

확률밀도함수를 이용한 목재수확조절법 연구

박정묵¹ · 이정수¹ · 이호상² · 박진우^{1*}

¹강원대학교 산림경영학전공, ²국립산림과학원 난대·아열대산림연구소

Study on Timber Yield Regulation Method using Probability Density Function

Jung-Mook Park¹, Jung-Soo Lee¹, Ho-Sang Lee² and Jin-Woo Park^{1*}

¹Department of Forest Management, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea
²Warm Temperate and Subtropical Forest Research Center, National Institute of Forest Science, Jeju 63582, Korea

요약: 본 연구는 확률밀도함수를 이용한 목재수확예측기법으로 면적가중치법(AW), 면적비율가중치법(ARW), 표본면적 변화율가중치법(SCRW)을 적용하여 전국 국유림의 산림경영계획 목표량 설정을 위한 벌채계획량을 추정하였다. 벌채계획량 추정을 위한 산림면적은 산림기본통계의 2010년, 2015년의 영급별 국유림면적을 이용하였으며, 5년간의 산림면적변화량을 벌채면적으로 가정하여 산출하였다. AW, ARW, SCRW를 이용한 벌기령의 평균은 각각 5.41, 5.56, 5.37로 V~VI영급수준으로 산출되었다. 벌채면적은 각각 594,462 ha, 586,704 ha, 580,852 ha로 SCRW가 실제 면적변화량과 가장 유사하였으며, Chi-square 검정도 SCRW가 가장 안정적으로 분석되었다. 산림경영계획의 목재수확예측을 위한 방법으로 SCRW가 AW와 ARW보다 적합한 것으로 판단된다.

Abstract: This study estimated planned felling volumes to set targets for management planning of nationwide country-owned forests. Estimates were made using timber harvest prediction methods that use probability density functions, including area weighting (AW), area ratio weighting (ARW), and sample area change ratio weighting (SCRW). Country-owned forest areas in 2010 and 2015 were used to estimate planned felling volumes, as shown in basic forest statistics, and calculations were made assuming that the felling areas were the changes in the forest area over the 5-year period. For the age classes of V-VI, the average felling ages for AW, ARW, and SCRW were 5.41, 5.56, and 5.37, respectively, and the felling areas were 594,462, 586,704, and 580,852 ha, respectively, with ARW reaching closest to the actual changes. The actual changes in the areas and chi-squared test results were most stable with the SCRW method. This study showed that SCRW was more adequate than AW and ARW as a method to predict timber harvests for forest management planning.

Key words: forest management, normal forest, standard felling age, timber yield regulation

서론

과거 산림경영은 법정사상에 기반을 두고 목재의 보속적인 생산을 목표로 산림 경영하는 것이 목적이었다. 그러나 시간이 지남에 따라 산림이 가지는 다양한 공익적 기능과 편익들에 관심이 증대되면서 90년대 이후로는 산림의

목재생산 뿐만 아니라 생태적 안정까지 유지하고자 하는 지속가능한 산림경영(Sustainable Forest Management, SFM)이 새로운 패러다임으로 대두되었다(Lee et al., 2009). 우리나라는 산림기본계획을 중심으로 제1차(1973년~1978년), 제2차(1979년~1987년) 계획을 통하여 산림녹화에 성공하였으며, 제3차(1988년~1997년), 제4차(1998년~2007년) 계획을 통하여 산림자원화 및 국민의 의식변화에 성공하였다. 또한 제5차(2008년~2017년) 계획을 통하여 산림 복지를 실현하여 산림의 대중화를 이루었으며, 현재 제6차(2018년~2037년) 계획을 통하여 자원순환형 정책을 바

* Corresponding author

E-mail: pjw@kangwon.ac.kr

ORCID

Jin-Woo Park  <https://orcid.org/0000-0001-6004-5866>

탕으로 산림을 가꾸고 누리는 정책으로 발전하고 있다 (Lee, 2013; KFS, 2018). 특히 국유림은 산림청의 적극적인 관리로 인하여 2016년 산림기본통계 기준 단위 면적당 축적량 163.3 m³/ha로 공유림(156.0 m³/ha)과 사유림(138.3 m³/ha)보다 높은 수준을 유지하게 되었다. 그러나 국유림의 면적은 전체 산림면적의 약 25.5%를 차지하고 있으며, 31년생 이상의 산림면적이 전체산림면적의 약 69.1%로 영급불균형을 이루고 있어 지속가능한 산림경영을 위하여 적극적인 산림경영활동이 필요한 시점이다(An and Shin, 2004; KFS, 2016). 산림청은 2030년까지 국유림의 면적을 약 32%까지 확대할 계획을 가지고 있으며, 국유림은 산림의 공익적인 기능 증진과 함께 정부정책을 집약적으로 집행할 수 있는 대상으로 매우 중요한 의미를 가진다. 2019년 산림청은 ‘제2차 국유림 확대계획’을 발표하였으며, 국민의 요구에 따른 산림생태계 보전 및 산림휴양기능 등 공익적 기능 유지 증진을 중점 목표로 설정하였다. 국유림의 생태적 안정과 공익적 기능 강화를 위해서는 지속적인 산림관리가 필요하다. 또한, 목재자급률 증진을 위한 안정적인 목재공급과 6차 기본계획의 주요 목표인 일자리 창출을 위한 목재산업 활성화를 위하여 국유림 관리체계를 수립하는 것이 매우 중요하다(Kim et al., 2015).

한편, 지속가능한 산림경영의 실현을 위하여 현실적인 목재수확량을 산출하고 계획하는 것이 요구되고 있다. 목재수확량의 계획은 산림을 관리하고 수익성을 평가·예측하는 기준으로 활용되며, 이러한 목재수확량 예측을 위한 다양한 연구가 수행되었다(Kim et al., 2012). 산림의 수확량을 예측하는 연구로는 산림의 성장변화를 측정하고 이를 통하여 목재수확량을 예측하는 임분성장모델 개발 연구와 선형계획법을 이용하여 산림경영계획을 수립하는 연구가 주를 이루고 있다. 과거 Vuokila(1965)는 수종별 수확표를 활용하여 임분성장모델을 개발하였으며, 이후 Vuokila(1965)의 연구를 기반으로 수학식을 근거로 하는 수확모델 및 성장모델 연구가 본격적으로 수행되었다. 또한 독일과 미국은 목재수확에 따른 산림의 변화를 예측하는 동적계획법을 개발하여 산림자원의 변화 예측 및 산림 시업에 적용하는 연구가 진행되었으며, 캐나다에서도 동적계획법을 기반으로 하는 연구가 산림관리에 적용되었다(Larsen, 1994; Groot et al., 2004). 국외에서의 최근 목재수확과 관련된 연구는 방법적 개발보다 모니터링 자료를 바탕으로 목재수확체계 확립을 위한 연구가 주로 수행되고 있다(Kusmana et al., 2020; Romero and Putz, 2018; Subedi et al., 2018). 국내에서는 주요 침엽수(잣나무와 소나무)를 대상으로 임분구조변화 및 성장모델개발을 통하여 산림수확의 예측 연구가 수행되었다(Seo et al., 2001; Bae et al., 2010). 최근에는 경제림육성단지과 사유림을

대상으로 목재수확량 예측 및 수확 모델 개발 연구가 진행되었다(Park, 2016; Choi, 2016). 또한 Won and Woo(1996)의 연구에 의하여 목재의 보속성과 경제적 이윤을 극대화하는 선형계획법이 도입되어 잣나무 임분에 대한 목재수확계획을 수립하는 연구를 수행하였다. 그러나 지금까지의 연구는 지역 및 일부수종에 한정되어 현실적인 목재수확계획을 위한 기준 및 목표를 제시하는 데 어려움이 있다 (Kim et al., 2012).

한편, 일본에서는 산림경영계획 수립을 위하여 산림에 대한 규모화와 집단화를 목표로 하고 있으며, 이러한 산림에 대한 경영계획을 위하여 표준별기령의 선정을 통한 확률적 모델을 적요하여 목재수확량을 예측하는 연구가 수행되었다. 표준별기령을 통한 목표별채량 예측은 일본의 시·정·촌(지역산림계획)의 산림경영계획에 널리 사용되고 있는 방법이다(Hiroshima, 2006). 이러한 확률모델을 이용한 방법은 1970년대 Suzuki(1972, 1973)에 의하여 개발된 방법으로 영급별 산림면적의 변화율을 적용하여 산림의 감소면적을 수확되는 산림면적으로 가정하여 미래의 산림수확량을 예측하는 방법이다(Choi, 1988; Kurokawa and Toda, 2000).

따라서 본 연구는 우리나라 산림정책의 중심이 되는 국유림을 대상으로 지속가능한 산림경영계획 수립을 위한 산림수확 목표량을 제시하는 것을 목표로 하였다. 이를 위하여 확률밀도함수를 이용한 산림면적 변화율을 추정하고 산림면적 변화율을 통한 미래 산림수확량을 예측하는 방법을 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 연구대상지

본 연구는 국가 자산에 해당하는 전국 국유림을 대상으로 하였다. 국유림은 ha당 임목축적이 약 163.3 m³/ha로 사유림 대비 약 1.2배 높으며, 우리나라 산림관리의 선도적인 역할을 하고 있다(KFS, 2020). 특히 산림청 소관의 국유림은 「국유림의 경영 및 관리에 관한 법률」에 따라 지역사회의 발전을 고려한 국가 전체의 이익 도모, 지속가능한 산림경영을 통한 임산물의 안정적 공급, 자연친화적 국유림 육성을 통한 산림의 공익기능 증진, 국유림의 국민 이용 증진을 통한 국민의 삶의 질 향상 등을 기본원칙으로 경영관리되고 있다(MOLEG, 2020).

2. 연구자료 및 방법

확률밀도함수에 의한 목재수확량 예측은 별기령의 평균과 분산을 선정하고, 이 평균과 분산을 이용하여 산림변화율곡선을 추정, 산림변화률곡선에 의한 산림변화율을 추

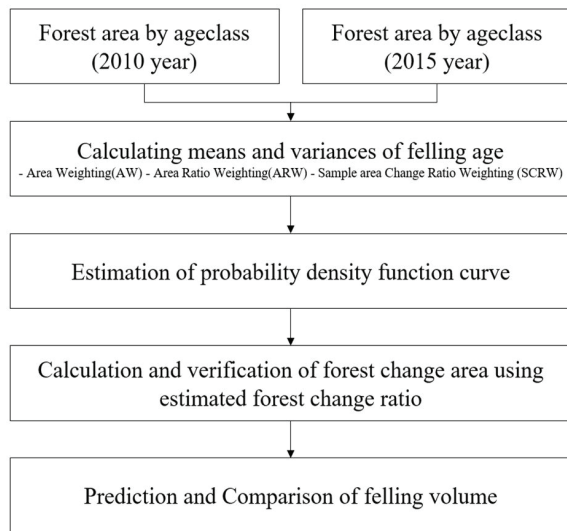


Figure 1. Schematic to timber yield regulation method using forest change ratio.

정하였다. 목재수확량 예측을 위한 국유림의 영급별 산림면적은 2010년과 2015년 산림기본통계의 산림청 소관 국유림의 정보를 이용하였다. 산림기본통계는 전국 산림을 과학적인 방법으로 조사 평가하여 산림의 정책 수립의 기본자료로 제공하는 것에 그 목적이 있다. 특히 산림기본통계는 FAO, OECD, SFM에서 요구하는 산림통계 및 국제수준의 맞춤형 통계자료로 제시되고 있다(KFS, 2020) 벌기령의 평균과 분산은 면적가중치법(Area Weighting; AW), 면적비율가중치법(Area Ratio Weighting; ARW), 표본면적변화율가중치법(Sample area Change Ratio Weighting; SCRW)을 적용하여 산출하였다. 확률밀도함수는 평균과 분산을 이용하여 추정하고 확률밀도함수의 산림변화율을 2010년 산림면적에 적용하여 영급별 수확면적(벌채면적)을 재현하고 실제 수확면적과 비교하여 적합도를 평가하였다. 목재수확량은 5년을 1분기로 하여 3분기를 추정하여 향후 목재수확량을 추정하였다(Figure 1).

1) 산림 면적의 변화 및 비율 산출

벌기령의 평균과 분산을 산출하기 위하여 산림청에서 제공하는 2010년과 2015년의 산림기본통계를 이용하였으며, 산림기본통계 정보 내의 산림청 소관의 영급별 국유림 정보를 활용하였다(KFS, 2011; KFS, 2016). 산림기본통계는 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률 시행규칙 제36조」에 의하여 5년마다 정보를 공표하고 있으며, 본 연구에서는 2010년부터 2015년의 산림면적 변화 정보를 통하여 2020년과 2025년의 산림수확량을 예측하였다.

산림면적의 변화는 5년간 영급별 산림면적을 통하여 산출하였다. 2010년 j 영급의 산림면적을 a_j , 2015년 j 영급

의 산림면적을 b_j 로 설명하고, a_j 의 5년간 산림변화면적을 c_j 를 산출한다(식 1). 산림면적변화율은 2010년의 산림면적에서 5년간 변화된 산림면적의 비율을 산출하여 적용한다. 즉, 2010년부터 2015년의 산림변화면적 c_j 에 2010년 j 영급의 산림면적 a_j 를 나누어 벌채면적비율 p_j 를 산출한다(식 2).

$$c_j = a_j - b_{j+1} \quad (1)$$

$$p_j = c_j / a_j \quad (2)$$

2) 벌기령 평균과 분산의 계산

목재수확량의 예측을 위한 벌기령의 평균과 분산을 산출하는 방법은 일본임업조사회(J-FIC, 1975, 2004)에서 사용하는 AW방법과 ARW 방법이 있으며, 1972년 Suzuki(1972)에 의하여 개발된 표본면적변화율법을 통하여 산출이 가능하다. 특히 벌기령의 평균과 분산을 산출하는 것은 현실 임분의 상태를 파악하는 것이며, 산림경영을 위한 벌채 영향을 결정하는 중요한 지표가 된다. 일본에서는 지역산림계획 및 사·정·촌의 산림경영계획에 있어 평균 벌기령을 감안하여 계획을 수립하고 있다(Hiroshima, 2006). 벌기령의 평균이 유사하여도 산출방법에 따라 평균과 분산이 다르게 산출되며, 확률밀도함수의 경향도 다르게 나타난다. 본 연구에서는 벌기령의 평균과 분산을 산출하는 대표적인 방법인 AW, ARW, SCRW의 3가지 방법에 따라 산출하였다. AW법에 의한 벌기령의 평균 m_1 과 분산 v_1 는 j 영급의 산림변화면적 c_j 를 이용하며, 식 3, 식 4에 의하여 간단하게 산출된다(J-FIC, 1975).

$$m_1 = \frac{\sum_j j c_j}{\sum_j c_j} \quad (3)$$

$$v_1 = \frac{\sum_j j^2 c_j}{\sum_j c_j} - m_1^2 \quad (4)$$

ARW는 일본 지역산림계획에서 일반적으로 적용되고 있는 방법으로 산림면적변화의 비율을 이용하여 산출하며, 식 5, 식 6에 의하여 산출된다(J-FIC, 2004).

$$m_2 = \frac{\sum_j j \frac{c_j}{a_j}}{\sum_j \frac{c_j}{a_j}} \quad (5)$$

$$v_2 = \frac{\sum_j j^2 \frac{c_j}{a_j}}{\sum_j \frac{c_j}{a_j}} - m_2^2 \quad (6)$$

마지막으로 SCRW방법은 j 영급에 해당하는 표본면적 변화율 q_j 를 이용하여 평균과 분산을 산출하는 방법이며, 식 7, 식 8에 의하여 산출된다.

$$m_3 = \frac{\sum_j j q_j}{\sum_j q_j} \quad (7)$$

$$v_3 = \frac{\sum_j j^2 q_j}{\sum_j q_j} - m^2 \quad (8)$$

3) 확률밀도함수의 추정 및 가정

산림면적 변화에 확률밀도함수를 적용하는 방법은 Suzuki(1972)가 제안한 감단율법의 개념을 적용한 것으로 산림의 변화가 특정 패턴을 가지고 있으며, 이러한 패턴과 유사한 확률밀도함수를 적용하여 향후 산림변화를 추정하는 방법이다. 이러한 방법은 수종 및 영급별 면적이 매우 복잡한 산림에 대하여 장기적으로 법정림에 가까운 산림을 만들기 위한 방법이다. 산림면적변화를 추정하는 확률밀도함수의 형태는 감마분포로 가정하며, 평균과 분산을 이용하여 감마분포함수의 모수(M, K)를 추정하여 확률밀도곡선을 작성한다. 확률밀도곡선은 적분을 통하여 영급별 산림면적변화율 q_j 를 산출한다(Hiroshima, 2006).

$$f(t: M, K) = M e^{-Mt} \frac{(Mt)^{K-1}}{\Gamma(K)} \quad (9)$$

$$M = \frac{m}{v} \quad (10)$$

$$K = \frac{m^2}{v} \quad (11)$$

$$q_j = \int_{j-1}^j f(t) dt \quad (12)$$

4) 확률밀도함수를 이용한 산림면적변화 추정 및 적합도 평가

산림면적변화는 확률밀도함수에서 추정된 산림면적변화율 q_j 와 보존율 r_j 를 이용하여 j 영급의 산림이 벌채될 확률 p_j 를 산출하고, p_j 에 2010년의 산림면적 a_j 를 곱하여 산출한다(식 13, 식 14). 이러한 방법으로 산출된 산림면적변화 면적 c_j 는 실제산림감소면적 c_j 와 비교·검토 및 Chi-square 검증을 통하여 적합도를 평가하였다(식 15).

$$p_j = \frac{q_j}{r_j} \quad (13)$$

$$c_j = a_j \times p_j \quad (14)$$

$$X^2 = \sum \frac{(c_j - c_j')^2}{c_j'} \quad (15)$$

5) 확률밀도함수를 이용한 목재수확량의 예측

목재수확량은 산림경영계획에 있어 중요한 기준이 되며, 예산계획 및 벌채계획에 있어 지표가 된다. 목재수확량 \bar{V} 는 향후 15년(1분기=5년)을 계획 기간으로 설정하였으며, 1분기는 2010년~2015년의 방법 결정 및 적합도 추정을 위한 기간이며, 이를 기반으로 2분기와 3분기의 목재수확량을 예측하였다. 2분기와 3분기의 목재수확량 산출 방법은 식 16, 식 17과 같다. 영급별 재적은 국립산림과학원에서 제공하는 ‘수종별 임분수확표’의 영급별 평균재적을 재계산하여 이용하였다(NiFoS, 2018).

결과 및 고찰

1. 벌기령의 평균과 분산

벌기령의 평균과 분산을 산출하기 위하여 먼저 2010년과 2015년의 국유림 면적 a_j 와 b_j 기반으로 표본면적변화율(q_j) Table 1을 작성하였으며, 표본면적변화율을 산출하기 위하여 산림변화면적(c_j), 면적변화비율(p_j), 보존율(r_j)을 이용하였다(Table 1). 전체 국유림 면적은 2010년 대비 2015년이 약 64천ha가 증가하였으나, 영급별로는 I영급과 IV영급을 제외한 모든 영급에서 면적이 감소하였다. IV영급의 면적의 2015년에 약 18만ha가 증가하여 2010년 대비 약 1.4배가 증가하였다. Ryu et al(2016)에 의하면, 우리나라의 산림은 현재 영급구조의 불균형으로 인하여 지속적으로 장령림이 증가하여 성숙림의 단계로 진입하고 있는 것으로 보고하고 있다. 본 연구에서도 국유림이 적극적인 산림관리가 이루어지고 있지만 성숙림의 형태로 진행되고 있는 것으로 나타났다. 한편 산림의 변화면적은 III영급 이하의 면적에서 시계열에 따라 다음 영급 단계로의 면적이 감소하여야 하지만 면적이 증가하여 변화면적이 마이너스 값으로 분석되었다. Blandon(1991)에 의하면, 산림변화면적이 마이너스 값을 가질 경우, 변화면적이 없는 것으로 간주하여 0으로 설정한다. 본 연구에서도 벌채면적이 음(-)의 값을 가지는 I~III영급 구간은 0으로 설정하여 연구를 진행하였다(Table 1).

벌채면적의 평균과 분산은 Table 1의 값을 이용하여 산림변화면적, 변화면적비율, 표본면적변화율을 이용하여 산출하였으며, Hirochima(2006)에 의하면, I영급에서는 일반적으로 벌채가 이루어지지 않기 때문에 벌기령의 평균과 분산의 산출에서 I영급의 값은 제외하였다(Table 2). 벌기령의 평균은 AW가 5.41, ARW가 5.56, SCRW가 5.37로 산출되었으며, 분산은 각각 0.48, 0.42, 0.55로 산출

Table 1. Calculation of felling area, felling area rate and retention rate using statistical information.

Age class	2010 year Forest area(ha)	2015 year Forest area(ha)	Felling area(ha)	Felling area rate	Retention rate
j	a_j	b_j	$c_j = a_j - b_{j+1}$	$p_j = c_j/a_j$	$r_j = r_{j-1}(1 - p_{j-1})$
I	20,682	23,914	-	0.00	1.00
II	79,969	24,155	-	0.00	1.00
III	241,603	236,633	-	0.00	1.00
IV	461,980	640,176	61,665	0.13	1.00
V	430,052	400,315	181,271	0.42	0.87
VI	275,389	248,781	275,389	1.00	0.50

Table 2. The means and variances of felling age class using the three methods.

	AW method	ARW method	SCRW method
Means (m)	5.41	5.56	5.37
Variances (v)	0.48	0.42	0.55

되었다. Choi(1998)에 의하면, 벌기령의 평균과 분산을 통하여 임업생산의 안정성을 평가할 수 있으며, 벌기령의 평균이 높고 분산이 낮을수록 목재생산성이 안정적이라고 평가하였다. 본 연구에서 적용된 세 가지 가중치법을 이용하여 산출된 평균과 분산은 모두 V영급 이상의 비교적 높은 영급과 분산이 1 이하로 낮게 산출되어 목재생산을 위하여 안정적인 산림으로 평가되었다.

2. 산림변화면적 추정 및 적합도 평가

확률밀도함수는 Table 2의 평균과 분산을 이용하여 감마분포함수의 모수를 추정하여 작성하였다(Figure 2). 산림면적변화에 대한 확률밀도함수는 수명분포함수를 기반으로 작성하며, Blandon(1991)에 의하면 임목의 수명분포함수 그래프는 일반적으로 감마분포의 형태를 보인다고 보고하였다. 본 연구에서는 확률밀도함수를 감마분포함수를 기반으로 산출하였으며, 적분을 통하여 영급별 산림면적변화율로 산출하였다. 산출된 산림면적변화율을 통하여 2010년~2015년의 산림면적 변화량을 산출한 결과, AW에 의한 산림면적변화량은 약 59.4천ha/년이며, ARW는 58.6천ha/년, SCRW는 58.1천ha/년로 AW방법에 의한 연간 산림면적 변화량이 가장 높았으며, SCRW가 가장 낮았다. 또한, 산림기본통계의 산림면적변화량 c_j 과 비교한 결과, 세 가지 추정방법 모두 과대추정되었으며, 일치율은 SCRW방법이 산림기본통계 대비 약 1.12배로 가장 높았다. 영급별 산림면적변화량을 비교하면, V영급 이하에서는 산림기본통계의 변화면적이 높았으나, V영급에서 VI영급 구간에서 세 가지 방법 모두 급격하게 증가하여 산림

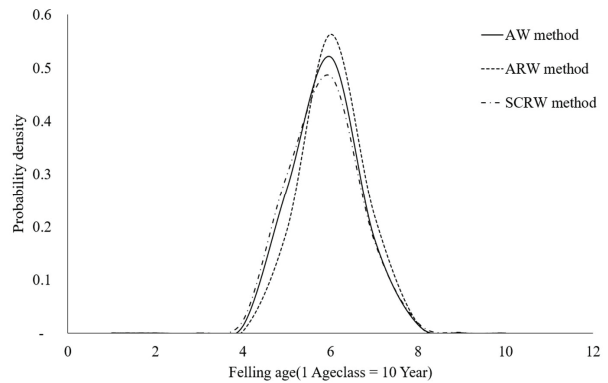


Figure 2. Distribution of forest change ratio by means and variances of felling age class in the three methods.

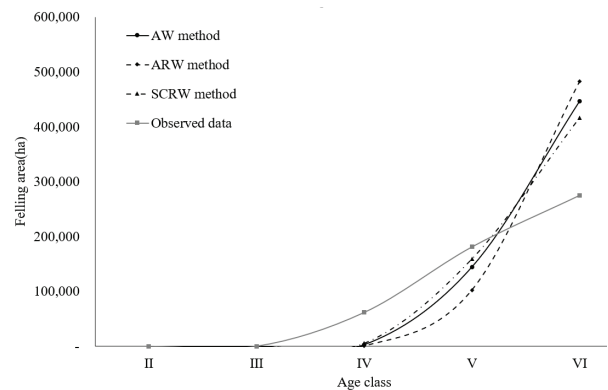


Figure 3. Distribution of estimated felling area by age class(1 age class = 10 year) in the three methods.

기본통계 대비 약 1.8~1.5배로 과대추정 되었다. 한편, Chi-square 검증을 통하여 적합도를 평가한 결과, SCRW에 의한 영급별 면적변화량이 AW와 ARW보다 낮아 적합도가 높았으며, SCRW는 전체 추정값 뿐만 아니라 영급별 추정값도 정확도가 높은 것으로 나타났다. SCRW방법에 의한 산림면적변화량은 AW와 ARW보다 일치율과 적합도가 높아 산림면적변화량(벌채면적) 추정을 위한 방법으로 적합하다고 판단되었다(Table 3).

Table 3. Estimated felling area of 1 period(1999-2008) by gentan probability. (Unit : ha)

Age class	AW method	ARW method	SCRW method	Observed data (c_j)
II	0	0	0	-
III	1	0	6	-
IV	3,315	1,006	5,701	61,665
V	144,659	102,724	159,141	181,271
VI	446,487	482,974	416,005	275,389
10year felling area	594,462	586,704	580,852	
Annual felling area	59,446	58,670	58,085	
Chi-square value	1,101,766	3,807,158	600,012	

Table 4. Comparison of estimating felling area and volume.

	AW method		ARW method		SCRW method	
	Area (ha/year)	Volume (m ³ /year)	Area (ha/year)	Volume (m ³ /year)	Area (ha/year)	Volume (m ³ /year)
$\bar{V}_{2010 \sim 2015}$	59,446	16,024,491	58,670	15,947,984	58,085	15,589,092
$\bar{V}_{2015 \sim 2020}$	61,932	16,549,611	59,291	16,003,582	61,335	16,309,877
$\bar{V}_{2020 \sim 2025}$	59,145	16,551,422	63,917	18,017,145	56,766	15,861,044

3. 확률밀도함수에 의한 목재수확량 추정

본 연구에서는 AW와 ARW, SCRW의 세 가지 가중치법에 따른 확률밀도함수를 추정하고 추정된 확률밀도함수를 이용하여 미래의 산림변화면적 및 목재수확량을 추정하였다. 확률밀도함수에 의하여 산림면적변화량(벌채면적)을 추정한 결과, AW와 SCRW는 1분기에서 2분기까지 증가하였으나, 3분기에서는 감소하는 경향을 보였다. 반면, ARW는 1분기에서 2분기까지 증가량이 적었으나, 3분기에 큰 폭으로 증가하여 산림변화면적이 가장 높았다. 확률밀도함수를 통하여 분기별 목재수확량을 추정한 결과, AW와 ARW는 지속적으로 증가하였으며, ARW는 3분기에 목재수확량이 큰 폭으로 증가하였다. ARW는 2분기까지 증가하였으나, 3분기에는 감소하는 형태를 보였다. AW와 SCRW는 산림변화면적과 목재수확량에서 분기가 진행됨에 따라 비교적 안정적인 경향을 나타내고 있으나, ARW는 예측기간을 연장한다면, 산림변화면적이 크게 증가하여 목재수확량이 과대추정이 될 수 있다. 따라서 SCRW는 AW와 ARW보다 안정적인 산림변화면적 및 목재수확량을 추정할 수 있으며, 미래의 산림관리계획 수립에 있어 적합한 것으로 판단된다. SCRW방법에 의한 3분기 동안 연평균 목재벌채량은 약 58.7만ha가 가능하며, 목재수확량은 연평균 약 15.9백만m³이 가능한 것으로 산출되었다(Table 4).

결론

본 연구는 확률밀도함수를 이용한 산림경영 사업량을 예측하는 방법으로 이 방법을 이용하여 국유림의 산림면적변화와 목재수확량을 추정하였다. SCRW방법을 이용한 미래의 산림면적변화량 및 목재수확량을 예측하는 방법이 AW와 ARW보다 통계정보와 비교하여 일치도 및 적합도가 가장 높았다. 이러한 방법을 통하여 복잡한 계산방법보다 직관적인 산림경영 목표량을 제시할 수 있었다. 그러나 본 연구에서 추정된 산림면적변화량 및 목재수확량은 국립산림과학원에서 제시하고 있는 우리나라 연간 벌채량(9백만m³) 보다 약 1.7배 높은 수준이다. 본 연구의 산림면적 산출에 있어 목재수확가능 지역에 대한 공간적 평가가 배제되었기 때문이다. Kwon and Park(2013)에 의하면 목재수확을 위한 집재가능 거리는 최대 300m 수준으로 보고하였으며, 향후 임도 및 도로를 고려한 임목의 집재가능 면적을 평가한다면 보다 정확한 벌채면적을 산출할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, III영급 이하의 영급별 면적은 마이너스 값을 가지게 되어 산림면적변화량이 0으로 처리되기 때문에 정확한 영급별 면적구조에 맞는 확률밀도함수를 추정하는데 어려움이 있었다. 한편, 우리나라의 영급체계는 1영급이 10영계를 가지고 있어 영급의 초기와 후기의 임목에 대한 정확한 변화량을 추정하는 것이 어렵다. 향후, 목재수확방법에 따른 벌채 가능 지역에 대한 공

간정보의 평가를 통하여 영급별 산림면적을 대입하며, 국가산림자원조사(National Forest Inventory, NFI)정보를 이용한 세분화된 영급별 면적정보를 통하여 계획량을 추정한다면, 현실적인 벌채면적계획 및 목재수확량 추정이 가능할 것으로 판단된다.

최근 산림청에서는 ‘제2차 국유림확대계획(2019~2028)’을 발표하였으며, 국유림의 경영에 대한 비전을 산림의 공익적 기능 및 서비스 제고에 초점을 두고 있다. 그러나 국유림의 생태적 보전 및 공익적 기능 증진을 위해서는 근본적으로 꾸준한 산림관리가 필요하다고 판단되며, 현재 영급 불균형의 상황에서 장령림에서 성숙림으로 옮겨가고 우리나라 산림에 대한 관리방안이 필요하다고 판단하여 본 연구를 진행하였다. 또한, 현재 연구에 적용된 방법은 일본에서 사유림의 규모화와 집단화에 있어 목재수확량 산출에 적용되는 방법으로 향후 사유림의 목재수확 체계 구축 및 관리방안을 제시를 위한 기초자료가 될 것으로 판단된다.

현재 우리나라의 산림경영계획에서 벌채량 산출은 산림경영계획서의 이력에 따라 작성하는 방법이 적용되고 있다. 이러한 방법은 산림경영 계획에 대한 일관성은 유지할 수 있으나, 현실적으로 정확한 목재수확계획을 수립하는데 어려움이 있다고 판단된다. 본 연구에서 활용된 예측기법을 통하여 목재생산 극대화를 위한 목표치를 설정함으로써 시스템적인 산림경영계획의 기초를 마련하고 공간정보 및 정확한 통계정보를 추가하여 국유림 목재수확량 추정을 위한 기초자료로서 제공이 가능할 것이라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 “강원대학교 발전기금재단 우당학술진흥회”의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

References

- An, K.H. and Shin, S.H. 2014. A study on the consciousness of proxy management in private forest. *Korean Journal of Forest Economics* 12(2): 14-24.
- Bea, S.W., Hwang, J.H., Lee, S.T., Kim, H.S. and Jeong, J.M. 2010. Changes in soil temperature, moisture content, light availability and diameter growth after thinning in Korean Pine (*Pinus koraiensis*) Plantation. *Journal of the Korean Physical Society* 99(3): 397-403.
- Blandon, P. 1991. Gantan probability and censored sample theory(1). *Journal of the Japanese Forestry Society* 73(3): 187-196.
- Choi, J.C. 1988. Studies on the construction of district forest plan by system analysis: Timber production of red pine(*Pinus densiflora* S. et Z.) stands. (Dissertation). Chuncheon. Kangwon National University.
- Choi, H.J. 2016. Analysis on zoning feasibility and timber harvest forecasting of Timber-oriented Zones (ToZ) of Gyeongsangnam-do Province, (Dissertation). Jinju. Gyeongsang National University.
- Groot, A., Gauthier, S. and Bergeron, Y. 2004. Stand dynamics modelling approaches for multicohort management of eastern Canadian boreal forests. *Silva Fennica* 38(4): 437-448.
- Hiroshima, T. 2006. Study on the methodology of calculating mean and variance of felling age in forest planning. *Journal of Forest Planning* 40(2): 139-149.
- J-FIC (Japan Forestry Investigation Committee). 1975. Forest planning business handbook. Tokyo, Japan.
- J-FIC (Japan Forestry Investigation Committee). 2004. Forest planning business handbook. Tokyo, Japan.
- Kim, Y.H., Kim, T.W., Won, H.K., Lee, K.H. and Shin, M.Y. 2012. Estimation of timber production by thinning scenarios using a forest stand yield model. *Journal of Korean Society of Forest Science* 101(4): 592-598.
- Kim, D.M. Lim, C.H. Lee, W.K. and Song, C.H. 2015. A study on the improvement of evaluation system for implementation of national forest management. *Journal of Korean Society of Forest Science* 104(4): 640-648.
- KFS (Korea Forest Service). 2011. 2010 Forest Basic Statistics. https://forest.go.kr/kfswweb/cop/bbs/selectBoardArticle.do?nttId=2310332&bbsId=BBSMSTR_1016&pageIndex=1&pageUnit=10&searchtitle=title&searchcont=&searchkey=&searchwriter=&searchdept=&searchWrd=&ctgryLrcls=CTGRY070&ctgryMdcls=&ctgrySmcls=&ntcStartDt=&ntcEndDt=&orgId=&mn=NKFS_04_05_10&component= (2020.16.06).
- KFS (Korea Forest Service). 2016. 2015 Forest Basic Statistics. https://forest.go.kr/kfswweb/cop/bbs/selectBoardArticle.do?nttId=3098943&bbsId=BBSMSTR_1016&pageIndex=1&pageUnit=10&searchtitle=title&searchcont=&searchkey=&searchwriter=&searchdept=&searchWrd=&ctgryLrcls=CTGRY070&ctgryMdcls=&ctgrySmcls=&ntcStartDt=&ntcEndDt=&orgId=&mn=NKFS_04_05_10&component= (2020.12.06).
- KFS (Korea Forest Service). 2018. The 6th basic forest plan. Korea Forest Service. Daejeon, Korea. pp. 151. (11-1400000-000755-14).
- KFS (Korea Forest Service). 2020. Statical yearbook of forestry. Korea Forest Service. Daejeon, Korea. pp. 448. (11-1400000-000001-10).
- Kurokawa, Y. and Toda, E. 2000. A study on the forecasting

- of the forest resources using the geman probability theory: A case analysis of man-made private forest at chizu in tottori prefecture. *Bulletin of the Faculty of Agriculture, Tottori University* 53: 35-42.
- Kusmana, C., Dwiyantri, F.G. and Malik, Z. 2020. Comparison of several methods of stands inventory prior to logging towards the yield volume of mangrove forest in Bintuni Bay, West Papua Province, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 21(4).
- Kwon, H.J. and Park, S.J. The techniques development for the possibility area analysis of yarding operation and the forest-road network arrangement using GIS. *Korean Society of Forest Science* 102(1): 143-155.
- Lee, H.S., Seo, J.W. and Yoo, B.H. 2009. A survey of forest expertise for the national forest management. *The Journal of Korean institute of Forest Recreation*. 13(4): 25-32
- Lee, J.Y. 2013. Evaluation of the historical development of forest administration paradigm changes. *The Journal of Korean Policy Studies*. 13(3): 261-279
- MOLEG (Ministry of Government Legislation). 2020. 「State Forest Administration and Management Act」 <https://www.law.go.kr>. (2020.12.06.).
- NiFoS (National Institute of Forest Science). 2018. Standing Stock-Biomass and Stand harvest table. National Institute of Forest Science. Seoul, Korea. (11-1400377-011064-01).
- Park, S.I. 2016. Selecting the suitable site for scale improvement and developing timber yield model for the rational management on private forest. Jeonju. Jeonbuk National University.
- Romero, C. and Putz, F.E. 2018. Theory-of-change development for the evaluation of forest stewardship council certification of sustained timber yields from natural forests in Indonesia. *Forests* 9(9): 547.
- Ryu, D.H., Lee, W.K., Song, C.H. and Lim, C.H. 2016. Assessing effects of shortening final cutting age on future CO₂ absorption of forest in Korea. *Journal of Climate Change Research* 7(2): 157-167.
- Seo, J.H., Lee, W.K., Son, Y.H. and Ham, B.Y. 2001. Dynamic growth model for pinus densiflora stands in anmyun - Island. *Journal of Korean Society of Forest Science* 90(6): 725-733.
- Subedi, V.R., Bhatta, K.D., Poudel, I.P. and Bhattarai, P. 2018. Application of silvicultural system, yield regulation and thinning practices in natural forests: Case study from western Terai. *Banko Janakari*, 92-97.
- Suzuci, T. 1972. Applications of stochastic process in forestry (I). *Journal of the Japanese Forestry Society* 54(7): 234-243.
- Suzuci, T. 1973. Application of stochastic process in forestry(II). *Journal of the Japanese Forestry Society* 55(7): 234-237.
- Vuokila, Y. 1965. Functions for variable density yield tables of pine based on temporary sample plots. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 60(4): 1-86.
- Won, H.K. and Woo, J.C. 1996. Centered with pinus koraiensis stands in chunchon national forest = timber harvest scheduling by linear programming under uncertainty. *Korean Journal of Forest Economics* 4(1): 73-91.

Manuscript Received : November 14, 2020

First Revision : December 6, 2020

Second Revision : December 10, 2020

Accepted : December 11, 2020