

## 安眠島 소나무 林分の 動的 生長모델<sup>1</sup>

徐廷昊<sup>2</sup> · 李祐均<sup>2\*</sup> · 孫堯丸<sup>2</sup> · 咸寶暎<sup>2</sup>

## Dynamic Growth Model for *Pinus densiflora* Stands in Anmyun-Island<sup>1</sup>

Jeong-Ho Seo<sup>2</sup>, Woo-Kyun Lee<sup>2\*</sup>, Yowhan Son<sup>2</sup> and Bo-Young Ham<sup>2</sup>

### 요 약

본 연구에서는 안면도 소나무 임지에 대해 임분 내 성장인자들간의 상관관계를 구명하고 이를 기초로 동적 임분생장모델을 구축하였다. 이를 위해 영급이 고루 분포되도록 96개의 표본점을 선정하였고, 각 표본점에서 임목의 흉고직경, 수고를 측정한 후 이를 분석하여 평균흉고직경, 평균수고, 우세목수고, ha당 본수, ha당 단면적, ha당 재적 등을 추정하였다. SAS의 비선형 회귀분석(NLIN) 및 단순선형분석(REG)을 통해 성장인자간의 함수식을 유도하였으며, 이 함수들을 이용하여 관리방법에 따라 임분의 성장 및 수확이 다양하게 예측될 수 있는 동적 임분생장모델을 구축하였다.

다양한 시업주기 및 강도를 적용해 임분의 생장을 예측한 결과, 본 연구에서 구축된 동적 임분생장모델은 일반적인 생장법칙을 잘 나타내고 있어 안면도 소나무임분의 성장 및 수확량 예측에 적합한 것으로 판단되었다. 이러한 동적 임분생장모델은 실제 산림경영에서 다양한 관리방법에 따른 임분의 성장예측을 위하여 이용될 수 있을 것이며, 산림경영계획에 있어 의사결정을 위한 도구로서 이용될 수 있을 것이다.

### ABSTRACT

In this study, the relationship between growth factors for *Pinus densiflora* stands in Anmyun-Island was analyzed and dynamic growth model was prepared. A total of 96 sample plots was investigated in which dbh and height of individual trees were measured. From these plot data, quadratic mean dbh, mean height, dominant tree height, stem number per ha, basal area per ha and volume per ha were estimated. Several regression equations between growth factors were derived using NLIN and REG procedure of SAS. And dynamic growth model, in which the equations were interactively linked, was prepared for the prediction of stand growth and yield under different management regime.

The predictions of dynamic growth model were found to be coincided with general growth principles. The dynamic growth model was considered as adequate for predicting growth and yield of *Pinus densiflora* stand in Anmyun-Island. In practice, the dynamic growth model can be applied for predicting the growth and development of stand for various forest treatments and for decision-making in forest management.

*Key words* : dynamic growth model, stand growth and yield, forest treatments, decision-making in forest management

<sup>1</sup> 接受 2001年 7月 5日 Received on July 5, 2001.

審査完了 2001年 9月 25日 Accepted on September 25, 2001.

<sup>2</sup> 고려대학교 환경생태공학부 Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea.

\* 연락저자 E-mail : leewk@korea.ac.kr

## 서 론

안면도는 충청남도 태안군의 서남단에 위치하고 있으며, 형질이 매우 우수한 소나무림 조성지역이다. 그러나 현재 안면도 산림의 임분 구조는 소나무와 참나무류의 경쟁이 심화되고 있는 실정이며, 특히 아교목층과 관목층에는 졸참나무와 굴참나무 등의 활엽수가 우세를 보이고 있어 집중적인 무육작업 없이는 활엽수와 경쟁에서 소나무는 도태될 위험이 있는 것으로 보인다(배상원, 1994; 배관호와 홍성천, 1996; 송호경과 장규관, 1997). 따라서, 우수한 형질의 소나무림을 보호·육성하기 위해서는 집중적인 관리와 적절한 경영계획의 수립이 요구된다.

산림의 경영계획 수립에는 임분의 성장 및 수확 모델(growth and yield model)이 이용되기 마련이다. 임분성장모델은 임분의 성장 및 변화를 시업방법에 따라 다양하게 예측할 수 있어야 한다. 임분성장모델에 시업방법이 다양하게 고려될수록 산림경영계획에의 활용성은 높다고 볼 수 있다. 따라서, 다양한 산림경영계획의 수립 및 실행이 가능하게 하기 위해서는 다양한 시업에 따른 임분의 성장 및 변화를 예측할 수 있는 동적 임분성장 모델(dynamic stand growth model)의 구축이 필수적이다.

본 연구에서는 안면도 소나무 임분에서의 시업방법에 따른 임분의 성장량 및 수확량을 다양하게 예측할 수 있는 동적 임분성장모델을 구축함으로써 안면도 소나무림의 합리적 관리에 도움을 주고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구 대상지

안면도는 동경 126° 27' ~ 126° 10', 북위 36° 26' ~ 36° 37' 사이의 충청남도 태안반도 서남단에 위치하고 있으며, 남북의 길이가 총 33km, 동서의 폭은 6km이고 섬 전체의 넓이는 11,346ha에 달한다(안면읍, 1990). 안면도는 신야리의 국사봉(해발 109m)을 제외하고는 대부분 해발 60m 미만의 구릉성 산지로 연봉을 이루고 있으며 산림이 매우 양호한 상태이다. 산림이 차지하는 면적은 안면도 총 면적의 약 47%인 5,300ha 정도에 달하며 주로 소나무림(*Pinus densiflora*)이 대부분을 차지한다(고려대 자연환경보전연구소, 2000). 또

한, 안면도의 산림 중 도유림이 거의 대부분(91.7%)을 차지하고 있으며, 지형이 매우 완만하여 산림경영에 있어 매우 유리한 조건을 지닌 지역으로 평가받고 있다.

### 2. 연구재료

안면도의 도유림 중 소나무림 약 3,264ha를 대상으로 96곳의 표본점을 설정하여 임분조사를 실시하였다. 임내 위치는 가급적 상부에서 하부까지 다양하게 분포하도록 하였으며, 표본점의 위치도 안면도 내에서 고르게 분포하도록 하였다. 또한, 영급의 배치도 유령림에서 노령림까지 다양하게 분포하도록 하였다. 표본점의 조사방법은 변형거리법(modified distance method, 이우균, 1996a)을 적용하였다. 표본점에서는 모든 소나무 임목에 대하여 흉고직경, 수고 및 수관폭을 측정하였다. 하층간벌을 실시한다는 가정 하에 간벌 대상목을 선정하여 그의 성장인자를 시업목과 관련된 자료로 이용하였다.

조사된 각 표준지의 임분자료의 분석을 위하여 표준지 자료를 FIAS1.5(이우균 등, 1998)에 입력하여 현재 임분의 평균임령, 평균흉고직경, 평균수고, 우세목 수고, ha당 본수, ha당 단면적, ha당 재적 등을 산출하였다(Table 1).

**Table 1.** General description of stand data measured in 96 plots.

Variables	Mean	Min.	Max.	SD	C.V.
age(year)	43.8	11	95	25.0	0.57
dbh(cm)	19.2	2.8	37.2	9.3	0.49
mean height(m)	12.8	3.5	23.5	4.4	0.34
dominant height(m)	13.7	3.9	24.6	4.5	0.33
No. of stem per ha(N/ha)	2,129	175	7999	1,843	0.87
basal area per ha(m <sup>2</sup> /ha)	37.7	3.65	162.44	23.2	0.62
site index	9.2	3.65	14.78	1.8	0.19
volume per ha(m <sup>3</sup> /ha)	245.0	10.20	1230.98	179.5	0.73

SD : Standard deviation, C.V. : Coefficient of variation

### 3. 연구내용 및 방법

#### 1) 시업주기

본 연구의 동적 성장모델에서는 임분의 성장상태 및 경영주체의 경영목적에 따라 시업주기를 탄력적으로 선택할 수 있도록 하였다.

2) 시업종류 및 강도

시업 전 총 본수에 대한 시업 후 벌채목 본수의 비율을 시업강도를 나타내는 계수( $\lambda$ : 식1)로 설정하였다(Lee, 1993; 1994; Lee 등, 1993; 이우균, 1995; 1996b). 시업의 종류로는 비교적 열세한 임목을 제거하는 하층간벌을 기준으로 하였으며, 강도는 다양하게 적용될 수 있도록 하였다.

3) 시업강도에 따른 임분변화 추정

(1) 시업 후 임분상태 변화

가. 평균흉고직경의 변화

시업 후의 직경을 다음식을 이용하여 시업 전 직경으로부터 추정하였다(Lee, 1993, 1994; 이우균, 1995; 1996b).

$$dgv = e^{\beta \cdot \lambda} \cdot dgg \left( \lambda = \frac{Na}{Ng}, \beta = \beta_0 \cdot A^{\beta_1} \right) \quad (1)$$

$dgv$  = 시업 후의 직경,  $dgg$  = 시업 전 직경  
 $Na$  = 시업 본수,  $Ng$  = 시업 전 본수  
 $\beta$  = 시업계수,  $A$  = 임령  
 $\lambda$  = 시업강도계수 ( $0 \leq \lambda < 1$ )

여기서 시업 전 본수에 대한 벌채목(시업목) 본수의 비율을 나타내는 시업강도계수  $\lambda$ 는 시업강도를 정량화 한 것으로서, 이 값이 클수록 시업의 강도가 강하고 시업 후 직경의 변화폭도 크다.  $\beta$ 는 시업종류 및 임분의 동질성에 따라 고유한 값을 가지는 시업계수인데, 본 연구에서는 이를 수령( $A$ )의 함수로 나타내었다(이우균 등, 2000).

나. 평균수고의 변화

간벌 후의 수고변화도 흉고직경의 변화와 같은 방법으로 추정하였다.

$$hgv = e^{\beta_0 \cdot A^{\beta_1} \cdot \left( \frac{Na}{Ng} \right)} \cdot hgg \quad (2)$$

$hgv$  = 시업 후의 수고,  $hgg$  = 시업 전의 수고  
 $Na$  = 시업 후 벌채목 본수,  $Ng$  = 시업 전의 본수  
 $A$  = 임령

다. ha당 본수의 변화

시업 후 잔존목의 ha당 본수( $Nv$ )는 시업강도계수  $\lambda$ 를 이용하여 시업 전의 ha당 본수( $Ng$ )로부터 구할 수 있다.

$$Na = \lambda \cdot Ng, Nv = Ng - \lambda \cdot Ng = Ng(1 - \lambda) \quad (3)$$

(2) 시업에 따른 생산량 추정

가. 시업목의 평균흉고직경

시업목(벌채목)의 ha당 단면적( $Ga$ )을 시업 전의 ha당 단면적( $Gg$ )과 시업 후의 ha당 단면적( $Gv$ )의 차이로 구할 수 있다.

$$Ga = Gg - Gv \quad (4)$$

이와 같이 시업목의 ha당 단면적이 결정되면, 시업목의 직경( $dga$ )을 시업목 단면적과 시업목 본수로부터 추산할 수 있다.

$$dga = \sqrt{\frac{40000 \cdot Ga}{\pi \cdot Na}} \quad (5)$$

나. 시업목의 평균수고

시업목의 ha당 재적( $Va$ )은 시업 전의 ha당 재적( $Vg$ )과 시업 후의 ha당 재적( $Vv$ )과의 차이로 추산할 수 있다(식 6). 시업목의 ha당 재적( $Va$ )과 시업목의 흉고직경( $dga$ )을 중부지방 소나무의 재적식(식 7)에 대입하면 시업목의 수고( $hga$ )를 추산할 수 있다(식 8).

$$Va = Vg - Vv \quad (6)$$

$$Va = e^{\alpha} dga^{\beta} hga^{\gamma} \text{(중부지방 소나무 재적식)} \quad (7)$$

$$hga = \left[ \frac{Va}{e^{\alpha} \cdot dga^{\beta} \cdot Na} \right]^{\frac{1}{\gamma}} \quad (8)$$

4) 시업주기에 따른 임분변화 추정

(1) ha당 본수 변화

일반적으로 다음 주기에서의 본수( $N_{i+1}$ )는 현재의 임목본수( $N_i$ )와 자연감소율(고사율:  $\delta$ )에 의해 결정된다.

$$N_{i+1} = N_i(1 - \delta), \delta : \text{고사율 } 0 \leq \delta < 1 \quad (9)$$

고사율을 간접적으로 적용시키는 방법은 임분의 최대 임목본수를 구하여 임목본수( $N_{i+1}$ )가 이 최대 임목본수( $N_{max\ i+1}$ )를 초과하면 그 초과분만큼 고사( $N_{mor\ i+1}$ )가 발생한다고 가정하는 것이다(Gadow와 Hui, 1993; Lee, 1993; 1994; 이우균, 1995; 1996b).

$$N_{mor\ i+1} = N_{i+1} - N_{max}, N_{i+1} > N_{max} \quad (10)$$

$$N_{mor\ i+1} = 0, N_{i+1} \leq N_{max} \quad (11)$$

## (2) 우세목 수고에 대한 최대입목본수 추정식

Reineke(1993)는 입분의 ha당 본수( $N$ )를 dbh로부터 추정하는 ha당 본수식( $N = \alpha \cdot dbh^\beta$ )을 개발하였다. 본 연구에서는 최대입목본수를 Reineke의 입분밀도지수(Stand Density Index : SDI)를 응용한 우세목 수고( $ho$ )에 대한 본수모델로부터 추정하였다.

$$N = \alpha \cdot ho^\beta \quad (12)$$

위의 식에서 우세목 수고( $ho$ )가 10m일 때 입목본수를 우세목 수고에 대한 입분밀도지수(SDI)로 설정하였다.

$$SDI = \alpha \cdot 10^\beta \quad (13)$$

위의 두 식(식 12, 식 13)을 대수차분형태(algebraic difference form)로 변환하면 다음과 같이 SDI를 설명변수로 하는 ha당 본수식을 산출할 수 있다.

$$N = SDI \cdot \left(\frac{ho}{10}\right)^\beta \quad (14)$$

조사된 각 입분의 ha당 본수를 차트에 plotting 하고, 식 14의 그래프를 같이 표시한 후 이 그래프가 plotting된 ha당 본수의 최 외곽을 지나도록 SDI 값을 조절하면 입분 최대본수 곡선을 산출할 수 있다.

$$N_{max} = SDI_{max} \cdot \left(\frac{ho}{10}\right)^\beta \quad (15)$$

$SDI_{max}$ 는 우세목 수고에 따라 다양한 값을 나타내어  $SDI_{max}$ 를 우세목의 1차 함수식으로 나타내었다.

$$SDI_{max} = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot ho \quad (16)$$

## (3) 흉고직경생장

흉고직경은 임령 및 지위지수 이외에도 입분밀도에 의해 크게 영향을 받으므로(Kramer, 1988), 본 연구에서는 간벌 전의 직경( $dgg$ )을 임령( $A$ ), 지위지수( $SI$ ) 그리고 간벌 전 본수( $Ng$ )로부터 유도하였다(Lee, 1993; 1994; 이우균, 1995; 1996b).

$$dgg = \alpha_1 SI^{\alpha_2} e^{\beta_1 Ng^{\beta_2} A^\gamma} \quad (17)$$

시업주기 후의 평균흉고직경( $dgg_{i+1}$ )은 식 17을 대수차분형태(algebraic difference form)로 변환(von Gadow, 1992)시켜 현재의 임령( $A_i$ ), 직경( $dgg_i$ ), 본수( $N_i$ ) 및 지위지수( $SI_i$ ) 그리고 다음 주기에서의 임령( $A_{i+1}$ ), 본수( $N_{i+1}$ ), 및 지위지수( $SI_{i+1}$ )로부터 추정할 수 있다.

$$dgg_{i+1} = dgg_i \frac{SI_{i+1}^{\alpha_2} e^{\beta_1 N_{i+1}^{\beta_2} (A_{i+1} - AH)^\gamma}}{SI_i^{\alpha_2} e^{\beta_1 N_i^{\beta_2} (A_i - AH)^\gamma}} \quad (18)$$

여기서  $AH$ 는 본수  $N_i$ 로 식재된 입분의 흉고직경발달곡선을  $i$ 분기의 임령  $A_i$ 와 직경  $dgg_i$ 의 좌표점으로 평행이동시키는 조절인자로서 다음과 같이 계산된다(Lee, 1993; von Gadow, 1987).

$$AH = A_i - \left( \frac{\ln \frac{dgg_i}{\alpha_1 SI_i^{\alpha_2}}}{\beta_1 N_i^{\beta_2}} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \quad (19)$$

## (4) 수고생장

가. 우세목수고 생장

본 연구에서는 Chapman-Richards의 수고곡선식을 이용하여 우세목 수고( $ho$ )를 임령( $A$ )의 함수로 추정하였다.

$$h_o = \alpha \cdot (1 - e^{\beta \cdot A})^\gamma \quad (20)$$

이 식을 대수차분형태로 전환하여 다음 주기에서의 수고( $ho_{i+1}$ )를 현재의 임령( $A_i$ ), 우세목 수고( $ho_i$ ) 그리고 다음주기에서의 임령( $A_{i+1}$ )으로부터 추정하였다.

$$ho_{i+1} = ho_i \cdot \left( \frac{1 - e^{\beta \cdot A_i}}{1 - e^{\beta \cdot A_{i+1}}} \right)^\gamma \quad (21)$$

나. 평균수고 생장

입분의 평균수고는( $hgg$ )는 우세목 수고( $ho$ )의 선형관계식으로부터 추정하였다.

$$hgg = \beta \cdot ho \quad (22)$$

## 5) 입분재적추정

입분의 ha당 재적은 입목의 평균재적( $v$ )에 ha당 본수를 곱하여 추정하였으며, 입목의 평균재적은 안면도 소나무의 간목선식(식 23)을 이용하여 산출하였다(고려대학교 자연환경보전연구소, 2000).

즉, 간곡선식을 이용하여 평균 흉고직경과 수고로부터 수간의 최외곽선(간곡선)을 도출한 후, Smalian식을 이용한 10cm 간격의 구분구적법으로 임목의 평균재적을 산출하였다.

간곡선식 :

$$d = b_1 dbh^{b_2} \cdot \left(1 - \frac{h}{H}\right) \left\{ r_1 \left(\frac{h}{H}\right)^2 + r_2 \left(\frac{h}{H}\right) + r_3 \right\} \quad (23)$$

$d$ : 상대높이에서의 반경,  $h$ : 수간부위별 높이,  $H$ : 수고

### 결과 및 고찰

#### 1. 합수식의 계수추정

식 (1), (2), (17), (20)은 SAS의 NLIN Procedure를 이용하여 계수를 추정하였고, 식 (12)은 양변에 자연로그를 취하여 선형으로 전환한 후 SAS의 REG Procedure를 이용하여 추정하였으며, 식 (16), (22)는 SAS의 REG Procedure를 이용하여 추정하였다(Table 2).

추정된 각 식의 계수들이 모두 0.0001의 유의수준에서 유의성을 나타내었으며, 평균자승오차의 근( $\sqrt{MSE}$ )의 값도 낮게 추정되었다. 또한 식의 적합도를 나타내는 FI(Fitted Index)값도 대부분 높게 나타났다.

#### 2. 우세목 수고 성장 및 지위지수

지위지수에 따른 임령별 우세목 수고곡선은 식 (21)을 동형법에 의해 대수차분형태로 변환하여 다음과 같은 지위지수별 수고곡선을 유도하였다.

기존의 강원도지방의 소나무에서는 기준연령 50년에서 수고곡선을 추정하였으며(Lee, 1993), 지위를 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26으로 구분하였다. 안면도의 소나무 임분의 수고는 수령 50년 근처에서 수고가 11m에서 23m의 범위로 나타나는 것으로 볼 때 안면도의 지위지수 폭이 강원도에 비하여 낮아 지위지수 폭을 한 단계 낮게 설정할 필요성이 있는 것으로 판단되었다. 이를 감안하여 임령 50년을 기준으로 지위지수의 폭을 10에서 24까지 설정하여 지위지수에 따른 우세목 수고곡

Table 2. Estimated coefficients of each function for the dynamic growth model.

Parameter	Equation No.	Coefficient	$\sqrt{MSE}$ (R <sup>2</sup> )	SAS Procedure
Quadratic mean dbh after thinning ( $dgv$ )	1	$\beta_0 = 2.21242$ $\beta_1 = -0.47357$ $\beta_2 = -0.12431$	1.039741 (0.990723)	NLIN
Mean height after thinning ( $hgv$ )	2	$\beta_0 = 50.65949$ $\beta_1 = -1.15361$ $\beta_2 = -0.54935$	0.464449 (0.989469)	NLIN
Number of stem ( $N$ ) ( $\ln N = \ln \alpha + \beta \cdot \ln ho$ )	12	$\alpha = 11.28564$ $\beta = -1.76854$	0.393341 (0.739012)	REG
Maximum Stand Density Index( $SDImax$ )	16	$\alpha_1 = 132534.42$ $\alpha_2 = -191.08$	188.9822 (0.960324)	REG
Quadratic mean dbh before thinning ( $dgg$ )	17	$\alpha_1 = 185.15121$ $\alpha_2 = 0.37026$ $\beta_1 = -2.63815$ $\beta_2 = 0.10226$ $\gamma = -0.14673$	1.931361 (0.968199)	NLIN
Growth of dominant height ( $ho$ )	20	$\alpha = 19.69711$ $\beta = -0.03826$ $\gamma = 1.21366$	2.583873 (0.683049)	NLIN
Mean height before thinning ( $hgg$ )	22	$\beta = 0.85873$	1.414669 (0.929642)	REG

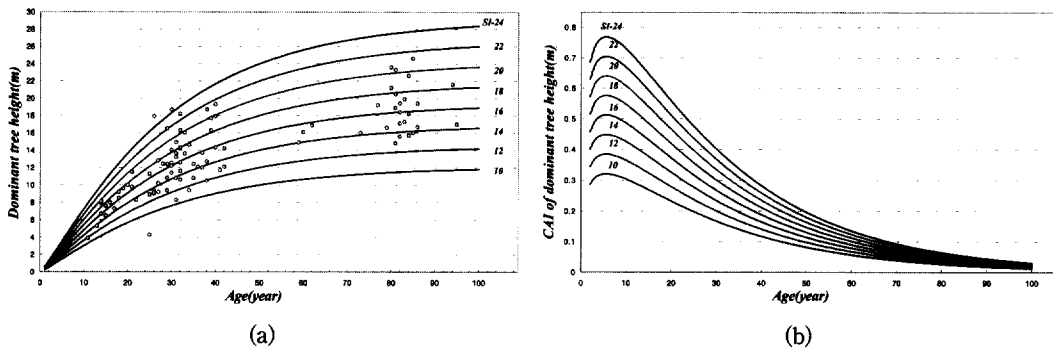


Figure 1. Development of the dominant tree height(a) and current annual increment for the various site index(b).

선과 연년수고생장곡선을 Figure 1과 같이 작성하였다.

3. 동적 임분생장모델을 이용한 성장량 추정

1) 시업주기별 임분생장

시업주기에 따른 임분생장량을 예측하기 위해 간벌강도를 고정( $\lambda=0.15$ )시킨 후 5년의 간벌주기와 수고생장이 1m 달할 때 간벌을 실시하는 두 가지 간벌주기를 적용해 보았다.

(1) 임분재적생장 변화

Figure 2(a)는 임령 10년, 수고 5m, 흉고직경 6cm, ha당 본수 6000본, 지위지수 18 일 때 시업주기에 따른 잔존임분(residual stand)의 재적 및 총재적 성장량(gross production)을 나타낸다. 수고생장이 1m 달할 때 간벌하는 간벌주기의 경우, 수고생장이 왕성한 초기에는 간벌주기가 짧다가

수고생장이 둔화되는 50년 이후에는 간벌주기가 현격하게 길어지고 있다. 이에 따라 50년 이후에는 5년 간벌주기의 잔존임분 재적이 1m 수고생장 간벌주기의 잔존임분 재적보다 현격히 낮게 나타난다. 그러나 5년 간벌주기의 경우, 50년 후에도 간벌분수(Figure 3(b)) 및 간벌재적량(Figure 2(b))이 많기 때문에 현재적과 누적간벌재적으로 이루어지는 총재적성장량은 1m 수고생장 간벌주기의 경우와 비슷하게 나타난다.

Figure 2(a)에서 "No thinning"으로 표시된 굵은 실선은 시업을 시행하지 않고 자연적으로 고사가 발생할 때의 재적성장 곡선인데, 위에서 적용한 두 가지 간벌주기의 총재적성장량과 비슷한 경향을 보인다. 그러나 전자(무시업 일때의 재적)는 간벌이용이 없는 현재의 재적을 나타내는 것이고, 후자(시업한 경우의 총재적성장량)는 현재의 재적에 그간의 간벌량이 더해진 상태를 나타내는 것이다.

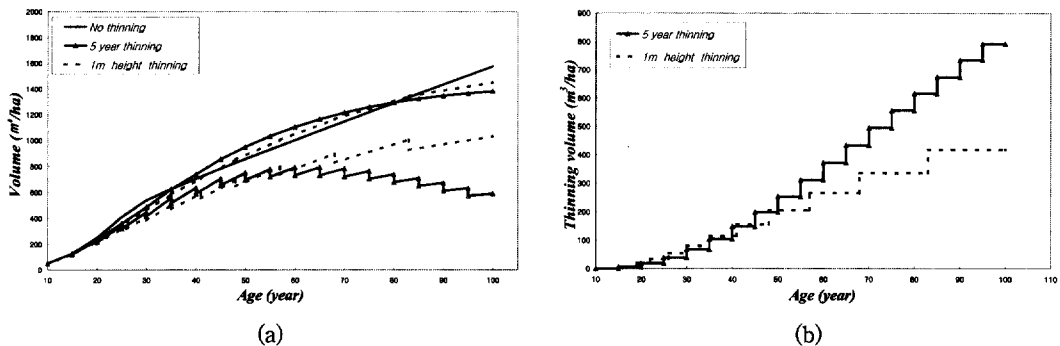


Figure 2. Development of the gross production(GP) and volume of the residual stand(a), and thinning volume(b) for the different thinning cycles.

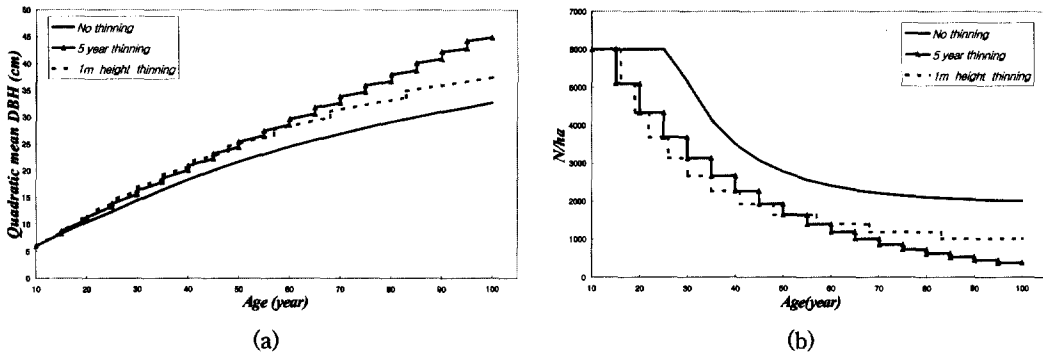


Figure 3. Development of quadratic mean DBH(a) and number of stems(b) for different thinning cycles.

(2) 평균흉고직경 생장 및 본수변화

평균흉고직경은 생장초기인 약 60년까지 유사한 생장양상을 나타내지만 그 이후에는 그 차이가 매우 크게 나타난다(Figure 3(a)). 이후는 간벌주기 5년의 평균 흉고직경이 1m 수고생장 간벌주기보다 높게 나타났다. 이는 5년의 간벌주기 일 때가 1m 수고생장 간벌주기보다 시업이 자주 실시되고 이에 따라 평균흉고직경의 계산상이동(간벌전에 비해 간벌후의 평균흉고직경이 증가 또는 감소되는 현 : Kramer, 1988)과 성장촉진이 이루어지기 때문인 것으로 판단된다(이우균 등, 2000).

Figure 3(b)는 각 시업주기별 ha당 본수 그래프이다. 1m 수고생장 간벌주기의 경우 유평림에서는 간벌주기가 빠르지만, 임령이 증가할수록 간벌주기가 점차 느려지는 특징을 지니고 있다. 그림의 굵은 실선은 간벌을 실시하지 않았을 때의 최대생육입목본수 곡선이다. 즉, 이 곡선은 고사가 발생하지 않고 생육할 수 있는 최대 입목 본수를 의미한다. 이 경우, 흉고직경은 Figure 3(a)와 같이 낮지만 본수는 많기 때문에 전체적으로 재적은 Figure 2(a)와 같이 높게 나타난다.

2) 시업강도별 임분생장

다양한 시업강도를 임분생장모델에 적용하여 시업강도에 따른 임분생장을 추정하였다(Table 3).

(1) 임분재적생장 변화

Figure 4(a)는 시업강도별 임분의 총 재적 생장량 및 잔존 임분의 재적생장량 그래프이다. 시업강도가 높을수록 임분의 총 재적 생장량과 잔존 임분의 재적생장량은 적은 것으로 나타났다. 시업강도를 0.2로 적용한 중도간벌(moderate thinning)에서 재적생장량이 가장 높게 추정되었으며, 시업강도 0.35의 강도간벌(heavy thinning)에서 재적생장량이 가장 낮게 나타났다. 이는 초기의 강도간벌로 인해 생장 잠재력을 지닌 유평목이 대량 제거되는 것에 기인한다고 볼 수 있다(Figure 4(b)). 간벌의 강도를 임령별로 달리한 단계적간벌(stepwise thinning)을 통해 재적 생장량의 급격한 감소를 어느 정도 막을 수 있는 것으로 나타났다. 허 이루어지지 않았을 경우의 재적발달을 나타낸다. 양적으로는 강도간벌의 총재적생장량과 비슷하나 질적으로는 차이가 있다. 즉, 강도간벌의 총재적생

Table 3. Various thinning intensities applied for a given at thinning cycle.

Class of thinning	Thinning intensity
Moderate	$\lambda = 0.2$
Stepwise	thinning in young stand. (age : 0~30) ( $\lambda=0.3$ ) thinning in middle age stand. (age : 31~59) ( $\lambda=0.25$ ) thinning in old stand. (age : 60~100) ( $\lambda=0.2$ )
Heavy	$\lambda = 0.35$
Thinning cycle	3m height thinning in young stand. (age : 0~30) 2m height thinning in middle age stand. (age : 31~59) 1m height thinning in old age stand. (age : 60~100)

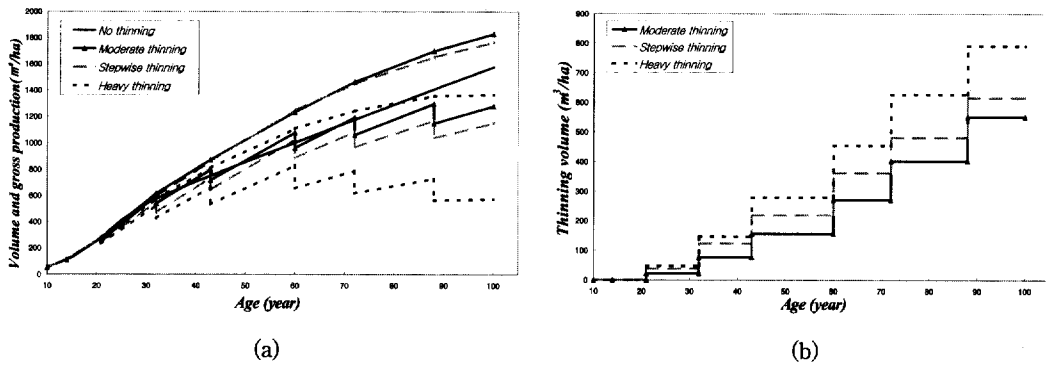


Figure 4. Development of the gross production(GP) and volume of the residual stand(a) and thinning volume(b) for different thinning intensities.

장량이 간벌 후 적은 잔존본수와 큰 흉고직" No thinning"으로 표시된 굵은 실선은 시업이 전경의 현존임분재적에 그간의 간벌량이 더해진 것인데 비해, 무간벌의 재적은 간벌이 이루어지지 않은 상태에서 작은 흉고직경과 많은 본수에 의해 이루어진 것이다(Figure 5). 이러한 시업강도에 따른 임분 재적생장의 차이는 일반적인 생장법칙과 부합되고있다(Wenk, 1991; Kramer, 1988; Nicke, 1989).

(2) 평균흉고직경 생장 및 본수변화

평균흉고직경생장량은 일반적으로 시업강도가 높을수록 높게 나타난다(Figure 5(a)). 이는 시업강도가 높을수록 제거되는 입목본수가 많아 계산상 이동이 크고, 잔존목의 직경생장이 촉진되기 때문인 것으로 판단된다. 굵은 실선은 시업을 실시하지 않았을 경우의 임분 평균흉고직경 발달곡선이다. 이 곡선은 임분내 경쟁이 가장 높을 때의

흉고직경생장을 의미하며, 시업을 실시했을 때보다 낮게 나타남을 알 수 있다.

Figure 5(b)는 시업강도별 ha당 입목본수 발달량 그래프이다. 시업 초기에 제거되는 입목본수는 강도간벌에서 제일 많으며, 중도간벌에서 제일 적게 나타났다. Figure 5(b)에서 중도간벌의 ha당 본수곡선을 보면, 30년에서 다음 주기인 40년 사이에서 ha당 본수가 감소함을 알 수 있다. 이는 30년의 ha당 입목본수가 40년의 최대입목본수 보다 많기 때문에, 그 차이만큼의 본수가 고사된 것을 나타낸다.

결론

본 연구에서는 안면도 소나무림의 성장인자들간의 관계를 구명하고 이를 기초로 임분의 생장을 관리방법에 따라 다양하게 예측할 수 있는 동적

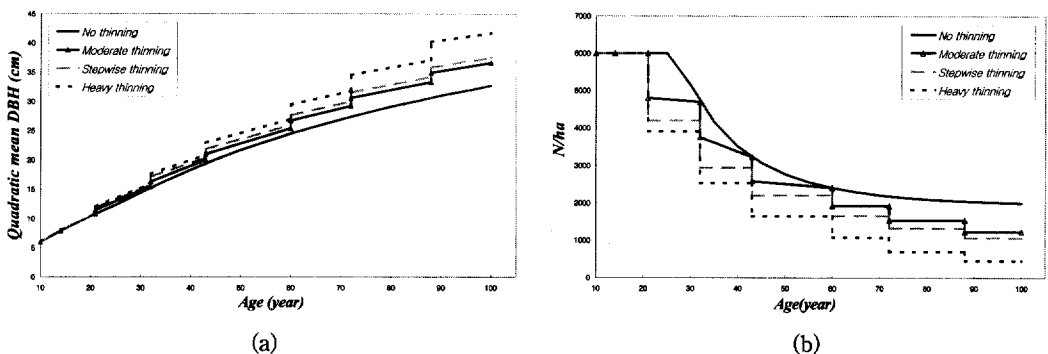


Figure 5. Development of quadratic mean dbh(a) and number of stems per ha(b) for different thinning intensities.



임분생장모델을 구축하였다. 구축된 동적생장모델을 이용하여 안면도 소나무 임분의 시업주기와 시업강도에 따른 임분의 성장량을 예측하여 모델의 적용성을 알아보았다.

간벌주기가 짧을수록, 성장잠재력을 지닌 임목이 많이 제거됨으로써 본수 및 재적성장량은 낮고, 흉고직경은 높은 것으로 나타났다. 또한, 시업강도가 높을수록 임분의 총재적성장량, 잔존임분의 재적, ha당 본수 등이 낮게 추정되었으며, 평균흉고직경은 시업강도가 강할수록 높게 나타났다.

이상과 같이 구축된 동적 임분생장모델은 일반적인 생장법칙을 잘 반영하고 있어 안면도 소나무 임분의 생장 및 수확량을 예측하는데 적합하다고 판단되었다. 이러한 동적 임분생장모델은 실제 산림경영에서 다양한 관리방법에 따른 생장예측과 산림경영계획을 위한 의사결정의 도구로서 이용될 수 있을 것이다.

인용문헌

1. 고려대학교 자연환경보전 연구소. 2000. 우량(안면) 소나무림 보존 기초조사 용역. 93-99
2. 김갑덕. 1986. 삼림측정학. 25pp
3. 배상원. 1994. 천연갱신에 의한 소나무 유령임분 구조와 무육방법. 한국임학회지 83(1) : 50-62
4. 배관호, 홍성천. 1996. 가야산 소나무(*Pinus densiflora*)군락의 구조 및 동태. 한국임학회지 85(2) : 260-270
5. 산림청. 2000. 산림과 임업기술. [1] 산림일반. 33pp
6. 송호경, 장규관. 1997. 소나무림과 신갈나무림의 흉고직경급 분석과 천이에 관한 연구. 한국임학회지 86(2) : 223-232
7. 송호경, 이 선, 허원무, 이미정. 2000. 자연친화적인 산림경영을 위한 안면도 산림자원 분석. 한국임학회지 89(2) : 185-197
8. 안면읍. 1990. 안면도지. 957pp
9. 이우균. 1995. 산림사업의 지속성을 위한 동적 지역산림경영모델. 산림경제연구 3(1) : 71-88
10. 이우균. 1996a. 위치종속임분조사에 의한 개체목의 경쟁지수 및 흉고직경성장 추정. 한국임학회지 85(3) : 539-551
11. 이우균. 1996b. 산림경영계획의 방법론적 고찰 : 1. 산림조사와 산림생장모델. 자연자원연구 4 : 29-48

12. 이우균, 독고세준, 변우혁. 1998. 위치종속 산림조사용 산림정보분석시스템(FIAS1.5) 개발. 한국산림측정학회지 1(1) : 37~49
13. 이우균, 서정호, 손요환, 김진수. 2000. 가평지역 잣나무임분의 동적 생장 및 경영모델. 한국산림측정학회지 3(1) : 10-21
14. Gadow, K. von. 1987. Untersuchungen zur Konstruktion von Wachstumsmodellen fuer schnellwuechsige Plantagenbaumarten. Forstl. Forschungsberichte Muenchen 77.
15. Gadow, K. v. 1992. Wachstums-und Ertragsmodelle fuer die Forsteinrichtung. Deutscher Verband Forstl. Forsch. Anst., Sektion Ertragskunde. Jahrestagung in Grillenberg.
16. Gadow, K. v. and G. Y. Hui. 1993. Stammzahlentwicklung und potentielle Bestandesdichte bei *Cunninghamia lanceolata*. Centralflatt für die gesante Forstwesen 110(2) : 41-48.
17. Kramer, H., A. Akça. 1987. Leitfaden fuer Dendrometrie und Bestandesinventur. J. D. Saurlander's Verlag, Frankfurt am Main.
18. Kramer, H. 1988. Wachstumslehre. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
19. Lee, W. K. 1993. Wachstums-und Ertragsmodells fuer *Pinus densiflora* in der Kangwon-Provinz, Korea, Dissertation, Goettingen.
20. Lee, W. K. 1994. Statische und dy-namische Wachstumsmodelle auf der Grun-dlage einmaliger Probeflaechenaufnahmen am Beispiel von *Pinus densiflora* in Korea. Allgemeine Forst und Jagdzeitung : 165(4) : 69-76.
21. Lee, W. K., Akça, A., Byun, W. H. 1993. Dynamics growth prediction model for *Pinus densiflora* in Kangwon Province, Korea. Proceedings of IUFRO-Conference in Seoul 1993 : 156-168.
22. Nicke, A. 1989. Beitrag zur Modellierung der Bestandesentwicklung. Dissertation, Dresden.
23. Reineke, L. H. 1933. Perfecting a stand density index for even aged forests. Journal of Agricultural Research 46 : 627-638.
24. Vanclay, J.K. 1994. Modelling forest growth and yield. Cab International.
25. Wenk, G. 1990. Waldertragslehre. Berlin.