

우리나라 주요 참나무류 수종의 재적생장률 추정 모델의 개발

신만용^{1*} · 김성호² · 정진현² · 김종찬² · 전어진¹

¹국민대학교 산림자원학과, ²국립산림과학원 산림자원정보과

Development of Volume Growth Rate Model for Major *Quercus* Species in Korea

Man Yong Shin^{1*}, Sung Ho Kim², Jin-Hyun Jeong², Chong Chan Kim² and Eo Jin Jeon¹

¹Department of Forst Resources, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

²Division of Forest Resource Information, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

요약: 본 연구는 국가 산림자원조사 자료를 이용하여 우리나라에 분포하는 주요 참나무류 수종의 영급별 재적생장률을 추정하고 수종간의 통계적 차이와 연관성을 분석하고자 하였다. 또한 분석된 결과를 토대로 현재 사용되고 있는 단목재적식의 적합성 및 갱신 필요성을 점검하는 한편, 임령에 따른 수종별 재적생장률을 예측할 수 있는 모델을 개발하고자 하였다. 본 연구에서 사용된 주요 참나무류 수종은 상수리나무, 갈참나무, 졸참나무, 굴참나무, 떡갈나무, 그리고 신갈나무의 6개 수종이다. 이들 수종에 대해서 표본 조사된 직경생장량을 근거로 직경생장률과 수고생장률을 산출하였으며, 이를 이용하여 최종적으로 재적생장률을 추정하였다. 추정된 재적생장률이 수종별·영급별로 차이가 있는지를 점검하기 위해 분산분석 및 Duncan의 다중검정을 실시한 결과, 참나무류 6개 수종의 영급별 재적생장률은 수종에 따라 다소 차이는 있지만, II영급에서 10% 내외의 높은 생장률을 보이다가 III영급에서는 6% 내외로 낮아지고 영급이 더 커짐에 따라 생장률은 감소하는 것으로 나타났다. 수종별로는 상수리나무, 갈참나무, 졸참나무의 3개 수종의 생장률이 상대적으로 높았으며, 굴참나무, 떡갈나무, 신갈나무는 생장률이 낮은 것으로 분석되었다. 6개 대상수종들을 생장률이 높은 그룹과 낮은 그룹으로 나누고 그 생장률의 차이를 분석한 결과, 그룹 내에서는 큰 차이가 없었으나, 그룹 간에는 뚜렷한 차이가 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과에 따라 각 그룹별 재적생장률 예측모델도 개발하였다. 본 연구의 결과는 기존의 참나무류 단목재적식을 사용하기 위해서 적용하였던 수종구분과는 다소 차이가 있는 것으로서 기존 단목재적식을 개선할 여지가 있음을 보여주고 있다.

Abstract: This study was conducted to estimate volume growth rates for major *Quercus* species distributed in Korea, and based on the data collected from the 5th National Forest Inventory. Volume growth rates were estimated by each age class for each species, and their similarity or distinction was statistically analyzed. It was also intended to compare the resulted volume growth rates with the existing growth rates, and to develop a volume growth rate estimation model for the *Quercus* species. Six major *Quercus* species were considered in this study; *Quercus acutissima*, *Quercus aliena*, *Quercus serrata*, *Quercus variabilis*, *Quercus dentata*, and *Quercus mongolica*. Based on the data collected from the 5th National Forest Inventory, the diameter growth rates and the height growth rates were estimated for each species, and then the volume growth rates were estimated with the given diameter and height growth rates. To examine the distinction between species or age classes, statistical analyses such as ANOVA and Duncan's multiple range test were applied. The results indicated that the volume growth rate was 10% in the age class II, 6% in the age class III, and lower in the subsequent classes. In addition, the volume growth rates of *Quercus acutissima*, *Quercus aliena*, and *Quercus serrata* were relatively high compared to those of *Quercus variabilis*, *Quercus dentata*, and *Quercus mongolica*. According to their growth rates, the six *Quercus* species were classified into two groups; high-growth-rate group and low-growth-rate group. Statistical analysis conducted to examine the difference between and within the groups showed that there is no significant difference within groups, while significant between groups. Based on the results, volume growth rate estimation model were finally developed for each group. The classification of the *Quercus* species suggested in this study was not the same with that of existing volume growth estimation. Thus, it is necessary to improve the existing volume growth rate or its estimation system.

Key words : oak species, volume growth, national forest inventory, duncan's multiple range test

*Corresponding author
E-mail: yong@kookmin.ac.kr

서 론

우리나라 전체 산림의 약 26%를 차지하는 활엽수림(산림청, 2007)은 과거 오랫동안 ‘활잡목’으로 취급되어 별다른 주목을 받지 못하고 방치되어 왔다(최정기와 유병오, 2006). 하지만 최근 활엽수종은 경제적 가치의 재평가 및 산림의 친환경적 경영 등과 관련하여 중요성이 부각되고 있으며 관심이 증대되고 있는 실정이다. 특히 우리나라에 분포하는 활엽수림 중에서 우리나라의 입지조건에 적합한 참나무류 수종은 우리나라 전체 임목축적량의 약 27%를 차지하고 있으며(심주석과 한상섭, 2003), 그 면적은 170만ha에 달하고 있어(손영모 등, 2003) 임업경영상 잠재적 효율성과 이용가치는 어느 수종보다 높은 실정이다. 따라서 참나무류 각 수종의 생리·생태 그리고 성장특성을 명확히 파악하는 것은 자원으로서의 가치뿐만 아니라 친환경적 산림경영을 위해 우선되어야 할 과제이다.

우리나라에서 활엽수종과 관련하여 현재 사용할 수 있는 단목재적식이나 수확표는 신갈나무와 상수리나무 2개의 수종으로 한정되어 있다(국립산림과학원, 2004). 한편 단목재적식의 경우에 나머지 참나무류 수종은 이 2개 수종과의 성장패턴 유사성에 따라 구분하여 준용하거나 경우에 따라서는 모두 기타 활엽수종으로 묶어 하나의 추정식을 사용하도록 규정되어 있다. 이는 각 수종의 성장특성을 제대로 반영하지 못하는 것이며, 이로 인해 수종별 단목에 대한 재적 추정에 있어 정확도를 떨어뜨리는 결과를 초래하고 있다. 이러한 실정은 그동안 전국 규모의 수종별 자료를 충분히 수집하여 성장예측식을 개발하는데 어려움과 한계가 있었기 때문으로 판단된다. 결과적으로 수종별 단목의 재적을 추정함에 있어 좀 더 정확한 결과를 얻기 위해서는 충분한 자료에 근거한 수종의 성장특성 파악과 재적식의 적용이 필요하다.

지난 2006년도부터 시작된 제5차 국가 산림자원조사에서는 전국을 4 km 단위의 격자로 구분하여 다양한 임목 자원 및 환경생태 특성을 파악하고 있는데(산림청, 2005), 2006년과 2007년에 행해진 제1차년도와 제2차년도 조사

에서 전국단위의 많은 임목성장 자료가 수집되었다. 따라서 이 자료를 분석하면 수종별 성장특성을 명확히 파악할 수 있을 뿐만 아니라, 친환경적 산림경영에 필요한 다양한 정보를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 국가 산림자원조사 자료를 이용하여 우리나라에 분포하는 6개 주요 참나무류 수종, 즉, 상수리나무(*Q. acutissima*), 굴참나무(*Q. variabilis*), 떡갈나무(*Q. dentata*), 갈참나무(*Q. aliena*), 신갈나무(*Q. mongolica*) 그리고 졸참나무(*Q. serrata*)를 대상으로 영급별 재적생장률을 추정하고 수종간의 차이와 통계적 연관성을 파악하고자 하였다. 이를 통해 현재 사용되고 있는 단목재적식의 적합성 및 갱신 필요성을 점검하고 수종별 재적생장률 예측 모델을 개발하여 효율적인 산림경영 및 관리에 필요한 정보로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 자료의 수집

제5차 국가 산림자원조사에서는 매년 전국적으로 800 개씩의 집락에 대한 임분조사를 실시하여 5년 동안에 전국 조사를 마무리하도록 계획하고 있다. 표본설계 방법으로 계통적 집락추출법을 채택하고 있으며(산림청, 2004), 각 집락은 4개의 표본점으로 구성되어 있어 매년 조사되는 표본점은 총 3,200개이다. 또한 각 표본점에서는 5본의 표준목을 선정하여 직경생장을 측정하고 있는데, 제5차 국가 산림자원조사의 제1차년도인 2006년에 조사된 직경생장 자료는 13,976본이고, 제2차년도인 2007년에 조사된 자료는 14,910본으로 지금까지 조사된 전체 직경생장 자료는 총 28,886본이다. 이 중에서 6개 참나무류 수종은 제1차년도에 4,446본, 제2차년도에 5,176본으로 총 9,622본이며(Table 1), 이는 전체 직경생장 조사 자료의 약 33%에 해당된다.

직경생장이 측정된 표준목을 수종별로 보면 신갈나무가 4,013본으로 가장 많고 굴참나무가 2,531본으로 그 다음으로 많아 이들 2개 수종이 참나무 수종 중에서 가장 많

Table 1. Number of sample trees used for diameter growth measurements by species.

Species	Age Classes							
	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	sum
<i>Quercus acutissima</i>	103	359	318	83	7	-	-	870
<i>Quercus variabilis</i>	128	859	981	364	141	36	22	2,531
<i>Quercus dentata</i>	23	150	132	40	20	12	-	377
<i>Quercus aliena</i>	59	380	260	44	5	-	-	748
<i>Quercus mongolica</i>	144	1,077	1,447	718	302	185	140	4,013
<i>Quercus serrata</i>	83	514	351	95	25	15	-	1,083
Total	540	3,339	3,489	1,344	500	248	162	9,622

이 분포하고 있음을 알 수 있다. 그 다음으로는 졸참나무, 상수리나무, 그리고 갈참나무의 순서로 많이 측정되었고 떡갈나무는 총 377본으로 6개 수종 중에서 가장 적은 수의 표준목이 측정되었다.

직경생장 측정을 위해 표본으로 선택된 참나무류 수종의 영급별 분포를 보면 III영급과 IV영급이 전체의 약 71%를 차지하고 있어 우리나라 전체산림의 영급별 축적분포와 거의 일치하고 있다(안중만 외, 2007). 그 다음은 V영급, II영급, 그리고 VI영급의 순서로 표본 자료가 많이 분포되어 있다.

2. 영급별 재적생장률의 추정과 비교

참나무류 6개 수종에 대한 영급별 재적생장률은 표본으로 측정된 수종별 직경생장량에 근거하여 산출한 직경생장률과 수고생장률에 의하여 추정하였다. 먼저 임목의 최근 5년간의 직경생장량에 근거하여 Pressler식을 적용하여(김갑덕, 1985) 수종별 · 영급별 직경생장률의 평균치를 산출함으로써 직경생장률을 도출하였다.

한편 수고생장은 직경생장과 밀접한 연관을 가지고 있기 때문에 앞에서 얻어진 직경생장량에 근거하여 추정하였다. 이를 위해 국가 산림자원조사의 표본점별로 측정된 참나무류 수종별 직경-수고 자료에 근거하여 각 수종에 적합한 수고곡선식을 도출한 후, 앞에서 추정한 5년 동안의 직경생장량을 고려하여 얻어진 5년 후의 직경을 대입함으로써 5년 후의 수고를 추정하였다. 본 연구에서 수고추정을 위해 사용한 수고곡선 모형은 $HT = b_0 e^{b_1/dbh}$ 의 지수모형과 $HT = b_0 DBH^{b_1}$ 의 대수모형이다. 여기서 HT = 수고, DBH = 흉고직경, e = 지수 그리고 b_0, b_1 = 추정해야 할 회귀 계수이다. 이상의 두 가지 모형에 대해 표본점에서 측정된 실측 흉고직경 및 수고 자료를 적용하여 각 수종에 가장 적합한 수고곡선식을 개발한 후, 이 수고곡선식에 의해 수고생장량을 도출하였다. 결과적으로 현재의 수고와 5년 후의 추정된 수고에 근거하여 각 수종별 · 영급별 수고생장률을 Pressler식에 의해 추정하였다.

이상과 같이 얻어진 수종별 · 영급별 직경생장량 및 수고생장량을 국립산림과학원에서 개발한 ‘임목자원평가예측 프로그램’(국립산림과학원, 2004)에 적용하여 현재 및

5년 후의 단목재적을 구한 후, Pressler식을 적용하여 수종별 · 영급별 재적생장률을 추정하였다. 또한 이와 같이 얻어진 수종별 · 영급별 재적생장률에 통계적 차이가 있는지를 점검하기 위하여 분산분석과 Duncan의 다중검정을 실시하였으며(SAS Institute Inc., 1985), 이를 통해 수종별 재적생장률의 통계적 차이와 유사성을 파악하였다.

3. 수종별 재적생장률 예측 모델의 개발

참나무류 6개 수종에 대한 수종별 · 영급별 재적생장률 추정치에 근거하여 해당 수종의 임령을 대입하면 각 수종의 해당 임령에 적합한 재적생장률을 추정할 수 있는 모델을 수종별로 개발하였다. 일반적으로 재적생장률은 임령이 증가함에 따라 지수감소형 또는 역 J자 형태로 감소하기 때문에 본 연구에서는 재적생장률 추정식 모형으로의 지수모형을 사용하였다. 여기서 $VR = ae^{-bage}$ 재적생장률(%), age = 임령(년), e = 지수, 그리고 a, b = 추정해야 할 회귀계수이다. 결과적으로 각 수종별로 이 모형의 회귀계수 a와 b를 추정하여 재적생장률 예측모형을 개발하였으며, 또한 앞에서 언급한 Duncan의 다중검정에 의해 얻은 수종별 재적생장률의 통계적 차이와 유사성에 근거하여 6개 참나무류 수종을 몇 개의 그룹으로 구분한 후 그룹별 재적생장률 예측 모델을 개발하였다.

결과 및 고찰

1. 수종별 수고곡선식의 개발

Table 2는 본 연구에서 도출한 수종별 최적 수고곡선식의 결과이다. 참나무류 수종 6개는 모두 지수모형인 $HT = b_0 e^{b_1/dbh}$ 가 대수모형에 비해 결정계수는 상대적으로 크지만 모형의 표준오차는 작은 것으로 추정되어 더 적합한 것으로 판명되었다. 한편 사용된 수고곡선 모형의 설명력을 나타내는 결정계수는 수종별로 0.60~0.68의 범위에 있는 것으로 나타났다. 결정계수가 수종별로 큰 차이는 없지만 표본의 수가 가장 많은 신갈나무의 결정계수가 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 한편 제5차 국가 산림자원조사의 1차년도인 2006년도 자료만을 사용하였을 경우 참나무류의 수종별 수고곡선식의 결정계수는

Table 2. Regression coefficients of tree height parameters to diameter at breast height by species.

Species	n	Tree Height Estimation Equations	$S_{y,x}$	r^2
<i>Quercus acutissima</i>	1,535	$HT = 22.0e^{-10.21/DBH}$	0.038	0.64
<i>Quercus variabilis</i>	4,653	$HT = 21.4e^{-10.01/DBH}$	0.038	0.61
<i>Quercus dentata</i>	682	$HT = 17.6e^{-8.74/DBH}$	0.036	0.64
<i>Quercus aliena</i>	1,321	$HT = 20.1e^{-9.29/DBH}$	0.035	0.65
<i>Quercus mongolica</i>	7,090	$HT = 18.9e^{-8.80/DBH}$	0.036	0.60
<i>Quercus serrata</i>	1,957	$HT = 19.7e^{-9.38/DBH}$	0.037	0.68

0.55~0.65의 범위에 있었는데(신만용 등, 2007), Table 2와 같이 결정계수가 다소 높아진 것은 2년 동안 자료의 누적으로 인해 표본의 수가 증가하였기 때문으로 평가된다. 수종별 수고곡선식의 표준오차는 수종과 수종별 표본의 수에 관계없이 0.035~0.038로 거의 일정한 것으로 나타났다(Table 2).

2. 수종별 · 영급별 재적생장률의 추정

재적생장률은 직경생장으로부터 유도된 단면적 성장과 수고생장이 복합적으로 영향을 미친 결과이다. 이론적으로 단면적생장률은 직경생장률의 2배이며(Prodan, 1965), 재적생장률은 단면적 성장률에 수고생장률을 더한 후 형수의 영향 정도가 가산됨으로써 추정된다.

Table 3은 참나무류 6개 수종을 대상으로 추정된 영급별 재적생장률을 요약한 것이다. 참나무 수종의 영급별 재적생장률을 보면 수종에 따라 다소 차이는 있지만 II영급의 경우 10% 내외의 높은 성장률을 보이다가, III영급에서는 6% 내외로 성장률이 떨어지고 영급이 커지면서 빠른 속도로 성장률이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 재적생장률에 영향을 미치는 직경생장률이 II영급에서 가장 높으며 III영급이 되면서 감소하게 되고, 수고생장률 또한 직경생장률에 비해 다소 낮지만 유사한 형태를 보이기 때문에 판단된다. 또한 VI영급에서는 2% 내외의 낮은 재적생장률을 보이고 있다.

수종별 재적생장률을 살펴보면 졸참나무는 II영급의 재적생장률이 다른 수종에 비해 가장 높지만 영급이 커질수록 나타나는 성장률 감소의 비율도 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 반면에 떡갈나무는 II영급에서 성장률은 가장 낮지만 영급 증가에 따른 성장률의 감소 속도는 가장 완

만하여 졸참나무와는 반대의 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

이상과 같이 추정된 수종별 재적생장률은 영급 단위로 평균치를 사용하여 요약한 것이다. 즉 수종별로 동일한 영급의 성장조사 자료를 취합하여 각 영급에 대한 평균적인 성장률을 산출한 결과이다. 하지만 경우에 따라서는 영급보다 세분된 임령별 재적생장률에 대한 정보가 유용한 경우도 있을 것이다. 특히 효율적인 산림경영을 위한 의사결정에 임령별 재적생장률 정보가 요구된다면 영급을 더 세분하여 임령별 재적생장률을 추정할 필요가 있다.

Table 4는 임령을 독립변수로 하였을 경우 해당 임령의 재적생장률을 추정할 수 있는 회귀식을 수종별로 개발한 결과이다. 본 연구에서 개발된 수종별 재적생장률 예측모형의 설명력을 나타내는 결정계수는 0.35~0.48의 범위에 있었다. 통계모형을 이용하여 추정식을 개발할 경우 가능하면 설명력이 높은 추정식을 개발하는 것이 바람직하다. 하지만 다양한 요인이 영향을 미치는 재적생장률을 임령 하나만으로 설명할 수 있는 추정식을 개발하는 것이 목표였기 때문에 높은 결정계수를 얻는 것은 한계가 있는 것으로 판단된다(Monserud, 1987; Corona *et al.*, 1998). 한편 수종별 재적생장률 추정식의 표준오차는 0.031~0.037의 범위로 크지 않으며 수종별 변이도 크지 않은 것으로 나타났다.

3. 수종별 · 영급별 성장률의 비교

Table 5는 참나무류 6개 수종에 대한 수종별 · 영급별 재적생장률에 대해 Duncan의 다중검정을 실시한 결과이다. 영급별 재적생장률은 VI영급, VII영급 그리고 VIII영급에서는 수종간의 차이가 인정되지 않았다. 하지만 II영

Table 3. Estimates of volume growth rates by species and age classes.

Species	Volume Growth Rates(%)						
	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
<i>Quercus acutissima</i>	9.8	5.5	3.6	2.6	2.3	-	-
<i>Quercus variabilis</i>	9.2	5.3	3.8	2.7	2.2	1.7	1.5
<i>Quercus dentata</i>	8.7	5.7	3.8	2.8	2.4	1.7	-
<i>Quercus aliena</i>	10.1	5.8	4.1	2.9	2.1	-	-
<i>Quercus mongolica</i>	9.1	5.8	4.0	2.9	2.2	1.6	1.3
<i>Quercus serrata</i>	10.6	6.3	4.3	3.2	2.3	1.9	-

Table 4. Regression coefficients of volume growth rate to tree age by major *Quercus* species.

Species	n	Volume Growth Rate Equations	$S_{y,x}$	r^2
<i>Quercus acutissima</i>	870	$VR = 17.7e^{-0.0467AGE}$	0.032	0.46
<i>Quercus variabilis</i>	2,531	$VR = 11.9e^{-0.0335AGE}$	0.032	0.43
<i>Quercus dentata</i>	377	$VR = 12.7e^{-0.0347AGE}$	0.036	0.42
<i>Quercus aliena</i>	748	$VR = 16.5e^{0.0423AGE}$	0.031	0.35
<i>Quercus mongolica</i>	4,013	$VR = 10.8e^{-0.0293AGE}$	0.037	0.48
<i>Quercus serrata</i>	1,083	$VR = 15.7e^{-0.0378AGE}$	0.034	0.41

Table 5. Estimates of volume growth rates by species and age classes and the results of Duncan's multiple range test.

Species	Volume Growth Rates(%)							
	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Overall
<i>Quercus acutissima</i>	9.8 ab*	5.5 bc	3.6 d	2.6 b	2.3 a	-	-	5.0 b
<i>Quercus variabilis</i>	9.2 ab	5.3 c	3.8 cd	2.7 b	2.2 a	1.7 a	1.5 a	4.3 d
<i>Quercus dentata</i>	8.7 b	5.7 bc	3.8 cd	2.8 ab	2.4 a	1.7 a	-	4.6 c
<i>Quercus aliena</i>	10.1 ab	5.8 b	4.1 ab	2.9 ab	2.1 a	-	-	5.4 a
<i>Quercus mongolica</i>	9.1 ab	5.8 b	4.0 bc	2.9 ab	2.2 a	1.6 a	1.3 a	4.1 d
<i>Quercus serrata</i>	10.6 a	6.3 a	4.3 a	3.2 a	2.3 a	1.9 a	-	5.6 a

*Same letters stand for non-significant difference at 0.05 probability levels.

급, III영급, IV영급 그리고 V영급에서는 수종간의 통계적 차이가 인정되었다. 먼저 II영급의 경우 상수리나무, 굴참나무, 갈참나무 그리고 신갈나무는 통계적으로 재적생장률의 차이가 없는 것으로 나타났으며, 떡갈나무의 성장률은 가장 낮고 졸참나무의 성장률은 가장 높은 것으로 나타나 나머지 4개 수종과 차이를 보였다. III영급에서는 졸참나무의 성장률이 가장 높아 다른 5개 수종과 통계적인 차이를 보였으며, 굴참나무의 경우에는 성장률이 가장 낮아 신갈나무 및 갈참나무와 차이가 있는 것으로 나타났다. IV영급에서는 졸참나무가 가장 높은 성장률을 보이며 다른 수종과의 차이가 있는 것으로 나타났으며, 상수리나무는 가장 낮은 재적생장률로 신갈나무 및 갈참나무와 통계적 차이가 인정되는 것으로 분석되었다. 한편 V영급의 수종별 재적생장률은 졸참나무를 제외한 5개 수종은 수종간의 통계적인 차이가 인정되지 않았으나, 졸참나무는 상수리나무 및 굴참나무와 통계적인 차이가 있는 것으로 분석되었다.

결과적으로 수종간의 차이가 인정되는 II영급, III영급, IV영급 그리고 V영급을 전체적으로 보면 졸참나무와 갈참나무의 성장률이 다른 수종에 비해 높지만, 굴참나무와 떡갈나무의 성장률은 상대적으로 낮음을 확인할 수 있다.

영급을 통합한 각 수종별 재적생장률을 비교한 결과를 보면 갈참나무와 졸참나무의 성장률이 가장 높았지만 두 수종 간에는 통계적인 차이가 없는 것으로 나타났다. 반면에 굴참나무와 신갈나무는 상대적으로 성장률이 낮으며 이 두 수종 간에도 통계적으로 차이가 없는 것을 확인할 수 있었다. 참나무류 6개 수종을 전체적으로 비교해보면 상수리나무, 갈참나무 그리고 졸참나무 3개 수종의 성장률이 상대적으로 높으며, 굴참나무, 떡갈나무 그리고 신갈나무는 다른 수종과 비교하여 재적생장률이 낮은 것으로 파악되어 재적생장률에 따라 6개 수종을 2개의 그룹으로 구분할 수 있다. 따라서 참나무류 6개 수종은 상수리나무 등의 재적생장률이 상대적으로 높은 그룹과 신갈나무 등의 재적생장률이 낮은 그룹으로 분류할 수 있었다.

4. 수종별 재적생장률 예측 모델

Figure 1은 참나무류 6개 수종에 대한 임령별 재적 생장

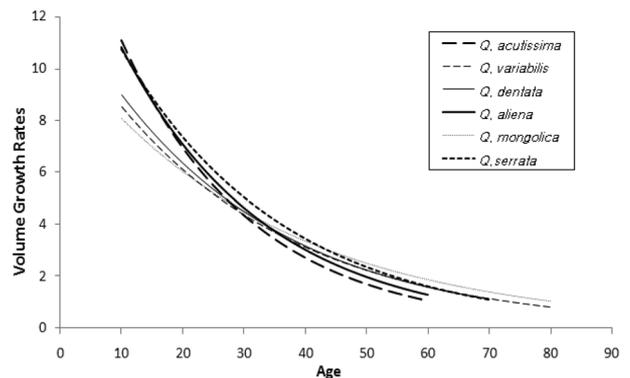


Figure 1. Volume growth rates of major Quercus species by tree age.

률을 나타낸 그림이다. 신갈나무, 굴참나무 그리고 떡갈나무는 임령에 따라 비슷한 패턴의 재적생장률을 보이고 있다. 이 3개 수종은 임령 10년에 8.5% 내외의 재적생장률을 보이다가 임령이 커지면서 재적생장률이 완만하게 감소되는 것을 확인할 수 있다. 한편 상수리나무, 갈참나무 그리고 졸참나무도 임령에 따라 비슷한 직경생장률 패턴을 보이고 있는데, 이 3개 수종은 임령이 10년일 때 11% 내외의 높은 재적생장률을 보이다가 임령이 커짐에 따라 완만한 재적생장률의 감소를 보였던 신갈나무, 굴참나무 그리고 떡갈나무와는 달리 임령이 증가함에 따라 재적생장률이 급속하게 감소하는 경향을 보여주고 있다.

초반에 재적생장률이 높은 상수리나무, 갈참나무, 졸참나무는 임령 30~40년을 전후로 하여 초반 재적생장률이 낮았던 신갈나무, 굴참나무 그리고 떡갈나무보다도 생장이 저조함을 알 수 있다. 그리고 굴참나무와 떡갈나무는 60년생 정도가 되면 초반 성장률이 가장 높았던 졸참나무의 재적생장률과 비슷해지며 또한 초반 재적생장률이 가장 낮았던 신갈나무는 임령 50년 이후부터는 참나무류 6개 수종 중 가장 높은 재적생장률을 보이고 있다.

결과적으로 우리나라에 분포하는 참나무류 6개 수종의 생장패턴은 현재 단목재적식이 조제되어 있는 상수리나무와 신갈나무의 2개 그룹으로 분류할 수 있는 것으로 평가되었다. 즉, 초기 재적생장률이 상대적으로 높은 상수리나무, 갈참나무 그리고 졸참나무는 상수리나무의 단목재

Table 6. Regression coefficients of volume growth rate to tree age by two groups of major *Quercus* species based on growth patterns.

Species*	n	Volume Growth Rate Equations	$s_{y,x}$	r^2
Group 1	2,701	$VR = 16.1e^{-0.0411AGE}$	0.033	0.40
Group 2	6,921	$VR = 11.0e^{-0.0303AGE}$	0.035	0.46

*Group 1 : *Quercus acutissima*, *Quercus aliena*, *Quercus serrata*
 Group 2 : *Quercus mongolica*, *Quercus variabilis*, *Quercus dentata*

적식을 사용하고, 상대적으로 초기 재적생장률이 낮은 신갈나무, 굴참나무 그리고 떡갈나무는 신갈나무 단목재적식을 적용하는 것이다. 이와 같이 분류하면 상수리나무와 신갈나무를 제외한 나머지 4개 수종이 기타 활엽수종로 묶여 하나의 식으로 추정되었을 때 좀 더 정확한 단목재적 추정치를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

Table 6은 참나무류 6개 수종을 2개의 그룹으로 나누었을 때, 임령에 따라 각 그룹의 재적생장률을 추정할 수 있도록 조제된 회귀식이다. 그룹 1은 상수리나무, 갈참나무 그리고 졸참나무이고 통합된 표본의 수는 2,701본 이었으며, 그룹 2는 신갈나무, 굴참나무 그리고 떡갈나무이고 통합된 표본의 수는 6,921본이었다. 또한 추정식의 설명력을 나타내주는 결정계수는 그룹 1이 0.40이고 그룹 2는 0.46으로써 그룹 2의 재적생장률 추정식의 결정계수가 약간 더 높게 나타났다. 하지만 모형의 표준오차의 경우에는 표본의 수가 작은 그룹 1이 약간 작은 것으로 분석되어 결정계수와는 반대의 경향을 보였다.

Figure 2는 참나무류 6개 수종의 성장패턴에 따라 2개 그룹으로 분류하였을 경우 임령별 재적생장률을 나타낸 그림이다. 상수리나무, 갈참나무 그리고 졸참나무가 포함된 그룹 1은 임령 10년에 약 11% 정도의 재적생장률을 보이다 임령이 증가함에 따라 급속하게 생장률이 감소하여 임령 35년에서 3.8%로 신갈나무, 굴참나무 그리고 떡갈나무로 구성된 그룹 2와 동일한 생장률을 유지하며, 35년생 이후에는 그룹 2의 생장률 아래로 떨어지는 것으로 나타났다.

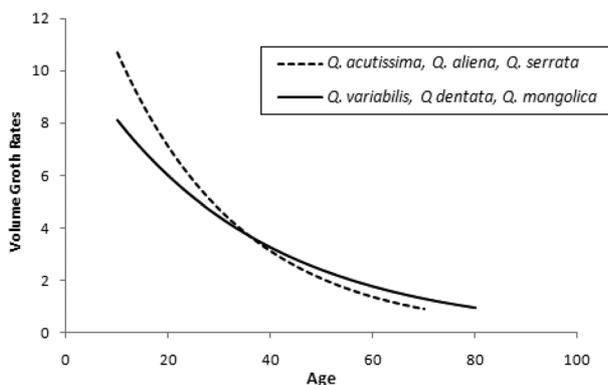


Figure 2. Volume growth rates of two groups by tree age.

다. 반면에 그룹 2는 임령 10년에서 그룹 1보다는 비교적 낮은 약 8% 정도의 재적생장률을 보이지만 임령 35년에 이르면 그룹 1과 같은 생장률을 보이며, 35년생 이후에는 그룹 1의 재적생장률을 상회하는 것으로 나타나 그룹 간에 재적생장의 패턴이 확연히 다를 수 있다.

결론

본 연구는 국가 산림자원조사 자료를 이용하여 우리나라에 분포하는 상수리나무(*Q. acutissima*), 굴참나무(*Q. variabilis*), 떡갈나무(*Q. dentata*), 갈참나무(*Q. aliena*), 신갈나무(*Q. mongolica*) 그리고 졸참나무(*Q. serrata*)의 6개 주요 참나무류 수종에 대한 영급별 재적생장률을 추정하고 임령에 따른 수종별 재적생장률 예측 모형을 개발하고자 하였다. 이를 위해 제5차 국가 산림자원조사의 제1차 및 2차년도에 측정된 9,622본의 6개 참나무 수종 직경생장 조사 자료를 사용하였다. 측정된 수종별 직경생장량에 근거하여 먼저 직경생장률과 수고생장률을 추정하였고, 이를 바탕으로 6개 참나무류 수종의 영급별 재적생장률을 추정하였다. 또한 영급별 재적생장률이 수종 간에 통계적 차이가 있는지를 점검하기 위하여 분산분석과 Duncan의 다중검정을 실시하였으며, Duncan의 다중검정에 의해 얻은 수종별 재적생장률의 통계적 유사성을 근거로 6개 참나무류 수종에 대한 재적생장률 예측 모형을 개발하였다.

참나무류 6개 수종의 영급별 재적생장률은 수종에 따라 차이는 있지만 II영급의 경우 10% 내외의 높은 생장률을 보이다가, III영급에서는 6% 내외로 낮아지고 영급이 더 커지면 빠른 속도로 생장률이 감소하는 것으로 나타났다. 참나무류 수종의 성장특성을 전체적으로 살펴보면 상수리나무, 갈참나무 그리고 졸참나무의 3개 수종은 상대적으로 높은 재적생장률을 보이는 것으로 나타났다. 하지만 굴참나무, 떡갈나무 그리고 신갈나무는 재적생장률이 다소 낮은 것으로 파악되었다. 따라서 참나무류 6개 수종은 재적생장률에 따라 상수리나무 등의 생장률이 높은 그룹과 신갈나무 등의 생장률이 낮은 2개의 그룹으로 분류할 수 있다. 이와 같이 구분된 2개의 그룹에 따라 기존에 사용하고 있는 상수리나무와 신갈나무의 단목재적식과 수확표를 나머지 참나무류 수종에 준용하여 적용할 경우 우리나라에서 중요 위치를 차지하고 있는 참나무류 6개 수종의 생장 및 수확특성을 좀 더 정확하게 파악할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 본 연구에서 얻은 결과는 우리나라에 분포하는 참나무류 수종에 대한 효율적인 산림경영 관리에 필요한 정보로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 산림청 ‘산림과학기술개발사업(과제번호: S120707L1101104)’의 지원에 의해 수행된 연구결과의 일부입니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

인용문헌

1. 국립산림과학원. 2004. 주요 수종의 임목자원 평가 및 예측시스템. 125p.
2. 김갑덕. 1985. 삼림측정학. 향문사. 275p.
3. 산림청. 2004. 국내의 여건 변화에 따른 산림자원조사체계 개편 연구(III). 284p.
4. 산림청. 2005. 국내의 여건 변화에 따른 산림자원조사체계 개편 연구(IV). 290p.
5. 산림청. 2007. 임업통계연보. 406p.
6. 손영모, 이경학, 정영교, 권순덕. 2003. 상수리나무 등 4개 참나무류 임분의 생장 특징 및 모델 개발. 한국임학회 2003년도 학술연구 발표논문집. 71-73.
7. 신만용, 공지수, 김성호, 한원성, 전어진, 황주호. 2007. 우리나라 주요 참나무 수종의 영급별 생장률의 추정. 한국임학회 2007년도 학술연구 발표논문집. 42-46.
8. 심주석, 한상섭. 2003. 낙엽성 참나무류의 생리생태적 특성-광도변화에 대한 잎의 광합성 반응-. 한국임학회지 92(3): 208-214.
9. 안종만, 우종춘, 윤화영, 이동섭, 이상현, 이영진, 이우균, 임영준. 2007. 산림경영학. 향문사. 442p.
10. 최정기, 유병오. 2006. 천연 활엽수림내 신갈나무와 굴 참나무의 직경생장 특성. 한국임학회지 95(1): 131-138.
11. Corona, P., R. Scotti, and N. Tarchani, 1998: Relationship between environmental factors and site index in Douglas-fir plantation in central Italy. Forest Ecology and Management 110: 195-207.
12. Monserud, R.A. 1987: Variations on a theme of site index. Proceedings of IUFRO Forest Growth Modeling and Prediction Conference. Minneapolis, 419-427.
13. Prodan, M. 1965. Holzmesslehre. J.D. Sauerlander's Verlag, Frankfurt am Main, 644S.
14. SAS Institute Inc. 1985. SAS User's Guide : Statistics. Ver. 5.0. 956p.

(2008년 9월 17일 접수; 2008년 10월 20일 채택)