

## 目標林모델에 의한 最適輪伐期 決定에 관한 研究<sup>1\*</sup>

— 잣나무 林分을 중심으로 —

禹 鍾 春<sup>2</sup>

## A Study on the Determination of the Optimal Rotation Period by Target Forest Model<sup>1\*</sup>

— Centered with Korean White Pine Stands —

Woo, Jong-Choon<sup>2</sup>

### 要 約

輪伐期는 각 영급이 존재하는 삼림의 生產을 조절하기 위해서 설정된 森林經營目標중 가장 중요한 인자중의 하나이다. 본 研究에서는 특히 最適化 계산의 형태로 法正林모델에서의 最適輪伐期가 推定되었다. 그리고 법정림모델과의 연계하에 자연상태에서 여러가지 위험조건에 처해있는 現實林分에 더욱 접근시키기 위하여 目標林모델이 間斷作業級森林모델(모델 1)과 連年保續作業級森林모델(모델 2)의 두 가지로 나뉘어 전개되었으며 이 두 모델에 의해 최적운벌기가 계산되었다. 동시에 법정림모델, 목표림모델 1, 2에 의해 추정된 최적운벌기가 상호 비교되었다. 이때 江原大學校 林科大學 附屬 演習林內 잣나무임분이 最適輪伐期 계산의 대상이 되었다.

### ABSTRACT

Rotation period is one of the most important derived management goals in steering the production in even aged stands. This paper describes specially the determination of the optimal rotation period using the normal forest model, which is usually derived from optimization studies. In order to draw more near the real forest situation the target forest model was introduced. The target forest model by including production risks is more realistic in forest production than the normal forest model. The optimal rotation period was determined using the target forest model. And the optimal rotation period derived with the normal forest model and the target forest model were compared each other. These model calculations were carried out with data, which was investigated in korean pine stands in experiment forest of College of Forestry in Kangweon National University.

Key words : optimal rotation period, normal forest model, target forestmodel, probability of transition, growth intensity.

<sup>1</sup> 接受 1993年 6月 28日 Received on June 28, 1993.

<sup>2</sup> 江原大學校 林科大學 College of Forestry, Kangweon National University.

\* 이 論文은 1992年度 教育部支援 韓國學術振興財團의 地方大學育成 研究助成費에 의하여 研究되었음.

## 緒 論

우리나라의 森林資源은 역사적 관점에서 볼 때 중요한 전환기에 처해 있고 그에 따른 대처방안이 각 분야에서 요구되고 있다. 특히 1973년부터 시행된 제1, 2차 치산녹화사업의 성공적 완수, 그리고 1988년부터 시작된 山地資源化 10個年計劃은 산림정책의 기본이 녹화위주에서 資源化政策으로 전환되었음을 말해주고 있다. 또한 1987년 말 人工林面積率이 29%에 달하게 되었고 人工林面積 中 I, II, III 영급이 차지하는 山林面積은 93%이고 축적은 73%를 점유하고 있어, 임목생산의 성숙기를 바라보면서 앞으로 추구해야 할 목표로서의 森林構成과 木材生產期間에 대한 과학적 고찰이 요구된다. 본 연구에서는 우리나라 造林樹種중 가장 대표적 樹種인 잣나무의 最適成熟期에 대해 고찰해 보고자 한다.

森林을 조직적이고 체계적으로經營, 管理하기 위해서는 계획을 세워야 하고, 계획을 세우기 위해서는 이를 뒷받침할 수 있는 보조수단을 필요로 하게 된다. 이 보조수단은 바꾸어 말하면 우리가 설정할 수 있는 가상적 理想森林일 수도 있다. 이와 같은 이상적 森林에 접근하기 위한 하나의 방법으로 모델을 구성하게 되고 구성된 모델을 분석함으로서 現實森林의 현상을 잘 설명할 수 있음은 물론 미래에 대한 예측을 가능하게 한다. 여기에서 특히 삼림생산기간에 대한合理的 설정은 삼림계획에 영향을 끼치는 가장 중요한 인자중의 하나이다.

輪伐期는 각 영급이 존재하는 삼림의 생산을 조정하기 위해서 설정된 森林經營 目標 중 가장 중요한 인자중의 하나에 해당한다. 윤벌기의 설정은 거의 모든 삼림경영 영역에 영향을 미치므로 윤벌기를 결정하는 경우 삼림경영계획을 통해서 일련의 森林經營目標基準들이 검토되어야 하고 상호 균형이 이루어져야 한다(Speidel, 1972).

이와 같은 관점에서 볼 때 모델분석계산이 의사결정의 중요한 보조수단으로서 고려될 수 있다. 이것은 보통 最適化 계산의 형태로 法正林모델에서 이루어지게 된다. 요망된 目標範疇(總生長量, 森林純收穫量, 收益性 등)가 선발된 윤벌기에 의존해서 最大값에 도달하는 그와 같은 正常

상태의 모델 삼림이 필요하게 된다(Speidel, 1972).

法正林모델은 여러가지 관점에서 볼 때 보속적으로 경영되는 作業級森林의 실현 불가능한 '理想化'로서 간주될 수 있다. 그러므로 법정림모델에서 간주되지 않는 삼림경영의 특성들 중에서 특히 현실적으로 삼림에서 나타날 수 있는 삼림생산의 危險要素(risk)가 最適輪伐期의 크기에 어떻게 영향을 미치는지에 대해 모델분석의 도움으로 연구될 필요가 있다. 이경우에 있어서 目標林모델이 적용될 것이다.

### 1. 法正林 모델

각 영급이 존재하는 어느 한 作業級의 상태는 다음과 같은 임령에 의존하는 특성들을 가지고 설명 될 수 있다. 즉, 임령별 면적구조, 임분의 천이상태, 임목도 및 임분축적구조, 직경분포구조, 지위구조, 수종분포, 삼림구획상황 등으로 설명될 수 있겠다.

법정림모델은 다음과 같은 5가지 가정에 의해 이루어 진다. 즉, 1. 균질의 樹種흔호 혹은 개개의 수종, 2. 각 임령의 모든 林分이 항상 존재한다, 3. 1년생 林分으로부터 輪伐期  $t_u$ 년생 임분까지 모두 똑같은 삼림면적을 갖는다, 4. 전체 임분의 立木度는 法正(立木度=1.0)이거나 적어도 동일하다, 5. 모든임분의 地位는 똑같이 높다 등이다.

이와 같이 위에서 언급된 5가지 전제조건을 기초로 하여 법정림에서 低齡級의 임분으로부터 高齡級임분으로의 遷移는 確定的-決定論的 방법으로 유도될 수 있다. 이 경우에 있어서 遷移係數(遷移確率)는 항상 1이다. 삼림생산은 위험한 조건 없이 그리고 임목도 손상없이 행해진다. 법정림은 임령에 따른 임분의 면적분포가 같다는 것이 특징이다. 保續性的 전제조건과 함께 어느 한 작업급의 '法正性'은 生長量, 蓄積, 連年收穫量 및 경제적 임분크기가 항상 일정하다는데 근거한다(Fig. 1과 비교).

1826년 Hundeshagen과 1841년 Heyer에 의해 개발된 법정림모델은 데카르트학파의 力學에 기초를 두고 있다. 모델의 비현실적인 '最正-確定的' 기초개념이 이미 문헌에 소개된 바 있었다(우종춘, 1992). C. Wagner(1928)는 삼림을 이상적인 기계처럼 간주해서는 안된다고 비판을 가

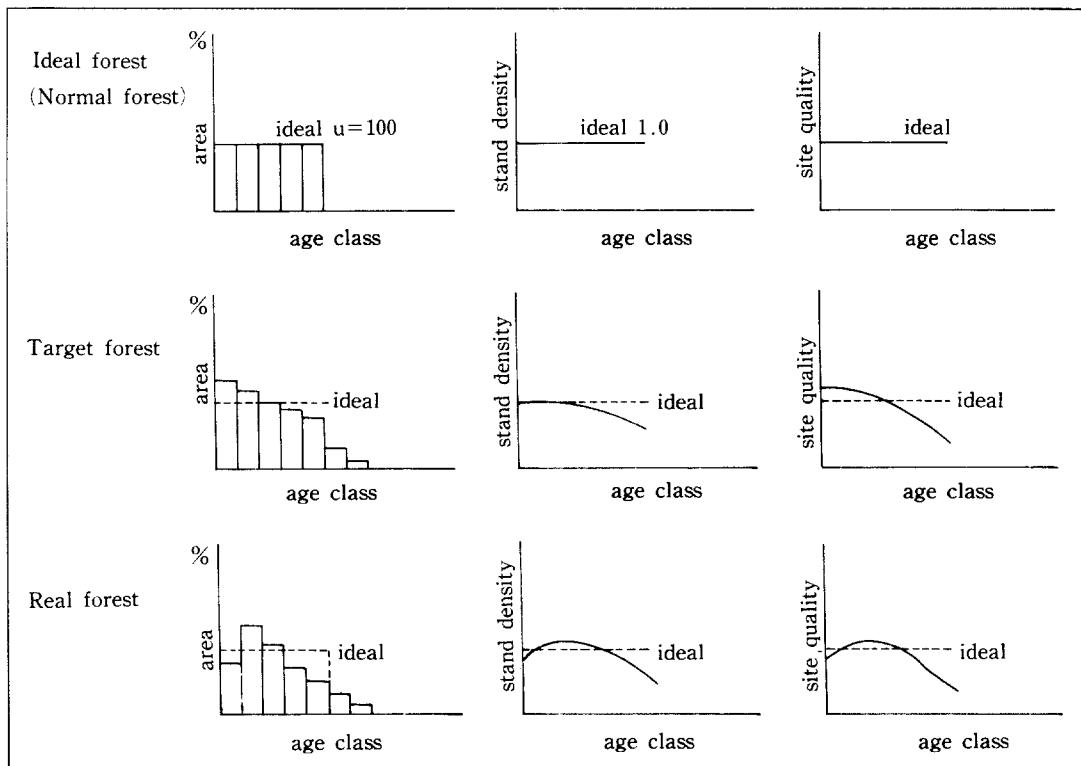


Fig. 1. Structure composition of normal, target and real forest models (based on Kurth 1991).

했다. 즉, ‘法正林’보다는 ‘理想林’으로 부르는 것 정당할 것이라고 말했다. 그러나 그는 법정림에 대해 변경된 전제조건들을 제시하지는 못했다.

## 2. 目標林 모델

Von Laer와 Speidel(1959)은 완전한 立木度라고 하는 전제조건의 비현실성을 비판하면서 ‘法正蓄積’ 대신에 ‘目標蓄積’의 개념을 제안했다. 그 후 많은 학자들(Kurth 1977, Lucas and Andres 1978)은 임목의 엄청난 고사로서 나타나는 임목밀도의 감축이 내적위험요소의 가시적 결과라고 주장하고 있다.

그리므로 법정림의 전제조건들 중에서 모든 영급임분면적이 똑같다고 하는 假定, 전체의 영급에 있어서 동일한 立木度를 유지한다고 하는 가정, 전체의 영급에서 똑같이 높은 地位를 갖는다고 하는 가정 및 임분의 林齡遷移가 위험요소 없이 확정적으로 이미 결정되었다고 하는 가정은 비현실적인 것으로서 규정할 수가 있다.

이와 같은 비판을 기초로 하여 Suzuki(1983) 및 Klocek와 Oesten(1990a 및 1990b)은 한 작업급 임령천이 確率모델을 제안했으며 Kurth(1991)는 目標林에 대한 標本모델을 전개하였다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 임학에서 적용하고 있는 기본모델을 3가지로 구분할 수 있겠다. 즉, 法正林(理想林), 目標林, 現實林모델이 그것이다.

목표림모델은 確率的 決定論의 모델로서 법정림모델의 3, 4, 5번째 가정과는 다르게 위험요소(risk)에 영향을 받는 작업급으로 묘사될 수 있다. 즉 목표림에 있어서는 1년생 임분부터  $t_u$ 년생 임분까지 모두 위험조건에 처해 있으며 동일하지 않은 면적부분과 함께 確率的 法則性에 따르게 된다. 균형이 잡힌 연년작업급에 있어서는 왼쪽으로 치우쳐서 안정이 된 林齡別 面積構造를 나타낸다. 작업급은 위험조건에 처해서 임령에 따라 다르게 안정된 立木度構造를 나타내고 임령에 의존해서 동일하지 않게 안정된 地位構造를 유지할 수 있다.

## 資料 및 方法

### 1. 研究資料

본研究에 사용된 자료는 江原大學校 林科大學附屬 演習林內 잣나무임분 501.4ha를 대상으로 조사되었다. 이 잣나무임분 면적 중에서 II영급 임분이 250.2ha로 전체의 50%를 차지하고 있으며 VI영급 이상이 24.8%, III영급이 11.1%, I 영급이 10.1%, IV영급이 3.4% 그리고 V영급이 0.6%순이다. 이 잣나무임분의 生長量推定은 收穫表와 logistic生長曲線式을 이용했다. 이 임분에 대해 유도된 logistic곡선식은 다음과 같다(김재정과 권석광, 1991). 즉,

$$Y = 1.1835 / (1 + 39.2536 * \exp(-1.1383t)) \quad (1)$$

여기에서 Y: 生長量( $m^3$ ), t: 임령(輪伐期)

잣나무임분 수확표와 잣나무임분에 대해 유도된 logistic생장곡선식을 적용하여 각 영급별 總生長量, 實現生長量, 生長強度 그리고 ha당 총생장량이 계산된다.

### 2. 法正林모델에 의한 最適輪伐期의 決定

총 森林面積이 Hha, 輪伐期가  $t_u$ 로 정해졌을 때, 임령t의 林分面積은 다음과 같다.

$$h(t) = h(1) = h(2) = \dots = h(t_u) = \frac{1}{t}H = \frac{1}{t_u}H \\ = \text{const. } (1 < t < t_u) \quad (2)$$

공식(2)을 근거로 하여 전체 森林面積에 대한 임령t 林分의 상대적 部分面積에 해당하는 “確率”을 다음과 같은 공식에 따라 결정할 수 있다. 즉,

$$P(t) = \begin{cases} P(1) = P(2) = \dots = P(t_u) = \frac{(1/t)H}{H} = \frac{1}{t_u}H \\ = \text{const. } (1 < t < t_u) \\ 0 \text{ 마지막 } t \text{의 값} \end{cases} \quad (3)$$

공식(2)는 전체의 森林面積이 1ha일 때도 동시에 임령t 林分의 面積을 결정해 준다.

다음의 계산과例에서는 H가 항상 1ha라고 가정된다. 왜냐하면 전체면적의 크기는 最適輪伐期 결정에 아무런 영향도 미치지 않기 때문이다.

Fig. 2는 5년의 齡階 t에 대해서 그리고  $t=1, 2, 3, \dots, 9$ 와 15에 대해서 法正林의 장방형 임령구조를 나타낸다.

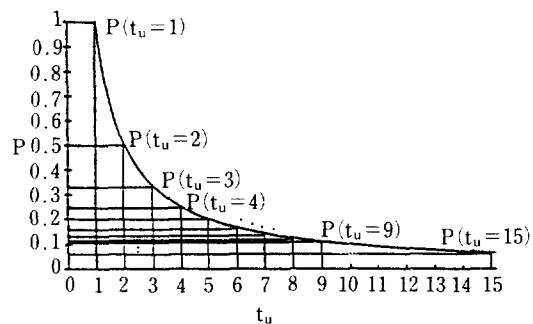


Fig. 2. Fraction  $P(1/t_u)$  of stands in normal forest by different rotation periods.

그림에서 확률은  $P(t_u)$ 에 의해 나타내진다. 法正林에 있어서 윤벌기 최적화 문제는 임분영계의 확률에 대한 最適化問題와 같은 의미를 나타낸다고 하는 사실이 그림에 의해 쉽게 규정될 수 있다. Hha의 면적을 갖는 森林의 生產에 대해 요청되는 目標範疇의 最大值 도달을 위해 필요한 確率(동시에 齡階)이 또한 얻어진다.

최적화 할 수 있는 공식의 수학적 정식화를 위하여 추구되고 있는 목표범주의 生長함수에 대한 지식이 필수적이다.

$$F_b = F_b(t) \quad (4)$$

여기에서  $F_b$ 는 선발된 목표범주의 ha당 현실 생장량을 나타낸다. 총생산의 첫번째 유도에 의한 연년생장량은  $F$ 와 같기 때문에 다음과 같이 쓸 수 있다. 즉,

$$\int F_b(t) dt = F(t) \quad (5)$$

(3)식과 (5)식을 곱하므로서 목표함수 내지 표준함수에 해당하는 함수  $f(t)$ 를 얻게 된다. 이 함수는 모든 확률에 대한 총생산  $f$ (면적합계  $H=1$  ha)를 최대화 하고 윤벌기  $t_u$ 를 최적화하며 동시에 임분의 확률면적  $P(t)$ 를 최적화하게 된다. 이것은 임령  $t_u$ 에 대해서 총생산  $F_p$ 가 평균생장량과 같으며 다음과 같은 공식에 의해 나타내질 수 있다. 즉,

$$f(t_u) = F_p(t_u) = \int_0^{t_u} F_b(t) dt \frac{1}{t_u} \\ = \max. \quad (0 < t_u < T) \quad (6)$$

위의 공식에서  $t=t_u$ 에 대한 값만 계산된다. 각 윤벌기  $t_u$ 의 범위내에서 임령 t에 대한 f의 값이 당연히 계산될 수 있다. 이 경우에 있어서 각  $t_u$  ( $0 < t < t_u$ )에 대해서 t가 변화되고,  $t_u$ 를 분석하고 싶은대로 그에 상응하는 生長함수 f를 얻을

수 있다. 이 공식의 일반적 형태는 다음과 같다.  
즉,

$$f_{tu}(t) = \int_0^{tu} F_b(x) dx \frac{1}{tu} \quad (0 < t < tu) \quad (t_u \in N_1) \quad (6')$$

$f$ 가 최대값에 도달할 때의  $t_u$ 를 찾는 문제를 설정하는 것으로서 여기에서는 충분할 것이다. 즉, 이것은 다음과 같다.

$$f_{tu} \text{ opt.} = \max_{t_u} \{ f_{tu}(t) \} \quad (6'')$$

다음과 같은 방법에 의해서 (6'')식을 풀 수 있다. 즉,

$$f'(t_u) = \frac{df}{dt_u} = F_b(t_u) \frac{1}{tu} + \int_0^{tu} F_b(t) dt \left( -\frac{1}{t_u^2} \right)$$

最適輸伐期를 위해서 다음과 같은 식이 유효하다. 즉,

$$\frac{df}{dt_u} = 0$$

따라서

$$F_b(t_u) \frac{1}{tu} = \int_0^{tu} F_b(t) dt \frac{1}{t_u^2}$$

여기에서

$$\int_0^{tu} F_b(t) dt = F(t_u)$$

그러므로

$$F_b(t) = \frac{F(t)}{t} \quad (7)$$

혹은

$$\frac{F_b(t)}{F(t)} = \frac{1}{t} \quad (8)$$

最適輸伐期의 시점에 대해서 현실생장량( $F_b$ )은 추구되는 생산법주의 평균생장량( $F_p$ )과 같다고 하는 사실이 유효하게 된다((7)식).

그러나 (8)식은 最適輸伐期의 시점에서 생장함수의 상대속도, 소위 이 함수의 생장강도는 임령  $t_u$ 에 있어서 임분의 확률과 같다고 하는 사실을 나타내 주고 있다.

### 3. 目標林모델에 의한 最適輸伐期의 決定

#### 3.1. 目標林모델 1(間斷作業級의 森林)

目標林에 있어서 最適輸伐期의 결정은 임령  $t=1$ 의 임분으로부터  $t=t_u$ 의 윤벌기 연령까지의 천이화률에 대한 지식을 요구한다. Fig. 3에서 곡선 A는 그와같은 함수를 나타낸다. 천이화률에 대한 기초모델개발에 어려움이 많으므로 본 연구에서는 Klocek와 Oesten(1991)의 論文으로부터 인용했으며 다음과 같은 조정함수로써 묘사

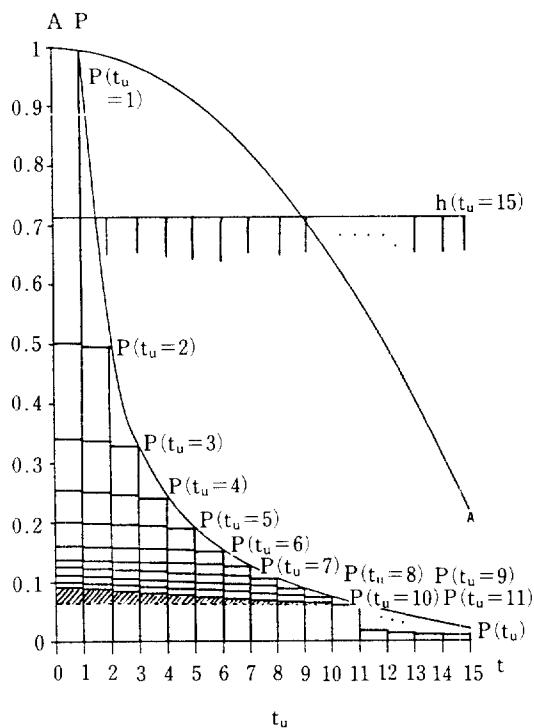


Fig. 3. Target forest model : function of transition  $A(t)$ , ageclass structure of target forest and normal forest( $h$ ) with different rotation periods. The area of target forest with  $t_u=11$  is hatched, which is cut premature.

될 수 있다.

즉,

$$A(t) = \sqrt{14448^2 - 100t^2 - 14447} \quad (0 < t < 17) \quad (9)$$

함수  $A$ 의 경과는 목표林에 있어서의 각 영계의 면적부분 내지 확률이 法正林과 다르다는 것을 역력히 보여주고 있다.

목표林에 있어서의 확률은 다음과 같은 공식에 의해서 계산된다.

$$P(t) = \frac{A(t)}{\int_0^{tu} A(t) dt} \quad (0 < t < tu) \quad (10)$$

Fig. 3은 여러가지  $t_u$ 를 갖는 목표林에 대한 확률  $P$ 를 보여주며 부수적으로(곡선 A의 경과와 비교하기 위하여) 윤벌기  $t_u=15$ 를 갖는 法正林의 확률면적을 보여준다.

이 경우 “法正” 사업구의 면적은 다음과 같이 결정되었다.

$$H = \int_0^{15} A(t) dt$$

그림에서 명백히 알 수 있는 바와 같이 目標林에 있어서의 유령임분의 영급부분은 法正林의 경

우보다 더 크고, 반대로 노령임분의 영급부분은 法正林의 경우보다 더 적다.

(10) 식과 기대되는 목표범주의 현실생장함수  $F_b(t)$ 에 대한 지식은 1ha의 면적을 갖는 目標林에 있어서 最適輸伐期 결정을 가능하게 한다. 이 경우 法正林에 있어서와 마찬가지로 다음과 같이 두 가지 방법으로 목표함수의 정식화가 이루어질 수 있다. 즉,

$$\begin{aligned} f(t_u) &= \int_0^{t_u} F_b(t) dt - \frac{A(t_u)}{\int_0^{t_u} A(t) dt} \\ &= \max. \quad (0 < t_u < T) \end{aligned} \quad (11)$$

임의의 윤벌기  $t_u$ 의 범위내에서 각  $t$ 에 대한  $f$ 의 값이 계산될 수 있다. 이 경우에 있어서 (11') 식과 같은 각  $t_u$ 에 대한 生產函數가 유지될 수 있다. 즉,

$$f_{t_u}(t) = \int_0^{t_u} F_b(x) dx - \frac{A(t)}{\int_0^{t_u} A(t) dt} \quad (0 < t < t_u) \quad (11')$$

$(t_u \in N_1)$

法正林 모델에 있어서의 경우와 마찬가지로  $f$  가 최대치에 도달할 때의  $t_u$ 값만을 찾게 된다. 즉,

$$f_{t_u} \text{ opt.}(t) = \max. \quad \{ f_{t_u}(t) \} \quad (11'')$$

$t_u$

(11) 식과 (11'') 식은 어느 한 사업구 삼림생산의 최대화에 기초를 둔 最適輸伐期의 결정은 모든 임분의 확률이 윤벌기  $t_u$ 의 마지막 確率과 같은 크기를 나타내는 사업구에 상응하는 문제임을 나타내 준다.

예를 들어서 최고 임분의 확률이 11번째 ( $t_u = 11$ )라면, 最適化 계산의 경우 11번째 영급의 확률을 능가하는 어떤 임분 영급의 모든 면적부분은 고려되지 않는다(Fig. 3의 빛금친 부분).

이 과정은 Bellmann에서 연유하고 動的計劃法의 유명한 원리에 해당하며(H.M. Wagner 1969 와 비교), 最適意思決定이라고 하는 것은 과거의 시발점과는 독립적으로 그리고 이전의 의사결정은 고려하지 않으면서 주어진 상황으로부터 종착점까지 최상의 길을 모색하는 것이 된다. 더욱이 현재의 상황은 과거의 결과에 해당한다. 그러나 현재의 상황에 이르는 길은 오늘날 해당될 수 있는 최적결정에 아무런 영향을 끼치지 않는다.

森林經營에 있어서 最適輸伐期의 결정에 대한 이 이론의 전용은 최적의사결정이 현재의 “主林分”을 통해 나타나는 상태에 근거하여서만 이루

어질 수 있다는 것을 의미한다. 이미 위험조건에 처해있는 임분의 부분들은 의사결정과정에서 고려되지 않고 “副林分”으로 고려될 수 있다. 이런 의사결정상황은 “間斷作業經營모델”에서 이상적인 형태로 주어졌다.

最適輸伐期의 결정은 法正林의 진행과정과 마찬가지로 다음과 같이 공식(11)에 근거하여 이루어져야 한다. 더욱이 공식(11)로 부터 유도하여 이것을 제로로 놓아야 한다.

$$\begin{aligned} f'(t_u) &= \frac{df}{dt_u} = \frac{d}{dt_u} \left( \int_0^{t_u} F_b(t) dt \right) \cdot \\ &\quad \frac{A(t_u)}{\int_0^{t_u} A(t) dt} + \left( \int_0^{t_u} F_b(t) dt \right) \cdot \frac{d}{dt_u} \frac{A(t_u)}{\int_0^{t_u} A(t) dt} \end{aligned}$$

여기에서

$$\frac{d}{dt_u} \int_0^{t_u} F_b(t) dt = F_b(t_u)$$

그리고

$$\int_0^{t_u} F_b(t) dt = F(t_u)$$

그리고

$$\frac{d}{dt_u} \frac{A(t_u)}{\int_0^{t_u} A(t) dt} = \frac{\frac{dA}{dt_u} \int_0^{t_u} A(t) dt - [A(t_u)]^2}{(\int_0^{t_u} A(t) dt)^2}$$

따라서 다음과 같은 식을 얻게 된다.

$$\frac{F_b(t_u)}{F(t_u)} + \frac{\frac{dA}{dt_u}}{\frac{A(t_u)}{\int_0^{t_u} A(t) dt}} = \frac{A(t_u)}{\int_0^{t_u} A(t) dt} \quad (12)$$

위의 공식에서  $A(t_u)$ 의 미분계수는 근사적으로  $A(t_u)$ 의 現實生長量에 해당한다. 즉,

$$\frac{dA}{dt_u} = A_b(t_u) \quad (13)$$

그러므로 공식(12)는 다음과 같이 간단하게 쓸 수 있다. 즉,

$$\frac{F_b(t)}{F(t)} + \frac{A_b(t)}{A(t)} = \frac{A(t)}{\int_0^{t_u} A(t) dt} \quad (14)$$

공식(14)의 좌측은 總生長量  $F(t)$ 의 生長強度와 遷移確率  $A(t_u)$  함수의 합계로서 나타내 진다. 이 합계가 같은 임령 임분의 확률과 같다고 하는 것에 의해 최적윤벌기가 구해지게 된다. 공식(14)와 공식(7)은 매우 유사하며, 공식(14)는 공식(7)에 의해 더 일반적인 형태로 표시될 수 있다는 사실에 유의할 필요가 있다. 법정림모델에서는  $A_b(t_u) = 0$ 이므로

$$A(t) = \text{const.} \quad (\text{일정하다})$$

인 관계가 유효하며 공식(14)의 오른쪽은 공식(7)과 같은 형태를 유지한다.

### 3.2. 目標林モデル 2(連年作業級의 森林)

목표림모델 2의 最適化 計算은 “副林分”을 고려해 넣는 것이 目標林모델 1과 다르며 여기에서 이 부임분은 윤벌기에 도달하기 전에 이미 벌채되는 임분(間伐 등)을 말한다. 목표림모델 2에 의해 나타나는 意思決定狀況은 2가지 방법으로 해석될 수 있다. 즉 하나는 “連年作業級 森林モデル”的 경우로서 항상 평형상태를 유지하는 삼림으로 어느 시점에서나 같은 영급분포를 가지며, “副林分”的 형태로 윤벌기 전의 벌채가 항상 이루어 지고 연속적으로 가능한 삼림생산이 나타난다. 다른 하나는 임령  $t=1$ 부터  $t=t_u$ 까지 개별임분의 전개로 이루어지는 “間斷作業級 森林モデル”的 경우로서 과거의 총삼림생산의 고려하에 最適森林生產 戰略이 이루어져야 한다.

그와 같은 삼림생산 상황하에서 삼림총생산은 임령  $t=1$ 부터 임령  $t=t_u$ 까지 존재하는 모든 임분의 총합계로서 계산된다. 이때 이것은 “主林分”과 “副林分”的 삼림생산에 해당할 것이다. 그러므로 본 연구에서는 삼림면적  $H=1\text{ha}$ 인 목표림에 있어서 요망되는 목표범주내의 총삼림생산이 어떻게 해서 최대치에 도달하는지 결정하게 될 것이다. 따라서 다음과 같은 공식이 유효하게 된다. 즉,

$$\begin{aligned} f(t_u) &= \int_0^{t_u} [F_b(t) \frac{A(t)}{\int_0^{t_u} A(t) dt}] dt \\ &= \max. \quad (0 < t_u < T) \end{aligned} \quad (15)$$

森林生產  $f$ 가 임의의 윤벌기  $t_u$ 의 범위내에서 각 임령  $t$ 에 대해 계산될 수 있다. 이 경우에 있어서 각 윤벌기  $t_u$ 에 대해 다음과 같은 삼림생산 함수가 얻어지게 된다( $X=t$ ). 즉,

$$\begin{aligned} f_{tu}(t) &= \int_0^{t_u} [F_b(X) \frac{A(X)}{\int_0^{t_u} A(t) dt}] dX \\ & \quad (0 < t < t_u), (t_u \in N_1) \end{aligned} \quad (15')$$

目標林모델 1 및 法正林모델의 취급방법과 마찬가지로 다음과 같이  $t_u$ 가 구해지며 이 경우  $f$ 가 최대값에 도달하게 된다. 즉,

$$f_{tu \text{ opt.}}(t) = \max_{t_u} \{f_{tu}(t)\} \quad (15'')$$

최적윤벌기는 법정림모델이나 목표림모델 1의 경우와 비슷하게 결정된다. 공식(15)의 1차 미분계수가 0으로 설정되고  $t=t_u$ 에 대한 최적화가

계산된다.

즉,

$$\frac{A(t)}{\int_0^{t_u} A(t) dt} = \frac{F_b(t)}{\int_0^{t_u} F_b(t) A(t) dt} \quad (16)$$

이 공식(16)으로 부터  $A(t)$ 를 제거하게 되면 결국 다음과 같은 식을 얻게 된다. 즉,

$$\frac{1}{\int_0^{t_u} A(t) dt} = \frac{F_b(t)}{\int_0^{t_u} F_b(t) A(t) dt} \quad (17)$$

이 공식 역시 法正林과 目標林모델 1과 거의 비슷함을 알 수 있다. 법정림에 있어서 遷移函數  $A(t)$ 는 각 임령  $t < t_u$ 에 대해 모두 1이다. 공식(17)의 좌변은 법정림에 있어서  $1/t_u$ 와 같으며 우변은  $F_b(t)/F(t)$ 와 같기 때문에 법정림은 목표림의 특수한 형태라고 볼 수 있다. 임령  $t=1$ 로부터 임령에 의존해서 그 다음에 따르는 임령에

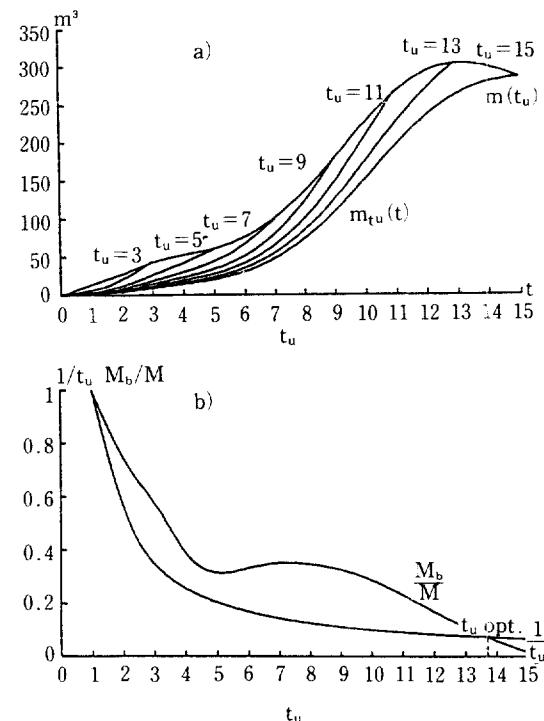


Fig. 4. Determination of the optimal rotation period in the normal forest model. a) total growth  $m(\text{m}^3)$  from normal management classes(each 1ha) with varying rotation periods b) percent( $1/t_u$ ) and increment intensity( $M_b/M$ ) depending on rotation periods.

때 감소하는 遷移確率이 1보다 작게 나타나는 목표림에 있어서 삼림생산의 크기(예를 들어서 現實生長量의 크기 등)는 감소된 양만큼 원쪽으로 치우친 영급별 면적분포를 기초로 하고 있다.

## 結果 및 考察

### 1. 法正林모델에 의한 最適輪伐期

江原大學 林科大學 附屬 演習林內 잣나무임분 501.4ha를 대상으로 森林調査를 실시하여 얻은 자료와 잣나무임분 收穫表(山林廳, 1989) 그리고 잣나무 林分生長量 推定을 위해 개발된 logistic曲線式를 이용하여 ha당 각 영급별 총재적이 추정되었다. 이때 地位指數는 14였으며 5년을 1영급으로하여 15영급(75년)까지 계산하였다. 최대의 총재적을 기초로한 “材積收穫 最大의 輪伐期”가 찾아지게 된다. 위의 사항을 기초로하여 계산된 總材積(M)과 現實材積生長量(M<sub>b</sub>)이 Table 1의 4번째와 5번째 행에 제시되었다. 이 표에서 제시된 값들은 윤벌기 t<sub>u</sub>와 일치하는 삼림면적을 갖는 法正事業區에 관한 것이다. 윤벌기 t<sub>u</sub>(t<sub>u</sub>=1, 2, 3, …, 15)에 대해 항상 같은 삼림면적 H=1ha를 갖는 法正事業區의 총재적은 7번째 행에 제시되었으며 동시에 Fig. 4의 a)에서 찾아 볼 수 있다. Table 1에 의하면 1ha의 크기를 갖는 법정림의 총재적 m은 13영급과 14

영급 사이에서 정확하게는 林齡 68년에 最大頂點 (306.88m<sup>3</sup>)에 도달하게 되며 m/5=306.88/5=61.4m<sup>3</sup>의 값을 갖게된다. 이 임령 68년이 법정림모델에 의해 제시된 최적윤벌기에 해당하며 Fig. 4에 의하면 確率 1/t<sub>u</sub>과 생장강도 M<sub>b</sub>/M가 만나는 점에 해당된다. 이렇게 추정된 最適輪伐期는 공식(7)을 만족시키게 된다. 즉, 1/t<sub>u</sub>=0.074=M<sub>b</sub>/M=0.074이 된다.

### 2. 目標林 모델 1에 의한 最適輪伐期

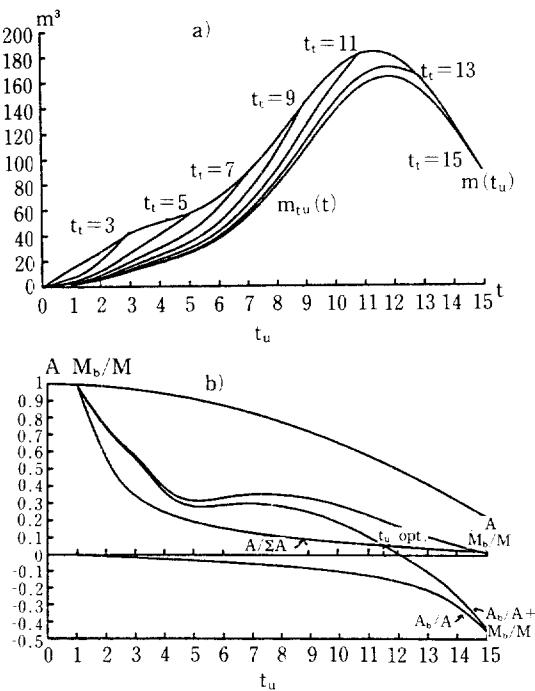
目標林 모델 1은 間斷作業級 삼림의 경우로서 이미 危險條件에 처해서 제거된 임분의 부분들은 의사결정과정에서 고려되지 않는다. 앞의 목표림 모델의 이론설명에서 유도된 공식(14)에서 알 수 있는 바와 같이 總材積 F(t)의 生長強度와 遷移確率 A(t<sub>u</sub>) 함수와의 합계가 같은 임령 임분의 확률과 같다고 하는 것에 의해 최적윤벌기가 구해진다. Table 2의 9번째 행에 천이화율 A(t)의 함수가, 11번째 행과 12번째 행에 A/ΣA 및 M<sub>b</sub>/M+A<sub>b</sub>/A로 주어졌다. 공식(14)에 의하면 最適輪伐期는 11영급과 12영급 사이에 존재하며 정확하게는 58년이 된다. Fig. 5의 a)와 b)에 의해 이 결과를 더 뚜렷이 파악할 수 있으며 특히 1ha당 총재적 m이 최고점에 도달하는 시기가 최적윤벌기이며 해당한다고 하는것이 Table 2의 13번째 행에 의해 더욱 명백해 진다.

**Table 1.** Determination of the optimal rotation period in the normal forest model (using an example with total growth in korean white pine stands, yield tables, site index 14).

| Age class          |       | Fraction         | Production in m <sup>3</sup> |                      |                     | Total growth<br>for normal<br>forest<br>H=1ha |
|--------------------|-------|------------------|------------------------------|----------------------|---------------------|---|
| Rotation<br>period | year  |                  | Total<br>growth              | Current<br>increment | Growth<br>intensity |   |
| t <sub>u</sub>     |       | 1/t <sub>u</sub> | M                            | M <sub>b</sub>       | M <sub>b</sub> /M   |   |
| 1                  | 1-5   | 1.0000           | 15.00                        | 15.00                | 1.0000              | 15.00   |
| 2                  | 6-10  | 0.5000           | 52.00                        | 37.00                | 0.7115              | 26.00   |
| 3                  | 11-15 | 0.3333           | 132.60                       | 80.60                | 0.6078              | 44.20   |
| 4                  | 16-20 | 0.2500           | 207.06                       | 74.46                | 0.3596              | 51.77   |
| 5                  | 21-25 | 0.2000           | 295.80                       | 88.74                | 0.3000              | 59.16   |
| 6                  | 26-30 | 0.1667           | 445.26                       | 149.46               | 0.3357              | 74.21   |
| 7                  | 31-35 | 0.1429           | 694.96                       | 249.70               | 0.3593              | 99.28   |
| 8                  | 36-40 | 0.1250           | 1071.60                      | 376.64               | 0.3515              | 133.95  |
| 9                  | 41-45 | 0.1111           | 1608.30                      | 536.70               | 0.3337              | 178.70  |
| 10                 | 46-50 | 0.1000           | 2269.60                      | 661.30               | 0.2914              | 226.96  |
| 11                 | 51-55 | 0.0909           | 2956.91                      | 687.31               | 0.2324              | 268.81  |
| 12                 | 56-60 | 0.0833           | 3555.60                      | 598.69               | 0.1684              | 296.30  |
| 13                 | 61-65 | 0.0769           | 3989.44                      | 433.84               | 0.1087              | 306.88  |
| 14                 | 66-70 | 0.0714           | 4228.00                      | 238.56               | 0.0564              | 302.00  |
| 15                 | 71-75 | 0.0667           | 4293.90                      | 65.90                | 0.0154              | 286.26  |

**Table 2.** Determination of the optimal rotation period in the target forest model 1 (using an example with total growth in korean white pine stands, yield tables, site index 14).

| Age class       |       | Production in m <sup>3</sup> for normal forest |                   |                   |                   | Target forest 1    |                                  |                   |         |        |                                       |                      |
|-----------------|-------|--|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|----------------------------------|-------------------|---------|--------|---------------------------------------|----------------------|
| Rotation period | year  | Total growth                                   | Current increment | Average increment | Growth intensity  | A(t <sub>u</sub> ) | A <sub>b</sub> (t <sub>u</sub> ) | A <sub>b</sub> /A | ΣA      | A/ΣA   | M <sub>b</sub> /M + A <sub>b</sub> /A | Total growth H=1ha m |
| t <sub>b</sub>  |       | M  | M <sub>b</sub>    | M/t <sub>u</sub>  | M <sub>b</sub> /M |                    |                                  |                   |         |        |                                       |                      |
| 1               | 1-5   | 15.00  | 15.00             | 15.00             | 1.0000            | 0.9965             | -0.0035                          | -0.0035           | 0.9965  | 1.0000 | 0.9965                                | 15.00                |
| 2               | 6-10  | 52.00  | 37.00             | 26.00             | 0.7115            | 0.9862             | -0.0103                          | -0.0104           | 1.9827  | 0.4974 | 0.7011                                | 25.86                |
| 3               | 11-15 | 132.60   | 80.60             | 44.20             | 0.6078            | 0.9689             | -0.0173                          | -0.0179           | 2.9516  | 0.3283 | 0.5899                                | 43.53                |
| 4               | 16-20 | 207.06   | 74.46             | 51.77             | 0.3596            | 0.9446             | -0.0243                          | -0.0257           | 3.8962  | 0.2424 | 0.3339                                | 50.19                |
| 5               | 21-25 | 295.80   | 88.74             | 59.16             | 0.3000            | 0.9135             | -0.0311                          | -0.0340           | 4.8097  | 0.1899 | 0.2660                                | 56.17                |
| 6               | 26-30 | 445.26   | 149.46            | 74.21             | 0.3357            | 0.8754             | -0.0381                          | -0.0435           | 5.6851  | 0.1540 | 0.2922                                | 68.57                |
| 7               | 31-35 | 694.96   | 249.70            | 99.28             | 0.3596            | 0.8304             | -0.0450                          | -0.0542           | 6.5155  | 0.1274 | 0.3051                                | 88.54                |
| 8               | 36-40 | 1071.60  | 376.64            | 133.95            | 0.3515            | 0.7785             | -0.0519                          | -0.0667           | 7.2940  | 0.1067 | 0.2848                                | 114.34               |
| 9               | 41-45 | 1608.30  | 536.70            | 178.70            | 0.3337            | 0.7197             | -0.0588                          | -0.0817           | 8.0137  | 0.0898 | 0.2520                                | 144.43               |
| 10              | 46-50 | 2269.60  | 661.30            | 226.96            | 0.2914            | 0.6539             | -0.0658                          | -0.1006           | 8.6676  | 0.0754 | 0.1908                                | 171.13               |
| 11              | 51-55 | 2956.91  | 687.31            | 268.81            | 0.2324            | 0.5813             | -0.0726                          | -0.1249           | 9.2489  | 0.0629 | 0.1075                                | 185.99               |
| 12              | 56-60 | 3555.60  | 598.69            | 296.30            | 0.1684            | 0.5017             | -0.0796                          | -0.1587           | 9.7506  | 0.0515 | 0.0097                                | 183.11               |
| 13              | 61-65 | 3989.44  | 433.84            | 306.88            | 0.1087            | 0.4151             | -0.0866                          | -0.2086           | 10.1657 | 0.0408 | -0.0999                               | 162.77               |
| 14              | 66-70 | 4228.00  | 238.56            | 302.00            | 0.0564            | 0.3217             | -0.0934                          | -0.2903           | 10.4874 | 0.0307 | -0.2339                               | 129.80               |
| 15              | 71-75 | 4293.90  | 65.90             | 286.26            | 0.0154            | 0.2213             | -0.1004                          | -0.4537           | 10.7087 | 0.0207 | -0.4383                               | 88.88                |



**Fig. 5.** Determination of the optimal rotation period using target forest model 1. a) total growth  $m(m^3)$  from target management classes(each 1ha) with varying rotation periods b) graphical determination of the optimal rotation period based on formula (14).

법정림과 목표림(모델 1)의 최적운벌기 계산결과를 서로 비교해 보면 다음과 같다. 즉 1ha면적을 갖는 법정림의 경우 최적운벌기 68년에 의해 도달될 수 있는 총재적생장은  $306.88m^3$ 이고 목표림의 경우 최적운벌기 58년에 의해 도달될 수 있는 총재적생장은  $185.99m^3$ 이다. 그러므로 여기에서 법정림과 목표림 사이에서 나타나는  $120.89m^3$ 의 재적차이는 실제로 法正林構造에 접근하기 불가능한 “材積損失”을 보여주고 있다.

### 3. 目標林 모델 2에 의한 最適輸伐期

목표림 모델 2는 연년作業級 혹은 保續作業級 삼림의 경우로서 최적화 계산에는 “副林分”이 고려된다. 앞의 목표림 모델 2의 이론 설명에서 유도된 공식(17)에 의해 알 수 있는 바와 같이  $1/\Sigma A$ 를  $M_b/\Sigma M_b A$ 와 같은 놓으므로서 최적운벌기가 구해지게 된다. 법정림 모델과 목표림모델 1의 계산과정과 마찬가지로 목표림모델 2의 계산결과가 Table 3에 제시되었다. 이 Table 3에 의하면 最適輸伐期는 13영급과 14영급 사이에서 결정됨을 알 수 있다. 공식(17)에 의하면  $1/\Sigma A$ 와  $M_b/\Sigma M_b A$ 의 값이 같은 곳에서 최적운벌기가 결정된다. 즉

$$1/\Sigma A(t) = 0.095 = M_b(t)/\Sigma M_b(t) \cdot A(t) = 0.095$$

로서 공식(17)을 만족하게 되고 이 때의 임령은

Table 3. Determination of the optimal rotation period in the target forest model 2(using an example with total growth in korean white pine stands, yield tables, site index 14).

| Age class | Normal forest   |        | Target forest 2   |         |            |              |         |                | Total growth H=1ha m |
|-----------|-----------------|--------|-------------------|---------|------------|--------------|---------|----------------|----------------------|
|           | Rotation period | year   | Current increment | A       | $\Sigma A$ | $1/\Sigma A$ | $M_b A$ | $\Sigma M_b A$ | $M_b / \Sigma M_b A$ |
| $t_u$     |                 | $M_b$  |                   |         |            |              |         |                |                      |
| 1         | 1-5             | 15.00  | 0.9965            | 0.9965  | 1.0035     | 14.95        | 14.95   | 1.0000         | 15.00                |
| 2         | 6-10            | 37.00  | 0.9862            | 1.9827  | 0.5044     | 36.45        | 51.40   | 0.7198         | 25.93                |
| 3         | 11-15           | 80.60  | 0.9689            | 2.9516  | 0.3388     | 78.09        | 129.49  | 0.6224         | 43.87                |
| 4         | 16-20           | 74.46  | 0.9446            | 3.8962  | 0.2567     | 70.33        | 199.82  | 0.3726         | 51.29                |
| 5         | 21-25           | 88.74  | 0.9135            | 4.8097  | 0.2079     | 81.06        | 280.88  | 0.3159         | 58.39                |
| 6         | 26-30           | 149.46 | 0.8754            | 5.6851  | 0.1759     | 130.84       | 411.72  | 0.3630         | 72.42                |
| 7         | 31-35           | 249.70 | 0.8304            | 6.5155  | 0.1535     | 207.35       | 619.07  | 0.4033         | 95.03                |
| 8         | 36-40           | 376.64 | 0.7785            | 7.2940  | 0.1371     | 293.21       | 912.28  | 0.4129         | 125.07               |
| 9         | 41-45           | 536.70 | 0.7197            | 8.0137  | 0.1248     | 386.26       | 1298.54 | 0.4133         | 162.06               |
| 10        | 46-50           | 661.30 | 0.6539            | 8.6676  | 0.1154     | 432.42       | 1730.96 | 0.3820         | 199.75               |
| 11        | 51-55           | 687.31 | 0.5813            | 9.2489  | 0.1081     | 399.53       | 2130.49 | 0.3226         | 230.31               |
| 12        | 56-60           | 598.69 | 0.5017            | 9.7506  | 0.1026     | 300.36       | 2430.85 | 0.2463         | 249.41               |
| 13        | 61-65           | 433.84 | 0.4151            | 10.1657 | 0.0984     | 180.09       | 2610.94 | 0.1662         | 256.92               |
| 14        | 66-70           | 238.56 | 0.3217            | 10.4874 | 0.0954     | 76.74        | 2687.68 | 0.0888         | 256.40               |
| 15        | 71-75           | 65.90  | 0.2213            | 10.7087 | 0.0934     | 14.58        | 2702.26 | 0.0244         | 252.39               |

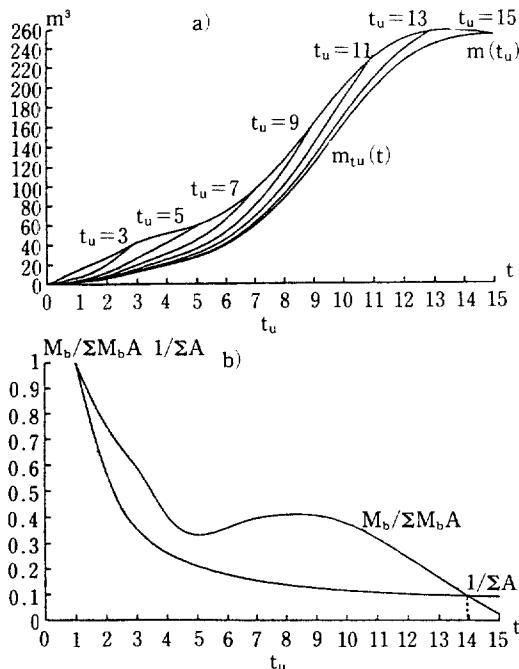


Fig. 6. Determination of the optimal rotation period using target forest model 2. a) total growth  $m(m^3)$  from target management classes(each 1ha) with varying rotation periods b) graphical determination of the optimal rotation period based on formula (17).

69년이 된다.

1ha의 삼림면적을 갖는 목표림의 總材積生長은 이 윤벌기에 의해 최대 256.92m<sup>3</sup>에 도달하게 된다. 그 밖의 다른 윤벌기에서는 이 값보다 작은 재적생장을 나타낸다(Table 3, Fig. 6 참조). 이미 앞에서 제시한 바와 마찬가지로 법정림의 경우 최적윤벌기 68년의 선택을 통해 最大材積生長 306.88m<sup>3</sup>을 얻게된다. 그리고 법정림모델과 목표림모델 2에 의해 도달될 수 있는 최대재적생장사이의 차이는 49.96m<sup>3</sup>(법정림 총재적생장의 16.3%)에 이르며 이것은 危險條件에 처한 삼림 경영과 법정림구조로부터의 편차의 결과로 나타낼 수 있는材積損失의 크기를 제시해 준다.

## 結論

輪伐期는 영급별 林分構造를 갖는 삼림의 생산을 조절하기 위해서 유도되어야 할 가장 중요한經營目標중의 하나이다. 특히 우리나라와 같이 삼림경영의 轉換期에 접어든 삼림에 있어서는 꼭 검토되어야 할 과제라고 생각한다. 이와 관련하여 效率的 意思決定手段으로서 모델分析方法이 삼림경영지침에 채용될 수 있겠다. 통상 관례적으로 법정림모델의 最適화計算形態로 이 분석이 이루어지게 된다. 선발된 윤벌기에 의존해서希

望目標範疇가 最大値에 도달하는 “法正作業級”이 찾아지게 되는데 이러한 모델분석의 質的價値는 모델이 얼마나 현실에 접근해 있느냐에 달려 있다.

삼림생산의 위험요소를 고려하여 법정림모델보다 더욱 실제에 접근한 삼림작업급의 삼림생산을 묘사하기 위하여 “目標林모델”이 여러 문헌에 등장하고 있다. 그래서 본論文에서는 최적화 계산 방법의 도움으로 법정림과 목표림의 最適輪伐期를 유도해 보았다. 법정림모델에 의한 최적윤벌기는 68년으로 계산되었고 목표림모델 1(間斷作業級森林)의 최적윤벌기는 58년 그리고 목표림모델 2(連年保續作業級森林)에 의한 최적윤벌기는 69년으로 계산되었다.

법정림모델에서 最大可能材積生長은 ha당 306.88m<sup>3</sup>로 계산되었고 목표림모델 1에서는 185.99m<sup>3</sup> 그리고 목표림모델 2에서는 256.92m<sup>3</sup>로 나타났다. 법정림모델과 목표림모델 1의 재적생장차이는 120.89m<sup>3</sup>로 법정림의 39.4%에 해당하는데 이것은 목표림모델 1의 경우 간단작업급삼림을 가정으로 하여 위험조건에 처해서 이미 제거된 “副林分”을 고려하지 않았기 때문에 각영급별 면적과 임분이 존재하는 법정림과 큰 오차가 나타나고 있다. 그러므로 법정림모델과의 비교는 부임분이 고려되고 각 영급별 면적과 임분이 존재하는 목표림모델 2가 더 적합할 것이다.

법정림모델과 목표림모델 2의 最大可能材積生長은 각각 306.88m<sup>3</sup>와 256.92m<sup>3</sup>로 49.96m<sup>3</sup>(16.3%)의 차이만을 나타냈다. 따라서 이것은 법정림과 목표림모델 1과의 차이와 비교할 때 상당히 작은 차이를 보여주고 있다.

여기에서 상기해 둬야 할 것은 재적 생장추정을 위해 logistic 곡선식이 아닌 다른 방법이 채용된다면 즉 잣나무임분의 생장과정을 더 현실에 가깝게 표현해 줄 수 있는 生長모델이 적용된다면 그리고 더 세밀한 收穫表가 이용될 수 있다면 좀더 실제 임분에 접근한 결과가 얻어질 수 있을 것이다. 또한 遷移確率計算의 어려움 때문에 Klocek와 Oesten이 개발한 遷移函數를 그대로 적용하였는데 여기에서도 오차가 나타났을 것이며 각 수종과 危險狀況에 맞는 遷移函數가 개발된다면 더욱 정확한 결과가 얻어질 수 있을 것이다.

본研究의 모델분석에서는 최적윤벌기 계산을

위해서 면적과 관련된 생산위험으로부터의 영향에만 국한되었다. 최적윤벌기 선발에 상당한 영향을 미칠 수 있는 地位構造 및 임령에 의존해서 確率的 法則性에 따르는 立木密度 등의 위험요소가 고려되지 않았다. 그래서 Klocek와 Oesten (1991)은 실제 삼림경영에 적용하는데 따르는 문제점을 다음과 같이 지적하고 있다. 첫째, 법정림의 모델계산은 最大森林生產과 관련하여 非現實的 결과를 보여준다. 둘째, 보다 실제에 가까운 목표림모델에 의한 최적윤벌기의 선발은 사전에 미리 의사결정상황의 결정을 요구한다. 왜냐하면 “間斷作業級 森林모델”에 의한 계산결과는 “連年保續作業級 森林모델”的 경우와 구별되기 때문이다. 이것은 특히 森林經營計劃의 領域內에서 個別林分의 經濟的 伐採成熟을 결정할 경우 주의해야 한다. 셋째, 삼림작업급의 遷移行態에 의존한 모든 목표범주내에 있어서 목표림모델 2에 의한 최적윤벌기는 법정림모델에 의한 최적윤벌기보다 높게 나타난다.

목표림의 영급면적구조는 Markov-chain모델을 가지고 數式化될 수 있으며 이 경우 목표림구조는 임분의 현재상황에만 의존해서 전개된다. 여기에서 목표림모델에서 전제가 되고 있는 천이화률함수의 安定性이 중요하게 된다. 그러나 목표림모델이 보다 현실림에 접근하기 위해서는 動的인 融通性을 갖는 천이화률함수가 필요할 것이다.

## 引用文獻

- 김재정·권석광. 1991. Logistic曲線을 이용한 生長推定에 관한 研究. 江原大學校 林科大學 森林經營學科 卒業論文集.
- Klocek, A. 1988. Die Waldschaeden und die Ertragsregelungsprobleme. IUFRO S4. 04-02. Wien.
- Klocek, A. and G. Oesten. 1990a. Optimal Umtriebszeit im Normal- und Zielwaldmodell. Arbeitspapier 3/90 des Instituts fuer Forsteinrichtung und Forstliche Betriebswirtschaft, Universitaet Freiburg.
- Klocek, A. and G. Oesten. 1990b. Die Darstellung der Waldentwicklung in Form von Matrizen. Arbeitspapier 4/90 des In-

- stituts fuer Forsteinrichtung und Forstliche Betriebswirtschaft, Universitaet Freiburg.
5. Klocek, A. and G. Oesten. 1991. Zur Bestimmung der optimalen Umrübszeit im Zielwaldmodell. Allg. Forst - u . J.-Ztg., 162. Jg., 5/6.
  6. Kurth, H. 1977. Intensivierung und Forsteinrichtung. In : Zvysovani intenzity socialistické lesní výroby a její rationalizace. SZN. Praha.
  7. Kurth, H., D. Gerold and K. Dittrich, 1987. Reale Waldentwicklung und Zielwald -Grundlagen nachhaltiger Systemregelung des Waldes. Wiss. Zeitschrift der TU Dresden 36(5), S. 121-137.
  8. Kurth, H., B. Anders and G. Lucas. 1987. Zur Methodik von Langzeit-prognosen forstlicher Ressourcen. Beitraege fuer die Forstwirtschaft 21, S. 25-30.
  9. Kurth, H. 1991. Die Dynamik von Vorrat, Zuwachs und Nutzung in Bezug zur Nachhaltigkeit. Allg. Forst-u. J.-Ztg., 162. Jg., 3.
  10. Lucas, G. and B. Andres. 1978. Mathematische Grundlagen zur Anwendung von Uebergangswahrscheinlichkeiten bei der Strukturregelung im Walde. Techn. Univ. Dresden, Tharandt.
  11. 山林廳, 1989. 山林立地調査要領. 林業研究院.
  12. Speidel, G. 1972. Planung im Forstbetrieb. Grundlagen und Methoden der Forsteinrichtung. Hamburg und Berlin.
  13. Suzuki, T. 1983. Gentan-Wahrscheinlichkeit, Vorhersagemodell fuer die Entwicklung des Normalwaldes und fuer die Planung des Holzaufkommens. Schriften aus der Forstlichen Fakultaet der Universitaet Goettingen und der Niedersaechsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Bd. 76.
  14. Von Laer, W. and G. Speidel. 1959. Forsteinrichtung, Leitsaetze und Zahlengrundlagen. In : Grundlagender Forstwirtschaft. M. und H. Schaper. Hannover.
  15. Wagner, C. 1928. Lehrbuch der theoretischen Forsteinrichtung. Berlin.
  16. Wagner, H.M. 1969. Principles of operations research with applications to managerial. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
  17. 禹鍾春, 1992. 統一思想에 의한 法正林思想의 批判的 考察, 季刊 統一思想, 統一思想研究院.