

ISSN 1226-8186

한국산림측정학회지

제1권 제2호 1998년 12월

한국산림측정학회

한국산림측정학회지

제1권 제2호

1998년 12월

論 文

미국 온대 활엽수림 지역의 임목생장예측을 위한 수관관련모델의 평가
최정기 · Craig G. Lorimer... 3

몇가지 標本抽出方法間의 精度比較에 關한 研究
 - 江原道 洪川地域 天然闊葉樹林을 對象으로 - 金建赫 · 徐丁源 · 俞嬭禾...18

잣나무 조림지의 임분구조 및 생장에 관한 연구 최정기 · 최인화...27

상주지역 굴참나무 임분구성과 밀도에 관한 연구 김동근 · 배관호 · 이동섭...36

항공사진과 GIS를 이용한 토지이용형태 및 산림식생변화 모니터링
정기현 · 이우균 · 심우범...43

시간 및 공간인자를 고려한 임관투영모델의 개발 송철철 · 이우균 · 정동준...52

강원도지방소나무의 수피두께 및 수피율 손영모 · 이경학 · 정영교 · 이우균...64

GIS를 利用한 山林景觀의 適地分析에 關한 研究
 - 지리산 동부지역을 중심으로 - 鄭秀永 · 鄭永觀...70

韓國山林測定學會 會則 85

韓國山林測定學會 原稿投稿規定 86

An Evaluation of Three Crown-based Functions for Predicting Tree Growth in Temperate Hardwood Forests¹

Jung-kee Choi² · Craig G. Lorimer²

미국 온대 활엽수림 지역의 임목생장예측을 위한 수관관련모델의 평가¹

최정기² · Craig G. Lorimer²

ABSTRACT

Three different crown-based individual-tree basal area increment functions were developed and evaluated for *Acer saccharum*, *Fraxinus americana*, and *Tilia americana* in temperate deciduous forests of the Great Lakes region in North America. The three different model forms (multiple linear regression, modified Chapman-Richards and modified STEMS) were compared for predictive accuracy. Their models had similar predictive accuracy, with a root mean square error for basal area increment of 6-9 cm²/yr. Several validation measures for predicted basal area increment were evaluated in the models using independent data sets. The test for model bias (simultaneous *F*-test for slope=1 and intercept=0 for fit of observed vs. predicted values) showed no significant bias, and model efficiency (EF) revealed good fits for all models and species.

Long-term projections of basal area increment and stem diameter at 1.37 m (dbh), were made over a period of 300 years for dominant-codominant sugar maple trees and compared with observed data. There was no evidence of asymptotic cumulative diameter growth in any species, either in the data set or in simulations. The theoretical advantage of the Chapman-Richards model in simulating asymptotic diameter growth was therefore not apparent in this data set since asymptotic growth was not observed over an age range of 50-300 years. The three alternative crown-based models appear equally suitable for forecasting general population features over a long period of time, even into the old-growth stages.

Key words : Basal area growth, Crown-based model, Multiple linear regression, Modified STEMS, Modified Chapman-Richards

요 약

본 연구는 미국 오대호지역 온대 활엽수림의 주요 수종인 사탕단풍나무(*Acer saccharum*), 미국물푸레나무(*Fraxinus americana*), 미국피나무(*Tilia americana*)를 대상으로 수관관련 독립변수를 이용하여 세가지 단목 연년 흉고단면적 성장모델(선형다중회귀식, 변형 Chapman-Richards 모델, 변형 STEMS모델)을 조제하여 그 적용성을 평가하였다.

¹ 접수 1998년 9월 일 Received on September, 1998

² 미국 위스콘신대학 임학과 : Department of Forestry, University of Wisconsin-Madison, Madison, WI 53706, U.S.A.

이들 세 가지 모델에 의한 생장 예측은 모두 유사한 정확도를 나타내었으며, 연년 흉고단면적 생장량 오차제곱근(RMSE)은 6-9 cm²/yr이었다. 또한 Independent data를 이용하여 흉고단면적 생장을 위한 몇가지 검증방법을 적용·검토하였다. 모델의 편의를 검증(실측치와 예측치를 위한 동시 F -검정 기율기=1과 절편=0)한 결과, 모델들 간에서는 유의적인 차이가 없었고, 모델 효율성(modeling efficiency; EF)은 세가지 모델과 수종 모두에 적합한 것으로 나타났다.

사탕 단풍나무 우세목과 준우세목의 흉고단면적과 흉고직경의 장기예측치를 실측치와 비교·검토하였다. 누적 흉고직경생장은 어떤 수종에서도 실측치와 simulation에 의한 예측치에서 점근성이 나타나지 않았다. 또한 50-300년의 실측자료에서 점근성 직경생장이 관찰되지 않았기 때문에, 점근성 특성을 가진 Chapman-Richards모델에서도 점근성 경향을 보이지 않았다. 본 연구의 세 가지 수관관련모델들은 장기간 및 노숙림 단계까지의 일반적인 구성 수종 양상을 예측함에 있어서 매우 적합한 것으로 판단된다.

INTRODUCTION

Since Newnham (1964) published the first individual-tree model, a variety of such models have been developed, tested, and applied to forest research and management (Munro, 1974; Shugart, 1984). Individual-tree models can be divided into two broad categories; process models and empirical models. Process models attempt to model the processes of growth, taking as input light, temperature, and soil nutrient levels, and modeling photosynthesis and the allocation of photosynthesis to roots, stems, and leaves (Botkin et al., 1972; Sievanen et al., 1988; Bossel et al., 1991; Botkin, 1993). Such models, however, currently have limited practical application, in part because of difficulties in estimating the many parameters (Bossel et al., 1989). For example, JABOWA is a forest model in which tree growth is a function of light and temperature, and regeneration is determined by light, temperature, and soil moisture conditions (Botkin et al., 1972). In principle, it uses physiological process variables such as light diffusion through the canopy. But in practice, because there are difficulties in measuring these variables, they are usually substituted with easily measured variables such as dbh. Therefore, some empirical content often remains even in process models.

Substantial progress has been made in recent years with process models that directly simulate photosynthesis and carbon allocation, and some of these, such as TREE-BGC (Korol et al., 1996) have been successfully adapted to the individual-tree level.

The new challenge is to provide a sufficient physiological and ecological basis to ensure realistic predictions under a variety of site and stand conditions, especially when empirical data for calibration are limited (Kowalski and Guire, 1974; Hamilton, 1990; Wykoff, 1990; Zeide, 1993; Vanclay, 1995). Mixed models including both empirical and process elements are likely to be needed to make reliable long-term forecasts and credible growth predictions for large heterogeneous areas or for management conditions that cannot currently be observed (Bruce, 1988).

One of the most widely used models based on biological principles of growth is the Chapman-Richards function (Murphy, 1983; Martin and Ek, 1984; Harrison and Daniels, 1988; Greg and Robert, 1991). Pienaar and Turnbull (1973) used the Chapman-Richards function as a basis for the development of a theory of basal area growth and yield of even-aged coniferous monocultures. The Pienaar and Turnbull theory views the increase in physical dimensions of trees as the net effect of internal anabolic processes, or constructive

metabolism, and catabolic processes, or destructive metabolism. They then assumed the anabolic rate to be proportional to the photosynthetic leaf area of the tree. It is assumed that an allometric relationship exists between the photosynthetic surface area and some other physical dimension, e.g., dbh and basal area. The Chapman-Richards model is a general sigmoid-shaped function that can be derived by considering the growth rate of any population to be the difference between the anabolic rate and catabolic rate, so there is a single inflection point and an asymptotic value over time. Knowing when the asymptote appears is important in studying the development of old-growth forests and managed forests on extended rotations. Little is known about the age at which asymptotic diameter or volume growth occurs in individual trees of most species, and use of the Chapman-Richards function has typically been restricted to the range of stand ages commonly found in forests managed on normal economic rotations. Therefore, it would be desirable to examine the use of the Chapman-Richards model in a long-term projection of tree growth in older stands of late-successional temperate forests.

Another widely-used semi-empirical, individual-tree model of forest growth is the STEMS model of the U.S. Forest Service (Belcher et al., 1982), which has a two-step process for predicting basal area growth. The potential growth function predicts the growth of open-grown trees in the absence of competition, while the modifier function expresses the effect of competition on reducing the potential growth to attain the "realized" or actual growth of each tree. Shifley (1987) pointed out that there are some practical advantages to splitting growth estimation into potential and modifier components. First, it breaks a complex modeling problem into more

tractable parts. Second, the growth potential function identifies an upper bound to tree growth and total size. A carefully selected potential function ensures that all projected growth rates, even those falling outside of the range of the calibration data, are biologically reasonable. Potential growth is estimated from trees that have experienced little competition. The modifier function, on the other hand, is developed from growth observations over a wide range of competition and stand density.

Existing models such as the Chapman-Richards function and STEMS can be modified to predict basal area growth rate as a function of crown variables. Previous studies have shown that field measurements of crown size and crown overlap often give improved predictions of individual tree growth and mortality compared to use of more conventional variables such as tree stem diameter as a substitute for leaf area and plot basal area as a substitute for inter-tree competition (Hix and Lorimer, 1990; Biging and Dobbertin, 1992; Cole and Lorimer, 1994; Dahir, 1994).

Most prior studies on crown models have adopted a particular functional form for the tree growth equation that appeared *a priori* to be best suited for their particular purpose, but few comparative studies have been conducted to evaluate the performance of alternative functional forms. The specific objectives of this study are (1) to compare the predictive accuracy and asymptotic growth trends of three different model forms: a simple additive linear model, a modified version of the Chapman-Richards function, and a modified version of the STEMS model utilizing the same independent crown variables, and (2) to evaluate the ability of these models to make accurate long-term projections of individual tree growth.

METHODS

Study areas

Data on basal area increment were utilized from 3 pre-existing data sets, all of them obtained on similar habitat types and using the same sampling methods (Cole and Lorimer, 1994; Singer and Lorimer, 1997; Cole and Lorimer, unpublished). The data were collected from 1987-1991 on 63 plots in fifteen northern hardwood stands in northern Wisconsin and adjacent western Upper Michigan (Fig. 1). Overstory tree species included sugar maple (*Acer saccharum*), basswood (*Tilia americana*), white ash (*Fraxinus americana*), and other northern hardwood associates.

The study sites lie within sub-subsections IX.3.1, IX.3.2, and IX.3.3 of the ecological landscape classification of Albert (1995). Mean monthly temperatures range from -12.3 C in January to about 19.5 C in July. Annual precipitation averages 820 mm and is fairly well distributed throughout the year. Eleva-

tions range from 500-550 m. Soils are classified as well or moderately well drained loamy Spodosols, originating from eolian deposits on glacial till or glacial outwash.

Stand had been subjected to a wide range of past cutting treatment, and included stands that were untreated, stands that had been thinned or selectively harvested to various stocking levels, and stands that had received heavy shelterwood cuts. All stands, however, were selected on similar habitats to minimize confounding effects of site quality variation on individual tree growth. Stands were selected on habitats classified as mesic and nutrient rich in the system of Kotar et al. (1988). These included the *Acer-Viola-Osmorhiza*, *Acer-Fagus-Adiantum*, and the upper site quality range of the *Acer-Tsuga-Dryopteris* habitat type. The mean site index from all acceptable sugar maple trees was 19.0 m (range 16.5-20.0 m). Site index was estimated from curves of Carmean (1978) using only dominant and codominant sugar maple, white ash and American basswood trees that showed no evidence of early growth suppression in stem disks cut at breast height.

The combined data set included a wide variation in age among sample trees, ranging from 17-311 years. Thirty percent of the 382 trees were >100 years old, 18% were >150 years, and 10% were >200 years old. Intensity of treatments in the managed stands ranged from <20 to 65% basal area removal.

Field methods

Circular plots were established in each stand by stratified random sampling, with plot radius equal to 3.5 times the mean crown radius of the 10 canopy trees (dominant, co-dominant, intermediate, as defined by Smith, 1986) nearest to plot center. Subject trees, on which growth measurements were made, were all trees greater than or equal to 5 cm



Fig. 1. Location of study sites

dbh within a radius 2.1 times the mean crown radius of the 10 canopy trees. This plot design is efficient for data collection and gives approximately equal number of sample trees in stands of different ages.

Distance and azimuth from plot center were recorded for all live trees within the outer plot perimeter. Species, dbh, and crown class were recorded for all subject and competitor trees. The crown classes recognized were dominant, codominant, intermediate, and suppressed, as defined by Smith (1986). For subject trees, crown radii in four cardinal directions as well as radii of the exposed portion of the crown (the part not overtopped by adjacent trees) were measured by extending a tape measure horizontally from the bole center at ground level to the crown projection edge. A clinometer was used to sight the crown projection edge for all measurements.

Subject trees were felled and total height measured. A disk was cut at breast height for laboratory measurement of radial increment. A detailed description of this field method is given by Cole (1991), Singer (1995), and Choi (1998).

Data analysis

Calculation of dependent and independent variables

The dependent variable evaluated in all 3 model forms was annual basal area growth (Δ BA). Annual basal area growth was calculated as the mean annual increment for the five- or seven-year period preceding the year of measurement, or in some cases as the mean annual increment from the year of treatment to the year of measurement, to a maximum of ten years (Cole and Lorimer, 1994; Singer and Lorimer, 1997). Mean annual basal area increment over a 5-10 year period was used for each tree to minimize the potential effects of climatic or pathogenic factors

in any single year.

Crown-based independent variables used in this study included total tree height (H), total crown projection area (TCA), relative height (H/\bar{H}), exposed crown area (ECA), and percent exposed crown area (%ECA). Relative height (H/\bar{H}) was calculated by dividing total tree height at the growth interval midpoint by the arithmetic mean height respectively, for all codominant and dominant trees on the plot. Total crown projection area (TCA) was calculated as the sum of the areas of four quarter ellipses delimited by the four crown radii measured in cardinal directions. Exposed crown projection area (ECA) was calculated in a similar way, but using projection area of the exposed portion which was not overlapped by the branches of adjacent trees. Percent exposed crown area (%ECA) was computed as the ratio of exposed to total crown projection area. For overtopped trees, a minimum %ECA of 2.0 was assigned to take into account sun flecks and small breaks in the canopy. ECA for overtopped trees was therefore calculated as 2% of the measured TCA.

Independent variables were backdated to the midpoint of the growth interval in order to minimize the cumulative time differences between dependent and independent variables. Size variables for each subject tree were calculated by subtracting observed annual growth increments from current size. Bark thickness was assumed to be constant over the several years in question for estimates of backdated diameter. Total crown area (TCA) was also backdated at the growth-interval midpoint for each data set. However, we assumed that percent exposed crown area (%ECA) and height of widest part of crown for most mature trees would not have changed substantially over the period from year of measurement to interval midpoint. Therefore, exposed

crown area (ECA) at midpoint was calculated by multiplying the midpoint TCA by the %ECA in the year of measurement. A more detailed description of the midpoint can be given by Cole (1991) and Choi (1998).

Alternative crown-based model forms

Linear model

Species-specific multiple regression equations for crown-based variables were developed based on an *a priori* hypothesis that a model of the form

$$[1] \quad \text{Annual growth} = f(\text{initial size, relative size, local stocking or competition})$$

would generally give the most accurate predictions when simple external tree measurements were used as predictor variables (Cole and Lorimer, 1994). Eq. [1] was used as a starting point in the variable selection process, but was not used to constrain final model structures. In this and all subsequent models, the coefficient of determination (R^2) and mean square error (MSE) were used to measure goodness of fit. Also, analysis of residuals was used to check for violations of regression assumptions.

Absolute size reflects a tree's overall stature and is assumed to be correlated with leaf surface area within a species. Relative size, the tree's absolute size divided by the plot mean size for a given variable, represents the position of a tree within the vertical profile and reflects the effects of crown shading, even at low stocking levels. The local competition term is an indirect measure of the effect of stocking on competition for site resources, particularly competition for light among tree crowns. Relative size and local competition variables are also important in a model designed to simulate changes in stand structure due to thinning, single-tree selec-

tion and natural mortality of individual trees.

Modified Chapman-Richards function

Martin and Ek (1984) used the modified Chapman-Richards model as a basis for the development of a theory of individual-tree diameter growth in red pine plantations in Wisconsin. The Chapman-Richards model was extended to include measurement of environmental resistance (based on a competition index) and differential site quality (based on site index) as follow :

$$[2] \quad (1 - \text{environmental resistance}) \times (\text{anabolic rate} - \text{catabolic rate})$$

Martin and Ek (1984) included the effect of differential site quality by assuming an allometric relationship between the parameter and site index. Catabolic rate was assumed to be proportional to the size of the tree (dbh). The potential rate (anabolic rate - catabolic rate) was finally modified by environmental resistance. Therefore, the theoretical expression Eq. [3] was rewritten with the parameters for the diameter growth model as follows :

$$[3] \quad \Delta D_i = e^{-b_1 c^{b_2}} (b_3 S^{b_4} D_i^{b_5} - b_6 D_i)$$

where ΔD_i = the annual diameter increment for the i th year of growth period,
 C = competition index,
 S = site index, and
 D_i = dbh at the i th year.

For the present study, because anabolic rate and catabolic rate were assumed to be proportional to leaf area of the tree (Pienaar and Turnbull, 1973), the total crown area (TCA) should be a better substitute than dbh. And the competition term was expressed with percent exposed crown area (%ECA) and relative height (H/\bar{H}) instead of compe-

tition index. Site index is not included in the equation since the study sites were selected to be similar in soils, landform, and habitat type. The modified Chapman-Richards for this study is

$$[4] \Delta BA_i = e^{-b_1(100-\%ECA_i)/(H_i/\bar{H})^{b_2}} / (b_3 TCA_i^{b_4} - b_5 TCA_i)$$

where ΔBA_i =annual basal area growth for the i th year of growth period,

$\%ECA_i$ = percent exposed crown area at the i th year,

H_i/\bar{H} = relative height at the i th year and

TCA_i = total crown area at the i th year of growth period.

Modified STEMS function

The STEMS model (Belcher et al., 1982) consists of two components as follows :

$$[5] \text{ Annual growth} = [\text{potential growth function}] \times [\text{modifier function}]$$

where Potential growth function=f (dbh, site index, crown ratio code), and Modifier function=f (plot basal area, dbh, relative diameter)

In this study, however, crown-based variables were used instead of diameter-based variables as follows :

Potential growth function=f (TCA, H), and Modifier function=f (%ECA, H/\bar{H})

The independent crown-based variables of the potential growth function, total crown area (TCA) and total height (H), were selected to be only dominant and codominant trees having exposed crown area (ECA) greater

than 90 percent. These trees are therefore under relatively low competition for forest-grown trees. Trees meeting these criteria made up 20% of the sugar maple sample trees, 63% of the basswood, and 61% of the white ash (Table 2 and Fig. 2). The competition modifier was developed with percent exposed crown area (%ECA) and relative height (H/\bar{H}) as independent variables. Species-specific multiple regressions were developed for both functions.

The original STEMS model used complex non-linear equations; however, in this study, multiple linear regression was used for both potential function and modified function in order to evaluate the statistical significance of individual variables.

Validation procedure

Validation of crown models was performed separately for sugar maple, basswood and white ash. Five data sets making up 2/3 of the total data for each species were randomly selected for calibration. The calibration data set was then used to fit the 3 crown-based models for each species. The observed values of the independent variables for each tree in the validation data sets (1/3 of total data) were then entered into equations fit with the calibration data set, and observed and predicted growth for each tree compared. The statistical measures of validation from Mayer and Butler (1993) were used for this study : root mean square error (RMSE) : $\sqrt{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2 / n}$, mean absolute error (MAE) : $(\sum |y_i - \hat{y}_i|) / n$, mean absolute percent error (MA%E) : $100[(\sum |y_i - \hat{y}_i| / |y_i|)] / n$ modeling efficiency (EF) : $1 - \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 / \sum (y_i - \bar{y}_i)^2$, and linear regression analysis of observed versus predicted values (including simultaneous F -test for bias). For bias test, predicted values of the variate (x axis) were plotted against observed values (y axis). The line of perfect agreement between predicted and observed is then a straight line

with slope=1 and intercept=0. A linear regression of actual observed vs. predicted values can then be evaluated to test the hypothesis of slope=1 and intercept=0. A non-significant result indicate lack of model bias. The average statistical measures of validation for the 5 independent data sets were computed for each model.

Long-term validation tests were evaluated in order to determine if long-term cumulative growth (basal area growth and dbh) give reasonable projections for dominant-codominant trees. The developed growth projections of dominant tree was superimposed onto observed data on the dimensions of dominant-codominant trees to verify the growth pattern with observed data over time.

RESULTS

Comparison of alternative crown-based models

Linear model

Variables that were significant when combined in multivariate equations generally included all three categories of variables for sugar maple in Eq.[1] (initial size, relative size, competition). For sugar maple, these three independent variables accounted for 78 % of the observed variation in basal area increment (Table 1). For basswood and white ash, the relative size term was not significant ($p=0.1-0.2$ and $0.4-0.7$, respectively). How-

ever, in all species, significant independent variables had positive coefficients as would be expected, with growth rate positively correlated with initial size and improved competitive position (Table 1).

All equations in Table 1 typically include the same significant predictors as the equations in Cole and Lorimer (1994). The combined data increased the R^2 value of all equations for sugar maple and white ash (1-7 percentage points) in the data of Cole and Lorimer (1994). However, the R^2 decreased slightly for basswood (2-10 percentage points). Among all species, percent exposed crown area and exposed crown area were typically the most significant predictor variables (Table 1).

Natural logarithm transformations of predictor and response variables generally produced better residual patterns and higher correlations with basal area growth.

Modified Chapman-Richards function

The b_2 and b_4 coefficients of the modified Chapman-Richards model, Eq.[4], could not be adequately estimated from the present data set because the maximum number of nonlinear iterations was exceeded in the analysis (in SYSTAT 5.2). Martin and Ek (1984) simplified the model by omitting parameter b_2 after they found a strong correlation between parameter b_1 and parameter b_2 . The same procedure was used here. The b_4 was assigned

Table 1. Linear crown-based equations for predicting annual basal area increment (Δ BA, cm^2/yr). All equations have significant F -value ($p<0.0001$) and significant individual parameter estimates ($p<0.05$).

	Equation	n	R^2	MSE
<i>Sugar maple</i>	$\ln \Delta BA = -0.25 + 0.46 \ln TCA + 1.03 \ln RH + 0.28 \ln \% ECA$	205	0.78	0.30
<i>Basswood</i>	$\ln \Delta BA = -3.58 + 1.66 \ln H + 0.3 \ln ECA$	63	0.70	0.21
<i>White ash</i>	$\ln \Delta BA = -2.33 + 1.01 \ln TCA + 0.33 \ln \% ECA$	33	0.89	0.16

H=height(m) ; TCA=total crown area(m^2) ; RH=relative height (H/\bar{H}) ; ECA=exposed crown area(m^2) ; %ECA=percent exposed crown area($(ECA/TCA) \times 100$)

Table 2. Crown-based basal area growth equations in modified Chapman-Richards model.

	Equation	n	R ²	MSE
<i>Sugar maple</i>	$\Delta BA = \text{EXP}(-0.008 * ((100 - \% ECA) / RH)) (2.54 TCA^{2/3} - 0.28 TCA)$	205	0.61	43.34
<i>Basswood</i>	$\Delta BA = \text{EXP}(-0.009 * ((100 - \% ECA) / RH)) (3.74 TCA^{2/3} - 0.53 TCA)$	62	0.44	75.73
<i>White ash</i>	$\Delta BA = \text{EXP}(-0.014 * ((100 - \% ECA) / RH)) (0.62 TCA^{2/3} + 0.33 TCA)$	33	0.83	37.85

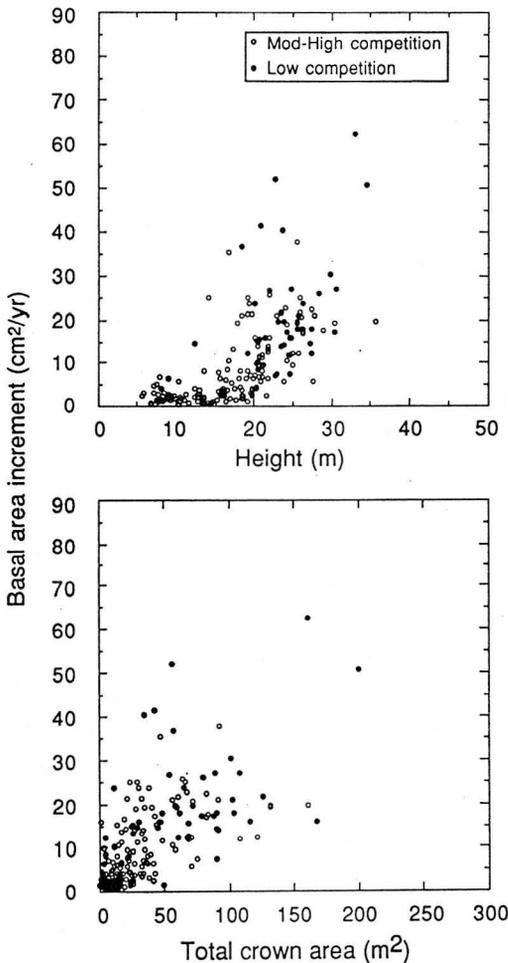


Fig. 2. Annual basal area increment versus height and total crown area for sugar maple. Black dots are the data from trees with low competition (dominant-codominant trees with %ECA > 90) used in the modified STEMS potential growth function.

the value of 2/3 for this study because Von Bertalanffy (1951) concluded that for a major class of organisms this parameter is approximately 2/3. Pienaar and Turnbull (1973) as-

sume the potential growth rate is equal to the anabolic rate minus the catabolic rate. But for white ash in the present study, this assumption was violated, possibly due to the limited amount of data available for white ash (n=33) (Table 2). Residual histograms looked normal, but all residual plots exhibited heteroskedasticity because the data were not log transformed.

In all three species, the Chapman-Richard function explained a somewhat smaller percentage of observed variation in basal area increment (R²=0.44-0.83) than in the additive linear model.

Modified STEMS function

The two independent variables in the potential growth equation (height and total crown area) were both significant in sugar maple. However, the height coefficient for basswood and white ash was not significant in the potential growth function, so height was eliminated (basswood *p*=0.2, white ash *p*=0.3). The R² for the potential growth equation was relatively high for sugar maple and basswood (0.66-0.73), but relatively low for basswood (0.30).

For most of the trees, the competition modifier is between 0 and 1 as shown in Fig. 3. Some trees have competition modifiers greater than 1 because their actual basal area growth is greater than the predicted mean growth rate of the dominant-codominant trees. Theoretically, as the competition modifier approaches 1, actual basal area growth approaches the potential growth. As the competition modifier approaches 0, actual basal

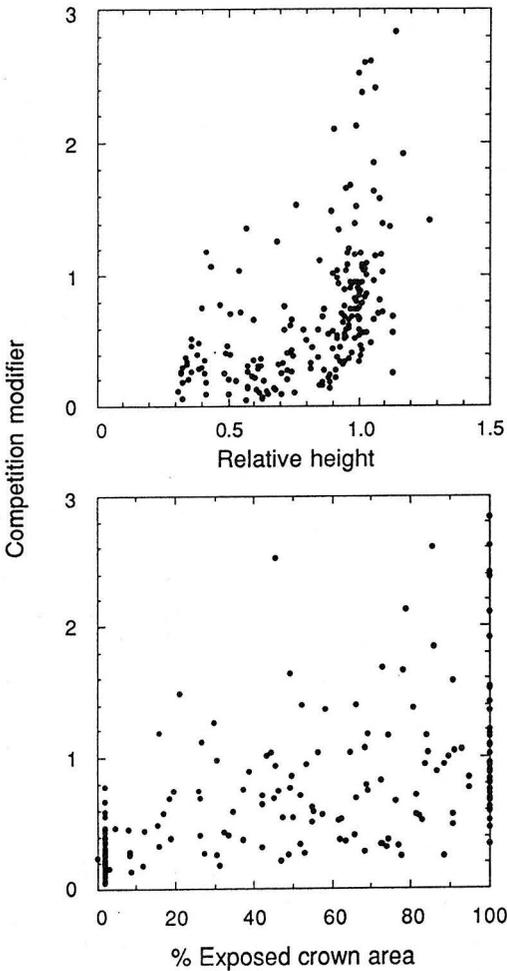


Fig. 3. Competition modifier STEMS model as a function of relative height and percent exposed crown area in sugar maple.

area growth is reduced relative to potential growth. As expected, the competition modifier is positively correlated with relative height ($r=0.35$ to 0.51) and percent exposed crown area ($r=0.45-0.67$). However, because the potential growth function is deterministic and based on regression fits, some trees in actual stands can be expected to grow faster than what is predicted by the model.

Final basal area equations for each species are calculated as the product of the potential function and competition modifier, as indicated in Table 3. It is not possible to calculate an R^2 value for the overall model. No violations of regression assumptions were found in the histograms and plots of residuals for the potential growth function, competition modifier, and final STEMS model.

Validation

The validation measures (root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE), mean absolute percent error (MA%E), bias (the simultaneous F -test for slope= 1 and intercept= 0), modeling efficiency (EF)) for predicted basal area growth increment were evaluated in the alternative crown-based models. The validation measures were calculated as mean of the statistical measures of 5

Table 3. Crown-based basal area growth equations in modified STEMS. All equations have significant F -value ($p < 0.0001$) and significant individual parameter estimates ($p < 0.05$).

	Equation	n	R ²	MSE
Potential growth				
<i>Sugar maple</i>	$\ln \Delta PBA^* = -0.74 + 0.85 \ln H + 0.25 \ln TCA$	46	0.66	0.21
<i>Basswood</i>	$\ln \Delta PBA^* = 1.78 + 0.32 \ln TCA$	39	0.30	0.22
<i>White ash</i>	$\ln \Delta PBA^* = 0.14 + 0.78 \ln TCA$	20	0.73	0.12
Competition modifier				
<i>Sugar maple</i>	$\ln MOD^\dagger = -1.44 + 0.54 \ln RH + 0.29 \ln \% ECA$	205	0.53	0.32
<i>Basswood</i>	$\ln MOD^\dagger = -1.75 + 1.49 \ln RH + 0.34 \ln ECA$	62	0.36	0.30
<i>White ash</i>	$\ln MOD^\dagger = -1.67 + 0.85 \ln RH + 0.33 \ln \% ECA$	33	0.58	0.18

Actual estimated basal area growth
 $\Delta BA = \Delta PBA^* \times MOD^\dagger$

* Potential basal area growth from trees selected with dominant crown class and %ECA greater than 90.
 † Competition multiplier was calculated as the ratio of actual basal area growth to potential basal area growth from equation.

randomly replicated validation data sets for each species (Table 4).

Because the validation measures for the modified Chapman-Richards models were calculated from untransformed data, the validation measures for the other models were recalculated from untransformed data to facilitate comparisons.

As shown in Table 4, mean absolute error and mean absolute percent error are relatively low for sugar maple and white ash. The calculated model efficiency (EF), analogous to the coefficient of determination (R^2), is relatively high in models for sugar maple and white ash (0.61-0.74). The bias test (the simultaneous F -test for slope=1 and intercept =0) was not significant in all models and species, so a hypothesis for slope=1 and intercept=0 was accepted, so no evidence of model bias was found. The multiple linear model was generally the best for all species. However, differences between model forms were rather small.

Evaluations of long-term projections

Basal area increment for individual trees

To evaluate the long-term prediction of basal area increment for dominant sugar maple, the three crown-based model projections (multiple linear regression, modified Chapman-Richards and modified STEMS) were superimposed onto the "potential growth" data set (dominant-codominant trees under low competition) (Fig. 4). For long-term simulation of a dominant tree from age 50, updating of other independent variables (TCA, H, RH, %ECA) needed in the three crown models was obtained as follows: To estimate the initial total crown area at age 50, a simple allometric regression ($TCA=b_0+b_1Age$) was developed from the dominant-codominant tree data. Initial height at age 50 was determined by asymptotic nonlinear regression ($H=b_0(1-e^{-b_1Age})$) from the same data set. Total crown area and height were then updated every year using these allometric equations. Percent exposed crown area and relative height were

Table 4. Average validation measures for independent data sets based on 5 replications with three alternative crown-based models.

Model	RMSE	MAE	MA%E	Intercept	Slope	Bias*	EF
<i>Sugar maple (n=68)</i>							
Linear model	6.10	3.62	47.77	0.31	1.12	2.99 ^{ns}	0.66
Modified Chaman-Richards	6.53	3.98	67.87	-0.41	1.08	1.25 ^{ns}	0.61
Modified STEMS	6.47	3.74	49.50	0.32	1.13	3.15 ^{ns}	0.62
<i>Basswood (n=21)</i>							
Linear model	8.02	5.76	34.60	1.67	1.02	0.86 ^{ns}	0.43
Modified Chaman-Richards	8.15	6.43	54.71	-2.73	1.13	0.47 ^{ns}	0.42
Modified STEMS	8.76	6.46	50.79	-3.80	1.43	1.74 ^{ns}	0.33
<i>White ash (n=11)</i>							
Linear model	6.79	4.76	44.25	0.15	1.00	1.84 ^{ns}	0.74
Modified Chaman-Richards	6.65	4.61	46.70	0.72	0.97	1.81 ^{ns}	0.73
Modified STEMS	6.96	4.84	47.74	-1.67	1.22	2.61 ^{ns}	0.74

RMSE, root mean square error, $\sqrt{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2/n}$; MAE, mean absolute error, $(\sum |y_i - \hat{y}_i|)/n$; MA%E, mean absolute percent error, $100[(\sum |y_i - \hat{y}_i| / |y_i|)]/n$; * Simultaneous F -statistic for slope=1 and intercept=0; EF, modeling efficiency (EF): $1 - \sum(y_i - \hat{y}_i)^2 / \sum(y_i - \bar{y})^2$; ns, nonsignificant ($P > 0.05$)

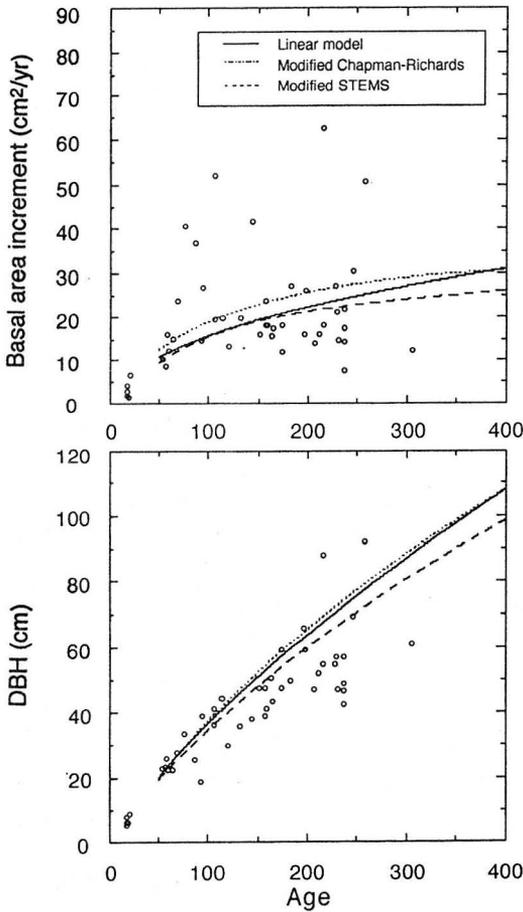


Fig. 4. Simulated long term basal area increment and dbh trend of dominant-codominant sugar maple trees starting at age 50 and using the 3 crown models. Other independent variables(TCA, H, RH % ECA) needed for simulation were updated annually using allometric equation (see text). Percent exposed crown area and relative height were set to 100 and 1.0, respectively, in order to remove the possible confounding effects of competition and simulate the growth of a dominant tree under minimal competition. Dots represent observed Δ BA and DBH of dominant-codominant trees in the data set currently under minimal competition (%ECA > 90).

set to 100 and 1.0, respectively, in order to remove the possible confounding effects of competition and to simulate the growth of a

dominant tree under minimal competition.

Basal area increment projections show similar trends among the 3 models over 250 years, compared to the observed Δ BA vs. age trend among dominant trees in the data set (Fig. 4). While the modified Chapman-Richards projection seems to overestimate observed basal area increment, the other projections appear to go through the middle of the data points. After 250 years, as the simulated conditions are extrapolated beyond the range of existing data, the three model predictions begins to diverge. As expected, the modified Chapman-Richards projection begins to show evidence of declining basal area increment with increased age, but not until after 350 years. Basal area growth rate begins to decrease after 483 years, and finally approaches 0 after 1595 years, which is far beyond the maximum life expectancy in these species.

Cumulative long-term diameter growth of individual trees

In order to examine long-term sugar maple diameter growth, cumulative diameter of dominant trees was projected using basal area increment predicted by the 3 crown models superimposed onto the scatter of observed sizes of dominant-codominant trees (Fig. 4). Dbh and other independent variables were updated using the equations mentioned in the previous section. The three growth projections have a similar and nearly linear trend over a period of several hundred years. While the modified Chapman-Richards model appears to overestimate the observed trend slightly, the other projections have similar trends to the observed data. No asymptotic trend in cumulative diameter was found over a long period of 600 years using the 3 crown-based models.

The three crown models suggest that a sugar maple tree under minimal competition

would reach a dbh of approximately 60 cm in 200 years (Fig. 4). The implied mean radial increment is 1.5 mm per year, which is consistent with observed growth rates of dominant trees (Strong et al., 1995; Singer and Lorimer, 1997).

DISCUSSION

The three alternative crown-based models (Additive linear model, Modified Chapman-Richards, Modified STEMS) showed little difference in predictive accuracy, either in relation to precision of short-term forecasts (judged by root mean square error of validation tests) or long-term projections. Thus all three crown-based models appear equally suitable for forecasting long-term stand development.

There was no apparent tendency for the more complex model forms to give better results. In fact the simple additive linear model generally had lower measures of error and higher modelling efficiency than the modified Chapman-Richards or modified STEMS models. While the Chapman-Richards function was specifically designed to model sigmoid growth patterns, no tendency toward sigmoid diameter growth was observed over the normal 300-400 year life span for these species. Cumulative diameter therefore showed only slight curvilinear trends over a span of 400 years, trends that were handled equally well by all three models. And while the two-step process in STEMS of modelling potential and realized growth may have some benefits in parameter estimation, no practical benefits in increased precision or modelling efficiency were evident in this study, nor did the STEMS model constrain maximum tree size more effectively than the simple additive linear model.

The tendency of long-term simulations to

show progressive divergence of observed vs predicted values, known as "error propagation", is frequently a concern among modelers (Oster, 1981; Peters, 1991). This concern is relevant to forest simulation as well, since the predicted values (growth increment) in one iteration is added to the independent variable in the next iteration, and a simulation run may involve more than 200 iterations. Although it was not possible to quantify the actual prediction error over a period of several hundred years, it was evident from the results of this study that a growth model based on short-term growth measurements can provide reasonable estimates of cumulative diameter over a period of 300 years. The simulated mean dbh and mean radial increment of dominant-codominant trees is close to the long-term dbh-age trends in the data set and agrees well with other independent regional estimates (Strong et al., 1995; Lorimer and Frelich, 1998).

ACKNOWLEDGEMENTS

This project was supported by the McIntire-Stennis Cooperative Forest Research Program, Project WISO 3036, and by the School of Natural Resources, College of Agricultural and Life Sciences, University of Wisconsin-Madison. We gratefully acknowledge the advice on statistical procedures provided by George Martin.

LITERATURE CITED

1. Albert, D.A. 1995. Regional landscape ecosystems of Michigan, Minnesota, and Wisconsin: a working map and classification. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep., NC-178.
2. Belcher, D.W., Holdaway, M.R. and Brand, G.J., 1982. A description of

- STEMS-the stand and tree evaluation and modeling system. Gen. Tech. Rep. NC-79, USDA Forest Service, St. Paul, MN, 18pp.
3. Biging, G.S. and Dobbertin, M., 1992. A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees. *For. Sci.*, 38 : 695-720.
 4. Bossel, H., et al., 1989. Tropical rain-forest ecosystem structure, function and dynamics. p.35-50 in Proc. Seminar Growth and yield in tropical mixed/moist forest, Wan Razali Mohd., H.T. Chan, and S. Appanah (eds.). For. Res. Inst. Malaysia.
 5. Bossel, H., Krieger, H., Schafer, H. and Trost, N., 1991. Simulation of forest stand dynamics. *Ecol. Model.*, 59 : 37-71.
 6. Botkin, D.B., 1993. Forest dynamics : an ecological model. Oxford University Press, Oxford, England.
 7. Botkin, D.B., Janak, J.F. and Wallis, J.R., 1972. Some ecological consequences of a computer model of forest growth. *J. Ecol.*, 60 : 849-873.
 8. Bruce, D., 1988. Development of empirical forest growth models. Process modeling of forest growth responses to environmental stress. Timber press., pp.191-199.
 9. Carmean, W.H., 1978. Site index curves for northern hardwoods in northern Wisconsin and Upper Michigan. USDA For. Serv. Res. Pap., NC-160.
 10. Choi, J., 1998. Simulation of the development and restoration of old-growth northern hardwood forest. Ph.D. Thesis, Univ. of Wisconsin-Madison.
 11. Cole, W.G., 1991. Prediction of tree growth and gap closure rates after selective cutting in second-growth northern hardwood forests. Ph.D. Thesis, Univ. of Wisconsin-Madison.
 12. Cole, W.G. and Lorimer, C.G., 1994. Predicting tree growth from crown variables in managed northern hardwood stands. *For. Ecol. Manage.*, 67 : 159-175.
 13. Dahir, S.E., 1994. Tree mortality and gap formation in old-growth hemlock-hardwood forests of the Great Lakes region. M.S. thesis, University of Wisconsin-Madison.
 14. Greg, G.L. and Robert, M.F., 1991. Biomathematical growth equations for natural longleaf pine stands. *For. Sci.*, 37(1) : 227-244.
 15. Hamilton, D.A., 1990. Extending the range of applicability of an individual tree mortality model. *Can. J. For. Res.*, 20 : 1212-1218.
 16. Harrison, W.C. and Daniels, R.F., 1988. A new biomathematical model for growth and yield of loblolly pine plantations. pp.293-304 in Forest Growth Modeling and Prediction, Voll, A.R. Ek, S.R. Shifley, and T.E. Burk (eds.). USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep., NC-120.
 17. Hix, D.M. and Lorimer, C.G., 1990. Growth-competition relationships in young hardwood stands on two contrasting sites in southwestern Wisconsin. *For. Sci.*, 36(4) : 1032-1049.
 18. Korol, R.L., Milner, K.S. and Running, S.W., 1996. Testing a mechanistic model for predicting stand and tree growth. *For. Sci.*, 42(2) : 139-153.
 19. Kotar, J., Kovach, J. and Locey, C., 1988. Field guide to forest habitat types of northern Wisconsin. Department of Forestry, University of Wisconsin-Madison.
 20. Kowalski, C.J. and Guire, K.E., 1974. Longitudinal data analysis. *Growth*, 38

- : 131-169.
21. Lorimer, C.G. and Frelich, L.E., 1998. A structural alternative to chronosequence analysis for uneven-aged northern hardwood forests. *J. of Sus. For.*, Vol. 6 (3/4). pp.347-366.
 22. Martin, G.L. and Ek, A.R., 1984. A comparison of competition measures and growth models for predicting plantation red pine diameter and height growth. *For. Sci.*, 30(3) : 731-743.
 23. Mayer, D.G. and Butler, D.G., 1993. Statistical validation. *Ecological Modeling*, 68 : 21-32.
 24. Munro, D.D., 1974. Forest growth models - a prognosis. In : J. Fries (Editor), *Growth Models for Tree and Stand Simulation*. Royal College of Forestry, Stockholm, Sweden, pp.7-21.
 25. Murphy, P.A., 1983. A nonlinear timber yield equation system for loblolly pine. *For. Sci.*, 29 : 582-591.
 26. Newnham, R.M., 1964. Development of a stand model for Douglas fir. Ph.D. thesis, Univ. of B.C., Vancouver. 201p.
 27. Oster, G.F., 1981. Predicting populations. *American zoologist* 21 : 831-844.
 28. Peters, R.H., 199. A critique for ecology. Cambridge Univ. Press.
 29. Pienaar, L.V. and Turnbull, K.J., 1973. The Chapman-Richards generalization of Von Bertalanffy's growth model for basal area growth and yield in even-aged stands. *For. Sci.*, 19 : 2-22.
 30. Shifley, S.R. 1987. A generalized system of models forecasting Central States tree growth. USDA For. Serv. Res. Pap., NC-279.
 31. Shugart, H.H., 1984. A theory of forest dynamics. Springer Verlag, New York.
 32. Sievanen, R., Burk, T.E. and Ek, A.R., 1988. Construction of a stand growth model utilizing photosynthesis and respiration relationships in individual trees. *Can. J. For. Res.*, 18 : 1027-1035.
 33. Singer, M.T., 1995. Growth response to thinning of larger trees in older second-growth northern hardwood forests. M.S. thesis, University of Wisconsin-Madison.
 34. Singer, M.T. and Lorimer, C.G., 1997. Crown release as a potential old-growth restoration approach in northern hardwoods. *Can. J. For. Res.*, 27 : 1222-1232.
 35. Smith, D.M., 1986. The practice of silviculture. 8th ed. Wiley, New York.
 36. Strong, T.F., Erdmann, G.G. and Niese, J.F. 1995. Forty years of alternative management practices in second-growth, pole-size northern hardwoods. I. Tree quality development. *Can. J. For. Res.* 25 : 1173-1179.
 37. Vanclay, J.K., 1995. Growth Models for Tropical Forests : A Synthesis of Models and Methods. *For. Sci.*, Vol. 41. No1, pp7-42.
 38. Von Bertalanffy, L., 1951. Theoretische biologie. (Band II). Franke, Bern., 403p.
 39. Wilkinson, L., 1989. SYSTAT : the system for statistics. SYSTAT. Inc., Evanston, IL.
 40. Wykoff, W.R., 1990. A basal area increment model for individual conifers in the northern Rocky Mountains. *For. Sci.*, 36 : 1077-1104.
 41. Zeide, B., 1993. Analysis of growth equations. *For. Sci.*, 39 : 594-616.

몇가지 標本抽出方法間的 精度比較에 關한 研究¹

- 江原道 洪川地域 天然闊葉樹林을 對象으로 -
金建赫² · 徐丁源² · 兪嬭禾²

Comparative Study on the Precision Degree Among the Plot Sampling Methods.¹

- Applied to the Natural Deciduous Forest in Kangwon Province -
Kun Hyuck Kim² · Jeong Weon Seo² · Rhee Hwa Yoo²

要 約

산림 재적조사를 시행함에 있어 간편하고 정확하면서 경제적으로 조사할 수 있는 방법을 구명하기 위하여 강원도 홍천지방 국유림의 활엽수 天然林 林地 30ha를 대상으로 단순임의추출법, 선표본점법, 격자형표본점법, 부차추출법 등 4가지 표본추출방법을 비교·분석하였으며, 그 결과를 모집단의 전체 매목조사법에 의한 결과와 비교하였다. 구체적인 비교항목은 정도와 공정시간이며, 그 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 모집단의 변이계수는 29.0%로 나타나 모집단이 비교적 고른 단순림임을 알 수 있었다.
2. 4가지 표본추출법에 대하여 精度를 비교한 결과, 추정오차율은 선표본점법이 본수추정에서 10.98%, 재적추정에서 12.43%로 가장 정도가 높은 것으로 나타났다.
3. 조사공정시간을 비교한 결과, 표본추출법 중 선표본점법이 모집단의 전체 매목조사법과 비교하여 18.2%로 부차추출법의 15.3%보다 시간은 약간 더 소요되었다.
4. 표본추출법과 모집단의 전체 매목조사법과 공정을 비교하면 1/5이상 시간을 절약할 수 있어, 일반적인 地上調査法으로 적당하다고 판단되었다.
5. 모집단과 32개의 표본점 간에는 유의차가 나타나지 않았으며, 또한 모집단과 4가지 표본추출방법에 의한 표본조사 간에서도 유의차가 나타나지 않았다.
6. 종합적으로 판단해 볼 때, 부차추출법의 경우 조사소요시간은 약간 적게 들지만 추정오차가 너무 크게 나타났고, 선표본점법의 경우 조사소요시간은 비교적 적게 들고 재적추정 정도도 높게 나타나 가장 적합한 조사방법으로 판단되었다. 또한, 조사방법도 간편하기 때문에 우리 나라와 같은 지세가 험준한 山岳林地에서는 선표본점법에 의한 系統的 抽出法이 유리한 방법이라고 판단된다.

ABSTRACTS

The objective of this study is to find a precise and economic stocking inventory method among four sampling methods (random sampling, line plot sampling, lattice plot sampling, and sub-sampling) by the comparison and of process and precision on the basis complete enumeration method.

¹ 접수 1998년 10월 일 Received on October, 1998

² 임업연구원 Forestry Research Institute, Seoul, Korea

The study was carried out in a deciduous forest which is 30ha area and located in Hong-chon province.

The conclusions are follows ;

1. Variation coefficient in stocking of the forest was 29.0%. This forest, therefore, is regarded to be stocked homogeneously.
2. Line plot sampling was the most precise method in estimating total volume and number of trees of which the errors of estimation were 10.98% and 12.43%, respectively.
3. In inventory process time, line plot sampling took only 18.20% of the time required in complete enumeration method. It was a little longer than that in sub-sampling which was 15.3% of that in complete enumeration method.
4. The sampling methods required only about one-fifth to complete enumeration method in process time, so that they would be considered as effective statistical inventory methods.
5. In the survey, significant difference between population and 32 sampling points was not shown, and also there was no significant difference between population and 4 sampling methods.
6. Regarding the results collectively, sub-sampling was shorter in process time than other sampling methods, but its error in estimation was too large to accept. On the other hand, line-plot sampling showed short process time and high precision in volume estimation, and moreover, it was simple and convenient to inventory with this method. Therefore, systematic sampling with line-plot method would be superior in stocking inventory of mountainous forests in Korea.

Key words: Random sampling, Line plot sampling, Lattice sampling, Sub-sampling, Enumeration sampling

緒 論

정확하고 합리적인 산림정책을 수립하려면 경영주체의 성격 및 임업경영의 전반적인 실체를 파악하는 일이 급선무이며 이의 정확한 파악을 위해서는 산림의 전반적인 실태조사가 선행되어야 한다. 특히, 임업경영의 합리적인 계획을 세우는데 가장 중요한 林分材積에 대한 기초자료가 조사되어야 한다.

그러나, 林地는 대부분이 접근이 용이하지 않은 奥地에 위치하고 있으며, 그 대상면적이 거대하고, 지세가 매우 험준하기 때문에 임분재적을 정확히 파악하기란 대단히 어려우며 또한 많은 시간이 소요된다. 그러므로 최소의 경비로 최대의 정보를 얻을 수 있는 능률적이고 신속하며 정확한 조사방법이 요구되고 있다.

산림은 면적이 광대하고 지형적 조건이 복잡하므로 임분재적 측정방법에는 매목조사법, 표준지조사법, 재적표법 등 여러 가지 測樹學的

방법이 있으며 조사 후 임목간재적표를 이용하여 단목재적을 산정, 추정하는 것은 비용과 시간이 많이 소요된다. 우리 나라에서는 用材林의 재적 조사는 매목조사법을 이용하고 그 외에 표준지법을 사용하고 있으나 근래 외국에서는 통계적인 방법을 응용하여 임분재적을 조사하고 있다.

통계적인 방법을 응용한 방법은 크게 Random sampling과 Systematic sampling으로 나누어진다. 특히, 많은 연구들은 Systematic sampling에서 Plot sampling방법과 Plotless sampling(Point sampling)방법을 이용하여 산림조사를 시행하고 임분재적을 추정하였다. 재적추정에 있어서, 각각의 Sampling방법들은 장단점을 지니고 있으며, 이미 많은 연구사례에서도 그 효율성과 정확성은 어느 정도 인정되었다.

그러나, 실제 우리 나라 임목에 적용한 결과에서 체계화되고 일관성 있는 연구결과를 얻지 못하고 있으며, 이에 대한 연구는 아직도 미진한 상태이다. 특히 Point sampling은 이미 다른

방법에 대한 많은 연구결과로 도출되었으나, Plot sampling을 이용한 임분재적 추정 연구가 미흡한 상태이다. 또한 Sampling 방법을 적용하는데 있어 가장 문제가 되는 것은 표본점을 어떻게 추출해야 정도가 높은가에 있다. 그러므로, 우리 나라 산림과 지형에 적합하면서 가장 능률적이고 정도가 높으며 과학적인 표본추출방법을 구명하는 것이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 우리 나라 활엽수림의 대부분을 점하고 있는 참나무류를 대상으로 표본추출방법 중 단순임의추출법, 系統的 추출법인 선표본점과 격자형법, 부차추출법에 의한 4가지 방법과 숲林 木目조사법을 종합적으로 비교·검토하여 가장 정도가 높으며, 적합한 방법이 어떤 것인가를 구명하고자 하였다. 또한, 본 연구 결과가 활엽수에 한정되었지만 본 방법을 침엽수임분에 응용함으로써 향후 대면적의 산림조사를 보다 용이하게 수행할 수 있을 것으로 사료된다.

材料 및 調查方法

1. 材料

(1) 조사대상 지역

1987년에 임업연구원에서 작성된 축척 1:25,000인 林相圖를 이용하여 강원도 홍천군 서석면 생곡리(북부지방산림관리청 홍천국유림관리소 소관 국유림)에서 생육하고 있는 참나무 천연림을 대상으로 생장상태가 비교적 양호하고 林分의 구성상태가 정상적인 곳을 사전 선정하여, 현지에서 참나무 천연임분 중 굴참나무와 신갈나무 군락이 전체 임분의 70% 이상을 점유하는 임분을 대상으로 조사하였다. 조사대상지역의 위치는 Fig. 1과 같다.

(2) 표본점의 구획

혼생되어 있는 참나무 임분 중에서 굴참나무와 신갈나무가 생육하고 있는 단순 동령임분을 대상으로 하여 지형도 1:25,000에서 30ha의 표본점 구획 대상지를 설정하였고 현지에서 표본점 크기를 30m×30m(0.09ha)로 하여 40개소의 표본점을 유의선정하고 線標本點法(Line sampling method)에 의하여 배치하였다.

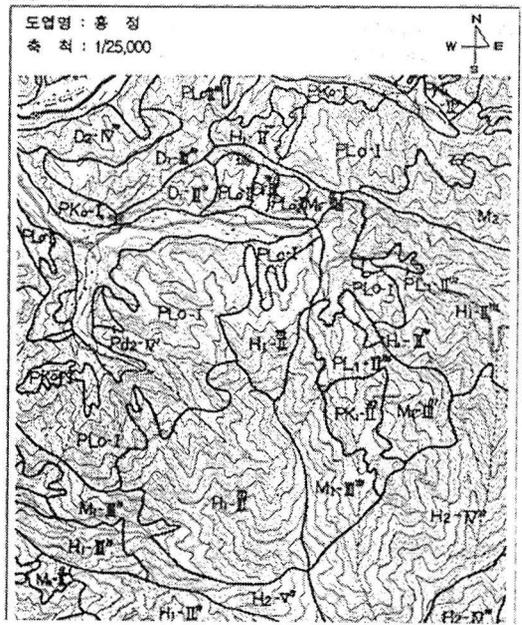


Fig. 1. Location map of the *Quercus variabilis* & *Quercus mongolica* sample stands.

2. 調查方法

(1) 현지조사

유의선정한 40개소의 현지 표본점에서의 ha당 재적을 산출하기 위하여 표본점에 생육하고 있는 立木에 대하여 胸高直徑과 樹高를 측정하였다. 또, 平均林齡, 평균 ha당 임목본수와 지향(표고, 방위, 경사도) 등을 조사하였다.

이러한 예비조사결과를 통해 재적에 대한 변이계수를 다음 공식(A)에 의하여 구하였다.

$$C. V. = S/\bar{x} \dots\dots\dots \text{식(A)}$$

변이계수를 구한 결과 29%를 나타냈으며, 비교적 편차의 폭이 좁아 모집단으로서 합당한 형태를 나타내었다.

(2) 표본추출조사

가. 표본점수 결정

설정된 조사대상지역에서 표본점의 추출단위는 30m×30m, 변이계수 29%, 오차율은 95%의 유의수준에서 허용오차를 10%로 하여 正方形으로 한 표본의 크기 n은 다음 식(B)에 의하여 구하였다.

$$n = \frac{4C^2A}{e^2A + 4ac^2} \dots\dots\dots \text{식(B)}$$

식(B)에 의하여 구한 결과, 표본점의 수는 32개였다.

나. 표본점의 배치

(가) 단순임의추출법(Random sampling method)

숲 조사대상지를 50m×50m의 격자형을 만들고 그 교차점에 일련번호를 131번까지 붙인 다음 난수표에 의하여 32개의 표본점을 정하였다.

(나) 선표본점법(Line plot sampling method)

표본점간의 거리간격은 $d = \sqrt{\frac{30,000}{\text{표본점수}}}$ 의 식을 이용하여 구한 결과, 96.8m였다. 이를 편의상 100m로 설정한 다음, 동서방향으로 線間 거리를 100m로 구획한 다음, 처음 표본점은 임의로 설정한 후에 표본점 사이의 거리를 연 거리가 100m가 되도록 하여 32개의 표본점을 배치하였다.

(다) 격자형 표본점법(Lattice plot sampling method)

숲 조사대상지를 100m×100m의 격자형로 설정한 후에 격자의 교점이 공시수종의 임분 내에 완전히 접하는 점만을 표본점으로 하여 32개의 표본점을 설정하였다.

(라) 부차추출법 (Sub-sampling method)

전 조사대상지를 180m×200m를 1단위로 하는 Block을 공시수종의 임분 내에 완전히 접하도록 설정하였다. 그 결과 Block수는 5개가 되었으며 실제 조사면적은 180m×200m×5개=18ha였다. 설정된 각 Block내에 60m×100m 즉, 1개의 Block을 6개로 구획하고, 그 중에서 1차추출단위(Major unit)로서 각각 2개를 추출하고, 1차추출단위를 각각 20m×30m 즉, 10개의 Plot으로 구획하여 2차추출단위(Minor unit)로 삼아 각각 3개씩 표본점을 추출하여 5×2×3=30개의 Plot(Survey unit)을 무작위로 산출하였다.

본 연구에서 표본추출율을 동일하게 하기 위해서는 표본점 수를 32개 추출하여야 하지만, 추출단위를 고려하여 30개만을 추출하였는데 그 허용오차율은 32개를 추출할 때는 10.05%, 30개를 추출할 때는 9.92%로서 그 차가 0.13%

이고, 이는 통계적으로 유의하다고 판단되어 30개의 표본점을 추출하였다.

다. 표본점의 설정방법

측선의 종점에서 측선의 남북방향에 단변의 1/2의 길이를 잡고, 그곳에 Compass를 거치한 후에 동서방향으로 장변의 1/2의 길이를 잡아 설정하였다.

라. 표본점의 매목조사

표본점내의 매목조사는 흉고직경 2cm, 수고 10cm의 팔약으로 측정하였으며, 매목조사에 소요된 시간을 측정하였다.

마. 표본추출방법별 표본점측정 공정조사

표본점 위치를 1/25,000 기본도상에 표시한 후에 현지를 측량하여 표본점을 결정하고 측선 측량시간, Plot 설정시간, Plot 조사시간 등을 구분하여 공정조사를 하였다.

바. 표본추출방법간의 정도비교

모집단과 표본추출방법간의 유의성 검정을 위해 t검정을 하였으며 표본추출방법간의 정도는 오차율을 계산하여 비교하였다.

(3) 총본수 및 재적추정방법

단순임의추출법, 선표본점법과 격자형표본점법의 경우, 총본수와 총재적 추정방법은 Plot 별 본수 및 재적일람표에서 평균의 분산을 다음 식(C)를 적용하여 구하고, 그 결과를 가지고 평균의 표준오차를 구하였다.

$$S_{\bar{x}} = \frac{S^2}{n} \cdot \frac{N-n}{N} \dots\dots\dots \text{식(C)}$$

측정치의 신뢰구간을 $\alpha = 5\%$ 인 때 자유도 32-1에 대한 t_{α} 의 값을 t분포표에서 찾아 다음 공식(D), (E), (F)에 의하여 추정하였다.

모집단 평균의 추정은,

$$\mu = \bar{X} \pm t_{0.05} S_{\bar{X}} \dots\dots\dots \text{식(D)}$$

전체의 추정은,

$$N(\bar{X} \pm t_{0.05} S_{\bar{X}}) \dots\dots\dots \text{식(E)}$$

로 구하고, 오차율의 계산은

$$e = \frac{t_{0.05} S_{\bar{X}}}{\bar{X}} \times 100 \dots\dots\dots \text{식(F)}$$

으로 구하였다. 여기서 모집단은 조사구역 30 ha(n=500개)이다.

부차추출법의 본수 및 재적은 1차추출단위간 Block내, 2차추출단위간 1차 추출내, 2차 추출간 Block내 각 요인의 평균합과 자유도를 구하여 분산을 구한 후, Plot당 분산은 다음 식(G)에 의하여 구하였으며,

$$S_{\bar{x}^2} = \frac{1}{B \cdot p \cdot q} \cdot \left[\left(\frac{Q-a}{Q} \right) + D \left(\frac{P-a}{P} \right) \frac{q}{Q} \right] \dots\dots\dots \text{식(G)}$$

전체의 추정은,

$$\frac{A}{a} (\bar{X} \pm t_{0.05} S_{\bar{x}}) \dots\dots\dots \text{식(H)}$$

로 추정하였다.

結果 및 考察

1. 母集團

설치된 40개 표본점 내의 林木에 대하여 흉고직경과 수고를 측정하고 평균흉고직경과 평균임분수고를 추정한 후, 단위면적당 본수와 재적을 구한 결과는 Table 1과 같다.

모집단의 총재적은 455.862m³, Plot당 평균 재적은 11.397m³으로 나타났으며 총입목본수는 1,923본, 평균입목본수는 48본이었다. 평균 임분수고는 11m, 평균흉고직경은 20cm의 中徑木으로서 조사대상지 임목은 주로 III~IV영급의 임목으로 구성된 임분이었다. 이와 같은 임상은 현재 우리 나라의 참나무 임분의 전형적인 중간값을 나타내고 있는 것으로 사료된다.

2. 標本點 調查結果

(1) 수고측정결과

모집단을 조사하면서 全林地내에서 全徑級이 포함되도록 수고를 측정한 309본의 全資料를 H=aD^b, H=a+blogD, H=a+bD+cD²의 공식을 이용하여 수고곡선식을 도출하였다. 그 결과, H=aD^b의 추정식이 가장 적합한 식으로 나타났으며 도출된 수고곡선식은 다음과 같다.

$$H=2.8352 D^{0.5231} (R^2=0.97) \dots\dots\dots \text{식(I)}$$

여기에서, H=수고(m), a=상수, D=흉고 직경(cm)이며, 이 식에 의하여 도출한 수고는 Table 2와 같다(Fig. 2 참조).

Table 1. Various data surveyed and calculated values on sample plots.

Plot No.	Average stand height (m)	Average stand diameter (cm)	Number of trees	Stand volume (m ³)	Plot No.	Average stand height (m)	Average stand diameter (cm)	Number of trees	Stand volume (m ³)
1	11.8	24.0	70	12,652	21	14.2	14.8	39	9,504
2	11.9	22.8	75	11,013	22	13.4	18.4	71	8,823
3	12.0	22.8	45	7,818	23	16.4	16.4	51	13,938
4	12.1	22.6	48	13,391	24	10.6	22.0	46	13,165
5	12.5	24.8	60	17,824	25	12.2	26.2	58	13,926
6	11.9	22.2	54	15,287	26	10.4	28.4	41	11,045
7	11.4	18.4	57	17,165	27	9.6	16.4	51	11,785
8	12.5	16.4	50	15,115	28	10.2	22.6	43	13,264
9	10.8	20.8	50	10,645	29	11.4	18.6	49	12,892
10	10.3	18.4	53	14,694	30	12.6	16.4	59	7,497
11	12.5	20.2	29	8,382	31	10.4	14.8	42	12,328
12	12.0	18.4	43	15,433	32	9.8	20.4	30	7,696
13	11.0	20.6	42	5,392	33	8.4	14.2	80	9,769
14	11.4	18.4	29	9,534	34	8.6	16.4	34	9,598
15	12.4	14.8	27	8,558	35	9.2	14.2	32	7,835
16	10.2	16.8	43	11,571	36	9.0	18.6	65	7,196
17	8.8	20.4	50	7,518	37	9.6	20.2	48	8,951
18	9.8	22.6	42	8,812	38	9.8	20.2	38	9,799
19	8.4	26.4	42	13,698	39	11.8	22.6	62	10,736
20	12.4	24.6	43	10,834	40	12.0	24.0	32	20,779

Table 2. Height of trees estimated by height curve equation.

D · B · H	Height	D · B · H	Height
6	7.2	30	16.7
8	8.4	32	17.4
10	9.5	34	17.9
12	10.4	36	18.5
14	11.3	38	19.0
16	12.1	40	19.5
18	12.9	42	20.0
20	13.6	44	20.5
22	14.3	46	21.0
24	14.9	48	21.5
26	15.6	50	21.9
28	16.2	52	22.4

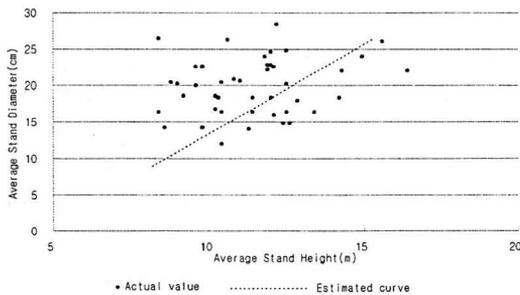


Fig. 2. Data plotting between average stand height and average stand diameter for estimated height curve.

(2) 표본추출방법별 조사결과

모집단에서 표본추출방법별로 Plot별 본수 및 재적을 조사한 결과는 Table 3, 4, 5, 6과 같다.

단순임의추출법에 의해 설정된 표본추출의 개소수는 32개이며, 조사된 표본별 평균 임목 본수는 28본, 총임분재적은 185.810m³, 평균임분재적은 5.807m³로 나타났다(Table 3).

선표본점법에 의해 설정된 표본추출의 개소수는 32개이며, 조사된 표본의 평균임목본수는 26본, 총임분재적은 196.713m³, 평균임분재적은 6.147m³로 나타났다(Table 4).

격자형 표본점법에 의해 설정된 표본추출의 개소수는 단순무작위 추출법과 선표본점법과 동일하게 32개소이며, 조사되어진 표본의 평균 임목본수는 29본, 총임분재적은 186.275m³, 평균임분재적은 5.821m³로 나타났다(Table 5).

Table 3. List on number of trees and stand volume of the sample plots by random sampling.

Plot No	Number of trees	Stand volume	Plot No	Number of trees	Stand volume
5	31	4.351	68	12	3.788
7	58	8.172	70	17	2.610
9	49	9.469	73	35	7.353
20	20	7.810	76	24	3.358
21	25	7.202	77	21	7.031
27	26	11.266	82	22	7.100
35	28	9.206	83	28	4.579
43	28	8.411	84	36	5.828
47	26	9.993	92	10	4.641
51	39	3.583	96	23	4.298
54	15	2.150	99	31	5.094
55	25	6.905	106	17	4.942
62	30	11.493	116	18	3.932
64	40	5.145	117	18	4.452
65	11	1.628	126	88	5.088
66	5	0.500	128	35	4.432

Table 4. List on number of trees and stand volume of the sample plots by line plot sampling.

Plot No	Number of trees	Stand volume	Plot No	Number of trees	Stand volume
1	14	5.292	17	28	7.427
2	22	3.565	18	25	3.481
3	24	7.169	19	21	6.527
4	24	6.355	20	39	3.318
5	33	9.975	21	32	5.996
6	19	7.261	22	52	6.045
7	18	4.733	23	31	4.729
8	35	3.853	24	27	5.553
9	21	3.758	25	29	6.449
10	28	3.515	26	45	8.433
11	32	6.470	27	21	7.384
12	21	3.184	28	21	7.957
13	27	10.050	29	28	4.780
14	27	10.184	30	29	4.959
15	15	6.056	31	22	11.563
16	17	5.801	32	19	4.891

Table 5. List on number of trees and stand volume of the sample plots by lattice sampling.

Plot No	Number of trees	Stand volume	Plot No	Number of trees	Stand volume
1	24	4.247	17	21	6.253
2	43	8.340	18	30	3.829
3	34	7.585	19	26	2.865
4	25	12.086	20	28	4.162
5	24	7.216	21	23	7.291
6	29	5.459	22	41	8.093
7	34	7.601	23	19	5.123
8	27	3.226	24	60	9.740
9	24	4.193	25	23	4.267
10	28	3.940	26	33	9.286
11	45	5.965	27	32	5.925
12	49	5.598	28	11	2.355
13	19	3.683	29	24	4.788
14	32	7.418	30	20	3.686
15	24	2.927	31	20	9.678
16	20	5.743	32	30	3.707

부차추출법에 의하여 설정된 표본추출의 개소는 30개소이며, 조사되어진 표본의 평균임목본수는 32본, 총임분재적은 229.527m³, 평균임분재적은 7.651m³로 나타났다(Table 6).

Table 6. List on number of trees and stand volume of the sample plots by sub-sampling.

Plot No	Number of trees	Stand volume	Plot No	Number of trees	Stand volume
1-3-7	21	7.333	3-6-4	44	8.135
1-3-5	28	5.423	3-6-8	32	6.711
1-3-1	21	3.947	3-6-7	33	6.279
1-4-2	30	7.538	4-2-1	26	9.476
1-4-8	38	6.411	4-2-7	24	9.086
1-4-7	25	5.757	4-2-8	33	5.307
2-3-9	30	8.714	4-6-3	40	9.368
2-3-5	26	6.372	4-6-9	68	8.386
2-3-1	32	7.775	4-6-8	61	7.084
2-4-3	30	10.576	5-3-4	33	12.111
2-4-7	22	9.613	5-3-6	37	7.526
2-4-8	19	3.466	5-3-7	19	5.921
3-1-7	30	11.469	5-5-2	48	9.442
3-1-8	24	6.286	5-5-1	34	5.917
3-1-6	26	6.795	5-5-3	30	11.303

(3) 총본수 및 재적추정 결과

조사방법별로 Plot 본수와 재적을 구하고 조사대상지 전체 30ha의 본수와 재적을 추정한 결과와 추정오차율은 Table 7, 8과 같다.

Table 7. Estimation of total number of trees.

Methods	Classification	Total number of trees	error (%)
Random sampling		13.171 ± 2.538	19.27**
Line plot sampling		13.984 ± 1.535	10.98**
Lattice sampling		14.406 ± 1.746	12.12**
Sub-sampling		16.133 ± 1.905	11.81**
Enumeration of all trees		13.782	

** : Significant at 1% $t_{0.05} (d.f=30)=2.042$
 $t_{0.01} (d.f=30)=2.750$

즉, 각 방법의 총본수 평균치와 모집단의 매목조사치를 기준치로 하여 비교하여 보면, 선표본점법은 +202본 차로 차이가 가장 적었고, 단순임의추출법은 -611본, 격자형추출법 +624본, 부차추출법이 +2,351본의 순으로 나타났다. 추정오차율도 선표본점법이 10.98%로 가장 적었고, 부차추출법이 11.81%, 격자형추출법이 12.12%, 단순임의추출법이 19.27%의 순으로 나타나, 선표본점법이 양호한 것으로 나타났다.

Table 8. Estimation of total stand volume.

Methods	Classification	Total stand volume	error
Random sampling		2,936.55 ± 469.66	15.99**
Line plot sampling		3,073.64 ± 382.16	12.43**
Lattice sampling		2,911.89 ± 415.61	14.27**
Sub-sampling		3,837.05 ± 636.33	16.58**
Enumeration of all trees		3,385.62	

** : Significant at 1% $t_{0.05} (d.f=30)=2.042$
 $t_{0.01} (d.f=30)=2.750$

Table 8에서와 같이 각 방법의 총재적평균치와 모집단의 매목조사치를 기준치로 하여 보면, 선표본점법이 -311.98m³차로 차이가 가장 적었고, 단순임의추출법이 -449.07m³, 부차추출법이 +451.43m³, 격자형추출법이 -473.73m³의 순으로 나타났다. 추정오차율도 선표본점법이 12.43%로 가장 적었고, 격자형추출법이 14.27%, 단순임의추출법이 15.99%, 부차추출법이 16.58%의 순으로 나타나 선표본점법이 양호한

것으로 나타났다. 이는 이태리포플러를 대상으로 임분재적 추정방법 간의 정도비교를 실시한 金(1974)의 결과와 유사한 결론을 도출할 수 있음을 보여주고 있다.

3. 各 標本抽出方法別 工程調査

표본추출방법별 표준지조사에 대하여 側線測量, Plot 區劃設定, Plot 調査 등의 3개 항목으로 구분하여 각각의 작업별 공정 소요시간과 모집단의 숲 林木에 대한 매목조사시간을 조사한 결과는 Table 9와 같다.

4가지 표본추출방법별 총 소요시간을 보면, 부차추출법이 6시간 07분으로 가장 적었으며, 단순임의추출법이 7시간 13분, 선표본점법이 7시간 16분, 격자형추출법이 7시간 54분의 순이었다. 부차추출법에 의한 소요시간은 실제로 30개소 조사시 5시간 54분이 소요되었고 이를 32개 조사치로 환산한 결과 6시간 07분이 소요된 것으로 나타나 모든 방법 중에서 가장 적은 것으로 나타났다.

이와 같은 결과로 각각의 표본추출방법에 의한 조사 소요시간이 모집단의 전체 매목조사법의 소요시간 39시간 54분에 비하여 약 1/5밖에 소요되지 않는 것을 알 수 있다.

또한 4가지 표본추출방법별 총 소요시간을 기준으로 각 작업별 공정소요시간을 비교하여 보면, 측선측량이 46.7%로 가장 많이 소요되었고, 다음으로 표본점 설정이 29.0%, 표본점 조사가 24.3%의 순으로 나타났다.

4. 標本抽出方法間의 精度比較

4가지 표본추출법과 모집단의 전체 매목조사법에 의한 분석결과를 종합하여 보면 Table 10과 같다.

Table 10에서 보면, 모집단의 전체 매목조사결과와 비교한 오차율이 선표본점법의 경우, 총본수에서 10.98%, 총재적에서 12.43%로 나타나 가장 적었다. 그리고 선표본점법의 평균값은 본수에서 1.5%, 재적에서 9.2%의 차로 나타나 가장 정도가 높았다.

Table 9. Time requirement by procedure.

Methods	Classification	Survey of line		Establishment of plot		Plot survey		Total	
		hr	min	hr	min	hr	min	hr	min
Random sampling		3	15	1	59	1	57	7	13
Line plot sampling		3	28	1	51	1	57	7	16
Lattice sampling		3	40	2	22	1	52	7	54
Sub-sampling		2	54	2	04	1	09	6	07
Enumeration of all trees								39	54

Table 10. Comparison with each plot sampling methods.

Classification	Methods	Random sampling	Line plot sampling	Lattice sampling	Sub-sampling	Enumeration sampling
		Number of trees	Estimation no. of trees	13,171±2,538	13,984±1,535	14,406±1,746
	Estimated error	% 19.27	10.98	12.12	11.81	
Stand volume	Estimation of volume	m ³ 2,936.55±469.66	3,073.64±382.46	2,911.89±415.61	3,837.05±636.33	3,385.62
	Estimated error	% 15.99	12.43	14.27	16.58	
Required hours		hr min 7 : 13	7 : 16	7 : 54	6 : 07	39 : 54

또한, 소요시간은 모집단의 전체 매목조사법에 비하여 부차추출법이 6시간 07분으로 15.3%, 단순임의추출법이 7시간 13분으로 18.1%, 선표본점법이 7시간 16분으로 18.2%, 격자형추출법이 7시간 54분으로 19.8%가 소요되었다. 부차추출법이 시간이 적게 소요된 것은 표본점이 군집되어 있기 때문인 것으로 사료되며, 이 결과는 金 등(1965)이 조사한 결과와 부합된다고 할 수 있다.

引用文獻

1. 金甲德. 1973. 闊葉樹林에 對한 資源調査法의 研究. 韓林誌 17 : 35~42.
2. 金東春·李興均. 1965. 標本抽出法에 依한 山林調査(其一). 農村振興廳 研究報告 8(2) : 13~32.
3. 金東春·李興均·金泰玉. 1966. 標本抽出法에 依한 山林調査(其二). 農村振興廳 研究報告 9(2) : 1~44.
4. 李麗夏. 1973. 林分材積 推定에 關한 研究. 韓林誌 18 : 1~7.
5. 邊雨赫·俞在雄. 1982. 標本點의 크기와 形態에 따른 作業時間의 比較研究. 韓林誌 77(4) : 421~428.
6. 木梨謙吉. 1951. 副次抽出法 森林調査. 日本講演集 59 : 48~50.
7. 木梨謙吉. 1962. New Development of sampling Designs in Forest Inventories. 九州大學練習林報告 35 : 1~84.
8. 木梨謙吉·長正道. 1958. 標本抽出法 天然林(九州大學 宮崎練習林) 材積調査報告. 九州大學練習林 集報 10 : 1~66.
9. 木梨謙吉·長正道. 1963. Sub-sampling 九州大學宮崎練習林 6次 蓄積報告. 九州大學練習林集報 19 : 21~64.
10. 木梨謙吉. 1956. 標本抽出法 森林蓄積調査. 研究報告 5 : 1~85.
11. 大隅眞一·北村昌美. 1971. 森林計測學. 日本養賢堂. p.415.
12. Birth, E.E. 1977. Horizontal line sampling in upland hardwood. J. For. 67 : 1~185.
13. Finney, D.J. 1948. Random and systematic sampling in the timber surveys. J. For. 22(1) : 13~16.
14. Nakajima I. 1961. Forest type mapping in combination with a forest sampling project. Bull. Gov. For. Exp. Sta. Tokyo 129 : 162~176.
15. Seely, H.E. 1961. Some investigation of forest sampling methods. For. Res. Branch Tech. Note 111 : 1~27.
16. Shiue, C.J. 1960. Systematic sampling with multiple random starts. For. Sci. 6(1) : 42~50.
17. Yates, F. 1949. Sampling methods for censuses and survey. Charles Griffin and Co. London. p.37~42.

잣나무 조림지의 임분구조 및 생장에 관한 연구¹

최정기² · 최인화³

A Study of Stand Structure and Growth on *Pinus koraiensis* Plantations¹

Jung-Kee Choi² · In-Hwa Choi³

요 약

본 연구는 잣나무 인공조림지 영구표준지에서 1981년도(10년생)에서부터 1997년도(26년생)까지 16년 동안 6차에 걸쳐 매목조사된 자료를 이용하여, 임분구조의 변화와 생장에 대하여 조사 및 분석하였다. 본 자료를 통하여 직경, 수고, 수관직경의 변화 과정을 알아본 결과, 모든 분포들은 동령림의 전형적인 정규분포를 보였다. 직경분포는 연령이 증가함에 따라 본수가 감소하면서, 직경의 범위가 넓게 나타났으며, 수고분포는 빠른 수고생장으로 인하여 현저한 수평이동을 보였다. 수관직경 분포는 불규칙한 성장과 수관올폐로 인하여 분포범위가 좁고 서로 중첩되는 경향을 보였다. 자연고사율은 10-17년생까지 연년 0.5% 미만이었으며, 그 이후 수관올폐가 진전됨에 따라 고사율이 증가되었다.

수관의 발달과정은 임분이 소개되어 있을 때, 수관폭의 장·단축 직경의 차이가 없는 원형 수관 형태로 발달하다가(17년생까지), 그 이후 임분이 올폐되면서 수관폭은 장·단축 직경의 차이가 발생하여 비대칭 수관으로 변화하였다. 수관투영면적을 이용한 수관경쟁 지수는 임령 13년생 때 126에 도달했고, 임령 20년생 때 최대인 234에 이르렀다. 수관직경과 흉고직경간에 상관관계는 0.75-0.88로서 매우 높은 것으로 나타났으며, 이 수관경쟁지수 및 수관 관련변수를 이용하여 향후 간벌의 시기와 정도를 정하는데 기초자료로서 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 임분의 평균 흉고직경, 수고, 수관직경은 임분 연령이 증가함에 따라 양적·선형적 성장을 나타냈다. 정기평균생장량은 흉고직경이 0.74cm/yr, 수고가 52.4cm/yr, 수관직경이 21.3cm/yr였다. 임령 20년생 때인 1991년에 1차 간벌(본수의 21%)이 실시되었는 바, 수고생장은 촉진되었으나, 직경생장은 간벌전에 비해 감소했고, 수관직경은 오히려 감소된 것으로 나타났다.

ABSTRACT

We investigated the process of stand structure and growth for *Pinus koraiensis* plantations which had 6 continuous inventory data in permanent experimental plots during 1981-1997. Various size distributions (diameter distribution, height distribution, and crown diameter distribution) were made at each inventory year. They had typically normal distribution of an even-aged stand. The more stand age increased, the more the diameter distribution gradually

¹ 접수 1998년 11월 일 Received on November, 1998

² 미국 위스콘신대학 임학과 Department of Forestry, University of Wisconsin-Madison, Madison, WI 53706, U.S.A.

³ 강원대학교 산림과학대학 College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea.

spread out a wide bell-shape with less density of trees. The height distribution shifted clearly to the right due to fast height growth. The crown diameter distribution also followed a normal distribution in which crown diameter had narrow and overlapped width because of irregular growth and crown closure. Natural mortality was also investigated during 10-17 of stand age. Its annual mortality rate was less than 0.5%. As crown closure increased densely in the stand, the rate of natural mortality increased.

In the process of crown development, the long-width and short-width of crown diameter showed no difference when crowns of trees were not overlapped in the early stage, so the crown shape was symmetric. However, as crown closure increased more and more in the stand over time, the width of crown became to asymmetric. Crown competition factor, a criterion of stand crown closure using total crown area, approached 124 at stand age 20. The maximum of the crown competition factor was 234 at stand age 20. Crown diameter had high correlation with diameter at breast height($r=0.75-0.88$). The crown competition factor or other crown-based variables could be used as a criterion for future thinning time and intensity. The means of stem diameter, height, and crown diameter increased linearly with stand age. Average periodic annual growth was investigated as 0.74cm/yr of diameter growth, 52.4cm/yr of height growth, and 21.3cm/yr of crown growth. When the 1st thinning was carried out with 21% removal of total trees at stand age 20, the thinning increased height growth, but it decreased diameter growth and crown diameter had negative growth instead.

Key words : Stand structure, Stand growth, Size distribution, Pinus koraiensis

서 론

잣나무는 우리나라 고유의 향토 수종이며 중요한 조림수종 중의 하나로서 1960년대 이후 전국을 대상으로 대면적에 조성되어 있고, 최근 10년간 총 조림면적의 31%를 차지하고 있다. 현재 그 대부분이 30년생 이하의 유령림으로 현재까지 보육 간벌이 제대로 이루어지지 않은 바, 앞으로 보육사업을 통하여 임업의 생산성 및 경제성을 높이는 것이 중요한 과제로 남아 있다.

현재까지 잣나무 인공조림지를 대상으로 물질생산, 밀도 및 간벌효과, 성장 및 수확 등 여러 분야에서 많은 연구가 진행되어 왔으나, 뚜렷한 잣나무 유령림의 임분발달 과정에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

임분발달에 관한 연구는 과거와 현재, 앞으로 주기적인 조사를 통하여 임분 발달 과정을 관찰하여 임분구조와 생장이 어떻게 변화하는가를 분석하는 분야로서, 미래의 임분구조의 발전을 예측하여 임분생산성을 높이고, 조림학적 시업을 위한 의사결정과 방안을 제시하고, 더 나

아가 환경적, 생물학적 측면에서의 친화적 산림을 조성하는 데 귀중한 기초자료로 이용될 수 있기 때문에 매우 중요한 부분의 하나이다(Oliver and Larson, 1990; Bokin, 1993).

본 연구는 강원대학교 산림과학대학 연습림의 영구표준지에서 6차에 걸쳐 주기적으로 측정된 잣나무 인공식재림 현재 26년생 임분을 대상으로 임분구조의 변화와 성장과정의 변화를 알아보고, 이를 기초로 하여, 앞으로 동령림의 임분 발달 과정과 현재 인공조림지의 보육간벌이 시급한 시점을 감안하여, 적합한 시업시점을 만드는 데 필요한 기초자료로서 활용하고자 한다.

자료 및 방법

1. 연구조사지

본 조사지는 강원대학교 산림과학대학 연습림 1임반내 자소반에 제1 표준시험림과 마소반에 제2 표준시험림이 위치하고 있다. 행정구역 상으로는 춘천시 동산면 원창리 면내골에 소재하고 있다. 기후는 온대 대륙성으로 하계는 고

은 다습하고 동계는 저온 건조하며, 연평균 강수량은 1,289mm로 연중 6-8월에 집중되고 있다. 연평균기온은 9.2℃로 1월이 최저(-6.1℃), 7월이 최고(24.8℃)이며, 상대 공중습도는 연중 62-84%의 범위로 평균 75%이다(장경식과 최인화, 1995).

잣나무 표준시험지의 조사는 1981년 8월 표준지의 설정이래 1997년까지 6차의 조사가 실시되었다(한상섭과 이재선, 최인화 등, 1982-1997). 본 조사의 기간중 시업내용은 1986년에 수고의 약 1/2 높이까지 강도의 가지치기를 실시하였고, 1991년 11월에는 정성과 정량을 고려하여 1차 간벌을 실시하였다. 이 때 간벌율은 본수의 21%였다. 제1, 제2 표준시험림의 위치별 면적, 조림년도, 방위, 경사도 등은 다음 Table 1과 같다.

2. 자료수집과 분석

1-6차 조사시, Plot 안에 있는 모든 입목의 흉고둘레, 수고, 수관의 장·단축 직경, 입목의 고사 여부가 측정되었다. 이들 자료를 이용하여 본 연구에 필요한 변수를 조제하였다. 흉고직경(DBH, cm)과 흉고단면적(BA, cm²)은 흉고둘레의 길이에 의해서 계산되었고, 입목재적(V, m³)은 V=f(D, H)인 2변수 함수식(전국산림자원조사 요령, 1996)에 의해 추정되었다. 평균 수관 직경은 수관의 장·단축 직경의 평균으로 계산하였고, 수관 투영면적(TCA, m²)은 그 평균 수관 투영직경으로 환산하여 원형 투영면적을 산출하였다. 정기평균생장량은 조사기간의 임분 평균값으로 산출하였다.

임령은 두 조사지가 각각 1972년과 1976년의 평균인 1974년(묘목 2-1)으로 하여 1981년 첫

Table 1. General description of permanent experimental plots

Plot	Plot size	Plantation year	Total trees (N/0.25ha)	Aspect	Altitude (m)	Slope (°)	Site index
I	0.25 ha (50m×50m)	1972	690	N33° E	420	24.0	14
II	0.25 ha (50m×50m)	1976	546	N10° E	470	12.5	14

Table 2. Stand characteristics during 1981-1997.

	81	84	88	91*	94	97
Average DBH (cm)	2.6	5.3	8.0	10.6	13.3	15.5
Average Height (m)	2.3	3.7	5.1	6.8	9.4	10.8
Average Crown diameter (m)	1.5	2.4	2.6	3.4	3.2	4.0
Basal area (m ² /ha)	1.5	6.3	14.0	22.8 (19.8)	25.0	32.6
Volume (m ³ /ha)	2.4	14.0	41.7	90.7 (80.1)	125.9	188.2
Total crown area (m ² /ha)	4,965	12,568	14,405	23,411 (20,033)	14,994	22,343
Live trees (trees/ha)	2,472	2,460	2,432	2,280 (1,536)	1,658	1,600
Dead trees (trees/ha)	0	12	28	152	30	58
Cut trees (trees/ha)	0	0	0	(592)	0	0
% of dead trees for period	0.0	0.5	1.1	5.3	1.8	3.6
Age	10	13	17	20	23	26

* thinning year.

The values after thinning are shown in parentheses.

조사시 10년생으로 1998년 현재 26년생으로 산정하였다. 고사율은 해당기간 동안의 임분 총본수와 고사목의 비율로 계산하였다. 이 결과는 Table 2와 같다.

결과 및 고찰

1. 임목제원의 분포

흉고직경 분포는 시간이 흐름에 따라 동령림의 전형적인 임분구조인 정규분포를 가지며, 연령이 증가함에 따라 본수 감소와 함께 넓은 직경 분포를 보인다. 1991년까지는 대부분의 임목들이 14cm 미만이었으나, 중경급(18cm 이상)으로의 진입율이 91년에는 2%에서 94년과 97년에는 각각 11.5%와 29.3%로 상승하였다(Fig. 1).

수고분포도 마찬가지로 직경분포와 유사한 정규분포 모양으로 변하였다. 1994년과 1997년은 넓은 수고 분포를 보이며, 오른쪽으로 다소 치우친 모양의 분포를 보였다. 이는 1991년 간벌시 상대적으로 많은 피압목이 제거되었기 때문이다. 특히 이 간벌의 영향으로 1994년의 분포는 다소 차이가 있어, 평균수고 값을 가진 임목이 전 기간보다 월등히 증가하였다. 이 수고분포는 빠른 성장으로 인하여 흉고직경 분포에 비하여 현저한 수평이동을 보였다(Fig. 1).

수관직경분포 또한 정규분포를 가지며, 그 변화하는 모양은 다른 분포에 비하여 범위가 좁고, 연령이 증가함에 따라 전 기간의 분포와 중첩되는 경향을 나타냈다. 그와 같은 현상은 불규칙한 성장과 수관울폐가 진전됨에 따라 발생되었다고 사료된다(Fig. 1).

2. 임분밀도의 변화

1981-1988년까지의 임목본수는 거의 변동이 없어 고사율은 연년 0.5% 미만으로 나타났다. 1988년 이후부터는 고사율이 증가하여 1991년에 임목은 ha당 2,280본에 이르게 되었다. 이는 초기 15년 동안은 수관이 소개되어 고사율이 감소하였고, 1988년 이후는 상대적으로 인접목 간에 수관이 울폐되어, 임목간의 경쟁력이 높아져 고사율이 증가한 것으로 사료된다. 1991년부터 1994년까지는 간벌에 기인하여 고사율은 상대적으로 감소하였고, 그 후 1997년에는

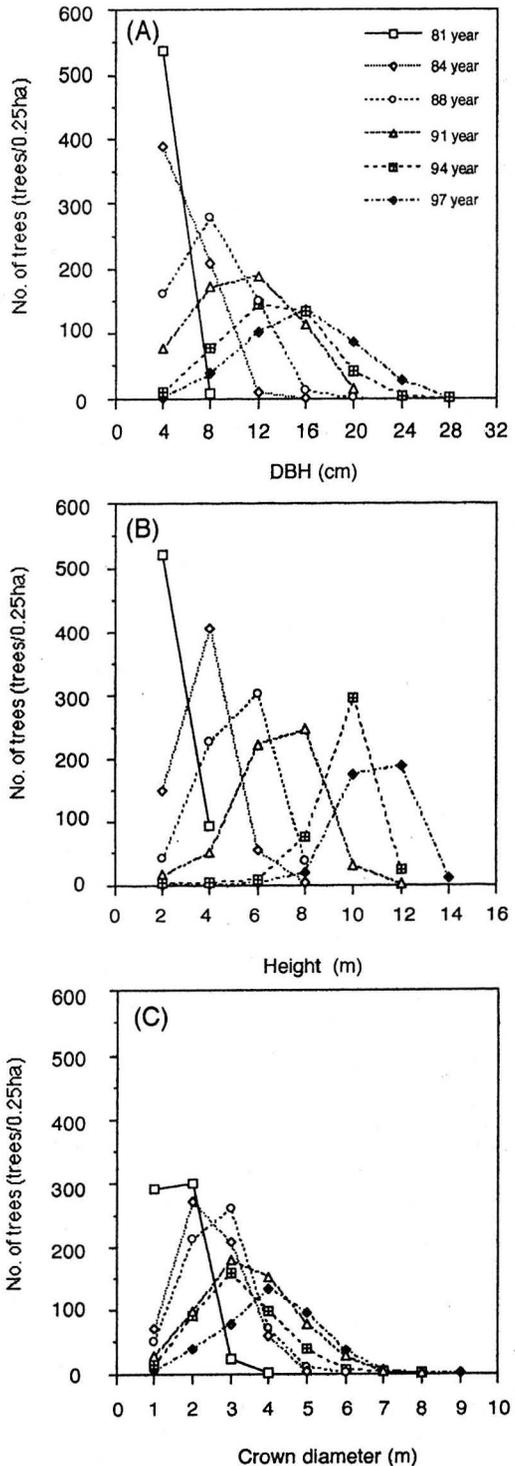


Fig. 1. Change of DBH distribution(A), height distribution(B), and crown diameter distribution(C) during 1981-1997.

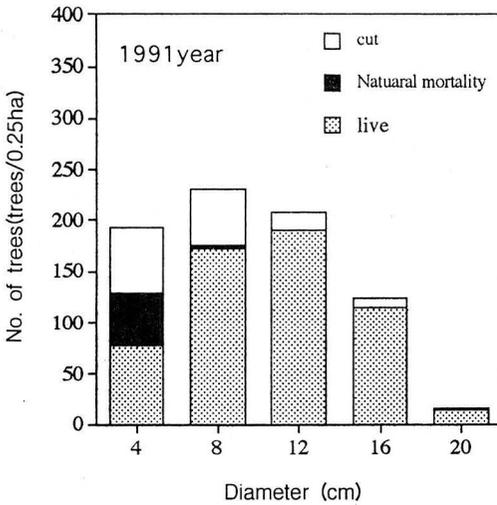


Fig. 2. Cumulative diameter distribution after thinning at 1991.

다시 증가하는 경향으로 나타나 앞으로는 수관 울폐로 인하여 계속해서 증가추세를 보일 것으로 사료된다(Table 2).

간벌전까지 10년간(1981-1991년)의 고사목을 조사하였을 때, 그 대부분이 피압목으로 그 직경 범위는 0.6-11.0cm이고 그 평균직경은 3.6cm였다. 이 기간동안 고사율은 전체본수의 7.8%, 전체 흉고단면적의 1.1%, 전체 재적의 0.6%에 해당한다(Fig. 2).

김도경 등(1988, 1994)의 잣나무림 인공림에 대한 연구에 의하면 무간벌임지(3000본/ha, 식재림) 0-20년생의 고사율은 5.7-12.5%였다고 보고하였는 바, 본 연구에서는 7.8%의 고사율을 보임으로서, 초기 본수(2,472본/ha)에서 다소 차이가 있지만, 간벌직전인 20년까지 서로 유사한 값을 보였다.

3. 수관동태의 발전

수관직경 실측치의 장축과 단축의 차이가 있는지 알아보는 것은 수관 발달과정을 분석함에 필요하다. 1981년부터 1988년(17년생)까지 수관의 장축과 단축의 길이 간에 유의적인 차이가 없으며($p=0.05$), 수관은 원형수관 형태를 보였다. 그러나 수관울폐가 심화되면서 1991년(20년생)부터 현재까지 수관의 장·단축 길이의 차이가 생겨 수관은 타원형 혹은 비대칭수관 형태로

변해가고 있다. 이와 같이 수관생장은 수관울폐에 상대적으로 민감한 것으로 보인다(Table 2-3, Fig. 3).

수관울폐 면적은 1984년(13년생)이 되었을 때 12,568m²로서 중첩을 전제로 하지 않은 최대면적인, 1ha를 이미 초과하였다. 수관경쟁지수(crown competition factor), 즉 단위면적에 대한 모든 최대수관면적 합계의 비율은 126을 나타냈다. 이 수치는 단위면적 상에 있는 모든 나무가 충분히 발달되었다고 판단할 수도 있지만, 인접목 수관과 중첩된 면적 및 임목의 수에 따라 차이가 있을 수 있기 때문에 판단하기 어렵다. 이로 인해 수관 경쟁지수가 임분에 따라서 200 또는 500에 이르는 경우도 조사된 바 있다(임경빈, 1993).

본 연구에서는 수관경쟁지수가 1991년도 간벌 직전에 최고치인 234에 이르고 있으며, 1994년에는 그 수치가 150으로 감소되고 3년후 다시 최고치 가까이 도달하였다(Table 2). 아직까지 현 자료로서는 최대 경쟁지수 값을 알 수 없지만, 현재 수관이 뺏뺏히 울폐되어 임관내에서 수관이 소개된 공간을 보지 못하는 것을 고려할 때, 최대경쟁지수에 도달하고 있다고 사료된다. 수관에 관련된 변수인 수관직경, 수관장(crown height), 수관투영면적, 수관투영울 등은 임목생장에 높은 상관관계를 가지고 있고 임분밀도 및 단목생장이나 임분동태 발전에 이용되고 있다(Seymour and Smith, 1987; Sprinz and Burkhart 1987; Cole and Lorimer, 1994; Yosida and Kamitni, 1997).

본 연구에서도 수관직경과 흉고직경의 상관계수가 매조사시 0.75-0.88범위로 매우 높게 나타나, 앞으로 이 수관면적 또는 수관경쟁지수를 이용하여 간벌의 정도나 시기를 결정하는데 이용할 수 있다고 판단된다.

4. 임분생장

임분전체의 평균 흉고직경, 수고, 수관직경과 우세목들의 평균 값들은 현저한 차이를 보이고 있다. 우세목들의 평균 값은 임분에서 가장 큰 수고를 갖는 상위 10%의 임목을 발채하여 산출한 것이다. 임분 전체의 평균생장과 우세목의 평균생장은 모두 양적, 선형적관계를 가지고 있

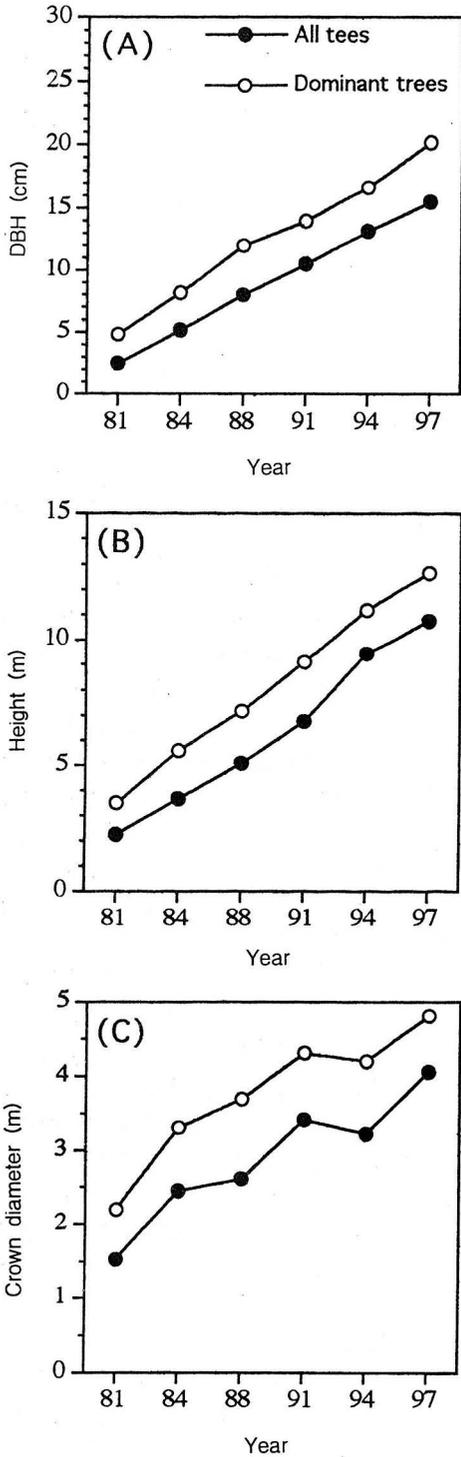


Fig. 3. Change in the means of DBH(A), height (B), and crown diameter(C) during 1981-1997.

으나, 1991-1994년 사이의 임분전체 평균수관 직경생장과 우세목 평균수관 직경생장 모두 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 3).

정기평균생장량의 결과에 있어서는, 직경생장은 모든 시기에 걸쳐 유사한 성장량(0.74cm/yr)을 가지며, 1981-1984년과 1988-1991년에 다소 빠른 성장(0.90cm/yr)을, 간벌실시 후인 1991-1994년에는 다소 느린 성장(0.50cm/yr)을 보였다. 수고생장은 평균 52.4cm/yr로서 91년 간벌후 월등히 빠른생장을 보였으며, 수관직경 성장량은 다소 불규칙생장으로 변이를 가지고 있어, 1984-1988년에는 저조한 성장(5.0cm/yr)을, 1991-1994년에는 오히려 감소하는 성장(-6.7cm/yr)을 보였다. 흉고단면적, 재적 그리고 수관 투영 면적의 정기평균생장은 1988-1981년에 월등히 빠른 것으로 나타났다(Table 3).

김도경 등(1988, 1994)에 의하면, 3,000본/ha의 식재 후 20년생 때 매목 조사한 흉고직경이 10.2cm, 수고 7.8m이었으며, 재적은 76.3-105.3m³/ha로서 본 조사와 유사한 값을 나타냈다. 또한 그들의 조사에서 9년간(19년생-28년생)의 정기평균 직경생장량은 0.47cm/yr, 정기평균 수고생장량은 47.8cm/yr로 나타났다. 이는 본 조사의 직경생장 보다는 다소 낮게, 수고생장에서는 유사한 값이었다. 이는 본 조사의 임목본수가 상대적으로 적었기 때문으로 사료된다.

Table 3. Periodic annual growth for continuous inventory data

	81-84	84-88	88-91	91-94	94-97
DBH growth (cm/yr)	0.9	0.7	0.9	0.5	0.7
Height growth (cm/yr)	46.7	35.0	56.7	76.7	46.7
Crown diameter growth (cm/yr)	23.3	5.0	26.7	-6.7	26.7
Basal area growth (m ² /ha/yr)	1.6	1.9	2.9	1.7	2.5
Volume growth (m ³ /ha/yr)	3.9	6.9	16.4	15.3	20.8
Total crown area growth (m ² /ha)	2,534	612	3,002	-1,679	2,450

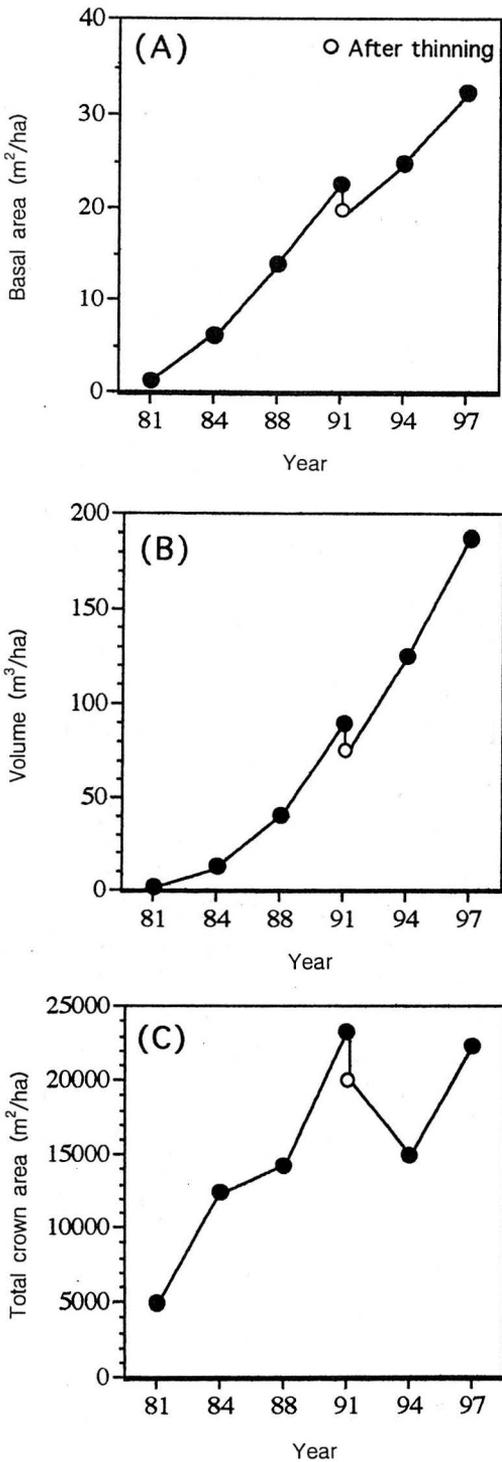


Fig. 4. Change in basal area(A), volume(B), and total crown area(C) during 1981-1997.

5. 간벌효과

1991년도에 1차 간벌된 임목들은 총 592본/ha이고 흉고직경 범위는 0.5-20.7cm로 평균 7.2cm였다. 이는 총임목 본수의 21%에 해당하며, 흉고단면적 합계는 3.0m²/ha, 임분재적 합계는 10.6m³/ha로 이는 각각 전체의 13.4%와 11.7%에 해당하는 간벌이었다. 이 간벌을 통하여, 3년내에 간벌전 재적보다 훨씬 많아지는 결과가 나타났다. 이것은 김도경 등(1988)이 언급한 바와 같이 본수의 36%이상이 간벌되었을 때, 3년내에 간벌전 재적이상으로 증가한다는 결과와 일치한다(Fig. 4).

일반적으로 간벌후에 직경 및 수관폭이 빠르게 성장하는 것으로 알고 있으나, 본 연구에 있어서는 수고 성장을 제외하고 다른 생장은 뒤따르지 못하였고, 오히려 수관은 감소하였다(-6.7cm/yr). 이는 1991년도 간벌대상이된 임목이 대부분 피압목이고, 그 흉고단면적 합계가 3.0m²/ha의 약도 간벌로서 간벌의 주목적인 잔존임목내 생존공간을 충분히 넓히지 못하여 직경생장이 둔화되었다고 사료된다. 수관생장의 감소 현상은 수관이 울폐된 상태가 지속되어 광합성을 받지 못했을 때, 지질이 고사되는 경우가 발생하여, 오히려 수관의 폭이 줄어들 수 있었기 때문으로 사료된다. 또한, Austin (1992)은 간벌이 수관장의 성장에 크게 효과가 있다고 보고하였는 바, 본 연구에 있어서는 수고의 급격한 성장으로 인하여, 수관의 수평성장보다는 수직생장에 큰 영향을 줄 수 있음을 고려해 볼 수 있다.

간벌시기에 대한 고찰로서는 수관이 울폐된 수관경쟁지수가 200이 넘는 시점에서, 그리고 고사율이 증가하는 점에서 시기적으로 적당했다고 판단되나 성장량 향상에는 크게 기여하지 못했다. 차후 간벌에 대해서는 본 기초연구를 통하여 간벌 시기 및 강도의 조절과 그에 대한 정성적, 정량적 기준이 고려되어야 할 것으로 사료된다.

결론

현재까지 6차에 걸친 조사자료를 통하여 직경 및 수고, 수관직경의 변화 과정을 알아본 결

과, 모든 분포들은 임분연령이 증가하면서 동령림의 전형적인 정규분포를 보였다. 직경분포는 연령이 증가함에 따라 분수가 감소하고, 직경의 범위가 넓게 나타났다. 수고분포는 빠른 수고생장으로 인하여 현저한 수평이동을 보였고, 수관 직경분포는 불규칙한 성장과 수관올폐로 인하여 분포범위가 좁고 서로 중첩되는 경향을 보였다.

자연고사율은 1차 조사인 1981년 10년생에서 17년생까지 0.5% 미만의 연년고사율을 보였다. 이는 상대적으로 수관이 소개되어 고사율이 낮았던 것으로 판단되며, 그 이후부터 수관올폐가 급격히 증가함에 따라 고사율도 점차 증가하였다. 그 고사목의 대부분은 피압목이었다. 수관의 발달과정은 임분이 소개되어 있을 때, 수관폭의 장·단축 직경의 차이가 없는 원형수관 형태로 발달하다가, 임분이 올폐되면서 수관폭은 장·단축 직경의 차이가 발생하여 타원형·비대칭수관으로 변하였다. 수관투영 면적을 이용한 수관경쟁지수는 임령 13년생 때 126에 도달했고, 임령 20년생 때 최대 234에 이르렀다. 수관직경과 흉고직경간의 상관관계는 0.75-0.88로 매우 높은 것으로 나타났다. 이 수관경쟁지수 및 수관 관련변수를 이용하여 향후 간벌시기와 정도를 정하는데 기초자료로서 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

임분의 평균 흉고직경과 수고, 수관직경은 연령이 증가함에 따라 양적, 선형적 성장을 나타냈으며, 수관직경은 1991년 간벌후 감소하는 현상이 나타났다. 정기평균 성장량은 흉고직경이 0.74cm/yr, 수고가 52.4cm/yr, 수관직경이 21.3cm/yr였다.

임령 20년생 때인 1991년, 본수의 21%인 1차 간벌이 실시되었는데, 수고생장은 촉진되었으나, 직경생장은 간벌전에 비해 감소했고, 수관직경은 오히려 감소된 것으로 나타났다.

감사의 글

본 잣나무 숲이 정기적으로 조사되어 그들이 자라온 변화과정을 통해 현재를 알고, 미래를 예측하게 한다. 긴 안목으로 본 표준지를 설정하여, 그 첫 길을 열어주신 강원대학교 산림과

학대학 한상섭교수님과 이재선 교수님께, 그리고 꾸준히 본 표준지 조사에 참여해 주신 연승림 직원분들께 감사를 드린다.

인용 문헌

1. 金道經 외 4인. 1988. 잣나무, 낙엽송, 리기다소나무, 방크스 소나무 人工造林地の 1차 間伐方法과 特性比較에 관한 研究. 林業研究院研究報告 37 : 1-7.
2. 金道經 외 3인. 1994. 植栽密度 및 間伐強度에 따른 잣나무 造林地の 生長과 豫測. 林業研究院研究報告 50 : 112-127.
3. 산림청. 1995. 산림입지조사요령. 86pp.
4. 임업연구원. 1996. 전국산림자원조사요령. 49pp.
5. 任慶彬. 1993. 造林學原論. 鄉文社. 491pp.
6. 張京植·崔麟和. 1995. 江原大學校 林科大學 演習林 氣象報告 -1993년 11월부터 1995년 10월까지-. 江原大演研報 15 : 96-124.
7. 韓相燮·李在善. 1982. 잣나무 標準試驗林 設定(I). 江原大演研報 2 : 34-59.
8. 韓相燮·李在善. 1984. 잣나무 標準試驗林 調查報告(II). 江原大演研報 4 : 55-72.
9. 韓相燮·張俊根. 1988. 잣나무 標準試驗林 調查報告(III). 江原大演研報 8 : 111-128.
10. 崔麟和·張俊根. 1991. 잣나무 標準試驗林 調查報告(IV). 江原大演研報 11 : 71-88.
11. 崔麟和·張京植·張俊根. 1994. 잣나무 標準試驗林 調查報告(V). 江原大演研報 14 : 159-176.
12. 崔麟和 외 4인. 1997. 잣나무 標準試驗林 調查報告(VI). 江原大演研報 17 : 59-76.
13. Austin, S.III, E. and Burkhart, H.E. 1992. Predicting crown-height increment for thinned and unthinned Loblolly-pine plantations, Forest Sci. 38 : 594-610.
14. Botkin, D.B. 1993. Forest Dynamics : an ecological model. Oxford University Press. 309pp.
15. Cole, W.G. and Lorimer, C.G. 1994. Predicting tree growth from crown variables in managed northern hardwood

- stands. *For. Ecol. Manage* 67 : 159-175.
16. Happ, T.H., Qunet, R.V. Layton, C.R. and Robertson, R.J. 1980. Fertilization and thinning effects on a Douglas-fir ecosystem at Shawigan Lake : 6-year growth response, *Can. For. Serv. Rep. BC-X-202*, 31p Victoria B.C.10.
 17. Oliver, C.D. and Larson, B.C. 1990, *Forest stand dynamics*. McGraw-Hill Inc. 467pp.
 18. Pienaar, L.V. and Shiver, B.D. 1984, An analysis and models of basal area growth in 45 years-old unthinned and thinned slash pine plantation plot. *Forest Sci. Vol.30* : 993-942.
 19. Seymou, R.S. and Smith, D.M. 1987. A new stocking guide formulation applied to eastern white pine. *For. Sci. Vol.33* : 469-484.
 20. Sprinz, P.T. and Burkhart, H.E. 1987. Relationship between tree crown, stem, and stand characteristics in unthinned loblolly pine plantations. *Can. J. For. Res. Vol.17* : 534-538.
 21. Yoshida, T. and Kamitani, T. 1997. The stand dynamics of a mixed coppice forest of shade-tolerant and intermediate species. *For. Ecol. Manage.* 95 : 35-43.

상주지역 굴참나무 임분구성과 밀도에 관한 연구¹

김동근² · 배관호² · 이동섭²

A Study on Structure and Density of Natural *Quercus variabilis* Stand in Sangju Area¹

Dong-Geun Kim² · Kwan-Ho Bae² · Dong-Sup Lee²

요 약

본 연구는 상주지역 굴참나무림의 종구성에 근거한 임분구조와 임분밀도를 분석하여 보다 효율적인 삼림경영을 위한 기초 생태학적 조림학적 정보를 제공하기 위하여 수행하였다. 이를 위하여 굴참나무임분 36개(10m×10m) plots를 선정하여 출현하는 모든 목본 종의 개체수와 굴참나무에 대하여 매목조사를 실시하였다.

굴참나무군락의 교목층에서 참나무류의 중요치는 289.54(굴참나무 253.67)로 나타나 이들이 주종을 이루는 것으로 나타났으며, 아교목층에서의 굴참나무 중요치는 187.66이었으며, 소나무가 44.52로 나타났는데 이는 조사지의 우점종이 소나무에서 굴참나무로 바뀌었음을 의미한다. 그리고 굴참나무군락의 주요 교목수종의 직경급분포도를 분석하면 굴참나무, 졸참나무, 갈참나무, 신갈나무는 뚜렷한 역 J자형을 나타내고 있어 이들 수종은 계속 유지될 것으로 판단된다.

또한, 굴참나무임분의 매목조사한 결과를 토대로 상층목평균수고와 관련임분지수별 임분밀도곡선식을 추정하여 상주지역 굴참나무임분의 임분밀도곡선도를 작성하였다.

ABSTRACT

This study was carried out to understand the structure and density characteristic of natural *Quercus variabilis* stand in Sangju area, which will provide with fundamental ecological and silvicultural information for effective stand management. For that, relevant factors, such as D.B.H., Height, trees/ha, and individuals of woody plant species from 36 sample plots(10m×10m)of natural *Quercus variabilis* stand were estimated.

The IV(Importance Values) of *Quercus* species showed 289.54 at the tree layer. *Quercus variabilis* was 253.67. It is thought that these species are the major tree species of *Quercus variabilis* community. The IV of *Quercus variabilis* was 187.66 at the subtree layer. At this layer *Pinus densiflora* was showed 44.52. It means that dominance species changed from *Pinus densiflora* to *Q. variabilis*.

In frequency distribution diagram of diameter classes of major tree species consisting of *Quercus variabilis* community, those of both *Quercus variabilis* and *Quercus* spp.(*Q. serrata*, *Q. aliena*, *Q. mongolica*) showed reverse J-shaped types. From these results, it is estimated that *Q. variabilis* and *Q. spp.* which are scattered in *Q. variabilis* community might be

¹ 접수 1998년 11월 일 Received on November, 1998

² 상주대학교 산림자원학과 Department of Forest Resources, 386 Gangjang-Dong Sangju National University, Kyungbuk 742-711, Korea

maintained continuously.

And to make the diagram of stand density successfully from the stand density equations of natural *Quercus variabilis* stand by mean overlay height and relative density index.

Key words : stand structure, stand density, *Quercus variabilis*

서론

최근, 삼림생태계의 안정적인 측면과 친자연적인 측면에서 인공림보육 뿐만 아니라 천연림보육에 대한 관심도 높아지고 있으나 현재 우리나라 전역에 걸쳐 분포하고 있는 참나무류를 위주로 한 천연 활엽수림들 대부분이 무육이 안된 상태로 방치되고 있어 건전한 임분으로 성장하기 어려운 실정이며, 1998년부터 시작된 공공근로사업의 일환인 숲가꾸기가 전국적으로 실시는 되고 있으나 현장에서 필요한 여러 임분의 특성에 맞는 적절한 시업기준의 부족으로 많은 시행착오를 겪고 있는 실정이다.

우리나라의 극성상림은 여러 가지 활엽수종이 어우러지는 특징을 갖는 中生混濶林(mixed mesophytic forest)이지만(윤종화 등, 1987), 현재의 삼림은 전형적인 3가지의 二次림(secondary forest)으로 구성되어 있다. 즉 소나무림, 소나무-참나무류 혼효림, 참나무류 혼효림으로 구분한다(김지홍 등, 1993). 참나무 혼효림은 상수리나무, 갈참나무, 떡갈나무, 신갈나무, 졸참나무, 굴참나무로 구성되는 데 이들 이차림은 천이초기단계에 속하지만, 생산력이 높아 경영관리를 효율적으로 수행하여 이용한다면 임업적 이용가치가 훨씬 높아질 것이다.

임분밀도는 임분의 간벌시기 및 간벌량의 결정, 육림계획의 수립, 임분의 소밀정도 파악 등 삼림경영에 필요한 주요 내용으로 이에 대한 연구는 미국과 일본 등 외국에서 이미 임분의 밀도와 임목의 성장관계 등에 대하여 많은 연구가 이루어 졌으며, 우리나라에서도 일본잎갈나무(마상규, 1977)에 대한 연구를 시작으로 잣나무(심동섭 등, 1985), 리기다소나무(심동섭 등, 1987), 소나무천연치수림(김도경 등, 1987) 등에 관한 연구가 실시되었으나 아직 미비한 실정이며 주로 인공림에 대한 연구들로 앞으로는 인공림 뿐만 아니라 천연 활엽수림 및 침·활

혼효림에 관한 연구도 실시되어야 할 것으로 생각한다.

이러한 측면에서 본 연구는 상주지역에 고루 분포하고 있는 굴참나무임분의 구조 및 밀도의 특징을 파악하여 장차 지역의 천연 활엽수림보육과 갱신 등 임업경영에 필요한 여러 가지 기초자료를 제공할 목적으로 수행되어졌다.

재료 및 방법

1. 연구재료

1) 조사지 개황

본 연구는 경상북도 상주시 일대를 대상으로 하였다. 상주시는 동경 127° 45' 00" ~ 128° 15' 20", 북위 36° 15' 00" ~ 36° 45' 40"에 걸쳐 있으며, 상주시 외 17개 면으로 구성되어 있다.

상주지역은 소백산맥의 남쪽에 위치하며, 서쪽으로는 소백산맥에서 이어지는 속리산 국립공원이 둘러싸고 있다. 속리산 국립공원의 문장대(1029m)일대의 둔덕산(696m), 조항산(951m), 청화산(984m)과 같은 산맥이 소백산맥에서 뻗어 나와 상주일대로 이어지지만, 상주시에 위치한 노악산(728m)과 갑장산(805m)을 제외하면 큰 산이 없는 편이다. 연평균 기온은 약 10.9°C, 연평균 강수량은 1184.9mm으로서 중부지방의 전형적인 대륙성기후를 나타낸다.

식생을 살펴보면 천연림으로는 소나무와 참나무류가 대부분을 차지하고 있으며, 인공림은 일본잎갈나무, 잣나무, 리기다소나무 등이 식재되어 있다. 상주일대는 과거 농경산업, 문경일대의 석탄산업의 영향을 받아 삼림식생이 많은 피해를 받았으며, 현재 이들 피해지에는 참나무류를 위주로 한 활엽수림으로의 천이가 진행되고 있다.

2) 표준지 선정

굴참나무임분 구성상태를 파악하기 위하여 상

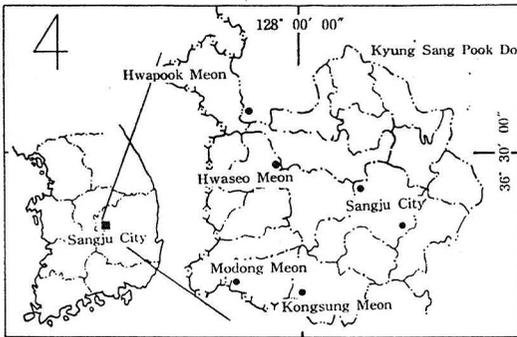


Fig. 1. Study sites in Sangju area.

주일대 굴참나무 우점림을 대상으로 하여 10m × 10m 표준지를 상주시와 모동면, 공성면, 화서면, 문경시 농암면에 36개 plots를 선정하였다(Fig. 1).

굴참나무군락의 표준지의 환경적인 특성을 살펴보면, 지형적으로 사면상부 17.39%, 사면중부 39.13%, 사면하부 39.13%, 계곡부 4.35%의 비율로 나타나고 있어 사면중하부에 가장 많이 분포하고 있음을 알 수 있었다. 조사지의 평균 해발은 262.17m, 평균 노암 32.5%, 경사 30.91°로 나타났다. 방위별 분포는 남사면이 82.61%로 가장 높았으며 북사면 13.05%, 서사면 4.35% 순으로 나타나 주로 남사면에 분포하고 있었다.

2. 연구방법

1) 임분구조분석

교목층과 아교목층의 종은 10m × 10m, 관목층은 5m × 5m의 조사구를 이용하여 조사구내에 출현하는 모든 목본 종의 개체수와 흉고직경을 측정하였으며 목본식물의 명명은 이창복(1982)과 홍성천 등(1986)에 의하였다.

조사된 수종마다의 상대밀도, 상대빈도, 상대피도를 교목층, 아교목층, 관목층별로 산출하여 중요치를 구하여 종의 상대적인 구성상태를 분석하였다.

중요치(Importance Value : IV) = 상대밀도(RD) + 상대빈도(RF) + 상대피도(RC)

$$\text{상대밀도}(\%) = \frac{\text{어떤 수종의 표본 개체수}}{\text{전체 수종의 총 개체수}} \times 100$$

$$\text{상대빈도}(\%) = \frac{\text{어떤 수종의 빈도}}{\text{전체 수종의 빈도 총합}} \times 100$$

$$\text{상대피도}(\%) = \frac{\text{어떤 수종의 흉고단면적}}{\text{전체 수종의 흉고단면적}} \times 100$$

굴참나무림에서 굴참나무를 비롯한 구성종들의 천이를 살펴보기 위하여 조사구내에 출현하는 참나무류에 대하여 직경급별 분포곡선을 작성하였다.

2) 임분밀도분석

굴참나무림 표준지 36plots에서 흉고직경 6cm 이상되는 굴참나무의 흉고직경, 수고, 본수를 매목조사하여 평균간재적, ha당 본수, 상층목 평균수고를 산출하였다. 평균간재적과 ha당 본수의 관계식으로 상층목평균수고별 최대임분밀도식을 추정하였으며, 최대밀도를 1.0으로 하는 관련임분지수별 임분밀도식과 곡선식을 추정하였다. 여기서 상층목평균수고는 평균직경이상되는 평균수고치를 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 임분의 구조

굴참나무 우점군락의 구성종에 대한 상대밀도, 상대빈도, 상대피도, 중요치를 계층별로 분석하여 Table 1에 나타내었다.

교목층의 경우에는 굴참나무가 중요치 253.67로 가장 높았으며, 신갈나무(14.83), 갈참나무(7.12), 상수리나무(6.48), 졸참나무(3.99), 소나무(3.53) 순이었으며, 이외에 개벚나무, 다릅나무, 떡갈나무가 낮은 값을 나타내고 있다. 굴참나무는 수직적인 분포로 볼 때 위로는 신갈나무와 아래로는 상수리나무 분포지에 연결되어 있음을 알 수 있다.

아교목층은 굴참나무 외에 소나무, 졸참나무, 물푸레나무, 갈참나무, 신갈나무, 상수리나무, 굴피나무, 느티나무, 물오리나무, 떡갈나무 등으로 구성되어 있었다. 굴참나무의 중요치가 187.66으로 가장 높았으며, 소나무는 44.52로 나타났는데 이는 소나무림이 굴참나무로 천이되었음을 나타낸다. 이외에 굴피나무, 상수리

Table 1. Ecological measurement for *Quercus variabilis* stand in Sangju area.

Stratification	Species	RD	RF	FC	IV
Tree layer	<i>Quercus variabilis</i>	93.25	65.71	94.70	253.67
	<i>Quercus mongolica</i>	1.59	11.43	1.86	14.88
	<i>Quercus aliena</i>	0.79	5.71	0.61	7.12
	<i>Quercus acutissima</i>	1.98	2.86	1.64	6.48
	<i>Quercus serrata</i>	0.79	2.86	0.34	3.99
	<i>Pinus densiflora</i>	0.40	2.86	0.28	3.53
	<i>Prunus leveilleana</i>	0.40	2.86	0.21	3.46
	<i>Maackia amurensis</i>	0.40	2.86	0.21	3.46
	<i>Quercus dentata</i>	0.40	2.86	0.15	3.40
		100.00	100.00	100.00	300.00
Subtree layer	<i>Quercus variabilis</i>	74.10	45.10	68.46	187.66
	<i>Pinus densiflora</i>	8.63	15.69	20.20	44.52
	<i>Quercus serrata</i>	4.32	7.84	2.65	14.81
	<i>Rhus trichocarpa</i>	2.16	3.92	1.11	7.19
	<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	1.44	3.92	1.41	6.77
	<i>Quercus aliena</i>	1.44	3.92	1.11	6.47
	<i>Quercus mongolica</i>	1.44	3.92	0.86	6.22
	<i>Quercus acutissima</i>	1.44	3.92	0.86	6.22
	<i>Acer pseude-sieboldianum</i>	1.44	1.96	0.88	4.28
	<i>Prunus leveilleana</i>	0.72	1.96	0.68	3.36
	<i>Zelkova serrata</i>	0.72	1.96	0.68	3.36
	<i>Platycarya strobilacea</i>	0.72	1.96	0.43	3.11
	<i>Alnus hirsuta</i>	0.72	1.96	0.43	3.11
	<i>Quercus dentata</i>	0.72	1.96	0.24	2.92
	100.00	100.00	100.00	300.00	
Shrub layer	<i>Quercus variabilis</i>	18.59	11.41	22.56	52.56
	<i>Rhododendron mucronulatum</i>	19.05	5.98	8.48	33.51
	<i>Quercus serrata</i>	10.40	7.61	8.60	26.61
	<i>Lindera obtusiloba</i>	9.29	7.07	8.88	25.24
	<i>Quercus aliena</i>	6.55	6.52	6.38	19.45
	<i>Lespedeza bicolor</i>	6.90	6.52	1.81	15.23
	<i>Rhus trichocarpa</i>	2.10	2.72	8.69	13.51
	<i>Fraxinus sieboldiana</i>	4.97	3.80	3.13	11.90
	<i>Robinia pseudoacacia</i>	2.45	1.63	5.99	10.08
	<i>Juniperus rigida</i>	0.99	3.80	5.03	9.83
	<i>Quercus mongolica</i>	1.34	2.72	4.93	8.99
	<i>Styrax japonica</i>	1.46	2.17	3.83	7.47
	<i>Smilax china</i>	1.34	4.89	0.15	6.39
	<i>Stephanandra incisa</i>	2.49	3.81	0.57	6.23
	<i>Rosa multiflora</i>	1.11	3.80	1.25	6.16
	<i>Lespedeza robusta</i>	3.92	1.09	0.78	5.78
	<i>Quercus dentata</i>	0.47	3.26	0.54	4.27
	<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	0.18	1.09	1.93	3.19
	<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	1.17	1.63	0.25	3.05
	<i>Acer pseude-sieboldianum</i>	0.23	1.09	1.64	2.96
	<i>Prunus leveilleana</i>	0.35	1.63	0.95	2.93
	<i>Zelkova serrata</i>	0.47	2.17	0.07	2.71
	<i>Callicarpa japonica</i>	0.64	1.63	0.15	2.42
	<i>Elaeagnus umbellata</i>	0.06	0.54	1.70	2.30
	<i>Euonymus alatus</i>	0.47	1.63	0.08	2.18
	<i>Lindera glauca</i>	0.47	1.63	0.05	2.15
	<i>Pinus densiflora</i>	0.12	0.54	0.85	1.51
	<i>Ligustrum obtusifolium</i>	0.99	1.63	0.21	2.83
	<i>Zanthoxylum piperitum</i>	0.18	1.09	0.02	1.28
	<i>Lindera erythrocarpa</i>	0.06	0.54	0.24	0.84
	<i>Celastrus orbiculatus</i>	0.23	0.54	0.03	0.81
	<i>Corylus heterophylla</i> var. <i>thunbergii</i>	0.18	0.54	0.08	0.80
	<i>Rubus crataegifolius</i>	0.18	0.54	0.02	0.74
<i>Acer mono</i>	0.18	0.54	0.02	0.74	
<i>Euonymus alatus</i> for. <i>ciliato-dentatus</i>	0.12	0.54	0.05	0.71	
<i>Akebia quinata</i>	0.12	0.54	0.01	0.67	
<i>Viburnum erosum</i>	0.12	0.54	0.01	0.67	
<i>Pueraria thunbergiana</i>	0.12	0.54	0.01	0.67	
<i>Viburnum carlesii</i>	0.06	0.54	0.03	0.63	
	100.00	100.00	100.00	300.00	

RD : relative density RF : relative frequency RC : relative coverage based on basal area IV : importance value

나무, 물오리나무의 아교목층 출현으로 분포지의 초기구성종을 짐작할 수 있다.

중요치 값에 의한 관목성 종을 살펴보면, 진달래 33.51, 생강나무 25.24, 싸리 15.23, 개웃나무, 13.51, 쇠물푸레 11.90, 노간주나무 9.83, 매죽나무 7.47, 청미래덩굴 6.39로 나타나고 있어 이들이 굴참나무림의 중요 하층구성종임을 알 수 있다. 이 외에도 짚레꽃, 조록싸리 국수나무, 철쭉꽃, 당단풍, 작살나무, 보리수나무, 화살나무, 백동백, 쥐똥나무, 산초나무 등이 하층식생을 구성하고 있다. 교목성 종의 경우 굴참나무, 졸참나무, 갈참나무, 신갈나무, 물푸레나무, 고로쇠, 느티나무 등이 하층에 출현하고 있었다.

Fig. 2는 굴참나무림에 출현하는 주요 참나무류의 직경급분포도이다. 직경분포는 연령 분포와 유사한 것으로 간주하여 직경급분포도의

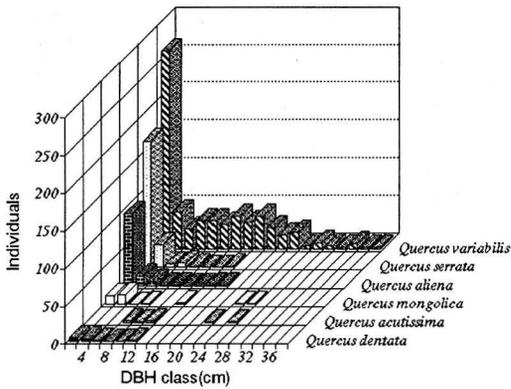


Fig. 2. DBH distribution diagrams of *Quercus* spp. of *Quercus variabilis* community.

모양은 그 개체군의 지속적 유지 가능성 여부를 판단하는데 중요한 정보를 제공한다. 직경급 분포도의 모양에서 역 J자형은 동령림의 경우, 경쟁이 일어나고 있음을 의미하며(Mohler *et al.*, 1978) 동령림이 아닐 경우 침입집단 또는 극상림 집단의 특징으로서 지속적으로 유지될 수 있는 집단을 의미한다(Barbour *et al.*, 1987).

Fig. 2에 의하면 상수리나무는 지속적 유지 가능성이 없음을 알 수 있고, 졸참나무, 갈참나무, 신갈나무는 뚜렷한 역 J자형을 나타내고 있어 굴참나무군락이 우점하는 가운데 이들 수종들이 산재하는 형태로 식생이 상당한 기간 유지될 것을 판단된다. 김지홍 등(1993)에 의하면 광양지역의 참나무림에서는 떡갈나무가 내음성이 비교적 떨어져 전혀 출현하지 않고, 서어나무, 고로쇠나무 느티나무 등이 침투하고 있다. 상주지역의 경우에는 떡갈나무의 경우 치묘 치수의 공급이 이루어지고 있어 미미하지만 굴참나무림내에 산재할 것으로 생각된다.

2. 최대임분밀도곡선식의 추정

임분밀도와 임목의 생장에 대하여 Reineke (1933)가 발표한 최대임분밀도식을 응용하여 추정된 상주지역 굴참나무임분의 최대임분밀도곡선식을 3개의 상층목평균수고별(10m~14m, 14m~18m, 18m~22m)로 추정한 결과는 Table 2와 같으며, 추정식에서 R² 값 모두는 87%~98%수준에서 설명력이 있는 것으로 나타났으며, 회귀계수의 t값도 모두 95% 유의수준 이상에서 유의성이 있는 것으로 나타났다.

Table 2. Maximum density equations by mean overlay height of *Quercus variabilis* stand in Sangju area.

Mean overlay height	Maximum density equation	Mean stem volume(m ³)	Trees/ha
10m~14m	$Inv = 7.4445 - 1.4072Inp$ ($R^2=0.95$, $DW=2.17$)** (6.504)**(-9.048)**	0.0550	1,560
14m~18m	$Inv = 5.3452 - 1.0046Inp$ ($R^2=0.87$, $DW=1.16$)** (5.867)**(-7.980)**	0.1515	1,320
18m~22m	$Inv = 3.7890 - 0.7867Inp$ ($R^2=0.91$, $DW=2.16$)** (4.384)**(-6.371)**	0.1844	1,060

v=mean stem volume, p=trees/ha, **=significant at 1%, *=significant at 5%

Table 3. Relative density equations by mean overlay height of *Quercus variabilis* stand in Sangju area.

Mean overlay height	Relative density index	Relative density equation	Applied density(trees/ha)
10m~14m	0.9	$Inv = 7.2977 - 1.4072Inp$	1,404
	0.8	$Inv = 7.1319 - 1.4072Inp$	1,248
	0.7	$Inv = 6.9440 - 1.4072Inp$	1,092
14m~18m	0.9	$Inv = 5.2254 - 1.0046Inp$	1,188
	0.8	$Inv = 5.1072 - 1.0046Inp$	1,056
	0.7	$Inv = 4.9731 - 1.0046Inp$	924
18m~22m	0.9	$Inv = 3.7074 - 0.7867Inp$	954
	0.8	$Inv = 3.6147 - 0.7867Inp$	848
	0.7	$Inv = 3.5096 - 0.7867Inp$	742

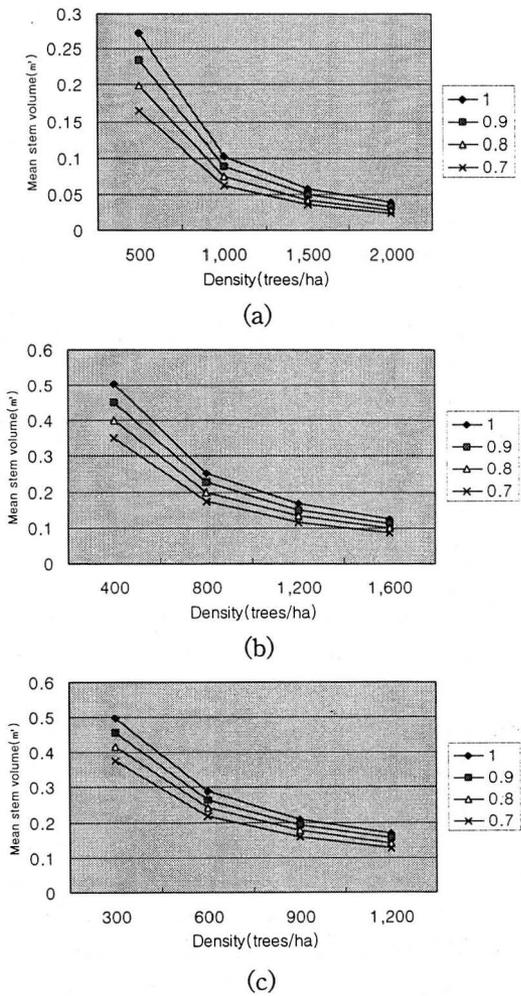


Fig. 3. Stand density diagram by mean overlay height and relative density index of *Quercus variabilis* stand in Sangju area. (a : mean overlay height 10m~14m, b : mean overlay height 14~18m, c : mean overlay height 18~22m)

3. 상대밀도곡선식의 추정

임분밀도지수는 어떠한 평균간재적이 가질수 있는 최대임분밀도를 1.0으로 하고 이에 대한 백분율로 나타내는 관련임분밀도지수를 구분하여 각지수별 기준본수를 산정하여 이것을 최대임분밀도곡선식에 대입하여 상대밀도곡선식을 추정하였다(Table 3, Fig. 3).

이러한 상층목수고와 관련임분밀도지수별 임분밀도곡선도의 작성은 상주지역에 고루 분포하고 있는 굴참나무임분에 대하여 장차 천연림 보육과 갱신 등 임업경영에 대한 여러 가지 기초자료를 제공할 것으로 생각되며, 앞으로도 지역별, 수종별 또는 침·활 혼효림별로의 연구가 더 많이 수행되어져야 할 것으로 생각된다.

결론

최근, 삼림생태계의 안정적인 측면과 친자연적인 측면에서 인공림보육 뿐만 아니라 천연림 보육에 대한 관심도 높아지고 있으나 현재 우리나라 전역에 걸쳐 분포하고 있는 참나무류를 위주로 한 천연 활엽수림들 대부분이 무육이 안된 상태로 방치되고 있어 건전한 임분으로 성장하기 어려운 실정이다. 이러한 측면에서 상주지역의 굴참나무림 중구성에 근거한 임분구조와 임분밀도를 파악하여 보다 효율적인 삼림경영을 위한 기초 생태학적 조림학적 정보를 제공하기 위하여 본 연구를 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 굴참나무군락의 교목층에서의 굴참나무 중요치는 253.67이었으며, 참나무류 중요치는 289.54로 나타나 굴참나무군락의 교목층은 주

로 참나무류(신갈나무 14.88, 갈참나무 7.12, 상수리나무 6.48, 졸참나무 3.99, 떡갈나무 3.40)로 구성되어 있음을 알 수 있다.

2. 아교목층에서의 굴참나무 중요치는 187.66이었으며, 소나무가 44.52로 나타났는데 이는 과거 이 일대의 소나무림이 현재 우점종인 굴참나무로 대체되었음을 의미한다고 할 수 있다.
3. 굴참나무군락 교목층의 주요수종 직경급분 포도 분석에 의하면 굴참나무와 졸참나무, 갈참나무, 신갈나무는 치묘 치수 아교목층으로 구성되는 뚜렷한 역 J자형을 나타내고 있어, 이들 수종은 유지될 것으로 생각된다. 졸참나무는 계곡부에 신갈나무는 사면상부 이상의 비교적 해발이 높은 곳에 분포한다는 것을 고려한다면 이들 수종은 굴참나무림 내에 소규모로 산재할 것으로 판단된다.
4. 매목조사한 결과를 이용한 3개의 상층목평균 수고별 최대임분밀도곡선식을 추정하였으며 그 결과는 다음과 같다.

· 상층목 수고 10~14m (ha당 본수; 1,560본, 평균간재적; 0.0550m³)

$$Inv=7.4445-1.4072Inp (R^2=0.95, DW=2.17)** (6.504)**(-9.048)**$$

· 상층목 수고 14~18m (ha당 본수; 1,320본, 평균간재적; 0.1515m³)

$$Inv=5.3452-1.0046Inp (R^2=0.87, DW=1.16)** (5.867)**(-7.980)**$$

· 상층목 수고 18~22m (ha당 본수; 1,060본, 평균간재적; 0.1844m³)

$$Inv=3.7890-0.7867Inp (R^2=0.91, DW=2.16)** (4.384)**(-6.371)**$$

여기서, v =평균간재적, p =ha당 본수,

**=significant at 1%, *=significant at 5%

5. 상층목수고와 관련임분밀도지수별 임분밀도곡선도의 작성은 상주지역에 고루 분포하고 있는 굴참나무임분에 대하여 장차 천연림보

육과 갱신 등 임업경영에 대한 여러 가지 기초자료를 제공할 것으로 생각되며, 앞으로 지역별, 수종별 또는 침·활 혼효림별로의 연구가 더 많이 수행되어져야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. 김도경·김종원·박승렬·오민영·유진행. 1987. 소나무 천연치수임분의 생장해석과 적정밀도관리기준 설정에 관한 연구. 시험연보 34 : 32-40.
2. 김지홍·이돈구·김진수·이경준·현정오·황재우·권기원. 1993. 참나무 천연림의 임분 구조에 대한 해석. 한국임학회지 82(3) : 235-245.
3. 마상규. 1977. 일본잎갈나무임분의 생장력과 밀도관리에 관한 연구. 한림지 34 : 21-30.
4. 심동섭·박찬우·이홍균·김사일. 1985. 잣나무 임분밀도관리도 제조에 관한 연구. 시험연보 32 : 38-48.
5. 심동섭·박찬우·이홍균·김사일. 1987. 리기다소나무 임분밀도관리도 제조에 관한 연구. 시험연보 34 : 12-21.
6. 이창복. 1982. 대한식물도감. 향문사. 990 pp.
7. 윤종화·한상섭·김지홍. 1987. 원시림의 환경과 구조에 관한 연구. 강원대학교 연구실보보고서 7 : 1-27.
8. 홍성천·변수현·김삼식. 1986. 원색한국수목도감. 계명사. 310 pp.
9. Barbour, M.G., J.H. Burk and Q.D. Pitts. 1987. Terrestrial plant ecology. 2nd ed. The Benjamin/Cummings Publishing Co., Menlo Park. pp.155-229.
10. Mohler, C.L., P.L. Marks and D.G. Sprugel. 1978. Stand structure and allometry of trees during self-thinning of pure stands. J. Ecol. 66 : 599-614.
11. Reineke, L.H. 1933. Perfecting a stand-density index for even-aged forests. J. Agric. Res. 46 : 27-28.

항공사진과 GIS를 이용한 토지이용형태 및 산림식생변화 모니터링^{1*}

정기현² · 이우균² · 심우범³

Monitoring the Land Use Type and Forest Vegetation Changes Using Aerial Photograph and GIS^{1*}

Kee-Hyun CHUNG² · Woo-Kyun LEE² · Woo-Beum SHIM³

요 약

본 연구는 1974년, 1980년, 1992년에 각각 촬영된 1 : 15,000축척의 항공사진을 이용한 경관생태학적인 기법으로 경기도 광주군에 위치한 약 500ha면적의 산지에서의 토지이용형태 및 임상의 변화를 모니터링하기 위해 수행되었다. 항공사진을 판독하여 토지이용형태 및 임상을 구분하였으며, 이를 1 : 5,000의 지형도위에 도면화 하였다. 각 도면은 scanner와 cadcore를 사용하여 vector화 하였으며, Arc/Info를 통하여 수치자료화 하였다. 한계농지가 산림으로 발달하는 과정을 분석하기 위해 과거 경작지였다가 숲으로 변한 지역과 주변산림에서 임분조사를 수행하였다. 식생구조는 측정된 각 종들의 상대우점치(importance value)와 종다양성지수에 의해 분석되었다.

연구대상지의 경작지면적은 21%(1974)에서 17%(1992)로 감소된 반면, 산림면적은 79%(1974)에서 81%(1992)로 증가되었다. 또한 경작지가 한계농지화 되면서 발생한 야생초지면적은 0.08%(1974)에서 0.53%(1992)로 증가되었다. 소밀도는 상당히 향상되었는데, 밀도가 낮은 산림은 31%(1974)에서 5%(1992)로 격감된 반면, 밀도가 높은 산림은 36%(1974)에서 68%(1992)로 증가되었다. 과거 계단식 경작지였던 습한 지역이 산림화되면서 나타난 식생구조는 주변의 식생구조와 차이를 보였다. 주변 산림에서는 신갈나무, 굴참나무, 떡갈나무, 산벚나무, 물푸레나무 등이 우점한 반면, 한계농지화되어 자연적으로 다시 산림화된 지역에서는 신나무 등이 하층에, 버드나무와 왕버들이 상층에 우점하였다. 이 경우, 과거 계단식 논이었던 지역의 식생 특성은 주변 산림의 영향을 받지 않은 것으로 나타났다.

ABSTRACT

In this study, land use type and forest vegetation changes in about 500ha mountain area located in Kwangjugun, Kyonggi Province, Korea were monitored with help of landscape-ecological approach using aerial photographs taken with scale 1 : 15,000 in 1974, 1980, 1992 and GIS tools. Land use and forest type of each year were classified through interpreting the aerial photographs and were transferred to the topographical map with 1 : 5,000 scale. Maps of each year were scanned, vectorized using cadcore and digitalized with Arc/Info.

¹ 접수 1998년 12월 일 Received on December, 1998

² 고려대학교 산림자원학과 Department of Forest Resources, Korea University, Seoul, 136-701 Korea (leewk@kuccnx.korea.ac.kr)

³ 임업연구원 Forestry Research Institute, Seoul, Korea

* 본 논문은 한국과학재단 국제공동연구(985-0600-005-2)지원으로 수행된 연구결과의 일부임.

Corresponding attribute data consist of land use and forest type, age class and crown closure were prepared also using Arc/Info. To analyze the natural reforestation processes in marginal agricultural land where was once a rice fields with wet soil, terrestrial inventories were performed in these reforested marginal land and neighbor forests. Vegetation structures were analyzed from the importance value and the diversity index of each species measured. Agricultural land area decreased from 21% in 1974 to 17% in 1992 while forests area increased from 79% in 1974 to 81% in 1992, respectively. Wild grassland area resulted from marginal agricultural land increased from 0.08% in 1974 to 0.53% in 1992. This wild grassland is expected to be forested with time. Crown closure improved significantly. Sparse stands decreased drastically from 31% in 1974 to 5% in 1992 while dense stands increased from 36% in 1974 to 68% in 1992, respectively. Vegetation structure in reforested marginal land stairs-styled, flat and wet was different from that of neighbor forests. In neighbor forests, *Quercus mongolica*, *Q. variabilis*, *Q. dentata*, *Prunus sargentii* and *Fraxinus rhynchophylla* appeared dominantly. In contrast, *Acer ginnala*, *Salix koreensis* and *S. glandulosa* were listed as the dominant species in reforested marginal land, where *A. ginnala* was dominant understory species and *S. koreensis*, *S. glandulosa* were major overstory species. In this case, vegetation characteristics of reforested marginal land were not influenced by vegetation of neighbor forests.

Key words : land use changes, forest vegetation changes, landscape ecology, vegetation structures, importance value, diversity index, terrestrial inventories, aerial photographs, GIS

서론

산림환경은 자연적 또는 인위적 영향이나 간섭에 의해 지속적으로 변화하고 있다. 이 중 인위적 간섭에 의한 산림환경의 변화가 산림의 자정능력을 위협하는 수준으로 진행됨에 따라 최근에는 산림환경 또는 산림생태계의 보호에 대한 관심이 높아지고 있다. 이에 따라 인위적 간섭에 의한 생태계의 변화를 인간의 영향과 연계시켜 밝히고, 이를 기반으로 생태계의 파괴 및 오염 문제를 해결하고자 하는 경관생태학(landscape ecology)이 중요하게 인식되고 있다(Leser, 1991; Finke, 1996; 홍선기와 이창석, 1997). 즉, 경관생태학에서는 기존의 생태학 관련연구에서는 가능한 한 배제되어온 인간의 영향이 가해진 생태계를 연구의 주제로 삼고 있다(홍선기와 이창석, 1997).

산림지역에서의 인위적 변화는 산림관리방법 및 형질변경에 의해 발생한다. 전자를 정상적인 산림관리행위로 본다면, 후자는 산림생태계가 다른 생태계로 이행되는 것을 의미한다. 후

자의 형태 중에 하나를 한계농지로 볼 수 있다. 한계농지는 과거에 경작지였으나 노동력 부족, 부재지주의 증가, 영농조건 불리 등의 이유로 현재 그 기능을 상실한 토지로 정의할 수 있다(정영일, 1995). 이러한 한계농지는 인간의 생활패턴 변화에 따라 최근 발생하는 토지로서 인간의 생활권과 근접한 산림생태계에서 주로 나타나고 있다. 또한 대부분 소규모 전답으로서 산지와 접해 있으며, 경사가 급하고 표고가 높은 곳에 위치하고 있어 농지규모를 확대하기가 곤란하며 대형기계화에 의한 농업생산비의 절감이 어려운 특징을 지니고 있다(임재환, 1995). 이러한 한계농지를 방치할 경우에는 토사유출로 인한 피해가 우려되고, 상수원보호, 홍수조절, 농지보전 등의 공익적 기능을 상실하게 된다(정영일, 1995). 또한, 국토의 효율적 이용 면에서도 바람직하지 못하다.

한계농지의 주변은 대부분 산림으로 이루어져 있고 이들 주변산림은 식생의 천이과정이 어느 정도 진행된 상태이다. 산림의 관리를 위하여 그 상태를 파악하고자 할 때, 산림의 과거

식생구조를 밝혀 초기 천이단계를 이해하고, 현재 식생구조의 이해를 통해 그 산림에 있어 식생구조의 변화과정을 파악하는 것은 산림의 미래 모습을 예측하고 의사결정을 할 때 정보를 제공할 수 있다. 그러나 현시점에서 과거의 식생구조를 이해하는 것은 쉽지 않다. 반면, 한계농지는 주변산림과 비슷한 환경조건과 입지조건을 가지고 있고, 산림의 형성시기 면에서 초기단계에 있으므로 이를 통해 주변산림의 과거 식생구조를 간접적으로 파악할 수 있고 한계농지 뿐만 아니라 주변산림의 관리에 필요한 정보를 제공할 수 있는 특징이 있다. 또한 항공사진을 통하여 시기별 임상형태를 이해함으로써 전반적인 산림의 발달과정을 파악할 수도 있다.

한계농지는 인위적인 관리를 하지 않는 한 주변 식생의 침입에 의해 산림으로 전환되기 마련이다. 실제로 관리가 부재된 한계농지는 주변 식생의 영향하에 산림화 되고 있다. 그러나 한계농지의 관리에 대한 뚜렷한 지침이 없고 이의 용도설정도 불분명한 상태이므로 산림화된 한계농지에 대한 복합적인 관리대책이 시급히 마련되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 시차를 두고 촬영된 항공사진을 이용하는 경관생태학적인 접근(landscape-ecological approach)을 통해 토지이용형태 및 이에 따른 산림식생의 변화를 파악하고자 하였다. 즉, 항공사진을 이용한 과거의 자료와 임분조사를 통한 현재의 자료를 통해 한계

농지와 주변산림의 식생 변화과정을 파악함으로써, 이들 산림에 대한 합리적인 관리지침을 수립하는데 기초자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 연구대상지 및 재료

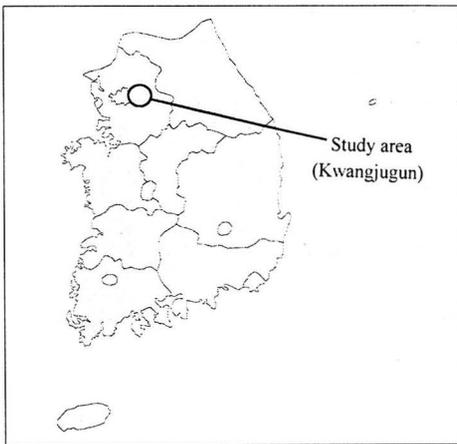
경기도 광주군 중부면 엄미리에 위치한 약 501ha에 달하는 지역(37° 27'34"-37° 28'35"N, 127° 14'41"-127° 16'27"E)을 연구대상지로 선정하였다(그림 1a). 이 지역은 대부분이 산림으로 이루어져 있으며, 계곡주변에 산림으로 전환중인 한계농지가 분포되어 있는 특징을 지니고 있다.

시간의 흐름에 따른 토지이용형태 및 임상구조의 변화과정을 분석하기 위해 임업연구원에서 제공한 1974년, 1980년에 각각 촬영된 1:15,000축척의 일반흑백항공사진과 1992년에 촬영된 적외선흑백항공사진을 이용하였고, 지형 분석을 위해서는 1997년 국립지리원에서 발행한 1:5,000축척의 지형도를 이용하였다. GIS tool로는 Arc/Info와 ArcView를 이용하였으며, 임분조사의 식생분석을 위해서는 FIAS1.5(이우균 등, 1998b)를 이용하였다(그림 1b).

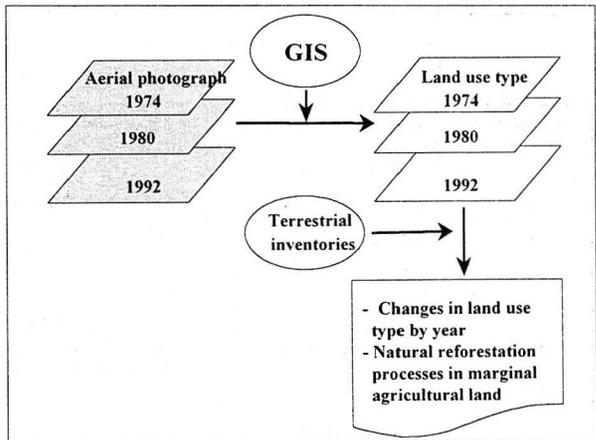
2. 연구방법

1) 토지이용구분도 작성

각 연도별 항공사진을 판독하여 산림, 경작



(a)



(b)

Fig. 1. Study area(a) and flow chart of analysis(b).

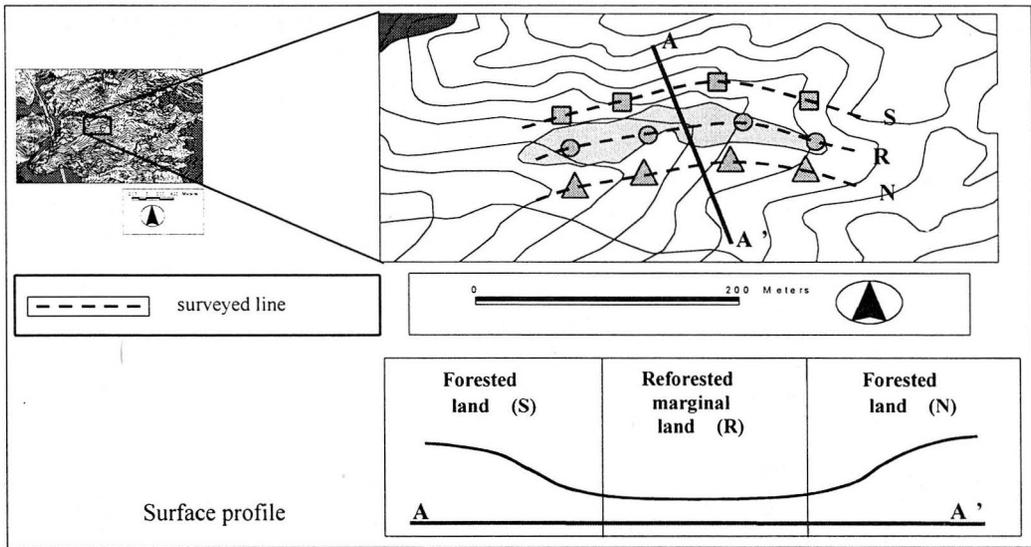


Fig. 2. Terrestrial inventory plots in forested land and reforested marginal land.

결과 및 고찰

1. 토지이용형태의 변화

1.1 토지이용별 면적변화

그림 3은 ArcView를 이용하여 토지이용형태를 연도별로 구분한 결과를 보여주고 있는데, 중앙지역의 경작지들이 시간이 흐름에 따라 점점 감소하여 결국엔 산림으로 변했음을 알 수 있다.

토지이용별 면적변화 분석결과, 경작지의 면적은 106ha(21.07%, 1974)에서 84ha(16.72%,

1992)로 감소되었다. 반면, 산림면적은 395ha(78.85%, 1974)에서 407ha(81.28%, 1992)로, 야생초지의 경우는 0.4ha(0.08%, 1974)에서 2.8ha(0.53%, 1992)로 각각 그 면적이 증가한 것으로 나타났다(그림 4).

2. 임분밀도의 변화

임분밀도는 현저히 향상된 것으로 나타났다. 임분밀도별 면적의 변화추이는 그림 5와 같으며, 밀도가 낮은 임분의 면적은 123ha(31%, 1974)에서 21ha(5%, 1992)로 감소한 반면, 밀한 임분의

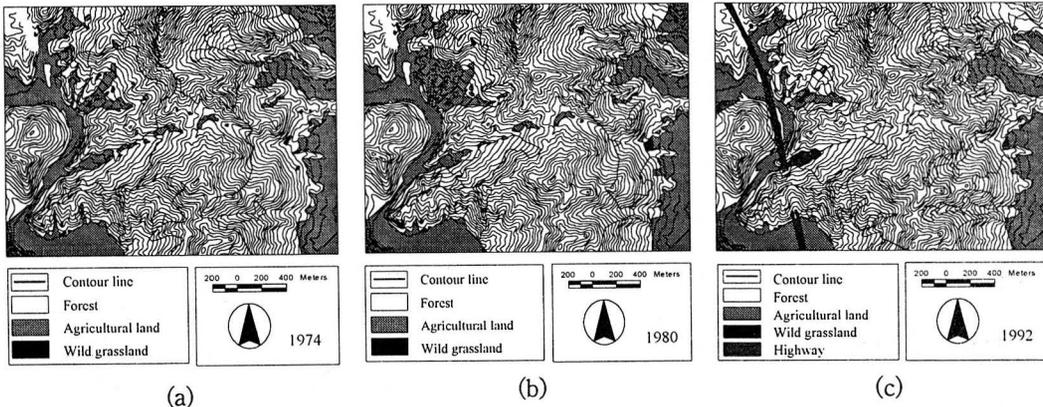


Fig. 3. Land use type in 1974(a), 1980(b), 1992(c).

면적은 140ha(36%, 1974)에서 275ha(68%, 1992)로 증가하였음을 보여준다.

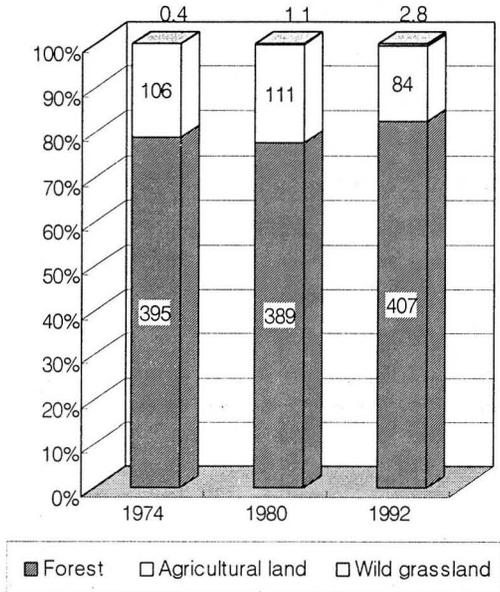


Fig. 4. Area of forest, agricultural land, wild grassland by year(ha).

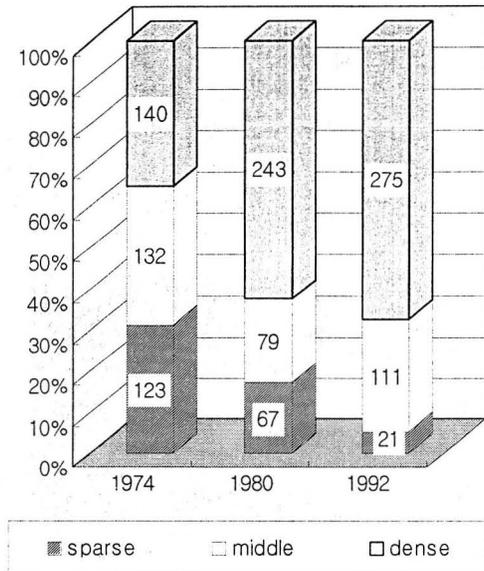


Fig. 5. Crown closure by year(ha).

3. 한계농지지역과 기존 산림지역의 식생구조

3.1 한계농지의 개황

현지에서 실제로 조사를 한 지역은 1980년 항공사진에서는 경작지였던 곳이다. 즉, 계곡을 따라 계단식 논이 발달해 있으며 주변의 사면은 산림으로 이루어진 지역이다(그림 2). 그러나, 1992년 항공사진에서는 이미 숲의 형태를 보이고 있었다. 따라서, 항공사진 판독만으로는 정확한 식생의 침입시기를 파악할 수 없었고, 지역 주민들에 대한 탐문조사 결과 약 15년 전에 한계농지화 되어 식생이 침입하기 시작한 것으로 밝혀졌다. 현재, 한계농지 부분의 상층목 dbh는 10-15cm, 수고는 13-15m정도인 반면, 주변산림의 상층목 dbh는 18-23cm, 수고는 15-19m정도로서 식생의 형성시기에 차이를 보였다.

3.2 식생구조

임분조사자료를 FIAS1.5(이우균 등, 1998b)로 분석하여 산림식생 중 어느 한 종이 우점하는 정도를 나타내는 상대우점치(importance value) 및 종다양성을 추정하였다(표 2, 표 3).

표 2에서 보는 바와 같이, 한계농지로부터 형성된 산림의 식생구조는 주변산림의 식생구조와 큰 차이가 있었다. 즉, 주변산림의 경우 상층식생에서는 신갈나무와 굴참나무가, 하층식생에서는 신갈나무, 굴참나무, 산벚나무, 물푸레나무가 우점종을 이룬 반면, 한계농지로부터 형성된 산림의 경우 상층식생에는 왕버들과 버드나무가, 하층식생에는 신나무가 우점하는 것으로 나타났다. 이는, 과거 경작지의 입지가 관개하기 쉬운 즉 물과의 접근성이 좋은 지역에 위치했고, 따라서 습한 환경에 잘 적응하는 수종인 버드나무속, 신나무 등이 주변산림의 임목보다 이 한계농지의 입지환경에 잘 적응한 결과로 판단되었다. 또한, 종자의 확산방법에 있어서도 주변 산림에 있어 우점종인 참나무류 종자의 이동거리가 짧고, 이동수단이 동물에 의존하는 등 확산에 제한이 많은데 반해, 버드나무속의 삭과나 단풍나무속의 시과는 바람에 의한 이동성이 뛰어나므로 참나무류보다 쉽게 한계농지에 침입한 결과로 판단되었다(이창복, 1991).

Table 2. Importance value of surveyed stands.

Species code	Species	Forested land(S)				Reforested marginal land(R)				Forested land(N)			
		over	mid-under	mortality	ALL	over	mid-under	mortality	ALL	over	mid-under	mortality	ALL
11	<i>Pinus densiflora</i>						7.18		2.91	5.91			4.10
13	<i>Larix leptolepis</i>	5.95			3.25								
23	<i>Quercus variabilis</i>	18.40	22.01	100	20.10	5.05			2.8				
24	<i>Quercus mongolica</i>	58.62	27.02		40.40	8.75			4.57	75.84	55.35	69.44	65.90
25	<i>Quercus dentata</i>		7.55		5.18								
35	<i>Prunus sargentii</i>	6.29	25.65		15.9					6.33	17.27	18.09	14.30
41	<i>Fraxinus rhynchophylla</i>									11.92	19.67	12.47	11.80
49	<i>Rhus verniciflua</i>		7.86		4.75		5.81		2.63				
56	<i>Acer ginnala</i>					14.77	73.45	74.29	45.2		7.71		3.87
60	<i>Salix koreensis</i>					29.96		17.63	16.80				
71	<i>Sorbus almifolia</i>	5.26	5.45		4.49		8.29		3.64				
72	<i>Castanea crenata</i>	5.48			2.93								
77	<i>Alnus hirsuta</i>		4.46		3.03								
86	<i>Cornus controversa</i>					7.17			3.70				
87	<i>Salix glandulosa</i>					34.30	5.26	8.09	17.80				

3.3 종다양성

종다양성 면에서도 북사면보다 남사면이 훨씬 다양한 결과를 보였다. 표 3에서 보는 바와 같이 남사면의 경우 종구성이 다양할수록 큰 값을 갖는 Shannon의 다양성지수(이우균 등, 1998a)가 다른 임분보다 크게 산출되었고, 종구성이 단순할수록 큰 값을 갖는 Simpson의 다양성지수(이우균 등, 1998a)는 낮게 산출되어 남사면이 북사면보다 종의 구성이 훨씬 다양한 것으로 나타났다. 이는 임분이 위치한 사면의 성격과, 계곡부에 인접했는가의 여부에 따른 환경 입지적인 조건차의 결과라 사료된다.

표 4는 조사지의 면적과 출현개체수, 고사목의 수, 고사율을 나타내었다. 출현개체수는 한계농지가 가장 많았고, 북사면이 가장 적었다. 고사목의 수에 있어서는 한계농지가 가장 많았고 남사면이 가장 적었다. 이는 한계농지가 천이의 초기단계에 있으면서 이로 인한 심한 경쟁 및 교란이 발생하고 있기 때문인 것으로 판단되었다. 또한, 기존산림에 있어서도 북사면과 남사면이 출현개체수나 고사율에서 차이를 보이고 있는데 북사면에서의 출현개체수가 더 작고, 고사목수는 더 많은 것으로 나타났다.

Table 3. Diversity index of surveyed stands.

Plot	Diversity index	
	Shannon	Simpson
Forested land (southern slope)	g011	0.3846
	g012	0.2900
	g013	0.2583
	g014	0.2526
	mean	0.2964
Reforested marginal land	g021	0.7098
	g022	0.5312
	g023	0.4335
	g024	0.2167
mean	0.4728	
Forested land (northern slope)	g031	0.4083
	g032	1.0000
	g033	0.7363
	g034	0.5294
	mean	0.6685

Table 4. Total survey area, number of measured trees, mortality in surveyed stands.

	Area (m ²)	No. of standing trees	No. of dead trees	Mortality (%)
Forested land(S)	67.20	74	1	1.35
Reforested marginal land(R)	56.08	117	30	25.64
Forested land(N)	138.93	58	12	20.69

이는 사면에 따른 환경인자의 변이폭이 남사면에서 더 크기 때문이라고 사료된다. 환경인자의 변이폭이 크다는 것은 그 지역의 식생이 환경인자의 급작스런 변화현상에 대해 적응성이 크다는 것을 의미한다. 상대적으로 환경인자의 변이폭이 작은 북사면의 경우 환경인자의 급작스런 변화현상에 쉽게 충격을 받아 이에 적응하지 못하는 개체가 많았을 것으로 생각되고 이런 미적응 수준이 결국엔 고사에 이르렀을 것으로 판단되었다.

결 론

본 연구는 한계농지로부터 발달한 산림의 식생구조와 천이과정을 경관생태학적인 분석방법을 이용하여 파악하고, 이에 대한 관리방안의 지침을 제공하고자 수행되었다.

시차를 두고 촬영된 항공사진을 판독하여 토지이용구분도를 작성하였고, 이를 지형도 위에 이사하였다. 작성된 도면을 Arc/Info를 이용하여 수치자료화 하였고, ArcView를 이용하여 분석하였다. 분석결과, 경작지의 면적은 106ha(1974)에서 84ha(1992)로 감소된 반면, 산림면적은 395ha(1974)에서 407ha(1992)로, 야생초지면적은 0.4ha(1974)에서 2.8ha(1992)로 각각 증가하였다. 또, 과거와 비교했을 때 밀도면에서 향상된 결과를 보였는데, 밀도가 낮은 임분의 면적은 123ha(1974)에서 21ha(1992)로 감소하였고, 밀도가 높은 임분의 면적은 140ha(1974)에서 275ha(1992)로 증가하였다. 즉, 전체적인 경작지의 면적은 감소한 반면, 산림의 면적과 소밀도는 증가한 것으로 나타났다.

조사대상지내의 한계농지 중 한곳을 임의로 선정하여 주변산림과 함께 식생조사를 수행하였고, 주변산림은 다시 북사면에 위치한 임분과

남사면에 위치한 임분으로 구분하여 수행하였다. FIAS1.5(이우균 등, 1998b)를 이용하여 조사지들의 식생구조를 분석한 결과, 한계농지와 주변산림의 식생구조에는 차이가 있었다. 주변산림의 경우, 신갈나무, 굴참나무, 떡갈나무, 산벚나무, 물푸레나무가 우점한 반면, 한계농지의 경우에는 상층에 왕버들과 버드나무가, 하층에는 신나무가 우점하였다.

종다양성의 정도를 파악하기 위해 Shannon의 다양성지수와 Simpson의 다양성지수를 산출한 결과, 한계농지의 경우 Shannon의 다양성지수는 0.9606, Simpson의 다양성지수는 0.4728, 남사면과 북사면의 경우 Shannon의 다양성지수는 1.2543, 0.5764, Simpson의 다양성지수는 0.2964, 0.6685로 각각 산출됨으로써 남사면의 종구성이 다른 조사지보다 다양함을 나타냈다.

조사지별로 조사면적, 출현개체수, 고사목수, 고사율을 분석한 결과 한계농지에서의 출현개체수와 고사목수가 가장 많았다. 북사면의 경우 남사면보다 개체수는 적으나 고사목수는 많은 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 이우균 · 변우혁 · 윤성민. 1998a. 영림계획의 방법론적 개선에 관한 연구. 산림경제연구 6(1) : 84-97.
2. 이우균 · 독고세준 · 변우혁. 1998b. 위치중속 산림조사용 산림정보분석시스템(FIAS1.5)개발. 한국산림측정학회 1(1) : 37-49.
3. 이창복. 1991. 신고수목학. 향문사.
4. 임재환. 1995. 한계농지의 농업적 이용방안 : 유희 · 한계농지의 다목적 활용방안. 농어촌진흥공사 : 197-233.
5. 정영일. 1995. 농업진흥지역밖 농지 이용의

- 효율화 방향 : 유희 · 한계농지의 다목적 활용방안. 농어촌진흥공사 : 37-50.
6. 홍선기 · 이창석. 1997. 생태학의 새로운 분야로서 경관생태학의 발전과 역할. 한국생태학회지. 20(3) : 217-227.
 7. Finke, L. 1996. Landschaftsökologie, westermann. 245pp.
 8. Leser, H. 1991. Landschaftsökologie, UTB 521. 647pp.

시간 및 공간인자를 고려한 임관투영모델의 개발^{1*}

송철철² · 이우균³ · 정동준⁴

Development of a Canopy Projection Model(CPM), Considering Influences of Temporal and Spatial Factors^{1*}

Chul-Chul Song², Woo-Kyun Lee³ and Dong-Jun Chung⁴

요 약

본 연구는 시간 및 공간인자의 변화를 고려한 임관투영모델을 개발하고자 수행되었다. 우선, 시간 및 공간인자의 변화를 고려하여 임관투영면을 산출할 수 있는 기하학적 모델을 설정하고, 이를 반영한 컴퓨터 프로그램을 개발하였다.

다음으로 모델검증을 위해 공간인자가 상이한 9개의 가상 표준지별로 시간대를 달리하는 12개의 임관투영도가 시뮬레이션 기법을 이용하여 작성되었다. 이렇게 작성된 임관투영도에서 임관투영면적이 시간 및 공간인자별로 타당하게 추정되는지를 검증하였다.

그 결과, 본 연구에서 개발한 임관투영모델이 실제로 시간 및 공간인자의 변화를 현실성 있게 반영하고 있음을 확인하였다. 이러한 임관투영모델을 임관투영과 임분내 미세환경인자의 변화 등과 관련한 연구에 이용하면 유용한 정보들을 얻는데 도움이 될 것으로 판단된다.

ABSTRACT

This study was performed to develop a canopy projection model, considering influences of temporal and spatial factors. First of all, a geometric model was designed to estimate canopy projection surface with several independent variables such as temporal and spatial factors, and a computer program was developed for the model.

In order to test the model performance, in each 9 virtual sample plots with different spatial characteristics, canopy projection surfaces were estimated at 12 levels of temporal factors using a simulation method. And it is tested, if the estimated canopy projection areas are coincident with given temporal and spatial factors.

As a result, it is showed that the canopy projection model developed in this study has high performance in projecting the crown and canopy according to the spatial and temporal influences. This canopy projection model is expected to make useful information for the studies about the relationships between canopy projection and micro environmental changes in

¹ 접수 1998년 12월 일 Received on December, 1998

² 고려대학교 산림자원학과 Department of Forest Resources, Korea University, Seoul, 136-701 Korea (ccsong@kuccnx.korea.ac.kr)

³ 고려대학교 산림자원학과 Department of Forest Resources, Korea University, Seoul, 136-701 Korea (leewk@kuccnx.korea.ac.kr)

⁴ 경희대학교 산림자원학과 Department of Forest Resources, Kyunghee University, Seoul, Korea

* 본 논문은 1997년도 한국과학재단의 핵심전문연구과제(과제번호 : 971-0607-050-2) 지원으로 수행된 연구결과의 일부임.

forest stands.

Key words : canopy projection model, temporal factors, spatial factors, micro environment

서 론

개체목간의 공간점유나 경쟁관계 및 임분의 울폐도 등을 가시적으로 기술하는 방법으로 수관 또는 임관투영도를 들 수 있다. 특히, 정밀한 임관투영도는 임분내의 지엽적인 일조량, 토양습도 및 온도 등과 같은 미세환경인자의 변화를 설명하는 근거로 이용될 수도 있다. 그런데, 일반적으로 임관투영도의 제작방식은 지면을 수평면으로 가정하고 있을 뿐만 아니라, 수관들에 대한 투영방식도 지면에 수직인 방향만을 고려하고 있어 지표면의 경사나 투영시점 등이 상이한 경우에도 동일한 형태의 임관투영면을 산출할 수밖에 없는 한계점을 지니고 있다.

이와 같은 확실적인 임관투영면의 산출방식을 보완하여 표준지가 지닌 경사 및 방위 등과 같은 공간적인 특징들을 고려함은 물론, 시간적인 변화에 따라 수관투영 방향이 적절히 달라지도록 하는 임관투영면의 산출방식을 적용하면 현실성이 있는 임관투영면의 산출이 가능하다.

따라서, 본 연구에서는 시간 및 공간인자를 고려한 임관투영면의 산출모델을 제시하고, 모의실험으로 이 모델을 가상의 표준지들에 적용하여 도출된 결과들을 고찰함으로써 임관투영면의 산출모델이 지닌 현실성을 검토하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구의 단계별 내용은 Fig. 1과 같다. 우선, 임관투영면의 산출을 위한 기하학적인 모델을 설정하고, 이를 처리할 수 있는 임관투영모델을 개발하였다. 모델의 검증은 위해 상이한 공간인자를 갖는 가상의 임분조사자료를 개발된 모델을 이용하여 다양한 시점별 임관투영도를 산출하였다. 이와 같은 모의실험결과를 토대로 산출모델이 시간 및 공간인자의 변화를

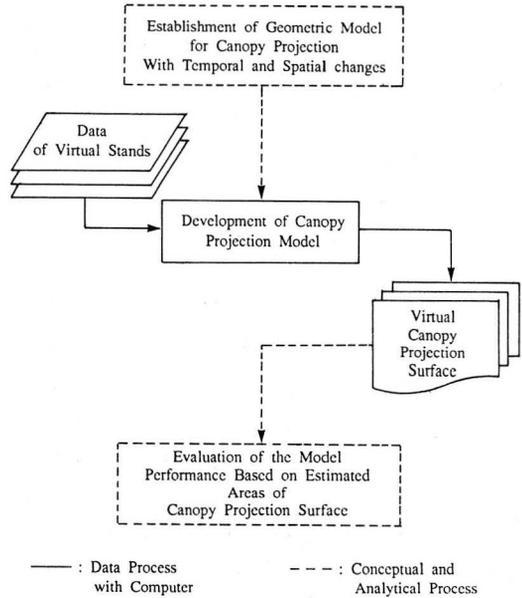


Fig. 1. Steps for the computer simulation and model evaluation

충분히 고려하고 있음을 확인하는 단계들로 구성하였다.

1. 임관투영모델의 개발

임관투영모델의 개발을 위한 프로그램 언어로는 FORTRAN을 사용하였으며, 이후의 임관투영면 산출모델과 관련된 사항은 컴퓨터 프로그래밍 기법을 중심으로 하여 기술하였다.

1.1 모델에 이용된 설명변수

임관투영모델은 기하학적인 형태를 기반으로 하여 작성되었으며, 모델의 설명변수들은 크게 공간요인과 시간요인으로 구분하였다.

표준지의 위도, 경사 및 방위를 임관투영면을 변화시키는 공간인자로 선정하였으며, 공간인자별 자료값의 처리가능한 영역과 단위를 프로그래밍 과정에서 Table 1에서 보는 바와 같이 지정하였다. 특히, 위도의 경우 북반구만을 고려하도록 제한하였다.

Table 1. The range definition of spatial factors for crown projection model

Spatial Factor	Minimum and Maximum Limits	Unit
Latitude	$0^{\circ} 00' 00'' N < \text{Latitude} < 90^{\circ} 00' 00'' N$	1"
Slope	$0^{\circ} \leq \text{Slope} < 90^{\circ}$	1°
Azimuth	$0^{\circ} \leq \text{Azimuth} < 360^{\circ}$	1°

Table 2. The range definition of temporal factors for crown projection model

Temporal Factor	Minimum and Maximum Limits	Unit
Date	1 Jan. \leq Date \leq 31 Dec.	1 day
Time	0:00 \leq Time $<$ 24:00	1 minute

시간인자는 날짜와 일일중 시간대의 두 요인으로 규정하였다. 임관투영면을 발생시킬 시점은 이 두 가지 요인의 조합에 의해 결정되도록 하였다(Table 2). 단, 날짜요인에서 윤년은 고려하지 않고 1년을 365일로 고정하였다.

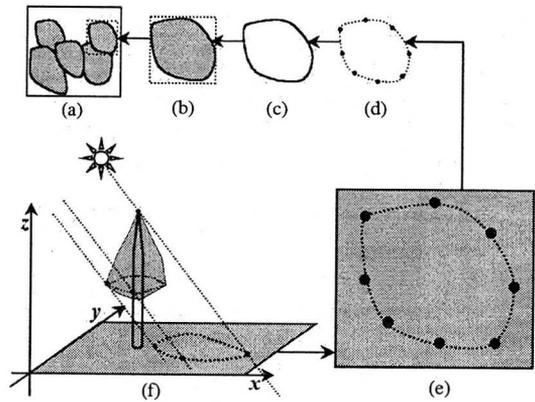
특히, 일일중 시간대를 나타내는 Time이라는 설명변수의 입력가능한 범위는 모든 시간대로 설정하였으나, 날짜요인의 변화에 따라 추정될 일출 및 일몰시간대의 범위안에 들어올 때만 모델을 통한 연산이 이루어지도록 하였다.

이상의 공간 및 시간인자들은 표준지의 형태 및 태양광선의 방향을 결정하고, 이들로 부터 임관투영면의 위치, 형태 및 크기 등을 변화시키도록 하였다.

1.2 모델을 통해 추정될 종속변수(Fig. 2 참조)

시간 및 공간인자의 변화에 따라 산출되는 임관투영면(Fig. 2(a))은 개체목들의 수관투영면(Fig. 2(b))으로 구성되며, 수관투영면을 구하기 위해서는 수관투영면의 외곽선(Fig. 2(c))이 산출되어야 한다. 이 외곽선들을 컴퓨터로 구현하기 위해서는 이것을 온전한 하나의 선이 아닌 구간별로 상이한 함수식을 갖는 일련의 선(Fig. 2(d))들로 정의하여야 계산이 가능해진다.

이때, 구간의 구획에 사용할 지점들을 지정하여야 하는데, 수관투영을 위해서 측정된 8방위에 걸친 개체목의 수관폭과 수고가 구간구획을 위한 지점들을 산출하는데 이용되도록 하였다. 개체목별로 수고와 수관폭의 측정치들을 3차원의 공간에 배치하고 시간인자를 고려하여



- (a) a canopy projection
- (b) a crown projection
- (c) an outline of a crown projection
- (d) elemental points of a crown projection
- (e) intervals with different functions
- (f) shading caused by the sun light projection on a forest stand floor

Fig. 2. Steps for diagrams of a canopy projection

이 배치한 지점들을 투영하면, 그 투영의 연장선과 지면과의 교점들이 xy평면좌표(Fig. 2(f))로 얻어지는데 이것들을 구간구획에 사용하였다. 구간구획에 이용될 지점들의 평면좌표를 토대로 각각의 구간별로 SPLINE 함수를 이용한 보간(interpolation)을 하여 수관투영면의 외곽선을 작성할 수 있도록 하였다.

1.3 수관투영점들의 산출을 위한 기하학적 모델

- 1) 공간 및 시간인자를 고려한 가상천구의 도출 및 태양의 위치 산출
- 먼저, 수관투영모델을 산출하기 위해서 고려

해야 할 사항은 수관투영면의 위치나 크기를 변화시키는 직접적인 요인인 태양의 위치를 산출해야 한다는 점이다. 그런데, 실제 태양의 위치변화는 천구라고 하는 무한히 커다란 구의 표면에서 이루어지고 있다(김소구, 1994). 따라서, 무한히 큰 반지름을 갖는 천구를 도출하여야 한다. 그러나, 실제로 무한히 큰 값이란 컴퓨터에서 구현이 용이하지 않으므로, 천구의 정의를 상식적인 수준에서 재해석하여 천구의 반지름을 구체화하였다. 즉, 천구의 반지름은 지평면과 천체가 만나는 지점까지의 거리이므로, 관측지점에서 지구표면까지의 접선을 내려 지평면의 원점에서 이 접점까지의 거리를 천구의 반지름으로 삼았다. Fig. 3에서 큰 원이 지구를 나타내고, 원점 O가 지구의 중심, 선분 OB가 지구의 평균반지름이라고 가정한다. 또한, 관측자의 관측지점을 점 P라고 한다면, 천구의 반지름 r_s 는 관측자의 위치에서 지평선까지의 도달거리(선분 PB)를 지평면위(직선 AB)에서의 거리로 환산하여 구한다. 단, 직선 PB는 접점 B에서 원에 접하는 접선이므로 $\angle OBP$ 는 직각이고, 천구의 천정을 지나는 y축과 지평면(직선 AB)도 직각을 이루고 있다. 이상에서 설명한 전제들을 토대로 수식을 이용하여 풀이하면 다음과 같다.

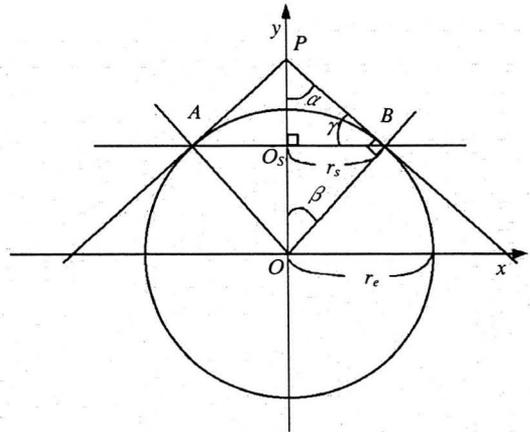


Fig. 3. A definition of the celestial radius

$$\therefore \gamma = 90^\circ - \alpha \dots\dots\dots(\text{Formula 3})$$

Formula 2와 3으로부터,

$$\gamma = \beta, \therefore \cos(\gamma) = \cos(\beta), \frac{l_{BO_s}}{l_{PB}} = \frac{l_{BO}}{l_{PO}}$$

$$l_{BO_s} = \frac{l_{PB} \cdot l_{BO}}{l_{PO}} \dots\dots\dots(\text{Formula 4})$$

즉, 천구의 반지름(r_s) =

$$\frac{\text{관측점에서 지평선까지의 도달거리} \times \text{지구반지름}}{\text{지구중심에서 관측점까지의 거리}}$$

가 됨.

- ① 관측지점에서 지평선까지의 도달거리(선분 PB, l_{PB})

$l_{PO} = r_e + \text{Altitude} + 1.6$ (지구반지름 + 해발고 + 관측자의 눈높이)일 때, 피타고라스의 정리에 의해

$$\therefore l_{PB} = \sqrt{(r_e + \text{Altitude} + 1.6)^2 - r_e^2} \dots\dots\dots(\text{Formula 1})$$

단, Formula 1에서 사용한 관측자의 눈높이는 1.6m라고 가정하였음.

- ② 천구의 반지름 구하기(선분 BO_s , l_{BO_s} , r_s)

삼각형의 내각의 합에 관한 정리를 이용하여 $\triangle OPB$ 의 한 내각 α 는

$$180^\circ = 90^\circ (\angle PBO) + \alpha + \beta$$

$$\therefore \alpha = 90^\circ - \beta \dots\dots\dots(\text{Formula 2})$$

$\triangle PBO_s$ 에서도 한 내각 γ 의 크기는

- ③ 태양의 천구 표면상의 위치변화

i) 표준지의 위도 및 계절의 변화에 따른 태양의 남중고도 산출

태양이 천구상에서 이동하다가 관측자의 남쪽 자오선을 통과하는 것을 남중이라고 하고, 태양의 고도는 하루 중 남중했을 때 가장 높다. Fig. 4에서 태양의 적위가 δ 이고 표준지의 위도가 φ 일 때, 태양의 남중고도 h 는 다음과 같다.

$$h = 90^\circ - \varphi + \delta \dots\dots\dots(\text{Formula 5})$$

그런데, 같은 지점에서 태양의 남중고도는 태양의 적위에 따라 달라지며 적위는 최소 -23.5° 에서 최대 $+23.5^\circ$ 의 범위에서 계절의 진행에 따라 변화한다. 북반구에서 적위는 동짓날에 최소값이, 춘분과 추분날에 0° 이, 그리

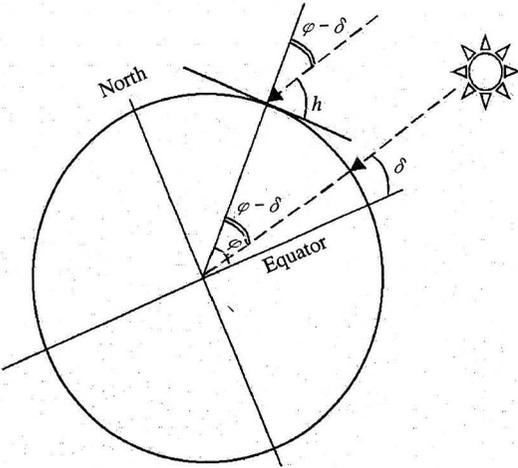


Fig. 4. The height of the sun on a specified date

고 하짓날에 최대값이 된다.

본 연구에서는 윤년을 고려하지 않고 1년을 365일로 가정하였으나, 적위변화의 전체 범위를 365등분하여 날짜의 변화에 따른 적위를 산출하도록 하지는 않았다. 왜냐하면, Table 3에서 보는 바와 같이 이전해 동지에서 이듬해 춘분까지, 춘분에서 하지까지, 하지에서 추분까지, 그리고 추분에서 동지까지의 날짜수가 다르기 때문이다. 따라서 1년을 4개의 구간으로 나누어 각 구간별 23.5°의 적위변화를 날짜수로 등분한 만큼을 적위의 산출에 이용하였다.

ii) 일조시간의 변화 및 하루 중 시간대의 변화에 따른 태양의 방위각 산출

지구 자전에 의한 태양의 천구상 이동궤적은 하나의 평면으로 나타낼 수 있으며, 일조시간을 좌우하는 낮과 밤의 길이는 태양의 적위에 따라 변화한다. Fig. 5에서 빗금친 A평면은

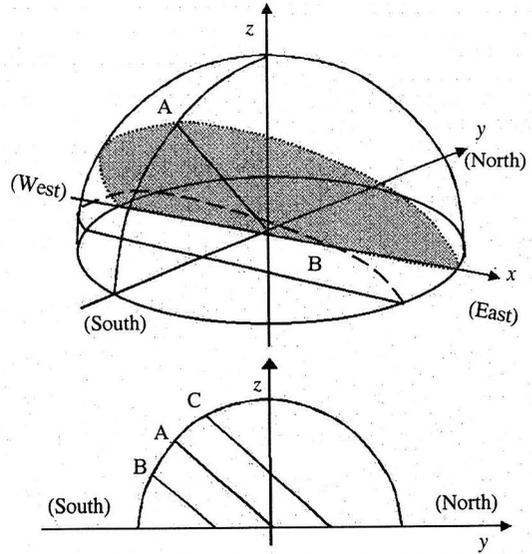


Fig. 5. The orbit changes of the sun on the surface of the celestial sphere

지평면(xy평면)을 기준으로 상하의 크기가 동일하므로 낮과 밤의 길이가 같은 춘, 추분날의 태양의 궤적을 나타내고 있다. 그리고, B는 동짓날, C는 하지를 나타낸다.

태양의 일주속도는 24시간 동안 360° 만큼 회전하므로, 북쪽을 나타내는 y축 방향은 0시 00분00초를 의미하며, y축의 역방향은 남중시간(12시 00분 00초)를 의미한다. 하루 중 시간대의 변화에 따른 지평면(xy평면)에서 y축으로부터의 태양의 방위(θ)는 다음과 같다.

h : hour(0~24), m : minute(0~60),
s : second(0~60)라 할 때,

$$\theta = \left(h + \frac{m}{60} + \frac{s}{3600} \right) \left(\frac{360}{24.0000} \right) \dots\dots\dots \text{(Formula 6)}$$

Table 3. Seasonal changes of the declination in a year

Interval	Meaning of the Interval	No. of Dates	Degree Change per a day
I	Winter Solstice < I ≤ Vernal Equinox	88	0.27°
II	Vernal Equinox < II ≤ Summer Solstice	92	0.26°
III	Summer Solstice < III ≤ Autumnal Equinox	94	0.25°
IV	Autumnal Equinox < IV ≤ Winter Solstice	90	0.26°

iii) 산출된 태양 방위각의 유효성 확인

Formula 6에 의해 산출된 태양의 방위각은 수관투영을 위해 바로 사용될 수 없다. 왜냐하면, 방위각의 값이 일출 및 일몰지점의 방위각 사이에 올 때만이 수관투영을 위해 사용할 수 있기 때문이다. 따라서, 산출된 태양의 방위각은 태양의 일주평면과 천구상 지평면과의 교차점들로 일출 및 일몰지점을 구한 후, 이 두 지점의 방위각사이에 존재하고 있는 지를 확인하여 선택적으로 수관투영을 실시하도록 하였다.

④ 태양위치의 공간좌표 산출

날짜요인과 일일중 시간대의 값에 의해 확정된 태양의 남중고도 및 방위각을 토대로 공간좌표체계내에서 태양의 공간좌표로 환산하였다.

2) 공간인자를 고려한 표준지 및 개체목의 3차원 공간내로의 재구성

① 표준지위에 입목들의 배치

표준지의 경사 및 방위를 토대로 표준지 평면을 공간좌표계에 위치시키고, 표준지에서 측정된 개체목의 위치를 나타내는 평면좌표를 새로운 공간좌표계로 변환하여 표준지 평면위에 위치시켰다.

② 수관폭, 지하고 및 수고의 이용

앞서 표준지 평면위에 배치한 개체목별 공간좌표에 수고, 지하고 및 수관폭의 측정값들을 공간좌표계의 좌표로 환산하였다. 수고 및 수관폭을 나타내는 9개의 공간좌표계내의 지점들은 수관투영에 이용하였다.

3) 3차원의 공간에 재구성된 개체목들의 수관투영

① 경사 및 방위를 고려한 지표면과 태양광선의 기울기 확인

개체목들의 투영에 앞서 Fig. 6에서 정북방향으로 고정된 y축을 표준지의 경사방향과 일치하도록 xy평면위에서 a° 만큼 회전시킨다. 이렇게 회전된 결과로 생성된 축을 x' 와 y' 축이라고 하면, 이때 $y'z'$ 평면에는 표준지의 경사단면이 직선형태로 나타난다. 또한, xyz 공간

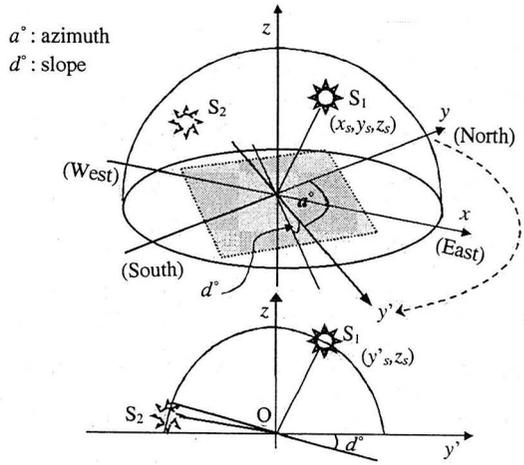


Fig. 6. Validation of intersection between sample plot surface and the sun's radiation

좌표계에서 산출된 태양위치(S_1)의 공간좌표(x_s, y_s, z_s)를 $x'y'z'$ 공간좌표로 변환하고, 이를 $y'z'$ 평면에 나타내어 원점(O)과 연결하면 회전된 좌표계에서의 태양광선이 구해진다.

이 두 직선의 기울기를 $y'z'$ 평면에서 비교할 때, 태양의 위치가 표준지의 경사단면을 나타내는 직선보다 위에 있을 경우(S_1)는 이후에 언급한 과정을 수행토록 하였다. 그러나, 태양의 위치가 표준지 경사면의 연장선 위에 있거나 그 아래쪽에 있을 경우(S_2)에는 수관투영작업을 중단하도록 하였다.

② 태양 및 수관의 투영지점들의 공간좌표를 이용한 태양광선의 직선방정식 도출

$$\frac{x-x_1}{a} = \frac{y-y_1}{b} = \frac{z-z_1}{c} \dots \text{(Formula 7)}$$

여기서, a, b, c는 태양의 공간좌표로 직선의 방정식에 기울기로 이용되고, 1개의 수고 및 8개의 수관폭의 공간좌표쌍들이 x_1, y_1, z_1 에 순차적으로 대입되도록 하였다. 이것은 태양광선이 모든 지점에서 평행하게 유지되도록 하기 위함이다(부록 1 참조).

4) 지면에서 수관투영한 연장선과의 교차점 산출

이상의 방법으로 개체목마다 수관의 투영점별로 태양의 위치점을 연장한 직선의 방정식을

도출하고, 이 연장선과 표준지평면의 교차점의 z좌표를 구한다. 앞서의 직선의 방정식을 이용하여 다음과 같이 풀면 표준지위의 수관투영 지점들을 산출하게 된다.

태양광선의 직선의 방정식(formula 7)을 x와 z만의 식으로 나타낸다.

$$\frac{x-x_1}{a} = \frac{z-z_1}{c} \dots\dots\dots \text{(Formula 8)}$$

이 때, 표준지 평면위의 태양광의 연장선과의 교점의 높이(z)를 알고 있으므로, 이 지점의 x, y좌표는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$x = \frac{a(z-z_1)}{c} + x_1, y = \frac{b(z-z_1)}{c} + y_1 \dots\dots\dots \text{(Formula 9)}$$

2. 임관투영모델의 검증

2.1 공간인자

개발된 임관투영모델의 검증을 위해 상이한 공간인자를 지닌 총 9개의 가상 표준지들이 선정되었다. 이 표준지들은 Table 4와 같이 서

로 상이한 경사, 방위 및 위도를 지니고 있으며, 각각의 표준지는 9m×9m 크기의 정방형 표준지로 상정하였다. 단, 표준지의 표고는 모두 동일한 것으로 간주하였다.

각각의 표준지들 위에는 총 9본의 가상입목들을 등간격으로 배치하였으며, 모든 입목들은 흉고직경이 15cm, 수고 및 지하고가 각각 10m와 5m, 그리고 수관폭은 3m에 달하는 것으로 가정하여 균질한 형태를 지니도록 하였다. 이와 같이 설정된 9개의 가상표준지별로 Table 5와 같은 가상생장인자들을 전산입력하였다.

2.2 시간인자의 변화

모델검증을 위한 모의실험에서 날짜요인은 4가지의 수준으로, 일일중 시간대의 변화는 3가지 수준으로 설정하여, 총 12시점에서 태양의 공간좌표를 산출하고 이 시점마다 수관투영을 실시하였다(Table 6).

날짜요인은 각각 추분, 하지, 추분 및 동지로 설정하였고, 시간대는 오전, 정오, 오후로

Table 4. Spatial factors of 9 virtual sample plots for model performance test

Azimuth \ Slope	0°	10°	20°
135° (SE)	Plot 1	Plot 4	Plot 7
180° (S)	Plot 2	Plot 5	Plot 8
225° (SW)	Plot 3	Plot 6	Plot 9
Latitude	36° 00' 00"	37° 00' 00"	38° 00' 00"
Plot No.	Plot 1	Plot 3	Plot 2
	Plot 5	Plot 4	Plot 6
	Plot 9	Plot 8	Plot 7

Table 5. The list of surveyed items for estimating crown shade

Category	Items(Units)	Descriptions
Common	Latitude(DMS*)	of the sample plot
	Altitude(m)	of the sample plot
	Slope(°)	of the sample plot
	Azimuth(°)	in the direction with the maximum Slope
Individual	XY coordinates(m)	of each individual trees within the sample plot
	DBH(cm)	of each individual trees
	Total Height(m)	of each individual trees
	Crown Base Height(m)	from the ground
	8 Crown Radii(m)	in different direction at the height of the crown base

(* DMS : Degree Minute Second)

Table 6. 12 levels of temporal factors for the computer simulation

Projecting Level	Date	Time
1	21 March (Vernal Equinox)	10 : 30(Ante Meridiem)
2		12 : 30(Meridiem)
3		14 : 30(Post Meridiem)
4	22 June (Summer Solstice)	10 : 30(a.m.)
5		12 : 30
6		14 : 30(p.m.)
7	23 September (Autumnal Equinox)	10 : 30
8		12 : 30
9		14 : 30
10	22 December (Winter Solstice)	10 : 30
11		12 : 30
12		14 : 30

나누었는데, 특히 정오의 경우를 30분이 초과한 시점으로 삼은 것은 우리 나라의 지방시를 고려하였기 때문이다.

2.3 임관투영도의 작성 및 투영면적 산출
 이상의 임관투영모델에 의해 산출된 수관투영점들을 수관투영프로그램인 TREES(ver. 1.0)(Beisch, 1996)으로 처리하여 임관투영도를 작성하고 해당 투영면적을 추정하였다. 이 프로그램을 이용하면 개체목들의 수관투영점들을 보간(interpolation)하는데 일차함수식은 물론, 다차함수식도 선택적으로 적용할 수 있어 자유곡선의 형태로 수관투영면의 외곽선을 만들 수 있다. 또한, 임관투영도를 다양한 크기의 격자형태로 세분할 수 있는데, 이 격자들로부터 개체목수준 또는 표준지수준에서 수관투영면의 면적과 투영면의 중첩회수라는 정보도 얻을 수 있다.

2.4 보완된 모델의 성능에 관한 평가

균질한 형태의 가상입목들이 배치된 9개의 표준지별로 표준지내에 존재하는 모든 수관투영면적의 총면적을 구하여 공간인자의 차이에 따른 임관투영면적의 변화가 현실과 부합하는지를 비교분석하였다. 또한, 가상의 표준지들을 대상으로 시간인자의 의한 12회의 시점별로 표준지내의 수관투영면적들을 누적하여 임관투영면적이 시간인자의 변화를 현실성있게 반영하고 있는지도 비교분석하였다.

결과 및 고찰

1. 시간인자의 변화에 따른 임관투영도의 도출결과

시간 및 공간요인의 변화를 고려하지 않고 기존의 방식으로 작성한 임관투영면의 면적은 63.62m²이며, 이를 염두에 두고 이후의 결과와 비교하기 바란다.

1.1 날짜별 임관투영면적의 변화

Table 7은 표준지별로 계절의 변화에 따른 임관투영면의 면적변화를 나타내고 있다. 춘분과 추분에서는 임관투영면적이 동일하게 산출되었고, 하지와 동지의 시점에서 각각 최소와 최대의 임관투영면적이 산출되었다. 이러한 경향은 계절적 변화에 따른 그림자길이의 변화패턴에서 실재로 일어나는 현상으로서 본 임관투영 산출모델이 이를 잘 반영하고 있음을 나타내는 것이다.

1.2 일일의 시간대별 임관투영면적의 변화

Table 8에서 보는 바와 같이 일일시간대의 시간은 우리 나라에서의 태양의 남중시간(오후 12시 30분)을 포함하여 2시간 전후로 설정하였는데, 남중에서 최소치의 임관투영면적이 산출되었다. 표에서 경사가 없이 평지인 표준지 1, 2, 3은 남중을 중심으로 동일한 시간의 차이를 지닌 오전 및 오후 시점에서 임관투영면적이 동일하게 산출되었다. 이러한 일일변화에 따른

Table 7. Seasonal changes of canopy projection areas(unit : m²)

Plot No. \ Date	Vernal Equinox (21 March)	Summer Solstice (22 June)	Autumnal Equinox (23 September)	Winter Solstice (22 December)
1	84.24	58.80	84.24	157.44
2	87.99	61.32	87.99	179.28
3	85.92	59.52	85.92	168.72
4	79.05	57.68	79.05	137.48
5	74.55	55.87	74.55	122.76
6	80.57	58.43	80.57	142.33
7	73.95	55.97	73.95	120.53
8	67.48	53.55	67.48	99.51
9	71.65	54.56	71.65	113.92
Total	78.38	57.30	78.38	138.00

Table 8. Daily changes of canopy projection areas(unit : m²)

Plot No. \ Time	Ante Meridiem (10:30)	Meridiem (12:30)	Post Meridiem (14:30)
1	104.76	90.96	104.76
2	115.44	97.71	115.44
3	110.04	94.08	110.04
4	87.56	83.63	103.03
5	87.51	78.23	87.51
6	106.24	85.36	89.73
7	75.01	75.72	99.72
8	76.21	68.16	76.21
9	94.75	72.79	72.60
Total	95.28	82.96	95.45

임관투영면적의 변화패턴은 실세계의 그것과 일치한다.

그런데, 이들을 제외한 다른 표준지들에서 오전 및 오후의 임관투영면적이 다르게 나타난 것은 이들이 경사 및 경사방향을 지니고 있음을 의미한다. 경사방향이 남동쪽인 표준지 4와

7은 오전에 그림자가 짧아지고 오후에는 상대적으로 길어지고 있으며, 남서쪽인 표준지 6과 9는 그 반대이다. 또한 남쪽의 경사방향을 갖는 표준지 5와 8은 오전 및 오후의 임관투영면적이 동일하게 나타났다.

2. 공간인자의 변화에 따른 임관투영도의 산출결과

2.1 위도별 임관투영면적의 변화

우리 나라가 포함하는 3개의 위도를 적용하여 임관투영면적과 그에 따른 투영면적의 추정결과를 Table 9에 나타내었다. 이 결과들은 위도가 높아질수록 태양의 고도가 낮아져 그림자의 길이가 늘어나는 자연현상을 잘 반영하고 있다.

2.2 경사별 임관투영면적의 변화

본 연구에서 경사방향은 남쪽, 남동쪽 및 남서쪽으로 설정하였으므로 경사의 정도가 증가함에 따라 임관투영면적의 크기는 감소하는 경

Table 9. Changes of canopy projection areas at different latitude levels(unit : m²)

Latitude					
36° 00' 00"		37° 00' 00"		38° 00' 00"	
Plot No.	Canopy Projection Area	Plot No.	Canopy Projection Area	Plot No.	Canopy Projection Area
1	100.16	3	104.72	2	109.53
5	84.42	4	91.40	6	93.78
9	80.04	8	73.53	7	83.48
Total	88.21	Total	89.88	Total	95.60

Table 10. Changes of canopy projection areas at different slope levels(unit : m²)

Slope					
0°		10°		20°	
Plot No.	Canopy Projection Area	Plot No.	Canopy Projection Area	Plot No.	Canopy Projection Area
1	100.16	4	91.40	7	83.48
2	109.53	5	84.42	8	73.53
3	104.72	6	93.78	9	80.04
Total	104.80	Total	89.87	Total	79.02

Table 11. Changes of canopy projection areas at different azimuth levels(unit : m²)

Azimuth					
135° (SE)		180° (S)		225° (SW)	
Plot No.	Canopy Projection Area	Plot No.	Canopy Projection Area	Plot No.	Canopy Projection Area
1	100.16	2	109.53	3	104.72
4	91.40	5	84.42	6	93.78
7	83.48	8	73.53	9	80.04
Total	91.68	Total	89.16	Total	92.85

향을 보여야 하는데, 본 모델에서는 이를 잘 반영하고 있으며, 이러한 변화를 Table 10에 정리하였다.

2.3 방위별 임관투영면적의 변화

Table 11에서 보는 바와 같이 정남쪽의 사면에서 임관투영면이 작은 값을 지니고 있으며, 남동쪽과 남서쪽에서 다소 증가하는 경향을 보여 자연현상을 잘 반영하고 있는 것으로 평가하였다.

여기서 남동 및 남서사면에서의 임관투영면적이 정확히 일치하지 않는 것은 각각의 표준지들이 상이한 위도 및 경사요인을 동시에 지니고 있는 것으로 판단된다.

결 론

본 연구는 시간 및 공간인자의 변화를 고려하여 임관투영면을 산출하는 모델을 개발하고 컴퓨터 모의실험을 통해 이 모델의 성능을 검토해 보고자 하였다.

균질한 9본의 임목으로 구성된 가상의 표준지를 9개 선정하였고, 각각의 표준지들의 공간

적인 특징을 상이하게 안배하였다. 또한 시간적으로 일년중 춘분, 하지, 추분 및 동지를 택하여 각각의 오전, 정오 및 오후에 해당하는 시점을 정하여 임관투영면을 산출하였다.

그 결과, 본 모델이 위도, 경사 및 방위의 공간요인과 계절 및 일일시간대의 시간요인의 변화에 따라 실세계의 변화패턴을 잘 반영하는 임관투영면을 산출하는 것으로 평가되었다.

단, 본 연구를 통해 개발된 임관투영모델은 윤년을 고려하지 않았으며, 표준지의 위도가 북반구에 국한하여 프로그램되었다. 따라서 시간 및 공간인자가 갖는 제한점들을 향후 보완하여야 하며, 특히 장경목의 경우, 수관뿐만 아니라 수간의 투영그림자도 고려해보는 것도 보다 현실성있는 임관투영면을 산출할 수 있을 것으로 생각된다.

수관투영모델을 이용한 수관투영도는 임분내 토양의 위치에 따른 일조량 차이나 토양온도, 토양습도의 변화나 천연갱신관련 연구에서 상층임관과 치수간의 관계 등을 simulation할 수 있어 유용한 정보들을 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김소구. 1994. 지구과학. 청운각
2. 박한식. 1991. 수학개론. 경문사
3. Beisch, T. 1996. TREES-ein Programmsystem Zur Analyse und Darstellung von Kronenkarten und Stammverteilungs Plänen, Software.

부 록

1. 수관투영면 추정을 위해 응용한 공식들

- ① 공간좌표상에서 두 점 $P_1(x_1, y_1, z_1), P_2(x_2, y_2, z_2)$ 사이의 거리 구하는 공식

$$\overline{P_1 P_2} = d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}$$

- ② 선분 $\overline{P_1 P_2}$ 의 연장직선이 갖는 방향수 구하는 공식

$$[x_1 - x_2, y_1 - y_2, z_1 - z_2]$$

- ③ 선분 $\overline{P_1 P_2}$ 의 중점에서의 공간좌표는

$$x = \frac{1}{2}(x_1 + x_2), y = \frac{1}{2}(y_1 + y_2), z = \frac{1}{2}(z_1 + z_2)$$

- ④ 방향수가 $[a_1, b_1, c_1]$ 와 $[a_2, b_2, c_2]$ 인 두 직선의 사이각은

$$\cos \theta = \pm \frac{a_1 a_2 + b_1 b_2 + c_1 c_2}{\sqrt{a_1^2 + b_1^2 + c_1^2} \cdot \sqrt{a_2^2 + b_2^2 + c_2^2}}$$

- ⑤ 평행인 두 직선의 방향수간의 관계

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{b_1}{b_2} = \frac{c_1}{c_2}$$

- ⑥ 수직인 두 직선의 방향수간의 관계

$$a_1 a_2 + b_1 b_2 + c_1 c_2 = 0$$

- ⑦ 점 $P_1(x_1, y_1, z_1)$ 를 지나고 방향수가 $[A, B, C]$ 인 직선과 수직인 평면의 방정식 $A(x - x_1) + B(y - y_1) + C(z - z_1) = 0$

- ⑧ 점 $P_1(x_1, y_1, z_1)$ 를 지나고 방향수가 $[A, B, C]$ 인 직선의 방정식

$$\frac{x - x_1}{a} = \frac{y - y_1}{b} = \frac{z - z_1}{c}$$

- ⑨ 점 $P_1(x_1, y_1, z_1)$ 에서 평면의 방정식이 Ax

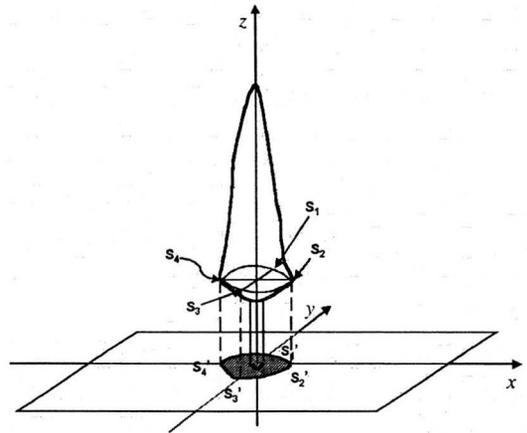
$+ By + Cz + D = 0$ 인 평면에 이르는 거리 구하는 공식

$$d = \frac{Ax_1 + By_1 + Cz_1 + D}{\pm \sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}$$

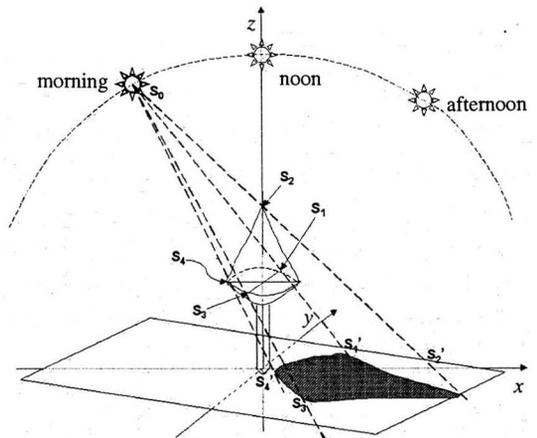
- ⑩ xy평면에서 좌표축을 θ 만큼 회전할 경우에, 변화된 $x'y'$ 평면에서의 좌표값변화
 $x' = \cos \theta \cdot x - \sin \theta \cdot y$
 $y' = \sin \theta \cdot x + \cos \theta \cdot y$

단, 회전방향이 시계방향일 때, $\theta > 0$ 이고, 반시계방향일 때, $\theta < 0$

2. 기존의 수관투영도



3. 시간 및 공간인자를 고려한 수관투영도



강원도지방소나무의 수피두께 및 수피율¹

손영모² · 이경학² · 정영교² · 이우균³

Bark Thickness and Bark Percent of *Pinus densiflora* in Kangwon Province¹

Yeong-Mo Son², Kyeong-Hak Lee², Young-Gyo Chung² and Woo-Kyun Lee³

요 약

본 연구는 강원도지방소나무에 대한 수피두께 및 수피율을 추정하기 위하여 수행되었다. 이를 위해 강원도 지방과 경북북부 지역을 대상으로 조사된 소나무 공시목을 재료로 하였다. 각 공시목에 대해 흉고직경, 수고, 수간부위별 직경 및 수피두께를 측정하였으며, 수간석해를 통해 수피포함 간재적 및 수피재적의 간재적을 추정하였다. 수간부위가 높을수록 수피두께는 감소하는 경향을 나타냈다. 수간부위별 수피두께의 변이는 낮은 수간높이에서 매우 컸고, 수간부위가 높아짐에 따라 변이는 점차 작아져 상대수간높이 0.25부터는 비슷한 변이폭을 나타내었다. 이와 같은 수피두께의 특징을 고려하여, 수간높이별로 수피두께를 추정할 수 있는 수피두께 추정식을 흉고직경, 수고, 수간높이, 수간높이별 직경 등을 변수로 하여 도출하였다. 추정식은 적합성, 추정계수의 통계적 신뢰성 등에 있어 타당한 것으로 나타났다. 또한, 이와 같이 유도된 수피두께추정식에 의해 추정된 수피재적을 수피포함 수간재적 및 흉고직경에 대한 비율로 나타내었다. 수피포함 간재적에 대한 수피재적비율은 재적이 0.1m²미만일 때는 20%까지 높았으며, 간재적이 증가함에 따라 급격히 감소하여 재적 0.2m²에서는 약 10%정도를 나타냈다. 0.2m²이상의 간재적에서는 큰 변화 없이 약 8-10% 정도의 수피율을 나타냈다. 흉고직경에 따른 수피재적율은 직경급에 따라 18-8%의 범위를 갖는 것으로 나타났다. 직경급 6cm에서는 약 18%의 수피재적율을 보이다가 직경급이 증가함에 따라 수피재적율은 급격히 감소하여 직경급 22cm에서는 약 10%정도의 수피재적율을 나타내었다. 이후로는 약 8-10%의 수피재적율을 보이고 있다.

ABSTRACT

This study was carried out to estimate the bark thickness and bark percent of *Pinus densiflora* in Kangwon province. The sample data were surveyed in Kangwon and Kyeongbuk province. From the sample trees, dbh, height and diameter by cross section height etc were measured. As cross section height were high, the trend of bark width had decreased step by step. The variation of bark thickness by cross section height had showed high in below cross section height. As cross section height were high, the variation of bark thickness had decreased, and it had showed to similar in 0.25 of relative height or more. In consideration of bark thickness, bark thickness estimation equation was estimated with dbh,

¹ 접수 1998년 12월 11일 Received on December 11, 1998

² 임업연구원 Forest Research Institute, Seoul, 130-012 Korea(pine21c@unitel.co.kr)

³ 고려대학교 산림자원학과 Dept. of Forest Resources, Korea University, Seoul, 136-701 Korea (leewk@kuccnx.korea.ac.kr)

height and diameter by cross section. It had showed very significant in fitness and reliability of estimation coefficient. Bark volume by estimation equation had calculated at the rare of volume outside bark and dbh. Bark volume percent of volume outside bark had showed high to 20% level under 0.1m³ of volume and approximately 10% in 0.2m³ of volume. Bark percent had showed approximately 8 - 10% in 0.2m³ of volume or more. Bark volume percent from dbh had showed within the range of 18 - 8% by dbh class, and it had showed approximately 18% in dbh class 6cm. With the increase of dbh class, bark volume percent had decreased quickly and approximately 10% in 22cm of dbh class. Subsequently, bark volume percent had showed approxitely 8 - 10%.

Key words : Bark volume, Bark thickness, Bark percent.

서 론

우리 나라는 이제까지 임목재적을 평가함에 있어 수피를 포함하는 임목간 재적표를 이용해왔다. 그러나 임목자원을 제재목, 펄프 등 목재자원으로 가공할 때에는 수피부분은 이용하지 않고 있어, 이 경우에는 수피내 간재적을 사용하는 것이 합리적이라 할 수 있다. 이를 위해서는 먼저 수피의 두께를 정확하게 추정할 수 있어야 한다. 즉, 자원조사시에는 일반적으로 수피의 직경을 측정하기 때문에, 정확한 이용재적 산출을 위해서는 이 수피의 직경을 수피내 직경으로 전환할 필요가 있는 것이다.

최근 이용도가 증가되고 있는 간곡선 모델 및 이를 통한 재적추정식은 수간부위별로 재적을 추정할 수 있는 융통성을 지니고 있으며, 주어진 조제길이 또는 조제부위에 따라 재적을 다양하게 추정할 수 있는 특징을 지니고 있다(이우균, 1994; 김준순 외, 1994). 이 경우 수간부위별로 수피두께를 추정하면 수피를 제외한 이용재적을 추정할 수 있게 된다.

또한, 전 세계적으로 관심이 높아지고 있는 지구온난화와 관련하여 임업부문에서도 온실가스 저감을 위한 대응책을 마련하지 않으면 안되게 되었다. 이를 위해서는 우선 산림생태계에서의 탄소의 흐름을 파악하여야 하며, 이에 따라 임목의 각 부분에 대한 생체량 정보가 필요하게 되었다. 수피와 목질부는 밀도 등 탄소량과 관련된 특성이 다르기 때문에 이를 구분할 필요가 있으며, 개재목의 수간 및 수피생체량 산출을 위해서도 정확한 수피두께를 추정

하는 것이 필요하다.

지금까지 수피와 연관된 대부분의 연구에서는 흉고직경 또는 수피포함 간재적에 대해 수피재적비율을 추정하는 방식을 취하고 있다(Meyer, 1946; Altherr *et al.*, 1975; Jiménez 1988). 국내에서는 김장수 등(1967)이 강원도 소나무와 낙엽송의 수피재적비율 추정식을 흉고직경을 변수로 하여 도출하였으며, 이흥균(1982)은 주요수종의 수피두께 및 수피재적비율을 흉고직경 또는 수피포함 간재적을 변수로 추정할 수 있는 식을 유도한 바 있다. 이와 같은 수피재적비율 추정식은 단순히 수간 전체에 대한 수피재적의 비율을 추정할 뿐, 수간부위별 수피두께를 제공하지 못하고 있다. 따라서, 이와 같은 추정식을 이용해서는 임목을 원목으로 조제하여 가공할 때 정확한 수피제외 이용재적의 산출이 어려운 문제점이 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 Nagel(1985), Lee(1993) 등은 수간부위별 수피두께추정식을 개발한 바 있다.

본 연구에서는 우리 나라 주요 경제수종 중의 하나인 강원도지방소나무에 대하여 수간높이별로 수피두께를 추정할 수 있는 수피두께 추정식을 유도하고, 이를 토대로 수피재적 및 수피재적비율을 산정하고자 한다.

재료 및 방법

1. 공시재료

본 연구에서는 강원도지방소나무의 중량표 및 수확표 조제를 위해 조사된 수간석해 자료

Table 1. Number and characteristics of the sample trees

No. of trees	Height(m)			DBH(cm)			Age		
	Mean	Min.	Max.	Mean	Min.	Max.	Mean	Min.	Max.
300	13.5	7.4	22.0	16.4	7.2	39.5	29	15	76

를 공시재료로 이용하였다. 강원도지방소나무가 분포하는 강원도 일대와 경북북부지역을 대상으로 표준지를 설정하여 대목조사를 실시하고, 표준지내 임목을 우세목, 준우세목, 열세목 등의 3계급으로 나눈 후, 각 계급마다 공시목을 1본씩 선정하여 수간석해용 원판을 채취하였다. 각 공시목에 대해 흉고직경, 수고, 수간부위별 직경 및 수피두께를 측정하였으며, 수간석해를 통해 수피포함 간재적 및 수피제외 간재적을 추정하였다. 총 300본의 공시목에 대한 개괄적인 내용은 <표 1>과 같다.

2. 분석방법

본 연구에서는 우선적으로 수간부위에 따른 수피두께의 변화경향을 파악하기 위하여 수피두께를 상대수간높이별로 나타내었다. 이와 같이 파악된 수피두께의 변이를 수간높이별로 추정하기 위해 Lee(1993)가 개발한 다음의 수간부위별 수피두께추정식을 이용하였다. 이 식은 흉고직경, 수고, 수간높이, 수간높이의 직경등을 변수로 하여 임의의 수간높이에 대한 수피두께를 추정할 수 특징을 지니고 있다.

$$B_x = a_1 d_x^{a_2} + b_1 DBH^{b_2} (1 - \frac{X}{h})^c \dots\dots\dots (1)$$

- 여기서, B_x = 수간높이 X 의 양측 수피두께
- DBH = 흉고직경(cm)
- d_i = 수간높이 X 의 수피의 직경(cm)
- X = 수간높이(m)
- h = 수고(m)
- a_1, a_2, b_1, b_2, c = 추정회귀계수

위의 자료를 이용하여 식(1)의 계수를 추정한 다음 추정식의 적합성, 추정계수의 통계적 신뢰성 및 생장학적 타당성을 검증하였으며, 이와 같이 유도된 수간부위별 수피두께추정식에 의해 추정된 수피재적을 수피포함 수간재적 및 흉고직경에 대한 비율로 나타내었다.

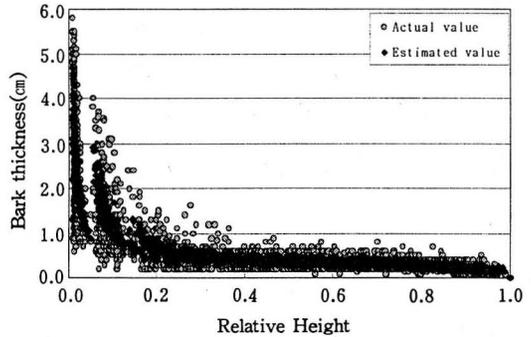


Fig. 1. Observed and estimated values of bark thickness plotted over relative heights.

결과 및 고찰

1. 수간부위별 수피두께추정식

수간부위별 수피두께의 변이를 파악하기 위해 수피두께를 상대수간높이에 따라 <그림 1>과 같이 나타내었다. 그림을 보면, 수간부위 높을수록 수피두께는 점차 감소함을 알 수 있다. 이러한 수간부위별 수피두께의 변이는 수간높이가 낮을수록 컸고, 수간부위가 높아짐에 따라 변이의 폭은 점차 작아져 약 0.25의 상대수간높이부터는 비슷한 변이폭을 보이고 있다. 즉, 수고의 약 1/4 윗부분에서는 수피두께의 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 수고의 변화폭을 볼 때(표 1), 흉고부위(1.2m)는 수고의 약 0.05에서 0.08 사이를 나타내는데, 이 부위에서의 수피두께의 변이는 비교적 큰 것으로 나타났다. 이와 같은 수간하부의 수피발달 영급, 흉고직경급, 지위, 밀도 등에 기인할 수 있는데, 본 연구에서 유도된 수피추정식에는 흉고직경급만 설명인자로 고려되었다. 이는 직경급의 측정이 비교적 용이하고, 수피두께추정식과 함께 활용되는 간곡선식도 직경급을 기준으로 하고 있다는데 그 근거를 두고 있다.

이와 같은 수피두께의 특징을 고려하여, 수간높이별로 수피두께를 추정할 수 있는 수피두

Table 2. Parameter estimates using nonlinear regression analysis(PROC NLIN in SAS) and their statistical test of bark-thickness function (1)

Parameter	Estimate	T for H ₀ : Parameter=0	Prob> T	R ²	\sqrt{MSE}
a ₁	0.13261	6.8779269	0.0001	0.777	0.397
a ₂	0.41548	6.8581605	0.0001		
b ₁	0.41046	10.5941829	0.0001		
b ₂	0.64784	20.4757634	0.0001		
c	11.10356	24.7673086	0.0001		

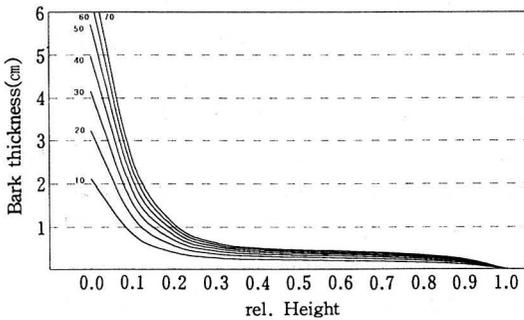


Fig. 2. Bark thickness by dbh class and relative stem height.

계 추정식을 흉고직경, 수고, 수간높이, 수간높이의 직경 등을 변수로 하여 도출하였다(표 2).

수간두께추정식의 결정계수(R²)는 0.777로 다소 낮게 나타났는데, 이는 수간부위별 수피 발달이 본 식의 설명변수인 흉고직경, 수고, 해당부위의 직경 이외에도 기타 다른 인자로부터 영향을 받기 때문인 것으로 사료된다. 추정계수의 유의성검정 결과, 모든 추정계수의 유의수준이 0.0001 정도로 매우 낮아, 추정계수가 0이라는 귀무가설을 기각하여 추정식의 독립변수가 종속변수에 유의한 영향력을 갖는 것으로 판명되었다. 평균자승오차의 근(\sqrt{MSE})은 약 0.4로 나타났다.

추정계수의 부호 및 크기를 살펴보면, 추정식이 일반적인 생장법칙성에 부합하는 것을 알 수 있다. 흉고직경 및 해당 부위의 직경이 클수록 수피두께가 큰 것으로 나타났으며, 직경 증가에 따른 수피두께의 증가는 漸減的 증가 형태를 띠는 것으로 나타났다. 또한, 수간높이가 높을수록 수피두께가 얇아지고, 일정부위의 수피두께는 전체 수고가 클수록 두껍다는 것도

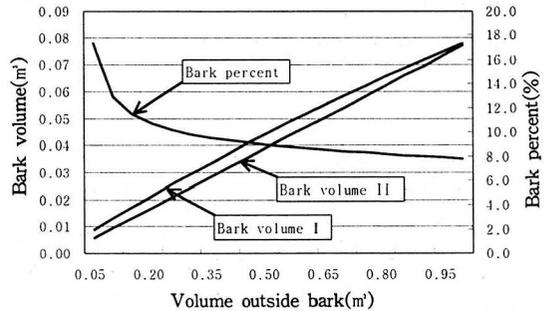


Fig. 3. Bark volume and bark percent for volume outside bark. Bark volume I and bark percent are from this study and bark volume II is from Lee(1982).

식에 잘 나타나 있음을 알 수 있다. 이와 같이 유도된 식을 이용하여 흉고직경급 및 상대수간높이에 따른 수피두께를 <그림 2>에 나타내었다.

2. 수피울 추정

1) 수피외 재적에 대한 수피재적 및 수피울은 본 연구에서 유도된 수간부위별 수피두께추정식에 의해 추정된 수피재적을 수피포함 수간재적에 대해 나타내 보았다(그림 3).

그림 3에 의하면, 수피를 포함하는 수간재적에 대한 수피재적, 즉 수피울은 재적이 증가할수록 점차 감소하는 추세를 띠고 있다. 전체적으로 보면 수피외 재적이 0.2m³에 이를 때까지는 수피울이 급격히 줄어들고 있으며, 이후에는 감소율이 현격히 줄어들어 약 8%로 漸近(asymptotic)하는 감소경향을 보이고 있었다. 수피재적은 수피포함재적이 증가할수록 비례하여 증가하는 추세를 보이고 있다. 이흥균(1982)의 전국을 대상으로 한 소나무의 수피재

Table 3. Bark percent by DBH in this study, Kim *et al.*(1967) and Lee(1982)

	DBH(cm)																
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
This study	18.1	16.4	15.0	13.9	12.9	12.1	11.4	10.8	10.4	10.0	9.6	9.3	9.0	8.8	8.5	8.2	8.0
Kim <i>et al.</i>	9.5	9.4	9.2	9.0	8.9	8.7	8.5	8.3	8.1	8.0	7.8	7.6	7.4	7.3	7.1	7.0	6.7
Lee	17.2	15.0	13.5	12.3	11.5	10.7	10.1	9.6	9.2	8.8	8.5	8.2	7.9	7.7	7.5	7.3	7.2

적과 비교하면, 다소 높은 경향치를 보여주었다. 이와 같은 차이는 모집단이 강원도지방소나무와 전국 소나무라는 점에서 서로 다르며, 접근하는 분석 방법 또한 다르기 때문인 것으로 사료된다.

2) 흉고직경과 수피율

본 연구에서 유도한 수피두께 추정식에 의한 수피율과 기존 연구(김장수 등, 1967; 이홍균, 1982)의 수피율을 흉고직경별로 <표 3>에 나타내었다. 강원도지방소나무에 대한 흉고직경별 수피율은 8 - 18%로 이홍균(1982)의 전국을 대상으로 한 소나무 수피율과는 비슷한 경향을 나타내었고, 김장수 등(1967)의 수피율과는 많은 차이가 있음을 알 수 있는데, 이는 김장수 등의 연구가 지역과 자료수의 제한(115본)으로 인하여 전 지역의 수피율에 대한 정보를 제공해 주지 못하는 데서 오는 까닭이라 생각된다. 또한, 기존 연구가 $Y=a+bD$ 라는 일차직선식을 이용한 관계로 설명력이 30%에 불과해 지역 및 임목간 변이가 큰 수피율을 설명하기에는 역부족이었다고 생각된다. 흉고직경급별 평균수피율은 소경목(16cm이하)이 14.72%, 중경목(18cm~28cm) 10.25%, 대경목(30cm이상) 8.5%로 나타났으며, 따라서 소경목에서 대경목으로 갈수록 흉고직경의 변화에 따른 수피율 변화의 폭이 적어짐을 알 수 있다.

결 론

강원도지방소나무에 대하여 흉고직경 및 수고에 따라 수간부위별 수피두께를 추정할 수 있는 식을 유도하고 이를 이용하여 전체 수간에 대한 수피재적 및 수피율을 계산하였다. 기존의 수피추정식은 흉고직경 또는 재적을 기준으로 전체 수피율만 추정하는 반면, 본 연구에

서 유도된 수피추정식은 수간부위별로 수피두께를 추정하는 특징을 지니고 있다.

수피를 포함하는 수간재적에 대한 수피재적, 즉 수피율은 수피포함 재적이 증가함에 따라 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 흉고직경급별 수피율은 전국을 대상으로 한 소나무 수피율(이홍균, 1982)과는 다소 유사한 경향치를 보였으며, 김장수 등(1967)의 수피율 보다는 높은 것으로 나타났다. 이는 김장수 등의 연구가 지역 및 자료수의 제한과 추정식의 단순성으로 인한 낮은 설명력에서 기인하는 것으로 판단되었다. 본 분석에 의하면 소경목에서의 수피율은 평균 14.72%, 중경목 10.25%, 대경목 8.5%로 나타나, 소경목에서 대경목으로 갈수록 흉고직경 변화에 따른 수피율 변화의 폭이 적음을 알 수 있었다.

본 연구를 통해 유도된 수간부위별 수피두께 추정식은 간곡선식과 함께 조계질이에 따른 수피재적추정 등에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

인 용 문 헌

1. 김장수 · 이종락. 1967. 강원도소나무와 낙엽송 수피율에 관한 연구. 한림지 6 : 1-5.
2. 김준순 · 이우균 · 변우혁. 1994 : 강원도지방소나무의 지역간곡선 및 재적식 모델. 한국임학회지 83(4) : 521-530.
3. 이우균. 1994 : Spline 함수와 선형방정식을 이용한 수간 및 임분간곡선 모델. 한국임학회지 83(1) : 63-74.
4. 이홍균 · 최충천 · 김사일. 1980. 잣나무와 중부지방소나무의 수피율에 관한 연구. 임시연보 27 : 91-95.
5. 이홍균. 1982. 주요수종의 수피량에 관한 연구. 임시연보 29 : 107-118.

6. 梶原幹弘. 1973. 相對幹曲線と關聯しての樹皮厚率について. 日林誌 55(4) : 132-139.
7. Altherr, E., Unfried, P., Hradetzky, J., Hradetzky, V. 1975 : Statistische Rindenbeziehungen als Hilfsmittel zur Ausformung und Aufmessung unentrindeten Stammholzes. Mitt. d. Forestl. Vers. Anst. Baden-Bü. 68.
8. Jiménez, J. 1988. Aufstellung von Schaftholz-Massentafeln und Tarifen für *Pinus pseudo-strobus* LINDL. und *Pinus teocote* SCHL. et CHAM. in Teil der Sierra Madre Oriental im Nordosten Mexikos. Dissertation, Göttingen.
9. Lee, W.K. 1993. Wachstums- und Ertragsmodelle für *Pinus densiflora* in der Kangwon-Provinz, Korea. Dissertation, Göttingen.
10. Meyer, H. 1946. Bark volume determination in trees. J. of Forestry, 1067-1070.
11. Nagel, J. 1985. Wachstumsmodell für Bergahorn in Schleswig-Holstein. Dissertation, Göttingen.
12. Philip, M.S. 1994. Measuring Trees and Forests. CAB International. pp.49-52.

GIS를 이용한 山林景觀의 適地分析에 관한 研究¹

- 지리산 동부지역을 중심으로 -
鄭秀永² · 鄭永觀²

A Study on the Suitability Analysis of Forest Viewscape by GIS¹

- Centering around the eastern part of Mt. Chiri -
Su-Young Jung² and Young-Gwan Chung²

要 約

본 연구는 산악지의 산림경관을 평가분석하여 수려한 산림 공간을 확보하여 인간생활에 기여하도록 하는데 그 목적이 있다. 산림의 자연환경 즉 標高, 牛馬車路 接近性, 小路 接近性, 水系 接近性, 斜面向, 傾斜度, 林相, 林種, 徑級, 齡級, 疎密度, 山地利用基本圖 등의 요인에 부여되는 가중치와 각 요인별 2-9개의 category에 부여되는 등급가에 의하여 각 요인별 category 상호간의 관계를 computer simulation 분석을 실시하였다. 산림경관 적지를 판별하기 위하여 지리산동부지역을 대상으로 평가요인을 지향요인과 임황요인으로 구분하여 GIS를 이용한 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 산림경관평가에서 최대발생가능치 396점 만점에 대한 최대발생치 345~350점을 얻었으며, cell의 위치는 (51, 100), (47, 44), (39, 34), (55, 37), (74, 63)으로 5개 좌표에서 나타났다. 그러나 이러한 단위격자를 산림경관적지라고 하기에는 면적규모가 1ha미만으로 작았기 때문에, 대상지를 상대적 비율에 의하여 grouping한 결과 최적지 3.00ha(최대발생가능치의 86%이상에 해당), 적지 58.75ha(81 - 85%), 개발가능지 1,544.00ha(66 - 80%), 부적지 1,622.00ha(65%이하)로 나타나 휴식공간으로서 만족할 만한 산림면적을 확보할 수 있었다.
2. 경관평가에서 최적지는 4개 지역으로 나타났으며, 제1지역은 무재치기폭포 동남쪽 소로에 근접해 있는 표고 770m에서 950m 사이에 걸쳐 있었고, 제2지역은 표고 620m지점의 경상대학교 연습림 장단보호소(657m)가 위치한 곳의 아랫 부분으로 나타났다. 제3지역은 바깥장당인 표고 500m지점을 중심으로 나타났다. 제4지역은 표고 700m지점에서 나타났는데 다른 3개 지역과는 동떨어진 안내원쪽에 위치해 있었으며 타지역에 비해 산림의 면적규모가 작았으며 이상의 4개 지역 중 유일하게 지리산 국립공원 외곽에 위치해 있었다.
3. 이상의 4개 경관적지 중 제2지역이 면적규모가 가장 큰 산간지역으로서 침활혼효림이었으며, 수계접근성이 200m이내로 양호하고, 사면향 또한 남동쪽으로서 대체로 산세, 지세, 계곡 등이 수려한 지역이었다.
4. 산림경관평가요인 중 정량적인 변수이미지 7개에 의한 산림경관적지평가 추정식은 forest viewscape estimates = 211.5268 - 0.0117 * altitude - 0.0299 * proximity to road with 4.0m width - 0.0231 * proximity to road with 1.5m - 0.0376 * proximity to water - 0.0292 * slope + 1.2534 * stand age + 0.9569 * crown density로 나타났으며, 추정식에 대한 R² = 0.99로 높은 설명력을 가지며, 회귀계수에 대한 유의성을 검정한 결과 1% 수준에서 고도의 유의성이 인정

¹ 접수 1998년 12월 일 Received on December, 1998

² 경상대학교 산림자원학과 Faculty of Forest Resources, Gyeongsang National University, Chinju, 660-701 Korea(s_gisjsy@gshp.gsnu.ac.kr)

되었다. 중회귀분석을 실시한 결과에서, 표고, 우마차로 접근성, 소로접근성, 수계접근성, 경사도와는 부의 상관, 임령, 소밀도와는 정의 상관으로 나타났다.

5. 산림경관 적지의 4개 관측점에서 가시권을 분석한 결과 시각성이 가장 양호한 적지는 장단보 호소의 동남쪽에 위치한 관측점으로 나타났다. 이 지점은 남동쪽으로 시야가 넓게 트여 있어 시각성이 가장 좋게 나타났다.

ABSTRACT

This study was carried out to find the suitability through estimating forest viewscape development in application of the forest resources management by GIS(Geographic Information System) centering around the eastern part of Mt. Chiri, and estimation factors calculated with an IDRISI were consisted of 12 factors analyzed by computer simulation. The results obtained are summarized as follows :

1. In forest viewscape assessment the highest value was between 345 and 350 of the probable maximum value 396. It was occurred at five positions, (51, 100), (47, 44), (39, 34), (55, 37), and (74, 63), but satisfactory area size. We obtained the suitability of forest viewscape by grouping grid cells estimated with relative score such as category values and factor weights ; as the best suitable sites 3.00ha(more than 86% of the probable maximum value), suitable sites 58.75ha(81~85%), marginal sites 1,544.00ha(66~80%), and unsuitable sites 1,622.00ha(less than 65%).
2. The best suitable sites of forest viewscape reclassified above were discriminated about four groups with their satisfied area and locations ; the first group was situated from the elevation of 700m above sea level to 950m in the southeast of Muchechigi falls, the second was located below Changdan control office(657m) in Gyeongsang Nat'l, Univ.'s experimental forest and the cells of this site were centered at the elevation of 620m, the third was distributed at Paggatchangdan(about 500m). The last was located around An-naewon at the elevation of 700m away from the others and showed smaller area than any other groups in its scale. Among these four groups the last was only situated on the exterior of Mt. Chiri national park.
3. The best suitable site was of the second group in which was distributed with mixed stands, showed proximity to water within 200m, and also showed well aspect toward southeast with the graceful figure of the mountain.
4. Analysis of variance with 1,282 point cells(for about 10% of the study area) chosen by the method of stratified random sampling combining the strong geographic coverage of the systematic scheme with the low potential for bias of the random scheme showed that F-value(27,652.97) was significant at the 1% level of significance for differences between forest viewscape image sampled and its factor images. Multi-regression equation estimated was given by forest viewscape estimates=211.5268 - 0.0117 * altitude - 0.0299 * proximity to road with 4.0m width - 0.0231 * proximity to road with 1.5m - 0.0376 * proximity to water - 0.0292 * slope + 1.2534 * stand age + 0.9569 * crown density, which had the coefficient of determination of 0.99***.
5. In the best four suitable sites the best observation point was located near the southeast of the Gyeongsang Nat'l. Univ.'s experimental forest with the best visual angle and

the largest view area toward southeast.

Key words: suitability, forest viewscape, forest resources management, GIS, proximity, multi-regression, stratified random sampling, observation point

緒 論

산림의 입지환경은 계절, 기상, 지형, 지세 등 시간적, 공간적 상황에 따라 매우 복잡하게 변화하고 있기 때문에 이들 현상을 종합적으로 분석하는데는 많은 제한적 요소가 따르게 된다. 과거 GIS(geographic information system)의 발달 초기에는 산림에 대하여 우량목을 평가하거나 임분경계를 결정하는데 국한되어 왔다. 하지만 최근 연상호(1990), Kass(1992), Matsato(1990), William 등(1993), 平田泰雅 등(1994), Chung 등(1994), Joseph 등(1995), Robert 등(1995), Parshall(1995), Andrew 등(1994)의 연구에서 GIS와 원격탐사(remote sensing)의 통합이용가능성이 인정되어 대면적의 산림을 보다 체계적으로 관리할 수 있게 되었다. 이러한 GIS의 적용가능성은 과거 산림의 목재생산기능 뿐만 아니라 환경이나 경관 등 산림의 공익적 기능에 이르기까지 이용되고 있다(鄭躍軍 등, 1994; 현정오 등, 1993; 徐玉河 등, 1994^b; 尹英活 등, 1991; 裴秉鎬, 1994; 青柳みとり·內藤正明, 1989). Jankowski(1995), Sakamoto 등(1995), Alfred 등(1994)과 朴鍾武(1986), Davidson 등(1994)은 林相과 지형인자에 의한 토지이용 적합성을 구명하기 위해 가중치와 등급가를 다각적으로 적용한 연구보고가 있었다. Ian과 Mark(1994)는 ARC/INFO 상에서 환경영향평가를 수행하기 위하여 관측자의 시각효과를 분석하였다.

따라서 본 연구는 산림경관이 시각적으로 수려하여 산림내 자연순환로나 산림욕시설 등을 설치할 수 있는 공간을 확보하는데 기여하고자 실시되었다. 그리고 산림경관 특성 즉, 標高, 牛馬車路接近性, 小路接近性, 水系接近性, 斜面向, 傾斜度, 林相, 林種, 徑級, 齡級, 疎密度 및 山地利用基本圖를 수치지도화하고, GIS 기법에 의해 각 요인별 가중치와 등급가를 반복적으로 적용함으로써 산림경관을 평가하였

다. 끝으로 산림경관이 수려한 지점에서 가시권역을 설정하여 사면향, 적정면적 등에 따른 경관의 시각성을 분석하여 산림경관이 가장 우수한 지역을 파악하고자 하였다.

材料 및 方法

1. 調査地の 概況

본 연구는 지리산의 씨리봉을 중심으로 동쪽과 남쪽 방향으로 뻗어 있는 주능선에서 덕천강까지의 지역을 연구대상지로 하였다. 이 지역은 대체로 산악지형으로써 두개의 주계곡을 포함하며, 북위 35° 16' ~ 35° 21', 동경 127° 45' ~ 127° 51'에 위치하며, 행정구역상으로는 경남 산청군 시천면과 삼장면에 걸쳐 있다.

시험대상지는 3,230.50ha이다. 이 지역의 최근 10년간 년평균 강수량은 1,574.7mm, 년평균 최저 기온은 6.6°C, 년평균최고기온은 20.0°C, 년평균기온은 12.6°C로 나타났다(기상청, 1985-1995). 산지토양은 암석이 많은 사양토 및 양토, 식양토가 대부분이며, 계류를 따라 암석 노출지가 부분적으로 나타나고 있다. 그리고 토양산도는 대부분 지역에서 pH 4.8의 강한 산성에서부터 pH 6.8 정도의 약산성까지 나타났다. 임분구조는 참나무류, 단풍나무류, 거제수나무, 층층나무 등의 천연활엽수가 주로 나타났다. 침엽수는 구상나무가 표고 1,000m 이상 지역에서, 소나무가 500m 이하인 지역에서, 이들 중간지점에 인공조립한 잣나무와 낙엽송이 분포되어 있다.

2. 研究方法 및 資料構築

1) 研究範圍

본 연구는 산림법과 자연환경법 제16조 국립공원에 관한 인문, 사회적인 요인에 비중을 두기보다는 산림환경을 대상으로 지형적 요인과 생물적 요인에 한하여 산림경관을 평가하고자 하였다(山林廳, 1990).

2) 使用시스템

가중치와 등급가의 모든 점수를 화상처리하는데 있어서 획득된 점수의 크기가 1byte 이상 이므로 기존 overlay 기법으로 이미지를 출력하는데 다소 문제가 발생하였다. 따라서 Fortran을 이용하여 화상처리 module을 작성하여 IDRISI(v. 2.1 for windows)와 호환시켜 산림 경관을 평가하였다. 그리고 프로그램에 의해 생성된 이미지와 IDRISI 분석 이미지의 좌표계를 일치시킨 후 랜덤한 동일좌표 픽셀에서의 최소치와 최대치를 검정하여 이들 자료를 산림 경관의 평가분석에 이용하였다. 산림경관평가 요인이 산림경관에 어떻게 관여하는가를 SAS와 IDRISI를 이용하여 중회귀분석을 실시하였다(山林廳, 1990). 수치이미지(162×172)내 시험대상지의 cell이 12,922개로서 모든 cell을 대상으로 통계분석을 실시할 경우 각 변수간에 공간적으로 자기상관 또는 interpolation이 발생하여 정확한 자유도를 구할 수 없게 된다. 이러한 현상을 방지하기 위하여, 각 이미지를 thinning법에 의하여 stratified random sampling을 실시하여 1,282개(시험대상지의 약 10%)의 포인터를 통계분석에 이용하였다(Shiver, 1996). 이러한 stratified random sampling은 공간좌표로 구성된 지형커버리지에 대한 random scheme의 편의를 최소로 하여 결합시키는 방법이다. 그리고 sampling된 각 포인트를 raster 이미지로 변환시킨 후 시험대상지를 masking하여 중회귀분석을 실시하였다.

3) 資料構築

대상지의 위치 및 속성정보는 지도투영법 및 지리좌표계에 따라 12개의 layer로 수치정보를 구축하였다. 지형적 특성을 분석하기 위하여 1:25,000지형도, 1:5,000지형도와 Autocad s/w, Spreadsheet를 이용하여 50m×50m 단위격자의 전체방향격자 수치지형도를 162 columns×172 rows로 구성하였다. 이때 구축된 이미지에서 각 셀의 공간해상력은 50m×50m이다.

(1) 地形資料의 構築

산림경관을 평가하기 위하여 地況과 관련된

6개인자 즉, 標高, 牛馬車路, 小路, 水系, 斜面向, 傾斜度 등을 수치화하였다. 대상지가 산악지형인 것을 고려해 50m단위(110m~1,550m)로 구분하였다. 실제지형에 가깝도록 low pass filtering에 의한 smoothing을 거친 후 DEM(digital elevation model)을 이용하여 사면향은 0°~360°, 경사도는 0%~100%까지의 실수단위로 각각 구분하였다. distance module을 이용한 우마차로 접근성은 200m간격의 11개 category로, 그리고 소로 접근성은 우마차로 접근성 400m이내가 망구조로 중복되어 있어 동일범위로 취급하였으며, 그 외 지역은 100m간격으로 소로 접근성을 구분하였다. 그리고 수계 접근성은 100m 간격의 15개 category로 구분하였다.

(2) 山林情報의 構築

산림정보를 구축하기 위해 1988년 산림청 임업연구원에서 발행한 임상도(1/25,000)와 현지 조사를 병행하여 자료를 수집하였다. 林況요인 즉, 林相, 林種, 徑級, 齡級, 疎密度 및 山地利用基本圖를 각각 2~5개 category로 구분하였다. 대상지의 임상은 대부분 활엽수림이었으며, 다음으로 침활혼효림, 침엽수림 순으로 계곡부근에 분포하고 있었다. 그리고 천연림이 대부분이었으며, 인공림은 경상대학교 연습림의 잣나무림이 표고 800m 이하에서 소규모로 나타나 있었다. 경급은 일부 지역에서 30cm 이상이 있었으나 그 면적규모가 작아 한 개 픽셀(50×50m²)내의 전면에 고르게 나타나지 않았다. 수령은 대부분이 11~30년생이었다. 소밀도는 항공사진과 수관소밀도판을 이용하여 측정하였으며 표준지조사시 소밀도(%)를 측정하여 비교, 검정하여 이용하였다. 산지이용 구분은 3분법에 의하여 공익임지(환경임지), 생산임지 및 산업임지로 구분하였다.

4) 加重值 適用

산림경관 평가모형은 지역의 환경적 특성과 분석목적에 따라 다르다. 대개 制約條件 혹은 評價條件으로 구분되어지는 적지구성 조건의 중요도는 일정하지 않다. 가중치를 각 요인별 중요성에 따라 부여된 등급가에 곱하면 모든

자료간의 상대적인 중요도가 판별되는데 이러한 가중치 적용은 전문가적 판단(professional judgement)에 의하면 유리하다(李明雨, 1982 ; 朴鍾武, 1986). 여기서는 득점평가법에 의한 중첩법으로 적지를 분석하되 복합평가모형에 의하였으며 이러한 과정은 모의 검정에 의해 결정되었다. 각 요인별 가중치와 등급가는 Table 1과 같다.

李明雨(1982)에 의하면 수집된 데이터는 전체 9등급으로, 等級價는 1, 3, 5, 7, 9 방식으로 구분하는게 적지분석에 유리하다고 하였다. 그리고 영급, 소밀도와 지형요인 등이 100%인 점을 고려하여 1-9등급으로 구분하는 것이 적절하였으며, 역시 모의검정을 거쳐 적지분석에 적용하였다. 산지이용도에서 보전 상 중요한 지역은 제외시키거나 적용하더라도 적지성은 낮게 평가하는 것이 타당하다(山林廳, 1990)고 하여, 다른 요인에 비해 등급가를 낮게 부여하였다. 따라서 가중치는 1-5등급으로 12개 요인별 이미지에 각각 적용하였다.

이상의 자료 층을 대상으로 정리된 pixel갯수 혹은 해당면적에 관한 통계자료와 이미지를 분석하여 수정작업을 거쳐 data량을 각 layer 별로 일치시켰다. 이러한 자료는 편집 후 모의 검정(simulation)을 통해 가상적인 결과를 예측함으로써 반복적으로 수정·확인하여 분석 목적에 다각적으로 접근할 수 있게 하였다.

5) 觀測點의 選定

산림경관 개발적지 평가에 의하여 판정된 최적지에서 가시권역을 설정하여 시각성을 분석하고자 하였다. 최저지로 판정된 cell의 해당면적이 최소 1ha이상 되는 곳을 대상으로 분석하였다. 실제 관측점은 grid cell이 위치한 곳의 상공 5m 지점에서 2km이내 지역을 대상으로 하였으며, 관측시 시야는 360°의 모든 방향을 대상으로 하였다.

結果 및 考察

1. 地形情報分析

1) 標高

표고는 50m단위로 수치화된 등고선 29개를 구분하였으며, 표고의 등급은 대상지의 최저표고를 고려하여 지질학적 점수 부여(geologic ranking sheet)방법과 地形空間에서의 等時圖(isochrone map)에 의해 구분하였다. Fig. 1에서, 청색은 표고 1,501m(등급가의 부여점수 3) 이상, 적색은 1,001-1,500m(5), 황색은 501-1,000m(7), 녹색은 500m이하(9)인 지역이다. 표고 657m에 경상대학교연습림 장단보호소, 250m이하에는 내원사와 덕천강을 포함하고 있다. 그리고 구분되어진 category중 501-1,000m에서 1,810ha로 가장 많은 면적(시험대상지의 56%)을 차지하는 것으로 나타났다. 이러한 결

Table 1. Weights and category value in topographical and forestal factors by simulation for the suitability of forestal viewscape

Category Value	Proximity				Aspect (°)	Slope (%)	Forest types	Origin of F.	D.b.h (cm)	Age (yrs)	Crown dens. (%)	F. land-use
	Altitude (m)	Road-4m (m)	Road-1.5m(m)	Water (m)								
1		>1001	>800	>800	N	>60			<6	1-10	1-20	Public F. L.
2					NW							Production F. L.
3	1501-2000	801-1000	601-800	601-800	NE	30-59				11-20	21-40	Industrial F. L.
4					W				6-16			
5	1001-1500	601-800	401-600	401-600	E	15-29				21-30	41-60	
6					SW							
7	501-1000	401-600	201-400	201-400	SE	7-14	Conif. stands	Artificial stands	18-28	31-40	61-80	
8		201-400			S	2-6	Decid. stands					
9	101-500	<200	<200	<200	P	<2	Mixed stands	Natural stands	>30	41-50	81-100	
W.T.	3	4	2	4	5	5	5	2	5	3	5	1

과는 李明雨(1982)에 의해 산악지형을 9, 7, 5, 3, 1등급으로 구분하여 모의적지분석에 적용한 사례와 유사한 등급이었다. 가중치는 경사, 우마차로 접근성, 수계접근성, 사면향보다는 낮지만 소로접근성보다는 높은 3점을 할당하였으며, 이는 역시 simulation 시험결과 예측가능한 후보지에 근접할 수 있는 값이었다.

2) 牛馬車路接近性

우마차로 접근성은 대상지 전체를 이용가능한 지역으로 간주하여, 200m이하(9), 201 - 400(8), 401 - 600(7), 601 - 800(5), 801 - 1,000(3), 1,001m이상(1) 순으로 노선에 가까운 지역일수록 높은 등급가를 부여하였으며, 가중치는 4점을 부여하였다(徐玉河 등, 1994). Fig. 2에서, 200m 이내의 우마차로 접근성은 27.8%(899.25ha)에 달해 가장 많은 면적을 차지하고 있었다. 이러한 결과는 우마차로 양쪽면에서 접근성이 인정되었으며, 우마차로가 남동향의 계곡을 따라 대상지 전역에 배치되어 있었기 때문인 것으로 사료된다. 朴鍾武(1986)는 접근성 모형의 등급가를 차량에 의한 접근성과 도보에 의한 접근성으로 구분하여 접근이 용이하고 통행량이 많은 지역에는 낮은 등급가를, 접근성이 불량하고 통행량이 적은 지역은 높은 등급가를 부여하여 인위에 의한 간섭의 가능정도에 따라 접근성을 구분하고 있다. 이러한 결과는 산림의 보전적인 측면만을 고려하였기 때문에 본 연구의 산림경관 개발가능성을 고려한 적지분석 결과와는 다소 대조적이었다.

3) 小路接近性

소로접근성은 소로에서 100m 간격으로 이미 구분되어진 이미지를 200m 간격으로 재구분하였다. Fig. 3에서, 초록색은 소로접근 거리가 200m이하(9), 황색은 201 - 400m(7), 적색은 401 - 600m(5), 보라색은 601 - 800m(3), 군청색은 801m이상(1)인 지역이다. 소로접근성의 등급간 해당면적은 접근성이 좋은 지역일수록 많았으며, 특히 시험대상지의 77.9%가 접근성 200m이내로 나타났다. 이러한 결과는 대상지가 산악지임에도 불구하고 소로가 망구조로 복잡하게 연결되어 있기 때문인 것으로 판단된

다. 소로 접근성의 가중치는 우마차로접근성, 수계접근성보다 낮으며, 산지이용도보다는 높은 상대치 2점을 적용하였다.

4) 水系接近性

수계접근성은 수계로부터 distance module을 이용하여 200m 간격으로 구분하여 이미지를 나타내고자 하였다. Fig. 4에서, 초록색은 수계접근 거리가 200m이내(9), 황색은 201 - 400m(7), 적색은 401 - 600m(5), 보라색은 601 - 800m(3), 군청색은 900m 이상(1)인 지역을 나타내고 있다. 수계 접근성의 가중치는 우마차로 접근성과 같이 4점을 부여하였다. 이러한 점수는 수계와 우마차로의 지형좌표가 거의 일치하고 있을 뿐만 아니라 접근성의 중요도 역시 비슷했기 때문이다. 이와 같은 결과는 자연휴양설계기준에서 계곡의 물을 이용할 수 있는 곳으로부터 최소 100m 간격으로 구분하는게 적당하다고 한 것과, 또한 徐玉河 등(1994^b)의 개발가능성 판단을 위한 등급결정에 관한 연구에서 100m간격으로 구분하여 9, 7, 5, 3, 1의 등급가를 부여한 결과와 유사하게 나타났다.

5) 斜面向

원시이미지의 사면향은 360°의 실수형에서 정수형으로 변환시켰다. Fig. 5에서, 초록색은 평지, 연두색은 S, 노랑색은 SE, 주황색은 SW, 적색은 E, 분홍색은 W, 보라색은 NE, 청색은 NW, 군청색은 N을 나타내며, 등급가는 선호도를 고려하여 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1을 적용하였다. 시험대상지내 표고 300m 이하인 지역은 취락 및 전답이 있어 평지(22.8%)로 분석된 곳이 가장 많았으며, 다음으로 동쪽(18.2%)과 남쪽(12.9%)사면이 다른 사면에 비해 많은 면적을 차지하고 있었다.

그리고 向度는 微氣候에 가장 큰 영향을 미치므로 자연자원을 분석함에 있어서 경사와 같은 가장 큰 비중의 가중치를 부여하였다. 鄭躍軍과 南雲秀次郎(1994), 현정오 등(1993)의 적지분석의 가중치 적용기법에 관한 연구에서도 사면향에 가장 큰 비중을 적용하였다. 사면향의 가중치 역시 가장 높은 5점을 부여하였다.

6) 傾斜度

경사도는 사면향과 마찬가지로 실수단위로 분석된 화상에 등급가를 적용하였다. Fig. 6에서, 녹색은 2%미만(9), 황색은 2~6%(8), 적색은 7~14%(7), 보라색은 15~29%(5), 남색은 30~59%(3), 남청색은 60%이상(1)인 지역이다. 金雲基(1985)는 자연순환로 계획에 있어서 경사 60% 이상의 지형이나 웅덩이가 형성되는 곳, 물의 낙차가 심하고, 기암괴석의 독특한 지형을 이루고 있는 곳을 경관이 우수한 지역으로 평가하였으나, 探訪路의 安定性에서는 0~10%, 10~20%, 20~30%순으로 환경사지일수록 높은 등급을 부여하였다. 따라서 산림의 다양성만을 고려했을 경우 경사가 급한 지역이 유리하지만, 시험대상지가 험준한 산악 지이기 때문에 경사가 완만한 지역이 산림자원 보존 및 산림경관적지로 유리하다고 판단되어 환경사지에 더 높은 점수를 부여하였다. 그리고 경사도 30~59%인 18.7%로 가장 많은 면적을 차지하고 있었으며, 2% 미만인 환경사지는 2.7%(87.25ha)로 나타났다. 이러한 결과는 尹英浩(1991)의 녹지공간 이용체계 관리에 관한 연구에서 경사를 15%이하, 15~30%, 30~45%, 45%이상의 4등급으로 구분한 결과 30% 이상의 급경사지역이 가장 많이 나타나 두 지역이 다소 급경사지로 구성되어 있음을 알 수 있었다.

2. 山林情報分析

1) 林相

Fig. 7에서, 짙은 녹색은 혼효림(9), 연두색은 활엽수림(8), 노랑색은 침엽수림(7)을 나타내고 있다. 혼효림과 활엽수림은 종다양성 차원에서 色彩나 質感을 고려하여(山林廳, 1990) 계절감을 느낄 수 있으며(徐玉河 등, 1994^a), 또한 침식지의 안정 효과를 기대할 수 있다. 그러나 침엽수림은 상대적으로 적은 면적에 분포되어 있으므로 침엽수림 고유의 일체감에 의한 시원함을 느끼기엔 만족스럽지 못하다. 침활혼효림은 내원사에서 무재치기 폭포로 연결되는 계곡과 안내원으로 연결되는 계곡에 분포되어 있다. 표고가 낮아짐에 따라 소나무가 나타나면서 신갈나무, 졸참나무 등의 낙엽활엽수림이

혼효되어 있었다. 가중치 또한 경급과 소밀도와 같이 5점을 적용하였다. 이것은 林種과 산지이용도의 가중치와 다르게 적용되고 있다. 이와 같은 결과는 조본준(1988)과 南雲秀次郎 등(1995)의 시업계획 및 토지이용적합성의 적지 분석에 관한 연구에서 등급은 반드시 등간격으로 구분하지 않았으며, 또한 등급간에 중첩되거나 간격이 크게 구분되는 것이 유리하다는 근거에 따른 것이다. 임상의 가중치는 우마차로 접근성과 수계 접근성보다는 상대적으로 높고, 경급과 소밀도와는 비슷한 5점을 적용하였다.

2) 林種

인공림은 시험지 총 산림면적(2,941.25ha)의 10%이하에 불과하며, 또한 간벌 등의 관리상태가 양호하지 못한 결과로 인공림에서 느낄 수 있는 질서정연함의 시원스러운 감동을 느끼기엔 부족하였다. 이에 반해 천연림은 자연미를 지니고 있어 경관에 미치는 영향이 더욱 클 것으로 기대된다. William 등(1993)과 徐玉河 등(1994^a)에 의하면 천연림은 시각적인 차원에서 계절적인 변화를 느낄 수 있어 인공림보다는 높게 평가하고 있다. 이러한 결과는 천연림이 자연 그대로의 순수성을 지니고 있어 산림경관 적지공간에서 바라보는 시야에 미치는 영향이 클 것으로 사료되어 인공림보다 천연림에 더 큰 비중을 두었다. 그리고 천연림과 인공림을 임상과 비교하여 9와 7점의 등급가를 할당하였지만 가중치는 경급이나 소밀도에 비해 낮게 2점을 적용하였다. 이러한 상대적 평가에 의하여 적용된 이미지의 속성값으로 모의검정을 거쳐 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다. Fig. 8에서, 황색은 인공림, 초록색은 천연림을 나타낸다. 대상지내 천연림은 2,752.0ha, 인공림은 757.0ha로 대부분이 천연림으로 구성되어 있으며, 인공림은 주로 표고가 300m이하인 지역과 계곡을 따라 소규모로 나타나고 있다.

3) 徑級

Fig. 9에서, 청색은 6cm 이하(1), 적색은 6~16cm(4), 초록색은 18~28cm(7)경급을 나타내고 있다. 산림의 외관과는 달리 실제 임목축적

량이 크지 않음을 현장의 표준지 조사에서 알 수 있었다. 이와 같은 현상은 구성임목의 樹齡이 낮은 탓도 있으나 대상지의 입지환경이 임목생장에 유리한 조건이 아닌 점과 대부분의 임분이 천연림이기 때문에 효율적인 무육작업을 실시하지 못한 데 기인한 것으로 사료된다(Kass, 1992; Parshall, 1995). 그리고 경급의 가중치는 영급, 林種, 산지이용도에 비해 상대적으로 높은 5점을 적용하였다.

4) 齡級

Fig. 10에서, 초록색은 41~50년생(9), 노랑색은 31~40년생(7), 갈색은 21~30년생(5), 보라색은 11~20년생(3), 군청색은 1~10년생(1) 임분을 나타내고 있다. 가중치는 林種과 산지이용도 보다는 상대적으로 높게 적용하였다. 가장 많이 분포되어 있는 임분의 수령은 21~30년으로 시험대상지내 산림면적의 40%(1,180.5ha)이었으며, 가장 적게 분포되어 있는 임분의 수령이 31~40년생으로 나타나 이 지역은 30년생 이하의 임분이 대부분이었다.

5) 疎密度

Fig. 11에서, 초록색은 81~100%(9), 노랑색은 61~80%(7), 빨강색은 41~60%(5), 보라색은 21~40%(3), 군청색은 20%이하(1)의 소밀도를 나타내고 있다. 이와 같은 결과는 울폐도가 산림경관에 미치는 영향이 수원함양기능이나 미적, 정서적 측면을 고려해 볼 때 소밀도가 密할수록 더욱 좋은 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 鄭躍軍과 南雲秀次郎(1994)은 수원함양기능과 생활환경보전기능 평가에 있어서 소밀도는 30%이하, 40~50%, 60~80%, 90% 이상으로 구분 하였으며 두 가지 기능 모두에서 50%이상의 密한 지역에 높은 점수를 부여하여 경관분석에 적용하였다. Parshall(1995), 藤澤秀夫(1988), 青柳 みと리와 内藤正明(1989) 등의 시각적인 산림 경관 평가에서 수량화기법을 통해 소밀도가 요인 중 경관에 가장 큰 영향을 미친다고 한 결과와 본 시험의 모의검정에 의한 등급가는 유사하였다. 소밀도는 시각적인 면에서 적지분석에 영향력이 다른 요인에 비해 크므로 경사, 사면향, 임상, 경급과 함께

가중치 5점을 적용하였다.

6) 山地利用基本圖

Fig. 12에서, 보라색은 공익임지 또는 환경임지(1)이며, 적색은 생산임지(2), 녹색은 산업임지(3)를 나타내고 있다. 지리산 국립공원 지역은 공익임지 혹은 환경임지에 해당되며, 그 나머지 대부분이 생산임지였고, 취락지구 일부가 산업임지에 해당된다. 이것은 경관지의 개발측면에서 산업임지, 생산임지, 공익임지 순으로 토지이용이 유리하여 각각 3~1점으로 등급가를 적용하였다. 본 연구의 범위에서 언급했듯이 인문사회적요인보다는 지형적, 생물적요인에 한하여 산림경관적지를 평가하고자 하였으므로 산지이용도의 가중치 또한 다른 요인에 비해 가장 낮은 1점을 할당하였다(山林廳, 1990; Jankowski, 1995).

3. 山林景觀에 따른 視覺空間의 最適地分析

1) 山林景觀 適地 評價

산림경관을 평가하기 위하여 Fortran프로그램의 module에 의하여 분석한 결과는 Fig. 13과 같다. 경관적지의 최대평가치를 갖는 cell 위치는 (51,100), (47,44), (39,34), (55,37), (74,63)으로 나타났으며, 이 지역은 속성값의 최대발생가능치 396점 중 345~350점으로 가장 높게 평가되었으나, 그 면적 규모가 1ha 미만으로 공간확보 차원에서 만족할 만한 결과는 아니었다. 따라서 Fig. 13을 상대적인 비율로 reclass하였으며, 그 결과의 Fig. 14에서, 속성값의 최대발생가능치 396점에 대한 86%이상은 최적지(적색), 81~85%는 적지(주황색), 66~80%는 개발 가능지(황색), 65%이하의 부적지(연두색)로 나타났다. 이때 89점 이상 득점 단위격자는 없었다. 그리고, 시험대상지 3,230.5ha 중 최적지가 3.00ha, 적지가 58.75ha, 개발 가능지가 1,544.75ha 및 부적지가 1,614.00ha로 나타났다. 이상과 같은 방법으로 지리산 내 원사 일대의 경관적지를 판정, 분석한 결과 경관이 최적지라고 판단되는 곳은 4개 지역으로 나타났다. 제1지역은 (54,36)의 격자를 중심으로 나타나고 있으며, 제2지역은 (74, 63), 제3지역은 (88, 72), 제4지역은 (55, 100)의 격자

를 중심으로 나타났다. 평가요인으로 구성된 12개의 주제도와 경관적지평가이미지를 byte 형 이미지로 변환 후 Media Viewer를 이용하여 상호 동일좌표간의 지황 및 임황특성을 비교한 결과 제1지역인 (54,36)지역은 경상대학교 연습림 장단보호소가 위치한 곳으로 부터 무재치기폭포를 연결하는 소로에 근접해 있으며, 표고가 770m, 950m인 지점이다. 제2지역인 (74,63)cell은 표고 620m지점으로 경상대학교연습림 장단보호소(657m)가 위치한 곳으로부터 아래로 200m이내 계곡과 우마차로에 근접해 있는 부분이다. 제3지역인 (88,72)cell은 바깥장당의 표고 500m지점이었으며, 이 곳은 내원사로부터 정상으로 향하여 8번째 계곡을 바로 지난 지점으로서 4개 지역 중 유일하게 지리산 국립공원의 바깥지역이었다. 제4지역인 (55,100)cell은 표고 700m지점으로 다른 3개 지역과는 동떨어져 있는 안내원의 남쪽계곡이었으며, 이 계곡은 소나무류와 활엽수림 지역으로 임목의 생육상태가 좋지 않을 뿐만 아니라 활엽수림의 경급 또한 상대적으로 낮았다. 이상 4개 지역 중 제2지역이 계곡의 폭과 낙차, 산림의 울폐도 및 주위환경 등을 고려해 볼 때 경관이 가장 우수한 곳으로 판단된다. 그리고 4개 지역의 공통된 특징은 계곡을 중심으로 양쪽의 완만한 경사지의 적정면적 규모를 유지하고 있었으며, 계곡의 폭과 낙차는 다른 지역에 비해 비교적 넓고 높았다. 소밀도 역시 평균 80% 이상인 지역이었으며, 임상은 침활혼효림으로 구성되어 있으며, 수종은 졸참나무, 굴참나무, 서어나무, 굴피나무, 소나무류가 주로 나타나고 있는 지역이다. 그리고 수령은 대개 30년에 도달하고 있었다. 하층식생은 조릿대, 졸참나무, 쪽동백나무, 굴피나무, 병꽃나무, 철쭉, 싸리, 비목 등이 분포하고 있었다. 이 지역의 임분 수고는 10~14m정도가 대

부분이었다. 사면향은 주로 남동향과 동향이었으며, 노망과 수계의 접근성 또한 아주 양호하였다. 이러한 결과는 朴鍾武(1986)의 자연환경평가에서 산림경관 적지는 수계 접근성이 양호하고 주로 혼효림이 분포되어 있는 곳이라는 결과와 유사하였다. 이상의 최적지 이외의 지역 특성을 요약하면, 배양이쪽에서 남서로 연속되어 있는 부능선 양쪽방향에서 남향은 개발가능지로, 북쪽은 부적지로 나타났다. 이러한 결과는 표고가 낮고, 임목의 축적이 많은 지역에서는 주로 사면향에 따라 개발가능한 지역과 불가능한 지역으로 결정되어지기 때문이라고 사료된다.

2) 適地評價에 따른 要因別 重回歸分析

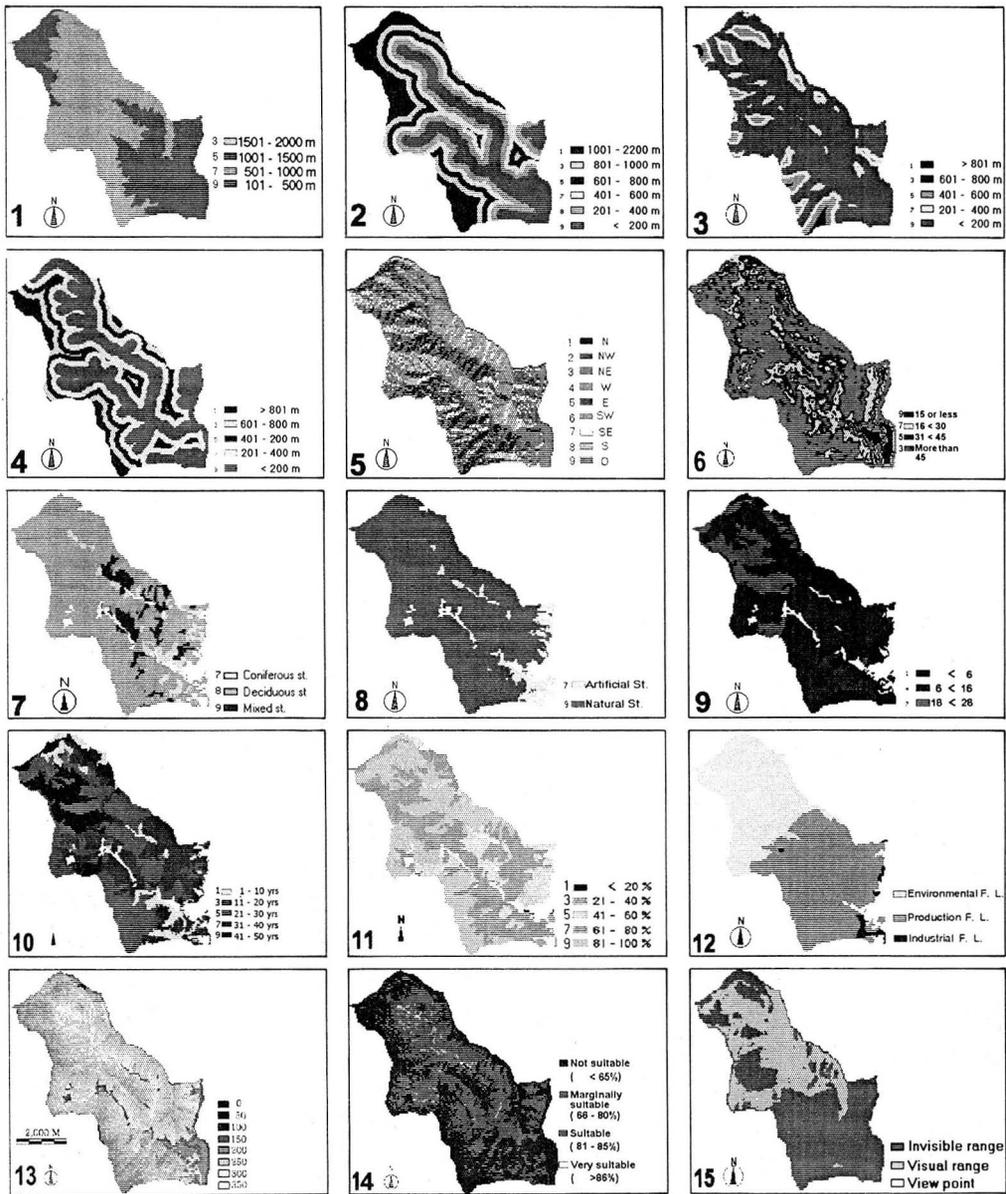
산림경관적지평가 이미지와 정량적평가요인별 이미지를 비교하기 위하여 시험대상지의 12,922cell중 stratified random sampling에 의해 선정된 1,282개(시험대상지의 10%에 해당)의 공간좌표 cell을 대상으로 分散分析을 실시한 결과는 Table 2와 같다.

Table 2에서, 분산분석은 분석모델의 타당성을 검증하기 위한 것으로서, 이때 독립변수로 이용되었던 이미지는 각 layer별 등급가와 가중치를 적용하기 전의 실측되었거나 DEM으로 분석된 수치를 가진 원시이미지이다. F값 27,652.97은 1% 유의수준의 기각치 2.64보다 크므로 처리평균간의 차가 고도의 유의성이 인정되고 분석모델의 적합성이 인정되었다.

산림경관적지평가 모델을 추정하기 위하여, 산림경관요인별 이미지데이터를 독립변수로 하고 산림경관적지를 분석한 결과 이미지데이터를 종속변수로 하여 重回歸分析을 실시하였다. 적지분석 모델에 의하여 평가된 산림경관적지 이미지와 地況과 林況의 정량적인 7개 요인 이미지간의 관계를 중회귀분석하였다. 이때 임령

Table 2. Analysis of variance in the regression for forest viewscape

Source	Degree of freedom	Sum of squares	Mean squares	F	p-value
Regression	7	81,683,005.65	11,669,001.00	27,652.97	<0.000
Residual	1,275	538,029.68	421.98		
Total	1,282	82,221,035.34			



Explanation of Figure

Fig. 1. DEM reclassified by category value.

Fig. 2. Map of proximity to road of 4m width reclassified by category value.

Fig. 3. Map of proximity to road within 1.5m width reclassified by category value.

Fig. 4. Map of proximity to water reclassified by category value.

Fig. 5. Aspect map reclassified by category value.

Fig. 6. Slope map reclassified by category value.

Fig. 7. Forest types reclassified by weight.

Fig. 8. Origin of forest reclassified by weight.

Fig. 9. DBH reclassified by category value.

Fig. 10. Age group reclassified by category value.

Fig. 11. Crown density reclassified by category value.

Fig. 12. Forest land-use map reclassified by category value.

Fig. 13. Suitability map analyzed by simulation program.

Fig. 14. Suitability evaluated by developing possibility in forest.

Fig. 15. Visible range at the best suitable sites of forest viewscape.

과 흉고직경의 변수이미지간에는 共線性(col-linearity)이 높게 나타나 두 개 변수 중 임령만을 채택하여 중회귀분석을 실시하였으며 그 결과는 다음 Table 3과 같다.

Table 3에서, 산림경관적지의 추정식은 forest viewscape estimates=211.5268 - 0.0117 * altitude - 0.0299 * proximity to road with 4.0m width - 0.0231 * proximity to road with 1.5m - 0.0376 * proximity to water - 0.0292 * slope + 1.2534 * stand age + 0.9569 * crown density로 나타났다. 산림경관 적지를 추정한 重回歸式에 대한 설명력(R²; 99%)이 고도로 높게 나타났다. 그리고 t-검정의 결과를 보면, 각 요인의 계수 추정치가 1% 유의수준에서 고도의 유의성이 있는 것으로 나타났다. 추정된 모델로부터 산림경관적지와 표고, 우마차로접근성, 소로접근성, 수계접근성, 경사도(%)와는 부의 상관성이 있는 것으로 나타났으며, 임령, 소밀도와는 정의 상관성이 있는 것으로 나타났다. 즉, 산림경관 적지는 지황관련 요인에서는 표고가 낮고 경사도가 높을수록, 우마차로, 소로, 수계에 근접한 지역일수록 경관적지로 나타났으며, 그리고 임황관련요인에서는 임령이 높고, 소밀도가 높을수록 산림경관적지로 나타났다.

3) 山林景觀 可視圈 分析

산림경관 최적지에서 관측점을 설치하여 terrain analysis에 의한 가시권을 분석하였다. 최적지내 관측점이 위치한 cell의 5m상공에서 360°의 모든 방향을 대상으로 2km이내 가시권역을 측정하여 이 지점에서 simulation을 통한

산림경관의 각 요인의 구성상태와 시각성을 분석하였다.

(1) 可視圈 分析

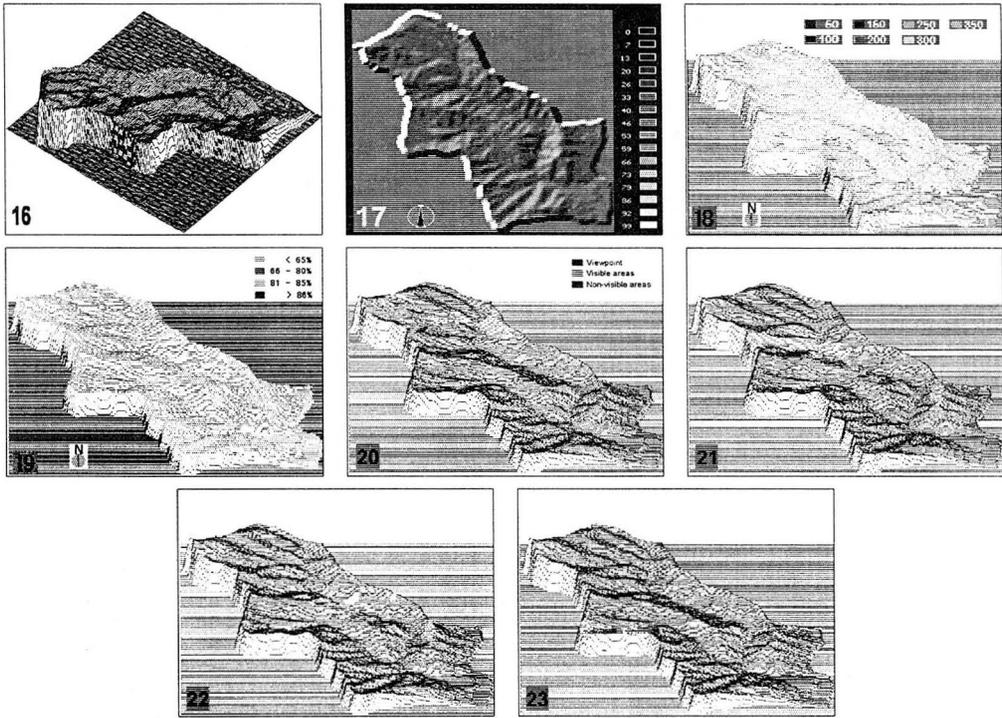
최적지로 평가된 지역으로서 해당 cell의 면적이 최소 2ha이상 되는 곳, 즉 북쪽 계곡의 제1지역인 (54,36), 제2지역인 (74,63), 제3지역인 (88,72)의 3개 지역과 상대적 면적 규모가 적은 이들 지역과 거리가 먼 배양이 쪽의 제4지역인 (55, 100) cell의 지점을 대상으로 총 4개의 관측점을 설정하여 가시권역을 분석하였다. 따라서 시험대상지의 두 개 주계곡 중 가시권역의 면적규모, 산림구성상태, 계곡의 유무 등의 측면에서 경상대학교 연습림 보호소가 위치한 북쪽 계곡이 남쪽계곡(배양이쪽)에 비해 산림경관의 시각성이 훨씬 뛰어난 것으로 평가되었다. Joseph 등(1995)의 Lassen volcanic 국립공원에서 산림의 경관은 전망이 트인 곳일수록 산림경영 계획에 유리하고, 또한 현정오 등(1993)은 산림경관의 가시권내 조망 가능한 지역은 택벌위주의 경영활동에 유리하다고 하였으며, 별채는 산림경관을 고려하여 주로 비가시권역에서 실시하는 것이 바람직하다고 한 결과와 경향을 같이 하고 있다.

(2) 適地의 多次元的 分析

等高線을 數值化하여 구축한 數值標高模型을 작성하였다. Fig. 16은 方位角(azimuth) 225°, 高度角 45° 상공에서 내려다 본 3차원 鳥瞰圖를 나타낸 것이다. 좌측 상단의 가장 높은 부분에 씨리봉이, 사진 우측 모서리의 평지에는 덕천강이 흐르고 있다. Fig. 16에 의한 Fig. 17의 數值標高模型은 지형을 표시하는 자연적 도법 중 陰影法(hill shading)을 이용하여 지표

Table 3. Multiple regression equation by a least-squares approach for estimation forest viewscape using the statistical method by stratified random sampling of GIS

Variable	Parameter estimate	t-value(1,275)	p-value
Constant	211.5268	121.916183	<0.001
Altitude	-0.0117	-3.733728	<0.001
Proximity to road with 4.0m width	-0.0299	-12.746745	<0.001
Proximity to road with 1.5m width	-0.0231	-4.822154	<0.001
Proximity to water	-0.0376	-12.202912	<0.001
Slope	-0.0292	-5.127280	<0.001
Stand age	1.2534	21.341875	<0.001
Crown density	0.9569	35.629021	<0.001



Explanation of Figure

- Fig. 16. Representation of 3-D image by DEM of the study area.
- Fig. 17. Hii shading image by surface analysis from DEM.
- Fig. 18. Forest viewscape suitability analyzed by MCE from 12 layers with category values and factor weights.
- Fig. 19. Site reclassification image derived from forest viewscape suitability estimated.
- Fig. 20. Degree of visibility at viewpoint (54,36) on reference map.
- Fig. 21. Degree of visibility at viewpoint (74,63) on reference map.
- Fig. 22. Degree of visibility at viewpoint (88,72) on reference map.
- Fig. 23. Degree of visibility at viewpoint (55,101) on reference map.

면의 입체감을 나타내고 있다. 이것은 태양광선이 북서쪽에서 경사 45°의 각도로 비친다고 가정하고 지표의 기복에 대하여 그 명암을 pixel의 grey level 강도에 따라 지형을 표시한 것이다. Fig. 18은 산림경관적지분석 프로그램에 의해 평가된 결과이미지(Fig. 13)를 DEM에 의해 3차원으로 나타낸 것이다. Fig. 18에서, 적색에서 황색, 연두색이 될수록 산림경관이 수려한 지역이며, Fig. 19에서, 황색은 개발부적지, 청색은 개발가능지, 연두색은 적지, 적색은 최적지이다. Fig. 20~23은 산림경관의 최적지로 평가된 4곳에 관측점을 설정하여 가

시권역을 분석한 결과로서 관측점은 적색, 가시권은 초록색, 비가시권은 황색으로 나타나고 있다.

이상의 과정을 통하여 음영기복도, 가시권 분석도를 출력하였다. 이러한 결과는 산림내 경관최적지의 시야에 들어오는 임황의 각 요인을 3차원으로 나타나게 하였으며, 관측점의 고도와 기후변화에 따른 가시거리, 가시선의 방향을 수정·변환 함으로써 임황을 보다 다각적으로 분석할 수 있게 되었다. 그리고 이러한 데이터베이스의 구축에 의하여 실 지형을 보다 가깝게 조망할 수 있게 하여 산림육코스, 자연

순환코스 등을 route simulation할 수 있을 뿐만 아니라 산림경관을 고려하여 별채와 조림의 계획을 수립하거나 혹은 각종 산림환경 정보에 의한 사업계획을 수립하는데 도움이 되도록 하였다. 이와 같은 경관 최적지의 가시권 분석에 대하여 Pressey와 Ferrier(1995)는 산림 경영, 산림 갱신 및 복구, 목재 수확 뿐만 아니라 종합적인 산림보호 및 경관조성에 가장 호완성 있는 module로 평가하고 있다. 그리고 시각적인 면을 고려할 수 있어 국토이용계획이나 환경보호측면에서도 시뮬레이션 기법을 이용한 다면 대화형식에 의한 광범위한 산지의 다각적 분석을 가능하게 하며 또한 다양한 산림정보에 쉽게 접근할 수 있게 되어 보다 효율적인 산림 경영계획을 수립할 수 있을 것으로 사료된다.

緒 論

본 연구는 지리산 동부지역의 산악지형에 분포되어 있는 산림을 대상으로 산림경관을 평가하여 경관 적지를 찾기 위하여 수행되었다. 산림경관을 평가하기 위하여 표고, 우마차로접근성, 소로접근성, 수계접근성, 사면향, 경사도, 임상, 임종, 경급, 영급, 소밀도, 산지이용기 본도를 선정하였다. 각 요인의 가중치와 요인 별 2~9개의 category에 부여되는 등급가를 simulation 기법으로 산림경관평가에 다각적으로 적용한 결과, 표고는 시험대상지역이 산악지형으로 표고차가 2,000m이내이므로 500m단위로 등급가를 구분하는 것이 대상지 전체를 고려하는데 적당하였으며, 우마차로접근성이 최대 2,000m이상 떨어져 있어 등급가를 200, 400, 600m까지는 상위 9~7등급으로 높게 적용함과 동시에 급간도 세밀하게 구분하는 것이 유리하였다. 이에 반해 600m이상지역에서 상대적으로 급간을 넓게 적용하는 게 유리하였으며, 그리고 접근성 1,000m이상지역은 울창한 산림과 산악지형특성으로 인해 우마차로 접근거리의 차이가 없을 것으로 판단되어 동일한 등급으로 취급하였다. 소로망접근성과 수계접근성은 200m의 급계를 구분하여 적용하였으며 800m이상의 지역은 최하위의 등급가를 적용하는 것이 타당하다고 판단되었다. 사면향은 평

지와 8방위의 9개 급계로 구분하여 평지에 최고의 등급가를 적용하고 북쪽에 최저의 등급가를 부여하는 것이 적절하였다. 경사도는 2%이내, 2~6%, 7~14%, 15~29%, 30~59%, 60%이상으로 구분하였는데 경사가 완경사지일수록 급계를 좁게 구분하고 산지의 경사가 30%이상은 지형특성이 거의 유사하였으나 산악지의 급경사지역이 많은 점을 고려하여 60%이상의 최하위 등급을 구분하는 것이 유리할 것으로 판단되었다. 임상은 혼효림과 활엽수림이 침엽수림에 비하여 고른 임상분포를 보인 반면 침엽수림의 임상은 소규모로 분포되어 있어 민족할 만한 산림경관 수준이 아니었으므로 상대적으로 낮은 등급가를 부여하였다. 임종의 경우도 임상과 유사한 경향으로 임분분포특성이 나타나 천연림을 인공림에 비하여 높은 등급가를 적용하는 것이 바람직하였다. 경급, 영급, 소밀도는 일반적인 임황구분방식을 적용하였으며, 산지이용구분은 3분법에 의하여 산림경관적지를 판단하는 것이 유리하였다.

산림경관적지분석 모델을 구하기 위하여, 이상의 simulation기법에 의한 등급가와 가중치를 시험대상지에 적용하여 평가된 산림경관적지척도 이미지를 종속변수로 하고, 산림경관평가요인 중 정량적인 7개 이미지를 독립변수로 하여重回歸分析을 실시하였다. 분석에 이용된 cell은 stratified random sampling에 의하여 선정된 point(시험대상지의 10%에 해당하는 1,282개 cell)를 대상으로 하였으며, 이때 임령과 흉고직경의 변수이미지 간에는 공선성이 높게 나타나 두 개 변수 중 임령 만을 채택하여 중회귀분석을 실시하였다. 산림경관적지의 추정식은 $forest\ viewscape\ estimates = 211.5268 - 0.0117 * altitude - 0.0299 * proximity\ to\ road\ with\ 4.0m\ width - 0.0231 * proximity\ to\ road\ with\ 1.5m - 0.0376 * proximity\ to\ water - 0.0292 * slope + 1.2534 * stand\ age + 0.9569 * crown\ density$ 로 나타났으며, 추정식에 대한 설명력(R^2 ; 99%)이 고도로 높게 나타났다. 그리고 t-검정의 결과를 보면, 각 요인의 계수 추정치가 1%의 유의수준에서 유의성이 있는 것으로 나타났다. 추정된 모델로부터 산림경관적지와 표고, 우마차로접근성, 소로접근성, 수

계접근성, 경사도와는 부의 상관이 있는 것으로 나타났으며, 임령, 소밀도와는 정의 상관이 있는 것으로 나타났다. 즉, 산림경관적지는 지형관련 요인에서는 표고가 낮고, 경사도가 높을 수록, 우마차로, 소로 수계에 근접한 지역일수록 경관적지로 나타났으며, 그리고 임황관련 요인에서는 임령이 높고, 소밀도가 높을수록 산림경관 적지로 나타났다.

이상의 결과에 따라 산림자원의 경관특성을 보다 효율적으로 이용하는데 기대되는 효과는, 지형정보 및 산림자원정보에 대한 적지선정기준을 설정함으로써 산림경관의 개발확충에 활용할 수 있고, 산지자원의 산림경관 지표가 되는 요인을 추정하고 이를 확대시킴으로서 산림의 기능을 다각적으로 분석가능케 하고, 동시에 산림자원의 특성을 효율적으로 관림함으로써 산림자원경영계획에 더욱 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

引用 文 獻

1. 기상청(1985 - 1995) "기상연보", 기상청
2. 南雲秀次郎·鄭躍軍·龍原哲(1995) "GIS를 利用した 施業計劃策定 시스템의 研究", 「日林誌」, 77 : 28-34.
3. 朴鍾武(1986) "環境情報管理體系(EIMS)를 利用한 適地分析에 關한 研究", 서울大學校 環境大學院 碩士學位論文.
4. 裴秉鎬(1994) "自然公園의 保護計劃을 위한 廣域的 土地自然의 分析에 關한 研究(II)", 「韓國造景學會誌」, 22(2) : 39-52.
5. 山林廳(1990) "自然休養林 設計基準", p.58-88.
6. 徐玉河 외 5인(1994a) "自然休養林의 造成과 利用에 關한 研究(I)", 「江原大學校 演習林研究報告」, 14 : 71-84.
7. 徐玉河·李基誼·尹英浩·陳亮教·崔麟和·禹鍾春(1994b) "自然休養林의 造成과 利用에 關한 研究(II)", 「江原大 演習林 研究報告」, 14 : 85-109.
8. 勝澤秀夫(1988) "森林의 多面的機能に 係わる 森林管理", 「森林計劃研究會」, 318 : 1-9.
9. 尹英浩 외 3人(1991) "春川地域 近郊 綠地 空間의 利用體系化와 合理的 管理에 關한 研究", 「教育部」, 72pp.
10. 연상호(1990) "리모트센싱과 GIS의 통합 및 그 적용기법에 관한 연구", 서울대학교 대학원 박사학위논문.
11. 李明雨(1982) "環境造景計劃에 있어서 電算機를 活用한 適地分析技法에 關한 研究", 서울大學校 碩士學位論文.
12. 鄭躍軍·南雲秀次郎(1994) "GIS를 利用した 森林機能による 類型區分", 「日林誌」, 76(6) : 522-530.
13. 조본준(1988) "개인용컴퓨터를 이용한 토지이용 적합성에 관한 연구", 서울大學校 環境大學院 碩士學位論文.
14. 平田泰雅·增田義昭·澤田治雄·齊藤英樹(1994) "リモートセンシングGIS를 利用した 森林變化의 抽出法(III)", 「日林論」, 105 : 171-174.
15. 青柳 みとり·内藤正明(1989) "森林の 持つ 生活環境保全機能の 評價に 關する 研究", 「農村計劃學會紙」, 8(2) : 22-35.
16. 현정오·김호탁·김귀곤·안동만·김성일·윤여창·정주상·차재호·신언학(1993) "다목적 산림경영 시험단지 조성사업 타당성 조사", 「산림청」, 348pp.
17. Alfred, S., S. Igor, B. Johan, and W. V. Jan(1994) "Interactive GIS for environmental risk assessment". INT. J. Geographical Information Systems 9(5) : 509-525.
18. Andrew, M.L., A.E. Gregory, A.H. Joel, and Q. John(1994) Landscape Characterization of Forest Susceptibility to Gypsy Moth Defoliation. For. Sci. 40(1) : 18-20.
19. Chung, S.H.(1994) "Satellite Remote Sensing for Forest Surveys and Management", J. of Kor. For. Soc. 83(10) : 75-87.
20. Davidson, D.A., S.P. Theocharopoulos, and R.J. Bloksma(1994) "A land evaluation project in Greece using GIS and based on Boolean and fuzzy set me-

- thodologies" *INT. J. Geographical Information Systems* 8(4) : 369-384.
21. Ian, B., and R. Mark(1994) "Implementation an Environmental Impact Model within a Geographic Information System", *The Univ. of Melbourne. Sydney, Australia. AURISA* 94. (21-25) : 281-291.
 22. Jankowski, P.(1995) "Integrating geographical information system and multiple criteria decision-methods", *INT. J. Geographical Information System* 9(3) : 251-273.
 23. Joseph, D.W., C.K. Glenn, and E. P III. John(1995) "Forest Mapping at Lassen Volcanic National Park, California, Using Landsat TM Data and a Geographical Information System", *PE & RS*. 61(3) : 299-306.
 24. Kass, G.(1992) "Spatial Imagery and GIS-Integrated data for natural resource management" *J. For. CA*. 90(11) : 32-36.
 25. MASATO, K.(1990) "The Future of Forest Resource Management Using Integration of Satellite Remote Sensing with GIS", *Journal of Remote Sensing of Japan* 10(3) : 421-441.
 26. Parshall, T.(1995) "Canopy mortality and stand-scale change in a northern hemlock-hardwood forest", *Can. J. of For. Res.* 25 : 1466-1478.
 27. Pressey, R.L. and S. Ferrier(1995) "Adapting a GIS for Interactive Conservation Planning", *National Parks and Wildlife Service(Sydney)* p.3-5.
 28. Robert, S.D., E.G. Michael, G.S. Kimberly, L.W. Fredrick, L. Xiaojun, and S. Wang(1995) "Center for Advanced Spatial Technologies", *University of Arkansas : 1995 Annual Conference Proceedings, URISA, Papers I-1* : 74-83.
 29. Sakamoto T., T. Tsuchiya, M. Sano, F. Nakamura, K. Kaji, and A. Ito (1995) "A study on planning of forested watershed management based on a landscape concept" *J. Jpn. For. Soc.* 77 : 55-65.
 30. William H.W., R.H. Rachel, A.D. David, and L.A. Carol(1993) "Characterizing Landscape-Level Forest Vegetation : An Application for Geographic Information Systems and Database Management Systems Using Extensive Forest Inventory Data", *Advancement in Forest Inventory and Forest Management Sciences* pp.385-395.

韓國山林測定學會 會則

- 第1條 本會는 韓國山林測定學會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 위하여 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 委囑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 1일부터 當年 12月 31日까지로 한다.

附 則

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

韓國山林測定學會 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 종별은 저자가 원고 표지에 명시하여야 한다.
3. 논문은 국문 또는 영문으로 작성할 수 있고, 어느 경우이나 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), (Simth 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. 별채는 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 초과게재료를 부담하고, 칼라사진을 게재할 경우 1면당 현재 실비로 부담한다.

한국산림측정학회지

제 1 권 제 2 호

서기 1998년 12월 19일 인쇄
서기 1998년 12월 30일 발행

발행인 鄭 永 觀
편집인 申 萬 鏞
발행처 韓國山林測定學會

130-012

서울시 동대문구 청량리2동 207번지
임업연구원 산림조사과내
전 화 : 02-961-2842
FAX : 02-961-2639
E-mail : pine21c@unitel.co.kr
농협계좌 : 031-01-341485(김철민)

100,000원

인쇄처 : 정민사 2278-0199

2844

