

굴참나무 맹아갱신지의 벌기령 추정

박준형¹ · 정상훈¹ · 김선희¹ · 김형호² · 이상태^{1*}

¹국립산림과학원 산림기술경영연구소, ²경상대학교 산림자원학과(농업생명과학연구원)

Analysis of the Final Cutting Ages in *Quercus variabilis* Coppice Forests

Joon Hyung Park¹, Sang Hoon Chung¹, Sun Hee Kim¹,
Hyungho Kim² and Sang Tae Lee^{1*}

¹Forest Technology and Management Research Center, National Institute of Forest Science,
Pocheon 11186, Korea

²Department of Forest Resources, Gyeongsang National University
(Institute of Agriculture & Life Science), Jinju 52828, Korea

요약: 본 연구는 굴참나무 임분밀도관리도 개발을 통해 맹아갱신지의 경영목표별 벌기령을 예측하고자 하였다. 분석에 활용된 표준지 조사자료는 분석용 자료 603개소와 검증용 자료 113개소로 분류하였고, 이를 이용하여 임분밀도관리도의 개발과 적합도 검증을 실시하였다. 임분밀도관리도 구성 모델의 설명력(R^2)은 등평균수고곡선식 0.732, 등평균직경곡선식 0.990으로 분석되었다. 재적 생산 최대 벌기령을 분석한 결과, ha당 900본의 맹아 잔존 시 42~44년으로 나타났고, ha당 1,800본을 잔존한 경우 38~42년으로 분석되었다. 3등급재 원목을 생산목표로 설정하였을 때의 벌기령은 지위지수 16일 때 25~28년이 소요되었고, 지위지수 14는 29~33년이 소요되는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과는 굴참나무 맹아갱신 임분의 경영계획 수립에 있어서 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract: we developed a stand density management diagram for *Quercus variabilis* in order to predict the final cutting ages of coppice forests based on management objectives. The sample data were classified into two groups: 603 data points for analysis and 113 data points for verification. Using these data, a stand density management diagram was constructed and a goodness-of-fit test was performed. The explanatory power (R^2) of the constituent models for the stand density management diagram was 0.732 for the equivalent height curve and 0.990 for the equivalent diameter curve. According to the analysis of the final cutting age range of the highest production, the final cutting ages for 900 buds remaining per hectare was 42–44 years, and that for the 1,800 buds remaining per hectare was 38–42 years. With the third-grade log set as the production target, the final cutting age range with site index 16 and 14 was 25–28 years and 29–33 years, respectively. The results of this study provide baseline data for establishing a management plan for *Q. variabilis* coppice stands.

Key words: stand density management, final cutting age, sawtooth oak, site index

서론

맹아갱신은 활엽수종 벌채 후 그루터기나 뿌리에서 맹아가 돌아나와 2차림을 형성하는 것으로(Chung et al., 2018) 과거 연료재나 신탄재가 필요했던 시절에 신속하고

대량으로 목재를 생산하기 위해 주로 사용된 갱신방법이다(Lee et al., 2010). 일반적으로 표고 골목 생산이나 경영 목적 또는 입지적 여건 등 여러 이유로 소경제 생산이 필요한 경우에 사용되며, 최근에는 대체 에너지원으로서 바이오매스 자원을 이용하기 위해 적용된다. 우리나라의 맹아갱신은 주로 참나무류 임분을 대상으로 하며, 천연갱신이나 인공조림에 비해 용이한 작업, 인력과 경비의 절감, 빠른 초기생장 등의 많은 장점이 있다(Lee et al., 2000). 최근 이러한 장점을 고려하여 선도산림경영단지에서는

* Corresponding author
E-mail: lst9953@korea.kr

ORCID

Sang Tae Lee  <https://orcid.org/0000-0002-8704-0907>

저비용 고효율 산림경영을 실천하기 위해 맹아갱신을 확대하는 추세이다(Chung et al., 2018).

맹아갱신의 경영목적을 고려해볼 때 효율성이 높은 벌기령을 설정하는 것은 매우 중요하다. 맹아갱신의 경우 주로 단벌기 시업을 적용하여 조성 초기 3~4년간 관리 이후 벌기령에 도달하기까지 별도의 임분밀도 관리가 적용되지 않기 때문에(Korea Forest Service, 2005) 맹아갱신 임분의 벌기령은 생산성에 영향을 주는 중요 인자로 평가받고 있다(Berlanger, 1979). 벌기령은 조림적 벌기령, 공예적 벌기령, 재적수확 최대의 벌기령, 화폐수익 최대의 벌기령, 산림순수익 최대의 벌기령, 토지 순수익 최대의 벌기령, 수익률 최대의 벌기령 등 종류가 다양하고 각 벌기령의 장단점이 명확하여 경영목적에 따라 차별화될 수 있다(Park et al., 1990).

그 중 공예적 벌기령은 목재의 용도에 적합한 크기의 용재를 생산하는데 필요한 임령을 기준으로 하고 있어서 수익성 실현에 도움이 되는 벌기령이며, 재적수확 최대의 벌기령은 임분의 평균성장량이 최대인 시점을 적정 벌채 시기로 보는 양적 생산에 중점을 둔 벌기령이므로, 공익성을 띤 국유림과 공유림에서 활용성이 높은 벌기령이라 할 수 있다. 두 가지 벌기령은 직접적인 이윤을 고려하지는 않지만, 각각의 의미와 특성이 있어서 활용성이 높다.

현재 참나무류의 기준 벌기령은 국유림 60년, 공·사유림은 25년, 기업 경영림은 20년으로 명시되어 있지만(Ministry of Government Legislation, 2020a), 입지환경을 고려한 현실림의 성장·생육 정보가 반영되지 않아 개별 임분의 경영목표 달성을 위한 벌기령으로 활용하기 어렵다. 산불 피해를 대상으로 맹아갱신을 한 경우 표고자목이나 펠릿용 목재생산에 적합한 벌기령은 15~20년으로 제시한 바 있으나(Lim et al., 2009), 일반적인 맹아갱신 임분과 성장에서 차이가 있다는 점을 전제하였다. 벌기령은 수종, 작업종, 지위, 지리, 시업의 집약도, 수확 목재의 용도

및 수확량 등에 따라 변화하므로(Park et al., 1990), 입지환경 및 경영목표를 고려하여 적기에 벌채할 수 있는 효율성 높은 벌기령 예측 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 우리나라 굴참나무(*Quercus variabilis* Blume)림의 현실적인 생장을 반영한 임분밀도관리도(Stand density management diagram: SDMD)를 개발하고, 이를 이용하여 맹아갱신을 통한 단벌기 시업에서의 공예적 벌기령과 재적수확 최대 벌기령을 예측하고자 한다.

재료 및 방법

1. 분석자료

굴참나무(*Quercus variabilis*) 임분밀도관리도를 개발하기 위한 분석은 제6차 국가산림자원조사(National Forest Inventory: NFI) 표본점 603 plots 자료를 이용하였고, 모델 검증용 자료는 2019년에 전국 단위로 조사된 굴참나무 현지조사 표본점 113개소를 이용하였다. 임분밀도관리도 개발에는 최대밀도와 가까운 단순림에 대해 조사된 자료가 필요하므로(Ando, 1968; Nagahama, 2003), 굴참나무의 순림 기준 흉고단면적 점유율이 75% 이상, 상대밀도 50 이상인 표본점을 선별하고 이상치 제거 과정을 거쳐 분석용 자료 526개소(NFI)와 검증용 자료 113개소(현지조사)를 구축하였다.

임분밀도관리도의 구성 모델 개발을 위해 평균 흉고직경(Mean of DBH: D)과 평균 수고(Mean of tree height: H), 우세목 수고(Mean of dominant tree height: H_d), 형상고(Form height: H_f), 임분흉고단면적(Stand basal area: BA), 임분재적(Stand volume: V), 임분밀도(Stand density: N), 평방평균흉고직경(Quadratic mean DBH: QD)을 표본점별로 산출하여 분석에 이용하였다(Table 1). 우세목 수고는 표본점 내 수고 측정치의 상위 30%에 대한 평균치, 형상고는 임목 재적에서 흉고단면적을 나누어 산출하였다.

Table 1. The descriptive statistics of training data and validation data for *Quercus variabilis* stands.

Variable	Symbol	Unit	Training data (N = 526 plots)		Validation data (N = 113 plots)	
			mean	S.D.	mean	S.D.
DBH	D	cm	16.9	4.2	20.5	4.5
Tree height	H	m	12.2	2.0	13.3	1.9
Dominant tree height	H_d	m	15.0	2.7	15.9	2.2
Form height	H_f	m	7.5	1.0	7.4	0.8
Stand density	N	trees·ha ⁻¹	1388.0	547.0	840.0	432.0
Stand basal area	BA	m ² ·ha ⁻¹	34.9	13.6	27.5	10.7
Stand Volume	V	m ³ ·ha ⁻¹	268.8	120.0	206.6	90.2
Quadratic mean DBH	QD	cm	18.5	4.7	21.5	4.7

2. 임분밀도관리도의 곡선식 추정

1) 등평균수고곡선과 등평균직경곡선

등평균수고곡선(Equivalent height curve)은 C-D효과(Competition-density effect)를 나타내는 곡선으로 단위면적당 개체 수와 각 개체의 크기와 모양이 상호관계를 통해 변화하는 현상을 설명하며, 우세목 수고와 임분밀도에 따른 임분재적 추정식을 통해 예측하였다(식 1). 등평균직경곡선(Equivalent diameter curve)은 각 흉고직경급별 임분밀도와 재적으로 구성되어 있으며, 식 1을 통해 예측된 임분재적과 임분밀도에 형상고 추정식(식 2)를 이용하여 평방평균흉고직경(QD)을 산출하고, 식 3을 통해 평균 흉고직경으로 변환하는 방법이 적용된다. 식 1~3에서 a_i , b_i , c_i 는 각 모델의 추정 계수를 의미하며, 식 1~3은 비선형 회귀 분석(Non-linear regression analysis)을 통해 계수를 추정하였고, 모델의 설명력(R^2)과 모델의 치우침을 나타내는 편의(Bias)를 이용하여 모델의 적합성을 확인하였다.

$$V = (a_1 H_d^2 + \frac{a_3 H_d^{a_4}}{N})^{-1} \quad (1)$$

$$Hf = c_1 + c_2 H_d + c_3 \frac{\sqrt{N} H_d}{100} \quad (2)$$

$$D = b_1 + b_2 QD + b_3 \frac{\sqrt{N} H_d}{100} \quad (3)$$

2) 최대밀도곡선과 상대수확량지수곡선

임분밀도관리도에서 임목 간 경쟁지표로 활용되는 상대수확량지수(Relative yield index: Ry)는 최대밀도가 1.00이라고 할 때, 이에 대한 현재 밀도의 비를 의미한다(Ando, 1968). 상대수확량지수는 상대경쟁지수(Relative Competition index; Rc)와 한계경쟁지수(Full competition index: Fc)를 이용해 산출하였다. 여기에서 상대경쟁지수는 임내 개체목간 경쟁을 나타내는 지수를 의미하며, 경쟁이 없는 임분의 개체목 재적에 대해 일정 수준의 경쟁이 존재하는 임분의 개체목 재적의 비율로 나타낸다(Nagahama, 2003; Park et al., 2016). 식 4를 이용하여 각 표본점에 대해 상대경쟁지수를 평가하였고, 가장 높은값을 나타내는 표본점을 최대밀도 상태를 의미하는 한계경쟁지수(Fc)로 지정하여 식 5를 통해 상대수확량지수를 산출하였다. 식 4~5에서, \hat{v} 와 \hat{V} 는 식 1의 추정치이며, a_i 는 식 1의 추정 계수를 의미한다.

$$Rc = \frac{\hat{v}}{1} = \hat{v} a_3 H_d^{-a_4} = \frac{\hat{V}}{N} a_3 H_d^{-a_4} \quad (4)$$

$$Ry = \frac{1 - Rc}{1 - Fc} \quad (5)$$

최대밀도곡선(Full density curve)은 재적 예측식(식 6)과 임분밀도 예측식(식 7)으로 구성되어 있으며, N_{Rc} 과 V_{Rc} 는 상대경쟁지수 Rc 일때의 임분밀도와 임분재적을 의미한다. 상대수확량지수곡선(Relative yield index curve)은 최대밀도곡선과 같은 기울기를 가지고 상수만 차이가 있어서 식 6~7에서 기울기에 해당하는 모수 K_1 과 K_3 은 고정하고, 상수 값인 K_2 와 K_4 의 값을 식 8~11를 이용해 Ry 0.5 간격으로(1.00, 0.95, 0.90, 0.85...) 구하여 Ry 등급별 곡선을 작성하였다. 식 8~11에 포함된 모수 a_i 는 식 1의 추정 계수를 의미한다.

$$\log N_{Rc} = \log K_2 + K_1 \log H_d \quad (6)$$

$$\log V_{Rc} = \log K_4 + K_3 \log \hat{N}_{Rc} \quad (7)$$

$$K_1 = (a_4 - a_2) \quad (8)$$

$$K_2 = \frac{(1 - Rf) Ry}{1 - (1 - Rf) Ry} \frac{a_3}{a_1} \quad (9)$$

$$K_3 = 1 + \left(\frac{a_4}{a_2 - a_4} \right) \quad (10)$$

$$K_4 = \frac{(1 - Rf) Ry}{a_1} \left(\frac{1 - (1 - Rf) Ry}{(1 - Rf) Ry} \frac{a_1}{a_3} \right)^{\frac{a_2}{a_2 - a_4}} \quad (11)$$

3) 자연고사곡선

임분밀도는 임분이 성장함에 따라 임목 간 경쟁이 발생하여 자연적인 감소세를 보이면서 최대밀도곡선에 접근하게 되며, 가까워질수록 변곡을 하여 최종적으로는 최대밀도곡선과 일치하게 된다(Park et al., 2016). 이러한 자연고사법칙을 반영한 자연고사곡선(Self-thinning curve)은 식 12로 표현되며, 이 식에서 N_0 는 조림본수, 모수 K_5 (식 13)은 식 1의 모수를 이용하여 산출하였다.

$$\frac{1}{N} = \frac{1}{N_0} - \frac{v}{K_5 N_0^{(K_1+1)}} \quad (12)$$

$$K_5 = \frac{K_1 Rf}{a_3} \left(\frac{Rf}{1 - Rf} \frac{a_1}{a_3} \right)^{K_1} \left(\frac{a_2}{a_4} \right)^{K_1+1} \quad (13)$$

3. 벌기령 예측

1) 분석 시나리오 작성

그루터기 본수, 잔존 맹아 수, 지위지수, 생산재 규격 등과 같이 벌기령 설정에 영향을 미치는 요인들을 바탕으로 벌기령 예측 분석을 위한 다양한 시나리오를 작성하였다. 맹아갱신은 ha당 900본 내외로 균일하게 분포하고 있는 곳을 대상으로 실시(Ministry of Government Legislation, 2020b)하기 때문에 그루터기 본수는 900본/ha를 기준으로 하였다.

일반적으로 맹아갱신지에서는 한 그루터기에서 여러 개의 맹아가 발생되므로, 우세 및 열세맹아의 구분이 확실해지는 벌채 2~3년 후 그루터기당 지하부 또는 지제부에 발생한 맹아 1~2본을 남기고 나머지는 제거하는 맹아 본수 조절작업을 수행한다(Korea Forest Service, 2005). 현행 작업방법을 참고하여 그루터기당 1본 잔존시킬 경우와 2본 잔존시킬 경우로 구분하였다. 지위지수 적용 범위는 10~16으로 하였고, 경영목표는 단벌기 임업경영에 적합한 소경재 생산으로 설정하였으며, 생산목표 규격은 주로 신탄재로 이용이 되는 것으로 알려져있는 원목 품등별 규격(Korea Forestry Promotion Institute, 2020)의 3등급(말구직경 12 cm 이상, 재장 2.1 m 이상)을 참고하였다.

2) 임분 성장 예측

생산목표 규격의 도달 시기를 도출하여 벌기령 산출에 적용하기 위해 임분밀도관리도를 이용하여 임분생장을 예측하였다. 그러나 임분밀도관리도는 시간 개념이 포함되어 있지 않으므로(Park, 2016), 임령에 따른 생장예측을 위해 지위지수 분류곡선을 활용한다. 지위지수 분류곡선식은 Park et al.(2020)이 개발한 굴참나무 모델을 활용하였다. 지위지수 분류곡선식을 지위지수별 우세목 수고 예측식으로 변환하여 사용하였고, 식 14에서 H_d 는 우세목 수고를 의미하며, SI 는 지위지수, Age 는 임령이다.

$$H_d = SI \left(\frac{1 - e^{-0.067 \times Age}}{1 - e^{-0.067 \times 30}} \right)^{-2.396} \quad (14)$$

3) 생산목표별 적정 벌기령 예측

경영(생산)목표에 따라 다양한 벌기령이 적용되지만, 활용성이 가장 높은 재적성장최대 벌기령과 공예적 벌기령으로 예측하였다. 재적연년성장량(Current Annual Increment: CAI)과 평균성장량(Mean Annual Increment: MAI)이 교차하는 시기가 평균성장량이 최대가 되는 시기이므로(Shater et al., 2011), 지위지수별 임분생장 예측을 통해 재적 생장이 최대가 되는 시기를 분석하였다. 공예적 벌기령은 용도별 크기를 생산목표로 하기 때문에 굴참나무 수간곡선식(National Institute of Forest Science, 2018)을 이용하여 말구직경과 재장을 추정하고(식 15), 원목 품등 3등급 기준이 도달되는 시기를 예측하였다.

여기에서, d 는 수간직경이며, DBH는 개체목의 흉고직경, X 는 $(1 - \sqrt{Z}) / (1 - \sqrt{p})$, Z 는 상대 수고, p 는 H_i/H , p 는 변곡점을 의미한다. 정확한 양의 추정을 위해서는 제재 과정에서 톱밥을 발생하게 하는 톱날의 두께를 고려하는 것이 필요하지만, 벌기령 예측에서 큰 오차를 차지하지 않을 것으로 판단하여 이 부분은 고려하지 않았다. 그리고 그루터기 당 맹아 잔존본수에 따른 생장 차이도 이에 대한 명확한 자료가 부족하여 고려하지 않았다.

연구결과 및 고찰

1. 임분밀도관리도 구성 모형 추정

등평균수고곡선 추정식의 설명력(R^2)은 약 73% 수준으로 나타났고, 모델 편의는 9.734로 분석되었으며(Table 2), 추정치와 측정치의 관계는 중심선을 기준으로 고르게 분

Table 2. The parameter estimation of six equations.

Equation number ^a	Estimated equation	Bais	Fitness index
Eq. 1	$V = (0.065HT^{-1.376} + \frac{14390.552HT^{-3.136}}{N})^{-1}$	9.734	0.728
Eq. 2	$D = 1.493 + 0.908QD - 0.221 \frac{\sqrt{N}HT}{100}$	-0.000	0.990
Eq. 3	$Hf = 1.853 + 0.309HT + 0.186 \frac{\sqrt{N}HT}{100}$	0.000	0.896
Eq. 6	$\log N_{Rc} = \log 345,042.489 - 1.760 \log H_d$	-	-
Eq. 7	$\log V_{Rc} = \log 200,285.880 \pm 0.782 \log \hat{N}_{Rc}$	-	-
Eq. 12	$\frac{1}{N} = \frac{1}{N_0} - \frac{v}{-679,540.146 N_0^{(-0.782)}}$	-	-

Note) ^a Eq. 1 = Equivalent height curve, Eq. 2 & 3 = Equivalent diameter curve, Eq. 6 & 7 = Full density curve, and Eq. 12 = Self-thinning curve, respectively.

$$d = 1.3095DBH^{0.8613}1.0016^{DBHX^{0.7292Z^2 - 0.1883 \ln(Z + 0.001) + 0.6832\sqrt{Z} - 0.2646e^Z + 0.0817(\frac{DBH}{H})}} \quad (15)$$

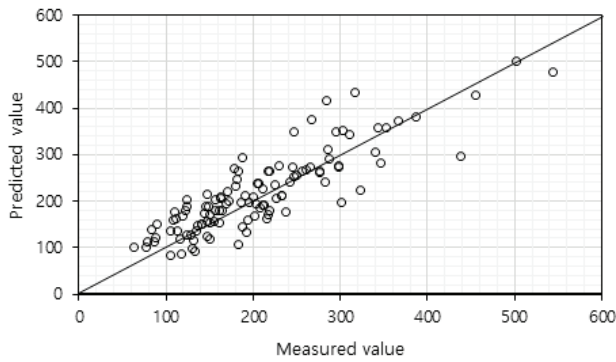


Figure 1. Comparison between measured value and predicted value.

Table 3. The calculated value of $K_1 \sim K_4$ parameters by relative yield index (R_{ij}).

R_{ij}	Calculated parameters			
	K_1	$\log K_2$	K_3	$\log K_4$
1.00 ($F_c^a = 0.391062$)	-1.760	5.538	-0.782	5.302
0.95	-1.760	5.483	-0.782	5.237
0.90	-1.760	5.429	-0.782	5.171
0.85	-1.760	5.376	-0.782	5.105
0.80	-1.760	5.323	-0.782	5.037
0.75	-1.760	5.270	-0.782	4.967
0.70	-1.760	5.216	-0.782	4.895
0.65	-1.760	5.162	-0.782	4.821
0.60	-1.760	5.106	-0.782	4.742
0.55	-1.760	5.048	-0.782	4.659
0.50	-1.760	4.987	-0.782	4.570
0.45	-1.760	4.922	-0.782	4.474
0.40	-1.760	4.853	-0.782	4.369
0.35	-1.760	4.778	-0.782	4.252
0.30	-1.760	4.695	-0.782	4.120

Note) ^a F_c = Full competition index.

포하였다(Figure 1). 등평균직경곡선식의 설명력은 약 99%로 나타나 예측 정확도가 높은 것으로 나타났고, 평방평균흉고직경 산출을 위해 활용되는 형상고 예측식의 설명력은 약 90%로 높은 수준의 정확도를 보였다.

최대밀도곡선식(식 6~7)과 자연고사곡선식(식 12)의 모수 $K_1 \sim K_5$ 는 등평균수고곡선식에 의해 산출되는 수식이므로, 한계경쟁지수($F_c=0.391062$)와 함께 등평균수고곡선식의 모수 $a_1 \sim a_4$ 를 이용하여 모수 $K_1 \sim K_5$ 를 산출하였다(Table 2). 한편, 임분밀도관리도의 임분경쟁지수로 활용되는 상대수확량지수곡선은 최대밀도 상태인 임분에 대한 특정 밀도의 상대적인 비를 의미하므로(Ando, 1968;

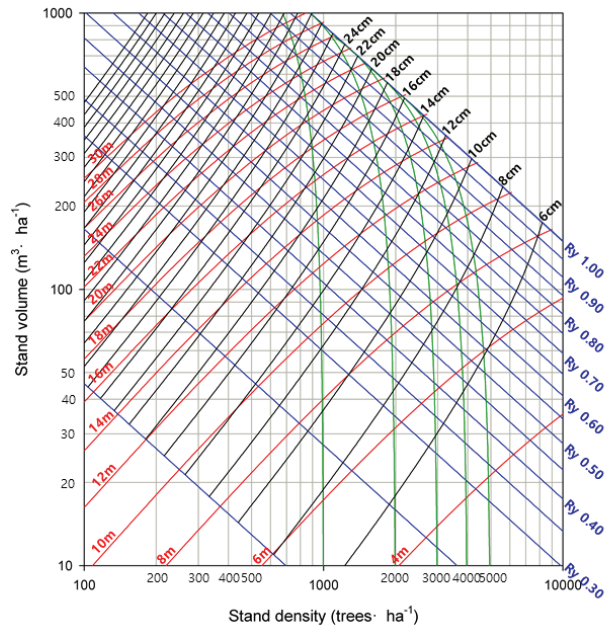


Figure 2. Stand density management diagram for *Quercus variabilis* forests. (Red line is equivalent height curve, black line is equivalent diameter curve, blue line is relative yield index curve, and green line is natural thinning curve, respectively.

Shim et al., 1985; Nagahama, 2003), 최대밀도 상태를 상대수확량지수 1.0로 하여 이를 기준으로 1.0~0.3까지 0.05 간격의 상대수확량지수곡선을 유도해야 한다. 따라서 상대수확량지수별 모수 $K_1 \sim K_4$ 를 추가적으로 산출하여 상대수확량지수곡선식을 작성하였다(Table 3). 분석된 등평균수고곡선식, 등평균직경곡선식, 최대밀도곡선식 및 상대수확량지수곡선식, 자연고사곡선식을 도식화하여 임분밀도관리도를 작성하였다(Figure 2).

2. 재적생산 최대 벌기령

임분밀도관리도와 지위지수분류곡선을 이용한 임분생장 시뮬레이션 결과(Figure 3), ha당 900본의 맹아를 잔존시킬 경우 지위지수 10은 44년에 재적 총평균생장량 최대점에 도달하는 것으로 나타났고, 지위지수 12가 44년, 지위지수 14는 43년, 지위지수 16은 42년에 도달하는 것으로 분석되었다. ha당 1,800본의 맹아를 잔존시키는 경우 지위지수 10은 42년, 지위지수 12는 41년, 지위지수 14는 40년, 지위지수 16은 38년으로 분석되었다. 재적생산이 최대인 시기에 3등급 원목은 ha당 900본일 때 지위지수 12~16은 본당 3개, ha당 1,800본일 때는 지위지수 14~16이 본당 3개 수확이 가능한 것으로 분석되었다(Table 4). 이때 이용재적은 ha당 900본 잔존 시 103.0~309.8 $m^3 \cdot ha^{-1}$, ha당 1,800본 잔존은 145.0~359.8 $m^3 \cdot ha^{-1}$ 의 범위로 추정되었다.

전반적으로 재적 생산 효율성을 목표로 두고 있는 특성으로 인해 지위지수가 높을수록 최대점 도달 시기는 빠르

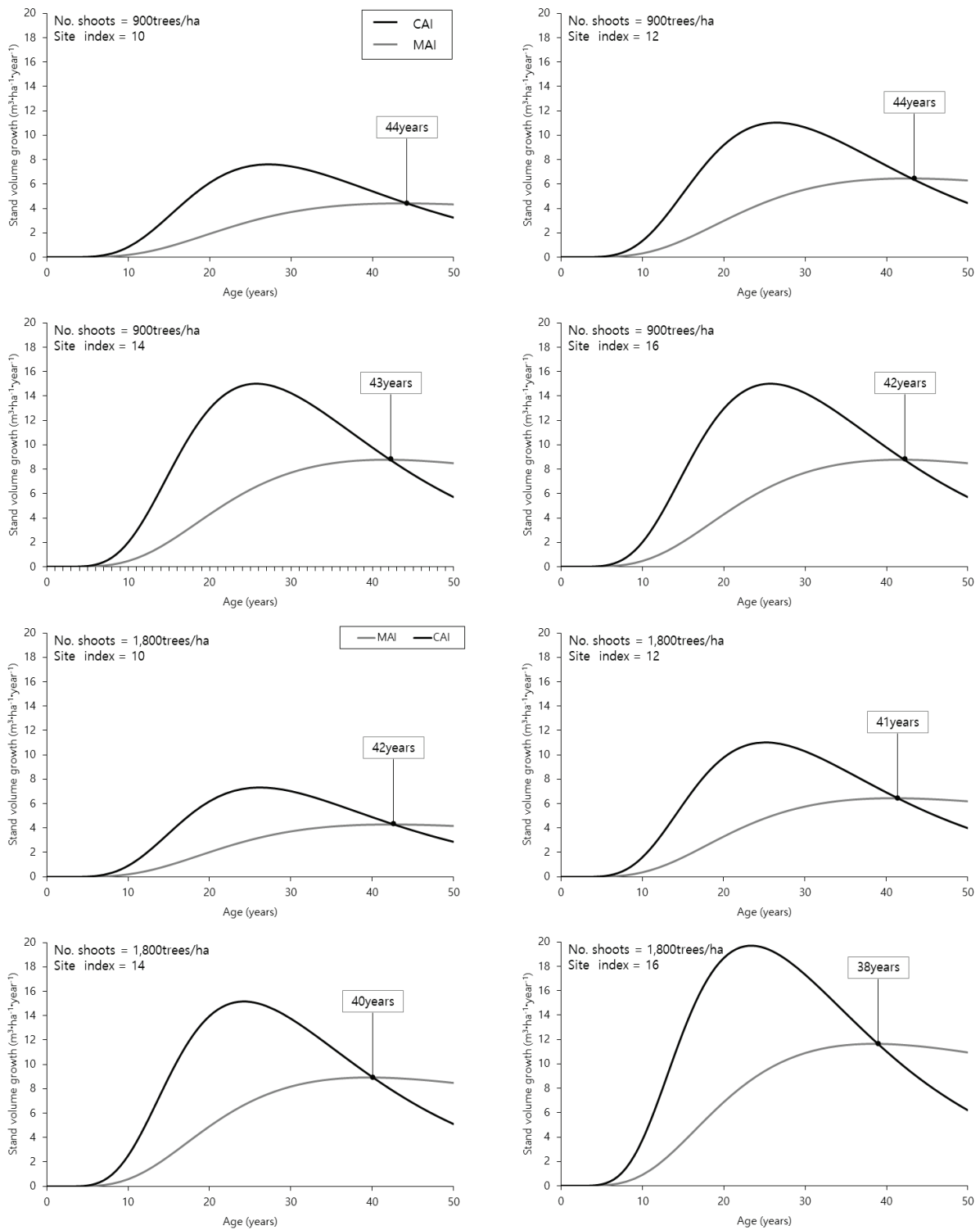


Figure 3. simulated rotation age of the highest production in volume for *Quercus variabilis* stands.

고, 잔존본수가 많을수록 빨라지는 경향을 보였다. 하지만 맹아갱신의 특성상 갱신 후 20~30년이 지난 시점에 수확하는 것을 목표로 한다는 점을 고려해 볼 때, 굴참나무의 재적생산 최대 벌기령은 효율성이 떨어지는 것으로 파악

되었다. 이러한 부분을 보완하기 위해 총평균성장량이 최대가 되는 시점을 기준으로 10~20년 전에 비해 변화량이 크지 않을 경우, 경제적인 부분을 고려하여 벌채 시기를 조절하기도 하는 것으로 알려져 있다(Park et al., 1990).

Table 4. Estimation of the rotation age of the highest production in volume for *Quercus variabilis* stands.

No. shoots (trees·ha ⁻¹)	Site index	No. target log ^a (log·tree ⁻¹)	Rotation age	Mean DBH (cm)	Mean height (m)	Stand density (trees·ha ⁻¹)	Stand Volume (m ³ ·ha ⁻¹)	Commercial volume (m ³ ·ha ⁻¹)
900	10	2	44	15.9	12.4	867	122.5	103.0 (53.5) ^b
	12	3	44	18.8	14.9	847	195.2	164.3 (101.2)
	14	3	43	21.3	17.2	825	277.4	233.0 (129.8)
	16	3	42	23.6	19.5	800	369.1	309.8 (157.2)
1,800	10	1	42	13.7	12.2	1,632	180.3	145.0 (42.1)
	12	2	41	15.8	14.5	1,554	265.1	214.5 (99.1)
	14	3	40	17.7	16.7	1,468	357.8	290.1 (163.8)
	16	3	38	19.4	18.6	1,388	443.2	359.8 (189.1)

Note) ^a Small-end diameter : over 12cm, log length : over 2.1 m

^b Values in parenthesis are the total volume of 3rd grade logs.

3. 공예적 벌기령

맹아 잔존본수가 900본/ha 임분에 지위지수가 12~16일 경우, 벌기령이 25~36년에 말구직경 12 cm 이상의 3등급 원목이 본당 3개씩 수확이 가능한 것으로 예측되었다 (Table 5). 지위지수 10의 경우 본당 최대 2개의 3등급원목이 수확 가능한 것으로 나타났고, 이때 벌기령은 38년으로

예측되었다. 맹아 잔존본수 1,800본/ha의 경우, 지위지수 14~16에 3등급 원목이 본당 3개 수확이 가능하며, 이때의 벌기령은 28~33년으로 예측되었다. 맹아조절작업으로 그 루터기당 잔존 개수가 2본 보다 1본일 때 벌기령이 짧아지는 경향을 보였으며 지위지수가 높을수록 벌기령이 단축되는 것으로 나타났다.

Table 5. The Estimation of Rotation age and yield by scenario for timber harvest (third grade logs).

No. shoots (trees·ha ⁻¹)	Site index	No. target log ^a (log·tree ⁻¹)	Rotation age (years)	Mean DBH (cm)	Mean Height (m)	Stand volume (m ³ ·ha ⁻¹)	Stand density (trees·ha ⁻¹)	Commercial volume (m ³ ·ha ⁻¹)	
900	10	1	30	13.0	10.0	68.2	880	57.2 (23.2) ^b	
		2	38	15.0	11.6	102.5	870	86.4 (54.7)	
		3	-	-	-	-	-	-	
	12	1	25	25	13.4	10.3	73.8	880	62.0 (24.5)
		2	29	29	15.1	11.7	104.2	870	87.7 (55.4)
		3	36	36	17.2	13.5	152.9	860	128.7 (97.3)
	14	1	21	21	13.1	10.1	69.4	880	58.3 (23.5)
		2	25	25	15.4	12.0	111.9	870	94.2 (58.3)
		3	29	29	17.3	13.6	155.8	860	131.1 (98.6)
	16	1	19	19	13.3	10.3	73.1	880	61.5 (24.3)
		2	22	22	15.5	12.1	113.8	870	95.9 (59.0)
		3	25	25	17.4	13.7	158.3	855	133.2 (99.8)

Table 5. (Continued)

No. shoots (trees·ha ⁻¹)	Site index	No. target log ^a (log·tree ⁻¹)	Rotation age (years)	Mean DBH (cm)	Mean Height (m)	Stand volume (m ³ ·ha ⁻¹)	Stand density (trees·ha ⁻¹)	Commercial volume (m ³ ·ha ⁻¹)
1,800	10	1	35	12.7	11.1	144.3	1,665	115.6 (42.8)
		2	49	14.4	12.9	205.7	1,610	165.2 (97.0)
		3	-	-	-	-	-	-
	12	1	28	12.9	11.4	152.7	1,660	122.9 (44.5)
		2	34	14.5	13.1	211.7	1,605	170.8 (99.2)
		3	-	-	-	-	-	-
	14	1	24	13.1	11.6	158.6	1,655	127.4 (45.6)
		2	28	14.7	13.3	218.1	1,600	176.2 (101.1)
		3	33	16.2	15.0	284.7	1,535	230.3 (163.1)
	16	1	21	13.0	11.5	156.8	1,655	126.1 (45.3)
		2	24	14.6	13.2	215.7	1,600	174.1 (100.4)
		3	28	16.4	15.2	291.9	1,530	236.2 (165.9)

Note) ^a Small-end diameter : over 12cm, log length : over 2.1 m,

^b Values in parenthesis are the total volume of 3rd grade logs.

현재 참나무류의 공·사유림 기준 벌기령(25년)과 비교하면, ha당 900본의 맹아 잔존 시 지위지수 16은 본당 3개의 3등급 원목이 수확 가능할 것으로 판단되며, 지위지수 14는 본당 2개, 지위지수 12는 본당 1개를 생산할 수 있을 것으로 예측되었다. 또한, ha당 1,800본 맹아 잔존 시 지위지수 14는 1개, 16은 2개가 생산될 수 있을 것으로 예측되어 지위가 높은 임분에서 맹아갱신을 하는 것이 효율적으로 소경재를 생산할 수 있을 것으로 판단된다.

결론

굴참나무 임분을 대상으로 임분밀도관리도를 개발하고 이를 이용하여 재적생산 최대 벌기령과 공예적 벌기령을 예측하였다. 임분밀도관리도를 구성하는 곡선식 중 등평균수고곡선식의 설명력(R^2)은 0.728로 나타났고, 등평균직경곡선식은 $R^2=0.990$, 형상고 예측식은 $R^2=0.896$ 으로 나타났다. 개발된 임분밀도관리도를 이용하여 예측한 재적생산 최대 벌기령을 종합해보면 그루터기당 1본을 잔존시킨 ha당 900본의 경우 42~44년으로 나타났고, ha당 1,800본을 잔존시킬 때 38~42년으로 분석되어 많은 본수를 잔존시키는 것이 유리한 것으로 나타났다. 그루터기당 1~2본만 남기고 모두 제거한 경우의 공예적 벌기령은 지

위지수 16일 때 3등급재 3개를 수확하기 위해 25~28년이 소요되었고, 지위지수 14는 29~33년이 소요되는 것으로 나타났다. 지위지수 12 이하의 경우 많은 양의 3등급재를 수확하기 위해서는 본수를 줄이는 것이 유리할 것으로 판단되고, 가능하면 지위가 높은 임분에서 맹아갱신을 하는 것이 좋을 것으로 보인다.

굴참나무 임분의 재적생산 최대 벌기령과 공예적 벌기령은 소요기간에서 동일한 조건에서 차이가 있는 것으로 확인되었다. 재적생산 최대 벌기령은 공익림에 적용하면 효율적이며, 공예적 벌기령 수익을 기대하는 경제림에 효과적인 것으로 알려져 있어서 해당 특성을 고려하여 산림경영목표에 적합한 벌기령을 적용해야 할 것으로 사료된다. 또한 본 연구의 결과를 고려해볼 때, 맹아갱신 임분에서 단벌기 시업으로는 중대경재 수확은 40년 이상 소요될 것으로 판단되므로 소경재 수확을 목표로 하는 것이 타당할 것으로 보인다. 만약 중대경재 수확을 위한 장벌기 시업을 적용한다면, 참나무류의 심재부후 문제 등이 야기될 가능성이 높다. 또한 맹아갱신 시업이 참나무류의 부후 원인 중 하나로 보는 시각도 있으므로, 장벌기와 단벌기 시업의 적용 여부는 신중하게 선택해야 할 것이다. 또한 본 연구의 결과는 굴참나무 맹아갱신림의 경영계획 수립에 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- Ando, T. 1968. Ecological studies on the stand density control in even aged stand. Bullentin Government Forest Experiment Station 210: 1-153.
- Chung, S.H., Lee, Y.G. and Lee, S.T. 2018. Characteristics of occurrence and growth for oak sprours on the slope: with particular focused on Chungcheong region of south Korea. Journal of Korean Society of Forest Science 107(4): 336-343.
- Korea Forest Service. 2005. Standard manual for sustainable forest resources management. pp. 289.
- Lee, D.K., Kwon, K.C., Kim, J.H. and Kim, G.T. 2010. Silviculture. 2nd ed. Hyangmunsa. Seoul, Korea. pp. 334.
- Lee, D.K., Kwon, K.C., Kim, Y. and Kim, Y.S. 2000. Sprouting and sprout growth of four *Quercus* species: at natural stands of *Quercus mongolica*, *Q. variabilis*, *Q. acutissima*, *Q. dentata* growing at Kwangju-gun, Kyonggi-do. Journal of Korean Forest Bioenergy 19(2): 61-68.
- Lim, J.H., Ji, D.H., Lee, Y.G. and Lee, M.B. 2009. Study on the management system of oak coppice forest on forest fire site.
- Ministry of Government Legislation. 2020a. Enforcement rules of the act on the creation and Management of forest resources. National Law Information Center. <http://www.law.go.kr/lsSc.do?section=&menuId=1&subMenuId=15&tabMenuId=81&eventGubun=060101&query=%EB%B2%8C%EA%B8%B0%EB%A0%B9#undefined> (2020.7.29.)
- Ministry of Government Legislation. 2020b. Sustainable forest resources management guideline. National Law Information Center. <http://www.law.go.kr/admRulInfoP.do?admRulSeq=2100000014724> (2020.7.29.)
- Nagahama, T. 2003. Preparation of the original stand density control diagram for Sugi plantations in Kagoshima. Bullentin of the Kagoshima Prefectural Forest Experiment Station 8: 1-11.
- National Institute of Forest Science. 2016. Stand yield table for actual forest. National Institute of Forest Science. Seoul, Korea. pp. 64.
- National Institute of Forest Science. 2018. Stem volume-biomass and stand yield table. National Institute of Forest Science. Seoul, Korea. pp. 224.
- Park, J.H., Lee, K.S., Yoo, B.O., Park, Y.B. and Jung, S.Y. 2016. Development and validation of the stand density management diagram for *Pinus densiflora* forests in Korea. Journal of Korean Society of Forest Science 105(3): 342-350.
- Park, J.H. 2016. Development of a stand density control model based on regional growth characteristics of *Pinus densiflora*. (Dissertation). Jinju. Gyeongsang National University.
- Park, J.H., Chung, S.H., Kim, S.H. and Lee, S.T. 2020. Estimation of site index curve for 6 oak species in Korea. Journal of Agriculture & Life Science 54(3): 27-33.
- Park, T.S., Kim, D.C., Kwon, O.B., Lee, M.W., Lee, S.S., Lee, Y.H., Cho, E.J., Kang, S.Y., Chung, Y.G., Bueon, U.H. and Woo, J.C. 1990. Forestry management. Hyangmunsa. Seoul, Korea. pp. 426.
- Shater, Z., Miguel, S.D., Kraid, B., Pukkala, T. and Palahí, M. 2011. A growth and yield model for even-aged *Pinus brutia* Ten. stands in Syria. Annals of Forest Science 68: 149-157.

Manuscript Received : August 14, 2020

First Revision : September 17, 2020

Accepted : September 28, 2020