최 종
연구보고서

주요조림수종의 경제성을 고려한 적지판정 GIS모델 개발

Development of A GIS Model for Site-Specific Species-Selection for Major Plantation Species Considering Investment Efficiency

연구기관

경 상 대 학 교

국립산림과학원

서 울 대 학 교

농 림 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “주요조림수종의 경제성을 고려한 적지판정 GIS모델 개발에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2005년 11월 14일

주관연구기관명 : 경상대학교

총괄연구책임자 : 김의경

세부연구책임자 : 김의경

연 구 원 : 김대현

연 구 원 : 김현근

협동연구기관명 : 국립산림과학원

협동연구책임자 : 정진현

연 구 원 : 원형규

연 구 원 : 구교상

협동연구기관명 : 서울대학교

협동연구책임자 : 정주상

연 구 원 : 김형호

요 약 문

Ⅰ. 제 목

주요 조림수종의 경제성을 고려한 적지판정 GIS모델 개발에 관한 연구

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

현실적으로 대부분의 임업인들은 산림경영에 적지적수 및 투자효율성의 중요성을 인식하고 있음에도 불구하고 갱신수종을 선택할 때 이 두 가지 면을 제대로 고려하지 못하고 있다. 그것은 이러한 면들을 충분히 고려하여 수종선택의 의사결정을 하기 위한 적절한 방안이 마땅하지 않기 때문으로 의사결정지원 도구의 개발이 필요하다.

따라서 이 연구에서는 임업인을 지원할 수 있는 의사결정도구로 지리정보체계를 응용하는 모델을 개발하고자 하였다. 이 모델은 수종별 적지 평가를 지원해 줄 수 있음은 물론 적지적수와 관련된 산림투자의 효율성까지도 평가분석하는 기능이 있다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

임업인을 지원하기 위한 도구로서 적지적수 판정을 위한 지리정보체계 응용모델을 개발하기 위해서는 다음과 같은 세부 모듈의 개발이 요구된다.

첫째, 임분의 생장과 경영관리의 관점에서 입지특성을 해석하기 위해 지리정보체계의 공간분석 기능을 응용하기 위한 모듈의 개발,
둘째, 임분의 수종에 따른 지위지수 평가 모듈의 개발,
셋째, 산림경영에 요구되는 현금출납 분석과 시장가 역산에 의한 임목가치 평가 그리고 그에 따른 투자효율성을 분석하기 위한 모듈의 개발,
넷째, 임업인들이 통합적 운용환경에서 그 모델을 쉽게 사용할 수 있도록 해주는 편의프로그램의 개발이 요구된다.

Ⅳ. 연구 결과 및 고찰

지원도구로서 효과적인 지리정보체계 응용모델의 개발은 임업에 대한 이해의 범위가 매우 넓을 수밖에 없다. 즉, 모델 개발을 위해 우선 그 대상이 되는 주요 조림수종의 공간분포에 따른 입지조건과 그에 따른 임분의 생장특성을 알아야 한다. 그 외에도 임업인들이 수종을 선택할 수 의사결정을 하는 기준과 평가방법 등은 물론이고 목재생산에 따른 비용과 가격함수에 대해서도 충분한 이해가 요구된다. 이러한 관점에서 모델을 개발하는 과정에 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 수종선택과 관련하여 임업인들이 선호하는 기준과 의사결정의 방법에 관한 경향을 파악하기 위해 설문조사를 수행하였다. 이 결과 대부분의 임업인들은 조림 관련 기준과 동시에 경제성 관련 기준에도 많은 관심이 있는 것으로 나타났다. 그러나 현실적으로 산림경영의 재무분석에 관한 지식이 부족하여 경제성 관련 기준을 고려하기 보다는 수종에 대한 개인의 호감도에 의존하는 경향을 보였다.

2. 산림청 FGIS에 포함된 수치입지도를 이용하여 주요조림수종에 대해 공간분포상의 특성을 파악하고자 하였다. 이것은 입지환경 인자들에 따른 임분의 생장을 파악하는데 필요한 자료 수집을 하기 위한 과정이다. 이 자료들을 활용하고, stepwise 기법을 응용하여 유의한 인자들을 도출하여 지위지수식을 조제하였다. 이 지위지수 도출식은 여러 가지 조림수종 중에서 입지특성에 적합한 수종을 선택하는데 주된 기준으로 GIS 응용모델 개발에 활용되었다.

3. 내부투자수익율(IRR)이 수종선택 의사결정에 있어서 경제성 평가의 기준으로 활용되었다. IRR은 시간에 따른 일련의 산림시업 내역의 수입과 지출, 그리고 임목을 벌채하여 임분에서 제재소까지의 벌도, 집운재하는 산림수확비용과 그 외에 목재생산량의 관계를 분석하여 계산할 수 있다. 이 연구에서는 산림청에서 제시된 수확표를 이용하였다. 이 수확표는 지위지수와 임령의 관계로부터 주림목 및 부림목의 생산량을 찾을 수 있도록 되어 있다. 산림시업과 수확작업 등에 따른 표준작업공정표도 산림청 자료를 참고하였다. 이 자료를 기준으로 수종이나 작업여건 등에 따라 노동인력 수요량을 결정하여 표준공정에 가중치를 부여함으로써 비용 단가를 조정할 수 있도록 하였다. 입목가는 시장역산가법을 적용하여 산출할 수 있도록 하였다.

4. 지리정보체계 응용모델은 Microsoft Window 환경 하에서 운용할 수 있도록 개발되었다. 이 모델을 구성하는 모듈들은 ArcView 3.2나 Microsoft Visual Basic을

이용하여 개발하였다. 개발된 모델의 사용자 메뉴는 이 연구보고서의 제5장에 수록되어 있다. 그리고 개발된 모델의 적용성을 검토하기 위해 모델을 경기도 태화산지구의 수종갱신 문제에 적용하였고, 그 분석결과가 이 연구보고서 제6장에 지도와 함께 제시되어 있다.

SUMMARY

Ⅰ. Title

Development of A GIS Model for Site-Specific Species-Selection for Major Plantation Species Considering Investment Efficiency

주요조림수종의 경제성을 고려한 적지판정 GIS모델 개발에 관한 연구

Ⅱ. The Needs and Objectives

Even though most foresters has understandings on the importance of site-suitability and investment efficiency of species-selection for plantation forest stand management, there was no room to consider the two factors in decision-making processes. This was because of lacking of appropriate decision-making supporting tools for foresters.

In order to fulfilling such needs of foresters for decision-making supporting tools, this research was carried out to develop a GIS-application model available for foresters to assess the species-specific site-suitability and to analyze the efficiency of forest investment in terms of species-selection.

Ⅲ. The Contents and Scope

In order to develope the GIS-application model for species-selection as a decision-making supporting tool for foresters, the scopes of this research were to develop;

- spatial analysis module using GIS to interpret site-specific characteristics in terms of forest stand growth and management,
- modules to assess forest stand site index,
- modules for analyzing cash flow, log-based tree appraisal and forest

investment efficiency,

- interface modules to provide user-friendly running environment of the integrated model for foresters

Ⅳ. Results and Discussion

Development of the GIS-application model as a decision-making supporting tool for foresters above requires extensive understandings on requirements of site conditions for survival by tree species and stand growth associated with site conditions by tree species, and preferred criteria and methods of forester in species-selection as well as cost and price functions of timber production. The major findings and products of the research are as follows;

1. A questionnaire survey was carried out to enhance data for preferred criteria and methods of foresters in species-selection. The results of this survey revealed that most of foresters were interested in economic criteria for species-selection. However, they chose plantation species by personal preference on tree species rather than any economic criterion. This is because of lacking of knowledge on financial analysis for forest management.

2. The spatial distributions of the major plantation species were investigated to extract data sets of forest stand growth as the function of site-specific environmental factors. Based on the data sets, site index functions of the major plantation species were developed using the stepwise method. Most of data sets were extracted from the site map of FGIS (Forest Geographic Information System) developed by Korea Forest Service. In the GIS-application model, the estimated site index from the site-specific environmental factors were used as a key criterion in assessing the suitability of site conditions for alternative plantation species.

3. The internal rate of return (IRR) was used as a economic criterion for species selection. IRR was expressed as a function of timber volume, stumpage price and costs incurred by a series of forest management activities over time and

stumpage-to-sawmill harvesting operations. The timber yield table, provided by Forest Service, was used. In this table, timber yield for thinning and final cut, respectively, is expressed as the function of site index and age. The table for standard unit cost, provided by Forest Service, for harvesting operations was used as the base case in estimating harvesting cost. The algorithm was designed to adjust and utilize the unit cost of the table associated with the working conditions and tree species. The stumpage price was determined by the log-based tree appraisal method.

4. The GIS-application model was designed to be used in the environment of Microsoft Window. The modules of the model were developed using ArcView 3.2 and Microsoft Visual Basic. The user manual of the model is provided in Chapter 5 of this report. To test the performance of the model, the model was applied to a case study to select plantation species for Mt. Taehwa in Kyungi-Do. The results of species selection for the whole area are shown with maps in Chapter 6 of this report.

CONTENTS

SUMMARY (in Korean) ····· 3
SUMMARY ····· 7
CONTENTS ····· 11
CONTENTS (in Korean) ····· 13

Chapter 1. Introduction ····· 15
Section 1. The needs and objectives ····· 15
Section 2. Range of the research ····· 15
1. Necessity of the research ····· 15
2. Contents of the research ····· 16

Chapter 2. Ecological and site characteristics of main plantation trees ····· 21
Section 1. Spatial distribution characteristics ····· 21
1. Distribution of main plantation trees based on digital forest site map ····· 22
2. Distribution of main plantation trees based on digital vegetation map ····· 30
Section 2. Ecological and site characteristics ····· 31

Chapter 3. Estimation of growth functions ····· 41
Section 1. Investigation of digital forest site map ····· 41
1. Digital forest site map ····· 41
2. Accuracy test of digital forest site map ····· 43
Section 2. Methods for estimation of growth functions ····· 45
1. Estimation of site index using site index curve ····· 46
2. Estimation of site index and site-specific species-selection using site environmental factors ····· 47
3. Development of methods for estimating growth functions ····· 49
Section 3. Estimation of growth function ····· 52
1. Selection of related factors ····· 53
2. Estimation of site index curve ····· 59

Chapter 4. Analysis of economic and ecological characteristics ····· 63
Section 1. Invest status of main plantation trees ····· 63
1. Selection of main plantation trees ····· 63
2. Selection criteria of main plantation trees ····· 64
Section 2. Growth characteristics and economic efficiency with region and species ····· 68
1. Growth boundary and economic analysis with trees ····· 68
Section 3. Cost analysis according to site conditions ····· 71
1. Profitability analysis with trees ····· 71
2. Income analysis ····· 85
3. Cost/income analysis ····· 93

Chapter 5. Development of GIS model for site-specific species-selection ····· 103
Section 1. GIS model for site-specific species-selection ····· 103
1. Framework of GIS model ····· 103
2. Data flow diagram ····· 104
3. Development environments ····· 104
Section 2. Algorithms of specific modules ····· 105
1. Cost analysis based on site conditions and harvest process ····· 106
2. Cost analysis based on potential production of stands ····· 107
3. Analysis of stumpage price ····· 108
4. Analysis of investment efficiency and mapping module ····· 109
Section 3. Users manual ····· 110
1. Economic analysis program ····· 110
2. GIS model for site-specific species-selection ····· 116
Section 4. Evaluation of the GIS model ····· 125

Chapter 6. Conclusions ····· 131
Reference ····· 133
Appendix ····· 137

목 차

제1장 연구개발과제의 개요 ····· 15

제1절 연구개발의 목적 ····· 15

제2절 연구개발의 필요성 및 범위 ····· 15

1. 연구의 배경 및 필요성 ····· 15

2. 연구개발의 범위 ····· 16

제2장 주요조림수종의 생태적·입지적 특성 ····· 21

제1절 수종별 전국 분포특성 ····· 21

1. 수종별 임상분포 ····· 22

2. 수치임상도상의 임상분포 ····· 30

제2절 수종별 생태적·입지적 특성 ····· 31

제3장 생장함수 추정 ····· 41

제1절 수치산림입지도의 검토 ····· 41

1. 수치산림입지도 ····· 41

2. 수치산림입지도 DB의 정확성 검토 ····· 43

제2절 생장함수 추정을 위한 연구 방법론 검토 ····· 45

1. 지위지수곡선식을 이용한 지위지수 추정 ····· 46

2. 입지환경인자를 이용한 지위지수 및 적지적수 추정 ····· 47

3. 수치산림입지도상의 DB와 기존의 연구방법과의 접목 가능성 검토 ····· 49

제3절 지위지수 함수식 추정 ····· 52

1. 평가인자의 선정 및 구축 ····· 53

2. 지위지수 함수식의 추정 ····· 59

제4장 경제성 및 생태적 특성분석 ····· 63

제1절 주요조림수종의 투자실태 ····· 63

1. 주요조림수종의 선정 ····· 63

2. 투자자 입장에서의 조림수종 선정기준 ····· 64

제2절 지역별 수종별 생장특성과 경제성 ····· 68

1. 수종별 생장권역 분석과 경제성 분석 ····· 68
제3절 입지조건에 따른 수종별 비용산출 ····· 71
1. 수종별 수익성 분석 ····· 71
2. 수입분석 ····· 85
3. 비용과 수입에 의한 수익성 분석 ····· 93

제5장 GIS 응용모델 개발 ····· 103
제1절 응용모델의 구조와 연산체계 ····· 103
1. 모델의 개념도 ····· 103
2. GIS 응용모델의 Data Flow Diagram ····· 104
3. GIS모델 개발환경 ····· 104
제2절 세부 모듈별 알고리즘 ····· 105
1. 경영입지 및 수확공정에 따른 비용산출 ····· 106
2. 임분의 생산잠재력에 따른 비용산출 ····· 107
3. 시장역산가 방식에 의한 임목가 사정 ····· 108
4. 투자효율성 분석 및 mapping 모듈의 개념도 ····· 109
제3절 사용자 Manual ····· 110
1. 경제성분석 프로그램 ····· 110
2. 적지적수판정 GIS 프로그램 ····· 116
제4절 적용성 검토 ····· 125

제6장 종합결론 및 제언 ····· 131
참고문헌 ····· 133
부록 Ⅰ ····· 137

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

이 연구개발의 목적은 지리정보시스템의 활용을 통하여 경제적·입지적 조건을 고려한 조림수종의 선택과 최소의 비용으로 최대의 수익을 기대할 수 있는 조림수종 선택 지원을 위한 모델 개발로 산주의 경제적 이익의 극대화를 도모하는데 있다.

제 2 절 연구개발의 필요성 및 범위

1. 연구의 배경 및 필요성

가. 기술적 측면

- 현재까지 조림이 실시되기 전에 해당지역에 맞는 수종의 선택에 있어서 입지적·경제적 조건보다는 담당자나 산주의 기호에 의한 선택으로 조림수종이 선정 되어 왔으나 앞으로 국내 자원의 활용 극대화를 위해서는 입지적·경제적 조건을 고려한 조림 수종의 선택이 필요하다. 특히 산림의 면적이 광대하여 개인의 힘으로 임지에 적합한 수종을 선택하는 것이 어렵기 때문에 최근에 활용되고 있는 지리정보시스템을 활용한 적지적수의 시스템의 도입이 필요하다.

나. 경제·산업적 측면

- 지난 수십년간 황폐산지를 복구하고 산림자원을 조성하기 위한 투자가 지속되어 왔으며, 산림에 대한 투자는 국토녹화라는 절대적인 목표를 달성하기 위해 추진되었고 수익성보다는 공공성에 초점을 맞추어 추진하여 왔으나, 앞으로는 산주의 경제적 측면을 고려한 수종의 선택이 필요하다.
  또한 임업의 특성상 주산물인 원목의 생산까지 많은 기간이 소요되기 때문에 조림부터 경제적 조건을 고려하여 이루어져야 한다. 그리고 최근 들어 경제적 관심이

높아지고 있는 단기소득임산물 품목의 조림까지 포함하여 어느 특정 입지에 최적의 수종을 선택하되 경제적 측면을 고려한 시스템의 개발이 절실히 요청되고 있는 실정이다.

다. 사회・문화적 측면

- 산림에 대한 투자를 확대하여 산촌지역 공동체의 유지・활성화를 기하는 것이 시급한 실정이다. 산림에 대한 투자문제는 투자의 안정성과 확실성에 대한 확신이 없기 때문에 야기되는 측면이 강하므로 이를 해결하기 위한 적지판정 시스템의 개발이 필요 하다. IMF 이후 심는 임업에서 가꾸는 임업의 분위기 정착으로 인하여 보다 경제성 있는 산림 조성의 필요성이 대두되고 있는데, 이러한 분위기를 GIS를 이용한 적지판정 모델 개발로 보다 확장시킬 수 있을 것이다.

2. 연구개발의 범위

가. 주요 연구개발 내용

이 연구개발의 주요 내용은 주요 조림수종의 생장함수 개발, 경제성 평가, 그리고 실무자 중심의 적지분석 GIS 모델의 개발에 있다.

- 주요 조림수종의 생장함수 추정
- 주요 조림수종의 경제성 평가
- 주요 조림수종의 입지적 특성 및 경제성을 고려한 적지분석 모델 개발
- 조림실무자들이 손쉽게 활용할 수 있는 프로그램 개발

나. 세부과제별 연구개발 내용

1) 생장함수 추정 (1세부 과제)

제 1세부 과제의 목표는 수치산림입지도를 이용하여 현재 우리나라에서 식재되고 있는 수종 중에서 자원으로서 활용 가치가 높은 주요조림수종을 대상으로 생장함수식을 개발하는데 있다. 이를 위해 먼저, 전국단위로 수치화된 산림입지도에 대한 입지 및 토양관련 인자의 특성과 생장함수 추정을 위한 평가인자에 대하여 검토하였다. 또한 생장함수 추정을 위해서 기존 연구고찰을 통해 수치산림입지도상

의 DB와의 접목가능성을 분석하였고, 입지·토양·기상인자를 동시에 고려한 생장함수를 개발하였다. 마지막으로 수치산림입지도의 활용가능성 및 개선사항을 기술하였다.

가) 1차년도 연구내용

- 기존의 생산함수(지위지수) 추정과 관련한 국내·외 연구결과를 바탕으로 연구의 장단점을 파악하였으며, 이들 생산함수(지위지수)에 관련된 인자들을 파악하였다.
- 현재 구축중인 수치산림입지도의 DB의 내용을 파악하고, 이들 DB중에서 GIS에 적용 가능한 데이터와 그 활용 가능성을 판단하였다.
- 수치산림입지도 DB내용의 정확성을 검증하기 위하여 주요조림수종이 식재되어 있는 사례지 2곳을 선정하여 수치산림입지도상의 DB내용과 실제 현장에서 조사한 내용과의 오차 정도를 검증하였다.
- 기존의 생장함수(지위지수)추정방법으로 사례지 중 1곳을 대상으로 시험·적용해 결과를 도출하였다.

나) 2차년도 연구내용

- 기존의 수종별 수확표 조제에 사용된 지위지수 함수식을 이용하여 지위지수 분류 곡선식을 유도하였고, 토양·입지환경인자에 의한 지위지수 추정 방법론을 고찰하였다.
- 지위지수 추정을 위해 수목의 생장과 밀접한 연관이 있다고 판단되는 토양·입지환경인자를 선정하였다.
- 토양·입지환경인자에 의한 지위지수의 통계적 추정을 위해 전국 수치산림입지도 DB 수정하였고, 향후 GIS 프로그램에서의 분석을 위해 전국 입지도를 이용가능한 파일형태로 변환하였다.
- 수정된 DB를 활용하여 다변량 통계기법 중 하나인 수량화방법 적용방안을 고찰하였다.

다) 3차년도 연구내용

- 지위지수 추정을 위해 기상인자를 고려하였다. 기상인자로는 최근 30년간의 평년값으로 년평균기온과 강우일수를 적용하였다.

- 최종적으로 입지·토양·기상인자를 동시에 고려한 지위지수 함수식을 개발하였다.
- 개발된 지위지수 함수식의 정도를 높이기 위한 수치산림입지도의 개선방안을 검토하였다.

2) 경제성 및 생태적 특성 분석 (2세부 과제)

제 2세부 과제의 목표는 경제성을 고려한 조림수종의 적지를 선정하는데 있어서 주요 조림수종의 생태적 특성을 구명하고, 수종별 수익성을 분석하는데 있다. 이런한 목표를 수행하기 위해 먼저, 수치산림입지도와 수치임상도를 이용하여 전국단위의 임상분포 특성과 수종별 입지환경특성을 분석하였다. 또한 수종별 경제성 분석을 위해 조림수종의 투자실태 및 입지조건에 따른 조림수종의 조림·육림·생산 비용을 파악하였으며, 비용조사와 수입조사를 통해 수익성분석을 실시하였다. 마지막으로 장기 투자판단용 경제성 지표를 개발하였다.

가) 1차년도 연구내용

- 일선 시군의 조림실태를 파악하기 위하여 조림대장을 조사하여 조림면적 및 조림수종을 파악하여 분석하였다.
- 일선 시군 조림대장에 기재된 산주와 산림청에 임업후계자로 등록되어 있는 산주중에서 조림실적이 있는 산주들을 대상으로 설문조사를 실시하여 임업경영에 관심이 있는 산주들의 조림수종, 조림수종 선택기준 등을 조사·분석하였다.
- 수치산림입지도상에 표시되어 있는 Polygon의 면적이 실질적으로 현장의 산림입지환경을 제대로 반영하고 있는가를 조사하였다.
- 주요조림수종의 입지적 환경 및 생리적 특성에 따른 분포한계를 파악하기 위하여 기존 국내·외 연구결과를 근거로 분석·정리하였다.
- 산지의 입지적 환경에 따른 노동력 투입 가중치를 파악하기 위하여 산림조합의 산림작업 담당자들을 대상으로 설문조사를 실시하였다.

나) 2차년도 연구내용

- 수종별 투자비용을 파악하기 위하여 현재 산림청의 표준시업체계를 바탕으로 실질적으로 각 작업별 소요경비를 분석하였으며, 분석에 사용된 단가는 공정을 기하

기 위하여 산림청고시단가를 적용하여 분석하였다.

- 수종별 생산비용을 파악하기 위하여, 목상을 상대로 하여 벌채시 작업공정과 소요되는 경비 및 장비를 파악하였다. 분석에 사용된 단가는 산림청고시단가를 원칙으로 하였으며, 산림청고시단가가 없는 경우에는 목상들이 실질적으로 지불하는 금액을 활용하여 분석하였다.
- 목상 및 산림청에서 파악된 경비를 바탕으로 수종별로 수입액과 수종별 조림·육림 경비, 생산비용을 적용하여 IRR을 계산할 수 있도록 Excel로 작업표를 만들어 IRR을 계산하였다.
- 수종별 생리·생태적 생산 권역 분석을 위하여 수치산림입지도를 하나의 맵으로 만든 후 맵과 맵 사이에 존재하는 사이트의 중복 입력치를 제거한 후 GIS프로그램을 이용하여 전국 분포도를 작성하여다.
- 수종별 생태적 특성이 경제성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 각 입지환경인자간의 최대값과 최소값 차이를 검정하여 지위지수에 미치는 영향을 조사하였으며, 생장이 좋은 지역과 생장이 불량한 지역간의 입지환경인자의 차이를 검정하였다.

다) 3차년도 연구내용

- 수종별 국내 생산동향, 용도, 수급추이를 분석하여 산림시업에 따른 비용 및 수익 산출 알고리즘을 현실적으로 개선하였다.
- 경제성지표와 수치산림입지도상의 인자와의 연계가능성을 검토하였다.

3) 적지적수 판정 GIS 모델 개발 (3세부 과제)

제 3세부 과제의 목표는 조림수종별 생장함수의 추정결과와 경제성 분석 결과를 적용한 GIS 모델 개발에 있다. 이를 수행하기 위해 본 세부과제에서는 기존 연구고찰을 통해 GIS 모델 개발관련 연구방법론을 검토하였다. 이를 토대로 개별 임지의 입지환경 조건에 수종별 생장잠재력 평가 알고리즘을 개발하고 이를 공간상에 mapping하기 위한 모듈을 개발하였다. 또한 임지의 생산성 및 경영여건에 따른 경제성을 분석하기 위한 목적으로 경영입지 분석 결과에 따른 비용산출과 시장역산가 방식에 의해 입목가를 사정할 수 있는 모듈을 개발하였다. 이상의 과정을 거쳐 개발한 모듈들을 통합하여 입지환경별, 수종별 경제성 혹은 투자효율성을 분석할 수 있는 GIS 응용 모델을 개발하고, 그 적용성을 검토하였다.

가) 1차년도 연구내용

- 국내·외의 적지적수 관련 연구고찰을 통하여 입지환경 인자들을 활용하여 지위지수를 평가하기 위한 GIS 응용 접근방식과 이를 통해 주요조림수종의 경제성 및 적지를 평가하기 위한 방법론을 강구하였다.
- GIS를 응용하여 임분의 생장 및 경영여건 등을 분석하는데 활용할 수 있는 자료로 수치임상도, 수치지형도, 수치산림입지도와 관련 기 구축 데이터베이스 등 현시점에 활용이 가능한 FGIS 관련 수치자료를 검토하였다.
- GIS 응용에 의해 임분의 지위지수 판정, 목재생산 입지여건 및 경제성 분석을 수행하기 위한 통합모델의 개념도를 작성하였다.

나) 2차년도 연구내용

- GIS의 공간분석 기능을 활용하기 위한 산림입지분석용 인터페이스 및 mapping용 인터페이스를 개발하고, 이를 임분의 생장 및 생산여건을 분석하기 위한 모듈들과 통합적으로 운용하기 위한 시험모델을 개발하였다.
- 경영입지에 따른 비용산출, 시장역산가 방식에 의한 입목가 사정, 입지별·수종별 생장잠재력 평가 알고리즘을 완성하고, 개별적 분석기능을 지닌 모듈별 알고리즘을 토대로 세부적인 연산체계의 개발 및 프로그램에 착수하였다.

다) 3차년도 연구내용

- 2차년도에 착수한 세부 모듈별 프로그램을 완성하고, 새로운 지위지수 함수식을 적용하기 위한 GIS 응용 지위지수 추정 모듈을 개발하였다.
- 산림의 제반 입지 분석, 임분의 생장 및 생산성 분석, 시장역산가에 의한 입목가 사정, 그리고 투자효율성 분석 등 경제성을 고려한 적지적수 판정을 위한 세부 모듈들을 통합적으로 운용하기 위한 편의프로그램을 개발하였다.
- 연구대상지에 대한 모델의 적용성 검토과정을 통해 알고리즘 혹은 프로그램상의 오류나 문제점을 검토하여 보완하였다.

제 2 장 주요조림수종의 생태적·입지적 특성

조림수종별 적지를 판정하기에 앞서 수종별 전국 분포특성 및 생태적·입지적 특성을 살펴보는 것은 산림자원의 위치적 현황은 물론 생리·생장적 측면에서 수종별 적지를 판정하는데 중요한 가이드라인을 제시할 수 있기 때문이다. 제 2장에서는 현재 우리나라의 산림에 주로 분포하는 10개의 수종 즉, 강원지방소나무, 중부지방소나무, 해송, 리기다소나무, 낙엽송, 잣나무, 상수리, 신갈, 삼나무, 편백에 대한 분포 및 생태적·입지적 특성을 살펴보았다.

제 1 절 수종별 전국 분포특성

우리나라의 황폐했던 산지는 제1차(1973~1978) · 2차(1979~1987) 치산녹화기 및 산지자원화 추진기(1988~1997)를 거치면서 산지 녹화가 성공적으로 이루어졌다. 특히 사방녹화, 조림·육림사업, 산림보호 등의 산림정책은 현재의 임상을 구성하는데 큰 영향을 미쳤다. 그리고 전국 대부분의 산림은 제1차 치산녹화기부터 조림된 잣나무, 낙엽송, 삼나무, 편백 등의 인공림과 고유 수종인 소나무와 참나무 천연림으로 구분할 수 있다.

본 연구에서는 우리나라 주요 임상의 분포특성을 살펴보기 위해 1:25,000 도엽으로 작성된 수치산림입지도(813도엽)를 이용하였으며, 주요조림수종인 소나무류(강원지방소나무, 중부지방소나무, 곰솔, 리기다소나무), 잣나무, 낙엽송, 상수리, 신갈, 편백의 전국적인 분포도를 작성하고 그 특성을 살펴보았다.

분포도의 작성원리는 부정형 폴리곤형태인 입지구획에서 조사된 표준지 자료를 근거로 입지구획별 중심점을 찾아 점(point)형태로 수종의 분포를 표현하였으며, 이를 위해 GIS 프로그램인 Esri 사의 ArcView 3.3을 이용하여 지도병합, 수종검색, 중심점 생성, 속성연결, 중복자료제거, 오류제거 과정을 거쳤다.

1. 수종별 임상분포

가. 강원지방소나무림

강원지방소나무는 금강송, 강송 혹은 춘양목으로도 불리며 수간이 곧고 수피가 얇으며 심재비율이 높아 재질이 우수하며, 귀중한 목재자원으로 가치가 높은 수종이다. <그림2-1-1>에서 나타나는 바와 같이 강원도와 경북의 동북지역에 국한되어 분포하는데, 임경빈 등(1991)에 의하면 해당 지역에 있어서 인위적인 우량목 택벌의 경향이 낮았던 것에 기인한다. 특히 강원지방소나무는 기타 지역의 소나무(*Pinus densiflora*)와 뚜렷한 유전적 차이가 없기 때문에(김진수와 이석우, 1992; 김진수 등 1993), 형질이 우수한 강원지방소나무가 지역적인 한계를 벗어나서 전국적으로 조림될 경우 양호한 생장패턴을 보일 것으로 기대된다(김규식과 한영창, 1997). 강원지방소나무는 강원도 전역과 경북북부에 나타나며 서쪽으로는 춘천, 원주시까지, 남쪽으로는 경북 영양, 울진군까지 분포하였으며, 조사표준지는 11,800개소로 나타났다.

<그림 2-1-1> 강원지방소나무림의 분포

나. 중부지방소나무림

어느 정도 규모 이상의 면적을 가지면서 생육하고 있는 지역을 살펴보면 경기도와 강원도, 전라남도 해안을 제외한 거의 모든 지역에 생육하고 있는 것으로 나타났다. 특히 위도 약 37도 15분을 경계로 위도가 낮은 쪽으로 폭넓게 분포하는 특성을 보였다. 현재 산림입지조사에서 나타난 조사표준지는 31,453개소로 나타났다 <그림2-1-2>.

<그림 2-1-2> 중부지방소나무림의 분포

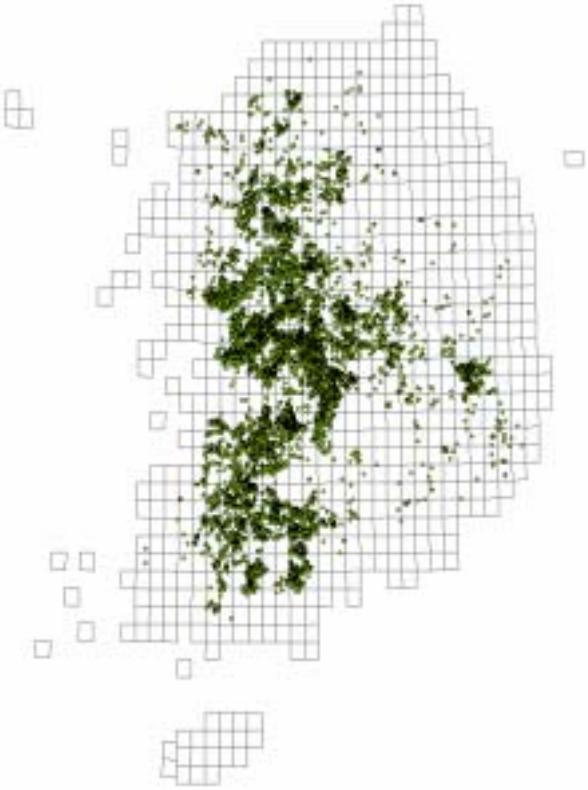
다. 해송(곰솔)림

해송림은 전국 해안을 따라 분포하는 특성이 있었으며, 동·서해보다는 남해쪽으로 분포대가 다소 넓게 형성되어있었다. 그리고 남해안과 동해안 일부 지역에서는 내륙까지 해송림이 분포하고 있는 것으로 나타났다. 상대적으로 남해안에 제일 많이 분포하고 있으며, 동해안은 상대적으로 비율이 낮은 것으로 나타났다. 조사표준지는 11,214개소로 나타났다<그림2-1-3>.

<그림 2-1-3> 해송림의 분포

라. 리기다소나무림

경북 일부를 포함하여 경도 128도 선을 경계로 서쪽으로 대부분 분포하는데 이는 사방녹화를 위해 식재된 이 수종의 특성상 산지가 대체로 낮은 쪽으로 많은 조림이 이루어진 것으로 판단되며, 조사표준지는 8,695개소로 나타났다<그림2-1-4>.



<그림 2-1-4> 리기다소나무림의 분포

마. 낙엽송림과 잣나무림

낙엽송림과 잣나무림의 분포대는 매우 유사한 경향이 있었으며, 잣나무림 보다는 낙엽송림의 분포대가 폭넓게 나타났다. 두 수종 모두 경기도 지역을 중심으로 강원도, 충청도, 경상도 지역까지 많은 분포를 보였으며, 상대적으로 전라도를 비롯한 남부지역에는 적게 나타났다. 낙엽송림과 잣나무림의 조사표준지는 각각 10,493개소와 3,034개소로 나타났다<그림2-1-5>.

<그림 2-1-5> 낙엽송림(왼쪽)과 잣나무림(오른쪽)의 분포

바. 상수리림

상수리림은 우리나라 전역에 고루 분포하는 것으로 나타났다. 특히 경기도, 충청남도, 충청북도의 경우 거의 모든 시군에서 집중적으로 나타난 반면 강원도, 전라북도, 전라남도, 경상북도와 경상남도에서는 일부 시군에서 부분적으로 나타나는 특성을 보였다. 조사표준지는 14,690개소로 나타났다<그림2-1-6>.

<그림 2-1-6> 상수리림의 분포

사. 신갈림

상수리림과 마찬가지로 우리나라 전역에 걸쳐 나타났으나 강원도를 포함하여 경기북부지역에 주로 분포하였으며, 충청도, 전북 및 경남 일대에 부분적인 분포를 보였다. 수치입지도상의 신갈림 조사표준지는 5,967개소로 나타났다<그림2-1-7>.

<그림 2-1-7> 신갈림의 분포

아. 삼나무림과 편백림

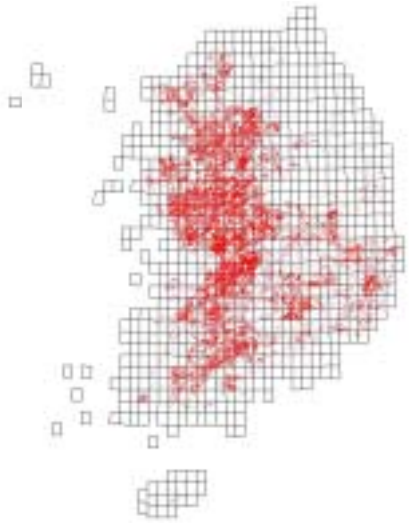
수치입지도상의 삼나무림과 편백림의 분포를 살펴보면, 삼나무림의 경우 전라도 일부지역에서 나타나고 있으며, 강원도 지역에 나타난 것은 삼나무의 조사과정이나 전산입력상의 에러로 파악된다. 그리고 편백림은 전라남도, 경상남도 일부 지역에 분포하고 있는 것으로 나타났다. 삼나무림과 편백림의 조사표준지는 각각 49개소와 81개소로 나타났다. 이 외에도 현재 수치입지도상에서는 나타나지 않으나 제주도에 삼나무림이 다소 분포하는 것으로 조사되어 수치입지도의 수정이 이루어지고 있다<그림2-1-8>.

<그림 2-1-8> 삼나무림(왼쪽)과 편백림(오른쪽)의 분포

2. 수치임상도상의 임상분포

한편 우리나라의 경우 전국의 산림을 대상으로 수치임상도를 구축하여 임상별 영급, 경급, 소밀도의 정보를 제공하고 있다. 이러한 수치임상도 상의 임상분포는 [그림]과 같다. 수치입지도상의 수종분포와 수치임상도상의 임상분포가 매우 유사한 결과를 보여주고 있다<그림2-1-9>.

(a) 소나무림



(b) 리기다소나무림

(c) 낙엽송림

(d) 잣나무림

<그림 2-1-9> 수치임상도상의 임상별 분포

제 2 절 수종별 생태적·입지적 특성

<표 2-2-1>는 우리나라 주요 조림수종의 생태적·입지적 특성과 관련된 기존 연구결과를 보여주고 있다. 이 표에 따른 연구결과들을 보면 각 수종의 분포특성을 보여주는 것으로 임분의 생장특성이나 지위지수를 추정하는데 필요한 주요 인자들이 고려되지 않았음을 알 수 있다. 특히 임목의 생장은 다양한 토양·입지·기상적 인자에 의해 영향을 받게 되므로 현실적으로 이러한 모든 인자를 고려하여 수종별 생장과 적지를 구명한다는 것이 쉽지 않다.

<표2-2-1> 주요 조림수종의 생리·생태적 특성

수종명	생리·생태적 특성	연구자	연구년도
잣나무	기상변동에 아주 민감하게 반응하는 수종	한상섭 박완근	1988
	깊은 토심 일사량이 풍부한 곳(남부지방 1000m,중부지방은 300m) 생육범위는 년평균기온 7℃ 전후, 생육기(3~10월)의 평균기온이 12℃	노의래	1988
낙엽송	표고 1,250m 이하의 해변지역 제외 깊은 토심	-	-
해송	북위 35°이남 지역에서는 550m 이하 북위 35°이북 지역쪽에서는 100m 이하	이강녕	1986
	년평균기온 12℃ 동계기간의 평균기온이 2℃ 이상인 곳	노의래	1988
리기다소나무	토양형, 견밀도, 토성이 생육에 영향을 미침	김태훈	1992
삼나무	년평균기온이 12~14℃ 강수량이 풍부한 곳	-	-
편백	연평균기온 12℃ 이상 한량지수(Coldness index) -15℃ 이상 년평균강수량 1,200㎜ 이상 바람에 노출이 적은 북향사면 표고는 300m 이하	-	-
상수리	수직적 분포는 해발고 800m 이하 산록양지 및 구릉지대	서민환	1995
	토심이 깊은 곳 평균기온 11℃ 전후 생육기(3~10월)의 평균기온이 16℃ 전후	노의래	1988
고로쇠	온량지수 50~90℃ Holdridge지수 6~12℃인 냉온대림 지역 산록, 산복의 계곡부 남향사면	농림부	2001

따라서 현재 우리나라에 분포하여 생장하고 있는 수종의 생태적 특성을 살펴봄으로써 수종별 적지 판정을 위한 하나의 대안이 될 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 특성분석을 위해 수치산림입지도상의 조사자료에 대한 빈도분석을 실시하였다. 한편 이 연구에서는 수종별 적지를 임분 생장의 관점에서 지위지수가 높은 표준지를 해당수종의 적지라 가정하였다. 즉, 각 수종별 지위지수를 기준으로 상위 30%를 적지로 임의 구분하였고, 그 나머지 70%는 상대적으로 임분의 생장이 떨어지는 것으로 간주하였다.

그리고 지위지수 상·하위 그룹사이의 입지환경인자간의 분포특성에 대한 유의성 검증을 수행하고, 지위지수 상위 그룹의 자료에 대해 빈도분석을 실시하여 그 입지환경특성을 살펴보았다.

그 결과 수종별 지위지수 상·하위 그룹사이의 입지환경인자간의 유의성 검증결과 수종별로 대부분의 인자간에 유의성이 있는 것으로 나타났으나 해송(방위), 리기다소나무(토양B층 유기물), 신갈(모암, 방위), 잣나무(모암, 경사, 표고, 방위, 토양B층 유기물)의 해당인자들은 유의성이 나타나지 않았다.

<표 2-2-2>~<표 2-2-9>는 수종별 지위지수 상위 30%에 해당하는 수치입지도상의 입지환경인자에 대한 빈도분석 결과를 보여주고 있다. 입지환경인자별로 빈도가 높게 나타나는 항목이 대체로 해당수종의 생장에 좋은 영향을 미치는 것으로 판단된다. 다만, 여기서 삼나무 및 편백은 자료상의 문제로 인해 분석에서 제외하였다.

○ 강원지방소나무

강원지방소나무의 생장이 좋은 곳은 산록이면서 하강사면이고, 표고는 600m 이상, 토양특성으로 모암은 변성암, 퇴적양식은 보행토와 붕적토이며 토양유기물의 함양이 많고, 토양 견밀도는 '송' 그리고 토양건습도는 습하지 않은 곳으로 나타났다.

<표 2-2-2> 강원지방소나무 지위지수 상위 그룹의 입지인자 특성

인자	항목	빈도	인자	항목	빈도
지형	산정	20	A층 유기물	약간있다	6
	산복	95		있다	55
	산록	221		많다	172
모암	화성암	85		매우많다	103
	퇴적암	58	B층 유기물	약간있다	25
	변성암	193		있다	276
경사 (도)	> 30	56		많다	34
	25-30	143		매우많다	1
	20-25	91	A층 건습도	건조	27
	15-20	40		약건	153
	<15	6		약습	0
표고 (m)	>800	65		적윤	156
	700-800	72		습	0
	600-700	66	B층 건습도	건조	20
	500-600	43		약건	81
	400-500	35		약습	22
	300-400	24		적윤	213
	200-300	15		습	0
	100-200	10	A층 견밀도	강견	1
	<100	6		견	3
퇴적양식	잔적토	27		연	55
	보행토	169		송	164
	붕적토	140		심송	113
경사형태	상승사면	25	B층 견밀도	강견	3
	평행사면	96		견	42
	하강사면	215		연	111
방위	동	41		송	179
	서	34		심송	1
	남	30	유효토심 (cm)	-	10~52
	북	55			
	북동	43	전토심 (cm)	-	27 이상
	북서	54			
	남동	26	표본수(N = 336)		
	남서	53			

○ 중부지방소나무

중부지방소나무의 지위가 높은 곳은 산복 및 산록에 위치하며, 경사는 15-30도 사이이며 표고는 500m 이하, 경사형태는 평행과 하강사면 지형으로 나타났으며, 토양특성으로 모암은 화성암, 퇴적양식은 보행토와 붕적토이며 A층 건습도는 약건이면서 B층 건습도는 적윤하며, 견밀도는 송 이하로 매우 부드러운 토양 특성을 보였다.

<표 2-2-3> 중부지방소나무 지위지수 상위 그룹의 입지인자 특성

인자	항목	빈도	인자	항목	빈도
지형	산정	72	A층 유기물	약간있다	9
	산복	357		있다	275
	산록	475		많다	548
모암	화성암	504		매우많다	72
	퇴적암	142	B층 유기물	약간있다	83
	변성암	258		있다	718
경사 (도)	> 30	97		많다	93
	25-30	257		매우많다	10
	20-25	249	A층 건습도	건조	93
	15-20	218		약건	440
	<15	83		약습	5
표고 (m)	>800	9		적윤	366
	700-800	10		습	0
	600-700	32	B층 건습도	건조	50
	500-600	74		약건	242
	400-500	104		약습	10
	300-400	117		적윤	599
	200-300	219		습	3
	100-200	229	A층 견밀도	강견	0
	<100	110		견	3
퇴적양식	잔적토	90		연	8
	보행토	498		송	394
	붕적토	316		심송	499
경사형태	상승사면	81	B층 견밀도	강견	0
	평행사면	509		견	0
	하강사면	314		연	0
방위	동	79		송	817
	서	88		심송	87
	남	85	유효토심 (cm)	-	4~51
	북	95			
	북동	138	전토심 (cm)	-	8 이상
	북서	130			
	남동	152	표본수(N = 904)		
	남서	137			

○ 리기다소나무

리기다소나무의 지위가 높은 곳은 산록에 위치하며, 경사는 15-25도 사이에 표고는 500m 이하, 경사형태는 평행과 하강사면 지형으로 나타났으며, 토양 특성으로 모암은 화성암, 퇴적양식은 보행토이며 A층 건습도는 약건이면서 B층 건습도는 적윤하며, A층 견밀도는 송, B층 견밀도는 연으로 부드러운 토양 특성을 보였다.

<표 2-2-4> 리기다소나무 지위지수 상위 그룹의 입지인자 특성

인자	항목	빈도	인자	항목	빈도
지형	산정	25	A층 유기물	약간있다	4
	산복	69		있다	120
	산록	119		많다	78
모암	화성암	100		매우많다	11
	퇴적암	15	B층 유기물	약간있다	37
	변성암	98		있다	165
경사 (도)	> 30	12		많다	7
	25-30	48		매우많다	4
	20-25	77	A층 건습도	건조	42
	15-20	65		약건	122
	<15	11		약습	0
표고 (m)	>800	1		적윤	49
	700-800	1		습	0
	600-700	5	B층 건습도	건조	24
	500-600	7		약건	130
	400-500	7		약습	1
	300-400	30		적윤	58
	200-300	78		습	0
	100-200	63	A층 견밀도	강견	1
	<100	21		견	11
퇴적양식	잔적토	41		연	46
	보행토	103		송	136
	붕적토	69		심송	19
경사형태	상승사면	38	B층 견밀도	강견	15
	평행사면	114		견	46
	하강사면	61		연	113
방위	동	24		송	38
	서	20		심송	1
	남	19	유효토심 (cm)	-	7~55
	북	31			
	북동	29	전토심 (cm)	-	12 이상
	북서	37			
	남동	29	표본수(N = 213)		
	남서	24			

○ 해송

해송의 지위가 높은 곳은 산록에 위치하며, 경사는 20-30도 사이에 표고는 200m 이하, 경사형태는 평행과 하강사면 지형으로 나타났으며, 토양 유기물 함양이 많고, 토양 특성으로 모암은 퇴적암, 퇴적양식은 보행토이며 A층 건습도과 B층 건습도는 약건이며, A층 견밀도는 송이고 B층 견밀도는 연으로 부드러운 토양 특성을 보였다.

<표 2-2-5> 해송 지위지수 상위 그룹의 입지인자 특성

인자	항목	빈도	인자	항목	빈도
지형	산정	10	A층 유기물	약간있다	10
	산복	73		있다	161
	산록	229		많다	138
모암	화성암	56		매우많다	3
	퇴적암	173	B층 유기물	약간있다	74
	변성암	83		있다	230
경사 (도)	> 30	19		많다	6
	25-30	140		매우많다	2
	20-25	89	A층 건습도	건조	11
	15-20	49		약건	274
	<15	15		약습	0
표고 (m)	>800	0		적윤	27
	700-800	0		습	0
	600-700	1	B층 건습도	건조	6
	500-600	0		약건	222
	400-500	4		약습	0
	300-400	6		적윤	84
	200-300	27		습	0
	100-200	145	A층 견밀도	강견	1
	<100	129		견	4
퇴적양식	잔적토	19		연	56
	보행토	223		송	244
	붕적토	70		심송	7
경사형태	상승사면	8	B층 견밀도	강견	3
	평행사면	246		견	27
	하강사면	58		연	188
방위	동	10		송	94
	서	26		심송	0
	남	25	유효토심 (cm)	-	12~49
	북	19			
	북동	48	전토심 (cm)	-	24 이상
	북서	90			
	남동	37	표본수(N = 312)		
	남서	57			

○ 낙엽송

낙엽송의 지위가 높은 곳은 산록에 위치하며, 표고는 400m 이하, 경사는 20-30도 사이에 경사형태는 평행과 하강사면 지형으로 나타났으며, A층 토양 유기물 함양이 많고, 토양 특성으로 모암은 화성암과 변성암, 퇴적양식은 보행토와 붕적토이며 A층 건습도는 약건이나 적윤이면서 B층 건습도는 적윤인 특성을 보였으며, A층 견밀도는 송 이하이며 B층 견밀도는 송으로 매우 부드러운 토양 특성을 보였다.

<표 2-2-6> 낙엽송 지위지수 상위 그룹의 입지인자 특성

인자	항목	빈도	인자	항목	빈도
지형	산정	5	A층 유기물	약간있다	0
	산복	72		있다	25
	산록	247		많다	173
모암	화성암	156		매우많다	126
	퇴적암	25	B층 유기물	약간있다	3
	변성암	143		있다	278
경사 (도)	> 30	17		많다	38
	25-30	118		매우많다	5
	20-25	95	A층 건습도	건조	4
	15-20	64		약건	123
	<15	30		약습	1
표고 (m)	>800	19		적윤	196
	700-800	33		습	0
	600-700	38	B층 건습도	건조	2
	500-600	40		약건	56
	400-500	32		약습	26
	300-400	62		적윤	239
	200-300	62		습	1
	100-200	34	A층 견밀도	강견	0
	<100	4		견	1
퇴적양식	잔적토	9		연	42
	보행토	113		송	166
	붕적토	202		심송	115
경사형태	상승사면	16	B층 견밀도	강견	2
	평행사면	95		견	33
	하강사면	213		연	102
방위	동	34		송	176
	서	25		심송	11
	남	24	유효토심 (cm)	-	12~66
	북	47			
	북동	58	전토심 (cm)	-	40 이상
	북서	65			
	남동	32	표본수(N = 324)		
	남서	39			

○ 잣나무

잣나무의 지위가 높은 곳은 산록에 위치하며, 표고는 400m 이하, 경사는 15-30도 사이에 경사형태는 평행과 하강사면 지형으로 나타났으며, A층 토양 유기물 함양이 많고, 토양 특성으로 모암은 화성암과 변성암, 퇴적양식은 붕적토이며 A층 건습도는 약건이나 적윤이면서 B층 건습도는 적윤인 특성을 보였으며, A층 견밀도는 송 이하이며 B층 견밀도는 송으로 매우 부드러운 토양 특성을 보였다.

<표 2-2-7> 잣나무 지위지수 상위 그룹의 입지인자 특성

인자	항목	빈도	인자	항목	빈도
지형	산정	4	A층 유기물	약간있다	0
	산복	27		있다	11
	산록	62		많다	52
모암	화성암	32		매우많다	30
	퇴적암	5	B층 유기물	약간있다	4
	변성암	56		있다	80
경사 (도)	> 30	13		많다	8
	25-30	26		매우많다	1
	20-25	28	A층 건습도	건조	4
	15-20	19		약건	43
	<15	7		약습	0
표고 (m)	>800	2		적윤	46
	700-800	4		습	0
	600-700	6	B층 건습도	건조	2
	500-600	4		약건	19
	400-500	6		약습	2
	300-400	27		적윤	70
	200-300	24		습	0
	100-200	20	A층 견밀도	강견	0
	<100	0		견	1
퇴적양식	잔적토	7		연	6
	보행토	35		송	42
	붕적토	51		심송	44
경사형태	상승사면	6	B층 견밀도	강견	1
	평행사면	33		견	6
	하강사면	54		연	26
방위	동	7		송	50
	서	7		심송	10
	남	4	유효토심 (cm)	-	14~41
	북	15			
	북동	18	전토심 (cm)	-	32 이상
	북서	22			
	남동	10	표본수(N = 93)		
	남서	10			

○ 상수리

상수리의 지위가 높은 곳은 산록에 위치하며, 표고는 300m~100m 사이이고, 경사는 15-30도 사이에 경사형태는 평행과 하강사면 지형으로 나타났으며, A층과 B층의 토양 유기물 함양이 많고, 토양 특성으로 모암은 화성암과 변성암, 퇴적양식은 보행토와 붕적토이며 A층 과 B층의 건습도는 약건이나 적윤인 특성을 보였으며, A층 견밀도는 연 이하이며 B층 견밀도는 연으로 부드러운 토양 특성을 보였다.

<표 2-2-8> 상수리 지위지수 상위 그룹의 입지인자 특성

인자	항목	빈도	인자	항목	빈도
지형	산정	10	A층 유기물	약간있다	2
	산복	62		있다	113
	산록	342		많다	211
모암	화성암	152		매우많다	88
	퇴적암	53	B층 유기물	약간있다	28
	변성암	209		있다	283
경사 (도)	> 30	36		많다	80
	25-30	102		매우많다	23
	20-25	131	A층 건습도	건조	13
	15-20	114		약건	172
	<15	31		약습	1
표고 (m)	>800	23		적윤	228
	700-800	5		습	0
	600-700	24	B층 건습도	건조	10
	500-600	28		약건	119
	400-500	28		약습	5
	300-400	43		적윤	280
	200-300	86		습	0
	100-200	140	A층 견밀도	강견	0
	<100	37		견	5
퇴적양식	잔적토	19		연	117
	보행토	136		송	205
	붕적토	259		심송	87
경사형태	상승사면	16	B층 견밀도	강견	2
	평행사면	137		견	77
	하강사면	261		연	269
방위	동	38		송	65
	서	41		심송	1
	남	18	유효토심 (cm)	-	12~50
	북	77			
	북동	72	전토심 (cm)	-	31 이상
	북서	51			
	남동	63	표본수(N = 414)		
	남서	54			

○ 신갈

신갈의 지위가 높은 곳은 산복과 산록에 위치하며, 표고는 600m 이상이고, 경사는 15-30도 사이에 경사형태는 평행과 하강사면 지형으로 나타났으며, A층과 B층의 토양 유기물 함양이 많고, 토양 특성으로 모암은 변성암, 퇴적양식은 보행토와 붕적토이며 A층 과 B층의 건습도는 약건이나 적윤인 특성을 보였으며, A층 견밀도는 송 이하이며 B층 견밀도는 연과 송으로 부드러운 토양 특성을 보였다.

<표 2-2-9> 신갈 지위지수 상위 그룹의 입지인자 특성

인자	항목	빈도	인자	항목	빈도
지형	산정	4	A층 유기물	약간있다	0
	산복	72		있다	20
	산록	94		많다	71
모암	화성암	47		매우많다	79
	퇴적암	43	B층 유기물	약간있다	10
	변성암	80		있다	105
경사 (도)	> 30	28		많다	45
	25-30	51		매우많다	10
	20-25	39	A층 건습도	건조	3
	15-20	47		약건	81
	<15	5		약습	6
표고 (m)	>800	32		적윤	80
	700-800	35		습	0
	600-700	33	B층 건습도	건조	1
	500-600	16		약건	61
	400-500	15		약습	13
	300-400	26		적윤	95
	200-300	8		습	0
	100-200	5	A층 견밀도	강견	0
	<100	0		견	0
퇴적양식	잔적토	4		연	31
	보행토	88		송	94
	붕적토	78		심송	45
경사형태	상승사면	6	B층 견밀도	강견	2
	평행사면	93		견	38
	하강사면	71		연	76
방위	동	13		송	53
	서	11		심송	1
	남	15	유효토심 (cm)	-	11~42
	북	19			
	북동	25	전토심 (cm)	-	28 이상
	북서	30			
	남동	25	표본수(N = 170)		
	남서	32			

제 3 장 생장함수 추정

생태적·경제적 관점에서 수종별 적지를 판정하기 위해서는 임지의 입지환경 특성에 따른 잠재생장력과 일련의 산림경영(조림에서 수확까지) 과정에서 발생하는 비용 및 수익모델이 필요하다. 이러한 모델을 개발하는데 있어서 수치산림입지도는 지형, 임상 및 제반 입지에 관한 다양한 자료를 포함하고 있어 임지의 잠재생장력 및 경제성을 해석하는데 요구되는 기초자료를 제공할 수 있다.

제 1 절 수치산림입지도의 검토

1. 수치산림입지도

수치산림입지도는 산림청 산하기관인 국립산림과학원에서 산림의 과학적 관리에 필요한 입지환경정보의 제공을 목적으로 1995년부터 2001년까지 전국 산지를 대상으로 산림입지를 조사하여 수치화 한 것으로 2004년 후반기에 수치화작업이 완료되었다. 산림입지도의 속성자료는 <표 3-1-1>에서와 같이 크게 입지환경인자, 지위지수산정인자, 토양환경인자로 구분할 수 있으며, 이들 속성자료들은 자료의 형태에 따라 수목의 생장을 해석하는데 필요한 정보를 제공한다.

수치산림입지도에 포함된 데이터의 내용을 확인한 결과, 주요 조림수종인 잣나무, 낙엽송, 리기다소나무, 상수리나무, 중부지방 소나무와 삼나무, 편백, 해송에 대한 지위지수가 조사되어 있으며, 특히 임목생장력을 추정하기 위한 수고, 수령 등 임목에 대한 정보가 속성정보로 포함되어있다. 따라서 수치산림입지도의 자료를 이용하여 입지환경자료, 토양자료에 의한 임목의 생장함수 추정이 가능하다.

<표 3-1-1> 수치산림입지도의 속성정보

분류	속성정보				
	인자		카테고리	자료 형태	활용 여부
입지 환경 인자	모암		화성암:퇴적암:변성암	명목	◎
	표고		<100m:100-200:……:1200-1300m	등간	◎
	경사		<15°:15-20:……:≥30°	등간	◎
	지형		평탄:완구릉:산록:산복:산정	명목	◎
	기후대		온대북부:온대중부:온대남부:난대	서열	◎
	방위		8방위+무방위	명목	◎
	경사형태		상승사면:평행사면:하강사면	명목	◎
	풍화정도		상:중:하	서열	△
	퇴적양식		잔적토:보행토: 적토	명목	◎
	능선대계곡비		1-10/10부	서열	△
	토양배수		불량:보통:양호:매우양호	서열	◎
	풍 노출도		노출:보통:보호	서열	△
	침식상태		없다:있다:많다	서열	△
	암석노출도		<10%: 10-30: 30-50: 50-75%	서열	△
지위 지수 산정	수종		주요조림수종 낙엽송 외 9개수종	명목	◎
	수고		우세목 5본의 수고	비율	◎
	지위지수		수종별 지위지수	비율	◎
	지위급		수종별 지위별 지위급	비율	△
토양 환경 인자 (A층, B층)	층계		명확:판연:점변:불명	서열	△
	토심		실측치(cm)	비율	◎
	유효 토심		실측치(cm)	비율	◎
	토색		토색첩에의거 분류	명목	△
	유기물		약간있다:있다:많다:아주많다	서열	△
	토성		S(사토): Si(미사토): C(점토) 등	명목	△
	구조형태		입상:단립:세립:……:괴상:무구조	명목	△
	석력함량		<5%: 5-15: 15-30: 30-50%	서열	△
	건습도		건조:약건:적윤:약습:습	서열	◎
	견밀도		심송:송:연:견:강견	서열	◎
	균사・균근		없다:적다:있다:많다	서열	△
	식물근	초본	많다:있다:적다	서열	△
		목본 소	많다:있다:적다	서열	△
		목본 중	많다:있다:적다	서열	△
		목본 대	있다:없다	명목	△

* 토양환경인자의 경우 A층과 B층으로 구성

* 생장함수 추정을 위한 자료 활용 가능성 : ◎-적극 활용, △-활용 가능

2. 수치산림입지도 DB의 정확성 검토

수치산림입지도 DB의 정확성 검토를 위해 주요조림 수종이 다양하게 나타나고 있는 서울대 태화산 연습림과 해송, 편백 및 삼나무의 3개 수종이 동시에 출현하는 제주도를 선정하였다<표 3-1-2>.

<표 3-1-2> 수치산림입지도 DB의 정확성 검토대상지

시범지 위치	주요 조림 수종	검토내용
경기도 광주군 도척면 (서울대 태화산 연습림)	낙엽송, 잣나무, 소나무, 상수리나무	수치산림위치도상의 조림수종 확인
제주도 서귀포시 상효동 (제주임업시험장 시험림)	해송, 편백, 삼나무	조림지 확인 및 수치산림입지도 현지대조

가. 대상지 개황

경기지역의 시범지는 태화산(800ha)을 중심으로 한 온대 중부권의 산림지역으로 토양은 갈색산림토양이 주로 분포하고 있다. 조사 지역의 수종은 이미 조사된 임상도를 기본도로 하여 잣나무, 낙엽송, 리기다소나무, 상수리나무, 중부지방소나무의 분포를 확인하고, 각각 수종의 조림지에 대한 입지환경과 토양 환경 인자를 현지에서 조사하였다<표 3-1-2>.

제주지방은 산림기후대가 수평적으로 난대 수직적으로 난대에서 온대북부, 한대가 분포하는 지역이다. 이 연구의 주요 조림수종으로 삼나무와 편백, 해송이 난대 지역에 분포하는 지역이다. 제주(난대)지역의 시범지는 국립산림과학원 난대연구소의 시험림을 조사하였다. 시범지의 토양은 대부분 화산회성 토양으로 건조한 토양에서부터 약습한 토양까지 다양하게 나타났다. 시범지에는 삼나무와 편백이 고르게 분포하고 있으며 그 밖에 신갈나무가 분포하고 있다.

나. 정확성 검토

검토대상지의 입지 및 토양환경에 대하여 수치산림입지도상의 속성정보와 비교하였다<표 3-1-3>. 현지조사로부터 얻어진 입지환경과 토양환경인자와 수치산림입지도상의 속성인자와 비교한 결과 퇴적양식, 방위, 풍화정도, 유효 토심, 토심, 토색 인자는 현지조사로부터 얻어진 결과가 정확하였으며, 경사형태,

토성, 건습도, 견밀도 등은 수치산림입지도의 속성정보를 활용하여도 문제가 없는 것으로 분석되었다. 따라서 생장함수 추정을 위해 수치산림입지도의 입지 및 토양관련 자료를 적극적으로 이용하였다.

<표 3-1-3> 사례지의 입지 및 토양환경과 수치산림입지도상의 DB의 비교·검토

조사항목	경기지역		제주도		비고
	현지조사	수치입지도	현지조사	수치입지도	
모암	변성암	변성암	화산암	화성암	지질도
기후대	온대중부	온대중부	난대	온대남부	산림대
퇴적양식	잔적토,붕적토	잔적토	잔적토,보행토	붕적토	조사점에 따라 상이
침식상태	있다, 없다	없다	있다, 없다	없다. 있다	이상 없음
표고	350m	300-400m	500m	400-500m	카테고리로 조사
방위	SE, S	SE	SE, S	NE, SE, S	조사점에 따라 상이
능선대계곡비	8/10	8/10	6/10	5/10	이상 없음
암석노출도	20%	10-30%	20%	10-30%	카테고리로 조사
경사	22°	15-20°	30°	20-25°	카테고리로 조사
경사형태	평행사면	평행사면	평행사면	평행사면	이상 없음
토양배수	양호, 보통	보통	불량	양호	이상 없음
유효 토심	25cm	23cm	22cm	24cm	조사점에 따라 차이
지형	산복	산복	산복	산복	이상 없음
풍화정도	중, 하	중	중	중	조사점에 따라 차이
풍 노출도	보통	보통	노출, 보통	보통	이상 없음
토양형	B1, B2	B1	Va-gr	Va-gr	이상 없음
토심	A(10cm) B(35cm)	A(6cm) B(39cm)	A(15cm) B(75cm)	A(10cm) B(60cm)	조사점에 따라 차이
토색	7.5YR4/4 7.5YR6/8	7.5YR4/4 7.5YR4/6	7.5YR4/4 7.5YR4/8	7.5YR4/4 7.5YR4/6	조사점에 따라 차이
유기물	있다,약간있다	있다	많다	많다,매우많다	이상 없음
토성	사양토,양토, 미사질양토	사양토	미사	미사질양토 양토	이상 없음
구조	입상,견과상, 단립	세립상, 견과상	입상	입상, 견과상	이상 없음
석력	10%,20%	5-10%,15-30 %	10%	10-30%	카테고리로 조사
건습도	A(약건) B(약건)	A(건조) B(약건)	A(약건) B(약건)	A(약건) B(약건)	이상 없음
견밀도	A(1.0) B(1.5)	A(0.5-1.0) B(1.0-1.5)	A(0.5) B(1.0)	A(0.6) B(1.0)	이상 없음
균/근사	없다	없다	없다	없다	이상 없음
초본	있다	적다	적다	적다	이상 없음
목본1	있다	적다	있다	적다	이상 없음
목본2	적다	적다	있다	적다	이상 없음
목본3	없다	없다	적다	적다	이상 없음

제 2 절 생장함수 추정을 위한 연구 방법론 검토

수종에 대한 임지의 생산력 혹은 비옥도는 임분을 구성하는 우세목 혹은 준우세목의 평균 수고를 지수화 한 지위지수(site index)로 표현할 수 있다. 즉, 어떤 수종으로 구성된 임분의 나이와 우세목 및 준우세목의 평균 수고를 조사하여 지위지수곡선(site index curve)에 적용함으로써 그 임분의 지위지수를 결정할 수 있다.

그러나 수종별로 다양한 입지적 특성을 반영할 수 있는 지위지수곡선을 조제하는 일은 방대한 산림면적에 대해 정확한 자료수집 및 분석을 요구하므로 많은 비용과 시간이 소요되어 현실적으로 쉽지 않은 일이다. 특히 우리나라 산림의 경우 복잡한 지형적 요인 외에도 4영급 이하의 어린 임분들이 많고 다양한 수종이 혼재하는 경우가 많아 적용가능한 지위지수곡선을 만드는 일이 더욱 어렵다고 할 수 있다.

따라서 이런 사정 등으로 인해 과거 우리나라에서는 지위지수곡선의 조제에 관한 연구나 실무 임업현장에서의 사용이 일반화되지 못했었다. 그러나 1960년대 이래 조성된 인공림이 성장하고, 임분 단위의 집약적 산림경영이 요구되면서 임지의 생산력을 측정할 수 있는 과학적인 지위지수 판정 방법이 점차 자리를 잡아가고 있다.

문헌고찰에 의하면 지위지수 추정과 관련하여 국립산림과학원에서는 1964년부터 1977년까지 강원지방소나무・낙엽송・리기다소나무・중부지방소나무・이태리포플러・편백・삼나무의 7개 수종에 대해 지위지수곡선을 조제하였다. 그리고 1985년부터 1987년까지 곰솔・잣나무・상수리・신갈나무의 4개 수종에 대해 전국 단위의 지위지수곡선을 조제한 바 있다.

또한 입지환경 인자로부터 지위지수를 추정할 수 있다면 보다 효과적인 방안이 될 수도 있다(Bruce and Schumacher, 1950; Clutter *et al*., 1983). 즉, 임분을 구성하는 수종별 임목의 생장은 제반 토양, 수분, 지형적 입지인자들과의 상호관계에 의해 결정된다고 보고 관련 입지인자들과 임분 생장과의 관계를 규명함으로써 지위지수를 추정하자는 것이다. 이러한 접근방법과 관련하여 이미 국내에서도 마상규(1974), 정인구(1981), 김규헌 등(1987, 1988) 및 손영모와 정영관(1994) 등이 수량화 분석을 통해 지위지수를 추정한 연구결과를 발표한 바 있다.

산림입지환경 인자들과 관련해서는 1995년부터 2004년에 걸쳐 산림청이 주관하여 조사한 산림입지조사자료를 활용할 수 있다. 이 조사는 전국의 산림을 대상으로 수행되었으며 최소 임분의 크기를 3ha로 한정하여 매우 정밀한 입지조사 결과를 제시하고 있어 지역별·수종별 지위지수를 추정하기 위한 목적으로 활용할 수 있다.

이상의 방법으로 임지의 생산력을 추정하고, 입지 또는 수종별로 조림에서 수확까지 발생하게 되는 비용과 수익을 분석하여 종합함으로써 최종적인 주요조림수종의 적지를 판정할 수 있다. 이를 위해서는 무엇보다도 임지의 생산력을 보다 정확하게 추정할 수 있는 생장함수의 개발이 필요하다. 수치산림입지도 및 관련 DB는 이러한 수종별 생장함수의 개발과 경제성을 분석하는데 있어서 중요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

1. 지위지수곡선식을 이용한 지위지수 추정

우리나라의 경우 임지의 생산력에 관한 연구가 많이 수행되지 못해 수종별 지위지수 곡선이 충분하지 못한 실정이다. 현재 사용할 수 있는 지위지수곡선은 1964~1977년까지 낙엽송 외 6종, 1985~1987년까지 곰솔 외 3종으로 총 11종에 국한되고 있다. 그나마 이러한 지위지수 곡선들은 대개 전국의 임상을 대표하는 형태로 만들어져 지역별 토양, 기상조건 등을 충분히 고려할 수 있도록 만들어지지 못한 것으로 판단된다<표 3-2-1>.

또한 지위지수곡선식에 사용된 함수식으로 임령이 증가할수록 과대치를 형성하는 곡선식을 사용함으로써 현실적인 임목의 생장과는 다소 차이가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 향후 지위지수곡선표 조제 시 Chapman-Richards, Weibull, Gompertz 등 학술적 검증이 선행된 비선형생장함수식의 적용이 필요하다고 판단된다.

<표 3-2-1> 지위지수곡선을 통한 지위지수 추정연구 결과 리스트

수 종	함수식	적용범위	출 처
낙엽송	$H = aT^{b}e^{c/T}$	전국	김동춘(1967)
잣나무	$H = aT^{b}e^{c/T}$	전국	유진우 등(1986)
중부소나무	$H = aT^{b}e^{c/T}$	전국	이홍균(1971)
강원소나무	$H = aT^{b}e^{c/T}$	전국	김동춘(1965)
리기다소나무	$H = aT^{b}e^{c/T}$	전국	이홍균(1969)
곰솔	$H = aT^{b}e^{c/T}$ Gompertz 생장모형	전국 지역	이홍균 등(1985) 박명숙 등(1999)
상수리	$H = aT^{b}e^{c/T}$	전국	유진우 등(1986)
신갈	$H = aT^{b}e^{c/T}$	전국	유진우 등(1987)
편백	$H = aT^{b}e^{c/T}$	전국	김동춘 등(1977)
삼나무	$H = aT^{b}e^{c/T}$	전국	김동춘 등(1977)
이태리포플러	$H = aT^{b}e^{c/T}$	전국	이승윤 등(1973)
리기테다소나무	Chapman-Richards 생장모형	지역	이영진(2002)
Scots pine	Chapman-Richards 생장모형	핀란드	Karlsson(2000)
Trembling aspen	Chapman-Richards 생장모형	캐나다	Chen 등(1998)
Azadirachta indica	Chapman-Richards 생장모형	인도	Tewari 등(2002)
수종별	비선형생장함수식	미국	Hanson 등(2002)

2. 입지 환경 인자를 이용한 지위지수 및 적지적수 추정

전술한 바와 같이 특정 임분의 입지 환경 인자를 이용하여 지위지수를 추정할 수 있다. 이러한 관점에서 현재까지 우리나라 및 외국에서 지위지수 추정과 관련하여 수행된 연구들이 <표 3-2-2>에 정리되어 있다. 이 연구들이 다룬 수종은 낙엽송, 잣나무, 강원소나무, 중부소나무, 상수리, 곰솔 등 6개 수종에 국한된 것으로 나타났다.

입지 환경 인자를 이용한 지위지수 및 적지적수 추정에 있어서 기상, 지형, 토양 인자가 사용되고 있다. 이를 세분하면 기상인자로는 연평균강수량, 연평균기온, 최한월평균기온, 기후대 인자가 주로 이용되고 있으며, 지형인자로는 표고, 경사, 방위, 사면형태 등이 이용되었다. 그 외에 토양인자로는 유효 토심, 전토심, 토양 견밀도, 토양 습도, 토양 산도, 유기물 함량 인자들이 이용되었다. 또한 분석방법은

주로 다중회귀분석기법을 적용하고 있다.

<표 3-2-2> 입지 환경 인자를 이용한 지위지수 추정연구 결과 리스트

구 분	평가인자	분석방법	출 처
기상	생육기 일평균기온합계, 상대습도합계 등	다중회귀	노의래(1983)
	1월 평균기온	다중회귀	이천용 등(1987)
	기후대	수량화	김규헌 등(1987, 1988)
	기후대	신경망	정주상 등(2001)
	연평균강수량, 연평균기온, 최한월평균기온 등	다중회귀	Curt 등(2001)
	연평균강수량, 연평균기온, 최한월평균기온 등	다중회귀	Corona 등(1998)
	연평균강수량, 총강우량	Decision tree	Mckenney 등(2002)
지형	표고, 경사, 방위	수량화	김규헌 등(1987, 1988)
	경사	상관・회귀	정영관 등(1993)
	경사, 방위, 국소지형	GIS	강영호 등(1996, 1997)
	국소지형	수량화	손영모 등(1994)
	표고, 경사, 방위, 사면형태	신경망	정주상 등(2001)
	표고, 방위	다중회귀	Curt 등(2001)
	표고, 방위, 경사, 지형노출	다중회귀	Corona 등(1998)
	표고, 방위, 경사, 사면형태 등	회귀	이동섭 등(1986)
토양	유효 토심, 유기물함양, 전질소 함량, 토양산도 등	상관・회귀	정영관 등(1993)
	토양 견밀도, 토양B층 깊이, 유효 토심, 토양습도 등	수량화	손영모 등(1994)
	토심, 토양습도	다중회귀	이천용 등(1987)
	토양습도, 토성, 토심, 토양 견밀도, 유기물함양 등	수량화	김규헌 등(1987, 1988)
	토심, 토성, 퇴적양식, 토양습도 등	신경망	정주상 등(2001)
	전토심, 토양형, 토양산도 등	다중회귀	Curt 등(2001)
	전토심, 토양산도, 토성 등	다중회귀	Corona 등(1998)
	토양습도, 토양공극, 토양양분	다중회귀	Kayahana 등(1998)
	모암, 퇴적양식, 토성, 토양산도, 토심, C/N율 등	회귀	이동섭 등(1986)

3. 수치산림입지도상의 DB와 기존의 연구방법과의 접목 가능성 검토

경기도 지방에 분포하는 낙엽송 임분을 대상으로 수치입지도의 인자를 이용한 생장함수식을 추정해보았다. 즉 산림입지조사자료로 부터 지위지수함수를 도출해 봄으로써 지위지수 추정 시 입지조사자료의 활용성을 검토하고자 하였다.

가. 연구방법

이 연구 수행을 위해 산림입지자료로부터 경기도 지역 국유림에 위치한 낙엽송 임분 중 총 253개소의 표준지를 선정하고, 지위지수함수 추정에 활용하고자 각 표준지의 입지·토양환경인자 및 우세목들을 별도 추출하였다. <표 3-2-3>에 나타난 바와 같이 235개 표준지의 총 임목 개체수는 1,120 본, 평균 임령은 24.2년, 평균 수고는 16.7m로 나타났다.

<표 3-2-3> 경기도 낙엽송 임분의 자료

구 분	임목 개체수(본)	평균	표준편차	최소	최대
임령	1,120	24.2	5.0	10	63
수고	1,120	16.7	3.0	7.8	25.4

지위지수곡선식의 조제는 다음의 Chapman-Richards의 생장함수식을 사용하였다.

$$H = a(1 - exp(-bT))^c$$

이 식을 이용하여 도출된 지위지수함수식을 적용하여 지위지수분류곡선을 작성하였다. 지위지수분류곡선 조제에서 벌기령이나 임분의 연평균생장량(mean annual increment)을 기준임령(base age)으로 하는 것이 일반적이지만, 성숙림이 많지 않은 우리나라에서는 대체로 25년 혹은 30년을 기준임령으로 활용하고 있다.

또한 입지 환경 인자에 의한 지위지수함수식의 추정을 위해 임목생장과 깊은 관련이 있다고 판단되는 경사 외 14개 인자를 선정하여 다중회귀분석을 실시하였으며, 변수 선택법으로 단계적 모형 선택법(stepwise method)을 적용하였다.

<표 3-2-4> 낙엽송 임분의 지위지수 추정을 위한 입지환경인자 및 변수

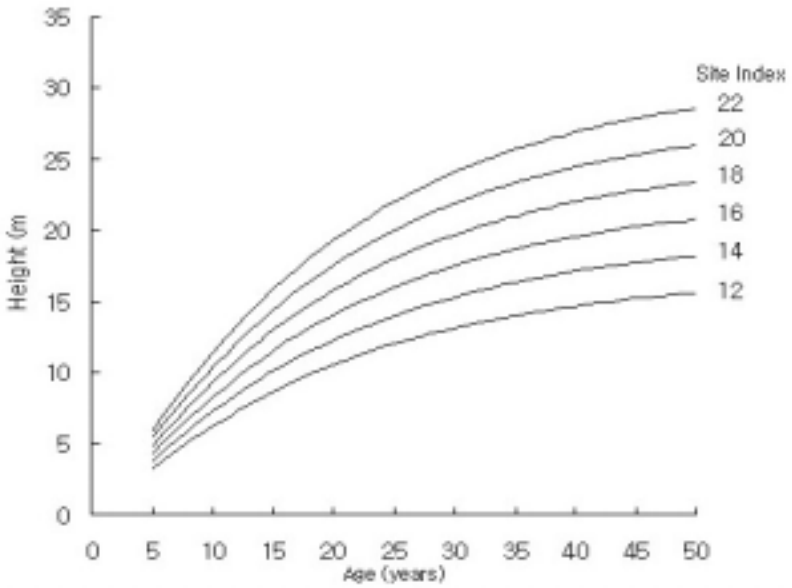
인자	변수	인자	변수	인자	변수
경사	X_1	전토심	X_6	B층 유기물	X_{14}
표고	X_2	모암	X_7, X_8	A층 건습도	X_{15}
유효토심	X_3	퇴적양식	X_9, X_{10}	B층 건습도	X_{16}
A층 토심	X_4	경사형태	X_{11}, X_{12}	A층 견밀도	X_{17}
B층 토심	X_5	A층 유기물	X_{13}	B층 견밀도	X_{18}

나. 연구결과

Chapman-Richards 생장함수의 모수 추정 결과는 <표 3-2-5>와 같으며, 이를 적용하여 도출된 경기도 지역의 낙엽송 지위지수분류곡선은 <그림 3-2-1>과 같다.

<표 3-2-5> Chapman-Richards 생장함수에 의한 모수 값과 적합도

모수	추정값	표준오차	95% 신뢰구간		RMSE
			하위	상위	
a	24.8292	1.5817	21.1588	27.3935	1.9202
b	0.0545	0.0155	0.0282	0.0895	
c	1.1491	0.3073	0.6106	1.8219	



<그림 3-2-1> 낙엽송 지위지수 분류곡선(기준임령, 25년)

입지·토양 환경 인자를 이용하여 다중회귀분석을 한 결과 지위지수 추정식은 다음과 같이 도출되었다.

$$SI = 2.104X_2 + 0.116X_3 + 0.100X_5 + 0.789X_{12}(凹), \quad (R^2 = 0.981)$$

제 3 절 지위지수 함수식 추정

이 연구에서는 다중회귀통계기법을 이용하여 입지·토양·기상인자에 의한 전국 단위의 지위지수 함수식을 추정하고자 하였다. 지위지수 추정을 위한 종속변수인 지위지수는 기존 연구에 보고된 지위지수 최적식에 비례식을 적용하여 구하였다 <표 3-3-1>. 즉, 수종별 지위지수 식에 입지조사자료의 우세목 평균임령과 평균 수고를 적용하여 최종 지위지수를 구하여 종속변수로 사용하였다.

<표 3-3-1> 지위지수 추정을 위한 종속변수(지위지수)

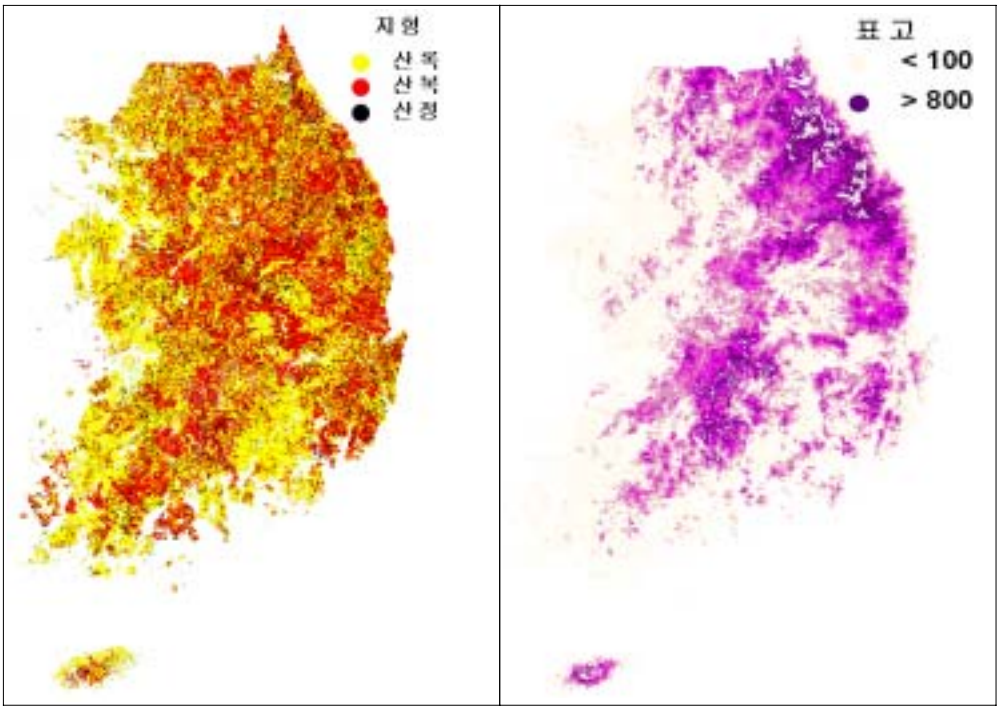
수종	지위지수	년도	출처
강원지방 소나무	log(SI)= $\frac{logH \times (1.51325 - 9.61383/20)}{(1.51325 - 9.61383/T)}$	1964	농사시험장 연구보고 제6호
곰솔	log(SI)= $\frac{logH \times (0.2964 + 0.6002log20 + 0.1838/20)}{(0.2964 + 0.6002logT + 0.1838/T)}$	1985	임업시험장 연구보고 제32호
중부지방 소나무	log(SI)= $\frac{logH \times (-0.47168 + 1.01827log20 + 0.81444/20}{(-0.47168 + 1.01827logT + 0.81444/T)}$	1971	임업시험장 연구보고 제18호
리기다 소나무	log(SI)= $\frac{logH \times (-0.32746 + 1.02914log20 - 0.24277/20}{(-0.32746 + 1.02914logT - 0.24277/T)}$	1969	임업시험장 연구보고 제16호
잣나무	log(SI)= $\frac{logH \times (1.1960 + 0.1370log30 - 7.3452/30)}{(1.1960 + 0.1370logT - 7.3452/T)}$	1986	임업시험장 연구보고 제33호
낙엽송	log(SI)= $\frac{logH \times (0.73014 + 0.40409log20 - 1.74986/20)}{(0.73014 + 0.40409logT - 1.74986/T)}$	1967	임업시험장 연구보고 제13호
상수리	log(SI)= $\frac{logH \times (0.4186 + 0.5243log30 + 0.3439/30)}{(0.4186 + 0.5243logT + 0.3439/T)}$	1986	임업시험장 연구보고 제33호
신갈나무	log(SI)= $\frac{logH \times (0.9304 + 0.1986log30 - 2.1214/30)}{(0.9304 + 0.1986logT - 2.1214/T)}$	1987	임업시험장 연구보고 제34호
삼나무	log(SI)= $\frac{logH \times (1.1387 + 0.1102log20 - 3.4786/20)}{(1.1387 + 0.1102logT - 3.4786/T)}$	1977	임업시험장 연구보고 제24호
편백	log(SI)= $\frac{logH \times (1.0361 + 0.1221log20 - 3.0506/20)}{(1.0361 + 0.1221logT - 3.0506/T)}$	1977	임업시험장 연구보고 제24호

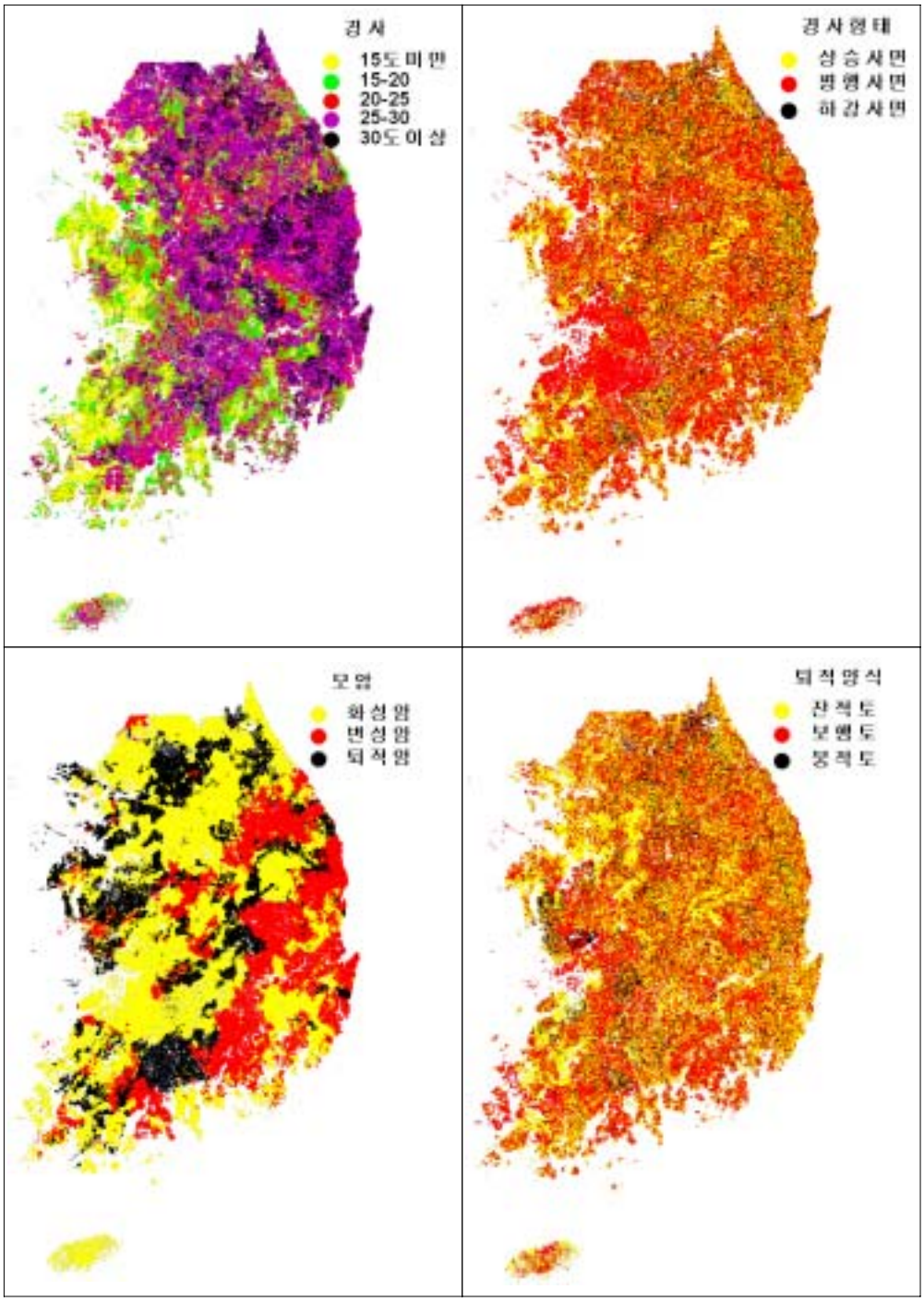
1. 평가인자의 선정 및 구축

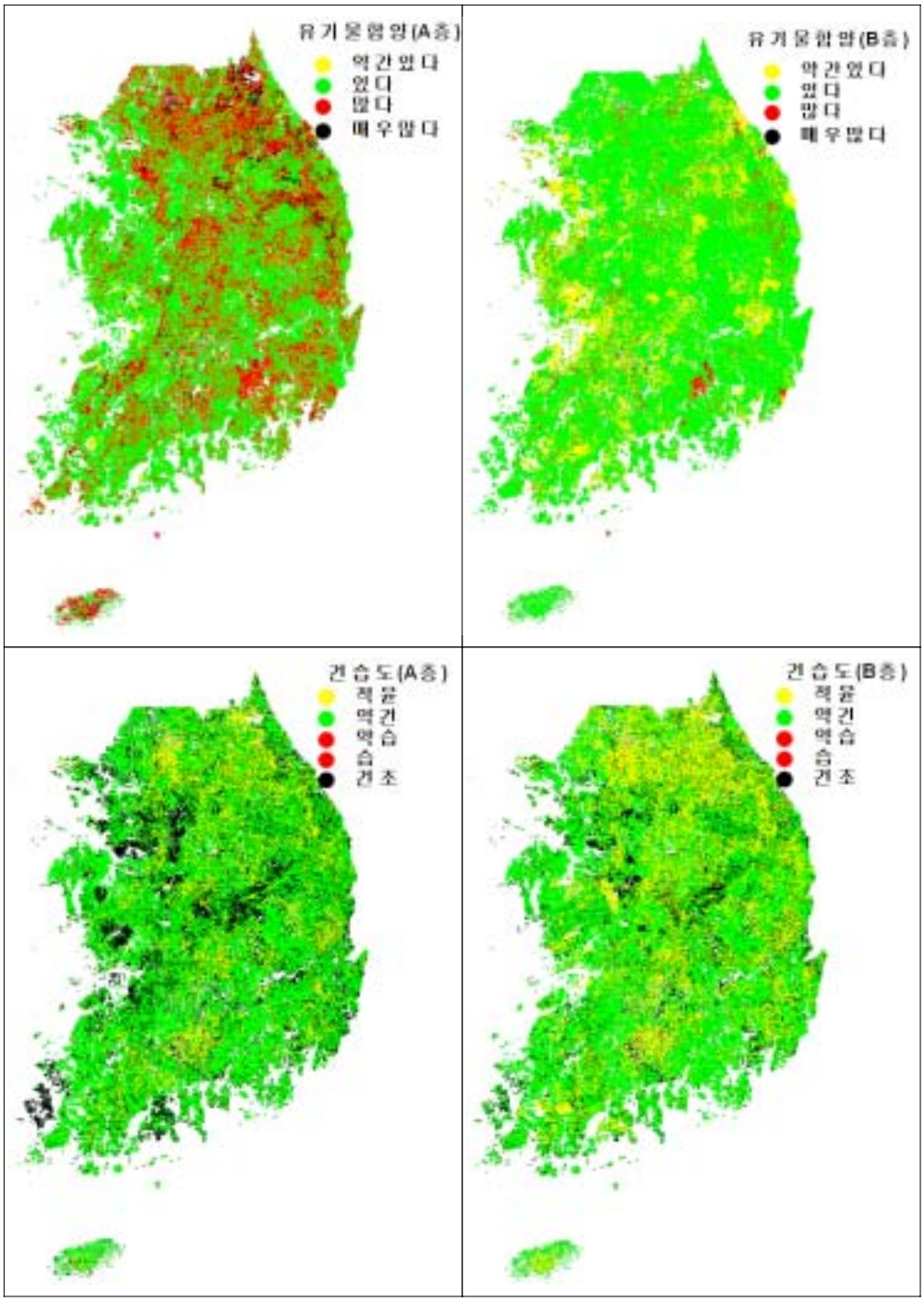
기존 연구(김동준, 1967, 김규헌 등, 1987; 1988)에 대한 문헌고찰을 통하여 지위지수 추정을 위한 평가인자를 선정하였다. 이러한 평가인자로는 수목생장의 기여도, 자료구축상태, 이용가능성 등을 고려하여 수치산림입지도에서 자료획득이 용이한 토양 및 입지인자가 선정되었다. 최종적으로 평가인자는 입지인자로서 지형, 경사, 퇴적양식, 경사형태, 표고, 방위 인자와 토양인자로서 모암, 전토심, A·B층 유기물함량, A·B층 토양건습도, A·B층 토양 견밀도로 총 14개 인자이다.

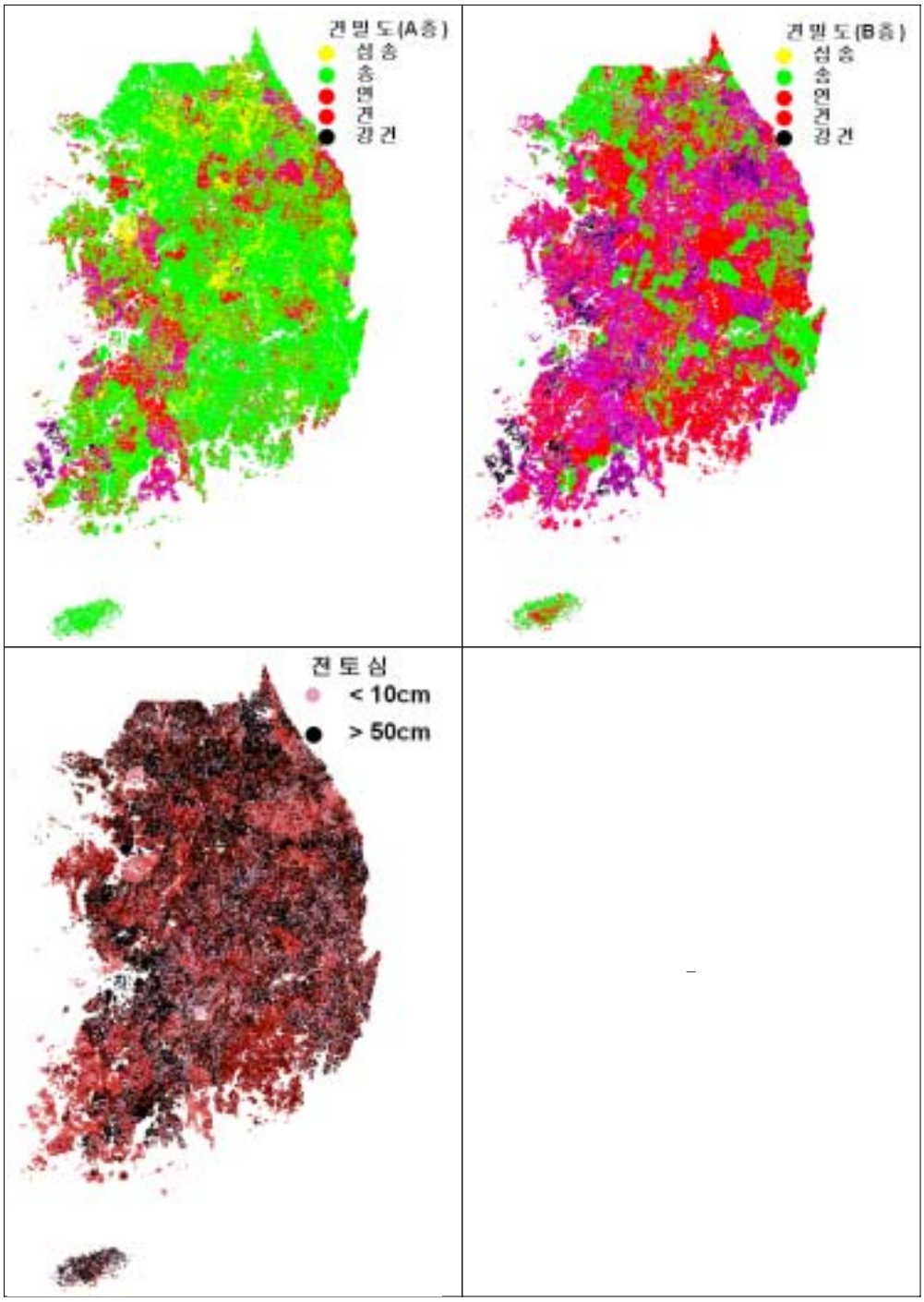
한편 수목생장에 있어 주요인자로 작용할 수 있는 기상인자(노의래, 1983; 1988)의 경우 77개 기상관측소를 기준으로 내삽하여 전국단위의 기상자료를 획득하였다. 수목의 생장에 큰 영향을 미칠 것으로 판단되는 기상인자로 강우일수와 평균기온을 선정하였으며, 30년 평년값을 적용하였다.

가. 입지·토양환경인자 구축




경사
15도미만
15-20
20-25
25-30
30도이상
경사형태
상승사면
평행사면
하강사면
모암
화성암
변성암
퇴적암
퇴적양식
잔적토
보행토
붕적토

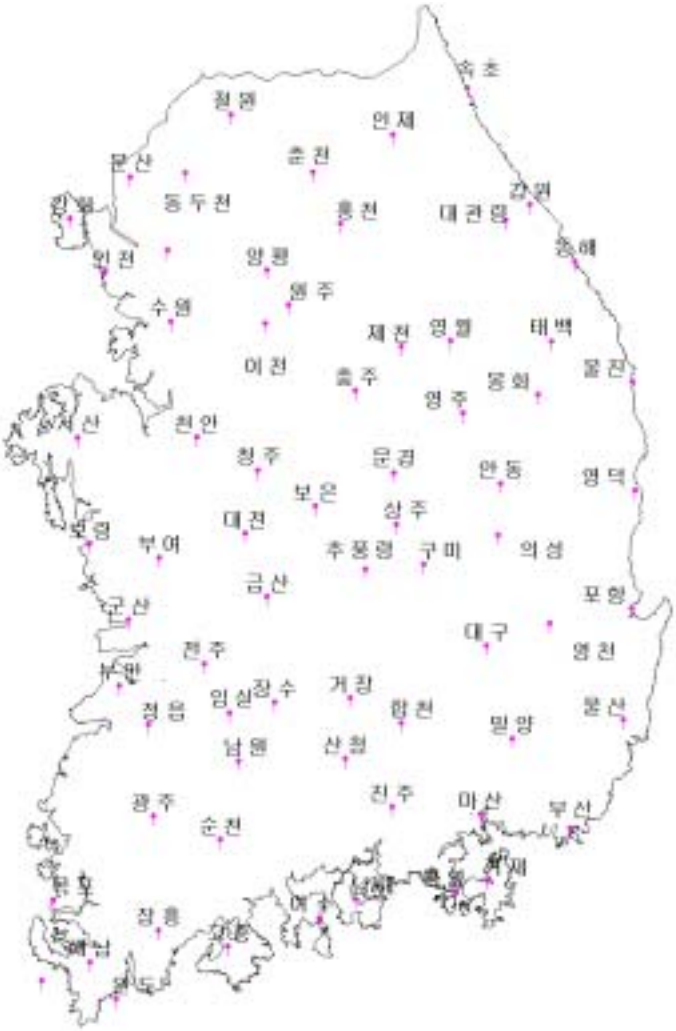

유기물함량(A층)
약간있다
있다
많다
매우많다
유기물함량(B층)
약간있다
있다
많다
매우많다
건습도(A층)
적음
약간
약습
습
건조
건습도(B층)
적음
약간
약습
습
건조



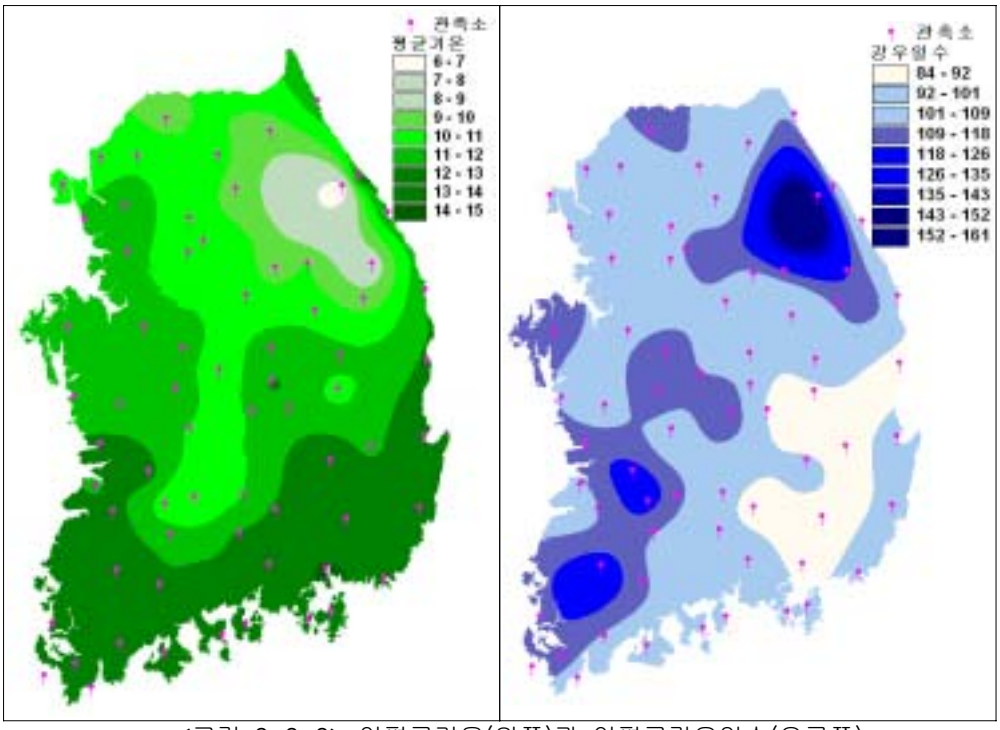
<그림 3-3-1> 입지·토양인자 구축

나. 기상인자 구축

전국 77개 기상관측소의 측정값을 기준으로 내삽하여 전국단위의 기상자료를 획득하였다.



<그림 3-3-2> 전국 기상관측소 위치



<그림 3-3-3> 연평균기온(왼쪽)과 연평균강우일수(오른쪽)

2. 지위지수 함수식의 추정

가. 수종별 평가인자 및 변수처리

수종별 평가인자들에 대하여 Tukey 통계검증을 실시하여 인자별 카테고리를 구분하였다(부록 Ⅰ). 여기서 인자별 카테고리간의 유의성이 나타나지 않은 인자는 평가인자에서 제외하였으며, 유사한 카테고리는 하나의 항목으로 재처리하였다. 여기서 실수형 자료인 평균기온, 강우일수, 전토심인자의 경우 수종별로 모두 포함시켰다.

1) 강원지방소나무

평가인자	카테고리	코드		평가인자	카테고리	코드
지형	산록 산복 산정	1,0 0,0 0,1		모암	화성암 퇴적암 변성암	1,0 0,0 0,1
경사	> 30도 15-30도 < 15도	1 2 3		A층 건습도	건조 약건 적윤,약습,습	1 2 3
경사형태	상승사면 평행사면 하강사면	1,0 0,0 0,1		A층 견밀도	연, 견,강견 심송, 송	1 2
퇴적양식	잔적토 보행토 붕적토	1,0 0,0 0,1		A층 유기물	약간있다 있다 많다 매우많다	1 2 3 4
표고	> 400m 0-400m	1 2		B층 유기물	약간있다 있다.많다,매우많다	1 2

2) 중부지방소나무

평가인자	카테고리	코드		평가인자	카테고리	코드
지형	산록 산복 산정	1,0 0,0 0,1		모암	변성암 화성암, 퇴적암	0 1
퇴적양식	잔적토 보행토 붕적토	1,0 0,0 0,1		A층 유기물	약간있다 있다 많다 매우많다	1 2 3 4
경사형태	상승사면 평행사면 하강사면	1,0 0,0 0,1		B층 유기물	약간있다 있다.많다,매우많다	1 2
방위	동,서,남,북 북동,북서,남동,남서	1 2		A층 견밀도	강견 견 연 송,심송	1 2 3 4

3) 리기다소나무

평가인자	카테고리	코드		평가인자	카테고리	코드
지형	산록 산복 산정	1,0 0,0 0,1		모암	화성암 퇴적암 변성암	1,0 0,0 0,1
퇴적양식	잔적토 보행토 붕적토	1,0 0,0 0,1		A층 유기물	약간있다, 있다 많다,매우많다	1 2
경사형태	상승사면 평행사면 하강사면	1,0 0,0 0,1		B층 견밀도	견, 강견 연, 송, 심송	1 2

4) 해송

평가인자	카테고리	코드		평가인자	카테고리	코드
지형	산록 산복 산정	1,0 0,0 0,1		모암	화성암 퇴적암 변성암	1,0 0,0 0,1
경사	>30도 25-30도 20-25도 15-20도 <15도	1 2 3 4 5		경사형태	상승사면 평행사면 하강사면	1,0 0,0 0,1
퇴적양식	잔적토 보행토 붕적토	1,0 0,0 0,1		-	-	-

5) 낙엽송

평가인자	카테고리	코드		평가인자	카테고리	코드
지형	산록 산복 산정	1,0 0,0 0,1		모암	화성암 퇴적암 변성암	1,0 0,0 0,1
경사	> 30도 25-30도 < 25도	1 2 3		A층 유기물	약간있다 있다 많다 매우많다	1 2 3 4
경사형태	상승사면 평행사면 하강사면	1,0 0,0 0,1		A층 건습도	건조 약건 적윤,약습,습	1 2 3
퇴적양식	잔적토 보행토 붕적토	1,0 0,0 0,1		B층 견밀도	연, 견,강견 심송, 송	1 2

6) 잣나무

평가인자	카테고리	코드		평가인자	카테고리	코드
지형	산록 산복 산정	1,0 0,0 0,1		A층 유기물	약간있다, 있다 많다, 매우많다	1 2
퇴적양식	잔적토 보행토 붕적토	1,0 0,0 0,1		B층 견밀도	견, 강견 연 송, 심송	1 2 3
경사형태	상승사면 평행사면 하강사면	1,0 0,0 0,1		-	-	-

7) 상수리

평가인자	카테고리	코드		평가인자	카테고리	코드
지형	산록 산복 산정	1,0 0,0 0,1		모암	변성암 화성암, 퇴적암	0 1
경사	> 30도 20-30도 < 20도	1 2 3		A층 유기물	약간있다, 있다 많다 매우많다	1 2 3
퇴적양식	잔적토 보행토 붕적토	1,0 0,0 0,1		B층 건습도	건조, 약건 적윤, 약습, 습	1 2
경사형태	상승사면 평행사면 하강사면	1,0 0,0 0,1		B층 견밀도	견,강견 연, 송, 심송	1 2

8) 신갈

평가인자	카테고리	코드		평가인자	카테고리	코드
지형	산록 산복 산정	1,0 0,0 0,1		경사형태	상승사면 평행사면 하강사면	1,0 0,0 0,1
경사	> 20도 < 20도	1 2		B층 유기물	약간있다, 있다 많다, 매우많다	1 2
경사형태	상승사면 평행사면 하강사면	1,0 0,0 0,1		A층 건습도	건조 약건 약습 적윤, 습	1 2 3 4
퇴적양식	잔적토 보행토 붕적토	1,0 0,0 0,1		A층 견밀도	견, 강견 연, 송, 심송	1 2

나. 지위지수 함수식 추정결과

지위지수 함수식 추정을 위한 통계분석결과는 부록 Ⅰ에 수록하였다. 강원지방소나무, 중부지방소나무, 리기다소나무, 해송, 낙엽송, 잣나무, 상수리, 신갈에 대한 지위지수 추정 모델은 유의($p<0.0001$)한 것으로 나타났으나, 전반적으로 결정계수가 낮게 형성되어 다소 자료상에 에러가 있는 것으로 판단된다. 이는 향후 지속적인 수치산림입지도의 수정을 통한 자료의 갱신으로 지위지수 함수식의 수정보완이 이루어져야 할 것이다.

<표 3-3-2> 추정된 수종별 지위지수 함수식

수종	지위지수 추정식
강원지방 소나무	SI = 0.12139×산록-0.68202×산정+0.3307×변성암-0.15033×경사-0.18986×표고 -0.41213×상승사면+0.26839×하강사면+0.03703×전토심+0.22411×B층유기물 +0.12317×A층 건습도+0.02388×강우일수+4.60204
중부지방 소나무	SI = -0.33468×산록-1.0417×산정-0.29765×모암-0.08981×상승사면 +0.83607×하강사면+0.16369×방위+0.03466×전토심+0.19793*A층유기물 +0.17053×B층유기물+0.23005×A층견밀도
리기다 소나무	SI = 0.12293×산록-0.51961×산정-0.21015×화성암+0.12694×변성암 +0.12125×잔적토-0.36103×붕적토-0.29912×상승사면+0.61843×하강사면 +0.01844×전토심+0.19869×A층유기물+0.29020×B층견밀도 -0.01456×강우일수-0.16708×평균기온+10.47479
해송	SI = 0.40835×산록-0.29156×화성암-0.16942×경사-0.35508×잔적토 -0.36849×상승사면+0.15650×하강사면+0.02495×전토심-0.02762×강우일수 -0.22049×평균기온+14.83322
낙엽송	SI = 0.22706×산록-0.31502×산정-0.10473×화성암+0.09251×변성암 -0.15896×붕적토+0.61165×하강사면+0.03722×전토심+0.20480×A층유기물 +0.16078×A층 건습도+0.45325×B층 견밀도-0.01855×강우일수 -0.34089×평균기온+15.83554
잣나무	SI = 0.21204×산록-0.20501×산정-0.17602×잔적토-0.25829×붕적토 -0.57553×상승사면+0.80995×하강사면+0.01701×전토심-0.32145×B층견밀도 -0.01615×강우일수-0.25753×평균기온+18.35621
상수리	SI = 0.50174×산록-0.63667×산정-0.11187×모암+0.12409×경사-0.17097×잔적토 -0.15917×붕적토+0.50777×하강사면+0.01451×전토심+0.51466×B층건습도 +0.04471×B층 견밀도-0.01657×강우일수-0.35769×평균기온+18.88981
신갈	SI = 0.13192×산록-0.56857×산정-0.14013×경사-0.42672×잔적토 -0.10699×상승사면-0.34945×하강사면+0.01598×전토심+0.63548×A층건습도 +0.10994×A층 견밀도-0.20578×평균기온+14.18017

제 4 장 경제성 및 생태적 특성분석

제 1 절 주요조림수종의 투자실태

1. 주요조림수종의 선정

현재 전국을 대상으로 조림되고 있는 수종을 파악하기 위하여 일선 시군 조림대장에 기재된 산주와 산림청에 임업후계자로 등록되어 있는 산주 중에서 조림실적이 있는 산주들을 대상으로 설문조사를 실시하여 임업경영에 관심이 있는 산주들의 조림수종, 조림수종 선택기준 등을 조사·분석하였다. 2002년도 산주별 조림실태파악이 가능한 46개 시·군을 대상으로 식재된 수종의 종류를 분석한 결과, 잣나무 조림건수가 24.2%로 가장 많이 나타났으며, 고로쇠나무가 10.1%, 기타 자작나무, 상수리, 밤나무 순으로 나타났다.

<표 4-1-1> 산지 조림 수종 분포

수종명	조림건수	비율
잣나무	274	22.1
고로쇠	125	10.1
자작나무	120	9.7
상수리	107	8.6
밤나무	92	7.4
느티나무	69	5.6
편백	63	5.1
물푸레	55	4.4
강송	38	3.1
낙엽송	37	3.0
백합나무	20	1.6
기타	131	10.6

주) 기타수종 : 감나무, 귀룽, 금송, 노각, 단풍, 대추, 들메, 때죽, 리기테다, 마가목, 매실, 박달, 박태기, 벚나무, 복자기, 산딸나무, 산벚나무, 산수유, 산철쭉, 산초, 살구, 섬잣나무, 소나무, 스트로브잣나무, 엄나무, 옥매화, 왕벚나무, 은행, 음나무, 이팝나무, 전나무, 참죽, 초피나무, 층층나무, 피나무, 해송, 헛개, 화백

현재 조사된 시·군을 대상으로 한 조림지에 식재하는 수종의 종류를 살펴보면 1개 수종만을 식재한 산주가 전체 산주의 77%를 차지하는 것으로 나타났으며, 2개 수종 이상을 식재한 산주는 33%인 것으로 분석되었다. 아직 우리나라 대부분의 산주들은 단일수종 조림을 하는 것으로 나타나 복수 수종의 조림은 아직 미흡한 것으로 나타났다.

<표 4-1-2> 산지 조림 수종의 종류

수종	응답자수	퍼센트
1개 수종 식재	641	77.0
2개 수종 식재	134	16.1
3개 수종 식재	35	4.2
4개 수종 식재	16	1.9
5개 수종 이상 식재	7	0.8
합 계	954	100.0

2. 투자자 입장에서의 조림수종 선정기준

조림대장 및 임업후계자 중 조림을 실시한 경험이 있는 산주들을 대상으로 지금까지 조림한 수종과 조림면적을 살펴본 결과 잣나무를 식재한 경우가 전체 사례의 16.4%를 차지하는 것으로 나타났으며, 그 다음으로는 낙엽송, 리기다, 상수리 순으로 나타났다<표 4-1-3>.

<표 4-1-3> 산주들이 조림한 수종 및 면적 분포

수종명	3ha미만	3~5ha	5~10ha	10ha이상	합계
잣나무	7(3.2)	5(2.3)	8(3.7)	16(7.3)	36(16.4)
낙엽송	4(1.8)	4(1.8)	3(1.4)	13(5.9)	24(11.0)
리기다	4(1.8)	2(0.9)	4(1.8)	8(3.7)	18(8.2)
상수리	4(1.8)	5(2.3)	3(1.4)	8(3.7)	20(9.1)
소나무	6(2.7)	3(1.4)	2(0.9)	6(2.7)	17(7.8)
편백	3(1.4)	1(0.5)	3(1.4)	4(1.8)	11(5.0)
고로쇠	7(3.2)	1(0.5)	1(0.5)	1(0.5)	10(4.6)
느티나무	4(1.8)	4(1.8)	0(0.0)	1(0.5)	9(4.1)
밤나무	4(1.8)	1(0.5)	2(0.9)	1(0.5)	8(3.7)
기타수종	41(18.8)	5(2.4)	8(3.7)	12(5.5)	66(30.2)
합계	84(38.4)	31(14.2)	34(15.5)	70(32.0)	219(100.0)

주) 기타수종 : 감나무, 강송, 거제수, 계수나무, 구상나무, 노각나무, 단풍나무, 두릅, 리기테다, 마가목, 메타쉐쿼이아, 백합, 벚나무, 복자기, 산딸나무, 산수유, 삼나무, 자작나무, 서어나무, 아카시아, 오갈피, 옻나무, 왕벗나무, 은사시, 은행, 이팝, 전나무, 주목, 참죽, 해송, 헛개

지난 3년간 산주들이 조림한 수종들을 살펴보면 고뢰쇠가 13.3%로 가장 많았으며, 그 다음으로는 밤나무가 12.6%로 나타났으며, 그 다음으로는 편백, 잣나무, 소나무 순인 것으로 분석되었다<표 4-1-4>. 이는 일선 시군의 조림현황을 바탕으로 분석한 결과와 좀 판이한 결과인데, 이는 설문조사에 응한 응답자들이 산림경영에 관심이 있는 산주라고 가정할 때에, 일반산주들의 경우는 시군 조림정책에 의해서 조림을 많이 하지만, 산림경영에 관심이 있는 산주들은 경제성을 고려하여 단기소득을 올릴 수 있는 수종을 위주로 조림을 하고 있는 것으로 판단된다.

<표 4-1-4> 지난 3년 조림수종 및 면적 분포

수종명	1ha 미만	1~2ha	2~3ha	3~5ha	5ha 이상	합계
고로쇠	2(1.5)	8(5.9)	7(5.2)	0(0.0)	1(0.7)	18(13.3)
밤나무	5(3.7)	4(3.0)	5(3.7)	2(1.5)	1(0.7)	17(12.6)
편백	0(0.0)	4(3.0)	4(3.0)	2(1.5)	3(2.2)	13(9.6)
잣나무	4(3.0)	0(0.0)	5(3.7)	0(0.0)	2(1.5)	11(8.1)
소나무	0(0.0)	2(1.5)	0(0.0)	6(4.4)	1(0.7)	9(6.7)
느티	1(0.7)	2.0(1.5)	2.0(1.5)	1.0(0.7)	0(0.0)	6(4.4)
두릅나무	2(1.5)	1.0 (0.7)	1.0 (0.7)	0(0.0)	1(0.7)	5(3.7)
자작나무	3(2.2)	0(0.0)	2(1.5)	0(0.0)	0(0.0)	5(3.7)
낙엽송	0(0.0)	1(0.7)	0(0.0)	1(0.7)	2(1.5)	4(3.0)
은행나무	3(2.2)	0(0.0)	1(0.7)	0(0.0)	0(0.0)	4(3.0)
후박나무	0(0.0)	0(0.0)	3(2.2)	1(0.7)	0(0.0)	4(3.0)
상수리	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)	2(1.5)	1(0.7)	3(2.2)
조경수	1(0.7)	1(0.7)	1(0.7)	0(0.0)	0(0.0)	3(2.2)
기타수종	15(11.1)	8(5.9)	7(5.2)	1(0.7)	2(1.5)	33(24.4)
합계	36(26.7)	31(23.0)	38(28.1)	16(11.9)	14(10.4)	135(100.0)

주) 기타수종 : 감나무, 거제수, 구상나무, 단풍나무, 마가목, 매실, 메타쉐쿼이아, 모과, 백합, 복자기, 산딸나무, 산벚나무, 산수유, 살구, 서어나무, 스트로브잣나무, 오갈피, 옻나무, 옻나무, 음나무, 전나무, 참죽, 헛개나무, 회화나무

조림수종선정에 있어서 수종과 관련된 정보를 어디서 얻는지 알아본 결과 '매스컴이나 기타 정보에 의거해서 선택'한다가 3.2로 가장 높게 나타났다. 산주의 유형에 따라서는 임업후계자의 경우는 '매스컴이나 기타 정보에 의거해서 선택'한다가 3.3으로 가장 높게 나타났지만, 일반산주들은 '시·군 조림정책에 의거해서 수종을 선택' 한다가 3.5로서 가장 높게 나타났다.

조림·육림과정과 관련된 항목을 고려한 수종 선택을 살펴보면 '해당지역에서 가장 잘 자라는 수종 선택'이 3.8로서 가장 높게 나타났다.

최종적으로 생산할 목적에 따른 수종 선택을 살펴보면 '판매가가 높게 형성될 수 있는 용재수종 선택'이 4.0으로 가장 높게 나타났다<표 4-1-5>.

<표 4-1-5> 조림수종선정 기준

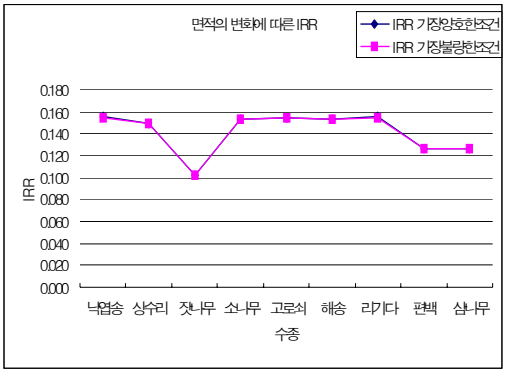
항목	임업후계자		일반산주		전체		통계량	
	평균	S.D.	평균	S.D.	평균	S.D.	t값	p
산림조합에서 권유하는 수종 선택	2.6	1.3	2.6	1.4	2.6	1.3	-0.14	0.78
시・군 조림정책에 의거해서 수종선택	3.0	1.2	3.5	1.1	3.1	1.2	-1.51	0.31
주위에 있는 산주들이 권유하는 수종 선택	2.5	1.1	2.2	1.3	2.4	1.1	0.87	0.27
벌목을 실시한 벌목상이 알아서 수종 선택	1.7	1.0	2.3	1.3	1.8	1.1	-1.67	0.09
매스컴이나 기타 정보에 의거해서 산주가 선택	3.3	1.3	3.0	1.3	3.2	1.3	0.78	0.91
묘목대가 가장 싼 수종 선택	1.8	1.0	2.1	1.4	1.8	1.1	-1.20	0.03
묘목을 쉽게 구할 수 있는 수종 선택	2.1	1.2	2.4	1.2	2.2	1.2	-0.94	0.70
해당 지역에서 가장 잘 자라는 수종 선택	3.9	1.0	3.4	1.1	3.8	1.1	1.81	0.31
조림경비가 가장 적게 들어가는 수종 선택	2.4	1.1	2.6	1.1	2.4	1.1	-0.88	0.81
육림 비용이 가장 작게 투입되는 수종 선택	2.5	1.2	2.7	1.1	2.5	1.2	-0.72	0.83
병해충에 강한 수종 선택	3.5	1.2	3.3	1.0	3.5	1.1	0.77	0.61
판매가가 높게 형성될 수 있는 용재수종 선택	4.0	1.1	3.6	1.2	4.0	1.1	1.37	0.51
ha당 재적이 높은 용재수종 선택	3.1	1.3	3.2	1.1	3.1	1.2	-0.24	0.55
벌채 후 판매가 용이한 용재수종 선택	3.5	1.2	3.3	1.3	3.5	1.2	0.61	0.76
단기수익성 있는 특용수종 선택	3.3	1.3	3.1	1.3	3.3	1.3	0.50	0.95
밤, 잣, 대추, 호두 등의 유실수 선택	3.0	1.3	2.6	1.5	3.0	1.3	1.32	0.27

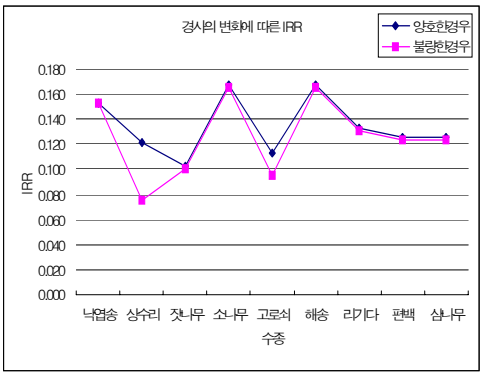
제 2 절 지역별 수종별 생장특성과 경제성

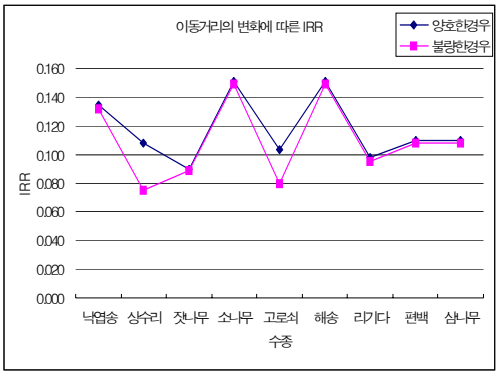
1. 수종별 생장권역 분석과 경제성 분석

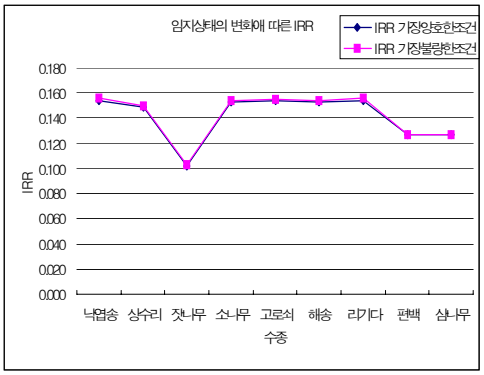
임목의 생장권역이란 입지 환경적 특성이 임목에 미치는 범위라고 설명할 수 있다. 이러한 범위를 설정함에 있어서 각 수종에 따라 입지 환경적 특성에 따른 IRR값을 비교함으로서 생장권역을 설정하였다.

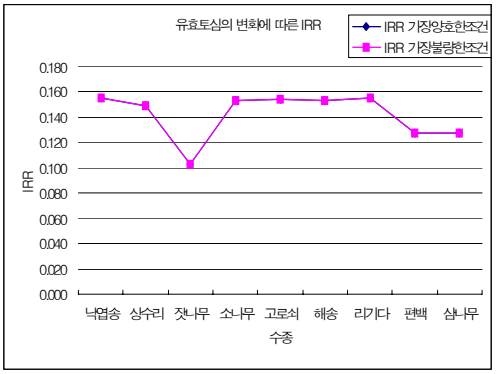
임목의 생장권역에 따른 입지 환경적 특성이 경제성에 미치는 영향을 분석하기 위해 각 환경입지 인자에 있어서 각 수종별로 모든 환경입지 조건을 하나의 동일한 조건으로 가정하여 IRR값을 계산 하였으며, 조건에 따라 달라지는 IRR값을 비교하기 위해 모든 입지 환경인자의 조건에 있어서 노동투입인부가 각 작업공정별로 기본인부와 같이 투입되는 경우의 IRR값을 산출 하였는데, 이 값을 평균값으로 적용하였다. 평균값의 범위에서 IRR값이 환경입지 조건에 따라 변하는 정도를 파악하기 위해서 각 환경입지 조건에서 가장 양호한 조건일 때의 투자비용과 가장 불량한 조건일 때의 투자비용을 계산하였으며, 최종적으로 그 때의 IRR값을 계산 하였다. 계산된 IRR값을 비교·분석함으로서, 각 수종별에 있어서 경제성에 가장 큰 영향을 미치는 환경입지인자를 파악하였다. 환경입지 인자에 의해 수종별로 IRR값이 변화정도를 나타낸 것은 <그림 5-2-1>과 같다.

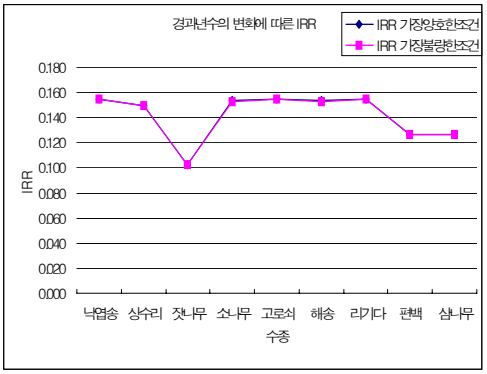


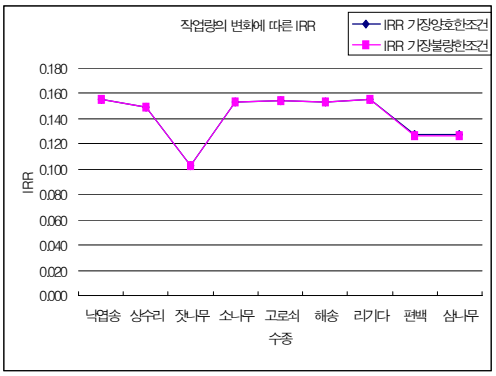


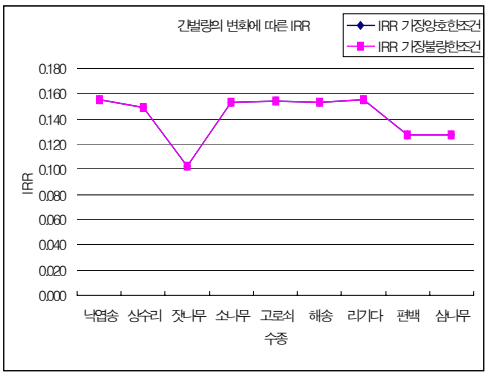

이동거리의 변화에 따른 IRR
양호한경우
불량한경우
IRR
0.160
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
낙엽송 상수리 잣나무 소나무 고로쇠 해송 리기다 편백 삼나무
수종

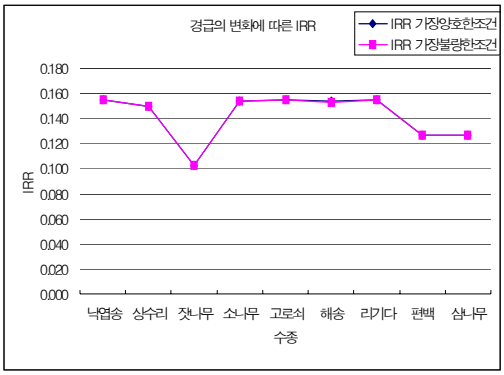

임지상태의 변화에 따른 IRR
IRR 가장양호한조건
IRR 가장불량한조건
IRR
0.180
0.160
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
낙엽송 상수리 잣나무 소나무 고로쇠 해송 리기다 편백 삼나무
수종


유효토심의 변화에 따른 IRR
IRR 가장양호한조건
IRR 가장불량한조건
IRR
0.180
0.160
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
낙엽송 상수리 잣나무 소나무 고로쇠 해송 리기다 편백 삼나무
수종


경과년수의 변화에 따른 IRR
IRR 가장양호한조건
IRR 가장불량한조건
IRR
0.180
0.160
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
낙엽송 상수리 잣나무 소나무 고로쇠 해송 리기다 편백 삼나무
수종


작업량의 변화에 따른 IRR
IRR 가장양호한조건
IRR 가장불량한조건
IRR
0.180
0.160
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
낙엽송 상수리 잣나무 소나무 고로쇠 해송 리기다 편백 삼나무
수종


간벌량의 변화에 따른 IRR
IRR 가장양호한조건
IRR 가장불량한조건
IRR
0.180
0.160
0.140
0.120
0.100
0.080
0.060
0.040
0.020
0.000
낙엽송 상수리 잣나무 소나무 고로쇠 해송 리기다 편백 삼나무
수종



<그림 5-2-1> 개별입지인자만의 변화에 따른 IRR값의 차이 [단위 : (%)]

모든 수종에 있어서 적용한 입지인자에 의한 IRR값의 변화정도는 나타나지 않으나, 경사도 인자와 이동거리 인자의 경우 상수리와 고로쇠 수종에 영향을 많이 미치는 것으로 나타났다. 이것은 상수리 수종과 고로쇠 수종의 경우 특히 경사도와 이동거리 인자에 민감하다는 것을 의미하는 것이며, 이 인자의 조절을 통해 수익률을 높일 수 있을 것으로 사료 된다.

이러한 임목의 생장권역 설정에 따른 경제성 분석에 있어서 IRR값의 변화는 매우 중요하다. IRR값이 같은 조건의 임지상태를 가정할 때, 임령과 지위지수에 따라 그 값은 다르게 나타나는데, “ + ”에서 “ - ”로 변화할 때와 그렇지 않을 경우일 때를 경제성 권역으로 설정 할 수 있다. 이러한 설정의 근거는 지위지수가 높고 임령이 벌기령으로 갈수록 수익성은 높아진다는 것에 두고 있으며, 어느 한 수종에 있어서 같은 지위지수와 임령에 따른 IRR값을 산출하더라도 그 값은 다르게 나타날 수 있는데, 이러한 경우에 입지 환경인자가 미치는 영향에 의한 수익률의 변화 정도로서 설명 할 수 있다. 즉 IRR = 0인 지역이 경제성 권역이라고 할 수 있으며, 값의 증·감에 의해 권역의 확대와 축소에 대한 판단이 가능 할 것으로 생각된다.

인접 지역의 입지인자의 조건에 따라 IRR값이 “ - ”로 변한다면 그 경계까지를 경제권역으로 설정할 수 있을 것이다.

제 3 절 입지조건에 따른 수종별 비용 산출

1. 수종별 수익성 분석

가. 투자 및 생산비용 분석

입지조건에 따른 투자비용을 산출하기 위해 먼저 노동투입량을 변화를 파악하였다. 2005년 산림청에서 고시한 주요조림수종 사업단비표에 의거하여 기본인부를 설정하였으며, 설정한 기본인부에 설문조사를 통해 증감하는 인부의 가중치를 산출 하였다.투입인부의 가중치는 설문지의 응답에서 평균값을 적용하였으며, 입지조건에 따라 각 작업별로 적용되는 기준은 다르게 나타났으며, 입지조건에 따라 적용한 가중치의 증감에 기본인부를 더하여 최종적인 작업공정별에 따른 총 투입인부를 산출 하였다.

<표 4-3-1> 각 작업공정에 따른 투입인부 가중치 단위 : ㎥/원

구분	기본인부	경사도			
지존작업	20.6	40° 이상	30-40°이하	15-30°	15°미만
		2.2	1.2	0.6	-0.2
		면적			
		5ha이상	3 ~ 5ha	1 ~ 3ha	1ha미만
		-0.4	-0.3	-0.2	0.1
		임도에서 임지까지의 이동거리			
		3km이상	2 ~ 3km	1 ~ 2km	1km미만
		1.8	1.1	0.5	0.1
		임지상태			
		나지	관목지	조림실패지	벌채적지
		-1.3	-0.2	-0.5	0.3
		수종갱신지	산불지	그 외	
		2.1	3	0	

구분	기본인부	경사도			
조림작업	19.4	40° 이상	30-40°이하	15-30°	15°미만
		1.9	1.3	0.3	-0.4
		면적			
		5ha이상	3~5ha	1~3ha	1ha미만
		-0.3	-0.2	0.1	0
		임도에서 임지까지의 이동거리			
		3km이상	2 ~ 3km	1 ~ 2km	1km미만
		2.6	1.9	1.2	0.3
		식재수종			
		리기다소나무	고로쇠	상수리	그외
		-0.1	0.2	0.2	0
		유효토심			
		60cm이상	30 ~ 60cm	30cm이하	
		0.5	0	0.3	

구분	기본인부	경사도				
하예작업	7.5	30° 이상	25° ~ 30°	20° ~ 25°	15° ~ 20°	15°미만
		1.5	0.7	0	-0.7	-1.5
		임도에서 임지까지의 이동거리				
		2.1km이상	1.6~2.1km	1.1~1.6km	0.6~1.1km	0.6km미만
		1.5	0.7	0	-0.7	-1.5
		식재 수종				
		상수리	고로쇠	낙엽송	그외	
		1.5	0.7	-0.7	0	

구분	기본인부	경사도				
덩굴제거 신규・보완	6.4	30° 이상	25° ~ 30°	20° ~ 25°	15° ~ 20°	15°미만
		1.3	0.6	0	-0.6	-1.3
		임도에서 임지까지의 이동거리				
		2.1km이상	1.6 ~ 2.1km	1.1 ~ 1.6km	0.6 ~ 1.1km	0.6km미만
		1.3	0.6	0	-0.6	-1.3
		ha당제거본수(속)				
		801 이상	701 ~ 801	601 ~ 701	501 ~ 601	501미만
		1.3	0.6	0	-0.6	-1.3

구분	기본인부	경사도				
치수가꾸기	15.5	30° 이상	25° ~ 30°	20° ~ 25°	15° ~ 20°	15°미만
		3.1	1.5	0	-1.5	-3.1
		보식작업량(속)				
		701 이상	601 ~ 701	501 ~ 601	401 ~ 501	401미만
		3.1	1.5	0	-1.5	-3.1

구분	기본인부	경사도			
간벌	11.8	40° 이상	30-40°이하	15-30°	15°미만
		1	0.6	0.2	0
		임도에서 임지까지의 이동거리			
		5km이상	4 ~ 5km	1 ~ 4km	1km미만
		1.3	1	0.6	0.1
		ha당제거본수			
		1000이상	800 ~ 1000	600 ~ 800	400 ~ 600
		1.6	1.1	0.6	0.2
		200 ~ 400	그외		
		-0.2	-0.5		
		경급			
		18 이상	14 ~ 18	10 ~ 14	6~10
		0.9	0.5	0.2	-0.2
		식재수종			
		잣나무	상수리	그외	
		0.1	0.1	0	

입지인자에 의해 투입이 변화하는 인부 가중치에 있어서 각 작업공정별로 임도에서 임지까지의 이동거리인자와 경사도인자의 영향에 의한 투입인부의 변화정도가 가장 크게 나타났으며, 식재 수종에 의한 변화 정도도 높은 것으로 나타났다. 결과 적으로 조림・육림 작업에 있어서 노동 투입량에 따른 인건비가 투자비용의 80%를 차지한다는 근거에 의거 한다면 이 두 인자의 영향이 각 작업에 투입되는 비용에 가장 많은 영향을 미친다고 할 수 있다.

각 작업공정에 있어서 치수 가꾸기, 하예작업, 덩굴제거(신규・보완)공정의 경우 다른 작업공정에 비해 경사도와 임도에서 임지까지의 이동거리 인자의 기준이 다르게 적용되어 있는데, 이는 북부산림관리청에서 각 작업 공정별로 현장 조사하여 얻은 data을 이용하여 회귀분석을 실시하였으며, 도출된 회귀식을 통해 각 해당 작업공정에 있어서 영향을 미치는 인자를 파악하여, 파악된 인자에서 가중치를 산출하여 적용하였다. 나머지 공정에 있어서는 기존의 설문조사를 통한 각 작업공정별 가중치 기준을 적용하였다.

이러한 과정을 통해 입지조건에 따라 산출된 작업공정에 따른 총 투입인부에 2005년 산림청에서 고시한 인부 노임단가 41,218원을 적용하여 입지조건에 따른 인부 인건비를 산출 하였다.

각 작업공정에 따른 비용의 산출은 2005년 산림청 작업공정표에 의거하였으며, 수종에 따른 투자비용의 변화정도보다 입지조건의 변화에 따른 투자비용의 변화가 더 큰 것에 근거를 두고 입지인자의 조건에 따라 변화하는 정도를 비교하기 위해 입지인자의 조건 중 가장 양호한 조건의 인자와 가장 불량한 조건의 인자들만을 적용하여 산출되는 투자비용을 비교 하였다. 비용 산출을 위해 적용된 입지 조건의 인자로는 식재면적, 경사도, 임지에서 임도까지의 이동거리, 경사, 임지 생태, 유효 토심, 수종, 보식작업량, 간벌량, 경급을 이용하였다. 이러한 입지인자의 적용을 통한 각 작업별 공정에 따른 투입경비의 산출 내역은 다음과 같다.

<표 4-3-2> 각 작업별에 따른 경비 산출 내역 단위 : (원)

구분	각 작업별 비용 산출내역	비고
지존작업	노무비+경비+부대비용+부가가치세	1인 1일 임금 41,218
조림작업	노무비+자재대+운반비+경비+부대비용+부가가치세	
하예작업	노무비+경비+부대비용+부가가치세	
덩굴제거(신규)	노무비+자재대+경비+부대비용+부가가치세	
덩굴제거(보완)	노무비+자재대+경비+부대비용+부가가치세	
치수 가꾸기	노무비+경비+부대비용+부가가치세	
간벌작업	노무비+자재대+경비+부대비용+부가가치세	

수종별 투입 비용 및 생산 비용을 분석을 위해 먼저 각 작업별로 최고 양호한 인자의 조건과 최고 불량한 인자의 조건들만으로 적용하여 투입노동량을 파악하였으며, 파악한 노동 투입량의 변화는 <표 4-3-3>과 같다.

<표 4-3-3> 작업별 입지 조건의 차이에 따른 노동 투입량의 변화 단위: (명)

구분	노동투입량(명/ha)	
	최고 양호한 입지조건	최고 불량한 입지조건
지존작업	20.6명+(-0.5명) = 20.1명	20.6명+(6.1명) = 26.7명
조림작업	19.4명+(0.1명) = 19.5명	19.4명+(4.2명) = 23.6명
하예작업	7.1명+(-1.8명) = 5.3명	7.1명+(3.4명) = 10.5명
덩굴제거(신규)	6.4명+(-3.2명) = 3.2명	6.4명+(3.9명) = 10.3명
덩굴제거(보완)	6.4명+(-3.2명) = 3.2명	6.4명+(3.9명) = 10.3명
치수 가꾸기	15.5명+(-1.5명) = 14.0명	15.5명+(6.2명) = 21.7명
간벌작업	11.8명+(-0.3명) = 11.5명	11.8명+(4명) = 15.8명

산출된 각 입지조건의 극단적 차이에 의한 노동투입량에 노임 단가를 적용하여 인부 인건비를 계산하여 각 작업 공정에 적용하였으며, 입지 조건만에 따른 투자비용 변화의 폭을 알아보기 위해 인부투입량과 같은 방법으로 각 작업별 입지 조건에 있어서 가장 양호한 인자들의 값만을, 그리고 가장 불량한 인자들의 값만을 적용하여 투자비용을 산출한 결과는 <표 4-3-4>과 같다.

각 수종별로 하예작업, 간벌작업, 조림작업을 제외한 나머지 작업들의 경비는 그 변화의 폭이 상대적으로 적음을 나타내고 있는데, 이는 각 수종별 벌기령에 따른 작업공정이 대동·소이하기 때문이다. 조림작업과 하예작업이 가장 많은 경비의 변화를 보이고 있는데 이는 각 수종별로 묘목 대 값이 차이에 의한 것이며, 2004년 산림청에서 고시한 지속 가능한 산림 자원관리지침에 의거한 것으로 소나무, 해송이 897,000원 낙엽송, 1,554,000원 상수리 942,000원 잣나무가 1,618,000원 리기다 555,000원이다. 이 차이에 의해 조림과 하예작업이 가장 많은 경비의 변화를 보인다고 할 수 있으며, 다음으로 식재 본수의 차이에 의한 경비의 변화인데, 식재 본수의 경우 ha당 낙엽송, 잣나무, 리기다 300본, 나머지 수종이 5000본이다.

<표 4-3-4> 수종별 입지조건의 극단적 차이에 의한 각 작업별 투입경비 단위 : (원)

구분	소나무	
	가장 양호한 조건	가장 불량한 조건
지존작업	1,025,283	1,163,404
조림작업	2,111,671	2,324,164
하예작업	1,298,203	2,234,612
덩굴제거(신규)	234,740	575,252
덩굴제거(보완)	216,866	557,378
치수가꾸기	579,935	1,154,549
간벌작업	1,404,368	1,994,620

구분	낙엽송	
	가장 양호한 조건	가장 불량한 조건
지존작업	1,025,283	1,163,404
조림작업	2,899,225	3,111,719
하예작업	1,298,203	2,234,612
덩굴제거(신규)	234,740	575,252
덩굴제거(보완)	216,866	557,378
치수 가꾸기	579,935	1,154,549
간벌작업	1,404,368	1,994,620

구분	잣나무	
	가장 양호한 조건	가장 불량한 조건
지존작업	1,025,283	1,163,404
조림작업	2,977,260	3,189,754
하예작업	1,622,754	2,793,265
덩굴제거(신규)	234,740	575,252
덩굴제거(보완)	216,866	557,378
치수 가꾸기	1,159,870	2,309,099
간벌작업	1,415,009	2,005,261

구분	상수리	
	가장 양호한 조건	가장 불량한 조건
지존작업	1,025,283	1,163,404
조림작업	2,176,320	2,388,813
하예작업	1,617,433	2,553,842
덩굴제거(신규)	234,740	575,252
덩굴제거(보완)	216,866	557,378
치수 가꾸기	1,159,870	2,309,099
간벌작업	1,415,009	2,005,261

구 분	해 송	
	가장 양호한 조건	가장 불량한 조건
지존작업	1,067,782	1,444,958
하예작업	1,244,998	1,739,805
덩굴제거(신규)	681,662	835,957
덩굴제거(보완)	328,596	472,250
치수 가꾸기	723,589	904,486
간벌작업	1,863,149	2,636,237
조림작업	1,806,881	2,051,249

구 분	리기다 소나무	
	가장 양호한 조건	가장 불량한 조건
지존작업	1,067,782	1,444,958
하예작업	1,260,960	1,755,766
덩굴제거(신규)	681,662	835,957
덩굴제거(보완)	328,596	472,250
치수 가꾸기	723,589	904,486
간벌작업	1,863,149	2,636,237
조림작업	1,762,612	2,006,980

구 분	삼나무	
	가장 양호한 조건	가장 불량한 조건
지존작업	1,067,782	1,444,958
하예작업	1,260,960	1,755,766
덩굴제거(신규)	681,662	835,957
덩굴제거(보완)	328,596	472,250
치수 가꾸기	1,447,177	1,808,971
간벌작업	2,794,724	3,954,355
조림작업	1,707,716	1,952,084

구 분	편 백	
	가장 양호한 조건	가장 불량한 조건
지존작업	1,067,782	1,444,958
하예작업	1,260,960	1,755,766
덩굴제거(신규)	681,662	835,957
덩굴제거(보완)	328,596	472,250
치수 가꾸기	1,457,818	1,819,612
간벌작업	2,794,724	3,954,355
조림작업	1,707,716	1,952,084

각 작업별 공정에 있어 입지 조건의 극단적 차이에 의한 수종별 투입경비는 표 5와 같다. 각 수종별로 가장 양호한 입지 조건의 값과 가장 불량한 입지 조건의 값을 적용 하여 투입경비의 차이를 비교함으로서 입지 조건에 따른 수종별 투입경비의 분석이 가능할 것이다.

<표 4-3-5> 입지조건의 극단적 차이에 따른 수종별 투입 경비 단위 : (원)

구분	입지조건 적용시 수종별 투입 경비	
	가장 양호한 조건	가장 불량한 조건
낙엽송	7,658,619	10,791,534
상수리	7,845,521	11,553,050
잣나무	8,651,781	12,593,413
소나무	6,871,065	10,003,980
고로쇠	7,676,002	10,044,286
해송	7,716,657	10,084,942
리기다	7,688,350	10,056,634
편백	9,299,258	12,234,983
삼나무	9,288,617	12,224,342

수종에 따라서 입지조건 인자의 가장 양호한 인자와 가장 불량한 인자의 적용시 투입되는 경비의 차이는 대부분의 수종에 있어서 3,000,000원 정도의 차이를 나타내고 있으며, 입지인자의 조건에 의해 가장 많은 경비의 차이를 보이고 있는 수종은 상수리와 잣나무 수종으로 나타났다. 이것은 상수리와 잣나무 수종의 경우 묘목대의 차이에 의한 투입 비용의 차이도 있겠으나, 작업공정의 횟수에 따른 투입경비의 차이에 의한 것이라 할 수 있다. 잣나무의 경우 각 작업공정 중에서 하예작업공정이 다른 수종에 비해 5년 모두 적용되는 것으로서 설명 할 수 있다.

조림·육림의 작업공정에 적용되는 투입비용에 벌목·조재 비용, 산지집재 비용, 운반비용을 산출하여 포함시킴으로서 최종적으로 임목의 벌기령 시 투입되는 비용으로 적용하였다. 벌목·조재 공정은 2005년 임산물 매각규칙에 의거하여 작업 투입 인부를 적용하였는데, 기계톱 투입인부의 경우 2인 1조로 작업을 실시하며, 1인 하루 간벌량은 임종과 경사도에 따라 다르게 산출·적용하였다. 하루에 모두베기를 실시한다고 가정하여 최종적인 비용을 산출하였으며, 기계톱 가격은 75,772원을 사용하였으며, L당 휘발류 가격과 오일가격

은 각각 1,305원, 1,500원을 사용하였다. 이러한 과정으로 입목재적에 따른 투입인부를 산출하였고, 산출된 투입인부에 기계톱 노임비단가를 적용하여 기계톱 노임비를 산출 하였다. 기타 투입인부는 총 투입인부에 × 0.5명의 인부를 적용하여 산출하였으며 노임단가는 현행 노임단가를 적용하여, 기타 투입인부의 노임비를 산출 하였다. 기계톱 노임비의 × 0.5의 비용과 기타 투입인부의 노임비의 합으로서 최종적인 인건비를 산출하였다.

감가 삼각비와 유류대의 비용과 투입인부/2를 곱하여 최종적으로 자재대 비용 합계를 산출 하였으며, 총인건비 × 2.8%로 산재보험료를 산출하고, 총인건비와 자재대 합계, 산재보험료의 합계에 7%를 곱하여 수수료를 산출하였다. 부대비는 산재보험료, 자재대합계, 총인건비, 수수료에 2%를 곱하여 산출하였으며, 이 모든 비용의 합계의 10%를 부가가치세로 산출 하였다. 산출한 모든 비용의 합계를 최종적인 벌목·조재 공정에 투입되는 비용으로 적용 하였는데 이것은 <표 4-3-6>과 같다.

<표 4-3-6> 입목재적이 160㎥/ha이고, 경사도가 35°일 경우 단위 : (원)

인건비			
총 필요인부	기계톱 노임비	기타인건비	총인건비합계
72.7	75,772	41,218	4,254,182

자재대			
총 필요인부	감각 삼가비	유류대	자재대 합계
72.7	3,780	13,058	612,291

산재보험료	수수료	부대비	부가가치세	총비용
119,117	348,991	106,692	544,127	5,985,400

주)입목재적과 경사도는 임의로 지정

산지집재공정은 포크레인과 인력을 동원하여 작업을 하는데, 85%는 포크레인으로 작업을 하고 포크레인으로 할 수 없는 곳을 인력으로 하는데, 이때의 투입인부의 노임비는 하루 6만원 선이다. 토장까지의 소운반은 포크레인과 GMC를 동원하여 실시하는데, 일반적으로 포크레인 한 대에 GMC 2대가 동원되어 작업을 실시한다. 토장운반에 사용되는 포크레인과 GMC(2대기준)의

가격은 구분없이 250,000원의 단가를 적용하고, 종구작업 포크레인은 230,000원의 단가를 적용하였다.
하루 운반량은 약 66.7㎥이 가능하며, 이것을 근거로 하여 포크레인과 토장운반비를 산출 하였다.
먼저 임종과 경사에 따라 1인 1일 작업량을 산출하였으며, 벌채재적에 따른 1인 1일 수집량의 15%를 투입인부로 산출하였고, 투입인부에 노임비 단가를 적용하여 산지집재 공정의 인부인건비를 산출하였다.
포크레인 단가와 GMC(2대기준)단가의 합계와 1인 1일 운반량에 벌채재적을 나누어 준 값을 곱함으로서 토장운반비를 산출하였고, 종구작업 포크레인 단가에 1인 1일 운반량을 벌채재적으로 나누어 준 값을 곱함으로서 최종적으로 종구작업 투입비용을 산출 하였다.

<표 4-3-7> 경사도 35°, 벌채재적 144㎥인 경우 단위 : (원)

인건비		
필요 인부수	인건비	총인건비
6.5	60,000	392,727

토장운반비			
포크래인	GMC2대	1일운반량(㎥)	토장운반비
250,000	500,000	66.7	1,619,190

종구작업비			총집재비
종구작업포크레인	1일 작업량(㎥)	종구작업비	
230,000	66.7	496,552	2,508,469

주)벌채재적과 경사도는 임의로 지정

운반공정에 있어서 기준은 재재소까지의 운반 가격을 기준으로 하였으며, t당 가격으로 도급을 주고 있다. 사용되는 운반 트럭의 종류는 주로 11ton과 18ton 트럭이 사용되며, 운반 트럭의 하루 적재량에 있어서는 11ton의 경우 13.9㎥(19ton)정도를 적재하며, 18ton의 경우 17.9㎥(25ton)정도를 적재한다. 운반비는 ton당 15,000원 ~ 18,000원 정도가 소요되며, 상차비는 3,000원

/ton 정도가 소요된다. 사용되는 트럭의 하루 운임비는 18ton의 경우 412,500원이 소요되며, 11ton의 경우는 312,500원이 소요된다. 이러한 과정을 근거로 하여 벌채재적에 적재량을 적용하여 필요 차량 개수를 파악하였으며, 파악한 필요차량개수에 트럭 운임비 단가를 곱한 비용과 적재량에 따른 상차비를 곱한 비용의 합을 최종 운반비 합계로 사용 하였다.

<표 4-3-8> 벌채재적 144㎥이고, 11ton의 경우 단위 : (원)

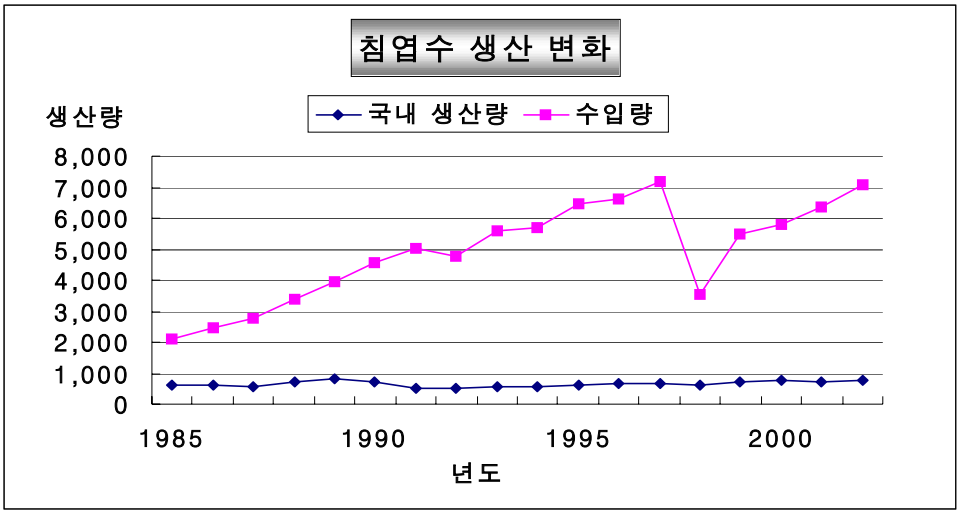
트럭운임	적재량(㎥)	필요차량수	상차비	운반비합계
313,500	13.62	10.6	57,000	3,918,140

주)벌채재적과 사용트럭은 임의로 지정

산출된 각각의 작업 종에 따른 비용의 합계와 조림·육림비용의 합계로서 임목이 벌기령에 도달 하였을 시 투입되는 비용으로 산정하였다.

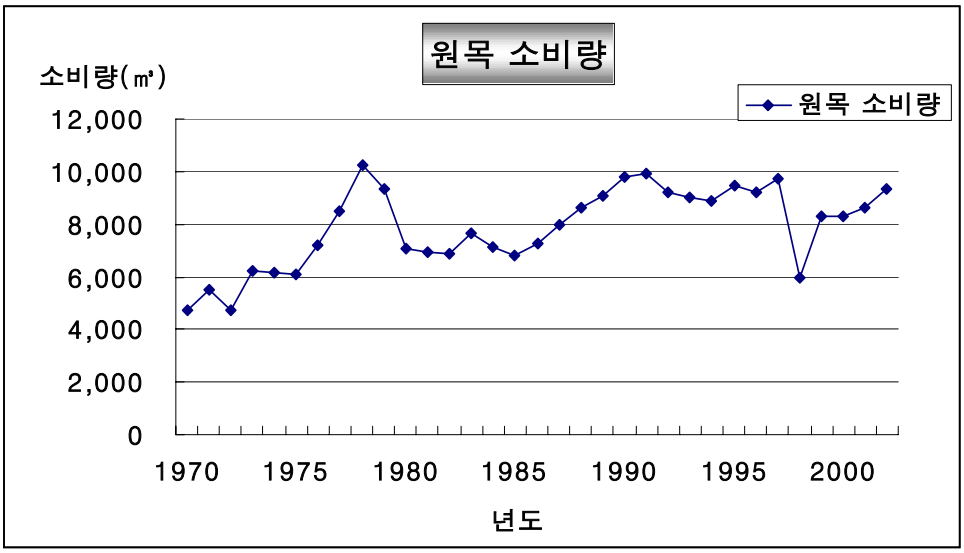
2. 수입분석

현재 우리나라 원목의 생산에 따른 자급율은 2004년 기준 7.5%내외의 낮은 수급율을 보이고 있다. 이러한 이유는 여러 가지 이유가 있겠으나, 가장 큰 이유는 외국의 침엽수계통의 원목들의 가격 경쟁력이 우리나라의 원목에 비해 더 높기 때문이다.



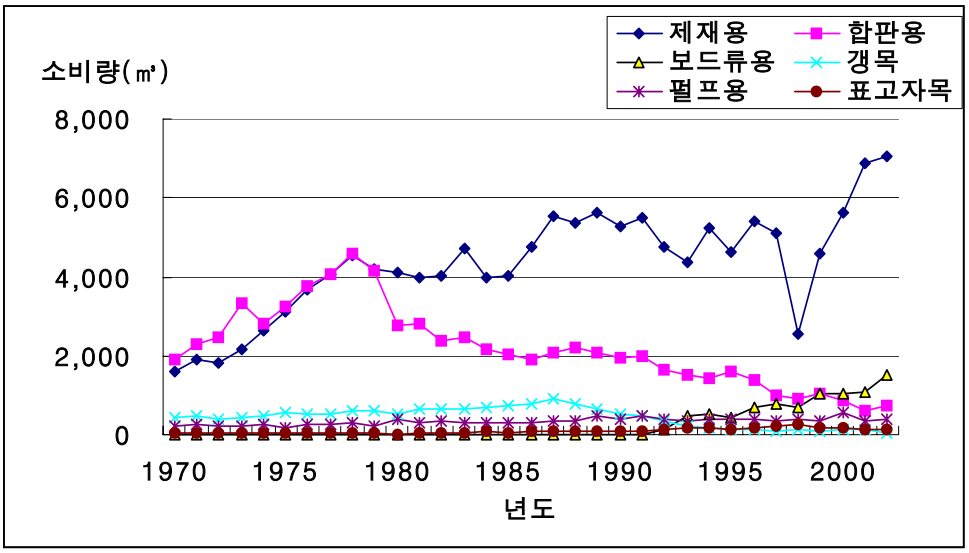
<그림 4-3-1> 국내・외 침엽수 생산량 변화

1985년부터 우리나라의 침엽수 생산량의 변화는 거의 변화가 없는 반면, 외국의 침엽수에 의한 수입은 증가하고 있는 변화를 보이고 있다. 그에 반해 우리나라의 원목 소비량은 증감을 반복하고 있으나, 계속 증가하고 있는 추세를 보이고 있다.



<그림 4-3-2> 침·활엽수 원목의 전체 소비량

용도별 원목의 소비량에 있어서는 제재용 원목의 이용율이 가장 많이 증가하고 있으며, 합판용류는 80년대 까지 증가하다 감소 추세를 보이고 있다. 85년 이전까지만 해도 갱목용으로 이용이 이루어지긴 하였으나, 그 이후 현저히 하락하고 있는 추세를 보이고 있다. 그 외 표고 자목용, 펄프용재의 경우는 변화가 상대적으로 적은 것을 나타내고 있다.



<그림 4-3-3> 용도별 원목의 소비량

우리나라의 원목의 등급에 따른 용도별 이용재적을 통계·집계된 자료는 부족한 실정에 있다. 이러한 이유로 기존의 입목가를 사정하기 위해서 수확표에 따른 벌채재적을 이용하여 최종적인 원목 가격을 산정하는 방법이 일반적이었으며, 시장가 역산 방식을 통한 입목가의 사정역시 ㎥당 비용비율과 시장가격에 따른 입목가의 사정이 이루어 졌다.

따라서 본 연구과제에서는 수종에 따른 원목의 등급별 이용재적을 통한 수입분석을 하여 최종 입목가를 사정하였으며, 최종 수입을 산출하는 과정을 거쳤다. 원목의 등급별 가격은 2005년 현재 산림조합에서 통계·집계 원목의 등급별 가격을 이용하였다.

조사한 원목의 등급별 가격은 2005년 경제지표를 이용하여 실질 가격을 산출하였으며, 조사년도에 해당하는 각 분기별 원목의 등급별 가격을 GDP Deflaltor를 곱하여서 분기별 실질 가격을 산출 하였고, 산출한 각 분기별 가격의 평균값을 최종적으로 년도 별 원목의 등급별 가격으로 적용하였다.

산출된 원목의 등급별 가격은 운반비와 산지 집재비, 벌목 조재비를 포함하고 있는 가격이므로 벌기령 시 투입되는 조림·육림의 투자비용에 운반·집재비를 제외 해 줌으로서 임목의 최종 벌기령 시 수입으로 적용 하였다.

임목의 벌기령에 따른 벌채재적은 기존의 수확표를 이용하였으며, 지위지수와 임령에 따라 임목의 재적 당 이용등급을 구분하였다. 본 연구 과제에 사용한 원목의

등급당 이용재적의 수종은 4개 수종으로 제한되어 있는데, 이는 수종별로 등급당 재적의 구분과 그에 따른 조사 자료의 이용에 어려움이 따른 것 이라 할 수 있다. 때문에 상수리를 참나무의 대표수종으로 간주하였으며, 고로쇠 수종의 경우 원목의 이용에 따른 수익 보다는 수액을 이용하는 등 부산물에 따른 수익의 정도가 크다고 할 수 있기에 본 연구에 따른 비용·수입간 수익성을 적용하기에는 어려움이 있다고 판단된다. 또한 해송의 경우 중부지방 소나무와 같은 방법으로 비용과 수입을 계산할 수 있기 때문에 원목 이용의 경우 다른 수종 간 차이가 크지 않다고 가정했다.

이러한 과정을 통해 임목의 벌채 재적당 이용재적을 계산하였으며, 계산된 이용재적에 실질 가격을 적용하여 최종적으로 지위지수와 임령에 따른 이용재적 가격을 산정 하였다.

<표 4-3-9> 소나무 지위지수 임령에 따른 등급별 이용재적 단위:원/ha

지위지수	임령	1등급	2등급	3등급	펄프재	합계
6	15	0	0	0	572,827	572,827
	20	0	0	0	1,154,618	1,154,618
	25	0	0	22,729	2,092,721	2,115,449
	30	0	0	264,260	2,966,523	3,230,783
	35	0	0	757,817	3,725,145	4,482,962
	40	0	0	1,847,427	4,218,574	6,066,001
	45	6,503	31,645	3,076,111	4,663,859	7,778,117
	50	14,518	64,112	4,092,569	4,764,376	8,935,575
8	15	0	0	0	775,961	775,961
	20	0	0	21,653	1,562,275	1,583,927
	25	0	0	385,617	2,699,785	3,085,402
	30	0	18,288	1,736,747	3,461,490	5,216,524
	35	0	128,717	3,701,815	3,933,727	7,764,258
	40	36,744	553,477	6,099,878	4,071,124	10,761,223
	45	151,138	1,179,440	8,349,117	4,203,461	13,883,154
	50	242,148	1,561,218	9,604,690	4,243,576	15,651,634
10	15	0	0	0	956,641	956,640
	20	0	0	39,518	1,932,194	1,971,711
	25	0	0	686,878	3,271,221	3,958,099
	30	0	32,911	2,919,132	3,912,432	6,864,475
	35	0	235,169	6,162,812	4,235,271	10,633,252
	40	67,105	1,010,801	9,677,983	4,096,388	14,852,277
	45	276,155	2,129,971	12,819,310	3,987,221	19,212,656
	50	442,333	2,801,182	14,308,475	3,984,041	21,536,030
12	15	0	0	0	1,124,190	1,124,190
	20	0	0	138,454	2,239,509	2,377,962
	25	0	9,533	1,580,018	3,536,971	5,126,522
	30	0	159,530	4,802,914	4,009,328	8,971,771
	35	91,840	1,016,706	8,989,505	4,008,194	14,106,245
	40	655,124	2,577,289	12,457,637	3,782,201	19,472,250
	45	1,455,765	4,264,571	15,415,501	3,699,376	24,835,212
	50	1,647,446	4,861,432	16,923,769	3,854,730	27,287,376
14	15	0	0	0	1,271,834	1,271,833
	20	0	0	227,357	2,515,192	2,742,548
	25	0	18,116	2,385,954	3,784,436	6,188,506
	30	0	276,264	6,570,661	4,148,294	10,995,219
	35	174,519	1,720,842	11,548,963	3,813,904	17,258,228
	40	1,184,501	3,989,605	14,983,123	3,509,517	23,666,746
	45	2,517,722	6,190,891	17,787,379	3,451,738	29,947,729
	50	2,730,900	6,719,082	19,310,211	3,749,095	32,509,288

<표 4-3-10> 상수리 지위지수 임령에 따른 등급별 이용재적 단위:원/ha

지위지수	임령	1등급	2등급	3등급	펄프재	합계
14	15	0	0	0	1,206,099	1,206,099
	20	0	0	0	1,967,594	1,967,594
	25	0	0	67,547	2,951,238	3,018,785
	30	0	0	304,201	4,217,641	4,521,842
	35	0	0	1,402,823	4,866,546	6,269,369
	40	0	0	4,235,757	4,636,369	8,872,126
	45	0	0	7,318,253	4,308,626	11,626,879
	50	0	0	9,207,499	4,120,498	13,327,996
16	15	0	0	0	1,417,985	1,417,985
	20	0	0	22,203	2,284,445	2,306,647
	25	0	0	112,145	3,381,818	3,493,963
	30	0	0	575,155	4,721,645	5,296,800
	35	0	0	2,850,654	4,915,655	7,766,309
	40	0	0	6,713,687	4,322,741	11,036,428
	45	0	0	9,349,442	4,462,918	13,812,360
	50	0	0	12,339,081	3,828,978	16,168,059
18	15	0	0	0	1,663,609	1,663,609
	20	0	0	25,707	2,644,962	2,670,668
	25	0	0	129,700	3,911,188	4,040,888
	30	0	0	668,167	5,485,209	6,153,376
	35	0	0	3,320,777	5,726,335	9,047,112
	40	0	0	7,862,317	5,062,309	12,924,626
	45	0	0	10,996,838	5,249,296	16,246,134
	50	0	0	14,590,550	4,527,638	19,118,189
20	15	0	0	0	1,906,585	1,906,585
	20	0	0	66,009	3,028,547	3,094,556
	25	0	0	417,576	4,360,204	4,777,780
	30	0	0	2,889,156	5,242,301	8,131,457
	35	0	0	7,658,025	4,648,040	12,306,065
	40	0	0	11,482,314	4,703,741	16,186,055
	45	0	145,203	16,038,204	4,312,587	20,495,995
	50	0	1,228,312	18,333,792	3,623,349	23,185,453

<표 4-3-11> 잣나무 지위지수 임령에 따른 등급별 이용재적 단위:원/ha

Site index	age	1등급	2등급	3등급	등외	Total
12	20	0	0	393,589	10,493,450	10,887,040
	25	4,150	23,980	3,272,265	12,384,233	15,684,628
	30	40,639	337,854	7,390,338	10,783,402	18,552,233
	35	81,278	1,286,330	10,875,128	9,732,274	21,975,010
	40	528,617	3,252,942	13,328,176	7,959,675	25,069,409
	45	1,037,544	4,580,664	15,740,722	8,162,179	29,521,109
	50	1,302,044	5,059,519	17,381,407	9,020,277	32,763,247
14	20	0	0	635,201	12,523,757	13,158,958
	25	12,185	39,160	5,031,626	12,934,225	18,017,196
	30	28,673	548,415	10,633,073	9,452,196	20,662,356
	35	194,628	2,062,394	14,800,800	7,166,096	24,223,919
	40	1,607,730	5,174,226	17,021,599	4,776,867	28,580,423
	45	2,717,826	7,122,977	19,475,927	4,940,254	34,256,984
	50	3,242,621	7,741,192	21,185,890	6,318,926	38,488,629
16	20	0	0	899,243	14,448,433	15,347,676
	25	23,783	56,249	7,003,064	13,342,764	20,425,861
	30	158,124	791,783	14,352,980	7,747,613	23,050,501
	35	729,520	2,979,743	19,437,993	4,122,630	27,269,886
	40	3,272,381	7,409,002	21,268,912	982,734	32,933,029
	45	5,120,452	10,052,027	23,690,276	1,090,169	39,952,923
	50	5,929,614	10,822,489	25,442,223	3,055,777	45,250,104

<표 4-3-12> 낙엽송 지위지수 임령에 따른 등급별 이용재적 단위:원/ha

지위지수	임령	1등급	2등급	3등급	갱목용	합계
10	15	0	0	32,321	9,423,988	9,456,309
	20	0	0	321,960	14,091,031	14,412,991
	25	0	11,426	1,216,119	20,101,637	21,329,182
	30	0	27,565	2,773,066	23,292,970	26,093,602
	35	0	118,321	4,834,434	24,917,174	29,869,930
	40	0	325,416	7,103,941	25,547,974	32,977,330
	45	0	709,538	9,626,747	24,824,643	35,160,928
	50	15,917	1,018,092	11,193,527	23,451,700	35,679,235
12	15	0	0	143,057	11,306,035	11,449,093
	20	0	4,680	747,202	16,280,551	17,032,434
	25	0	44,533	25,329,321	21,690,986	24,268,452
	30	0	219,462	5,045,376	23,562,449	28,827,288
	35	14,445	617,640	8,032,647	23,665,802	32,330,535
	40	38,524	1,135,638	10,809,232	23,860,998	35,844,391
	45	146,837	1,911,345	13,536,041	23,086,409	38,680,632
	50	260,276	2,505,151	15,133,021	21,480,931	39,379,379
14	15	0	0	258,879	13,282,703	13,541,582
	20	0	9,600	1,196,545	18,681,780	19,887,925
	25	0	71,108	3,515,756	21,064,009	24,650,874
	30	0	421,674	7,462,824	24,064,900	31,949,400
	35	29,598	1,142,092	11,414,325	22,490,553	35,076,568
	40	78,870	1,985,032	14,708,088	22,159,817	38,931,807
	45	300,035	3,163,796	17,595,421	21,223,190	42,282,443
	50	514,943	4,053,692	19,223,892	19,395,110	43,187,638
16	15	0	0	492,339	15,109,788	15,602,128
	20	0	24,624	2,039,317	20,270,192	22,334,135
	25	0	280,591	5,901,299	23,798,944	29,980,835
	30	21,214	973,437	10,188,898	23,262,121	34,445,670
	35	190,079	2,220,187	14,412,877	21,263,646	38,086,790
	40	549,253	3,756,953	17,625,382	20,269,194	42,200,783
	45	1,107,745	5,640,002	20,229,365	19,061,528	46,038,640
	50	1,647,461	7,144,052	21,334,142	17,139,384	47,265,039

18	15	0	0	729,308	16,803,909	17,533,217
	20	0	39,877	2,885,565	21,632,202	24,557,645
	25	0	486,035	7,871,739	23,734,559	32,092,334
	30	43,080	1,537,526	12,916,588	22,169,448	36,666,642
	35	354,739	3,313,488	17,341,352	19,694,922	40,704,500
	40	1,032,224	5,559,030	20,475,335	18,098,124	45,164,713
	45	1,936,827	8,163,726	22,799,685	16,665,952	49,566,191
	50	2,810,340	10,296,990	23,361,172	14,666,886	51,135,388
20	15	0	0	963,917	18,364,763	19,328,680
	20	0	55,094	3,724,856	22,857,453	26,637,404
	25	0	692,805	9,835,093	23,522,375	34,050,274
	30	65,119	2,102,760	15,607,191	20,879,021	38,654,091
	35	520,160	4,404,516	20,198,998	17,942,486	43,066,159
	40	1,516,491	7,351,817	23,213,912	15,733,066	47,815,286
	45	2,771,844	10,690,205	25,275,027	14,102,946	52,840,021
	50	3,980,130	13,449,396	25,267,370	12,031,128	54,728,024

현행 사용되고 있는 수확표를 이용하기 위해 본 연구과제에 사용한 수종에 따른 원목의 등급별 이용재적은 수확표에 따른 벌채재적에 의거하여 각 등급별 벌채재적으로 환원하였으며, 간벌율을 각 등급에 적용하여 최종적으로 원목의 등급별 벌채재적을 산출하였다. 이렇게 계산된 벌채재적을 다시 수종에 따른 이용재적으로 구분하기 위해 각 등급에 따라 조재율을 적용하여 최종 원목의 등급별 이용재적을 산출 하였다.

조재율은 수종에 따라 동일하게 적용하였으며, 임령을 기준으로 45년 이상은 90%, 40이상은 85%, 35년 이상은 80%, 30년 이상은 75%, 25년 이상은 70%, 그리고 20년 이하는 60%를 수종에 관계없이 적용하였다. 단, 상수리 수종의 경우에만 25년 이상일 경우 65%의 조재율을 적용하여 각 원목의 등급별 원목재적을 구하였다.

3. 비용과 수입에 의한 수익성 분석

조림・육림작업과 벌목 조제, 산지집재, 운반공정을 통해 산출된 투입비용과 벌기령 시 지위지수와 임목에 따른 원목의 등급별 이용재적으로 산출된 수입에 의해 수익성 분석을 하였다.

수익성 분석에 사용한 판단 근거로서 내부투자수익율(IRR)을 사용하였으며, 이 IRR값의 변화에 의해 수종간 수익성의 변화를 살펴보았다. 수확표를 이용하였기 때문에 각 지위지수와 임령에 따른 IRR값을 산출 하였으며, 최종 수입은 산주가 자르고자 하는 시점의 임령일 때의 수익성을 알아보고자 5년 단위

로 수익성 계산을 하였으며, 이때의 투입 비용은 임의로 자르고자 하는 시점의 임령까지의 작업공정에 투입된 비용만을 적용하여 산출 하였으며, 수종간에 있어서 입지인자에 의해 수익성의 변화를 살펴보기 위해 각 작업 조건에 있어서 가장 양호한 입지인자의 조건과 가장 불량한 입지인자의 조건만을 적용하여 IRR값을 계산 하였으며, 이때의 값을 비교 하였다.

<표 4-3-13> 지위지수와 임령에 따른 입지인자의 극단적 조건에 의한 IRR 단위 : %

구 분		소나무	
지위지수	임령	가장 양호한 조건	가장 불량한 조건
10	30	-	-
	35	-	-
	40	-	-
	45	-1.104%	-2.504%
	50	-0.016%	-1.113%
12	30	-	-
	35	-	-
	40	-1.103%	-2.703%
	45	0.999%	-0.147%
	50	1.380%	0.397%
14	30	-	-
	35	-3.646%	-
	40	0.784%	-0.562%
	45	2.045%	0.967%
	50	2.168%	1.226%

<표 4-3-13> 계속

구 분		낙엽송	
지위지수	임령	가장 양호한 조건	가장 불량한 조건
10	30	1.278%	-0.504%
	35	2.091%	0.713%
	40	2.358%	1.216%
	45	2.362%	1.378%
	50	2.159%	1.285%
12	30	2.201%	0.527%
	35	2.620%	1.285%
	40	2.795%	1.680%
	45	2.777%	1.815%
	50	2.538%	1.682%
14	30	3.041%	1.447%
	35	3.124%	1.826%
	40	3.200%	2.109%
	45	3.141%	2.197%
	50	2.870%	2.029%
16	30	3.602%	2.053%
	35	3.601%	2.332%
	40	3.575%	2.503%
	45	3.472%	2.542%
	50	3.178%	2.350%
18	30	4.042%	2.524%
	35	3.966%	2.718%
	40	3.877%	2.818%
	45	3.748%	2.828%
	50	3.436%	2.617%
20	30	4.397%	2.902%
	35	4.264%	3.031%
	40	4.123%	3.074%
	45	3.979%	3.067%
	50	3.652%	2.840%

<표 4-3-13> 계속

구 분		잣나무	
지위지수	임령	가장 양호한 조건	가장 불량한 조건
12	30	-2.352%	-4.561%
	35	-0.364%	-2.075%
	40	0.764%	-0.543%
	45	1.552%	0.480%
	50	1.812%	0.884%
14	30	-0.703%	-2.648%
	35	0.616%	-0.964%
	40	1.595%	0.355%
	45	2.245%	1.211%
	50	2.426%	1.524%
16	30	0.537%	-1.262%
	35	1.543%	0.061%
	40	2.374%	1.184%
	45	2.886%	1.881%
	50	2.985%	2.103%

<표 4-3-13> 계속

구 분		상수리	
지위지수	임령	가장 양호한 조건	가장 불량한 조건
18	30	-	-
	35	-	-
	40	-	-
	45	-	-
	50	-1.368%	-
20	30	-	-
	35	-	-
	40	-	-
	45	-0.817%	-2.498%
	50	0.181%	-1.016%

수종에 따른 입지인자의 극단적인 차이에 의한 IRR값의 변화에 있어서 수종에 관계없이 지위지수가 높을수록, 그리고 임령이 벌기령에 가까울수록 수익성은 높은 것으로 나타났다. 수종 간 비교에 있어서는 낙엽송이 다른 수종에 비하여 상대적으로 수익성이 높은 것으로 나타나고 있는데, 이것은 원목의 등급별 가격이 타 수종에 비해 상대적으로 높기 때문인 것으로 판단된다. 잣나무의 경우 지위지수가 14이고 임령이 35년일 때의 수익률에서 입지인자의 조건에 따른 변화의 차이가 크게 나타나는데, 이러한 입지인자의 조건에 따른 비용의 감소로 수익률의 차이를 작게 할 수 있을 것으로 판단된다.

소나무의 경우 지위지수가 6부터 수익률을 사정 할 수 있으나, 현재 수익률이 나타나지 않고 있는데 이것은 수입·비용 간 차에 의한 최종 순수익의 수익률을 나타낸 것이므로 수익이 거의 없다는 것을 의미한다. 특히 상수리 수종의 경우 그러한 현상이 많이 나타나고 있으며, 그렇기 때문에 IRR값이 “ - ”인 것의 의미 또한 수익이 낮기 때문에 투자할 가치가 상대적으로 낮다고 할 수 있으며, 이러한 근거로 산주에게 투자 판단에 대한 근거 제시가 가능하다. 또한 오히려 입지 조건에 따라 변화하는 수익률의 정도를 비교 하고자 각 입지 조건별로 극단적인 값만을 적용하였으나, 다른 여러 가지 조건들이 병행되어 적용될 경우 IRR값은 “ - ”에서 “ + ” 로 변하는 시점의 임령과 반대의 경우로 변하는 시점의 임령을 찾아 낼 수 있게 된다. 이것으로 오히려 각 수종에 따른 최적 벌기령을 찾아낼 수 있을 것으로 생각되며, 산주의 벌채 시기 또한 조정이 가능 할 것으로 생각된다.

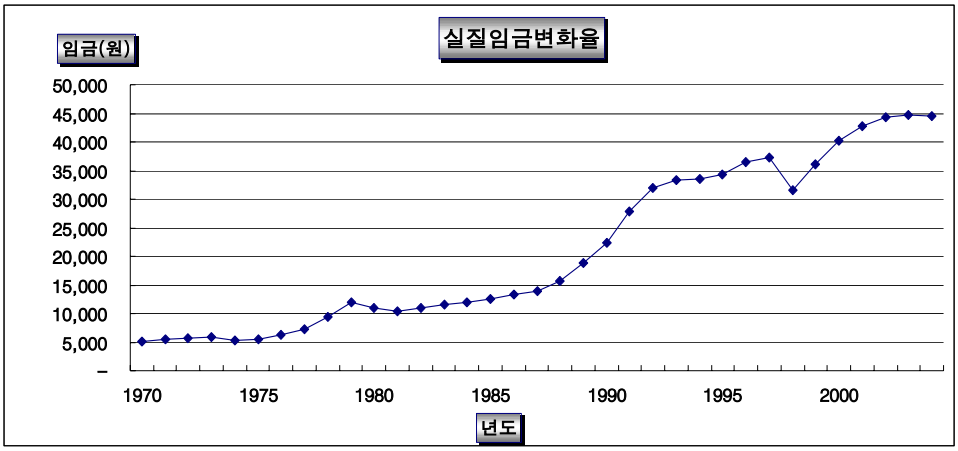
상수리 수종의 경우 입지인자의 조건에 따라 전체적으로 수익률이 낮게 책정되는데 이것은 표고 골목용으로 사용되는 등급의 정확한 이용재적을 산출한 것이 아닌 동일한 이용재적을 적용한 결과로 판단된다. 현재 산출된 수익률은 정부 보조금을 “0” 인 것으로 가정하여 산출한 결과이므로, 여기에 정부 보조금을 적용한다면 모든 수종에 있어 수익률은 높아질 것으로 판단된다.

현재 산출한 수익률은 노임비의 변화와 원목의 가격변화가 벌기령에 도달 시 변하지 않는다는 가정에 산출한 것이다. 때문에 여기에 미래 가격이 적용 된다면 IRR값의 차이는 다르게 나타날 것으로 사료 된다. 그러한 이유로 각 투입비용과 수입 간에 있어서 미래가격의 변동에 따라 변화하는 정도를 살펴보기 위해 먼저 노임비의 미래 가격 변화를 계산 하였다. 미래가격 산정에 있어서 2005년 경제지표를 이용하여 임금 변화율에 따른 실질임금의 변화율을 산출하였는데, 이것은 최근 4년간 안정적인 변화를 보인 부분의 임금변화율을 계산 하였으며 그 식은 다음과 같다.

$$Pn = Po(1+r)n$$

Pn = n년도의 가격
P o = 기준년도 가격
r = 할인율(성장율)
n = 년도

2000년의 가격을 가격으로 적용 하였으며, 실질 임금의 계산 근거는 2005년 경제 지표에 있는 노임비의 가격으로 하였으며, 통계·집계된 노임비의 가격에 GDP Deflaltor(2000년 기준)를 곱하여 실질 임금가격을 계산 하였다.
계산된 실질 임금의 가격을 이용하여 미래가격의 변화율을 사정하였으며, 최근 4년간 임금 변화율은 2.5%로 나타났다.



<그림 4-3-4> 실질임금 변화율

노임비의 변화율에 따라 원목의 등급별 가격도 변화한다는 것을 근거로 위의 식을 통해 각 수종에 있어서 원목의 등급별 미래가격 증가율을 사정하였다. 먼저 조사된 각 분기별 원목의 등급별 가격을 GDP Deflaltor(2000년 기준)를 이용하여 실질 가격을 계산 하였으며, 산출한 실질가격을 2000년 기준으로 년도별 평균 가격을 산출 하였다. 계산된 년도별 평균가격을 이용하여 등급에 따른 가격 상승률을 산출하였는데, 이것은 다음과 같다.

<표 4-3-14> 수종별 현재가격에 따른 연 평균 증가율 단위 : %

구 분	소나무	
	연평균증가율	가격
펄프재	-0.022	49,964
12-18cm	-0.023	125,895
15-30cm	0.024	140,519
30cm이상	0.004	258,096

구 분	낙엽송	
	연평균증가율	가격
2.4cm이상×7.2m이상	0.035	258,096
12-18cm	-0.042	99,731
15-30cm	-0.014	96,822
30cm이상	0.024	139,260

구 분	잣나무	
	연평균증가율	가격
3등급	-0.081	102,029
2등급	-0.007	108,788
1등급	0.129	203,195

구 분	상수리	
	연평균증가율	가격
펄프재	0.067	54,845
표고 골목용	0.117	186,999
2등급	0.033	100,211
1등급	-0.061	66,785

이러한 과정을 통해 미래가격을 적용하였을 시의 입지 인자의 극단적인 조건에 따른 IRR값을 산출해 보았으며, 그 차이를 비교하였다. 임금의 변화율을 적용하지 않았을 때 다른 수종에 비하여 상대적으로 높은 수익률을 보인 낙엽송 수종에 대하여 실시하였으며, 다른 수종도 같은 방법으로 간다고 간주 하였다.

극단적 입지인자의 적용에 산출된 IRR값의 비교에서 임금과 가격의 변화율을 적용 하였을 경우와 그렇지 않은 경우의 IRR값의 차이는 크게 나타났으며, 변화율을 적용 하였을 시 가장 양호한 조건의 인자와 가장 불량한 조건의 인자 일때의 수익률의 차이역시 크게 나타났다.<표 4-3-14>

변화율을 적용하였을 경우 가장 불량한 조건의 수익률은 변화율을 적용하지 않았을 때의 수익률에 비해 현저히 낮게 나타나고 있는데 이는 임금의 변화율이 원목의 등급별 가격 변화율에 비해 그 정도가 크기 때문이다.

임금과 가격 변화율을 적용 하였을 때 지위지수와 임령이 높은데 반하여 수익성은 낮게 나오고 있다. 이것은 임금 변화율을 적용하지 않았을 때 와 많은 차이를 보이고 있으며, 상대적으로 각 지위지수에 따른 임령이 높아질수록 수익성은 낮아지는 것으로 나타나고 있다.

가장 양호한 조건의 인자를 적용하였을 시 지위지수가 10이고 임령이 45 ~ 50년 일 때의 IRR변화는 “ + ”에서 “ - ”로 변화하는데 이러한 변화를 보이는 경계일 때의 입지조건 인자가 낙엽송의 경제 권역이라고 설명할 수 있다.

<표 4-3-15> 임금 · 가격 상승률에 따른 수익율 단위 : %

구 분		낙엽송	
지위지수	임령	가장 양호한 조건	가장 불량한 조건
10	30	-1.076%	-
	35	0.093%	-2.874%
	40	0.473%	-1.978%
	45	0.437%	-1.855%
	50	-0.062%	-2.734%
12	30	0.382%	-2.858%
	35	0.942%	-1.557%
	40	1.207%	-0.874%
	45	1.196%	-0.675%
	50	0.767%	-1.179%
14	30	1.577%	-1.115%
	35	1.691%	-0.513%
	40	1.834%	-0.018%
	45	1.792%	0.149%
	50	1.389%	-0.236%
16	30	2.326%	-0.118%
	35	2.356%	0.354%
	40	2.377%	0.679%
	45	2.295%	0.796%
	50	1.909%	0.471%
18	30	2.891%	0.600%
	35	2.844%	0.961%
	40	2.795%	1.193%
	45	2.691%	1.285%
	50	2.312%	0.987%
20	30	3.337%	1.148%
	35	3.231%	1.429%
	40	3.124%	1.588%
	45	3.011%	1.668%
	50	2.632%	1.380%

비용과 수입에 의해 최종 산출한 순수익을 통해 IRR값을 도출 하였으며, 여기에 적용되지 않은 수종의 경우도 같은 방법을 통해 수익성의 분석이 가능할 것으로 판단된다.

제 5 장 GIS 응용모델 개발

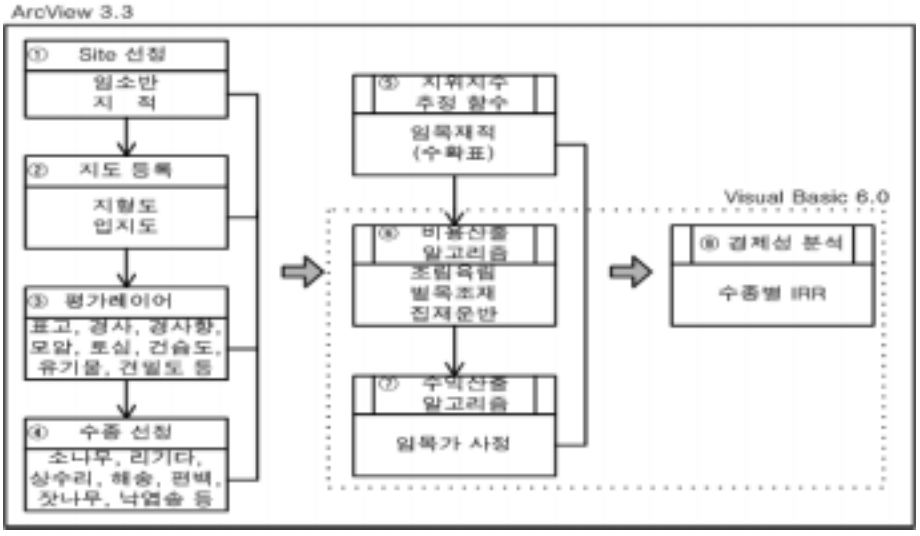
제 1 절 응용모델의 구조와 연산체계

1. 모델의 개념도

적지적수 판정을 위한 GIS모델 개발은 <그림 5-1-1>와 같이 8단계로 이루어진다. 먼저 1단계에서는 분석대상지를 선정하며, 분석단위는 사유림의 경우 지적단위, 국유림의 경우 임소반 단위가 적용될 수 있을 것이다. 이러한 구획을 사용하지 않는다면 그 대안으로 일정한 간격의 격자(grid)단위로 평가가 가능하다.

분석대상지가 선정되면 해당지역의 수치지형도와 수치입지도를 등록하게 된다. 이러한 도면에서 지위지수 사정을 위한 평가레이어를 생성하며, 이때 분석대상 수종을 선정하거나 모든 수종을 대상으로 할 수 있다. 다음으로 지위지수 추정 함수를 적용하여 수종별 지위지수를 사정하게 된다.

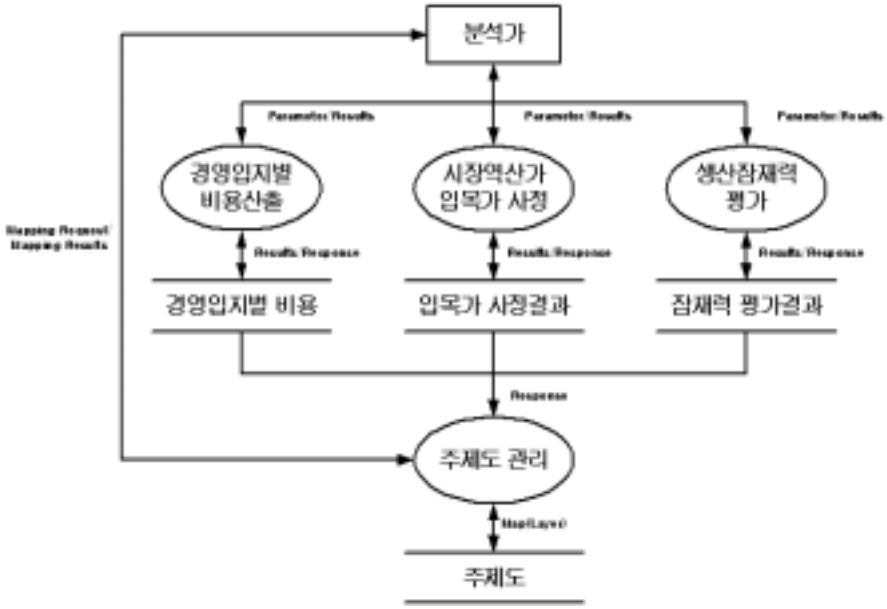
분석대상지에 대하여 수종별 지위지수를 구한다음 경제성 분석 프로그램을 이용하여 조림육림, 벌목조재, 집재운재 등의 비용산출 알고리즘, 입목가 사정을 통한 수익산출 알고리즘을 적용하여 최종적으로 수종별 IRR값을 도출하게 된다.



<그림 5-1-1> 적지적수 판정 GIS모델 개발흐름도

2. GIS 응용모델의 Data Flow Diagram

적지판정 GIS모델은 임지의 잠재생장력을 분석하기 위한 '생장잠재력평가' process, 경제성을 분석하기 위한 '경영입지별비용산출' 및 '시장역산가를 통한 입목가 사정' process로 구성되며, 이러한 process에서 생성되는 결과물과 각종 주제도와의 공간연산을 통하여 입목의 분석가(stumpage price)에 따른 주요조림수종별 적지를 확인할 수 있다.



<그림 5-1-2> GIS 응용모델 Data Flow Diagram

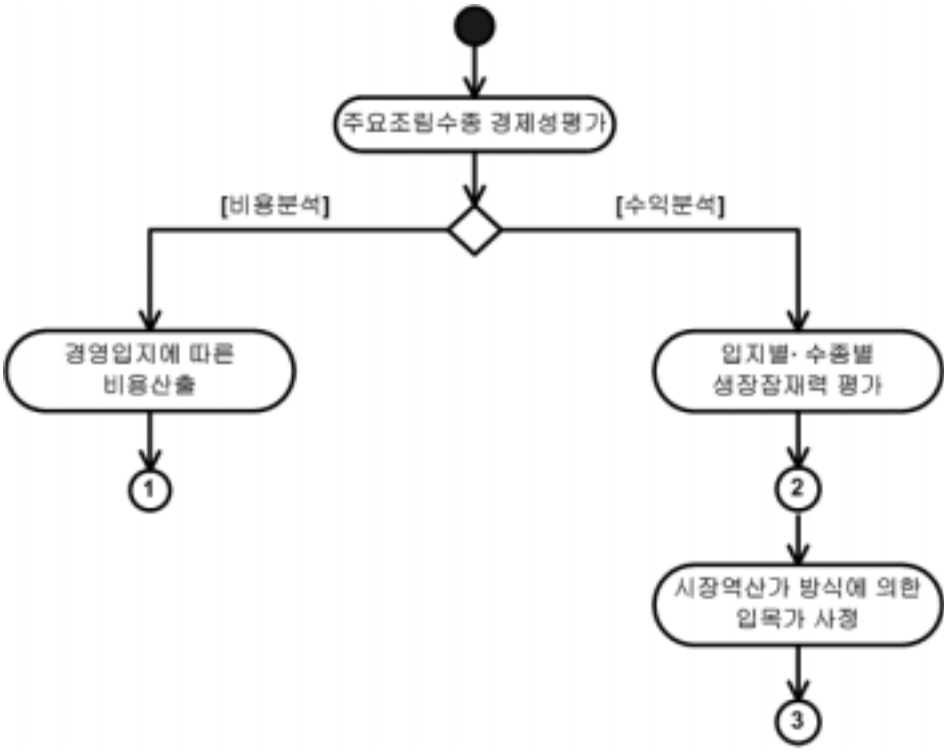
3. GIS모델 개발환경

적지판정 GIS모델의 개발환경으로 일반적으로 많이 사용되고 있는 Microsoft사의 Windows 운영체제와 GIS엔진으로서는 범용적인 Esri사의 ArcView, 개발언어로는 Esri사의 Avenue와 MS사의 Visual Basic을 이용하였다.

- 운영체제: Windows XP
- GIS 엔진: Esri사의 ArcView 3.2
- 개발언어: Esri사의 Avenue, Microsoft사의 Visual Basic6.0

제 2 절 세부 모듈별 알고리즘

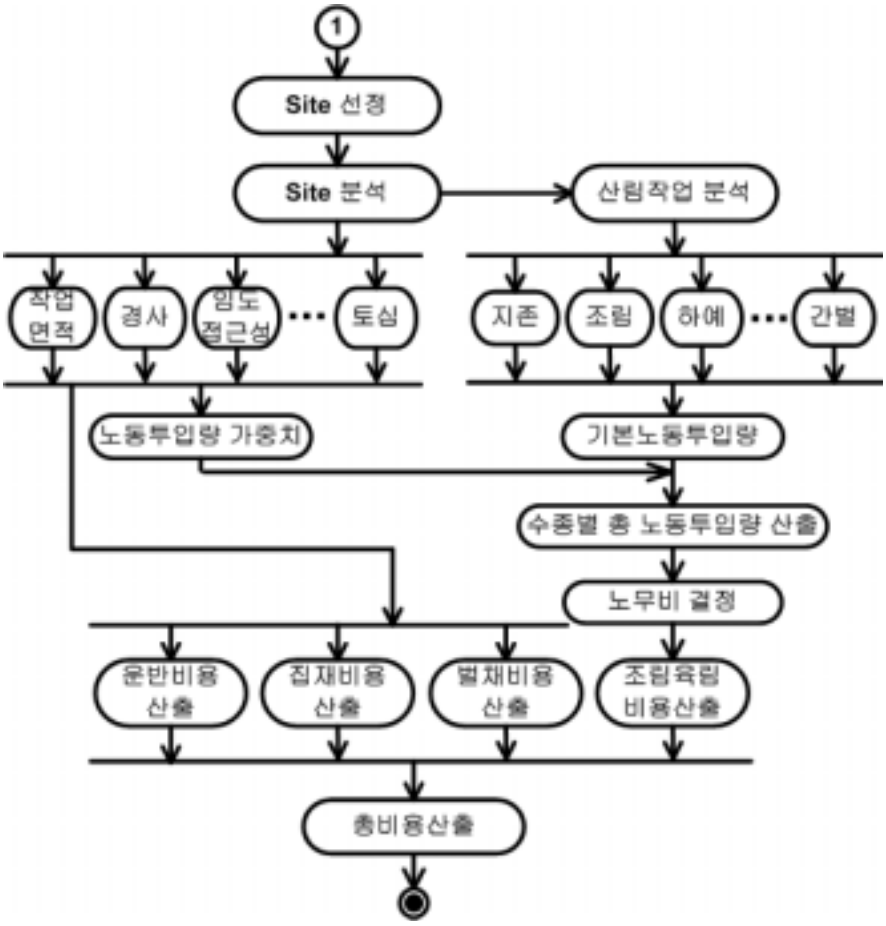
경제성을 고려한 적지적수 판정 알고리즘은 아래 그림에서와 같이 ①경영입지에 따른 비용산출, ②입지별·수종별 생장잠재력 평가, ③시장역산가 방식에 의한 입목가 사정과 같은 3개의 세부 모듈단위로 구성된다.



<그림 5-2-1> 적지적수 판정 비용 및 수익산출 알고리즘

1. 경영입지 및 수확공정에 따른 비용 산출

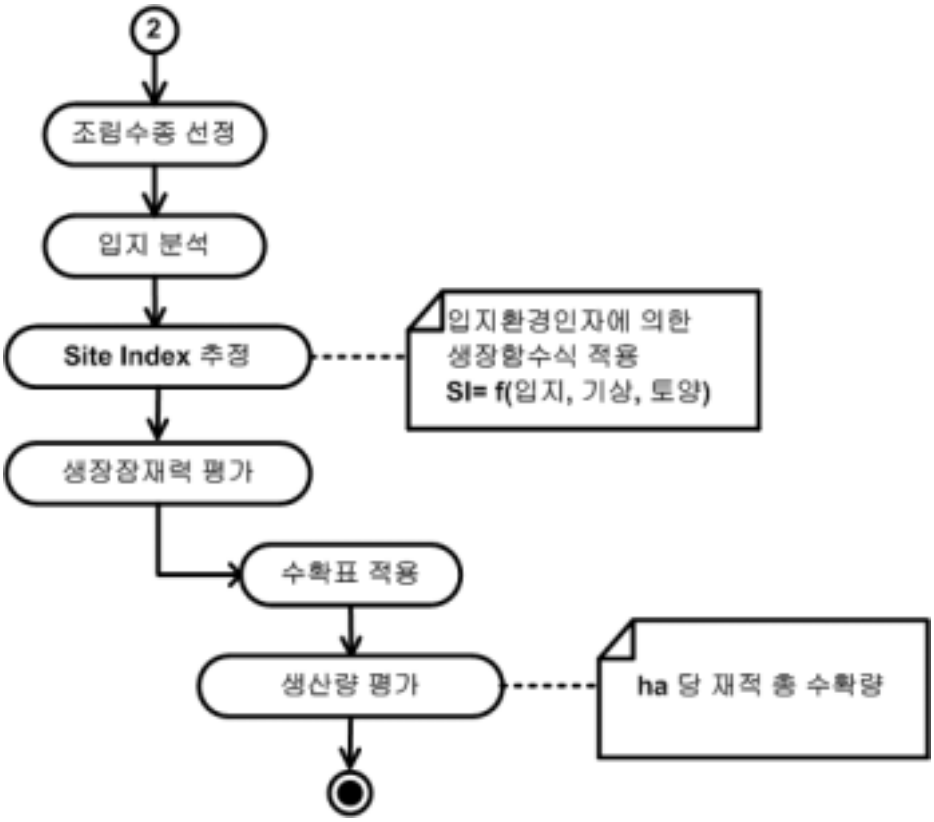
경제성을 고려한 적지적수 판정에 있어서 조림부터 벌채까지 소요되는 비용은 조림육림비용·벌채비용·집재비용·운반비용을 들 수 있다. 특히 조림육림비용의 경우에는 경영입지 및 수종에 따라 소요비용에 있어 큰 차이를 보인다. 이러한 소요비용은 경영입지별, 수종별 산림작업에 따라 노동투입량으로 평가가 가능할 것이다. 산림작업별 기본노동투입량에 경영입지에 따른 가중치를 고려하여 최종노동투입량을 결정하고 인건비를 산정함으로써 조림육림비용을 계산하고, 경영입지에 따른 벌채비용, 집재비용, 운반비용을 산출하여 총비용을 산출하였다<그림 5-2-2>.



<그림 5-2-2> 경영입지에 따른 비용산출 알고리즘

2. 임분의 생산잠재력에 따른 비용 산출

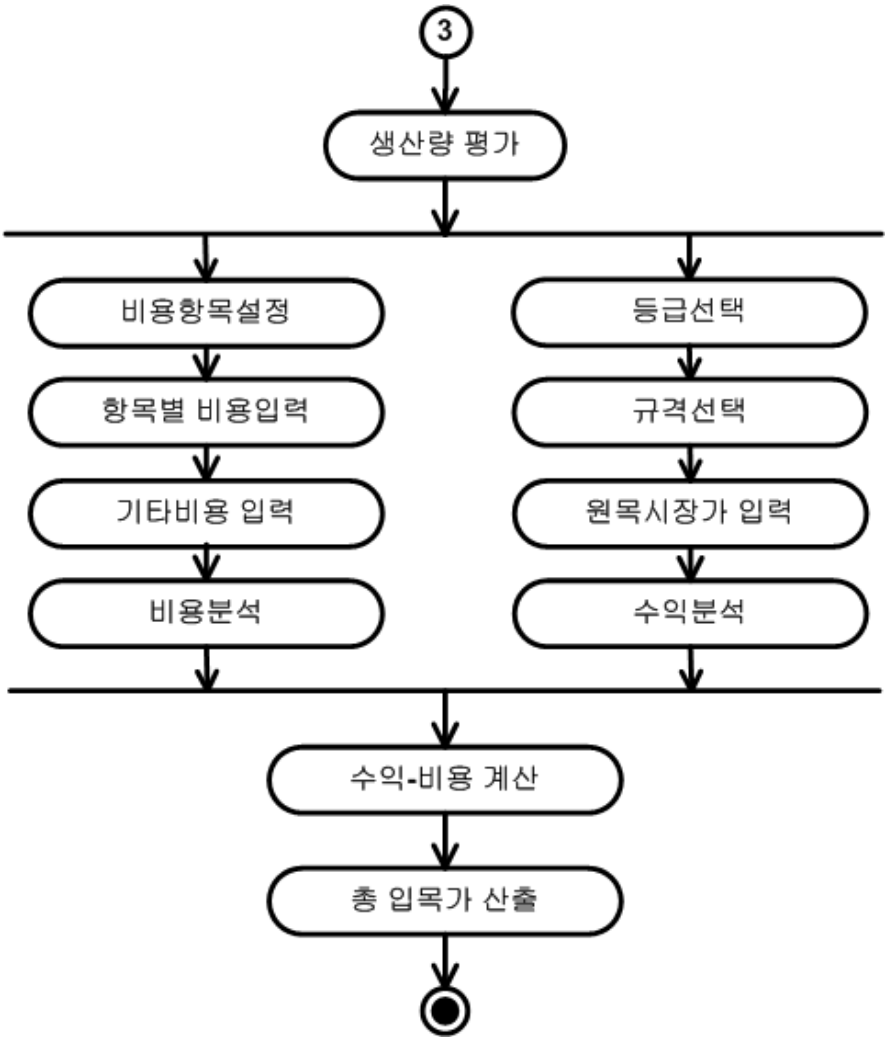
토양 및 입지환경인자에 의한 지위지수 추정식을 이용하여 입지별·수종별 지위지수를 사정한 후 수확표를 적용하여 임목재적을 구하고, 여기에 조제율(log recovery rate)에 따른 벌채재적을 구함으로써 최종 임목생산량을 산출할 수 있다 <그림 5-2-3>.



<그림 5-2-3>생산잠재력 평가 알고리즘

3. 시장역산가 방식에 의한 임목가 사정

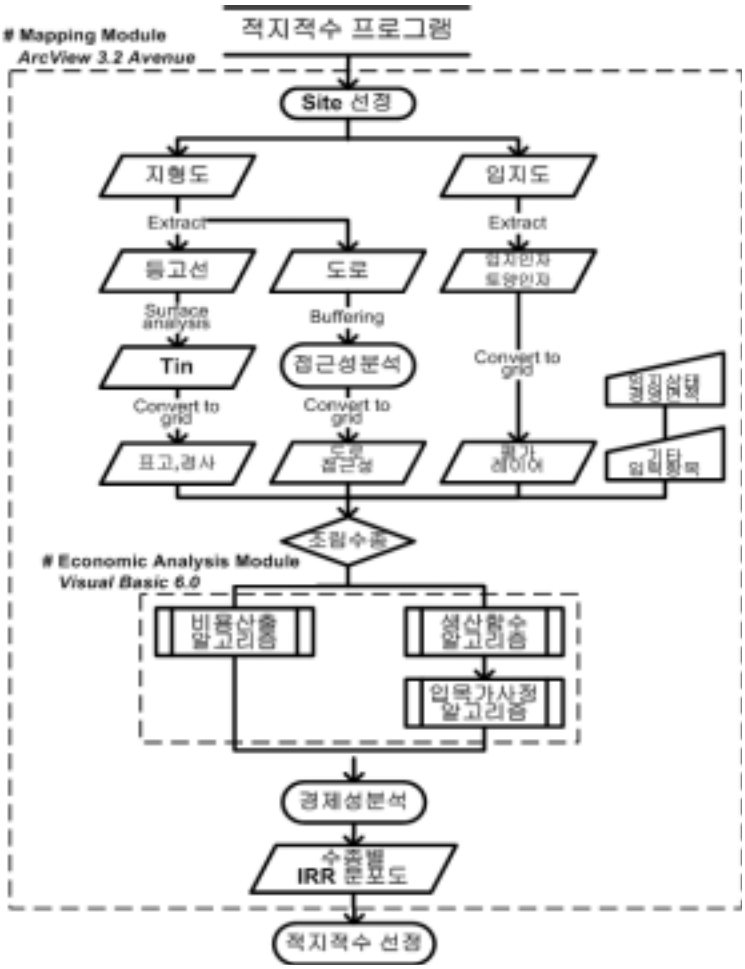
수종별 임목재적이 산출되면 임목의 등급과 규격을 기준으로 목재시장가가 결정되고, 여기에 벌목조재비, 운반비, 기업이익 등을 산정하여 임목가 사정에 의한 최종 입목가액(stumpage price)을 산출할 수 있다<그림 5-2-4>.



<그림 5-2-4> 임목가 사정 알고리즘

4. 투자효율성 분석 및 Mapping 모듈의 개념도

적지적수 프로그램에 있어서 mapping 모듈은 ArcView를 이용한 공간분석과정과 Visual Basic으로 개발한 모듈의 투자효율성(investment efficiency) 분석과정으로 이루어진다. 프로그램 내에서 적지적수 판정을 위한 입지를 선정하면 해당 입지의 수치지형도와 수치입지도에서 필요한 자료를 추출하여 경제성분석을 위한 평가레이어를 생성한다. 여기에 기타 분석에 필요한 항목들을 설정해 줌으로써 경제성분석을 위한 자료분석이 이루어진다. 그런 다음 경제성분석 모듈에서 비용산출과 수익산출을 함으로써 최종적으로 해당입지에 대하여 수종별 IRR값을 생성하게 되며, 이 IRR값이 적지적수를 판정하기 위한 척도로 활용될 수 있다.



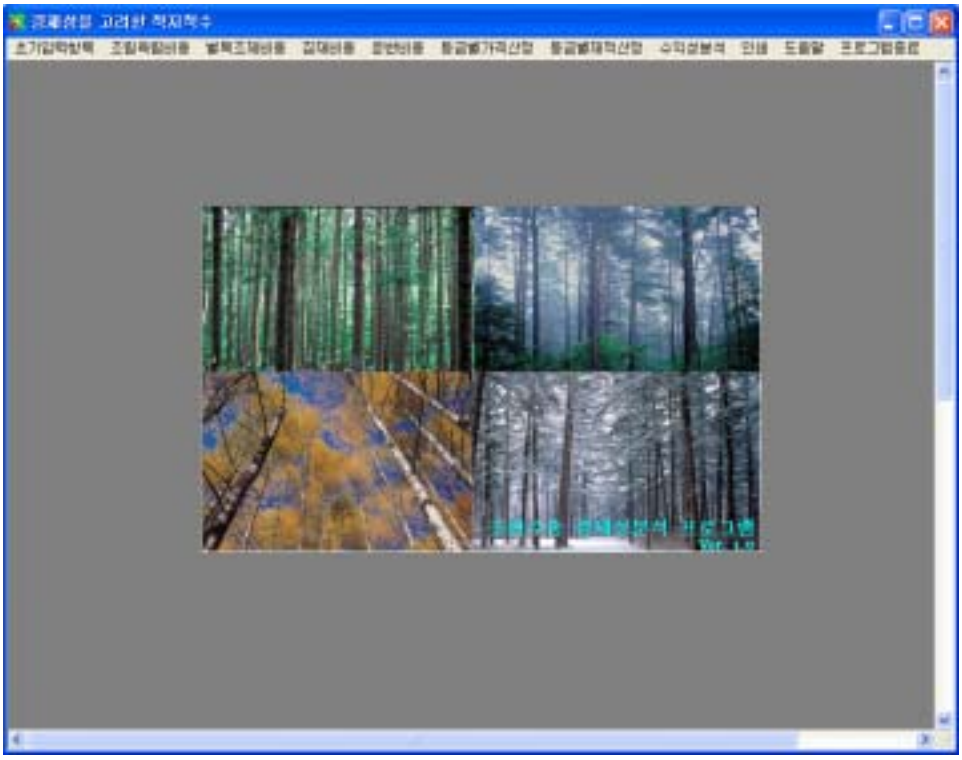
<그림 5-2-5> 적지적수 판정을 위한 mapping 모듈의 개념도

제 3 절 사용자 MANUAL

적지적수 판정 알고리즘과 mapping 모듈 개념도를 적용하여 Visual Basic 6.0으로 '경제성분석 모듈'과 ArcView 3.2의 Avenue 언어로 'mapping 모듈'을 개발하였다. 입지분석, 지위지수 판정 및 경제성 분석 모듈은 mapping 모듈과 연동되도록 함으로써 통합적 운용체계의 GIS 응용모델을 개발하였다.

1. 경제성분석 프로그램

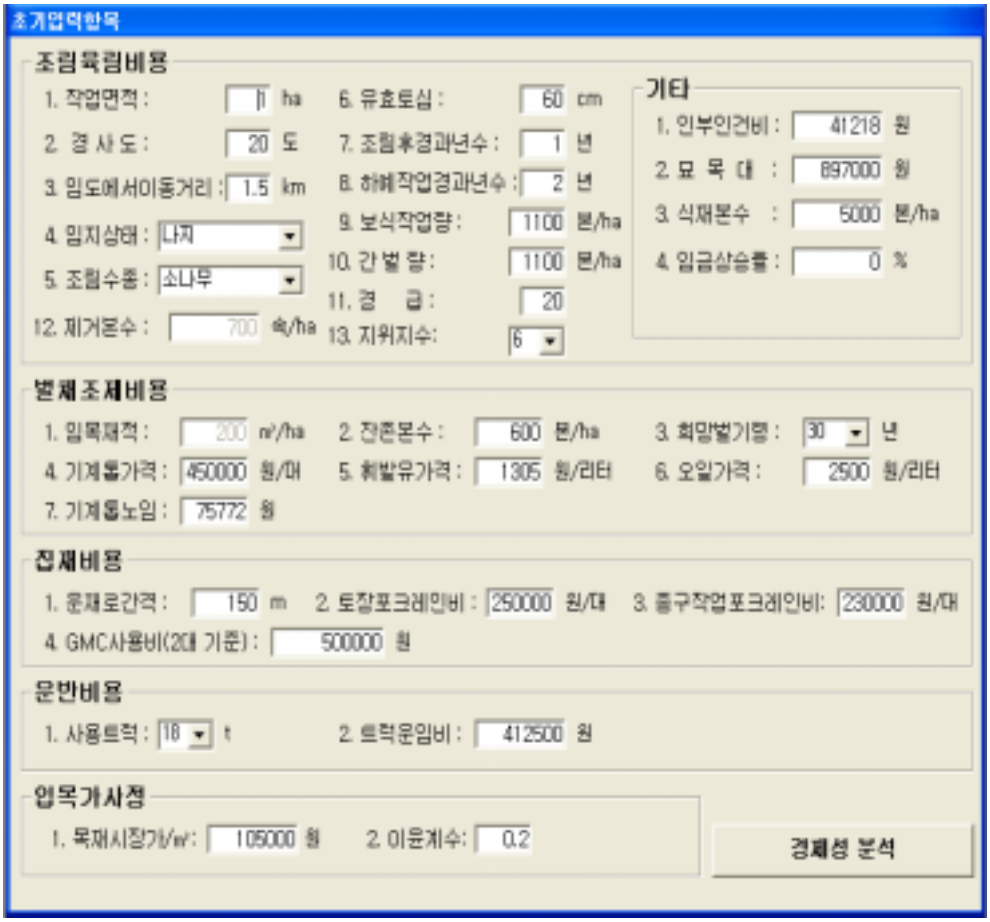
<그림 5-3-1>는 조림수종 경제성분석 프로그램의 초기화면을 보여주고 있다. 그림에 나타난 바와 같이 메뉴체계는 초기입력항목, 조림육림비용산출, 벌목조제비용산출, 집재비용산출, 운반비용산출, 등급별가격산정, 등급별재적산정, 수익성분석으로 구성되어있다.



<그림 5-3-1> 조림수종 경제성분석 프로그램 초기화면

가. 초기입력항목

초기입력항목의 메뉴는 경제성분석을 위해 필요한 항목을 사용자가 직접 입력토록 하기 위한 것이다. 또한 초기입력항목을 설정하고 경제성분석을 실시하게 되면 자동적으로 수종별 경제성분석 결과인 IRR값이 유도된다.



<그림 5-3-2> 초기입력항목 메뉴

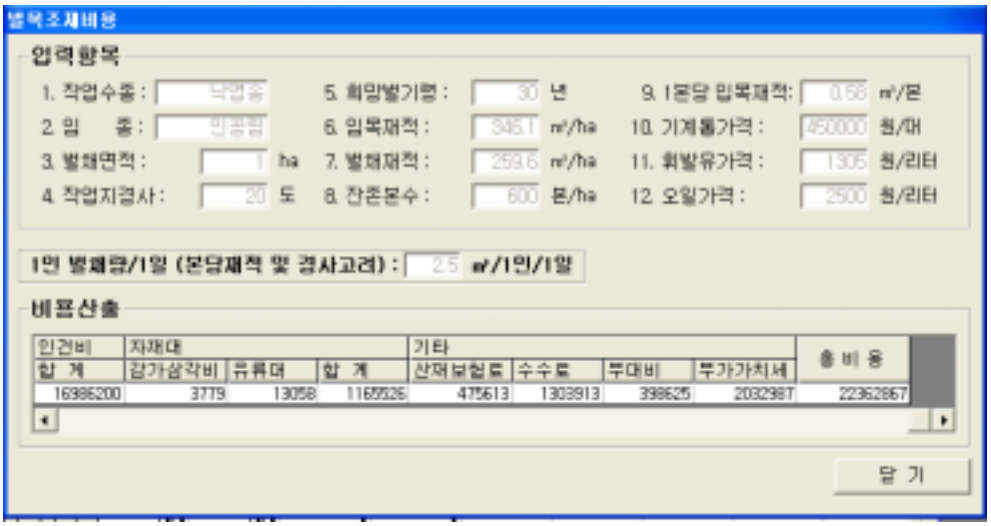
나. 조림육림비용산출

조림육림비용산출은 수종별로 표준산림시업체계를 적용하였으며, 산림시업으로는 지존작업에서 조림작업, 하예작업, 신규덩굴제거, 보완덩굴제거, 치수가꾸기, 간벌까지 모든 조림육림작업이 포함된다. 또한 각 산림시업별 작업지조건에 따라 총인부수를 산정하고 있으며, 산림시업년도에 임금상승률을 반영하여 비용을 계산한다.

<그림 5-3-3> 조림육림비용

다. 벌목조제비용산출

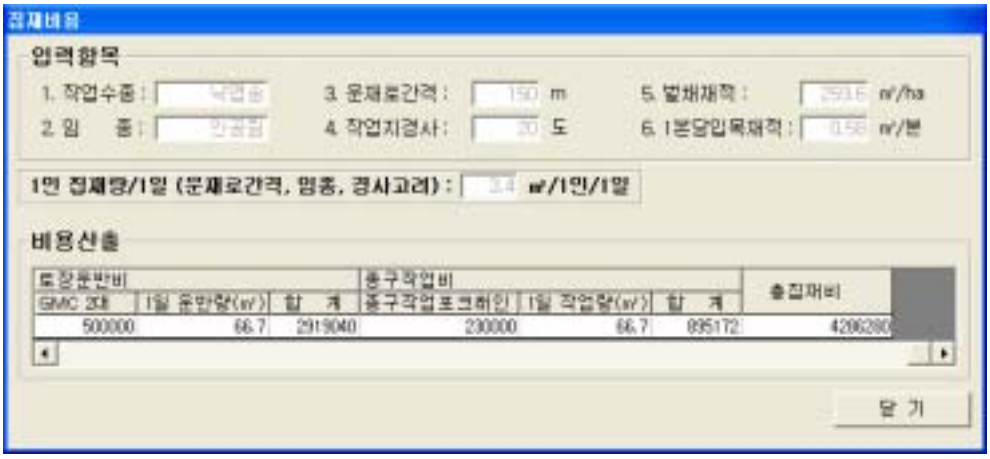
벌목조제비용은 인건비(기계톱노임비, 기타노임비), 자재대(감가상각비, 유류대), 기타비용(산재보험료, 수수료, 부대비, 부가가치세)의 합계이다. 1인 1일 표준 벌채량 산정은 본당재적 및 경사를 고려하여 계산이 이루어진다.



<그림 5-3-4> 벌목조제비용

라. 집재비용산출

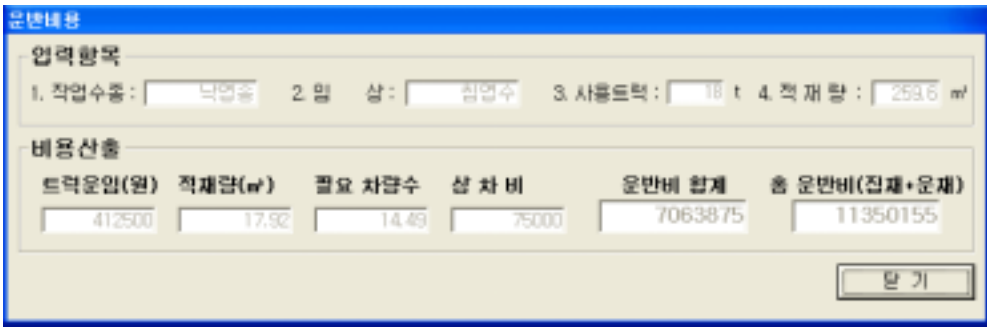
집재비용은 인건비, 토장운반비, 종구작업비로 구성되며, 1인 1일 집재량은 운재로 간격, 임종, 경사를 고려하여 산정된다.



<그림 5-3-5> 집재비용

마. 운반비용산출

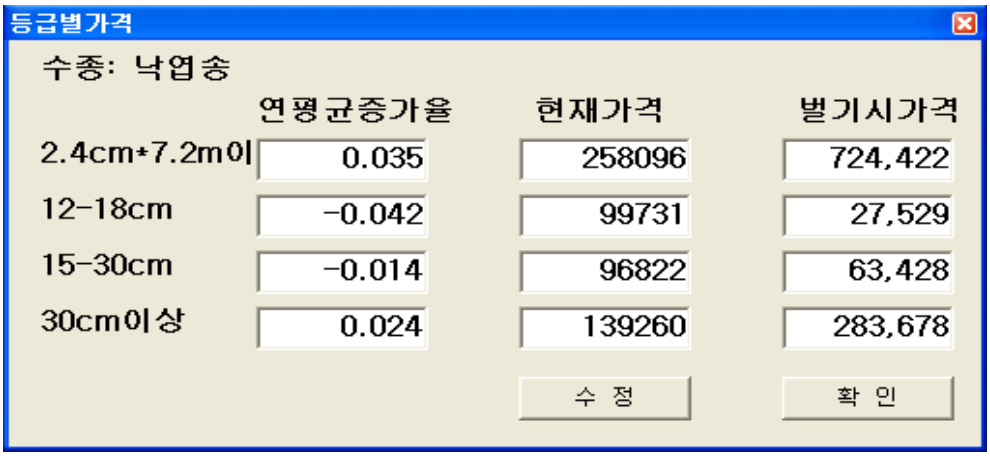
벌목재적을 운반하는데 있어서 필요한 트럭대수에 운임과 상차비를 산정하여 운반비 합계를 계산하고, 집재비용과 운반비용을 더하여 총 운반비를 산출하게 된다.



<그림 5-3-6> 총 운반비

바. 임령별 등급별 가격산정

수확시 원목이용등급별 가격에 연평균증가율을 적용하여 벌기시 등급별 원목가격을 산정하며<그림 5-3-7>, 수종별 지위지수별 임령별 이용재적에 벌기시 가격을 적용하여 최종적으로 ha당 원목가격을 산정한다 <그림 5-3-8>.



<그림 5-3-7> 이용등급별 가격에 연평균증가율 적용

등급별 이용재적

수종: 낙엽송　　지위지수: 20

임령	1등급	2등급	3등급	등외	합계	가격/ha
15	0	0	9.7	71.2	80.8	51845877.7
20	0	0.6	37.3	88.6	126.5	65248677.7
25	0	7.2	98.6	91.1	196.9	69165885.2
30	0.5	21.7	156.5	80.9	259.6	64432254.9
35	3.7	45.5	202.5	69.5	321.3	59857534.1
40	10.9	75.9	232.8	61.0	380.5	58504768.6
45	19.9	110.4	253.4	54.6	438.4	59176933.2
50	28.6	138.9	253.4	46.6	467.5	57657253.8

닫 기

<그림 5-3-8> 연평균증가율 적용에 따른 벌기시 ha당 가격

사. 경제성 분석

이상의 과정을 통해 희망벌기령시의 수입과 비용을 산정하여 순수익(입목가)을 계산하고, 최종적으로 IRR을 구한다.

경제성 분석

분석 조건

1. 수　종 : 낙엽송　2. 지위지수 : 20　3. 벌 기 령 : 50 년　4. 희망벌기령 : 30 년

5. 입목재적 : 348.1 ㎥/ha　6. 벌채재적 : 258.6 ㎥/ha

총비용 합계 : 22,743,663.0　총수익 합계 :

IRR : 0.0%

경제성 분석

임 령	수 입	비 용	순 수 익
23		0	0
24		0	0
25		928844	-928844
26		0	0
27		0	0
28		0	0
29		0	0
30	38654091	22743663	15910428
31		0	0
32		0	0
33		0	0
34		0	0
35		0	0
36		0	0
37		0	0
38		0	0
39		0	0
40		0	0
41		0	0

전체 닫기　　닫 기

<그림 5-3-9> 경제성분석을 통한 IRR값 산정

2. 적지적수판정 GIS 프로그램

적지적수판정 GIS 프로그램은 ArcView 3.2의 기본적인 GIS 공간분석 메뉴를 포함하고 있으며, 주 메뉴는 '자료등록및작성', '지위지수추정' 그리고 '경제성분석'에 있다. 이처럼 기본적인 GIS 메뉴체계를 유지하는 것은 본 시스템이 주요 조림수종의 적지적수판정 기능만을 위한 것이 아니라 적지적수판정메뉴를 포함한 전반적인 GIS 시스템을 유지하기 위해서이다.

프로그램상의 메뉴체계는 <그림 5-3-10>과 같다. 복잡한 메뉴체계를 유지하고 있으나 적지적수 판정을 위한 메뉴는 최대한 단순화와 자동화하여 사용자의 편의를 도모하였다.

파 일	편 집	도면창	주제도	분석	표면분석
지도창닫기 모든지도창닫기 ---------- 작업장소지정 프로젝트저장 새이름으로저장 ---------- Extensions ---------- 인쇄 프린트설정 다른형식으로보기 Data Source관리 Data Source가져오기 Data Source내보내기 ---------- 종료	지도잘라내기 지도복사하기 지도삭제하기 ---------- Graphic수정취소 Feature수정재실행 ---------- Graphics잘라내기 Graphics복사 Graphics삭제 ---------- Combine Graphic Union Graphic Subtract Graphic Intersect Graphic ---------- 붙여넣기 ---------- 모든그래픽선택	속성 ---------- 주제도 추가 새 주제도 새 3D 주제도 주제도 켜기 주제도 끄기 ---------- 레이아웃 3D 화면창 ---------- TOC 스타일 ---------- 찾기 ---------- GeoProcessing	속성 ---------- 편집시작 편집저장 새 이름으로 저장 ---------- Shape로 변환 Table로 내보내기 3D Shape로 변환 Gird를 Tin으로 Grid로 변환 자료로 저장 ---------- 라벨자동화 라벨지우기	속성 ---------- 접근성분석 ---------- Cell 통계 ---------- 지도질의 지도계산기 ---------- 재분류	Tin 생성 ---------- 등고선추출 경사추출 경사향추출 음영기복

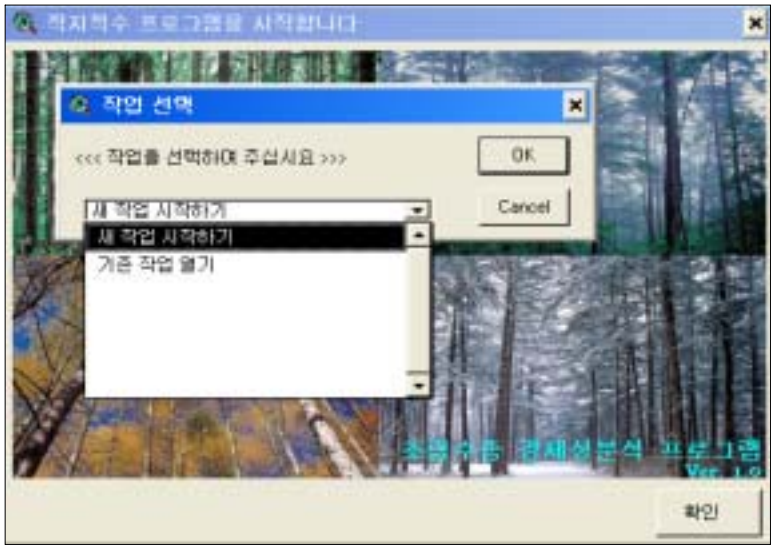
<그림 5-3-10> 공간분석을 위한 기본메뉴

자료등록 및 작성	지위지수 추정	경제성분석
수치지형도 등록 →등고선도 작성 →Tin, Altitude, Slope작성 ---------- 산림입지도 등록 ---------- 임소반도 등록 ---------- 지적도 등록 ---------- 강우일수 입력 ---------- 평균기온 입력	강원지방소나무 중부지방소나무 리기다소나무 해송 낙엽송 잣나무 상수리 신갈 삼나무 편백 고로쇠 ---------- 적지판정	경제성분석 ---------- 적수판정

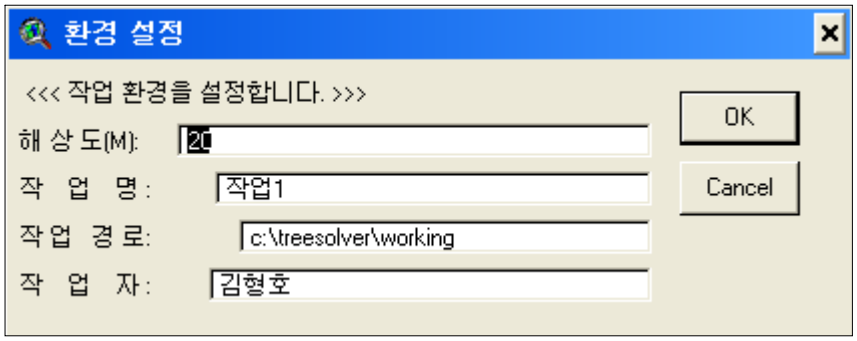
<그림 5-3-11> 적지적수판정을 위한 주 메뉴

가. 환경설정

적지적수 GIS프로그램을 시작하면 먼저 작업형태를 선택하게 된다. 즉 새작업으로 시작하거나 기존작업파일을 이용하여 계속적인 작업을 할 수 있다. 새작업을 선택하게 되면, <그림 5-3-12>과 같이 환경설정 창이 나타난다. 환경설정은 분석단위와 작업파일이름, 작업경로의 지정 및 작업자를 등록할 수 있다.



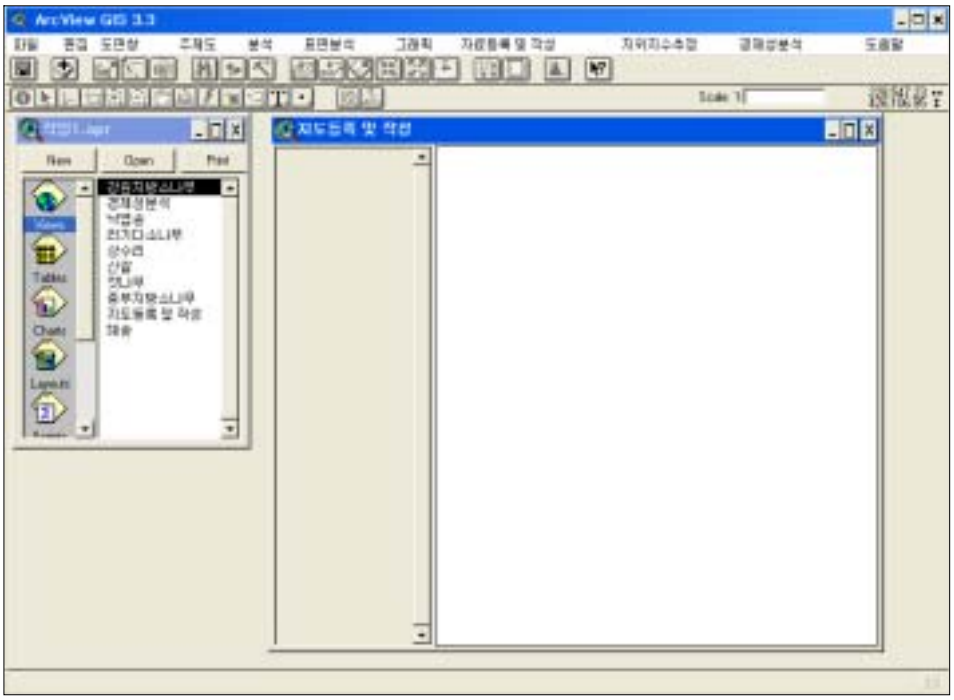
<그림 5-3-12> GIS 프로그램 시작화면



<그림 5-3-13> 분석환경 설정

나. 프로그램 기본 구성

프로그램의 기본적인 구성은 지도관리를 위한 'View' 창으로 구성되어 있으며, 각 수종별 창과 지도등록 및 작성 창, 경제성분석 창으로 이루어져 있다. 그리고 프로그램의 메뉴는 앞서 설명한 바와 같이 동일하게 구성되어 있다.

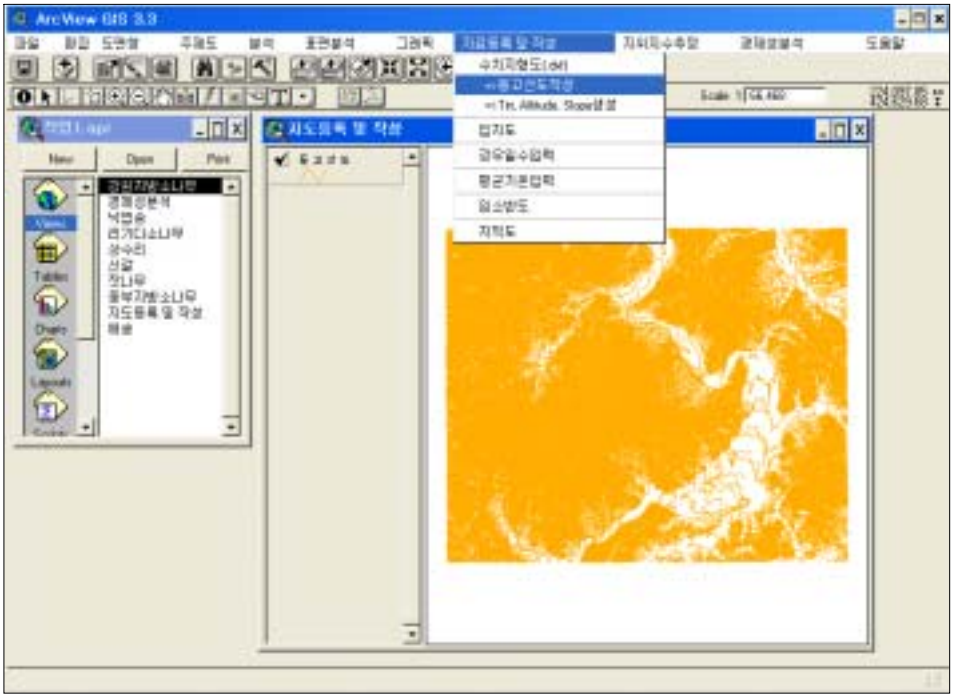


<그림 5-3-14> 프로그램 기본화면

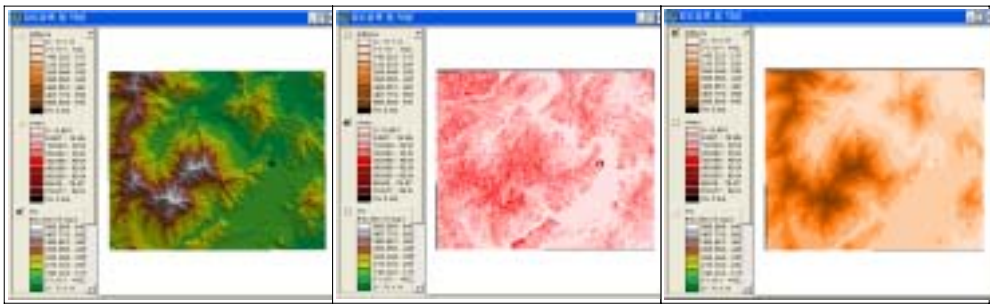
다. 주요 조림수종의 적지적수 판정

1) 지도등록 및 작성

수치지형도를 등록하여 등고선도를 생성하거나 기 작성된 등고선도를 등록하여 Tin을 생성하고, Tin에서 지위지수 추정을 위한 인자인 표고레이어와 경사레이어를 생성한다.

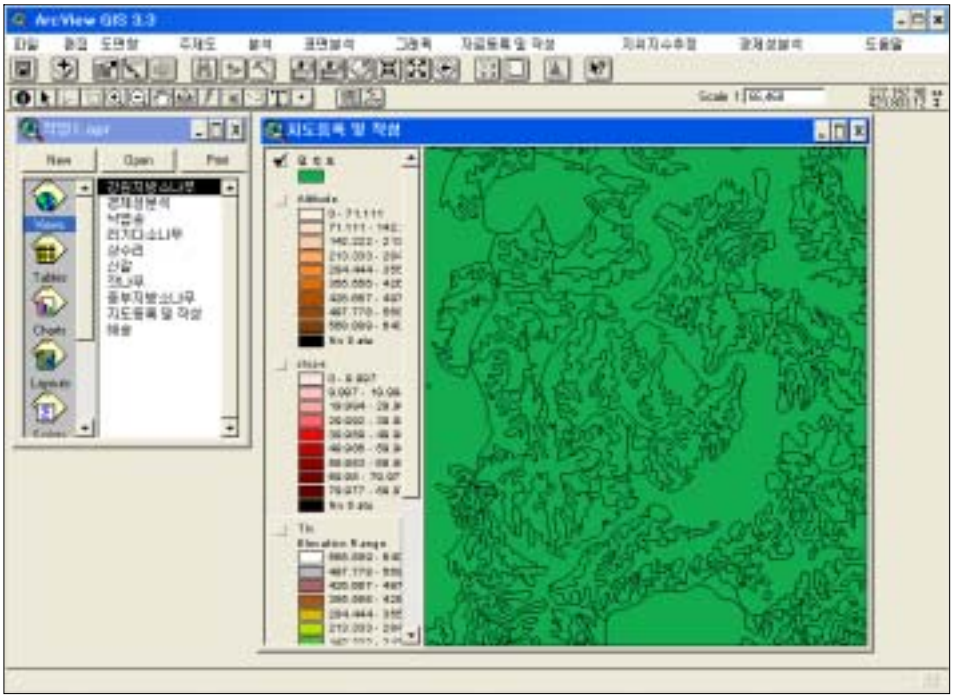


<그림 5-3-15> 지도등록 및 작성

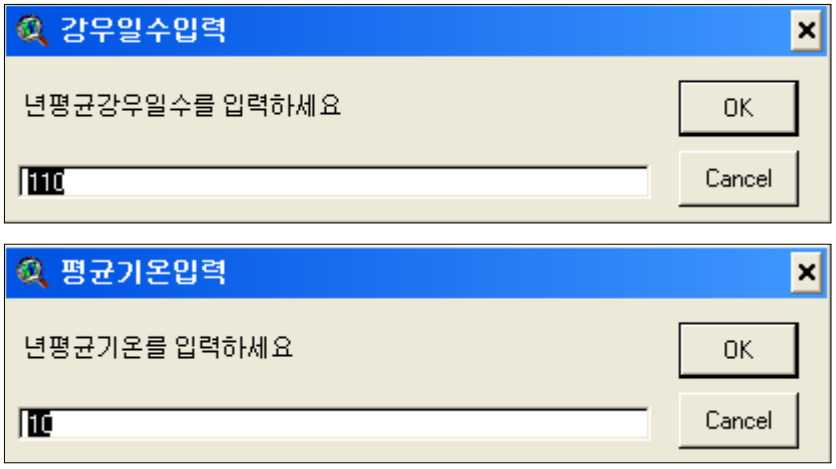


<그림 5-3-16> Tin, 경사, 표고레이어 생성

그리고 지위지수 추정을 위한 대부분의 인자를 포함하고 있는 입지도를 등록하고, 강우일수 입력과 평균기온을 입력하게 되면 지위지수 추정에 필요한 모든 인자를 구축할 수 있다.

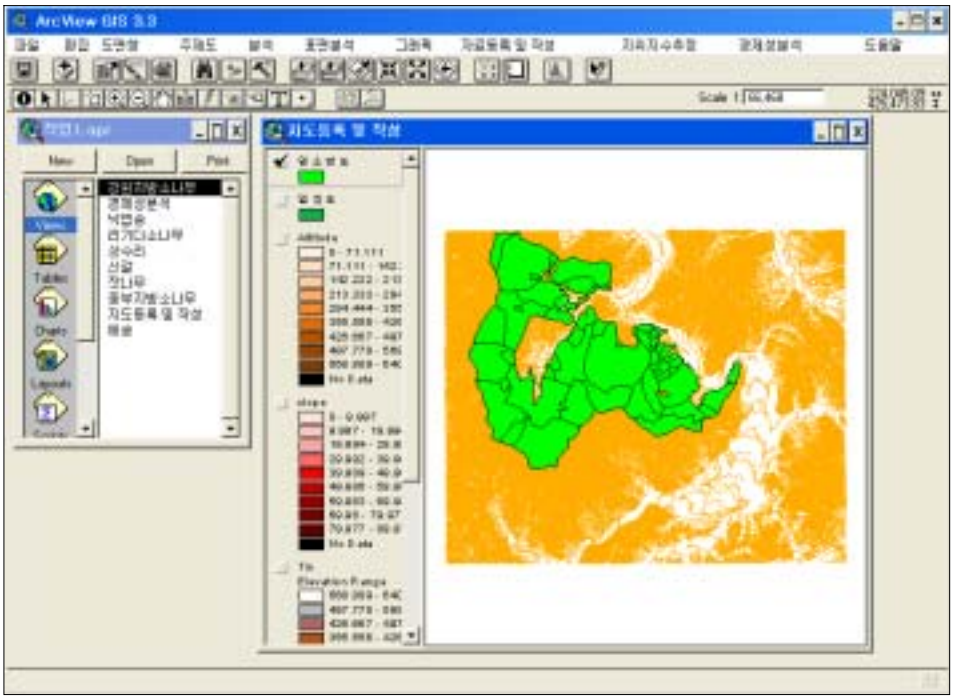


<그림 5-3-17> 입지도 등록



<그림 5-3-18> 강우일수 및 평균기온 입력

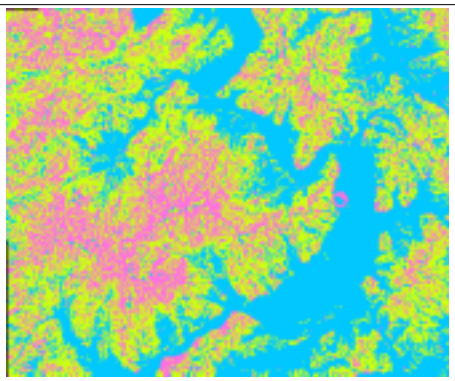
마지막으로 평가단위를 결정하게 되는데 사유림의 경우에는 지적단위를, 국유림의 경우에는 임소반단위로 가능할 것이다. 무엇보다도 가장 기본은 초기 환경설정에서 정한바와 같이 일정한 간격의 grid 단위로 평가가 이루어진다.



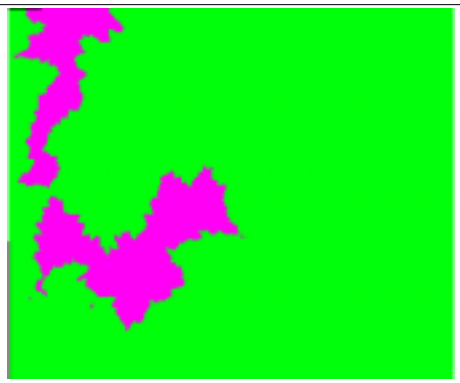
<그림 5-3-19> 임소반도 등록

2) 지위지수 추정

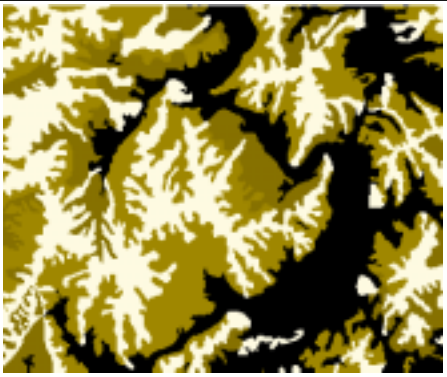
개발된 지위지수 함수식을 적용하여 필요한 평가레이어를 생성하고 각각의 계수값을 곱하고 절편을 더함으로써 수종별 지위지수를 추정하게 된다.<그림 5-3-20>는 강원지방소나무에 대한 지위지수 추정의 예를 보여주고 있다.



[경사 코드(1, 2, 3) * -0.15033]

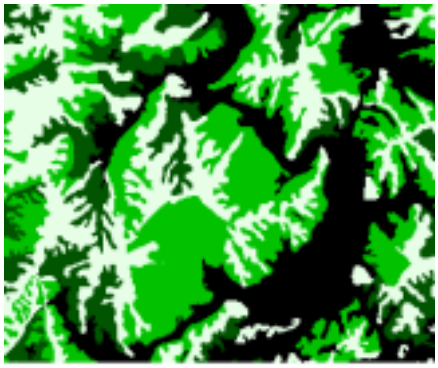


[표고_코드(1, 2) * -0.18986]

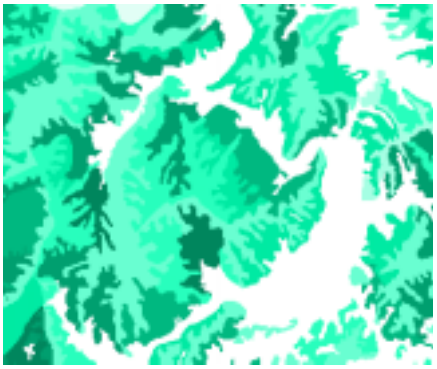


[지형점수 0.12139*산록, -0.68202*산정]

[모암점수 0.3307*퇴적암]

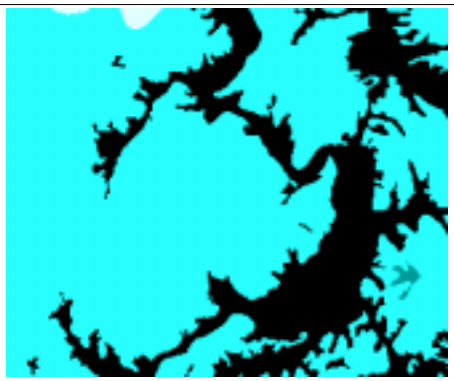


[경사형태점수 0.41213*상승, 0.26839*하강]

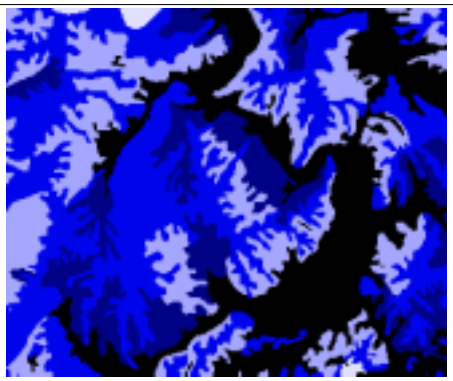


[토심 * 0.03703]

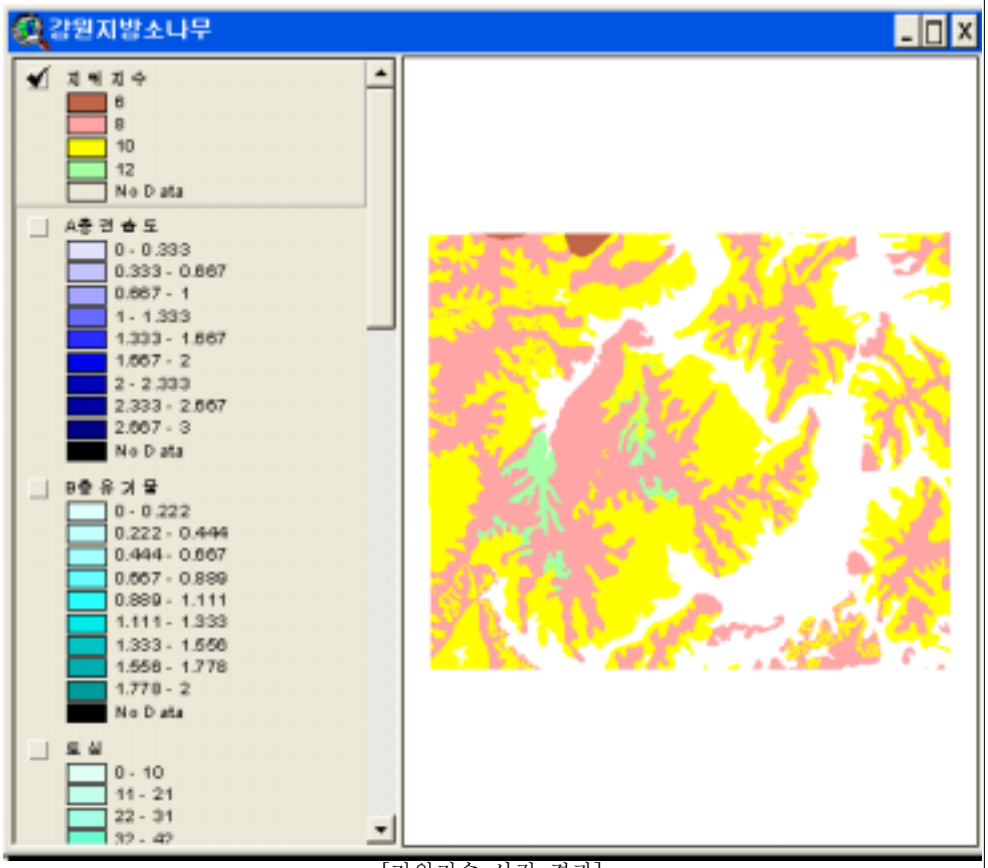
<그림 5-3-20> 지위지수 추정(다음에 계속)



[B층유기물 코드(1, 2) * 0.22411]



[A층건습도 코드(1, 2, 3) * 0.12317]

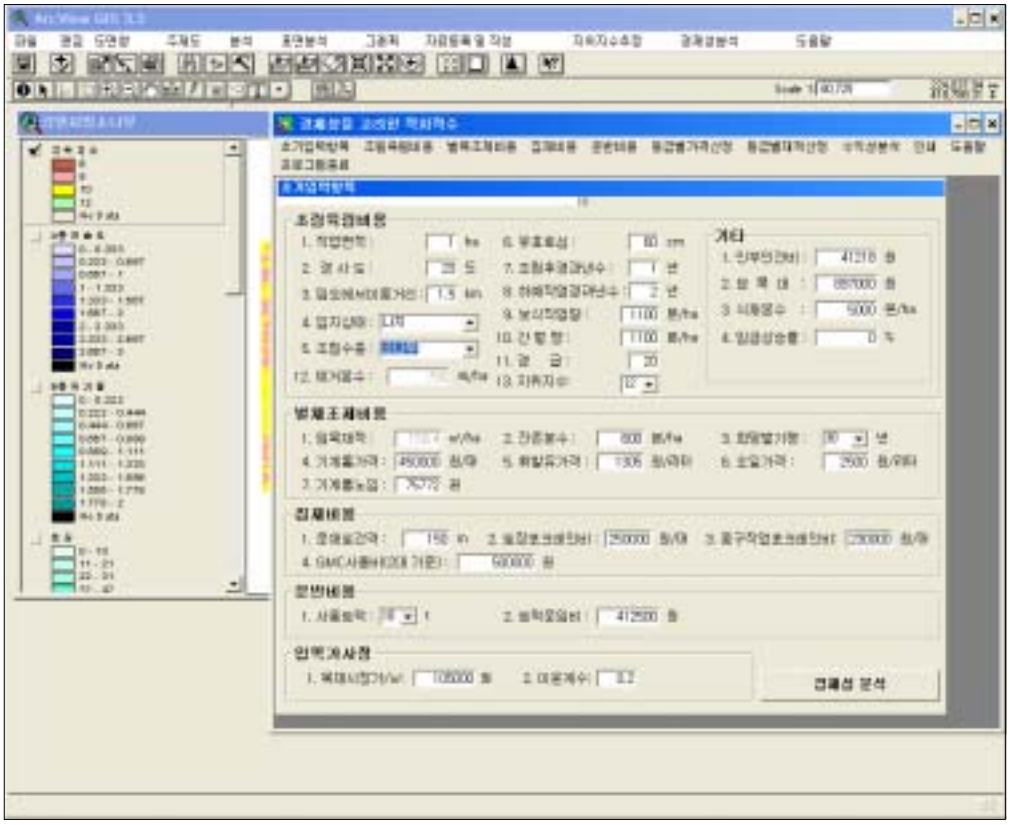


[지위지수 산정 결과]

<그림 5-3-20> 지위지수 추정

3) 경제성분석

수종별로 지위지수를 추정한 후 경제성분석 메뉴를 클릭하면 [그림]와 같이 경제성분석 프로그램이 연동되어 실행되며, 초기입력항목을 설정한 후 분석을 하게되면 최종적으로 수종별 경제성 지표인 IRR값이 도출된다.



<그림 5-3-21>경제성분석 프로그램의 연동에 의한 IRR 산출

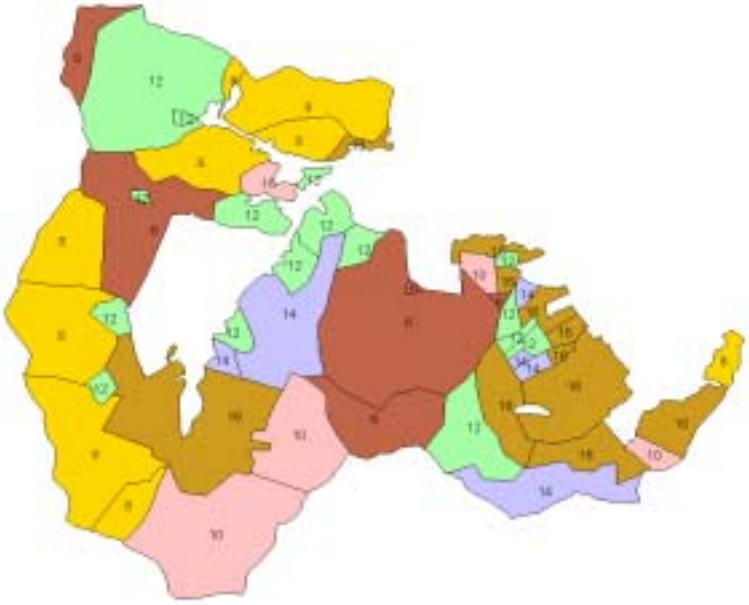
제 4 절 적용성 검토

개발된 적지적수 판정 GIS프로그램을 이용하여 연구대상지인 경기도 광주시 서울대학교 태화산연습림을 대상으로 적용성을 검토하였다.

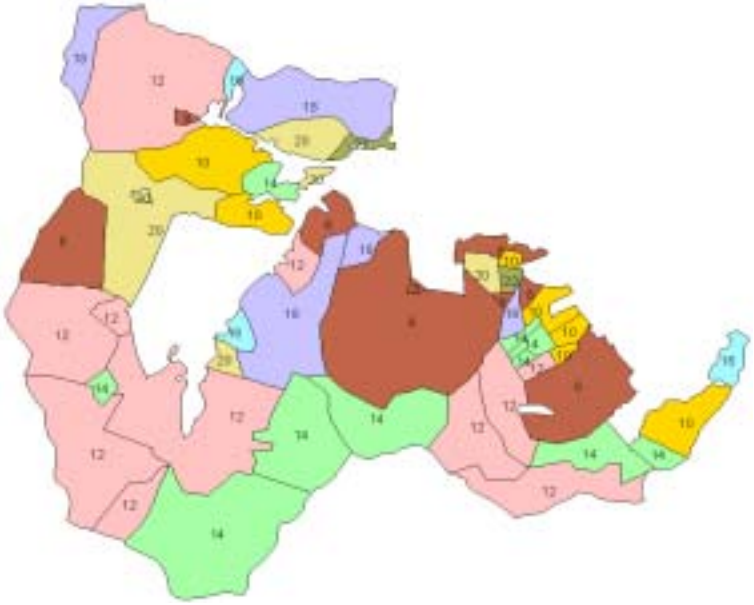
1. 소반별 지위지수 추정

지위지수 추정 모듈을 이용하여 격자 단위의 수종별 지위지수를 구하고 여기에 소반별 대표값을 적용하여 소반별 지위지수를 추정하였다. 여기서 조림대상수종을 중부지방소나무, 리기다소나무, 낙엽송, 잣나무, 상수리로 하였다.

<그림 5-4-1> 중부지방소나무 지위지수 추정

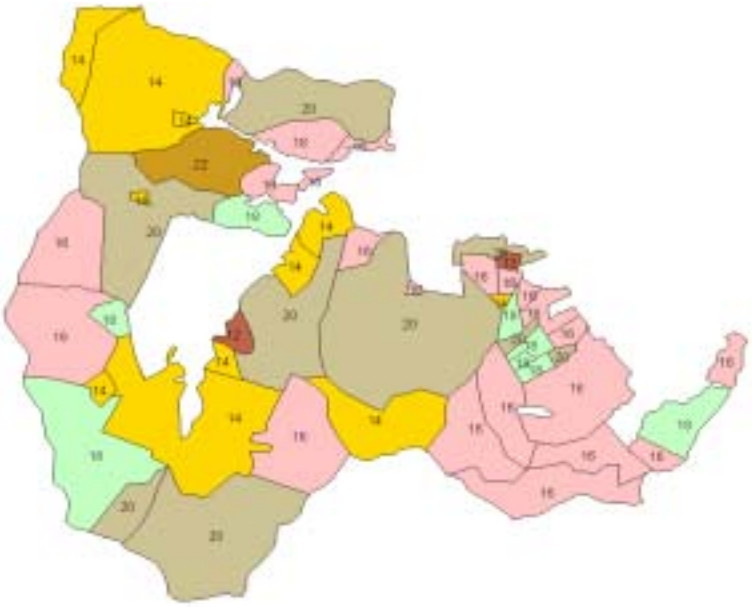


<그림 5-4-2> 리기다소나무 지위지수 추정



<그림 5-4-3> 낙엽송 지위지수 추정

<그림 5-4-4> 잣나무 지위지수 추정



<그림 5-4-5> 상수리나무 지위지수 추정

2. 수종별 적지분석

수종별 적지는 지위지수가 '상'인 곳으로 <그림 5-4-6>과 같다. 적지선정에 따라 경제성 분석을 실시하여 최종적으로 경제성을 고려한 적수를 선정하게 된다.

<그림 5-4-6> 적지선정

3. 경제성분석

가. 분석조건(초기 입력항목)

조림 육림비용		벌채조제비용		운반비용	
작업면적(ha)	-	임목재적(m^3/ha)	-	사용트럭(t)	18
경사(도)	-	잔존본수(본/ha)	-	트럭운임비	412500
임도에서이동거리	-	기계톱가격(원/대)	450000		
임지상태	수종갱신	휘발유가격	1305		
조림수종	5개수종	오일가격(원/리터)	2500		
유효토심(cm)	-	기계톱 노임(원)	75772		
조림후경과년수	1				
하예작업경과년수	2			비 고	
보식작업량(본/ha)	300	집재비용		① 묘목대, 식재본수, 목재시장가 동일 적용 ② - : 사이트별, 수종별 상이	
간벌량(본/ha)	100	운재로간격(m)	150		
경급	1(<6cm)	토장포크레인비	250000		
인부인건비(원)	41218	종구작업포크레인비	230000		
묘목대(원)	582000	GMC사용비(2대)	500000		
식재본수(본/ha)	5000				

나. 수종별 IRR 산출

<표 5-4-1> 수종별 IRR 산출 결과

수종	중부지방소나무	리기다소나무	낙엽송	잣나무	상수리
IRR	0.024	0.001	0.034	0.013	-0.033

낙엽송이 다른 수종에 비해 상대적으로 높은 수익률을 나타내고 있으며, 중부지방소나무, 잣나무, 리기다소나무 순으로 수익률이 산출 되었다. 상수리나무의 경우 가장 낮은 수익률을 보이고 있으며, IRR값이 "-"로 나타난 것은 수입에 비해 투입비용이 더 크다는 것을 의미하기 때문에, 결과적으로 산주는 상수리수종에 대해서는 투자하지 않을 것이다.

한편 투자판단에 대한 근거로서 IRR값의 변화는 그 크기에 따라 결정되기 때문에

상수리에 비해서는 높은 값을 가지지만, 잣나무를 비롯한 여타 수종에 비해서는 상대적으로 IRR값이 낮은 리기다소나무의 경우 산주에게 있어 다른 사업안을 선택할 수 있다는 것을 의미하며, 결과적으로 <표 5-4-1>에서 나타난 수종에 있어서 산주는 수익성이 높은 낙엽송을 선택하게 된다.

제 6 장 종합결론 및 제언

이 연구개발의 목적은 지리정보시스템의 활용을 통하여 경제적·입지적 조건을 고려한 조림수종의 선택과 최소의 비용으로 최대의 수익을 기대할 수 있는 조림수종 선택 지원을 위한 모델 개발로 산주의 경제적 이익의 극대화를 도모하는데 있다. 이러한 목적으로 투자자 입장에서 본 비용을 산출 하였고, 원목의 이용재적에 따른 수입을 산출하였으며, 비용과 수입에 의해 최종적으로 수익성 분석 모델을 개발하였다.

개발된 수익성 모델을 수치산림입지도와 연계하여 수치산림입지도가 가지는 인자를 고려하여 해당 지역의 수종에 따른 수익성 분석을 실시하였으며, 그로 인해 수종에 따른 생장 권역의 설정과 경제성권역의 설정이 가능하다.

경제성을 고려한 GIS모델개발을 위해 수치산림입지도상의 인자에 대한 검증을 거쳐 지위지수 추정식을 도출 하였으며, 추정한 지위지수를 이용하여 최종 벌기령일때 수익률을 계산할 수 있었다.

실제 산주가 쉽게 수익률에 따른 투자 판단을 하기 위해 이러한 과정을 프로그램화 하였으며, 계산된 수익률을 GIS모델과 연계하여 최종적으로 수종간에 따른 수익률을 산출 할 수 있었다.

추후 연구 보완 과제로서 다양한 수종의 원목 등급별 재적의 조사가 이우어져야 하며, 그에 따른 가격의 조사가 이루어 져야 할 것으로 사료되며, 보다 정확한 지위지수 추정식을 도출하기 위해 수치산림입지도의 수정 보완이 이루어 져야 할 것으로 사료된다. 또한 본 연구에서 사용한 인자외에 수익률에 영향을 미치는 인자를 파악하여 보다 다양한 조건에서의 수익률을 산출할 수 있는 연구의 보완이 이루어 져야 될 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 강영호, 정진현, 김영걸, 이원규, 1996. 수치지형해석에 의한 온대북부림의 적지적수도 작성. 산림과학논문집 54:94-103.
2. 강영호, 정진현, 김영걸, 박재욱. 1997. 수치지형해석에 의한 온대중부림의 적지적수도 작성. 한국임학회지 86(2):241-250.
3. 강위평 등. 1986. 수량화(II)에 의한 산사태사면의 위험도 판별. 한국임학회지 75 : 32-37
4. 구교상, 김인호, 정진현, 원형규, 신만용. 2003. 경기·충청지역의 수치 산림입지도를 이용한 주요 수종의 산림생산력 추정에 관한 연구. 한국농림기상학회지5(4):247-254.
5. 권오복 외 2명. 1992. 국내산 소경재 이용 실태조사 연구보고서. 산림청
6. 김규현, 이진성, 김태훈, 안병영, 이홍섭, 김철수, 강영호, 이대섭, 정창기, 윤은용, 김규헌 등. 1987. 입지환경인자에 의한 지위지수에 관한 연구. 임업연구원연구보고 34 : 48-64.
7. 김규헌 등. 1988. 입지환경인자에 의한 지위지수에 관한 연구. 임업연구원연구보고 36 22-43.
8. 김동춘, 이홍균. 1966. 중요수종에 대한 수확표 조제 연구. 임업시험연구보고서 545-596.
9. 김동춘, 이홍균. 1967. 중요수종에 대한 수확표 조제. 임업시험장 시험연구보고서 36-54.
10. 김동춘. 1967. 일본잎갈나무임분의 수확과 생장에 관한 연구. 임업시험장연구보고 13 : 1-62.
11. 김동춘. 1973. 다변량해석법을 이용한 임분재적표 조제. 임업시험장 시험연구보고서 248-255.
12. 김인호. 2003. 수치산림입지도를 이용한 경기・충청지역의 수종별 지우지수 추정. 충남대학교 대학원 산림자원학과 석사학위논문. 38p.
13. 김의경 외 1인. 1992. 우리나라 목재수요에 관한 연구. 산림과학원 임업연구사업 보고서
14. 김의경, 정병헌, 김대현. 2000. 단기소득임산물의 유통경로 및 산지유통체계에 관한 연구. 한국산림경제학회지. 8(1) : 11-28
15. 김의경, 정상기. 2000. 국산재 생산공급체계 구축을 위한 합리적 방안 연구. 산림청.
16. 김태훈 등. 1988. 산림토양분류에 관한 연구. 임업연구원 연구보고 37 : 19-34.
17. 김태훈, 이충화, 구교상, 정진현. 1991. 토양형별 주요수종의 생장. 임업연구원연구 보고 42:91-106.
18. 김형호, 정주상. 2001. 적지적수 판정을 위한 Neural Network 기법의 응용. 한국임학회지. 90(4):437-444.
19. 김형호, 정주상, 정진현, 김의경. 2004. 수치산림입지도를 이용한 주요 조림수종의 분포특성 분석. 한국임학회정기학술대회발표집 p.379-380

20. 김형호, 정주상, 김선영, 원형규, 구교상, 김의경. 2004. 강원지방소나무림의 지위지수 분포 및 입지 특성. 한국임학회정기학술대회발표집 p.376-378
21. 마상규. 1974. 환경인자의 수량화에 의한 지위지수 추정.. 임업시험장연구보고 21 : 117-150.
22. 박남창, 정창기, 최재채, 신현철, 권영한, 조병훈, 강진택, 정영관, 김철수. 2001. 산림입지조사요령 91p.
23. 박은식, 정주상. 1999. 국유림 관리 영림계획 운영을 위한 데이터베이스 시스템의 개발. 한국임학회지. 88(1):63-72.
24. 백을선 외 5인. 1998. 국산재 비용구조개선에 관한 연구. 임업연구원 시험연구보고서
25. 백을선 외 5인. 2000. 임업경제구조 및 제도개선. 산림과학원 임업연구사업보고서
26. 산림청. 2000. 산림과 임업기술: [III] 산림경영. 693-697.
27. 산림청. 2001a. 산림입지조사요령.
28. 산림청. 2001b. GIS기법을 이용한 적지적수 선정 프로그램 개발 보고서 7-24p.
29. 손영모・정영관, 1994. 지형, 토양 및 기상인자가 해송의 수고생장에 미치는 영향. 한국임학회지 83(3) : 380-390.
30. 손영모・이경학・정영교. 1997. 비선형 생장함수를 이용한 임분생장 추정. 한국임학회지 86(2) : 135-145.
31. 신만용, 윤종화, 차두송. 1996. 평균비 추정량에 의한 낙엽송 입목 재적식의 지역 보정. 한국임학회지. 85(1):56-65.
32. 신만용, 원형규, 구교상, 정진현, 이천용, 김인호. 2002. 입지환경인자를 이용한 강원도 지역의 수종별 지위지수 추정. 한국농림기상학회지 4:93-96.
33. 윤종화. 1972. 다변량해석에 의한 임목생장량에 의한 연구. 강원대학 연습림 보고서1:3-55.
34. 이경학 외 2인. 1994. 주요수종의 임목자산평가. 산림과학원 임업연구사업 보고서
35. 이창우. 암반절개사면의 붕괴위험도 판정. 2004. 한국임학회지 93(1) : 95-102.
36. 이천용. 2000. 산림환경토양학. 보성문화사. 350pp.
37. 임영호, 강창호, 원형규, 김정환, 유정환, 이재호, 강병서, 장경한, 김종호. 1988. 입지환경 인자에 의한 지위지수에 관한 연구. 임업연구원 연구보고 36:22-43.
38. 장용선 등. 2001. 한국 암쇄토의 화학조성과 풍화도.한국토양비료 학회지 34 : 8 . 373-379.
39. 정상기 외 5명. 1995. 목재 수요및 공급실태. 임업연구원 시험연구보고서
40. 정인구. 1981. 수량화에 의한 우리나라 삼림토양의 형태학적 및 이화학적 성질과 잣나무 및 낙엽송의 생장 상관분석. 한국임학회지 53권. 1-26.
41. 정주상, 김의경, 신원섭. 1999. 산림기능평가에 관한 연구. 산림청.
42. 정주상, 김형호, 차재민, 박영규. 2002. GIS 응용에 의한 산림기능적합도 분석을 위한 산림구획기법. 한국임학회지. 91(1):1-9.
43. 정주상, 김형호, 차재민. 2001. 공간분석모델링에 의한 산지의 토사붕괴방재기능 적합도 평

15. 가. 한국임학회지 90(4):535-542.
44. 정주상, 이병두, 김형호. 2002. GIS 및 판별분석에 의한 삼척산불지역의 소나무임분 피해도 추정. 한국임학회지. 91(3):355-361.
45. 정진현. 2004. 전국산림입지조사 및 수치산림입지도 구축현황. 수치산림입지도의 효율적 활용 방안 국제세미나. 국립산림과학원. pp.1-26.
46. 정진현 등. 1994. 韓國の森林土壤分類および褐色森林土壤群の性質と林木生長. 日本土壤肥料學會誌 65 : 483-492.
47. 鄭鎭炫, 金泰勛, 具敎常, 車淳馨. 1994. 韓國の森林土壤分類および褐色森林土壤群の性質と林木生長. 日本土壤肥料學會誌 65 : 483-492.
48. 鄭鎭炫, 具敎常, 李忠和, 1994: 韓國の森林土壤分類および褐色森林土壤群の性質と林木生長. 日本土壤肥料學會誌 5:483-492.
49. 차두송・지병윤. 1999. 수량화 II류에 의한 임도 성토사면의 붕괴요인 평가 및 예측. 한국임학회지 88(2) : 240-248.
50. 허명회. 1998. 수량화방법 I・II・III・IV. 자유아카데미. 5-29.
51. Arbatzis, A. A. and H. E. Burkhart. 1992. An evaluation of sampling methods and model forms for estimating height-diameter relationships in loblolly pine plantation. Forest Science 38(1):192-198.
52. Avery, T. E. and H. E. Burkhaet. 1983. Forest measurements. Mcgraw-Hill Book Co. 331p.
53. Belsley, D. A., E. Kuh, and R. E. Welsch. 1980. Regression diagnostics. John Wiley & Sons, New York, 292p.
54. Bruce, B.A., Schumacher, B.S. 1950. FOREST MENSURATION. 393-398.
55. Chen. Y. H., Klinka, K. and Kabzems, R. D. 1998. Height growth and site index models for trembling aspen (*Populus tremuloides* Michx.) in northern British Columbia. Forest Ecology and Management 102 : 157-165.
56. Clutter, J. L., et al. 1983. TIMBER MANAGEMENT: A QUANTITATIVE APPROACH. 30-62.
57. Judge, G.G., R.C. Hill, W.E. Griffiths, H. Lutkepohl, and T. Lee. 1988. Introduction to the theory and practice of econometrics. John Wiley & Sons, New York, 1024pp.
58. Karlsson, K. 2000. Height growth patterns Scots pine and Norway spruce in the coastal areas of western Finland. Forest Ecology and Management 135 : 205-216.
59. Lee, S. Y. 1999. Developing and Comparing Site Index Curves Using Polymorphic and Anamorphic Equations for Douglas-fir. Journal of Korean Forestry Society 88(2) : 142-148.

60. Lee, S. Y. 2001. Estimating Diameter and Height Growth for *Pinus densiflora* S. et Z. Using Non=linear Algebraic Difference Equations. Journal of Korean Forestry Society 90(2) : 210-216.

61. Lee, S. Y. 2003. Development of Site Index Equation and Curves for *Cryptomeria japonica*. Journal of Korean Forestry Society 92(2) : 152-159.

62. Lee, Y. J. and Hong, S. C. 1999. Estimation of Site Index Curves for Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.) and Slash Pine(*Pinus elliottii* Engelm.) Plantations. Journal of Korean Forestry Society 88(3) : 285-291.

63. Lee, Y. J. 2002. Dominant Height Growth and Site Index Curves for Pitch-loblolly Hybrid Pine (*Pinus rigida*×*P. taeda*) Plantations. Journal of Korean Forestry Society 91(5) : 661-666.

64. Meyer, H. A. 1947. The structure and growth of rirgin beech-birch maple hemlock forest in Northern Pennsylvania. J. Agr Res. 12

65. Myers, R. H. 1986. Classical and modern regression with applications. Duxbury Press. 395p.

66. Neter, J. W. Wassermann, and M. H. kutner. 1985. Applied linear statistical models. IRWIN. 1127 p.

67. Palahi, M. et al., 2004. Site index model for Pinus sylvestris in north-east Spain. Forest Ecology and Management 187 : 35-47.

68. Shin M.Y. 1990..The Use of Ridge Regression for Yield Prediction Models with Multicollinearity. Journal of Korean Forestry Society 79(3) : 260-268.

70. Shin, M. Y. 1990. The use of ridge regression for yield prediction models with multicolinearity. J. of Korean Forest Society 79(3):260-268.

71. Snee, R. D. 1977. Validation of regression models : Methods and examples. Technometrics 19:415-428.

72. Tewari, V. P. and Kumer, V. S. 2002. Development of top height model and site index curves for Azadirachta indica A. juss. Forest Ecology and Management 165 : 67-73.

부 록. Ⅰ 지위지수추정 통계분석 결과

1. 인자별 항목 재분류를 위한 Tukey 검증

수종별 평가인자들에 대하여 Tukey 통계검증을 실시하여 인자별 카테고리를 구분하였으며, 인자별 카테고리간의 유의성이 나타나지 않은 인자는 평가인자에서 제외하고 유사한 카테고리는 하나의 항목으로 재처리하였다.

<표 >Tukey검증을 위한 인자별 카테고리 구분 및 코드

Factors	Category	Code	Factors	Category	Code
Topography (지형)	Foot of hill	3	Aspect (방위)	East	1
	Hillside	2		West	2
	Hilltop	1		S	3
Parent Rock (모암)	Igneous	1,0		N	4
	Metamorphic	0,1		NE	5
	Sedimentary	0,0		NW	6
				SE	7
				SW	8
Slope (경사)	<15。	5	Organic Matters (유기물함량)	약간있다	1
	15-20	4		있다	2
	20-25	3		많다	3
	25-30	2		매우많다	4
	≥30。	1			
Altitude (표고)	<100m	9	Soil Moisture (토양건습도)	Moist	5
	100-200	8		Proper moist	4
	:	:		Slightly moist	3
	≥800m	1		Slightly dry	2
				dry	1
Sedimentary Type (퇴적양식)	Residual	1,0	Soil Hardness (토양견밀도)	심송	5
	Creeping	0,1		송	4
	Colluvia	0,0		연	3
Shape of Slope (사면형태)	Concave	1,0		견	2
	Convex	0,1		강견	1
	Straight	0,0			

가. 강원지방소나무

(1) A층 건습도

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for SiteIndex

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	11210
Error Mean Square	2.288573
Critical Value of Studentized Range	3.63370
Minimum Significant Difference	0.8336
Harmonic Mean of Cell Sizes	43.48076

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	GUNSUPD01
A	11.2191	11	3
A	10.5159	1512	1
B	9.6317	5643	2
C	8.2142	4048	5

(2) B층 건습도

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	11209
Error Mean Square	2.267439
Critical Value of Studentized Range	3.85828
Minimum Significant Difference	1.3261
Harmonic Mean of Cell Sizes	19.19426

Tukey Grouping		Mean	N	GUNSUPD02
	A	11.2732	104	3
B	A	10.3750	4	4
B	A	10.3317	2632	1
B	C	9.3594	5225	2
	C	8.0999	3249	5

(3) A층 견밀도

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	11209
Error Mean Square	2.776802
Critical Value of Studentized Range	3.85828
Minimum Significant Difference	0.4996
Harmonic Mean of Cell Sizes	165.6277

Tukey Grouping	Mean	N	KEONMILD01
A	9.9691	1182	1
A	9.5140	5186	2
B	8.8318	3914	3
B	8.5170	896	4
B	8.4639	36	5

(4) B층 견밀도

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	11209
Error Mean Square	2.618361
Critical Value of Studentized Range	3.85828
Minimum Significant Difference	0.4311
Harmonic Mean of Cell Sizes	209.7586

Tukey Grouping	Mean	N	KEONMILD02
A	10.4147	1737	2
B	9.6587	46	1
B	9.3654	4630	3
C	8.7207	3845	4
C	8.5761	956	5

(5) 경사

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	11209
Error Mean Square	2.946217
Critical Value of Studentized Range	3.85828
Minimum Significant Difference	0.2556
Harmonic Mean of Cell Sizes	671.0629

Tukey Grouping	Mean	N	KYUNGSA
A	9.86830	171	5
B	9.32558	3553	2
B	9.31915	1558	4
B	9.27662	3228	3
C	9.00185	2704	1

(6) 경사형태

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	11211
Error Mean Square	2.314281
Critical Value of Studentized Range	3.31494
Minimum Significant Difference	0.0909
Harmonic Mean of Cell Sizes	3076.687

Tukey Grouping	Mean	N	KYUNGSA_HYUNG
A	10.11065	2022	3
B	9.61121	6008	2
C	7.98949	3184	1

(7) 모암

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	11211
Error Mean Square	2.892824
Critical Value of Studentized Range	3.31494
Minimum Significant Difference	0.0931
Harmonic Mean of Cell Sizes	3663.602

Tukey Grouping	Mean	N	MOAM
A	9.60726	3029	3
B	9.29413	4122	1
C	8.91353	4063	2

(8) 방위

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	11206
Error Mean Square	2.955601
Critical Value of Studentized Range	4.28716
Minimum Significant Difference	0.2032
Harmonic Mean of Cell Sizes	1315.437

Tukey Grouping		Mean	N	BANGWEE
	A	9.40242	959	1
	A	9.35917	1584	8
B	A	9.30987	1115	4
B	A	9.29795	1685	6
B	A	9.26189	1792	5
B	A	9.22011	989	2
B	C	9.14896	1237	3
	C	9.01447	1853	7

(9) A층 유기물

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	11210
Error Mean Square	2.615956
Critical Value of Studentized Range	3.63370
Minimum Significant Difference	0.1364
Harmonic Mean of Cell Sizes	1857.466

Tukey Grouping	Mean	N	YUKIMUL1
A	10.18140	1332	4
B	9.62302	4410	3
C	8.85992	4419	2
D	8.04869	1053	1

(10) B층 유기물

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	11210
Error Mean Square	2.782869
Critical Value of Studentized Range	3.63370
Minimum Significant Difference	0.4922
Harmonic Mean of Cell Sizes	151.7017

Tukey Grouping	Mean	N	YUKIMUL2
A	9.7073	41	4
A	9.5550	674	3
A	9.4789	7757	2
B	8.4831	2742	1

(11) 지형

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	11211
Error Mean Square	2.29269
Critical Value of Studentized Range	3.31494
Minimum Significant Difference	0.0834
Harmonic Mean of Cell Sizes	3621.919

Tukey Grouping	Mean	N	JIHYUNG
A	10.06747	3135	3
B	9.55811	4714	2
C	8.02614	3365	1

(12) 퇴적양식

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	11211
Error Mean Square	2.334691
Critical Value of Studentized Range	3.31494
Minimum Significant Difference	0.0908
Harmonic Mean of Cell Sizes	3112.171

Tukey Grouping	Mean	N	YANGSIK
A	10.09710	1949	3
B	9.67903	5587	2
C	8.12139	3678	1

(13) 표고

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	11205
Error Mean Square	2.862682
Critical Value of Studentized Range	4.38740
Minimum Significant Difference	0.2291
Harmonic Mean of Cell Sizes	1050.031

Tukey Grouping			Mean	N	PYOGO
		A	9.72062	1091	2
		A	9.65069	1693	3
	B	A	9.52311	1324	1
	B		9.30842	1491	4
		C	9.05495	1032	7
	D	C	9.02315	1634	5
	D	C	8.89879	942	8
	D	C	8.86526	423	9
	D		8.82195	1584	6

나. 중부지방소나무

(1) A층 건습도

```
                    Tukey's Studentized Range (HSD) Test for JIWEE_JISU
                       Alpha                                      0.05
                       Error Degrees of Freedom                  30132
                       Error Mean Square                      2.548302
                       Critical Value of Studentized Range     3.85789
                       Minimum Significant Difference           2.0394
                       Harmonic Mean of Cell Sizes            9.118778
          Means with the same letter are not significantly different.
               Tukey Grouping          Mean      N    GUNSUPD01
                          A          9.9062   1801    4
                        B    A        8.6319  16352    2
                        B    A        8.2381     21    3
                        B             7.5500      2    5
                        B             6.9227  11961    1
```

(2) B층 건습도

```
                       Alpha                                      0.05
                       Error Degrees of Freedom                  30132
                       Error Mean Square                      2.524694
                       Critical Value of Studentized Range     3.85789
                       Minimum Significant Difference           1.0189
                       Harmonic Mean of Cell Sizes           36.19668
               Tukey Grouping          Mean      N    GUNSUPD02
                          A         10.1594     79    3
                          A          9.6495   3233    4
                          B          8.4083  17756    2
                          B          7.9375      8    5
                          C          6.6902   9061    1
```

(3) A층 견밀도

```
                     Alpha                                        0.05
                       Error Degrees of Freedom                  30132
                       Error Mean Square                      3.214751
                       Critical Value of Studentized Range     3.85789
                       Minimum Significant Difference           0.2652
                       Harmonic Mean of Cell Sizes           680.3972
               Tukey Grouping          Mean      N    KEONMILD01
                          A         8.43055  16264    4
                          A         8.26003   1556    5
                          B         7.54369   9911    3
                          C         7.19806   2242    2
                          D         6.76585    164    1
```

(4) B층 견밀도

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	30132
Error Mean Square	3.020816
Critical Value of Studentized Range	3.85789
Minimum Significant Difference	0.3357
Harmonic Mean of Cell Sizes	399.0211

Tukey Grouping	Mean	N	KEONMILDO2
A	9.5352	2327	4
B	8.4529	87	5
B	8.3740	14076	3
C	7.5047	11415	2
D	6.9528	2232	1

(5) 경사

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	30132
Error Mean Square	3.285435
Critical Value of Studentized Range	3.85789
Minimum Significant Difference	0.0968
Harmonic Mean of Cell Sizes	5220.154

Tukey Grouping	Mean	N	KYUNGSA
A	8.78958	6268	2
B	7.92795	2783	5
B	7.88895	8080	3
B	7.84222	5490	1
C	7.72050	7516	4

(6) 경사형태

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	30134
Error Mean Square	2.733106
Critical Value of Studentized Range	3.31466
Minimum Significant Difference	0.0744
Harmonic Mean of Cell Sizes	5430.991

Tukey Grouping	Mean	N	KYUNGSA_HYUNG
A	9.65911	2576	3
B	8.37460	18475	2
C	6.86526	9086	1

(7) 모암

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	30134
Error Mean Square	3.429363
Critical Value of Studentized Range	3.31466
Minimum Significant Difference	0.0629
Harmonic Mean of Cell Sizes	9517.349

Tukey Grouping	Mean	N	MOAM
A	8.21984	7697	3
B	7.96891	13407	1
B	7.95672	9033	2

(8) 방위

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	30129
Error Mean Square	3.437002
Critical Value of Studentized Range	4.28666
Minimum Significant Difference	0.1434
Harmonic Mean of Cell Sizes	3071.67

Tukey Grouping				Mean	N	BANGWEE
		A		8.19222	1929	4
	B	A		8.13231	2368	2
	B	A	C	8.11479	2067	1
	B	D	A	C	8.06744	4767	5
	B	D		C	8.02964	5669	8
		D		C	7.97179	5726	7
		D			7.95941	2326	3
		D			7.94880	5285	6

(9) A층 유기물

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	30133
Error Mean Square	3.144122
Critical Value of Studentized Range	3.63336
Minimum Significant Difference	0.2008
Harmonic Mean of Cell Sizes	1029.849

Tukey Grouping	Mean	N	YUKIMUL1
A	9.60487	493	4
B	8.77112	9023	3
C	7.67781	20031	2
D	7.30369	590	1

(10) B층 유기물

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	30133
Error Mean Square	3.379545
Critical Value of Studentized Range	3.63336
Minimum Significant Difference	0.3861
Harmonic Mean of Cell Sizes	299.2791

Tukey Grouping	Mean	N	YUKIMUL2
A	8.3110	82	4
A	8.1988	1134	3
A	8.1233	24894	2
B	7.3948	4027	1

(11) 지형

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	30134
Error Mean Square	2.678119
Critical Value of Studentized Range	3.31466
Minimum Significant Difference	0.0542
Harmonic Mean of Cell Sizes	10020.31

Tukey Grouping	Mean	N	JIHYUNG
A	8.67084	10622	2
B	8.56013	10116	3
C	6.73310	9399	1

(12) 퇴적양식

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	30134
Error Mean Square	2.789347
Critical Value of Studentized Range	3.31466
Minimum Significant Difference	0.0682
Harmonic Mean of Cell Sizes	6591.382

Tukey Grouping	Mean	N	YANGSIK
A	9.03411	3349	3
B	8.52231	16271	2
C	6.94671	10517	1

(13) 표고

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	30128
Error Mean Square	3.415202
Critical Value of Studentized Range	4.38687
Minimum Significant Difference	0.3326
Harmonic Mean of Cell Sizes	594.0808

Tukey Grouping			Mean	N	PYOGO
	A		8.2593	7829	7
B	A		8.1874	171	2
B	A		8.1839	157	1
B	A	C	8.0492	1486	4
B	A	C	8.0229	8663	8
B	A	C	7.9638	4656	6
B	A	C	7.9534	875	3
B		C	7.8950	2556	5
		C	7.7328	3744	9

다. 리기다소나무

(1) A층 건습도

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for JIWEE_JISU

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	7111
Error Mean Square	2.526948
Critical Value of Studentized Range	3.85874
Minimum Significant Difference	1.9461
Harmonic Mean of Cell Sizes	9.934646

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping		Mean	N	GUNSUPD01
	A	9.5899	378	4
B	A	8.6280	4295	2
B	A	8.3333	3	5
B	A	7.7849	2434	1
B		7.4167	6	3

(2) B층 건습도

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	7111
Error Mean Square	2.589367
Critical Value of Studentized Range	3.85874
Minimum Significant Difference	1.5483
Harmonic Mean of Cell Sizes	16.08265

Tukey Grouping		Mean	N	GUNSUPD02
	A	8.9361	881	4
	A	8.6941	17	3
B	A	8.5182	4842	2
B	A	7.5851	1372	1
B		7.0000	4	5

(3) A층 견밀도

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	7111
Error Mean Square	2.718573
Critical Value of Studentized Range	3.85874
Minimum Significant Difference	0.5466
Harmonic Mean of Cell Sizes	135.4854

Tukey Grouping		Mean	N	KEONMILD01
	A	8.5986	3396	4
B	A	8.2468	2671	3
B	A	8.2183	453	5
B		7.9736	565	2
B		7.8839	31	1

(4) B층 견밀도

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	7111
Error Mean Square	2.663048
Critical Value of Studentized Range	3.85874
Minimum Significant Difference	0.6156
Harmonic Mean of Cell Sizes	104.6282

Tukey Grouping		Mean	N	KEONMILD02
	A	9.1515	572	4
B	A	8.7348	23	5
B	A	8.5457	3065	3
B	C	8.1793	2928	2
	C	7.8097	528	1

(5) 경사

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	7111
Error Mean Square	2.695059
Critical Value of Studentized Range	3.85874
Minimum Significant Difference	0.188
Harmonic Mean of Cell Sizes	1135.48

Tukey Grouping	Mean	N	KYUNGSA
A	8.74474	1252	2
A	8.57098	2018	3
B	8.30923	2218	4
C	8.07236	590	1
C	7.96073	1038	5

(6) 경사형태

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	7113
Error Mean Square	2.618348
Critical Value of Studentized Range	3.31519
Minimum Significant Difference	0.1519
Harmonic Mean of Cell Sizes	1246.583

Tukey Grouping	Mean	N	KYUNGSA_HYUNG
A	9.11040	673	3
B	8.47947	5060	2
C	7.71006	1383	1

(7) 모암

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	7113
Error Mean Square	2.738237
Critical Value of Studentized Range	3.31519
Minimum Significant Difference	0.136
Harmonic Mean of Cell Sizes	1626.673

Tukey Grouping	Mean	N	MOAM
A	8.58547	2249	3
A	8.51690	870	2
B	8.25169	3997	1

(8) 방위

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	7108
Error Mean Square	2.758841
Critical Value of Studentized Range	4.28762
Minimum Significant Difference	0.2553
Harmonic Mean of Cell Sizes	777.9787

Tukey Grouping	Mean	N	BANGWEE
A	8.50193	591	4
A	8.46590	1087	5
A	8.44094	1248	8
A	8.41000	1279	6
A	8.38833	540	1
A	8.31709	1194	7
A	8.26841	591	3
A	8.25215	586	2

(9) A층 유기물

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	7112
Error Mean Square	2.728331
Critical Value of Studentized Range	3.63402
Minimum Significant Difference	0.3748
Harmonic Mean of Cell Sizes	256.5297

Tukey Grouping		Mean	N	YUKIMUL1
	A	8.6840	1953	3
B	A	8.4376	117	4
B	C	8.2838	4888	2
	C	7.9891	158	1

(10) B층 유기물

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	7112
Error Mean Square	2.751009
Critical Value of Studentized Range	3.63402
Minimum Significant Difference	0.5278
Harmonic Mean of Cell Sizes	130.435

Tukey Grouping	Mean	N	YUKIMUL2
A	8.6564	39	4
A	8.4476	5388	2
A	8.3390	241	3
A	8.1749	1448	1

(11) 지형

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	7113
Error Mean Square	2.596786
Critical Value of Studentized Range	3.31519
Minimum Significant Difference	0.1161
Harmonic Mean of Cell Sizes	2118.841

Tukey Grouping	Mean	N	JIHYUNG
A	8.67979	2774	3
B	8.49979	2945	2
C	7.58110	1397	1

(12) 퇴적양식

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	7113
Error Mean Square	2.654485
Critical Value of Studentized Range	3.31519
Minimum Significant Difference	0.1302
Harmonic Mean of Cell Sizes	1721.156

Tukey Grouping	Mean	N	YANGSIK
A	8.71026	1060	3
B	8.54263	4291	2
C	7.82500	1765	1

(13) 표고

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	7107
Error Mean Square	2.711563
Critical Value of Studentized Range	4.38789
Minimum Significant Difference	1.021
Harmonic Mean of Cell Sizes	50.08077

Tukey Grouping		Mean	N	PYOGO
	A	9.4882	17	2
B	A	9.0667	60	3
B	A	8.8545	11	1
B	A	8.7248	242	5
B	A	8.6963	161	4
B	A	8.6516	1598	7
B	A	8.5867	743	6
B		8.2599	2675	8
B		8.1328	1609	9

라. 해송

(1) A층 건습도

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for JIWEE_JISU

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	10410
Error Mean Square	1.419468
Critical Value of Studentized Range	3.63375
Minimum Significant Difference	2.1681
Harmonic Mean of Cell Sizes	3.987188

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping		Mean	N	GUNSUPD01
	A	10.8000	1	5
B	A	10.3111	369	4
B	A	9.8176	7316	2
B		8.3208	2728	1

(2) B층 건습도

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	10410
Error Mean Square	1.399463
Critical Value of Studentized Range	3.63375
Minimum Significant Difference	2.1516
Harmonic Mean of Cell Sizes	3.991569

Tukey Grouping		Mean	N	GUNSUPD02
	A	10.8000	1	5
	A	10.5081	638	4
B	A	9.7514	7326	2
B		8.2428	2449	1

(3) A층 견밀도

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	10409
Error Mean Square	1.735434
Critical Value of Studentized Range	3.85833
Minimum Significant Difference	0.5356
Harmonic Mean of Cell Sizes	190.05765

Tukey Grouping	Mean	N	KEONMILD01
A	9.6554	7324	4
A	9.5057	534	2
A	9.4217	327	5
B	8.8750	20	1
B	8.7324	2209	3

(4) B층 견밀도

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	10409
Error Mean Square	1.490288
Critical Value of Studentized Range	3.85833
Minimum Significant Difference	0.6255
Harmonic Mean of Cell Sizes	56.70433

Tukey Grouping		Mean	N	KEONMILD02
	A	10.8480	423	4
	B	9.7762	6515	3
C	B	9.2940	503	1
C	D	9.1500	12	5
	D	8.5360	2961	2

(5) 경사

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	10409
Error Mean Square	1.77508
Critical Value of Studentized Range	3.85833
Minimum Significant Difference	0.1327
Harmonic Mean of Cell Sizes	1501.06

Tukey Grouping	Mean	N	KYUNGSA
A	10.11861	1384	2
B	9.81105	679	1
C	9.49073	2235	5
D	9.33457	2376	3
E	9.16680	3740	4

(6) 경사형태

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	10411
Error Mean Square	1.468741
Critical Value of Studentized Range	3.31497
Minimum Significant Difference	0.1078
Harmonic Mean of Cell Sizes	1388.529

Tukey Grouping	Mean	N	KYUNGSA_HYUNG
A	10.22143	624	3
B	9.74600	7428	2
C	8.28493	2362	1

(7) 모암

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	10411
Error Mean Square	1.749056
Critical Value of Studentized Range	3.31497
Minimum Significant Difference	0.0876
Harmonic Mean of Cell Sizes	2504.871

Tukey Grouping	Mean	N	MOAM
A	9.85844	4357	2
B	9.24506	1321	3
C	9.11624	4736	1

(8) 방위

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	10406
Error Mean Square	1.805449
Critical Value of Studentized Range	4.28722
Minimum Significant Difference	0.2
Harmonic Mean of Cell Sizes	829.3884

Tukey Grouping			Mean	N	BANGWEE
		A	9.62146	2252	8
		A	9.59622	1956	6
		A	9.57413	1901	5
		A	9.49135	2215	7
		B	9.13863	564	2
	C	B	8.94989	453	4
	C		8.89312	555	3
	C		8.75440	518	1

(9) A층 유기물

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	10410
Error Mean Square	1.811846
Critical Value of Studentized Range	3.63375
Minimum Significant Difference	0.4913
Harmonic Mean of Cell Sizes	99.09459

Tukey Grouping	Mean	N	YUKIMUL1
A	10.0242	60	1
A	9.7951	3338	3
B	9.2743	6973	2
C	8.6791	43	4

(10) B층 유기물

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	10410
Error Mean Square	1.87231
Critical Value of Studentized Range	3.63375
Minimum Significant Difference	0.6602
Harmonic Mean of Cell Sizes	56.724

Tukey Grouping	Mean	N	YUKIMUL2
A	9.6604	481	1
A	9.4961	601	3
A	9.4290	9317	2
A	9.0933	15	4

(11) 지형

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	10411
Error Mean Square	1.461005
Critical Value of Studentized Range	3.31497
Minimum Significant Difference	0.0738
Harmonic Mean of Cell Sizes	2944.564

Tukey Grouping	Mean	N	JIHYUNG
A	9.88692	5630	3
B	9.50289	2578	2
C	8.24055	2206	1

(12) 퇴적양식

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	10411
Error Mean Square	1.458688
Critical Value of Studentized Range	3.31497
Minimum Significant Difference	0.103
Harmonic Mean of Cell Sizes	1509.816

Tukey Grouping	Mean	N	YANGSIK
A	10.25691	689	3
B	9.75725	7205	2
C	8.32240	2520	1

(13) 표고

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	10406
Error Mean Square	1.87481
Critical Value of Studentized Range	4.28722
Minimum Significant Difference	2.1405
Harmonic Mean of Cell Sizes	7.521006

Tukey Grouping	Mean	N	PYOGO
A	10.0000	1	1
A	9.7840	25	3
A	9.4695	64	4
A	9.4642	3940	9
A	9.4413	4130	8
A	9.4197	1510	7
A	9.4015	197	5
A	9.3646	547	6

마. 낙엽송

(1) A층 건습도

```
                    Tukey's Studentized Range (HSD) Test for JIWEE_JISU
                       Alpha                                      0.05
                       Error Degrees of Freedom                  10808
                       Error Mean Square                      3.020763
                       Critical Value of Studentized Range     3.63373
                       Minimum Significant Difference           0.5208
                       Harmonic Mean of Cell Sizes            147.0709
          Means with the same letter are not significantly different.
               Tukey Grouping          Mean      N    GUNSUPD01
                           A       14.9897     39    3
                           A       14.9513   3125    4
                           B       14.1027   6729    2
                           C       12.9033    919    1
```

(2) B층 건습도

```
                       Alpha                                      0.05
                       Error Degrees of Freedom                  10807
                       Error Mean Square                      2.862053
                       Critical Value of Studentized Range     3.85831
                       Minimum Significant Difference           1.3296
                       Harmonic Mean of Cell Sizes            24.10237
               Tukey Grouping          Mean      N    GUNSUPD02
                           A       15.8600      5    5
                           A       15.8125    207    3
                       B   A       14.8330   5360    4
                       B   C       13.6793   4790    2
                           C       12.6244    450    1
```

(3) A층 견밀도

```
                      Alpha                                      0.05
                       Error Degrees of Freedom                  10807
                       Error Mean Square                      3.108009
                       Critical Value of Studentized Range     3.85831
                       Minimum Significant Difference           1.2629
                       Harmonic Mean of Cell Sizes            29.00894
               Tukey Grouping          Mean      N    KEONMILD01
                          A       14.8249   1881    5
                      B   A       14.4667      6    1
                      B   A       14.3749   6651    4
                      B   C       13.4668   2053    3
                          C       12.8290    221    2
```

(4) B층 견밀도

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	10807
Error Mean Square	3.025748
Critical Value of Studentized Range	3.85831
Minimum Significant Difference	0.3621
Harmonic Mean of Cell Sizes	343.5504

Tukey Grouping	Mean	N	KEONMILD02
A	15.1114	105	5
A	14.9374	3210	4
B	14.1868	5148	3
C	13.4485	2102	2
D	13.0522	247	1

(5) 경사

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	10807
Error Mean Square	3.229654
Critical Value of Studentized Range	3.85831
Minimum Significant Difference	0.2059
Harmonic Mean of Cell Sizes	1133.521

Tukey Grouping		Mean	N	KYUNGSA
	A	14.61080	4197	2
	B	14.18425	3095	3
C	B	14.12621	393	5
C		13.93440	1784	4
	D	13.72293	1343	1

(6) 경사형태

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	10809
Error Mean Square	3.008278
Critical Value of Studentized Range	3.31495
Minimum Significant Difference	0.1521
Harmonic Mean of Cell Sizes	1428.546

Tukey Grouping	Mean	N	KYUNGSA_HYUNG
A	15.06771	3235	3
B	13.96838	6970	2
C	13.11130	607	1

(7) 모암

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	10809
Error Mean Square	3.282409
Critical Value of Studentized Range	3.31495
Minimum Significant Difference	0.1041
Harmonic Mean of Cell Sizes	3328.571

Tukey Grouping	Mean	N	MOAM
A	14.54045	3204	3
B	14.22759	5052	1
C	13.92678	2556	2

(8) 방위

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	10804
Error Mean Square	3.325123
Critical Value of Studentized Range	4.28719
Minimum Significant Difference	0.2342
Harmonic Mean of Cell Sizes	1114.26

Tukey Grouping			Mean	N	BANGWEE
	A		14.36573	2189	5
B	A		14.31034	1209	4
B	A		14.30921	2329	6
B	A	C	14.20272	1403	8
B	A	C	14.16541	824	1
B	A	C	14.16367	1440	7
B		C	14.12716	775	2
		C	14.06740	643	3

(9) A층 유기물

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	10808
Error Mean Square	3.063329
Critical Value of Studentized Range	3.63373
Minimum Significant Difference	0.5494
Harmonic Mean of Cell Sizes	133.9952

Tukey Grouping	Mean	N	YUKIMUL1
A	15.0554	1384	4
B	14.3940	6981	3
C	13.3901	2412	2
D	12.6914	35	1

(10) B층 유기물

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	10808
Error Mean Square	3.26629
Critical Value of Studentized Range	3.63373
Minimum Significant Difference	0.4142
Harmonic Mean of Cell Sizes	251.3963

Tukey Grouping	Mean	N	YUKIMUL2
A	14.3205	792	3
A	14.3132	9361	2
B	13.7615	78	4
C	13.1863	581	1

(11) 지형

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	10809
Error Mean Square	3.116078
Critical Value of Studentized Range	3.31495
Minimum Significant Difference	0.1641
Harmonic Mean of Cell Sizes	1272.266

Tukey Grouping	Mean	N	JIHYUNG
A	14.62393	5449	3
B	13.99298	4855	2
C	12.67815	508	1

(12) 퇴적양식

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	10809
Error Mean Square	3.120064
Critical Value of Studentized Range	3.31495
Minimum Significant Difference	0.1448
Harmonic Mean of Cell Sizes	1635.22

Tukey Grouping	Mean	N	YANGSIK
A	14.79937	3457	3
B	14.09598	6638	2
C	13.01487	717	1

(13) 표고

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	10803
Error Mean Square	3.292471
Critical Value of Studentized Range	4.38743
Minimum Significant Difference	0.2891
Harmonic Mean of Cell Sizes	758.3941

Tukey Grouping			Mean	N	PYOGO
		A	14.50586	648	2
		A	14.44133	1001	4
		A	14.40272	1252	5
	B	A	14.31838	950	3
	B	A	14.30803	2276	7
	B	A	14.30651	1930	6
	B	C	14.09841	754	1
		C	13.91570	1785	8
		D	13.54454	216	9

바. 잣나무

(1) A층 건습도

```
                    Tukey's Studentized Range (HSD) Test for JIWEE_JISU
                       Alpha                                      0.05
                       Error Degrees of Freedom                   3105
                       Error Mean Square                       1.680316
                       Critical Value of Studentized Range     3.86000
                       Minimum Significant Difference           2.3781
                       Harmonic Mean of Cell Sizes             4.42685
          Means with the same letter are not significantly different.
               Tukey Grouping          Mean      N    GUNSUPD01
                            A       14.8320   1020    4
                            A       14.7125      8    3
                            A       14.0643   1738    2
                            A       13.5000      1    5
                            A       12.9787    343    1
```

(2) B층 건습도

```
                       Alpha                                      0.05
                       Error Degrees of Freedom                   3105
                       Error Mean Square                       1.594661
                       Critical Value of Studentized Range     3.86000
                       Minimum Significant Difference           2.2057
                       Harmonic Mean of Cell Sizes            4.883564
               Tukey Grouping          Mean      N    GUNSUPD02
                            A       14.7877     57    3
                            A       14.6924   1714    4
                            A       13.7055   1131    2
                            A       13.4000      1    5
                            A       12.6348    207    1
```

(3) A층 견밀도

```
                       Alpha                                      0.05
                       Error Degrees of Freedom                   3105
                       Error Mean Square                       1.814883
                       Critical Value of Studentized Range     3.86000
                       Minimum Significant Difference           1.3748
                       Harmonic Mean of Cell Sizes            14.30652
               Tukey Grouping          Mean      N    KEONMILD01
                          A       14.6238    873    5
                          A       14.2749   1573    4
                          A       13.4761    582    3
                          A       13.3667      3    1
                          C       12.8290    221    2
```

(4) B층 견밀도

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	3105
Error Mean Square	1.711114
Critical Value of Studentized Range	3.86000
Minimum Significant Difference	0.4773
Harmonic Mean of Cell Sizes	111.9071

Tukey Grouping	Mean	N	KEONMILD02
A	15.0525	40	5
A	14.7329	1225	4
B	14.0837	1163	3
C	13.4162	621	2
C	13.0275	61	1

(5) 경사

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	3105
Error Mean Square	1.920787
Critical Value of Studentized Range	3.86000
Minimum Significant Difference	0.2699
Harmonic Mean of Cell Sizes	392.9144

Tukey Grouping		Mean	N	KYUNGSA
	A	14.74667	150	5
	B	14.44638	740	4
C	B	14.24719	970	2
C		14.06118	850	3
	D	13.70325	400	1

(6) 경사형태

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	3107
Error Mean Square	1.547251
Critical Value of Studentized Range	3.31609
Minimum Significant Difference	0.1571
Harmonic Mean of Cell Sizes	689.3649

Tukey Grouping	Mean	N	KYUNGSA_HYUNG
A	15.06716	778	3
B	14.13198	1940	2
C	12.79872	392	1

(7) 모암

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	3107
Error Mean Square	1.956403
Critical Value of Studentized Range	3.31609
Minimum Significant Difference	0.211
Harmonic Mean of Cell Sizes	483.3846
Harmonic Mean of Cell Sizes	3328.571

Tukey Grouping	Mean	N	MOAM
A	14.54045	3204	3
B	14.22759	5052	1
C	13.92678	2556	2

(8) 방위

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	3102
Error Mean Square	1.961167
Critical Value of Studentized Range	4.28927
Minimum Significant Difference	0.3149
Harmonic Mean of Cell Sizes	363.9108

Tukey Grouping		Mean	N	BANGWEE
	A	14.4384	474	6
B	A	14.3032	343	4
B	A	14.2737	471	7
B	A	14.1853	551	5
B	A	14.1713	429	8
B	A	14.1243	280	2
B	C	14.0910	279	1
	C	13.7841	283	3

(9) A층 유기물

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	3106
Error Mean Square	1.875817
Critical Value of Studentized Range	3.63513
Minimum Significant Difference	0.7679
Harmonic Mean of Cell Sizes	42.03365

Tukey Grouping		Mean	N	YUKIMUL1
	A	14.5807	455	4
B	A	14.3114	2001	3
B	C	13.5964	643	2
	C	12.8618	11	1

(10) B층 유기물

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	3106
Error Mean Square	1.969961
Critical Value of Studentized Range	3.63513
Minimum Significant Difference	0.6059
Harmonic Mean of Cell Sizes	70.90261

Tukey Grouping		Mean	N	YUKIMUL2
	A	14.4007	295	3
B	A	14.2056	2654	2
B		13.7045	22	4
B		13.6984	139	1

(11) 지형

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	3107
Error Mean Square	1.66547
Critical Value of Studentized Range	3.31609
Minimum Significant Difference	0.1689
Harmonic Mean of Cell Sizes	641.9059

Tukey Grouping	Mean	N	JIHYUNG
A	14.61326	1513	3
B	14.07510	1288	2
C	12.67573	309	1

(12) 퇴적양식

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	3107
Error Mean Square	1.69126
Critical Value of Studentized Range	3.31609
Minimum Significant Difference	0.1598
Harmonic Mean of Cell Sizes	727.8676

Tukey Grouping	Mean	N	YANGSIK
A	14.77807	694	3
B	14.27632	1955	2
C	12.99176	461	1

(13) 표고

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	3101
Error Mean Square	1.94289
Critical Value of Studentized Range	4.38964
Minimum Significant Difference	0.4255
Harmonic Mean of Cell Sizes	206.7768

Tukey Grouping			Mean	N	PYOGO
		A	14.3764	827	8
	B	A	14.2984	754	7
	B	A	14.2714	112	9
	B	A	14.2102	489	6
	B	A	14.1349	295	5
	B	A	13.9932	173	3
	B	A	13.9807	212	4
	B		13.9016	124	2
		C	13.3839	124	1

사. 상수리

(1) A층 건습도

```
                    Tukey's Studentized Range (HSD) Test for JIWEE_JISU
                       Alpha                                      0.05
                       Error Degrees of Freedom                  13798
                       Error Mean Square                      2.556174
                       Critical Value of Studentized Range     3.85817
                       Minimum Significant Difference           2.9504
                       Harmonic Mean of Cell Sizes            4.371001
          Means with the same letter are not significantly different.
               Tukey Grouping          Mean      N    GUNSUPD01
                          A         15.900      7    3
                          A         15.856   1443    4
                          A         14.840   7938    2
                          A         14.000      1    5
                          A         13.594   4414    1
```

(2) B층 건습도

```
                       Alpha                                      0.05
                       Error Degrees of Freedom                  13798
                       Error Mean Square                      2.564365
                       Critical Value of Studentized Range     3.85817
                       Minimum Significant Difference           1.6902
                       Harmonic Mean of Cell Sizes           13.36229
               Tukey Grouping          Mean      N    GUNSUPD02
                            A       16.5933      3    5
                       B    A       15.7200     25    3
                       B    A       15.6861   2409    4
                       B    C       14.6337   8213    2
                            C       13.4450   3153    1
```

(3) A층 견밀도

```
                       Alpha                                      0.05
                       Error Degrees of Freedom                  13798
                       Error Mean Square                      3.019808
                       Critical Value of Studentized Range     3.85817
                       Minimum Significant Difference           0.5575
                       Harmonic Mean of Cell Sizes            144.639
               Tukey Grouping          Mean      N    KEONMILD01
                              A       15.0893   1138    5
                       B    A       14.6293   6914    4
                       B    C       14.4174   4793    3
                       D    C       13.9865    927    2
                       D            13.6258     31    1
```

(4) B층 견밀도

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	13798
Error Mean Square	2.985177
Critical Value of Studentized Range	3.85817
Minimum Significant Difference	0.4955
Harmonic Mean of Cell Sizes	180.962

Tukey Grouping	Mean	N	KEONMILD02
A	15.0202	888	4
A	14.9475	40	5
A	14.7895	6428	3
B	14.2802	5592	2
B	13.9785	855	1

(5) 경사

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	13798
Error Mean Square	3.02517
Critical Value of Studentized Range	3.85817
Minimum Significant Difference	0.1424
Harmonic Mean of Cell Sizes	2222.229

Tukey Grouping		Mean	N	KYUNGSA
	A	14.80673	1028	5
B	A	14.69269	3000	4
B		14.64355	3909	3
B		14.58538	3211	2
	C	14.09960	2655	1

(6) 경사형태

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	13800
Error Mean Square	2.689424
Critical Value of Studentized Range	3.31485
Minimum Significant Difference	0.0928
Harmonic Mean of Cell Sizes	3428.82

Tukey Grouping		Mean	N	KYUNGSA_HYUNG
A		15.65286	2186	3
	B	14.61663	8240	2
	C	13.66625	3377	1

(7) 모암

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	13800
Error Mean Square	3.061996
Critical Value of Studentized Range	3.31485
Minimum Significant Difference	0.0931
Harmonic Mean of Cell Sizes	3883.16

Tukey Grouping	Mean	N	MOAM
A	14.71097	4738	3
B	14.46656	6630	1
B	14.45393	2435	2

(8) 방위

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	13795
Error Mean Square	3.059846
Critical Value of Studentized Range	4.28701
Minimum Significant Difference	0.1938
Harmonic Mean of Cell Sizes	1496.662

Tukey Grouping		Mean	N	BANGWEE
	A	14.83923	1089	4
B	A	14.69286	1074	1
B	A	14.66955	1114	2
B		14.63949	2315	7
B	C	14.50578	1115	3
	C	14.44246	2459	6
	C	14.44198	2339	8
	C	14.43389	2298	5

(9) A층 유기물

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	13799
Error Mean Square	2.982431
Critical Value of Studentized Range	3.63360
Minimum Significant Difference	0.2711
Harmonic Mean of Cell Sizes	535.7686

Tukey Grouping		Mean	N	YUKIMUL1
	A	15.1789	837	4
	B	14.8202	5504	3
	C	14.4070	168	1
	C	14.2739	7294	2

(10) B층 유기물

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	13799
Error Mean Square	3.040262
Critical Value of Studentized Range	3.63360
Minimum Significant Difference	0.2793
Harmonic Mean of Cell Sizes	514.4292

Tukey Grouping		Mean	N	YUKIMUL2
	A	15.1727	164	4
	A	15.0293	1047	3
	B	14.5427	11010	2
	C	14.2037	1582	1

(11) 지형

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	13800
Error Mean Square	2.637547
Critical Value of Studentized Range	3.31485
Minimum Significant Difference	0.081
Harmonic Mean of Cell Sizes	4420.447

Tukey Grouping		Mean	N	JIHYUNG
	A	15.22282	4953	3
	B	14.59489	5434	2
	C	13.49588	3416	1

(12) 퇴적양식

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	13800
Error Mean Square	2.657332
Critical Value of Studentized Range	3.31485
Minimum Significant Difference	0.0897
Harmonic Mean of Cell Sizes	3628.489

Tukey Grouping	Mean	N	YANGSIK
A	15.57223	2289	3
B	14.70067	7658	2
C	13.63760	3856	1

(13) 표고

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	13794
Error Mean Square	2.945251
Critical Value of Studentized Range	4.38724
Minimum Significant Difference	0.2696
Harmonic Mean of Cell Sizes	780.17

Tukey Grouping		Mean	N	PYOGO
	A	15.01997	3732	8
	A	14.85853	1233	9
	B	14.53584	3110	7
	B	14.48598	428	1
C	B	14.36785	703	3
C	D	14.20553	851	4
C	D	14.14443	2175	6
	D	14.06898	1320	5
	D	13.95578	251	2

아. 신갈

(1) A층 건습도

```
                    Tukey's Studentized Range (HSD) Test for JIWEE_JISU
                       Alpha                                      0.05
                       Error Degrees of Freedom                   5677
                       Error Mean Square                      2.313919
                       Critical Value of Studentized Range     3.63424
                       Minimum Significant Difference           0.9319
                       Harmonic Mean of Cell Sizes            35.19003
          Means with the same letter are not significantly different.
               Tukey Grouping          Mean      N    GUNSUPD01
                          A       16.7111      9    3
                          B       15.5369    564    4
                          C       14.1510   2450    2
                          D       12.7107   2658    1
```

(2) B층 건습도

```
                       Alpha                                      0.05
                       Error Degrees of Freedom                   5676
                       Error Mean Square                      2.338042
                       Critical Value of Studentized Range     3.85898
                       Minimum Significant Difference           2.6851
                       Harmonic Mean of Cell Sizes            4.829196
               Tukey Grouping          Mean      N    GUNSUPD02
                            A       16.3567     30    3
                            A       15.2822    844    4
                       B    A       13.8502   2758    2
                       B            12.5827   2048    1
                       B            11.2000      1    5
```

(3) A층 견밀도

```
                       Alpha                                      0.05
                       Error Degrees of Freedom                   5676
                       Error Mean Square                      3.051634
                       Critical Value of Studentized Range     3.85898
                       Minimum Significant Difference           0.8326
                       Harmonic Mean of Cell Sizes           65.55519
               Tukey Grouping          Mean      N    KEONMILD01
                              A       14.2685    540    5
                       B    A       13.8996   2369    4
                       B    C       13.3271   2289    3
                            C       12.9041    469    2
                            C       12.6643     14    1
```

(4) B층 견밀도

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	5676
Error Mean Square	2.964614
Critical Value of Studentized Range	3.85898
Minimum Significant Difference	0.7738
Harmonic Mean of Cell Sizes	73.7260

Tukey Grouping		Mean	N	KEONMILD02
	A	14.3569	728	4
B	A	13.9203	2236	3
B		13.5438	16	5
B		13.2746	2376	2
	C	12.4108	325	1

(5) 경사

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	5676
Error Mean Square	3.127375
Critical Value of Studentized Range	3.85898
Minimum Significant Difference	0.2889
Harmonic Mean of Cell Sizes	557.8182

Tukey Grouping		Mean	N	KYUNGSA
	A	14.1511	724	4
	A	14.0808	177	5
	B	13.7534	1484	2
C	B	13.5262	1336	3
C		13.3416	1960	1

(6) 경사형태

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	5678
Error Mean Square	2.596207
Critical Value of Studentized Range	3.31537
Minimum Significant Difference	0.1637
Harmonic Mean of Cell Sizes	1064.629

Tukey Grouping	Mean	N	KYUNGSA_HYUNG
A	14.94320	491	3
B	14.11106	2896	2
C	12.71384	2294	1

(7) 모암

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	5678
Error Mean Square	3.201935
Critical Value of Studentized Range	3.31537
Minimum Significant Difference	0.1408
Harmonic Mean of Cell Sizes	1775.7

Tukey Grouping	Mean	N	MOAM
A	13.63231	2594	3
A	13.63103	1421	2
A	13.58726	1666	1

(8) 방위

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	5673
Error Mean Square	3.187619
Critical Value of Studentized Range	4.28795
Minimum Significant Difference	0.3004
Harmonic Mean of Cell Sizes	649.2869

Tukey Grouping			Mean	N	BANGWEE
	A		13.73276	604	4
	A		13.73190	778	7
B	A		13.70970	1000	6
B	A		13.69915	854	8
B	A	C	13.60111	993	5
B	A	C	13.49372	478	1
B		C	13.41146	501	3
		C	13.33288	473	2

(9) A층 유기물

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	5677
Error Mean Square	2.881273
Critical Value of Studentized Range	3.63424
Minimum Significant Difference	0.3973
Harmonic Mean of Cell Sizes	241.0423

Tukey Grouping	Mean	N	YUKIMUL1
A	14.5175	976	4
B	13.8466	2415	3
B	13.5637	68	1
C	12.9781	2222	2

(10) B층 유기물

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	5677
Error Mean Square	3.119142
Critical Value of Studentized Range	3.63424
Minimum Significant Difference	0.4865
Harmonic Mean of Cell Sizes	174.0509

Tukey Grouping	Mean	N	YUKIMUL2
A	14.7412	51	4
A	14.3058	517	3
B	13.6093	4284	2
B	13.1701	829	1

(11) 지형

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	5678
Error Mean Square	2.406695
Critical Value of Studentized Range	3.31537
Minimum Significant Difference	0.1339
Harmonic Mean of Cell Sizes	1476.012

Tukey Grouping	Mean	N	JIHYUNG
A	14.90691	836	3
B	14.26210	2148	2
C	12.70712	2697	1

(12) 퇴적양식

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	5678
Error Mean Square	2.40352
Critical Value of Studentized Range	3.31537
Minimum Significant Difference	0.1474
Harmonic Mean of Cell Sizes	1216.663

Tukey Grouping	Mean	N	YANGSIK
A	15.04166	598	3
B	14.31834	2310	2
C	12.72917	2773	1

(13) 표고

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	5672
Error Mean Square	3.178074
Critical Value of Studentized Range	4.38823
Minimum Significant Difference	0.8144
Harmonic Mean of Cell Sizes	92.27428

Tukey Grouping			Mean	N	PYOGO
		A	13.9194	639	2
		A	13.7486	108	8
		A	13.6842	920	3
		A	13.6687	662	4
		A	13.6559	644	5
		A	13.5812	1834	1
	B	A	13.4156	558	6
	B	A	13.1902	303	7
	B		12.7615	13	9

2. 지위지수 함수식 추정결과

(1) 강원지방소나무

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	12	13581	1131.76817	680.16	<.0001
Error	10390	17289	1.66397		
Corrected Total	10402	30870			

R-Square = 0.4400

Variable	Parameter Estimate	Standard Error	Type II SS	F Value	Pr > F
Intercept	4.60204	0.16905	1233.12586	741.07	<.0001
JIHYUNG1	0.12139	0.03858	16.47272	9.90	0.0017
JIHYUNG2	-0.68202	0.04978	312.30911	187.69	<.0001
MOAM2	0.33070	0.02903	215.94860	129.78	<.0001
KYUNGSA	-0.15033	0.03046	40.52208	24.35	<.0001
PYOGO	-0.18986	0.02934	69.65314	41.86	<.0001
YANGSIK2	-0.34025	0.04931	79.24367	47.62	<.0001
KYUNGSA_HY1	-0.41213	0.04671	129.53187	77.85	<.0001
KYUNGSA_HY2	0.26839	0.04224	67.18301	40.38	<.0001
TOSIM	0.03703	0.00102	2182.19594	1311.44	<.0001
YUKIMUL2	0.22411	0.03205	81.34608	48.89	<.0001
GUNSUPD01	0.12317	0.03034	27.42132	16.48	<.0001
RAINDAYS	0.02388	0.00087460	1240.34371	745.41	<.0001

(2) 중부지방소나무

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	10	25634	2563.37628	1211.18	<.0001
Error	26087	55211	2.11643		
Corrected Total	26097	80845			

R-Square = 0.3171

Variable	Parameter Estimate	Standard Error	Type II SS	F Value	Pr > F
Intercept	5.47816	0.08583	8622.43597	4074.05	<.0001
JIHYUNG1	-0.33468	0.02161	507.79445	239.93	<.0001
JIHYUNG2	-1.04170	0.03557	1815.10935	857.63	<.0001
MOAM	-0.29765	0.02089	429.81863	203.09	<.0001
KYUNGSA_HY1	-0.08981	0.03502	13.92162	6.58	0.0103
KYUNGSA_HY2	0.83607	0.03446	1245.79306	588.63	<.0001
BANGWEE	0.16369	0.02016	139.53937	65.93	<.0001
TOSIM2	0.03466	0.00082926	3697.19104	1746.90	<.0001
YUKIMUL1	0.19793	0.01828	248.22438	117.28	<.0001
YUKIMUL2	0.17053	0.02724	82.93121	39.18	<.0001
KEONMILD01	0.23005	0.01328	635.41725	300.23	<.0001

(3) 리기다소나무

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	13	2464.64045	189.58773	79.85	<.0001
Error	6709	15930	2.37443		
Corrected Total	6722	18395			

R-Square = 0.3340

Variable	Parameter Estimate	Standard Error	Type II SS	F Value	Pr > F
Intercept	10.47479	0.42334	1453.66770	612.22	<.0001
JIHYUNG1	0.12293	0.04696	16.27325	6.85	0.0089
JIHYUNG2	-0.51961	0.08203	95.26992	40.12	<.0001
MOAM1	-0.21015	0.06369	25.84936	10.89	0.0010
MOAM2	0.12694	0.06539	8.94668	3.77	0.0523
YANGSIK1	0.12125	0.07407	6.36158	2.68	0.1017
YANGSIK2	-0.36103	0.06593	71.19907	29.99	<.0001
KYUNGSA_HY1	-0.29912	0.07007	43.27452	18.23	<.0001
KYUNGSA_HY2	0.61843	0.07332	168.92250	71.14	<.0001
TOSIM2	0.01844	0.00151	353.08590	148.70	<.0001
YUKIMUL1	0.19869	0.04387	48.71759	20.52	<.0001
KEONMILD02	0.29020	0.03926	129.75405	54.65	<.0001
RAINDAYS	-0.01456	0.00264	72.23128	30.42	<.0001
TEMP	-0.16708	0.02650	94.38514	39.75	<.0001

(4) 해송

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	9	4846.88148	538.54239	474.44	<.0001
Error	8296	9416.87086	1.13511		
Corrected Total	8305	14264			

R-Square = 0.3398

Variable	Parameter Estimate	Standard Error	Type II SS	F Value	Pr > F
Intercept	14.83322	0.41227	1469.43569	1294.53	<.0001
JIHYUNG1	0.40385	0.02989	207.20983	182.55	<.0001
MOAM1	-0.29156	0.02594	143.35977	126.30	<.0001
KYUNGSA	-0.16942	0.01222	218.09625	192.14	<.0001
YANGSIK1	-0.35508	0.08129	21.65645	19.08	<.0001
KYUNGSA_HY1	-0.36849	0.08070	23.66881	20.85	<.0001
KYUNGSA_HY2	0.15650	0.05040	10.94568	9.64	0.0019
TOSIM2	0.02495	0.00142	349.37400	307.79	<.0001
RAINDAYS	-0.02762	0.00174	287.37834	253.17	<.0001
TEMP	-0.22049	0.02162	118.11211	104.05	<.0001

(5) 낙엽송

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	12	9087.60210	757.30017	315.96	<.0001
Error	10018	24011	2.39682		
Corrected Total	10030	33099			

R-Square = 0.3746

Variable	Parameter Estimate	Standard Error	Type II SS	F Value	Pr > F
Intercept	15.83554	0.44918	2978.87244	1242.85	<.0001
JIHYUNG1	0.22706	0.03596	95.53447	39.86	<.0001
JIHYUNG2	-0.31502	0.08248	34.96126	14.59	0.0001
MOAM1	-0.10473	0.04055	15.98688	6.67	0.0098
MOAM2	0.09251	0.04431	10.44941	4.36	0.0368
YANGSIK2	-0.15896	0.04391	31.40814	13.10	0.0003
KYUNGSA_HY2	0.61165	0.04054	545.58324	227.63	<.0001
TOSIM2	0.03722	0.00134	1855.37187	774.10	<.0001
YUKIMUL1	0.20480	0.02705	137.42966	57.34	<.0001
GUNSUPD01	0.16078	0.03445	52.20050	21.78	<.0001
KEONMILD02	0.45325	0.03631	373.45415	155.81	<.0001
RAINDAYS	-0.01855	0.00187	236.02042	98.47	<.0001
TEMP	-0.34089	0.02250	550.35811	229.62	<.0001

(6) 잣나무

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	10	1907.38850	190.73885	139.55	<.0001
Error	2884	3941.90440	1.36682		
Corrected Total	2894	5849.29290			

R-Square = 0.3261

Variable	Parameter Estimate	Standard Error	Type II SS	F Value	Pr > F
Intercept	18.35621	0.68693	975.99855	714.07	<.0001
JIHYUNG1	0.21204	0.05117	23.46642	17.17	<.0001
JIHYUNG2	-0.20501	0.12686	3.56930	2.61	0.1062
YANGSIK1	-0.17602	0.09998	4.23681	3.10	0.0784
YANGSIK2	-0.25829	0.06989	18.66707	13.66	0.0002
KYUNGSA_HY1	-0.57553	0.10537	40.77557	29.83	<.0001
KYUNGSA_HY2	0.80995	0.06532	210.12931	153.74	<.0001
TOSIM2	0.01701	0.00190	109.96328	80.45	<.0001
KEONMILD02	-0.32145	0.03009	155.95122	114.10	<.0001
RAINDAYS	-0.01615	0.00295	40.88655	29.91	<.0001
TEMP	-0.25753	0.03901	59.57783	43.59	<.0001

(7) 상수리

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	12	9741.31248	811.77604	350.98	<.0001
Error	12882	29794	2.31287		
Corrected Total	12894	39536			

R-Square = 0.3464

Variable	Parameter Estimate	Standard Error	Type II SS	F Value	Pr > F
Intercept	18.88981	0.29540	9457.77471	4089.19	<.0001
JIHYUNG1	0.50174	0.03657	435.48670	188.29	<.0001
JIHYUNG2	-0.63667	0.06304	235.88402	101.99	<.0001
MOAM	-0.11187	0.02945	33.37237	14.43	0.0001
KYUNGSA	0.12409	0.02173	75.38758	32.59	<.0001
YANGSIK1	-0.17097	0.06003	18.76219	8.11	0.0044
YANGSIK2	-0.15917	0.05458	19.66719	8.50	0.0036
KYUNGSA_HY2	0.50777	0.05097	229.52507	99.24	<.0001
TOSIM2	0.01451	0.00130	287.32127	124.23	<.0001
GUNSUPD02	0.51466	0.04434	311.64949	134.75	<.0001
KEONMILD02	0.04471	0.02896	5.51298	2.38	0.1226
RAINDAYS	-0.01657	0.00152	276.19434	119.42	<.0001
TEMP	-0.35769	0.01480	1351.33989	584.27	<.0001

(8) 신갈

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	10	5966.27475	596.62747	287.37	<.0001
Error	5164	10721	2.07615		
Corrected Total	5174	16687			

R-Square = 0.3575

Variable	Parameter Estimate	Standard Error	Type II SS	F Value	Pr > F
Intercept	14.18017	0.23048	7858.84710	3785.30	<.0001
JIHYUNG1	0.13192	0.07259	6.85662	3.30	0.0692
JIHYUNG2	-0.56857	0.08890	84.91806	40.90	<.0001
KYUNGSA	-0.14013	0.05847	11.92353	5.74	0.0166
YANGSIK1	-0.42672	0.09396	42.81839	20.62	<.0001
KYUNGSA_HY1	0.10699	0.07131	4.67372	2.25	0.1336
KYUNGSA_HY2	-0.34945	0.08886	32.10905	15.47	<.0001
TOSIM2	0.01598	0.00164	197.80222	95.27	<.0001
GUNSUPD01	0.63548	0.03380	733.74993	353.42	<.0001
KEONMILD01	0.10994	0.07456	4.51352	2.17	0.1404
TEMP	-0.20578	0.01472	405.81293	195.46	<.0001