

영천 측백림의 직경 및 흉고단면적 성장추정

이상현^{1*} · 이희선² · 김 현¹ · 최수임³ · 조영진¹ · 임호섭¹

¹전북대학교 산림과학부, ²전북대학교 응용생물공학부, ³국립산림과학원

Estimation of Diameter and Basal Area Growth Pattern for *Thuja orientalis* Stand Grown in Yeongcheon

Sang-Hyun Lee^{1*}, Hoi-Seon Lee², Hyun Kim¹ and Soo-Im Choi³,
Young-Jin Cho¹ and Ho-Sub Lim¹

¹Faculty of Forest Science, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

²Division of Applied Bioscience & Biotechnology, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

³Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

요약: 본 연구는 천연기념물(62호)인 충북 영천리 측백나무(*Thuja orientalis*)림의 직경과 흉고단면적 성장모형을 추정하여 측백림의 관리에 필요한 기초 자료를 제공하고자 45본의 표준목을 선발하여 성장추를 이용하여 목편을 채취한 후 기초(non-overlapping) data와 데이터 재배열을 통한 overlapping data를 이용하여 최적의 흉고직경과 흉고단면적 추정식을 선정하였다. 동형 및 다형의 비선형 성장식을 데이터에 적합한 결과 overlapping data를 이용한 다형 방정식이 우수한 적합성을 보였다. 흉고직경 생장은 Schumacher 다형 방정식인 $D_2 = \exp(\ln(D_1)(T_1/T_2)^{0.4495} + 3.8535(1 - (T_1/T_2)^{0.4495}))$, 흉고단면적 생장은 Schumacher 다형 방정식인 $BA_2 = \exp(\ln(BA_1)(T_1/T_2)^{0.1235} + 11.3793(1 - (T_1/T_2)^{0.1235}))$ 가 가장 우수한 식으로 판명되었다. 본 연구에서 제시된 측백림의 흉고직경과 흉고단면적 성장식은 천연기념물인 측백림의 관리·경영에 필요한 정보로 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract: The objective of this research was to provide basic information of *Thuja orientalis* stand for prediction system, which consists of the best model of diameter and basal area. Data was from cores of 45 sample trees of *Thuja orientalis* stand that was designated as a natural monument (No. 62) in Yeongcheon, Chungbuk. Of the projection functions tested, polymorphic equation using the overlapping data showed higher precision of the fitting than anamorphic equation using. In diameter growth, Schumacher polymorphic equation of $D_2 = \exp(\ln(D_1)(T_1/T_2)^{0.4495} + 3.8535(1 - (T_1/T_2)^{0.4495}))$, and in basal area growth, Schumacher polymorphic equation of $BA_2 = \exp(\ln(BA_1)(T_1/T_2)^{0.1235} + 11.3793(1 - (T_1/T_2)^{0.1235}))$ showed the highest precision of the fitting among them. The equation, therefore, could be available as basic information for estimation of growth and management of *Thuja orientalis* stand.

Key words : growth pattern, core analysis, natural monument, *Thuja orientalis*

서론

21세기 세계의 산림경영 패러다임이 ‘지속가능한 산림경영’으로 변화하고 있고, 한국의 산림계획은 그 기본 목표를 지속가능한 산림경영에 두고 있는 제4차 산림기본계획(1998~2007년) 후반에 도달하고 있다. 임업에 관련된 많은 사람들의 발전에 대한 노력으로 산림의 경제성이 인식

되었고 현재 시대적 흐름을 비추어 고려할 때 산림의 기능은 공익 및 환경적 기능이 강화되는 상태로서 산림의 기능을 최적화하기 위해서는 산림생장정보가 필수적이라 할 수 있다. 따라서 미래생장을 예측하고, 간벌이나 무육작업 등 육림의 요소들을 비교·선택하여 최적의 산림을 가꾸고, 생태계 요소인 빛, 토양, 강수량 등에 따라 수종별 최적의 입지를 선택할 수 있고, 미래 생산능력을 제공할 수 있는 성장정보는 산림경영과 정책의 입안에 있어 우선적이고 기본이 되는 도구로써 사용될 수 있다.

측백나무는 중국, 우리나라는 단양, 안동, 대구의 석회암지대 해발 200~600m에 자생하며 관상용, 생울타리용,

*Corresponding author

E-mail: leesh@chonbuk.ac.kr

본 연구는 농림부지원 농특 첨단기술개발과제(203098-2)로 수행된 결과의 일부임

약용 등으로 이용되고 있다(김태욱, 1996). 우리나라에 자생하고 있는 상록 목본인 측백나무는 대부분 식물 분포학상 학술적 가치가 높아 천연기념물로 지정·관리되고 있다.

측백림에 관한 연구는 충북식물조사연구(정태현과 이우철, 1961)에서 진천과 단양지역의 측백림의 현황을 분석학적으로 조사하였고, 생태학적 연구로는 단양군 측백림의 구조와 동태에 관한 생태학적 연구(안자상, 1989)가 진행되었다. 그러나 측백림의 흉고직경 및 흉고단면적 등의 생장에 관한 연구는 측백림이 천연기념물로 지정되어 데이터 수집에 한계를 가지고 있어 전무한 상태인 것으로 파악되고 있다.

따라서 본 연구의 목적은 천연기념물인 측백림의 성장 정보를 파악하여 합리적인 측백림의 관리를 위한 기초정보를 제공하기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

충북 단양군 매포읍 영천리에 자생하고 있는 측백림은 1962년 12월 3일 천연기념물 제 62호로 지정되었는데 총면적은 5.48 ha에 달하며, 석회암지대로서 평균수고는 5.7m 이고 표고 215~250m, 방위 SW 45~48°이다(Table 1).

연구의 진행은 우선 20m×20m의 정방형 15plot을 설정하고, 각 plot에서 흉고직경별 표준목을 각각 3본씩 설정한 후 성장추를 이용하여 목편을 추출한 후 1/100 mm까지 측정할 수 있는 코어측정기(core measuring instrument)를 사용하여 흉고직경과 흉고단면적 성장 데이터를 획득하고 다양한 동형과 다형 함수식에 적합하여 모수 추정을 하였다. 최적 함수 도출을 위한 통계는 통계 프로그램인 SAS 6.12 버전을 사용하였고, 주된 통계 방법은 PROC NLIN 프로시저에서 비선형 최소자승 회귀(non-linear least

squares regression)를 이용하였다. 성장추정에 가장 적합한 모형을 도출하기 위한 주된 통계 방법은 모형의 추정편의(estimation bias of model), 정도(precision), 실측치에 대한 추정치 잔차 평균 제곱(mean square error), 모형의 타당성 검증을 위한 도식화를 통한 잔차 패턴 분석 그리고 평균편차 등이다. 더불어 PROC UNIVARIATE 프로시저를 통하여 잔차통계량도 참조하였다.

성장추정에 널리 쓰이는 대수차분 방정식은 log-reciprocal(Schumacher 1939; Piennar and Turnbull, 1973; Goulding, 1979), Schumacher (Schumacher, 1939; Woollons, 1988; Clutter and Jones, 1980), Hossfeld (Woollons *et al.*, 1990), Chapman-Richards (Piennar and Turnbull, 1973; Goulding, 1979) 그리고 Gompertz (Whyte and Woollons, 1990) 등의 동형(anamorphic)과 다형(polymorphic)의 다양한 S자형 대수차분 방정식을 이용하여 성장모형을 전개하였다(Table 2).

결과 및 고찰

1. 직경 성장모형

1) 직경 non-overlapping data를 이용한 성장모형

성장 추정에 이용되는 대수차분 방정식 중 먼저 동형(anamorphic) 방정식을 직경 non-overlapping data에 적합하였다. 그 결과 Schumacher 방정식이 다른 방정식들보다 낮은 MSE값(0.076)과 상대적으로 우수한 잔차에 대한 통계와 산포 형태를 보이고 있으나, 전체적으로 동형 방정식들은 모형의 정확성을 보이지 않아 직경 성장 예측에 부적합한 것으로 판명되었다. 이들 동형 방정식에 대한 잔차의 통계는 Table 3과 같다.

다음으로 다형 방정식을 데이터에 적합한 결과

Table 1. Status of *Thuja orientalis* Stand.

Numbers of Plots	Ages (years)	DBH (cm)	Height (m)	Altitude (m)	Direction (°)
15	40 26-52	6.0 4.0-10.0	5.7 4.0-8.2	215~250	SW 45~48

Table 2. General forms of projection equations applied to data.

Model Name		Equation Forms*
Anamorphic	Schumacher	$Y_2 = Y_1 \exp(-\beta(1/T_2^\gamma - 1/T_1^\gamma))$
	Hossfeld	$Y_2 = 1/((1/Y_1) - \beta(1/T_2^\gamma - 1/T_1^\gamma))$
	Chapman-Richards	$Y_2 = Y_1((1 - \exp(-\beta T_1)) / (1 - \exp(-\beta T_2)))^\gamma$
	Gompertz	$Y_2 = Y_1 \exp(-\beta(\exp(\gamma T_2) - \exp(\gamma T_1)))$
Polymorphic	Schumacher	$Y_2 = \exp(\ln(Y_1)(T_1/T_2)^\beta + a(1 - (T_1/T_2)^\beta))$
	Hossfeld	$Y_2 = 1/((1/Y_1)(T_1/T_2)^\gamma + (1/a)(1 - (T_1/T_2)^\gamma))$
	Chapman-Richards	$Y_2 = (\alpha/\gamma)^{1/(1-\beta)}(1 - (1 - (\gamma/\alpha)Y_1^{1-\beta})) (T_2 - T_1)^{[-\gamma(1-\beta)]^{1/(1-\beta)}}$
	Gompertz	$Y_2 = \exp(\ln(Y_1)\exp(-\beta(T_2 - T_1) + \gamma(T_2^2 - T_1^2)) + \alpha(1 - \exp(-\beta(T_2 - T_1) + \gamma(T_2^2 - T_1^2))))$

* Y_1 = diameter and basal area of trees at age T_1 , Y_2 = diameter and basal area of trees at age T_2 , exp = exponential function, ln = natural logarithm, and α, β, γ are coefficients to be estimated.

Chapman-Richard 방정식은 수립되는 파라미터를 찾을 수 없었다. 나머지 다형 방정식들은 실측값에 대한 추정값들의 잔차 형태가 균일한 분포를 나타내어 동형 방정식보다 우수한 적합성을 나타내었다. 우수한 적합성을 판단하는데 기준으로 쓰이는 평균자승잔차(MSE)를 비교해 볼 때, Schumacher > Hossfeld > Gompertz 방정식 순으로 작은 값을 보였다. 따라서 Schumacher 다형 방정식(MSE = 0.068)이 적합성이 우수한 것으로 나타났다(식 1).

$$D_2 = \exp(\ln(D_1)(T_1/T_2)^{\beta} + a(1 - (T_1/T_2)^{\beta})) \quad (1)$$

PROC NLIN 프로시저를 이용하여 데이터에 적합한 각각의 다형 방정식의 추정된 계수와 MSE는 Table 4와 같다.

2) 직경 overlapping data를 이용한 성장모형

직경 기본 데이터를 모수 추정 능력을 높이기 위하여 모든 가능한 성장 측정기간을 포함하는 데이터(overlapping data)를 이용하여 성장 함수식을 추정하였다. 동형 방정식을 데이터에 적합한 결과 전체적으로 적합된 동형 방정식들에 의하여 예측된 추정값들에 대한 잔차분포 패턴은 우하향 하는 편향(bias)을 보였다. 적합된 동형 방정식 중 Schumacher 방정식이 다른 성장식들보다 우수한 잔차에 대한 통계와 산포 형태를 보였다. 그러나 동형 방정식들은 전체적으로 모형이 정확성을 보이지 않았다. 동형 방정식에 대한 잔차의 통계는 Table 5와 같다.

다형 방정식을 데이터에 적합한 결과 Chapman-Richard 방정식은 수립되는 파라미터를 찾을 수 없어 모형으로서 사용할 수가 없는 것으로 분석되었다. 그러나 나머지 방정식에서는 실측값에 대한 추정값들의 잔차 형태가 이분산성이 없는 균일한 분포(homogeneous distribution)를 나타내어 적합성이 우수함을 알 수 있었다. 우수한 적합성을 판단하는데 기준으로 쓰이는 평균자승잔차(MSE)는 Schumacher(0.334)>Gompertz(0.389)>Hossfeld(0.396) 방정식의 순으로 작은 값을 보였다. 따라서 잔차분포 형태와 MSE를 비교해 볼 때 Schumacher 다형 방정식(식 2)이 다른 다형 방정식들보다 적합성이 우수한 것으로 나타났다.

$$D_2 = \exp(\ln(D_1)(T_1/T_2)^{\beta} + a(1 - (T_1/T_2)^{\beta})) \quad (2)$$

PROC NLIN 프로시저를 이용하여 데이터에 적합한 각각의 다형 방정식의 추정된 계수와 MSE는 Table 6과 같다.

2. 흉고 단면적 성장모형

1) 흉고 단면적 non-overlapping data를 이용한 성장모형
 흉고 단면적 non-overlapping data를 동형(anamorphic)과 다형(polymorphic) 방정식에 적합하였다. 동형 방정식들을 데이터에 적합한 결과 Schumacher, Chapman-Richard 방정식은 모수 추정치의 95% 신뢰구간(95%

Table 3. Statistics of residuals with the anamorphic equations fitted to non-overlapping DBH data.

Equation name	MSE	Mean of residuals	Skewness	Kurtosis
Schumacher	0.076	0.031	0.269	0.692
Chapman-Richards	0.078	0.033	0.316	0.783
Hossfeld	0.186	0.219	-0.346	1.769
Gompertz	0.086	0.045	0.312	0.956

Table 4. Coefficients for polymorphic equation fitted to non-overlapping DBH data.

Equation name	Coefficient			MSE
	a	β	γ	
Schumacher	4.3387	0.4004	-	0.068
Hossfeld	16.0839	-	1.639	0.075
Gompertz	3.0444	0.0499	0.0004	0.083

Table 5. Statistics of residuals with the anamorphic equations fitted to overlapping DBH data.

Equation name	MSE	Mean of residuals	Skewness	Kurtosis
Schumacher	0.499	0.110	0.650	2.407
Chapman-Richards	0.503	0.106	0.680	2.466
Hossfeld	2.254	0.898	0.736	1.168
Gompertz	2.195	0.718	-0.098	0.895

Table 6. Coefficients for polymorphic equation fitted to overlapping DBH data.

Equation name	Coefficient			MSE
	a	β	γ	
Schumacher	3.8535	0.4495	-	0.334
Hossfeld	12.318	-	1.7133	0.396
Gompertz	3.1812	0.0457	0.0004	0.389

Confidence Interval)에서 '0'을 포함하고 있어 모형추정에 부적합한 것으로 나타났다. 반면에, Gompertz 방정식이 다른 방정식들보다 낮은 MSE값(0.000000258)과 상대적으로 우수한 잔차에 대한 통계와 산포 형태를 보이고 있으나 전체적으로 동형 방정식들은 모형의 정확성을 보이지 않았다. 이들 동형 방정식에 대한 잔차의 통계는 Table 7과 같다.

다음으로 다형 방정식들을 데이터에 적합한 결과 Schumacher, Gompertz, Hossfeld 방정식은 모수 추정치의 95% 신뢰구간에서 모두 '0'을 포함하고 있어 추정식에 부적합한 것으로 나타났다. 또한 Chapman-Richard 방정식은 주어진 데이터에서는 적합(fitting)시킬 수 없었다. 따라서 흉고 단면적 non-overlapping data와 다형 방정식을 이용한 흉고 단면적 추정모형의 개발은 불가능한 것으로 나타났다.

2) 흉고 단면적 overlapping data를 이용한 성장모형

Table 7. Statistics of residuals with the anamorphic equations fitted to non-overlapping basal area data.

Equation name	MSE	Mean of residuals	Skewness	Kurtosis
Schumacher	0.0000000239	0.000019	0.034	1.940
Chapman-Richards	0.0000000240	0.000020	0.020	1.933
Hossfeld	0.0000000832	0.000210	-0.825	5.876
Gompertz	0.0000000258	0.000026	-0.037	1.832

모수 추정 능력을 높이기 위한 모든 가능한 성장 측정 기간을 포함하는 데이터(overlapping data)를 흉고 단면적 기본 데이터를 이용하여 조합한 후 성장 함수식을 추정하였다. 동형 방정식을 데이터에 적합한 결과 Schumacher와 Hossfeld 방정식은 주어진 데이터를 가지고 접합(fitting)시킬 수 없어 성장 형태가 이들 함수식을 따르지 않는 것으로 나타났다. 그리고 Chapman-Richard 방정식은 모수 추정치의 95% 신뢰구간에서 '0'을 포함하고 있어 성장추정에 부적합한 것으로 나타났다. Gompertz 방정식만이 모수 추정치의 95% 신뢰구간에서 '0'을 포함하지 않았고 주어진 데이터에도 성립하였다. 그러나 적합한 방정식에 의하여 예측된 추정값들에 대한 잔차분포 패턴은 우하향 하는 편(bias)을 보였다. 따라서 Gompertz 동형 방정식은 모형의 정확성을 보이지 않아 흉고 단면적 성장 예측에 부적합한 것으로 판명되었다.

다형 방정식을 데이터에 적합한 결과 Chapman-Richard 방정식은 주어진 데이터에서는 성립하지 않았다. 또한 Gompertz 방정식은 모수 추정치의 95% 신뢰구간에서 '0'을 포함하고 있어 성장추정에 부적합한 것으로 나타났다. 그러나 Schumacher 방정식과 Hossfeld 방정식에서는 실측 값에 대한 추정값들의 잔차 형태가 이분산성이 없는 균일한 분포(homogeneous distribution)를 나타내어 적합성이 우수함을 알 수 있었다. 평균자승잔차(MSE)는 Schumacher (0.000000135)>Gompertz(0.000000140) 방정식의 순으로 작은 값을 보였다. 따라서 잔차분포 형태와 MSE를 비교해 볼 때 Schumacher 다형 방정식(식 3)이 다른 다형 방정식들보다 적합성이 우수한 것으로 나타났다.

$$BA_2 = \exp(\ln(BA_1)(T_1/T_2)^{\beta+a}(1-(T_1/T_2)^{\beta})) \quad (3)$$

PROC NLIN 프로시저를 이용하여 데이터에 적합한 각각의 다형 방정식의 추정된 계수와 MSE는 Table 8과 같다.

결 론

천연기념물인 충북 영천리 측백림의 성장정보를 파악하기 위하여 직경 및 단면적의 성장 모형을 추정한 결과 일반적으로 많이 사용되는 대수차분 방정식을 데이터에 적합(fitting)시킬 수 없었다. 이는 측백림의 성장 패턴은

Table 8. Coefficients for polymorphic equation fitted to overlapping basal area data.

Equation name	Coefficient			MSE
	a	β	γ	
Schumacher	11.3793	0.1235	-	0.000000135
Hossfeld	0.0377	-	2.3526	0.000000140

일반적인 침엽수 성장과는 다른 형태의 성장을 하고 있음을 의미한다. 본 연구에 사용된 대수차분 방정식 중 가장 측백림의 직경 및 흉고단면적의 성장 형태를 잘 표현하는 식은 Schumacher 다형 방정식으로 나타났지만 모형의 정확성을 증진시키기 위해서는 독립변수로서 사용될 수 있는 인자의 조사가 필요한 것으로 파악되었다. 비록 기초적인 성장 형태의 연구이지만 본 연구에서 제시된 직경 및 흉고단면적 성장식은 천연기념물인 영천 측백림의 관리에 필요한 기초 정보로 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구의 데이터 수집 및 진행에 도움을 주신 단양군청 및 문화관광과 관계자분들께 본 지면을 통해 깊은 감사를 드립니다.

인용문헌

1. 김태욱. 1996. 한국의 수목. 교학사. 49.
2. 안자상. 1989. 단양군 측백나무림의 구조와 동태에 관한 생태학적 연구. 충북대학교 석사학위논문.
3. 정태현, 이우철. 1961. 충북식물조사연구. 성균관대논문집 6: 229-289.
4. Clutter, J.L. and Jones, E.P. 1980. Prediction of growth after thinning in old-field slash pine plantations. USDA, For. Serv. Res. Pap. SE-217.
5. Goulding, C.J. 1979. Validation of growth models for *Pinus radiata* in New Zealand N.Z. J. For. 24(1): 108-124.
6. Pienaar, L.V. and Turnbull, K.J. 1973. The Chapman-Richards generalization of von Bertalanffy's model for basal area growth and yield in even-aged stands. For. Sci. 19: 2-22.
7. Schumacher, F.X. 1939. A new growth curve and its

- application to timber-yield studies. *J. For.* 37: 819-820.
8. Whyte, A.G.D. and Woollons, R.C. 1990. Modelling stand growth of radiata pine thinned to varying densities. *Can. J. For. Res.* 20: 1069-1076pp.
9. Woollons, R.C., Whyte, A.G.D. and Liu Xu. 1990. The Hossfeld function: and alternative model for depiction stand growth. *Japanese Journal of Forestry* 15: 25-35.
10. Woollons, R.C. 1988. Analysis and interpretation of forest fertilizer experiments. Ph.D. Thesis. School of Forestry, University of Canterbury, New Zealand. 256.
-

(2006년 10월 12일 접수; 2006년 11월 13일 채택)