

잣나무 人工林의 間伐計劃에 관한 研究(Ⅰ)

崔麟和¹⁾ · 徐玉河¹⁾

A Study on Thinning Planning of *Pinus koraiensis* Stand(Ⅰ)

In-Hwa Choi¹⁾ and Ok-Ha Seo¹⁾

要 約

잣나무는 최근 10년간 우리나라 인공조림실적 중 31%를 차지하는 주요 조림수종이다. 현재 우리나라 山林은 대부분의 인공조림지를 포함하여 30년생 이하의 幼齡林이 87%를 점유하고 있음에도 보육 간벌은 거의 실시되지 못하고 있는 실정이다. 또한 현실정에 적합한 잣나무의 보육간벌 지침도 충분히 확립되어 있지 못하다.

본 연구는 잣나무림의 장기적 보육간벌 시험을 통하여 장차 最適한 間伐計劃 및 方法의 확립에 기여하고자, 우선 江原大學校 演習林에 설정된 잣나무의 간벌시험지와 기존의 임분수확표를 대상으로 성장함수를 이용하여 잣나무의 성장과정의 변화 등을 분석·고찰하였다. 간벌과정을 파악하기 위한 기초적인 단계로 성장과정을 표현하기 적합한 이론적 성장함수를 선정할 필요가 있다. 이를 위해 Mitscherlich, 4 parameter Richards, 3 parameter Richards의 3종의 生長函數式을 간벌시험지에서 채취한 임령 18년 전후의 공시목의 직경성장 과정에 적용하였다. 그 결과 3변수 Richards 성장함수식이 가장 적합한 것으로 나타났다. 또한 산림청에서 작성한 잣나무 수확표의 직경과 수고성장, 임목본수의 감소 과정도 3변수 Richards 성장함수식에 의하여 적합하게 추정할 수 있음을 확인하였다. 장래 단목의 간벌에 따른 생장의 변화과정을 추정하기 위해, 단목의 점유 면적에 관계하는 계수 h 를 포함하는 生長모델을 제안하였다. 현재 설치된 간벌시험지에서 향후 일정간격으로 얻어질 간벌시험지의 직경성장 공시자료를 이용하면 계수 h 를 추정할 수 있고, 이를 이용하여 제안된 모델의 유용성을 검증, 보완한다면 단목의 성장과정을 사전에 유추하여 간벌의 효과를 표현할 수 있는 수식을 구축할 수 있을 것으로 사료된다.

ABSTRACT

Pinus koraiensis is one of the major species which have been recently planted for ten years and consists of 31% of total plantation. Presently young stand less than 30 years consists of 87% of total forest, but tending thinning of it is hardly carried out and the desirable direction for the thinning is not established yet.

1) 江原大學校 山林科學大學 : College of Forest Sciences, Kangwon National University.

The objective of the study is to introduce the optimum thinning plan and thinning method through the long-run experiment of tending thinning for the *Pinus koraiensis* stand. The experiments carry out to interpret its growth model on the subject of two thinning experimental plots and yield table of *Pinus koraiensis*. As the basic step for understanding the thinning process, a theoretical growth model which is suitable to express the growth process is required. For that purpose, three growth functions (Mitscherlich, 4 parameter Richards, 3 parameter Richards) are applied to the diameter growth of the sample trees which are taken in the two plots. The results show that 3 parameter Richards is the most suitable. It is also verified that the diameter growth, the height growth, and the decrease in the number of stocks can be estimated by this function. To estimate the growth change of single tree, growth model including parameter h which is related to the occupation area of single tree are introduced. The parameter h can be estimated by using the data of the diameter growth obtained from the established experimental plots. Therefore, if both verification and modification of the usefulness of the model suggested is made, equations which tell about the thinning effects could be derived by estimating the growth process of single tree in advance.

Key words : *Pinus koraiensis* stand, thinning planning, growth equations, growth model.

I. 序 論

우리나라는 1960년대 이래 경제발전과 산림경영관리 기반의 정비를 토대로 황폐된 산림의 복구 및 빈약한 산림자원의 증식을 위하여 조림사업을 중점적으로 추진하여 왔다. 그 결과 산림청 임업통계연보에 의하면, 1960년부터 1995년까지 우리나라의 總造林面積은 417만ha에 달하며, 이 가운데 잣나무는 약 11억본이 식재되어 총조림본수의 10%를 차지하고 있다. 잣나무는 제1차 치산녹화계획이 시작된 1973년부터 1995년 현재까지 약 30만ha가 조림되었다. 특히 1986년부터 최근 10년간의 잣나무 조림면적은 119,534ha로서 전체적인 조림감소와 함께 다소 감소 추세이나, 이는 총조림면적 382,483ha중의 31%를 차지하여 연간 최대의 조림수종이 되고 있다. 1960년 이래, 잣나무의 造林本數 및 面積의 推移를 보면 Fig. 1과 같다.

특히 인공조림에 의한 一齊林의 바람직한 경영을 위하여는 식재방법에서부터 간벌, 주벌, 보호,

그리고 갱신에 이르기까지 일관성있는 施業技術의 體系化가 필요하다. 이러한 일련의 시업기술 중에서도 가장 중요한 것은 본수관리, 즉 간벌이라 할 수 있다.

현재 우리나라의 산림은 III齡級(30년생) 이하의 幼齡林이 5,614,538ha로서 산림면적의 87%를 차지하고 있어, 잣나무, 낙엽송, 리기다소나무 등의 주요 조림수종은 물론, 인공림의 대부분이 여기에 포함되어 방대한 保育間伐 대상임분을 보유하고 있다.

그러나 오늘날 간벌 생산은 경제성으로 인하여 기피되고 있으며, 이로 인해 조림지의 대부분이 저질림화가 우려되고 있다. 權五福 등(1993)에 의하면 1990년을 전후하여 우리나라의 間伐材生産量은 연간 10만~20만 m^3 로서, 총간벌재 생산대상량의 10~20%의 수준에 머물고 있어 극히 부진한 실정이다.

따라서 향후 이와 같은 幼齡林의 保育間伐이 큰 과제로 대두되고 있으며, 잣나무 인공림의 경우에도 최적 보육간벌을 통하여 간벌수확은 물론, 장차 우량재의 생산을 유도함으로써, 임업의

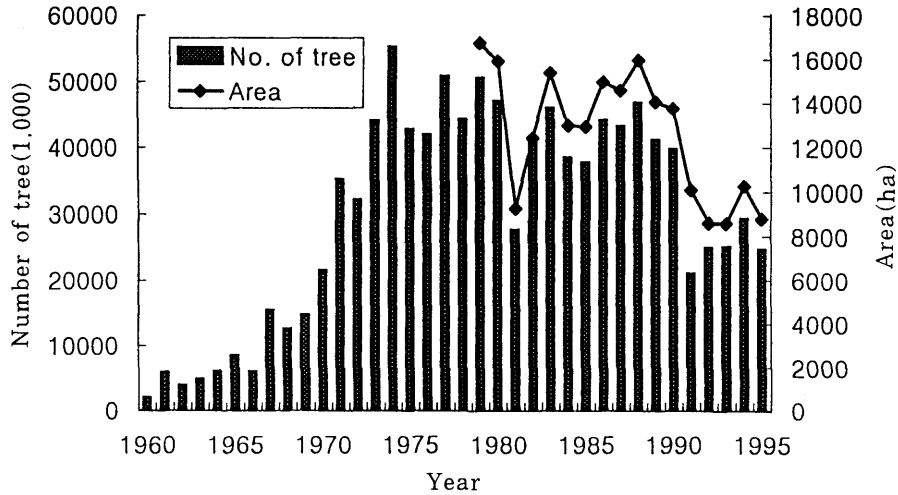


Fig.1. Transition of reforestation accomplishment of *Pinus koraiensis*.

생산성 및 경제성을 제고시키는 것이 급선무라 할 수 있다.

근래 간벌계획과 관련하여 수행된 국내의 연구로는 직접탐색법을 이용한 이론적 성장함수의 적용 연구(徐玉河, 1992), 최적 간벌계획을 위한 동적계획법의 적용성 연구(禹鍾春과 金榮植, 1995), 산림자원 관리계획의 개선방안 연구(禹鍾春과 元賢圭, 1996), 그리고 간벌의 실태와 사례분석을 중심으로 국내산 소경재 이용실태 연구(權五福 등, 1993) 등을 들 수 있다.

우리나라의 산림여건상 장기적인 관점에서 특히 침엽수 인공조림지에 대한 최적 간벌지침을 조속히 확립하여 체계적으로 간벌을 추진하는 것이 대단히 중요하다. 그러나, 아직 현실정에 적합한 잣나무의 보육간벌 지침도 충분히 확립되어 있지 못하며, 이와 관련하여 보다 많은 연구가 이루어져야 함은 물론이다.

본 연구는 이러한 점을 배경으로, 잣나무 인공림의 장기적 보육 간벌시험을 통하여, 장차 最適한 間伐計劃의 수립 및 바람직한 間伐方法 등의 제시를 목적으로 하고 있다. 금회에는 우선 江原大學校 演習林에 설정된 잣나무의 間伐試驗地와 기존의 林分收穫表를 대상으로 生長函數를 이용

하여 잣나무의 직경, 수고, 입목본수의 변화 등을 분석·고찰하였다.

II. 資料 및 方法

1. 對象地域

연구의 대상지역은 江原大學校 演習林 2임반, 사소반내 잣나무 인공림으로서, 행정구역상으로는 춘천시 동산면 봉명리에 소재하고 있다. 연습림내 잣나무 인공림은 540ha로서 곳곳에 군상식재되어 있으며, 연습림 총면적 3,058ha중의 18%를 차지하고 있다.

연습림은 삼림식물대상으로 온대중부림에 속하여 다양한 식생분포를 이루고 있으며, 비교적 자연생태계를 잘 보전하고 있다. 임상별 면적은 천연림이 2,329ha(76%)로서 그 대부분을 차지하고 있으며, 인공림은 696ha(23%)이다. 화강암을 모암으로 하고 있는 산림토양의 대부분 양토 또는 사질양토로서, 유기질이 풍부하며 식물생육에 적합하다.

연구대상의 잣나무林分은 '96년 현재 19년생(II齡級)으로 장기적 보육간벌 시험을 위하여

'96년 11월, 면적 0.32ha의 間伐試驗林을 설정 (崔麟和 등, 1996)하였다. 간벌시험림의 설정지역은 연습림의 중앙부에 위치한 蓮葉山(850m)의 남서(S 50° W) 사면 지역으로 표고 630m ~ 650m, 경사도 12° ~ 29° 등의 입지조건을 갖추고 있다.

2. 研究方法

간벌시험림의 설정에 있어서는 對象林分의 齡級을 고려하여, 20m x 20m 크기 8개 블록, 5개 클래스의 표준시험구를 설정하였다. 시험구의 블록별 존치본수는 수령과 임분밀도를 고려하여, 시험구 A는 36본(ha당 900본), 시험구 B는 48본(ha당 1,200본), 시험구 C는 60본(ha당 1,500본), 시험구 D는 72본(ha당 1,800본)으로 설정하였다. 제2시험지의 시험구 B', C', E'는 장소를 달리한 반복시험구로서, 시험구 B', C'의 본수 설정은 제1시험지와 같으며, 대조구인 시험구 E의 본수는 100본(ha당 2,500본), E'의 본수는 111본(ha당 2,775본)이다.

시험구내의 立木은 存置木과 間伐木(除去木)으로 구분하여 시험구별 흉고직경 및 수고를 조사하였다. 존치목에는 개체마다 고유번호를 부여하였으며, 간벌대상목은 매목조사후 벌채하였다.

시험구내 입목의 존치본수와 밀도는 定量 및 定性間伐을 고려하여 설정하였다. 먼저 산림청의 잣나무 임분수확표(1995)를 참고하여 정량적으로 블록별 존치본수를 설정한 후, 정해진 본수에 따라 각각 정성간벌을 실시하였다. 정성간벌의 선목 기준으로는 寺崎式 樹型級 구분을 고려하여 優勢木(1급목)을 제외한 2급목과 劣勢木(3, 4, 5급목)이 간벌대상이 되었으며, 주로 고사목, 피압목, 불량목 등을 우선 벌채하였다.

間伐試驗林의 시험구별 間伐前과 間伐後의 존치목 및 間伐木(제거목)의 평균 흉고직경, 평균 수고, 재적 등의 현황은 Table 1과 같으며, 앞으로 5년마다 계속적인 매목조사를 통하여 관리해 나갈 예정이다.

제1시험지의 간벌전, 평균 흉고직경은 11cm, 평균 수고 8m의 임분으로서, 흉고직경 3cm미만의 치수를 제외한 총본수는 429본이며, 총재적

Table 1. Establishment status of thinning experimental plots of *Pinus koraiensis* stand.

Plots	Blocks	Before thinning				After thinning					Thinning tree				Cutting ratio (%)
		No. ¹⁾	D.B.H. (cm)	Tree height (m)	Vol. (m ³)	No. ¹⁾	No. ¹⁾ / ha	D.B.H. (cm)	Tree height (m)	Vol. (m ³)	No. ¹⁾	D.B.H. (cm)	Tree height (m)	Vol. (m ³)	
1	A	112	10.65	8.29	5.40	36	900	13.76	9.44	2.82	76	9.17	7.74	2.58	68
	B	111	11.06	8.20	5.88	48	1,200	13.66	9.38	3.76	63	9.07	7.30	2.12	57
	C	106	11.10	8.00	5.44	60	1,500	13.65	9.04	4.43	46	7.77	6.63	1.01	43
	E	100	10.98	8.15	4.97	100	2,500	10.98	8.15	4.97	-	-	-	-	0
2	B'	109	10.63	8.40	5.24	48	1,200	12.98	9.67	3.34	61	8.79	7.41	1.90	56
	C'	105	11.11	8.51	5.55	60	1,500	12.98	9.34	4.17	45	8.62	7.41	1.38	43
	D	121	11.14	8.54	6.27	72	1,800	12.40	9.26	4.50	49	9.30	7.48	1.77	40
	E'	111	11.27	8.49	5.99	111	2,775	11.27	8.49	5.99	-	-	-	-	0

1) : Number of tree in each block

은 21.69m^3 였다.

시험구 A는 총 112본의 입목중, 36본을 존치시키고 76본(68%)을 벌채하였으며, 입분의 상대밀도는 가장 소하다. 존치목의 흉고직경은 13.76cm, 수고는 9.44m이며, 총재적은 2.82m^3 이다. 시험구 B는 총 111본의 입목중, 48본을 13.66cm, 존치시키고 63본(57%)을 벌채하였으며, 입분의 상대밀도는 중간이다. 존치목의 흉고직경은 수고는 9.38m이며, 총재적은 3.76m^3 이다. 시험구 C는 총 106본의 입목중, 60본을 존치시키고 46본(43%)을 벌채하였으며, 입분의 상대밀도는 중간이다. 존치목의 흉고직경은 13.65cm, 수고는 9.04m이며, 총재적은 4.43m^3 이다. 시험구 E는 대조구로서 총본수는 100본이며, 흉고직경은 10.98cm, 수고는 8.15m, 총재적은 4.97m^3 이다.

제2시험지 역시 같은 동령림으로 간벌전, 평균 흉고직경은 11cm, 평균 수고 8.5m의 입분이다. 흉고직경 3cm미만의 치수를 제외한 총본수는 446본이며, 총재적은 23.05m^3 였다.

시험구 B'는 총 109본의 입목중, 48본을 존치시키고 61본(56%)을 벌채하였으며, 입분의 상대밀도는 중간이다. 존치목의 흉고직경은 12.98cm, 수고는 9.67m이며, 총재적은 3.34m^3 이다. 시험구 C'는 총 105본의 입목중, 60본을 존치시키고 45본(43%)을 벌채하였으며, 입분의 상대밀도는 중간이다. 존치목의 흉고직경은 12.98cm, 수고는 9.34m이며, 총재적은 4.17m^3 이다. 시험구 D는 총 121본의 입목중, 72본을 존치시키고 49본(40%)을 벌채하였으며, 입분의 상대밀도는 가장 밀하다. 존치목의 흉고직경은 12.4cm, 수고는 9.26m이며, 총재적은 4.5m^3 이다. 시험구 E'는 대조구로서 총본수는 111본이며, 흉고직경은 11.27cm, 수고는 8.49m, 총재적은 5.99m^3 이다.

본 연구는 앞서 언급한 바와 같이 最適 間伐計劃의 수립 및 바람직한 間伐方法의 제시를 목적으로 하고 있다. 이를 위해서는 먼저 生長曲線式 중 Richards 生長함수를 비롯한 기존의 수학적 이론 生長곡선식의 수식적인 의미를 파악하고, 이를 이용하여 간벌시험지에서 채취한 임령

18년 전후의 공시목의 직경생장 과정을 추정하여 가장 적합한 이론 生長함수를 선정할 필요가 있다.

한편 山林廳에서 작성한 기존의 잣나무 林分收穫表의 직경생장과 입목본수의 감소를 나타내는 함수식의 해를 구하고, 함수식에서 사용된 각 계수들간의 관계와 경향, 추정치의 성질 등을 조사하여, 이를 기준으로 하여 간벌의 효과를 예측하기 위한 새로운 함수식을 작성하고 간벌효과를 나타낼 수 있는 기초적인 이론을 마련하고자 한다.

1) 林木生長 方程式

가. 林分 生長모델의 構成과 適合度

數式을 이용하여 간벌에 따른 生長과정을 예측하기 위해서는 生長모델이 필요하다. 生長모델은 다음의 3종으로 나눌 수 있다.

- (1) 林分 단위로 예측하는 경우
- (2) 單木 단위로 예측하되 수목간의 거리정보가 필요없는 경우
- (3) 單木 단위로 수목간의 거리정보를 필요로 하는 경우

(1)의 형태의 生長모델은 입분수확표나 입분 生長량을 나타내는 회귀식 등에서 가장 많이 사용되는 방법이나 간벌의 효과를 추정하는 데는 무리가 따른다. (2)의 生長모델은 鈴木(1979, 1988)의 林分遷移方程式, 南雲(1981), Pienaar(1973), 白石(1986), 阿部(1980) 등의 연구와 같이 입분의 평균치를 이용하거나 시물레이션하는 방법에서 많이 볼 수 있다. 阿部는 임령 50년생의 전나무류(*Abies sachalinensis*) 입분을 대상으로 한 30년간의 조사결과에서 수목의 生長과 인접목의 평균거리 사이에는 강한 상관관계가 있음을 밝혀냈다. 이는 수목의 生長이 점유면적에 관련한다는 일반적인 인식을 뒷받침하는 것이다. 또한, 猪瀬(1988)는 전나무류의 단목성장 특성을 토대로 수고와 직경의 변화를 예측하여 입분 生長 모델을 작성하였다.

間伐을 실행하고, 간벌이 수목의 生長에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 (3)의 生長모델이 가장 바람직하다고 사료된다. 小林(1978)의 낙

가장 바람직하다고 사료된다. 小林(1978)의 낙엽층 상대생장모델은 이러한 단목간의 경쟁관계를 이용하여 개체의 생장예측을 시도한 것이다. 그러나 이러한 데이터를 구하기는 매우 어렵다. 강원대학교 연습림에 설치된 잣나무 간벌시험지에서 얻어지는 데이터를 이용한다면 (3)항의 보다 합리적인 생장모델을 구축할 수 있을 것으로 사료된다.

나. Richards, Mitscherlich, Gompertz, Logistic 生長函數間의 關係

생물체의 생장속도가 합성작용의 속도와 분해작용의 속도차라고 한다면 이를 미분방정식

$$\frac{dW}{dt} = nW^m - kW \quad \dots\dots\dots (1)$$

W : 체중, n, m, k : 상수로 표시할 수 있다. Bertalanffy(1968)는 (1)식처럼 합성작용은 체중의 m 승에 비례하고 분해작용은 체중자체에 비례한다고 가정하였다. 大隅(1985)는 (1)식을 적분하여

$$W = \left(\frac{n}{k} - \left(\frac{n}{k} - W_0^{1-m} \right) e^{-(1-m)kt} \right)^{1/(1-m)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

과 같이 나타내었다. Richards(1969)는 식물의 성장과정을 나타내기 위해 m 값의 범위를 $2/3 \leq m \leq 1$ 이 아닌 $0 \leq m$ 의 범위로 하여 각 계수를 추정하면 생장함수의 적용범위가 늘어난다는 사실을 증명하였다.

이 식에서

$$A^{1-m} = \frac{n}{k}, \quad \beta = \frac{n}{k} - W_0^{1-m}, \quad k = (1-m)k$$

으로 하면

$$W^{(1-m)} = A^{(1-m)} - \beta e^{(-kt)} \quad \dots\dots\dots (3)$$

이 성립된다. (3)식은 Richards 생장함수의 일반형이 된다. 이식은 m 이 1보다 작을 경우에는

$$W = A(1 - \beta e^{-kt})^{(1/1-m)} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$\therefore b = \beta A^{m-1} > 0$ 의 경우

m 이 1보다 클때에는

$$W = A(1 + \beta e^{-kt})^{(-1/m-1)} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$\therefore b = -\beta A^{m-1} > 0$ 의 경우가 성립한다.

大隅(1985)는 (5)식의 m 의 크기에 따라 일반적으로 사용되고 있는 Mitscherlich, Logistic, Gompertz 3개의 생장곡선이 표현될 수 있음을 증명하였다. 다시 말하면, (5)식은 $m=0$ 의 경우에는

$$W = A(1 - \beta e^{-kt}) \quad \dots\dots\dots (6)$$

의 Mitscherlich 생장함수를, $m=2$ 일 경우는

$$W = \frac{A}{1 + \beta e^{-kt}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

의 Logistic 생장함수를, 그리고 m 이 1에 접근하는 극한의 경우에는

$$W = A e^{-\beta e^{-kt}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

의 Gompertz 생장함수를 나타낸다. 이러한 Richards 생장함수의 각 계수 A, b, k, m 은 각각 생장의 최종크기, 일정위치에 달하는데 걸리는 시간, 생장속도, 곡선의 형을 결정하는 인자로서 작용한다.

초기의 일정기간의 생장자료를 이용하여 생장방정식에 의해 장래 생장을 예측할 경우, 수목의 생장패턴에 따라 차이는 있으나, 일반적으로 Mitscherlich, Gompertz, Logistic의 순서로 정확도가 높은 것으로 나타났다(Sweda, 1984; 徐玉河, 1992). 한편 Richards 생장곡선은 파라메타 A, k, m 간에 일정한 상관관계를 유지하고 있으므로 간벌에 따른 생장의 시뮬레이션에 적합하다는 연구도 있다(阿部, 1988; 大金 등, 1991).

강원대학교 연습림에 설정된 잣나무 간벌시험의 데이터로부터 생장곡선을 이용하여 간벌에 따른 임목의 성장효과를 예측하기 위해 기본적인 조사·분석하였다. 생장곡선은 비교적 정도가 높은 것으로 인정되고 있는 Mitscherlich와 Richards 생장곡선만을 이용하였다. 이중 Richards 생장곡선은 A, b, k, m 의 4변수를 모두 사용하는 경우와 시간차이를 조절하기 위한 b 를 제외한 A, k, m 의 3변수만을 사용하는 두가지의 경우로 나누었다.

2) 係數推定 方法

함수식에 나타나는 각 계수의 적정값을 얻기 위해서는 종래 Deming의 최소자승법이나 Lagrange의 미정계수법 등이 주로 사용되어져 왔다. 그러나 목적함수가 복잡하여 미분이 불가능하거나 어려운 경우에도 사용이 가능한 방법이 필요한 경우가 늘어나고 있다. 최근 Computer의 급속한 발달에 힘입어 수치해석이 손쉬워진 뒤부터 각종 최적화 문제의 해결에 유용한 Nelder와 Mead에 의해 제안된 직접탐색법을 사용하였다. Spendley 등에 의해 제안된 등변단체를 개량하고 부등변단체를 이용하여 최적값을 찾을 수 있는 이 방법은 복잡한 미분방정식을 고려하지 않고도 짧은 시간 내에 필요한 해를 얻을 수 있는 유용한 방법이다. 이 방법은 현재 실용화되어 있는 최적화 문제의 해결방법 중에서 특히 계수가 5개내지 6개의 경우에 우수한 것으로 인정되고 있다(Walsh, 1975). 이 방법의 단점은 초기치의 범위에 따라 국소적인 최적값을 구할 수 있으나, 이것이 반드시 대역적인 최적치와 일치된다는 보장을 얻을 수는 없다는 점이다(徐玉河와鈴木, 1987). 초기치를 엄격하게 구할 필요가 없는 lagrange의 미정계수법 등에 비해 큰 단점이나, 사용이 손쉽고 복잡한 계산과정이 필요없다는 장점을 지니고 있다. 필자들이 Qbasic 언어를 이용하여 작성한 계수추정 프로그램은 1분 이내에 국소적인 최적치를 구할 수 있어, 반복법에 의해 적절한 초기치를 선정할 수 있도록 하였다.

Ⅲ. 結果 및 考察

1. 供試木의 直徑生長 推定

연습림에서 채취한 잣나무 공시목 8본의 원판에서 직경의 성장과정을 조사하였다. 직경은 각각 장측과 단측을 설정하여 매년도에 자란 연륜을 조사하여, 평균값을 구하고 이의 2배를 각년도에 자란 직경으로 계산하였다. 이 잣나무 공시목들은 1996년 현재까지 인위적인 간벌이 이루어지지 않았으므로 자연간벌에 의한 분수감소만이 일어난 전형적인 무간벌지의 직경성장 과정을

나타낸 것이다. 각각의 공시목의 성장과정을 Mitscherlich, 4변수 Richards, 3변수 Richards 성장함수의 3개 함수에 의해 추정하였다. 각 식의 계수값과 평균 최소자승값 등을 Table 2에 나타냈다.

Table 2에서 보는 것처럼 각 파라메타들은 식의 종류에 따라 값의 범위가 크게 변한다. 특히 Mitscherlich의 A 와 k , 4변수 Richards식의 b 는 표준편차가 크게 나타났다. 각 성장함수의 적합도는 MSD의 크기로서 유추할 수 있는데 실측치와의 편차는 3변수 Richards, 4변수 Richards, Mitscherlich의 순서로 적게 나타났다. 각 공시목의 실측치와 함수별 추정치를 그림으로 나타냈다(Fig. 2).

Fig. 2에서 보는 것처럼 사용한 3개의 성장곡선식은 모두 현재까지의 성장과정을 표현하는데는 적합한 것으로 사료되나 장래의 성장을 예측하는데는 각각 차이가 있었다. Mitscherlich는 성장의 상한치의 변동폭이 크고, 시간을 조절하는 b 의 값은 큰 차이가 없는 반면, 성장을 k 는 성장 상한치와 현재 직경과의 비율에 따라 큰 차이를 보이고 있다. 성장 상한치인 A 값의 변동이 심한 이유는 경직된 곡선형태 때문으로 사료되며, 평균 최소자승값도 Richards 성장곡선에 비해 높게 나타난다. 각 파라메타 간의 상관도를 그려보아도 일정한 경향을 나타내지 않았다.

한편 4변수 Richards 성장곡선은 성장상한치가 예상보다 작게 나타나고, 시간조절변수 b 가 크게 변동하면서 성장을 k 와 곡선형태 m 에 영향을 미쳐 일정한 경향을 파악하기 어려웠다. Mitscherlich에서와 마찬가지로 각 계수간의 상관도에서는 일정한 경향이 나타나지 않았다.

3변수 Richards 성장곡선은 비교적 각 파라메타가 일정한 경향을 가지고 있으며, 서로 상관관계를 나타내는 것으로 보인다. Fig. 3부터 Fig. 6에서 보는 것처럼 최대성장량을 나타내는 A 는 현재 직경에 비례하며, A 가 클수록 성장율계수 k 는 작아지고, 성장율계수 k 가 올라가면 곡선형

Table 2. The parameters for 3 growth equations of sample trees.

Sample No.	A1	A20	B25	B29	B9	C1	C2	C58	Mean	
Tree age(year)	17	18	18	17	18	17	17	18	17.5	
D.B.H.(cm)	11.60	17.66	20.34	16.76	14.58	14.60	13.78	21.54	16.358	
Mit. ¹⁾	A ⁴⁾	21.068	112.974	53.915	93.157	25.079	34.513	35.222	444.054	102.498
	b ⁵⁾	1.0895	1.0169	1.0467	1.0133	1.0775	1.0514	1.0524	1.0058	1.044
	k ⁶⁾	0.05383	0.01052	0.02972	0.01273	0.05328	0.03690	0.03366	0.00319	0.0298
	MSD ⁸⁾	0.436	0.585	0.649	0.298	0.506	0.484	0.455	0.719	0.516
	PE	0.338	0.308	0.260	0.084	0.289	0.267	0.269	0.309	0.266
Rich.1 ²⁾	A	12.325	19.922	22.092	20.444	14.994	16.025	15.649	24.852	18.288
	b	0.0164	0.00996	0.00072	0.0286	0.00285	0.00856	0.00707	0.0084	0.0101
	k	0.23802	0.18739	0.20852	0.16869	0.23093	0.22057	0.20719	0.19383	0.2069
	m ⁷⁾	0.99646	0.99782	0.99984	0.99228	0.99936	0.99806	0.99837	0.99828	0.9976
	MSD	0.192	0.449	0.265	0.257	0.255	0.147	0.158	0.164	0.236
	PE	0.066	0.181	0.043	0.063	0.074	0.025	0.033	0.016	0.062
Rich.2 ³⁾	A	12.517	22.827	24.015	27.038	15.931	17.368	16.323	27.412	20.429
	k	0.2056	0.1242	0.1514	0.0832	0.1734	0.1598	0.1656	0.14153	0.1506
	m	0.6890	0.5954	0.6227	0.4139	0.6178	0.6066	0.63723	0.66833	0.6064
	MSD	0.159	0.399	0.239	0.179	0.256	0.199	0.143	0.182	0.219
	PE	0.045	0.144	0.035	0.031	0.074	0.045	0.027	0.036	0.054

- 1) Mit. : Mitscherlich equation
- 2) Rich.1 : Richards equation with 4 parameters
- 3) Rich.2 : Richards equation with 3 parameters
- 4) A : asymptotic upper limit diameter
- 5) b : time adjustment parameter
- 6) k : growth rate parameter
- 7) m : curve regulation parameter
- 8) MSD : mean standard deviation

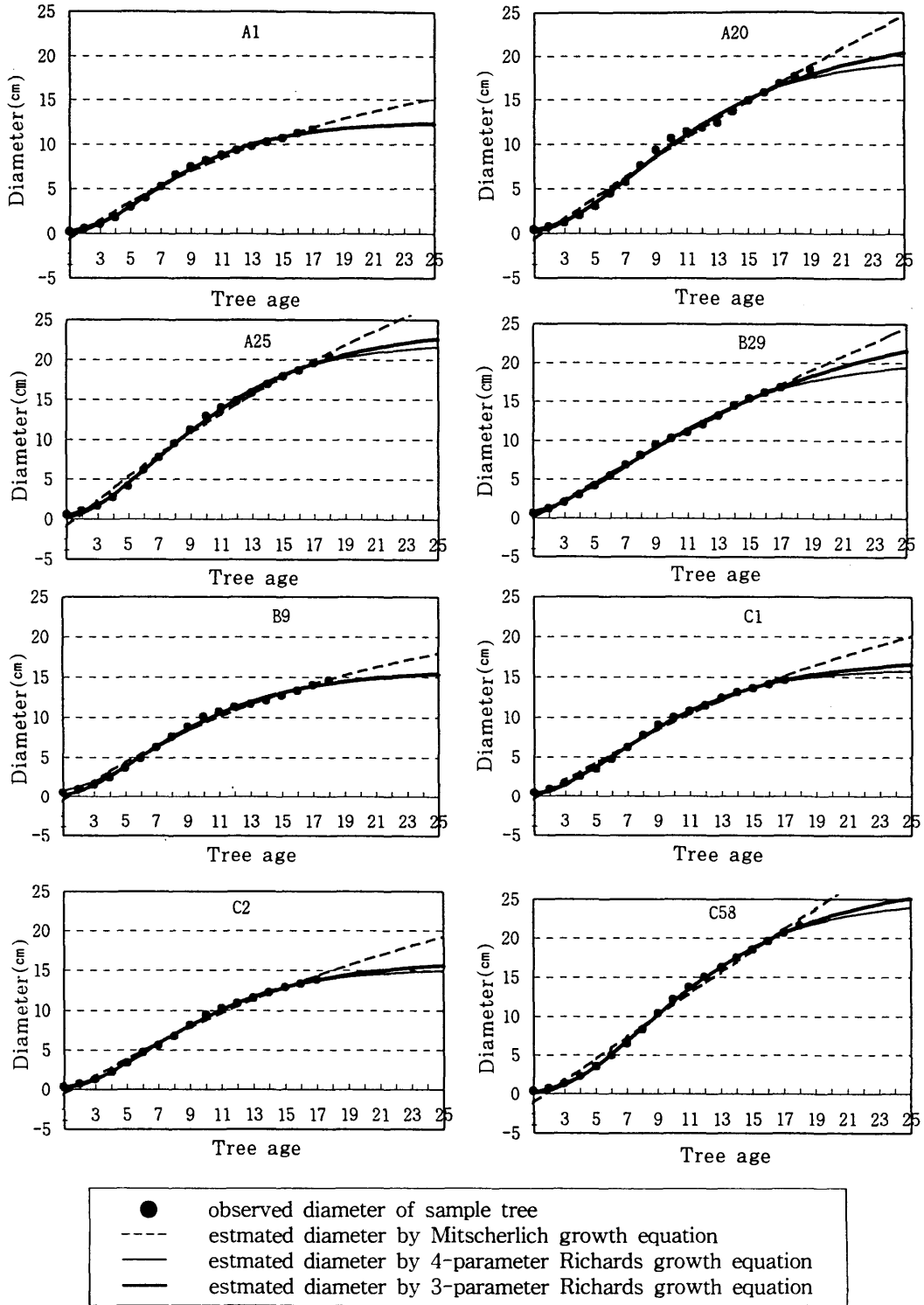


Fig.2. Comparison of observed and esimated diameters of *Pinus koraiensis* by 3 growth equations.

태를 결정하는 m 은 커지는 경향을 보인다. 한편 A 와 m 사이에도 -의 상관관을 보이는 것으로 판단된다.

각함수의 평균치와 표준편차값을 이용하여 공시목을 대표하는 성장과정을 시뮬레이션해 본 결과 3변수의 Richards 함수가 가장 적합하게 나타났다. Fig. 7은 3변수 Richards 함수를 기본으로 하여 최대성장량 A 만을 표준편차 범위내에서 변화시킨 것이다. 이는 Fig. 8에 나타낸 공시목 전부의 직경성장 과정을 유사하게 표현할 수 있었다. 최대성장량은 정구분포를 하기 때문에 임분단위의 간벌 시뮬레이션 등을 통한 성장경향의 파악에도 유리할 것으로 사료된다. 성장식의 계수조작이 간단할수록 성장과정의 해석이 유리하고 간벌 등의 시업효과를 고려하기 쉽기 때문에, 본 연구에서는 3변수의 Richards 함수를 기준 방정식으로 결정하였다. 이는 최대성장량을 주요 변수로 하고 성장속도와 곡선형태를 결정하는 k , m 을 부변수로 하면 장래 단목 및 임분단위의 성장과정과 간벌량을 시뮬레이트하는데 유리할 것으로 판단했기 때문이다.

한편 공시목들은 8분 공히 9~11년 사이에 빠른 성장을 보이다가 12년 전후부터 성장율이 둔화되는 경향을 보였다가 다시 회복되는 추세를 보이고 있다. 이는 잣나무의 고유한 성장패턴이라기 보다는 기후나 주변목과의 경쟁관계 등의 외부요인에 의한 것으로 사료되나, 확실한 판단은 독립목의 조사 이후로 유보한다.

2. 잣나무 林分收穫表에 의한 推定

1) 平均 直徑生長의 推定

잣나무 임분수확표(1995)의 지위지수 12, 14, 16의 임분 전체의 평균 직경성장과 주임목, 부임목의 직경성장 과정을 3변수 Richards 함수에 의해 추정하여 보았다. Fig. 9는 수확표의 임령에 따른 전체 직경성장의 과정이며, Fig. 10은

주임목, Fig. 11은 부임목의 평균 직경성장의 과정이다. 잣나무 수확표의 직경성장 추정도 주임목, 부임목, 평균 공히 3변수 Richards 함수 쪽이 정도가 높게 나타났으나, 각 계수의 범위는 단목의 경우와 다르게 나타났다(Table 3). 수확표는 10년부터 50년까지 만의 데이터로 구성되어 있어, 10년 이전의 자료가 없기 때문에 얻어진 계수를 잣나무에 바로 적용하기에는 무리가 있을 것으로 판단된다. 한편 수확표에 나타난 주임목의 45년생 때의 평균직경은 성장곡선에서 크게 떨어지는데(Fig. 10) 이는 오타에 의한 것으로 생각된다.

2) 立木本數 減少의 推定

잣나무 수확표에 나타난 임목본수 감소 경향을 마찬가지로 Richards 함수에 의해 추정한 결과를 Fig. 12로 나타내었다. 그림에서 보는 것처럼 임목본수의 감소과정을 유사하게 표현할 수 있었다. 기존의 수확표는 여러 임분의 평균치를 변태도법으로 표시한 것이기 때문에 간벌량에 따른 성장변화를 찾아낼 수는 없으나, 장래 연습림의 간벌시험지에서 얻어질 자료를 이용하고, 한편으로 잣나무의 자연고사에 따른 최대밀도 곡선을 기준으로 한다면, 적합한 생육공간의 제공에 따른 간벌효과를 최대로 할 수 있는 간벌율의 추정이 가능할 것으로 생각된다.

3) 樹高生長의 推定

잣나무 수확표상의 수고성장 과정을 추정한 결과는 Fig. 13과 같다. 여기에서도 성장함수가 실제 임목의 수고성장 과정의 변화를 적합하게 표현하고 있음을 알 수 있다. 그러나 자료가 10년부터 50년까지의 자료만이고, 임분에서의 간벌에 따른 수고성장의 변화는 그 유의성이 인정되고 있지 않으므로 재적계산 등의 용도에만 국한될 것으로 사료된다.

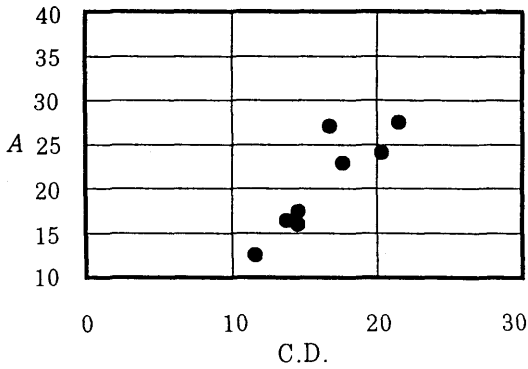


Fig.3. Correlation between C.D. and A.
C.D. : current diameter
A : asymptotic upper limit diameter

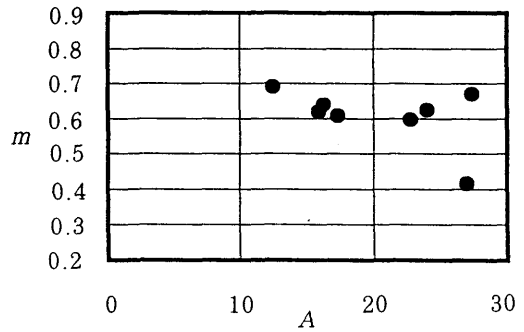


Fig.6. Correlation between A and m.
A : asymptotic upper limit diameter
m : curve regulation parameter

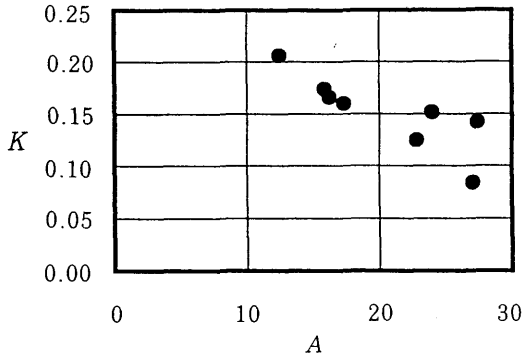


Fig.4. Correlation between A and k.
A : asymptotic upper limit diameter
k : growth rate parameter

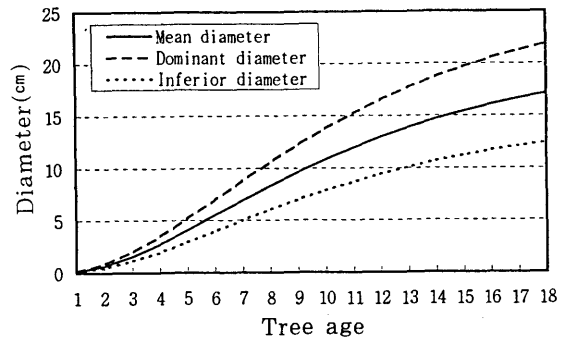


Fig.7. Estimated diameter curves of 3-parameter Richards equation

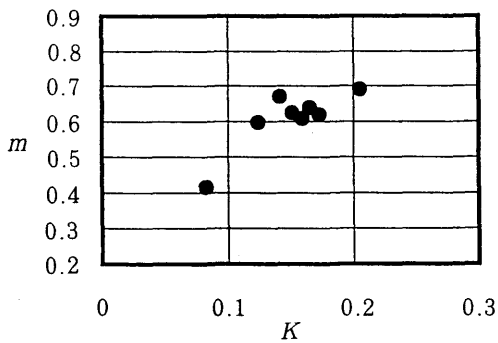


Fig.5. Correlation between k and m.
k : growth rate parameter
m : curve regulation parameter

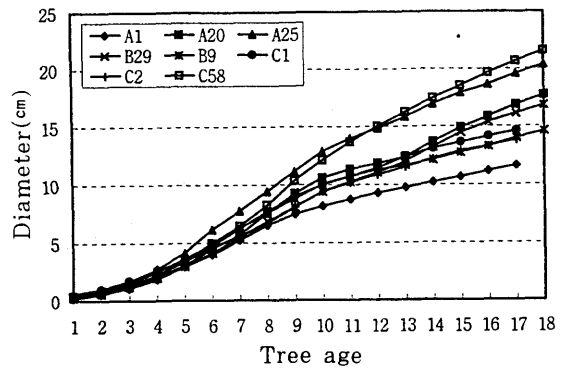


Fig.8. Observed diameter curves of sample trees.

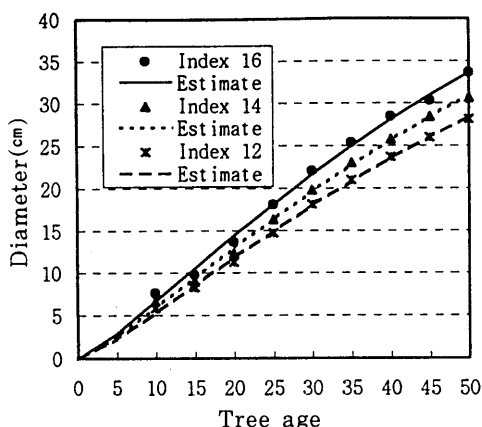


Fig.9. Comparison of observed and estimated mean diameter of *Pinus koraiensis* yield table.

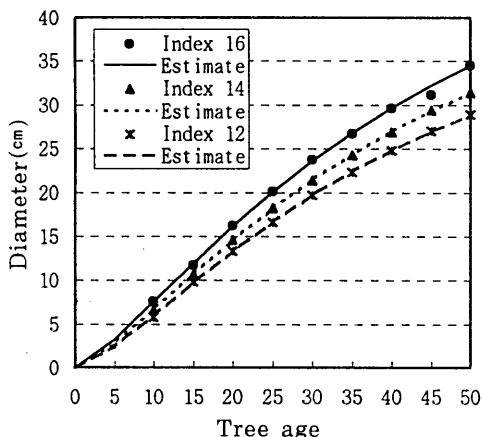


Fig.10. Comparison of observed and estimated dominant tree diameter of *Pinus koraiensis* yield table.

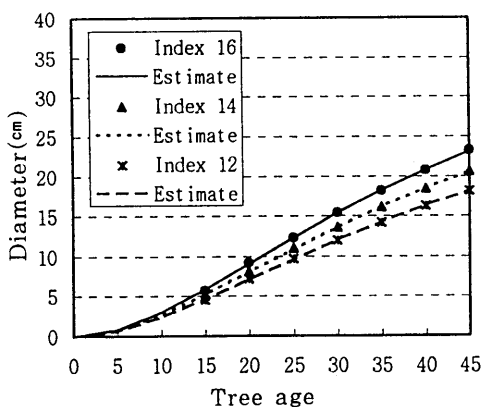


Fig.11. Comparison of observed and estimated inferior tree diameter of *Pinus koraiensis* yield table.

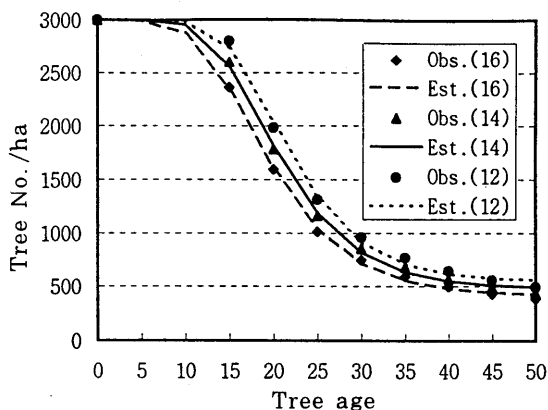


Fig.12. Comparison of observed and estimated number of trees by 3-parameter Richards equation in yield table.

Obs.(16):observed tree number/ ha of site index 16
Est.(16):estimated tree number/ ha of site index 16

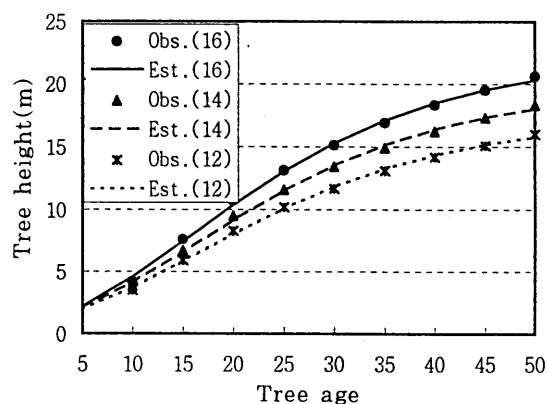


Fig.13. Comparison of observed and estimated tree height by 3-parameter Richards equation in yield table.

Obs(16):observed tree height of site index 16
Est(16):estimated tree height of site index 16

3. 間伐에 따른 直徑生長 函數式의 決定

임목의 직경생장과 수고생장, 분수의 변화를 파악하면 필요한 임분의 재적을 계산할 수가 있다. 잣나무 수확표에서 각 지위지수별 직경생장

Table 3. The parameter of diameter growth in yield table of *Pinus koraiensis* by Richards equation.

Index		Index 16	Index 14	Index 12
Class	$A^{1)}$	61.535	58.947	53.323.
	$k^{2)}$	0.01974	0.01889	0.01957
	$m^{3)}$	0.23052	0.23891	0.25553
	MSD ⁴⁾	0.571	0.3804	0.2967
Mean diameter	A	49.715	45.249	40.864
	k	0.02888	0.02939	0.03100
	m	0.26842	0.02855	0.31407
	MSD	0.105	0.058	0.0797
Dominant tree diameter	A	36.645	34.021	29.512
	k	0.03609	0.03368	0.03448
	m	0.05246	0.50624	0.05109
	MSD	0.103	0.083	0.0720
Inferior tree diameter				

- 1) A : asymptotic upper limit diameter
- 2) k : growth rate parameter
- 3) m : curve regulation parameter
- 4) MSD : mean standard deviation

과 수고성장, 임목본수의 감소패턴이 3변수의 Richards 함수식으로 적합시킬 수 있음을 확인 하였으나, 이는 실지 임목의 간벌효과에 따른 임 목생장의 변화를 예측할 수 있는 것은 아니다. 본 논문에서는 간벌의 효과를 수치적으로 나타낼 수 있는 함수식을 제안하고자 한다. 이는 간벌에 따른 잣나무의 성장패턴을 대표할 수 있는 함수 식을 설정하고 이를 이용하여 바람직한 간벌량을 결정하기 위한 것이다. 이를 위해서는 간벌의 형 태를 임목의 점유면적을 기준으로 하는 것이 가 장 실용적일 것으로 판단된다.

鈴木(1987)은 간벌에 의한 직경의 생장변화를 나타내기 위해 임목의 평균 점유면적이 늘어나면 직경의 생장이 빨라지는 것을 나타내기 위해 최 대직경과 본수와의 관계를

$$\pi Ms^{2/4} = \pi M^{2/4} * (1 - e^{-h/n}) \dots\dots\dots (9)$$

와 같이 가정하였다. 즉 임분중의 임목의 최대직 경 M 은 현재 임목본수의 역수와 상관을 가진다 는 가정하에서 임분전체의 성장과정을 표시하려 고 한 것이다. 여기서 M 과 h 는 각각 Ms 의 상한 치와 밀도효과를 나타내는 계수가 된다. 따라서 초기본수 no 로 성립된 임분이 본수의 변화없이 임령 $t1$ 까지 성장할 경우의 i 번째 임목의 직경을 $xi(no ; t1)$ 라 한다면

$$xi(no;t1) = Mi(1 - e^{-h1/no})^{1/2} (1 - e^{-kiti}) + \alpha g(t1) \dots\dots\dots (10)$$

으로 표시된다. 여기서 $g(t)$ 는 임의의 생장변동 으로 이는

$$g(t) = e^{-ki}f(t-1) + e^{-2ki}f(t-2) + \dots\dots +$$

$$e^{-tk}f(0) \dots\dots\dots (11)$$

로 우변의 각항 $f(t-1)$, $f(t-2)$ 등은 직경생장의 정차도에서의 편기를 나타낸다.

필자들은 단목생장을 대상으로 하는 본 논문에서 주변목과의 거리를 이용하여 임목의 직경은 점유면적에 비례한다는 가정을 사용하였다. 즉 일정기간 t 에서의 직경 x 를

$$x = A(1-e^{-h1w})^{1/2}(1-e^{-kt})^{(1/1-m)} \dots\dots\dots (12)$$

로 표시한다. 이는 임목이 생육도중에 임령 t_1 에서 간벌이나 자연간벌에 의해 점유면적이 w_2 만큼 늘어난 상태로 임령 t_2 까지 성장할 경우 그 직경을

$$x(w;t_1, w_2;t_2) = x(w;t_1) + A(1-e^{-hw_2})^{1/2} * (e^{-kt_1} - e^{-kt_2})^{(1/1-m)} + a(g(t_2) - g(t_1)) \dots\dots (13)$$

으로 나타내는 것이다. 이 모델을 간벌에 따른 임목의 직경성장 과정을 나타내는 식으로 결정하였다. 여기서 나타나는 함수 h 는 임목의 점유면적 w 에 관련하는 계수가 된다. 이 계수를 추정하기 위해서는 현재 설치된 간벌시험지의 각 임목간의 평균거리와 수관폭의 성장과정을 조사할 필요가 있다.

향후 5년후의 간벌시험지의 직경성장 공시자료를 이용하여 점유면적 계수 h 를 추정하고, 임분내의 단목의 성장과정과 간벌의 효과를 표현할 수 있는 수식을 구축하며, 연습림의 간벌시험구의 자료를 이용·보완한다면, 단순하고 이용이 편리한 간벌 지침을 제공할 수 있는 수식을 만들 수 있을 것이다.

IV. 結 論

잣나무는 최근 10년간 우리나라 인공조림실적 중 31%를 차지하는 최대의 조림수종이다. 현재 우리나라 산림은 대부분의 인공조림지를 포함하여 30년생 이하의 유령림이 87%를 점유하고 있음에도 보육간벌은 거의 실시되지 못하고 있는 실정이다. 또한 현실정에 가장 바람직한 잣나무의 보육간벌 지침도 충분히 확립되어 있지 못하다.

본 연구는 잣나무림의 장기적 보육간벌 시험을 통하여 장차 最適한 間伐計劃의 수립 및 間伐方法의 제시를 목적으로 하였다. 금회에는 우선 강원대학교 연습림에 설정된 잣나무의 間伐試驗地와 기존의 林分收穫表를 대상으로 生長函數를 이용하여 잣나무의 직경, 수고, 입목본수의 변화 등을 분석·고찰하였다.

生長函數 중 Mitscherlich, 4 변수 Richards, 3 변수 Richards의 3종을 간벌시험지에서 채취한 임령 18년 전후의 공시목의 직경성장 과정 추정에 사용하였다. 그 결과 3변수 Richards 성장함수가 표준편차 0.219cm로서 Mitscherlich의 0.516, 4변수 Richards의 0.236보다 적합한 것으로 나타났고, 각 파라메타 사이에 일정한 상관관계를 인정할 수 있었다. 성장식의 계수조작이 간단할수록 성장과정의 해석이 유리하고 간벌 등의 시업효과를 표현하기 쉽기 때문에, 본 연구에서는 3변수의 Richards 함수를 기준 방정식으로 결정하였다. 또한 산림청에서 작성한 잣나무 임분수확표의 직경과 수고성장, 입목본수의 감소과정을 Richards 곡선식에 의하여 추정한 결과 하나의 성장함수식으로 각기 다른 과정을 적절하게 표현할 수 있음을 확인하였다.

장래 단목의 間伐에 따른 생장의 변화과정을 추정하기 위해, 단목의 점유면적에 관계하는 계수 h 를 포함하는 성장모델을 제안하였다. 현재 설치된 간벌시험지에서 향후 일정간격으로 얻어질 간벌시험지의 직경성장 공시자료를 이용하여 계수 h 를 추정하고, 이를 이용하여 제안된 모델의 유용성을 검증, 보완한다면 단목의 성장과정을 사전에 유추하여 간벌의 효과를 표현할 수 있는 수식을 구축할 수 있다. 앞으로 이와 같은 연구 결과를 통하여 단순하고 이용이 편리한 간벌 지침을 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

引 用 文 獻

1. 權五福, 韓相燮, 禹鍾春, 1993. 國內產 小徑

- 材 利用實態調査 研究 -間伐의 實態와 事例 分析-. 江原大 森林科學研報 9 : 33-43.
2. 산림청. 1995. 산림입지조사요령. 서울. 86pp.
 3. 산림청. 1996, 1990, 1984, 1980. 임업통계연보. 서울.
 4. 徐玉河. 1992. 直接探索法을 이용한 理論的 生長函數의 適用. 江原大 森林科學研報 8 : 35-49.
 5. 禹鍾春, 金榮植. 1995. 最適 間伐計劃을 위한 動的計劃法의 適用性 研究. 江原大 演研報 15 : 12-22.
 6. 禹鍾春, 元賢圭. 1996. 山林資源 管理計劃의 改善方案 研究 -間伐計劃을 中心으로-. 江原大 演研報 16 : 54-75.
 7. 崔麟和, 金知洪, 池炳潤, 沈尤燮, 金熙星. 1996. 잣나무 間伐試驗林의 調查報告(I). 江原大 演研報 16 : 152-160.
 8. 南雲秀次郎, 白石則彦, 田中万里子. 1981. 스기林收穫表調製法のシステム化に關する研究. 東大演報 71 : 269-330.
 9. 大金永治 編著. 1991. 森林施業·技術研究 -理論と實證-. 日本林業調査會. 東京. 342pp.
 10. 大隅眞一. 1985. 리챠즈生長關數による人工同齡林의 生長法則에對する解析的研究. 文部省科學研究成果報告書. 112pp.
 11. 白石則彦. 1986. 同齡單純林의 生長豫測에關する研究. 東大演報 75 : 199-256.
 12. 蜂屋欣二 外. 1982. 間伐의 仕方·出し方. 全國林業改良普及協會. 東京. 218pp.
 13. 澁谷正人, 五十嵐恒夫, 松田彊. 1987. 토드맷수林分의 齡構成と個體의 生長經過について. 北大演研報 44(1) : 153-174.
 14. 徐玉河, 鈴木太七. 1987. 直徑生長 Parameter의 決定方法について. 日林誌 69 : 301-308.
 15. 小林正吾. 1978. 카라마수人工林의 林分生長 모델에關する研究. 北林試報 15 : 1-164.
 16. 阿部信行. 1980. 토드맷수人工林의 施業法에關する研究(II). 北林試報 18 : 71-93.
 17. 阿部信行. 1988. 토드맷수人工林間伐의 體系化에關する基礎的研究. 北大博士學位論文. 119pp.
 18. 猪瀨光雄. 1988. 토드맷수人工林에於ける 間伐收穫의 豫測에關する研究 -單木生長 모델による解析-. 北大博士學位論文. 72pp.
 19. 坂口勝美 監修. 1982. 間伐의 すべて. 日本林業調査會. 東京. 245pp.
 20. BERTALANFFY, L.V.. 1968. General system theory. George Braziller. New York.
 21. NAGASIMA, I. and KURITA, S.. 1987. A Growth Model with Proportional Increments and its Application. J. Jpn. For. Soc. 69 : 77-83.
 22. PIENAAR, L.V. and TURNBULL, K.J.. 1973. The CHAPMAN-RICHARDS generalization of von BERTALANFFY'S growth model for basal area growth and yield in even-aged stands. For. Sci. 19 : 2-22.
 23. SWEDA, T.. 1984. Theoretical Growth Equations and their Applications in Forestry. Bull. Nagoya Univ. For. 7 : 149-160.
 24. WALSH, G.R.. 1975. Methods of Optimization, John Wiley and Sons, London, 200pp.