가꾸기를 시행하며, 평균수고와 흉고직경은 각각 8 m와 8 cm로 제시하고 있다. 참나무류의 경우에도 10년생을 어린나무 가꾸기 시점으로 제시하였으며, 평균수고와 흉고직경은 각각 6 m와 5 cm이다. 결과적으로 우리나라 시업체계에서는 생장이 우수한 일본잎갈나무, 편백, 삼나무를 제외한 수종의 경우 10년생에서 흉고직경 6 cm에 도달하지 못하는 것으로 나타났다.

2) 수종별 수간석해 자료 분석

수령에 따른 임목의 수고 및 직경 생장을 분석하고 그 결과를 통해 초기 성장 특성을 추정하기 위해 수종별 수간석해 자료를 활용해 진계에 소요되는 기간을 분석하였다. Figure 3은 단양 지역에서 채취된 굴참나무의 수간석해도(Diagram of stem analysis)이며, 58년간 약 18m의 수고에 달하는 과정을 보여준다.

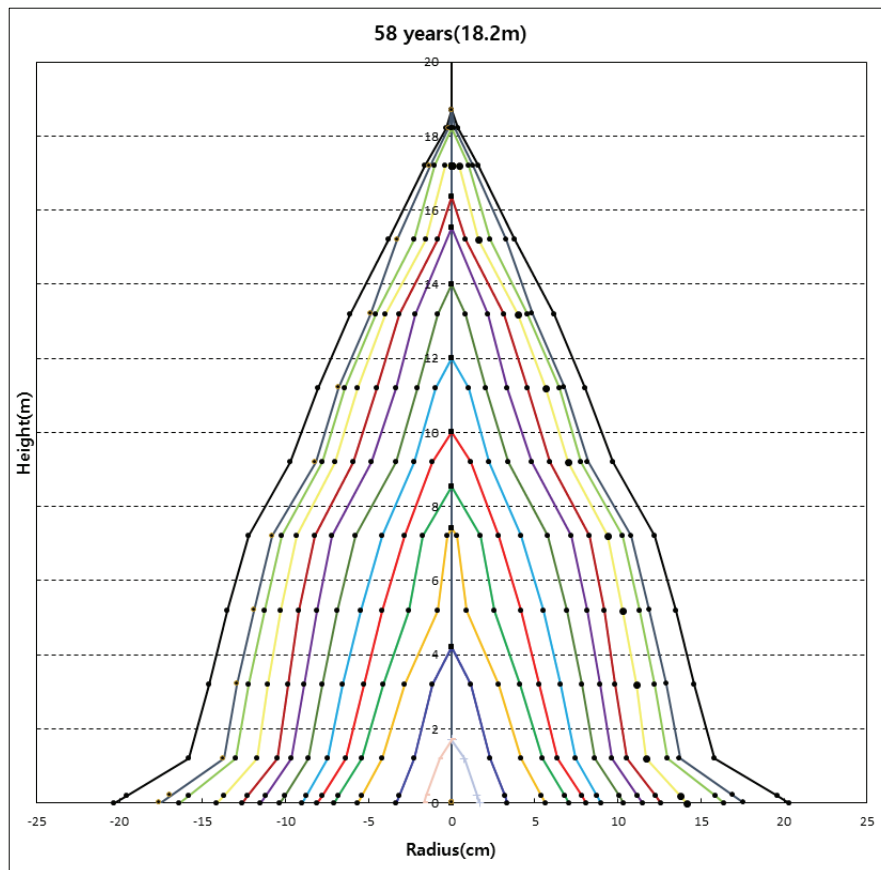


Figure 3. Diagram of stem analysis(example *Quercus variabilis*).

Table 2. DBH by species and age(except bark).

(unit: cm)

Species	Age (n)			
	5	10	15	20
<i>Quercus variabilis</i>	2.7±0.9 (23)	4.0±2.1 (41)	6.7±2.6 (43)	9.3±3.3 (43)
<i>Quercus mongolica</i>	2.9±0.9 (17)	3.8±2.5 (38)	6.5±3.2 (41)	8.9±4.0 (41)
<i>Pinus koraiensis</i>	2.8±0.9 (16)	4.7±2.0 (48)	8.6±4.0 (50)	12.9±3.2 (48)
<i>Larix kaempferi</i>	1.3±1.1 (103)	5.6±3.3 (140)	9.7±3.0 (138)	13.0±4.0 (127)

본 연구에서 굴참나무, 잣나무, 낙엽송, 신갈나무의 4개 수종을 대상으로 각 입목의 1.2 m에서 채취된 원판의 수령과 수피를 제외한 흉고직경을 추출한 결과는 Table 2와 같다.

수간석해 자료의 분석 결과 10년생의 입목은 대부분 흉고직경 6 cm 미만이며, 산림자원조사의 조사대상인 흉고직경 6 cm에 도달하는데 평균 12~13년이 소요되는 것으로 분석되었다. 그러나 Kim et al.(2010)의 연구 결과에 의하면 리기다소나무림 내 잣나무 치수가 하층에 자연 발생한 IV~VII 영급 임분에서 잣나무 치수가 측정 가능한 흉고직경 크기로 성장하는데 걸리는 시간은 25년

이상이 소요되는 것으로 분석하였다. 이는 본 연구의 분석 결과와 10년 이상 차이가 발생하는 것으로서, 선행연구의 경우 잣나무 치수가 하층의 초본이나 관목과 오랜 시간 동안 경쟁을 하면서 생장이 늦어졌고 경쟁관계에서 벗어난 이후부터 성장 상태가 개선되어 수고 및 직경생장이 이루어졌기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 안면도 소나무림의 하층식생 구조와 천연갱신 양상을 구명한 연구(Byeon et al., 2019)에서는 갱신치수가 주변 식생과 경쟁 등 적응할 수 있는 능력을 갖추게 되면 급격한 성장을 이루는 것으로 분석한 바 있다.

3) 임분수확표에 근거한 임령-평균흉고직경 추정
 임목의 재적식 도출 및 성장량 분석을 위하여 현실림
 임분수확표 및 법정림 임분수확표 자료에 근거한 임령-
 평균흉고직경 추정식을 활용하였으며, 수종별 진계(흉고
 직경 6 cm 이상)에 소요되는 기간을 분석하기 위하여 임
 령-평균흉고직경 추정식의 회귀계수를 추정하였다. Table
 3은 모형의 모수를 최소자승법에 의해 추정한 결과이다.

적합도 지수를 검정통계량으로 사용하였을 때 잣나무,
 낙엽송, 상수리나무는 0.99로 높게 나타났으며, 나머지
 수종의 경우 0.98의 적합도를 보였다. 이는 임분수확표
 개발 모형에 의한 추정치를 이용한 결과이므로 실측치를
 이용한 경우보다 적합도가 높게 나타난 것으로 평가된
 다. 흉고직경의 절대값이 6 cm 이상 되는 임령을 분석한
 결과는 Table 4와 같다.

Table 3. Result of the model estimation by species based on the real yield table.

Species	Site Index	n	Estimates of the regression coefficients			FI
			b_0	b_1	b_2	
<i>Pinus densiflora</i> in Gangwon Province	8	11	33.5358	0.0269	1.6827	0.99
	10	11	38.0663	0.0270	1.6951	0.99
	12	11	43.2466	0.0259	1.6473	0.99
	14	11	47.2150	0.0267	1.6805	0.99
	Overall	44	40.5118	0.0266	1.6755	0.98
<i>Pinus densiflora</i> in central Korea	8	12	27.0459	0.0350	1.8346	0.99
	10	12	30.6903	0.0349	1.8247	0.99
	12	12	34.5066	0.0347	1.8154	0.99
	14	12	38.1060	0.0348	1.8238	0.99
	Overall	48	32.5869	0.0348	1.8240	0.98
<i>Pinus koraiensis</i>	12	11	56.5083	0.0252	1.6519	0.99
	14	11	58.7411	0.0249	1.6353	0.99
	16	11	60.2762	0.0254	1.6558	0.99
	Overall	33	58.5072	0.0252	1.6477	0.99
<i>Larix kaempferi</i>	16	11	44.2734	0.0276	1.4983	0.99
	18	11	46.5824	0.0278	1.5044	0.99
	20	11	49.2596	0.0276	1.4969	0.99
	22	11	51.5680	0.0278	1.5024	0.99
	Overall	44	47.9205	0.0277	1.5005	0.99
<i>Quercus acutissima</i>	14	11	29.7265	0.0479	1.9668	0.99
	16	11	30.6584	0.0480	1.9685	0.99
	18	11	31.5931	0.0479	1.9670	0.99
	20	11	32.5191	0.0480	1.9683	0.99
	Overall	44	31.1267	0.0479	1.9676	0.99
<i>Quercus mongolica</i>	10	11	68.7197	0.0045	0.8640	0.99
	12	11	83.5915	0.0041	0.8569	0.99
	14	11	90.4116	0.0044	0.8606	0.99
	16	11	100.6000	0.0045	0.8651	0.99
	Overall	44	85.7853	0.0044	0.8618	0.98
<i>Quercus variabilis</i>	10	14	27.3488	0.0289	1.4972	0.99
	12	14	30.7188	0.0289	1.4973	0.99
	14	14	34.0731	0.0289	1.4941	0.99
	16	14	37.2788	0.0294	1.5193	0.99
	Overall	56	32.3541	0.0291	1.5028	0.98

Table 4. Period needed for ingrowth by species based on the real yield table.

Species	Site Index	Age	Species	Site Index	Age
<i>Pinus densiflora</i> in Gangwon Province	8	17	<i>Quercus acutissima</i>	14	13
	10	16		16	12
	12	14		18	12
	14	13		20	12
	Overall	15		Overall	12
<i>Pinus densiflora</i> in central Korea	8	17	<i>Quercus mongolica</i>	10	14
	10	15		12	12
	12	14		14	10
	14	13		16	9
	Overall	15		Overall	11
<i>Larix kaempferi</i>	16	12	<i>Quercus variabilis</i>	10	16
	18	11		12	15
	20	11		14	13
	22	10		16	13
	Overall	11		Overall	14
<i>Pinus koraiensis</i>	12	12			
	14	12			
	16	12			
	Overall	12			

현실림 임분수확표를 분석자료로 사용한 결과 진계에 소요되는 기간은 11~15년의 범위로 나타났다. 분석된 결과를 살펴보면 신갈나무는 활엽수종임에도 불구하고 다른 수종에 비해 진계에 소요되는 기간이 짧으며, 낙엽송과 같이 11년이 소요되는 것으로 추정되었다. 강원지방소나무와 중부지방소나무는 지위의 범위가 8부터 14로 동일하게 제시되어 두 수종의 생장 차이를 충분히 고려하지 않는 것으로 판단되며, 진계에 필요한 임령도 다른 침엽수 수종과 비교하여 상대적으로 많은 시간이 소요되는 것으로 분석되었다. 이 경우 임분수확표 자료의 비교분석이 필요할 것으로 판단하여 법정림 임분수확표에 근거하여 임령-평균흉고직경 추정식의 회귀계수를 추정한 결과는 Table 5와 같다.

법정림 임분수확표 자료를 활용하여 수종별 모형을 추정된 결과 상수리나무와 굴참나무는 분석에 사용된 자료가 모형에 적합하지 않아 모형 추정이 불가능한 것으로 판명되었다. 상수리나무와 굴참나무는 다른 수종의 모형과 다르게 직선형의 생장식이 도출되었는데, 다른 수종의 경우 대부분 인공단순림의 임분구조를 형성하지만 상수리나무와 굴참나무의 경우 천연혼효림의 다층구조로 구성된 임분이 상대적으로 많은 우리나라 산림 특성에 의한 결과로 판단된다. Table 6은 법정림 수확표에 의한 강원지방소나무, 중부지방소나무, 잣나무, 낙엽송 및 신갈

나무의 지위지수에 따른 진계생장에 소요되는 연수를 분석한 결과이다.

현실림 임분수확표 자료 분석을 통해 문제가 되었던 신갈나무는 수종의 특성을 고려할 때 현실과 다른 결과로 판단되지만 법정림 임분수확표 자료에 근거한 분석에서는 이러한 문제를 어느 정도 해결하여 합리적인 결과가 도출된 것으로 판단된다. 이상의 분석 결과를 감안할 때 현실림 임분수확표 및 법정림 임분수확표를 분석한 결과를 바탕으로 각 수종의 특성을 고려하여 잠정적인 진계 임령을 추정한 결과는 Table 7과 같다.

강원지방소나무, 중부지방소나무, 그리고 신갈나무의 경우 현실과 다른 결과로 판단되어 분석자료로써 다소 미흡하였으나, 나머지 잣나무, 낙엽송, 상수리나무, 굴참나무의 경우 현실림 임분수확표를 분석자료로 사용하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 수종별 분석에 적합한 수확표 자료에 근거한 최종 진계 임령을 살펴보면 강원지방소나무와 낙엽송은 11년, 중부지방소나무, 상수리나무, 잣나무 12년, 신갈나무 13년, 그리고 굴참나무가 14년이 소요되는 것으로 분석되었다.

3. 국가산림자원조사(NFI) 자료를 활용한 유령림의 임목축적 산출방법

본 연구는 모니터링 자료를 활용할 수 있는 제6차 NFI

Table 5. Result of the model estimation by species based on the normal yield table.

Species	Site Index	n	Estimates of the regression coefficients			FI
			b_0	b_1	b_2	
<i>Pinus densiflora</i> in Gangwon Province	12	15	51.5351	0.0154	1.2136	0.99
	14	15	56.6997	0.0154	1.2139	0.99
	16	15	61.9129	0.0154	1.2137	0.99
	18	15	67.4354	0.0152	1.2078	0.99
	Overall	60	59.3950	0.0154	1.2121	0.99
<i>Pinus densiflora</i> in central Korea	10	13	33.4650	0.0278	1.4874	0.99
	12	13	37.0572	0.0271	1.4548	0.99
	14	13	40.2621	0.0273	1.4632	0.99
	16	13	43.5439	0.0273	1.4629	0.99
	Overall	52	38.5810	0.0274	1.4663	0.99
<i>Pinus koraiensis</i>	12	15	36.0040	0.0394	1.6928	0.99
	14	15	38.8793	0.0393	1.6878	0.99
	16	15	41.7086	0.0392	1.6832	0.99
	Overall	45	38.8639	0.0393	1.6877	0.99
<i>Larix kaempferi</i>	16	15	30.6087	0.0532	2.0911	0.99
	18	15	33.1643	0.0531	2.0867	0.99
	20	15	35.7154	0.0530	2.0785	0.99
	22	15	38.2328	0.0532	2.0904	0.99
	24	15	40.7558	0.0535	2.1040	0.99
	Overall	75	35.6954	0.0532	2.0906	0.98
<i>Quercus mongolica</i>	12	15	53.9465	0.0140	1.2464	0.99
	14	15	56.4947	0.0141	1.2511	0.99
	16	15	59.6541	0.0140	1.2482	0.99
	Overall	45	56.6979	0.0141	1.2486	0.99

Table 6. Period needed for ingrowth by species based on the normal yield table.

Species	Site Index	Age	Species	Site Index	Age
<i>Pinus densiflora</i> in Gangwon Province	12	13	<i>Pinus densiflora</i> in central Korea	10	14
	14	12		12	13
	16	11		14	12
	18	10		16	11
	Overall	11		Overall	12
<i>Pinus koraiensis</i>	12	11	<i>Quercus mongolica</i>	12	14
	14	11		14	13
	16	10		16	13
	Overall	11		Overall	13
<i>Larix kaempferi</i>	16	12			
	18	11			
	20	11			
	22	10			
	24	10			
	Overall	11			

Table 7. Temporary ingrowth age by species.

Species	Site Index	Age	Species	Site Index	Age
<i>Pinus densiflora</i> in Gangwon Province	12	13	<i>Quercus acutissima</i>	14	13
	14	12		16	12
	16	11		18	12
	18	10		20	12
	Overall	11		Overall	12
<i>Pinus densiflora</i> in central Korea	10	14	<i>Quercus variabilis</i>	10	16
	12	13		12	15
	14	12		14	13
	16	11		16	13
	Overall	12		Overall	14
<i>Pinus koraiensis</i>	12	12	<i>Quercus mongolica</i>	12	14
	14	12		14	13
	16	12		16	13
	Overall	12		Overall	13
<i>Larix kaempferi</i>	16	12			
	18	11			
	20	11			
	22	10			
	Overall	11			

(2011~2015년) 자료에 근거하여 강원도 지역의 I 영급에 해당하는 입목의 입목축적을 산출할 수 있는 방안을 모색하고자 하였다. 제6차 NFI 분석 결과 강원도 지역의 총 2,893개 표본점 중에서 I 영급의 표본점은 26개로 나타났으며, 이 중에서 23개의 표본점은 소나무, 굴참나무 등의 조림지로 나타났다. 현재 NFI에서 시업정보는 현지에서 지난 5년 동안 이루어진 시업내용을 기록하고 있으며, 시업년도를 확인하기 어려운 경우 해당 지역 지자체로부터 시업년도 및 시업사항을 확인하여 기록하거나 현지조사 조사원의 판단에 의해 기입하고 있다. 이 경우 조사원의 현지 판단에 대한 정확성에 따라 오차가 발생할 수 있기 때문에, 최근 5년간의 조림실적 및 연간 조림면적 등 시업이력에 관한 자세한 정보가 수집될 필요가 있다. 특히, I 영급 표본점의 분석 결과 대부분 조림에 의한 갱신 지역인 것으로 나타남에 따라 조림에 대한 조림연도 및 조림수종 등의 정확한 정보가 수집되면 입목의 초기 생장을 파악하는데 용이할 것으로 판단된다.

NFI에서 치수조사는 출현 수종을 대상으로 지상부 20 cm 부위에서 근원경을 측정하여 2 cm 미만, 2~4 cm, 4 cm 이상으로 구분하여 기록하고 있다. 강원도 지역의 경우 신갈나무, 소나무, 아까시나무 등의 교목치수와 산딸기나무, 싸리, 칩, 담쟁이덩굴 등의 관목 및 목본성 덩굴류가 다양하게 조사되었으며 총 144본 중에서 118본이

‘2 cm 미만’의 범주에 속하는 것으로 나타났다. 이러한 치수조사구 자료를 활용하여 입목축적을 산출하기 위해서는 수종별 수간석해 자료를 활용하여 수고를 추정하기 위한 관계식을 도출한 뒤 흉고직경의 추정을 위해 벌근직경(근원경)과 흉고직경의 관계식을 사용할 수 있다. 벌근직경에 의한 흉고직경급의 추정식은 식 2와 같으며, 이때 흉고직경과 벌근직경의 팔약은 2 cm이다.

$$DBH = aD_s^b \tag{2}$$

여기서, 벌근직경(D_s)은 지상에서 0.2m인 벌근높이에서 측정한 직경을 나타내며, 일반적으로 벌근직경급을 통해 벌채 전 입목의 흉고직경을 추정 가능하다(Korea Forest Service and National Institute of Forest Science, 2018). 한편 유묘의 재적을 산출하는데 이용되는 방법으로 식 3과 같이 유묘의 수간재적을 추정하기 위해서는 개체목의 근원경과 묘고가 변수로 측정되어야 한다(Pinto et al., 2011).

$$V(cm^3) = \frac{\pi RCD^2 h}{6} \tag{3}$$

where, $V(cm^3)$: stem volume,
 RCD : root collar diameter, and h : tree height

결과적으로 NFI에서 수집된 자료를 활용하여 유령림의 임목축적을 산출하기 위해서는 개체목의 임목재적이 필요하므로 벌근직경과 흉고직경과의 관계식에 의해 근원경에 의한 흉고직경을 추정하여야 하며, 흉고직경과 수고와의 관계식에 의한 수고도 추정하여야 하므로 다양한 모형오차가 포함될 수 있다. 따라서, 보다 정확한 추정을 위해서는 근원경별 평균묘고를 측정하여 식 3에 의해 임목재적을 산출하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

결론

본 연구는 우리나라 산림통계 산출에 있어 유령림(I 영급)의 산림자원에 대한 정확한 통계정보의 수집이 필요함에 따라 임목의 초기 생장 특성을 규명하고 국가산림자원조사에서 수집되는 조사자료의 활용방안을 모색하고자 수행하였다. 이를 위해 유령림의 면적변화 현황을 살펴본 결과 황폐화된 산림의 치산녹화에 의한 효과로 인해 1973년부터 1981년까지는 I 영급의 면적이 전체 산림면적의 약 50%를 차지하게 되었다. 시간 경과에 따른 진계생장에 의해 I 영급의 면적은 2010년도까지 지속적으로 감소하였으나, 2015년도의 I 영급 면적은 우리나라 전체 임목지 면적의 3.3%로 약간 증가하였다. 하지만 I 영급의 임목축적은 '0'으로 가정하여 제공하지 않아 조림의 효과가 파악되지 않을뿐더러 탄소흡수량에서도 제외되고 있다. 따라서 지속가능한 산림경영의 이행 및 산림부문 온실가스 배출·흡수량을 산출하기 위해서는 산림자원에 대한 정확한 통계정보가 필요하므로 유령림의 산림자원을 추정할 수 있는 방법이 개발되어야 한다.

국내에서 수행된 선행연구자료 및 산림관리 지침, 수간석해 자료, 법정림 임분수확표 및 현실림 임분수확표 자료를 활용하여 수종별 초기 생장 특성을 분석한 결과 선행연구와 같이 수종 및 입지조건에 따라 차이가 있는 것으로 나타났으며, 전국적인 데이터를 분석한 현실림 임분수확표 및 수간석해 자료에 근거하여 임목이 흉고직경 6 cm 이상으로 진계되는 기간을 추정해보면 평균 12년이 소요되는 것으로 판단된다. 다양한 환경조건 하에서 생육공간 및 자원에 대한 경쟁과 공존을 통해 임분내 개체목간의 상호작용이 이루어지고 있음을 고려하면 단편적인 분석 결과를 보완할 수 있는 보다 많은 환경인자에 대한 생태적 이해가 필요하다. 이처럼 자연 상태에서 치수가 발생하고 생장 과정을 거쳐 측정 가능한 크기의 임목으로 진계되는 기작을 추정된 값으로 설명하는 것은 한계가 있지만, 고정시험림에서 장기간 모니터링되는 현지조사 자료를 활용하여 지속적인 연구를 수행한다면 보다 정확한 진계생장을 규명할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구의 결과를 바탕으로 유령림의 임목축적 산출을 위한 개선사항 및 후속 연구에 대한 고려사항을 요약하면 다음과 같다. (1) 어린나무의 임목재적을 산출하기 위해서는 흉고직경 6 cm 미만의 임목에 대한 수간재적식의 개발이 필요하다. 특히 미이용바이오매스의 이용이 확대됨에 따라 어린나무의 수간재적에 관한 요구가 증가되고 있으므로 다양한 수요에 부응하기 위하여 이를 고려한 흉고직경 6 cm 미만의 수간재적식이 개발되어야 한다. (2) NFI의 치수조사구에서 임목의 근원경 및 본수에 대한 정보는 수집하고 있으나, 묘고에 관한 정보가 부재하므로 평균묘고를 측정할 수 있도록 조사지침의 개정이 필요하다. (3) 치수조사구에서 목본성 수종을 대상으로 조사가 수행되고 있으므로 현 수준보다 세밀하게 교목과 관목을 구분할 수 있는 분석시스템의 개선이 필요하다. 이러한 과정을 거쳐 고품질 NFI 자료가 수집되고 현지와 비교 가능한 정보의 수집 및 분석이 이루어진다면 우리나라 유령림의 임목축적을 산출하고 이를 산림통계에 반영할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- Bae, J.S., Joo, R.W. and Lee, K.B. 2010. Causes of forest degradation and drivers of forest recovery in South Korea. Seoul: National Institute of Forest Science. pp. 150. (in Korean)
- Bae, S.W., Kim, Y.S., Lee, K.S., Kang, Y.J. and Jeong, M.H. 2007. Examination of growth through stem analysis of old *Larix kaempferi* trees. Proceedings of the Korean Forest Society Conference 2007: 351-352. (in Korean)
- Byeon, S.Y., Kim, H.S. and Yun, C.W. 2019. Vegetation structure of lower stratum and *Pinus densiflora* natural regeneration features from micro-topography classification in *Pinus densiflora* forest of Anmyeon-do Island. Journal of Korean Forest Society 108(2): 189-199. (in Korean with abstract English)
- Byun, W.H., Lee, W.J. and Yun, K.B. 1990. A development of stem analysis program and its comparison with other method for increment calculation. Journal of Korean Forest Society 79(1): 1-15. (in Korean with abstract English)
- Cho, M.S., Jeong, J.Y. and Yang, A.R. 2017. Growing density and cavity volume of container influence major temperate broad-leaved tree species of physiological characteristics in nursery stage. Journal of Korean Forest Society 106(1): 40-53. (in Korean with abstract English)
- Chon, S.K., Chung, D.J. and Jang, Y.S. 1999a. A study on growth properties and characteristics of water relation parameters for open-pollinated progeny test forest of *Pinus*

- koraiensis* by site and family. Proceedings of Institute of Life Science & Resources Kyunghee University 20: 25-31. (in Korean with abstract English)
- Chon, S.K., Shin, M.Y., Chung, D.J., Jang, Y.S. and Kim, M.S. 1999b. Characteristics of the early growth for Korean white pine (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) and effects of local climatic conditions on the growth – Relation between periodic annual increment and local climatic conditions -. Journal of Korean Forest Society 88(1): 73-85. (in Korean with abstract English)
- Eo, S.H., Lee, B.J., Kang, K.S., Kang, J.W., Cheong, E.J. and Choi, M.S. 2020. Overview of research on forest tree breeding in South Korea based on the keyword analysis in research articles. Korean Journal of Breeding Science 52(S): 189-197. (in Korean with abstract English)
- Forestry Research Institute. 1999. Selective Breeding of Forest Trees. Suwon: Forestry Research Institute. pp. 167. (in Korean)
- Gillis, M.D., Omule, A.Y. and Brierley, T. 2005. Monitoring Canada's forests: The national forest inventory. The Forestry Chronicle 81(2): 214-221.
- Ji, D.H., Byun, J.K., Jeong, J.H. and Yi, M.J. 2011. Above-ground biomass and nutrient distribution of Korea pine (*Pinus koraiensis*) advance growth in deciduous oak forests. Korean Journal of Soil Science & Fertilizer 44(6): 1144-1149. (in Korean with abstract English)
- Kim, H.S., Lee, K.J., Song, T.Y. and Cho, K.H. 2013. Growth characteristics by growth stage in newly grown seedling of *Pinus densiflora*. Proceedings of the Korean Forest Society Conference 2013: 584-586. (in Korean)
- Kim, I.S. and Lee, J.H. 2013. Geographic variation of seed characteristics and 1-year-old seedling growth of *Zelkova serrata*. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology 15(4): 234-244. (in Korean with abstract English)
- Kim, J.H., Lee, W.S., Lee, H.S. and Kang, S.K. 2010. The performance of naturally occurred Korean pine (*Pinus koraiensis*) offsprings in the Pitch pine (*Pinus rigida*) plantation. Annual Conference of the Korean Forest Society 2010: 203-205. (in Korean)
- Ko, C.U., Moon, G.H., Yim, J.S., Lee, S.J., Kim, D.G. and Kang, J.T. 2019. Estimation and comparison of stem volume for *Larix kaempferi* in South Korea using the stem volume model. Journal of Korean Forest Society 108(4): 592-599. (in Korean with abstract English)
- Korea Forest Service. 1975. Forest Inventory Report. Daejeon: Korea Forest Service. pp. 300. (in Korean)
- Korea Forest Service. 1981. Forest Inventory Report. Daejeon: Korea Forest Service. pp. 281. (in Korean)
- Korea Forest Service. 1993. Forest Inventory Report. Daejeon: Korea Forest Service. pp. 528. (in Korean)
- Korea Forest Service. 2006. Statistical Yearbook of Forestry. Daejeon: Korea Forest Service. pp. 482. (in Korean)
- Korea Forest Service. 2011. Statistical Yearbook of Forestry. Daejeon: Korea Forest Service. pp. 484. (in Korean)
- Korea Forest Service. 2014. A Study on the Development of Tailored Statistics and Survey on Forest Resources Statistics. Research Report. Daejeon: Korea Forest Service. pp. 109. (in Korean)
- Korea Forest Service. 2016. Statistical Yearbook of Forestry. Daejeon: Korea Forest Service. pp. 414. (in Korean)
- Korea Forest Service. 2018. The 6th Basic Forest Plan(2018~2037). Daejeon: Korea Forest Service. pp. 151. (in Korean)
- Korea Forest Service. 2019a. Statistical Yearbook of Forestry. Daejeon: Korea Forest Service. pp. 444. (in Korean)
- Korea Forest Service. 2019b. Report on National Forest Inventory and Forest Health Monitoring. Daejeon: Korea Forest Service. pp. 303. (in Korean)
- Korea Forest Service [Internet]. 2004. Act on the Sustainable Use of Timbers. [cited 2020 Jun 20]. Available from: National Law Information Center Homepage (law.go.kr).
- Korea Forest Service and Korea Forestry Promotion Institute. 2017. The 7th National Forest Inventory and Forest Health Monitoring. -Field Manual-. Seoul: Korea Forestry Promotion Institute. pp. 86. (in Korean)
- Korea Forest Service and National Institute of Forest Science. 2018. Tree Volume·Biomass and Yield Table. Admin Pub. Seoul: National Institute of Forest Science. pp. 221. (in Korean)
- Lee, D.K., Kwon, K.C. and Kang, K.S. 2017. Contribution of tree plantation, tree breeding and soil erosion control techniques developed during Saemaul Undong periods to the successful forest rehabilitation in the Republic of Korea. Journal of Korean Forest Society 106(4): 371-379. (in Korean with abstract English)
- McCullagh, P. and Nelder, J.A. 1989. Generalized Linear Models. Monographs on Statistics and Applied Probability. London, UK: Chapman&Hall/CRC.
- Moon, G.H., Yim, J.S. and Shin, M.Y. 2018. Development of ingrowth estimation equations for *Pinus densiflora* in Korea derived from national forest inventory data. Journal of Korean Forest Society 107(4): 402-411. (in Korean with abstract English)
- Na, S.J., Kim, C.S., Woo, K.S., Kim, H.J. and Lee, D.H. 2011. Correlation of above- and below-ground biomass between natural and planted stands of *Pinus densiflora* for. *erecta* of one age-class in Gangwon province. Journal of Korean Forest Society 100(1): 42-51. (in Korean with abstract English)

- English)
- National Institute of Forest Science. 2011. The 5th National Forest Inventory Report. Seoul: National Institute of Forest Science. pp. 187. (in Korean)
- National Institute of Forest Science. 2016a. Forest Tree Breeding and Improvement 60 Years: 1956-2016. Admin Pub. Seoul: National Institute of Forest Science. pp. 509. (in Korean)
- National Institute of Forest Science. 2016b. Stand Yield Table of Real Forest. Admin Pub. Seoul: National Institute of Forest Science. pp. 54. (in Korean)
- National Institute of Forest Science. 2019. Study on the Improvement of Genetic Test and Improvement Effect of Major Species. Admin Pub. Seoul: National Institute of Forest Science. pp. 122. (in Korean)
- Park, H., Lee, J.Y. and Song, M.K. 2017. Scientific activities responsible for successful forest greening in Korea. *Forest Science and Technology* 13(1): 1-18.
- Park, I.H., Lee, D.K., Lee, K.J. and Moon, G.S. 1996. Growth, biomass and net production of *Quercus* species(I): With reference to natural stands of *Quercus variabilis*, *Q. acutissima*, *Q. dentata*, and *Q. mongolica* in Kwangju, Kyonggi-do. *Journal of Korean Forest Society* 85(1): 76-83. (in Korean with abstract English)
- Pinto, J.R., Marshall, J.D., Dumroese, R.K., Davis, A.S. and Cobos, D.R. 2011. Establishment and growth of container seedlings for reforestation: A function of stocktype and edaphic conditions. *Forest Ecology and Management* 261(11): 1876-1884.
- Ryu, K.O., Jang, S.S., Choi, W.Y. and Kim, H.E. 2003. Growth performance and adaptation of *Liriodendron tulipifera* in Korea. *Journal of Korean Forest Society* 92(6): 515-525. (in Korean with abstract English)
- Yang, A.R., Jeong, J.Y. and Cho, M.S. 2017. The early growth characteristics of *Larix kaempferi* trees planted in harvested *Larix kaempferi* plantations. *Journal of Korean Forest Society* 106(1): 10-18. (in Korean with abstract English)
- Yang, A.R., Jeong, J.Y. and Cho, M.S. 2018. Site and soil factors affecting early growth of *Larix kaempferi* trees planted in harvested *Larix kaempferi* plantations. *Journal of Korean Forest Society* 107(1): 35-42. (in Korean with abstract English)

Manuscript Received : July 17, 2020

First Revision : August 26, 2020

Accepted : September 1, 2020