J. Korean For. Soc. Vol. 106, No. 2, pp. 267~273 (2017)
https://doi.org/10.14578/jkfs.2017.106.2.267

한국임학회지
JOURNAL OF KOREAN FOREST SOCIETY
ISSN 0445-4650(Print), ISSN 2289-0904(Online)
http://e-journal.kfs21.or.kr

중부지방소나무의 생장특성 및 경험적 임분수확모델 개발

전주현 · 손영모* · 강진택
국립산림과학원 산림산업연구과

Characteristics of Growth and Development of Empirical Stand Yield Model on *Pinus densiflora* in Central Korea

Ju Hyeon Jeon, Yeong Mo Son* and Jin Taek Kang
Division of Forest Industry Research, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

요 약: 본 연구는 중부지방소나무에 대하여 현실림을 반영한 수확표를 조제하기 위하여 수행되었다. 현재 사용하고 있는 수확표는 정상적인 생육 이상의 군락을 대상으로 조사·분석한 결과로 현실림보다 과대한 값을 제공하여 법정림 외에 적용하기는 다소 어려운 점이 있었다. 따라서 본 연구에서는 침엽수 대표 수종인 소나무를 대상으로 현실림에 대한 임분 생장량을 추정하였다. 본 연구에 이용한 자료는 국가산림자원조사(National Forest Inventory) 자료 중 1,957개의 중부지방소나무 표본점 자료를 이용하였다. 분석절차는 직경분포의 추정, 적합, 예측의 단계를 거쳤으며, 직경분포모델은 Weibull 함수를 이용하였다. 생장모델 내 평균직경과 평균흉고단면적 추정 시 사용한 모델은 Weibull과 Schumacher였다. 기준임령 30년을 바탕으로 중부지방소나무의 지위지수 범위는 8-14에 있는 것으로 나타났다. 임분수확표 지위 12에 따르면, 30년생일 때 연평균생장량(MAI)이 4.42 m^3/ha로 나타났다. 기존 수확표와 비교하였을 때 본 연구결과의 연평균생장량이 더 낮은 것을 알 수 있으며, 이는 법정림과 현실림의 지위지수별 연령별 재적의 차를 쌍체 T-검정(paired t-test)한 결과, 0.001이하의 p-value를 가져 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 판단하였다. 본 연구의 결과를 바탕으로 중부지방소나무의 현실적인 산림 경영과 관리정책에 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract: This study was conducted to construct a empirical yield table for *Pinus densiflora* in real forest. Since existing normal yield tables have been derived by studying and analyzing communities in ideal environment for tree growth, those tables provide more over-estimated values than ones from real forest. Because of this, there are some difficulties to apply the tables to empirical forest except for normal forest. In this study, therefore, we estimated stand growth for real forest on *P. densiflora* as the representative species of conifers. We used 1,957 sample plot data of *P. densiflora* in central Korea from National Forest Inventory (NFI) system, and analyzed through estimation, recovery and prediction in order by using Weibull function as a diameter distribution model. Weilbull and Schumacher models were applied for estimating mean DBH and mean basel area and it was found that the site index for *P. densiflora* in central Korea ranges from 8 to 14 at reference age 30. According to site 12 in the stand yield table, the Mean Annual Increment (MAI) of *P. densiflora* was 4.42 m^3/ha at 30 years of age. Compared to existing volume table constructed before, it is showed that MAI of this study were lower. According to the paired t-test that is conducted with the gap of volume values between normal forest and real forest by site index and age, the P-value was less than 0.001 which is recognized to have a statistically significant difference. Based on the results in this study, it is considered to be helpful for practical management and management policy on *P. densiflora* in central Korea.

Key words: *empirical, growth and yield model,* Pinus densiflora

서 론

임분생장모델은 흉고단면적, 임분밀도, 임분재적, 직경분포 등의 인자를 기본 단위로 하는 모델이다. 이런 모델은 임분생장을 추정하기 위하여 몇몇의 기본 생장 변수만으로 미래 임분에 대한 다양한 생장 및 수확정보를 얻을 수 있다는 점에서 의의가 있다. 미래 임분의 생장과 수확량을 결정하는데 있어 가장 우선적인 것은 직경분포가 어떻게 되느냐이다. 이러한 직경분포를 예측하기 위

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

한 모델링은 단순 계산부터 복잡한 계산방법까지 다양하게 존재하고 있다.

임분생장모델 역사 중 초기 대표적인 것으로 수확표를 들 수 있는데, 수확표는 임령, 지위급에 따라 기대되는 수확량을 표로 요약해 놓은 것이다(Reineke, 1927; Hamilton, 1988). 이는 임령별로 동령림에서의 예측되는 수확량을 표현하며, 수확량을 추정하는 접근법 가운데 가장 오래된 것 중 하나이다. 첫 수확표는 1787년 독일에서 개발되었으며, 이후 100여년 동안 1,000종 이상의 수확표가 공표되었다(Vanclay, 1994). 현대의 수확표는 수확량뿐만 아니라 임분수고, 평균직경, 임목본수, 임분흉고단면적, 연평균 재적생장량 등을 포함하고 있다. 수확표는 법정수확표(normal yield tables)와 가변밀도수확표(variable density yield tables)로 크게 구분할 수 있다(Leary, 1991). 이중 정상수확표는 이상적이거나 완전한 밀도 또는 정상적인 임분에 대하여 임령 및 지위지수별 기대되는 수확량 추정치를 표 형태로 제공하는 것이다(Vuokila, 1965). 일반적으로 이 표는 임시표본점에서의 매목조사 등으로 데이터가 수집된다. 표본점을 설치할 때는 여러 입지조건을 반영할 수 있게끔 다양한 임령에서 완전한 밀도 또는 정상적 밀도비를 갖는 위치에 신중하게 설치하여야 한다.

수확표를 이용함으로서 유사한 임분특성을 갖는 동령림에서는 잠재적인 수확량을 제공받을 수 있으나 천연림에서는 한 임분에 너무 다양한 임령이 분포되어 있어 만족스러운 결과를 가져오기가 어렵다(Vanclay, 1994).

또한 경험적 수확표라는 용어가 사용되는데, 이 수확표의 쓰임새는 보통 완전 또는 정상적 밀도가 존재하는 임분과는 대조적인 평균적 임분에 적용된다(Bruce and Schumacher, 1935). 이를 개발하기 위해서는 평균적인 임분에서 이루어지며, 주로 임시표본점에서 자료가 획득된다. 정상적 임분과는 달리 자료 수집이 평균적인 임분에서 얻어진 것이 필요하다. 정상수확표에 비하여 경험적 수확표의 장점은 시업이 이루어지는 산림경영 하에서 현실적 수확량을 보다 근접하게 제시해 수 있다는 점이다. 현재의 생장·수확모델링 기법은 정상적 또는 평균적 밀도개념을 넘어 가변성있는 임분밀도를 표현하는 동적인 생장모델(가변밀도수확표)로 발전하고 있다(Edwards and Christie, 1981).

본 연구는 동적인 밀도변화가 이루어지는 생장모델이 아닌 자연적인 상태에서의 임분밀도 및 생장수확량을 파악할 수 있는 경험적인 임분수확표를 구현하고자 하였으며, 우리나라 중부지역을 대표하는 수종인 중부지방소나무에 대한 수확표를 만들고자 하였다.

재료 및 방법

1. 공시재료

본 연구는 제 5-6차 국가산림자원조사(National Forest Inventory, NFI)를 통해 수집된 중부지방소나무의 산림생장관련 자료(2006-2013)를 이용하여 해당 수종의 지위지수별 임분수확표를 개발하였으며 분석에 이용된 개체목 생장특성은 Table 1과 같다. 수확표 조제를 위해 분석된 자료는 수집 자료에서 이상치를 제거 후 활용하였다.

2. 자료의 분석

현실림이 반영된 임분수확량을 평가하기 위하여 Weibull 직경분포함수(Garcia, 1981)를 이용하였으며, 모델의 모수추정(Estimation), 모수 적합(Recovery), 모수 예측(Prediction)의 과정을 거쳤다. 직경분포를 통해 추정된 임분의 직경급별 본수와 우세목수고 정보를 이용하여 임령에 따른 임분단위(ha)의 재적을 산정하였다. 상기와 같은 일련의 방법은 국립산림과학원의 주요 11개 수종의 정상 임분수확표(NIFoS, 2012)를 제조시 이용한 방법과 동일하게 진행하였다. 일련의 절차를 통하여 중부지방소나무의 현실림 임분수확표를 조제하고, 현실림이 반영된 임분 재적과 기존 연구에서 개발된 법정림 개념의 임분 재적을 비교 분석 하였다. 모형의 개발과 분석에는 SAS 통계프로그램(ver.9.3, SAS Institute Inc., USA)를 사용하였다.

1) 지위지수의 추정

임분재적을 예측하기 위해서는 지위지수 우세목수고, 평균직경 및 임분밀도의 정보가 필요하다. 지위지수 추정식은 Chapman-Richards 모델 외 다양한 모델이 있으나, 본 연구에서 사용한 추정모델 역시 기존 수확표(NIFoS, 2012) 조제 시 이용된 Chapman-Richards 모델을 이용하였

Table 1. Number of plots and characteristics of growth factors in *Pinus densiflora* stand in central Korea.

Species	No. of plots	Growth factor		
		Age (yr)	DBH (cm)	Height (m)
Pinus densiflora	1957	35 14.6-85.5	18.9 6.0-72.0	11.7 4.1-22.0

(note) $\frac{Mean}{Minimum-Maximum}$

Table 2. Nonlinear growth equations fitted in the study.

Fuction	Fuction Form	Reference
Power	$Y = (a + bSI)(age^{d})$	
Weibull	$Y = (a + bSI)(1 - \exp(-c(age^{d})))$	Weibull(1951)
Chapman-Richards	$Y = (a + bSI)(1 - \exp(-c(age)))^{d}$	Chapman(1961); Richard(1959)
Schumacher	$Y = (a + bSI)\exp(-c(age^{-d}))$	Schumacher(1939)

다. Chapman-Richards (식 1)모델은 3개의 모수를 가졌으나, 점근(Asymptotic)값을 갖는 모수 a를 우세목의 수고로 대체한 모델이며, k는 시간(t)축의 크기를 결정하고, m은 생장곡선의 모양에 관계되는 모수이다(Clutter et. al, 1983).

지위지수의 기준임령은 수고의 생장이 어느 정도 안정화에 접어드는 30년을 기준으로 하였다(Son et. al, 2014).

$$SI_{30} = Domh\left(\frac{1-\exp(-k(30))}{1-\exp(-k(age))}\right)^{m} \quad (1)$$

여기서 Domh는 우세목(혹은 준우세목)의 수고, age는 임령, SI_{30}은 기준임령이 30년인 지위지수, a, k, m은 Chapman-Richards 모형의 모수를 나타낸다.

2) 평균직경 및 평균흉고단면적 추정

본 연구에서는 직경과 흉고단면적 추정식은 수집된 자료의 직경과 흉고직경의 분포경향에 따라 다양한 방법의 식을 이용할 수 있다. 많이 쓰이는 Power, Weibull, Chapman-Richards, Schumacher 4가지 비선형 생장모형추정식 중 가장 높은 적합도를 보이는 추정식을 선정하여 평균직경과 평균 흉고단면적을 추정하였다(Table 2).

3) Weibull 함수 모수 복구에 의한 경급분포확률의 추정

각 임분에 대한 경급분포를 나타낼 수 있는 Weibull 분포의 모수추정에 이용되는 최소직경, 최대직경 및 흉고단면적 표준편차를 기본 생장특성정보인 평균직경과 우세목수고로 추정식을 만들 수 있다. 구체적인 식의 모형은 식 2, 3, 4와 같다.

$$D_{\min} = -a + b \times \overline{D} + \frac{c}{Domh} \quad (2)$$

$$D_{\max} = a + b \times \overline{D} + c \times Domh \quad (3)$$

$$BA_{std} = a + b \times (D_{\max}^{2} - D_{\min}^{2}) \quad (4)$$

여기서 D_{min}는 최소직경, D_{max}는 최대직경, $\overline{D}$는 평균직경, BA_{std}는 흉고단면적표준편차, Domh는 우세목수고를 나타낸다.

4) Weibull 함수 모수 추정에 의한 직경분포의 추정

Weibull 분포의 직경급별 누적밀도 추정모델을 사용하여 3개의 모수를 추정하였다. 이 단계 역시 기존 수확표(NIFoS, 2012) 제조에서 이용된 단순적률법(Simplified method of moments)을 사용하였으며 누적밀도에 관한 수식은 식 5와 같다. c는 위치의 모수로 분포의 초기 위치를 결정하고, a는 범위의 모수로 직경분포의 범위를, b는 모양의 모수로 분포의 모형을 나타낸다(Garcia, 1981).

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-a}{b}\right)^{c}\right] \quad (5)$$

여기서, a는 최소직경, b는 $1/z[1+(1-z)^{2}\sum_{i=0}^{n} k_i z^{i}]$, c는 $[\Gamma(1+1/b)/(\mu-c)]^{b}$을 나타낸다.

5) 경급별 수고 추정

단위면적당 경급별 임분재적을 구하기 위해서는 단위면적당 경급별 본수와 경급별 수고 및 개체목 재적식이 필요하다. 경급별 본수는 평균직경과 우세목수고에 의한 Weibull 분포 모수추정으로 경급별 확률분포를 구한 후 여기서 본수밀도(ha당 본수)를 곱하여 얻게 되며 경급별 수고 추정식은 다음 식 6과 같다. 수고 추정식은 우세목수고를 기준으로 해당경급까지의 누적밀도와 임령을 이용하여 보정하는 형태를 취함으로서 이론적으로 우수한 구조를 가지고 있으며, 누적된 직경분포는 수고곡선의 전형적인 형태인 sigmoid 모양을 가져 모델의 신뢰성을 높여 주고 있다(Son et al., 2014).

$$ht = Domh\left(a + \frac{b}{Domh}age + c \times \ln(fxad+1) + \frac{d}{age} \times Domh \times \ln(fxad)\right) \quad (6)$$

여기서 age는 임령, Domh는 우세목수고, fxad는 직경

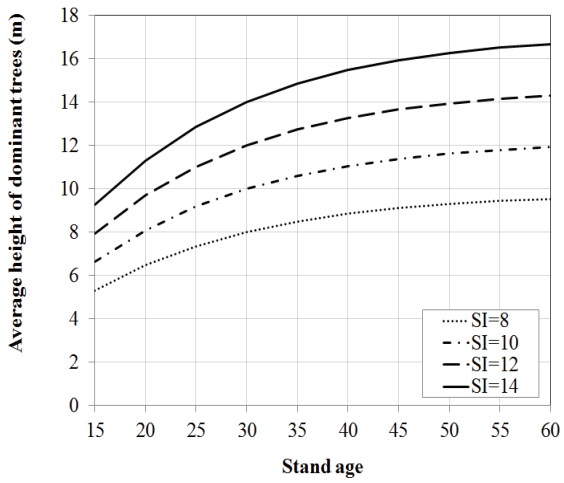

Figure 1. Site index curve of *Pinus densiflora* stand in central Korea.

누적밀도를 나타낸다.

6) 기존 수확표와의 비교

기존에 해당 지위와 임령에 대해 중상 이상의 임목축적을 갖는 자료만을 이용하여 모델에 적용하여 조제한 기존 임분수확표와 본 연구에서 NFI자료를 바탕으로 현실임목을 반영하여 조제한 임분 수확표의 지위지수별 연령별 재적의 변화를 비교하였다. 이때 각 대상별 case를 매치할 수 있는 상태이므로 쌍체 T-검정(paired t-test)를 이용하여 통계분석하였다.

결 과

1. 직경분포생장 모델 적용을 위한 임분생장 추정

1) 지위지수 추정

중부지방소나무 임분의 지위지수 기준임령 30년에서 지위지수는 8-14의 범위로 나타났다(Figure 1). 이는 기존 임분수확표(NIFoS, 2012)에서 제시된 지위지수 10-16의 범위보다 낮은 지위분포를 보이고 있다. 이는 기존의 임분수확표가 정상적인 임분을 대상으로 조사 분석함에 따라 나타난 결과이며, 기존 임분수확표는 현실 산림 경영에 적용하기에는 과대 값을 가질 것으로 판단된다.

2) 평균직경 및 평균흉고단면적 추정

평균직경(mean DBH)과 평균흉고단면적(mean BA)의 추정에 적합한 식을 선정하기 위하여 아래 4가지의 비선형 생장곡선 추정식을 이용하여 모수를 추정 후(Table 3, Table 4), 적합도 값이 가장 높은 추정식을 선정하여 평균직경와 평균흉고단면적을 구하였다. 평균직경과 평균흉고단면적에서 Weibull와 Schumacher 생장모형 추정식이 각각 0.5135와 0.27729로 가장 높은 적합도를 보였다. Table 4에서의 적합도가 상대적으로 떨어지는 경향을 보이는데 이는 2차원인 흉고단면적(m^2)은 1차원인 다른 인자들 보다 산포도가 더 넓게 확장되어있어 설명력이 상대적으로 떨어지는 원인이 된다. 이러한 경향은 이전 연구인 Son et al.(2014) 아까시나무 임분생장 연구와 Son et al.(2015) 삼나무 임분수확량 평가 연구에서도 동일한 경향을 보이고 있다.

Table 3. Parameters and fitness index (FI) of Nonlinear growth equations fitted mean for DBH in *Pinus densiflora* stand in central Korea.

Equation	Mean DBH parameter				FI
	a	b	c	d	
Power	0.1978	0.0314	-	0.9682	0.5093
Weibull	12.8357	12.0881	0.0038	1.4468	0.5135
Chapman-Richards	14.0211	2.2798	0.0276	1.7242	0.5132
Schumacher	32.7424	5.3111	14.3029	0.6039	0.5132

Table 4. Parameters and fitness index (FI) of Nonlinear growth equations fitted mean for BA in *Pinus densiflora* stand in central Korea.

Equation	Mean BA parameter				FI
	a	b	c	d	
Power	0.6385	0.1862	-	0.6617	0.2759
Weibull	11.5068	3.4112	0.0181	1.0879	0.2771
Chapman-Richards	11.5827	3.4345	0.0276	1.1510	0.2771
Schumacher	17.6761	5.2411	11.4176	0.6926	0.2773

Table 5. Parameters and fitness index (FI) by growth factors in *Pinus densiflora* stand in central Korea.

Stand growth factor	Equation	Parameter				FI
		a	b	c	d	
Min.DBH	eq. 2	-4.454	0.5875	28.344	-	0.6557
Max.DBH	eq. 3	7.3172	0.8758	0.6686	-	0.6405
STD.BA	eq. 4	-32.6897	0.2208	-	-	0.7167
Height	eq. 6	0.60450	-0.0037	0.5811	-0.1053	0.9178

Table 6. Test statistics for stand volume equation in *Pinus densiflora* stand in central Korea.

Species	FI	SEE	Bias	MAD
Pinus densiflora	0.5588	45.3217	-15.5777	35.6005

3) 생장인자별 임분생장식 추정

중부지방소나무 임분직경분포 추정 및 예측을 위하여 평균직경과 우세목수고를 이용하여 생장인자인 최소직경(Min. DBH), 최대직경(Max. DBH), 흉고단면적 표준편차(Std. Basal Area)를 추정하고, 식의 설명력을 평가하기 위하여 적합도를 도출하였다(Table 5).

각 인자들의 적합도는 0.64~0.92의 범위로 추정식 모수의 사용이 가능한 것으로 판단된다.

2. 임분수확량 예측

1) 임분재적 추정

Weibull 직경분포모델을 이용하여 중부지방소나무 임분재적을 추정한 결과, 약 56%의 적합도를 보였다(Table 6). 중부지방소나무의 실제 재적 값과 추정 값을 비교하였을 때 Figure 2와 같으며 이의 잔차도는 Figure 3에 나타내었다. 잔차도를 보았을 때, 30년 이상의 재적의 추정값이 과대 평가되어 계산되었으며 이는 조사된 데이터에서 30년생 이상의 노령의 자료가 충분히 존재하지 않아 나이가 높아질수록 추정 값의 신뢰도가 떨어지는 것으로 예상된다. 이후 연구에 있어 노령임분의 데이터를 보충하여 정밀 예측이 필요할 것으로 판단된다.

2) 임분생장량 평가 및 예측표

중부지방소나무 임분수확량을 알 수 있는 임분수확표를 상기의 추정식들을 이용하여 조제한 결과는 아래 Table 7과 같으며, 분석 결과 지위 12를 기준으로 수확표상 30년생일 때 연평균 생장량(Mean Annual Increment, MAI)이 가장 높은 4.42 m^3/ha인 것으로 나타났다. 기존 수확표(NIFoS, 2012)와 비교하였을 때 35년생에서 4.85 m^3/ha로 최대값을 가지는 것으로 나타났다.

3. 기존 수확표와의 비교

지위지수 12를 기준으로 임령별 임분수확량을 비교한 결과 Figure 4와 같으며, 기존 수확표는 25년생까지는 현실림수확표가 높은 값을 가지나, 이후 기존 수확표가 상대적으로 높은 값을 갖는 것으로 나타났다.

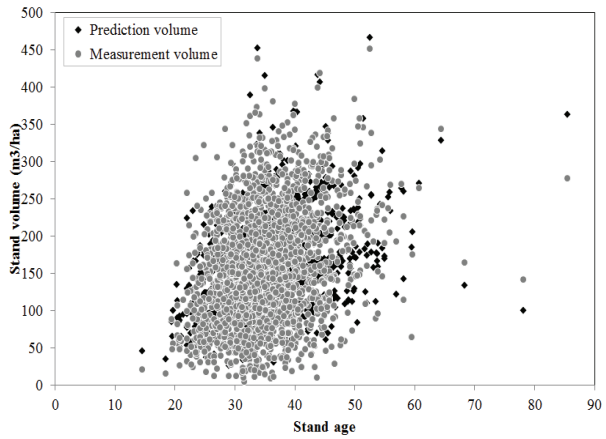

Figure 2. Comparison between measured volume data and predicted volume data in *Pinus densiflora* stand in central Korea.

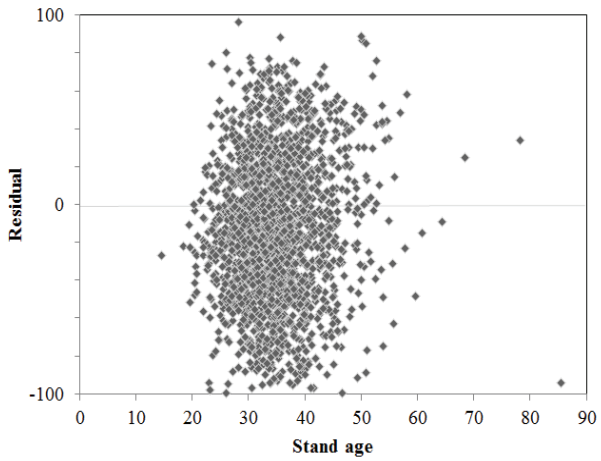

Figure 3. Residual scattergram for predicted volume.

Table 7. Stand yield table of *Pinus densiflora* stand (Site index; 12) in central Korea.

Age	Mean height (m)	Mean DBH (cm)	Stand volume (m^3/ha)	Basal area (m^2/ha)	Periodic increment (m^3/ha)	Periodic increment ratio (%)	Mean annual increment (m^3/ha)	Tree number (No./ha)
20	8.1	9.5	84.3	19.2	5.94	8.54	4.22	2,697
25	9.1	12.5	110.4	23.6	5.20	5.34	4.41	1,927
30	9.9	15.4	132.6	27.3	4.45	3.66	4.42	1,470
35	10.5	18.1	151.2	30.4	3.71	2.62	4.32	1,181
40	10.9	20.7	166.6	33.2	3.08	1.94	4.16	988
45	11.2	23.0	179.3	35.6	2.55	1.48	3.99	854
50	11.4	25.1	190.1	37.7	2.14	1.16	3.80	759
55	11.6	27.0	199.1	39.6	1.82	0.93	3.62	689
60	11.7	28.7	206.9	41.2	1.56	0.77	3.45	636
65	11.8	30.2	213.7	42.7	1.35	0.64	3.29	597
70	11.9	31.5	219.6	44.1	1.19	0.55	3.14	568
75	11.9	32.6	224.9	45.4	1.06	0.48	3.00	545
80	11.9	33.5	229.7	46.5	0.95	0.42	2.87	529

Table 8. Test statistics from paired t-test on *Pinus densflora* stand in central Korea.

Species	DF	t Value	Pr > |t|
Pinus densiflora	38	-5.04	<.0001

이를 통계적으로 검정하기 위하여 T-검정의 쌍체검정(paired ttest)를 실시 하였다. 그 결과, 지위지수 10-14의 20년생부터 80년생까지의 5년생 단위의 재적 값을 비교하였을 때 Table 8과 같이 p-value는 0.001이하의 값을 가지며 재적표 개정 전후의 차이가 없다라는 귀무가설을 기각하면서 법정림 상태의 재적과 현실림 상태의 재적의 지위지수별 임령별 재적이 통계적으로 유의한 차이를 보이는 것을 알 수 있다.

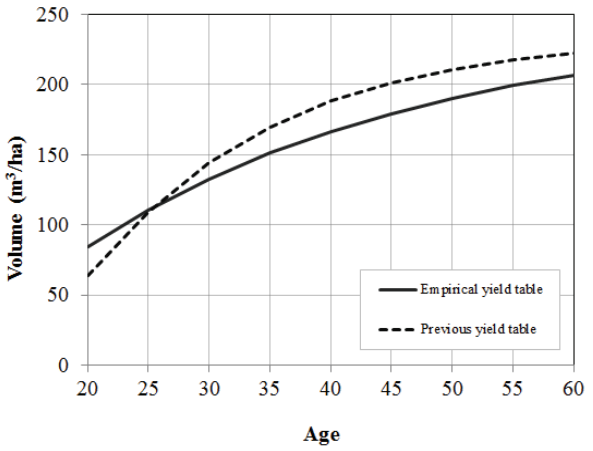

Figure 4. Comparison between the Empirical yield table and Previous yield table in *Pinus densiflora* stand (Site index; 12) in central Korea.

결 론

본 연구는 우리나라의 대표적인 침엽 수종인 중부지방 소나무를 대상으로 임령, 본수, 직경, 수고 등의 실제 생장정보를 바탕으로 지위지수, 흉고 직경급별 본수, ha당 재적정보를 추정하는 모수를 구하고 임분수확량을 예측하였다. 이 결과 기존의 임분수확표와 다르게 현실림의 생장정보를 바탕으로 조제하여 예측된 임분재적량은 기존의 법정림의 생장정보를 바탕으로 조제된 임분재적량에 비해 낮게 추정되었다. 이러한 차이는 사용된 현실림과 법정림의 생장정보 차이에서 오는 것으로 유추할 수 있다. 현실림은 매우 다양한 임분 상태를 여과없이 나타내주고 있으므로, 이상적인 법정림과의 지위지수범위가 다르게 나타날 수 밖에 없으며, 따라서 임분수확량 또한 다르게 나타나게 된다. 같은 지위에서의 연평균 생장량(MAI)를 비교 하였을 때도 기존 재적표에 비해 최대 13% 정도 낮은 것으로 나타났다. 현실림 산림경영을 위해서는 '법정상태'에 있는 임분수확량에 대한 정보도 필요하나, 현실림 자체에 대한 생장상태를 제대로 알고 산림을 경영함이 타당하다. 이에 정상적이고 이상적 생장의 임분수확표는 현실 산림 경영에 이용하기에는 재적이 과대하여 적용이 곤란하다. 따라서 현실 산림을 제대로 반영하는 현실적인 지위지수 및 수확량을 제공하는데 의의가 있다.

본 연구는 국내 다양한 수종 중 중부지방소나무 현실림 임분수확표을 조제하였지만 경험적 수확표 제조 연구를 바탕으로 국내의 다양한 수종에 대한 경험적 수확표 조제에 관한 연구가 활발히 이루어 질 것이 기대된다.

References

Bruce, D. and Schumacher, F.X., 1935. Forest Mensuration. 1st ed. New York. McGrw-Hill Co. pp. 376.

Chapman, D.G., 1961. Statistical problems in dynamics of exploited fisheries populations. In Proc. 4th Berkeley Symp. Math. Stat. and Prob., Univ. Calif. Press, Berkeley, pp. 153-168.

Clutter, J.L., Fortson, J.C., Pienaar, L.V., Brister, G.H. and Bailey, R.L., 1983. Timber management-A quantitative approach-. John Wiley & Sons. pp. 333.

Edwards, P.N. and Christie, J.M. 1981. Yield models for forest management. For. Comm. Booklet 48, pp. 32.

Garcia, O. 1981. Simplified method-of-moments estimation for the weibull distribution. New Zealand journal of Forest Science 11(3): 304-306.

Hamilton, G.J. 1988. Forest Meansureation Handbook. For. Comm. Booket No39, HMSO, London. pp. 274.

Leary, R.A. 1991. Near-normal, empirical, and identity yield tables for estimating stand growth. Can. J. For. Res. 21: 353-362.

NIFoS; National Institute of Forest Science. 2012. Stand volume biomass and stand yield table. 3rd ed. National Institute of Forest Science, pp. 261.

Schumacher, F.X. 1939. A new growth curve and its application to timber yield studies. J. For. 37: 819-820.

Son, Y.M., Kim, S.W., Lee, S.J. and Lim, J.S. 2014. Estimation of stand yield and carbon stock for robinia pseudoacacia stands in Korea. Journal of korean forest society 103(2): 264-269.

Son, Y.M., Kang, J.T., Hwang, J.S., Park, H. and Lee, K.S. 2015. Assessment and prediction of stand yield in cryptomeria japonica stands. Journal of korean forest society 104(3): 421-426.

Reineke, L.H. 1927. A modification of Bruce's method of preparing timber yield tables. J. Agric. Res. 35: 843-856.

Richard, F.J. 1959. A flexible growth function for empirical use. J. Exp. Bot. 10: 290-300.

Vanclay, J.K. 1994. Modelling forest growth and yield : applications to mixed tropical forests. Southern Cross University, pp. 330.

Vuokila, Y. 1965. Functions for variable density yield tables of pine based on temporary sample plots. Commun. Unst. For. Fenn. 60(4): 1-86.

Weibull, W. 1951. Applied Linear Regression, 2nd. ed. Wiley, N.Y. pp. 324.

(Received: March 16, 2017; Accepted: May 6, 2017)