

임분 안정성을 고려한 일본잎갈나무 임분밀도 관리의 적정 수준

박준형 · 정상훈 · 김선희 · 이상태^{ID*}

국립산림과학원 산림기술경영연구소

Optimum Stand Density Control Considering Stability in *Larix kaempferi* Forests

Joon Hyung Park, Sang Hoon Chung, Sun Hee Kim and Sang Tae Lee^{ID*}

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

요약: 본 연구는 일본잎갈나무 임분의 안정성을 고려한 임분밀도 관리의 적정 수준을 탐색하기 위해 수행하였다. 분석에 활용된 조사 표본점 259개소의 자료를 통해 임분밀도관리도를 개발하였고, 이를 이용하여 상대수확량지수(Relative yield index: Ry)와 형상비(Height-to-diameter ratio: H/D)간의 관계 구명을 통해 임분밀도 관리의 적정 수준을 찾고자 하였다. 추정된 임분밀도관리도의 설명력(R^2)은 0.600으로 나타났다. 상대수확량지수와 세장목의 출현비율의 관계 분석 결과, 일정 임분밀도 이상에 도달할 경우 세장목의 비율이 급격히 증가하였고, 해당 곡선에서의 상대수확량지수(Ry)의 임계값은 0.63으로 분석되었다. 본 연구의 결과는 풍해, 설해와 같은 자연적인 피해를 저감 할 수 있는 임분 관리 전략 수립과 경제림의 생산력 향상을 위한 임분 시업체계 개발에 기여할 것으로 사료된다.

Abstract: This study investigated the optimal levels of stand density control considering the stability of *Larix kaempferi* stands. A stand density management diagram was developed from 259 sample plots. Based on these data, we determined an optimal level of the stand density control by identifying the relationship between the relative yield index (Ry) and height-to-diameter ratio. The estimated r-square (R^2) of the stand density management diagram is 0.600. The analysis of the relationship between Ry and the slender tree incidence showed that when the stand density exceeded a certain threshold and the ratio of slender trees rapidly increased. The critical value of Ry was 0.63. The results of this study are expected to contribute to the establishment of stand management strategies that can reduce damage from natural causes, such as wind and snow, and to develop stand practice systems for the improved productivity of commercial forests.

Key words: thinning, full density curve, stand density management, H/D ratio

서론

일본잎갈나무[*Larix kaempferi* (Lamb.) Carriere]는 1904년 우리나라에 최초 도입된 이후 일제 강점기에만 한반도 내 숲의 14.5%에 해당하는 면적에 조림되었고, 1985년까지 연간 1만 ha 이상의 숲이 조성되었다(National Institute of Forest Science, 2012). 이후 일본잎갈나무 임분의 관리 방법과 기준 및 지표가 제시되어 표준적인 임분밀도 관리

방법이 지속가능한 산림자원 관리 지침 및 매뉴얼(Korea Forest Service, 2005)에 수록되었다. 현재 일본잎갈나무림은 벌기령에 도달한 숲의 면적 증가로 경제적인 가치가 높아진 상황이며, 내구성과 내수성이 뛰어나 장재 생산에 적합하여 용도와 쓰임이 다양하다(Lee et al., 2018).

일본잎갈나무는 최근 태풍 등의 기상 현상에 의해 발생하는 풍도목 발생율이 높은 문제점이 확인되고 있다. 특히 속아베기 후 풍도목 발생 확률이 높은 실정이며, 풍도목 발생은 기본적으로 속아베기 시기가 늦어져 세장목의 비율이 높아진 임분에서 발생하는 경우가 많다(Moktan et al., 2015). 이러한 문제는 기본적으로 임분밀도 관리의 차원에서 해결해야 하지만 이와 관련된 연구가 부족하여 관

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

ORCID

Sang Tae Lee ^{ID} https://orcid.org/0000-0002-8704-0907

리에 요구되는 기준이나 지표가 부재한 실정이다. 임분밀도 관리의 적정 수준은 대개 개체목의 형상비(Height-to-diameter ration : H/D)나 지하고, 수관의 폐합 등의 임목간 경쟁으로 인해 나타나는 증상에 관여한 인자를 활용하여 설정하고 있다(Park et al., 2017).

임분 관리에서 임분밀도 결정에 활용되는 대표적인 인자인 형상비는 수고를 흉고직경으로 나눈 값으로 임분밀도와 정의 상관관계를 가지며, 수종마다 상이하지만 대개 형상비가 80을 초과하면 풍해 및 설해 발생이 높아지고, 70 이하의 경우 안정성을 지닌다(National Institute of Forest Science, 2015). 해안림과 같이 방풍의 목적을 지닌 숲의 경우 적정수준의 형상비를 60 이하로 제시하고 있으며(Oda, 1992), 독일가문비나무의 경우 풍해와 설해가 발생하는 임목의 형상비는 83, 미피해 임분은 63으로 보고된 바 있다(Korea Forest Service, 2000). 또한 우리나라 곰솔 해안림에 대해 형상비 70을 기준으로 안정성을 평가하여 임분밀도 관리 방안을 제시하였다(Kim et al., 2015). 일본잎갈나무와 관련해서는 미국 서부 낙엽송(Western larch)의 풍해 임목과 그렇지 않은 임목의 임계점은 형상비 80으로 제시되었고(Wonn and O'Hara, 2001), 강원도 평창군에 위치한 경제림에 분포하는 일본잎갈나무를 대상으로 내풍 안정성 분석을 통해 형상비 임계치 80을 적용하여 목재생산림 관리의 형상비 기준을 제시하였다(Moktan et al., 2015).

임분밀도 관리의 적정수준은 앞서 언급된 형상비와 임분밀도 사이의 관계 규명을 통해 관리의 기준점이 되는 임계값을 찾는 방법으로 결정된다. 이때 주로 사용되는 모델은 임분밀도관리도(Stand density management diagram)이며, 모델 내 포함된 경쟁지수를 활용하여 임분밀도를 평가하고 이에 따른 형상비 임계치를 이용하여 임분밀도 관리의 적정 수준이 제시된다. 임분밀도관리도는 1962년 Ando에 의해 최초 연구된 이래 국제적으로 임분밀도 관리에 가장 많이 활용된 모델이며, 국내에서도 최근 연구가

상당히 진행되어 국내 조림 수종에 대한 임분밀도 관리의 근거가 되는 자료가 제시되고 있다(Park, 2016; National Institute of Forest Science, 2017).

따라서 본 연구에서는 일본잎갈나무 임분의 안정성을 높여 생산성 향상을 도모하기 위해 임분밀도관리도를 개발하고 임분 안정성의 지표가 되는 형상비와 관계 분석을 통해 합리적인 임분밀도 관리의 적정수준을 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 연구 자료

본 연구에서는 일본잎갈나무의 임분밀도 관리의 적정 수준을 평가하기 위해 2006~2010년에 실시된 제5차 국가산림자원조사(National Forest Inventory: NFI)를 통해 전국 단위로 수집된 현지 표본점 조사자료를 이용하였다. 임분밀도관리도 분석을 위해서는 최대밀도에 근접한 순림에서 조사한 자료가 필요하다(Ando, 1968; Nagahama, 2003). 따라서 분석을 위한 조사자료는 일본잎갈나무의 흉고단면적 점유율이 75% 이상이고, 상대밀도 50 이상인 표본점을 선별하여 총 259개소의 표본점 자료를 사용하였다.

임분밀도관리도 구성 모델 분석을 위해 흉고직경(Diameter at breast height: DBH)과 수고(Tree height) 측정값을 이용하였다. 임분밀도관리도의 모델 개발에 활용하기 위해 각 표본점별 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: HF), 임분흉고단면적(Stand basal area: D_g), 임분재적(Stand volume: V), 임분밀도(Stand density: N), 평방평균흉고직경(Quadratic mean DBH: D_q)을 산출하였다(Table 1). 우세목 수고는 각 표본점에서 조사된 수고 값의 상위 30% 임목의 평균 수고를 우세목 수고로 정의하였고, 형상고는 수간 재적에서 흉고단면적을 나눈 값을 활용하였다.

Table 1. Descriptive statistics of analyzed data for 259 plots.

Variable	Symbol	Unit	N	mean	S.D.	max.	min.
DBH	D	cm	259	20.7	4.1	36.7	10.7
Tree height	H	m	259	17.0	2.9	26.3	9.5
Dominant tree height	H_d	m	259	22.0	4.0	33.0	10.9
Form height	HF	m	259	10.5	1.7	14.9	5.6
Stand density	N	trees · ha ⁻¹	259	1052.8	306.7	2250.0	375.0
Stand basal area	D_g	m ² · ha ⁻¹	259	36.0	9.3	64.6	20.8
Stand Volume	V	m ³ · ha ⁻¹	259	380.3	122.7	834.2	119.2
Quadratic mean DBH	D_q	cm	259	21.4	4.4	37.2	10.9

2. 임분밀도관리도 분석

1) 등평균수고곡선과 등평균직경곡선 추정

등평균수고곡선(Equivalent height curve: EH)은 우세목 수고와 임분밀도에 대한 재적 추정식으로 가장 기본적인 임분밀도와 개체목의 생장, 임분재적의 관계를 나타내는 곡선을 의미하며, 우세목 수고급과 임분밀도에 따른 임분재적을 이용한 추정식을 통해 예측하였다(식 1). 등평균직경곡선(Equivalent diameter curve: ED)은 각 흉고직경급일 때의 임분밀도와 임분 재적 값으로 구성되어 있으며, 식 1을 통해 예측된 임분재적과 이때의 임분밀도를 이용하여 산출한다. 예측 모델은 평방평균흉고직경(Dg)과 우세목 수고 및 임분밀도의 관계식이며(식 2), 평방평균흉고직경은 형상고 추정식(식 3)을 통해 산출하였다.

$$V = (a_1 HT^{a_2} + \frac{a_3 HT^{a_4}}{N})^{-1} \quad (1)$$

$$D = b_1 + b_2 Dg + b_3 \frac{\sqrt{N} HT}{100} \quad (2)$$

$$HF = c_1 + c_2 HT + c_3 \frac{\sqrt{N} HT}{100} \quad (3)$$

여기에서, V 는 임분 재적, HT 는 우세목 수고, N 은 임분밀도이며, D 는 흉고직경, Dg 는 평방평균흉고직경, HF 는 형상고, a_i , b_i 및 c_i 는 모델의 추정 계수를 의미한다. 단목 재적은 식 1에서 추정된 임분 재적 값에 임분밀도를 나누어 산출하였다. 등평균수고곡선과 등평균직경곡선의 구성 모델 식 1~3은 비선형 회귀 분석(Non-linear regression analysis)을 통해 계수를 추정하였고, 모델의 설명력(R^2)과 모델의 치우침을 나타내는 Bias를 이용하여 모델의 적합성을 확인하였다.

2) 임분 경쟁지표

임분밀도관리도의 경쟁지표로 활용되는 상대수확량지수(Relative yield index: Ry)는 상대경쟁지수(Relative competition index; Rc)와 한계경쟁지수(Full competition index: Rf)를 이용해 산출하였다. 상대경쟁지수는 임내 개체목간 경쟁을 나타내는 지수이며, 경쟁이 없는 상태의 개체목 재적에 대해 일정 수준의 경쟁이 존재하는 임분의 개체목 재적의 비율로 나타낸다(Shim et al., 1985). 각 조사 표본점의 상대경쟁지수를 식 4를 이용해 평가하였고, 그 중 가장 높은 경쟁 상태를 보이는 표본점을 최대밀도 상태를 의미하는 한계경쟁지수로 지정하여 식 5를 통해 상대수확량지수를 구하였다. 식 4와 5에서, \hat{v} 와 \hat{V} 는 식 1의 추정치이며, a_i 는 식 1의 계수 추정치이다.

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

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

3) 상대수확량지수곡선

상대수확량지수곡선(Relative yield index curve: RYC)은 최대밀도곡선(Full density curve: FD)에 대한 상대적인 비에 따라 곡선이 구성되며, 재적 예측식(식 6)과 임분밀도 예측식(식 7)로 구성되어 있다.

$$N_{Rc} = K_1 HT^{K_3} \quad (6)$$

$$V_{Rc} = K_2 \hat{N}_{Rc}^{K_1 + 1} \quad (7)$$

이 때, N_{Rc} 는 경쟁지수 Rc 일 때의 임분밀도이며, HT 는 우세목 수고, V_{Rc} 는 상대경쟁지수 Rc 일 때의 임분 재적을 의미한다. 여기에서 K_i 는 식 8~11을 통해 산출되는 모수이며, 이 모수들은 앞선 등평균수고곡선의 함수식(식 1)에서 추정된 계수를 이용하여 산출하였다.

$$K_1 = \left(\frac{a_4}{a_2 - a_4} \right) \quad (8)$$

$$K_2 = \frac{(1 - Rf) Ry}{a_1} \left(\frac{1 - (1 - Rf) Ry}{(1 - Rf) Ry} \frac{a_1}{a_3} \right)^{\frac{a_2}{a_2 - a_4}} \quad (9)$$

$$K_3 = (a_4 - a_2) \quad (10)$$

$$K_4 = \frac{(1 - Rf) Ry}{1 - (1 - Rf) Ry} \frac{a_3}{a_1} \quad (11)$$

상대수확량지수 Ry 1.0은 최대밀도이며, 이를 기준으로 상대수확량지수곡선을 동일한 기율기에서 상수만 달리하여 나타내기 위해 기율기에 해당하는 모수 K_1 과 K_3 은 고정하고, K_2 와 K_4 의 값을 0.5 간격으로(1.00, 0.95, 0.90, 0.85...) 구하였다.

4) 자연고사곡선

조림지에서 발생하는 자연고사는 이론적으로 조림지에서 숲아베기 등 인위적인 임분밀도 조절 시업을 하지 않은 경우, 생장 과정에서 경쟁이 발생하여 자연적인 임분밀도 감소를 보이면서 최대밀도곡선에 접근하게 되며, 최대밀도 곡선과 가까워짐에 따라 변곡을 하여 최종적으로는 최대밀도곡선과 일치하게 된다(Park et al., 2016). 이러한 자연고사곡선(Self-thinning curve)은 식 12와 같

이 표현되며, 이 식에서 N_0 는 조립본수, 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. 임분밀도 관리의 적정 수준 설정

흥고직경 생장은 임분밀도에 큰 영향을 받으며, 흥고직경에 대한 수고의 비를 나타내는 형상비(H/D ratio)는 임분의 안정성에 대한 정보를 지니고 있다(Karamer, 1996). 따라서 일반적으로 적정 임분밀도 관리 수준은 형상비와 수관길이비를 기준으로 설정하는 경우가 많다. 본 연구는 일본잎갈나무의 내풍 임계치 H/D 80을 적용하여(Wonn and O'Hara, 2001; Moktan et al., 2015), 조사 표본점 내 형상비 80 이상 개체목 본수 비율과 임분밀도관리도의 상대수확량지수의 관계를 통해 임분 안정성을 유지할 수 있는 임분밀도 수준을 분석하였다. 상대수확량지수에 따른 형상비 80 이상 개체목 본수 비율의 변화량 예측식을 통해 두 변수 간의 관계에 근거한 적정 수준의 임분밀도 관리 기준을 제시하였다.

결과 및 고찰

1. 임분밀도관리도 구성 모형 추정

일본잎갈나무의 임분밀도관리도 구성 모델 추정 결과

(Table 2), 등평균수고곡선 추정식의 설명력(R^2)은 약 60% 수준으로 나타났다. $bais$ 는 8.601로 비교적 높은 값이 나타난 점은 백단위 이상인 임분 재적의 단위가 영향을 미친 것으로 보이며, 잔차 분포모양을 고려해볼 때, 모형의 활용에는 큰 무리가 없을 것으로 판단된다(Figure 1). 등평균직경곡선식의 설명력은 약 97%로 나타나 예측 정확도가 높은 수준으로 나타났고, 평방평균흥고직경 산출을 위해 활용되는 형상고 예측식의 설명력은 약 81% 수준으로 추정되었다.

한편, 등평균수고곡선식의 추정 계수에 의해 산출되는 최대밀도곡선 및 자연고사곡선의 모수 $K_1 \sim K_5$ 를 추정하기 위해 우선 전체 259개 표본점에 대해 상대경쟁지수를 산출하였고, 그 중 최솟값으로 평가된 표본점 147번의 0.096158357을 한계경쟁지수로 지정하였다. 한계경쟁지수와 함께 등평균수고곡선의 모수 $z_1 \sim z_4$ 를 이용하여 산출식에 따라 최대밀도곡선식과 자연고사곡선식을 유도하였다(Table 2).

임분밀도관리도의 임분경쟁지수로 활용되는 상대수확량지수곡선은 최대밀도 상태인 임분에 대한 특정 밀도의 상대적인 비를 의미하므로(Ando, 1968; Shim et al., 1985; Nagahama, 2003), 최대밀도 상태를 상대수확량지수 1.0로 하여 이를 기준으로 1.0~0.3까지 0.05 간격의 곡선을 작성하였다. 이를 위해 앞서 선정한 한계경쟁지수와 우세목수고곡선식의 추정 계수를 활용하여 각 상대수확량지수곡선의 두 식 6과 7의 모수를 산출하였고(Table 3), 최종적으로 추정된 임분밀도관리도의 모든 구성 모형을 이용해 도식화하였다(Figure 2).

Table 2. The estimation of interaction equations for stand density diagram for *Larix kaempferi* stands.

Equation number	Estimated equation	bais	R2
Eq. 1	$V = (0.074HT^{-1.159} + \frac{5368.323HT^{-2.955}}{N})^{-1}$	8.601	0.600
Eq. 2	$D = 2.640 + 0.911Dg - 0.209 \frac{\sqrt{N}HT}{100}$	0.000	0.965
Eq. 3	$HF = 1.621 + 0.331HT + 0.231 \frac{\sqrt{N}HT}{100}$	0.000	0.808
Eq. 6	$N_{Rc} = 495642.646K_4HT^{-1.796}$	-	-
Eq. 7	$V_{Rc} = 55942.200\hat{N}_{Rc}^{-1.645+1}$	-	-
Eq. 12	$\frac{1}{N} = \frac{1}{N_0} - \frac{v}{-168360.189N_0^{(-1.645+1)}}$	-	-

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

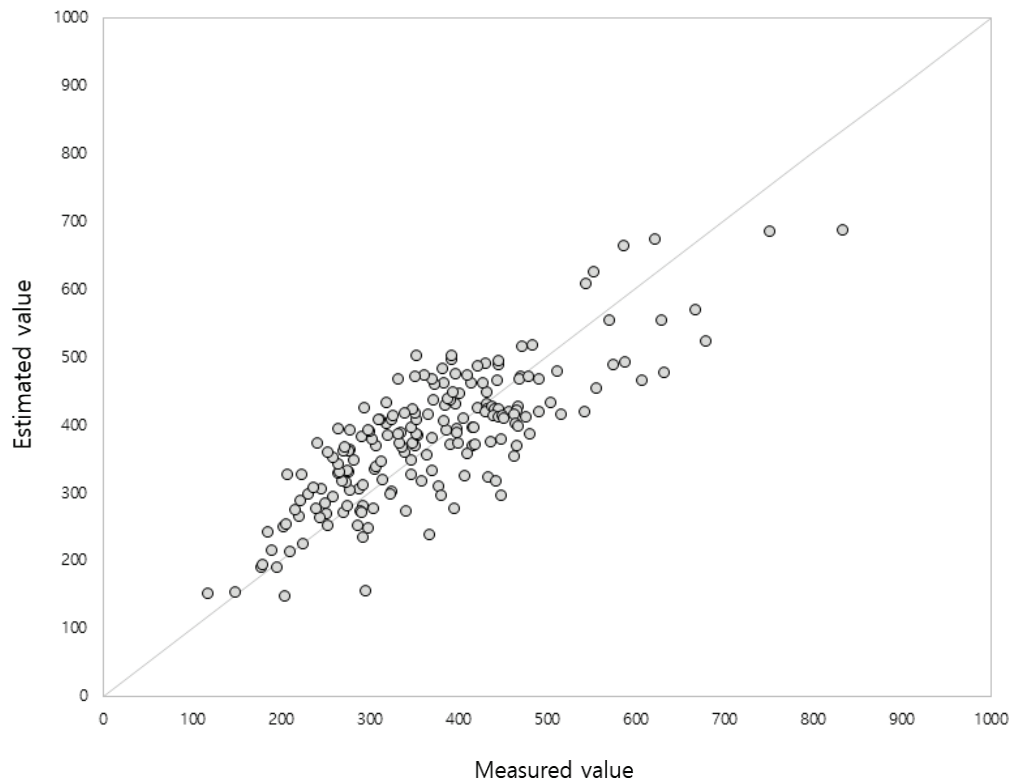


Figure 1. Comparison between measured value and estimated value in *Larix kaempferi* stands.

Table 3. The calculated result of $K_1 \sim K_4$ parameters by relative yield index.

Ry	Calculated parameters			
	K_{1+1}	K_2	K_3	K_4
1.0 (full density curve)	-0.645	55,942.200	-1.796	495,362.646
0.95	-0.645	42,577.454	-1.796	351,308.049
0.90	-0.645	33,670.197	-1.796	265,515.251
0.85	-0.645	27,214.610	-1.796	208,584.239
0.80	-0.645	22,280.455	-1.796	168,047.861
0.75	-0.645	18,370.447	-1.796	137,715.631
0.70	-0.645	15,191.727	-1.796	114,165.281
0.65	-0.645	12,559.253	-1.796	95,351.013
0.60	-0.645	10,349.695	-1.796	79,974.685
0.55	-0.645	8,477.368	-1.796	67,172.862
0.50	-0.645	6,880.750	-1.796	56,348.906
0.45	-0.645	5,514.507	-1.796	47,077.319
0.40	-0.645	4,344.566	-1.796	39,046.487
0.35	-0.645	3,344.963	-1.796	32,022.966
0.30	-0.645	2,495.791	-1.796	25,828.420

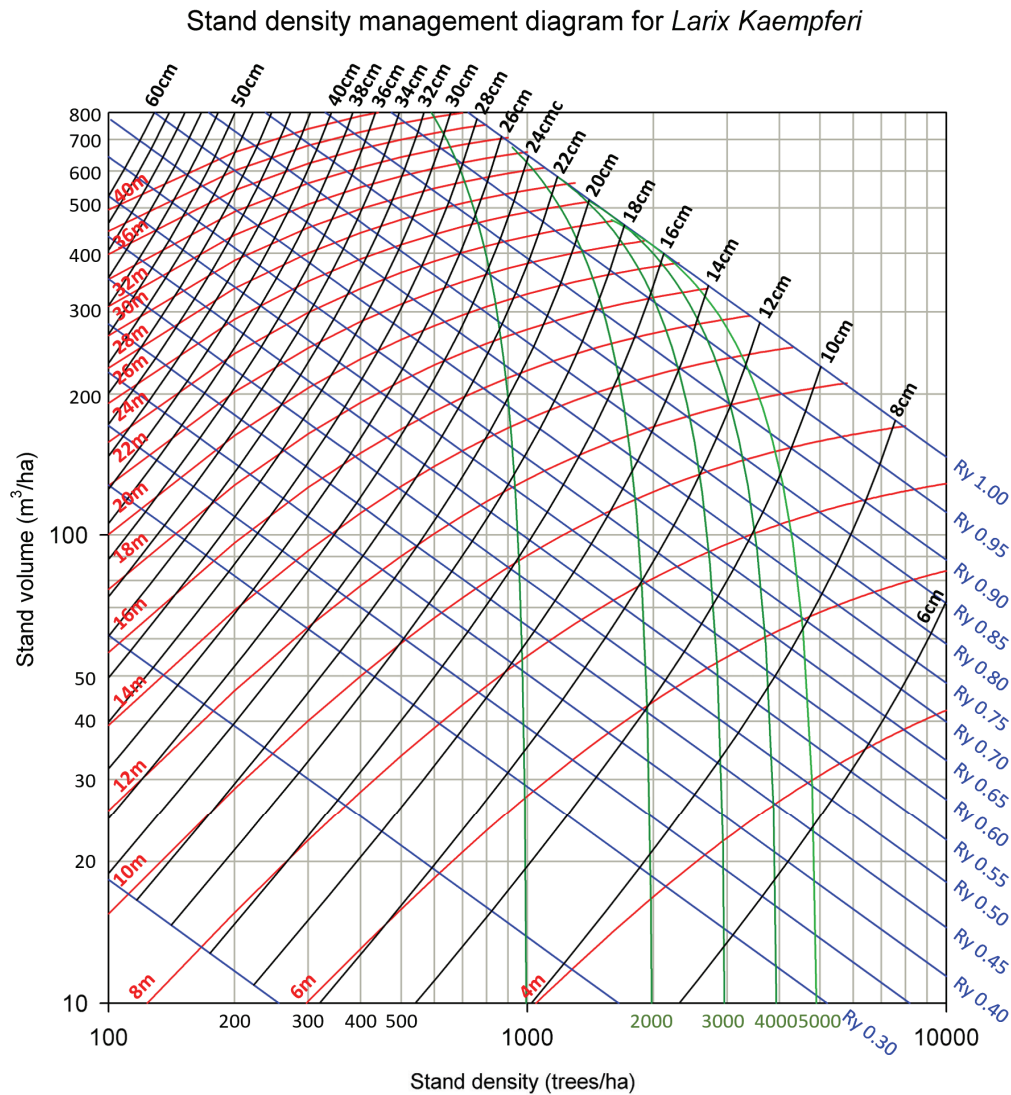


Figure 2. Stand density management diagram for *Larix kaempferi* forests. Red line is equivalent height curve, black line is equivalent diameter curve, blue line is relative yield index curve, and green line is natural thinning curve, respectively.

2. 임분밀도와 임목 형상비의 관계

상대수확량지수는 임분이 지닐수 있는 최대의 임목 개체 수와 재적을 의미하는 최대밀도를 기준으로 한 상대적인 밀도를 의미하며(Park et al., 2016), 이를 이용하여 적정수준의 수관율이나 형상비를 유지하기 위한 생육공간의 지표로 활용된다(National institute of forest science, 2015). 임분밀도에 따른 생장인자의 변화 양상을 통해 적정 생육공간의 수준을 알아보기 위해 상대수확량지수와 형상비의 변화 패턴을 분석한 결과(Figure 3), 상대수확량지수와 형상비는 정의 상관관계가 확인되었다. 개체목의 형상비는 수관 경쟁에 영향을 받으며, 임분밀도가 높아짐에 따라 증가하는 특성을 지니는 것으로 알려져 있

다(Park et al., 2017). 이러한 점을 고려해 볼 때, 임분밀도의 영향이 큰 흉고직경이 밀도가 높아짐에 따라 생장이 저하되어 형상비가 높아지는 현상이 나타난 것으로 사료된다.

풍해 등의 피해가 다량 발생하는 임목의 형상비 80을 기준으로(Wonn and O'Hara, 2001; Moktan et al., 2015) 임분밀도 관리의 적정 수준 분석을 위해 별채 본수라는 직접적인 인자를 고려하는 것이 필요하므로, 형상비 80 이상의 값을 지닌 개체목의 비율을 산출하여 상대수확량지수와 관계 분석하였다(Figure 4). 상대수확량지수가 증가함에 따라 임내 형상비 80 이상의 개체목 비율이 증가하는 경향이 나타났고, 일정 수준의 밀도에 도달하면

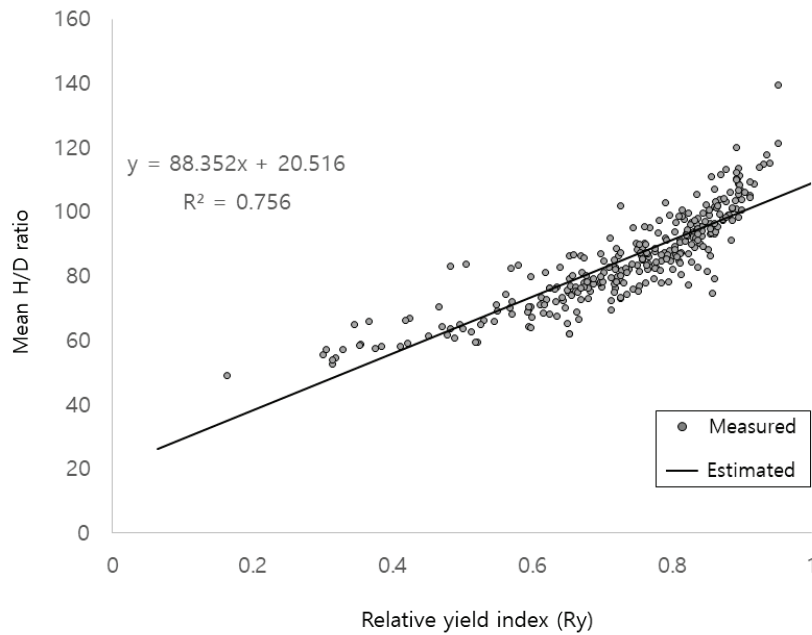


Figure 3. The relation of Mean H/D ratio by relative yield index(Ry) on *Larix kaempferi* stands.

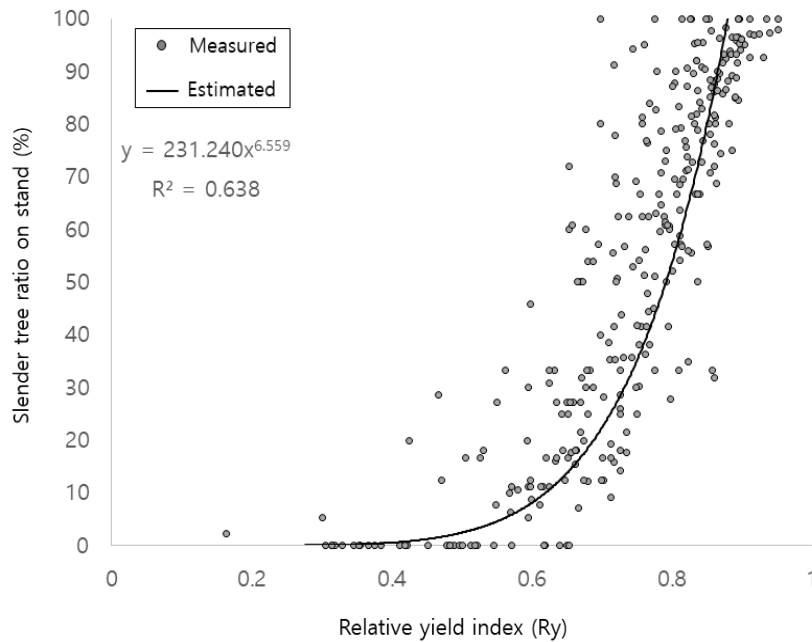


Figure 4. The relation between relative yield index(Ry) and slender tree(H/D ≥ 80) on *Larix kaempferi* stands.

급격히 증가하는 현상을 보였다. 따라서 이러한 경향에 대한 추세선을 그어 그 추세선의 변곡점을 찾아서 임분 밀도 관리의 적정 수준으로 지정하고자 하였다.

3. 임분밀도의 적정 관리수준 설정

Figure 4의 추세선 $y = 231.240x^{6.559}$ 에서 임분밀도 관리

의 적정수준을 탐색하기 위해 곡선의 평균변화율과 동일한 기울기를 가지는 순간변화율을 탐색하여 그 접점을 임계점으로 지정하고자 하였다. Figure 5에서 상대수확량 지수와 임내 세장목 비율의 관계식 ①($y = 231.240x^{6.559}$)과 이에 대한 평균변화율을 나타내는 접선은 ②이며, 함수식은 $y = 113.6296x$ 이다. 여기에서 관계식 ①의 미분

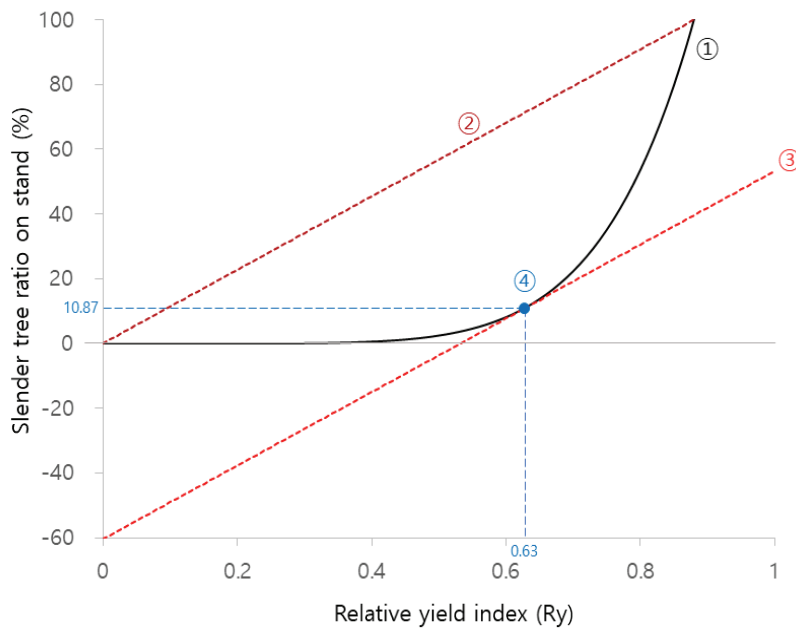


Figure 5. The optimal control level for stand density considering the appearance ratio of slender tree in *Larix kaempferi* stands.

계수는 점선 ②의 기울기와 같으므로, 점선 ③은 $y = 113.6296x + a$ 가 되고 이때의 접점인 임계점 ④의 x 값은 0.63이며, y 는 10.87로 나타났다. 따라서 임분밀도 관리의 적정 수준은 Ry 0.63이며, 이때 임내 세장목 비율은 10.87% 이하로 관리 가능하며, 이 접점을 지나면 변곡점선 함수식 ③은 $y = 113.6296x - 60.42$ 로 분석되었다 (Figure 5).

일반적으로 임분밀도 관리의 적정 범위는 0.6~0.8 사이로 알려져 있으며(NIFoS, 2015), 국내의 소나무는 Ry 0.75로 보고된 바 있다(Park et al., 2017). 이러한 점을 고려해 볼 때 임분밀도 관리의 적정 수준으로 분석된 Ry 0.63은 현실임분에서 적용 가능한 범위로 판단된다. 하지만 임분 수확량 증진이나 경영목표에 따라 해당 기준은 변화할 수 있으므로, 앞으로 다양한 경영목표를 반영한 적정 밀도 기준을 탐색하는 추가 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

결론

일본잎갈나무 임분을 대상으로 임분밀도 관리 방안 수립에 활용되는 임분밀도관리도를 개발하고 이를 통해 임분밀도 관리의 적정 수준을 분석하였다. 임분밀도관리도의 등평균수고곡선식의 설명력(R^2)은 0.600으로 분석되었고, 한계경쟁지수는 0.09616으로 나타났다. 임분 안정성의 지표로 활용되는 개체목 형상비와 상대수확량지수

의 관계는 정의 상관관계로 나타났으며, 이와 같은 현상을 반영하기 위해 임내 개체목 중 형상비 80 이상의 출현 비율과 상대수확량지수의 관계를 통해 분석한 임분밀도 관리의 적정 수준은 상대수확량지수(Ry) 값 0.63으로 나타났다.

분석된 임분밀도 관리의 적정 수준 Ry 0.63은 임분밀도 관리에 있어서 풍해 및 설해의 피해를 저감할 수 있는 임분구조를 유도하기 위한 시업의 기준이 될 수 있다. 또한 본 연구의 분석법을 활용하여 임분 재적 수확 최대, 흉고 직경 성장 최대, 생물종다양성 증진 등과 같은 구체적인 경영목표를 달성하기 위한 시업 적용 시점 및 방법을 결정할 수 있다. 따라서 다양한 관점과 경영목표를 고려한 임분밀도 관리의 적정 수준에 관한 연구를 앞으로 지속적으로 수행한다면 보다 균일화된 임분 관리를 위한 시업체계 구축 및 관리의 지표로 활용될 것으로 기대된다.

References

- Ando, T. 1962. Growth analysis on the natural stands of Japanese red pine (*Pinus densiflora* Sidb Et Zuce). II. Analysis of stand density and growth. Bulletin Government Forest Experiment Station 210: 1-153.
- Ando, T. 1968. Ecological Growth analysis on the natural stands of Japanese red pine (*Pinus densiflora* Sidb Et Zuce). II. Analysis of stand density and growth. Bulletin Government Forest Experiment Station 210: 1-153.

- Kim, S.W., Chun K.W., Park, K.H., Lim, Y.H., Yun, J.U., Kwon, S.M., Youn, H.J., Lee, J.H., Teramoto Y. and Ezaki T. 2015. The necessity and method of stand density control considering the shape ratio of *Pinus thunbergii* coastal disaster prevention forests in South Korea. Journal of Korean Forest Society 104(3): 441-420.
- Korea Forest Service. 2000. Forest & Forestry Technique (II): forest creation. Daejeon, Korea. pp. 509.
- Korea Forest Service. 2005. Sustainable management guidelines of forest resources. pp. 289.
- Kramer, Host. 1996. Waldwachstumslehre. (Translation: Byeon, U.H., Lee, W.H. and Bae, S.W.). Ucheon Media. (Original work published 1988). pp. 399.
- Lee, I.H., Pack, J.H., Song, D.B. and Hong, S.I. 2018. Longitudinal bonding strength performance evaluation of larch lumber. Journal of Korean Wood Science. 46(1): 85-92.
- Moktan, M.R., Kwon, J., Lim, J.H., Shin, M.H., Park, C.W. and Bae, S.W. 2015. Wind stability of commercially important tree species and silvicultural implications, Daegwallyeong Korea. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology 17(1): 58-68.
- Nagahama, T. 2003. Preparation of the original stand density control diagram for Sugi plantations in Kagoshima. Bulletin of the Kagoshima Prefectural Forest Experiment Station 8: 1-11.
- National Institute of Forest Science. 2012. Economical species ④, *Larix kaempferi*(Lamb.) Carriere. NIFoS. Seoul, Korea. pp. 180.
- National Institute of Forest Science, 2015. Thinning and targeted forest type. NIFoS. Seoul, Korea. pp. 161.
- National Institute of Forest Science. 2017. Development Method of the stand establishment and tending for major species of south province into resources. NIFoS. Seoul, Korea. pp. 86.
- Oda, T. 1992. Tending density management and regeneration techniques. pp. 395-408. In: Murai, H., Ishikawa, M., Endo, Jo., and Tadaki, R.(Eds.) The coastal forest in Japan: its multiple functions and use. Soft Science, Inc. Tokyo, Japan (in Japanese).
- 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 Forest Society 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. Gyeongsan National University.
- Park, J.H., Jung, S.Y., Yoo, B.O., Lee, K.S., Park, Y.B. and Kim, H.H. 2017. The production objectives and optimal standard of density control using stand density management diagram for *Pinus densiflora* forests in Korea. Journal of Korean Forest Society. 106(4): 457-464.
- Wonn, H. T. and O'Hara, K. L. 2001. Height: Diameter ratios and stability relationships for four northern rocky mountain tree species. Western Journal of Applied Forestry 16(2): 87-94.

Manuscript Received : April 1, 2020

First Revision : May 15, 2020

Accepted : May 18, 2020