


SCB액비 처리가 편백의 초기생장에 미치는 효과 분석

이상현¹ · 정수영² · 이광수² · 김현수¹ ^{2*}

¹전북대학교 산림환경과학과, ²국립산림과학원 난대아열대산림연구소

Analysis of Slurry Composting and Biofiltration Liquid Fertilization on the Initial Growth of *Chamaecyparis obtusa*

Sang Hyun Lee¹, Kwang Soo Lee², Su Young Jung² and Hyun Soo Kim¹ ^{2*}

¹Department of Forest Environmental Science, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

²Division of Warm Temperate and Subtropical Forest Research Center,
National Institute of Forest Science, Jeju 63582, Korea

요약: 본 연구는 편백의 초기생장에 대한 slurry composting and biofiltration(SCB)액비의 효과를 분석하기 위해 대조구(control), 화학비료처리구(chemical fertilizer : CF), 퇴비처리구(compost : CP), 저농도액비처리구(low liquid fertilizer : LLF) 및 고농도액비처리구(high liquid fertilizer : HLF)로 조성하여 처리구별 5본씩 3반복 실험을 하였다. 성장량분석 결과, 고농도액비를 200% 처리한 HLF-200처리구에서 가장 높은 성장량을 보였다. 시비효과를 분석하기 위해 HLF-200처리구와 대조구를 대상으로 근원직경 및 수고 성장모델을 개발하였다. 그 결과, 대조구와 HLF-200처리구 근원직경성장모델의 경우 각각 Schumacher 동형방정식 및 Schumacher 다형방정식이 가장 적합한 것으로 나타났으며, 수고성장모델의 경우 Gompertz 다형방정식이 가장 적합한 것으로 나타났다. 결정된 모델에 따른 성장곡선을 통해 근원직경과 수고의 성장량 및 성장률 모두 대조구보다 HLF-200처리구가 높아 시비효과가 있는 것으로 나타났으며, SCB액비를 통한 시비처리가 편백의 초기성장 증진에 적합한 것으로 판단되었다.

Abstract: The study aim was to analyze the effects of slurry composting and biofiltration (SCB) liquid fertilization on the early growth of *Chamaecyparis obtusa*. Control, chemical fertilizer (CF), low liquid fertilizer (LLF), and high liquid fertilizer (HLF) sites with five trees per site were established, and each treatment was repeated three times. The growth analysis showed that HLF-200 (treated with HLF 200%) had the highest growth. To assess the fertilization effect, root-collar diameter and height growth models were developed for the HLF-200 and control groups. We found that the Schumacher anamorphic and Schumacher polymorphic equations were best suited for the root-collar diameter growth models in the control and HLF-200 groups, respectively. For the height growth models, the Gompertz polymorphic equation was the most appropriate. From the growth curve generated by the chosen model, the effect of fertilization on the amount and rate of the root-collar diameter and height growth were higher in the HLF-200 group than in the control group. Treatment with SCB liquid fertilization was judged to be suitable for the early growth stage of *Chamaecyparis obtusa*.

Key words: fertilization methods, early growth model, slurry composting and biofiltration liquid fertilizer, *Chamaecyparis obtusa*

서론


정부가 2050 탄소중립 추진전략(2020년 12월 7일)을 발표함에 따라 산림에 대한 중요성이 다시 한번 강조되면서

탄소흡수 증진을 위한 산림조성과 해당 목적에 맞는 관리 기술이 요구되고 있다. 이러한 산림의 기능향상은 형질 좋은 건전 임목 및 임분의 형성으로 충족시킬 수 있으며, 이를 위해 치수와 유령목 단계의 초기관리가 매우 중요하다. 임목의 초기 성장 특성을 구명하기 위한 목적으로 어린나무를 대상으로 생육환경별 치수발생 및 치수생장을 분석한 연구가 상당수 수행된 바 있다(Ji et al., 2011; Na et al., 2011; Kim and Lee, 2013; Byeon et al., 2019).

* Corresponding author

E-mail: khsggam1@korea.kr

ORCID

Hyun Soo Kim  https://orcid.org/0000-0001-8279-3646

일반적인 산림에서의 생육환경조절은 매우 힘들며, 간벌을 통한 밀도조절이 효율적인 방법이라고 알려져 있으나, 묘목이나 어린나무를 생산하는 초기 단계에서는 밀도 조절 외에 수분, 온도 및 양분 등 다양한 생육환경을 조절할 수 있다. 특히 각 수종별로 묘령 및 생육상태와 조림지 하층 식생의 입지환경에 맞는 적정 시비량 선택 및 시비기술은 조림성과에 있어 중요한 요인이다(Auchmoody, 1985).

지금까지 시비는 주로 화학비료와 가축분뇨에 의해 처리되었으나, 대량시비와 화학약품처리에 따른 토양생태계의 불균형을 초래하는 화학비료의 사용량은 점차 감소하는 추세이다. 또한, 가축분뇨는 국제협약(런던협약 72) 발효에 따라 2012년부터 가축분뇨의 해양배출이 전면 금지되며 이에 경제적, 환경적 부담이 증가하고 있다. 이러한 문제점을 해결하고 가축분뇨의 활용을 증대시키기 위해서 SCB(Slurry Composting and Biofiltration)액비가 개발되었다(Park et al., 2008). SCB액비란 돈 분뇨가 퇴비단을 통과하는 동안 생물학적 여과와 발효 과정을 거침으로써 냄새가 없고 균질해지는 비료 자원으로(Lee et al., 2012) SCB액비를 토양에 공급하면 필요한 양분 및 지력의 유지와 유기물질의 순환을 원활히 할 수 있으며 작물의 수량 및 품질을 화학비료사용 시와 동일하게 유지할 수 있다는 보고가 있다(Dauen and Qulez, 2004; Lim et al., 2008; Misselbrook et al., 2004; Paschold et al., 2008). 이러한 SCB액비에 대한 연구는 작물생육 및 토양의 화학성 변화와 관련된 연구가 실행되었으며, 목본식물의 생장에 미치는 영향과 관련된 연구가 미비하여 추가연구가 필요한 실정이다.

편백(*Chamaecyparis obtusa*)은 토양이 건조하고 척박한 곳에서도 잘 견디고, 내한성과 내염성이 약하나 대기 오염에는 다소 저항력을 가지고 있는 것으로 알려져 있다(Korea Forest Service, 1992; Lee et al., 2009; Niinemets and Valladares, 2006; Sumida et al., 2013). 최근 편백은 목재 생산을 위한 용재수로서 기후변화 대비 수종으로 선정되었으며(Korea Forest Service, 2014), 휴양적 측면에서 높은 가치를 인정받고 있어 수요가 증가되고 있다.

따라서 본 연구는 편백을 대상으로 시비방법과 시비량의 변화에 따른 생장모형을 개발하여 SCB액비의 시비효과를 구명함으로써 조림 초기 올바른 관리 방안을 제시하며 성공적인 조림지 조성을 위한 기초자료제공을 목적으로 실시하였다.

재료 및 방법

1. 시험지 조성

본 연구의 수행을 위해 전라북도 김제시 백산면 상리산 1-1번지(N 35° 51' 06.24", E 126° 56' 00.38")에 시험구

를 조성하였으며, 지난 20년간 대상지의 연평균기온은 13.8°C, 연 강수량은 1,405 mm이다(KMA, 2021). 대조구를 포함한 11개의 처리구는 처리구별 5본씩 3반복 실험하여 편백 2-2년생 실생묘 165본(11처리구×5본×3반복)을 1×1 m 간격으로 식재하였으며, 묘목의 활착률 저조로 인한 고사가 실험에 영향을 미치지 않도록 식재 후 1년 동안 본 시험지에 적응하도록 하였다. 또한 배수로를 설치하여 침수를 대비하였으며, 배수로를 따라 흐르는 액비의 유실을 막기 위해 묘목 주변을 직경 50 cm의 원통으로 둘러쌌다.

2. 처리구별 시비 형태 및 방법

처리구는 무처리구인 대조구(control), 화학비료처리구(chemical fertilizer: CF), 퇴비처리구(compost: CP), 저농도 액비처리구(low liquid fertilizer: LLF) 및 고농도액비처리구(high liquid fertilizer: HLF)로 조성하였다. 저농도액비는 SCB액비표준량이며, 고농도액비는 일반액비표준량을 기준으로 설계하였으며, 퇴비·저농도액비·고농도액비 처리구는 선행연구의 기준량(Kim et al., 2011)에 대한 1배, 1.5배, 2배로 구분하여 처리하였다. 1회 살포량은 수목 1주당 20리터의 기준으로 하였으며, 화학비료는 리터당 Table 1의 농도로 처리하였다. 퇴비와 고농도액비는 2리터당, 저농도액비는 20리터당 Table 2의 농도로 처리하였으며, 이 때 퇴비, 고농도액비, 저농도액비의 N, P, K 비율은 Table 3과 같다.

시비기간은 2013년과 2014년에 4월부터 10월까지였으며, 시비방법은 화학비료는 전층시비, 퇴비는 표면시비,

Table 1. Amount of the applied chemical fertilizer by N, P, and K.
(unit : g)

	Basal fertilization	Additional fertilization	
		1st	2nd
N	10.83	5.42	5.42
P	50.00		
K	16.60	8.30	8.30

Table 2. Amount of the applied compost, low liquid fertilizer, and high liquid fertilizer.

	Amount of applied fertilizer		
	100%	150%	200%
CP ^a	67g	100.5g	134g
LLF ^b	380ml	570ml	760ml
HLF ^c	130ml	200ml	260ml

^a : Compost, ^b : Low Liquid Fertilizer, and ^c : High Liquid Fertilizer.

Table 3. Chemical characteristics of CP, LLF, and HLF.
(unit: %)

	N	P	K
CP	0.90	1.49	0.19
LLF	0.12	0.09	0.15
HLF	0.31	0.24	0.33

그리고 액비는 지표면 점적관수를 실시하였다. 시비횟수는 비료종류에 따른 형태를 고려하여 다르게 시비하였으며, 화학비료에는 기비(4월), 추비 1차(6월), 추비 2차(8월)로 총 3회 시비하였다. 퇴비는 4월 2회, 5월 1회, 8월 1회, 9월 1회, 10월 1회로 총 6회 시비하였고, 액비의 경우에는 장마기간(6월 3째주~8월 2째주)을 제외하고 4월부터 10월까지 매주 1회 시비하여 총 18회 실시하였다.

3. 생장량 조사

생장량조사는 2013년과 2014년 5월부터 9월까지 월 1회씩 총 10회에 걸쳐 각 처리구별 식재목 전체에 대한 측정을 실시하였다. 이때, 측정오차를 줄이기 위해 측정자와 측정위치를 동일하게 설정하고 측고봉과 digital caliper를 이용하여 수고와 근원직경을 측정하였다.

4. 데이터 생성 및 배열

최적의 시비방법 선정에 따른 생장모델 개발을 위해 2013년(5~10월)과 2014년(5~9월) 각각의 월별 생장량을 이용하였으며, 이로부터 모든 측정간격을 포함하는 데이터인 중복자료(Overlapping data)의 형태로 배열하였다.

5. 생장모형 전개

본 연구의 생장모형 전개는 Schumacher(Schumacher, 1939; Woollons, 1988; Clutter and Jones, 1980), Chapman-Richards(Pienaar, 1973; Goulding, 1979), Gompertz(Whyte and Woollons, 1990) 및 Hossfeld(Woollons et al., 1990) 등의 동형(anamorphic)과 다형(polymorphic)의 다양한 Sigmoid 형태 대수차분 방정식을 이용하였다(Table 4).

6. 통계분석

시비방법에 따른 편백의 생장량을 분석하기 위해 SAS ver. 9.3(Statistic Analysis System)을 이용하여 처리구별 수고와 근원직경의 총 생장량에 대한 일원분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였으며, 최적의 모델 개발을 위해 PROC NLIN 프로시저의 비선형 최소자승 회귀(non-linear least squares regression)를 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 생장량 분석

근원직경 총 생장량을 분석한 결과, 시비형태에 따른 유의적인 생장량의 차이가 나타나지 않았으며($P>0.05$), 유의적인 생장량 차이가 없었으나 생장량은 HLF-200처리구에서 가장 높게 나타났다(Table 5, 6). 이는 근원직경생장의 경우 시비처리구가 대조구에 비해 생장이 높으나, 시비량에 따른 생장이 비슷하다는 선행연구(Park et al., 2019) 및 편백 조림목은 토양특성보다 식재지 입지 특성의 영향을 많이 받는다는 연구결과 Yang et al.(2014)와 유사한

Table 4. General forms of anamorphic and polymorphic projection equations.

Model types	Model names	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	$Y_2 = \exp(\ln(Y_1)(T_1/T_2)^\beta + \alpha(1 - (T_1/T_2)^\beta))$
	Hossfeld	$Y_2 = 1/((1 - Y_1)(T_1 - T_2)^\gamma + (1/\alpha)(1 - (T_1/T_2)^\gamma))$
	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	$Y_2 = \exp(\ln(Y_1)\exp(-\beta(T_2 - T_1) + \gamma(T_2^\alpha - T_1^\alpha)) + \alpha(1 - \exp(-\beta(T_2 - T_1) + \gamma(T_2^\alpha - T_1^\alpha))))$

Y_1 = diameter and height of trees at age T_1

Y_2 = diameter and height of trees at age T_2

exp = exponential function

ln = natural logarithm, and

α, β, γ are coefficients to be estimated.

Table 5. Total growth of the diameter at root collar and height of *Chamaecyparis obtusa* by the fertilization methods.

(unit : cm)

	Diameter at root collar			Height		
	Beginning of growth	End of growth	Amount of Growth	Beginning of growth	End of growth	Amount of Growth
Control	1.08±0.14	2.84±0.24	1.75±0.13 ^{a*}	123.4±22.9	220.7±26.8	97.4±8.4 ^a
CF	1.30±0.24	3.25±0.35	1.95±0.23 ^a	106.0±18.1	215.0±24.7	109.0±8.1 ^a
CP-100	1.50±0.18	3.43±0.34	1.93±0.17 ^a	134.0±16.3	256.7±17.8	122.7±5.8 ^a
CP-150	1.43±0.29	3.10±0.41	1.67±0.16 ^a	126.0±9.6	249.0±19.4	123.0±10.2 ^a
CP-200	1.10±0.27	2.93±0.33	1.83±0.10 ^a	102.3±16.3	211.7±24.3	109.3±8.8 ^a
HLF-100	1.00±0.18	2.92±0.23	1.92±0.08 ^a	111.3±14.8	225.0±24.5	113.7±26.9 ^a
HLF-150	1.01±0.20	2.79±0.26	1.79±0.08 ^a	110.7±16.8	228.2±23.6	117.5±7.4 ^a
HLF-200	0.97±0.20	3.11±0.27	2.14±0.11 ^a	123.9±17.1	241.7±21.7	117.9±5.3 ^a
LLF-100	1.15±0.21	2.99±0.26	1.84±0.06 ^a	117.9±14.7	233.6±21.7	115.7±7.8 ^a
LLF-150	0.98±0.25	2.74±0.31	1.76±0.07 ^a	108.5±16.1	211.7±21.8	103.2±6.1 ^a
LLF-200	0.98±0.18	3.00±0.26	2.02±0.08 ^a	110.6±16.1	230.3±19.5	119.7±5.1 ^a

* Different letters in each column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test (p<0.05), same letters are not significant.

Table 6. The ANOVA procedure for the diameter at root collar and height of *Chamaecyparis obtusa*.

Source	DF	Sum of squares		Mean square		F value		Pr > F	
		D. ^a	H. ^b	D.	H.	D.	H.	D.	H.
Model	10	1.9138	6076.6	0.1914	607.66	1.07	1.86	0.3948	0.0603
Error	94	16.8475	30669.9	0.1792	326.28				
Total	104	18.7613	36746.5						

^a : the diameter at root collar, ^b : height.

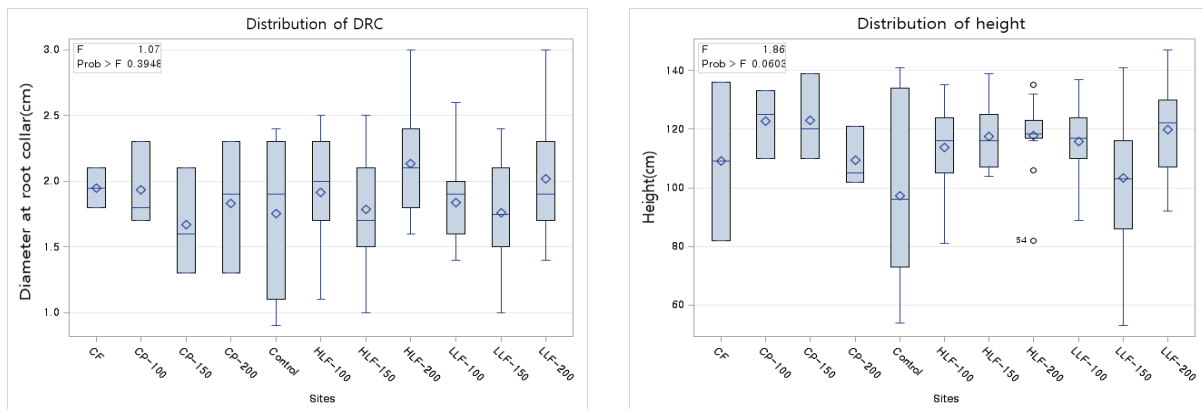


Figure 1. Distribution charts of the diameter at root collar(left) and height(right) of *Chamaecyparis obtusa* by the fertilization methods.

경향을 보였다. 따라서 편백의 초기 근원직경생장의 경우 시비에 따른 성장량 증대에 유의적인 영향을 미치지 않는 것으로 나타나 시비와 함께 적지조림, 조림예정지의 생육 환경 조성 등 입지특성과 식재밀도 등 조림기술에 대한 사항이 종합적으로 고려되어야 할 것으로 판단된다.

수고 총 성장량을 분석한 결과, 근원직경 성장과 마찬가지로 시비형태에 따른 성장의 유의적인 성장량의 차이가 나타나지 않았으며(P>0.05), 근원직경생장과 유사한 경향을 나타냈다(Table 5, 6). 특히 처리구별 근원직경과 수고의 성장에서 SCB액비를 시비한 처리구는 모두 대조구보

다 높은 성장량을 나타냈으며, 이는 SCB액비에 포함된 고농도의 질소가 양료 역할을 했다는 Koo et al.(1998)의 선행연구와 유사하게 나타났다.

2. 성장모델 개발

시비방법에 따른 편백의 초기성장모델 개발을 위해 성장량분석 결과 근원직경은 HLF-200처리구, 수고는 CP-150이 가장 우수한 효과를 나타냈다. 그러나 CP-150의 경우 수고생장이 양호했음에도 근원직경생장이 대조구보다 작았으며, 입목의 재적증가에 미치는 영향의 경우 직경생장이 수고생장보다 더 크기 때문에 HLF-200처리구를 대상으로 성장모델을 개발하였다. 이 때 대조구에 대한 근원직경과 수고 성장모델을 개발하여 성장형태 및 시비효과 등을 비교하고자 했다.

1) 근원직경 성장모델 개발

정규성 검정은 자료의 정규분포 여부를 검정하는 것으로 t_j 자료의 수가 2,000개 이하일 때에는 Shapiro-Wilk 검정을 수행하고, 그 이상일 때에는 Kolmogorov-Smirnov 검정을 수행한다(Kim, 2015). 본 연구의 처리구별 t_j 자료의

수는 150개이므로 Shapiro-Wilk 검정을 수행하였으며, 대조구의 근원직경 데이터를 동형과 다형 방정식에 접합한 결과, 모든 동형과 다형 방정식의 Shapiro-Wilk 통계량이 0.95 이상으로 나타나 정규분포를 따르는 것으로 나타났다. 따라서 적합우수성의 판단에 기준이 되는 평균제곱오차(MSE)가 가장 낮은 Schumacher 동형방정식을 가장 적합한 방정식으로 선정하였다(Table 7). 선정된 방정식에 대해 데이터의 자기상관계수(autocorrelation)를 고려하여 R^2 값 대신 잔차 패턴 분석을 실행한다는(Lee, 2009) 기존 연구를 참고하여 잔차 패턴을 분석한 결과, 잔차는 기준에 대해 고르게 분산되어있는 등분산성(homoscedasticity)을 나타내고 있었다(Figure 2).

HLF-200 처리구의 근원직경 데이터를 동형과 다형 방정식에 접합한 결과, 모든 동형과 다형 방정식의 Shapiro-Wilk 통계량이 0.95 이상으로 나타나 정규분포를 따르는 것으로 나타났다. 이 모델들 중 Schumacher와 Gompertz 다형방정식의 평균제곱오차가 가장 낮게 나타났으며, 모델의 정도 판단기준이 되는 첨도(Kurtosis) 또한 높게 나타났다. 하지만 Gompertz 다형방정식의 경우 모수 추정치 95% 신뢰구간의 하한값과 상한값이 “0”을 포함하여 모형

Table 7. Statistics of residuals with the anamorphic and polymorphic equations fitted to the diameter at root collar of control plot.

Model types	Model names	Estimated coefficients			MSE	Std. Dev	Skewness	Kurtosis	Shapiro-wilk
		α	β	γ					
Ana-morphic	Schumacher	-	4.0607	1.0434	0.0454	0.2125	0.3331	0.2698	0.977099
	Chap-Rich	-	0.2334	-1.4282	0.0456	0.2128	0.3459	0.2675	0.97702
	Gompertz	0.0577	-0.9939	-	0.0522	0.2272	0.4885	0.3670	0.97645
	Hossfeld	-	-4.0995	1.8641	0.0621	0.2364	0.1087	1.0250	0.9789
Poly-morphic	Schumacher	5.4089	0.1268	-	0.0459	0.2139	0.4734	0.4507	0.977179
	Chap-Rich	-2.2174	1.0136	-2.4770	0.0621	0.2365	0.1918	0.2654	0.986884
	Gompertz	6.5409	0.0402	0.00181	0.0459	0.2133	0.4186	0.3720	0.979206
	Hossfeld	14.0856	-	0.7003	0.0462	0.2145	0.4483	0.3865	0.977896

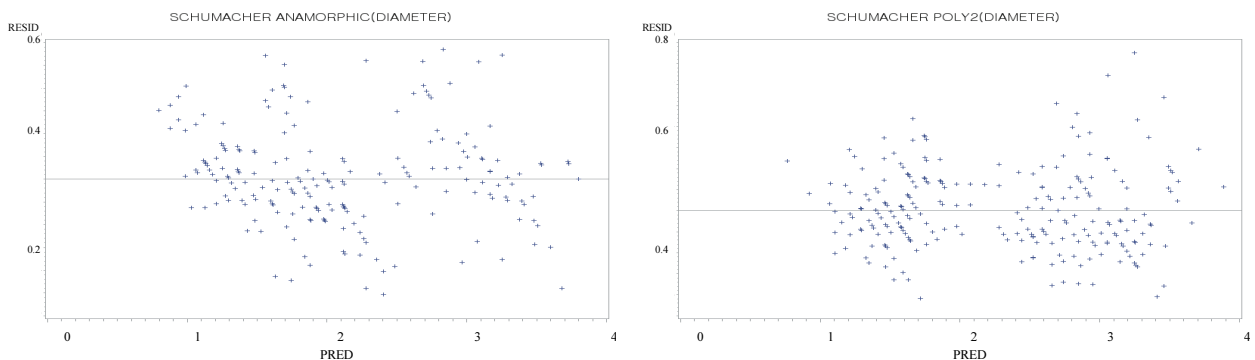


Figure 2. Plot of residual Vs predicted for control plot Schumacher anamorphic equation(left) and HLF-200 plot Schumacher polymorphic equation(right).

Table 8. Statistics of residuals with the anamorphic and polymorphic equations fitted to the diameter at root collar of HLF-200 plot.

Model types	Model names	Estimated coefficients			MSE	Std. Dev	Skewness	Kurtosis	Shapiro-wilk
		α	β	γ					
Ana-morphic	Schumacher	-	3.4820	0.5081	0.0491	0.2175	0.1838	-0.0056	0.993307
	Chap-Rich	-	0.1139	-1.0160	0.0492	0.2178	0.1730	-0.0012	0.993532
	Gompertz	0.0634	-0.9944	-	0.0552	0.2291	-0.1225	0.2776	0.994724
	Hossfeld	-	-3.0544	1.5999	0.0927	0.2714	0.2310	0.1788	0.993304
Poly-morphic	Schumacher	2.1367	0.5231	-	0.0343	0.1848	0.6760	0.9993	0.974322
	Chap-Rich	1.2392	0.7813	0.7566	0.0552	0.2174	0.1402	0.0172	0.991415
	Gompertz	2.0668	0.1166	0.00255	0.0343	0.1846	0.6739	1.1466	0.975412
	Hossfeld	5.0639	-	1.3008	0.0349	0.1863	0.6491	0.9242	0.975312

이 적합하지 않은 것으로 나타났다(Table 8). 따라서 생장 모델 선정을 위한 모든 기준을 만족하는 Schumacher 다형 방정식을 가장 적합한 방정식으로 선정하였으며, 등분산성을 나타내고 있었다(Figure 2).

2) 수고 생장모델 개발

대조구의 수고 데이터를 동형과 다형 방정식에 접합한

결과, 모든 동형과 다형 방정식의 Shapiro-Wilk 통계량이 0.95 이상으로 나타나 정규분포를 따르는 것으로 나타났다. 따라서 이들 모형 중 평균제곱오차가 가장 낮고, 첨도가 가장 높게 나타난 Gompertz 다형방정식을 가장 적합한 방정식으로 결정하였으며(Table 9), 잔차는 등분산성을 나타내고 있었다(Figure 3).

HLF-200 처리구의 수고 데이터를 동형과 다형 방정식

Table 9. Statistics of residuals with the anamorphic and polymorphic equations fitted to the height of control plot.

Model types	Model names	Estimated coefficients			MSE	Std. Dev	Skewness	Kurtosis	Shapiro-wilk
		α	β	γ					
Ana-morphic	Schumacher	-	3.6280	1.2558	144	11.9737	-0.0293	0.5734	0.989821
	Chap-Rich	-	0.2866	-1.2912	144.6	11.9827	-0.0224	0.5697	0.98993
	Gompertz	0.0451	-0.9967	-	177	13.2232	0.2632	0.4237	0.988114
	Hossfeld	-	-0.0161	1.1623	215.4	14.2569	0.1274	0.1759	0.986823
Poly-morphic	Schumacher	6.4608	0.3404	-	134.8	11.5825	0.3075	0.7972	0.989285
	Chap-Rich	7.8296	0.2922	0.0248	203.4	13.4746	-0.1575	0.2172	0.986129
	Gompertz	6.4933	0.1544	0.00758	129.7	11.3367	0.2898	0.9107	0.99045
	Hossfeld	412.7	-	0.7777	136	11.6328	0.2929	0.7288	0.989924

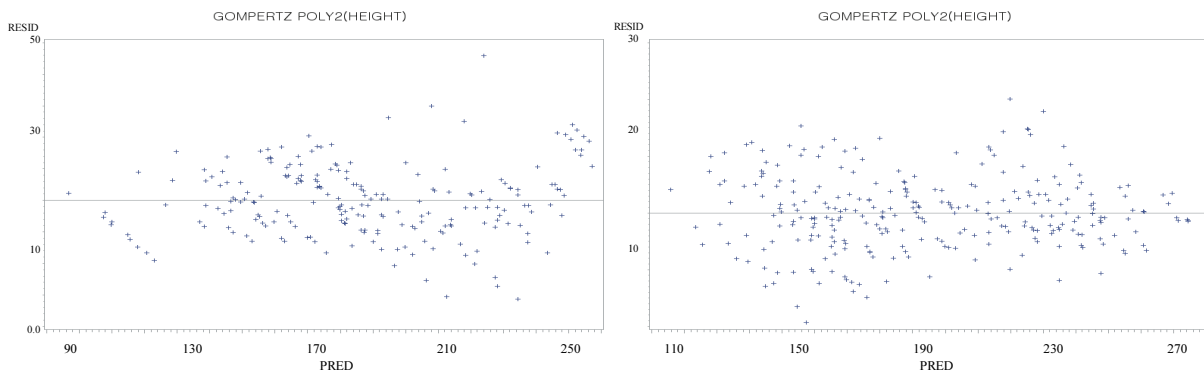


Figure 3. Plot of residual Vs predicted for control(left) and HLF-200(right) plot Gompertz polymorphic equation.

Table 10. Statistics of residuals with the anamorphic and polymorphic equations fitted to the height of HLF-200 plot.

Model types	Model names	Estimated coefficients			MSE	Std. Dev	Skewness	Kurtosis	Shapiro-wilk
		α	β	γ					
Ana-morphic	Schumacher	-	3.7322	0.2126	50.3019	7.0628	0.4544	-0.0721	0.9812
	Chap-Rich	-	0.0613	-0.6569	50.2669	7.0603	0.4538	-0.0705	0.9813
	Gompertz	0.0534	-0.9968	-	72.0346	8.4127	0.2537	-0.2965	0.9892
	Hossfeld	-	-0.0134	0.5755	137.5	11.0948	0.1152	0.5217	0.9910
Poly-morphic	Schumacher	7.4944	0.2345	-	41.8548	6.4579	0.1630	0.3040	0.9915
	Chap-Rich	-6.44	3.1652	-0.2766	129.6	9.8437	-0.1973	-0.4906	0.9905
	Gompertz	7.5092	0.0708	0.00262	41.7845	6.4409	0.1725	0.3210	0.9921
	Hossfeld	603.3	-	0.7761	41.8446	6.4571	0.1724	0.2476	0.9910

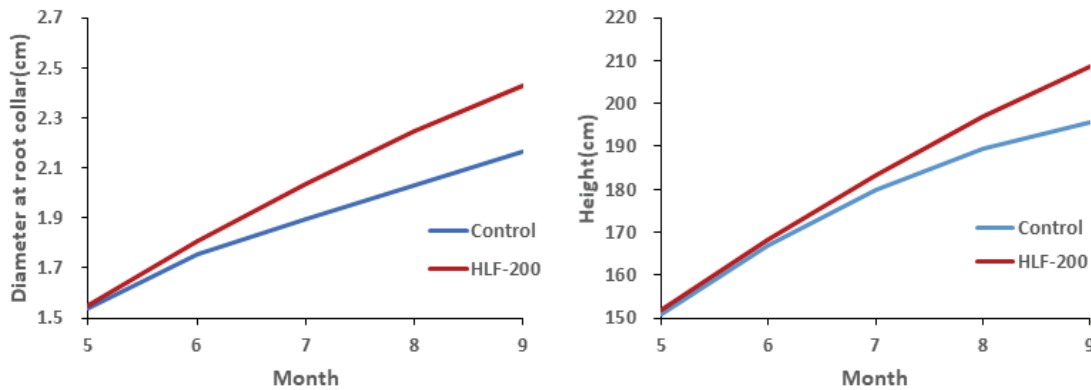


Figure 4. Growth curve of the diameter at root collar(left) and height(right).

에 접합한 결과, 모든 동형과 다형 방정식의 Shapiro-Wilk 통계량이 0.95 이상으로 나타나 정규분포를 따랐다. 이 모델들 중 Schumacher, Gompertz 그리고 Hossfeld 다형방정식의 평균제곱오차가 낮았으며, 표준편차(Standard Deviation)와 왜도(Skewness) 등이 비슷하게 나타났다. 따라서 척도가 가장 높게 나타난 Gompertz 다형방정식이 가장 적합하다고 판단하였으며(Table 10), 잔차는 등분산성을 나타내고 있었다(Figure 3).

3. 성장곡선을 활용한 시비효과 분석

근원직경에 대한 대조구와 HLF-200처리구의 성장모델은 각각 Schumacher 동형, 다형 방정식으로 선정되었다. SCB액비가 근원직경의 초기생장에 미치는 영향을 알아보기 위해 선정된 모델에 대한 월별 성장곡선을 분석한 결과, 조사 초기에는 두 처리구의 차이가 나타나지 않았으나, 6월부터 성장량의 차이가 발생하면서 9월에는 HLF-200처리구가 대조구보다 약 0.26 cm(15.5%) 큰 것으로 나타났다(Figure 4). 또한 성장률을 나타내는 기울기의 경우

대조구는 지속적으로 감소하였으나, HLF-200처리구는 감소하는 경향이 거의 없었다. 수고 성장곡선(Gompertz 다형방정식) 분석에서도 조사 초기에는 근원직경과 마찬가지로 두 처리구의 차이가 없었으나, 7월부터 성장량의 차이가 발생하면서 9월에는 HLF-200처리구가 대조구보다 약 12.5 cm(7.4%) 큰 것으로 나타났다. 대조구의 기울기는 7월 이후 감소하는 경향이 나타났으나, HLF-200처리구는 감소하는 경향이 나타나지 않아 수고의 성장률에도 시비효과가 나타났다. 이를 통해 편백의 초기 근원직경과 수고에 대한 HLF-200처리의 성장량 및 성장률 증가를 확인할 수 있었다. 이는 편백의 경우 대조구보다 시비처리를 했을 때 근원직경과 수고의 초기성장량이 크다는 Jae et al.(2015)의 연구 결과와 유사했다. 따라서 수목의 본격적인 생장이 시작되는 봄철 편백에 대한 HLF-200 처리는 식재목의 초기성장량을 증가시키며, 임목 및 임분 재적의 증대를 목적으로 산림을 경영하는 것에 적합한 관리방법이라고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산림청 일반연구사업(과제번호: SC0600-2021-01)의 일부 지원으로 이루어진 것입니다.

결론

본 연구는 우리나라의 주요 경제 수종인 편백의 자원화 및 성공적 조림지조성을 위해 시비방법과 시비량에 따른 다양한 처리구를 조성하였으며, 각 처리구의 근원직경과 수고에 대한 초기성장량 분석을 통한 최적의 시비방법을 선정하여 초기성장모델을 개발하였다. 지금까지 SCB액비를 수목에 적용하는 연구는 대부분 처리여부에 따른 시비 효과 및 양분의 이동경로 등을 파악하는 것이었으나, 해당 연구를 통해 SCB액비를 농도별로 구분하고 퇴비, 화학비료처리에 따른 편백의 초기성장 효과를 비교·분석할 수 있는 연구가 이루어 졌다는 부분에서 의미가 있다. 초기성장량 분석 결과 최적의 시비방법으로 HLF-200이 선정되었으며, 초기생장에 대한 시비효과를 구명하기 위해 HLF-200처리구와 대조구에 대한 초기성장모델을 개발하였다. 초기성장모델은 근원직경 대조구의 경우 Schumacher 동형방정식, HLF-200는 Schumacher 다형방정식이 가장 적합한 초기성장모델로 선정되었으며, 수고의 대조구 및 HLF-200처리구는 Gompertz 다형방정식이 가장 적합한 초기성장모델로 선정되었다. 개발된 초기성장모델을 이용하여 월별 생장곡선을 분석한 결과, 근원직경의 경우 6월, 수고의 경우 7월부터 시비효과에 따른 생장량 차이가 나타났다. 이러한 결과는 편백 조림지의 초기관리가 합리적으로 이루어질 수 있는 시비방법 및 시비량에 대한 근거 자료로서 가치가 있다. 또한 SCB액비가 작물이 아닌 수목의 생장효과여부를 판단할 수 있는 근거가 될 수 있다. 본 연구는 식재묘의 초기성장 증가로 인한 활착에 도움이 될 것으로 판단할 수 있으나, 현재까지의 연구에서는 처리구별 통계적 차이가 나타나지 않아 추가연구를 진행하여 중령림전까지 임분에 적용할 수 있는 성장모델 개발이 필요하다. 또한, 시비방법 및 시비량 외에 수분, 온도 및 시비 시기 등 다양한 조건을 고려하여 보다 정확한 성장모델 개발이 필요할 것으로 판단된다.

References

Auchmoody, L.R. 1985. Evaluating growth responses to fertilization. *Journal of Canada Forest Research* 15: 877-880.

- Byeon, S.Y., Kim H.S. and Yun, C.W. 2019. Vegetation structure of lower stratum and *Pinus densiflora* natural regeneration features from micro-topography classification in *Pinus densiflora* forest of Anmyeon-do Island. *Journal of Korean Forest Society* 108(2): 189-199.
- Clutter, J.I. and Jone E.P. 1980. Prediction of growth after thinning in old-field slash pine plantations. USDA. Forest Service Research Paper SE-217: 1-19.
- Dauen, A. and Quilez, D. 2004. Pig slurry versus mineral fertilization on corn yield and nitrate leaching in a Mediterranean irrigated environment. *European Journal of Agronomy* 21: 7-19.
- Goulding, C.J. 1979. Validation of growth models for *Pinus radiata* in New Zealand. *Journal of New Zealand Forest* 24(1): 108-124.
- Jae, D.Y., Seo, H.Y., Cho, H.S., Ahn, H.C. and Kim, C.S. 2015. Growth of containerized *Chamaecyparis obtusa* seedlings as affected by fertilizer and container volume. *Journal of Korean Forest Society* 104(1): 26-34.
- Ji, D.H., Byun, J.K., Jeong, J.H. and Yi, M.J. 2011. Above-ground biomass and nutrient distribution of Korea pine(*Pinus koraiensis*) advance growth in deciduous oak forests. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 44(6): 1144-1149.
- Kim, H.C., Yeo, J.K., Koo, Y.B., Shin H., Choi, J.Y. and Lee, H.H. 2011. Growth and Biomass Production of Fast Growing Tree Species Treated with Slurry Composting and Biofiltration Liquid Fertilizer. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 44(2): 206-214.
- Kim, H.J. 2015. Changes in ecological characteristics and development of growth models for *Chamaecyparis obtusa* based on thinning intensities. Jeonju. Jeonbuk National University.
- Kim, I.S. and Lee, J.H. 2013. Geographic variation of seed characteristics and 1-year-old seedling growth of *Zelkova serrata*. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 15(4): 234-244.
- Koo, Y.B., Noh, E.R. Woo, S.Y. and Lee, S.K. 1998. The effect of leachate of municipal waste landfill on poplar growth. Poplar 15. Korea National Poplar Commission, Seoul, Korea.
- Korea Forest Service. 1992. Illustrated woody plans of Korea. Forestry Research Institute Forestry Administration Republic of Korea. pp. 31.
- Korea Forest Service. 2014. Annual action plan of forest resources. Korea Forest Service. pp. 211.
- Korea Meteorological Administration. 2021. The statistics of weather observation. <https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?>

- orgId=141&tblId=DT_14102_B002&conn_path=I3.(2022.08.30).
- Lee, S.H. 2009. Estimation of diameter and height growth equations using environmental variables. *Journal of Korean Forest Society* 98(3): 351-356.
- Lee, S.W., Kim, J.W., Kim, W.K. and Cho, M.S. 2009. Nursery technology of major silvicultural species. Korea Forest Research Institute. pp. 89.
- Lee, S.E., Park, J.M., and Choi, D.G. 2012. Effect of SCB liquid manure application in pear orchard managed by cover crop system on tree growth, potential nutrient recovery and soil physicochemical properties. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 45(5): 779-786.
- Lim, T.J., Hong, S.D., Kim, S.H. and Park, J.M. 2008. Evaluation of yield and quality from red pepper for application rates of pig slurry composting biofiltration. *Journal of Korean Environmental Agriculture* 27: 171-177.
- Misselbrook, T.H., Smith, K.A., Jackson, D.R. and Gilhespy S.L. 2004. Ammonia emissions from irrigation of dilute pig slurries. *Journal of Biosystems Engineering* 89(4): 473-484.
- Na, S.J., Kim, C.S., Woo, K.S., Kim, H.J. and Lee, D.H. 2011. Correlation of above- and below-ground biomass between natural and planted stands of *Pinus densiflora* for. erecta of one age-class in Gangwon province. *Journal of Korean Forest Society* 100(1): 42-51.
- Niinemets, U. and Valladares, F. 2006. Tolerance to shade, drought and waterlogging of temperate northern hemisphere trees and shrubs. *Ecological Monographs* 76(4): 521-547.
- Park, J.H., Kim, J.H. and Lee, D.H. 2019. Drought resistance characteristics of 2-years old *Chamaecyparis obtusa* container seedlings according to fertilization treatment. *Journal of Agriculture and Life Science* 53(2): 97-107.
- Park, J.H., Yeo, J.K., Koo, Y.B. and Lee, W.W. 2008. Effects of slurry composting and biofiltration liquid fertilizer on growth characteristic of poplar clones in a reclaimed land mounding soil. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 41(5): 318-323.
- Paschold, J.S., Wienhold, B.J., McCallister, D.L. and Ferguson, R.B. 2008. Crop nitrogen and phosphorus utilization following application of slurry from swine fed traditional or low phytate corn diets. *European Journal of Agronomy* 100: 997-1004.
- 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. *Forest Science* 19: 2-22.
- Schumacher, F.X. 1939. A new growth curve and its application to timber-yield studies. *Journal of Forest* 37: 819-820.
- Sumida, A., Miyaura, T. and Torii, H. 2013. Relationships of tree height and diameter at breast height revisited: analysis of stem growth using 20-years data of an even-aged *Chamaecyparis obtusa* stand. *Tree Physiologies* 33: 106-118.
- Whyte, A.G.D. and Woollons, R.C. 1990. Modeling stand growth of radiata pine thinned to varying densities. *Journal of Canada Forest Research* 20: 1069-1076.
- Woollons, R.C. 1988. Analysis and interpretation of forest fertilizer experiments. New Zealand. University of Canterbury.
- Woollons, R.C., Whyte, A.G.D. and Liu X. 1990. The Hossfeld function: and alternative model for depiction stand growth. *Japanese Journal of Forestry* 15: 25-35.
- Yang, A.R., Hwang, J.H. and Cho, M.S. 2014. Regional early growth performances of planted *Chamaecyparis obtusa* seedlings in relation to site properties. *Journal of Korean Forest Society* 103(3): 375-382.

Manuscript Received : June 28, 2021

First Revision : July 6, 2022

Second Revision : September 22, 2022

Accepted : October 5, 2022