

## 국가산림자원조사 자료를 이용한 소나무의 진계생장 추정식 개발

문가현<sup>1</sup> · 임종수<sup>1</sup> · 신만용<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>국립산림과학원 산림산업연구과, <sup>2</sup>국민대학교 산림환경시스템학과

### Development of Ingrowth Estimation Equations for *Pinus densiflora* in Korea Derived from National Forest Inventory Data

Ga Hyun Moon<sup>1</sup>, Jong Su Yim<sup>1</sup> and Man Yong Shin<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Forest Industry Research, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

<sup>2</sup>Department of Forest, Environment, and System, Kookmin University, Seoul 02707, Korea

**요약:** 본 연구는 국가산림자원조사(NFI) 고정표본점 자료를 기반으로 우리나라에 분포하는 강원지방소나무와 중부지방 소나무의 진계생장 추정식을 개발하기 위한 목적으로 수행되었다. 이를 위해 5년 동안의 진계생장량을 파악할 수 있는 정보를 제공하는 제5차 및 제6차 NFI의 동일 표본점 자료를 활용하였다. 진계생장 추정식 개발을 위한 2단계 접근법에 따라 첫 번째 단계에서는 진계생장 발생확률을 추정하기 위해 로지스틱 회귀모형을 이용하여 분석을 수행하였으며, 두 번째 단계에서는 진계생장이 발생한 표본점만을 대상으로 회귀식을 이용하여 진계생장량을 추정하였다. 또한 최적 모형의 선정은 회귀계수가 추정된 후보모형에 대해 모형의 평균편의(MD), 모형의 정도(SDD), 그리고 모형의 표준오차(SED)의 3가지 평가통계량을 분석한 결과에 근거하여 도출하였다. 그 결과 진계확률 추정식은 진계가 발생하지 않은 표본점 수에 기반한 로지스틱 회귀모형(모형 VI)이 선정되었고, 진계생장량 추정식에는 수종구성(SC) 변수를 포함한 지수함수식(모형 VII)이 최적 모형으로 분석되었다. 이상과 같이 개발된 진계생장 추정식은 다양한 임분조건에 대해 추정능력을 평가하였으며, 적합도나 활용적인 측면에서 문제가 없는 것으로 평가되었다.

**Abstract:** This study was conducted to develop ingrowth estimation equations on *Pinus densiflora* found in Gangwon Province and in the center of Korean Peninsula, based on the National Forest Inventory (NFI)'s permanent sampling plot data. For this study, identical sampling plots in 5<sup>th</sup> and 6<sup>th</sup> NFI data were collected in order to identify ingrowth amounts for the last 5 years. Following two-stage approaches in developing the ingrowth estimation equations, the logistic regression model was used in the first stage to estimate the ingrowth probability. In the second stage, regression analysis on sampling plots with ingrowth occurrence was used to estimate the ingrowth amount. A candidate model was finally selected as an optimal model after a verification based on three evaluation statistics which include mean difference (MD), standard deviation of difference (SDD) and standard error of difference (SED). In results, a logistic regression model based on the number of sampling plot which did not result in ingrowth (model VI), was selected for an ingrowth probability estimation equation and exponential function including the species composition (SC) variable was optimal for an ingrowth estimation equation (model VII). The ingrowth estimation equations developed in this study also evaluated the estimation ability in various forest stand conditions, and no particular issue in fitness or applicability was observed.

**Key words:** ingrowth, NFI, permanent sample plot, two-stage approaches, binomial logistic regression

## 서론

산림정책 패러다임에 적합한 산림경영계획을 수립하기

위해서는 임분의 현 상태를 파악하기 위한 산림조사와 더불어 미래의 임분상태를 예측하기 위한 성장모델 개발에 대한 연구가 선행되어야 한다. 미래의 임분구조 예측은 동일 수종일지라도 입지와 임분관리에 따라 받는 영향이 매우 상이하며(National Institute of Forest Science, 2014), 예측기간이 길어질수록 모델의 정확도가 낮아지게 되어 예측이 어려운 작업이다(Lootens et al., 1999). 그

\* Corresponding author

E-mail: yong@kookmin.ac.kr

ORCID

Man Yong Shin  https://orcid.org/0000-0002-9279-8421

러나 임분현황, 성장관련 정보 등 임분특성에 대한 다양한 정보를 활용한다면 비교적 정확한 추정이 가능해진다. 지금까지 국내에서는 이러한 임분의 성장을 추정하기 위한 목적으로 직경 및 수고성장모델, 고사모델, 그리고 임분수확 예측모델 등의 다양한 연구가 수행된 바 있으나(Shin et al., 2005; Han et al., 2009; Seo et al., 2011; Kim et al., 2012), 상대적으로 진계생장에 관한 연구가 미흡한 실정이며 임분의 구조적 변화에 대한 예측체계를 정립하는데 한계가 있었다. 일반적으로 진계성장 모델은 이전 조사에서 임목의 흉고직경이 6 cm 미만인 치수로 간주되어 조사대상에 포함되지 않았으나 시간 경과에 따라 일정 크기 이상으로 성장하여 이번 조사에서는 가장 작은 등급으로 편입되는 진계된 임목에 대한 성장량 예측을 목적으로 한다(Kuuluvainen et al., 2012). 따라서 5년 혹은 10년 주기의 특정 산림조사 기간 동안 임분에서 발생한 임목의 진계생장을 예측하기 위해서는 재조사된 모니터링 자료의 수집이 필수적이다. 특히 진계성장 추정을 위한 추정식의 조제는 고정표본점에 기반한 방대한 자료의 수집 및 분석이 뒷받침 되어야 하지만(Ekström et al., 2018), 우리나라에서는 고정수확지 조사 자료 및 국가산림자원조사(National Forest Inventory; NFI) 자료 이외에 장기 모니터링 자료를 확보하기가 어려운 실정이다. 이에 따라 그동안 고정표본점 자료의 부족 등으로 진계성장 관련 연구가 미흡하였던 것으로 판단된다.

하지만 우리나라에서도 제5차 및 제6차 NFI가 완료됨에 따라 모니터링 자료를 활용하여 미래의 임분 성장을 예측할 수 있는 기초적 토대가 마련되었다. 특히 산림에 대한 모니터링은 체계적으로 전국 규모의 산림조사를 수행한다는 사실 자체로 막대한 시간과 비용이 발생하는 노동집약적인 과정이다(Botkin, 1993). 이처럼 장기간에 걸쳐 많은 예산과 노력으로 만들어진 NFI의 산출물은 매우 다양한 환경상태 정보를 담고 있어(Charru et al., 2010), 진계성장 추정을 위한 자료로 활용하기에 적합하다. 이러한 측면에서 현재 조사가 완료된 NFI 자료를 기반으로 정확한 임분의 성장량 변화를 구명하기 위한 진계성장 추정식의 개발이 필요한 시점이라고 판단하였다. 본 연구의 목적은 우리나라 전국 산림을 대상으로 수행한 NFI의 모니터링 자료가 확보된 시점에서 그동안 시계열 자료 수집의 어려움으로 인해 관련 연구가 미진하였던 진계생장을 연구주제로 선정하여 소나무의 진계성장 추정식을 개발하는데 있다. 이를 위해 2단계 접근법(Two-stage approaches)에 따라 첫 번째 단계에서는 로지스틱 함수를 사용하여 진계발생 확률을 추정하고 두 번째 단계에서는 일반적인 회귀분석을 통한 조건부함수를 사용하여 진계성장량을 추정하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 자료의 수집 및 정리

본 연구에서는 우리나라의 대표적인 침엽수종인 소나무를 대상으로 진계성장 추정식을 개발하기 위해 전국 산림을 대상으로 4 km 간격의 계통추출법(Systematic sampling)에 의해 산림에 배치한 고정표본점이 포함된 지역을 공간적 범위로 설정하였고(Figure 1), 제5차 NFI(2006~2010년) 및 제6차 NFI(2011~2015년)가 수행된 5년 간격의 조사기간을 시간적 범위로 설정하였다. 또한 소나무의 성장상태와 분포지역에 따라 구분하고 있는 강원지방소나무와 중부지방소나무에 대해 각각 추정식을 개발하였다.

#### 1) 표본점 현황

진계성장 추정식을 개발하기 위해 2006년부터 2015년까지의 각 연도별 NFI 자료를 취득하여 제5차 및 제6차 조사대상지의 동일표본점 현황을 파악하였다. 그 결과 강원지방소나무의 표본점은 686개이고, 중부지방소나무의 표본점이 2,908개 포함된 것으로 분석되었다(Table 1). 조사 대상 표본점별로 정확한 진계성장량을 파악하기 위하여 산림여부, 토지이용, 그리고 수종구성 등을 감안하여 구분하였으며, 비산림 및 미립목지 등으로 분류된 표본점은 분석에서 제외하였다. 또한 동일 표본점내에서의 진계생장을 파악하기 위해 제6차 NFI에서 재조사가 이루어진 표본점만을 대상으로 하였고, 5년의 기간 동안 표본점에서 발생한 조림, 벌채, 무육작업 등의 연도별 사업 내용을 고려하여 자료의 취합 과정에 반영하였다.

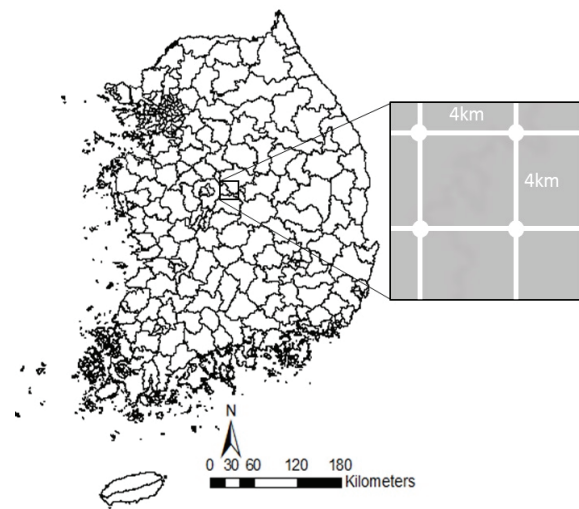


Figure 1. Study area and a permanent sample plot of 4km sampling intensity.

**Table 1. Summary of ingrowth attributes by *Pinus densiflora*.**

Species	Total Number of Sampling Plots	No. of Sampling Plots with Ingrowth	No. of Sampling Plots with no Ingrowth	Ingrowth Ratio (%)
<i>Pinus densiflora</i> in Gangwon Province	686	72	614	10.5
<i>Pinus densiflora</i> in central Korea	2,908	476	2,432	16.4

2) 분석대상 설정 및 분류

본 연구의 대상수종인 소나무의 진계생장을 파악하기 위해 앞서 분석대상의 정확한 개념 정립을 위하여 이전의 조사에서 치수로 간주되어 조사에 포함되지 않았으나, 5년 후의 재측정 기간 동안에 생장을 통해 측정 가능한 크기인 흉고직경 6 cm 이상으로 자란 새로운 임목들의 재적을 진계생장량으로 간주하였다. 진계가 발생하는 기작을 구명하기 위해서는 임목의 생장과 발달에 있어 빛, 온도, 토양의 특성과 같은 환경요인의 상호작용을 이해하는 것이 필수적이다(Fourcaud et al., 2008). 또한 임목종자가 발아하여 고사하기까지 생장의 전 과정에 대한 이해를 기초로 하여(Lim et al., 2004), 실제 임목의 생장에 영향을 미치는 환경 인자를 설명변수로 포함할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 생리학적 과정과 관련된 기초 지식을 고려하여 임분밀도와 진계생장량은 반비례 관계를 유지한다는 가정하에 동일 표본점에 대한 이상치 자료를 기각하는 과정을 거쳐 소나무의 임목생장 정보를 정리하였다.

3) 진계생장 추정 후보모형의 선정

선행연구의 다양한 진계생장 모델 중에서 우리나라 산림을 대상으로 NFI 자료의 적용이 가능할 것으로 판단되는 주요 모형을 검토하여 최종적으로 진계생장 추정을 위한 후보모형을 선정하였다. 각 후보모형은 임의의 기간 동안 진계가 발생하거나 혹은 발생하지 않을 수 있다는 두 가지 경우의 사실을 반영하여(Klopcic and Boncina, 2012), 통계적 가정을 충족시키는 2단계 접근법에 따라 개발되었다. Table 2에 나타난 바와 같이 첫 번째 단계에서 각 후보모형은 진계확률 추정이라는 공통된 목적을 달성하기 위해 동일한 형태의 로지스틱 회귀기법을 사용하였지만 연구에 이용한 자료의 특성에 따라 각기 다른 독립변수를 사용하여 추정식을 개발하였다(Vanclay, 1989; Qin, 1998; Brovo et al., 2008; Adame et al., 2010; Li et al., 2011; Yang and Huang, 2015). 두 번째 단계에서는 진계가 발생한 표본점만을 대상으로 회귀분석을 통해 진계생장량을 추정하였다(Table 3). 다수의 연구에서 진계생장량을 추정하기 위해 사용한 종속변수는 ha당 임목본

**Table 2. Model forms used in this study for the estimation of ingrowth probability.**

Model No.	Model Form
I	$P_i = \frac{1}{1 + e^{b_0 + b_1 BA + b_2 SI}}$
II	$P_i = \frac{1}{1 + e^{b_0 + b_1 D_q + b_2 \bar{H}}}$
III	$P_i = \frac{1}{1 + e^{b_0 + b_1 D_q + b_2 BA + b_3 SI + b_4 N}}$
IV	$P_i = \frac{1}{(1 + e^{b_0 + b_1 BA + b_2 N + b_3 SC_1 + b_4 \bar{D} + b_5 SI})^{1/L}}$
V	$P_i = \frac{1}{(1 + e^{b_0 + b_1 BA + b_2 D_q + b_3 PS + b_4 SC_1})^{1/(L \times F)^\omega}}$
VI	$P_i = \frac{1}{(1 + e^{b_0 + b_1 BA + b_2 SC_2 + b_3 N + b_4 SI + b_5 D_{min}})^L}$

$\overline{DBH}$  = stand average diameter at breast height(cm),  $D_{min}$  = minimum diameter(cm),  $D_q$  = quadratic mean diameter(cm),  $\bar{H}$  = average height(m),  $BA$  = basal area per hectare( $m^2$ ),  $N$  = number of trees per hectare(trees/ha),  $PS$  = percent stocking,  $SC_1$  = ratio of target species density( $N/ha_{sp}$ ) over total stand density( $N/ha_{total}$ ),  $SC_2$  = ratio of target species basal area( $BA/ha_{sp}$ ) over total stand basal area( $BA/ha_{total}$ ),  $SI$  = site index,  $L$  = measurement interval length,  $F$  = plot size factor,  $\omega$  = exponent to annual survival probability

**Table 3. Model forms for the estimation of ingrowth amount as number of trees per hectare.**

Model No.	Model Form
I	$I_n = b_0 + b_1 BA + b_2 SI$
II	$\ln(I_n) = b_0 + b_1 \ln(N) + b_2 (1/\bar{D}^2)$
III	$I_n = b_0 e^{b_1 N + b_2 BA + b_3 SI + b_4 \overline{DBH}^2 + b_5 \overline{DBH}}$
IV	$I_n = b_0 e^{b_1 \ln(N) + b_2 BA + b_3 SC_2 + b_4 \overline{DBH}^2 + b_5 \overline{DBH}}$
V	$I_n = e^{(b_0 + b_1 BA + b_2 (D_q \times PS) + b_3 SI + b_4 \sqrt{N})}$
VI	$I_n = e^{(b_0 + b_1 BA + b_2 (D_q \times PS) + b_3 \ln(PS) + b_4 \sqrt{N})}$
VII	$I_n = e^{(b_0 + b_1 BA + b_2 D_q + b_3 PS + b_4 (D_q \times PS) + b_5 (SI \times SC_1))}$

수이며, 경우에 따라 진계된 임목의 ha당 흉고단면적이 나 흉고단면적 비율을 종속변수로 사용하기도 하였다. 본 연구에서는 선행연구에서 개발된 진계성장량 추정식을 변형하여 ha당 임목본수로 진계성장량을 추정할 총 7개의 후보모형을 선정하였다.

## 2. 진계성장 추정식의 개발

본 연구에서는 NFI 자료를 이용하여 구축한 진계성장 데이터베이스를 기반으로 소나무의 진계성장 추정식을 개발하기 위해 2단계 접근법에 따라 진계확률 추정식을 조제한 후 이를 근거로 진계성장량 추정식을 개발하였다.

### 1) 진계확률 추정식

진계확률 추정식 개발에 사용된 6개 후보모형은 다양한 임분변수들의 조합에 의해 진계발생 확률을 추정할 수 있는 로지스틱 회귀모형 형태의 식이다. 각 후보모형의 종속변수는 진계성장 발생 유무를 0과 1의 범주로 나타내는 이항 형태의 변수로서 이를 다시 로짓변환(Logit transformation)하여 확률함수로 나타내면 다음 식 1과 같다.

$$p_i = \text{logit}^{-1}(\beta X) = \frac{1}{1 + e^{-\beta X}} \quad (1)$$

여기서,  $p_i$  = 진계발생 확률이고  $\beta$ 는 추정해야 할 회귀계수이다. 이를 위해 소나무의 표본점 자료에 근거하여 진계확률 후보모형의 회귀계수를 추정함으로써 진계확률을 추정할 수 있는 식을 조제하였으며, 조제된 후보모형별 추정식의 적합도를 평가통계량에 근거하여 검증하였다. 이때 로지스틱 회귀분석의 모형적합도는 실제 데이터와 추정모형에 의해 얻어진 결과 값 간의 차이를 평가한 평균제곱근오차(Root Mean Square Error; RMSE)의 방법을 이용하여 평가하는 것이 가능하다(Burnham et al., 2004; Bewick et al., 2005). 진계성장 발생확률 추정치의 오차를 정량적으로 평가할 수 있는 RMSE는 다음 식 2에 의해 계산된다.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (2)$$

여기서,  $n$  = 사용된 자료의 개수,  $Y_i$  = 고정표본점  $i$ 에서의 측정치,  $\hat{Y}_i$  = 추정식으로부터 얻어진 추정치를 말하며, RMSE 값이 작을수록 적합도가 높은 것으로 평가된다(Yim et al., 2009). 따라서 본 연구에서는 최종 진계확률 추정식을 개발하기 위해 각 후보모형의 추정식에 의해 산출된 RMSE를 비교하여 그 값이 가장 작은 진계확률 추정식을 최종적으로 선정하였다.

### 2) 진계성장량 추정식

진계발생 확률을 추정한 이후 진계성장량 추정식을 개발하기 위해 후보모형을 선정하여 추정식을 조제하였다. 이 과정에서 표본의 크기에 민감하게 영향을 받지 않고 자료에 잘 부합하면서도 모형의 적합도를 평가하는 장점을 가진 적합도지수(Fit Index; FI)를 사용하였으며, 식 3에 의해 산출된 값에 근거하여 각 후보모형의 설명력을 예비적으로 평가하였다.

$$FI = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2} \quad (3)$$

여기서,  $Y_i$  = 모형의 개발에 이용된 관측치,  $\hat{Y}_i$  = 진계성장 후보모형으로부터 얻은 추정치, 그리고  $\bar{Y}_i$  = 진계성장 후보모형 추정치의 평균을 나타낸다. 모형의 적합성 검증에 위해 사용한 FI는 검증 대상인 후보모형들에 포함된 독립변수가 서로 다르며 추정식의 조제 과정에서 변형된 형태로 산출되었기 때문에 실측값과 추정값의 편차에 따른 추정식의 설명력으로 간주하기 어려운 문제가 있다(Shin et al., 2003). 따라서 본 연구에서는 3가지 평가통계량을 산출한 결과를 고려하여 후보모형의 우선순위를 부여한 뒤 검증통계량 순위의 합이 가장 작은 후보모형을 최적 모형으로 결정하였으며(Shin, 1990; Arabatzis and Burkhart, 1992; Lee, 2003), 이를 기반으로 최종 진계성장량 추정식을 개발하였다.

첫 번째 검증통계량인 모형의 평균편의(Mean Difference; MD)는 계산된 추정치가 실측치와 비교하여 평균적으로 얼마만큼의 편의(bias)를 갖는가를 나타내는 통계량으로 다음 식을 이용하여 계산한다(식 4).

$$MD = \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{n} \quad (4)$$

여기서,  $MD$  = 모형의 추정편의,  $e_i$  = 실측치와 모형에 의한 추정치와의 차, 그리고  $n$  = 조사된 임목의 본수를 나타낸다.

두 번째 검증통계량인 모형의 정도(Standard Deviation of Difference; SDD)는 본 연구에서 개발한 진계성장 추정식이 얼마만큼의 정도(精度)를 갖는가에 대하여 평가하기 위한 통계량으로 편의에 대한 표준편차를 이용하여 계산이

가능하다. 여기서, 모형의 정도(SDD)는  $V_e = \frac{(\sum e_i^2 - \frac{\sum e_i^2}{n})}{n-1}$

의 계산식을 이용하며 모형의 분산( $V_e$ )에 제공근을 취한 형태이다.

본 연구에서 마지막으로 사용한 검증통계량은 모형의 표준오차(Standard Error of Difference; SED)로 다음 식 5와 같이 평균평방화(MSE)에 제공근을 취한 형태를 나타낸다.

$$SED = \sqrt{V_e + MD^2} \quad (5)$$

위 식은 앞서 계산한 최종 진계성장 추정식의 편의와 정도의 두 통계량을 모두 고려하여 계산한 값으로 편의의 분산인  $V_e$ 와 모형의 추정편의를 나타내는  $MD$ 를 제공한 값을 합하여 제공근을 취한 값이 모형의 표준오차이다.

### 3. 실측 자료에 의한 추정능력 검증

본 연구에서는 최종적으로 개발된 진계성장 추정식의 적합도를 판정하기 위해 실측 표본점 자료 및 수종별 수확표 자료에 근거하여 다양한 임분조건에서의 개발된 진계성장 추정식의 추정능력을 평가함으로써 적합도를 점검하였다.

#### 1) 진계확률 추정식의 검증

최종 진계확률 추정식의 적합도 검증을 위해 모형 개발에 사용된 NFI 표본점 자료에 적용하여 표본점별 진계확률을 추정하였다. 로지스틱 회귀모형에 근거하여 개발한 진계확률 추정식의 종속변수는 표본점별로 진계가 발생한 임분의 경우에는 1이 되고 진계 미발생 표본점은 0의 값을 적용하였다. 결과적으로 진계 발생 표본점과 진계 미발생 표본점에 대한 진계확률의 평균, 표준편차, 최솟

값, 최댓값 추정치를 정리하여 비교함으로써 본 연구에서 개발된 진계확률 추정식의 적합도를 평가하였다.

#### 2) 진계성장량 추정식의 검증

본 연구에서 개발한 진계성장량 추정식의 적합도 검증을 위해 수종별 수확표(Korea Forest Service, 2012)에 근거하여 3가지 임분조건을 제시하고 임분조건별로 개발된 진계성장량 추정식의 적합도를 최종적으로 검증하였다. 사용된 첫 번째 임분조건은 임령이 15년이며 지위는 ‘하’인 임분변수를 말하며, 두 번째 임분조건은 임령이 30년일 경우 지위는 ‘중’, 그리고 세 번째 임분조건은 임령 50년에서의 지위 ‘상’일 경우로 설정하였다. 이를 위해 수확표에 근거하여 진계성장 추정식의 독립변수에 포함된 임분변수를 도출하였으며, 개발된 진계성장량 추정식에 적용하여 진계생장을 추정함으로써 추정능력을 검증하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 진계확률 추정식의 개발

#### 1) 진계확률 추정식의 조제

본 연구에서는 NFI의 고정표본점 자료를 6개 후보모형에 적용하여 로지스틱 회귀분석 기법에 의해 회귀계수를 추정하였으며, 그 결과는 Table 4와 같다.

6개 후보모형에 근거하여 조제한 진계확률 추정식의 표준오차인 RMSE를 보면 강원지방소나무와 중부지방소나무의 경우 각각 0.24~0.30과 0.32~0.35 범위에 분포하였다. 이상의 결과를 종합하면 후보모형별로 차이가 크지 않은 것으로 분석되었으며, 이는 어떤 후보모형에 적용하여 진계발생 추정식을 개발하여도 진계발생 추정

Table 4. Estimation equations for probability of ingrowth occurrence by *Pinus densiflora*.

Species	Model No.	Estimates of Regression Coefficients						RMSE
		$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	
<i>Pinus densiflora</i> in Gangwon Province	I	-2.6514	0.0115	0.4459	-	-	-	0.30
	II	-2.1197	0.1015	0.1178	-	-	-	0.29
	III	-2.2956	0.0824	0.0041	0.2310	-0.0003	-	0.29
	IV	-3.8238	0.0834	-0.0034	1.1905	0.3514	0.7121	0.29
	V	9.3957	-0.0018	0.1375	-1.3156	2.3978	-3.6498	0.29
	VI	-10.0587	-0.0058	1.5981	0.0007	0.0152	0.9470	0.24
<i>Pinus densiflora</i> in central Korea	I	-2.3800	-0.0069	0.4510	-	-	-	0.35
	II	-2.0329	0.1195	0.1201	-	-	-	0.35
	III	-1.7594	0.0651	0.0140	0.2441	-0.0004	-	0.35
	IV	2.6326	0.1462	-0.0025	-3.2948	-0.0829	1.0589	0.35
	V	11.0420	-0.0007	0.1630	-3.4864	2.6720	-3.7689	0.35
	VI	-7.6213	0.0024	-0.0199	0.0002	0.0786	0.8061	0.32

능력에 큰 차이가 없는 것으로 해석되는 결과이다.

2) 최적 진계확률 추정식의 개발

본 연구에서와 같이 복수의 후보모형을 사용하였을 경우 모형별로 산출된 RMSE 값이 작을수록 모형의 추정 능력이 높다는 것을 의미한다. 따라서 RMSE 값이 가장 작은 모형 VI에 의해 조제된 진계확률 추정식이 가장 적합한 것으로 판명되었다. 최종적으로 선정된 모형 VI은 Li et al.(2011)이 제시한 모형에 근거한 것으로 진계확률( $P_i$ )을 추정하기 위해 ha당 흉고단면적(BA), ha당 임목본수(N), 흉고단면적에 근거하여 임분밀도를 산출한 수종구성(SC<sub>2</sub>), 지위지수(SI), 그리고 최소 흉고직경(D<sub>min</sub>)의 독립변수를 사용한 로지스틱 회귀모형이다. 한편, 모형 VI에는 진계생장을 추정하기 위해 고정표본점의 조사주기에 대한 정보가 필요한데 본 연구에서는 우리나라 국가산림자원조사 표본점의 조사주기인 5년을 적용하여 최종 진계확률 추정식을 개발하였다. 이와 유사한 연구로 Fortin and DeBlois(2007)는 캐나다 남부 퀘벡 지역의 활엽수림을 대상으로 한 진계성장 모델 개발 연구에서 ZIP (Zero-Inflated Poisson) 모형을 이용하여 진계생장을 추정하였다. 여기서 모형의 기반이 되는 푸아송 분포는 일정한 시간 및 공간 내에서 발생 횟수에 대한 관찰 값이 갖는 분포를 의미하며(Jung, 2010), 특정사건이 발생할 확률이 작은 경우에 이항분포를 대체하여 사용되기도 한다(Barry and Welsh, 2002). 따라서 다른 후보모형에 비해 모형 VI의 적합도가 가장 높게 나타난 이유를 추론해 보면 측정기간 동안 고정표본점으로부터 수집된 진계성장 데이터의 독특한 분포 즉, 진계생장의 발생보다는 진계가 발생하지 않은 것으로 집계되는 자료가 더 많이 분포하는 특성에 초점을 두고 5개의 임분변수를 조합한 추정식이 진계확률을 추정하는데 가장 적합했기 때문인 것으로 판단된다.

3) 개발된 추정식에 의한 진계확률의 산출

본 연구에서 개발한 진계확률 추정식을 실제 표본점 자료에 적용함으로써 임분조건에 따른 진계발생 가능성

을 확률로 추정하여 본 연구로부터 얻어진 결과를 평가하였다(Table 5).

최종 진계확률 추정식을 표본점 자료에 적용하여 산출한 진계확률 통계량을 살펴보면 강원지방소나무와 중부지방소나무에 대한 진계발생 표본점의 평균 진계발생 확률은 각각 0.62와 0.60인 것으로 추정하여 실제 진계발생 추정능력에 큰 문제가 없는 것으로 평가 되었다. 반면에 진계 미발생 표본점을 대상으로 추정된 진계확률 통계량을 보면 두 수종에 대한 평균 진계발생 확률은 각각 0.04와 0.09로 진계확률이 0에 가까운 값으로 추정하여 전체적으로 우수한 추정능력을 보이고 있다. 따라서 본 연구에서 개발한 진계확률 추정식은 다양한 임분조건에 대해 비교적 정확도가 높은 진계확률 추정능력을 보이는 것으로 판명되었다.

2. 진계성장량 추정식의 개발

1) 진계성장량 추정식의 조제

2단계 접근법에 따른 진계성장 추정식 개발을 위해 진계확률을 추정한 이후 진계가 발생한 표본점만을 대상으로 하여 진계 임목본수를 종속변수로 하는 진계성장량 추정식을 개발하였다. 이를 위해 7개 후보모형을 대상으로 표본점 자료를 적용하여 모형별 회귀계수를 추정하였으며 그 결과는 Table 6과 같다.

강원지방소나무와 중부지방소나무는 7개 후보모형의 적합도지수가 각각 0.31~0.57과 0.42~0.63의 범위에 있는 것으로 추정되었다. 적합도지수는 그 값이 클수록 사용된 자료에 대한 모형의 설명력이 높은 것을 의미하는 것으로(Gerhard et al., 2017), 분석결과 중부지방소나무의 추정능력이 다소 높은 것으로 나타났다.

2) 진계 성장량 추정식의 검증

7개 후보모형을 대상으로 조제된 진계성장량 추정식을 검증하기 위하여 모형의 평균편의(MD), 모형의 정도(SDD), 그리고 모형의 표준오차(SED)의 3가지 평가통계량을 적용하여 적합성을 검증한 결과는 Table 7과 같다. 평균편의(MD)의 관점에서 강원지방소나무와 중부지방

Table 5. Statistics of ingrowth probability estimated by using ingrowth probability equations by *Pinus densiflora*.

Species	Ingrowth Status	No. of Plots	Estimates of Ingrowth Probability			
			Mean	SD	Min	Max
<i>Pinus densiflora</i> in Gangwon Province	With Ingrowth	72	0.62	0.0728	0.52	0.82
	No Ingrowth	614	0.04	0.1025	0.00	0.42
<i>Pinus densiflora</i> in central Korea	With Ingrowth	476	0.60	0.0452	0.48	0.69
	No Ingrowth	2,432	0.09	0.1443	0.00	0.43

**Table 6. Estimation equations for ingrowth amount as number of trees per hectare by *Pinus densiflora*.**

Species	Model No.	Estimates of Regression Coefficients						Fit Index
		$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	
<i>Pinus densiflora</i> in Gangwon Province	I	91.3217	-0.0043	-3.9515	-	-	-	0.31
	II	2.6542	0.1358	24.8703	-	-	-	0.32
	III	69.0393	0.0002	-0.0003	-0.0698	-0.00004	0.0031	0.50
	IV	4.7505	0.4883	-0.0164	0.3555	0.0033	-0.1163	0.50
	V	6.0068	0.0372	-0.0865	-0.1102	-0.0213	-	0.53
	VI	6.2426	0.0367	-0.1221	0.9458	-0.0297	-	0.54
	VII	9.0046	0.0198	-0.2814	-5.2430	0.2631	0.0030	0.57
<i>Pinus densiflora</i> in central Korea	I	233.6416	-0.4647	-15.5449				0.42
	II	0.2859	0.4633	75.7296				0.52
	III	412.1000	0.0004	-0.0296	-0.1194	0.0025	-0.0848	0.61
	IV	0.0416	1.1265	-0.0514	1.3862	0.0027	-0.0831	0.62
	V	4.0154	-0.0413	0.0185	-0.1058	0.0511		0.61
	VI	5.8004	-0.0188	-0.0977	1.8999	0.0186		0.63
	VII	5.2496	0.0048	-0.1141	2.0411	-0.0270	-0.0883	0.63

**Table 7. Validation of estimation equations for ingrowth amount as number of trees per hectare by *Pinus densiflora*.**

Species	Model No.	Evaluation Statistics			Sum	Ranking
		MD	SDD	SED		
<i>Pinus densiflora</i> in Gangwon Province	I	0.16 (2)	28.05 (7)	28.06 (6)	15	5
	II	6.70 (7)	28.02 (6)	28.81 (7)	20	7
	III	1.76 (6)	27.90 (5)	27.96 (5)	16	6
	IV	-0.01 (1)	27.87 (4)	27.88 (4)	9	3
	V	1.13 (5)	27.03 (3)	27.04 (3)	11	4
	VI	0.43 (4)	26.65 (2)	26.66 (2)	8	2
	VII	0.24 (3)	25.13 (1)	25.19 (1)	5	1
<i>Pinus densiflora</i> in central Korea	I	0.60 (3)	41.26 (7)	41.27 (7)	17	6
	II	11.23 (7)	39.64 (6)	41.20 (6)	19	7
	III	3.25 (6)	37.93 (5)	38.07 (5)	16	5
	IV	-0.16 (1)	37.01 (3)	37.02 (3)	7	2
	V	0.73 (4)	37.56 (4)	37.57 (4)	12	4
	VI	1.22 (5)	36.90 (2)	36.93 (2)	9	3
	VII	0.57 (2)	36.71 (1)	36.72 (1)	4	1

소나무의 추정치를 보면 모형 IV가 가장 낮은 것으로 평가되었으며, 다른 검증통계량인 모형의 정도(SDD) 및 모형의 표준오차(SED)의 경우 두 수종 모두 모형 VII이 가장 적합한 것으로 나타났다. 이상과 같은 3가지 평가통계량에 근거하여 종합적으로 분석한 결과 강원지방소나무와 중부지방소나무의 경우 모두 모형 VII이 최종적으로 선정되었다. 최적모형으로 선정된 모형 VII은 Yang and Huang(2015)의 연구에서 각 수종의 연간 진계생장량을 파악하기 위해 제시한 모형을 변형한 것으로서 ha당 흉

고단면적(BA), 임분의 평방평균직경( $D_q$ ), 해당 수종의 임목축적 비율(PS), 지위지수(SI), 그리고 임목본수에 근거하여 임분밀도를 산출한 수종구성( $SC_1$ )의 5개 임분 변수가 단독 또는 상호작용하는 독립변수의 조합에 의해 진계 임목본수를 추정하는 지수함수식이다.

3) 최종 진계생장량 추정식의 개발

후보모형 7개를 대상으로 진계 임목본수를 종속변수로 하는 추정식을 조제한 후, 각 추정식에 대해 3가지 평가

**Table 8. Ingrowth amount estimates of number of trees per hectare based on the final ingrowth amount estimation equations by *Pinus densiflora*.**

Species	Plot No.	Stand Variables									Estimated Ingrowth (N/ha)
		Age	$D_q$	BA/ha	SI	N/ha	$\overline{DBH}$	$SC_1$	$SC_2$	PS	
<i>Pinus densiflora</i> in Gangwon Province	1	15	8.5	17.1	12	3,785	7.6	0.97	0.96	0.97	59
	2	30	17.9	28.2	14	1,261	16.9	0.87	0.85	0.94	58
	3	50	32.8	40.6	18	619	31.6	0.68	0.78	0.91	40
<i>Pinus densiflora</i> in central Korea	1	15	8.3	12.6	10	2,158	7.4	0.75	0.85	0.91	212
	2	30	16.4	27.3	12	1,418	15.7	0.69	0.68	0.85	63
	3	50	28.3	40.5	16	744	28.3	0.63	0.61	0.70	9

통계량을 통해 적합성을 평가하여 소나무의 최종 진계성장량 추정식을 개발하였다.

강원지방소나무와 중부지방소나무의 최종 추정식에 대한 FI는 실측치와 추정치와의 관계 정도를 구명하기 위해 사용한 검정통계량으로서(Son et al., 2002) 각각 0.57과 0.63으로 나타나 전반적으로 양호한 수준을 유지하였으나 모형의 설명력을 좀 더 개선하기 위한 방안이 고려되어야 할 것으로 판단된다. 본 연구에서 개발한 추정식에는 평방평균직경, ha당 흉고단면적, 그리고 지위지수 등의 임분밀도를 나타내는 임분변수가 주로 포함되었으나 기후, 토양, 그리고 교란 등의 특성을 반영한 설명변수가 포함되지 않았다. 그렇기 때문에 기후 및 토양과 관련된 환경인자와 새롭게 진계되는 임목 간의 상호작용을 모델링하는데 한계를 가질 수밖에 없고 이는 모형의 설명력이 다소 낮은 원인이 되기도 한다. 실제 기후변화는 교란을 통해 산림에 영향을 미치고 식생의 분포를 변화시켜 생태적 패턴에 다양한 영향을 주기 때문에(Sousa, 1984; Dale et al., 2000; Dawson et al., 2011; Seidl et al., 2011), 이러한 환경변수들을 고려하여 추정식의 설명변수로 포함시킬 필요가 있다.

4) 개발된 추정식에 의한 진계성장량의 산출

최종적으로 개발된 진계성장량 추정식의 적합성을 평가하기 위해 3가지 임분조건을 대상으로 각 추정식의 진계 임목본수 추정능력을 평가하였으며 그 결과는 Table 8과 같다.

앞서 설정한 3가지 임분조건에 본 연구에서 개발한 진계성장량 추정식을 적용한 결과 임령이 낮고 지위가 낮은 임분에서는 상대적으로 많은 진계 임목본수를 갖는 것으로 추정된 반면 임령이 높고 지위가 양호한 임분에서는 상대적으로 적은 임목본수의 진계가 발생하는 것으로 추정되었다. 또한 임분의 생장 및 수확의 법칙에서도 지위가 좋을수록 임목의 생장이 빠르며 이는 임목별로

차지하는 생육공간이 넓어지기 때문에 진계가 발생할 여지가 줄어드는 것으로 알려져 있어(Byun et al., 1996) 본 연구의 결과와 일치하는 것을 알 수 있다.

결론

본 연구는 우리나라 전국 산림을 대상으로 수행한 국가산림자원조사(NFI)의 모니터링 자료가 확보된 시점에서 그동안 시계열 자료 수집의 어려움으로 인해 관련 연구가 미진하였던 진계생장을 연구 주제로 선정하여 우리나라에 분포하는 주요 수종인 소나무의 진계성장 추정식을 개발하기 위한 목적으로 수행되었다. 진계성장 추정식 개발을 위한 2단계 접근법에 따라 첫 번째 단계에서 최종적으로 개발한 강원지방소나무와 중부지방소나무의 진계확률 추정 모형은 동일하게 모형 VI이 가장 적합한 것으로 분석되었다. 최적 모형의 선정은 후보모형별로 산출된 RMSE 통계량에 의해 수행되었으며, 최종적으로 선정된 모형에 근거하여 최종 진계확률 추정식을 개발하였다. 개발된 추정식의 적합도 평가를 위해 모형 개발에 사용된 표본점 실측 자료를 추정식에 적용하여 진계확률을 추정한 결과 적합도 측면에서 문제가 없는 것으로 판명되었다. 한편 최종 진계성장량 추정식은 7개의 후보모형을 대상으로 통계검증을 통해 추정식의 FI에 근거하여 최적의 모형을 선정한 결과 모형 VII이 가장 높은 적합도를 나타냈다. 이상과 같이 개발된 소나무의 진계성장량 추정식은 다양한 임분조건에 대해 추정능력을 평가하였으며, 본 연구에서 개발한 진계성장량 추정식은 적합도나 활용적인 측면에서 문제가 없는 것으로 확인되었다.

본 연구에서는 NFI 자료에 근거하여 연구대상 수종인 소나무의 동일 표본점을 대상으로 진계 현황을 분석하여 제시하였으므로, 진계성장 모델 개발을 위한 후속연구가 진행된다면 본 연구의 결과물을 기초자료로 활용하는 것이 가능할 것으로 판단된다. 또한 진계성장 추정식에 다



양한 환경변수를 포함하기 위한 자료 수집이 뒷받침 된다면 향후 기후변화에 따른 진계생장의 발생 패턴이나 교란 특성을 반영한 진계생장 추정 등의 연구가 수행될 수 있을 것으로 판단된다. 결과적으로 최종 추정식을 개발하기까지 NFI 자료의 이상치를 기각하고 각 모형에 대한 통계적 검증을 수행하였으나 자연 상태의 임목이 진계되는 기작을 제한된 실험 조건이나 주어진 변수의 조합으로 설명하는 것은 한계가 있는 것이 사실이다. 진계생장에 영향을 미치는 환경적 요인은 하나의 개별적인 변수가 진계생장에 영향을 주는 것이 아닌 다양한 변수의 조합에 의한 통합적 추정으로 인식해야 하며, 진계생장 추정식 개발에 사용가능한 독립변수를 수집하기 위한 다양한 자료의 검토 및 계획이 필요하다.

본 연구에서 얻어진 결과를 기초로 하여 현재 진행 중인 NFI를 통해 다양한 고품질 자료가 누적되고 기존 자료와 비교 가능한 자료가 수집된다면 보다 설명력이 높은 진계생장 모델의 구축이 가능할 것으로 판단된다. 또한 시간경과에 따른 시계열적 모니터링 자료를 이용하여 진계생장을 추정하기 위한 보다 체계적인 방법의 도출과 검증이 이루어진다면 우리나라 산림을 대상으로 한 진계생장 모델 개발 연구의 새로운 방향을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

## References

- Adame, P., Del Rio, M. and Cañellas, I. 2010. Ingrowth model for pyrenean oak stands in north-western Spain using continuous forest inventory data. *European Journal of Forest Research* 129(4): 669-678.
- Arabatzis, A.A. and Burkhart, H.E. 1992. An evaluation of sampling methods and model forms for estimating height-diameter relationship in loblolly pine. *Forest Science* 38(1): 192-198.
- Barry, S.C. and Welsh, A.H. 2002. Generalized additive modelling and zero inflated count data. *Ecological Modelling* 157(2): 179-188.
- Bewick, V., Cheek, L. and Ball, J. 2005. Statistics review 14: Logistic regression. *Critical Care* 9(1): 112-118.
- Botkin, D.B. 1993. *Forest dynamics*. Oxford University Press. New York, U.S.A. pp. 309.
- Brovo, F., Pando, V., Ordóñez, C. and Lizarralde, I. 2008. Modelling ingrowth in mediterranean pine forests: A case study from scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and mediterranean maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) stands in Spain. *Forest Systems* 17(3): 250-260.
- Burnham, K.P. and Anderson, D.R. 2004. Multimodel inference: understanding AIC and BIC in model selection. *Sociological Methods & Research* 33(2): 261-304.
- Byun, W.H., Lee, W.K. and Bae, S.W. 1996. Forest growth yield. Yoochun Media. Seoul, Korea. pp. 399. (In Korean)
- Charu, M., Seynave, I., Morneau, F. and Bontemps, J.-D. 2010. Recent changes in forest productivity: An analysis of national forest inventory data for common beech (*Fagus sylvatica* L.) in north-eastern France. *Forest Ecology and Management* 260(5): 864-874.
- Dale, V.H., Joyce, L.A., McNulty, S. and Neilson, R.P. 2000. The interplay between climate change, forests, and disturbances. *The Science of the Total Environment* 262(3): 201-204.
- Dawson, T.P., Jackson, S.T., House, J.I., Prentice, I.C. and Mace, G.M. 2011. Beyond predictions: biodiversity conservation in a changing climate. *Science* 332(6025): 53-58.
- Ekström, M., Esseen, P.A., Westerlund, B., Grafström, A., Jonsson, B.G. and Ståhl, G. 2018. Logistic regression for clustered data from environmental monitoring programs. *Ecological Informatics* 43: 165-173.
- Fortin, M. and DeBlois, J. 2007. Modelling tree recruitment with zero-inflated models: The example of hardwood stands in southern Quebec, Canada. *Forest Science* 53(4): 529-539.
- Gerhard, C., Büchner, R.D., Klein, A.G. and Schermelleh-Engel, K. 2017. A fit index to assess model fit and detect omitted terms in nonlinear SEM. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal* 24(3): 414-427.
- Fourcaud, T., Zhang, X., Stokes, A., Lambers, H. and Körner, C. 2008. Plant growth modelling and applications: The increasing importance of plant architecture in growth models. *Annals of Botany* 101(8): 1053-1063.
- Han, S.H., Rho, D.K., Cheong, J.H., Kim, S.H. and Cheong, D.J. 2009. Estimation of height-DBH models for *Ulmus davidiana* by National Forest Inventory data. *Proceedings of the Korean Forest Society Conference*. pp. 432-434. (In Korean)
- Jung, Y.H. 2010. Bayesian inference for repeated count data using zero inflated Poisson mixed model [Master's thesis]. Seoul. Korea University. pp. 55. (In Korean with English abstract)
- 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 Forest Society* 101(4): 592-598. (In Korean with abstract English)
- Klopčič, M. and Boncina, A. 2012. Recruitment of tree species in mixed selection and irregular shelterwood forest stands.

- Annals of Forest Science 69(8): 915-925.
- Korea Forest Service. 2012. Tree volume-biomass and yield table. Administrative Publication. pp. 261. (In Korean)
- Kuuluvainen, T., Tahvonon, O. and Aakala, T. 2012. Even-aged and uneven-aged forest management in boreal Fennoscandia: a review. *Ambio* 41(7): 720-737.
- Lee, M.J. 2003. Development of individual tree growth model by forest types [Master's thesis]. Seoul. Kookmin University. pp. 83. (In Korean with English abstract)
- Li, R., Weiskittel, A.R. and Kershaw Jr, J.A. 2011. Modeling annualized occurrence, frequency, and composition of ingrowth using mixed-effects zero-inflated models and permanent plots in the Acadian Forest Region of North America. *Canadian Journal of Forest Research* 41(10): 2077-2089.
- Lim, J.H., Jin, G.Z., Yun, C.W., Shin, J.H. and Bae, S.W. 2004. Stand structure and dynamics of the *Pinus parviflora* forest in Ulleungdo Island. *Journal of Korean Forest Society* 93(1): 67-74. (In Korean with abstract English)
- Lootens, J.R., Larsen, D.R. and Loewenstein, E.F. 1999. A matrix transition model for an uneven-aged, oak-hickory forest in the Missouri ozark highlands. *Proceeding of the Tenth Biennial Southern Silvicultural Research Conference*. pp. 536-538.
- National Institute of Forest Science. 2014. Development of practical management methods for national forests applied by different silvicultural systems in Mt. Gariwang(2). Research Report. Seoul, Korea. pp. 109. (In Korean)
- Qin, Y. 1998. Ingrowth models and juvenile mixedwoods stands dynamics [Master's thesis]. Edmonton, Alberta. University of Alberta. pp. 132.
- Seidl, R., Fernandes, P.M., Fonseca, T.F., Gillet, F., Jönsson, K., Merganicová, S., Netherer, A., Apraci, J.D., Bontemps, H., Bugmann, J.R., González-Olabarria, P., Lasch, C., Meredieu, F., Moreira, M.J., Schelhaas, M.J. and Mohren, F. 2011. Modelling natural disturbances in forest ecosystems: a review. *Ecological Modelling* 222(4): 903-924.
- Seo, Y.O., Lee, Y.J., Rho, D.K., Kim, S.H., Choi, J.K. and Lee, W.K. 2011. Height-DBH growth models of major tree species in Chungcheong Province. *Journal of Korean Forest Society* 100(1): 62-69. (In Korean with abstract English)
- Shin, M.Y. 1990. The use of ridge regression for yield prediction models with multicollinearity problems. *Journal of Korean Forest Society* 79(3): 260-268.
- Shin, M.Y., Lee, M.J. and An, H.S. 2003. Development of individual tree mortality equations for four coniferous species by using distance-independent competition index. *Journal of Korean Forest Society* 92(6): 581-589. (In Korean with abstract English)
- Shin, M.Y., Lee, S.M. and Lee, D.K. 2005. Forest management using growth and ecological characteristics by site types in the natural deciduous forest. *Journal of Korean Forest Society* 94(1): 26-33. (In Korean with abstract English)
- Son, Y.M., Lee, K.H., Lee, W.K. and Kwon, S.D. 2002. Stem taper equations for six major tree species in Korea. *Journal of Korean Forest Society* 91(2): 213-218.
- Sousa, W.P. 1984. The role of disturbance in natural communities. *Annual Review of Ecology and Systematics* 15: 353-391.
- Vanclay, J.K. 1989. A growth model for north Queensland rainforests. *Forest Ecology and Management* 27(3-4): 245-271.
- Yang, Y. and Huang, S. 2015. Two-stage ingrowth models for four major tree species in Alberta. *European Journal of Forest Research* 134(6): 991-1004.
- Yim, J.S., Han, W.S., Hwang, J.H., Chung, S.Y., Cho, H.K. and Shin, M.Y. 2009. Estimation of forest biomass based upon Satellite data and National Forest Inventory data. *Korean Journal of Remote Sensing* 25(4): 311-320. (In Korean with abstract English)

---

Manuscript Received : August 23, 2018

First Revision : September 28, 2018

Accepted : October 24, 2018