

대형산불 예방 및 위해방지를 위한  
산림기능 고도화 기술 개발

Advance Forest Management Techniques  
for Full-functional Forests against Massive  
Forest Fire and Alternative Hazard Reduction

연구수행기관 : 산림청 국립산림과학원

농 립 부



# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “대형산불 예방 및 피해방지를 위한 산림기능 고도화 기술 개발”에 관한 연구 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2004 년 8 월 6 일

주관연구기관명 : 국립산림과학원  
총괄연구책임자 : 오 정 수

(제1 세부과제)

연구기관명 : 국립산림과학원  
세부연구책임자 : 이천용  
연구원 : 허우명, 손요환, 김재현, 윤호중, 조병훈, 구교상, 정용기, 이창우, 이성기, 염규진, 조권운, 김혜영, 박수진

(제1 협동과제)

연구기관명 : 건국대학교  
세부연구책임자 : 홍성각  
연구원 : 김종진, 서형민, 이덕수, 조혜경, 김종국, 신기황, 유제길, 김혜영, 이현홍, 김진희

(제2 세부과제)

연구기관명 : 국립산림과학원  
세부연구책임자 : 오정수  
연구원 : 임규호, 임주훈, 강영호, 이시영, 김명수, 유세길, 이수원, 윤종규, 이정주, 이희상, 김원극, 신수철, 윤택승, 부경운, 김진숙, 권하택, 조미현, 송명희, 한원성

(제2 협동과제)

연구기관명 : 경일대학교  
세부연구책임자 : 조명희  
연구원 : 조화룡, 김말숙, 이명보, 조재형, 김준범, 조운원, 신동호, 허영진, 신지현, 김형섭, 김성재, 유성욱

(제3 세부과제)

연구기관명 : 국립산림과학원 산림생산기술연구소

세부연구책임자 : 김석권

연구원 : 이경재, 배상원, 이광수, 이영근, 김희채, 김종완, 김현섭

(위탁연구과제)

연구기관명 : (사)한국산림기술인협회

세부연구책임자 : 마상규

연구원 : 이임영, 정태공, 이기용, 유우근, 현승철

# 요 약 문

## I. 제 목

### 대형 산불예방 및 피해방지를 위한 산림기능 고도화 기술 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

국토면적의 65%가 산림인 우리나라의 경우 1990년대 이후 산불 발생건수 및 피해지역이 지속적으로 증가하고 있으며, 또한 임목축적이 증가함에 따라 산불피해는 점차 대형화되는 추세이다. 산불은 산림자원의 손실뿐만 아니라 산림생태계 및 수질오염 등으로 인한 계류 및 해양 생태계의 교란을 유발시켜 국민의 주요 관심사가 되고 있다. 또한 산불 후 2차 피해로 나타나는 토사유출 및 산사태는 하류 지역의 농경지 유실, 주택 및 산업시설과 공공시설의 파괴 등으로 국가 및 지역 경제활동에 막대한 영향을 초래하므로 국가적 재난으로 인식되고 있다. 따라서 대형산불의 예방 및 산불피해지의 피해방지를 위한 기술개발에 대한 연구가 필요한 실정이다.

산불피해지 복원기술은 현재 주로 사방복구와 조림 등 녹화기술에 집중되어 있는 실정이다. 산불피해 지역의 토사유출을 방지하기 위해 산복 및 산지계류에 설치되고 있는 사방공작물은 대부분이 콘크리트 구조물로서 새로운 친환경적 공작물 설치기법에 대한 기술개발이 필요하다. 새로운 친환경적 사방구조물을 이용한 배치시스템 개발은 산불피해지를 최단기에 최소비용과 친환경적으로 복구함으로써 궁극적으로 타 산업을 발전시키는 계기가 될 수 있다. 한편 산불피해지의 응급복구를 위한 녹화는 현재 사방복구 조림에 국한되어 실시하고 있는 실정이므로 산불피해지를 조기에 효율적으로 녹화하기 위한 새로운 녹화기법의 개발이 필요하다. 파종립 직파조림 및 용기묘 식재조림 기법의 새로운 기술개발은 기존의 녹화방법보다 비용과 노동력이 적게 들고 계절적으로 노동력을 분산시킬 수 있는 장점이 있다.

우리나라의 산림은 대부분이 임목밀도가 높은 임지가 많고 인공조림지의 경우 침엽수 일제 단순림으로 구성되어 대형산불의 위험성이 항상 내재되어 있으므로 산불예방 및 산불

피해 저감을 위한 시업기술의 개발이 요구되고 있다. 산불예방 및 확산을 억제시키기 위하여 임상, 입지환경 및 국지기상 특성을 고려한 내화수림대 배치기술과 임분의 내화성 증진을 위한 임분밀도 시업관리에 대한 기술개발에 연구가 필요한 실정이다.

특히, 산불피해지의 공간특성 및 입지정보와 관련하여서는 GIS를 이용한 복합적 정보 획득 및 현지 관리기술 개발에 관해서는 연구된 바 없으므로 Virtual GIS 및 3D GIS 기법을 활용하여 산불피해지 복구 및 적정임분 배치기법에 대한 기술개발이 필요하다.

본 연구에서는 산불피해지의 토사유출 방지를 위한 친환경적 구조물 개발 및 GIS를 이용한 사방구조물의 적정배치 기법 개발, 파종립과 용기묘를 이용한 산불피해지 조기녹화 기법 개발, 내화수림대 배치 및 소나무림의 내화성 증진을 위한 시업기술 개발 그리고 GIS기법을 이용한 임분배치 기술개발 분야에 대한 협동연구를 수행하였다. 또한 이를 통해 산불피해지인 삼척 산불 장기생태연구조사지를 중심으로 각 분야에서 개발한 기법을 현장에 실연하였다.

### Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

#### 1. 새로운 환경친화적 사방구조물 개발 및 현장 적용

산불피해지의 효율적 복구방안 모색을 위해 산복사면에 다양한 사방구조물을 설치하고 토사유출량을 측정함으로써 각 구조물의 효과를 분석한다. 또한, 친환경적 계류사방공작물을 개발 및 고안하여 현장에서 실연하여 그 효과를 모니터링하고 분석한다. 또한 GIS를 이용한 적정 사방구조물 배치 기법을 개발하여 현장실연을 통한 유역단위 산림복구 공법 기술을 개발한다.

#### 2. 수토보존기능 조기회복을 위한 녹화기법 개발

대형산불 발생 후 산지의 수토보존기능을 단기간에 회복시킬 수 있는 조기녹화기법개발을 위하여 대립종자의 피복종자, 소립종자의 파종립, 소립종자 부착휴지의 대량 생산기술과 직파조립기법 및 용기묘 식재조립 기법을 개발하고 현지실연을 통한 효과분석으로 최적의 조기녹화 실연사업을 실시하고 경제성을 분석한다.

### 3. 우량소나무 임분 조성용 내화수종 선발

우량 소나무 임분의 보존을 위한 내화수림대 조성용 내화성 수종 선발 및 입지별 적정규모의 내화수림대 배치 모델을 개발한다. 산불피해지의 지형 및 임상적 특성분석과 복잡지형상의 바람장에 대한 수치모델 개발을 통하여 내화수림대 실연지를 조성한다.

### 4. 임분밀도 관리를 통한 내화림 조성기법

소나무림의 내화성 증진을 위하여 소나무림 임분유형별로 내화력이 큰 임분구조를 구명하고, 내화림 조성을 위한 시업방법을 정립하고 시업기술을 개발한다. 혼효수종 및 혼효형태에 따라 다양한 시업기술을 적용한 실연지를 조성한다. 또한 산불피해지의 내화력을 향상시키는 복원기법을 임분유형별 및 입지형태별로 개발한다.

### 5. GIS를 이용한 적정 임분배치기법 개발

산불피해지의 경관생태적 분석에 의한 적정 임분배치 기술 개발을 위하여 경관생태학적 분석을 위한 3D GIS 기법을 적용하여 임분배치 공간분석기법을 개발 하였으며 Virtual GIS 및 VRML(Virtual Reality Modeling Language)을 이용한 3차원 지형경관정보시스템 개발과 함께 네트워크 구동이 되는 임분배치 정보관리시스템을 개발한다.

## IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

### 1. 새로운 환경친화적 사방구조물개발 및 현장 적용

삼척국유림관리소 관내에 산복사면에 조성된 피해목 제거구, 대조구와 일반조림, 종자뿌어 붙이기, 전면파종, 산돌쌓기, 불탄나무 편책공, 선폐붙이기, 녹색마대공, 토양안정제 처리 등 10개의 시험구에서 유출토사량을 하부에 유토량을 비교한 결과, 총 조사기간의 구조물별 토사유출량은 피해목 제거구 (5.29kg/ha/mm), 피해목 잔존구 (4.26kg/ha/mm), 전면파종 (3.59kg/ha/mm), 선폐붙이기 (2.41kg/ha/mm), 산돌쌓기 (1.79kg/ha/mm), 종자뿌어붙이기(1.23kg/ha/mm), 일반조림(1.19kg/ha/mm), 토양안정제 (1.07kg/ha/mm), 녹색

마대공 (0.81kg/ha/mm), 불탄나무 편책공(0.20kg/ha/mm) 순으로 높게 나타나, 불탄나무 편책공, 녹색마대공, 토양안정제 등이 토사유출억제 효과가 큰 것으로 나타났다.

각 구조물의 효과를 시공단가별로 구분하기 위하여 토사 1kg 저지 구조물 시공 단가를 비교한 결과, 산돌쌓기 > 전면파종 > 녹색마대공 > 선폐붙이기 > 불탄나무 편책공 > 종자 뿔어 붙이기 > 토양안정제처리 > 일반조립 순으로 단가가 높은 것으로 나타나 일반조립, 토양안정제처리, 종자 뿔어 붙이기 처리 시험구에서 토사저지효과가 우수한 것으로 나타났다.

GIS를 이용한 사방구조물의 적정배치 기법의 소프트웨어를 개발하여 산지를 대상으로 RUSLE공식을 이용하여 산불피해임지의 토사유출량 및 규모예측을 통한 사방구조물의 적정배치 구현을 실시하였다.

## 2. 수토보전기능 조기회복을 위한 녹화기법 개발

배양토(피트모스:황토:지오라이트:버미큘라이트 60:30:9:1)와 흡습제 및 접착제와 소형종자가 혼합된 혼합토를 성형판에 압축 성형하여 25×25×10mm 크기의 파종립을 1회에 30개씩 제조할 수 있는 파종립 제조기를 조립하였다.

대립종자(굴참나무, 상수리나무, 은행나무)의 표면에 접착제와 목타르가 함유된 배양토를 2~3mm 피복한 파종립을 10cm 깊이의 파종공에 직파조립한 결과 발아율은 0~38%로 낮게 나타났다. 이는 주로 식해동물에 의한 피해로 판단된다. 플라스틱 통(방조껍) 속에 심은 대립종자의 생존율은 50%정도로 대조구 보다 높게 나타났다. 대립종자 식재 후에 종자 부착휴지와 코아네트를 피복한 대립종자의 생존율은 70% 정도로 높게 나타났다.

소립종자(파종립 당 5~10개의 종자)와 접착제, 흡습제, 살균제, 배양토를 혼합하여 시험 제작한 파종립 제조기로 25×25×10mm 크기로 압착 성형하여 제조한 파종립을 현지에 파종한 결과 입지 및 파종시기에 따라 소나무 10~50%, 싸리 30~100%, 목백합 18~36% 등의 발아율을 얻었다.

종자부착휴지(40cm×100cm)에 초본 및 목본 소립종자를 접착제로 부착한 종자부착 휴지를 지면에 깔고 그 위에 섬유코아네트와 현지토양을 덮었을 때 발아율은 소나무 30%, 싸리 80%, 비수리 100%, 목백합 67~71% 등의 발아율을 얻었다.

모든 직파조립에서 코아네트를 덮었을 때 그리고 직파조립한 초본종자가 주위에 있을 때 대립종자나 소나무의 생존율이 더 높았는데 이들 처리에 의하여 토양유실 방지와 동물의 식해를 감소하는 효과가 있었기 때문인 것으로 해석된다.



ha당 잔존본수 5000본을 기준으로 소나무 파종립 직파조립 단비는 2,636,603원으로서 소나무 용기묘 식재조립 단비 4,237,638원에 비하여 약 30.87% 저렴한 것으로 분석되었다.

### 3. 우량소나무 임분 조성용 내화수종 선발

내화수림대 조성을 위한 내화성 수종선정은 국내·외의 문헌조사 및 산불피해 현지조사를 통하여 산불에 대한 내화성 및 맹아력이 강하고 내화수림대 임분의 유지에 용이한 굴참나무(*Quercus variabilis*)를 선정하였다. 내화수림대의 임분배치는 2000년 산불피해지를 대상으로 산불피해지의 임상 및 지형특성을 분석하여 산불피해위험지도를 작성하여 산불피해의 위험성을 등급화하고, 국지규모 바람장을 고려하여 내화수림대의 적정위치를 선정하였다.

바람장을 고려한 내화수림대 배치를 위하여 3차원 중규모 모델 PSU/NCAR MM5를 기반으로 한반도 상세 지형을 반영할 수 있도록 MM5/TERRAIN 모형 코드를 개선하고 봄철 산불발생 가능성이 높은 건조한 기상 조건에 대하여 지상풍의 분포를 모의 분석하였다. 삼척지역 상세 바람장의 분석결과 종관장과 산악지형의 영향을 동시에 반영하고 있는데 특히 종관장의 풍속이 약한 경우 지형의 영향으로 인한 요란의 형성이 두드러지게 나타났으며 상층풍의 변동이 미미한 경우에도 지상풍은 그 변동성이 매우 크게 나타났다. 이와 더불어 삼척지역은 경사풍 순환 외에도 일변화에 따른 해륙풍의 영향이 동반되는 것으로 나타났다.

내화수림대 실연을 위하여 국유림 중 능선 길이가 길고 한쪽 사면에는 송이생산용 소나무림이 잔존한 1지역을 선정하여 굴참나무 용기묘 및 맹아를 이용하여 길이 약 700m, 폭 30m의 내화수림대 실연지를 조성하였다.

### 4. 임분밀도 관리를 통한 내화림 조성기법

동해안 산불피해지에 대한 기존 조사자료를 재분석하고 현지조사를 통하여 임분유형을 구분하여 내화성 소나무림 조성의 기초자료를 제공하였다.

소나무림의 임분유형별 내화림 시업방법 정립을 위하여 구릉지에 적도하층간벌, 강도하층간벌, 우량목 존치 등의 방법을 적용하여 종식대상벌채, 황식대상벌채에 의한 실연지 3.1ha를 조성하고 작업과정을 조사·분석하였다.

또한 내화력을 증진시킬 수 있는 복원방법을 적용하기 위하여 임분 유형 및 입지형태에

따라 산악지에 어골형 실연지 10ha, 복합형 실연지 13ha를 조성하였으며 이들 실연지의 잔존목 생장, 고사율, 치수발생, 맹아발생 등에 대한 조사를 실시하였다.

## 5. GIS를 이용한 적정 임분배치기법 개발

ARC/INFO 및 Arcview 3.2를 이용한 임분배치기법을 위한 기본자료 DB를 구축하였으며 ArcGIS 8.1 및 Imagine 8.5를 이용하여 GIS 기본 DB 및 위성영상 자료를 분석하였다. 구축된 GIS DB와 분석결과를 기반으로 산불발생지 공간특성분석 및 내화수림대 조성을 위한 공간분석을 실시하였으며 입지도 기반으로 가중치 분석을 실시하여 적정임분배치 기술 개발을 하였다. 아울러 Virtual GIS 상에서 현실 세계와 가장 유사한 3차원 지형기반위에 GIS 공간분석을 통하여 조성된 내화수림대와 수종의 3D 모델을 Virtual Environment를 구축하여 Tracking Simulation을 수행하였으며 VRML(Virtual Reality Modeling Language) 기반의 3차원 경관정보 Tracking을 구현하였다.

GIS의 사용자 인터페이스가 기본적으로 갖추어야하는 맵의 확대·축소 기능, 맵의 이동시킬 수 있는 Pan 기능, 전체 보기, 출력 기능, 속성 보기의 매핑 기능과 여러 주제도를 중첩시켜 지형에 대한 정보를 자세히 알 수 중첩 기능 및 사용자 질의 조건의 의한 검색 기능 등으로 구성되어 있으며 주 기능으로는 산불 발생지의 공간 특성 및 산불 연소 특성을 분석하여 산불 피해지 지역별 입지 조건에 적합한 수종을 선정하여 시스템 상에서 가상으로 수종을 배치할 수 있는 기능과 조림전과 조림후의 3차원 경관을 관찰할 수 있는 3차원 Tracking Simulation기능이 있는 임분배치 정보 관리시스템을 개발하였다.

GIS 분석기법을 통한 적정 임분배치 분석 기술 개발을 통하여 GIS 분석기법을 통한 적정배치 분석기술을 개발함으로써 향후 산불 피해지 복구 계획에 있어서 강력한 의사결정을 지원을 할 것으로 기대되며 경년에 따른 3D 나무 생장 모델링 기술을 개발함으로써 조림계획에 따라 조립된 나무의 생장을 미리 관측해 봄으로써 경년에 따른 산림 및 나무의 경관을 예측할 수 있을 것으로 기대된다.

# SUMMARY

## I. Title

**Advance Forest Management Techniques for Full-functional Forests against Massive Forest Fire and Alternative Hazard Reduction**

## II. The Needs and Objectives

Generally speaking, forested mountains can be a prime character of Korean natural environment because they account for approximately 65% of total Korean land. This character have been threatened by fires. Forest fires in Korea have broken out more frequently in 1990s than before, and the burnt areas have been considerably enlarged. Forest fires have drawn a lot of social and environmental issues because of disturbances toward forest ecosystems and marine ecosystems due to a landslide and soil erosion as well as destruction of forest resources. The fire could cause not only the disturbance of ecosystem but also the destructions of national infrastructures. For example, a landslide and soil erosion will make poor arable fields, and roads and houses will be swept. As the result of forest fires, social and economic activities have been declined, therefore the local communities are suffering with recovery in Korea. There are urgent technical issues for the prevention of forest fire and follow-up hazards.

To reduce the soil erosion at early stage after fires, development of the primary stage reforestation technique is also required. Most of all, the use of natural or environmentally friendly materials is a crucial issue for the recovery programme, because the traditional control works have been relied on the unnatural methods such as construction of concrete dam. Application of GIS can be very helpful for the proper distribution of erosion control works with environmentally friendly methods. For speedy restoration of fire damaged areas, the mass production technique of pelleted seeds and direct sowing techniques of coated seeds, pelleted seeds are

required.

Most of forest in Korea contains fire-prone characteristics due to high stand density, and simple even-aged coniferous plantation forests. Especially, pine forests in the east coast region is vulnerable to forest fire because of high stand density and dry weather in spring. It is urgently needed to develop on forest fire prevention and suppression technique for forest fire damage reduction. For the development of site-specific firebreaks planning model in consideration of topography, forest characteristics and meteorological conditions on the fire behavior, and to establish fire resistant forest and practice techniques for pine forests through stand density control, is required. For the restoration at the fire damaged areas, the development of forest structure optimization techniques which is based on forest structure database controlling and information system by using Virtual GIS and 3D GIS techniques, is needed.

The prime objective of this research is to develop advanced techniques for the speedy forest restoration and high resilience. For this research, five fields cooperated with the research concerned; development and application of environmentally sound soil erosion control structures, development of afforestation techniques for speedy restoration, installation of fire resistance species for the establishment of healthy pine forest, establishment of fire resistant forest through the forest stand density control and development of optimizing forest stand arrangement techniques based on GIS. Newly developed techniques from all the research fields were demonstrated on the Samcheok Fire LTER Site.

### **III. The Contents and Scope**

#### **1. Development and application of environmentally sound soil erosion control structures**

First, to find proper rehabilitation methods in damaged slope by forest fire through investigation of soil erosion control effect, several soil erosion control work plots are

established in slope. Second, environment-friendly soil erosion control works in torrent are developed and demonstrated by investigating foreign literatures. Finally, the method of proper distribution of soil erosion control works which are proposed in first and second stage are developed by GIS.

## **2. Development of afforestation techniques for speedy restoration of fire damaged forest**

The mass production and direct sowing technique of coated seeds, pelleted seeds, toilet paper attached seeds are adapted through the effect and economic analysis for each method.

## **3. Development of fire resistance-species for the establishment of healthy pine forest**

The objective of this study is to select fire resistance-species and develop site-specific firebreaks planning model for preservation of pine forest in consideration of topography, forest characteristics and meteorological conditions on the fire behavior.

## **4. Establishment of fire resistant forest using forest density control.**

To establish tending methods for inducing fire resistant forest and develop practice techniques, fire resistant forest stand structure of pine forest was investigated by stand type. Through the investigation results, restoration technique enhancing fire resistance of pine forest by stand and site type was developed.

## **5. Development of optimizing forest stand arrangement techniques based on GIS**

Spatial analysis for forest structure was studied to developed forest structure optimization technique for fire-damaged forest based on GIS. We developed forest

structure database controlling system by using Virtual GIS and 3D GIS.

## **IV. Results and Discussion**

### **1. Development and application of environmentally sound soil erosion control structures**

Soil erosion yield are investigated on soil erosion control work in ten plots which established in a damaged slope by forest fire. The results are as follows;

- Soil erosion yield of each plot are lager in follow order, Removing Fire Damaged Tree > Remaining Fire Damaged Tree > Direct Seeding > Terrace-Sodding Works > Stone Masonry Works > Hydro-Seeding > Tree Planting > Treatment of Soil Stabilizer > Vegetation Sack Works > Burned-Log Barrier Works. The most effective soil erosion control works in damaged slope by forest fire are Burned-Log Barrier Works, Vegetation Sack Works etc.
- A construction cost per soil 1kg control are higher in follow order, Stone Masonry Works > Direct Seeding > Vegetation Sack Works > Terrace-Sodding Works > Burned-Log Barrier Works > Hydro-Seeding > Treatment of Soil Stabilizer > Tree Planting. The most economic effective soil erosion control works in damaged torrent by forest fire are Tree Planting, Treatment of Soil Stabilizer etc.

In addition, through this study, a new environment-friendly soil erosion control works and the method of proper distribution on soil erosion control works by GIS are developed.

### **2. Development of afforestation techniques for speedy restoration of fire damaged forest**

The seed pellet manufacturing machines sets were built. The soil mixture contained peat : clay: zeolite : vermiculite = 60:30:9:1 v/v, soil moist, adhesives(polyethylene oxide and arabic gum), water and seeds. The seed soil mixture was pressed in metal mold plate to make 30 seed pellets(25×25×10mm) in one run.

The large size seeds (*Quercus variabilis*, *Q. acutissima*, and *Ginkgo biloba*) coated with adhesives and soil medium are direct seeded into 10cm deep seeding hole at the test plantation. The percent germination of the large size seeds were relatively low 0 to 38% depending on species sites and timing of the seeding. The low percent germination, especially in *Quercus* spp. is attributed to the damage of the seed eating animals. The percent germination of the large size seeds were about 50% in case that the seeds were protected with plastic cups and about 70% in case that protected with small seeds attached toilet paper and core net fiber.

The small size seeds pelleted with the mixture of soil and 5 to 10 seeds per pellet in size 25×25×10mm are direct seedes in 0~1cm depth of the soil. The percent germination of the seed pellets showed 10~50% in *Pinus densiflora*, 30~100% in *Lespedeza bicolor*.

The small seeds of herbaceous and woody plants were glued and fixed between two thin toilet paper towels by spraying adhesives. The small seeds attached toilet paper towels(0.4m×1m) were spread on the test site soil and covered and fixed with fiber core net(100cm×150cm, the net mesh 2cm×2cm). The core net was covered with the site soil in depth of 0.5cm.

The percent germination of the toilet paper attached seeds was 30% in *Pinus densiflora*, 80% in *Lespedeza bicolor*, 100% in *Lespedeza cuneata*.

All kinds of direct seeding of the large size seeds, and the pelleted seeds, the toilet paper attached seeds showed better survival ratio when the seeds are covered with fiber core nets and where the seeds are surrounded by direct seeded herbaceous plants, that presumably protect from soil erosion and animal eating damage than the control.

The cost of reforestation for 5,000 pine seedlings per ha appeared 2,636,603 won per ha by direct seedling method of pelletized seed, which over 30.878% less expensive than 4,237,638 won per ha by planting of containerzed seedling.

### **3. Development of fire resistance-species for the establishment of healthy pine forest.**

This research aims to develop vegetational firebreak model using the fire resistance-species for preventing from fire dispersal. As the result of literature review of foreign and domestic references on fire resistance species and field survey, cork oak(*Quercus variabilis*) was selected for its strong tolerance to fire and resprouting abilities.

For construction of appropriate vegetational firebreak zone on the research area the case study of the fire hazard assessment was carried out by extrapolating topographic and meteorological characteristics, vegetation type, and fire hazard map was conducted.

The examination of the role of topography on the local scale wind field using PSU/NCAR MM5 under the clear and dry weather condition in the springtime which is favorable for the forest fire. To apply precise topography and soil/vegetation data, MM5/TERRAIN algorithm was modified. Simulated wind fields show complex structure especially in the most precise domain with 1 km grid interval, which is due to the topography effect. Since the simulated mountain area is close to coast, the wind fields represent the diurnal tendency of the land-sea breeze circulations as well as the slope flows due to topography effect.

In consideration of topographic and forest characteristics, about 700 meter long and 30 meter wide of firebreak practice site was constructed using pot seedlings and sproutings of cork oak in the Samcheok Long Term Ecological Research(LTER) site.

#### **4. Establishment of fire resistant forest using forest density control**

Basic data was provided by dividing forest type through analysis of existing data and field survey data of the forest of east coast region.

Two demonstration were constructed to enhance fire resistance of undamaged and damaged fine forest. First, in the non-damaged healthy pine forest located in Jungmaeup-ri, Nogok-myeon, Samcheok-si, demonstration area of 3.1ha was constructed to establish fire resistance enhancing practice method for non-damaged healthy pine forest. Two types of striped thinning were applied, one is vertical striped thinning and the other is horizontal striped thinning, and four thinning



intensities were applied (medium intensity low thinning, high intensity low thinning, remaining superior trees (300 trees/ha and 100 tree/ha) to them. Second demonstration area was constructed in fire-damaged pine forest located in Imwon-ri, Weondeok-eup, Samcheok-si, and was consisted of fish-bone type (10 ha) and complex type (13ha).

After the construction of two demonstration area, to understand the changes in the stand, understory vegetation change was investigated. And the number and growth of sprouts and seedlings were surveyed.

## **5. Development of optimizing forest stand arrangement techniques based on GIS.**

Since 1990 the restoration technology for forest fire damaged area has been focused on the reforestation technologies while the number of forest fire and the amount of damaged area in Korea have been increased very dramatically.

In this study the methodologies for the best forest stand allocation and the forest density management have been performed to select the strong tree species against forest fire and promote the fire resistance of forest considering the characteristic of forest fires and the environment of forest fire damaged area and the characteristic of local meteorology especially along east coast in Korea. For this, the approaches of spatial information technologies such as Virtual GIS, 3D GIS and satellite images analysis are regarded to simulate the best forest stand allocation method in visual.

First of all, the spatial database especially various thematic maps based on landscape ecological data were constructed to perform spatial analysis and then the best forest stand allocation method was developed and simulated by using GIS and satellite images. Also, the tree growth modeling is simulated to analyze the landscape in study area by using Virtual GIS and 3D GIS. Furthermore, information system for forest stand allocation was deigned and constructed to manage all related data and integrate all information. Finally, this system will become the foundation technology for the forest restoration especially in forest fire damaged area.

# CONTENTS

SUMMARY(in Korean) .....	3
SUMMARY .....	9
CONTENTS .....	16
CONTENTS(in Korean) .....	17
<b>Chapter 1. Introduction</b>	
Section 1 The Needs and Objectives .....	18
Section 2 Scope of the Research .....	20
<b>Chapter 2. Trends of Foreign and Domestic on Researches</b>	
Section 1 Trends of Foreign Researches .....	25
Section 2 Trends of Domestic Researches .....	27
<b>Chapter 3. Results and Discussion</b>	
Section 1 Development and application of environmentally sound soil erosion control structures .....	30
Section 2 Development of afforestation techniques for speedy restoration of fire damaged forest .....	81
Section 3 Development of fire resistance species for the establishment of healthy pine forest .....	114
Section 4 Establishment of fire resistant forest using forest stand density control .....	160
Section 5 Development of optimizing forest stand arrangement techniques based on GIS .....	258
<b>Chapter 4. The Achievement of the Goal and Contribution</b>	
Section 1 The Achievement of the Goal .....	321
Section 2 The Contribution of the Research .....	323
<b>Chapter 5. The Suggestions for Future Use</b>	
Section 1 The Suggestions for Future Use .....	326
<b>Chapter 6. Information of Foreign Scientific Technology     Obtained from the Research .....</b>	328
<b>Chapter 7. Reference .....</b>	343

# 목 차

요 약 문 .....	3
SUMMARY .....	9
CONTENTS .....	16
<b>제 1 장 연구개발과제의 개요</b>	
제 1 절 연구개발의 목적과 필요성 .....	18
제 2 절 연구범위 및 연구설계 .....	20
<b>제 2 장 국내외 기술개발 현황</b>	
제 1 절 국외 기술개발 현황 .....	25
제 2 절 국내 기술개발 현황 .....	27
<b>제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과</b>	
제 1 절 새로운 환경친화적 사방구조물개발 및 적용 .....	30
제 2 절 수토보전기능 조기회복을 위한 녹화기법 개발 .....	81
제 3 절 우량소나무임분 조성용 내화수종 선발 .....	114
제 4 절 임분밀도 관리를 통한 내화림 조성개발 .....	160
제 5 절 GIS를 이용한 적정 임분배치 기법개발 .....	258
<b>제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도</b>	
제 1 절 연구개발의 달성도 .....	321
제 2 절 대외기여도 .....	323
<b>제 5 장 연구개발 결과의 활용계획</b>	
제 1 절 연구개발 결과의 활용계획 .....	326
<b>제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보</b> .....	328
<b>제 7 장 참고문헌</b> .....	343

# 제 1 장 연구개발과제의 개요

## 제 1 절 연구개발의 목적과 필요성

### 1. 새로운 환경친화적 사방구조물개발 및 현장 적용

1962년 사방사업법을 제정한 이래 1973년부터 영일, 포항 등 대규모 황폐지 복구에 사방사업을 실시하여 산지녹화에 성공하였으며, 지속적으로 향상된 공법을 적용하여 사방사업 및 친환경적 사방구조물을 시공하고 있다. 기존의 사방은 녹화위주의 목표를 지향하였으므로, 사방사업에 대한 효과분석은 국지적, 제한적으로 수행되었고 사방댐 등 사방구조물은 시멘트 콘크리트 위주의 반친환경적인 재료를 주로 이용함으로써 산지에 환경친화적이지 못한 사방구조물이 시공되었다.

따라서 산불피해산림을 기왕의 사방구조물 시공지와 친환경적 사방구조물 시공지로 구분한 후, 효과 분석을 종합하여 산불피해지의 환경적 생태적 최적 복구유형을 개발하고 친환경적인 사방구조물을 개발할 필요가 절실하다. 건조기에 항상 산불에 대한 위협성이 있는 우리나라의 산지 보전과 인명, 재산의 보호를 위해서는 필수적인 연구로 판단되며, 이와 같은 기술은 자연사면으로의 적용은 물론, 폐광지 (폐탄광지, 석회석 광산지) 등 산림 훼손지의 유형별 친환경적 복구녹화 모델의 체계화에도 응용 가능하다.

### 2. 수토보전기능 조기회복을 위한 녹화기법 개발

산불피해지 녹화는 현재 산불발생 후 상당기간이 지난 후 이루어지기 때문에 토사 및 양분유실의 피해가 막대하였다. 2~5월의 산불 발생 피해를 조기에 녹화하여 토사유실의 위험도가 높은 6, 7, 8월 장마의 피해를 예방할 수 있는 새로운 조기녹화기법의 개발이 요망되고 있다.

또한 현행 사방사업비는 ha당 약 5,000만원으로 막대한 노동력이 요구된다. 따라서 기존의 녹화방법보다 비용과 노동력이 적게 들고 계절적으로 노동력을 분산시킬 수 있는 새로운 직파조립과 용기묘 식재조립 녹화기법의 개발이 요구된다. 이와 같이 조기녹화 기법에 의하여 녹화 경우 산불의 2차적인 피해가 일어나기 전에 녹화하는 것이므로 비용과 노동력을 최소화 하고 조기녹화에 의한 경제적 효과가 예상된다.

### 3. 우량소나무 임분 조성용 내화수종 선정

산불관련 국내연구는 산불위험예보 및 확산모델의 개발에 연구가 집중되고 있는 반면에 임업적인 측면에서 산불 예방 및 억제를 위한 입지 및 임상특성과 국지기상 특성을 고려한 내화수림대 조성 및 임분배치 기법에 관한 연구가 미흡한 실정이다. 우량소나무 임분의 내화성 증진을 위한 내화수종 선발 및 지형특성과 복합지형에서의 바람장을 고려한 적정규모의 내화수림대 임분배치를 위한 연구는 대형산불 예방을 통한 국내의 우량목재 자원 및 산림생태계를 보호하고 대형산불 피해지의 복구에 소요되는 막대한 예산을 절감하는 효과를 기대할 수 있다.

### 4. 임분밀도 관리를 통한 내화림 조성기법

우리나라 인공조림지의 대부분은 침엽수 일제 단순림으로 구성되어 있고, 생육단계별로 적절한 시업이 이루어지고 있지 않아, 임지의 대부분이 임목밀도가 높은 실정이어서 동해안 산불과 같은 대형산불의 위험성이 항상 내재되어 있다고 볼 수 있다. 또한 임목축적이 증가함에 따라 산불의 대형화 추세는 지속될 것으로 예측되며, 특히 동해안 지역은 소나무와 해송 단순림이 대부분으로 임목밀도가 매우 높고 지역특성상 건조한 기후로 인하여 산불발생 위험도가 대단히 높기 때문에 이러한 산림을 활엽수와 혼효림으로 유도함으로써 산불의 발생 위험도와 피해를 감소시켜 주는 시업기술의 연구개발은 시급하다고 판단된다.

우리나라 산림은 생산성 향상을 위한 시업기술에 대하여는 많은 연구가 이루어지고 있으나 자연재해 특히 산불 예방이나 방지를 위한 시업기술에 대하여는 아직까지 국내에서 연구된 바가 없기 때문에, 이러한 시업기술은 산림의 보전과 다양한 시업기술 개발이라는 측면에서도 필요한 연구 분야이다. 또한 강원도 동해안 지방의 대부분을 차지하고 있는 소나무 단순림의 임분유형별 적정 관리밀도를 구명하여 소나무림 시업체계를 정립하고 내화림조성 기법을 개발하는 과정에서 산림의 식생구성을 풍부하게 하여 열악한 입지환경을 개선시키는 기술을 부가적으로 얻을 수 있다.

### 5. GIS를 이용한 임분 배치기법 개발

대형 산불의 예방을 위한 임분배치 기법 및 산불피해지 복구계획 수립시 의사결정에 중

요한 정보를 제공하기 위한 GIS를 이용한 복합적 정보 획득 및 현지 관리기술 개발에 관한 연구는 아직까지 상당히 미흡한 실정이다. Virtual GIS(Geographic Information System) 및 3D GIS 기법을 활용하여 적정임분배치 기법을 개발하여 산불피해지 복원기술에의 적용기법 개발이 시급하며 지금까지 수행된 임분배치기법 관련 연구자료들을 통합적으로 관리 및 유지·보수가 필요한 실정이며, 더 나아가 이러한 자료들을 시스템에서 가상으로 구현 및 분석을 할 수 있는 스템이 요구된다. 아울러 시스템상에서 임분배치기법을 가상으로 적용시켜봄으로써 그에 따른 경제적 비용 및 시간 등의 절감을 가져다 줄 것으로 기대된다.

## 제 2 절 연구범위 및 연구설계

### 1. 새로운 환경친화적 사방구조물개발 및 현장 적용

#### 가. 기술 정립 및 현장실연기반 구축

- 새로운 환경친화적 사방구조물의 개발을 위해 우선적으로 현장적용에 필요한 자료와 기반을 구축하는 것이 중요하다. 우선 문헌 및 현지조사를 통한 구조물 조사 및 재해특성 파악으로 구조물 설치효과를 분석함으로써 재해유형과 재해방지 효과를 고려한 새로운 친환경적 구조물 개발의 기초 자료로 활용한다. 특히 선진국에서 실시하고 있는 공법 도입 및 응용 설계함으로써 기존의 친환경적 구조물을 응용 설계하여 우리나라의 산지사방 공사에 적합한 모델을 개발한다. 상기의 작업을 통해 개발된 공작물을 산불피해지 현지에 실연시킴은 물론, 산불피해지의 토사유출저지 효과의 분석을 위해 기존의 다양한 친환경적 사방공작물을 현지에 적용한다.

#### 나. 현장실연 및 적용체계 구축

- 산불피해 직후 고안된 친환경적 구조물을 피해지에 실연하고, 그 결과를 모니터링 및 분석함으로써 친환경적 구조물의 현장 적용성 및 효과를 분석하고, 일반 사방구조물과 토사·재 유출량 비교, 사방구조물의 내구성을 모니터링함으로써 설치효과 모니터링 및 분석을 실시할 수 있다.
- 산지 및 야계사방 구조물 등의 우리나라에 적합한 친환경적 구조물을 고안, 설계(공정도

및 설계도 작성)하고, 실연지에서의 구조물 효과의 모니터링 및 토사유출량 측정을 통해 구조물의 효과를 분석한다. 또한, 산불피해지의 신속한 토사재해방지 및 복구를 위해 GIS를 이용한 사방구조물의 적지선정체계 확립을 통한 과학적 사방기술의 적용을 시도한다.

#### 다. 산불피해지 현장 특성에 맞는 친환경적 구조물 개발 및 적용성 검토

- 상기의 모니터링 결과를 분석하여 산불피해지 현장에 알맞는 친환경적 구조물의 현장적용성을 검토하고 효과를 분석한다. 이를 토대로 산불피해지 현장 특성에 맞는 친환경적 구조물을 개발한다.

### 2. 수토보전기능 조기회복을 위한 녹화기법 개발

#### 가. 기술정립 및 현장실연기반 구축

- 적정 파종립 제조기술 개선을 위해서 종자의 시기별, 입지별 발아율을 조사하였으며 이를 개선하기 위하여 파종립 내의 피트모스의 함량을 높이는 등의 개선방안과 파종립 내의 비료첨가를 위하여 비료첨가시험을 시험하였다.
- 파종립 내의 종자 발아율의 개선을 위하여 호르몬처리와 저온 층적처리를 이용한 발아촉진법을 통하여 파종립 발아율의 개선을 위한 시험을 실시하였다.
- 등고선밀식 식생비치 시험구와 수평배치 시험구를 조성하기 위하여 종자부착 휴지를 제작, 시험하였다. 종자부착 휴지는 휴지와 휴지의 사이에 초본(4종)과 목본(10종)의 혼합종자를 접착제(PEO 0.002% + 아라비아 고무 10% +  $\text{CuSO}_4$  0.05%)를 이용하여 접착 후 건조시킨 것이다.
- 대립종자의 식해방지를 위하여 방조껍 또는 코아네트 등을 이용하여 대립종자의 식해방지법을 시험하였다.

#### 나. 현장실연 적용체계 구축

- 수평배치 시험구(폭 200cm, 코아네트 없음)을 현지에 시기별로 4월, 5월과 6월에 입지별로 남사면과 북사면에 각각 조성하여 시험하고 시기별, 입지별 성적을 조사하였다.
- 등고선밀식 식생배치 시험구(폭 35cm, 코아네트 처리)을 현지에 시기별로 4월, 5월과 6월에 입지별로 남사면과 북사면에 각각 조성하여 대립종자의 식해방지와 함께 시험하였으며, 이 결과를 장마기간이 지난 이후에 시기별, 입지별로 성적을 조사하였다.

#### 다. 실연사업 실시 및 적용성 검토

- 최적의 녹화방법으로 소규모 현지실연사업을 실시하였다. 현지 실연사업지는 연구보존시범지로서 장기적인 효과를 관찰, 조사할 수 있는 입지를 선정하여 현지 실연사업을 실연하였다.

### 3. 우량소나무 임분 조성용 내화수종 선정

#### 가. 기술정립 및 현장실연기반 구축

- 소나무 임분의 내화성 증진을 위한 내화성 수종선발은 위하여 국내·외의 연구사례 및 문헌정보를 통하여 내화수림대 식재수종에 대한 내화성에 대한 생태적 특성 및 조림적 관리기술에 대한 정보를 수집한다. 현지에 적용 가능한 수종을 대상으로 산불피해지 임분에서의 산불피해 특성 및 내화성을 구명하여 조림 및 관리방안을 제시한다.
- 내화수림대 임분배치를 위하여 연구대상지를 중심으로 지형 및 임상적 특성을 분석하고 정밀 수치예보 모델로 지형효과가 산불전개에 미치는 영향을 파악할 수 있도록 산불과 관련된 국지적 기상현상을 수치모의하여 그 결과를 분석한다.

#### 나. 현장실연 및 적용체계 구축

- 내화성 수종 및 임분분포의 유형화를 위해 과거 산불발생지와 비산불임지에 대한 지형 및 임상특성을 분석하고 내화성 임분분포 특성을 구명한다. 산불위험성 평가를 위한 연구대상지의 산불위험지도 작성 및 고분해능 수치모델 모의를 통한 복잡지형의 지상풍 및 상층풍의 바람장 특성 분석을 통하여 내화수림대 적정규모 및 배치모델을 개발한다.

#### 다. 실연사업 실시 및 적용성 검토

- 지형, 임상 및 기상자료의 정량분석을 통한 적정 내화수림대 배치체계를 고안하여 현장에 실연하고, 내화수림대 식생관리를 위한 적정 임분밀도 및 맹아관리 시업체계를 제시한다.

### 4. 임분밀도 관리를 통한 내화림 조성기법

#### 가. 기술정립 및 현장실연기반 구축

- 현존 소나무림을 지형에 따라 산악지형, 구릉지형, 복합산지형으로 구분하여 대상지를



선정하고, 현존 소나무임분의 입지환경조사, 수종구성, 임분구조, 혼효수종, 혼효형태, 임분 생장 등을 현지조사·분석 및 기존 조사자료 재분석을 통하여 임분유형을 구분하여 소나무림 내화성 증진을 위한 시업관리의 기반을 구축한다.

#### 나. 현장실연 적용체계 구축

- 내화림 조성을 위하여 입지형과 후계림 조성방법에 따라 실연지를 조성하기 위한 시업을 실시하여 그 효과를 분석하고 소나무 입지 및 임분유형별 내화림 조성방법을 개발하고 체계화한다.

#### 다. 실연사업 실시 및 적용성 검토

- 현장실연사업은 구릉지와 산악지로 구분하여 실시하며, 내화림 실연지 조성은 구릉지는 종식대상형(사면방향), 산악지는 종식대상형(사면방향), 황식대상형(등고선방향), 어골형(장상형)을 적용하여 간벌, 천연림보육 등을 시행하고, 후계림 조성은 잠재식생을 고려하여 천연갱신, 맹아갱신, 파종, 식재 등을 적용한다. 또한 작업과정을 분석하여 공정을 산출하여 현장 적용이 용이하도록 한다.

### 5. GIS를 이용한 적정 임분배치 기법개발

#### 가. 기술정립 및 현장실연기반 구축

- ARC/INFO 및 Arcview 3.2를 이용한 임분배치기법을 위한 기본자료 DB를 구축하고 ArcGIS 8.1 및 Imagine 8.5를 이용하여 GIS 기본 DB 및 위성영상 자료를 분석한 후 산불발생지 공간특성분석 및 내화수림대 임분배치 조성에 있어서의 기초자료로 활용한다.

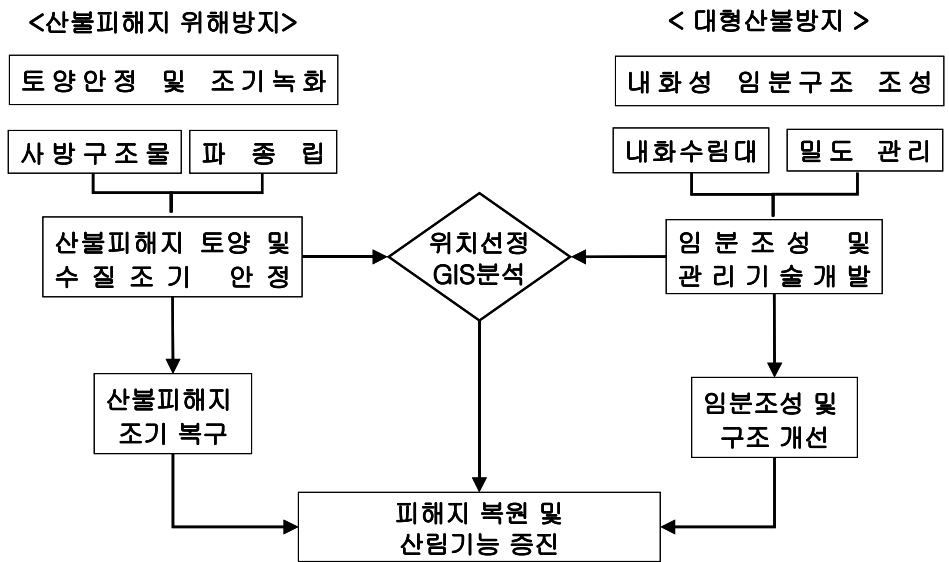
#### 나. 현장실연 및 적용체계 구축

- 산불발생지의 공간특성 및 산불연소특성을 분석하여 산불피해지 지역별 입지조건에 적합한 수종을 선정하여 시스템상에서 가상으로 수종을 배치함으로써 3차원 경관을 관찰할 수 있으며 산불발생지의 공간특성, 산불연소특성, 수종정보, 위성영상등의 다양한 산불발생지 관련된 정보등을 검색 할 수 있는 임분배치정보 관리시스템에 필요한 정보들을 구축한다.

다. 임분배치 정보관리시스템 네트워크 구동기술 개발

- 임분배치 정보관리시스템은 Windows 2000을 운영체제로 GUI(Graphic UserInterface)를 개발하며, 이를 위하여 객체지향 언어인 MS사의 Visual Basic 6.0과 GIS기능의 연동을 위한 ArcObject, DBMS(Data Base Management System)으로는 Access 2000을 사용하여 시스템을 설계한다. 시스템의 구성은 사용자 인터페이스로 확대, 축소, Pan, 전체보기, 속성보기의 매핑기능과 주제도 중첩기능, 정보 검색기능으로 구성되며, Virtual GIS를 이용한3차원 경관정보를 볼 수 있도록 개발한다.

6. 연구개발 추진체계



## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 제 1 절 국외 기술개발 현황

#### 1. 새로운 환경친화적 사방구조물개발 및 현장 적용

외국의 환경친화적 사방구조물 개발에 대한 연구로서 우선 산지재해가 많은 일본에서는 산악지역을 대상으로 시공이 쉽고 공기가 짧은 투과형댐, 철강재댐, 스크린댐, 원형셀댐 등 각종 사방구조물을 설치하고 있으나, 이는 환경친화적이라기 보다 재해방지 목적이 우선이다. 하지만 일본의 선진기술을 도입하는데는 로얄티 및 각종 기술개발 이전비에 따른 비용이 많이 소요되고, 주로 대형공작물을 설치하므로 소규모의 친환경적 사방구조물의 개발이 필요하다. 다음 독일의 경우 환경사방 기술을 도입하여 기존의 하천수로를 자연수로로 고치는 등 하천생태계를 유지하기 위해 친환경적인 사방사업을 실시하고 있으나, 산불피해지 복구를 위한 기술이 아니며 재해방지 보다는 경관을 위주로 한 기술이므로 산불피해지의 재해방지를 위한 목적에 적용하기에 부적합한 기술이다. 또한 나라마다 기후, 지형 등 환경인자가 다르기 때문에, 같은 사방공법을 적용했다라도 환경적·생태적으로 효과가 달리 나타나므로 생태적이고 환경적으로 조화되는 기술은 직접적인 도입에 어려움이 따른다.

일본을 비롯한 산지재해 방지에 관한 선진기술을 가진 선진국의 경우, 기술적인 면에 있어서 우리 나라에 비해 높은 수준에 있으나, 기후조건에 의해 산불에 의한 피해가 극히 적으므로 산불피해지역에 있어서의 적용에 대한 기술을 도입하기는 어려운 실정이다. 또한, 미국의 경우 대형 산불이 발생하지만 하천의 유로가 길기 때문에 해양생태계까지의 영향은 문제가 되지 않는 등 같은 사방구조물을 재해 발생지에 적용했다라도 국가마다 기후, 지형 등 환경인자가 다르고 사방구조물의 적용효과가 달리 나타나므로 외국의 친환경적인 사방구조물의 직접적인 도입은 적용성, 시공 후 유지관리 등 여러 가지 문제의 해결에 있어 어려움이 많다.

#### 2. 수토보전기능 조기회복을 위한 녹화기법 개발

조기회복을 위한 녹화기법에 외국의 파종립 제조기술은 주로 기계화 파종을 위하여 채

소, 화훼, 벼, 참깨의 종자에 배합토를 2~3mm 피복하는 펠릿종자(Pelletized seed)가 상용화하는 수준으로 개발되고 있으나 그 기술은 대부분은 특허사항으로 일반에 공개 되지 않고 있다. 국내에서는 여러 가지 종자에 대한 피복재료와 접착제를 시험하고 있는 수준이다. 외국의 pelletized seed 또는 coated seed 기술은 주로 기계화 파종을 위하여 소량의 배합토와 농약을 부착시켜 제조되었으므로 산지 조건에서는 활용도가 낮아 기술도입의 타당성이 알맞지 않다.

### 3. 우량소나무 임분 조성용 내화수종 선정

내화수림대 임분배치 및 내화성 수종에 관한 연구는 산불의 확산방지 및 억제를 통한 산불피해를 최소화하기 위한 방안으로 산림지역 및 주요 시설물을 대상으로 조성하고 있다. 일본의 내화수종 선정에 대한 연구는 방화성 및 내화성이 높은 수종으로서 산림의 기상환경변화에 대한 적응력이 높고, 연소억제력이 강하여 내화수림 설치의 기대효과를 얻을 수 있는 수종을 선정하고 있다. 또한 산림지역의 내화수림대 위치선정 및 임분배치는 표준모델을 바탕으로 지역별 입지특성에 적합하게 응용하여 조성하도록 하고 있다.

중국의 내화성 수종선정에 관한 연구는 주요수종을 대상으로 연소특성, 생태학적 특성, 조림적 특성 등에 대한 인자를 선정하여 단계별 매트릭스에 의한 내화능력의 비교에 관한 연구와 수목의 방화성과 관련한 수종별 연소성에 대한 비교실험 연구를 수행하고 있으며, 내화수림대 임분배치는 식재수종의 방화특성 및 설치대상지 입지특성에 따라 수평적·수직적 임분배치에 대한 설계모델을 제시하고 있다.

### 4. 임분밀도 관리를 통한 내화림 조성기법

일본에서는 산불저지 효과를 높이기 위하여 방화선과 임도주변에 침엽수 대신 굴참나무와 같은 내화수종을 일정한 폭으로 식재하고 있으며, 숲에 인접한 주택지 주위에 내화수림대를 조성하는 사업을 추진하고 있다. 또한, 산림관리를 하지 않으면 산불발생 위험도가 높기 때문에 보조금을 투입하여 적극적인 산림관리를 실시하여 산불확산방지를 위한 사업을 시행하고 있다.

프랑스의 지중해 연안지방에서는 건조한 기후와 도시주변 산림이 주택지화 되고 있어 산불이 많이 발생하기 때문에 방화선의 임상식생 제거를 철저히 하는 작업을 병행하고 있으며, 이탈리아에서는 기온이 높고 건조하여 산불 위험성이 높은 지방에서는 내화성 수

중으로 숲을 전환하고 있으며, 임지의 하층식생을 제어하기 위하여 가축을 방목하기도 한다. 또한 기존 임도를 재정비하거나 신설하며 방화선을 설치하고 있다.

미국의 경우, 식생천이 과정이 밝혀진 지역에서는 수관화를 막고 목표 수종보다 내음성이 강한 수종으로의 천이를 막기 위해 처방화입을 하는 등 산불을 산림관리에 이용하기도 한다.

## 5. GIS를 이용한 임분 배치기법 개발

미국에서는 Fire Ecology 연구를 통하여 임상 및 임분구조별 산불위험도에 관한 조사를 지속적으로 실시하여 산불예방에 활용하고 있으며, 특히 인공위성 이미지 영상분석과 식생 현지조사를 통해 식생 등 8개의 공간분포자료를 구축하고 실무체계로 개발하여 활용하고 있으며 미국 Coweeta, 호주 Tasmania 등의 경우 산불피해지역, 벌목지, 병해충피해지역 등을 대상으로 영상합성, 3차원 Visualization, GIS 및 Remote Sensing 등과 같은 다양한 기법을 활용하여 생태계 복원기술 개발을 위한 장기 생태 조사를 활발히 추진 중에 있다.

## 제 2 절 국내 기술개발 현황

### 1. 새로운 환경친화적 사방구조물개발 및 현장 적용

1962년 사방사업법을 제정한 후 황폐된 지역을 지속적으로 복구하며 쌓아온 사방구조물을 포함한 사방기술은 국내·외적으로 널리 알려져 있다. 국립산림과학원은 산사태로 인한 황폐지 복구를 위한 산지사방, 계류안정을 위한 사방댐을 포함한 야계사방, 자연재해 위험지를 판단하여 미리 위험요소를 제거하는 예방사방으로 구분하여 위험지 판단, 복구 공법 등 다방면의 사방구조물 제작 및 점검기술을 축적한 상태이다. 하지만, 산불 피해지에 있어서 적은 비용으로 조속한 응급복구를 위한 구조물의 개발은 전혀 이루어지지 않은 상태에 있으며, 특히, 현재의 사방구조물은 콘크리트나 돌을 사용하는 경우가 많은데, 이 경우 양생기간이 상당히 길어 산불직후에 토사재해의 위험이 가장 많은 점을 고려하면 적절한 방법이라 할 수 없다. 대형 산불로 인하여 버려진 불탄나무는 전혀 효용가치

가 없으나, 지금까지 국내에서 작년에 일부를 적용한 통나무 기슭막이는 과학적인 근거 없이 임시로 사용한 공법이므로 친환경적 재료를 이용한 사방구조물 축조기술은 아주 미약한 수준에 있다.

우리나라의 사방기술은 세계적인 수준이므로 중국, 몽골, 베트남, 미얀마 등 재해 다발국가에 기술을 전수하고 협력하고 있는 실정이다. 특히, 우리나라의 사방기술은 1960년대 이후 계속 축적되어 왔으며, 이러한 사방기술은 우리나라의 기후, 지형 및 지질을 기초로 한 것이므로, 산불이 다발하는 지역성을 고려해서 기술도입보다는 우리 자연적 여건에 적합한 재해방지 및 친환경적 구조물을 개발하는 것이 바람직할 것으로 판단된다

## 2. 수토보전기능 조기회복을 위한 녹화기법 개발

새로운 직파조립 기법으로서 파종립 직파조립 기법의 개발은 1998년부터 2001년까지 농림기술관리센터의 지원으로 「조립수종 및 산채류 파종립 직파조립 기법을 이용한 산화적지 및 임도사면의 조방적 활용에 관한 연구」(주관연구기관 : 건국대학교, 협동연구기관 : 임업연구원, 산채시험장)에서 진행되었다. 소나무, 더덕, 참취, 도라지, 싸리나무 종자의 파종립 제조과정의 자동화는 상당한 수준으로 이루어졌으며, 현지 직파조립 시험결과 토양수분이 많은 입지에서는 좋은 결과를 얻고 있다. 앞으로 건조한 입지에서도 활착력이 좋은 파종립의 제조 및 현지직파조립 방법의 개발이 요망된다. 한편 참나무류의 종실과 같이 대립종자나 사방용 초본종자 파종립의 대량 제조기술 및 현지 직파조립 기술의 개발이 본 연구의 핵심적인 문제로 남아있다. 현재 건국대학교에서 개발하고 있는 파종립은 직경 2.5cm, 두께 1cm 정도로서 종자 5~10개가 포함된 파종립으로서 외국에서 상업화된 파종립과 다르다. 앞으로 건조지에서도 활착율을 높일 수 있는 파종립을 개발하기 위하여 새로운 배합재료 및 제조기술의 개발이 요구된다. 대립종자의 직파조립에서 가장 문제가 되고 있는 것은 동물들의 식해로서 식해동물 기피제와 치수 보호망의 개발이 요구된다. 용기묘 생산기술의 개발은 1996~2000년에 농림기술관리센터의 지원으로 국립산림과학원 생산기술연구소에서 성공적으로 이루어졌으며 현지 조기녹화에 보다 효율적으로 활용하기 위한 용기묘 저장기술의 개발이 요구된다.

## 3. 우량소나무 임분 조성용 내화수종 선정

산림의 내화성 증진을 위한 내화수종 선발 및 임분배치와 관련된 국내의 연구는 미흡한

실정이다. 산불의 확산을 억제하기 위한 연구는 과거에는 주로 방화선의 설치와 관련된 연구가 수행되었으며, 최근에는 산불예방 및 예측을 위한 산불위험예보 및 확산모델과 관련된 연구가 주로 수행되고 있다.

임업적인 측면에서 임분의 내화성 증진을 위한 임분밀도 조절에 대한 시업관리 기술 및 지형 및 임상적 특성과 국지적 기상현상을 수치모의하여 내화수림대의 임분배치 기법에 적용한 사례는 초보적 기술개발 단계에 있다.

#### 4. 임분밀도 관리를 통한 내화림 조성기법

우리나라에서는 산불 후 초기의 식생, 토양 등 임지환경변화에 대한 기초 연구가 이루어지고 있으나, 산불을 예방하거나 조림학적으로 이용하기 위한 연구나 시업은 거의 전무한 실정이다. 임업연구원에서 1996년도에 발생한 고성산불 피해지에 소나무 용기묘 조림과 파종조림을 시도하였고, 2000년도에 발생한 동해안 산불피해지에 대해 임분유형과 피해지복구를 위한 갱신유형을 구분하고 산불피해 재생림의 특성을 조사한 바가 있으며, 2002년 청양·예산 산불지역에 대하여 성립기원, 임종, 피해정도, 임목 사회적 위치에 따라 다양한 복구방안을 제시·적용한 바 있다.

#### 5. GIS를 이용한 임분 배치기법 개발

국내의 산불 관련 연구는 GIS를 이용한 산불확산 시뮬레이션 알고리즘 개발(김웅식 등, 1995), GIS를 이용한 산불방재방안(신영철, 안상현, 2000)등의 연구한 바 있으나 내화수림대 조성에 있어 GIS와 위성영상을 이용한 복합적 정보 획득 및 현지 관리 기술 개발에 관해서는 연구가 미흡한 실정이다.

## 제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과

### 제 1 절 새로운 환경친화적 사방구조물 개발 및 적용

#### 1. 기술 정립 및 현장 실연 기반 구축

##### 가. 기존 사방구조물 현지조사 및 문헌조사

###### 1) 국내 현지조사

동해안 산불피해지의 강원 삼척, 경북 울진 등 4개소를 조사한 결과, 사방댐은 거의 대부분이 콘크리트댐이었으며 일부지역에 철강제댐과 블록댐을 설치하였다. 산지사방은 돌망태 구곡막이, 론생마대, 목책을 이용한 공법이 이용되었다. 또한 동해안 산불지역에 설치된 구조물 내역을 조사하기 위하여 응급복구 대상지 8개소, 사방댐 설치지역 23개소, 산지사방 19개소, 야계사방 3개소 등의 자료를 수집, 분석하였으며, 주요 공법 및 시공 방법은 다음과 같다.

###### 가) 종자 뽑어 붙이기

비탈 경사가 급하고 대면적으로 다른 공법으로는 파종이 부적당한 토사 비탈면 또는 토양 조건이 열악한 사면에서 종자, 비료, 접착제와 양생제를 기계로 뽑어 붙여 조기에 전면 녹화를 목적으로 계획·시공한다. 생육 기반재를 두꺼운 층으로 뽑어붙이는 경우에는 특수 분사식 씨뿌리기 공법이라 한다. 보통 분사식 씨뿌리기 공법은 토양 조건이 비교적 좋은 급경사지에서, 특수 분사식 씨뿌리기 공법은 균열이 많은 암석, 석력이 많은 급경사지에서 이용된다.

###### (1) 시공 장소

토양 조건이 열악한 급경사지

###### (2) 시공 요령

비탈 상부로부터의 유수와 지하수의 분출 등이 있는 경우에는 산지 비탈 안정 공사의 기초 공사로서 필요한 비탈 흠막이 공사, 속도랑 내기 공사, 수로 내기 공사 등을 미리 시



## 제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과

### 제 1 절 새로운 환경친화적 사방구조물 개발 및 적용

#### 1. 기술 정립 및 현장 실연 기반 구축

##### 가. 기존 사방구조물 현지조사 및 문헌조사

###### 1) 국내 현지조사

동해안 산불피해지의 강원 삼척, 경북 울진 등 4개소를 조사한 결과, 사방댐은 거의 대부분이 콘크리트댐이었으며 일부지역에 철강제댐과 블록댐을 설치하였다. 산지사방은 돌망태 구곡막이, 론생마대, 목책을 이용한 공법이 이용되었다. 또한 동해안 산불지역에 설치된 구조물 내역을 조사하기 위하여 응급복구 대상지 8개소, 사방댐 설치지역 23개소, 산지사방 19개소, 야계사방 3개소 등의 자료를 수집, 분석하였으며, 주요 공법 및 시공 방법은 다음과 같다.

###### 가) 종자 뽑어 붙이기

비탈 경사가 급하고 대면적으로 다른 공법으로는 파종이 부적당한 토사 비탈면 또는 토양 조건이 열악한 사면에서 종자, 비료, 접착제와 양생제를 기계로 뽑어 붙여 조기에 전면 녹화를 목적으로 계획·시공한다. 생육 기반재를 두꺼운 층으로 뽑어붙이는 경우에는 특수 분사식 씨뿌리기 공법이라 한다. 보통 분사식 씨뿌리기 공법은 토양 조건이 비교적 좋은 급경사지에서, 특수 분사식 씨뿌리기 공법은 균열이 많은 암석, 석력이 많은 급경사지에서 이용된다.

###### (1) 시공 장소

토양 조건이 열악한 급경사지

###### (2) 시공 요령

비탈 상부로부터의 유수와 지하수의 분출 등이 있는 경우에는 산지 비탈 안정 공사의 기초 공사로서 필요한 비탈 흠막이 공사, 속도랑 내기 공사, 수로 내기 공사 등을 미리 시

공해서, 강우 등에 의한 붕락을 방지하여야 한다.

시공 시에는 먼저 시공지 비탈 다듬기 공사를 한 다음, 건조 시에는 종자의 발아를 촉진하고 분사 부착물의 침투를 좋게 하기 위하여 비탈 1m<sup>2</sup> 당 1~3ℓ의 물을 미리 살포하여야 한다. 또한, 추운 겨울이나 무더운 여름·건조시기 등을 피해야 한다. 종자 살포는 재료를 물과 혼합하여 “수압 분사식 파종기(Hydro seeder)<sup>TM</sup>”에 의하여 시공지에 골고루 살포해야 한다. 분사식 파종기를 사용할 때에는 ① 물 + ② 종자 + ③ 비료 + ④ 화이버 + ⑤ 혼합 양생제의 순서로 투입하고 10분 이상 잘 혼합해야 한다. 파종 2개월 이내에 발아가 고루 되지 않거나 일부만 발아되었을 때에는 재 파종을 해야 한다. 분사식 씨뿌리기 공법으로 시공한 후에 발아 생립 초목 분수는 초본 2,000본/m<sup>2</sup>과 목본 100본/m<sup>2</sup>을 표준으로 하여 모두 2,100본/m<sup>2</sup>을 표준으로 한다. 현지의 토양 조건 및 시공 시기 또는 시공 기술의 필요에 따라서 양생제의 뽀어 붙이기를 병용하도록 계획하여 건조해 등을 방지하도록 하여야 한다. ‘특수 분사식 씨뿌리기공법’에 있어서는 필요에 따라서 철사 또는 화학 섬유(래스(lath)를 비탈면에 덮고 객토재의 고정을 도모하여야 한다. 뽀어 붙인 흙층 위에 화이버(fiber)류와 시트(sheet)류를 덮고 고정하여 강우수에 의한 침식을 방지하는 경우도 있으나 뽀어 붙인 층의 두께와 양생제의 질 및 밀도는 많으면 많을수록 강하면 강할수록 높지만 목적으로 하는 녹화수준이 달성됨에 필요한 최소한도의 적절한 공법 및 자재의 선택을 계획하여야 한다. 분사식 씨뿌리기 공법에 사용하는 종자의 선택 및 파종량은 ‘일반 파종 공법’에서와 같이 하지만, ‘특수 분사식 씨뿌리기 공법’에서와 같이 일정한 두께의 층을 조성하는 경우에는 그 층 속에 묻혀서 발아되지 못하는 ‘손실 종자’가 많이 생기므로 ‘보통 분사식 씨뿌리기공법’에서 보다는 더 많은 종자를 넣어야 한다<그림 3-1-1> .



<그림 3-1-2> Coir net를 이용한 분사식 씨뿌리기

## 나) 돌쌓기

돌쌓기란 돌(石材)을 쌓아올려 자연석쌓기, 돌흙막이, 돌누구막이, 돌골막이, 돌기슭막이, 돌바닥막이, 돌축대벽(옹벽), 산비탈 돌쌓기(산돌쌓기) 등과 같은 구축물을 만드는 것을 말하며 특정한 공종명(工種名)은 아니다. 산지사방에서 돌쌓기라 하면 일반적으로 돌 흙막이(산비탈 돌쌓기, 山腹 築石工, Stone masonry works on hillside)로서 비탈 다듬기 등으로 생산된 토사를 유치하거나 붕괴 토사를 고정하기 위하여 사면에 설치하는 공작물로서 파종상이나 떼단쌓기의 기초로도 시공한다. 시공하는 석재의 종류에 따라서 마름돌쌓기, 견치돌쌓기, 전석쌓기, 막괘돌쌓기, 야면석쌓기, 잡석쌓기와 호박돌쌓기 등이 있으며 석재 대응으로 최근에는 콘크리트 블록쌓기 공사가 널리 활용되고 있다. 비탈면의 기울기가 1 : 1 보다 완만한 경우는 돌붙이기(張石工) 공사라 하고 1 : 1 보다 급한 경우에는 돌쌓기(築石工)라고 한다.

### (1) 시공 장소

산비탈이나 산각부에 토사의 퇴적이 많고 붕괴 토사가 많은 급경사지(경사 45°이상)의 습지 또는 지반이 견고하여 비탈다듬기나 선폐붙이기 시공이 곤란한 기복지.

### (2) 시공 요령

돌쌓기는 모르타르의 사용여부에 따라 메쌓기(Dry masonry)와 찰쌓기(Wet masonry)가 있다. 또한 돌을 쌓는 방법에 따라 골쌓기(谷築 또는 谷積)와 켜쌓기(水平築 또는 布積)가 있는데, 골쌓기(Uncoursed rubble masonry)는 비교적 안정되고 견치돌이나 큰돌을 이용하며 층을 형성하지 않기 때문에 막쌓기(亂層築石)라고도 하며 켜쌓기(Coursed masonry)는 마름돌이나 축댓돌(견치돌)을 이용하여 돌의 면 높이를 같게 하여 가로줄눈이 일직선이 되도록 쌓기 때문에 바른층쌓기(整層築石)라고도 한다. 기초를 깊이 파고 단단히 다져야 하며 큰돌부터 먼저 놓아가면서 차례로 쌓아올린다. 돌을 쌓을 때 튀어나오거나 들어가지 않도록 면을 맞추고 양옆의 면과도 접촉부가 맞도록 한다. 시공 목적에 알맞은 좋은 석재를 선택하며 특히 귀(모서리)돌이나 갓(머리)돌은 규격에 맞는 좋은 것으로 한다. 돌쌓기의 세로줄눈이 일직선이 되는 통줄눈(Through joint)을 피하고 파선줄눈(Break joint)이 되도록 쌓는다. 줄눈의 두께는 9~12mm로 하고 모르타르를 충분히 채우도록 한다. 높은 돌쌓기는 밑으로 내려옴에 따라 돌쌓기 뒷길이를 증대시키는 것이 원칙이다. 돌쌓기의 표준 기울기는 특수한 경우를 제외하고는 쌓기 높이의 최대치를 취하고 표준 뒷길이 상부에서부터 적용한다.

산비탈 돌쌓기(산돌쌓기)의 비탈높이는 되도록 2m 이하로 하되 2m 이상인 경우에는 2단으로 한다. 용수가 있는 곳은 천단에 요(凹)형의 수로를 만들어 물이 흐르도록 한다. 줄눈메꿈 모르타르는 m<sup>2</sup>당 0.009m<sup>3</sup>를 표준으로 한다. 낙석이 예상되는 지역은 천단부를 깎아 축설한다. 돌의 배치에 특히 주의하여 다섯에움 이상 일곱에움 이하가 되도록 하며 보통 여섯에움으로 한다<그림 3-1-2~3>.



<그림 3-1-3> 켜쌓기(스톤블록 흙막이)



<그림 3-1-4> 골쌓기(돌 골막이)

#### 다) 선폐 붙이기

비탈 다듬기에서 생산된 부토를 고정하고 식생을 조성하기 위한 파식상(播植床)을 설치하는데 필요한 기본 공작물로서 산복 비탈면에 계단을 끊고 계단전면에 떼를 쌓거나 붙인 후 그 뒤쪽에 흙으로 채우고 수초(樹草)를 파식한다. 이 공법은 수평 계단에 의해서 지표유하수를 분산하여 침식 방지와 수토 보전을 도모하기 위하여 계획 시공 하는 비탈 녹화 공종으로 떼 붙이기의 사용매수에 따라 1~9급으로 구분하며 기초에 돌을 쌓아 보강하는 경우에는 밑돌선폐붙이기(臺石立芝工)라 한다.

##### (1) 시공위치

경사가 비교적 급하고 지질이 단단한 지역

##### (2) 시공요령

직고 1~2m의 간격으로 단(계단)을 끊는데 계단폭은 50~70cm, 발디딤(踏路, berm)은 10~20cm, 천단폭(마루나비)은 40cm를 기준으로 하며 떼붙이기 기울기는 1 : 0.2~0.3으

로 한다. 단끊기는 등고선 방향으로 실시하며 산 상부에서 시작하여 하부로 내려오면서 한 계단씩 차례로 끊어 내린다. 부토가 깊은 지역은 산비탈돌쌓기를 실시한 후 선땀붙이기(밑돌선땀붙이기, 臺石立芝工)를 시공한다. 급경사지에서 선땀의 밑부분의 붕괴를 방지하고 작업 시 인부들이 밟고 서서 작업할 수 있으며 선땀의 밑부분과 밑땀(바닥땀, 基芝)의 활착을 조장하기 위하여 바닥땀 앞면 부분에 발디딤(踏路, berm)을 설치한다. 발디딤은 가급적 견지반에 설치한다. 선땀붙이기를 할 때 기술적으로 가장 중요한 일은 땀을 붙이는 일로 선땀(立芝), 갓땀(머리땀, 冠芝, 天芝, 耳芝, Coping-sod, Ear grass), 받침땀(支芝, 控芝, Supporting-sod), 바닥땀(敷芝, 基芝, Footing sod, Base sod, Foundation sod)등과 잘 밀착되어야 하며 마루는 항상 수평을 유지하고 토사의 沈下率을 감안하여 5cm정도 흠을 돋우어 주는 것이 좋다. 선땀붙이기의 높이는 경비와 입지조건에 따라 달리하게 되는데 저급(9급에 가까운 것)으로 하는 것이 효과적이나 일반적으로 황폐임지 산복공사에 6~7급(높이 40cm)을 많이 시공하고 있다. 표토이동과 강수차단을 목적으로 할 때는 5급 이상으로 하며 사방지 식재 및 파종을 목적으로 할 때는 6급 이하로 한다. 땀은 산풀이 섞인 산땀이 활착이 좋다<그림 3-1-4~5>.



<그림 3-1-5> 선땀붙이기



<그림 3-1-6> 밑돌 선땀붙이기

#### 라) 바닥막이

황폐된 계천(또는 야계 ; 소하천)바닥의 종침식 방지 및 바닥에 퇴적된 불안정한 토사석력의 유실을 방지하기 위하여 계천을 횡단하여 설치하는 계천 사방공종으로서 「사방댐」 이나 「골막이」 시설물보다 높이가 낮으며 사용재료는 주로 콘크리트와 돌을 이용하나 경우에 따라서 콘크리트 블록, 돌망태, 통나무, 바자, PNC판, 쇠다발 바닥막이로 시공한다.

바닥막이와 바닥막이 사이에 낮은바닥막이(帶工, 帶床工, Stream bed works)을 설치하기도 하는데, 이는 계상의 기울기 유지와 침식 방지를 위하여 바닥막이 시설물보다 높이가 낮아 계천 바닥에 현저히 올라오지 않는 것이 특징이다.

(1) 시공장소

계상이 낮아질 위험이 있는 지역과 枝流가 합류되는 지역하류, 중침식과 횡침식이 발생하는 지역하류, 계상 굴곡부의 하류

(2) 시공요령

유수 방향에 직각으로 설치하며 만곡부에서는 방수로의 중심점에서 홍수시의 유심선의 접선에 직각방향으로 설치한다. 황폐 계류에서는 바닥막이 공사를 계통적(계단상)으로 연속해서 설치하는 것이 효과적이다. 바닥과기는 견지반이 나올 때까지 충분히 파야하며 계통적일 경우 하류의 바닥막이 천단부 높이까지 파야 한다. 계상에 현저히 돌출되지 않도록 하며 목적에 따라 높이 3.0m내외로 하며 물받이(물받침)나 수직벽을 설치할 때에도 총 낙차가 3.0~3.5m를 초과하지 않도록 한다. 방수로(水通部)의 폭은 계천폭과 같게 하거나 다소 좁게 한다. 계천 폭과 같게 할 경우에는 바닥막이 공작물의 하류쪽 독쌍기를 넓게 할 때이며 일반적으로 많이 시공한다. 바닥막이 어깨부는 제방의 제내지(堤內地) 독어깨의 위치까지 들어가도록 시공한다. 유로의 만곡부(彎曲部)에 바닥막이를 설치할 때에는 용기수평고(隆起水平高) 산출방식에 의하여 요안(凹岸)의 어깨높이를 철안(凸岸)의 어깨높이보다 높게 하여야 한다. 바닥막이공작물의 댐마루 너비는 최소한 1.0m 이상으로 충분히 넓게 하여야 하며, 대수면과 반수면의 기울기는 거의 수직으로 시공한다. 물받이는 콘크리트 구조물을 표준으로 하며 본체와는 일체로 하여, 본체를 월류하는 흐름에 의한 침식, 세굴 작용 및 하부에서 작용하는 양압력에 견딜 수 있는 구조가 되어야 한다. 물받이의 길이는 낙차고의 2~3배로 하고, 물받침의 두께는 1m 내외로 하며, 최소두께는 35cm로 해야 한다. 물받침끝에는 수직벽(물받이 끝돌림)을 깊이 1m 이상으로 축설하고 바닥보호공사·감세공사를 해야 한다. 바닥막이(帶工, Inter-stream grade stabilization structures)는 황폐한 계류바닥의 세굴을 방지 또는 억제하고, 계상의 안정을 유지하기 위하여 계류를 횡단하여 설치하는 계천(야계) 사방시설물로서, 주로 바닥막이와 바닥막이 공작물 사이의 계상기울기를 유지하기 위하여 시공한다<그림 3-1-6~7>.



<그림 3-1-7> 돌 바닥막이(찰쌓기)



<그림 3-1-8> 콘크리트 바닥막이

#### 마) 기슭막이

황폐 계천에서 유수에 의한 계안의 횡침식을 방지하고 산각의 안정을 도모하기 위하여 계류 흐름방향을 따라서 축설하는 계천 사방공중으로서 사용재료에 따라서 돌, 콘크리트, 콘크리트 블록, 돌망태, 바자, 페타이어, 통나무 기슭막이 등이 있다.

##### (1) 시공장소

유로의 만곡에 의하여 물의 충격을 받는 수충부(水衝部)나 요안(凹岸) 또는 붕괴 위험성이 있는 수로변

##### (2) 시공요령

침식이 심하고 유수의 충돌이 심한 곳에서는 돌, 콘크리트 블록기슭막이를 채택한다. 충분히 바닥파기를 하는 것이 원칙이나 바닥막이의 하부천단보다 다소 낮게 축설하는 것이 안전하며 비탈은 1 : 0.3~0.5로 한다. 계폭이 비교적 넓고 계안(溪岸)비탈이 완하여 유수가 적고 水位가 낮게 흐르는 개소는 1 : 1.0~1.5 정도의 비탈로 돌붙임기슭막이를 시공한다. 모래나 자갈 유출이 적은 소계류에서는 바자기슭막이를 산복공사 바자얹기에 준하여 시공한다. 기슭막이 기초부의 세굴을 피하여야 하며, 기슭막이 반대편의 계안에 새로운 세굴이 발생하지 않도록 주의해야 한다. 기슭막이 독마루 두께는 0.3~0.5m, 독마루 기울기는 원칙적으로 계획계상기울기에 일치하도록 한다. 기슭막이 높이는 계획홍수위(계획고수위) 이상으로 하여 홍수 시에도 넘치지 않도록 해야 한다. 일반적으로 계획홍수위보다 0.5~0.7m 높게 하며 계류 완곡부에서 요안(凹岸)은 철안(凸岸)에 비하여 수위가

상승하므로 높이를 더 높게 시공한다. 사방댐, 골막이 및 바닥막이의 상류에 계획하는 기슭막이 공작물의 마루(천단)는 댐, 골막이 및 바닥막이의 양 안쪽마루와 같은 높이로 하거나 또는 그 이상의 높이로 설정해야 하며 특히 계획기울기에 따라 상류부를 높게 해야 한다. 보호하는 구간의 전 길이에 적합하게 충분한 길이를 가져야 하며 공작물 양 끝의 접속부는 계안의 독 속으로 끼워 들도록 시공한다. 기슭막이 뒷채움 자갈의 두께는 0.3m 정도를 표준으로 한다. 기슭막이 기초의 『밑넣기(根入)』 깊이는 계획계상기울기, 계상의 상황 등을 고려해서 세굴되지 않는 안전한 깊이로 하여야 하며 유수에 의해서 세굴의 위험성이 있는 곳에서는 밑막이(根固工), 바닥막이(保床工), 수제(水制工) 등을 축설하여 피해를 방지하도록 하여야 한다.

밑막이는 현지의 상황에 따라서 捨石, 콘크리트, 콘크리트 블록, 沈床 등 가장 적당한 것을 채용하여야 하며 기슭막이 기초지반이 연약한 경우에는, 그 상황에 따라서 말뚝박기 공사 등으로 기초처리계획을 세워야 한다.

돌 기슭막이(Stone revetment) 축설시 돌쌓기의 기울기는 찰쌓기인 경우 1:0.3, 메쌓기의 경우는 1:0.5를 표준하며 메쌓기를 할 경우에는 돌쌓기한 틈으로 토사가 새어나오므로 충분한 뒷채움을 해야 한다.

콘크리트 기슭막이(Concrete revetment)는 독마루 두께 0.3m, 앞면기울기 1:0.3, 뒷면기울기는 토압에 따라 결정하지만 대개 수직으로 한다. 뒷채움 자갈의 두께는 0.3m( $m^2$ 당 0.2~0.3 $m^3$ )를, 물빠기 구멍은 지름을 3cm 정도로 하고 2~3 $m^2$ 에 1개소를 표준한다. 신축에 의한 균열은 방지하기 위하여 10m마다 伸縮줄눈(신축이음, Expansion joint)을 설치한다. 돌망태 기슭막이(Gabion revetment)의 기울기는 1:0.5이상으로 하며 낮은 기슭막이인 경우는 2단 또는 3단으로 쌓고 말뚝으로 고정하며 높은 경우에는 橫으로 쌓아 견고도를 높인다.

바자 기슭막이(Wicker revetment)는 계안을 따라 0.6~1.0m간격으로 길이 1.2m 정도의 말뚝을 단단히 박으며 지상 0.5m정도 되도록 나무설 등으로 바자를 엮고, 그 뒤에 흙을 채우며 필요한 부위에 떼를 붙여 견고도를 증강시킨다.

타이어 기슭막이(Tire revetment)는 터파기를 실시한 후 페타이어를 일렬(제1열)로 배열한 다음 막자갈 채움작업을 실시한다. 막자갈(직경10cm 내외) 채움작업시 능률을 높이기 위하여 타이어 안쪽 테두리에 고임돌을 세우고 채움작업을 한다. 제1열의 채움작업이 완료되면 타이어 뒷쪽에 되메우기를 제1열 선상까지 실시한 후 제2열 타이어 배열작업을 한다. 제2열 배열작업은 제1열과 어긋나도록 배열하고 설계계획 높이까지 제1열과 같은 작업순서로 반복 실시한다. 쌓기작업이 완료되면 타이어 열과 열 사이에 복토작업을 실



시하여 법면이 피복되도록 하면 효과적이다<그림 3-1-8~9>.



<그림 3-1-9> 돌기슭막이(철쌓기·流路工)

<그림 3-1-10> 돌기슭막이(메쌓기)

#### 바) 구곡막이

황폐 소계류(溝谷·Gully)를 가로질러 반수면(反水面) 만을 축조하며 개울 비탈을 완화시켜 수세(水勢)를 줄이므로 산각을 고정하고 토사유출 및 사면붕괴를 방지하기 위하여 시공하는 공작물이다. 사용재료에 따라서 돌, 흙(흄), 바자, 돌망태, 콘크리트 블록, 통나무 썰막이 등이 있다.

##### (1) 시공장소

계상(溪床)과 계안(溪岸)의 침식이 활발하고 토사유하량이 많은 장소

##### (2) 시공요령

바닥과기는 견지반까지 충분히 하여야 한다. 계류의 만곡부를 가능한 한 피하고 직선부에 설치한다. 축설 방향은 유심선에 직각이 되도록 한다. 계상 비탈이 급한 곳에서는 계통적으로 축설한다. 댐마루 부위(堤冠部)는 부득이한 경우 이외에는 방수로를 설치하지 않는 대신 중앙부를 낮게 반달꼴로 만든다. 쌓기 비탈은 대체적으로 3부로 하고 견고를 요하는 개소는 돌 또는 콘크리트로 설계 시공한다. 물받이는 막논돌로 하고 석재가 귀하고 떼 뜨기가 용이한 곳은 흙을 1.0~1.5할로 쌓아서 댐마루(堤冠)와 반수면에만 떼를 입히고 對水面은 토사로 채운다. 석재 또는 떼가 귀한 대신 편책재료가 풍부하고, 토층이

깊고 암반노출이 없는 곳에서는 산복공사 산엇기 요령에 의하여 바자골막이를 설치한다. 찰쌓기를 할 때에는  $m^2$ 당 1개 정도의 물구멍을 설치한다.

돌 골막이(Stone check dam)는 길이 4~5m, 높이 2m 이내로 축설하며 계상기울기가 급한 곳은 계통적으로 축설한다. 뒷채움은 댐마루까지 높이의 1/2에 해당하는 두께로 시공한다.

흙 골막이(Earth check dam)는 흙으로 구곡막이를 축설하고 댐마루의 반수면에 떼를 입혀 제체를 보호하며 규모가 크고 견고함을 요구할 때는 좋은 점토 또는 石灰二和土의 심벽(Impervious core wall)을 설치한다. 흙쌓기 비탈면의 표준기울기는 대수면과 반수면에서 다같이 1:1.5보다 완만하게 한다.

바자 골막이(Wicker check dam)는 통나무(직경 10cm내외)로 말뚝을 박고 버들, 사시나무, 기타 맹아력이 강한 지조(枝條)를 엮어서 만드는데 석재가 귀하고 습지로서 토심이 깊고 암반노출이 없는 지역에 축설한다.

통나무 골막이(Timber check dam)는 먼저 향목을(직경 6cm)을 3.6m 간격으로 계상(터파기 장소)에 상, 하 2줄을 놓은 다음 그 위에 종목(1m)을 60~70cm간격으로 놓은 후 결속선으로 단단히 묶는다. 종목과 횡목이 접하는 곳에 45°방향으로 기초말뚝(말뚝길이 1.8m)을 박은 후 구조도와 같이 중, 횡으로 쌓고 공간에 자갈, 돌흙으로 채운 다음 종목을 이용하여 방수로로 만든다<그림 3-1-10~11>.



<그림 3-1-11> 돌 골막이



<그림 3-1-12> 콘크리트 골막이

사) 론생마대

식생자루(植生袋, Vegetation sacks) 조공은 종자, 비료, 흙을 혼합하여 망이나 자루(길이

30cm, 나비 12cm, 두께 12cm 정도)에 채워서 사면에 일정한 간격으로 파 놓은 수평도랑에 퍼는 공법이다. 현장에서 망대(망자루)에 넣어서 사용하는 것과 공장에서 제조된 기성 제품이 있다. 녹화 효과가 대단히 양호하지만 비용이 많이 든다. 식생자루에는 베지타이(Vegitai), 녹화대(Green belt) 등이 있다.

#### 아) 목책

목책공사(斜面柵工)는 산지비탈 또는 계단위에 울짙(柵)을 설치하여 표토의 유실을 방지하고, 울짙뒷면에 퇴메우기를 해서 식재한 묘목의 생육에 양호한 환경조건을 조성하기 위하여 계획·시공하는 비탈안정공종으로 사용재료에 따라 목책(통나무, 판자), 콘크리트 판, 합성수지, 철망울짙업기와 각종 매트병용의 울짙업기가 있다.

##### (1) 시공장소

때 채취가 곤란하고 때 붙임으로 실효를 거둘 수 없는 지역, 토압이 적고 식생도입이 용이하며 토양조건이 양호한 지역으로 사용재료를 쉽게 얻을 수 있는 지역

##### (2) 시공요령

사면에 수평으로 0.5~1.0m 간격으로 말뚝을 박고 말뚝사이를 각종의 재료로 얹거나 조립하여 벽면을 구성하는데 일반적으로 울짙의 벽면높이는 0.5m 정도로 하고 말뚝의 길이는 울짙높이의 1.5~2.0배로 한다. 울짙(柵)에 사용하는 말뚝과 울짙벽재는 썩기 쉬운 재료를 사용하는 경우가 많으므로, 식생에 의해서 가급적 뒷면의 퇴 메우기 흙을 고정하고 계단위와 벽재의 사이에는 반드시 새류(초류)와 잡초포기를 심던가, 초류 종자를 파종하여야 한다. 말뚝을 박는 각도는 일반적으로 수직방향으로 하지만, 경사가 급한 비탈에서는 말뚝 아래의 흙의 두께가 충분히 말뚝을 지지할 수 없는 경우에는, 비탈의 수직 방향과 직각 방향과의 2등분선의 방향으로 박는다. 목책업기공사(木柵工)는 울짙벽재에 板材 또는 통나무를 사용하여, 벽재에 가해지는 토압을 말뚝으로 지지하는 것으로, 흙막이공사까지는 필요하지 않은 정도의 비탈 다듬기로 생긴 토사의 고정을 도모할 경우에 계획한다. 일반적으로 끝둥부리(末口) 지름 10cm, 길이 1~1.5m 정도의 말뚝을 대개 1m 간격으로 박고 그 안쪽에 판재(두께 3cm 정도) 또는 통나무(지름 10cm 정도, 길이 2.0m 정도)를 높이 50cm 정도로 나란히 놓고, 다시 퇴메우기 토사가 유출되지 않도록 쇠를 놓고 퇴메우기를 한다. 벽재에 통나무를 사용하는 것을 "통나무울짙업기공사(原木柵工)"<sup>\*)</sup>, 판재를 사용하는 것을 "판재울짙업기공사(板柵工)"<sup>\*)</sup>라 하며 간벌재 활용면에서 활용효과가 크게 기대된다.

## 2) 국외 문헌조사

현재 일본에서 사용하고 있는 환경친화적 공법은 간벌재를 이용한 목책댐, 나무편책공, 돌축대벽 등의 공법과 일부 선진국에서는 어도가 널리 이용되었으며, 른생마대, 소형간벌재, 돌망태 및 새로운 자재를 개발하여 사용하고 있었다<그림 3-1-12~19>.

### 가) 삼나무 판근공

#### (1) 규격, 구조

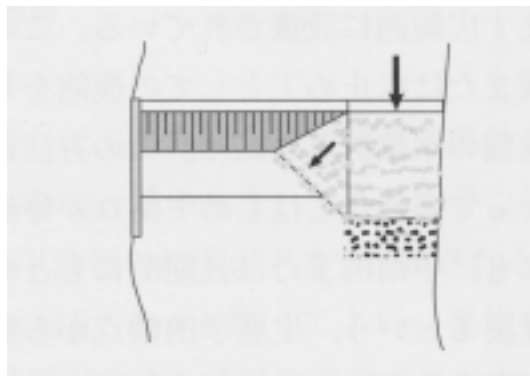
잔목(가로대)을 삼각형으로 조립, 앞면에 삼나무판 3장을 붙여 못으로 박은 제품이다. 삼나무판은 직경 30mm의 구멍을 뚫어 물이 빠져나갈 수 있도록 했다. 또, 이 물빠짐 구멍은 추후에 초본, 목본류가 자라기를 기대할 수 있다. 삼나무 판면의 구배는 1:0.3으로 설치된다. 삼나무판 뒷면의 잔목(가로대)는 삼나무 판 끝에서 10cm의 부분에 붙어 있다. 다소 늘어나는 결점이 있지만, 가볍고 시공이 간단하다.

#### (2) 사용장소

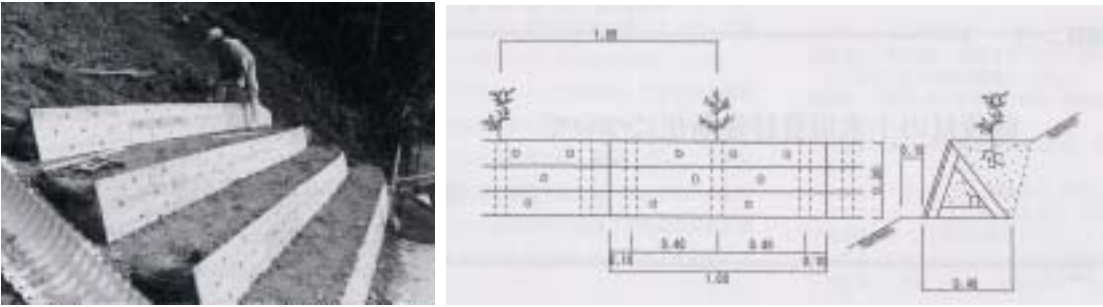
산복공사에 사용되는 것을 전제로 개발한 것이지만, 계간공사에 시공하는 경우가 많다 <그림 3-1-12~14>.



<그림 3-1-13> 물받이 있는 목책댐(일본)



<그림 3-1-14> 수로분할공



<그림 3-1-14> 板筋工 모습과 시공도

나) 간벌재 콘크리트 충전공

(1) 원목가공

약품주입이 불가능한 목재심부를 제거해 콘크리트를 충전한다. 심부의 제거는 체인톱 혹은 둥근톱 등에 의해 제거하고 나사로 통나무로 복원한다. 이때 나사는 심부로 나오도록 긴 재료를 사용하면, 콘크리트와 섞여 보다 효과적이다.

(2) 시공

이 내구성 목재를 사방구조물에 의해 잘려진 산책로의 계단에 이용하고 있다<그림 3-1-15~19>.



<그림 3-1-15> 간벌재 콘크리트 충전공과 시공 전경



<그림 3-1-16> 자연친화적 복구공법  
시공전경



<그림 3-1-17> 철망과 돌 이용



<그림 3-1-18> 돌과 간벌재를 이용한  
모습



<그림 3-1-19> 른생마대

나. 친환경적 사방구조물(산지사면) 실연 및 효과조사

산불피해지의 산지사면에 사방구조물을 설치하여 토사안정 효과를 조사하기 위하여 삼척 국유림관리소 관내 실연지에 시험지를 선정하였다. 시험규모는 각 공종별 10m×15m로 <그림 3-1-20> 과 같이 피해목 잔존구, 피해목 제거구 등 대조구와 일반조림, 종자뿌여 붙이기, 전면파종, 산돌쌓기, 불탄나무 편책공, 선폐붙이기, 녹색마대공, 토양안정제 처리 등 10개의 시험구를 조성하였다 <그림 3-1-20~21> .



<그림 3-1-20> 산지사면의 사방구조물 설치도



<그림 3-1-21> 현지 시험구 간판

피해목 잔존구와 제거구는 대조구로서 산불피해목을 벌채하지 않고 방치한 곳과 벌채한

시험구이며, 일반조림 시험구에는 소나무를 조림하였다. 종자뿌어붙이기는 비탈경사가 급하고 대면적으로 조기에 전면녹화를 하기 위한 공법으로 본 시험구에서는 종자, 비료, 전착제와 양생제를 기계로 뿌어 붙이기를 시공하였으며 전면과중시험구에는 참나무 종자를 파종하였다. 또한 산돌쌓기는 야면석을 이용해 산비탈이나 산각부에 토사붕괴 방지를 위해 시공하는 공작물로서 본 시험구에는 길이 10m, 높이 0.38m, 계단폭 0.70m, 단절고 0.49m( $35^\circ \tan H \times 0.7$ ), 천단폭 0.50m 규모의 메쌓기로 시공하였다. 불탄나무 편책공은 일반 편책공을 응용한 것으로 산불피해지의 벌채목을 활용하였으며, 계단폭 0.60m, 단절고 0.42m, 천단폭 0.40m 규모로 시공하였다. 선폐붙이기는 비탈면을 일정한 기울기로 유지하며 보호, 녹화를 위해 잔디를 사면에 붙여 시공하는 공법으로 계단폭 0.60m, 단절고 0.42m( $35^\circ \tan H \times 0.60$ ), 천단폭 0.40m 규모로 시공하였다. 녹색마대공은 종자, 비료 흙을 혼합하여 띠모양의 포나 종이로 만든 것으로 식생의 침입을 용이하게 하는 공법으로 계단폭 0.60m, 단절고 0.42m ( $35^\circ \times \tan \times 0.60m$ ) 규모로 시공하였다<그림 3-1-22~27>.



<그림 3-1-22> 피해목 잔존구 전경



<그림 3-1-23> 산돌쌓기 시험구 전경



<그림 3-1-24> 녹색마대 시험구 전경



<그림 3-1-25> 불탄나무 편책공 시험구 전경





<그림 3-1-26> 줄때 붙이기 시험구 시공 광경 <그림 3-1-27> 종자 뽐어 붙이기 시험구 전경

#### 다. 친환경적 사방구조물(산지계류) 현지적용

##### 1) 친환경적 구곡막이

토사유출 시험구에서 임도를 따라 산 하부로 약 400m에 위치하는 계곡부에 돌망태 구곡막이 및 통나무 구곡막이를 설치하였다. 본 장소는 <그림3-1-28, 29>에서 보는 바와 같이 상부유역이 산불피해를 받은 곳으로 다량이 토사유출이 예상되는 지역이며, 구조물 설치에 적합한 유역조건을 갖추고 있다. 상류의 두개의 계곡 합류지점 바로 하류에 돌망태 구곡막이를 설치하였고(161-가 임반) 보다 하류의 임도에서 약 50m 상부지점에 통나무 구곡막이를 설치하였다(162-나 임반).

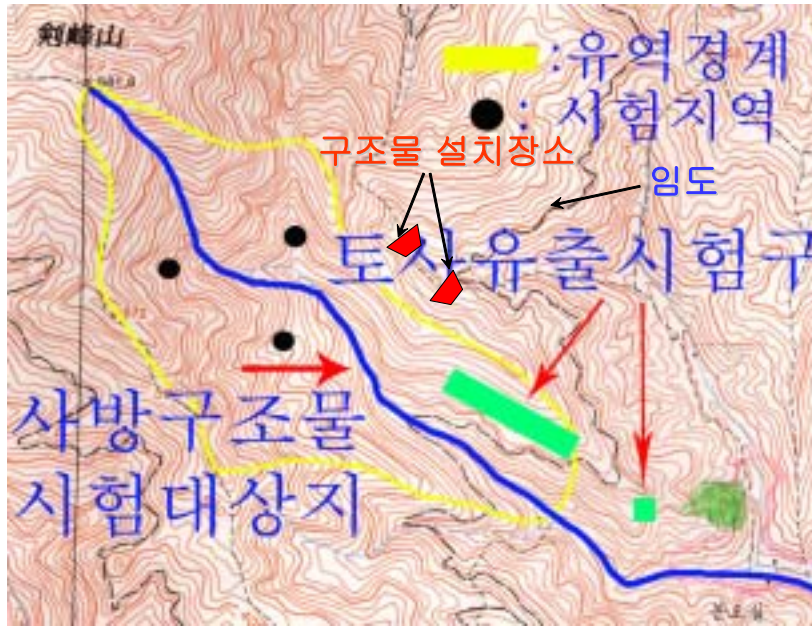
본 구조물은 친 자연소재인 돌, 통나무를 사용하여 산지 및 계류에서 발생하는 토사유출을 억제하여 하류의 피해를 최소화하기 위한 구조물이다 <그림 3-1-28~30> .



<그림 3-1-28> 유역 전경



<그림 3-1-29> 상부 유역

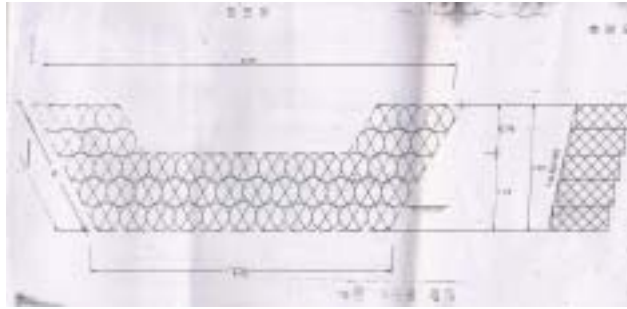


<그림 3-1-30> 토사유출시험구 및 구곡막이 설치 위치도

각 구조물의 설계도면, 설계수량 및 설치현황은 아래의 표와 그림과 같다 <표 3-1-1~2 및 그림 3-1-31~36> .

<표 3-1-1> 돌망태 골막이 설계수량

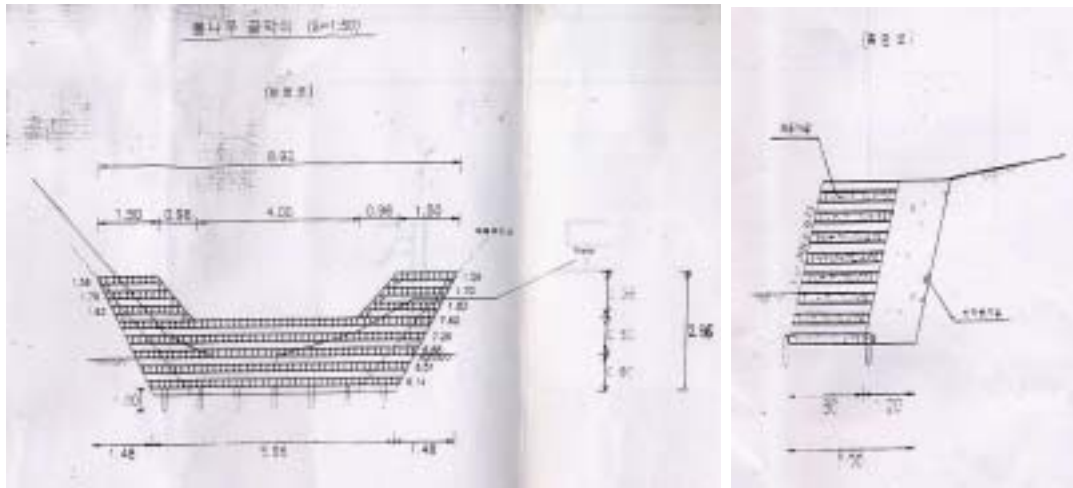
공종	규격	단위	산출근거	수량
원형돌망태	#8번선 0.45×0.45×1.0	조	11+12+13+6+6	48
조약돌		m <sup>3</sup>	0.45×1.00×48조×0.29m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	6.26
바닥파기	양귀	m <sup>3</sup>	2.11×0.50×(1.0+0.20여유)×2(양안)	2.53
	바닥		(3.95+4.42)/2×0.50×(1.0+0.20여유)	2.51
	계			5.04



<그림 3-1-31> 돌망태 골막이 설계도면

<표 3-1-2> 통나무 골막이 설계수량

명칭	규격	단위	산출근거	수량
횡목	Ø16	m <sup>3</sup>	○ (6.14+6.51+6.88+7.25+7.62+3.66+3.40+3.12)×2=89.16m ○ 말구자승법 적용: 0.16×0.16×89.16m=2.28m	2.28
종목	Ø16	m <sup>3</sup>	○ (6.14+6.51+6.88+7.25+7.62+3.66+3.40+3.12)=44.58m 44.58÷0.16=278.62개소×1.80m=501.51m ○ 말구자승법 적용: 0.16×0.16×501.51m=12.83m	12.83
철선	#8	kg	44.58÷0.16=278.62개소 278.62개소×0.50m/개소×2÷10.10m/kg=27.58kg	27.58
못 (어니얼링)	N90	kg	278.62개소×2×50g/개소=27.86kg	27.86
채움자갈	막자갈	m <sup>3</sup>	○ 통나무 채움자갈 44.58m×1.80m×0.16m=12.83m <sup>3</sup> ○ 뒷채움 자갈 (5.96+7.62)/2×1.60×1.20=13.03 계 - 25.86m <sup>3</sup>	25.86
터파기	인력	m <sup>3</sup>	바닥 0.80×(5.96+1.00)×3.00=16.70 양귀 1.00×3.00×1.80×2=10.80	27.50



<그림 3-1-32> 통나무 골막이 설계도면



<그림 3-1-33> 돌망태 골막이(골막이하부)

<그림 3-1-34> 돌망태 골막이(골막이 상부)



<그림 3-1-35> 통나무 골막이(골막이 하부)

<그림 3-1-36> 통나무 골막이(골막이 상부)

## 2) 어도일체형 사방댐

상기 언급한 구곡막이 이외에 일반적으로 토석 및 유목유출이 예상되는 계류에 대형 사방공작물인 사방댐을 계획하여 설치하고 있다. 하지만, 사방댐은 콘크리트 사방댐이 일반적이거나 최근에 사방댐이 계류를 막아 계류생태계에 막대한 영향을 미치고 있다는 지적이 대두되고 있다. 따라서 본 연구에서는 사방댐 본래의 기능을 수행함과 동시에 상류에서 하류로의 유수의 흐름을 원활히 하고 어류가 하류에서 상류로 자유로이 이동할 수 있는 어도 일체형 사방댐을 계획하여 설치하였다.

설치장소는 강원도 삼척시 근덕면 동막리 산 76-가 임반(그림 참조)이며 본 사방댐의 특징은 다음과 같다.

- 산지가 급하며 상시천인 지역에 오스트리아에 시공된 사방댐의 형태를 개량 도입하려는 것임.
- 계류생물 통로 설치로 콘크리트 중력식 사방댐 보다 안정성에서 취약하므로 기초부분에 철근을 넣고 측부의 설계 및 시공에 유의해야 함.
- 콘크리트 사방댐임에도 하부에 직사각형 구멍 (길이는 방수로 하장의 길이와 동일하게, 높이는 계류의 안정구배[2~3%]인 경우 50cm, 안정구배보다 경사가 심한 경우 60~70cm 정도)을 뚫어 계류생물 및 어류가 자유로이 왕래할 수 있는 환경친화적 구조물임.
- 어도로 토석이 유입될 때 어도 주변의 부분파손이 우려되므로 철근 프레임을 넣어 보호하여야 함.
- 어도 상류 2~3m 지점에 철근콘크리트 타원형 Slit(콘크리트 타원형 단면크기 50×70cm, 지상부 길이 1m, 깊이는 전도되지 않도록 원지반에 기초, 간격 50cm)를 어도가 폐쇄되지 않도록 배치·설치하여 유목 및 대형 토석을 차단
- 방수로 하단에 본체 일체형 물넘이구조물을 시공하여 방수로 유출시 댐의 반수면을 보호하도록 함.
- 단순한 구조개량이면서도 계류생물 및 어류의 통로가 되로 환경친화적임.
- 구조가 단순하여 평시 어도 폐쇄의 경우에도 손쉽게 정리
- 방수로에 설치된 안내구조는 홍수시 방수로로 유출되는 경우 반수면을 보호하고 미적요소가 가미.
- 홍수 이후 만사시 어도의 기능이 상실하며, 준설의 경우 Slit로 인하여 작업이 난이할 것으로 판단됨.

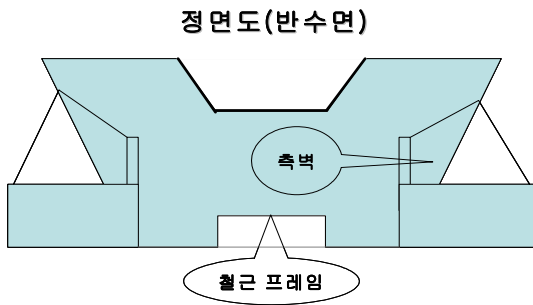
어도일체형 사방댐의 시공사례(오스트리아)를 <그림 3-1-37>에 나타내었으며, <그림 3-1-38>에 설치장소의 위치도를 나타내었다. 또한 <그림 3-1-39>에는 간이설계도를 나타내었다.



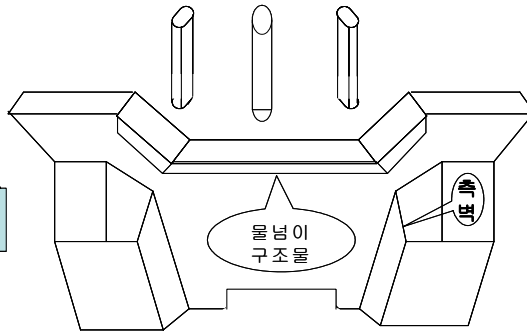
<그림 3-1-37> 어도일체형 사방댐 시공사례



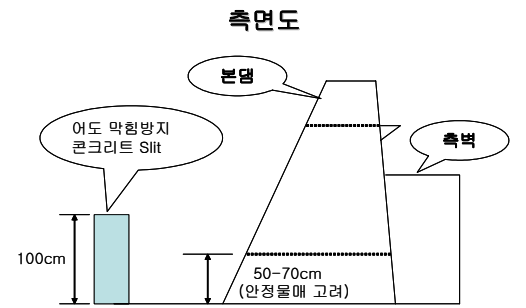
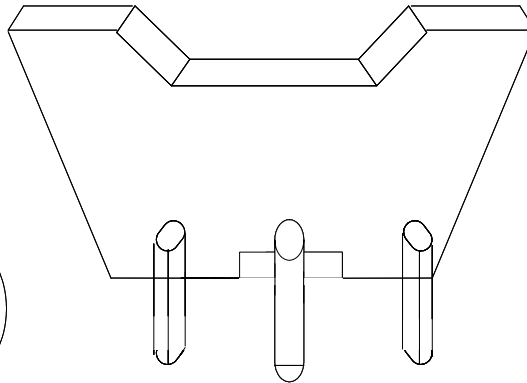
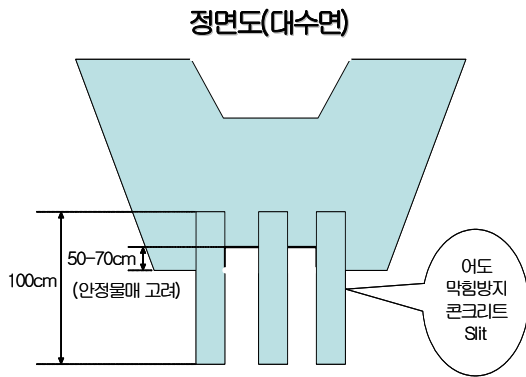
<그림 3-1-38> 어도일체형 사방댐 위치도



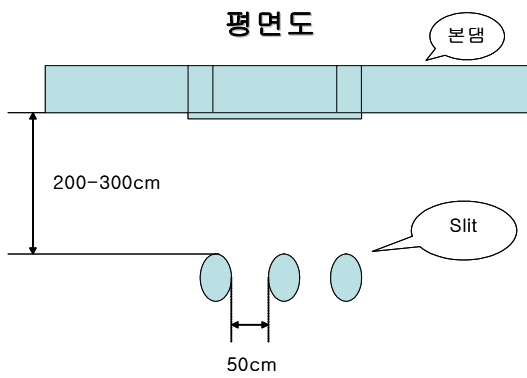
- 댐 하부에 어도(철근 프레임 부착)를 설치
- 반수면 양측면에 측벽을 만들고 토사로 채워 넣음



- 댐 대수면 방수로 측에 물넘이 구조물 설치



- 댐 대수면에 약 2-3m 간격을 두고 어도 막힘방지 콘크리트 Slit를 시공
- Slit는 방수로 너비를 고려하여 중앙부에 설치되도록 일정간격으로 시공



<그림 3-1-39> 어도일체형 사방댐 간이설계도

가) 시공 상황

- 사방댐 시공을 위한 진입로 개설 <그림 3-1-40~41>
- 양쪽 계안을 기반암까지 터파기 굴착 <그림 3-1-42~43>



<그림 3-1-40> 진입로 개설



<그림 3-1-41> 진입로 개설 및 댐 시공위치



<그림 3-1-42> 계류 양안의 터파기한 모습



<그림 3-1-43> 임도 성토면에 터파기 모습

2) 링네트

계류의 토석 및 유목에 의한 피해를 최소화하기 위한 방법으로 어도일체형 사방댐 이외에 친환경적 사방구조물로 링네트를 계획하여 설치하였다. 링네트 또한 사방댐과 같이 토석 및 유목을 저지함과 동시에 상류에서 하류로의 유수의 흐름을 원활히 하고 어류가 하류에서 상류로 자유로이 이동할 수 있는 구조물이다. 즉, 와이어로프와 앵커를 이용하여 토석류 피해를 방지하는 시설로서 <그림 3-1-44~45>은 외국의 링네트 시공사례를 보여주고 있다.

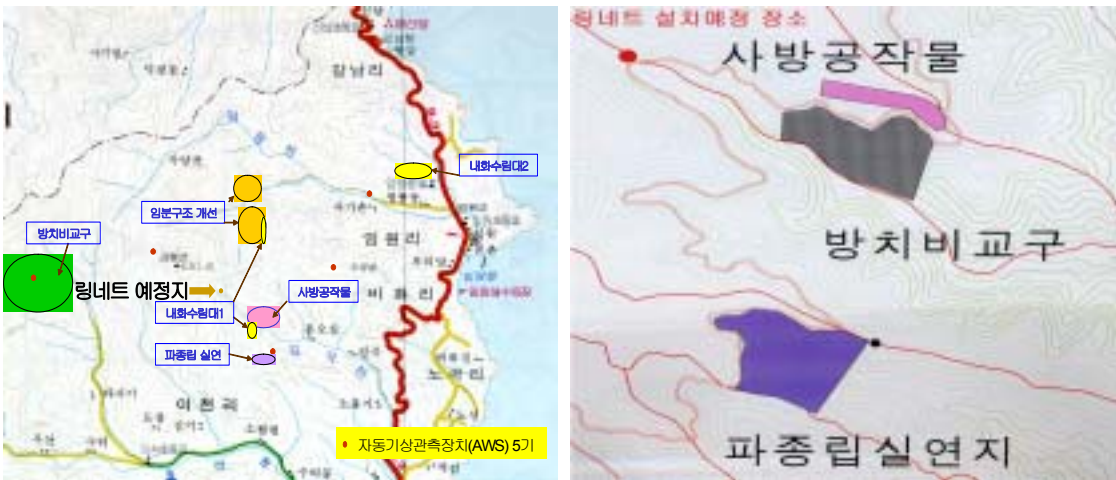




<그림 3-1-44> 링네트에 토석이 저류된 상태 <그림 3-1-45> 링네트에 유목이 저류된 상태

본 구조물은 강원도 삼척시 원덕읍 노곡리 분오실 161임반에 설치하였으며<그림 3-1-46>, 링네트의 특징은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 유석과 유목 등 부유물은 저류되고 물은 빠져나가는 투과형 구조
- 구조물 설치시 반드시 필요한 하상굴착이 필요없는 친환경적 공법
- 유연성이 좋아 충격에너지 흡수에 유리
- 조립식 구조물이기 때문에 퇴적된 토사 쉽게 제거
- 공기가 짧고 설치가 용이하며 사방댐보다 경제적 공법



<그림 3-1-46> 링네트 설치 위치도

링네트 상류상태는 약 상류 160m 지점에 취수보가 설치되어 있으나, 현재 만사상태이며 <그림 3-1-47, 48>, 취수보와 링네트 사이 계류구간에 많은 토석 및 유목이 쌓여 여름철 집중호우 시 토석류가 발생할 가능성이 높은 지역이다<그림 3-1-49~50>.



<그림 3-1-47> 삼척시에서 시공한 취수보



<그림 3-1-48> 대수면상 퇴적상태



<그림 3-1-49> 계류에 토석이 쌓인 모습



<그림 3-1-50> 계류에 토석 및 유목이 쌓인 모습

#### 가) 설치작업 및 내용

##### (1) 지주 및 로프 고정

- 기반암인지 아닌지를 확인하기 위하여 계상을 포클레인으로 굴착
- 양쪽 지주는 기반암에 단단히 고정하고 시멘트 그라우팅<그림 3-1-51~52>
- 지주와 지면관은 국산화하고 나머지는 전량 수입



<그림 3-1-51> 링네트 지주 설치상황



<그림 3-1-52> 지주하부를 시멘트 그라우팅한 모습

- 지주간격은 설계대로 6m이며 양쪽으로 네트를 펼쳐 너비 10m로 시공
- 지주 양쪽에 4개의 지지로프(상부 사면 와이어로프 1, 측면 와이어로프 2, 하부 와이어로프 1)를 사용하여 지주보호<그림 3-1-53>
- 자체 개발한 인발시험기를 이용하여 고정 후 앵커의 인발강도 측정<그림 3-1-54>



<그림 3-1-53> 사면 와이어로프 고정상태



<그림 3-1-54> 자체 개발 인발시험기

- 공사중 하부 지지로프 앵커장소를 기반이 약한 지역에서 견고한 기반암 지역<그림 3-1-55>으로 옮김.
- 이상의 절차를 통해 최종적으로 완성된 링네트 전경<그림 3-1-56>



<그림 3-1-55> 견고한 기반암 지역

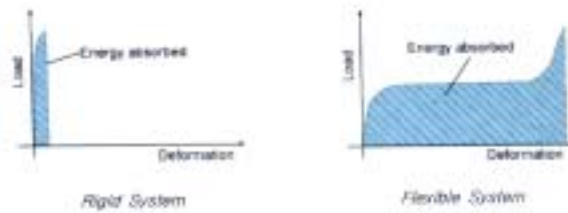


<그림 3-1-56> 완공 후의 링네트

(2) 사용자재 : 30년 지속후 서서히 부식 가능

- 지주 : H빔으로 철강 아연도금
- 링 : 알루미늄 아연 합금 (RX75 7선 사용)
- 샤클 : 독일공업규격에 맞게 제작한 특수강
- 로프 : 강선 아연도금
- 망 : 스테인리스 (해풍으로 인하여 빨리 부식 우려)

링네트의 원리는 <그림 3-1-57>과 같이 토석류 충격이 링네트의 변형을 통하여 충격에너지를 상쇄시킴으로서 토석을 포착하게 된다.



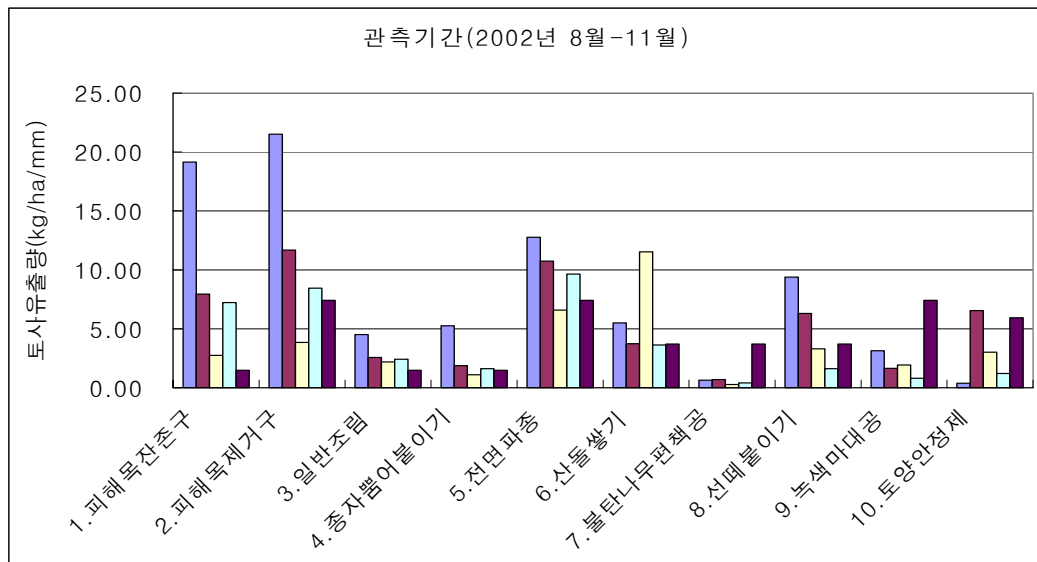
(그림 3) 유연성 방호책의 작동 메카니즘 (II)

<그림 3-1-57> 강성구조물과 연성구조물에 있어서의 하중-변위 특성

## 2. 현장실연 및 적용체계 구축

### 가. 사방구조물(산지사면) 실연 및 효과

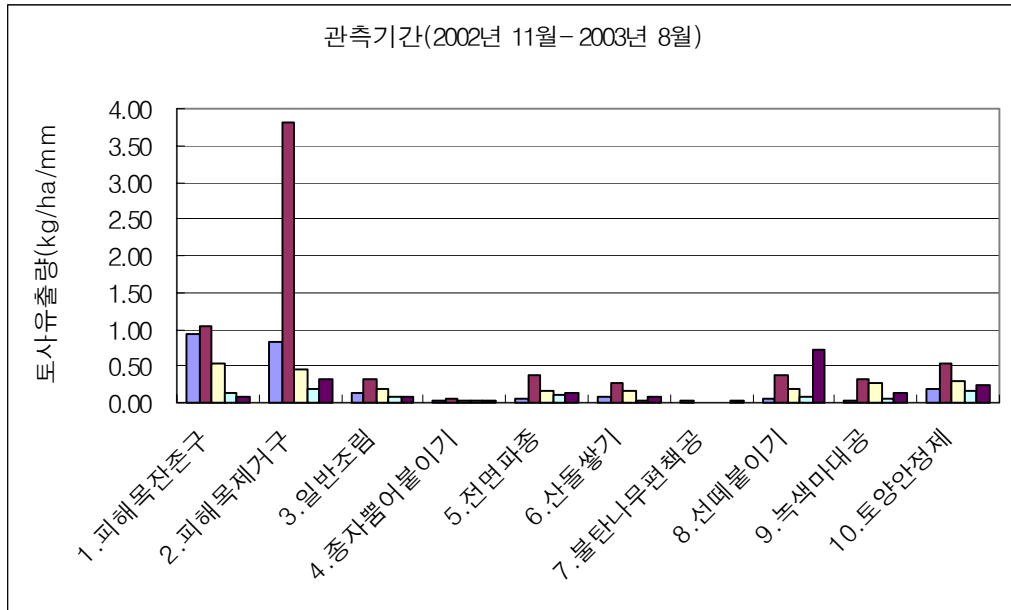
토사안정제 처리는 2002년 7월에 처리하였으며, 7월 이후부터 본격적으로 각 시험구별 토사유출량을 조사하였다. 2002년 4차례, 2003년 3차례 총 7차례 토사유출량을 기간별로 조사하였으며, 그 결과 2002년의 경우 토사유출량은 강우량에 따라 차이가 심하고 11월 9일 까지 기간 시험구별 강우 1mm를 기준으로 하여 ha당 토사유출량으로 환산하면 피해목 제거구 (10.6kg/ha/mm), 전면파종 (9.4kg/ha/mm), 피해목 잔존구 (7.7kg/ha/mm), 산돌쌓기 (5.6kg/ha/mm), 선폐붙이기 (4.9kg/ha/mm), 토양안정제 (3.4kg/ha/mm), 녹색마대공 (3.0kg/ha/mm), 일반조립(2.6kg/ha/mm), 종자뿔어붙이기(2.3kg/ha/mm), 불탄나무편책공(1.1kg/ha/mm)로 높게 나타났다<그림 3-1-58>.



<그림 3-1-58> 처리별 시험구 토사유출량(2002. 8~11)

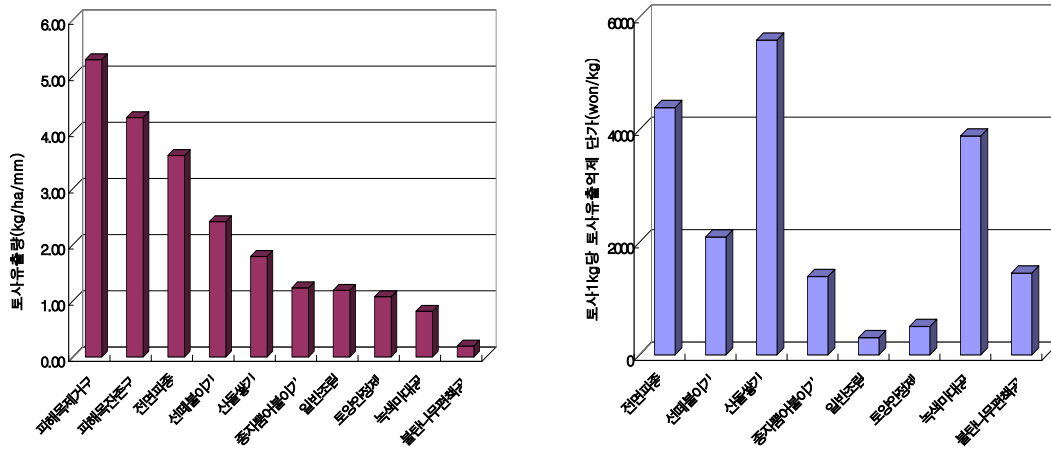
2003년 조사결과에 따르면 피해목제거구(1.12kg/ha/mm), 피해목잔존구(0.54kg/ha/mm), 토양안정제(0.29kg/ha/mm), 선폐붙이기 (0.29kg/ha/mm), 전면파종 (0.17kg/ha/mm), 녹색마대공 (0.17kg/ha/mm), 일반조립(0.16kg/ha/mm), 산돌쌓기 (0.12kg/ha/mm), 종자뿔어붙이기(0.04kg/ha/mm), 불탄나무 편책공(0.01kg/ha/mm)로 높게 나타났다. 총 조사기간의

구조물별 토사유출량은 피해목 제거구 (5.29kg/ha/mm), 피해목 잔존구 (4.26kg/ha/mm), 전면파종 (3.59kg/ha/mm), 선풍불이기 (2.41kg/ha/mm), 산돌쌓기 (1.79kg/ha/mm), 종자 뽑어붙이기(1.23kg/ha/mm), 일반조림(1.19kg/ha/mm), 토양안정제 (1.07kg/ha/mm), 녹색 마대공 (0.81kg/ha/mm), 불탄나무 편책공(0.20kg/ha/mm)순으로 높게 나타나, 불탄나무 편책공, 녹색마대공, 토양안정제 등이 토사유출억제 효과가 큰 것으로 나타났다<그림 3-1-59>.



<그림 3-1-59> 처리별 시험구 토사유출량(2002.11~2003.8)

또한 각 조사년도별 토사유출량 총량을 평균하면 2002년 5.06kg/ha/mm, 2003년 0.29kg/ha/mm로 크게 감소하였으며, 2004년에는 2003년에 다소 증가한 0.31kg/ha/mm로 나타났다. 각 구조물의 효과를 시공단가별로 구분하기 위하여 토사 1kg 저지 구조물 시공 단가를 비교한 결과, <그림 3-1-60>과 <표 3-1-3>과 같이 산돌쌓기 > 전면파종 > 녹색마대공 > 선풍불이기 > 불탄나무 편책공 > 종자 뽑어 붙이기 > 토양안정처리 > 일반조림 순으로 단가가 높은 것으로 나타나 일반조림, 토양안정처리, 종자 뽑어 붙이기 처리 시험구에서 토사저지효과가 우수한 것으로 나타났다.



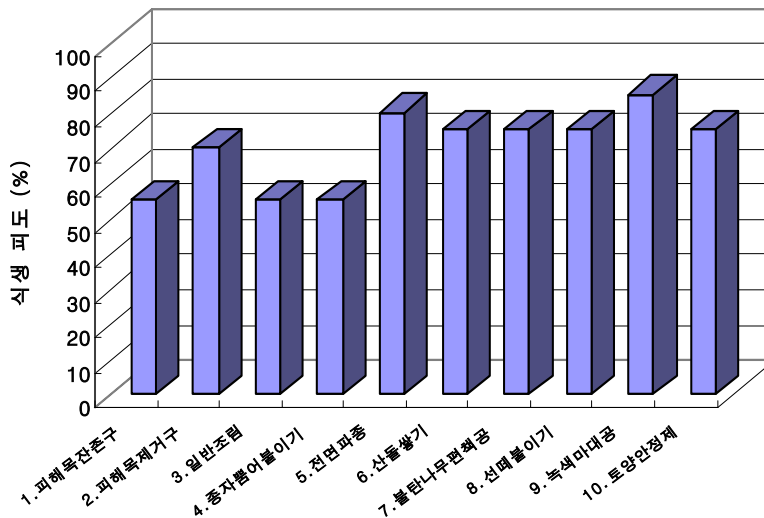
<그림 3-1-60> 구조물별 토사유출억제 기능 및 시공단가

<표 3-1-3> 구조물별 ha당 시공단가, 토사1kg당 시공단가, 토사저지율에 따른 ha당 시공단가

구조물 시공단가	전면파종	산돌 쌓기	산돌 쌓기	산돌 쌓기	토양 안정제	녹색 마대공	일반 조림	중자뽀어 쌓이기	불탄나무 편책공
won/ha	25,221,080	65,963,080	20,313,080	7,173,080	58,639,747	4,233,007	19,023,080	24,950,000	
won/kg	4,396	5,597	2,094	505	3,892	306	1,392	1,455	
토사100% 저지 won/ha	78,271,812	99,651,754	37,287,655	8,998,783	69,293,971	5,455,717	24,787,087	25,908,533	
토사50% 저지 won/ha	39,135,906	49,825,877	18,643,827	4,499,392	34,646,985	2,727,858	12,393,544	12,954,267	

특히, <표 3-1-3>에서 구조물별 ha당 시공단가는 구조물 시험지에 시공단가를 나타낸 것이며, 토사 1kg당 시공단가는 토사 1kg을 저지하는데 드는 구조물의 시공단가를 나타낸 것이다. 따라서, 각 구조물이 토사를 저지하는데 필요한 ha당 단가는 토사를 어느 만큼 저지시킬 것인가에 의해 결정되어야 한다. 즉, 구조물을 설치하지 않은 피해목 제거구의 경우 토사유출량은 ha당 17,803kg을 생산하고 있으므로 이 토사를 100%저지시키기 위해서는 피해목제거구의 토사유출량과 각 구조물의 1kg당 시공단가를 곱하여 나타낼 수 있다. <표 3-1-3>의 토사 100%저지의 경우와 50%저지의 경우는 각각의 구조물을

설치하여 산불피해지의 토사유출을 저지하고자 하는 경우의 시공단가를 나타낸 것이다. 토사유출량과 식생피도와와의 관계를 구명하기 위해 각 시험구별 식생 피도를 조사한 결과 <그림 3-1-61>와 같이 피해목 잔존구, 일반조림, 종자뿌어 붙이기 시험구에서 약 50%정도이고 다른 시험구는 70%이상으로 나타나, 사방구조물 시공지는 피도와 토사유출량과의 관련이 적고 상대적으로 구조물의 효과가 피도의 효과보다 뛰어난 것으로 판단되었다.



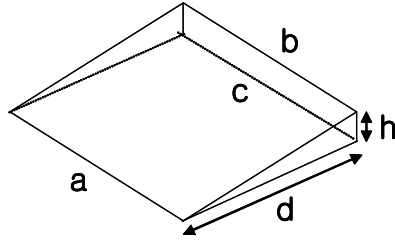
<그림 3-1-61> 시험구별 식생피도(%)

나. 사방구조물(계류)구조물 실연 및 효과

통나무 및 돌망태 구곡막이의 효과는 설치 후 토사의 퇴적량으로 그 효과를 구명하였으며, 토사퇴적량은 <그림 3-1-62>와 같이 댐에 저사된 토사를 측량으로 체적을 아래의 식을 이용하여 측정, 계산하였다. 측정결과 통나무 구곡막이의 저류토사는 <표 3-1-4, 5>과 같이 24.9m<sup>3</sup>이었으며, 돌망태 구곡막이는 33.5m<sup>3</sup> 이었다.



$$V=1/6dh(a+b+c)$$



<그림 3-1-62> 댐 퇴사 토사량 체적

<표 3-1-4> 통나무 구곡막이 토사량 측정표

구분	a(cm)	b(cm)	c(cm)	d(cm)	h(cm)	경사(°)	체적(m <sup>3</sup> )
1차	330	390	270	780	105	2	18.2
2차	180	330	240	1450	36.7	2	6.7

<표 3-1-5> 돌망태 구곡막이 토사량 측정표

구분	a(cm)	b(cm)	c(cm)	d(cm)	h(cm)	경사(°)	체적(m <sup>3</sup> )
1차	400	382	280	1,950	97	4	33.5

#### 다. 사방구조물 배치 및 설치효과의 시뮬레이션화

산불피해지의 신속한 토사재해 방지 및 복구를 위해 GIS를 이용한 친자연적 사방구조물 적지선정 체계 확립을 통해 과학적인 사방기술의 적용을 시도하였다. 이를 위해 사방구조물 적지선정 모델 작성하여 사방구조물 적지분포도의 작성과 적지별 토사유출 및 구조물 규모 예측 모델을 만들고 동시에 사방구조물 적지선정을 위한 자연환경인자별 GIS 자료 구축을 통한 사방구조물 적지분포지도를 작성하고자 하였다.

토사유출량 모델은 RUSLE식을 적용하여 대상지역내의 토사유출량 예측 모델을 작성하였으며, 적용된 각 계수 값은 다음과 같이 적용하였다. 또한 본 보고서에서 사용되어진 값들은 국립방재연구소(1998)에서 보고된 보고서를 참고로 하였다.

1) 강우침식인자(R)

토양침식량과 강우인자간의 상관관계를 검토하여 R값은  $EI_{30}$  지수로 알려진 강우에너지와 최대 30분 강우강도의 곱을 100으로 나눈 값으로 산정하였다. <표 3-1-6>에는 강우침식인자의 지역별 값을 나타내었다.

$$R = (\sum EI_{30}) / 100$$

E : 강우 총에너지,  $I_{30}$  : 30분 강우강도

<표 3-1-6> 강우침식인자(R)

관측소 번호	관측소명	자료기간	R
108	서울	1969-1978	593
119	수원	1964-1980	557
100	대관령	1971-1980	269
133	대전	1969-1980	490
278	의성	1971-1979	293
260	장흥	1971-1979	554
189	서귀포	1962-1979	636
...	...	...	...

2) 토양침식인자(K)

토양침식인자(K)는 <표 3-1-7>에 나타낸 바와 같이 토양의 입경 분포와 토양 구조, 투수성 등을 고려하여 다음 식에 의해 구하였다.

$$K = \{ 2.1 \times 10^{-4} (12 - OM) M^{1.14} + 3.25(S - 2) + 2.5(P - 3) \} / 100$$

OM : 함유유기물의 백분율, M : 토입자의 비율, S : 토양의 구조지수, P : 투수지수

<표 3-1-7> 토양침식인자(K)

토양통	모래입자 (>2mm이상)	Silt이상 (>0.002mm)	Clay (<0.002mm)	유기물 함량 (%)	K
이천	8.0%	67.5%	24.5%	3.07	0.42
춘천	57.4%	32.8%	9.8%	1.71	0.26
옥천	42.8%	43.4%	14.8%	2.29	0.31
영동	73.7%	16.6%	9.7%	1.62	0.12
예천	41.3%	48.1%	10.6%	1.46	0.39
여수	6.4%	65.5%	28.1%	3.19	0.38
...	...	...	...	...	...

3) LS(지형침식인자)

$$: \left( \frac{FlowAccumulation \times CellSize}{22.13} \right)^{0.4} \times \left( \sin \left( \frac{Slope}{0.0896} \right) \right)^{1.3}$$

- 위 식은 Moore and Burch(1996 and 1986)
- 최대경사거리 : 150m 적용사면길이(L)

4) 임상피복인자(C)

임상피복인자는 <표 3-1-8>를 이용하였다.

<표 3-1-8> 임상피복인자(C)

대 분류	중 분류	C
교란되지 않은 산림지역	100-75%수관밀도	0.0001-0.001
	75-20%수관밀도	0.003-0.009
방목지 ( 0%수관, 80%지피식물)	잔디	0.013
	잡초	0.043
방목지 ( 50%잡목, 80%지피식물)	잔디	0.012
...	...	...

5) 토양보전행위인자(P)

$$P = P_c P_{st} P_{ter}$$

$P_c$  : 등고선 종속인자,  $P_{st}$  : 대상재배인자  $P_{ter}$ :단구효과인자

이상의 식을 이용하여 적용된 각 계수 값은 아래와 같다.

R(강우침식인자) : 215 - 관측소별 강우침식 인자 표 참조

K(토양침식인자) : 0.33 - 건교부/건기연(1992)에서 제시한 한국 전역의 토양통별 K값 적용

LS(지형침식인자):

$$\left( \frac{FlowAccumulation \times CellSize}{22.13} \right)^{0.4} \times \left( \sin\left( \frac{Slope}{0.0896} \right) \right)^{1.3}$$

- 위 식은 Moore and Burch(1996 and 1986)

- 최대경사거리 : 150m 적용

C(토지피복인자) : 0.36 - Haan(1994)의 표 참조

P(토양보전 대책인자) : 1

LS(지형침식인자) :

$$\left( \frac{FlowAccumulation \times CellSize}{22.13} \right)^{0.4} \times \left( \sin\left( \frac{Slope}{0.0896} \right) \right)^{1.3}$$

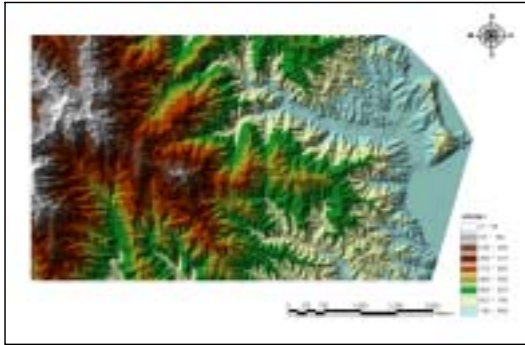
- 위 식은 Moore and Burch(1996 and 1986)

- 최대경사거리 : 150m 적용

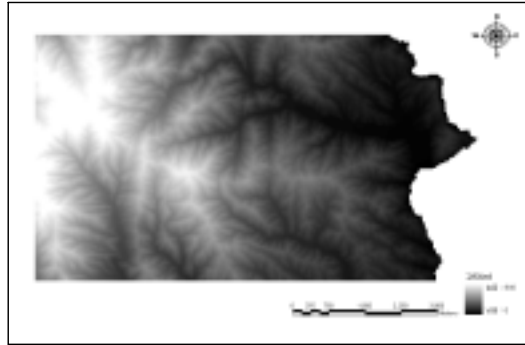
C(토지피복인자) : 0.36 - Haan(1994)의 표 참조

P(토양보전 대책인자) : 1

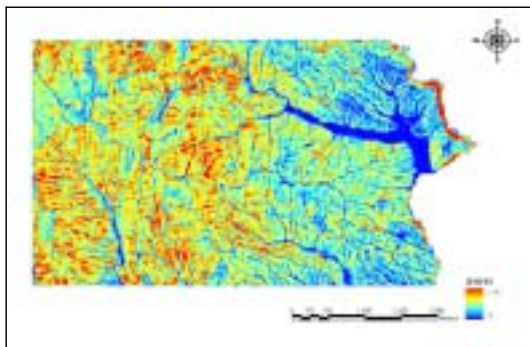
또한, 수치지형도 1:5,000 14도엽을 사용하여 작성된 모델로 상기 계수값을 적용하여 토사유출량을 계산하는 일련의 과정을 <그림 3-1-63>에 나타내었다. 본 결과를 이용해 사방구조물의 배치 시스템을 작성하였다.



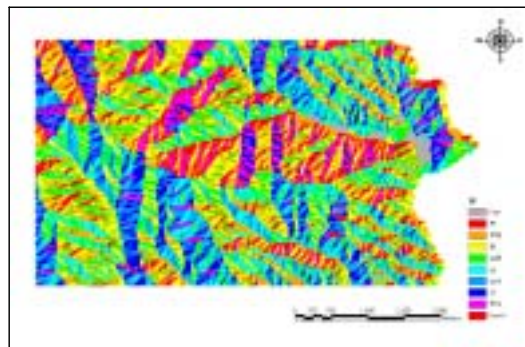
TIN 도면



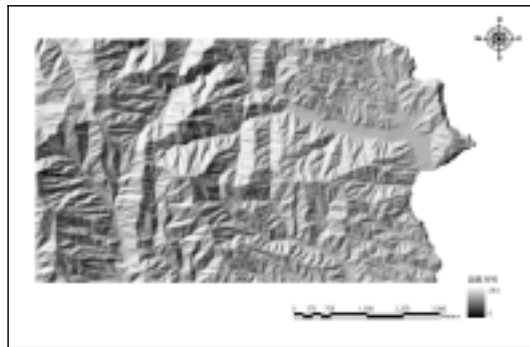
DEM 도면



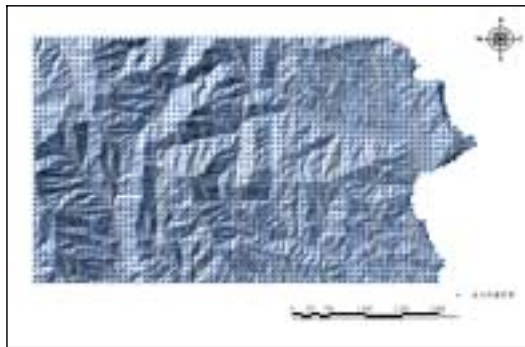
경사도 분석도



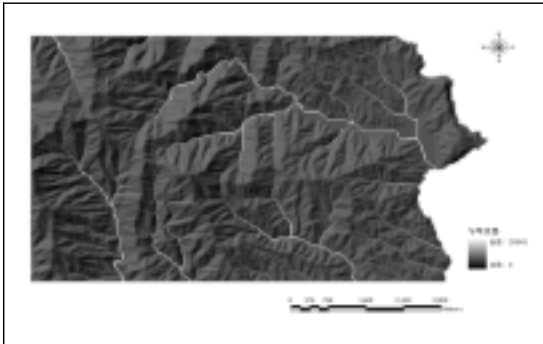
사면향 분석도



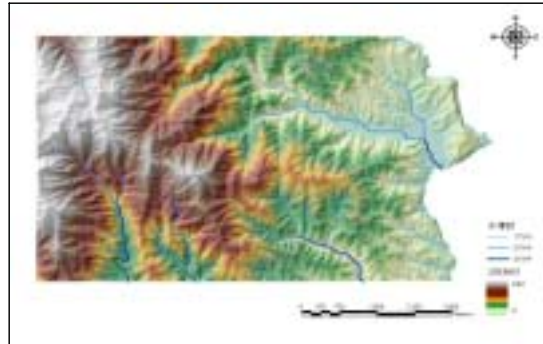
음영기복도



토사유출 방향도



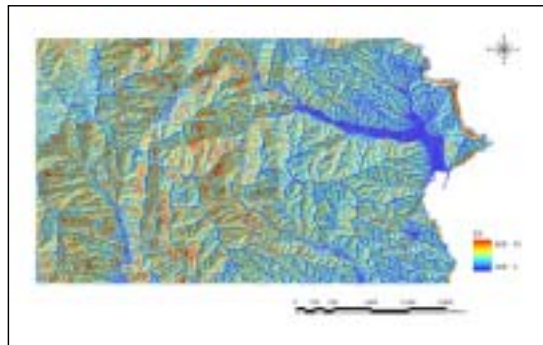
누적흐름도



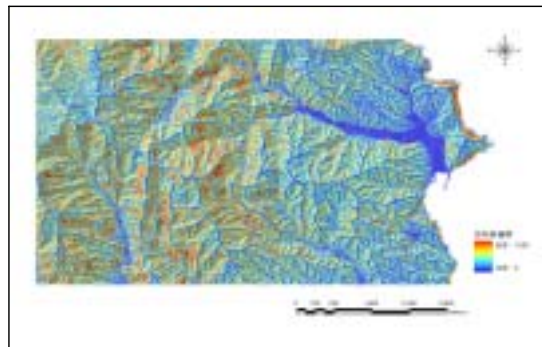
수계망도



유역구분도



LS(지형침식인자) 분포도



토사유출량 분포도

<그림 3-1-63> 사방구조물의 배치 시스템 주제도

## 라. GIS를 이용한 사방구조물 적지선정 시스템 개발

GIS를 이용한 친자연적 사방구조물 적지선정 체계를 확립하고, 적지선정 체계 및 선정 결과에 대한 검증을 통해 토사유출 방지 및 사방구조물 관리를 위한 정보화 지원체계를 확립하고, 사방구조물 적지선정 모델을 선정하기 위한 연구대상지로는 2000년도에 발생한 동해안 산불 피해지역을 대상으로 하였으며, 연구대상지의 자연환경인자별 GIS 자료(지형, 임상, 수문, 유역 등), 최종 유역별 토사유출량 및 사방구조물 적지 분석도면을 구축하였다. 토사유출량 산출모델은 RUSLE식을 적용하였으며, 사방구조물 적지선정 모델검정에 있어서는 적지별 토사유출 및 구조물 예측모델의 현실성을 확인하여 현실성에 부적합할 경우는 피드백하여 모델을 보완하여 다시 분석모델에 적용하여 최종 분석모델을 선정하였다. 또한, 사방구조물 적지선정 모델 검정의 확인 후 사방전문가의 사전 정보 분석과정의 부하를 최소화하고, 지형, 토양, 수문, 임상 및 유역 등 자연환경적 요인의 특성을 과학적으로 반영한 적지선정 방식을 수립하기 위해 이를 자동화 프로세스로 개발하여 사방구조물 적지선정 시스템을 개발하였다 <그림 3-1-64~65> .

### 1) 개발내용

#### 가) 시스템 구성

GIS를 이용한 사방구조물 적지선정 시스템 연구는 시스템 개발부문과 연구대상지의 GIS DB 구축부문으로 구분되며, 개발부문은 토사유출량 분포도 및 사방구조물 적지 분포도를 분석모델에 따라 자동으로 생성시키는 ‘사방구조물 적지선정 시스템’을 개발하는 것이고, GIS DB 구축부문은 2000년도에 발생한 동해안 산불 피해지역을 대상으로 하여 GIS 분석 도면을 작성하는 것이다.

#### 나) 분석모델 작성

##### (1) 사방구조물 적지선정 모델작성

- ① 사방구조물 적지선정 기준확인
- ② 입력자료 : 자료구축단계에서 작성한 자료들 중,  
세부유역분포, DEM, 상대유량분포, 임상피복인자분포, 토양침식성  
인자분포 등의 정보를 활용하여 선정
- ③ 출력정보 : 사방구조물 적지분포도

(2) 적지별 토사유출 및 구조물규모 예측모델 작성

① 토사유출량 산출모델

- 토사유출량 산출모델은 USLE식을 적용
- 입력자료 : 등강우분포도(R), 토양침식성인자분포도(K), 사면길이분포도(L), 경사분포도 (S), 임상피복분포도(C), 토양보전행위지수, 분포도(P)의 6종
- 출력정보 : 토사유출량예측도

② 구조물의 위치(조합) 설정

- 적지선정 후보지 중 구조물 설치 위치를 한 개 이상 선택
- 사방구조물 적지분포도 내의 여러 후보지간 조합 생성 : 소규모 분산형 구조물 도입을 위한 전제

③ 적지별 토사유출총량 예측

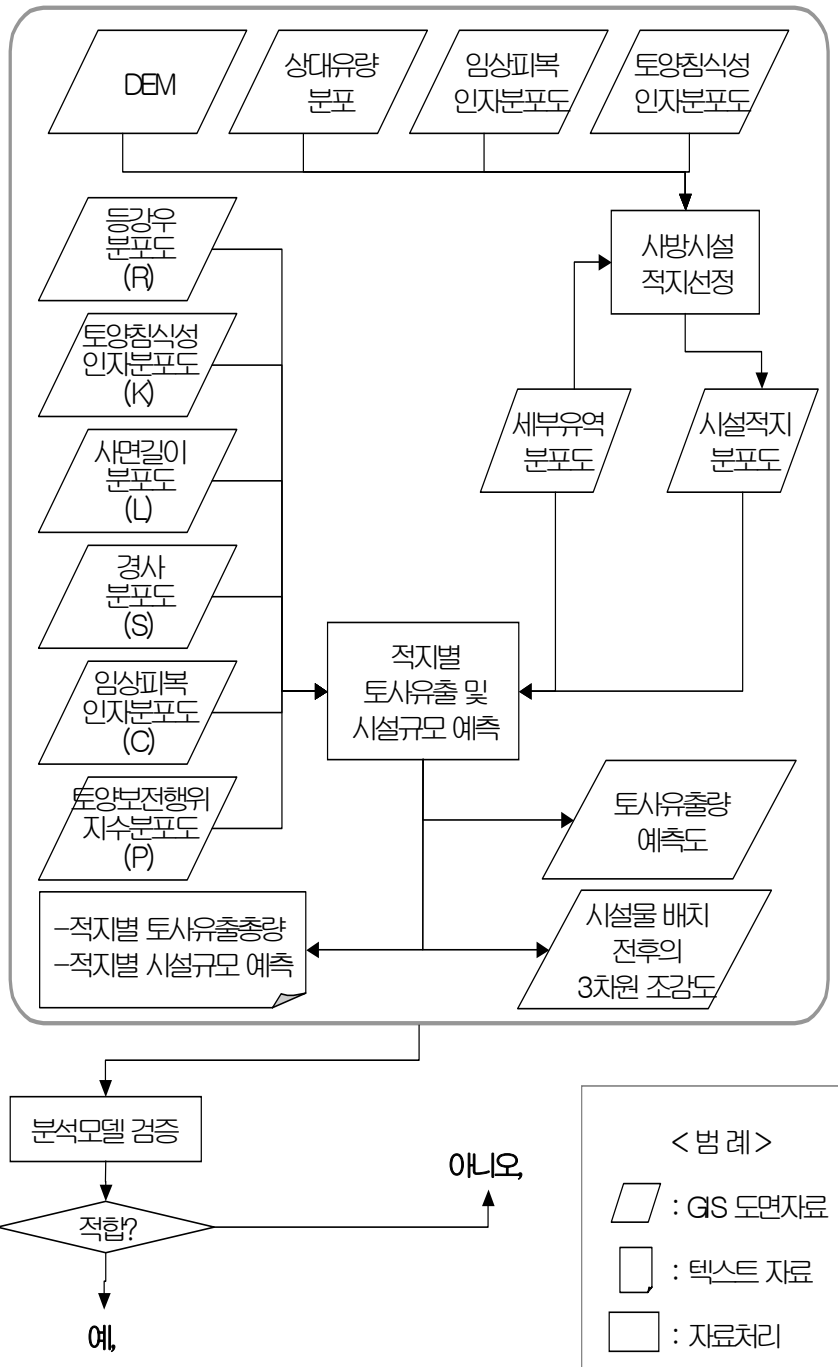
- 사방구조물 적지선정결과 중, 구조물적지별 세부유역을 도출하고, 이를 근거로 토사유출 예측정보를 누계하여 수행, 또한, 유역별 ha당 토사유출량 기준 설정가능(예를 들면,  $40\text{m}^3/\text{ha}$ 이상의 유역을 추출하여 표시가능)
- 입력자료 : 세부유역분포도, 사방구조물 적지분포도(구조물 위치설정 정보 포함), 토사유출량 예측도
- 출력자료 : 적지별 토사유출총량

다) 모델 검증

(1) 모델검증의 의의 및 방법

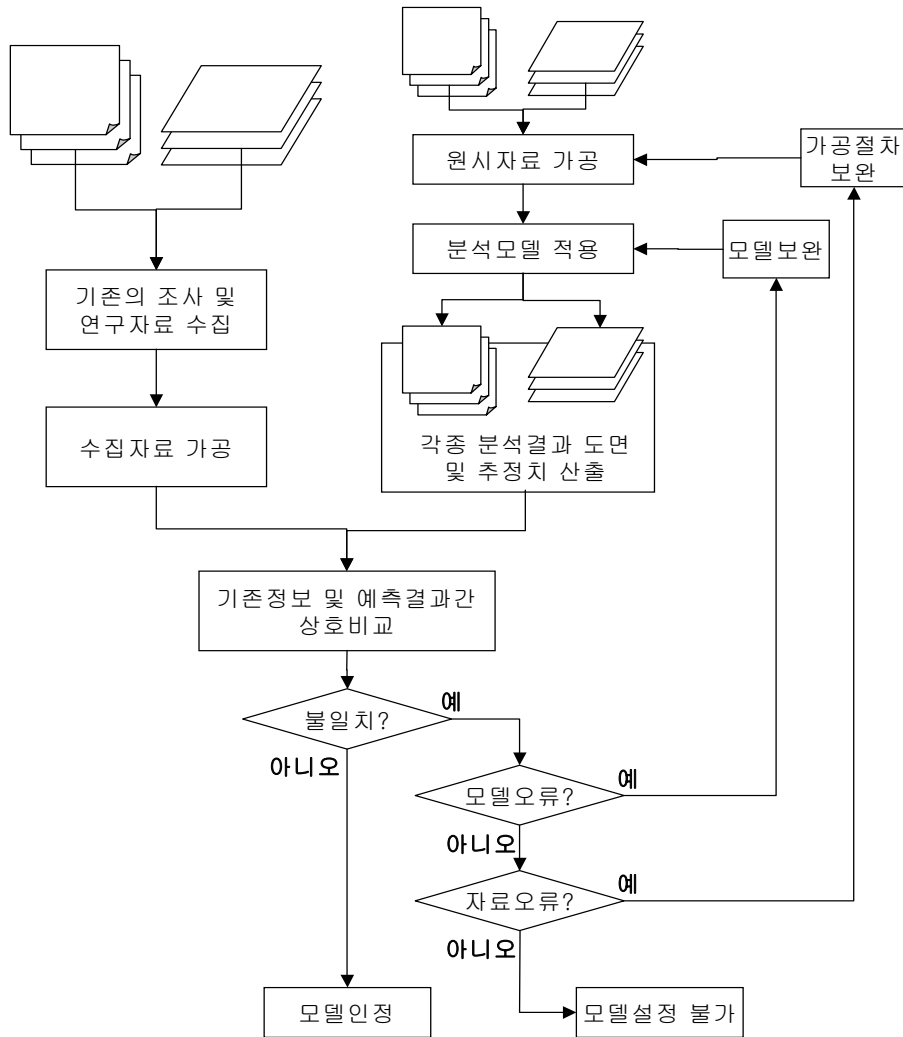
- 적지선정모델 및 적지별 토사유출/구조물 규모 예측모델의 현실성 확인
- 모델적용의 타당성 및 전국지역으로의 모델적용 확산근거 마련
- 기존의 조사 및 연구자료를 이용하여 예측결과와 상호비교 후 보완





<그림 3-1-64> 사방구조물 적지선정 시스템 흐름도

(2) 모델검증 절차



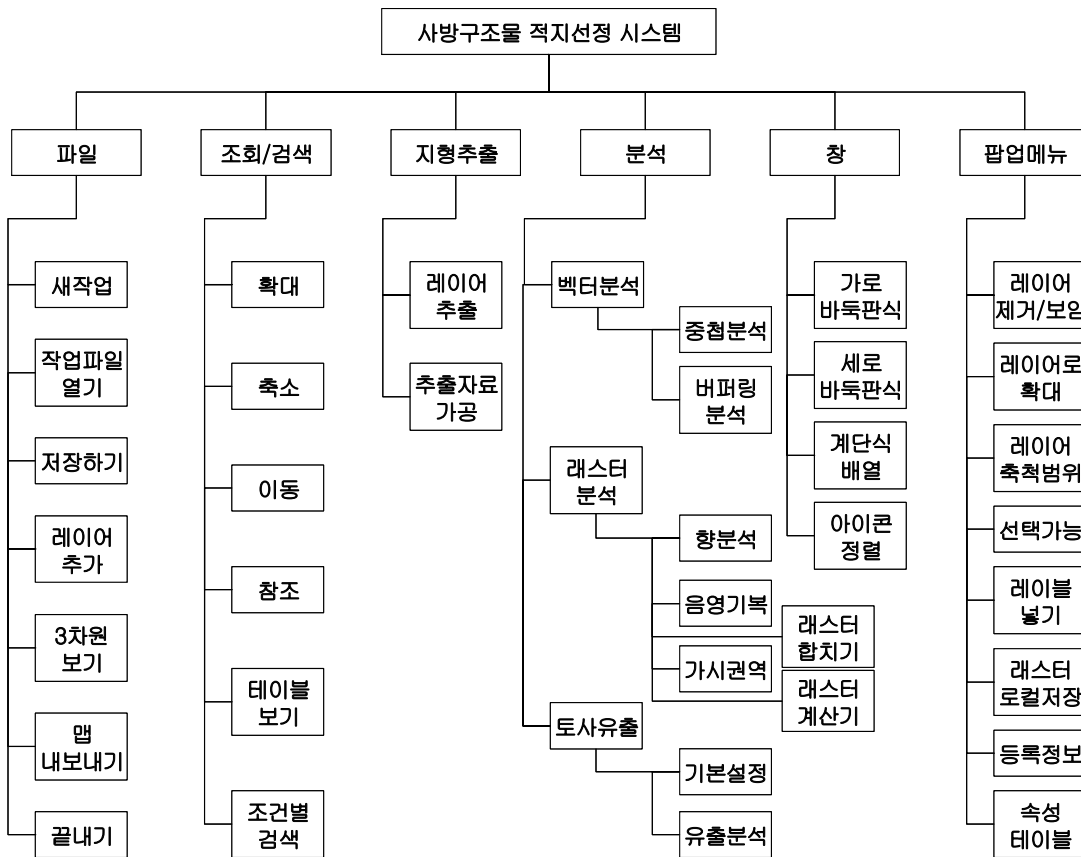
<그림 3-1-65> 사방구조물 적지선정 모델검증 절차 흐름도

라) 기능구성도

사방구조물 적지선정 시스템의 주요역할은 분석업무 담당자가 기존의 FGIS 및 NGIS사업성과물(GIS정보)들을 간단한 절차에 의해 읽어 들여 RUSLE토사유출 모델에 의해 유출분석결과를 도면으로 생성한 후 이 도면 위에 시설대상 적지를 추천하여 사용자의 분석업무를 지원하는데 있다.

(1) 시스템의 기능구성

- 분석절차에 의해 읽어들이고, 연산처리하여 생성시킬 모든 정보에 대한 GIS 자료관리
- GIS자료의 조회 및 검색
- 3차원 지형생성을 위한 지형요소 추출 및 변환
- 사방구조물 적지선정을 위해 필요한 벡터 및 래스터 공간연산 지원
- 복수 개의 윈도우 창에 대한 손쉬운 이용
- 팝업메뉴를 통한 기능제공 등 6개 기능군으로 구분되며 각각의 기능군별 세부기능은 다음의 <그림 3-1-66> 에서 보는 바와 같다.

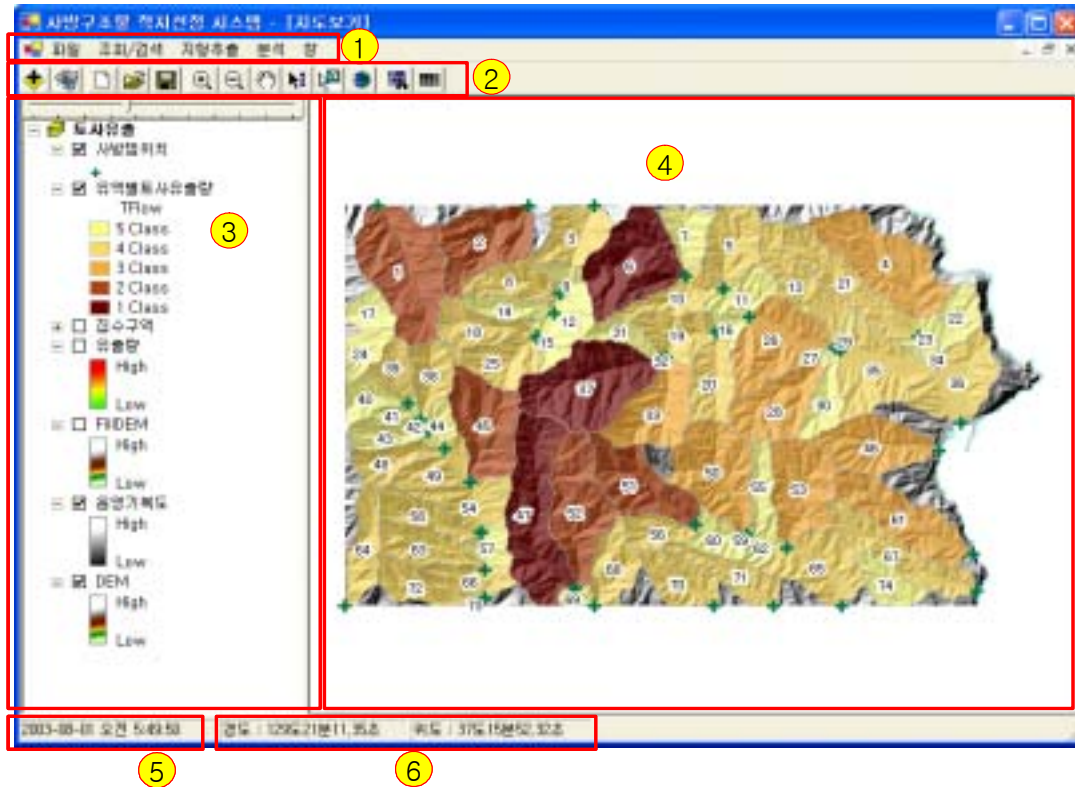


<그림 3-1-66> 사방구조물 적지선정 시스템 세부기능

마) 주요기능 설명

(1) 화면 구성

사방구조물 적지선정 시스템의 화면구성은 아래의 그림과 같이 타이틀바, 메뉴바, 도구바, 지도목록창, 지도창, 상태표시줄 등으로 구성되어 있다 <그림 3-1-67> .



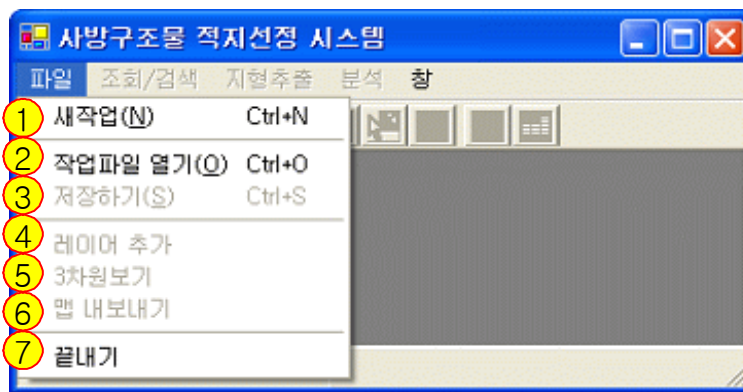
<그림 3-1-67> 사방구조물 적지선정 시스템 화면구성

- ① 사방구조물 적지선정 시스템의 모든 프로그램 기능을 포함한 메뉴바가 상단에 위치해 있다. 앞에서 언급한 기능구성도의 체계와 같다.
- ② 사용자가 많이 사용하는 부분에 대해 사용자가 쉽고 빠르게 작업을 할 수 있는 도구바로서 크게 기본도구모음과 지도도구모음 2가지로 구성되어 있다.
- ③ 지도창에서 보여지는 레이어의 목록과 범례를 표시한다. 마우스의 오른쪽 버튼을 클릭하면 선택한 레이어의 단축메뉴가 나타난다.
- ④ 지도를 보여주는 지도 창으로 레이어의 객체를 표시한다.

- ⑤ 현재의 시간을 나타내 준다.
- ⑥ 지도 창에 마우스를 움직였을 때의 경위도 좌표를 나타내 준다.

(2) 파일

파일기능군은 분석작업의 전과정에서 발생하는 프로그램의 자료입출력을 관리하기 위한 기능을 제공한다. 이러한 기능들은 다음의 <그림 3-1-68> 에서와 같이 새작업, 작업파일 열기, 저장하기, 레이어 추가, 3차원보기, 맵 내보내기 및 끝내기의 하위기능으로 구성되어 있다. 하위기능의 실행을 위한 메뉴들은 시스템의 현재 작업상황에 따라 활성화-비활성의 상태를 나타낸다.



<그림 3-1-68> 사방구조물 적지선정 시스템 파일기능군

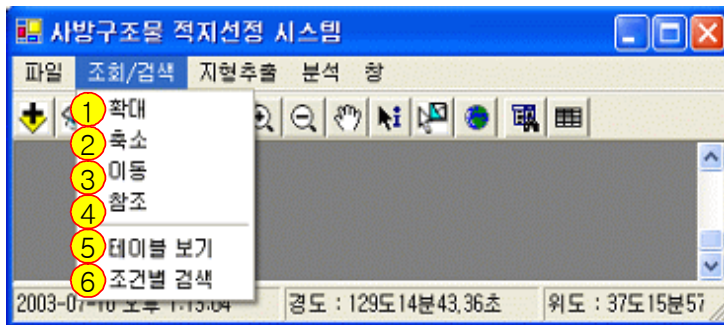
- ① 사방구조물 적지선정 분석 작업을 시작하는 것으로 ‘기본설정 창’이 활성화된다.
- ② 기존에 저장되어 있는 사방구조물 적지선정 분석 파일을 찾아 사용자가 열어 보는 기능을 하는 것으로 ‘파일 열기 창’이 활성화된다.
- ③ 작업별로 시스템이 현재까지 분석한 도면 및 기본설정 사항을 사용자의 컴퓨터에 저장하는 기능으로 ‘작업 저장하기 창’이 활성화된다.
- ④ 현재 작업중인 지도보기 창에 GIS 공간자료를 추가하는 기능으로 ‘레이어 추가 창’이 활성화된다.
- ⑤ 지도보기 창에 존재하는 GIS 공간자료에 대해 사용자에게 3차원으로 디스플레이하는 기능을 하는 것으로 ‘레이어 선택 창’과 ‘3D 보기 창’이 활성화된다.
- ⑥ 지도보기 창에서 보여지는 것을 JPEG 파일로 저장하는 기능으로 ‘파일 저장 창’이 활

성화된다.

- ⑦ 사방구조물 적지선정 분석 작업을 종료하는 기능으로 '종료 확인 창'이 활성화된다.

### (3) 조회/검색

GIS 자료는 지도형태의 공간정보와 표형태의 속성정보로 이루어져 있으므로 이것들이 조회와 검색의 대상이다. 조회/검색 기능군에는 공간정보로 조회/검색(확대, 축소, 이동, 참조)과 속성정보로 조회/검색(테이블 보기, 조건별 검색)과 같이 크게 2가지로 나누어 볼 수 있다 <그림 3-1-69> .



<그림 3-1-69> 사방구조물 적지선정 시스템 조회/검색 기능군

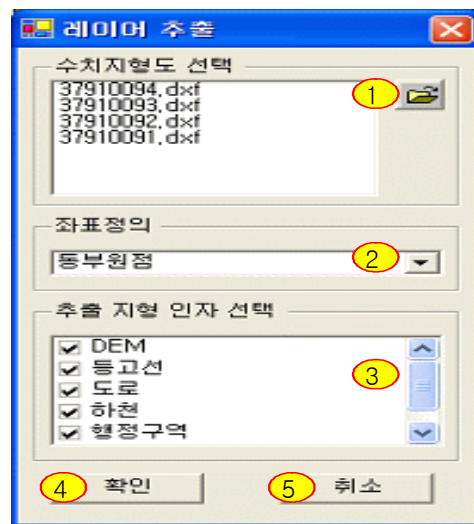
- ① 지도 창에서 마우스의 왼쪽 버튼을 클릭한 상태에서 드래그를 하면 확대되어지는 기능을 한다.
- ② 지도 창에서 마우스의 왼쪽 버튼을 클릭하면 현재 스케일의 1/2로 축소되는 기능을 한다.
- ③ 지도 창에서 마우스의 왼쪽 버튼을 클릭한 상태에서 드래그를 하면 드래그한 방향으로 지도가 이동하는 기능을 한다.
- ④ 지도 창에서 마우스의 왼쪽 버튼을 클릭하면 현재 마우스가 가리키는 지점에서 지도 창에 보여지는 레이어들의 속성정보가 보이는 기능으로 '정보 조회 결과 창'이 활성화 된다.
- ⑤ 현재 선택되어진 레이어의 속성테이블을 열람하는 기능으로 '속성테이블 창'이 활성화 된다.
- ⑥ 지도 창에 나타나있는 레이어들을 SQL문장을 이용하여 검색하는 기능으로 '조건별 검색 창'이 활성화된다.

#### (4) 지형추출

지형추출은 NGIS사업 성과물인 국립지리원 수치지형도를 읽어 들여 사방구조물 적지분석에 필요한 자료를 생성하는 절차를 수행한다. 단, 원시자료인 도엽별 DXF자료파일에서 지형요소인 등고선 레이어를 추출·변환하는 것 외에도 사용자 요구에 의해 도로, 하천, 행정구역 및 지명을 추출하도록 작성하였다 <그림 3-1-70> .

이때, 추출대상인 원시자료의 복수 개 선택을 지원하도록 하여 작업의 편리성을 증대하였다. DXF파일은 CAD파일의 일종으로서 GIS자료에서는 필수적인 좌표계 설정정보가 누락되어 배포되고 있다. 따라서, 레이어 추출한 결과물의 좌표를 정의하도록 설정기능을 부가하였으며 설정의 편리성을 높이기 위해 국내 투영좌표의 표준인 TM좌표계의 서부, 중부 및 동부원점에 대한 명칭만을 사용자가 선택하면 상세 설정치가 적용되도록 기능을 구현하였다.

레이어 추출을 위한 설정을 완료하면 확인버튼을 누른다. 그러면, 우선 등고선 레이어를 이용한 TIN(벡터형의 3차원 지형, Triangulate Irregular Network)이 생성되며, 그 다음 DEM(래스터형 3차원 지형, Digital Elevation Model)으로 변환된 새로운 지형분석 레이어가 생성된다.



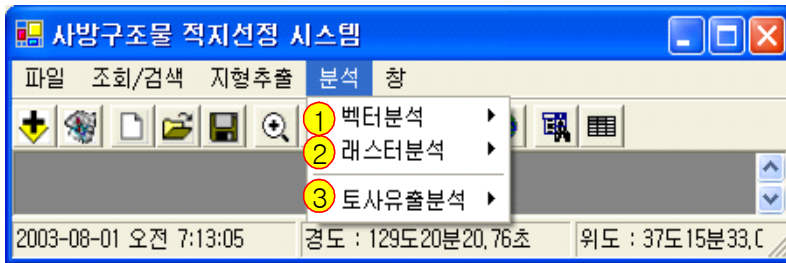
<그림 3-1-70> 사방구조물 적지선정 시스템 지형추출 기능군

① 지형을 추출할 원본데이터를 선택하는 버튼으로 'DXF 파일 선택 창'이 활성화된다

- ② 지형을 추출할 원본데이터의 좌표정의를 선택하는 기능을 한다.
- ③ 어떠한 지형인자를 추출할 것인지 선택하여 선택된 인자만 추출하는 기능을 한다.
- ④ 위에서 설정한 사항에 따라 지형 인자를 추출하는 버튼으로 '지형인자 추출 진행 상태 창'이 활성화된다.
- ⑤ 지형 인자를 추출하지 않고 지도보기 창으로 돌아가는 기능을 하는 버튼이다.

(5) 분석

본 시스템의 분석기능군은 크게 벡터분석과 래스터분석의 2가지 유형으로 구분하였는데, 이 가운데 래스터 분석 중 본 시스템에서 가장 주요한 기능인 토사유출분석을 별도의 메뉴로 독립시켜 구성하였다 <그림 3-1-71> .



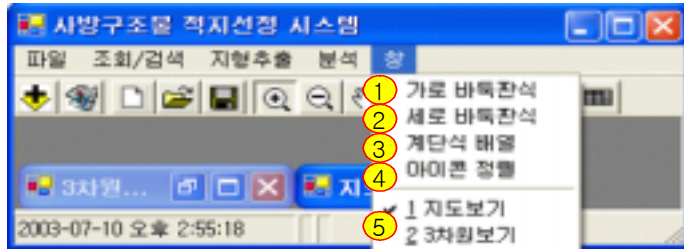
<그림 3-1-71> 시방구조물 적지선정 시스템 분석기능군

- ① 벡터분석의 하부메뉴에는 크게 중첩분석과 버퍼링분석을 구분하였다. 여기서 중첩분석은 상이한 두 도면을 중첩연산을 하여 새로운 도면을 생성시켜 별도의 저장장치에 등록시키는 기능으로 '중첩분석 창'이 활성화 된다. 그리고, 버퍼링 분석은 두 도면간의 연산이 아니라 한 도면에 대한 공간분석기법으로 점, 선 또는 면의 모서리로부터 사용자가 지정한 거리내외의 지역경계를 공간분석결과로서 도출하는 것으로 '버퍼링 분석 창'이 활성화된다.
- ② 래스터 분석은 래스터 형태의 자료간 공간분석기능을 지원하는 것으로 하부메뉴로는 사면분석, 향분석, 음영기복분석, 가시권역분석, 래스터 합치기 및 래스터 계산기와 같은 메뉴가 있으며, 실행시켰을 때는 각각의 분석 창이 활성화된다.
- ③ 토사유출 분석의 메뉴에는 기본설정과 분석시작 메뉴의 두 하부메뉴를 가지고 있으며, 기본 설정 메뉴를 선택하면 토사유출 분석에 필요한 '기본설정 창'이 활성화 된다. 그리고, 분석시작 메뉴를 선택하면 토사유출 기본 설정에 따라 토사유출 분석을 시작하는 기능을 하며 '작업 진행 창'이 활성화된다.



(6) 창

본 시스템은 지도 보기 창과 3차원 보기 창과 같이 여러 가지 창을 띄워 서로 비교할 수 있도록 지원하는데 이때 창들의 정렬을 손쉽게 하는 기능을 하는 메뉴이다 <그림 3-1-72> .

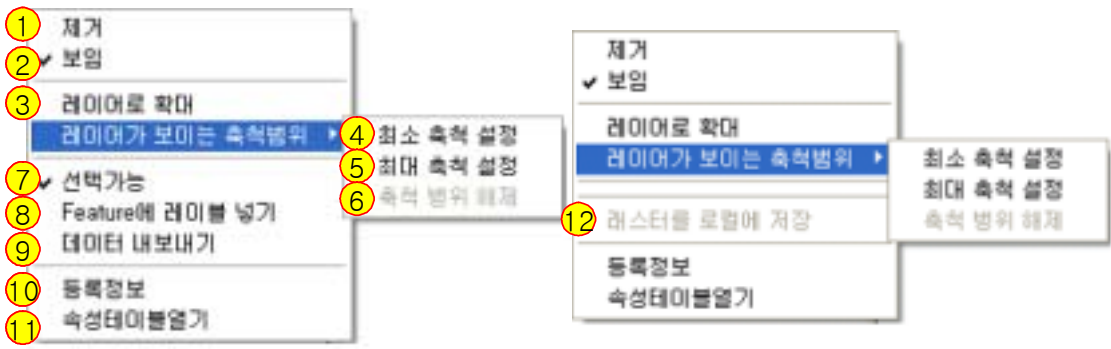


<그림 3-1-72> 사방구조물 적지선정 시스템 창기능군

- ① 본 시스템에서 현재 생성되어 있던 창들이 동일한 높이를 갖는 창들로 창크기를 바꾸어 재정렬하는 기능을 한다.
- ② 현재 생성되어 있던 창들이 동일한 폭을 갖는 창들로 창크기를 바꾸어 재정렬 하는 기능을 한다.
- ③ 현재 생성되어 있던 창들이 다소 작아진 동일한 폭과 높이를 갖는 창들로 창크기를 바꾸어 창들이 서로 포개져 대각선 방향으로 진행하며 창들이 중첩되게 정렬하는 기능을 한다.
- ④ 창의 제목만 갖는 창의 최소화와 유사한 형태로 정렬하는 기능을 한다.
- ⑤ 현재 생성되어 있는 목록을 나타내어 주며 현재 활성화된 창의 경우는 창의 이름 옆에 체크 표시가 생성된다. 또한 사용자가 창의 목록 중에서 창의 이름을 선택하면 선택한 창이 활성화되는 기능을 한다.

(7) 팝업메뉴

레이어의 설정 중에서 많이 사용하는 기능에 대해서는 팝업메뉴를 두어 사용자가 빠르고 쉽게 작업을 할 수 있게 도와 주는 기능으로 지도보기 창의 좌측에 있는 레이어 리스트 중에서 작업하고자 하는 레이어를 선택한 후 마우스 우측 버튼을 클릭하면 레이어의 종류에 따라 다른 팝업 메뉴가 나타난다 <그림 3-1-73> .



<그림 3-1-73> 사방구조물 적지선정 시스템 작업메뉴

- ① 현재 작업 중인 지도 창에서 선택한 레이어를 제거하는 기능을 한다.
- ② 선택된 레이어의 보이는 상태를 변경시키는 기능을 한다.
- ③ 선택된 레이어의 최대 범위로 확대시키는 기능을 한다.
- ④ 설정된 값보다 더 축소가 되었을 때 레이어가 보이지 않게 하는 기능을 한다.
- ⑤ 설정된 값보다 더 확대가 되었을 때 레이어가 보이지 않게 하는 기능을 한다.
- ⑥ 축척설정이 설정되어 있을 경우에만 활성화되며, 이 메뉴는 현재 설정되어 있는 축척 설정을 해제하여 어떠한 축척에 있어서도 레이어가 보이게하는 기능을 한다.
- ⑦ 선택된 레이어에 대해 지도 보기 창에서 마우스로 GIS 공간자료의 선택 여부를 결정 짓는 기능을 한다.
- ⑧ 레이블 필드를 지도 보기 창에서 레이블의 표시여부를 결정짓는 기능을 한다.
- ⑨ 선택된 레이어의 공간정보를 Shape 파일로 저장하는 기능을 하는 것으로 ‘데이터 내 보내기’ 화면이 활성화된다.
- ⑩ 선택된 레이어의 등록정보를 보여주는 기능을 하는 것으로 ‘레이어 등록정보 창’이 활성화 된다.
- ⑪ 선택된 레이어의 속성 테이블 화면을 보여주는 기능을 하는 것으로 ‘속성 테이블 창’이 활성화된다.
- ⑫ 선택된 래스터가 임시폴더에 저장되어 있을 경우만 활성화 되며, 이 메뉴는 선택된 래스터를 사용자가 지정한 위치에 저장하는 기능을 하는 것으로 ‘래스터 저장 창’이 활성화 된다.

2) 기대효과

가) 사방구조물 적지선정 기준의 친자연성 측면 강화

- 토목공학적 관점 중심의 사방구조물 설계방식의 보완
- 지형, 토양, 수문, 임상 및 유역 등 자연환경적 요인의 특성을 과학적으로 반영한 적지선정 방식의 수립
- GIS기법을 이용하여 다양한 측면의 적지선정 요인을 고려한 합리적 사방구조물 적지선정 모델 도출

나) 모델도출 결과의 검증을 통한 적용범위 확대

- 적지선정 관련업무의 효율성 증진
- 적지선정 모델의 현실성 또는 신뢰성이 인정
  - 현장조사업무에 대한 지원 및 대체효과
  - 적지선정 방법론의 적용 대상지역 확대
  - 재해 발생 등에 대한 신속한 사후조치 방안 및 재해감수성을 고려한 재해 관리 업무 지원
  - 상시적 적지예측을 통한 사방정책수립 지원



<그림 3-1-74> 사방구조물 적지선정 시스템 모델의 적용

## 제 2 절 수토보존 기능의 조기회복을 위한 녹화기법 개발

### 1. 기술정립 및 현장실현 기반구축

#### 가. 적정 파종립 제조기술 개발

##### 1) 파종립의 성형과정

파종립의 성형과정은 <그림 3-2-1>과 같은 과정을 통하여 이루어지며, 각 과정별 제조 공정은 다음과 같다.

##### 가) 배양토의 반죽 및 종자의 혼합

파종립 성형에 필요한 배양토를 반죽하고 반죽된 배양토에 종자를 균일하게 혼합시킨다. 배양토는 피트모스:황토:지오라이트:버미큘라이트(60:30:9:1, v/v) 배합토를 배합토:흡습제(수화 soilmoist 1.3%):접착제(PEO 수용액 0.02%)(77:11:12, v/v)로 혼합한 혼합토에 적정량의 물을 첨가한 후 사용하였다.(혼합기 내부에 있는 회전날개가 배양토를 압축하면서 반죽을 하기 때문에 점성이 높은 접착제를 사용해도 반죽이 가능하다.)

##### 나) 배양토의 투입

배양토를 투입하는 장치로서 점성이 높은 배양토를 비질의 원리(비로 배양토를 쓸어내는 원리)를 이용하여 성형판 홈통에 고르게 넣는다.

##### 다) 파종립의 성형

파종립 성형에 있어서 핵심적인 부분으로 20×20×10mm 크기의 파종립을 1회에 30개씩 균일한 형태의 파종립을 성형한다. 성형판과 성형날이 부착되어 있으며 2.0~10.0kg/cm<sup>2</sup>로 압착한 결과 최소성형 압착압력은 8.0kg/cm<sup>2</sup>으로 나타났다.

##### 라) 파종립의 이동 및 건조

파종립이 파손되는 것을 방지하면서 안전하게 비닐터널 열풍식 콘베어 건조기로 이동시켜 건조시킨다. 건조 경화기를 거치지 않은 시료는 최초 3.5분간에 함수율 감소가 1.4%였고, 두 번째 3.5분간에 함수율 감소가 1.8%였으나, 세 번째 함수율 감소는 0.1%였다. 회전식 건조경화기를 5분간 거친 시료에서 열풍 건조기에서 최초 3.5분간에 함수율 감소

가 0.9%, 두 번째 3.4분간에 함수율 감소가 1.51%, 세 번째 3.5분간에 함수율 감소가 0.4%로 나타났다. 최초 3.5분간 열풍건조 효과가 두 번째 3.5분간 열풍건조 효과보다 작은 이유는 최초에 시료의 온도 상승 때문으로 해석된다. 세 번째 3.5분간 함수율 감소가 낮은 것은 파종립 외부의 수분이 거의 모두 건조한 후에 파종립 내부의 수분이 외부로 나오는 과정이 시간을 요하는 확산과정이기 때문인 것으로 추측된다. 열풍식 건조기에서 3.5~7.0분간 시료를 비닐체(6×6mm)에 놓고 비닐온실 내에서 선풍기로 1~2일간 건조하여 기건 함수율 13~16%인 파종립을 제조할 수 있었다.

1. 배양토의 반죽



2. 배양토의 투입



4. 파종립 이동 및 건조

3. 파종립 성형

<그림 3-2-1> 파종립 성형기의 제조과정

## 2) 과종립 제조장치

### 가) 과종립 제조장치의 구성

과종립 제조장치(Seeding Block Producing Machine)의 구성은 베이스플레이트에 형성된 홈에 상부면의 높이가 일치하도록 설치되고 다수의 과종립 성형홈을 가지는 과종립 성형틀, 과종립 성형홈의 각각에 대응하는 과종립 성형돌기를 하부에 가지고 상하로 이송 가능한 상형, 과종립 성형틀의 하부면을 개폐할 수 있도록 수평이송하는 하판, 베이스플레이트 상부면 위를 왕복하면서 과종립 성형틀에 배합토를 공급하는 배합토공급기 및 과종립 성형틀 및 하판보다 아래에 설치되어 완성된 과종립을 이송하는 컨베이어로 구성된다.

배합토 공급기는 몸체를 이루는 하우징과, 상기 하우징의 하부에 형성된 배합토 유출홈과, 상기 배합토 유출홈에 설치되어 과종립 성형틀에 공급되는 배합토를 고르게 하는 브러시를 포함하는 것을 특징으로 한다. 과종립 성형돌기는 과종립 성형홈보다 긴 것을 특징으로 한다. 이송은 과종립 성형을 위한 왕복 이송과, 과종립 배출을 위한 왕복이송의 2가지 이송거리의 제어가 가능한 것을 특징으로 한다. 컨베이어의 단부에 이송된 과종립이 전달될 수 있도록 열풍 건조 컨베이어가 더 설치되고, 상기 열풍 컨베이어의 좌우측에 건조를 위해 과종립에 열풍을 공급하는 열풍 배출구가 형성되는 것을 특징으로 한다. <그림 3-2-2>는 본 발명의 일실시예의 사시도로써 크게 과종립 성형틀(110), 상형(200), 하판(130), 배합토 공급기(120), 컨베이어(150) 및 베이스플레이트(100)를 포함하여 구성된다.

#### (1) 과종립 성형틀

과종립 성형틀(110)은 베이스플레이트(100)에 형성된 홈에 설치되며, 이 때 과종립성형틀(110)의 상부면과 베이스플레이트(100)의 상부면의 높이가 일치하도록 한다. 과종립 성형틀(110)은 다수의 과종립 성형홈(111)을 가지며, 과종립 성형홈(111)은 과종립 성형틀(110)에 관통되게 형성되며, 단면은 일정한 것이 바람직하다. 과종립 성형홈(111)의 단면의 형상은 제한이 없으나, 과종립을 제작 후 적재할 것을 고려하여 원 또는 사각형이 바람직하다. 즉, 제품의 최종형상이 원기둥 또는 육면체를 이루는 것이 바람직하다. 상기 과종립 성형틀(110)의 상부면에는 배합토 공급기(120)가 왕복 이송하고, 하부면에는 하판(130)이 왕복 이송하므로, 과종립 성형틀(110)의 상부면과 하부면은 조도를 좋게 가공하는 것이 바람직하다. 과종립 성형틀은 과종립 성형홈(111)과 대응되며 같은 단면형상을 가지는 과종립 성형돌기(210)가 상형(200)의 하부에 형성된다.

## (2) 파종립 성형돌기

파종립 성형돌기(210)의 길이는 적어도 파종립 성형홈(111)의 길이보다 길어야 하며, 이는 파종립 성형틀(110)에서 제작된 파종립을 파종립 성형틀(110)로부터 배출해 낼 때, 파종립 성형돌기(210)를 파종립 성형홈(111)에 끝까지 밀어 넣어, 파종립 성형돌기의 단부가 파종립 성형홈(111)의 하단부보다 아래로 돌출되게 하는 것이 바람직하기 때문이다.

## (3) 상형 및 하판

상형(200)은 액추에이터(220)에 의해 상하로 왕복 이송하며, 왕복 이송의 직진성을 높이기 위해 상형(200)에 가이드핀(230)을 일체로 설치하고, 베이스플레이트(100) 또는 파종립 성형틀(110)에 가이드핀홈을 형성시킨다.

상형(200)의 왕복 이송은 2가지 이송거리를 가지도록 제어된다. 즉, 파종립을 성형하기 위해 파종립 성형돌기(210)의 단부가 파종립 성형홈(111)의 내부에서 하사점을 가지는 제1이송거리와, 파종립을 배출하기 위해 파종립 성형돌기(210)의 단부가 파종립 성형홈(111)을 관통하여 하사점을 가지는 제2이송거리를 갖도록 한다. 상형의 제어는 공지의 기술인 유압 또는 공압 액추에이터를 조절하는 것에 의해 가능하다.

하판(130)은 상기 파종립 성형틀(110)의 하부면에 접촉하며 왕복 운동할 수 있도록 설치된다. 따라서, 하판(130)은 파종립 성형틀(110)의 하부면을 개폐할 수 있으며, 하판의 왕복운동은 일체로 설치된 액추에이터(131)에 의한다.

## (4) 파종립 성형틀

파종립 성형틀(110)의 아래로 컨베이어(150)가 설치되어, 파종립 성형틀(110)에서 배출되는 완성된 파종립을 이송한다.

## (5) 배합토 공급기

배합토 공급기(120)는 상기 베이스플레이트(100)의 상부면과 상기 파종립 성형틀(110)의 상부면 위를 접촉하며 왕복 운동하며, 액추에이터(123)에 의해 왕복 운동한다.

배합토 공급기(120)는 몸체를 이루는 하우징과, 상기 하우징의 하부에 형성된 배합토 유출홈과, 상기 배합토 유출홈에 설치되어 큰 입자를 거르는 메쉬(121)와, 상기 메쉬(121) 하부에 설치되어 파종립 성형틀(110)에 공급되는 배합토를 고르게 하는 브러시(122)를 포함하여 구성된다.

배합토 유출홈으로 배합토가 유출되기 용이하도록 배합토 유출홈을 하우징 하부의 중심

부에 두고, 양측을 경사지게 하여 배합토가 배합토 유출홈 쪽으로 모이게 한다. 배합토 유출홈은 배합토 공급기(120)의 운동 방향에 대하여 직각 방향으로 길게 형성되는 것이 바람직하다.

메쉬(121)는 배합토의 배출을 고려하여 크기를 정한다. 메쉬(121)로의 배합토의 배출을 용이하게 하기 위해 배합토 공급기(120)에 진동발진기를 설치하는 것도 가능하다.

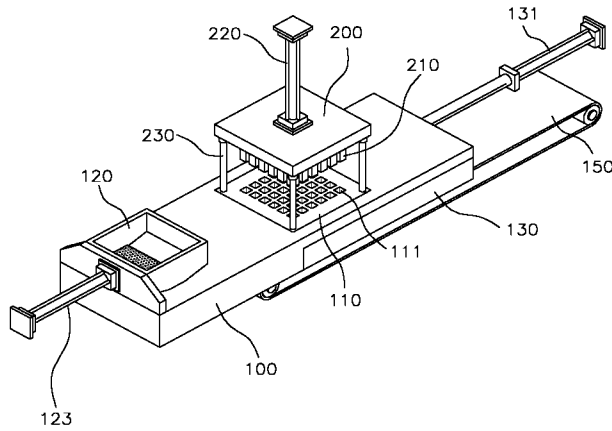
브러시(122)는 빗질의 역할을 하여 배합토를 파종립 성형홈(111)에 고르게 공급하는 역할을 한다. 배합토 공급기(120)가 파종립 성형틀(110)에 배합토를 공급하지 않을 때는 배합토가 배출되면 안되므로, 파종립 성형틀(110)과 같은 높이의 평평한 면을 가지는 베이스플레이트(100)의 길이를 배합토 공급기(120)의 왕복 운동하는 영역보다 길게 설치하여야 한다. 배합토 공급기(120)의 왕복 운동은 2가지로 구성될 수 있는데, 하나는 배합토를 공급하는 단계와 휴지(休止)단계를 위한 왕복 운동과, 다른 하나는 상기 배합토를 공급하는 단계에서 파종립 성형틀(110) 위만을 왕복 운동하는 것이다.

#### (6) 컨베이어

완성된 파종립의 건조를 위해 열풍 건조 시스템이 설치된다. 열풍 건조 시스템은 상기 컨베이어(150)의 단부에 설치되는 열풍 건조 컨베이어(300)이다. 특히, 파종립의 전달이 용이하도록 컨베이어(150)보다 조금 아래에 설치하되, 열풍 건조 컨베이어(300)의 단부와 컨베이어(150)의 단부가 위에서 봤을 때 약간 겹치도록 한다.

또한 열풍 건조 컨베이어(300)는 중심부에 컨베이어벨트가 지나가고, 그 좌우에 형성된 펜스에 열풍 배출구(310)를 다수개 형성하여 파종립을 강제 건조시키는 장치이다. 아울러 열풍 건조 시스템은 본 발명에 의하면 제작되는 파종립의 수가 늘어나게 되므로, 더 추가되는 것이 바람직하다.





<그림 3-2-2> 파종립 제조장치의 일실시에 사시도

- |                |               |               |
|----------------|---------------|---------------|
| 100: 베이스플레이트,  | 110: 파종립 성형틀, | 111: 파종립 성형홈, |
| 120: 배합토 공급기,  | 123: 액추에이터,   | 130: 하판,      |
| 131: 액추에이터,    | 150: 컨베이어,    | 200: 상형,      |
| 210: 파종립 성형돌기, | 220: 액추에이터,   | 230: 가이드핀     |
| 100: 베이스플레이트,  | 110: 파종립 성형틀, | 111: 파종립 성형홈, |
| 120: 배합토 공급기,  | 123: 액추에이터,   | 130: 하판,      |
| 131: 액추에이터,    | 150: 컨베이어,    | 200: 상형,      |
| 210: 파종립 성형돌기, | 220: 액추에이터,   | 230: 가이드핀     |

나) 파종립 제조장치의 작동 순서

파종립 제조장치의 작동 순서는 <표 3-2-1> 및 <그림 3-2-3~5>와 같이 작동된다.

먼저 하판(130)은 파종립 성형틀(110)의 파종립 성형홈(111)을 막은 상태이고, 상형(200)은 상사점까지 올라가서 파종립 성형돌기(210)가 파종립 성형틀(110)로부터 소정의 거리만큼 이격된 상태이다. 이때, 배합토 공급기(120)가 파종립 성형틀(110) 위에서 수회 왕복하면서 파종립 성형홈(111)에 배합토를 채운 후, 배합토 공급기는 휴지(休止)의 위치로 복귀한다.

상형(200)이 제1이송거리만큼 내려와서 파종립 성형돌기(210)가 파종립 성형홈(111)의 내부에 있는 배합토를 압착하여 성형한다. 다시 상형(200)이 위로 올라가고, 하판(130)이

수평 이송하여 파종립 성형틀(110)의 하부를 개방한다.

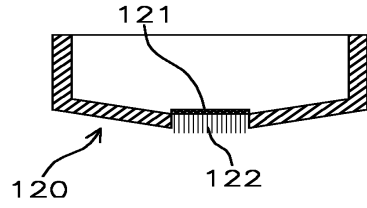
그리고, 상형이 파종립 성형돌기(210)가 상기 파종립 성형홈(111)을 관통하도록 내려 누르면, 파종립 성형홈(111) 내의 성형이 완성된 파종립이 배출된다.

배출된 파종립은 컨베이어(130)를 타고, 다음의 열풍 건조 컨베이어(300)을 지나간다. 이때, 열풍 건조 컨베이어(300)에 형성된 열풍배출구에서 공급되는 열풍에 의해 파종립은 1차 건조된다.

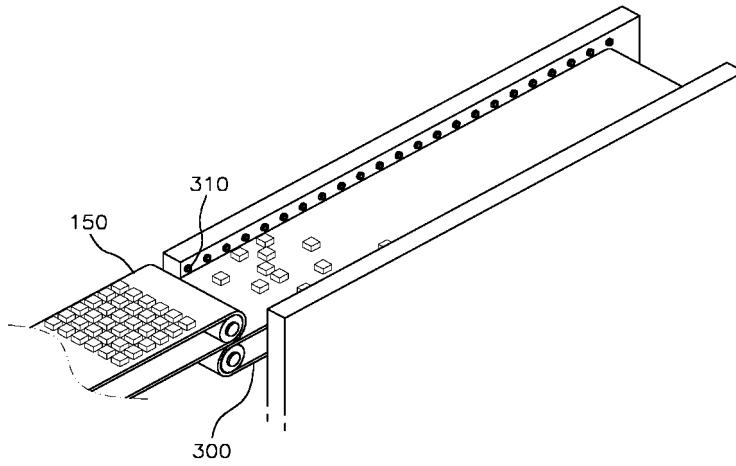
열풍 건조 컨베이어(300)로 파종립이 이송되기 전에, 성형된 파종립에 마른 배합토를 뿌려주는 것이 건조를 위해 바람직하다. 또한, 마른 배합토로 인해 파종립 상호간에 부착되는 것을 방지할 수 있다. 그리고 상기 1차 건조된 파종립을 건조대(도시생략)에 적재하여 2차로 자연 건조시켜 완성시킨다. 건조대는 공지의 건조대를 사용할 수 있으며, 공기가 잘 통하도록 그물망 형상의 건조대를 사용하는 것이 바람직하다.

<표 3-2-1> 파종립 압착성형기의 작동순서

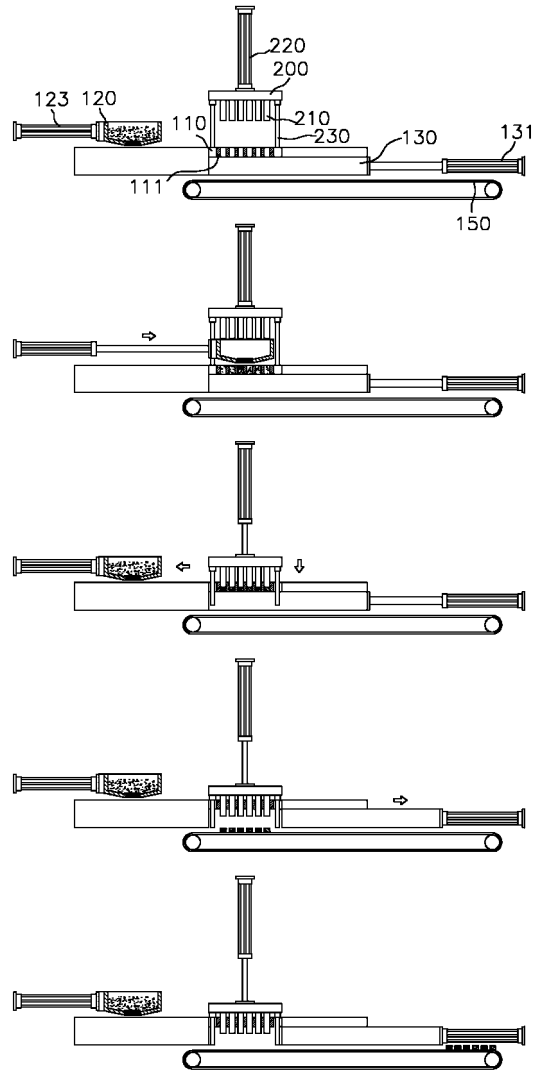
순서	설명
배양토와 종자의 혼합	
↓	
배양토 투입기에 배양토 투입	배양토 투입기가 앞뒤로 이동하여 배양토를 성형판 내에 배양토를 넣는다
↓	
압착성형	압착성형날이 성형판에 1회 압착을 실시. (파종립 성형)
↓	
성형판 고정판 받침 이동	압착성형된 파종립이 이동용 컴베어로 이동하기 위해서 성형판 하부의 고정판이 앞뒤로 이동
↓	
성형판에서 파종립 제거	압착성형날이 다시 상하로 움직여 파종립을 성형판 홈통에서 이동용 컴베어로 이동시킴.
↓	
파종립 이동	성형판에서 파종립이 제거 된 후 건조기 까지 컴베이어로 이동
↓	
배양토 투입기의 배양토 투입	배양토 투입기가 앞뒤로 이동하여 배양토를 성형판 내에 배양토를 넣는다



<그림 3-2-3> 배합토 공급기의 단면도  
 120: 배합토 공급기, 121: 메쉬, 122: 브러쉬



<그림 3-2-4> 열풍 건조 시스템의 사시도  
 150: 컨베이어, 300: 열풍 건조 컨베이어, 310: 열풍 배출구



<그림 3-2-5> 파종립 제조장치의 작동 상태를 설명 단면도

- 110: 파종립 성형틀, 111: 파종립 성형층, 120: 배합토 공급기  
 123: 액추에이터, 130: 하판, 131: 액추에이터  
 150: 컨베이어, 200: 상형, 210: 파종립 성형돌기  
 220: 액추에이터, 230: 가이드핀

나. 파종립의 현장 실현 기반 조성

1) 파종립의 실험실, 학교 포장, 산지에서의 발아율 비교

2002년 3월과 4월에 현지와 학교 포장, 실험실 내의 생장상에서 파종립의 발아 시험을 실시하였다. 2002년 8월과 2003년 4월에 각각의 실험의 결과를 조사하였다.

이 실험을 통하여 싸리, 강아지풀, 쭉, 비수리 등의 경우 현지에서 발아율이 비교적 높게 나타났지만 나머지 종자들은 성적이 매우 저조하였다. 따라서 파종립의 현지 적응성과 파종립의 개선에 관한 기본 자료를 얻고 나아가서 개선을 위한 종자의 발아 촉진 처리 등의 개선 방안을 시험할 수 있는 방안을 제시하였다<표 3-2-2>.

<표 3-2-2> 파종립의 실험실, 학교내 포장, 산지에서의 발아율(%) 비교  
(시험 기간 : 2002년 3월 ~ 4월)

수 종	실험실	학교 포장	산지
쉬나무	50	45	80
붉나무	-	40	40
싸 리	100	100	100
비수리	100	100	100
돌 피	100	100	100
소나무	90	60	13
실새풀	100	5	10
강아지풀	100	100	100
쭉	100	100	100
개웃나무	10	10	0
웃나무	8	7	0
물푸레나무	40	10	0
목백합	30	10	0
참느릅나무	70	66	15

2) 파종립의 학교 포장 내 시기별 발아율/생존율

2002년 4월부터 2002년 10월까지 시기별로 건국대학교 내의 포장에서 시기별로 매달 15일에 식재하여 1주일 단위로 파종 후 발아율을 조사하였으며, 2003년 4월에 다시 최종적으로 겨울을 지내고 난 다음의 생존율을 조사하였다. 8월의 경우 집중호우 등의 기상사정으로 식재를 하지 못했다. 이 실험을 통하여 최대 식재 가능 기간과 시기별 발아율과

시기별 생존율을 조사하였다.

시험 결과로는 소나무의 경우 9월에서 10월 초순까지 파종이 가능하지만, 7월에 경우 파종립의 발아율을 개선하기 위하여 파종립의 토양의 배합비율을 개선하여 발아율은 높였으나 8월의 집중 강우로 생존율은 낮았다. 10월의 경우 발아율은 낮아졌지만 생존율은 높은 것으로 나타났다 <표 3-2-3> .

이외의 싸리, 비수리의 경우는 10월 이전의 파종으로 높은 생존율과 발아율을 가지는 것을 알 수 있었다.

상수리나무와 굴참나무의 경우에는 최대 파종 가능 기간이라고 판단되는 10월에 파종하였으며, 이 결과 파종 시 당년에 발아율이 상수리의 경우 55%와 굴참나무의 경우 45%로 나타났지만 이 시기에 발아한 종자는 겨울에 생존하기에 부적합한 것으로 판단되며, 차후 추파(10월 이후 파종)의 경우에는 발아 하지 않고 익년 봄에 발아하는 것이 생존율을 높이는 데 유리한 것으로 판단된다.

<표 3-2-3> 파종립의 학교 포장 내 파종 시기별 발아율/생존율(%)  
(시험 기간 : 2002년 3월 ~ 4월)

구 분	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월
소나무	50/80	10/70	20/50	50/50	-	60/80	20/100
싸 리	100/100	70/100	70/100	81/100	-	80/90	30/80
비수리	-	80/100	70/100	70/100	-	70/100	10/100
상수리나무	-	-	-	-	-	-	55/20
굴참나무	-	-	-	-	-	-	40/10

### 3) 비료 첨가에 의한 종자발아율

2002년 5월에 실시하여 발아율을 4주간 조사하였다. 파종립의 경우 성형 단계에서 배양토에 생존에 필요한 다양한 양분을 같이 식재함으로 생장에 유리하다는 것은 1차년도 실험에서 고찰한 내용이다. 이를 기초로 하여 적정한 파종립 내 비료량을 찾는 시험을 실시한 것이다. 따라서 소나무의 경우는 지효성 질소질 비료와 싸리의 경우에는 용성인 비를 이용하여 비료의 농도별 발아율을 조사하였다<표 3-2-4>.

소나무는 저농도의 지효성 질소질 비료에서도 현격한 발아율 저하가 나타나는데 이는 소나무 파종립에 실제로 지효성이라 할지라도 질소질 비료가 첨가되면 발아율에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 싸리와 비수리는 8%의 농도까지는 발아율의 큰 변화를 보이

지 않았다. 따라서 싸리, 비수리 과종립에서는 약 8% 정도의 비료를 첨가하는 것이 가능하다는 것을 알 수 있었다. 1차년도에 보고한 비료의 시비효과를 고려할 때 과종립에 용성인비의 첨가를 통해서 성장율의 증가를 예상할 수 있을 것으로 판단된다<표 3-2-5>.

<표 3-2-4> 지효성 질소질 비료의 첨가에 의한 소나무 발아율(%)  
(시험 기간 : 2002년 5월)

구 분	지효성 질소질 비료의 함유율(%)					
	Control	1	2	4	8	12
소나무	45	31	23	17	28	24

<표 3-2-5> 용성인비의 첨가에 의한 싸리, 비수리 발아율(%)  
(시험 기간 : 2002년 5월)

구 분	지효성 용성인비 비료의 함유율(%)				
	Control	8	16	24	32
싸 리	53	42	36	4	-
비수리	46	42	14	-	-

4) 종자의 전처리에 의한 종자발아율 변화

2001년과 2002년에 실시하여 발아율을 4주간 조사하였다. 종자의 발아를 촉진시키기 위한 층적 처리를 실시하여 과종립을 제조하였을 때 그 효과가 조립 현지에서도 지속되기 위한 목적으로 실시된 것이다. 과종립은 종자발아의 최적의 조건을 제공함으로써 열악한 환경에서도 최상의 발아를 할 수 있도록 하는 것으로 현지에서 단 1회의 강우에도 과종립이 발아 할 수 있도록 설계하였다. 따라서 종자의 전처리를 통한 발아율의 향상이나 발아세를 높이는 것은 매우 중요하다. 이러한 목적으로 종자의 전처리를 통한 발아율과 발아세의 향상을 발아 조사를 통하여 조사하였다<표 3-2-6~9>.

소나무는 노천매장 30일과 60일에서 발아율과 발아세의 향상이 높게 나타나고 있다. 대조구의 종자와 비교하면 발아율은 90.3%에서 노천매장 30일에서는 96.3%로 노천매장 60일에서는 97.7%로 높아지고 발아세도 대조구와 비교하면 최소 10일정도 빨라지는 것을 나타냈다.

목백합은 노천매장 대조구의 종자의 발아율은 0%였으나 노천매장을 3개월 이상 실시하

면 발아율이 현저하게 높아졌다. 특히 노천매장을 5~6개월 정도 함으로써 파종립에서의 발아율이 70%정도로 높아지는 것으로 나타났다. 따라서 목백합의 적정 노천매장 기간은 5개월에서 6개월 정도인 것으로 나타났다.

싸리, 비수리는 대조구와 발아 촉진 처리구 간의 차이가 크게 나타나지 않으며 이는 싸리와 비수리 종자가 활력이 매우 높은 종자이기 때문인 것으로 판단된다.

따라서 싸리와 비수리 종자는 발아촉진처리보다는 충실한 종자를 확보하는 것이 더욱 중요한 것으로 판단된다.

<표 3-2-6> 소나무 종자의 발아 촉진 처리에 따른 발아 촉진 효과

처 리	최종 발아율(%)		발아 최성일 까지의 발아율(%)		발아 최성일까지의 기간(days)		비고
	종자	파종립	종자	파종립	종자	파종립	
Control	90.3±2.5	100	82.3±2.5	85.7±1.7	24.0 ±1.4	22.8 ±2.5	
수침 1일	91.7 ±3.4	100	85.6 ±2.4	92.7±2.6	20.8 ±2.8	17.4 ±2.5	
노천매장 15일	94.3 ±1.7	100	90.3 ±1.5	93.7±2.6	20.0 ±0.0	16.6 ±1.0	
노천매장 30일	96.3 ±1.7	100	94.3 ±1.4	96.3±3.1	14.4 ±1.6	11.6 ±1.0	적 정 노천매장
노천매장 60일	97.7 ±1.3	100	96.7 ±1.3	96.5±3.0	13.4 ±1.4	10.4 ±1.5	

<표 3-2-7> 싸리종자의 발아 촉진 처리에 따른 발아 촉진 효과

처 리	최종 발아율(%)		발아 최성일 까지의 발아율(%)		발아 최성일까지의 기간(days)		비고
	종자	파종립	종자	파종립	종자	파종립	
Control	97.3±1.5	100	72.7±3.4	75.7±3.3	14.4±2.5	13.3±3.6	
노천매장 15일	98.7±1.0	100	82.3±2.7	83.7±6.7	11.7±1.0	9.6±2.4	
노천매장 30일	97.8±1.4	100	89.2±1.7	93.7±2.4	9.6±1.2	8.8±1.0	적 정 노천매장
노천매장 60일	98.0±1.3	100	91.3±4.1	96.3±1.5	7.5±1.4	6.3±1.1	



<표 3-2-8> 비수리 종자의 발아 촉진 처리에 따른 발아 촉진 효과

처 리	최종 발아율(%)		발아 최성일 까지의 발아율(%)		발아 최성일까지의 기간(days)		비고
	종자	과종립	종자	과종립	종자	과종립	
Control	95.7±3.4	100	85.3±2.2	90.6±3.1	16.8±2.4	17.4±1.6	
노천매장 15일	96.8±2.7	100	86.4±3.6	92.8±2.4	15.4±2.9	17.0±1.0	
노천매장 30일	97.7±2.1	100	91.3±2.1	96.4±1.5	12.7±1.3	11.1±2.8	적 정 노천매장
노천매장 60일	97.6±2.8	100	93.2±3.5	98.5±1.0	11.1±2.4	12.7±2.4	

<표 3-2-9> 목백합 종자의 발아 촉진 처리에 따른 발아 촉진 효과

처리	최종 발아율(%)		발아 최성일 까지의 발아율(%)		발아 최성일까지의 기간(days)		비고
	종자	과종립	종자	과종립	종자	과종립	
Control	0.00±0.0	0.00	0.00±0.0	0.00	0.00±0.0	0.00±0.0	
노천매장 1개월	14.3±10.7	25.3±2.4	12.7±6.5	21.3±2.6	40.3±1.7	40.7±3.5	
노천매장 3개월	57.8±1.0	63.7±3.4	49.5±1.6	53.2±3.8	28.7±2.4	25.8±1.5	
노천매장 4개월	57.8±1.2	60.8±3.9	48.8±2.4	55.4±4.2	27.6±1.4	24.7±2.6	
노천매장 5개월	66.8±1.7	75.3±2.4	59.3±2.7	65.3±2.9	27.5±1.6	23.6±2.7	적 정 노천매장
노천매장 6개월	54.8±2.5	70.7±2.7	44.6±2.3	67.7±3.7	27.4±1.6	23.9±3.4	

5) 종자의 전처리 후 장기저장에 따른 발아율의 변화

종자의 전처리에 따른 발아 촉진 처리에서 나타난 결과를 보면 증적 처리를 통하여 종자의 발아율을 높일 수 있었다. 하지만 전처리된 종자를 건조한 상태에서 장기 저장했을 때 그 발아 촉진 효과를 유지하는 가는 종자의 보관과 과종립의 제조의 용이성에서 매우 중요한 인자로 판단된다. 따라서 종자를 전처리 후 1년간 장기 저장했을 때의 활력의 유지정도를 발아시험을 통하여 조사하였다.

소나무의 경우에는 장기 저장 후 발아율의 감소가 낮게 나타났다. 1년의 장기 저장 동안

발아율은 90% 정도에서 80% 정도를 유지하는 것으로 나타났다. 이중 노천매장 60일에서 다른 처리구와 비교해서 높은 변화를 보이는 것으로 나타났다. 따라서 소나무는 종자의 전처리 후 장기 저장이 가능한 것으로 판단된다<표 3-2-10>.

<표 3-2-10> 소나무의 장기 저장에 따른 발아율의 변화

구분	저장 기간에 따른 발아율(%)비고			비 고
	0개월	6개월	1년	
Con	90.3±2.5	91.5±1.3	86.2±3.0	
수침 1일	91.7±2.7	91.7±2.6	87.5±1.9	
노천매장 15일	94.3±2.7	95.4±1.1	87.6±1.6	
노천매장 30일	96.3±1.7	93.7±2.9	86.6±2.9	적 정 노천매장
노천매장 60일	97.7± 1.3	93.7±2.9	80.4±1.6	

목백합에서는 장기저장의 효과가 뚜렷하게 나타났으며 노천매장 6개월 처리구에서 장기 저장 6개월 만에 발아율이 58.4%에서 30.4%로 떨어져 뚜렷한 발아율 감소 효과를 나타내는 것으로 나타났다. 또한 장기저장 1년에서는 모든 처리구에서 발아율이 10% 내외로 감소하는 것으로 나타났다<표 3-2-11>. 따라서 목백합은 1년간의 장기저장에는 불리한 종자로 판단된다.

<표 3-2-11> 목백합 종자의 장기저장에 따른 발아율의 변화

구분	저장 기간에 따른 발아율(%)비고			비 고
	0개월	6개월	1년	
Control	0.00±0.0	0.00±0.0	0.00±0.0	
노천매장 1개월	14.3±10.7	13.7±6.7	12.6±5.9	
노천매장 3개월	57.8±1.0	42.9±3.4	19.8±3.4	
노천매장 4개월	57.8±1.2	46.7±3.9	18.7±3.2	
노천매장 5개월	66.8±1.7	52.7±3.7	16.3±2.9	적 정 노천매장
노천매장 6개월	54.8±2.5	30.4±2.3	10.4±2.7	

싸리에서는 1년간의 장기 저장을 통해서 활력의 변화가 크게 나타나지 않았다. 따라서 싸리 종자는 1년 이상의 장 기저장이 가능한 것으로 나타났다<표 3-2-12>.

<표 3-2-12> 싸리 종자의 장기 저장에 따른 발아율의 변화

구분	저장 기간에 따른 발아율(%)비교			
	0개월	6개월	1년	
Control	97.3±1.5	95.4±3.5	93.2±3.8	
15일	98.7±1.1	96.3±2.4	96.3±1.1	
30일	99.8±0.7	98.7±1.3	98.3±0.2	적 노천매장
60일	99.0±0.3	98.1±1.3	96.3±2.7	

6) 학교 포장에서의 종자 부착 휴지 처리 및 코아네트 피복 처리의 생존율 비교

종자의 유실을 저지하기 위한 방법을 탐구하기 위하여 집중호우가 내리는 8월에 실시하였다. 종자가 집중호우나 비교적 많은 경우에는 유실되거나 어린유묘의 상태에서 토의 등에 의하여 도복 등의 피해를 입게 된다. 이러한 피해를 최소화 하며 현지 실험에서 생존율을 높일 수 있는 방법으로 종자 부착 휴지와 코아네트 피복 처리의 방안을 강구하여 실험하였다.

종자의 직파에 비하여 종자 부착 휴지 처리와 코아네트의 피복 처리가 소립 종자인 비수리, 강아지풀, 쑥의 경우에는 큰 영향을 미치지 못하였지만 이와 같이 미세한 소립 종자들은 종자의 유실 등의 피해에서 비교적 유리한 것으로 나타났다. 하지만 소나무의 경우에는 10%의 생존율을 최대 45%까지 높이는 효과가 있는 것으로 나타났다. 싸리의 경우에는 10%의 생존율이 최대 80%까지 높아지는 등 종자 부착 휴지 처리와 코아네트 처리가 비교적 종자가 비교적 큰 종자인 소나무, 싸리의 경우에 효과가 높은 것으로 나타났다.

강아지풀의 경우에는 종자 부착 휴지 + 코아네트 피복 처리에서 낮은 생존율을 보이는 것으로 나타났는데 이는 종자 부착 휴지 + 코아네트 피복 처리구에서 다양한 식생이 발달하여 생기는 그늘에 의한 효과로 판단된다<표 3-2-13>.

〈표 3-2-13〉 학교포장에서의 종자 부착 휴지 처리 및 코아네트 피복 처리의 생존율(%) 비교

(시험기간 : 2002년 8월)

구 분	종자 직파	종자 + 코아네트 피복	종자 부착 휴지 처리	종자 부착 휴지 + 코아네트 피복
소나무	10	20	30	45
싸 리	10	40	60	80
비수리	100	100	100	100
강아지풀	100	100	100	40
들 피	100	100	100	100
쭉	100	100	100	100

7) 현지 실연지의 상수리나무, 굴참나무의 식해 방지 실험

상수리, 굴참나무의 식해 방지의 방법을 탐구하기 위하여 상수리나무, 굴참나무의 종자에 종자 부착휴지 처리와 방조캡을 이용하여 식해 방지 실험을 실시하였다. 식해방지의 효과는 종자 부착 휴지 처리구와 방조캡에서 비슷한 51% ~ 53%정도로 높게 나타내고 있지만 종자 부착 휴지 처리와 코아네트 피복 처리의 중복 처리구에서 가장 높은 생존율인 70% ~ 72%를 나타내었다. 이는 종자 부착 휴지 처리와 코아네트 피복 처리의 중복 처리구가 식해 동물들이 식해하기 어렵게 만들거나 종자 부착 휴지의 발아한 종자들에 의한 식해의 감소가 아닌가 판단된다. 그러나 방조캡 처리구에서는 식해의 흔적보다는 발아가 지연되는 현상이 관찰되었다<표 3-2-14>.

〈표 3-2-14〉 현지 실연지의 상수리나무, 굴참나무의 식해 방지 처리에 따른 생존율(%) (2003년 4월 ~ 5월)

구 분	종자직파	방조캡	종자 부착 휴지 처리	종자 부착 휴지 + 코아네트 피복
상수리나무	40	53	53	70
굴참나무	47	51	51	72

8) 상수리나무, 굴참나무 종자 저장 실험

상수리나무, 굴참나무의 종자의 저장을 통하여 식재시기를 늘리고자 종자의 저장 방법을 탐구하였다. 상수리나무, 굴참나무종자는 5℃의 저온 냉장고에서 저장, 시험하였다.

상수리나무, 굴참나무의 종자는 채집시기에 이미 5% 정도 유근의 발아가 있었다. 상수리나무, 굴참나무의 종자를 건사저장만으로 약 6개월까지는 사용이 가능하지만 유근의 발생율의 증가와 유근의 생장이 지속되면 더 이상 종자로서의 가치를 상실하게 된다. 이러한 종자를 장기간 보관하기 위하여 배양토 코팅처리를 통하여 6개월 이상이 되어도 유근의 발생율을 줄일 수 있는 지를 시험하였다<표 3-2-15>.

상수리나무, 굴참나무 모두다 코팅처리구에서 낮은 유근의 발생율이 가장 낮게 나타났다. 상수리나무, 굴참나무의 경우 일반적으로 무처리의 종자는 최장 3개월 이상의 장기보관이 힘들며, 건사저장만으로는 6개월 정도까지만 저장이 가능하지만 코팅한 종자의 경우 6개월 이상 장기보관이 가능한 것으로 나타났다. 앞으로 더욱더 시험을 연장하여 최장 몇 개월까지 장기보관이 가능한지에 대하여는 차후에 추가적으로 시험하고자 한다.

<표 3-2-15> 상수리나무, 굴참나무 종자 저장에 따른 유근의 발생율(%)  
(2002년 11월 ~ 계속)

구 분	상수리나무	굴참나무	상수리나무 건사처리	굴참나무 건사처리	상수리나무 코팅	굴참나무 코팅
1개월	10	10	5	5	5	5
2개월	15	17	8	9	5	5
3개월	17	19	14	10	5	5
6개월	70	75	55	60	15	18

※ 상기 모든 종자는 저온(5℃)에서 시험 되었다.

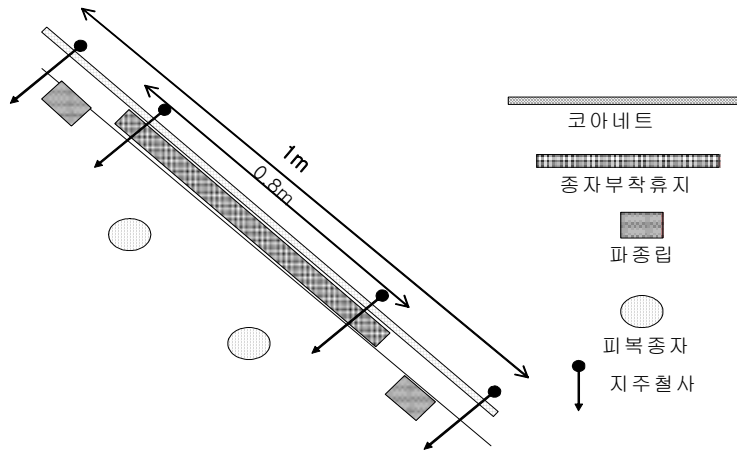
## 2. 현장실연 및 적용체계 구축

### 가. 식생기반 조성

삼척국유림관리소 관내 『산219의 160가』 임반에 시험지를 선정하였다<그림 3-2-6>. 벌채잔존목 수평배치구의 남사면과 북사면의 등고선을 따라 수평배치 시험구와 등고선밀식 식생배치 시험구를 배치하였다. 수평배치 시험구에 종자부착휴지처리와 파종립 직파조림을 폭 200cm로 설치하였다. 등고선밀식 식생배치 시험구는 종자부착휴지처리(폭 40cm, 길이 100cm)와 파종립, 코아네트 피복처리(폭 100cm, 길이 100cm)로 설치하고<그림 3-2-7>, 코아네트처리 전에 상수리나무와 굴참나무 종자를 직파조림을 실시하였다. 각각의 시험구는 시기별로 4월, 5월, 6월에 입지별로는 남사면과 북사면에 설치하였으며 장마기간이 지나고 시험결과를 조사하였다.



<그림 3-2-6> 현지 실연지 모식도



<그림 3-2-7> 종자부착휴지, 파종립과 피복대립종자를 이용한 등고선밀식 식생배치 시험구의 단면도

1) 소나무, 목백합, 싸리의 처리별 시기별 입지별 생존율

직파조림의 현지실현체계 구축을 위하여 소나무, 목백합, 싸리를 대상으로 직파조림 현지실현을 실시 하였으며, 이때 시기, 종자의 활력, 직파조림의 기법 등에 따라 직파조림의 성공률이 크게 좌우 된다는 것을 확인하고, 최적의 현지 실현체계의 구축을 위하여 시험하였다.

소나무는 파종립 + 종자부착휴지 + 코아넷 처리에서 가장 생존율이 높은 것으로 나타났다. 시기별로는 4월과 5월이 비슷한 결과를 나타내고 있으나 11월에 비해서는 높은 것으로 나타났다. 이는 11월에 발아하여 겨울을 나기가 힘들거나 익년 봄에 발아한 종자가 식해를 입기 쉬운 것으로 판단된다<표 3-2-16>.

<표 3-2-16> 소나무 1개월 노천매장 종자의 시기별, 입지별, 처리별 생존율

구 분		2002. 11.	2003. 4	2003.5	비 고
남사면	직파	15.4±3.6	34.4±12.6	35.6±15.7	
	파종립	22.7±2.7	59.6±5.9	54.3±6.3	
	파종립+휴지+코아넷	59.3±6.5	85.7±2.7	84.3±3.7	
북사면	직파	12.1±6.5	32.4±6.9	34.5±4.8	
	파종립	24.2±7.3	59.3±9.1	52.3±5.9	
	파종립+휴지+코아넷	56.7±3.6	85.4±5.3	84.3±8.6	

목백합에서도 소나무에서와 비슷한 결과를 얻었으며, 특히 파종립 + 종자부착휴지 + 코아넷 처리구가 생존율이 높은 것으로 나타났다. 이는 목백합은 식해에 소나무보다 민감한 것이 아닌가 하는 추측을 가능케 하지만 차후에 더욱 구체적인 실험을 요하는 것으로 판단된다<표 3-2-17>.

<표 3-2-17> 목백합 5개월 노천매장 종자의 시기별, 입지별, 처리별 생존율

구 분		2002. 11.	2003. 4	2003.5	비 고
남사면	직파	4.3±6.3	16.5±2.6	29.5±6.5	
	파종립	23.2±3.7	35.6±9.4	36.3±8.6	
	파종립+휴지+코아넷	57.2±6.2	68.9±8.9	71.2±4.2	
북사면	직파	13.0±3.1	19.8±8.9	31.5±11.3	
	파종립	18.2±8.2	17.6±6.9	29.6±8.4	
	파종립+휴지+코아넷	51.7±6.3	66.9±3.5	71.5±7.7	

싸리에서는 종자의 활력이 높아서 처리와 시기에 상관없이 높은 생존율을 나타내고 있다 <표 3-2-18>.

<표 3-2-18>싸리 30일 노천매장 종자의 시기별, 입지별, 처리별 생존율

구 분		2002. 11.	2003. 4	2003.5	비 고
남사면	직파	54.6±6.7	52.4±3.7	52.3±7.8	
	파종립	79.8±6.3	86.9±6.7	88.7±6.7	
	파종립+휴지+코아넷	95.7±2.4	95.7±2.6	94.2±6.9	
북사면	직파	53.9±3.7	55.8±3.9	53.9±9.5	
	파종립	78.9±5.2	82.9±3.4	89.3±5.2	
	파종립+휴지+코아넷	97.3±1.2	100	100	

2) 상수리나무, 굴참나무의 처리별, 시기별 생존율

종자 활력 유지 능력을 보유한 상수리나무, 굴참나무 코팅종자의 현지 실험체계 구축은 동물에 의한 식해의 피해가 최소 40%이상 나타났으며 이를 위해서 시기별, 처리별 차이를 통하여 현지 실험체계의 확립을 위하여 본 시험을 실시하였다<표 3-2-19>.



<표 3-2-19> 상수리나무 굴참나무의 시기별, 처리에 따른 생존율

구 분		2002. 11.	2003. 4	2003.5	비 고
상수리나무	단순직파	8.7±6.4	30.4±3.6	40.7±5.2	
	코딩종자+방조껍	34.4±4.3	35.4±3.4	53.6±2.4	
	코딩종자+휴지+코아넷	45.1±6.2	51.6±2.3	70.6±3.4	
굴참나무	단순직파	11.8±3.6	20.8±2.8	47.5±2.1	
	코딩종자+방조껍	32.5±7.2	25.1±2.1	51.8±1.6	
	코딩종자+휴지+코아넷	49.3±5.6	55.9±6.3	72.9±2.4	

상수리나무와 굴참나무 피복종자와 코아넷 처리를 통하여 4월과 5월 시험에서 각각 73.2%와 72.9%의 높은 생존율을 나타낼 수 있었다. 하지만 방조껍 처리를 통해서 50% 내외의 생존율을 나타냈으며 이는 식해 이외에 다른 요인에 의해서 상수리나무, 굴참나무의 종자발아가 제한을 받을 수도 있다는 가설을 가능케 한다. 하지만 이에 대해서는 구체적으로 실험하지는 않았다.

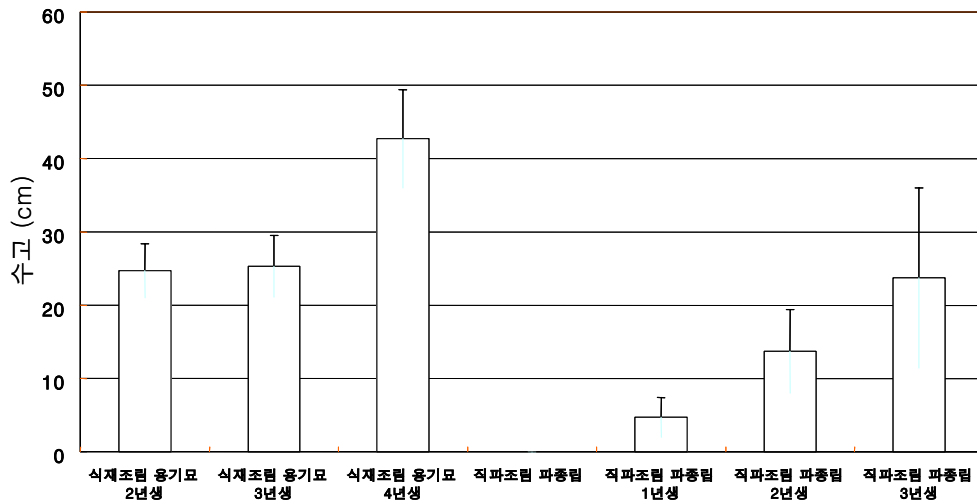
따라서 상수리나무, 굴참나무의 대립종자는 피복 처리를 통해서 활력을 장기간 유지시키고 이를 현지에서 직파할 때는 직파를 위한 보조 재료로 코아넷을 이용하여 생존율을 높일 수 있다는 것으로 사료된다.

### 3) 소나무, 목백합의 식재묘와 직파 조립묘 간의 수고 성장 비교

소나무와 목백합의 식재묘와 직파 조립묘 간의 수고성장 비교를 통하여 직파 조립묘의 현지 적응성과 수고 성장을 통하여 식재묘와의 차이를 비교 시험하고자 하였다. 소나무의 경우에는 식재묘가 묘포에서 최소 2년을 성장한 후에 현지에 식재되었다. 그에 비해서 직파 조립한 소나무는 현지에서 발아하여서 생육하기 시작하였기 때문에 초기의 수고에 차이가 있다. 하지만 연년 성장량에 있어서는 직파 조립한 소나무가 평균 10cm정도인 반면, 식재묘는 평균 6.5cm정도였다. 이도 소나무 직파 조립묘는 금년에는 평균 20cm정도 성장한 반면 식재묘는 금년 평균 15cm정도씩 자랐다. 식재묘의 경우 식재된 당년과 익년에는 현지에 적응을 하파 활착을 하기 위해서 수고 생장이 평년 3~5cm정도인 반면 직파 조립묘는 파종 당년에는 어린 유묘로서 수고생장이 적었으나 익년부터 빠른 성장을 보이고 있다. 이에 대해서는 앞으로 더욱 조사할 필요가 있을 것으로 판단된다<그림 3-2-8>.

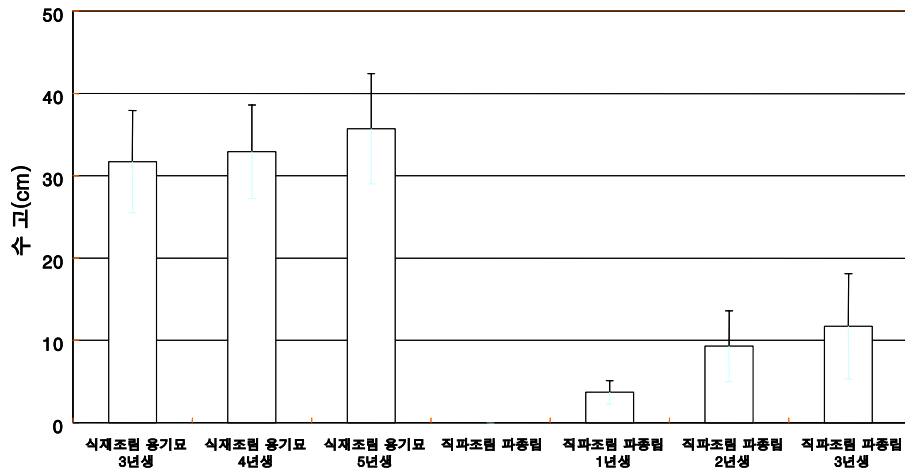
목백합의 경우도 소나무의 경우와 비슷한 결과를 얻었으나 특히 목백합의 식재묘의 경우는 식재묘의 수령이 소나무보다 많고 수고 또한 크지만 현지에 식재된 이후 계속적으로 잎과 신초부위가 식해를 받아서 수고의 생장이 미약하고 현지에 적응성이 낮은 것으로 나타났다. 이에 비하여 직파조립 묘는 현지에서 적응이 식재묘에 비해서 빠르고 안정적으로 성장하는 것으로 나타났다. 하지만 직파 조립묘 또한 현지에서 계속적인 식해가 있는 것으로 판단되며 추가로 이에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다<그림 3-2-8~9>.

소나무의 수고성장 비교



<그림 3-2-8> 소나무의 용기묘 식재와 파종립 조립의 수고 성장 비교

목백합나무의 수고성장 비교



<그림 3-2-9> 목백합의 용기묘 식재와 파종립 조림의 수고 성장 비교

### 3. 파종립 직파조림 단비표

#### 가. 수종별 직파조림 단비비교

파종립의 직파조림과 묘목의 식재 단비의 비교를 통해서 현지 실현의 가능성을 비교분석하였다. 현재 일반적으로 사용되고 있는 묘목의 식재는 식재후의 조림 성공에 대한 안정성 등의 이유로 직파 조림에 비해서 널리 사용되고 있다. 하지만 본 실험에서는 파종 조림의 가능성을 확인하였고 이를 통하여 식재 조림과의 비용면에서 파종 조림의 가능성을 다시 한번 확인할 수 있었다.

#### 1) 소나무 파종립 직파조림 단비

소나무의 경우 ha당 잔존본수 5,000본을 기준으로 소나무 파종립 직파 조림 단비는 보호망을 사용하는 경우는 2,636,603원, 보호망을 사용하지 않는 경우는 3,087,381원으로 소나무 용기묘 식재 조림 단비 4,237,638원에 비하여 각각 30.87%, 27.14% 저렴한 것으로 나타났다. 이는 파종 조림이 식재 조림에 비해서 비용 면에서 더욱 효과적이란 것을 알 수 있었고 앞으로 파종 조림의 성공에 관한 안전성만 검토된다면 인력을 동원하기 어려운 곳이나 충분한 시간을 가지고 복원할 수 있는 곳에서는 파종 조림과 식재 조림을 병행하여 실시할 수 있을 것으로 판단된다<표 3-2-20~22>.

<표 3-2-20> 소나무 송이복원림의 용기묘 조림 단비표(5,000본/ha)

구 분	공 정	단 가	재 원 별 내 역 (원)			산 출 근 거
			국 고	지방비	계	
1. 노 무 비	48.8인		1,810,294	201,144	2,011,438	123528원×39.3kg 1조/600kg×1/3회 노무비의 21/1000 (노무비+운반비)의 7/100 사업비의 0.86%
가. 간접노무비	2.3인	41,218원	85,321	9,480	94,801	
나. 직접노무비	46.5인		1,724,973	191,664	1,916,637	
- 정리작업	34.0인	41,218원	1,261,271	140,141	1,401,412	
- 식재작업	12.5인	41,218원	463,702	51,523	515,225	
2. 자 재 대			1,642,500	182,500	1,825,000	
- 묘 목	5,000본	325원	1,462,500	162,500	1,625,000	
- 조림목	5,000개	40원/개	180,000	20,000	200,000	
3. 운 반 비			153,106	17,012	170,118	
가. 대운반			16,345	1,816	18,161	
- 묘 목	5,000본	72,644/대	16,345	1,816	18,161	
나. 소운반			136,761	15,196	151,957	
- 경운기	5,000본	90,680/조	34,005	3,778	37,783	
- 인 력	2.77인	41,218/조	102,756	11,418	114,174	
4. 경 비			175,454	19,495	194,949	
- 산재보험료			38,016	4,224	42,240	
- 수수료			137,438	15,271	152,709	
5. 부 대 비			32,520	3,613	36,133	
합 계			3,813,874	423,764	4,237,638	

<표 3-2-21> 소나무 파종림의 조림 단비표 (보호망 사용 : 8,500본/ha)

구 분	공 정	단 가	재 원 별 내 역 (원)				산 출 근 거
			국 고	지방비	자 력	계	
1. 노 무 비	32.55		939,152	268,329	134,165	1,341,646	m <sup>2</sup> 당=550원/15 123,528원×39.3kg 1조/600kg×1/3회 노무비의 21/1000 (노무비+운반비)의 7/100 사업비의 0.86%
가. 간접노무비	1.55	41,218	44,722	12,778	6,389	63,888	
나. 직접노무비	31		894,431	255,552	127,776	1,277,758	
○ 정리작업	25	41,218	721,315	206,090	103,045	1,030,450	
○ 식재작업	6	41,218	173,116	49,462	24,731	247,308	
2. 자재대			803,250	229,500	114,750	1,147,500	
○ 파종림(개)	8,500	100	595,000	170,000	85,000	850,000	
○ 방지용망(개)	8,500	35	208,250	59,500	29,750	297,500	
3. 운반비			1,888	539	270	2,697	
가. 대운반							
나. 소운반			1,888	539	270	2,697	
○ 파종림	8,500	123,528/조	1,888	539	270	2,697	
4. 경비			85,595	24,456	12,228	122,279	
○ 산재보험료			19,722	5,635	2,817	28,175	
○ 수수료			65,873	18,821	9,410	94,104	
5. 부대비			15,737	4,496	2,248	22,481	
합계			1,845,622	527,321	263,660	2,636,603	

<표 3-2-22> 소나무 파종립의 조립 단비표(15,000본/ha)

구 분	공 정	단 가	재 원 별 내 역 (원)				산 출 근 거	
			국 고	지방비	자 력	계		
1. 노무비	34.65		999,743	285,641	142,820	1,428,204	m <sup>2</sup> 당=550원/15	
가. 간접노무비	1.65	41,218	47,607	13,602	6,801	68,010		
나. 직접노무비	33		952,136	272,039	136,019	1,360,194		
○ 정리작업	25	41,218	721,315	206,090	103,045	1,030,450		
○ 식재작업	8	41,218	230,821	65,949	32,974	329,744		
2. 자재대		100	1,050,000	300,000	150,000	1,500,000		
○ 파종립(개)	15,000	100	1,050,000	300,000	150,000	1,500,000		
3. 운반비	15,000	35	1,888	539	270	2,697		123,528원×39.3kg 1조/600kg×1/3회
가. 대운반								
나. 소운반			1,888	539	270	2,697		
○ 파종립	15,000	123,528/조	1,888	539	270	2,697	노무비의 21/1000 (노무비+운반비)의 7/100	
4. 경비			91,109	26,031	13,016	130,155		
○ 산재보험료			20,995	5,998	2,999	29,992		
○ 수수료			70,114	20,033	10,016	100,163	사업비의 0.86%	
5. 부대비			18,428	5,265	2,633	26,325		
합계			2,161,167	617,476	308,738	3,087,381		

2) 목백합 파종립 직파조립

목백합의 경우는 매우 관심이 높아지고 있는 조립 수종에 하나로서 현재 종자에 관한 문제를 선결하지 않는 한 대량의 양묘나 파종이 힘든 것으로 판단된다. 따라서 본 실험에서는 대량의 종자의 충실율을 높이기 위한 방법을 고안하여 종자의 정선에 관한 기술을 확보하였다. 충실한 종자를 기본으로 하여 이를 파종조립하거나 대량 양묘할 경우의 단비를 비교하였다. 목백합은 앞에서 언급한 바와 같이 적지에 관한 문제와 파종 또는 조립을 실시하였을 경우 식해에 관한 문제를 고려할 때 파종조립과 식재조립에 있어서 더욱 충분한 연구가 필요한 것으로 판단된다<표 3-2-23~26>.

목백합의 경우 ha당 잔존본수 1,100본을 기준으로 1-0묘 식재단비는 2,138,721원이 소요되는데 비해 파종립 직파조립의 경우는 1,705,644원으로 20.25% 더 저렴한 것으로 나타났다.

Ha당 잔존본수 3,000본을 기준으로 목백합 파종립 직파조립 단비는 보호망을 사용하는 경우는 2,694,027원, 사용하지 않는 경우는 3,087,381원으로 나타났다.

<표 3-2-23> 목백합 1-0묘 (1,100본/ha) 식재 단비표

구 분	공 정	단 가	재 원 별 내 역 (원)				산 출 근 거
			국 고	지방비	자 력	계	
1. 노무비	35.3		881,442	359,681	213,872	1,454,995	2003년 1-0묘 5ha당 1개  노무비의 21/1000 (노무비+운반비)의 7/100 사업비의 0.86%
가. 간접노무비	1.7	41,218	49,049	21,021		70,070	
나. 직접노무비	33.6		832,393	338,660	213,872	1,384,925	
○ 정리작업	22.6	41,218	559,883	227,789	143,854	931,526	
○ 식재작업	11	41,218	272,510	110,871	70,018	453,399	
2. 자재대			505,329	2,541		507,870	
○ 묘목	1,100	454	499,400			499,400	
○ 표주(개)	0.2	42,350	5,929	2,541		8,470	
3. 운반비			13,641	5,845		19,486	
가. 대운반							
○ 묘목	1,100	119,680/본	3,072	1,316		4,388	
나.   소운반							
○ 묘목(본)	1,100	123,528/조	10,569	4,529		15,098	
4. 경비			96,694	41,440		138,134	
○ 산재보험료			24,444	10,476		34,920	
○ 수수료			72,250	30,964		103,214	
5. 부대비				18,236		18,236	
합계			1,497,106	427,743	213,872	2,138,721	

<표 3-2-24> 목백합의 파종립 조림 식재 단비표(보호망 사용 : 3,000본/ha)

구 분	공 정	단 가	재 원 별 내 역 (원)				산 출 근 거
			국 고	지방비	자 력	계	
1. 노무비	25.2		727,086	207,739	103,869	1,038,694	m <sup>2</sup> 당=550원/15  123,528원×39.3kg 1조/600kg×1/3회
가. 간접노무비	1.2	41,218	34,623	9,892	4,946	49,462	
나. 직접노무비	24		692,462	197,846	98,923	989,232	
○ 정리작업	20	41,218	577,052	164,872	82,436	824,360	
○ 식재작업	4	41,218	115,410	32,974	16,487	164,872	
2. 자재대			388,500	111,000	55,500	555,000	
○ 파종립(개)	3,000	150	315,000	90,000	45,000	450,000	
○ 방지용망(개)	3,000	35	73,500	21,000	10,500	105,000	
3. 운반비			1,888	539	270	2,697	
가. 대운반							
나. 소운반			1,888	539	270	2,697	
○ 파종립	3,000	123,528/조	1,888	539	270	2,697	
4. 경비			66,297	18,942	9,471	94,710	
○ 산재보험료			15,269	4,363	2,181	21,813	
○ 수수료			51,028	14,579	7,290	72,897	
5. 부대비			10,180	2,909	1,454	14,543	
합계			1,193,951	341,129	170,564	1,705,644	

<표 3-2-25> 목백합의 파종립 조림 식재 단비표(보호망 사용 : 6,000본/ha)

구 분	공 정	단 가	재 원 별 내 역 (원)				산 출 근 거
			국 고	지방비	자 력	계	
1. 노무비	34.65		999,743	285,641	142,820	1,428,204	m <sup>2</sup> 당=550원/15  123,528원×39.3kg 1조/600kg×1/3회
가. 간접노무비	1.65	41,218	47,607	13,602	6,801	68,010	
나. 직접노무비	33		952,136	272,039	136,019	1,360,194	
○ 정리작업	25	41,218	721,315	206,090	103,045	1,030,450	
○ 식재작업	8	41,218	230,821	65,949	32,974	329,744	
2. 자재대			777,000	222,000	111,000	1,110,000	
○ 파종립(개)	6,000	150	630,000	180,000	90,000	900,000	
○ 방지용망(개)	6,000	35	147,000	42,000	21,000	210,000	
3. 운반비			1,888	539	270	2,697	
가. 대운반							
나. 소운반			1,888	539	270	2,697	
○ 파종립	6,000	123,528/조	1,888	539	270	2,697	
4. 경비			91,109	26,031	13,016	130,155	
○ 산재보험료			20,995	5,998	2,999	29,992	
○ 수수료			70,114	20,033	10,016	100,163	
5. 부대비			16,080	4,594	2,297	22,971	
합계			1,885,819	538,805	269,403	2,694,027	

<표 3-2-26> 목백합 파종립 조림 식재 단비표(10,000본/ha)

구 분	공 정	단 가	재 원 별 내 역 (원)				산 출 근 거
			국 고	지방비	자 력	계	
1. 노무비	34.65		999,743	285,641	142,820	1,428,204	m <sup>2</sup> 당=550원/15  123,528원×39.3kg 1조/600kg×1/3회  노무비의 21/1000 (노무비+운반비)의 7/100 사업비의 0.86%
가. 간접노무비	1.65	41,218	47,607	13,602	6,801	68,010	
나. 직접노무비	33		952,136	272,039	136,019	1,360,194	
○ 정리작업	25	41,218	721,315	206,090	103,045	1,030,450	
○ 식재작업	8	41,218	230,821	65,949	32,974	329,744	
2. 자재대		150	1,050,000	300,000	150,000	1,500,000	
○ 파종립(개)	10,000	150	1,050,000	300,000	150,000	1,500,000	
3. 운반비			1,888	539	270	2,697	
가. 대운반							
나. 소운반			1,888	539	270	2,697	
○ 파종립	10,000	123,528/조	1,888	539	270	2,697	
4. 경비			91,109	26,031	13,016	130,155	
○ 산재보험료			20,995	5,998	2,999	29,992	
○ 수수료			70,114	2,0033	10,016	100,163	
5. 부대비			18,428	5,265	2,633	26,325	
합계			2,161,167	617,476	308,738	3,087,381	

3) 상수리나무 직파조립

상수리나무, 굴참나무와 같은 대립 종자에 대한 직파 조립은 일부 시행되고 있으나 아직 보편적이라고 할 수는 없다. 또한 식해의 방지와 같은 기술이 아직 확립되어 있지 못한 것이 현실이다. 앞의 실험에서 기존의 식해 방지 기법의 하나인 방조컵을 시험하였으나 본 실험에서와 같이 코아넷을 이용한 식해 방지와 비교해서 효율성 면에서 코아넷을 이용하는 것이 더 효율적이라고 할 수 있다. 또한 ha당 단비를 비교하여도 현재 사용하고 있는 다양한 방법과 비교하여 효율성과 조립 성공율에 대한 비교를 통하여 현지 실험을 통해 비교한 결과 파종립과 코아넷을 이용하는 것이 더 효율적일 것으로 판단된다.

Ha당 단비에서 상수리나무 용기묘는 4,659,093원인데 비하여 상수리나무의 직파조립은 3,708,650원으로 비용이 절감된다는 것을 알수 있었다. 그러나 현지 실험한 방법은 파종립과 코아넷을 이용하는 것은 비용에서 더욱더 효과적인 3,156,869원으로 타나났다. 또한 식재된 본수도 기존의 방법보다는 더 많을 것으로 판단되어 더욱 효율적일 것으로 판단된다<표 3-2-27~29>.

<표 3-2-27> 상수리나무 용기묘(5,000본/ha)의 식재 단비표

구 분	공 정	단 가	재 원 별 내 역 (원)				산 출 근 거	
			국 고	지방비	자 력	계		
1. 노무비	40.3		562,760	632,416	465,909	1,661,085	1인 1,500개 설치	
가. 간접노무비	1.9	41,218	54,820	23,494		78,314		
나. 직접노무비	38.4		507,940	608,922	465,909	1,582,771		
○ 정리작업	22.6	41,218	298,944	358,376	274,207	931,527		
○ 식재작업	12.5	41,218	165,345	198,217	151,663	515,225		
○ 표시봉 설치	3.3	41,218	43,651	52,329	40,039	136,019		
2. 자재대			2,247,077	105,890		2,352,967		24헥트레이드 사용 대나무 직경 1cm 이상 에나멜유성(적색)
○ 묘목	5,000	400	2,000,000			2,000,000		
○ 표시봉(개)	5,000	66	231,000	99,000		330,000		
○ 페인트(l)	3	4,833	10,148	4,349		14,497		
○ 표주(개)	0.2	42,350	5,929	2,541		8,470		
3. 운반비			293,851	125,936		419,787	5ha당 1개	
가. 대운반			69,813	29,920		99,733		
○ 묘목	5,000	119,680/본	69,813	29,920		99,733		
나. 소운반			224,036	96,016		320,054		
○ 경운기	5,000	123,528/조	144,116	61,764		205,880		
○ 인력(명)	2.77	41218	79,922	34,252		114,174	노무비의24/1,000 (노무비+운반비)의 7/100 사업비의0.86%	
4. 경비			129,869	55,658		185,527		
○ 산재보험료			27,906	11,960		39,866		
○ 수수료			101,963	43,698		145,661		
5. 부대비			27,809	11,918		39,727		
합계			3,261,366	931,818	465,909	4,659,093		



<표 3-2-28> 상수리나무 파종 조림(5,000본/ha)의 단비표

구 분	공 정	단 가	재 원 별 내 역				산출근거
			국고	지방비	자력	계	
1. 노무비	58.6		1,383,787	660,723	370,865	2,415,375	300상 조성/1인 1인 1일 300상 파 종
가. 간접노무비	2.8	41,218	80,787	34,623		115,410	
나. 직접노무비	55.8		1,303,000	626,100	370,865	2,299,965	
○ 정리지작업	22.6	41,218	527,738	253,582	150,207	931,527	
○ 상만들기	16.6	41,218	387,531	186,259	110,329	684,219	
○ 파종및방조캡설치	16.6	41,218	387,531	186,259	110,329	684,219	
2. 자재대			1,029,179	2,541		1,031,720	2003년산 상수리나 무종자 가격 적용
○ 종자(kg)	39.3	2,500	98,250			98,250	
○ 방조캡(개)	5,000	185	925,000			925,000	
○ 표주(개)	0.2	42,350	5,929	2,541		8,470	5ha당 1개
3. 운반비			1,888	809		2,697	
가. 대운반							
나. 소운반							
○ 종자(kg)	5,000	123,528/조	1,888	809		2,697	
4. 경비			159,064	68,171		227,235	노무비의24/1.000 (노무비+운반비)의 7/100
○ 산재보험료			40,578	17,391		57,969	
○ 수수료			118,486	50,780		169,266	
5. 부대비			22,136	9,487		31,623	사업비의0.86%
합계			2,596,054	741,731	370,865	3,708,650	

<표 3-2-29> 상수리나무, 굴참나무의 파종립 직파 조림(보호망 사용, 7,000본/ha)단비표

구 분	공 정	단 가	재 원 별 내 역 (원)				산 출 근 거
			국 고	지방비	자 력	계	
1. 노무비	58.6		1,211,809	346,231	173,116	1,731,156	300상 조성/1인 1인 1일 300상 파 종
가. 간접노무비	2.8	41,218	80,787	23,082	11,541	115,410	
나. 직접노무비	55.8		1,131,022	323,149	161,575	1,615,746	
○ 정리지작업	22.6	41,218	652,069	186,305	93,153	931,527	
○ 상만들기	16.6	41,218	478,953	136,844	68,422	684,219	
○ 파종및방조캡 설치			0	0	0	0	
2. 자재대			863,429	246,694	123,347	1,233,470	2003년산 상수리나 무 종자 가격 적용
○ 파종립	7,000	150	735,000	210,000	105,000	1,050,000	
○ 코아넷	7,000	35	122,500	35,000	17,500	175,000	
○ 표주(개)	0.2	42,350	5,929	1,694	847	8,470	5ha당 1개
3. 운반비			1,699	485	243	2,427	
가. 대운반			0	0	0		
나. 소운반			0	0	0		
○ 파종립	7,000	123528/조	1,888	539	270	2,697	
4. 경비			114,029	32,580	16,290	162,899	노무비의24/1.000 (노무비+운반비)의 7/100
○ 산재보험료			29,083	8,310	4,155	41,548	
○ 수수료			84,946	24,270	12,135	121,351	
5. 부대비			18,842	5,384	2,692	26,918	사업비의0.86%
합계			2,209,809	631,374	315,687	3,156,869	

<현지 실연지 사진>



<사진 1> 현지 실연지 전경



<사진 2> 종자부착 휴지처리와 파종립 파종전의 모습.



<사진 3> 종자부착 휴지처리와 파종립 파종후의 식생 도입된 모습



<사진 4> 목백합의 발아한 모습



<사진 5> 쉬나무의 발아한 모습



<사진 6> 수평배치시험구의 파종립과 종자 부착휴지의 발아한 모습



<사진 7> 등고선밀식 식생배치구에서의 상수리의 발아한 모습



<사진 8> 등고선밀식 식생배치구에서 종자부착휴지와 파종립, 굴참나무가 같이 발아한 모습



<사진 9> 상수리나무의 일반적인 파종에서 근부에 대한 일부 식해피해를 받은 모습



<사진10> 굴참나무의 식해피해를 받은 모습



<사진11> 수평배치 시험구의종자 부착에서 생존한 상수리나무 모습

### 제 3 절 우량 소나무임분 조성용 내화수종 선발

#### 1. 내화수림대 임분배치를 위한 기술정립 및 현장실연 기반구축

##### 가. 국내·외 문헌 및 현지조사를 통한 내화성 수종 선정

###### 1) 국내·외 문헌조사

###### 가) 국외 문헌조사

자연적인 또는 인위적으로 발생하는 산불은 생태계를 교란시키는 요인으로 산림식생의 변화에 중요한 역할을 하고 있다. 산불에 대한 수목의 내화성은 오랜 기간동안 자연에서 발생하는 산불에 적응하는 과정에서 독특하게 형성된 생리적 메커니즘 또는 형태적인 특성에 따라 산불 회피형(fire avoidance), 산불 저항형(fire tolerance) 등으로 구분된다. 산불 회피형은 주기적으로 발생하는 산불에 대하여 개화, 결실기간 등의 생육 기간을 단축하여 산불에 대한 적응성을 갖게 되며, 산불 저항형은 형성층이나 눈 등의 성장 조직을 보호하기 위한 수피 등의 보호 조직이 두텁게 발달하여 산불에 대한 저항성을 갖는다.

방크스소나무는 주기적으로 발생하는 산불을 효과적으로 이용하는 수종으로 알려지고 있다. 구과의 인편은 두터운 목질성을 띠어 구과 내의 종자는 200℃에서 10분, 370℃에서 1분간 화염에 노출된 상태에서 생리적인 발아력을 유지하는 것으로 보고되고 있으며, 또한 산불에 의한 자극으로 종자의 발아가 촉진되는 특성이 있는 것으로 알려져 있다.

폰데로사소나무, 더글러스전나무, 미국삼나무 등은 두텁게 발달한 수피 조직으로 성장 조직을 보호하여 산불에 적응하는 특성이 있다. 리기다소나무, 미국삼나무, 폰데로사소나무 등은 두터운 수피 조직으로 보호된 지상부의 눈(aerial bud)과 사시나무, 포플러, 자작나무 등의 수종은 산불 발생 시 상대적으로 열의 전도가 낮은 지하부의 뿌리, 근주 등에 분포하는 지하부의 눈(subterranean bud)은 산불 피해 후 맹아 발생에 유리한 특성이 있는 것으로 알려져 있다. 포플러 등의 활엽수는 잎 또는 체내의 정유 성분이 낮고 수분 함량이 높아 정유 성분이 높은 침엽수에 비하여 상대적으로 산불에 대한 저항성이 높은 특성을 나타내는 것으로 보고되고 있다.

일본의 경우 내화수림(防火林)을 구성하는 수목은 인화(引火) 또는 연소에 대한 저항성 및 내화성이 높은 수종을 대상으로 입지 및 기상 환경 변화에 대한 적응력이 높고, 연소 억제력이 강하여 내화수림 설치의 기대 효과를 얻을 수 있는 수종을 선정하고 있다.

일본에서 내화수림대에 식재되는 수종으로는 굴참나무, 은행나무, 떡갈나무, 마가목, 층층

### 제 3 절 우량 소나무임분 조성용 내화수종 선발

#### 1. 내화수림대 임분배치를 위한 기술정립 및 현장실연 기반구축

##### 가. 국내·외 문헌 및 현지조사를 통한 내화성 수종 선정

###### 1) 국내·외 문헌조사

###### 가) 국외 문헌조사

자연적인 또는 인위적으로 발생하는 산불은 생태계를 교란시키는 요인으로 산림식생의 변화에 중요한 역할을 하고 있다. 산불에 대한 수목의 내화성은 오랜 기간동안 자연에서 발생하는 산불에 적응하는 과정에서 독특하게 형성된 생리적 메커니즘 또는 형태적인 특성에 따라 산불 회피형(fire avoidance), 산불 저항형(fire tolerance) 등으로 구분된다. 산불 회피형은 주기적으로 발생하는 산불에 대하여 개화, 결실기간 등의 생육 기간을 단축하여 산불에 대한 적응성을 갖게 되며, 산불 저항형은 형성층이나 눈 등의 성장 조직을 보호하기 위한 수피 등의 보호 조직이 두텁게 발달하여 산불에 대한 저항성을 갖는다.

방크스소나무는 주기적으로 발생하는 산불을 효과적으로 이용하는 수종으로 알려지고 있다. 구과의 인편은 두터운 목질성을 띠어 구과 내의 종자는 200℃에서 10분, 370℃에서 1분간 화염에 노출된 상태에서 생리적인 발아력을 유지하는 것으로 보고되고 있으며, 또한 산불에 의한 자극으로 종자의 발아가 촉진되는 특성이 있는 것으로 알려져 있다.

폰데로사소나무, 더글러스전나무, 미국삼나무 등은 두텁게 발달한 수피 조직으로 성장 조직을 보호하여 산불에 적응하는 특성이 있다. 리기다소나무, 미국삼나무, 폰데로사소나무 등은 두터운 수피 조직으로 보호된 지상부의 눈(aerial bud)과 사시나무, 포플러, 자작나무 등의 수종은 산불 발생 시 상대적으로 열의 전도가 낮은 지하부의 뿌리, 근주 등에 분포하는 지하부의 눈(subterranean bud)은 산불 피해 후 맹아 발생에 유리한 특성이 있는 것으로 알려져 있다. 포플러 등의 활엽수는 잎 또는 체내의 정유 성분이 낮고 수분함량이 높아 정유 성분이 높은 침엽수에 비하여 상대적으로 산불에 대한 저항성이 높은 특성을 나타내는 것으로 보고되고 있다.

일본의 경우 내화수림(防火林)을 구성하는 수목은 인화(引火) 또는 연소에 대한 저항성 및 내화성이 높은 수종을 대상으로 입지 및 기상 환경 변화에 대한 적응력이 높고, 연소억제력이 강하여 내화수림 설치의 기대 효과를 얻을 수 있는 수종을 선정하고 있다.

일본에서 내화수림대에 식재되는 수종으로는 굴참나무, 은행나무, 떡갈나무, 마가목, 층층

나무, 돌개회나무, 누리장나무 등의 낙엽활엽수와 가시나무, 붉가시나무, 후박나무, 후피향나무, 녹나무, 소귀나무, 아왜나무, 식나무, 애기동백, 사철나무 등의 상록활엽수가 있는 것으로 조사되었다.

나) 국내 문헌조사

국내의 문헌조사를 통하여 조사된 내화성 수종은 수피 조직이 두텁게 발달한 수종, 엽내의 수분 함량이 높은 상록활엽수종, 산불 피해 후 맹아 발생 등의 생리적 특성이 유리한 수종 등을 대상으로 선정하였다.

내화성 수종으로서 교목 및 아교목성 수종의 경우 굴참나무, 은행나무, 황벽나무, 오리나무, 아까시나무, 동백나무, 아왜나무 및 관목성 수종의 경우 팽팍나무, 사철나무, 탕자나무, 누리장나무 등이 적합하였다 <표 3-3-1> .

굴참나무, 황벽나무는 두터운 수피에 의하여 생장조직이 보호되며, 동백나무, 아왜나무 등과 같은 수종은 두터운 잎을 형성하여 체내의 높은 수분 함량으로 산불에 대한 저항성이 있으며, 아까시나무, 오리나무, 굴참나무 등과 같이 산불 발생 후 맹아력이 높은 수종은 산불에 대한 적응력이 높은 수종으로 알려지고 있다.

<표 3-3-1> 문헌조사를 통한 기후대별 내화성 수종

구분	층위	내화성 수종
온대 중부	교 목 성	은행나무, 굴참나무, 상수리나무, 떡갈나무, 느티나무, 물푸레나무, 황철나무, 황벽나무, 백합나무, 아까시나무
	아교목성	소태나무, 쇠물푸레
	관 목 성	누리장나무, 닥나무, 사철나무, 탕자나무
난대	교 목 성	가시나무류, 먼나무, 생달나무, 아왜나무, 후박나무
	아교목성	굴거리나무, 동백나무, 붓순나무, 비쭈기나무
	관 목 성	사스레피나무, 식나무, 팔손이, 팽팍나무

2) 현지 노거수 분포 현황 조사

노거수는 오랜 세월동안 생리적인 노령화와 화재 등의 자연재해에 대한 환경적 외압을 견디고 잔존한 수목으로 역사성과 함께 학술적 및 문화적 유산으로서의 가치를 지고 있



다. 현재 대부분의 노거수는 시·도·군에서 보호수로 지정하여 법적으로 보호되고 있으며, 수종별 보호수의 기준은 굴참나무(200년), 느티나무(300년), 은행나무(400년), 팽나무(250년), 소나무(200년), 음나무(150년), 주엽나무(100년) 등을 기준으로 하고 있다.

내화성 수종 선정을 위한 자료로 활용하기 위하여 삼척시 및 울진군의 현지에 분포하고 있는 노거수를 조사하였으며, 조사된 노거수는 18종 171개체의 노거수가 조사되었다 <표 3-3-2>. 현지에 분포하는 노거수 중에서 내화성이 높은 수종은 굴참나무, 은행나무 등으로 나타났으며, 산지에 식재하여 내화수림대 구성에 적용 가능한 수종으로는 굴참나무가 적합한 수종인 것으로 조사되었다.

<표 3-3-2> 삼척시·울진군 노거수 분포 현황

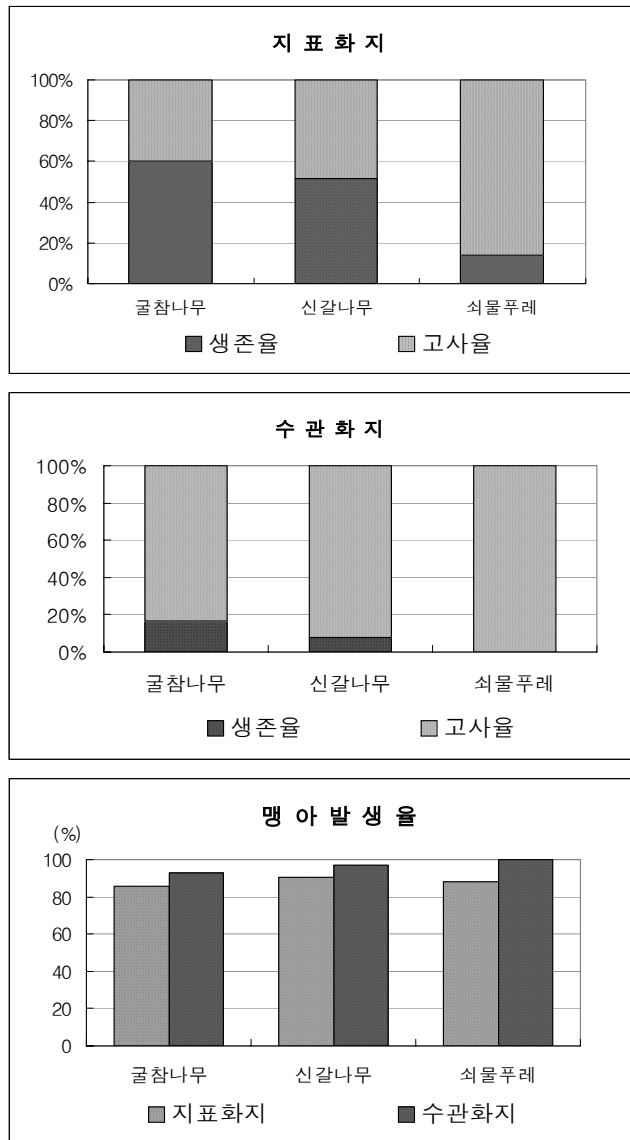
구 분	출현 수종 및 개체수
삼척시	느티나무(48), 소나무(20), 주엽나무(7), 향나무(6), 굴참나무(6), 갈참나무(3), 음나무(2), 은행나무(1), 느릅나무(1), 회화나무(1), 졸참나무(1), 상수리나무(1), 고욤나무(1), 신갈나무(1), 히말리야시다(1), 삼나무(1), 아까시나무(1), 배롱나무(1)
울진군	느티나무(26), 굴참나무(15), 소나무(15), 향나무(10), 회화나무(5), 팽나무(5), 은행나무(2), 물푸레나무(2), 자작나무(1), 모감주나무(1), 산돌배나무(1)

( ) : 개체수

### 3) 산불피해지 피해목의 내화성 조사

연구대상지 내 산불피해지를 대상으로 산불 피해 유형을 지표화 및 수관화 등으로 구분하여 피해목의 피해 정도 및 맹아 발생 특성을 조사하였다.

산불 발생 2년 경과 후 산불피해임지 주요 수종을 대상으로 피해목의 생존율을 조사한 결과, 지표화 피해임지에서의 생존율은 굴참나무 60.0%, 신갈나무 48.2%, 쇠물푸레 13.6%로 나타났으며, 수관화 피해임지에서는 굴참나무 16.73%, 신갈나무 7.8%, 쇠물푸레 0%로 나타나 조사 대상 수종 중에서 굴참나무가 산불에 대한 내화력이 상대적으로 높은 것으로 조사되었다. 맹아 발생율은 지표화 피해임지에서는 굴참나무 85.7%, 신갈나무 90.4%, 쇠물푸레 88.1%로 나타났으며, 수관화 피해임지에서 굴참나무 92.7%, 신갈나무 96.9%, 쇠물푸레 100%로 나타났다 <그림 3-3-1>.



<그림 3-3-1> 산불피해 유형별 피해목의 내화 특성

소나무는 산불피해지역의 상층 임관을 구성하는 수종으로 지표화 피해임지에서 비교적 피해가 낮게 나타난 반면에 수관화 피해임지에서는 잎과 가지가 전소되어 완전히 고사되는 피해를 받은 것으로 나타났다. 쇠물푸레는 연구대상지역의 아교목층 및 관목층을 구성하는 수종으로 조사대상 수종 중에서 피해목의 고사율이 가장 높게 나타났으나 맹아

발생율이 높은 특성을 갖는 수종으로 조사되었다. 굴참나무와 신갈나무는 조사대상 수종 중에서 비교적 피해목의 생존율 및 맹아력이 높게 나타났다. 특히 수피의 코르크층이 두텁게 발달한 굴참나무는 수관화 피해임지의 교목층을 형성하는 개체목 중에서 산불 발생 후의 생존율이 높게 나타나 조사대상 수종 중에서 산불에 대한 저항성이 가장 높은 수종으로 조사되었다.

#### 4) 산불후 식생 변화 조사

산불 피해 전후의 식생변화를 분석하기 위하여 내화수림대 조성 실연지를 대상으로 지표화지 및 수관화지 등의 산불 피해 유형별로 구분하여 산불 피해 2년 경과 후의 식생 변화 특성을 조사하였다. 1:2,5000 축척의 수치 영상도(산림청, 1996년)를 이용하여 삼척 산불 장기생태연구 조사지(LTER Site)의 임상별 분포 면적을 추출한 결과, 소나무 등의 침엽수림이 전체 면적의 약 72.6%를 차지하고, 침활혼효림 25.1% 및 활엽수림 0.4%로 대부분의 소나무 등의 침엽수림이 분포하고 있는 것으로 나타났다.

##### 가) 지표화 지역

상층임관의 피해가 경미하게 발생한 지표화 지역의 산불 전의 식생은 소나무가 교목층을 우점하고 소나무, 신갈나무와 이밖에 굴참나무 등이 아교목층을 우점한 수종으로 나타났다. 쇠물푸레는 아교목층 및 관목층에서 그리고 관목층에서는 진달래, 산철쭉 및 신갈나무, 굴참나무 등의 참나무류가 주요한 수종이었다. 산불 발생 후의 식생변화는 지표화로 인한 산불 피해가 주로 관목층에서 나타난 결과 관목층은 대부분의 식생이 고사된 후 맹아로 재생되었으며, 맹아에 의한 관목층의 우점도는 신갈나무 및 굴참나무는 증가한 반면, 진달래 및 쇠물푸레의 우점도는 감소하였다<표 3-3-3>.

<표 3-3-3> 지표화지의 산불 후 식생 변화

주요수종	지표화 지역					
	산불 피해 전			산불 피해 후		
	교목층	아교목층	관목층	교목층	아교목층	관목층
소나무	100.0	33.1		100.0	43.6	
굴참나무		15.2	4.0		17.2	8.5
신갈나무		34.9	16.8		35.4	35.9
쇠물푸레		16.8	25.6		3.8	20.3
진달래			26.5			13.2
싸리류						8.7
기타			27.1			13.4

나) 수관화 지역

수관화 지역의 산불 전 식생은 소나무가 교목층을 우점하는 수종이고 이밖에 굴참나무 및 신갈나무가 교목층을 구성하였으며, 아교목은 소나무 및 신갈나무, 굴참나무 등의 참나무류가 주요한 우점수종이었다. 관목층에서는 신갈나무, 굴참나무 등의 참나무류와 쇠물푸레, 진달래 등이 관목층을 구성하는 주요 수종이었다.

산불 발생 후 식생 변화는 교목층의 우점수종 이었던 소나무는 완전히 고사된 반면에 교목층의 굴참나무, 신갈나무 일부 개체목이 생존하여 교목층을 구성하는 주요한 수종으로 나타났다. 아교목층 및 관목층은 산불발생 후 피해목에서 발생한 맹아로 재생된 식생으로 신갈나무, 굴참나무, 쇠물푸레 등이 주요 우점수종으로 나타났다. 특히 싸리나무류는 산불 발생 지역에서 우점도가 급격히 증가하는 수종으로 나타났다<표 3-3-4>.

<표 3-3-4> 수관화지의 산불 후 식생 변화

주요수종	수관화 지역					
	산불 피해 전			산불 피해 후		
	교목층	아교목층	관목층	교목층	아교목층	관목층
소나무	72.1	43.6				
굴참나무	18.7	17.2	8.5	68.1	26.5	13.9
신갈나무	4.9	35.4	35.9	31.9	49.9	28.1
쇠물푸레		3.8	20.3			16.3
진달래			13.2			4.5
싸리류			8.7			14.1
기타	4.3		13.4		23.6	23.1

## 5) 실연 대상지 내화수림대 조성용 내화수종 선정

내화수림대 조성용 내화성 수종은 산불에 대한 인화성 및 발염성이 낮고 연소된 경우에도 쉽게 발염되지 않으며, 연소부위의 발열량이 낮아 산불 확산의 차단 효과가 큰 수종이 바람직하며, 또한 맹아력이 강하여 임분 재생이 용이한 특성을 지닌 수종이 내화수림대 조성용으로 적합하다.

내화수림대 실연지 조성을 위한 내화성 수종의 선정은 국내·외 문헌조사 및 현지조사를 통하여 산불에 대한 내화성 및 맹아력이 강하여 내화수림대의 유지 및 관리에 용이하고, 실연대상지인 산지의 입지환경에 적용 가능한 굴참나무(*Quercus variabilis*)를 선정하였다. 내화수림대 조성용 내화수종으로 선정된 굴참나무는 우리나라 전역에 걸쳐 분포하는 수종으로 수평적으로는 전남 완도(북위 34°30′)에서 평안도 묘향산(북위 40°)에 분포한다. 수직적 분포는 해발 50~1,200m에 걸쳐 분포하며 해발 500m 내외가 분포의 중심지가 된다. 굴참나무는 토심이 깊고 비옥한 토양이 생육적지이며, 남향 사면의 척박·건조한 입지에서 군집을 이루며 분포하는 특성이 있다. 또한 건조한 입지에서 굴참나무의 수분 스트레스에 대한 적응성은 수분 스트레스에 대한 잎의 확산저항이 높고, 낮은 기공밀도, 작은 기공 크기 및 성모의 밀도가 높아 비교적 참나무속 중에서 수분 스트레스에 대한 적응성이 높은 수종으로 알려져 있다.

## 2. 내화성 증진을 위한 내화수림대 임분 배치 현지 실연 기반 조성

### 가. 복잡지형에 의한 유체의 비선형 흐름 및 인공열원에 의한 국지기상 변화 연구

대기 하층의 바람은 인접한 지표면의 지형, 지표면 거칠기, 열적 분포 등에 의해 직접적인 영향을 받으므로 산불의 확산과 전파 유형에 있어 기상 조건에 대한 정확한 이해는 예방과 진화 효율성을 도모하는데 절대적이라 할 수 있다. 특히 우리나라와 같이 지형의 기복이 심한 산악 지역에서의 바람장은 복잡한 지형의 영향으로 인하여 비선형성이 증가하여 소용돌이가 강한 난류가 형성되며 특유의 국지 기상이 발달하여 종관 규모의 기압장에 의해 지배되는 바람장에서 예측된 것과는 매우 다른 양상을 보인다.

따라서 이 연구는 내화 수림대 조성을 위한 임분 배치에 감안되어야 하는 기상 자료를 제공하기 위하여 정밀 수치 예보 모델로 지형 효과가 산불 전개에 미치는 영향을 파악할 수 있도록 산불과 관련된 국지적 기상 현상을 수치 모의하여 그 결과를 분석하고자 한다.

이에 1차 년도에는 고분해능 수치 모형을 설치, 시험 운영하였으며 2차 년도에는 한반도 상세 지형 특성을 반영할 수 있도록 중규모 수치모델 MM5 의 TERRAIN 모형 코드를 개선하고 2001년 3월과 4월중 산불 발생 가능성이 높은 기상 조건 사례일에 대하여 복잡한 지형에 나타날 수 있는 지상풍의 분포를 분석하였다. 3차 년도의 연구에서는 1 km 격자 간격으로 수행된 2차 년도의 MM5 모델 결과를 이용하여 수 백 m 분해능의 고해상도 바람 자료를 산출하였다.

#### 1) 모 델

본 연구에서는 한반도 지역의 국지적 기상의 모의를 위하여 중규모 모델 PSU/NCAR MM5 (The Fifth-Generation of Penn State University / National Center for Atmospheric Research, Mesoscale Model)와 ARPS (Advanced Regional Prediction System)를 설치하였다. MM5를 이용한 예보는 다양한 규모의 기상 현상을 다루기 위해 4 단계의 등지 격자계를 구성하였다. 각 영역의 수평 격자 간격은 1 단계 격자(27km), 2 단계 격자(9km), 3단계 격자(3km), 4단계 격자(1km) 로 모든 격자계가 경도 방향으로 31개, 위도 방향으로 31개, 연직 격자는 시그마 18개 층이다. 이때 고해상도 격자에서는 등지 격자의 외부 격자에서 생성된 기상 현상이 경계 조건을 통하여 특성이 반영된다.

1 단계 격자의 초기 자료와 경계 자료는 기상청 6시간 간격 Global Data Assimilation and Prediction System (GDAPS) 자료를 이용하고 해수면 온도 자료는 미국 NCEP/NCAR reanalysis 의 2차원 전구 분석 자료를 사용하여 모형의 전처리 과정에서 생산하였다. 2단계 이하의 등지 격자계에서는 그 단계의 어미 등지로부터 초기 및 경계 자료를 내삽하여 사용하게 된다. 구성된 격자계와 적용된 물리 과정과 세부 사항을 <표 3-3-5~6> 및 <그림 3-3-4~5>에서 제시하였다.

모델 MM5 시스템에서 사용하는 모형의 중심은 37.2284875N, 129.3150425E로 삼척 LTER site를 중심으로 영역을 축소하면서 해상도에 따라 4개 영역을 선택하고 지형고도 및 식생분포 관련 자료는 USGS global 10분, 5분, 2분 자료와 환경부 3sec 자료를 각 격자계에서 해상도에 따라 모델에 경계조건에 맞도록 가공하여 사용하였다.

1 km 미만의 고해상도 예보를 위한 모의는 ARPS 모형을 이용한다. ARPS 모형은 미규모와 중규모 기상현상의 모의를 위해 개발된 모형으로써 지형 고도 좌표를 사용하는 비정역학 모형이다. 이는 계산상의 어려움은 있으나 대기중의 거의 모든 운동을 포함한다. 또한 미세 규모의 모의를 위한 아격자 규모의 난류를 포함하며 따뜻한 비와 세 종류의 얼음 상의 미세 물리 과정을 포함한다. 지표 플럭스는 2층 토양 모델을 결합하여 계산된

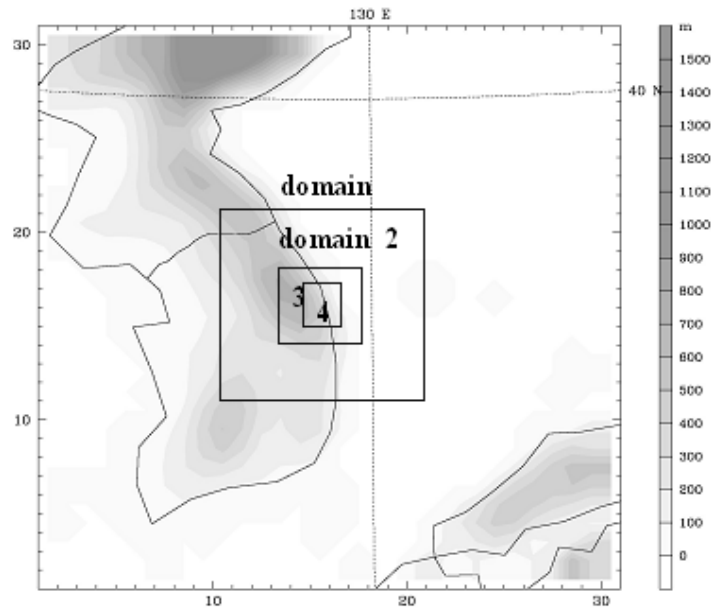
다. ARPS 모델은 4단계 격자계 영역에 대하여 수행되며 수평 격자는 500 m, 연직 격자는 200 m 로써 중심 위·경도와 격자수를 <표 3-3-5~6>과 같다. 모형의 초기 자료는 1 km 예보의 영역 평균된 연직 프로파일을 이용하였다.

<표 3-3-5> MM5 모델수행을 위하여 사용한 격자간격, 영역, 구름 표현법, 초기 자료, 경계층 모델

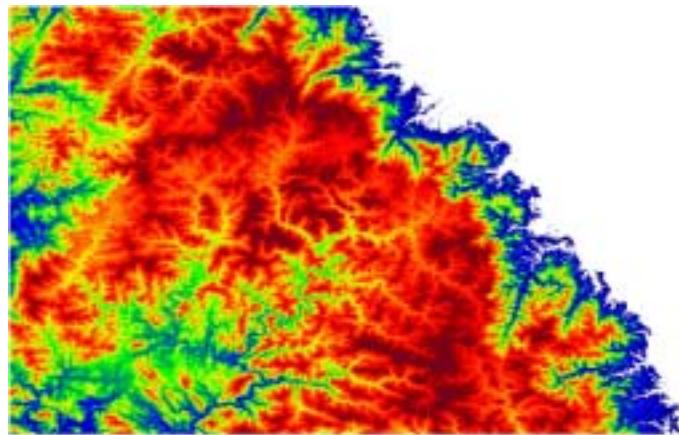
	domain 1	domain 2	domain 3	domain 4
grid number	31×31	31×31	31×31	31×31
domain size	27 km	9 km	3 km	1 km
vertical level		32 layer		
Cumulus	Grell	None	None	None
explicit moisture		simple ice		
PBL		MRF		
soil model		multi-layer soil model(1)		
radiation		Dudhia		
shallow convection	off	off	off	off
topo/landuse	global 10min data (USGS)	global 5min data (USGS)	global 2min data (USGS)	Korea DEM 2sec data
Initial data		GDAPS (KMA)		
SST data	NCEP/NCAR global reanalysis 6 hourly data in March 2001			
boundary	GDAPS	mother domain (1 way nesting)		

<표 3-3-6> ARPS 모형의 격자 수 및 영역 크기

ARPS 500m 간격 예보	
grid number	63 × 63
domain size	30 km
vertical level	43 layer
cumulus	None
explicit moisture	Warm rain microphysics
Initial data	MM5 1 km domain averaged sounding



<그림 3-3-4> 모델 수행을 위한 4단계 동지 격자계  
(각 동지 간격 1,2,3,4의 간격은 27 km, 9 km, 3 km, 1 km.)



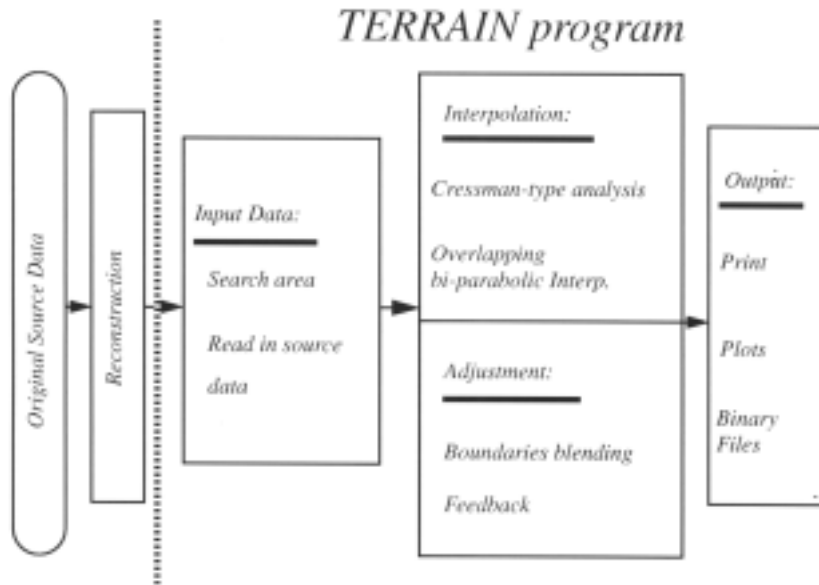
<그림 3-3-5> 경도 128°E ~ 130°E과 위도 37°N ~ 38°N 영역의  
1km 격자에 사용 된 환경부 3초 지형 고도 자료.

## 2) 지형 경계 자료

산악지역의 복잡한 지형을 감안할 수 있도록 환경부 고해상도 자료를 개선된 MM5/TERRAIN 알고리즘을 통하여 모델 격자 체계로 변환하였다. TERRAIN은 위·경도의



지형고도나 식생 자료를 모델이 수용할 수 있는 격자 체계(모델 격자)로 내삽이나 외삽을 이용하여 변환하는 MM5 중규모 모델의 구성 요소이다. 그 기능과 과정을 아래 그림으로 표현할 수 있다<그림 3-3-6>.



<그림 3-3-6> MM5 모델의 지형 자료 처리 과정을 보이는 개요도

위 그림에서 수직의 굵은 점선 좌측은 조각난 자료를 ftp나 위치한 디렉토리로부터 이동시켜 모델에서 필요한 영역을 발췌할 수 있게 다시 조합하는 부분을 묘사한다. 미국 지리탐사회(USGS) 30' 자료의 경우 전구가 33개의 조각으로 구성되며 각 조각의 남북 대륙 지역의 60° x 30°와 기타 지역의 크기 30° x 50° 조각으로 구성되어 있다. 모델은 TERRAIN.namelist나 이와 동등한 다른 namelist 파일로부터 해당 사례의 모델 수행에 필요한 영역을 파악한다. 다만 TERRAIN.namelist가 아닌 별도의 namelist파일을 사용하고자 하는 경우는 원래의 영역 정보(TERRAIN.namelist에 들어있는 정보)를 차단하기 위해서 별도의 namelist 파일을 포트란 유니트 15, fort.15로 연결하여야만 한다.

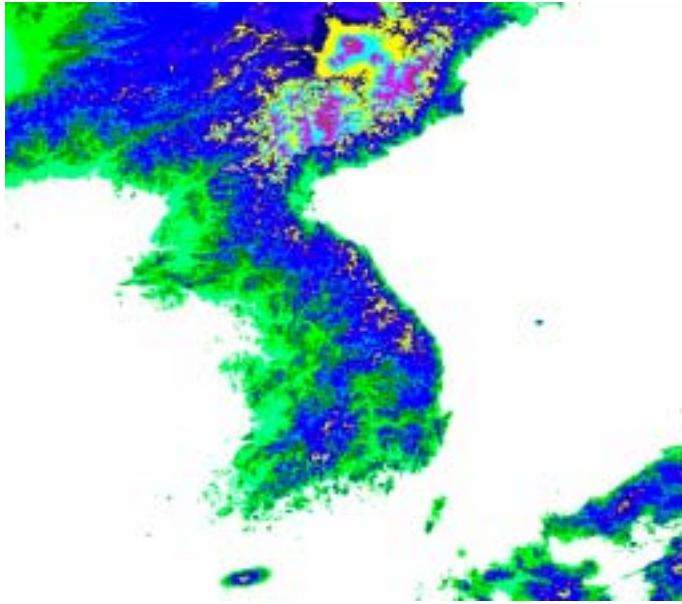
실질적인 산불 지역의 기상 상태를 파악하기 위한 영역은 위도 37.0°N - 37.5°N, 경도 129.0°E - 129.5°E의 삼척을 포함하는 동해안 지역이다. 이 영역에 대하여 현재 보유하고 있는 1초 자료의 격자수는 1800×1800이며, 3초 자료는 600×600의 격자수이다. 이 지형

자료를 모델에 넣는 방법은 다음과 같다. 모델에 입력되는 지형 자료의 형식은 등 간격의 위·경도 자료이며, 각 격자점의 정보는 2BYTE 정수로 기술되어야 한다. 따라서, 현재 보유하고 있는 자료를 이러한 형태로 변환하는 과정을 거쳐야 한다.

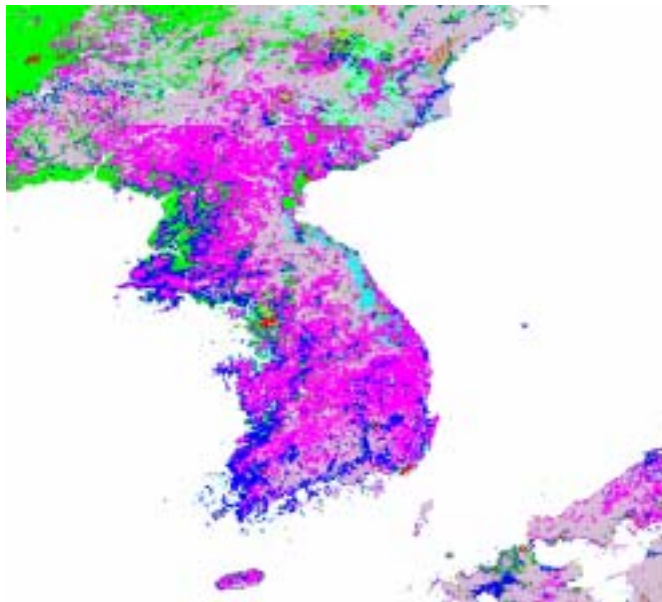
MM5 모델과 동시에 분배되는 지형 자료와 식생 자료를 한반도 지역에 대하여 처리하였다. 다음의 <그림 3-3-7~8>은 지형 자료와 식생 자료를 가시화한 것으로 산불과 같은 매우 작은 규모, 일반적인 대기 운동에 비하여, 산불과 같은 매우 작은 규모의 운동을 묘사하는데 필수적이다. 현재 보이는 자료는 격자 간격이 1 km이다.

산불 모형에 필요한 1 km 미만의 고해상도 모의를 위하여 환경부 3초 지형 고도 자료를 TERRAIN 프로그램으로 분석하여 실험영역에 대하여 제시하면 <그림 3-3-9>와 같다. 실험 대상 지역은 서쪽으로는 산악이 위치하고 동쪽으로는 동해가 위치하여 지형의 효과와 더불어 해륙 분포의 영향을 동시에 받아 이 지역의 기상은 변동이 심한 곳으로 판단된다.

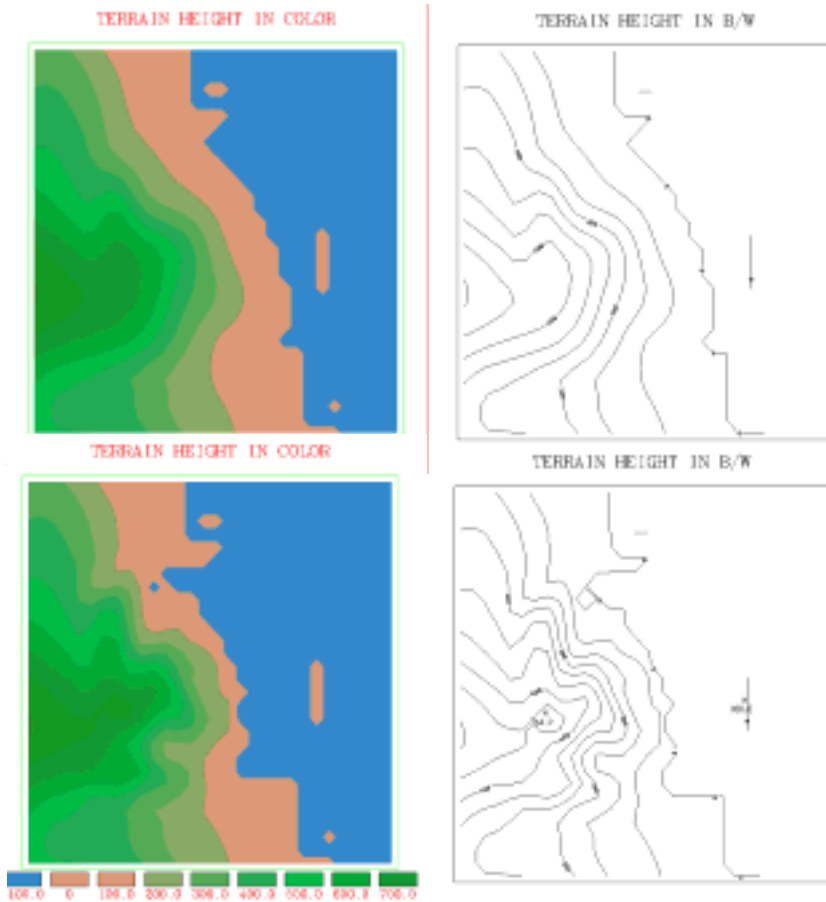
1 km 격자에 USGS global 2분 지형 자료를 사용하였을 때와 환경부 DEM 3초 지형 자료를 사용하였을 때 모델이 만들어낸 지형에는 차이가 있었다. 검봉산과 그 인근의 외관과 지형의 고도는 환경부 DEM 3초 자료를 사용했을 때 실제와 더 비슷하였고 지형의 능과 골의 모의도 더 잘 되었다. 이러한 지형의 차이로 인해 산악 지형과 관련된 국지적인 바람장도 다르게 나타났다.



<그림 3-3-7> 미국 지리탐사회(USGS)의 30초 지형 자료의 가시화  
(각 픽셀의 크기는 1km x 1km, 고도는 10 간격의 정확도)



<그림 3-3-8> 미국 지리탐사회의 식생자료를 한반도 인근에 대하여  
가시화한 영상 (픽셀 크기 1km x 1km)



<그림 3-3-9> 실험 영역에 사용된 USGS 2분 지형자료와 환경부 3초 지형자료의 비교

### 3) 사례의 선정

기상장 수치 모의 사례는 태백, 동해 관측소의 일별 기상 자료를 기준으로 동해안 지역의 일조 시간이 길고 상대 습도가 낮은 기간인 2001년 3월 18-20일, 2001년 4월 15-17일을 선정하였다. 실험 대상 지역은 서쪽으로 산 그리고 동으로 바다가 위치하여 지형의 효과와 더불어 해륙풍이 기상장의 전개에 큰 영향을 줄 수 있는 지역이다. 본 사례를 선택한 사유는 산불 발생에 호조건인 일조량이 많고 상대습도가 낮아 건조한 날씨가 지속되었기 때문이다.

<표 3-3-7~10>에서 연구 지역과 인접한 동해와 태백 기상 관측소의 날씨 상태를 보였다. 선정 사례일의 태백 지역 평균 풍속은 5 m/s 이하의 약한 풍속이 나타났다. 일조 시간은 8시간 이상이며 상대 습도는 30-40%의 건조한 날씨 상태를 보였다. 사례 기간 동

안 지상과 상층 850 hPa 등압면의 일기도를 살펴보면 한반도 북동쪽 북만주 지역에 위치한 저기압 영향으로 한반도에 북서풍이 지배적으로 나타나다가 뒤이은 저기압이 통과하면서 서풍계로 풍향의 변화가 나타나고 있다 <그림 3-3-10> . 3월 18일-19일의 기상조건은 고성의 2000년 4월 대형 산불 기간 동안의 기상장과 큰 차이를 보이지 않았다 <그림 3-3-11~12> .

이러한 상황은 동해에 저기압이 강력하게 발달하여 동해안 지역을 포함한 한반도 전역에 강풍을 동반하는 기상 상태와는 매우 다르다. 한반도 봄철 강수 현상 다음에 종종 나타나는 동해 선풍으로 불리는 강풍 출현 시는 인간 활동을 위축시켜 산불 발생과는 다소 거리가 있을 것으로 판단한다. 이는 일반적으로 바람이 강한 경우 산불이 크게 번질 수 있다는 사실과는 상충된다. 이러한 상충점은 산불 발생과 전개 혹은 전과는 별개의 사항으로 취급할 필요성이 있음을 암시한다.

<표 3-3-7> 태백 관측소의 2001년 3월 18-20일 기상 자료

태백 (216)	일조시간 (hr)	평균 풍속(m/s)	평균기온(℃)	상대습도(%)
18 Mar	9.9	2.3	6.7	44
19 Mar	8.7	3.3	9.1	42
20 Mar	9.5	4.4	10.8	37

<표 3-3-8> 동해 관측소의 2001년 3월 18-20일 기상 자료

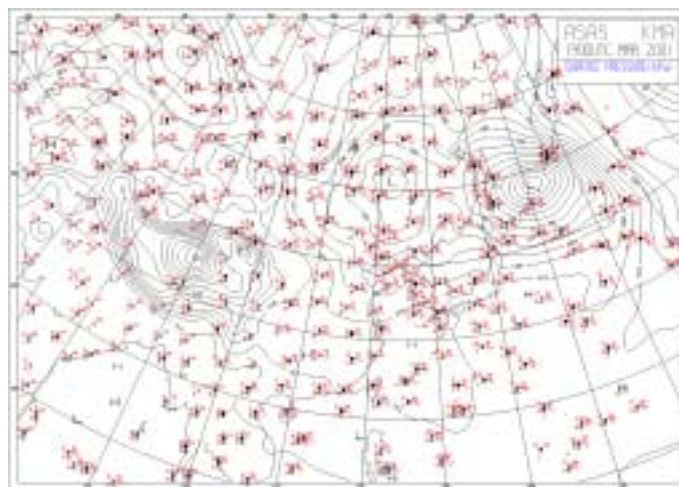
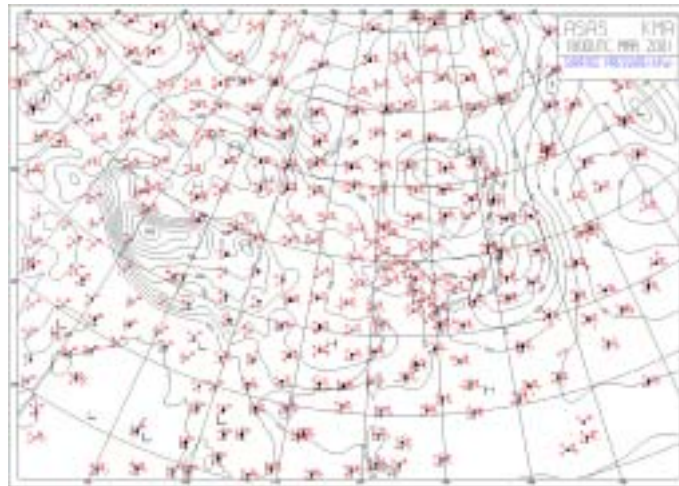
동해 (106)	일조시간 (hr)	평균 풍속(m/s)	평균기온(℃)	상대습도(%)
18 Mar	10.2	4.7	12.5	27
19 Mar	8.8	3.2	14.2	32
20 Mar	9.0	4.4	16.9	23

<표 3-3-9> 태백 관측소의 2001년 4월 15-17일 기상 자료

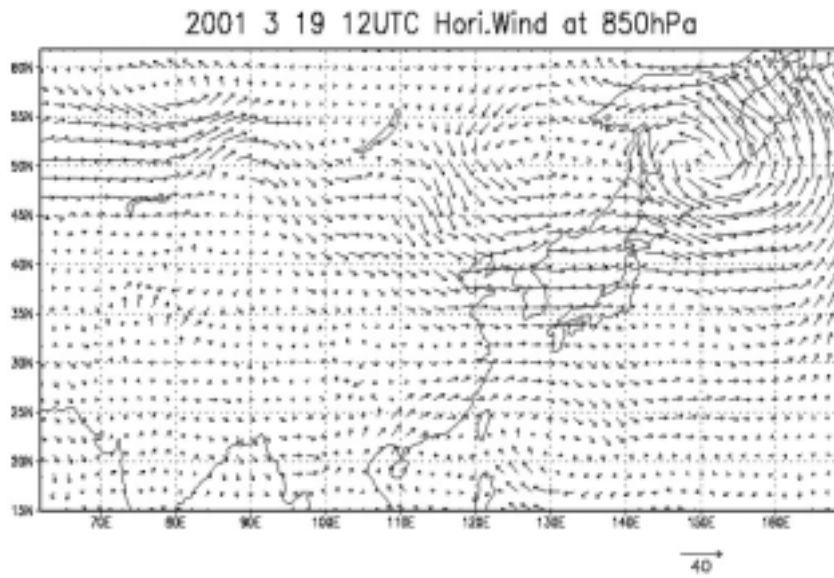
태백 (216)	일조시간 (hr)	평균 풍속(m/s)	평균 기온(℃)	상대습도(%)
15 Apr	11.2	2.6	11.8	39
16 Apr	11.0	2.4	13.4	32
17 Apr	11.1	1.4	13.3	38

<표 3-3-10> 동해 관측소의 2001년 4월 15-17일 기상 자료

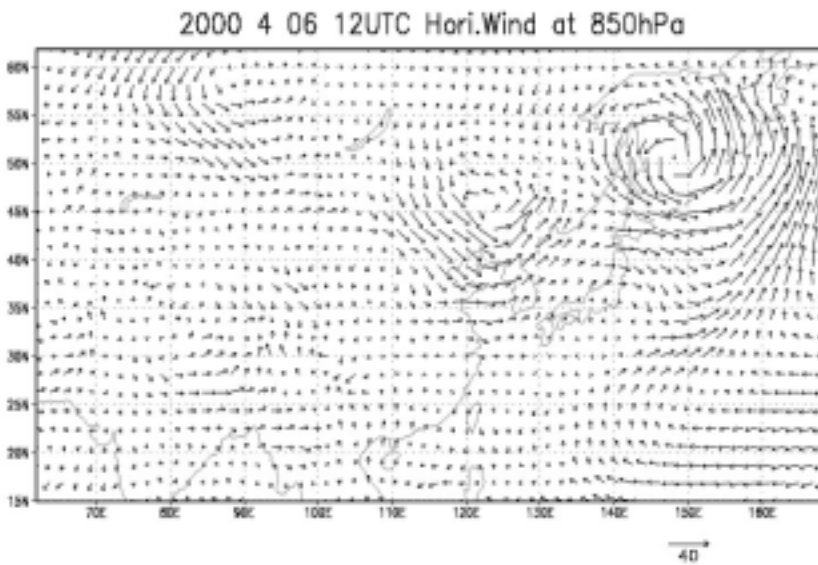
동해(106)	일조시간 (hr)	평균 풍속(m/s)	평균 기온(℃)	상대습도(%)
15 Apr	10.8	3.7	13.6	43
16 Apr	10.5	2.9	19.1	27
17 Apr	12.0	2.2	16.4	39



<그림 3-3-10> 2001년 3월 18일, 19일 00:00 UTC 지상 일기도



<그림 3-3-11> 2001년 3월 19일 12:00 UTC 기상청의 전구 자료 동화 시스템 (GDAPS)의 850 hPa 바람 분포.

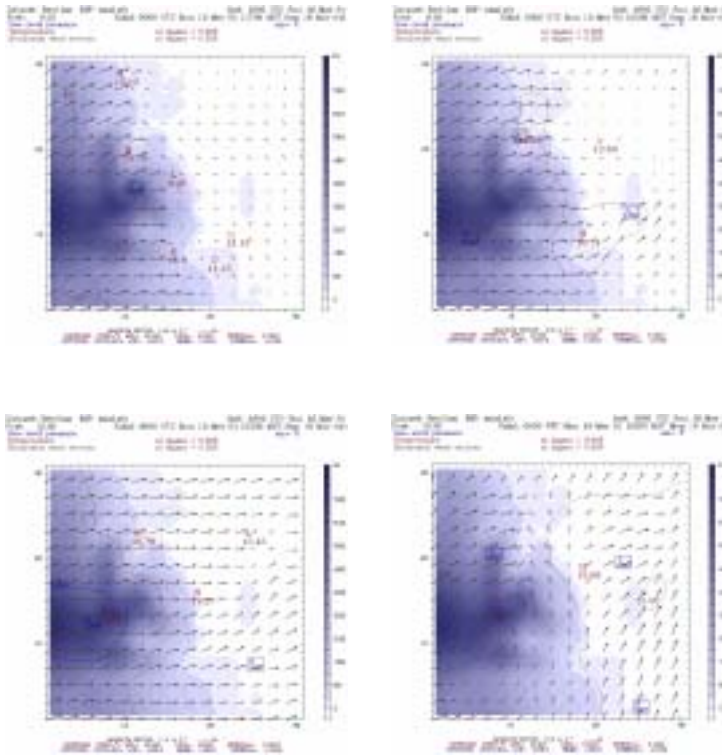


<그림 3-3-12> 고성 산불 발화 시점인 2000년 4월 6일 12:00 UTC의 기상청 전구 자료 동화 시스템 (GDAPS)의 850 hPa 바람 분포.

4) 수치 모의 결과

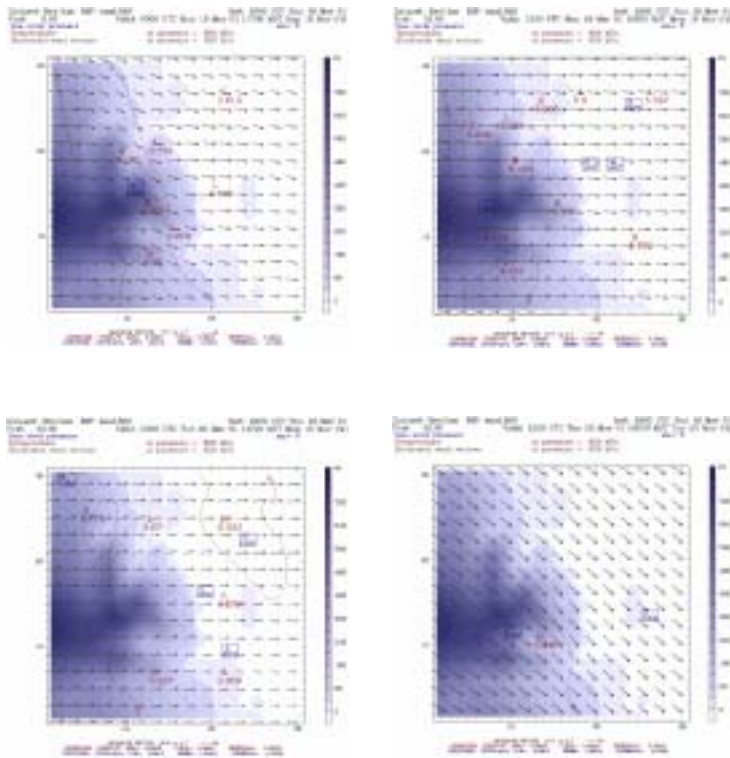
가) 지상층 및 상층 바람장 분포

모델 1 km 간격 등지 격자계에서 수치모의 된 바람분포를 <그림 3-3-13~14>에 2001년 3월19일-20일 동안 지상과 850 hPa 상층에 대해서 제시하였다. 850 hPa 등압면 기상장에서 풍향은 서풍이 지배적으로 나타나다가 20일 12UTC 경에 북서풍으로 풍향의 변화가 보이고 있다. 이는 앞 단락에서 GDAPS 자료의 850 hPa 바람 분포와 일치하는 것으로 한반도 북서쪽 저기압계의 동진으로 인한 서풍이 사례기간동안 지배적으로 나타남을 반영하고 있다. 즉 850 hPa 등압면의 바람분포는 종관장의 분포를 잘 나타내는 반면 <그림 3-3-13>의 지상 기상장의 경우에는 종관장의 영향 외에도 지형의 영향이 매우 두드러지게 나타나고 있었다. 그리고 지상 바람 분포와 상층 바람 분포를 비교해 볼 때 상층풍의 변화가 미미한 경우에도 지상풍은 변동성이 크게 나타나고 있었다.



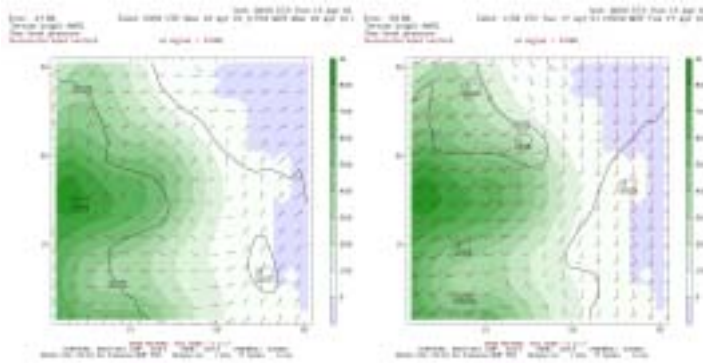
<그림 3-3-13> 2001년 3월 19일 00UTC ~19일 09UTC 3시간 간격 지상기상장 (1km resolution : domain 4 )



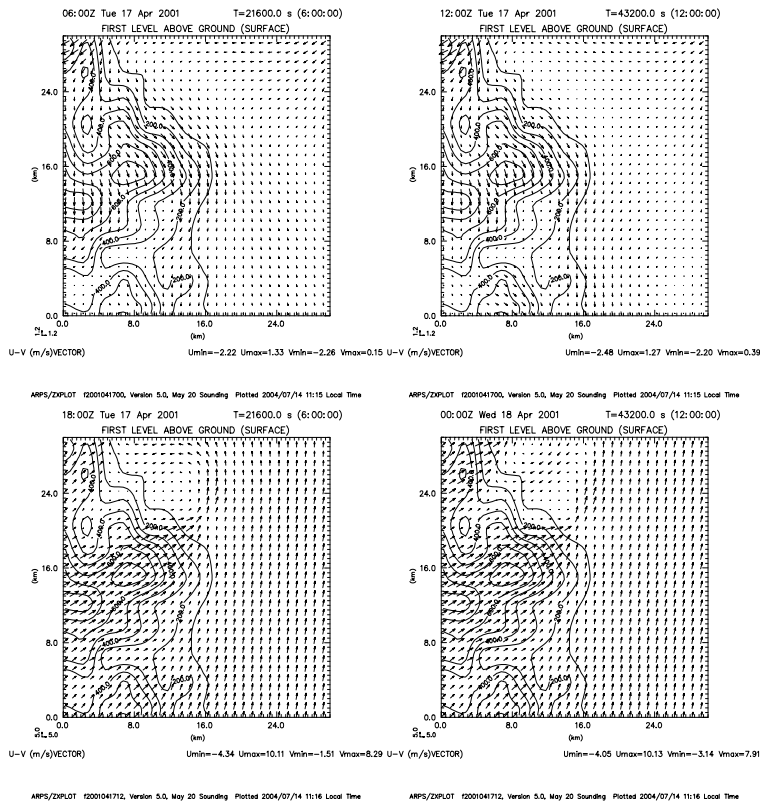


〈그림 3-3-14〉 2001년 3월 19일 00UTC ~20일 12UTC 12시간 간격  
850 hPa 등압면 기상장 (1km resolution : domain 4 )

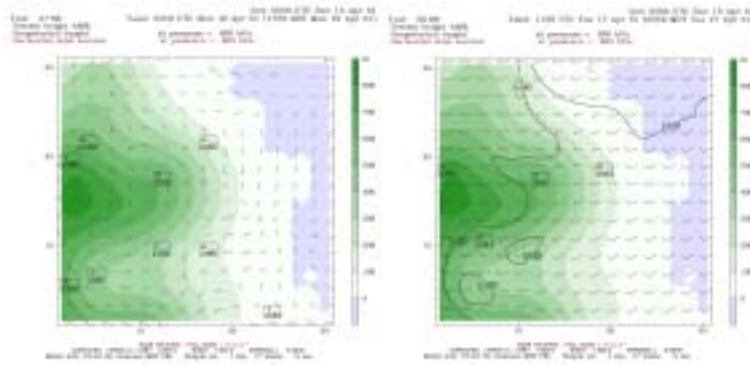
4월 17일 00UTC와 12UTC 1 km 예보 자료를 이용한 500 m 격자 간격의 예보를 <그림 3-3-16, 18>에 제시하였다. <그림 3-3-16>의 지상풍은 해양에서는 풍향이 일정하나 육지에서는 지형적 영향으로 풍향의 변화를 보인다. 또한 <그림 3-3-18>의 850 hPa의 상층에서도 풍향은 일정한 방향을 보인다. 산악 지형에 의한 지상풍 풍향의 변화를 이 실험으로 확인 가능하다.



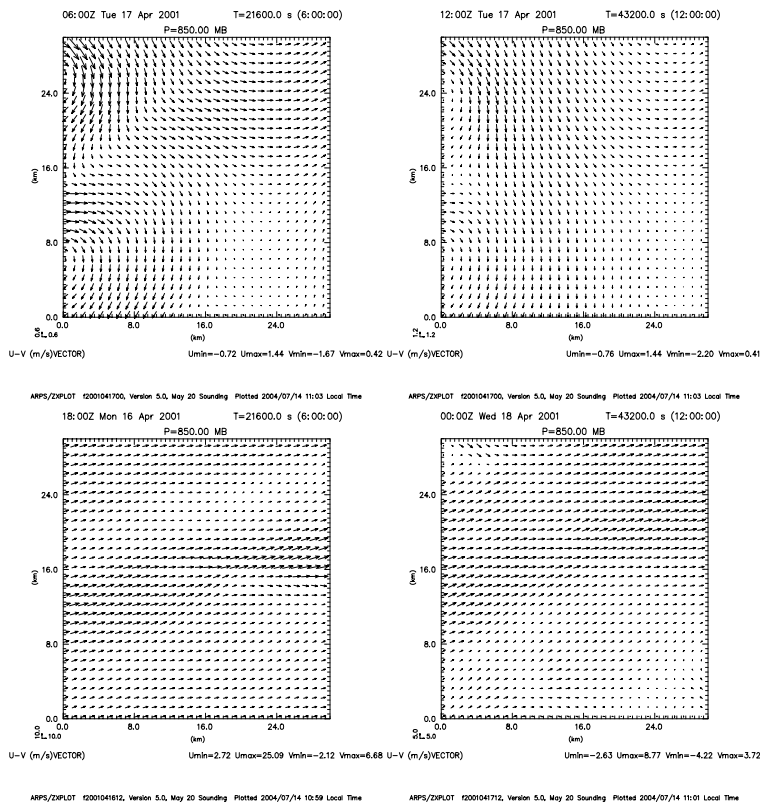
〈그림 3-3-15〉 2001년 4월 17일 00UTC ~12UTC 12시간 간격  
지상기상장 (1km resolution : domain 4 )



〈그림 3-3-16〉 2001년 4월 17일 06UTC ~18일 00UTC 6시간 간격  
지상기상장 (500m resolution : domain 4 )



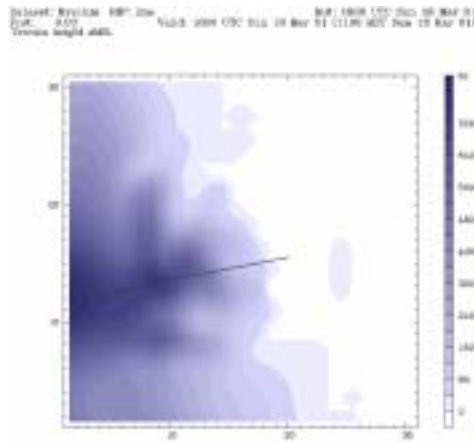
<그림 3-3-17> 2001년 4월 17일 00UTC ~12UTC 12시간 간격  
850 hPa 등압면 기상장 (1km resolution : domain 4 )



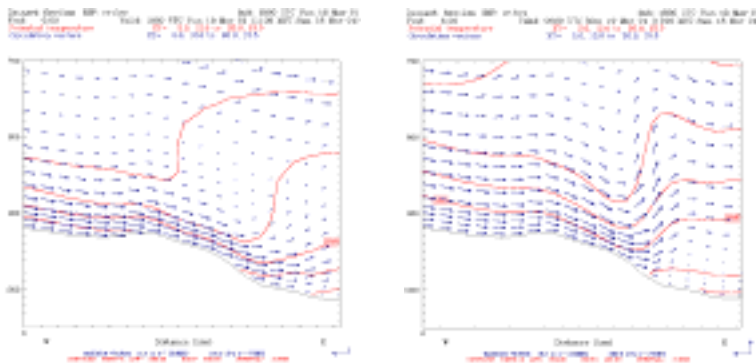
<그림 3-3-18> 2001년 4월 17일 06UTC ~18일 00UTC 6시간 간격  
850 hPa 등압면 기상장 (500m resolution : domain 4 )

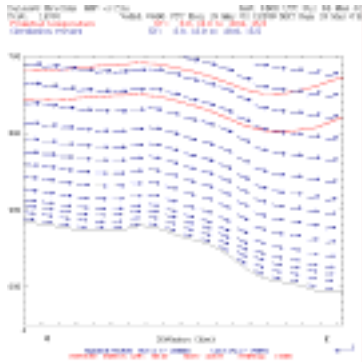
나) 바람장의 연직분포 특성

바람의 연직 분포 분석에서는 일변화에 따른 해륙풍의 영향을 볼 수 있었는데 주간에는 일사량 증가에 따른 대기 불안정 그리고 이로 인한 풍하 층의 상승운동이 유도되며 야간에 지표면의 복사 냉각으로 대기가 안정해짐에 따라 고도가 낮은 경계층이 형성되고 이에 지형을 따라 흐르는 바람이 형성되는 것을 볼 수 있다 <그림 3-3-19~23> . 19일 09UTC의 경우 검봉산 남쪽으로는 산의 지형을 따라 흐르는 남풍의 약한 기류층을 볼 수 있는데 남북방향의 연직단면을 통해 보면 이것이 산을 넘어 흐르는 기류임을 알 수 있으며 3차원적인 정확한 바람 분포를 위해서는 자세한 풍속 조사가 요구된다.

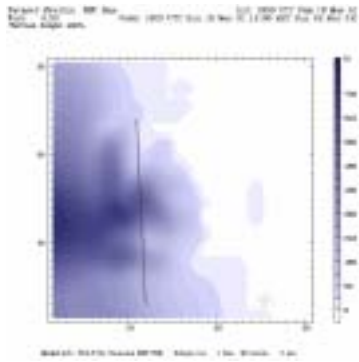
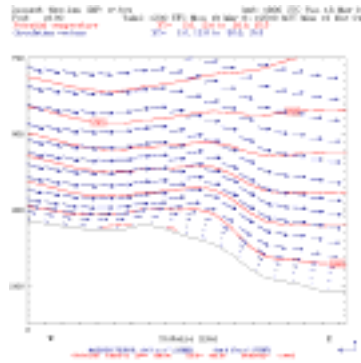


<그림 3-3-19> 동서방향 연직 구조 분석을 위한 연직 단면선

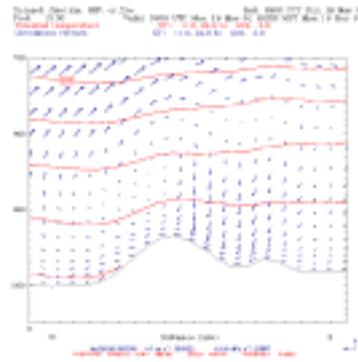




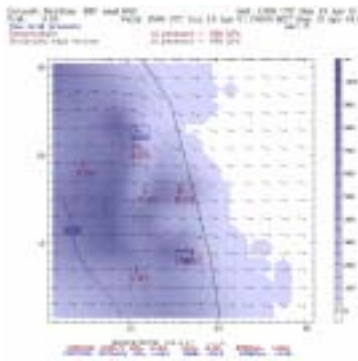
<그림 3-3-20> 2001년 3월 18일 18UTC~19일 12UTC 6시간 간격 동서방향 연직단면 (1km resolution domain4).



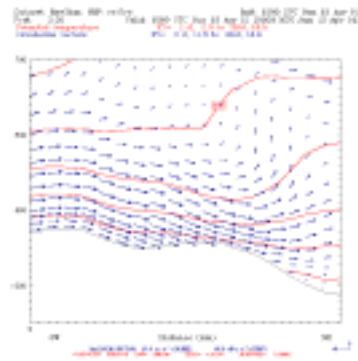
<그림 3-3-21> 남북방향 연직구조 분석을 위한 연직단면선



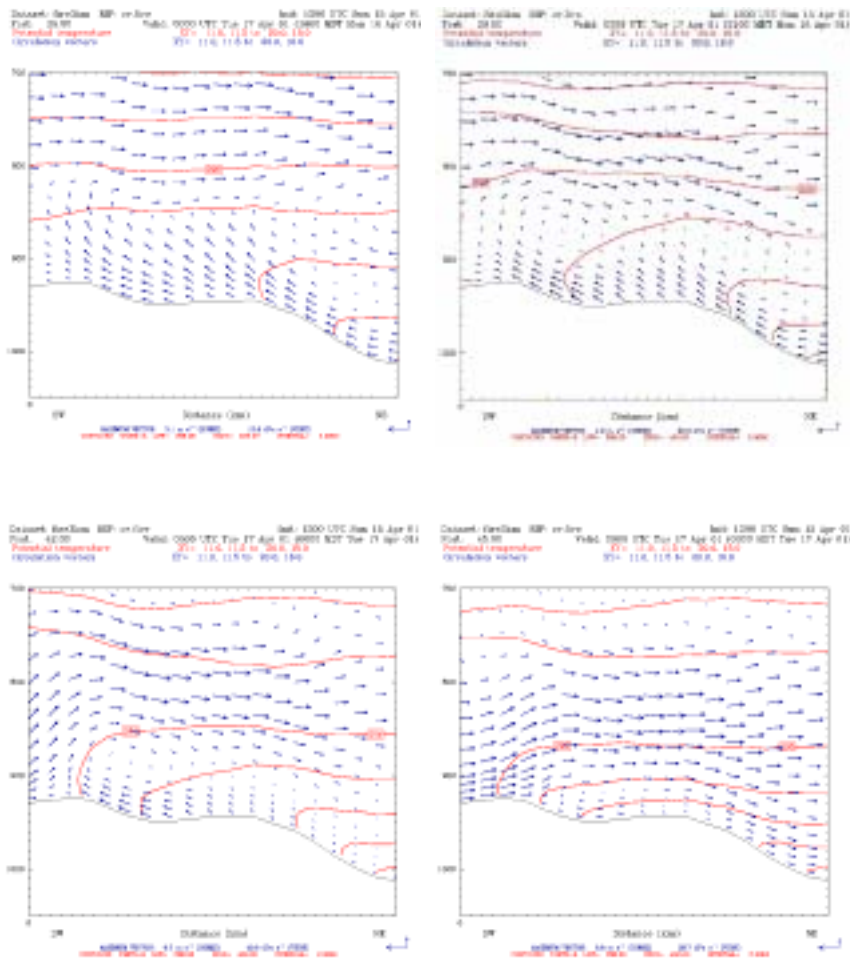
<그림 3-3-22> 2001년 3월 19일 09UTC 남북방향 연직단면(좌) (1km resolution domain4)



<그림 3-3-23> 2001년 4월 15일 15UTC 850hPa 수평 바람장과 동서방향 연직단면 (3km resolution domain3).

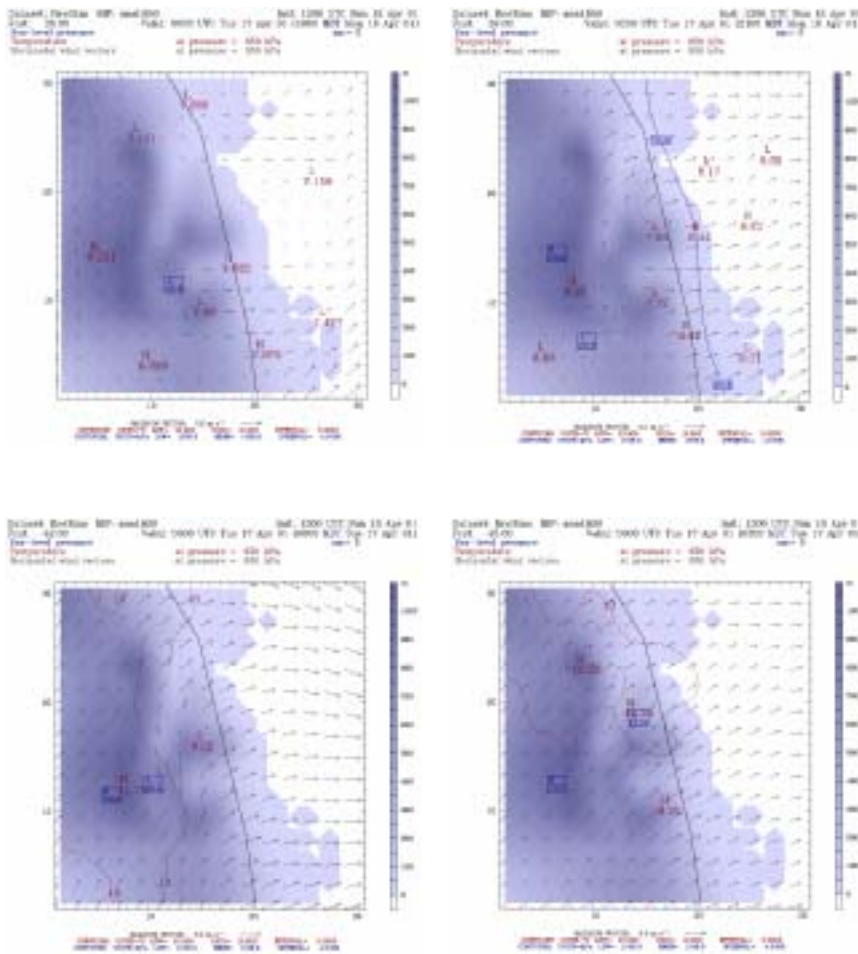


<그림 3-3-24> 은 4월 17일 기상장에 대한 3km 격자 영역 (domain3)에서 모의된 결과이다. 대체적인 패턴은 3월의 경우와 동일하게 경사면을 따라 흐르는 동풍이 지배적으로 나타났고 이는 850 hPa 상층 중관장과 동일한 풍계임을 알 수 있다. 3월의 사례일은 한반도를 통과하는 기압계 강도가 강하고 등압선 간격 역시 조밀한 반면 4월 15일~17일은 상대적으로 기압계 강도가 약하고 17일의 경우 동해에 위치한 고기압의 가장자리를 따라 유입되는 기류의 영향으로 3월과는 매우 다른 풍계를 보였다. 중관 풍속이 약함에 따라 지형의 영향이 매우 크게 나타나고 있다.

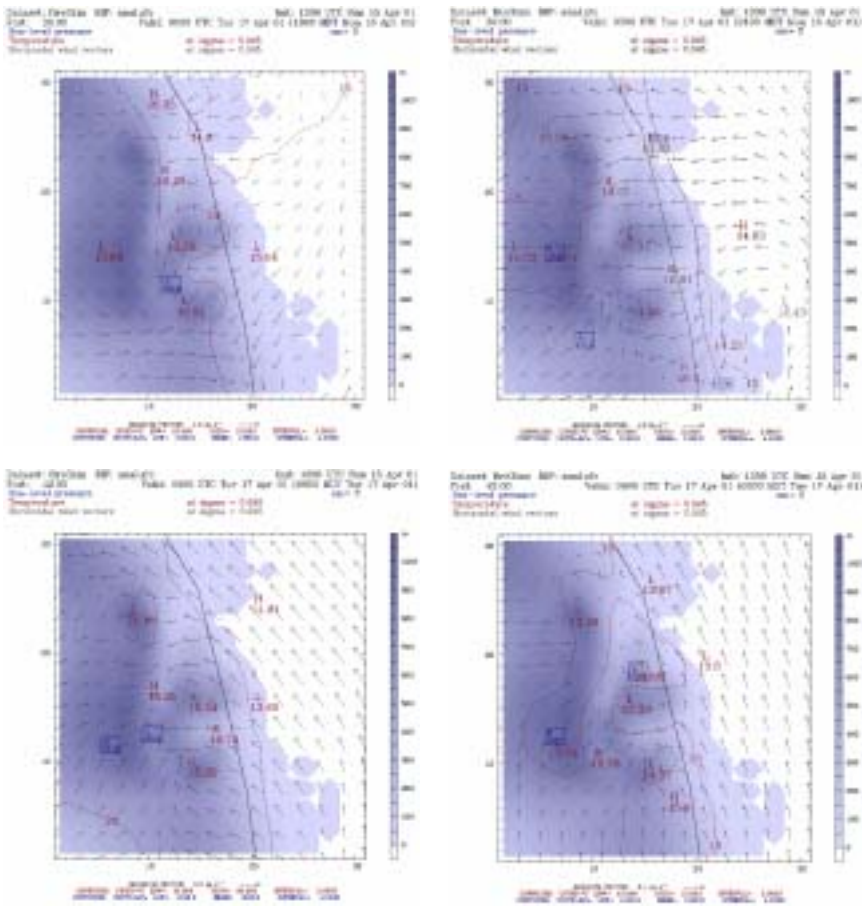


<그림 3-3-24> 2001년 4월 17일의 00UTC~09UTC 동서방향  
연직단면 (3시간 간격, 3km resolution domain3).

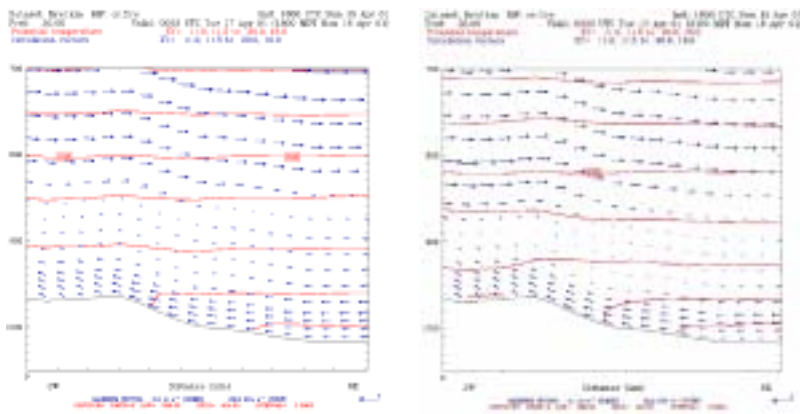
4월의 선정 사례일 동안 <그림 3-3-24~27 및 29> 에서 제시된 3km 와 1km 격자 영역의 수치 모의 결과에서 산악지역의 국지 규모 순환에 종관장의 변화에 따라 산악지형의 영향이 수평 분포와 연직단면에서 매우 다르게 나타나는 것을 볼 수 있었다. 즉 종관장의 풍속이 약할 경우 종관장의 풍향, 지형의 영향 외에도 모델 해상도에 따라서도 다른 풍계가 모의되고 있는데 이에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다. <그림 3-3-28>의 500m 해상도의 동서 연직 단면도는 시간별 풍향의 변화를 보이며 풍속은 주간보다 야간에 증가하였다.



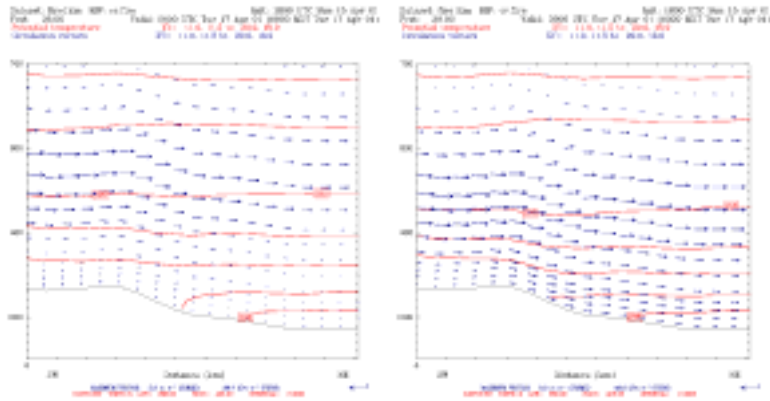
<그림 3-3-25> 2001년 4월 17일 00UTC~09UTC 동안 3시간 간격 850 hPa 수평 바람장(3km resolution domain3).



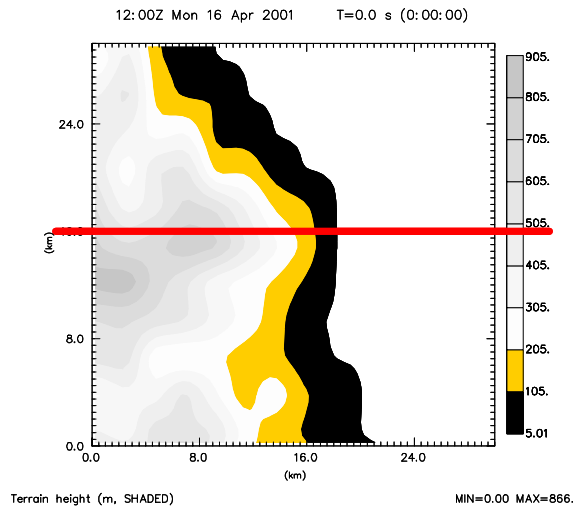
<그림 3-3-26> 2001년 4월 17일 00UTC~09UTC 동안 3시간 간격 지상 수평 바람장 (3km resolution domain3)



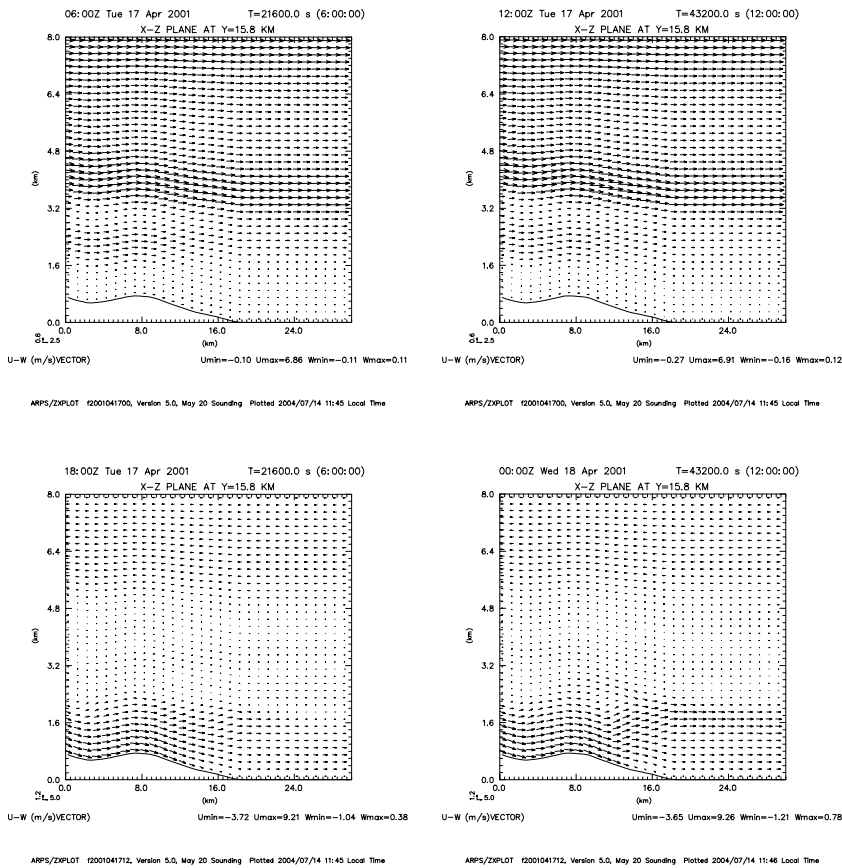




〈그림 3-3-27〉 2001년 4월 17일 00UTC~09UTC 동안 3시간 간격 동서방향 연직 단면 (1km resolution domain4)



ARPS/ZXPLOT f2001041612, Version 5.0, May 20 Sounding Plotted 2004/07/15 12:38 Local Time  
 〈그림 3-3-28〉 500m resolution 지형고도 및 동서방향 연직구조 분석을 위한 연직 단면선



〈그림 3-3-29〉 2001년 4월 17일 06UTC~18일 00UTC 동안 6시간 간격 동서방향 연직 단면 (500m resolution domain4)

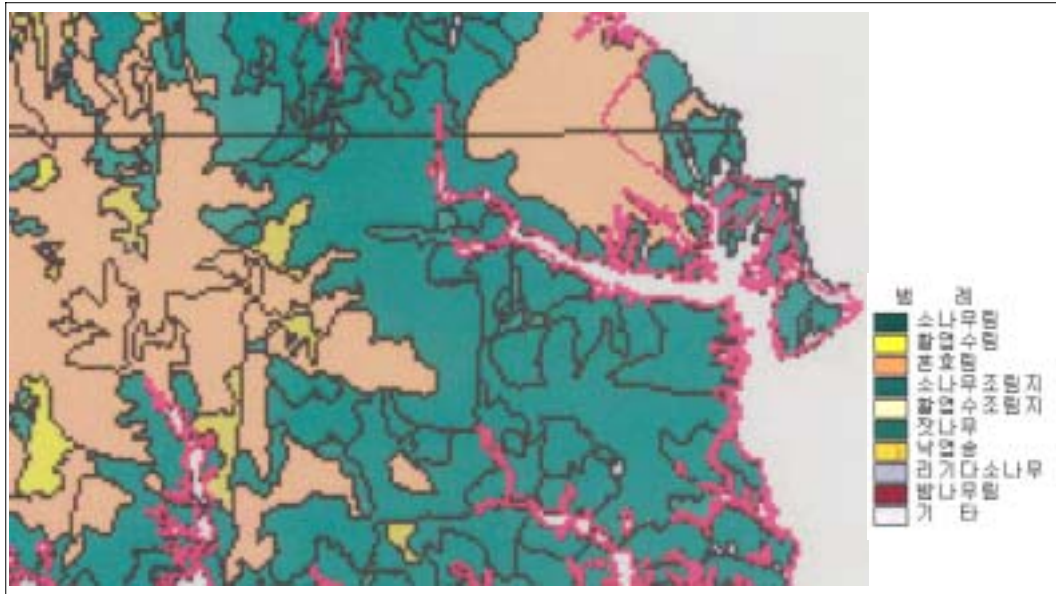
## 나. 산불피해지의 임상 및 지형특성 분석

### 1) 연구대상지의 임상 및 지형특성

수치임상도(1996년, 산림청)를 이용하여 2000년 동해안산불 이전의 삼척 연구대상지인 장기생태연구조사지에 대한 임상별 분포면적을 추출한 결과, 침엽수림이 전체면적의 약 72.6%, 침활혼효림 25.1% 및 활엽수림 1.9%, 기타 0.4%로 소나무 등 침엽수림의 분포면적이 대부분을 차지하고 있는 것으로 나타났다<그림 3-3-27>.

연구대상지역의 지형은 검봉산(해발 682m)을 중심으로 능선방향은 주로 북동, 남동 및 동향으로 발달하여 해안을 향하고 있다. 해발고, 사면방위, 및 경사도에 따른 분포면적은 해발고별로는 해발 500m 이하의 지역이 전체 피해면적의 약 89%를 차지하며, 사면방위

별로는 북동, 남동 및 동사면이 전체의 약 41%, 경사도별로는 경사 20°~40°가 전체면적의 약 69%로 나타났다. 미세지형별로는 산복부가 차지하는 면적이 전체의 62.4%로 나타났다.



<그림 3-3-27>. 연구대상지의 임상도

## 2) 산불피해지 임상 및 지형 특성 분석

연구대상지 중 산불피해 “심”지역을 대상으로 임상, 및 해발고, 사면방위, 경사도, 미세지형 등의 지형특성에 따른 피해면적을 산출하였다<그림 3-3-28>.

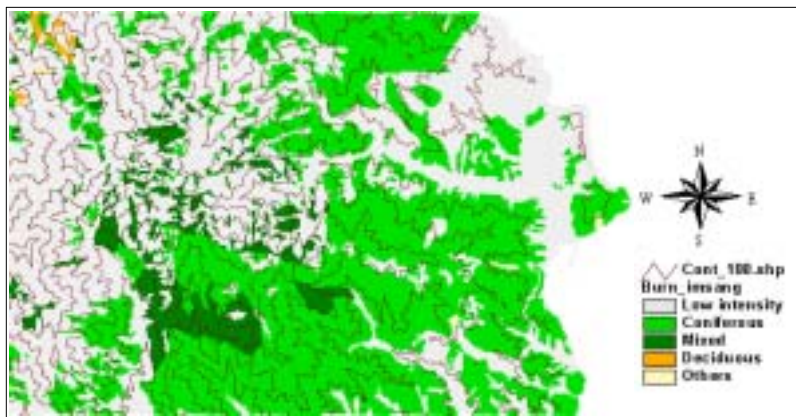
임상별 분포면적에 대한 산불피해지 비율은 침엽수림(74%), 침활혼효림(32%), 활엽수림(22%)의 순으로 침활혼효림 및 활엽수림에 비해 소나무림이 주로 분포하고 있는 침엽수림의 산불피해가 높았으며, 또한 산불피해지 중 침엽수림이 전체면적의 약 72.6%를 차지하였다.

해발고별 분포면적에 대한 산불피해지 비율은 101~200m(78%), 201~300m(76%), 201~300m(64%), 400~500m(53%)의 순으로 해발 100~300m 사이에서 피해가 높게 나타났으며, 산불피해지 중 해발 500m 이하의 지역이 전체피해면적의 약 89%를 차지하였다.

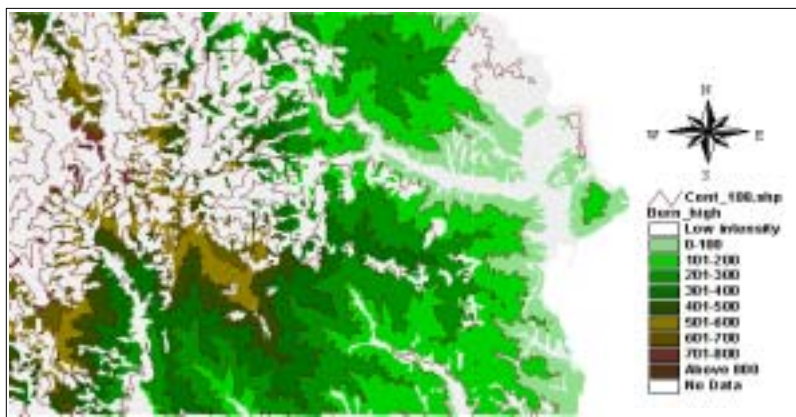
사면방위별 분포면적에 대한 산불피해지 비율은 남향사면(65%) 및 남서사면(65%)이 북향사면(50%) 및 북서사면(50%) 보다 상대적으로 분포면적에 대한 산불피해지의 비율이 높게 나타났다.

경사도별 분포면적에 대한 산불피해지 비율은 경사도 21°~30°(65%), 31°~40°(60%), 1°~20°(55%)의 순으로 주로 경사 21°~40°에서 산불피해가 높은 것으로 나타났다.

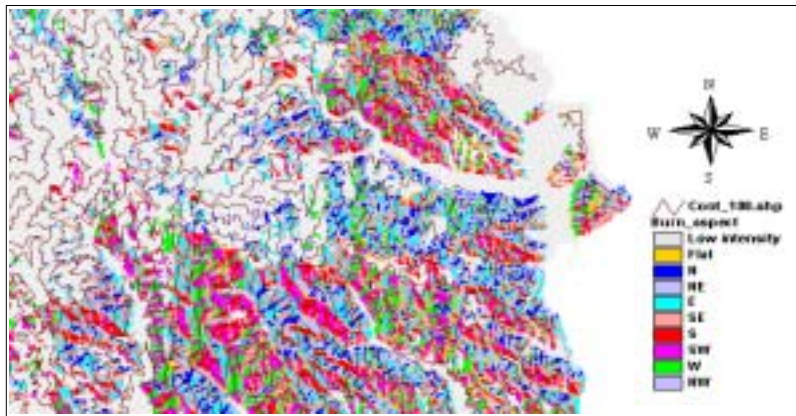
미세지형별 분포면적에 대한 산불피해지 비율은 능선부(63%), 산복부(61%), 산록부(57%)의 순으로 능선 및 산복부에서 상대적으로 분포면적에 대한 산불피해지의 비율이 높게 나타났다. 산불피해지를 대상으로 임상 및 지형특성을 분석한 결과 침엽수림이 분포하는 해발고 500m 이하지역 중 경사 20°~40°의 남향사면 및 남서향 사면에서 산불피해가 높은 것으로 나타났다.



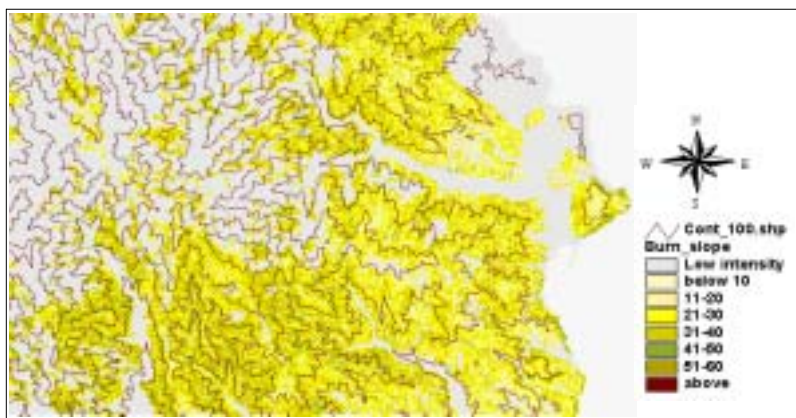
임상별 산불피해지 분포



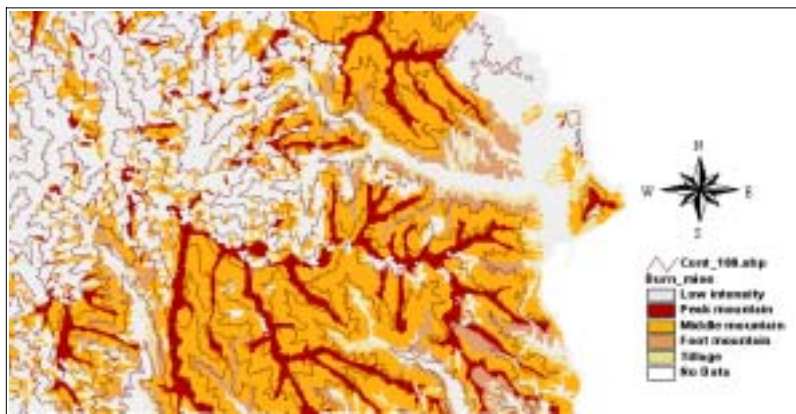
해발고별 산불피해지 분포



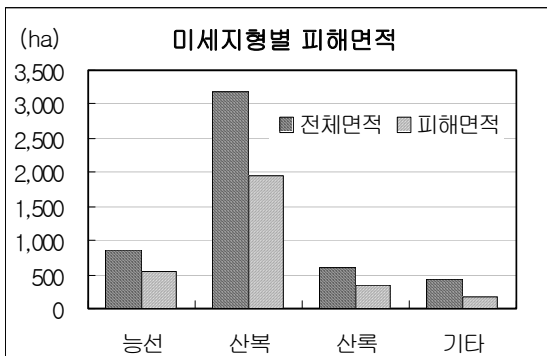
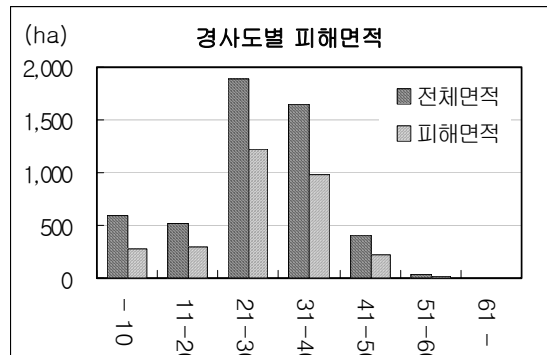
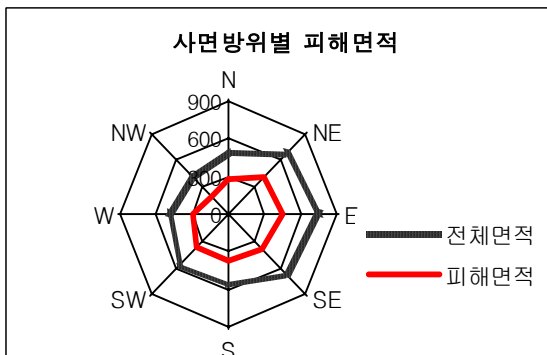
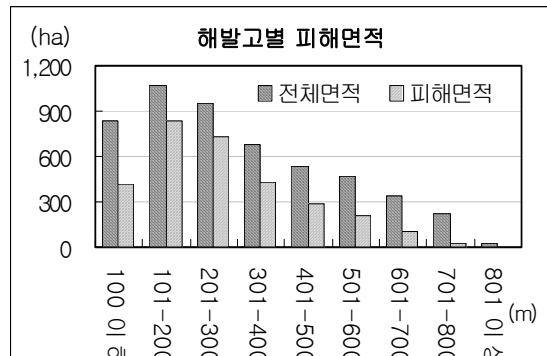
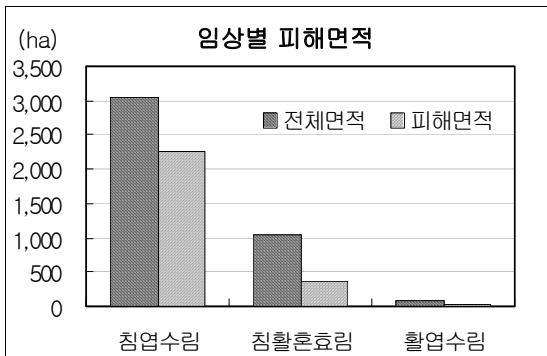
사면방위별 산불피해지 분포



경사도별 산불피해지 분포



미세지형별 산불피해지 분포



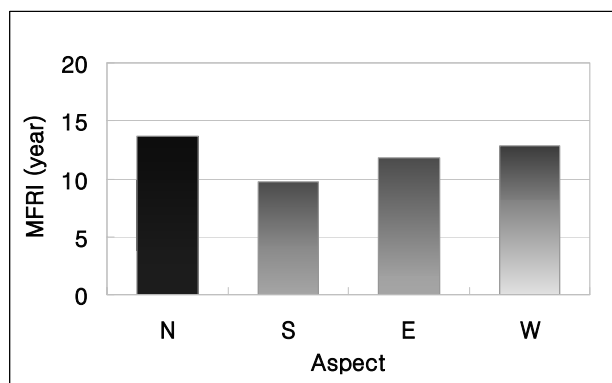
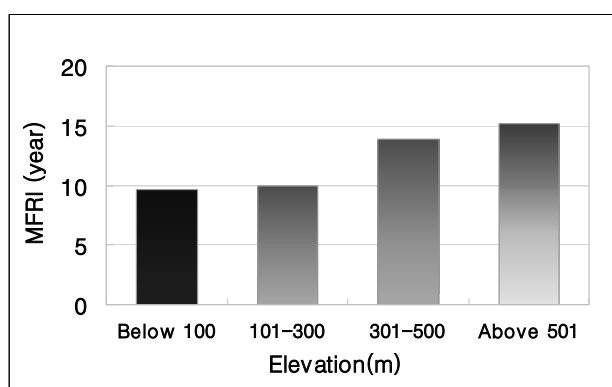
<그림 3-3-28> 삼척산불 장기생태연구 조사지의 산불피해지 분포특성

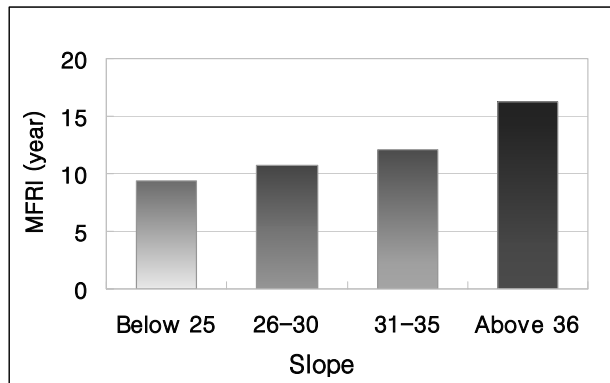
### 3) 산불 발생 빈도 분석

삼척산불 장기생태연구 조사지를 대상으로 13개 조사지에서 60개의 단판에 형성된 217개의 산불 피해 흔적에 대한 산불 발생 연도를 측정한 결과 1824년부터 2002년 기간동안 산불 발생연도는 총 39개년으로 조사되었다<표 3-3-11>.

<표 3-3-11> 조사지역별 산불 주기

	A	B	CE	CW	E	H	J	L	N	PN	PS	Q	R
Number of sample tree	3	3	6	6	5	5	3	4	4	3	3	3	5
Total years of record	92	211	480	429	466	501	282	401	296	250	128	132	250
Total years with fire	3	5	10	8	12	13	13	15	7	8	5	3	3
Total numbers of fire scar	8	11	29	20	26	24	16	22	16	12	11	10	12
Mean fire return interval	9.3	12.3	8.6	9.0	11.0	10.3	10.1	10.4	9.3	16.3	9.5	19.0	16.0
Min. mean	3	2	2	2	2	2	2	2	5	2	3	9	8
Max. mean	21	28	14	18	31	34	33	36	17	36	15	29	24





<그림 3-3-29> 지형특성별 평균산불발생 주기

각 조사지별 평균 산불발생주기(Mean Fire Return Interval)는 8.6~19.0년으로 나타났으며, 최소주기는 2~9년, 최대주기는 14~36년으로 나타났다. 해발고에 따른 평균 산불발생 주기는 100m 이하의 지역에서는 9.6년, 500m 이상인 지역은 15.2년으로 해발이 낮은 지역일 수록 산불 발생 빈도가 높은 것으로 나타났다. 사면방위별 평균 산불 발생 주기는 남향사면 9.7년, 북향사면 13.7년으로 남향사면에서의 산불 발생 빈도가 높았으며, 경사도에 따른 산불 발생 주기는 경사도 25° 이하 9.4년, 36° 이상 16.2년으로 나타났다<그림 3-3-29>.

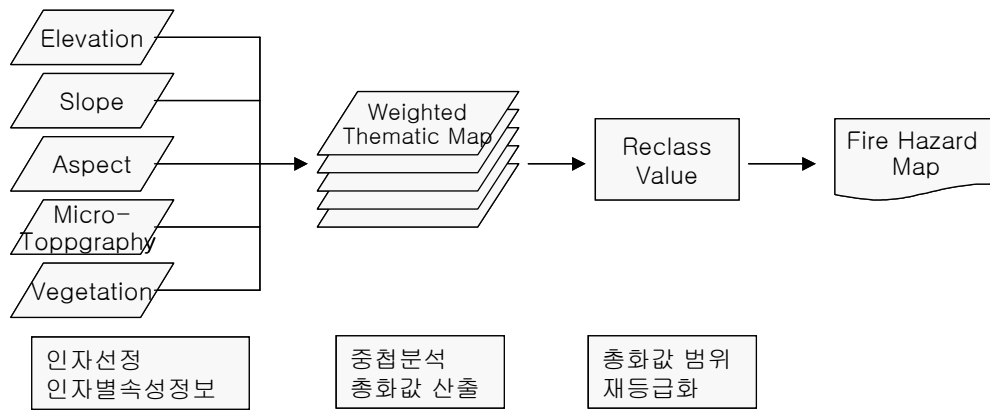
#### 다. 내화수림대 적정위치 선정을 위한 산불위험성 평가

##### 1) 산불피해 위험지역 구분

##### 가) 산불피해위험지도 작성

내화수림대의 적정위치를 선정하기 위하여 연구대상지인 삼척장기생태연구 조사지를 대상으로 산불피해위험지역을 구분하고 산불피해위험지도를 제작하였다. 산불피해위험지역의 선정과정은 관련인자의 선정, 인자별 위험성 등급구분, 인자별 각 주제도의 중첩을 통한 산불피해위험지수 산출 및 위험지수 재등급화의 과정으로 산불피해위험지도를 작성하였다<그림 3-3-30>.





<그림 3-3-30> 산불피해위험지도 작성과정

나) 산불피해 위험지역 선정을 위한 인자의 선정

산불 피해 위험성 평가를 위한 인자는 산불 피해 위험성과 관련성이 있는 지형 및 임상에 대한 인자를 선별하고 선별된 인자 중에서 수치화 하여 속성정보로의 구축이 가능한 인자를 선정하였다. 산불 피해 위험성 평가 인자는 사면 방위, 해발, 사면 경사 및 미세지형 등의 지형인자와 연소 대상물 유형과 관련하여 임상 인자를 선정하였다.

다) 인자별 위험성 등급 구분

인자별 위험성 등급 구분은 2000년 산불피해지를 대상으로 지형 및 임상별 피해 특성을 분석한 결과를 각각의 인자에 대한 등급 구분의 자료로 적용하였다. 각각의 인자에 대한 위험성 등급은 4등급으로 구분하였다 <표3-3-12>.

해발고별 분포 면적에 대한 산불피해지 비율은 101~200m(78%), 201~300m(76%), 201~300m(64%), 400~500m(53%)의 순으로 해발 500m 이하의 지역이 전체 피해 면적의 약 89%를 차지하였으며, 해발이 낮을 수록 피해 위험성이 높은 것으로 나타났다. 사면 방위별 분포 면적에 대한 산불피해지 비율은 남사면(65%), 남서사면(65%), 동사면(60%), 서사면(60%), 북사면(50%)의 순으로 남향사면이 북향사면에 비해 피해위험성이 높은 것으로 나타났다. 경사도별 분포면적에 대한 산불피해지 비율은 경사도 31°~40°(60%), 21°~30°(65%), 11°~20°(55%)로 주로 경사도 21°~40°에서 산불피해가 높은 것으로 나타났다. 미세지형별 분포 면적에 대한 산불피해지 비율은 능선부(63%), 산복부(61%), 산록부(57%)의 순으로 능선 및 산복부가 상대적으로 산불피해지의 위험성이 높게 나타났다

다. 임상별 분포 면적에 대한 산불피해지 비율은 침엽수림(74%), 침활혼효림(32%), 활엽수림(22%)의 순으로 침엽수림의 피해 위험성이 가장 높게 나타났다.

<표3-3-12> 인자별 위험 등급 구분

인자구분	인자별 위험등급 구분			
	1	2	3	4
해발고	701m 이상	401~700m	101~400m	100m 이하
사면방위	평탄지	북, 북서	동, 서, 북동	남, 남동, 남서
경사도	20° 이하	21°~30°	31°~40°	41° 이상
미세지형*	기타·계곡부	산록부	사면부	능선부
임 상	경작지·기타	활엽수림	침활혼효림	침엽수림

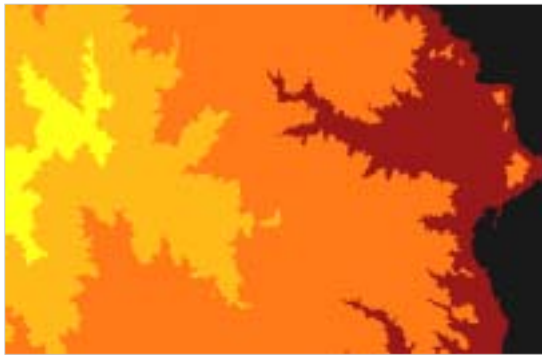
\* : 산록부(산각퇴적면), 사면부(산각침식면, 산복요면, 산복철면, 산복평행면), 능선부(산정능선면)

다) 산불피해 위험지도

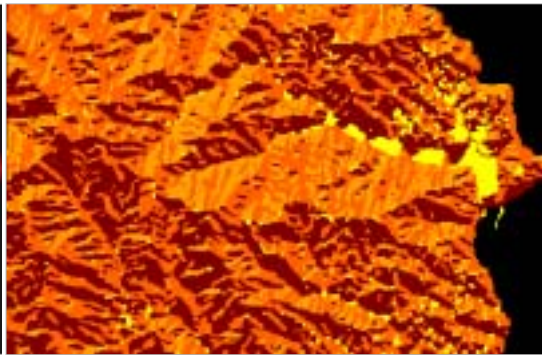
(1) 각 인자별 주제도 구축

각 인자별 주제도 작성을 위하여 지형도는 국립지리원의 1/25,000 수치지형도일 이용하였으며, 미세지형도는 국립지리원 1/25,000 지형도 및 임상도는 산림청 1/25,000 수치임상도를 이용하였으며, 분석프로그램은 ArcView 3.1을 이용하여 구축된 자료를 25m 그리드로 변환하여 각각의 주제도를 구축하였다<그림 3-3-31>.

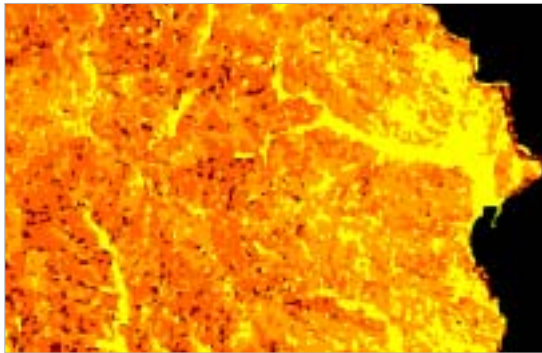
지형인자에 대한 주제도는 삼척장기생태연구 조사지를 대상으로 해발고, 사면방위, 경사도 등에 대한 위험등급별 주제도를 구축하였다. 미세지형도는 국립지리원 1/25,000 지형도를 이용하여 산림지형을 산록부(산각퇴적면), 사면부(산각침식면, 산복요면, 산복철면, 산복평행면), 능선부(산정능선면)로 구분하고, 이를 plotting 하여 25m의 그리드로 변환하여 주제도를 구축하였다. 임상도는 산림청 1/25,000 수치임상도를 이용하여 임상정보를 침엽수, 활엽수, 침활혼효림, 그리고 산림지역에서 제외되는 경작지 및 기타지역으로 구분하였다.



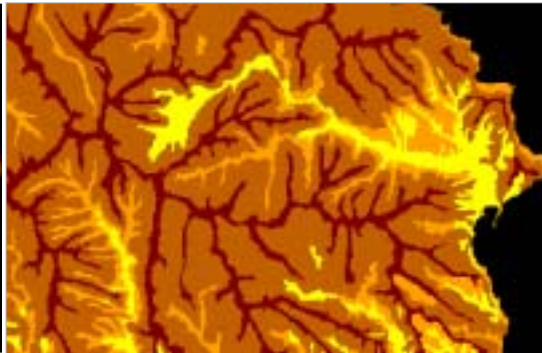
해발고별 위험성 등급



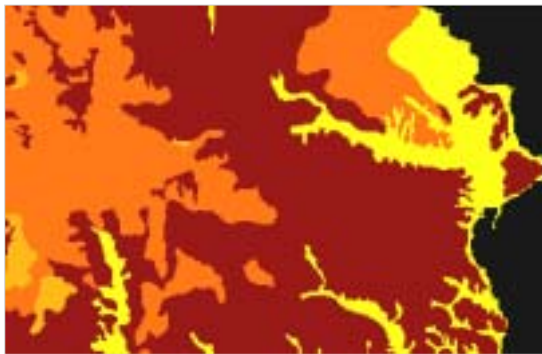
사면방위별 위험성 등급



경상도별 위험성 등급



미세지형별 위험성 등급



임상별 위험성 등급

<그림 3-3-31> 각 인자별 주제도

(2) 산불피해 위험지도 작성

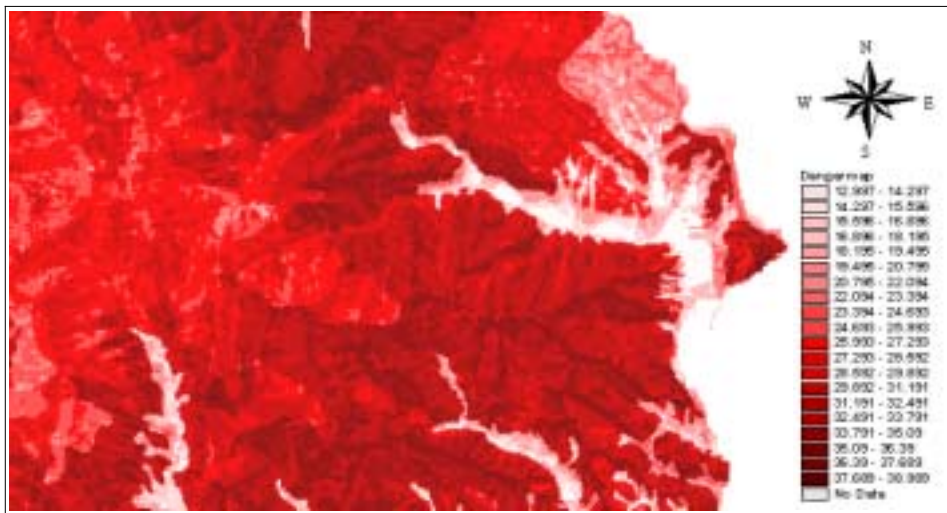
각 인자별 주제도의 중첩분석을 통하여 산불피해 위험지수를 산출하였다. 산불피해 위험

지도는 각 주제도의 등급별 점수에 인자별 가중치를 해발고 2.0, 사면방위 및 경사도 1.0, 미세지형 2.0, 임상 4.0을 적용하였다. 산불피해 위험지수값의 범위는 12.997~38.989로 나타났으며, 위험지수를 20등급화 하여 산불피해 위험지도를 도면화 하고 각각의 지수등급별 분포면적을 산출하였다<표 3-3-13, 립 3-3-32>.

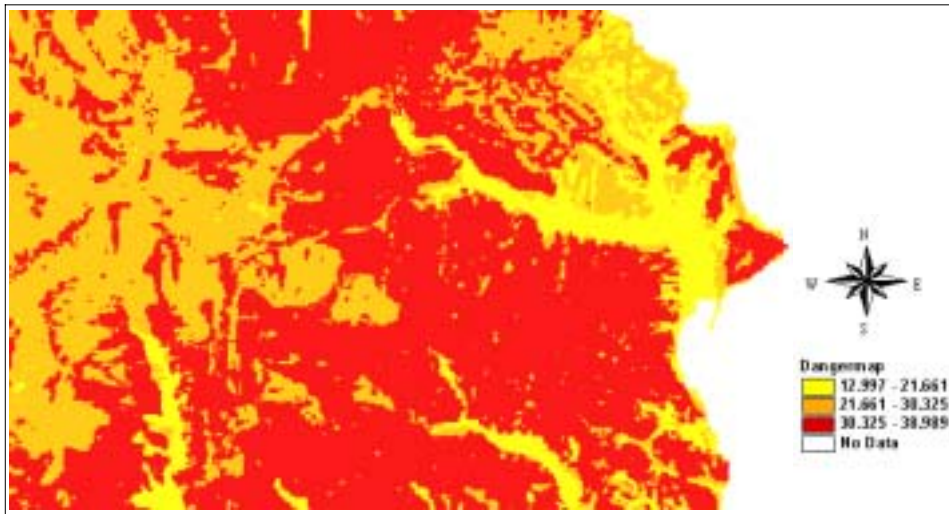
내화수림대 위치선정을 위하여 산불피해위험지도의 위험지수 등급을 3등급으로 재구분하여 산불피해위험 등급에 따른 도면으로 작성하였다<그림 3-3-33>.

<표 3-3-13> 산불피해 위험지수 등급별 분포면적

등급	위험지수	면적 (km <sup>2</sup> )	비율 (%)	등급	위험지수	면적 (km <sup>2</sup> )	비율 (%)
1	12.997-14.297	0.1	0.1	11	25.993-27.293	1.9	3.7
2	14.297-15.596	0.9	1.7	12	27.293-28.592	4.6	9.0
3	15.596-16.896	0.4	0.8	13	28.592-29.892	3.6	7.0
4	16.896-18.195	0.7	1.4	14	29.892-31.191	6.5	12.7
5	18.195-19.495	0.8	1.6	15	31.191-32.491	6.3	12.3
6	19.495-20.795	0.8	1.6	16	32.491-33.791	6.1	11.9
7	20.795-22.094	1.3	2.6	17	33.791-35.090	7.9	15.5
8	22.094-23.394	0.9	1.8	18	35.090-36.390	3.3	6.4
9	23.394-24.693	1.3	2.6	19	36.390-37.689	1.9	3.8
10	24.693-25.993	1.7	3.4	20	37.689-38.989	0.1	0.1



<그림 3-3-32> 산불피해 위험지도



<그림 3-3-33> 산불피해 위험성 등급구분

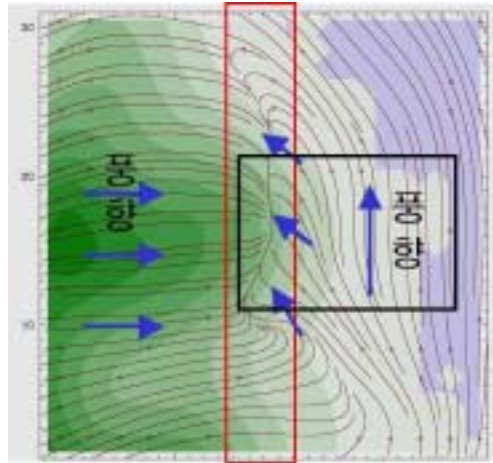
## 2) 내화수림대 적정위치 선정

### 가) 바람장 분석을 통한 내화수림대 위치 선정

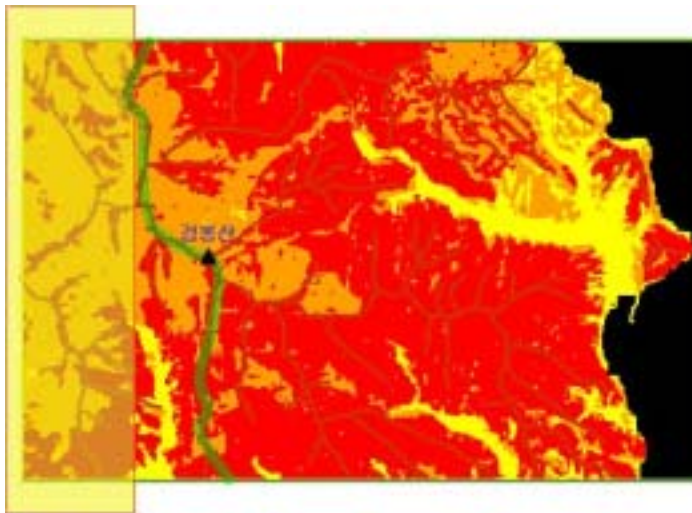
동해안의 해안에 인접한 지역은 계절적으로 해풍과 내륙풍이 교차하며, 특히 봄철에는 북서계절풍이 태백산맥을 넘으면서 편현상이 발생하여 고온건조한 바람이 되어 봄철의 건조한 시기에는 산불위험성이 높게 나타난다. 또한 일교차에 의해 주야간에는 해륙풍이 발생하여 낮에는 바다로부터 내륙을 향해서 부는 해풍과 밤에는 내륙으로부터 바다를 향해서 부는 육풍이 교차하고 있다. 해송의 자연분포지는 해풍의 영향으로 해안에서 내륙으로 약 20km 까지 분포하고 있는 것으로 알려지고 있으며, 연구대상지인 삼척 주변의 경우 해안에서 내륙으로 해발 300m 이하의 지역에 주로 분포하고 있는 것으로 알려지고 있다.

중규모 모델인 MM5와 ARPS를 이용하여 봄철의 산불발생의 위험성이 높은 시기를 선택하여 삼척 주변의 국지 순환장을 모의한 결과, 지상풍은 해륙의 분포와 지형 고도에 크게 지배되었으며 해륙 분포와 태백산맥 동쪽 사면의 지형적인 영향을 받는 것으로 나타났다. 특히, 동해안으로부터 내륙으로 10~12km에 이르는 지점에서 내륙풍과 해풍의 충돌로 인한 산악의 풍하측 요란 발생으로 바람장의 충돌이 관측되었다<그림 3-3-34> . 대형산불의 위험성이 높은 봄철의 동해안 지역에서 해풍의 영향으로 해안에서 내륙으로 확산되는 대형산불을 방지하기 위한 내화수림대 설치위치는 바람장의 특성을 고려하여

산악의 풍하층 요란이 발생하는 지형에서 해안쪽으로 위치하며 검봉산을 중심으로 남북 방향을 발달한 능선을 선정하였다<그림 3-3-35>



<그림 3-3-34> 산악의 풍하층 요란발생 지역



<그림 3-3-35> 바람장 특성을 고려한 내화수림대 위치선정

나) 과거 산불기록을 이용한 내화수림대 위치선정

동해안 지역의 대형산불은 태백산맥을 중심으로 해안쪽으로 위치한 해발 500m 이하의 지역에서 주로 발생하고 있으며, 또한 동해안 지역의 대형산불은 동서방향으로 확산되는 면적에 비해서 남북으로 넓게 확산되어 대형산불의 피해가 발생하고 있다<그림 3-3-36> .

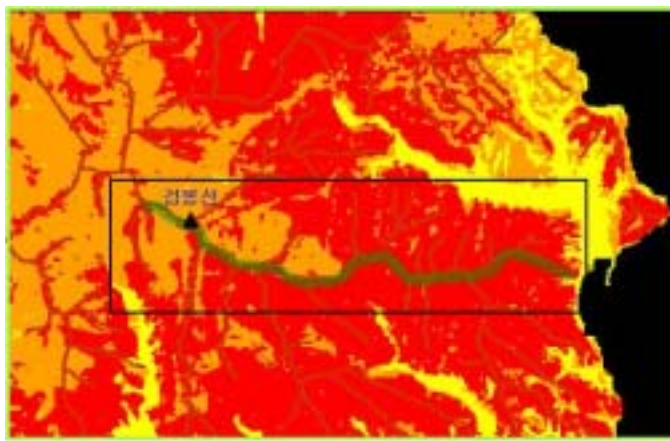
삼척 산불장기생태 연구조사지를 대상으로 산불피해 위험지역을 등급화한 산불피해위험 지도를 작성하고 산불피해 위험등급을 3등급으로 구분하였다. 산불피해 위험성이 높은 지역은 전체면적의 약 58%로 주로 해발 500m 이하의 소나무림이 분포하는 지역으로 나타났다.

동해안 지역의 대륙풍에 의해 남북방향을 확산되는 대형산불을 저지하기 위한 내화수림대의 위치는 산불피해 위험성이 높은 지역중 검봉산에서 해안으로 발달한 동서방향의 능선지형을 이용하여 선정하였다<그림 3-3-37> .



<그림 3-3-36>

2000년 동해안 산불피해지역



<그림 3-3-37>

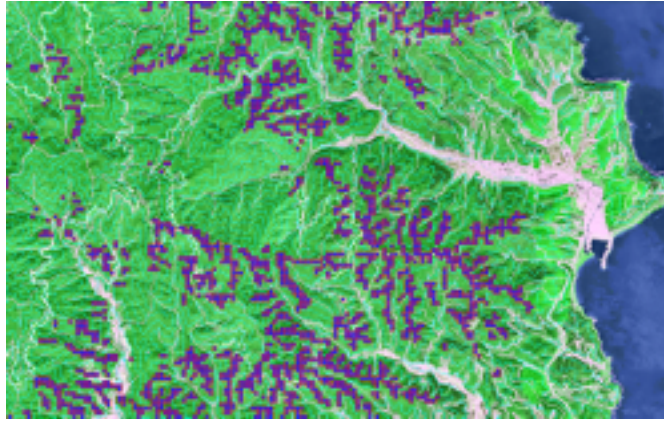
산불피해 위험지도를 이용한 내화수림대 위치선정

다) 지형특성을 이용한 내화수림대 위치선정

지형특성을 이용한 내화수림대의 설치위치는 산불의 화세가 일시적으로 약화되고, 또한 반대기류가 형성되어 산불의 확산이 일시적으로 약화되는 지점이 되는 능선부의 지형적 특성을 활용하여 설치하며, 아울러 산불진화시 진화대원의 투입 등이 용이한 지역을 고려하여 선정한다.

대상지의 능선은 검봉산을 중심으로 남북방향 및 동서방향의 주능선이 형성되어 있으며, 특히 산불피해의 위험성이 높은 해발 500m 이하의 소나무림이 분포하는 지역을 대상으

로 능선부에 내화수림대를 설치하여 국소지역의 소규모의 산불확산을 방지 할 수 있도록 선정하였다<그림 3-3-38> .



<그림 3-3-38> 지형특성을 이용한 내화수림대 위치선정

라) 생활권역 보호를 전제한 내화수림대 위치선정

생활권역을 대상으로 조성하는 내화수림대는 산림지역과 생활권역의 완충공간을 조성하여 산림지역에서 확산된 산불로부터 인명과 주택과 농경지 등을 보호하고, 또한 산불발생 위험성이 높은 농경지 및 도로 등 산림과 인접한 지역에서 발생한 화재의 확산을 억제하여 산림을 보호하기 위한 목적으로 설치한다. 특히, 동해안 지역의 산불발생 원인은 낙뢰 등 자연적인 현상보다는 대부분이 산림과 인접한 생활권역에서 인위적인 실화에 의해 발생하여 산림지역으로 확산되어 큰 피해가 나타나고 있다.

생활권역 보호를 전제한 내화수림대 위치는 산불발생 위험성이 높은 지역을 대상으로 산불확산을 억제하기 위한 공간을 조성하여 인접 산림지역으로의 확산을 억제하고, 아울러 산불로부터 생활권역을 보호할 수 있는 위치를 선정하였다<그림 3-3-39> .

산불발생 위험성에 대한 구분은 임상, 지형, 접근성 및 과거의 산불발생 지점에 대한 인자를 이용하여 산불발생에 대한 위험성을 등급화 하였으며, 주로 해발 100m 이하의 농경지 및 도로와 인접한 지역이 산불발생 위험지역으로 나타났다.(과기부의 “산불피해 저감을 위한 진화기술 개발” 수행과제 결과)





<그림 3-3-39> 산불발생 위험성을 고려한 내화수림대 위치선정

라. 내화수림대 실연지 설계 및 조성

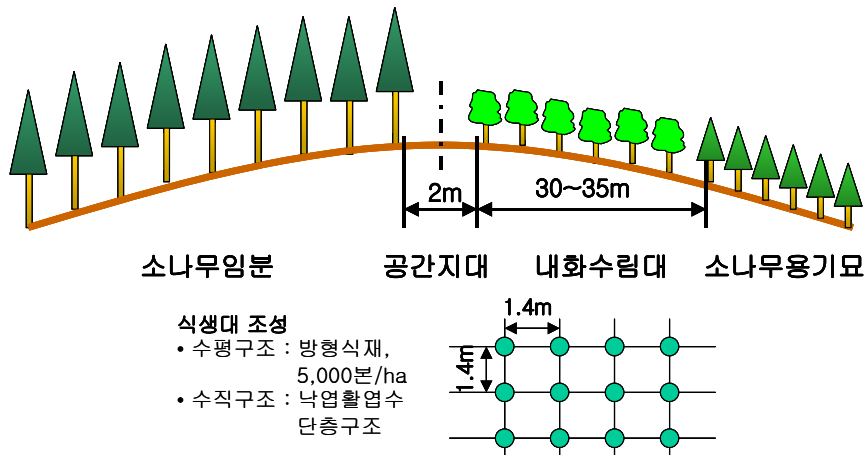
1) 내화수림대 실연지 위치

내화수림대 위치는 대상지역의 지형, 풍향 등에 대한 환경조건을 검토하여 산불피해에 대한 위험성이 높은 지역을 대상으로 산불확산 방지의 최대 효과를 얻을 수 있는 위험사면의 능선부에 조성한다. 임상특성, 지형특성, 산불진행방향, 국지기상, 산불발생 빈도 등에 대하여 연구대상지에 대한 사례조사를 통하여 산불피해지의 특성을 분석하고 산불위험지역을 구분하여 내화수림대 배치를 위한 적정위치를 선정하였다.

내화수림대 실연대상지는 삼척국유림관리소 관내 산1의 163-다 임반으로 남북방향으로 형성된 능선을 경계로 2000년 동해안 산불 발생시 서사면은 지표화 피해, 동사면은 수관화피해가 발생한 지역이다.

2) 내화수림대 실연지 설계

내화수림대 실연지로 선정된 지역을 대상으로 내화수림대의 너비는 지형 및 임상조건을 고려하여 약 30~40m 폭의 내화성 수종을 이용한 식생지대를 조성하고, 능선부에는 약 2m의 공간지대를 설치하도록 설계하였다<그림 3-3-40> .



<그림 3-3-40> 내화수림대 실연지 임분배치 설계

가) 조성규모

능선부의 동사면을 대상으로 내화수림대 너비 30~35m, 길이 약 700m에 이르는 2.1ha 규모로 설계하였다.

나) 식생대 조성

수관화의 확산을 방지하기 위해서 사면경사 및 대상임분의 수고를 고려하여 내화수림대의 너비는 약 30m의 설계하였다. 내화수림대 조성용 수종은 실연대상지에 적용 가능한 내화성 수종으로 선정된 굴참나무 용기묘 및 맹아를 이용하여 내화수림대의 식생대를 조성한다. 식생대의 임분배치는 교목성 낙엽활엽수에 의한 단층구조로 임분밀도는 굴참나무 용기묘 및 맹아를 이용하여 5,000본/ha의 밀도로 조성한다.

- 수직구조 : 굴참나무를 이용한 교목성 활엽수 단층구조
- 수평구조 : 정방향 배치에 의한 5,000본/ha으로 조성

(실연대상지 경사도 30°에서 식재간격은 사면길이에 따라 1.6m로 식재)

다) 공간지대

능선부의 소로를 이용하여 임목 및 초본 등의 가연물질을 제거하고 공간지대를 조성하며, 내화수림대 관리를 위한 작업로 및 산불발생시 진화작업로 활용할 수 있도록 경사도, 노면유지를 고려하여 능선부의 등산로를 이용한 2m 폭의 식생제거 공간지대를 조성한다.

### 3) 내화수림대 조성용 굴참나무 식재묘 양묘

내화수림대 조성용 굴참나무 용기묘를 생산하기 위하여 파종 및 월동처리를 실시하였고, 10,000본을 생산기술연구소에서 시설온실을 이용하여 양묘하였다<그림 3-3-41~42>.

- 생산본수 : 20,000본
- 용 기 : 플라스틱 15월용기(350ml/월)
- 상 토 : 피트모스+펄라이트+질석(동량혼합)
- 종자파종 : 2001년 10월 15일~30일
- 월동처리 : 2001년 11월 15일~2002년 3월 20일
- 종자발아 : 2002년 4월 15일~30일
- 양 묘 : 2002년 4월 ~ 2003년 10월
- 생육상황 : 간장 14.2cm, 근원경 3.4mm(2002년 6월)  
간장 29.1cm, 근원경 3.6mm(2003년 6월)



<그림 3-3-41> 굴참나무 시설양묘



<그림 3-3-42> 플라스틱 15월용기의 굴참나무 용기묘

### 4) 내화수림대 실연지 조성

내화수림대 실연지는 2002년 산불피해목을 벌채하고, 이듬해 풀깎기 및 참나무류 맹아본수를 조사하였으며, 2003년 4월 용기묘를 식재하고, 10월에 보식을 하여 굴참나무 용기묘 및 맹아를 이용하여 조성하였다<그림 3-3-43>.

#### 가) 산불피해목 벌채 및 제거

산불피해목을 벌채하고, 내화수림대 식생대 조성을 위하여 30~40m 너비로 산물정리 작업을 실시하였다.

나) 풀깎기 작업 실시

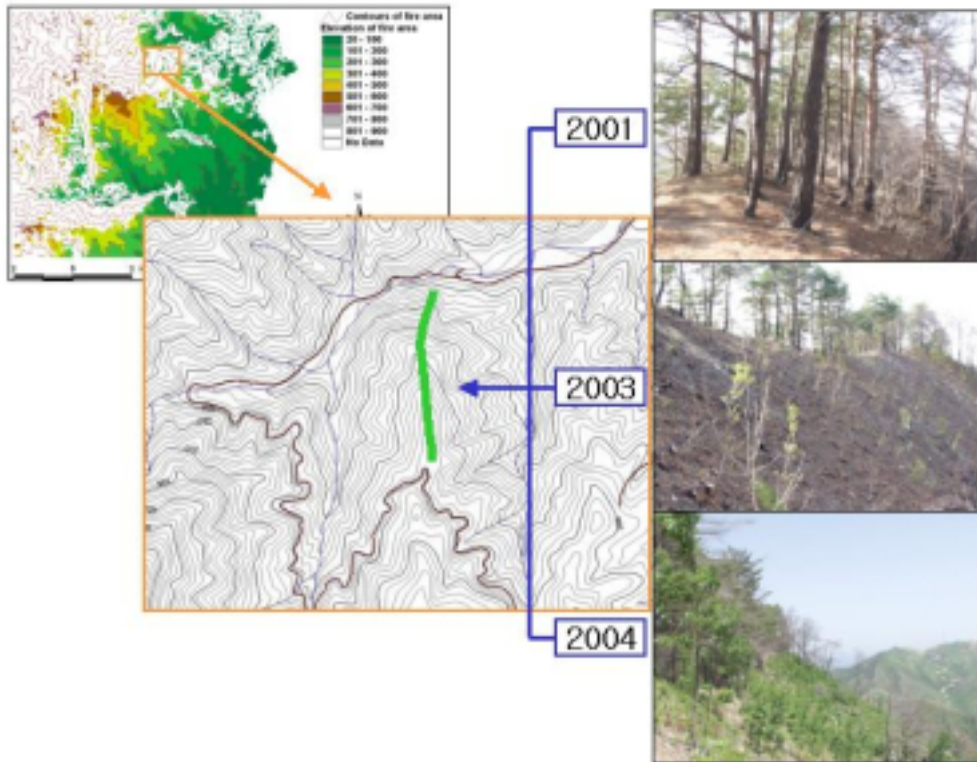
풀깎기 작업은 굴참나무 용기묘 식재 직전 2003년 3월과 식재 후 가을에 2회를 실시하였다.

다) 굴참나무 맹아 조사

내화수림대 실연지를 대상으로 굴참나무 및 신갈나무 등에 대한 맹아수 조사결과 굴참나무 400본/ha, 신갈나무 550본/ha로 참나무류의 맹아본수는 950본/ha로 나타났다.

라) 용기묘 식재 및 보식

굴참나무 용기묘는 2003년 4월에서 5,000본/ha의 밀도로 정방형 식재하였으며, 10월에 보식을 실시하였다. 용기묘 식재 후 활착율을 조사한 결과 봄철의 식재는 건조에 의한 피해가 있었으며, 가을철 식재는 저온에 의한 피해 및 설치류에 의한 피해가 나타났다.



<그림 3-3-43> 삼척장기생태연구 조사지내 내화수림대 실연지

## 제 4 절 임분밀도관리를 통한 내화성 임분 조성기법 개발

### 1. 내화성 임분 조성기술 정립 및 현장 실연 기반 구축

#### 가. 내화성 임분 조성을 위한 접근 방법

##### 1) 대상지 선정

현존 소나무림을 산악지형, 구릉지형, 복합산지형으로 구분하여 입지 및 임분 유형에 따라 실연지를 배치하였다.

##### 2) 소나무림 내화성 증진을 위한 기초조사

현존 소나무 임분의 입지 환경, 수종 구성, 임분 구조, 혼효 수종, 혼효 형태, 임분 생장 등을 현지 조사 및 기존 조사 자료의 재분석을 통하여 임분 유형을 구분하였다.

#### 나. 내화성 임분 시업체계 구축

##### 1) 내화력이 큰 임분 구조 및 임분 유형 구명

##### 2) 소나무 임분 유형별 내화성 증진 방법 체계화

#### 다. 현장실연 적용성 검토 및 시업 설계

##### 1) 산악지와 구릉지로 구분하여 적정 시업 방법 적용

##### 2) 임분 유형에 따른 현장 실연 시업 설계

#### 라. 연구 개발 추진 체계

##### 1) 임분 밀도 관리를 통한 내화성 임분 조성 체계

## 제 4 절 임분밀도관리를 통한 내화성 임분 조성기법 개발

## 1. 내화성 임분 조성기술 정립 및 현장 실연 기반 구축

### 가. 내화성 임분 조성을 위한 접근 방법

#### 1) 대상지 선정

현존 소나무림을 산악지형, 구릉지형, 복합산지형으로 구분하여 입지 및 임분 유형에 따라 실연지를 배치하였다.

#### 2) 소나무림 내화성 증진을 위한 기초조사

현존 소나무 임분의 입지 환경, 수종 구성, 임분 구조, 혼효 수종, 혼효 형태, 임분 생장 등을 현지 조사 및 기존 조사 자료의 재분석을 통하여 임분 유형을 구분하였다.

### 나. 내화성 임분 시업체계 구축

#### 1) 내화력이 큰 임분 구조 및 임분 유형 구명

#### 2) 소나무 임분 유형별 내화성 증진 방법 체계화

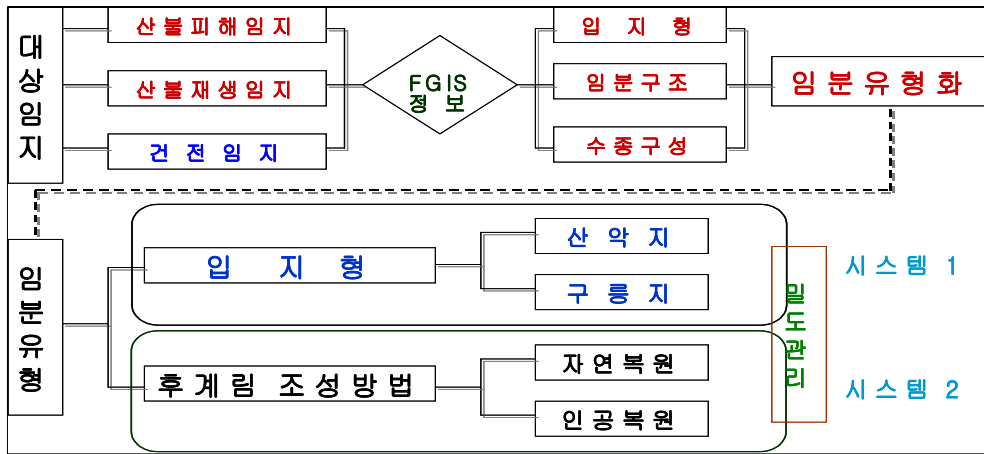
### 다. 현장실연 적용성 검토 및 시업 설계

#### 1) 산악지와 구릉지로 구분하여 적정 시업 방법 적용

#### 2) 임분 유형에 따른 현장 실연 시업 설계

### 라. 연구 개발 추진 체계

#### 1) 임분 밀도 관리를 통한 내화성 임분 조성 체계

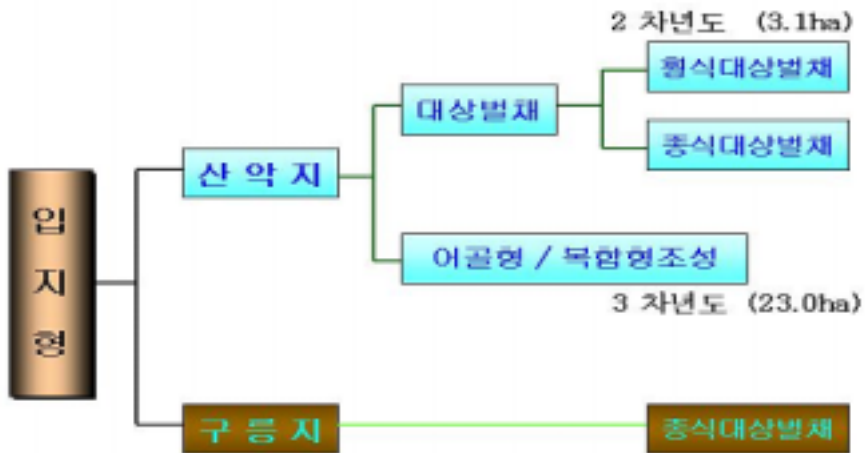


<그림 3-4-218> 임분 밀도 관리를 통한 내화성 임분 조성 체계 모식도

2) 임분 유형화 의사 결정 흐름도

산불피해지의 복원을 위한 내화성 임분 증진 사업은 <그림 3-4-2>과 같은 시스템에서 체계적으로 분석한 임분 유형 및 입지 형태에 따라 사업 형태를 결정하였다.

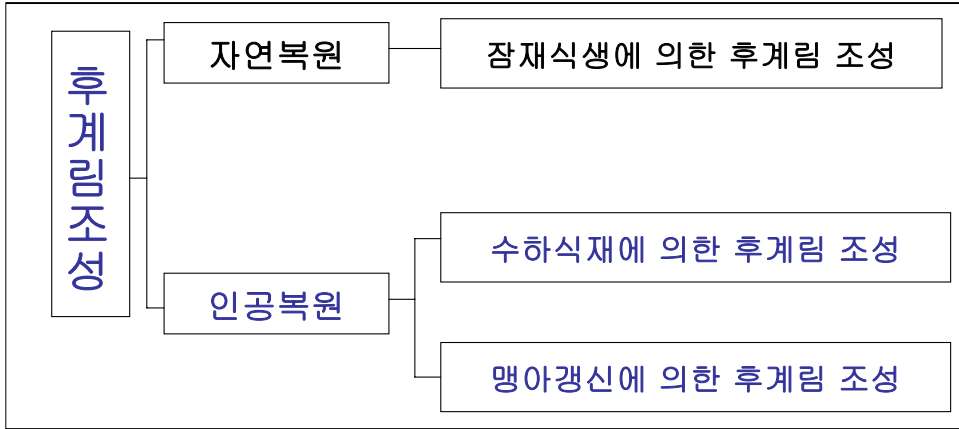
가) 시스템 1



<그림 3-4-2> 실연 사업지 조성 시스템

나) 시스템 2

임분유형에 따른 피해지 복구 시업은 입지형과 후계림 조성 방법을 고려하여 다음과 같은 시스템을 적용하여 실연지 조성 계획을 수립하였다<그림 3-4-3>.

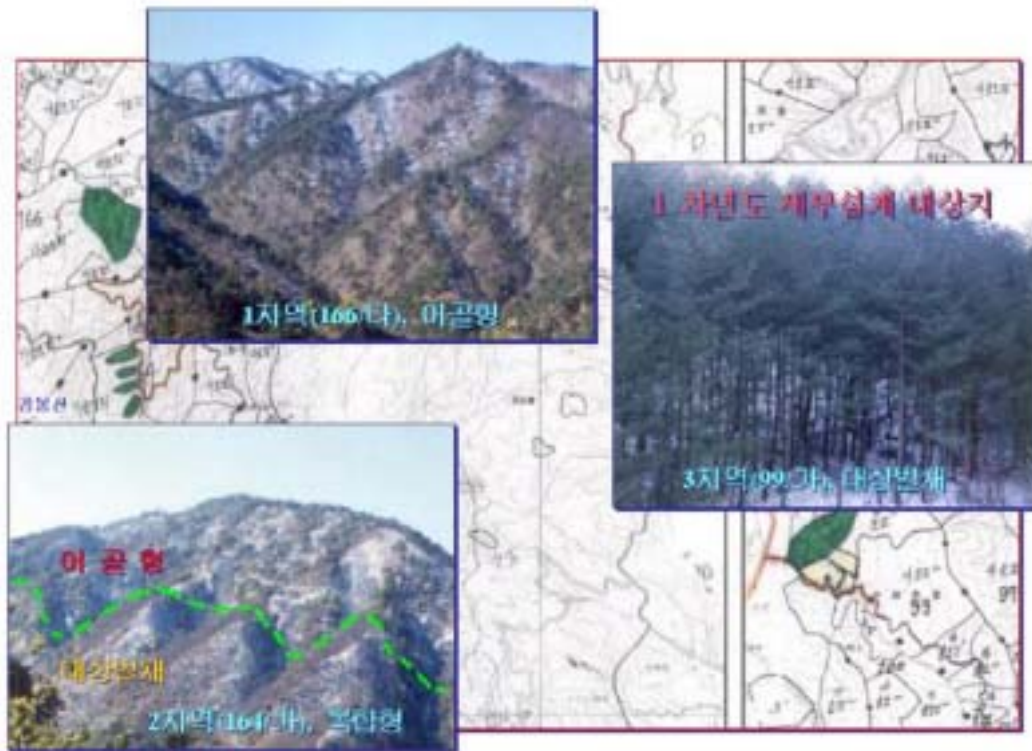


<그림 3-4-220> 피해지 복구를 위한 시업시스템

마. 실연 시업 대상지 선정

내화성 증진이 뛰어난 실연지를 조성하기 위하여 두 곳의 실연 사업지를 선정하였는데, 첫 번째 실연 사업지는 산불피해지를 내화력이 강한 임분 구조로 복원하기 위한 것이고, 두 번째 실연 사업지는 기존의 건전한 소나무 임분에 간벌 등의 시업 방법을 적용하여 내화력이 강한 임분으로 조성하는 것이다<그림 3-4-4>.





<그림 3-4-221> 내화림 조성 실연시업 대상지

#### 바. 후계림 조성 방법 및 피해목 처리 방법

이용 가치가 있는 피해목은 수집하는 것을 원칙으로 하고, 갱신면에 대한 후계림 조성은 자연 복원의 경우 자연력에 의한 잠재 식생 유도를 원칙으로 하여, 활엽수림은 건전 맹아림으로 유도하고, 상층 침엽수림은 갱신 기간 동안 활엽수 맹아를 조절해 주며, 인공 복원지는 갱신 회수에 따라 맹아 조절을 1~3회 실시하되 후계림은 개별형, 수하 식재형(전식), 수회 갱신형(대상, 군상 식재)으로 나누어 실행하고, 복합 복원지는 인공조림지는 인공 복원지와 동일하게 실행하고 자연 복원지는 현 상태로 보존하였다.

#### 사. 복원 사업지 작업 형태

자연 복원지는 정리 작업 시 자연 상태로 존치하고 침엽수 유도지에는 3~5회 풀베기 작업 후 어린 나무 가꾸기 작업을 실행하며, 활엽수 유도지에는 갱신기간 내 어린 나무 가꾸기 작업(맹아 조절)을 실행하였다.

인공 복원지는 개별형의 피해목은 별채하여 정리 후 표준 작업을 실시하고 수하식재형은 폭 1~2m로 열상 정리 후 표준 작업을 실시하며, 수회 갱신형은 폭 20~30m의 대상(종식, 횡식) 또는 군상 개별로 정리한 후 잔존물은 수 년(갱신 완료)후 정리한다. 복합 복원지는 정리 작업을 폭 20~30m 대상 또는 군상형 갱신면에 1/2만 인공 식재가 되도록 정리하고, 2열 인공 × 1열 자연 형태로 갱신면에 교호로 배치하였다.

## 2. 산불 피해지의 입지적 특성 조사

산불 피해지 복구를 위한 기초 자료 정리를 위하여 2000년 동해안 산불 피해 지역 정밀 조사 결과를 중심으로 피해 지역의 산림 지리 정보 자료와 피해 발생 전의 임분 구조 조사 자료를 활용하였다. 기존 조사 자료 분석을 통하여 산불 피해 지역의 산지형을 고성, 강릉, 울진 지역을 중심으로 분포하는 구릉지대, 삼척 지역을 중심으로 분포하는 산악지대, 동해 지역의 복합산지대의 3유형으로 구분하였다.

산지형 구분과 적용은 상당히 복잡하고 어려운 문제 중의 하나이다. 산지형 구분은 대상 지역과 입지적 위치 즉, 해발고, 사면 길이, 능선과 계곡의 발달 정도 및 유형에 따라 결정되므로 지역에 따라 적용 및 설정 기준이 다르다. 따라서 정확하게 획일적 기준을 설정하기는 불가능하므로 지역에 따라 다르게 적용되어진다. 본 조사에서는 피해지 복구 차원에서 대상에 접근 그 유형을 구분하여 보았다. 실연대상지인 검봉산 일대의 지형을 해발고, 사면길이를 참고로 하여 다음과 같이 구분할 수 있었다<표 3-4-1>.

<표 3-4-1> 산불 피해 지역에서 산지형 구분 및 적용

구 분	구릉지대	산악지대	비 고
해발고	200m 이하	400m 이상	
경사 길이	300m 미만	300m 이상	
사면 경사	30° 미만	31° 이상	
적 용	산록 : 3부 능선 이하(대상형) 산복 : 3~7부 능선(어골형) 산정 : 8부 능선 이상(복합형)		

## 가. 산불 피해지의 산지형 구분

### 1) 구릉 지대

해발고 100m 이하의 지역이 대부분인 저지대이며 모암은 고성 지역과 강릉 지역은 조립질 화강암, 울진 지역은 화강편마암과 혼성대로 이루어져 있다. 사면 경사도는 고성 및 강릉 지역은 30° 이하의 완경사인 개방지가 많았으며, 울진 지역의 경우는 1/2을 차지하고 있다.

### 2) 산악 지대

해발고 200m 이하의 저지대가 반을 차지하고 있었으나, 400m 이상의 지역도 상당 부분 있으며, 모암은 석회암지대, 편암지대, 화강편마암지대, 우백질화강암지대, 편마암지대 등 다양한 지역이 분포하고 있다. 사면경사도 31° 이상의 급경사 지역이 대부분으로 지형 발달이 복잡한 특성을 나타내고 있다.

### 3) 복합산지대

해발고 200m 이하의 저지대가 대부분이나, 해발고 400~600m 지대도 일부 포함되어 있는 지역으로 해안 쪽은 저지대, 내륙 쪽은 해발고가 높은 지역이 분포하고 있으며, 모암은 화강암 지역이 가장 많이 분포하고 있었으며 편상화강암, 석회암 지역도 분포하고 있다. 사면 경사도 31° 이상의 경사지가 반 이상을 차지하고 있으며, 일부 석회암 지역은 지형이 복잡한 특성을 나타내고 있다.

## 나. 입지 및 임분 구조에 따른 산불 피해지의 피해 양상

### 1) 구릉지대

3개 지대 중 가장 큰 피해를 받은 지역으로 대부분 소나무 단순림이며 임분 밀도가 높을수록 피해도가 심하였으나, 울진 지역의 급경사지에서는 임분 밀도에 관계없이 소밀도가 낮은 임분에서도 피해가 심하게 나타났다.

### 2) 산악지대

대부분 소나무림으로 구성되어 있고 참나무류 혼합림과 침·활 혼합림이 상당수 있어 저해발 구릉지대에 비해 상대적으로 피해가 심하지 않은 지역이 나타나고 있으며 소나무 단순림에서의 피해도는 상층목 밀도가 높은 곳에서 심한 것으로 나타났으나 활엽수림과 침·활 혼합림이 생육하고 있는 계곡, 산록부에서는 피해도가 낮은 것으로 나타났다.

### 3) 복합산지대

다른 지역에 비해 활엽수림과 침·활 혼합림이 차지하는 비율이 높아 상대적으로 산불 피해가 가장 적은 지역으로 나타났다. 산불 피해는 비교적 경사가 심하고 상층목의 소밀도가 높은 임분일수록 심한 것으로 나타났다.

## 3. 산불 피해지의 임목 생육 특성 조사

### 가. 산불 피해지의 임상 및 임분 유형

#### 1) 입지별 임분 유형

구릉지대는 소나무림, 참나무류 혼효림, 해송림, 아까시나무림, 현사시나무림의 5개 임분 유형으로 크게 구분되며, 소나무 단순림이 대부분을 차지하는 것으로 조사되었다. 산악지대 역시 소나무림이 대부분으로 굴참나무림, 리기다소나무림, 참나무류 혼효림, 신갈나무림, 소나무-굴참나무 혼효림, 사방 조림지 임분, 해송림, 잣나무림 등 9개 임분 유형으로 구분되며, 다른 지역에 비하여 임상이 가장 다양하다. 복합산지대는 소나무림, 참나무류 혼효림, 신갈나무림의 3가지 임분 유형으로 구분되었다.

#### 2) 임분 유형별 수종 구성

동해안 산불 지역의 대부분을 차지하고 있는 소나무 단순림은 입지 조건에 따라 다양한 임분 형질과 생장 상태를 보이는데<표 3-4-2>, 능선부의 건조하고 토심이 얇은 지역은 상층목의 생육 상태도 불량하고 하층 식생의 발생이 적기 때문에 종자나 묘목에 의한 식생유입이 시급하였으며, 산록이나 산복부에서는 상대적으로 상층목의 생육 상태도 양호하며 하층에 맹아 또는 치수의 발생이 양호한 곳이 많아 이들을 잘 무육하는 것이 유리할 것으로 판단되었다.

소나무·굴참나무 혼효림은 하층에 참나무류 맹아가 발생하고 있으나, 입지에 따라 밀도가 낮은 곳이 있으므로 맹아 갱신 시 보완 조림을 반드시 병행하여 실시해야 하는 것으로 생각되었다. 계곡부의 참나무류 혼효림 구성 수종은 굴참나무, 상수리나무, 신갈나무, 갈참나무가 대부분이었으며 대부분 2차림으로 형성되었다.

사방조림지(소나무-아까시나무-물오리나무 혼효림)는 하층에 아까시나무가 번무하는 지역은 아까시나무의 제어와 소나무류의 식재가 바람직한 것으로 판단되며, 하층 식생 발생이 적은 곳은 식생 유입이 시급한 것으로 나타났다.

그 외의 지역도 입지 조건과 하층 식생의 발생 정도에 따라 위의 기준에 준하여 맹아 무

육 또는 식생 유입이 촉진될 수 있는 조치를 취해 주어야 할 것이다.

<표 3-4-2> 임분 유형별 상층 및 하층 구성 수종

상층 구성 수종		하층 구성 수종				
		무발생	소	중	밀	
소나무	소	-	졸참나무, 신갈나무, 굴참나무	신갈나무, 졸참나무, 떡갈나무	신갈나무, 아까시나무, 굴참나무, 떡갈나무	
	중	○	졸참나무, 굴참나무, 신갈나무, 갈참나무, 떡갈나무	졸참나무, 신갈나무, 굴참나무	신갈나무, 졸참나무, 갈참나무, 떡갈나무	
	밀	○	졸참나무, 신갈나무, 굴참나무, 떡갈나무	신갈나무, 굴참나무	신갈나무, 졸참나무, 아까시나무	
소나무+굴참나무	밀	-	신갈나무	굴참나무	-	
참나무 혼합림	소	-	졸참나무, 굴참나무	-	신갈나무, 아까시나무	
	밀	-	신갈나무, 굴참나무, 떡갈나무	신갈나무	굴참나무, 신갈나무, 갈참나무	
소나무+아까시나무 +물오리나무	소	-	신갈나무	-	-	
	밀	-	신갈나무, 굴참나무	-	아까시나무	
굴참나무	밀	-	신갈나무, 굴참나무, 갈참나무	굴참나무	떡갈나무	
신갈나무	밀	-	신갈나무	신갈나무	졸참나무	
인공 조림지	아까시나무, 현사시나무	소	-	졸참나무, 신갈나무, 굴참나무	-	아까시나무
	리기다소나무, 잣나무	밀	-	졸참나무, 신갈나무, 갈참나무	떡갈나무	아까시나무, 졸참나무, 신갈나무

3) 산불 피해지 임분 유형에 따른 구조 분석

산불 피해지 전생 임분 구조를 파악하기 위하여 산불 피해지와 비슷한 입지 및 임상을 추출하여 조사한 결과를 요약하면 <표 3-4-3>과 같다.

<표 3-4-3> 산불 피해지에 출현하는 주요 임분 유형별 구조

조사 지	유형	수령 (yr)	본수 (본/ha)	수고 (m)	지하고 (m)	직경 (cm)	형상비	단면적 (m <sup>2</sup> /ha)	재적 (m <sup>3</sup> /ha)	방위 (°)	해발고 (m)	경사 (°)
1	소나무	40.3	1,200	8.3	3.5	14.4	57.6	19.5	64.7	380	280	30
2	소나무	34.3	1,500	10.5	4.2	15.6	67.3	28.5	119.2	196	85	25
3	소나무	44.5	2,300	7.4	4.8	12.1	61.1	26.3	78.0	480	150	36
4	소나무+굴참나무	35.3	2,600	9.1	5.1	13.1	69.4	35.0	127.3	17	165	30
5	소나무+굴참나무	36.7	2,800	10.2	5.0	15.0	68.0	49.6	202.0	93	510	31
6	소나무+굴참나무	44.7	650	11.5	5.0	19.0	60.5	18.4	84.8	150	350	33
7	소나무+신갈나무	27.0	4,000	7.9	3.9	8.5	92.9	22.6	71.1	455	135	33
8	소나무+신갈나무	28.0	1,300	6.2	2.4	10.1	61.3	10.4	25.7	310	280	30
9	소나무+신갈나무	33.3	800	13.7	6.9	19.8	69.1	24.5	134.5	380	242	19
10	소나무+아까시나무	35	3,100	8.8	4.5	9.9	88.8	24.0	84.5	255	150	26
11	신갈나무	39.0	1,300	7.7	4.0	12.4	62.0	15.7	36.3	190	225	34
12	신갈나무	28	1,900	6.1	4.0	7.3	83.5	7.9	20.0	145	345	38
13	신갈나무	30.5	1,500	8.8	4.7	13.3	66.1	20.7	54.8	135	420	15
14	신갈나무+굴참나무	27.0	1,600	6.2	4.8	9.4	65.9	11.2	20.9	150	350	32
15	참나무류 (굴참+줄참+신갈)	38.3	1,000	12.2	7.1	15.6	78.2	19.0	69.4	158	280	26
16	참나무류+소나무	42.0	900	9.4	3.8	17.3	54.3	21.1	79.1	20	175	35

소나무 임분은 해발 85~280m, 경사 25~36°, 방위 85~280°의 범위에서, 수령 34~45년생으로서 본수는 1,200~2,300본/ha, 수고 7.4~10.8m, 지하고 3.5~4.8m, 직경 12.1~15.6 cm, 형상비 57.6~67.3, 단면적 19.5~28.5m<sup>2</sup>/ha, 재적은 64.7~119.2m<sup>3</sup>/ha으로 나타났다.

굴참나무 혼효임분은 해발 165~350m, 경사 30~33°, 방위 17~150°에서, 수령 35~45년

생, 650~2800본/ha, 평균수고는 9.1~11.5m, 지하고 5.0~5.1m, 직경 13.1~19.0cm, 형상비 60.5~69.4, 단면적 18.4~49.6m<sup>2</sup>/ha, 재적은 84.8~202.0m<sup>3</sup>/ha으로 나타났다.

소나무+신갈나무 혼효임분은 해발 135~280m, 경사 19~33°, 방위 310~455°의 범위에서 조사된 것으로서, 수령 27~33년생, 본수는 800~1,300본/ha, 평균수고 6.2~13.7m, 지하고 2.4~6.9m, 직경 8.5~19.8cm, 형상비 61.3~92.5, 단면적 10.4~24.5m<sup>2</sup>/ha, 재적은 71.1~134.5m<sup>3</sup>/ha를 나타내고 있었다.

소나무+아까시나무 혼효임분은 해발 150m, 경사 26°, 방위 255°의 범위에서 조사된 것으로서, 수령 35년, 본수 3,100본/ha, 평균수고 8.8m, 지하고 4.5m, 직경 9.9cm, 형상비 88.8, 단면적 24.0m<sup>2</sup>/ha, 재적 84.5m<sup>3</sup>/ha로 나타났다.

신갈나무 임분은 해발 225~420m, 경사 15~38°, 방위 145~255°의 범위에서 조사된 것으로서, 수령 28~39년생, 본수는 1300~1900본/ha, 평균수고는 6.1~8.8m, 지하고 4.0~4.7m, 흉고직경 7.3~13.3cm, 형상비 62.0~83.5, 단면적 7.9~20.7m<sup>2</sup>, 재적은 20.0~54.8m<sup>3</sup>/ha로 나타났다.

신갈나무+굴참나무 혼효임분은 해발 350m, 경사 32°, 방위 150°의 범위에서 조사되었으며, 수령 27년생, 본수는 1,600본/ha, 평균수고는 6.2m, 지하고 4.8m, 직경 9.4cm, 형상비 65.9, 단면적 11.2m<sup>2</sup>/ha, 재적은 20.9m<sup>3</sup>/ha로 나타났다.

참나무류 혼효임분은 굴참나무, 졸참나무, 신갈나무가 서로 혼효된 임분으로서, 해발 280m, 경사 26°, 방위 158°의 범위에서 조사된 것으로서 수령 38년생, 본수는 1,000본/ha 본, 평균 수고 12.2m, 지하고 7.1m, 직경 15.6cm, 형상비 78.2, 단면적 19m<sup>2</sup>/ha, 재적은 69.4m<sup>3</sup>/ha로 나타났다.

참나무류+소나무 혼효임분은 해발 175m, 경사 35°, 방위 20°의 범위에서 조사된 것으로서 수령 42년생, 본수는 900본/ha, 평균수고 9.4m, 지하고 3.8m, 흉고직경 17.3cm, 형상비 54.3, 단면적 21.1m<sup>2</sup>/ha, 재적은 79.1m<sup>3</sup>/ha으로 나타났다.

#### 4) 주요 수종의 중요치 분석

<표 3-4-4>는 삼척 산불 피해지의 전생 임분 구조를 이해하기 위한 것으로 삼척의 건전 임분에서의 주요 출현 수종에 대한 층위별 중요치를 나타내고 있다. 교목층에서 소나무의 중요치가 91.16. 신갈나무 3.09, 졸참나무 1.27, 굴참나무 1.10, 물박달나무 1.10, 물푸레나무 1.02, 기타 수종 1.27로 나타나 소나무가 절대적인 영향력을 가지고 있었으나 아교목층에서는 소나무의 중요치가 13.89로서, 신갈나무 15.20, 졸참나무 15.34, 굴참나무 21.22보다 낮아 경쟁에서 이들 수종에게 처지고 있는 것으로 나타났으며 물푸레나무의 가장 낮은 1.02의 중요치를 나타냈다.

<표 3-4-4> 조사 지역 주요 수종의 중요치

수종	교목층	아교목층	관목층	초본층
소나무	91.16	13.89	-	0.48
신갈나무	3.09	15.20	10.31	3.40
졸참나무	1.27	15.34	9.70	1.09
굴참나무	1.10	21.22	7.15	2.85
물박달나무	1.10	-	-	-
물푸레나무	1.02	1.45	1.14	0.81
기타 수종	1.27	32.90	71.71	91.37

관목층에서는 소나무가 거의 나타나지 않았으며 중요치는 신갈나무(10.31), 졸참나무(9.70), 굴참나무(7.15) 순으로 나타났고 초본층에서는 소나무 0.48, 신갈나무 3.40, 졸참나무 1.09, 굴참나무 2.85, 물푸레나무 0.81로 나타나 아교목층 이하에서는 소나무의 중요치가 참나무류인 신갈나무, 졸참나무, 굴참나무 보다 상당히 낮은 것으로 나타났다. 차후 자연 상태에서 이러한 상태가 지속하여 교목층의 소나무가 고사하면 임분이 신갈나무, 졸참나무, 굴참나무 등의 참나무류로 천이될 것으로 생각되었다. 아교목층 이하에서는 전체적으로 신갈나무와 굴참나무의 출현 빈도가 두드러지게 나타나는데, 이것이 지역적인 현상인지 생물학적 천이 단계에서 오는 전체적인 현상인지는 지속적인 관찰과 연구가 이루어져야 하겠으며, 산불 피해지 복원과 후계림 조성 시 이러한 관계들을 잘 해석하여야 할 것으로 사료되었다.

#### 5) 주요 수종 간 유사성 분석

<표 3-4-5~8>은 조사지역의 임목층위별로 종간 유사성 분석결과를 나타낸 것으로서, 각 조사지역에서 생태적 지위가 높은 주요 수종을 대상으로 층위별로 종간유사성과 지역별 유사성을 Sorensen distance squared를 산출하여 분석하였다. 종간 유사성이 1이면 생육환경이 완전히 같음을, 0이면 완전히 다름을 그리고 0.5 이상이면 별 차이가 없는 것으로 하였다(Ramp 와 Crick, 1979).

교목층에서는 소나무의 신갈나무를 비롯한 타 수종과의 종간 유사성이 0.5 이하로 이질적인 생육환경을 보이나 아교목층에서는 신갈나무, 굴참나무, 졸참나무 등의 참나무류와 생육 환경이 비슷하여 이들과 경쟁 관계에 있음을 알 수 있고 노각나무, 물오리나무, 대팻집나무, 물박달나무 등과는 이질적인 생육환경을 갖고 있음을 알 수 있었다. 관목층에서는 소나무가 신갈나무, 굴참나무, 쇠물푸레, 개웃나무, 생강나무, 철쭉꽃, 조록싸리 등과



유사한 생육 환경을 가진다. 초본층에서는 신갈나무와, 굴참나무가 0.6 정도로 소나무와 생육 환경이 유사하나 기타 초본류와는 다소 낮은 유사성을 나타내고 있다. 이러한 현상은 소나무의 치묘와 치수의 출현빈도가 낮기 때문인 것으로 생각된다. 이러한 과정이 지속되면 소나무는 참나무류보다 하층에서의 발생 빈도가 낮아 자연 상태에서 후계림으로 유도하기가 곤란하므로 산불 피해지에서의 복원 기법은 지형에 따라 보다 적극적인 시업 기법을 적용해야 할 것으로 사료되었다.

<표 3-4-5> 주요 수종의 종간 유사성 분석(교목층)

	소나무	신갈나무	굴참나무	졸참나무	물박달나무	아까시나무	갯나무	대팻집나무	물푸레나무	박달나무	쪽동백나무	개벚나무	팔배나무	물오리나무	비목
소나무	1.000	0.387	0.123	0.103	0.089	0.051	0.044	0.036	0.034	0.024	0.021	0.021	0.018	0.014	0.011
신갈나무	0.387	1.000	0.668	0.598	0.384	0.349	0.309	0.258	0.245	0.181	0.161	0.158	0.135	0.106	0.087
굴참나무	0.123	0.668	1.000	0.364	0.139	0.523	0.300	0.550	0.317	0.360	0.216	0.216	0.418	0.341	0.230
졸참나무	0.103	0.598	0.364	1.000	0.323	0.386	0.744	0.526	0.427	0.455	0.549	0.491	0.000	0.000	0.335
물박달나무	0.089	0.384	0.139	0.323	1.000	0.369	0.000	0.000	0.672	0.000	0.000	0.382	0.000	0.000	0.000
아까시나무	0.051	0.349	0.523	0.386	0.369	1.000	0.262	0.912	0.292	0.868	0.725	0.421	0.353	0.658	0.580
갯나무	0.044	0.309	0.300	0.744	0.000	0.262	1.000	0.505	0.316	0.356	0.000	0.000	0.389	0.412	0.000
대팻집나무	0.036	0.258	0.550	0.526	0.000	0.912	0.505	1.000	0.350	0.961	0.844	0.517	0.442	0.794	0.717
물푸레나무	0.034	0.245	0.317	0.427	0.672	0.292	0.316	0.350	1.000	0.413	0.000	0.691	0.458	0.490	0.000
박달나무	0.024	0.181	0.360	0.455	0.000	0.868	0.356	0.961	0.413	1.000	0.944	0.623	0.545	0.590	0.861
쪽동백나무	0.021	0.161	0.216	0.549	0.000	0.725	0.000	0.844	0.000	0.944	1.000	0.654	0.000	0.000	0.899
개벚나무	0.021	0.158	0.216	0.491	0.382	0.421	0.000	0.517	0.691	0.623	0.654	1.000	0.000	0.000	0.792
팔배나무	0.018	0.135	0.418	0.000	0.000	0.353	0.389	0.442	0.458	0.545	0.000	0.000	1.000	0.682	0.000
물오리나무	0.014	0.106	0.341	0.000	0.000	0.658	0.412	0.794	0.490	0.590	0.000	0.000	0.682	1.000	0.000
비목	0.011	0.087	0.230	0.335	0.000	0.580	0.000	0.717	0.000	0.861	0.899	0.792	0.000	0.000	1.000

<표 3-4-6> 주요 수종의 종간 유사성 분석(아교목층)

	소나무	신갈나무	굴참나무	졸참나무	당단풍	쪽동백나무	개벚나무	서어나무	아까시나무	물푸레나무	물박달나무	대팻집나무	노간주나무	물오리나무	노각나무
소나무	1.000	0.925	0.665	0.667	0.439	0.416	0.243	0.227	0.201	0.155	0.149	0.144	0.122	0.117	0.114
신갈나무	0.925	1.000	0.721	0.726	0.470	0.446	0.264	0.246	0.218	0.168	0.163	0.157	0.133	0.128	0.125
굴참나무	0.665	0.721	1.000	0.916	0.699	0.790	0.543	0.483	0.432	0.374	0.279	0.324	0.303	0.293	0.179
졸참나무	0.667	0.726	0.916	1.000	0.858	0.867	0.477	0.598	0.464	0.343	0.119	0.421	0.365	0.353	0.346
당단풍	0.439	0.470	0.699	0.858	1.000	0.950	0.712	0.819	0.200	0.444	0.207	0.420	0.225	0.438	0.576
쪽동백나무	0.416	0.446	0.790	0.867	0.950	1.000	0.736	0.746	0.395	0.465	0.218	0.265	0.334	0.460	0.278
개벚나무	0.243	0.264	0.543	0.477	0.712	0.736	1.000	0.841	0.296	0.543	0.678	0.127	0.000	0.136	0.137
서어나무	0.227	0.246	0.483	0.598	0.819	0.746	0.841	1.000	0.148	0.780	0.347	0.761	0.182	0.556	0.734
아까시나무	0.201	0.218	0.432	0.464	0.200	0.395	0.296	0.148	1.000	0.286	0.376	0.593	0.929	0.702	0.000
물푸레나무	0.155	0.168	0.374	0.343	0.444	0.465	0.543	0.780	0.286	1.000	0.391	0.654	0.367	0.704	0.438
물박달나무	0.149	0.163	0.279	0.119	0.207	0.218	0.678	0.347	0.376	0.391	1.000	0.442	0.000	0.483	0.487
대팻집나무	0.144	0.157	0.324	0.421	0.420	0.265	0.127	0.761	0.593	0.654	0.442	1.000	0.731	0.829	0.861
노간주나무	0.122	0.133	0.303	0.365	0.225	0.334	0.000	0.182	0.929	0.367	0.000	0.731	1.000	0.858	0.000
물오리나무	0.117	0.128	0.293	0.353	0.438	0.460	0.136	0.556	0.702	0.704	0.483	0.829	0.858	1.000	0.600
노각나무	0.114	0.125	0.179	0.346	0.576	0.278	0.137	0.734	0.000	0.438	0.487	0.861	0.000	0.600	1.000

<표 3-4-7> 주요 수종의 종간 유사성 분석(관목층)

	소나무	신갈나무	굴참나무	쇠물푸레	개웃나무	생강나무	싸리	졸참나무	철쭉꽃	당단풍	조릿대	진달래	조록싸리	쪽동백나무	국수나무
소나무	1.000	0.608	0.577	0.642	0.667	0.758	0.755	0.596	0.754	0.623	0.108	0.509	0.788	0.566	0.766
신갈나무	0.608	1.000	0.799	0.924	0.962	0.938	0.946	0.941	0.883	0.721	0.152	0.961	0.683	0.655	0.561
굴참나무	0.577	0.799	1.000	0.618	0.900	0.907	0.823	0.916	0.548	0.732	0.021	0.698	0.711	0.881	0.563
쇠물푸레	0.642	0.924	0.618	1.000	0.855	0.859	0.950	0.767	0.958	0.763	0.187	0.939	0.733	0.666	0.610
개웃나무	0.667	0.962	0.900	0.855	1.000	0.982	0.900	0.984	0.857	0.842	0.186	0.896	0.704	0.804	0.712
생강나무	0.758	0.938	0.907	0.859	0.982	1.000	0.906	0.955	0.897	0.903	0.334	0.896	0.788	0.805	0.700
싸리	0.755	0.946	0.823	0.950	0.900	0.906	1.000	0.854	0.897	0.788	0.040	0.890	0.802	0.786	0.686
졸참나무	0.596	0.941	0.916	0.767	0.984	0.955	0.854	1.000	0.755	0.828	0.237	0.886	0.642	0.797	0.684
철쭉꽃	0.754	0.883	0.548	0.958	0.857	0.897	0.897	0.755	1.000	0.809	0.336	0.874	0.818	0.619	0.735
당단풍	0.623	0.721	0.732	0.763	0.842	0.903	0.788	0.828	0.809	1.000	0.607	0.740	0.802	0.906	0.844
조릿대	0.108	0.152	0.021	0.187	0.186	0.334	0.040	0.237	0.336	0.607	1.000	0.309	0.175	0.145	0.161
진달래	0.509	0.961	0.698	0.939	0.896	0.896	0.890	0.886	0.874	0.740	0.309	1.000	0.581	0.553	0.465
조록싸리	0.788	0.683	0.711	0.733	0.704	0.788	0.802	0.642	0.818	0.802	0.175	0.581	1.000	0.865	0.820
쪽동백나무	0.566	0.655	0.881	0.666	0.804	0.805	0.786	0.797	0.619	0.906	0.145	0.553	0.865	1.000	0.856
국수나무	0.766	0.561	0.563	0.610	0.712	0.700	0.686	0.684	0.735	0.844	0.161	0.465	0.820	0.856	1.000

<표 3-4-8> 주요 종의 종간 유사성 분석(초본층)

	소나무	신갈나무	굴참나무	산겨울	그늘사초	조릿대	큰기름새	대사초	억새	에기나리	꽃머느리밥풀	맑은대쭉	구절초	삼주	참취
소나무	1.000	0.692	0.645	0.099	0.142	0.144	0.254	0.380	0.280	0.381	0.277	0.428	0.450	0.453	0.435
신갈나무	0.692	1.000	0.870	0.306	0.346	0.442	0.619	0.622	0.335	0.718	0.351	0.524	0.515	0.739	0.780
굴참나무	0.645	0.870	1.000	0.158	0.167	0.254	0.387	0.283	0.085	0.539	0.069	0.314	0.378	0.583	0.552
산겨울	0.099	0.306	0.158	1.000	0.554	0.655	0.718	0.590	0.491	0.564	0.541	0.498	0.509	0.506	0.489
그늘사초	0.142	0.346	0.167	0.554	1.000	0.564	0.439	0.404	0.458	0.517	0.566	0.629	0.506	0.513	0.595
조릿대	0.144	0.442	0.254	0.655	0.564	1.000	0.632	0.252	0.163	0.385	0.402	0.203	0.163	0.281	0.319
큰기름새	0.254	0.619	0.387	0.718	0.439	0.632	1.000	0.671	0.181	0.646	0.374	0.602	0.630	0.703	0.713
대사초	0.380	0.622	0.283	0.590	0.404	0.252	0.671	1.000	0.817	0.854	0.739	0.734	0.871	0.869	0.713
억새	0.280	0.335	0.085	0.491	0.458	0.163	0.181	0.817	1.000	0.771	0.786	0.791	0.767	0.670	0.506
에기나리	0.381	0.718	0.539	0.564	0.517	0.385	0.646	0.854	0.771	1.000	0.912	0.872	0.937	0.904	0.790
꽃머느리밥풀	0.277	0.351	0.069	0.541	0.566	0.402	0.374	0.739	0.786	0.912	1.000	0.795	0.873	0.781	0.665
맑은대쭉	0.428	0.524	0.314	0.498	0.629	0.203	0.602	0.734	0.791	0.872	0.795	1.000	0.952	0.920	0.901
구절초	0.450	0.515	0.378	0.509	0.506	0.163	0.630	0.871	0.767	0.937	0.873	0.952	1.000	0.956	0.888
삼주	0.453	0.739	0.583	0.506	0.513	0.281	0.703	0.869	0.670	0.904	0.781	0.920	0.956	1.000	0.894
참취	0.435	0.780	0.552	0.489	0.595	0.319	0.713	0.713	0.506	0.790	0.665	0.901	0.888	0.894	1.000

나. 참나무류의 산불 피해 유형

산불 피해지에서의 참나무류의 맹아 발생은 온대림 지역에서의 복원, 회복 과정에서 매우 중요한 의미를 가지며 생태계 균형 유지에 있어서 상당한 역할을 해온 것이 사실이다. 산불 피해지에서 맹아 피해 유형 및 피해 형태의 조사 목적은 내화성 임분대 조성에 앞서 이들 현상을 파악·분석하여 내화성 임분대 조성의 지침으로 삼고자 하는 것이다. 산불 피해지 임목의 재생 과정에서 매우 중요한 역할을 하고 있는 참나무류의 산불 피해 유형은 줄기 일부에 그을음만 있는 경우(I형), 줄기 일부가 잔존된 경우(II형), 지상부는 거의 타고 지제부 일부만 잔존된 경우(III형), 지상부가 완전히 소실된 경우(IV형)의 4유형으로 구분되었으며 피해 유형에 따라 임목의 생육 상태 및 맹아 발생 형태가 다르게 나타나고 있었다.

1) 피해 유형 I

줄기 일부에 그을음만 있고 지상부가 생존하고 있는 경우로 산불피해를 받은 후 2~3년이 지나면서 수간부에 수피할렬이 발생하여 임목의 활력이 현저하게 떨어지거나 고사하는 현상이 나타난다. 이 경우 지제부와 수피할렬이 발생한 부위에서 심재부후가 진행되

면서 맹아 발생력이 떨어져, 근원경 10cm 이상인 경우 맹아 발생이 거의 없는 것으로 나타나고 있다<사진 3-4-1>.

#### 2) 피해 유형 II

산불피해 당년에는 지상부의 일부(30~40cm 정도)가 생존하여 수간부 상부에서 맹아가 다수 발생하나 수간부 부후가 진행되면서 대부분 고사하는 것으로 나타나고 있다<사진 3-4-2>.

#### 3) 피해 유형 III

지제부의 일부가 남아 있는 경우로 피해부위가 유합되지 못한 상태에서 지제부 또는 지하부에서 다수의 맹아가 발생하며, 피해부위에서 일어난 심재부후로 인하여 발생한 맹아는 대부분 조기에 고사하고 수세가 약한 2차, 3차 맹아가 계속 발생하고 있으나, 이들 역시 심재부후에 의하여 조기에 고사하는 것으로 나타나고 있다<사진 3-4-3>.

#### 4) 피해 유형 IV

지제부위가 전소하여 없어진 경우로 지제부 또는 지하부에서 다수의 맹아가 발생하며, 일부 양호한 상태로 맹아가 발생하기도 하나 피해부위에서 시작된 심재부후로 인하여 발생한 맹아가 조기에 고사하고 2차, 3차 맹아가 계속 발생하나 이들 맹아도 심재부후로 고사하는 것으로 나타나고 있다<사진 3-4-4>.



<사진 3-4-1> 피해 유형 I



<사진 3-4-2> 피해 유형 II



<사진 3-4-3> 피해 유형 III



<사진 3-4-4> 피해 유형 IV

#### 다. 피해 유형에 따른 맹아 발생

일반적으로 참나무류는 맹아력이 강하여 단기간에 많은 양의 소경재를 생산하여 버섯 재배용 원목, 연료재, 숯 등으로 이용해 왔다. 참나무류의 맹아력은 벌근경(지체부 직경) 20cm 이하에서 가장 왕성하며, 벌근경이 커질수록(수령의 증가) 또는 갱신회수(벌채 회수)가 증가할수록 낮아지는 특성이 있다. 정상적인 맹아갱신(움기르기) 시업을 통한 맹아 발생량은 상수리나무, 굴참나무는 벌근당 평균 5~6본, 신갈나무는 10본 내외이며 발생 위치를 보면 상수리나무, 굴참나무 등은 신갈나무에 비하여 지체부 또는 지하부에서 주로 발생하여 성장하는 특성을 나타내고 있다. 이와 같은 맹아발생 특성을 고려하여 참나무류는 벌채 시 벌근의 높이(벌근고)를 가능한 낮게(10cm 이하)하여 맹아가 벌근의 지하 또는 지체부에서 발생하도록 유도하고 있으며 이렇게 하면 갱신훈 후 벌근이 부후되면서 발생하는 심재부후 현상을 방지하게 된다. 특히, 상수리나무, 굴참나무는 지하부 또는 지체부에서 발생한 맹아가 벌근부에서 발생한 맹아와는 달리 갱신훈을 발생시켜 벌근과는 독립적인 성장을 하므로 맹아갱신에 의한 우량 대경재 생산도 가능한 것으로 밝혀지고 있다. 즉, 정상적인 참나무 맹아갱신시업이라도 맹아 발생과 심재 부후는 갱신훈 조성 및 관리적 측면에서 매우 중요하다. 그러므로 산불피해지에서의 참나무류의 맹아갱신은 단순히 참나무류가 갖고 있는 맹아력에 의한 일시적인 식생 복원의 문제가 아니라, 피해지 복원을 통한 산림자원의 재생이라는 관점에서 보다 면밀한 관찰과 이에 따른 과학적인 시업적 조치의 강구가 필수적이라 할 수 있다. 산불피해지 참나무류의 맹아 발생은 산불의 강도, 피해 정도, 나무 크기, 수종 등에 따라 맹아력에서 큰 차이를 보이고 있어 다음과 같이 피해 유형별 맹아 발생 특성을 요약하였다.

### 1) 피해 유형 I

피해 유형 I은 산불당시 지제부 가까이 수간에 그을음이 있고 생존해 있었으나, 2~3년 지나면서 수간할렬 피해가 나타나기 시작하면서 임목의 활력이 현저하게 떨어지거나 결국 고사하는 현상이 나타나고 있다<사진 3-4-5>. 일반적으로 참나무류가 자연상태에서 활력이 낮아지거나, 수간이 부러지거나 하면 자연스럽게 2차, 3차 맹아를 발생시켜 후계림으로 이어지고 있으나, 이들 피해목은 수간할렬이 발생한 부위 및 지제부에서 이미 심재부후가 진행되고 있으며, 2~3년간 서서히 쇠퇴하는 과정에서 오히려 맹아력조차 상실하여 2차 맹아발생마저 되지 않고 있는 실정이다. 특히, 임목의 근원경이 10cm 이상인 경우 맹아가 거의 발생하지 않았으며, 5cm 이하의 작은 임목의 경우 2차 맹아는 발생하였으나 2차 맹아에도 심재부후가 전이되어 부후가 진행되고 있으며, 심한 경우에는 도복 또는 고사되어 3차 맹아를 발생시키고 있다. 그러나, 이들 2차, 3차 맹아는 대부분이 활력이 낮아 후계목으로의 성장을 기대할 수 없는 것으로 판단되었다<사진 3-4-6>.



<사진 3-4-5> 수피내부(형성층) 고사 및 부후



<사진 3-4-6> 산불당시 잔존목이 고사하면서 발생한 2. 3차 맹아

### 2) 피해 유형 II

피해 유형 II는 상층이 소나무림인 지역의 하층에서 생육하는 참나무류가 산불피해로 지상부의 일부는 소실되고 지면에서 30~40cm 정도가 살아있는 경우인데, 맹아는 수간부 상부에서 우선 발생하여 갱신되는 특징을 나타내고 있다. 맹아발생 본수는 다수이나, 수간부 부후가 진행됨에 따라 대부분이 고사되고 있다<사진 3-4-7>.



<사진 3-4-7> 전맹아 지제부 부후발생으로 도복  
피해발생 및 2차 맹아발생(부후전이)

### 3) 피해 유형 Ⅲ~Ⅳ

피해 유형Ⅲ~Ⅳ는 지상부에 남아있는 부분이 없어 맹아가 지하 또는 지제부에서 발생하고 있으며 초기 발생본수는 많았으나, 산불피해에 따른 심재부후로 조기에 고사하는 특징을 나타내고 있다. 특히, 2차 맹아가 발생했다가 활력이 쇠퇴하거나 고사하면서 3차 맹아를 발생시키고 있으나 이 또한 심재부후로 고사하는 현상을 짧은 주기로 반복하고 있다.

#### 라. 심재부후 발생

산불피해지에서 심재부후가 발생하면 지상부에 일부 잔존된 부위가 남아 있어도 결국 부후에 의하여 고사되며, 그 고사목이 부후되면서 주변에 새로 발생한 맹아까지 부후균이 전이되고 있는 것이 확인되고 있으며 특히, 상수리나무, 굴참나무보다 신갈나무에서 심하게 나타나고 있었다<사진 3-4-8, 9>. 자연복원에 의하여 재생이 가능하다고 판단하였던 임지에서 산불 발생 당시 수간이 그을렸거나 열에 의한 피해만 받은 참나무류는 일시적으로 생존하여 계속 성장하였으나 2~3년이 지난 현재 대부분의 지역에서 수피 할렬, 지제부 부후 등 수세쇠약 현상과 도복, 고사 등의 피해가 심하게 나타나고 있었다.



<사진 3-4-8> 맹아발생부위에서 부후시작 <사진 3-4-9> 3년생 맹아 내 부후 전이

이는 산불이 일어난 후 생존한 참나무라 하여도 실제로는 열에 의한 피해를 받은 부위에서부터 수피 내 형성층의 생장이 정지됨에 따라 수피가 할렬되고 이어 심재부후로 발전하여 나타나는 현상이며<사진 3-4-10, 11>, 이러한 현상은 산불강도, 임목의 크기, 수피의 두께 등에 따라 진행기간이 다르게 나타나나 결국 고사하게 된다. 비록 육안상 상처 부위가 유합되어 정상적인 것처럼 보이는 경우에도 피해 부위로부터 심재 부후가 발생하며 이의 진행에 따라 고사하게 되는데 특히, 이와 같은 현상은 지면 가까이에서 주로 발생하고 있으며, 고사 이전에 도복에 의한 피해가 발생하기도 한다<사진 3-4-7>.



<사진 3-4-10> 열에 의한 수간할렬 피해발생



<사진 3-4-11> 유합부위 내부(좌), 수간할렬 부위(우)의 부후발생

산불피해지에서 재생된 참나무림은 임분활력이 조기에 쇠퇴할 뿐만 아니라, 임목전체가



지 심재부후가 전이되면 20년 이상 성장하여 이용단계에 이르게 되더라도 생산되는 임목은 내부가 썩어있어 용도가 없으므로 산림자원의 관리라는 측면에서도 매우 손실이 크다 할 수 있다. 강원도 양양군 현남면 상월천 소재 산불 피해지에서 재생된 25년생 신갈나무림에서 육안 상 건전한 것으로 보이는 우세목(수고 9.5m, 흉고직경 8.6cm)을 임의 선정하여 수간부를 지상부 20cm 부위에서부터 1m 간격으로 절단하여 조사하였다<사진 3-4-12>. 벌근부는 내부가 완전히 썩어 있었으며 지면에서 상부방향으로 6.5m 부위까지 심재부후가 심하게 진행되었을 뿐만 아니라, 수관부에서 아래방향으로 2m 부위까지 부후가 진행되는 등 현재 양방향에서 동시에 부후가 진행되고 있는 것으로 밝혀졌다. 이와 같은 현상은 전술한 바와 같이 산불피해 후 자연 상태에서 발생한 맹아는 발생 초기부터 심재부후가 발생하여 임목이 성장함에 따라 상부로 진행한 것으로 추정할 수 있으며, 이 영향으로 임목의 활력이 점차 쇠퇴하면서 초두부 고사, 고사지 발생 등에 의한 2차적인 수관하부 방향의 심재부후가 진행되는 등 결국 임목 전체가 부후되는 것으로 나타났다.



<사진 3-4-12> 줄기내 위치별 심재부후 발생(1m 간격으로 절단)

#### 마. 참나무류 적정관리밀도 산정

상층림의 피해정도에 따라 하층갱신상에서 자라고 있는 생육본수는 큰 차이를 보이고 있으며, 또한, 기존의 임상조건인 상층림의 소밀도, 임지의 사면방위, 사면경사, 모암, 해발고 등 여러 입지조건에 따라 다를 것으로 판단된다. 상층림이 소실된 지역의 하층 갱신상에서 자라고 있는 참나무류는 자연상태에서는 일시적으로 상층림으로의 천이가 예상되나 이들이 상층림을 이루기에는 생육본수, 임목형질, 해발고 등의 여러가지 인자에 의한

계약이 따를 것으로 판단된다. 산림에서 시업이 가능한 총림단계의 숲 즉, 임분의 평균수고가 수고 2~4m가 되는 치수단계에 이르기까지는 단위면적당 일정본수의 생육밀도를 유지하지 않으면 목표로 하는 숲으로 유도가 불가능할 수도 있다. 그러므로 임분조성 초기단계에 적정생육밀도와 우량 형질목을 확보하는 것은 산림관리상 매우 중요한 일이다. 현재 우리나라에서는 일반적으로 참나무림 시업을 위하여 <표 3-4-9>와 같은 적정밀도 관리 기준을 적용하고 있다. 우리나라 참나무림의 경우 현실 임분밀도는 매우 낮아 임목 형질이 불량하고 생장이 저조할 뿐만 아니라 맹아갱신에 의한 지속적인 산림경영이 불가능한 것으로 보고된 바 있다. 그러므로 표고자목 생산이나 불량림 갱신을 위한 갱신 벌채후 맹아 갱신림 조성에 실패하는 경우가 있는데 이는 갱신되는 참나무류의 그루터기수가 절대적으로 부족한데 기인한 것으로 판단되며, 또한 이와 같은 현상이 몇 번에 걸쳐 반복됨에 따라 현실 임분밀도도 점점 더 낮아지는 것으로 판단된다. 현재 우리나라에서는 참나무림 시업관리를 위하여 수고급에 따른 단위면적당 최대 생육할 수 있는 최대 관리밀도를 산정한 후, 현실 임분밀도를 고려하여 50% 내외의 생육본수를 적정관리밀도로 정하여 사용하고 있다. 적정관리밀도에 대한 이해는 초기 임분조성이 완료되는 평균 수고 4m급인 임분에서는 ha당 생육본수가 6,000본/ha이므로 이때의 그루터기수는 그루터기당 맹아본수 평균 3본으로 환산하면 2,000개(본)/ha가 유지되고 있는 것으로 추정할 수 있다. 또한 이후의 본수 감소는 그루터기수의 감소가 아닌 맹아본수의 감소로 갱신벌채 후라도 2,000개의 그루터기는 지속적으로 유지되어야만 재갱신 시업이 가능하게 될 것으로 추정하고 있다<표 3-4-9>.

<표 3-4-9> 참나무림 시업을 위한 밀도관리 기준

구 분	수 고 급 (m)				
	4	6	8	10	12
(본/ha) 현실임분밀도	4,100	2,200	1,500	1,100	870
최대 관리밀도	9,500	5,300	3,500	2,600	2,000
적정 관리밀도	6,000	3,700	2,500	1,800	1,400

산불 피해지에서의 갱신초기 본수관리는 피해목의 활력, 갱신력 등을 감안하면 일반적으로 시업이 이루어지고 있는 임지보다 많은 생육본수가 필요할 것으로 판단된다. 2000년 동해안 산불피해조사 보고서에서 밝힌 바와 같이 생육지에 따른 수종별 부후발생 비교

결과 대부분의 산불피해지에 출현하는 신갈나무의 경우 비산불임지에서도 57% 정도 부후가 발생하고 있으며, 산불피해지에서는 80% 가까이 부후가 발생하는 것으로 나타났다 <표 3-4-10>.

<표 3-4-10> 생육지에 따른 수종별 부후발생을 비교

구 분	수 종	부 후 정 도 (%)			
		계	심	중	건전
산불피해지	상수리, 굴참	100	18	23	59
	신갈나무	100	65	14	21
비산불임지	신갈나무	100	35	12	53

비산불임지의 맹아목 또는 그루터기의 부후에 의한 고사율이 35%에 비하여, 산불피해지의 참나무류의 고사율은 평균 50%인데, 특히 대부분의 조사지에서 출현하고 있는 신갈나무의 경우는 더욱 심하여 65%에 이르고 있다. 그러므로 이와 같은 맹아의 부후에 의한 분수감소를 감안한다면 산불발생 후 5년 정도에 평균수고 4m급으로 성장한다고 가정하였을 경우 ha당 6,000본을 유지시키기 위해서는, 갱신초기의 맹아발생량이 12,000~17,000본/ha이므로 특히, 그루터기수 5,000본/ha 내외가 필요할 것으로 추정되나, 특히, 산불 발생 후 발생한 맹아의 활력이 3~5년 정도 유지되는 것을 고려한다면 산불발생지에서 맹아발생본수를 갱신초기에 유지하기에는 상당히 어려울 것으로 판단된다. 사진 <3-4-13~18>은 산불피해에 의한 부후의 유형을 보여주고 있다.



<사진 3-4-13> 산불피해목(잔존목) 고사 <사진 3-4-14> 3년생 맹아에 심재부후 발생



<사진 3-4-15> 유합되지 않은 상태의 부후



<사진 3-4-16> 유합된 부위에서 부후 발생



<사진 3-4-17> 수피 활렬에 의한 고사



<사진 3-4-18> 지제부 부후에 의한 고사

#### 바. 산불피해지에서의 참나무류 육성

산불피해지 중 자연복원 대상지의 참나무류의 재생력은 피해유형에 따라 다소 차이는 있으나, 산불당시 살아있었던 임목이나 산불 피해 후 발생한 맹아에 의한 재생림은 산불발생 후 3~5년이 경과하면서 심재부후에 의한 피해가 나타나는 것으로 밝혀졌다. 비록 재생림으로 숲을 이룬다 하여도 심재부후가 임목전체로 진행된다면 임분 활력 쇠퇴로 이어져 결국 건강한 숲으로 복원시켜 관리하는 것이 매우 어려운 것으로 판단된다. 그러므로, 재생력이 강한 참나무류가 우점하고 있는 피해지를 자연복원에 의하여 재생시킨다 하더라도, 산불피해지에서의 참나무류 갱신구조를 정확하게 파악하고 또한, 지금까지 얻어진 결과 등을 종합하여 자연력을 최대한 활용하는 적합한 시업적 조치를 하는 것이 진정한 의미의 자연복원이 아닌가 생각된다. 산불(열)이라고 하는 외부 자극에 반응하여 참나무류

는 맹아를 발생시키는데, 이때 피해 받은 근주 또는 줄기로부터 부후가 전이되는 것을 방지하기 위하여 새로운 맹아가 발생하기 전에 지체부 가까이 낮게 잘라주면 된다. 또한, 지상부의 일부가 살아남아 있는 피해목의 경우에도 줄기가 부후되기 전에 지체부 가까이 잘라주면서 근주 가까이에서 발생한 맹아를 육성하는 것이 바람직하다.

기존의 벌채로 다수의 맹아가 발생한 임지가 피해를 받았을 경우, 지하부 또는 지체부에서 발생한 맹아는 남기고 나머지는 잘라주면 심재부후를 지연시킬 수 있을 뿐만 아니라, 다시 새로운 맹아를 발생시킬 수 있다. 또한, 산불 피해지내 참나무류 등의 생육밀도가 낮은 경우에는 천연하종된 참나무류 종자의 이용 및 파종, 또는 묘목 등의 보완식재를 통하여 조기에 임분이 조성될 수 있도록 유도하는 것이 바람직하다. 이러한 결과들을 내화성 임분 조성 시 임분의 맹아관리 지침으로 향후 활용하고자 한다.

#### 4. 내화성 임분 실연지 조성

내화성 임분 조성을 위한 갱신면 유형은 구릉지대는 대상개벌형(종식, 황식), 산악지대는 어골형, 복합산지대는 2방법을 병행 적용하는 것을 원칙으로 하였다. 또한, 복원방법 적용은 자연복원, 인공복원으로 구분하고, 잔존대 처리는 소나무림은 강도간벌, 존치로 구분하며, 활엽수림대는 천연림보육 등을 적용한다.

어골형(장상형)은 능선부의 소나무림은 기준밀도에 맞게 간벌을 실시하거나 존치시키고 사면상의 소나무는 강도간벌 또는 제거를 원칙으로 하고 활엽수가 있는 경우는 천연림보육을 통하여 건전림으로 유도한다. 대상형은 주계곡을 중심으로 좌우측에 종식 및 황식 대상벌채구를 배치하되 소나무림 잔존대는 강도간벌구와 존치구로 구분하고, 벌채대는 자연복원과 인공식재를 병행하여 조성한다. 복합형은 한 임지 내에 어골형과 대상형을 혼합하여 내화성 임분을 조성한다.

본 연구에서는 산불피해를 입지 않은 건전소나무임분과 산불피해지에 대해 각각 실연지를 조성하였다.

##### 가. 건전소나무임분 내화력 증진 실연사업지 조성

내화림대의 설계와 배치를 위하여 실연사업 대상지 6개소의 표준지를 설치하고 사면 상부와 하부로 나누어 임분구조를 파악한 결과, <표 3-4-11>과 같이 사면하부지역은 생육본수가 비교적 적정한 편이나, 사면상부지역은 상당히 과밀하게 생육하고 있었다. 이 지역을 사면상부는 황식대상벌채, 사면하부는 종식대상벌채를 통하여 각 3.1ha의 실연지

조성계획을 수립하였다.

<표 3-4-11> 실연대상 소나무림 임분 개황

구분	입지	생육상황		분수 (본/ha)	임분형질		비고
		흉고직경 (cm)	수고 (m)		수간	수관	
1	관계위치 : 산록부 방위 : 남서	$\frac{18.8}{11\sim 26}$	$\frac{13.3}{8\sim 17}$	850	2.2	2.2	※ 임분형질 - 양호 : 3 - 보통 : 2 - 불량 : 1
2	관계위치 : 산복부 방위 : 남	$\frac{16.2}{9\sim 26}$	$\frac{14.9}{10\sim 22}$	1,550	2.2	1.9	
3	관계위치 : 산복부 방위 : 서	$\frac{15.6}{7\sim 35}$	$\frac{11.8}{7\sim 20}$	1,100	2.0	1.7	
4	관계위치 : 산록부 방위 : 남서	$\frac{21.6}{15\sim 33}$	$\frac{15.9}{13\sim 19}$	700	2.4	2.2	
5	관계위치 : 산정부 방위 : 남	$\frac{16}{8\sim 30}$	$\frac{11}{7\sim 16}$	1,850	1.9	1.7	
6	관계위치 : 산정부 방위 : 남	$\frac{16}{10\sim 29}$	$\frac{14}{9\sim 18}$	1,450	2.1	1.6	

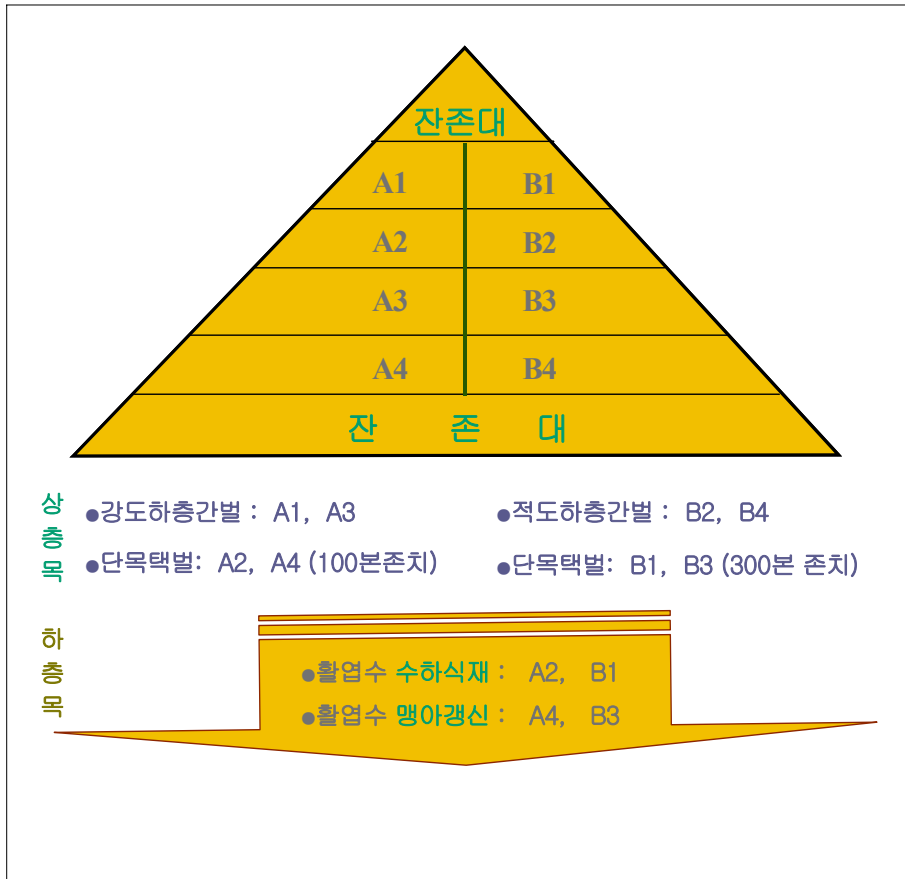
<그림 3-4-5~7>과 같이 상층목에 대한 처리는 벌채폭 20~30m로 하여 강도하층간벌, 적도하층간벌, 100본/ha 존치, 300본/ha 존치 처리를 하도록 하였으며, 특히 대상벌채구에 우량목을 존치시키는 것은 내화력 증진과 함께 대경재 생산을 고려한 특수시업으로 금후 유용한 시업기술로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 수하식재와 맹아갱신에 의한 후계림 조성은 생태적 안정을 고려한 내화력 증진을 위한 시업방법으로서, 산불피해지 복구시 현장에서 유용하게 활용할 수 있을 것으로 기대된다.



<그림 3-4-5> 실연시업지 작업계획도



<그림 3-4-6> 종식 대상벌채법 모식도



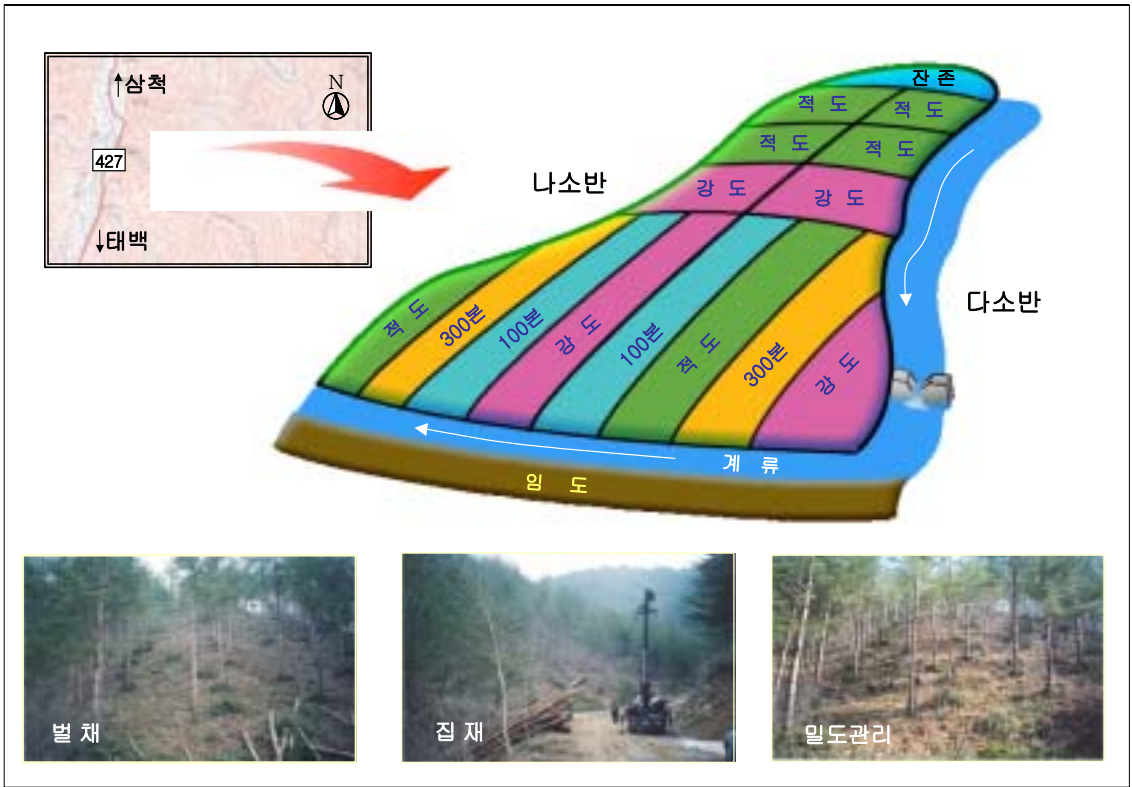
<그림 3-4-7> 횡식 대상벌채법 모식도

실연지의 조성의 기본원칙은 산불의 피해를 경감시키고 산주의 경제적 소득 확보와 동시에 현장에서 실용적으로 활용할 수 있는 시범지가 될 수 있도록 하는 것이며, 작업로 설치, 벌채대상목 표식과 재적조사, 벌채허가신청 및 승인, 벌채수집계획 작성 및 실행, 작업공정조사 등을 실시하였다.

1) 소나무림 내화성 증진 실연사업지 조성방법

건전임지에 내화력 증진을 위한 실연지는 강원도 삼척시 노곡면 중마읍리 산 88번지 삼척관리소 관내 국유림 99-나, 다소반에 위치하며, 경사는 중, 임종은 소나무 단순림, 영급은 4영급으로 다음과 같이 조성하였다<그림 3-4-8>.





<그림 3-4-8> 건전소나무림 내화성 임분 조성 실연지 배치도

2) 실연지의 임분 변화

가) 처리 방법

건전소나무임분에서 임분밀도관리에 의한 대상벌채양식을 적용하여 내화성 임분을 증진시키기 위한 간벌시험방법으로 정량간벌은 적도하층간벌, 강도하층간벌을 실시하였고, 단목택벌양식에서 우량목 존치구는 형질우량목 300본/ha, 100본/ha를 존치하고 굴참나무 용기묘를 보완식재 하였다. 내화림의 폭은 평균수고의 두배인 30m를 기준으로 하였다.

나) 임분 변화

<표 3-4-12>는 건전임분에 대한 내화림을 조성하기 위하여 간벌방법을 적용 그 처리전 후의 임상변화를 나타낸 것이다.

<표 3-4-12> 내화성 임분 조성전후 임상 비교

처리	밀도(본/ha)			흉고직경(cm)			수고(m)		
	처리		변화량 (변화율%)	처리		변화량 (변화율%)	처리		변화량 (변화율%)
	전	후		전	후		전	후	
적도간벌	725	600	125 (17.2)	20.9	21.9	1.0 (4.8)	14.6	14.9	0.3 (2.1)
강도간벌	630	450	180 (28.6)	25.1	27.1	2.0 (8.0)	15.5	15.5	0.2 (1.3)
300본구	630	320	310 (49.2)	22.7	23.7	1.0 (4.4)	15.3	15.9	0.6 (3.9)
100본구	675	170	505 (74.8)	22.3	26.9	4.6 (20.6)	15.4	16.9	1.5 (9.7)

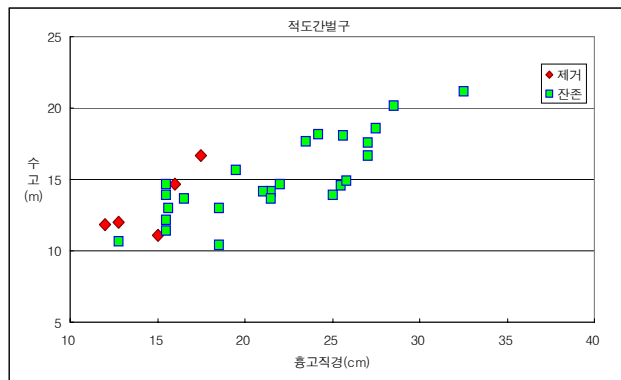
<표 3-4-12> (계속)

처리	흉고단면적(m <sup>2</sup> )			재적(m <sup>3</sup> )			h/d			비고
	처리		변화량 (변화율%)	처리		변화량 (변화율%)	처리		변화량 (변화율%)	
	전	후		전	후		전	후		
적도간벌	24.8	22.7	2.1 (9.7)	179.1	165.0	14.1 (7.9)	74.6	71.2	3.4 (4.6)	
강도간벌	31.7	26.3	5.3 (16.7)	231.2	193.1	38.1 (16.5)	65.8	59.7	6.1 (9.3)	
300본구	26.9	15.4	11.5 (42.8)	206.6	112.1	94.5 (45.7)	71.1	72.6	1.5 (2.1)	용기묘 골참식재
100본구	26.4	8.6	17.8 (67.4)	196.3	66.1	130.2 (66.3)	73.7	63.5	10.2 (13.8)	용기묘 골참식재

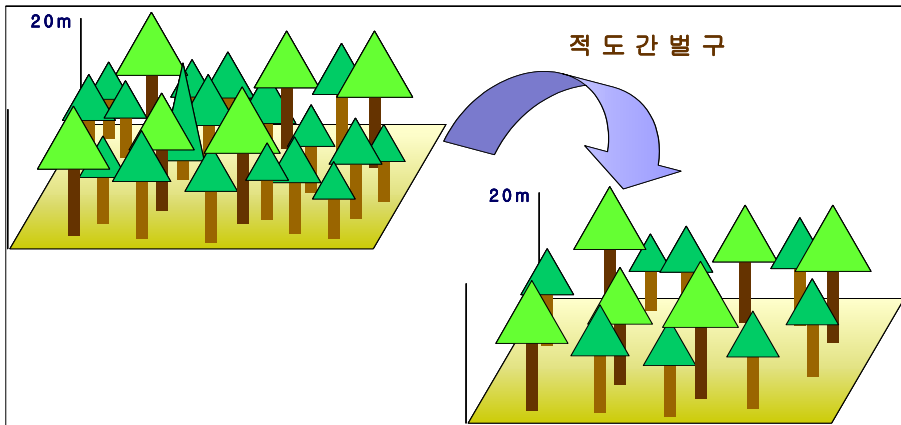
이 임분은 이전에 한번의 간벌이 시행되었던 임분으로 입지에 따라 임목의 생육상황에 차이가 나타나고 있었다. 시업 전·후의 임분변화는 처리구별로 반경 8m의 원형조사구 표준지를 설치하여 조사하였다. 시업 전 임분의 평균생육본수는 670본/ha, 평균흉고직경은 22.9cm, 평균수고는 15.7m, 평균지하고 5.4m, 평균형상비(H/D)는 71이었다. 시업 후의 잔존본수는 적도간벌구 600본/ha, 강도간벌구 450본/ha, 300본구 320본/ha, 100본구 170본/ha로 조절되었으며, 처리구에 따라 시업 후 잔존목의 생육상황은 차이가 있으나, 처리구 전체의 평균흉고직경 25.0cm, 평균수고 16.0m, 평균지하고 5.3m, 형상비(H/D) 66으로 조절되었다.

다) 적도간벌구

본 실연대상지는 적도하층간벌을 실시하였으며, 시업 전 임목의 생육상황은 본수 725본/ha, 평균흉고직경 20.9cm, 흉고단면적 24.8m<sup>2</sup>/ha, 평균수고 14.6m, 평균지하고 5.1m, 평균형상비 74.6이었으며, 시업 후 생육상황은 본수 600본/ha, 평균흉고직경 21.9cm, 흉고단면적 22.7m<sup>2</sup>/ha, 평균수고 14.9m, 평균지하고 5.1m, 평균형상비 71.2로 조절되었으며 전체재적은 약 7.9%의 변화율을 보였다. 하층간벌을 실시하였기 때문에 흉고직경값이 약간 증가하여 형상비가 약간(3.4%)감소하였으며 수고(2.1%)와 지하고는 시업 전·후 사이에 큰 차이가 없었다. 시업 전·후의 경급별-수고분포도 및 임분투영도는 <그림 3-4-9~11>과 같다.



<그림 3-4-244> 적도간벌구의 흉고직경-수고분포에 의한 간벌 전·후 임분 변화



<그림 3-4-245> 적도간벌구의 간벌 전·후 임분변화 모식도



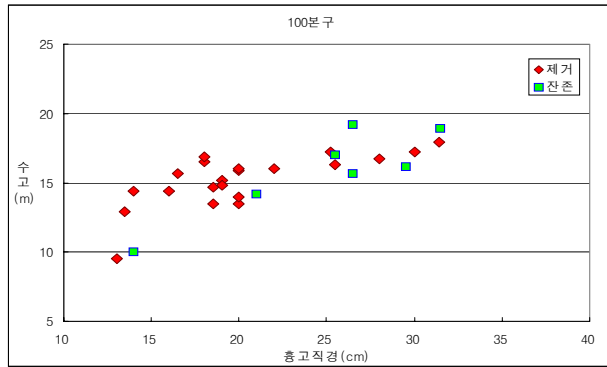




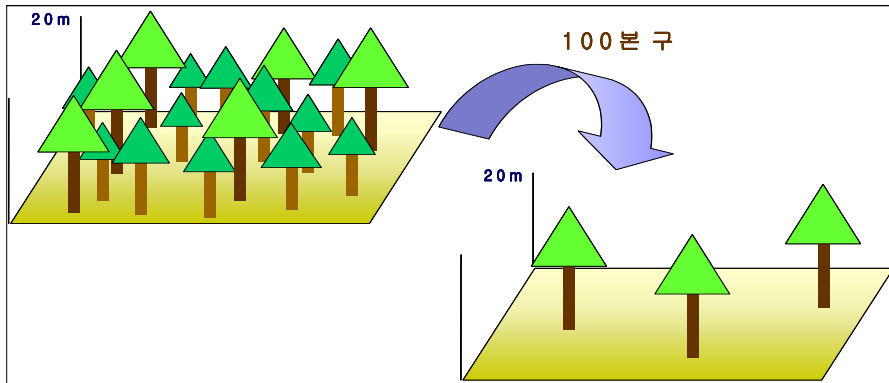
바) 100본 존치구

단목택벌을 실시하고 우량목 100본/ha을 기준하여 존치하였다. 시업 전 임목의 생육상황은 본수 675본/ha, 평균흉고직경 22.3cm, 흉고단면적 26.4m<sup>2</sup>/ha, 평균수고 15.4m, 평균 지하고 5.1m, 평균형상비 73.7 이었다.

시업 후 생육상황은 본수 170본/ha, 평균흉고직경 26.9cm, 흉고단면적 8.6m<sup>2</sup>, 평균수고 16.9m, 평균지하고 4.7m, 평균형상비 63.5로 조절되었다. 가장큰 강도의 간벌을 실시하고 우량목만 남겼기 때문에 시업 전·후 사이에 흉고직경값이 크게 증가(20.6%)하여 형상비도 상당히 감소(13.8%)하였다. 또한 수고도 상당히 증가(9.7%)하였으나 지하고는 오히려 감소하였으며. 재적은 66.3%의 변화율을 보여 본수율 77.8%와는 같은 경향을 보였다. 시업 전·후의 임분모식도 및 임분투영도는 <그림 3-4-18~20>과 같다.



<그림 3-4-253> 100본 존치구의 흉고직경-직경분포에 의한 간벌 전·후 임분변화



<그림 3-4-254> 100본 존치구의 간벌 전·후 임분변화 모식도





<표 3-4-14> 적정간별구 맹아발생 및 생육상황

맹아수령분포	수종	개체수	근주직경 (cm)	별근고 (cm)	맹아본수 (줄기수/ha)	맹아수 (맹아/그루터기)	근원경 (mm)	평균수고 (cm)
3~11	소계	53	5.3	18.7	218 (21,800)	4.1 (1-13)	16.1 (1-97)	149.6 (20-420)
	굴참	18	5.3	18.7	45 (4,500)	2.5 (1-12)	22.8 (1-97)	187.0 (50-410)
	상수리	1	5.0	25.0	2 (200)	2.0 (2-2)	35.5 (29-42)	235.0 (230-240)
	신갈	2	4.0	14.0	14 (1,400)	7.0 (8-6)	8.8 (2-55)	60.7 (45-90)
	줄참	32	7.2	17.0	157 (15,700)	4.9 (1-13)	14.5 (2-76)	145.7 (20-420)

(2) 강도 간별구

강도 간별구에서 주로 출현하는 수종은 굴참나무, 상수리나무, 줄참나무였으며, 조사지 평균 근주직경 7.0cm, 별근고 16.6cm 그루터기당 발생본수는 3.6본, 맹아근원경 16.6mm, 흉고직경 1.6cm, 평균수고는 1.6m로 조사되었으며 ha당 발생본수는 20,200본으로 조사되었다. 이와같은 결과를 수종별로 살펴보면 굴참나무는 7,300본/ha, 상수리 800본/ha, 신갈 1,2100본/ha으로 조사되었으며, 줄참나무의 맹아가 생장이 저조한 것으로 조사되었다. 조사지에서 그루터기 당 맹아력은 굴참나무 3.5본, 상수리나무 2.7본, 줄참나무 3.8본으로 나타났다. 수령은 대부분 3-11년으로 조사되었으며, 맹아의 고사는 굴참나무, 상수리나무에서 수령 5년 이상에서 발생하는 것이 관찰되었다. 맹아발생부위는 대부분 지제, 근주인 것으로 조사되었다<표 3-4-14>.

<표 3-4-14> 강도 간별구 맹아 발생 및 생육상황

맹아수령분포	수종	개체수	근주직경 (cm)	별근고 (cm)	맹아본수 (줄기수/ha)	맹아수 (맹아/그루터기)	근원경 (mm)	평균수고 (cm)
3~11	소계	56	7.0	16.6	202 (20,200)	3.6 (1-11)	16.6 (1-87)	159.9 (30-390)
	굴참	21	6.2	17.2	73 (7,300)	3.5 (1-13)	24.2 (1-89)	165.0 (40-370)
	상수리	3	4.1	22.0	8 (800)	2.7 (1-4)	20.9 (9-33)	214.0 (200-230)
	줄참	32	7.8	15.7	121 (12,100)	3.8 (1-9)	13.2 (2-87)	153.4 (30-390)

(3) 300본 존치구

300본 존치구에서 주로 출현하는 수종은 굴참나무, 신갈나무, 졸참나무였으며, 조사지 평균 근주직경 5.0cm, 벌근고 18.7cm 그루터기당 발생본수는 5.1본, 맹아근원경 15.8mm, 흉고직경 1.6cm, 평균수고는 약 1.6m로 조사되었으며 ha당 발생본수는 21,100본으로 조사되었다.

이와 같은 결과를 수종별로 살펴보면 굴참나무는 8,500본/ha, 신갈나무 2,300본/ha, 졸참나무 10,300본/ha으로 조사되었다. 맹아 생장은 신갈나무가 저조한 것으로 조사되었다. 조사지에서 그루터기 당 맹아력은 굴참나무 3.7본, 신갈나무 2.7본, 졸참나무 4.9본으로 나타났다. 수령은 대부분 3~11년으로 조사되었으며, 맹아의 고사는 본 조사구에서는 발견되지 않았다<표 3-4-15>.

<표 3-4-15> 300본 존치구 맹아발생 및 생육상황

맹아 수령 분포	수종	개체수	근주직경 (cm)	벌근고 (cm)	맹아본수 (줄기수/ha)	맹아수 (맹아/그루 터기)	근원경 (mm)	평균수고 (cm)
3~11	소계	49	5.6	18.7	211 (21,100)	5.1 (1-15)	15.8 (1-113)	158.9 (30-430)
	굴참	23	5.7	19.1	85 (8,500)	3.7 (1-11)	20.1 (1-113)	196.2 (60-430)
	신갈	5	3.8	15.3	23 (2,300)	6.2 (3-15)	7.4 (3-60)	67.7 (30-120)
	졸참	21	6.4	18.8	103 (10,300)	4.9 (1-13)	15.1 (2-82)	157.1 (30-410)

(4) 100본 존치구

100본 존치구에서 주로 출현하는 수종은 굴참나무, 신갈나무, 졸참나무였으며, 조사지 평균 근주직경 5.3cm, 벌근고 18.0cm 그루터기당 발생본수는 4.1본, 맹아근원경 16.1mm, 흉고직경 1.2cm, 평균수고는 약 1.5m로 조사되었으며 ha당 발생본수는 21,600본으로 조사되었다.

이와같은 결과를 수종별로 살펴보면 굴참나무는 4,500본/ha, 신갈나무 1,400본/ha, 졸참나무 15,700본/ha으로 조사되었다. 다른 수종에 비하여 맹아 성장량이 떨어지는 수종은 신갈나무로 조사되었다. 조사지에서 그루터기 당 맹아력은 굴참나무 2.1본, 신갈나무 5.3본, 졸참나무 4.9본으로 나타났다<표 3-4-16>.

<표 3-4-16> 100본 존치구 맹아발생 및 생육상황

맹아 수령분포	수종	개체수	근주직경 (cm)	벌근고 (cm)	맹아본수 (줄기수/ha)	맹아수 (맹아/그루터기)	근원경 (mm)	평균수고 (cm)
3~11	소계	51	5.3	18.0	216 (21,600)	4.1 (1-13)	16.1 (1-97)	151.4 (30-430)
	굴참	19	5.1	18.4	45 (4,500)	2.1 (1-12)	22.8 (1-97)	187.0 (40-390)
	신갈	7	4.3	16.5	14 (1,400)	5.3 (8-6)	8.8 (2-55)	60.7 (40-120)
	줄참	25	7.4	18.2	157 (15,700)	4.9 (1-13)	14.5 (2-76)	145.7 (30-430)

아) 실연 사업지 치수발생 및 생육상태

내화성 임분사업지 조성 전·후 대하여 치수발생 상황을 조사한 결과는 <표 3-5-17>과 같다. 표에서 보는 바와 같이 치수 발생 수종은 소나무와 참나무류로 나타났으며, 참나무류는 수령이 1~2년생이라 정확한 수종 동정이 어려웠다. 치수 발생량은 수종별로 볼 때 참나무류(300~450/ha)보다 소나무(1,200~2,320/ha)에서 많은 것으로 판단되었으나, 간벌 방법별 처리전·후에 있어서 성장량의 차이는 크게 나타나지 않는 것으로 사료되었다.

<표 3-4-17> 실연지 조성사업 전후 치수발생 상황

구 분	수종	조사시기(년)	발생본수 (본/ha)	고사본수 (본/ha)
적정간벌	소나무	2003	1,500	250
		2004	1,750	200
	참나무류	2003	300	45
		2004	350	55
강도간벌	소나무	2003	2,100	250
		2004	2,320	310
	참나무류	2003	400	85
		2004	450	110
300본 존치구	소나무	2003	1,800	115
		2004	1,900	100
	참나무류	2003	350	75
		2004	400	65
100본 존치구	소나무	2003	1,200	140
		2004	1,800	280
	참나무류	2003	350	35
		2004	400	98

수종 간 고사량은 참나무류는 연간 100본 내외, 소나무는 300본 내외로 나타났다. 이와 같은 조사결과는 실연지를 조성한지 1년이 지난 결과이므로 앞으로 지속적인 관찰 및 조사가 이루어져야 한다고 생각된다.

자) 용기묘 생육상태

실연사업지에 있어서 용기묘 생육상황은 <표 3-4-18>에 나타내었다. 내화성 임분대 조성에서복합방식(천연갱신+맹아갱신+인공식재)을 적용하여 내화성 임분 실연지의 효율을 극대화하기 위하여 하층에 잔존하는 유용활엽수를 보육하고, 보완식재조림의 차원으로 종식시험구 100본구, 300본구에 대하여 조림을 실시하였는데, 활착율을 높이기 위하여 1년생 굴참나무 용기묘를 식재하였다. 식재 후 조림목의 위치표시 및 풀베기작업시 조림목의 절단을 방지하기 위하여 40cm 높이의 표시봉을 설치하였다. 처리에 따른 생존율을 살펴보면 300본구 80%, 100본구에서 75%mf 나타내어 100본구가 약간 떨어지는 것으로 나타났다<표 3-4-18>. 간장생장은 300본구에서 평균 40~50cm, 100본구에서 35~48cm 정도로 나타나 100본구가 300본구보다 약간 좋았으나, 이와 같은 결과는 조림 후 단지 1년이 지난 결과이기 때문에 지속적인 연구 조사가 이루어져야 할 것으로 보인다.

<표 3-4-18> 실연지에 대한 용기묘 생육상황

처 리	수종	수령	간장	생존율(%)
300본구	굴참나무	2년	40~50	80
100본구	굴참나무	2년	35~48	75



<사진 3-4-19> 굴참나무 용기묘(2년생)

<사진 3-4-20> 굴참나무 용기묘 수하식재

차) 실연지의 층위별 출현종

간벌시업지에 대한 임분변화 동태를 파악하기 위하여 목본류와 초본류를 대상으로 층위별 출현종을 기록하였으며, 대조구적인 관점에서 처리하지 않은 비슷한 임분구조를 가진 곳에 대하여 조사를 실시한 결과를 <표 3-4-19>에 나타내었다. 그 결과를 살펴보면 아교목층에서는 처리와 무처리 간에 별다른 차이를 보이지 않았으나, 관목층과 하층에서는 무처리구보다 처리구에서 많은 종의 출현을 보였다. 처리구 목본류 관목층은 굴참나무와 졸참나무가 우점하고 있는 것으로 나타났으며, 하층은 진달래, 졸참나무, 싸리 등이 우점하고 있는 것으로 나타났다. 무처리구는 아교목층과 관목층에서 졸참나무가 다른 수종보다 우점도가 높은 것으로 나타났다. 초본류의 출현을 살펴보면 모든 처리구에서 고사리, 세잎양지꽃, 큰기름새 등이 우점하고 있는 것으로 나타났다. 전체적으로 목본류에서는 졸참나무, 싸리, 소나무 치수 등의 우점도가 높았고, 초본류에서는 큰기름새, 세잎양지꽃, 고사리, 산박하 등이 우점하고 있는 것으로 나타났다. 처리구의 관목층 식피율은 95%로 나타났으며, 무처리구에서는 40%로 피복율에서 차이를 보여주고 있었다.

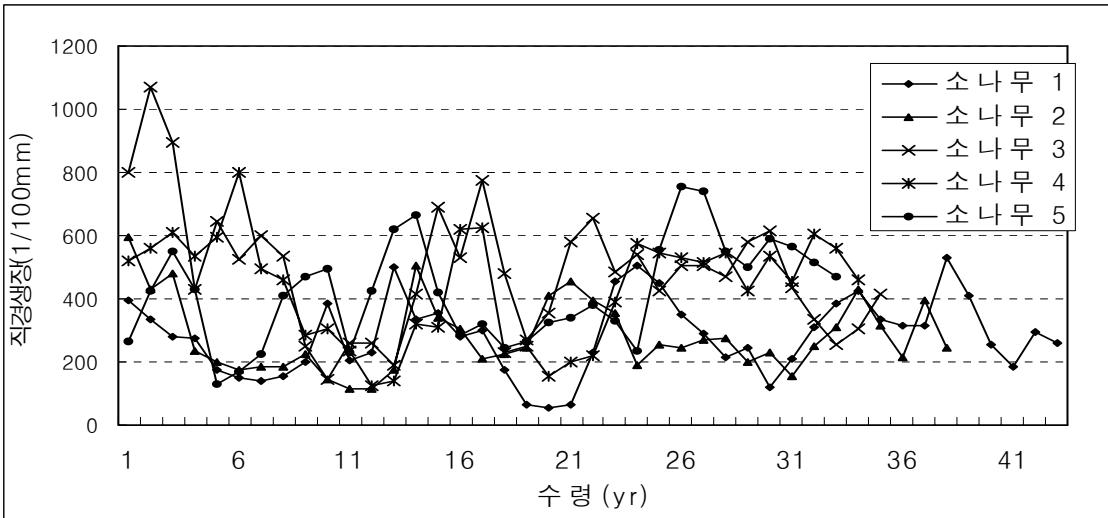
<표 3-4-19> 실연지 간벌 처리구와 무처리구에 있어서 출현종 비교

구분	아교목층	관목층	하층
처 리 - 적정간벌 - 강도간벌 - 300본구 - 100본구	졸참나무, 굴참나무, 쪽동백, 생강나무,	진달래, 졸참나무, 싸리, 굴참나무, 신갈나무, 상 수리나무, 붉나무, 쪽동 백, 생강나무, 개다래, 싸리, 곰딸기, 개웃나무	진달래, 졸참, 싸리, 굴참나무, 소나 무, 개웃나무, 산초나무, 기름나물, 맑은대쑥, 노랑제비꽃, 참취, 세잎양 지꽃, 고사리, 삼주, 미역취, 큰기름 새, 딱갈, 삼주, 주름조개풀, 마타리
무처리	졸참나무, 굴참나무, 쪽동백, 생강나무	생강나무, 졸참나무, 굴참나무, 조록싸리, 쪽동백	고사리, 큰기름새, 세잎양지꽃, 삼주

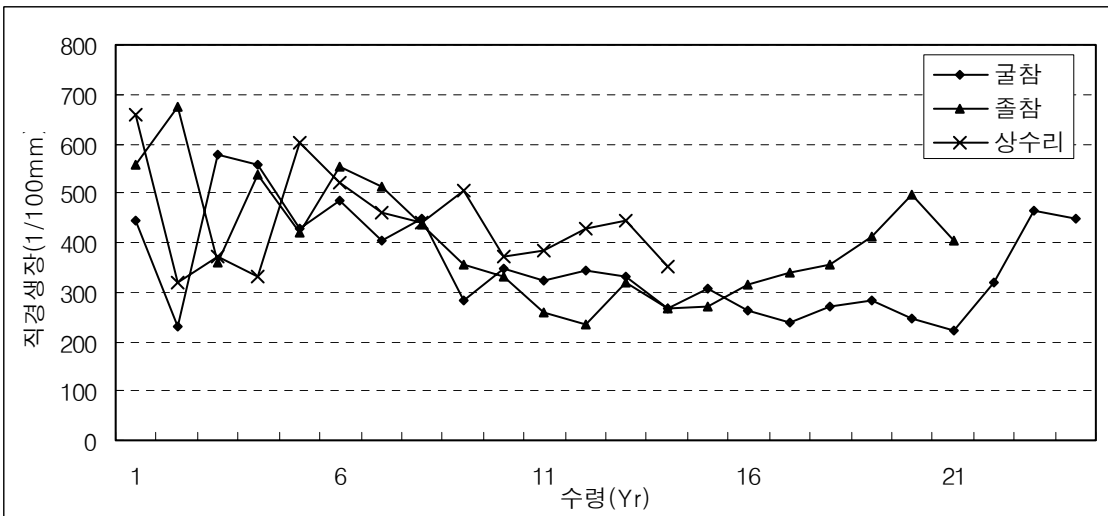
카) 상층목 생육상황

조사지 상층임관을 이루고 있는 소나무와 참나무류의 연년생장량을 알아보기 위하여 수령이 다른 표준목 5본을 각각 선발하여 생장량을 알아본 결과는 <그림 3-4-21, 22>와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 소나무의 수령은 30~40년생 전후였으며, 이들은 연간 4~8mm의 초기 생장량을 보이다가 수령 20년을 전후하여 약간 감소하는 경향을 보였는데, 이러한 결과는 외부적인 요인 즉, 산불, 병해충, 이상기후 등 어느 한 요인이 작용하

였거나, 그 수종의 원래 성장유형 등 여러 가지 내외적인 인자가 복합적으로 작용을 했을 가능성도 배제할 수 없다고 판단되었다. 그러나 25년을 지나면서 서서히 성장을 회복하여 연간 2~6mm 정도의 성장을 보여주고 있었다.



<그림 3-4-21> 소나무림의 연년직경성장량



<그림 3-4-22> 참나무류의 연년직경성장량

상수리나무, 굴참나무, 졸참나무 등 참나무류의 연간 성장량을 조사해본 결과 수령은 18~24년생 범위에 있었으며, 졸참나무가 다른 두 수종보다 생장이 양호한 것으로 나타났다. 참나무류는 2~7mm 가량의 초기 성장을 보이며, 9~18년 사이에 침체기를 보이다가 다시 상향곡선을 그리고 있었는데 간벌을 실시한 2003년도에는 소나무, 참나무류에서 성장량이 전년의 해보다 약간 떨어지고 있는 것을 보여주었다. 이와 같은 현상은 간벌로 인한 갑작스러운 환경변화에 기인한 결과라고 사료된다

### 3) 실연지 조성작업과정(건전소나무임분)

다음과 같은 단계로 진행되는 건전소나무림에 대한 실연지 조성작업 과정을 조사 분석하였으며, 최종 실연지 조성시 작업에 대한 조사를 통하여 작업공정을 산출하였다.

#### 가) 내화성 임분조성을 위한 산림조사 및 구획

- 장소 : 강원도 삼척시 노곡면 중마읍리 산88번지 국유림 교가영림구 99임반 나/다소반
- 시험구 설치 및 측량 (3.1ha)
- 임상조사 (본수 : 2,390본, 재적 : 378m<sup>3</sup>)
- 작업량 산출 (벌채 131m<sup>3</sup>, 집재 43.73m<sup>3</sup>)
- 시험구 배치 (종식 8개 시험구, 황식 6개 시험구)
- 집재선 확정 (3열 120m)

#### 나) 벌채, 집재, 조재 및 적재

##### (1) 벌채구 배치

- 실연지 하단으로부터 100m 높이까지는 종식으로 8개소를 배치하고, 종식 배치 끝 부분부터 산정까지는 황식으로 6개소를 배치하였다.(그림 3-4-5, 7 참조)
- 종식 벌채구는 임분의 형태에 따라 길이 100m, 폭30m로 100본 잔존구, 300본 잔존구, 강도 간벌구, 적도 간벌구로 구분하여 배치하였다.
- 황식 벌채구는 길이 60~70m, 폭 30m로 6개소를 배치하였으며 장거리로 인해 집재가 불가능하므로 강도와 적도의 무육간벌 차원에서 벌채구를 배치하였다(그림 3-4-7, 8).
- 내화성 임분 실연지의 위치를 표시하기 위하여 실연지 경계선에는 일정한 간격으로 흰색 페인트로 표시하였다.

##### (2) 작업 방법

- 선목 및 노선 정리
  - 별도작업에 앞서 미래목과 제거 대상목을 선정하여 비닐끈으로 표시하였다. 선목은 실연지 전체를 대상으로 실시하였다.
  - 집재를 위하여 주 별도에 앞서 집재선상에 있는 수목들을 정리하였으며 집재선 길이 125m, 3개소를 정리하였다.
- 벌목 및 가지치기
  - 벌목은 기계톱을 사용하였으며 가지치기는 고지절단기를 사용하였다.
  - 집재대상이 되는 종식 시험구는 전간집재를 위하여 별도 후 별도목의 잔가지와 별도목의 초두부를 절동하였으나 집재를 하지 못하는 횡식시험구의 별도목은 6차 크기로 절동하여 현장에 정리하였다.
  - 가지치기는 미래목에 한하여 실시하였으며 고지절단기가 도달할 수 있는 최대높이 (약 6m)까지 실시하였다.
  - 벌채량은 130m<sup>3</sup>이고 이중 종식 시험구에 있는 47.73m<sup>3</sup> (398본)이 집재되었다.
- 소집재(횡취)
  - 소집재는 집재 대상이 되는 전간재를 집재선까지 이동시키는 작업으로 KMF070 원치를 사용하여 실시하였다.
  - 집재 대상목 전체를 소집재하였으며 3개의 집재선에 따라 2인 1개조가 되어 실시하였다.
- 주집재
  - 주집재는 집재선상에 있는 전간재를 임도변으로 이동시키는 작업으로 집재 장소의 표토유실을 막기 위하여 타워야더(HAM200)로 집재하였다.
  - 평균집재거리는 90m로 3인 1개조가 되어 실시하였다.
- 조재 및 가로재기
  - 조재란 임도변에 집재한 전간재를 일정한 길이의 통나무로 절단하는 작업으로 본 지역에서는 12자와 6자의 크기로 조재하였다.
  - 가로재기란 조재한 통나무를 임도변에 규격별로 적재하는 작업으로 굴삭기를 이용하여 실시하였다.
  - 조재후 가로재기 한 최종 수확임목은 43.73m<sup>3</sup> 이다.
- 지존물 정리 작업
  - 종식 시험구 100본구 2개소와 300본구 1개소는 굴참나무 조립을 위하여 벌채후 발



생한 별도목의 잔가지, 초두부와 하층에 있는 조림지장목 등 지존물을 정리하였으며 기계톱과 낫을 이용하여 실시하였다.

○ 조림

- 조림대상지는 종식 시험구 100본구 2개소와 300본구 1개소로 면적은 0.7ha로서 2,500본을 식재하였다.
- 묘목은 활착율을 높이기 위하여 굴참나무 용기묘를 식재하였다.
- 하층에 잔존하는 유용활엽수를 보육에 대한 보완식재 차원의 조림으로 식재간격은 현 지여건에 따라 유동적으로 실시하였다.
- 조림목의 위치표시 및 풀베기작업시 조림목의 절단을 방지하기 위하여 40cm 높이의 표시봉을 설치하였다.

(3) 작업공정조사

건전소나무림에 내화성 임분 조성을 위하여 실시한 실연지 간벌작업에 대한 작업공정 분석 결과는 다음과 같다.

현재 산불 피해 추세가 대형화 대면적화로 치닫고 있으므로, 산불 예방 및 피해 감소를 위한 대규모의 내화성 임분 조성이 필요할 것으로 판단된다. 따라서 내화성 임분 조성에 소요되는 인력 및 경비 산출을 위한 작업공정 분석이 있어야 하며, 본 연구에서 분석한 잠정 작업공정을 앞으로의 작업공정 산출을 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

작업공정을 산출한 대상지는 삼척시 중마읍리에 위치한 소나무림으로서 시업면적 3.1ha, 대상수종 소나무의 평균흉고직경은 22.9cm, 평균수고 15.7m이었다. 시업면적 중 무육면적은 1.6ha, 간벌면적은 1.5ha이었으며, 간벌목은 398본으로 재적은 62.47m<sup>3</sup>, 반출재적은 47.73m<sup>3</sup>이었다.

내화성 임분조성을 위한 작업의 순서는 구획표식(구간표식, 선목, 집재선 정리), 별목·무육·가지치기, 집·운재, 임내정리작업으로서, 여기에 따라 조성작업이 체계적으로 이루어지게 된다. 각 단계별 작업내용과 공정은 다음과 같다.

○ 구간표식

구간표식에는 7개구간 표식에 2인을 투입하여 3.2시간이 소요되었으며, 선목표식에는 3인을 1.5시간 투입하여 218본을 선목하였고, 집재 노선정리는 500m 정리에 4인의 4.3시간 작업이 이루어졌다.

○ 무육작업

무육작업의 1인 공정은 0.062ha/시간으로서 16.4ha 무육에 1일 6.5시간 작업기준으로 4인

이 1일간 작업하였으며, 벌목에는 6인이 1일동안 투입되어 62.47m<sup>3</sup>을 벌채하였으며, 1일 6.5시간 작업을 기준으로 할 때 공정은 1.12m<sup>3</sup>/인/시간이었다.

○ 집재

집재에는 집재선까지의 소집재에 KMF070 원치, 주 집재에 타워야더(HAM200)를 이용하였으며, 평균 90m의 집재거리에서 KMF070원치는 2.648m<sup>3</sup>/인/일, 타워야더(HAM200)는 3.976m<sup>3</sup>/인/일의 공정을 보여 타워야더의 집재효율이 높은 것으로 나타났다. 집재된 전간재의 조재 및 조재한 원목을 현장에 쌓기 위한 가로재기에는 각각 2.666m<sup>3</sup>/인/시와 3.976m<sup>3</sup>/인/시의 인력이 투입되었다.

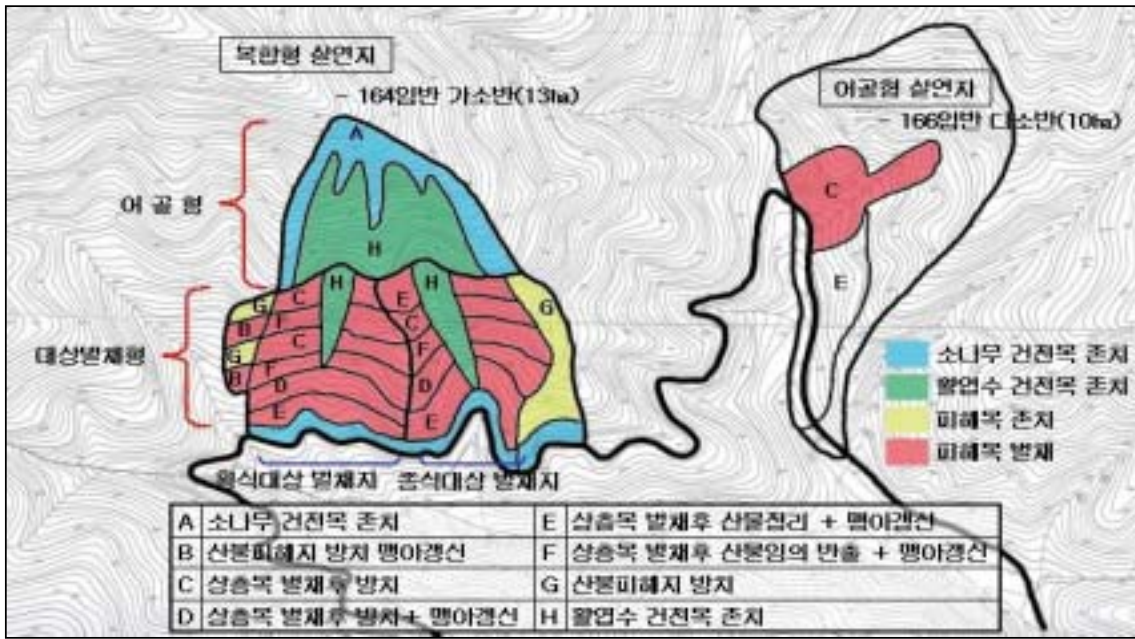
○ 임내정리작업

임내정리 작업, 가지치기, 지존정리 작업면적은 각각 1.6ha, 3.1ha, 1.5ha로서 가지치기는 시업지 전체에 대해 실시하였으며, 전체작업에 총 97시간(1인 기준)이 소요되었다. 임내정리와 가지치기의 공정은 각각 0.8ha/인/일 및 0.62ha/인/일로서 지존정리작업의 0.1875ha/인/일보다 시간당 작업면적이 넓었으며, 지존정리작업 공정은 무육작업의 공정인 0.4ha/인/일과 비교해도 시간당 작업면적이 적은 편이어서 지존정리작업의 노동강도가 높은 것으로 판단할 수 있었다.

#### 나. 산불피해지 내화력 증진 실연사업지 조성(복합형·어골형)

소나무 산불피해지 복원에 있어서 임분 내화력을 증진시키기 위한 방법을 강구하기 위하여 입지 및 임분 유형에 따라 어골형, 복합형을 적용하여 실연지 조성작업을 실시하였으며, 시험지조성은 입지, 임분 구조 분석, 산림조사 및 구획, 벌채, 집재, 조재 및 적재, 지존물 정리 작업 등 일련의 과정을 수행·분석하였다.

<그림 3-4-23>은 내화성 임분 조성 실연 위치도를 나타낸 것이다. 그림 오른쪽의 166임반 다소반 어골형 실연지 10ha에서는 능선부소나무 무육과 계곡부 활엽수 무육을 위주로 하였으며, I 지역은 산물을 임내에 정리하였으며, II 지역은 산물을 임외에 반출하였고, 사면하부의 산불피해지에는 개별한 후 맹아재갱신지와 맹아보육지로 구분하여 시업을 실시하였다. 그림 왼쪽의 164임반 가소반 복합형 실연지 13ha에는 I지역은 사면상부 어골형, II 지역은 사면하부의 대상 종식 벌채형으로, III 지역은 횡식 벌채형으로 조성하여 맹아 재갱신 및 맹아 무육을 실시하였다. IV지역 임도변 시업구는 천연림보육작업에 준하여 시업을 실시하였다. 또한 계곡부의 참나무류 무육과 능선부의 소나무 무육은 입지적 조건에 맞는 생태적 자연 복원 방법 중의 하나이다.



<그림 3-4-23> 내화성 임분조성 실연지위치도

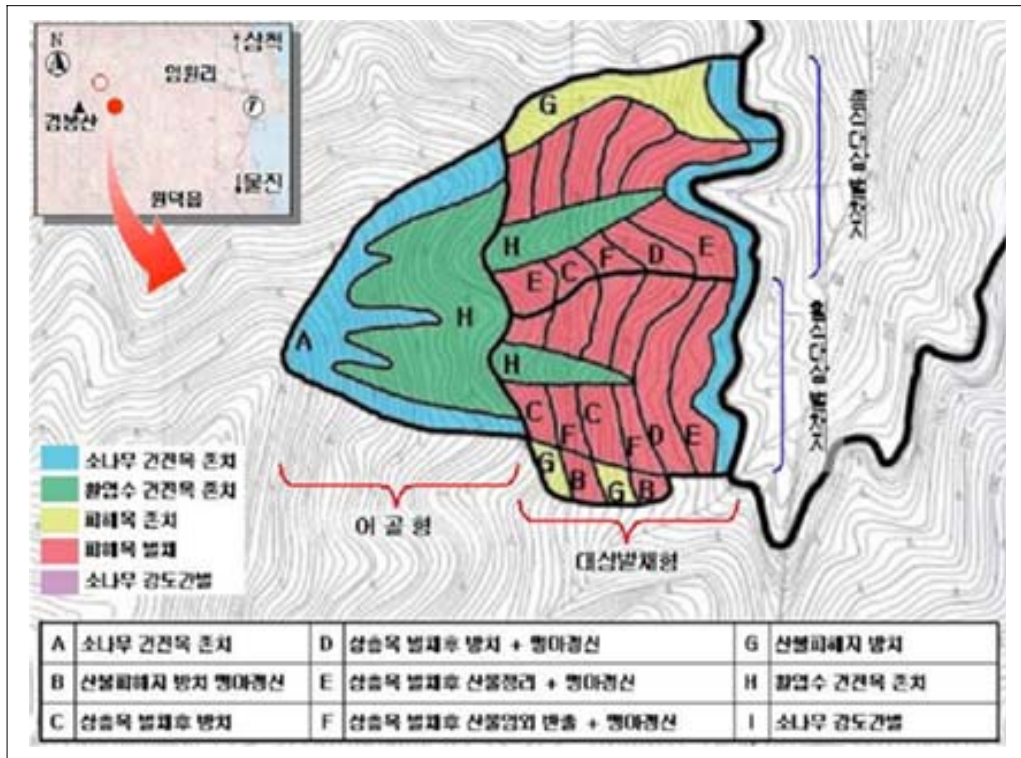
<표 3-4-20>은 상층목 처리방식에 따른 시업유형을 나타낸 것으로서 산불피해지 시업 유형은 상층목에 처리에 따라 존치형과 벌채형으로 구분하며 존치형은 방치형, 갱신형으로 나누어진다. 벌채형은 산물 방치형, 방치 갱신형, 정리 갱신형, 반출 갱신형으로 나누어지며, 입지형태에 따라 활엽수 맹아 갱신지, 천연림 보육지, 건전 소나무 보육지로 나누어지며 산물은 등고선식 정리를 원칙으로 하였다.

<표 3-4-20> 산불피해지 시업 유형

상층목 처리에 따른 시업 유형		하층목		산물 정리			비고
		방치	갱신	방치	정리	반출	
1. 존치형	- 방치형	●	-	-	-	-	활엽수 맹아갱신
	- 갱신형	-	●	-	-	-	
2. 벌채형	- 방치형	●	-	●	-	-	등고선식 정리
	- 방치 갱신형	-	●	●	-	-	
	- 정리 갱신형	-	●	-	●	-	
	- 반출 갱신형	-	●	-	-	●	

1) 복합형 실연지

<그림 3-4-24>는 조성된 복합형 실연지를 나타낸 것으로서, 대상지는 삼척시 원덕읍 임원리 164임반 가소반 13ha이며 사면상부에는 어골형, 사면하부에는 대상벌채(횡식벌채, 종식벌채)형식으로 입지형태, 임분유형에 따라 실연지를 조성하였다. 우선 시험지를 크게 소나무 건전목 존치구, 활엽수 건전목 존치구, 피해목 존치구, 피해목 벌채구로 구분하였으며, 그 안에서 A시업구는 소나무 건전목 존치구, B 시업구는 산불피해지방치 맹아갱신구, C시업구는 상층목 벌채 후 방치구, D시업구는 상층목 벌채 후 방치+맹아갱신, E시업구는 상층목벌채후 산물정리+맹아갱신, F시업구는 상층목 벌채 후 산물 임외 반출+맹아갱신구, G시업구는 산불피해지 방치구, H시업구는 활엽수 건전목 존치구로 구분하여 어골형, 횡식 대상 벌채지, 종식 대상 벌채지에 설치하였다<사진 3-4-21, 22>.



<그림 3-4-24> 복합형 실연지



<사진 3-4-21> 복합형 실연지 조성 전      <사진 3-4-22> 복합형 실연지 조성 후

가) 실연지 임분 변화

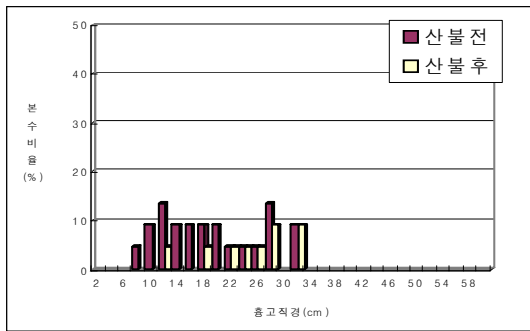
산불피해지에서 내화성 임분대 조성 방법중 복합형을 적용하기 위하여 피해지의 주요 임분 유형을 파악하여 산불피해 전·후의 임분 상태를 알아보고, 향후 임분 변화를 예측하기 위하여 산불피해지에 대하여 조사를 실시하였다. 완전히 타버린 지역은 조사에서 제외시켰고 산불 피해는 받았으나 수관과 수간을 비교적 유지하고 있으면서 지역을 대표할 수 있는 곳을 표준지로 선정하여 조사를 실시하였다. 주로 출현하는 임분 유형은 소나무 단순림, 소나무+참나무 혼효림, 소나무-참나무림, 참나무류 혼효림으로 나타났다.

(1) 소나무 단순림

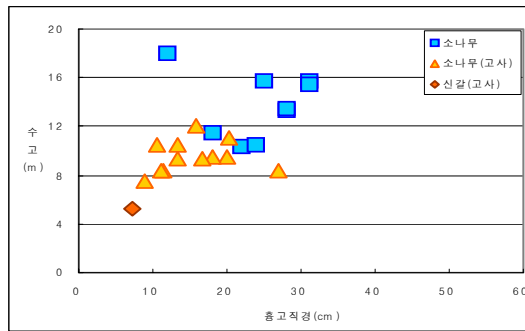
산불 발생 시점에 소나무 단순림은 임령이 25~42년생, 흉고직경 18.8cm, 수고 11.1m, ha당 임목본수는 973본, 흉고단면적 30.9m<sup>2</sup>/ha, 재적 163m<sup>3</sup>/ha 정도이었던 것으로 추정되었다. 산불 후 고사·벌채 처리된 이들 임분의 변화된 양상을 살펴보면 소나무 단순림에서는 59.1%의 밀도 감소와 28.3%의 재적 감소 변화가 일어났다. 변화된 임분 구조와 변화 양상은 <표 3-4-21> 및 <그림 3-4-25, 26>에 나타내었다.

<표 3-4-21> 소나무 단순림 임분 유형

시업 유형	임분 유형	수령	구분	흉고직경 (cm)	수고 (m)	본수 (본/ha)	재적 (m <sup>3</sup> /ha)	흉고단면적 (m <sup>2</sup> /ha)
복합형	소나무 순림	25~42	피해 전	18.8	11.1	973	163.0	30.9
			피해 후	24.3	13.8	398	116.8	19.6
			증·감	5.5	2.7	-575	-46.1	-11.3
			변화율	29.4	24.2	-59.1	-28.3	-36.5



<그림 3-4-25> 산불전후 분수 변화



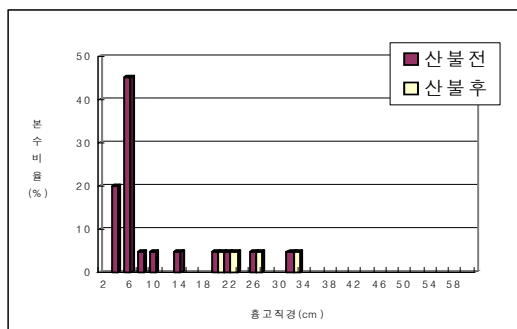
<그림 3-4-26> 산불전후 수고-직경 분포

(2) 소나무+참나무류 혼효형

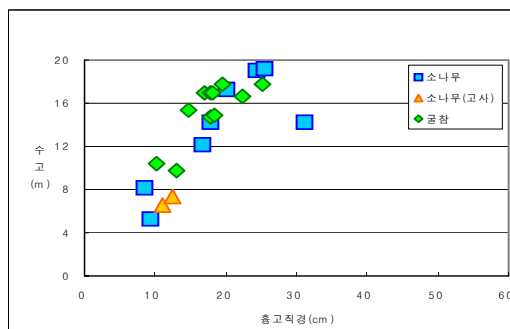
소나무+참나무류 혼효형 임분은 상층에 소나무와 굴참나무, 신갈나무 등이 혼효되어 상층임관을 차지하기 위하여 치열한 자리다툼을 하고 있었던 임분으로 추정되었으며, 임령은 18~40년생이었으며, 평균흉고직경 19.3cm, 수고 14.9m, 임목본수 1,041본/ha, 흉고단면적 35.2m<sup>2</sup>/ha, 재적 264m<sup>3</sup>/ha로 나타났다. 소나무+참나무류 혼효림에서는 91.7%의 밀도 변화와 89.8%의 재적 변화가 일어났으며, 변화된 임분 구조 및 변화양상은 <표 3-4-22>와 <그림 3-4-27, 28>에 나타내었다.

<표 3-4-22> 소나무+참나무류 혼효형

사업 유형	임분 유형	수령	구분	흉고직경 (cm)	수고 (m)	본수 (본/ha)	재적 (m <sup>3</sup> /ha)	흉고단면적 (m <sup>2</sup> /ha)
복합형	소나무+참나무류 혼효림	18~40	피해 전	19.3	14.9	1,061	264.0	35.2
			피해 후	20.0	15.6	88	26.9	3.4
			증·감	0.7	0.7	-973	-237.0	-31.8
			변화율	3.6	4.8	-91.7	-89.8	-90.3



<그림 3-4-27> 산불전후 분수 변화



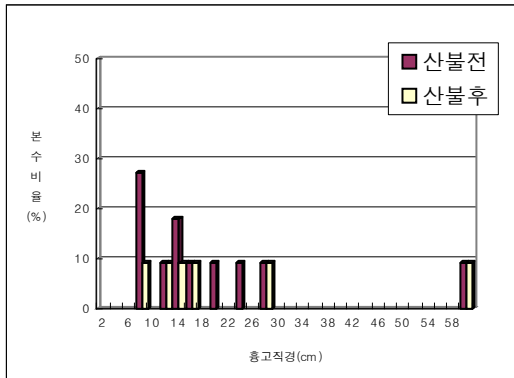
<그림 3-4-28> 산불전후 수고-직경 분포

(3) 소나무-참나무류 혼효림

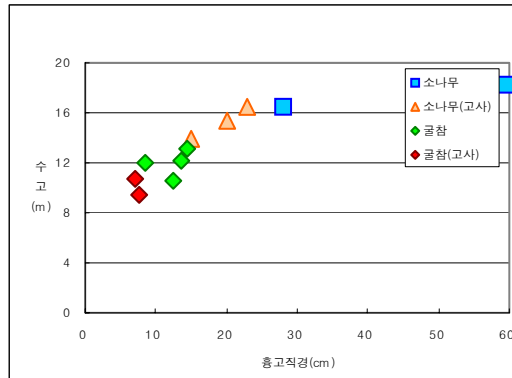
소나무-참나무류 혼효림은 상층에 소나무임분, 하층에 굴참나무, 신갈나무, 졸참나무 등이 생육한 전형적인 2단 혼효림을 이루고 있었던 임분이었다. 소나무의 임령은 40년생 전후였으며 참나무류의 임령은 20년생 내외로 추정되었다. 이 임분의 평균흉고직경은 12.6cm, 수고 6.2m, 임분밀도는 2,000본/ha, 흉고단면적 25m<sup>2</sup>/ha, 재적은 121.7m<sup>3</sup>/ha로 나타났다. 임분구조 변화 및 양상은 <표 3-4-23> 및 <그림 3-4-29, 30>에 나타내었다.

<표 3-4-23> 소나무-참나무류 혼효림

사업 유형	임분 유형	구분	수령	흉고직경 (cm)	수고 (m)	본수 (본/ha)	재적 (m <sup>3</sup> /ha)	흉고단면적 (m <sup>2</sup> /ha)
복합형	소나무-참나무류 혼효림	피해전	15~43	12.6	6.2	2,000	121.7	25.0
		피해후		24.6	12.3	400	109.8	19.8
		증·감		12.0	6.1	-1,600	-12.0	-5.3
		변화율		95.4	98.3	-80.0	-9.8	-21.1



<그림 3-4-29> 산불전후 본수변화



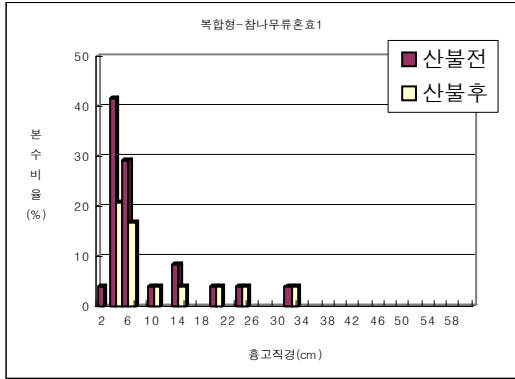
<그림 3-4-30> 산불전후 수고-직경분포

(4) 참나무류 혼효림

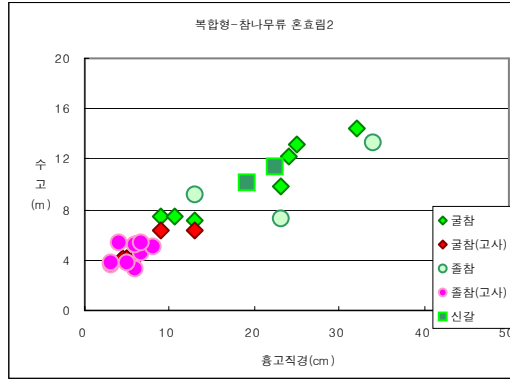
참나무류 혼효림은 굴참나무, 졸참나무, 신갈나무 등이 혼효되어 이루어진 임분 유형으로서 주로 계곡부에 자리하고 있었다. 복합형 실연지에서 위치는 대상형의 횡식 벌채지와 종식 벌채지 경계의 계곡 부위에 위치하고 있었다. 이 임분의 평균 흉고직경은 8.0cm, 수고 5.4m, 본수는 2,400본/ha, 흉고단면적 22.7m<sup>2</sup>/ha, 재적은 96.1m<sup>3</sup>/ha로 나타났다. 참나무류 혼효림에서는 본수 37.5%, 재적 2.5%의 감소가 일어났다. 변화된 임분 구조와 변화양상은 <표 3-4-24> 및 <그림 3-4-31, 32>에 나타내었다.

<표 3-4-24> 참나무류 혼효림

사업유형	임분유형	수령	구분	흉고직경 (cm)	수고 (m)	본수 (본/ha)	재적 (m <sup>3</sup> /ha)	흉고단면적 (m <sup>2</sup> /ha)
복합형	참나무류 혼효림	18~35	피해전	8.0	5.4	2,400	96.1	22.7
			피해후	8.2	5.5	1,500	93.8	21.3
			증·감	0.2	0.1	-900	-2.4	-1.4
			변화율	2.3	1.6	-37.5	-2.5	-6.1



<그림 3-4-31> 산불전후 본수변화



<그림 3-4-32> 산불전후 수고-직경분포

나) 복합형 황식 대상 벌채구의 멧아 발생 및 성장 특성

(1) 멧아 재갱신지

산불피해지 복원방법에서 내화림대 조성을 위하여, 입지형태 및 임분유형에 따라 복합형과 어골형으로 나누고, 건전한 멧아발생을 조장하기 위해 벌근부와 발생된 멧아를 다시 무육한 복합형 황식 대상벌채 실연지의 멧아발생 및 생육상황을 조사한 결과를 <표 3-5-25>에 나타내었다. 주로 출현하는 수종은 졸참나무, 굴참나무, 갈참나무, 신갈나무이었으며, 표준지(25m<sup>2</sup>)에 출현한 개체수는 갈참나무 2, 굴참나무 8, 신갈 1, 졸참나무 3, 총 14개로 나타났다.

조사지 평균 근주직경은 10.8cm, 벌근고 16.8cm 그루터기당 발생본수는 11.3본, 멧아근원경 5.3mm, 평균수고는 58.7cm로 조사되었으며 ha당 발생본수는 63,200본으로 조사되었다. 이와 같은 결과를 수종별로 살펴보면 굴참나무는 28,800본/ha, 신갈나무 800본/ha, 갈참나무 5,800본/ha, 졸참 10,800본/ha로 굴참나무의 멧아발생이 다른 수종보다 월등히 많음을 알 수 있었다.

성장량은 신갈나무가 다른 수종보다 우수한 것으로 조사되었으며, 굴참나무와 졸참나무



의 생장이 저조한 것으로 조사되었다. 1근주당 맹아력은 갈참나무, 굴참나무, 졸참나무, 신갈나무 순으로 나타났다. 조사지 맹아의 수령은 재깍신한 것으로 1년생이었으며 맹아의 고사는 아직까지 발견되지 않았다. 맹아 발생부 위는 지하부, 지제부가 많은 것으로 조사되었다.

<표 3-4-25> 복합형 실연지 맹아 재깍신지 맹아 발생 및 생육 상황

맹아 수령 분포	수종	개체수	근주 직경 (cm)	벌근고 (cm)	맹아본수 (본/ha)	평균 맹아수 (최소-최대)	평균 근원경 (최소-최대) (mm)	평균 수고 (최소-최대) (cm)
1	소계	14	10.8	16.8	158 (63,200)	11.3 (2-25)	5.3 (1-97)	58.7 (5-145)
	갈참	2	6.5	11.5	16 (5,800)	11.5 (4-16)	5.0 (3-10)	61.3 (50-86)
	굴참	8	3.0	11.5	72 (28,800)	9 (3-25)	5.2 (2-18)	57.5 (20-145)
	신갈	1	5	22	2 (800)	2 (2-2)	12.5 (11-14)	84.0 (71-97)
	졸참	3	11.0	12.0	27 (10,800)	9 (8-16)	4.0 (2-11)	44.0 (18-92)

(2) 맹아 보육지

<표 3-4-26>은 복합형의 황식 대상 벌채 실연지의 맹아보육지에 대하여 맹아발생 및 생육상황을 조사한 결과를 나타낸 것이다. 출현하는 수종은 굴참나무와 신갈나무 단 두 수종이었으며, 표준지(25m<sup>2</sup>)에 출현한 개체수는 굴참나무 4개체, 신갈나무 7개체로서 총 11개의 그루터기로 조사되었다.

조사지 평균 근주직경 12.2cm, 벌근고 19.5cm 그루터기당 평균 발생본수는 4.0본 최대발생본수는 9본으로 나타났다. 맹아 근원경 16.2mm, 평균수고는 169.5cm로 조사되었으며 ha당 발생본수는 17,600본으로 조사되었다. 이와 같은 결과를 수종별로 살펴보면 굴참나무는 6,800본/ha, 신갈나무가 8,800본/ha으로 나타나 신갈나무의 맹아력이 굴참나무보다 다소 높은 것으로 생각되었다. 생장량에 있어서도 신갈나무가 굴참나무보다 우수한 것으로 조사되었다. 1근주당 맹아력은 굴참나무 4.3개, 신갈나무 2.7개로 나타났으나 최대 맹아발생량은 두 수종 모두 9개로 같았다. 조사지 맹아의 수령은 2~4년생이 대부분이었으며 맹아 고사는 거의 발견되지 않았다. 맹아발생부위는 대부분 지제부와 근주부인 것으로 조사되었다.

<표 3-4-26> 맹아 보육지의 발생 및 생육 상황

맹아 수령 분포	수종	개체수	근주 직경 (cm)	별근고 (cm)	맹아본수 (본/ha)	평균 맹아수 (최소-최대)	평균 근원경 (최소-최대) (mm)	평균 수고 (최소-최대) (cm)
2-4	소계	11	12.2	19.5	44 (17,600)	4.0 (1-9)	16.2 (3-45)	169.5 (40-600)
	굴참	4	14.3	26.7	17 (6,800)	4.3 (1-9)	13.9 (3-40)	145.8 (51-340)
	신갈	7	7.5	11.5	22 (8,800)	3.1 (1-9)	16.7 (3-45)	185.9 (40-600)

(3) 상층목 존치+맹아 재갱신구 맹아 발생 및 생육 상황

<표 3-4-27>은 복합형 실연지의 상층목 존치+맹아 재갱신지 시업구의 맹아 발생 및 생육 상황을 조사한 결과이다. 주로 출현하는 수종은 굴참나무, 신갈나무 그리고 졸참나무의 3개 수종이었으며 표준지(100㎡)에 출현한 개체수는 굴참나무 3본, 신갈나무 3본, 졸참나무 9본으로 총 15개체로 나타났다.

조사지의 평균 근주 직경은 9.5cm, 별근고 18.3cm 그루터기당 평균 발생본수는 5.6본, 최대 발생 본수는 굴참나무에서 19본으로 나타났다. 맹아근원경 6.6mm, 평균수고는 72.8cm로 조사되었으며 ha당 발생 본수는 8,400본으로 조사되었다.

이러한 결과를 수종별로 살펴보면 굴참나무는 3,500본/ha, 졸참나무 4,200본/ha, 신갈나무가 700본/ha로 나타나 굴참나무의 맹아력이 다른 두 수종보다 다소 높은 것으로 생각되었다. 성장량에 있어서는 졸참나무가 신갈나무, 굴참나무보다 다소 양호한 것으로 조사되었다. 1근주당 맹아력은 굴참나무 11.7개, 신갈나무 2.3, 졸참나무 4.7개로 나타났으나 최대 맹아발생량은 굴참나무에서 11개로 조사되었다.

조사지 맹아의 수령은 재갱신지인 특성 때문에 1년생이 대부분 이었으며, 맹아의 고사는 발견되지 않았다. 맹아발생부위는 대부분 지하부와 지제부인 것으로 조사되었다.

<표 3-4-27> 상층목 존치+맹아 재갱신구 맹아 발생 및 생육 상황

맹아 수령 분포	수종	개체수	근주 직경 (cm)	벌근고 (cm)	맹아본수 (본/ha)	평균 맹아수 (최소-최대)	평균 근원경 (최소-최대) (mm)	평균 수고 (최소-최대) (cm)
1	조사구	15	9.5	18.3	84 (8,400)	5.6 (1-16)	6.6 (2-19)	72.8 (20-160)
	굴참	3	14.0	18.3	35 (3,500)	11.7 (7-16)	5.0 (2-11)	72.2 (20-160)
	신갈	3	10.0	19.7	7 (700)	2.3 (1-5)	6.7 (2-15)	72.4 (60-120)
	줄참	9	8.0	18.6	42 (4,200)	4.7 (2-9)	7.5 (2-19)	73.0 (20-150)

(4) 대조구(방치구)

내화성 임분 실연지 조성에 있어서 작업방법간의 비교를 위하여 대조구를 설치하여 맹아 발생 및 생육상태를 조사한 결과는 <표 3-4-28>과 같다. 방치구에 출현하는 주요 수종은 굴참나무, 신갈나무의 두 수종이었으며 표준지(100m<sup>2</sup>)에 출현한 개체수는 굴참나무 15, 신갈나무 6 총 21개체로 나타났다. 조사지 평균 근주직경 6.0cm, 벌근고 121.0cm 그루터기당 평균 발생본수는 6.6본, 최대발생본수는 신갈나무나무에서 14본으로 나타났다. 평균 맹아근원경 11.3mm, 평균수고는 107.4cm로 조사되었으며 ha당 발생본수는 13,700본으로 조사되었다.

<표 3-4-28> 대조구 맹아발생상황

맹아 수령 분포	수종	개체수	근주 직경 (cm)	벌근고 (cm)	맹아본수 (본/ha)	평균맹아수 (최소-최대)	평균근원경 (최소-최대) (mm)	평균수고 (최소-최대) (cm)
2-4	조사구	21	6.0	121.0	138 (13,700)	6.6 (1-14)	11.3 (2-24)	107.4 (20-320)
	굴참	15	5.6	123.1	88 (8,800)	5.9 (1-10)	10.6 (2-41)	97.8 (30-278)
	신갈	6	7.5	112.5	49 (4,900)	8.2 (3-14)	12.5 (2-51)	124.8 (20-320)

이와 같은 결과를 수종별로 살펴보면 굴참나무는 8,800본/ha, 신갈나무가 4,900본/ha로 나타나 굴참나무의 맹아력이 신갈나무의 맹아력보다 다소 높았다. 이와같은 결과는 굴참

나무가 상대적으로 원식생의 그루터기가 많았던 것으로 사료된다. 성장량에 있어서는 굴참나무가 신갈나무보다 약간 높은 것으로 조사되었다. 1근주당 멧아력은 굴참나무 5.9개, 신갈나무 8.2개로 나타났다. 조사지 멧아의 수령은 본조사지가 피해목을 벌채하지 않은 특성이기 때문에 2~4년생이 대부분이었고 멧아 고사는 발견되지 않았다. 멧아발생부위는 대부분 지제부와 근주부였다.

다) 횡식 대상 벌채지의 소나무 및 참나무류 치수 발생

<표 3-4-29>는 산불피해지 내화성 임분조성지 횡식 대상벌채지의, 멧아갱신지, 멧아보육지, 상층목 잔존+멧아 보육, 무처리구에 대하여 소나무 및 참나무류의 치수발생량 조사를 위한 고정조사구를 설치하여 치수 발생량을 조사한 결과를 나타낸 것이다. 치수발생량은 소나무의 경우 ha당 2500~4000본, 참나무류의 경우 300~1,100본/ha 가량 발생하는 것으로 조사되었는데 처리에 따른 발생량의 차이는 없었고 모든 처리구에서 소나무가 참나무류보다 많은 발생량을 보이고 있었다. 수령은 두 수종 모두 1~3년생 정도로 판단되었고, 간장은 소나무의 경우 2~7cm, 참나무류는 3~10cm 정도로 조사되었다. 이와 같은 결과는 처리 당년의 결과로 앞으로 지속적인 연구조사가 있어야 할 것으로 사료되었다.

<표 3-4-29> 횡식 대상 벌채지의 소나무 및 참나무류 치수발생상황

구분	수종	수령	간장 (cm)	본/ha
멧아 갱신지	소나무	1~3	2~7	3,200
	참나무류	1~3	3~10	900
멧아 보육지	소나무	1~3	2~7	4,000
	참나무류	1~3	3~10	1,100
상층목 잔존 + 멧아보육	소나무	1~3	2~7	2,800
	참나무류	1~3	3~10	700
대조구	소나무	1~3	2~7	2,500
	참나무류	1~3	3~10	300

라) 복합형 횡식 대상벌채지의 하층식생 발생

<표 3-4-30>은 복합형 횡식대상벌채지에서 처리별로 출현하는 목본류와 초본류를 간략하게 나타낸 것이다. 조사는 멧아갱신지, 멧아보육지, 상층잔존+멧아갱신, 무처리구인대조구에 대하여 실시하였다. 멧아갱신지에 나타나는 목본류는 굴참나무 외 18종, 초본류는

그늘사초 외 27종으로 나타났으며 멧아보육지에서는 굴참나무 외 18종, 초본류는 갈퀴덩굴 외 21종으로 나타났고, 상층잔존+하층제거구에서는 소나무 외 13종, 초본류는 고깔제비꽃 외 15종, 무처리구인 대조구에서는 소나무 외 13종, 초본류는 고사리 외 15종으로 나타났다. 위의 결과를 비교하여 보면 처리구간에는 별다른 차이를 보이지 않았으나, 처리구와 대조구 사이에는 출현종들에 있어서 약간의 차이를 보이고 있었다.

<표 3-4-30> 복합형 횡식대상 벌채지에서의 처리별 목본 및 초본 출현종

구 분	목 본	초 본
멧아재갱신	굴참나무, 졸참나무, 신갈나무, 소나무, 쇠물푸레, 쪽동백, 싸리, 생강나무, 개웃나무, 붉나무, 조록싸리, 산초나무, 곰딸기, 줄딸기, 두릅, 누리장나무, 다래, 칩	그늘사초, 노루오줌, 우산나물, 산박하, 등골나물, 고사리, 큰까치수영, 승마,대사초, 산거울, 삼주, 세잎양지꽃, 주름조개풀,모시대, 맑은대쭉, 원추리, 큰기름새, 고깔제비꽃, 남산제비꽃, 선밀나물, 넓은잎외잎쭉, 개갈퀴, 딱갈, 구절초, 산씀바귀
멧아보육지	굴참나무, 소나무, 개벚나무, 쇠물푸레, 당단풍, 쪽동백, 생강나무, 두릅, 싸리, 조록싸리, 개웃나무, 붉나무, 진달래,곰딸기, 고추나무, 철쭉, 다래, 칩, 청미래덩굴	갈퀴덩굴, 고깔제비꽃, 고사리, 구절초, 기름나물, 딱갈, 남산제비꽃, 맑은대쭉, 미역취, 산거울, 산박하, 산씀바귀, 삼주, 서덜취, 세잎양지꽃, 애기나리, 우산나물, 원추리, 주름조개풀, 큰까치수영, 큰기름새,
상층잔존 + 하층제거	소나무, 굴참나무, 당단풍, 개벚나무, 자갈나무, 고로쇠나무, 생강나무, 졸참나무, 쇠물푸레, 산초, 산뽕나무, 개웃나무, 쪽동백, 사시나무	고깔제비꽃, 개갈퀴, 꿩의다리아재비, 남산제비꽃, 단풍취, 등굴레, 맑은대쭉, 산거울, 산박하, 산씀바귀, 선밀나물, 주름조개풀, 참취, 큰기름새, 큰까치수영,
대조구	소나무, 굴참나무, 신갈나무, 졸참나무, 개벚나무, 쪽동백, 당단풍, 생강나무, 쇠물푸레, 개웃나무, 진달래, 싸리, 조록싸리, 청미래덩굴	고사리, 구절초, 노랑제비꽃, 딱갈, 등굴레, 맑은대쭉, 매화노루발, 미역취, 산거울, 산박하, 산씀바귀, 삼주, 세잎양지꽃, 주름조개풀, 참취, 큰기름새

마) 복합형 종식 대상벌채구의 멧아발생 및 성장특성

(1) 멧아재갱신지

복합형 종식 대상벌채지 멧아재갱신지에 대하여 멧아발생 및 생육상황을 조사한 결과는 <표 3-4-31>과 같다. 출현하는 수종은 굴참나무, 신갈나무, 졸참나무이었으며 표준지(25㎡)에 출현한 개체수는 굴참나무 13, 신갈나무 6, 졸참나무 2, 총 21개의 그루터기로 나타났다. 조사지 평균 근주직경 6.1cm, 벌근고 2.4cm 그루터기당 발생본수는 5.5본, 멧아근

원경 6.6mm, 평균수고는 58.6cm로 조사되었으며 ha당 발생본수는 46,400본으로 조사되었다. 이와 같은 결과를 수종별로 살펴보면 굴참나무는 14,400본/ha, 신갈나무 27,600본/ha, 졸참나무 4,400본/ha으로 신갈나무의 맹아발생이 다른 수종보다 월등히 많음을 알 수 있었다. 이와 같은 현상은 그루터기 당 발생하는 맹아본수의 차이에서 기인된 것이라고 사료된다.

생장량은 굴참나무가 다른 수종보다 간장 생장이 약간 높은 것으로 조사되었으며, 졸참나무의 생장이 약간 저조한 것으로 조사되었다. 1근주당 맹아력은 신갈나무 11.5본, 졸참나무 5.5본, 굴참나무 2.8본으로 조사되었다. 조사지 맹아의 수령은 재깍신한 임분의 특성에 의해 대부분 1년생 이었으며 맹아의 고사는 나타나지 않았다. 맹아는 지하부, 지체부에서 대부분 발생하는 것으로 조사되었다.

<표 3-4-31> 복합형실연지의 맹아재깍신지 맹아발생 및 생육상황

맹아 수령 분포	수종	개체수	근주 직경 (cm)	벌근고 (cm)	맹아본수 (본/ha)	평균맹아수 (최소-최대)	평균근원경 (최소-최대) (mm)	평균수고 (최소-최대) (cm)
1	소계	21	6.1	2.4	116 (46,400)	5.5 (1-19)	6.6 (2-24)	58.6 (25-140)
	굴참	13	7.5	27.2	36 (14,400)	2.8 (2-13)	6.8 (2-14)	64.8 (25-140)
	신갈	6	5.4	18.2	69 (27,600)	11.5 (2-19)	6.8 (3-24)	56.9 (30-110)
	졸참	2	2.5	20.0	11 (4,400)	5.5 (1-9)	4.7 (2-12)	49.5 (40-75)

(2) 맹아보육지

<표 3-4-32>에서 조사지 I은 복합형 실연지의 종식 대상벌채지의 맹아보육지에 대하여 맹아 발생 및 생육상황을 조사한 결과이다. 출현 수종은 굴참나무와 신갈나무 단 두 수종이었으며 표준지(25m<sup>2</sup>)에 출현한 개체수는 굴참나무 4, 신갈나무 10 총 14개의 그루터기로 조사되었다. 조사지 평균 근주직경 10.0cm, 벌근고 5.0cm 그루터기당 평균 발생본수는 6.8본 최대발생본수는 신갈나무에 있어서 16본으로 나타났다. 맹아근원경 22.8mm, 평균수고는 189.7cm로 조사되었으며 ha당 발생본수는 34,000본으로 조사되었다. 이와 같은 결과를 수종별로 살펴보면 굴참나무는 4,000본/ha, 신갈나무가 34,000본/ha로 나타나 신갈나무의 맹아력이 굴참나무보다 좋은 것으로 생각되었다. 생장량은 신갈나무가 간장생장이

굴참나무보다 나은 것으로 조사되었으나, 근주생장은 오히려 떨어지는 것으로 나타났다. 1 근주당 맹아력은 굴참나무 2.5개, 신갈나무 8.5개로 나타나 신갈나무의 맹아력이 높음을 알 수 있었다. 조사지 맹아의 수령은 3~4년생이 대부분이었으며, 맹아의 고사는 아직까지 발견되지 않았다. 맹아발생부위는 대부분 지제부와 근주부인 것으로 조사되었다.

조사지 II는 복합형의 종식 대상벌채 실연지의 맹아보육지에 대하여 맹아발생 및 생육상황을 조사한 결과이다. 본 조사지는 주요 출현 수종인 신갈나무 맹아만을 집중 무육한 것이다. 표준지(25m<sup>2</sup>)에 출현한 신갈나무 4개의 그루터기를 대상으로 조사하였다. 조사지 평균 근주직경 8.0cm, 벌근고 12.0cm, 그루터기 당 평균 발생본수는 13.8본으로 나타났다. 맹아근원경 22.8mm, 흉고직경 2.0cm, 평균수고는 189.7cm로 조사되었으며 ha당 발생본수는 22,000본으로 조사되었다. 1근주당 맹아력은 평균 13.8본으로 나타났으며, 최대발생량은 17본이었다. 맹아의 수령은 5년생이 대부분을 차지하고 있었으며, 발생부위는 지제부와 근주부가 대부분인 것으로 조사되었다.

<표 3-4-32> 맹아보육지의 맹아발생 및 생육상황

조사지	맹아 수령 분포	수종	개체수	근주 직경 (cm)	벌근고 (cm)	맹아본수 (본/ha)	평균맹아수 (최소-최대)	평균근원경 (최소-최대) (mm)	평균수고 (최소-최대) (cm)
I	3-4	소계	14	10	5.0	95 (38,000)	6.8 (1-16)	22.8 (4-64)	189.7 (60-130)
		굴참	4	10	5.0	10 (4,000)	2.5 (1-4)	27.1 (8-64)	184.0 (60-290)
		신갈	10	10	5.0	85 (34,000)	8.5 (3-16)	22.3 (4-55)	190.4 (60-310)
II	1-5	소계	4	8.0	12.0	55 (22,000)	13.8 (9-17)	8.1 (2-56)	49.3 (15-270)
		신갈	4	8.0	12.0	55 (22,000)	13.8 (9-17)	8.1 (2-56)	49.3 (15-270)

(3) 상층목 존치+맹아재갱신구 맹아발생 및 생육상황

<표 3-4-33>에는 복합형 실연지의 황식대상벌채지 상층목존치+맹아재갱신지 시업구의 맹아발생 및 생육상황을 조사한 결과를 나타내었다. 출현 수종은 굴참나무, 신갈나무 그리고 졸참나무의 3종이었으며 표준지(100m<sup>2</sup>)에 출현한 개체수는 굴참나무 2개체, 신갈나무 4개체, 졸참나무 6개체 등 총 12개체로 나타났다. 조사지 평균 근주직경 4.3cm, 벌근고

13.5cm 그루터기당 평균 발생본수는 9.8본, 최대발생본수는 졸참나무에서 16본으로 나타났다. 멩아근원경 4.3mm, 평균수고는 44.3cm로 조사되었으며 ha당 발생본수는 11,800본으로 조사되었다. 결과를 수종별로 살펴보면 굴참나무는 1,900본/ha, 졸참나무 6,900본/ha, 신갈나무가 3,000본/ha로 나타나 졸참나무의 멩아력이 다른 두 수종보다 다소 높은 것으로 생각되었다. 이러한 결과는 졸참나무가 상대적으로 밀도가 높고 그루터기당 멩아발생수가 많기 때문인 것으로 보인다.

생장량에 있어서는 갈참나무가 졸참나무, 굴참나무보다 다소 양호한 것으로 조사되었다. 1근주당 멩아력은 굴참나무 9.5개, 신갈나무 3.1개, 졸참나무 11.0개로 나타났다. 조사지 멩아 수령은 본조사지가 하층 피해목 재갱신지라는 특성 때문에 1년생이 대부분이었으며, 멩아의 고사는 발견되지 않았다. 멩아발생부위는 대부분 지하부와 지제부로 나타났다.

<표 3-4-33> 상층목 존치+멩아재갱신구 멩아발생 및 생육상황

멩아 수령 분포	수종	개체수	근주 직경 (cm)	별근고 (cm)	멩아본수 (본/ha)	평균멩아수 (최소-최대)	평균근원경 (최소-최대) (mm)	평균수고 (최소-최대) (cm)
1	조사구	12	4.3	13.5	118 (11,800)	9.8 (1-16)	4.3 (2-11)	44.3 (15-92)
	굴참	2	11.0	13.0	19 (1,900)	9.5 (6-13)	3.9 (2-11)	42.4 (15-79)
	신갈	4	5.3	14.3	30 (3000)	5.3 (1-12)	4.6 (2-11)	47.1 (29-73)
	졸참	6	11.0	12.0	69 (6,900)	11.0 (8-16)	4.0 (2-11)	44.0 (18-92)

#### (4) 대조구(방치구)

내화성 임분 실연지 조성에 있어서 작업방법 간의 비교를 위하여 대조구를 설치하여 멩아발생 및 생육상태를 조사한 결과는 <표 3-4-34>와 같다. 방치구의 주요 수종은 굴참나무, 신갈나무 그리고 졸참나무의 3개 수종으로 나타났으며 표준지(100m<sup>2</sup>)에 출현한 개체수는 굴참나무 14개체, 신갈나무 10개체, 졸참나무 8개체 등 총 32개체로 나타났다. 조사지 평균 근주직경 6.5cm, 별근고 238.5cm 그루터기당 평균 발생본수는 2.5본, 최대발생본수는 신갈나무에서 14본으로 나타났다. 평균 멩아근원경 8.3mm, 평균수고는 67.8cm로 조사되었으며 ha당 발생본수는 16,100본으로 조사되었다. 이와 같은 결과를 수종별로 살펴보면 굴참나무는 6,400본/ha, 졸참나무 3,000본/ha, 신갈나무가 6,700본/ha로 나타나 신갈



나무의 맹아력이 다른 두 수종보다 다소 높은 것으로 생각되었다. 이와 같은 결과는 신갈나무가 상대적으로 그루터기당 맹아발생 밀도가 다른 두수종 보다 높은 것으로 사료된다. 성장량에 있어서는 졸참나무가 다른 두 수종 보다 양호한 것으로 조사되었다. 1근주당 맹아력은 굴참나무 4.6개, 신갈나무 6.7, 졸참나무 3.8개로 나타났다. 조사지 맹아의 수량은 피해목을 벌채하지 않은 조사지의 특성 때문에 2~4년생이 대부분이었고, 맹아 고사는 발견되지 않았으며, 발생부위는 대부분 지체부와 근주부이었다.

<표 3-4-34> 대조구의 맹아발생상황

맹아 수령 분포	수종	개체수	근주 직경 (cm)	벌근고 (cm)	맹아본수 (본/ha)	평균맹아수 (최소-최대)	평균근원경 (최소-최대) (mm)	평균수고 (최소-최대) (cm)
2-4	소계	32	6.5	238.5	161 (16,100)	2.5 (1-14)	8.3 (2-46)	67.8 (10-210)
	굴참	14	5.4	258.9	64 (6,400)	4.6 (1-11)	9.4 (2-46)	32.4 (20-170)
	신갈	10	5.3	88.0	67 (6,700)	6.7 (2-14)	7.0 (2-21)	70.8 (15-180)
	졸참	8	5.6	102.1	30 (3,000)	3.8 (2-7)	8.4 (3-29)	72.4 (10-210)

바) 복합형 종식 대상벌채지의 소나무 및 참나무류 치수발생

<표 3-4-35>는 복합형 실연지 내 종식대상벌채지의 맹아갱신지, 맹아보육지, 상층목잔존+맹아보육, 무처리구에 소나무 및 참나무류 치수발생을 조사하기 위한 고정조사구를 설치하여 치수발생량을 조사한 결과이다. 치수발생량은 소나무의 경우 ha당 1,800~4,400본, 참나무류의 경우 400~900본 가량 발생하는 것으로 조사되었는데, 처리에 따른 발생량의 차이는 없었고, 모든 처리구에서 참나무류는 소나무보다 적은 발생량을 보여주고 있었다. 수령은 두 수종 모두 1~3년생 이었고, 간장은 소나무의 경우 3~7cm, 참나무류는 3~12cm 정도인 것으로 조사되었다.

<표 3-4-35> 소나무 및 참나무류 치수발생상황

구 분	수종	수령	간장 (cm)	본/ha
맹아갱신지	소나무	1~3	3~7	3,700
	참나무류	1~3	4~12	900
맹아보육지	소나무	1~3	2~7	4,400
	참나무류	1~3	3~10	800
상층목잔존+맹아보육	소나무	1~3	2~7	1,800
	참나무류	1~3	3~11	600
대조구	소나무	1~3	3~7	3,500
	참나무류	1~3	3~10	400

사) 복합형 종식대상별채지의 하층발생

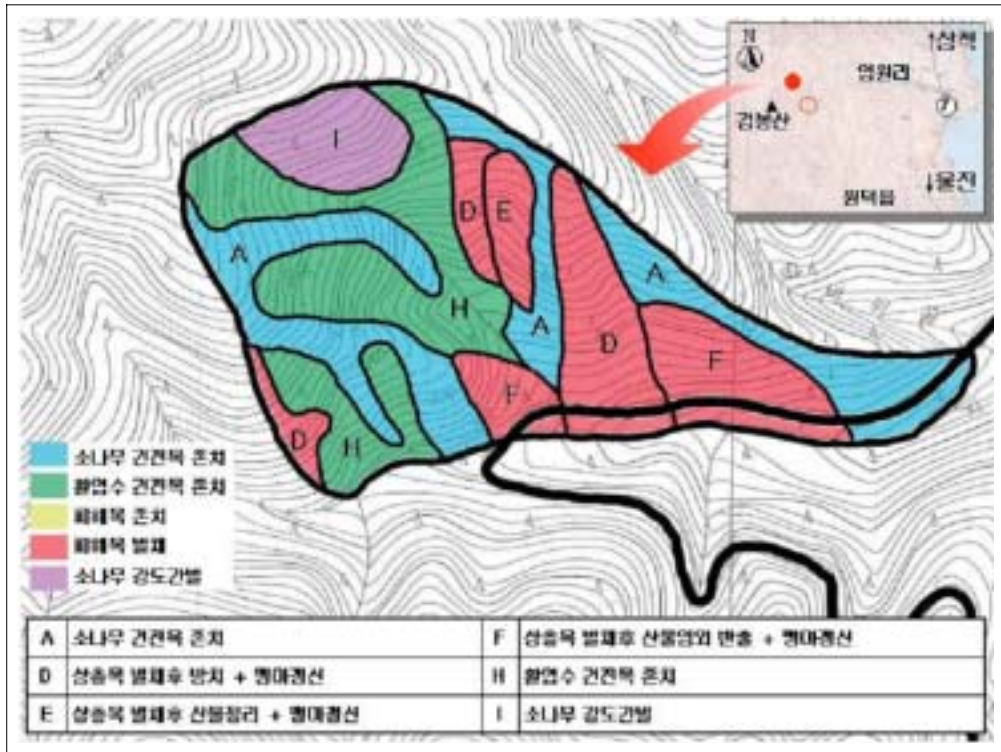
<표 3-4-36>은 복합형 종식대상별채지에서 처리별로 출현하는 목본류와 초본류를 간략하게 나타낸 것이다. 조사는 맹아갱신지, 맹아보육지, 상층잔존+맹아갱신, 무처리구 대조구에 대하여 실시하였다. 맹아갱신지에 나타나는 목본류는 굴참나무 외 12종, 초본류는 고사리 외 14종으로 나타났으며 맹아보육지에서 신갈나무 외 8종, 초본류는 노란제비꽃 외 14종으로 나타났고 상층잔존+하층제거구에서는 소나무 외 7종, 초본류는 노랑제비꽃 외 7종, 무처리구인 대조구에서는 소나무 외 13종, 초본류는 고사리 외 15종으로 나타났다. 위의 결과를 비교하여 보면 처리구간에는 별다른 차이를 보이지 않았으나, 처리구와 대조구 사이에는 출현종들의 차이가 약간 보이고 있었다. 또한 종식대상구와도 약간의 차이를 보이고 있으며, 이러한 결과는 원식생과 입지적인 차이에 기인한 결과라고 사료된다.

<표 3-4-36> 복합형 종식벌채지에서 출현하는 주요수종

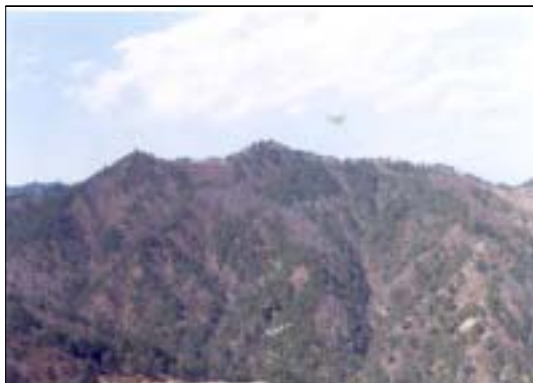
표준지명	목 본	초 본
맹아 재갱신	굴참나무, 신갈나무, 소나무, 쇠물푸레, 졸참나무, 쪽동백, 개벚나무, 싸리, 진달래, 철쭉, 개웃나무, 생강나무, 붉나무,	고사리, 구절초, 기름나물, 남산제비꽃, 마타리, 산거울, 산씀바귀, 산박하, 삼주, 새, 제비꽃, 세잎양지꽃, 원추리, 큰기름새, 큰까치수영
맹아 보육	신갈나무, 굴참나무, 쇠물푸레, 쪽동백, 싸리, 붉나무, 진달래, 철쭉, 소나무	노랑제비꽃, 둥굴레, 마타리, 맑은대쭉, 미역취, 산거울, 삼주, 새, 세잎양지꽃, 실새풀, 용담, 주름조개풀, 참취, 큰기름새
상층잔존+ 하층맹아 보육	소나무, 신갈나무, 굴참나무, 쇠물푸레, 싸리, 쪽동백, 진달래, 철쭉	노랑제비꽃, 맑은대쭉, 미역취, 산거울, 삼주, 산씀바귀, 참취, 큰기름새
대조구	소나무, 굴참나무, 신갈나무, 졸참나무, 개벚나무, 쪽동백, 당단풍, 생강나무, 쇠물푸레, 개웃나무, 진달래, 싸리, 조록싸리, 청미래덩굴	고사리, 구절초, 노랑제비꽃, 뚝갈, 둥굴레, 맑은대쭉, 매화노루발, 미역취, 산거울, 산박하, 산씀바귀, 삼주, 세잎양지꽃, 주름조개풀, 참취, 큰기름새

2) 어골형 실연지

<그림 3-4-33>은 조성된 어골형 실연지를 나타낸 것으로서, 대상지는 삼척시 원덕읍 임원리 166임반 다소반 10ha로 입지형태, 임분유형에 따라 시업지를 조성하였다<사진 3-4-23, 24>. 먼저 시험지에는 소나무건전목 존치구, 활엽수건전목 존치구, 피해목존치구, 피해목벌채구를 두었으며, 그 안에서 A시업구는 소나무건전목존치구, D시업구는 상층목벌채후방치 +맹아갱신, E시업구는 상층목벌채후 산물정리+맹아갱신, F시업구는 상층목벌채후 산물임의반출+맹아갱신구, H시업구는 활엽수 건전목존치구이며, I 시업구에서는 소나무 강도간벌을 실시하였다.



<그림 3-4-33> 어골형 실연지



<사진 3-4-23> 어골형 실연지 조성 전



<사진 3-4-24> 조성된 어골형 실연지

가) 임분변화

어골형 실연지 조성에 앞서 임분유형을 파악, 산불피해 전·후의 임분상태를 유추하여

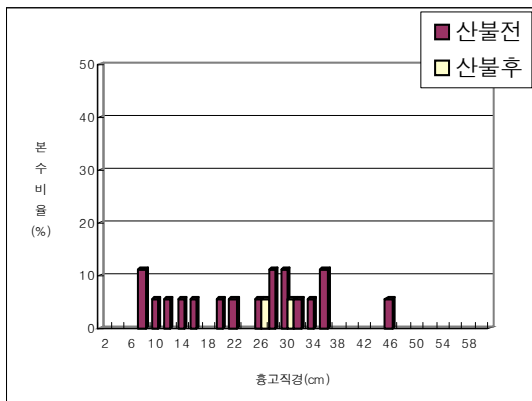
향후 임분변화를 예측하기 위하여 산불피해지에 대하여 조사를 실시하였다. 완전히 타버린 지역은 조사에서 제외시켰고, 산불피해는 받았으나, 수관과 수간을 비교적 유지하고 있으면서 지역을 대표할 수 있는 곳을 표준지로 선정하여 조사를 실시하였다. 출현하는 임분유형은 복합형 실연지와 마찬가지로 소나무단순림, 소나무+참나무혼효림, 참나무류 혼효림으로 나타났다.

(1) 소나무단순림

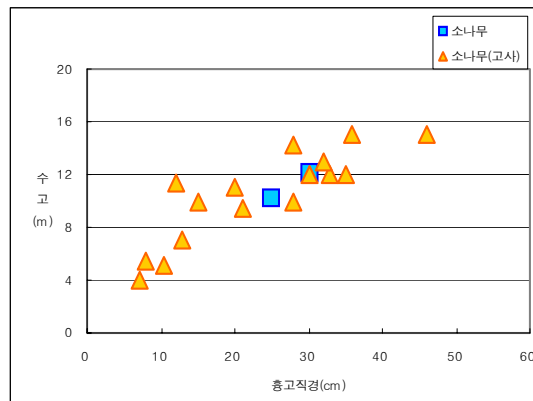
소나무단순림은 임령이 25~45년생, 흉고직경 23.9cm, 수고 10.5m, 임목본수는 796본/ha, 흉고단면적 38.8m<sup>2</sup>/ha, 재적 208.4m<sup>3</sup>/ha로 나타났다. 산불 후 고사·벌채 처리된 이들 임분의 변화된 양상을 살펴보면, 소나무단순림에서는 88.9%의 밀도감소와 88.7%의 재적감소 변화가 일어났으며, 변화된 임분구조와 변화양상은 <표 3-4-37> 및 <그림 3-4-33, 34>에 나타내었다.

<표 3-4-38> 소나무단순림 임분 변화

사업유형	임분유형	수령	구분	흉고직경 (cm)	수고 (m)	본수 (본/ha)	재적 (m <sup>3</sup> /ha)	흉고단면적 (m <sup>2</sup> /ha)
어골형	소나무 단순림	25~45	피해전	23.9	10.5	796	208.4	38.8
			피해후	28.3	10.9	88	23.5	4.8
			증·감	4.5	0.4	-707.4	-184.9	-34.0
			변화율	18.7	4.1	-88.9	-88.7	-87.6



<그림 3-4-33> 산불전후 본수변화



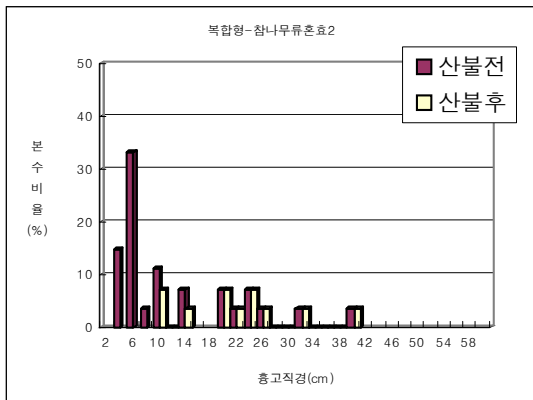
<그림 3-4-34> 산불전후 수고-직경분포

(2) 참나무류 혼효림

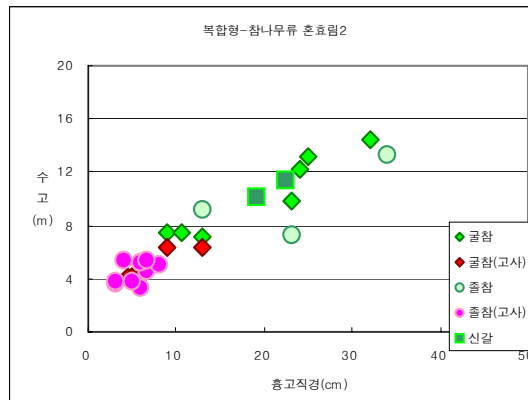
참나무류 혼효림은 굴참나무, 졸참나무, 신갈나무, 갈참나무 등이 혼효되어 이루어진 임분유형으로서 주로 산복부의 계곡부에 자리하고 있었다. 이들의 평균 흉고직경은 12.3cm, 수고 7.2m, 본수는 1,350본/ha, 흉고단면적 25.6m<sup>2</sup>/ha, 재적은 136.9m<sup>3</sup>/ha로 나타났다. 참나무류 혼효림에서는 18.5%의 밀도감소와 4.4%의 재적감소를 가져 왔으며 흉고직경과 수고는 74.3%, 51.3%의 변화를 가져왔다. 이러한 조사 과정을 볼 때 산불에 내화력이 있는 임분구조는 참나무류 혼효림, 소나무+참나무류 혼효림, 소나무단순림으로 나타났으며, 변화된 임분구조와 변화양상은 <표 3-4-38> 및 <그림 3-4-35, 36>에 나타내었다.

<표 3-4-38> 참나무류 혼효림 임분변화

사업 유형	임분유형	수령	구분	흉고직경 (cm)	수고 (m)	본수 (본/ha)	재적 (m <sup>3</sup> /ha)	흉고단면적 (m <sup>2</sup> /ha)
어골형	참나무류 혼효림	18~25	피해전	12.3	7.2	1,350	136.9	25.6
			피해후	21.5	11.0	1,100	131.0	23.2
			증·감	9.2	3.7	-250	-6.0	-2.4
			변화율	74.3	51.3	-18.5	-4.4	-9.5



<그림 3-4-35> 산불전후 본수변화



<그림 3-4-36> 산불전후 수고-직경분포

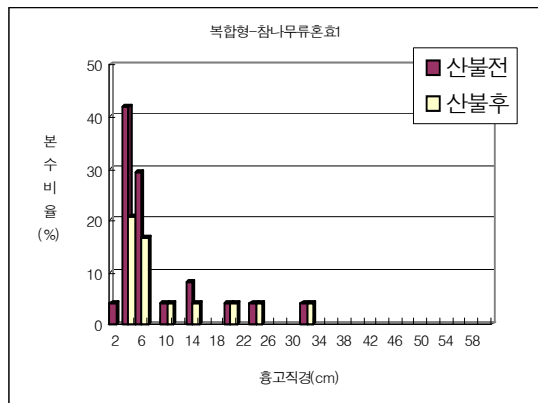
(3) 소나무 + 참나무류 혼효림

소나무+참나무류 혼효형임분은 소나무와 굴참나무, 졸참나무, 신갈나무 등이 혼효되어 상층임관을 차지하고 있었으며 임분의 임령은 16~40년생이었고 평균흉고직경 19.1cm, 수

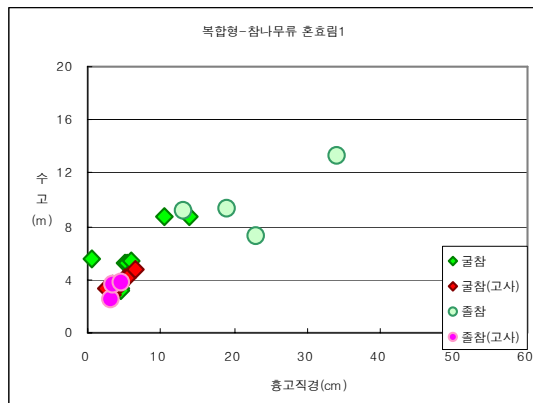
고 13.9m, 임분밀도 1,100본/ha, 흉고단면적 49.7m<sup>2</sup>/ha, 재적 359.5m<sup>3</sup>/ha으로 나타났다. 소나무+참나무류 혼효림에서는 45.5%의 밀도변화와 17.9%의 재적변화가 일어났으며 평균 흉고직경과 수고는 각각 20.0%, 1.9% 변화하였으며 변화된 임분구조와 변화양상은 <표 3-4-39> 및 <그림 3-4-37, 38>에 나타내었다.

<표 3-4-39> 소나무+참나무류 혼효림 임분변화

사업 유형	임분유형	수령	구분	흉고직경 (cm)	수고 (m)	본수 (본/ha)	재적 (m <sup>3</sup> /ha)	흉고단면적 (m <sup>2</sup> /ha)
어골형	소나무+참나무류 혼효림	16~40	피해전	19.1	13.5	1,100	359.5	49.7
			피해후	22.9	13.8	600	295.1	39.8
			증·감	3.8	0.3	-500	-64.4	-9.9
			변화율	20.0	1.9	-45.5	-17.9	-19.9



<그림 3-4-37> 산불전후 본수변화



<그림 3-4-38> 산불전후 수고-직경분포

나) 어골형실연지 맹아발생 및 성장특성

(1) 맹아재갱신지

복합형실연사업지 중 어골형 맹아재갱신지에 대하여 맹아발생 및 생육상황을 조사한 결과는 <표 3-4-40>과 같다. 출현하는 수종은 굴참나무, 갈참나무, 신갈나무, 졸참나무였으며 표준지(25m<sup>2</sup>)에 출현한 개체수는 굴참나무 3개체, 신갈나무 7개체, 졸참나무 9개체, 갈참 2개체, 총 21 개체로 나타났다. 조사지 평균 근주직경 3.3cm, 벌근고 18.0cm 그루터기당 맹아발생본수는 14.6본, 맹아근원경 4.7mm, 평균수고는 62.9cm로 조사되었으며 ha당

발생본수는 64,400본으로 조사되었다. 이와 같은 결과를 수종별로 살펴보면 굴참나무는 17,200본/ha 신갈나무 21,200본/ha, 졸참나무 19,200본/ha, 갈참나무 6,800본/ha로 신갈나무의 맹아발생이 다른 수종 보다 월등히 많음을 알 수 있었다. 이와 같은 현상은 그루터기당 발생하는 맹아본수의 차이에서 기인된 것이라고 사료된다. 생장량에 있어서는 굴참나무가 다른 수종보다 간장 및 근원경 생장에 있어서 약간 높은 것으로 조사되었으며, 생장량에서는 갈참나무가, 근원경생장에서는 졸참나무가 약간 저조한 것으로 조사되었다. 1근주당 맹아력은 굴참나무 14.3본, 갈참나무 8.5본, 신갈나무 7.8본, 졸참나무 5.3본으로 조사되었다. 조사지 맹아의 수령은 맹아재갱신 임분의 특성에 따라 대부분 1년생 이었으며, 맹아의 고사는 나타나지 않았다. 맹아는 지하부, 지제부에서 대부분 발생하는 것으로 조사되었다.

<표 3-4-40> 맹아재갱신지 맹아발생 및 생육상황

맹아 수령 분포	수종	개체수	근주 직경 (cm)	벌근고 (cm)	맹아본수 (본/ha)	평균맹아수 (최소-최대)	평균근원경 (최소-최대) (mm)	평균수고 (최소-최대) (cm)
1	소계	21	3.3	18.0	161 (64,400)	14.6 (1-18)	4.7 (2-13)	62.9 (25-160)
	갈참	2	2.0	26.0	17 (6,800)	8.5 (7-10)	3.1 (2-5)	50.8 (45-60)
	굴참	3	6.3	16.0	43 (17,200)	14.3 (9-18)	6.3 (2-13)	83.4 (50-140)
	신갈	7	2.4	18.7	53 (21,200)	7.6 (3-12)	4.6 (2-13)	64.9 (40-160)
	졸참	9	2.0	11.0	48 (19,200)	5.3 (1-14)	4.0 (2-13)	46.6 (25-75)

(2) 맹아 보육지

<표 3-4-41>에서는 어골형의 대상벌채 실연지의 맹아보육지에 대하여 맹아발생 및 생육상황을 조사한 결과를 나타내었다. 출현하는 주요 수종은 갈참나무, 졸참나무 단 두 수종이었으며 표준지(25m<sup>2</sup>)에 출현한 개체수는 갈참나무 3개체, 졸참나무 11개체 총 14 개체의 그루터로 조사되었다. 조사지 평균 근주직경 15.0cm, 벌근고 6.5cm 그루터기당 평균 발생본수는 5.7본, 최대발생본수는 졸참나무에서 22본으로 나타났다. 맹아근원경 13.9mm,



평균수고는 135.2cm로 조사되었으며 ha당 발생본수는 37,600본으로 조사되었다. 이와 같은 결과를 수종별로 살펴보면 갈참나무는 3,600본/ha, 졸참나무가 34,000본/ha로 나타나 졸참나무의 맹아력이 갈참나무보다 좋은 것으로 생각되었다. 성장량에서도 갈참나무가 간장생장, 근원경 성장에서 졸참나무보다 좋은 것으로 조사되었다. 1근주당 맹아력은 갈참나무 3.0개, 졸참나무 8.6개로 나타나 졸참나무의 맹아력이 높게 나타남을 알 수 있었다. 조사지 맹아의 수령은 2~4년생이 대부분이었으며, 맹아의 고사는 발견되지 않았다. 맹아발생부위는 대부분 지제부와 근주부였다.

<표 3-4-41> 맹아보육지의 맹아발생 및 생육상황

맹아 수령 분포	수종	개체수	근주 직경 (cm)	벌근고 (cm)	맹아본수 (본/ha)	평균맹아수 (최소-최대)	평균근원경 (최소-최대) (mm)	평균수고 (최소-최대) (cm)
2-4	조사구	14	15.0	6.5	104 (37,600)	5.7 (1-22)	8.5 (2-58)	91.8 (40-210)
	갈참	3	-	-	9 (3,600)	3.0 (1-6)	13.9 (3-21)	135.2 (60-195)
	졸참	11	15.0	6.5	85 (34,000)	8.6 (1-22)	8.0 (2-58)	87.7 (40-210)

(3) 대조구(방치구)

내화성 임분 실연지 구성에 있어서 작업방법간의 비교를 위하여 대조구를 설치하여 맹아 발생 및 생육상태를 조사하고자한 결과는 <표 3-4-42>과 같다. 방치구에 출현하는 주요 수종은 굴참나무, 신갈나무 그리고 졸참나무의 3수종이었으며 표준지(100m<sup>2</sup>)에 출현한 개체수는 굴참나무 24개체, 신갈나무 9개체, 졸참나무 7개체 등 총 40 개체로 나타났다.

<표 3-4-42> 대조구 맹아발생상황

맹아 수령 분포	수종	개체수	근주 직경 (cm)	벌근고 (cm)	맹아본수 (본/ha)	평균맹아수 (최소-최대)	평균근원경 (최소-최대) (mm)	평균수고 (최소-최대) (cm)
2-4	조사구	40	5.7	358.1	216 (21,600)	5.4 (1-20)	5.4 (1-22)	57.0 (15-120)
	굴참	24	5.1	304.1	101 (10,100)	4.2 (1-8)	3.7 (1-13)	44.7 (15-110)
	신갈	9	7.2	364.4	87 (8,700)	9.7 (2-20)	7.5 (2-22)	70.9 (25-180)
	줄참	7	5.0	530.1	28 (2,800)	4.0 (1-8)	5.0 (2-11)	58.4 (20-135)

조사지 평균 근주직경 5.7cm, 벌근고 358.1cm 그루터기당 평균 발생본수는 5.4본, 최대 발생본수는 신갈나무나무에서 20본으로 나타났다. 평균 맹아근원경 5.4mm, 평균수고는 57.0cm로 조사되었으며 ha당 발생본수는 21,600본으로 조사되었다. 이와같은 결과를 수종별로 살펴보면 굴참나무는 10,100본/ha, 줄참나무 2,800본/ha, 신갈나무가 8,700본/ha로 나타나 굴참나무의 맹아력이 다른 두 수종보다 다소 높은 것으로 생각되었다. 이와 같은 결과는 굴참나무 원식생의 그루터기가 다른 두 수종 보다 상대적으로 많았던 것에 기인한 것이라 사료된다.

생장량에 있어서는 신갈나무가 다른 두 수종 보다 간장, 근원경 생장에 있어서 양호한 것으로 조사되었다. 1근주당 맹아력은 굴참나무 4.2개, 신갈나무 9.7, 줄참나무 4.0개로 나타났다. 조사지 맹아의 수령은 본조사지 특성이 피해목을 벌채하지 않은 것이기 때문에 2~4년생이 대부분이었고 맹아의 고사는 발견되지 않았다. 맹아발생부위는 대부분 지제부와 근주부인 것으로 조사되었다.

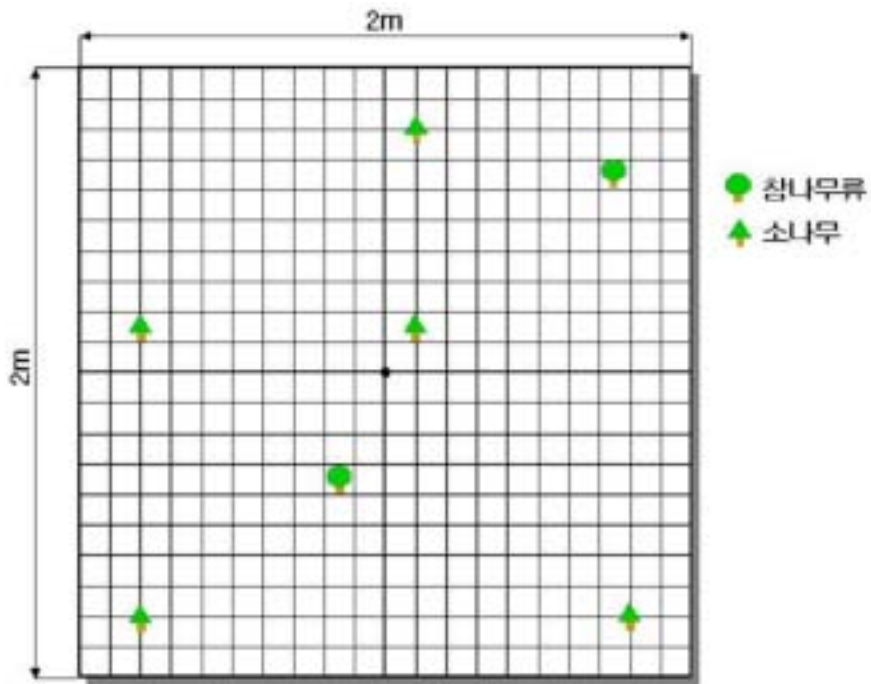
다) 어골형 실연지의 소나무 및 참나무류 치수 발생

<표 3-4-43>은 산불피해지 내화성 임분 조성지의 어골형 맹아갱신지, 맹아보육지, 무처리구에 소나무 및 참나무류 치수발생 조사를 위한 고정조사구를 설치하여 치수발생량을 조사한 결과를 보여주고 있다. 치수발생량은 소나무의 경우 ha당 4,800~12,500본, 참나무류의 경우 600~5,000본 가량인 것으로 조사되었는데, 이러한 결과는 처리에 따른 발생량의 차이보다 원식생에 기인한 결과라 사료되며 모든 처리구에서 참나무류는 소나무보다 적은 발생량을 보여주고 있었다. 수령은 두 수종 모두 1~3년생 정도로 판단되었

고, 간장은 소나무의 경우 2~10cm, 참나무류는 3~12cm 정도로 조사되었다. <그림 3-4-39>는 소나무와 참나무류의 치수 발생 모식도이다.

<표 3-4-43> 소나무 및 참나무류 치수 발생 상황

구분	수종	수령	간장 (cm)	본/ha
맹아갱신지	소나무	1~3	2~7	12,500
	참나무류	1~3	3~9	5,000
맹아보육지	소나무	1~3	2~10	5,400
	참나무류	1~3	3~12	1,000
대 조 구	소나무	1~3	3~7	4,800
	참나무류	1~3	3~10	600



<그림 3-4-39> 어골형시험지 치수 발생 모식도



<사진 3-4-25> 소나무치수 발생 전경



<사진 3-4-26> 굴참나무치수 발생 전경

라) 어골형 실연지의 하층식생 발생

<표 3-4-44>는 복합형 어골형 실연지에서 처리별로 출현하는 목본류와 초본류를 간략하게 나타낸 것이다. 조사는 맹아갱신지, 맹아보육지, 무처리구 대조구에 대하여 실시하였다. 맹아갱신지에 나타나는 목본류는 굴참나무 외 5종, 초본류는 고사리 외 6종으로 나타났으며, 맹아보육지에서는 갈참나무 외 9종, 초본류는 그늘사초 외 9종으로 나타났고, 무처리구인 대조구에서는 목본류는 신갈나무 외 10종, 초본류는 큰기름새 외 13종으로 나타났다. 위의 결과를 비교하여 보면 복합형과는 달리 처리구보다 대조구에서 목본류와 초본류가 많이 나타났는데, 이는 실연대상지역이 임연부이기 때문에 외적 간섭 등 다양한 요인이 작용했을 것이라 사료되며, 이후 지속적인 관찰이 요망된다.

<표 3-4-44> 어골형실연지 하층식생 발생

표준지명	목 본	초 본
맹아갱신	굴참나무, 신갈나무, 줄참나무, 쪽동백, 조록싸리, 싸리	고사리, 삼주, 큰기름새, 참취, 세잎양지꽃, 뚝갈, 맑은대쭉
맹아보육	갈참나무, 굴참나무, 줄참나무, 소나무, 느릅나무, 쪽동백, 산초나무, 붉나무, 작살나무, 청미래덩굴	그늘사초, 삼주, 짚신나물, 세잎양지꽃, 우산나물, 둥근털제비꽃, 단풍취, 마, 큰기름새, 맑은대쭉, 참취
대 조 구	신갈나무, 소나무, 개벚나무, 굴참나무, 쪽동백나무, 싸리, 쇠물푸레, 조록싸리, 굴참, 철쭉, 진달래	큰기름새, 우산나물, 단풍취, 산겨울, 고사리, 삼주, 구절초, 선밀, 맑은대쭉, 세잎양지꽃, 노랑제비꽃, 참취, 원추리, 미역취

## 다. 식생 및 맹아조사 결과(건전지 및 산불피해지 종합)

### 1) 식생조사

<표 3-4-45>는 산불피해지와 건전임분에 대하여 식생을 종합하여 종다양도를 구한 것이다. 현지 조사에서는 Braun-Blanquet의 우점도 계급과 방형구내의 모든 종의 개체수를 조사하였다. 최대종다양도, 균제도, 우점도를 개체수만으로 분석할 경우 한 개체의 피도율이 높은 수종이 피도율이 낮은 개체에 비하여 경감됨으로 출현종의 개체수와 피도 즉 우점도 계급을 우점도 범위의 중앙치(5 : 87.5, 4 : 62.5, 3 : 37.5, 2 : 17.5, 1 : 5.5, + : 0.2, r : 0.01)로 환산한 값을 이용한 두 가지 방법으로 분석하였다.

산불피해지(어골형, 복합형)와 건전임분(대상형)에서 출현종수, 밀도, 군락의 성숙도와 안정도 등의 간접적인 군락 속성을 파악하기 위하여 각각의 조사지에 대해 Shannon's diversity( $H'$ ), 최대종다양도( $H'_{max}$ ), 균제도( $J'$ ), 우점도( $1-J'$ )를 계산하였다<표 3-4-43>. 종다양성과 성숙도는 정비례하는 경향으로 생각되어왔다. 생육환경이 이질적이고 복잡하거나 국소적 교란이 발생하게 되면 종다양도는 높아지게 된다. 종다양도지수는 우점도와 반비례의 관계를 가지며 우점도가 높은 소수의 종들보다 우점도가 낮은 다수의 종들에 의해 결정된다. Wittaker(1965)는 우점도가 0.9 이상일 때에 1종, 0.3~0.7일 때 2~3종, 0.3 이하일 때 다수의 종이 우점종이 된다고 하였다.

<표 3-4-45> 산불피해지와 무피해지역에서 처리간 종다양도 비교

산불피해유무		종다양도	최대 종다양도	균제도	우점도	개체수/0.1ha	출현종수
산 불 피 해 지	상하층제거	1.0579	1.7160	0.6165	0.3835	22,289	52
	상층제거, 하층제거안함	1.0627	1.6812	0.6321	0.3679	26,400	48
	상층잔존, 하층제거	0.8991	1.6532	0.5439	0.4561	4,085	47
	무처리	0.8310	1.4771	0.5626	0.4374	3,887	34
건 전 임 분	무간벌	0.8822	1.5185	0.5810	0.4190	2,340	25
	간 벌	0.8298	1.4624	0.5674	0.4326	2,490	29

출현종수를 비교하여 보면, 산불피해지역의 상하층 제거구에서 52종으로서 가장 높은 출현율을 보였으며, 다음으로 상층제거와 잔존구에서 각각 48종, 47종으로 나타나 비슷한 값을 보여주고 있었다. 출현한 개체수 역시 산불피해지의 상하층제거구에서 가장 높은 22,289본/0.1ha을 보여주고 있었다. 산불피해지역과 무피해지에서 처리별로 종다양도지수를 비교하여 보면, 산물무피해지 간벌처리구에서 0.82로 가장 낮은 값을 보여주었다. 기타처리에서 산불피해지에서는 0.083~1.06의 값으로 나타났고, 건전임분의 무간벌구에서는 0.88로 나타났다. 종다양도의 값이 가장 높게 나타나는 곳은 산불피해지 상층제거구에서 나타났다. 이러한 결과는 산불피해의 특성상 초기에는 초본류가 많이 발생하고, 후기에는 목본류가 많이 발생한다는 것과 비교하여 볼 때, 거의 일치하는 결과라고 판단된다. 우점도는 산불피해지역에서 0.36~0.45, 건전임분에서 0.41~0.43으로 나타나 2~3종이 우점하고 있는 것으로 나타났다. 그리고 최대 종다양도지수는 산불피해지 상하층 제거구에서 1.71로 가장 높게 나타났다.

## 2) 맹아 발생 및 생장

<표 3-4-46>은 산불피해지와 무피해지역의 처리구별로 교목성 수종인 참나무류에 대하여 맹아발생 및 생장량을 종합한 결과이다. 산불피해지역에서 주로 출현하는 수종은 갈참나무, 굴참나무, 신갈나무, 졸참나무로 나타났으며, 무피해지역에서는 굴참나무, 상수리나무, 신갈나무, 졸참나무가 주요 출현하는 수종에 해당되었다.

수종별 평균맹아발생 본수를 비교하여 보면 산불피해지역에서 갈참나무는 근주당 8본, 굴참나무 3~7본, 신갈나무 5.9~8.7본, 졸참나무 3.9~10.3본으로 나타났다. 무피해지역에서는 굴참나무 3본, 상수리나무 2본, 신갈나무 7본, 졸참나무 6.4본으로 나타났다. 이러한 산불피해지역과 건전임지에서 맹아 발생량의 차이는 산불피해지역의 맹아수령은 1~4년, 무피해지역은 4~11년으로, 수령에 기인한 수종별 맹아발생 능력의 차이와 건전임지에서 하층의 맹아가 생존하면서 치열한 경쟁으로 인하여 자연고사가 많이 발생한 것 때문이라 사료된다. 산불피해지역에서 발생한 맹아의 간장생장은 52.1~165.8cm, 근원경 생장은 5.0~22.3mm로 나타났으며 건전임지에서는 간장생장 189~245cm, 근원경 생장 10.8~34.4mm로 조사되었다.

<표 3-4-46> 산불피해지와 건전임분 멧아발생비교

피해유무	표준지명	수종	개체수	멧아수	평균 멧아수	평균 멧아고	평균 근원경
산 불 피해 지	상하층제거	갈참	2	16	8.0	61.3	5.0
		굴참	26	175	6.7	56.7	5.6
		신갈	25	218	8.72	52.1	5.5
		줄참	9	83	10.3	44.73	4.4
	상층제거, 하층제거 안함	굴참	12	36	3.0	165.8	22.3
		신갈	44	260	5.9	141.6	16.2
	상층잔존, 하층제거	굴참	8	56	7.0	83.8	8.1
		신갈	14	97	6.9	112.6	15.1
		줄참	11	52	4.7	82.7	8.3
	무처리	굴참	63	254	4.0	67.6	7.6
		신갈	25	203	8.1	83.9	8.5
		줄참	15	58	3.9	65.7	7.1
소나무건전임분	굴참	15	45	3.0	189	26.0	
	상수리	2	4	2.0	245	34.4	
	신갈	3	21	7.0	109.5	10.8	
	줄참	5	32	6.4	165.5	15.8	



<사진 3-4-27> 신갈나무 멧아



<사진 3-4-28> 굴참나무 멧아

**라. 임분밀도관리를 통한 내화성 임분 실연지 조성 과정**

실연지 조성작업은 입지형태 및 임분유형에 따라 조성하였으며, 각 작업단계별로 진행되는 조성작업 과정과 공정을 분석하였다.

1) 내화성 임분 조성을 위한 산림조사 및 구획

- 장 소 : 복합형 - 삼척시 원덕읍 임원리 164임반 가소반  
어골형 - 삼척시 원덕읍 임원리 166임반 다소반
- 시험구 설치 및 측량 : 23ha  
복합형 : 어골형, 대상형(종식벌채, 횡식벌채) - 13ha  
어골형 : 능선부 소나무 무육, 계곡부 활엽수무육 - 10ha
- 주요 출현수종 : 소나무, 신갈나무, 졸참나무, 굴참나무, 갈참나무

2) 작업량 산출

복합형 지역과 어골형 지역의 작업량을 산출한 결과는 <표 3-4-47>과 같다. 그 결과를 살펴보면 대상 수종은 주로 소나무, 굴참나무, 신갈나무, 상수리나무가 대부분을 차지하고 있었으며, 총벌채본수는 소나무 1,720본, 굴참나무류가 400여본 벌채재적은 168m<sup>3</sup>으로서 소나무 156m<sup>3</sup>, 참나무류 12m<sup>3</sup>으로 나타났으며, 그중 집재 가능한 재적은 약 50m<sup>3</sup> 정도로 계산되었다.

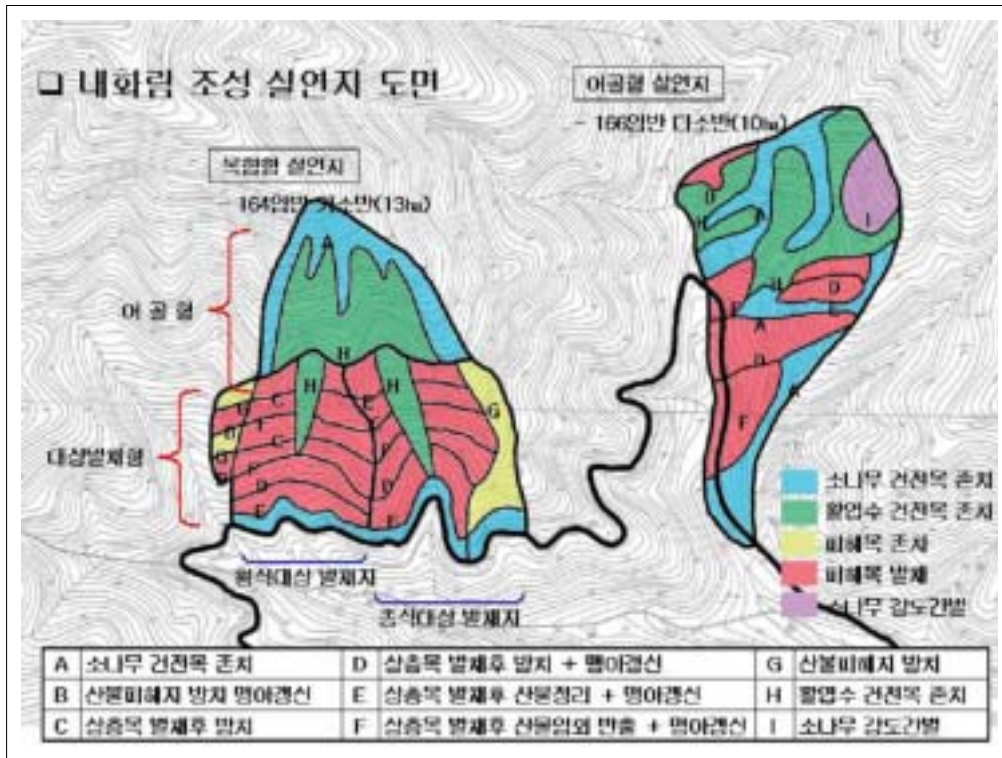
<표 3-4-47> 내화성 임분증진시험 작업량산출

면적 (ha)	수 종	벌채본수 (본)	입목재적 (m <sup>3</sup> )	생산재적 (m <sup>3</sup> )
23.0ha	소 나 무	1,720	156	47
	참나무류	400	12	3
계		2,120	168	50

3) 실연시험지 배치

내화성 임분 조성을 위한 실연지는 복합형과 어골형으로서 이 두가지 형태를 입지조건에 따라 배치하였으며, 복합형 실연지에는 대상형과 어골형 두가지 모두 포함되어 있으며, 어골형은 입지형태와 임분유형에 따라 능선부와 계곡부를 기준으로 배치하였으며, 그 상세한 내역은 <그림 3-4-40>과 같다. A지역은 소나무 건진목 존치구로서 주로 능선부에 해당되며, B지역은 산불피해지방치 맹아갱신구, C지역은 상층목 벌채 후 방치구, D지역은 상층목 벌채 후 방치+맹아갱신구, E지역은 상층목 벌채 후 산물정리+맹아갱신, F지역은 상층목 벌채 후 산물임외 반출+맹아갱신, G지역은 산불피해지 방치구, H지역은 활엽수 건진목 존치구로서 주로 계곡부에 해당되며, I지역은 소나무 강도 간벌구로 각각 배치하였다.





<그림 3-4-40> 산불피해지 내화성 임분 조성 실연지 배치도면

가) 복합형 실연지

(1) 시험지 배치

- 사면하부에는 대상 벌채형을 배치하고, 사면상부와 능선부에는 어골형을 배치하였다. 또한 임도변에는 임연부 보호구를 설치하였다.
- 대상형은 다시 황식 벌채지 6개소와 종식벌채지 6개소를 구분 배치하였고, 그리고 복합형의 동서사면에는 대조구 개념으로 존치구 3곳을 설치하여 실연지와 비교토록 하였다.
- 내화성 임분 증진 시험지의 경계는 계곡과 능선에 위치하도록 하며 시험지 간의 경계를 명확하게 하기위하여 흰색페인트로 가시거리에 일정하게 칠하였다.
- 대상형에서 처리간의 폭은 30m, 길이는 입지형태에 따라 30~60m로 하였다.
- 복합형의 어골형은 능선부의 소나무 건전목 존치구와 계곡부의 활엽수 건전목 존치구를 두었다.
- 임도변 시업구는 등고선 방향 30m 정도의 폭으로 천연림 보육작업의 소극적 도태방법을 적용하는 작업을 실시함.

- 군상 개별지는 잠재식생을 이용하여 활엽수림으로 유도하기 위하여 발생한 우량 맹아목 무육 시업구를 둔다.



<사진 3-4-29> 복합형 실연지 조성 2개월 후

## (2) 작업방법

### ○ 선목 기준 및 방법

- 대상벌채지에서 제거목은 횡식·종식배치구 맹아갱신지의 피해목을 일단 모두 제거 대상으로 표시하고, 상층소나무 임분이 건전한 곳에서는 소나무 피해목과 참나무류는 벌채대상으로 분류함.
- 계곡부에서 소나무는 모두 제거 대상으로 분류함.
- 능선부에서 참나무류는 제거 대상으로 분류함.
- 복합형의 동서사면에 있는 대조구 지역은 자연복원지로 분류 방치한다.
- 능선부의 소나무는 산불 피해목과 불량목만 제거 대상으로 분류함.
- 사면 상부 소나무의 강도 간별구는 피해목과 형질 불량목을 제거대상으로 분류함.

### ○ 벌목 및 가지치기

- 벌목은 기계톱을 사용하며 가지치기는 고지절단기를 사용한다.
- 맹아 재갱신지는 기계톱으로 벌채 후 손톱으로 깨끗하게 다시 한번 자른다.
- 집채대상이 되는 건전목과 정리대상 피해목으로 구분함.

- 가지치기는 소나무 건전목에 한하여 생지·고사지에 실시하며 참나무류는 고사지에 한하여 실시한다. 고지절단기가 도달할 수 있는 최대높이(약 6m) 까지 실시키로 함.
  - 집재
    - 집재는 건전한 소나무에 한하여 실시하였다.
    - 소집재는 집재대상이 되는 전간재를 집재선까지 이동시키는 작업으로 KMF070 원치를 사용하여 실시하였다.
    - 집재 대상목 전체를 소집재하였으며 집재선에 따라 2인 1개조가 되어 실시하였다.
    - 주집재는 집재선상에 있는 전간재를 임도변으로 이동시키는 작업으로 집재 장소의 표토 유실을 막기 위하여 타워야더(HAM200)로 집재하였다.
    - 평균집재거리는 60m로 3인 1개조가 되어 실시하였다.
  - 조재 및 가로채기
    - 조재란 임도변에 집재한 전간재를 일정한 길이로 절단하는 작업으로 본 지역에서는 12자와 6자 크기로 구분 조재하였다.
    - 가로채기란 조재한 통나무를 임도 변에 규격별로 적재하는 작업으로 굴삭기를 이용하여 실시하였다.
  - 지존물 정리작업
    - 복합형 실연지 대상벌채지에서 지존물은 황식 대상 벌채지에서는 황식으로 집재하며 종식 대상 벌채지에서는 사면에 따라 종식으로 지존물을 정리하는 것을 원칙으로 하였다.
    - 어골형의 간벌 또는 천연림보육 작업구는 산물을 가능한 잘게 잘라 지면에 정리.
    - 어골형 지존물 정리는 산불 피해목은 벌근을 50cm 정도를 남기고 절단하고 벌근에 산물을 정리하되, 등고선 방향으로 1열은 산물의 무더기를 길이 10m, 폭 1m, 무더기 간격 5m를 기준으로 하여 정리하고, 1열은 산물의 무더기를 길이 15m, 폭 1m를 기준으로 하여 산물 정리열간 거리를 10m로 하여 교호로 어긋나게 배치하여 정리
    - 대상형 황식 벌채 시업구의 지존물 정리는 등고선 방향으로 산물의 무더기를 길이 10m, 폭 1m, 무더기간격 5m, 산물정리열간 거리를 10m 기준으로 2열 교호로 어긋나게 배치하여 정리한다.
    - 대상형 종식벌채 시업구의 지존물 정리는 입지에 따라 사면 방향으로 1열은 산물의 무더기를 길이 15m, 폭 1m, 무더기간격 5m, 1열은 산물의 무더기를 길이 10m, 폭 1m, 무더기간격 5m 산물정리열간 거리를 10m 기준으로 2열 교호로 어긋나게 배치하여 정리한다.

(3) 갱신 방법

○ 맹아 갱신

- 맹아 갱신 대상지는 피해지 맹아갱신과 맹아 재갱신지로 구분하였다.
- 맹아 갱신지는 피해목 벌채구, 개별구, 피해목 존치구로 구분 기존의 맹아를 보육함.
- 맹아 재갱신지는 피해목 벌채구와 개별구에 대하여 기존의 맹아를 절단하여 맹아력 증진과 지하부 발생부위를 높임.

○ 천연하중갱신

- 복합형 어골형 실연지의 소나무 보육지인 능선부에 대하여 낙엽층제거, 지면굴기 등을 실시하여 유묘의 발생과 생존율을 높임.
- 참나무류의 치수는 소나무의 생육에 지장을 받지 않는 범위에서 존치.

(4) 작업공정

① 장 소

- 복합형 : 강원도 삼척시 원덕읍 임원리 164임반 가소반

② 면 적

- 복합형 : 13ha

③ 작업자 : 산림조합중앙회 임업기계훈련원

내화성 임분 조성을 위한 실연사업지의 조건별 공정조사를 실시하였으며, 조사면적은 현장상황에 따라 유동적으로 선정하여 ha당 공정을 산출하였다.

(5) 작업내용

① 어골형

- 작업목표 : 능선부 소나무 무육, 계곡부 활엽수무육
- 경 사 : 35°
- 방 위 : 65°
- 해 발 : 450
- 산불 피해 정도 : 심
- 구성 수종: 소나무, 굴참나무, 졸참나무, 신갈나무
- 본 사업구는 복합형 실연지 중 사면상부에 해당하는 어골형 실연지로 능선부의 소

나무 무육과 계곡부의 활엽수 무육이 주요한 목표이다. 산불피해는 10~50% 범위로 다양하며 벌목, 가지치기, 끝동 절단, 중간층목을 제거하였으며, 산물은 임내에 방치하였다. 전체 제거물량은 45m<sup>3</sup>으로 계산되었다.

- 기계톱 벌목작업은 3.8인/ha이 소요되었으며, 1인당 작업량은 6.818m<sup>3</sup>으로 나타났다. 본 작업은 벌목, 가지치기, 끝동, 중간층 절단 등이 포함된다.
- 산물 임내 정리 작업은 13인/ha이 소요되었으며, 1인당 하루 3.396m<sup>3</sup> 정리가 가능하였다.
- 어플형 실연지 조성에 5.1인/ha이 소요되는 것으로 나타났다.

## ② 횡식 대상형

- 작업 목표 : 맹아갱신, 맹아보육에 의한 내화성 임분대 조성

- 경 사 : 35°

- 방 위 : 65°

- 해 발 : 345m

- 산불피해정도 : 심

- 구성수종: 소나무

- 본 사업구는 복합형 실연지 중 사면하부에 해당하는 횡식 대상벌채 실연시험지이다. 원식생은 소나무천연림이었다. 실연시험조성은 산불피해지 방치 맹아갱신, 상층목 벌채 후 방치, 상층목 벌채 후 방치+맹아갱신, 상층목 벌채 후 산물정리+맹아갱신, 상층목 벌채 후 산물정리+맹아갱신, 활엽수 건전목 존치, 산불피해지 방치구로 두었다. 산불 피해율은 90% 이상이며, 실제 작업종류는 기계톱 벌목, 정리 작업, 맹아갱신으로 구분되었다.

- 기계톱 벌목작업은 10.2/ha인이 소요되었으며, 1인당 작업량은 3.571m<sup>3</sup>으로 나타났다. 벌목, 가지치기, 끝동, 중간층절단 등이 여기에 포함된다.
- 산물정리는 횡식 정리 맹아 보육작업에서 4.6인/ha이 소요되었으며, 1인당 하루 0.857 m<sup>3</sup> 정리가 가능하였으며, 산물 임내 횡식정리 맹아갱신 8.2인/ha이 소요되었으며, 1인당 8.241m<sup>3</sup> 정리가 가능하였으며, 산물 임외 반출 맹아갱신은 10인/ha이 소요되었으며 하루 1인당 5m<sup>3</sup> 정리하였다.
- 참나무 벌근부 2차 제거에 6.6인/ha이 소요되었다.
- 횡식 대상형 조성에 39.6/ha이 소요되는 것으로 나타났다.

## ③ 종식 대상형

- 작업 목표 : 맹아갱신, 맹아보육에 의한 내화성 임분대 조성
- 경 사 : 34°
- 방 위 : 95°
- 해 발 : 351m
- 산불피해정도 : 심
- 구성수종: 소나무
- 본 사업구는 복합형 실연지 중 사면하부에 해당하는 종식 대상벌채 실연시험지이다. 원식생은 소나무천연림이었다. 실연시험조성은 산불피해지 방치 맹아갱신, 상층목 벌채후 방치, 상층 목벌채후 방치+맹아갱신, 상층목 벌채 후 산물 정리+맹아갱신, 상층 목 벌채 후 산물 정리+맹아갱신, 활엽수 건전목 존치, 산불피해지 방치구로 두었다. 산불피해율은 90% 이상이며, 실제 작업종류는 기계톱벌목, 정리작업, 맹아갱신으로 구분되었다.
- 기계톱 벌목작업은 7.1/ha인이 소요되었으며, 1인당 작업량은 2.758m<sup>3</sup>으로 나타났다. 벌목, 가지치기, 끌동, 중간층 절단 등이 여기에 포함된다.
- 산물 정리에는 종식 정리 맹아 보육작업에서 4.4인/ha이 소요되었으며 1인당 하루 1.363m<sup>3</sup> 정리가 가능하였고 산물의 임내 종식 정리와 맹아갱신에 8.4인/ha이 소요되었으며 1인당 3.636m<sup>3</sup> 정리가 가능하였으며, 산물 임외반출 맹아갱신은 11인/ha이 소요되었으며 하루 1인당 2.857m<sup>3</sup> 정리하였다.
- 참나무 벌근부 2차 제거에 6.8인/ha이 소요되었다.
- 종식 대상형 조성에 38.3인/ha이 소요되는 것으로 나타났다.

#### ④ 임도 변 정리

- 작업 목표 : 임도 변 소나무 및 활엽수 무육
- 해 발 : 300m
- 산불피해정도 : 경
- 본 사업구는 복합형 실연지 중 사면하부에 임도로부터 50m 내에 해당되는 지역을 말한다. 작업은 폭 30m까지는 천연림 보육 수준으로 작업하며, 30~50m는 소나무 장벌기 대경재 생산 100본/ha 사업에 준하여 실행한다.
- 기계톱 벌목작업은 5.6/ha인이 소요되었으며, 1인당 작업량은 3.636m<sup>3</sup>으로 나타났다. 벌목, 가지치기, 끌동, 중간층 절단 등이 여기에 포함된다.
- 발생하는 산물은 임내 정리·방치하였으며 1.9인/ha이 소요되었다.

○ 임도 변 작업에 8.5인/ha이 소요되는 것으로 나타났다.

## 나) 어골형 실연지

### (1) 시험지 배치

- 어골형은 사면에 따라 능선부 소나무 무육구와 계곡부 활엽수 무육구로 구분 배치하였다.
- 어골형 사면 하부에는 맹아 갱신구와 맹아 보육구를 배치하였다.
- 사면 상부에는 소나무 강도 간벌 처리구를 배치하였다.



<사진 3-4-30> 어골형 실연지 조성 3개월 후

### (2) 작업방법

#### ○ 선목 기준 및 방법

- 능선부의 소나무 무육구는 벌도에 앞서 산불 피해 정도에 따라 존치목과 제대상목을 선정하여 비닐끈으로 표시하였으며 제대상목은 생존 가능성이 없는 소나무(피해율 60% 이상)와 고사된 참나무류에 대해 벌채하도록 하였다.
- 계곡부 활엽수 무육구는 건전한 참나무류의 모든 수종을 제거대상으로 분류 표시하였다.
- 사면하부의 맹아 갱신구와 맹아 존치구에서는 모든 상층목을 개별토록 하였다.

#### ○ 벌목 및 가지치기

- 집제대상인 건전한 소나무는 전간집제를 위하여 벌도 후 벌도목의 잔가지와 벌도목

의 초두부를 절단하였다.

- 벌목은 기계톱을 사용하며 가지치기는 고지 절단기를 사용한다.
- 맹아 재갱신지는 기계톱으로 벌채한 후 손톱으로 깨끗하게 다시 한번 자른다.
- 집재 대상인 건전목과 정리대상 피해목으로 구분함.
- 가지치기는 소나무 건전목에 한하여 생지·고사지에 실시하며 참나무류는 고사지에 한하여 실시한다. 고지절단기가 도달할 수 있는 최대높이(약 6m) 까지 실시키로 함.
- 임도 변 100m 까지 흉고직경 16cm 이상의 이용 가능한 산물을 최대한 수집.

○ 집재

- 벌채목 집재는 소나무 건전목과 피해 정도가 약한 나무로 한정하였다.
- 소집재는 집재대상이 되는 전간재를 집재선까지 이동시키는 작업으로 KMF070 원치를 사용하여 실시하였다.
- 집재 대상목 전체를 소집재 하였으며 집재선에 따라 2인 1개조가 되어 실시하였다.
- 주집재는 집재선상에 있는 전간재를 임도변으로 이동시키는 작업으로 집재 장소의 표토유실을 막기 위하여 타워야더(HAM200)로 집재하였다.
- 평균 집재거리는 60m로서 3인 1개조가 되어 실시하였다.

○ 조재 및 가로재기

- 조재란 임도 변에 집재한 전간재를 일정한 길이로 절단하는 작업으로 본 지역에서 12자와 6자크기로 구분 조재하였다.
- 가로재기란 조재한 통나무를 임도 변에 규격별로 적재하는 작업으로 굴삭기를 이용하여 실시하였다.
- 조재 후 가로재기 한 최종 수확임목은 50m<sup>3</sup> 이다.

○ 지존물 정리작업

- 간벌 또는 천연림보육실시 작업지역은 산물을 가능한 잘게 잘라 지면에 정리
- 균상개별 실시지역은 산물 피해목의 벌근을 50cm 정도 남기고 절단하고 벌근에 산물을 정리하되 등고선 방향으로 산물의 무더기를 길이 15m, 폭 1m, 무더기 간격 5m, 산물정리 열간 거리 10m 기준으로 교호로 어긋나게 배치하여 정리.
- 산물이 많을 때에는 무더기 길이를 10m로 하여 정리.

(3) 갱신 방법

○ 맹아 갱신



- 맹아 갱신 대상지는 피해지 맹아갱신과 맹아 재갱신지로 구분하였다.
- 맹아 갱신지는 피해목 별채구, 개별구로 구분 기존의 맹아를 보육함.
- 맹아 재갱신지는 피해목 별채구와 개별구에 대하여 기존의 맹아를 절단하여 맹아력을 증진하고 지하부 발생 부위를 높임.
- 천연 하층 갱신
  - 어골형 실연지의 소나무 보육지인 능선부에 대하여 지면굴기 등을 실시하여 유묘의 발생과 생존율을 높임.

#### (4) 작업 공정

##### ① 장 소

- 어골형 : 강원도 삼척시 원덕읍 임원리 165임반 다소반

##### ② 면 적

- 어골형 : 10ha

##### ③ 작 업 자 : 산림조합중앙회 임업기계훈련원

내화성 임분 조성을 위한 실연사업지의 조건별 공정조사를 실시하였으며, 조사면적은 현장 상황에 따라 유동적으로 선정하여 ha당 공정을 산출하였다.

- 별채면적 : 5.0ha
- 보육면적 : 5.0ha (천연림 보육작업)
- 집재면적 : 2.0ha
- 갱신면적 : 1.27ha(하층 제거 1.0ha, 하층 존치 0.27ha)
- 별 채 량 : 530m<sup>3</sup>
- 집 재 량 : 70.6m<sup>3</sup>

##### ④ 작업 내용(표준지 사례조사)

###### □ 산불 피해 20%(1번구)

- 작업 목표 : 상층목 조절에 의한 맹아갱신
- 경 사 : 18°
- 방 위 : 110°
- 해 발 : 180

- 산불 피해 정도 : 중
- 구성 수종: 소나무, 갈참나무, 졸참나무
- 본 작업구는 살아있는 나무가 80% 정도 존재하고 있는 사면부로서 벌도, 절동, 하층 맹아보육, 산물정리 작업을 실시하였으며, 또한 건전한 소나무의 경우 하산하여 조재 및 집재를 실시하였는데 전체작업량은 25.2m<sup>3</sup>이었고, 구성수종은 상층에 소나무가 우점하고 있으며, 하층에 참나무류가 산생하고 있던 임분이다. 상층 소나무의 피해정도는 수피부분만 피해흔적이 남아있고 현재까지 산불에 의한 고사는 20% 미만으로 추정되는 임분이다.
- 조사 표준지면적은 0.25ha이며 벌목, 지존작업, 집재작업을 시행하였다.
- 조사지내 집재량은 8.4m<sup>3</sup>이며, 4종류의 장비가 투입되어 작업하였다.
- 벌목작업(가지치기, 절동 포함)에는 ha당 1일 10인이 소요되었으며, 하층의 맹아갱신 작업에는 5.3인/ha, 총 15.3인/ha이 소요되었다.
- 지존산물을 등고선 방향으로 횡식 정리하기 위해서는 ha당 16.8인이 필요하며 이는 집재를 전제로 할 경우임. 즉, 수간을 수집하고 나머지 지존물만 정리할 경우임.
- 집재작업에는 4가지 장비를 투입하여 작업할 경우 필요한 인력을 산출하였으며, 1인이 작업시 1일 25.2m<sup>3</sup>의 가로쌓기를 할 수 있었다.
- 1번 시험구의 면적은 0.25ha, 집재체적 8.4m<sup>3</sup> 고려시 1번구와 유사한 지역의 집재를 위한 ha 인력공정은  $(8.4\text{m}^3/0.25\text{ha})/2.52\text{m}^3/\text{인}/\text{일} = 13.33\text{인}/\text{ha}$  소요되었음.

□ 산불피해 50%(2번구)

- 작업목표 : 상층목 벌채(개벌)에 의한 맹아갱신
- 경 사 : 25°
- 방 위 : 155°
- 해 발 : 200
- 산불피해정도 : 심
- 구성수종: 소나무, 굴참나무, 졸참나무
- 본 작업구는 산불로 인한 피해가 50% 정도 존재하고 있는 계곡부로서, 벌목, 중간층 절단 하층 맹아 보육, 산물 정리 작업을 실시하였으며, 또한 건전한 소나무의 경우 가지치기를 실시하였다. 구성수종은 대부분 능선부 소나무와 계곡부 활엽수로 구성된 임분이다. 산불피해로 인한 활엽수와 소나무를 제거하였으며 산물정리는 횡식정리작업을 실시하였다. 본 작업지는 고사목을 대상으로 하였기 때문에 산물의 집재는

필요하지 않았으며 맹아갱신을 실시하였다.

- 벌목작업(가지치기, 절동 포함)에는 ha당 1일 15.7인이 필요하며 하층맹아갱신 작업에 3.5인 총 19.2인/ha이 소요되었다.
- 벌채 산물을 등고선 방향으로 정리하기 위해서는 ha당 23.7인이 필요하며 이는 고사목의 주간과 나머지 가지 등 산물을 일괄 정리하는데 소요인원이었음.
- 조사지역에 총 소요되는 인원은 42.9인이 소요되었다.
- 고사목에 대한 집재는 하지 않았다.

□ 산불 피해 20%(3번구)

- 작업 목표 : 상층목 벌채에 의한 맹아갱신
- 경 사 : 25°
- 방 위 : 178°
- 해 발 : 180
- 산불 피해 정도 : 중
- 구성 수종: 소나무, 굴참나무, 졸참나무
- 본 작업구는 산불 피해가 30% 정도 존재하고 있는 사면부로서 벌도, 절동, 하층 맹아보육, 산물 정리 작업을 실시하였으며, 또한 건전한 소나무의 경우 하산하여 조재 및 집재를 실시하였는데 전체 작업량은 24.42m<sup>3</sup>이었고, 구성 수종은 상층에 소나무가 우점하고 있으며, 하층에 참나무류가 산생하고 있던 임분이다. 상층 소나무의 피해 정도는 개체목에 따라 차이는 있으나 산불에 의한 고사는 30% 정도로 추정되는 임분이다.
- 조사 표준지 면적은 0.37ha이며 벌목, 지존 작업, 집재 작업을 시행하였다.
- 벌목 작업(가지치기, 절동 포함)에는 ha당 1일 13.5인이 필요하며, 하층맹아갱신작업 실행에 4인, 총 17.5인/ha이 소요되었다.
- 지존산물을 등고선 방향으로 정리하기 위해서는 ha당 17.8인이 필요하며 이는 집재를 전제로 할 경우 임. 즉, 수간을 수집하고 나머지 지존물만 정리할 경우 임.
- 집재작업에는 4가지 장비를 투입하여 작업할 경우 필요한 인력을 산출하였으며, 1인 작업 시 1일 24.42m<sup>3</sup>을 집재할 수 있었다.
- 기계에 의한 집재는 하루에 8.1m<sup>3</sup>, 굴삭기에 의한 내리기는 36.6m<sup>3</sup>, 전간재 조재는 24.42m<sup>3</sup>, 굴삭기에 의한 가로 쌓기는 24.42m<sup>3</sup>의 작업을 수행할 수 있었다.

□ 산불 피해 10%(4번구)

- 작업 목표 : 상층목 조절에 의한 맹아 보육
  - 경 사 : 30°
  - 방 위 : 166°
  - 해 발 : 220m
  - 산불 피해 정도 : 중
  - 구성 수종: 소나무, 졸참나무
  - 본 작업구는 산불 피해가 10% 정도 존재하고 있는 사면 상부로서 벌목, 가지치기, 끌동 절단, 중간층목 제거, 하층 맹아 보육, 산물 정리 작업을 실시하였으며, 또한 건전한 소나무의 경우 하산하여 조재 및 집재를 실시하였는데 전체 작업량은 19.5m<sup>3</sup>이었고, 구성 수종은 상층에 소나무가 우점하고 있으며, 하층에 졸참나무가 산생하고 있는 임분이었다. 상층 소나무의 피해 정도는 개체목에 따라 차이는 있으나, 산불에 의한 고사는 10% 정도로 추정되는 임분이었다.
  - 조사 표준지 면적은 0.27ha이며 벌목, 지존작업, 집재작업을 시행하였으며 전체 작업량은 19.5m<sup>3</sup>이었다.
  - 벌목 작업(가지치기, 절동 포함)에는 ha당 1일 14.8인이 소요되었다.
  - 발생한 산물을 등고선 방향으로 정리하기 위해서는 ha당 12.2인이 필요하며 이는 집재를 전제로 할 경우 임. 즉, 수간을 수집하고 나머지 지존물만 정리할 경우 임.
  - 집재 작업에는 4가지 장비를 투입하여 작업할 경우 필요한 인력을 산출하였으며, 1인 작업 시 1일 19.5m<sup>3</sup>을 집재할 수 있었다.
  - 기계에 의한 집재는 하루에 4.32m<sup>3</sup>, 굴삭기에 의한 내리기는 39m<sup>3</sup>, 전간재 조재는 19.5m<sup>3</sup>, 굴삭기에 의한 가로 쌓기는 19.5m<sup>3</sup>의 작업을 할 수 있었다.
- \* 작업 노선 정리
- 작업 노선 정리는 임종과 임상에 따라 달라지며, 노선 거리의 차이도 발생한다.
- 천연림 : 41~66.7m, 인공림 : 50~83.33m, 활엽수 : 37.5m/시간
  - 노선거리 : 200~350m

## 5. 임분밀도 관리를 통한 내화성 임분 조성

### 가. 내화성 임분 조성의 필요성

우리 나라의 경우 산불피해지의 대부분이 소나무를 중심으로 하는 침엽수림대에서 주로 발생하고 있는 실정이며 강원도 고성산불, 동해안 산불피해 실태조사 및 청양·예산 산불피해지 현지조사 결과 소나무 단순림 보다 침·활 혼효림 또는 활엽수단순림에서 피해도가 낮은 것으로 나타났다.

그러므로 산불피해지에 대한 직접적인 피해지 복구와 함께 장래에 발생할 수 있는 산불에 대한 내화력을 갖는 내화성 임분을 조성하거나 또는 자연력을 최대한 활용하여 유도하는 시업법 적용은 매우 중요하다 할 수 있을 것이다.

### 나. 내화성 임분 조성 의사결정

임분밀도 관리를 통한 내화성 임분 조성을 위한 의사결정에 앞서 2000년 동해안 산불 피해지역 정밀조사 결과를 중심으로 피해 지역의 산림지리정보 자료와 피해 발생 전의 임분 구조 조사 자료를 활용하여 분석한 결과 산지형은 고성, 강릉, 울진지역을 중심으로 출현하는 구릉지대, 삼척지역을 중심으로 출현하는 산악지대, 동해지역의 복합산지대의 3가지 유형으로 구분되었다.

전 지역에 걸쳐 전생 임분은 입지 형태에 따라 약간의 차이는 있으나 소나무림, 활엽수혼효림, 침·활혼효림으로 구성되어 있으나, 소나무 단순림 형태가 대부분을 차지하고 있다. 내화성 임분 조성은 산불 피해지의 복구적인 차원에서 조성하거나 인위적으로 침활 혼효림 또는 활엽수림을 조성하는 방법과 건전한 소나무림의 밀도관리를 통하여 하층의 활엽수를 유도하여 혼효림으로 전환시키는 간접적인 방법이 있으나, 본 연구에서는 가능한 입지 형태와 임분 유형에 따라 그 방법을 달리하여 하층에서 생육하고 있는 활엽수의 생장을 조장시키고 하층에 참나무류의 용기묘를 식재하는 변형된 방법을 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단되어 임분 유형 입지에 따른 내화성 임분 조성 방법을 결정하였다.

#### 1) 산불 피해지 내화성 임분 조성의 의사결정

산불 피해 지역에서의 내화성 임분 조성에서는 입지인자를 결정인자로 하였다.

산악지의 능선발달이 뚜렷한 단순지형에서는 능선과 계곡을 이용하여 능선부에는 소나무림을 무육하고, 산복부와 계곡부에는 활엽수와 참나무림을 무육하는 어골형 형태로 조성

한다. 지형이 복잡한 복합산지대에는 사면의 능선부에는 어골형, 능선 발달이 미약한 사면의 하부에는 대상형을 적용 국소지형에 따라 횡식·종식을 적절히 배치시킨 복합형 내화성 임분을 조성하는 것을 원칙으로 한다.

벌채면은 소면적일 경우에는 전면을 대상으로 실시하고, 대면적일 경우에는 종식·횡식 대상(폭은 20~30m)으로 교호로 실시하는 것이 작업상 유리하다. 이때, 벌채 대상목을 가능한 직경급 16cm 이상으로 선목하여 벌채·수집하면 목재 이용이라는 자원 활용과 내화성 임분 조성이라는 일석이조의 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

## 2) 비산불임지에서의 내화성 임분 조성을 위한 의사 결정

건전한 소나무림의 경우 산불 피해 위험의 유무가 1차 결정 기준이 된다. 산불 피해 우려가 있는 소나무림의 경우, 임분 발달 상태를 나타내는 영급이 2차 결정인자로 5영급 이상과 미만의 임분으로 구분한다.

5영급 이상의 임분은 1회 상층목 조절을 통하여 소나무 상층목 100본/ha를 잔존시키고 하층에 참나무류 등의 활엽수층을 유도하며, 하층이 빈약한 경우에는 활엽수(참나무류)를 식재하여 하층을 보완한다. 이 경우 대경재 생산사업방법을 병행하여 실시한다.

5영급 미만의 임분은 1차로 무육작업을 실시하여 임목밀도를 조절하고 1차 작업 10년 이후 2차 작업 시에 상층목 무육을 통하여 소나무 상층목 임목본수를 100본/ha로 조절한다. 2차 작업을 거치는 동안 하층의 활엽수(참나무류)가 자리를 잡도록 한다. 산불피해 우려가 없는 소나무 임분은 산림자원관리지침에 따라 생산 목표별(대경재, 중경재 등) 소나무림 시업을 실시한다.

임도 주변의 내화성 임분 조성은 산불 피해 우려지의 임분은 임도로부터 50m이내를 내화성 임분 조성 대상으로 한다. 즉, 임도로부터 50m 이내는 천연림 보육을 실시하고, 20~50m사이는 5영급이하의 경우 2~3회의 상층목 조절을 통하여 상층 소나무 100본/ha, 하층 활엽수로 구성된 내화성 임분을 유도하고 5영급 이상의 임분은 1회 상층목 조절로 상층 소나무 100본/ha, 하층 활엽수로 구성된 내화성 임분을 조성한다<그림 3-4-41>.

또한, 내화성 임분 조성 의사 결정 과정에서 산불 발생 후 피해 확산 방지 등을 목적으로 내화성 임분을 조성할 경우에는 본 의사 결정 흐름도를 기준으로 하여 해발고, 사면 길이, 관계 위치 및 임연부 등을 고려한 세부적인 의사 결정 흐름도를 작성할 수 있을 것으로 판단된다.



<그림 3-4-41> 내화성 임분 조성 의사결정 흐름도

#### 다. 생산 목표별 건전 소나무림 시업 체계

##### 1) 우량 중경재 생산 소나무 임분

- 대상 : 적정 관리된 임분
- 생산목표 및 윤벌기
  - 생산목표는 일반재중 흉고직경 20~35cm의 중경재이며
  - 윤벌기는 50년으로 천연갱신은 임령 45년에 시작한다.
- 무육목표
  - 밀식 조립으로 최소의 무육을 통한 시업 성력화와
  - 수확 재적 최대화를 무육 목표로 한다.
- 조립
  - 식재 분수는 4,000본으로 하고 묘목은 1-1을 사용하고
  - 식재 방법은 정조식(1.6×1.6m)이나 부분 밀식으로 한다.
- 무육
  - 풀베기는 2회를 실시한다.

- 어린 나무 가꾸기는 1회를 실시하며 실시 시기는 임령 8년에 실시하며 작업 후 잔존 본수는 최소 2,000본/ha이다.
  - 간벌은 2회 실시한다. 1차 간벌은 임령 15년에 실시하며 잔존 본수는 최소 1,100본이며 상층 강도 간벌로 실시한다. 2차 간벌은 임령 30년에 실시하며 최소 잔존 본수는 600본이며 상층 강도 간벌을 실시한다.
- ※ 이후 수확기까지 간벌을 실시하지 않는다.

## 2) 우량 대경재 생산 소나무 임분

- 대상 : 적정 관리된 임분
  - 생산 목표 및 윤벌기
    - 생산 목표는 고급재 흉고직경 35cm 이상의 대경재이며
    - 윤벌기는 80년으로 천연 갱신은 임령 70년에 시작한다.
  - 무육 목표
    - 밀식 조림과 가지치기로 임목 형질을 향상시키고
    - 적정 무육을 통한 고급용재의 생산을 최대화하는 것을 무육 목표로 한다.
  - 조림
    - 식재 본수는 6,000본/ha로 하고 묘목은 1-1묘를 사용하고
    - 식재 방법은 정조식(1.3 × 1.3m)이나 부분 밀식이나 5본 군상으로 한다.
  - 무육
    - 풀베기는 2회를 실시한다.
    - 어린 나무 가꾸기는 1회를 실시하며 실시 시기는 임령 8년(4,000본), 12년에 실시하며 2차 어린 나무 가꾸기 후 잔존 본수는 최소 2,500본/ha이다.
    - 간벌은 3회 실시한다. 1차 간벌은 임령 18년에 실시하며 잔존 본수는 최소 1,200본이며 상층 강도 간벌로 실시한다. 2차 간벌은 임령 30년에 실시하며 최대 잔존 본수는 600본이며 상층 강도 간벌을 실시한다. 3차 간벌은 임령 50년에 실시하며 최대 잔존 본수는 350본이며 하층 강도 간벌을 실시한다.
- ※ 이후 수확기까지 별도의 간벌을 실시하지 않는다.
- 가지치기는 2회를 실시한다. 1차 가지치기는 임령 12년에 높이 2~3m까지 실시하고 2차 가지치기는 임령 18년에 높이 5~6m까지 실시한다. 가지치기 대상목은 우량목에 한정한다.



3) 특수 대경재 생산 소나무 임분

- 대상 : 5영급 이상 피해 우려 산림
  - 생산 목표
    - 생산 목표는 고급 특수재 흉고직경 50cm 이상의 대경재이며
    - 윤벌기는 120년 이상, 천연갱신은 임령 110년 이상에서 시작한다.
  - 무육 목표
    - 가지치기로 임목 형질을 향상시키고
    - 강도 간벌을 통한 시업 성력화로 조기에 고급 특수재의 생산을 무육 목표로 한다.
  - 무육 천연림 보육
    - 풀베기는 1~2회를 실시한다.
    - 어린 나무 가꾸기는 1~2회를 실시하며 실시 시기는 임령 8년, 12년에 실시하며 2차 어린 나무 가꾸기 후 잔존 본수는 최소 1,800본/ha이다.
    - 간벌은 3회를 실시하며 도태간벌을 실시한다.
  - 1차 간벌은 임령 20년에 실시하며 미래목은 ha당 150본 내외로 선정한 후 미래목 경쟁목과 불량목 등을 제거한다. 잔존 본수는 최소 900본이다.
  - 2차 간벌은 임령 35년에 실시하며 미래목 경쟁목과 불량목 등을 제거한다. 잔존본수는 최소 400본이다.
  - 3차 간벌은 임령 60년에 실시하며 최대 잔존본수는 250본이며 하층 강도간벌을 실시한다.
- ※ 이후 수확기까지 간벌을 실시하지 않는다
- 가지치기는 3회를 실시한다. 1차 가지치기는 임령 12년에 높이 2~3m까지, 2차 가지치기는 임령 18년에 높이 5~6m까지 그리고 3차 가지치기는 임령 40년에 8~9m까지 실시한다. 가지치기 대상목은 우량목에 한정한다.
- <표 3-4-48>은 자원 조성 관리 지침의 무육 체계로 소나무 임분 관리의 기준이 된다.

<표 3-4-48> 소나무·해송 임분 시업 체계(자원 관리 지침)

구 분	목 표 생산재	목 표 별기령	횃 수	시 기	가지치기 높이/실행(잔존) 본수
가지치기	우량 중경재	50년	1회	15년	4m/1,000본
	우량 대경재 이상	80~120년	1회 2회	18년 30년	4m/600본 6m/350본
어린 나무 가꾸기	일반 소경재	30년	1회	8년	2,500본
	우량 중경재	50년	1회	8년	2,000본
	우량 대경재 이상	80~120년	1회 2회	8년 12년	4,000본 2,500본
숙아베기	일반 소경재	30년	1회	18년	1,300본
	우량 중경재	50년	1회 2회	15년 30년	1,100본 600본
	우량 대경재	80년	1회 2회 3회	18년 30년 50년	1,200본 600본 350본
	우량 대경재 (특수재)	120년	1회 2회 3회	20년 35년 60년	1,000본 500본 300본

□ 내화성 소나무림 관리 기준

위의 생산 목표별 건전 소나무림 시업 체계를 토대로 하여 다음과 같이 내화성 소나무림 관리 기준의 예를 제시하고자 한다.

▣ 산불 피해지의 경우

- 상층 내화성 임분 조성 유형

입지형	내화성 임분 유형	상층수목	하층식생 유도
산악지	어골형	능선부 존치	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기존식생 무육</li> <li>• 맹아갱신</li> <li>• 수하식재</li> </ul>
	복합형	능선부 어골형 + 산복부 대상형	
구릉지	대상형	종식대상, 횡식대상	

- 어골형

- 지형 특성 : 능선 발달이 뚜렷한 지역
- 능선부 : 소나무림대로 유도
- 산복부 • 계곡부 : 소나무를 제거하고 활엽수는 무육하여 활력 증진

- 복합형

- 지형 특성 : 산지 상부는 능선 발달, 하부는 구릉성 산지가 복합적으로 나타나는 지역
- 산지 상부 : 능선부는 어골형으로 유도
- 능선 발달이 미약한 산복부는 대상형으로 유도
- 계곡부 활엽수는 보육

- 대상형

- 지형 특성 : 구릉성 산지
- 갱신면 : 종식 • 횡식으로 구분
- 갱신폭 : 30m를 기준으로 하여 적용

- 하층 식생 유도

- 기존 하층 식생이 피해를 받아 재생이 곤란한 지역 : 수하식재, 맹아갱신
- 기존 하층 식생이 일부 피해를 받은 경우 : 맹아갱신, 기존식생 보육
- 기존 하층 식생이 미약한 피해를 받았거나 피해를 입지 않은 경우: 기존 식생 보육, 맹아갱신

- 산물의 처리

- 상층 제거 산물은 지형 및 현장 조건에 따라 방치, 피해지 내 정리, 반출 등 적용
- 피해지 내 방치의 경우 하층식생의 유입 • 관리상 불리
- 상층 제거 산물은 임내 정리 또는 반출하는 것이 내화성 임분 관리 • 조성에 유리

- 건전 소나무림의 경우

- 상층림 조절 유형

임지 구분	영 급	상 층 조 절	하층식생 유도
피해 우려 임지	5영급 이상	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 100본/ha로 유도</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기존식생 무육</li> <li>• 맹아 갱신</li> <li>• 수하 식재</li> </ul>
	5영급 미만	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 생육 단계별로 적정 밀도 유지 (수 회의 간벌을 통하여 4영급에서 300본/ha 유지)</li> <li>• 5영급에서 100본/ha 유도</li> </ul>	
정상 임지	생산 목표별 시업 체계 적용(산림 자원 관리 지침)		-

가) 피해 우려 임지

생육 단계상 해당 임령에 비하여 과밀하거나 단순림으로 산불 발생 및 피해 우려가 높은 임지

(1) 5영급 이상인 임분

- 생장·형질이 우량한 상층목 소나무 100본/ha를 임지에 고르게 배치

(2) 5영급 미만 임분

- 생육 단계에 맞는 간벌(적정, 강도) 실시
- 4영급까지 상층목 본수를 소나무 300본/ha으로 적절하게 유도
- 5영급 이상이 되면 소나무 상층목 100본/ha으로 조절

나) 정상 임지

생육 단계상 정상 임분 밀도 및 임분 구조를 갖고 있거나 시업을 실시하는 임지

- 생산목표별로 우량 중경재, 우량 대경재, 특용·소경재 등에 맞는 시업 체계 적용

- 하층식생 유도

- 기존 하층식생이 발달한 지역 : 기존식생 보육, 맹아갱신
- 기존 하층식생이 빈약한 지역 : 맹아갱신, 수하식재
- 기존 하층식생이 없는 지역 : 수하식재

- 임도변 관리

- 임도를 중심으로 상·하 각 50m를 관리지역으로 설정

- 임도변 상·하 20m 지역은 천연림 보육을 실시하여 임분구조를 안정화
- 임도변 천연림 보육을 실시한 지역 이상(임도변 20~50m)에서는 피해우려 임지의 상층림 관리 유형에 준하여 실행

## 6. 결과 요약

임분밀도관리를 통한 내화성 임분 조성기법 개발을 위한 현지조사 및 분석 그리고 실연지 조성 전과 후의 임분변화 조사결과를 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

산불피해지의 임지 특성 파악을 위해, 고성, 강릉, 울진지역 산불 피해지의 산림지리정보자료와 임분구조 조사자료를 분석한 결과, 구릉지대, 산악지대, 동해 지역의 복합산지대의 3개 유형을 구분할 수 있었다. 구릉지대는 대부분 표고 100m 이하 지역에, 산악지대는 해발 400m 이상의 지역이 상당부분 분포하고 있었으며, 복합산지대는 해발 200m 이하 지역에 대부분 분포하고 있었다. 유형별 피해 상황을 보면 구릉지가 대부분 소나무단순림으로 이루어져 가장 큰 피해를 입었고, 산악지대는 소나무림이 많았지만 활엽수혼합림과 침활혼효림이 상당수 있어 상대적으로 약한 피해를 입었으며, 복합산지대는 활엽수림과 혼효림의 비율이 높아 피해도가 가장 낮은 것으로 나타났다.

산불피해지의 임상 및 임목생육특성 조사를 위해 각 임지 유형별로 임분유형을 분석한 결과, 구릉지대는 소나무림, 참나무류 혼효림, 해송림, 아까시나무림, 현사시림의 5개 임분유형, 산악지대는 굴참나무림, 리기다소나무림, 참나무류 혼합림, 신갈나무림, 소나무-굴참나무 혼합림, 사방조림지 임분, 해송림, 잣나무림의 9개 임분유형, 복합산지대는 소나무림, 참나무류 혼합림, 신갈나무림의 3개 임분유형으로 구분되었다. 이러한 임분유형에서 소나무는 가장 중요한 상층 수종으로 대부분의 지역에서 나타나고 있으며, 일부 계곡부는 참나무류가 우점하고 있었다. 삼척산불피해지의 전생임분구조를 파악하기 위한 조사 결과, 소나무는 교목층에서 91.16%의 중요치를, 참나무류는 1.10~3.09%의 중요치를 보여, 이 지역의 절대적인 우점수종이 소나무임을 보여주었으나, 아교목층과 관목층에서는 매우 낮은 수치를 보여서, 이러한 관목층에서의 소나무 우점이 장기적으로 계속되기는 힘들 것으로 보였다.

참나무류는 산불 피해를 줄이기 위한 내화성 임분 조성에서 중요한 위치를 점하고 있는 수종으로서, 산불 피해 후 발생한 참나무류 맹아는 내화성 수종으로의 전환과 피해지 복구에서 필수적이다. 참나무류의 산불피해유형은 줄기 일부에 그을음만 있는 경우(I형), 줄기 일부가 잔존된 경우(II형), 지상부는 거의 타고 지체부 일부만 잔존된 경우(III형),

지상부가 완전히 소실된 경우(IV형)의 4유형으로 구분되었으며, 피해유형에 따라 임목의 생육상태 및 맹아발생 형태가 다르게 나타나고 있었다.

산불 피해 후 발생한 맹아의 성장에서 가장 문제점은 심재 부후로서 신갈나무의 경우 산불피해지는 85%, 비산불임지는 57%의 부후가 일어나고 있었으며 이로 인한 고사율은 65%에 달하고 있었다. 따라서 산불피해지에서 맹아를 이용하여 참나무림을 조성하기 위해서는, 피해지에서의 참나무류 갱신 구조를 파악하고, 부후가 잘 일어나지 않는 지제부 맹아 발생을 유도하기 위한 시업과, 그루터기 밀도가 ha 당 2000본 이하인 경우 보완식재나 천연하중 및 파종이 필요할 것으로 보인다.

산불피해를 입지 않은 건전한 소나무림을 내화성이 강한 임분으로 유도하고 피해를 입은 소나무림의 내화력을 증진시키기 위하여 건전소나무림과 피해지 소나무림에 내화성 임분 실연지를 각각 조성하였다. 내화성 임분 조성에 이용한 기본 방법은 대상개별형(종식, 횡식)과 어골형의 2가지로서, 산지 유형에 따른 이들 방법의 적용원칙은 구릉지대는 대상개별형, 산악지대는 어골형, 복합산지대는 2방법 모두를 병행 적용하였다. 실연지 조성에는 이들 방법을 두가지 형태로 적용하였는데, 첫째는 어골형을 단독으로 적용한 경우이고, 두번째는 복합형으로서 한 임지 내에 어골형과 대상형을 혼합하여 내화성 임분을 조성하였다..

건전소나무림 내화력 증진 실연지를 강원도 삼척시 노곡면 중마읍리 소재 삼척관리소 관할 국유림 99-나,다 소반에 3.1ha 면적으로 조성하였으며, 이 실연지에는 대상개별형 방법을 적용하였다. 종식대상 별채시험구는 8개소, 횡식은 6개소를 설치하여, 그 안에서 소나무 임분밀도를 적정간벌, 강도간벌, 300본/ha 존치, 100본/ha 존치의 4가지 방법을 적용하여 조절하였다. 또한 실연지 조성 과정에 따른 작업별 소요인원과 시간을 측정하여 내화성 임분 증진시업에 대한 잠정적인 공정을 분석하였으며 조성 후의 임분변화와 맹아 발생 및 성장량을 조사·분석하였다.

시업 후 임분밀도 변화를 보면 적정간벌구는 725본/ha에서 600본/ha로, 강도간벌구는 630본/ha에서 450본/ha로, 300본 존치구는 630본/ha에서 325본/ha로, 100본 존치구는 675본/ha에서 150본/ha로 감소하였으며 여기에 따라 재적과 흉고단면적도 감소하였고, 흉고 직경과 수고 형상비는 증가 추세를 보였다. 밀도조절을 위해 선목한 소나무는 총 398본이었고, 간벌량은 62.47m<sup>3</sup>, 반출량은 47.73m<sup>3</sup>이었다.

맹아발생 상황을 보면, 임내의 참나무류는 굴참나무, 졸참나무, 신갈나무, 상수리나무의 4종으로, 전체적으로 그루터기당 2~7개의 맹아 발생을 보였으며 ha당 맹아 발생수는 20,200~21,800개를, 수종별 평균 맹아고는 60~250cm의 범위를 보였다. 치수발생량은 전

체적으로 비슷한 경향을 보여 소나무는 2,500~4,000본/ha, 참나무류는 300~900본/ha의 범위로 나타났다.

산불 피해지 내화력 증진 실연지는 강원도 삼척시 원덕읍 임원리 소재 국유림에 조성하였으며, 166임반 다소반에는 10ha의 어골형 실연지를, 166임반 가소반 13ha에는 복합형 실연지를 조성하였다.

실연지는 소나무건전목 존치구, 활엽수건전목 존치구, 피해목존치구, 피해목벌채구로 구분하였으며, 그 안에서 9개 유형의 시업구를 어골형, 복합형(횡식대상벌채지, 종식대상벌채지) 실연지에 조성하였다. 또한 실연지 조성 과정에 따른 작업별 소요인원과 시간을 측정하여 내화성 임분 증진시업에 대한 잠정적인 작업공정을 분석하였으며 조성 후의 임분변화, 각 처리별 치수 및 맹아발생량과 성장량을 조사·분석하였다.

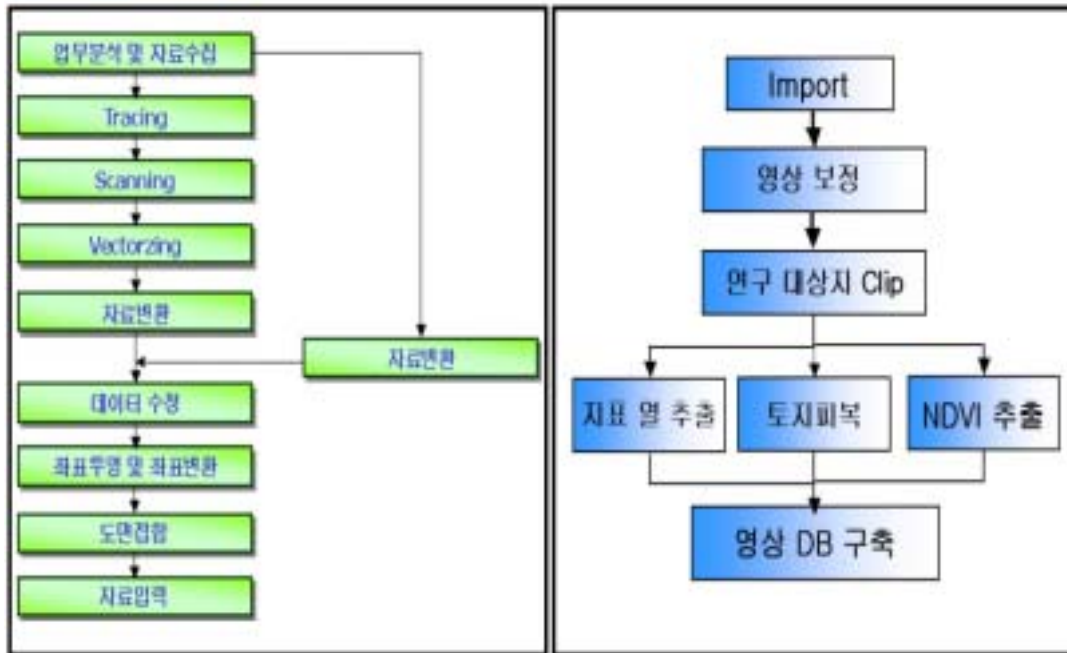
맹아 발생 상황을 보면, 임내의 참나무류는 굴참나무, 졸참나무, 신갈나무, 갈참나무의 4종으로, 전체적으로 그루터기당 평균 2~15개의 맹아 발생을 보였으며 ha당 맹아발생수는 8,400~64,400개를, 수종별 평균 맹아고는 32~190cm의 범위를 보였다. 치수발생량은 소나무 1,800~12,500본/ha, 참나무류는 400~5,000본/ha의 범위로 나타났다.

또한 앞으로의 내화성 임분 조성을 위한 작업공정의 기초자료로서 실연지 조성과정의 작업공정을 분석한 결과 일반적인 시업보다는 많은 인력과 시간이 소모되는 것으로 나타났다. 위의 결과들을 토대로 산불피해지와 비피해지에서의 내화성 임분 조성을 위한 의사결정체계를 수립하였으며, 의사결정과정 결과에 따른 생산목표별 건전소나무림 시업체계를 확립하였고, 이를 토대로 내화성 소나무림 관리기준에 대한 예시를 제시하였다.

## 제 5 절 GIS를 이용한 적정 임분배치기법 개발

### 1. 임분배치를 위한 기본 GIS DB 구축

GIS를 이용한 적정 임분배치기법 개발을 위하여 강원도 삼척시 원덕읍 임원리 검봉산 주변의 산불피해지역 LTER site 약 4,000ha를 대상으로 위성영상(Landsat TM, ETM, 21 scene), <표 3-5-1> 참조)과 항공사진(1992년 산불 발생 전 23매, 2000년 산불 발생 후 25매) 및 1:5,000, 1:25,000 수치지형도, 1:25,000 종이지형도를 활용하여 기본 GIS DB를 구축하였다. <그림 3-5-1>은 수치지도 GIS DB의 구축 과정을 개괄적으로 나타낸 흐름도이며 위성영상과 항공사진의 처리과정을 <그림 3-5-2>에 나타냈다.



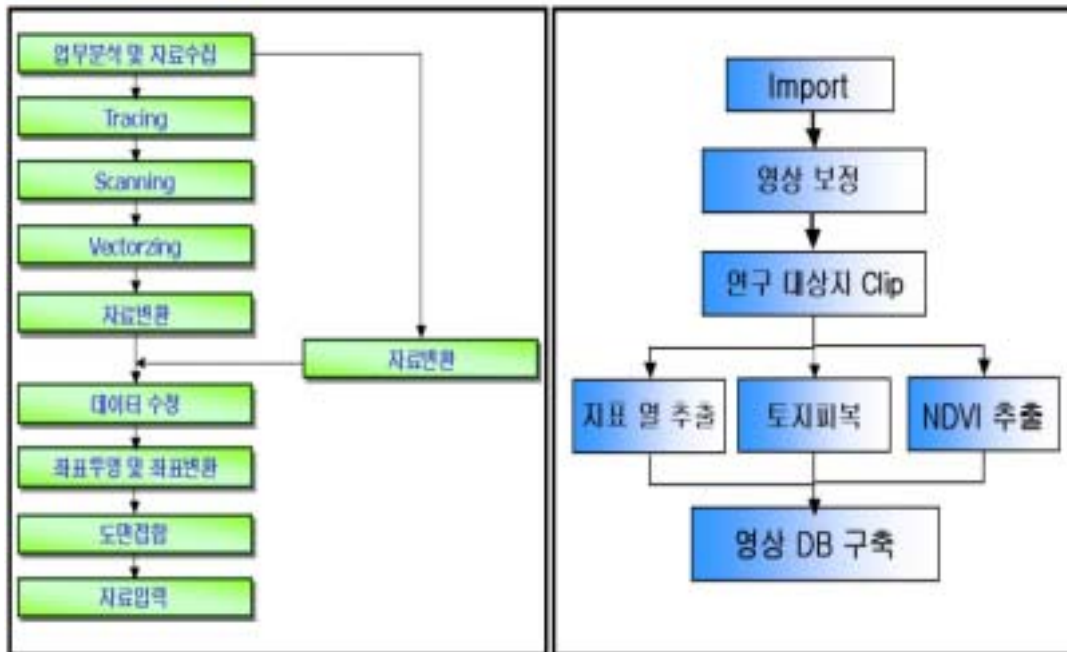
<그림 3-5-1> 수치지도 GIS DB의 구축 과정 <그림 3-5-2> 영상 DB의 구축과정



## 제 5 절 GIS를 이용한 적정 임분배치기법 개발

### 1. 임분배치를 위한 기본 GIS DB 구축

GIS를 이용한 적정 임분배치기법 개발을 위하여 강원도 삼척시 원덕읍 임원리 검봉산 주변의 산불 피해지역 LTER site 약 4,000ha를 대상으로 위성영상(Landsat TM, ETM, 21 scene), <표 3-5-1> 참조)과 항공사진(1992년 산불 발생 전 23매, 2000년 산불 발생 후 25매) 및 1:5,000, 1:25,000 수치지형도, 1:25,000 종이지형도를 활용하여 기본 GIS DB를 구축하였다. <그림 3-5-1>은 수치지도 GIS DB의 구축 과정을 개괄적으로 나타낸 흐름도이며 위성영상과 항공사진의 처리과정을 <그림 3-5-2>에 나타냈다.



<그림 3-5-1> 수치지도 GIS DB의 구축 과정 <그림 3-5-2> 영상 DB의 구축과정

〈표 3-5-1〉 구축된 Landsat TM, ETM+ 영상 목록

관측일	Satellite	Pass_Row	Cloudy_Cover	비교날짜
1998_10_31	Landsat TM	114_34	10	1988
1989_10_18	Landsat TM	114_34	20	1989
1992_05_19	Landsat TM	114_34	10	1992
1998_07_06	Landsat TM	114_34	10	1992
1994_05_09	Landsat TM	114_34	0	1994
1995_06_29	Landsat TM	114_34	0	1995
1996_04_12	Landsat TM	114_34	20	1996
1997_03_30	Landsat TM	114_34	20	1997
1997_05_01	Landsat TM	114_34	0	1997
1997_10_08	Landsat TM	114_34	70	1997
1998_05_20	Landsat TM	114_34	0	1998
1999_01_31	Landsat TM	114_34	0	1999
1999_05_07	Landsat TM	114_34	20	1999
2000_04_07	Landsat TM	114_34	20	2000
2000_10_16	Landsat ETM+	114_34	10	2000
2001_04_18	Landsat ETM+	114_34	0	2001
2002_03_20	Landsat ETM+	114_34	20	2002
2002_04_05	Landsat ETM+	114_34	0	2002

### 가. 업무분석 및 자료수집

업무분석 단계는 모든 GIS(Geographic Information System) 작업의 시작으로 업무흐름을 파악하고 다른 업무와의 연계 및 과업에 어떤 요구가 있는지에 대한 분석을 하여야 한다. 먼저 무엇을 위해 GIS를 적용하는 것인가를 알아야 하며 그것을 어떤 식으로 구현할 것인가를 결정해야 하고 그렇게 하기 위해서 필요한 시간과 장비 및 자료를 결정해야만 한다. 이 단계에서 업무분석이 정상적으로 시행되지 않으면 업무가 끝난 후에는 기대한 것과는 전혀 다른 결과를 나타내기 때문에 충분한 검토와 미래의 요구를 생각해서 결정을 하여야 한다. 업무분석이 이루어지면 작업에 필요한 자료와 인력이 결정되므로 필요한 자료의 정밀도와 신뢰성을 고려하여 최대 양질의 자료를 입수하여 그 자료의 출처와 정밀도를 기록해 놓아야 한다.

## 나. Tracing

자료수집이 끝나면 도형자료를 Computer에 입력해야 한다. 도형자료는 각각의 정보별로 따로 저장이 되어야 하기 때문에 지도나 도면에서 정보를 분석하고 각각의 정보별로 따로 Layer를 만들어야 한다. 지형도에 존재하는 다양한 정보를 특정한 정보(등고선, 수계, 행정 구역, 도로)별로 독립된 정보로 입력하기 위하여 각각의 정보를 독립된 Layer로 Tracing을 한다.

## 다. Scanning

Tracing한 도면을 컴퓨터가 인식할 수 있게 하는 것이 Scanning이다. Scanning 작업을 마치면 Tracing한 도면을 화면을 통해서 볼 수 있으며 이 때에는 특정한 부분을 확대하거나 축소하여 볼 수 있으며 필요시 지우거나 추가할 수 있다. Scanning은 도면에 빛을 비추어 반사되는 빛을 인식하여 Tracing된 선상에는 1의 값을, Tracing이 안된 백지에는 0의 값을 저장한다. 저장된 데이터 구조는 래스터 구조로 저장된다.

## 라. Vectorizing

Scanning이 한 도면은 화면을 통하여 볼 수는 있으나 좌표값을 갖지는 않는다. Vectorizing이란 Data가 있는 지점에 대한 좌표 값을 입력하는 과정을 의미한다. 좌표 값을 가지게 되면 인근 도엽을 붙이거나, 정확한 거리나 면적을 산출할 수 있는 등 다양한 이점이 있다. 이 부분에서 앞에서 설명한 래스터구조를 벡터구조로 변환하는 작업을 한다.

## 마. 자료 변환

Vectorizing 이후 사용 소프트웨어에 맞게 자료를 변환하여야 한다. 자료변환소프트웨어는 여러 종류가 있으나 여기서는 가장 범용적으로 사용되는 CADCore를 이용한 자료변환과 변환된 자료를 이용할 수 있는 GIS소프트웨어인 Arc/Info에 대하여 간단히 설명하겠다. CADCore를 사용하여 Vectorizing을 하게 되면 CADCore에서만 사용하는 Vector file (.drw)로 된다. 이 file은 CADCore에서만 사용 가능하므로 다른 GIS Software에서 사용하기 위해서는 CADCore 포맷을 .DXF(Data Exchange File)로 변경 해야 한다. CADCore의 Vector file을 .DXF로 변경할 때에는 다양한 기능이 있지만 정해진 변수를 사용하면 별다른 무리 없이 작업이 가능하다. 이렇게 .DXF 파일 포맷으로 변화된 데이터들의 그래픽적 수정을 위해서는 Coverage 파일 형태로의 변환이 요구되며 이를 위하여 Arc/Info를 사용

한다.

#### 바. 데이터 수정

Dxfarc 과정을 거쳐 ARC/INFO Coverage로 등록된 file에는 Vectorizing 과정에서 Graphic적인 Error가 존재한다. 가장 흔한 Error는 붙어야 할 선이 떨어진 경우와 경계선에서 멈추어야 할 선이 경계선을 지나가 있는 경우를 들 수 있다. 또한 있어야 할 POINT가 빠졌거나 없어야 할 POINT가 존재하는 경우도 발생한다. 이런 Error들은 ARCEDIT에서 하나하나 수정해 주어야 한다. 각각의 Coverage를 하나하나 모두 수정해주면 Graphic Data 수정은 끝난다.

#### 사. 좌표투영 및 변환

지형도, 지질도, 토양도 등 흔히 우리가 접하는 지도는 모두 경위도의 좌표로 되어 있는데 경·위도 좌표는 지구 중심에서의 각도를 규정한 것이기 때문에 절대 좌표 값이 아니다. 절대좌표란 특정한 변이만큼 이동이 있으면 어디에서나 동일한 변이 값이 되어야 하는데 경·위도 좌표는 동일한 값의 좌표변경 임에도 경·위도에 따라 변이량이 다르게 발생하기 때문에 실제 좌표로는 사용할 수 없다. 경·위도 좌표를 절대 좌표로 변경하는 것이 Projection(좌표투영)이라는 명령어이다. Projection 과정을 거치면 경위도 좌표가 우리나라에서 사용하고 있는 TM(Transverse Mercator) 좌표로 변경된다.

Projection 과정을 거치면 정확하게 알고 있던 4개 지점(TIC)의 경·위도 좌표 값이 TM좌표로 변경이 되는데 Coverage의 모든 X, Y 좌표를 TM 좌표로 변경하기 위해서는 Transform이라는 과정을 거쳐야 한다.Transform은 TIC 좌표값의 변이만큼 Coverage 내의 모든 좌표들을 변경한다.

#### 아. 도면 접합

Clip을 한 Coverage들을 인접한 도엽 끼리 붙여서 여러 장의 지도를 하나의 Coverage로 만드는 과정이 Mapjoin이다. 인접한 도엽은 서로 같은 경계를 가지고 있으나 조금의 오차를 가지고 있으므로 오차를 수정해 주어야만 완벽한 하나의 Coverage가 된다. 도면경계의 오차를 ARCEDIT에서 Edge match(가장자리 맞추기)를 시행하여 맞춘 이후에 Mapjoin이라는 명령어를 사용하여 여러 장에 나누어져 있던 정보를 하나의 Coverage로 통합할 수 있다. 이 통합이 된 Coverage는 다시 한번 Graphic Error를 수정해 주어야 GIS 분석에서 문제가 발생하지 않는다.

## 자. 자료 입력

도면 접합까지의 과정을 거쳐 완벽한 Graphic Data가 완성된 후에는 공간 정보 필요한 속성 정보를 입력해야 한다. 속성정보를 입력하기 전에 먼저 필요한 속성을 정의하고 그 Data를 구해야 한다. 공간 데이터에 들어갈 수 있는 속성은 용도에 따라 다양하다. 예를 들어 행정 경계라는 Graphic Data에 들어갈 수 있는 속성은 행정 동 명칭, 시, 군, 구 명칭, 인구수, 생활수준, 주택 수, 산업체 수, 고용인구수, 생산인구수, 면적, 연혁, 행정기관장, 차량보유대수, 재정자립도등 수많은 Data가 가능하지만 필요에 맞는 자료만을 입력하는 것이 시간과 노력의 절약을 위해 필요하다. <그림 3-5-3> 은 일반적으로 수치주제도 작성과정 중에서 GIS 엔진과 파일 변환과정 중심으로 설명하고 있다.



<그림 3-5-3> 수치주제도 작성 과정별 GIS 관련 software

본 연구에서 사용된 수치지도는 국립지리원에서 제작된 벡터(Vector)형식의 1/5,000 축척의 수치지도이다. 이러한 수치지도는 기본적으로 공간자료와 속성자료가 Layer 별로 구축이 되어있으므로 DB 구축 시 좌표입력과 원 속성자료입력 과정이 생략된다.

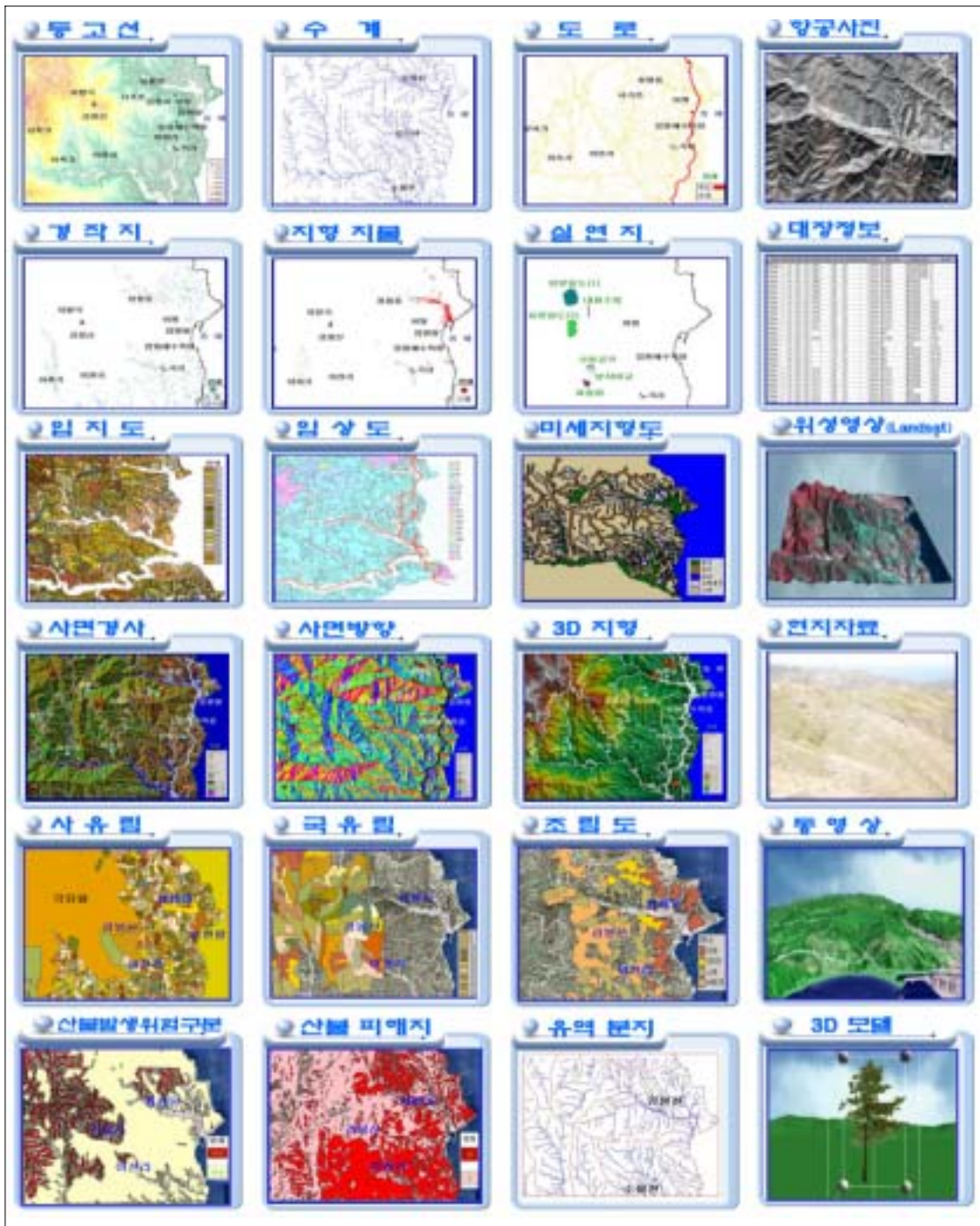
입수된 수치지도를 필요한 Layer 별로 분류하여야 자료를 시스템에 적합한 자료형으로

변환하여야 하며 이를 위해 본 연구에서는 ArcView3.2를 사용하였다. 분류 방법은 수치지도 DXF 자료를 ArcView3.2 View 창에 Open 한 후 View 메뉴의 Query Builder를 사용하여 필요로 하는 Layer를 선택한 후 Shapefile로 변환을 시키게 된다. 이러한 과정을 거치면 각 Layer 별 Shapefile이 생성이 된다.

분류된 Layer 중에는 여전히 수치지도 제작당시의 만들어진 그래픽적인 Error가 존재한다. 이 때 발생된 Error의 종류로는 붙어야 할 Arc가 떨어져있거나 경계선을 지나는 경우, 생성되어 있어야 할 Point가 존재하지 않거나 필요 없는 Point가 생성되어 있는 경우이다. 이러한 그래픽적인 Error들의 수정을 위해 본 연구에서는 ArcGis 8.1을 이용하여 수정이 필요한 Shapefile을 Coverage로 변환한 후 ArcInfo Workstation으로 수정을 하여 Graphic 에러를 수정 완료하였다. 또한 수정이 완료된 Coverage는 ArcView3.2를 이용하여 다시 Shapefile로 변환시켰다.

국립지리원에서 제작된 수치지도는 종이 지형도와 마찬가지로 여러 장의 도엽으로 제작이 되어있다. 따라서 Graphic 에러가 수정 완료된 후에는 여러 장으로 나누어져 있는 Shapefile을 도면 접합을 통하여 하나의 수치주제도로 만드는 과정이 필요하다. 이를 위해서 본 연구에서는 ArcGIS 8.1의 ArcMap을 이용하였다. ArcMap의 Tool 메뉴에서 GeoProcessing Wizard를 이용하여 여러 도엽으로 나누어져있는 같은 Layer의 Shpapefile들을 하나의 Shapefile로 통합을 시킨다. 이러한 과정을 거쳐 Layer 별 수치주제도를 완성하였다.

강원도 삼척시 원덕읍 검봉산 산불피해지역 일대를 대상으로 다양한 GIS DB 구축 및 임분배치 정보관리 시스템 개발을 위하여 위성영상(Landsat TM, ETM)과 항공사진 그리고 1:5,000 1:25,000 수치지형도, 1:25,000 종이지형도 및 현장 자료, 협동연구기관자료 동영상파일 등을 활용하였다. <그림 3-5-4> 는 본 연구에서 구축된 GIS DB를 나타내고 있다.



〈그림 3-5-4〉 GIS DB 구축에 의한 다양한 주제도 Layer

## 2. 경관생태분석을 위한 GIS 공간분석기법 개발

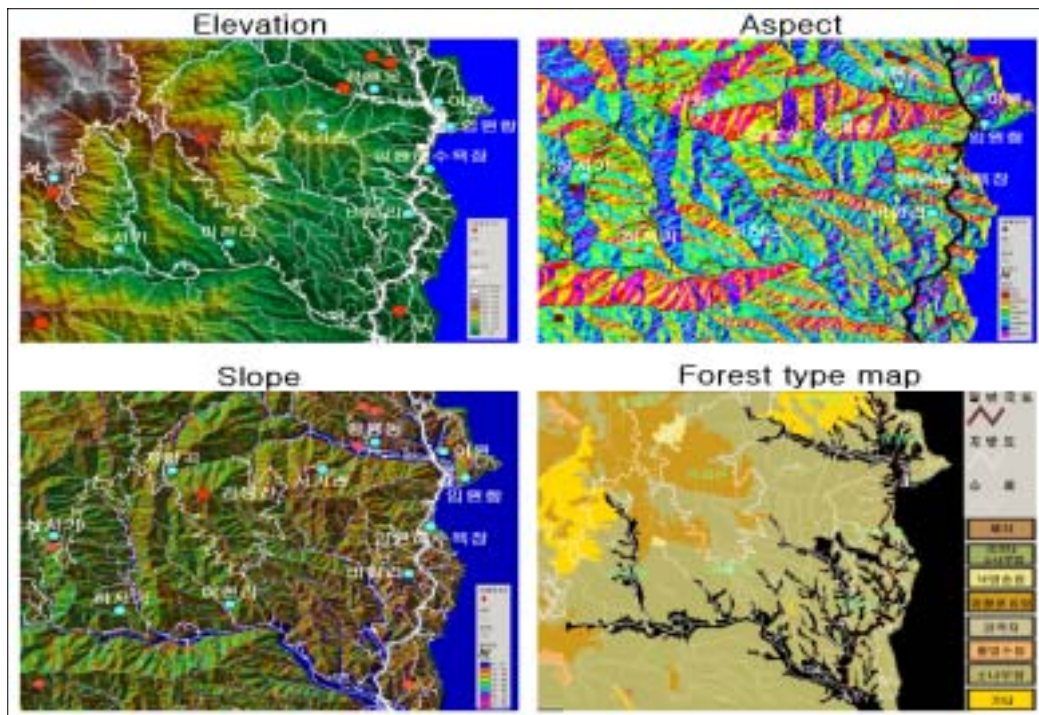
### 가. GIS를 이용한 산불 피해지 공간 특성 분석

#### 1) 연구 대상지의 지형 공간 특성

산불피해지의 공간특성 분석을 위하여 ArcView 3.2에서 변환된 Coverage 및 Point를 TIN (Triangulated Irregular Network)으로 생성하여 Cell간격 30m의 Grid Data를 획득하였다. 이를 기반으로 고도(Elevation), 사면경사(Slope) 및 사면방향(Aspect)을 산출하여 속성데이터 추출을 위해 정수형으로 재분류하였다.

연구대상지역의 전체 면적 75.2km<sup>2</sup>중 고도별 면적에 있어서는 해발 0~300m에 약 35.8km<sup>2</sup>로 63.8%가 분포하고 있었으며 사면 방향별 면적을 추출한 결과 북동, 동, 남동쪽인 사면방향의 면적이 23.4km<sup>2</sup>(44.5%)로 나타났으며 남, 남서쪽인 사면방향의 면적이 19.5km<sup>2</sup>(26%)로 전체적인 지형이 동쪽과 남쪽으로 치우쳐 있는 것을 알 수 있었다.

또한 경사도 15° 미만의 면적이 약 20km<sup>2</sup>(27%)로 나타났으며 경사도 20~30°의 면적이 29.5km<sup>2</sup>로 전체 면적 중 39%를 차지한 것을 알 수 있었다 <그림 3-5-5> .

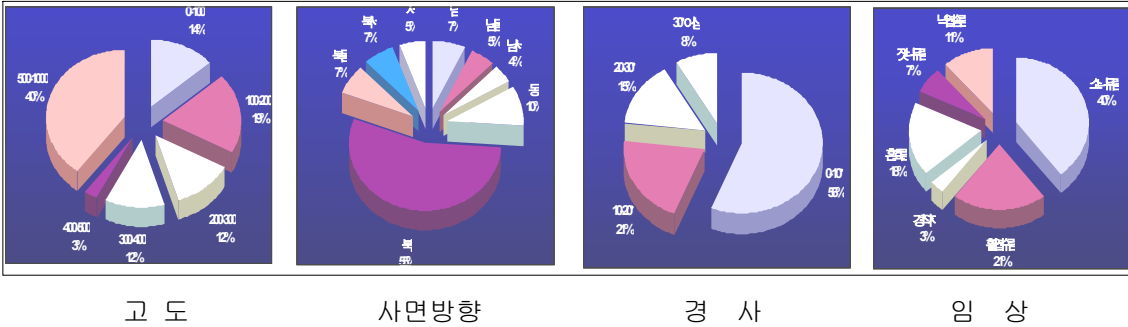


<그림 3-5-5> 연구 대상지의 공간 분포 특성

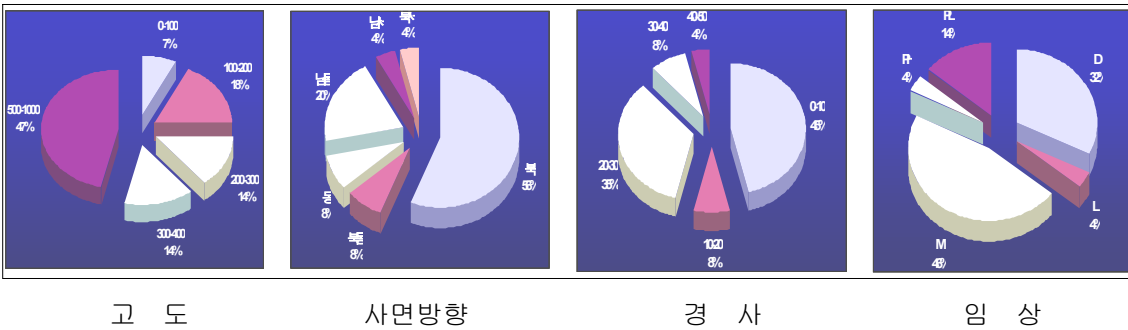


2) 산불 피해지의 공간 특성 분석

정확한 산불 피해지의 공간 특성 분석을 위하여 산불 발생지의 공간 특성 분석을 연구 대상지를 포함한 강원도 전체와 삼척시를 대상으로 하였다 <그림 3-5-6~7> .



<그림 3-5-6> 강원도 산불 발생 지점의 공간 분포 특성



<그림 3-5-7> 삼척시 산불 발생 지점의 공간 분포 특성

강원도 산불 피해지 공간 특성을 살펴보면, 고도 500m 이하에서 61건, 소나무림에서 17건이 발생하였으며 고도 500m 이상에서는 활엽수림, 혼효림에서 17건 발생하였으며 혼효림과 소나무림에서 발생한 산불이 78.5%, 그 중 혼효림이 46.5%, 침엽수림이 32.1%가 분포하였으며 전체적으로 해발 0~400의 고도에 10° 미만의 완만한 경사, 북사면의 지형, 소나무림이 분포하는 곳에서 산불이 많이 발생하는 것으로 분석되었다.

삼척시 산불 피해지의 공간 분포 특성을 분석한 결과 경사도에 있어서는 0~10° 사이의 완만한 경사에서 산불 발생 전체 건수 28건 중 12건(42.86%)이 발생하였으며 경사도가 20-30°에서는 9건 (32.14%)이 발생 하였다. 사면 방향에서는 산불발생건수의 절반인 14건(50%)이 북사면에서 발생하였으며 5건(17.86%)이 남동사면에서 산불이 발생하였다. 해

발고도에 따른 산불 발생 건수에 있어서는 저지대인 해발 0~400m 고도에 15건(53.6%)이 발생하였으며 고지대인 해발 600~1000m에 9건(32.1%)이 발생하였다. 임상별 분석에서는 혼효림과 소나무림에서 발생한 산불이 22건(78.5%)으로 산불 발생이 혼효림과 소나무림에서 자주 발생하는 것으로 분석되었다. 전체적으로는 해발 0~400m의 고도에 10°미만의 완만한 경사, 북사면의 지형, 혼효림과 소나무림이 분포하는 곳에서 산불이 많이 발생하는 것으로 나타났다.

### 3) 적정 임분 배치를 위한 가중치 분석

조림 수종과 내화성 수종의 적정 임분 배치를 위하여 GIS 공간 분석 기법을 활용하였다. 공간 분석 기법으로는 입지도 자료를 기반으로 하여 특정 연산에서 변수의 중요성을 표현하는 인자에 적절한 가중치를 부여하여 분석하는 방법인 가중치 분석(Weight score Analysis)을 적용하였다. 가중치 부여에 있어서 입지도에 포함되어 있는 조사 항목중 임분 배치와 관련된 인자(토심, 지형, 건습도, 경사, 퇴적 양식, 침식, 견밀도, 토성만을 고려하여 가중치를 부여하였다 <표 3-5-2>. 부여된 가중치 합산 점수에 따른 적정 수종을 <표 3-5-3>에서 나타내고 있다. 이러한 가중치 분석(Weight score Analysis)을 적용함으로써 조림 수종 및 내화 수종을 산불피해지에 적정 임분 배치를 하는데 있어서의 중요한 자료로 활용하였다.

<표 3-5-2> 적정 임분 배치를 위한 가중치 Weight score

인 자	구 분					상관계수
토심	(12)90cm이상	(9)90~60cm	(5)60~30cm	(1)30cm미만		0.62
지형	(11)평탄지	(8)산록	(6)완구릉지	(4)산북	(1)산정	0.55
건습도	(11)적윤	(8)약습	(6)약건	(3)습	(1)건조	0.55
경사	(9)15°미만	(8)15~20°	(7)20~25°	(5.5)25~30°	(3.5)30°이상	0.45
퇴적양식	(9)봉적토	(5)보행토	(1)잔적토			0.40
침식	(9)없다	(6)있다	(3)많다			0.40
견밀도	(9)심송	(8)송	(7)연	(4)견	(1)강견	0.40
토성	(6)사양,양	(4) 미사질양토 미사질식양토 사질식양토	(3)미사질식토	(2)식양토	(1) 점토 양질사토 사토	0.30

( ) 가중치

〈표 3-5-3〉 적정 임분 배치 Weight Score Summary에 따른 적정 수종

Summary Score	적정 수종
75~55	상수리나무, 음나무, 일본잎갈나무
5~445	소나무, 상수리나무, 음나무, 굴참나무, 일본잎갈나무
44~35	소나무, 굴참나무
34~25	소나무, 굴참나무
24~8	소나무

### 3. 산불피해지 경관생태 분석

#### 가. 다시기 위성 영상을 이용한 3D 지표 온도 변화 및 공간 특성 분석

##### 1) 지표 온도와 임상 분포 특성 분석

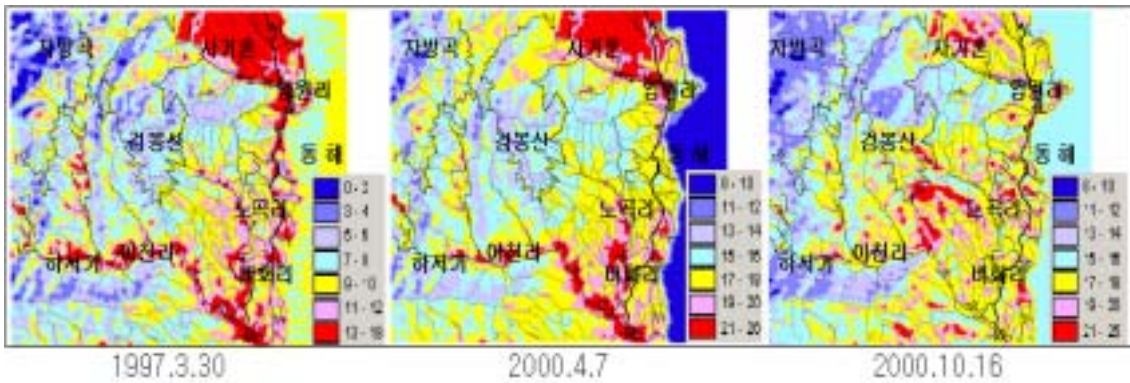
산불 발생지의 공간 특성을 추출하는데 있어서 연구 대상 지역의 열 분포 특성을 시·공간적으로 분석하기 위하여 ERDAS Imagine 8.5 를 활용하여 Landsat TM(1997년 3월 30일, 2000년 4월 7일, 2000년 10월 13일)의 두 영상의 조건을 동일화하기 위하여 Histogram matching을 시킨 후 band 6의 DN(Digital Number) 값으로부터 구해진 복사휘도 값을 이용하여 지표 온도를 추출하였으며 산출된 결과를 이용하여 GIS 공간분석 기법 중 중첩 분석을 적용하여 지표 온도와 지형 특성 및 공간 특성 분석을 수행하였으며 지표 온도를 산출하는 식은 NASA Model(Markham and Becker, 1986)을 이용하여 지표 온도를 추출하였다 〈표 3-5-4〉 .

〈표 3-5-4〉 지표 온도 추출을 위한 NASA Model

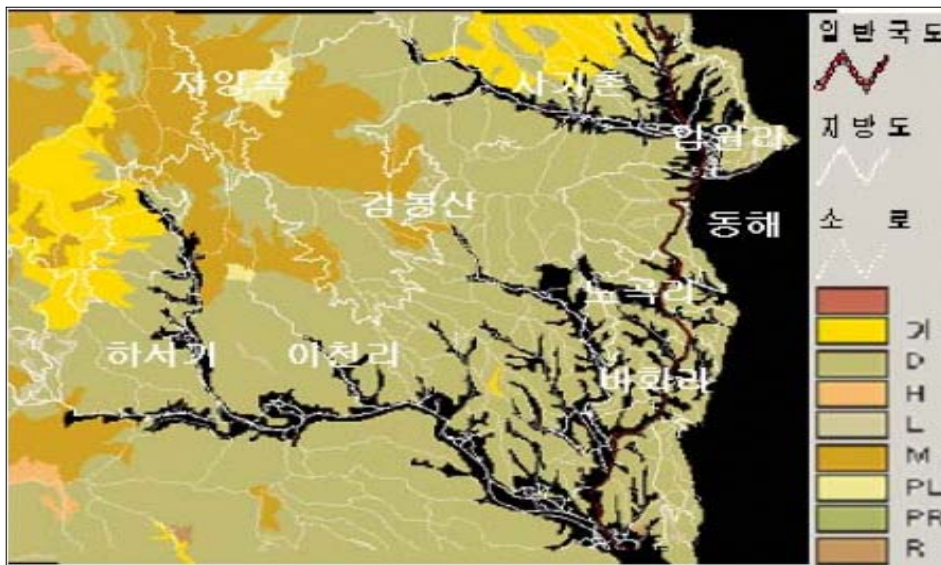
$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)}$$

where, T = temperature in degrees Kelvin  
 $L_\lambda$  = spectral radiance in  $w \cdot m^{-2} \cdot ster^{-1} \cdot mm^{-1}$   
 ln = natural logarithm  
 $K_2$  = calibration constant 2 in degree Kelvin  
 $K_1$  = calibration constant 1 in  $w \cdot m^{-2} \cdot ster^{-1} \cdot mm^{-1}$

3시기의 위성 영상(1997년 3월 30일, 2000년 4월 7일 2000년 10월 13일)을 동일한 30m cell 크기로 생성한 수치 임상도와 온도 분포도 및 구축된 여러 가지 수치 주제도와 공간 분석을 실시하여 연구 대상지의 임상 분포에 따른 지표 온도 분포 특성을 파악해 본 결과 주로 고지대의 저온지역은 혼효림 및 활엽수림이 분포하는 지역으로 산불 위험성이 상대적으로 낮은 임상으로 구성되었으며, 이에 비해서 저지대의 고온 지역에서는 상대적으로 가연성이 높은 소나무림이 분포하여 산불의 위험성이 높은 것으로 추정되었다 <그림 3-5-8~9, 표 3-5-5 > .



<그림 3-5-8> 산불 발생지 지표온도 분포도



<그림 3-5-9> 연구대상지의 임상 분포도

〈표 3-5-5〉 연구 대상지의 임상별 면적

임상 구분	면적(km <sup>2</sup> )	비율(%)
D(소나무림)	46.23	71.73
M(침활혼효림)	11.50	17.85
L(경작지)	0.48	0.74
R(제지)	0.08	0.13
PR(리기다소나무림)	0.02	0.03
PL(낙엽송림)	0.48	0.74
H(활엽수림)	0.57	0.88
기(기타)	5.09	7.90
합계	64.45	100.00

2) 다시기 위성 영상을 이용한 3D기반 지표 온도 변화

GIS DB 구축 레이어에서 등고선 및 표고점을 추출한 후 DEM(Digital Elevation Model)을 기반으로 3차원 지형 위에 다시기 위성 영상을 이용한 지표 온도 분포도를 중첩시켜 산불 발생 전의 봄과 가을 시기의 지표 온도 분포도와 특성을 파악함으로써 2차원 지형에 비해서 보다 면밀하게 분석할 수 있었으며 산불 발생 후의 지표 온도의 변화 및 특성을 탐지하였다 〈그림 3-5-10〉.

산불 발생 전의 봄 시기의 영상 분석 결과 다른 시기에 비해 1996년의 온도가 7~8℃ 정도의 낮게 분포되어 있는 것을 알 수 있었으며 1996년의 시기에는 다른 시기에는 분포하지 않는 2℃에 해당하는 값이 분포하고 있는 것으로 나타났다. 이는 다른 년도에 4월의 평균 온도에 비해 상당히 온도가 낮았던 것으로 추정된다 〈그림 3-5-11~12〉.

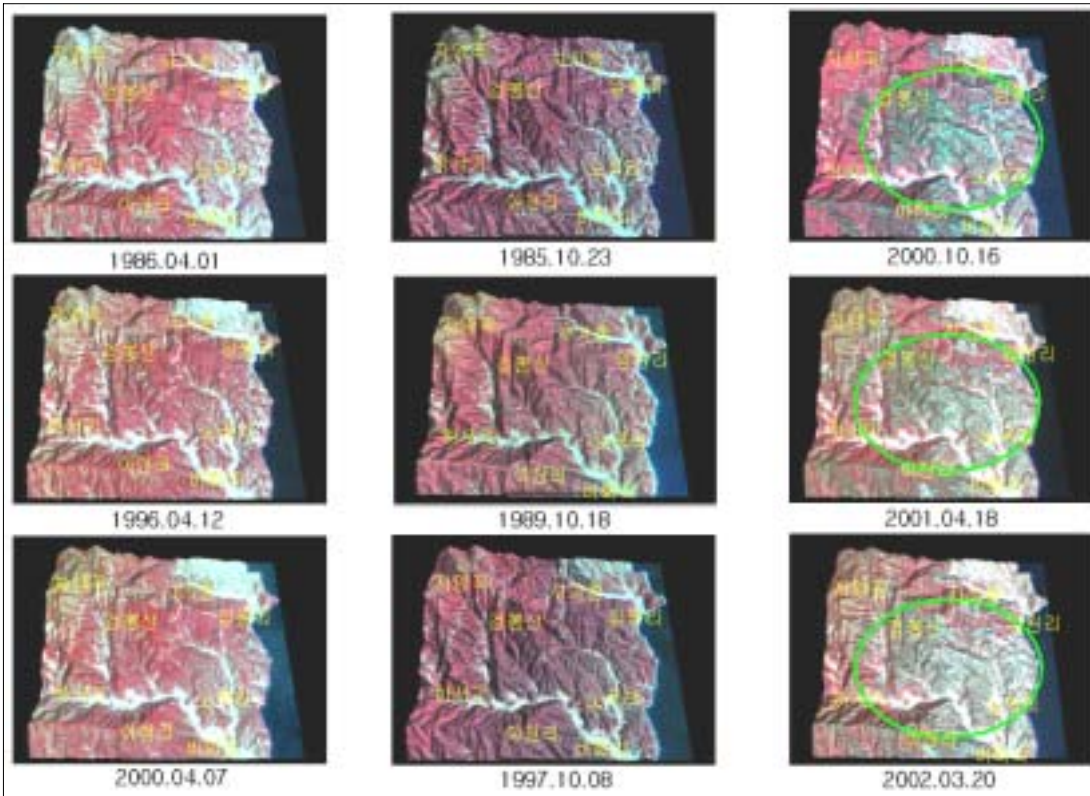
산불 발생 전의 가을 시기는 상대적으로 1989년 10월 시기의 온도가 다른 시기에 비해 온도가 낮게 분포하는 것으로 나타났다 〈그림 3-5-13~14〉.

산불 발생 후의 지표 온도 변화는 2000년 영상에는 16~17℃의 온도대가 가장 많은 분포대 보여주고 있었으며 2001년 영상에서는 15℃ 이상의 분포대가 나타나지 않은 것을 알 수 있고 2002년 영상에서는 0~1℃의 저온대가 분포하는 것으로 나타났다 〈그림 3-5-15~16〉. 분석 결과에서 고온대를 이루는 지역은 대부분 낮은 녹피율을 나타내고 있는 지역으로 평균고도 170~209m의 저지대에 주로 위치하고 완만한 경사를 이루는 지역임을 알 수 있었으며 산불 후 영상에서 추출된 고온대의 분포 특성을 분석한 결과 산불로 인한 피해 지역, 나지, 도시 순으로 높은 온도를 나타내는 것을 알 수 있었다.

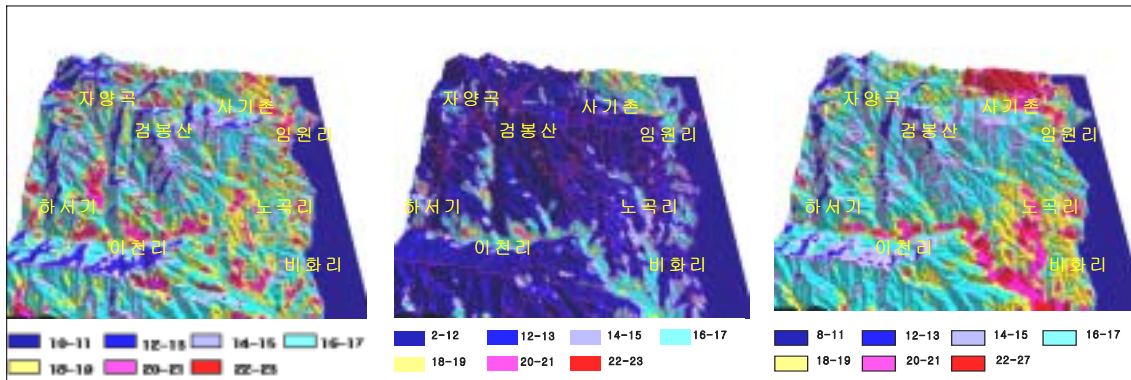
<산불 전 봄 시기 영상>

<산불 전 가을 시기 영상>

<산불 후의 영상>



<그림 3-5-10> 시기별 3D 영상(Landsat TM False color composite 4/3/2)

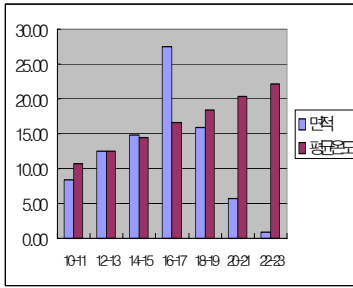


1986년 4월 1일

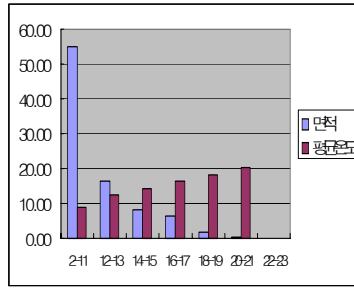
1996년 4월 12일

2000년 4월 7일

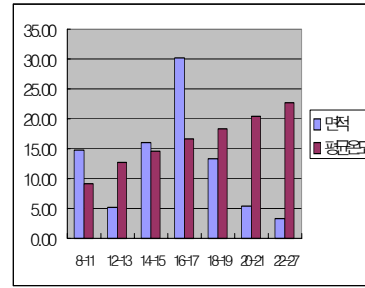
<그림 3-5-11> 산불 발생 전 봄 시기의 지표 온도 변화



1986년 4월 1일

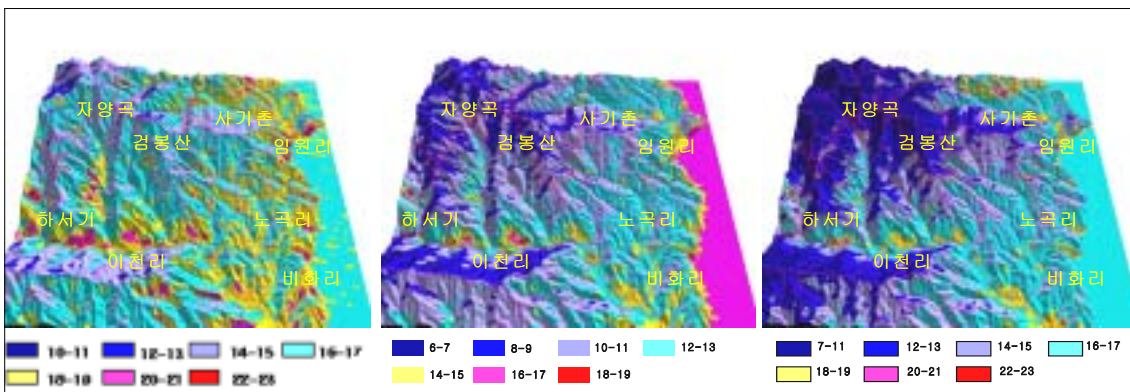


1996년 4월 12일



2000년 4월 7일

<그림 3-5-12> 산불 발생 전 봄 시기의 지표 온도 변화 그래프

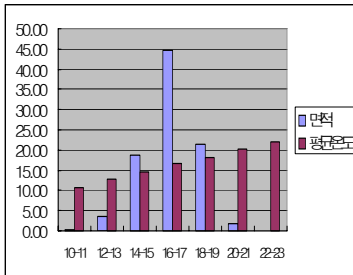


1985년 10월 23일

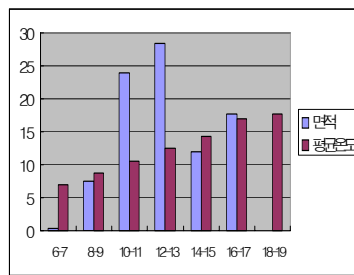
1989년 10월 18일

1997년 10월 08일

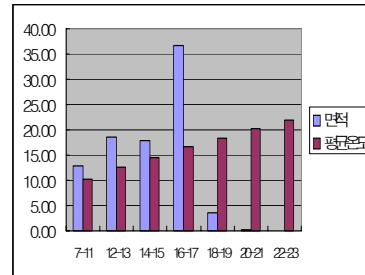
<그림 3-5-13> 산불 발생 전 가을 시기의 지표 온도 변화



1985년 10월 23일

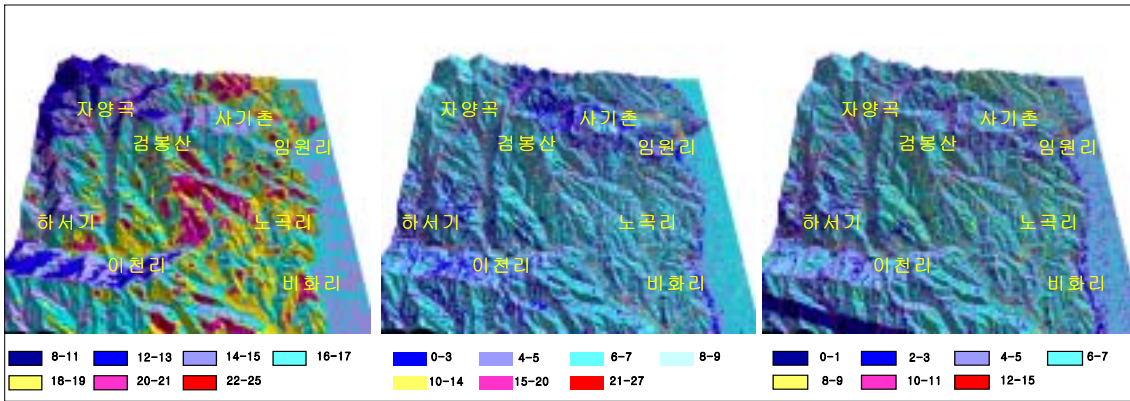


1989년 10월 18일



1997년 10월 08일

<그림 3-5-14> 산불발생 전 가을 시기의 지표온도 변화 그래프

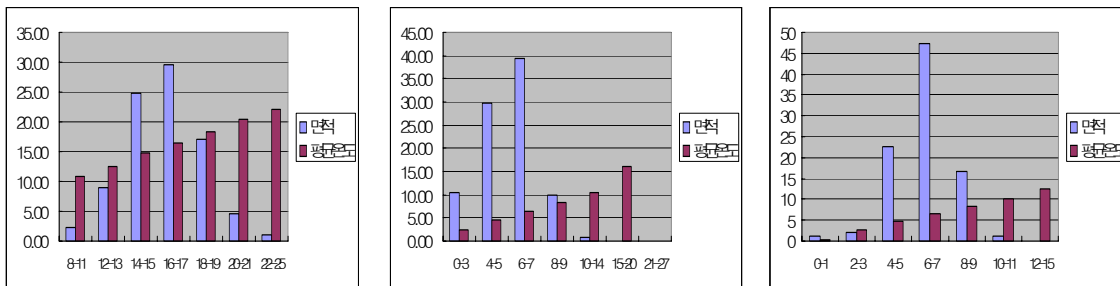


2000년 10월 16일

2001년 4월 18일

2002년 3월 20일

<그림 3-5-15> 산불 발생 후의 지표 온도 변화



2000년 10월 16일

2001년 4월 18일

2002년 3월 20일

<그림 3-5-16> 산불 발생 후의 지표 온도 변화 그래프

### 3) 다시기 위성 영상을 이용한 3D 기반 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index) 변화

다시기 위성 영상을 이용한 지표 온도와 마찬가지로 GIS DB 구축 레이어에서 등고선 및 표고점을 추출한 후 DEM(Digital Elevation Model)을 기반으로 3차원 지형 위에 NDVI 분포도를 중첩시켜 산불 발생 전의 봄과 가을 시기의 NDVI 분포도와 특성을 파악하였으며 산불 발생 후의 NDVI 값의 변화 및 특성 변화를 탐지하였다.

녹지의 활력도를 알아보는 방법으로는 식생 지수를 이용하여 식물의 특성을 파악하는 기법이 가장 많이 사용되고 있는데 이러한 식생 지수는 지표의 식생 분포와 상태 등을 표현하기 위해 여 고안된 처리 기법으로 지구 표면과 식물이 아닌 물체들의 분광 반사 특성을 이용하여 식물에 관한 정보를 표현한다. 보통 식생 지수들은 Landsat TM 등과 같은 가시광선과 근적외선의 파장대를 가



지고 있는 위성 영상 자료들의 밴드 비(Ratio), 밴드 차(Difference) 등에 의해 산출되어질 수 있는데 현재 가장 널리 사용되고 있는 기법으로는 정규화한 식생지수 값을 갖게 되는 NDVI가 보편적으로 사용되고 있다.

연구 지역의 식생 활력도를 분석하기 위해 Landsat TM 영상의 band 4와 band 3을 비연산하여 정규식생지수(NDVI)를 구하였다. 사용된 식은 다음과 같다.

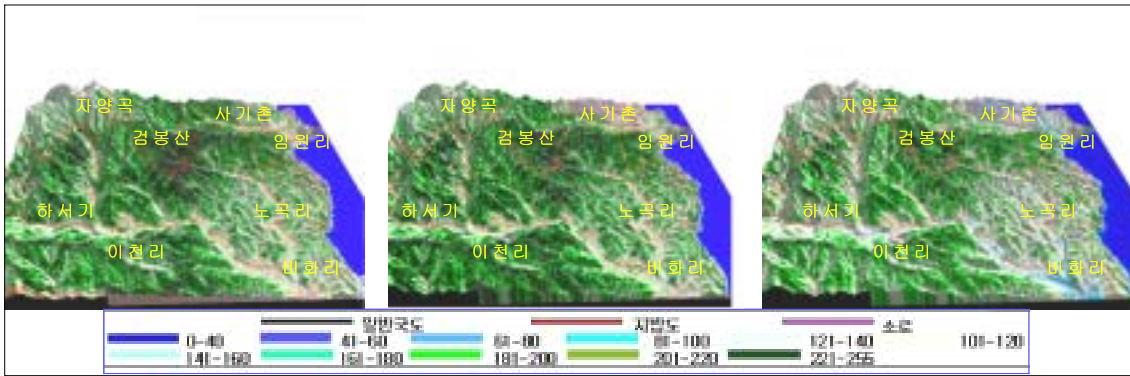
$$NDVI = \frac{NIR - red}{NIR + red} \quad NIR = \text{Near Infrared band}, \quad red = \text{Red band}$$

산불 발생 전의 봄 시기의 NDVI 분포 값을 살펴보면 시간이 지날수록 높은 NDVI 값을 가진 분포대가 작아지고 낮은 NDVI 값을 가진 분포 지역이 증가하였는데 이는 시간이 지남에 따라 환경오염 및 도시화 과정에 따른 식생 활력도의 저하에 따른 것으로 해석된다 <그림 3-5-17~18> .

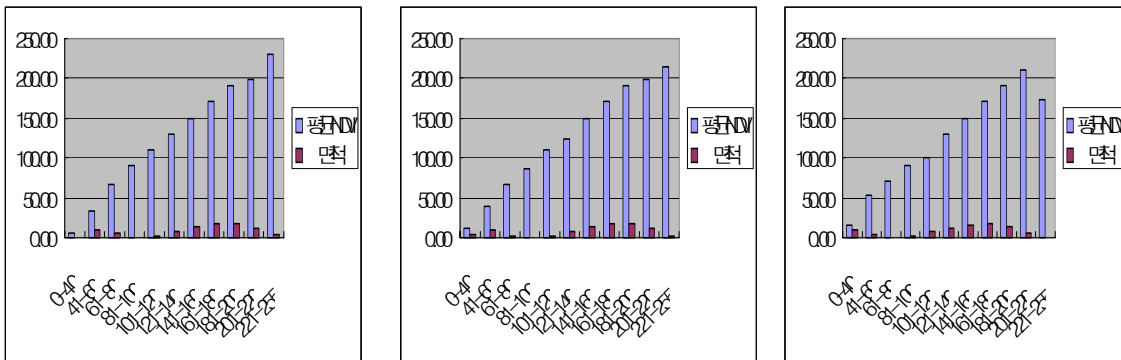
산불 발생 전의 가을 시기에는 89년 10월 영상에서 다른 영상에 비해서 낮은 NDVI(0-40) 값은 아주 작게 분포하고 있으며 높은 NDVI(221-255) 값은 아주 많이 분포하는 것으로 나타났다 <그림 3-5-19~20> .

낮은 NDVI 값을 도심지에서 NDVI 값이 낮게 분포하는데 연구 대상지에서 도심지가 작게 분포하는데 따른 값으로 해석되며 높은 NDVI 값이 많이 분포하는 것은 연구 대상지가 산림지역이며 계절적 특성에 따른 값으로 해석된다. 산불 발생 후의 NDVI 값을 분석함에 있어서 시기적으로 다른 시기이므로 분석에 무리가 따랐으나 전반적으로 산불 후 시간이 지남에 따라 NDVI 값의 증가할 것으로 예측되었으나 오히려 미소하게 감소한 것을 알 수 있었는데, 이는 산불 피해 지역에서 소나무림 면적이 13.82km<sup>2</sup>로 전체 면적의 78.31%를 차지하고 있으며, 소나무림에서는 산불피해 후 피해목이 산불 후 2~3년간에 걸쳐 고사목이 발생하는데 따른 결과로 사료된다 <그림 3-5-21~22> .

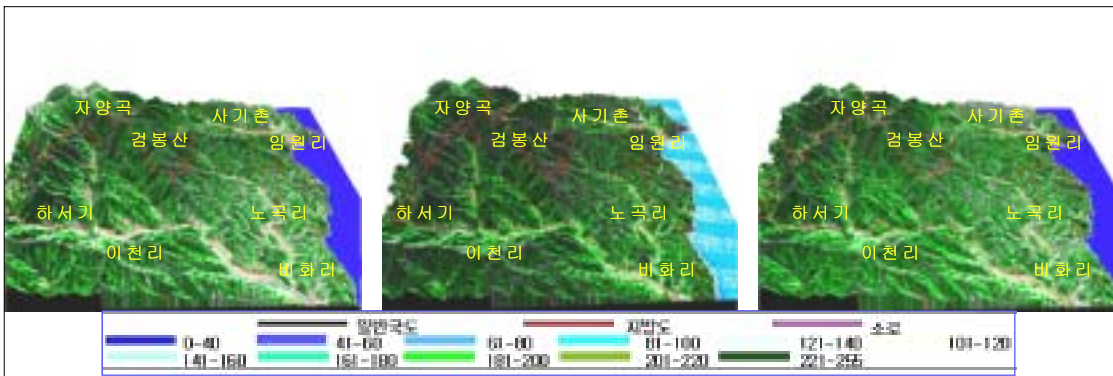
2000년 4월 7일 영상을 대상으로 지표 온도와 NDVI 간의 상관 관계를 규명하기 위하여 상관 분석을 실시하였는데 지표 온도와 NDVI 사이에는 약 78%의 상관관계가 존재함을 알 수 있었다.



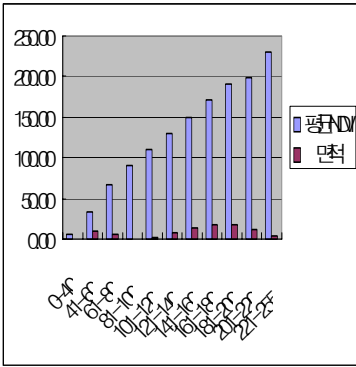
1986년 4월 1일                      1996년 4월 12일                      2000년 4월 7일  
 <그림 3-5-17> 산불발생 전 봄 시기의 NDVI 변화



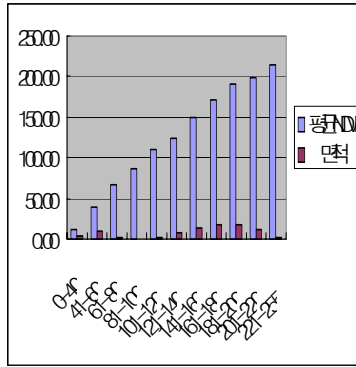
1986년 4월 1일                      1996년 4월 12일                      2000년 4월 7일  
 <그림 3-5-18> 산불발생 전 봄 시기의 NDVI 변화 그래프



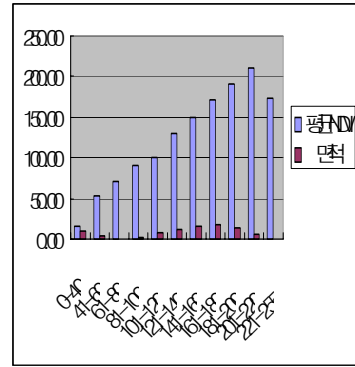
1985년 10월 23일                      1989년 10월 18일                      1997년 10월 08일  
 <그림 3-5-19> 산불발생 전 가을 시기의 NDVI 변화



1986년 4월 1일

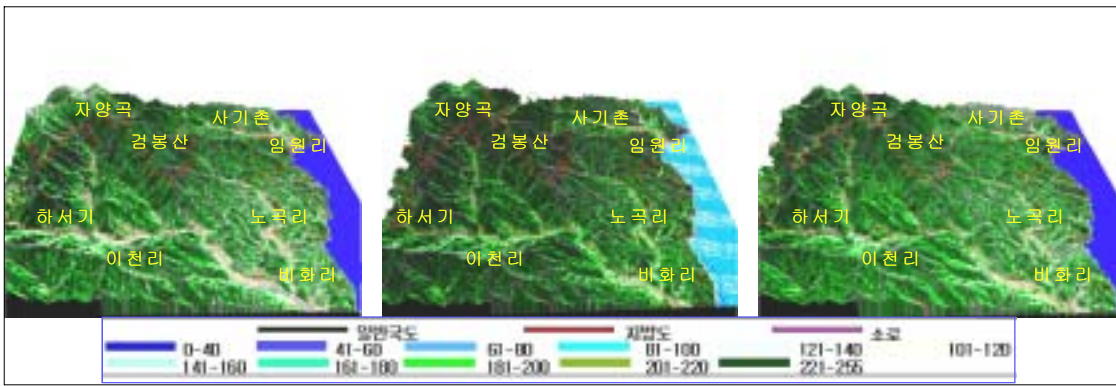


1996년 4월 12일



2000년 4월 7일

<그림 3-5-18> 산불발생 전 봄 시기의 NDVI 변화 그래프

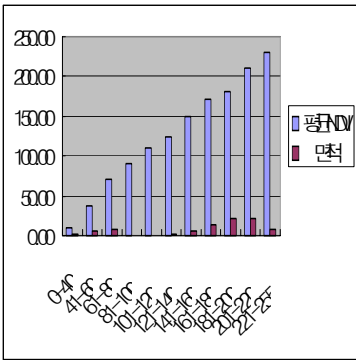


1985년 10월 23일

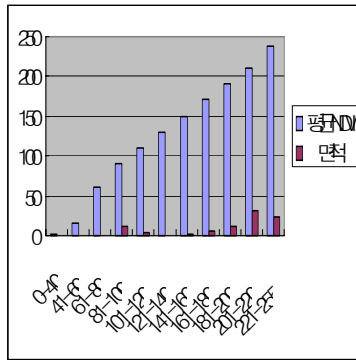
1989년 10월 18일

1997년 10월 08일

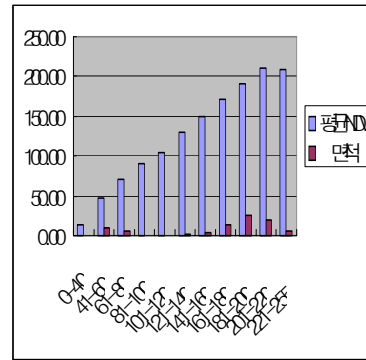
<그림 3-5-19> 산불발생 전 가을 시기의 NDVI 변화



1985년 10월 23일



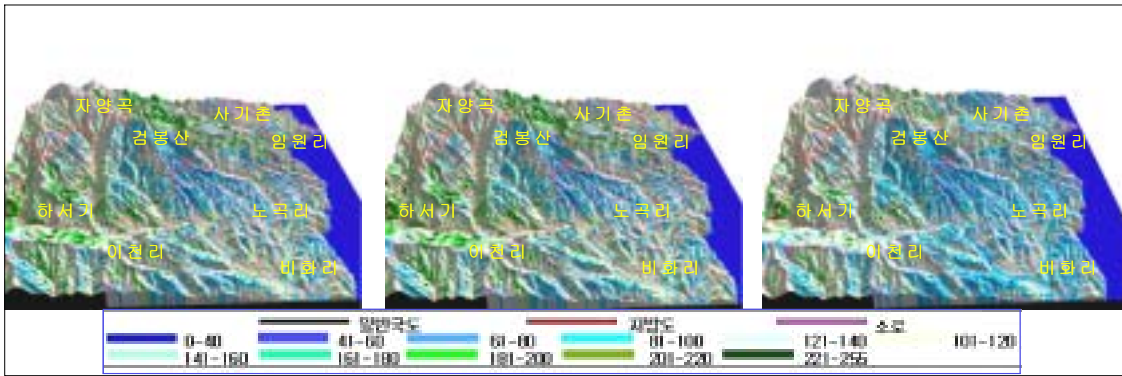
1989년 10월 18일



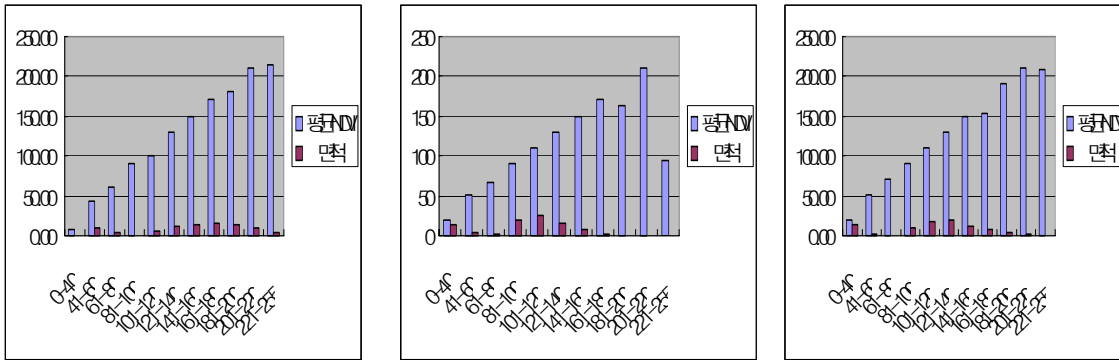
1997년 10월 08일

<그림 3-5-20> 산불발생 전 가을 시기의 NDVI 변화 그래프





2000년 10월 16일                      2001년 4월 18일                      2002년 3월 20일  
 <그림 3-5-21> 산불 발생 후의 NDVI 변화

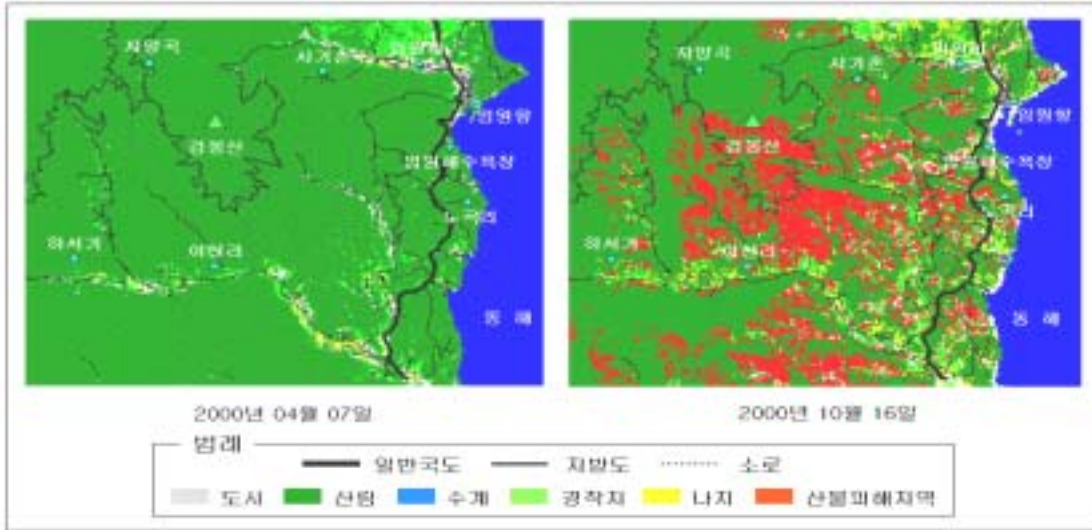


2000년 10월 16일                      2001년 4월 18일                      2002년 3월 20일  
 <그림 3-5-22> 산불 발생 후의 NDVI 변화 그래프

4) 위성영상 자료를 이용한 토지피복 변화 탐지

산불발생 전인 2000년 4월 7일 영상(Landsat TM)과 산불발생 후인 2000년 10월 16일 영상(Landsat TM)을 기반으로 토지피복 변화 탐지를 수행하였다. <그림 3-5-23>의 토지피복분류결과에서 나타나듯이 2000년 10월 영상에서 검봉산 지역을 중심으로 대규모 산불피해지역이 확인되었으며 또한 이 시기에 나지지역이 급증한 것으로 나타났는데 이들 지역은 대부분 산불발생 당시 피해가 극심했던 지역으로 판단된다. 이와 같은 결과는 향후 보다 다양한 위성영상분류 기법을 적용함으로써 세분화된 분류결과를 기초로 그 원인을 분석하였다. <표 3-5-6>에서와 같이 산불피해지역은 약 16.39km<sup>2</sup> 정도인 것으로

나타났으며 2000년 4월보다 나지지역이 약 3.1km<sup>2</sup> 정도 증가한 것으로 확인되었다. 이와 같이 2000년 10월 영상에서 분류된 산림면적이 2000년 4월에 비해 약 19km<sup>2</sup> 정도 줄어든 것으로 나타났는데 이는 대부분 산불로 인한 피해면적(16km<sup>2</sup>)과 산불이후 급증한 나지지역(3km<sup>2</sup>) 때문인 것으로 판단된다.



〈그림 3-5-23〉 산불 발생 전후의 토지피복 분류도 (Landsat TM image)

〈표 3-5-6〉 토지피복별 분포 면적

(단위 : km<sup>2</sup>)

촬영일시 \ 클래스	도시	산림	수계	경작지	나지	산불피해지역
2000년 04월 07일	3.05	109.83	27.30	4.81	0.74	0
2000년 10월 16일	3.60	90.11	27.26	4.55	3.82	16.39

#### 4. 3차원 경관정보 시스템 개발

##### 가. 항공사진 기반 DB GIS DB구축

###### 1) 지상 기준점 보정

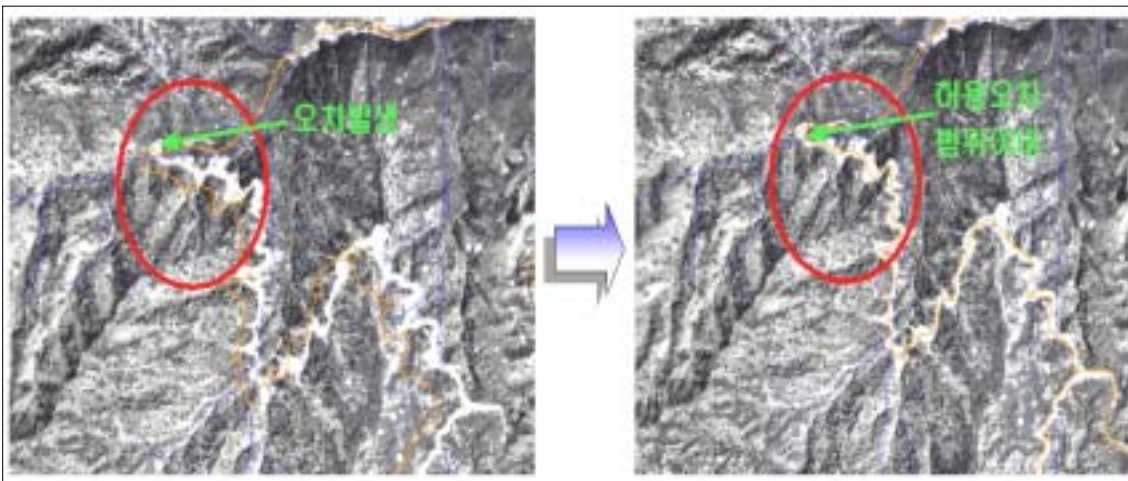
항공사진의 위치를 보정하기 위한 방법 중 하나인 지상기준점(GCP : Ground Control Point) 보정은 일반적으로 모든 영상 자료의 위치 보정에 포괄적으로 사용되는 방법이다. 이 방법은 영상의 획득 시 영상에 포함되어 있는 왜곡의 원인을 고려하지 않고 단지 왜곡의 정도만을 분석한 후, 수집된 영상과 기준 지도 간을 연결할 수 있는 보정식을 구하여 영상의 왜곡을 보정해 주는 방법이다. 즉, 지상기준점의 지도 상 좌표를 (x,y), 영상 좌표를 (u,v)이라고 했을 때, 두 좌표를 연결하여 그들 사이의 관계식을 구하는 것이 그 목적이며, 일반적으로 3차 이상의 식은 사용하지 않는다. 지상기준점을 이용한 보정시 가장 보편적으로 사용되는 Affine Transformation 의 경우 이들 좌표 사이의 변환식은  $x=au+by+c$ ,  $y=du+ev+f$  와 같은 형태로 표시되어 진다. 이 경우 위의 변환식을 결정하여 주기 위해서는 모두 6개의 미지수를 구해주어야 하며, 따라서 최소한 3개 이상의 정확한 지상기준점을 선정하여야만 한다. 지상기준점의 선정에 있어서 가장 중요한 점은 그 점이 기준점으로서의 자격을 갖는가 하는 것이다. 지상기준점은 영상 좌표와 지도 좌표 사이의 변환에 있어서 기준이 되는 점이므로 그 위치가 시간에 따라 항상 변함이 없어야만 한다. 이러한 점으로는 도로의 교차점, 제방의 끝, 인공구조물, 대형 건물 등이 주로 사용되어 지며, 이때 영상자료의 지상해상력을 감안하는 것도 잊어서는 안 될 요소이다. 만약 선정 한 지상기준점이 정확한 것이라면 가능한 한 많은 지상기준점을 잡는 것이 영상 보정 시 발생하는 오차를 최소한으로 줄일 수 있고, 같은 수의 지상기준점이라도 보다 넓은 부분에 걸쳐 골고루 분포하게끔 하는 것이 정확한 변환을 가능하게 해준다 <그림 3-5-24> .



<그림 3-5-24> 위치 보정 전/후의 항공사진(삼척시 원덕읍 검봉산)

## 2) 정사보정

정사 보정 방법은 지상기준점 보정 방법과 달리 항공사진이 가지고 있는 왜곡의 원인을 모두 고려하여 기하학적으로 영상 촬영 당시와 똑같은 환경을 재구성함으로써 영상의 위치를 보정하는 방법이다. 이 방법은 수학적 계산에 그 근간을 두고 있으며, 많은 단계에서 적용되는 수학적 계산을 통해 미지 상수의 개수를 감소시킴으로써 적은 수의 지상기준점을 이용해서도 정확한 위치 보정이 가능하게 한다. 특히 산악 지역과 같이 정확한 지상기준점의 추출이 어려운 지역이 연속적으로 촬영된 경우 항공 삼각 측량(Aerial Triangulation) 방법을 이용해 한 장의 사진 당 1-2점 정도의 지상기준점 만으로도 많은 수의 항공사진에 대하여 동시에 정확한 위치 보정을 수행할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 정사 보정을 위한 기복 변위의 제거 방법으로 수치 미분편위수정 방법이 사용되고 있는데 이를 위해서는 수치화된 영상 자료를 획득하는 방법과 정확한 수치 표고 모형 자료의 획득 방법이 중요하게 대두되며, 이용된 방법에 따라 생성된 정사 투영 영상의 정확도 및 효율성이 좌우된다 <그림 3-5-25> .



<그림 3-5-25> 정사 보정 전/후의 항공사진

## 3) 내부 표정

정사 보정 방법은 모든 왜곡 요소의 보정을 위한 수학적 계산 과정이 복잡하고, 카메라에 대한 정확한 정보와 촬영 대상 지역에 대한 고도 자료 등이 필수적으로 요구된다는 점에서 번거롭게 느껴지기도 하지만 그 만큼 정확한 계산이 가능하다는 장점을 가지고



있다. 일단 정사 보정이 수행된 영상은 항공사진 상의 모든 점에서 나타나는 편위가 제거됨으로써 사진 상에 나타나는 상이 일반 지도에서 보는 것처럼 모든 점에서 축척이 일정하게 유지된다. 항공사진에 정확한 좌표를 부여하기 위한 작업을 보통 표정이라는 말로 표현한다. 표정 단계 중 가장 먼저 요구되는 내부 표정은 사진의 주점을 투영 중심에 일치시키고, 초점 거리 보정, 신축 보정 등을 실시함으로써 촬영 당시의 광학적 환경을 그대로 구현하고자 하는 것이다.

수치적인 내부 표정에서 주점 일치 과정은 스캐닝된 영상 좌표와 주점을 기준으로 하는 사진 좌표와의 관계를 설정함으로써 이루어지며, 이때 사진 지표(Fiducial Mark)를 기준으로 그 변환식을 설정하게 된다. 항공 사진 촬영을 위한 사진기에는 사진의 네 모서리와 꼭지점에 4개 내지 8개의 지표를 표시하도록 설계되어 있으며, 보통의 경우 선형 변환인 Affine Transformation을 사용하여 변환식을 설정한다.

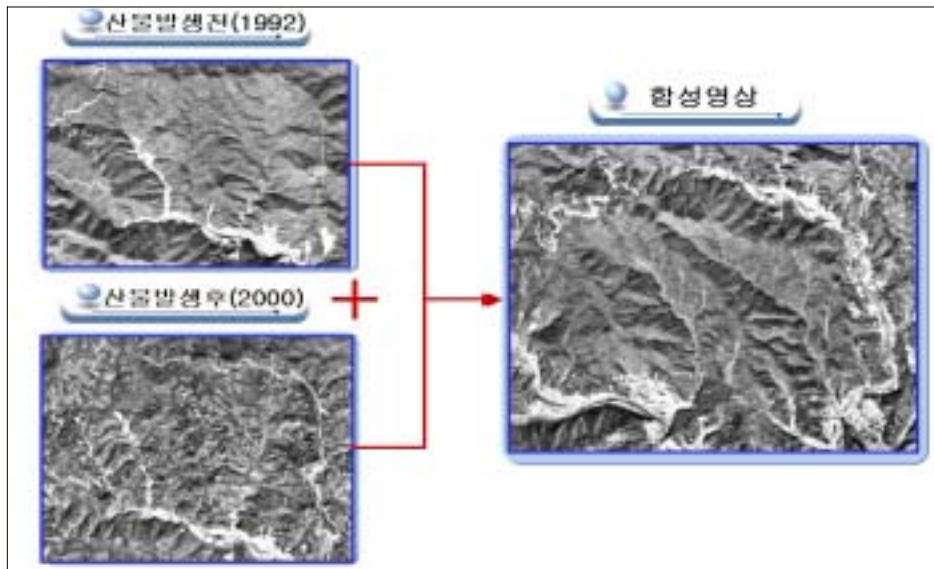
#### 4) 외부 표정

내부 표정이 카메라 내부의 광학적 환경을 재현하는 것을 그 목적으로 하는데 비해 외부 표정(Exterior Orientation)은 카메라와 대상 물체 사이의 위치 관계를 규정하는데 그 목적을 두고 있다. 외부표정은 다시 그 목적에 따라 상호표정(Relative Orientation)과 절대 표정(Absolute Orientation)으로 나누어진다.

#### 5) 영상 합성

산불 피해지의 조림계획에 따라 조성 될 향후 산림의 모습을 재현하고자 산불 피해 이전의 항공사진(1992년 10월)에서 생존해 있는 임상 사진을 clip하여 산불 피해를 입은 항공 사진(2000년 4월)을 합성하였다.

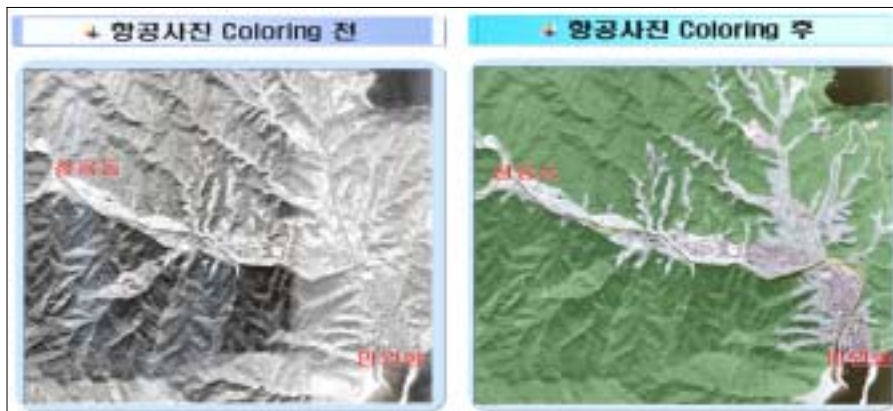
합성된 항공사진을 관찰 및 분석함으로써 조림계획에 따라 조림된 향후 산림의 모습을 미리 예측하고 경관 생태학분석이 가능하였다 <그림 3-5-26> .



〈그림 3-5-26〉 산불피해 전 항공사진과 산불피해 후 항공사진의 합성영상

6) 항공사진 Coloring 변환

컬러링은 영상에 특수한 효과 즉, 색을 가미하는 것이다. 여기에서는 하나의 픽셀이 가지는 RGB 값을 다루는 필터를 컬러링 계열 필터라 하며 이러한 특징을 가지는 필터들을 분석하여 알맞은 색을 부여함으로써 지도에서 나타나는 여러 Layer들을 선명하게 구분시킬 수 있으며, 실제의 지형 색상에 가깝게 컬러를 부여함으로써 사용자에게 보다 정확한 업무수행 의사결정 능력을 가질 수 있도록 한다 〈그림 3-5-27〉 .



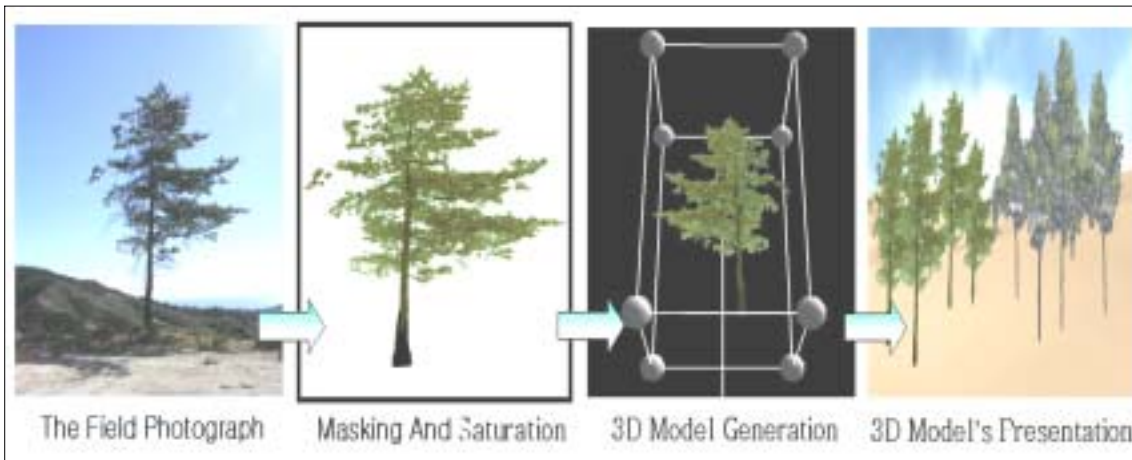
〈그림 3-5-27〉 컬러링 전후 항공사진의 예(삼척시 임원리)

## 나. Virtual GIS를 이용한 3차원 경관 Simulation

### 1) 3D 수종 모델링

연구 대상지인 강원도 원덕읍 검봉산에 서식하고 있는 소나무와 굴참나무를 현지에서 촬영한 이미지를 사용하였으며 소나무와 굴참나무를 제외한 수종은 애니메이션 기법을 활용하여 수종의 3D Modeling을 표현하였다.

수종의 3D Modeling을 위하여 수종이외는 Masking 처리 하였으며 수종의 어두운 부분의 제거를 위하여 화상강조처리를 하였다. 이러한 작업을 통하여 3D 나무 Model을 생성하였다 <그림 3-5-28> .

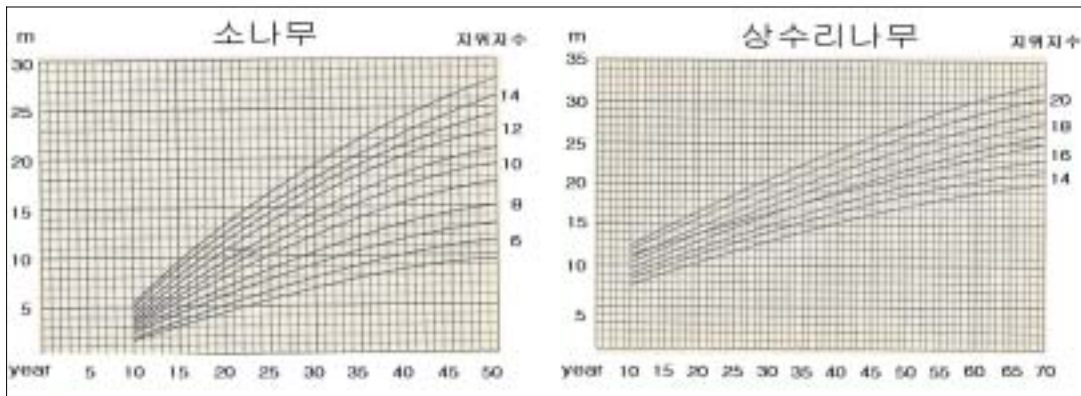


<그림 3-5-28> 나무의 3차원 모델링

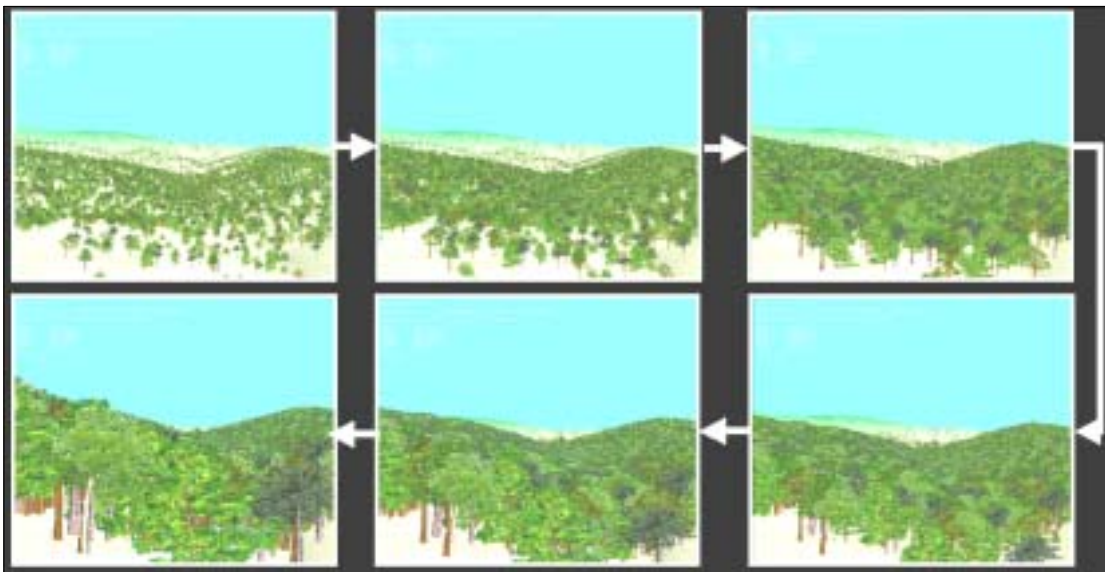
### 2) 나무 성장 모델링

경년에 따른 나무 성장 모델링을 수행하였으며 수종의 성장 모델링에 있어서 우리나라 조건에 맞는 정확한 나무 성장 모델링에 관하여 연구된 바가 없으므로 국립산림과학원에서 제공하는 수종별 지위지수분류곡선을 참조하였다 <그림 3-5-29> .

지위지수분류곡선식을 참조하여 경년에 따른 산림경관의 모습을 나타낸 것이다 <그림 3-5-30> .



〈그림 3-5-29〉 수종별 지위지수분류 곡선



〈그림 3-5-30〉 지위지수 분류곡선에 따른 나무 성장 모델링

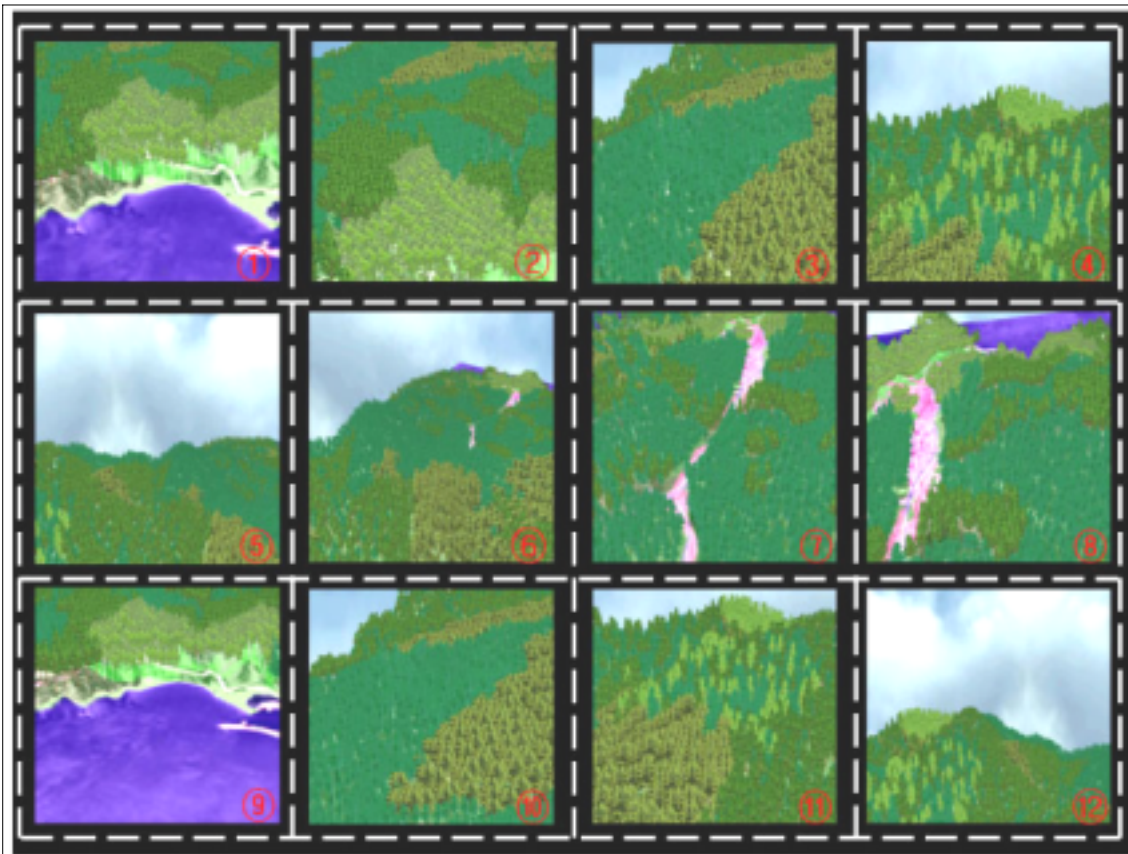
### 3) Virtual GIS를 이용한 Tracking Simulation

Virtual GIS는 3차원 시각화 도구로서 실시간으로 여러 개의 레이어(vector등)를 질의하고 디스플레이 가능하게 하며 실시간으로 비행 및 GIS 분석을 지원, 3차원 지형에 대한 실시간 시뮬레이션과 가시권 분석 등 3차원 분석 가능하게 해주며 또한 DXF 3D Shape, FLT 등 각종 3차원 시설물 삽입하는 3차원 모델링 기능을 수행할 수 있으며 각종 CODEC 지원 및 자유로운 관측자 경로를 선정하여 동영상 제작 가능 등을 지원한다.

또한 Virtual GIS를 이용하여 컴퓨터 기반 위에 구축된 충분한 산불피해지역의 Virtual Environment를 통하여 Tracking Simulation을 구현함으로써 사용자로 하여금 새로운 접근방식으로 가상현실을 체험하게 된다.

사용자는 가상공간상의 적극적인 참여자가 됨으로서 연구 대상지의 현실세계를 가장 근사하게 묘사할 뿐만 아니라 더 나아가서 현실 세계의 시공간적인 제약을 극복할 수 있을 것으로 기대 될 뿐만 아니라 현실 세계와 가장 유사한 3차원 지형기반으로 Virtual Environment를 구축하고 Tracking Simulation을 시행함으로써 산불피해지 복원기술에 있어 GIS 분석기법의 활용성과 경관생태학적 접근을 위한 공간자료의 적용가능성을 제시하였다.

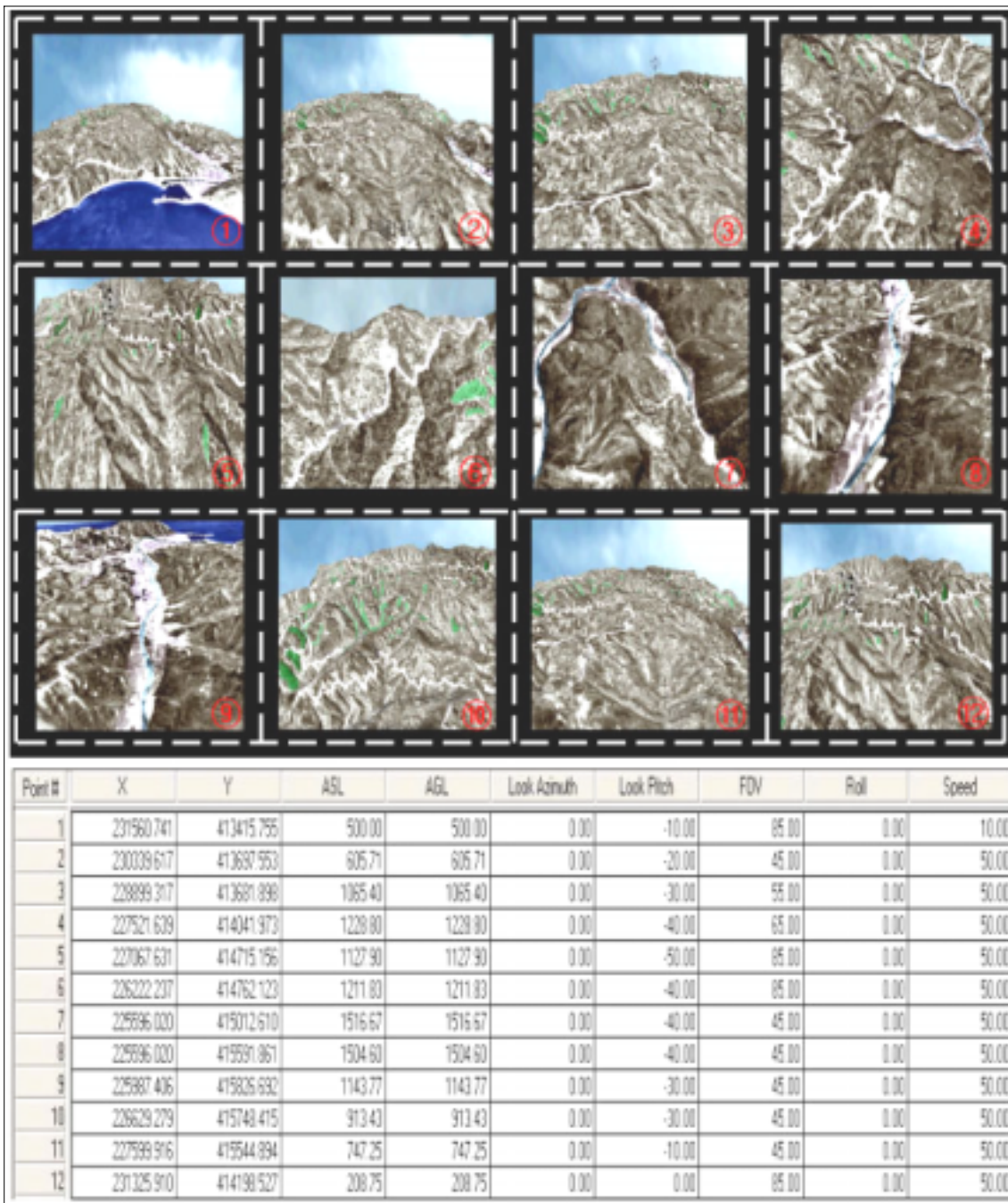
Virtual GIS 상에서 현실 세계와 가장 유사한 3차원 지형기반위에 GIS 공간분석을 통하여 조성된 내화수림대와 수종의 3D 모델을 Overlay하여 Virtual Environment를 구축하고 Tracking Simulation을 수행하였다. 아울러 항공사진 및 Coloring 작업을 수행한 항공사진을 기반으로 하여 산불피해지의 조립전과 조립후의 모습을 Tracking함으로써 산불피해지의 모습과 조립된 산불피해지의 향후의 변화된 경관을 관찰 할 수 있었다. <그림 3-5-31>은 Tracking Simulation에 있어서의 Scene과 관찰자의 위치, 해발고도, 시야각 등 다양한 정보를 나타내고 있다. <그림 3-5-32>와 <그림 3-5-33>는 산불 피해지의 조립전과 조립후의 Tracking Simulation을 나타낸 것이다.



Point #	X	Y	ASL	AGL	Look Azimuth	Look Pitch	FOV	Roll	Speed
1	232430.685	413449.032	500.00	500.00	0.00	-30.00	40.00	0.00	10.00
2	230124.159	413392.043	1000.00	1000.00	0.00	-30.00	45.00	0.00	10.00
3	228167.549	413126.096	1397.00	1397.00	0.00	-30.00	35.00	0.00	10.00
4	226115.959	413619.997	1500.00	1500.00	0.00	-30.00	45.00	0.00	10.00
5	225665.068	413961.929	1550.00	1550.00	0.00	-30.00	45.00	0.00	10.00
6	225071.167	414322.857	1600.00	1600.00	0.00	-20.00	45.00	0.00	10.00
7	224843.212	414493.823	1600.00	1600.00	0.00	-10.00	85.00	0.00	10.00
8	225166.148	414930.736	1550.00	1550.00	0.00	-30.00	85.00	0.00	10.00
9	225793.023	415120.698	1500.00	1500.00	0.00	-30.00	85.00	0.00	10.00
10	226419.898	415253.672	1426.00	1426.00	0.00	-30.00	45.00	0.00	10.00
11	226856.811	415196.683	1395.00	1395.00	0.00	-30.00	45.00	0.00	10.00
12	228015.580	414816.759	1417.00	1417.00	0.00	-30.00	45.00	0.00	10.00
13	228661.451	414588.804	1373.00	1373.00	0.00	-30.00	45.00	0.00	10.00
14	231377.909	415728.577	1201.00	1201.00	0.00	-30.00	45.00	0.00	10.00

<그림 3-5-31> Virtual GIS와 3D 나무모델을 이용한 Tracking Simulation

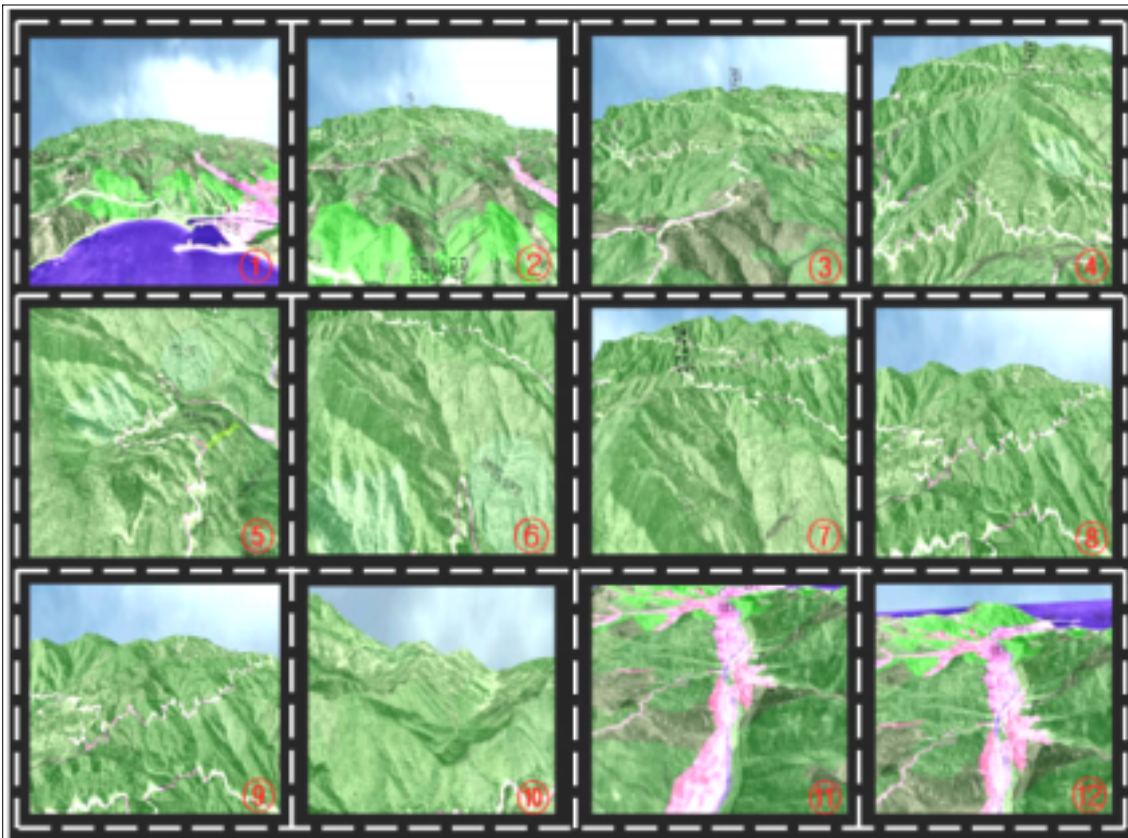




〈그림 3-5-32〉 Virtual GIS와 항공사진을 이용한 조림전의 Tracking Simulation)







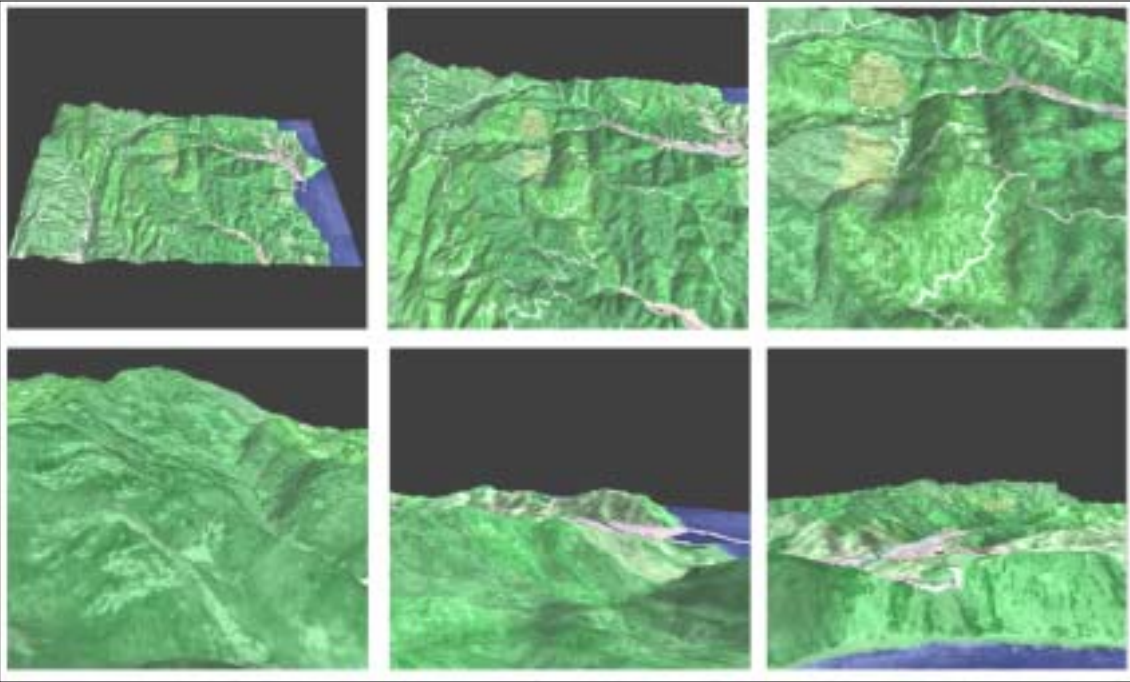
Point #	X	Y	ASL	AGL	Look Azimuth	Look Pitch	FOV	Roll	Speed
1	231560.741	413415.755	500.00	500.00	0.00	-10.00	85.00	0.00	10.00
2	230039.617	413697.953	605.71	605.71	0.00	-20.00	45.00	0.00	50.00
3	228899.317	413681.898	1065.40	1065.40	0.00	-30.00	55.00	0.00	50.00
4	227521.639	414041.973	1228.80	1228.80	0.00	-40.00	65.00	0.00	50.00
5	227067.631	414715.156	1127.90	1127.90	0.00	-50.00	85.00	0.00	50.00
6	226222.237	414762.123	1211.83	1211.83	0.00	-40.00	85.00	0.00	50.00
7	225896.020	415012.610	1516.67	1516.67	0.00	-40.00	45.00	0.00	50.00
8	225896.020	415591.961	1504.60	1504.60	0.00	-40.00	45.00	0.00	50.00
9	225887.406	415825.632	1143.77	1143.77	0.00	-30.00	45.00	0.00	50.00
10	226629.279	415748.415	913.43	913.43	0.00	-30.00	45.00	0.00	50.00
11	227599.916	415544.894	747.25	747.25	0.00	-10.00	45.00	0.00	50.00
12	231325.910	414198.527	208.75	208.75	0.00	0.00	85.00	0.00	50.00

〈그림 3-5-33〉 Virtual GIS와 Coloring 항공사진을 이용한 조림후의 Tracking Simulation

#### 4) VRML(Virtual Reality Modeling Language) 기반의 3차원 경관정보 Tracking 구현

VRML은 국제 표준 기구인 ISO (the International Organization for Standardization)와 IEC (the International Electrotechnical Commission) 에서 인터넷에서 3차원 입체영상을 구현하기 위해 만들어진 3차원 영상 구현 프로그래밍 언어이다. VRML은 각기 다른 업체에서 기술 개발이 진행되더라도 쉽게 통합이 가능하여 능률적인 개발을 할 수가 있으며 소스자체가 공개되어 있어 누구나 VRML을 만드는 원천적인 기술을 개발 할 수 있는 언어이다. 인터넷이나 인트라넷(Intranet) 또는 로컬 클라이언트 시스템(Local Client System)에서 상호작용 할 수 있는 3D 객체(Object)나 실세계(World)를 표현하기 위한 언어이다.

Virtual GIS를 이용한 동영상 Tracking Simulation은 구축 당시의 지정된 경로로만 움직이므로 사용자의 조종에 따라 Tracking을 할 수 없지만 VRML은 사용자가 원하는 어디든지 Tracking을 할 수 있는 장점이 있다. <그림 3-5-34> 는 VRML을 이용하여 조립후의 산림경관 정보를 표현한 것이다.



<그림 3-5-34> VRML을 이용한 산림경관 정보 Tracking 구현

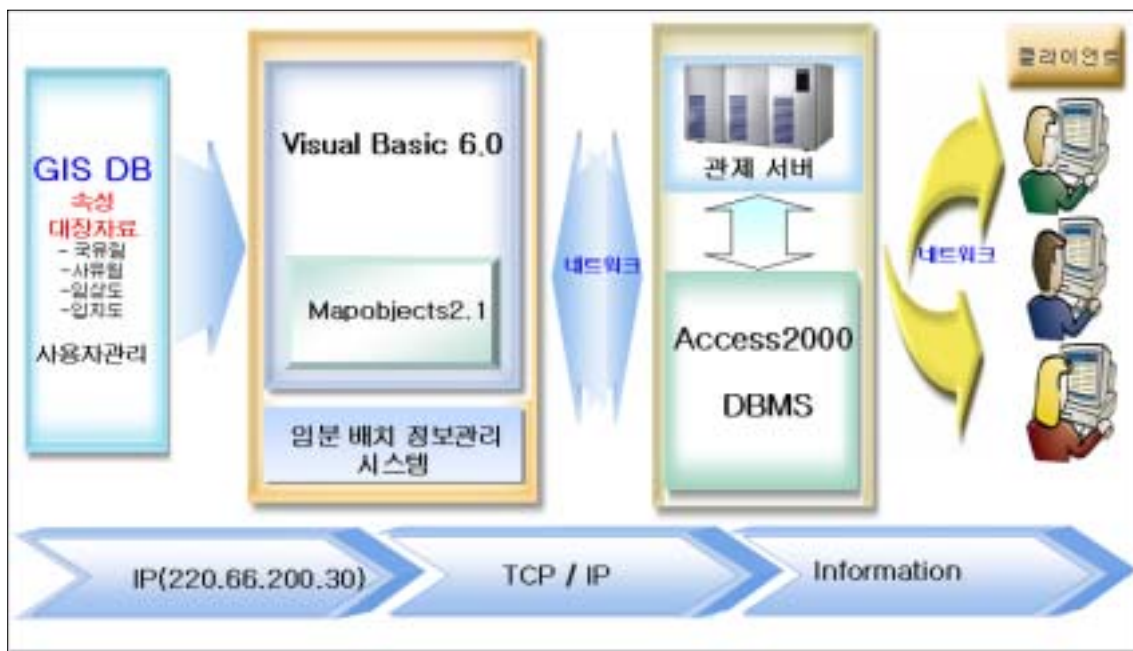
## 5. 임분배치 정보관리시스템 네트워크 구동기술 개발

### 가. 임분배치 정보관리시스템 네트워크 운영 설계 및 구동기술 개발

#### 1) 임분배치 정보관리시스템 네트워크 기본 설계

컴퓨터가 처음 사용될 때는 통신 기능보다는 빠른 데이터 처리만을 위해 독립적(Stand Alone)으로 사용되었지만 컴퓨터가 널리 보급되고 사용자의 폭이 넓어지면서 흩어져 있는 컴퓨터간의 자원 공유를 목적으로 통신기능의 중요성이 부각되었다. 처음에는 단순히 컴퓨터 쌍방 간 데이터 교환으로 출발한 통신기능이, 현재는 단순 데이터는 물론, 각종 소프트웨어, 프린터나 스캐너와 같은 장비, 심지어는 메모리나 프로세서와 같은, 주요 부품의 공유라고 하는 엄청난 역할을 담당하고 있는 실정이다.

이렇게 두 대 이상의 컴퓨터들이 모여서 서로의 정보나 장치를 공유하는 것을 네트워크라고 한다. <그림 3-5-35>은 임분배치 정보관리시스템 네트워크 구성도를 나타낸 것이다.



<그림 3-5-35> 임분배치 정보관리시스템 네트워크 흐름도

## 가) 네트워크의 개념

### (1) 회선 교환망(Circuit switched network)

데이터 통신에서 네트워크 내에 두 지점을 연결해 주는 방식의 하나로 통시하고자 하는 두 기계 사이에 물리적인 회로를 직접 연결한다. 이때 회로는 컴퓨터 제어 하에 신속하게 연결되며, 통신이 지속되는 동안 계속 유지된다. 전송이 끝난 후에는 다른 사용자가 같은 설비를 이용할 수 있도록 연결이 끊어지며 대표적인 예로 전화 시스템이 있다.

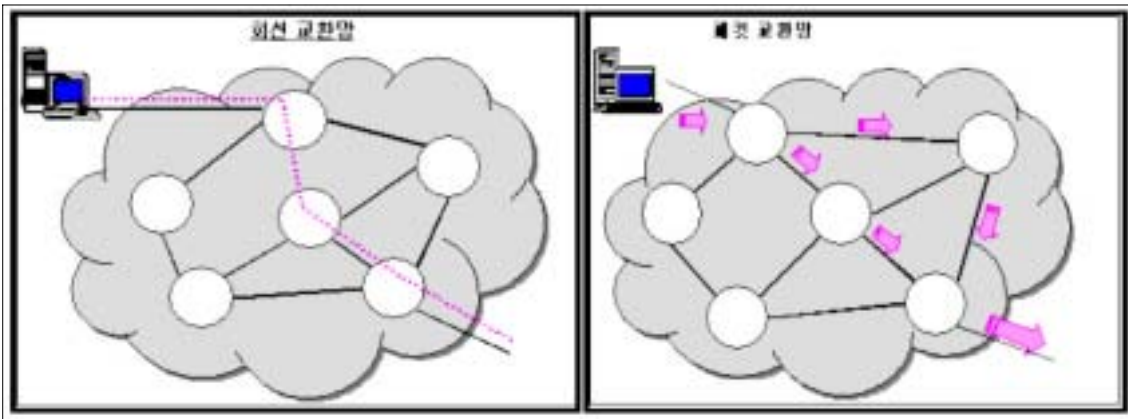
이러한 네트워크를 PSTN(Public Switched Telephone Network : 공공 교환전화 네트워크)이라 하면, 음성통신 전용으로 설계된 것이지만 컴퓨터 통신 목적으로도 사용된다. 컴퓨터 통신 전용으로 설계된 공공 네트워크를 CSPDN(Circuit Switched Public Data Network : 회선 교환 공공 데이터 네트워크) 이라고 한다.

장점으로는 연결 경로가 일단 설정되면 호출 지속 기간동안 연결된 시스템만을 위해 단독적으로 사용되지만 단점으로는 연결 경로가 설정되기 전에는 어떤 데이터도 전송될 수 없을 뿐만 아니라 아날로그 방식이므로 제한된 대역폭을 가지며, 데이터가 전송될 수 있는 속도도 제한이 있다.

### (2) 패킷 교환망(Packet switched network)

디지털 통신에서 사용하는 교환 방식의 하나로 보낼 데이터 패킷이라는 크기 단위로 쪼갠 후에 전송 채널을 통해 목적지로 전달하는 방법을 말한다. 위 그림과 같이 패킷 교환망은 두 개의 최종 시스템이 물리적으로 연결되지 않았기 때문에 회선 교환망의 경우처럼 네트워크 연결을 독점하지 않는다. 우리가 이용하는 인터넷도 이러한 패킷 교환 방식을 사용하고 있다. 이러한 공공 네트워크를 PSPDN(Packet Switched Public Data Network)이라고 한다.

장점으로는 패킷의 크기가 작고 버퍼링을 위해 메모리를 사용하므로 네트워크를 통해 신속하게 전달될 수 있으며 동적으로 전송 경로를 변화시킬 수 있어 네트워크의 개별 부분을 통과하는데 문제가 있다면 패킷의 경로를 다시 지정할 수 있다. 단, 단점으로는 전송 및 수신 시스템 사이에서 패킷의 흐름을 감지하고 제어하는 특별한 소프트웨어 기법이 사용되어야 할 정도로 패킷의 순서 지정이 중요하다 <그림 3-5-36> .



〈그림 3-5-36〉 회선 교환망과 패킷 교환망

나) 네트워크 토폴로지(Network Topology : 망의 형태)

토폴로지는 주어진 제한 조건에서 네트워크 환경을 최적화하여 보다 경제적으로 전체 성능을 향상시키기 위한 네트워크 연결 방법으로 현재 많이 사용하는 방법에는 버스형, 링형, 스타형이 있다 〈그림 3-5-37〉 .

(1) Bus topology(버스형)

버스형은 근거리 통신망(LAN : Local Area Network)의 한 구성 형태로, 위 그림과 같이 각 노드(Node : 네트워크에 접속되어 각각의 컴퓨터나 단말기 등을 말한다)가 하나의 케이블에 연결되어 있는 방식으로 가장 일반적으로 사용된다. 주로 50(Ω) 동축케이블을 BNC 커넥터에 연결하여 사용한다. 하나의 케이블에 연결되어 있기 때문에 물질적인 고장이 하나만 발생해도 네트워크 전반에 영향을 미치는 단점이 있고, 일직선 연결 방식이므로 여러 대의 컴퓨터가 동시에 데이터를 보내면 데이터 충돌의 가능성이 커지게 된다. 이러한 충돌을 방지하기 위해 버스형은 CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) 방식을 채택하고 있다.

(2) Ring topology(링형)

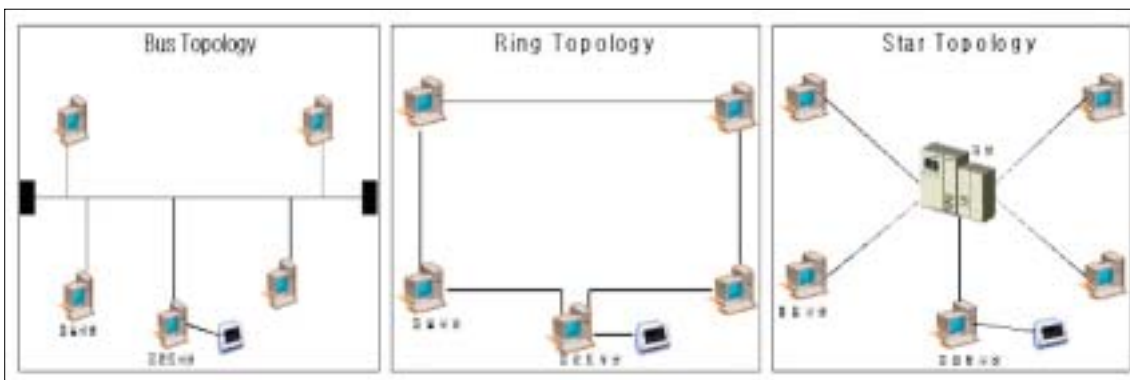
링형은 위 그림과 같이 버스형의 일직선 구조와는 달리 원의 형태로 각 컴퓨터나 장치들이 연결된다. 데이터 충돌방지를 위해 버스형은 CSMA/CD 방식을 사용하지만 링형은 토큰(Token)이라는 일종의 송신 확인장치를 사용한다.

여기서 토큰이란 네트워크에 연결된 여러 대의 컴퓨터 중에서 특정한 컴퓨터에서 나온

신호를 구분해 주는 8비트의 특별한 데이터 패킷으로 원형 케이블을 순회하게 된다. 데이터가 전달되는 방식은 먼저 데이터를 송신하고자 하는 컴퓨터가 순회하고 있는 free token을 가로채서 busy token으로 변경하고 컴퓨터들은 그냥 통과되고, 수신처에 해당하는 컴퓨터에서 데이터 패킷을 수신하면 수신확인을 송신처에 보내게 된다. 수신 확인을 전달받은 송신처에서는 다른 사용자들을 위해서 busy token 상태를 free token으로 변경한다. 토큰이 분실되거나 손상되면 문제가 생기는 단점이 있지만 이를 극복하기 위해서 하나 이상의 노드가 네트워크를 감시하여 발생한 문제를 검출하고 수정하도록 한다. 가장 대표적으로 사용하는 곳이 IBM이다.

### (3) Star topology(스타형)

스타형은 그림과 같이 별빛이 사방으로 퍼져 나가듯이 한 지점을 중심으로 각 컴퓨터나 장치가 연결된다. 버스형이나 링형에 비해 유연성이 크며, 허브(Hub)의 가격이 저렴해지면서 많이 사용되는 방식이다. 각각의 컴퓨터는 허브에 연결되고 허브의 한 선이 서버에 연결되는 형태로, 허브가 고장나면 네트워크환경에 치명적인 영향을 미치는 단점이 있다. 참고로 네트워크는 책임질 수 있는 지리적 범위에 따라 특정 범주로 나뉘어 지는데, 여기에는 다음과 같은 3가지 주요 범주가 있다 <그림 3-5-38> .



<그림 3-4-37> network Topology의 종류

#### ■ 근거리 통신망(LAN : Local Area Network)

한정된 지역에서 독립된 각 지점 장치(컴퓨터, 스캐너, 프린터, 팩시밀리 등) 들간에 통신할 수 있도록 상호 연결시킴으로써 하드웨어뿐만 아니라 소프트웨어 자원까지 공유할 수 있도록 구성된 컴퓨터 네트워크 시스템의 총칭이다.

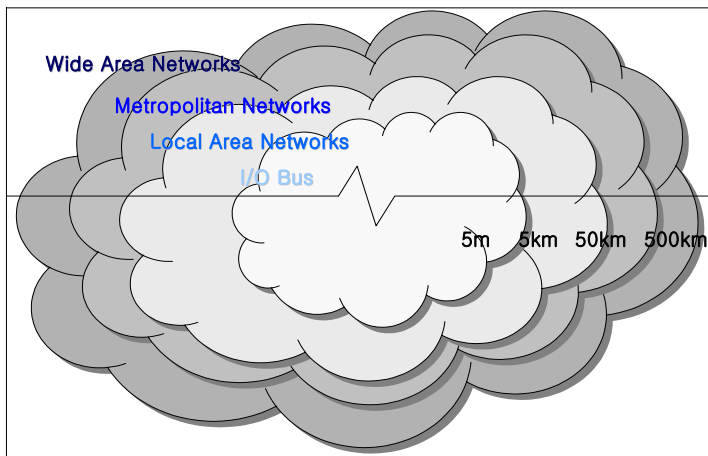


■ 광역 통신망 (WAN : Wide Area Network)

한 국가, 한 대륙, 또는 전 세계에 걸친 넓은 지역의 수많은 컴퓨터가 연결되어 있는 통신망. 대표적인 광역 통신망으로서는 미 국방성에서 구축한 ARPANET, 컴퓨터 과학 분야의 CSNET, 유닉스 사용자들간의 네트워크인 USENET 등이 있다. 광역 통신망은 세계적인 규모의 통신망이므로 이 기종 컴퓨터 시스템 및 통신 시스템간의 연결, 장거리의 데이터 전송, 복잡한 네트워크 구조의 효과적인 관리, 위성 통신이나 해저 케이블을 이용한 대륙 간 통신 등의 고급 기술이 필요한 분야이다.

■ 도시권 통신망(MAN : Metropolitan Area Network)

대도시를 근간으로 하는 네트워크로 Wan 보다는 작은 규모이다.



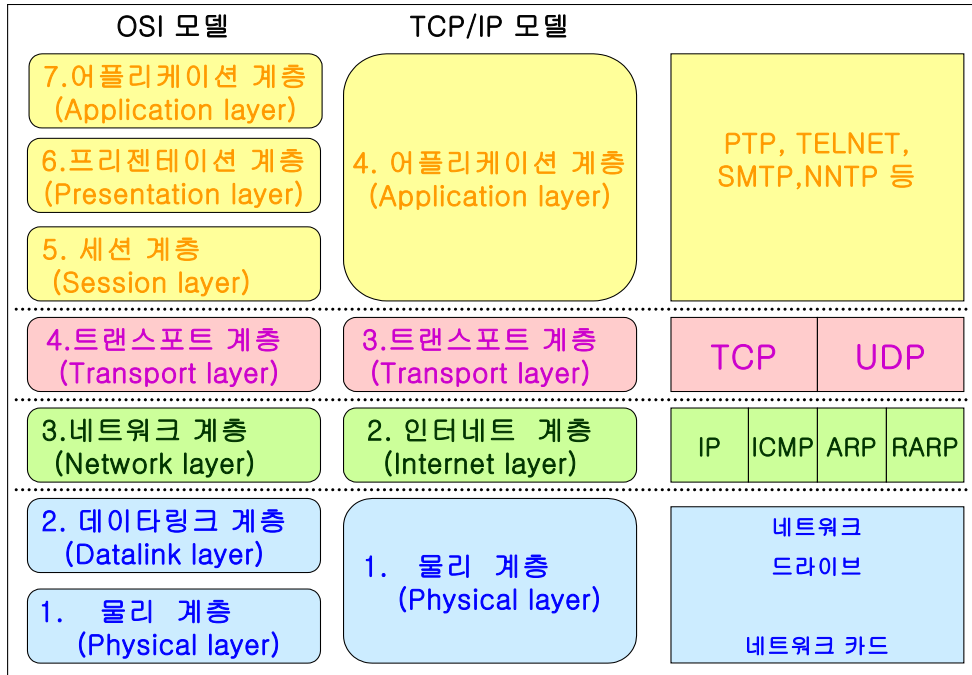
<그림 3-5-38> 네트워크의 지리적 범주

다) 프로토콜(Protocol)

상대방의 하드웨어가 자신의 하드웨어와 동일한 제품이 아니면 전달된 전기적 신호를 제대로 해석하지 못하지만 제조업체가 서로 다른 컴퓨터들 간에 통신을 하더라도 하드웨어가 호환이 된다면 서로 전기적 신호를 주고받을 수 있도록 표준화시킨 규약이 프로토콜이다.

즉, 전송되는 데이터의 전기적 신호 형식을 통일시킴으로써 이 기종간의 통신이 가능하게 된다. 물론 프로토콜이란 서로 다른 이 기종 컴퓨터나 장치들 간의 데이터 교환을 위해 사전에 결정해야 할 여러 물리적, 소프트웨어적인 조건들을 표준화시킨 규칙 또는 규

약의 집합이다. 이러한 규약에는 상대방의 요청 및 응답, 통신의 연결 및 해제, 메시지의 블록화 형식, 오류 발생시의 처리 방법, 각종 코드 변환 등이 포함된다. <그림 3-5-39>는 국제 표준화 기구 (ISO : International Standards Organization)가 정한 표준 프로토콜로 OSI(Open Systems Interconnection) 7레이어 모델을 보여주고 있다.



<그림 3-5-39> OSI(Open Systems Interconnection) 7레이어 모델

#### 나. 임분배치 정보관리시스템 GUI 개발

임분배치 정보 관리시스템은 효율적인 GUI(Graphic User Interface) 개발을 위해 Windows 2000을 운영체제로 하며, 사용자 중심의 시스템 인터페이스를 위하여 객체지향 언어인 MS사의 Visual Basic 6.0과 GIS 기능의 연동을 위하여 ArcObjects를 이용한 CBD (Component Based Development) 방법에 근거하였으며, DBMS(Data Base Management System)으로는 Access2000를 사용하여 시스템 개발을 설계하였다.

사용자에게 데이터베이스의 저장된 공간 정보와 속성 자료들을 다양한 형태로 보여주어

야 하는 것은 GIS시스템의 생명이다. 사용자가 원하는 지도나 속성 정보 및 사용자 질의 혹은 분석된 자료를 그래프로 보고자 할 때 이를 효과적으로 지원해 주는 디스플레이 기능은 본 시스템 GUI 구현의 필수적인 기능이므로 본 시스템의 구성은 GIS의 사용자 인터페이스가 기본적으로 갖추어야 하는 맵의 확대·축소 기능, 맵의 이동시킬 수 있는 Pan 기능, 전체 보기, 출력 기능, 속성 보기의 매핑 기능과 여러 주제도를 중첩시켜 지형에 대한 정보를 자세히 알 수 중첩 기능 및 사용자 질의 조건의 의한 검색 기능 등으로 구성되어 있다 <그림 3-5-40> .

주 기능으로는 산불 발생지의 공간 특성 및 산불 연소 특성을 분석하여 산불 피해지 지역별 입지 조건에 적합한 수종을 선정하여 시스템 상에서 가상으로 수종을 배치할 수 있는 기능과 조림전과 조림후의 3차원 경관을 관찰할 수 있는 3차원 Tracking Simulation 기능이 있다.

이 밖에도 산불 발생지의 공간 특성, 산불 발생 위험 분포도, 위성 영상 등의 다양한 산불 발생지 관련된 정보 등을 검색할 수 있는 임분 배치 정보 관리 시스템을 개발하였다.



<그림 3-5-40> 시스템 개발 흐름도

1) 시스템 사용자 인터페이스

가) 시스템 접속














다음 화면은 임분배치 정보 관리시스템의 초기화면이다. 본 화면에서 사용자 ID와 비밀번호를 입력하면 시스템에 접속하게 된다. 사용자 ID와 비밀번호는 사용자들에게 따로 해당 계정을 부여하여 사용하면 된다 <그림 3-5-41> .



<그림 3-5-41> 임분배치 정보관리 시스템 초기화면

나) 아이콘 구성

임분배치 정보 관리시스템의 다양한 기능을 제공하는 툴바(Toolbar)에 있는 아이콘과 그 기능에 대하여 설명하였다 <그림 3-5-42> .

구분	아이콘	설명
저장하기		프로그램의 수정 사항을 저장한다.
출력하기		맵창의 도면을 출력한다.
확대하기		맵창의 지도를 확대한다.
축소하기		맵창의 지도를 축소한다.
이동하기		맵창의 지도를 이동한다.
전체보기		맵창의 지도를 전체보기 한다.
속성보기		맵창의 임상도, 국유림등 주제도의 속성정보를 나타낸다.
좌표표시		맵창의 동일 좌표를 나타낸다.
거리측정		지도의 거리를 측정한다.
면적측정		지도의 면적을 측정한다.
지도추가		지도의 선택 폴리곤을 추가한다.
지도삭제		지도의 선택 폴리곤을 삭제한다.
나무아이콘		맵창에 나무 이미지를 나타낸다.

〈그림 3-5-42〉 시스템의 주요 아이콘

#### 다) 메인화면 정보

아래 화면은 초기화면으로 산불 피해지인 강원도 삼척시 원덕읍 검봉산 일대가 나타난 화면이다. 상단에는 시스템의 주 메뉴를 나타내는 메뉴바와 시스템에서 확대 및 축소 등 다양한 기능을 제공하는 툴바로 구성되어 있으며 좌측에는 레이어들의 제어를 할 수 있는 제어창과 아래에는 화면에 나타난 속성 정보와 조건검색을 할 수 있는 검색창으로 구성되어 있다 〈그림 3-5-43〉.



〈그림 3-5-43〉 시스템의 메인화면

라) 확대 및 축소 기능

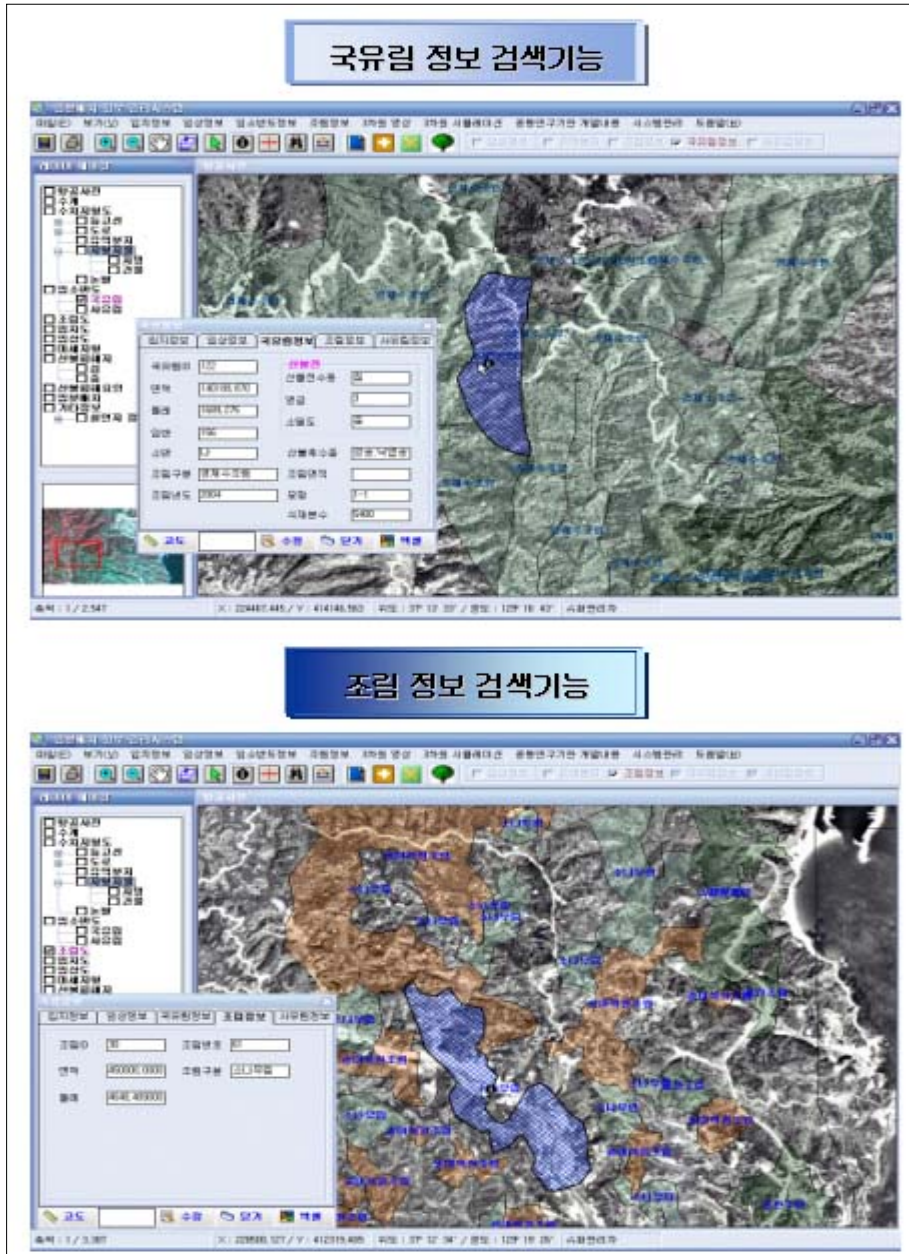
사용자가 원하는 지역을 확대·축소기능은 사용하여 지역을 확대·축소하여 보다 넓은 지역을 보거나 좁은 지역을 볼 수 있으며 이동기능을 이용하여 원하는 곳으로 이동을 할 수 있다 〈그림 3-5-44〉.



〈그림 3-5-44〉 확대·축소·이동 기능

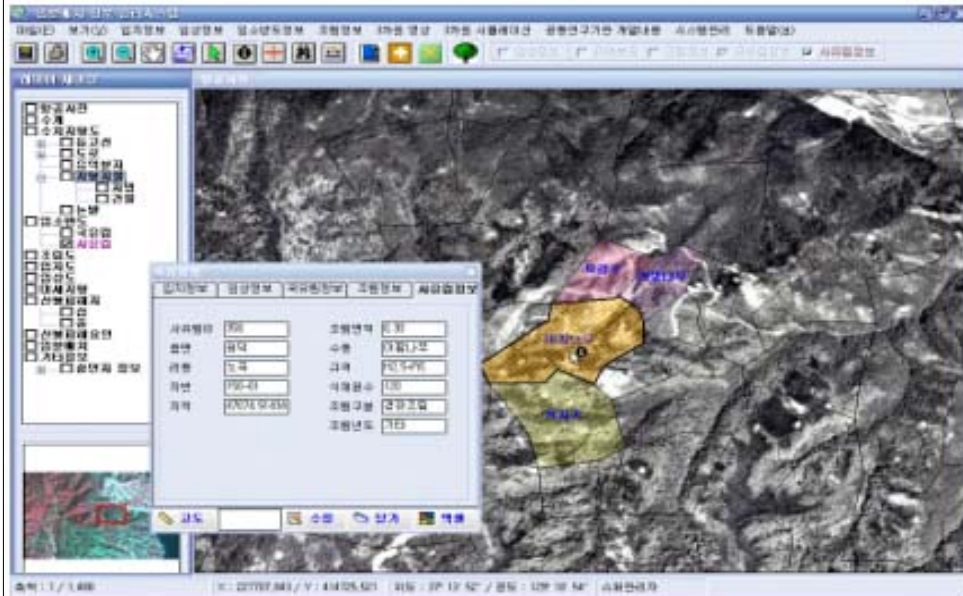
마) 정보 검색 기능

원하는 정보를 검색할 수 있는 기능으로서 제어창에서 검색하고자 하는 레이어를 선택한 다음 메인창에 마우스를 클릭함으로써 정보를 검색 할 수 있다 <그림 3-5-43> .

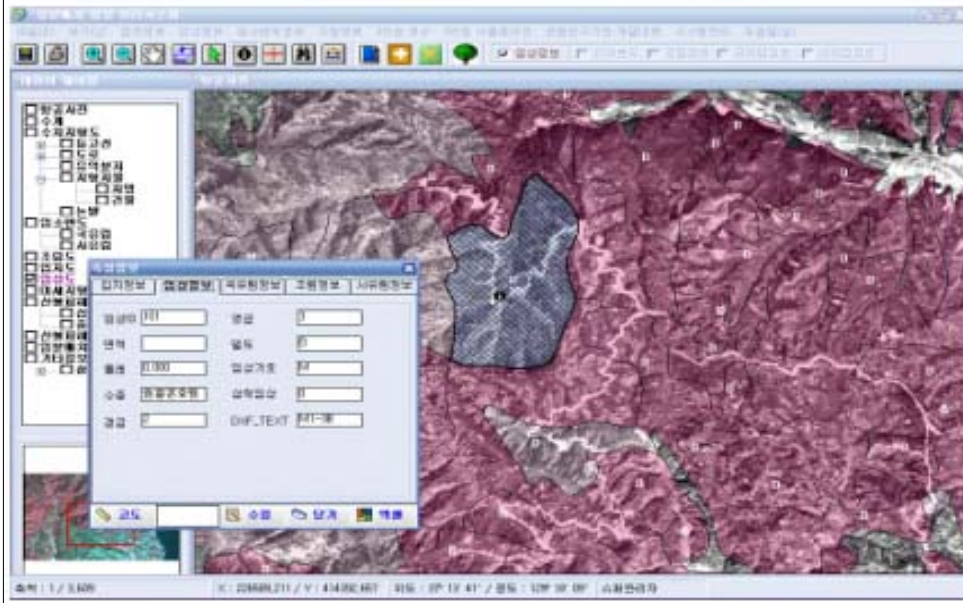


<그림 3-5-45> 국유림 및 조림 정보검색 기능

## 사유림 정보 검색기능



## 임상 정보 검색기능



〈그림 3-5-46〉 사유림 및 임상 정보검색 기능



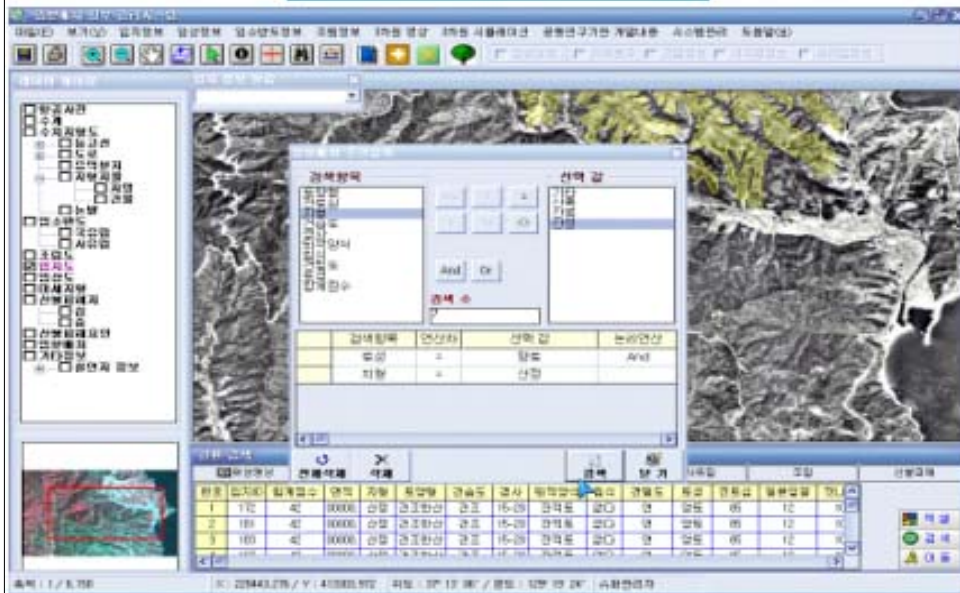
바) 조건 검색 기능

원하는 정보를 조건을 주어 검색할 수 있는 기능으로서 제어창에서 검색하고자 하는 레이어를 선택한 다음 검색창에서 조건을 부여함으로써 정보를 검색 할 수 있으며 검색된 지역으로 이동할 수 가 있다 <그림 3-5-47~48> .

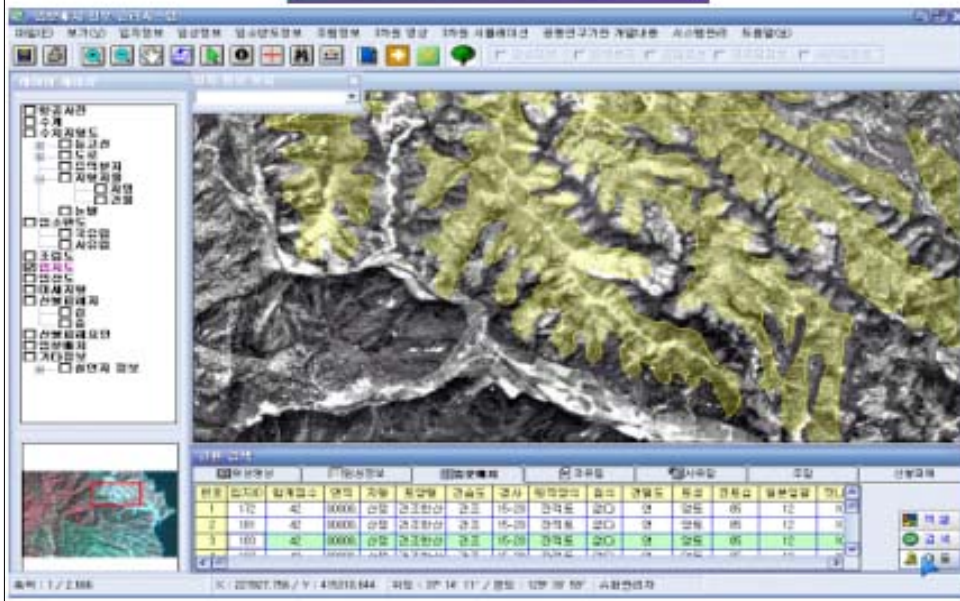


<그림 3-5-47> 국유림 및 조림 정보 조건검색 기능

## 입지도 조건 검색기능



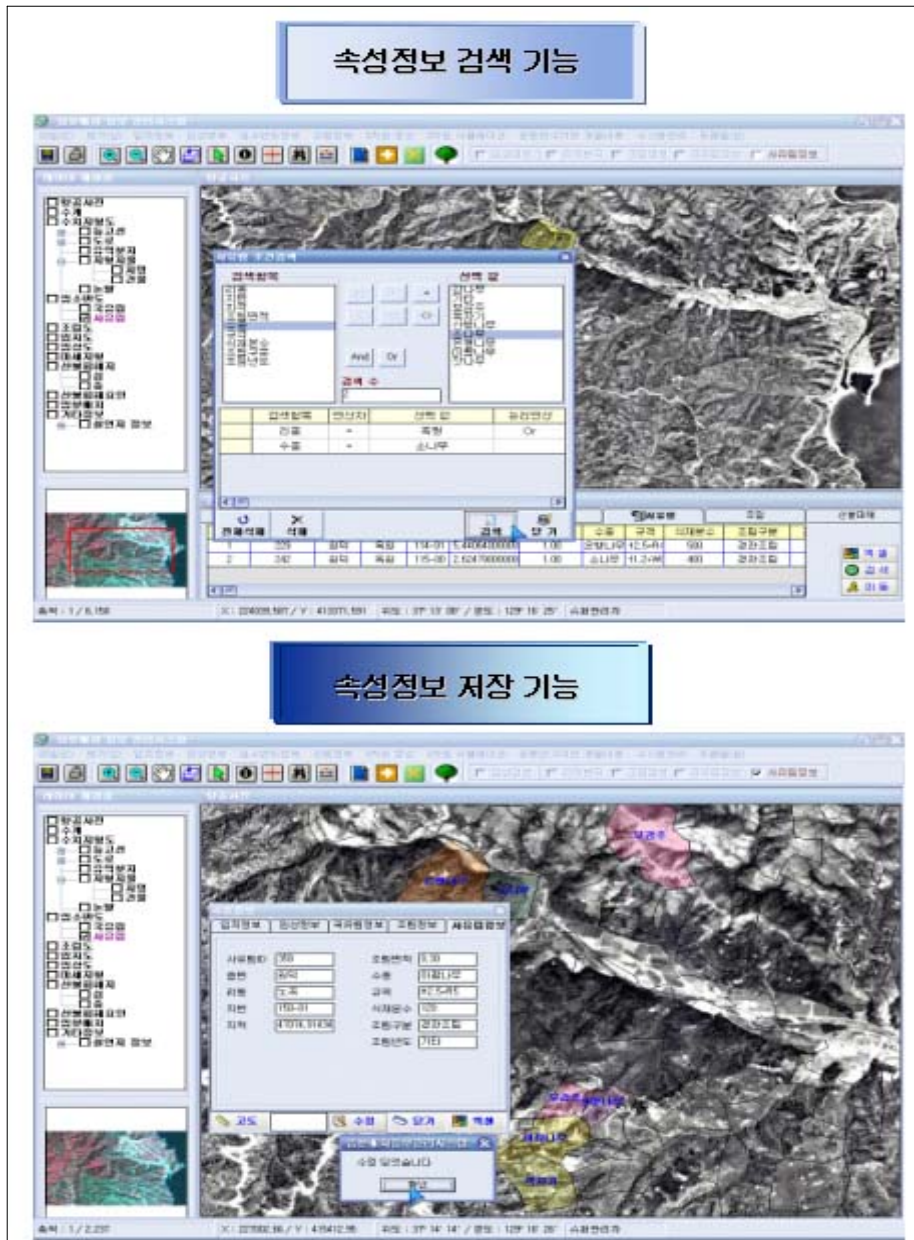
## 검색결과로 이동



〈그림 3-5-48〉 입지도 정보 조건검색 및 검색 결과로 이동 기능

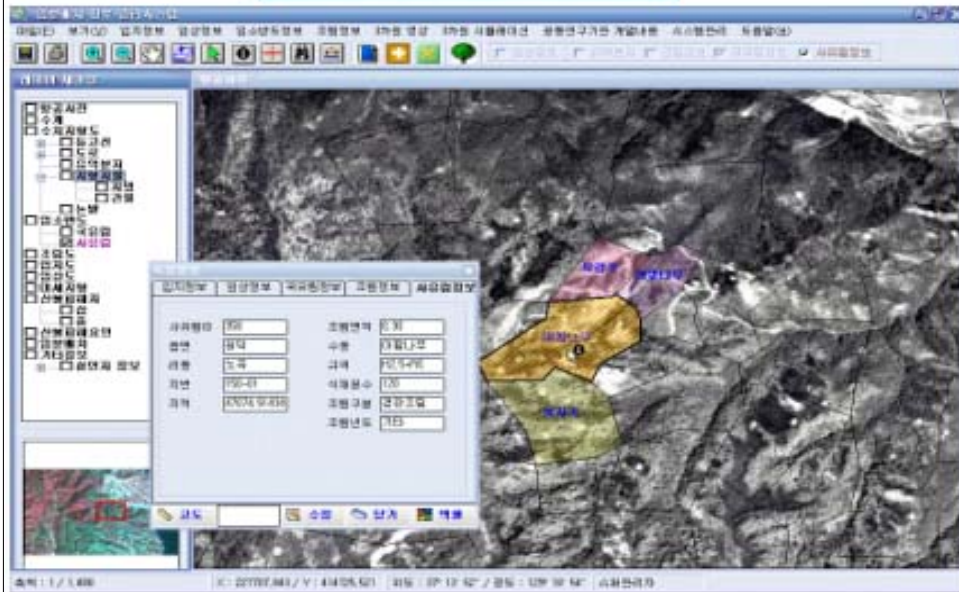
사) 속성 정보 수정 및 저장 기능

정보를 수정 및 저장을 할 수 있는 기능으로서 정보를 수정 및 저장 할 수 있으며 엑셀 자료로도 변환하여 따로 저장 및 관리 할 수도 있다 <그림 3-5-49~50> .

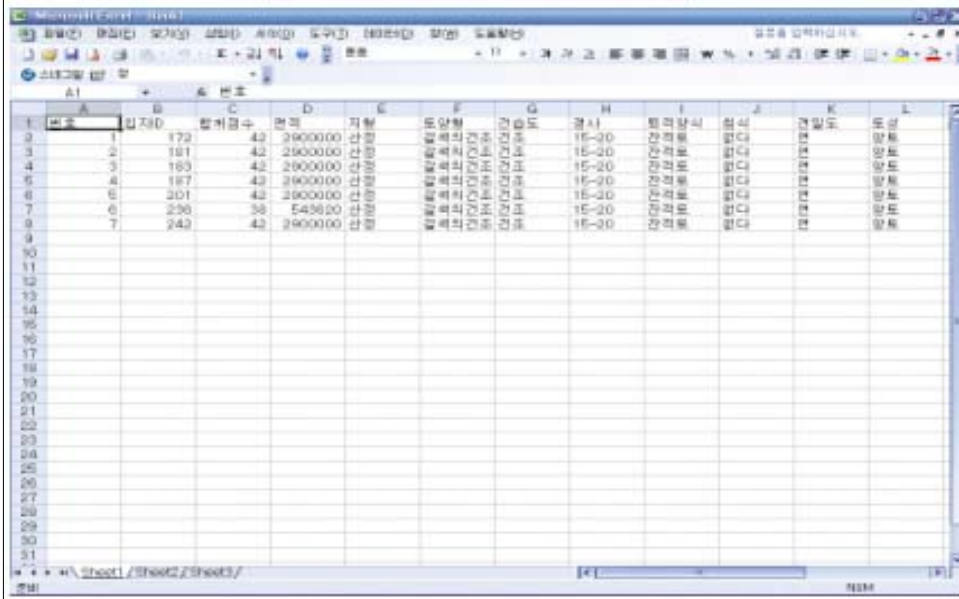


<그림 3-5-49> 속성 정보검색 및 저장 기능

## 속성정보 수정 기능



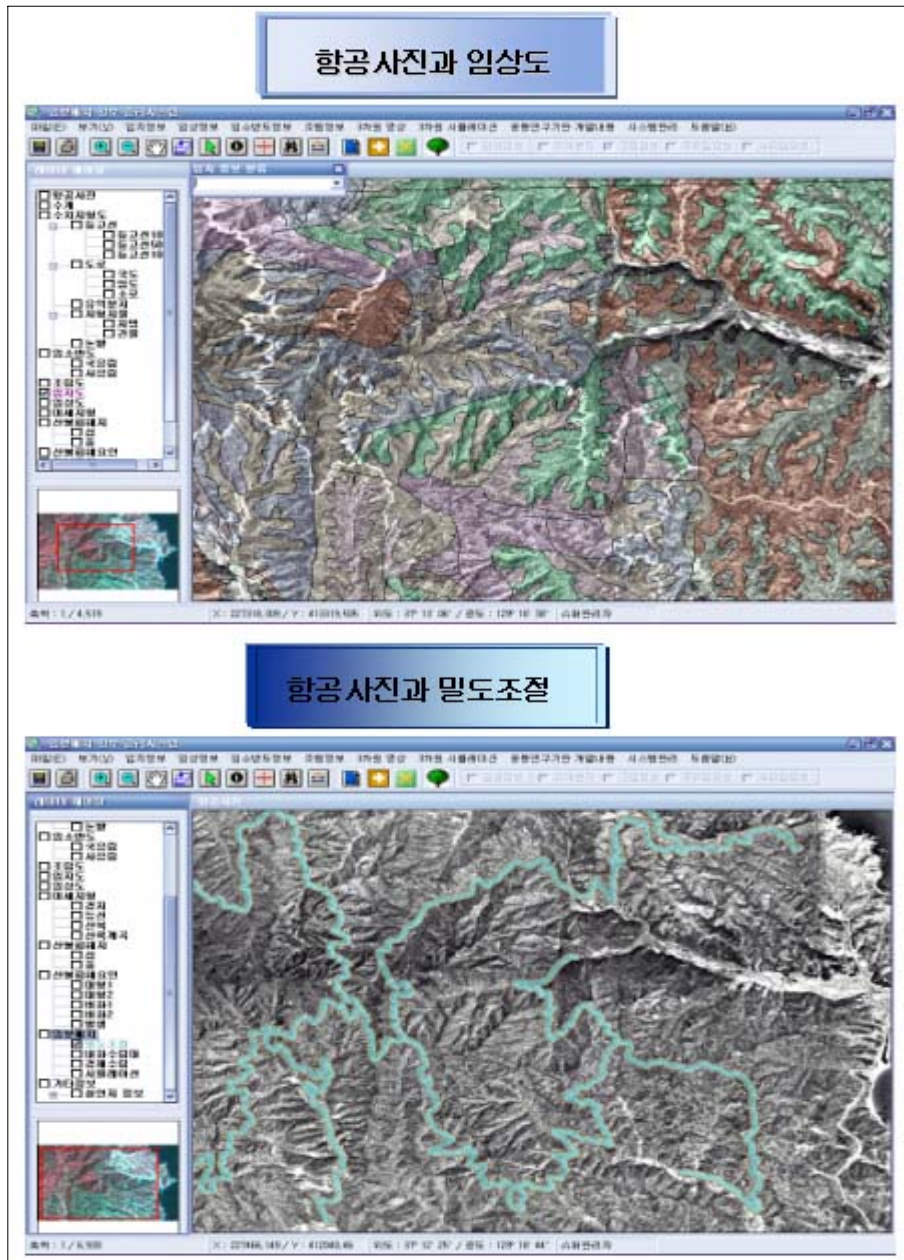
## 엑셀자료 변환 기능



〈그림 3-5-50〉 속성 정보수정 및 엑셀 자료로 변환 기능

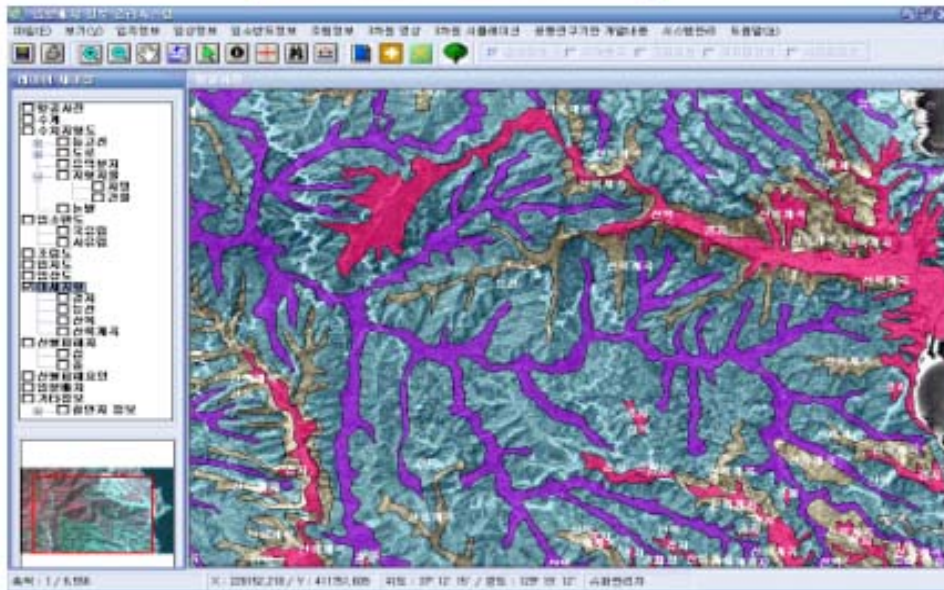
아) 중첩 기능

사용자가 원하는 레이어들을 제어창에서 선택하여 중첩하여 볼 수 있는 기능이다 <그림 3-5-51~52> .

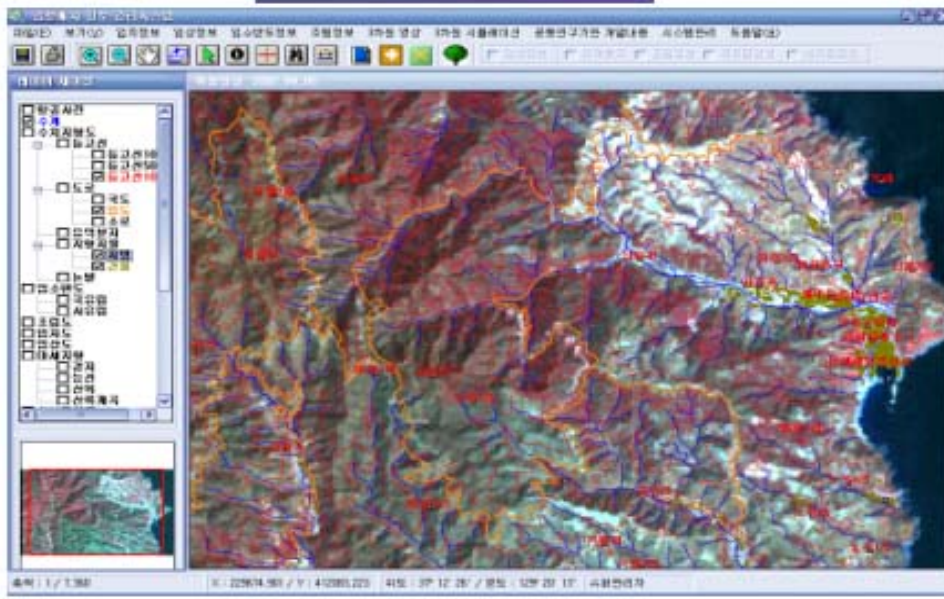


<그림 3-5-51> 항공사진과 임상도 및 항공사진과 밀도조절 중첩 기능

## 항공사진과 미세지형



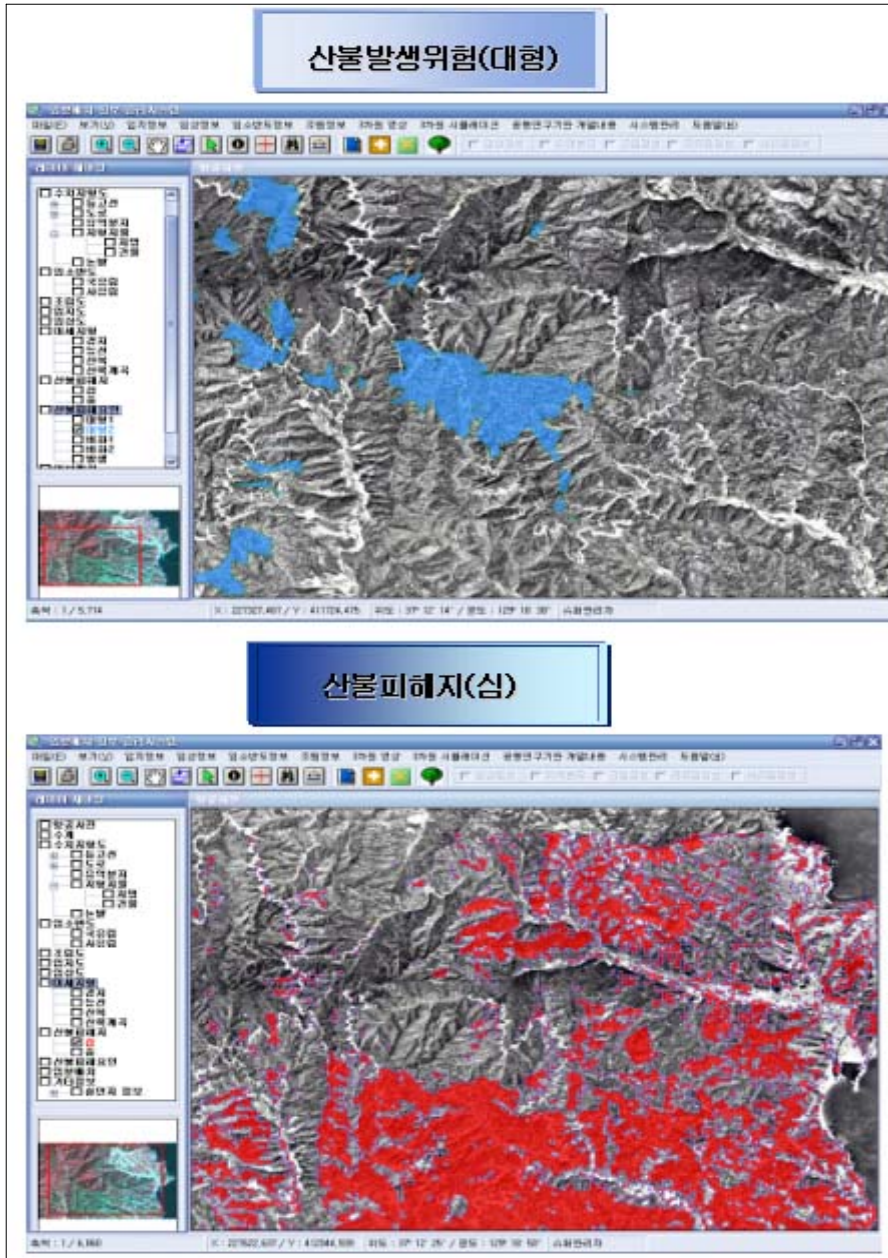
## 위성영상과 수치지형도



<그림 3-5-52> 항공사진과 미세지형 및 위성영상과 수치지도 중첩 기능

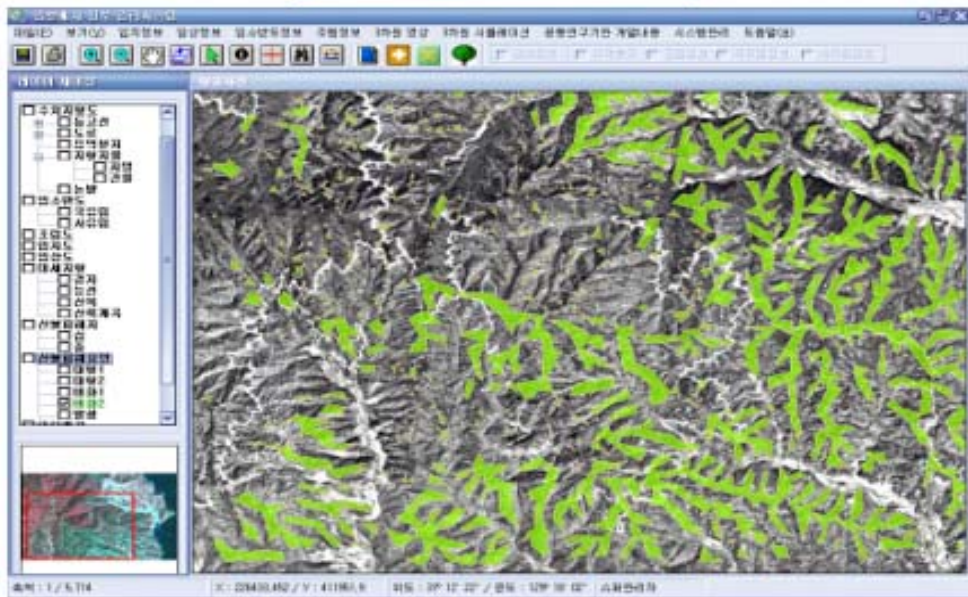
자) 산불피해지 및 산불발생위험지역 검색 기능

산불피해지 및 산불발생 위험지역을 레이어 제어창에서 클릭 함으로서 산불 피해지(심, 중)와 산불 발생위험지역(대형, 비화, 발생)을 검색을 할 수 있다 <그림 3-5-53~54> .

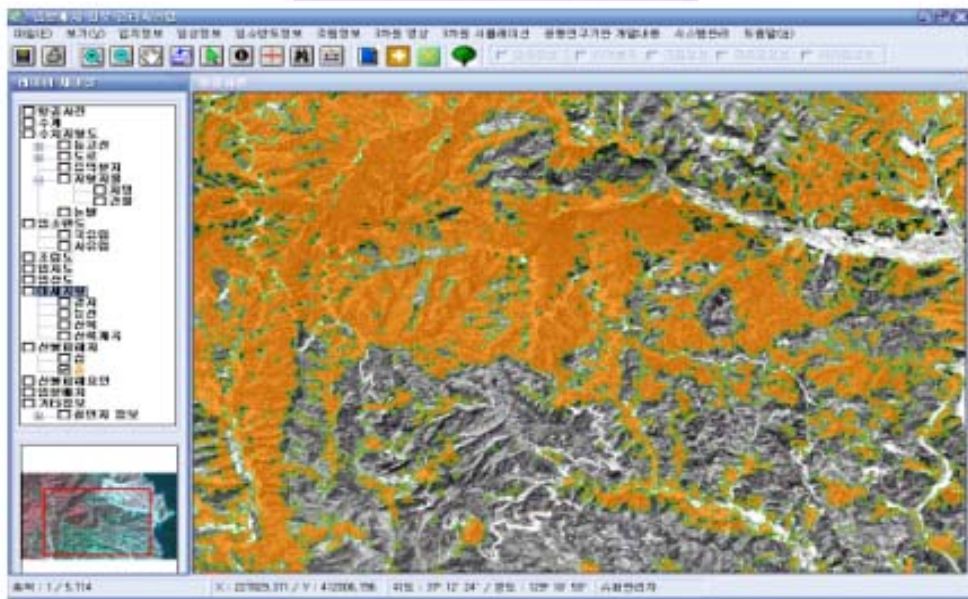


<그림 3-5-53> 산불발생 위험지(대형)와 산불피해지(심)의 검색 기능

## 산불발생위험(비화)



## 산불피해지(중)

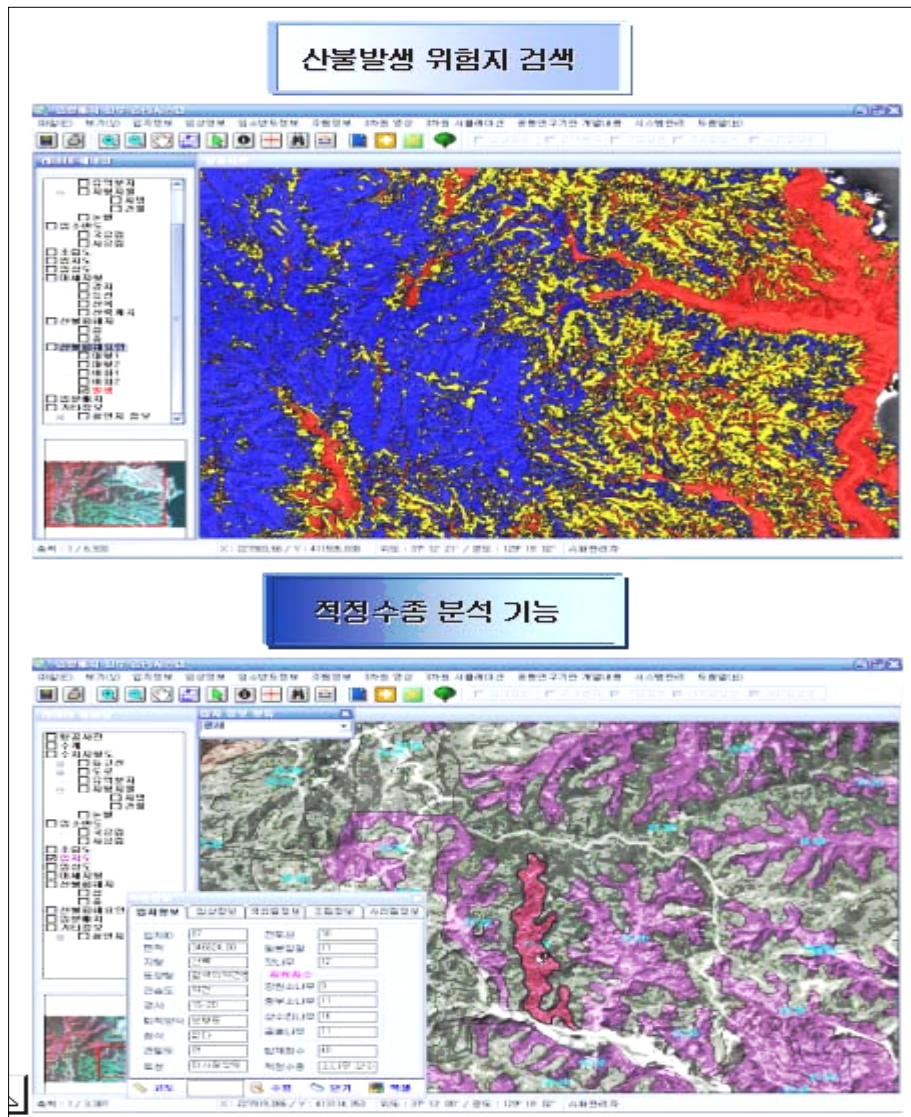


〈그림 3-5-54〉 산불발생 위험지(비화)와 산불피해지(중)의 검색 기능



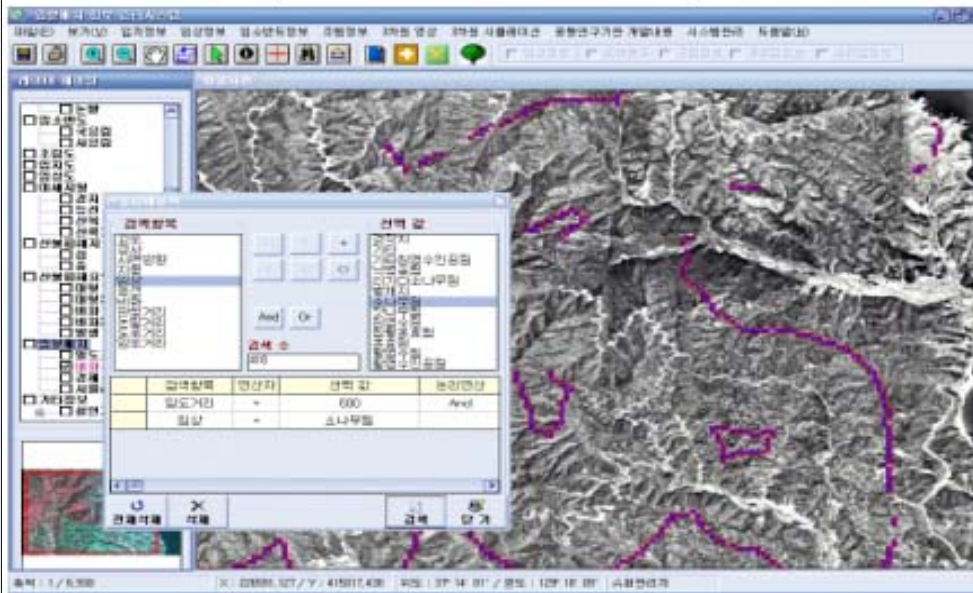
차) 적정수종 배치 분석 기능

산불 피해지 조림계획에 의사결정을 지원하는 기능으로서 내화수림대 분석 기능을 통하여 내화수림대를 선정 할 수 있으며 선정된 내화 수림대 지역을 클릭함으로써 그 지역에 가장 적합한 수종을 선정해준다. 선택된 수종 이미지를 통하여 가상 임분배치를 할 수도 있으며 또한 적정 임분배치가 수행된 도면의 수정 및 저장, 출력기능을 제공한다 <그림 3-5-55~58> .

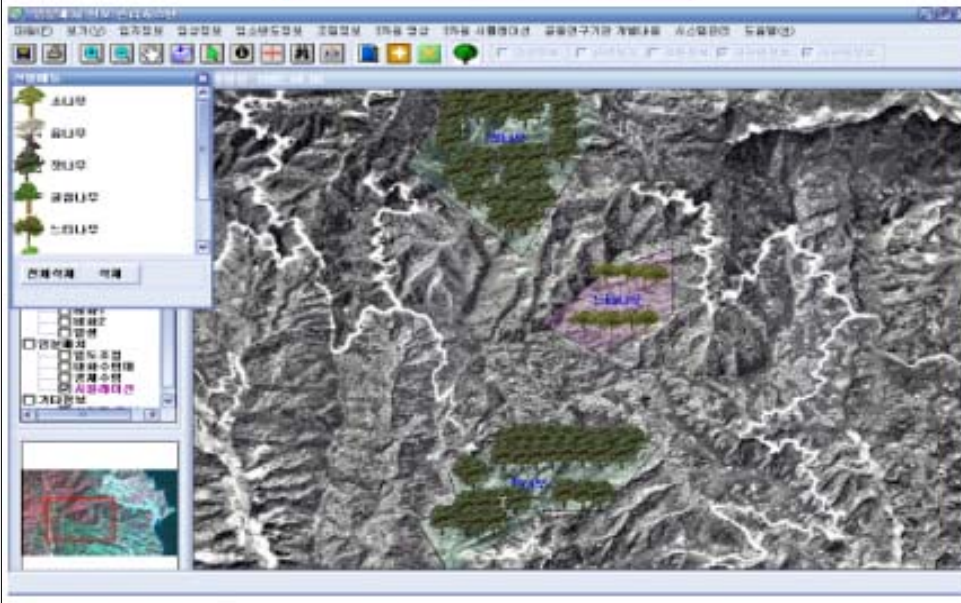


<그림 3-5-55> 산불발생 위험지 검색 및 적정수종 분석 기능

## 내화수림대 분석 기능

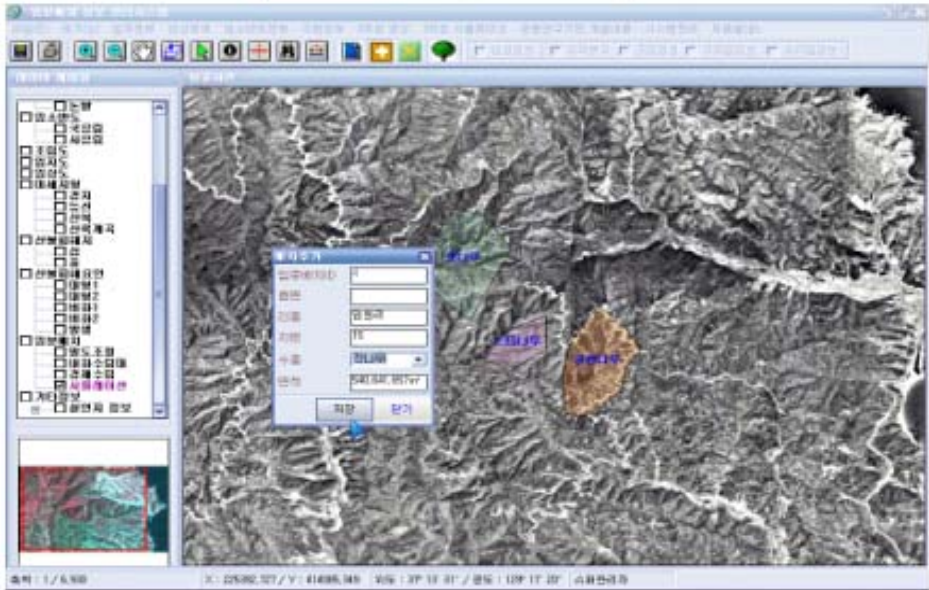


## 적정수종 배치 기능

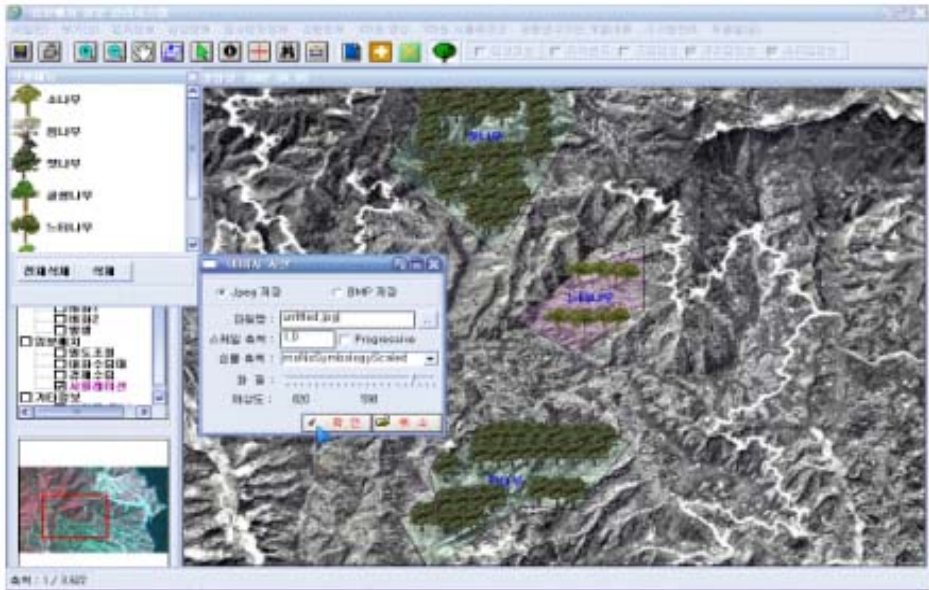


〈그림 3-5-56〉 내화수림대 및 적정수종 배치 기능

## 임분배치 추가 기능

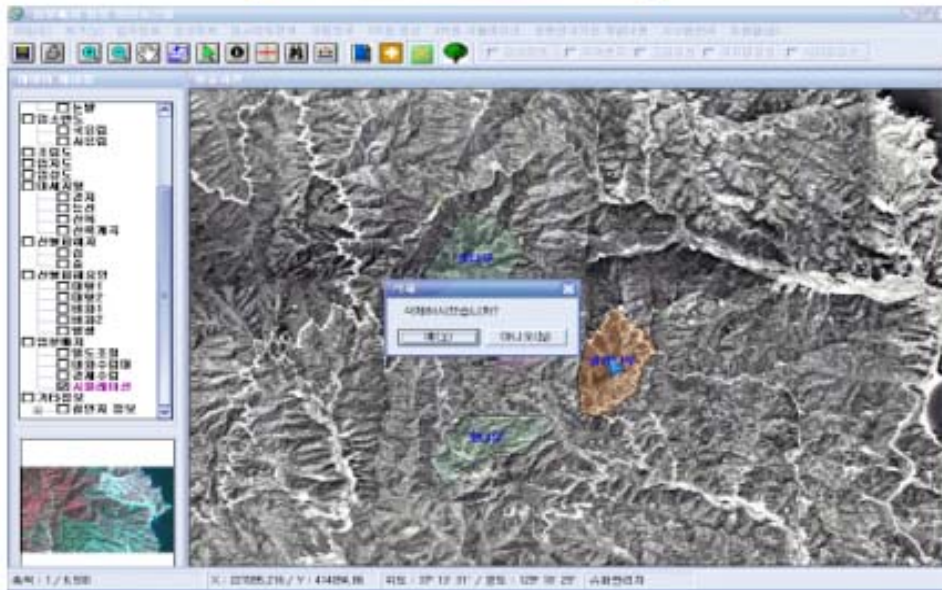


## 분석도면 저장 기능

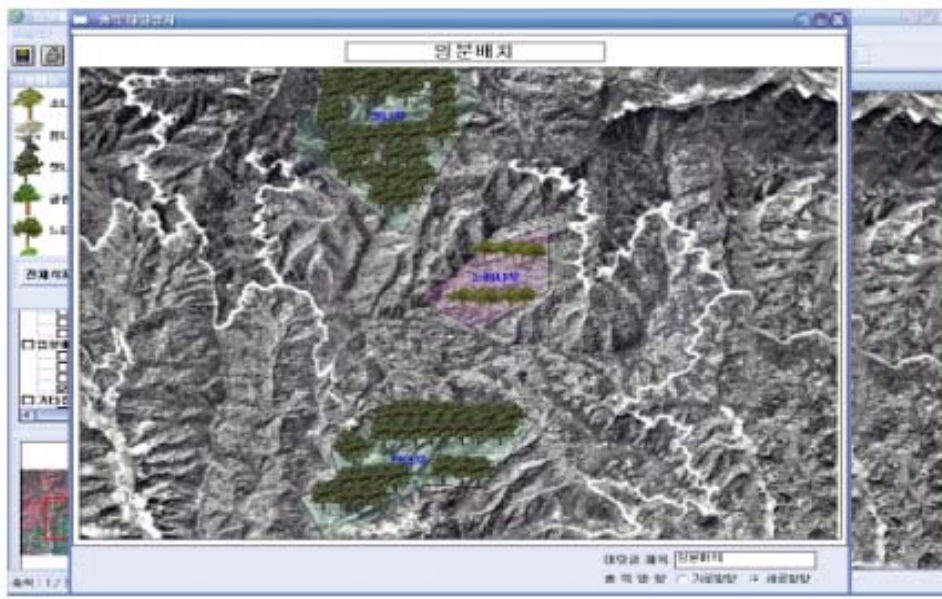


〈그림 3-5-57〉 임분배치 추가 및 분석도면 저장 기능

## 임분배치 삭제 기능



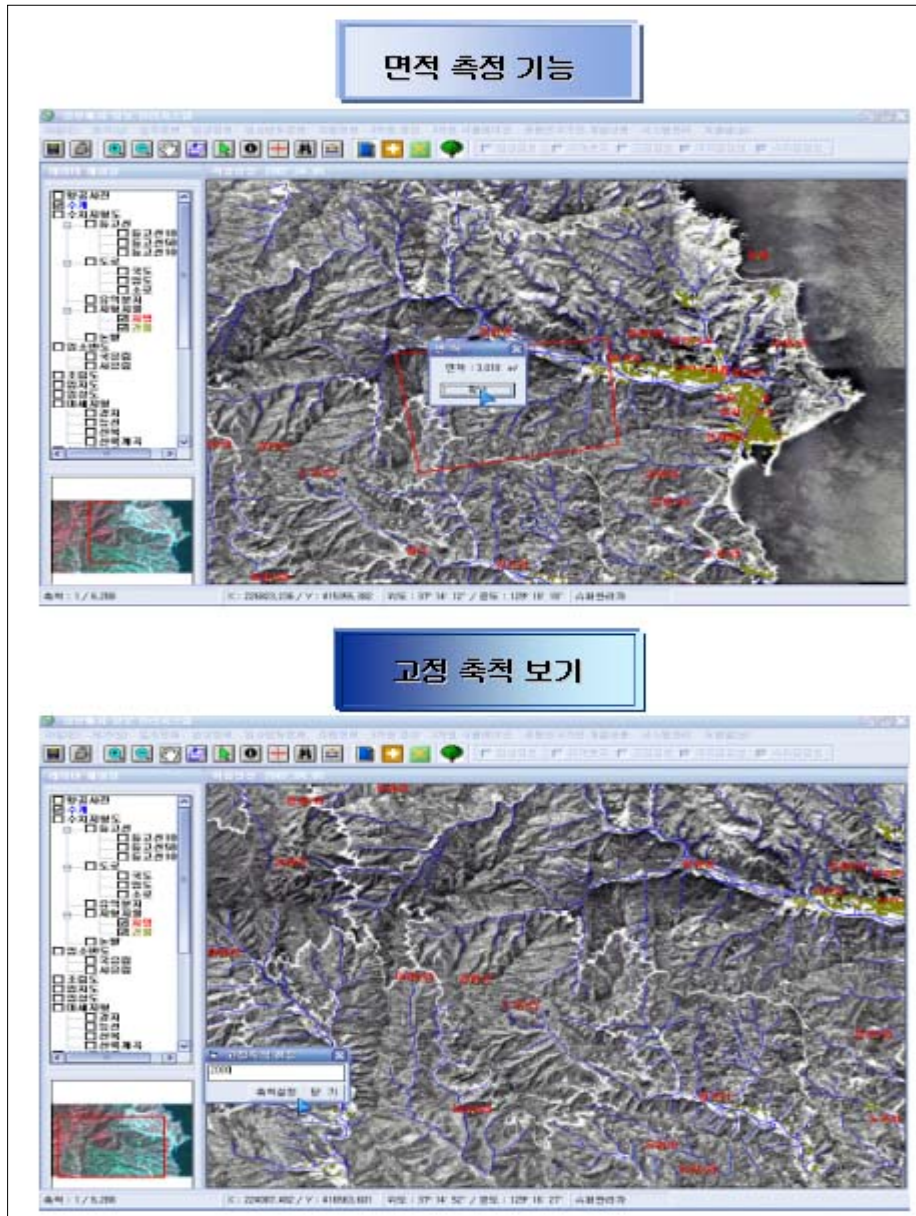
## 분석도면 출력 기능



〈그림 3-5-58〉 임분배치 삭제 및 분석도면 출력 기능

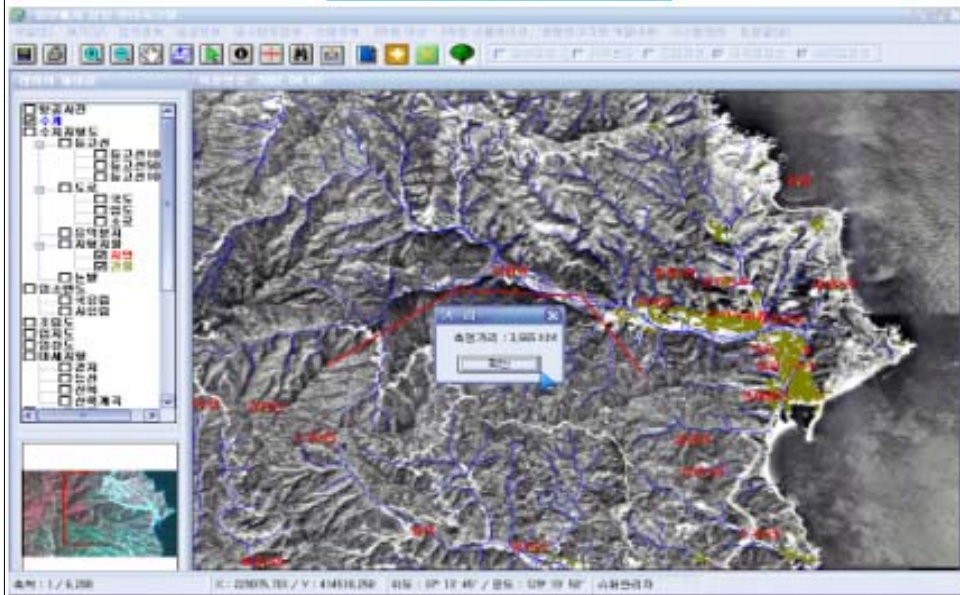
카) 지도 측정 기능

특정지역의 좌표를 알고자 할 때 좌표를 알 수 있는 기능과 두 지점 사이의 거리를 측정하기 위한 거리 측정 기능, 맵 상에서 면적을 측정할 수 있는 면적측정 기능과, 사용자가 원하는 축척에서 지도를 제어할 수 있는 고정 축척 기능 등이 있다 <그림 3-5-59~60> .

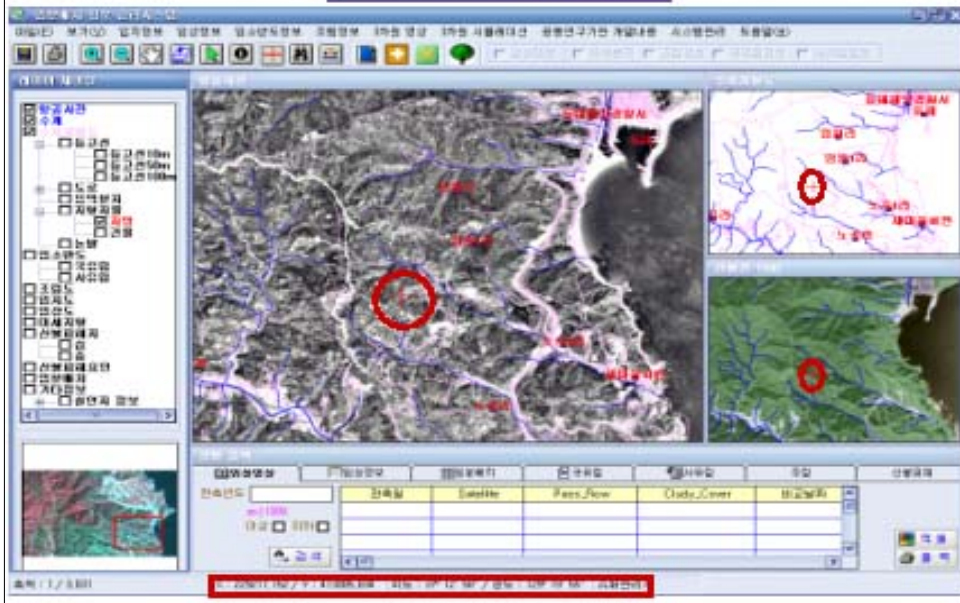


<그림 3-5-59> 면적 측정 및 고정 축척보기 기능

## 거리 측정 기능



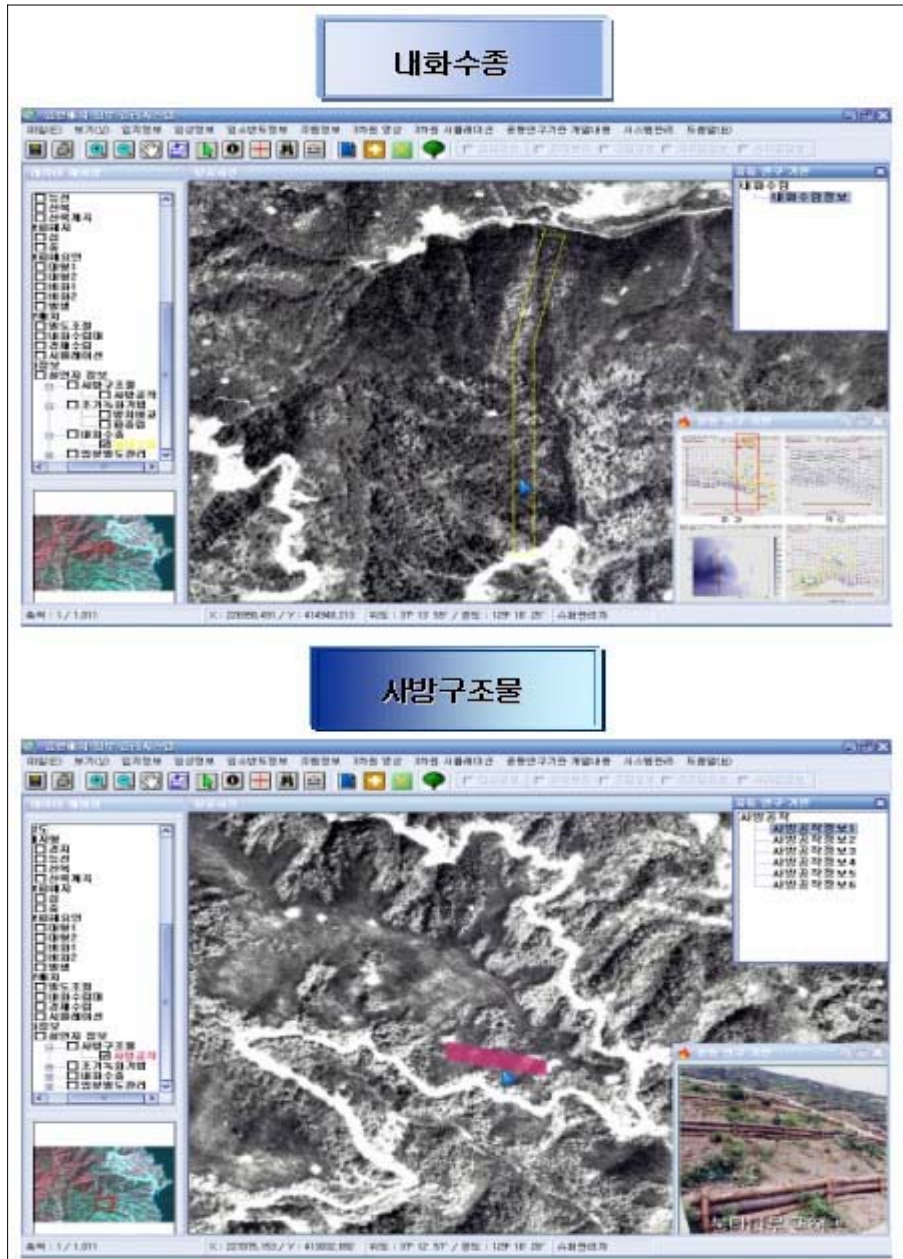
## 좌표표시 기능



〈그림 3-5-60〉 거리 측정 및 좌표표시 기능

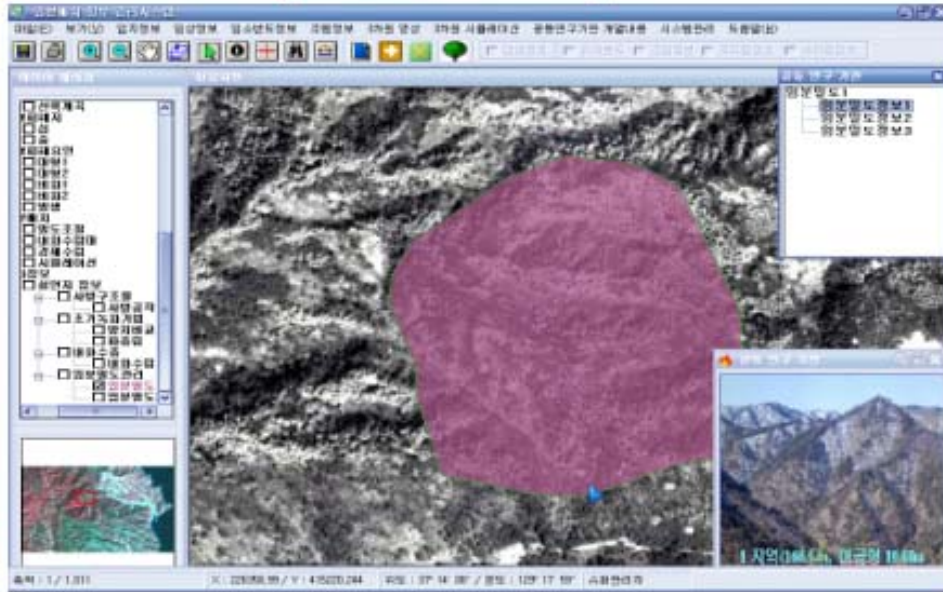
타) 협동연구기관 자료 검색 기능

실연지 정보 및 현장 정보등 본 연구과제의 협동연구기관들의 결과 자료등을 검색할 수 있다 <그림 3-5-61~62> .

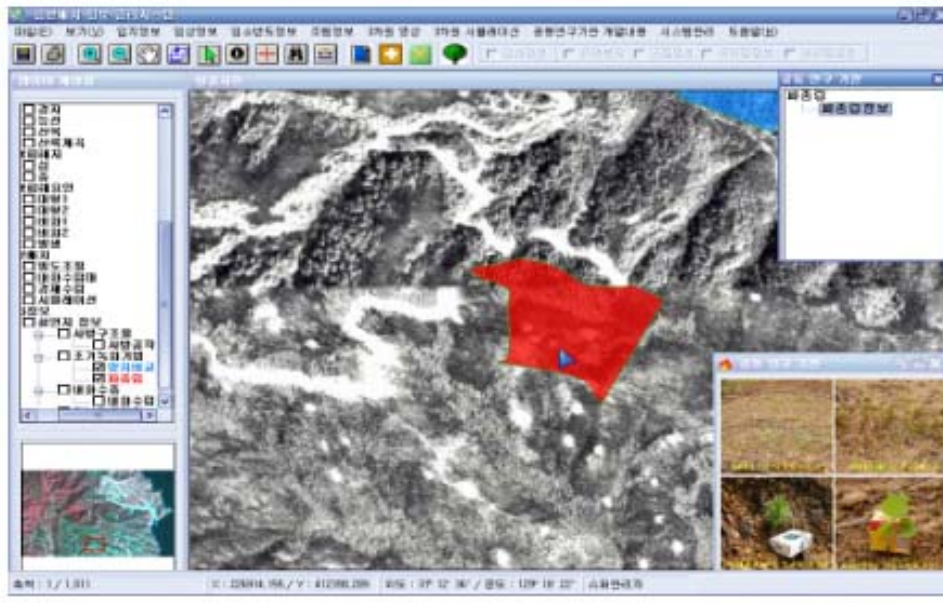


<그림 3-5-61> 내화수종 정보 및 사방구조물 정보검색 기능

## 임분밀도관리



## 조기녹화기법

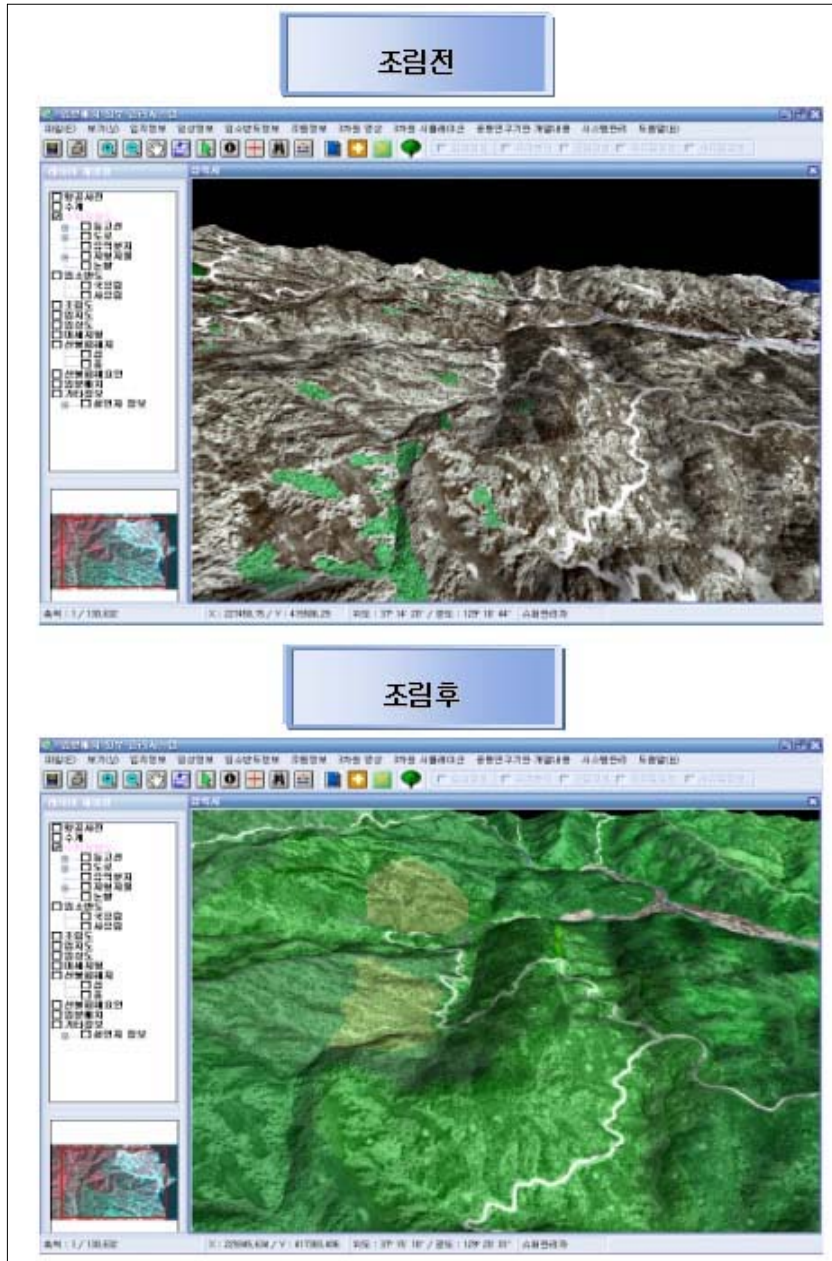


〈그림 3-5-62〉 임분밀도관리 정보 및 조기녹화기법 정보검색 기능



과) 3차원기반 경관정보 보기기능

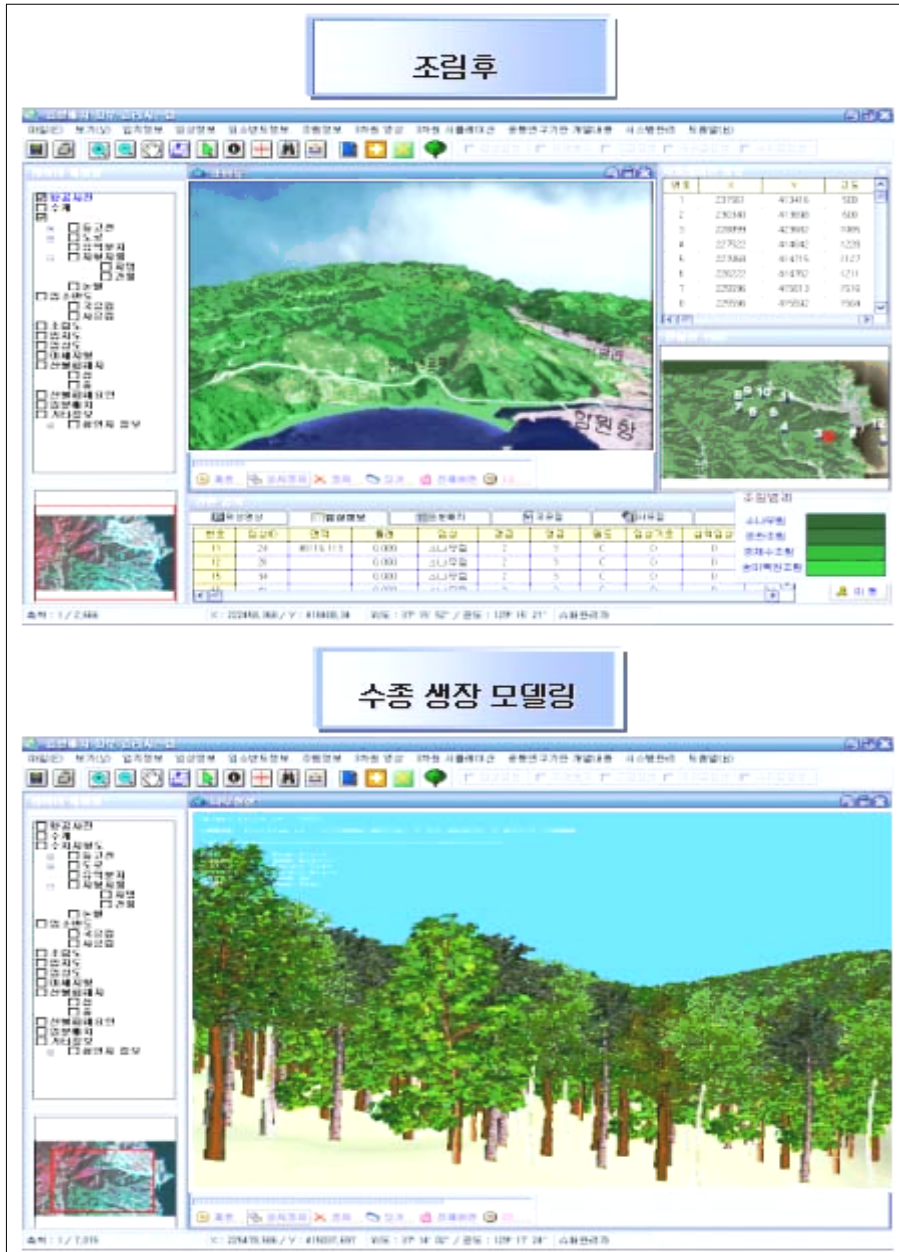
메뉴바에 3차원 시물레이션 기능을 이용하여 사용자가 원하는 곳을 3차원 기반으로 조림 전과 조림후의 경관정보를 볼 수 있는 Tracking 기능이다 <그림 3-5-63> .



<그림 3-5-63> 조림전과 조림후의 3차원 기반 경관정보 보기 기능

하) 동영상 보기 기능

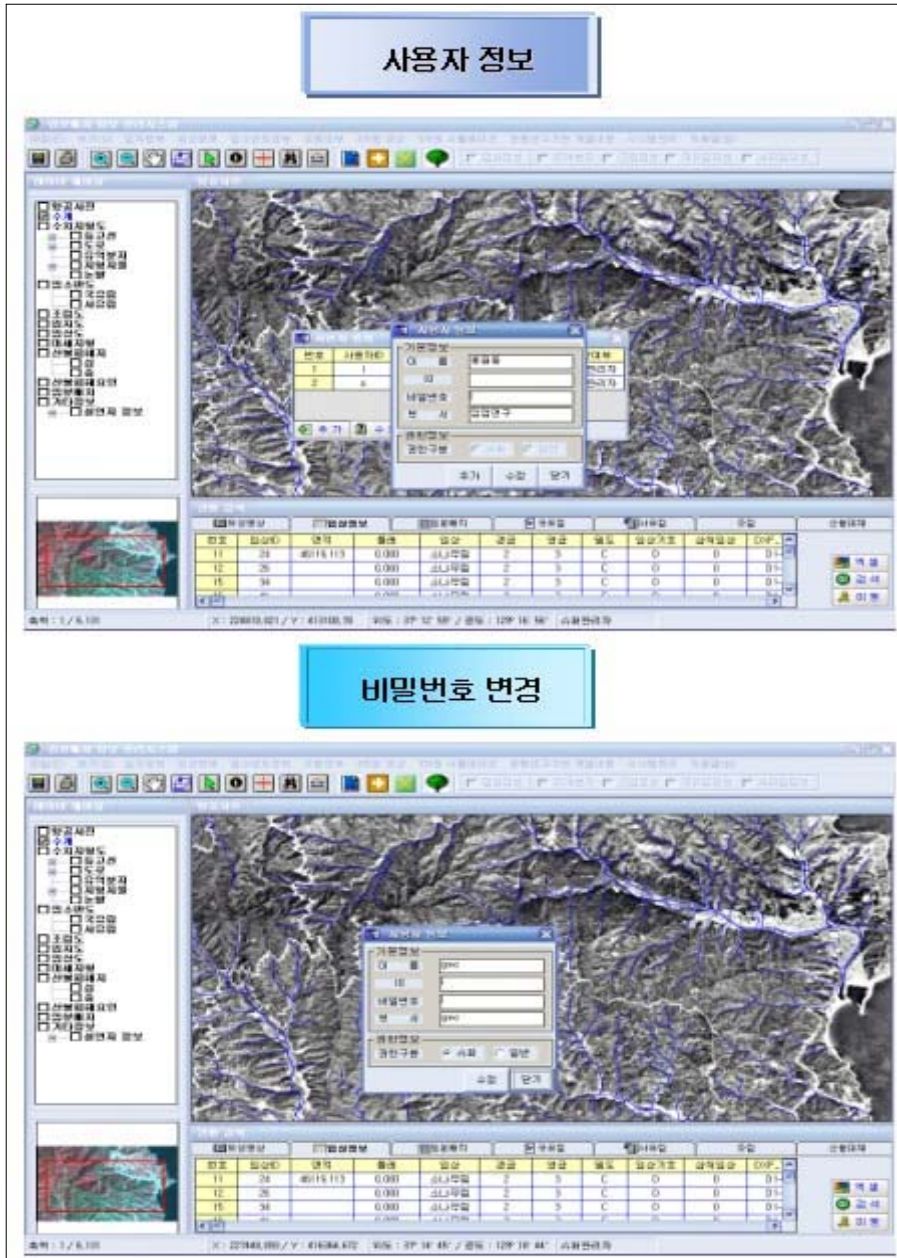
메뉴바에서 3차원 영상 기능을 이용하여 Virtual GIS의 Tracking Simulation 기능 및 나무의 생장 모습을 동영상으로 보여주는 기능이다 <그림 3-5-64> .



<그림 3-5-64> 동영상 보기 기능

거) 시스템 관리 인증기능

시스템 사용자 등록을 하여 허가된 사용자만이 정보를 시스템을 사용할 수 있도록 하였다 <그림 3-5-65> .



<그림 3-5-65> 시스템 관리를 위한 인증 기능

## 제 4 장 연구목표 달성도 및 대외기여도

### 제 1 절 연구개발의 달성도

#### 1. 새로운 환경친화적 사방구조물개발 및 현장 적용

- 산불피해지의 토사유출량 억제에 대한 구조물의 효과분석을 통해 토사안정에 효과가 높은 사방공작물을 검토하였으며, 특히, 산지계류에 대한 사방구조물의 효과적인 배치 방법을 GIS를 이용한 과학적 기법을 개발하여 software화 하였으며, 이를 구현하여 과학적인 사방구조물의 배치에 대한 검토가 가능하였다.
- 산불피해지 내의 다양한 친환경적 계류공작물을 개발 및 고안하여 실연하고 그 효과 및 모니터링 실시하였다.

#### 2. 수토보전기능 조기회복을 위한 녹화기법 개발

- 수토보전 기능의 조기회복을 위한 녹화기법 개발의 최종목표는 산불발생 후 산지의 수토보존 기능을 단기간에 회복시킬 수 있는 산불피해지 조기녹화 실용화기술을 개발하는데 있으며, 이를 위한 조기녹화용 파종립 대량생산 기술개발과 조기녹화 실연을 위한 파종립 직파조립 및 용기묘 식재조립 기법을 개발한다.
- 1차년도에 이중 파종립 제조기술 개발 및 용기묘 저장기술 개발에 대한 연구를 수행하여 파종립 제조기와 대량생산 체계를 구축하였다. 굴참나무, 상수리, 은행나무의 경우는 피복종자상태로 만드는 대량생산 체계 또한 구축하였다. 이러한 기술을 바탕으로 삼척 국유림 내에 조성된 시험지에서 직파시험을 실시하였다.
- 2차년도에는 이 기술과 시험결과를 바탕으로 파종립의 발아율과 생존율의 개선을 위한 연구를 심도있게 실시하여 파종립의 발아율과 현지 시험구에서의 생존율을 상당부분 개선하였다. 또 대립종자의 직파조립에 필요한 식해방지에 관한 새로운 기술(코아네트 처리와 종자부착휴지)의 기초체계를 구축하며, 대립종자의 장기저장을 통한 식재시기의 다양화 등을 실험하여 우수한 결과를 얻었다.
- 이와 함께 종자부착휴지를 시험하여 등고선밀식 식생배치구등을 설치와 수평 배치시험구를 설치하였다. 이를 통하여 산화지의 조기 녹화와 토사유출을 저지할 수 있는 기술을

확립할 수 있는 기초체계를 일부 완성하였다. 또한 대립종자의 식해를 적절히 방지할 수 있는 기술도 함께 고려하고 있다.

### 3. 우량소나무 임분 조성용 내화수종 선정

- 우량소나무 임분의 내화성을 증진시키기 위한 내화수종의 선발 및 입지별 적정규모의 내화수림대 임분배치 기술개발을 위하여 국내외 문헌 및 현지조사를 통한 내화성 수종을 선정하였다.
- 내화수림대 임분배치 및 적정위치 선정을 위해 연구대상지를 중심으로 중규모 수치모델 MM5 와 ARPS를 설치하고 산불 발생가능성이 높은 기상 조건 사례일에 대하여 복잡한 지형에 나타날 수 있는 지상풍의 분포를 분석하였다.
- 산불피해위험성을 등급화한 산불피해위험지도를 작성하여 대형산불 예방을 위한 내화수림대의 적정위치를 선정하였다. 내화수림대의 임분배치 모델을 설계하고, 연구대상지내 내화수림대 실연지 1개소를 조성하였다.

### 4. 임분밀도 관리를 통한 내화림 조성기법

- 동해안 산불피해지역 기존 조사자료를 재분석하여 구분한 저해발 구릉지대, 고해발 산악지대, 복합산지대를 대상으로 입지, 임상, 피해도, 임분유형과 실연 대상지 현지조사를 통하여 내화림 조성을 위한 시업은 어골형(장상형), 복합형, 대상형의 적용이 가능하였다.
- 실연 대상지를 선정하고 임분에 입지를 고려하여 소나무 건전임지에 대해 대상형 실연지 3.1ha를 조성 완료하였고, 작업과정을 조사·분석하였다. 또한 산불피해지에 어골형, 복합형의 두 가지를 적용한 실연지를 각각 10ha, 13ha 조성하였다.
- 실연지 조성 후의 맹아 및 치수 발생량과 성장량을 조사하였고, 식생의 변화, 실연지 조성 작업과정에 소요된 인력과 시간을 분석하여, 실연지의 임내 및 기타 조건에서의 작업 공정을 산출하였다.

### 5. GIS를 이용한 임분 배치기법 개발

- 경관생태분석을 위한 GIS 분석기법 설계 및 개발을 위하여 GIS와 위성영상 및 항공사진을 이용하여 GIS DB를 구축하였다.

- Virtual GIS를 이용한 임분배치 정보시스템 구동기술 개발을 위하여 공간분석기법 개발 및 3D 구현 기법을 개발 하였다.
- 3차원 임분배치기법 및 정보 관리 시스템 구동기술 개발을 위하여 Virtual GIS를 이용한 3차원 경관정보 및 관리 시스템을 개발하였다.

## 제 2 절 대외 기여도

### 1. 기술적 측면

#### 가. 새로운 환경친화적 사방구조물개발 및 현장 적용

- 산불피해지에 대해 2차 피해 방지를 위한 적절한 공법에 대해 신속 및 효과적이고 친환경적인 공법에 대한 검토가 가능하였으며, 이와 같은 공법의 활성화 및 기술화를 통해 지역산업 및 시공단가 절감이 가능하다. 특히, 사방구조물의 적정배치공법에 대해서는 기존에 현지답사 혹은 전문가만의 개인적인 판단에서 벗어나, 근본적이고 기본적인 사항을 효율적으로 검토함으로써 실제 현지 전면적을 검토하지 않더라도 배치되어야 할 위치의 파악이 가능하다. 따라서 이와 같은 프로그램의 효율적 관리 및 실용은 토사유출 뿐만 아니라 산사태 등 산지재해 방지를 위한 기술개발에 도움이 되리라 판단된다.

#### 나. 수토보전기능 조기회복을 위한 녹화기법 개발

- 외국에서 개발, 상용화한 파종립은 종자의 기계화 파종을 위한 최소의 배합토나 살균제의 피복이지만 본 연구에서 시험하고 있는 파종립은 파종립 내에 흡습제, 비료 등을 포함하여 건조지역이나 척악지에서의 발아율과 생존율이 높을 것으로 판단되며, 또한 실제로 현지 시험에서 높은 생존율을 보이고 있다. 한편 산불발생지역에서의 조기녹화에 활용성이 높으며, 일반조립지 및 사방지에서 적용 가능한 기술로서 조립시업 등에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 다. 우량소나무 임분 조성용 내화수종 선정

- 내화성 수종 선정 및 지형, 임상, 기상 등을 고려한 내화수림대 조성 배치기법 개발로 산림자원의 보호 및 대형산불 등의 피해방지를 위한 기반조성에 활용한다.

- 산림지역의 내화수림대 조성 및 배치모델 기술을 문화재 주변지역, 도시경관림, 주택지역 및 중요한 기간 산업시설물 등에 적용하여 산불로 인한 피해방지 기술로 활용한다.

#### 라. 임분밀도 관리를 통한 내화림 조성기법

- 새로운 시업기술을 개발함으로써 산림시업체계를 다양화하여 산림의 여러 기능을 고도로 발휘하게 하며, 임분유형별 최적의 시업방법을 적용하게 되어 산불예방은 물론 산림의 생산성을 향상시키고 국산재시대를 대비한 산림자원의 증진에 기여하며 산림시업의 효율성을 극대화할 수 있다.

#### 마. GIS를 이용한 임분 배치기법 개발

- 3차원 공간 분석 기법을 이용한 산불피해지 임분배치기법의 효율성을 증대 하였다.
- 임분배치 산불정보관리시스템 구축으로 인한 실무행정 분야의 정보화 기반을 조성하였다.
- GIS를 이용한 산림 GIS-DB구축으로 인하여 산림지역의 광범위하고도 다양한 자원 및 임업관련 정보의 효과적인 수집 및 분석 기법에 응용한다.
- GIS를 이용한 적정임분 배치기법 개발로 산림 관리 및 산불방지 기술의 향상에 기여한다.
- GIS 분석기법을 통한 적정 임분배치분석 기술 개발을 함으로써 향후 산불 피해지 복구 계획에 있어서 강력한 의사결정 지원에 활용한다.
- 조림계획에 따라 조림된 나무의 생장을 미리 관측해 봄으로써 경년에 따른 산림 및 나무의 경관을 예측한다.

## 2. 경제 · 산업적 측면

#### 가. 새로운 환경친화적 사방구조물개발 및 현장 적용

- 산불피해지에 대해 실제 토사유출량에 대한 효과 분석을 통합으로서 효과가 높은 사방구조물의 검토가 가능하였다. 산불피해지 복구·녹화사업은 경제활동이 막힌 인근지역 주민들에게 노동의 기회를 제공하여 지역경제발전에 기여하고 산업전반에 걸친 경기부양 등 플러스적인 영향을 파급시킬 수 있다.

#### 나. 수토보전기능 조기회복을 위한 녹화기법 개발

- 파종립 직파조립에 의한 조기녹화는 조림의 경비와 노동력의 절감효과가 높을 것으로 기

대되며, 노동력의 적절한 분산을 유도하여 고효율의 조림사업을 시행할 수 있을 것으로 기대된다.

#### **다. 우량소나무 임분 조성용 내화수종 선정**

- 대형산불을 예방 및 피해방지를 위한 임분배치 기법의 도입으로 산림자원을 보전하고 산불피해에 따른 복구비용을 절감하게 되어 국가경제에 기여한다. 소나무림 내화성 증진을 통한 산림자원의 경제적 가치증진과 경관자원으로서 활용도 향상을 통한 관광가치를 증진시킨다. 또한 산림지역 기상관측 자료제공 및 국지기상 예측기술의 발달로 산림지역의 산불위험 예보를 통한 피해방지 시스템 구축에 활용된다.

#### **라. 임분밀도 관리를 통한 내화림 조성기법**

- 대형 산불을 예방함으로써 산림자원을 보전하고 산불피해에 따른 복구비용을 절감하게 되어 국가경제에 기여하게 되며, 시업기술의 다양화로 여러 수종에 대한 우량재 생산이 가능하게 되어 목재산업 발전을 이룩할 수 있다.

#### **마. GIS를 이용한 임분 배치기법 개발**

- GIS, RS 응용기술을 산불위해방지기술 분야에 도입함으로써 대형산불을 효과적으로 방지, 산림의 경제적 가치 증진 및 관련산업 육성효과
- GIS, RS 기법에 의한 광역적 적정 임분배치 기법은 내화수종 선발 및 임분배치 계획 수립시 새로운 분석기법으로 활용
- Virtual GIS를 이용한 경관 생태학적 분석기법으로 임분배치의 효율성 증대 및 임분 배치의 의사결정지원시스템 활용가능성 제시



## 제 5 장 연구개발 결과의 활용계획

### 1. 새로운 환경친화적 사방구조물개발 및 현장 적용

- 토사유출에 효과적인 사방구조물을 제안함으로써 앞으로 산불피해지는 물론 황폐지의 효과적인 사방구조물의 제안과 사방구조물의 적정배치공법에 대해서는 기존에 현지답사 혹은 전문가만의 개인적인 판단에서 벗어나 근본적이고 기본적인 사항을 효율적으로 검토 하므로써 실제 현지 전면적을 검토하지 않더라도 배치되어야 할 위치를 선정할 수 있다.
- 이와 같은 프로그램의 효율적 관리 및 실용은 토사유출 뿐만 아니라 산사태 등 산지재해 방지를 위한 기술개발에 도움이 되리라 판단된다. 또한 새로이 개발된 환경친화적 사방 구조물은 실연단계이므로 추후에 지속적인 모니터링 및 효과분석이 요구된다.

### 2. 수토보전기능 조기회복을 위한 녹화기법 개발

- 건조지나 척박지에서의 녹화기법이나 조림기법으로 활용한다.
- 파종에 의한 직파조림의 기법으로서의 활용과 일반조림지의 수종갱신과 같은 조림의 기법으로 활용한다.
- 산불피해지나 사방지에서의 조기녹화기법으로 활용한다.

### 3. 우량 소나무임분 조성용 내화수종 선발

- 내화수림대 조성 및 배치기법 기술개발로 산림자원 보호 및 대형산불 등의 위해방지 기반구축에 활용하여, 문화재 주변지역, 도시경관림, 택지지역 등에 내화수림대 조성기법을 적용하여 국가의 중요한 기간산업 시설물 및 문화유산, 경관보존, 국민재산 보호 등에 활용한다.
- 산림지역 기상자료의 데이터베이스 구축 및 국지기상 정보제공으로 산불 위험예보를 통한 위해 방지 시스템 구축에 활용한다.

#### 4. 임분밀도 관리를 통한 내화림 조성기법

- 조성된 내화림 실연지는 산불예방에 관한 대국민 홍보교육장으로 활용하고 임업후계자, 독립가, 임업관련 단체, 공무원 등에 대한 현장 견학에 의한 기술보급 현장으로 활용한다.
- 새로 개발된 내화림 조성기술은 국립산림과학원 임업연수부 교육교재 및 강의를 통한 산림관련 공무원에게 기술보급 및 국유림, 공유림 등의 현지 시업에 적용한다.
- 한국산림인기술협회를 통한 임업후계자, 산주 등 사유림 관계자들에게 기술보급 및 사유림 현지 시업 지도에 활용한다.
- 소나무임분에 대한 내화림조성 방법과 산불피해지에 있어서 내화림 조성방법은 산림자원 관리지침에 등록하여 소나무림 관리지침과 함께 활용할 계획이다.

#### 5. GIS를 이용한 임분 배치기법 개발

- 내화성 증진 적정임분 배치기법의 GIS, RS 응용기술을 산불위해방지기술 분야에 도입하여 대형산불을 효과적으로 방지하고 산림자원의 경제적 가치증진 및 산림자원 관리기술에 활용한다.
- 산불피해지의 공간분석에 따른 Virtual GIS 3D 시뮬레이션을 이용함으로써 3차원 지형형에 대한 가시권 분석 및 3차원 임분배치기법 및 임분배치정보 관리시스템을 개발에 활용한다.
- GIS 분석기법을 통한 적정 임분배치 분석 기술 개발을 통하여 GIS 분석기법을 통한 적정 임분배치분석 기술 개발을 함으로써 향후 산불 피해지 복구 계획에 있어서 강력한 의사결정을 지원에 활용한다.
- 경년에 따른 3D 나무 성장 모델링 기술을 개발함으로써 조림계획에 따라 조립된 나무의 성장을 미리 관측해 봄으로써 경년에 따른 산림 및 나무의 경관 예측에 활용한다.
- 임분배치정보 관리시스템을 개발함으로써 기존의 구축되어 있는 GIS를 이용한 산불 현황 정보검색시스템과 현재 개발 진행중인 지상진화대 Mobile GIS 시스템과의 서로 연동을 시킴으로서 산불관련 정보를 보다 효율적이고 과학적으로 관리하는데 활용한다.

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

### 1. 새로운 환경친화적 사방구조물 개발 및 현장 적용

오스트리아는 세계적인 임업국으로서 임업과 목재생산이 발달한 국가이다. 산악국가인 오스트리아는 경사가 급하고 계곡이 많아 비가 오면 산지 재해가 발생하는 나라이지만 이를 방지하는 야계사방 및 사방댐 시공기술이 크게 발달하여 입지조건에 따라 다양하고 자연친화적으로 재해방지구조물을 설치하고 있다.

재해 방지를 위해 홍수량을 산정하여 소하천변에 큰 자연석을 높게 쌓아 물이 잘 빠져나가게 하고 있으나, 지형특성상 산지의 경사가 급하여 많은 물이 빠르게 하류로 이동하지 못하면 일시에 물이 넘쳐 야계 주변의 주택지에 피해를 입는 경우도 있다.

산지 사방구조물 중 야계에 설치된 통나무 바닥막이가 흔히 사용되고 있으며, 재료는 방부 처리한 가문비나무를 주로 이용하여 최소 30년의 내구성을 갖도록 하고 있다. 한편 자연과는 부조화되지만 돌과 통나무가 많이 굴러 내려오는 곳은 원형철관으로 스트리트댐을 설치하고 있다. 특히, 디스크댐으로 불리우는 스트리트댐도 널리 설치되고 있으며, 입지조건에 따라 모양이 다르기 때문에 주변 숲과 잘 조화를 이루도록 설치되고 있다. 일반적인 사방댐도 스크린댐의 형식을 갖추어 유목을 억제하고 있으며 유목은 물이 빠지는 즉시 중장비로 제거하고 있다.

<그림 6-1-1~10>은 오스트리아에서 시공되고 있는 사방구조물을 나타낸 것으로 앞서 언급한 바와 같이 재해억제와 동시에 소재와 개념적으로 환경을 배려한 구조물의 시공을 시도하고 있는 것을 알 수 있다.



<그림 6-1-1> 자연과 어울린 통나무 바닥막이(원경) <그림 6-1-2> 자연과 어울린 통나무 바닥막이(근경)



<그림 6-1-3> 독특한 사방댐 방수로



<그림 6-1-4> 자연에 최소한 노출된 디스트 댐



<그림 6-1-5> 토사는 통과하고 어도가 필요 없는 사방댐



<그림 6-1-6> 2미터 간격으로 설치한 원형철관 스크리트댐



<그림 6-1-7> 유목저지 스크린댐



<그림 6-1-8> 상류에 설치된 콘크리트 스트리트댐



<그림 6-1-9> 댐전면을 예쁜 돌로 치장한 사방댐



<그림 6-1-10> 대수면에 스크린을 설치하여 유목 저지

## 2. 수토보전기능 조기회복을 위한 녹화기법 개발

### 가. 파종립(Pelletized seed)

파종립은 상업적으로 이용되고 있는 많은 종자들에서 pellet화 형태로 사용되고 있으며, 제조 및 종자보호를 위한 다양한 처리가 사용된다고 하였다(Hwang and Sung, 1991). 그에 관한 예를 살펴보면 seed-pelleting 원료에 따른 수분 보습성에 관한 연구에서 silicate 분말과 친수성 분말의 혼합을 통해 보습력을 높여 종자의 보관과 발아율이 개선된다고 한다(Grellier et al, 1998). 또한 사탕무의 seed pellet 속에 살균제와 살충제의 처리량과 약제의 종류 등도 구체적으로 보고되었다(Huijbregts et al, 1995; Heijbroek and Huijbregts, 1995a,b). 이외에도 콩 종자의 seed pellet을 이용한 화학적 발아 촉진 처리와

높은 토양함수율에서의 발아 특성이 보고되었으며(Powel and Mathews, 1982; Perry, 1976), Sweet pepper seed pellet 연구에서는 산소교환력과 발아생리에 있어서 이와 같은 처리가 산소교환력을 낮춘다고 보고되었다(Sachs et al 1981). 하지만 대부분의 파종립(Pelletized seed 포함)은 경작 초본류를 대상으로 한 연구가 대부분이며 아직 수목종자에 관한 연구는 미미한 실정이다.

#### 나. 직파조립 시 파종종자의 손실

직파조립 시 파종종자의 손실 중 소동물의 식해에 의한 비율이 높다고 알려져 있다. 이에 대한 연구를 보면 *Quercus robur*의 종자는 *Curculio glandium*과 *Andricus quercuscalicis*에 의해서 가장 많은 피해를 입는다고 보고되었으며, 식해는 주로 종자가 모수에서 떨어지기 직전과 직후에 대부분 피해가 일어난다고 하였다(Michael, 2000). 또한 흑호두나무의 직파조립에 있어서의 설치류에 의한 피해가 심하며(Rodney et al, 1973), 이에 따라 흑호두나무 직파에 있어서 설치류의 피해를 막기 위하여 식재혈을 다시 막는 등 피해를 방지하는 방법에 대해서도 구체적으로 보고되었으며(Robert et al, 1973), 식해를 방지하기 위하여 paper tube를 이용하는 방법도 알려져 있다(McQuillkin, 1975).

#### 다. 종자 직파조립의 장점

종자 직파조립이 묘목 식재조립에 비하여 비용과 노동력이 적게 드는 장점이 있지만 성공률이 낮은 단점도 있다. 유묘가 건조, 유실, 병해충, 동물 등의 피해를 받기 때문인 것으로 알려지고 있다. 최근에 종자 표면에 살균제, 살충제를 포함한 천연 또는 합성 접착제를 피막 형태로 피복시켜 농작물 재배에서 실용화하려는 특허가 발표되고 있다(USA 특허 6,156,699/ 2000. 7. 18.). 또 다른 접근방법으로는 여러 가지 유기 폐기물(상하수도 슬러지, 음식물 폐기물, 목질 폐기물)을 표면에 흡이 있는 성형체(함수율 14% 이하)로 만든 다음 표면에 접착제를 처리하여 성형체 흡 표면에 종자를 부착한 종자부착 비료 성형체(seed containing fertilizer package)를 종자파종에 이용하려는 특허가 소개되고 있다(USA 특허 6,088,957/ 2000. 7. 18). 일본에서는 피복종자의 발아율의 악화문제를 해결하기 위하여 기계파종 직후 종자의 코팅을 분해 처리하는 특허가 보고되고 있다(日本特關 2000-262112).

### 3. 우량 소나무임분 조성용 내화수종 선발

#### 가. 일본의 내화수림대 설계사례

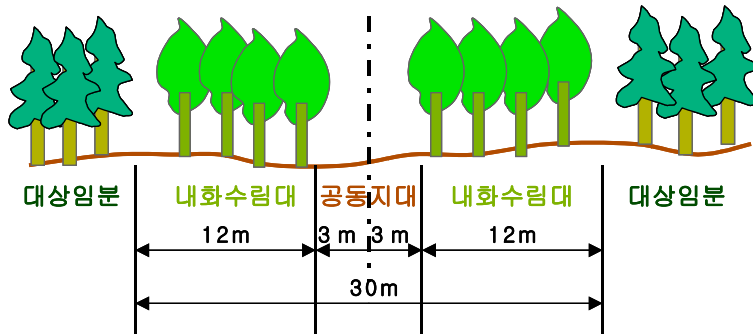
##### 1) 내화수림대 설계

###### 가) 내화수림대 설치위치

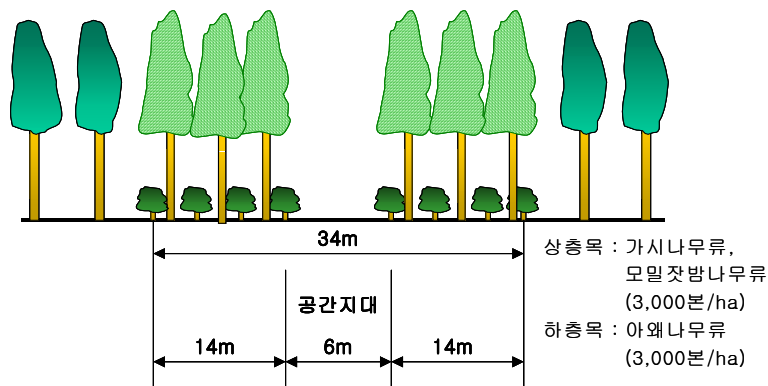
내화수림대(防火林)의 조성은 산불의 형태, 연소상황 등에 대한 특성을 고려하여 산불로부터 보호하고자 하는 대상지역의 지형, 임황을 검토하여 내화수림대의 설정위치, 방향, 조성방법 및 식재수종 등을 선정한다. 일반적으로 내화수림대의 위치는 산불발생시 최대의 효과를 얻을 수 있도록 설치하며, 기존의 고정 방화선과 동일한 지점에 설치하며, 산림정부에서는 능선방향으로 조성하는 것이 바람직하다. 일반적으로 건조가 심하여 산불확산의 위험사면을 포함하는 경우에는 산등성이 부분이 적합하다.

###### 나) 내화수림대 너비

내화수림대의 조성 폭은 중심선으로부터 양측에 각 3m를 공간지대(無林木地)로 하고 공간지대에서 양측에 각 12m를 내화수림대 식재지대(防火樹林帶)로 하는 것을 표준형으로 하며, 공간지대를 포함하여 최소 폭이 30m 정도가 되도록 한다<그림 6-3-1~2>. 내화수림대의 적정한 너비는 대상지역의 지형 및 임상특성을 고려하여 설정하며, 방화선의 설치에 대한 규격을 응용하여 선정하기도 한다. 방화선의 설치시 너비는 설치 대상지역의 경사 구배와 화입 방향을 고려하여 방화선의 폭을 결정하며, 일반적으로 경사가 급할수록 설치 너비를 넓게 조성하도록 한다<그림 6-3-3>.



<그림 6-3-1> 내화수림대 설계 표준형



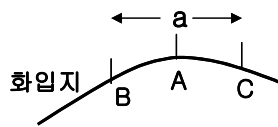
<그림 6-3-2> 교목 및 관목의 복층구조 내화수림대 설계사례

경사각 0 ~ 15°

A : 정상부

a : 벌채폭 30m

AB : 15m, AC : 15m

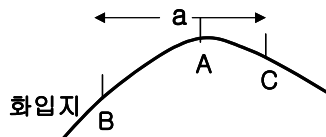


경사각 15 ~ 30°

A : 정상부

a : 벌채폭 30m

AB : 20m, AC : 10m

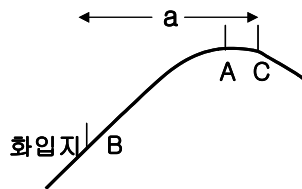


경사각 30° 이상

A : 정상부

a : 벌채폭 30 ~ 55m

AB : 25 ~ 50 m, AC : 5m



<그림 6-3-3> 방화선의 설치위치와 조성폭

#### 다) 내화수림대 식생대 조성

식재 내화수종의 조건은 인화 및 발화되기 어렵고, 연소된 경우에도 화염이 크게 일어나지 않으며, 또한 발열량이 낮아 화열(火熱)의 차단효과가 강한 수종이 바람직하다. 이밖에 재생력이 강하고 산불발생 위험기에 낙엽이 지지 않는 수종이 이상적이다.

임상의 구성은 단층림(一齊林)보다는 하층목에 내화성 관목층을 형성하는 복층림(複層林)이 효과적이다. 예를 들어 상층목은 아왜나무 또는 소귀나무로 조성하고 하층목은 팔



손이나무 등을 식재한다. 식재본수는 1ha당 3,500본 이상으로 밀식하여 내화성을 높일 수 있도록 설계하는 것이 필요하다<표 6-3-1>.

<표 6-3-1> 일본의 내화수림대 식재수종.

구 분	층 위	식 재 수 종
상록활엽수	상층목	모밀잣밤나무류, 가시나무류, 아왜나무, 소귀나무, 동백나무
	하층목	애기동백, 사철나무
낙엽활엽수	상층목	굴참나무, 떡갈나무
	하층목	팔손이
침엽수	상층목	은행나무

라) 공간지대

중양의 공간지대는 임목 및 조릿대, 잡초 등의 가연물질을 제거하고, 상록의 초본류가 생육하도록 하여 연소방지 효과를 확보할 수 있도록 한다. 아울러 임내공간 지대는 소화작업 도로로 활용할 수 있도록 경사도, 노면유지에 대한 관리를 고려하여 설계한다.

2) 임도변 내화수림대 조성

임도는 임지를 관리하기 위한 도로로서의 역할과 산불의 확산을 일부 저지하는 방화선의 기능을 갖는다. 임도를 활용하여 내화수림대의 효과를 높이기 위한 방안으로 임도변의 내화수림대 설치 및 보호대상 임분의 복층림 구성에 대한 설계사례를 다음과 같이 제시한다<그림 6-3-4>.

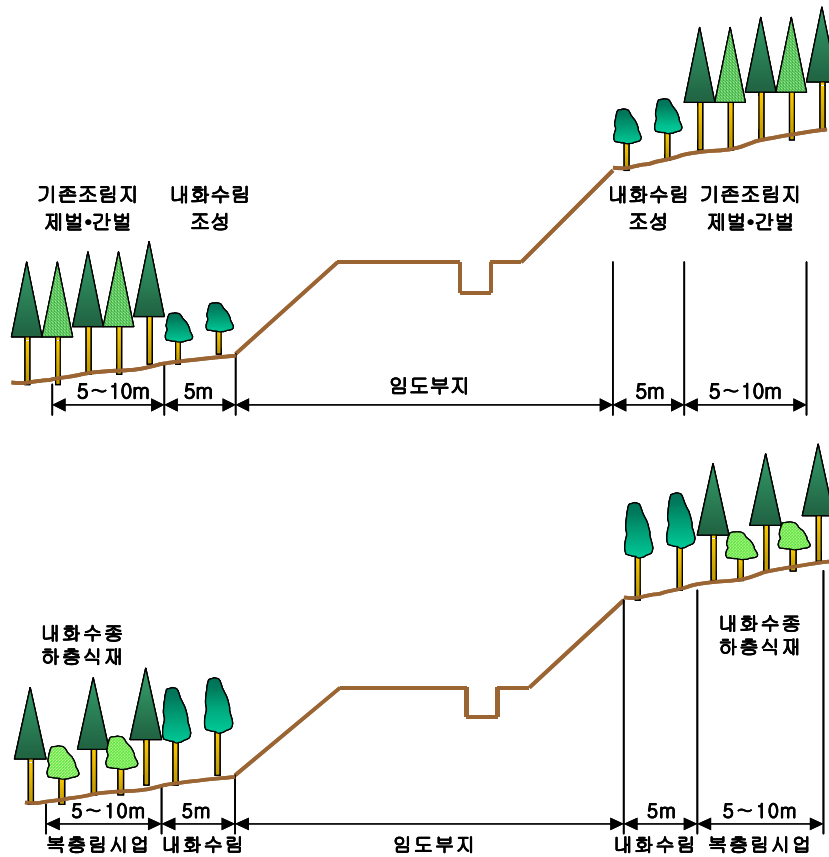
가) 내화수림대 조성

임도부지가 끝나는 지점을 대상의 양쪽으로 각각 5m의 폭으로 2~3열로 내화성 수종을 식재하여 내화수림대를 조성한다. 내화수림대 식재수종으로는 가시나무류, 구실잣밤나무류, 소귀나무, 동백나무, 아왜나무 등과 같은 상록활엽수가 적합하며, 지역에 따라 지형, 토양, 기후 등을 고려하여 식재수종을 선정한다.

나) 기존 조림지의 복층림 조성

보호 대상임분의 내화성 증진을 위하여 임도변 내화수림대로부터 5~10m의 폭으로 조림지 임분에 대한 제벌, 간벌 및 가지치기 등의 작업을 실시하여 임목밀도를 조절하고, 하층

에 내화수종을 식재하여 복층림을 조성하여 내화수림대로서의 기능을 강화되도록 한다.



<그림 6-3-4> 임도변 내화수림대 설계사례

## 나. 중국의 내화수림대 설계사례

### 1) 내화수림대의 위치

내화수림대(防火林帶)의 유형과 규격은 보호대상 삼림의 특성, 내화수림대 조성수종 및 설치지역의 입지특성을 고려하여 설치한다. 삼림지역을 대상으로 하는 내화수림대는 일반적으로 능선부를 이용하여 설치한다. 능선부를 이용한 내화수림대의 저화작용은 능선부에서 화세가 일시적으로 약화되고 또한, 반대기류가 형성되어 산불의 확산이 일시적으로 약화되는 지점이 되는 능선부의 지형적 특성을 활용하여 설치한다.

2) 내화수종의 선정

내화수종의 선정은 가지 및 잎의 수분함량이 높고 유지성분이 낮은 방화성 수종과 수피가 두텁고 눈(芽)의 보호조직이 발달하고 산불피해 후의 재생능력이 강한 내화성 수종을 대상으로 선정한다. 또한 수형이 조밀하고 관리에 용이한 수종을 이용한다<표 6-3-2>.

<표 6-3-2> 중국의 내화수림대 식재수종

구 분	층 위	식 재 수 종
남방림 지 역	상층목	Michelia(초령목속) : <i>Michelia macclurei</i> , <i>Michelia maudiae</i> Viburnum(가막살나무속) : <i>Viburnum amabuki</i> Castanopsis(갯밤나무속) : <i>Castanopsis delavayi</i> , <i>Castanopsis sclerophylla</i> Myrica(소키나무속) : <i>Myrica rubra</i> Quercus(참나무속) : <i>Quercus glauca</i> Alnus(오리나무속) : <i>Alnus cremastogyne</i> Citrus(귤나무속) : <i>Citrus nobillir</i> Ligustrum (쥐똥나무속) : <i>Ligustrum lucidum</i> Acacia : <i>Acacia auriculaeformis</i> , <i>Acacia confusa</i> , <i>Acacia mangium</i> . Schima : <i>Schima superba</i> , <i>Schima aregetea</i> , <i>Schima wallichii</i> . Vernicia : <i>Vernicia fordii</i> Syzygium: <i>Syzygium cumini</i> Podocarpus : <i>Podocarpus nagi</i> Manglietia : <i>Manglietia glauca</i>
	하층목	Camellia(동백나무속) : <i>Camellia sinensis</i> , <i>Camaellia oleifera</i> Eurya(사스레피나무속) : <i>Eurya japonica</i> Ammopiptanthus : <i>Ammopiptanthus moongolicus</i>
북방림 지 역	상층목	Fraxinus (물푸레나무속) : <i>Fraxinus mandshurica</i> Phellodendron (황벽나무속) : <i>Phellodendron amurense</i> Ulmus (느릅나무속) : <i>Ulmus propinqua</i> , <i>Ulmus laciniata</i> Acer (단풍나무속) : <i>Acer spp.</i> Salix (버드나무속) : <i>Salix sp.</i> Populus (사시나무속) : <i>Populus sp.</i> Alnus (오리나무속) : <i>Alnus japonica</i> Prunus (벚나무속) : <i>Prunus Padus L.</i> Malus (능금속) : <i>Malus baccata</i> Juglans (가래나무속) : <i>Juglans mandshurica</i> Larix (잎갈나무속) : <i>Larix spp.</i>
	하층목	Syringa (수수꽃다리속) : <i>Syringa reticulata</i> Lonicera (인동덩굴속) : <i>Lonicera japonica</i> Acanthopanax (오갈피나무속) : <i>Acanthopanax senticosus</i> Smabucus : <i>Smabucus williamsii</i>

### 3) 내화수림대 유효너비

수관화의 화염의 높이는 일반적으로 수고의 약 1.5배에 이르므로, 수관화의 확산을 방지하기 위해서 주림대의 폭은 보호대상 수종의 1.5배 이상이 되도록 한다. 일반적으로 남방지역에서의 대형산불 예방을 위한 내화수림대의 적정 너비는 30~50m, 중형규모의 산불 예방을 위한 내화수림대의 너비는 20~30m 규모로 설치한다.

- 내화수림대의 적정 너비 산출을 위한 관계식

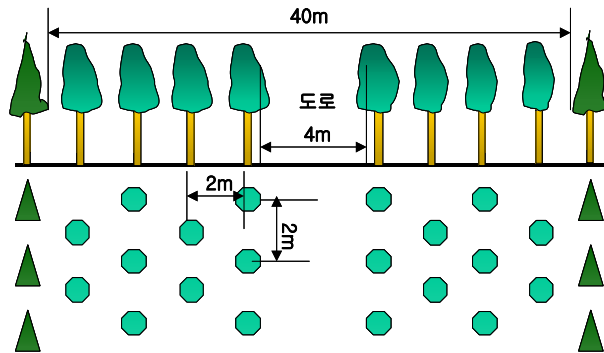
$$Y = -0.461 + 0.0185X_1 + 0.2507X_2 + 0.367X_4$$

$$Y = -0.0236 + 0.0151X_1 + 0.2456X_2 - 0.022X_3 - 0.014X_4 + 0.0001X_5$$

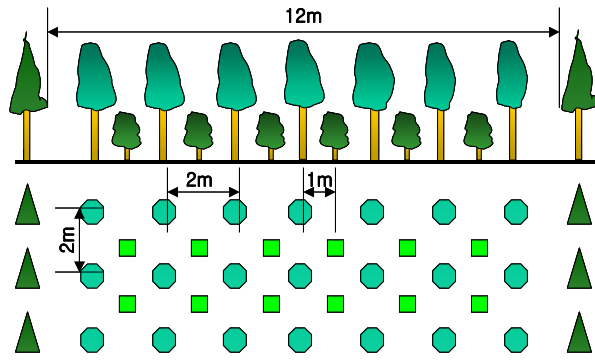
Y : 내화수림대의 유효너비(m)      X<sub>3</sub> : 가연물의 절대함수율(%)  
 X<sub>1</sub> : 가연물량(t/hm<sup>2</sup>)              X<sub>4</sub> : 풍속(m/s)  
 X<sub>2</sub> : 임대고도(m)                    X<sub>5</sub> : 화염강도(kW/m)

### 4) 내화수림대의 배치구조

내화수림대의 식생대 조성은 교목성 및 관목성의 내화성 수종을 이용하여 수직적으로는 단층 또는 복층의 구조로 조성하며, 수평적으로는 삼각형식재 및 방형식재에 의한 임분 배치구조로 조성한다<그림 6-3-5~6>.



<그림 6-3-5> 교목성 위주의 삼각형 식재에 의한 단층구조



<그림 6-3-6> 교목 및 관목의 방형식재에 의한 복층구조

가) 내화수림대의 수직구조

- 단층구조 : 일반적으로 동일수종 또는 임령이 동일한 수종의 활엽수림으로 조성한다.
- 복층구조 : 두 수종 이상의 내음성 수종과 양수 또는 교목과 관목을 이용한 혼효림으로 조성한다.
- 다층구조 : 교목, 아교목, 관목 또는 교목, 관목, 초본 구조의 복층림으로 조성하며, 다층구조의 내화수림대는 임내의 습도 유지에 유리하고 열복사에 대한 저항으로 단층구조에 비해 방화 효과가 높다.

나) 내화수림대의 수평 구조

- 방형 배치 : 정방형 또는 장방형의 배치 방식으로 단층 구조의 내화수림대에 적용한다.
- 삼각형 배치 : 정삼각형 또는 등변삼각형 배치 방형배치에 비해서 윽폐된 임분을 형성한다.
- 혼합형 배치 : 방형 및 삼각형 배치방식을 혼합하여 적용한다.

4. 임분밀도 관리를 통한 내화림 조성기법

가. 산불 행태와 강도 조절을 위한 산림구조 변화에 대한 과학적 근거

미국 서부지역 산림의 구조와 기능을 결정하는 요소는 산불, 기타 교란, 물리적 조건, 기상, 기후이다. 80년 이상의 산불연구에서 산불강도와 심각성 결정을 위해서는 물리적 조건, 연료, 그리고 기상조건을 결합해야 함을 알 수 있었다. 수백만 ha의 산림 내의 20세

기 이전에 비해 높은 연소 가능한 가연물 축적량을 보이고 있다. 수간밀도가 높고 연료 축적량이 많은 산림과 극도로 산불 발생 가능성이 높은 기후가 조합되면 대규모의 심각한 산불로 이어지게 되며(2000, 2002, 2003년 여름의 산불과 같은) 엄청난 금전적 피해 위험이 발생한다. 산불의 경로에 있는 가옥들이 바로 위험에 처하기도 하지만, 전력 공급망, 수도, 소방관의 안전, 중요한 서식지, 토지 생산성, 대기의 질 등과 같은 사회적 가치 및 생태적인 여러 가치도 위험에 처하게 된다.

주어진 일련의 기상조건에서, 임분 및 연료 구조가 산불의 양태에 강한 영향을 미친다. 건조 산림형에서의 수관화는 산불관리의 위험성을 증대시킬 뿐만 아니라 이 임분의 일반적 생태적 가치와 인접한 재화에도 위험을 미친다. 수관화의 발생은 지표에서부터 수관까지의 연소 가능한 일련의 가연물에 달려 있다. 이러한 지역에서의 수관화의 억제에는 지표, 연결(ladder fuel) 및 수관의 가연물을 종합하여 관리함으로써 가능하다. 수관화와 야지의 산불을 줄임으로서 대규모 산불로 발전하여 산림 인접 지역의 재산 피해의 위험을 줄일 수 있다.

(Science Basis for Changing Forest Structure to Modify Wildfire Behavior and Severity) : USDA Forest Service Rocky Mountain Research Station General Technical Report RMRS-GTR-120. 2004. 4.)

#### 나. 가연물에 대한 처리

산림구조와 연료 특성 조성에 도움이 되며, 이는 생물물리학적 조건의 급격한 변화를 불러일으킬 가능성을 줄이게 된다. 가연물 처리는 산불의 양태를 충분히 변화시켜 일부 산불을 보다 쉽게 제압할 수 있게 한다. 가연물을 충분히 지속적으로 처리하면 이러한 조건을 유지할 수 있다. 서로 다른 가연물 감소 방법은 가연물 상(床)의 서로 다른 가연물을 대상으로 하고 있다. 간벌은 주로 생육하는 식생에 영향을 미치며, 처방화입이나 가연물 더미 연소와 같은 기타 유형의 가연물 처리는 지표의 가연물의 연소환경을 바꾸기 위해 필요하다. 수 십년 동안 산불을 겪지 않은 산림에서는 수관화와 지표화의 위험을 줄이기 위해 복합적인 가연물처리(간벌 및 지표 가연물 감소)가 필요할 수도 있다. 가연물 처리가 산불 행태를 약화시킨다는 보장은 없지만, 극한적인 산불 행태가 발생할 가능성을 줄일 수 있다. 현재 많은 산림의 기존 조건에 비해 산림 환경을 보다 생기 있고 저항성 있는 조건으로 바꾸도록 가연물 처리를 설계할 수 있으며, 특히 건조한 산림에서의 이후의 관리에서 이러한 조건을 유지할 수 있을 것이다. 위험도 감소 정도는 어느 정도는 투자 수준, 처리에 대한 사회적 및 경제적 용인에 달려 있으며, 다른 자원 가치(예를

들면, 야생동물)도 같이 고려해야 한다.

이 보고서는 미국서부 내륙의 건조산림에서의 산불의 행태와 효과를 완화시키려는 가연물 처리 결정을 위한 과학지식의 종류, 질, 양 및 격차에 대해 서술하고 있다(특히, 폰테로사 소나무와 미송에 대해). 1차적으로 건조 산림에 대한 가연물 처리와 관련하여 가연물, 산불 위험, 산불 행태, 산불의 영향, 산림 구조, 처리 효과 및 지속기간, 가연물의 유형, 관리 및 계획에 이용할 수 있는 과학적 도구와 같은 주제에 대한 과학적 원칙 및 적용방법을 제공하고 있다.

여기에서는 가연물 처리에서 우리나라 실정을 감안할 때 도입할 수 있다고 판단되는 기계적 간벌과 기타 처리에 대해 간략히 설명한다.

#### 1) 기계적 간벌

기계적 간벌은 처방화입에 비해 목표한 임분구조를 보다 정확하게 만들 수 있다. 특히 작은 나무와 관목의 제거에 치중하는 기계적 간벌은 수관화 발생을 조장하는 수직적인 가연물의 지속성을 감소시키는데 효과적이다. 게다가 자잘한 나무를 자르고 가지치기를 실시하는 것이, 연결 가연물과 연결가연물 층의 특정 가연물을 목표로 하는 처방화입보다 정확한 방법이 될 수 있다. 이렇게 하면 지표에서 수관으로 연결시키는 가연물을 차단하여 수관화 발생가능성을 낮출 수 있다. 그러나 간벌과정에서 압축(compacting), 파쇄(crushing), 뭉개기(masticating)이 같이 이루어지지 않고 간벌만 되었을 경우, 지표의 가연물에 대해 긍정적인 영향을 크게 미치지 못한다.

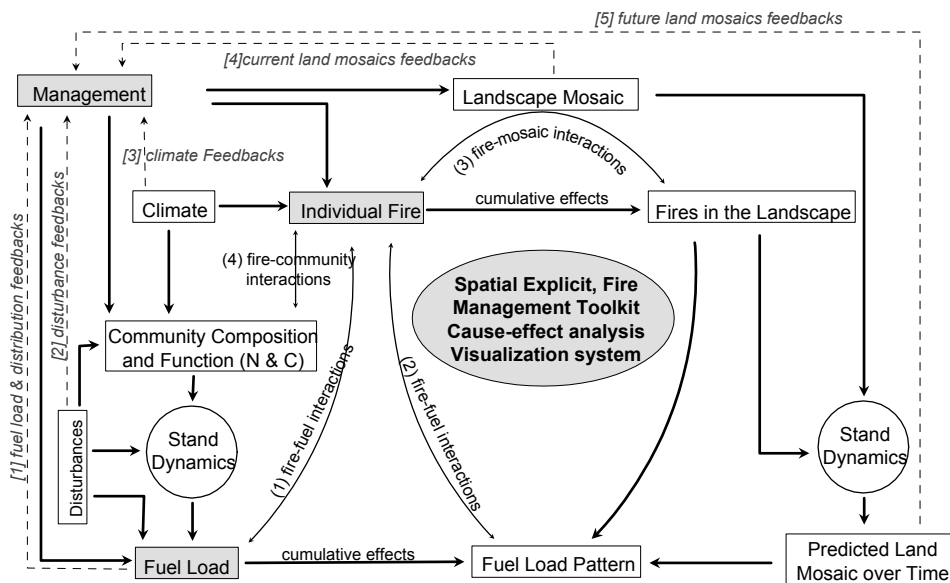
#### 2) 기타 처리(뭉개기, 피복, 기타)

부가적인 방법으로는 기계를 이용하여 가연물을 압축, 파쇄, 또는 뭉개기가 있으며 이는 가연물의 양을 줄이지 않고 산불의 위험성을 변화시키는 방법이다. 이 방법은 상대적으로 경사가 완만하고 인접한 가옥과 지역 사회 등의 재산가치가 높은 곳에 한정하여 적용한다. 또한 기계를 이용하여 파쇄한 잔존물 형태와 부후에 따라 생태적인 영향이 달라지므로 이러한 영향도 고려해야 한다.

## 5. GIS를 이용한 임분 배치기법 개발

### 가. 적정 임분배치를 위한 위성영상과 GIS의 활용

미국의 Toledo 대학(Jiquan Chen 등, 2003)에서는 원격탐사와 GIS를 활용하여 산불피해 복원기술에 접목하였다. 특히 산불발생에 있어서의 중요인자들의 상관성을 고려하여 산불발생 예측모델을 개발하여 산불이 발생하여 산불의 진행 경로들을 가상으로 구현하였을 뿐만 아니라 나무 성장 모델을 개발하여 경년에 따른 산림의 모습을 예측하였다<그림 6-5-1>.



<그림 6-5-1> A conceptual framework based on four key interactions among fire, fuel loading, vegetation, and management practices, and five feedbacks required in testing alternative scenarios for fire.

### 나. 3차원 GIS data의 표현

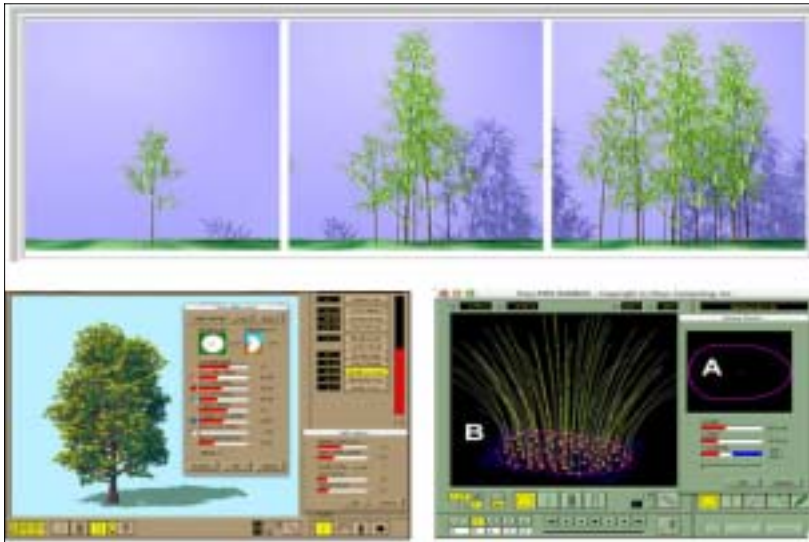
지금까지는 수목의 형상을 3차원 GIS data로 표현하는 데에 있어서 많은 시간과 노력이 필요하였으나 Tree Professional을 통한 3DS, C4D, DXF, FACT, LWO, OBJ, W3O의 7가지 파일형태로 실사수준의 다양한 모습을 만들 수 있을 뿐만 아니라 높은 해상도의 파일 형식으로 저장이 가능하다.

수목의 이미지를 Targa (TGA) 파일로 저장할 때, 텍스처 매핑을 하는 방식 즉 하나의 폴리곤 패널 혹은 빌보드를 써서 보완할 수 있으며 완벽한 3D 모델대신 하나의 폴리곤



패널 혹은 빌보드가 사용 가능하므로 용량을 줄일 수도 있다. 대상 수목을 선택한 후 적용할 햇빛 종류를 선택하거나 빛의 방향등 조건들을 주어 선택하면 빛을 감안한 수목의 모습을 렌더링 할 수가 있다. 또한 수목의 잎(폴리곤)의 수 조절이 가능하며 바람이 불때의 나무 모습 또한 표현이 가능하다.

기존에는 나무를 3D로 표현하기에는 시간의 제약과 용량의 문제점을 수반하였으나 Tree Professional을 통하여 이러한 문제점의 해결이 가능하였다<그림 6-5-2>.



<그림 6-5-2> 수목 이미지의 3차원 모델화 과정

## 제 7 장 참고문헌

### 1. 새로운 환경친화적 사방구조물개발 및 현장 적용

1. 국립방재연구소. 1998. 개발에 따른 토사유출량 산정에 관한 연구( I ). 318pp.
2. 산림조합도지회. 2000. 응급복구설계서.
3. 산림조합도지회. 2000. 사방댐설계서.
4. 산림조합도지회. 2001. 사방댐설계서.
5. 산림조합도지회. 2001. 산지사방설계서.
6. 산림조합도지회. 2002. 산지사방설계서.
7. 산림조합도지회. 2002. 야계사방설계서.
8. 산림조합도지회. 2002. 사방댐설계서.
9. 삼척국유림관리소. 2000. 응급복구설계서.
10. 삼척국유림관리소. 2001. 사방댐설계서.
11. 삼척국유림관리소. 2002. 사방댐설계서.
12. 삼척국유림관리소. 2001. 산지사방설계서.
13. 삼척국유림관리소. 2002. 산지사방설계서.
14. 산림청. 1998. 사방기술교본.
15. 울진군산림조합. 2001. 산지사방설계서.
16. 최경 외. 1996. 산림의 국토보전기능 계량화.
17. 谷口靖雄. 2002. 間伐材の土木用資材商品化について. 日本砂防學會誌 54(6): 51-55.
18. 白川 勝, 關 智. 2002. 間伐材へのコンクリート注入による砂防での工事利用検討. 日本砂防學會誌 54(5): 78-80.
19. 建設省 中部地方建設局 河川部 河川計劃課. 2001. 中部の透過型砂防構造物事例集. 103pp.
20. 京都府 農林水産部 森林保全課. 2001. 京都府木製治山ダム.
21. 社團法人ドイツ水資源・農業土木協會. 1997. 多自然型魚道マニュアル. 山海堂. 126pp.
22. 石川芳治. 2002. 間伐材を利用した小型木製治山ダムの導入に関する調査研究. 平成12年度 京都府立大學特別研究成果報告書. 114pp.

## 2. 수토보전기능 조기회복을 위한 녹화기법 개발

1. 김정갑, 한민수, 김건엽, 한정대, 진현주, 이혁호. 1995. 담리작 대맥의 whole crop pellet 생산이용에 관한 연구. 한초지 15(2): 146-150.
2. 김종관, 권찬호, 김동암. 2000. 피복재료 및 종자의 크기가 겉뿌림 목초의 생육 특성에 미치는 영향. 한초지 20(1): 67-76.
3. 김종관, 권찬호, 한건준, 민두홍, 민두홍, 김종덕, 김동암. 2000. 종자피복이 목초의 정착과 초기생육에 미치는 영향. 한초지 20(1): 61-66.
4. 민태기. 1996. 벼 및 배추종자 Pelleting을 위한 물질탐색 및 기술개발. 한작지 41(6): 678-684.
5. 민태기, 박민숙, 이석순. 1996. 성형재료에 따른 담배 펠렛 종자의 물리적 특성과 발아율. 한작지 41(5): 535-541.
6. 오명규, 김종태, 유숙중, 고종철, 박문수, 이중용. 1997. 참깨종자의 과립화 재료에 따른 발아 및 물리적 특성. 한작지 42(5): 497-502.
7. 정연옥, 조정래. 1995. 토마토 및 고추종자 coating 재료의 전처리가 발아와 초기 생육에 미치는 영향. 한원지 36(2): 185-191.
8. 岡田英博. 2000. 播種機, 特開2000-262112. 井關農機株式會社.
9. Kazemzadeh, M. 2000. Seed-containing fertilizer package, United States Patent 6,088,957. MJM Technologies, L.L.P.
10. Johnson, K.L., J.F. Walsh. 2000. Process for the production of coated, singulated seed, United States Patent 6,156,699. Rhone-Poulenc AG Company Inc.
11. Grellier, P., L.M. Riviere and P. Renault. 1999. Transfer and water-relation properties of seed pelleting materials. European Journal of Agronomy 10: 57-65.
12. Huijbregts, A.W.M., P.D. Gijssel and W. Heijbroek. 1995. Fungicides and insecticides applied to pelleted sugar-beet seeds - 1. Dose, distribution, stability and release patterns of active ingredients. Crop Protection 14: 355-362.
13. Hwang, W.D. and F.J.M. Sung. 1991. Prevention of soaking injury in edible soybean seeds by ethyl cellulose coating. Seed Sci. Technol. 19: 269-278.
14. McQuillin, R.A. 1975. A comparison of three methods of black walnut plantation establishment. Tree Planter's Notes 23:11-12.
15. Michael, F. 2000. Seed: the ecology of regeneration in plant communities. 2nd CABI.

London. 410pp.

16. Perry, D.A. 1976. Seed vigor and seedling establishment. *Adv. Res. Technol. Seeds* 2: 62-85.
17. Powel, A.A. and S. Mathews. 1982. Seed treatments: developments and prospects. *Outlook Agric.* 17: 97-103.
18. Robert, E.P., T.F. David and C.M. Nixon. 1973. Removing black walnut hulls before direct seedling not always protection against rodent pilferage. *Tree Planter's Notes* 24: 23-24.
19. Rodney, D.W. and E.P. Robert. 1973. Dehusking black walnuts controls rodent pilferage. *Tree Planter's Notes* 31: 20-23.
20. Sachs, M., D.J. Gantliffe and T.A. Nell. 1981. Germination studies of clay-coated sweet pepper seed. *J. Am. Soc. Horticult. Sci.* 106: 385-389.

### 3. 우량소나무 임분 조성용 내화수종 선정

1. 本木 茂, 山下邦博, 後藤義明재. 1989. 森林의 防火機能. 日本治山治水協會 68pp.
2. 舒立福, 田賤瑞. 2000. 防火林帶 理論應用. 東北林業大學出版社 125pp.
3. 조현제 외. 1998. 고성산화적지에 있어 초기식생회복에 관한 연구. *산림과학논문집* 59 : 133-142.
4. 홍성길. 1987. 기상과 화재. 교학연구사. 212pp.
5. Agee, J.K. and B. Bahro. 2000. The Use of Shaded Fuelbreaks in Landscape fire Management. *Forest Ecology and Management* 127 : 55-66.
6. Barton, A.M. 2001. Intense wildfire in southeastern Arizona: transformation of a Madrean oak-pine forest to oak woodland. *Forest Ecology and Managment.*
7. Barros, A.P., and R.J. Kuligowski. 1997: Orographic effects during a severe wintertime rainstorm in the Appalachian mountains. *Mon. Wea. Rev.*, 126, 264-2672.
8. Chen, C.S., W.S. Chen and Z. Deng, 1991: A Study of a Mountain-generated Precipitation System in Northern Taiwan during TAMEX IOP 8. *Monthly Weather Review* 119: 2574-2606.

9. Clark, T.L., M.A. Jenkins, J. Coen, and D. Packham, 1996. A coupled atmosphere–fire model: convective feedback on fire–line dynamics. *J. Appl. Met.*, 35, 875–901.
10. Crutzen, P.J., and J.G. Goldammer. 1992. *Fire in the environment : the ecological, atmospheric, and climatic importance of vegetation fires*. John Wiley & Sons. 400pp.
11. Dudhia, J., D. Gill, Y.-R. Guo, K. Manning, J. Michalakes, A. Bourgeois, W. Wang, and J. Wilson, 2001. PSU/NCAR Mesoscale Modelling System, Tutorial Class Notes and User’s Guide: MM5 Modeling System Version 3. (Obtained from <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/doc.html>), 600 pp.
12. Jones, R.H. and D.J. Raynal. 1986. Root sprouting in American beech : production, survival, and the effect of parent tree vigor. *Annals of Botany*.
13. Kafka, V., S. Gauthier, and Y. Bergeron. 2001. Fire impacts and crowning in the boreal forest : study of a large wildfire in western Quebec. *International Journal of Wildland Fire*.
14. Keane, R.E., S.F. Arno and J.K. Brown. 1989. *Firesum–An Ecological Process Model for Fire Succession Western Conifer Forests*. USDA Forest Service INT-266. 76pp.
15. Kushla, J.D. and W.J. Ripple. 1997. The role of terrain a fire mosaic of a temperate coniferous forest pp.97–107. *Forest Ecology and Management*.
16. Menges, E.S. and M.A. Deyrup. 2001. Postfire survival in south Florida slash pine : interacting effects of fire intensity, fire season, vegetation, burn size, and bark beetles. *International Journal of Wildland Fire*.
17. Smith, J.K. and W.C. Fisher. 1997. *Fire ecology of the forest habitat types of northern Idaho*, USDA–Forest Service. INT–GTR 363. 142pp.
18. Smith. R.L. and Smith T.M. 2001. *Ecology & Field Biology*. Benjamin Cummings.
19. *Terrain and Land Use for the Fifth–Generation Penn State/NCAR Mesoscale Modeling System*, 33–34.

#### 4. 임분밀도 관리를 통한 내화림 조성기법

1. 金錫權, 趙武衍, 朱鎮順, 朴勝杰, 吳敏榮. 1984. 상수리나무 萌芽發生 및 生長特性에 관한 연구. 林試研報 31: 46~54.
2. 金錫權, 李海周, 金道經. 1995. 상수리나무 14年生 2次萌芽의 生長과 林分構造. 산림과학 논문집 51: 53~58.
3. 金錫權, 金鍾元 등. 1989. 藥劑地拵에 의한 소나무 天然下種更新地 稚樹發生 및 生長特性에 관한 연구. 林試研報 38: 46~56.
4. 山林廳 林業試驗場. 1984. 有用闊葉樹開發試驗. 試驗研究報告書. 413~447.
5. 임업연구원. 1996. 고성산불지역 생태조사 결과보고서. 169 pp.
6. 임업연구원. 1997. 고성산불지역 생태조사 결과보고서. 155 pp.
7. 임업연구원. 1999. 고성산불지역 생태조사 결과보고서. 179 pp.
8. 임업연구원. 2000. 동해안 산불지역 정밀조사보고서. I : 533 pp.
9. 임업연구원. 2000. 동해안 산불지역 정밀조사보고서. II : 311 pp.
10. 홍성각. 1982. 참나무類의 生理生態的 心材腐朽에 관한 研究. 山林廳林業試驗場用役研究報告書. 29 pp.
11. 後藤義明. 1995. 瀬戸内海沿岸地域のアカマツ林火災の特徴. 山林 3月. p.45-52.
12. 中越信和, 頭山昌郁. 1988. 山林事と森林管理. 森林科學 24: 8-13.
13. 飯泉茂. 1986. シンポジウム 林野火災の生態. 日本生態學會誌 35: 631-641.
14. 河田杰, 油田由藏. 1923. 火災と樹林並樹木との關係. 林試彙報特別號 p.1-33.
15. 佐佐木正臣, 東敏生, 吉田文則, 池田作太郎, 岡田剛. 1982. 山火事跡地の復旧試験. 廣島縣林試研報 17: 25-65.
16. 頭山昌郁, 中越信和, 足達伸司, 根平邦人. 1998. 山林火災跡地における綠化工の生態學的評價. 日林誌 80: 27-34.
17. 西山嘉寬. 1999. 大規模林野火災跡地の復旧に関する調査. 岡山縣林試研報 15: 35-49.
18. 菊澤喜八郎. 1984. 山火事跡廣葉樹2次林の動態. 北海道林試研報 22: 11-17.
19. Englin, J., P.C. Boxall, K. Chakraborty, and D.O.. 1996. Valuing the Impacts of Forest Fires on Backcountry Forest Recreation Watson. Forest Science 42(4): 450-455.
20. Fried, J.S. and B.D. Fried. 1996. Simulating Wildfire Containment with Realistic Tactics Forest Science 42(3): 267-281.

21. Mees, R. and D. Strauss. 1992. Allocating Resources to Large Wildland Fires : A Model with Stochastic Production Rates. *Forest Science* 38(4): 842-853.
22. Stuart, J.D., M.C. Grifantini, and L. Fox III. 1993. Early Successional Pathways Following Wildfire and Subsequent Silvicultural Treatment in Douglas-Fir/ Hard- wood Forests, NW California. *Forest Science* 39(3): 561-572.
23. Weatherspoon, C.P. and C.N. Skinner. 1995. An Assessment of Facts Associated with Damage to Tree Crowns from the 1987 Wildfires in Northern California. *Forest Science* 41(3): 430-451.

## 5. GIS를 이용한 임분 배치기법 개발

1. 김영섭, 서애숙, 조명희. 1998. 원격탐사개론. 동아기술.
2. 경일대학교 공간정보시스템연구소. 2002. 과학적인 산불관리를 위한 GPS시스템 구축. 산림청 학술용역 최종보고서.
3. 연상호, 조명희, 이진덕. 2001. 원격탐사입문. 구미서관. 297pp.
4. 이시영, 강용석, 안상현, 오정수. 2002. GIS를 이용한 산불피해지역 특성분석. *한국지리정보학회지* 14: 20-26.
5. 이병렬. 1999. 환경친화적 지속농업을 위한 농업기상의 역할. *한국농업시스템학회지* 1(1): 1-5.
6. 이종범 · 김용국 · 김태우. 1993. 춘천지역에 대하여 도시열섬의 특성과 대기질에 미치는 영향. *대기보전학회지* 9(4): 303-309.
7. 이현영. 1989. 원격탐사기법에 의한 도시열섬연구. *지리학* 40: 1-13.
8. 조명희, 김성재, 이명보, 임주훈, 김준범. 2004. GIS를 이용한 산불복구 정보시스템 개발. *한국지리정보학회 2004 춘계 학술 대회 발표집*. p.122-129.
9. 조명희, 김형섭, 김성재. 3차원 및 Virtual GIS 기반 산림정보 관리시스템 개발. *Ubiquitous 기술 현황 및 전망 워크숍*. p.119-129.
10. 조명희, 이명보, 김준범, 임주훈, 김성재. 2004. Virtual GIS를 이용한 산불피해지 복구 경관분석기법 개발. *2004 한국지리정보학회지* 7(1): 75-83.
11. 조명희, 이명보, 임주훈, 김준범, 김성재. 2004. Virtual GIS를 이용한 산불피해지 복원기법 개발. *2004 GIS/RS 공동 춘계학술대회*. p.133-139.

12. 조명희, 조운원, 김형섭, 김성재, 허영진. 과학적인 산불관리를 위한 GIS의 활용 (Application of GIS for a Scientific Forest Fire Management). 동북아시아 산불진화기술 국제 심포지엄, 자연재해방재기술개발사업단·국립산림과학원 공동 심포지엄 논문집. p.125- 138.
13. 조명희, 조운원, 김성재, 허영진. 공간정보 기술을 이용한 산불정보 관리시스템 개발. 한외국어대학교 환경과학연구소 환경과학지. p.56-64
14. 조명희, 신동호, 김준범, 김인호, 권태호. 2003. 항공사진을 이용한 산림정보 원격탐사시스템 개발. 한국지리정보학회 2003 춘계 워크숍 및 학술대회 논문집. p.325-331.
15. 조명희, 조운원, 신동호, 김분범, 김현식. 2002. GPS와 GIS를 이용한 산불진화 자원정보 관리시스템 개발. 한국지리정보학회 2002 춘계학술논문발표집. p.304-310.
16. 조명희. 2001. 공간정보기술을 이용한 산림관리시스템 개발(The Delvelopment of a Fores Resourcetet Management System Using Spatial Information Technology). 한국지리정보학회 2001 추계학술논문집. p.117-130.
17. 조명희, 오정수, 이시영, 조운원, 백승렬. 2001. GIS를 이용한 산불 정보관리시스템 개발 (Development of Forest Fire Information Management System using GIS). 한국지리정보학회지 4(3): 41-50.
18. 조명희, 김준범, 오정수, 이광재, 박성중, 엄향희. 2001. GIS와 위성영상을 이용한 소나무재선충 피해지역과 기상인자와의 시·공간적 상관분석. 한국농림기상학회 춘계 학술발표논문집. p.49-52.
19. 조명희, 김준범, 오정수, 이광재, 신동호. 2001. GIS를 이용한 소나무재선충 정보 검색 시스템 개발. 2001 추계학술논문발표대회 및 경상북도 GIS 기본계획 설명회. p.226-232.
20. 조명희, 이광재, 김운수. 2001. 위성영상과 GIS를 이용한 도시 열 공간정보 추출기법. 대한지리학회 2001 춘계학술발표논문집. p.199-206.
21. 조명희, 이정협, 이광재, 백승렬, 김민, 정태준. 2001. 다시기 위성영상과 GIS를 이용한 과수재배분포도 작성기법. 한국지리정보학회 2000춘계 학술발표논문집. p.89-96.
22. 조명희, 이광재, 김운수, 전병운. 2001. 원격탐사자료를 이용한 도시지역 토지피복과 열분포 상관성 분석. 2001년도 대한원격탐사학회 춘계 학술대회 논문집. p.42-48.
23. 조명희, 이광재, 김운수. 2001. 원격탐사자료와 GIS를 활용한 도시 표면온도의 공간적 분포특성에 관한 연구(A Study on the Spatial Distribution Characteristic of Urban Surface Temperature using Remotely Sensed Data and GIS). 한국지리



정보학회지 4(11): 57-66.

24. 조명희, 이광재, 신지현, 서애숙. 2001. 위성영상과 GIS를 이용한 농촌지역 토지피복과 열 분포의시·공간적 해석, 한국농림기상학회 춘계학술발표논문집. p.57-60.
25. 조명희. 1989. Landsat TM 영상을 이용한 토지피복분류. 경북대학교 문학박사 학위논문, pp.154.
26. 채효석, 김광은, 김성준, 김영섭, 이규성, 조기성, 조명희. 2002. 환경원격탐사. 시그마프레스.
27. Gupta. R.K, S. Prasad, M.V.R. Sesha Sai and T.S. Viswanadham. 1997 The estimation of surface temperature over an agricultural area in the state of Haryana and Panjab, India, and its relationship with the Normalized Difference Vegetation Index(NDVI) using NOAA-AVHRR data. International Journal of Remote Sensing 18(18): 3729-3741.
28. Hafner and Jan. 1999. Urban heat island modeling in conjunction with satellite-derived surface/soil parameters. Journal of applied meteorology 38(4): 448.
29. Jo, M.H., M.B. Lee, S.Y. Lee, Y.W. Jo, S.R. Baek. The Development of Forest Fire Forecasting System using Internet GIS and Satellite Remote Sensing. Proceedings of The 21st Asian Conference on Remote Sensing. p.1161-1166.
30. Jo, M.H. A geomorphological study on coastal land classification using satellite remote sensing and GIS. School of Marine Science and Technology Tokai University, Shimizu, Japan 122pp.
31. Jo, M.H., K.J. Lee, J.B. Kim, J.S. Oh, S.H. Yeon. 2001. Validation Method of Damaged Area by Pine Wilt Disease (*Bursaphelenchus Xylophilus*) using High Resolution Images and GPS. International Symposium on Remote Sensing 2001.
32. Jo, M.H. Y.W. Jo, J.S. Oh, S.Y. Lee. 2001. Agent-Based Dynamic Load Balancing Method on Web GIS: Forest Fire Information System. Urban and Regional Information System 2001.
33. Jo, M.H. K.J. Lee, S.J. Park, J.S. Oh, J.B. Kim. 2001. Extraction Method of Damaged Area by Pinetree Pest(*Bursaphelenchus Xylophilus*) using Remotely Sensed Data and GIS. Asian Conference on Remote Sensing 2001.

34. Lambin, E. F. and D. Ehrlich. 1996. The surface temperature-vegetation index space for land-cover and land-cover change analysis. *International Journal of Remote Sensing*. 17(3): 463-487.
35. Markham, B. L and J. L. Becker. 1986. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures. *EOSAT Landsat Tech Notes*, 1:3-7.
36. Prakash. A. and R. P. Gupta. 1999. Surface fires in JHARIA coalfield, India-their distribution and estimation of area and temperature from TM data. *International Journal of Remote Sensing* 20(10) 1935-1946.
37. Strahler, A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of the American Geophysical Union* 8(6): 913-920.