

곰솔林分의 直徑 및 樹高生長 推定에 관한 研究¹

朴明淑² · 鄭永觀³

Estimation of Diameter and Height Growth in *Pinus thunbergii* Stands Using Linear and Nonlinear Growth Functions¹

Myeong Sook Park² and Young Gwan Chung³

要 約

地位指數 12등급인 곰솔임분에 대한 最適의 直徑 및 樹高生長函數를 linear transformation(1), linear transformation(2) 등 2개의 線型式과 exponential, Gompertz, Chapman-Richards, Weibull 등 4개의 非線型式에 의하여 도출하였다. 이들 함수에 의하여 추정된 직경 및 수고생장과 실측치인 직경 및 수고생장간의 상호관계를 분석하였다. 곰솔임분의 임령에 따른 직경과 수고생장을 추정한 결과는 선형식보다 비선형식의 적합성이 높게 나타났으며, 직경생장에는 Gompertz식, 그리고 수고생장에는 Chapman-Richards식의 적합성이 높게 나타났으나, 이들 비선형식간의 큰 차이는 없는 것으로 나타났다. 따라서 앞으로 이들 비선형식을 적용하여 現實林分의 직경과 수고생장을 추정하여야 할 것으로 사료된다.

ABSTRACT

To estimate optimal tree diameter and height growth function in *Pinus thunbergii* stands with site index of 12 class, quoted from two linear models of linear transformation(1) and linear transformation (2) and four non-linear models of exponential, Gompertz, Chapman-Richards, and Weibull etc.. Analyzed correlation among the estimated tree diameter and height by these function models, and observed diameter and height growth were compared. In the results of tree diameter and height growth estimation by stand age, non-linear models showed better appropriation than linear model and Chapman-Richards model was most fitted for tree height growth but few, if any, differences among their non-linear models. Therefore, it is consider to be much more study about non-linear model to estimate tree diameter and height growth in the actual stands hereafter.

Key words : *Pinus thunbergii*, *growth function*, *site index*, *linear model*, *non-linear model*

緒 論

林木이란 생태계의 생물적 시스템으로서, 林齡에 따른 생장은 sigmoid curve를 그리며, 이 성장곡선을 정확하게 추적하기 위한 生長函數의 導出은 산림자원의 측정뿐만 아니라 山林經營의 기

초자료가 되고 있다.

과거 임목의 성장과정을 구명하기 위하여 Zeide (1989)가 성장함수들의 비교분석에 관한 연구에서, 19세기 초 Hossfeld IV식에 의해 비선형의 임목성장곡선에 관심을 가지게 된 시발점이 되었다고 하였으며, 인구증가의 이론적인 모델로 생

¹ 接受 1998年 9月 21日 Received on September 21, 1998.

² 林業協同組合中央會 梁山市 林業協同組合 Yangsan City Forestry Cooperatives, National Forestry Cooperatives Federation, Yangsan, Korea

³ 慶尙大學校 農科大學 山林科學部 Faculty of Forest Science, College of Agriculture, Gyeongsang National University, Chinju, 660-701, Korea.

태학분야에 널리 사용되고 있는 Logistic식, 굴절되지 않는 간이생장추정을 위한 Monomolecular식에 대한 연구가 있어 왔다. 그리고 parameter a에 의해 최대성장점의 크기가 결정되는 Gompertz식(1825), 동물의 생장추정에 이용된 Bertalanffy식(1898) 등이 발표되었으나, 이들 대부분은 생태계 및 사회과학 분야에 이용된 후 임목의 생장을 추정하는데 적용되었다. 日本에서 吉田(1979)가 임령변화에 따른 임목의 생장을 구명하기 시작하면서 비선형의 성장함수가 임목의 생장을 파악하는데 사용된 후 많은 수식들이 발표되었다. Zeide(1993)는 이미 사용되었던 직선회귀식, Huxely식, Yoshida식 등은 모형 자체의 직선성으로 인하여 임령의 증가에 따른 생장의 극대점에 빨리 도달하게 되므로써 임목생장의 특성을 설명하는데 많은 문제점이 표출되어 이들 수식의 적용빈도가 점차 줄어들 것이라 하였다.

최근에 이르러 컴퓨터를 이용하여 도출된 임목생장함수 또는 실험식으로 구성된 시스템에 특정 임분의 측정자료를 입력함으로써 산림자원에 대한 정확한 정보와 장래의 성장량 및 수확량을 예측할 수 있게 되고, 여기서 추정된 성장량 및 수확량에 따라 임분의 작업종, 윤벌기, 식재밀도, 간벌시기 등 임업경영활동의 다양한 정책결정을 지원할 수 있게 되었다. 그리고 Jerome(1995)의 열대산림에 대한 성장모델에 관한 연구에 의하면 최근의 임목생장과정에 관한 연구동향은 曲線適合化方法(curve-fitting approach)에 주로 의존하고 있으나, 점차 동태적인 프로그램을 이용하여 이해하기 쉽고 융통성 있는 컴퓨터 모델링 기법의 개발에 의한 성장함수가 산림경영관리에 적합하다고 하였다. 우리 나라의 임업연구원에서 1963~1977년까지 강원도산 소나무 외 8종의 임분 수확표를 작성하기 시작하여 1987년까지 잣나무 외 2수종이 추가되었으며, 그후 경시적 수확 및 성장량을 추정하기 위한 고정수확시험지 설치 및 주기적 조사, 그리고 계획적인 간벌지침 마련

과 이에 따른 수확량예측을 위한 林分密度管理圖 제작을 위한 기초 조사가 전국에 걸쳐 실시되고 있으며, 이경학(1991)은 Weibull분포를 이용한 낙엽송 수확예측모델을, 尹鍾和(1983, 1991)는 Weibull분포와 임목직경간의 관계를, 權五福 등(1982)은 Logistic함수와 밀도관리를, Mitscherlich 외 2개 함수의 적합도를 분석한 서옥하(1992) 등의 비선형적 생장 및 수확모델이 연구되고 있으며, 최근 신만용(1996)은 낙엽송의 흉고형수와 정형수 추정에 대한 연구가 수행되었다.

따라서 본 연구는 비선형의 임목생장과정에 대한 합리적인 접근방법을 모색하기 위하여, 남부해안 지역에 주로 생육하고 있는 곰솔의 흉고직경, 수고생장 추정에 대한 선형 및 비선형의 성장함수를 도출하고, 이론적·통계적 검정을 통하여 곰솔임분의 생장에 따른 최적의 성장함수를 제시하고자 한다.

材料 및 方法

1. 調査地의 概況 및 供試材料

본 연구에 사용된 공시 재료는 慶尙南北道, 全羅南北道 지역의 우리 나라 동·남·서해안에 생육하고 있는 곰솔임분을 대상으로 조사 측정하였다. 標準地는 林分의 구조가 균일하고, 울폐도가 비교적 완전하여 임분내 공간이 없으며, 樹幹의 상부가 雪害나 風害를 받지 않은 건전하고 상태가 양호한 林分을 대상으로 하였다. 標準木은 標準地별 1본을 벌채하여 樹幹析解한 후 樹齡別 胸高直徑 및 樹高를 測定하였다. 이들 표준지의 위치와 개황은 Table 1과 같다.

Table 1에서, 공시목은 지위지수 12등급에 해당하는 49개 표준지에서 49본을 선정하여 이를 벌채한 후 수간삭해하였다. 공시목의 평균 임령은 29년, 평균흉고직경은 18cm, 평균 수고는 12m로 측정되었다. 표준지의 경사도는 15°~20°로 나타났으며, 토양형은 주로 褐色適潤森林土壤(B₃)

Table 1. Status of study sites in *Pinus thunbergii*

<i>Pinus thunbergii</i> stands	No. of plots	Topographical factors			Climatic factors		Forest factors			Site index
		Slope (°)	Soil type	Soil depth (cm)	Mean temperature (°C)	Annual precipitation (mm)	Age	Dbh(cm)	Height(m)	
49	15 - 20	B ₃	54 - 90	12.7 - 14.1	1,250 - 1,700	29	18.1	12.0	12	
						10 - 60	6.8 - 33.7	15.6 - 18.9		

으로서, 양토, 사양토, 식양토였다. 유효토심은 54~90cm로 측정되었으며, 토양습도는 적윤지로 임목생장에 적합한 상태였다. 조사방법은 20m×20m=400m² 크기의 방형구 총 49plots를 표준지로 선정하였으며, 그리고 국소지형, 사면향, 방위, 경사, 위도, 해발고 등 지리적 환경이 유사한 지역을 대상으로 하였다.

그리고 시험대상지의 평균기온은 12.7~14.1℃, 년강수량은 1,250~1,700mm로서 전형적인 온대남부의 기후대를 형성하고있다.

2. 統計的 分析方法

1) 生長函數 推定式

곰솔임분의 생장패턴을 추적하기 위한 생장함수 추정에 이용된 선형식과 비선형식은 Table 2와 같다.

Table 2에서, 임목의 흉고직경, 수고생장의 과정을 표현하는데 적용된 선형식 중 적합성이 인정된 linear transformation(1), linear transformation(2)*는 우리 나라의 많은 수종의 임분 수확표를 작성할 때 사용된 모형이다(이홍균 등, 1985). 그리고 비선형식 중 Gompertz식은 1825년 인구의 연령분포를 알기 위하여 개발된 후 임목의 생장량을 추정하는데 사용된 모형으로서, 감소 point가 단 하나의 parameter 즉, 漸近의 크기가 a로서 통제되고 있으며, 이 point는 현재의 크기가 a/e(1/e=0.36789)일 때 생긴다(이경학 등 : 1996). Chapman-Richards함수식은 1959년에 Richards에 의해 실험적 이용을 위한 융통성 있는 생장곡선식으로서 현재 사용빈도가 가장 높은 모형이다. 그리고 Weibull함수식은 확률분

포를 알기 위하여 1939년에 임목의 직경분포 및 임분구조해석 등 임업경영에 이용되고 있는 모형이다.

2) 生長函數 推定式的 適合性 檢定

(1) 적합성분석

기존 수확표에 의한 직경 및 수고의 추정치와 생장함수에 의한 추정치간의 관계를 ①식에 의하여 분석하였다.

$$r_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})\sum(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2}\sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}} \dots\dots\dots ①$$

(2) 모형의 평균절대편차(IMD : |Mean Difference|)

2개의 선형식과 4개의 비선형식 중 곰솔임분의 생장추정에 각 수식의 적합도를 알아보기 위하여 ②식으로부터 모형의 평균절대편차를 산출하였다.

$$|MD| = \frac{\sum_{i=1}^n |e_i|}{n} \dots\dots\dots ②$$

여기에서, MD : 모형의 평균절대편차
e_i : G - \bar{G} , 즉 실측치와 추정치간의 차
n : 곰솔임목 본수

結果 및 考察

1. 直徑生長函數의 推定

곰솔 임분의 직경생장을 추정하는데 이용된 추정 함수의 적합성을 분석한 결과는 Table 3과

Table 2. Model of linear and non-linear growth function for diameter and height estimated in *Pinus thunbergii* stands

Equation	Integral form	Differential form
Linear transformation(1)	$Y = at^b$	$Y' = abt^{b-1}$
Linear transformation(2)	$Y = at^b \cdot e^{ct}$	$Y' = at^{b-2}(b-ac)e^{ct}$
Exponential	$Y = ae^{-bt}$	$Y' = abt - 2 \cdot e^{-t}/b$
Gompertz	$Y = ae^{-be^{-at}}$	$Y' = bcf^{-t}/(b+f/a)^2$
Chapman-Richards	$Y = a(1 - e^{-bt})^c$	$Y' = abce - bt(1 - e^{-bt})c - 1$
Weibull	$Y = a(1 - e^{-bt^c})$	$Y' = abcf^{-1}e^{-tc}$

Linear transformation(2)* : observation equation for constructing yield table
Y = tree or stand size(diameter and height.); t = age; Y' = size increment
ln = the natural logarithmic function
a, b, c and d = parameters of equation.

Table 3. Estimation of dbh growth functions and determination coefficients of estimation model on dbh growth of *Pinus thunbergii* stands

	Equation	Parameters			R ²
		a	b	c	
Linear	Linear transformation(1)	0.886	0.894		0.956
	Linear transformation(2)	1.715	0.751	-4.777	0.966
Non-linear	Exponential	48.805	25.904	0.978	0.984
	Gompertz	39.273	2.906	0.047	0.998
	Chapman-Richards	47.166	0.025	1.392	0.997
	Weibull	42.414	0.007	1.306	0.997

Table 4. The comparison of observed values and estimated dbh values for age by linear and non-linear growth functions

Age	Actual dbh	Linear trans. (1)	Linear trans. (2)	Exponential	Gompertz	Chapman-Richards	Weibull
10	7.5	6.9	6.0	3.6	6.4	5.8	5.7
15	8.0	10.0	9.5	8.6	9.3	9.3	9.3
20	11.1	12.9	12.8	13.3	12.5	12.8	12.8
24	13.3	15.2	15.3	16.5	15.2	15.5	15.5
30	20.2	18.5	18.8	20.4	19.2	19.3	19.4
36	21.2	21.8	21.0	23.6	22.9	22.8	22.9
42	26.9	25.1	22.7	26.1	26.1	25.9	26.0
45	28.8	26.6	26.8	27.2	27.5	27.3	27.4
52	31.0	30.3	30.4	29.4	30.4	30.3	30.3
55	31.9	31.9	31.8	30.2	31.4	31.4	31.4
60	31.0	34.5	34.2	31.4	32.9	33.2	33.0
R ²		0.945	0.949	0.960	0.994	0.990	0.984
MD		1.33	1.28	1.25	1.13	1.19	1.18

같다.

Table 3에서, 곰솔임분의 직경생장을 추정하는데 이용된 모형중 선형식은 94~97%, 비선형식은 98% 이상의 설명력을 가지며, 비선형식이 선형식보다 추정정도가 높게 나타난 것으로 보아 임목의 직경생장 추정은 비선형식을 적용하는 것이 효율적일 것으로 사료된다. 이와 같은 결과는 권오복(1982) 등이 소나무림의 밀도조절관리 연구에서 증부지방 소나무에 비선형식인 Logistic 곡선을 적용하여 수령과 흉고직경생장과의 관계를 추정한 결과 그 적합성이 매우 높았다는 보고와 유사한 경향을 보여주고 있다.

이상에서 적용된 선형식 및 비선형식에 의한 임령별 직경 추정치와 실측치간의 상관과 모형의 적합성을 검정하기 위하여 평균절대편차를 계산한 결과는 Table 4와 같다

Table 4에서, 실측치에 대한 비선형식의 추정

치가 선형식의 추정치보다 R²가 높게 나타났으며, 평균절대편차도 적었다. 비선형식 중 Gompertz식의 상관계수가 0.994로 가장 높았으며, 또한 평균절대편차도 1.13으로 가장 적게 나타났다. 따라서 임목의 직경생장을 추정하는데는 선형식보다 비선형식을 사용하는 것이, 그리고 비선형식 중 곰솔임분의 직경생장을 가장 잘 묘사하는 추정식은 실측치와 상관성이 높고, 평균절대편차가 적은 Gompertz 식이라고 판단된다.

실측치와 3개 모형의 선형식에 의하여 추정된 흉고직경 그리고 수확표상의 흉고직경간의 상호관계를 그림으로 나타내면 Fig. 1과 같다.

Fig. 1에서, 선형변형식(1), 선형변형식(2)에 의하여 추정된 흉고직경과 수확표상의 흉고직경을 비교하여 보면, 성장 초기에는 모두가 거의 일정한 경향으로 나타났다.

위의 2개 모형은 고유의 직선적 특성으로 인하

여 전형적인 임목의 생장패턴인 sigmoid-curve에 접근하지 못하므로 임목의 생장과정을 추적하는데 적절하지 못한 것으로 사료된다. 이들 식이 현재 임령에 따른 직경생장을 설명하는데는 별문제가 없으나 이 이상의 임령이 될 때 설명력은 식의 직선성으로 인하여 곤란할 것이다. 따라서 비선형식의 사용이 요구된다. 이는 上野 등(1992)의 새로운 성장함수의 유도연구에서, 과거에 사용했던 주요한 선형식은 임목의 일정한 임령에 도달했을 때 성장율의 감소현상을 잘 설명해주지 못하므로 새로운 방법의 접근이 필요하다는 이론에 부응한다고 할 수 있다.

실측치와 4개 모형의 비선형식에 의하여 추정된 흉고직경간의 상호관계를 그림으로 나타내면 Fig. 2와 같다.

Fig. 2에서, 비선형식에 의하여 추정된 흉고직경을 비교하여 보면, 비선형식 중 Gompertz식이 결정계수 $R^2: 0.998$ 로 가장 높게 나타났다 (Table 3). 그 외 Richards식 및 Weibull식의 추

정정도 역시 Gompertz식과 비교하여 볼 때 유의적이라 할 수 없으나 임목의 고유생장패턴 sigmoid curve에 근접하고 있다. 이와 같은 결과는 서옥하(1992)의 직접탐색법을 이용한 이론적 성장함수의 적용에서 비선형의 Mitscherlich, Gompertz, Logistic식을 이용한 임목의 반경생장 측정에서 적합성이 인정되었다는 보고와 유사한 결과를 보여주고 있다. 따라서 곰솔임분의 흉고직경을 추정하고자 할 경우에는 본 분석에서 사용한 어떠한 비선형식을 사용하여도 관계없으나 최적모형을 선정한다면 Gompertz식이라 볼 수 있다.

2. 樹高生長函數 推定

곰솔임분의 수고생장과정을 알아보려고 도출된 수고성장함수와 유도된 추정식의 적합성을 결정계수에 의하여 알아보면 Table 5와 같다.

Table 5에서, 곰솔임분의 수고생장을 추정하는데 이용된 모형 중 선형변형식의 설명력은 약 96%, 비선형식의 설명력이 98~99%로 나타났으

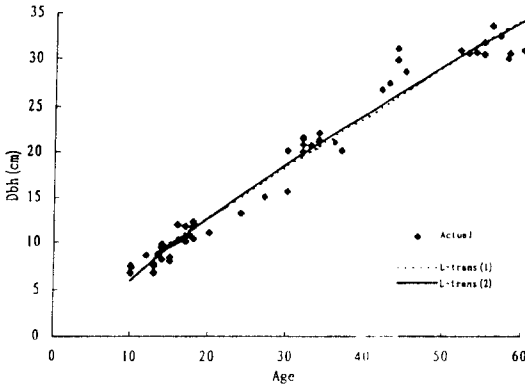


Fig. 1. The relationships between values observed and dbh estimated by growth functions derived from linear models on *Pinus thunbergii* stands.

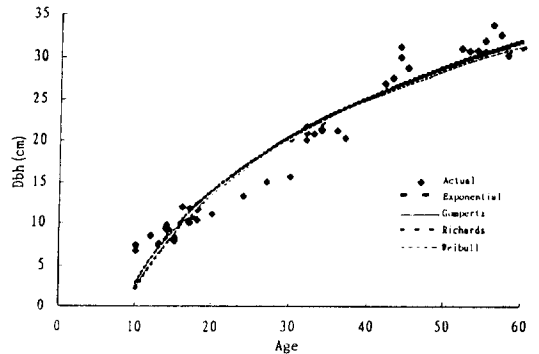


Fig. 2. The relationships between values observed and dbh estimated by growth functions derived from non-linear models on *Pinus thunbergii* stands.

Table 5. The Estimation of height growth functions and determination coefficients of estimation model on height growth of *Pinus thunbergii* stands

Classification	Equation name	Parameters			R ²
		a	b	c	
Linear	Linear transformation(1)	1.305	0.665		0.961
	Linear transformation(2)	1.226	0.679	0.384	0.961
Non-linear	Exponential	25.057	18.270		0.981
	Gompertz	19.711	2.485	0.062	0.994
	Chapman-Richards	20.749	0.044	1.403	0.995
	Weibull	20.060	0.015	1.254	0.994

며, 특히 비선형식은 선형식에 비하여 추정정도가 높게 나타난 것으로 보아 임목의 수고성장추정은 비선형식을 적용하는 것이 더욱 적절할 것으로 사료되며, 이상의 4가지 비선형식에서 추정식의 결정계수가 Chapman-Richards식 > Gompertz식, Weibull식 > Exponential식의 순으로 높게 나타났다. 특히 Chapman-Richards식은 다른 비선형 식보다 높은 설명력($R^2: 0.995$)을 보여주어, 임목의 수고성장 과정을 추적하는데 가장 적절한 모형이라 사료되었으며, 반면 지수식이 다른 비선형식에 비하여 결정계수가 약간 낮게 평가되었으나 나머지 3개 식에 있어서는 큰 차이를 나타내지 않았다. 이와 같은 결과는 Dolph(1988)의 California white-fir의 지위지수 추정에서 Richards식의 결정계수($R^2: 0.9998$)가 높다고 하였으며, 鄭榮教(1994)의 중부지방 잣나무의 수고생장을 추정하기 위하여 Richards식을 적용하였을 경우 결정계수 $R^2: 0.9863$ 으로 나타나 본 연구결과와 유사한 경향을 보이고 있다.

이와 같은 선형식 및 비선형식에 의하여 추정된 임령별 수고와 실측치간의 관계를 알아보기 위하여 계산한 결과는 Table 6과 같다.

Table 6에서, 지위지수 12인 곰솔임분에 대한 수고의 실측치와 선형식과 비선형식에 의하여 추정된 수고간의 상호관계를 알아보면, 선형식보다 비선형식의 상관성이 대체적으로 높게 나타났다. 그 중 Chapman-Richards식의 결정계수 $R^2: 0.996$ 으로 가장 높게 나타났으며, 평균절대편차

[MD] 역시 0.44로 가장 적게 나타났다. 이러한 결과는 David 등(1987)이 미저분모델을 이용하여 수령에 따른 임목의 수고 추정치가 실측치에 잘 적합한다는 결과와 유사한 경향을 보여주고 있다. 따라서 해송임분의 수고생장을 추정하는데는 선형식보다 비선형식을 사용하는 것이 보다 효율적일 것이며, 비선형식 중 곰솔임분의 수고생장을 가장 잘 묘사하는 추정식은 적합성이 높고, 실측치와 추정치간의 상관성이 높으면서, 평균절대편차가 적은 Chapman-Richards 식으로 나타났다.

실측치와 2개 모형의 선형식에 의하여 추정된 수고간의 상호 관계를 그림으로 나타내면 Fig. 3과 같다.

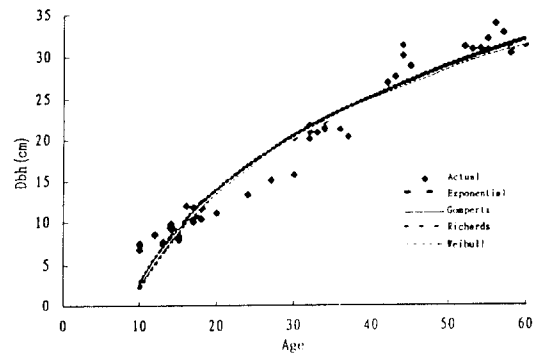


Fig. 3. The relationships between values observed and tree height estimated by growth functions derived from linear models on *Pinus thunbergii* stands.

Table 6. The comparison of values observed and height estimated for age by linear and non-linear growth functions

Age	Actual height	Linear trans. (1)	Linear trans. (2)	Exponential	Gompertz	Chapman-Richards	Weibull
10	5.7	5.9	6.1	7.6	5.2	4.8	4.9
15	7.1	7.8	7.9	8.5	7.4	7.4	7.4
20	8.6	9.5	9.6	9.4	9.6	9.7	9.7
25	11.4	10.8	10.8	10.3	11.2	11.3	11.3
30	14.4	12.6	12.5	11.6	13.4	13.4	13.4
35	14.6	14.5	14.4	13.5	15.3	15.2	15.3
40	16.3	15.9	15.7	15.0	16.4	16.3	16.3
45	16.9	16.6	16.4	16.0	16.9	16.8	16.8
50	17.4	18.4	18.1	18.5	17.8	17.8	17.8
55	18.1	19.1	18.8	19.7	18.1	18.2	18.1
60	18.0	19.8	19.5	21.0	18.4	18.5	18.4
65	18.5	20.3	20.0	21.9	18.5	18.7	18.6
R^2		0.947	0.929	0.916	0.992	0.996	0.994
[MD]		0.79	0.79	0.96	0.47	0.44	0.46

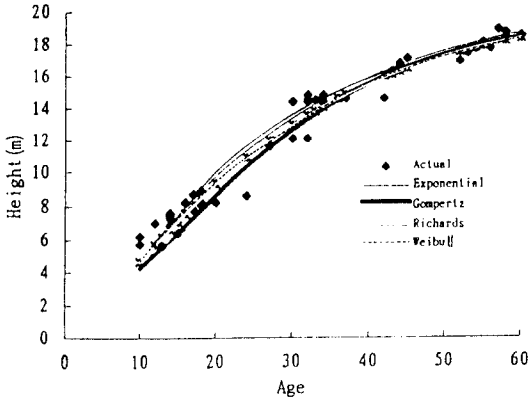


Fig. 4. The relationships between values observed and tree height estimated by growth functions derived from non-linear models on *Pinus thunbergii* stands.

Fig. 3에서, 모든 선형식에 의하여 추정된 수고성장 모두 직선적인 형태를 이루고 있다. 그리고 위의 선형식은 임목 고유의 이론적 성장패턴을 적절히 묘사하고 있지 못하므로 앞으로 임목의 수고생장을 추정하는 데는 선형식보다 다른 접근 방법이 요구된다.

실측치와 4개 모형의 비선형식에 의하여 추정된 수고간의 상호관계를 알아보기 위하여 그림으로 나타내면 Fig. 4와 같다.

Fig. 4에서, 곰솔임분에 대하여 4개 모형의 비선형식에 의하여 추정된 수고와 수확표상의 수고, 그리고 실측치간의 상호관계를 비교하여 보면, Richards식($R^2 : 0.995$) > Gompertz식 > Exponential식의 순으로 설명력이 높게 나타났다(Table 5). 비선형식에 의하여 추정된 수고를 Fig. 3의 선형식에 의한 수고와 비교해 볼 때 성장초기에는 과소치를 보이다가 임령 15년부터 60년에 이르기까지는 과대치를 보였으며, 비선형식에서는 Exponential > Richards식 > Weibull식, Gompertz식의 순으로 과대치가 크게 나타났다. 그리고 Gompertz식, Exponential식 및 Weibull식에 의하여 추정된 수고생장은 선형식에 의해 추정된 수고성장 보다 적합성이 높게 나타났다. 선형식(Fig. 3)이 현재 임령에 따른 수고생장을 설명하는 데는 과대치 혹은 과소치가 크게 나타나지 않으나, 임령이 더욱 높아질 때 설명력은 식의 직선성으로 인하여 곤란할 것이다. 따라서 비선형식(Fig. 4)의 사용이 요구된다.

이와 같은 결과는 Yang과 Kung(1987)이 삼나

무의 수고생장을 추정하는데 있어서 선형식보다 비선형식의 적합성이 높다는 연구보고와 일치하며, 그리고 鄭榮教(1994)는 임목의 수고성장추정에 Richards식의 적합성이 높아 수고곡선 또는 지위지수의 추정에 그 어느 수식 보다 유리하다는 결과와 일치하고 있다. 이러한 결과는 각 수식들의 고유 특성에 의한 것과 실험식에 적용된 임령에 따른 차이라고 판단되어 이와 같은 문제점을 고려하여 적용하여야 할 것으로 사료된다.

結 論

地位指數 12등급인 곰솔임분에 대한 최적의 직경 및 수고성장함수를 도출하기 위하여 2개의 선형식과 4개의 비선형식의 함수에 의하여 추정된 직경 및 수고성장, 그리고 실측치인 직경 및 수고성장간의 상호관계를 분석한 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 곰솔임분의 직경생장을 추정하는데 적용된 4개의 비선형식은 2개의 선형식 보다 적합성이 전체적으로 높게 나타났으며, 선형식은 linear transformation(2)식의 적합성($R^2 : 0.966$) > linear transformation(1)식($R^2 : 0.956$)의 순으로 설명력이 높게 나타났다. 그리고 비선형식은 Gompertz식의 적합성($R^2 : 0.988$) > Richards식 및 Weibull식($R^2 : 0.998$) > Exponential식($R^2 : 0.984$)의 순으로 설명력이 높게 나타났으며, 이들 비선형식간의 적합성은 큰 차이를 나타내지 않았다(Table 3).
2. 실측치인 흉고직경과 추정식에 의한 흉고직경간의 관계를 분석한 결과, Gompertz식의 결정계수($R^2 : 0.994$)가 가장 높게 나타났으며, 평균절대편차(IMD) : 1.13)는 가장 적게 나타났다(Table 4).
3. 곰솔임분의 수고생장을 추정하는데 적용된 4개의 비선형식은 2개의 선형식보다 적합성이 전체적으로 높게 나타났으며, 즉, 선형식에서 linear transformation(1)과 linear transformation(2)식의 적합성 $R^2 = 0.961$ 이었으며, 그리고 비선형식 중에서는 Chapman-Richards식의 적합성($R^2 : 0.995$) > Gompertz식($R^2 : 0.994$) > Exponential식(0.981)의 순으로 설명력이 높게 나타났(Table 5).
4. 실측치인 수고와 추정식에 의한 수고간의 관계를 분석한 결과, Chapman-Richards식의 결

정계수($R^2: 0.996$)가 가장 높게 나타났으며, 평균절대편차(IMD: 0.44)는 가장 적게 나타났다(Table 6).

따라서 곰솔임분의 임령에 따른 직경과 수고생장을 추정함에 있어서 선형식보다 비선형식의 적합성이 높게 나타났으며, 직경생장에서는 Gompertz식, 그리고 수고생장에서는 Chapman-Richards식의 적합성이 높게 나타났으나 이와 같은 비선형식간에는 설명력의 뚜렷한 차이가 없었으며, 앞으로 이들 생장함수를 적용하여 현실 임분의 직경과 수고생장을 추정하여야 할 것으로 사료된다.

引用 文 獻

1. 權五福·李興均·禹鍾春. 1982. 소나무林的 密度管理에 關한 研究(I) - 單純 Logistic 曲線과 소나무林에 대한 그의 適用 -. 韓國 林學會誌 57 : 1-7.
2. 서옥하. 1992. 직접탐색법을 이용한 이론적 생장함수의 적용. 강원대 산림과학연보 8 : 35-49.
3. 신만용. 1996. 낙엽송의 흉고형수와 정형수 추정에 관한 연구. 국민대학 산림과학. 8 : 61-77.
4. 尹鍾和. 1983. Weibull分布를 應用한 林學研究(I) - 直徑分布의 推定. 韓國林學會誌 59 : 46-53.
5. 尹鍾和·曹鉉國. 1991. Weibull분포에 의한 직경분포 추정에 관한 연구 - 동해안 일대 해송림을 중심으로 -. 한국임학회지 84(4) : 420-426.
6. 이경학. 1991. 낙엽송의 임분구조 및 수확에 측모델. 서울대 박사학위논문. 87pp.
7. 이경학·정영교·손영모. 1996. 산림생장 및 수확에측모델론. 임업연구원 연구자료 제료 127호. 142pp.
8. 이홍균·유진우·노규형·김사일. 1985. 곰솔임분의 수확과 생장에 관한 연구. 임업시험장연구보고. 32 : 49-60.
9. 鄭榮教. 1994. 중부지방 잣나무 임분의 지위지수 추정에 관한 연구. 전국대학교 박사학위논문
10. 上野洋二郎·大嶋崎文. 1992. 新い生長關數とそれに平均量の成長式. 日林誌 74 : 74-82.
11. 吉田成章. 1979. 生長曲線の檢討. 日林誌 61(9) : 321-329.
12. Bertalanffy, L. Von. 1957. Quantitative laws in metabolism and growth. Quart. Rev. Biol. 32 : 217-231.
13. David, C.H. and A.L. Rofle. 1987. An integro-differential equation model of tree height growth. in Forest Growth Modelling and Prediction. 683-690.
14. Dolph, K.L. 1988. Site index curves young-growth california white fir. on the western slopes of the Sierra Nevada, USDA For. Serv. Res. Pap. PSW-185. 9p.
15. Gompertz, B. 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. Pill. Transac. Roy. Soci. London 115 : 513-585.
16. Jerome, K.V. 1995. Growth models for tropical forest : A synthesis of models and methods. Forest Science. 41(1) : 7-42.
17. Yang, Y.C. and F.H. Kung. 1987. Comparison of linear and nonlinear regressions for analysis of volume growth of fryptomeria trees. J. Jpn. For. Soc. 60(8) : 315-320.
18. Zeide, B. 1989. Accuracy of equations describing diameter growth. Can. J. For. Res. 19 : 1283-1286.
19. Zeide, B. 1993. Analysis of growth equations. Forest Science. 39(3) : 594-618.