

임분밀도관리도를 이용한 소나무림의 적정 임분밀도 관리 기준 및 수확목표

박준형¹ · 정수영¹ · 유병오¹ · 이광수¹ · 박용배¹ · 김형호^{2*}

¹국립산림과학원 남부산림자원연구소, ²경상대학교 산림환경자원학과(농업생명과학연구원)

The Production Objectives and Optimal Standard of Density Control Using Stand Density Management Diagram for *Pinus densiflora* Forests in Korea

Joon-hyung Park¹, Su-Young Jung¹, Byung-oh Yoo¹, Kwang-Soo Lee¹,
Yong-bae Park¹ and Hyung-Ho Kim^{2*}

¹Southern Forest Resources Research Center, National Institute of Forest Science, Jinju 52817, Korea

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



요약: 본 연구에서는 소나무 임분밀도관리도를 이용하여 소나무 임분의 건정성을 확보할 수 있는 효율적인 임분밀도 관리 기준을 마련하고 이로부터 실행가능한 임분의 생산목표를 예측하였다. 적정 임분 관리수준은 임내 세장목 비율에 대한 수량비수(Relative yield index: Ry)의 관계를 지수함수로부터 모형 추정을 하였으며, 추정 결과 모형 설명력은 0.424로 나타났다. 임내 세장목 비율은 특정 수량비수에 도달하면 급격히 증가하는 경향이 나타났고, 이 관계식을 근거로 하여 목표하는 적정 Ry 값 0.84를 구하였다. 적정 임분밀도 관리 기준인 Ry 0.84 값의 곡선과 중부지방소나무의 우세목 수고를 예측하여 지위지수별 생산목표를 설정하였다. 중부지방소나무 지위지수 10~16의 범위에서 벌기령을 60년으로 할 때 예측되는 수확분수는 ha당 425~1,311본으로 나타났다. 목표 흉고직경은 지위지수 16이상에서 30 cm 이상 중경재 생산이 가능하며, 지위 14와 12는 20 cm 이상 소경재 생산, 지위 10은 20 cm 미만 소경재 생산이 가능할 것으로 예측되었다.

Abstract: This study has utilized the stand density management diagram to devise an efficient management standard for the stand density for *Pinus densiflora* that secures the health of the stands and predicted the harvest goals. The appropriate stand control level was estimated by modeling the relationship of the relative yield index (Ry) to the ratio of slender trees within the stand through an exponential function; the coefficient of determination (R^2) was found to be 0.424 according to the estimation. The ratio of slender trees within the stand showed a tendency of rapid increase at a certain relative yield index; with this relational function, the appropriate Ry value of 0.84 was obtained. By estimating the curve of the Ry value 0.84, which was the appropriate stand density management level, as well as the height of dominant trees in the central region of Korea, the production objective for each site index was set. Assuming that the final age by the site indices ranged from 10 to 16 for the *P. densiflora* in central region of Korea, the number of production was estimated to be between 426 to 1,311 trees per ha. It was predicted that the production of medium-diameter logs larger than 30 cm in diameter is possible for the target DBH at a site index of more than 16; small-diameter logs larger than 20 cm in diameter for site indices 12 and 14 enabled, and small-diameter logs of less than 20 cm for site index 10.

Key words: H/D ratio, management goals, management standard, relative yield index, stand density management

* Corresponding author
E-mail: khh@gnu.kr

ORCID

Joon-hyung Park  <http://orcid.org/0000-0003-4510-0956>
Hyung-Ho Kim  <http://orcid.org/0000-0003-1132-1419>

서 론

임분밀도 관리는 경영목표를 달성하기 위한 초기의 조림밀도와 차후 솎아베기를 통해 임분 축적을 조정하는 것을 의미하며(Newton, 1997), 임목의 최소크기, 최대임분 재적과 임분의 안전성 등 여러 가지 제약들을 고려하는 것이 필요하다(Wonn and O'hara, 2001). 따라서 경영목표 달성을 위한 임분밀도관리의 적절한 수준을 탐색하는 것은 생태적, 기술적, 경제적 인자 등 까다로운 경영상황을 모두 고려해야 하는 복잡하고 어려운 문제이다.

적절한 임분밀도관리 수준을 결정하기 위한 대표적인 접근법 중 하나는 임분밀도관리도(Stand density management diagram: SDMD)를 이용하는 방법이다. 임분밀도관리도는 임분의 생장을 임분 재적과 임분밀도, 자연간벌이론(Yoda et al., 1963)과 임분밀도와 임분재적의 관계식으로 구성되었으며, 이후 개체목과 임분에 대해 추정된 계수들은 다양한 임 내 경쟁과정의 누적효과를 대표하는 실용적이고 실증적인 양적 관계를 나타낸다(Ando, 1968; Drew and Flewelling, 1979; Newton and Weetman, 1993). 이 과정에서 시간적 요소는 임지 생산력과 경쟁강도의 영향을 받아 변화한다(Newton et al., 2004).

적정 관리수준은 Reineke(1933)가 고안한 최대밀도곡선을 기준으로 결정하는 경우가 많다. 최대밀도곡선을 기준으로 정량적인 밀도관리 기준을 수립할 수 있다는 점이 큰 장점이며, 최대밀도곡선을 기준으로 산출하는 수량비수(收量比數; Relative yield index; Ry)를 척도로도 활용하여 정량적인 임분밀도 및 경쟁상태를 표현하는 것이 가능하다. 따라서 임내 경쟁정도를 평가하고 향후 수확 대상이 되는 상층 우세목의 형상비, 지하고, 수관의 폐합 등 경쟁에 의해 나타나는 징후들을 포착하여 적정 관리수준을 설정하는 방법이 많이 적용되고 있다(Drew and Flewelling, 1979; Oda, 1992; Kunisaki, 2005; Sakamoto, 2010)

특히 수목의 형상비(H/D ratio)와 수관크기는 임분의 건전성을 목표로 하는 산림자원의 육성·관리에 있어서 중요한 지표가 될 수 있다(Kim et al., 2015). 특히 시업시기를 놓친 임분의 경우 임분 상대밀도가 높아져 수목의 형상비가 높아지고 수관피압 현상이 나타나며, 이는 곧 임 내 피압목의 증가로 이어진다(Fish et al., 2006). 또한 형상비가 높은 임분에 대해 강도의 솎아베기를 실시할 경우 풍해나 설해의 피해에 쉽게 노출되어 건전성이 낮다고 볼 수 있다(Park et al., 2016). 풍설해를 입은 임분,

혹은 덩굴성 식물에 의한 식생교란이 발생한 임분은 흉고직경이 작고 형상비(H/D ratio)가 높은 개체목으로 구성된 임분인 경우가 많은 것으로 보고된 바 있다(Korea Forest Research Institute, 2013). 따라서 임분 내 경쟁의 심화 정도에 영향을 받는 개체목의 형상비는 임분밀도 관리 기준 설정에 있어서 상당히 중요한 요소이다.

그 예로 일본의 해안림 관리방안 수립에 있어서 가장 핵심적인 인자는 형상비이고, 바람에 의한 피해를 최소화하기 위한 형상비를 60이하로 제시하고 있다(Oda, 1992, Forestry and Forest Products Research Institute, 2011). 또한 일본의 삼나무림은 형상비 70이상일 경우 풍설해 위험성이 높으며(Kunisaki, 2005), 독일 가문비나무의 경우 풍설해를 입은 임목의 형상비는 83, 미피해 임목은 63으로 제시한 바가 있다(Korea Forest Service, 2000). 국내에서도 이와 관련한 연구가 최근 진행되고 있으며, 우리나라 곶술의 형상비를 고려한 임분관리 방안에 대해 제시된 바가 있고(Kim et al., 2015), 낙엽송과 같은 인공림에서도 형상비 임계치를 80으로 설정하여 내풍 피해를 최소화하는 기준으로 제시하였다(Moktan et al., 2015).

하지만 아직까지 우리나라에서는 형상비나 임분의 재적 성장량을 고려한 임분밀도 관리 수준을 설정하는 사례는 찾아보기 힘든 실정이다. 특히 임분의 최대밀도를 기준으로 한 임분밀도관리선을 설정하는 부분에 대해서는 1990년대 이후에는 사실상 연구가 중단된 상태이므로, 보다 효율적이고 체계적인 임분 관리를 위한 시업기준의 마련이 무엇보다 필요한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 임분밀도관리도 상의 최대밀도곡선과 수량비수선을 이용하여 우리나라 소나무 임분의 건전성을 확보하고 보다 효율적인 관리를 위한 임분밀도 관리의 수치적 기준을 마련하고자 한다.

재료 및 방법

1. 분석 자료 및 절차

본 연구는 우리나라의 대표수종인 소나무를 대상으로 하였다. 분석자료는 국가산림자원조사 자료를 활용하였으며, 소나무 임분의 특성을 보다 명확히 나타내기 위해 혼효율 75% 이상 소나무 순림으로 분류되는 표준지를 추출하였다. 분석에 활용된 표준지는 1,178개소이며, 각 표준지의 평균 흉고직경(Diameter at breast height: DBH), 평균 수고(Height), 평균 형상비(H/D ratio), 임분밀도(ha 당 분수), 임령(Stand age)을 활용해 분석하였다(Table 1). 또한 수량비수 추정모형을 이용하여 각 표준지의 수량비수를 산출하였으며, 수량비수와 각 성장인자간의 관계를 구명하여 적정 임분밀도 관리 기준을 결정하였다.

Table 1. Analyzed stand characteristics for *Pinus densiflora* dataset (n=1,788 plots).

Variables	Analysis dataset			
	Mean	SD	Maximum	Minimum
Diameter at breast height (cm)	15.3	4.2	43.7	6.0
Height (m)	9.6	2.1	20.4	3.9
Dominant height (m)	11.8	2.7	22.8	3.9
Stand age (year)	33.3	7.2	94.3	15.0
Stand density (trees·ha ⁻¹)	1,507.1	717.8	6,325.0	250.0
Mean H/D ratio (m·m ⁻¹)	63.2	13.1	107.6	25.9

2. 임분밀도관리도의 수량비수 적용

적정 임분밀도를 탐색하기 위해 최대밀도 개념의 도입이 필요하며 이를 위해 우리나라 소나무의 임분밀도관리도를 사용하였다. 임분밀도관리도는 등평균수고곡선(Equivalent height curve)과 등평균흉고직경곡선(Equivalent diameter at breast height curve), 최대밀도곡선(Full density curve) 및 수량비수곡선(Relative yield curve), 자연고사선(Natural mortality curve)으로 구성되어 있다. 이러한 곡선들을 이용해 임분밀도관리도를 도식화하여 생산목표를 설정, 목표달성을 위한 숲아베기 계획을 수립 및 수확 및 조림 시 적정 본수를 결정하는 등 시업 체계를 구축하는데 주로 사용되고 있다. 본 연구에서는 Park et al.(2016)에 의해 개발된 소나무 임분밀도관리도를 이용하여 적정 임분밀도 관리 기준을 결정하고자 하였다.

임분밀도관리도의 구성 모형 중 주로 사용되는 모형은 수량비수곡선이다. 수량비수(Relative yield index: Ry)는 최대밀도곡선을 임분이 가지는 최대의 수확량이라고 할 때, 이를 기준(Ry 1.0)으로 상대적인 비율로 분할하여 비교 가능한 수치로 지수화 한 것을 의미하며(Ando, 1968; Newton and Weetman, 1993), 임 내 개체목간 경쟁상태를 나타내는 척도로 활용된다. 이러한 특성을 감안하여 숲아베기의 시기와 양을 판단할 수 있는 임분밀도 관리를 위한 시업 기준으로 활용하고 숲아베기 일정계획을 할 수 있다(Newton, 1997). 따라서 본 연구에서는 수량비수 추정모형을 이용하여 각 표준지에 대해 수량비수 값을 산출하고 이를 임내 경쟁을 척도로 활용하여 여러 생산인자간의 관계를 구명하였다.

3. 적정 임분밀도 관리 구간 설정

우리나라 지속가능한 산림자원관리 표준매뉴얼(Korean Forest Service & National Institute of Forest Science, 2005)에 적시되어 있는 목표는 우선 안정적인 산림자원

의 조성에 있다. 따라서 본 연구에서는 임분밀도 관리의 기본적인 목표를 안정적이고 높은 건전성을 유지할 수 있는 임분 구조를 유도하면서 그 중 재적 생산량을 높일 수 있는 임분밀도 관리 기준 설정을 위해 분석하였다.

분석을 위한 자료는 각 표준지의 평균 형상비를 산출하여 흉고직경, 수고, 임분밀도와 관계해석하였다. 또한 형상비 70 이상이 되는 개체목의 본수가 임분 내에서 차지하는 비율을 산출하였다. 이후 각 표준지별로 산출된 형상비를 기준으로 70 이상을 세장목으로 정의하고 임내 세장목 비율과 임분의 경쟁정도를 설명하는 수량비수간의 관계식을 추정하였다(식 1).

$$y = a \cdot e^{b \cdot Ry} \tag{1}$$

이 때 관계식은 지수모형(Exponential model)을 사용하였으며 종속변수는 형상비 70 이상인 세장목의 비율(y), 독립변수는 수량비수(Ry)로 하여 추정하였다. 이와 같이 추정된 관계식과 관리 가능한 수준의 임 내 세장목 비율의 최대 값이 만나는 교차점을 재적생산 최대목표 달성을 위한 적정 임분밀도 관리 수준 판단하여 결과를 도출하였다.

4. 지위지수별 생산목표 예측

분석된 적정 임분밀도 관리 수준의 기준은 임 내 세장목 비율 30%를 기준으로 하였다. 이는 지속가능한 산림자원관리 표준매뉴얼에서 제시하고 있는 숲아베기 강도를 본수기준을 30% 수준으로 제시하므로, 숲가꾸기를 통해 세장목의 제거 가능한 최대의 수준을 30%로 보고 이를 기준으로 분석하였다. 이것은 곧 임분의 건전성을 유지하면서 최대한의 재적생산을 할 수 있는 생산목표와 동일한 의미를 가지므로, 해당 임분의 지위지수에서 벌기의 임령까지 생산한 우세목수고선과 교차하는 지점이 임분

의 벌기 생산목표 지점임을 의미한다. 따라서 이러한 방법을 적용하여 소나무의 적정 생산목표를 예측하였다.

예측을 위해서 지위지수 분류곡선이 필요하였으며, 국내 소나무임분 중 경영 가능임지로 주로 분류되는 중부 지방소나무의 지위지수 분류곡선을 적용해 사례 분석을 하였다. 지위지수 분류곡선은 임목재적·바이오매스 및 임분수확표(Korean Forest Service & National Institute of Forest Science, 2014)에서 제시한 모형을 활용하였고, 예측을 위한 기준 벌기령은 국유림 기준 60년(Korean Forest Service & National Institute of Forest Science, 2005)으로 설정하고 지위지수 12~18까지 예측하였다. 각 지위지수별로 추정된 생산목표지점을 기준으로 수확 가능할 것으로 예상되는 흉고직경과 수확본수, 재적 등을 산출하여 비교하였다.

한편 자료 분석에 있어서 모든 통계분석은 IBM SPSS Statistics (ver. 22.0, SPSS INC., USA) 프로그램을 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 형상비와 임분 성장인자의 관계

임분 내 수고급을 기준으로 상위 30%의 임목을 추출하여 이들에 대한 흉고직경, 수고, 임분밀도에 대한 평균 형상비의 변화를 나타내었다(Figure 1). 그 결과, 형상비는 흉고 직경과 부의 상관관계(Negative correlation)에 가까운 분포 형태가 나타났으며, 임분밀도에 대해서는 정의 상관관계(Positive correlation)를 보였다. Fish et al.(2006)은 임분 상대밀도와 수관층 폐합은 정의관계가 나타나며 임내 개체목의 피압 현상으로 연결됨을 보고한 바가 있으며, 이러한 현상을 완화하기 위해서는 임분밀도 조절을 적기에 실시하여 생육공간을 충분히 확보하는 것이 중요하다.

수고의 경우 수고가 증가함에 따라 H/D율도 증가하는 경향이 관찰되었으나, 약한 상관관계를 보이고 있다. 이는 H/D율은 수고보다는 흉고직경 생장이 상대적으로 큰 영향을 미치며, 임분밀도 조절에 의해 H/D율이 변화함을 나타낸다(Moktan et al., 2015). 임분밀도 조절을 통해 상층 우세목이 생육공간을 충분히 확보하여 안정적인 성장을 함에 따라 향후 미래 수확대상목이 되는 상층 우세목의 안정적인 수준의 H/D율을 지닐 수 있다(Oda, 1993). 또한 형상비가 낮은 개체가 일정량만큼 확보가 되면 자연 추이에 맞기고 이후 우열이 뚜렷한 단계에서 열세목이나 피압목만 벌채하는 방법도 적용이 가능하다(Sakamoto et al., 2010). 따라서 임분밀도 관리의 적정 시기를 판단할 수 있는 수치적 기준을 마련할 수 있는 기준으로써 H/D율과 수량비수의 활용이 필요하다.

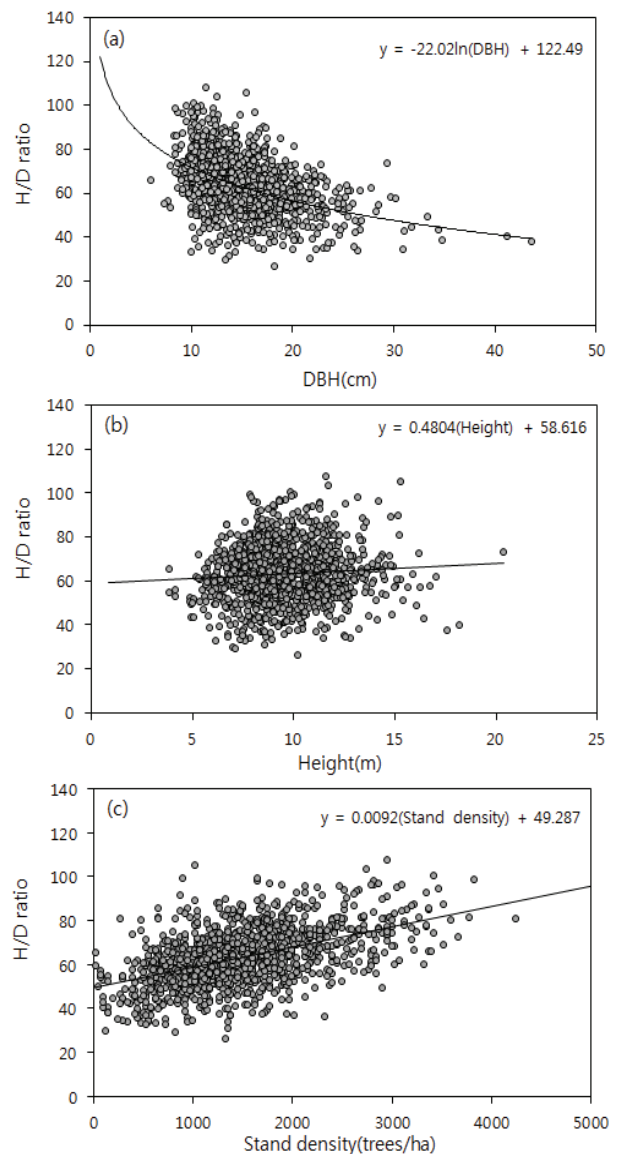


Figure 1. The relation between H/D ratio and growth variations (a : DBH, b : Height, c : Stand density).

2. 적정 임분밀도 관리 수준

인위적 교란이나 태풍, 병충해 등에 의한 피해를 입은 임분은 직경이 작고 형상비가 높은 형태를 보인다(National Institute of Forest Science, 2013). 임분의 관리에 있어서 형상비가 높은 개체목의 비율은 낮을수록 좋으며, 임분 평균 형상비가 낮은 임분은 강도의 숲아베기를 적용하더라도 임분의 안정성이 높다(Wonn and O' Hara 2001, Moktan et al., 2015). 하지만 이미 높은 형상비를 지닌 개체목의 비율이 많은 임분은 고강도의 숲아베기를 할 경우 오히려 태풍 피해는 최소 1~20%까지 증가할 수 있으며(Valinger and Pettersson, 1996), 임분의 생산력 또한 낮아지는 부작용이 발생할 수 있으므로 적정 수준을 찾는

Table 2. The estimated coefficient of exponential model for relation between relative yield index(Ry) and slender tree ratio in stand.

Dependent variable	Non-standard coefficient			t	p	R ²
	Independent variable	B	SE			
Slender tree ratio (%)	Ry	0.166	0.038	4.335	<0.001	0.424
	Constant	6.168	0.273	22.606	<0.001	

것이 중요하다. 최대밀도에 대한 상대적인 임분밀도를 의미하는 수량비수(Ry)의 변화에 따라 세장목의 발생본수 비율의 관계식을 추정하고 이를 이용하여 적정 임분밀도 관리 수준의 수량비수(Ry)를 추정하였다.

임내 세장목 발생본수 비율에 대한 Ry의 관계를 설명할 수 있는 모형식을 추정하였다(Table 2). 모형은 지수함수로 추정하였으며, 설명력(R²)은 각각 0.424로 나타났다. 모형의 분산분석 결과 유의수준 이내에서 모형의 구조적인 문제가 없다고 판단되어 본 모형을 채택하였다.

추정된 모형은 독립변수인 수량비수(Ry)의 증가에 따라 종속변수가 증가하는 정의 상관관계가 보였으며, 종속변수 임내 세장목의 비율은 일정한 수준의 수량비수(Ry)에 도달하게 되면 그 비율이 급격히 증가하는 경향이 나타났다(Figure 2). Oda(1992)는 형상비 70 이상의 피압에 의해 세장된 개체가 급증하는 수량비수(Ry)가 0.65~0.75선이라고 보고한 바가 있으며, 본 연구에서도 유사한 반응이 나타났다.

이에 추정된 추세선과 본 연구에서 목표로 하는 종속변수 값의 교차점을 찾아서 적정 임분밀도 관리 수준으로 설정하고자 하였다. 지속가능한 산림자원관리 표준매뉴얼(Korea Forest Service & National Institute of Forest Science, 2005)에서는 숲아베기 비율을 본수 대비 30% 전후로 제시하고 있으며, 형상비가 높은 피압목의 비율은 30% 미만일 경우 인위적인 조절이 가능한 수준이다. 따라서 재적생산 최대목표를 달성하기 위해서는 임내 잔존목의 본수와 재적이 최대가 되는 것이 유리하므로, 임내 세장목 발생 비율의 목표치를 임분밀도의 30%로 규정하고 이를 관계식에 대입하여 적정 수량비수 값을 탐색하였다. 그 결과, 임분의 건전성 유지를 위해 요구되는 형상비 70미만의 개체목의 구성을 목표로 하는 적정 수량비수는 Ry 0.84로 산출되었다(식 2).

$$\ln 30 = \ln 0.166 + 6.168 \cdot Ry \quad (2)$$

$$Ry = (\ln 30 - \ln 0.166) / 6.168 = 0.84$$

일본의 곰솔 임분은 해안림의 특성상 풍해에 강한 임분 유도를 위해 낮은 형상비를 목표로 하고 있으며(Forestry and Forest Products Research Institute, 2011), 이에 따라

수량비수 0.7 이상이 되면 과밀임분으로 간주하고 있다. 삼나무와 편백은 경영목적에 따라 달리 적용하고 있으나 보통 수량비수 0.6~0.8을 적정한 밀도수준으로 보고 있으며, 0.8 이상인 경우 과밀임분으로 간주한다(National Institute of Forest Science, 2015). 또한 일본 소나무의 경우 0.8 이상인 경우 과밀임분으로 규정하고(Ando, 1962), 수량비수를 0.75~0.8사이에 도달할 경우 밀도관리의 적정시기로 보고 있다(Forestry and Forest Products Research Institute, 2011). 그 외 북미지역의 Douglas-fir는 0.55, Black spruce는 0.5 이상인 경우 고사목이 발생할 수 있는 과밀임분으로 규정하고 있다(Newton, 1997). 본 연구의 결과에서 나타난 소나무의 밀도관리 수준 0.84는 일본과 북미지역의 기준과 비교해 볼 때 상대적으로 높은 수준으로 나타났다.

산림의 기능에 따라 차이가 존재하겠지만 임분의 안정성이 도모된 가운데 기능발휘의 최적요건으로 유도하는 방법이 일반적 사항임을 감안할 때, 안정성을 유도할 수 있는 형상비를 기준으로 임분밀도 관리 수준을 설정하는 것이 타당하다. 또한 임분의 안정성이 확보된 가운데 수량비수의 최대 점은 재적생산 최대를 목표로 하는 수확기준으로 볼 수 있다. 따라서 우리나라 소나무림의 적정 임분밀도 관리 기준은 수량비수 0.84로 설정하는 것이 적정 수준으로 사료되며, 일반적으로 관리 기준이 되는 수량비수에 도달할 경우 숲아베기 적정시기임을 의미하므로(National Institute of Forest Science, 2015), 이 값에 도달할 경우 소나무림의 숲아베기 적용이 적절하며, 이 이상의 값은 과밀임분으로 간주하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

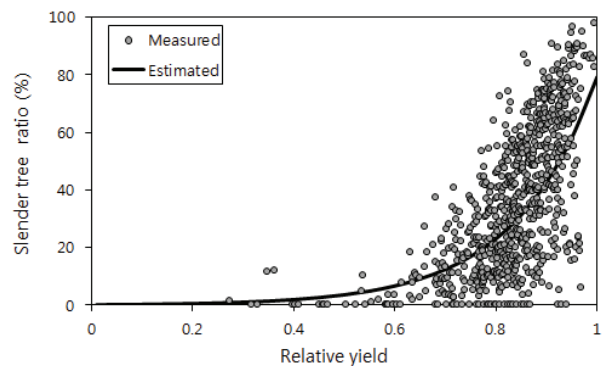


Figure 2. The changes of measured and estimated value in the ratio of slender trees by relative yield index (Ry).

3. 소나무 임분 생산목표 구간 설정

우리나라 소나무 임분의 생산목표 구간 설정을 위해 두 가지 기준의 적정 임분밀도 관리 수준을 활용하여 도달 가능한 생산목표점을 탐색하였다(Figure 3). 이를 위해 중부지방소나무의 지위지수 분류곡선을 적용하였으며(National Institute of Forest Science & Korea Forest Service, 2014), 평가는 기준임령 30년의 지위지수 10~16에 대해 국유림의 벌기령 60년에 도달 가능한 우세목 수고 값을 적용한 등평균수고곡선과 적정 임분밀도 관리 수준을 의미하는 $Ry=0.84$ 선이 교차하는 점을 도달 가능한 목표점으로 A~D를 설정하였다.

예측한 생산목표지점 A~D를 예측한 결과(Table 3), 평균 H/D율을 70 이하의 안정적인 형상비를 유지하는 가운데 벌기령 60년일 때, 지위지수 10~16의 재적생산량은 ha당 238.9~437.9 m^3 로 나타났다. 또한 우세목 수고는 13.0~20.8 m, 평균 수고는 11.1~17.4 m로 추정되었다. 예측된 목표 흉고직경은 지위 10일 경우 20 cm 미만의 목재 생산이 가능한 것으로 나타났고 지위 12 이상일 경우 20 cm 소경재 생산이 가능하며, 평균 흉고직경 30 cm 이상 중대경재 생산은 지위 16 이상일 경우 가능한 것으로 분석되었다. 결론적으로 평균 흉고직경 40 cm 이상 대경재 생산은 본 기준을 적용할 경우 벌기령 60년에서는 사실상 도달이 어려운 것으로 판단되고 있으며, 보다 장기간 생장이 필요한 것으로 나타났다. 수확본수는

는 지위 10의 경우 ha당 1,311본으로 가장 많은 본수를 생산할 수 있는 것으로 나타났고, 지위 16에서 ha당 425 본 수확 가능한 것으로 분석되었다.

우리나라 임분 수확표의 임령 60년일 때 임분 재적은 동일한 지위지수 범위에서 ha당 271.0~432.0 m^3 로 제시하고 있으며(National Institute of Forest Science & Korea Forest Service, 2014), 본 연구의 결과와 비교 해 볼 때, 지위가 높을수록 예측되는 ha당 재적이 높은 것으로 나타났다. 수확본수의 경우 임분 수확표에서 ha당 627~781본으로 제시하고 있으며, 본 연구의 결과에 비해 지위가 낮은 경우 수확본수가 적고, 지위가 높은 경우 많은 것으로 나타났다.

결론

소나무 임분밀도관리도를 이용하여 소나무 임분의 건정성을 확보할 수 있는 효율적인 임분밀도 관리의 수치적 기준을 마련하고 이를 기준으로 임분의 생산목표를 예측하였다. 적정 임분 관리수준은 임 내 세장목 발생본수 비율에 대한 수량비수(Ry)의 관계로 판정하였으며, 지수함수로 관계식을 추정한 결과 모형 설명력은 0.424로 나타났다. 임내 세장목 발생 본수 비율은 특정 수량비수에 도달하면 급격히 증가하는 경향이 나타났고, 이 관계식을 근거로 하여 목표하는 적정 수량비수 값 0.84를 구하였다. 적정 임분밀도 관리 기준인 수량비수 0.84선과 중부지방소나무의 우세목 수고를 예측하여 지위지수별 생산목표를 설정하였다. 강원지방소나무 지위지수 10~16의 범위에서 벌기령을 60년으로 할 때 예측되는 수확본수는 ha당 425~1,311본으로 나타났으며, 목표 흉고직경은 지위지수 16 이상에서 30 cm 이상 중경재 생산이 가능하며, 지위 12와 14는 20 cm 이상 소경재, 지위 10는 20 cm 미만의 목재 생산이 가능할 것으로 예측되었다.

본 연구의 결과는 임분의 건전성을 확보한 상태에서 최대의 재적생산을 하고자하는 경영목표를 설정하고 이에 근거한 적정 관리기준과 생산목표 설정한 사례로써 그 가치가 있다. 특히, 그동안 국내에서 임분수확표에 의존하여 임분의 생산목표를 예측하였으나, 본 연구에서 활용한 방법은 이와 달리 다양한 조건을 고려하여 흉고직경 최대 목표, 재적생산 최대목표 등 특정 경영목표에 대한 수확목표를 설정할 수 있는 장점이 있다. 또한 설정된 목표에 도달할 수 있는 임분밀도 관리 체계를 수립할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 점으로 인해 뉴질랜드를 비롯한 목재생산국에서는 이와 유사한 접근법을 이용하여 최적 수확본수 및 조림본수를 결정하고 있으며, 이를 기반으로 비용과 수익, 성장, 목재품질 등 다양한 인자를

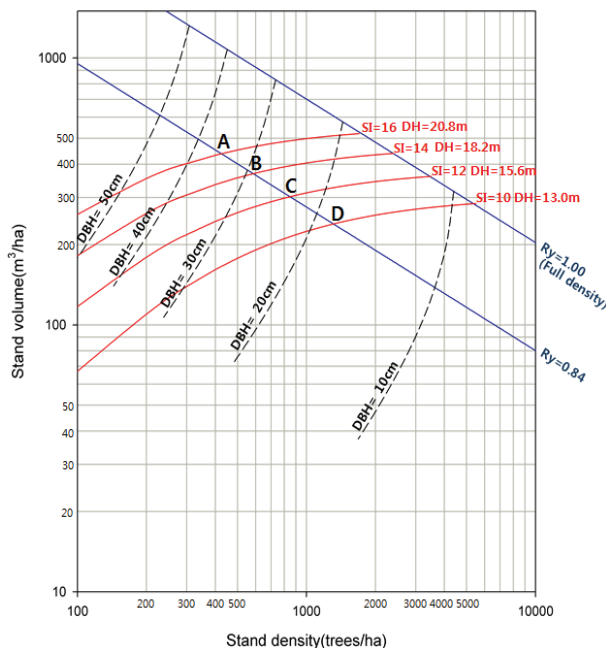


Figure 3. The predicted production objectives (Final age: 60 years) by site index(SI) for *Pinus densiflora* in central region of Korea. A~D was production objectives (A=SI 18, B=SI 16, C=SI 14, D=SI 12. SI=Site index, DH=Dominant height).

고려한 생산목표 설정 연구를 통해 현재의 단계에 도달할 수 있었다. 하지만 보다 정확한 최적 수확본수 예측을 위해서는 임분밀도관리도를 비롯하여 여러 가지 수확예측을 위한 관련 연구가 부족한 것이 현실이며, 본 연구에서도 수확본수가 비교적 과소치로 나타나는 문제점이 나타나는 등 한계를 지니고 있다. 이러한 점을 감안해 볼 때, 국내에서도 최적 임분밀도에 관련한 연구가 보다 활발해 질 필요가 있으며, 앞으로 보다 다양한 인자를 고려한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

- Ando, T. 1962. Growth analysis on the natural stands of Japanese red pine (*Pinus densiflora* Sidb Et Zucc). 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 Zucc). II. Analysis of stand density and growth. Bulletin Government Forest Experiment Station 210: 1-153.
- Drew, T.J. and J.W. Flewelling. 1979. Stand density management and alternative approach and its application to Douglas-fir plantations. Society of American Foresters 25(3): 518-532.
- Fish H., Lieffers, V.J., Silins, U. and Hall R.J. 2006. Crown shyness in lodgepole pine stands of varying stand height, density, and site index in the upper foothills of Alberta. Canadian Journal of Forest Resources 36: 2104-2111.
- Forestry and Forest Products Research Institute. 2011. Guidelines and fundamental concepts for the management of *pinus thenberggi* coastal forests: Control of the number of trees and utilization of invading broad leaved trees. Tsukuba, Japan. pp. 55. (in Japanese).
- Gujarati, D.N. 2009. Basic Econometrics 5th Edition. Mcgraw-Hill. pp. 1118.
- Kimberley, M.O., West, G., Dean M., Knowles L. and Ensis R. 2005. The 300 Index-a volume productivity index for radiata pine. New Zealand Journal of Forestry 50: 1-18.
- 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.
- Korean Forest Service and National Institute of Forest Science. 2005. Standardized manual of sustainable forest management. pp. 289.
- Korea Forest Service and National Institute of Forest Science. 2014. Stand volume-biomass & Stand yield table. pp. 261.
- KFS (Korea Forest Service). 2000. Forest & Forestry Technique (II): forest creation. Dajeon, Korea. pp. 509. (in Korea).
- Kunisaki, T. 2005. Pattern of snow accretion damage in an old sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantation at the base of Mt. Iwate, Northern Japan. Journal of the Japanese Forest Society 87: 426-429.
- 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.
- National Institute of Forest Science. 2013. Japanese black pine (*Pinus thunbergii*) and stand management in souther forest region of Korea Southern region black pine resources and stand management. Research material no. 509. Seoul, Korea pp. 113. (in Korean).
- National Institute of Forest Science. 2015. Thinning and targeted forest type. pp. 161.
- Newton, P.F. and Weetman G.F. 1993. stand density management diagrams and their utility in black spruce management. The Forestry Chronicle 69: 421-430.
- Newton, P.F. and G.F. Weetman. 1994. Stand density management diagram for managed black spruce stands. The Forestry Chronicle 70(1): 65-74.
- Newton, P.F. 1997. Stand density management diagrams : Review of their development and utility in stand-level management planning. Forest Ecology and Management 98: 251-265.
- Newton, P.F., Lei, Y. and Zhang, S.Y. 2004. A parameter recovery model for estimating black spruce diameter distribution within the context of a stand density management diagram. The Forestry Chronicle 80(3): 349-358.
- 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. Korean Forest Society 105(3): 342-350.
- Reineke, L.H. 1933. Perfecting a stand-density index for even-aged forests. J. Agric. Res. 46: 627-638.
- Sakamoto, T., Hagino, H., Noguchi H., Shimada K. and Goto, Y. 2010. Is forwarding the stem density of *pinus thenbergii* coastal forests to self-thinning proper silvicultural management. Journal of the Japanese Society of Coastal Forest

- 9(2): 79-84.
- Valinger, E. and Pettersson, N. 1996. Wind and snow damage in a thinning and fertilization experiment in *Picea abies* in southern Sweden. *Forestry* 69: 29-33.
- Wonn, H.T. and K.L. O'hara, 2001. Height:Diameter ratios and stability relationships for four Northern Rocky mountain tree species. *Society of American Foresters* 16(2): 87-94.
- Yoda, K., Kira, T., Ogawa, H. and Hozumi, K. 1963. Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions. *Journal of Biology* (Osaka City University, Japan) 14: 107-129.
-
- (Received: August 19, 2017; Accepted: October 10, 2017)