

최 종  
연구보고서

지속가능한 산림자원관리를 위한 통합  
산림경영 시스템 개발

Development of Integrated Management System for  
Sustainable Forest Resources Management

연구 기관  
강 원 대 학 교

농 립 부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “지속가능한 산림자원관리를 위한 통합 산림경영 시스템 개발”에 관한 연구 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2007 년 5 월 25 일

주관연구기관명 : 강원대학교

총괄연구책임자 : 우 중 춘

(제1세부과제)

연구기관명 : 강원대학교

세부연구책임자 : 최 인 화

연구원 : 유 병 오, 정 상 훈, 박 철 봉

(제2세부과제)

연구기관명 : 강원대학교

세부연구책임자 : 우 중 춘

연구원 : 서 영 완, 장 재 영, 이 재 근

(제3세부과제)

연구기관명 : 강원대학교

세부연구책임자 : 서 옥 하

연구원 : 황 진 성, 이 영 욱

# 요 약 문

## I. 제 목

지속가능한 산림자원관리를 위한 통합산림경영 시스템 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 1992년 브라질의 리우환경회담 이후 지속가능한 산림경영이라고 하는 새로운 패러다임을 실천하기 위해 대륙별로 그 실행기구가 가동되어 오고 있고 우리나라와 같이 온대지역에 속하는 국가는 몬트리올 프로세스 Working Group에 의해서 개발된 기준 및 지표를 따르도록 강요받고 있다. 특히 몬트리올 프로세스 Working Group에 의해서 개발된 7가지 기준은 지속가능한 산림자원관리를 위한 내용들을 포괄적으로 포함하고 있어서 앞으로 산림경영계획을 세우는데 있어서 하나의 지침서가 될 것이다. 이것은 산림의 생태적 경영뿐만 아니라 산림의 다양성을 증진시키는 내용을 포함시켜야 한다는 사실을 암시적으로 보여주는 것이다.
- 현재 우리나라는 숲 가꾸기를 통하여 일부 산림사업이 진행되고 있지만, 해당 임분의 경영목적에 입각한 과학적 방법에 의한 사업이기 보다는 단순한 정량·정성에 의한 사업방법으로 대부분 시행되고 있어 경영목적에 부합하는 사업방법에 대한 종합적인 고찰이 필요한 실정이다. 특히, 우리나라 대부분 임지는 단순동령림 임분으로 앞으로 생물다양성 및 종다양성 등 생태적 인자를 고려한 복층림, 혼효림, 이령림으로 임분구조를 변화시킬 수 있는 산림사업방안에 대한 연구가 요구되는 때이다.
- 이러한 국내외의 여건변화에 따라 우리나라 산림도 지속가능한 경영시대를 맞이하는 시점에서 산림사업 및 경영 방안 제시는 무엇보다도 우선시 되어야 할 때이다. 이러한 문제를 극복하기 위해서는 우리나라 주요 수종의 성장모델이 우선적으로 구축되어 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 임분의 성장 및 수확량을 정확히 예측하고, 경영진단을 위하여 합리적인 의사결정을 가능하게 할 수 있는 종합적 임분단위 산림경영분석 모델이 적용되어야 한다.

### Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

- 1) 우리나라 주요 수종별 성장모델 및 시뮬레이션모델 개발
  - 현지 산림조사를 통하여 해당 임분의 임분구조를 진단
  - 다양한 입목변수를 이용하여 주요 수종별 단목성장 모델 구축
  - 조제된 성장모델을 컴퓨터 시뮬레이터에 입력하여 장기 예측을 위한 시뮬레이션 도구 구축
  - 제작된 컴퓨터 시뮬레이션 도구를 이용하여 해당 주요수종의 다양한 사업경영 모델 제시
  
- 2) 지속가능한 산림관리를 위한 최적산림경영계획 시스템 개발
  - 지속가능한 산림자원관리 적용을 위한 모델링 설정
  - 새로이 제정된 국유림 경영기본 지침과의 연계성 검토
  - 우리나라 산림사업(조림, 육림, 임목생산, 시설 등)에 대한 표준화
  - 각 작업종별 산림사업에 따른 pathway의 개발 및 기준별 대체안의 개발
  - 산림사업에 따른 경제분석 및 경영성과모델의 개발
  - 우리나라 산림에 어울리는 미래임분에 대한 목표임형 개발
  - 최적 산림수확을 위한 산림경영계획 모델의 개발
  - 성장모델 및 시뮬레이션모델과 수확모델과의 연계시스템 개발
  - 지속가능한 산림자원관리를 위한 통합 산림경영계획시스템의 개발
  
- 3) 통합산림관리 GIS프로그램과 임분동태 시각화모델 개발
  - 주요 수종별(잣나무, 낙엽송, 참나무류 등) 성장인자와 수형모델 개발
  - 현장모델링에 적용 가능한 각종 수치지도의 작성
  - 주요 수종별(잣나무, 낙엽송, 참나무류 등) 성장모델과 시각화모델과의 연계시스템 개발
  - 각 임분별 시뮬레이션모델과 시각화모델과의 연계시스템 개발
  - 최적 산림경영계획시스템과 시각화모델과의 통합연계시스템 개발
  - 전산화시스템은 산림자원관리를 위한 문서자료와 도면자료를 데이터베이스화

- 구축된 데이터베이스를 활용 가능하게 하는 소프트웨어 개발 및 의사결정을 지원할 수 있는 알고리즘 개발

#### IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

##### 1. 연구개발의 결과

###### 1) 우리나라 주요 수종별 성장모델 및 시뮬레이션모델 개발

본 연구를 수행하기 위하여 연구대상지의 주요 수종인 잣나무, 낙엽송, 신갈나무, 굴참나무 등의 입목 및 임분 통계 처리를 통하여 임분구조를 진단하고 다양한 입목변수를 이용하여 주요 수종별 단목성장모델을 개발하였다. 또한 조제된 성장모델을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이터에 입력하여 성장 예측을 위한 시뮬레이션을 구축하였으며 해당 주요 수종의 다양한 시업경영 모델을 제시하였다.

###### 2) 지속가능한 산림관리를 위한 최적산림경영계획 시스템 개발

본 연구에서는 지속가능한 산림경영을 위하여 새로이 제정된 국유림 경영기본 지침과의 연계성을 검토 하였고, 몬트리올 프로세스의 기준과 지표를 우리나라 산림기능구분에 대하여 적용해보았다. 지속가능한 산림경영을 위한 이론적 지식을 통하여 연구대상지의 지속가능한 산림경영과 미래의 목표임형 개발을 위해 새로운 경영단위의 접근과 최적간벌pathway 개발, 최적산림수확을 위한 산림경영계획 모델을 개발하였다.

이러한 결과를 바탕으로 성장모델 및 시뮬레이션 모델과 수확모델과 연계하여 지속가능한 산림자원관리를 위한 통합 산림경영계획시스템을 구축하였다.

###### 3) 통합산림관리 GIS프로그램과 임분동태 시각화모델 개발

본 연구에서는 컴퓨터 프로그램을 이용하여 각종 측정제원 및 성장 모델을 입력하여 수형 모델을 개발하였다. 또한 데이터 분석을 위하여 각 임분의 각종 통계량을 나타낼 수 있도록 구축하였다.

산림자원관리를 위한 문서자료, 도면자료, GIS 자료 등을 데이터베이스화 하여 입력된 측정 자료가 컴퓨터상에서 3차원 공간구조로 실현될 뿐만 아니라 최적 산림경영계획을 할 수

있도록 임분 생장예측 컴퓨터 통합시스템 환경을 구축하였다.

## 2. 활용에 대한 건의

오늘날 21세기 시대는 정보화·과학화 시대로 IT, BT, ET가 분리되어 발전하는 것이 아니라 서로 연계되고 통합할 수 있는 시스템개발이 요구되고 있고, 특히 산림자원분야는 지속가능한 산림경영이라는 패러다임이라는 방향성을 가지고 현 산림자원의 정확한 파악과 더불어 지역별로 산림기능에 부합하는 경영방안 수립이 요구되고 있다. 따라서 주어진 산림자원 자료(항공사진자료나 인공위성 자료 포함)를 이용하여 현 임분상태를 진단하고 생장모델을 구축하여 각종 시업 시뮬레이션을 통하여 현 임분을 목적에 맞게 장기예측 할 수 있는 통합 컴퓨터 시스템이 지속적으로 개발될 전망이다.

# SUMMARY

## I . Title

Development of Integrated Management System for Sustainable Forest Resources Management

## II. OBJECTIVES and REQUIREMENT

- Since UNCED of Brasil in 1992, to implement a new paradigm called sustainable Forest Management(SFM) the implement organization is operated in each continent. The nations belonging to the temperate regions like korea are forced to follow the criterion and indicators (C&I) developed by Montreal Process Working Group. Especially, 7 criterion developed by Montreal Process Working Group include the contents for sustainable Forest Resource Management comprehensively. therefore, this becomes one guide to plan Forest Management. This shows suggestively the fact that this should include the ecological Forest Management and the improvement of forest diversities.
- Now, our country implements forest treatments, but the treatment methods are cert simple quantitatively and qualitatively instead of scientific methods based the stand management objectives. Therefore. the integrated methods should be discussed for the proper treatment methods. The most forest stands in our country are constructed by simple even aged stands. that reason, the forest treatment alternatives, that can change the stand structure to multiple-layered forest, mixed forest or uneven aged-stands, considered the ecological factors. so called bio diversity and species

diversity.

- According to these national and international change of conditions, the forest management direction should be presented for the practice of Sustainable Forest Management. To overcome these problems the proper growth models for main tree species should be constructed in order to predict exactly stand growth amount and forest yields, and the integrated stand analysis model for forest management has to be applied to be able to make the rational decision.

### **III. RESEARCH CONTENTS and SCOPE**

#### **1) Development of growth models for main tree species and simulation model**

- Diagnosis of stand structure through forest inventory
- Construction of tree growth models for the main tree species
- Construction of simulation model for the long term prediction
- Presentation of several forest management models for main tree species

#### **2) Development of optimal forest management planning system for sustainable forest resource management**

- Selection of model forest in order to apply Sustainable Forest Resource Management guide
- Investigation of connection with new forest management guide for the national forests
- Standardization of forest employment ( reforestation, silviculture, production, establishment and soon )
- Development of each pathway for each forest employment and alternatives
- Development of economic analysis and management result model
- Development of future forest type for future stands



- Development of forest management planning model for optimal forest yield
- Development of connection model for growth model & simulation model with forest yield model
- Development of integrated forest management planning system for sustainable forest resource management

### **3) Development of integrated forest management GIS program and stand dynamic visualization model**

- Development of growth factors and tree form model for each main species
- Preparation of several digital maps to be applied to the field model forest
- Development of connection system of growth models and visualization models for main species ( *Pinus koraiensis*, *Larix leptolepis*, *Quercus mongolica*, *Quercus variabilis* )
- Development of connection system of simulation model and visualization model for each stand.
- Development of integrated connection system of optimal forest management planning system and visualization model.
- Data base construction of document materials and maps for forest resource management through computerized system.

## **IV. RESULTS and PROPOSAL**

### **1. Results**

1) Development of growth model and simulation model for main tree species in our country. In this study growth models of *Pinus koraiensis*, *Larix leptolepis*, *Quercus mongolica* and *Quercus variabilis* were development by the statistics analysis on the study site, and the forest treatment models were analysed and presented through

simulation model.

2) Development of optimal forest management planning system for sustainable forest resource management.

For the classification of forest functions of the study site criterion and indicators (C&I) of Montreal Process were tried to apply for Sustainable Forest Management, and with this foundation new forest management units were constructed, optimal thinning pathways were found and forest management planning model for the optimal forest yield was developed.

3) Development of integrated forest management GIS program and stand dynamic visualization model.

In this study with each forest management factor and growth model several statistics values for each stand could be described, inputted statistics materials could be showed to 3-D space structure in computer and the integrated computer system for stand growth prediction was constructed in order to plan the optimal forest management

## **2. Proposal for practical use**

Today 21<sup>st</sup> century is an information-oriented era or a science-oriented era, therefore, the system development is requested to integrate and connect each other, not to separate IT, BT and ET.

In the field of forest resource the establishment of forest management method is requested specially to coincide with forest functions in each region, with direction of sustainable Forest management paradigm.

For that reason, diagnosing present stand conditions, constructing growth models, and through simulation of each forest treatments the integrated computer system will be developed continuously in order to predict long term with the proper forest objects.

# CONTENTS

Chapter 1. Outline of researches .....	15
Chapter 2. Trend of foreign and domestic on researches .....	19
Chapter 3. Content of result of researches .....	21
Paragraph 1. Development of growth models for main tree species and simulation model .....	21
1. Objectives and contents of study .....	21
2. Result .....	22
1) Database construction for forest inventory and analysis of stand structure .....	22
2) Development of individual-tree growth model, simulation model .....	38
3) Construction for integrated forest growth model system .....	60
Paragraph 2. Development of optimal forest management planning system for sustainable forest resource management .....	91
1. Objectives and contents of study .....	91
2. Result .....	92
1) Development of forest operation standard model for sustainable forest resources management .....	92
2) Development of the pathway and future stands by silvicultural system for forest yield .....	120
3) Development of integrated management system for planning the optimal forest management .....	147

Paragraph 3. Development of integrated forest management GIS program and stand dynamic visualization model .....	159
1. Objectives and contents of study .....	159
2. Result .....	161
1) Analysis of the demand and operation of computer system .....	161
2) Designing for computer system, constructing DB, developing the basic algorism .....	166
3) Rendering(Coding), supporting and repairing for computer system .....	186
Chapter 4. Plan for utilization of the results from the research .....	191
Chapter 5. Reference .....	192

# 목 차

<b>제 1 장</b>	<b>연구개발과제의 개요</b> .....	15
제 1 절	연구개발의 필요성 .....	15
제 2 절	연구개발의 목적 .....	18
<b>제 2 장</b>	<b>국내외 기술개발 현황</b> .....	19
제 1 절	국내·외 관련기술의 현황과 문제점 .....	19
제 2 절	앞으로의 전망 .....	19
제 3 절	기술도입의 타당성 .....	20
<b>제 3 장</b>	<b>연구개발 수행 내용 및 결과</b> .....	21
제 1 절	우리나라 주요수종의 생장 모델 및 시뮬레이션 모델 개발 .....	21
1.	연구개발 목표 및 내용 .....	21
가.	연구결과 목표 및 내용 .....	21
나.	연차별 연구개발 목표와 내용 .....	21
2.	연구결과 .....	22
가.	산림자원조사 Data base 구축 및 임분구조 분석 .....	22
나.	개체목 생장모델 개발 및 시뮬레이션 모델 개발 .....	38
다.	통합 산림생장모델 시스템 구축 .....	60
제 2 절	지속가능한 산림관리를 위한 최적 산림경영계획 시스템 개발 .....	91
1.	연구개발 목표 및 내용 .....	91

가. 연구결과 목표 및 내용 .....	91
나. 연차별 연구개발 목표와 내용 .....	91
2. 연구결과 .....	92
가. 지속가능한 산림자원관리를 위한 산림사업 표준화 모델 개발 .....	92
나. 산림수확 작업종에 따른 pathway의 개발 및 목표임형의 개발 .....	120
다. 최적산림경영계획을 위한 통합경영시스템 개발 .....	147
제 3 절 통합 산림관리 GIS 프로그램과 임분동태 시각화모델 개발 .....	159
1. 연구개발 목표 및 내용 .....	159
가. 연구결과 목표 및 내용 .....	159
나. 연차별 연구개발 목표와 내용 .....	159
2. 연구결과 .....	161
가. 전산화시스템 요구분석 및 업무분석 .....	161
나. 시스템의 설계, 데이터베이스 구축 및 기본 알고리즘 개발 .....	166
다. 시스템의 구현(코딩) 시험단계 운영 및 유지보수 단계 .....	187
제 4 장   연구개발 결과의 활용계획 .....	191
제 5 장   참 고 문 헌 .....	192



# 제 1 장 연구개발과제의 개요

## 제 1 절 연구개발의 필요성

### 1. 기술적 측면

- 위와 같은 배경을 기초로 하여 산림관리의 효율성을 증대시키기 위해서는 산림이 가지고 있는 여러 가지 목표 및 다양한 기능을 통합해서 각 산림경영의 목표에 따라서 가시적으로 보여 줄 수 있는 도구가 필요하게 되었다. 임업경영 특징 중의 하나인 임업생산의 장기성 때문에 현재의 임분을 토대로 해서 미래의 변화된 임분모습을 예측한다는 것은 지금까지는 수치자료를 통해서 혹은 머릿속에서나 가능했으나 현대의 컴퓨터기술을 기초로 한 다양한 소프트웨어의 개발은 장래 임분의 변화된 모습을 가시적으로 시각화해서 볼 수 있는 단계에 까지 이르렀다. 이러한 기술의 발달은 임업의 각 분야 최고 의사결정자에게 매우 중요한 의사결정 정보를 제공해 줄 수 있을 것이다.
- 본 연구가 성공적으로 수행된다면 II, III, IV영급이 대부분인 우리나라 산림의 구조적 현 주소를 토대로 하여 각종 산림사업에 대응하는 미래의 산림 변화모습을 시각적으로 볼 수 있을 것이고 산림정책 결정에도 지대한 영향을 미칠 것이다.
- 과학적이고 다양한 산림사업기술을 적용하여 산림기능에 입각한 최적 산림경영 방안을 제시하는 첨단 컴퓨터통합시스템을 도입함으로써 산림경영 기술을 향상시킬 수 있다.
- 컴퓨터 관련 산업의 급속한 발전과 정보통신기술의 발달로 신속한 정보획득과 활용이 산업사회에서 중요한 경쟁요소로 등장 하고 있고 사회적·경제적 환경변화에 신속하게 대응할 수 있는 조건이 되고 이윤창출의 극대화를 이루어내는데 필수 불가결한 요소이기 때문에 컴퓨터의 발전 추세는 인터넷 또는 인트라넷이라는 컴퓨터 전산망을 통해 더욱 더 발전되고 있는 실정을 감안 할 때 본 연구에서의 컴퓨터 시스템의 활용은 국가경쟁력뿐만 아니라 기업의 경쟁력을 좌우하는 큰 요소가 될 것으로 판단된다.
- 컴퓨터의 하드웨어적인 측면은 개발과 투자가 지극히 제한적인 상태에서 이루어지고 있지만 소프트웨어의 측면은 개발과 투자의 영역이 상당히 폭 넓으며 현재의 정보기술을 토대로 경쟁력 또는 소외된 국가 또는 기업의 관리영역까지 확대시킬 수 있다면 새로운 정보기술의 개발과 산업적 측면 발전을 도모 할 수 있다.
- 통계자료나 기타 보고서 작성을 위한 정보수집 방법이 전반적으로 낙후성을 면하지 못하고 있는 현실을 감안할 때, 본 컴퓨터 시스템 활용은 통계자료의 신뢰성을 높이기 위해



통계처리기능을 보완하는데 일조 할 수 있다.

- 또한 지속가능한 산림경영을 위한 적법한 방법을 찾기 위해서는 기존의 자료를 최대한 이용하여 최적산림경영계획을 수립할 수 있는 의사결정 지원기능이 필요하므로 현재 GIS에서 필요한 기초 도면자료(임상도, 지형도, 임도망도, 산지이용구분도 등)에 대한 기술적 지원이 지속적으로 뒷받침 되어야 한다.
- GIS는 시스템의 문제나 전문인력 부족, 자료부족 등의 여러 가지 원인에 의해 실무에서의 사용빈도가 낮은 것이 현실이므로 기존자료를 사용하여 우리나라 산림자원을 관리할 수 있는 통합산림관리프로그램의 개발이 필요하다.

## 2. 경제·산업적 측면

- 산림자원이 앞으로 경제적·산업적 측면에서의 발전을 가져오기 위해서는 우선적으로 산림자원을 과학적으로 분석하고 예측할 수 있는 통합적인 컴퓨터 성장 모델시스템이 우선적으로 개발되어야 한다. 그러나 우리나라의 산림자원관리시스템은 아직 초기단계로 그 기능이 자료수집 및 저장과 이 자료를 이용하여 단순한 계산정도에만 머물고 있어 앞으로 산림을 자원을 효과적으로 모니터링을 할 수 있는 컴퓨터 통합관리 시뮬레이션 시스템이 요구된다.
- 앞서서도 언급했듯이 본 연구에서는 지속가능한 산림자원관리를 위해 여러 가지 경영목표와 다양한 기능을 포괄적으로 다룰 수 있는 통합적인 최적 산림경영모델을 구축하고자 한다. 여기에서는 지속가능한 산림경영을 위한 기준이 만족되면서 각종 산림사업에 부응해서 미래의 목표산림이 시뮬레이션 될 것이며 또한 그 변화의 모습이 시각적으로 보여 질 것이다.
- 그리고 산림사업에 따른 경제분석 및 경영성과분석이 중간과정에서 이루어지면서 동시에 최적 산림수확이 결정되고 이에 따른 각종 산림사업이 각 경영계획에 따라 지속적으로 이루어지기 때문에 목재산업과 관련된 주변산업이 안정적으로 유지될 수 있을 것이며 특히 지역경제에 기여할 수 있는 임업노동고용의 안정성에도 상당한 영향을 미칠 것으로 본다.
- 국내의 정보기술업체들은 전반적으로 대부분 시스템의 구축을 수행할 수 있는 기술을 갖추고 있으며, 정보기술을 이용한 산업이 급속히 활성화되고 있고 특히 지리정보시스템을 중심으로 국가기간 산업부분에서 전산시스템이 구축되었고 이제는 지자체를 중심으로 일반 행정업무를 전산화하고 있는 실정 이어서 본 연구 시스템은 유용하게 활용 될 수 있을 것이다.

- 그러나 임업이 국가산업 부분에서 일익을 담당하기 위해서는 산림자원에 대해서 효율적인 이용을 통하여 경제적인 이익이 함께 병행되어야 하나 임업분야에 있어서 관련된 업무를 처리하는데 필요한 업무전용 소프트웨어는 전문한 실정이어서 본 시스템은 산업적 측면에서 크게 기여할 것이다.
- 다른 산업에는 회계프로그램, 성적관리프로그램, 급여관리프로그램 등의 개발을 통해 해당 분야에서 필요한 부분을 자동화 또는 전산화하고 있는 실정을 감안 할때, 본 시스템은 임업분야의 단순한 임업기술이 아니라 행정업무에 대한 발전이 뒷받침되어질 수 있다.

### 3. 사회·문화적 측면

- 오늘날 우리나라는 지속가능한 발전이라는 사회적 이슈에 입각하여 모든 분야가 지속가능한 패러다임에 맞추어 운용되고 있는 실정이다. 따라서 산림분야도 지속가능한 산림경영의 체제 확립이 근본적으로 수립되어야한다. 이런 시점에서 우선적으로 산림자원의 과학화를 통한 효율적인 지속가능한 산림자원관리에 대한 방안의 수립을 위한 컴퓨터 통합 시스템구축이 필수 불가결한 상태이다. 따라서 자료구축에서 임분구조 진단, 생장모델 구축 및 다양한 시업 시물레이션을 통한 임분구조 및 산림자원의 모니터링이 예측되어야 한다. 이런 맥락에서 산림자원을 통합적으로 관리하고 예측할 수 있는 컴퓨터 시물레이션 시스템이 요구된다.
- 지속가능한 산림자원관리를 위한 통합경영모델이 완성이 되어 현장적용이 가능하게 된다면 지속가능한 산림경영모델에 의해서 산림이 관리되기 때문에 자연친화적이고 환경친화적인 산림경영이 실천될 수 있을 것이며 산촌지역주민 뿐만이 아니라 이해당사자들과의 유대강화도 실현될 수 있기 때문에 21세기형 산림관리가 구현될 수 있을 것이다. 즉 자연과 사람이 공생공존하는 산림모델이 필요한 차제에 본 연구 개발 모델은 이와 같은 목적에 부응할 수 있는 요소들을 내포하고 있으므로 산림을 둘러싼 지역주민과의 관계 설정에도 도움을 줄 수 있는 사회적 기능도 만족시킬 수 있다.
- 지금 세계적인 추세는 산림경영의 기본 단위를 임분(임반, 소반)단위에서 그 범위를 넓혀서 적용하고 있다. 즉 산림의 풍치 및 휴양기능 혹은 산림관광기능을 극대화하기 위해서 소위 산림경관(landscape)단위로 까지 확대시키고 있다. 본 연구에서도 기존의 산림경영 기본단위를 좀더 확대해서 장차 산림경관을 고려한 산림관리가 이루어 질 수 있도록 유도하고자 한다. 이렇게 된다면 산림을 둘러싼 각종 문화적인 요소들이 드러날 수 있고 또한 새로운 것이 창조될 수도 있는 기틀이 마련될 수 있을 것이다.

- 통합산림자원관리GIS의 개발은 산림에 대한 각종 정보와 자료들을 홍보하여 국민들의 산림에 관한 인식을 높일 수 있으며, 또한 담당 실무자가 통합산림자원관리GIS를 활용 시 관련업무의 효율적 수행으로 보다 향상된 업무환경을 제공할 수 있다.

## 제 2 절 연구개발의 목적

- 현재 우리나라는 숲 가꾸기를 통하여 일부 산림시업이 진행되고 있지만, 해당 임분의 경영목적에 입각한 과학적 방법에 의한 시업이기 보다는 단순한 정량·정성에 의한 시업 방법으로 대부분 시행되고 있어 경영목적에 부합하는 시업방법에 대한 종합적인 고찰이 필요한 실정이다. 특히, 우리나라 대부분 임지는 단순동령림 임분으로 앞으로 생물다양성 및 종다양성 등 생태적 인자를 고려한 복층림, 혼효림, 이령림으로 임분구조를 변화시킬 수 있는 산림시업방안에 대한 연구가 요구되는 때이다.
- 이러한 국내외의 여건변화에 따라 우리나라 산림도 지속가능한 경영시대를 맞이하는 시점에서 산림시업 및 경영 방안 제시는 무엇보다도 우선시 되어야 할 때이다. 이러한 문제를 극복하기 위해서는 우리나라 주요 수종의 성장모델이 우선적으로 구축되어 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 임분의 성장 및 수확량을 정확히 예측하고, 경영진단을 위하여 합리적인 의사결정을 가능하게 할 수 있는 종합적 임분단위 산림경영분석 모델이 적용 되어야 한다.

## 제 2 장 국내 · 외 기술개발 현황

### 제 1 절 국내 · 외 관련기술의 현황과 문제점

- 컴퓨터 시뮬레이션에 관련된 모델은 이미 임업선진국에서는 산림조사에서 파악된 자료를 이용하여 단목생장 및 임분 성장모델을 개발하고 현 임분을 시각화하여 임분기능별 목적에 부합하는 시업모델을 적용하고, 최적화하는 컴퓨터 모델로 발전하고 있는 추세이다. 그러나 아직 우리나라는 일부 컴퓨터와 관련된 소프트웨어들이 개발 되었으나 산림자원을 통합적으로 이용할 수 있는 단계에 못 미치고 있는 실정이다.
- 국내적으로는 과거에 영림계획과 관련하여 목재수확계획 혹은 GIS기술을 응용하여 산림의 다양한 기능을 구분하는 연구 그리고 산림경영성과분석과 관련된 연구등 부분적인 연구는 많이 진척되어 있다. 그러나 지속가능한 산림자원관리를 위한 연구는 현재 국립산림과학원 연구팀에 의해서 부분적으로 진행되고 있는 것으로 알고 있다. 그러나 지속가능한 산림관리를 위한 산림경영통합모델은 아직 개발되지 않고 있다.
- 국외에서는 산림관리문제에 컴퓨터기술을 가장 적절히 활용하고 있는 미국에서 본 과제 내용과 유사한 모델을 개발하여 이용하고 있다. 현재는 예일대학에서 일하는 올리버(Oliver)교수가 워싱턴주립대학에 있을 때 1995년부터 미국산림청과 워싱턴주립대학과 공동으로 LMS(Landscape Management System)를 개발하여 현장적용을 하고 있다. 이 모델은 지속가능한 산림경영을 실천하면서 목재산업, 임업노동고용효과 등 다양한 문제를 동시에 해결하면서 미래의 임분변화를 동시에 시각적으로 볼 수 있는 프로그램을 갖추고 있는 산림경영통합모델에 해당한다.

### 제 2 절 앞으로의 전망

- 오늘날 21세기 시대는 정보 · 과학화 시대로 IT, BT, ET가 분리되어 발전하는 것이 아니라 서로 연계되고 통합할 수 있는 시스템개발이 요구되고 있고, 특히 산림자원분야는 지속가능한 산림경영이라는 패러다임이라는 방향성을 가지고 현 산림자원의 정확한 파악과 더불어 지역별로 산림기능에 부합하는 경영방안 수립이 요구되고 있다. 따라서 주어진 산림자원 자료(항공사진자료나 인공위성 자료 포함)를 이용하여 현 임분상태를 진

단하고 성장모델을 구축하여 각종사업시물레이션을 통하여 현 임분을 목적에 맞게 장기 예측 할 수 있는 통합 컴퓨터 시스템이 지속적으로 개발될 전망이다.

- 우리나라에서는 국유림경영개선을 위해서 2003년 12월 국유림 경영 기본지침(안)을 마련하였고 더불어 국유림산림조사요령, 국유림영림계획작성지침(안) 등 새로운 시대에 맞추어 보다 현장에 가까운 국유림경영혁신을 꾀하고 있다. 그런데 임업은 생산의 장기성 때문에 위험요소 혹은 불안한 요소들이 산재해 있다. 이와 같은 불확실한 요소들은 현대적 컴퓨터기술을 포함한 IT기술을 잘 활용한다면 사전과약이 가능하면서 그 대처방안도 모색할 수 있을 것이다. 지금까지 이와 같은 현대적 기술을 활용하여 부분적으로 산림에 존재하는 불확실한 요소들을 진단하고 예방하기 위해서 각 종 모델들이 개발되어 적용되고 있다.
- 그러나 앞으로 지속가능한 산림관리가 실현되기 위해서는 이에 상응하는 적용모델이 개발되어야 할 것이고 또한 부분적인 문제의 해결보다는 전체적인 것을 종합해서 다룰 수 있는 통합모델의 적용이 더욱 효율적일 것이며 사후 문제해결기능 보다는 사전 예방기능이 있는 모델이 우선시될 것이다. 이러한 견지에서 보았을 때 본 모델의 개발은 위에서 제시한 두 가지 문제점을 동시에 해결할 수 있는 장점을 가질 것이다.

### 제 3 절 기술도입의 타당성

- 본 과제는 임업 선진국에서 기술도입만으로 해결 될 수 있는 문제가 아니라 우리나라 산림 및 임업실정에 적합한 연구개발이 절실하게 요구되는 분야에 해당한다. 특히 미국에서 개발하여 사용하고 있는 LMS라고 하는 소프트웨어는 미국의 산림자원을 가지고 미국의 수종별 성장모델을 비롯한 산림경영방식 등이 기초모델이 되면서 전체적인 시스템이 구축되어 있다. 우리는 다만 지속가능한 산림자원관리를 위한 통합산림경영시스템에 대한 기본 아이디어를 배울 수 있을 것이다. 이것을 기초로 해서 우리나라 산림의 작업방법에 적합한 산림관리시스템을 비롯해서 각 수종별 성장모델 개발을 기초로 한 시물레이션 모델 등이 독자적으로 개발되어야 할 것이다.
- 특히 본 과제에서 개발하고자 하는 지속가능한 산림경영과 임분동태 시각화모델은 통합산림관리프로그램으로 미국 예일대학의 올리버(Oliver) 교수가 미국산림청과 공동으로 개발한 LMS와 맥을 같이하고 있기 때문에 앞으로 우리나라 현실에 맞는 연구가 수행되어져야 하며 기술도입의 필요성과 더불어 우리나라 소프트웨어 개발의 선도적 역할을 수행 할 것이다.

## 제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

### 제 1 절 우리나라 주요수종의 생장모델 및 시뮬레이션모델 개발

#### 1. 연구개발 목표 및 내용

##### 가. 연구개발 목표 및 내용

- 현지 산림조사를 통하여 해당 임분의 양적·질적 측정인자를 이용하여 임분구조를 진단
- 다양한 임목변수를 이용하여 주요 수종별 단목생장모델 구축
- 조제된 생장모델을 컴퓨터 시뮬레이터에 입력하여 장기 예측을 위한 시뮬레이션 도구 구축
- 제작된 컴퓨터 시뮬레이션 도구를 이용하여 해당 주요수종의 다양한 시업경영 모델 제시

##### 나. 연차별 연구개발 및 목표와 내용

구분	1차년도(2005)
연구개발 목표	산림자원조사, Data base 구축 및 임분구조 분석
연구개발 내용 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 생장모델 개발을 위한 산림조사</li> <li>- Data base 구축</li> <li>- 임분구조진단 방법 개발 및 분석</li> <li>- 임목 및 수관형태 구조분석</li> <li>- 산림조사 인자 활용 및 가공 개발</li> </ul>
연구개발 결과	

구분	2차년도(2006)
연구개발 목표	개체목 성장모델 개발 및 시뮬레이션 모델 제작
연구개발 내용 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 산림조사 보완</li> <li>- 성장모델 독립변수 조제</li> <li>- 다양한 성장모형 구축 및 적용</li> <li>- 시업 시뮬레이션 모델제작 및 평가</li> <li>- 성장모델 평가</li> <li>- 각종 입목 및 임분 통계표, 그림 제작</li> </ul>
연구개발 결과	

구분	3차년도(2007)
연구개발 목표	통합 산림성장모델 시스템 구축
연구개발 내용 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 단목, 임분 통계체제 구축</li> <li>- 성장모델 검증 및 보완</li> <li>- 시뮬레이션 모델 검증 및 보완</li> <li>- 통합산림성장모델시스템 구축</li> </ul>
연구개발 결과	

## 2. 연구결과

### 가. 산림자원조사 Data base 구축 및 임분구조 분석

#### (1) 연구방법

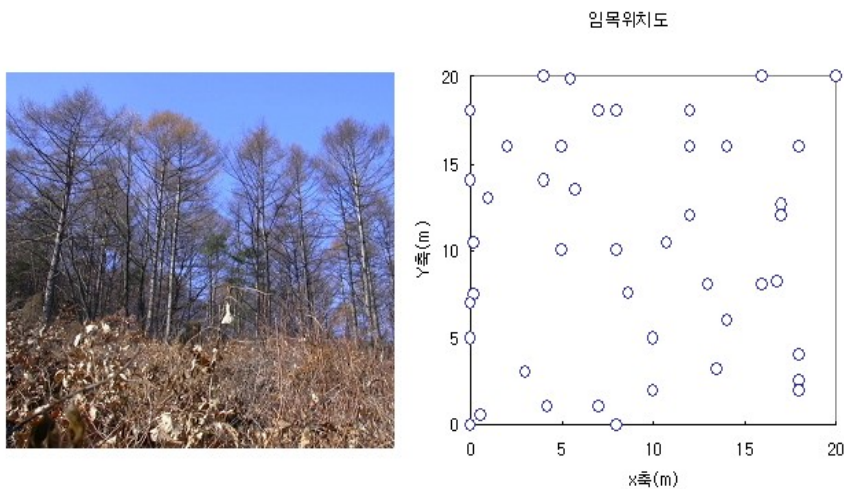
##### 1) 조사 대상지

본 조사의 연구대상지는 강원도 인제군 남면 정자리 소재의 균유림을 대상으로 임도로부

터 접근성이 용이하고 임목의 성장상태가 양호한 잣나무, 낙엽송 인공림과 소나무, 신갈나무가 우점하는 천연림을 대상으로 16개소의 plot을 선정하였다. 조사일자는 2005년 1월 28일, 2월 4일, 2월 14~15일 총 4회에 걸쳐 정밀 산림조사를 실시하였다.

## 2) 조사 방법

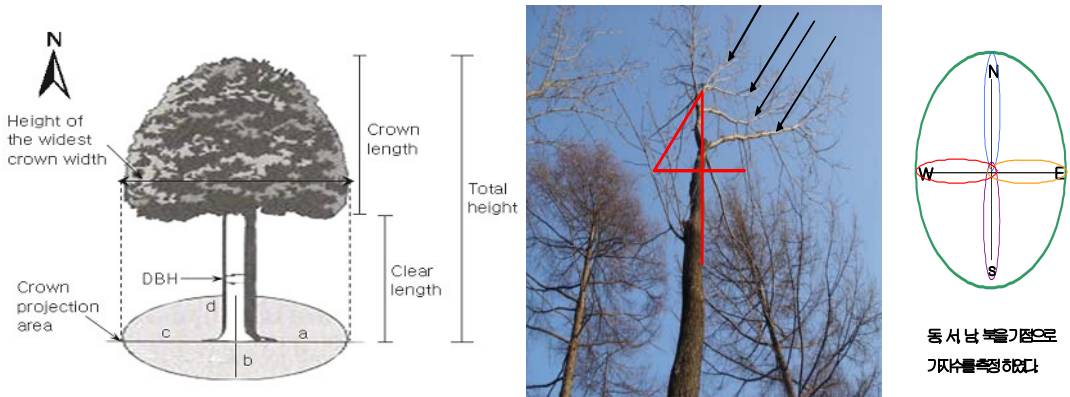
본 연구대상지의 plot 설정은 국유림 조사요령에 의거하여 20m×20m(0.25ha)정방형으로 하여 plot내의 흉고직경 6cm 이상인 모든 임목을 대상으로 조사하였다. 설정된 plot은 사면 방향을 기준으로 (0, 0)으로 하여 임목좌표를 측정하였다<그림 1-1>.



<그림 1-1> 낙엽송 조사지의 임분사진 및 임목위치도

지황인자는 각 표준지별로 사면방위, 경사, 고도, 위치좌표를 조사하였다. 임목측정인자는 수종명, 수관급, DBH, 총수고(HT), 수관폭이 가장 넓은 지점까지의 수고(HW), 지하고(HB), 방위별 수관반경, 방위별 가지수에 대하여 각각 조사하였다<그림 1-2>. 수관급은 우세목, 준우세목, 중간목, 열세목 4등급으로 파악하였으며, DBH는 임목의 지상 1.2m 지점에서 직경테이프로 측정하였으며, 수고관련 인자(HT, HW, HB)는 Sunnto clinometer(%)를 이용하여 수고를 산출하였다. 수관반경은 4방위로 각각 줄자를 사용하여 측정하였고, 방위별 가지수는 지하고 부분을 기점으로 하여 수간정점 방향으로 4방위에 대한 가지수를 측정하였다 <그림 1-2>.





<그림 1-2> 임목측정인자와 수관가지측정에 대한 설명

또한, 임목의 나이와 흉고직경성장량 파악을 위해서는 각 plot마다 수관급별(우세목, 준우세목, 중간목)로 1-4개의 임목을 선발하여 성장추를 사용하여 사면방향으로 흉고직경부위의 목편을 채취하였으며, 코어 측정기를 이용하여 이 목편의 연령과 흉고직경성장량을 파악하였다.



<그림 1-3> 코어측정기를 이용한 흉고직경성장량측정

### 3) 조사인자 Database 구축

위 조사지역의 지황과 임황에 관련된 산림조사 인자를 이용하여 향후 성장모델 개발과 시물레이션을 위한 조사인자 Data base를 다음과 같이 구축하였다.

<표 1-1> 산림조사 인자를 이용한 Database

대분류	소분류	기호	단위
일반현황	위치, 경사, 사면방향, 고도 수종, 임목위치, 임목본수		
흉고직경	흉고직경	DBH	cm
	연년흉고직경생장량	△DBH	cm
	흉고단면적	BA	m <sup>2</sup>
	연년흉고단면적생장량	△BA	cm <sup>2</sup>
수 고	지위지수	SI	m
	총수고	Ht	m
	수관폭이 가장 넓은 지점까지 높이	Hw	m
	지하고	Hb	m
	총수고에 대한 수관장비율	LCR	
	수관급(우세목, 준우세목, 중간목, 피압목)		
수 관	4방위 수관반경	CR	m
	평균수관폭	CW	m
	전체 수관투영면적	TCA	m <sup>2</sup>
	수관투영비율	CCF	%
	가지수	BN	
재 적	총재적, 이용재적, 바이오메스	Vt, Vm, Vb	m <sup>3</sup>
연 령	임분 평균연령, 임목연령	AGEs	
		AGEt	

## (2) 연구내용

### 1) 임분 및 임목자원 현황

현 산림조사지역의 사면 방위는 70°-330°의 방위각으로 다양한 방향으로 나타났으며, 남서방향이 6개 지역, 북동방향이 4개, 남동방향 3개, 북서방향 3개 지역인 것으로 조사되었다. 경사는 3도에서 45도로 평균경사는 19.5도로 나타났으며, 해발고는 최저 550m에서 최고 860m로 평균 722m인 것으로 나타났다.

조사 지역의 임분현황을 살펴보면 잣나무와 낙엽송 조사지는 인공림이고, 소나무와 신갈나무는 천연림으로 구성되어 있으며, 전체적으로 임령이 39년에서 45년생으로 평균 43년생인 V영급으로 구성되어있다. 이중 9번째 표준지인 소나무림이 45년생으로 임령이 가장 많고, 4번째와 14번째인 신갈나무와 낙엽송 임분이 39년생으로 가장 낮게 나타났다. 조사지역의 평균 ha당 본수는 568본으로 나타났으며, 3번째 표준지인 신갈나무 임지가 825본으로 가

장 많고, 1번, 14번 표준지인 낙엽송임지가 400본으로 가장 낮게 나타났다.

조사지역의 임분 평균 흉고단면적은 27m<sup>2</sup>이며, 9번째 잣나무 표준지가 44m<sup>2</sup>으로 가장 많고, 16번째인 신갈나무 표준지가 ha당 7m<sup>2</sup>으로 가장 작게 나타났다. 임분 재적은 흉고단면적과 같은 경향으로 9번째 잣나무 표준지에서 ha당 411m<sup>3</sup>으로 가장 높게 나타났으며, 16번째 표준지에서 38m<sup>3</sup>으로 가장 작게 나타났고, 전체적으로 이 조사지역은 평균 ha당 220m<sup>3</sup>을 차지하고 있는 것으로 파악되었다. 수관울폐율(%)은 재적과 양의 상관을 이루며 9번째 잣나무 임지가 가장 밀한 473%으로 나타났으며, 16번째 신갈나무에서 가장 낮은 34%로 나타났다.

<표 1-2> 산림조사지의 표준지별 지황 및 임황현황

표준지	수종	지황			임황				
		방위	경사	고도(m)	임령	본수/ha	흉고단면적(m <sup>2</sup> /ha)	재적(m <sup>3</sup> /ha)	수관울폐율(%)
1	낙엽송	70	12	848	44	400	26	236	79
2	낙엽송	330	31	820	45	400	20	148	126
3	신갈	250	30	850	45	825	9	46	71
4	신갈	160	11	860	39	675	14	93	84
5	소나무	150	18	860	41	650	35	259	124
6	잣나무	310	18	645	40	625	17	118	139
7	소나무	210	12	860	40	575	40	326	295
8	소나무	82	8	590	44	575	33	290	492
9	잣나무	310	28	560	45	675	44	411	473
10	잣나무	170	5	560	47	500	29	233	330
11	잣나무	348	45	560	44	500	27	220	337
12	소나무	200	3	550	44	550	45	361	384
13	낙엽송	240	32	560	43	500	29	286	285
14	낙엽송	260	21	850	39	400	23	231	275
15	신갈	300	16	850	-	675	8	41	37
16	신갈	226	20	722	-	600	7	37	34

각 수종에 따른 임목별 제원현황을 구체적으로 살펴보면, 앞에서 언급한 바와 같이 평균 연령은 43년생이며, 조사지역에서 가장 흉고직경이 큰 임목은 잣나무로 44.0cm이며, 수고가가장 큰 임목은 낙엽송으로 25.5m 인 것으로, 수관폭이 가장 큰 임목은 소나무로 14m 인 것으로 나타났다. 평균 흉고직경이가 장 큰 임목은 소나무로 28.2cm이고, 평균 총수고가 가장 큰 임목은 낙엽송으로 19.3m이며, 평균 수관폭이 가장 큰 나무는 8.1m로 잣나무인 것

으로 나타났다.

수종별로 임목측정인자에 대해 살펴보면, 변이가 가장 큰 수종은 잣나무이고, 다음으로 신갈나무, 낙엽송, 소나무순으로 나타났다. 전 수종에 대해서 임목측정인자에 있어서 수관장의 길이가 37-46%로 변이가 가장 심한 것으로 나타났으며, 다음으로는 수관폭, 지하고, 흉고직경, 연령순으로 나타났다.

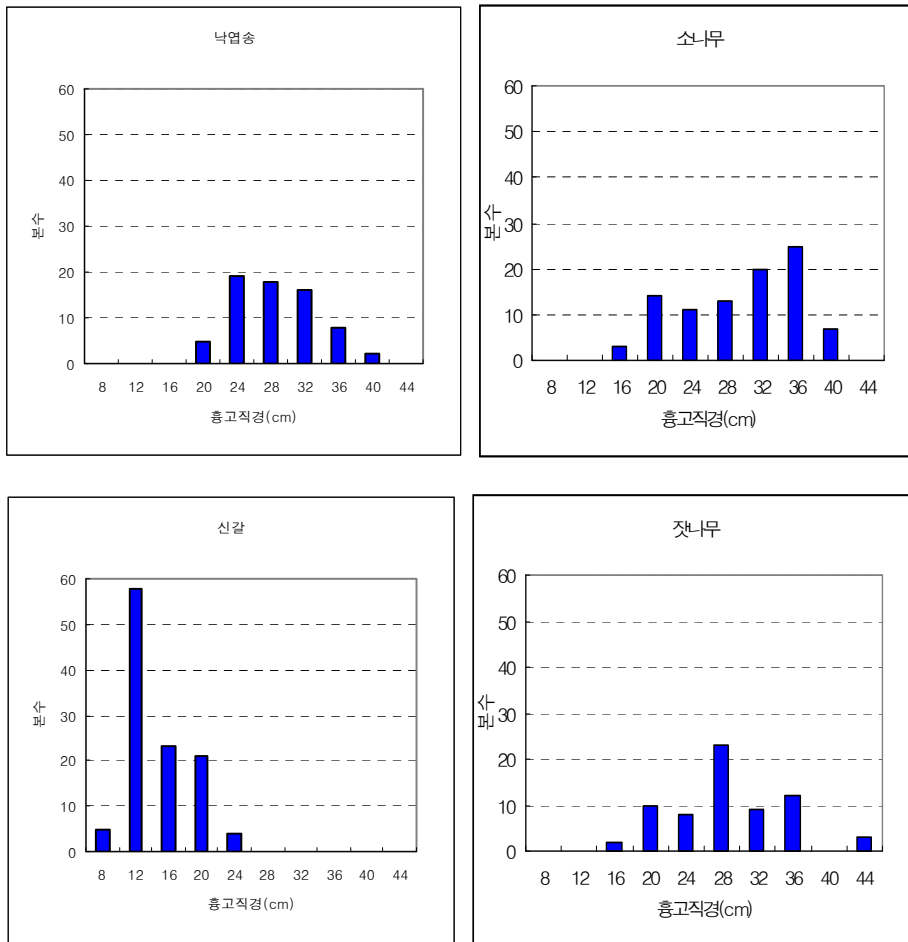
<표 1-3> 수종별 임목제원 현황

수종	본수	임목측정인자 (평균±변동계수(%))						
		연령	흉고직경 (cm)	총수고 (m)	수관폭이 가장 넓은지점의 수고 (m)	지하고 (m)	수관장 (m)	수관폭 (m)
낙엽송	68	43±12	26.7±19	19.3±17	13.7±23	9.4±30	9.9±39	7.3±30
소나무	91	42±10	28.2±23	18.5±13	14.4±19	11.5±25	7.0±37	8.0±34
신갈	111	41±12	12.7±28	10.2±23	8.7±24	6.4±28	3.8±38	3.0±41
잣나무	92	45±9	24.4±31	16.0±20	11.5±27	7.7±43	9.3±46	8.1±30

수종별로는 낙엽송은 수관장의 변동계수가 39%로 가장 크게 나타났으며 그 다음으로는 수관폭, 지하고, 수관폭이 가장 넓은 지점의 수고 순으로 나타났고, 소나무의 경우 수관장의 변동계수가 37%로, 다음은 수관폭, 지하고, 흉고직경 순으로 나타났으며, 신갈나무는 수관폭이 41%로 변동계수가 가장 높고, 수관장, 지하고 순으로 파악되었다. 잣나무의 경우는 수관장의 변동계수가 46%로 가장 큰 것으로 나타났고, 지하고, 흉고직경, 수관폭 순으로 산출되었다.

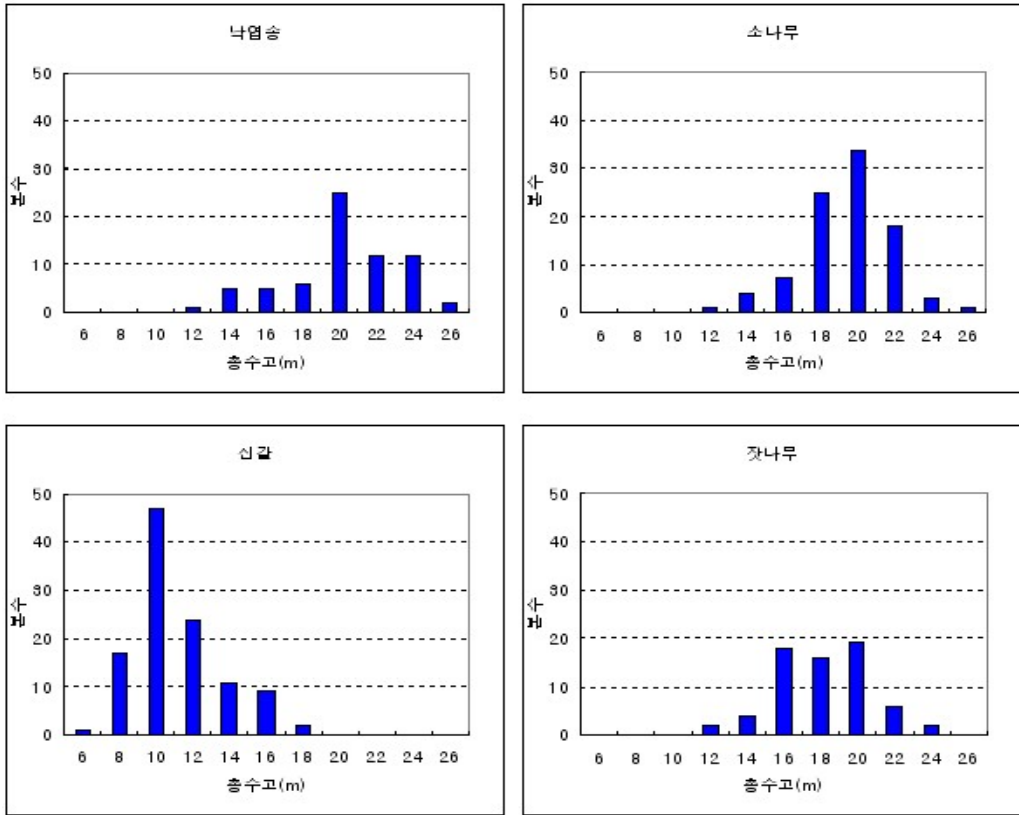
## 2) 수종별 흉고직경 및 수고분포 양상

임분구조 분석에서 가장 기본적으로 파악해야 될 사항은 임목제원의 분포현황으로서 가장 일반적으로 사용되는 것이 흉고직경분포이며, 그 외에도 수고분포, 수관폭 등이 활용되어 지고 있다. 본 연구에서는 흉고직경과 총수고 분포양상에 대해서 조사된 16개 표준지의 수종별 본수를 이용하여 검토하여 보았다.



<그림 1-4> 수종별 흉고직경분포도

위 수종별 직경분포에서 살펴보면, 4개 수종 모두 정규분포의 양상으로 전형적인 동령림 분포를 보이고 있는 것으로 파악되었다. 낙엽송의 경우 흉고직경이 20cm에서 40cm의 범위를 보이며, 소나무는 흉고직경이 16cm에서 40cm까지의 범위를 가지고 있다. 신갈나무는 흉고직경이 8cm에서 24cm로 가장 좁은 직경급을 보이며, 흉고직경 12cm에서 가장 많은 입목 수가 나타났으며, 잣나무의 흉고직경은 16cm에서 44cm로 4개의 수종 중 가장 넓은 분포를 보이고 있다.

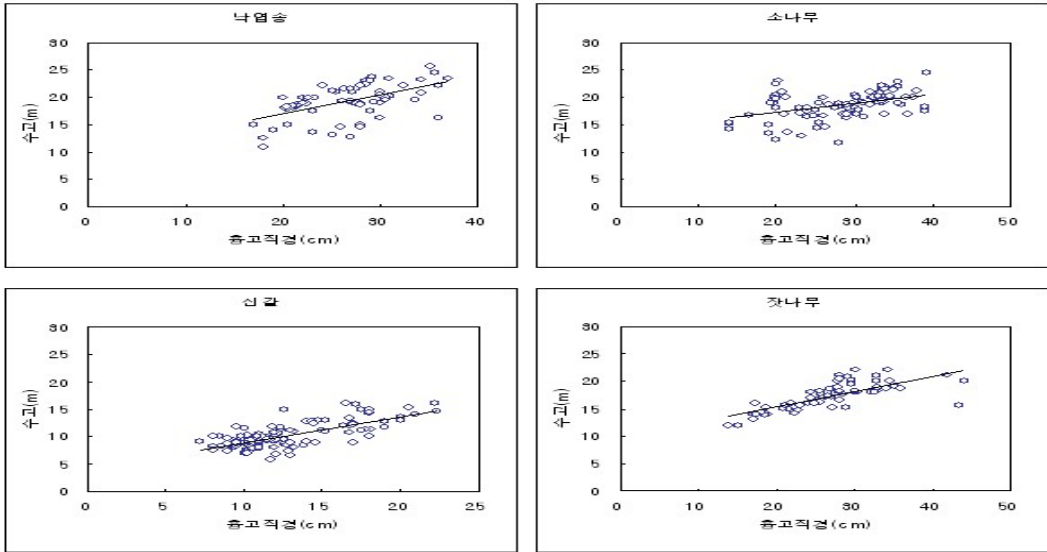


<그림 1-5> 수종별 총 수고분포도

수종별 수고분포 또한, 모두 정규분포의 양상을 보이며, 낙엽송과 소나무의 경우 수고는 12m에서 26m의 범위이고, 신갈나무는 6m-18m의 범위를 갖고 있으며, 잣나무는 12m에서 24m의 수고 범위를 가지고 있는 것으로 확인되었다.

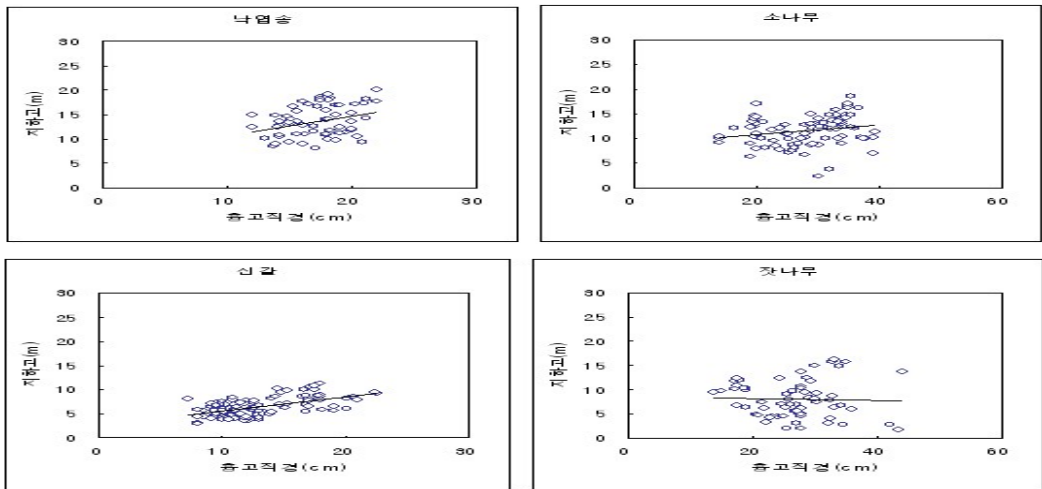
### 3) 수종별 allometric 관계분석

임분구조 분석 자료를 이용하여 향후 성장모델 개발 하는데 있어서 각 측정인자 간에 allometric관계가 매우 중요시 된다. 본 연구에서는 수종별로 흉고직경과 각 측정인자간의 관계를 알아보기 위해서 산점도를 작성하고 직선회귀를 이용하여 두 변수간의 allometric 관계를 도시해보았다.



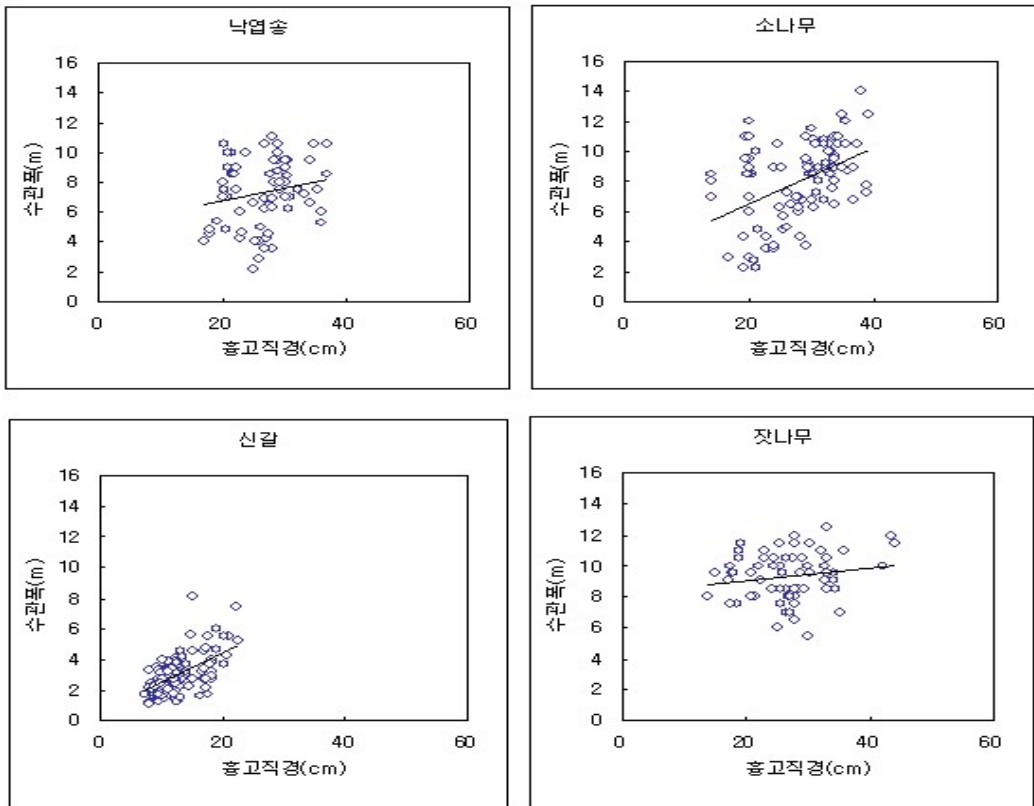
<그림 1-6> 수종별 흉고직경과 총수고관계

흉고직경과 수고와의 관계를 산점도를 통하여 도시해 본 결과 수종별 모두 양의 상관관계를 가지고 있었으며, 잣나무 상관이 가장 좋은 것으로 나타났고( $r=0.75$ ), 그다음으로는 신갈나무( $r=0.74$ ), 낙엽송( $r=0.56$ ), 소나무( $r=0.43$ )순으로 나타났다. 신갈나무를 제외하고, 최대수고가 대략 25m에 달하고 있으며, 신갈나무는 현재까지 최대수고가 15m에 이르는 것으로 파악되었다.



<그림 1-7> 수종별 흉고직경과 지상고 관계

수종별로 흉고직경과 지하고의 산점도를 표시한 결과, 흉고직경과 총 수고와의 관계보다 상관정도가 떨어짐을 알 수 있으며, 낙엽송의 경우 상관계수가 0.15, 소나무는 0.20, 신갈나무 0.57, 잣나무는 -0.05인 것으로 나타나, 신갈나무가 가장 좋은 상관정도를, 잣나무는 상관이 전혀 없는 것으로 나타났다.



<그림 1-8> 수종별 흉고직경과 수관폭관계

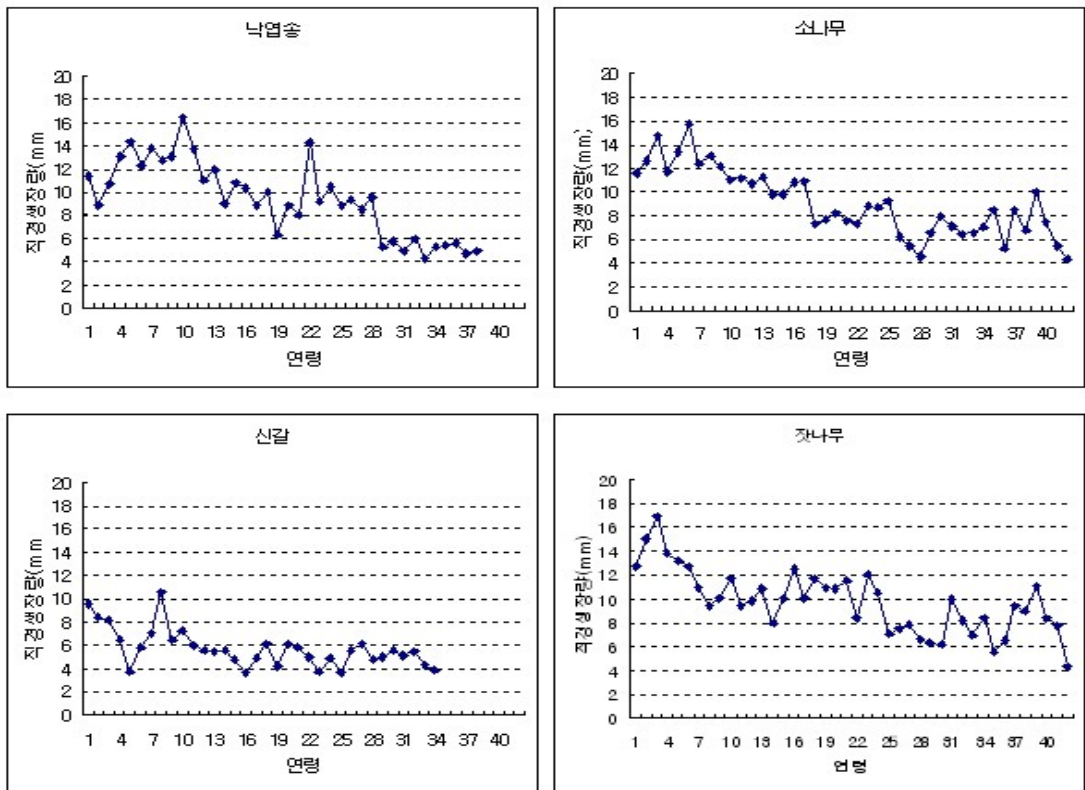
또한, 수종별로 흉고직경과 수관폭의 산점도를 표시한 결과, 신갈나무가 가장 상관관계가 좋은 것으로 나타났으며( $r=0.56$ ), 그 다음으로는 소나무( $r=0.45$ ), 낙엽송( $r=0.18$ ), 잣나무( $r=0.18$ ) 순으로 나타났다. 낙엽송과 잣나무의 경우 흉고직경과 수관폭의 관계가 저조함을 알 수 있다.

#### 4) 흉고직경성장량 분석

본 연구에서 흉고직경성장량 분석을 위해서 수종별로 연령이 비슷한 우세목을 선발하여

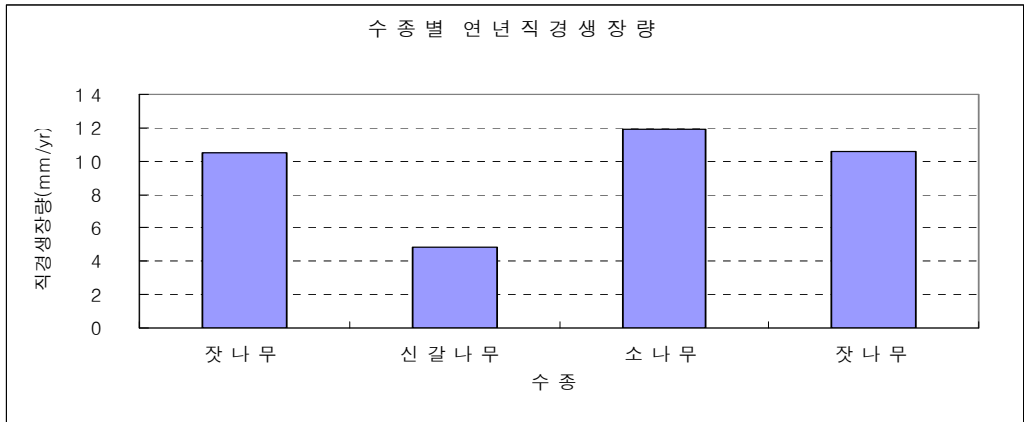


연령에 따른 흉고직경생장량을 도시하였다. 수종별 연년흉고직경 성장량을 분석해 본 결과, 전반적으로 흉고직경생장은 4mm에서 16mm의 범위를 보이고 있으며, 연령이 증가할수록 성장량이 감소하는 것으로 나타났다. 낙엽송은 성장변이가 다른 수종에 비해 높은 것으로 나타났으며, 30년 이후부터는 성장량이 대폭감소하고 연년생장량의 차이(4-6mm)가 거의 없는 것으로 나타났다. 소나무와 잣나무는 거의 같은 경향의 성장량 패턴을 보이고 있으나, 잣나무의 성장량 변화가 다소 변화가 있는 것으로 나타났다. 신갈나무는 다른 수종에 비해 성장량이 매우 저조한 것으로 확인되었으며, 15년 이후부터는 성장량 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.



<그림 1-9> 연령에 따른 수종별 우세목의 흉고직경생장 패턴

또한, 수종별 전체 임목에 대하여 최근 5년간의 직경생장량을 이용하여 연년직경생장량 (mm/yr)을 산출한 결과, 소나무의 성장량이 매년 12.0mm로 가장 잘 자랐으며, 그 다음으로 는 잣나무가 10.6mm, 낙엽송이 10.5mm, 신갈나무가 4.9mm 순으로 나타났다.



<그림 1-10> 수종별 연년 흉고직경생장량 (최근 5년간)

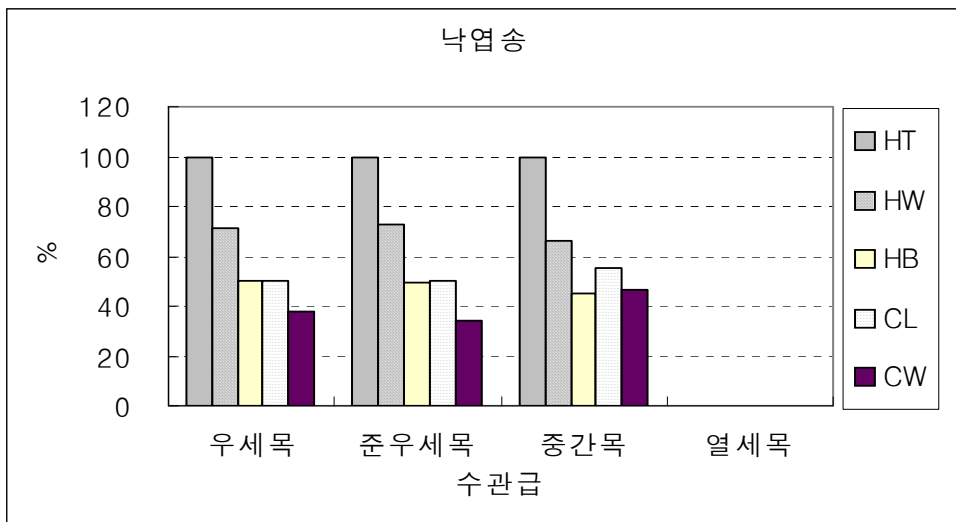
### 5) 임목 및 수관형태 구조분석

본 연구에서는 향후 단목생장모델 및 컴퓨터 시뮬레이션을 위해서 연구조사지의 주요 수종에 대한 임목의 수간과 수관 형태의 일반적인 경향을 사진으로 도시하고 이들의 특성을 파악하였다.

<표 1-4> 주요 수종별 수간 및 수관특성

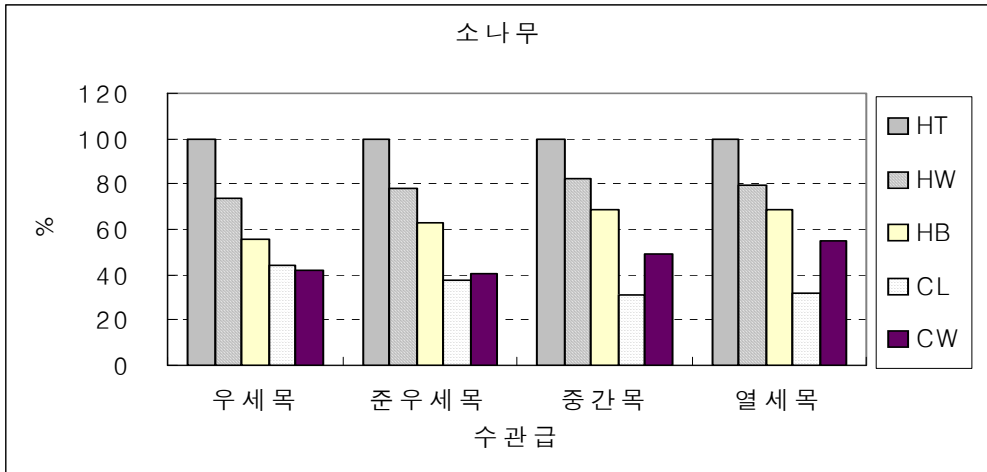
구분	낙엽송	소나무	신갈나무	잣나무
임목 형상				
수간 및 수관 특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수간장이 길다.</li> <li>- 줄기가 곧고, 형수가 크다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 중부남부형</li> <li>- 줄기가 굵음</li> <li>- 지하고가 임목의 1/3 이상 위치</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수간 및 수관의 가지 분지가 많다.</li> <li>- 기운 임목이 많다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수관폭이 가장 넓은 지점이 수관중심 아래에 있다.</li> <li>- 줄기가 곧다.</li> </ul>

낙엽송은 수고가 크고, 상대적으로 수간장의 길이가 길며, 수간의 형태가 통직하여 임목형수가 상대적으로 큰 수종으로 파악되었고, 소나무는 우리나라 중부지형의 전형적인 소나무로 소나무 형태분석에 의거해서 중부남부형으로 분류되었고, 수간은 심하지는 않으나 다소 휘어 있는 경향이 있으며, 지하고의 위치는 임목의 1/3정도를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 신갈나무는 맹아 갱신으로 인하여 수간의 분화가 나타났고, 수관의 가지도 많이 분지되는 경향을 가지고 있다. 잣나무는 줄기가 곧고, 수관폭의 가장 넓은 지점이 수관중심 아래에 위치해 있는 것이 특징이다.



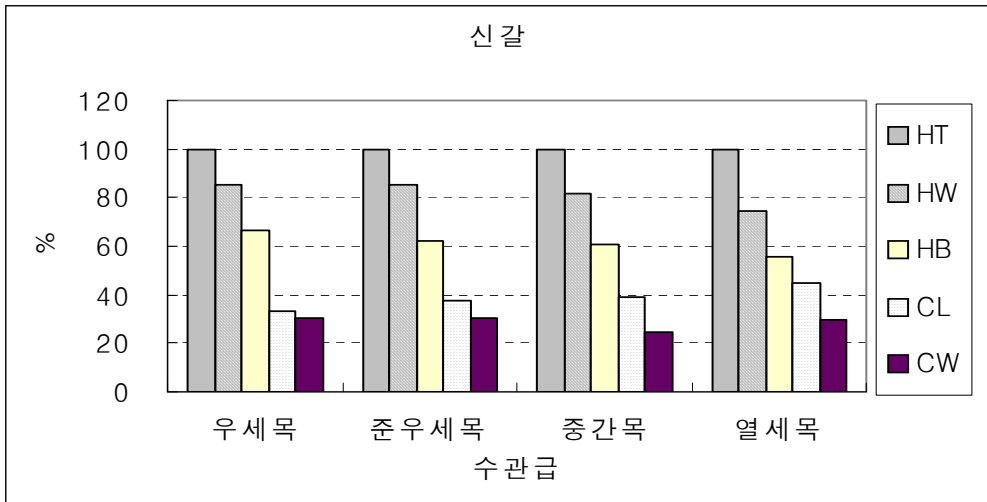
<그림 1-11> 낙엽송의 총수고에 따른 수관관계인자 비율

또한, 측정된 수관자료를 이용하여 총수고(HT)를 100%로 하여 수관급별로 각 수관폭이 가장 넓은 지점의 수고(HW), 지하고(HB), 수관장(CL), 수관폭(CW)에 대한 퍼센트를 비교하여 보았다. 낙엽송의 경우 수관폭이 가장 넓은 지점의 수고는 수관급에 상관없이 총수고의 약 70%로 나타났으며, 지하고는 총수고의 50%, 수관장은 50%, 수관폭은 총 수고의 40% 정도가 되는 것으로 파악되었다.



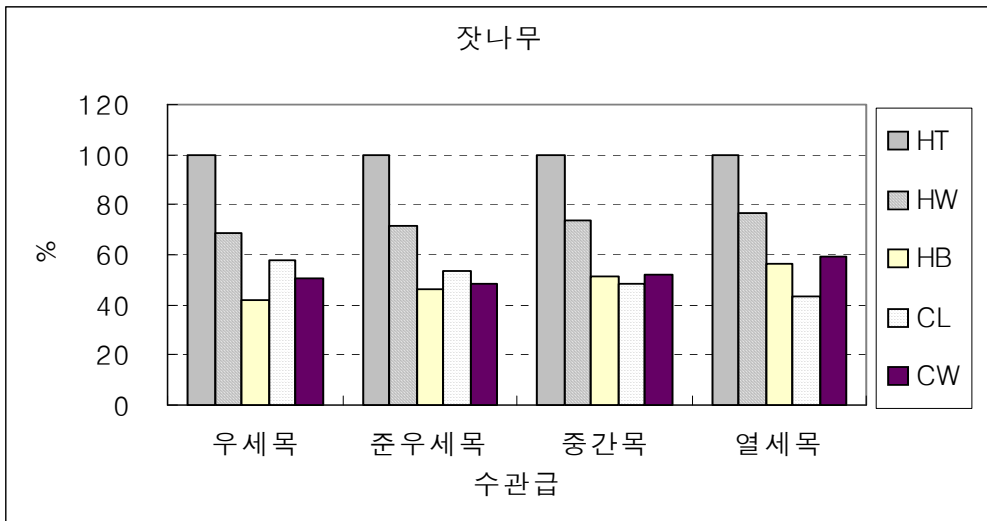
<그림 1-12> 소나무의 총수고에 따른 수관관계인자 비율

소나무의 경우는 총수고(HT)에 대한 수관폭이 가장 넓은 지점까지(HW)의 수고의 비율이 70-80%의 값을 갖고 있으며, 지하고(HB)도 유사한 경향이 있는 것으로 나타났다. 수관장(CL)은 수관급이 작아질수록 작아지는 경향이 있는 것으로 파악되었으며, 수관폭(CW)은 수관급이 작아질수록 다소 커지는 경향이 있는 것으로 나타났다.



<그림 1-13> 신갈나무의 총수고에 따른 수관관계인자 비율

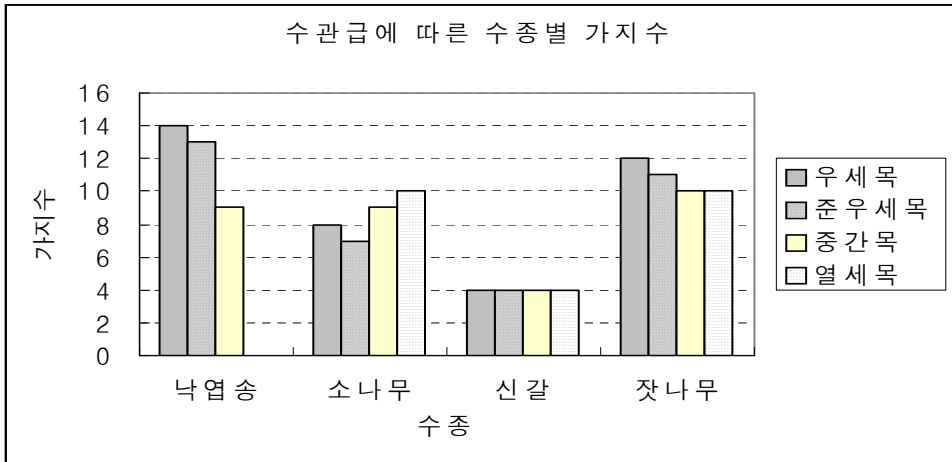
신갈나무는 다른 수종에 비해 수관급간에 총수고(HT)에 관련하여 다른 인자의 퍼센트 경향이 매우 분명한 패턴을 보이고 있다. 수관급이 작아질수록 수관폭이 가장 넓은 지점까지의 수고(HW)나 지하고(HB)가 다소 감소하는 경향을 가지고 있으며, 상대적으로 수관장(CL)은 다소 증가하는 경향을 보이고 있다. 특히, 다른 수종에 비해 HT와 HW의 차이가 가장 작은 것으로 파악되었다. 수관폭(CW)은 총수고에 대해 그 길이가 30%미만으로 나타났으며, 수관급간에는 특별한 경향이 나타나지 않았다.



<그림 1-14> 잣나무의 총수고에 따른 수관관계인자 비율

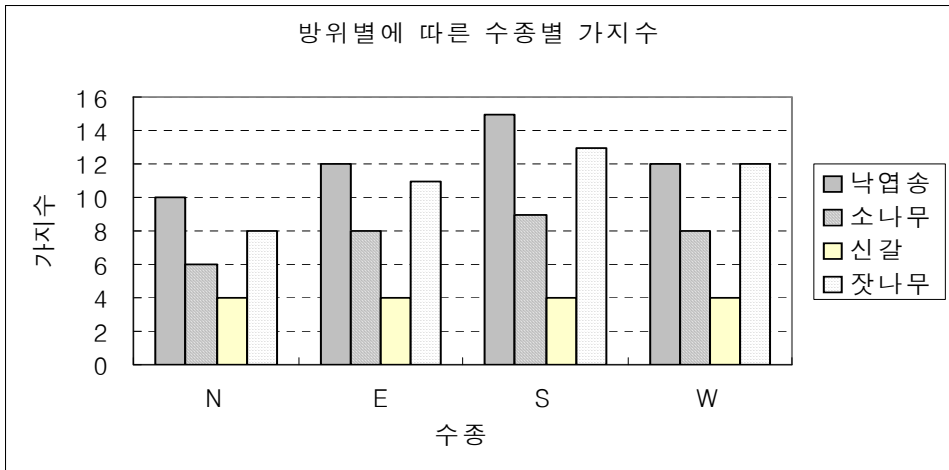
잣나무의 경우는 수관급이 작아질수록 수관폭의 가장 넓은 지점의 수고(HW)가 증가하는 경향이 있는 것으로 나타났으며, 지하고(HB)도 증가 하는 경향을 보이고 있으며, 상대적으로 수관장(CL)은 감소하는 경향으로 나타났으며, 수관폭(CW)은 수관급에 관계없이 일정한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

또한, 본 연구에서는 수관모델 구축을 위해서 수종별로 동서남북 방향의 가지의 개수를 파악한 결과는 다음과 같다.



<그림 1-15> 수관급에 따른 수종별 가지수

수관급에 따른 수종별 가지 수를 4방위에 대해서 조사된 결과에 의하면, 낙엽송이 전체적으로 가장 많은 가지 수를 가지고 있으며, 다음으로 잣나무, 소나무, 신갈나무순으로 파악이 되었다. 그리고 낙엽송의 경우 수관급이 작아질수록 가지수가 작아지는 경향을 명확히 보이고 있으며, 다른 수종은 4방위별 가지수의 뚜렷한 차이점이 나타나지 않았다. 신갈나무의 경우는 다른 수종에 비해 가장 가지 수가 가장 적었으며, 수관급간에 차이가 없는 것으로 나타났다.



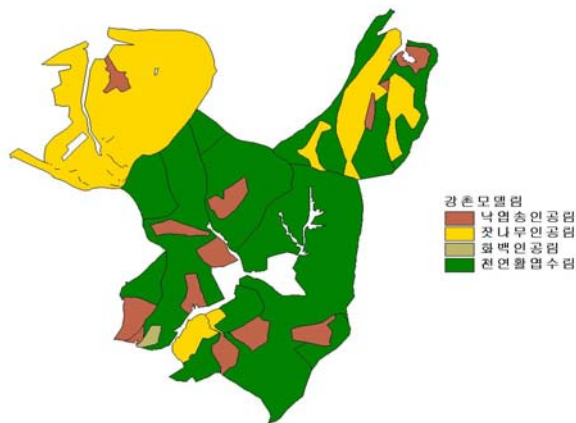
<그림 1-16> 방위별에 따른 수종별 가지수

또한, 방위별로 수종별에 따른 4방위 가지 수를 비교 했을 때 낙엽송, 소나무, 잣나무 모두 남쪽방위에 가지가 가장 많은 것으로 나타났으며, 북쪽방향 가지가 상대적으로 가장 적은 것으로 나타났으며, 동쪽과 서쪽은 중간으로 비슷한 개수로 나타났다. 신갈나무의 가지 수는 어느 방위에 따라 상관없이 일정한 것으로 나타났다.

## 나. 개체목 성장모델 개발 및 시뮬레이션 모델 제작

### (1) 강촌모델림 임상분포

강촌 모델림 임상도를 살펴보면, 총 867ha의 면적 중 천연활엽수림이 494ha (57.0%), 잣나무 인공림 258ha(29.8%), 낙엽송 인공림 75ha(8.7%)로 구성되어 있다 <그림 1-17>. 그 외에 38ha에 해당하는 시업제한지(4.4%)와 화백인공림 2ha(0.2%)를 차지하고 있다. 영구표준지는 천연활엽수림에 25개(51%), 잣나무림에 15개(31%), 낙엽송림에 9개(18%)가 각각 배치되었다.



<그림 1-17> 강촌 모델림 임상도

### (2) 강촌 모델림내 영구표준지현황

영구표준지 보조표준지내의 신갈나무(n=137)와 굴참나무(n=143)의 세부적인 임목특성을 살펴보면, 연령의 경우 신갈나무가 평균 32년생으로 20~48년생의 분포를 보이며, 굴참나무는 평균 33년생으로 18~50년생의 분포로 두 수종 모두 비슷한 연령분포를 갖는 것으로 나

타났다. 흉고직경은 신갈나무가 평균 15.4cm이고 직경범위가 6.7~30.2cm이며, 굴참나무는 평균 15.5cm, 직경범위가 6.8~28.4cm로 파악되어 두 수종간의 직경은 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 총수고(HT), 수관폭이 가장 넓은 지점의 수고(HW), 지하고(HB), 수관폭(CW) 또한 두 수종 모두 비슷한 크기를 갖고 있는 것으로 나타났으며, 수관장(CL)의 경우 두 수종 모두 다른 변수들보다 변이가 큰 것으로 나타났다 <표 1-5>.

잣나무(n=180)와 낙엽송(n=82)의 경우를 살펴보면, 잣나무는 평균 32년생(22~49년생)으로 평균 흉고직경이 15.9cm로 7.0~28.5cm의 범위를 보이며, 낙엽송은 평균 39년생(32~48년생)으로 평균 흉고직경이 21.0cm로 12.3~34.2cm의 분포를 보이고 있어 잣나무가 낙엽송보다 넓은 연령분포를 갖는 것으로 나타났다. 기타 측정인자에 있어서 낙엽송이 잣나무보다 큰 것으로 나타났으며, 두 수종 모두 수관장의 경우 변이가 가장 심한 것으로 나타났다 <표 1-5>.

<표 1-5> 강촌 모델림 영구표준지의 주요수종별 임목제원 현황

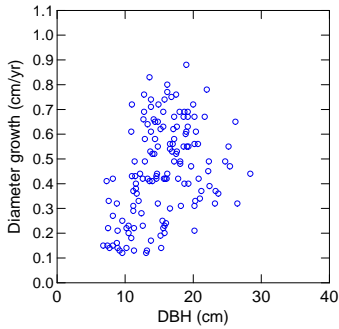
Species	No. of trees	Statistics	AGE	DBH (cm)	HT (m)	H (m)	HB (m)	CL (m)	CW (m)
신갈나무	137	Min	20	6.7	5.6	4.0	2.3	0.8	2.5
		Max	48	30.2	18.0	14.8	12.0	11.3	7.2
		Mean	32	15.4	11.6	8.9	6.8	4.8	4.4
		CV(%)	25	26.6	22.4	24.7	23.5	41.7	25.0
굴참나무	143	Min	18	6.8	4.3	3.8	3.4	0.5	2.0
		Max	50	28.4	18.5	14.3	12.1	10.5	8.0
		Mean	33	15.5	11.7	9.2	7.0	4.8	4.7
		CV(%)	24	29.7	25.6	28.3	24.3	45.8	25.5
잣나무	180	Min	22	7.0	4.5	3.5	3.0	1.0	1.0
		Max	49	28.5	18.2	16.2	13.5	12.3	7.7
		Mean	32	15.9	12.3	9.0	6.8	5.5	4.4
		CV(%)	19	25.8	23.6	28.9	32.4	40.0	31.8
낙엽송	82	Min	32	12.3	10.0	6.2	5.6	2.0	2.7
		Max	48	34.2	27.4	24.5	17.5	17.4	7.7
		Mean	39	21.0	17.4	14.0	10.0	7.4	5.1
		CV(%)	10	25.7	25.3	29.3	17.7	39.2	21.6

### (3) 직경 성장과 흉고직경간의 산점도 분석

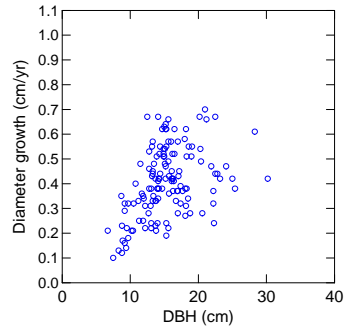
수종별로 최근 5년간의 흉고직경생장과 흉고직경과의 상관관계를 산점도로 표시한 결과, 일반적으로 모든 수종에 대해 직경이 증가함에 따라 직경생장은 양의 상관(상관계수 0.30-0.45) 갖는 것으로 나타났다 <그림 1-18>. 4개 수종 중 잣나무의 경우 가장 상관이 좋



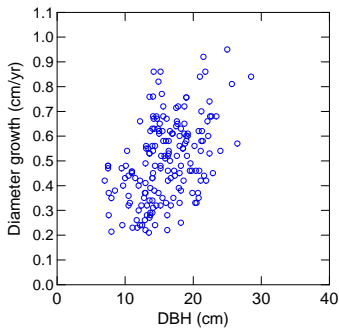
은 것으로 나타났으며( $r=0.45$ ), 굴참, 신갈, 낙엽송 순으로 상관성이 좋은 것으로 나타났다. 낙엽송의 경우 직경생장량은 흉고직경 25cm이후에 다소 감소하는 경향이 있으나, 현재의 제한된 자료로 인해 아직 정확히 판단하기에는 어려움이 있다. 대체로 강촌 모델림의 주요 4수종은 대부분 10-30cm의 흉고직경급으로 현재 선형적으로 양적생장을 하고 있는 것으로 사료된다.



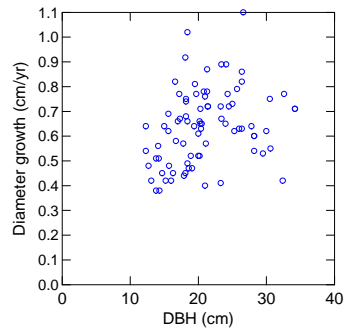
<굴참나무>



<신갈나무>



<잣나무>



<낙엽송>

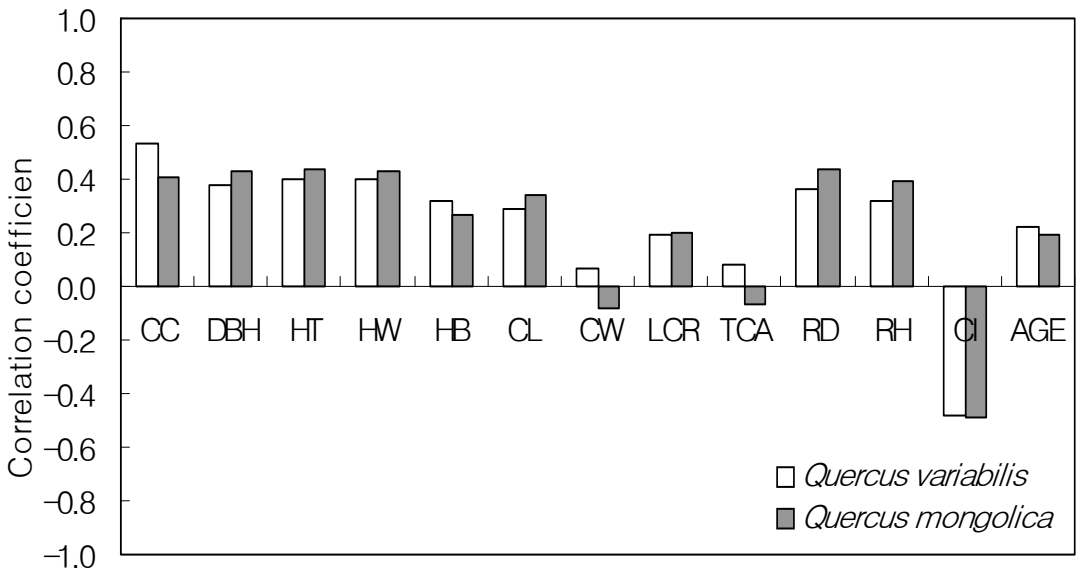
<그림 1-18> 수종별 직경생장량과 흉고직경 산점도

#### (4) 직경생장과 각 변수간의 상관분석

본 연구에서는 주요 4수종(굴참, 신갈, 잣나무, 낙엽송)과 최근 5년간의 직경생장량을 이용

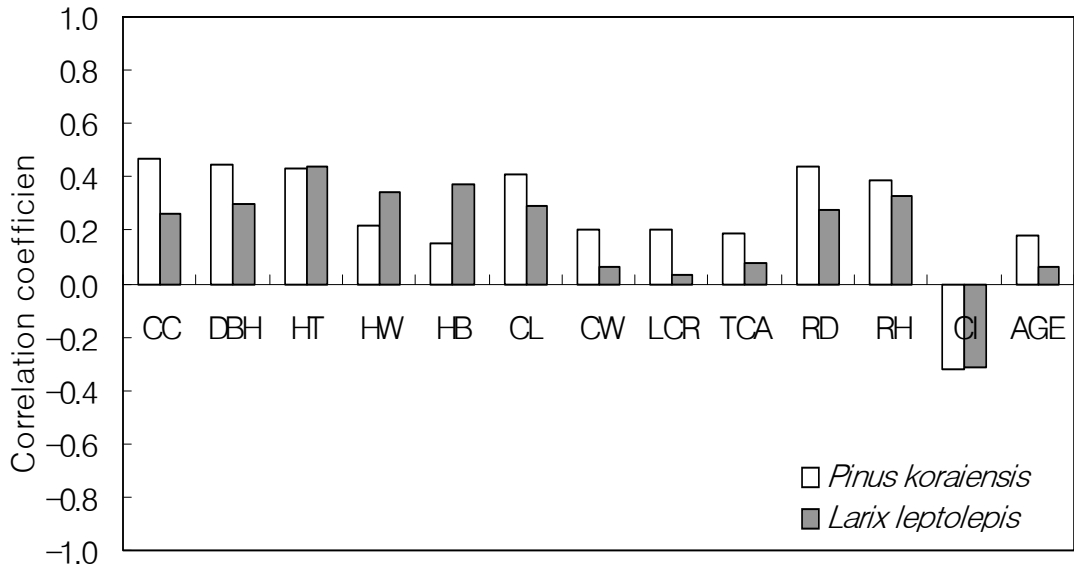
하여 연년직경생장량과 임목측정인자의 조제변수와 상관관계를 분석하였다 <그림1-19>.

수종별 최근 직경생장량과 조제된 13개의 측정변수에 대한 상관관계를 분석한 결과, 천연 활엽수종인 굴참나무와 신갈나무는 대부분 유사한 경향이 있으나 수관폭과 수관투영면적은 반대의 경향이 있는 것으로 나타났다<그림1-20>. 굴참나무의 경우 수관급( $r=0.53$ ), 경쟁지수( $r=-0.48$ ), 수관폭이 가장 넓은 지점의 수고( $r=0.40$ ), 총수고( $r=0.40$ ), 흉고직경( $r=0.38$ )순으로 상관관계가 높게 나타났으며, 신갈나무는 경쟁지수( $r=-0.49$ ), 총수고( $r=0.44$ ), 상대직경( $r=0.44$ ), 흉고직경( $r=0.43$ ), 수관폭이 가장넓은 지점의 수고( $r=0.43$ ) 순으로 파악되었다.



<그림 1-19> 신갈, 굴참나무의 직경생장량과 측정인자간의 상관관계

잣나무와 낙엽송 또한, 최근 5년간의 직경생장량을 이용하여 연년직경생장량과 임목측정 인자의 조제변수와의 상관관계를 한 결과, 대부분 유사한 패턴을 갖고 있으나, 수종 간에 차이가 있는 것으로 나타났다. 잣나무의 경우 직경생장과 변수간의 상관계수는 수관급( $r=0.47$ ), 흉고직경( $r=0.45$ ), 상대직경( $r=0.44$ ), 총수고( $r=0.43$ ), 수관장( $r=0.41$ ) 순으로, 낙엽송의 경우 총수고 ( $r=0.44$ ), 지하고( $r=0.37$ ), 수관폭이 가장 넓은 지점의 수고( $r=0.34$ ), 상대수고( $r=0.33$ ), 흉고직경( $r=0.30$ ) 순으로 나타났다 <그림 1-20>.

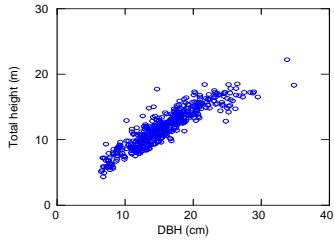


<그림 1-20> 잣나무, 낙엽송의 직경생장량과 측정인자간의 상관관계

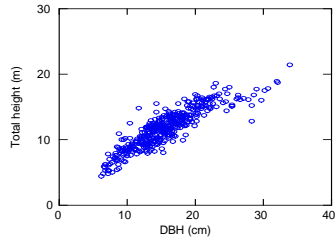
## (5) Allometric 모델 구축

### 1) 흉고직경과 총수고의 allometric 모델

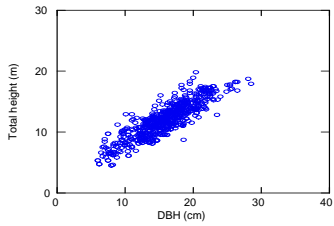
Allometric관계는 측정인자 간에 서로 상관성이 좋은 변수를 이용하여 측정이 어려운 변수의 추정 값을 얻기 위해 일반적으로 사용되어진다. 본 연구에서는 대표적인 allometric 관계로서 수종별 직경과 총수고의 관계를 파악하기 위해서 산점도를 표시한 결과, 수종별 모두 양적 선형관계를 유지하고 있는 것으로 나타났다<그림 1-21>. 특히, 신갈나무, 굴참나무, 잣나무는 거의 비슷한 경향으로 강한 양적선형을 보이고 있으며, 낙엽송의 경우 다른 수종에 비해 직경-총수고의 관계가 다소 변이가 심한 것으로 나타났다. 4수종 모두는 직경이 증가함에 따라 총수고의 점진성이 아직 나타나지 않았는데, 이는 강촌 모델림에서 조사된 흉고 직경크기가 10-30cm가 대부분으로 현재 수고생장이 한창 진행 중인 것으로 판단된다. 이들 수종의 직경-수고간의 allometric 모델은 일차식, power식과 역수식을 이용해서 산출하였으며, 이들 모델식의 결정계수, 표준오차와 잔차도를 점검한 결과 power식이 가장 적합한 것으로 판단된다 <표 1-6>.



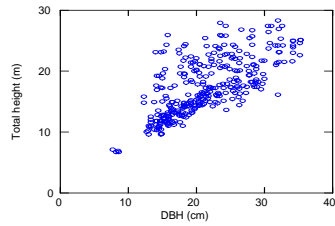
<굴참나무>



<신갈나무>



<잣나무>



<낙엽송>

<그림 1-21> 수종별 흉고직경-총수고 산점도

<표 1-6> 수종별 흉고직경-총수고 allometric 모델

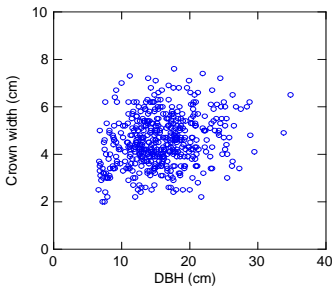
Species	Equation	n	R <sup>2</sup>	S <sub>y.x</sub>
<i>Quercus variabilis</i>	$H = 2.985 + 0.562 \text{ DBH}$	478	0.829	1.245
	$\ln H = 0.332 + 0.777 \ln \text{DBH}$	478	0.844	0.107
	$\ln H = 3.147 - 10.097 \text{ DBH}^{-1}$	478	0.823	0.114
<i>Quercus mongolica</i>	$H = 3.348 + 0.537 \text{ DBH}$	437	0.791	1.314
	$\ln H = 0.349 + 0.770 \ln \text{DBH}$	437	0.812	0.115
	$\ln H = 3.149 - 10.200 \text{ DBH}^{-1}$	437	0.811	0.115
<i>Pinus koraiensis</i>	$H = 2.258 + 0.616 \text{ DBH}$	589	0.769	1.411
	$\ln H = 0.264 + 0.804 \ln \text{DBH}$	589	0.768	0.128
	$\ln H = 3.134 - 9.912 \text{ DBH}^{-1}$	589	0.731	0.139
<i>Larix leptolepis</i>	$H = 5.643 + 0.552 \text{ DBH}$	327	0.474	3.405
	$\ln H = 0.604 + 0.733 \ln \text{DBH}$	327	0.534	0.192
	$\ln H = 3.515 - 13.711 \text{ DBH}^{-1}$	327	0.539	0.191

특히, 굴참나무와 신갈나무의 흉고직경-총수고의 관계가 매우 유사하므로 이들 두 수종을 합하여 power식을 조제하였을 경우, 함수식은  $\ln Ht=0.340+0.774\ln DBH$  ( $n=915$ ,  $R^2=0.829$ ,  $S_{y,x}=0.111$ )으로 구축되어 천연활엽수림에 적용 될 수 있다. 그 외에도 흉고직경-총수고의 allometric 모델은 흉고직경에 따른 총수고의 재적을 산출할 때 활용될 수 있으며, 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 수종별 개체목 표현을 위해서도 이용 될 수 있다.

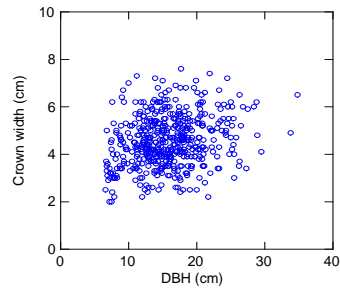
## 2) 기타 변수간의 allometric 모델

### a. 직경과 수관폭의 관계

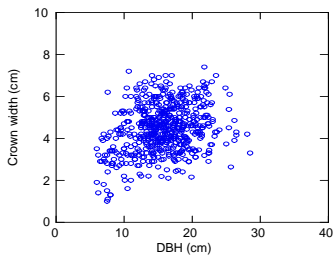
수종별 직경과 수관폭의 allometric 관계에서는 4수종 모두 거의 상관성이 없는 것으로 나타났다 <그림 1-22>. 산점도 분석을 통하여 흉고직경과 수관폭간의 단순회귀를 조제한 결과, 예상한 바와 같이, 매우 낮은 결정계수를 갖고 있어, 이 수종별 allometric 관계는 흉고직경-총수고에 비해 정확도가 매우 떨어지는 것으로 나타났다.



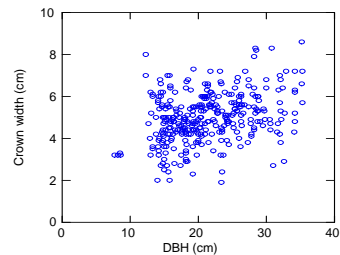
<굴참나무>



<신갈나무>



<잣나무>



<낙엽송>

<그림 1-22> 수종별 흉고직경-수관폭 산점도

<표 1-7> 수종별 수관폭-흉고직경의 allometric 모델

Species	Equation	n	R <sup>2</sup>	S <sub>y,x</sub>
<i>Quercus variabilis</i>	CW = 3.708 + 0.054 DBH	478	0.058	1.049
<i>Quercus mongolica</i>	CW = 3.794 + 0.046 DBH	437	0.045	1.011
<i>Pinus koraiensis</i>	CW = 3.235 + 0.078 DBH	589	0.083	1.083
<i>Larix leptolepis</i>	CW = 3.578 + 0.067 DBH	327	0.108	1.118

**b. 수관폭이 가장 넓은 지점의 수고와 총수고, 지하고와 총수고의 관계**

본 연구에서는 그 외에도 수관폭이 가장 넓은 지점까지의 수고, 지하고에 대한 총 수고와의 산점도를 이용하여 단순회귀를 위한 allometric 모델을 조제하였다 <표1-8>. 수종별 모두 수관이 가장 넓은 수고와 지하고는 흉고직경 변수에 비해 총수고와 더 좋은 상관을 갖기 때문에 총수고를 독립변수로 하는 일차 단순회귀식을 조제하였다.

<표1-8> 수관폭이 가장 넓은 지점의 수고와 지하고의 총수고의 allometric 모델

Species	Equation	n	R <sup>2</sup>	Sy.x
<i>Quercus variabilis</i>	Hw = 0.040 + 0.767 Ht	478	0.866	0.907
<i>Quercus mongolica</i>	Hw = -0.048 + 0.775 Ht	437	0.829	1.012
<i>Pinus koraiensis</i>	Hw = -0.218 + 0.777 Ht	589	0.758	1.288
<i>Larix leptolepis</i>	Hw = -1.045 + 0.861 Ht	327	0.868	1.579
<i>Quercus variabilis</i>	Hb = 2.390 + 0.390 Ht	478	0.682	1.258
<i>Quercus mongolica</i>	Hb = 2.170 + 0.412 Ht	437	0.468	1.261
<i>Pinus koraiensis</i>	Hb = 1.200 + 0.477 Ht	589	0.479	1.461
<i>Larix leptolepis</i>	Hb = 0.068 + 0.611 Ht	327	0.663	2.044

**(6) 개체목 흉고단면적 성장모델 구축 및 검정**

개체목 흉고단면적 모델은 ‘흉고단면적성장=f(초기크기, 상대크기, 경쟁크기)’의 영향을 받는다는 가설 하에 사용자 측면을 고려하여 흉고직경만을 독립변수로 하는 모델식과 다양한 독립변수를 이용한 모델 식을 각각 제조하였다. 본 연구에서 흉고직경성장량 대신 흉고단면적 성장량을 종속변수로 택한 이유는 흉고단면적성장량이 측정인자간의 상관이 보다 높기 때문에 이를 종속변수로 선정하였다.

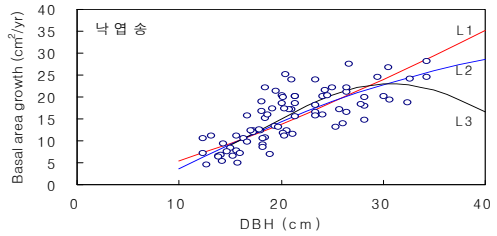
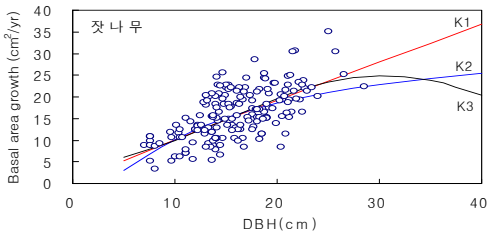
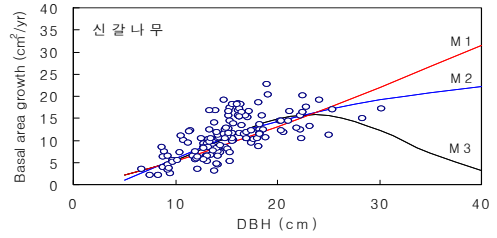
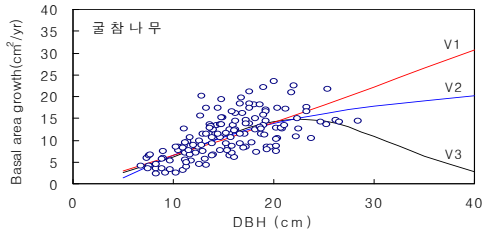
흉고단면적생장량과 흉고직경과의 함수식은 산점도를 고려하여, 흉고단면적생장 및 흉고 직경을 자연로그, 역수 또는 제곱으로 변수변형을 통하여 함수식을 조제하였다 <표1-9>.

<표 1-9> 수종별 흉고직경에 의한 흉고단면적 성장함수식

Species	Form	Equation	n	R <sup>2</sup>	Sy.x
<i>Quercus variabilis</i>	V1	$\ln\Delta BA = -0.734 + 1.128 \ln DBH$	143	0.487	0.359
	V2	$\ln\Delta BA = 3.380 - 15.121 DBH^{-1}$	143	0.507	0.352
	V3	$\ln\Delta BA = -0.153 - 0.253 DBH - 0.006 DBH^2$	143	0.517	0.350
<i>Quercus mongolica</i>	M1	$\ln\Delta BA = -1.116 + 1.268 \ln DBH$	137	0.510	0.337
	M2	$\ln\Delta BA = 3.543 - 17.692 DBH^{-1}$	137	0.539	0.327
	M3	$\ln\Delta BA = -0.400 - 0.271 DBH - 0.006 DBH^2$	137	0.543	0.327
<i>Pinus koraiensis</i>	K1	$\ln\Delta BA = 0.150 + 0.936 \ln DBH$	180	0.415	0.306
	K2	$\ln\Delta BA = 3.543 - 12.324 DBH^{-1}$	180	0.402	0.309
	K3	$\ln\Delta BA = 1.179 - 0.134 DBH - 0.002 DBH^2$	180	0.414	0.307
<i>Larix leptolepis</i>	L1	$\ln\Delta BA = -1.407 + 1.347 \ln DBH$	82	0.605	0.279
	L2	$\ln\Delta BA = 4.038 - 27.310 DBH^{-1}$	82	0.632	0.269
	L3	$\ln\Delta BA = -0.451 + 0.234 DBH - 0.004 DBH^2$	82	0.637	0.269

위 수종별 함수식들은 모두 유의적인 독립변수(P<0.0001)을 갖고 잔차도의 경우 등분산을 갖는 것으로 나타났다. 또한 수종별 함수식을 산점도상에 표시한 결과 현재의 자료범위에서는 어느 모델식을 이용하더라도 큰 문제는 없으나, 향후 임분생장예측을 위한 시뮬레이션을 위해서는 흉고직경을 역수로 하는 함수식을 활용하는 것이 바람직하다고 판단된다 <그림 1-23>. 특히, 굴참나무와 신갈나무의 경우는 비슷한 성장량과 성장패턴을 갖기 때문에 사용자 편의를 위해서 두 수종을 하나로 묶어 흉고직경을 역수로 하는 함수식으로 만들어 활용할 수 있다 ( $\ln\Delta BA=3.445-16.162 DBH^{-1}$ (n=280, R<sup>2</sup>=0.519, S<sub>y.x</sub>=0.340)).

본 흉고직경 성장자료는 성장추에 의해 목편을 통해 최근 5년간의 직경생장을 측정된 자료이고, 현재 모델링 흉고직경들이 10-30cm에 편중되어 있어, 입목 및 임분 예측 시뮬레이션을 위해서는 향후 5년, 10년까지에만 제한을 두는 것이 바람직하다고 사료된다.



<그림 1-23> 흉고직경을 독립변수한 수종별 흉고단면적 성장모델 추세선

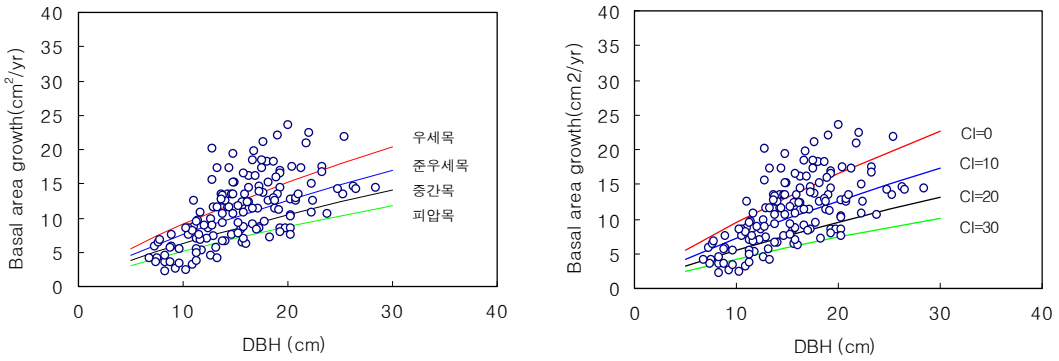
기타 다양한 독립변수를 이용한 흉고단면적 모델식은 초기크기, 상대크기, 경쟁에 따라 성장에 차이가 있다는 가정 하에 다중회귀로 수종별 흉고단면적 모델식을 개발하였다 <표 1-10>. 개발된 모델식들은 등분산의 잔차도를 갖고, 독립변수들 모두는 매우 유의적인 것 ( $p < 0.0001$ )으로 나타났다. 이들 성장모델식은 향후 시뮬레이션을 위해 흉고직경만으로 하는 함수식보다 좋은 설명력을 갖추며, 간벌이나 산림재해로 인해 임분구조가 바뀌게 되었을 경우 이를 인지할 수 있는 독립변수를 갖는 특성을 가지고 있다. 다만, 이를 위해서는 수관급, 상대직경, 경쟁지수 계산들이 매년 업데이트되어야 하는 계산상의 복잡성이 있다.

<표 1-10> 다중회귀를 이용한 수종별 흉고단면적 성장함수식

Species	Form	Equation	n	R <sup>2</sup>	S <sub>y.x</sub>
<i>Quercus</i>	V4	$\ln \Delta BA = -0.415 + 0.737 \ln DBH + 0.185 CC$	143	0.5380	0.3420
<i>variabilis</i>	V5	$\ln \Delta BA = 0.455 + 0.784 \ln DBH - 0.027 CI$	143	503	.355
<i>Quercus</i>	M4	$\ln \Delta BA = 0.862 + 0.614 \ln HT + 0.748 \ln RD$	137	0.480	0.349
<i>mongolica</i>	M5	$\ln \Delta BA = 0.312 + 0.934 \ln HT - 0.029 CI$	137	0.443	0.361
<i>Pinus</i>	K4	$\ln \Delta BA = 0.238 + 0.778 \ln DBH + 0.084 CC$	180	0.434	0.302
<i>koraiensis</i>	K5	$\ln \Delta BA = 1.428 + 0.528 \ln HT + 0.546 \ln RD$	180	0.395	0.312
<i>Larix</i>	L4	$\ln \Delta BA = 1.130 + 0.564 \ln HT + 0.985 \ln RD$	82	0.610	0.279
<i>leptolepis</i>					

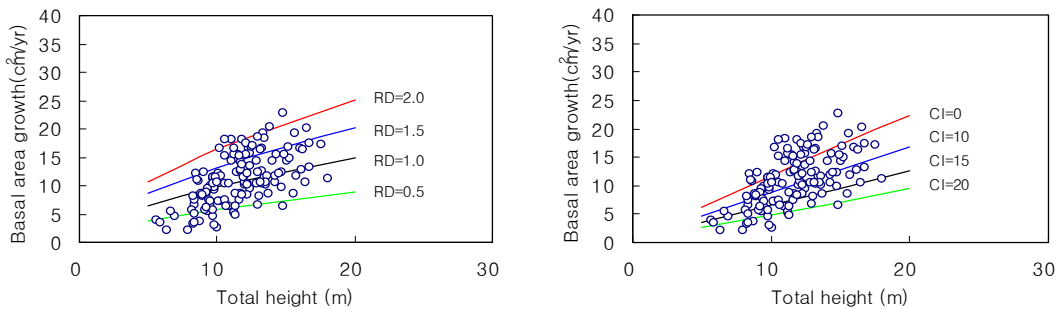


위에 개발된 성장모델식의 추세경향을 파악하기 위해서 굴참나무 V4와 V5 함수식을 직경과 흉고단면적생장의 산점도 위에 표시한 결과, 본 성장모델식은 수관급 크기와 경쟁지수의 크기에 따라 성장량의 차를 인지됨을 알 수 있어, 보다 현실적인 면이 고려된 성장모델식이라 판단된다 <그림 1-24>.



<그림 1-24> 굴참나무 흉고단면적 성장모델식 V4와 V5 추세선

마찬가지로 신갈나무의 경우 M4와 M5 성장함수식은 흉고단면적생장이 흉고직경보다 총수고에 매우 유의적인 것으로 나타났으며, 수관급보다는 상대직경과 경쟁지수에 보다 유의적인 것으로 파악되었다. 현 신갈나무 자료의 상대직경과 경쟁지수를 이용하여 두 함수의 추세선을 도시한 결과 상대직경과 경쟁지수의 크기 차이에 따라 성장량이 차이가 발생함을 인지할 수 있다 <그림 1-25>.



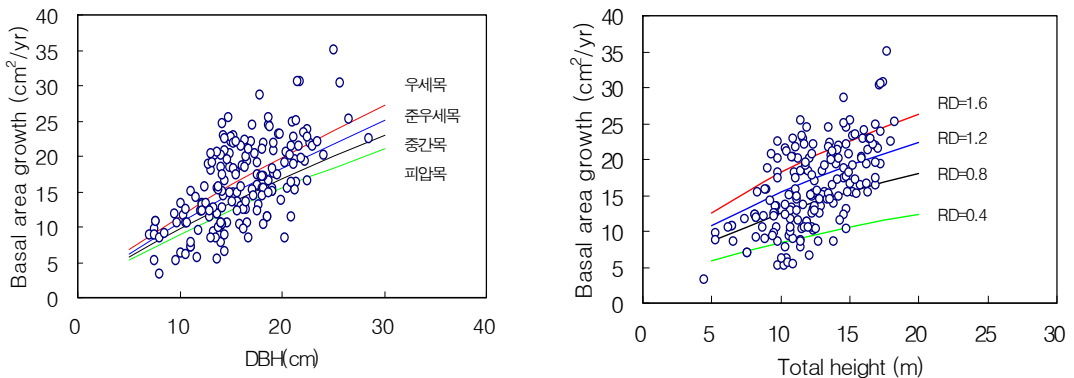
<그림 1-25> 신갈나무 흉고단면적 성장모델식 M4와 M5 추세선

편의상, 신갈나무와 굴참나무를 하나로 묶어 성장모델식을 구축하고자 한다면,  $f(\text{DBH}, \text{CC})$ 와  $f(\text{HT}, \text{RD})$ 이 모두 유의한 것으로 나타나 아래 두 식을 사용하여 신갈과 굴참나무가 함께한 천연활엽수림의 직경생장을 예측할 수 있다.

$$\ln \Delta \text{BA} = -0.727 + 0.964 \ln \text{DBH} + 0.108 \text{CC} \quad (n=280, R^2=0.517, S_{y,x}=0.341)$$

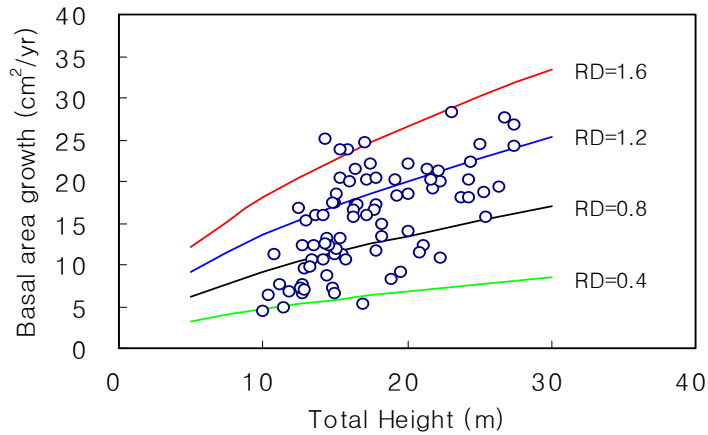
$$\ln \Delta \text{BA} = 0.816 + 0.634 \ln \text{HT} + 0.645 \ln \text{RD} \quad (n=280, R^2=0.460, S_{y,x}=0.361)$$

잣나무의 경우 K4와 K5 함수식 즉,  $f(\text{DBH}, \text{CC})$ 와  $f(\text{HT}, \text{RD})$  식이 흉고단면적 성장에 매우 유의적인 것으로 나타났으며, 이들 함수식을 직경과 흉고단면적생장의 산점도 위에 표시한 결과, 수관급 크기와 상대직경의 크기에 따라 성장량의 차를 인지됨을 알 수 있다. 다만 수관급에 따른 성장량 차이는 매우 적은 것으로 파악 되었다 <그림1-26>



<그림 1-26> 잣나무 흉고단면적 성장모델식 K4과 K5 추세선

낙엽송의 흉고단면적 함수식(L4)은 흉고직경과 상대직경만이 유의적으로 나타났다. 현 함수식을 산점도 상에 표시했을 때, 현 상대직경의 변화에 따라 흉고단면적 성장 변화의 차를 쉽게 인지됨을 파악 할 수 있다 <그림 1-27>.



<그림 1-27> 낙엽송 흉고단면적 성장모델식 L4 추세선

앞서 언급을 했지만, 현 흉고단면적 성장모델은 현 자료의 범위에 국한 하여 추정값을 산출 되었기 때문에, 현 자료의 한계를 벗어난 장기 성장예측에는 제한되어야 한다.

## (7) Stand projection을 위한 성장시물레이션

### 1) 강촌 모델림 직경성장량 및 고사목 현황

조사된 영구표준지 자료를 이용하여 주요수종별 직경분포 현황을 살펴보면, 전체적으로 직경성장량 크기는 낙엽송, 잣나무, 굴참, 신갈 순으로 나타났으며, 분수 분포는 수종별로 모두 정규분포 양상을 갖는 것으로 파악되었다 <표1-11>. 굴참나무의 경우 흉고직경성장량은 18-22cm까지 증가하다가 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 전체적으로 연 평균 0.45cm/yr 직경생장을 하는 것으로 나타났다. 신갈나무의 경우는 굴참나무와 비슷한 경향의 직경생장을 하는 것으로 나타났으며, 연 평균성장량은 0.41cm/yr으로 파악되었다.

잣나무의 경우는 일반적으로 흉고직경이 커짐에 따라 직경성장도 증가하는 경향으로 나타났으며, 전체 연평균성장량은 0.51cm로 파악되었고, 낙엽송도 일반적으로 증가하는 경향으로 전체 연평균성장량은 0.64cm인 것으로 나타났다. 본 영구표준지조사에서 파악된 수종별 직경성장량은 성장추에 의한 성장량 자료를 가지고 현 직경급의 성장량을 파악한 것으로 현 자료만으로 직경급에 의한 뚜렷한 성장패턴을 진단하기에는 아직 어려움이 있으므로 향후 주기적인 흉고직경 측정을 통해 직경급에 따른 성장패턴이 파악되어야 할 것으로 사료된다.

<표 1-11> 강촌 모델림의 주요수종별 직경성장량 분포(2005년 현재)

DBH (cm)	<i>Quercus Variabilis</i>			<i>Quercus Mogolica</i>			<i>Pinus koraiensis</i>			<i>Larix leptolepis</i>		
	Trees	△DBH (cm/yr)	SD (cm/yr)	Trees	△DBH (cm/yr)	SD (cm/yr)	Trees	△DBH (cm/yr)	SD (cm/yr)	Trees	△DBH (cm/yr)	SD (cm/yr)
6-10	16	0.22	0.10	14	0.21	0.08	12	0.38	0.09	-	-	-
10-14	39	0.22	0.20	36	0.36	0.12	43	0.39	0.13	6	0.50	0.09
14-18	45	0.42	0.17	56	0.45	0.12	67	0.53	0.15	8	0.56	0.13
18-22	30	0.51	0.16	19	0.48	0.14	45	0.54	0.15	30	0.67	0.15
22-26	10	0.47	0.13	10	0.42	0.11	11	0.67	0.14	11	0.72	0.13
26-30	3	0.47	0.17	1	0.61	-	2	0.70	0.19	10	0.70	0.18
30-34	-	-	-	1	0.42	-	-	-	-	5	0.62	0.15
>34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0.71	-
계	143	0.45	0.19	137	0.41	0.14	180	0.51	0.16	82	0.64	0.15

또한, 본 연구에서는 주요 수종별로 흉고직경 6cm이상의 고사목을 파악하여 이를 지난 5년간 고사된 고사율로 가정을 하였다 <표 1-12>. 따라서 본 고사목 자료를 통하여 굴참나무의 최근 5년간의 생존율은 0.994, 신갈나무 생존율은 0.987, 잣나무 생존율은 0.982, 낙엽송 생존율은 0.982로 산출되어 질 수 있다. 또한, 신갈, 굴참나무를 통합 한 경우의 생존율은 0.990으로 적용되어 질 수 있다. 따라서 이들 수종별 생존율은 강촌 모델림 시뮬레이션에 적용되어 고사목 본수와 생존본수를 추정하는데 활용 되어질 수 있다.

<표 1-12> 강촌 모델림의 주요수종별 고사목 분포(2005년 현재)

DBH (cm)	<i>Quercus Variabilis</i>		<i>Quercus Mogolica</i>		<i>Pinus koraiensis</i>		<i>Larix leptolepis</i>	
	Live tree	Dead tree	Live tree	Dead tree	Live tree	Dead tree	Live tree	Dead tree
6-10	57	1	49	6	57	2	4	2
10-14	122	1	112	0	124	5	13	0
14-18	158	1	161	0	226	4	88	1
18-22	90	0	76	0	144	0	87	2
22-26	39	0	25	0	32	0	58	1
26-30	11	0	11	0	6	0	46	0
30-34	1	0	5	0	0	0	21	0
>34	1	0	0	0	0	0	10	0
계	479	3	439	6	589	11	327	6

## 2) 평균직경생장량에 의한 시뮬레이션

강촌 모델림의 2005년도 현재 영구표준지 자료를 이용하여 향후 5년, 10년 후의 흉고직경 분포 시뮬레이션을 예측할 수 있다. 그 첫 번째 간단한 방법으로 수종별 전체 평균 직경생장량 즉, 굴참나무 0.45cm/yr, 신갈나무 0.41cm/yr, 잣나무 0.51cm/yr, 낙엽송 0.64cm/yr을 이용하여 흉고직경크기에 상관없이 모든 수종별 입목에 적용하여 향후 5년 후, 10년 후 임분구조를 예측할 수 있다. 또한 각 수종별 총 본수에 생존율을 곱하여 고사된 본수를 차감하면 5년 후 또는 10년 후의 실제 수종별 직경분포표를 제작할 수 있다.

또한, 굴참나무와 신갈나무는 천연활엽수종으로 현 자료에서 성장량과 성장패턴이 비슷하기 때문에 두 수종을 합하여 하나의 직경생장량 0.43cm/yr로 하여 미래의 천연활엽수림의 직경분포와 본수 예측도 가능하다. 다만, 본 영구표준지 자료가 흉고직경 10-30cm에 집중 분포하기 때문에 현 자료를 통하여 흉고직경 40cm넘는 성장을 예측하기에는 무리가 있으므로, 최근 5년, 최대 10년까지의 단기 성장을 예측하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

실례로 신갈과 굴참나무 두 수종이 통합한 천연활엽수림의 5년 후, 10년 후의 stand projection의 시뮬레이션 제작에 대해서 설명하면, 본 강촌 모델림 조사에서 신갈, 굴참나무의 영구표준지는 25개 plot에서 조사된 총 915본수에 대한 직경분포를 살펴보면 표 1-9와 같고, 영구표준지는 원형표준지 0.04ha 표준지 25개에서 집계된 것으로 이 표는 결국 강촌 모델림의 천연활엽수림의 1ha의 본수분포 (0.04ha×25=1ha)가 된다.

<표 1-13> 평균법에 의한 강촌 모델림 천연활엽수림의 ha당 직경분포변화

DBH (cm)	현 재		5년 후		10년 후	
	Trees	Relative frequency	Trees	Relative frequency	Trees	Relative frequency
6-10	107	0.12	40	0.04	0	0
10-14	241	0.26	132	0.14	98	0.11
14-18	316	0.35	334	0.37	218	0.24
18-22	160	0.17	240	0.26	328	0.36
22-26	62	0.07	111	0.12	172	0.19
26-30	22	0.02	42	0.05	69	0.08
30-34	6	0.01	11	0.01	23	0.03
34-38	1	0.00	5	0.01	4	0.00
38-42					3	0.00
계	915	1	915	1	915	1

그 다음 순서로 신갈, 굴참나무 고사자료를 이용하여 5년간 신갈나무 굴참나무 평균 생존

율을 계산하면 0.990으로 5년 후 생존본수는 915본 × 0.990= 906.03본, 10년 후의 생존목은 906.03본 × 0.990을 하면 897.1본이 된다. 고사목으로 제외될 입목은 현재의 수종별 고사현황을 고려했을 때, 흉고직경 30cm이상에서 고사목이 발견되지 않는 점을 감안하여 향후 고사목은 흉고직경 30cm미만으로 직경급이 작은 순서로 고사목을 제거하는 것으로 원칙을 세웠다. 따라서 실제 생존하는 천연활엽수림의 직경분포표는 <표 1-14>과 같이 된다.

<표 1-14> 평균법에 의한 강촌 모델림 천연활엽수림의 ha당 직경분포변화 (고사목제외)

DBH (cm)	현 재		5년 후		10년 후	
	Trees	Relative frequency	Trees	Relative frequency	Trees	Relative frequency
6-10	107	0.12	38	0.04	0	0
10-14	241	0.26	130	0.14	94	0.10
14-18	316	0.35	332	0.37	214	0.24
18-22	160	0.17	239	0.26	324	0.36
22-26	62	0.07	110	0.12	169	0.19
26-30	22	0.02	41	0.05	66	0.07
30-34	6	0.01	11	0.01	23	0.03
34-38	1	0.00	5	0.01	4	0.00
38-42					3	0.00
계	915	1	906	1	897	1

같은 방법으로 잣나무림과 낙엽송림의 5년 후, 10년 후의 고사목을 제외한 실제 잣나무림과 낙엽송림의 직경분포표는 다음 <표 1-15>, <표 1-16>과 같다.

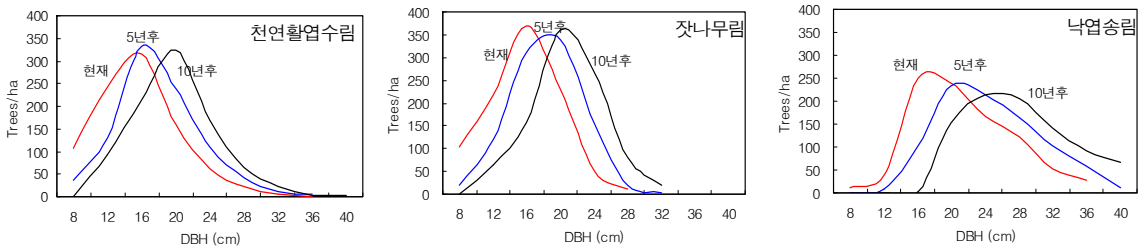
<표 1-15> 평균법에 의한 강촌 모델림 잣나무림의 ha당 직경분포변화 (고사목제외)

DBH (cm)	현 재		5년 후		10년 후	
	Trees	Relative frequency	Trees	Relative frequency	Trees	Relative frequency
6-10	103	0.10	19	0.02	0	0.00
10-14	218	0.22	120	0.12	63	0.07
14-18	370	0.38	310	0.32	156	0.16
18-22	228	0.23	339	0.35	361	0.38
22-26	52	0.05	154	0.16	266	0.28
26-30	10	0.01	19	0.02	82	0.09
30-34	0	0.00	3	0.00	18	0.02
34-38	0	0.00	0	0.00	0	0.00
38-42	0	0.00	0	0.00	0	0.00
계	981	1	964	1	946	1

<표 1-16> 평균법에 의한 강촌 모델림 낙엽송림의 ha당 직경분포변화 (고사목제외)

DBH (cm)	현 재		5년 후		10년 후	
	Trees	Relative frequency	Trees	Relative frequency	Trees	Relative frequency
6-10	11	0.01	0	0.00	0	0.00
10-14	39	0.04	7	0.01	0	0.00
14-18	250	0.28	103	0.12	3	0.01
18-22	239	0.26	233	0.26	153	0.17
22-26	167	0.18	214	0.24	214	0.24
26-30	122	0.13	165	0.18	206	0.24
30-34	53	0.06	103	0.12	142	0.16
34-38	28	0.03	58	0.07	92	0.10
38-42	-	-	11	0.01	67	0.08
계	908	1	894	1	876	1

위 평균법에 의한 수종별 직경분포표를 그림으로 도시했을 때, 각 수종별 직경분포는 동령림 정규분포양상을 갖고 평균 직경생장량에 의해 일정하게 수평 이동한 것을 볼 수 있다 <그림 1-28>.



<그림 1-28> 평균법에 의한 수종별 직경분포 시뮬레이션

### 3) 성장모델식에 의한 시뮬레이션

#### a. 흉고직경 1변수 함수식 적용

이 방법은 표 1-5에 언급한 수종별 최적 흉고직경 흉고단면적 성장모델식에 의한 성장량을 추정하고, 고사목은 앞에 언급한 수종별 생존율을 똑같이 적용하여 향후 5년 후와 10년 후의 흉고직경분포를 작성하는 방법이다. 시뮬레이션될 수종별 흉고단면적 성장함수식은 다음과 같다.

신갈 + 굴참 : $\ln\Delta BA = 3.445 - 16.162 \text{ DBH}^{-1}$ 잣나무 : $\ln\Delta BA = 3.543 - 12.324 \text{ DBH}^{-1}$ 낙엽송 : $\ln\Delta BA = 4.038 - 27.310 \text{ DBH}^{-1}$
--

이 방법은 매년 흉고직경 환산을 위해 위의 흉고단면적 함수식을 이용하여 현재의 개체목 흉고직경을 흉고단면적으로 환산한 후, 여기에 연년 흉고단면적 성장량을 더 한 후, 흉고직경으로 환산하면 된다. 이상의 방법으로 천연활엽수림의 흉고직경분포 예측을 한 결과는 <표1-17>과 같다.

<표 1-17> 흉고직경 1변수 함수식에 의한 강촌 모델림 천연활엽수림의 ha당 직경분포변화 (고사목 제외)

현 재			5년 후		10년 후	
DBH (cm)	Trees	Relative frequency	Trees	Relative frequency	Trees	Relative frequency
6-10	107	0.12	46	0.05	3	0.01
10-14	241	0.26	122	0.13	92	0.10
14-18	316	0.35	332	0.37	200	0.22
18-22	160	0.17	239	0.26	333	0.37
22-26	62	0.07	111	0.12	176	0.20
26-30	22	0.02	40	0.04	64	0.07
30-34	6	0.01	13	0.01	23	0.03
34-38	1	0.00	3	0.00	5	0.01
38-42					1	0.00
계	915	1	906	1	897	1

마찬가지로 잣나무림과 낙엽송림의 흉고직경에 의한 1변수 함수식의 시뮬레이션 결과는 <표 1-18>, <표 1-19>과 같다.



<표 1-18> 흉고직경 1변수 함수식에 의한 강촌 모델림 잣나무림의 ha당 직경분포변화 (고사목 제외)

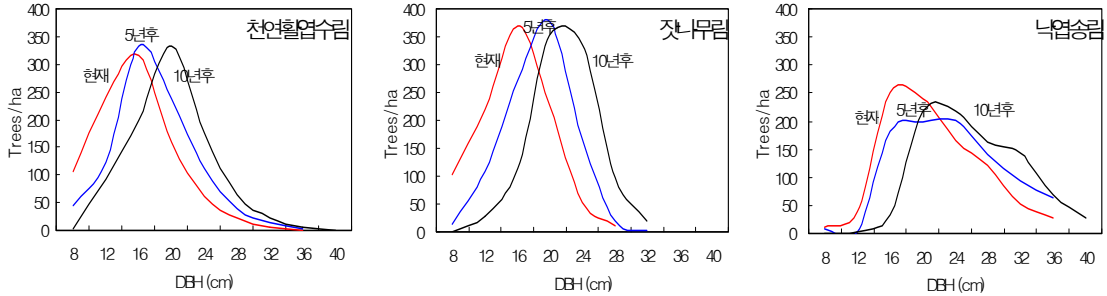
현 재			5년 후		10년 후	
DBH (cm)	Trees	Relative frequency	Trees	Relative frequency	Trees	Relative frequency
6-10	103	0.11	15	0.02	0	0.00
10-14	218	0.22	109	0.11	29	0.03
14-18	370	0.38	272	0.28	113	0.12
18-22	228	0.23	379	0.39	353	0.37
22-26	52	0.05	166	0.17	335	0.35
26-30	10	0.01	20	0.02	98	0.10
30-34	0	0.00	3	0.00	18	0.02
34-38	0	0.00	0	0.00	0	0.00
38-42	0	0.00	0	0.00	0	0.00
계	981	1	964	1	946	1

<표 1-19> 흉고직경 1변수 함수식에 의한 강촌 모델림 낙엽송림의 ha당 직경분포변화 (고사목 제외)

현 재			5년 후		10년 후	
DBH (cm)	Trees	Relative frequency	Trees	Relative frequency	Trees	Relative frequency
6-10	11	0.01	8	0.01	0	0.00
10-14	39	0.04	3	0.00	2	0.01
14-18	250	0.28	183	0.20	33	0.04
18-22	239	0.26	200	0.22	219	0.24
22-26	167	0.18	201	0.22	219	0.24
26-30	122	0.13	141	0.16	162	0.18
30-34	53	0.06	94	0.11	144	0.16
34-38	28	0.03	64	0.07	69	0.08
38-42	0		0	0.00	28	0.03
계	908	1	894	1	876	1

이상의 수종별 흉고직경 시물레이션 결과를 그림으로 도시한 결과, 5년 후, 10년 후의 직경이 수평이동 한 것을 볼 수 있으며, 평균법에 의한 직경시물레이션과 매우 유사한 경향을

갖는 것으로 나타났다 <그림 1-28>.



<그림 1-29> 흉고직경 1변수 함수식에 의한 수종별 직경분포 시뮬레이션

**b. 2변수 함수식 적용**

2 변수 함수식을 이용한 성장시뮬레이션은 <표 1-9>에 언급한 수종별 최적 흉고직경 흉고단면적 성장모델식에 의한 성장량을 추정하고, 고사목은 앞에 언급한 수종별 생존율을 똑같이 적용하여 향후 5년 후와 10년 후의 흉고직경분포를 시뮬레이션 하는 방법이다. 수종별 시뮬레이션될 2변수 흉고단면적 성장함수식은 다음과 같다.

신갈 + 굴참 : $\ln \Delta BA = -0.727 + 0.964 \ln DBH + 0.108 CC$ 잣나무 : $\ln \Delta BA = 0.238 + 0.778 \ln DBH + 0.084 CC$ 낙엽송 : $\ln \Delta BA = 1.130 + 0.564 \ln HT + 0.985 \ln RD$
--

본 시뮬레이션을 위해서는 현실적으로 임분구조에 따라 수관급과 상대직경 값이 변해야 하나, 향후 10년까지 수관급 및 상대직경은 초기 상태인 2005년과 같다는 동일 조건의 가정 하에 5년 후 또는 10년 후 시뮬레이션을 실시하였다 <표1-20, 표 1-21, 표 1-22>.

<표 1-20> 2 변수 함수식에 의한 강촌 모델링 천연활엽수림의 ha당 직경분포변화 (고사목 제외)

현 재			5년 후		10년 후	
DBH (cm)	Trees	Relative frequency	Trees	Relative frequency	Trees	Relative frequency
6-10	107	0.12	50	0.06	0	0.00
10-14	241	0.26	132	0.15	107	0.12
14-18	316	0.35	318	0.35	209	0.23
18-22	160	0.17	243	0.27	310	0.35
22-26	62	0.07	106	0.12	174	0.19
26-30	22	0.02	40	0.04	65	0.07
30-34	6	0.01	12	0.01	24	0.03
34-38	1	0.00	5	0.01	6	0.01
38-42					2	0.00
계	915	1	906	1	897	1

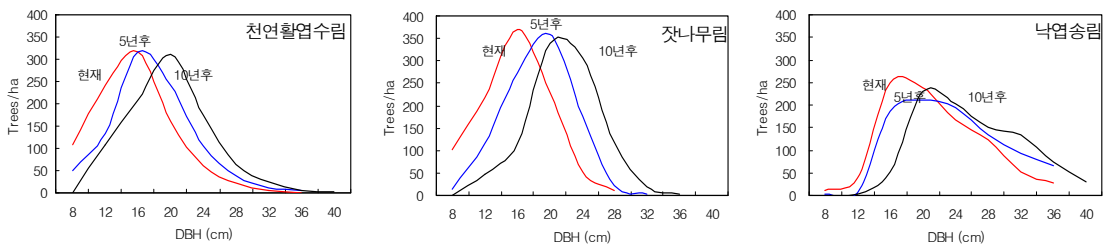
<표 1-21> 2 변수 함수식에 의한 강촌 모델링 잣나무림의 ha당 직경분포변화 (고사목 제외)

현 재			5년 후		10년 후	
DBH (cm)	Trees	Relative frequency	Trees	Relative frequency	Trees	Relative frequency
6-10	103	0.11	14	0.01	0	0.00
10-14	218	0.22	117	0.12	47	0.05
14-18	370	0.38	272	0.28	116	0.12
18-22	228	0.23	359	0.37	338	0.36
22-26	52	0.05	177	0.18	305	0.32
26-30	10	0.01	22	0.02	120	0.13
30-34	0	0.00	3	0.00	18	0.02
34-38	0	0.00	0	0.00	2	0.00
38-42	0	0.00	0	0.00	0	0.00
계	981	1	964	1	946	1

<표 1-22> 2 변수 함수식에 의한 강촌 모델링 낙엽송림의 ha당 직경분포변화 (고사목 제외)

현 재			5년 후		10년 후	
DBH (cm)	Trees	Relative frequency	Trees	Relative frequency	Trees	Relative frequency
6-10	11	0.01	3	0.01	0	0.00
10-14	39	0.04	5	0.01	4	0.01
14-18	250	0.28	186	0.21	51	0.06
18-22	239	0.26	211	0.24	230	0.26
22-26	167	0.18	195	0.22	202	0.23
26-30	122	0.13	135	0.15	150	0.17
30-34	53	0.06	92	0.10	133	0.15
34-38	28	0.03	67	0.07	75	0.08
38-42	0		0	0.00	31	0.03
계	908	1	894	1	876	1

이상의 결과를 그림으로 도시 했을 때, 수종별 직경분포는 시간이 흐름에 따라 수평이동하는 것을 볼 수 있으며, 평균법과 1변수 함수식과 거의 같은 경향이 있는 것으로 나타났다 <그림 1-30>.

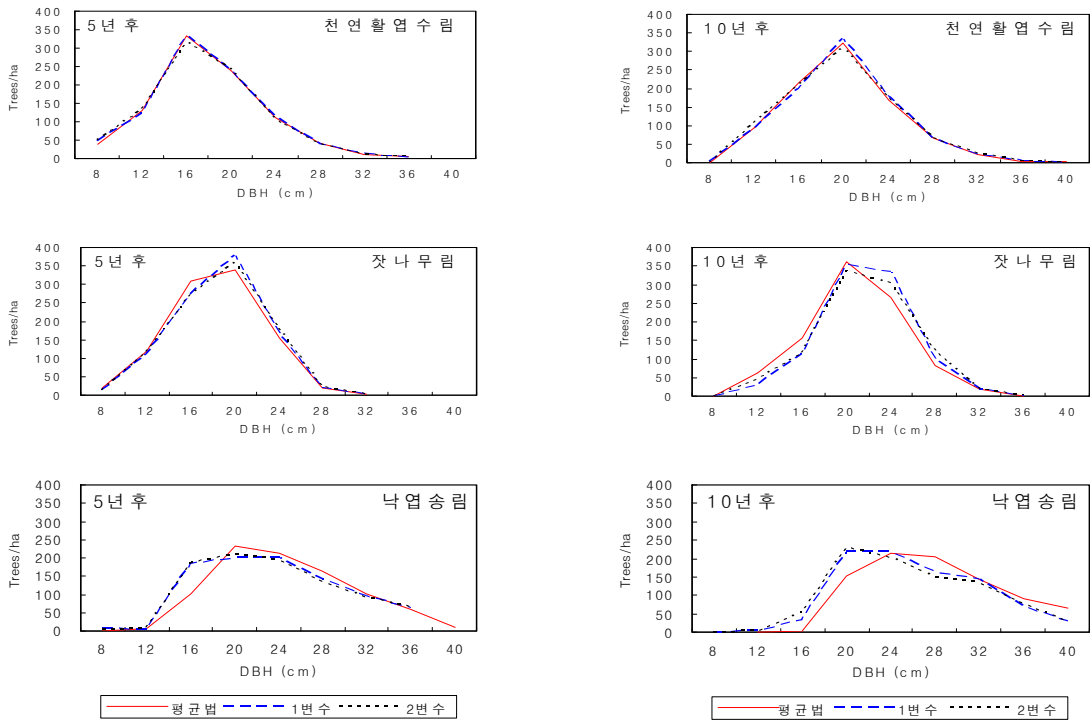


<그림 1-30> 2 변수 함수식에 의한 수종별 직경분포 시뮬레이션

#### 4) 평균법, 1변수, 2변수 성장모델식의 시뮬레이션 비교

수종별 평균법, 1변수와 2변수 성장모델식 시뮬레이션 결과에 대해 5년 후, 10년 후 변화를 살펴 본 결과, 천연활엽수림의 경우는 거의 차이가 없으며, 잣나무림과 낙엽송림은 다소 차이가 있으나, 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 잣나무림의 경우 10년 후의 시뮬레이션 결

과, 평균법의 경우 다른 1변수와 2변수 보다 다소 흉고직경크기가 적은 것으로 나타났으며, 낙엽송의 경우 이와는 반대로 평균법 방법이 다른 방법에 비해 흉고직경크기가 크게 나타났다 <그림1-31>.



<그림 1-31> 평균법, 1변수, 2변수 성장모델식을 적용한 수종별 직경분포 시뮬레이션

#### 다. 통합 산림성장모델 시스템 구축

##### (1) 연구방법

##### 1) 산림성장 시뮬레이션 제작

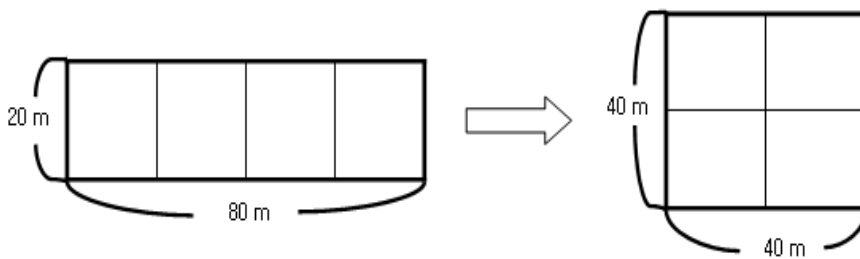
##### a. 시뮬레이션 제작

산림시업 시뮬레이션을 위한 모델은 개체목 성장함수식을 이용하였으며, 임상별 모델링을 설정하여 간벌과 임목생장의 시뮬레이션을 수행하고, 그 결과 나타나는 임분의 공간구조의

변화를 3차원의 다양한 시점에서 투시하여, 작업의 결과를 직관적으로 알아 볼 수 있도록 제작하였다. 또한 현실감을 증대시키기 위해서 임목의 수관과 수간의 형태, 수관 및 수간의 재질, 빛 등을 구현하여 이것을 간단한 모식도를 사용하여 임분공간 구조의 변화를 고려한 간벌방법을 사전에 결정할 수 있도록 하였다.

### b. 시물레이션을 위한 모델링 제작

본 연구에서 조제된 굴참·신갈나무의 성장모델을 적용할 수 있는 천연활엽수림의 20m × 80m의 크기에서 자료를 수집하였다. 그리고 효율적인 임분구조 및 성장 시물레이션을 위하여 조사된 표준지의 오른쪽 2개 보조 표준지를 위쪽으로 붙여서 40m × 40m 정방형 표준지로 제작하여 시물레이션을 위한 천연활엽수 모델링을 설정하여 임목위치, 수관폭, 흉고직경, 수고를 측정하였다.



<그림 1-32> 천연활엽수림 시물레이션 모델링 설정

그리고 잣나무와 낙엽송 임분은 실제 영구표준지로서 각각 50m × 50m와 30m × 30m의 영구표준지에서 자료를 수집하여 효율적인 임분구조 및 성장 시물레이션을 위한 모델링을 설정하여 천연활엽수림의 모델링과 같은 측정인자를 조사하였다.

## 2) 성장모델에 의한 단목·임분 통계체계 구축

### a. 성장모델을 위한 독립변수와 종속변수

시물레이션을 위한 성장모델의 종속변수로는 흉고단면적 성장량( $\Delta BA$ ,  $cm^2/yr$ ), 총수고(HT, m), 수관폭이 가장 넓은 지점까지의 수고(Hw, m), 지하고(Hb, m), 수관폭(CW, m)을 사용하였으며, 독립변수로는 직경(DBH), 수고(H), 수관급(CC), 상대직경(RD), 경쟁지수(CI)가 사용되었다.

**b. 개체목 성장모델식**

본 연구의 시뮬레이션은 2차년도에서 개발된 성장모델식을 근거로 하였다. 본 시뮬레이션에 적용될 성장모델식은 다음과 같다.

<표 1-23> 시뮬레이션을 위한 수종별 흉고직경-총수고(H), 수관폭이 가장 넓은지점까지의 수고(Hw), 지하고(Hb) allometric 함수식

Species	Equation	n	R <sup>2</sup>	S <sub>y,x</sub>
<i>Quercus variabilis</i>	$\ln H = 0.332 + 0.777 \ln DBH$	478	0.844	0.107
<i>Quercus mongolica</i>	$\ln H = 0.349 + 0.770 \ln DBH$	437	0.812	0.115
<i>Pinus koraiensis</i>	$\ln H = 0.264 + 0.804 \ln DBH$	589	0.768	0.128
<i>Larix leptolepis</i>	$\ln H = 3.515 - 13.711 DBH^{-1}$	327	0.539	0.191
<i>Quercus variabilis</i>	$Hw = 0.040 + 0.767 Ht$	478	0.866	0.907
<i>Quercus mongolica</i>	$Hw = -0.048 + 0.775 Ht$	437	0.829	1.012
<i>Pinus koraiensis</i>	$Hw = -0.218 + 0.777 Ht$	589	0.758	1.288
<i>Larix leptolepis</i>	$Hw = -1.045 + 0.861 Ht$	327	0.868	1.579
<i>Quercus variabilis</i>	$Hb = 2.390 + 0.390 Ht$	478	0.682	1.258
<i>Quercus mongolica</i>	$Hb = 2.170 + 0.412 Ht$	437	0.468	1.261
<i>Pinus koraiensis</i>	$Hb = 1.200 + 0.477 Ht$	589	0.479	1.461
<i>Larix leptolepis</i>	$Hb = 0.068 + 0.611 Ht$	327	0.663	2.044

<표 1-24> 수종별 수관폭-흉고직경의 allometric 함수식

Species	Equation	n	R <sup>2</sup>	S <sub>y,x</sub>
<i>Quercus variabilis</i>	$CW = 3.708 + 0.054 DBH$	478	0.058	1.049
<i>Quercus mongolica</i>	$CW = 3.794 + 0.046 DBH$	437	0.045	1.011
<i>Pinus koraiensis</i>	$CW = 3.235 + 0.078 DBH$	589	0.083	1.083
<i>Larix leptolepis</i>	$CW = 3.578 + 0.067 DBH$	327	0.108	1.118

<표 1-25> 수종별 흉고직경에 의한 흉고단면적 성장함수식

Species	Form	Equation	n	R <sup>2</sup>	S <sub>y,x</sub>
<i>Quercus variabilis</i>	D1	$\ln\Delta BA = -0.734 + 1.128 \ln DBH$	143	0.487	0.359
	D2	$\ln\Delta BA = 3.380 - 15.121 DBH^{-1}$	143	0.507	0.352
	D3	$\ln\Delta BA = -0.153 - 0.253 DBH - 0.006 DBH^2$	143	0.517	0.350
<i>Quercus mongolica</i>	D4	$\ln\Delta BA = -1.116 + 1.268 \ln DBH$	137	0.510	0.337
	D5	$\ln\Delta BA = 3.543 - 17.692 DBH^{-1}$	137	0.539	0.327
	D6	$\ln\Delta BA = -0.400 - 0.271 DBH - 0.006 DBH^2$	137	0.543	0.327
<i>Pinus koraiensis</i>	D7	$\ln\Delta BA = 0.150 + 0.936 \ln DBH$	180	0.415	0.306
	D8	$\ln\Delta BA = 3.543 - 12.324 DBH^{-1}$	180	0.402	0.309
	D9	$\ln\Delta BA = 1.179 - 0.134 DBH - 0.002 DBH^2$	180	0.414	0.307
<i>Larix leptolepis</i>	D10	$\ln\Delta BA = -1.407 + 1.347 \ln DBH$	82	0.605	0.279
	D11	$\ln\Delta BA = 4.038 - 27.310 DBH^{-1}$	82	0.632	0.269
	D12	$\ln\Delta BA = -0.451 + 0.234 DBH - 0.004 DBH^2$	82	0.637	0.269

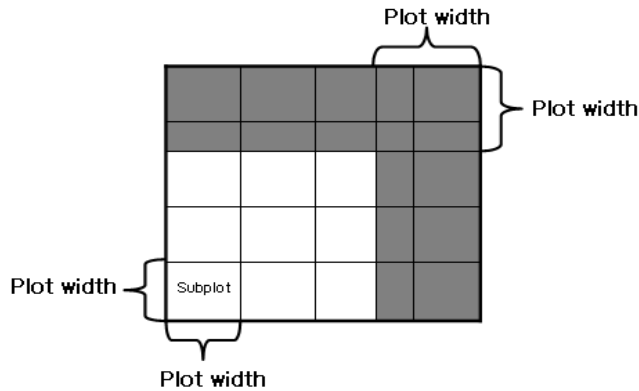
<표 1-26> 다중회귀를 이용한 수종별 흉고단면적 성장함수식

Species	Form	Equation	n	R <sup>2</sup>	S <sub>y,x</sub>
<i>Quercus variabilis</i>	D13	$\ln\Delta BA = -0.415 + 0.737 \ln DBH + 0.185 CC$	143	0.538	0.342
	D14	$\ln\Delta BA = 0.455 + 0.784 \ln DBH - 0.027 CI$	143	0.503	0.355
<i>Quercus mongolica</i>	D15	$\ln\Delta BA = 0.862 + 0.614 \ln HT + 0.748 \ln RD$	137	0.480	0.349
	D16	$\ln\Delta BA = 0.312 + 0.934 \ln HT - 0.029 CI$	137	0.443	0.361
<i>Pinus koraiensis</i>	D17	$\ln\Delta BA = 0.238 + 0.778 \ln DBH + 0.084 CC$	180	0.434	0.302
	D18	$\ln\Delta BA = 1.428 + 0.528 \ln HT + 0.546 \ln RD$	180	0.395	0.312
<i>Larix leptolepis</i>	D19	$\ln\Delta BA = 1.130 + 0.564 \ln HT + 0.985 \ln RD$	82	0.610	0.279

### c. 시뮬레이션 표준지 설계

본 연구의 시뮬레이션 표준지 설계는 천연활엽수림과 인공침엽수림에 설치된 모델림에 대하여 개체목의 경쟁에 따른 생장을 감지하기 위하여 상층목(중간목, 준우세목, 우세목)의 평균수관반경의 3.5배에 해당하는 면적에 대한 정방형 표준지 크기로 나누어서 시뮬레이션을 실시하였다<그림 1-33>.





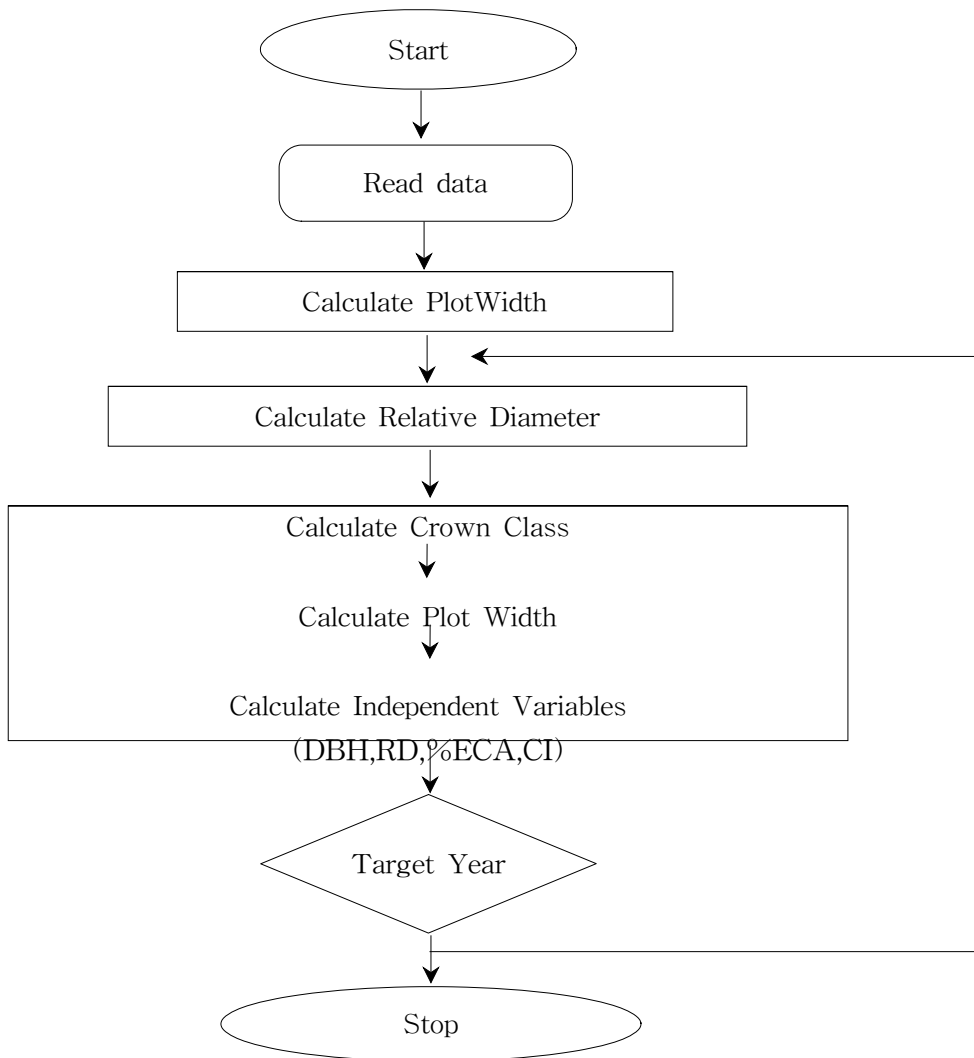
<그림 1-33> 시물레이션 표준지 설계

표준지폭(Plot width)으로 보조표준지(subplot)를 나누어서 좌에서 우로 이동하고 표준지 폭이 40m를 넘게 될 때는 40m 지점에서 반대로 표준지폭 길이만큼 이동하여 보조표준지를 설계하였다. 이 보조표준지를 이용하여 상대직경, 상대수고, 경쟁지수가 계산된다. 각 임목별 수관급은 상대직경에 의해서 결정되며 조사된 자료를 이용하여 수관급에 따른 상대직경을 다음 기준에 의해서 산출하였다.

<표 1-27> 상대직경에 의한 수관급 결정방법

Crown Class	Relative Diameter
Dominant tree	$\geq 0.95$
Co-dominant tree	$0.70 \leq RD < 0.95$
Intermediate tree	$0.40 \leq RD < 0.70$
Suppressed tree	$0.20 \leq RD < 0.40$
Sapling	$\leq 0.20$

보조표준지내의 최대 상대직경은 2.5로 정하였으며 보조표준지내에 한 임목이 존재하는 경우에 대해서는 상대직경에 1.8의 값을 부여하였다. 지금까지 시물레이션의 전체적인 공정은 아래의 Flowchart와 같다.



<그림 1-34> 성장모델 시뮬레이션을 위한 단목·임분 통계 흐름도

### 3) 성장모델 검정

조제된 수종별 흉고단면적성장함수식 모델의 정확성을 판단하기 위하여 오차제곱근(RMSE), 절대평균잔차(MAE), 절대평균잔차퍼센트(MA%E), 적합도지수(FI)에 의하여 오차검정을 실시하였다. 그 식을 나열하면 다음과 같다.

$$\text{RMSE} = \{[\sum(y_i - \hat{y}_i)^2/n]\}^{0.5}$$

$$\text{MAE} = (\sum |y_i - \hat{y}_i|)/n$$

$$\text{MA\%E} = 100[\sum(|y_i - \hat{y}_i|/|y_i|)]/n$$

$$\text{FI}(R^2) = 1 - \sum(y_i - \hat{y}_i)^2 / \sum(y_i - \bar{y})^2$$

#### 4) 시뮬레이션을 위한 시업모델 제시

##### a. 천연활엽수림 시뮬레이션을 위한 간벌방법

###### ㉔ 무 간벌(No Treatment)

대조구로서 시뮬레이션 동안 간벌 없이 시행되며, 다른 간벌방법과 비교·분석하였다.

###### ㉕ 균일 상층간벌(Area Wide Thinning)

상층을 점유하고 있는 임목을 수관도(overhead view)를 보면서 일정한 임목간격으로 벌도하는 방법으로 간벌강도는 전체 흉고단면적에 10%, 20%, 30%를 벌도하고 간벌시기는 15년 간격으로 시뮬레이션 첫해(0year)와 15년 후에, 2번에 걸쳐 시행하였고 최종 30년 후의 임분상태를 비교·분석하였다.

###### ㉖ 수관확장간벌(Crown Release)

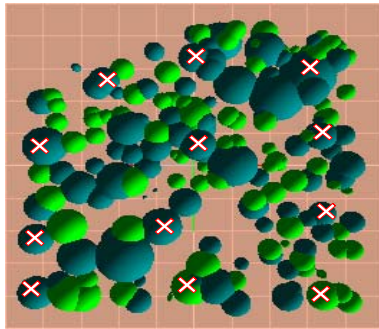
우선 미래목을 선정하여 미래목과 수관이 밀접한 임목을 벌도 시행하는 간벌방법으로 간벌강도 및 간벌시기는 위와 동일하게 적용하였다.

###### ㉗ 상층간벌(High Thinning)

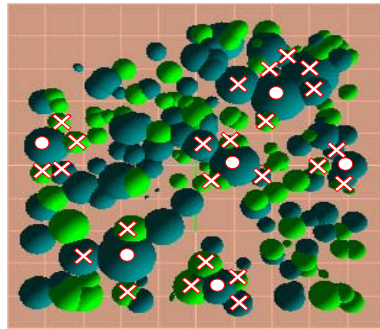
임목의 상층을 점유하는 흉고직경이 가장 큰 임목부터 간벌을 시행하는 방법으로 간벌강도 및 간벌시기는 위와 동일하게 적용하였다.

###### ㉘ 하층간벌(Low Thinning)

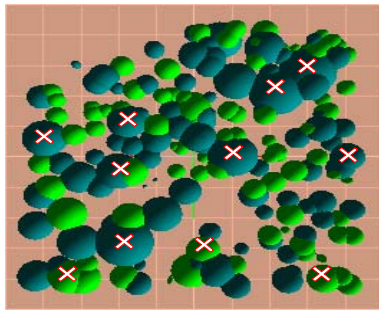
하층의 임목으로 흉고직경이 가장 작은 임목부터 우선적으로 제거하는 간벌방법으로 간벌강도 및 간벌시기는 위와 동일하게 적용하였다.



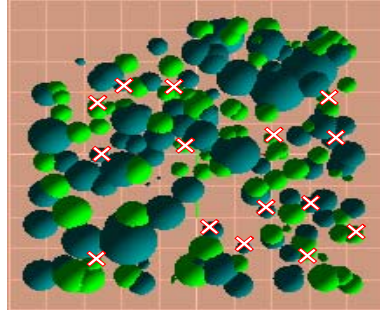
Area Wide Thinning



Crown Release



High Thinning



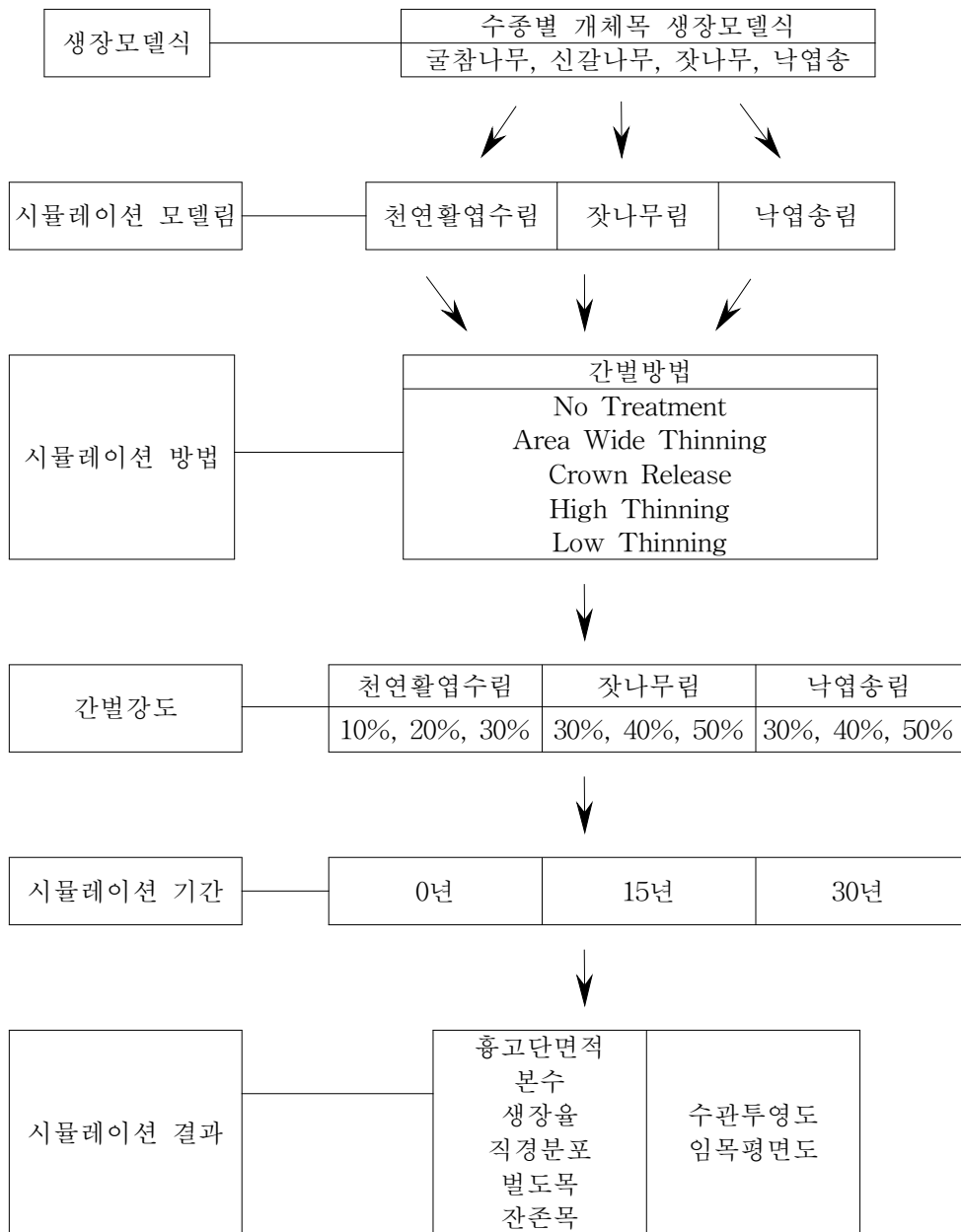
Low Thinning

<그림 1-33> 시뮬레이션을 위한 간벌방법 적용 (천연활엽수림)

#### b. 잣나무·낙엽송 임분 시뮬레이션을 위한 간벌방법

간벌방법은 천연활엽수림과 같은 방법으로 적용하였으며, 간벌강도는 전체 흉고단면적에 30%, 40%, 50%를 별도하고, 간벌시기는 15년 간격으로 시뮬레이션 첫째(0year)와 15년 후에, 2번에 걸쳐 시행하였고 최종 30년 후의 임분상태를 비교·분석하였다.

이상의 수종별 모델식과 임상별 시업방법에 대한 시뮬레이션방법을 정리하면 다음과 같다.



<그림 1-34> 주요 임분에 대한 간벌방법 시물레이션 결과 흐름도

### 5) 시뮬레이션을 위한 통합 산림성장모델 시스템 구축

시뮬레이션을 위한 수종별 흉고단면적 성장모델식은 다중회귀모델을 이용하였으며, 오차검정을 통하여 최적 모델식을 선정하였다. 다만, 굴참나무와 신갈나무의 경우, 두 수종 간에 모델식간에 차이가 없어 하나의 역수식으로 조제한 모델을 적용하였고, 잣나무는 흉고직경과 수관급을 독립변수로 하는 모델식, 낙엽송은 흉고직경을 1변수로 하는 역수식을 채택하여 시뮬레이션에 적용하였다.

<표 1-28> 시뮬레이션을 위한 흉고단면적 성장모델식 적용

Species	Equation
<i>Quercus variabilis</i> <i>Quercus mongolica</i>	$\ln \Delta BA = 3.445 - 16.162 \text{ DBH}^{-1}$
<i>Pinus koraiensis</i>	$\ln \Delta BA = 0.238 + 0.778 \ln \text{DBH} + 0.084 \text{ CC}$
<i>Larix leptolepis</i>	$\ln \Delta BA = 4.038 - 27.310 \text{ DBH}^{-1}$

또한 3-D 표현을 위한 각 개체목 Allometric 성장모델식은 <표1-23>과 <표1-24>에 제시한 단순회귀모델이 적용되었다.

<표 1-29> 시뮬레이션을 위한 개체목 성장모델식 적용

Species	Equation	Species	Equation
<i>Quercus variabilis</i>	$\ln \text{HT} = 0.332 + 0.777 \ln \text{DBH}$	<i>Pinus koraiensis</i>	$\ln \text{HT} = 0.264 + 0.804 \ln \text{DBH}$
	$\text{MCR} = 3.708 + 0.054 \text{ DBH}$		$\text{MCR} = 3.235 + 0.078 \text{ DBH}$
	$\text{HW} = 0.040 + 0.767 \text{ HT}$		$\text{HW} = -0.218 + 0.777 \text{ HT}$
	$\text{HB} = 2.390 + 0.390 \text{ HT}$		$\text{HB} = 1.200 + 0.477 \text{ HT}$
<i>Quercus mongolica</i>	$\ln \text{HT} = 0.349 + 0.770 \ln \text{DBH}$	<i>Larix leptolepis</i>	$\ln \text{HT} = 3.515 - 13.711 \text{ DBH}^{-1}$
	$\text{MCR} = 3.794 + 0.046 \text{ DBH}$		$\text{MCR} = 3.578 + 0.067 \text{ DBH}$
	$\text{HW} = -0.048 + 0.775 \text{ HT}$		$\text{HW} = -1.045 + 0.861 \text{ HT}$
	$\text{HB} = 2.170 + 0.412 \text{ HT}$		$\text{HB} = 0.068 + 0.611 \text{ HT}$

따라서 시뮬레이션을 위한 위 성장모델식들은 시뮬레이터에 입력되어 단목의 성장 및 임분성장 발달과정을 파악할 수 있도록 컴퓨터 통합시스템을 구축하여 시뮬레이션을 아래와 같이 실시하였다.

<통합 성장모델 시스템 구축>

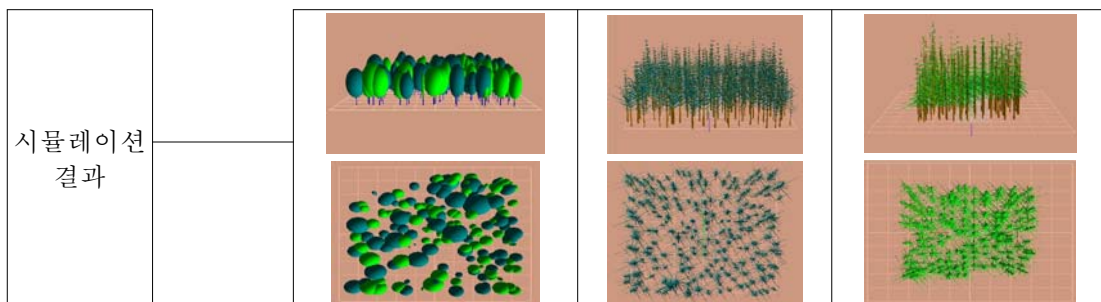
BA 성장 모델	굴참나무	신갈나무	잣나무	낙엽송
	$\ln \Delta BA = 3.445 - 16.162 DBH^{-1}$		$\ln \Delta BA = 0.238 + 0.778 \ln DBH + 0.084 CC$	$\ln \Delta BA = 4.038 - 27.310 DBH^{-1}$



개체목 성장 모델	굴참나무	신갈나무
	$\ln HT = 0.332 + 0.777 \ln DBH$ $CW = 3.708 + 0.054 DBH$ $HW = 0.040 + 0.767 HT$ $HB = 2.390 + 0.390 HT$	$\ln HT = 0.349 + 0.770 \ln DBH$ $CW = 3.794 + 0.046 DBH$ $HW = -0.048 + 0.775 HT$ $HB = 2.170 + 0.412 HT$
	잣나무림	낙엽송림
	$\ln HT = 0.264 + 0.804 \ln DBH$ $CW = 3.235 + 0.078 DBH$ $HW = -0.218 + 0.777 HT$ $HB = 1.200 + 0.477 HT$	$\ln HT = 3.515 - 13.711 DBH^{-1}$ $CW = 3.578 + 0.067 DBH$ $HW = -1.045 + 0.861 HT$ $HB = 0.068 + 0.611 HT$



시뮬레이션	천연활엽수 모델링	잣나무 모델링	낙엽송 모델링
-------	-----------	---------	---------



<그림 1-35> 통합 성장모델 시스템 구축 흐름도

## (2) 연구 결과 및 분석

### 1) 시뮬레이션 모델링 입분 제원 분석

시뮬레이션을 위한 모델링은 조제된 수종별 성장모델식을 적용할 수 있는 각각의 영구표준지 현장에서 표 9과 같은 자료를 수집하였다. 천연활엽수 모델링은 본수가 1,212본/ha, 평균연령은 38년생, 평균 흉고직경 14.2cm, 평균수고는 11.4m인 천연활엽수림이다. 잣나무와 낙엽송 모델링은 연령이 각각 32년생, 43년생의 인공동령 침엽수림이며 평균 흉고직경은 각각 19.8cm, 20.3cm로 나타났고 평균수고는 14.4m, 21.2m로 각각 나타났다.

<표 1-30> 시뮬레이션 모델링 입분제원 현황

Model Forest	Size	No.of trees(ha)	Age	BA (m <sup>2</sup> /ha)	DBH (cm)	Height (m)
Natural deciduous	20m×80m	1,212	38(20-54)*	8.9	14.2(6.2-31.3)	11.4(5.0-21.0)
<i>Pinus koraiensis</i>	50m×50m	852	32	27.6	19.8(9.9-32.9)	14.4(11.0-20.3)
<i>Larix leptolepis</i>	30m×30m	560	43	18.8	20.3(8.9-34.0)	21.2(13.7-29.5)

\* Mean(Min-Max)

### 2) 흉고단면적성장모델 검정결과

수종별로 조제된 흉고단면적 성장함수식<표1-25>와 <표1-26>에 대한 오차 검정통계량은 오차제곱근(RMSE)과 절대평균잔차(MAE), 절대평균잔차퍼센트(MA%E)와 적합도지수(FI)를 이용하였다. 검정통계량에서 오차가 낮은 순으로 해서 순위가 가장 높은 함수식을 최적 모델식으로 채택하였다. 수종별 흉고직경 독립변수에 의한 성장함수식의 오차검정 결과, 굴참나무 D2, 신갈나무 D6, 잣나무 D7, 낙엽송 D11이 가장 정확한 것으로 나타났으며, 수종별 성장함수식에 대한 검정통계량은 <표1-31>과 같다.



<표 1-31> 수종별 흉고직경 독립변수에 의한 성장함수식 오차검정 결과

Species	Form	RMSE	MAE	MA%E	FI
<i>Quercus variabilis</i>	D1	3.87	3.10	31.16	0.35
	D2	3.70	2.95	30.31	0.41
	D3	4.12	3.22	29.92	0.27
<i>Quercus mongolica</i>	D4	3.55	2.73	27.87	0.37
	D5	3.30	2.57	26.85	0.45
	D6	3.29	2.57	27.89	0.46
<i>Pinus koraiensis</i>	D7	4.52	3.62	25.78	0.39
	D8	4.56	3.67	26.34	0.38
	D9	4.59	3.81	28.19	0.37
<i>Larix leptolepis</i>	D10	4.03	3.26	23.17	0.54
	D11	3.80	3.08	22.19	0.59
	D12	4.17	3.26	21.74	0.50

수종별 다양한 독립변수를 이용한 흉고단면적 성장함수식은 다중회귀모델로 이들의 오차검정 결과, 굴참나무는 D14, 낙엽송의 경우 D18이 가장 정확한 것으로 나타났으며, 신갈나무와 잣나무는 D15와 D16 함수식으로 결정하였다<표 1-32>.

<표 1-32> 수종별 다양한 독립변수를 이용한 흉고단면적 성장함수식 오차검정 결과

Species	Form	RMSE	MAE	MA%E	FI
<i>Quercus</i>	D13	3.84	3.01	30.85	0.37
<i>variabilis</i>	D14	3.55	2.76	28.33	0.46
<i>Quercus mongolica</i>	D15	3.71	2.84	29.33	0.31
<i>Pinus koraiensis</i>	D16	4.44	3.58	25.41	0.41
<i>Larix</i>	D17	5.61	4.20	27.34	0.10
<i>leptolepis</i>	D18	3.93	3.12	21.93	0.56

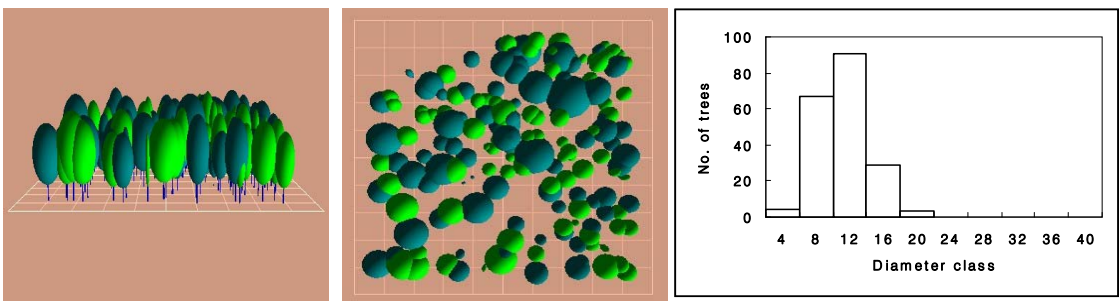
### 3) 천연활엽수림의 성장시물레이션

천연활엽수림 시업을 위한 시물레이션은 무간벌(No Treatment), 균일상층간벌(Area Wide Thinning), 수관확장간벌(Crown Release), 상층간벌(High Thinning), 하층간벌(Low Thinning)의 5가지 방법을 이용하여 간벌강도를 흉고단면적 10%, 20%, 30%를 별도 했을

때의 임분 상태를 15년 간격으로 정리하였다.

**a. 초기 천연활엽수 모델링 임분상태**

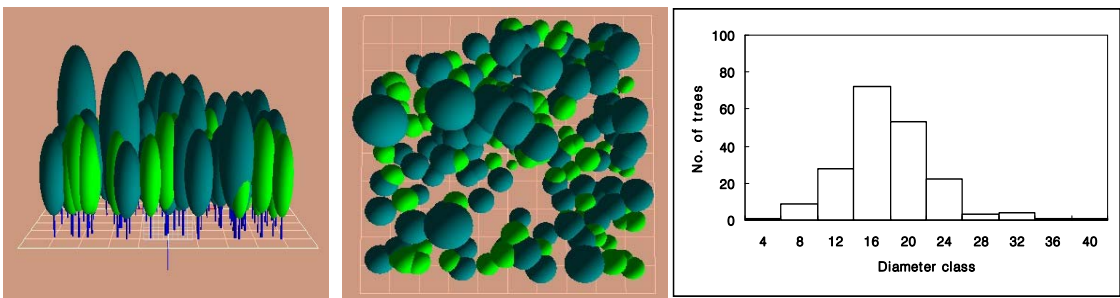
초기 천연활엽수림은 시뮬레이션하기 전의 임분 초기 상태로 초록색은 신갈나무이고, 연두색으로 나타난 임목은 굴참나무이다. 초기 임분의 흉고단면적 합계는 8.9m<sup>2</sup>/ha이고, 평균 DBH는 9.3cm이다. ha당 본수는 1,212본/ha이다. 직경분포와 임목평면도를 볼 때 전형적인 동령림 구조를 보이고 있는 천연활엽수림인 것을 알 수 있다.



<그림 1-36> 천연활엽수림의 초기 임분 상태

**b. 무 간벌에 시뮬레이션**

무 간벌로 30년 동안 시뮬레이션 한 직경분포는 정규분포의 패턴을 보이고 있으며, 초기 (0 year)에 비하여 DBH폭이 넓은 분포를 보이고 있다. 수관투영도에서도 초기에는 수관사이에 많은 공간이 있었지만, 30년 후에 수관사이의 공간이 작아져 있음을 알 수 있다. 임목 평면도도 0yr보다 수관수직층이 차이가 있음을 알 수 있다.

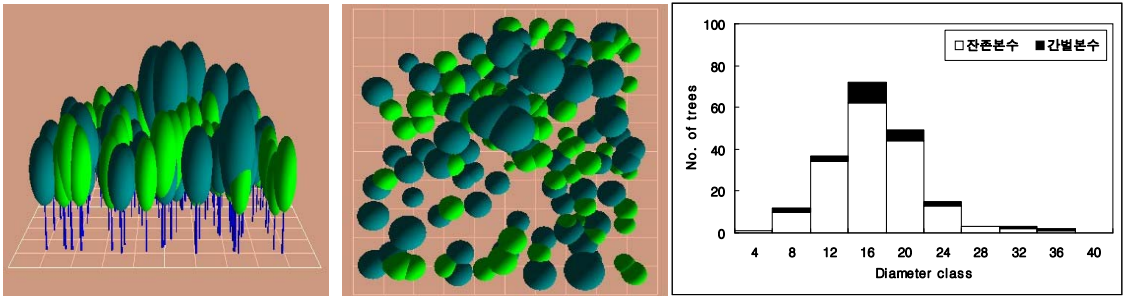


<그림 1-37> 천연활엽수림의 무간벌 30년 직후의 시뮬레이션 결과

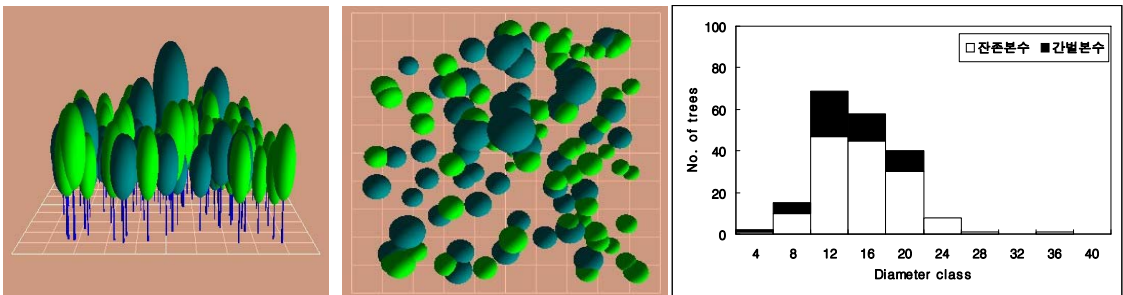
### c. 균일상층간별 시물레이션

30년 후 직경분포는 정규분포의 패턴을 보이고 있으며 간별강도가 커짐에 따라 벌도목의 양(검은색)이 증가하고 있다. 초기(0 year)에 비하여 DBH폭이 넓은 분포를 보이고 있으며, 수관투영도에서도 간별강도에 따라 공간이 넓어지고 있는 것을 알 수 있다. 초기에는 수관 사이에 많은 공간이 있었지만, 30년 후에 수관 사이의 공간이 작아져 있음을 알 수 있다.

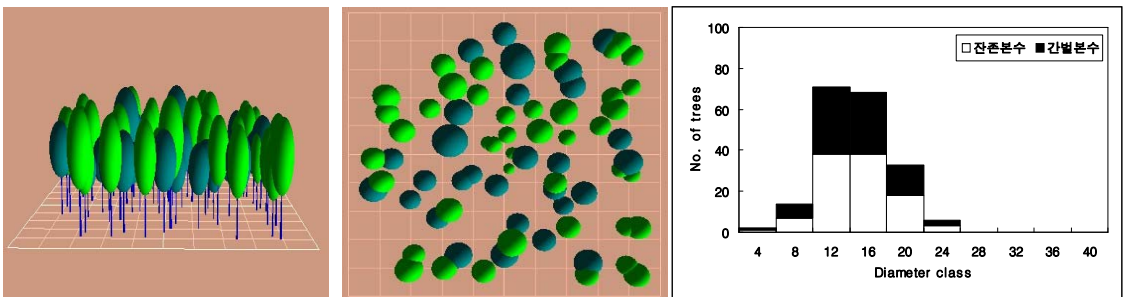
(10% 간별)



(20% 간별)



(30% 간별)

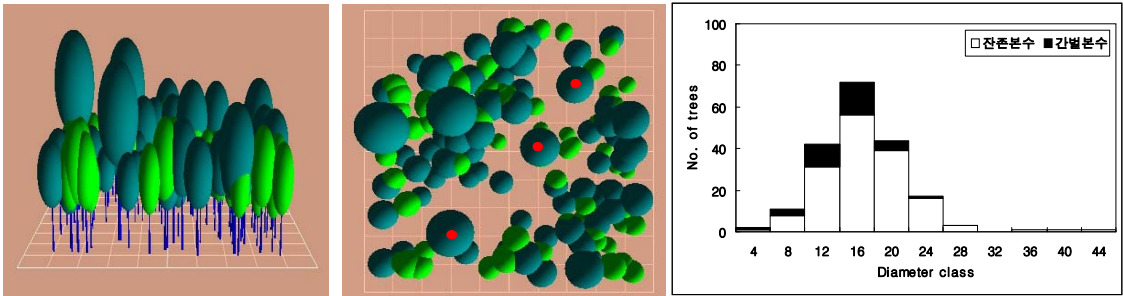


<그림 1-38> 천연활엽수림의 균일상층간별 30년 직후의 시물레이션 결과

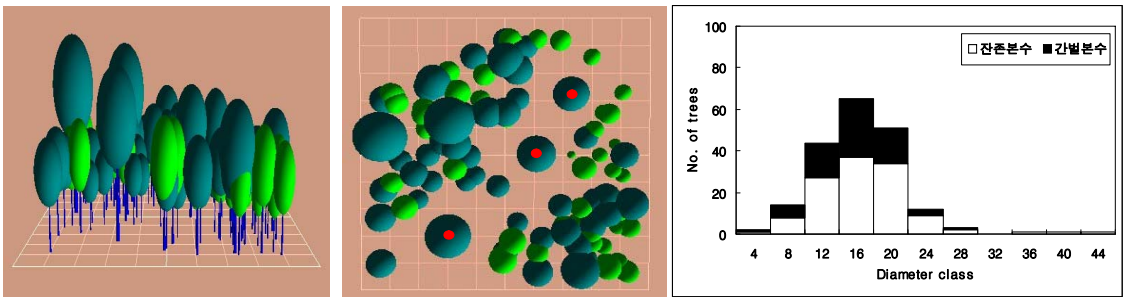
#### d. 수관확장간별 시물레이션

본 간별방법은 미래목을 선정하고 주위 임목을 간별하는 방법으로 균일상층간별에 의한 방법보다 임목생장률이 상대적으로 좋은 것으로 나타났다(3.3~3.9%). 30년 후의 수관투영도에서도 많은 공간이 확보되어 차세대 임목육성 확보에 효과적일 수 있으며, 향후 이 방법을 도입하여 휴양림이나 자연환경림 조성에 이용해 볼 수 있다고 사료된다.

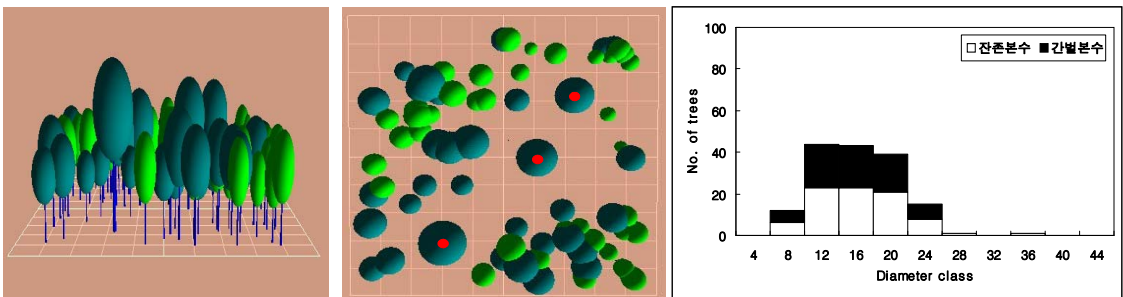
(10% 간별)



(20% 간별)



(30% 간별)

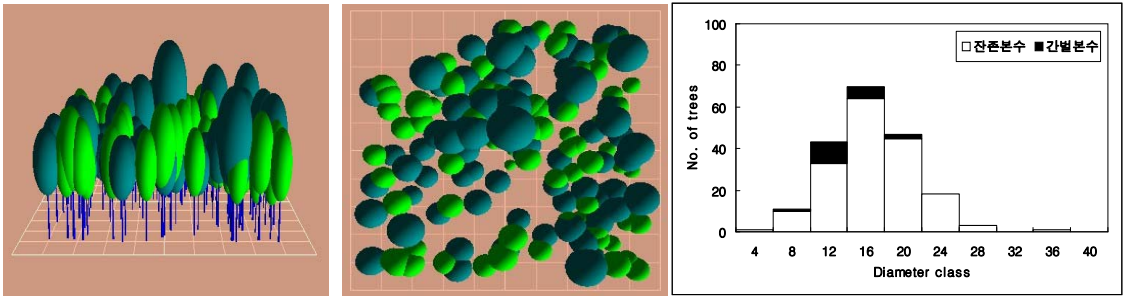


<그림 1-39> 천연활엽수림의 수관확장간별 30년 직후의 시물레이션 결과

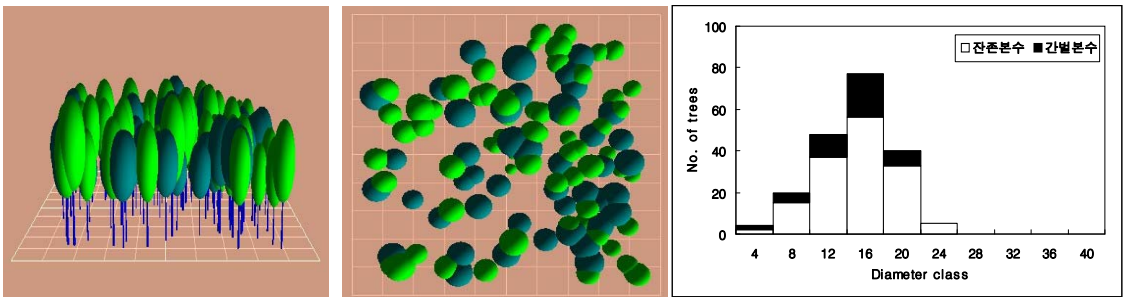
**e. 상층간별 시물레이션**

이 방법은 해당임지에서 흉고직경이 큰 상층목부터 임목을 벌도하는 방법으로 본 연구에서는 DBH가 가장 큰 임목부터 벌도를 하였다. 이 방법은 성장에서 균일상층 간별방법과 거의 차이가 없는 것으로 나타났으나 수관투영도에서는 균일상층 간별이 더욱 많은 공간을 차지하는 것으로 나타났다.

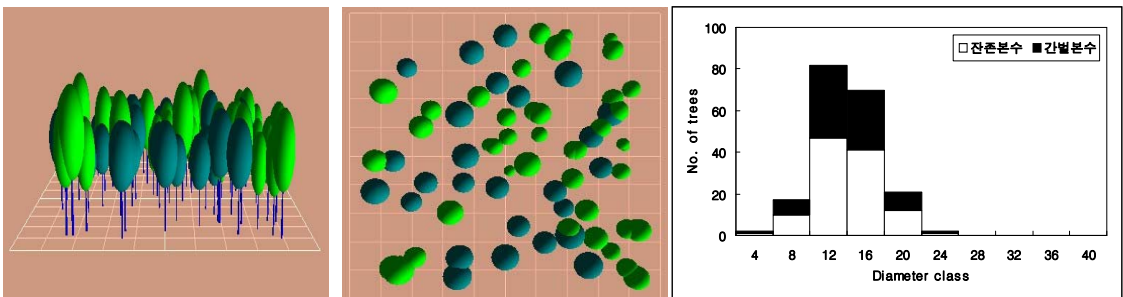
(10% 간별)



(20% 간별)



(30% 간별)

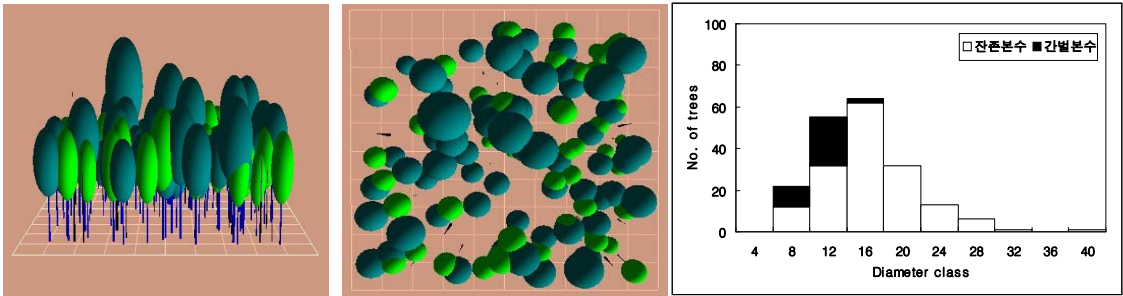


<그림 1-40> 천연활엽수림의 상층간별 30년 직후의 시물레이션 결과

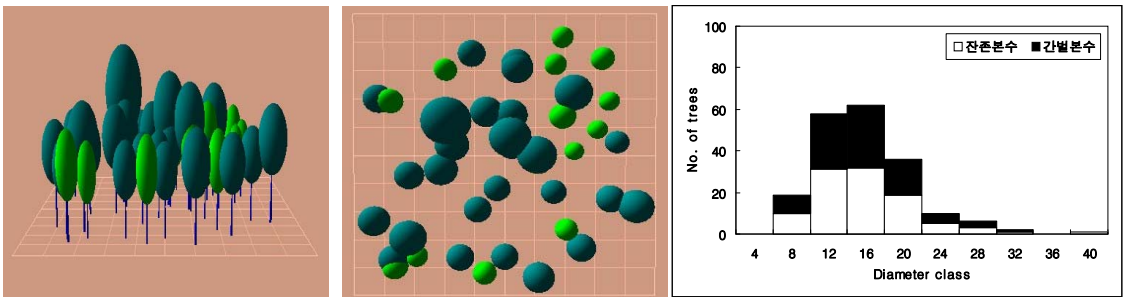
### f. 하층간벌(low thinning) 시물레이션

이 방법은 해당 모델링에서 흉고직경이 작은 하층목부터 임목을 별도하는 방법으로 어느 간벌방법보다도 잔존목 생장이 빠른 것으로 나타났다(생장률 3.4~4.4%). 그 이유는 하층목의 흉고직경이 작아 상대적으로 많은 본수를 별도 했기 때문에 임지 내에 적은 본수로 상대적으로 빠른 생장을 가져온 것으로 사료된다.

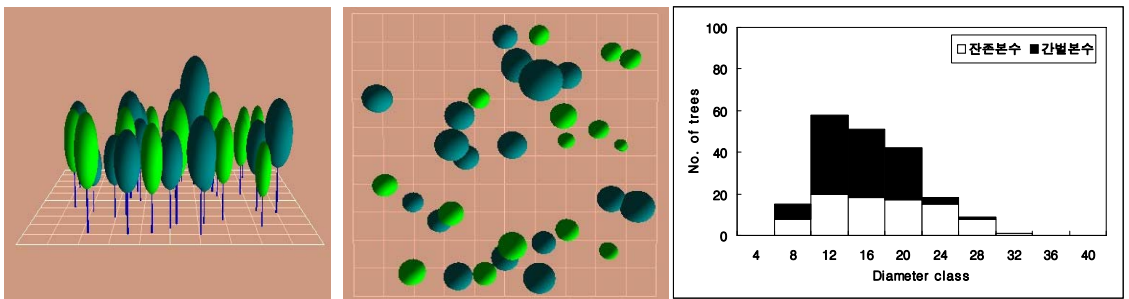
(10% 간벌)



(20% 간벌)



(30% 간벌)



<그림 1-41> 천연활엽수림의 하층간벌 30년 직후의 시물레이션 결과

**g. 천연활엽수림 시물레이션 종합**

무간벌로 30년을 시물레이션 한 결과 흉고단면적은 27m<sup>2</sup>/ha로 30년 동안 18.1m<sup>2</sup>이 증가하였으며, 매년 0.60m<sup>2</sup>씩 증가한 것으로 나타났다. Pressler식에 의한 성장률은 평균 3.4%가 증가하는 것으로 나타났다. 균일상층간벌과 상층간벌은 대부분 간벌강도별 흉고단면적이 비슷한 범위를 보이고 있으며, 성장률도 2.9~3.3%로 비슷한 범위를 보이고 있다. 이는 간벌형식이 비슷한 간벌방법으로 비슷한 결과를 보이는 것으로 나타났다 <표 1-33>. 한편 간벌방법 중에서 하층간벌이 가장 성장율이 좋은 것으로 나타났으며, 이는 간벌강도가 심할수록 잔존목의 성장률은 증가하는 추세로 피압목 및 중간목에 대한 많은 양의 임목이 별도되어 잔존목의 생육공간이 좋아졌기 때문으로 판단된다. 그 다음은 수관확장간벌로 미래목 주변의 임목들을 별도함으로서 생육공간이 좋아졌기 때문으로 판단된다.

<표 1-33> 천연활엽수림의 간벌방법별 ha당 흉고단면적 변화

	BA(m <sup>2</sup> /ha)			Growth ratio(%)*
	0yr	15yr	30yr	
No Treatment	8.9	15.5	27.0	3.4
Area Wide				
10%	8.0	14.8	23.8	3.3
20%	7.1	13.5	19.2	3.1
30%	6.3	12.5	18.1	3.2
Crown Release				
10%	8.0	14.4	23.6	3.3
20%	7.1	14.9	26.8	3.9
30%	6.3	14.7	20.6	3.5
High Thinning				
10%	8.0	14.6	23.4	3.3
20%	7.1	13.6	19.2	3.1
30%	6.3	12.2	15.8	2.9
Low Thinning				
10%	8.0	15.3	24.3	3.4
20%	7.1	16.3	26.9	3.9
30%	6.3	15.0	30.1	4.4

$$* P = \frac{BA_{30yr} - BA_{0yr}}{BA_{30yr} + BA_{0yr}} \times \frac{200}{30yr}$$

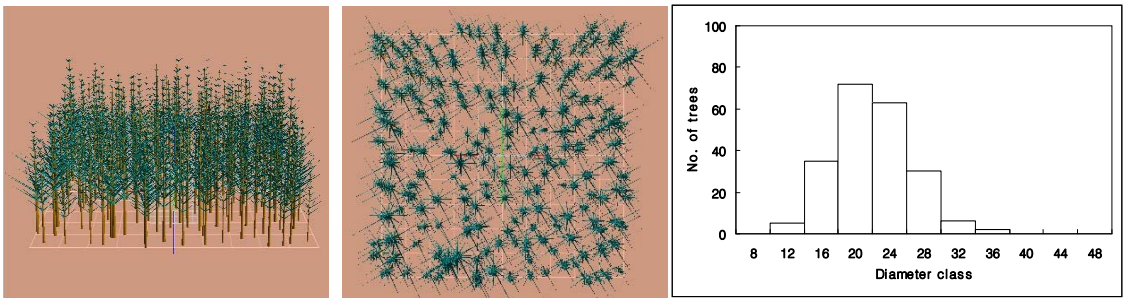
**4) 잣나무림의 성장시물레이션**

잣나무 임분의 시업을 위한 시물레이션은 무간벌(No treatment), 균일상층간벌(Area wide thinning), 수관확장간벌(Crown release), 상층간벌(High thinning), 하층간벌(Low thinning)의 5가지 방법을 이용하여 간벌강도를 흉고단면적 30%, 40%, 50%를 별도 했을 때의 임분

상태를 15년 간격으로 정리하였다.

**a. 초기 잣나무 모델림 임분상태**

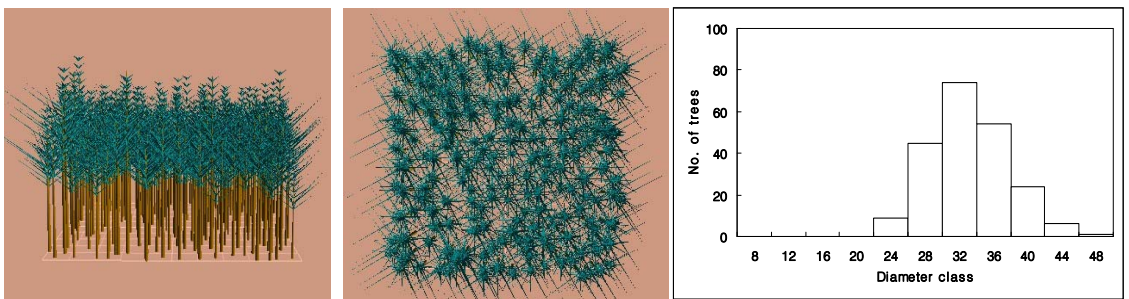
시물레이션 전의 임분 초기상태로 초기 임분의 흉고단면적 합계는 27.6m<sup>2</sup>/ha 이고, 평균 흉고직경이 19.8cm, ha당 본수는 852본으로 나타났다. 직경분포와 임목평면도를 볼 때 전형적인 동령림 구조를 보이고 있다.



<그림 1-42> 초기 잣나무림의 임분 형태

**b. 무 간벌 시물레이션**

무 간벌로 30년 동안 시물레이션한 결과, 직경분포는 정규분포의 패턴을 보이고 있으며 초기에 비하여 DBH폭이 증가한 것으로 나타났다. 수관투영도에서도 초기는 수관사이에 약간의 공간이 있었지만, 30년 후에 수관사이의 공간이 없어져 울폐된 것을 알 수 있고 임목평면도의 초기보다 수관수직층의 차이가 뚜렷하게 나타난 것을 알 수 있다.



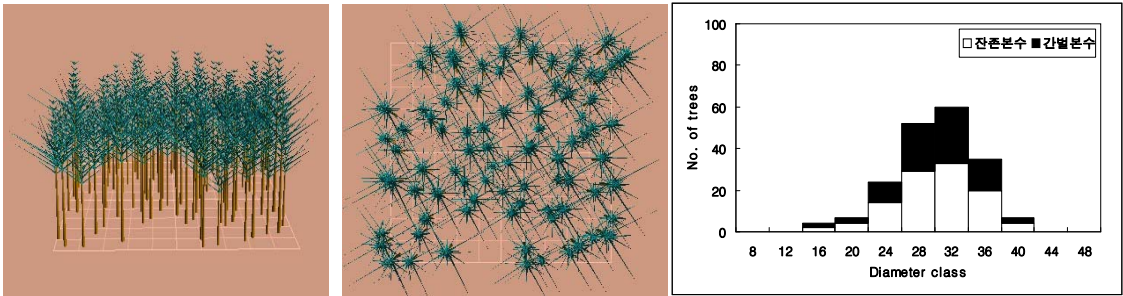
<그림 1-43> 잣나무림의 무간벌 30년 직후의 시물레이션 결과



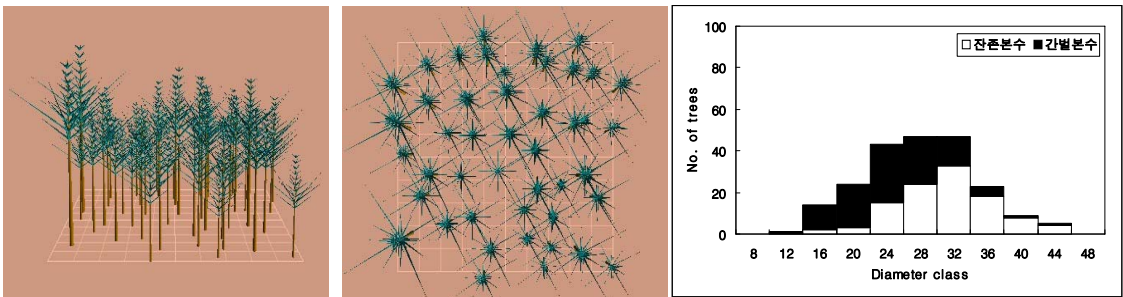
### c. 균일상층간별 시물레이션

30년 후 직경분포는 정규분포의 패턴을 보이고 있으며 간벌강도가 커짐에 따라 벌도목의 양(검은색)이 증가하고 있다. 초기에 비하여 DBH폭은 증가하였고 수관투영도에서도 초기는 수관사이에 약간의 공간이 있었지만, 30년 후에 수관사이의 공간이 작아져 있음을 알 수 있다.

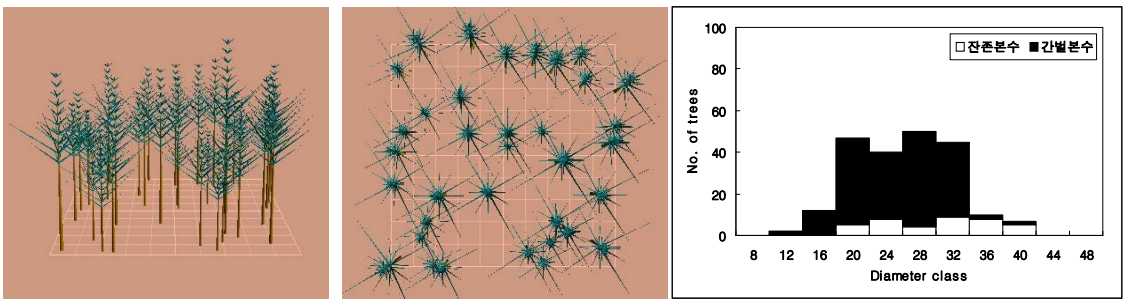
(30% 간벌)



(40% 간벌)



(50% 간벌)

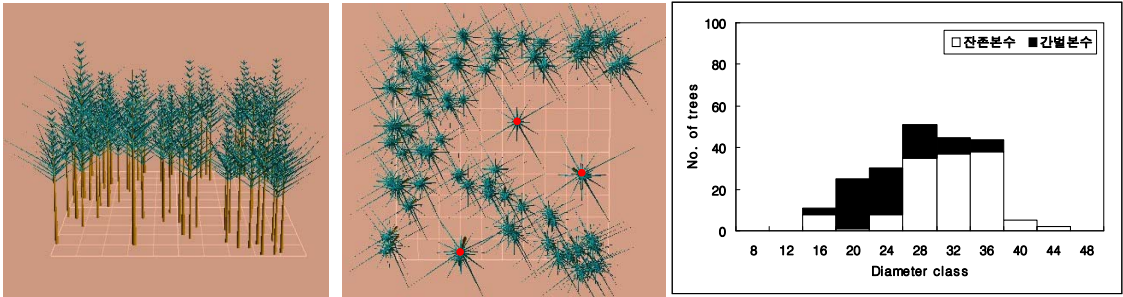


<그림 1-44> 잣나무림의 균일상층간별 30년 직후의 시물레이션 결과

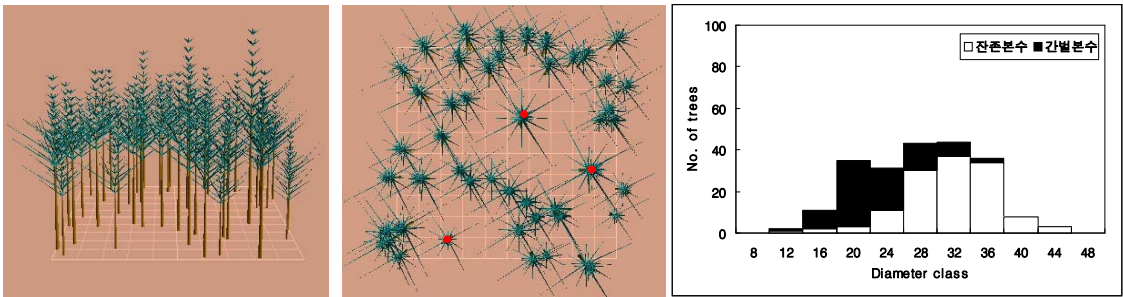
#### d. 수관확장간별 시물레이션

본 간별방법은 미래목을 선정하고 주위 임목을 간별하는 방법으로 다른 간별방법의 임목 성장률에서 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, 30년 후의 수관투영도에서는 많은 공간이 확보되어 차세대 임목육성 확보에 효과적이라고 판단된다.

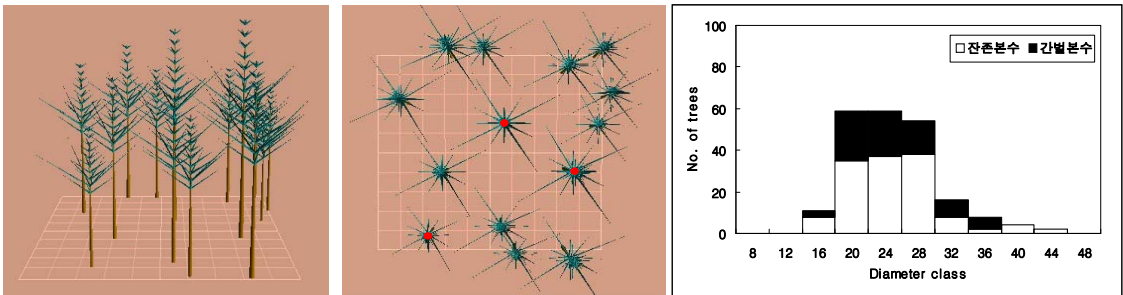
(30% 간별)



(40% 간별)



(50% 간별)

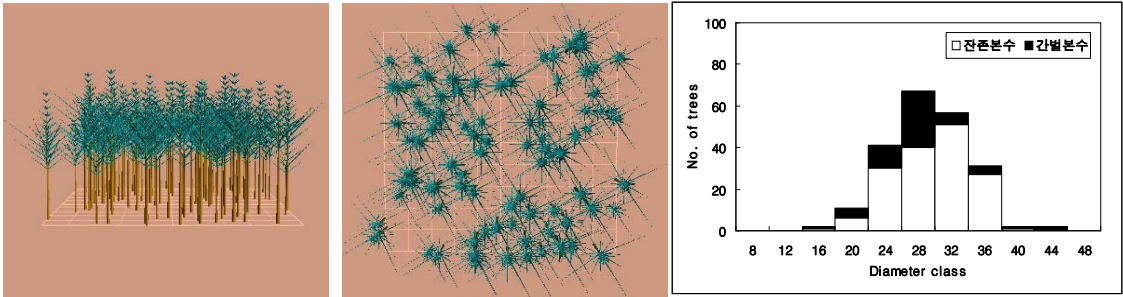


<그림 1-45> 잣나무림의 수관확장간별 30년 직후의 시물레이션 결과

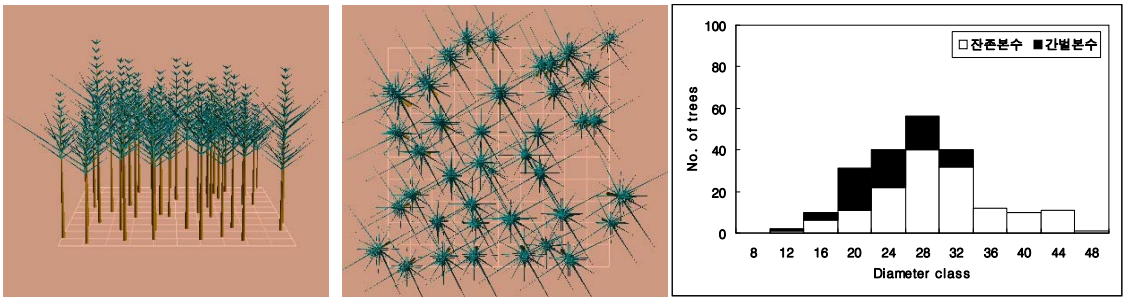
**e. 상층간벌 시물레이션**

이 방법은 해당임지에서 흉고직경이 큰 상층목부터 임목을 벌도하는 방법으로 흉고직경이 가장 큰 임목부터 벌도 하였으며, 이 방법은 균일상층간벌과 간벌형식이 비슷한 방법으로 임목생장률에서 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

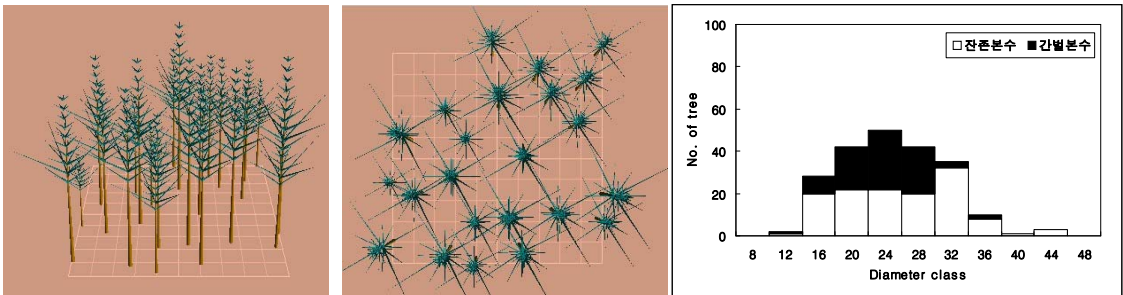
(30% 간벌)



(40% 간벌)



(50% 간벌)

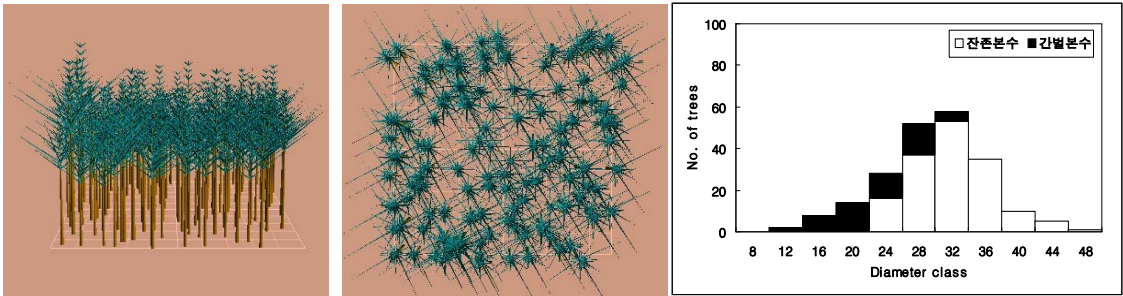


<그림 1-46> 잣나무림의 상층간벌 30년 직후의 시물레이션 결과

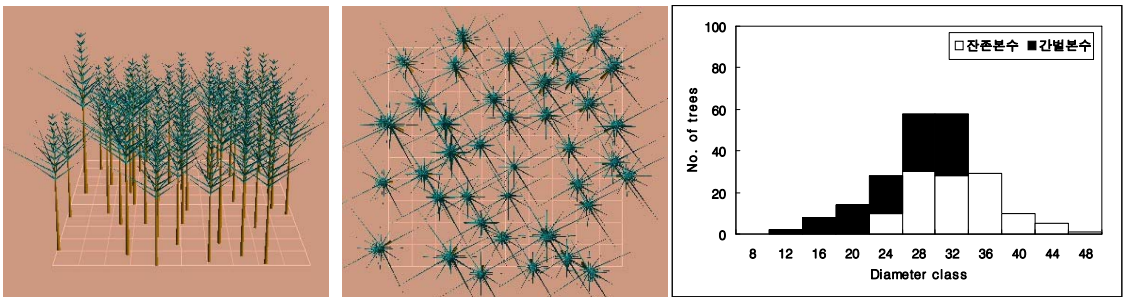
### f. 하층간벌 시물레이션

하층간벌은 해당임지에서 흉고직경이 작은 하층목부터 임목을 별도하는 방법으로 하층간벌은 다른 간벌방법보다 잔존목 생장이 상대적으로 좋은 것으로 나타났다. 그 이유는 하층목의 흉고직경이 작아 상대적으로 많은 본수를 별도 했기 때문에 임지 내에 적은 본수가 잔존되어 상대적으로 빠른 생장이 되었기 때문이다.

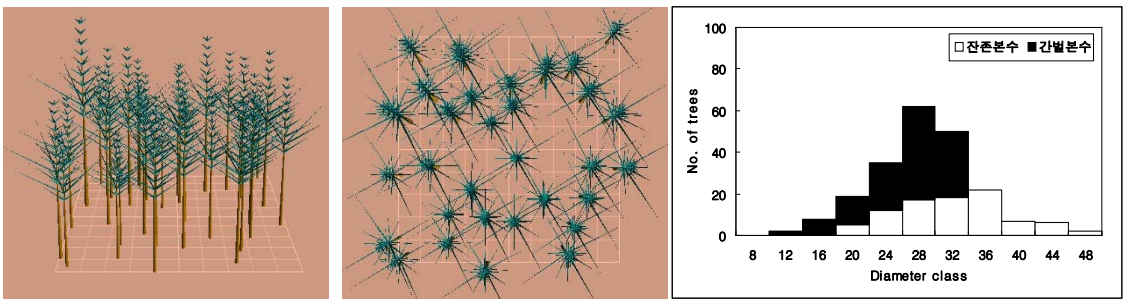
(30% 간벌)



(40% 간벌)



(50% 간벌)



<그림 1-47> 잣나무림의 하층간벌 30년 직후의 시물레이션 결과

**g. 잣나무림 시물레이션 종합**

무간벌로 30년을 시물레이션 한 결과 흉고단면적 66.4m<sup>2</sup>/ha으로 30년 동안 39.8m<sup>2</sup>이 증가하였으며, 매년 1.32m<sup>2</sup>씩 증가한 것으로 나타났다. pressler식에 의한 성장률은 평균 2.7%씩 증가하는 것으로 나타났다. 균일상층간벌의 경우 40-50%를 간벌했을 때 성장율이 같은 것으로 나타났으며, 30년 후의 흉고단면적은 50.5~61.4m<sup>2</sup>/ha의 범위를 나타내고 있다. 간벌방법 중 하층간벌로 50% 벌도했을 경우 성장률이 가장 좋은 것으로 나타났는데, 이는 피암목 및 중간목에 대한 많은 양의 임목이 벌도되어 잔존목의 생육공간이 좋아졌기 때문으로 판단된다.

<표 1-34> 잣나무림의 간벌방법별 ha당 흉고단면적 변화

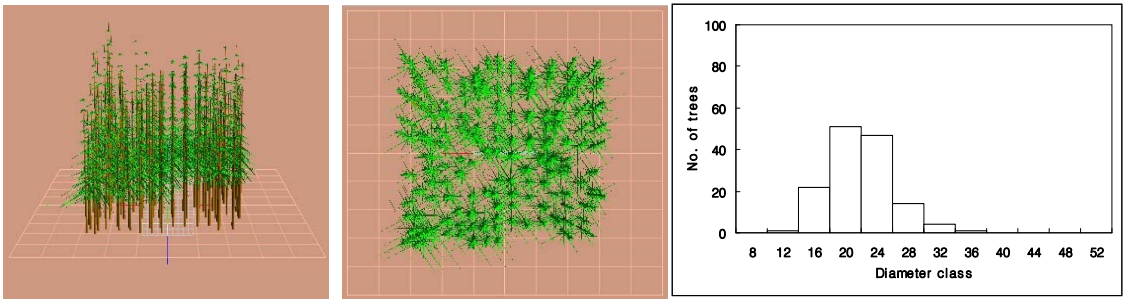
	BA(m <sup>2</sup> /ha)			Growth ratio(%)
	0yr	15yr	30yr	
No Treatment	27.6	44.7	66.4	2.7
Area Wide				
30%	19.3	41.3	57.0	3.3
40%	16.5	41.8	61.4	3.8
50%	13.6	40.6	50.5	3.8
Crown Release				
30%	19.3	45.7	63.5	3.6
40%	16.8	50.5	74.6	4.2
50%	14.0	45.0	82.2	4.8
High Thinning				
30%	15.6	44.4	65.8	4.1
40%	16.8	63.2	88.6	4.5
50%	13.6	72.1	82.9	4.8
Low Thinning				
30%	19.2	47.9	68.8	3.8
40%	16.4	53.7	76.6	4.3
50%	14.0	70.1	95.9	5.0

**5) 낙엽송림의 성장시물레이션**

낙엽송 임분의 시물레이션은 잣나무의 방법과 동일하게 적용하여 임분 상태를 정리하였다.

**a. 초기 낙엽송 모델링 임분상태**

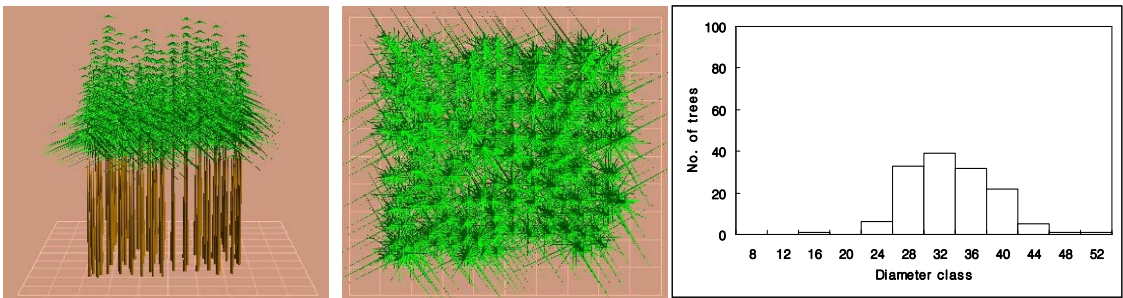
시물레이션 전의 임분 초기 상태로 흉고단면적 합계는 18.8m<sup>2</sup>/ha 이고, 평균 흉고직경이 20.3cm, ha당 본수는 560본으로 나타났다. 직경분포와 임목평면도를 볼 때 전형적인 동령림 구조를 보이고 있는 낙엽송림이다.



<그림 1-47> 초기 낙엽송림의 임분 형태

### b. 무 간벌 시물레이션

무 간벌로 30년 시물레이션한 직경분포는 정규분포의 패턴을 보이고 있으며 초기에 비하여 직경급이 상당히 증가한 것으로 나타났다. 수관투영도에서도 초기보다 30년 후에 수관의 양이 증가되어 울폐된 것을 알 수 있으며, 임목평면도의 초기보다 수관수직층의 차이가 뚜렷하게 나타난 것을 알 수 있다.

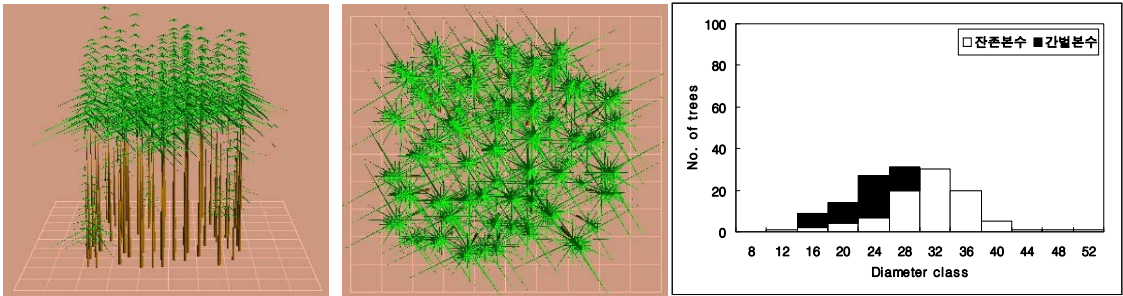


<그림 1-48> 낙엽송림의 무간벌 30년 직후의 시물레이션 결과

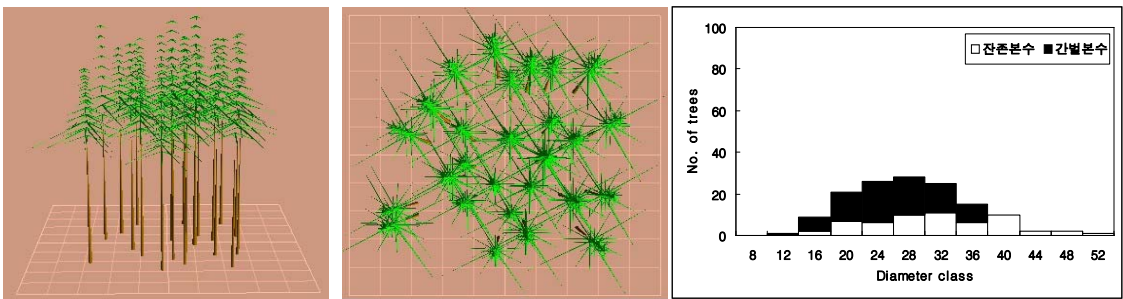
### c. 균일상층간벌 시물레이션

30년 후 직경분포는 정규분포의 패턴을 보이고 있으며 간벌강도가 커짐에 따라 벌도목의 양(검은색)이 증가하고 있다. 초기에 비하여 직경폭이 상당히 넓은 분포를 보이고 있고 수관투영도에서는 간벌강도가 커짐에 따라 간벌을 하지 않은 30년 후와 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

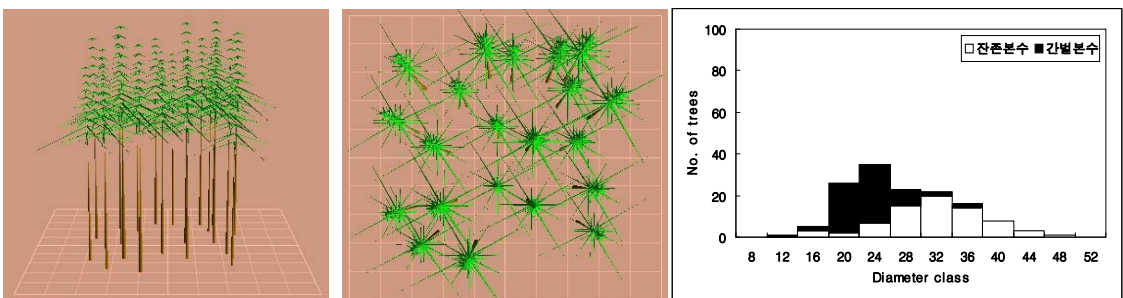
(30% 간벌)



(40% 간벌)



(50% 간벌)

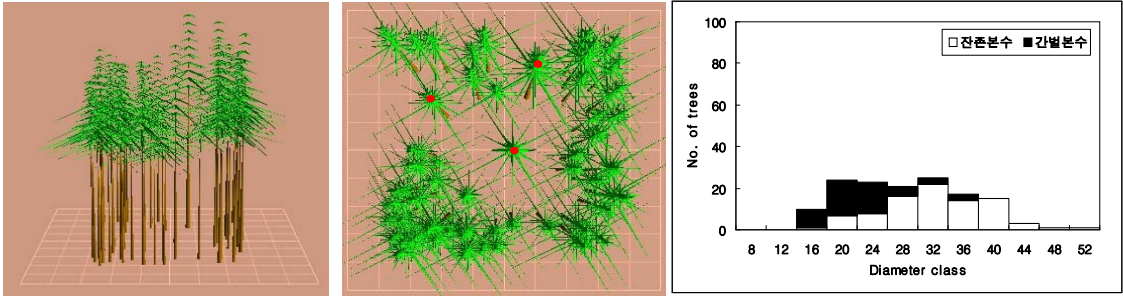


<그림 1-49> 낙엽송림의 균일상층간벌 30년 직후의 시물레이션 결과

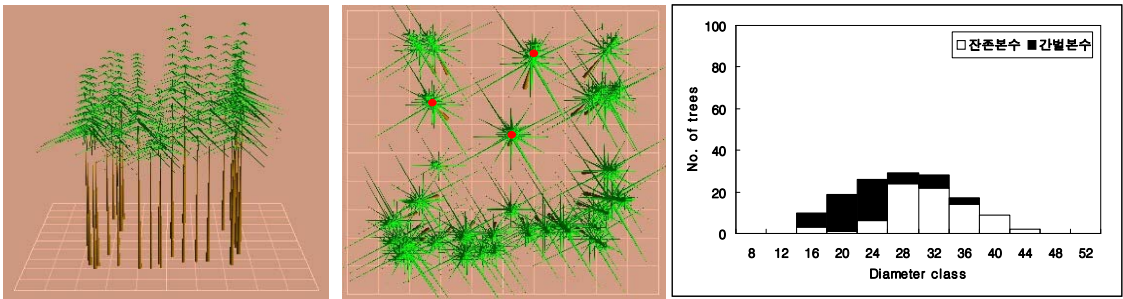
**d. 수관확장간벌 시물레이션**

본 간벌방법은 미래목을 선정하고 주위 임목을 간벌하는 방법으로 30년 후의 수관투영도에서 많은 공간이 확보되어 차세대 임목육성 확보에 효과적일 수 있고 대경제 목재생산을 위한 경제림으로 유도하는데 적절하다고 판단된다.

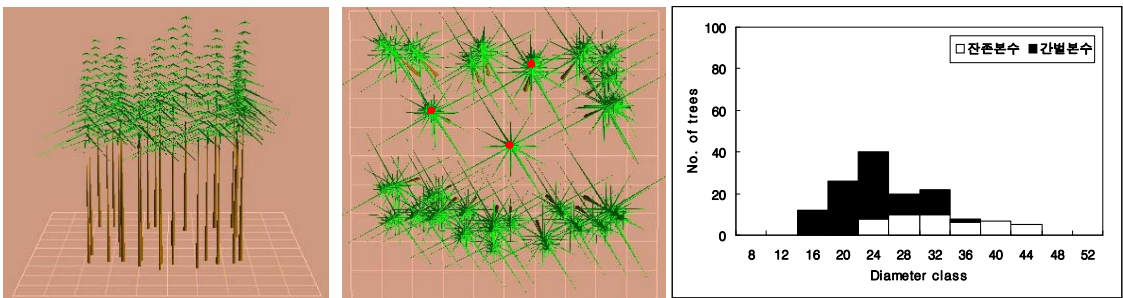
(30% 간벌)



(40% 간벌)



(50% 간벌)



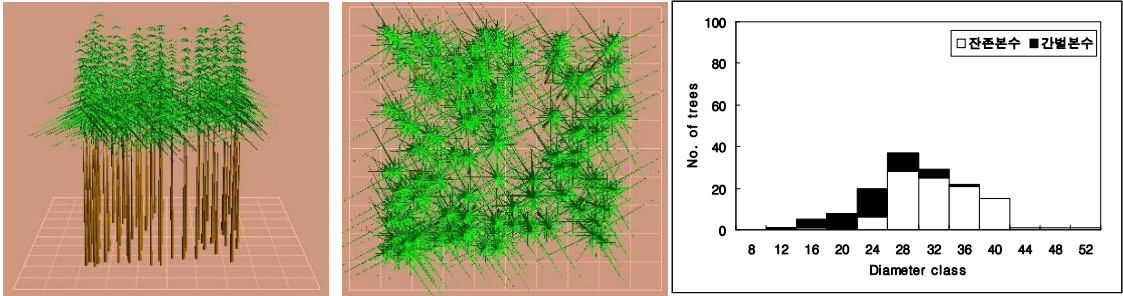
<그림 1-50> 낙엽송림의 수관확장 간벌 30년 직후의 시뮬레이션 결과

**e. 상층간벌 시뮬레이션**

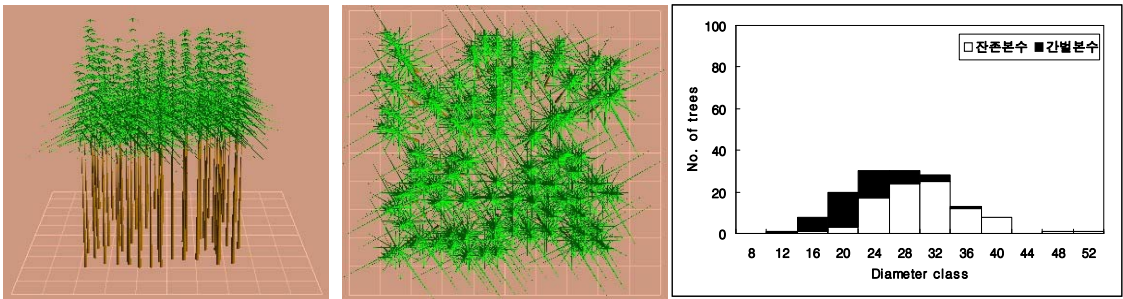
이 방법은 해당임지에서 흉고직경이 큰 상층목부터 임목을 별도하는 방법으로 임목생장이 다른 간벌방법에 비해 상대적으로 낮은 것으로 나타났으며, 수관투영도에서는 간벌형식이 비슷한 균일상층간벌보다 적은 공간을 차지하는 것으로 나타났다.



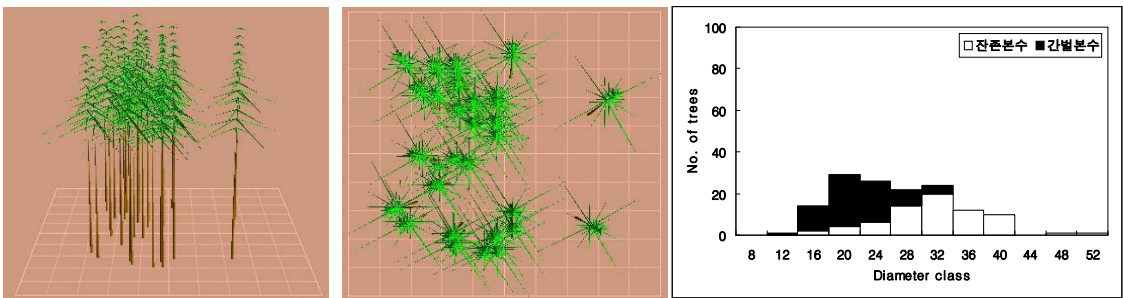
(30% 간벌)



(40% 간벌)



(50% 간벌)



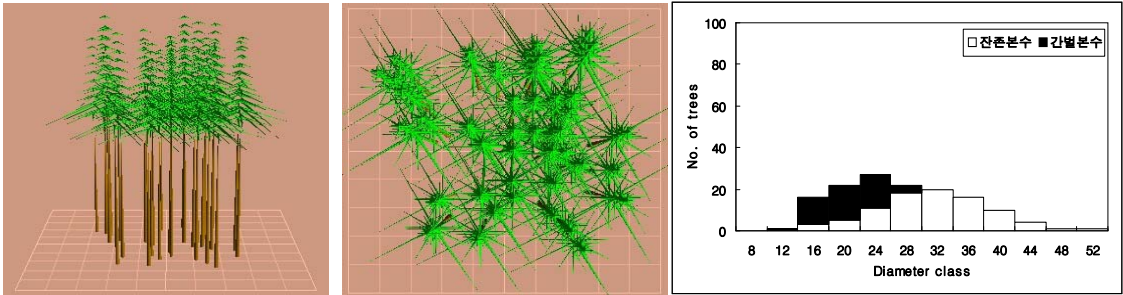
<그림 1-51> 낙엽송림의 상층간벌 30년 직후의 시뮬레이션 결과

**f. 하층간벌 시뮬레이션**

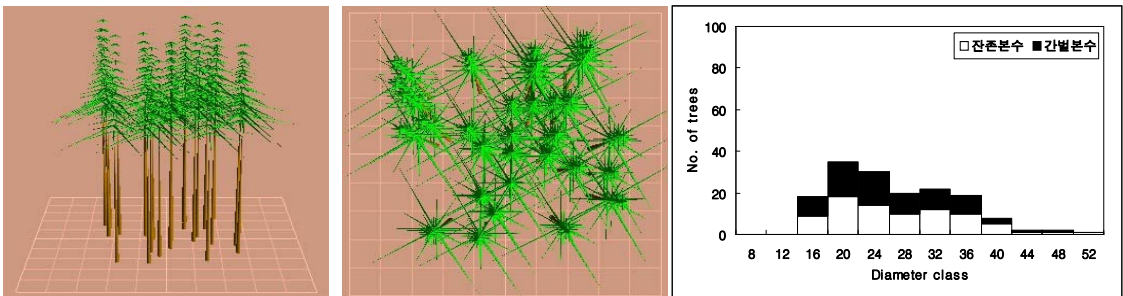
하층간벌은 해당임지에서 흉고직경이 작은 하층목부터 임목을 벌도하는 방법으로 다른 간벌방법보다도 잔존목 생장이 가장 좋은 것으로 나타났다. 그 이유는 하층목의 흉고직경이 작아 상대적으로 많은 분수를 벌도 했기 때문에 임지 내에 적은 분수가 잔존되어 상대적으

로 빠른 생장이 된 것으로 판단된다.

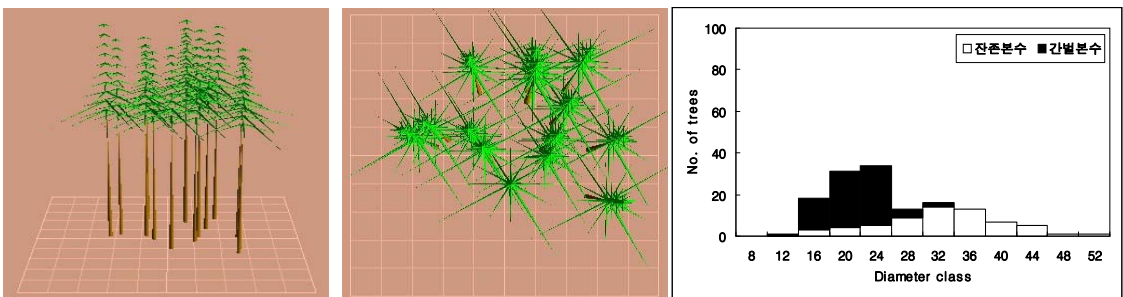
(30% 간벌)



(40% 간벌)



(50% 간벌)



<그림 1-52> 낙엽송림의 하층간벌 30년 직후의 시뮬레이션 결과

**g. 낙엽송림 시뮬레이션 종합**

무 간벌로 30년을 시뮬레이션 한 결과 흉고단면적 44.1m<sup>2</sup>/ha으로 30년 동안 25.2m<sup>2</sup>이 증가

하였으며, 매년 0.84m<sup>2</sup>씩 증가한 것으로 나타났다. pressler식에 의한 성장률(%)에 의하면 평균 2.7% 증가하는 것으로 나타났다. 균일상층간벌을 비롯한 다른 간벌방법에서 흉고단면적 30%를 제거했을 경우 30년 후의 흉고단면적은 34.5~40.9m<sup>2</sup>/ha의 범위를 나타내고 있으며, 성장률은 2.8~3.5%로 나타났다. 간벌강도가 높아질수록 잔존목 성장률은 증가하는 추세를 보이고 있으며, 하층간벌에서 성장률이 가장 좋은 것으로 나타났다. 이는 피압목 및 중간목에 대한 많은 양의 임목이 별도되어 잔존목의 생육공간이 좋아졌기 때문으로 판단된다.

<표 1-35> 낙엽송림의 간벌방법별 ha당 흉고단면적 변화

	BA(m <sup>2</sup> /ha)			Growth ratio(%)
	0yr	15yr	30yr	
No treatment	18.9	29.3	44.1	2.7
Area Wide				
30%	13.2	28.0	38.8	3.3
40%	11.2	26.4	40.6	3.8
50%	9.2	24.6	34.3	3.8
Crown Release				
30%	13.0	28.8	40.9	3.5
40%	11.2	28.4	43.5	3.9
50%	9.2	28.3	41.3	4.2
High Thinning				
30%	14.1	26.4	34.5	2.8
40%	11.6	21.7	31.8	3.1
50%	9.1	20.8	27.2	3.3
Low Thinning				
30%	13.1	35.1	59.5	4.3
40%	11.2	37.2	62.2	4.6
50%	9.2	38.5	58.8	4.9

## 제 2 절 지속가능한 산림관리를 위한 최적산림경영계획 시스템 개발

### 1. 연구개발 목표 및 내용

#### 가. 연구개발 목표 및 내용

- 지속가능한 산림자원관리 적용을 위한 모델링 설정
- 새로이 제정된 국유림 경영기본 지침과의 연계성 검토
- 우리나라 산림사업(조림, 육림, 임목생산, 시설 등)에 대한 표준화
- 각 작업종별 산림사업에 따른 pathway의 개발 및 기준별 대체안의 개발
- 산림사업에 따른 경제분석 및 경영성과모델의 개발
- 우리나라 산림에 어울리는 미래임분에 대한 목표임형 개발
- 최적 산림수확을 위한 산림경영계획 모델의 개발
- 성장모델 및 시뮬레이션모델과 수확모델과의 연계시스템 개발
- 지속가능한 산림자원관리를 위한 통합 산림경영계획시스템의 개발

#### 나. 연차별 연구개발 및 목표와 내용

구분	1차년도(2005)
연구개발 목표	지속가능한 산림자원관리를 위한 산림사업 표준화 모델개발
연구개발 내용 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지속가능한 산림자원관리를 위한 모델링 설정</li> <li>- 새로 제정된 국유림경영기본지침과의 연계성 검토</li> <li>- 산림사업에 대한 표준화 작업</li> <li>- 산림기능별 산림관리실적의 표준화 작업</li> <li>- 각 산림작업별 공정조사 검토 및 표준화 작업</li> </ul>
연구개발 결과	

구분	2차년도(2006)
연구개발 목표	산림수확 작업종에 따른 pathway의 개발 및 목표임형의 개발
연구개발 내용 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 우리나라 산림에 적용 가능한 산림수확 작업종의 검토</li> <li>- 각 작업종별 산림사업에 따른 pathway의 개발</li> <li>- 우리나라 산림에 적합한 미래임분에 대한 목표임형의 개발</li> </ul>
연구개발 결과	

구분	3차년도(2007)
연구개발 목표	최적산림경영계획을 위한 통합경영시스템 개발
연구개발 내용 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 최적산림수확을 위한 산림경영계획 모델의 개발</li> <li>- 성장모델 및 시뮬레이션모델과 수확 모델과의 연계시스템 개발</li> <li>- 지속가능한 산림자원관리를 위한 통합 산림경영계획시스템의 개발</li> </ul>
연구개발 결과	

## 2. 연구결과

### 가. 지속가능한 산림자원관리를 위한 산림사업 표준화 모델 개발

우리나라는 1995년 2월 칠레 산티아고에서 채택한 산티아고선언에 서명하여 몬트리올 프로세스에서 합의된 국가차원의 7개 기준과 67개 지표 중에 27개를 적용가능한 지표로 채택하여 지속가능한 산림경영을 목표로 하는 산림경영을 실행하고 있으며 지속가능한 산림경영을 위하여 산림자원관리를 산림의 기능에 따라 생활환경보전림, 자연환경보전림, 수원함양림, 산지재해방지림, 산림휴양림, 목재생산림의 6가지로 구분하여 관리체계를 설정함으로써 산림이 갖는 효용이 최대로 발휘되도록 차별화된 산림관리방안을 마련하여 추진 중에 있다.

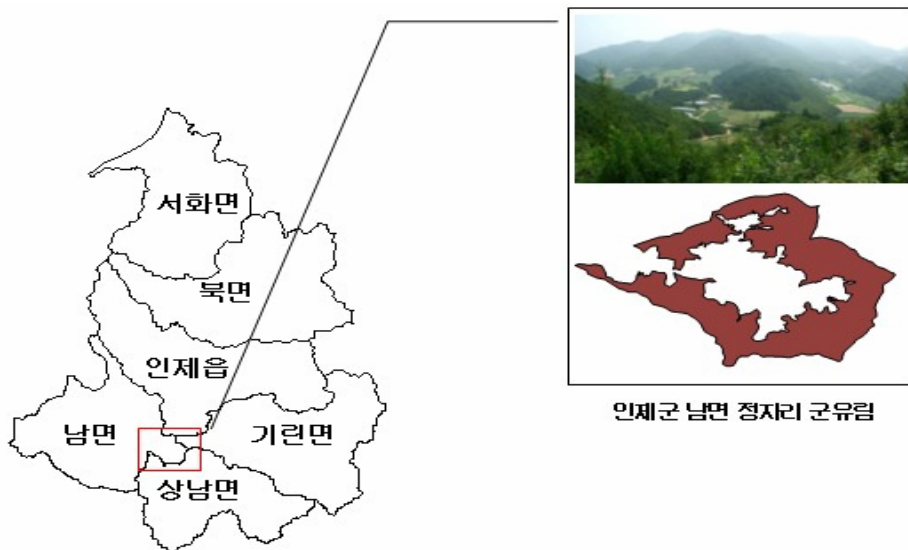
따라서 지속가능한 산림경영의 산림자원관리를 위해 기존에 산림으로부터 생산되는 경제적 산물을 중심으로 하는 협의의 산림자원관리 개념에서 벗어나 건전한 산림생태계의 종합적인 관리체제로 전환하는 것을 목표로하는 산림사업표준화 모델 개발의 필요성이 있다.

### (1) 지속가능한 산림자원관리를 위한 모델링 설정

인제군은 산림의 총면적이 159,322ha로 전국의 2.5%, 강원도의 12%, 군 전체면적의 88.4%를 차지하고 있으며 설악산, 점봉산, 대암산 등의 주요 명산과 진동리의 원시림 단지 등 백두대간으로 전국 제 1의 청정 자연자원을 보유하고 있다.

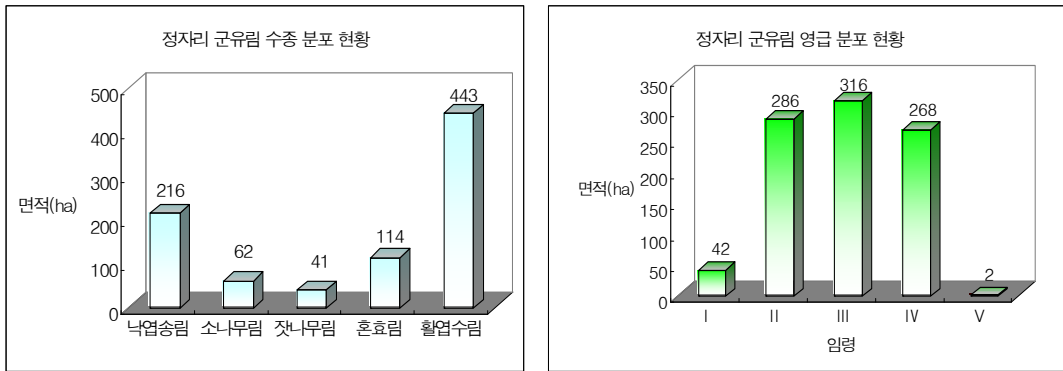
또한 전국 최고의 산림경영 비전을 마련하기 위해 산과 사람이 같이하는 아름답고 풍요로운 산림타운을 조성하고 산림자원을 군민 제 1의 소득자원으로 육성하며 임업, 관광산업을 중점적으로 육성하는 것을 목적으로 하고 있다.

본 연구를 수행하기위한 모델링 지정은 강원도 인제군 남면 정자리를 정하였다. 이 지역의 총면적 1,712ha로 이 중 군유림 면적 934ha를 대상으로 하였다. 특히 산림이 울창한 곳이며 주민들을 위한 특화 숲 조성을 설계 중인 곳으로 타 지역에 비하여 산림비율이 매우 높은 곳이다.



<그림 2-1> 인제군 군유림 위치도

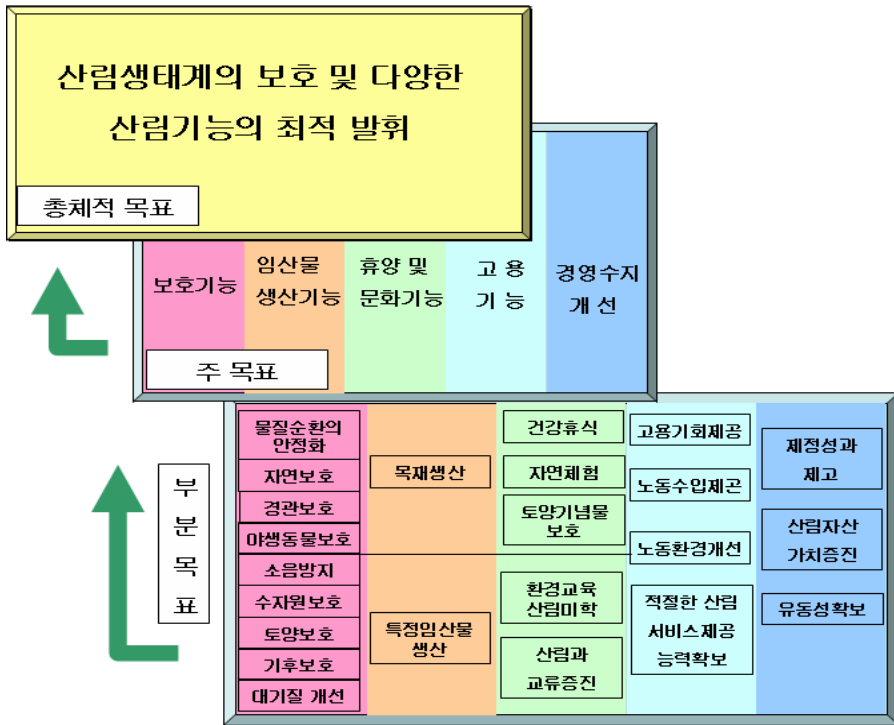
정자리 국유림 주요수종을 살펴보면 활엽수림이 443ha로 가장 많은 면적을 차지하고, 낙엽송림이 216ha, 잣나무림이 41ha를 차지하고 있으며, 영급 분포현황을 살펴보면 III영급이 316ha로 가장 많은 면적을 차지하고, II영급이 286ha, IV영급이 268ha를 차지하여 III~V영급의 면적이 전체 산림의 약 95%이상을 차지하고 있다.



<그림 2-2> 연구대상지 수종 및 영급분포현황

## (2) 새로 제정된 국유림경영기본지침과의 연계성 검토

종전의 국유림경영은 목재의 생산이용 중심의 산림경영을 하였으나, 현재는 산림의 다양한 기능발휘와 산림생태계의 보호 및 후세대를 위한 지속적인 개발로 변화하고 있어 이러한 여건에 대처하고 사회가 요구하는 산림 서비스 및 재화의 지속가능한 생산을 도모할 수 있도록 목표를 재설정 하였다.



<그림 2-3> 국유림의 목표체계

이러한 국유림 목표체계는 지속가능한 산림경영을 위한 근간이라 할 수 있다. 현재 우리나라에서 몬트리올 프로세스를 기준으로 한 지속가능한 산림경영의 기준과 지표는 7개 기준에 67개 지표 중 7개 기준 27개 지표가 적용 가능한 것으로 나타났다.

현재 우리나라는 지속가능한 산림경영원칙에 입각하여 산림의 경제적, 사회적, 환경적인 기능을 조화롭게 발휘하도록 산림을 6가지 기능으로 나누어 관리하고 있다. 지속가능한 산림자원관리를 위한 산림의 6가지 기능은 목재생산림, 수원함양림, 산지재해방지림, 자연환경보전림, 산림휴양림, 생활환경보전림이며 본 연구에서는 몬트리올 프로세스의 기준과 지표에 따라 지속가능한 산림경영을 위한 산림의 6가지 기능구분에 적용가능한 몬트리올 프로세스의 기준과 지표를 적용해 보았다.

### (3) 지속가능한 산림경영을 위한 기준 및 지표의 산림기능구분에 대한 적용

#### 1) 우리나라에 적용 가능한 기준과 지표

지속가능한 산림경영을 위하여 채택한 몬트리올 프로세스의 7개 기준 67개 지표 중에서 우리나라에 적용 가능한 기준과 지표로서 7개 기준 27개 지표를 채택하여 적용하고 있다.



그 기준과 지표는 다음과 같다.

<표 2-1> 우리나라에 적용 가능한 기준과 지표

기준(지표수)	지 표
생물다양성 보전(6)	-산림유형별 면적 -영급별, 천이단계별 면적 -분류체계에 의해 규정된 보호면적 -산림보호지구의 산림유형별, 영급별 또는 천이단계별 산림면적 -산림유형별 단편화 정도 -산림의존종수
산림생태계 생산력 유지(4)	-목재생산 가능 면적 -경제수종 및 비경제수종의 임목 축적 -자생·왜래 수종의 인공조림 면적 및 축적 -지속생산가능 벌채량 대비 연간 목재 벌채량
산림생태계 건강도 및 활력도 유지(3)	-비정상적인 요인 등에 의해 피해 받은 산림면적·비율 -특정 대기오염 물질 또는 자외선에 의해 노출된 산림면적·비율 -생태적인 과정이나 생물학적인 요소가 감소하는 산림 면적·축적
토양·수자원의 보전과 유지(4)	-토양침식이 발생하는 산림면적·비율 -토양의 유기물질 감소 또는 화학적 성질이 변화된 산림면적·비율 -인간의 활동으로 인해 토양의 물리적 성질이 변화되거나 답압된 산림 면적·축적 -산도, 용존산도, 화학물질수준 또는 온도변화가 나타난 산림지역 내의 수체의 비율
지구탄소순환에 대한 산림기여도 유지(2)	-총 바이오매스와 탄소저장량 -산림생태계의 탄소의 흡수와 방출을 포함한 총탄소수지의 기여
사회·경제적 편익 유지 및 강화(4)	-목재·목제품의 생산액 -비목재 임산물의 생산량·액 -총 산림면적에서 휴양·관광목적의 산림면적·비율 -산림경영분야 총 투자액
법적·제도적·경제적 체계(4)	-재산권의 분쟁을 해결할 수 있는 수단의 제공 -주기적 산림계획 수립·평가·정책 검토 -산림경영을 위한 최적 작업규정의 조장 -특별한 환경적·문화적·사회적·과학적 가치를 보전하기 위한 산림경영의 제공
합 계	7개 기준 27개 지표

※ 출처 : 지속가능한 산림자원 육성계획수립. 산림청(2004)

## 2) 지속가능한 산림자원관리지침에 따른 산림기능구분

산림청에서 발간한 지속가능한 산림자원관리지침에서는 산림의 6가지 기능구분을 다음과 같이 나타내고 있다.

- ① 생활환경보전림은 도시생활권 주변의 경관유지와 쾌적한 생활환경을 제공하는 산림으로 풍치보안림, 도시공원 안의 산림, 개발제한구역안의 산림 등이다.
- ② 자연환경보전림은 생태·문화·역사·학술적 가치를 보전하기 위한 산림으로 보건보안림, 산림유전자보호림, 채종림, 채종원, 백두대산보호지역 안의 산림 등이다.
- ③ 수원함양림은 수자원함양기능 및 수질정화기능을 증진시키기 위한 산림으로 산림법에 의한 수원함양보안림, 상수원보호구역 안의 산림, 수계지역 안의 산림 등이다.
- ④ 산지재해방지림은 산사태, 토사유출, 대형산불, 산림병해충 등 각종산림재해 방지 및 임지보전을 위한 산림으로 산지재해가 우려되는 침엽 단순림 등이다.
- ⑤ 산림휴양림은 다양한 휴양기능을 발휘할 수 있는 특색있는 산림과 생태적·경관적으로 다양한 산림으로 자연휴양림 등이다.
- ⑥ 목재생산림은 생태적 안정을 기반으로 양질의 목재를 지속적이고 효율적으로 생산·공급하기 위한 산림으로 요존국유림, 임업진흥권역안의 목재생산을 위한 산림 등이다.

## 3) 연구방법

산림의 6가지 기능구분에 대한 기준과 지표를 적용하기 위하여 지속가능한 산림자원 관리지침에 나타나 있는 각각의 산림기능에 대한 정의, 유형구분, 관리목표 등을 참고하였다. 그리하여 이를 바탕으로 각각의 산림기능에 대하여 가장 핵심적으로 중점을 두어 관리하도록 해야 할 기준을 대표성 기준으로 정하였으며 그러한 대표성 기준을 보완할 수 있는 기초적인 기준으로서 적합성 기준을 설정하였다. 또한 대표성 기준과 적합성 기준과 같이 중요하며 산림기능구분에 기준과 지표를 적용하는데 있어서 비중 있게 이 기준들을 뒷받침할 수 있는 가능성 기준을 설정하였다. 따라서 산림기능구분에 대표성, 적합성, 가능성 기준을 설정하고 이러한 각 기준들에 대한 지표들을 적용하였다.

## 4) 연구결과

### a. 생활환경보전림

생활환경보전림은 도시와 생활권 주변의 경관유지를 관리목표로 하는 것으로 공원형, 경관형, 방풍·방음형, 생산형의 4가지 유형으로 구분하여 관리한다. 공원형과 경관형은 다층 혼효림으로 유도하고 방풍·방음형은 계단식 다층림으로 유도, 생산형은 목재생산림으

로 유도한다. 관리대상으로 법에 의한 풍치보안림과 도시공원 안의 산림 등을 관리하며 유형구분에 따라 관리방법에 차이가 있다.

생활환경보전림의 관리목표에 따라 대표성을 가지는 기준이 생물다양성 보전으로 생태적 다양성과 종 다양성을 유지하도록 산림유형별 면적지표, 영급별, 천이단계별 면적지표, 산림유형별 단편화 정도지표, 산림의존종수지표가 적용된다. 또한 생물다양성 보전 기준을 뒷받침하기 위한 적합성 기준으로 생태계 생산력 유지 기준과 산림생태계 건강도 및 활력도 유지 기준이 적용된다. 그 지표에는 목재생산가능면적지표, 경제수종 및 비경제수종의 임목 축적지표, 자생·외래수종의 인공조림 면적 및 축적지표, 지속생산가능 벌채량 대비 연간 목재 벌채량 지표가 적용되며 비정상적인 요인 등에 의해 피해 받은 산림면적·비율지표, 특정 대기오염물질 또는 자외선에 의해 노출된 산림면적·비율지표가 적용된다.

가능성 기준으로 토양·수자원 보전과 유지, 지구탄소순환에 대한 산림기여도 유지, 사회·경제적 편익의 유지 및 강화, 법적·제도적·경제적체계가 적용된다. 각 기준에 대한 지표로 인간의 활동으로 인해 토양의 물리적 성질이 변화되거나 답압된 산림면적·축적지표, 도시와 생활권 주변에서의 배출되는 탄소와 관련하여 총 바이오매스와 탄소저장량지표, 산림생태계의 탄소의 흡수와 방출을 포함한 총탄소수지의 기여지표가 적용되어야 하며 사람들이 주변에서 쉽게 접할 수 있는 산림은 휴양을 위한 경관적인 목적으로 총 산림면적에서 휴양·관광목적의 산림면적·비율지표가 적용된다.

<표 2-2> 생활환경보전림에 적용가능한 기준과 지표

구 분	기 준	지 표
대표성	생물다양성의 보전	-산림유형별 면적 -영급별, 천이단계별 면적 -산림유형별 단편화 정도 -산림의존종수
적합성	산림생태계 생산력 유지	-목재생산가능면적 -경제수종 및 비경제수종의 임목 축적 -자생·외래 수종의 인공조림 면적 및 축적 -지속생산가능 벌채량 대비 연간 목재 벌채량
	산림생태계 건강도 및 활력도 유지	-비정상적인 요인 등에 의해 피해받은 산림면적·비율 -특정 대기오염물질 또는 자외선에 의해 노출된 산림면적·비율

구 분	기 준	지 표
가능성	토양·수자원 보전과 유지	-인간의 활동으로 인해 토양의 물리적 성질이 변화되거나 압박된 산림면적·축적
	지구탄소순환에 대한 산림기여도 유지	-총 바이오매스와 탄소저장량 -산림생태계의 탄소의 흡수와 방출을 포함한 총 탄소수지의 기여
	사회·경제적 편익의 유지 및 강화	-총 산림면적에서 휴양·관광목적의 산림면적·비율
	법적·제도적·경제적 체계	-재산권의 분쟁을 해결할 수 있는 수단의 제공 -주기적 산림계획 수립·평가·정책 검토 -산림경영을 위한 최적 작업규정의 조장

## b. 자연환경보전림

자연환경보전림은 보호할 가치가 있는 산림자원이 건강하게 보전될 수 있도록 하는 산림을 관리목표로 하며 생태계, 유전자원 보호 등을 위한 보전형, 역사·문화적 가치 보호 등을 위한 문화형, 학술·교육을 목적으로 하는 학술·교육형의 3가지 유형으로 구분한다.

3가지 유형의 산림은 다층혼효림으로 유도되며 법에 의한 보안림, 채종림, 백두대간보호지역안의 산림, 자연공원안의 산림, 학교 연습림, 문화재보호구역안의 산림 등이 관리 대상이다. 또한 각각의 유형구분에 따 조림, 숲가꾸기, 수확, 산물의 처리에 차이가 있다.

자연환경보전림은 대표성을 가지는 기준이 생물다양성 기준으로 생태적 다양성과 보호할 가치가 있는 종의 다양성 유지가 매우 중요하므로 산림유형별 면적지표, 산림보호지구의 산림유형별, 영급별 또는 천이단계별 산림면적지표, 산림유형별 단편화 정도지표, 산림의존종 수지표가 적용된다. 또한 적합성 기준으로 산림생태계 생산력 유지기준과 산림생태계 건강도 및 활력도 유지 기준이 적용되는데 그 기준에 따른 표는 다음과 같다.

현재 자라고 있는 수종이나 자생수종을 조림수종으로 선정하도록 하므로 자생·외래 수종의 인공조림 면적 및 축적지표가 적용되어야 하며 우량한 수종을 보호하고 우량종자를 생산하고 품질개선하기 위해 비정상적인 요인 등에 의해 피해 받은 산림면적·비율지표와 생태적인 과정이나 생물학적인 요소가 감소하는 산림면적·비율지표와 생태적인 과정이나 생물학적인 요소가 감소하는 산림면적·축적이 적용되어야 한다고 사료된다.

<표 2-3> 자연환경보전림에 적용가능한 기준과 지표

구 분	기 준	지 표
대표성	생물다양성의 보전	-산림유형별 면적 -산림보호지구의 산림유형별, 영급별 또는 천이단계별 산림면적 -산림유형별 단편화 정도 -산림의존종수
적합성	산림생태계 생산력 유지	-자생·외래 수종의 인공조림 면적 및 축적
	산림생태계 건강도 및 활력도 유지	-비정상적인 요인 등에 의해 피해받는 산림면적·비율 -생태적인 과정이나 생물학적인 요소가 감소하는 산림면적·축적
가능성	토양·수자원 보전과 유지	-토양침식이 발생하는 산림면적·비율 -토양의 유기물질 감소 또는 화학적 성질이 변화된 산림면적·비율
	지구탄소순환에 대한 산림기여도 유지	-총 바이오매스와 탄소저장량 -산림생태계의 탄소의 흡수와 방출을 포함한 총 탄소수지의 기여
	사회·경제적 편익의 유지 및 강화	-산림경영 분야 총 투자액
	법적·제도적·경제적 체계	-재산권의 분쟁을 해결할 수 있는 수단의 제공 -주기적 산림계획 수립·평가·정책 검토 -산림경영을 위한 최적 작업규정의 조장 -특별한 환경적,문화적, 사회적 과학적 가치를 보전하기 위한 산림경영의 제공

가능성 기준으로서 토양·수자원 보전과 유지기준, 지구탄소순환에 대한 산림기여도 유지, 사회·경제적 편익 유지 및 강화, 법적·제도적·경제적 체계 기준으로 지표는 토양에 대한 문제는 산림을 경영하는데 있어서 중요하게 고려해야 하는 것으로 토양침식이 발생하는 산림면적·비율지표, 토양의 유기물질 감소 또는 화학적 성질이 변화된 산림면적·비율지표가 적용된다. 또한 환경·경제·사회적 목적을 위한 산림이용을 위한 산림경영분야 총 투자액 지표가 적용되며 산림을 관리하는데 있어서 산림의 소유권을 명확하게 보장하기 위한 재산권의 분쟁을 해결할 수 있는 수단의 제공지표, 산림청에서 내린 지침에 따라서 산림관리를 하므로 주기적 산림계획 수립·평가·정책 검토지표, 산림경영을 위한 최적 작업규정의 조장지표가 적용된다.

그리고 산림의 보호할 가치를 보전하기 위한 산림이므로 이를 지속가능하게 하고자 특별한 환경적, 문화적, 사회적, 과학적 가치를 보전하기 위한 산림경영의 제공지표가 적용된다.

### c. 수원함양림

수원함양림은 수자원함양기능과 수질정화기능이 증진되는 산림을 관리목표로 하며 법에 의한 수원함양보안림 상수원보호구역 안의 산림, 수계지역 안의 산림 등이 관리대상으로 되며 조림, 숲가꾸기, 산물의 처리, 수확의 관리에 따라 다층혼효림으로 유도한다.

수원을 보호하기 위한 산림을 관리목표로 하므로 대표성을 가지는 기준으로 토양·수자원 보전과 유지 기준을 적용하였으며 지표로 산림에서의 토양가치가 중요하므로 토양침식이 발생하는 산림면적·비율지표, 토양의 유기물질 감소 또는 화학적 성질이 변화된 산림면적·비율지표가 적용된다. 적합성을 가진 기준으로 생물다양성 보전기준, 산림생태계 생산력 유지, 산림생태계 건강도 및 활력도 유지 기준이 적용되며 그 지표는 다음과 같다. 생태계의 다양성과 종 다양성에 대한 중요도가 무엇보다 클 것으로 사료되며 산림유형별 면적지표, 영급별, 천이단계별 면적지표, 산림유형별 단편화 정도지표, 산림의존종수지표가 적용된다.

또한 수원함양림에서의 수확은 목재생산림의 우량대경재를 목표생산재로 하고 수확하고자 하기 때문에 목재생산 가능면적지표가 적용되어야 하고 수원함양과 수질정화로 인한 환경·경제·사회적 목적의 산림이용을 위한 산림경영분야 총 투자액 지표가 적용되어야 하며 산림소유권을 명확하게 보장해 줄 수 있다는 점에서 재산권의 분쟁을 해결할 수 있는 수단의 제공지표와 산림청에서 지정한 관리지침에 따른 주기적 산림계획 수립·평가·정책검토지표가 적용된다.

수원함양림은 법적으로 보호하고자 하는 주요 수계지역의 산림가치를 보호하기 위함으로 특별한 환경적, 문화적, 사회적, 과학적 가치를 보전하기 위한 산림경영의 제공지표가 적용된다.

<표 2-4> 수원함양림에 적용가능한 기준과 지표

구 분	기 준	지 표
대표성	토양·수자원 보전과 유지	-토양침식이 발생하는 산림면적·비율 -토양의 유기물질 감소 또는 화학적 성질이 변화된 산림면적·비율
적합성	생물다양성의 보전	-산림유형별 면적 -영급별, 천이단계별 면적 -산림유형별 단편화 정도 -산림의존종수
	산림생태계 생산력유지	-목재생산 가능면적
	산림생태계 건강도 및 활력도 유지	-생태적인 과정이나 생물학적인 요소가 감소하는 산림면적·축적

구 분	기 준	지 표
가능성	지구탄소순환에 대한 산림기여도 유지	-총 바이오매스와 탄소저장량 -산림생태계의 탄소의 흡수와 방출을 포함한 총 탄소수지의 기여
	사회·경제적 편익의 유지 및 강화	-산림경영 분야 총 투자액
	법적·제도적·경제적 체계	-재산권의 분쟁을 해결할 수 있는 수단의 제공 -주기적 산림계획 수립·평가·정책 검토 -산림경영을 위한 최적 작업규정의 조장 -특별한 환경적, 문화적, 사회적 과학적 가치를 보전하기 위한 산림경영의 제공

#### d. 산지재해방지림

산지재해방지림은 각종 산림재해에 강한 산림을 관리목표로 하며 다층혼효림으로 유도하고자 관리하며 법에 의한 사방지, 산림재해 우려가 있는 단순림 등이고 관리하고자 하는 대상에 따라서 조림, 숲가꾸기, 산물의 처리 방법이 다르다.

산지재해방지림은 관리목표에 따라 대표성 기준으로 산림생태계 건강도 및 활력도 유지 기준을 적용하였으며 그 지표로 산지재해방지림을 지속적으로 유지하기 위해 각종 산림재해로 피해면적을 알고 관리하는 것이 필요하므로 비정상적인 요인 등에 의해 피해받은 산림면적·비율지표가 적용되었다.

적합성 기준으로 생물다양성 보전, 산림생태계 생산력 유지 기준을 토양·수자원 보전과 유지 기준을 적용하였으며 그 기준에 대한 지표를 살펴보면 생태계의 다양성과 종다양성을 이루어 산림재해에 저항력을 높이도록 해야 하기 때문에 산림유형별 면적지표, 영급별, 천이 단계별 면적지표, 산림유형별 단편화 정도지표, 산림의존종수지표가 적용된다.

또한 환경에 적응력이 뛰어난 그 지역의 자생수종을 도입하도록 하여 생산력 유지를 위한 자생·외래수종의 인공조림 면적 및 축적지표가 적용되어야 하며 토양에 대한 문제는 산림을 경영하는데 있어서 중요하게 고려해야 하는 것으로 토양침식이 발생하는 산림면적·비율지표, 토양의 유기물질 감소 또는 화학적 성질이 변화된 산림면적·비율지표가 적용된다.

그리고 산림소유권을 명확하게 보장해 줄 수 있다는 점에서 재산권의 분쟁을 해결할 수 있는 수단의 제공지표와 산림청에서 지정한 관리지침에 따른 주기적 산림계획 수립·평가·정책검토지표, 산림경영을 위한 최적 작업규정의 조장지표가 적용된다.

<표 2-5> 산지재해방지림에 적용가능한 기준과 지표

구 분	기 준	지 표
대표성	산림생태계 건강도 및 활력도 유지	-비정상적인 요인 등에 의해 피해받은 산림면적·비율
적합성	생물다양성의 보전	-산림유형별 면적 -영급별, 천이단계별 면적 -산림유형별 단편화 정도 -산림의존종수
	산림생태계 생산력 유지	-자생·외래 수종의 인공조림 면적·비율
	토양·수자원 보전과 유지	-토양침식이 발생하는 산림면적·비율 -토양의 유기물질 감소 또는 화학적 성질이 변화된 산림면적·비율
가능성	지구탄소순환에 대한 산림기여도 유지	-총 바이오매스와 탄소저장량 -산림생태계의 탄소의 흡수와 방출을 포함한 총 탄소수지의 기여
	법적·제도적·경제적 체계	-재산권의 분쟁을 해결할 수 있는 수단의 제공 -주기적 산림계획 수립·평가·정책 검토 -산림경영을 위한 최적 작업규정의 조장

**e. 산림휴양림**

산림휴양림은 다양한 휴양기능을 발휘할 수 있는 특색 있는 산림과 종다양성이 충분하고 경관이 다양한 산림을 관리목표로 다층혼효림으로 유도되는 산림이다. 관리대상은 법에 의해 지정된 자연휴양림 등이며 휴양림에서 공간이용지역과 자연유지지역의 갱신, 조림, 숲가꾸기, 산물의 처리방법 등이 다르다.

따라서 관리목표에 따라 2가지의 대표성을 가지는 기준을 적용하였다. 그 기준과 지표로 한 가지는 생물다양성 보전 기준으로, 지표는 생태계다양성과 종다양성을 위한 산림유형별 면적지표, 영급별, 천이단계별 면적지표, 산림유형별 단편화 정도지표, 산림의존종수지표가 있으며 두 번째로는 사회·경제적 편익 유지 및 강화 기준이 적용되는데 그 지표로 총 산림 면적에서 휴양·관광목적의 산림면적·비율지표, 산림경영분야 총 투자액이 적용된다.

적합성 기준으로는 산림생태계 생산력 유지 기준, 산림생태계 건강도 및 활력도 유지 기준, 법적·제도적·경제적 체계 기준을 적용할 수 있는데 그 기준에 따른 지표는 다음과 같다. 산림휴양림을 관리방법에 있어 조림을 하고자 할 때 지역특색수종을 선정하도록 하여 자생·외래 수종의 인공조림 면적 및 축적지표가 적용되어야 한다. 또한 산불, 병해충 등에



대한 건강도와 활력도를 위해 비정상적인 요인 등에 의해 피해 받은 산림면적·비율지표, 생태적인 과정이나 생물학적인 요소가 감소하는 산림면적·축적지표가 적용되며 산림소유권을 명확하게 보장해 줄 수 있다는 점에서 재산권의 분쟁을 해결할 수 있는 수단의 제공지표와 산림청에서 지정한 관리 지침에 따른 주기적 산림계획 수립·평가·정책검토지표, 산림경영을 위한 최적 작업규정의 조장지표가 적용된다.

가능성 기준으로 토양·수자원 보전과 유지 기준, 지구 탄소 순환에 대한 산림기여도 유지 기준이 있는데 그 지표는 토양에 대한 문제는 산림을 경영하는데 있어서 중요하게 고려해야 하는 것으로 토양침식이 발생하는 산림면적·비율지표, 토양의 유기물질 감소 또는 화학적 성질이 변화된 산림면적·비율지표가 적용되고 산림의 총 바이오매스와 탄소저장량 지표, 산림생태계 탄소의 흡수와 방출을 포함한 총 탄소수지의 기여 지표가 적용된다.

<표 2-6> 산림휴향림에 적용가능한 기준과 지표

구 분	기 준	지 표
대표성	생물다양성의 보전	-산림유형별 면적 -영급별, 천이단계별 면적 -산림유형별 단편화 정도 -산림의존종수
	사회·경제적 편익의 유지 및 강화	-총 산림면적에서 휴양·관광목적의 산림면적·비율 -산림경영분야 총 투자액
적합성	산림생태계 생산력 유지	-자생·외래 수종의 인공조림 면적·비율
	산림생태계 건강도 및 활력도 유지	-비정상적인 요인 등에 의해 피해받은 산림면적·비율 -생태적인 과정이나 생물학적인 요소가 감소하는 산림면적·축적
	법적·제도적·경제적 체계	-재산권의 분쟁을 해결할 수 있는 수단의 제공 -주기적 산림계획 수립·평가·정책 검토 -산림경영을 위한 최적 작업규정의 조장
가능성	토양·수자원 보전과 유지	-토양침식이 발생하는 산림면적·비율 -토양의 유기물질 감소 또는 화학적 성질이 변화된 산림면적·비율
	지구탄소순환에 대한 산림기여도 유지	-총 바이오매스와 탄소저장량 -산림생태계의 탄소의 흡수와 방출을 포함한 총 탄소수지의 기여

## f. 목재생산림

목재생산림은 목표로 하는 생산재의 용도에 따라서 우량대경재, 우량중경재, 일반소경재, 특용재 등으로 나뉘며 법으로 지정된 요존국유림과 임업진흥권역안의 산림 등이 관리된다. 또한 목재생산림을 관리하기 위해서 임종에 따라 갱신, 조립, 숲가꾸기 방법이 다르다.

목재생산림의 관리목표인 생태적 안정을 기반으로 하여 국민경제 활동에 필요한 양질의 목재를 지속적·효율적으로 생산·공급하기 위한 산림으로 그 대표성을 가지는 기준을 산림생태계생산력 유지 기준으로 적용하였다. 기준에 대한 지표는 영급별 산림면적에 따른 목재생산 가능면적지표가 적용되어야 하며 경제수종과 비경제수종의 임목축적지표와 지속생산가능 별채량 대비 연간 목재 별채량지표가 적용된다.

적합성 기준으로는 생물다양성 보전 기준을 적용하였으며 지표로 목재의 지속적인 생산을 위해 적용되어야 한다고 사료되는 지표를 보면 임상을 고려한 산림유형별 면적지표와 생태적 다양성 뿐만 아니라 보속적인 생산을 위한 영급별, 천이단계별 면적지표가 적용되며 생태계적으로 단편화된 산림은 개체군의 밀도를 유지하지 못하면 지속적인 목재생산에 영향을 미치므로 산림유형별 단편화 정도지표가 적용가능하며 산림의 종이 많으면 생태계가 안정되므로 산림의존종수지표를 채택하였다.

가능성 기준으로 토양·수자원 보전과 유지 기준이 적용되며 그에 대한 지표로 토양에 대한 문제는 목재생산림 뿐만 아니라 산림을 경영하는데 있어서 중요하게 고려해야 하는 것으로 토양침식이 발생하는 산림면적·비율지표, 토양의 유기물질 감소 또는 화학적 성질이 변화된 산림면적·비율지표가 적용된다.

또한 지구탄소순환에 대한 산림기여도 유지 기준과 사회·경제적 편익 유지 및 강화, 법적·제도적·경제적 체계 기준이 적용되는데 그 지표들을 살펴보면 다음과 같다. 산림은 탄소저장소로서 총 바이오매스와 탄소저장량 지표와 산림생태계 탄소의 흡수와 방출을 포함한 총탄소수지의 기여지표가 적용되며 목재생산에서 편익을 창출하기 위해 목재·목제품의 생산액지표와 환경·경제·사회적 목적을 위한 산림이용을 위한 산림경영분야 총 투자액 지표가 적용된다.

그리고 재산권의 분쟁을 해결할 수 있는 수간의 제공지표는 산림의 소유권의 보호 및 확실성을 보장할 수 있는 점에서 적용되어야 하며 산림청의 지침에 따라서 관리되어야 함으로 주기적 산림계획 수립·평가·정책 검토지표, 산림경영을 위한 최적 작업규정의 조장지표가 적용되어야 한다고 사료된다.

<표 2-7> 목재생산림에 적용가능한 기준과 지표

구 분	기 준	지 표
대표성	산림생태계 생산력 유지	-목재생산 가능면적 -경제수종 및 비경제수종의 임목축적 -지속생산가능 벌채량 대비 연간 모재 벌채량
적합성	생물다양성의 보전	-산림유형별 면적 -영급별, 천이단계별 면적 -산림유형별 단편화 정도 -산림의존종수
가능성	토양·수자원 보전과 유지	-토양침식이 발생하는 산림면적·비율 -토양의 유기물질 감소 또는 화학적 성질이 변화된 산림면적·비율
	지구탄소순환에 대한 산림기여도 유지	-총 바이오매스와 탄소저장량 -산림생태계의 탄소의 흡수와 방출을 포함한 총 탄소수지의 기여
	사회·경제적 편익의 유지 및 강화	-목재·목제품 생산액 -산림경영분야 총 투자액
	법적·제도적·경제적 체계	-재산권의 분쟁을 해결할 수 있는 수단의 제공 -주기적 산림계획 수립·평가·정책 검토 -산림경영을 위한 최적 작업규정의 조장

## 2) 산림기능구분에 적용된 대표성, 적합성, 가능성 기준

산림의 6가지 기능구분에 대하여 적용된 대표성 기준, 적합성 기준, 가능성 기준을 다음과 같이 나타내었다.

<표 2-8> 산림기능구분에 대표성, 적합성, 가능성 기준

구 분	대표성 기준	적합성 기준	가능성기준
생활환경보전림	-생물다양성 보전	-산림생산력 유지 -산림생태계 건강도 및 활력도 유지	-토양·수자원 보전과 유지 -지구탄소순환에 대한 산림기여도 유지 -사회·경제적 편익 유지 및 강화 -법적·제도적·경제적 체계
자연환경보전림	-생물다양성 보전	-산림생산력 유지 -산림생태계 건강도 및 활력도 유지	-토양·수자원 보전과 유지 -지구탄소순환에 대한 산림기여도 유지 -사회·경제적 편익 유지 및 강화 - 법적·제도적·경제적 체계

구 분	대표성 기준	적합성 기준	가능성 기준
수 원 함양림	-토양·수자원 보전 과 유지	-생물다양성 보전 -산림생태계 생산력 유지 -산림생태계 건강도 및 활력도 유지	-지구 탄소순환에 대한 산림기여도 유지 -사회·경제적 편익 유지 및 강화 - 법적·제도적·경제적 체계
산 지 재 해 방지림	-산림생태계 건강도 및 활력도 유지	-생물다양성 보전 -산림생태계 생산력 유지 -토양·수자원 보전과 유지	-지구 탄소순환에 대한 산림기여도 유지 - 법적·제도적·경제적 체계
산 림 휴양림	-생물다양성 보전 -사회·경제적 편익 유지 및 강화	-산림생태계 생산력 유지 -산림생태계 건강도 및 활력도 유지 - 법적·제도적·경제적 체계	-토양·수자원 보전과 유지 -지구탄소순환에 대한 산림기여도 유지
목 재 생산림	-산림생태계 생산력 유지	-생물다양성 보전	-토양·수자원 보전과 유지 -지구탄소순환에 대한 산림기여도 유지 -사회·경제적 편익 유지 및 강화 - 법적·제도적·경제적 체계

## 6) 산림기능구분에 적용된 기준과 지표

각각의 산림기능에 적용한 대표성 기준, 적합성 기준, 가능성 기준을 그 기준들에 대한 세부적인 지표로 적용하였다. 그 기준과 지표를 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

생활환경보전림에 적용된 기준과 지표를 살펴보면 생물다양성 보전 기준에 4개의 지표, 산림생태계 생산력 유지 기준에 4개의 지표, 산림생태계 건강도 및 활력도 유지에 2개의 지표, 토양·수자원보전과 유지에 1개 지표, 지구탄소순환에 대한 산림기여도 유지 기준에 1개 지표, 법적·제도적·경제적 체계기준에 3개 지표가 적용된다.

자연환경보전림에 적용된 기준과 지표를 살펴보면 생물다양성 보전 기준에 4개의 지표, 산림생태계 생산력 유지 기준에 1개의 지표, 산림생태계 건강도 및 활력도 유지에 2개의 지표, 지구탄소순환에 대한 산림기여도 유지 기준에 2개 지표, 사회·경제적 편익의 유지 및 강화 기준에 1개 지표, 법적·제도적·경제적 체계 기준에 4개 지표가 적용된다.

수원함양림에 적용된 기준과 지표를 살펴보면 생물다양성 보전 기준에 4개의 지표, 산림생태계 생산력 유지 기준에 1개의 지표, 산림생태계 건강도 및 활력도 유지에 1개의 지표, 토양·수자원 보전과 유지에 2개 지표, 지구탄소순환에 대한 산림기여도 유지 기준에 2개 지표, 사회·경제적 편익의 유지 및 강화 기준에 1개 지표, 법적·제도적·경제적 체계 기준에 4개 지표가 적용 된다.

산지재해방지림에 적용된 기준과 지표를 살펴보면 생물다양성 보전 기준에 4개의 지표, 산림생태계 생산력 유지 기준에 1개의 지표, 산림생태계 건강도 및 활력도 유지에 1개의 지표, 토양·수자원 보전과 유지에 2개 지표, 지구탄소순환에 대한 산림기여도 유지 기준에 2개 지표, 법적·제도적·경제적 체계 기준에 3개 지표가 적용된다.

산림휴양림에 적용된 기준과 지표를 살펴보면 생물다양성 보전 기준에 4개의 지표, 산림생태계 생산력 유지 기준에 1개의 지표, 산림생태계 건강도 및 활력도 유지에 2개의 지표, 토양·수자원 보전과 유지에 2개 지표, 지구탄소순환에 대한 산림기여도 유지 기준에 2개 지표, 법적·제도적·경제적 체계 기준에 3개 지표가 적용된다.

목재생산림에 적용된 기준과 지표를 살펴보면 생물다양성 보전 기준에 4개의 지표, 산림생태계 생산력 유지 기준에 3개의 지표, 토양·수자원 보전과 유지에 2개 지표, 지구탄소순환에 대한 산림기여도 유지 기준에 2개 지표, 사회·경제적 편익의 유지 및 강화 기준에 2개 지표, 법적·제도적·경제적 체계 기준에 3개 지표가 적용된다.

<표 2-9> 산림기능구분에 적용 가능한 기준과 지표

구 분 기준	생활환경 보전림	자연환경 보전림	수원함양림	산지재해 방지림	산림휴양림	목재생산림
생물다양성 보전	4	4	4	4	4	4
산림생태계의 생산력 유지	4	1	1	1	1	3
산림생태계 건강도 및 활력도 유지	2	2	1	1	2	-
토양·수자원의 보전과 유지	1	2	2	2	2	2
지구탄소순환에 대한 산림기여도 유지	2	2	2	2	2	2
사회·경제적 편익 유지 및 강화	1	1	1	-	2	2
법적·제도적·경 제적 체계	3	4	4	3	3	3
합 계	17	16	15	13	16	16

## 7) 결론

본 연구는 지속가능한 산림경영을 위하여 산림을 6가지 기능으로 구분한 산림에 우리나라에서 채택하고 있는 몬트리올 프로세스의 기준과 지표를 각각의 산림기능구분에 정의, 유형 구분, 관리목표에 따라 대표성 기준, 적합성 기준, 가능성 기준을 적용하였다.

산림기능구분에 따라 적용된 기준과 지표는 우리나라에서 채택하고 있는 7개 기준, 27개 지표가 모두 적용된다고 사료되나 그 중에서도 산림기능마다 각각 다르게 적용된 대표성 기준, 적합성 기준, 가능성 기준에서 더 비중 있게 적용될 것으로 사료되는 지표들을 적용하였다.

따라서 산림의 6가지 기능에 적용된 기준과 지표들을 간단히 살펴보면 다음과 같다.

생활환경보전림은 대표성을 가지는 기준으로 생물다양성 보전 기준이 적용되었으며 4개의 지표가 적용되었고 적합성을 가지는 기준과 지표로 산림생태계 생산력 유지 기준에 4개의 지표와 산림생태계 건강도 및 활력도 유지에 2개의 지표가 적용되었다. 가능성을 가진 기준과 지표로 토양·수자원 보전과 유지에 1개 지표, 지구탄소순환에 대한 산림기여도 유지 기준에 2개 지표, 사회·경제적 편익의 유지 및 강화 기준에 1개 지표, 법적·제도적·경제적 체계 기준에 3개 지표가 적용된다.

자연환경보전림은 생활환경보전림과 마찬가지로 대표성을 가지는 기준과 지표로 생물다양성보전 기준에 4개의 지표, 산림생태계 생산력 유지 기준에 1개의 지표, 산림생태계 건강도 및 활력도 유지에 2개의 지표, 그리고 가능성을 가지는 기준과 지표로 토양·수자원 보전과 유지에 2개 지표, 지구탄소순환에 대한 산림기여도 유지 기준에 2개 지표, 사회·경제적 편익의 유지 및 강화 기준에 1개 지표, 법적·제도적·경제적 체계 기준에 4개 지표가 적용된다.

수원함양림은 대표성을 가지는 기준과 지표로 토양·수자원 보전과 유지 기준에 2개 지표를 적용하였고 적합성을 가지는 기준으로 생물다양성 보전 기준에 4개의 지표, 산림생태계 생산력 유지 기준에 1개의 지표, 산림생태계 건강도 및 활력도 유지에 1개의 지표가 적용된다. 가능성을 가지는 기준과 지표로 지구탄소순환에 대한 산림기여도 유지 기준에 2개 지표, 사회적·경제적 편익의 유지 및 강화 기준에 1개 지표, 법적·제도적·경제적 체계 기준에 4개 지표가 적용된다.

산지재해방지림은 대표성을 가지는 기준과 지표로 산림생태계 생산력 유지 기준에 1개의 지표가 적용되었고 적합성을 가지는 기준으로 생물다양성 보전 기준에 4개의 지표, 산림생태계 건강도 및 활력도 유지에 1개의 지표, 토양·수자원 보전과 유지에 2개 지표가 적용된다. 가능성을 가지는 기준과 지표로 지구탄소순환에 대한 산림 기여도 유지 기준으로 2개

지표, 법적·제도적·경제적 체계 기준에 3개 지표가 적용된다.

산림휴양림은 대표성을 가지는 기준과 지표로 생물다양성 보전 기준에 4개의 지표와 사회·경제적 편익의 유지 및 강화 기준에 2개 지표가 적용되며 적합성을 가지는 기준과 지표로 산림생태계 건강도 및 활력도 유지에 2개의 지표, 법적·제도적·경제적 체계 기준에 3개 지표가 적용된다. 가능성을 가지는 기준과 지표로 토양·수자원 보전과 유지에 2개 지표, 지구 탄소순환에 대한 산림기여도 유지 기준에 2개 지표가 적용된다.

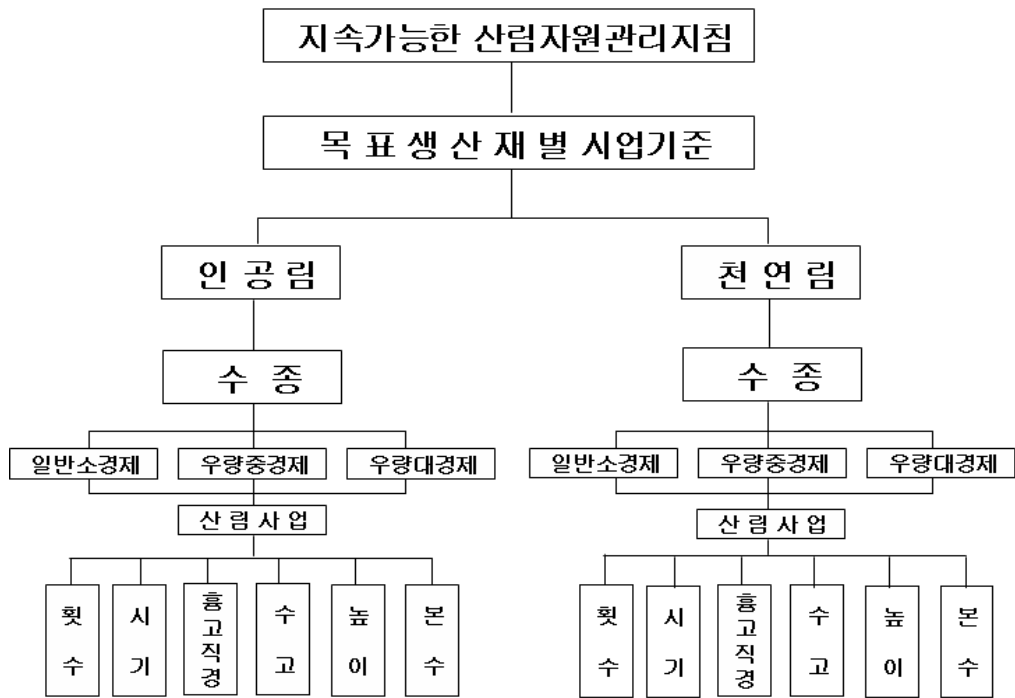
목재생산림은 대표성을 가지는 기준과 지표로 산림생태계 생산력 유지 기준에 3개의 지표가 적용되며 적합성을 가지는 기준과 지표로 생물다양성 보전 기준에 4개의 지표가 적용된다. 가능성을 가지는 기준과 지표로 토양·수자원 보전과 유지에 2개 지표, 지구탄소순환에 대한 산림기여도 유지에 기준에 2개 지표, 사회·경제적 편익의 유지 및 강화 기준에 2개 지표, 법적·제도적·경제적 체계 기준에 3개 지표가 적용 된다.

본 연구를 통하여 지속가능한 산림경영의 이행 평가를 위한 기준과 지표는 어떠한 산림에나 똑같은 기준과 지표가 적용되는 것이 아니라 각각의 산림 상태와 목표로 하는 방향에 따라 또는 여러 가지 요인들을 종합하여 그 산림에 가장 비중있게 적용가능하다고 사료되는 기준과 지표를 선정하는 것으로 언제나 똑같은 기준과 지표를 가지고 여러 산림을 평가 할 수는 없는 것이라고 판단된다.

그래서 산림에 기준과 지표는 언제 어느 산림에 따라서 각각 다른 기준과 지표가 적용되며 또한 이를 적용하기 위해서는 산림에 대한 정확한 데이터와 지식이 필요하다고 사료된다.

#### (4) 산림자원관리를 위한 pathway모델 개발

산림자원관리를 위한 pathway모델 개발은 강원도 인제군 정자리 균유림을 대상으로 여러 가지의 산림사업을 적용하여 산림경영자가 가장 알맞은 모델을 찾아가는 방법을 제시하는 의사결정을 할 수 있다. 또한 산림사업의 방법은 산림청의 지속가능한 산림자원관리지침(2004)에 있는 목표생산재별 시업기준을 적용하여 보았다.



<그림 2-4> 지속가능한 산림자원관리를 위한 pathway 모델 개발 모식도

## 1) SFM을 위한 경영기본단위

### a. Scoping(범주화)

산림을 경영하는데 있어서 첫 번째 단계는 현재의 산림상황과 미래의 발전 가능성을 조명해 보는 것이고 이것이 의사결정 접근법에서 표현되는 범주화이다.

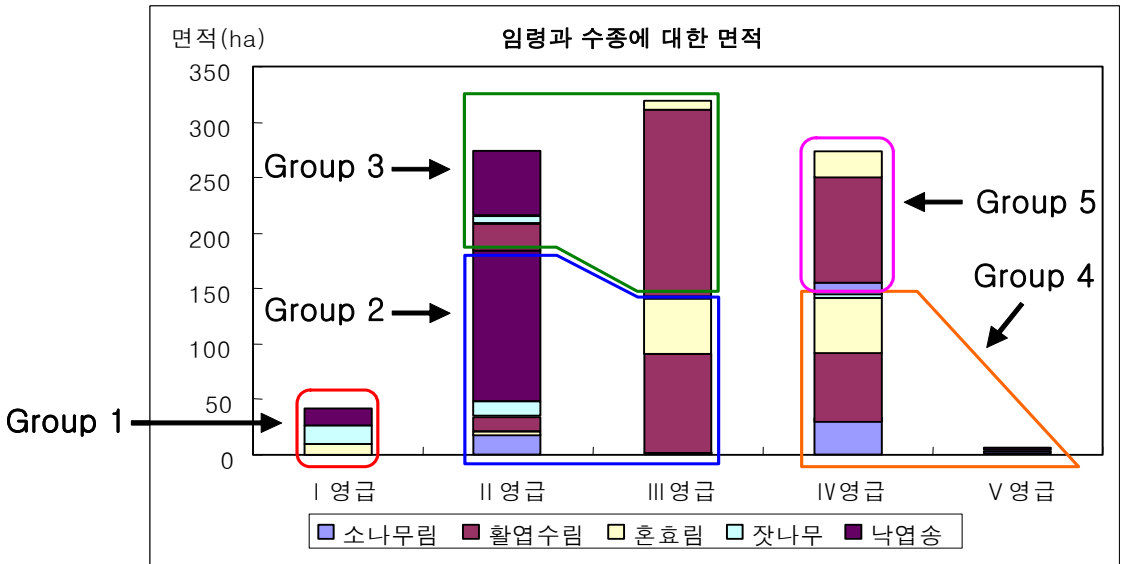
산림조사를 통한 산림의 일반현황, 임지의 생산력(지황), 연령분포, 수종분포, 임도망, 기타 현황 등의 속성들이 조사되었다.

본 연구에서는 연령분포 및 수종분포를 고려하고, 임지생산력의 지표로 지위자료가 중요하나 자료수집의 어려움으로 부득이 지황자료의 하나인 표고자료를 이용하여 범주화하였다.

### b. Grouping(그룹화)

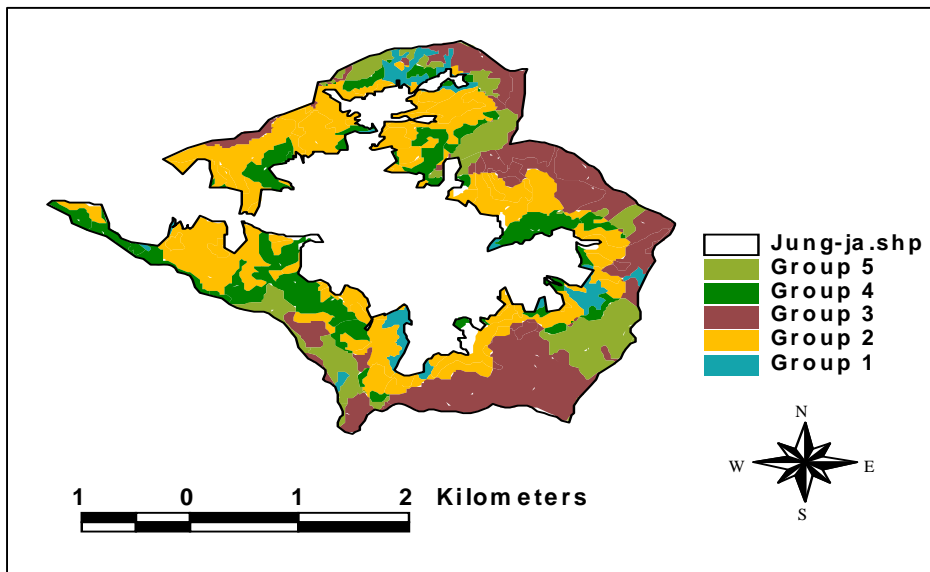
Landscape(경관)경영의 복잡성을 줄이기 위하여 정자리 균유림을 5개의 생태학적 그룹으로 나누었다. 각각의 그룹은 임령, 표고, 수종을 중심으로 구성되어 있다. <그림 2-5>는 임령과 수종에 대한 면적을 각각의 그룹이 속하는 부분을 표시한 그림이다.





<그림 2-5> 임령과 수종에 대한 그룹별 분포 현황

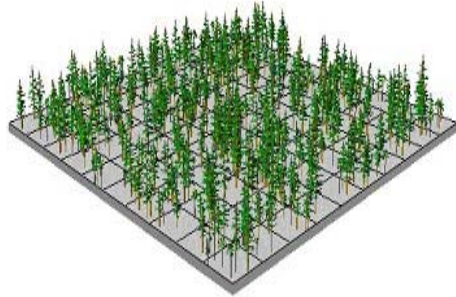
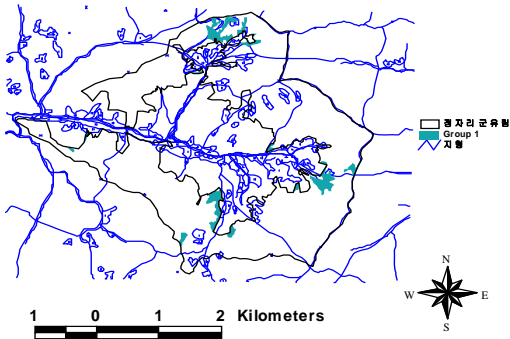
데이터 분석을 통하여 각각의 그룹을 지정하였고 정자리 균유림에 대한 각각 그룹의 분포는 <그림 2-6>과 같이 GIS 분석을 통하여 나타냈다.



<그림 2-6> 인제군 균유림의 그룹별 분포 현황

㉔ Group 1

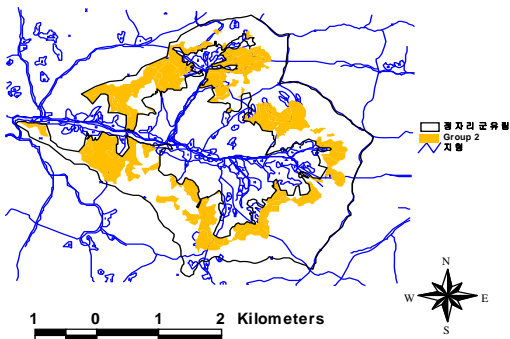
그룹 1은 I 등급 이하의 임분으로 수종은 혼효림, 잣나무림, 낙엽송림을 이루고 있으며 면적은 42ha로 나타났다.



<그림 2-7> 그룹 1의 위치도와 시뮬레이션 그림(예)

㉕ Group 2

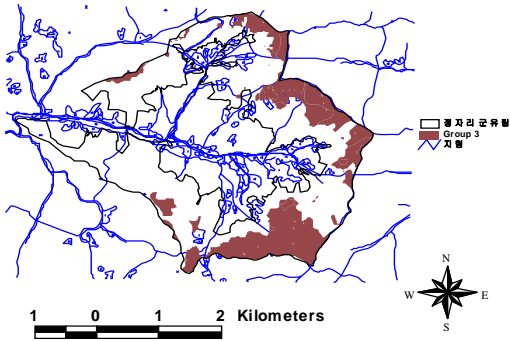
그룹 2는 II~III등급과 표고 800m 미만의 임분으로 수종은 혼효림, 활엽수림, 잣나무림, 낙엽송림, 소나무림을 이루고 있으며 면적은 345ha로 나타났다.



<그림 2-8> 그룹 2의 위치도와 시뮬레이션 그림(예)

㉖ Group 3

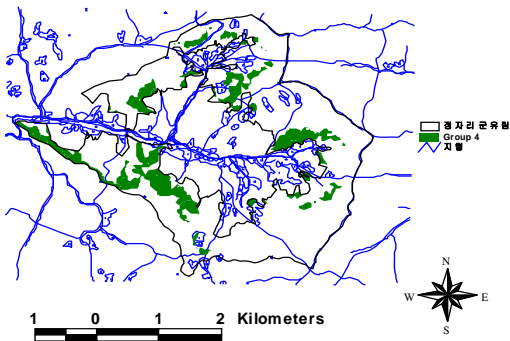
그룹 3은 II~III등급과 표고 800m 이상의 임분으로 수종은 혼효림, 활엽수림, 잣나무림, 낙엽송림을 이루고 있으며 면적은 256ha로 나타났다.



<그림 2-9> 그룹 3의 위치도와 시물레이션 그림(예)

#### ㉔ Group 4

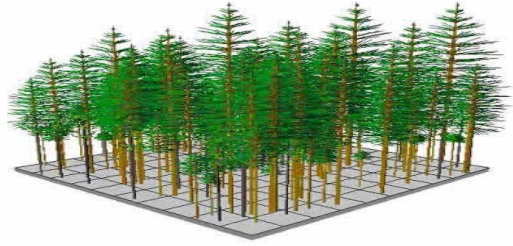
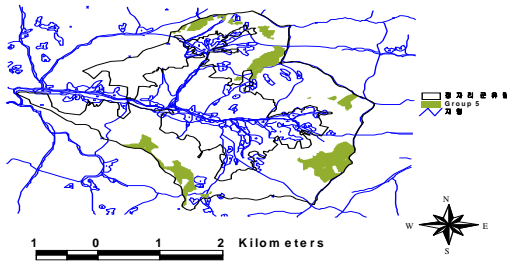
그룹 4는 IV~V영급과 표고 800m 미만의 임분으로 수종은 혼효림, 활엽수림, 잣나무림, 낙엽송림, 소나무림을 이루고 있으며 면적은 151ha로 나타났다.



<그림 2-10> 그룹 4의 위치도와 시물레이션 그림(예)

#### ㉕ Group 5

그룹 5는 IV~V영급과 표고 800m 이상의 임분으로 수종은 혼효림, 활엽수림, 소나무림을 이루고 있으며 면적은 151ha로 나타났다.



<그림 2-11> 그룹 5의 위치도와 시뮬레이션 그림(예)

## 2) Group별 산림사업별 Pathway모델 개발에

산림사업별 pathway모델 개발은 앞서 보여준 강원도 인제군 정자리 균유림을 대상으로 각각의 그룹에 여러 가지의 산림사업을 적용하여 산림경영자가 가장 알맞은 모델을 찾아가는 방법을 제시할 수 있다. 또한 산림사업의 방법으로 산림청의 지속가능한산림자원관리지침(2004)에 있는 목표생산재별 시업기준을 적용하여 보았다.

### a. Group 1

그룹 1은 I 영급 이하의 임분으로 수종은 혼효림, 잣나무림, 낙엽송림을 이루고 있으며 면적은 42ha로 나타났으며 이를 바탕으로 5가지의 산림사업 방법과 아무런 작업을 하지 않는 방법으로 계획하였다.

<표 2-10> I 영급 이하 임분에 대한 산림사업별 pathway모델

연도별 산림 사업별	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050				
1	풀베기													
2	풀베기										간벌 1300본/ ha			
3	풀베기 어린나무 가꾸기										간벌 1300본/ ha	간벌 900본/ ha		
4											어린나무 가꾸기	간벌 1300본/ ha	간벌 700본/ ha	간벌 350본/ ha
5											가지치기 어린나무 가꾸기	간벌 800본/ ha	간벌 400본/ ha	
6	No action													

**b. Group 2**

그룹 2는 Ⅱ~Ⅲ영급과 표고 800m 미만의 임분으로 수종은 혼효림, 활엽수림, 잣나무림, 낙엽송림, 소나무림을 이루고 있으며 면적은 345ha로 나타났으며 이를 바탕으로 5가지의 산림사업 방법과 아무런 작업을 하지 않는 방법으로 계획하였다.

<표 2-11> Ⅱ~Ⅲ영급 (표고 800m 미만) 임분에 대한 산림사업별 pathway모델

연도별 산림사업별	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
1		간벌 700본/ ha								
2		간벌 700본/ ha		간벌 500본/ ha						
3		간벌 700본/ ha		간벌 500본/ ha				간벌 300본/ ha		
4				가지치기 간벌 700본/ ha						
5				가지치기 간벌 700본/ ha				간벌 350본/ ha		
6	No action									

**c. Group 3**

그룹 3은 Ⅱ~Ⅲ영급과 표고 800m 이상의 임분으로 수종은 혼효림, 활엽수림, 잣나무림, 낙엽송림을 이루고 있으며 면적은 256ha로 나타났으며 이를 바탕으로 5가지의 산림사업 방법과 아무런 작업을 하지 않는 방법으로 계획하였다.

<표 2-12> II ~ III영급 (표고 800m 이상) 임분에 대한 산림사업별 pathway모델

연도별 산림 사업별	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
1		간벌 700본/ ha								
2		간벌 700본/ ha		간벌 500본/ ha						
3		간벌 700본/ ha		간벌 500본/ ha				간벌 300본/ ha		
4			간벌 700본/ ha							
5			간벌 700본/ ha			간벌 350본/ ha				
6	No action									

d. Group 4

그룹 4는 IV ~ V영급과 표고 800m 미만의 임분으로 수종은 혼효림, 활엽수림, 잣나무림, 낙엽송림, 소나무림을 이루고 있으며 면적은 151ha로 나타났으며 이를 바탕으로 5가지의 산림사업 방법과 아무런 작업을 하지 않는 방법으로 계획하였다.

<표 2-13> IV ~ V영급 (표고 800m 미만) 임분에 대한 산림사업별 pathway모델

연도별 산림 사업별	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
1	간벌 500본/ ha									
2	간벌 500본/ ha			간벌 300본/ ha						
3	간벌 500본/ ha			간벌 300본/ ha						간벌 200본/ ha
4				간벌 300본/ ha						
5		간벌 350본/ ha			간벌 200본/ ha					
6	No action									

**e. Group 5**

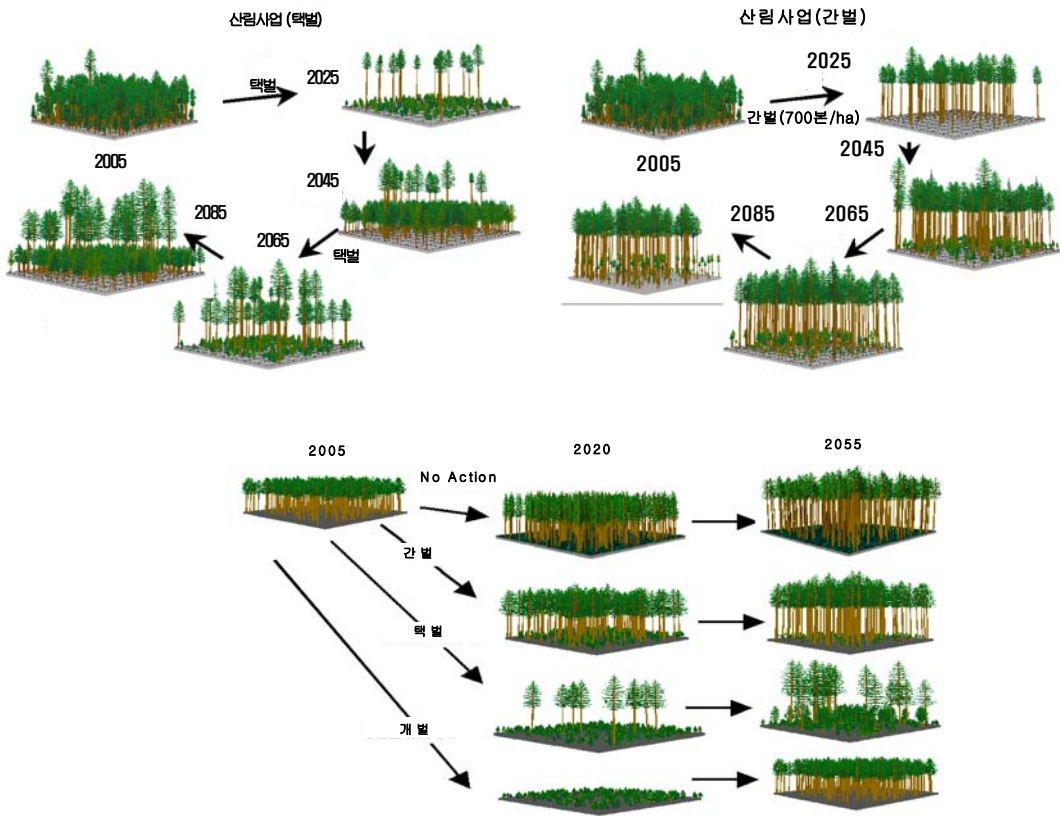
그룹 5는 IV~V영급과 표고 800m 이상의 임분으로 수종은 혼효림, 활엽수림, 소나무림을 이루고 있으며 면적은 151ha로 나타났으며 이를 바탕으로 5가지의 산림사업 방법과 아무런 작업을 하지 않는 방법으로 계획하였다.

<표 2-14> IV~V영급 (표고 800m 이상) 임분에 대한 산림사업별 pathway모델

연도별 산림 사업별	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050		
1	간벌 500본/ ha											
2	간벌 500본/ ha										간벌 300본/ ha	
3	간벌 300본/ ha											
4											간벌 400본/ ha	
5	간벌 400본/ ha										간벌 250본/ ha	
6	No action											

이러한 각각의 그룹에 대한 산림사업 계획을 시뮬레이션으로 나타내어 가장 최적의 사업을 경영자로 하여금 찾게 하는 것이 목적이라 할 수 있다.

<그림 2-12>는 산림작업인 택벌과 간벌의 사업을 할 경우의 시간이 지날수록 나타나는 산림 형태를 시뮬레이션모델로 나타낸 예이고 마지막 시뮬레이션 그림은 이러한 모든 산림 사업을 한번에 볼 수 있는 그림이다.



<그림 2-12> 산림사업별 시뮬레이션 결과에

### 3) 결론

본 연구의 목적은 지속가능한 산림경영에 맞추어 기존의 임·소반의 구획을 탈피하여 새로운 산림경영의 기본단위의 모색을 위해 Landscape(경관) 접근방법을 사용하고 산림청에서 마련한 지속가능한 산림자원관리 지침서를 바탕으로 산림사업별 pathway모형을 개발하는데 있다. 그리하여 강원도 인제군 정자리 균유림 934ha를 이용하여 Landscape(경관)접근방법으로 Scoping(범주화)을 통한 5개의 생태학적 Grouping(그룹화)으로 구분하였다.

Scoping(범주화)의 경우 산림조사를 통하여 수집할 수 있는 산림의 일반현황과 임지의 생산력(지황), 연령분포, 수종분포, 임도망 등의 속성자료들을 종합하여 분석하여야 한다.

Grouping(그룹화)의 경우 Landscape(경관)경영의 복잡성을 줄이기 위하여 각각의 그룹을 임령, 표고, 수종을 중심으로 5개의 그룹으로 구성하였다. 이러한 그룹들은 GIS를 이용하여 지도상에 표현함과 더불어 현재 연구 중인 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 각각의 그룹에 현



재 임분 상태를 분석할 수 있다.

산림사업별 pathway의 모델 개발은 산림청에서 발간한 지속가능한 산림자원관리 지침(2004)을 바탕으로 하였다. 목표생산재별 산림사업기준인 인공림과 천연림의 산림사업을 구체적인 데이터 정리를 통하여 여러 가지 산림사업 관리방안의 계획을 설정해 보았다. 여러 가지의 산림사업의 계획은 현재 연구 중인 컴퓨터 시뮬레이션에 이용하여 산림경영자의 산림경영 의사결정을 할 수 있는 방안을 설정할 수 있는 점이 있다.

본 연구는 결과를 나타낸 것이 아니고 지속가능한 산림경영의 새로운 경영단위에 대하여 실질적인 산림을 대상으로 Landscape(경관)접근법 이라는 새로운 방법을 시도한 것으로 이러한 경영단위를 바탕으로 한 산림사업에 대하여 표준화된 산림사업 pathway모델을 만든 것이다.

현재 연구 중인 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하면 보다 정확한 임분상태를 파악하는데 유용하며 이것이 실질적으로 적용된다면 앞으로의 산림정책의 방향 설정에 매우 큰 도움이 될 수 있으리라 사료된다.

## 나. 산림수확 작업종에 따른 pathway 및 목표임형의 개발

### (1) 우리나라 산림에 적용 가능한 산림수확 작업종의 검토

1년차 연구에서는 강원도 인제군 정자리 군유림을 대상으로 모델링을 설정하여 기초적인 데이터와 지속가능한 산림경영을 위한 자료수집을 실행하였다.

그러나 민유림이라는 한계점과 기초적 데이터의 부족, 연구대상지역의 거리문제로 인하여 연구대상지를 변경하였다.

그리하여 춘천 국유림관리소의 도움으로 춘천시 남산면 강촌리에 위치한 국유림을 선택하였다. 이곳은 관리소에서 체계적인 산림경영계획과 GIS 정보데이터, 산림기능구분, 여러 가지 연구에 필요한 데이터들을 수집하고 1년차 연구에서 필요로 한 부분을 다시 실행하였다.

변경된 강촌 모델링의 경우 잣나무 인공림과 낙엽송 인공림의 경우는 목재생산림으로 지정되어 있으며 임령은 대부분이 III영급이상으로 분포되어 있다.



<그림 2-13> 강촌모델림 산림기능구분

연구 대상지의 실행 가능한 산림수확 작업종을 살펴보면 목재생산림의 경우 개별을 중심으로 국유림 산림경영계획에 따라 5ha 미만으로 정하여 실행해야 하고 수자원 함양기능의 경우를 살펴보면 대부분이 천연활엽수로 구성되어있어 모수작업이나, 산벌작업 등 임지나 경관에 크게 무리가 없는 작업종을 택해야 할 것이다. 본 연구에서는 3차년도에 나타난 최적 산림수확모델 개발을 위하여 목재생산기능 산림을 대상으로 개별을 가정한 산림수확 작업종을 연구하였다.

가능한 산림수확 작업종의 검토를 바탕으로 살펴보면 우량대경계 생산을 목표로 하여 잣나무 인공림의 경우는 수확시기를 70년을 목표로 하고 1차간벌(400본)과 2차간벌(250본)이 필요하고 낙엽송 인공림의 경우는 수확시기를 70년을 목표로 하고 1차간벌(350본)과 2차간벌(200본)을 필요로 한다. 특히 참나무류의 경우는 천연갱신을 유도하는 산림작업종의 방안을 필요로 한다.

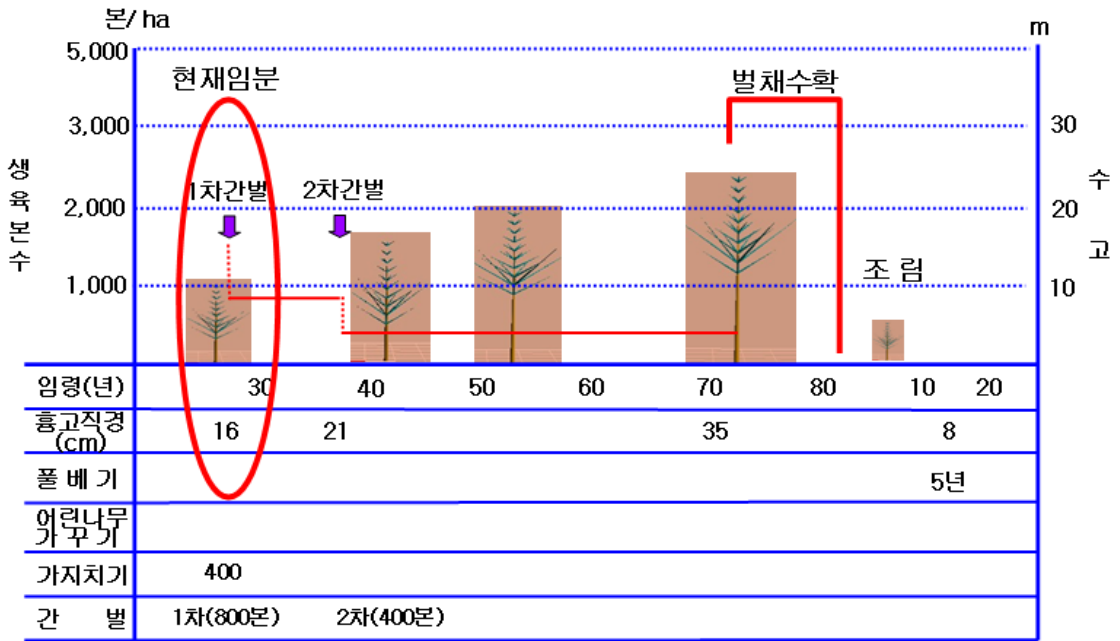
3년차 연구에서는 강촌모델림의 주요 수종을 대상으로 적용가능한 산림수확 작업종의 검토 결과를 바탕으로 임분동태 시각화 모델에 연계하여 타당성을 검토하고 모델림의 최적 산림 수확작업종의 방안을 마련 하고 이것을 기초로하여 최적 주벌계획을 완성 하고자 한다.

### 1) 잣나무인공림

잣나무 생산목표는 우량재(흉고직경 35cm이상)로 하고 식재본수는 3,000본/ha으로 하고 있다.

#### a. 우량재

우량재 생산림은 흉고직경 35cm이상의 임목 약 250본/ha를 수확하는 것을 목표로 하며 예상 벌기령은 70년에서 80년으로 정하고, 적용되는 시업은 III영급에서 1차 간벌과 IV영급에서 2차 간벌로 설정하였다. 간벌의 강도는 지속가능한 산림자원관리 지침과 현장 임분상태를 고려하여 임목의 30%, 50%의 간벌 강도를 책정 하였으며 pathway를 통한 시물레이션으로 가장 적합한 간벌 pathway를 도출한다.



<그림 2-14> 잣나무 우량재 생산 시업체계도

<표 2-15> 잣나무 생산목표별 시업체계

시업		생산목표
		우량재 (흉고직경 35cm이상)
풀베기		5년간
어린 나무 가꾸기	1차	10년, 2,000본/ha 수고 3.5m, 흉고직경 4cm
	2차	15년, 1,500본/ha 수고 6m, 흉고직경 8cm
가지 치기	1차	15년, 400본/ha, 높이 3m, 수고 6m, 흉고직경 8m
	2차	20년, 400본/ha, 높이 4m, 수고 8m, 흉고직경 12m
	3차	25년, 400본/ha, 높이 6m, 수고 10, 흉고직경 16m
숙아 베기		25년, 800본/ha 수고10m, 흉고직경16cm
		35년, 400본/ha 수고16m, 흉고직경21cm
수확		70년

※ 출처 : 지속가능한 산림자원관리 표준매뉴얼. 산림청(2005)

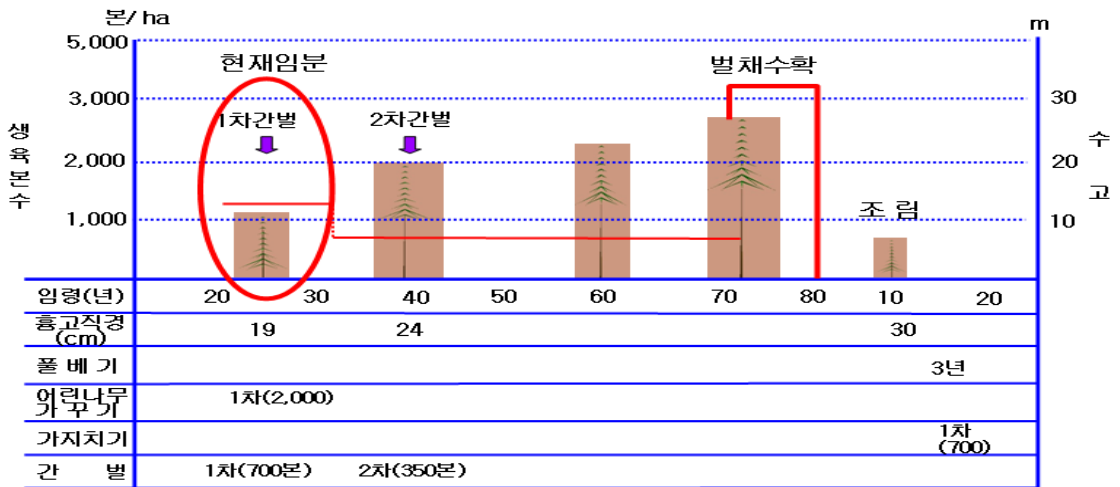
## 2) 낙엽송

낙엽송은 생산목표가 우량재(흉고직경 40cm이상)로 하고 식재본수는 3,000본/ha을 기준으로 하고 있다.

### a. 우량재

낙엽송 우량재 생산림은 흉고직경 40cm이상으로 임목 약 350본/ha생산이 목표이며 예상 벌기령은 70년이고 어린나무가꾸기 1회, 가지치기 2회, 숙아베기 3회 실시하며 가지치기 분

수는 350본/ha으로 정한다.



<그림 2-15> 잣나무 우량재 생산 시업체계도

<표 2-16> 낙엽송 생산목표별 시업체계

시 업	생 산 목 표	
	우량재 (흉고직경 40cm)	
식 재	3,000본/ha(1-1묘)	
풀 베 기	3년간	
어린나무 가 꾸 기	1차	8년, 2,000본/ha 수고 8m, 흉고직경 8cm
가지치기	1차	8년, 350본/ha, 높이 3m 수고 8m, 흉고직경 8cm
	2차	15년, 350본/ha, 높이 6m 수고 13m, 흉고직경 13cm
숙아베기	1차	15년, 1,300본/ha 수고 13m, 흉고직경 13cm
	2차	25년, 700본/ha 수고 18m, 흉고직경 19cm
	3차	40년, 350본/ha 수고 22m, 흉고직경 24cm
수 확	70년	

※출처 : 지속가능한 산림자원관리 표준매뉴얼. 산림청(2005)

### 3) 참나무류

참나무류 임분은 대경제 생산이 가능한 천연림보육 대상지와 임분개량이 필요한 천연림개량 대상지로 구분하고 천연림보육을 실시하는 임분은 장별기 대경제 생산림으로 유도하고 임분개량이 필요한 임분은 천연림개량 적용 여부를 판단한다.

천연림개량 대상지가 1차 작업 후 임분형질이 개선되어 천연림보육대상지의 조건을 갖추면 천연림보육을 실시할 수 있다. 임분형질개선이 미흡하지만 중경제 생산이 가능하면 중별기 중경제생산을 목표로 시업하며 형질개선이 거의 없는 경우 단별기 소경제 생산시업을 하거나 갱신을 실시할 수 있다.

## (2) 각 작업종별 산림사업에 따른 pathway의 개발

강촌 모델림의 경우 임령이 III영급이상으로 분포되어 있고 현실적으로 가장 많이 실행되는 산림사업 작업종은 개별이라 할 수 있다. 2년차 연구에서는 현재 임분에 대한 수확작업종으로 개별을 선택하여 간벌계획의 pathway를 개발하고 3년차 연구에서는 주벌계획과 연계할 것이다.

간벌계획의 pathway개발은 여러 가지의 경로를 통하여 간벌재적을 최대화하는 것이다. 본 2년차 연구에서는 최적 간벌계획방안을 선택하기 위하여 연속적 의사결정 문제를 해결하기 위한 동적계획법을 이용하였다.

### 1) 동적계획법

동적 계획법(Dynamic Programming, DP)은 연속적 의사결정 문제를 해결하기 위한 순환적 최적화 접근법이다. 순환적 최적화 절차에 의해서 의사결정의 선행단계로부터 자료를 이용하여 매 단계별로 최적의사결정을 내리면서 전체 단계에 대한 최적해(最適解)를 도출해낸다. 지금까지 목재수확조절 문제에 가장 많이 적용되고 있는 선형계획법에서 최적화는 단계적으로 달성되기는 하지만 순환적이 아니라 반복적인 연산에 의해서 달성되며 각 단계에서의 해는 최적해가 아니라 일정한 해를 제시해 준다. 동적계획법에서는 하나의 단일단계는 선행단계와 연속적으로 관련되어 있으며 단일단계는 그 단계의 최적해는 되지만 전체단계에 대한 최적해는 아니다.

따라서 동적계획법은 연속적으로 상호 의존된 의사결정을 필요로 하는 문제 등에 응용되고 있다. 동적계획법의 계산방법은 최적화의 원리(principle of optimality)로 알려진 순환 최적원리에 그 기초를 두고 있다. 최적화의 원리란 어떤 상태의 최적의사결정 규칙은 주어진 현재의 상태 하에서 남아 있는 단계들의 최적상태의 결정이 이전의 모든 단계에서 채택되어

진 정책들에 종속되어지는 것이 아니라 바로 전 단계의 정책에 의해서만 최적화되어야 한다는 원리이다. 즉, 다단계의 의사결정문제에서 어떤 상태의 최적정책이 어떻게 하여 이 상태에 도달되었는가에 관계없이 독립적으로 현재의 상태에만 의존한다는 것을 의미한다.

동적계획법을 이용해서 임분의 최적 주·간벌량을 결정하기 위해서 우선 어떤 시점에 있어서 그 임분의 상태에 관한 몇몇 변수들을 정할 필요가 있다. 일반적으로 임분의 상태와 그 변화를 기술할 경우에 직경, 수고, 재적 등의 인자들이 존재한다. 그런데 직경과 비교해서 수고의 측정은 그 노력이 많이 들고 동시에 그 측정의 정확도를 높이는 것은 지극히 곤란하다. 그렇지만 유령림을 제외하고 종국적으로 임분의 상태와 그의 변화를 기술하는데 재적이 이용되는 것이 보통이다. 종래의 연구로부터 임분의 ha당 단면적과 재적의 관계는 높은 상관성이 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 2차년도 계획에서는 ha당 단면적을 결정변수로 선택하여 총 수확(주·간벌합계)을 최대로 하는 의미에서의 최적간벌계획법에 대해서 고찰해 보고자 한다.

## 2) 연구대상지역

본 연구대상지는 춘천국유림 관리소 내 강촌 모델림의 잣나무 인공림, 낙엽송 인공림, 신갈·굴참나무가 군생(群生)하고 있는 천연활엽수림을 대상으로 하였으며, 그 해당 임분은 <그림2-16>과 같다.



<그림 2-16> 연구대상지역 위치도

잣나무와 낙엽송 인공림은 현재 각각 III영급, IV영급으로 나타났으며, 면적은 각각 14ha와 3ha를 차지하고 있다. 간벌은 1997년과 2005년에 각각 2차례 실시하였다. 반면 천연활엽수림의 경우, 평균 32년생으로 2004년도에 천연림보육을 실시하였으며, 산림조사를 실시하여

나타난 ha당 흉고단면적은 <표 2-17>과 같다.

<표 2-17> 연구대상지역의 각 임분별 현황

임분	임소반	면적(ha)	영급	ha당 단면적 (m <sup>2</sup> /ha)	작업종
잣나무 인공림	21-다	14	30년생(Ⅲ영급)	17.6	간벌(1997, 2005년, 14ha)
낙엽송 인공림	21-마	3	40년생(Ⅳ영급)	22.5	간벌(1997, 2005년, 3ha)
천연활엽수림	8-아	7	32(20~48)년생	30.3	천연림보육(2004년, 7ha)

### 3) 연구방법

본 연구에서는 현재 각 해당 임분상태에서 1차 간벌이 실시되는 것으로 하고 벌기령 70년생까지 5년 간격으로 간벌을 실시하는 것으로 가정하였다. 또한 간벌수준은 임분사정을 고려하여 0%(무간벌) 10%, 20%의 3가지 수준으로 실시되는 것으로 가정하였다. 흉고단면적은 산림조사 자료를 이용하여 수정리차드 함수식에 의해 각 영급별로 추정하였다. 임령별 재적산출을 위한 수고는 임분수확표(임목자원평가프로그램)의 임령별 수고값을 참조하였다. 단, 천연활엽수림의 경우는 신갈나무의 임분수확표를 참조하였다.

여기서 수정리차드 함수식(MRF)은 Chen 등(1980)이 제시한 동적계획법 이론에 의한 것으로 수직적 계산방법과 해석적 방법을 통하여 다음과 같은 함수식으로 표기하였다.

$$\Delta Ba = a(ba) - b(ba)^m$$

$\Delta Ba$  : ha당 정기 평균 흉고단면적 성장량,  $ba$  : 간벌 직후의 ha당 흉고단면적

그리고 각 해당 임분의 지위지수를 산정하고 이에 대한 임분수확표의 흉고단면적 자료를 활용하여 계수값을 결정하였다. 간벌직후의 성장량을 추정하기 위하여 영급별로 각 계수값이 추정되어야 하는데, 영급별 간벌자료의 부족으로 각 영급별 평균치에 해당하는 계수값을 SYSTAT S/W에 의해 산출하였다<표 2-18>.

<표 2-18> 임분별 수정리차드 함수식의 계수

임분	지위지수	계수값		
		a	b	m
잣나무 인공림	14	1.0996	0.9027	0.9533
낙엽송 인공림	16	0.2803	0.3309	0.7268
천연활엽수림	12	0.8266	0.3932	0.3543



#### 4) 각 임분별 간벌 pathway 결정

##### a. 잣나무 인공림

위와 같은 방법에 의해 계산된 ha당 흉고단면적과 재적은 영급별로 각 간벌수준별로 <표 2-19>와 같이 준비 될 수 있다. 3가지의 간벌계획에 의하여 최종 수확을 나타낼 수 있다. 여기서 30년생일 때의 ha당 흉고단면적은  $17.6\text{m}^2$ 이고 간벌을 하지 않는 무간벌(0%)의 경우  $20.5\text{m}^2$ , 10%의 간벌을 실시할 경우 흉고단면적  $1.76\text{m}^2$ 가 벌채되어 간벌직후의 흉고단면적은  $15.84\text{m}^2$ 가 되고, 20%의 간벌을 실시할 경우에는  $3.52\text{m}^2$ 가 벌채되어 간벌직후의 흉고단면적은  $14.08\text{m}^2$ 가 된다.

초기 임분의 ha당 흉고단면적  $17.6\text{m}^2$ 에서 무간벌로 5년간 생장이 되어 35년생일 때의 ha당 흉고단면적은  $20.5\text{m}^2$ 가 되고 10% 간벌직후의 5년이 지난 35년생일 때에는  $22.4\text{m}^2$ 가 된다. 또한 20%의 간벌이 실시된 이후 5년이 지난 35년생일 때에는 ha당 흉고단면적이  $21.8\text{m}^2$ 가 된다. 이와 같은 식으로 70년생까지 계산이 되고 70년생 때에는 주벌이 이루어지게 되어 완전히 벌채가 된다. 따라서 무간벌 임분에서는  $31.6\text{m}^2$ 가 벌채될 수 있고, 10%와 20% 간벌 임분의 경우는 각각  $82.6\text{m}^2$ ,  $55.4\text{m}^2$ 가 벌채된다<표 2-19>.

ha당 3가지 간벌수준에 있어서 각 영급별 ha당 간벌재적의 경우 30년생일 때 10% 수준에서  $10.23\text{m}^3$ , 20% 수준에서  $20.47\text{m}^3$ 로 계산되었다. 그리고 5년 후의 35년생일 때의 ha당 흉고단면적은 무간벌에서  $20.5\text{m}^2$ , 10% 간벌수준에서  $22.4\text{m}^2$ , 20% 간벌수준에서  $21.8\text{m}^2$ 가 된다. 이 때의 간벌재적은 무간벌의 경우 간벌이 실시되지 않기 때문에 0, 10% 수준에서 ha당  $12.69\text{m}^3$ , 20% 수준에서  $25.37\text{m}^3$ 이 간벌된다. 따라서 벌기령 70년일 때의 재적은 무간벌의 경우  $261.6\text{m}^3$ 이고, 10% 수준에서는  $682.6\text{m}^3$ , 20% 수준에서는  $458.3\text{m}^3$ 이 되어 각 수준별 주벌을 실시할 수 있다.

<표 2-19> 간벌계획에 따른 ha당 단면적과 재적

Age	Node	Thinning levels(%)	BA/ha	간벌량 (ha당 단면적)		최종 수확량	Vol/ha	간벌량 (ha당 재적)		최종 수확량
				10%	20%			10%	20%	
30	A		17.6	1.76	3.52		102.3	10.23	20.47	
35	B	0%	20.5	2.05	4.09		126.9	12.69	25.37	
	C	10%	22.4	2.24	4.48		138.8	13.88	27.76	
	D	20%	21.8	2.18	4.36		135.1	13.51	27.02	
40	E	0%	23.0	2.30	4.61		151.0	15.10	30.19	
	F	10%	28.1	2.81	5.63		184.3	18.43	36.87	
	G	20%	25.7	2.57	5.13		168.2	16.82	33.63	
45	H	0%	25.1	2.51	5.02		172.6	17.26	34.52	
	I	10%	29.5	2.95	5.90		203.1	20.31	40.62	
	J	20%	30.3	3.03	6.07		208.7	20.87	41.74	
50	K	0%	26.8	2.68	5.36		192.7	19.27	38.54	
	L	10%	38.1	3.81	7.61		273.5	27.35	54.71	
	M	20%	32.3	3.23	6.46		232.3	23.23	46.46	
55	N	0%	28.3	2.83	5.66		211.6	21.16	42.32	
	O	10%	49.5	4.95	9.90		370.2	37.02	74.04	
	P	20%	34.1	3.41	6.82		255.0	25.50	51.00	
60	Q	0%	29.6	2.96	5.91		229.3	22.93	45.86	
	R	10%	64.6	6.46	12.93		501.2	50.12	100.24	
	S	20%	51.2	5.12	10.25		397.3	39.73	79.46	
65	T	0%	30.7	0	0		245.9	0	0	
	U	10%	72.5	0	0		580.8	0	0	
	V	20%	53.2	0	0		426.4	0	0	
70	W	0%					31.6			261.6
		10%					82.6			682.6
		20%					55.4			458.3

<표 2-19>의 자료를 사용하여 <그림 2-17>과 같은 network가 준비될 수 있으며, 동적 계획법 이론의 순환방정식에 의해서 최적임분밀도 즉 총수확량을 최대로 하는 의미에서의 최적 주벌·간벌량이 결정될 수 있다. 본 연구에서는 N=8인 경우에 해당되며, 흉고단면적 Bn의 값을 제시하면서 3가지의 간벌수준에 대해서 언급하였기 때문에 각 단계별 결합점(Node)은 <그림 2-17>과 같이 A~W까지 표시될 수 있다. 따라서 N=7에 대한 B6의 결합점은 T, U, V가 된다. 각 단계별 간벌량을 계산한 결과는 다음 과정과 같다.

$$f_2(Q) = \max Y_7 \begin{matrix} 0 + f_1(T) \\ 2.96 + f_1(U) \\ 5.91 + f_1(V) \end{matrix}$$

$$f_2(R) = \max Y_7 \begin{matrix} 6.46 + f_1(U) \\ 12.93 + f_1(V) \end{matrix}$$

$$= \max Y_7 \begin{array}{l} 0+31.6 \\ 2.96+82.6 \\ 5.91+55.4 \end{array} = 85.56$$

$$= \max Y_7 \begin{array}{l} 6.46+82.6 \\ 12.93+55.4 \end{array} = 89.06*$$

$$f_2(R) = \max Y_7 \begin{array}{l} 5.12+f_1(U) \\ 10.25+f_1(V) \end{array}$$

$$= \max Y_7 \begin{array}{l} 5.12+82.6 \\ 10.25+55.4 \end{array} = 87.72$$

N=6에 대한 순환방정식 B5의 결합점은 N, O, P가 되며, 위와 같은 방법으로 적용된다.

$$f_3(N) = \max Y_6 \begin{array}{l} 0+f_2(Q) \\ 2.83+f_2(R) \\ 5.66+f_2(S) \end{array}$$

$$= \max Y_6 \begin{array}{l} 0+85.56 \\ 2.83+89.06 \\ 5.66+87.72 \end{array} = 93.38$$

$$f_3(O) = \max Y_6 \begin{array}{l} 4.95+f_2(R) \\ 9.90+f_2(S) \end{array}$$

$$= \max Y_6 \begin{array}{l} 4.95+89.06 \\ 9.90+87.72 \end{array} = 97.62*$$

$$f_3(P) = \max Y_6 \begin{array}{l} 3.41+f_2(R) \\ 6.82+f_2(S) \end{array}$$

$$= \max Y_6 \begin{array}{l} 3.41+89.06 \\ 6.82+87.72 \end{array} = 94.54$$

N=5에 대한 순환방정식 B4의 결합점은 K, L, M이 되며, 위와 같은 방법으로 적용된다.

$$f_4(K) = \max Y_5 \begin{array}{l} 0+f_3(N) \\ 2.68+f_3(O) \\ 5.36+f_3(P) \end{array}$$

$$= \max Y_5 \begin{array}{l} 0+93.38 \\ 2.68+97.62 \\ 5.36+94.54 \end{array} = 100.30$$

$$f_4(L) = \max Y_5 \begin{array}{l} 3.81+f_3(O) \\ 7.61+f_3(P) \end{array}$$

$$= \max Y_5 \begin{array}{l} 3.81+97.62 \\ 7.61+94.54 \end{array} = 102.15*$$

$$\begin{aligned}
 f_4(M) &= \max Y_5 \begin{array}{l} 3.23 + f_3(O) \\ 6.46 + f_3(P) \end{array} \\
 &= \max Y_5 \begin{array}{l} 3.23 + 97.62 = 101.00 \\ 6.46 + 94.54 \end{array}
 \end{aligned}$$

N=4에 대한 순환방정식 B3의 결합점은 H, I, J가 되며, 위와 같은 방법으로 적용된다.

$$\begin{aligned}
 f_5(H) &= \max Y_4 \begin{array}{l} 0 + f_4(K) \\ 2.51 + f_4(L) \\ 5.02 + f_4(M) \end{array} \\
 &= \max Y_4 \begin{array}{l} 0 + 100.30 \\ 2.51 + 102.15 = 106.02 \\ 5.02 + 101.00 \end{array}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_5(I) &= \max Y_4 \begin{array}{l} 2.95 + f_4(L) \\ 5.90 + f_4(M) \end{array} \\
 &= \max Y_4 \begin{array}{l} 2.95 + 102.15 = 106.90 \\ 5.90 + 101.00 \end{array}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_5(J) &= \max Y_4 \begin{array}{l} 3.03 + f_4(L) \\ 6.07 + f_4(M) \end{array} \\
 &= \max Y_4 \begin{array}{l} 3.03 + 102.15 = 107.07* \\ 6.07 + 101.00* \end{array}
 \end{aligned}$$

N=3에 대한 순환방정식 B2의 결합점은 E, F, G가 되며, 위와 같은 방법으로 적용된다.

$$\begin{aligned}
 f_6(E) &= \max Y_3 \begin{array}{l} 0 + f_5(H) \\ 2.30 + f_5(I) \\ 4.61 + f_5(J) \end{array} \\
 &= \max Y_3 \begin{array}{l} 0 + 106.02 \\ 2.30 + 106.90 = 111.68 \\ 4.61 + 107.07 \end{array}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_6(F) &= \max Y_3 \begin{array}{l} 2.81 + f_5(I) \\ 5.63 + f_5(J) \end{array} \\
 &= \max Y_3 \begin{array}{l} 2.81 + 106.90 = 112.70* \\ 5.63 + 107.07* \end{array}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_6(G) &= \max Y_3 \begin{array}{l} 2.57 + f_5(I) \\ 5.13 + f_5(J) \end{array}
 \end{aligned}$$

$$= \max Y_3 \begin{array}{l} 2.57 + 106.90 = 112.20 \\ 5.13 + 107.07 \end{array}$$

N=2에 대한 순환방정식 B1의 결합점은 B, C, D가 되며, 위와 같은 방법으로 적용된다.

$$f_7(B) = \max Y_2 \begin{array}{l} 0 + f_6(E) \\ 2.05 + f_6(F) \\ 4.09 + f_6(G) \end{array}$$

$$= \max Y_2 \begin{array}{l} 0 + 111.68 \\ 2.05 + 112.70 = 116.29 \\ 4.09 + 112.20 \end{array}$$

$$f_7(C) = \max Y_2 \begin{array}{l} 2.24 + f_6(F) \\ 4.48 + f_6(G) \end{array}$$

$$= \max Y_2 \begin{array}{l} 2.24 + 112.70 = 116.68* \\ 4.48 + 112.20* \end{array}$$

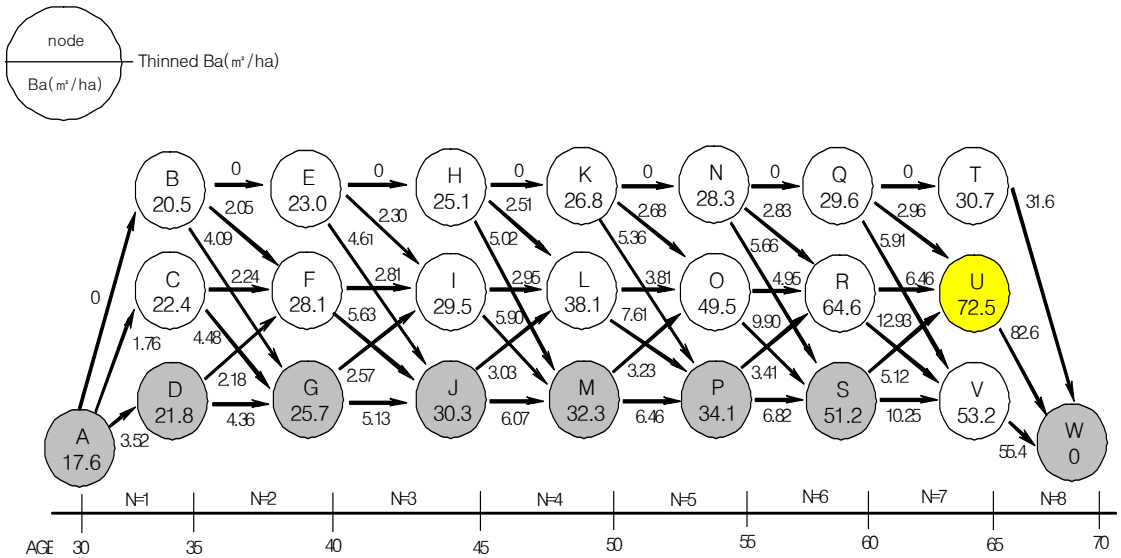
$$f_7(D) = \max Y_2 \begin{array}{l} 2.18 + f_6(F) \\ 4.36 + f_6(G) \end{array}$$

$$= \max Y_2 \begin{array}{l} 2.18 + 112.70 = 116.56 \\ 4.36 + 112.20 \end{array}$$

N=1에 대한 순환방정식 B0에 해당하는 결합점은 A이므로 아래와 같이 나타나게 된다.

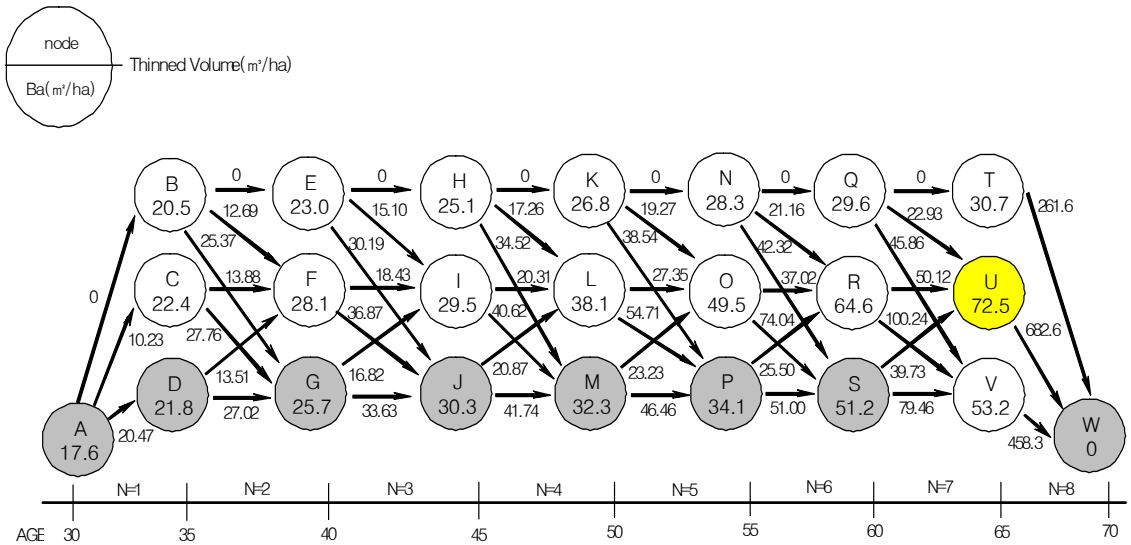
$$f_8(A) = \max Y_1 \begin{array}{l} 0 + f_7(B) \\ 1.76 + f_7(C) \\ 3.52 + f_7(D) \end{array}$$

$$= \max Y_1 \begin{array}{l} 0 + 116.29 \\ 1.76 + 116.68 = 120.08* \\ 3.52 + 116.56* \end{array}$$



<그림 2-17> 잣나무 인공림에 대한 간벌수준별 흉고단면적 및 간벌량 Network

ha당 재적수확을 최대화 하는 경우 역시 위와 같은 방법이며, <그림2-19>와 같다.



<그림 2-18> 잣나무 인공림에 대한 간벌수준별 재적 및 간벌량 Network

이상의 계산결과에 의해 최적수확량에 관한 경로는 \*표시를 한 부분을 역으로 찾아 올라

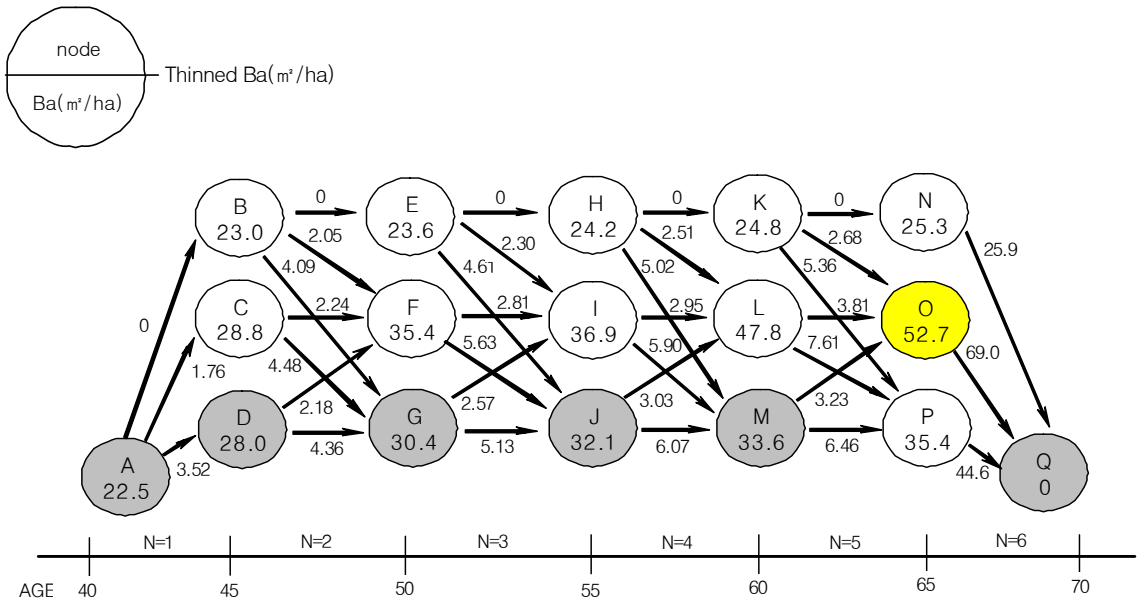
가게 되면 얻을 수 있다. 본 연구에서는 ha당 흉고단면적에 대한 수확량과 재적에 대한 수확량 2가지를 각각 추정해 보았다. <그림 2-17>과 <그림 2-18>와 같이 2가지 경우 모두 같은 경로를 나타냈다. 따라서 A-D-G-J-M-P-S-U-W와 같은 경로로 벌기령(70년)까지 간벌이 진행된다. ha당 흉고단면적 수확의 경우 최적경로는 <그림2-18>와 같이 결합점이 빗금으로 표시되었다.

낙엽송 인공림과 천연활엽수림에 대한 최대 ha당 흉고단면적과 재적수확의 결과는 <표 2-20>, <표 2-21>, <그림 2-19>, <그림 2-20>, <그림 2-21>, <그림 2-22>과 같다. 계산 과정은 위와 같은 방법을 적용하였으며, 이에 대한 과정은 생략하였다. 그 결과 역시 잣나무 인공림과 같은 최적경로를 나타내었다.

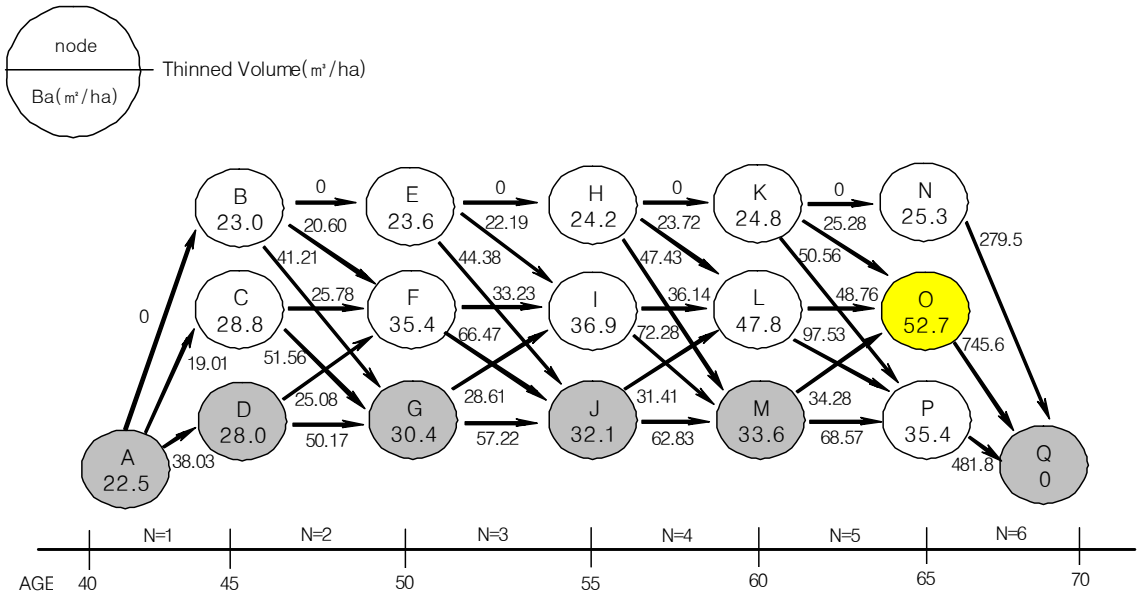
### b. 낙엽송 인공림

<표 2-20> 간벌계획에 따른 ha당 단면적과 재적

Age	Node	Thinning levels(%)	BA/ha	간벌량 (ha당 단면적)		최종 수확량	Vol/ha	간벌량 (ha당 재적)		최종 수확량
				10%	20%			10%	20%	
40	A		22.5	2.25	4.50		190.1	19.01	38.03	
45	B	0%	23.0	2.30	4.60		206.0	20.60	41.21	
	C	10%	28.8	2.88	5.76		257.8	25.78	51.56	
	D	20%	28.0	2.80	5.61		250.8	25.08	50.17	
50	E	0%	23.6	2.36	4.72		221.9	22.19	44.38	
	F	10%	35.4	3.54	7.07		332.3	33.23	66.47	
	G	20%	30.4	3.04	6.09		286.1	28.61	57.22	
55	H	0%	24.2	2.42	4.84		237.2	23.72	47.43	
	I	10%	36.9	3.69	7.38		361.4	36.14	72.28	
	J	20%	32.1	3.21	6.41		314.1	31.41	62.83	
60	K	0%	24.8	2.48	4.96		252.8	25.28	50.56	
	L	10%	47.8	4.78	9.56		487.6	48.76	97.53	
	M	20%	33.6	3.36	6.72		342.8	34.28	68.57	
65	N	0%	25.3	0	0		266.1	0	0	
	O	10%	52.7	0	0		552.9	0	0	
	P	20%	35.4	0	0		371.2	0	0	
70	Q	0%				25.9				279.5
	R	10%				69.0				745.6
	S	20%				44.6				481.8



<그림 2-19> 낙엽송 인공림에 대한 간벌수준별 흉고단면적 및 간벌량 Network



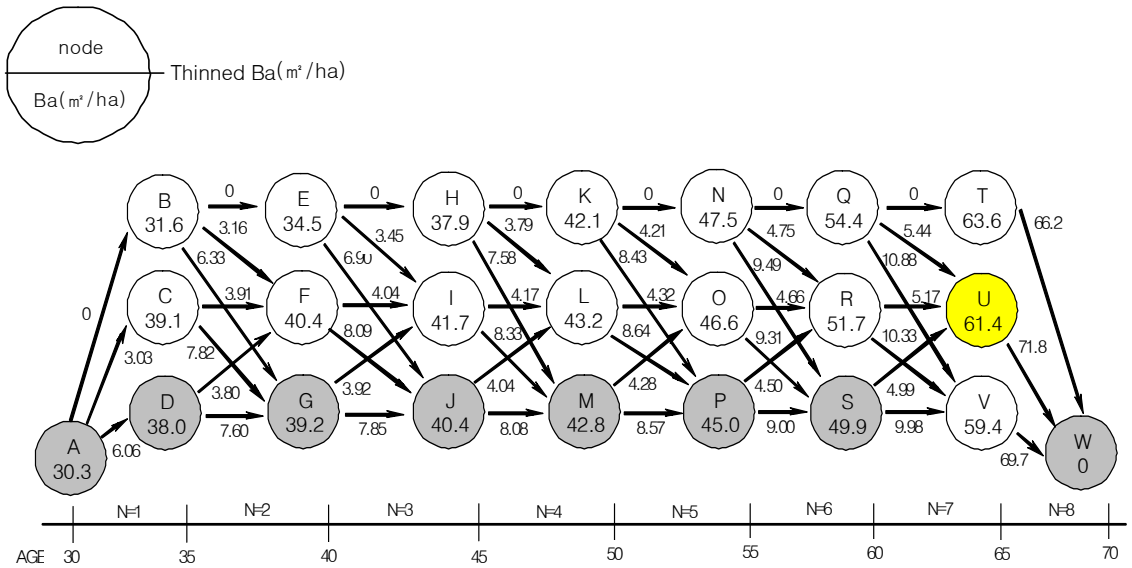
<그림 2-20> 낙엽송 인공림에 대한 간벌수준별 재적 및 간벌량 Network



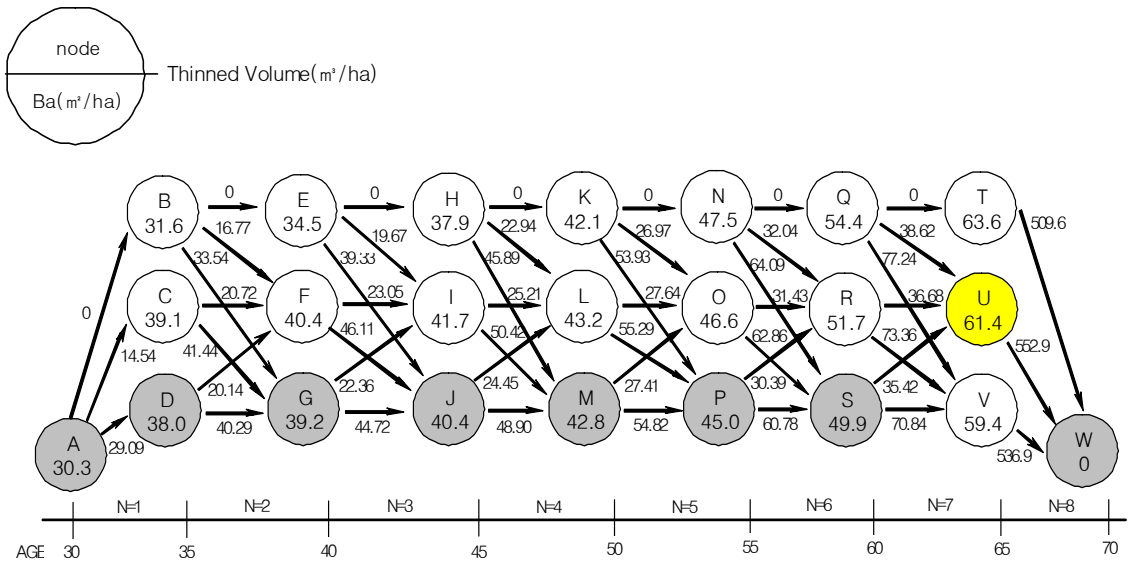
c. 천연활엽수림

<표 2-21> 간벌계획에 따른 ha당 단면적과 재적

Age	Node	Thinning levels(%)	BA/ha	간벌량 (ha당 단면적)		최종 수확량	Vol/ha	간벌량 (ha당 재적)		최종 수확량
				10%	20%			10%	20%	
30	A		30.3	3.03	6.06		145.44	14.54	29.09	
35	B	0%	31.6	3.16	6.33		167.7	16.77	33.54	
	C	10%	39.1	3.91	7.82		207.2	20.72	41.44	
	D	20%	38.0	3.80	7.60		201.4	20.14	40.29	
40	E	0%	34.5	3.45	6.90		196.7	19.67	39.33	
	F	10%	40.4	4.04	8.09		230.5	23.05	46.11	
	G	20%	39.2	3.92	7.85		223.6	22.36	44.72	
45	H	0%	37.9	3.79	7.58		229.4	22.94	45.89	
	I	10%	41.7	4.17	8.33		252.1	25.21	50.42	
	J	20%	40.4	4.04	8.08		244.5	24.45	48.90	
50	K	0%	42.1	4.21	8.43		269.7	26.97	53.93	
	L	10%	43.2	4.32	8.64		276.4	27.64	55.29	
	M	20%	42.8	4.28	8.57		274.1	27.41	54.82	
55	N	0%	47.5	4.75	9.49		320.4	32.04	64.09	
	O	10%	46.6	4.66	9.31		314.3	31.43	62.86	
	P	20%	45.0	4.50	9.00		303.9	30.39	60.78	
60	Q	0%	54.4	5.44	10.88		386.2	38.62	77.24	
	R	10%	51.7	5.17	10.33		366.8	36.68	73.36	
	S	20%	49.9	4.99	9.98		354.2	35.42	70.84	
65	T	0%	63.6	0	0		470.3	0	0	
	U	10%	61.4	0	0		454.6	0	0	
	V	20%	59.4	0	0		439.3	0	0	
70	W	0%				66.2				509.6
		10%				71.8				552.9
		20%				69.7				536.9



<그림 2-21> 낙엽송 인공림에 대한 간벌수준별 흉고단면적 및 간벌량 Network



<그림 2-22> 낙엽송 인공림에 대한 간벌수준별 재적 및 간벌량 Network

### (3) 우리나라 산림에 적합한 미래임분에 대한 목표임형의 개발

세계적으로 산림경영의 추세는 목재생산 위주의 경영방식에서 환경을 고려한 산림경영 정책을 채택하고 있으며 이에 따라 임업분야는 지속가능한 산림경영과 산림의 생태적 관리라는 지구차원의 규범을 전제로 하고 있다.

그리하여 우리나라에 적합한 미래임분에 대한 목표임형을 설정하기 위한 산림경영단위의 재정비가 필요하다.

우리나라 산림경영계획의 산림경영 단위는 사업구내에 임반, 보조임반, 소반, 보조소반으로 나눈다. 이는 사업구의 면적이 너무 넓어 임반, 소반으로 나눈 것이다. 명확히 식별이 가능한 자연경계 또는 인위적인 경계선에 따라 구획하고 임반의 크기는 가능한 100ha 이내로 하되 필요시 조정하여 정할 수 있다. 소반은 지형지물 또는 유역경계를 달리하거나 수종구성, 임령 또는 기타 특성으로 인해 임반 내에서 상호간 명확히 구분되고 크기 및 형태상으로 보아 적합하여 장기적으로 독립해서 취급하는 것이 바람직할 경우에 구분한다.

그러나 요즘 지속가능한 산림경영(Sustainable Forest Management, SFM)에 대한 개념이 현장에 적용되는 추세로 가면서 새로운 산림경영의 기본단위가 모색되고 있다. 그 대표적인 예로 Landscape(경관) 접근방법이 있다.

이는 경관단위에 걸쳐서 모든 임분구조 및 다른 산림가치가 유지될 수 있도록 조립적 취급방법을 사용함으로써 목재는 지속적으로 수확이 되고 새로운 임분구조가 만들어지게 되며 임업고용, 임도, 산불보호 및 다른 산림가치들도 제공된다. 또한 경관단위를 통해 형평성이 유지될 수 있도록 경관조경 접근법의 범주에서 집약적으로 경영되는 인공조림지와 보호임지가 동시에 관리될 수 있을 뿐만 아니라 목재생산과 산림미와 같은 다른 산림가치가 제공될 수 있다.

산림의 경영 및 관리는 현장에서 이루어지기 때문에 기존의 조직체계를 일시에 바꾼다는 것은 불가능하다. 그러므로 현재 우리나라에서 사용하고 있는 경영의 기본단위를 검토해 보고, 지속가능한 산림경영의 패러다임에 맞추기 위해서는 어떠한 연계성이 가능할 것인지에 대한 방안이 모색되어야 한다.

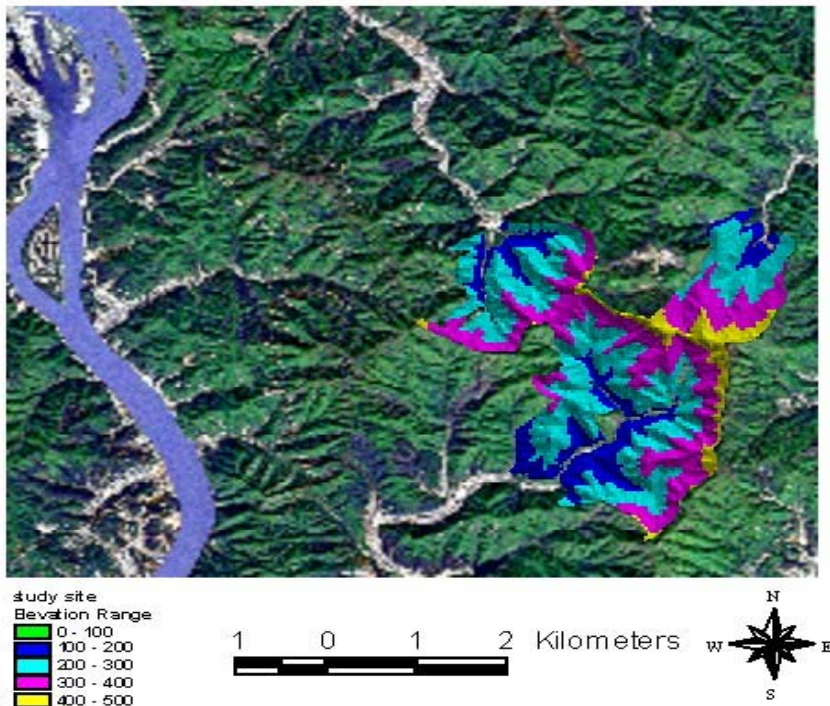
따라서 본 연구에서는 강원도 춘천시 남산면의 강촌 모델림을 대상으로 미래에 대한 목표임형을 개발하기 위하여 지속가능한 산림경영을 위한 새로운 경영단위를 모색해 보고자 한다.

## 1) 연구자료 및 방법

### a. 자료

#### ㉓ 연구대상지

연구대상지는 강원도 춘천시 남면과 남산면에 위치한 국유림으로서 총 면적은 853ha이다. 내륙성 기후를 나타내고 연평균 강우량은 1,250mm이고 여름에 집중하고 있으며 연평균 기온은 10℃이고 기온차가 심하며 겨울의 경우는 영하 20℃이하로 내려간다.



<그림 2-23> 연구대상지

국유림 경영계획서 상에 5개 임반, 33개 소반으로 구획되어 있으며 산림기능구분으로는 대부분이 수자원함양림과 목재생산림으로 구획되어 있다.

연구 대상지의 주요 수종으로는 침엽수로는 잣나무, 낙엽송, 활엽수로는 신갈, 굴참으로 나타났다.

<표 2-22> 연구대상지 일반현황

(ha)

stand		age class						Total
		I	II	III	IV	V	VI	
forest type	artificial forest	13		255	64			332
	natural forest			35	453	6		494
	left-over area							27
	total	13		290	517	6		853
	coniferales forest	3		255	64			322
	hardwood-forest			35	422	6		463
	mixed forest	10			31			41
	total	10		290	517	6		826
species	<i>Larix leptolepis</i>			54	18			72
	<i>Pinus koraiensis</i>	1		201	46			248
	<i>Quercus variabilis</i>				56	6		62
	<i>Quercus mongolica</i>			35	366			401
	total	1		290	486	6		783

⑥ 우리나라의 산림경영 단위

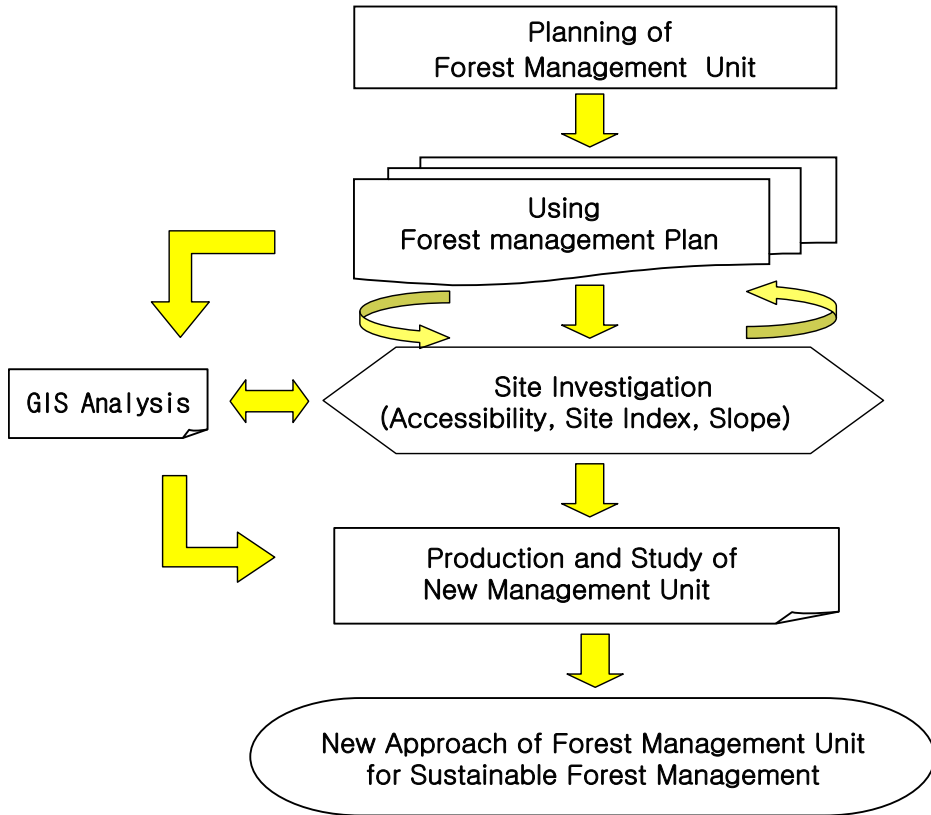
우리나라의 산림은 전체국토의 64%를 차지하고 있으며, 지세의 변화가 크기 때문에 산림의 생산 면이나 이용 면에서 크게 다르므로 산림을 구분하여 산림경영을 하기에 어려움이 많이 있다. 산림을 경영계획구로 구분하고, 이를 다시 임반으로 나누며, 또한 임상현황에 따라 임반을 보조임반 > 소반 > 보조소반으로 나눈다.

<표 2-23> 우리나라의 산림경영 단위

	경영계획구	임반	소반
면적	관리소 지역구 단위	100ha	1ha~10ha
구분	산림 상황 지형 관계 목재시장 관계 행정구역 관계	산등성 능선 계곡 하천 도로 고정적시설	지형지물 유역경계 지종이 상이할 때 임종, 임상, 작업종 임령
표시	지명	1	1-1

b. 방법

㉠ 새로운 산림경영 단위의 결정



<그림 2-24> 새로운 산림경영 단위의 의사결정 모식도

c. SFM원칙을 고려한 새로운 산림경영 기본단위의 모색

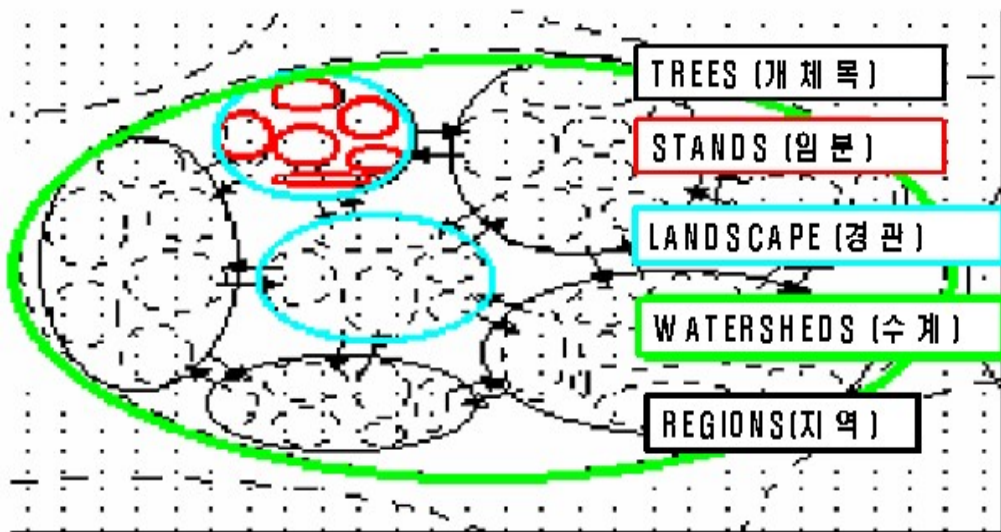
지속가능한 산림경영의 목표는 생물의 다양성, 산림의 생산성, 산림건강도의 유지, 산림토양 및 수자원보호, 지구탄소순환 기여도, 사회경제적 효과, 산림관계법규 정비 등 총 7가지의 몬트리올 프로세스의 기준 개념에 기초하고 있다. 이를 달성하기 위해서는 새로운 개념의 산림경영 단위의 구획을 필요로 한다.

㉠ 시스템접근법의 경관접근법에 관한 적용

임분 구조는 우선 1차적으로 임목의 공간적 배치, 크기 및 수종분포에 의해서 결정된다. 임분 구조는 산불, 풍해 및 산림병충해와 같은 산림교란에 의한 위험뿐만이 아니라 다른 식

물이나 동물의 존재에 강하게 영향을 끼치고 있기 때문에, 산림경영의 초점은 주로 임분 내의 개체목을 조작하는데 모아져 왔다.

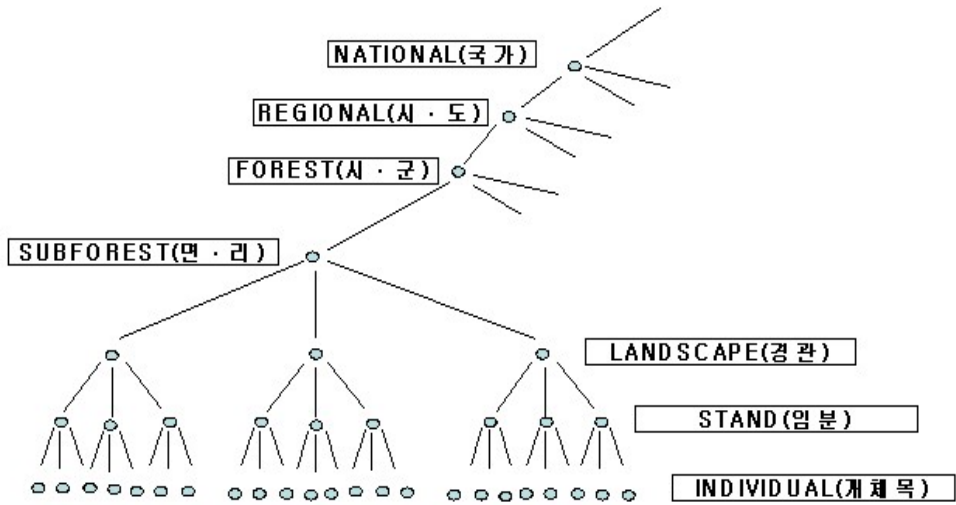
경관, 수계 혹은 지역과 같은 비교적 넓은 규모를 경영하는 것은 수백만 그루의 임목에 대한 운용 의사결정과정을 요구한다. 문제의 복잡성에 압도됨이 없이 그러한 문제에 접근하기 위해서는 문제의 규모나 복잡성을 직접 소개할 수 있는 개념적 체계가 필요하다. 시스템 접근법은 계층적(hierarchical)시스템의 형태로 개체목을 임분으로 그룹화하고, 임분을 경관 단위로 그룹화하며, 경관을 수계로 그룹화하는 등의 방법을 제공해 준다.



<그림 2-25> 계층적 임분구조의 집단화모델

#### ⑥ 경관단위 접근법 내에서의 산림경영규모

산림경영은 궁극적으로 개체목의 경영을 포함하게 된다. 그러나 어떤 목적을 성취하기 위해서는 다른 더 높은 상위수준에서의 경영을 요구하게 된다. 즉 지속가능한 임업을 위한 기준(몬트리올프로세스의 7가지 기준)과 같은 그러한 다른 산림가치들은 다른 규모에서 성취가 가능하다. 예를 들자면, 생물다양성 보호와 같은 것은 지역적 혹은 지구적 규모의 산림경영 관심사에 해당하고, 반면에 지역적으로 위협에 처한 조류종의 서식처를 만드는 것은 임분 혹은 경관단위의 경영 대상에 해당할 것이다.



<그림 2-26> 계층적 임분 구조

#### d. 새로운 경영단위의 접근

##### ㉑ Scoping(범주화)

산림을 경영하는데 있어서 첫 번째 단계는 현재의 산림상황과 미래의 발전 가능성을 조명해 보는 것이고, 이것이 의사결정 접근법에서 표현되는 범주화인 것이다. 본 연구에서는 항공사진과 위성사진을 이용하여 지형적 특성으로 범주화를 하였다.

##### ㉒ Grouping(그룹화)

범주화를 통한 새로운 산림경영 구획을 각 범주화의 지황자료인 경사, 지위, 지리급과 임황자료인 임령, 소밀도 등을 이용하여 범주화 안에서 각각의 그룹으로 분류를 하였다.

분류의 우선순위를 설정하여 범주화 안의 각각의 그룹들이 분산되는 것을 최소화 하였다.

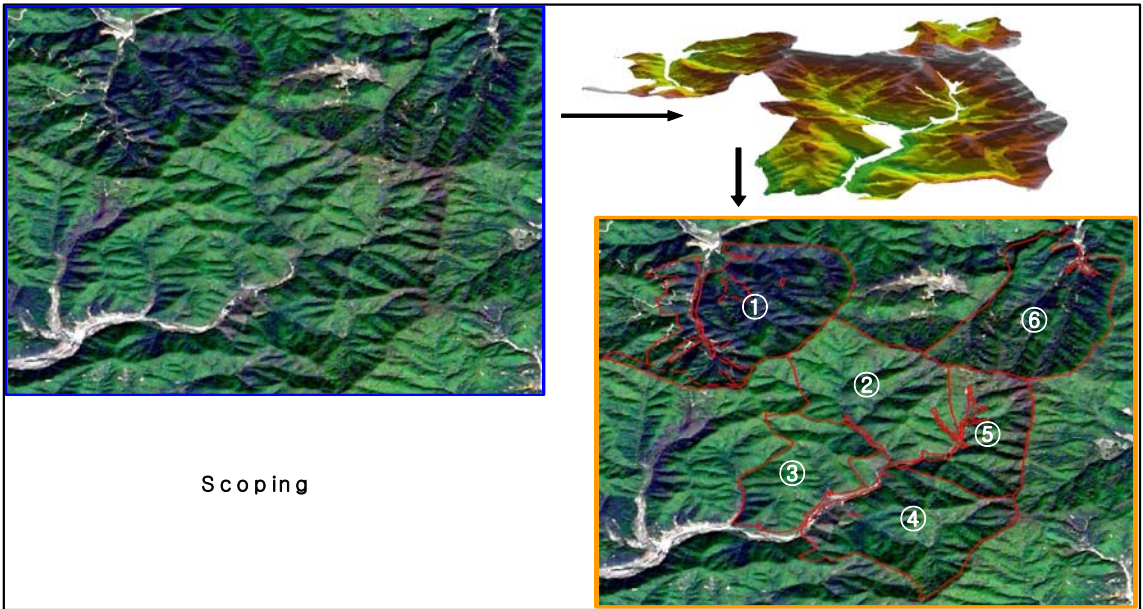
### 2) 결과

#### a. Scoping(범주화)

범주화는 연구방법과 같이 항공사진과 위성사진을 이용하여 GIS분석을 이용하여 작업을 하였다. 연구대상지의 지형적 특성을 고려하였고 산 정상부를 중심으로 하여 능선을 이용하여 구획 하였다.

그리하여 총 6개의 범주화로 구분되었다.





<그림 2-27> scoping(범주화)

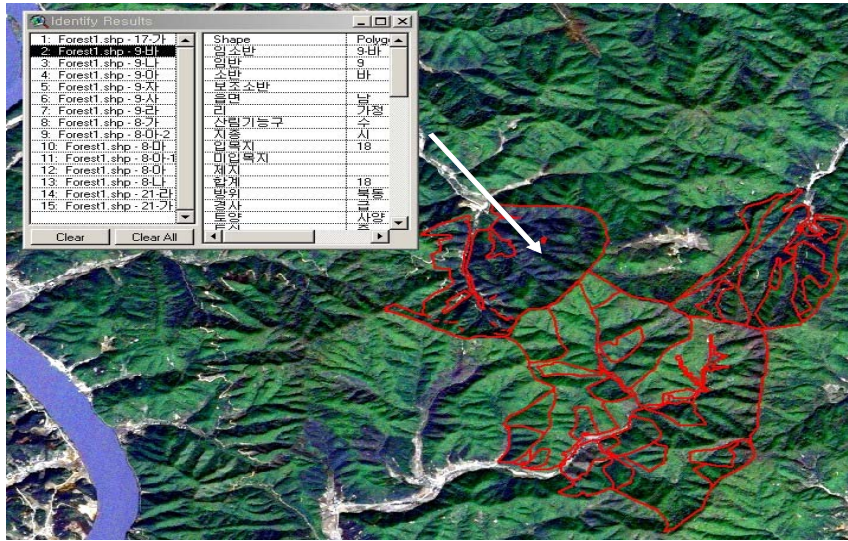
각각의 범주화의 지황과 임황의 특성을 살펴보면 다음과 같다. 지황자료와 임황자료는 기존의 국유림 경영계획에 나타난 것을 이용하였다.

<표 2-24> Scoping의 일반적 현황

scoping	area(ha)	azimuth	slope (°)	site index	accessibility	age class	crown density
1	195	NS	20~25	middle	2	III	middle
2	144	NE	20~25	middle	10	IV	middle
3	93	SE	20~25	middle	5	IV	middle
4	145	NW	20~25	middle	4	III	middle
5	91	SW	20~25	middle	2	IV	middle
6	158	NE	20~25	middle	1	IV	middle

### b. Grouping

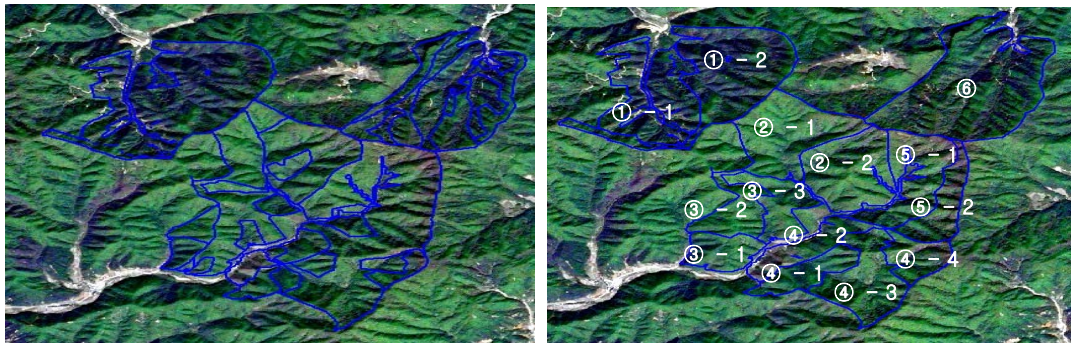
6개 범주화의 지황과 임황 인자의 속성정보를 GIS 프로그램에 입력하여 중첩과 분석을 통하여 그룹을 정하였다. 또한 그룹에 분산을 피하기 위하여 우선순위의 인자를 설정하여 상위 우선순위에 포함 되도록 하였다.



<그림 2-28> grouping(그룹화)

그룹을 정하기 위한 우선순위는 임도와 의 거리, 임상분포현황, 영급, 지위지수, 소밀도, 경사, 사면방위, 고도 등의 순으로 하였다.

각 순위에서 결정이 되지 않으면 하위 순위로 가며 그룹이 분산이 될 경우 인접 그룹의 상위 순위로 속하게 하였다.



before

after

<그림 2-29> grouping(그룹화)

각각의 범주화를 GIS를 이용하여 분석한 결과 1범주에서는 2개의 그룹, 2범주는 2개, 3범주는 3개, 4범주는 4개, 5범주는 2개, 6범주는 하나의 그룹으로 분석 되었다.

각 범주의 결과 나타난 그룹과 면적 결정 방법 등은 다음과 같다.

<표 2-25> Grouping의 면적과 결정방법

scoping	grouping	area (ha)	method of decision
1	1	82	accessibility
	2	109	
2	1	76	topography
	2	68	
3	1	27	forest type
	2	32	
	3	34	
4	1	29	forest type, age
	2	32	
	3	57	
	4	27	
5	1	57	accessibility
	2	33	
6		158	-

### 3) 결과 및 향후계획

본 계획에서는 우리나라 산림에 적합한 미래임분에 대한 목표임형설정을 위한 방안으로 경관단위의 방법을 시도하여 새로운 경영단위의 접근을 시도하여 보았다. 기존의 임소반의 획일적인 구획의 틀에서 벗어나 위성사진과 항공사진 그리고 GIS 등의 과학기법을 이용하여 생태적으로 안정하고 집약적인 산림경영을 위한 방안을 제시하고자 하였다.

강원도 춘천시 남면과 남산면의 강촌 모델림 연구대상지에 대하여 조사 분석한 결과를 살펴보면 위성사진을 이용하여 지형의 특성을 분석하여 6개 범주화로 구분하였고 각각의 범주화는 그룹을 정하기 위하여 우선순위의 인자를 분석하였는데 임도와의 거리, 임상분포현황, 영급, 지위지수, 소밀도, 경사, 사면방위, 고도 등의 순으로 하였다.

각 순위에서 결정이 되지 않으면 하위 순위로 가며 그룹이 분산이 될 경우 인접 그룹의 상위 순위로 속하게 하였다.

그리하여 6개의 범주와 13개의 그룹으로 분석되었다. 1범주화의 경우는 지리급의 인자에 의하여 분석되었고, 2범주화는 지형(고도)인자, 3범주화는 임상분포, 4범주화는 임상분포와 영급, 5범주화는 지리급, 6범주화는 지리급에 모두 포함되었다.

3년차 계획에서는 3세부과제와 연동하여 새로 구획한 경영단위를 적용 시각화모델을 표현 할 것이다.

## 다. 최적산림경영계획을 위한 통합경영시스템 개발

### (1) 최적산림수확을 위한 산림경영계획 모델의 개발

춘천시 강촌소재 모델림인 잣나무 임분을 대상으로 최적산림수확을 위한 산림경영계획 모델을 개발하기 위하여 정수(0-1)계획법을 적용하였다. 생장 시물레이션과 연계하여 재적을 추정하였고 산림수확을 최대로 하는 목적함수와 산림수확계획에 중요한 제약조건을 제시하여 모델을 구성하였다.

제약조건으로는 산림경영계획 기간동안 한 임분이 하나의 연도에 시업이 이루어지도록 하는 제약조건, 구획면적에 따른 최소 벌채량, 경영계획 동안 한 년도에 집중적으로 벌채를 금하는 제약조건, 경영계획기간동안 잣나무 임분의 총재적을 넘지않는 제약조건, 인접 임분이 동일년도에 벌채되지 못하도록 하는 제약조건, 당해연도 벌채를 실시하는 임분은 1, 벌채를 하지 않은 임분은 0이 나오도록 하는 제약조건 등을 이용하여 최적주벌수확을 위한 산림경영계획 모델을 개발하였다.

#### 1) 벌채 대상 임분의 선정

본 연구의 벌채대상지 선정은 우선 강촌 모델림을 대상으로 수종분석 및 산림 기능구분도를 이용하여 분석한 결과 1 Scoping 지역은 목재생산림, 나머지 Scoping 지역은 수자원함양림으로 분류되었다. 그러나 현실적으로 수자원함양림은 법적 규제를 우선하여 규정하였기 때문에 본 연구에서는 보다 구체적인 구분으로 6 Scoping 지역을 산림휴양림으로 설정 하였다.



<그림 2-30> 강촌모델림 산림기능구분

목재생산림지역의 산림현황을 살펴보면 인공조림지역으로 주요수종으로는 잣나무림이며 영급은 III영급으로 나타났다.

<표 2-26> 1 Scoping 지역의 일반 현황

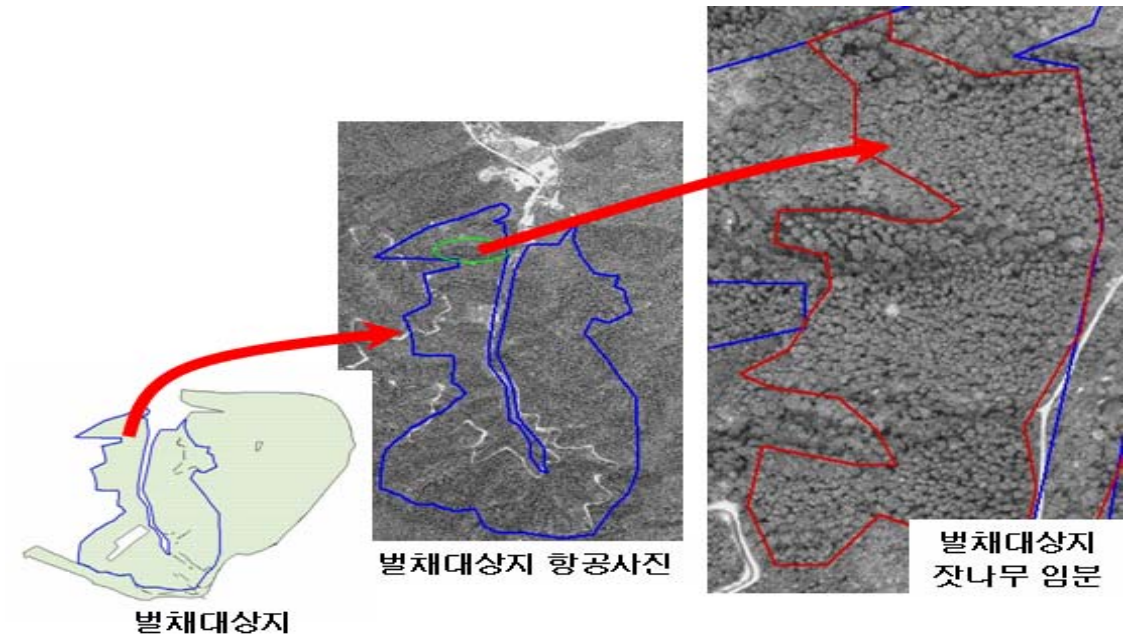
	면적 (ha)	방위	경사	토양	임령	ha당 재적 (m <sup>3</sup> )
1 Scoping	195	북서	급	사양	III	150

1 Scoping 지역 중 계획기간 동안에 별채되는 임목의 집채문제와, 임도문제 등 여러가지 상황을 고려하여 1 Scoping 지역 중 1 Grouping 지역을 최종별채 대상지로 선정하였다.

선정된 1 Grouping 지역을 우리나라가 속한 몬트리올프로세스의 기준과 지표자료와 국유림 경영계획부를 이용하였으며 위성사진과 항공사진 그리고 현지조사를 통하여 잣나무 임분에서 12개의 보조소반을 새로 구획하였다.

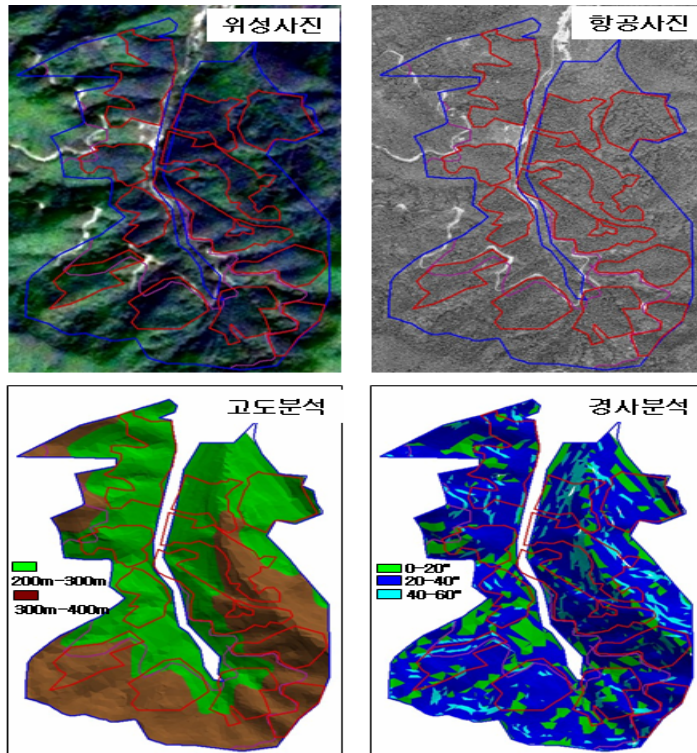
<표 2-27 > 우리나라 임분에 적용가능한 각 기준별 지표

기 준	지 표
생물다양성	- 산림유형별 면적 - 영급별, 천이단계별 - 산림유형별 단편화 정도 - 산림 의존 종수
산림생태계생산력	- 목재생산 가능면적 - 경제수종 및 비경제수종의 임목 축적 - 자생/외래 수종의 인공조림 면적 및 축적 - 지속가능 별채량 대비 연간 목재 별채량 - 비목재 임산물의 지속생산가능량 대비 수확량
산림생태계 건강도 및 활력도	- 병충해, 산불 등의 피해 면적
토양·수자원 보전	- 토양침식 면적 - 보호기능의 산림면적
지구탄소순환	- 총 바이오매스 량
사회경제적 편익	- 휴양/관광목적의 산림면적 - 산림경영분야 총 투자액 - 투자수익률
법적·제도적·경제적 체계	- 주기적 산림계획 수립·평가·정책 검토 - 정책 의사결정에 대중 참여, 정보제공 기회 - 지표관련 자료, 통계, 기타 정보 양/용 가능성 - 정보의 통계적 신뢰성 - 정보의 호환가능성

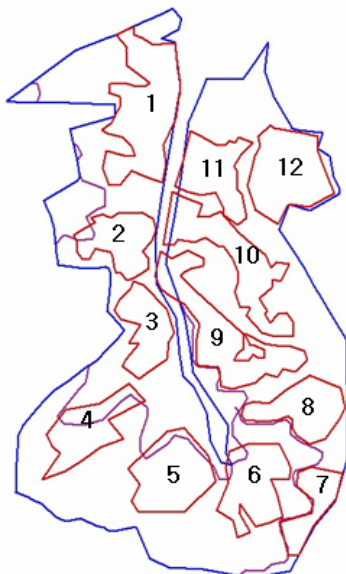


<그림 2-31> 별채 대상지역의 위치도

대상지역의 고도를 살펴보면 200m-400m에 위치하고 있으며, 경사의 경우 대부분이 20°~40°의 험준지, 절험지로 나타났다. 계획대상지역의 면적은 37.5ha로 나타났으며 현재 임분의 총 재적은 5,633.3m³이고 계획기간이 시작되는 후부터의 총 재적은 12,796m³이며 아래에 나타낸 계획대상지의 일반현황 내용과 같다.



<그림 2-32> 대상지 분석자료



보조 소반	의사 결정변수	면적 (ha)	총재적 (m <sup>3</sup> )
1	X <sub>1</sub>	5	1,740
2	X <sub>2</sub>	2.4	819
3	X <sub>3</sub>	2.2	751
4	X <sub>4</sub>	2.6	887
5	X <sub>5</sub>	3.5	1,194
6	X <sub>6</sub>	3	1,024
7	X <sub>7</sub>	1.6	546
8	X <sub>8</sub>	2.6	887
9	X <sub>9</sub>	4.3	1,467
10	X <sub>10</sub>	3.8	1,297
11	X <sub>11</sub>	2.6	887
12	X <sub>12</sub>	3.8	1,297

<그림 2-33> 계획대상지역의 위치와 일반현황

## 2) 잣나무 임분재적의 모델 추정

본 연구의 임분재적모델은 성장시물레이션 모델식을 이용하여 최적간별 pathway를 도출하고 그 도출한 간별후의 성장량을 이용하여 임분의 재적을 산출하였다.

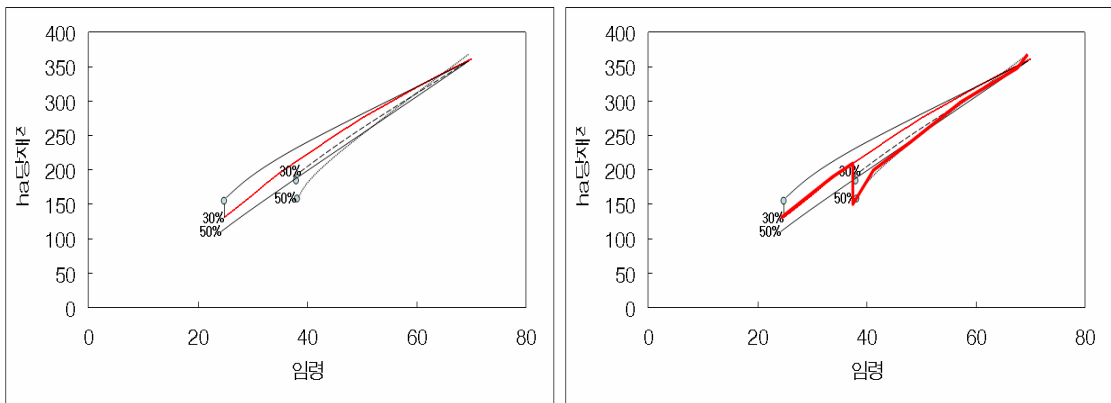
최적 간별 pathway를 도출하기 위하여 지속가능한 산림자원관리지침과 현장상황을 고려해 몇 가지 간별 pathway 방안을 고려하여 보았다.

간별을 1차 간별은 III영급, 2차 간별은 IV영급으로 정하고 간별 강도는 본수를 기준으로 30%, 50%의 강도로 실시하였다. 간별 pathway 경우의 수를 살펴보면 다음과 같다.

<표 2-28> 간별 pathway 경로에 따른 최적 간별 pathway

	III(A)		IV(B)		간별 후 ha당 재적 (m <sup>3</sup> )	합계 (A+B)
	강도 (%)	간별 재적 (m <sup>3</sup> )	강도 (%)	간별 재적 (m <sup>3</sup> )		
1	-	-	50	65.24	325.46	65.24
2	-	-	30	33.02	334.29	33.02
3	30	18.7	30	15.96	315.23	34.66
4	<b>30</b>	<b>18.7</b>	<b>50</b>	<b>62.91</b>	<b>341.22</b>	<b>81.61</b>
5	50	34.66	30	17.79	320.67	52.45
6	50	34.66	50	28.45	298.45	63.11
7	무간별				340.26	0

최적 pathway 방법은 간별 강도가 III영급에서 30%, IV영급에서 50%로 나타났다.

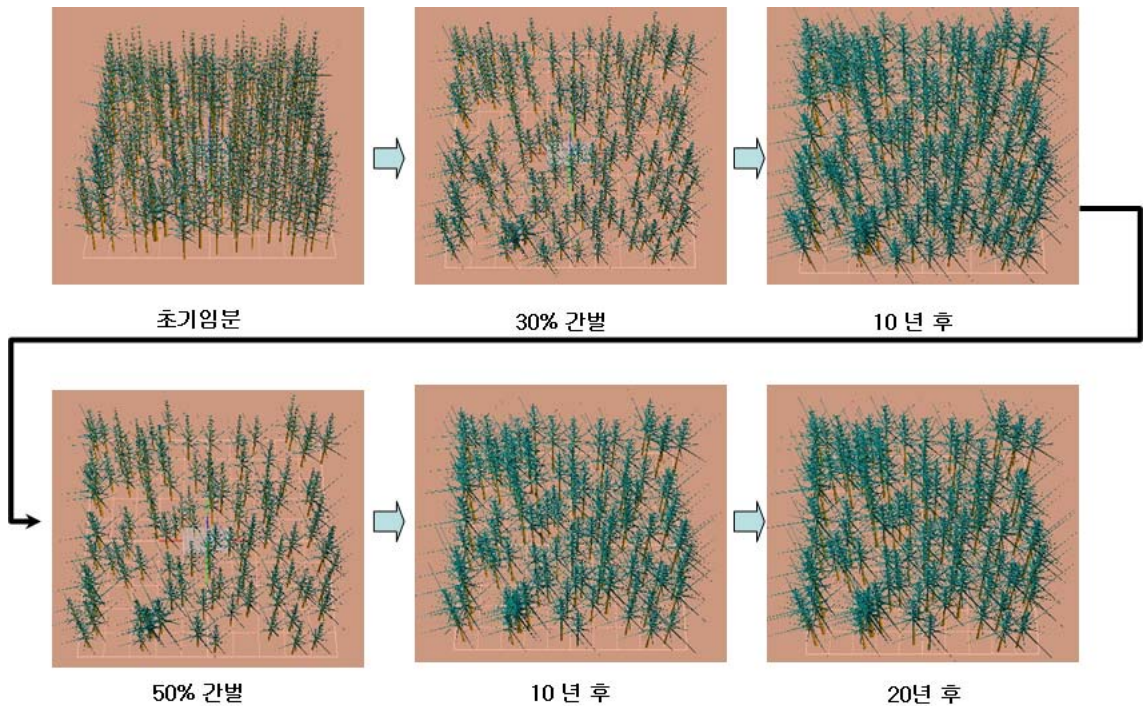


<그림 2-34> 간별 pathway에 따른 최적간별 pathway

성장모델의 정확성이 재적량에 중요한 요인이 되겠지만 본 연구에서는 별채까지의 중기경



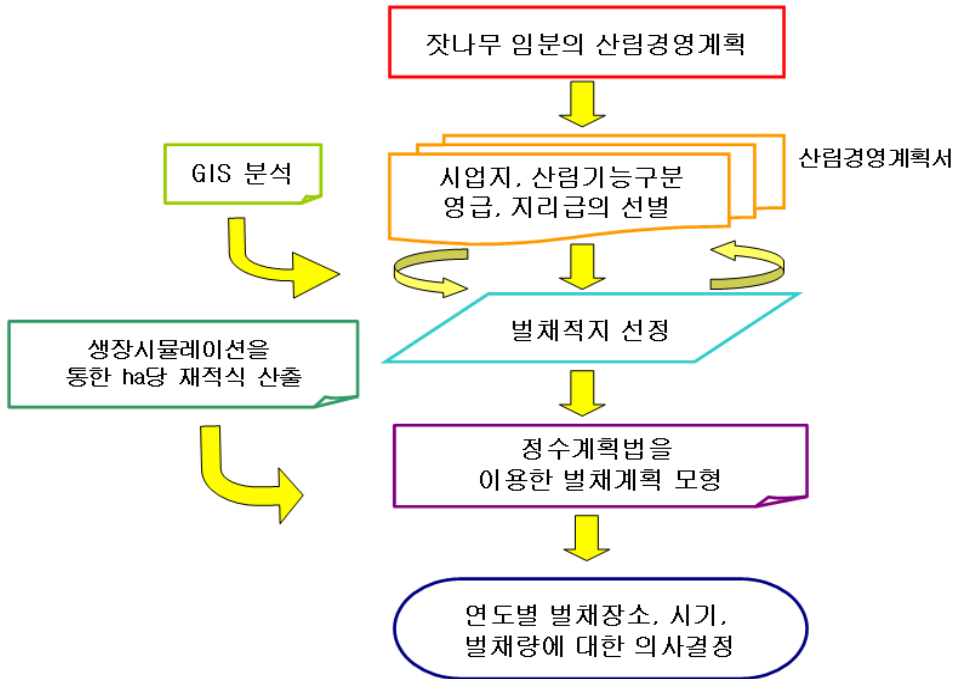
영계획으로 흉고단면적 성장모델식과 로그함수식을 이용하여 재적을 산출하였다.  
아래 그림은 최적 간벌 pathway를 성장시물레이션을 이용하여 나타내 보았다.



<그림 2-35> 최적간벌 pathway에 따른 성장 시물레이션

### 3) 최적산림수확계획의 의사결정

벌채대상지의 최적산림수확계획에 관한 의사결정방법의 전체적인 순서는 다음과 같이 나타낼 수 있다.



<그림 2-36> 최적산림수확계획을 위한 의사결정 흐름도

#### 4) 정수(0-1)계획법을 이용한 최적산림수확모델 구성

##### a. 목적함수의 구성

본 연구에 적용되는 정수계획모델은 최적산림수확을 위해 최대화문제를 다루고 있으며, 수확모델은 목적함수와 6개의 제약조건으로 이루어져 있다. 목적함수는 식(1)과 같이 나타낼 수 있으며, 계획기간 동안 벌채되어 얻어지는 재적수확을 최대화하는 것이다. 그리고 의사결정변수의 계수는 벌채되는 임분의 재적을 나타내는 것이다.

$$\text{Maximize } Z = \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^{10} C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

$C$  = 벌채시기에 따른 잣나무 임분의 총재적량

$$V/\text{ha} = 310.58 \ln(\text{Age}) - 991.12$$

$X_{ij}$  = 의사결정변수

$i$  = 보조소반

$j$  = 벌채년도

X는 의사결정변수를 나타낸 것이고, i는 보조소반을 가르키며, j는 별채년도를 나타낸 것이다.

**b. 제약조건**

제약조건은 목적함수를 달성하기 위한 여러 가지 시업적, 환경적, 경제적 문제를 고려할 수 있도록 반영한 조건이다. 본 연구에서는 6가지의 제약조건으로 구성되었다.

**c. 연도별 별채횟수 제한**

연도별 별채횟수에 대한 제약조건은 식(2)~식(5)와 같이 나타낼 수 있으며, 산림경영계획 기간 동안 한 임분이 하나의 연도에 시업이 이루어 지도록 하는 것이다.

$$1\text{보조소반} : \sum_{j=1}^{10} X_{1j} \leq 1 \quad (2)$$

$$2\text{보조소반} : \sum_{j=1}^{10} X_{2j} \leq 1 \quad (3)$$

$$3\text{보조소반} : \sum_{j=1}^{10} X_{3j} \leq 1 \quad (4)$$

⋮

$$12\text{보조소반} : \sum_{j=1}^{10} X_{12j} \leq 1 \quad (5)$$

**d. 연도별 최소요구 수확량**

연도별 최소수확량은 본 연구에서 12개의 보조소반을 모두 별채할 경우 별채 가능한 최대 채적생산량은 13,869m<sup>3</sup>로 계산될 수 있다. 따라서 각 분기마다 1,387m<sup>3</sup>를 별채 할 수 있지만 정수계획의 모델은 면적의 계산단위가 아니라 보조소반의 단위를 이용한 것으로 7보조소반을 기준으로 최소별채수확량을 500m<sup>3</sup>를 기준으로 계산하였다. 각 1차년도부터 10차년도까지의 연도별 최소요구량인 500m<sup>3</sup>를 요구하는 제약식은 식(6)에서~식(7)과 같다.

$$1\text{차년도} : \sum_{i=1}^{12} C_{i1} X_{i1} \geq 500 \quad (6)$$

⋮

$$10\text{차년도} : \sum_{i=1}^{12} C_{i10} X_{i10} \geq 500 \quad (7)$$

**e. 연도별 최대요구 수확량**

연도별 최대수확량은 앞에 서술한 연도별 최소 요구량에서와 같이 각 분기에 1,387m<sup>3</sup>로 별채 할 수 있지만 정수계획모델은 면적의 계산단위가 아니라 보조소반의 단위를 이용한 것으로 각 1보조소반의 최대 재적량을 기준으로 연도별 최대요구 수확량을 1,900m<sup>3</sup>로 계산하였다. 각 1차년도부터 10차년도까지의 연도별 최대요구량인 1,900m<sup>3</sup>를 요구하는 제약식은 식(8)에서 ~ 식(9)와 같다.

$$1\text{차년도} : \sum_{i=1}^{12} C_{i1} X_{i1} \leq 1,900 \quad (8)$$

·  
·  
·

$$10\text{차년도} : \sum_{i=1}^{12} C_{i10} X_{i10} \leq 1,900 \quad (9)$$

**f. 총 별채재적의 제한량**

현실적으로 한해에 별채하는 요구량과 임분의 재적변동을 고려하여 추정해야 하지만 본 연구의 계획에서 정수계획모델의 궁극적인 목표는 각 연도별로 재적수확을 하여 수확량을 최대로 하는 것으로 별채 가능한 최대재적생산량은 13,869m<sup>3</sup>로 계산되었다. 본 연구에서 사용한 총 별채재적을 제한하는 제약조건식은 식(10)과 같다.

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^{10} C_{ij} X_{ij} \leq 13,869 \quad (10)$$

**g. 인접 보조소반의 동일년도 사업제한**

인접 보조소반의 동일년도 사업제한의 제약조건은 식(11)과 같다. 이 제약조건은 사실상 한 임분과 지리적으로 인접된 임분의 동일년도 별채로 인해 피해를 볼 수 있는 야생동물, 수계 등을 보호하는 것과 과대 별채로 인해 발생하는 여러 가지 환경적인 문제를 최소화 하려는 제약이라 할 수 있다. 본 연구에서 인접임분의 보조소반은 10, 11의 보조소반으로 나타났다.

① 10, 11 보조소반

$$\sum_{i=10}^{11} \sum_{j=1}^{10} X_{ij} \leq 1 \quad (11)$$

**h. 의사결정변수값의 제한**

의사결정변수값은 별채가능한 임분을 나타내는 결정을 하는 변수로 1과 0으로 정의 하였다. 별채할 경우는 1, 그렇지 않을 경우는 0으로 나타내었다.

$$X = 0, X = 1 \quad (12)$$

**i. 정수계획법을 이용한 연년별채 계획모델**

위의 정수계획의 목적 함수와 제약조건식 모델을 종합적으로 나타내면 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$\text{Maximize } Z = \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^{10} C_{ij} X_{ij}$$

Subject to

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^{10} X_{1j} \leq 1 & \quad \sum_{j=1}^{10} X_{2j} \leq 1 & \quad \sum_{j=1}^{10} X_{3j} \leq 1 & \quad \sum_{j=1}^{10} X_{4j} \leq 1 \\ \sum_{j=1}^{10} X_{5j} \leq 1 & \quad \sum_{j=1}^{10} X_{6j} \leq 1 & \quad \sum_{j=1}^{10} X_{7j} \leq 1 & \quad \sum_{j=1}^{10} X_{8j} \leq 1 \\ \sum_{j=1}^{10} X_{9j} \leq 1 & \quad \sum_{j=1}^{10} X_{10j} \leq 1 & \quad \sum_{j=1}^{10} X_{11j} \leq 1 & \quad \sum_{j=1}^{10} X_{12j} \leq 1 \\ \\ \sum_{i=1}^{12} C_{i1} X_{i1} \geq 500 & \quad \sum_{i=1}^{12} C_{i2} X_{i2} \geq 500 & \quad \sum_{i=1}^{12} C_{i3} X_{i3} \geq 500 \\ \sum_{i=1}^{12} C_{i4} X_{i4} \geq 500 & \quad \sum_{i=1}^{12} C_{i5} X_{i5} \geq 500 & \quad \sum_{i=1}^{12} C_{i6} X_{i6} \geq 500 \\ \sum_{i=1}^{12} C_{i7} X_{i7} \geq 500 & \quad \sum_{i=1}^{12} C_{i8} X_{i8} \geq 500 & \quad \sum_{i=1}^{12} C_{i9} X_{i9} \geq 500 \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^{12} C_{i10} X_{i10} \geq 500$$

$$\sum_{i=1}^{12} C_{i1} X_{i1} \leq 1,900 \quad \sum_{i=1}^{12} C_{i2} X_{i2} \leq 1,900 \quad \sum_{i=1}^{12} C_{i3} X_{i3} \leq 1,900$$

$$\sum_{i=1}^{12} C_{i4} X_{i4} \leq 1,900 \quad \sum_{i=1}^{12} C_{i5} X_{i5} \leq 1,900 \quad \sum_{i=1}^{12} C_{i6} X_{i6} \leq 1,900$$

$$\sum_{i=1}^{12} C_{i7} X_{i7} \leq 1,900 \quad \sum_{i=1}^{12} C_{i8} X_{i8} \leq 1,900 \quad \sum_{i=1}^{12} C_{i9} X_{i9} \leq 1,900$$

$$\sum_{i=1}^{12} C_{i10} X_{i10} \leq 1,900$$

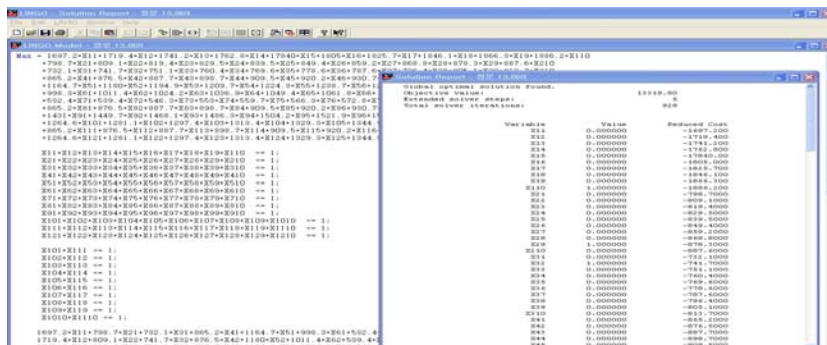
$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^{10} C_{ij} X_{ij} \leq 13,869$$

$$\sum_{i=10}^{11} \sum_{j=1}^{10} X_{ij} \leq 1$$

여기서,  $X = 0$  or  $X = 1$

5) 정수(0-1)계획법을 이용한 최적산림수확계획

LINGO 프로그램을 이용하여 경영계획기간 동안 연차별 벌채 보조소반을 산출하였다.

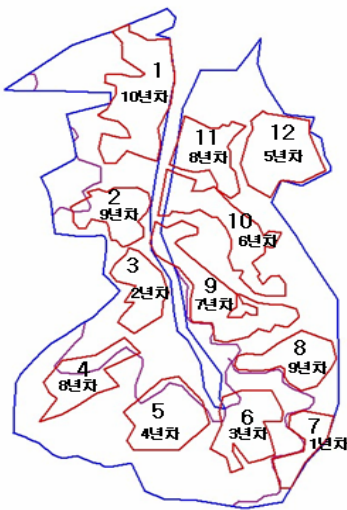


<그림 2-37> LINGO 프로그램을 이용한 최적 벌채대상지 선정

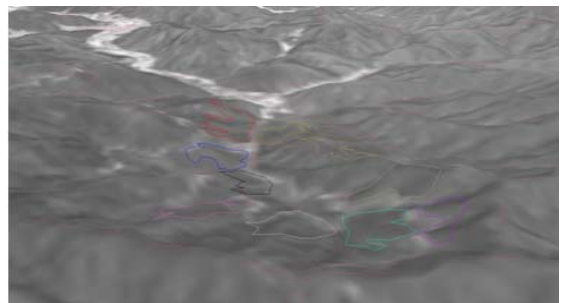
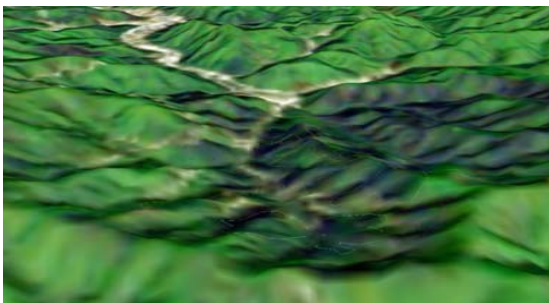
총 벌채재적이 13,869m<sup>3</sup>으로 계산 할 경우 총 벌채 가능한 재적은 13,319.2m<sup>3</sup>로 나타났으며, 10년차에서 가장 많은 1,886.2m<sup>3</sup>가 벌채 가능하고, 8년차, 9년차에서 각각 2개 보조소반을 벌채하는 것으로 분석 되었다.

<표 2-29> 연년 벌채재적 및 면적 현황

구분	연도별 시업(입령 71년생부터 80년생까지)										계
	1년차	2년차	3년차	4년차	5년차	6년차	7년차	8년차	9년차	10년차	
보조소반수	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	12
벌채재적 (m <sup>3</sup> )	532.4	741.7	1,024.2	1,209.7	1,329.3	1,344.9	1,539.3	1,882.4	1,829.7	1,886.2	13,319.9
시업면적 (ha)	1.6	2.2	3	3.5	3.8	3.8	4.3	5.2	5	5	37.5



보조소반	계획	면적 (ha)	재적 (m <sup>3</sup> )
1	10년차	5	1,886.2
2	9년차	2.4	878.3
3	2년차	2.2	741.7
4	8년차	2.6	941.2
5	4년차	3.5	1,209.7
6	3년차	3	1,024.2
7	1년차	1.6	532.4
8	9년차	2.6	951.4
9	7년차	4.3	1,539.3
10	6년차	3.8	1,344.9
11	8년차	2.6	941.2
12	5년차	3.8	1,329.3



<그림 2-38> 잣나무 벌채 대상지역 시물레이션 사진

# 제 3 절 통합 산림관리 GIS 프로그램과 임분동태 시각화모델 개발

## 1. 연구개발 목표 및 내용

### 가. 연구개발 목표 및 내용

- 주요 수종별(잣나무, 낙엽송, 참나무류 등) 생장인자와 수형모델 개발
- 현장 모델링에 적용 가능한 각종 수치지도의 작성
- 주요 수종별(잣나무, 낙엽송, 참나무류 등) 생장모델과 시각화모델과의 연계시스템 개발
- 각 임분별 시물레이션모델과 시각화모델과의 연계시스템 개발
- 최적 산림경영계획시스템과 시각화모델과의 통합연계시스템 개발
- 전산화시스템은 산림자원관리를 위한 문서자료와 도면자료를 데이터베이스화
- 구축된 데이터베이스를 활용 가능하게 하는 소프트웨어 개발 및 의사결정을 지원할 수 있는 알고리즘 개발

### 나. 연차별 연구개발 및 목표와 내용

구분	1차년도(2005)
연구개발 목표	전산화시스템 요구분석 및 업무분석
연구개발 내용 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 전산화 업무의 요구사항 분석</li> <li>- 연구대상지 선정</li> <li>- 문서자료 또는 서류의 수집 및 분석</li> <li>- 시스템화 가능성 여부의 분석</li> <li>- 업무량, 업무종류, 업무빈도 등 분석</li> </ul>
연구개발 결과	



구분	2차년도(2006)
연구개발 목표	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 시스템의 설계</li> <li>2. 데이터베이스 구축</li> <li>3. 기본 알고리즘 개발</li> </ol>
연구개발 내용 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 시스템의 모형 설계</li> <li>- 시스템 운영체제 결정</li> <li>- 개발체계의 결정</li> <li>- 데이터베이스의 표준화 설계(문서, 도면)</li> <li>- 사용자 인터페이스 설계</li> <li>- 각종 문서자료 구축 산림현황, 사업계획량 등 산림사업 자료</li> <li>- 도면자료 현황과약(지형도, 임상도, 임야도)</li> <li>- GIS 기능, 문서자료와 도면자료의 연계, 상호변환 알고리즘 개발</li> <li>- 업무에 필요한 통계처리 등을 해결할 수 있는 알고리즘의 개발</li> <li>- 임분동태 시각화 모델 알고리즘 개발</li> </ul>
연구개발 결과	

구분	3차년도(2007)
연구개발 목표	시스템의 구현(코딩) 시험단계 운영 및 유지보수 단계
연구개발 내용 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 임분동태 시각화 프로그래밍</li> <li>- 통합산림관리 GIS프로그래밍</li> <li>- 시스템과 사용자의 요구사항 일치여부 검사</li> <li>- 시스템의 수정 및 보완</li> </ul>
연구개발 결과	

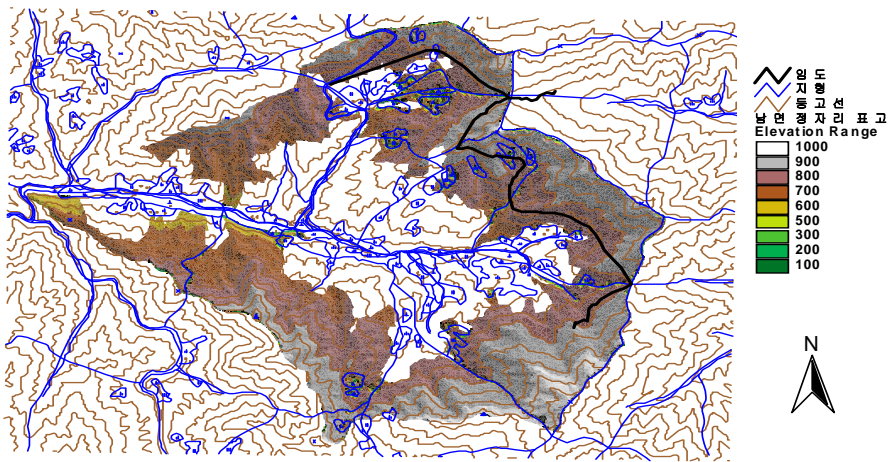
## 2. 연구결과

### 가. 전산화시스템 요구분석 및 업무분석

#### (1) 연구대상지 선정

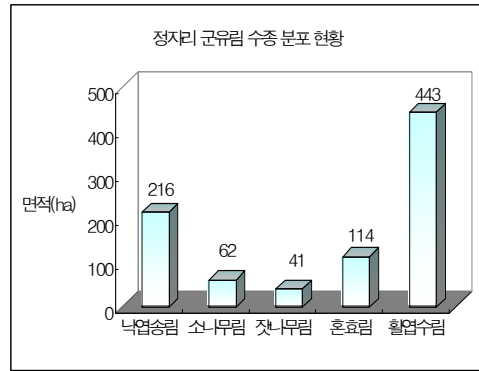
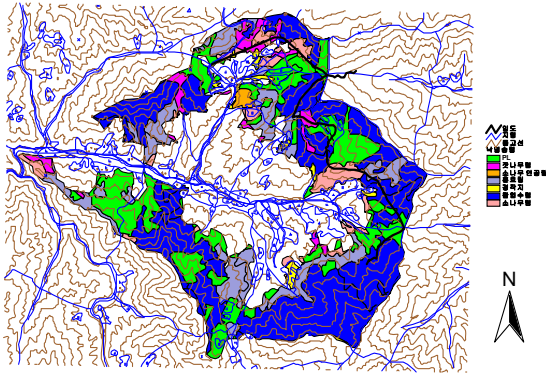
본 연구는 강원도 인제군 남면 정자리 군유림을 대상으로 하였으며 이 지역의 총면적 1,712ha로 이 중 군유림 면적 934ha를 대상으로 하였다. 이 조사대상지는 인제군에서 군유림이 집단적으로 가장 많이 분포하는 지역으로 민유임도가 10km정도 개설되어 있어 마을에서 산림에 접근하기가 매우 수월하며 산림사업을 정상적으로 추진할 수 있는 산림경영기반 시설을 잘 갖추고 있는 지역이다.

인제군 남면 정자리 군유림을 GIS(Geographic Information System)기법을 통하여 분석한 결과 총 면적은 925ha이고 주요 수종을 보면 활엽수림, 낙엽송림, 혼효림, 소나무림, 잣나무림으로 구성되어 있다. 또한 정자리 군유림의 표고를 살펴보면 대부분이 표고 700~900m를 이루고 있는 것으로 분석되었으며 활엽수림이 가장 많이 분포하는 것으로 나타났다.



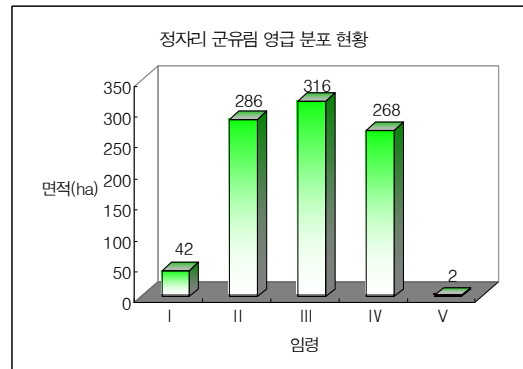
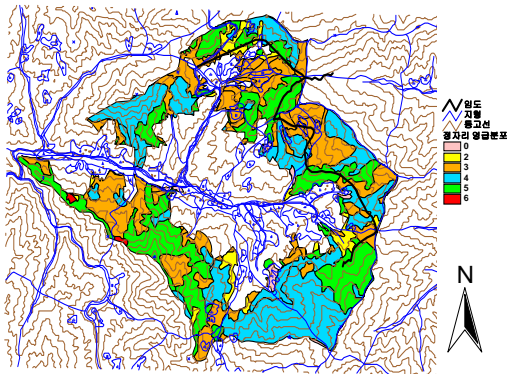
<그림 3-1> 인제군 군유림의 표고 현황

정자리 군유림 주요수종을 살펴보면 활엽수림이 443ha로 가장 많은 면적을 차지하고, 낙엽송림이 216ha, 잣나무림이 41ha를 차지하고 있다.



<그림 3-2> 인제군 공유림의 수종분포 현황

정자리 공유림 영급 분포현황을 살펴보면 III영급이 316ha로 가장 많은 면적을 차지하고, II영급이 286ha, IV영급이 268ha를 차지하여 III~V영급의 면적이 전체 산림의 약 95%이상을 차지하고 있다.



<그림 3-3> 인제군 공유림의 영급분포 현황

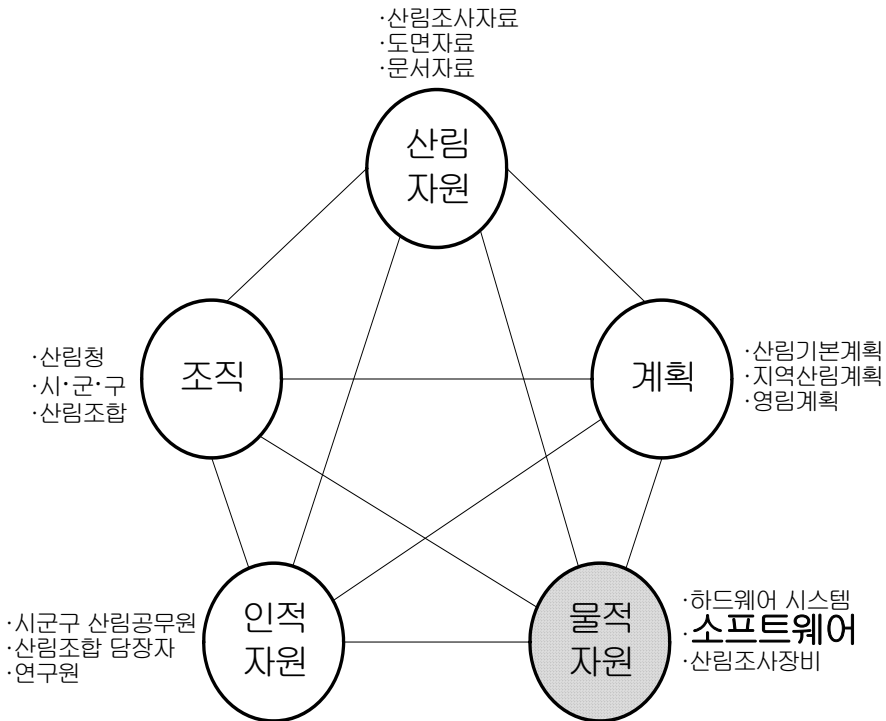
## (2) 통합산림관리GIS프로그램과 임분동태 시각화모델의 요구사항과 시스템 가능성 분석

GIS활용체계는 공간정보 「데이터베이스」를 활용한 각종 정보해석 및 처리기능을 갖는다. 특히 국가차원에서 공간정책이나 계획업무에 활용체계를 도입할 경우에 공간정보의 해석 및 처리 기능을 활용하는 것은 필수적이다. 그러나 공간정보의 해석 및 처리 기능을 실질적인 업무에 활용하는 것은 극히 일부를 제외하고는 선진외국에서도 초보적 단계에 머물러 있다.

이러한 사항을 국내의 활용체계구축에 반영하여 좀 더 이용도가 높은 활용체계를 개발하려면 도형정보와 관련정보를 통합한 공간정보 「데이터베이스」를 융통성 있게 설계하고, 또한 실질적인 업무수행자가 손쉽게 쓸 수 있는 활용체계를 구축해야 한다.

GIS활용체계는 컴퓨터 도형처리기술을 응용하여 도형정보를 처리하고 속성정보를 통합 처리하는 능력이 뛰어나야 한다. 그러나 최근에는 「소프트웨어」 및 「하드웨어」 기술의 발달로 인해 개개의 기능적 특성만을 비교해서 분류한다는 것은 타당하지 못하고 오히려 그 이용목적에 따라서 분류하는 것이 더 타당하다.

우리나라 산림경영을 효율적으로 운영하기 위해서는 그 목적을 달성하기 위하여 구성된 인적, 물적, 지적자원을 시스템적인 개념으로 지휘·통제가 이루어 져야 한다. 시스템이란 「특정 목적을 달성하기 위해 일정한 범위 안에서 상호작용하는 요소들의 집합」을 의미한다. 우리 나라의 산림관리를 위한 시스템의 구성요소는 <그림3-4>과 같이 조직, 계획, 인적 자원, 물적 자원, 산림자원 등으로 구분할 수 있다.

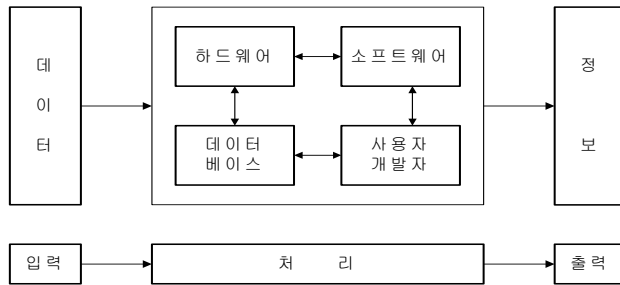


<그림 3-4> 산림경영을 위한 시스템의 구성요소

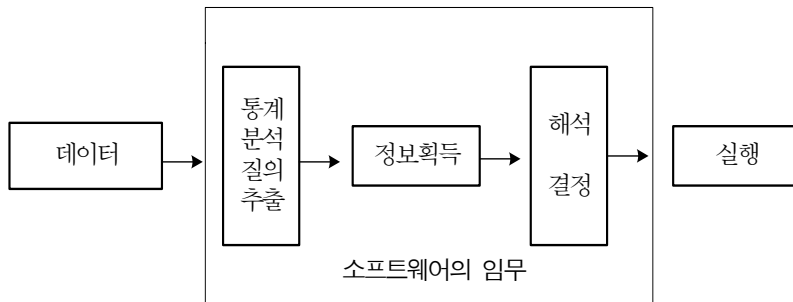
조직 중 산림청은 국유림과 사유림, 공유림을 포함한 우리나라 전체 산림경영을 위한 정책적인 방향과 계획을 수립하고 입안하는 기관이다. 그리고 시·군·구는 사유림과 공유림에 대한 산림경영을 담당하는 기관으로 실질적인 산림경영 업무를 수행한다. 산림조합은 시·군·구에서 수행하는 산림사업을 산주를 대신하여 직접 실행하는 기관이라고 할 수 있다.

우리나라 산림경영을 위한 계획은 국가 차원의 산림기본계획이 있으며, 도 단위 지역산림계획, 시·군·구 단위의 경영계획순으로 산림사업이 계획되어지고 실행된다. 인적자원은 산림업무를 직접 수행하는 담당자들로서 시·군·구 공무원, 산림조합 담당자들, 산림청 산하 임업연구원 등을 들 수 있다. 물적자원은 담당자들이 산림업무 수행을 위해 필요한 하드웨어 시스템, 소프트웨어, 그리고 산림조사를 위한 기본적인 장비들로 구성이 된다.

이중에서 소프트웨어는 일종의 정보시스템의 역할을 수행하고 <그림3-5>과 같이 산림자원에 대한 데이터들을 입력받아 정보로 변환시키는 시스템이라고 할 수 있다. 따라서 산림경영관리나 의사결정에 필요한 데이터를 획득하고, 저장하며, 가공하고 그 결과를 제시하거나 검색할 수 있는 기능을 갖게 된다.



<그림 3-5> 산림관리업무를 위한 소프트웨어의 역할



<그림 3-6> 산림관리업무를 위한 소프트웨어의 기능

이러한 자료들을 처리하기 위한 조직적이며 체계적인 데이터베이스화가 필요하고 하드웨어와 소프트웨어가 개발과 사용을 위한 개발자와 사용자들이 있어야 하며 이러한 처리과정에는 <그림 3-6>과 같이 데이터베이스를 통하여 통계, 분석, 질의 추출과정을 통하여 정보를 획득하고, 획득된 정보를 해석하며 결정할 수 있는 알고리즘 개발이 중요하다.

통합산림관리GIS프로그램과 관련된 산림관련 담당자들의 주요요구사항은 용이한 자료의 입출력, 업무관련 도면의 활용 용이성, 기존자료의 활용가능성 제고, 손쉬운 통계처리, 의사결정 지원 기능, 한글이나 엑셀 등 기존 소프트웨어의 활용, 편리한 사용환경, 적은 용량, 하드웨어 요구사항의 최소화 등을 들 수 있다. 이러한 요구사항들을 만족시키기 위해 다음과 같이 개발을 위한 설계의 기본방안을 정리하였다.

### 1) 자료입출력 기능의 개선

응용시스템구축에서 걸림돌이 되는 것은 주로 자료의 입출력이다. 설문결과 업무현장에서 가장 많이 사용하고 있는 소프트웨어는 보고서 작성에는 한글HWP, 자료보관 및 통계에는 MS엑셀을 가장 많이 쓰고 있는 것으로 나타났다. 필요자료의 입력이나 수정이 편리하도록 GUI환경을 구성하고, 기존의 엑셀로 작성된 자료를 직접 데이터베이스로 전환시키거나, 분석과정에서 추출된 필요한 자료를 엑셀파일로 직접 출력할 수 있는 방법이 필요하다. 또한 국유림관리업무는 임소반자료를 사유림관리업무는 지적자료를 중심으로 수행되므로 해당 전산화데이터베이스 자료를 그대로 불러올 수 있는 기능을 첨가할 필요가 있다.

### 2) 문서자료 통합을 위한 관계형 데이터베이스 구조 채택

산림경영에서 담당하는 국유림경영계획부, 사유림산림조사업무, 산림소유자현황, 시업계획 및 실행에 관련된 업무는 주로 서류나 대장 등의 문서자료로서 따로 관리가 되고 있다. 다양한 문서자료들을 손쉽게 관리운영하고, 필요한 자료들을 서로 연결 사용하기 위해서는 적합한 데이터베이스 구조를 선택하여야 한다. 국유림에서는 산림의 업무실행단위가 임분단위로, 사유림에서는 지번단위로 관리되고 있다. 다양한 문서 자료들을 서로 연계하기 위해 행정코드를 구별자로 하는 관계형 데이터베이스 모델을 사용하는 것이 바람직하다. 이는 관계(Relation)라 불리는 2차원의 테이블(Table)로 표현하는 방식이다.

데이터베이스는 크게 테이블(Table)과 필드(Field)로 구성이 되며 테이블은 산림자원관리의 각종 업무분야별로 구성할 수 있다. 그리고 테이블은 속성자료를 하나 하나 식별할 수 있는 유일한 값인 구별자(Key)를 가지며, 그 구별자는 우선 구별자(Primary-key)와 종속 구별자(Foreign-key)를 이용하여 쉽게 연결할 수 있다. 그리고 필드명에 기록되는 각종 필드

유형들(Field type)들은 그 특성이 문자열(String), 숫자(Number), 참·거짓(True·False)으로 표현된다. 업무의 내역을 관계형 데이터베이스로 구성함으로써 업무별로 필요한 자료들을 손쉽게 추출, 수정, 이용할 수 있고, 필요에 따라 새로운 업무내역을 테이블로 추가할 수 있다.

### 3) 의사 결정업무 지원 가능

시스템에서는 실무자들이 문서데이터베이스를 단순관리하는 기능외에도 업무에 필요한 의사결정업무를 지원할 수 있도록 하여야 한다. 특히 사업계획의 기준 설정이나, 현황 등을 다양한 기준에 의해 분류할 수 있도록 하여야 할 필요성이 있다.

### 4) 효율적인 통계처리

다양한 통계처리를 하기 위해, SQL을 이용하여 필요한 통계처리가 가능하도록 하고, 필요한 부분은 엑셀파일로 출력하여 담당자가 필요로 하는 업무자료정리나 2차적인 통계처리가 가능하도록 한다.

### 5) 다중작업 기능

업무의 종류에 따라 시스템내에서 필요한 파일(워드프로세서, 엑셀, CAD 등)들을 직접 사용하여야 하는 업무가 있다. 이를 위해 시스템이 작동되는 컴퓨터에서 사용되는 모든 프로그램을 Shell명령어로 연결하여 시스템을 종료하지 않고도 다중작업이 가능하도록 한다.

### 6) 시스템 지원 및 형태

임분동태 시각화모델제작은 낮은 시스템사양에서도 구동이 가능한 API를 활용하고, 모델 임분의 각종 측정제원은 시스템 안에서 선택, 수정, 저장 등이 가능한 형태로 개발하며, 생장모델의 종류는 지속적으로 추가 보완가능 한 형태로 별도 제작한다,

## 나. 시스템의 설계, 데이터베이스 구축 및 기본 알고리즘 개발

### (1) 시스템운영체제의 결정

통합산림경영시스템은 산림경영과 임분동태시각화 모델을 결합하여 지속가능한 산림경영을 합리적으로 지원하는 것을 목적으로 한다.

지속가능한 산림경영을 위한 통합산림경영시스템의 개발목적을 달성하기 위해서는 산림의

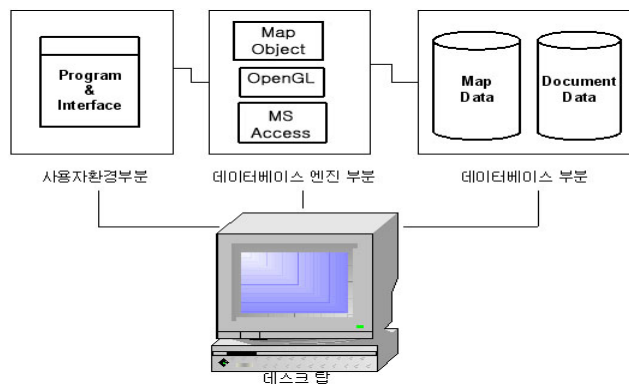
기본단위인 임분을 기본자료로 하고, 임분에서 행해지는 모든 업무를 분석·정리, 참조, 활용할 수 있어야 한다. 또한 산림관련업무에서의 시스템의 효율성을 높이기 위해 속성자료와 도면을 상호연계시키는 것이 필요하다. 특히 대면적을 대상으로 하고, 다양한 기능을 요구받는 임업의 특징상 이러한 속성값과 도면과의 연계는 그 필요성이 높기 때문에 이를 만족시키기 위해 GIS기능을 통합산림경영시스템의 기본프레임으로 결정하였다.

통합산림경영시스템을 구현하기 위한 기본자료로서 강원도 춘천시 남산면과 남면에 소재해 있는 춘천국유림관리소 관내 봉화산 일대(이하: 강촌 모델림)의 shp파일 일부분을 GIS의 기본지형자료로 만들고, 실무자들과의 협의를 거쳐 필요한 업무내역을 선정하여 속성자료 DB prototype(원형)을 결정한 후, 정보 입출력 및 GUI를 설계하였다.

응용프로그램 개발을 위한 플랫폼은 IBM호환 PC에서 Windows XP를 기본 운영체제로 하였으며, 본 연구에 사용된 데이터베이스 시스템은 관계형 데이터베이스 프로그램인 Microsoft사의 Access 2003이다.

프로그래밍 언어로는 객체지향 프로그램 언어인 Microsoft사의 Visual Basic 6.0을 사용하였고, 수치지형도의 수정 및 변환은 대표적인 CAD 프로그램인 Autodesk사의 AutoCAD 2000과 ESRI사의 ArcView3.3을 사용하였다. 또한 GIS 기능을 구현하기 위해서 ESRI사의 Component GIS인 MapObject 2.0을 사용하고, 임분동태시각화모형을 위해서는 C언어를 기반으로 하는 개방형 API(Application Programming Interface)OpenGL을 채용하였다.

본 연구에서 사용한 시스템은 Intel Pentium Processor Celeron 760MHz, Ram 64Mb, Hard Disk 7,200rpm 60Gb, VGA 카드로는 Riva TNT AGP 32M으로 비교적 낮은 사양으로 구성되었다. 이는 실무현장에서 주로 사용되고 있는 컴퓨터 사양과 유사하거나 오히려 낮은 수준이기 때문에 시스템사양 부족에 따른 문제점은 없을 것으로 판단된다.

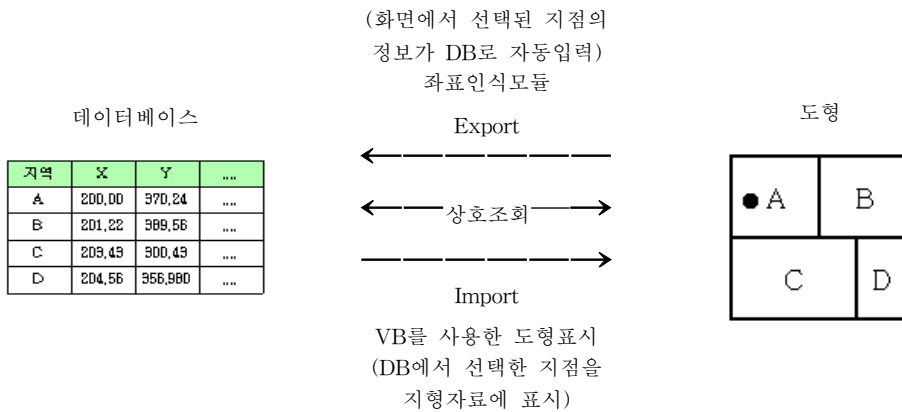


<그림3-7> 시스템 개발운영체계



## (2) 독립적 상호연결모듈의 알고리즘개발

일반적으로 기존의 GIS 프로그램들은 속성자료와 지형자료의 상호의존형 연결방식을 사용하고 있다. 이러한 상호의존형 연결방식은 지형자료의 변경없이 새로운 항목을 추가, 운영하기 어렵다는 단점이 있다. 본 연구에서는 독립적 상호연결모듈을 개발하였다. 독립적 상호연결모듈은 위치좌표에 의해 속성자료가 갱신 관리되고, 속성자료만으로도 지형자료를 표시하고, 지형자료 위에 만들어진 도형을 shp 파일로 저장 활용할 수 있도록 하였다. 이 방식은 기본적인 지형자료를 바탕으로 위치좌표가 포함된 속성자료만으로도 원하는 내용을 표현할 수 있기 때문에 사용자가 GIS를 모르는 사람이라도 쉽게 수정과 변경을 할 수 있다는 장점이 있다.



<그림 3-8> 독립적 상호연결모듈의 모식도

그림은 본 프로그램에서의 지형자료와 속성자료의 연결과 입출력방식을 도식화한 것으로, 변경되는 내용은 지형자료와 독립적으로 속성자료 DB의 수정만으로 표현이 가능하다. 즉, 지형자료의 좌표값을 사용하여 표시하는 본 프로그램의 데이터 연결방식은 지형자료의 변경 없이도 속성자료의 수정 및 변경만을 통하여 변경된 내용을 반영할 수 있다.

화면상에서 선정한 지점의 좌표값과 속성값이 좌표인식모듈에 의해 속성자료DB에 저장되고, 반대로 도면상에서 'A'지점의 속성을 표시할 경우에는 좌표범위인식모듈에 의해 속성자료상의 좌표값을 인식하여 'A'의 속성자료를 불러들여 필요한 항목을 표시하게 된다. 또한 속성자료상의 이름만으로도 검색이 가능하기 때문에 다양한 목적에 응용할 수 있다.

### (3) 데이터베이스 운영체제와 표준화

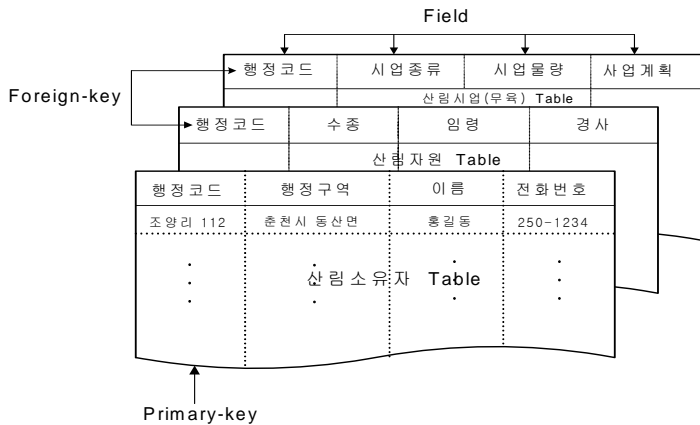
산림관리에서 시행되는 각종 사업과 업무내용들은 주로 서류나 대장 등의 문서자료로서 따로 관리가 되고 있다. 특히 지속가능한 산림자원관리를 위한 산림경영의 업무는 기존의 업무보다 더 복잡하게 되고 문서의 종류도 다양화될 것으로 예측된다. 다양한 문서자료들을 손쉽게 관리운영하고, 필요한 자료들을 서로 연결 사용하기 위해서는 적합한 데이터베이스 구조를 선택하여야 한다.

국유림에서는 관리대상인 산림의 업무실행단위가 임소반단위로, 사유림에서는 지번단위로 관리되고 있고, 필요한 서류의 종류나 항목도 각각 차이점을 보이고 있다. 이렇게 서로 차이가 나는 다양한 문서 자료들을 서로 연계하기 위해서는 관계형 데이터베이스 모델을 사용하는 것이 바람직하다. 이는 관계(Relation)라 불리는 2차원의 테이블(Table)로 대상을 표현하는 방식이다.

데이터베이스는 <그림3-9>과 같이 크게 테이블(Table)과 필드(Field)로 구성이 되며 테이블은 필요한 업무분야별로 구성할 수 있다. 그리고 테이블은 속성자료를 하나 하나 식별할 수 있는 유일한 값인 구별자(Key)를 가지며, 업무속성상 기본테이블의 우선 구별자(Primary-key)와 나머지 테이블의 종속 구별자(Foreign-key)를 통해 쉽게 연결이 된다.

보통 각 테이블의 필드명은 프로그램의 원활한 운영을 위해 영문조합으로 구성되고, 필드명에 기록되는 각종 필드유형들(Field type)들은 그 특성이 문자열(String), 숫자(Number), 참·거짓(True·False)으로 표현할 수 있다.

이렇게 업무의 내역을 관계형 데이터베이스로 구성함으로써 업무별로 필요한 자료들을 손쉽게 추출, 수정, 이용할 수 있고, 필요에 따라 새로운 업무내역도 테이블로 추가할 수 있다.



<그림3-9> 관계형 데이터베이스 모델의 일례

또한 관계형 데이터베이스를 채용하면 한파일안에 다양한 테이블을 이용할 수 있어 데이터파일 관리가 쉽고, 프로그램의 코딩에서도 입력부분을 상당히 줄일 수 있어 프로그램 개발자에게 유리한 측면이 많다.

데이터베이스는 객체지향형 인터페이스인 DAO 3.6을 이용하여 메인 프로그램과 연결하였다. 테이블명과 필드명은 한글을 이용하여 추후 보완개발의 용이성을 확보하고, 사용자가 쉽게 관리 이용할 수 있도록 개발하였다. 이는 운영체제의 발전에 의해 한글의 인식에 문제가 없게 되었음에 기인하는 것이다.

관계형 데이터베이스의 채택과 테이블과 필드의 한글이용이라는 방법을 통해서 기존의 다양하고, 무질서한 속성자료들을 효율적으로 연계활용할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 이는 지속적으로 문제가 되어 왔던 산림관련 실무현장에서의 각종 데이터베이스의 표준화문제를 해결할 수 있는 바람직한 실마리를 찾았다고 볼 수 있다. 특히 현장에 배포되었던 많은 고가의 프로그램들이 데이터베이스의 극히 일부항목만 누락 삭제되어도, 구동되지 못하여 방치되었던 경우를 줄일 수 있다는 것을 의미한다.

단 이것은 프로그램 구동시의 오류를 최소화 할 수 있는 방법을 찾았다는 전산측면에서의 발전이기 때문에, 산림관련 데이터베이스의 표준화는 지속적으로 실행해 나가야 할 것이다. 데이터베이스의 표준화는 산림분야가 발전하기 위한 최소한의 기본 요구조건이기 때문에 본 연구에서 개발한 임시방편의 편법으로 만족해서는 안될 것이다.

#### (4) 임분동태 시각화모델 알고리즘

임분동태 시각화모델은 산지에서 행해지는 각종 산림사업에 따라 다양하게 변화하는 임분의 성장과 임분공간구조를 PC에서의 시뮬레이션을 통해 미리 예측하여 가장 적합한 사업방침을 결정하기 위해 개발되었다. 일반적으로 임목의 성장에는 오랜 기간이 필요하고, 간벌이나 무육등의 산림사업의 시기가 확정되어 있지 않기 때문에 같은 임분이라 할지라도 사업시기나 방법 등의 차이에 의해 다양한 결과를 나타낼 수 있다.

특히 최근 산림의 이용이 과거의 목재생산 위주에서 3차산업과 연계된 휴양공간으로 활용되는 기회가 늘어남에 따라 필연적으로 숲의 모양에 대한 선호도를 높일 수 있는 사업까지를 고려해야 할 필요성이 늘어나게 되었다. 다양한 임분상태 중에서 인간이 필요로 하는 가장 적합한 임분상태를 만들기 위해서는 현재의 임분상태와 사업이 임목의 성장과 임분구조의 변화에 미치는 영향을 파악하고, 결과를 예측할 필요가 있다.

본 연구에서는 제1과제에서 수행된 실지 국내의 활엽수임분과 잣나무, 낙엽송의 조사결과에서 얻어진 개체목 성장모델들을 이용하여 간벌과 가지치기, 임목생장의 시뮬레이션을 수

행하고, 그 결과 나타나는 임분의 공간구조의 변화를 3차원의 다양한 시점에서 투시하여, 작업의 결과를 직관적으로 알아볼 수 있도록 제작하였다.

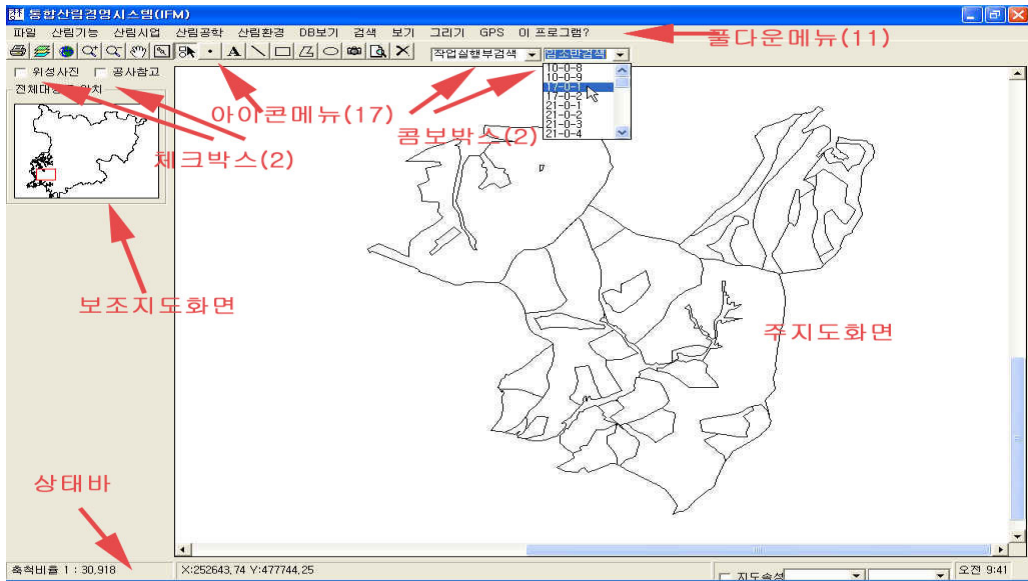
3차원그래픽을 표현하기 위해서는 C언어를 기반으로 하는 개방형 API(Application Programming Interface)인 OpenGL 1.1을 사용하였다. OpenGL은 3차원공간에서의 좌표변환이 용이하고, 물체에 다양한 색과 재질, 빛, 그림자 등을 설정할 수 있어 그래픽에 현실감을 줄 수 있어 게임프로그램의 개발 등에 주로 사용된다. 또한 CAD에서 주로 사용되는 직교투영(Orthographic Projection)외에도 인간의 시지각적인 특성을 고려한 원근감을 나타낼 수 있는 원근투영(Perspective Projection)이 가능하기 때문에 가상현실(Virtual Reality)을 이용한 시물레이션 등의 작업에 적합하다는 장점이 있다.

수목의 데이터베이스의 관리와 확장을 손쉽게 하기 위해서 관계형 데이터베이스 프로그램인 Access 2003을 객체지향형 인터페이스인 DAO 3.6을 이용하여 본 프로그램과 연결하였다. 필요한 데이터는 Excel파일과 Access 파일의 2가지 형태로 저장할 수 있도록 하여 데이터베이스의 저장 및 활용이 용이하게 하였다.

#### (5) 사용자 인터페이스

이 프로그램의 메인화면 인터페이스는 다음 그림과 같이 풀다운메뉴 11개, 아이콘메뉴 17개, 콤보박스 2개, 체크박스 2개와 두개의 지도창, 상태바로 구성하였다. 이중 풀다운메뉴와 아이콘메뉴, 콤보박스과 체크박스를 이용하여 각각 해당 모듈을 실행시킬 수 있다. 주지도화면은 선택한 지형자료를, 보조지도화면은 전체대상지 중의 주지도화면의 범위를 보여주며, 상태바는 도면의 축척비율, 마우스의 좌표값, 지도속성 확인창, 현재시간을 표시할 수 있도록 하였다.

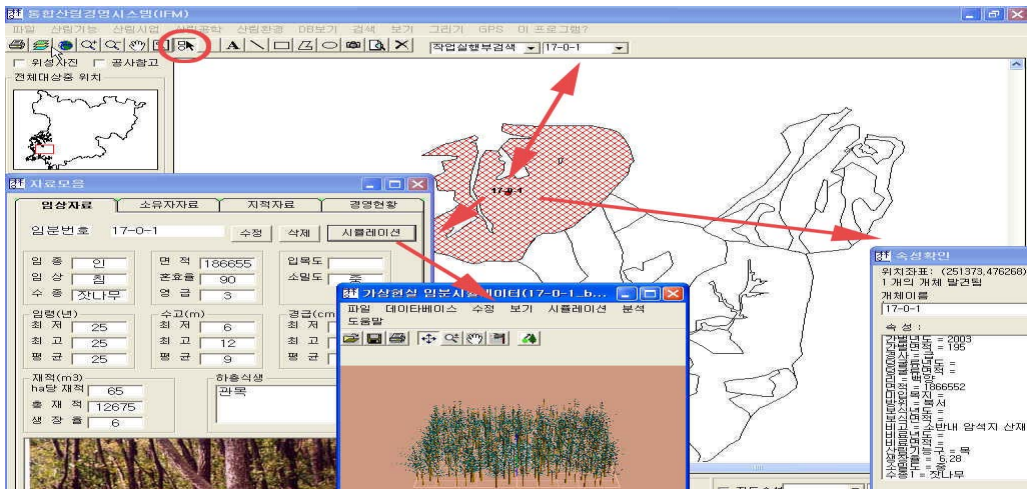
연구 중간단계로서 최종보고서가 아니기 때문에 추후 시스템이 보완 변경될 가능성을 고려하여 전체메뉴와 모듈의 내용을 전부 설명하지 않고 몇가지 기능만을 간략히 설명하도록 한다.



<그림 3-10> 메인화면 인터페이스

이 시스템이 다른 GIS시스템과 차별화되는 기능은 다음 그림과 같은 마우스만으로 수행되는 검색 및 참조기능이다.

임소반 검색콤보박스과 도면중의 글씨는 상호참조되어 콤보박스를 선택하였을 경우 해당 위치에 도형을 표시하고, 도면에서 마우스로 일정부부분을 선택하면 해당 임소반이름이 콤보박스위에 표현되도록 하였다.



<그림 3-11> 본 시스템의 사용 일례

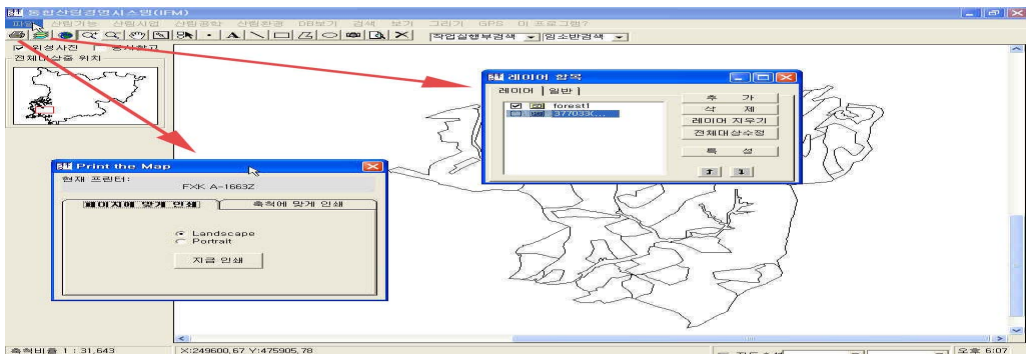
아이콘바중에서 붉은 원으로 표시된 아이콘을 선택하면 해당지역의 필요한 자료를 검색하는 명령을 수행한다. 위 그림은 콤보박스에서 선택한 임소반의 위치를 붉은색으로 표시하고 해당임소반의 DBF파일속성과 해당임소반의 각종자료(MDB와 사진 등)가 동시에 나타나고, 시물레이션단추를 눌러 지역의 3차원 임분동태시각화 모델을 확인하는 일련의 과정을 보여준다.

키보드를 사용하지 않고 마우스만으로 이러한 작업이 가능한 것은 본연구팀에서 개발한 독립적 상호연결모듈을 채용하였기 때문이다.

이프로그램은 GIS에서 사용되는 일반적인 기능들인 확대, 축소, 이동 등의 기능을 포함하여 새로운 객체의 생성과 저장을 충분히 지원한다. 새로운 객체는 점, 글자, 폴리곤, 사각형, 원형을 포함하여 shape의 메인 타입인 점, 선, 면의 조건을 충족시킬 수 있어, 다른 GIS응용프로그램없이도 실무분야에서 활용이 가능하다.

또한 shell기능을 추가하였기 때문에 프로그램이 구동되는 시스템안에 프로그램들이 존재할 경우에는 해당파일만 선택하면 즉시적으로 원하는 데이터의 수정과 저장활용이 가능하다. 이러한 기능은 현재 프로그램의 종료없이 다중작업으로 수행되기 때문에 시간낭비를 줄일 수 있다. 현재 확인된 프로그램들은 한글(\*.hwp), Excel(\*.xls), autoCAD(\*.dwg), ArcView(\*.shp)등으로 대부분의 상용프로그램들을 지원하는 것으로 나타났다. 특히 한글워드프로세서나, 엑셀파일은 실무분야에서 가장 많이 사용되고 있는 프로그램으로 이 기능은 본프로그램의 활용도를 크게 높일 수 있을 것으로 기대된다.

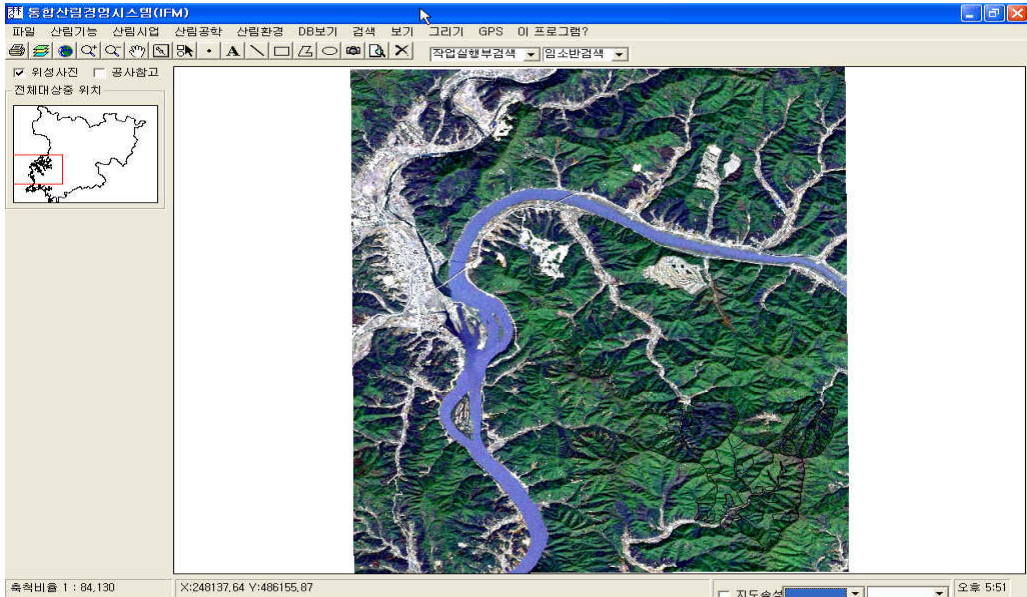
아래그림은 레이어를 관리하는 프레임폼으로 필요한 레이어의 추가, 삭제, 순서이동 등이 가능하다. 이러한 레이어관리기능은 최근 급격히 발전하고 있는 위성영상의 활용이라든가, 사회문제가 되고 있는 수계분석을 통한 수자원보호를 위한 산림사업지구 지정이나 경관계획을 위한 가시권분석 등의 업무를 위해서도 필요하다.



<그림 3-12> 레이어관리와 프린터설정 모듈

프린터는 보는 것처럼 페이지에 맞게 혹은 축척을 지정하여 인쇄할 수 있으며, 용지의 가로, 세로방향 선택이 가능하고, 이 시스템에 연결된 프린터를 디폴트값으로 지정하여 표시된다.

그림은 산림과학원에서 제작한 1:25000위성영상인 Tiff파일을 레이어에서 추가한 과정이다. 최근 산림에 대한 요구가 다양화됨에 따라 이러한 영상자료들을 참조할 필요성이 있는 업무가 늘어나는 것을 고려하여 영상자료보기 기능을 추가하였다.



<그림3-13> 위성영상의 추가

이 시스템은 추후 보완확장과 다중작업의 편의성을 고려하여, 25개의 독립프레임폼으로 구성하여 각각 다른 창에서 자유롭게 켜고 끌 수 있도록 하여 상호연결 및 참조가 용이하도록 구성하였다.

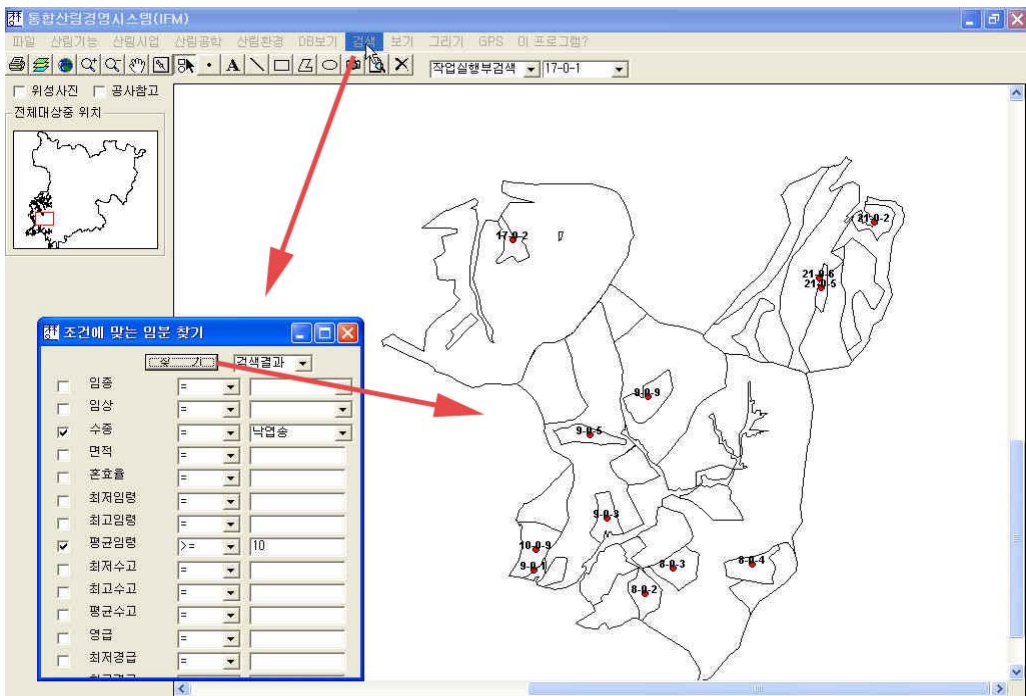
특히 최근 급격히 발전하고 있는 임업분야에서의 WebGIS와의 효율적인 연계활용을 위해 보완작업이 필요할 것으로 예측되므로, 이러한 독립프레임폼의 채용이 유리할 것으로 판단하였다.

전체적인 작업항목을 분야별로 구분한다면 GIS검색, 작업실행부 작성, 작업실행부 검색, 3차원 임분시물레이션, 적산, 기타 참조기능으로 분류할 수 있다. 이하 각 분야별 기능을 간단히 설명한다.

## (6) 검색모듈

아래 그림은 대상지의 다양한 조건을 만족시키는 임분을 찾아서, 도면에 표현하는 다중검색의 일례로서 낙엽송임분 중 임령 10년 이상인 임분만을 검색하여 도면에 표시한 결과이다. 이 과정도 역시 독립적 상호연결모듈을 활용하여 구현하였다.

다중검색은 데이터베이스에 있는 모든 필드를 활용할 수 있고, 추가 및 삭제가 가능하기 때문에 원하는 임분을 찾는 데 유용하고, 검색결과 콤보박스안에 검색된 임분의 이름이 입력되기 때문에 반복작업 없이도 다시 이용할 수 있도록 하였다.

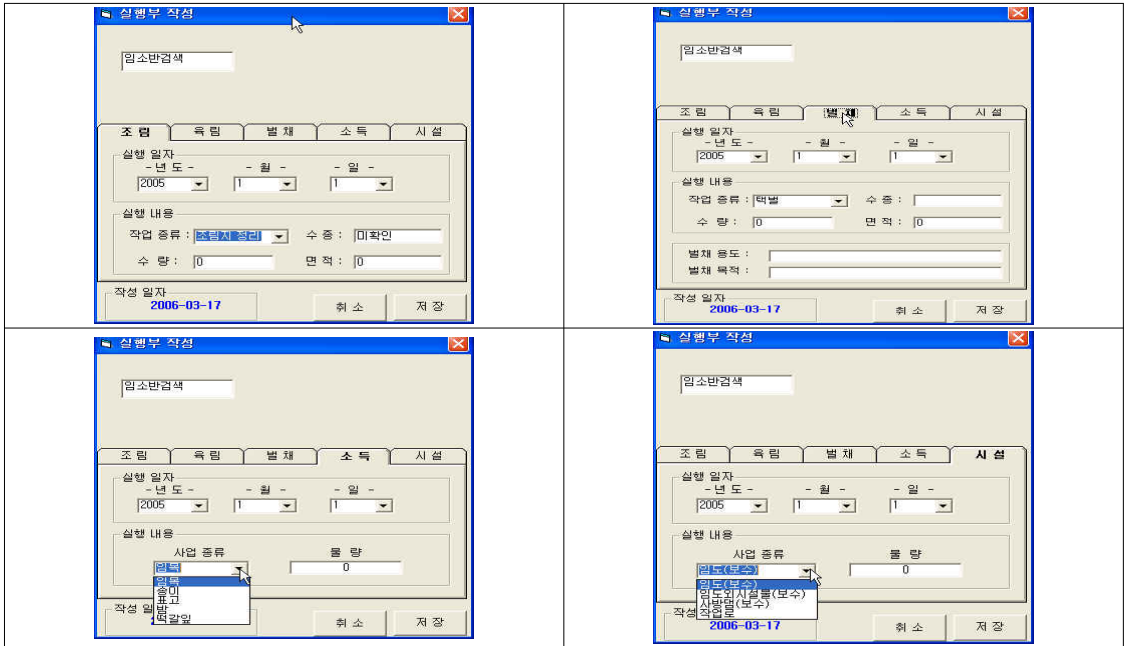


<그림 3-14> 다중검색의 실행예

이러한 검색모듈은 다중검색이외에도 명칭검색, 단일검색 등 다양하게 활용할 수 있도록 하고, DB의 테이블별로 자동적으로 필드이름을 지정하여 이용할 수 있도록 하였기 때문에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다. 검색항목은 현장실무자들의 의견을 들어 보완할 필요가 있을 것으로 판단된다.





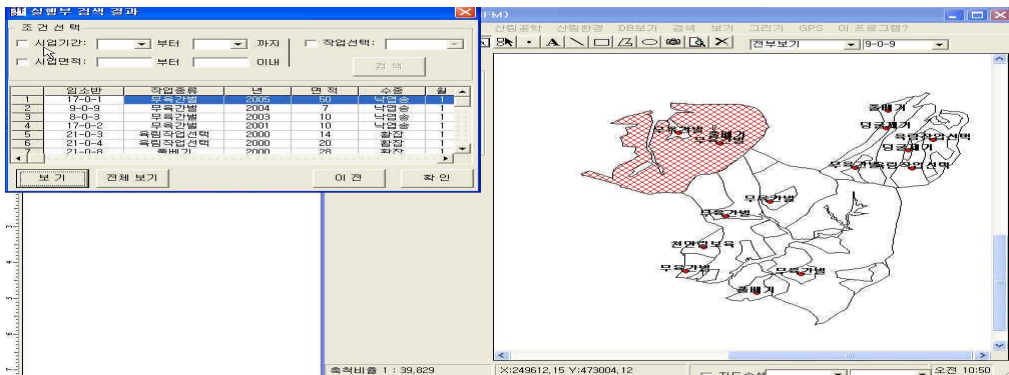


<그림 3-16> 실행부 작성모듈의 SSTab 내용

### (8) 실행부 검색모듈

작업실행부검색은 실행부작성에서 입력된 DB를 사용하여 임분을 검색하는 과정이다. 작업실행부 콤보박스에서 원하는 사업내용을 선택하면 실행부 검색결과창이 나타난다. 콤보박스에서 전부보기를 선택했다면 모든 작업내용이 년도별로 나타난다.

년도는 최근부터 과거까지 역순으로 배열되며, 작업종류와 작업년도, 면적, 수종 등의 필드내용이 나타난다.

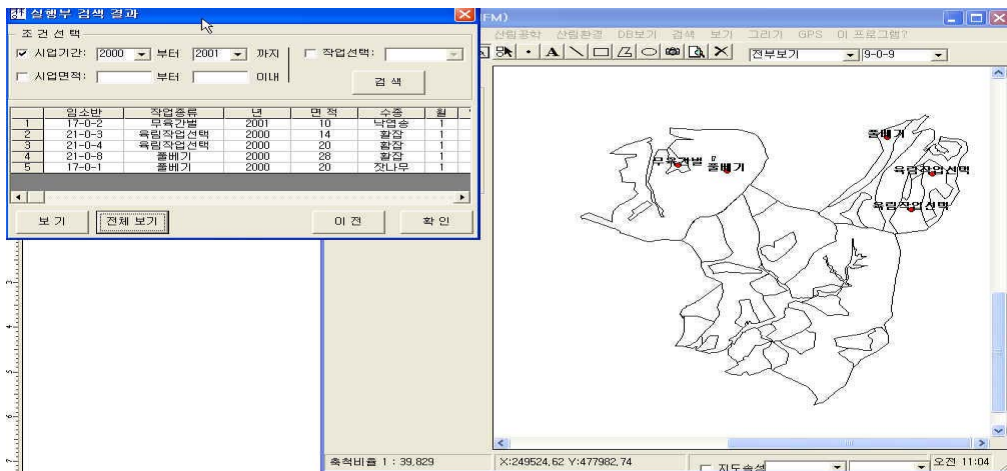


<그림 3-17> 실행부 검색결과 of 일례

실행부 검색결과의 전체보기단추를 누르면 FlexGrid에 나타난 모든 레코드셋의 위치가 도면에 글씨(작업명)와 붉은 점으로 나타난다. 하나의 임분만 선택하였을 경우에는 보기단추가 활성화되고, 해당된 레코드의 임분형태를 붉은 색으로 표현된다. 이때 한 임분안에서 작업위치가 다를 경우에는 각각 다른 위치에 점이 나타난다. 이 위치는 실행부 입력에서 마우스로 선택한 지점이 된다.

또한 사업기간이나 사업면적을 지정하여 조건을 만족시키는 임분만 검색할 수도 있다. 일례로서 2000년부터 2001년까지 작업이 시행된 임분만을 검색한다든가, 작업면적이 10에서 30ha인 임분만을 찾는 것도 가능하다. 이러한 검색조건은 하나만 선택할 수도 있고, 여러개의 조건을 동시에 선택할 수도 있다.

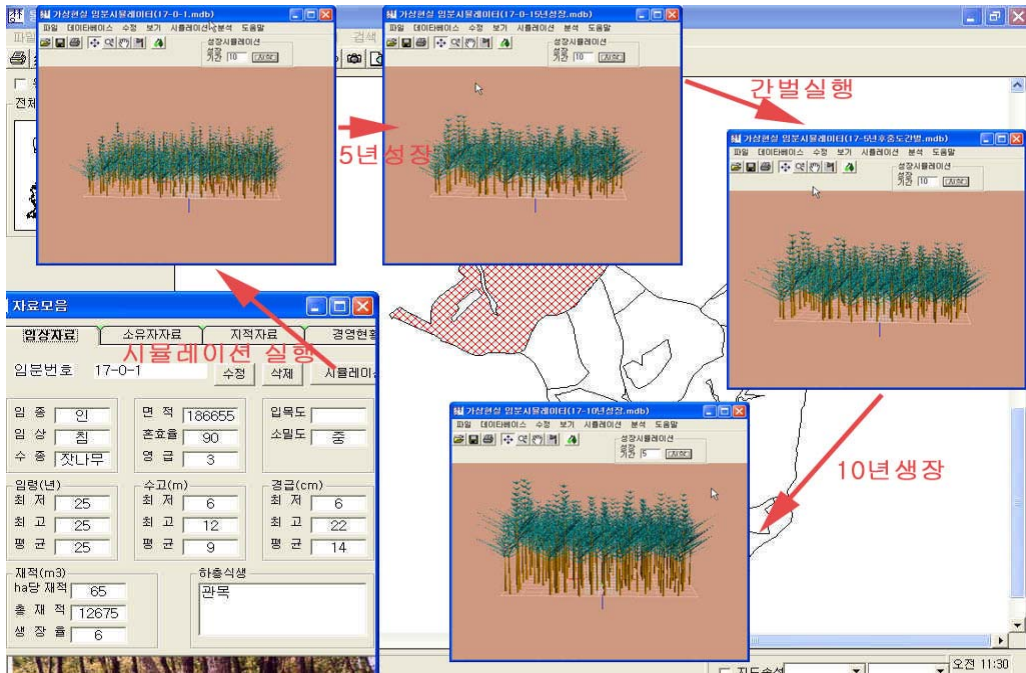
현재는 기간과 면적만을 검색조건으로 만들었으나, 실무자들의 의견을 들어 필요한 검색조건을 추가할 필요가 있을 것으로 생각한다.



<그림 3-18> 조건선택을 통한 실행부 검색

### (9) 임분동태 시각화모듈

임분동태 시각화모듈의 사용 예는 아래 그림과 같다.



<그림 3-19> 임분시물레이터 활용예

제1과제에서 연구된 개체목의 Allometric 성장모델과 파워모델의 수치값 등을 이용하여 3차원 시각동태시물레이터를 개발하였다. 대상임분을 선택하여 자료 모음창을 보고, 가상현실 임분시물레이터를 구동하여, 현재의 임분상태를 확인한 후, 5년간 성장시키고, 중도간벌을 한후, 다시 10년간 성장했을 경우의 임분의 구조변화를 시각적으로 관찰하는 과정이다.

본 연구에서 개발된 임분동태 시각화모듈의 일부 기능만을 간략히 소개하면 다음과 같다.

초기화면은 그림과 같이 7개의 풀다운메뉴, 8개의 아이콘메뉴, 임분의 모식도를 3차원으로 볼 수 있는 주화면으로 구성하고, 필요한 경우에는 감춰진 화면이나 새로운 창을 이용할 수 있도록 구성하였다. 각 메뉴 및 아이콘은 직관적으로 이해할 수 있는 용어와 그림을 사용하여 사용자가 쉽게 접근할 수 있도록 하였다.

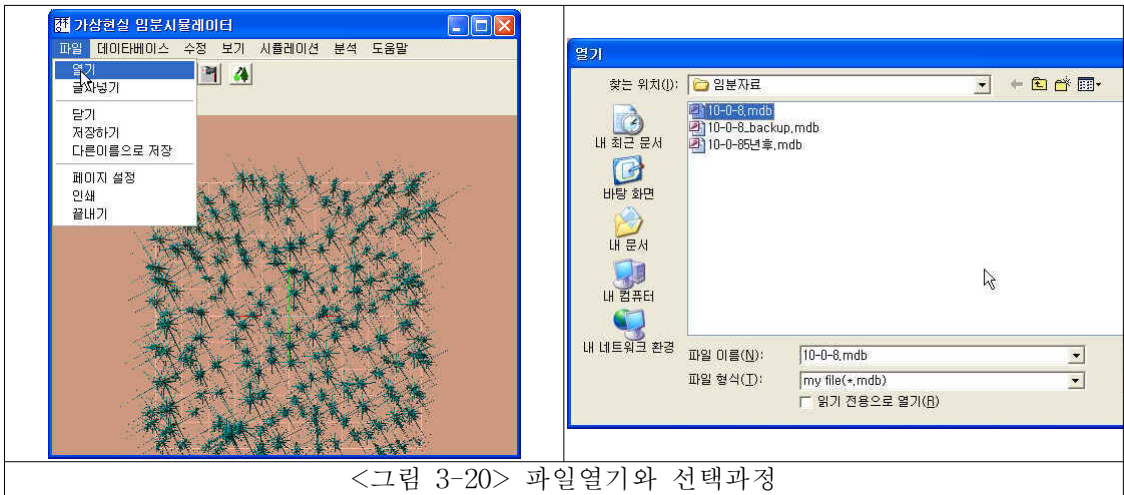
상부의 아이콘은 각각 파일열기, 저장하기, 인쇄하기 기능과 시점회전, 화면의 확대와 축소, 이동 기능, 화면에서 임목을 선정하여 간벌을 실시하는 기능, 임목성장을 나타내는 성장시물레이션 기능으로 구성되어 있다. 각 아이콘은 마우스를 근접시켰을 경우 한글로 된 풍

선도옴말이 나타나 사용자가 쉽게 사용할 수 있도록 하였다.

이중 아이콘메뉴와 폴다운메뉴 중 중요한 것을 대상으로 기능을 설명하면 다음과 같다.

### 1) 파일열기

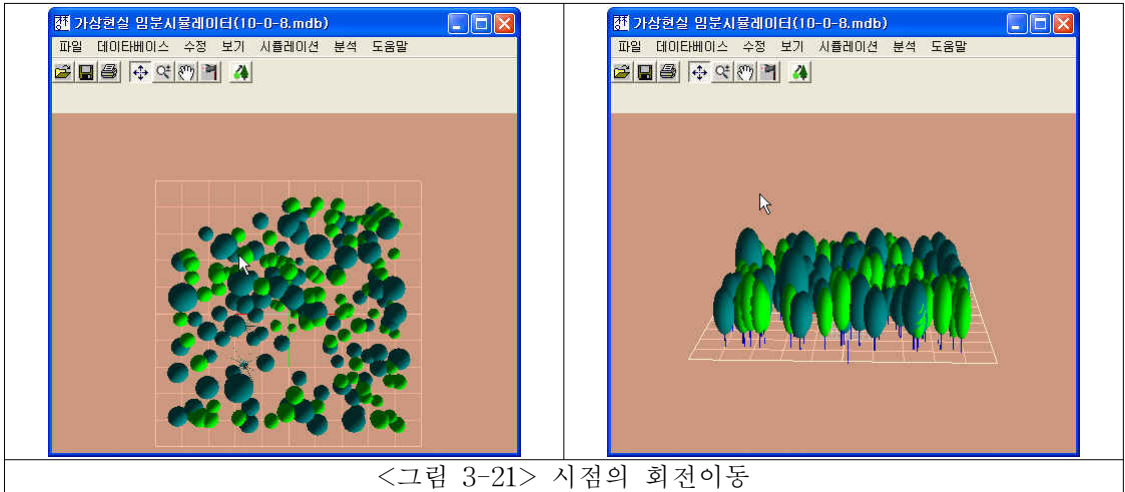
폴다운메뉴의 파일중 열기를 선택하면 다음 그림들처럼 Access파일을 선택할 수 있다. 이 mdb파일은 임분의 데이터 조사데이터 Excel파일에서 변환시킨 것이다.



### 2) 회전이동

이 프로그램에서는 마우스를 이용하여 3차원의 관측점을 지정하여 임분의 전체적인 형상을 볼 수 있다. 회전각은 상하, 좌우 360도 자유롭게 이용할 수 있다.

현실에서의 임분은 지상에서만 관측되기 때문에 상하로 마이너스 각도는 필요 없지만, 임내에서 바라보는 수관의 형태관찰이 필요한 경우 등, 경관관찰점의 변화가능성을 고려하고, 가상현실 숲속여행 시뮬레이션 프로그램 등을 개발하기 위하여 마이너스 각도까지 이용할 수 있도록 설정하였다.

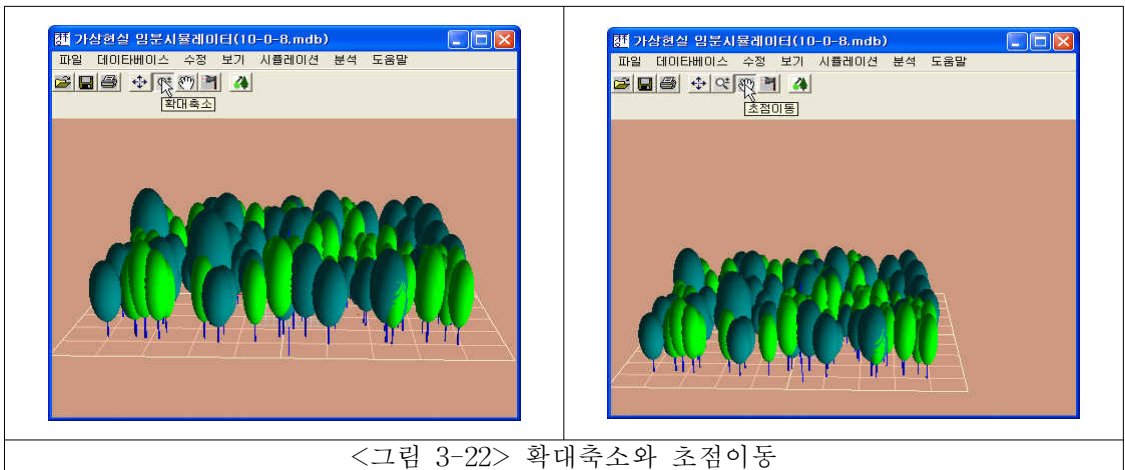


### 3) 확대축소 아이콘

확대축소아이콘이 눌러진 상태에서는 마우스의 움직이는 방향에 따라 화면이 확대되거나 축소된다. 아래 그림은 전화면을 확대한 모습이다. 마우스를 클릭한 상태에서 아래로 내리면 점차 커지고, 위로 올리면 점차 작아지도록 구성하였다. 이는 사진에서 이용되는 줌렌즈의 기능을 활용한 것이다.

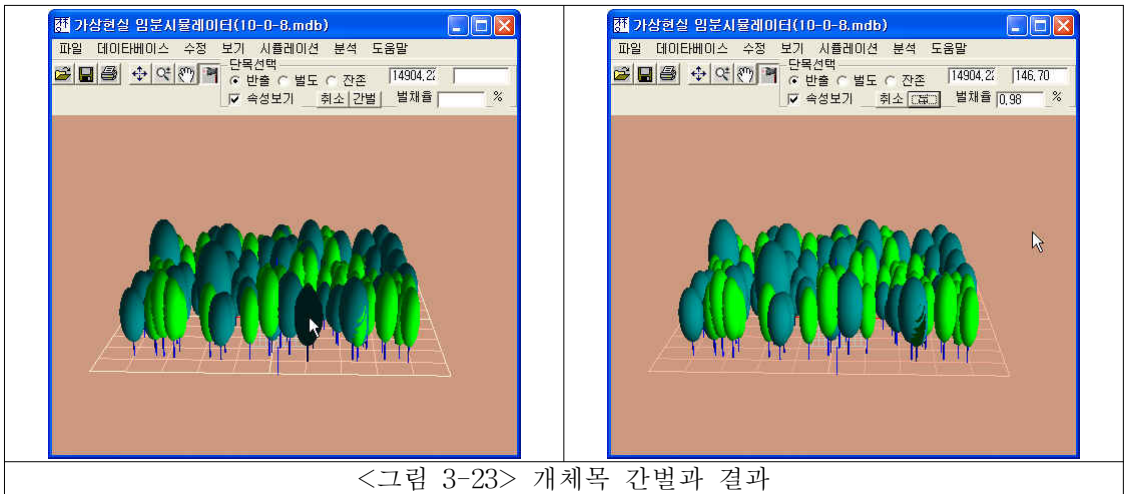
### 4) 초점이동 아이콘

초점이동 아이콘은 화면상에서의 표준지 위치를 이동하는데 사용된다. 마우스를 클릭한 상태로 좌우상하로 움직이면 임분의 위치가 따라서 이동된다. 이 기능은 필요로 하는 지점만을 확대하여 사용하기 위해서 추가하였다



## 5) 간별 아이콘

도끼모양으로 표시한 항목선택 아이콘을 누르면 아래 그림과 같이 보이지 않던 항목선택이라는 글자가 있는 프레임이 나타난다. 이 프레임은 마우스로 선택한 임목의 간별 방법을 반출, 벌도, 잔존의 세가지 중에서 선택하고 선택한 임목의 속성값과 임분전체의 흉고단면적과 간별목의 흉고단면적 합계와 간별율을 나타내도록 되어 있다. 좌측은 항목간별로 한나무를 선택한 과정으로, 우측화면에서 해당임목이 사라진 것을 확인할 수 있다. 전체 재적과 벌채된 나무의 재적, 벌채율이 나타나고, 계속 벌채를 진행하면 벌채목의 재적과 벌채율이 누적되어 표시된다.

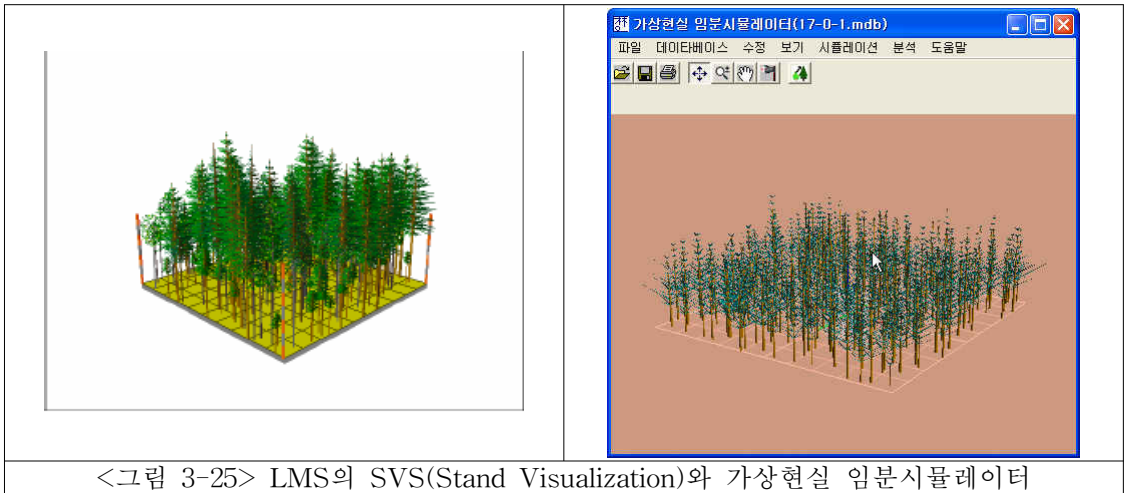
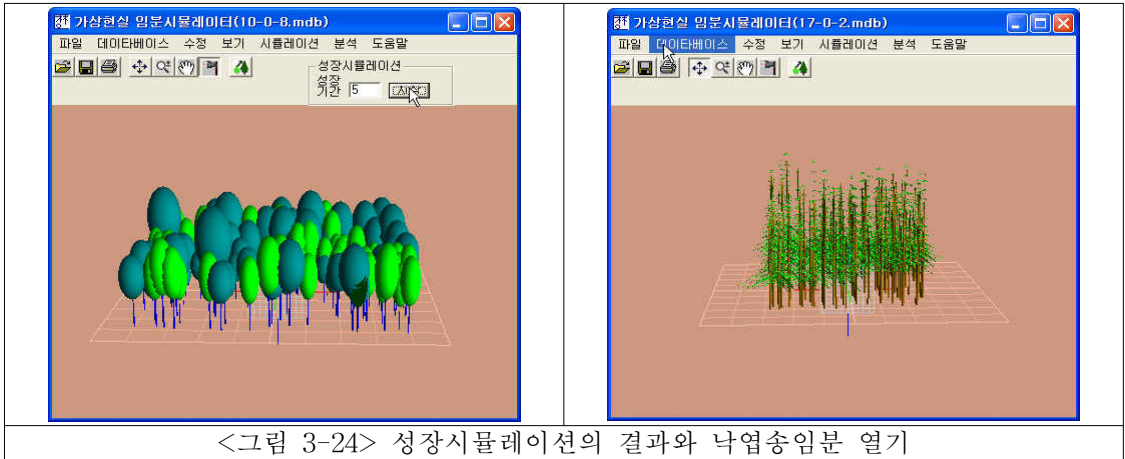


<그림 3-23> 개체목 간별과 결과

이를 이용하면, 원하는 간별율에 도달할 때까지 정량간별을 수행할 수 있다. 그림은 생략하였지만, 풀다운 메뉴의 간별시물레이션에서 다중검색기능을 이용하여 열세목만 일률적으로 간별한다든가, 원하는 직경 이하만 벌채하거나, 원하는 수종만 벌채하는 기능도 추가하였다.

## 6) 성장시물레이션 아이콘

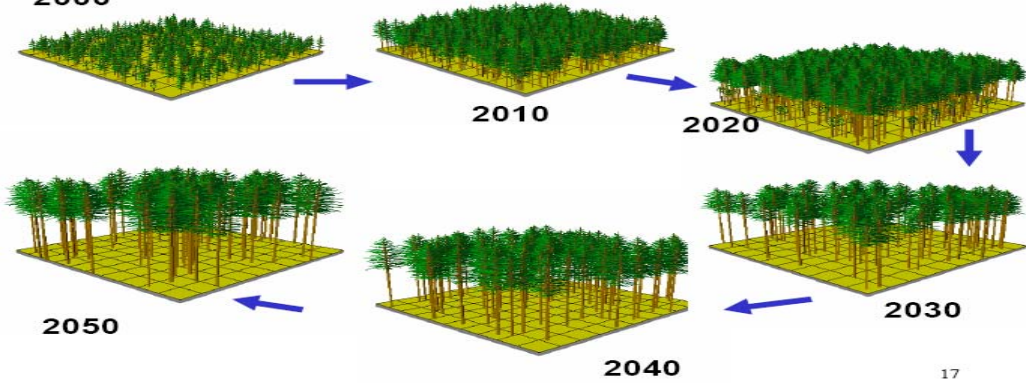
나무모양으로 표현한 성장시물레이션아이콘을 선택하면 성장시물레이션 프레임이 나타난다. 여기에서는 성장기간을 텍스트박스에 입력하고 시작단추를 누르면 그 기간 동안의 성장이 반영된 화면을 볼 수 있다.



이 가상현실 임분시뮬레이터는 미국 예일대학의 Oliver교수팀이 미국산림청과 공동으로 개발한 LMS의 SVS(Stand Visualization System)와 유사하다.



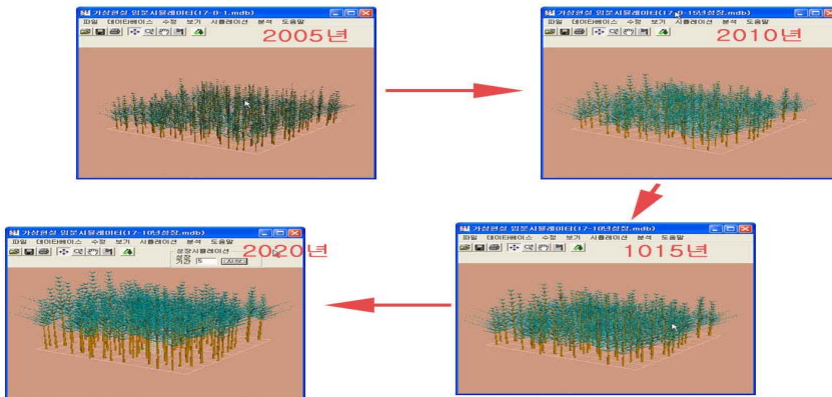
## MR\_CCUT-CNTRL, commercial thin, FVSPN 2000



17

<그림 3-26> LMS의 임분성장 과정

## 잣나무임분성장 시뮬레이션



<그림 3-27> 가상현실 임분시뮬레이터의 잣나무 임분성장 과정

본 연구에서는 현재 LMS에서 구현되고 있는 중요한 기능을 자체적으로 개발하였으며, LMS보다 유용한 기능들도 일부 개발되었다. 본 시스템에서 부족한 그래픽처리과정과 수목 형태에 대한 연구가 남은 연구기간동안 보완되어야 한다.

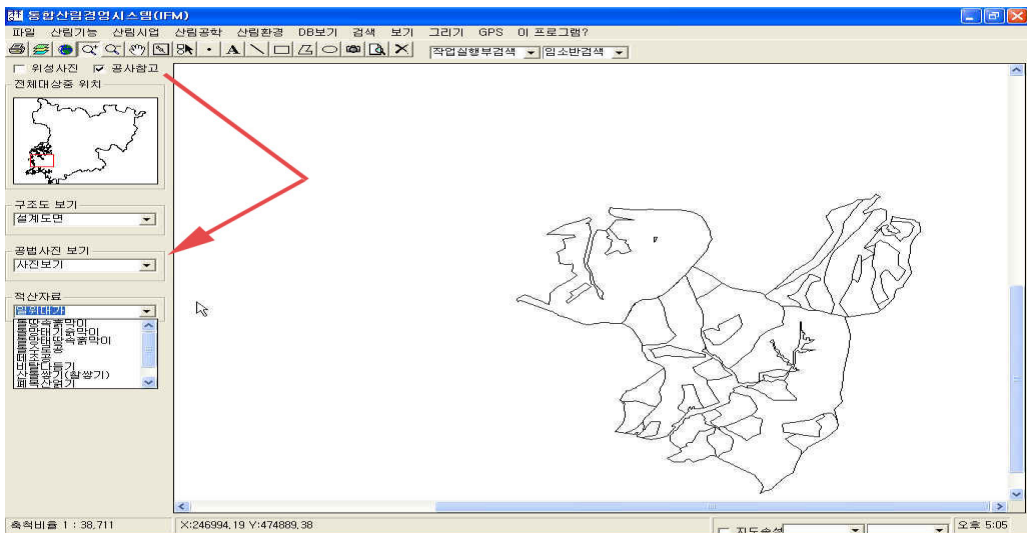
현재 개발된 신갈, 굴참, 잣나무, 낙엽송외에도 필요한 수종에 관한 성장모델을 추가하고 그래픽의 질을 향상시킨다면 LMS보다 편리하고 우리나라 산림에 적합한 보다 사실적인 가상현실 임분시뮬레이션이 가능할 것으로 기대된다.

현단계에서는 성장시뮬레이션, 간벌시뮬레이션, 가지치기시뮬레이션의 알고리즘만 완성되

고, 식재부터 벌채까지의 난수를 이용한 성장시물레이션의 알고리즘은 일부분만 완성되었다. 최종연구년까지 산림에서 필요한 시물레이션을 추가시킬 예정이다.

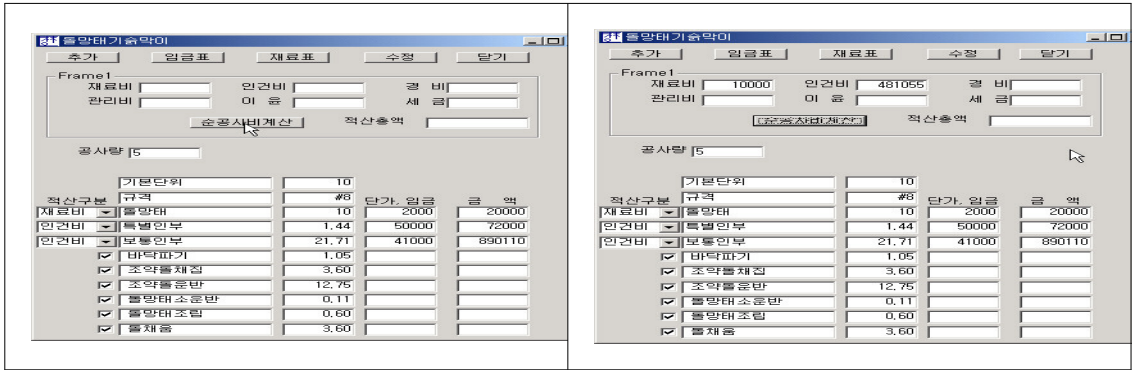
### (10) 공사참고모듈

산림에서 시행하는 공사의 사업비를 쉽게 계산할 수 있는 적산모듈을 개발하였다. 이는 실무자와의 협의과정에서 예정사업비를 손쉽게 계산할 수 있으면 좋겠다는 실무자들의 의견에 따라 추가개발한 것이다. 사업비계산이 필요한 경우 다음 그림처럼 메인프레임의 공사참고 체크박스를 선택하면 구조도와 산림공법사진, 적산자료등이 포함된 프레임이 나타나게 된다.



<그림3-28> 공사참고 모듈 실행화면

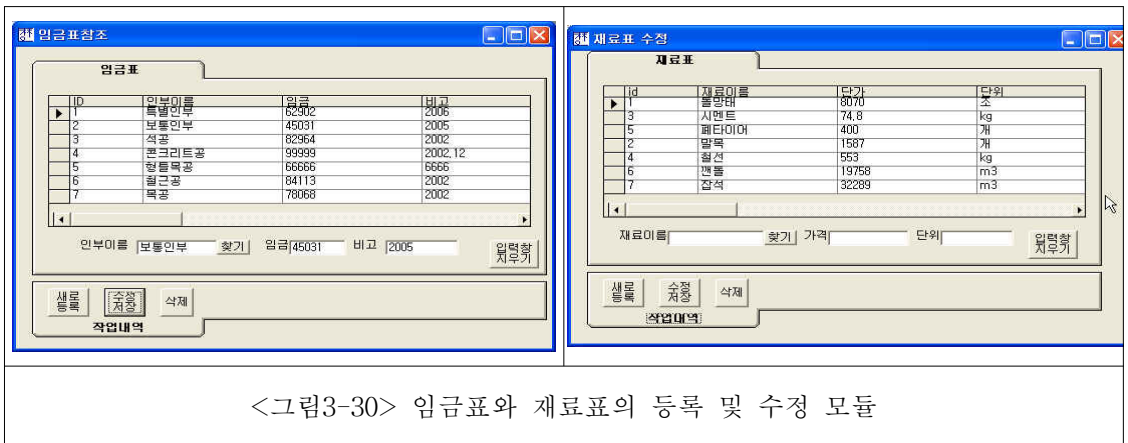
콤보박스에서 필요한 공정을 선택하면 다음그림과 같은 창이 나타난다. 이중 재료비와 인건비의 항목은 건설교통부의 표준품셈에 의해 자동적으로 나타나게 되고, 필요한 작업당 품셈합계가 계산된다. 예를 들어 돌망태기습막이의 경우 보통인부 일위대가는 바닥과기부터 돌채움까지 6가지 작업 품셈의 합계로 결정된다. 작업조건에 따라 빠지는 작업이 있을 경우 작업명앞의 체크박스를 끄면 보통인부의 값이 다시 계산되기 때문에 작업조건의 변화가 심한 산림공사에서 매우 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 콤보박스의 우측의 내역이 재료비인지 인건비인지를 선택하면 문자박스에 단가나 단위임금이 나타나고 오른쪽 문자박스에는 해당 항목의 총금액이 나타난다.



<그림3-29> 공사비 계산 과정

공사량을 입력하면 단위당 재료비와 인건비의 품셈을 적용하여 순공사비를 산출할 수 있다. 총공사비를 산출하기 위해서는 경비, 관리비, 이윤 등의 항목을 입력하면 된다.

이러한 품셈과 재료비는 연결된 표준데이터 베이스의 내용을 이용하는데, 구체적인 수치는 매년 변동하게 된다. 때문에 표준데이터 베이스의 내역을 수정할 수 있는 모듈을 추가하였다. 아래 그림은 이러한 표준 임금표와 재료표의 수정과정을 나타낸다. 항목별로 임금과 년도를 수정하고, 필요한 항목은 추가하거나 삭제할 수도 있도록 구성하였다. 예를 들어 2005년도에 특별인부 임금이 60,000원이었는데 2006년도에는 62,902원으로 올랐다면 내역을 입력하고 수정저장단추를 누르면 표준 데이터베이스가 수정되는 식이다. 마찬가지로 재료 중에 이제까지는 없었던 재료가 필요해졌다면 이름과 가격, 단위를 입력하고, 새로 등록단추를 눌러 레코드를 추가한다.

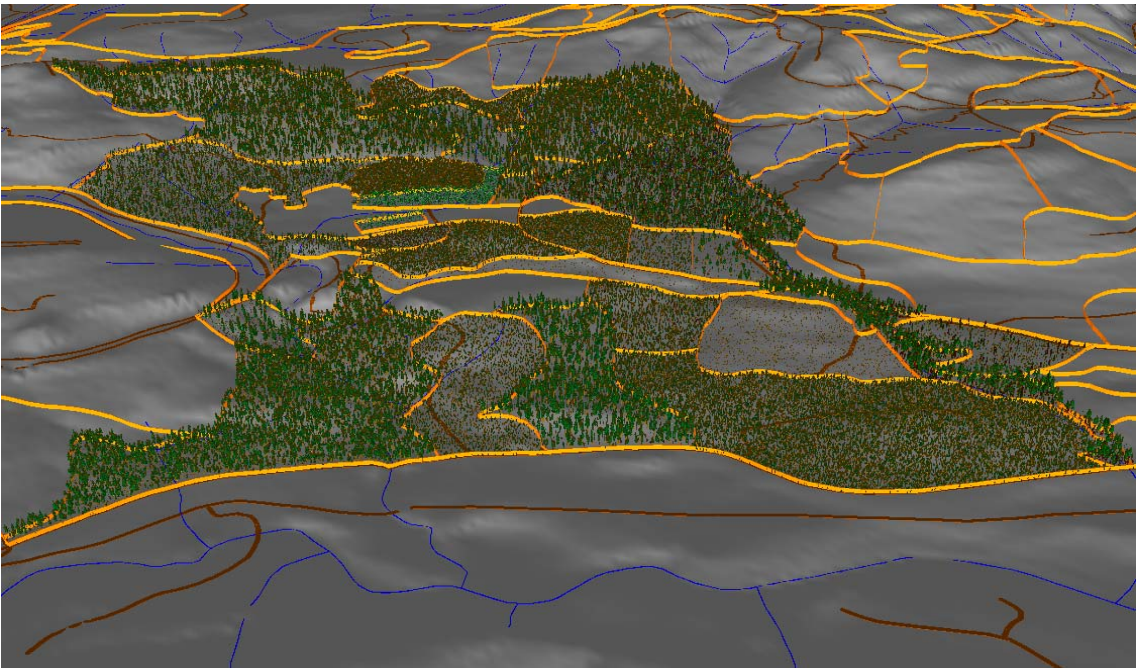


<그림3-30> 임금표와 재료표의 등록 및 수정 모듈

## 다. 시스템의 구현(코딩) 시험단계 운영 및 유지보수 단계

### (1) 임분동태 시각화 프로그래밍과 통합관리 GIS 프로그래밍

LMS에서의 Landscape visualization은 Bob McGaughey가 개발한 EnVision -- Environmental Visualization System을 이용하고 있다. Envision은 산림조사정보와 표고, 임분경계를 3차원의 공간에서 관측할 수 있다. 아래의 그림은 도로와 수계, 임분경계를 각각 갈색, 청색, 오렌지색으로 Envision으로 표현한 예이다.



<그림 3-31> LMS에서의 Landscape visualization

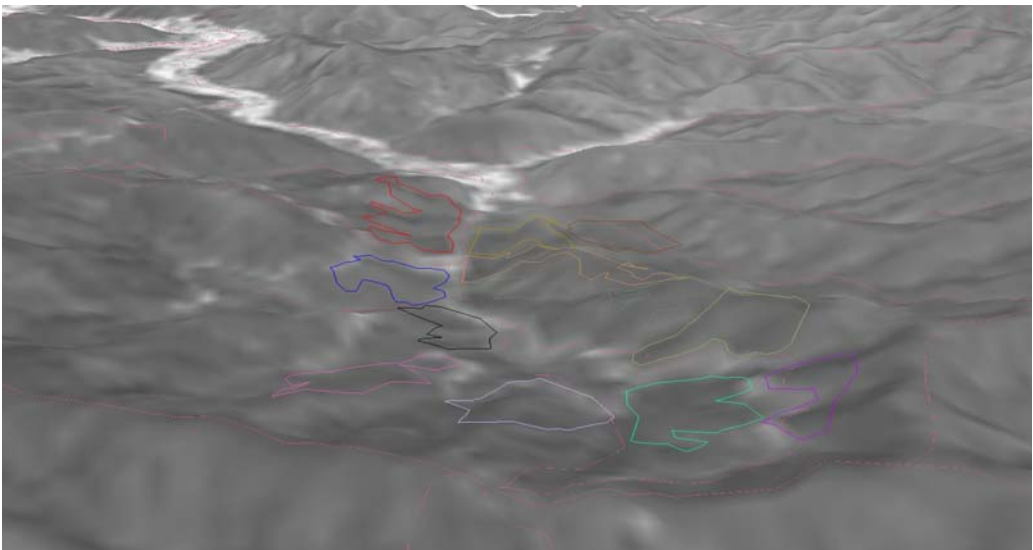
LMS에서의 Landscape visualization는 대상지역의 임분별 성장을 쉽게 인식할 수 있는 장점이 있으나, 우리나라와 같이 임분의 밀도가 높고, 경사가 급하면서 기복이 심한 지형에서는 활용이 어려운 점이 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 사용한 경관보기프로그램은 등고선을 이용한 TIN과 위성영상등의 이미지를 결합하여 보다 사실적인 3차원경관을 구현할 수 있다. 아래 그림은 대상지역의 등고선에 기

초한 TIN을 지표면으로 활용하여 각각 위성영상과 항공사진을 합성하여 제작한 3차원 경관을 나타내고 있다.



<그림 3-32> 위성영상을 이용한 3차원 지형도



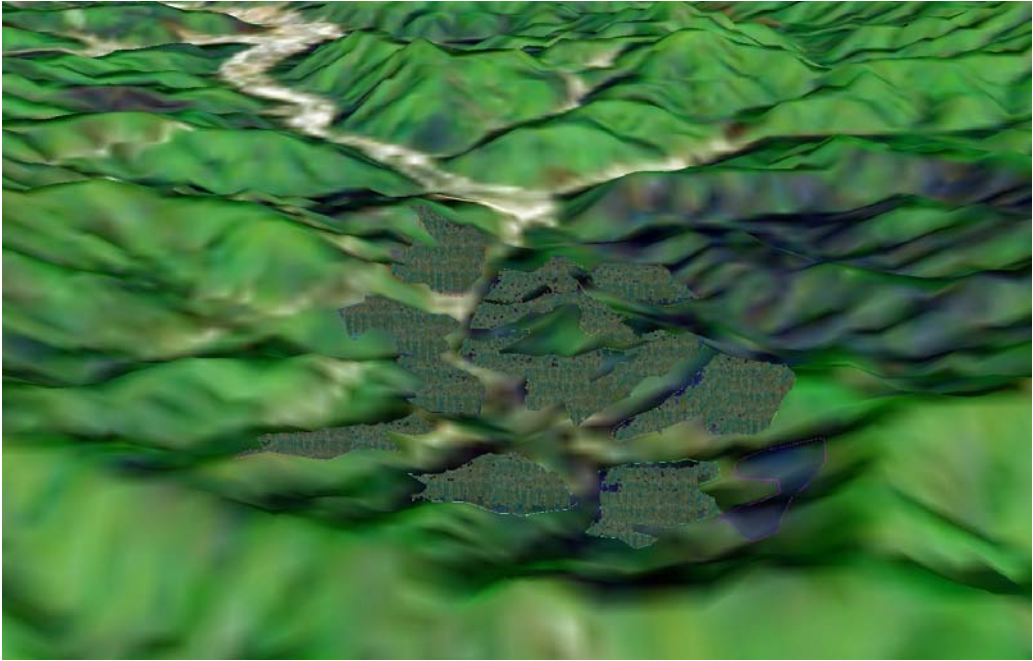
<그림 3-33> 항공사진을 이용한 3차원 지형도와 1읍반의 12개 소반의 위치



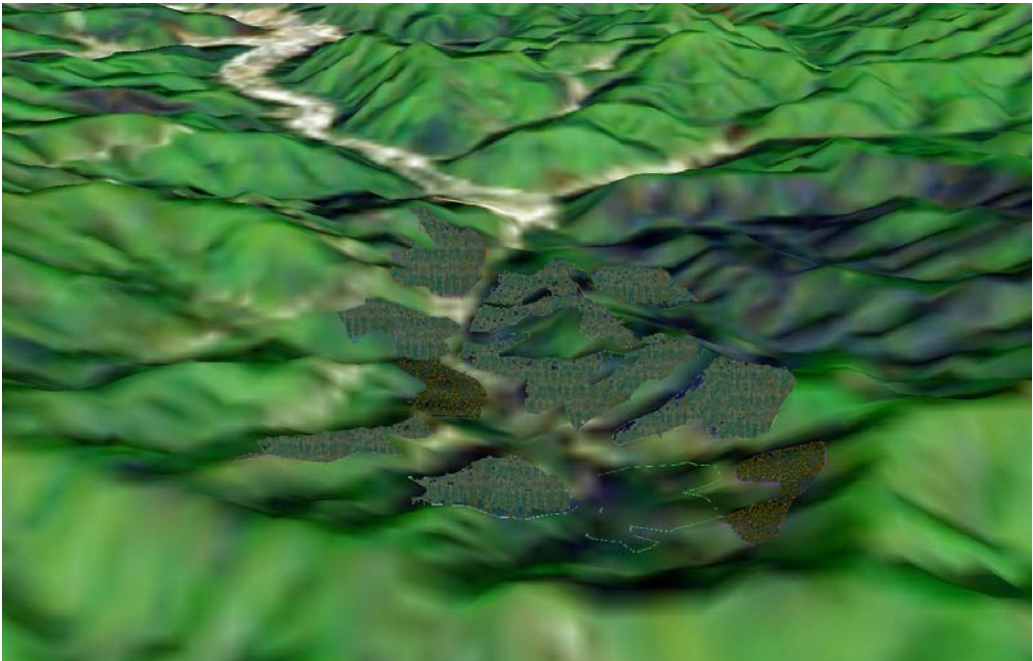
<그림 3-34> 임분1의 12개 소반(동일임령)의 잣나무 임분. 및 근접 경관

전체적으로 지형변화의 인식율이 LMS의 Landscape visualization에 비해 높은데 반해, 잣나무임분은 프로그램에서 작성된 수목표현을 이용하여 사실감이 떨어지는 단점이 있다. 대상물인 잣나무 임분은 인공식재에 의해 조성된 것으로 밀도가 높고, 스케일이 대축척이기 때문에 수목표현의 사실감이 떨어지는 단점이 있다. 미학적인 측면에서의 스케일이나 색채 등을 조절하여 보완할 필요성이 있다. 지형과 연계된 사실적인 임분의 표현을 위해서는 다양한 수목표현 개발과 함께, 생략과 강조 등의 표현기법도 개발할 필요가 있을 것으로 판단된다.

프로그램의 용량을 고려하여 기타임분의 표현은 생략하였으나, 파일의 용량문제를 해결하고, 수목표현방법을 다양화한다면 경관을 고려한 시업계획작성에 실용화할 수 있을 것으로 생각된다.



<그림 3-35> 7소반의 벌채후 예상경관



<그림 3-36> 6소반의 벌채후 예상경관

## 제 4 장 연구개발결과의 활용계획

○ 본 연구의 교육적인 활용방안으로는 산림시업 및 경영을 위한 실습 시 사용자가 컴퓨터 모니터를 이용하여 시각적으로 3-D 입체의 숲을 보면서 사용자 목적에 따라 시업방법을 적용하여 다각도에서 임분의 동태 및 임분통계량을 파악할 수 있어 다목적 산림경영을 위한 교육 도구로 활용할 수 있다.

○ 본 연구는 산림경영에 종사하는 현장실무자에게는 필수적인 도구로서 주어진 경영목표와 예산을 고려하여 다양한 시업방안을 도출하는데 일조할 수 있으며, 현재는 물론 미래의 임분생산량을 예측하고, 목재생산의 경제성을 분석할 수 있어 실제적인 산림경영을 위한 도구로 활용될 수 있다.

○ 우리나라 인공림 대부분은 침엽수 일제 단순림으로 앞으로 생물다양성 및 종다양성을 고려한 생태계 안정을 위한 시업방안이 요구되는데 현 침엽수 동령임분을 혼효림, 이령림, 복층림으로 변경할 수 있는 시업방안 및 지침을 제작하기 위한 시업도구로 활용할 수 있다.

○ 본 연구에 의한 시스템이 개발되면 지속가능한 산림자원관리를 위한 모델이 설정되면서 각종 산림사업 및 산림작업이 표준화되고 최적대체안이 마련되기 때문에 산림경영현장에서 매우 효율적으로 이용할 수 있다.

○ 산림업무가 전산화되면서 각종 산림관련자료 및 데이터가 효율적으로 이용될 수 있고 실질적인 경영능력 증진에 기여할 수 있을 것이다.



## 제 5 장 참고문헌

1. 강원대학교 산림과학대학 연습림. 1999. 산림자원경영계획을 위한 정보시스템 구축 - 제 6차기(200-2009) 영림계획 전산화사업을 중심으로 -. pp1031-1057.
2. 국토개발 연구원. 1996. 지방자치단체의 지역정보화 추진과 GIS 활용체계의 개발 방향.
3. 국토개발 연구원. 1996. GIS 데이테베이스 구축에 대한 외국사례 연구.
4. 농림부. 1998. 산림자원정보 DATABASE 구축에 관한 연구. pp12-29.
5. 산림청. 1994. 국유림 영림계획서 정보시스템 개발 보고서 ( I )
6. 산림청. 1994. 국유림 영림계획서 정보시스템 개발 보고서(II)
7. 산림청. 1995. 사유림경영실태조사 결과보고서.
8. 산림청. 1996. 산림지리정보시스템 구축을 위한 응용전산모델의 개발 연구보고서.
9. 산림청. 1997. 제4차 산림기본계획(1998년~2007년). 웃고문화사
10. 산림청. 1999. 21세기 산림비전.
11. 산림청. (1999~2006). 임업통계연보 제 27호.
12. 산림청. 2004. 새로운 국유림 영림계획. pp190.
13. 산림청 2004. 국유림 영림계획 작성 및 운영요령. pp208.
14. 산림청. 2004. 지속가능한 산림자원 육성계획수립. pp616.
15. 산림청. 2005. 지속가능한 산림경영 기준과 지표(안) - Sustainable ForestManagement C&I-. pp120.
16. 인제균. 2004. 산림의 보전과 경영의 시범 모델화. pp198.
17. 서옥하,김경남,지병윤,전근우,차두송,김창환. 2000. GIS기반의 임도붕괴위험도 예측 전문가시스템. 한국지리정보학회 2000 추계논문발표집. pp. 117-121.
18. 서옥하, 계용훈. 2001. 자료연결방법의 조작을 통한 GIS응용 프로그램의 개발. 한국조경학회 29(3):70-80.
19. 신만용, 천장화, 오정수. 1997. 임분조사자료분석을 위한 컴퓨터프로그램(SIDAS)의 개발. 산림경제연구 5(1) : 33-48.
20. 우종춘, 원현규, 김한수. 1998. Mapobjects 와 Visual Basic을 이용한 산림자원관리 툴의 개발. The 8th '98 GIS WORKSHOP PROCEEDING. pp409-414.
21. 우종춘, 장재영, 신현지. 2005. 지속가능한 산림경영을 위한 지표의 산림기능구분에 대한 적용성 연구. 강원대학교 산림과학연구. 제21호 : 1-15.

22. 유근배. 1996. 지리정보론. 상조사. pp24-26
23. 윤종화, 최정기 1986. 잣나무 인공림의 영구표준지 조사보고 (II). 강원대 연습림연구보고 6:63-71.
24. 윤종화, 김지홍, 최인화, 차두송. 1985. 잣나무 인공림의 영구표준지 설정 (I). 강원대 연습림연구보고 5:41-51.
25. 원현규, 우종춘. 1997. 산림경영계획을 위한 산림정보시스템의 개발 (I) - User interface 설계를 중심으로 -. 강원대학교 산림과학대학 연습림 연구보고 제17호 : 32-42.
26. 이우균, 독고세준, 변우혁, 1998. 위치종속산림조사용 산림정보분석시스템(FIAS1.5) 개발 한국산림측정학회, 1(1) : 37-49
27. 장재영. 2005. 정수계획법을 이용한 산림수확계획에 관한 연구 - 강원대학교 학술림 잣나무 임분을 대상으로- 강원대학교 대학원. pp60.
28. 조선형, 이승호. 1990. 경영정보시스템구축론. 하이테크정보출판부.
29. 최정기, 최인화. 1998. 잣나무 조림지의 임분구조 및 생장에 관한 연구. 한국산림측정학회지 1(2): 27-35.
30. 최정기, 최인화. 1998. 잣나무 임분의 수고곡선모델의 평가. 강원대학교 학술림연구지 18:31-40.
31. 캐드랜드. 2006. ArcView GIS.
32. 한국전산원. 1998. Internet GIS의 데이터 공유 표준 연구.
33. 한국전산원. 1997. 지적도면 수치파일화 작업규정 및 전산화에 관한 연구.
34. 한국전산원. 1998. 인트라넷 구축 및 보안 지침서.
35. Baldwin, R. L., H. E. Burkhart, J. A. Westfall, and K. D. Peterson. (in press 2000). Linking growth and yield and process models to estimate impacts of environmental changes on growth of loblolly pine. In press with Forest Science.
36. Barreto, L. S. 1999. Alternative typification of the patterns interaction with models BACO2 and BACO3. Silva and Lusitana 7, no. 1:227-125.
37. Carey, A.B., B.R. Lippke, and J. Sessions. 1999. Intentional systems management: Managing forests for biodiversity. Journal of Sustainable Forestry 9: 83-125.
38. Checkland, P. 1999. Systems thinking, systems practice. John Wiley and Sons. New York. 330 pp.
39. Choi, J.K., Lorimer, D.G, Vanderwerker, J., Cole, W.G., Martin, G.L., 2001. A crown model for simulating long-term and gap dynamics in northern hardwood

forest. *Forest Ecology and Management* 152(2001) 235-258

40. Choi, J.K. 2000. Prediction of old-growth development in second-growth hardwood forests using computer simulation. *J.For.Sci* 89(4) : 502-512
41. Choi, J.K, 1998. Simulation of the development and restoration of old-growth northern hardwood forest. Ph.D. Thesis, Univ. of Wisconsin-Madison.
42. Choi, J.K, and Lorimer, C.G. 1998. An Evaluation of Three Crown-based Functions for Predicting Tree Growth in Temperate Hardwood Forests. *Korean J. of Forest Measurements* 1(2):3-17.
43. Christensen, N.L. et al. 1996. The report of the Ecological Society of America committee on the scientific basis for ecosystem management. *Ecological Applications* 6: 665-691.
44. Covington, W. W., D. B. Wood, D. L. Young, D. P. Dykstra, and L. D. Garrett. 1998. TEAMS: A decision support system for multiresource management. *Journal of Forestry* 86, no. 8:25-33.
45. Davis, L. S., F. Schurr, J. Scott, R. Church, P. J. Daugherty, J. and B. Beck, T. Barrett, and J. Candy. 2000. SARA, spreadsheet 1990. The spreadsheet assisted resource analysis. user's manual. Version 2000.1. ESPM Department, University of California, Berkeley.
46. Forestry Commission. 1999. The U.K. Forestry Standard: The government's approach to sustainable forestry. Department of Agriculture for Northern Ireland. 80 pp.
47. Hagan, F. H., and S. L. Grove. 1999. Coarse woody debris: Human and nature competing for trees. *Journal of Forestry* 97:6-11.
48. Hunter, M. L. jr. 1990. A tree based forest yield projection system for the North Coast Region of California. Ph.D. Dissertation, Department of Forestry and Resource Management, University of California, Berkeley.
49. McCarter, J. B., J. S. Wilson, P. J. Baker, J. L. Moffett, and C. D. Oliver, 1998. Landscape management through integration of existing tools and emerging technologies. *Journal of Forestry* 96, no. 6:17-23.
50. McCarter, J.B. 1997. Integrating forest inventory, growth and yield, and computer visualization into a landscape management system. In: Teck, R., M. Moeur, and J. Adams (comps.), *Proceedings of the Forest Vegetation Simulator conference*. Gen.

- Tech. Rep. INT-GTR-373. Ogden, UT. USDA Forest Service, Intermountain Research Station. p. 159-167.
51. McCarter, J.B., J.S. Wilson, P.J. Baker, J. Moffett, and C.D. Oliver. 1998. Landscape management through integration of existing tools and emerging technologies. *Journal of Forestry* 96: 17-23.
  52. McClachlan, J.S., D.R. Foster, and F. Menallad. 2000. Anthropogenic ties to late-successional structure and composition in four New England hemlock stands. *Ecology* 81: 717-733.
  53. McGaughey, R. J. 1998. Techniques for visualizing the appearance of forestry operations. *Journal of Forestry* 96:9-14.
  54. McQuillan, A. G. 1998. Honesty and foresight in computer visualization. *Journal of Forestry* 96:15-16.
  55. Oliver, C.D. 1999. The future of the forest management industry: Highly mechanized plantations and reserves or a knowledge-intensive integrated approach? *Forestry Chronicle* 75: 229-245.
  56. Oliver, C.D., and M.J. Twery. 2000. Decision support systems: Models and analyses. In *Ecological Stewardship: A Common Reference for Ecosystem Management*. Elsevier Science Ltd. pp. 661-685.
  57. Taylor, B. W. 1999. *Introduction to management science*, 6th ed., Englewood Cliffs.: N.J.: Prentice-Hall.
  58. Timossi, I. C., E. L. Woodard, and R. H. Barrett. 1994. Habitat suitability models for use with ARC/INFO: Blue grouse, a contribution to the wildlife habitat relationships system. Department of ESPM, University of California, Berkeley.
  59. U.S. Department of Agriculture (USDA) Forest service. 2000. FVS, the forest vegetation
  60. USDA Forest Service. 1999. Analysis notes. USDA Ecosystem Management Analysis Center, Fort Collins, Colo. 1:1-19.<<http://www.fs.fed.us/institute/>>.
  61. USDA Forest Service. 2000. Spectrum. (an overview). Washington Office Ecosystem Management Analysis Center, Fort Collins, Colo.
  62. Valentine, H. T., R. L. Amatis, H. E. Burkhart, T. G. Gregoire, D. Y. Hollinger, and D. W. MacFarlane. 1999. Projecting the growth of loblolly pine in a changing

atmosphere. *Southern Journal of Applied Forestry* 23, 4:212-216.

63. Volin, V. C., and J. Buongiorno. 1996. Effects of alternative management regimes on forest stand structure, species composition, and income: a model for the Italian dolomites. *Forest Ecology and Management* 87:107-125.
64. Whitmore, T.C., and D.R.F.P. Burslem. 1998. Major disturbances in tropical forests.

## 주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.