

ISSN 1226-8186

# 한국산림측정학회지

제6권 제1호 2003년 6월



한국산림측정학회

# 한국산림측정학회지

제6권 제1호

2003년 6월

## 論 文

비선형모델을 이용한 강원지방소나무와 낙엽송의 지위지수 추정식 ..... 손영모 · 이경학... 1

단순적률법을 이용한 소나무림에서의 Weibull 직경 분포 모수 추정 ..... 이경학 · 손영모... 8

Data 投入方式에 의한 花柏林分の 生長函數 推定 ..... 이광수 · 강진택 · 정영관...15

고창지역 삼나무 인공림의 흉고직경 생장 추정식 ..... 이상현...25

경기도 잣나무림의 수관면적과 흉고직경생장에 관한 연구 ..... 배상원 · 김석권...30

독일에서의 택벌림 임분구조와 단순 교림의 택벌림 전환 ..... 임주훈 · 배상원...36

IKONOS 영상과 GIS를 이용한 경기도유림 관리시스템 구축  
..... 전은진 · 이우균 · 이준학 · 함보영 · 정재서 · 김상우...45

GIS를 이용한 난대상록활엽수림 생육공간 적지판정 및 맵핑 프로그램 개발  
..... 강진택 · 박남창 · 이광수 · 정영관...59

항공사진 분석을 통한 산불 피해지 임분 변화 추정(II)  
..... 서정원 · 임주훈 · 김종찬 · 심우범 · 공지수 · 노대균 · 유리화...71

2002 颱風 RUSA에 의한 林木被害調査 - 江原大學校 學術林 北方地域을 對象으로 -  
..... 崔晶棋 · 柳炳吾 · 崔長昊 · 李相旻 · 許晟九...81

韓國山林資源測定學會 會則 ..... 88

韓國山林資源測定學會 原稿投稿規定 ..... 89



## 비선형모형을 이용한 강원지방소나무와 낙엽송의 지위지수 추정식<sup>1</sup> 손영모<sup>2</sup> · 이경학<sup>2</sup>

### Site Index Equations Using Schumacher Model and Chapman-Richards Model for *Pinus densiflora* and *Larix kaempferi* Stands<sup>1</sup>

Yeong-Mo Son<sup>2</sup> and Kyeong-Hak Lee<sup>2</sup>

#### 요 약

본 연구는 지위지수 추정모델인 Schumacher 모델, Chapman-Richards 모델을 이용하여 강원 지방소나무와 낙엽송 임분의 지위지수 최적 추정식을 개발하고자 수행되었다. 사용된 자료는 전국에 걸쳐 강원지방소나무 341개소, 낙엽송 493개소의 표준지로부터 수집되었다. 먼저 지위지수 곡선의 기준이 되는 임령에 따른 우세목수고곡선식을 추정한 결과, 강원지방소나무의 경우, 적합도 지수가 Schumacher 모델은 52.7%, Chapman-Richards 모델은 53.1%로 나타났고, 낙엽송의 경우는 각각 79.8%, 80.9%로 나타났다. Chapman-Richards 모델이 구조적 형태, 적합도지수, 잔차분포 등을 고려할 때 Schumacher 모델보다 좀 더 바람직한 특성을 가지고 있었다. 기준임령을 30년으로 했을 때 도출된 우세목수고추정식을 토대로 조제된 지위지수 분류곡선을 보면, 강원 지방소나무의 경우 지위지수 10에서 20, 낙엽송의 경우는 지위 16에서 26사이의 범위를 갖는 것으로 나타났다. 그리고 기존 수확표 조제시 만들었던 지위지수 곡선과 Schumacher 모델 및 Chapman-Richards 모델에 의한 지위지수 곡선을 서로 비교한 결과, 강원지방소나무는 곡선들의 형태간에 거의 차이가 없었다. 그러나 낙엽송의 경우에는 기존의 지위지수곡선은 지속적으로 상승하는 반면, 다른 두 모델에 의한 곡선은 점근하는 경향을 보였다.

#### ABSTRACT

This study was carried out to develop site index equations using Schumacher model and Chapman-Richards model for *Pinus densiflora* stands and *Larix kaempferi* stands. The data were collected from 341 plots for the former and 493 plots for the latter through out the country. For *Pinus densiflora*, the fitness indices in estimating dominant tree heights using Schumacher model and Chapman-Richards model were 52.7% and 53.1%, respectively. For *Larix kaempferi*, those values were 79.8% and 80.9%. Considering model flexibility, fitness index and residual distribution, Chapman-Richards model showed slightly superior performance. The range of site index with the reference age of 30 is 10 to 20 for *Pinus densiflora*, and 16 to 26 for *Larix kaempferi*. The shapes of site index curves deriving from the existing system and the new equations showed little difference for *Pinus densiflora*. In case of *Larix kaempferi*,

<sup>1</sup> 接受 2003年 4月 17日 Received on April 17, 2003.

<sup>2</sup> 임업연구원 Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea.

however, the existing site index curves were almost linear, whereas the curves from the new equations had asymptotic lines.

*Kew words* : Site index equations, Schumacher model, Chapman-Richards model

## 서 론

지위(site quality)는 임지의 잠재적인 생산력을 나타내는 것이며, 이는 기후, 토양 등 그 산림의 임지가 처한 자연환경의 다양한 인자에 의해 영향을 받는다. 이를 전체적으로 하나의 지표로 나타내고자 특정한 임령기준으로 우세목 수고로 나타낸 것이 바로 지위지수(site index)이다. 따라서 이러한 지위지수는 산림경영상 적지적수 선정이나, 생장·수확예측 등에 있어 중요한 정보로 사용된다.

임분의 지위평가는 단순하게 생각할 때 직접적인 생장량인 임분재적으로 하는 것이 가장 바람직하다고 볼 수 있으나, 임분내에서는 병해충, 벌채, 자연적 파괴 등의 변수가 나타날 수가 있고, 이로 인한 임분밀도의 변화는 재적의 감소를 초래한다. 따라서 임지의 생산능력을 평가하기 위해서 여러가지 간접적인 방법들이 발전되어 왔다. Jones(1969)는 지위평가를 위하여 지위지수, 식생형태, 환경인자를 이용할 수 있다고 하였으며, 이들 중 현재까지는 지위지수에 의한 방법이 가장 실용적이고 합리적인 지표로 알려져 있다(박태식, 1992).

우리나라의 경우 기존 수확표 조제시 지위지수는 당시의 임분 현실을 반영하여 대부분 수종에서 기준임령을 20년으로 정하여 각종 수확량을 산정한 바 있다(김동춘, 1963; 1967). 그러나 20년생일 때는 대부분의 수종의 수고생장이 아직 왕성한 상태이어서 이를 기준임령으로 하여 만든 지위지수는 불안정할 수 있다. 또한 이는 표와 그림의 형태로만 되어 있어, 전산프로그램 개발에 사용하기에는 적합치 않다.

그리고 지위지수를 추정하기 위하여 많은 모델들이 개발되어 적용되고 있는데, 예전의 모델보다 정도면이나 적용면에서 많은 차이를 보이고 있으며, 각국은 현실림에 맞는 지위지수 적합모델 개발에 끊임없이 연구를 수행하고 있다. 이들 중 많은 이용빈도를 보이고 있는 대표적

모델로 Schumacher 모델과 Chapman-Richards 모델을 들 수 있겠다. 이들을 소개하자면, Schumacher 모델은 Schumacher(1939)에 의해 처음 소개된 것으로서 임령과 임분수고간의 관계를 제시하였는데, 당시 Schumacher는 임령에 따른 수고생장에 변곡점(inflexion point, 수고생장의 변화가 있는 시점)이 있다는 점을 간과하였으나, 이후 다른 연구자들에 연구 보완하여 오늘에 이르고 있다. Chapman-Richards 모델은 이미 모델 적용에 있어 융통성(flexibility)이 널리 알려진 모델로서 본래 3개의 모수를 가졌으나, 점근(asymptotic)값을 갖는 모수를 우세목의 수고로 대체한 모델이다(Clutter *et al.*, 1983; Gadow *et al.*, 1992, 1998; Laar & Akça, 1997).

따라서 본 연구에서는 대표적인 침엽수인 강원지방소나무와 침엽수 인공림인 낙엽송에 대하여 기준임령을 30년으로 하고, Schumacher 모델과 Chapman-Richards 모델을 사용하여 지위지수 최적추정식을 개발하였으며, 또한 이들 식과 기존 지위지수와의 관계를 구명하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 공시재료

정상적인 생육상태를 보이고 있는 임분을 대상으로 정방형 또는 장방형으로 표준지를 밀도, 영급, 경급분포 상태에 따라 0.01~0.16ha로 설치하여 평균임령, 우세목수고, 경급별 수고, 흉고직경 등에 대하여 매목조사를 실시하였다.

조사된 표준지 수는 그림 1에 나타나 있듯이 강원지방소나무 341plots, 낙엽송 493plots이었다. 그리고 막대그래프에서 아랫부분의 다소 희미한 막대("Previous study")와 윗부분의 선명한 막대("This study")가 있는데, 이는 이전 수확표 조제시 조사되었던 표준지와 현재 우리가 분석하기 위하여 조사된 표준지를 서로 비

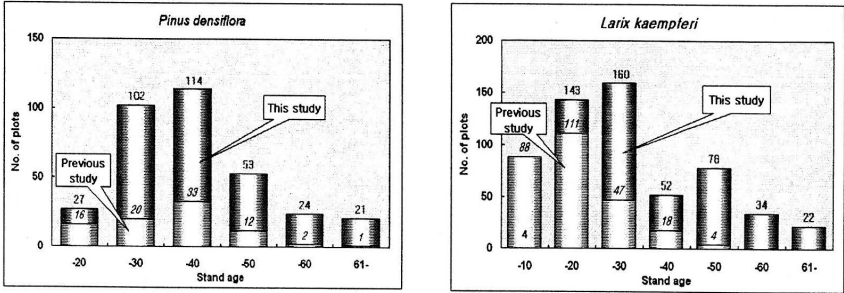


Fig. 1. No. of plots by stand age and comparison of sample data between this study and previous study in *Pinus densiflora* and *Larix kaempferi* stand.

교하기 위하여 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 예전의 자료보다 많은 표준지수, 넓은 영급 범위를 가지고 있음을 알 수 있고, 이들 분석으로 현실림에 대한 보다 정확한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

2. 분석방법

강원지방소나무와 낙엽송임분의 지위지수 추정을 위한 모델은 다음의 2가지 모델이며, 이들의 모수추정과 적합성을 검증하였다. 먼저 우세목수고를 추정하기 위한 식을 도출하고, 이 식에 의한 추정치와 실측치간의 잔차검정을 하였으며, 그리고 이를 이용하여 지위지수 추정모델의 모수를 산출하였다. 이 지위지수식으로 수종별로 지위지수 분류곡선도를 조제하였다. 또한 이를 기존 수확표 조제시 만들어졌던 지위지수 곡선과 비교하였다.

고  $b_1$ ,  $b$ ,  $c$ 는 모수를 각각 나타내며, 특히 Chapman-Richards 모델에 있어, 모수  $b$ 는 시간( $t$ )축의 크기를 결정하고,  $c$ 는 생장곡선의 모양에 관계되는 모수로 알려져 있다.

결과 및 고찰

1. 지위지수 추정

1) Schumacher 모델에 의한 추정식

임령별 우세목 분포를 대표하는 기준선( $H_{BL}$ , 그림 3의 열은 점선)에 대한 적합도는 강원지방소나무 52.7%, 낙엽송 79.8%를 나타내었다(표 1). 여기에서 수종간 적합도의 차이는 임분이 어떻게 구성되었느냐(천연림 또는 인공림)에 따라 나타나는 자연적인 현상이라 생각된다. Fig. 2는 임령에 따른 우세목수고 곡선의 잔차도를 나타낸 것으로서 강원지방소나무의 경우

Schumacher 모델

$$SI = \exp \left[ \ln H_D + b_1 \left( \frac{1}{A_i} - \frac{1}{A_j} \right) \right]$$

두 모델에서,  $SI$ 는 지위지수,  $H_D$ 는 우세목 수고,  $A_i$ ,  $t_i$ 는 임령,  $A_j$ ,  $t_j$ 는 기준임령, 그리

Chapman-Richards 모델

$$SI = H_D \left[ \frac{1 - e^{-bt_i}}{1 - e^{-bt_j}} \right]^c$$

는 0을 중심으로 고르게 분포하고 있음을 알 수 있었으나, 낙엽송의 경우는 유평림일 때 추정

Table 1. Dominant tree height estimation equations using Schumacher model and their fitness indices.

Species	Estimation equation of dominant tree height curve	Fitness index
<i>Pinus densiflora</i>	$H_{BL} = 30.5423 e^{-\frac{21.0918}{age}}$	0.5269
<i>Larix kaempferi</i>	$H_{BL} = 35.2240 e^{-\frac{16.0283}{age}}$	0.7981

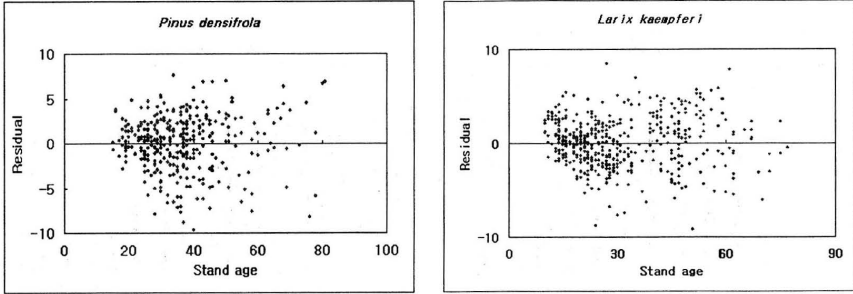


Fig. 2. Residuals in predicting dominant tree height using Schumacher model.

치가 다소 작은 값을 갖는 것으로 나타났다. 두 수종 모두 전반적으로 볼 때는 이를 우세목수고 분포의 기준선으로 사용하는데 그다지 무리가 없을 것으로 생각된다.

다음으로, 1개 모수를 갖는 우세목수고 및 임령에 의한 수종별 지위지수 추정식이 표 2와 같이 도출되었다. 이 추정식은 그 구조에 있어, 우세목수고( $H_D$ )를  $SI$ 와 대체하고 “+” 부호를 “-”로 바꾸면 지위에 따른 우세목수고 추정 모델이 된다. 또한 “ $\frac{1}{30}$ ”은 기준임령이 30년임을 의미하는데, 이는 이용자가 원하는 기준임령으로 바꾸어 주면 모수를 바꾸지 않고도 그에 맞는 기준

임령의 정보를 얻을 수 있게 하는 장점이 있는 모델이다. 그림 3은 Schumacher 모델에 의한 지위지수 곡선을 나타낸 것으로서 조사된 자료에 의하면, 우리나라의 강원지방소나무 지위지수 범위는 10~20 사이에 있고, 낙엽송은 16~26 사이에 있음을 알 수 있었다.

2) Chapman-Richards 모델에 의한 추정식  
Chapman-Richards 모델에 의한 임령별 우세목 분포를 대표하는 기준선( $H_{BL}$ , 그림 5의 열은 점선)에 대한 적합도는 강원지방소나무 53.1%, 낙엽송 80.9%를 나타내었다(표 3). 그

Table 2. Site index estimation equations using Schumacher model.

Species	Site index estimation equation
<i>Pinus densiflora</i>	$SI = \exp(\ln(H_D) + 21.0918 \times (\frac{1}{A} - \frac{1}{30}))$
<i>Larix kaempferi</i>	$SI = \exp(\ln(H_D) + 16.0283 \times (\frac{1}{A} - \frac{1}{30}))$

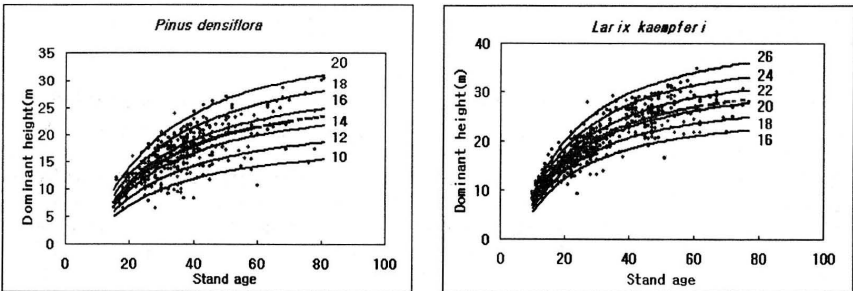
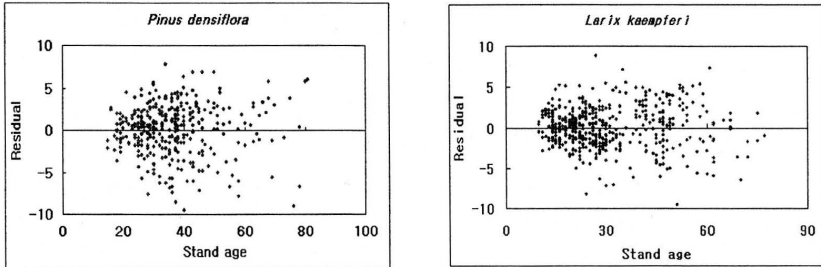


Fig. 3. Site index curves using Schumacher model.

**Table 3.** Dominant tree height estimation equations using Chapman-Richards model and their fitness indices.

Species	Estimation equation of dominant tree height curve	Fitness index
<i>Pinus densiflora</i>	$H_{BL} = 28.5423 (1 - e^{-0.0253 \text{ age}})^{0.9995}$	0.5312
<i>Larix kaempferi</i>	$H_{BL} = 30.8571 (1 - e^{-0.0381 \text{ age}})^{1.0939}$	0.8088



**Fig. 4.** Residuals in predicting dominant tree height using Chapman-Richards model.

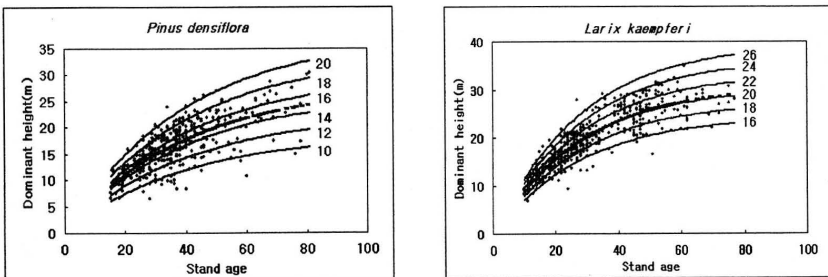
림 4는 임령에 따른 우세목수고 곡선의 잔차 분포도로서 0을 중심으로 고르게 분포하고 있음을 알 수 있으며, 여기에서 두 모델간 잔차도를 비교해 보면, 강원지방소나무와 같은 경우는 잔차분포가 별다른 차이가 없이 나타났다. 그러나 낙엽송의 경우, Schumacher 추정식은 어

린 임령일 때 과소추정치를 가지는 것으로 나타났다으며, Chapman-Richards 추정식은 전체 임령에서 편의되는 추정치를 갖고 있지 않아, 후자의 추정식이 더 높은 정확성과 많은 융통성을 제공할 수 있을 것이라 생각된다.

우세목수고 및 임령에 의한 2개 모수를 갖는 어

**Table 4.** Site index estimation equations using Chapman-Richards model.

Species	Site index estimation equation
<i>Pinus densiflora</i>	$SI = H_D \left[ \frac{1 - e^{-0.0253 \cdot t}}{1 - e^{-0.0253 \cdot 30}} \right]^{0.9995}$
<i>Larix kaempferi</i>	$SI = H_D \left[ \frac{1 - e^{-0.0381 \cdot t}}{1 - e^{-0.0381 \cdot 30}} \right]^{1.0939}$



**Fig. 5.** Site index curves using Chapman-Richards model.



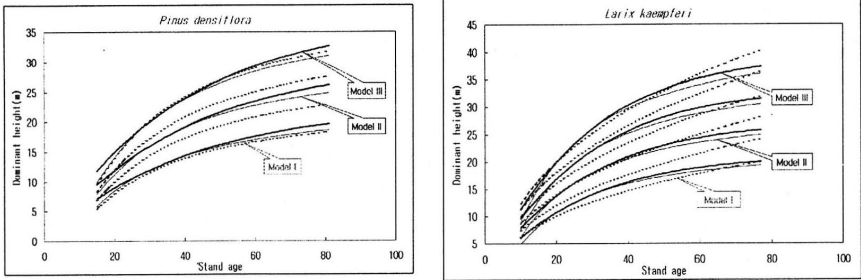


Fig. 6. Comparisons among site index curves using previous model(model I), Schumacher model(model II) and Chapman-Richards model(model III).

수종별 지위지수 추정식은 Table 4와 같이 도출되었으며, Fig. 5는 Chapman-Richards 모델에 의한 지위지수 곡선을 나타낸 것이다.

### 2. 지위지수 추정모델별 곡선형태

다음 그림 6은 수종별로 지위지수 추정모델에 의한 지위지수 곡선을 표현한 것으로서 모델 I(점선)은 기존 수확표 조제시의 기준임령인 20년을 기준으로 한 곡선이며, 모델 II(가는 실선)는 Schumacher 모델에 의한 곡선형태, 모델 III(굵은 실선)은 Chapman-Richards 모델에 의한 곡선 형태이다. 강원지방소나무의 경우는 곡선의 형태가 세 가지 모델 모두 비슷한 유형을 보이고 있으나, 낙엽송의 경우는 기존 수확표 조제시의 곡선은 거의 직선형태를 이루고 있어, 당시 수집된 자료가 유령임분을 대상으로 하였음을 미루어 짐작할 수 있다. 따라서 기준임령 20년을 기준으로 한 기존의 지위지수를 기준임령 30년인 Chapman-Richards 모델

추정식에 의한 지위지수로 바꾸고자 할 때 강원지방소나무의 경우, 그림 7과 같이 직선형을 이루어 보정계수 1.4476을 구할 수가 있다. 즉 기존의 지위지수를 1.4476 곱하면 바로 현재(30년 기준)의 지위지수로 바꿀 수가 있다. 그러나 낙엽송의 경우는 앞서 언급한 바와 같이 당시의 지위지수 곡선형태가 지금과는 달라 보정계수를 구하기 어려운 실정이다. 이에 대해서는 추후 다른 측면에서의 연구가 요구된다.

### 결론

강원지방소나무와 낙엽송 임분의 지위지수를 추정하고자 기준임령을 30년으로 하고, 추정모델은 최근 유통성있는 모델로 각광받고 있는 두 가지 모델(Schumacher 모델, Chapman-Richards 모델)을 우리 산림에 적합시켜 지위지수 최적추정식을 개발하였으며, 또한 이들과 기존 지위지수(기준임령 20년)와의 관계

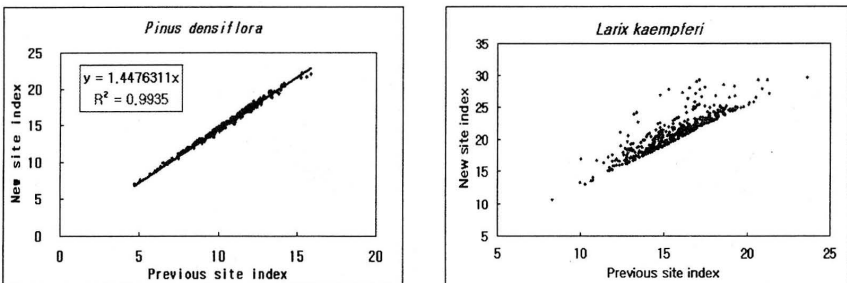


Fig. 7. Comparisons between new site index(base age; 30yrs.) and previous site index age; 20yrs.) and calculation of conversion coefficient.

를 구명한 결과 다음과 같다.

지위지수는 우세목 수고의 성장형태에 의해 결정되므로, 먼저 우세목의 수고곡선을 추정하였는데, 강원지방소나무의 경우, Schumacher 모델에 의한 것은 적합도 지수가 52.7%, Chapman-Richards 모델에 의한 것은 53.1%로 나타났고, 낙엽송의 경우, 79.8%, 80.9%로 각각 나타났다. 따라서 두 모델로서 우세목 수고 추정은 천연림으로 구성되는 강원지방소나무 임분보다 인공림인 낙엽송임분이 우세목 수고분포의 편차가 더 작음을 알 수 있었다. 또한 두 모델중 Chapman-Richards 모델이 모델의 구조적 형태나 적합도 지수 등을 고려할 때 Schumacher 모델보다 우세목의 수고를 추정하는데 좀 더 높은 정도를 가져올 것으로 보여진다. 이는 잔차도 비교에서도 나타났는데, 두 모델의 잔차도 분포는 두 수종에 있어 Chapman-Richards 모델에 의한 추정이 Schumacher 모델에 의한 것보다 0을 중심으로 더 고르게 분포하고 있어 우세목수고 추정은 전자의 모델을 이용하여 타당할 것이라 판단된다.

지위지수 추정모델(기준임령 30년)에 의해 조제된 지위지수 분류곡선 형태를 보면, 강원지방소나무의 경우 지위 10에서 20사이의 범위를 갖고 있었으며, 낙엽송의 경우는 지위 16에서 26사이의 범위를 갖는 것으로 나타났다. 그리고 기존 수확표 조제시 만들었던 지위지수 곡선과 Schumacher 모델 및 Chapman-Richards 모델에 의한 지위지수 곡선을 서로 비교한 결과, 강원지방소나무의 경우 전체 세 모델들 간에 거의 곡선모양이 거의 차이가 없었으나, 낙엽송의 경우는 기존 수확표 조제시의 모델이 유행림을 대상으로 구축된 모델인 관계로 곡선이 접근을 이루지 않고 계속 상승하는 추정선을 갖는 반면, 다른 두 모델은 접근선을 갖고 있어 많은 차이를 보여 주었다. 이로서 강원지방소나무의 경우는 20년을 기준으로 한 기존의 지위지수를 현재 30년으로 바꿀 수 있는 보정계수를 도출할 수 있었으나, 낙엽송 경우는 보정계수 도출은 다소 어려워 다른 방법을 강구해야 할 것으로 생각된다.

적지적수의 판정과 다양한 생장 및 수확예측에 있어서 지위지수는 필수인자라 볼 수 있다. 따라서 현실림에 대한 정확한 정보가 제공되어

야 할 것이다. 그러나 지금까지 우리는 30~40년 전에 만들어진 지위지수표와 분류곡선을 이용하여 왔다. 이에 우리 현실림에 대한 지위지수의 정확한 정보 제공을 위하여 기준임령을 30년으로 하면서 우세목의 수고를 바로 지위지수로 전환이 가능한, 또한 기준임령 역시 식에서 바로 조정이 가능한 추정모델을 개발하므로서 임업실무자와 연구자에게 새로운 지위지수의 정보를 제공할 수 있게 되었다. 또한 새롭게 정비된 지위지수는 기존의 표, 그림형태 뿐만 아니라 전산처리가 용이하게 추정식의 형태로 제공되어 이용자 측에서는 업무에 보다 효율성을 꾀할 수 있을 것이다.

추후 우리는 보다 정확성이 있는 지위지수 추정모델 개발 연구에 노력하고, 현실림에 대한 그때그때의 정보를 수집하여 변화되는 즉, 동적인 지위지수 정보를 제공하여야 할 것이다.

## 인 용 문 헌

1. 김동춘. 1963. 강원도산 소나무임분의 수확과 생장에 관한 연구. 농사시험연구보고 6(2) : 71-90.
2. 김동춘. 1967. 일본잎갈나무임분의 수확과 생장에 관한 연구. 임업시험장연구보고 13 : 1-63.
3. 박태식 외 10명. 1992. 산림경영학. 향문사. 426p.
4. Clutter, J. L., J. C. Fortson, L.V. Pienaar, G. H. Brister and R. L. Bailey. 1983. Timber management-Aquatic-titative approach. John Wiley & Sons. 333p.
5. Gadow, K.V. and B. Bredenkamp. 1992. Forest management. Academia. 151p.
6. Gadow, K.V. and G. Hui. 1998. Modelling forest development. 151p.
7. Jones, R. 1969. Review and comparison of site evaluation methods. U.S. Forest Service Research Paper RM-51.
8. Laar, A.V and A. Akça. 1997. Forest mensuration. Cuvillier Verlag Göttingen. 418p.

# 단순적률법을 이용한 소나무림에서의 Weibull 직경 분포 모수 추정<sup>1</sup> 이경학<sup>2</sup> · 손영모<sup>2</sup>

## Estimation of Weibull Diameter Distribution Parameters Using Simplified Method-of-moments for *Pinus densiflora* and *Pinus rigida* Stands<sup>1</sup>

Kyeong-Hak Lee<sup>2</sup> and Yeong-Mo Son<sup>2</sup>

### 요 약

본 연구에서는 우리나라의 대표적인 침엽수 천연림인 강원지방소나무와 침엽수 인공림인 리기다소나무 임분에 대한 Weibull 직경분포함수의 모수추정에 있어 단순적률법(simplified method-of-moments)의 적용성을 검증해 보고자 하였다. 이를 위해 전국에 걸쳐 강원지방소나무 341개소, 리기다소나무 422개소의 표준지에서 수집한 임분자료를 분석에 이용하였으며, 누적분포의 적합도 검증은 Kormogrov-Smirnov test에 의하였다. 이상의 결과들을 종합해 보면, 최소치, 평균치 및 표준편차를 이용하는 단순적률법에 의해 모수를 추정한 Weibull분포함수는 우리나라의 대표적인 침엽수 천연림인 강원지방소나무와 인공림인 리기다소나무에 있어서 전체 표준지중 98.8% 및 99.5%를 각각 적합시킴으로서 다양한 직경분포형태를 융통성있게 잘 적합시키고 있으며, 따라서 그 사용에 무리가 없을 것으로 판단된다. 그리고 일반적인 조사하는 임분특성인 평균직경과 우세목수고를 토대로 모수를 복구하여 얻은 Weibull함수에 의해 추정된 직경분포도 현실직경분포를 비교적 잘 적합하고 있었다. 특히 리기다소나무에서 적합된 표준지의 비율(92.1%)이 강원지방소나무(84.5%)보다 높아 임분구조의 변이가 비교적 적은 인공림이 천연림보다 더 적합됨을 알 수 있었다.

### ABSTRACT

This study aimed to verify the applicability of the simplified method-of-moments in estimating and recovering Weibull function parameters for the estimation of diameter distribution in natural stands of *Pinus densiflora* in Kangwon Province and *Pinus rigida* plantations. The data were collected from 341 plots for *Pinus densiflora* and 422 plots for *Pinus rigida* through out the country. With Kolmogorov-Smirnov test at 5% significance level, Weibull distribution of which parameters estimated by simplified method-of-moments, in which mean DBH, minimum DBH and standard deviation of DBH were used in solving parameters, fitted 98.8% of the observed diameter distributions for all the plots for *Pinus densiflora* stands and 99.5% for *Pinus rigida* stands. Therefore, the Weibull function with this parameter estimation method can be used to fit diameter distribution for the two species stands in Korea. Weibull function with parameters recovered by mean DBH and tree dominant

<sup>1</sup> 接受 2003年 5月 10日 Received on May 10, 2003.

<sup>2</sup> 임업연구원 Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea.

height also showed good performance in fitting observed diameter distributions. However, the performance of 92.1% for *Pinus rigida* stands which are plantations showing was higher than that of 84.5% for natural *Pinus densiflora* stands.

*Key words* : diameter distribution, Weibull function, simplified method-of-moments, Pinus densiflora, Pinus rigida

서 론

산림경영에 있어 임분구조의 해석은 필수적이며, 특히 간벌시기 및 강도의 결정이나 최종 산물의 용도 및 가치, 수확비용 등 산림경영시 고려해야 할 필수적인 인자들을 예측함에 있어 임분내 개체목들의 직경분포에 대한 정보는 필수적이라 할 수 있다. 이에 따라 최근에는 단순히 총량을 추정하는 임분생장모델보다는 직경분포에 근거한 임분생장모델에 의한 추정식을 현장에서 많이 사용하고 있다. 일반적으로 직경분포를 확률밀도함수를 이용하여 추정하는 데, 초기에는 변형된 형태의 정규분포와 Gamma함수(Nelson, 1964)를 이용하였지만, 현실림의 적용에 있어 다소 문제점을 안고 있었다(신만용, 1998). 1965년 Clutter와 Bennet가 적용한 Beta함수는 천연림의 직경분포 추정에 문제점을 갖고 있었고, 또한 추정해야 할 모수가 많은 것이 문제점이었다. 그 후 Bailey와 Dell(1973)은 공학분야에서 제품의 수명분포를 설명하기 위해 Weibull(1939)에 의해 제안된 Weibull함수를 임분직경분포 추정에 이용함으로써 문제점을 해결하였다. 한편 Weibull 함수의 모수 추정에 있어서는 백분율법(percentile method), 최우법(maximum likelihood estimation), 적률법(method-of-moments estimation) 등 다양한 방법이 사용되고 있으며 Garcia(1981)는 간단하게 계산할 수 있는 방법으로 단순적률법(simplified method-of-moments)을 제시한 바 있다. 이 방법은 최소직경, 평균직경, 직경의 표준편차 등에 의해 쉽게 모수를 추정(parameter estimation)할 수 있으며, 최소직경과 직경의 표준편차는 평균직경과 우세목 수고에 의해 추정 가능하기 때문에 결국 평균직경과 우세목 수고 등 일반적인 산림조사시 측정되는 임분의 생장 특성에 의해 모수 복구(parameter

recovery)가 가능하다는 장점을 가지고 있다. 우리나라에서 Weibull함수를 이용한 임분직경분포 연구로는 윤종화(1983)가 처음이며, 그 후 이경학(1991)은 낙엽송의 임분구조해석을 위해 이를 이용하였으며, 신만용과 정동준(1998)은 인공림과 천연림에 대한 직경분포를 추정함에 있어 Beta함수와 Weibull 함수를 비교한 바 있다. 본 연구에서는 우리나라의 대표적인 침엽수 천연림인 강원지방소나무와 침엽수 인공림인 리기다소나무 임분에 대한 Weibull 직경분포함수의 모수추정에 있어 단순적률법의 적용성을 검증해 보고자 하였다.

재료 및 방법

1. 공시재료

본 연구에서는 전국에 걸쳐 강원지방소나무 341개 표준지, 리기다소나무 422개의 표준지에서 얻은 자료를 이용하였다. 기존 수확표 조제시 이용되었던 자료는 지역적으로 편중되어 있고, 조사 표준지 개소수가 적었으며, 유령림을 중심으로 구성되었기에, 현재 신뢰도가 떨어질 뿐 아니라 장령림 단계 있는 현실림을 설명하기에 다소 무리가 있었다. 따라서 본 연구에서는 표준지수의 확대와 장령·노령임분의 표준지 자료를 추가 획득하였다. 사용된 표준지의 임령 분포와 이를 기존 수확표 조제시 이용자료와 비교한 바 그림 1과 같다.

2. 분석방법

본 연구에서 사용한 Weibull분포의 확률밀도함수는 다음과 같으며, 이 함수는 3개의 모수를 갖는다(Garcia, 1981).

$$f(x) = ab(x-c)^{b-1} \exp[-a(x-c)^b], (c \leq x < \infty)$$

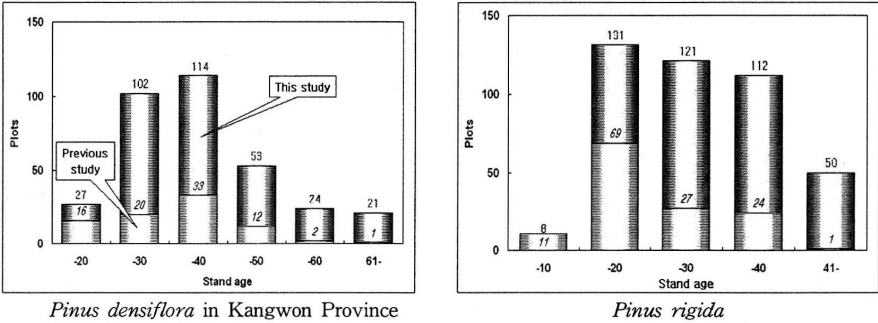


Fig. 1. Stand age distributions of sample plots.

여기서  $x$ 는 흉고직경을 의미하며,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ 는 모수이다.  $a$ 는 크기의 모수(scale parameter)로 직경분포의 범위를 결정하고,  $b$ 는 모양의 모수(shape parameter)로 직경분포곡선의 모양을 결정해 주며,  $c$ 는 위치의 모수(location parameter)로 최소직경을 결정한다.  $a$ 와  $b$ 는 항상 +이며, 일반적으로  $c$ 는 +, 0 또는 -가 될 수 있으나 직경분포에서 응용할 때에는 현실적으로 -가 될 수 없다. 이들 모수의 크기별 곡선형태는 그림 2와 같다.

상기 모형에 있어 모수추정방법은 단순적률법을 사용하였다. 이 단순적률법의 모수추정 접근방법은 다음과 같다. 먼저 이 모형에 있어 평균( $\mu$ )과 분산( $\sigma^2$ )은 다음과 같다.

$$\mu = c + a^{-1/b} \Gamma(1 + 1/b) \quad (1a)$$

$$\sigma^2 = a^{-2/b} [\Gamma(1 + 2/b) - \Gamma^2(1 + 1/b)] \quad (1b)$$

$c$ 는 이미 알고 있다는 가정하에 표본평균과 분산을 이용하여 모수  $a$ 와  $b$ 에 대한 식 (1)을 풀면 다음과 같이  $a$ 와  $b$ 의 적률추정치들을 얻을 수 있다.

$$\Gamma(1 + 2/b) / \Gamma^2(1 + 1/b) - 1 = [\sigma / (\mu - c)]^2 \quad (2)$$

다음에  $a$ 를 계산하면,

$$a = [\Gamma(1 + 1/b) / (\mu - c)]^b \quad (3)$$

식 (2)에서  $b$ 는 반복적인 root-finding 절차를 거치면 풀 수 있다. 그런데 root-finding 절차의 복잡성과 이에 드는 많은 계산노력은  $\sigma / (\mu - c)$ 의 함수로서  $b$ 를 표현한다면 피할 수 있으며 그 형태는 다음과 같다.

$$1/b = z [1 + (1 - z)^2 \sum_{i=0}^{\infty} k_i z^i] \quad (4)$$

여기에서  $z$ 은  $\sigma / (\mu - c)$  즉,  $x - c$ 의 변이계수

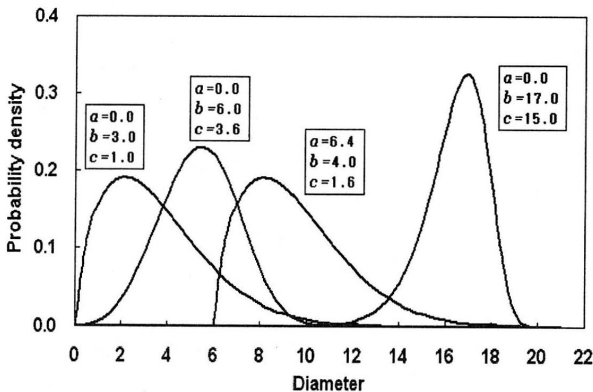


Fig. 2. Weibull distribution curves for different values of parameters.

이며,  $k_z$  는  $z'$ 에 대한 계수로서  $n$ 에 따라 그 값이 달라진다. 이 방법은 통한  $1/b$ 값의 근사 추정치는  $z$ 이 1.2이하(즉,  $b$ 가 0.83 이상)일 때 좋은 결과를 가져온다. 이 범위는 밀도함수의 모든 단봉모양(unimodal form)을 포함할 수 있다.  $n$ 이 증가할수록 정도의 수준도 증가하는데 본 연구에서는  $n=5$  일 때 다음의 계수들을 사용하였다.

$$k_0 = -0.220040320$$

$$k_1 = -0.001433169$$

$$k_2 = 0.150611381$$

$$k_3 = -0.078575996$$

$$k_4 = -0.004305716$$

$$k_5 = 0.008804944$$

이 때  $z$ 의 범위 0 이상 1.2 이하에서  $1/b$  근사 추정치의 최대절대편차는  $3.15 \cdot 10^{-6}$ 에 지나지 않으며, 이는 직경분포를 추정함에 있어서는 현실적으로 무시할만한 편차이다. Weibull 모수를 계산하기 위한 절차를 요약하면,  $c$ 값(최소직경)을 알고 있는 상태에서 먼저 식(4)를 이용하여  $b$ 를 계산하고, 얻어진  $b$ 값과 알고 있는  $c$ 값을 이용하여 식(3)으로부터  $a$ 를 구한다.

본 연구에서는 표준지내 임목의 흉고직경을 흉고단면적으로 전환한 후, 흉고단면적의 Weibull 분포 모수를 최소흉고단면적, 평균흉고단면적 및 흉고단면적의 표준편차에 의해 추정하였으며, 이에 의해 추정된 흉고단면적분포를 다시 흉고직경분포로 환산하는 절차를 채택하였다. 이러한 환산 절차를 거친 이유는 우리가 일반적으로 평가·예측하고자 하는 재적( $m^3$ )은 3차원인 데 비해, 흉고직경은 1차원(cm)이며, 흉고단면적( $cm^2$ )은 이보다 가까운 2차원이기 때문이다.

다음 단계로서 평균직경과 우세목수고에 의해 최소직경과 흉고단면적의 표준편차에 대한 추정식을 개발하였으며, 각 표준지에 대해 평균흉고단면적(평균직경에서 계산)과 개발된 추정식에서 얻은 최소흉고단면적(최소직경으로부터 계산) 및 흉고단면적의 표준편차를 가지고 단순적률법에 의해 흉고단면적 Weibull 분포 모수를 추정하였다. 즉, 각 표준지에 대해 평균직경과 우세목수고 등 일반적인 산림조사시 측정되는 임분의 성장 특성에 의해 모수 복구

(parameter recovery)를 하였으며, 이를 이용하여 직경분포를 추정하였다.

분포의 적합성(fitness)에 대한 통계적 검정은 5% 유의수준에서 Kormogorov-Smimov검정법을 사용하였다.

**결과 및 고찰**

**1. Weibull함수 모수 추정(estimation)에 의한 직경분포의 추정**

흉고단면적분포를 적합시키기 위하여 이용된 독립변수는 최소흉고단면적, 평균흉고단면적, 흉고단면적표준편차 등이며, 함수의 모수가 표준지별로 추정되었으며, 수종별로 이들 추정치의 범위는 표 1과 같다. 모수의 추정치의 범위로 볼 때 수종별로 직경분포 곡선이 아주 다양함을 알 수 있다. 특히 천연림인 강원지방소나무가 크기의 모수, 모양의 모수, 위치의 모수 추정치의 범위가 인공림인 리기다소나무보다 훨씬 넓어 천연림이 인공림보다 훨씬 다양한 임분구조를 가지고 있음을 짐작할 수 있다.

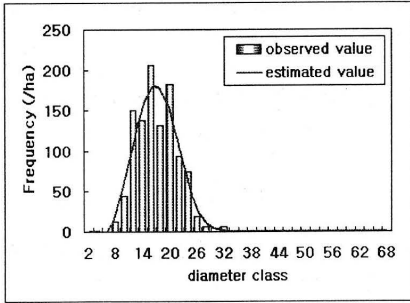
**Table 1.** Range of estimated Weibull parameters.

Species	<i>Pinus densiflora</i> in Kangwon			<i>Pinus rigida</i>		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
Max.	0.196	29.93	1090.43	0.0329	4.31	650.52
Min.	0.1E-6	0.40	7.07	0.1E-6	0.96	19.62

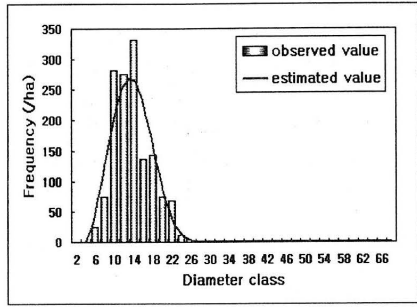
각 표준지에 대하여 추정한 누적분포와 현실 누적분포를 비교하여 얻은 Kormogorov-Smimov test(K-S 검정) 결과는 표 2에 나타난 바와 같다. 천연림인 강원지방소나무의 경우 총 341개의 표준지 중에 337개의 표준지,

**Table 2.** Goodness of Fitness using Kormogorov-Smimov test at 5% significance level.

Species	<i>Pinus densiflora</i> in Kangwon	<i>Pinus rigida</i>
Fitted plots/total plots	337/341 (0.988)	420/422 (0.995)



*Pinus densiflora* - sample plot no. 9



*Pinus rigida* - sample plot no. 11

Fig. 3. Comparison between observed diameter distributions and estimated diameter distributions.

즉 전체표준지의 98.8%가 5%의 유의수준에서 K-S 검정 임계값(critical value)을 통과하였으며, 인공림인 리기다소나무는 422개 표준지 중 420개의 표준지, 즉 99.5%가 통과하여 단순적률법에 의해 모수 추정된 Weibull 직경분포는 두 수종의 다양한 현실직경분포형태를 잘 적합하고 있음을 알 수 있었다.

그림 3은 강원지방소나무와 리기다소나무 두 개 수종에 있어 표준지를 임의 선정하여 직경분포의 실측치와 모수추정에 의한 추정치를 비교, 예시한 것으로 현실임분의 직경분포를 잘 적합시키고 있음을 알 수 있다.

2. Weibull함수 모수 복구(recovery)에 의한 직경분포의 추정

먼저 일반적으로 조사되는 임분특성인 평균 직경과 우세목수고에 의한 최소직경 및 최대직경 추정식을 구한 결과 표 3과 표 4과 같았다. 동일 수종에서는 최대직경 추정식이 최소직경 추정식 보다 설명력이 높았으며, 수종간에 있어서는 인공림인 리기다소나무가 천연림인 강원지방소나무 보다 설명력이 높았다.

추정된 최대직경 및 최소직경에 의해 흉고단면적의 표준편차를 구하는 추정식을 구한 결과는 표 5와 같으며, 인공림인 리기다소나무에서의 설명력(93.8%)이 천연림인 강원지방소나무

Table 3. Minimum diameter( $D_{min}$ ) estimation equations by mean diameter( $\bar{D}$ ) and dominant tree height( $H_D$ ).

Species	Equations	Fitness index
<i>P. densiflora</i> in Kangwon	$D_{min} = -5.2215 + 0.7100 \bar{D} + \frac{28.1251}{H_D}$	0.7378
<i>P. rigida</i>	$D_{min} = -3.8831 + 0.6866 \bar{D} + \frac{21.8723}{H_D}$	0.8754

Table 4. Maximum diameter( $D_{max}$ ) estimation equations by mean diameter( $\bar{D}$ ) and dominant tree height( $H_D$ ).

Species	Equations	Fitness index
<i>P. densiflora</i> in Kangwon	$D_{max} = 5.0699 + 1.1102 \bar{D} + 0.1665 H_D$	0.8366
<i>P. rigida</i>	$D_{max} = 0.2572 + 1.1955 \bar{D} + 0.4173 H_D$	0.9489

**Table 5.** Standard deviation of basal area( $BA_{SD}$ ) estimation equations by estimated maximum diameter( $D_{max}$ ) and estimated minimum diameter( $D_{min}$ ).

Species	Equations	Fitness
<i>P. densiflora</i> in Kangwon	$BA_{SD} = 0.5033 + 0.1979(D_{max}^2 - D_{min}^2)$	0.6144
<i>P. rigida</i>	$BA_{SD} = -3.3220 + 0.1778(D_{max}^2 - D_{min}^2)$	0.9382

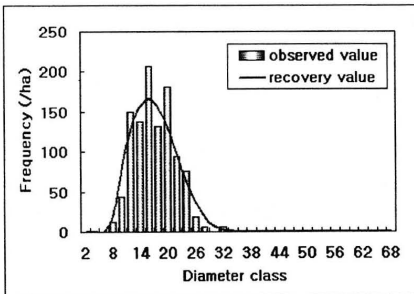
에서의 설명력(61.4%)보다 월등히 높았다. 각 표준지에 대해 평균직경과 우세목수고에 근거하여 얻어진 상기 식들을 이용하여 추정된 최소흉고단면적(최소직경에서 얻음) 및 흉고단면적 표준편차 추정치와 평균흉고단면적(평균직경에서 얻음)을 가지고 단순적률법에 의해 흉고단면적 분포에 대한 Weibull 함수의 모수를 추정, 복구하였다. 최종적으로 얻은 흉고직경의 추정 분포와 현실분포의 차이를 유의수준 5%에서 검정한 결과, 전체 표준지 중 천연림인 강원지방소나무는 84.5%, 인공림인 리기다소나무 92.1%가 K-S 검정의 임계값을 통과하는 것으로 나타났다. 그림 4는 두 수종에서 임의 선정된 표준지에 대해 실제 경급분포와 모수복구에 의해 추정된 경급분포를 서로 비교·예시한 것으로, 모수복구에 의한 단계를 거쳐도 현실 직경분포를 잘 적합시키고 있음을 알 수 있다.

이상의 결과들을 종합해 보면, 최소치, 평균치 및 표준편차를 이용하는 단순적률법에 의해 모수를 추정된 Weibull분포함수는 우리나라의 대표적인 침엽수 천연림인 강원지방소나무와 인공림인 리기다소나무에 있어서 전체 표준지

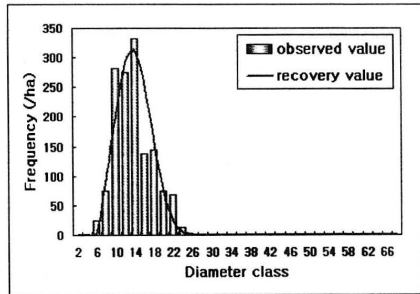
중 98.8, 99.5%를 적합시킴으로서 다양한 직경분포형태를 융통성있게 잘 적합시키고 있었으며, 따라서 그 사용에 무리가 없을 것으로 판단된다. 그리고 일반적인 조사하는 임분특성인 평균직경과 우세목수고를 토대로 모수를 복구하여 얻은 Weibull함수에 의해 추정된 직경분포도 현실직경분포를 비교적 잘 적합하고 있었다. 특히 리기다소나무에서 적합된 표준지의 비율(92.1%)이 강원지방소나무(84.5%)보다 높아 일반적인 임분특성인 평균직경과 우세목수고에 의한 직경분포의 추정에 있어서는 임분구조의 변이가 비교적 적은 인공림이 천연림보다 더 잘 적합됨을 알 수 있었다.

**인용 문헌**

1. 신만용·정동준. 1998. 인공림과 천연림에서의 직경분포 추정을 위한 Beta와 Weibull 함수의 비교. 한국산림측정학회지 1(1) : 3-11.
2. 윤중화·조현국. 1991. Weibull분포에 의한 직경분포 추정에 관한 연구. 한림지 80



*Pinus densiflora* - sample plot no. 9



*Pinus rigida* - sample plot no. 11

**Fig. 4.** Comparison between observed diameter distribution and estimated diameter distribution with recovered parameters.



- (4) : 420-426.
3. 이경학. 1992. A model for stand structure and yield prediction of *Larix leptolepis* plantation in Korea. 서울대학교 박사학위 논문. 87p.
  4. 이경학 · 정영교 · 손영모. 1996. 산림생장 및 수확예측모델론. 임업연구원 연구자료 제127호. 142p.
  5. Bailey, R. L. and T. R. Dell. 1973. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. For. Sci. 19 : 97-104.
  6. Borders, B. E. and W. D. Patterson. 1990. Projecting Stand Tables : A Comparison of the Weibull Diameter Distribution Method, a Percentile-Based Projection Method, and a Basal Area Growth Projection Method. For. Sci. 36 : 413-424.
  7. Clutter, J. L., J. C. Fortson, L. V. Pienaar, G. H. Brister and R. L. Baily. 1983. Timber Management : A Quantitative Approach. John Wiley & Sons. 333pp.
  8. Garcia, O. 1981. Simplified method-of-moments estimation for the weibull distribution. New Zealand J. of For. Sci. 11(3) : 304-306.
  9. Kuru, G. A., A. G. D. Whyte and R. C. Woollons. 1992. Utility of reverse Weibull and extreme value density function to refine diameter distribution growth estimates. For. Ecol. Manage. 48 : 165-174.
  10. Pienaar, L.V. 1995. Modeling stand level growth and yield response to silvicultural treatments. For. Sci., 41 : 629-638.

## Data 投入方式에 의한 花柏林分の 生長函數 推定<sup>1</sup>

이광수<sup>2</sup> · 강진택<sup>2</sup> · 정영관<sup>3</sup>

### Estimation of Growth Function in *Chamaecyparis Pisifera* Stands by Data Input Type<sup>1</sup>

Kwang-Soo Lee<sup>2</sup>, Jin-Taek Kang<sup>2</sup> and Young-Gwan Chung<sup>3</sup>

#### 要 約

Data투입 방식과 수식의 형태에 따른 수관급별 부위별 화백임분의 성장함수를 추정 한 결과, 優勢木의 樹高生長에는 Schumacher polymorphic AI식, 胸高直徑生長에는 C-R polymorphic NI식이 높은 설명력과 적합성을 보였으며, 幹材積生長에는 C-R anamorphic NI식이 적합 하였다.

準優勢木 樹高生長과 直徑生長에서는 C-R polymorphic NI식, 幹材積生長에는 Hossfeld polymorphic AI 투입방식이 높은 설명력과 적합성을 보여주었다. 劣勢木에 있어서는 C-R polymorphic NI 투입 방식이 樹高, 胸高直徑 그리고 幹材積生長을 推定하는데 적합한 것으로 나타났다.

#### ABSTRACT

This study was carried out to analysis of growth function of each crown classes and sections, which is followed by data input method and numerical formular form in *Chamaecyparis pisifera* stands., AI input pattern of equation of schumacher polymorphic in height growth of dominant tree showed high coefficient of determination and fitness, and NI input equation pattern of C-R polymorphic showed high significance in growth of DBH and C-R anamorphic equation in volume growth showed high significanceand fitness, respectively. NI input equation pattern of C-R polymorphic in height and DBH growth of co-dominant tree, and AI input equation pattern of Hossfeld polymorphic in volume showed high significance. NI input equation pattern of Chapman-Richards polymorphic in recessive tree showed high fitness.

*Key words* : *Chamaecyparis pisifera*, schumacher polymorphic, C-R polymorphic, C-R anamorphic

<sup>1</sup> 接受 2003年 5月 14日 Received on May 14, 2003.

<sup>2</sup> 임업연구원 Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea.

<sup>3</sup> 경상대학교 농과대학 산림과학부 산림자원학전공 Dept. of Forest Resources, Faculty of Forest Science College of Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea.

緒 論

임목의 생장은 개체의 유전적인 인자와 환경 인자들 간의 복합적인 상호작용을 거치며, 적절한 외부의 간섭하에 성장하게 된다. 임木の 생장은 주어진 기간에 대한 개개 임목의 직경, 수고, 재적 등의 인자로 표현된다.

임목이란 생태계의 생물적 시스템 이므로 명령에 따라 생장은 sigmoid curve를 그리며, 이 곡선의 정확한 파악을 위한 성장함수의 도출이 임목의 성장과정 구명뿐만 아니라 산림 정책을 결정하는데 기본적인 요소가 된다.

과거 임목의 성장과정을 구명하기 위하여 사용되어온 기존의 방법은 주로 선형적(linear)이었으나, 1822년 비선형적(non-linear) 임목성장곡선인 Hossfeld IV식이 발표되면서 점차 관심을 끌게 되었다. 그러나 그 후 비선형적인 성장곡선에 관한 연구는 지속적으로 수행되지 못하였다. 물론 Gompertz식(1825), Logistic식(1838), Monomolecular(1891) 및 Bertalanffy (1898)식 등이 발표되었으나 이는 모두 생태 및 사회과학 등에 이용된 것이었고, 1세기가 지난 후에야 임목생장에 이용되기에 이르렀다. 결국 비선형적인 성장함수가 임목 생장을 파악하는데 중요한 몫을 차지하기 시작한 것은 1920년대가 지나면서 이후 많은 식들이 발표되었다. 따라서 이전에 이용되던 직선회귀식, Huxely식, Yoshida식 등은 식 자체의 직선성으로 인하여 시간의 증가에 따라 임목의 생장을 설명하는 데는 많은 무리가 있으므로 점차 식의 적용빈도가 줄어들 것으로 보인다.

현재 성장과정에 관한 연구는 대부분이 곡선적 합화방법(curve-fitting approach)에 주로 의존되고 있으나, 점차 동태적인 프로그램을 이용하여 산림자원에 대한 분석 및 경제분석을 이해하기 쉽고 융통성 있게끔 컴퓨터 모델링 방법을 개발하고 있다. 성장과 수확예측에 관한 연구로는 강원도 소나무 외 8종에 관하여 임분수확표를 작성한 연구를 시발로 1987년까지 잣나무 외 2종에 대한 보완 및 갱신이 이루어졌으며, 동일사업방법에 의한 경시적 수확 및 생산량 구명을 위한 고정수확시험지 설치(1977년 이후) 및 주기적 조사가 수행되었고, 그리고 계획적인 간벌지침 마련과 이에 따른 수확예측을 위한 임분밀도관리도

조제(1985~1987)에 관한 연구가 임업연구원에 의해 전국적으로 수행되어졌다. 그 외 최근에 와서는 李尙鉉(1998)은 성장모델의 현실성을 향상시키기 위하여 측정간격 조합에 의한 모수 추정능력을 제고한 바 있으며, 李慶學(1991)은 Weibull 분포를 이용한 낙엽송 수확예측모델을 개발한 바 있고, 鄭榮教(1994)는 Richards함수를 이용하여 지위수수를 추정하였으며, 그 외 Weibull분포와 임목직경분포와의 관계를 연구한 尹鍾和(1983), Mitscherlich의 2개 함수의 적합도와 예측을 검증한 徐玉河(1992) 등에 의하여 비선형적인 성장 및 수확모델이 일부 연구되나 있다.

따라서 본 연구는 화백임분에 대하여 방정식에 따른 Data 투입형식을 달리하여 성장함수를 도출하고, 이들을 이론적·통계적으로 검정함으로써 임목의 성장부위별 최적의 성장식을 선정하고자 하였다.

材料 및 方法

1. 標準地選定

조사지는 林分이 교란을 받지 않은 건전하고 상태가 양호한 경남 진해지역 화백조림지에 대하여 12개의 標準地에 每木調査를 실시하고 全林木을 三階級으로 구분하여 各階級에서 1본씩의 標準木을 選定하였다. 選定過程에서 樹冠級別 비교가 가능하도록 階級 I에서는 優勢木, 階級 II에서는 準優勢木, 그리고 階級 III에서는 劣勢木이 선정되도록 하였다. 수간석해를 위하여 벌채된 임목에 대하여 樹高는 伐採部位에서 정상까지의 높이와 벌근부 이하를 합산하여 樹高로 하였다. 胸高直徑은 4方位로 측정한 다음 평균하였으며, 樹幹材積은 Huber 區分求積法에 의하여 算出하였고, 各階級別 平均樹高, 胸高直徑, 樹幹材積을 계산하였다(Table 1).

Table 1. Tree height, d.b.h and volume in *Chamaecyparis pisifera* stands.

Sample tree	Height (m)	DBH (cm)	Volume (m <sup>3</sup> )
Dominant	16.1	23.4	0.3147
Co-dominant	14.4	18.8	0.2025
Recessive	9.9	14.8	0.1008

調査地の 林況을 살펴보면 優勢木の 平均樹高는 16.1, 準優勢木은 14.4, 劣勢木은 9.9m로 나타났다. 胸高直徑은 23.4, 18.8, 14.8cm, 樹幹材積은 각 樹冠級別로 0.3147, 0.2025, 0.1008m<sup>3</sup>으로 계산되었다(Table 1).

2. 生長函數推定

樹冠級別 標準木에 대하여 測定區間과 data 投入方式, 方程式의 形態에 따라 生長函數를 推定하기 위한 數式은 다음과 같다.

- (1) Hossfeld polymorphic
- (2) Hossfeld anamorphic
- (3) Schumacher polymorphic
- (4) Schumacher anamorphic
- (5) Chapman-Richards polymorphic
- (6) Chapman-Richards anamorphic

한 해가 얻어졌는지의 여부를 검정하였다. 그리고 收斂過程을 거쳐 얻은 해 일지라도 그것이 유일한 역행열인지를 판단하는 것이 중요하므로, 충분히 검정하여 최적의 해를 얻을 때까지 계산하였다. 일반적으로 최적모형에 많이 사용되는 통계량은 決定係數이나, 決定係數는 사용된 모형이 얼마나 자료를 적합하게 설명하는지를 나타내는 척도이지만 본 연구에서는 사용된 후보 모형의 특성, 즉 從屬變數의 형태 및 獨立變數의 수를 고려하여 적합성 평가를 위하여 다

$$Y_2 = 1 / ((1/Y_1)(T_1/T_2)^r + (1/a)(1 - (T_1/T_2))^b)$$

$$Y_2 = 1 / (1/Y_1 + \theta(1/T_2^b - T_1^b))$$

$$Y_2 = \exp(\ln(Y_1)(T_1/T_2)^b + a(1 - (T_1/T_2))^b)$$

$$Y_2 = Y_1 \exp(-\beta(1/T_1^a - 1/T_2^a))$$

$$Y_2 = (a/r)^{1/(1-\beta)} (1 - (1 - (r/a)Y_1^{1-\beta}) \exp(-\gamma(1-\beta)(T_2 - T_1)))^{1/(1-\beta)}$$

$$Y_2 = Y_1 ((1 - \exp(-\beta T_2)) / (1 - \exp(-\beta T_1)))^r$$

Note) Y<sub>1</sub>: Growth at age T<sub>1</sub>. Y<sub>2</sub>: Growth at age T<sub>2</sub>

測定區間과 data 投入方式에 따른 生長函數를 추정하기 위하여 Hossfeld, Schumacher, C-R(Chapman-Richards)式을 도입하였고, 이들 數式을 다시 anamorphic 형태와 polymorphic 형태로 구분하였다. 樹齡과 林木 生長과의 관계를 추정하는 데 있어서, 자료의 수집방법에 따라 적용되는 數式의 模型이 다르게 된다. 예컨대 임시표본점에서 자료를 측정하였다면 anamorphic 만이 가능하나 고정표본점이나, 수간석해를 실시하여 자료를 수집하였다면 anamorphic, polymorphic 두 모형의 사용에 아무런 제약이 없다. 또한 자료의 投入方法에 따라, NI(nonoverlapping growth interval)와 AI(all possible growth interval)로 나누어 計劃區間 最適의 조화를 이룬 式을 도출하기 위하여 시간을 獨立變數로, 生長因子를 從屬變數로하여 분석하였다.

3. 推定式의 適合性 檢定

조사된 자료를 이용하여 生長式을 推定하고, 母數推定에 있어 적절한 초기값 설정과 충분한 收斂基準(convergence criterion)을 거쳐 적합

음과 같은 모형을 이용하였다.

(1) 偏倚(Bias), (2) 平均絶對偏差(MAD, mean absolute deviation), (3) 殘差의 標準偏差(SDD, standard deviation of difference), (4) 相對殘差自乘合(SSRR, sum of squared relative residuals).

從屬變數의 형태가 다르고, 推定 母數의 個數와 形態가 다를 경우에는 決定係數의 계산에 기여하는 수치의 크기가 달라지기 때문에 이 상태에서 계산된 決定係數의 직접 비교가 어렵고, 또한 같은 從屬變數의 형태를 갖는다 하더라도 모형에 따라 獨立變數의 수가 증가하면 決定係數는 점점 증가하게 된다. 따라서 위에서 제시된 4개의 模型(Shin, 1993)에 대하여 적합한 評價 統計量을 도출하려고 한다. 檢定統計量에 있어서의 偏倚(bias)는 模型의 偏倚 정도를 나타내는 平均差(mean difference)이다. 이 統計量은 生長因子(樹高, 直徑, 幹材積)의 觀測值와 각 모형에 의하여 추정된 推定值間의 차이를 평균한 것으로서 模型에 따른 推定能力을 평가하는 統計量 즉, 推定量이 平均的으로 母數의 참값에 대해 과소치 혹은 과대치를 주느냐를

評價하는 것이고, 平均絶對偏差(MAD)는 각 推定値의 잔차의 絶對값을 平均한 값으로 개개 추정치의 편차의 평균적인 크기를 나타내는 것이며, 경우에 따라서 첫번째 統計量인 0을 중심으로 멀리 떨어져 있으나, 고르게 분포되어 상쇄되므로 적게 통계될 경우가 있기 때문에 절대값을 취한것이다. 잔차의 標準偏差(SDD)는 편의의 표준편차로서 잔차의 散布度를 나타내는 것이며, 상대잔차제곱합(SSRR)은 관측치에 대한 각 잔차의 크기와 관련되는 상대적 크기의 값을 나타내며, 정상범위 밖으로 동떨어진 이

상점(outlier)이 있을 경우 다른 통계량보다 훨씬 더 민감하게 반응하는 통계량이다. 적합성 분석 및 모수추정은 SAS의 Univariate, NLIN 과정에서 실시하였다.

結果 및 考察

1. 優勢木 生長函數 推定

Table 2 및 3에서, 優勢木의 樹高 추정에는 NI 투입방식이 AI보다, 또한 polymorphic 식이 anamorphic 식보다, Schumacher식이 다른

Table 2. Coefficients for general equation fitted to nonoverlapping and all possible interval of height, d.b.h. and volume in dominant tree.

Growth factors	Equation	Input data	Parameters				R <sup>2</sup>
			r	α	β	θ	
Height	Hossfeld P*	NI	1.7301	5.6700	-	-	0.9839
		AI	1.5530	26.7950	-	-	0.9809
	Hossfeld A*	NI	-	-	0.0210	0.0300	0.9401
		AI	-	-	0.0561	0.0050	0.6703
	Schumacher P	NI	-	3.4401	0.9590	-	0.9907
		AI	-	4.1771	0.6210	-	0.9960
	Schumacher A	NI	-	0.9450	12.4810	-	0.9882
		AI	-	0.6780	9.8613	-	0.9962
	C - R P	NI	0.1371	0.4910	0.2011	-	0.9941
		AI	0.0351	0.0510	0.7922	-	0.9833
	C - R A	NI	0.8690	-	0.1551	-	0.9848
		AI	0.8381	-	0.1151	-	0.6648
D.B.H	Hossfeld P	NI	2.0423	5.6742	-	-	0.9938
		AI	1.8251	37.3280	-	-	0.9713
	Hossfeld A	NI	-	-	0.0457	0.0179	0.9444
		AI	-	-	0.0767	0.0015	0.5881
	Schumacher P	NI	-	5.2858	0.5338	-	0.9961
		AI	-	5.0892	0.5664	-	0.9967
	Schumacher A	NI	-	0.5046	11.3430	-	0.9957
		AI	-	0.5857	11.7560	-	0.9445
	C - R P	NI	0.0878	0.2103	0.2110	-	0.9976
		AI	0.0414	0.0612	0.7958	-	0.9753
	C - R A	NI	0.7931	-	0.1009	-	0.9952
		AI	0.7933	-	0.0843	-	0.6094
Volume	Hossfeld P	NI	2.8912	0.0109	-	-	0.9725
		AI	3.1252	0.2936	-	-	0.7794
	Hossfeld A	NI	-	-	0.1372	0.1123	0.8756
		AI	-	-	0.1132	0.2240	0.3820
	Schumacher P	NI	-	0.2503	1.0804	-	0.9984
		AI	-	1.1167	0.7865	-	0.9702
	Schumacher A	NI	-	0.8314	31.5830	-	0.9807
		AI	-	0.5171	23.6250	-	0.8532
	C - R P	NI	0.0059	0.0051	0.5654	-	0.9995
		AI	0.0219	0.1961	0.3213	-	0.8949
	C - R A	NI	0.9225	-	0.1267	-	0.9961
		AI	0.9068	-	0.1047	-	0.4150

Note) P; polymorphic, A; anamorphic, C-R; Chapman-Richards.

**Table 3.** Estimation of fitness for nonoverlapping and all possible interval of height, d.b.h and volume growth in dominant tree.

Growth factors	Equation	Input data	Bias	SDD	MAD	SSRR
Height	Hossfeld P	NI	0.5086	2.0728	1.6031	3.6960
		AI	-0.1760	2.4914	2.1721	5.8242
	Hossfeld A	NI	2.8679	2.9588	3.5580	14.2289
		AI	8.6733	5.2088	8.6733	100.55
	Schumacher P	NI	0.0773	1.6305	1.0680	2.1332
		AI	0.0267	1.1293	0.9039	1.1911
	Schumacher A	NI	0.0907	1.8850	1.1842	2.8509
		AI	0.0585	1.3287	1.1109	1.6513
	C - R P	NI	0.0000	1.3494	1.0164	1.4567
		AI	-0.0444	0.3385	1.9979	5.1062
	C - R A	NI	0.2854	2.0667	1.5049	3.4985
		AI	6.6360	7.8961	8.2839	102.229
D.B.H	Hossfeld P	NI	0.4264	1.7303	1.4134	2.5757
		AI	-0.3351	4.1578	3.4790	16.2476
	Hossfeld A	NI	4.2857	2.5098	4.2857	23.4073
		AI	13.3335	7.7333	13.3335	233.5967
	Schumacher P	NI	0.0250	1.4276	0.9540	1.6311
		AI	-0.0194	1.4060	1.1145	1.8454
	Schumacher A	NI	0.0375	1.5440	1.0062	1.9086
		AI	0.0308	1.8153	1.4537	3.0766
	C - R P	NI	0.0000	1.1139	0.8741	0.9926
		AI	-0.1222	3.8699	3.1663	13.9930
	C - R A	NI	0.1509	1.5575	1.3723	1.9634
		AI	9.3139	12.0178	12.2612	221.5486
Volume	Hossfeld P	NI	0.0166	0.0355	0.0322	0.0012
		AI	0.0230	0.1242	0.1015	0.0149
	Hossfeld A	NI	0.0665	0.0414	0.0665	0.0058
		AI	0.1749	0.1095	0.1749	0.0418
	Schumacher P	NI	0.0004	0.0260	0.0227	0.0005
		AI	0.0103	0.0478	0.0390	0.0022
	Schumacher A	NI	0.0049	0.0333	0.0289	0.0009
		AI	0.0134	0.0705	0.0521	0.0048
	C - R P	NI	0.0050	0.3551	0.0040	0.0003
		AI	-0.0080	0.0422	0.0330	0.0017
	C - R A	NI	-0.0013	0.0152	0.0121	0.0002
		AI	0.1290	0.1479	0.1565	0.0370

수식들보다 설명력이 높게 나타났다. Schumacher anamorphic 식의 NI와 AI 구조에서 parameter  $\beta$ 는 3.38의 차이를 보였다. parameter  $a$ 는 Hossfeld polymorphic식에서 NI와 AI는 21의 차이를 나타내었다. 이러한 결과는 똑같은 생장인자에 대한 똑같은 추정식 일지라도 data의 투입방식에 따라 추정치의 정도가 다르게 나타날 수 있다는 것을 보여주는 것이라 사료된다. 비교적 낮은 설명력을 보이고

있는 수식은 C-R anamorphic 식의 AI 투입 방식이었다. 胸高直徑 生長에서, Schumacher의 polymorphic식을 제외하고는 AI가 NI 보다 높은 설명력을 보여주었으며, polymorphic한 형태가 anamorphic한 형태보다 樹高生長에서와 마찬가지로 높은 설명력을 보여주고 있으며, 直徑生長을 가장 잘 표현하는 수식은 C-R polymorphic NI 식으로 나타났다. 林木의 총체적 자산인 幹材積生長을 추정해 본 결과, 樹

高, 直徑과는 다르게 AI와 NI는 설명력에 있어서 많은 차이를 보여 幹材積生長의 추정에 있어서 AI는 사용전에 충분히 검토한 후에 적용하는 것이 바람직 할 것으로 판단되며, C-R polymorphic NI 식이 幹材積生長의 추정에 적합 할 것으로 사료되며, 모델에 대한 4(Bais, MAD, SDD, SSRR)가지 적합성 평가 검정기준에 의하면 樹高生長에는 Schumacher polymorphic AI 數式식이 적합하게 판명되었다. 이러한 결과는 Paul(1983)의 Loblolly pine에 대하여 非線型 수확방정식을 적용한 결과

Schumacher 식의 적합성이 높았다는 보고와 유사한 결과를 보여주었으며, 胸高直徑 生長에서는 C-R polymorphic NI 식이, 幹材積生長에는 C-R anamorphic NI 투입방식이 다른 식에 비하여 적합하게 나타났다.

2. 準優勢木 生長函數 推定

Table 4 및 5에서, 準優勢木의 樹高生長 추정에는 NI 투입방식이 Schumacher polymorphic 을 제외하고 AI 데이터 투입방식 보다 추정능력이 높았으며, polymorphic 형태는 anamorphic

Table 4. Coefficients for general equation fitted to nonoverlapping and all possible interval of height, d.b.h and volume growth in co-dominant tre.

Growth factors	Equation	Input data	$\gamma$	Parameters			R <sup>2</sup>
				$a$	$\beta$	$\theta$	
Height	Hossfeld P	NI	1.9939	3.8476	-	-	0.9920
		AI	1.8971	27.3729	-	-	0.9686
	Hossfeld A	NI	-	-	0.1680	0.0051	0.9353
		AI	-	-	0.0470	0.0212	0.5679
	Schumacher P	NI	-	4.4563	0.6203	-	0.9961
		AI	-	4.8130	0.5560	-	0.9962
	Schumacher A	NI	-	0.5679	12.2490	-	0.9949
		AI	-	0.4712	11.9095	-	0.9946
	C - R P	NI	0.0160	0.0252	0.4546	-	0.9995
		AI	0.0544	0.0724	0.8351	-	0.9737
	C - R A	NI	0.8238	-	0.1096	-	0.9987
		AI	0.8221	-	0.0901	-	0.5917
D.B.H	Hossfeld P	NI	3.3237	0.2825	-	-	0.9766
		AI	1.8700	-118.1263	-	-	0.9168
	Hossfeld A	NI	-	-	0.0811	0.0299	0.9442
		AI	-	-	0.0771	0.0043	0.4938
	Schumacher P	NI	-	15.5240	0.1252	-	0.9622
		AI	-	5.4766	0.5036	-	0.9464
	Schumacher A	NI	-	-0.2699	-2.6946	-	0.9622
		AI	-	0.0933	24.3670	-	0.9259
	C - R P	NI	0.0972	1.0491	-0.5193	-	0.9784
		AI	0.0625	0.0891	0.7692	-	0.9703
	C - R A	NI	0.4529	-	0.0294	-	0.9604
		AI	0.7465	-	0.0631	-	0.5325
Volume	Hossfeld P	NI	4.6774	-54.3203	-	-	0.3980
		AI	4.0400	0.1993	-	-	0.9216
	Hossfeld A	NI	-	-	1.1398	0.2156	0.3200
		AI	-	-	0.1506	3.0598	0.3200
	Schumacher P	NI	-	1.9722	0.8909	-	0.4300
		AI	-	1.1900	0.0004	-	0.8936
	Schumacher A	NI	-	0.1498	0.1163	-	0.2560
		AI	-	4.7213	0.0001	-	0.2553
	C - R P	NI	0.1124	0.0005	1.2401	-	0.4500
		AI	0.0097	0.0099	0.2439	-	0.9148
	C - R A	NI	0.0814	-	0.0004	-	0.4000
		AI	0.8469	-	0.0662	-	0.3617

**Table 5.** Estimation of fitness for nonoverlapping and all possible interval of height, d.b.h and volume growth in co-dominant tree.

Growth factors	Equation	Input data	Bias	SDD	MAD	SSRR
Height	Hossfeld P	NI	0.3485	1.1843	1.0307	1.2435
		AI	-0.2233	2.6740	2.0960	6.7234
	Hossfeld A	NI	2.8403	1.5478	2.8730	10.7111
		AI	8.2051	5.1381	8.2051	91.9655
	Schumacher P	NI	0.0025	0.8697	0.7471	0.6051
		AI	0.1211	0.9142	0.7567	0.7948
	Schumacher A	NI	0.0060	0.9637	0.7953	0.7430
		AI	0.0466	1.1114	0.8800	1.1550
	C - R P	NI	0.0000	0.3024	0.2253	0.0732
		AI	-0.1089	2.4641	2.0160	5.6793
	C - R A	NI	-0.0217	0.4085	0.2689	0.1339
		AI	5.7981	7.5000	7.7247	86.1263
D.B.H	Hossfeld P	NI	0.6310	2.4794	1.6046	5.3162
		AI	-0.2503	5.2872	4.2962	26.1532
	Hossfeld A	NI	2.6573	2.5895	2.6547	12.4123
		AI	10.8858	6.6155	108858	159.3498
	Schumacher P	NI	0.5176	3.2130	2.5773	8.5271
		AI	0.9654	4.1312	2.3737	16.8616
	Schumacher A	NI	0.7139	3.1477	2.2727	8.4361
		AI	1.0235	4.8880	3.6187	23.3476
	C - R P	NI	-0.0000	2.4626	1.65001	4.8518
		AI	-0.1016	3.1607	2.1396	9.3357
	C - R A	NI	0.8880	3.1897	2.2506	8.9283
		AI	7.6901	9.7002	9.9825	146.9592
Volume	Hossfeld P	NI	0.0364	0.1167	0.0658	0.0122
		AI	0.0026	0.0515	0.0407	0.0024
	Hossfeld A	NI	0.0664	0.1082	0.0644	0.0137
		AI	0.1122	0.0969	0.1122	0.0213
	Schumacher P	NI	0.0354	0.1135	0.0644	0.0115
		AI	0.0206	0.0559	0.0414	0.0033
	Schumacher A	NI	0.0850	0.1035	0.0805	0.0150
		AI	0.1232	0.0092	0.1232	0.0231
	C - R P	NI	-6.6707	0.2747	0.3335	5.0353
		AI	-0.0121	0.0531	0.0451	0.0027
	C - R A	NI	0.0322	0.1171	0.0713	0.0120
		AI	0.1178	0.1882	0.1348	0.0469

보다 설명력이 높게 나타났다. 그리고 polymorphic 형태에서 C-R NI 식이 0.9995로 설명력이 다른 數式 보다 높게 나타났으며, 추정 정도가 낮은 數式은 Hossfeld polymorphic AI 투입형식이 0.9686으로 다른 식들과 비교하여 볼 때 낮은 설명력을 보여주었다. anamorphic 형태에 있어서도 설명력이 높은 식은 C-R NI 식이 0.9987로 높은 설명력을 보여주었다.

胸高直徑生長 추정에서는 NI가 AI보다 높은

설명력을 보여주었고, 특히 Hossfeld anamorphic, C-R anamorphic 식에서 두가지 투입방식에 따른 설명력의 차이가 크게 나타났다. 설명력이 낮은 數式으로는 C-R anamorphic AI 투입방식에서 0.5325, Hossfeld anamorphic AI 투입방식에서 0.4938로 각각 나타났다. 幹材積生長에서는 樹高, 直徑生長과는 달리 모든 數式들의 설명력이 낮게 나타났다. polymorphic 식이 anamorphic 식보다 설명력이 상대적으로 높



았으며, 幹材積生長의 추정에는 C-R polymorphic NI 식의 설명력이 0.9148로 높게 나타났으며, 반면에 C-R anamorphic AI식에서 0.3617의 낮은 설명력을 보여주었다.

적합성 검정기준에 따라 樹冠級 準優勢木에 대한 生長函數를 추정한 결과, 樹高生長과 胸高直徑生長을 잘 표현하는 數式은 C-R polymorphic NI식으로 나타났으며, 幹材積生長에서 Hossfeld polymorphic AI 투입방식이 적합하게 나타났다. 이러한 결과는 Bruce 등(1987)의 추정식의 적합성 검정에 있어서, 生長식의 추정정

도는 從屬變數의 형태와 데이터의 투입방식에 따라 차이가 난다는 결과와 유사한 경향을 보여 주고 있었다.

3. 劣勢木 生長函數 推定

Table 6 및 7에서, 劣勢木의 樹高生長 추정에 있어서, 優勢木의 樹高生長과 마찬가지로 NI식의 설명력이 0.9484~0.9993의 높은 범위를 보여준 반면, AI식이 0.5893~0.9961로 나타나, NI 투입방식에 의한 추정식의 설명력이 높게 나타났다. polymorphic식이 anamorphic

Table 6. Coefficients for general equation fitted to nonoverlapping and all possible interval of height, d.b.h and volume growth in recessive tree.

Growth factors	Equation	Input data	$r$	Parameters			R <sup>2</sup>
				$a$	$\beta$	$\theta$	
Height	Hossfeld P	NI	1.9939	3.8476	-	-	0.9920
		AI	1.8971	27.3729	-	-	0.9686
	Hossfeld A	NI	-	-	0.1680	0.0051	0.9353
		AI	-	-	0.0470	0.0212	0.5679
	Schumacher P	NI	-	4.4563	0.6203	-	0.9961
		AI	-	4.8130	0.5560	-	0.9962
	Schumacher A	NI	-	0.5679	12.2490	-	0.9949
		AI	-	0.4712	11.9095	-	0.9946
	C - R P	NI	0.0160	0.0252	0.4546	-	0.9995
		AI	0.0544	0.0724	0.8351	-	0.9737
	C - R A	NI	0.8238	-	0.1096	-	0.9987
		AI	0.8221	-	0.0901	-	0.5917
D.B.H	Hossfeld P	NI	3.3237	0.2825	-	-	0.9766
		AI	1.8700	-118.1263	-	-	0.9168
	Hossfeld A	NI	-	-	0.0811	0.0299	0.9442
		AI	-	-	0.0771	0.0043	0.4938
	Schumacher P	NI	-	15.5240	0.1252	-	0.9622
		AI	-	5.4766	0.5036	-	0.9464
	Schumacher A	NI	-	-0.2699	-2.6946	-	0.9622
		AI	-	0.0933	24.3670	-	0.9259
	C - R P	NI	1.0491	0.0972	-0.5193	-	0.9784
		AI	0.0891	0.0625	0.7692	-	0.9703
	C - R A	NI	0.4529	-	0.0294	-	0.9604
		AI	0.7465	-	0.0631	-	0.5325
Volume	Hossfeld P	NI	4.6774	-54.3203	-	-	0.3980
		AI	4.0400	0.1993	-	-	0.9216
	Hossfeld A	NI	-	-	1.1398	0.2156	0.3200
		AI	-	-	0.1506	3.0598	0.3200
	Schumacher P	NI	-	1.9722	0.8909	-	0.4300
		AI	-	1.1900	0.0004	-	0.8936
	Schumacher A	NI	-	0.1498	0.1163	-	0.2560
		AI	-	4.7213	0.0001	-	0.2553
	C - R P	NI	0.1124	0.0005	1.2401	-	0.4500
		AI	0.0097	0.0099	0.2439	-	0.9148
	C - R A	NI	0.0814	-	0.0004	-	0.4000
		AI	0.8469	-	0.0662	-	0.3617

**Table 7.** Estimation of fitness for nonoverlapping and all possible interval of height, d.b.h and volume growth in recessive tree.

Growth factors	Equation		Input data	Bias	SDD	MAD	SSRR
Height	Hossfeld	P	NI	0.1568	0.7298	0.6521	0.4507
			AI	-0.1356	1.5432	1.2083	2.2413
	Hossfeld	A	NI	1.3298	1.4221	1.5787	3.3864
			AI	5.2330	3.0333	5.2330	35.9728
	Schumacher	P	NI	0.1083	0.5294	0.4601	0.2360
			AI	0.0362	0.5845	0.4950	0.3202
	Schumacher	A	NI	0.0086	0.6047	0.5202	0.2926
			AI	0.0300	0.7475	0.6047	0.5225
	C - R	P	NI	2E-6	0.2220	0.1664	0.0396
			AI	-0.0704	1.1511	1.1908	2.1375
	C - R	A	NI	-0.0017	0.3052	0.2142	0.0745
			AI	3.6565	4.6875	4.8341	33.8771
D.B.H	Hossfeld	P	NI	0.7256	2.2947	1.6302	4.7393
			AI	0.2553	4.3148	3.6792	17.4418
	Hossfeld	A	NI	2.9668	2.2593	2.9668	12.8858
			AI	9.0282	5.7343	9.0282	122.1998
	Schumacher	P	NI	0.2339	2.1246	1.5311	3.6661
			AI	0.5575	2.8657	1.6716	7.9759
	Schumacher	A	NI	0.4188	2.3454	1.5929	4.5762
			AI	0.8928	4.0676	2.8959	16.2397
	C - R	P	NI	0.0000	1.2658	0.9623	1.2819
			AI	-0.1398	2.6091	1.9370	6.3731
	C - R	A	NI	0.2356	2.0313	1.3119	3.3565
			AI	6.7010	8.0628	8.6390	105.5785
Volume	Hossfeld	P	NI	0.0037	0.0081	0.0072	0.0007
			AI	0.0025	0.0343	0.0240	0.0011
	Hossfeld	A	NI	0.0202	0.0212	0.0202	0.0009
			AI	0.0771	0.0631	0.0771	0.0096
	Schumacher	P	NI	-0.0003	0.0055	0.0043	0.0002
			AI	0.0491	0.1860	0.0501	0.0347
	Schumacher	A	NI	0.0008	0.0070	0.0059	0.0004
			AI	0.0054	0.0291	0.0182	0.0008
	C - R	P	NI	1.44E-6	0.0027	0.0022	7.346E-6
			AI	-0.0003	0.0336	0.0285	0.0010
	C - R	A	NI	0.0002	0.0037	0.0030	0.0000
			AI	0.0596	0.0739	0.0714	0.0086

보다 生長函數에 대한 parameter의 추정력이 높게 나타났다. C-R polymorphic NI식의 설명력이 0.9993으로 다른 數式 보다 높게 나타났으며, anamorphic 형태에서 C-R NI식이 설명력이 높게 나타났고, Hossfeld AI식은 다른 數式에 비하여 설명력이 낮게 나타났다.

胸高直徑 生長 추정에 있어서 NI식이 AI식보다, 그리고 polymorphic이 anamorphic 보다 높은 설명력을 보여주고 있다. C-R anamorphic

AI식의 설명력이 0.5380, Hossfeld anamorphic AI식이 0.5091로 나타나 다른 數式에 비하여 설명력이 떨어졌다.

幹材積生長에 있어서, C-R polymorphic NI식의 설명력이 높게 나타났으며, 다음으로 Schumacher polymorphic NI, C-R anamorphic NI식이 높게 나타났으며, Hossfeld anamorphic AI, C-R anamorphic AI식은 낮은 설명력을 보여주었다.

적합성 검정 결과, 劣勢木의 樹高, 胸高直徑 그리고 幹材積生長을 가장 잘 표현하는 數式은 C-R polymorphic NI식으로 나타났다.

### 결 론

경남 진해 지역 화백임분에 대하여 Data투입 방식과 수식의 형태에 따른 수관급별 부위별 성장함수를 추정 한 결과, 優勢木의 樹高生長에는 Schumacher polymorphic AI 투입방식이 설명력과 적합성이 높았으며, 胸高直徑生長에는 C-R polymorphic NI식이, 幹材積生長에는 C-R anamorphic NI식이 높은 설명력과 적합성을 보여주었다.

準優勢木 樹高生長과 直徑生長에서는 C-R polymorphic NI 식이 설명력과 적합성이 높았으며, 幹材積生長에는 Hossfeld polymorphic AI 투입방식이 높은 설명력과 적합성을 보여주었다.

劣勢木에 있어서는 C-R polymorphic NI 투입 방식이 樹高, 胸高直徑 그리고 幹材積生長을 잘 推定하는 것으로 나타났다. 따라서 같은 지역에서 수관급의 형태에 따라 측정 부위별 적합한 수식의 형태는 다르게 나타나, 임목의 성장에 대한 적절한 표현과 예측은 상당히 복잡한 문제로 어느 한 식의 형태로 간단하게 표현하기에는 어려울 것으로 여겨지며 이에 대한 보다 많은 이해와 생물학적 변수 등의 사용도 고려해 보아야 할 것으로 사료된다.

### 인 용 문 헌

1. 권오복·이흥균·우중춘, 1982. 소나무림의 밀도관리에 관한 연구(I)- 단순 Logistic 곡선과 소나무림에 대한 그의 적용. 한국임학회지. 57 : 1-7.
2. 손영모·이경학·정영교, 1997. 非線型 生長函數를 이용한 林分生長 推定. 한국임학회지. 86(2) : 135-145.
3. 이경학·손영모·정영교·이우균, 1999. 강원도지방 소나무의 개체목 수관곡선 및 材積 推定시스템. 山林科學論文集. 62 : 155-166.
4. 정영교, 1994. 중부지방 잣나무林分の 地位

指數 推定에 관한 연구. 건국대박사학위논문. 85pp.

6. Borders, B. E., Bailey, R. L. and Ware, K. D. 1984. Slash Pine Site Index From polymorphic Model by Joining (Splining) Nonpolynomial Segments With an Algebraic Difference Method. Forest Sci. 30(2) : 411-423.
7. Borders, B. E., Bailey, B. L. 1986. A Compatible system of Growth and Yield Equation for Slash Pine Fitted with Restricted Three-Stage Least Squares. Forest Sci. 32(1) : 466-478.
8. Bruce, D. and F. X. Schumacher. 1950. Forest Mensuration(3rd.). McGraw-Hill, New York. 483.
9. Bruce E. B. 1987. Forest Growth Models : Parameter Estimation Using Real Growth Series. Proceedings of the IUFRO conference August 23-27, 1987, Minneapolis, minnesota. 660-667.
10. Devan, J. S. 1982. polymorphic Site Index Equations for Loblolly Pine Based on a Segmented Polynomial Differential Model. Forest Sci. 28(3) : 544-555.
11. Lee, S. H. 1998. Selection of Growth Projection Intervals for Improving Parameter Estimation of Stand Growth Model. Jour. Korean For. Soc. 87(1) : 40-49.
12. Pual, A. M. 1983. A Nonlinear Timber Yield Equations System for loblolly pine. Forest Science. 29(3) : 582-591.
13. Shin, M. Y. 1993. A Study on the development of individual tree volume equations by locality for Korean White pine. Kookmin Univ. Forest Science. 6 : 69-80.
14. Yang, Y. C. and F. H. Kung. 1987. Comparison of linear and non-linear regressions for analysis of volume growth of fryptomeria tree. J. Jpn. For. Soc. 60(8) : 315-320.

## 고창지역 삼나무 인공림의 흉고직경 생장 추정식<sup>1</sup>

이 상 현<sup>2</sup>

### Diameter Growth Equation for *Cryptomeria japonica* plantation in Gochang region<sup>1</sup>

Sang-Hyun Lee<sup>2</sup>

#### 요 약

본 연구는 남부지방 대표적 조림수종 중의 하나인 삼나무 (*Cryptomeria japonica*) 인공림의 흉고단면적 추정식을 도출하고자 장성지역에 인접한 고창 문수산에서 20본의 표준목을 선발하여 수간석해 실시 후 데이터를 이용하여 최적의 흉고직경 추정식을 선정하였다. 동형 및 다형 비선형 생장식을 데이터에 적합한 결과 다형 방정식이 동형 방정식보다 우수한 적합성을 보였고 이 중 Schumacher 다형식인  $D_2 = \exp(\ln(D_1)(T_1/T_2)^{0.891} + 3.665(1 - (T_1/T_2)^{0.891}))$  가 가장 우수한 식으로 판명되었다. 본 연구에서 제시된 삼나무림 직경생장 추정식은 독립된 데이터를 가지고 모형 검증을 바탕으로 남부지방의 대표적 조림수종 중의 하나인 삼나무 생장 추정과 경영에 필요한 정보로 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

#### ABSTRACT

This study was carried out to develop diameter of breast height equation for *Cryptomeria japonica*, which is one of the main plantation species in the southern regions of Korea. The 20 trees were selected for stem analysis at Mt. Moonsu, and the stem analysis diameter data were used for developing best fitting equation. Of the projection functions tested, polymorphic equation showed higher precision of the fitting than anamorphic equation, and Schumacher polymorphic equation of  $D_2 = \exp(\ln(D_1)(T_1/T_2)^{0.891} + 3.665(1 - (T_1/T_2)^{0.891}))$  showed the highest precision of the fitting among them. This equation, therefore, could be available as basic information for estimation of growth and management of *Cryptomeria japonica* stand.

*Key words* : diameter growth, polymorphic equation, *Cryptomeria japonica*

#### 서 론

삼나무는 1920년대 일본으로 도입된 수종으로서 1926년부터 10년간의 임업시험장의 시험장 1기 사업 시에 한반도의 전남, 경남 등 남부지방의 주요 조림 수종으로 식재되어 왔고 제주도에서는 방풍림으로 많이 이용되어져 왔다 (진

현호와 전상근, 1987; 조무행, 1989). 또한 제1차 치산녹화 기간에는 장기수로 선정되어 남부지방에 조림이 되었고 이후 현재의 제 4차 산림기본계획에 이르기까지 삼나무는 편백과 함께 우리나라 남부지방의 대표적 조림수종으로 여겨지고 있다.

그리고 장성 지방의 고 임종국 선생의 편백·

<sup>1</sup> 接受 2003年 5月 23日 Received on May 23, 2003.

<sup>2</sup> 전북대학교 산림과학부 Faculty of Forest Science, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea.

삼나무 조림 성공지는 국내 유일의 조림 성공지임에도 불구하고 체계적인 관리를 하지 못 하였으나 2002년 국유림으로 매수하여 사유림 경영의 역사성, 대경제 생산의 필요성, 학술적인 가치성 등으로 숲을 보전·관리하고 새로운 경영기법의 개발 등 경영 시범림으로 조성하여 미래임업을 위한 교육의 터전으로 운영 할 계획을 추진하고 있다 (2001, 서부지방산림관리청).

일반적으로 산림 경영은 초 장기적인 산업으로서 임목은 임령의 경과에 따라 성장을 하면서 임목의 변수인 직경, 수고, 재적 등의 양적 변화를 나타내기 때문에 이러한 변수들의 성장에 관한 사항을 파악하여 장래의 목재생산능력을 규명하는 일은 합리적인 산림관리에 필수적이다. 그러나 남부지방에 조림된 삼나무의 성장에 관한 연구는 부족한 실정으로 이에 대한 연구가 필요 할 것으로 판단된다.

현재까지 이루어진 삼나무 성장에 관한 연구로는 임목 간재적 추정 (이영진 등, 2001; 김영환, 1987)과 기상인자와 삼나무의 활착률, 직경 성장 및 수고성장과의 관계 (정영관 등, 1982) 등이 있으나 성장 모형에 추정에 관한 연구는 미흡한 편이다. 따라서 본 연구는 남부 지방의 대표적인 조림수종인 삼나무 조성지 중 우선 경영 시범지인 고창 문수산 삼나무림의 직경성장 추정식을 개발하여 삼나무 임분의 경영에 필요한 자료를 제공하기 위하여 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구대상지 및 재료

본 연구 대상지 및 재료는 전라남도 장성군 북이면과 인접한 전라북도 고창군 문수산의 삼나무림으로써 임분의 구조가 양호한 임분으로 표준지를 선정하였다. 임분 표준지의 크기는 20m×20m로 하였으며 20개의 표준지에서 표준지별로 매목조사를 실시하였다. 그리고 표준지의 임상이 피해목이나 피압목이 없는 양호한 산림이므로 임의추출법에 의해 1본의 표본목을 선별하여 벌채 후 수간석해를 실시하였다. 삼나무 표본목의 평균 수령은 25년이었고 평균 흉고직경과 수고는 각각 16.8cm, 13.0m이었다. 또한, 표본지의 경사도는 15~20.로서 비교적

완경사지이고, 토양형태는 적절한 갈색산림토양(B<sub>3</sub>)으로서 대부분 사양토였다(Table 1).

**Table 1.** A summary of sample plots statistics.

Number of Plots	Mean ages (years)	Mean DBH (cm)	Mean height (m)	Slope (°)	Soil type
20	25 (19-30)	16.8 (12-34)	13 (10-18)	15-20	B <sub>3</sub>

### 2. 연구방법

선발된 표본목은 벌채한 후 수간석해를 실시하여 임령에 따른 흉고직경을 측정하였다. 수간석해에 의해 측정된 흉고직경 기본 데이터는 추정식에 사용할 수 있는 projection형태로 배열하였고, 데이터 이용의 극대화를 위하여 모든 가능한 성장 측정기간을 포함하는 데이터(all possible interval data set)로 재배열 하였다.

최적 함수 도출을 위한 성장모형은 대수차분 방정식을 사용하였고, 주된 표준 통계 방법은 통계 프로그램인 SAS 6.12 버전(SAS Inc., 1999)을 사용하였으며 PROC NLIN 프로시저에서 비선형 최소사승 회귀(non-linear least squares regression)를 이용하였다.

성장추정에 가장 적합한 모형을 도출하기 위한 주된 통계 방법은 모형의 추정편의(estimation bias of model), 정도(precision), 실측치에 대한 추정치 잔차 평균 제곱(mean square error), 모형의 타당성 검증을 위한 도식화를 통한 잔차 패턴 분석 그리고 평균편차 등이다. 더불어 PROC UNIVARIATE 프로시저를 통하여 잔차통계량도 참조하였다. 통계량들은 어느 한 값에 중점을 두지 않고 각각의 통계량들을 종합적으로 분석하여 최적의 성장모형을 도출하였다.

성장추정에 널리 쓰이는 대수차분 방정식은 log-reciprocal(Schumacher 1939; Piennar and Turnbull, 1973; Goulding, 1979), Gompertz (Whyte and Woollons, 1990), 그리고 Hossfeld(Liu Xu, 1990)식 등이다. 그리고 대수차분 방정식은 Table 2와 같이 동형방정식(anamorphic)과 다형방정식(polymorphic)으로 구분되는데(Lee, 2000) 이들 함수식을 삼나무

**Table 2.** General form of projection equations applied to data.

Model Name		Equation Forms
Polymorphic	Schumacher	$D_2 = \exp(\ln(D_1)(T_1/T_2)^{\beta} + \alpha(1-(T_1/T_2)^{\beta}))$
	Chapman-Richards	$D_2 = (a/v)^{1/(1-\beta)}(1-(v/a)D_1^{(1-\beta)}\exp(-v(1-\beta)(T_2-T_1)))^{1/(1-\beta)}$
	Gompertz	$D_2 = \exp(\ln(D_1)\exp(-\beta(T_2-T_1) + v(T_2^{\gamma} - T_1^{\gamma})) + \alpha(1-\exp(-\beta(T_2-T_1) + v(T_2^{\gamma} - T_1^{\gamma}))))$
	Hossfeld	$D_2 = 1/((1/D_1)(T_1/T_2)^{\gamma} + (1/a)(1-(T_1/T_2)^{\gamma}))$
Anamorphic	Schumacher	$D_2 = D_1\exp(-\beta(1/T_1^{\gamma} - 1/T_2^{\gamma}))$
	Hossfeld	$D_2 = 1/((1/D_1) + \beta(1/T_2^{\gamma} - 1/T_1^{\gamma}))$
	Chapman-Richards	$D_2 = D_1((1-\exp(-\beta T_2))/(1-\exp(-\beta T_1)))^{\gamma}$
	Gompertz	$D_2 = D_1\exp(-\beta(\exp(v T_2) - \exp(v T_1)))$

$D_1$  = Diameter of trees at age  $T_1$ ,  
 $D_2$  = Diameter of trees at age  $T_2$ ,  
 Exp = exponential function,  
 ln = natural logarithm and  
 $\alpha, \beta, \gamma$  = coefficients to be estimated.

의 흉고직경 성장 추정을 위하여 사용하였다.

**결과 및 고찰**

성장 추정에 이용되는 Table 2의 동형과 다형의 대수차분 방정식 중 먼저 동형 방정식을 삼나무 직경 데이터에 적합한 결과 Table 3에 보이는 모형의 계수와 평균자승오차(MSE)를 얻었다. Table 3에서 보이는 바와 같이 모형의 적합성을 나타내는 지표로 사용되는 동형방정식들의 MSE값은 Gompertz 식과 Hossfeld 식은 상대적으로 Schumacher와 Chapman-Richard 식보다 '0'에 가까운 값을 보이지 않고 있었다.

**Table 3.** Coefficients for anamorphic equation fitted to data.

Model name	Coefficients			MSE
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	
Gompertz	0.035	-0.934		31.096
Chapman-Richard		0.083	-2.421	6.336
Schumacher	0.611	9.853		6.197
Hossfeld		-3.199	1.505	37.758

적합된 동형식들에 의하여 예측된 추정값들에 대한 잔차 분포 형태는 Gompertz식은 임령이 15년 까지는 파소추정을 보이고 이후로는 과대추정을 하여 전형적인 이분산성을 나타내었고 Hossfeld 식은 임령 20년까지 파소추정을 나타내어 심한 편의(bias)를 보였다. 그 중에서 비교적 적합도가 높은 Schumacher와 Chapman-Richard 동형식 역시 직경이 작을 때는 파소추정을 보였고 직경의 증가에 따라 과대추정을 하는 이분산성(heteroscedasticity)을 나타내고 MSE 값도 상대적으로 높아 모형이 적절하지 않음을 알 수 있었다. 동형식의 잔차 통계는 Table 4와 같다.

**Table 4.** Statistics of residuals with the anamorphic equations fitted to data.

Equation name	MSE	Mean of residuals	Skewness	Kurtosis
Schumacher	6.197	0.433	0.256	0.464
Chapman-Richard	6.336	0.438	0.138	0.569
Gompertz	31.096	2.512	4.952	0.634
Hossfeld	37.758	3.657	0.320	1.068

다형방정식을 데이터에 적합한 결과 후보 모형식 중 Chapman-Richard식을 제외한 나머지 식들은 편의가 없는 등분산성(homoscedasticity)을 가지고 있었다. Chapman-Richard식은 직경 15 Cm 부근에서 6-10 Cm 정도의 과소 추정을 하는 잔차 패턴을 가지고 있어 모형의 적절성에 한계를 나타내었다. 그리고 모형의 적절성을 평가하는데 기준으로 쓰이는 평균자승잔차 (MSE) 값은 Schumacher > Hossfeld > Gompertz > Chapman-Richard식의 순으로 낮은 값을 나타

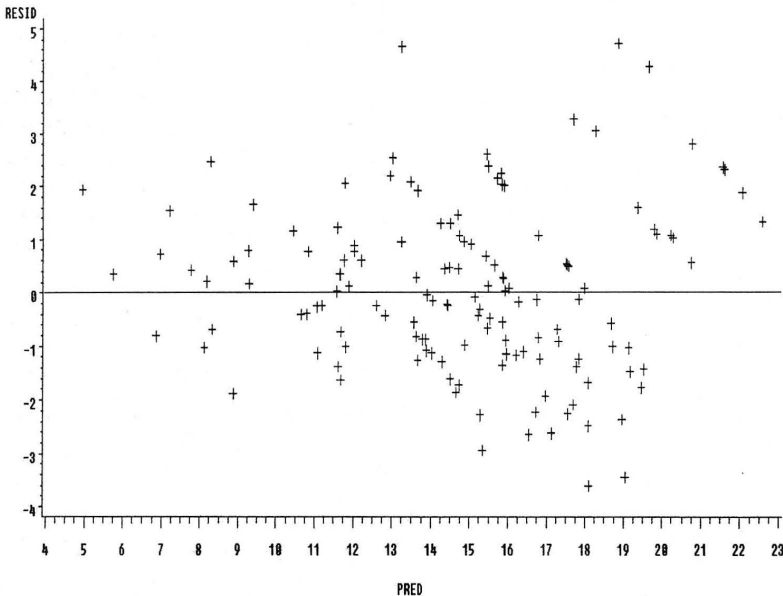
내었다(Table 5).

또한 Chapman-Richard식의 기울기를 나타내는  $\beta$ 계수와 모양 변수  $\nu$  는  $\alpha=0.05$  수준에서 유의성을 보이지 않았으나, 나머지 다형방정식의 각각의 계수는 95% 신뢰구간에서 '0'을 포함하지 않아  $\alpha=0.05$  수준에서 유의성을 나타내었다. 다형방정식에 의해 추정된 모형의 잔차값들은 Table 6과 같다. 가장 낮은 MSE 값을 보이는 Schumacher식의 잔차도는 Figure 1에 보이고 있는데 직경 20cm 이상에서 약간의 과소 추정을 보이고 있지만 전체적으로 특별한 편의가 없는 분포를 나타내고 있다.

**Table 5.** Coefficients for polymorphic equation fitted to data.

Model name	Coefficients			MSE
	$\alpha$	$\beta$	$\nu$	
Gompertz	3.457	0.149	0.002	3.065
Chapman-Richard	13.572	-0.560	0.019	5.649
Schumacher	3.665	0.089		2.445
Hossfeld	23.674		2.305	2.912

Table 6에서 MSE가 낮은 Schumacher식과 Hossfeld식을 비교해 보면, 잔차의 평균, 왜도, 첨도는 두 식 모두 비슷한 값을 가지고 우수함을 보이고 있다. 그러므로 잔차 분포 유형과 잔차값의 통계량을 비교해 볼 때 가장 낮은 MSE(2.45)를 가진 Schumacher 다형식이 삼나무 직경 추정에 적합한 것으로 판명되었다.



**Figure 1.** A plot of residuals against the predicted for diameter Schumacher polymorphic projection equation.

**Table 6.** Statistics of residuals with the poly-morphic equations fitted to data.

Equation name	MSE	Mean of residuals	Skewness	Kurtosis
Schumacher	2.445	0.066	0.385	0.301
Chapman-Richard	5.649	-0.246	1.405	2.480
Gompertz	3.065	0.092	0.451	0.131
Hossfeld	2.912	0.044	0.476	0.011

Schumacher 다형식에 의해 추정된 잔차의 평균은 0.066cm로서 약간의 과소 추정을 함을 나타내고 있으나 고도의 정확도(accuracy)를 보이고 있으며 왜도, 첨도 그리고 Shapiro-Wilk 값들은 각각 0.385, 0.301 과 0.98을 나타내어 잔차가 정규분포임을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서 제시된 삼나무림 직경생장 추정식은 독립된 데이터를 가지고 모형 검증에 바탕으로 남부지방의 대표적 조림수종 중의 하나인 삼나무 생장 추정과 경영에 필요한 정보로 이용 할 수 있을 것으로 판단된다.

**인 용 문 헌**

1. 김영환. 1987. 삼나무 입목 간재적표 조제에 관한 연구. 임업시험연보 34 : 22-31.
2. 서부지방 산림관리청. 2001. 편백 (삼나무) 관리 방안에 관한 WORKSHOP. 130pp.
3. 이영진 · 홍성천 · 김동근 · 오승환 · 김원수 · 조정웅. 2001. 삼나무 조림지의 입목 간재적 추정에 관한 연구. 한국임학회지 90(6) : 742-746.
4. 정영관 · 이부권 · 박남창. 1982. 기상인자와 삼나무 및 편백의 활착률, 직경생장 및 수고생장과의 관계. 경상대학교 논문집 21 : 117-

- 120.
5. 진현오 · 전상근. 1987. 삼나무의 엽형분류 및 생장특성에 관한 연구. 한국임학 회지 76(4) : 410-417.
6. 조무행. 1989. 원색한국수목도감. 아카데미서적. 498pp.
7. Goulding, C. J. 1979. Validation of growth models for *pinus radiata* in New Zealand. New Zealand Journal of Forestry 24(1) : 108-124.
8. Lee, S. H. 2000. Prediction of height growth and derivation site index equation. Korean Journal of Forest Measurements 3 (1) : 29-34.
9. Liu, Xu. 1990. Growth and yield of Douglas fir plantations in the Central North Island of New Zealand. Ph.D Thesis. School of Forestry, University of Canterbury, New Zealand. 244 pp.
10. Pienaar, L. V. and K. J. Turnbull. 1973. The Chapman-Richards generalization of Von Bertalanffys model for basal area growth and yield in even-aged stands. Forest Science 19 : 2-22.
11. SAS Institute Inc. 1990. SAS/STAT Procedures guide, Version 6, NC.
12. Schumacher, F. X. 1939. A new growth curve and its application to timber-yield studies. Journal of Forestry 37 : 819-820.
13. Whyte, A. G. D. and R. C. Woollons. 1990. Modelling stand growth of radiata pine thinned to varying densities. Canadian Journal of Forest Research 20 : 1069-1076.



## 경기도 잣나무림의 수관면적과 흉고직경생장에 관한 연구<sup>1</sup>

배상원 · 김석권<sup>2</sup>

### A Study on Crown Projection Area and DBH Growth in *Pinus Koraiensis* Plantations in Gyeonggi Province<sup>1</sup>

Sang-Won Bae and Suk Kuwon Kim<sup>2</sup>

#### 요 약

우리나라 잣나무인공림의 경우 인공조림지로서 차지하는 비중이 높고, 산림사업방법과 가지치기방법에 대한 연구가 진행되어 왔으나 현재까지 수관면적에 관한 연구자료가 부족하다. 따라서 본 연구는 잣나무인공림에 대한 수관특성 사례를 제시하고 우리나라 잣나무인공림의 무육을 위한 기초자료를 제공하고자 경기도 지역의 잣나무인공림을 대상으로 3영급과 6영급에 해당하는 임분에서 각각의 개체목에 대해 수고, 흉고직경, 수관폭을 조사·분석하였다. 그 결과 잣나무인공림의 흉고직경과 수관면적과의 일정한 상관관계식을 유도 할 수 있었으며, 이는 흉고직경과 수관면적을 이용한 잣나무 인공림의 생육단계별 적정 임목밀도조절을 위한 기초정보로 사용될 수 있을 것이다.

#### ABSTRACT

*Pinus koraiensis* is one of major planting species, so that various studies on silvicultural practices and measurement methods were carried out. But, study on crown projection area and crown characteristic is quite limited. For that reason, this study was performed to provide the fundamental information on relationship between crown projection area and DBH growth on *Pinus koraiensis* plantation in Gyeonggi Province. Data were collected from an old stand of age class VI and a young stand of age class III. As a result, equations of DBH on crown projection area were developed with high coefficient of determination. Optimal stand density control would be possible based on the equations.

*Key words* : *Pinus koraiensis*, crown projection area, diameter growth

#### 서 론

우리나라 산림면적중 침엽수가 차지하고 있는 부분은 약 260만 ha로 전체의 40%를 차지하고 있으며 이중 대표적인 조림수종으로는 낙엽송, 잣나무, 리기다소나무 등을 들 수 있다. 조림수

종중 우리나라 원산의 수종은 잣나무로 경기도, 강원도와 산악지역에 주로 조림이 되었으며 총 조림면적은 32.5만 ha이다(임업연구원, 2002).

현재 우리나라는 잣나무림에 대한 적정 사업 체계 확립을 위한 간벌, 가지치기에 관한 연구는 활발히 이루어지고 있으며, 특히 간벌간도

<sup>1</sup> 接受 2003年 6月 9日 Received on June 9, 2003.

<sup>2</sup> 임업연구원 Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea.

에 따른 생장변화, 임목본수변화, 임목형질 등이 중점적으로 조사·연구 되고 있는 실정이다. 연구·조사 주로 이용되는 주요인자는 흉고직경, 수고, 지하고, 수관폭 등으로 흉고직경과 수고는 임분조사의 필수적인 인자로서 측정이 되고 있으며 임목의 상층부에 위치하고 있는 수관 역시 임분구조나 임목의 경쟁상태를 정확히 파악하기 위해 반드시 필요한 측정인자이다.

특히 임목의 비대생장은 임목의 생장공간 즉 수관과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있으나 이에 대한 조사·연구가 미흡한 편으로 임분조사시 임목위치도와 연계하여 수관측정이 이루어 진다면 생장공간 효율성에 대한 명확한 판단을 내릴 수 있을 것이다(Assmann, 1961). 배상원과 김판기(2000)는 수관측정에 관한 연구에서 수관측정방법 및 수관면적 산정방법의 중요성을 피력하면서 소나무수관 조사결과 임분특성을 파악하기 위해서는 수관측정을 4~8방향으로 하는 것이 적합하고 하였다. Mayer(1958), Preushsler(1979) 등은 역시 3~16방향의 수관측정방법을 서민환(1993)은 신갈나무 임분에 대해 흉고직경과 수관면적의 상관계수를 밝힌 바 있다. 김희채 등은(2001)은 활엽수의 수관면적과 직경, 수령과의 상관관계를 밝힌바 있다.

수관의 형태는 생육단계에 따라 임분의 특성을 나타내고 있고 이에 따른 생육상태 또한 다르게 나타나 적정 시업을 적용함에 있어 흉고직경과 수관면적과의 관계 구명은 반드시 필요하다. 따라서 본 연구에서는 우리나라의 대표적인 조립수종중의 하나인 잣나무인공림의 영급에 따른 수관조사와 이에 의한 수관생장특성 등의 사례를 제시하여 우리나라 잣나무인공림의 무육을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지 개황

조사대상 임분은 경기도 가평군 측령산의 해발 230~400m사이에 위치한 3~6영급의 잣나무인공림으로 사면경사는 9~18도로 경사가 비교적 완만하며 남향사면의 산복부에 위치하고

있으며 조사임분은 3영급과 6영급 잣나무인공림을 대상으로 하였다.

### 2. 조사규모 및 조사항목

조사구의 크기는 임분의 구조와 수고에 따라 다양하게 조절하였으며 조사면적은 100~450m<sup>2</sup>으로 조사구 개소는 8plot이다.

6영급 잣나무임분에서는 조사구 크기는 직경 24m의 원형조사구(면적 450m<sup>2</sup>), 3영급 잣나무임분에서는 직경 6~8m의 원형조사구(면적 100~200m<sup>2</sup>)를 설치하여 조사하였다.

조사항목은 수종별 흉고직경, 수고, 수관폭 등이며 생장조사를 위하여 목편을 채취하였다. 흉고직경은 직경테이프를 이용하여 mm까지 측정하였으며 수고는 하가로프 수고측정기를 이용하여 0.1m까지 측정하였다. 수관폭은 수관중심으로부터의 거리를 0.1m까지 거리측정기를 이용하여 측정하였다.

### 3. 수관폭 측정 및 수관면적 산정

수관폭 측정은 임분사면을 기준으로 하여 4방향을 측정하였고 수관면적은 부분 원형 계산방법으로 수관면적을 산정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 임분구조

6영급 잣나무 조사임분은 해발 255~400m, 방위 120~188°, 산복부에 위치하며 사면경사는 9~18°이며 구성수종은 다른 수종이 혼효가 안된 잣나무 단순일제림이다. 관목층에는 굴참나무, 산뽕나무, 개웃나무, 갈참나무, 싸리나무 등이 나타났다.

임목본수는 ha당 273본, 평균수고 20.2m, 평균흉고직경 41.6cm, ha당 재적 303.2m<sup>3</sup>, ha당 흉고단면적 37.0m<sup>2</sup>로 임분의 형상비(h/d)는 49로 대단히 안정되어있는 것으로 조사되었다(Table 1).

3영급 잣나무조사임분은 해발 235~280m, 방위 188~195°, 산복부에 위치하며 사면경사는 10~18°이며 구성수종은 잣나무 단순 일제림이다. 관목층에는 쪽동백나무, 개웃나무, 생강나무, 싸리나무 등이 나타났다.

Table 1. General characteristics of stands.

Stand	Density (N/ha)	D.B.H. (cm)	Tree height (m)	H/D	basal area (m <sup>2</sup> /ha)	Volume (m <sup>3</sup> /ha)	Age (year)
old stand	273	41.6	20.2	49	37.0	303.2	51~59
		26.4~57.4	15.3~25.6				
young stand	821	21.2	12.9	62	29.1	182.2	21~31
		11.1~28.1	9.3~16.6				

임목본수는 ha당 821본, 평균수고 12.9m, 평균흉고직경 21.2cm, ha당 재적 182.2m<sup>3</sup>, ha당 흉고단면적 29.1m<sup>2</sup>로 임분의 형상비(h/d)는 62로 안정되어있는 것으로 조사되었다(Table 1).

1) 흉고직경급 분포 및 수고급 분포

6영급 잣나무 조사임분은 흉고직경급 26cm에서 58cm사이에 분포하며 분포폭은 22cm로서 직경급 42cm를 정점으로하여 왼쪽으로 치우친 분포를 보이고 있는 반면 3영급 잣나무 조사임분은 흉고직경급 10cm에서 26cm까지 분포하여 분포폭이 16cm이며 최대치는 흉고직경급 22cm로 왼쪽으로 약간 치우친 분포를 보이고 있다.

두 조사임분의 경급분포는 전형적인 형상을 보이고 있다. 6영급 임분에서 흉고직경급 26cm, 3영급 임분에서 10cm에 일부 임목이 분포하는 것은 피압된 잣나무가 생육을 하고 있기 때문인 것으로 여겨진다. 특히 잣나무는 내음성이 비교적 강하기 때문에 피압이 되어도 장기간 수관하에서 생육을 할 수 있는 특성이 있다.

수고급 분포는 Fig. 2에서와 같이 6영급 잣나무임분은 수고급 16m에서 26m까지 분포되어 있으며 수고급 20m에서 가장 높은 수치를 보이고 있는 반면 3영급 잣나무 임분은 수고급 10m에서 16m까지 분포되어 있으며 수고급 12m에서 가장 높은 수치를 보인다. 두 임분의 수고급 분포는 모두 약간 왼쪽으로 치우친 분포형을 보이고 있다. 6영급 임분의 분포폭은 10m, 3영급 임분의 분포폭은 6m로 나타나 6영급 임분의 분포폭이 크게 나타났다. 이러한 분포형의 차이는 6영급 임분에서는 이미 수고 경쟁에서 우열의 차이가 커져 중층에 잣나무가 생육을 하고 있는 반면 3영급 임분은 수고생장경쟁이 지속되고 있기 때문인 것으로 여겨진다.

2) 수관형태 특성비교

잣나무는 내음성이 강하여 피압이 된 후에도 계속 생육을 하기 때문에 층위별 수관의 크기와 수관이 중복되는 부분이 양수수종과는 차이가 날 수가 있으며 이러한 중복성은 임분의 특성을

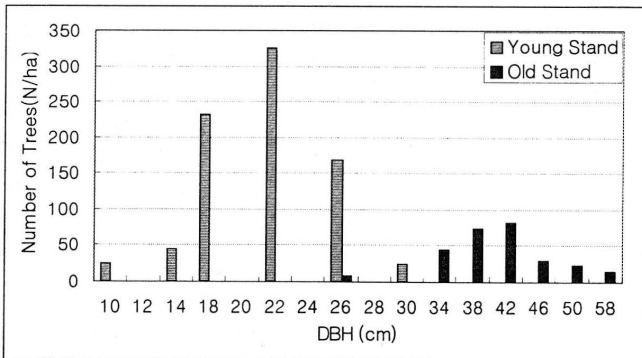


Fig. 1. DBH distribution of stands.

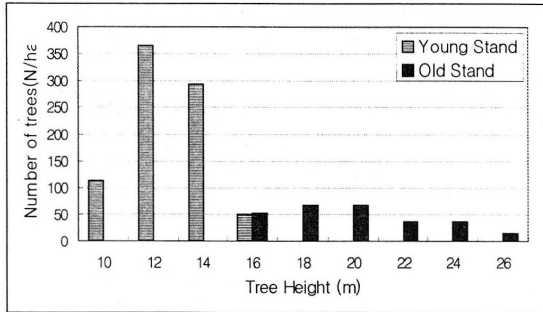


Fig. 2. Tree height distribution of stands.

파악하는데 매우 중요하다. 특히 임분의 생장 단계에 따라 수관 형태가 다르게 나타날 수 있으며 수관 경쟁상태를 파악 할 수 있다.

수관투영도는 Fig. 3에서와 같이 3영급 조사임분에서의 중복정도가 6영급의 중복 정도보다 심하게 나타나지만 2개 조사임분에서 모두 수관중복이 심하게 나타나고 있다. 이러한 높은 수관중복은 잣나무의 내음성에 기인한 것으로 보여진다. 이러한 수관특성은 임분 무육시에 고려하여야 할 중요한 인자이다.

고직경 25cm에서 9m~15m로 나타났으며 잣나무 6영급의 경우에는 흉고직경 40cm에서 17m~23m, 흉고직경 50cm에서 18m~26m로 나타났다. 이러한 분포는 잣나무 3영급의 흉고직경과 수고의 분포 범위가 좁고 임분층위가 아직 약하게 발달한 것으로 보이며 잣나무 6영급에서는 이미 층위발달이 발달하여 다양한 범위에 분포하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 차이는 잣나무림의 임령 차이가 있어 생장발달단계가 다른데 기인하는 것으로 판단된다.

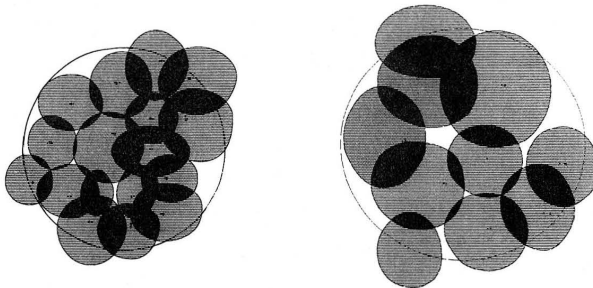


Fig. 3. Crown Projection Map (links young stand, rechts old stand).

### 2. 임분수고곡선

잣나무 3영급 임분의 수고곡선은 흉고직경 10cm~30cm사이에서 수고 10m~14m를 나타내며 6영급 임분에서는 흉고직경 30cm~55cm 사이에서 수고 15m~24m로 나타났다(Fig 4). 흉고직경에 따른 수고분포는 잣나무 3영급의 경우 흉고직경 20cm에서 수고 10.5m~15m, 흉

임분별 흉고직경에 따른 수고분포에 의해 결정된 잣나무 3영급 임분의 관계식은  $H = 6.6224 \ln(D) - 5.1646$ , 잣나무 6영급 임분의 상관관계식은  $H = 5.6136 \ln(D) - 2.7637$ 로 나타났으며 두 임분의 수고곡선 기울기는 잣나무 3영급의 수고곡선이 약간 완만하나 영급간에 큰 차이는 없었다.

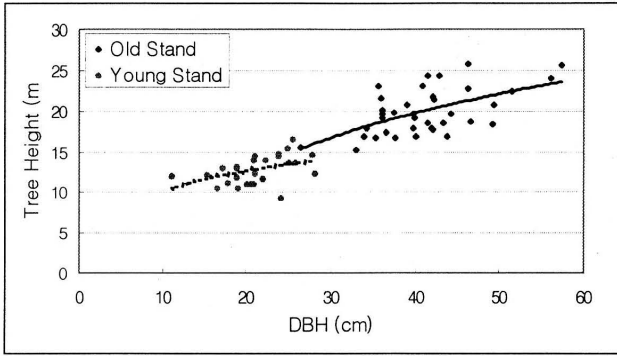


Fig. 4. Stand height curve.

3. 흉고직경과 수관면적의 관계

Fig. 5에서와 같이 잣나무 3영급과 6영급 인공림의 수치를 전체적으로 보면 흉고직경에 따른 수관면적은 흉고직경 15cm에서 수관면적 12~18㎡ 사이에 분포하고 흉고직경 20cm에서 수관면적 10~26㎡, 흉고직경 40cm에서 수관면적 30~60㎡, 흉고직경 50cm에서 수관면적 50~98㎡로 나타나 흉고직경이 커질수록 수관면적이 커지고 이와 동시에 수관면적 분포폭도 넓게 나타났다. 이러한 분포의 차이는 잣나무가 음수수종으로 임령이 높아지고 흉고직경이 커짐에 따라 피압이 된 잣나무가 고사를 하지 않고 함께 생육을 하기 때문에 흉고직경이 커질수록 수관면적 분포폭도 커지는 것으로 여겨진다.

흉고직경과 수관면적에 대한 잣나무림의 관계식은 수관면적=45.358 Ln(흉고직경)-118.04, 결정계수는 0.74723으로 서민환(1993)의 신갈나

나무림의 결정계수가 0.92인 것에 비해 상당히 낮은 수치를 보이고 있는데 이것은 서민환(1993)의 연구가 수관 측정방법에 있어 수관폭 측정시장·단경의 타원형공식을 사용하여 면적을 계산한 반면 본 연구에서는 4방위의 수관폭 측정방식을 택했기 때문에 차이가 발생한 것으로 사료되며, 동일한 측정방법과 수관면적산정방법으로 조사된(김희채 등, 2001) 자작나무인공림의 관계식은 수관면적=17.517 Ln(흉고직경)-27.99로 결정계수는 0.8532이었다. 자작나무 인공림과 잣나무 인공림의 흉고직경에 따른 수관면적 상관관계식의 결정계수의 차이는 자작나무는 양수수종으로 피압목의 경우 고사가 빨리되는 반면 잣나무는 음수수종으로 피압이 된 상태에서 장기간 생육을 하기 때문에 흉고직경생장에 따른 수관면적분포폭이 다르기 때문인 것으로 여겨진다.

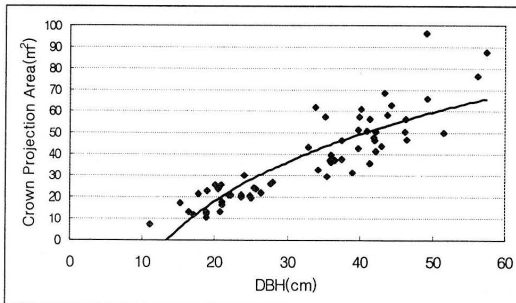


Fig. 5. Crown projection area curve.

**결 론**

잣나무 인공림의 수관면적과 흉고직경생장과  
의 관계를 구명하고자 경기도지역의 잣나무 인  
공림을 대상으로 생장특성을 조사한 결과 다음  
과 같다.

잣나무 3영급 인공림 임목본수는 ha당 821  
본, 평균수고 12.9m, 평균흉고직경 21.2cm,  
ha당 재적 182.2.4m<sup>3</sup>, ha당 흉고단면적 29.1m<sup>2</sup>  
로 비교적 임목본수가 적정한 임분으로 흉고직  
경급 22cm이하에 주로 분포하고 있었고 잣나  
무 6영급 인공림의 임목본수는 ha당 273본, 평  
균수고 20.2m, 평균흉고직경 41.6cm, ha당  
재적 303.2m<sup>3</sup>, ha당 흉고단면적 37.0m<sup>2</sup>의 대경  
목이 주로 생육하는 임분이다.

잣나무 인공림의 임분수고곡선은 완만히 서  
서히 상승을 하고 있으며 3영급 임분의 수고곡  
선이 6영급 임분의 수고곡선보다 완만하게 나  
타났다.

잣나무 흉고직경과 수관면적과의 관계식은 잣  
나무 : 수관면적=45.358 Ln(흉고직경)-118.04  
(결정계수 : 0.74723)로 나타나 이 관계를 잣나  
무적정밀도를 위한 기초정보로 이용될 수 있을  
것으로 사료된다.

**인 용 문 헌**

1. 김희채 · 배상원 · 김석권. 2001. 활엽수림의

수관면적과 직경생장과의 관계에 관한 고  
찰. 한국측정학회 4(2) : 34-39.  
2. 배상원 · 김판기. 2000. 소나무 임분의 수관  
측정밀도와 수관투영단면적 산정에 관한 고  
찰. 한국측정학회 3(2) : 28-34.  
3. 서민환. 1983. 신갈나무림의 임분구조와 갱  
신체계. 서울대학교 대학원 박사학위논문.  
4. 임업연구원. 2002. 경제림 육성을 위한 산림  
실태조사(내부자료).  
5. Assmann, E. 1961. Waldtragskunde.  
BLV Verlagsgesellschaft Muenchen-  
Bonn-Wien.  
6. Mayer, R. 1958. Kronengroesse und  
Zuwachsleistung der Traubeneiche auf  
sueddeutschen Standorten. AFJZ 129 :  
105-114, 151-163, 191-201.  
7. Preuhsler, T. 1979. Ertragskundliche  
Merkmale oberbayerischer Bergmischald  
Verjuengungbestaende auf kalkalpinen  
Standorten im Forstamt Kreuth.  
Forshungsbericht der Forstlichen  
Forschungsanstalt Muenchen. Heft 45.  
8. Roehle, H. and Huber, W. 1985.  
Untersuchungen fuer Methode der  
Ablotung von Kronenradien und der  
Berechnung. Forstarchiv. 56(6) : 238-  
243.

## 독일에서의 택벌림 임분구조와 단순 교림의 택벌림 전환<sup>1\*</sup>

임주훈<sup>2</sup> · 배상원<sup>2</sup>

### Stand Structure of the Selection Forest and Conversion of the Pure High Forest to the Selection Forest in Germany<sup>1\*</sup>

Ju-Hun Lim<sup>2</sup> and Sang-Won Bae<sup>2</sup>

#### 요 약

택벌림의 임목 축적은 별도의 택벌림 임분 수고급과 단목 재적표를 바탕으로 하여 산정을 하여야 하며, 산정 수종은 전나무(*Abies alba*)와 독일가문비나무(*Picea abies*)이다.

독일의 택벌림, 택벌 전환림, 단순림의 임분 구조는 경급 분포에서 택벌림은 전형적인 역J자 분포, 단순 교림은 중형 분포를 보이고 택벌 전환림은 중간 분포를 보이며 임분의 안정성을 보이는 h/d값은 택벌림에서는 모든 경급에서 80 이하 그리고 대경목에서는 60 이하를 보여 가장 안정된 수치를 보였다. 임분 재적은 택벌림, 택벌 전환림, 단순 교림의 순으로 나타났다.

한국에서의 단순 교림의 택벌림 전환은 조사 임분의 경우 60년 이상이 걸릴 것으로 산정되었으며 택벌림 경영이 가능한 숲은 전나무 숲으로 예상되었다.

#### ABSTRACT

Stand volume of selection forests of *Abies alba* and *Picea abies* in Germany was calculated using the table of stand height classes and the table of volume of single tree.

Distribution pattern of DBH classes in selection forest was reversed-J shaped, that in pure high forest was bell shaped, and that in the forest being in conversion from pure high forest into selection forest was wide-bell shaped. The values of h/d indicating a degree of stand stability were lower than 80 at every DBH class of the selection forest and lower than 60 at large diameter class. These low values show that the selection forest stand is most stable among three forests. Stand volume was largest in the selection forest followed by those of the conversion forest and the pure high forest.

It was estimated that conversion of the pure high forest into the selection forest in Korea would require over 60 years. Only the forest stands of *Abies holophylla* were expected to be candidate stands that can be converted into the selection forests.

*Key words* : conversion to selection forest, pure high forest, *Abies alba*, *Picea abies*, *Abies holophylla*

<sup>1</sup> 接受 2003年 6月 20日 Received on June 20, 2003.

<sup>2</sup> 임업연구원 Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea.

\* 본 논문은 1992-1993년 독일 Freiburg대학교 Waldbau Institute 방문연구 결과임.

## 서 론

최근 급속한 경제 성장과 인구 증가로 말미암아 산림자원의 가치가 변화하고 있다. 과거 산림은 목재 공급 위주의 경영을 지속해 왔다. 그러나 오늘날에는 목재로서의 가치보다는 산림이 존재함으로써 부수되는 경관적 가치, 환경적 가치가 더 크게 부각되고 있다. 이와 같은 가치의 생산을 지속하기 위해서는 산림은 오랫동안 임목이 서 있는 상태로 유지되어야 하며 특히 택벌림과 같이 항상 임목이 유지되는 것이 좋다. 택벌림은 윤벌기(輪伐期)가 없이 지속적으로 생산과 수확을 할 수 있는 이상적인 숲으로 알려져 있다.

택벌림은 독일, 스위스, 불란서 등 유럽국가들의 오지에서 농용림으로 사용한 전통적인 경영 방식이다. 택벌림의 구성 수종은 *Abies alba*, *Picea abies* 등 내음성 수종으로 이루어져 있으며 임목이 상당 기간 성장하여 대경목이 되었을 때 단목(單木) 상으로 벌채 이용하는 작업법을 적용하기 때문에 유령목으로부터 노령목에 이르기까지 다양한 수고급과 직경급을 가진다.

우리나라에는 아직까지 인위적으로 택벌림을 조성한 사례가 없으며 또한 이에 관한 연구가 미비한 형편이다. 단지 가리왕산 산학협동 과제에서 택벌림 전환 사업과 연구가 실시되고 있고 점봉산 지역의 전나무림에 대한 택벌림 구조에 관한 연구가 있을 뿐이다.

본 연구의 목적은 독일의 택벌림 지역에서 전형적인 택벌림과 택벌림으로의 전환지의 임분 구조를 비교함으로써 우리나라의 택벌림 전

환 시업에 관한 적용 방향을 제시하는데 있다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구 대상지

조사지역은 독일 남부에 위치한 Schwarzwald Wolfach 지역으로 조사 임분은 택벌림과 단순 교림, 20년 전부터 택벌림으로 전환을 시작한 임분이다.

조사 대상 임분의 수종 구성은 아래와 같다.

- 택벌림 : 전나무(*Abies alba*), 독일가문비나무(*Picea abies*)
- 택벌 전환림 : 전나무(*Abies alba*), 독일가문비나무(*Picea abies*), 너도밤나무(*Fagus sylvatica*)
- 단순 교림 : 독일가문비나무(*Picea abies*)

### 2. 조사방법

조사지역내에서 격자 구조로 조사구를 선정하였으며 총 조사구 숫자는 28개소로서 택벌림 15개소, 택벌 전환림 8개소, 단순 교림 5개소였다. 조사구의 크기는 200m<sup>2</sup>이며 조사내용은 수종별 직경, 수고, 지하고 등이다.

택벌림의 임분 재적 계산은 택벌림 단목 재적표를 이용하여 산정하였으며 단순 교림의 임분 재적은 Schober(1987)의 임분 재적표를 이용하였다. 임분 재적 계산은 영림 계획 작성 보조표(Landesforstverwaltung Ba-Wue, 1966) 중 Table 1을 이용하여 임분 수고 등급을 결정한 후 Table 2로 단목 재적을 산정하였다. 수고 등



(A)



(B)

Photo 1. Photos showing stand structure of a selection forest(A) and a forest being in conversion from pure high forest to selection forest(B).



**Table 1.** Tree height classes of the selection forests of *Picea abies* and *Abies alba* in Germany.

<i>Picea abies</i>						<i>Abies alba</i>					DBH Class (cm)
DBH Class (cm)	Tree Height Class					Tree Height Class					
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	
2 (8.5)	6.8	6.3	5.9	5.6	5.2	6.4	6.0	5.6	5.3	5.1	2 (8.5)
4 (16)	13.8	12.7	11.6	10.9	10.1	13.5	12.4	11.5	10.7	10.0	4 (16)
6 (24)	21.0	19.3	17.5	16.3	15.2	20.0	18.2	16.7	15.4	14.3	6 (24)
8 (32)	26.3	23.8	22.0	20.2	18.8	25.0	22.5	20.5	18.8	17.5	8 (32)
10 (40)	30.4	27.4	25.5	23.3	21.7	28.8	25.8	23.4	21.4	19.8	10 (40)
12 (48)	33.5	30.4	28.0	25.8	23.9	31.8	28.4	25.6	23.3	21.6	12 (48)
14 (56)	35.9	32.4	29.6	27.3	25.1	34.1	30.3	27.3	24.8	22.9	14 (56)
16 (64)	37.7	33.8	30.7	28.0	25.8	35.9	31.9	28.7	26.0	24.0	16 (64)
18 (72)	39.4	34.9	31.4	28.4	26.1	37.4	33.1	29.8	26.9	24.8	18 (72)
20 (80)	40.7	35.9	32.1	28.5		38.6	34.2	30.7	27.7	25.5	20 (80)
22 (88)	41.9	36.8	32.6			39.7	35.1	31.4	28.3		22 (88)
24 (96)	43.0	37.5				41.0					24 (96)
25 (100)	43.5										25 (100)

급이 낮은 경우에는 보정계수를 이용하였다.

**결과 및 고찰**

**Table 2.** Tree volume estimates by tree height classes of the selection forest in Germany.

<i>Picea abies, Abies alba</i>			
DBH Class inch(cm)	Volume m <sup>3</sup>	DBH Class inch(cm)	Volume m <sup>3</sup>
2(8.5)	0.013	18( 72)	6.597
4(16)	0.163	20( 80)	8.282
6(24)	0.508	22( 88)	10.157
8(32)	1.045	24( 96)	12.225
10(40)	1.772	26(104)	14.483
12(48)	2.692	28(112)	16.933
14(56)	3.802	30(120)	19.575
16(64)	5.104	32(128)	22.407

**1. 수종 구성 및 임목 분수**

택벌림(Selection forest)의 경우 전나무, 독일가문비나무가 주를 이루고 있으나 전환림(Conversion-selection forest)은 독일가문비나무, 전나무, 너도밤나무로 구성되었고 단순 교림(High forest)은 독일가문비나무 단일 수종으로 구성되어 있다(Table 3).

**2. 직경급별 분수 분포**

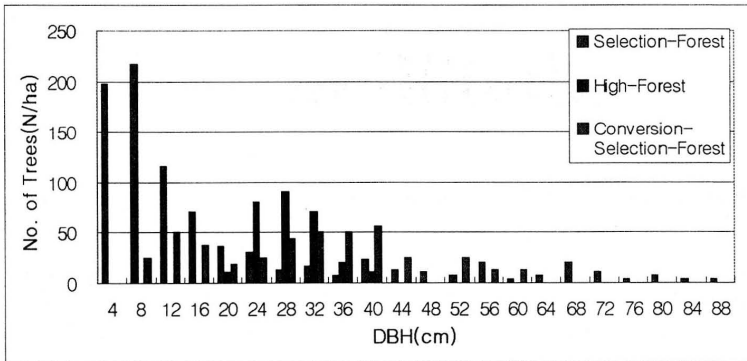
직경급 구조를 분석한 결과, 택벌림의 경우에는 직경급 8cm부터 88cm까지 80cm의 넓은 분포 폭을 보이고 있으며 직경급이 높아질수록 임목분수가 감소하는 경향을 보였다(Fig. 1).

**Table 3.** Comparison of tree species composition and the number of trees in three different forests.

Forest types	Total number of trees	Number of trees		
		<i>Abies alba</i>	<i>Picea abies</i>	<i>Fagus sylvatica</i>
Selection forest	833	433	400	-
Conversion-selection forest	431	143	275	12
High forest	466	-	466	-

택벌 전환림의 경우에는 직경급 12cm과 40cm에서 정점을 이룬 후 급격히 감소를 하여 직경급 60cm까지 분포하고 있다. 직경급 분포 폭은 8cm에서 60cm사이로 택벌림 보다는 좁게 나타났다. 이와는 달리 단순 교림의 경우에는 직경급 28cm에서 정점을 이루고 있으며 직경급 분포폭이 20cm에서 40cm 사이로서 20cm에 불과하여 조사임분 중 가장 낮은 직경급 분포 특성을 보였다.

택벌림의 수종별 경급분포는 Fig. 2에서와 같이 낮은 경급에서는 독일가문비나무와 전나무가 많이 분포하고 있으며 경급 12cm부터는 전나무의 점유율이 독일가문비나무 보다 매우 높게 나타났다. 특히 경급 28cm 이상에서는 대부분 전나무만 나타났으며 경급 70cm 이상에서는 전나무만 분포하고 있다. 이러한 수종별 경급 분포는 연구 대상 택벌림의 임분 구조를 이루고 있는 수종이 전나무인 것을 의미하며 내용



**Fig. 1.** Distribution patterns of DBH classes in three different forests.

전체적으로 보면 택벌림의 직경급 분포는 전형적인 ‘역J형 곡선’을 이룬다. 즉, 소경목의 경우에는 개체수가 많고 직경급이 증가 하면서 급격히 감소하다가 그 후 완만한 증감을 보이는 특성을 가진다. 교림에서 택벌림으로 전환중인 임분의 경우에는 택벌림 보다는 낮은 직경급에 단순 교림보다는 분포 영역이 넓고 임목본수가 적으며 정점이 두 곳에 나타나는 분포 특성을 가진다. 단순 교림은 택벌림이나 택벌 전환림 보다 낮은 직경급에 폭이 좁고 왼쪽으로 기운 중형 분포를 나타내고 있다.

성이 전나무보다 약한 독일가문비나무의 경우 치수 시기에는 전나무보다 임목본수가 많지만 시간이 경과함에 따라 감소한 것으로 사료된다. 택벌 전환림의 경우에는 전나무와 독일가문비나무 이외에도 너도밤나무가 출현하고 있으나 주를 이루고 있는 수종은 독일가문비나무이며 거의 모든 경급에서 우위를 점하고 있는 반면 전나무는 경급 12cm 이하에서만 독일가문비나무 보다 많다. 전환림에서의 이러한 수종별 분포는 택벌림으로 바뀌어 가는 과정에서 나타나는 현상으로 볼 수 있으며, 특히 전나무가

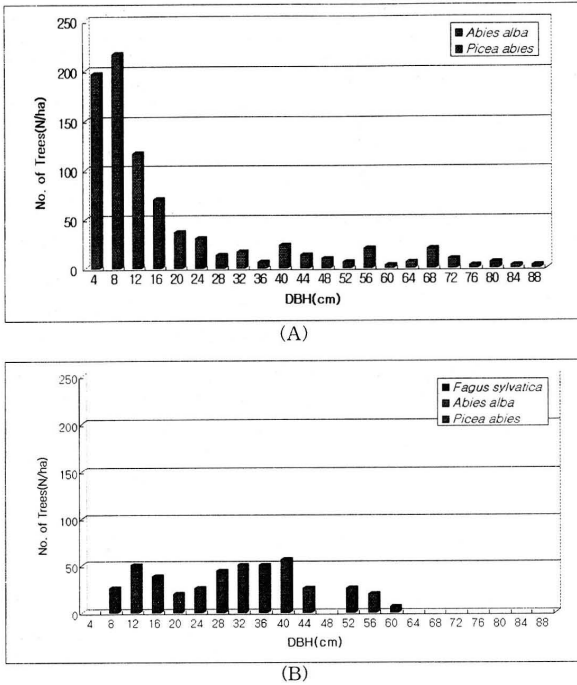


Fig. 2. Distribution patterns of DBH classes for three different tree species in the selection forest(A) and the conversion forest (B).

낮은 경급에서 많이 분포하는 것은 수종 특성인 내음성을 이용한 택벌림 전환 작업이 진행 중인 중간 과정에서 나타나는 결과로 볼 수 있다. 이러한 구조는 시간이 경과함에 따라 전나무의 비중이 높아질 것으로 여겨진다.

택벌림 경급 분포에서 나타나는 낮은 경급과 높은 경급의 임목이 전환림에서 나타나지 않은 것은 택벌림으로 전환되어 가는 도중에 나타나

는 현상으로 볼 수 있다. 이러한 현상은 Table 4에서와 같이 경급별 임목축적 분포에서 명확히 알 수 있다. 택벌림의 경우 흉고직경급 6cm 이하에서 150~200본, 70cm 이상에서 20~30본이 나타나는 반면, 보통의 택벌림에서는 70cm 이상인 임목본수가 적다. 택벌림의 경우 70cm 이상의 임목이 26본 이상으로 축적이 높아지는 경향의 임분 구조로 볼 수가 있다. 이와는 달리 전

Table 4. Stand volume for each forest type and the number of individuals by DBH classes for each forest type.

Forest types	Volume (m <sup>3</sup> /ha)	Individuals by DBH classes						Total
		<6	6-14	14-30	30-50	50-70	>70	
Conversion-Selection-Forest	472	-	75	125	181	50	-	431
Selection-Forest	561	197	333	150	70	57	26	833
Selection-Forest after Koestler(1956) <sup>1)</sup>	785	202	243	158	64	78	38	783
Selection-Forest after Koestler <sup>2)</sup>	535	145	125	116	124	71	-	581

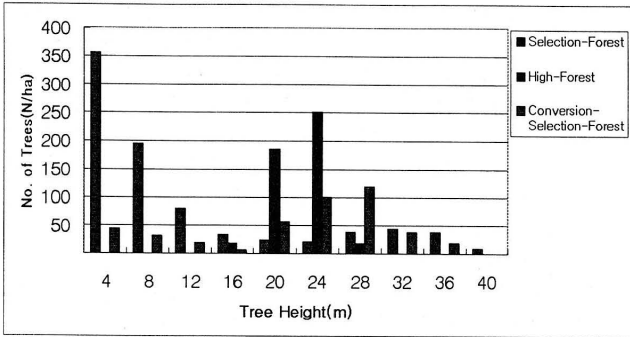


Fig. 3. Distribution patterns of tree height for each forest type.

환림은 직경 6cm 이하와 직경 60cm 이상에서는 전혀 나타나지 않는다. 이러한 경급분포를 전체적으로 보면 전환림의 경우 60cm 이상의 대경목이 전혀 없어 대경목 숫자가 대단히 부족한 것으로 나타났다.

### 3. 수고급 분포

택벌림은 낮은 수고급에서 수고급 40m까지 임목본수가 감소를 하며 분포폭이 직경급 4m부터 40m까지 넓은 분포폭을 보이고 있으며 수고급 12m까지 임목본수의 감소현상이 급속히 이루어지고 그후에는 큰 변화를 보이지 않는 비교적 균일한 분포를 보이고 있다(Fig. 3). 전환림의 경우에는 수고급 4m에서 수고급 16m까지 서서히 감소를 하다가 이후 비교적 급하게 증가하여 수고급 28m에서 정점을 이룬 후 급격히 감소를 하여 수고급 36m까지 분포한다. 전환림의 수고급 분포폭은 4m에서 36m 사이로 택벌

림보다는 좁게 나타났다. 이와는 달리 단순 교림의 경우에는 수고급 24m에서 정점을 이루고 수고급 16에서 28m사이로 분포폭이 12m에 불과하여 조사임분중 가장 낮은 분포폭을 보였다. 직경급 분포형태와 유사하지만 전체 수고분포 폭이 거의 40m에 달한다는 것은 택벌림 내에 수직적 공간이 대단히 크다는 것을 의미한다. 즉, 독일의 택벌림이 다양한 수직적 다양성을 나타내는 것으로 보이며, 전환림의 경우도 이와 유사한 공간을 차지하고 있으나 수고 20m의 공간을 아직까지는 충분히 이용을 못하고 있으며 단순 교림의 경우에는 단층림의 전형적인 폭이 좁은 중형분포를 보이고 있다.

### 4. 임분 수고 곡선 비교

택벌림의 수고 곡선은 흉고직경 20cm까지는 비교적 급히 상승하지만 이후 완만히 상승을 하고, 택벌 전환림에서는 직경 25cm까지 급하

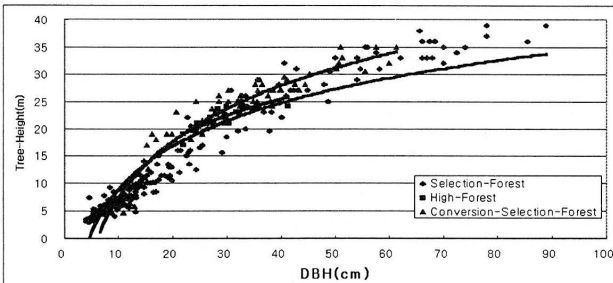


Fig. 4. Stand height curves for each forest type.

게 상승하고 이후 완만히 상승하는 경향을 보이며 택벌 전환림의 곡선은 전반적으로 택벌림의 곡선보다 급하게 나타났다(Fig. 4). 이러한 차이는 택벌림과 택벌 전환림의 임분 구조의 차이와 택벌림의 주수종이 전나무인 반면 택벌 전환림의 주수종이 독일가문비나무이어서 두 수종 간의 성장 특성 차이에 의해 나타나는 것으로 볼 수 있다. 독일가문비나무 단순 교림의 임분 수고 곡선은 구간이 짧고 곡선이 가장 완만하게 나타나고 있어 택벌림과 택벌 전환림과 임분 구조에 큰 차이가 있음을 보여주고 있다.

5. h/d값

h/d값은 임분과 임목의 안정도를 나타내는 수치로서 Fig. 5에서와 같이 임분에 따라 다양한 수치를 보인다.

택벌림에서는 모든 경급에서 h/d값이 80 이하로 나타나며 흉고직경 60cm 이상에서는 h/d값이 60 이하로 나타나고 있어 임목이 안정되어 있는 것으로 볼 수 있으며 특히 바람을 직접 맞는 면적이 큰 대경목은 거의 독립목 형태로 자란 임목 수준의 h/d값 60 이하가 나타나 대경목도 대단히 안정되어 있다. 이와는 달리 택벌 전환림의 경우 흉고직경 12cm까지는 h/d값이 70 이하로 나타나고 16cm에서 32cm까지는 h/d값 80-100까지 나타나며 이후 h/d값이 80 이하로 감소하고 직경급 652cm 이상에서는 h/d값이 60 이하로 감소한다. 이러한 수치는 택벌 전환림에서는 상층목으로부터 적절한 비음이 안

된 상태로 왕성하게 자라는 중경목이 많기 때문인 것으로 보인다. 특히 택벌림 구조로 전환하는 과정에서 나타나는 현상으로 볼 수 있다. 독일가문비나무 단순 교림의 경우 직경 24cm-28cm 사이의 임목 h/d값 80 이상을 보이고 직경 32cm이상의 임목은 h/d값 80 이하의 수치를 보이고 있는데 이러한 경향은 직경급이 작은 임목은 피암이 되는 상태로 수고성장보다는 비대생장이 약하기 때문인 것으로 보인다. 전체적으로는 독일가문비나무 단순 교림의 임목본수가 비교적 낮기 때문에 주임목의 h/d 수치가 비교적 낮게 나타나 임분이 안정적인 것으로 볼 수 있다. h/d값이 80 이하일 때 임분이 안정된다는 Abetz(1975)에 따라 조사 임분들의 h/d값을 비교하면 택벌림이 가장 안정되어 있고 택벌 전환림과 임목본수가 비교적 작은 독일가문비나무 단순 교림이 거의 비슷한 수준을 보이는 것으로 여겨진다.

6. 임분재적

택벌림의 재적은 561m<sup>3</sup>/ha, 전환림은 472m<sup>3</sup>/ha, 단순림 326m<sup>3</sup>/ha로 택벌림의 임분 재적이 가장 높게 나타났다. 조사 임분의 소경목, 중경목, 대경목별 재적 분포는 Fig. 6과 같이 택벌림에서는 소경목 30m<sup>3</sup>/ha, 중경목 117m<sup>3</sup>/ha, 대경목 412m<sup>3</sup>/ha로 대경목이 전체의 70% 이상을 차지하고 있는 반면 택벌 전환림에서는 소경목 24m<sup>3</sup>/ha, 중경목 283m<sup>3</sup>/ha, 대경목 164m<sup>3</sup>/ha로 중경목이 전체의 60% 이상을 차지하

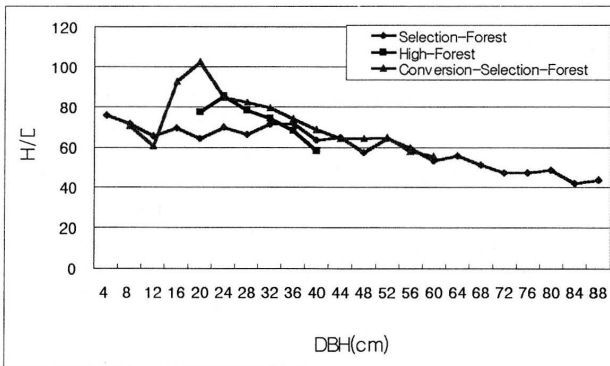


Fig. 5. H/d curves for each forest type.

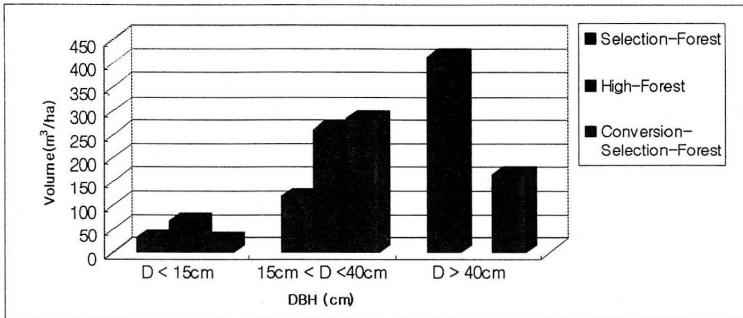


Fig. 6. Stand volume by DBH classes for each forest type.

고 있다. 이와는 달리 단순 교림에서는 소경목 65m³/ha, 중경목 260m³/ha로 중경목이 대부분을 차지하고 있다.

### 7. 택벌림으로의 전환 소요 기간

택벌림의 임목의 최대 직경급은 80cm로 나타났으며 그 이상의 대경목은 임분 내에 생육하고 있지 않고 있다. 이러한 직경급 분포를 기준으로 보면 택벌림 내에서의 수확 대상이 80cm급으로 볼 수 있다. 택벌림의 수고급은 40m가 최대치로 나타났다. 택벌 전환림의 경우 직경급 60cm가 최대치로 나타났으며 수고급 최대치는 36m로 나타났다.

임분 유형별 직경 성장 특성을 보면 단순교림에서는 직경 40~80cm 사이에서 급격한 성장을 보이는 반면 택벌림에서는 유년기에는 낮은 직경생장을 보이지만 이후 지속적으로 상승하여 이 수준을 지속적으로 유지한다(Kramer, 1988). 스위스의 택벌림 직경 성장에 관한 조사(Schuetz, 2001)에서 Emmental 지역의 택벌림에서 직경 40cm 이상의 임목의 직경 생장이 5mm이고 고산대 택벌림에서는 2mm 정도로 나타났다. 지역에 따른 택벌림의 직경 성장을 감안하면 본 조사 임분은 Emmental 지역에 해당이 된다. 택벌 전환림이 택벌림 구조로 전환되기 위하여서는 우선적으로 직경 80cm는 되어야 가능하다. 조사 지역의 택벌림과 택벌 전환림 간의 직경 차이는 20cm가 된다. 직경 성장량이 5mm/년을 기준으로 하면 택벌 전환림이 직경 최대목이 직경 80cm로 도달하려면 40년이란 기간이 필요할 것으로 예상된다.

택벌림의 주요 구성 수종은 내음성이 강한 음수 수종과 반음수 수종으로 전나무와 독일가문비나무이다. 이외에도 활엽수인 너도밤나무가 있다. 이 수종들은 수고 40m 이상, 흉고직경 100cm 이상 성장하는 특성이 있다. 우리나라 자생 수종 중 이 정도의 성장력과 내음성을 가진 수종으로는 전나무(*Abies hollophylla*)이다.

### 결론

독일에서는 단순 교림을 택벌림으로의 전환 사업을 이미 20년 전부터 시작을 하였으나 아직까지 택벌림 구조에 도달하지 못하고 있으며 직경급 70cm 이상을 택벌림의 수확 대상으로 보면 전환림의 최대목이 8cm 이상 더 성장하여야 한다. 즉, 연 평균 직경 성장량을 5mm 추정하면 약 40년 정도가 시간이 필요한 것으로 산정되며 이미 소요된 시간 20년을 감안하면 영급림을 택벌림으로 전환하는데 약 60년 정도가 소요될 것으로 추정되며 우리나라에서 택벌림으로 조성될 수 있는 임분은 전나무림이 추가 될 것으로 추정된다.

### 인용문헌

1. Landesforstverwaltung Baden Wuerttemberg 1966. Hilfstabellen fuer die Forsteinrichtung Teil II. 163pp.
2. Koestler, J. N. 1956. Allgaeuer Pflenterwaldtypen. Fortsw. Cbl. 423-458.
3. Kramer, H. 1988. Waldwachstumslehre.

Paul Parey. 374pp.

4. Schober 1987. Ertragstafeln wichtiger Baumarten Frankfurt am Main.
5. Schuetz, Jean-Philippe. 2001. Der

Plenterwald und weitere Formen strukturierter und gemischter Waelder. Blackwell Wissenschafts-Verlag. 207pp.

# IKONOS 영상과 GIS를 이용한 경기도유림 관리시스템 구축<sup>1</sup>

전은진<sup>2</sup> · 이우균<sup>2\*</sup> · 이준학<sup>2</sup> · 함보영<sup>2</sup> · 정재서<sup>2</sup> · 김상우<sup>2</sup>

## Forest Management and Planning System Using GIS and IKONOS imagery<sup>1</sup>

Eun-Jin Jun<sup>2</sup>, Woo-Kyun Lee<sup>2\*</sup>, Jun-Hak Lee<sup>2</sup>, Bo-Young Ham<sup>2</sup>, Jae-Seo Chong<sup>2</sup>  
and Sang-Woo Kim<sup>2</sup>

### 요 약

본 연구에서는 IKONOS 위성영상과 GIS를 이용한 영림계획의 수립과 경기도유림을 위한 산림 관리시스템을 구축하였다. GIS용 프로그램인 ArcView와 ArcInfo를 이용하여 지적도, 간이산림 토양도 등을 수치화 하였으며, IKONOS 위성영상과 현지 산림조사를 통하여 임·소반도를 전산화하였고, 수치지형도를 이용하여 행정구역도, 수계망도, 도로망도 등의 주제도를 제작하였다. Excel과 Access 그리고 ArcView의 Table을 이용하여 영림계획에 필요한 산림조사, 영림계획, 임반연혁 자료등의 문서자료를 전산화하였다.

ArcView의 내부언어인 Avenue를 이용하여 사용자 중심의 산림관리시스템을 구축하였다. 시스템은 ArcView의 기본기능 외에 산림조사부, 영림계획부, 임반연혁부, 도면등의 산림관리관련 기능의 메뉴로 구성되어 있다. 각종 주제도 및 문서자료의 조회 및 수정이 가능하며, 자료 검색 기능으로 자료를 쉽게 찾을 수 있다. 출력기능에서는 문서자료의 법정서식으로 출력이 가능하며, 도면은 각종 도면단위의 출력과 선택영역별 출력이 가능하다. 또한, 3차원 보기 기능을 넣어 산림자원을 입체적으로 볼 수 있어 경관분석이 가능하다. 본 시스템을 이용할 경우, 지형자료와 연계된 다양한 속성자료의 검색 및 분석을 통해 산림계획, 모니터링, 용도별 적지선정 등에 수반되는 각종 의사결정이 용이해 질 것으로 판단된다.

### ABSTRACT

This study presents a forest planning approach using GIS and satellite imagery for the forest managed by the Forest Environment Research Station of Kyeonggi Province in Korea.

Compartments were newly delimited on the basis on not only past compartment boundaries and cadastral map, but also the digital forest type map produced using high resolution(4m x 4m) imagery of IKONOS. Several digital thematic map for forest planning such as compartment map, cadastral map, forest road map, soil type map, topographic map were prepared with 1 : 5,000 scale and incorporated into the GIS application system(Forest Management and Planning System) developed using Arcview and Avenue. Forest management plans for planting, tending, harvesting, and forest road were performed with the help of the Forest Management and Planning System. Useful statistics and maps coming with forest management and

<sup>1</sup> 接受 2003年 6月 23日 Received on June 23, 2003.

<sup>2</sup> 고려대학교 생명환경과학대학 환경생태공학부

\* 연락저자(Corresponding author) E-mail : leewk@korea.ac.kr



planning could be also easily available from the system.

**Key words :** Forest Management and Planning System, GIS and IKONOS imagery, digital thematic map

## 서 론

경기도는 우리나라 인구의 약 45%가 밀집한 수도권권을 형성하는 국토의 핵심지역으로서 토지 이용압력이 어느 지방자치단체보다도 높은 곳이다. 수도권권을 중심으로 도시형 주거시설과 집약적인 산업시설들이 병존하고 있으며, 외곽으로는 집약적 농업용지와 산지가 녹지축을 이루고 있다. 이와 같은 상황에서 경기도유림은 경기도의 주요 자산임과 동시에 지역의 발전을 위한 재원으로 인식할 수 있다. 따라서, 경기도유림은 자산관리 측면에서 뿐만 아니라 지역주민의 고용 창출 및 사회후생을 증진시킨다는 측면에서 체계적이고 합리적으로 관리되어야 할 것이다.

그러나 산림관리에 활용되는 자료 및 정보는 방대하고 다양한 특징을 지니고 있다. 따라서 자료 및 정보의 양적 제한을 극복 할 수 있을 때 체계적이고 합리적인 산림 관리가 이루어 질 수 있다.

최근 NGIS 사업으로 사회 제반분야에서 GIS 사업이 적극 권장되면서, 산림분야에서도 산림 관리 및 계획에 GIS의 다양한 기능이 활용되고 있다. 국유림을 위한 지리정보시스템 응용으로는 산림환경정보시스템 구축을 위한 응용전산 모델(산림청 1995, 1996), 국유림 산림관리 현장에 적용할 수 있는 지리정보응용모델(정주상의 1998, 정주상과 박은식 1999) 등이 있다. 지역단위 산림경영계획에서의 GIS응용으로는 이우균(2000)이 GIS를 이용한 지역산림계획수립 기법을 연구한 바 있다. 사유림에서의 GIS 응용으로는 사유림 영림계획을 위한 전산시스템(이준학과 이우균 2000), GIS를 이용한 사유림 경영통합정보시스템망 구축(우종춘 외, 2000), GIS를 통한 연습림 도면의 전산화(우종춘과 이민종 1999), 실무자를 위한 시스템 환경의 구축(원현규 1997) 등이 이루어 졌다. 또한, 공유림을 위한 GIS 응용시스템에 관한 연구로는 동작구내 근린공원의 디지털 정밀식생제작 및 관리

시스템(이우균 1999), 안면도 소나무림 관리를 위한 수치임상도 제작 및 관리시스템(이우균 2000)이 구축 되었다.

본 연구는 경기도 유림의 제 6차기 영림계획을 작성함에 있어 임황 및 지황 등의 산림조사 자료와 영림계획 수립에 수반되는 방대하고 다양한 정보들을 전산화하고, 이 정보를 효과적으로 활용할 수 있도록 GIS기법의 경기도유림 관리시스템을 구축하는 사업의 일환으로 수행되었다.

영림계획에 GIS기법을 적용함에 있어 문제점으로 대두되고 있는 것은 기존의 임·소반 구분이 지면을 기반으로 구축되어 있어 실제 임상을 제대로 나타내지 못한다는 점과 구축된 영림계획시스템의 내용이 현행 영림계획 규정상의 내용과는 상이하여 현장적용에 어려움이 수반된다는 것이다. 즉, GIS를 이용한 산림계획시스템에서는 전산화되는 자료가 정확해야 하며 현장 적용성이 높아야 한다는 것이다.

따라서 상기 영림계획을 수립함에 있어 주안점을 둔 것은 고해상도 위성영상을 이용하여 임·소반 구분을 실제 임상에 근거하도록 재조정하는 것과 현장실무에 불편함이 없이 적용되도록 현행 영림계획의 규정에 의해 시스템의 기능을 구성하는 것이었다. 또한, 현장사용자의 요구와 사용환경을 고려한 시스템을 설계하여 현장에서 바로 활용될 수 있는 운영시스템을 구축하고자 하였다. 이러한 과정에서 GIS기법을 이용한 계획수립과 산림관리에서 발생할 수 있는 문제점을 검토하고 이의 개선책을 모색하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구 대상지

연구 대상지는 산림환경연구소관내 경기도유림 6개 분소(가평, 남양주, 목동, 적목, 조종, 포천)와 시험장에 해당하며, 그 위치는 북위 33°45'00"~38°07'30", 동경 126°45'00"~127°45'00"이다(그림 1). 총 면적은 29,738ha이고, 각 시

군별로는 가평 22,606ha, 남양주 3,385ha, 포천 2,875ha이다. 경기도유림의 산림은 활엽수림이 약 65.0%, 침엽수림이 약 25.9%로 분포하고 있다.

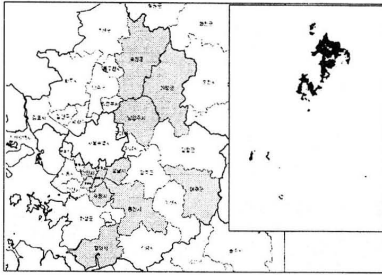


그림 1. 경기도유림 위치.

**2. 영림계획수립방법**

영림계획수립은 현지조사와 시스템구축으로 나뉘어 이루어 졌다. 위성영상과 기본주제도를 이용하여 현지조사를 실시한 후, 현지 조사자료

에 의하여 임·소반도를 수정하였다. 이와 같이 조사된 자료를 전산화하여 경기도유림의 데이터 베이스를 구축하였으며 이를 기초로 관리시스템을 구축하였다. 구축된 관리시스템을 이용하여 사업계획별 영림계획서를 작성하였다(그림 2). 임·소반도 기획, 시스템구축, 영림계획수립과정 등에서 발생한 오류는 다시 현장조사를 통해 수정하였다.

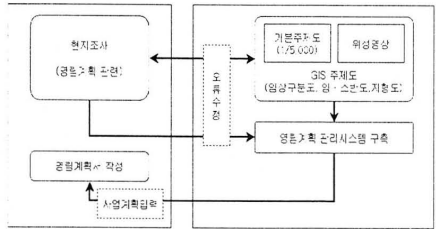
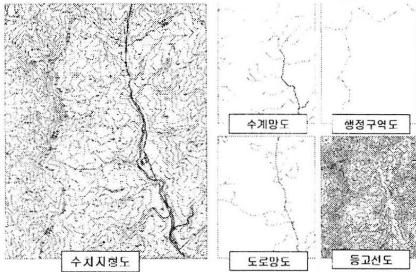
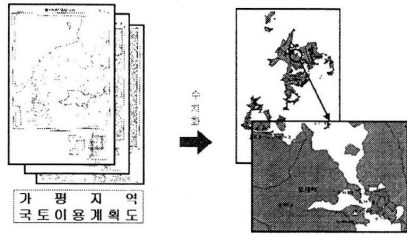


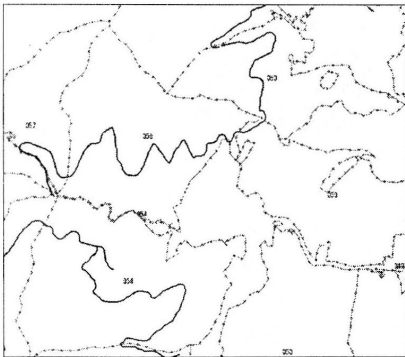
그림 2. 경기도유림 관리시스템 작업 방향.



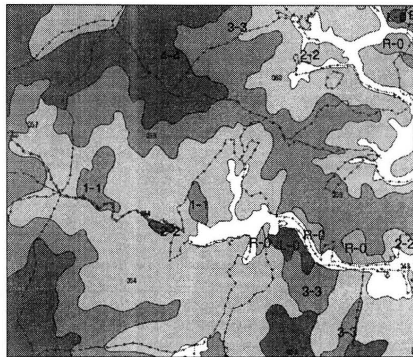
a. 지형도



b. 지적도



c. 임도망도



d. 간이산림토양도

그림 3. 기본주제도.

1) 도면 자료의 전산화

(1) 기본주제도의 입력

경기도유림 관리시스템에는 지형도(등고선, 수계, 도로, 시설물 등), 임도망도, 지적도, 간이산림토양도 등의 기본 주제도가 포함되도록 하였다(그림 3). 지형도와 임도망도는 국립지리원 및 산림청으로부터 수치지도를 입수하여 사용하였고, 그 외 주제도는 가장 최근에 제작된 도면을 기초로 하여 직접 전산화 시켰다.

기본 주제도의 전산화과정은 그림 4와 같다. 이미 수치화 된 자료는 도면 집합 후 오류 수정 단계를 거쳐서 구축되었다. 수치화 되지 않은 도면자료는 도면을 Scanning한 후에 ArcView 상에서 직접 Digitizing을 한 후 속성 자료를 입력하여 구축되었다.

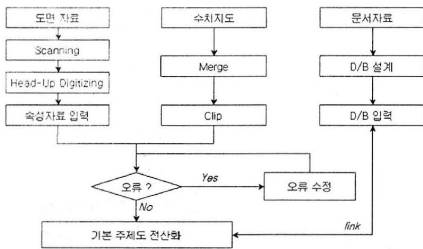


그림 4. 기본 주제도 전산화 과정.

(2) 위성영상을 이용한 임·소반도 작성

경기도유림 관리시스템에서는 과거 필지 단위의 임·소반구획과는 달리 1m급의 고해상도 IKONOS 위성영상(그림 5)을 이용하여 임상분류 및 임·소반 구획을 실시하였다. 이는 고해상도 위성영상을 활용하면 대면적의 산림에 대한 임상정보를 신속·정확하게 파악할 수 있으며, 실제 임상에 근거한 소반구획이 가능하다는 판단에 근거하고 있다.



그림 5. 임·소반 구획에 활용된 IKONOS 위성영상.

임·소반도는 도엽단위로 출력된 영상을 이용하였다. 출력된 영상도면에 육안판독 및 현장조사를 통해 임·소반을 구획하였고 이를 디지털화 하여 수치화 하였다(그림 6).

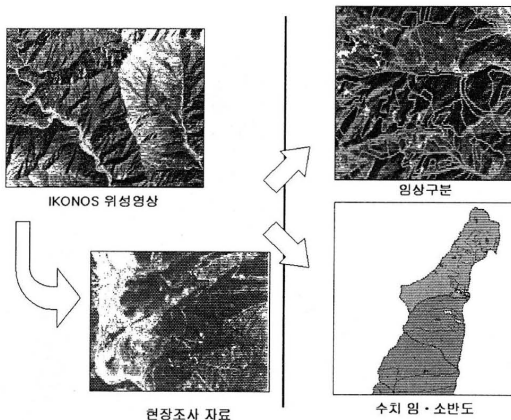


그림 6. 위성영상을 이용한 임·소반 구분.

2) 문서 자료의 전산화

문서자료로서는 산림조사자료를 근거로 임·소반별 지황·임황 자료를 기록한 산림조사부(그림 7), 과거 산림사업 연혁을 기록한 임·소반연혁부(조림대장:그림 8), 산림조사부에 근거하여 10년 간의 사업계획을 수립한 영림계획부 그리고 영림계획부에 의해 산림사업의 계획·실행을 기록한 영림계획서 등이 있으며 이들 문서를 모두 전산 데이터 베이스화 하였다(그림 9).

그림 7. 영림계획 산림조사부.

사하였다. 지황에서는 지세(방위, 경사), 토지(토양, 심도, 습도), 지위, 지리 등을 조사하였고, 임황에서는 임종, 임상, 수종, 혼효율, 임령, 수고, 영급, 경급, 입목도, 소밀도, 하층식생, 축적, 연년생장률 등을 조사하였다.

4) 관리시스템 구축

Software는 공간자료를 구축하기 위하여 ESRI사의 ArcView 3.2와 Unix용 ArcInfo 7.2.1을 사용하고, 영상처리를 위해 ERDAS사

그림 8. 조림대장.

그림 9. 데이터 베이스화 된 문서 자료들.

3) 산림조사

산림조사는 지형도와 위성영상을 이용하여 구획된 임·소반을 중심으로 이루어 졌다. 현행 영림계획수립에서 활용되는 지황 및 임황을 조

의 IMAGINE 8.4를 사용하였다. 속성자료는 ArcView의 Table 기능과 Microsoft사의 Excel, Access를 사용하였다. 영림계획 관련 문서의 서식 출력을 위해 Seagate Crystal

Reports를 사용하였다. 영림계획 시스템 구축을 위해서는 GIS용 Software인 ArcView와 그 내부언어인 Avenue를 사용하여 Window System에서 사용할 수 있게 하였다. Hardware는 영림계획 시스템 탑재용 Computer와 입출력을 위한 인쇄용 Plotter, 그리고 이미지 자료 입력을 위해 Scanner를 사용하였다.

경기도유림의 관리시스템의 구조 및 자료 흐름은 그림 10과 같다. 시스템은 도면자료와 문서자료가 연동되도록 하였으며, 자료에 따른 다양한 서식의 출력이 가능하도록 하였다. 기능의 경우, 문서자료는 자료 열람, 수정 및 갱신, 질의 및 검색, 공간정보 수정, 도면출력기능이 가능하도록 하였다(그림 11). 이외에도 3차원 보기, 통계자료 작성 등의 추가적인 기능도 삽

입하였다. 또한, 시스템은 PC활용에 익숙한 사용자라 할지라도 지형 및 속성 정보들을 쉽게 조회하고 검색할 수 있도록 Windows 운영체제의 GUI(Graphic User Interface) 형태로 설계하였다. 또한 일반 사용자가 사용하기 용이하도록 모든 메뉴를 한글로 하였다.

경기도유림 관리시스템에는 다음과 같은 다양한 도면이 1 : 5,000 축적으로 진산화되어 내장되어 있으며, 이와 연결된 속성정보가 DB로 구축되어 있다. 이러한 도면이 및 속성정보가 시스템 내에서 자유롭게 검색 및 출력되도록 하여 도면관련업무 및 정보 활용의 효율성을 높일 수 있도록 하였다(표 1).

5) 영림계획서 작성

임·소만도와 산림조사부를 근거로 구축된 영림계획시스템을 이용하여 영림계획서를 작성

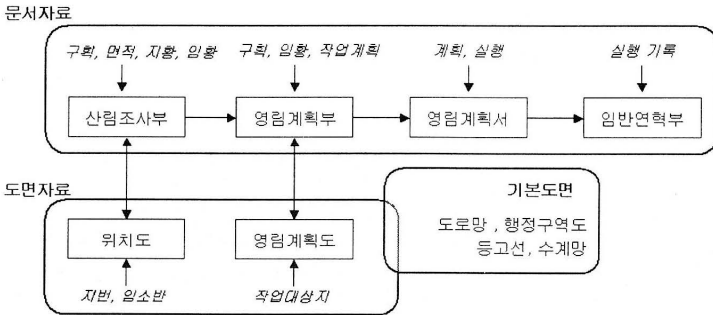


그림 10. 시스템 구조 및 자료 흐름.

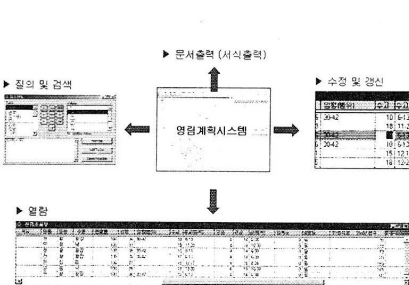


그림 11. 문서 자료.

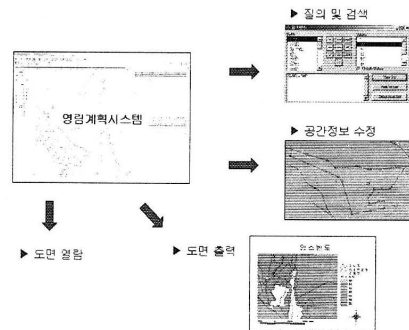


그림 12. 도면 자료.

표 1. 경기도유림 관리시스템 자료 구조.

구 분	문 서 자 료	도 면 자 료
자 료 종 류	산림조사부, 산림조사부(출력), 영림계획부, 영림계획부(출력), 임반연혁부, 임반연혁부(출력)	임·소반, 등고선, 지적도, 건물, 도로, 수계, 시설, 임반경계, 도라(1:5000), 30m DEM, 가평지역 TIN

하였다. 영림계획은 산림조사자료와 도유림의 경영목표를 동시에 고려하여 수립하였다. 계획 과정에서 구축된 시스템의 데이터베이스를 활용하였다. 즉, 계획에 따른 통계치를 데이터베이스로부터 추출하여 경영목표와 부합되는지를 검토하는 과정을 반복하여 적정규모의 계획을 수립하였다.

**결과 및 고찰**

**1. 주제도**

경기도유림 관리시스템에서는 국가 주도 NGIS 사업의 일부인 산림지리정보시스템(Forest Geographic Information System: FGIS)의 1:25,000 축척보다 정밀한 1:5,000 축척으로 도면자료를 전산화하였다.

전산화된 도면은 기본도와 위치확인도로 나뉜다. 기본도면으로는 1:5,000 축척의 지형도

(등고선, 수계, 도로, 시설물 등), 도로 및 임도망도, 1:25,000 축척의 간이산림도양도가 전산화되었다. 위치확인도로는 지적도와 임·소반도가 1:5,000 축척으로 전산화되었다. 전산화된 영역은 1:5,000 축척 지형도로 146도엽, 1:25,000 축척으로는 24도엽에 해당한다.

총 171임반 1,334 소반으로 구성된 경기도유림의 산림조사부, 임반연혁부, 영림계획부, 영림계획서가 모두 전산화되었다. 또한, 모든 자료는 가평·적목·목동·조종·남양주·포천 6개 분소(그림 13) 및 시험장과 가평군, 남양주시, 포천군, 의왕시, 군포시, 안양시, 평택시, 용인시, 여주군 등의 시군 별(그림 14)로 관리할 수 있게 되어 있다.

**2. 영림계획 시스템**

GIS기법의 경기도유림 관리시스템은 ESRI사의 ArcView3.2를 기반으로 운영되기 때문



그림 13. 분소별 현황(시험장은 제외).

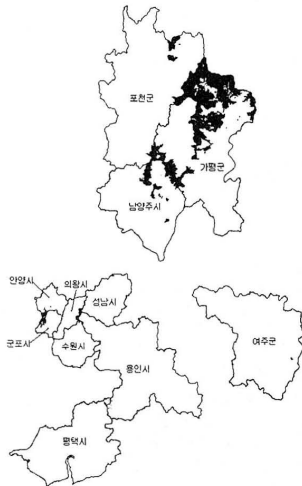


그림 14. 시군별 현황.

에 영림계획 관련 기능과 ArcView 고유의 고급 기능을 모두 활용할 수 있는 장점이 있다. 즉, 경기도유림 관리시스템의 메뉴체계(그림 15)는 ArcView 기본 메뉴(파일, 편집, 뷰(view), 주제도, 그래픽관리, 창관리, 도움말, 3차원)와 영림계획 관련 메뉴(산림조사부, 영림계획부, 임반연혁부, 도면)로 구성되어 있다. 영림계획 관련 메뉴에서는 자료 열람 및 편집, 임·소반 찾기, 질의, 출력 등의 기능이 수행된다.

수정, 갱신 등의 편집이 가능하다(그림 16b).

2) 임·소반 찾기

경기도유림 관리는 임·소반단위로 이루어지기 때문에 검색 단위를 임·소반으로 하였다(그림 17). 임반 혹은 소반을 찾으려면 그에 따른 도면, 지황 및 임황 정보, 영림계획 내용, 임·소반의 연혁 등을 모두 연계하여 볼 수 있다.

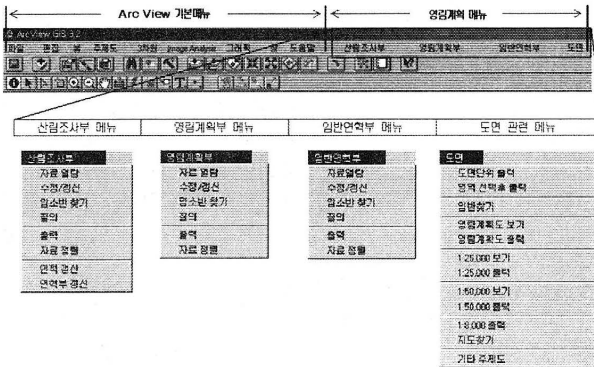


그림 15. 산림관리시스템의 메뉴구성.

1) 자료 열람 및 편집

자료 열람 및 편집기능에서는 공간 및 속성 자료를 그림창(View Window)과 표창(Table Window)으로 화면에 나타나도록 하여 자료를 열람(그림 16a)하고, 공간 및 속성자료의 입력,

3) 질의

질의상자(Query Box)를 이용하여 사용자가 원하는 조건을 부여하면 그 조건에 해당하는 임·소반 혹은 자료가 도면 및 표로 나타내게 하는 질의 기능을 제공한다(그림 18).

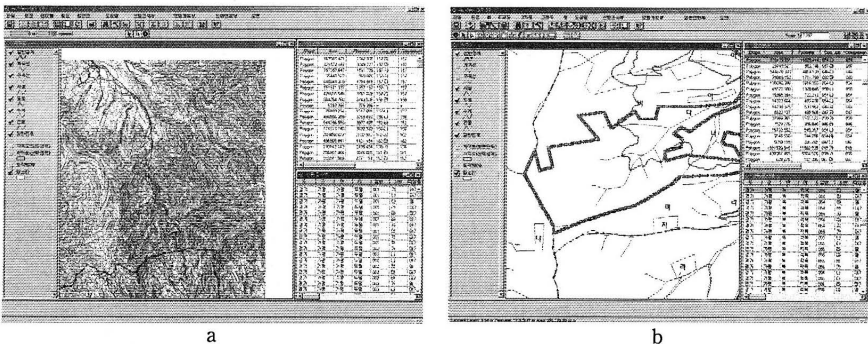


그림 16. 산림조사부 '자료 보기'의 화면 구성(a) 및 공간자료 수정 창(b).

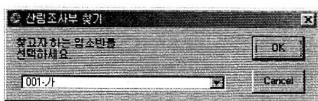


그림 17. 임·소반 검색.

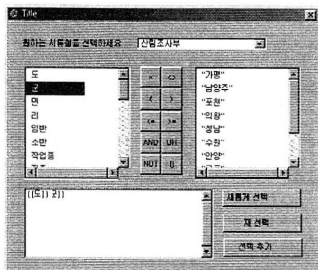


그림 18. 질의 상자.

#### 4) 3차원 보기

경기도유립 관리시스템에서는 지형도를 토대로 작성된 수치고도모델(Digital Elevation model : DEM)을 활용한 3차원 보기기능이 있다(그림 19a). 이것은 산지를 입체적으로 볼 수 있게 하고, 이 기능을 활용하면 다양한 공간 분석이 가능하다. 그림 19b는 가평지역의 전체 DEM이다.

#### 5) 도면출력

도면출력 메뉴는 도면단위 출력, 영역선택후 출력 기능으로 구분된다. 영역선택후 출력에서는 임반별 출력, 선택된 영역의 출력이 가능하고(그림 20), 도면단위 출력에서는 전체 146도엽(1 : 5,000 축척)의 출력이 가능하다(그림

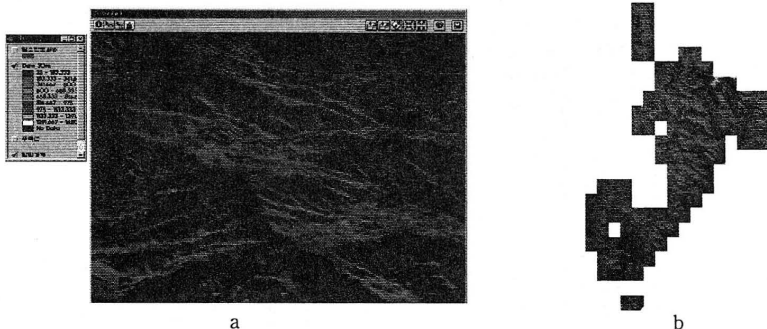


그림 19. 3차원 보기(a)와 연구대상지 DEM(b).

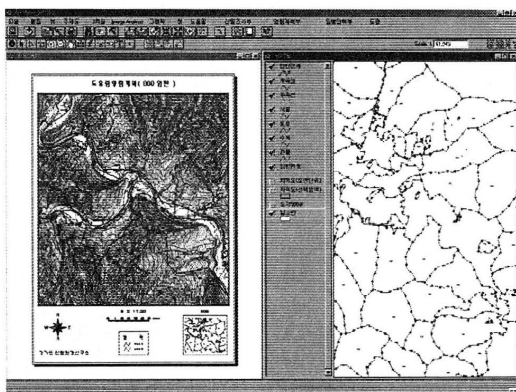


그림 20. 영역 선택후 출력.



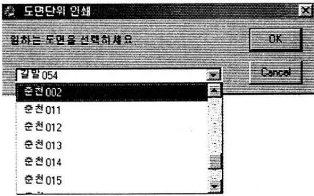


그림 21. 도면 명 선택 대화 창.

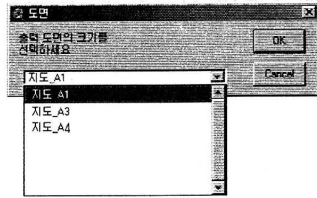


그림 22. 도면 크기 선택창.

21). 기본 Layout의 구성은 도면 제목, 출력 지역, 방위, 범례등으로 되어 있고, 도면의 인덱스를 삽입하여 주변도면의 현황을 알 수 있다. 출력 크기는 국립지리원에서 발간되는 도면 크기인 A1, 출장용 도면으로 A3 그리고 서류에 삽입하기 용이하도록 A4를 기본으로 설정되어 있다(그림 22). 다른 크기의 도면을 원할 경우에는 출력시 크기를 선택 할 수 있다.

6) 서식출력  
산림 조사부, 임반연혁부, 영림계획서, 영림 계획부 등의 자료는 각각 법정서식(B4 크기)으로 출력되며(그림 23), 서식 출력의 기본단위는 임반으로 되어 있다.

### 3. 산림관리시스템의 활용

#### 1) 산림자원분포 및 변화모니터링

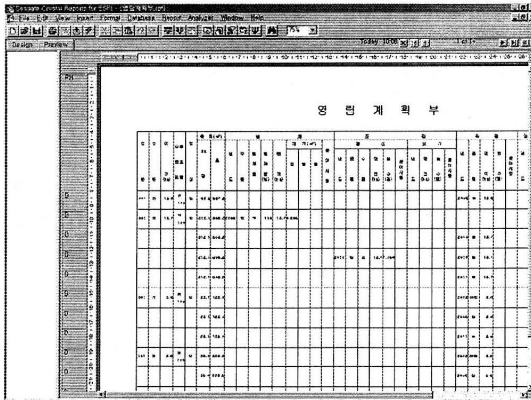


그림 23. 산림조사부 양식 출력화면.

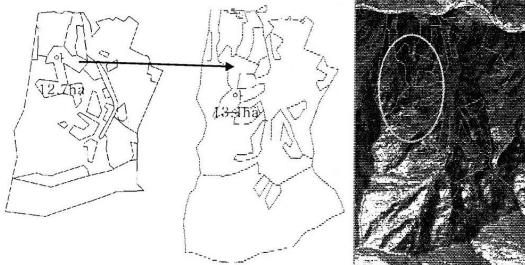


그림 24. 과거 임·소반도와 현재 임·소반도의 비교.

영상사진 분석을 통해 산림자원 분포를 파악할 수 있고, 지속적인 조사에 따른 자료의 갱신을 토대로 산림 변화 예측을 할 수 있다. 과거 임·소반도와 중첩하여 변화된 지역과 관련된 산림 자원 정보들을 추출 할 수 있다. 그림 24를 보면 과거 “아” 소반의 면적은 12.7ha였고, 현재의 “아” 소반은 13.4ha로 면적이 증가했다. 이는 영상을 통해서 이 지역의 형태를 관찰함으로써 확인할 수 있다.

2) 벌채적지 선정

영림계획을 토대로 임상, 지형도 및 접근성 등을 고려하여 벌채적지를 선정 할 수 있다. 벌채 적지가 선정되면 경기도유림 관리시스템을 토대로 벌채될 지역의 임상별, 영급별, 직경급별 벌채면적 등의 기술적 통계량을 추출할 수 있다(그림 25). 또한, 임·소반별로 벌채비용을 임도와와의 접근성을 토대로 산출할 수 있다.

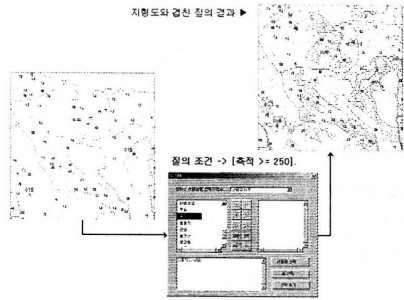


그림 25. 벌채지 선정.

3) 경관분석

등고선의 표고자료를 이용해서 TIN과 GRID로 변환하여 지형분석을 실시할 수 있다. Vector형 자료인 등고선으로부터 Vector를 이루는 각 점들의 표고를 이용해서 TIN을 구성한 뒤 이를 이용해서 Cell 단위로 구분된 DEM을

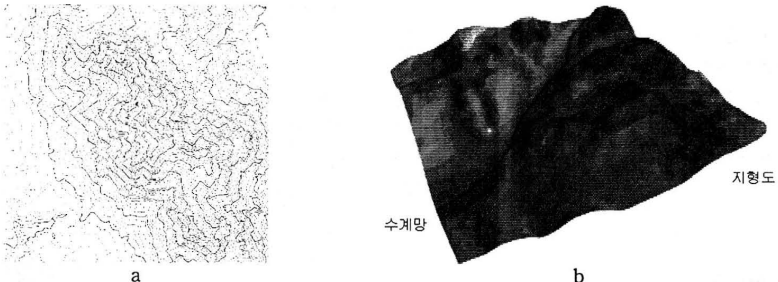


그림 26. DEM을 위한 등고선(a) DEM 지형도(b).

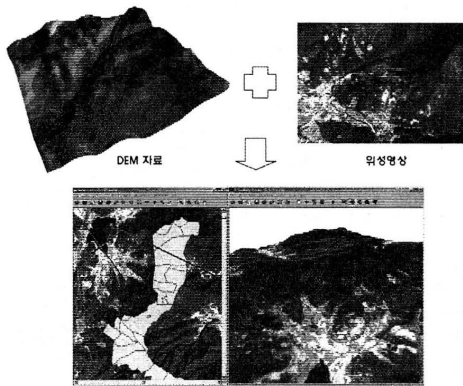


그림 27. DEM과 위성영상을 이용한 3차원 분석.

만들 수 있다(그림 26). 이와 같은 DEM은 이미 시스템에 내장되어 있다.

DEM과 위성영상을 이용하여 3차원 위성영상을 제작할 수 있다. 제작된 3차원 위성영상을 이용하여 다양한 관측점에서 산림의 경관 분석이 가능하다(그림 27).

3차원 위성영상을 통해 시점을 정하고, 그 사이에 점들의 값을 정하여 상대치를 주면, 3차원 위성영상을 이용한 경관 분석은 경관을 좀더 정량적이며 객관적으로 분석할 수 있다(그림 28)(최병길 2001).

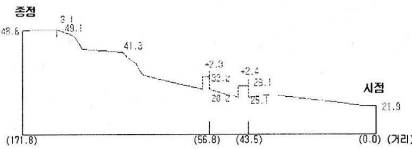


그림 28. DTM를 이용한 경관 분석.

#### 4) 용도별 적지분석

경기도유림 관리시스템에서 공간 질의를 통해 전용지역의 선정과 전용용도에 따라 요구되는 지리적·경제적·환경 용인을 찾을 수 있다. 이렇게 찾아진 지역에 따른 분석을 통해 용도별 적지 분석을 가능하게 한다(그림 29).

의 경계를 나타내는 지적도가 정확하지 않거나, 실제 GIS 시스템 내에서 계산된 산림면적과 도유림 재산목록의 산림면적이 차이가 나는 문제점이 나타났다. 이러한 지적경계와 산림면적은 실제 재산권에 연관되는 민감한 문제이기 때문에 정확한 자료구축이 되었으나 자료로서 이용되지 못하고 위치 확인에만 사용되는 한계를 지니고 있다.

수작업에 의한 영림계획에서는 자료간의 연계성 확인이 용이하지 않았으나, 영림계획시스템에서는 자료간의 연계성이 시스템내에서 쉽게 확인될 수 있다. 이는 한 자료의 오류가 전체의 오류를 유발할 수 있음을 의미한다. 따라서 전산화된 영림계획시스템을 이용한 영림계획수립에서는 오류 없는 자료가 구축되기 전에는 계획수립의 진전이 어렵게 되어 있다. 과거 수작업의 의한 영림계획에서 한곳의 오류가 있더라도 계획진행일정에는 차질이 없는 것과는 사뭇 다른 현상이다.

따라서 산림계획 및 관리에 GIS를 이용하는 데는 반드시 정확한 자료의 구축이 요구된다는 것을 다시 한번 확인할 수 있었다. 이를 위해서는 초기의 정확한 조사뿐만 아니라 추가적인 조사를 통한 자료의 지속적인 갱신, 이러한 업무를 지원해 줄 수 있는 시스템의 지속적인 유지

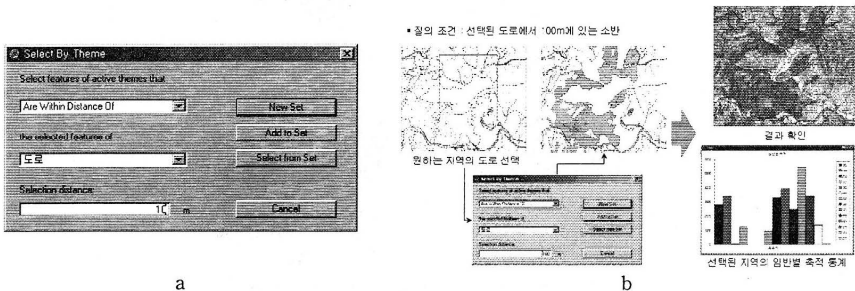


그림 29. 공간 질의상자(a)와 공간질의 과정(b).

### 3. 전산화에 수반되는 문제점

본 연구에서는 IKONOS 영상을 이용하여 임·소반 계획을 임상에 따른 구획함으로써 실제 임분에 따른 영림계획을 가능하게 하였다. 그러나 도면의 전산화 과정 중 도유림 산림구획

보수가 이루어져야 할 것이다.

담당자의 잦은 교체로 인한 시스템 사용의 지속성이 결여도 하나의 문제점으로 지적된다. 이를 위해서는 담당자 및 관련업무 종사자들에 대한 지속적인 교육 및 GIS전문가 양성이 필요하다.

**결 론**

대면적의 산림을 대상으로 하는 경기도유림 경영에 있어서는 산림정보활용의 중요성이 더욱 크다고 볼 수 있는데, 이러한 측면에서 경기도유림과 관련된 모든 정보를 전산화하고 이를 효율적으로 활용할 수 있는 GIS기반의 산림정보시스템을 구축한 것은 큰 의미를 지닌다고 볼 수 있다. 이 산림정보시스템은 입목육육 위주의 산림경영뿐만 아니라, 산림의 사회적 기능제고를 위한 산림경영에도 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

GIS를 활용한 경기도유림 관리시스템구축의 의의는 우선 경기도유림 관리와 관련된 방대한 양의 자료관리가 용이해 졌다는 것이다. 도면 및 속성자료가 연계성을 가지고 시스템 안에서 관리됨으로써 자료의 조회 및 검색 등이 수월하게 이루어 질 수 있다.

전산화의 또 다른 의의는 각종 도면 및 서류의 출력력이 용이하고 다양하게 이루어 질 수 있다는 것이다. 원하는 형태의 도면을 다양한 크기 및 축척으로 출력 할 수 있을 뿐만 아니라, 각종 문서자료를 수시로 출력하여 활용할 수 있다.

또한, 경기도유림 관리시스템을 활용하면 산림관련정보의 수정 및 갱신이 수월해 진다. 도면 및 자료가 서류 형식으로 이루어지던 시기에는 도면을 수작업에 의해 수정한 후 면적 등의 변화되는 자료를 직접 계산하여 관련 서류를 일일이 변경하는 번거로움이 있었다. 그러나 모든 정보가 전산화 처리되는 경기도유림 관리시스템에서는 수치도면을 모니터 상에서 수정하면 면적 등의 관련 자료가 자동으로 갱신된다.

이외에도 경기 경기도유림과 관련된 모든 정보가 전산화됨으로써 경기도유림 관리에 수반되는 각종 새로운 정보를 추출하여 활용할 수 있게 되었다. 지형도를 기반으로 작성된 수치고도모델( DEM) 및 산림조사정보를 활용하여 산사태 민감도면, 수계도면 등을 작성하여 산사태 예방 및 유역관리 등의 현업에 활용할 수 있다.

**인 용 문 헌**

1. ESRI. 1996. Introduction to ArcView

GIS. ESRI.

2. ESRI. 1997. Arc/Doc(Arc/Info on-line manual). ESRI.

3. 김영달. 1979. 사유림 영림계획편성. 산림 162 : 8-13.

4. 김윤경. 1999. 임상도와 GIS를 이용한 산림 자원정보시스템 개발. 고려대학교 석사학위논문.

5. 김윤경 · 이우균. 1999. 임상도와 GIS를 이용한 산림자원정보시스템 개발, 한국산림 측정학회지 2(1) : 40-49.

6. 박은식. 1998. 다목적 산림경영을 위한 산림정보시스템의 개발과 적용, 서울대학교 박사 학위논문.

7. 박은식 · 정주상. 1999. 국유림 관리 영림계획 운영을 위한 데이터베이스 프로그램의 개발. 한국임학회지 88(1) : 63-72.

8. 박태식 · 김동춘 · 권오복 · 이만우 · 이상식 · 이여하 · 조응혁 · 강서연 · 정영관 · 변우혁 · 우종춘. 1990. 신고 산림경영학. 향문사.

9. 박홍수. 1988. 사유림 영림계획 작성 및 운영상 문제점에 관한 연구. 동국대학교 석사학위논문.

10. 변우혁 · 이우균 · 윤성민. 1998. 영림계획의 방법론적 개선에 관한 연구. 산림경제연구 6(1) : pp.84-97.

11. 산림청. 1989. 산림행정20년 발자취.

12. 산림청. 1994. 국유림 영림계획 정보 시스템(운영지침서).

13. 산림청. 1995. 산림환경정보시스템 구축을 위한 응용전산모델의 개발.

14. 산림청. 1996. 산림환경정보시스템 구축을 위한 응용전산모델의 개발.

15. 산림청. 2000. 산림과 임업기술.

16. 산림청. <http://www.foa.go.kr:9100/about/foa1sr601.htm>. 한국임정50년사.

17. 성규철. 1988. 사유림 영림계획 개선에 관한 연구. 임업연구원 연구보고 1988년10월 000/037.

18. 우종춘 · 원현규 · 김한수 · 최종룡 · 심우섭 · 장경식 · 장준근 · 최인화. 1999. 영림계획 전산화를 위한 산림정보시스템 구축, 학술림 연구지 제19호 : 72-82.

19. 우중춘 · 이민중. 1998. 산림자원경영을 위한 GIS데이터베이스 구축에 관한 연구. 학술림연구지 18 : 66-73.
20. 우중춘 · 차홍준 · 서육하 · 김천 · 원현규 · 신충선 · 김만필 · 최조룡 · 한광현 · 산림조합중앙회 · 박경 · 손득중. 2000. 우리나라 사유림경영 정보시스템 개발. 강원대학교 농특 과제 보고서.
21. 원현규 · 김경남 · 우중춘. 1997. 산림경영계획을 위한 산림정보시스템 개발, 강원대학교 산림과학대학 연습림보고 17 : 31-42.
22. 이경학 · 이홍균. 1991. 국유림 영림계획업무의 전산화. 임업연구원연구보고 43 : 153-168.
23. 이우균. 1999. 동작구 그린공원 관리시스템, 동작구 용역과제.
24. 이우균. 2000. GIS기법을 이용한 지역산림관리체계의 개발. 한국과학재단국제공동연구.
25. 이우균. 2000. 안면도 소나무림 관리시스템. 안면도 용역과제.
26. 이준학 · 이우균. 2000. 사유림 영림계획용 산림경영계획시스템 개발. 한국산림경제학회 8(1) : 92-105.
27. 이준학. 2001. IKONOS 영상과 GIS를 이용한 임상구분 및 공간분포에 관한 연구. 고려대학교 석사학위논문.
28. 이희주. 1998. 산림자원관리를 위한 지리정보시스템(GIS) 활용방안에 관한 연구. 숭실대 정보과학대학교 석사학위논문.
29. 정기현. 2000. 고해상도 위성영상(IKONOS)을 이용한 임상분류. 고려대학교 석사학위논문.
30. 정주상 · 박은식 · 오동하. 1998. 지리정보시스템을 이용한 실무형 산림경영전산모델의 개발. 한국임학회지 87(2) : 300-307.
31. 정주상 · 박은식. 1999. 국유림 관리 영림계획 운영을 위한 데이터베이스 프로그램의 개발한국임학회지 88(1) : 63 -72
32. 최병길. 도시경관 왜 중요한가?. <http://www.ecotest.co.kr/downdata/env11.htm>

## GIS를 이용한 난대상록활엽수림 생육공간 적지판정 및 맵핑 프로그램 개발<sup>1</sup>

강진택<sup>2</sup> · 박남창<sup>2</sup> · 이광수<sup>2</sup> · 정영관<sup>3</sup>

### Applying GIS to Development of Program for Site Quality Prediction of Growth Spatial in Four Broad-Leaved Evergreens of Warm Temperate Zone<sup>1</sup>

Jin-Taek Kang<sup>2</sup>, Nam-Chang Park<sup>2</sup>, Kwang-Soo Lee<sup>2</sup> and Young-Gwan Chung<sup>3</sup>

#### 요 약

난대 주요수종인 구실잣밤나무, 황칠나무, 붉가시나무, 후박나무의 종다양성 보존과 생태복원을 임목의 성장과 입지 환경인자와의 관계를 구명하여 수종별 적지판정 평가모델 도출하고, ESRI사의 ArcView 3.2와 ESRI사의 Avenue, Dialog Designer를 이용하여 적지선정 및 mapping 프로그램을 개발 하였다. 적지판정 및 mapping 프로그램은 수치지도작성 및 입력 모듈, 적지판정 평가인자 생성모듈, 평가인자들의 상대적인 중요도를 결정하는 가중치 결정모듈, 가중치가 부여된 평가인자들에 의해 임목의 최적 생육환경 조건을 판정하는 적지판정 모듈, 적지판정 결과를 나타내는 평가서 작성 및 출력 모듈로 구성되어 있으며, 이 모듈들은 유기적으로 연결 되도록 하였다. 개발된 프로그램을 상록활엽수림이 다양하고 대규모로 분포되어 있는 전남 완도를 연구대상지로 선정하여 그 적용성을 검토한 결과, 난대상록활엽수림의 등급별 생육공간 적지 판정과 mapping이 가능하였다.

#### ABSTRACT

This study was carried to estimate evaluation model of site quality prediction by study of relationship between growth of tree and site and environment, and developed site quality prediction and mapping program, to conservation of species and restoration of ecology in main *morbifera* Lev., *Machilus thunbergii* S. et Z., *Quercus acuta* Thunb. Developed program of site quality prediction and mapping was developed using program of ArcView 3.2 version, Avenue and Dialog Designer tools of ESRI as geographic information system engine. The module of important function of site quality and mapping program was systematized module of map creation and registration, module of evaluation factor creation, module of weight decision module of site quality prediction, module of report creation and print. To reviewed application case, developed program applied to Wando district, Junam as study area, which diverse and distributed largely broad-leaved trees of evergreen. As the results of application

<sup>1</sup> 接受 2003년 6월 25日 Received on June 25, 2003.

<sup>2</sup> 林業研究院 Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea.

<sup>3</sup> 慶尙大學校 農科大學 山林科學部 山林資源學專攻 Dept. of Forest Resources, Faculty of Forest Science College of Gyeongsang National University, Jinju 600-701, Korea.

of program, we can determinate and map site quality prediction of growth by class.

*Key words* : site quality prediction, mapping, restoration, geographic information system

## 서 론

최근 지구의 기후환경변화와 더불어 난대림에 대한 관심과 그 중요성이 고조되면서 우리나라 식물 생태계에서 난대림이 차지하는 학술적 가치뿐만 아니라, 생물유전자원보존, 경제적인 가치가 크기 때문에 생물자원으로서 중요시되고 있다. 그러나 회귀 수종, 약용·식용수종, 관상의 가치가 높은 수종 등에 대한 무분별한 채취, 생태계를 고려하지 않은 개발 등 인간의 간섭이 광범위하게 이루어지고 있으며 또한 다양한 생물 자원에 대한 관심 및 연구의 부족으로 난대림 지역의 생태적 기능이 날로 저하되고 있다. 따라서, 상록활엽수림의 복원 및 보전을 위한 방안이 시급한 실정이다. 이러한 난대 수종의 생육 적지를 파악하여 조밀화대 방안을 위한 연구가 진행되고 있으나 아직까지 과학적인 접근이 미비한 상태이다.

최근에는 컴퓨터 산업의 발달에 자료의 프로그램화·데이터베이스화와 첨단과학장비를 이용한 빠른 자원정보의 확보와 처리를 통한 시간과 인력소모의 문제점들을 최소화 할 수 있게 되었다. 인공지능, 항공사진과 더불어 지리정보시스템(GIS: geographic information system)을 이용한 적지분석 및 선정을 위한 프로그램 개발이 활발히 진행되고 있다. 이러한 연구는 이규성 등(1996)이 환경인자의 공간분석을 통한 남한지역의 산림식생대를 지리정보시스템을 이용하여 구분하였으며, 강영호 등(1997)들은 우리나라 실정에 알맞은 기후, 토양, 지형해석 인자 및 수종특성을 고려한 수치지형분석에 의한 온대중부림의 적지적수도를 작성하였으며, 정영관 등(1996)은 산림의 기능별 경영계획 수립을 위하여 산림기능평가를 위한 다양한 입지, 토양, 수치지형인자들을 수량화하여 GIS를 이용하여 산림의 기능별 최적지를 분류하였다. 이러한 연구에 있어서 평가모델 기준의 설정은 중요한 연구과제로 대두되고 있다. 이러한 측면에서 많은 자료가 축적되어 있지 않은 난대 수종에 대한 적지

판정 프로그램 개발을 위해 객관적이고 이상적인 평가모델을 제시하는 것은 상당히 어렵고 중요한 부분이다. 객관적이고 합리적인 평가모델을 도출하기 위한 방법적인 측면이 객관적인 타당성을 가져야만 한다. 이러한 평가모델 설정에 있어서, 평가인자 선정과 가중치 결정방법이 분명히 제시되어야만 한다. 평가인자 및 가중치결정방법은 크게 설문지에 의한 주관적 판단을 객관화하는 AHP(analytic hierarchy process) 및 DHP(delphic hierarchy process) 기법(Khorramshahgol, R., 1988), 신경망의 자극-반응-학습과정을 모사하여 network 구조의 패턴분류체계를 구현하는 AI(artificial intelligence) 기법의 일종인 인공신경망(neural network)기법과 다양한 생물환경인자의 질적변량들을 수량화하는 수량화 이론(岩坪秀一, 1987)이 대표적이다. 이병두(2000), 차재민(2000), 정태영(2001)들은 평가인자 그리고 등급가 및 가중치를 결정등의 주관적인 요소들을 AHP기법에 의해 최대한 객관화 하여 적지분석에 적용하였고, 김형호와 정주상(2001)은 인공신경망기법을 적용하여 적지적수를 판정할 수 있는 산림환경인자인자를 도출하고, 그들인자 상호간의 관계를 분석하여 적지적수 판정방법을 제시하였다. 日本水利科學研究所(1972, 1973, 1974), 鄭驪軍과 南雲秀次郎(1994)은 수량화분석에 의한 평가모델을 설정하여 적지판정에 적용한 바 있다. 이러한 적지판정에 관한 연구를 종합해 보면, 평가인자선정 및 등급가와 가중치의 결정은 다소 분석자의 주관적 판단에 따라 적용된 사례가 많다. 현재 이러한 각 분야별 적지분석에 대한 명확한 기준은 제시되어 있지 않으며, 연구목적에 따라 최대한 객관화하여 적용하고 있는 추세이다. 이와 같이 최근의 연구는 과학의 발달과 컴퓨터 및 다양하고 기능이 강력한 software의 영향에 의해 많은 영향을 받고 있다. 다양한 공간분석 기능과 종합적인 판단 및 분석기능이 뛰어난 GIS를 응용한 적지판정프로그램의 개발로 수치지형자료, 각종도면자료, 지상조사자료 등을 종합해서 사

용함으로써 실무자들이 산림자원관리 업무에 보다 효율적으로 활용될 수 있을 것이다.

따라서, 난대자원의 보존과 생물다양성 확보와 더불어 자원의 데이터베이스 및 생태복원을 위하여 주요 난대수종의 생육환경 및 천연분포 등을 정확히 조사 분석하여 최적생장입지환경인자를 평가모델로 도출하고 적지판정 및 mapping 프로그램 개발을 시도하였다

## 재료 및 방법

### 1. 연구대상지

난대림의 분포지역은 수평적 분포는 북위 35° 이남으로, 해안 35°30', 동해안 북위 36°, 서해안 35°이남의 지역이며, 수직적분포로는 완도 해발 150m, 제주 600m 이하의 지역으로 완도, 제주, 보길도, 신안, 해남, 진도 등 남부 해안 및 도서지방을 중심으로 분포하고 있는 주요 난대수종으로 구실잣밤나무, 황칠나무, 붉가시나무, 후박나무를 대상으로 조사하였고, 이중 난대림의 분포면적, 생태적 위치, 경제적 가치 등을 고려하여 난대수종이 대면적으로 분포하고 있는 완도지역을 선정하여 완도지역 입지환경인자의 데이터베이스를 구축하고, 개발된 프로그램의 적용성을 검토하였다(Fig. 1).

### 2. 適地判定 評價모델 설정

주요 난대수종인 구실잣밤나무, 황칠나무, 후박나무, 붉가시나무등의 적지판정 프로그램을 개발하기 위하여 적지판정 평가모델을 설정

해야 한다. 따라서 본 조사에서는 난대림이 분포가능한 모든 지역에서 총 165개 표준지를 선정하여 표준지내의 생장조사와 입지환경인자를 측정하였고, 평가모델을 설정하기 위하여 인자의 중요도와 산림의 속성 관계를 통계적으로 처리하는 것에 의해 모델을 설정하였다. 이러한 모델설정은 수량화 이론 1류에 의하여 수종별 胸高直徑生長量과 立地環境因子와의 관계를 구명하고 적지 평가모델을 설정하였다.

### 3. 適地判定 프로그램 開發

#### 1) 프로그램 개발 환경

GIS에 의한 「적지판정 및 mapping 프로그램 개발」의 개발 환경으로는 Intel 펜티엄Ⅱ 400 MHZ 중앙처리장치를 탑재하고, 한글 윈도우 2000을 운영체제로 한 개인용 컴퓨터를 이용하였다. 「적지판정 및 mapping 프로그램개발」의 핵심적인 공간 분석 기능을 담당하는 지리정보시스템 엔진으로는 ESRI(Environmental Systems Research Institute)사의 ArcView 3.2를 선택하였다. ArcView 3.2를 선택한 이유로는 윈도우 95, 98 NT를 기반으로 하는 Desktop GIS 프로그램이라는 이유와 함께 Spatial Analyst와 3D Analyst를 이용하여 산악지형 분석과 해석이 용이하다는 점이 고려되었다. 또한 자체 내장된 객체 지향 애플리케이션 개발 언어인 Avenue를 이용하여 손쉽게 사용자 용도에 맞게 프로그램을 변형할 수 있다는 점과 다른 프로그램 언어(MS Visual Basic, Borland 사의 Delphi 등)와의 호환성을 고려하였다. 실제 프

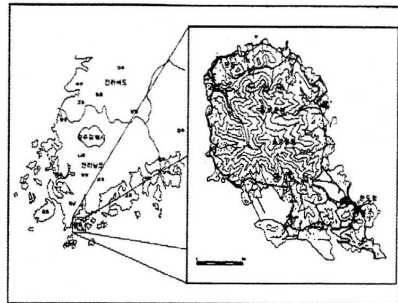
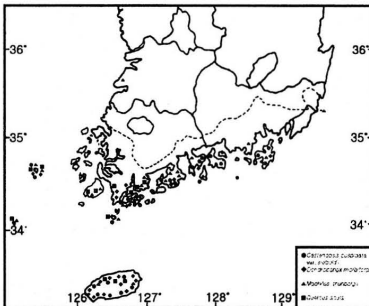


Fig. 1. Location of surveyed area for evaluation criteria to site quality prediction and area of application test of site quality prediction program.



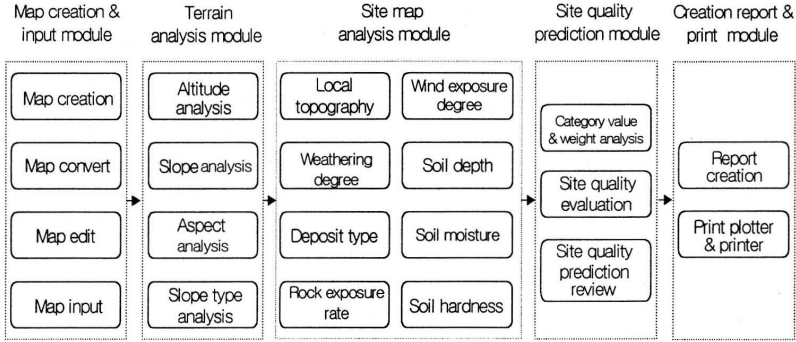


Fig. 2. Operation system for site quality prediction and mapping program.

로그림 작성은 ArcView 3.2에 내장된 객체 지향 애플리케이션 개발 언어인 Avenue 와 Dialog Designer를 이용하였다.

2) 프로그램의 구조 설계

「적지판정 및 mapping 프로그램」은 크게 지도 작성 및 입력 모듈, 적지선정 모듈, 산림지형 분석 모듈, 평가서 작성 및 출력 모듈등 4개로 구성된다. 적지판정프로그램의 운용체계는 Fig. 2와 같다.

(1) 지도작성 및 입력모듈

지도작성 및 입력모듈은 지도를 작성하거나, 변환 또는 편집하는 기능을 지닌다. 또한 지도 입력은 물론 적지선정에 관여하는 여러 인자들의 입력 기능을 담당한다. 즉, dxf file format의 수치지형도를 이용하여 필요한 지도를 생성하는 역할을 함으로써 수치지도와 입지도, 임상도, 토양도 등을 Arcview에서 이용할 수 있도록 하는 자료 변환기능, 수치지도를 편집할 수 있는 지도 조작 기능 등이 있다. 따라서 이러한 기능을 이용하면 자료변환에 의해 지형도, 도로도등 주제도를 생성하는 지도작성과 자료입력을 원활하게 수행할 수 있을 것이다.

(2) 지형분석모듈

입력된 수치지형도에 대한 공간분석은 지형분석 모듈에서 이루어진다. 즉, 이 모듈은 복잡한 산림지형을 분석하여 지형적 특성을 해석하는 기능이 있으므로 경사도, 방위, 음영기복, 유역

등에 대한 분석을 한다. 이러한 기능은 대부분의 국내 산림이 험준한 산악지형에 위치하고 있는 점을 감안할 때 적지분석은 물론 산지 개발 등 공간 의사 결정(spatial decision making)에 있어서 매우 중요한 것이다.

산림 지형 분석 모듈은 지형을 표현하는데 효과적인 불규칙 삼각망(TIN; triangulated irregular network)을 이용하여 DEM(digital elevation model), 경사도(slope), 방위(aspect) 그리고 음영기복도(hillshade)를 추출한다. 본 연구의 경사도와 방위 분석에서 격자형 자료구조(raster자료)보다 불규칙 삼각망을 이용하는 것은 해상력의 차이에 상관없이 경사도가 일정한 값을 유지할 수 있기 때문이다.

(3) 적지판정모듈

적지 선정 모듈은 여러 단계의 분석과정을 거쳐서 직접 임목의 생육적지를 판정하는 기능을 지닌다. 수확화 이론 I 류에 의하여 적지선정에 영향을 미치는 주요 인자들의 category별 상대적 중요도를 결정하여 가중치를 정한 다음, 주요 인자별 분석결과를 평가레이어로 작성하여 중첩(overlay)에 의하여 최적지 판정을 하는 기능을 지닌다. 평가 레이어는 최적 생육적지로 선택된 인자를 평가하여 점수화하고, 이것을 속성 값으로 하는 개별 레이어를 의미한다. 가중치의 결정은 사용자가 직접 입력하는 방법과 본 연구에서 제시한 수종별 평가기준에 의한 방법 중 한가지 방법을 선택할 수 있도록 설계되었다. 적지판정은 생성된 가중치에 따라 개별 평

가레이어에 지도대수(map algebra)를 적용하여 적지판정을 위한 최종 분석도를 작성하였다.

(4) 평가서 작성 및 출력모듈

이와 같은 일련의 분석과정을 거쳐서 최종적으로 선정된 적지, 평가서 작성 및 출력모듈에 의하여 보고서로 출력된다. 본 프로그램은 적지 선정 결과를 플로터와 프린터를 이용해 출력할 수 있도록 하되, 통신 네트워크를 통해 손쉽게 자료를 공유할 수 있도록 HTML(Hypertext Markup Language)로 보고서를 작성하였다. HTML 출력물의 장점은 특별한 지리정보시스템 소프트웨어가 없어도 윈도우가 설치되어 있는 컴퓨터에서 언제든지 사용 가능한 장점이 있다.

결과 및 고찰

1. 적지판정 평가모델

Table 1은 수량화에 의해 도출된 구실잣밤

나무의 적지판정을 위한 평가모델이다.

Table 1에서 얻어진 각 인자별 category의 score를 가중치로 하여 적지판정 평가프로그램에 적용하게 된다. 마찬가지로 붉가시나무, 황칠나무, 후박나무도 이와 같은 적지판정 평가 기준을 도출하여 적용한다.

2. 적지판정 및 mapping 프로그램 개발

난대 주요수종의 생육적지를 분석하고 실제 지형도상의 위치에 정확하게 맵핑 가능한 적지판정 프로그램을 개발하였다. 이러한 적지판정 및 맵핑프로그램을 이용하기 위해서는 ESRI사의 Arcview3.2 프로그램과 본 연구에서 개발한 각 최종 적지판정도에 대한 가중치 결정 프로그램을 설치해야 한다.

1) 메뉴체계

프로그램의 메뉴는 적지판정 및 Mapping 프로그램의 메뉴는 크게 파일 생성, 저장 입출력

Table 1. Evaluation criteria for site quality prediction of *Castanopsis cuspidata* var. *sieboldii* Nakai stands.

Factors	Class	1	2	3	4	5	6
Altitude		<100	100~200	201~300	301~400	401~500	500m<
	Score	0.0497	-0.7607	-0.6693	1.3051	0.4755	0.0000
Slope		<15°	16~20°	21~25°	25°<		
	Score	-0.4072	-1.6253	1.3452	0.0000		
Local topography		Plain	Hill	Piedmont	Hillside	Summit	
	Score	5.1932	3.8845	3.2701	1.0470	0.0000	
Aspect		East	West	South	North		
	Score	-0.1346	0.2437	1.1246	0.0000		
Slope type		Linear	Convex	Concave			
	Score	0.5228	-0.3300	0.0000			
Weathering degree		Low	Middle	High			
	Score	-0.2104	0.7340	0.0000			
Deposit type		Residual	Creeping	Alluvium			
	Score	0.8741	0.9795	0.0000			
Degree of wind exposure		Exposure	Middle	Protection			
	Score	-0.1244	1.3386	0.0000			
Exposure rate of rock		<10%	10~30%	30%<			
	Score	-1.0453	0.1023	0.0000			
Soil depth		<50cm	50~70cm	71~90cm	90cm<		
	Score	0.0492	-2.6729	-0.2825	0.0000		
Soil moisture		Dry Wet	Light dry	Damp	Light wet		
	Score	-0.7078	-1.5720	0.0000	0.0492		
Soil hardness		Very soft	Soft	Middle	Hard		
	Score	1.9585	0.5669	0.2440	0.0000		

을 담당하는 [파일] 메뉴와, 지도, 그래픽, features 등의 편집과 라벨(label)을 입력하는 [편집] 메뉴, [지도작성 및 등록], [평가레이어 생성], [적지판정 및 맵핑] 등과 같은 적지판정에 관련된 메뉴, 수치지형도로부터 경사도, 방향, 사면형태를 분석할 수 있는 [지형분석] 메뉴, 그리고 [도움말] 메뉴로 구성되어 있다.

2) 프로그램의 실행 및 환경설정

Fig. 3에서, 적지판정 및 맵핑프로그램을 실행하기 위해서는 “적지판정.apr file”을 클릭하여 작업을 시작한다. “적지판정.apr”를 클릭하면 프로그램이 실행되면서 Fig. 3과 같은 사용자 입력 Dialog가 떠오르는데, 이 곳에서 초기 환경을 설정할 수 있도록 하였다. 환경설정 창에서, 해상도는 즉 셀 크기를 결정하며, 10을 입력하면 격자 하나가 10m×10m의 크기를 나타낸다. 작업명의 블랭크는 프로그램의 작업 이름을 입력하는 창이며, 작업 1이라고 입력하면 “작업 1.apr”이라는 파일로 저장된다. 프로그램은

다시 불러오자 할 때 이용한다. 작업경로는 작업중 생성되는 파일들이 저장되는 디렉토리를 결정한다.

3) 지도등록 및 지도작성

(1) 수치지도 등록 및 지형도작성

자신이 원하는 지역의 지형정보를 등록하기 위해 [지도작성 및 등록] 메뉴의 <수치지형도 등록(dxfile file)>을 클릭하면 Fig. 4의 왼쪽창과 같이 나타난다.

Fig. 4에서, 해당지역의 dxfile을 클릭하면 해당지역의 수치지도가 등록된다. 여러 개의 파일 선택시 shift 키를 누른 채 마우스로 선택한다. 수치지도 작성 세부 모듈에는 국립지리원 발행 dxfile format의 수치지형도를 ArcView에서 이용할 수 있도록 shape file format으로 자료를 변환해 주는 자료 변환기능, 수치 지형도에서 특정 레이어만을 추출하여 지형도, 마을 위치도 임도 도로도 등을 생성해 주는 지도생성, 그리고 지도를 조작하기 위한 지도 편집 기능이 포함되어 있다. 수치지도 생성과 편집과정은 상당히 복잡한 과정을 거친다

본 연구대상지역인 완도지역의 지형도를 작성하기 위해 [지도작성 및 등록] 메뉴에서 <지형도 작성>을 클릭하여, dxfile에서의 지형도를 추출할 것인지(yes 선택), 이미 작성된 지형도를 불러올 것인지(no 선택)를 결정한다. 지형도의 등록결과는 오른쪽 창과 같다.

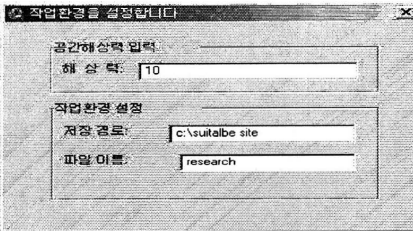


Fig. 3. Dialog box of environmental installation in first stage.

(2) 임지도 등록

임지도로부터 임지에 대한 여러 가지 임지자

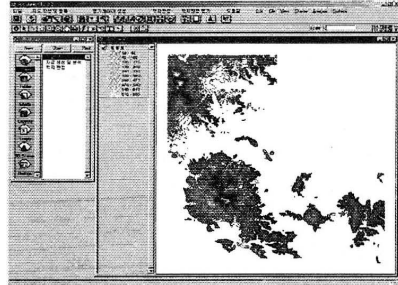
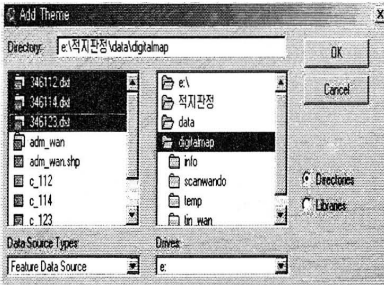


Fig. 4. Dialog box of registration of digital terrain map with dxfile(left), and window of registered topographical map(right).

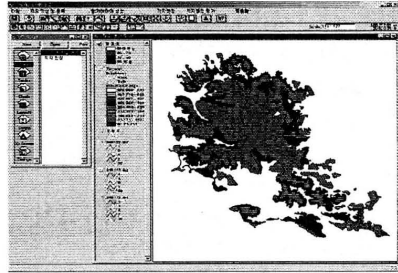
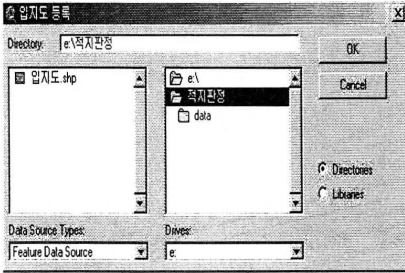


Fig. 5. Window of registration on digital site map(left), and window of registered digital site map(right).

료 속성값을 바탕으로 입지인자 레이어를 추출해 낼 수 있다. 이러한 수치입지도를 등록하기 위한 창은 Fig. 5의 왼쪽 창과 같이 나타난다.

[지도도작성 및 등록] 메뉴에서 <입지도 작성>을 클릭하여, Fig. 5의 왼쪽창과 같은 파일 불러오기 창에서 입지도를 선택한다. 입지도를 선택하고 나서 ok 버튼을 클릭하면 오른쪽 창과 같이 입상도 등록이 완료된다. 입지도의 각 polygon에 해당하는 입지자료의 속성값으로부터 입지 평가인자 레이어를 추출할 수 있다. 이와 같이 수치지형도의 분석에 필요한 모든 수치지도를 등록시켜 놓으면 작성된 프로그램에 의해서 복잡한 수치지도의 생성과 편집과정을 자동으로 실행하게 해준다.

#### 4) 평가 Layer 생성

평가 layer 생성 모듈은 생육적지 판정에 관여하는 인자로 선정된 12개의 인자에 대하여 각

각의 layer를 생성하는 역할을 한다. Layer를 생성하는데 사용된 공간 분석 함수는 재분류에 의하여 이용하였다. 재분류는 공간 정보를 다루는 기본적인 과정으로서 사용자의 필요에 따라 일정 기준에 맞추어 데이터를 분류하는 것이다. 공간 분석 함수로는 단일 지도에 있어서 재분류가 있으며, 여러 장의 지도를 대상으로 할 경우에는 중첩, 거리 측정분석, 연결성 분석, 이웃분석(neighborhood analysis) 등이 있다.

#### (1) 지형분석

[지형분석] 메뉴는 지리정보시스템을 응용하여 산악지형을 쉽고 합리적으로 분석하여, 산림작업과 같은 공간 의사 결정과정에 도움을 줄 수 있도록 설계되었다. [지형분석] 메뉴에서 제공하는 기능으로는 등고선 자료를 이용한 TIN 생성기능, DEM 자료나 TIN을 이용한 경사 및 방위추출등을 추출하였다.

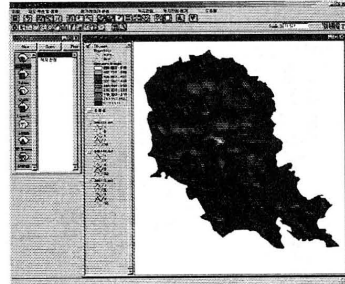
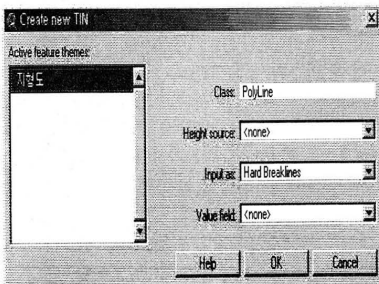


Fig. 6. Dialog box of Input for environmental configuration on creation of TIN(left), and Window of result on TIN creation(right).

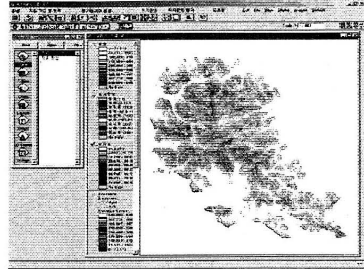
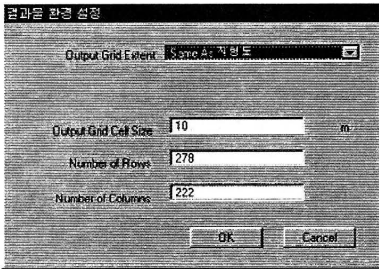


Fig. 7. Input window of environmental configuration to slope extraction(left), and window of results on creation of slope layer(right).

(2) TIN 생성

[지형분석] 메뉴의 <TIN생성>을 클릭하면 TIN 생성에 필요한 환경 설정을 입력하라는 창이 Fig. 8의 오른쪽 창과 같이 나타난다. TIN을 생성하기 위한 선행 조건으로는 표고를 포함하고 있는 수치 지형도가 지도창에서 활성화되어 있어야 한다. 본 프로그램에서는 dxf file에서 추출한 지형도를 이용한다. TIN 생성에 필요한 정보를 입력하면, 완성된 TIN의 모습은 Fig. 6의 왼쪽 창과 같이 생성된다.

(3) 경사 Layer

[지형분석] 메뉴의 <경사추출>을 클릭하면 저장될 결과물(경사레이어)에 대한 환경 설정을 입력하는 창과 결과물은 Fig. 7의 오른쪽 창과 같다.

Fig. 7에서, 환경설정을 입력하기 전에 선행되어야 할 조건은 지도창에서 TIN이나 고도자료로 갖는 grid 레이어가 활성화되어 있어야

한다. 환경 설정은 경사를 추출할 범위(output grid extent), 저장될 레이어의 셀 크기(output grid cell size)등을 입력한다. 범위와 셀 크기를 입력하면 rows와 columns의 개수는 자동으로 계산되며, OK버튼을 누르면 오른쪽 창과 같이 경사도가 추출된다. 방위도 경사와 마찬가지로 TIN으로부터 방위를 추출한 결과는 Fig. 8과 같다.

(4) 입지도 분석

입지입자인 국소지형, 풍화정도, 퇴적양식, 풍노출도, 암석노출도, 토심, 건습도, 견밀도와 같은 입지인자 레이어는 프로그램 상에서 생성된 입지도의 입지자료 속성 값으로부터 각 입지인자레이어를 추출하게 된다. 그러므로 이러한 레이어를 추출하기 전 선행되어야 할 조건은 [지도작성 및 등록]의 <입지도 작성>메뉴를 통해서 입지도가 생성되어 있어야 하며, 입지도가 생성되지 않을 경우 버튼을 클릭할 수 없도록 비활성화 되도록 하였다. [평가 레이어 생성] 메뉴의 <입지레이어 생성>을 클릭하여, 점수화 할 필드정보를 나타내는 창이 Fig. 9의 왼쪽창과 같이 나타난다.

Fig. 9와 같이 선택된 창에서 점수화 할 필드를 선택하여, 선택된 필드가 가지고 있는 값에 따라서 1점에서 10점까지 점수를 부여해서 오른쪽 창과 같이 입지인자 레이어를 생성하였다. 입지도로부터 생성된 최종 국소지형 레이어가 생성된다. 국소지형 레이어와 마찬가지로 입지도의 field를 선택하여 풍화정도, 퇴적양식, 풍노출도, 암석노출도, 토심, 토양건습도, 토양견밀도 레이어도 같은 방법으로 나머지 입지인자

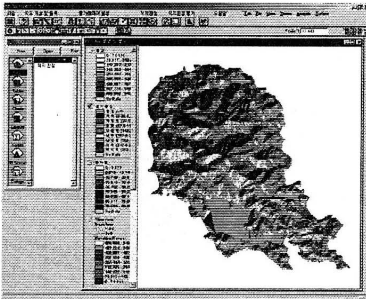


Fig. 8 Output window of extracted aspect from in Wando.

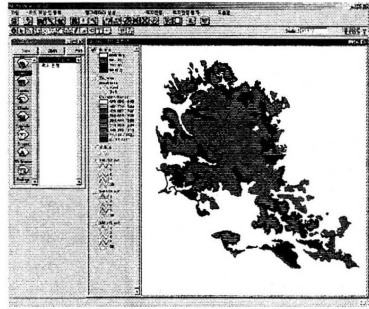
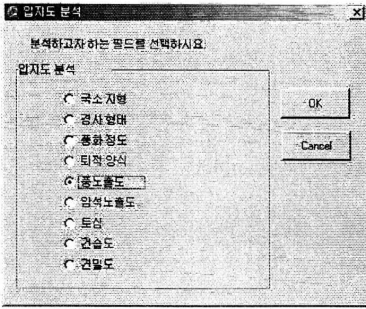


Fig. 9. Dialog box of field selection to recording(left), and window of created logical topographic layer(right).

레이어도 같은 방법으로 생성되어 진다.

5) 적지판정

최종 적지판정도를 분석하기 위해서는 먼저 각 평가인자들을 수중별 평가기준에 따른 가중치를 결정하는 것이다. [적지판정] 메뉴의 <가중치결정>을 클릭하면 가중치 입력선택창이 Fig. 10의 왼쪽 창과 같이 나타난다.

가중치의 결정은 사용자가 직접 입력하는 방법과 본 연구에서 제시한 수중별 평가모델에 의한 방법 중 한가지 방법을 선택할 수 있도록 설계되었다. Yes로 클릭하면 본 연구에서 설정된 평가기준에 의해 가중치가 프로그램에 적용되며, No로 클릭하면 Fig. 10의 왼쪽 창과 같이 가중치 입력창이 나타나면 분석자의 목적에 맞게 가중치를 수동으로 입력할 수 있다. 가중치가 적용되어지면 새로운 값을 가진 12개의 평가레이

어가 생성된다. 수중별 평가모델의 적용에 의해 생성된 최종 레이어들은 대수분석(map algebra)을 통해 생성된 적지판정도는 오른쪽 창과 같이 나타난다. 분석된 적지판정도는 grouping을 통해 I, II, III, IV의 4등급으로 분류하여 등급별 면적 등 각종 통계자료를 분석해 낼 수 있다. 분석된 생육 적지판정도에서 원하는 지점을 클릭하면, 그 지형의 정확한 좌표위치, 경사, 방위 등 입지에 관련된 모든 정보를 종합적으로 알 수 있다. 어떤 수준의 적지에 대한 종합적 정보관리와 지속적인 관리가 이루어 질 수 있을 것으로 사료된다.

6) 평가서 작성

[적지판정] 메뉴의 <평가서 작성>을 클릭하면 보고서가 저장될 디렉토리를 입력하라는 창이 나타난다. 작업 디렉토리가 결정되면 최종 적지판정도에 대한 평가점수 결과가 작성된다. 평가

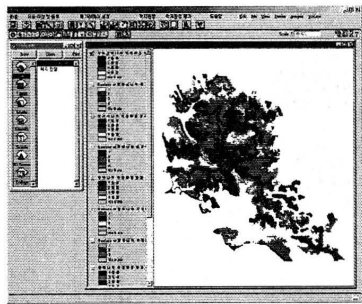
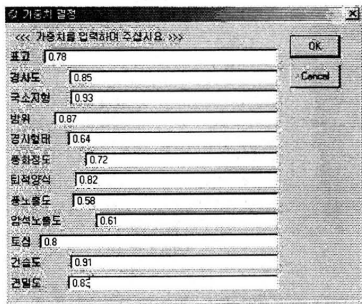


Fig. 10. Dialog box of weight registration by user(left), and window of the last site quality prediction map(right).

서 작성이 완료되면 Microsoft Internet Explorer가 실행되면서 작성된 보고서가 보여진다. 프린터와 플로터(plotter)를 이용한 출력 외에 결과물의 공유를 위하여 HTML을 이용해서 평가서가 작성되도록 설계하였으며, 평가서는 크게 작업정보와 적지판정, 생육적지의 검증, 평가 등 4개의 부분으로 구성된다. 수치지도는 이미지로 변환하여 평가서에 포함하도록 하였다.

### 3. 적응성 검토를 위한 완도지역 난대림 생육 적지판정도 분석

수치지형도로부터 추출하여 생성된 표고, 경사도, 방위 layer와 입지도에 의해 생성된 각 입지인자들을 raster로 변환하고, 이와 같이 생성된 layer들은 각 수종별 평가기준에 의해 가중치를 부여하여 지도대수분석으로 최종 적지판정 분석도를 작성하였고, 작성된 적지판정도를 수종별 등급 분류기준에 따라 class I, II, III, IV로 재분류한 결과는 Fig. 11과 같다.

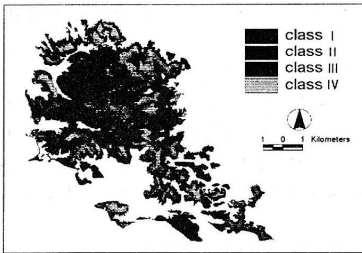
#### 1) 구실잣밤나무

적지판정 프로그램을 적용하여 산출된 완도지

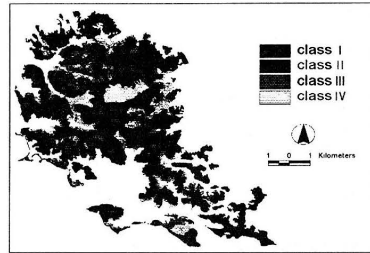
역의 총 면적은 5,849.8ha로, I 등급 724.4ha, 12.4%, II등급 2,265.7ha, 38.7%, III등급 2,416.4ha, 41.3% IV등급 433.3ha, 7.6%로 II, III등급지가 전체의 80%를 차지하고 있었다. 실제 완도의 식생조사에서는 불가시나무가 완도의 중북부에 우점종으로 넓게 분포하고 있고, 산록은 곰솔이, 능선부에는 소사나무가 분포하며, 그리고 상수리나무, 굴참나무, 리기다소나무등이 소규모로 조림되어 있다. 해발 350m이상 되는 지역에 준상록활엽수림이 분포하고 있으며, 상황봉(644m), 백운동(600m)을 잇는 능선부와 해발 400m이상 되는 사면에 낙엽활엽수림이 분포하고 있었다. 상록침엽수와 낙엽활엽수 혼효림은 마을이나 농경지 부근에 분포하고, 해발 150m되는 지점은 대부분 조림한 소나무, 곰솔, 리기다소나무 그리고 낙엽활엽수가 혼식되어 있었다.

#### 2) 황칠나무

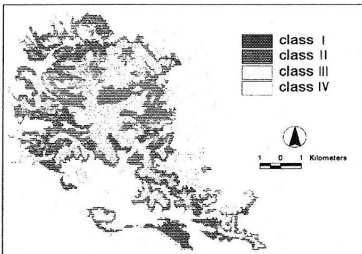
황칠나무의 적지판정 1등급지는 표고가 401m~500m의 경사도가 15°이하, 국소지형 산복, 퇴적양식 봉행토, 방위는 남쪽인 요철사면으로



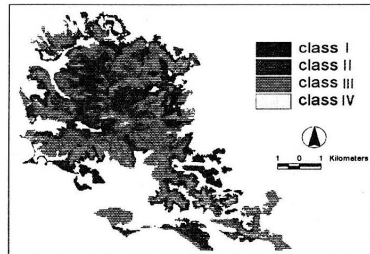
\* *C. cuspidata*. var. *sieboldii* Nakai.



\* *D. morbifera* Lev



\* *M. thunbergii* S. et Z.



\* *Q. acuta* Thunb.

Fig. 11. Output map of site quality prediction of four broad-leaved tree in Wando district.

나타났다. 실제 완도 지역의 현장조사 결과, 황칠나무의 분포는 완도수목원내의 일부지역에서 붉가시나무 군락이 우점한 가운데 계곡부위에서 출현하고 있었다. 최종 분석된 황칠나무의 등급별 면적을 계산한 결과, I등급 1,487.2ha, 25.4% II등급 1,020.3ha, 17.4% III등급 2,031.8ha, 38.2%, IV등급 1,110.5ha, 19.0%로 III, I 등급지의 면적이 크게 나타났다.

### 3) 후박나무

후박나무의 적지판정도 분석결과, I, II 등급지로 분석된 지역의 입지환경 특징은 계곡부위의 경사도가 15~20°, 토양습도가 적윤하며 토심이 50~70cm인 분경토로 나타났다. 또한 암석노출이 30% 이상으로 바람의 영향을 거의 받지 않는 곳으로 나타났다. 최종 분석된 후박나무의 등급별 면적과 구성비는 I등급 1,347.4ha, 23.0%, II등급 2,295.2ha, 39.2% III등급 1,350.9ha, 23.1%, IV등급 856.3ha, 14.6%로서, II등급지가 가장 넓은 면적을 차지하고 있었다.

### 4) 붉가시나무

붉가시나무의 적지판정도 분석에 의한 생육적지의 입지환경 특징은 표고 401~500m 사이로, 산복 이상의 경사도가 21~25°, 퇴적양식 잔적토, 방위가 서쪽인 요철사면으로 나타났다. 실제 현지조사 결과, 완도는 붉가시나무가 서쪽과 북쪽에서 우점을 차지하고 있었으며, 표고 50~600m 까지 고루 분포하고 있다. 특히 완도수목원과 대문리 일대는 붉가시나무의 순림이 형성하고 있는 좋은 입상이었다. 본 연구의 분석결과 또한 I, II등급으로 분석된 대부분의 지역이 현재 붉가시나무가 가장 많이 분포되어 있고, 생장이 좋은 완도수목원 주변으로 나타났다. 최종 분석된 붉가시나무의 적지판정 등급별 면적과 면적비는 I등급 147.1ha, 2.5%, II등급 2,703.5ha, 46.3% III등급 2,845.5ha, 48.6%, IV등급 153.7ha, 2.6%로 나타났다.

## 결 론

난대 주요종인 구실잣밤나무, 황칠나무, 후박나무, 붉가시나무 4수종의 생육환경선내에

자생하고 있는 대부분의 지역을 현지조사하여 생육환경 분석에 의해 생육환경 적지판정 평가 모델을 설정하였다. 도출된 모델에 의해 적지판정 및 mapping 프로그램을 개발하여 완도지역을 대상으로 적용성을 검토하였다. 프로그램의 적용성 검토결과, 각 수종별 적지판정대상 지역의 지형 및 입지에 대한 정확한 이해 및 다양한 공간분석을 통해 얻어진 결과물을 종합적 판단을 통해 최적의 생육입지환경 조건을 찾을 수 있었다. 또한, 분석된 적지의 등급별 면적 및 위치를 mapping 하여 줌으로써, 적지에 대한 정보와 위치를 쉽게 파악할 수 있었다. 이와 같이, 조립대상 지역에 대한 적지를 종합적으로 판단 할 수 있고, 분석된 적지의 정확한 위치의 도면화 및 조립 가능한 면적을 정확히 파악할 수 있다. 또한 항공사진, 입상도 등 산림에 관련된 많은 정보를 추가한다면 더욱 정확한 분석이 가능할 수 있을 것이다. 본 연구에서 개발된 프로그램은 국가적 차원의 D/B화된 지형 및 입지자료를 이용하여, 짧은 시간내에 대상지역의 지형 및 입지환경 인자에 대한 정확하고 다양한 시공간적인 분석이 가능하다. 그러나 개발된 프로그램이 현실적으로 이용되기 위해서는 반복적인 검토를 통해 지속적으로 수정·보완이 이루어져야 한다.

따라서, 프로그램의 지속적인 관리와 보완이 이루어진다면, 산림유전 자원식물의 적지판정에 의한 자생량 예측뿐만 아니라 희귀특산 자원식물의 지속적이고 효율적인 모니터링에 의해 생태환경의 복원 및 보전대책을 수립하는데 활용가능 할 것으로 사료된다.

## 인 용 문 헌

1. 姜永鎬 · 鄭錫焄 · 金暎傑 · 朴在旭. 1997. 數值地形解析에 의한 溫帶中部林的 適地適樹圖作成. 韓國林學會誌 86(2) : 241 - 250.
2. 김형호. 2000. 지위지수 판정을 위한 Neural Network 기법의 적용. 서울대학교 석사학위논문. 87pp.
3. 이규성 · 이병천 · 신준환. 1996. 環境因子의 空間分析을 통한 南韓지역의 山林植生帶 구분- 지리정보시스템(GIS)에 의한 접



- 근. 한국생태학회지 19(5) : 465~476.
4. 이병두, 2000. GIS를 이용한 환경친화적 입도 노선 선정 및 평가 프로그램의 개발, 서울대학교 석사학위논문, 128pp.
  5. 鄭永觀·孫英模·李光洙·姜眞澤·鄭秀永, 1996. GIS技法을 利用한 山林의 多目的 機能 開發. 山林經濟研究 4(2) : 15-28.
  6. 鄭主相·朴恩植·吳東河, 1998. 地理情報 시스템을 利用한 實務形 山林經營 電算모델의 開發. 韓國林學會誌 87(2) : 300-307.
  7. 정태영, 2001. 고로쇠나무 경영관리 시스템의 개발과 적용, 서울대학교 석사학위논문, 71pp.
  8. 차재민, 2000. GIS를 이용한 산림기능평가 체계에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문, 128pp.
  9. 日本水利科學研究所, 1972. 森林の公益的 機能計量化基礎調査報告書, 30pp.
  10. —————, 1973. 森林の公益的 機能計量化基礎調査報告書, 25pp.
  11. —————, 1974. 森林の公益的 機能計量化調査報告書, 89pp.
  12. 鄭躍軍, 南雲秀次郎, 1994. GIS を利用した森林機能による類型區分, 日本林學會誌 76 : 522-530.
  13. Khorramshahgol, R. and V. S. Moustakis, 1988. Delphic Hierarchy Process (DHP) : A Methodology for Priority Setting Derived from the Delphic Method and Analytical Hierarchy Process. European Journal of Operational Research 37 : 347-354.

## 항공사진 분석을 통한 산불 피해지 임분 변화 추정(Ⅱ)<sup>1</sup>

서정원 · 임주훈 · 김종찬 · 심우범 · 공지수 · 노대균 · 유리화<sup>2</sup>

### Change Estimation of Fire-damaged Forest Stand Using Aerial Photography Analysis(Ⅱ)<sup>1</sup>

Jeong-Weon Seo, Ju-Hun Lim, Jong-Chan Kim, Woo-Bum Sim, Gee-Soo Kong,  
Dai-Kyun Rho and Rhee-hwa Yoo<sup>2</sup>

#### 요 약

산불 피해지의 임분 변화 상태를 구명하기 위하여 동해안 남부 지역 중 과거 1980년대와 1990년대에 산불이 발생된 강원도 삼척, 경상북도 포항, 경상남도 울산 및 울주 등 4개소에 표본점을 설치하여 1974년, 1980년, 1992년, 2000년에 각각 촬영된 항공사진을 활용하여 임분 구성 인자들을 판독하였다. 이를 통해 산불 발생 전·후의 임상별 면적을 추정하고 임분고와 수관 밀도 등의 임분 인자를 기 조계된 항공사진 임분 재적표에 적용, 산불 발생에 따른 축적 변화를 추정하였다.

임상별 면적변화는, 삼척지역은 침엽수림에서 활엽수림으로 임상이 변화하였고, 포항, 울산, 울주 지역은 침엽수림과 혼효림의 임상이 침엽수림, 활엽수림, 혼효림으로 세분화되었다. 임목축적의 경우 삼척의 리기다소나무 재생임분은 강원도 평균 축적과 비슷하게 나타났으나 포항·울산·울주 지역의 임상별 축적은 해당 조사구의 행정구역 평균축적보다 낮게 나타났다. 이는 산불 피해 이후, 임분의 성장상태가 떨어지므로 임상의 축적에도 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

#### ABSTRACT

This study was conducted to understand changes of stand area and growing stock at fire-damaged forest stands in the southern part of East coast region. Sample points were set up at Samchuck(1 region) in Kangwon-do province, Pohang(1 region) in Kyungsangbuk-do province, Ulsan(1 region) and Ulju(1 region) in Kyungsangnam-do province where forest fire had been occurred in 1980's and 1990's. Forest stand components were interpreted using aerial photos that had been taken in the years of 1974, 1980, 1992 and 2000.

Conifer stands before forest fire have been changes to broad leaves stands in Samchuck area. In the other areas forest following fire develop to conifer stand, broad leaved stand and mixed stand by site characteristics. Growing stocks of *Pinus thunbergii* stands are similar to the mean of growing stocks of the *Pinus thunbergii* stands in Kangwon-do province. However growing stocks in Pohang, Ulsan and Ulju area are lower than mean of growing stock of common forest in each city. It means that forest fire affect to growing stock by lower stand growth.

*Key word* : fire-damaged forest stand, aerial photography, stand area and growing stock

<sup>1</sup> 接受 2003年 6月 26日 Received on June 26, 2003.

<sup>2</sup> 임업연구원 Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea.

## 서론

산불 후 재생 임분의 변화는 식재 여부, 조림목의 성장 속도에 영향을 주는 무육 및 관리 여부 등과 같은 임목 및 임분의 구조적 특성에 따라, 또한 해당 임분이 위치한 기후, 지리, 지형 등 환경적 특성에 따라 다양하게 나타난다. 또, 개개의 수목들은 토양 양료, 기후 등 환경적인 스트레스에 의하여 달라지는 경쟁적 우위 여부에 따라 우점하는 양상이 달라진다. 동해안 북부 지역의 경우, 1980년대까지만 해도 산불 피해지에는 낙엽송, 잣나무, 리기다소나무 등을 식재하였다. 그러나 북부 조림지를 지속적으로 관리하지 않은 경우에는 참나무류나 아까시나무의 천연 치수와와 경쟁이 심화되어 조림목이 피압되고 참나무류나 아까시나무로 성림(成林)을 형성하는 것이 일반적이다. 국부적으로는 소나무림을 형성하기도 한다.

즉, 산불발생 후 시간의 경과정도에 따라 임분의 발달 방향에 있어서 분화가 일어나는데 조림목에 의한 순림, 천연 갱신된 수목이 침입하여 형성된 혼효림, 조림목이 아닌 천연 갱신목에 의해 우점되는 침엽수 또는 활엽수 단순림의 형태가 출현한다. 결국 어느 시점에 관찰되는 임분은 지리적 위치에 따라 모자이크 상으로 배치된 다양한 형태를 띠게 된다.

본 연구는 과거 산불이 발생한 지역을 대상으로 시계열로 촬영된 항공사진을 활용하여 항공사진 상에서 판독 가능한 임분 내의 인자들, 즉, 임상, 수관밀도, 수고, 수관직경 등을 판독

하여 영급, 면적 및 축적 변화를 추정하였다. 이를 통해 대상 임분의 산불 피해 전·후의 임분 변화를 추정하여 생태계 변화 과정을 구명함으로써 합리적인 피해지 복구·관리의 기초 자료로 활용코자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구 대상지 및 활용 자료

연구 대상지는 지난 1980년대부터 1990년대 사이에 산불이 발생된 지역 중에서 지형도(축척 1/25,000)상에 위치를 표시하여 항공사진 촬영이 완료된 지역을 대상으로 선정하였다. 조사구는 대상 지역 해당 지형도 상에 500m×500m의 격자를 작성, 번호를 기입하여 무작위로 4개의 조사구를 선정하였다.

조사구의 크기는 항공사진 판독에 적정한 25ha(경도 20" · 위도 14")를 설정하여 1974년부터 2000년까지 촬영한 항공사진상에 조사구를 표시하고 반사입체경으로 판독·측정을 하였으며, 조사구에 대한 항공사진을 분석하기 위하여 촬영년도별로 Scanning하였다. 조사구 위치, 산불 발생 연도, 항공사진의 제원 및 촬영년도는 다음 Table 1, Table 2와 같다.

### 2. 조사 방법

조사구 조사는 최근 촬영한 항공사진 상에서 주로 분포하는 임상을 선정하여 각 임상에 1개 소씩 0.02ha·0.05ha의 원형 표본점을 배치하여 표본점 내의 수종, 흉고직경, 수관직경, 수

Table 1. Research site and year of photography.

Site	Location		Year of fire occurrence	Period (Repetition number)
	Longitude	Latitude		
Samchuck	128°19' 00"	37°14' 50"	1993	1974~2000 (4)
	128°19' 20"	37°14' 34"		
Pohang	129°23' 30"	36°04' 40"	1986	1974~1997 (4)
	129°23' 50"	36°04' 24"		
Ulsan	129°18' 35"	35°38' 20"	1984, 1993	1974~1997 (4)
	129°18' 55"	35°38' 04"		
Ulju	129°17' 18"	35°23' 06"	1996	1974~1998 (4)
	129°17' 38"	35°22' 50"		

**Table 2.** Description of the photography for aerial photos and scanning.

Year	Scale	Camera	Film	Scanning
1974	1/15,000 (f=152mm)	RC-8, RMK	Panchro	Original data
1978	"	RC-8	Panchro	Histogram match
1979	"	RC-8	Panchro	contrast 30%
1980	"	RC-10, RMK	Panchro	contrast 60%
1988	"	RC-10	Infrared	
1989	"	RMK	Infrared	
1992	"	RC-20	Infrared	
1997	"	RC-10, RMK	Panchro	
1998	"	RMK	Panchro	
2000	"	RC-20	Panchro	

고, 분수, 성장량을 측정한 실측치를 항공사진 판독 측정인자(임상, 수관직경, 수고, 수관밀도)와 비교·분석하였으며, 사진 상에서 임상별 면적을 파악·현지조사로 측적을 산출하여 각 해당 행정구역의 평균측적과 비교하였고 Image Analyst를 활용 Contrast별로 분석이 가장 용이한 인자를 확인하였다.

정을 위해 수관 직경을 현지(조사구별 1개소)에서 직접 측정하여 침엽수와 활엽수별 흉고직경과 수관 직경과의 관계를 분석하여 경급을 추정하였다.

1) 침엽수

침엽수림의 경급과 수관폭의 관계는  $R^2=0.87$ 로 산불 피해 지역과 산불 미피해 지역의 수관폭

**Table 3.** Criteria for forest type classification.

Interpretation classification		Classification criteria
1. Forest Type	a. Coniferous forest	· Canopy area or number of conifers in a stand is over 75%
	b. Broad leaved forest	· Canopy area or number of hardwoods in a stand is over 75%
	c. Mixed forest	· Canopy area or number of conifers and hardwoods is over 25% and below 75% respectively
2. Un-stocked Forest Land	a. Harvested area	· Area without tree temporarily
	b. Non-stocked area	· Forest land that total coverage of ground vegetation and tree crown is over 50%
	c. Denuded area	· Forest land that total coverage of ground vegetation and tree crown is under 50%
	d. Grassland	· Grassland
	e. Farmland	· Farmland in the forest land such as orchard, nursery and other cultivated area
3. Miscellaneous		· Non-productive forest land such as road, rocky area, graveyard, reserved area for military facilities, etc.

**분석 및 고찰**

1. 경급 구분

항공사진 상의 경급 구분을 위해 Micrometer Wedge로 수관 직경을 측정하였으며, 정확도 검

의 유사한 것으로 나타났으며 수고 생장이 좋지 않은 입목에서는 수고 생장이 좋은 입목으로부터 수관폭(장폭·단폭)이 피압을 받아 직경 생장과는 다르게 나타났다.

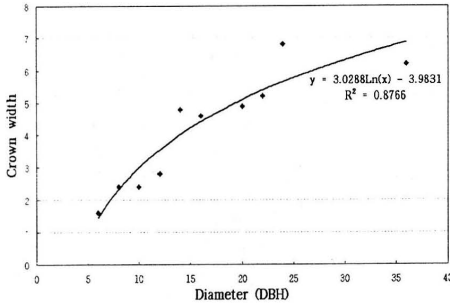


Fig. 1. Correlation between diameter(D.B.H) and crown width of conifers.

Diameter (DBH)	Crown width	Estimated Diameter	Residual
6	1.6	4.4	1.57
8	2.4	8.4	-0.43
10	2.4	8.4	1.56
12	2.8	10.4	1.56
14	4.8	20.5	-6.45
16	4.6	19.4	-3.45
20	4.9	20.9	-0.96
22	5.2	22.5	-0.46
24	6.8	25.5	-1.46
36	6.2	27.5	8.52

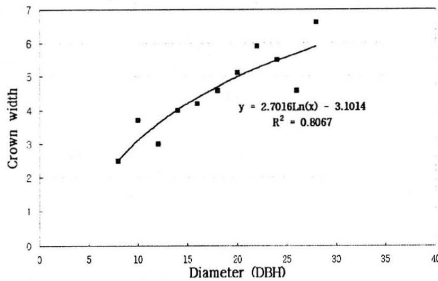


Fig. 2. Correlation between diameter(D.B.H) and Crown width of hardwoods.

Diameter (DBH)	Crown width	Estimated Diameter	Residual
8	2.5	8.4	-0.41
10	3.7	14.0	-4.06
12	3.0	10.8	1.23
14	4.0	15.5	-1.47
16	4.2	16.4	-0.41
18	4.6	18.3	-0.30
20	5.1	20.6	-0.65
22	5.9	24.4	-2.42
24	5.5	22.5	1.46
26	4.6	18.3	7.70
28	6.6	28.6	-0.65

2) 활엽수

활엽수림의 경급과 수관폭의 관계는  $R^2=0.81$ 로 침엽수림과 유사하게 나타났으나 활엽수의 수관폭이 침엽수와 비교해서 수관폭 생장이 변화가 큰 것을 감안하면 높은 정도를 나타내고 있다. 또한, 산불 피해 지역과 산불 미피해 지역의 수관폭 자료와 유사한 것으로 나타났으며 일반적으로 천연활엽수림은 인공림과는 다르게 수관 생장과 직경 성장과의 상관관계에서 역의 상관을 나타낼 수도 있다.

2. 수관밀도 구분

수관밀도 측정 정규(Crown density Scale)

로서 다음 기준에 의거 소경목 이상의 임분에 대하여 항공사진 상에서 소밀도를 측정하여 구분하였다.

1) 삼척시

1974년에는 기타(치수림, 황폐지)면적이 높게 나타났으며, 1980년에는 치수림과 황폐지의 임목 성장으로 수관밀도 “중(中, Medium)”의 면적이 높게 나타났다. 1992년에는 임분의 계속적인 성장으로 인하여 수관밀도 “밀(密, Dense)”의 면적이 가장 많아졌다. 1993년 산불이후, 2000년에는 조림으로 인하여 기타면적(조림지, 임간나지)과 수관밀도 “소(疎, Sparse)”의 지역

Table 4. Criteria for crown density classification.

Classification	Mark	Classification criteria
Sparse	'	· Canopy area of tall tree in a stand is under 50%
Medium	''	· Canopy area of tall tree in a stand is between 51 to 70%
Dense	'''	· Canopy area of tall tree in a stand is over 70%

이 주요 면적으로 나타났다.

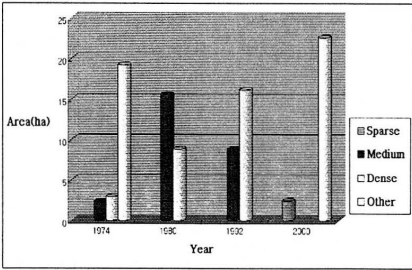


Fig. 3. Crown density change at Samchuck.

2) 포항시

1974년에는 임상이 다양한 수관밀도를 점유한 면적으로 나타나 있으며, 1979년에는 수관밀도 “중”과 “소”가 면적을 점유하고 있는 것으로 나타났다. 1986년 산불이후, 1988년에는 산불 피해를 경미하게 받은 임상들의 수관밀도 “밀”과 “중”의 면적이 높게 나타났으며, 1997년에는 임분이 안정화되면서 수관밀도 “밀”의 면적이 가장 높게 나타났다.

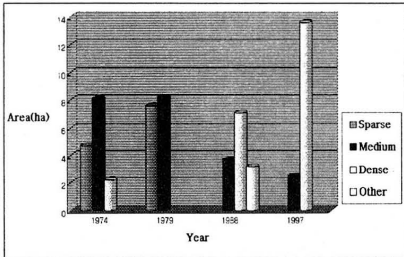


Fig. 4. Crown density change at Pohang.

3) 울산시

1974년에는 임분 상태가 좋은 수관밀도 “밀”과 “중”이 주요면적을 나타냈고, 1978년에는 수관밀도 “중”이 가장 많은 면적을 점유하였다. 1984년 산불이후, 1988년에는 기타면적(조림지)이 가장 많은 면적을 차지했다. 1993년 산불이후, 1997년에는 1988년과 동일하게 기타면적이 높게 나타났으며 경미한 산불피해 임상의 수관밀도 “소”와 “중”의 면적도 나타나고

있다.

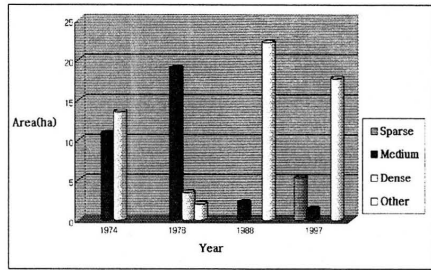


Fig. 5. Crown density change at Ulsan.

4) 울주군

1974년에는 임상이 다양한 수관밀도를 나타내고 있으며, “중”이 가장 많은 면적을 점유하였고, 1978년에는 안정된 임상으로 수관밀도 “밀”과 “중” 주요 면적을 차지하고 있다. 1989년에는 임분의 지속적인 생장으로 “중”과 “밀”이 높은 면적을 차지하고 있다. 1996년 산불이후, 1998년에는 조림으로 인하여 기타(치수림)면적이 가장 높았고, 수관밀도 “중”과 “소”의 지역이 나타나고 있다.

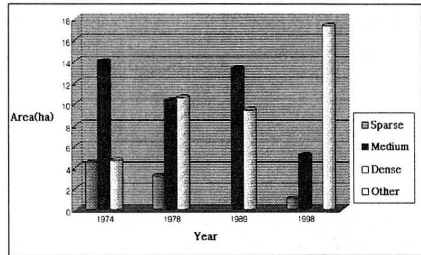


Fig. 6. Crown density change at Ulju.

3. 영급 구분

영급은 항공사진에서 I 영급에서 IV영급까지 수관점유 비율이 50% 이상인 임분으로 구분하였으며 각 조사구별로 표본점에서 성장추(Increment borer)를 이용하여 임령을 확인하였다.

1) 삼척시

1974년에는 영급분포의 제의 대상인 임간나지

가 가장 많은 면적을 차지했으며, 적은 면적이 II·III영급의 분포를 나타내고 있다. 1980년에도 II·III영급의 분포로 면적의 증가를 나타내고 있다. 1992년에는 입분생장으로 인해 II·III영급의 분포가 전체 면적을 차지하고 있다. 2000년에는 1993년의 산불로 인하여 조림지인 I영급 치수림의 면적이 가장 높게 나타났다.

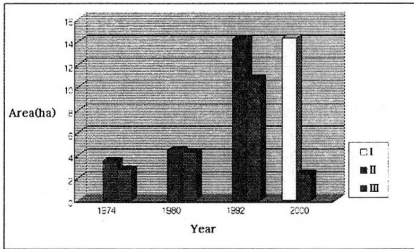


Fig. 7. Age class change at Samchuck.

2) 포항시

1974년에는 II영급의 분포가 가장 높았고 III영급의 입상도 나타났다. 1979년에는 입분생장으로 인하여 III·IV영급의 분포가 주요면적을 차지하였다. 1986년 산불이후, 1988년에는 조림지 I·II·IV영급이 분포하였으며 산불피해가 경미한 II영급의 입상이 가장 많았다. 1997년에는 입분이 안정화되어 II영급, III영급, IV영급의 순서로 많은 면적을 차지하는 것으로 나타났다.

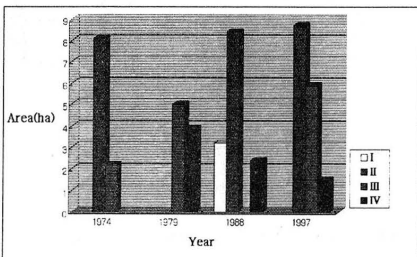


Fig. 8. Age class change at Pohang.

3) 울산시

1974년에는 IV·II영급이 분포하였고, 1978년에는 입분생장으로 인해 II·III·IV영급이 다양하게 분포하고 있다. 1984년 산불이후, 대

량의 조림으로 1988년에는 조림지 치수림 I영급의 면적이 가장 많았다. 1993년 산불이후, 1997년에도 조림지 치수림 I영급의 면적이 가장 많았고 II·III·IV영급의 면적도 나타나고 있다.

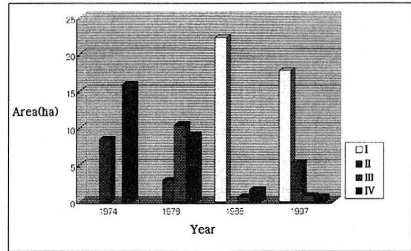


Fig. 9. Age class change at Ulsan.

4) 울주군

1974년에는 III·IV영급이 주요면적을 차지하였으며, 1978년에는 입분생장으로 인한 III영급의 면적증가와 IV·II영급도 나타나고 있다. 1989년에도 입분의 지속적인 성장으로 III영급이 가장 많은 면적을 차지했으며, II영급도 증가하였다.

1996년 산불이후, 1998년에는 조림지 치수림 I영급과 산불피해를 경미하게 받은 IV영급의 입상이 나타나고 있다.

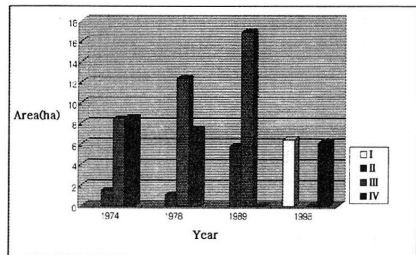


Fig. 10. Age class change at Ulju.

4. 입상별 면적 구분

강원도 삼척시 원덕면 임원리는 해발고 100~200m 정도로서 1974년 당시의 입상은 경작지 4%를 제외한 침엽수림이 약 96%를 이르는 순림으로 1980년과 1992년까지 침엽수림(소나

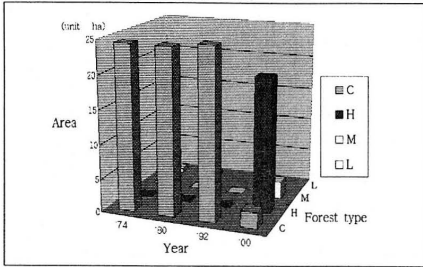


Fig. 11. Area change by forest type at Samchunck.

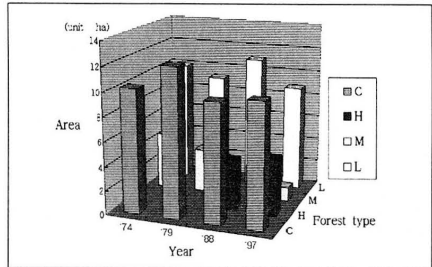


Fig. 12. Area change by forest type at Pohang.

무)으로 생장·지속하였으며, 1993년 산불 발생 이후, 다양한 수종의 조림이 실시되었으나 2000년 발생한 동해안 산불로 인해 또 다시 피해를 받고, 활엽수림의 천이로 인하여 현재의 임상은 활엽수림 80%, 침엽수림 10%, 혼효림 10%를 점유하는 임상으로 변화되었다.

경북 포항시 북구 환호·장성동은 해발고 10~60m정도의 야산으로 1974년에는 임상이 경작지 40%, 침엽수림 40%, 혼효림 20%로 구성되었으며, 1979년에는 침엽수림 50%, 경작지 35%, 혼효림 15%의 임상으로 구성되었다. 1986년 산불 발생이후, 1988년에는 임상이 경작지 45%, 침엽수림 40%, 활엽수림 15%로 나타났으며, 그 중에 리기다소나무 조림지가 약 30%를 점유하고 있다. 1997년에는 침엽수림 40%(리기다소나무 38%), 활엽수림 20%, 혼효림 5%, 경작지 35%의 임상으로 변화되었다.

경남 울산군 온양면 대안리는 해발고 70~160m정도로서 1974년의 임상은 침엽수 72%, 혼효림 18%, 활엽수림 2%, 경작지 8%로 구성되었으며, 1978년의 임상은 침엽수림 55%, 혼효림

41%, 경작지 4%로 나타났으며, 1989년의 임상은 침엽수림 37%, 혼효림 55%, 경작지 8%로 나타나 침엽수림이 혼효림으로 천이되고 있는 것을 보여주고 있다. 1996년의 산불 발생으로 인하여, 1998년의 임상은 미림목지 44%, 침엽수림 26%, 혼효림 20%, 활엽수림 4%, 경작지 6%로 구성되었으며, 침엽수림 26%는 곰솔 조림지이다.

경남 울산시 북구 달천동은 해발고 70~220m 정도로서 1974년의 임상은 침엽수 65%, 혼효림 32%, 경작지 3%로 구성되었으며, 1978년에는 임상이 혼효림의 지속적인 천이로 인하여, 침엽수 42%, 혼효림 47%, 경작지 3%, 미림목지 8%의 구성상태로 나타났다. 1984년 산불 발생 이후, 1988년의 임상은 침엽수 97%, 경작지 3%로 구성되었으나 잣나무 조림지가 89%를 점유하는 것으로 나타났다. 1993년에 또 다른 산불피해로 인하여 1997년의 임상은 침엽수림 53%, 활엽수림 41%, 혼효림 3%, 경작지 3%로 나타났다. 그 중에 잣나무 조림지 50%와 활엽수 조림지 20%가 포함되어 있다.

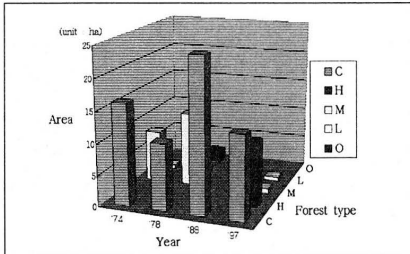


Fig. 13. Area change by forest type at Ulsan.

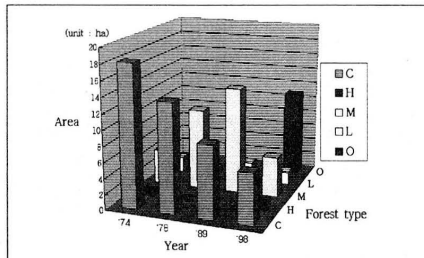


Fig. 14. Area change by forest type at Ulju.



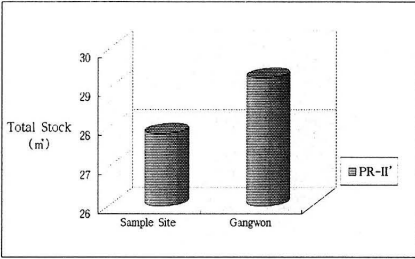


Fig. 15. Growing stock of the revegetated forest in Samchuck.

5. 임상별 축적 구분

각 조사구별 임상의 축적을 파악하기 위하여 가장 최근에 촬영한 항공사진을 판독하여 임상별·영급별·소밀도별로 분류하였고 각 임상별 면적을 파악하였다. 또한 축적파악의 대상이 되는 각 임상별로 0.05ha의 표본점과 0.02ha의 표준지를 현지 실정에 맞게 설치하여 현지조사를 실시하였다. 조사내용은 수종, 흉고직경, 수고, 수관직경, 본수, 임령, 생장량 등을 조사하였다. 산불피해지의 임상의 축적이 어느 상태인가를 파악하기 위하여 각 조사구의 행정구역별 평균 축적과 비교하였다.

1) 삼척시

삼척시 원덕읍 임원3리의 조사구에서 축적을 파악할 수 있는 임상은 곰솔림 II영급(PR<sub>1</sub>-II')-2.4ha로서 ha당 평균 축적은 11.60m³으로 나타났으며, 최근 5년간의 평균생장량은 7~8mm로서 강원도 지역 곰솔림이 평균 생장량보다 적게 나타났다. 이는 산불피해와 임지가 척악지 상태로 인하여 전체적인 생장이 뒤지는 것으로 사료된다. 조사구의 평균축적은 산불피해에도 불

(Unit : m³)

	Sample site		Gyeongbuk Mean	
	Stock per ha	Total Stock	Stock per ha	Total Stock
PR <sub>1</sub> - II'	11.60	27.84	12.20	29.28

구하고 강원도 지역 평균축적인 12.20m³과 유사하게 나타났다.

2) 포항시

포항시 북구 양덕동의 조사구에서 축적을 파악할 수 있는 임상은 리기다소나무림 II영급(PR<sub>1</sub> - II'')-8.7ha, 참나무림 III영급(Q<sub>1</sub> - III'')-4.7ha, 혼효림 III영급(M<sub>1</sub> - III'')-1.2ha, 소나무림 IV영급(D<sub>2</sub> - IV'')-1.5ha로서 각 ha당 평균 축적은 리기다소나무림 32.42m³·참나무림 47.63m³·혼효림 61.59m³·소나무림 156.93m³으로 나타났다. 소나무림의 평균축적은 경상북도 평균축적인 161.60m³과 유사하게 나타났다. 이는 소나무림의 임상이 거의 산불에 피해를 입지 않았기 때문에 사료되고, 최근 5년·10년간의 평균생장량은 18·35mm로서 일반 임상의 평균생장량과 유사하게 나타났다. 조림지인 리기다소나무림도 경상북도 평균축적과 유사하였다. 그러나, 참나무림, 혼효림 등은 경상북도 평균축적에 못미치는 것으로 나타났는데 산불피해 이후 일정기간이 지났어도 일반 임분과 비교하여 생장이 뒤지는 것으로 사료된다.

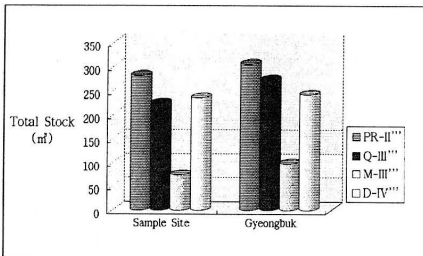


Fig. 16. Growing stock of the revegetated forest in Pohang.

(Unit : m³)

	Sample site		Gyeongbuk Mean	
	Stock per ha	Total Stock	Stock per ha	Total Stock
PR <sub>1</sub> - II''	32.42	282.04	35.18	306.07
Q <sub>1</sub> - III''	47.63	223.88	58.21	320.58
M <sub>1</sub> - III''	61.59	73.90	81.88	98.26
D <sub>2</sub> - IV''	156.98	235.45	161.40	242.10

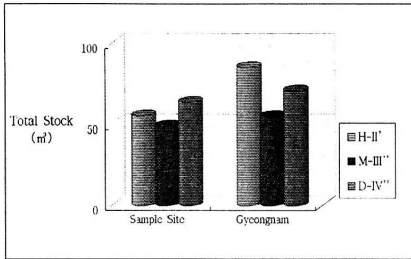


Fig. 17. Growing stock of the revegetated forest in Ulsan.

3) 울산시

울산시 북구 농소면 달천·천곡동의 조사구에서 측적을 파악할 수 있는 임상은 활엽수림 II영급(H<sub>1</sub>-II')-5.3ha, 혼효림 III영급(M<sub>1</sub>-III')-0.8ha, 소나무림 IV영급(D<sub>2</sub>-IV')-0.6ha로서 각 ha당 평균축적은 활엽수림 10.50m<sup>3</sup>·혼효림 61.58m<sup>3</sup>·소나무림 106.98m<sup>3</sup>로 나타났다. 활엽수림, 혼효림, 소나무림 등 전부가 경상남도 평균축적에 못미쳤으며, 혼효림과 소나무림의 최근 5년·10년간의 평균성장량도 소나무가 10·20mm, 상수리가 13·26mm로서 산불미피해지역의 평균성장량보다 낮은 것으로 나타났다. 특히 소나무림은 산불피해를 경미하게 받은 지역임에도 불구하고 성장상태가 낮은 것으로 나타났다.

4) 울주군

울주군 온양면 대안리의 조사구에서 측적을 파악할 수 있는 임상은 활엽수림 IV영급(H<sub>2</sub>-IV')-1.0ha, 혼효림 IV영급(M<sub>2</sub>-IV')-5.1ha로서 각 ha당 평균축적은 활엽수림 49.72m<sup>3</sup>·혼효림 97.92m<sup>3</sup>로 나타났다. 울주군도 울산시 동

(Unit : m<sup>3</sup>)

	Sample site		Gyeongbuk Mean	
	Stock per ha	Total Stock	Stock per ha	Total Stock
H <sub>1</sub> - II'	10.50	55.65	15.77	83.58
M <sub>1</sub> - III''	61.58	49.27	69.24	55.39
D <sub>2</sub> - IV''	106.98	64.19	118.72	71.23

일하게 조사구의 활엽수림과 혼효림의 평균축적이 경상남도 평균축적보다 낮게 나타났다. 이는 1996년 산불이후, 현존하는 혼효림과 소나무림의 임상이 경미하게 산불에 피해를 입었음에도 불구하고, 최근 5년간의 평균성장량도 소나무가 8mm, 상수리가 13mm로서 산불피해를 받지 않은 일반 임상의 평균성장량보다 낮은 것으로 나타나 전체적인 임분의 성장상태가 떨어지는 것으로 사료된다.

결 론

산불피해 지역에서 임상의 임분변화의 상태를 구명하기 위하여 과거 1980년대, 1990년대에 산불이 발생된 강원도 삼척(1), 경상북도 포항(1), 경상남도 울산·울주(2) 등 3개 지역 4개소에 조사구를 설치하여 1974년, 1980(1978·1979)년, 1992(1988·1989)년, 2000(1997·1998)년에 촬영된 시계열 항공사진을 활용하여 임분 구성인자들을 판독하여 경급·소밀도·영급의 변화와 산불발생 전·후의 임상별 면적을 추정하고 임상별로 현지 표준지조사를 실시하

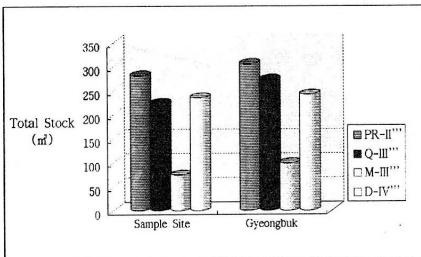


Fig. 18. Growing stock of the revegetated forest in Ulju.

(Unit : m<sup>3</sup>)

	Sample site		Gyeongbuk Mean	
	Stock per ha	Total Stock	Stock per ha	Total Stock
H <sub>2</sub> - IV'	49.72	49.72	66.80	66.80
M <sub>2</sub> - IV''	97.92	499.37	118.10	602.31

여 임상별 축적을 파악하여 해당 행정구역별 평균축적과 비교한 결과는 다음과 같다.

1. 항공사진상에서 경급구분을 위하여 Micrometer Wedge로 수관직경을 측정, 분석하여 경급 추정식을 다음과 같이 구하였다. 침엽수와 활엽수 모두 경급과 수관폭과의 상관관계는 결정계수에서 나타난 것과 같이 높지 않았지만, 산불 피해 지역의 수관폭 자료와 유사하게 나타났다.

○ 침엽수  $Y = -3.9831 + 3.0288 \ln(X)$  ( $R^2 = 0.8766$ )

○ 활엽수  $Y = -3.1014 + 2.7016 \ln(X)$  ( $R^2 = 0.8067$ )

2. Crown diameter Scale로 수관밀도를 구분한 결과, 삼척지역은 시간경과에 따라 수관 밀도 밀의 면적이 증가하다가 산불이후, 기타(조림지, 임간나지)면적이 가장 높았고, 포항지역은 수관밀도 중과 소가 주요면적을 차지하다가 산불이후, 수관밀도 밀의 면적이 가장 높았다. 울산지역은 수관밀도 중이 가장 많은 면적을 차지하다가 산불이후, 기타면적(조림지)이 가장 높게 나타났으며, 울주 지역은 울산시의 결과와 유사하게 나타났다.

3. 영급구분에서, 삼척지역은 산불 발생 전까지 II·III영급의 면적이 증가하였다. 산불발생 후, 조림지 I영급이 가장 많은 나타났으며, 포항지역은 III·IV영급이 주요면적을 이루다가 산불이후, II·III·IV영급이 골고루 분포하는 것으로 나타났다. 울산지역은 II·III·IV영급이 골고루 분포하다가 산불이후, 조림지 I영급이 가장 많은 분포하였다. 울주지역은 III·IV영급의 면적이 증가하다가 산불발생 후, 조림지 I영급과 IV영급의 임상이 나타나고 있다.

4. 임상별 면적구분 결과, 삼척지역은 침엽수림에서 활엽수림으로 임상이 변화하였고, 포항지역은 침엽수림과 혼효림의 임상이 침엽수림, 활엽수림, 혼효림으로 세분화되었다. 울산지역은 침엽수림과 혼효림의 임상이 산불로 인하여 침엽수림과 활엽수림의 임상으로 변화하였고, 울주 지역은 침엽수림에서 혼효림으로 천이된 후에, 산불이후, 침엽수림과 혼효림이 비슷하게 나타나고 있다.

5. 임상별 축적구분 결과, 삼척지역 조림지인 곰솔림의 축적은 강원도 평균 축적과 비슷하게 나타났고, 포항·울산·울주 지역의 조림지를 제외한 모든 각 임상별 축적이 해당 조사구의 행정구역 평균축적보다 낮게 나타났다. 이는 산불피해 이후, 임분의 성장상태가 떨어지므로 임상의 축적에도 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

### 인 용 문 헌

1. Lachowski, H., A. Rodman and H. Shovic. 1991. Use of Remote Sensing for the 1988 Greater Yellowstone Area Fires. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. PP.48-57.
2. Lillesand, T. M and R. W. Kiffer. 1992. Remote Sensing and Image Interpretation (Ed. 2). John Wiley & Sons. PP.112-205.
3. PAINE, D. P. 1981. Aerial Photography and Image Interpretation for Resources Management. John Wiley & Sons. PP. 227-297.
4. 김갑덕. 1987. 사진판독과 원격탐사. 서울대학교 출판부. PP.143-175.
5. 산림청. 2000. 산림과 임업기술(III) -산림경영-. PP.740-745.
6. 서정원, 임주훈, 공지수, 노대균, 유리화. 2002. 항공사진분석을 통한 산불피해지 임분 변화 추정. 한국산림측정학회지 5(1): 17-27.
7. 이여하. 1995. 측수학. 기전연구소. pp. 211-218.
8. 임업연구원. 1996. 전국 산림자원조사 요령. P.49.
9. 임업연구원. 1999. 산림자원조사보고서(경상북도 및 대구광역시 기본계획구).
10. 임업연구원. 2000. 산림자원조사보고서(경상남도 및 부산·울산광역시 기본계획구)

## 2002 颱風 RUSA에 의한 林木被害調査<sup>1</sup>

- 江原大學校 學術林 北方地域을 對象으로 -  
崔晶棋<sup>2</sup> · 柳炳吾<sup>3</sup> · 崔長昊<sup>3</sup> · 李相旻<sup>3</sup> · 許晟九<sup>3</sup>

## Investigation of Tree Damage by Typhoon RUSA in 2002<sup>1</sup>

- The Case of Bukbang Region in the KNU Research Forest -  
Jung-Keel Choi<sup>2</sup>, Byung-Oh You<sup>3</sup>, Jang-Ho Choi<sup>3</sup>, Sang-Min Lee<sup>3</sup> and Seoung-Ku Heo<sup>3</sup>

### 요 약

본 연구에서는 2002년 태풍 RUSA로 피해를 입은 강원대학교 연습림 북방지역을 대상으로 정밀 피해조사를 실시하였다. RUSA 피해입지는 총 8개 지역으로 대부분 북동사면에 위치한 잣나무와 낙엽송 인공림지역에서 발생하였다. 입목피해율은 757본 중 595본이 피해를 받아 78.6%로 나타났으며, 피해목 중에서 뿌리채 뽑힌 입목이 76%를 차지하고, 상부수간이 절단된 입목이 22%를 차지하였다. 피해목 대부분은 DBH가 30cm 이상, 수고 20m 이상인 VI~VII영급의 대경목·장령림 지역에서 발생하였으며, 도복된 입목을 이용하여 뿌리높이와 뿌리횡단면적을 측정환 결과, 두 수종 모두 천근성이 심하고 뿌리활착이 안 좋은 것으로 나타났다. 또한, RUSA로 인한 총 입목 피해액을 산정한 결과 16,991,866원으로, 잣나무 피해액은 13,091,874원, 낙엽송 피해액은 3,899,992원으로 각각 산출되었다.

### ABSTRACT

This study was carried out to closely investigate tree damage by typhoon RUSA in 2002 at Bukbang region in the KNU(Kangwon National University) Research Forest. The damage sites were 8 regions of Korean pine and Larix plantations where they were mostly location in northeastern aspect. Total damage trees were 595 of 757 and the damage rate was 78.6%. The rate of the uproot trees to damage trees was 76%. And the rate of cut tree to damage trees was 22%. The damaged plantation sites had mostly DBH >30cm, height >20m and VI~VII age class of large-mature stand. The depth and transection of root were relatively short and small, so root growth seems not good condition. The total damage tree price was estimated to 16,991,866 won, Pine trees were 13,091,874 won, Larix trees were 3,899,992 won, respectively.

*Key words* : Typhoon RUSA, Tree damage, *Pinus koraiensis*, *Larix leptolepis*

<sup>1</sup> 接受 2003年 6月 28日 Received on June 28, 2003.

<sup>2</sup> 江原大學校 山林經營 造景學部, Division of Forest management & Landscape Architecture, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea(jungkee@kangwon.ac.kr).

<sup>3</sup> 江原大學校 山林經營學科, Department of Forest management, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea.

## 서 론

오늘날 전 세계적으로 지구온난화로 인하여 기후변화에 따른 대홍수, 가뭄, 한파, 열파 등의 이상기후현상이 속출하고 있다(한국 기상학회, 2002). 우리나라의 경우도 지난 2002년 8월 사상 최대의 태풍 RUSA로 인해 강릉지역에 일일강수량 870.5mm의 최고치를 기록하는 등 전국적으로 사상 최대 폭우가 발생하여 많은 피해가 발생하였다(강원지방기상청, 2002).

지난 RUSA로 인한 피해현황은 246명의 인명 피해와 5조 1천억원 상당의 재산피해가 발생하였고(조선일보, 2002), 산림피해는 산사태 2,700km, 야계사방 100km, 사방댐 44개소, 임도 506km, 도로절개지, 훼손임지 등 산림피해액은 약 8조원으로 추정되었다(오정수, 2003).

이런 자연재해에 의한 막대한 피해를 줄이기 위해서 이미 선진국에서는 철저한 피해조사를 통하여 피해상황을 모니터링하여 산림사업에 적용하는 등 다양한 대책을 수립하고 있는 반면, 우리나라는 산불·병해충 피해에 대한 연구가 일부 진척되고 있으나 아직까지 태풍과 같은 자연재해에 대한 정밀조사가 미흡한 실정이다(유종덕 등, 2002).

따라서 본 연구에서는 2002년 8월 태풍 RUSA로 피해를 받은 강원대학교 연습림 북방지역을 대상으로 피해임지와 피해입목을 정밀 조사하고 조사된 자료를 근거로 피해상태를 분석·진단함으로써 향후 자연재해에 대한 사업관리를 하는데 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구 조사지 개황

본 연구 조사지는 2002년 8월 태풍 RUSA의 피해를 받은 강원대학교 학술림 북방지역 8지역을 대상으로 하였다. 조사지의 기후는 온대 대륙성 기후로서 일반적으로 하계에는 고온다습하고 동계에는 저온건조하며 평균기온은 하계가 21℃, 동계가 -4℃이며 연평균기온은 약 10℃ 연평균강수량은 1,200mm로 이 중 약 70%

는 4월~9월에 집중되어 나타나고 있다. 지질은 화강암과 화강편마암으로 구성되어 있으며, 토양은 대부분 양토 또는 사질양토를 이루고 있어서 유기질이 풍부하여 식물생육에 적합한 지역이다(강원대학교 연습림, 2000).

### 2. 조사일자 및 측정방법

본 연구에서는 태풍 RUSA 피해에 대한 정밀 산림조사를 실시하기 위하여 지황인자와 임황인자로 구분하여 실시하였으며, 지황인자로는 지형, 사면경사, 사면방향, 능선을 기준으로 지형은 계곡, 산록, 산복, 산정으로 구분하여 측정하였으며, 사면경사는 피해지역을 상·중·하로 나누어 3회에 걸쳐 측정하였고, 피해사면방향에 대한 방위를 측정하였다. 능선은 육안으로 1~10부 능선으로 나누어 측정하였다.

임황인자 측정은 각 피해지역별로 임의로 10개의 피해목을 선정하여 흉고직경, 총수고, 절단된 지점의 수고, 뿌리높이, 뿌리횡단길이를 측정하였다. 총수고는 도복된 입목에 대하여 줄자로 측정하였으며, 절단된 지점의 수고는 수고측정봉을 이용하여 수간이 절단된 입목의 높이를 측정하였다. 뿌리측정은 도복된 입목에 대하여 뿌리높이와 뿌리횡단길이의 장축과 단축을 측정하였다. 이 장축·단축을 이용하여 타원공식을 이용하여 뿌리횡단면적을 계산하였다. 연령은 생장추를 이용하여 각 피해지역별 3개 입목의 목편 채취후 연령을 조사하여 평균연령을 산출하였다. 피해지역별 전체입목(피해목 포함) 본수는 육안으로 직접 측정하였으며, 재적은 총수고와 흉고직경을 이용하여 산림청 홈페이지 재적표에 의해 산출하였다.

### 3. 피해목에 대한 피해액 산정

태풍 RUSA에 의한 입목피해액 산정은 입목 재적과 입목단가를 이용하여 산출하였다. 입목 재적은 피해지역별로 조사된 10개의 입목재적의 평균재적을 이용하여 피해목 본수를 곱하여 산출하였고, 피해액 산정은 산림목 시가표준액을 기준으로 산출하였다(서울특별시 세정자료실, 2002).

## 결과 및 고찰

### 1. 태풍 RUSA에 의한 피해입분사진

태풍 RUSA에 의한 피해상황은 Fig. 1~8에

서 보는 바와 같이 잣나무와 낙엽송 인공림 지역에서 다량 발생하였으며, 임분피해 양상도 도복된 입목에서부터 상부가 절단된 입목, 집단 또는 부분적으로 입목피해를 입은 등 다양한 현상



Fig. 1. *Pinus koraiensis* stand(site 1).



Fig. 2. *Pinus koraiensis* stand(site 2).

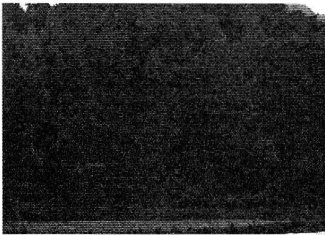


Fig. 3. *Larix leptolepis* stand(site 3).



Fig. 4. *Pinus koraiensis* stand(site 4).



Fig. 5. *Larix leptolepis* stand(site 5).



Fig. 6. *Pinus koraiensis* stand(site 6).



Fig. 7. *Pinus koraiensis* stand(site 7).



Fig. 8. *Larix leptolepis* stand(site 8).

Table 1. Characteristics of damage site by 2002 RUSA.

Site	Species	Aspect	Slope	Ridge	Damage tree (Total tree)	Damage rate (%)
1	<i>P</i>	S52°E	31°	1~5	87(94)	92.6
2	<i>P</i>	N70°E	36°	1~5	51(66)	77.3
3	<i>L</i>	N40°E	20°	1~6	25(25)	100.0
4	<i>P</i>	S80°E	19°	1~4	110(140)	79.7
5	<i>L</i>	N60°E	14°	2~6	90(130)	72.0
6	<i>P</i>	N60°E	16°	1~3	122(152)	86.7
7	<i>P</i>	N60°E	26°	6~9	53(70)	75.7
8*	<i>P</i>	N20°W	17°	7~8	30(50)	60.0
	<i>L</i>	N20°W	17°	5~7	27(30)	90.0
Total					595(757)	78.6

*P*: *Pinus koraiensis*, *L*: *Larix leptolepis*, \*Upper stand is *Pinus* stand and lower stand is *Larix* stand.

을 나타내고 있다.

## 2. 태풍 RUSA 피해지역별 입본현황

태풍 RUSA에 의한 8개 피해지역은 대부분 북동사면에서 발생하였으며 경사는 16~36°, 능선은 1~9부 지역에서 다양하게 발생하였다. 또한 입목피해율은 총 입목본수 757본 중 595본이 피해를 받아 78.6%로 산출되었다(Table 1).

## 3. 태풍 RUSA 피해지역별 입목제원

피해지역별 피해목의 입목제원을 파악하기 위하여 흉고직경, 수고, 재적, 연령을 측정 한

결과, 흉고직경은 13~56cm 범위로 평균 32cm로 나타났고, 수고는 13~28m 범위로 평균 20m, 재적은 0.09~2.28m<sup>3</sup>로 평균 0.72m<sup>3</sup>로 대경목 지역에서 다량 피해가 발생하였다. 연령은 52~65 범위로 평균 57년생으로 장령림에서 피해가 나타났다(Table 2).

피해입목 중 입목의 상부가 절단된 입목은 Site 3과 6을 제외하고 모든 지역에서 발생했으며, 전체 피해목의 22%를 차지하는 것으로 나타났다. 절단된 지점은 지상에서 31~70%의 입목지점에서 피해를 받았고, 갓나무는 지상에서 평균 54%지점에서 낙엽층은 평균 47%지점에서 절단된 것으로 나타났다(Fig. 9).

Table 2. Characteristics of damage trees by site class in 2002 RUSA.

Site	Species	DBH (cm)	Height (m)	Age	Volume (m <sup>3</sup> )	Total Volume (m <sup>3</sup> )
1	<i>P</i>	28(23-36)*	16(13-18)	54(52-56)	0.44(0.11-0.84)	38.3
2	<i>P</i>	40(34-56)	19(17-21)	58(54-62)	0.85(0.27-2.28)	43.4
3	<i>L</i>	30(20-40)	23(19-26)	62(60-65)	0.72(0.29-1.36)	18.0
4	<i>P</i>	33(23-47)	22(19-28)	57(54-63)	0.83(0.26-2.14)	91.3
5	<i>L</i>	31(23-44)	22(17-25)	64(57-65)	0.66(0.23-1.55)	59.4
6	<i>P</i>	32(18-41)	18(14-24)	52(50-54)	0.26(0.18-1.42)	31.7
7	<i>P</i>	31(17-50)	18(13-22)	57(54-60)	0.53(0.09-1.92)	28.1
8	<i>P</i>	21(13-31)	16(13-18)	52(50-54)	0.34(0.10-0.63)	36.6
	<i>L</i>	38(29-50)	25(21-27)	61(55-64)	1.22(0.70-2.02)	19.4
Total		32(13-56)	20(13-28)	57(52-65)	0.72(0.09-2.28)	366.2

*P*: *Pinus koraiensis*, *L*: *Larix leptolepis*, \*Mean(Min-Max).

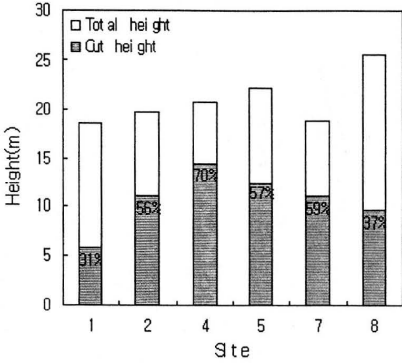


Fig. 9. Cut tree height point of each damage site in 2002 RUSA.

4. 수종별 피해목 재원현황

수종별 피해목의 본수, 흉고직경, 평균수고, 재적과 연령을 조사한 결과, 피해본수는 잣나무 453본, 낙엽송 142본으로 잣나무 피해가 상대적으로 많은 것으로 나타났다. 그러나 평균 흉고직경과 평균수고, 평균재적, 평균연령은 낙엽송이 상대적으로 큰 것으로 조사되었으며, 잣나무는 VI영급에서 낙엽송은 VII영급에서 임목들이 피해를 입은 것으로 나타났다(Table 3).

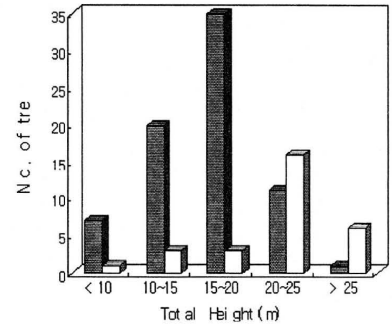
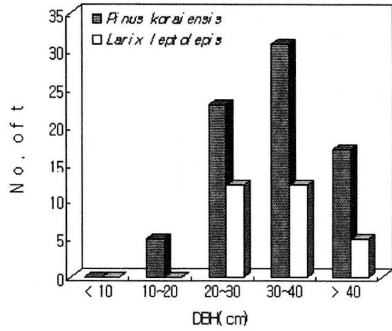


Fig. 10. DBH and total height distributions of damage trees by 2002 RUSA.

Table 3. Characteristics of damage trees by species in 2002 RUSA.

Species	No. of trees	Mean DBH (cm)	Mean height (m)	Mean volume (m <sup>3</sup> )	Total volume (m <sup>3</sup> )	Mean age
<i>Pinus koraiensis</i>	453	31	18	0.54	269.4	55
<i>Larix leptolepis</i>	142	33	23	0.86	96.8	62

잣나무 피해목의 흉고직경 분포는 13~56cm, 낙엽송은 20~50cm까지의 범위로 평균 흉고직경은 각각 31cm, 33cm로 나타났다. 흉고직경 30cm 이상 피해목은 잣나무가 63%, 낙엽송 59%로 상대적으로 대경목의 피해가 많은 것으로 조사되었다. 피해목의 수고분포는 잣나무의 경우 13~28m, 낙엽송은 18~28m의 분포로, 평균 총수고는 각각 18m, 23m로 상대적으로 키가 큰 임목들이 피해를 받은 것으로 나타났다(Fig. 10).

피해목 중 뿌리채 뽑힌 피해목은 피해목 중 76%를 차지하며 잣나무, 낙엽송 각각 피해목의 71%, 86%를 차지하고 있다. 도복된 피해목을 대상으로 뿌리높이와 뿌리횡단면적을 측정 한 결과, 뿌리높이는 1m이하가 잣나무 57%, 낙엽송은 68%였으며, 뿌리횡단면적은 6m<sup>2</sup>이하가 각각 67%와 76%인 것으로 나타나 두 수종 모두 천근성이 심하고 뿌리활착이 안좋은 것으로 나타났다(Fig. 11).



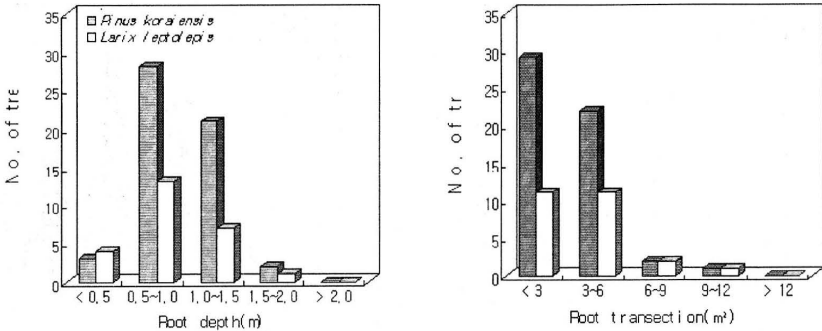


Fig. 11. Root depth and transection distributions of damage trees(uproot) by 2002 RUSA.

5. 임목피해액 산정

태풍 RUSA로 인한 피해지역별 임목피해액 산정은 임목재적에 따른 산림시가표준액을 이용하였으며, 잣나무는 1m³당 49,710원이고 낙엽송은 37,190원으로 책정되었다. 위 단가를 근거로 8개 지역의 총 피해액을 산정한 결과 16,991,866원으로 계산되었으며, 수종별로 잣나무는 13,091,874원, 낙엽송은 3,899,992원으로 각각 산출되었다(Table 4).

Table 4. Characteristics of damage price by site class in 2002 RUSA. Unit : won.

Site	Species	Volume (m³)	Tree price(ea.)	Total amount
1	P	38.3	49,710	1,903,893
2	P	43.4	49,710	2,157,414
3	L	18.0	37,190	669,420
4	P	91.3	49,710	4,538,523
5	L	59.4	37,190	2,209,086
6	P	31.7	49,710	1,575,807
7	P	28.1	49,710	1,396,851
8	P	36.6	49,710	1,819,386
	L	19.4	37,190	721,486
Total		336.2		16,991,866

P : Pinus koraiensis L : Larix leptolepis.

결론 및 제언

본 연구는 2002년 8월 태풍 RUSA로 피해를 받은 강원대학교 연습림 북방지역을 대상으로

정밀피해조사를 실시하였다. 피해지역은 총 8개로 대부분 북동사면에 위치한 잣나무와 낙엽송 인공조림지에서 발생하였다. 임목피해율은 757본 중 595본이 피해를 받아 78.6%로 나타났으며, 피해목 중에서 뿌리채 뽑힌 임목이 76%를 차지하고, 상부수간이 절단된 임목이 22%를 차지하였다. 수종별로 절단된 지점의 수고는 잣나무와 낙엽송 각각 지상 평균 54%와 47%지점에서 위치하였다. 피해목 대부분은 흉고직경 30cm 이상, 수고 20m 이상인 VI~VII영급의 대경목·장령림 지역에서 나타났으며, 도복된 피해목을 대상으로 뿌리높이와 뿌리횡단면적을 측정 한 결과, 두 수종 모두 천근성이 심하고 뿌리활착이 안 좋은 것으로 나타났다. 또한, 총 임목 피해액을 산정한 결과, 16,991,866원으로 잣나무 피해액은 13,091,874원, 낙엽송 피해액은 3,899,992원으로 각각 산출되었다.

이번 2002년 태풍 RUSA 산림피해가 단순·동령인공림 지역에서 발생한 것으로 볼 때 향후 태풍 피해를 줄이기 위해서는 현재 단순·동령림을 이령·혼효림으로 유도하는 시업경영이 필요하며, 임목의 지상부와 지하부의 균형을 유지시켜 뿌리의 지지력을 높여주는 적절한 간벌방법 도입이 요구된다. 이번 피해 발생지역이 VI영급 이상의 장령림 지역에서 발생한 것을 고려해볼 때 개별 또는 흉고직경 40cm 이상의 대경목을 부분적으로 벌채하는 것도 피해를 감소시킬 수 있는 하나의 방법으로 사료된다. 앞으로 태풍을 포함한 각종 자연재해로 인한 산림피해를 최소화하기 위해서는 지속적인 정밀피

해조사와 연구가 뒷받침 되어야 할 것이다.

### 인용문헌

1. 강원대학교 연습림. 2000. 강원대학교 산림 과학대학 연습림 개요.
2. 산림청 홈페이지. [www.foa.go.kr](http://www.foa.go.kr)
3. 서울특별시 세정자료실. 2002. 산림목 시가 표준액표.
4. 염돈민. 2002. 강원광장 48호. 강원발전연구원. 1-5 pp.
5. 오정수. 2003. 태풍 RUSA에 의한 산지재해 원인과 복구대책. 한국임학회 학술연구 발표 논문집. 17-32 pp.
6. 유종덕, 심우섭, 장준근, 최인화. 2002. 태풍 루사에 의한 풍도목 피해조사. 강원대학교 학술림 연구지 제22호. 112-114 pp.
7. 조선일보. 2002. 12. 25. 태풍 RUSA 강타. 사회면.
8. 한국 기상학회. 2002. 12. 「한국의 기후」보고서 집필을 위한 기획연구. 2-9 pp.

## 韓國山林資源測定學會 會則

第 1 條 本 會는 韓國山林資源測定學會라 稱한다.

第 2 條 本 會의 事務所는 山林廳 林業研究院 內에 둔다.

第 3 條 本 會는 山林測定에 關한 研究와 會員 相互間의 親睦을 圖謀하며 林業 및 林學 發展에 寄與함을 目的으로 한다.

第 4 條 本 會는 第 3 條의 目的을 達成하기 爲하여 다음 事業을 한다.

1. 學會 開催
2. 共同研究의 企劃 및 遂行
3. 學會, 其他 有關 團體와의 協力 및 交流
4. 會誌, 會員名簿의 發刊
5. 其他, 本 會의 目的 達成에 必要한 事業

第 5 條 本 會의 會員은 名譽會員, 定會員 및 機關會員으로 한다. 會員은 山林測定 分野에 關心을 갖고 本 會의 趣旨에 贊同하는 사람 또는 機關으로 한다. 名譽會員은 本 會의 發展에 功績이 있는 사람으로서 理事會의 推薦으로 總會의 認准을 받은 사람으로 한다.

第 6 條 本 會는 다음 任員을 둔다.

1. 會長 1名
2. 副會長 약간명
3. 理事 약간명
4. 監事 2名
5. 幹事 약간명

第 7 條 會長, 副會長, 理事, 監事は 總會에서 選出하고 幹事は 會長이 委嘱한다.

第 8 條 任員의 任期는 2年으로 한다. 단 連任할 수 있다. 補選任員의 任期는 前任者의 殘餘期間으로 하고 모든 任員은 任期 終了 後일지라도 後任者의 就任時까지는 그 職務를 管掌한다.

第 9 條 會長은 本 會를 代表하며 總會 및 理事會의 議長이 된다. 副會長은 會長을 補佐하며 會長 有故時는 그 職務를 代理한다. 그리고 副會長으로 林業研究院 山林調査科長은 當然職으로 한다. 理事는 會務執行에 關한 事項을 審議한다. 監事は 本 會의 財産 및 會務 執行狀況을 監査하고 總會에 報告한다.

第 10 條 會長은 每年 1回 定期總會를 召集한다. 단 必要時는 臨時總會를 召集할 수 있다. 總會에서는 다음 事項을 審議決定한다.

1. 會則의 變更
2. 事業報告 및 會務報告
3. 事業計劃
4. 其他 必要한 事項

第 11 條 理事會는 必要에 따라 會長이 召集한다. 理事會는 會長, 副會長, 理事, 監事로 構成하며 總會에서 委任받은 事項과 本 會 運營에 關한 重要事項을 議決한다.

第 12 條 本 會의 財政은 會費, 寄與金, 贊助金, 其他 收入으로 充當한다.

第 13 條 本 會의 會計年度는 每年 1月 1日부터 當年 12月 31日까지로 한다.

### 附 則

- (1) 本 會則은 1987年 2月 12日부터 施行한다.
- (2) 本 會則 第 9 條는 1996年 1月 31日부터 效力을 發生한다.
- (3) 改正된 會則은 1997年 7月 1日부터 效力을 發生한다.

## 韓國山林資源測定學會 原稿投稿規定

1. 투고자격은 회원에 한하여 공동연구시 비회원을 포함할 수 있다. 단, 공동 또는 비회원 단독으로 투고할 경우 편집위원회의 심의를 거쳐 게재할 수 있다.
2. 본 학회지에는 연구논문(Research Articles), 총설(Review)로서 다른 일반 공개간행물에 발표하지 않은 것이어야 하며, 원고의 중별은 저자가 원고 표지에 명시하여야 한다.
3. 논문은 국문 또는 영문으로 작성할 수 있고, 어느 경우에도 반드시 제목과 요약(Abstract)은 국문과 영문 두 가지로 작성되어야 한다.
4. 원고 작성은 제목, 저자의 소속기관을 국문으로 적고, 이어서 영문으로 반복한 후, 국문요약, 영문 ABSTRACT, 서론, 재료 및 방법, 결과, 고찰(또는 결과 및 고찰), 감사의 글, 인용문헌의 순으로 한다. 영문의 경우 제목, 저자, 소속기관을 영어로 적고, 이어서 국문으로 반복한 후, ABSTRACT, 국문요약, INTRODUCTION, MATERIALS AND METHODS, RESULTS, DISCUSSION(REULTS AND DISCUSSION), ACKNOWLEDGEMENT, LITERATURE CITED의 순으로 함을 원칙으로 한다. 단, 속보, 총설, 논설 등은 저자의 편의상 위의 순서를 변경할 수 있다. 주요어(KEY WORDS)는 5구절 이내로 하며 국문요약 다음에 고딕체로, 그리고 영문 ABSTRACT 다음에 이탤릭체 대문자로 표기하되 학명은 고딕으로 표기한다.
5. 제목, 저자명, 저자의 소속기관명은 국문과 영문으로 모두 표기하며, 가급적 저자의 전자우편(e-mail)주소를 포함시키도록 한다.
6. 표(Table)과 그림(Figure)은 영문으로 작성하되 표 제목은 표 상단에, 그림 제목은 그림 하단에 적으며 별지에 첨부하고 본문에 표와 그림의 위치를 표시한다. 그림은 Tracing paper에 그리거나 컴퓨터로 출력하되, Tracing paper의 그림내 활자는 별지(그림의 복사지)에 적고, 컴퓨터 프린터 출력은 Lazer 프린터나 이에 준하는 프린터를 사용한다.
7. 인용문헌의 순서는 맨 앞의 저자명에 의해 국내, 국외순으로 하며 국내 문헌은 가나다순, 국외 문헌은 언어별 자순으로 한다. 정기간행물의 경우 저자명, 연도, 논문제목, 잡지명, 권수(호수), 쪽순으로 적고, 단행본의 경우는 저자명, 연도, 책명, 출판사명, 출판지명, 쪽순으로 한다. 저자와 편집자가 서로 다른 경우, 저자명, 연도, 논문제목, 쪽, 편집자명, 단행본명(논문집 등), 출판사명, 출판지명을 차례로 적는다. 영문으로 쓰여진 단행본을 인용할 때는 단어 첫자만 대문자로 표시해 주되 전치사는 예외로 하고, 쪽은 pp로 한다. 인용한 문헌의 저자나 편집자가 여럿일 때는 모두 적는 것을 원칙으로 한다.
8. 본문에 논문 및 저서를 인용할 때에는 국내 저자의 경우(홍길동, 1993), (홍길동과 박문수, 1993), (홍길동 등, 1993)의 방법으로, 그리고 국외 저자의 경우(Smith, 1993), (Smith and Baker, 1993), (Smith *et al.*, 1993) 등으로 표시한다.
9. 투고는 본학회 투고규정과 인용문헌 작성 규정에 따라 한글로 작성하고 프린터된 원고 3부(그림 원본 포함)를 투고료 및 심사료와 함께 제출하고 디스켓 1부는 논문심사결과 수정시 수정본과 동봉하여 제출한다.
10. 별쇄는 50부를 무료로 증정하며 그 외의 부수는 투고자가 실비를 부담한다.
11. 논문 및 논설 투고자는 1편당 기본 투고료 100,000원을 부담하여야 하며, 인쇄 후 8면을 초과할 경우 초과 면당 20,000원의 초과계재료를 부담하고, 칼라사진을 게재할 경우 1면당 원재 실비로 부담한다.



## 韓國山林資源測定學會 任員

顧問 : 박재욱 이광남 이여하 이종락 정영관 한갑준

會長 : 이동섭 (상주대 교수)

副會長 :

노대균 (임연 산림조사과장)	안종만 (순천대 교수)
안현철 (진주산업대 교수)	이우균 (고려대 교수)
신만용 (국민대 교수)	정주상 (서울대 교수)
차두송 (강원대 교수)	임업정책과장 (산림청)

理事 :

공지수 (임업연구원 연구관)	권태호 (대구대 교수)
김동근 (상주대 교수)	김 천 (국민대 교수)
류택규 (원광대 교수)	박남창 (임업연구원 연구관)
이영진 (공주대 교수)	변우혁 (고려대 교수)
윤광배 (건국대 교수)	이규성 (인하대 교수)
이상현 (전북대 교수)	이준우 (충남대 교수)
임영준 (상지대 교수)	조현서 (진주산업대 교수)
최정기 (강원대 교수)	

編輯委員長 : 신만용 (국민대 교수)

編輯委員 :

김동근 (상주대 교수)	이경학 (임업연구원 연구관)
정주상 (서울대 교수)	최정기 (강원대 교수)
監事 : 서옥하 (강원대 교수)	이승호 (임업연구원)

幹事 :

김철민 김종찬 손영모 이경학 정영교 (임업연구원)	
김택동 (경북 의성군청)	

### 한국산림측정학회지

제 6 권 제 1 호

서기 2003년 7월 25일 인쇄

서기 2003년 7월 30일 발행

발행인	이	동	섭
편집인	신	만	용
발행처	한국산림자원측정학회		

☎ 130 - 7112 서울시 동대문구 청량리2동 207번지  
 임업연구원 산림경영과내  
 전 화 : 02-961-2537  
 FAX : 02-961-2639  
 E-mail : pine21c@hanmail.net  
 농협계좌 : 031-01-341485(김철민)

인쇄처 : 정민사 2278-0199

