GOVP 12001953

최 종
연구보고서

환경생태적 기준에 근거한 다목적 국유산림자원 관리체계의 개발

Development of A Forest Management System Based on Ecological and Environmental Guidelines

1999. 12.

연 구 기 관
서 울 대 학 교
강 원 대 학 교

농 림 부

제　　출　　문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “환경생태적 기준에 근거한 다목적 국유산림자원 관리체계의 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1999 .　12 .　29.

주관연구기관명 : 서울대학교
총괄연구책임자 : 정 주 상
연 구 원 : 권 순 덕
연 구 원 : 차 재 민
연 구 원 : 이 병 두
협동연구기관명 : 강원대학교
협동연구책임자 : 김 지 홍
연 구 원 : 권 기 현
연 구 원 : 양 희 문
연 구 원 : 이 원 섭
연 구 원 : 김 광 택
연 구 원 : 강 성 기
협동연구책임자 : 전 근 우
연 구 원 : 염 규 진
연 구 원 : 서 문 원

요 약 문

Ⅰ. 제 목

환경생태적 기준에 근거한 다목적 국유산림자원
관리 체계의 개발

Ⅱ. 연구의 배경 및 필요성

국유림 산림자원 관리에 있어서, 다면적 산림 기능을 구현하기 위해서는 사회적, 경제적, 환경적 요구를 동시에 충족시키는 것이 중요한 과제로 대두되고 있다. 그러나 이러한 과정은 더욱 복잡한 의사결정 과정을 포함하고 광범위한 산림조사 자료와 복잡한 자연 생태의 변환과정에 대한 폭넓은 이해를 요구하므로 쉽지 않은 것이 사실이다. 게다가 현장 산림관리에 있어서 우리가 이미 숙지하고 있는 여러 가지 산림의 속성에 근거한 방법을 실무적으로 현장에 적용하는 것에 대해서도 충분한 준비가 되어있지 못한 실정이다. 그러므로 우리는 산림환경의 다면적 기능에 대한 폭넓은 이해를 증진할 필요가 있음은 물론 산림관리 활동을 지원하기 위한 지침을 개발해야할 필요가 있다.

따라서 그 해결책으로 산림생태계의 안정성과 지속성을 보장할 수 있는 산림관리시스템을 개발하기 위해서는 지속적인 시도와 노력이 반드시 요구된다. 또한 시·공간적으로 변하는 산림 환경을 평가, 모니터링하고, 산림관리에 있어서 상충하는 문제들에 대한 의사 결정 과정을 합리적으로 해결할

수 있는 최선의 방법을 찾아야 할 것이다.

이러한 관점에서 본 연구는 산림관리에 요구되는 생태학적, 공학적 접근방법에 대한 이해 증진과 산림정보시스템을 활용한 실행체계에 대한 이해에 중점을 두고 수행되었다. 즉, 생태적 접근에서는 천연 활엽수림에 대한 해석에 중점을 두었으며, 공학적인 접근에서는 도시환경을 개선하기 위하여 임도 비탈면의 처리와 유목을 방지하고, 임종에 따라 조절되는 수질을 관리하기 위한 유역 관리에 중점을 두었다. 또한 이러한 이해를 바탕으로 현장 실무자들이 활용할 수 잇는 지침을 제시하고, 전략적인 수준에서 산림계획을 작성할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다.

따라서 이 연구는 궁극적으로 지속가능한 산림경영을 구현하기 위한 방안으로 잠재적 가치를 인정받지 못하고 방치된 천연 활엽수림에 대한 이해를 증진시키고, 도시유역 국유림의 수자원 및 훼손지 관리에 대한 이해를 증진시키고 산림생태계 관리를 위한 생태적, 공학적 관리 방안을 제시한다. 또한 산림생태계 경영에 관한 개념을 도입하고, 이의 구현을 위한 추진개념을 파악하고, 평가 및 모니터링을 지원하기 위한 선형계획분석모델을 개발하는데 있다.

III. 연구의 범위 및 내용

1. 생태적 접근

(1) 산림생태계의 구조와 기능을 분석하고, 천연활엽수림의 지속 가능한 경영을 위한 생태적 기준을 마련

(2) 천연활엽수림의 지속가능한 경영을 위한 천이경향과 갱신형태에 관한 분석

(3) 산림경영 기준 및 실무적 관리체계 제시

2. 공학적 접근

(1) 합리적 수자원 관리를 위한 도시 유역림의 임종비배법을 제안하기 위한 수종별 강우-수체통과류의 수질 분석

(2) 도시 유역림의 환경 보전 및 유역 관리를 고려한 임도시공법을 제안하기 위한 임도개설지의 지형개변 파악, 임도비탈면의 식생침입 파악, 비탈면 피복자재 개발 시험

(3) 수자원 확보 및 훼손지 방지 공법을 개발하기 위한 도시하천의 하상변동 상태 파악, 산지급류소하천의 유목 발생 상태 파악 및 관리체계의 제시

3. 의사결정 지원 시스템 개발

(1) 산림생태계 관리와 의사결정지원 시스템을 개발에 관한 국제적인 동향 파악

(2) 산림조사자료 관리를 위한 데이터베이스 개발과 시·공간적으로 변화하는 산림을 평가하고 모니터링를 위한 선형프로그램 모델 개발

(3) 개발된 모델의 적용성 평가 및 보완

Ⅳ. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구 결과

1) 종구성 분석과 천이계열 분석 결과, 연구대상 산림의 경영대상 수종은 현재 산림을 우점하거나 미래의 우점 가능성이 높은 가래나무, 고로쇠나무, 물푸레나무, 소나무, 신갈나무, 졸참나무, 찰피나무, 층층나무 등 8개 수종으로 파악되었다. 이들 수종의 구성비율은 신갈나무(20%), 찰피나무(20%), 고로쇠나무(15%), 물푸레나무(10%), 졸참나무(5%), 층층나무(5%), 가래나무(5%), 소나무(5%) 그리고 기타수종(15%) 등이 적당할 것으로 사료된다.

2) 연구대상 산림은 계곡, 산복, 능선 등의 지형적 위치에 따라 매우 다른 군집구조가 나타나고 있으며, 지형적 위치별 임분상태 분석결과, 계곡지역에는 고로쇠나무, 층층나무, 찰피나무, 물푸레나무, 가래나무 등이, 산복지역에서는 신갈나무, 찰피나무, 졸참나무, 고로쇠나무, 물푸레나무 등이, 그리고 능선지역에서는 신갈나무와 소나무가 비교적 잘 생육하고 있다 .

3) 경영대상 수종의 공간분포 양상을 판별한 결과, 고로쇠나무, 물푸레나무, 소나무, 신갈나무 등은 생식 및 생육 특성이 군거성을 띠거나 특정 환경에 대한 선호도가 높은 Clumped 양상을 띠는 것으로 파악되었으며, 졸참나무, 고로쇠나무, 가래나무, 층층나무 등은 비교적 넓은 생육분포를 보이며 적절한 밀도를 유지해야 하는 Random 양상으로 파악되었다.

4) 임목 형질지수 분석 결과, 물푸레나무의 형질이 가장 좋은 것으로 파악되었으며, 가래나무는 6개 형질지수 모두에서 형질이 불량한 것으로 나타나 형질을 개량할 수 있는 형질 보육시업이 반드시 수행되어야 할 것으로 분석되었다.

5) 수종간 상관관계 분석 결과를 토대로 산림군집형을 분류한 결과, 가래나무-층층나무-느릅나무-산뽕나무-고로쇠나무-찰피나무 등의 그룹(Ⅰ)과 음나무-박달나무-피나무-물푸레나무 등의 그룹(Ⅱ), 그리고 신갈나무-소나무-졸참나무-굴참나무 등의 그룹(Ⅲ)이 파악되었다.

6) 연구대상 산림의 종다양성은 수분조건이 좋은 계곡지역의 다양도가 전반적으로 높은 것으로 파악되었다. 계곡, 산복, 능선 등 지형적 위치별 수종구성 비율을 고찰한 결과, 산림의 안정성을 유지하기 위해 능선지역은 신갈(약 40%), 소나무(약 20%), 졸참나무(약 20%), 물푸레나무(약 10%) 그리고 피나무, 음나무, 굴참나무 등 기타 수종(약 10%)의 수종구성을, 산복지역에서는 찰피나무(약 30%), 신갈나무(약 25%), 고로쇠나무(약 10%), 물푸레나무(약 10%), 졸참나무(약 10%), 그리고 피나무, 음나무, 다릅나무, 황벽나무, 개살구나무, 굴참나무 등의 기타 수종(약 15%)의 수종구성을 그리고 계곡지역에서는 고로쇠나무(약 25%), 가래나무(약 15%), 물푸레나무(약 15%), 층층나무(약 15%), 찰피나무(15%), 다릅나무, 소나무, 팥배나무, 피나무 등의 기타수종(약 15%)의 수종구성을 제시하였다.

7) 연구대상 산림의 순생산력은 약 1,020 g/㎡/yr로 파악되었으며, 호흡량이 천연활엽수림의 약 55%를 차지한다는 이론에 입각하여 추정한 총생산력은 약 2,270 g/㎡/yr로 산출되었다. 산림의 적정 생산력의 유지는 안정성을 유지하고자 하는 생태적 경영의 안목에서 중요한 경영목적이 될 것이며, 이를 위해 연구대상산림의 적정 순생산력은 1,000 g/㎡/yr로 제시하였다.

8) 총이온의 농도를 나타내는 EC는 침엽수가 높았고, 수체를 통과한 유출수의 pH는 활엽수가 높았다. 또한 임도사면의 침입식생은 초기 초본류에서 목본류로 천이하고, 종별 개체수가 증가하는 것으로 조사되었다. 임도사면의 안정화를 위해 피복자재를 설치할 경우 사면의 토사유출을 저감할 수 있다. 또한 도시하천의 하상변동은 주위 입지환경에 의해 민감하게 영향을 받는

것으로 파악되었으며, 토공지 하류부에 위치한 하천에 대해서는 확폭부를 중심으로 유사공간을 확보할 필요가 있다. 또한 산지급류소하천에서 유목의 발생빈도는 천근성 수종이 높고, 확폭부를 중심으로 체유하고 있다.

9) 선형계획모델은 시・공간에 기반을 둔 최적 산림 관리 계획을 결정하거나, 현재의 산림 상태를 분석하여 전략적 수준의 계획을 작성하는데 이용될 수 있다. 즉, 선형 프로그램밍(LP) 모델을 이용함에 있어서, 사용자는 산림관리 대안을 얻는데 제약 조건을 첨가할 수 있으며, 비감소 수확, 벌채량, 벌채 면적과 같은 제약 조건을 고려하여 순이익 극대화, 목재 벌채량의 극대화, 탄소 흡수량의 극대화의 목적에 맞는 최적 관리 기준을 얻을 수 있다. 또한 목재와 탄소에 대한 가중치를 다양하게 조합하여 LP 모델을 반복적으로 이용하여, 다목적 생산을 위한 곡선을 도출할 수 있고, 또한 지속가능한 산림경영을 위한 수종 선택을 가능하게 한다.

2. 활용에 대한 건의

1) 연구대상 산림을 대상으로 환경생태적 기준에 근거하여 경영하고자 할 때 산림조성은 가래나무, 고로쇠나무, 물푸레나무, 소나무, 신갈나무, 졸참나무, 찰피나무, 층층나무 등을 중심으로 조성되어야 할 것이며, 계곡, 산복, 능선 등 지형적 위치에 따라 서식하는 수종이 상이하다는 점을 감안하여 계곡지역은 고로쇠나무, 층층나무, 가래나무, 찰피나무, 물푸레나무 등을 중심으로, 산복지역은 찰피나무, 신갈나무, 물푸레나무, 졸참나무, 고로쇠나무 등을 중심으로, 능선지역은 신갈나무, 소나무, 졸참나무, 물푸레나무 등을 중심으로 조성해야 할 것이다. 계곡지역과 능선지역은 계곡의 넓이와 해발고에 따라 다르지만 계곡지역은 지형도상의 계곡선을 중심으로 좌우 30m, 능선지역은 지형도상의 능선선을 중심으로 좌우 20m로 지정하여 경영하는

방안을 제안한다.

2) 연구대상 산림의 경영대상 수종에 대한 전반적인 임목 형질지수를 산출하여 후계림 조성시 잔존시켜야 할 임목과 제거해야 할 임목을 설정하고, 조성된 후계림에 대해서도 임목 형질에 대한 보육시업 체계를 구축해야 할 것이다. 또한 경영대상 수종 중 공간분포 양상이 Clumped 양상을 나타내는 수종에 대해서는 clump 규모를 파악할 수 있는 지수를 산출하여 후계림 조성시 군상의 크기를 조절하는 데 활용하는 방안을 건의한다.

3) 연구대상 산림의 후계림을 조성하고자 할 때는 천연갱신을 유도하는 것이 바람직하다. 천연갱신은 충분한 종자공급, 발아, 치수활착이라는 3요소가 적당해야만 성공할 수 있으며, 작업이 매우 복잡하다는 단점을 갖고 있다. 따라서 이에 대한 집중적인 연구 및 수많은 작업의 수행이 필요할 것이다. 후계림 조성은 군상 산벌과 대상 산벌의 병행되는 조림작업종에 의해 실시되는 것이 효과적일 것으로 사료된다. 즉, 후계목으로 조성하고자 하는 수종에 대한 생식특성 및 분포 특성을 잘 헤아려 계곡, 산복, 능선별로 세분화하여 작업이 수행되어야 할 것이다.

4) 수종에 따른 EC 및 pH 분석결과에 따르면, 임업분야에서는 도시유역림의 수질 개선을 위한 보조수단으로서 임종배비를 적극적으로 고려할 필요가 있다. 또한 산악림의 임도노선 선정시 지형개변으로 인해 발생될 비탈면 길이와 물매를 고려한 노선을 선정함으로써 수질개선 효과를 높일 수 있고, 급물매, 장대사면 및 식생침입이 곤란한 임도 구간은 피복자재를 적극 활용해야 할 것이다. 그 외에 산지급류소하천의 유목발생 빈도를 저감하기 위해서는 계류주변부에는 심근성 수종을 조림하고, 유목이동을 억지하기 위해서는 확폭부를 중심으로 사방시설물의 설치가 효과적이다.

5) LP 모델은 산림 관리 계획을 담당하고 있는 현장 실무자들을 위한 소프트웨어로서 개발되었으며, 현장 보급을 위하여 지속적 교육과 훈련이

필요하다. 또한 LP 모델을 개발하는데 있어서 상업적 소프트웨어인 C-Whiz를 이용하였기 때문에, 이 모델을 운영하기 위해서는 C-Whiz를 구입해야 하는 바 가능하면 기관계약에 의한 구입이 저렴할 것으로 판단된다. 그 외에 LP 모델은 최적 산림 계획을 작성하는 산림 관리자를 위한 향상된 도구이다. 모델을 이용하여, 현재와 미래의 산림관리 상황에 대한 폭넓은 이해와 산림 관리 계획에 대한 확신을 얻을 수 있다. 그리하여 이러한 향상된 모델은 국유림 관리 시스템에 있어서 지속가능한 산림 관리 개념을 도입하는데 도움이 될 것이다.

SUMMARY

I. Subject

Development of A Forest Management System Based on Ecological and Environmental Guidelines

II. Purpose and Importance of The Research

In managing forest resources of National Forests, satisfying the social, economical and ecological demands for multi-faced forest functions gets more important and implies more complicated decision-making processes involved. However, it is not an easy task, because it requires understandings of huge sets of forest inventory and the complex mechanism of nature. Moreover, we have not set the application of methodologies based on already-known attributes onto the practical situation in field management of National Forests. Thus, we have to enhance understandings on the multi-faced nature of forest environment and to develop guidelines to assist forest management activities.

We may have to make continuous trials-and-efforts to solve the problems so as to develop a forest management system which can secure the stability and sustainability of forest ecosystem. Also an efficient program should be developed to find the way how to monitor and evaluate the temporal and spatial changes in forest environment and to make decision-makings for conflicting issues of forest management.

As an effort to fulfil the requirements, this research was designed to enhancing understandings on ecological approaches, engineering approaches and implementation system using forest information system. Based on the understandings, we proposed suggestions as guidelines and a strategic-level forest planning software for field practitioners. The research for ecological approaches put emphasis on the ecological interpretation of the natural deciduous forests and the research for engineering approach put emphasis on watershed management for water quality control by forest types, preventing wood debris and treating cut-and-fill slopes to improve urban environment.

Thus, the objectives of this research were (1) to enhance understandings on the natural deciduous forest, of which value and potential have been concealed and unrecognized without any care, (2) to propose ecological and engineering guidelines for ecosystem forest management and (3) introducing a concept of the forest ecosystem management and developing a linear programming model to support decision-makings and monitoring for sustainable forest management.

III. Contents and Scope of the Research

A. Ecological Approach

1) Analyzing forest ecosystem structures and functions and establishing ecological criteria for sustainable management of natural deciduous forest.

2) Analyzing forest successional trends and regeneration patterns for sustainable management of natural deciduous forest.

3) Establishing managerial criteria and practical management schemes

B. Engineering Approach

1) Analyzing water quality for the through-fall of precipitation by tree species to determine the desirable vegetation types of urban watershed forest stands for the purpose of quality control of water.

2) Analyzing cut-and-fill slopes to determine engineering schemes for forest road construction considering watershed management and environmental conservation of urban watershed forest.

3) Investigating woody debris of torrential stream and streambed fluctuation for water resource conservation and land protection.

C. Decision Supporting System

1) Investigating international trends of researches for ecosystem management and development of decision support systems

2) Developing a database for managing forest inventory data and a linearing programming model for monitoring and evaluating the spatial

and temporal changes in forest inventory.

3) Evaluating the applicability of the model developed.

IV. Results and Suggestions

A. Results of Analysis

1) The results from analysis of species composition and successional trend suggested that eight recommended target tree species and appropriate composition rate would be *Quercus mongolica* 30%, *Tilia mandshurica* 20%, *Acer mono* 15%, *Fraxinus rhynchophylla* 10%, *Cornus controversa* 5%, *Juglans mandshurica* 5%, *Pinus densiflora* 5%, *Q. serrata* 5%, and other deciduous tree species 15%.

2) The stand structure was varied by three different topographic positions (valley, mid-slope, and ridge) in the study forest. The result from the analysis indicated that *A. mono*, *C. controversa*, *T. mandshurica*, *F. rhynchophylla*, and *J. mandshurica* showed relatively good growth in valley; *Q. mongolica*, *T. mandshurica*, *Q. serrata*, *A. mono*, and *F. rhynchophylla* exhibited outstanding performance in mid-slope; and *Q. mongolica* and *P. densiflora* grew well in ridge.

3) The analysis of spatial pattern for the target tree species noted that *A. mono*, *F. rhynchophylla*, *P. densiflora*, and *Q. mongolica* revealed clumped distribution characterized by group occurrence of reproduction and growth and/or preference for specific environment; *Q. serrata*, *A.*

mono, *J. mandshurica*, and *C. controversa* showed random distribution associated with broad growth range and/or adequate stand density.

4) The result of tree form index analysis indicated that *F. rhynchophylla* showed the best tree form in terms of timber production; on the contrary, *J. mandshurica* had the worst tree form on all six tree form attributes, required tending operation to improve tree quality.

5) Inter-species association analysis classified three different forest community types. Those were the aggregation of species group **I** as *J. mandshurica—C. controversa—Ulmus davidiana—Morus bombysis—A. mono—T. mandshurica*; species group **II** as *Q. mongolica—P. densiflora—Q. serrata—Q. variabilis*; and species group **III** as *Kalopanax pictus—Betula schmidtii—T. amurensis—F. rhynchophylla*.

6) The species diversity was relatively high in valley areas where the moisture condition was favorable for occurrence of large number of species. For the conservation of biodiversity and stability in the study forest the result of species diversity index analysis recommended that the valley area would better be composed of *A. mono* 25%, *J. mandshurica* 15%, *F. rhynchophylla* 15%, *C. controversa* 15%, *T. mandshurica* and other species (*Maackia amurensis*, *P. densiflora*, *Sorbus alnifolia*, and *T. amurensis*) 15%; the mid-slope area would better be composed of *T. mandshurica* 30%, *Q. mongolica* 25%, *A. mono* 10%, *F. rhynchophylla* 10%, *Q. serrata* 10% and other species (*Maackia amurensis*, *K. pictus*, *Phellodendron amurense*, *Prunus mandshurica*, *Q. variabilis*, and *T. amurensis*) 15%; ridge area would better be composed of *Q. mongolica* 40%, *P. densiflora* 20%, *Q. serrata* 20%, *F.*

rhynchophylla 10%, and other species (*K. pictus*, *Q. variabilis*, and *T. amurensis*) 10%.

7) The net primary productivity was estimated as approximately 1,020 g/m^2/yr. Presumed the principle from the autotrophic respiration rate of 55%, the gross primary productivity was computed as approximately 2,270 g/m^2/yr. Adequate forest productivity should be maintained so as to realize forest ecosystem sustainability and furthermore to achieve ecological management of the forest as well. It is suggested that the adequate net primary productivity would be maintained by approximately 1,000 g/m^2/yr.

8) Even though EC representing the degree of the total ion concentration was higher in coniferous trees than in deciduous trees, the reverse was true for pH of throughfall of precipitation. Then, the vegetation cover of forest road slope was found to change from herbage to woody plant and the number of species increased. Installing mulching sheet on the forest road slope was effective in reducing soil erosion. The results of survey, also, showed the shape of streambeds are sensitively affected by site-specific conditions and it may required to keep wide bed to reduce environmental impacts. The frequency of woody debris is higher in shallow-root tree species, mainly floating in wide areas of stream

9) The linear programming(LP) model can be used for strategic-level planning to analyze the current forest conditions and to determine the optimal conversion plan on temporal and spatial basis. In using the LP model, the user can put in the options of constraints to get the

alternative management solutions. Also the optimal management criteria can be either discounted net profit, timber harvest volume or carbon absorption with timber production constraints for non-declining yield, cut volume or area, etc. By running the LP model repeatedly varying the combination of preference weights for carbon and timber management, a joint-production curve can be produced for multiple products. Also species selection for the desirable species composition is available using the LP model.

B. Suggestions

1) The recommended species for the different topographic positions of the study sites are *A. mono*, *C. controversa*, *T. mandshurica*, *F. rhynchophylla*, and *J. mandshurica* for the valley area; *Q. mongolica*, *T. mandshurica*, *Q. serrata*, *A. mono*, and *F. rhynchophylla* for the mid-slope area; *Q. mongolica*, *Q. serrata*, *F. rhynchophylla*, and *P. densiflora* for the ridge area. On the reference of topographic map, the boundary area of valley and ridge was delineated by 20m of each side from the valley line and by 30m of each side from ridge line, respectively.

2) Estimated tree form index can be used to designate the trees or stands to be cut, left, or otherwise treated in harvesting for hardwood production and other intermediate silvicultural operation to improve the quality of stands for the future growing stock. The result of spatial pattern analysis can be used to evaluate the regeneration pattern for

corresponding target tree species

3) Natural regeneration should be most desirable to succeed present forests to which appropriate silvicultural system would be applied with partial cutting practices. Successful natural regeneration should have adequate stand and site conditions for three crucial process, i.e., seed supply, seed germination, and seedling establishment, demanding large amount of ecological informations and high silvicultural operation techniques. According to the silvical and ecological characteristics of target tree species, it is recommended for the forest manager to choose appropriate silvicultural systems such as two-storied system, shelterwood system, and selection system by different topographic positions.

4) According to the analysis results on pH and EC in each tree species, the spatial arrangement of forest stands may be considered as means to control water quality in forest field. Slope length and gradient by road construction need to be considered in selecting the route of forest road in mountainous forests. Also the steep and long cut-and-fill slopes need mulching to introduce vegetation and to reduce soil erosion. In reducing frequency of woody debris, planting deep-root tree species is preferable. The check dam on wide part of stream would provide a good control for woody debris movement.

5) The LP model is developed as a software for forest field practitioners who are responsible for forest planning. However, it may need an intensive education program to train the field managers. To run the model, a commercial LP solver, C-Whiz, is required as an engine to solve LP problems. C-Whiz program must be purchased to use the

software. Purchasing a site licence for the commercial software would be cheaper. On the other hand, the LP model is a advanced tool for the forest managers to determine the optimal forest planning. By using the model, they can get wide understandings for the current and future situation of forest management and get confidence with their forest management plan. Thus, such an advanced model should be needed to introduce sustainable forest management concept to the national forest management system.

CONTENTS

목 차

제3장 도시유역림의 수자원관리 및 훼손지 방지를 위한 관리 대책

제4장 산림환경 모니터링 및 다목적 이용 증진을 위한 산림 자원 관리체계

표 목 차

그 림 목 차

제1장 서 론

제1절 연구개발의 목적과 범위

1. 연구개발의 목적

가. 연구의 필요성

우리나라의 산지이용은 산지의 다양한 기능적 측면을 고려한 형태로 발전하고 있다. 유엔환경개발회의(UNCED) 이후 목재생산을 비롯한 기존의 다목적경영 임업체계에 환경생태적 기능을 보다 강화하려는 노력이 있으며, 이는 이미 국제적인 관심사로 발전하고 있는 미래 지향적인 추세로 해석할 수 있다. 따라서 다목적경영에서 추구하던 산림자원의 효율적 이용측면에 환경생태적 기능이 추가됨으로써 산림자원의 이용 및 보전에 관한 기존의 개념에 상당한 변화를 초래하고 있다.

새로운 경영체계에서는 산림이 갖는 경제적 기능과 공익적 기능을 동시에 고려해야하며, 자연생태계 및 종다양성의 보전, 경관보호 등 산림환경의 생태적 관리를 보다 적극적으로 수용할 필요가 있다. 따라서 산림자원의 경영관리는 과거에 비해 지향하는 목표가 다양해지고, 그 결과 기존의 산림경영체계를 제약하는 새로운 요인들이 제기되고 있으며, 포괄적인 산림자원 경영정책을 실행하기 위한 전략적 차원의 대응방안도 시급한 과제로 떠오르고 있다. 이러한 방안이 수립될 수 있을 때 효율적인 산림자원의 이용과 산림환경의 보전이라는 양측면의 정책경영 목표를 조화롭게 성취할 수 있다.

이러한 전략적 차원의 대응방안에는 (1) 기존의 임업에서 추구하던 산림

의 자원화 혹은 경제림 조성의 기본 목표, (2) 국민의 산림이용에 대한 수요를 충족시킬 수 있는 방향의 산지이용체계, (3) 산림의 공익적 기능 증진이 포함되어야 한다. 또한 이러한 목표를 성취하기 위한 실행계획은 최근 새로운 개념으로 대두되고 있는 환경생태적 지침(guideline)을 충족시키며, 산림의 환경생태적 기능을 건전하게 유지할 수 있는 방향에서 수립되어야 한다.

한편 산림자원 관리에 있어서 자원의 이용과 환경생태적 보전의 조화 문제는 기술과 제도적 관리의 양측면을 동시에 고려할 수 있을 때 합리적인 문제해결 방안이 제시될 수 있다. 대면적 산림에 대한 전략적인 관리기술이 필요함은 물론 소면적 산림단위의 집약적 관리기술이 동시에 제시되어야 하기 때문이다.

따라서, 전반적인 산림자원의 변화 추이를 지속적으로 모니터링하고, 관리체계를 개선하기 위한 노력이 요구된다. 이를 위해서는 대면적 단위의 산림관리에 대해서 (1) 수종분포, 임상조건, 입지조건 등 산림의 분포 특성을 나타낼 수 있는 현황 자료에 대한 정보가 있어야 하고, (2) 이러한 정보를 처리하고 평가하기 위한 정보처리체계와 실행계획을 수립하기 위한 의사결정지원시스템(DSS, decision supporting system)이 요구되며, (3) 합리적인 의사결정 과정 및 실행계획의 보완체계가 제도화 되어야 한다.

이러한 산림관리체계는 이미 구미, 일본 등의 선진국에서는 실용화 수준에 있으며, 국유림 관리는 물론 일반 사유림의 대면적 경영에 필수적인 모니터링 및 의사결정지원시스템으로 활용되고 있다.

반면 국내에서는 산림청을 중심으로 지리정보체계(GIS) 및 데이타베이스를 활용한 데이타 구축 작업이 진행되고 있고, 부분적으로 실무에 적용하고 있다. 그러나 국유림 관리에 있어서 종합적 관리체계 구축에 요구되는 실무적용 소프트웨어의 개발은 아직 초보 단계에 머물고 있어서 산림자원 관리의 효율성에 많은 문제가 있다. 따라서 산림자원 관리에 필요한 정보처리

및 의사결정지원시스템의 개발이 긴급한 과제가 되고 있다. 이러한 방대한 정보자료의 처리가 요구되는 국유 산림의 관리에 있어서 합리적인 계획 수립, 실행 및 보완체계가 제도적으로 정착되기 위해서는 이와같은 효율적인 전산시스템의 구축이 필히 요구된다.

한편 산림생태계는 임목을 위주로 구성된 생물군집이 생물상호간과 주위 환경과의 유기적인 연관 관계를 맺으며 독특한 구조와 기능을 가지는 단위이다. 이러한 산림생태계의 구조와 기능을 면밀히 조사하고 분석하여 관리할 때 산림자원 및 산림생태계의 지속가능성을 실현시킬 수 있다. 산림은 자연의 조건에 따른 순리에 의해 만들어지는 시스템중의 하나이기 때문에 산림자원관리에 적용되는 모든 시업안은 생태적 과정과 배경을 바탕으로 이루어져야 한다.

산림생태계의 지속가능성을 유지하기 위한 평가 및 시업 기준은 에너지의 흐름, 산림의 생산력, 물질 및 영양의 순환, 산림의 천이 등의 개념들이 통합되어 산림자원 관리에 요구되는 기본적인 정보와 방안을 제공하게 된다. 그러나 이러한 개념들은 정밀한 조사연구가 필요하고, 그에 따른 전문 지식이 요구되는 반면 지역특성에 따라 그 차이가 심하게 나타나는 경향이 있다.

따라서 지속가능한 산림경영을 위해서는 이러한 개념들을 산림관리 현장에서 기술적으로 적용할 수 있는 기준설정이 필히 요구되나 현실적인 여건으로 많은 제약이 있다. 그러나 현실적 적용을 위한 산림생태의 평가기준과 지속가능한 임업을 위한 시업기준을 마련하기 위하여 집중적인 연구가 필요하다.

한편 산림유역 수자원 관리는 주로 임업 이외의 부서에서 담당하고 있는 것이 현실이다. 반면 전 국토의 약 65%를 산림자원이 차지하고 있음에 견주어, 산림의 환경생태적 측면을 잘 이해하고 있는 전문가들에 의한 관리가

바람직 할 것이다. 기본적인 수자원 관리 문제로 지역주민들을 위한 상수원 및 농공용수 확보 문제가 가장 중요한 문제가 될 수 있다. 이러한 문제는 산림의 관리측면과 연계하여 수자원 함양 및 수질관리 대책을 수립함으로써 개선이 가능할 것이다. 따라서 지역 혹은 유역의 산림관리에서 수원 함양과 수질보호를 위한 산지이용대책 및 수확벌채계획을 위시한 시업체계와 시업 방법에 대한 연구가 필히 요구된다.

또한 산지재해의 대부분은 임도개설과 같은 인위적 재해와 집중 강우에 의한 침식과 붕괴에 의한 자연적 재해로 나눌 수 있다. 특히 최근 국가정책 사업을 추진되고 있는 임도시설은 연 1,500km 이상이며, 그에 의한 산림훼손 및 환경적 피해는 집중강우에 의해 심각한 사회적 문제를 야기하고 있다. 토사유출에 의한 임지훼손과 산림 경관의 훼손은 물론 유출된 토사가 유역의 수질을 오염시키는 등 환경적 문제를 야기하고 있다. 그러나 최근 집중강우에 의해 임도부위에서 발생하는 피해는 상당부분 사전 예방이 가능한 것으로 이해 된다. 따라서 임도의 시공 설계상의 문제와 유지관리의 문제에 대해 집중적인 연구가 필히 요구된다. 즉, 임도설계 및 시공시 적용할 수 있는 환경친화적 공법의 개발과 적용성에 대한 검토가 필요하다.

이러한 관점에서 국내 산림의 약 21%를 차지하는 국유림의 공익적, 생태적, 경제적 목표를 추구하기 위한 산림관리 방안을 모색해야 할 것이다. 이를 위한 연구내용으로 (1) 보다 과학적인 산림자원 모니터링 및 의사결정지원을 위한 전산정보 자동화체계의 구축, (2) 산림자원관리을 위한 환경생태적 평가기준 및 시업기준의 설정 그리고 (3) 수자원 관리나 훼손지 복구방안 등과 같은 기술적 관리체계의 확립이 필히 요구된다.

나. 연구개발의 목적

본 연구에서는 산림의 이용과 생태적 보전을 추구하기 위한 방안으로 산림관리를 모니터링하고 평가할 수 있는 전산정보체계를 개발하고, 산림생태계의 건전성을 유지할 수 있는 산림시업기준을 마련하며, 도시유역 국유림의 수자원 관리 및 훼손방지를 위한 관리대책을 제시하였다.

이를 위한 세부연구과제별 최종 연구목표는 다음과 같다.

1) 산림환경 모니터링 및 다목적 이용 증진을 위한 산림관리체계 연구

- ○ 선진화된 형태의 산림계획 수립 체계
- ○ 국유림의 데이타베이스 활용에 의한 모니터링 시스템의 개발
- ○ 국유림의 다목적 경영을 위한 의사결정지원시스템의 개발

2) 지속가능한 산림환경생태 기준설정 및 산림조성 방안연구

- ○ 자연상태의 산림 식생을 분석하여 경영 대상 수종 선발에 대한 기초정보 제시
- ○ 수종간 친화성 및 공간분포분석을 통해 보육 및 시업 방안 제시
- ○ 천연활엽수림의 수확 및 갱신 방안에 대해 생태적 접근방안 모색

3) 도시유역 국유림 수자원 관리 및 훼손지 방지를 위한 관리 대책

- ○ 도시유역 국유림의 수자원관리 개선방향의 제시
- ○ 도시유역 국유림의 훼손지 방지를 위한 공법 개발
- ○ 도시유역 국유림의 수토보전기법의 제시

2. 연구개발의 범위

가. 연구개발 체계

본 연구는 3개의 세부과제로 구분하여 추진되었다. 즉, 제1세부과제에서는 산림환경 모니터링 및 다목적 이용 증진을 위한 산림관리체계 연구로서 전산자동화체계 개발에 중점을 두었다. 제2세부과제에서는 지속가능한 산림환경생태 기준설정 및 산림조성 방안을 제시하기 위하여 산림생태적 접근을 시도하였으며, 이를 통해 국유림의 생태적 관리지침을 도출하고자 하였다. 제3세부과제는 국유림의 수자원 및 훼손방지 대책을 도출하기 위한 연구로서 특히 도시유역 국유림 관리에 중점을 두고 연구가 수행되었다. 따라서 본 연구는 산림경영, 산림생태 및 산림수문의 3개 분야 전문가로 구성된 연구진에 의해 수행되었다. 이렇게 연구분야를 세분한 것은 다각적인 접근을 통해 다면적 목표를 지닌 국유림의 지속가능한 산림경영을 추구하기 위한 관리체계 및 기술적 기준을 제시하기 위한 것이다.

1) 제1세부과제

이 연구에서는 우선 지속가능한 산림경영 구현을 위한 국제적 동향으로 산림생태계 경영의 개념과 이 개념을 실행하기 위한 실행체계 및 전산시스템 개발에 관해 고찰하였다. 이를 통해 국유림 관리체계 발전방안을 적응관리체계(adaptive management)의 도입에 두고 이를 위한 전산체계개발 동향을 제시함고 동시에 산림관리를 위한 데이터베이스 체계 및 선형계획모델을 개발하였다. 개발된 모델에 대해서는 사례연구를 통해 적용성을 검토하였다. 이 과정에서 제2세부과제에서 도출된 생태적 산림관리지침을 적용하여 연구대상지 국유림의 관리체계를 분석하였다. 이것은 생태적 관점에서 제시되는

기술적 기준들을 산림관리 의사결정지원체계에 적용함으로써, 제도행정적으로 합리적인 동시에 환경생태적으로 건전한 산림의 조성과 활용의 조화를 찾기 위한 노력이다.

2) 제2세부과제

산림환경생태적 평가 기준 및 시업 기준은 지역적 특성에 따라 달라질 수 밖에 없다. 따라서 이 연구에서는 국유림 관리소 단위의 연구대상 지역을 선정하여, 현지 조사를 수행하고, 현장의 생태적 특성에 따라 생태적 평가기준을 선정하였다. 또한 연구대상 지역의 산지이용 특성을 고려하여, 이용체계의 구분(경제림 조성, 휴양림 조성 등)에 따라 시업기준을 설정하였다. 즉, 이 연구에서는 산림의 생태적 속성을 이용한 경영대상 수종을 선발하고, 생태적 접근방안을 제시하는데 중점이 두어졌다. 이렇게 만들어진 기준들은 제1세부과제의 적용성 검토단계에서 요구되는 산림의 환경생태적 기준을 제공하였다.

3) 제3세부과제

도시유역 국유림관리에서 수자원 관리 체계 및 훼손지 복구 기술은 연구대상지역의 도시유역을 대상으로 현장 조사 위주로 진행되었다. 조사된 자료들을 기초로 하여 관리실태에 의한 문제점 파악 및 개선 방향을 제시하였고, 유역림 훼손의 예방을 위한 관리기법과 공법을 개발하여 제시하였다. 또한 이러한 기초연구들을 바탕으로 최종적으로 수자원 관리 및 수토 보전의 기능 강화를 위한 유역림의 종합적 체계가 제시되었다.

나. 연도별 연구수행 내용

1) 1년차 연구수행 내용

1년차 연구에서는 지속가능한 산림경영 구현을 위한 국제적 동향파악과 연차적 연구수행을 위한 연구대상지를 선정하여 장비 및 plot을 설치하고, 기초자료를 수집하였다. 그 외에 제1세부과제에서는 산림계획제도의 실무적 구현을 위한 모니터링체계의 개념을 파악하고, 다목적 산림경영 구현을 위한 전산체계를 설계하였다. 제2세부과제에서는 '생태적 경영을 위한 군집 구조적 기준 설정'을 위해 수관층별 종구성을 분석하여 경영대상 수종을 선정하기 위한 방안을 모색하고, 주요 수종의 공간분포 양상 판별, 수종간 상관관계 분석, 종다양성 분석 등을 실시하여 산림 군집의 생태적 속성 등을 파악하였다. 제3세부과제에서는 강우-유출수를 채수할 수 있는 장비를 설치하고, 임도개설지를 중심으로 한 식생침입조사 plot을 설치하였으며, 피복자재 개발시험을 위한 시험구도 설치하였다.

2) 2년차 연구수행 내용

제1세부과제에서는 전산자료처리를 위한 데이터베이스체계를 개발하는데 중점을 두고 이를 위한 Monitoring 인자 설정 및 알고리듬 구조 설계 및 프로그램을 개발하였다. 제2세부과제에서는 '경제림 육성을 위한 보육 기준 설정'을 위해 임목 형질지수를 이용하여 주요 활엽수림의 임목 형질을 평가하였으며, 임목의 형질을 개선할 수 있는 보육시업 체계를 고찰하였다. 또한 산림의 기능을 파악하기 위해 산림의 순생산력을 산출하고자 임목현존량 및 고사량, 포식량 등을 측정하였으며, 산림의 기능적 안정성을 제고하기 위해 적정 수준의 생산력 기준을 제시하였다. 제3세부과제에서는 도시유역 국유림의 수자원 관리실태 파악을 목적으로 도시유역림으로 부터 유출되는 강우

-유출수의 수질 분석, 산림이수 기능의 파악, 임도개설 및 미개설지에 대한 계류수의 수질을 분석하였다.

3) 3년차 연구수행 내용

제1세부과제에서는 의사결정지원시스템의 분석모듈의 종류를 결정하고, 알고리듬 설계 및 예비모듈을 완성하였다. 제2세부과제에서는 '천연갱신 양상 파악 및 실현 가능성 타진'을 위해 주요 교목 수종의 치수발생을 파악하고, 연구대상 산림의 천이계열을 분석하여 미래 임분 변화를 예측하였다. 제3세부과제에서는 도시유역림의 훼손지 특성 파악을 위하여 도시하천에 대한 하천측량, 임도개설지의 식생침입상황조사, 피복자재 기능평가, 산지급류소하천의 유목발생 현황파악 및 문제점을 분석하였다.

4) 4년차 연구수행 내용

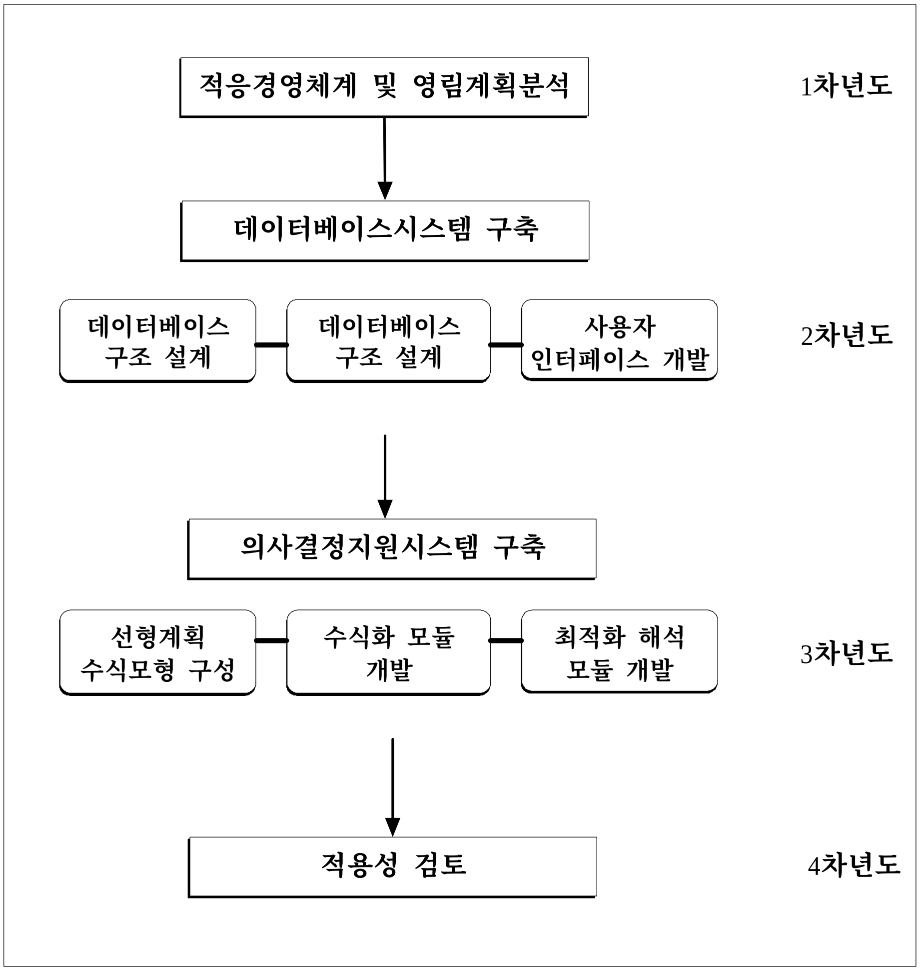
제1세부과제에서는 2, 3차년도에 개발된 모듈들을 보완하고, 통합하기 위한 사용자 인터페이스 개발을 완료함으로써 선형계획 전산모델을 개발하였다. 개발된 모델의 적용성을 검토하기 위해 연구대상지 산림에 대한 자료를 분석하고, 협동연구에서 제시된 생태적 관리지침을 적용하여 장기적인 산림 유도 방안에 대한 분석을 수행하였다. 제2세부과제에서는 연구대상 산림의 군집 구조를 분석하기 위한 자료를 보완하고, 생태적으로 안정성 있는 산림으로 조성하기 위한 경영대상 수종을 선발하였다. 또한, 환경적 변이를 유발하여 같은 산림내에서도 다른 군집구조를 유발하는 계곡지역, 산복지역, 능선지역 등 지형적 위치와 사면방향에 따라 임분구성 상태를 파악하고, 수종의 친화적 환경요구도에 따라 매우 다른 구조가 발생되는 지형적 위치별 경영대상 수종 및 구성비율을 제시하였다. 제3세부과제에서는 도시유역림의 수자원 보전 및 관리기법을 제시할 목적으로 임종배비에 따른 도시유역림의

강우-유출수의 수질분석, 합리적 임도개설을 위한 노선 선정, 비탈면 처리 기법 연구, 도시유역 하천의 하상변동과 유목발생 상황을 파악하고, 해결방안을 제시하였다.

제2절 세부과제별 연구개발 내용

1. 제1세부과제 : 산림환경 모니터링 및 다목적 이용 증진을 위한 산림 자원 관리체계

제1세부과제에 대한 연차별 연구추진내용이 (그림 1-1)에 나타나 있다. 이 그림에 의하면 제1차년도 연구에서는 적응경영체계의 분석을 위해 북미 서부지역의 국유림 계획체계를 분석하였으며, 현재 우리나라 영림계획체계의 문제점을 검토하였다. 그리고 국유림관리시스템의 개발을 위해 연구대상지역으로 북부지방산림관리청 춘천관리소 관할 가리산 지역을 선정하였다. 제2차년도 연구에서는 산림계획의 기초자료들을 효율적으로 관리하고, 산림자원에 대한 모니터링을 위하여 데이터베이스 시스템을 개발하고, 산림조사부, 영림계획부, 임반연혁부 등과 같은 관련 자료를 입력하였다. 제3차년도 연구에서는 환경생태적 기준에 근거한 국유림의 다목적 산림경영계획을 수립하기 위해 의사결정지원시스템을 개발하였다. 시스템의 개발을 위해 시스템을 구성하는 세부 분석모듈의 종류를 결정하고, 현재 운영되고 있는 산림행정종합정보시스템이나 관련 데이터베이스시스템 및 지리정보시스템 등과의 연계성을 검토하였으며, 세부 모듈의 알고리듬을 개발하였다. 최종연도인 당해연도 연구에서는 제2차년도와 제3차년도 연구를 통해 개발된 데이터베이스 시스템과 의사결정지원시스템의 통합 운영환경을 개발하고, 그 동안의 시험과정에서 나타난 문제점들에 대한 보완과 함께 시스템의 전체적인 시험을 위하여 연구대상지역에 대해 적용성 검토를 실시하였다.



<그림 1-1> 연차별 연구추진체계

2. 제2세부과제 : 지속가능한 산림환경생태기준 설정 및 산림조성 방안

가. 생태적 속성을 이용한 경영대상 수종 선발

연구대상 산림의 종구성 분석과 천이계열 분석 결과, 현재의 주요 우점 수종은 신갈나무, 소나무, 졸참나무, 가래나무, 층층나무 등이며 미래의 우점 가능성이 높은 수종은 신갈나무, 고로쇠나무, 졸참나무, 찰피나무, 물푸레나무 등으로 파악되었다. 따라서 연구대상 산림을 생태적 경영의 안목에서 합자연적으로 경영하기 위해서는, 산림의 안정성을 고려하여 다음 세대부터는 세력이 약화될 것으로 사료되지만 현재 산림에서 높은 우점도를 보이는 소나무, 가래나무 등의 세력을 다음 세대까지 유지시키고, 신갈나무, 고로쇠나무, 졸참나무, 찰피나무, 물푸레나무, 층층나무 등을 중심으로 산림이 조성•관리되어야 할 것이며, 수종의 구성비율은 신갈나무(20%), 찰피나무(20%), 고로쇠나무(15%), 물푸레나무(10%), 졸참나무(5%), 층층나무(5%), 가래나무(5%), 소나무(5%) 그리고 기타수종(15%) 등이 적당할 것으로 사료된다.

연구대상 산림은 계곡, 산복, 능선 등의 지형적 위치에 따라 매우 다른 군집구조를 갖는 것으로 분석되었으나, 사면방향에 따라서는 군집구조간 차이는 크지 않는 것으로 분석되었다. 지형적 위치별 임분상태 분석결과, 계곡지역에는 고로쇠나무, 층층나무, 찰피나무, 물푸레나무, 가래나무 등이, 산복지역에서는 신갈나무, 찰피나무, 졸참나무, 고로쇠나무, 물푸레나무 등이 높은 세력을 갖거나 미래에 우점할 가능성이 높은 것으로 파악되었으며, 건조한 환경조건에 의해 수종분포에 제한을 받을 것으로 예상되는 능선지역에서는 신갈나무와 소나무가 비교적 잘 생육하고 있는 것으로 파악되었다.

나. 생태적 속성을 이용한 생태적 접근방안

8개 경영대상 수종의 공간분포 양상을 판별한 결과, 고로쇠나무, 물푸레나무, 소나무, 신갈나무 등은 생식 및 생육 특성이 군거성을 띠거나 특정 환경에 대한 선호도가 높은 Clumped 양상을 띄는 것으로 파악되었으며, 졸참나무, 고로쇠나무, 가래나무, 층층나무 등은 비교적 넓은 생육분포를 보이며 적절한 밀도를 유지해야 하는 Random 양상으로 파악되었다.

임목 형질지수 분석 결과, 물푸레나무의 형질이 가장 좋은 것으로 파악되었으며, 가래나무는 6개 형질지수 모두에서 형질이 불량한 것으로 나타나 형질을 개량할 수 있는 형질 보육시업이 반드시 수행되어야 할 것으로 분석되었다.

수종간 서식의 친화성을 파악하는 수종간 상관관계 분석 결과를 토대로 산림군집형을 분류한 결과, 가래나무-층층나무-느릅나무-산뽕나무-고로쇠나무-찰피나무 등의 그룹(Ⅰ)과 음나무-박달나무-피나무-물푸레나무 등의 그룹(Ⅲ) 그리고 신갈나무-소나무-졸참나무-굴참나무 등의 그룹(Ⅱ)이 파악되었다. 이들 그룹들은 계곡·능선·산복 등 지형적 위치에 따른 식생 군집과 거의 동일한 구조를 보이고 있어 식생구성은 계곡, 산복, 능선 등 지형적 위치에 따라 매우 큰 영향을 받고 있음이 입증되었다.

연구대상 산림의 종다양성은 수분조건이 좋은 계곡지역의 다양도가 전반적으로 높은 것으로 파악되었다. 계곡, 산복, 능선 등 지형적 위치별 수종구성 비율을 고찰한 결과, 산림의 안정성을 유지하기 위해 능선지역은 신갈(약 40%), 소나무(약 20%), 졸참나무(약 20%), 물푸레나무(약 10%) 그리고 피나무, 음나무, 굴참나무 등 기타 수종(약 10%)의 수종구성이, 산복지역에서는 찰피나무(약 30%), 신갈나무(약 25%), 고로쇠나무(약 10%), 물푸레나무(약 10%), 졸참나무(약 10%), 그리고 피나무, 음나무, 다릅나무, 황벽나무, 개살

구나무, 굴참나무 등의 기타 수종(약 15%)의 수종구성이 제시되었으며, 계곡지역에서는 고로쇠나무가 약 25%, 가래나무, 물푸레나무, 층층나무, 찰피나무가 각각 15%, 다릅나무, 소나무, 팥배나무, 피나무 등의 기타수종이 약 15%로 구성되는 수종구성을 제시하였다. 산림의 안정성을 유지하기 위한 적정 종다양성은 능선지역이 2.2 이상, 산복지역은 2.5 이상, 그리고 계곡지역은 2.7 이상을 유지하는 것이 적합할 것으로 사료된다.

연구대상 산림의 순생산력은 약 1,020 g/㎡/yr로 파악되었으며, 호흡량이 천연활엽수림의 약 55%를 차지한다는 이론에 입각하여 추정한 총생산력은 약 2,270 g/㎡/yr로 산출되었다. 산림의 적정 생산력의 유지는 안정성을 유지하고자 하는 생태적 경영의 안목에서 중요한 경영목적이 될 것이며, 이를 위해 연구대상산림의 적정 순생산력은 1,000 g/㎡/yr로 제시하였다.

3. 제3세부과제 : 도시유역 국유림 수자원 관리 및 훼손지 방지를 위한 관리 대책

도시의 배후지역에 위치하고 있는 도시유역림에서의 수순환은 일반 토지이용구조에서 나타나고 있는 수순환 구조보다 복잡하고 고려되어야할 환경변수들이 다양하여, 수순환 현상의 규명은 물론 산림식생과의 상호작용을 규명하는 것 또한 매우 곤란하다. 따라서 산림수문학 특히, 도시유역림에서의 산림식생과 강우의 상호작용을 규명하기 위한 노력이 전세계적으로 활발히 진행되고 있다. 이 연구에서는 이러한 도시유역림에서의 수순환 특성을 규명하고 합리적인 수자원 이용을 위한 임종배비법을 제안하기 위해, 산지소유역을 선정하고 소유역내에 산재한 대표적 수종(5종 10본)을 중심으로 강우, 수관류, 수간류, 계류수를 채수하기 위한 시설을 설치하여, 채수된 유출수로부터 pH, EC, TDS, Na, Ca, K, Cl, NO_3-N, PO_4, SO_4를 분석하여, 계절별 측정치의 변이, 강우간격에 따른 측정치의 변이, 임상에 따른 측정치의

변이를 파악하였고, 수질정화기능을 고려한 도시유역림의 임종배비 근거를 제시하였다.

또한 도시유역림에서 발생될 수 있는 다양한 개발행위 중 그 환경적 영향력이 가장 커지고 있어 민원제기의 주요 대상인 임도개설지와 미개설지를 대상으로 계류수의 pH, EC, Na^{+}, Mg^{2+}, K^{+}, Ca^{+}, Cl^{-} NO^{-}_{3}-N, SO_4^{2-}를 측정 · 비교하여, 임도개설이 계류수의 수질에 미치는 영향을 파악하였다.

임도 비탈면 보호를 위한 공법을 개발하기 위해 임도 노선통과지의 지형개변실태를 비탈면 길이, 비탈면 물매, 노폭 및 측구를 중심으로 조사하여 각각의 기하학적 요소가 임도사면의 안정화에 어떠한 영향을 미치는지 파악하여, 최소한의 사면보호시설인, 비탈면처리공, 수로공, 침사지 및 정화시설이 현재, 저가의 단비로 개설되는 임도시공시, 고려될 수 있도록 하기 위한 근거자료를 제시하였다.

또한 임도사면처리 기술개발을 목적으로 임도시공후 식생의 자연침입에만 의존하여 거의 방치되고 있는 임도비탈면을 대상으로 절 · 성토 사면별, 사면토질별, 사면물매별, 사면장별로 식생침입 상태를 시계열적으로 조사하여 사면보호에 적합한 초본류 및 목본류 수종을 선정하고, 각 사면입지 특성에 따른 “우선 임도사면처리 기준안 제안”을 위한 기초자료를 제공하였다.

그리고, 도시유역림에서 흔히 발생되고 있는 인공 비탈면 중 환경적 심미적 가치로 인해 비탈면 발생과 동시에 피복이 필요한 지역과 식생의 자연침입으로는 피복을 기대하기 곤란한 비탈면에 시공가능한 피복자재를 개발하고, 피복자재 시공법을 제안하기 위해, 국내 · 외의 다양한 피복자재를 중심으로 현장실험을 통한 검증과 피복자재 시공법을 개발하였다.

마지막으로 이 연구에서는 유목의 체유특성, 수종별 유목발생빈도, 유목에 의한 피해 형태 등을 파악하여 사방 계획 수립시 유목의 발생, 이동 및 체유에 영향을 미치는 하도 특성과 유목 자체의 특성을 고려한 유목 대책 마

련이 가능하도록하며, 단순한 유목막이 도입이 아닌 적절한 유목보족공의 선정을 위한 기초자료를 제시하였다. 또한, 상류지역에 대규모 토공이 발생된 도시하천을 대상으로 하천 미지형과 토사이동 및 퇴적간의 특성을 파악하여 하천 미지형별 토사이동 억제시설물 설치공법을 제시하였다.

제2장 지속가능한 산림환경생태기준 설정 및 산림조성 방안

제1절 서 론

1. 연구의 필요성

산림은 유형、무형의 가치를 인간의 역사와 함께 우리 인류에게 제공하여 왔으며, '삶의 터전'으로서 존재하여 왔다. 산림 생산물에 대한 수요가 적었던 먼 과거에는 산림의 생산력이 충분하여 산림의 가치는 무한한 것으로 여겨졌으나, 인구가 급증하고 산업이 발달하면서 산림 생산물에 대한 과잉수요가 산림의 생산력을 훨씬 초과하게 되었고, 또한 산림이 아닌 다른 용도로의 산지개발로 인해 많은 산림이 황폐해지거나 사라지게 되었다. 이러한 훼손과 개발은 아무런 제약없이 인류에 의해 지속적으로 자행되었으나, 결국 인류에게 돌아오는 것은 산림의 감소로 인한 '삶의 터전'의 소멸이라는 것을 깨닫기 시작한 것은 그리 오래되지 않았다. 그러한 깨달음은 산림에 대한 인식의 전환을 가져왔고, 그로 인해 산림은 인류에게 한번의 생산물로서 활용되고 사라지는 일회용품이 아니라, 삶을 영위하는 데 있어, 없어서는 안될 재화(특히, 환경재)를 지속적으로 공급하고, 인간의 삶을 영위하기 위해 인간이 보호하고, 유지하고, 그리고 경영해야 할 존재로 인식되기 시작하였다.

산림을 인류의 터전으로 생각하고, 보속성 및 안정성을 유지하며 산림의

가치 창출을 위해 산림을 조성ㆍ관리하기 위해서는 인간중심의 경영이 아닌 합자연성에 입각한 경영대안 즉, 산림경영에 대한 생태학적 접근방안이 모색되어야 한다. 그러나 자연의 속성을 인간의 힘으로 명확히 파악하는 것은 매우 어려운 일이며, 따라서 생태학적 접근을 위한 끝없는 노력이 시도되어야 할 것이다. 그러나 우리나라에서는 산림경영이 이러한 생태학적 접근에 의해 시도된 바 없으며, 또한, 활용 가능한 생태적 속성들이 제시된 연구도 매우 적은 실정이다.

이 연구에서는 산림에 생태학적 속성을 파악하고 이를 산림경영에 대해 접목시킬 수 있는 접근방안을 고찰하고자 수행되었다. 그러나 산림에 대한 생태학적 접근은 단일의 연구로 끝나는 것이 아니라 다각적인 방면에서 지속적으로 수행되어야 하며 '시행과 착오의 단계'에서 반복되어야만 인간이 원하는 그리고 자연이 원하는 산림경영의 최선의 방안이 마련될 것이다.

2. 연구목적

생태적으로 안정된 산림자원 조성은 중요한 자연자원인 산림의 가치를 극대화하고, 인류에게 충분하고 지속적인 효용을 제공하기 위해 반드시 요구되는 사항이다. 그러나 산림경영의 개념조차 명확히 파악되어 적용되지 못했던 우리의 임업실정에서 '생태적으로 안정된 산림경영' 이라는 개념은 도입부터 적용까지 여러 가지 문제점들을 안고 있다. 특히, "생태적으로 안정된 산림의 기준은 무엇이며, 생태적으로 건전하고, 동시에 경제성 있는 가치 높은 산림을 조성할 수 있는 접근 방안은 어떤 것인가" 라는 문제는 우리의 산림을 생태적 경영으로 이끌기 위해 가장 우선적으로 풀어나가야 할 매우 어려운 과제이다.

이 연구에서는 산림의 수종구성 및 분포, 산림군집의 구조 분석을 통해

파악되는 산림 생태적 속성을 활용하여 생태적인 적정 안정상태 수준을 고찰하고, 합자연적인 수종 선발 및 생태적 관리 기준을 제시하며, 아울러 미래에도 지속적으로 안정상태를 유지하고, 높은 가치를 창출할 수 있는 방안을 고찰하고자 한다.

3. 연구내용 및 체제

이 연구는 크게 산림군집의 "생태적 속성을 이용한 경영대상 수종 선발"과 "생태적 속성을 이용한 생태적 접근방안" 2가지 부분으로 구성되어 있으며 각 부분에 대한 세부목적은 다음과 같다.

가. 생태적 속성을 이용한 경영대상 수종 선발

- 생태적으로 안정된 산림을 구성하기 위해 현재 산림의 종구성을 분석하고 적지적수의 개념을 도입하여 경영대상 수종을 고찰한다.
- 주요 수종을 대상으로 천이계열을 분석하여 미래임분 구성을 예측하고, 경영대상 수종 선발 및 수종 구성비율 설정에 활용한다.
- 산림의 지형에 따라 환경인자는 다르며, 이로 인한 환경인자의 변이 때문에 같은 산림에도 여러 개의 군집구조가 발생한다. 이 연구에서는 환경인자의 변이를 유발하는 지형조건 중, 계곡, 산복, 능선 등의 지형적 위치와 북동, 남동, 남서, 북서 등 4가지 사면방향에 따라 임분 구성상태를 분석하여 다른 군집구조가 나타나는 가를 파악하고, 지형적 위치와 사면방향의 환경인자에 대한 수종의 선호성을 분석하여 지형 군집별 경영대상 수종을 고찰하고 한다.

나. 생태적 속성을 이용한 생태적 접근방안

- 연구대상 산림의 경영수종으로 선발된 8개 수종을 대상으로 수종의 생식 및 생장특성, 그리고 환경적 인자와의 친화성 등에 의해 유발되는 공간분포 양상을 판별하여 수종별 분포 원인과 경영방안을 고찰한다.
- 임목 형질지수를 이용하여 주요 수종의 임목 형질을 파악하고, 경영대상 수종의 형질 보육시업 체계에 활용한다.
- 연구대상 산림의 우점 수종 중 12개 수종을 대상으로 상관관계를 분석하여 수종간 친화력을 조사하고, 산림시업 및 산림조성 등을 위한 활용방안을 고찰한다.
- 계곡, 산복, 능선 등 지형적 위치와 전체 산림에 대한 종다양성 지수를 산출하고, 안정상태를 유지할 수 있는 종구성 비율을 제시하여 적정 종다양성 지수를 추정한다.
- 현존량법에 의해 임목의 현존량과 고사량, 그리고 포식량 등을 이용하여 산림의 순생산력을 산출하고, 총생산력을 파악하여 연구대상 산림의 적정 생산력을 파악한다.

제2절 연구방법

1. 연구대상지

이 연구는 행정구역상 강원도 춘천시 동면과 북산면, 그리고 홍천군 두촌면의 경계에 위치한 가리산 일대 중 강원도 춘천시 동면 품걸리에 소재한 산림청 춘천국유림관리소 관내의 천연활엽수림을 대상으로 실시되었다. 이 지역의 산림은 낙엽송과 잣나무가 주종을 이루는 침엽수 인공림과 참나무류가 주종을 이루는 천연 활엽수림으로 구성되어 있으며, 특히, 천연활엽수림은 산세가 험하고 인위적 간섭이 비교적 적어 다양한 종구성을 보이고 있다.

연구대상 지역의 산림면적은 약 8,147ha이며, 1971년부터 현재까지 산촌과 산촌을 잇는 공도의 구실을 하는 임도가 개설되어 접근가능성이 매우 높으나, 절, 성토면의 나출과 임도 설계상의 문제 등으로 인하여 많은 곳이 소실되고 계속적으로 보수되어 왔던 역사를 갖고 있다. 붕괴된 지역에 대해서는 국유림관리소의 비교적 많은 사후 관리 작업이 있었던 것으로 보이나, 절토면의 험준한 경사와 붕괴지역의 식생 피복이 시급히 이루어지지 않고 있어 계속적인 토사유출이 염려되며, 이에 대한 근본적인 해결책이 마련되어야 할 것으로 사료된다.

연구대상 지역은 가파른 경사에 의해 계곡에서 산복, 그리고 능선까지 수종구성의 변이가 매우 뚜렷하게 나타나고 있으며, 능선지역에서 신갈나무와 혼재되어 출현하고 있는 소나무들은 상층목만 존재할 뿐 후계목들이 거의 존재하지 않는 것으로 비추어 볼 때 연구대상 산림은 우리나라 중부지방(강원도 영동지방의 고산지대 제외) 대부분의 천연활엽수림과 마찬가지로 과거 소나무림에서 점차로 신갈나무 등의 참나무류 우점림으로 변화되어 가는 2

차 천이의 중간단계를 겪고 있는 것으로 예측할 수 있다.

계곡부위에서는 수분선호도가 높은 수종들이 출현하고 있으며, 특이한 사항은 상층에 가래나무가 절대 우점하고 그 아래층을 층층나무가 우점하는 가래나무-층층나무 군락이 연구대상 산림의 계곡지역 곳곳에 나타나고 있다는 것이다. 이러한 분포 현상은 양수 수종인 가래나무와 층층나무가 생육환경에 있어 높은 상관관계를 갖고 있음을 의미하기도 하지만, 가래나무 후계목들이 가래나무 보다 늦게 침입한 층층나무들과의 생육경합에서 도태되어 결국 가래나무 상층은 층층나무 의해 대처될 것이라는 가래나무와 층층나무 사이의 천이계열상의 시간적 서열관계를 판단하게 해준다.

2. 조사방법

이 연구에서는 연구대상 산림의 천연활엽수림을 대상으로 1:25,000 지형도를 참조하고, 산림의 상관(physiognomy)을 기준으로 하여 조사 임분을 설정하였다.

1차년도 조사에서는 point sampling방법을 채택하여 총 98개의 표본구를 선정하였으며, 각 point별 방위에 따라 상층, 중층, 하층, 치수층의 임목을 각각 4본씩을 선발하여 식생자료를 조사하였다. point sampling방법은 기준 point를 중심으로 4방위에 따라 가장 가까운 임목을 조사하는 방법으로 임목의 밀도를 산출할 때 개체수 외에 point와 임목간의 거리가 매우 중요한 인자로 작용하는 표본조사법이다. 1차년도 자료는 주로 주요 교목수종의 공간분포를 산출하고, 관목 수종들을 분석하는 데 활용되었으며, 산출된 수종의 공간분포는 plot sampling방법에 의해 산출된 수종의 공간분포 양상을 보완, 수정하는 데 이용되었다.

2차년도에는 주요 수종의 형질을 파악하기 위해 매목조사를 실시하였으

며, 산림내 6개 현존량 site를 설치하여 임목의 지상부(수간, 가지, 잎)와 지하부(뿌리)의 현존량을 조사하였다.

형질조사에서 이용된 임목 형질지수는 수간곡직성, 임목기울기, 수관폭, 지하고, 가지각도, 측지간격 등 6가지 인자로 구성되어 있으며, 이를 근거로 표본목의 임목 형질계수를 산출하였다. 임목 형질지수 조사는 연구대상 산림 외의 강원도 평창군 주왕산일대, 강원대학교 연습림 등 총 3곳의 산림을 대상으로 실시되었으며, 「강원도 지방의 주요 활엽수종에 대한 형질파악」을 위해 지속적으로 연구될 예정이다.

현존량 조사에서는 연구대상 산림에 계곡, 산복, 능선 등의 지형조건에 따라 연구 site를 설치하고, 각 site별 5m×5m 표본구 2개씩을 설치하여 상반기와 하반기에 표본구내 식생의 직경 및 수고와 생체량을 측정하여 군락생장량을 추정하였다. 또한, 산림내 낙엽받이를 설치하여 낙엽과 낙지의 고사량을 측정하였으며, 곤충의 피해를 입은 잎들을 수집하여 포식면적을 planimeter로 산출하는 방법으로 포식량 측정을 실시하였다. 지하부(뿌리부위)의 현존량을 파악하기 위해서는 각 site마다 같은 직경의 그루터기를 중심으로 지하 1m까지 채취하여 생중량을 측정하였다.

3차년도 조사에서는 plot sampling 방법을 이용하여 산림식생을 조사하였으나, 연구대상 산림의 천이계열을 분석하기 위해 변형된 plot sampling 방법을 활용하였다. 변형된 plot sampling 방법이란 plot내의 상층을 조사하고, 이 상층의 수관폭 범위내에 출현하는 모든 중, 하층 임목을 조사하여 그 상층목의 미래의 대체목으로 고려하는 방법으로, 상층목이 다른 하층목들에 의해 대체될 추이확률을 산출하는 데 효과적이다. 이러한 방법으로 산출된 상층수종과 그 후계목수를 이용하여 연구대상 산림의 미래임분 구성을 예측하였다.

4차년도 조사에서는 plot sampling 방법을 이용하였으며, 특히, 계곡지역,

산복지역, 능선지역 등 지형적 위치에 따라 식생분포를 조사하고, 사면방향에 대해서는 북동, 남동, 남서, 북서방위 등 4방위에 따라 주요 식생의 출현 현황 및 재적분포 현황을 조사하였다. 산림의 지형적 위치는 수분, 광선, 바람, 온도, 미세환경 등 여러 환경인자의 변이가 존재하며, 특히 계곡, 산복, 능선이나 사면방향 등의 지형적 인자에 따라서는 환경인자의 변이가 뚜렷할 것으로 예상되어 지형적 인자에 따른 식생구성 상태를 분석하고, 수종의 친화적 환경요구도를 예측하였다.

식생조사 방법은 표본방법과 상관없이 상층, 중층, 하층, 치수층으로 구분하여 출현하는 모든 목본식물들의 수종을 식별하고, 개체수, 수고, 흉고직경, 수관폭 등을 조사하였으며, 치수층에서는 수종 식별과 수고, 직경 등을 조사하였다. 상층은 수고 13m 이상으로 임관의 최상층을 점유하고 있는 식생을 상층임관 구성 수종으로 결정하여 조사하였으며, 수고 12m 미만에서 3m 이상의 목본식물은 중층임관 구성수종으로, 그리고 수고 3m 미만에서 1m 이상의 식생은 하층임관 구성수종으로 분류하였다. 최상층 수종이 수고 12m 미만이면서, 상층목의 고사된 흔적이 있고 임관이 소개된 지역은 임내공간(Gap) 지역으로 간주하여 상층 없이 중층과 하층의 식생만을 조사하였다. 치수층에서는 주요 교목 활엽수종 중 수고 1m미만인 어린 임목을 치수로 간주하여 조사하였다. 조사된 식생자료는 연구대상 산림의 경영 대상 수종 선발을 위해 활용되었으며, 산림군집의 생태적 속성을 파악하기 위해 공간분포 양상 판별, 수종간 상관관계, 종다양성 지수 등을 분석하여 생태적 경영정보를 제공하였다.

3. 분석방법

가. 종구성 분석

산림군집이란 여러 생물 종, 즉 여러 개체군들이 상호 연관관계를 가지고 특정한 물리적 환경조건과 일정한 시간적 범위내에서 고유의 성격을 가지며 이루어진 식물 집단을 의미한다(김 등 1996). 따라서 종구성은 산림군집을 묘사하고 분석하는 데 중요한 역할을 한다. 토양, 기후, 그리고 지형적인 환경조건들과 식물종 상호간의 연관관계에 의하여 어떤 종은 다른 종보다 생육 및 번식상태가 양호하여 우점종이 생기고, 후대의 개체들이 뒤를 이어 재생산되기 때문에 특정한 산림군집이 형성된다. 비슷한 상관을 가진 산림군집간에도 우점 수종이나 구성수종이 다르기 때문에 전혀 다른 군집속성을 갖는 경우가 많다. 군집수준에서 산림을 생태학적으로 묘사하고, 분석하여 그리고 응용하는 범위까지 전개시키기 위해서는 종구성이 우선적으로 파악되어야 하기 때문에 이를 위한 조사방법과 식물종을 식별하는 능력을 갖추어야 하는 것이 필수적이다.

이 연구에서는 Curtis와 McIntosh가 1951년에 산림군집 구성종들의 중요도 및 영향력을 표현하기 위해 고안한 중요치(Importance Value)를 이용하여 연구대상 산림의 종구성을 분석하였다. 중요치에 의한 종구성 분석방법은 상대밀도(Relative Density), 상대빈도(Relative Frequency), 상대피도(Relative Coverage) 등을 인자로 하여 이들 인자들의 평균치를 중요치로 채택하는 방법이다. 중요치의 주요 구성요소인 밀도는 '식물종의 출현하는 개체수'를 의미한다. 이러한 출현 개체수를 가지고 다른 수종들과의 상대적인 관계를 규명하기 위해 산출하는 것이 상대밀도이다. 즉, 어떤 한 수종의 상대밀도는 그 수종의 개체수에 대한 모든 종의 개체수 합계의 비율로서 산

출된다. 빈도는 ‘어떤 한 종이 얼마나 넓은 지역에 출현하는 가’하는 생육의 분포정도를 측정하는 기준이다. 개체수와는 상관없이 그 수종이 출현한 표본들을 합산하여 그 수종의 빈도를 산출하며, 상대빈도는 마찬가지로 어떤 한 수종의 빈도와 전체 수종의 빈도합의 비율로서 산출된다. 중요치에 위한 종구성 분석방법의 가장 큰 특징은 개체수 합계와 개체의 출현만을 고려한 것이 아니라 출현하는 수종의 크기 즉, 그 수종이 차지하는 생육면적을 고려하는 데 있다. 즉, 각 임목이 차지하는 면적을 조사하여 수종구성의 순위성에 밀도 및 빈도와 같은 의미를 부여하였다. 이것을 피도라 하는 데 일반적으로 한 임목이 점유하는 면적을 정확히 산출하기는 어려우나, 수관폭 또는 흉고단면적으로 이용하여 수종의 피도를 산출하고, 전체 수종의 피도합계에 대한 비율로서 그 수종의 상대피도를 계산하게 된다(Curtis & McIntish, 1951; Brown & Curtis, 1952).

이와 같이 상대밀도, 상대빈도, 상대피도가 산출되면 이들의 평균치를 중요치라 하여 대상 산림의 수종별 상대우점도를 산출한다. 이 연구에서는 연구대상 산림의 상대우점도를 상층, 중층, 하층, 치수층별로 산출하여 각 수관층별 종구성을 분석하였다. 이러한 수관층별 상대우점도 분석은 각 수관층별 종구성 비교를 통해 연구대상 산림의 현존 종구성 상태뿐만 아니라 미래의 변화양상을 예측하게 하여 생태적 안정성에 입각한 산림경영에 있어 적정 수종 선발을 가능케 해준다.

다음은 이 연구에서 연구대상 산림의 수종 구성상태를 파악하는 데 이용된 중요치 산출 공식이다.

$$IV = \frac{RD + RF + RC}{3} \quad (\%)$$

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

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

$$RC = \frac{\text{어떤 수종의 피복면적}}{\text{전체 수종의 피복면적 합계}} \times 100(\%)$$

Point sampling 방법이나 Plot sampling 방법에서 중요치 산출공식은 기본적으로 위의 공식을 이용한다. 그러나 Point sampling 방법에서는 한 point 당 4본만의 임목을 조사하고, 또 Point와 임목간의 거리가 매우 큰 변수로 작용하기 때문에 상대피도를 산출하는 방법이 다르다. 즉, Plot sampling 방법에서는 한 수종의 피도를 그 수종의 흉고단면적 합계나 수관폭 합계로 산출하나 Point sampling 방법에서는 수종의 절대밀도를 산출하여 절대밀도에 그 수종의 흉고단면적 합계 또는 수관폭 합계를 곱하고 이를 다시 그 수종의 개체수로 나누어 다음의 공식과 같이 개개 수종의 피도를 산출한다(Brower & Zar, 1977).

$$C_i = (a_i) \times (D_i) / n_i$$

C_i : i 수종의 피도

a_i : i 수종의 수관폭(흉고단면적) 합계

D_i : i 수종의 절대밀도

n_i : i 수종의 개체수

위 식에서 절대밀도는 Point sampling 방법이 갖는 Point와 임목간의 거리라는 변수에 의해 산출되며, 이것이 Plot sampling방법과 가장 큰 차이라 할 수 있다.

다음은 Point sampling에서 한 수종의 절대밀도를 산출하는 과정이다.

1) Point와 임목간 평균거리를 산출한다.

$$\bar{d} = \Sigma d / \Sigma n$$

$\bar{d}$: Point와 임목간의 평균거리

Σd : Point와 임목간의 거리의 합

Σn : 총 개체수

2) 한 임목의 평균점유면적을 산출한다.

한 임목이 점유하는 면적이 정사각형이라고 가정한다면 개개의 임목이 점유하는 평균면적은 Point와 임목간의 평균거리 자승과 같다.

$$\bar{A} = \bar{d}^2$$

$\bar{A}$: 개개의 임목이 점유하는 평균면적

3) **전체밀도를 산출한다.**

전체밀도는 단위면적당 모든 수종의 개체수의 합계를 의미하며, 식생이 점유하는 평균면적의 역수를 이용하여 전체밀도를 산출한다.

$$TD = u / \bar{A}$$

u : **단위면적**

위의 식에서 u**는 단위면적을 나타낸다. 따라서 단위면적이** 1㎡**일 때** TD**는 식생이 점유하는 평균면적분의** 1**이 되며,** 1ha**일때는 식생이 점유하는 면적 분의** 10000**으로 산출한다.**

4) **절대밀도를 산출한다.**

한 수종의 상대밀도는 그 수종의 개체수합을 전제 수종의 개체수합으로 나눈 값이므로 반대로 상대밀도와 전체밀도를 곱하면 그 수종의 절대밀도가 산출된다.

$$D_i = TD \times RD_i = (u / \bar{A}) \times (n_i / \Sigma n)$$

D_i : i **수종의 절대밀도**

이와 같은 과정을 통해 1**차년도의** Point sampling **방법으로 조사한 식생자료의 절대밀도를 산출하고, 피도 및 빈도를 산출하였으며,** 3, 4**차년도의** Plot sampling **방법에 의해 조사된 식생자료들과 종합하여 전체적인 연구대상 산림의 수종 구성 상태를 분석하였다.**

나. 산림천이

천이(succession) 이론이란 한 단계에서 번성한 식물 종들이 다음 단계에 가서는 후대 식물 종들에게 자리 물려줌을 계속함으로써 궁극적으로 식물 종의 구성상 거의 변화가 없어지는 극성상군집(climax community)에 도달한다는 이론이다. 결국, 천이는 산림의 동적 변화의 주 근원이며, 산림의 크고 작은 교란들에 의해 천이의 진행과정들이 쉽게 인식되기도 한다. 그러나 산림천이는 시간이 경과함으로써 야기되는 산림군집의 구조상의 변화이기 때문에 매우 어려운 연구대상이었다. 과거의 연구에서는 오랜 세월을 두고 반복적인 조사나 혹은 보다 진행된 군집과의 비교를 통해 연구되어 왔다. 이러한 방법들은 실험 계획상 시간적, 공간적 어려움으로 기대한 만큼의 결과를 얻지 못하는 경우가 많았다. 현재의 천이 연구는 종래의 군집 대 군집을 기본으로 하던 연구에서 임목의 대치 작용에 의한 수종 구성상의 양상을 분석하는 방향으로 진전을 보게 되었다. 즉, 산림천이는 특정한 천이단계에서 가장 잘 적응된 수종들의 생존과 생장의 결과라는 관점이다(김, 1992). 이러한 가설을 바탕으로, 수학적이며, 통계학적인 방법들이 이용된 simulation을 통한 모델을 개발하여 천이의 진척 상황을 분석하는 연구가 많이 성행하게 되었고, 객관적인 분석이란 면에서 광범위하게 받아들여지고 있다.

본 연구에서는 여러 가지 천이 modelling 방법 중에서 Markov chain을 이용한 추이확률을 분석하여 연구대상 산림에 대한 천이 경향을 파악하였다. Markov model은 천이의 경로가 식물 종의 확률적인 대치작용에 의한 결과라는 것이 기본 개념이다. 산림군집내의 각 임목들은 동일 수종의 다른 개체에 의해서 대치될 때, 혹은 다른 수종의 서식처 탈취에 의해 자리물림을 할 때, 어떤 정해진 확률로서 이러한 현상이 일어난다는 것이다. 이 확률

은 상층 우세목과 하층 후계목들과의 관계에서 설정된다. 산림천이의 과정은 이러한 추이확률 행렬과 해당 임분의 현재 수종 구성상태에 의해서 결정될 것이며, 산림에 대한 교란작용이 배제될 경우 군집의 수종 구성비율은 세대를 거쳐 결국 궁극적으로 변하지 않는 “안정상태(steady state)"에 도달할 것이다(Horn 1975a, 1975b, 1976). 이와 같은 개념을 바탕으로, 천이 계열단계를 분석하고, 미래 수종 구성을 파악하여 연구대상 산림의 동적변화 양상을 예측하였다.

다. 산림지형에 따른 임분 구성상태 분석

일반적으로 산림은 경사도, 사면방위, 해발고도, 그리고 미세지형의 변이가 심하며, 특히 우리나라 산지와 같이 대부분 급준 지형으로 구성되어 있는 지역의 지형적 변이는 매우 다양하다. 이러한 지형적 차이는 산림의 환경적 요소들의 차이를 발생시키며, 그 결과 산림식생의 분포에도 큰 영향을 미치고 있는 것으로 판단되고 있다.

이 연구에서는 환경인자의 변이가 뚜렷하여 다른 구조적 속성을 가질 것으로 사료되는 계곡지역, 산복지역, 능선지역 등 지형적 위치와 사면방향에 따라 수관층별 출현 수종의 ha당 개체수 분포 및 ha당 재적를 산출하여 지형인자에 따른 군집 구조적 차이를 파악하고, 각 지역에 따라 수종의 선호성을 분석하여 지형적 위치별, 사면방향병 경영대상 수종을 고찰하였다.

산림의 계곡지역과 산복지역의 경계와 능선지역과 산복지역 경계에서 이들 지역의 구분은 명확하지 않으며, 이를 규정한 정의도 전무한 실정이다. 이 연구에서는 이들 지역의 범위가 해발고와 지형에 따라 혹은 계곡의 폭에 따라 다소 변이가 있을 것이라는 가정을 무시하고, 산림의 경영하는 데 있어 보다 실용적이고 객관적인 자료로 활용하기 위해 계곡지역과 능선지역,

그리고 이에 따른 산복지역의 범위를 다음과 같이 제시하였다.

계곡지역 : 지형도상의 계곡선을 기준으로 좌우 30m 이내(총 60m)

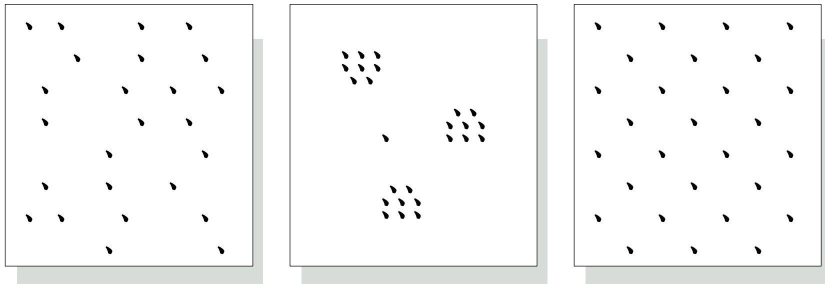
능선지역 : 지형도상의 능선선을 기준으로 좌우 20m 이내(총 40m)

산복지역 : 계곡지역과 능선지역을 제외한 나머지 지역

계곡, 산복, 능선에 따른 지형적 위치는 토양의 수분함수율 이외에 지표면에 도달하는 수광량, 풍량 등 수많은 환경인자의 변이가 발생할 것으로 예측되나, 이 연구에서는 다른 환경인자보다는 수분이 식생분포에 보다 많은 영향을 미칠 것으로 가정하여 토양의 수분함수률의 변이가 발생하는 가를 분석하고자 5개의 사면에 site를 설정하고 각 사면별 계곡, 산복, 능선으로 이어지는 지형적 위치에 따라 subplot을 설치하여 토성을 판별하고, 생중량을 측정하였다. subplot은 10m×10m 정방형의 식생 Plot내에 한쪽 모서리와 중앙, 그리고 대각선 끝의 모서리 3곳에 설치하였으며, 각 subplot의 토양을 혼합하여 토양자료를 수집하였다, 채취된 토양은 건중량 측정을 위해 연구실의 건조기에서 100℃의 온도로 24시간 건조하였으며, 이를 통해 계곡, 산복, 능선에 따른 토양의 함수률의 변이를 분석하였다.

라. 공간분포 분석

식생의 공간분포 양상은 그 산림군집의 생태적 구조를 파악하는 데 이용되는 매우 중요한 특성 중의 하나이다. 따라서 공간분포 분석은 군집의 속성을 이해하기 위해 가장 첫 번째로 실행되어야 하는 분석방법이다(Connell, 1963).



<그림 2-1> 수종의 3가지 공간분포 양상

생물체의 공간분포는 3가지 양상 즉, Random 양상, Clumped 양상, Uniform 양상으로 분류된다.(그림 2-1). Random 양상은 그 개체군이 생육하는 지역의 환경적 요소들이 유사하거나, 종의 생육양상이 비도태적(nonselective) 양상임을 의미한다. 반면에, Nonrandom 양상은 개체군이 생육하는 데 있어 어떠한 형태의 제약(종의 도태적(selective) 생육양상 혹은 이질적인 환경적 요소들의 분포)이 존재함을 의미한다.

Nonrandom 양상은 크게 Clumped 양상과 Uniform 양상으로 분류되는데, Clumped 양상은 개체들이 환경의 이질성에 따라 생육에 보다 적합한 지역에 모여 서식하고 있음을 의미하는 것으로, 생물체의 군생적 생육형태, 환경적 이질성, 생식방법 등이 주원인이며, Uniform 양상은 영양분이나 공간에 대한 경쟁 같은 개체간의 절대적인 부정적 상호작용 등이 주 원인이다. 물론, 분포 양상을 파악하고, 그 가능한 원인들을 규정하는 것은 별개의 문제이다. 더군다나, 자연은 수많은 다양한 요소들로 구성되어 있다. 즉, 수많은 생물적, 무생물적 상호작용들이 생물체들의 공간분포에 영향을 미친다는 것을 인식해야 한다(Quinn and Dunham, 1983).

최초로 생물군집의 공간분포 양상에 대한 중요성을 인식했던 생태학자, Hutchinson(1953)은 생물체의 공간분포 양상이 다음과 같은 5가지 원인에 의해 결정된다고 주장하였다.

① 외부의 환경적 요소(바람, 수분, 광선 등)에 의해 발생되는 Vectorial factors

② 생물체의 생식형태(무성생식, 유성생식 등)에 의한 Reproductive factors

③ 선천적인 활동(영역활동 등)에 의한 Social factors

④ 중간 상호작용(경쟁 등)에 의해 발생되는 Coactive factors

⑤ 위의 4가지 요인들의 무작위 변이로부터 발생되는 Stochastic factors

즉, 공간분포 양상은 결국 종의 내적요인(Reproductive, Social, Coactive)이나 외적요인(Vectorial)에 의해 발생하며, 수종의 공간분포 양상을 통해 대상 수종의 생태적 특성이나, 외부환경적 속성의 변이를 예측할 수 있다.

공간분포 양상을 분석하는 방법은 크게 Distribution Model을 이용한 방법, Quadrat-Variance Model을 이용한 방법 그리고 Distance Model을 이용한 방법 3가지가 있다. 이 모델들은 모두 표본구의 종류에 따라 적용되는데 이 연구는 Plot sampling과 Point sampling 방법을 이용하여 식생자료를 수집하였기에 공간분포 모델 중 Quadrat-Variance Model과 Distance Model이 적용되었다.

Quadrat Variance Model은 Plot sampling에 의해 실시된 표본의 결과를 대상으로 적용되는 분석 모델이다. 이 모델에는 표본구들을 clustering한 Block size별 분산을 이용하는 Blocked-Quadrat Variance식 Method(BQV)와 표본구들을 쌍으로 조합한 spacing별 분산을 이용하는 Paired-Quadrat

Variance식 Method(PQV) 등이 있다.

이 연구에서는 수종의 공간분포 분석을 위해 분산의 변이가 보다 큰 폭으로 발생하는 BQV 방법을 이용하였다. BQV방법은 GreigSmith에 의해 1983년에 고안되었으며 각 Block-size별 분산은 다음 식에 의해 산출된다.

아래 식에 의해 산출된 분산이 Block-size별 분포되는 형태에 따라 그 수종의 공간분포 양상을 Random, Uniform, Clumped중 한가지로 분석할 수 있다. 즉, Random 양상은 분산 분포양상이 불규칙하지만 그 변이가 적은 형태로 나타나며, Uniform 양상은 분산의 분포양상이 규칙적이어서 그 변이가 거의 없으며, 분산이 매우 적은 값들을 갖는다. Clumped 양상은 분포양상이 매우 불규칙하며, 그 변이의 폭이 커서 peak현상이 출현하는 형태이거나 분산값이 상향 또는 하향되는 형태를 보인다.

Block size 1일때

$$VAR(X)1 = (2/N)\ \{[(1/2)\ (x_1 - x_2)^2] + [(1/2)\ (x_3 - x_4)^2] + \cdots + [(1/2)\ (x_{n-1} - x_n)^2]\}$$

N : quadrat(표본구)의 총수

x_n : n번째 표본구의 개체수

Block size 2일때

$$VAR(X)2 = (4/N)\ \{[(1/4)\ (x_1 + x_2 - x_3 - x_4)^2] + [(1/4)\ (x_5 + x_6 - x_7 - x_8)^2] + \cdots + [(1/4)\ (x_{n-3} + x_{n-2} - x_{n-1} - x_n)^2]$$

Block size 3일때

$$VAR(X)3 = (8/N)\ \{[(1/6)(x_1 + x_2 + x_3 - x_4 - x_5 - x_6)^2] + [(1/6)\ (x_7 + x_8 + x_9 - x_{10} - x_{11} - x_{12})^2] + \cdots + [(1/6)\ (x_{n-5} + x_{n-4} + x_{n-3} - x_{n-2} - x_{n-1} - x_n)^2]$$

⋮

Point sampling 방법으로 수집된 식생자료의 공간분포 양상은 Distance Model을 이용하였다. Distance Model은 개개의 수목이 명확하게 구별되고, 뚜렷한 간격을 두는 곳에서 식생형의 밀도를 빨리 평가하기 위해 개발된 방법으로 식생자료 수집에 있어 시간적인 면에서 효율적이나, quadrat-variance Model 보다는 적은 공간분포 정보를 제공하는 단점을 갖고 있다(Diggle, 1983). 그러나 군집내의 공간분포양상을 보다 빠르고, 쉽게 조사하기 위해서는 가치있는 기법으로 평가받고 있다.

Distance Model에는 T-Square Index와 The Distance Index of Dispersion 두 가지 분석방법이 있다. T-Square Index는 point와 개체간의

거리와 그 개체와 가장 인접한 다른 개체와의 거리 즉, 두 개의 거리를 인자로 하는 방법이고, The Distance Index of Dispersion은 point와 개체간의 거리만을 인자로 하는 방법이다. 이 연구에서는 The Distance Index of Dispersion을 이용하여 Point samplng 조사법에서 얻어진 식생자료의 공간분포를 분석하였다.

The Distance Index of Dispersion(I)은 Eberhardt(1976)와 Pielou(1959, 1977)에 의해 개발되었고, Johnson & Zimmer(1985)에 의해 발달된 공간분포 판별방법으로 N개의 point에 대해 point들과 근접한 개체들과의 거리를 x_i로 볼 때, 거리제곱의 합의 제곱에 대한 제곱된 거리의 제곱의 합의 비율로써 산출된다.

$$I = (N + 1) \frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i^2)^2}{[\sum_{i=1}^{N} (x_i^2)]^2}$$

I : The distance index of Dispersion

N : sample point의 총수

x_i : i point의 개체수와의 거리

위 식에 의해 산출된 The Distance Index of Dispersion(I) 값이 2의 값이면 random 양상으로, 2보다 작으면 uniform 양상으로, 그리고 2보다 크면 clumped 양상으로 파악된다. The Distance Index of Dispersion에 의한 공간분포 분석은 BQV방법에 의한 주요 수종의 공간분포 양상결과를 입증하는 데 이용되었다.

마. 임목 형질지수 분석

천연활엽수림에서 자생하는 활엽수종 고유의 생장 특성을 감안하여, 주요 상층 수종의 임목형질을 평가하는 한 방편으로 임목 형질지수(Tree Form Index:TFI)를 추정하였다(표 2-1). 임목의 형질평가는 6가지의 임목 형질지수를 기준으로 하여 4등급으로 평가하고, 각 평가등급에 따라 점수를 부여하는 방법으로 평가되었다.

(표 2-1)에서 제시된 임목 형질지수는 수간통직성(Bole Straightness:BS), 임목기울기(Tree Declination:TD), 수관폭(Crown Width:CW), 지하고(Bole Height:BH), 가지각도(Branch Angle:BA), 측지간격(Branch Interval:BI) 등으로, 수간통직성은 직립생장을 하는 임목의 형질이 우량하다는 가정에 근거하여, 임목기울기는 지표의 수평면에 대한 임목의 기울기가 심하면 생육이 불량해지고 결국 고사하게 된다는 가정에 근거하여, 지하고는 높을수록 임목의 이용재적을 높인다는 가정에 근거하여, 수관폭은 폭목으로의 발달이 임목의 형질을 감소시킨다는 가정에 근거하여, 가지각도는 예각이 폭목을 유발하지 않고 형질을 개선시킨다는 가정에 근거하여, 그리고 측지간격은 밀한 가지의 발생과 생장이 임목의 형질을 불량하게 만든다는 가정에 근거하여 선발되었다(김 등, 1999).

6개 형질지수 중 임목 형질을 평가하는 데 비교적 높은 의미가 있는 수간통직성, 임목기울기, 지하고는 15점 만점으로, 0점에서 5점씩 임목의 형질 등급에 따라 점수를 부여하였으며, 수관폭은 12점 만점으로, 0점에서 4점씩 형질 등급에 따라 점수를 부여하였다. 비교적 낮은 임목 형질 평가 지수로 파악되는 가지각도와 측지간격은 9점 만점으로 하여 0점에서 3점씩 점수를 부여하였다. 개개 임목의 형질지수 값은 수종별로 합산되어 그 평균치를 수종의 형질로서 활용하였으며, 계산과 활용의 편의를 위해 100%로 환산하여

임목 형질계수(Tree Form Coefficient)**를 산출하였다**.

<**표** 2-1> **형질 보육시업을 위한 임목 형질지수**

임목 형질	등급	평가기준	점수
	I	**휨정도** ≤10°	15
수간통직성	II	**휨정도** 11 20°	10
(BS)	III	**휨정도** 21 30°	5
	IV	**휨정도** ≥31°	0
	I	**기울기** ≤10°	15
임목기울기	II	**기울기** 11 20°	10
(TD)	III	**기울기** 21 30°	5
	IV	**기울기** ≥31°	0
	I	**총수고의** < ⅓	12
수관폭	II	**총수고의** ½ ⅓	8
(CW)	III	**총수고의** ⅓ ½	4
	IV	**총수고의**) ⅔	0
	I	**총수고의**) ⅔	15
지하고	II	**총수고의** ⅔ ½	10
(BH)	III	**총수고의** ½ ⅓	5
	IV	**총수고의** < ⅓	0
	I	**가지각도** ≤60°	9
가지각도	II	**가지각도** 61 70°	6
(BA)	III	**가지각도** 71 80°	3
	IV	**가지각도** ≥81°	0
	I	**가지간의 간격** ≥2m	9
측지간격	II	**가지간의 간격** 1 2m	6
(BI)	III	**가지간의 간격** 0.5 1m	3
	IV	**가지간의 간격** ≤0.5m	0

바. 수종간 상관관계

수종간 상관관계는 산림군집내 생육하는 수종의 생태적 속성을 밝히는 매우 중요한 분석기법 중의 하나이다. 산림군집에는 수종들의 분포, 수, 그리고 상호작용에 중요한 영향을 미치는 무수한 생물적, 무생물적 요인들이 존재하며, 상관관계를 포함한 생태적 분석기법들은 수종의 분포, 수, 그리고 상호작용 현상을 통해 수종의 생물적､환경적 주변요인들이 그 수종과 전체 산림군집에 미치는 영향을 밝히기 위해 사용된다(Ludwig & Reynolds, 1988).

<표 2-2> 수종간 상호작용에 따른 상관관계의 생태적 의미

상호작용	생태적 의미	
	정의 상관관계	부의 상관관계
없음	두 수종은 제한된 자원에 대해 같은 반응을 보인다	두 수종은 다른 자원 요구도를 갖는다
공생관계	두 수종은 상호간의 생존율을 증가시킨다.	두 수종은 자원에 대해 배타적인 반응을 보이며, 경쟁한다
경쟁관계	제한된 자원에 대해 동일한 요구도를 보이며 자원이 변화됨에 따라 스스로 개체수를 조절한다.	두 수종은 서로의 생육에 강한 간섭을 보이며, 때때로 다른 수종을 도태시킨다

두 수종이 같은 서식처를 공유하느냐, 혹은 다른 서식처 요구도를 갖느냐에 따라 수종간 상관관계의 결과는 정의 관계, 부의 관계, 또는 상관없음 등 3가지로 국한되며, 상관관계의 정도에 따라 두 수종간의 서식처 요구도에 대한 정보를 보다 명확히 분석할 수 있다.

두 수종의 상관관계는 그 결과에 따라 중요한 생태적 의미를 갖는다. (표 2-2)는 수종간 상관관계가 정의 관계 또는 부의 관계일 때 두 수종의 상호작용에 따른 생태적 의미를 나타내고 있다.

수종간 상관관계 분석은 크게 두 가지 부분으로 구성되어 있다. 첫 번째는 두 수종이 상관관계가 있는가 또는 없는 가를 가설 검증하는 부분이고, 두 번째는 그 상관관계의 정도를 파악하는 것이다. 상관관계 분석에 있어서는 중요한 제한이 있다. 즉, 대상수종이 적어도 한 표본구에서는 출현해야하며, 반대로 모든 표본구에 출현해서는 안된다는 것이다(Greig-Smith, 1983). 수종간 상관관계는 두 수종의 출현과 비출현을 바탕으로 한 χ^2값에 의해 산출되기 때문에 한 수종이 모두 출현하거나 반대로 전혀 출현하지 않으면 계산상 에러를 발생시킨다. 따라서 모든 표본구에 출현하는 수종에 대해서는 χ^2값에 의한 수종간 상관관계 분석에서는 배제되지만 이들 수종이 다른 모든 수종과 양의 상관을 갖는다는 것을 의미하며, 이들 수종에 대해서는 다른 방법으로의 접근이 요구된다.

		수종 A		
		출현	비출현	
수종 B	출현	a	b	m=a+b
	비출현	c	d	n=c+d
		r=a+c	s=b+d	N=a+b+c+d

a = 수종 A와 B가 모두 출현한 표본단위의 수

b = 수종 B는 출현, 수종 A는 출현하지 않는 표본단위의 수

c = 수종 A는 출현, 수종 B는 출현하지 않는 표본단위의 수

d = 수종 A와 B가 모두 출현하지 않는 표본단위의 수

N = 총 표본단위의 수(N=a+b+c+d)

<그림 2-2> 두 수종의 출현과 비출현을 바탕으로 작성된 2×2 분할표

수종간 상관관계 분석을 위해서는 출현과 비출현에 근거한 2×2 분할표로 두 수종의 빈도 자료를 정리하여야 한다. (그림 2-2)는 A수종과 B수종의 출현과 비출현을 바탕으로 한 분할표이다.

상관관계 분석은 χ^2검정을 기초로 하기 때문에 다음과 같이 가설설정, 검정통계량 산출, 검정 등의 유의성 검정 과정을 거쳐서 완료된다.

1) 가설설정

상관관계 분석에서의 귀무가설은 '두 수종이 독립적이어서 상관관계가 없다($\chi^2 = 0$)'라고 설정되며, 따라서 대립가설은 '두 수종은 상관관계가 있다($\chi^2 \neq 0$)'로 설정된다.

2) 검정통계량 산출

검정통계량은 χ^2산출식에 의해 계산된다. χ^2검정은 분산을 이용한 방법이기 때문에 χ^2산출식은 다음과 같다.

$$\chi^2 = \Sigma \frac{(\text{관측치} - \text{기대치})^2}{\text{관측치}}$$

위 식에서 기대치는 (그림 2-2)의 a, b, c, d항에 대한 기대치를 의미하며 다음 식에 의해 산출된다.

$$E(a) = \frac{(a+b)(a+c)}{N} = \frac{rm}{N}$$

$$E(b) = \frac{(a+b)(b+d)}{N} = \frac{ms}{N}$$

$$E(c) = \frac{(a+c)(c+d)}{N} = \frac{rn}{N}$$

$$E(d) = \frac{(b+d)(c+d)}{N} = \frac{sn}{N}$$

그러나 위의 검정통계량은 관측치 외에 기대치를 산출하는 다소 복잡한 과정을 거치기 때문에 기대치를 계산할 필요가 없는 보다 간단한 계산식이 요구되며, 따라서 다음과 같이 관측치에 의해서만 계산 가능한 χ^2검정식이 작성되었다.

$$\chi^2 = \frac{N(ad - bc)^2}{mnrs}$$

위 식에 의해 검정통계량이 산출되면 ad와 bc의 관계에 의해 두 수종간 상관관계가 정의 상관관계인지 아니면 부의 상관관계인지를 판별한다. 즉, ad > bc이면 정의 상관관계가 있고, ad < bc이면 부의 상관관계가 있다는 것을 의미한다. 한편, 검정통계량이 0일 때 또는 ad = bc일때는 두 수종간에 상관관계가 없음을 의미한다.

3) 유의성 검정

상관관계 분석은 2개의 열과 2개의 행으로 이루어진 2×2 분할표의 자료를 근거로 계산되기 때문에 자유도는 (r-1)×(c-1) 즉, 1이다(Brower & Zar, 1977; Ludwig & Reynolds, 1988). 자유도 1일 때 95% 확률수준과 99% 확률수준에서의 χ^2분포값은 각각 3.841과 6.635이며, 검정통계량인 χ^2값이 이들 보다 클 때 검정통계량이 각각 95% 확률수준과 99% 확률수준에서 상관관계가 있음이 검정된다. 따라서 유의성 검정과정을 통해 두 수종간 상관관계가 주어진 확률수준 내에서 인정될 정도의 범위가 확인되며, 확률수준이 높다는 것은 유의수준이 적다는 것을 의미하기 때문에 확률수준이 높은 범위 내에서의 유의성 인정은 두 수종의 상관관계가 매우 높다는 것을 의미한다.

이상의 과정을 거쳐 이 연구에서는 연구대상 산림에 우점하는 주요 수종에 대해 상관관계 분석을 실시하여 수종간 친화성 및 반발성의 정도를 파악하였다. 자료계산은 Ludwig & Reynolds의 저서 「Statistical Ecology」에서 제시한 Interspecific Association의 Two-Species Case에 대한 분석 프로그램을 이용하였다.

사. 종다양성

종다양성의 일반적인 의미는 얼마나 많은 생물종들이 생물군집을 이루고 있는 가의 정도를 나타내는 것이며, 산림군집내 식물종들의 구성양상을 평가하는 '군집을 주체'로 한 속성이므로, 다른 군집과의 비교나 또는 같은 군집의 시간이 지남에 따른 변화 등에 초점을 맞추는 비교 중심적인 개념이다(김 등, 1996).

종다양성은 구성종들의 풍부성(richness)과 균재성(evenness) 등 두 가지 요인에 의하여 결정된다. 종의 풍부성은 군집내 생육하는 종의 수를 의미하며, 종의 균재성은 각 종마다 개체수의 분포 정도를 의미한다. 따라서 군집내에 많은 수의 종들이 출현하고, 종마다 비슷한 수의 개체수들이 분포할 때 종다양성이 높아지고, 구성종의 수가 적거나 몇몇의 종에만 개체수들이 집중되어 분포할 경우에는 종다양성이 낮아지게 된다.

이 연구에서는 산림군집의 수종구성 상태의 다양성을 나타내는 지표로서 Shannon-Wiener의 종다양성 지수를 이용하여 연구대상 산림의 종다양성을 산출하였다. Shannon-Wiener의 종다양성 지수는 정보이론(ingormation theory)에 기초를 둔 종다양성 측정방법으로서 불확실성(uncertainty)과 관계가 있다. 불확실성이론이란 '산림군집내에서 특정한 수종을 무작위로 선택한다고 가정할 때 종의 구성상태의 변이가 심할수록, 즉 종다양성이 높을수록, 한번 선택된 수종이 다시 선택될 가능성은 희박해지고 불확실성이 증가해진다. 그러므로 한가지 수종으로 구성된 산림군집의 종다양성 지수는 0으로 산출될 것이며, 수종의 무작위 선택상의 불확실성은 없어진다'는 이론이다.

Shannon-Wiener의 종다양성 지수는 희귀종 출현에 민감한 지수로서 넓은 지역에 걸친 산림군집에서 무작위로 추출된 표본구에서 획득한 식생자료

로서 종다양성 산출하기에는 가장 적합한 방법으로 소개되고 있다(Brower & Zar, 1977). 다음은 Shannon-Wiener의 종다양성 지수 산출공식이다.

Shannon-Wiener의 종다양성 지수(H') = -Σ P_i log P_i

최대다양성 지수(H_{max}') = log s

균재도(J') = H' / H_{max}'

우점도(D') = 1-J'

P_i : 수종 i의 총개체수에 대한 비율 (n_i / N)

n_i : 수종 i의 개체수

N : 전체 수종의 총 개체수

s : 식물종의 총수

이 연구에서는 종다양성 지수, 최대다양성 지수, 균재도, 우점도를 산출하였으며, Kovach(1995)의 Multivariate Statistical Package(M.V.S.P.)를 이용하여 log base e를 기준으로 연구대상 산림의 종다양성 지수를 산출하였다

아. 산림 생산력 추정

생태계의 모든 생물은 태양에너지로부터 얻은 유기물에너지를 이용하면서 살아간다. 즉, 녹색식물은 태양에너지를 흡수, 광합성을 하여 유기물을 합성한다. 녹색식물 외의 다른 생물체는 유기물의 생산능력이 없기 때문에 광합성으로 만들어진 유기물에너지를 섭취하여 생존을 유지할 수 있다. 결국, 생태계에서는 녹색식물이 만든 유기물에너지를 섭취하여 인간을 포함한 동물과 미생물이 살아가는 것이다(Kimmins, 1987).

생태계의 동식물과 미생물의 유기물생산에 이용된 에너지와 소비되는 에너지의 비율을 에너지 생산효율이라고 하는 데 이 에너지생산효율의 기본개념은 물질수지(Biomass Balance)의 개념에서 출발한다.

$$\Delta p_g = \Delta Y + \Delta R + \Delta L + \Delta G$$
$$\Delta p_n = \Delta Y + \Delta L + \Delta G$$

Δp_g : 총생산력

Δp_n : 순생산력

ΔY : Δt 기간동안의 현존량의 증가량

ΔR : 호흡량

ΔL : 고사량

ΔG : 피식량

생태계의 생산력은 1차생산과 2차생산으로 분류된다. 1차생산이란 녹색식물의 광합성과 호흡에 의한 물질생산을 의미하며, 이는 다시 총생산과 순생산으로 분류하여 고려할 수 있다. 2차생산이란 1차생산의 생산물을 소비자와 분해자가 소비하여 다른 유기물을 만드는 재생산을 의미한다.

산림의 순생산력 측정 방법은 수확법에 의한 방법과 광합성법에 의한 방법 등이 있으나, 이 연구에서는 산림의 물질 생산력을 파악하고, 고사량 및 포식량을 조사하여 수확법에 의한 순생산력 측정법을 통해 산림의 순생산력을 산출하였다. 다음은 수확법에 의한 순생산량 측정법에서의 총생산력과 순생산력 산출공식이다.

산림의 물질증가량을 파악하기 위해 연구대상 산림에 6개의 site를 설치하고 각 site별로 2개씩의 현존량 표본구를 설치하였다. 생체량 조사는 97년도 상반기와 하반기 6개월 간격을 두고 실시되었으며 표본구의 모든 식생에 대

해 생체량을 측정하여 현존량의 증가량을 추정하였다. 표본구의 설치는 외관상 같은 본수와 직경급의 분포가 있는 지역을 대상으로 실시하였으며, 뿌리부위의 현존량을 측정하기 위해서는 지하 1m까지 뿌리를 채취하여 생중량을 측정하였다.

고사량 측정을 위해서는 6개 site내에 낙엽받이를 설치하여 6개월 동안 6회에 걸쳐 낙엽과 낙지의 중량을 측정하였으며, 곤충에 피해를 입는 잎들을 수집하여 포식면적을 planimeter로 산출하는 포식량 측정을 실시하였다.

제3절 결과 및 고찰

1. 경영대상 수종 선발을 위한 생태적 접근방안 고찰

가. 종구성

조사된 식생자료를 근거로 상대밀도, 상대빈도, 상대피도, 그리고 중요치를 산출하여 연구대상 산림의 수관층별 종구성을 파악하였다. 연구대상 산림은 신갈나무, 졸참나무 등의 참나무류가 우점하고 있으며, 계곡지역에서는 가래나무가, 능선지역에서는 소나무가 비록 중､하층에서는 도태되어 가는 양상을 보이고는 있지만 현재의 상층에서는 강한 세력을 갖는 것으로 파악되었다. 또한, 찰피나무는 능선지역을 제외하곤 고른 분포를 보이고 있어 비교적 안정된 분포양상을 갖는 것으로 나타났다. 연구대상 산림은 임도가 개설되기까지 접근가능성이 낮아, 인위적 간섭이 적어 왔으며, 임도개설 후에도 험준한 산세와 경사에 의해 접근이 용이하지 않아 비교적 안정된 식생을 유지하고 있는 것으로 사료된다.

1) 상층임관의 종구성

연구대상 산림의 상층임관에 출현하는 수종은 20개종이며, 이중 신갈나무, 소나무, 졸참나무, 가래나무 등 4수종이 전체 우점율의 약 70% 정도를 차지하고 있다(표 2-3). 특히, 신갈나무는 약 40%의 가장 높은 우점율을 보이고 있어 가래나무, 층층나무 등이 우점하고 있는 계곡지역을 제외하곤 연구대상 산림 상층임관의 절반 이상을 신갈나무가 차지하고 있는 것으로 파악되었다. 약 11%의 우점율로 신갈나무 다음의 우점 순위를 나타내고 있는 소나무는 분포지역이 능선지역에만 국한되고, 피도가 밀도와 빈도에 비해 상

대적으로 높아 직경급이 큰 장령급 이상의 임목들이 다수 존재하고 있는 것으로 분석되었다.

<표 2-3> 연구대상 산림의 상층임관 종구성 상태

번호	수종	상대밀도	상대피도	상대빈도	중요치
1	신갈나무	43.80	42.21	31.75	39.25
2	소나무	10.53	13.09	9.49	11.03
3	졸참나무	8.83	10.37	12.41	10.54
4	가래나무	10.53	11.15	9.85	10.51
5	층층나무	4.89	3.73	7.66	5.43
6	박달나무	4.70	4.81	4.38	4.63
7	찰피나무	3.95	3.02	5.47	4.15
8	굴참나무	4.14	3.58	4.38	4.03
9	물푸레나무	3.57	2.20	6.20	3.99
10	고로쇠나무	1.69	1.96	2.19	1.95
11	음나무	0.94	1.80	1.82	1.52
12	피나무	0.38	0.44	0.73	0.52
13	산뽕나무	0.38	0.24	0.73	0.45
14	황벽나무	0.38	0.20	0.73	0.43
	기타수종	1.33	1.22	2.16	1.57

소나무와 마찬가지로 가래나무 역시 피도가 밀도와 빈도 보다 높게 나타나 직경급이 큰 임목들이 많이 존재하고 있는 수종으로 분석되었으며, 주로 계곡지역에서만 생육하고 있는 것으로 파악되었다. 따라서 연구대상 산림의 능선지역은 소나무에 의해, 계곡지역은 가래나무에 의해 비교적 오랜시간 동안 우점되어 왔던 것으로 예상할 수 있다. 졸참나무, 층층나무, 찰피나무, 물푸레나무, 고로쇠나무 등은 빈도가 밀도와 피도에 비해 상대적으로 높은

수치를 보이고 있는데, 빈도가 높다는 것은 그 수종의 생육영역 범위가 넓다는 것을 의미한다. 따라서 이들 수종들은 연구대상 산림에 고루 분포하여 생육하는 것으로 판단된다. 빈도가 높은 졸참나무는 피도 역시 밀도에 비해 높은 수치를 보이고 있는데 이는 연구대상 산림 지역의 산복부 상부지역에 흉고직경 1m 이상의 거대목들이 다소 존재하고 있어 피도의 수치가 상대적으로 증가했기 때문이다. 졸참나무는 소나무나 가래나무와는 달리 중、하층목들이 많이 출현하고 있는 것으로 파악되어 소나무와 가래나무와는 달리 미래에도 세력을 유지할 것으로 사료된다.

(표 2-3)은 중요치가 높은 14개 수종만을 제시하고 있으나, 연구대상 산림 상층에서는 이들 수종 외에 느릅나무, 개살구나무, 호랑버들, 팥배나무, 물박달나무, 소태나무 등도 출현하고 있으며, 이 수종들의 중요치는 매우 낮은 것으로 파악되었다. 그러나 팥배나무 등은 비록 중요치는 낮으나 수고 및 직경 생장이 매우 좋은 우량목이어서 경영대상 수종 선발시 수종의 세력 이외에 수종의 형질을 고려해야만 보다 가치 있는 수종으로 산림을 경영하게 될 것이며, 황벽나무 등의 희귀 수종을 보전하여 산림의 안정성을 높일 수 있는 방안이 마련되어야 할 것이다.

2) 중층임관의 종구성

중층 임관에는 36개 수종이 출현하고 있으며, 이 중 교목류는 27개, 관목류는 9개 수종이 생육하고 있는 것으로 파악되었다(표 2-4). 중층임관에서는 상층임관과 마찬가지로 신갈나무(약 29%)가 중요치가 가장 높은 수종으로 분석되었으며, 그 다음으로는 아교목인 쪽동백나무(17%), 산뽕나무(6%)가 높은 우점 순위를 보이고 있다. 신갈나무 이외의 교목수종 중, 중요치가 상위에 있는 수종은 고로쇠나무(약 6%), 졸참나무(약 6%), 물푸레나무(약 4%) 층층나무(4%), 찰피나무(4%) 등이며, 이들 수종은 신갈나무 다음으로 상층

목으로 도약할 가능성이 높은 것으로 사료된다. 그러나 상층임관에서 상위의 우점율을 보였던 소나무, 가래나무는 중층임관에서는 그 세력이 매우 쇠퇴한 것으로 나타나, 이들 두 수종은 신갈나무와 졸참나무, 그리고 고로쇠나무와 층층나무 등에게 다음 세대의 상층목 경쟁에서 도태될 가능성이 높은 것으로 파악되었다.

<표 2-4> 연구대상 산림의 중층임관 종구성 상태

번호	수종	상대밀도	상대피도	상대빈도	중요치
1	신갈나무	24.75	47.07	14.66	28.83
2	쪽동백나무	22.48	11.67	16.97	17.04
3	산뽕나무	5.29	4.81	7.25	5.78
4	고로쇠나무	5.10	3.95	7.41	5.49
5	졸참나무	4.35	5.13	6.92	5.46
6	생강나무	6.61	0.68	5.44	4.24
7	물푸레나무	3.27	3.31	4.61	3.73
8	층층나무	3.27	3.44	4.45	3.72
9	찰피나무	4.16	3.74	3.13	3.68
10	당단풍나무	4.60	1.86	4.28	3.58
11	가래나무	1.26	4.00	1.65	2.30
12	소나무	0.88	3.15	1.48	1.84
13	박달나무	1.20	2.43	1.48	1.70
14	개암나무	1.51	0.10	3.13	1.58
15	고추나무	2.02	0.22	1.81	1.35
16	굴참나무	1.32	0.19	1.65	1.05
17	느릅나무	0.69	0.73	1.65	1.02
18	개옻나무	1.20	0.02	1.81	1.01
	기타수종	6.05	3.50	10.21	6.59

중층임관의 최우점 수종인 신갈나무는 피도가 밀도와 빈도에 비해 거의 2 3배 이상 높게 나타나고 있어, 조사 범위가 넓은 중층(수고 3m 12m) 에서 신갈나무는 직경급이 큰 준우세목급이나 중용목급의 임목이 집중적 분포하고 있는 것으로 파악되었다. 따라서 연구대상 산림은 현재의 상층목이 쇠퇴하여 중층목 중 준우세목이나 중용목에 의해 대치될 때에도 신갈나무의 절대적인 우점이 계속될 것으로 사료된다.

3) 하층임관의 종구성

하층임관에서는 교목류 24개, 관목류 12개 수종 등, 총 36개 수종이 생육하고 있으며, 교목수종은 중층에 비해 감소하고, 반대로 관목수종의 수는 증가하는 양상을 보여 하층으로 갈수록 관목수종의 세력이 강해지는 것을 알 수 있다. 중층과의 종수 비교에서 교목수종은 3개 수종이 감소하고, 관목수종은 3개 수종이 증가한 것으로 나타났으나, 하층의 조사범위(수고 1m 3m)가 중층의 조사범위에 비해 매우 협소하다는 것을 고려할 때 하층의 이러한 종수의 변화는 수치보다 더 큰 의미를 갖는다.

중요치 분석에서도 아교목 또는 관목 수종의 중요치가 교목 수종에 비해 매우 높은 것으로 나타났다. 결국, 교목 수종들이 중층으로 도약하기 위해서는 하층목 시기에 관목 수종들과의 경합에서 도태되지 않아야 가능할 것이다. 따라서 희망수종으로 산림을 조성하기 위해서는 유묘기의 보육시업안이 적절히 제시되어야 한다.

하층임관을 구성하는 교목수종 중에서는 신갈나무(9%), 고로쇠나무(6%), 찰피나무(4%), 물푸레나무(4%) 등이 비교적 높은 우점율을 보이고 있으나, 상층 또는 중층에서 비교적 높은 우점도를 나타냈던 소나무, 가래나무, 박달나무, 굴참나무 등은 하층에서 세력이 매우 미약하거나 출현하지 않는 것으

로 파악되어 합자연성에 따른 산림경영 측면에서 볼 때 미래의 경영대상 수종에서 제외되어야 할 것이다.

<**표** 2-5> **연구대상 산림의 하층임관 종구성 상태**

번호	수종	상대밀도	상대피도	상대빈도	중요치
1	쪽동백나무	17.41	26.36	19.33	21.04
2	생강나무	19.26	15.30	10.33	14.96
3	신갈나무	10.48	5.48	9.67	8.54
4	고추나무	5.39	10.26	5.00	6.89
5	고로쇠나무	4.31	4.04	8.00	5.45
6	철쭉꽃	6.63	6.52	2.00	5.05
7	당단풍나무	3.54	3.98	4.67	4.06
8	찰피나무	3.39	4.31	4.00	3.90
9	물푸레나무	2.93	3.95	4.33	3.74
10	개암나무	3.24	1.55	4.67	3.15
11	졸참나무	2.47	1.90	4.00	2.79
12	함박꽃나무	2.00	1.48	3.00	2.16
13	국수나무	3.70	0.88	1.67	2.08
14	산뽕나무	1.23	1.14	3.00	1.79
15	개옻나무	2.00	0.79	2.00	1.60
16	얇은잎고광나무	1.39	1.56	1.33	1.43
17	고광나무	1.23	1.16	1.67	1.35
18	노린재나무	1.08	1.77	1.00	1.28
19	소나무	0.62	1.53	1.33	1.16
20	귀룽나무	1.85	1.21	0.33	1.13
	기타수종	6.05	3.50	10.21	6.59

하층에서 신갈나무는 상대피도가 밀도와 빈도에 비해 현저히 작게 나타나, 중층과는 달리 직경급이 작은 하층목들이 다수 존재하는 것으로 파악되었다. 결국 신갈나무는 충분한 갱신력(주로 맹아력에 의해)을 갖고 있으나, 치수 단계 및 하층목 단계를 겪는 동안 많은 임목들이 경쟁 또는 병해 등에 의해 고사되는 것으로 예상되어 우리나라 중부지방 대부분의 천연활엽수림을 우점하는 신갈나무의 이러한 문제점에 대한 대책 및 원인규명에 대해 적극적인 연구가 있어야 할 것이다.

한편, 상층에서 매우 미약한 세력을 보였던 고로쇠나무는 중층에 이어 하층에서도 강한 세력을 보이고 있으며, 계곡을 중심으로 산복 중부까지 다소 습윤한 지역에 넓게 분포하고 있어 중층(표 2-4)과 하층(표 2-5)에서 상대빈도가 밀도와 피도에 비해 매우 높게 나타나고 있다.

4) 치수층의 종구성

연구대상 산림에 출현하는 수고 1m 이하의 교목류들을 치수로 고려하여 치수층을 조사한 결과, 신갈나무, 당단풍나무, 물푸레나무, 고로쇠나무, 찰피나무 등의 치수발생 및 생육이 양호한 것으로 파악되었다(표 2-6).

치수층 식생조사에서는 갱신근원 조사가 이루어지지 않아 치수들의 갱신근원은 정확히 파악되지 않았으나, 조사지 곳곳에서 신갈나무, 물푸레나무 등의 맹아갱신이 활발하게 진행되는 것을 관찰할 수 있었다.

(표 2-6)에서 신갈나무 다음의 높은 치수 발생율을 나타내고 있는 당단풍나무는 생육특성상 상층목으로의 도약이 어려운 아교목으로 연구대상 산림의 경영대상 수종으로 고려하기에는 부적합하다. 당단풍나무 외에 아교목류인 산뽕나무, 함박꽃나무, 쪽동백나무 등도 연구대상 산림의 치수층에 많은 개체수가 출현하고 있으나 형질이나 생육이 다른 교목 수종에 비해 미약하므로 치수층 조사에서 제외하였다. 그러나 이들 수종은 다른 교목 수종에

비해 많은 개체수 분포를 보이며, 중층까지 생육이 가능하여 임지 피복 및 주요 교목 수종의 치수 보호를 위해 적정 밀도를 유지해야 할 것이다.

<표 2-6> 연구대상 산림의 치수층 종구성 상태

번호	수종	상대밀도	상대피도	상대빈도	중요치
1	신갈나무	45.48	35.20	26.05	35.58
2	당단풍나무	15.28	12.18	12.87	13.45
3	물푸레나무	8.41	11.38	12.87	10.89
4	고로쇠나무	9.67	6.82	12.57	9.69
5	찰피나무	3.80	12.73	5.09	7.21
6	졸참나무	5.70	1.70	9.58	5.66
7	음나무	2.17	6.73	5.09	4.66
8	다릅나무	4.70	3.58	5.09	4.46
9	잣나무	2.44	5.58	4.49	4.17
10	산뽕나무	0.36	1.51	0.90	0.92
11	소태나무	0.54	0.72	1.50	0.92
12	소나무	0.45	0.59	1.20	0.75
13	느릅나무	0.36	0.68	0.90	0.65
14	피나무	0.18	0.54	0.60	0.44
15	굴참나무	0.27	0.03	0.60	0.30
16	가래나무	0.09	0.01	0.30	0.13
17	산벚나무	0.09	0.01	0.30	0.13

연구대상 산림의 수관층별 종구성 분석 결과, 신갈나무는 연구대상 산림의 상층, 중층, 하층, 그리고 치수층 등 모든 수관층에서 우세한 세력을 보이고 있어, 신갈나무가 우점하는 종구성은 계속 유지될 것으로 예측되었다. 상층에서 강한 세력을 보이고 있는 소나무와 가래나무는 중､하층에서 세력이 쇠퇴되고, 치수의 발생이 미약하여 결국 다른 수종에 의해 대치될 것이다. 상층목에서 비교적 약한 세력을 보였던 물푸레나무, 고로쇠나무, 찰피나무 등은 하층으로 갈수록 그 세력이 우세하여 미래의 우점 수종으로 도약할

가능성이 높은 것으로 판단된다. 비교적 오랫동안 연구대상 산림에 출현하고 있는 것으로 판단되는 졸참나무는 하층에서의 세력이 다소 둔화되었으나 중층과 치수층에서의 세력이 상층의 수준을 유지하여 당분간 연구대상 산림에서 상위의 세력을 유지할 것이다. 가래나무 아래의 중층에서 상당히 강한 세력을 보이고 있는 층층나무는 가래나무를 대체할 수종으로 판단되지만 하층과 치수층의 미약한 세력 때문에 상층에서의 우점은 2세대 이상을 가지 않을 것으로 사료된다.

이상의 수관층별 종구성 분석 결과, 연구대상 산림의 경영수종으로는 현재 산림을 우점하거나 미래에 우점할 가능성이 높은 가래나무, 고로쇠나무, 물푸레나무, 소나무, 신갈나무, 졸참나무, 찰피나무, 층층나무 등이 적합한 것으로 판단되며, 개살구나무, 황벽나무 등은 희귀종 보호를 위해 종보전을 유지해야 할 것이다. 또한, 경영수종으로 제시되지 않았지만 생육이나 형질이 우량한 임목이나 수종에 대해서는 생태적 경영을 위한 미래임분 조성이 완료되는 시기까지 그대로 보전하는 것이 생태학적 견지에서 합당할 것이며, 아교목류나 관목류도 적정 수준의 밀도를 유지시켜야 할 것이다.

나. 산림천이

(표 2-3)의 상층임관 종구성 상태를 기준으로 분석의 불확실성과 오차를 줄이기 위해 상대밀도에 있어 낮은 수치를 보이고 있는 피나무 등 9개 수종을 제외한 나머지 상위의 11개 수종에 대해 각 상층목 아래에서 생육하는 중､하층목의 개체수를 이용하여, 상층목이 후계목에 의해서 대치될 추이확률을 산출하였다.

추이확률에 의해서 산림의 수종 구성이 계산될 때는 상층 임관의 수종 구성비율이 일정하게 되는 불변의 수종 구성분포가 이루어질 것이다. 이 연구

에서 이용된 천이분석 모델은 영급의 균일성, 모든 상층목의 동일한 수명, 모든 후계목의 동일한 생존율과 경쟁력, 후계목에 의한 동시 대치 등의 가정을 전제로 하였으며, 상층목과 중、하층목의 개체수를 기초로 하였다.

<표 2-7> 연구대상 산림의 상층목 아래 생육하는 중、하층목의 개체수

상층목	중、하층목										
	JM	AM	QV	FR	BS	PD	QM	KP	QS	TM	CO
가래나무(JM)	17	44	1	19	1		9	2	5	3	24
고로쇠나무(AM)		5		10	1		6		1	9	2
굴참나무(QV)			5	2			38		12		
물푸레나무(FR)		17		5			6	1	2	3	3
박달나무(BS)		8		7	5	1	40	1	8		
소나무(PD)		2	2	23	5	10	175	1	18		
신갈나무(QM)	1	67	9	44	4	4	366	15	46	22	6
음나무(KP)		2						1	3		
졸참나무(QS)		22		13			63	4	22	12	11
찰피나무(TM)	1	13		1			1	1	3	51	
층층나무(CO)	4	8		2	1		6		2	9	12

(표 2-7)은 연구대상 산림의 상층목 중, 중요치가 상위에 있는 11개 상층 수종과 그 아래 출현하는 중、하층목 수종의 개체수를 나타낸 표이다. 신갈나무 상층목 아래에는 모든 수종의 중、하층목이 출현하고 있는데 이는 신갈나무가 연구대상 산림의 상층을 균일하게 우점하고 있다는 것을 의미한다. 졸참나무 중、하층목은 모든 상층 수종 아래 출현하는 것으로 분석되었

으며, 고로쇠나무, 물푸레나무, 신갈나무 중、하층목들도 각각 1개의 상층수종을 제외하곤 모든 상층목 아래에서 출현하는 것으로 파악되어 이들 수종의 생육범위가 상당히 넓은 것으로 판단된다.

(표 2-7)을 기준으로 하여 상층목이 후계목에 의해 대치될 추이확률을 산출하여 (표 2-8)에 나타내었다. 연구대상 산림의 계곡지역을 우점하고 있는 가래나무 상층목 아래에서 가장 높은 대치확률을 보이는 수종은 고로쇠나무(약 33%)로 파악되었으며, 층층나무, 물푸레나무, 가래나무도 비교적 높은 수치를 나타냈다.

<표 2-8> 연구대상 산림의 상층목이 중、하층목에 의해 대치될 추이확률

상층목	중、하층목										
	JM	AM	QV	FR	BS	PD	QM	KP	QS	TM	CO
가래나무	12.8	33.1	0.8	14.3	0.8		6.8	1.5	3.8	2.3	18.0
고로쇠나무		14.7		29.4	2.9		17.6		2.9	26.5	5.9
굴참나무			8.8	3.5			66.7		21.1		
물푸레나무		45.9		13.5			16.2	2.7	5.4	8.1	8.1
박달나무		10.8		9.5	6.8	1.4	54.1	1.4	10.8		
소나무		0.8	0.8	9.7	2.1	4.2	74.2	0.4	7.6		
신갈나무	0.2	11.4	1.5	7.5	0.7	0.7	62.0	2.5	7.8	3.7	1.0
음나무		33.3						16.7	50.0		
졸참나무		14.5		8.6			41.4	2.6	14.5	7.9	7.2
찰피나무	1.4	18.3		1.4			1.4	1.4	4.2	71.8	
층층나무	8.7	17.4		4.3	2.2		13.0		4.3	19.6	26.1

산복지역과 능선지역을 우점하는 신갈나무 상층목 아래 가장 높은 대치확률을 보이는 수종은 신갈나무 후계목으로 약 62%의 높은 대치확률을 보였으며, 능선지역에 신갈나무와 마찬가지로 높은 우점율을 보이는 소나무는 약 74%의 추이확률을 갖는 신갈나무 후계목에 의해 대치될 것으로 분석되었다.

(표 2-8)의 추이확률을 이용하여 세대별 미래 상층임분 구성상태를 분석하여 현재세대에서 7세대까지의 우점율을 (표 2-9)에 나타내었으며, 다음과 같은 결과들을 얻었다.

<표 2-9> 연구대상 산림의 미래 상층임관 수종구성 예상 비율

수종	세 대							
	0	1	2	3	4	5	6	7
가래나무	11.3	1.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9
고로쇠나무	1.5	14.6	17.2	18.0	18.4	18.5	18.7	18.8
굴참나무	3.5	1.2	0.9	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5
물푸레나무	3.3	8.7	10.7	10.9	10.8	10.7	10.6	10.5
박달나무	4.6	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9
소나무	11.9	0.9	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
신갈나무	45.0	48.1	40.3	35.4	32.3	30.2	28.8	27.8
음나무	0.4	1.9	2.1	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9
졸참나무	9.6	8.3	7.9	7.6	7.3	7.1	7.0	6.9
찰피나무	3.9	6.9	13.0	17.8	21.3	23.7	25.4	26.5
층층나무	3.9	4.8	4.8	4.6	4.5	4.4	4.3	4.3

현재 연구대상 산림에서 세력이 강한 것으로 파악되는 신갈나무, 소나무, 가래나무, 졸참나무, 박달나무, 찰피나무, 층층나무, 굴참나무, 그리고 물푸레나무 중 미래에도 그 세력이 지속될 것으로 예상되는 수종은 신갈나무, 찰피나무, 물푸레나무, 졸참나무 등으로 파악되었으며, 고로쇠나무는 현재 우점종은 아니지만 미래에 새로운 우점 수종으로 세력이 확대될 것으로 분석되었다(표 2-9). 이러한 결과는 교목 수종의 수관층별 종구성 분석을 통해 예측한 결과와 동일한 것으로 파악되어 수관층별 종구성을 통한 간단한 미래의 우점 수종 예측이 어느 정도 타당성을 갖는다는 것이 입증되었다. 그러나 종구성 분석을 통해 미래의 우점 수종을 예상할 수는 있으나 미래에 어느 정도의 우점도를 가질 것인가를 분석하기는 불가능하다. 따라서 종구성 분석에 의해 미래의 우점 수종이 예측되고, 그 결과를 근거로 천이 모델 분석에 의해 미래의 우점 수종에 대한 상대우점도가 결정될 때 생태적 특성에 맞는 경영 수종 결정이 매우 효과적으로 활용될 수 있다.

11개 수종 중 미래에 세력이 감퇴되는 수종을 분석한 결과, 가래나무, 굴참나무, 박달나무, 소나무, 신갈나무, 졸참나무 등이 세대가 지날수록 세력이 감소되는 것으로 파악되었다. 이중, 신갈나무와 졸참나무는 미래에도 연구대상 산림을 우점할 수종으로 파악되고 있으나 세대가 지날수록 우점도가 다소 감소하는 경향을 보이고 있다. 신갈나무와 졸참나무 외에 가래나무, 굴참나무, 박달나무, 소나무 등은 1, 2세대 이후에 상대우점도가 1% 이하의 수준으로 하락되어 거의 소멸될 것으로 사료된다.

반대로 세대가 지날수록 세력이 확장되는 수종은 미래의 우점 수종으로 예측된 고로쇠나무, 물푸레나무, 찰피나무 등으로 파악되었으며, 음나무는 현재의 세력보다 4배 이상 세력을 확장할 것으로 파악되었으나 그 세력이 약 2%정도의 미약한 수준이어서 연구대상 산림의 미래 우점 수종으로 고려하기에는 곤란하다.

안정상태 도달이 늦은 수종으로는 물푸레나무, 찰피나무, 고로쇠나무, 신갈나무 등으로 파악되었는데, 이중 신갈나무는 세대 2 이후 지속적으로 세력이 감소하여 7세대 이후 안정상태에 도달할 것으로 파악되었으며, 물푸레나무, 찰피나무, 고로쇠나무 등은 지속적으로 세력이 지속적으로 증가하여 5세대 이후에, 찰피나무는 7세대 이후에 안정상태에 도달할 것으로 파악되었다. 안정상태에 빨리 도달하는 수종은 가래나무, 굴참나무, 박달나무, 소나무, 음나무, 졸참나무, 층층나무 등이며 이중 음나무와 층층나무를 제외한 나머지 수종은 세력이 약화되는 현상을 보이고 있다. 음나무와 층층나무 역시 미래에 다소 세력이 증가하는 양상을 보이는 것으로 분석되었으나, 그 증가의 정도는 매우 미미한 정도로 파악되었다.

천이계열 분석 결과, 연구대상 산림을 미래에 우점할 수종은 신갈나무, 찰피나무, 고로쇠나무, 물푸레나무, 그리고 졸참나무 등으로 분석되었다. 따라서 연구대상 산림은 이들 수종이 안정상태에 도달하는 7세대의 구성비율을 기초로 하여 조성되어야 한다. 그러나 비록 미래에는 세력이 약화될 것으로 파악되었지만 현 세대의 상층 또는 중층을 우점하고 있는 가래나무, 소나무, 층층나무 등의 세력을 유지시키고, 형질이 우량한 팥배나무, 음나무 등과 희귀 수종인 황벽나무 등을 보전하기 위해서는 수종 구성비율을 다소 조정해야 할 것이다. 이 연구에서는 8개 경영대상 수종의 구성비율을 미래구성 비율과 현재 산림의 구성비율을 기초로 하여 신갈나무가 약 20%, 찰피나무가 약 20%, 고로쇠나무가 약 15%, 물푸레나무가 약 10%, 졸참나무가 약 5%, 층층나무가 약 5%, 가래나무가 약 5%, 그리고 소나무가 약 5%의 수종 구성비율을 제안하며, 나머지 15 %는 형질우량 수종이나 희귀 수종을 유지하기 위한 비율로 정하였다. 이러한 경영 수종의 구성비율 설정은 이 연구에서 수행하고자 하는 지형적 위치에 따라 더욱 세분화될 때 더욱 효과를 거둘 수 있을 것으로 사료된다.

다. 산림지형에 따른 임분 구성상태

1) 지형적 위치별 임분 구성상태 분석 및 토양함수율

가) 지형적 위치별 임분 구성상태

환경적 변이가 심할 것으로 사료되는 계곡, 산복, 능선 등 지형적 위치별 임분 구성상태를 파악하기 위해 상층, 중층, 하층, 치수층별로 ha당 개체수 및 ha 재적을 산출하여 각각 표 2-10. 표 2-11. 표 2-12, 그리고 표 2-13에 나타내었다.

지형적 위치별 상층 식생 조사 결과, 산복지역에서 가장 많은 수종이(19개 수종) 출현하고, 계곡지역에서는 11개 수종, 능선지역에서는 8개 수종이 출현하고 있는 것으로 파악되었으나, ha당 개체수 및 ha당 재적은 능선지역이 가장 높게 나타났고, 산복지역이 가장 낮게 나타나 출현 종수와는 반대의 양상을 띠었다. 계곡지역에서는 가래나무 상층목이 압도적인 우위를 보이고 있으며, 그 다음으로는 층층나무, 신갈나무가 비교적 강한 세력을 나타내는 것으로 파악되었다. 산복지역과 능선지역에서는 신갈나무가 가장 우세한 세력을 갖는 수종으로 파악되었으며, 신갈나무 다음으로 산복지역에서는 졸참나무가, 능선지역에서는 소나무가 강한 세력을 보이고 있다.

능선지역에서 신갈나무에 비해 개체수가 절반 정도에 지나지 않는 소나무는 재적생장에 있어서 신갈나무와 큰 차이가 없는 것으로 보아, 연구대상 산림의 능선지역에 생육하는 소나무들은 주로 직경급이 큰 장령목급 이상의 임목으로 구성되어 있음을 알 수 있다.

지형적 위치별 중층 수종의 임분 구성상태를 분석한 결과, 상층과 마찬가지로 산복지역의 출현 종수가 가장 많은 것으로 분석되었으나, ha당 개체수는 계곡지역이 가장 높게 나타났고, ha당 재적은 능선지역이 가장 높게 나

타났다(표 2-11).

<표 2-10> 지형적 위치별 상층 수종의 임분 구성상태

사면 수종	개체수(본/ha) / 재적(㎥/ha)					
	계곡지역		산복지역		능선지역	
가래나무	177	99.45	21	13.15	4	2.88
개살구나무			1	1.06		
고로쇠나무	23	13.38	6	2.94		
굴참나무			19	8.75	20	7.20
느릅나무	9	5.30				
물박달나무			1	0.26		
물푸레나무	18	7.80	19	5.31	4	0.95
박달나무	14	11.15	11	7.94	30	8.61
산뽕나무	5	1.79	1	0.26		
소나무			3	3.92	117	72.78
소태나무			1	0.22		
신갈나무	55	14.70	154	86.10	246	82.22
음나무	5	4.70	4	5.05	2	0.52
졸참나무	5	2.00	50	28.50	24	17.48
찰피나무	14	5.11	26	9.18		
층층나무	68	24.43	16	6.66		
팥배나무			1	0.64		
피나무			3	2.18		
호랑버들			1	0.54		
황벽나무			3	0.58		
합 계	391	189.79	343	183.21	448	192.62

계곡지역에서 관목류를 제외하고 높은 개체수 분포를 보이는 수종은 고로쇠나무, 층층나무, 찰피나무, 가래나무 등으로 파악되었다. 계곡지역 상층을 우점하는 가래나무는 중층에서도 비교적 높은 개체수 분포를 보이며 특히 ha당 재적이 가장 높은 것으로 파악되어 중층에서 직경급이 큰 준우세목급이나 중경목급들이 다수 존재하고 있는 것으로 분석되었다.

산복지역에서는 신갈나무가 교목류 중 가장 높은 개체수 분포를 보이며 재적분포에서도 세력이 가장 높은 것으로 파악되었다. 신갈나무는 능선지역에서 특히 강한 세력을 보이고 있어 현재의 상층을 우점하는 신갈나무는 다음 세대에서도 상층을 우점할 것으로 예측된다. 그러나 능선지역의 상층에서 강한 우세를 보였던 소나무는 중층에서 그 세력이 현저히 감소한 것을 알 수 있다.

(표 2-12)는 지형적 위치별 하층 수종의 ha당 개체수 및 ha당 재적을 나타내고 있다. 하층에서는 교목 수종보다는 아교목 또는 관목수종의 개체수 분포 및 재적생장이 높은 것으로 파악되었다. 하층 수종의 개체수 및 재적은 능선지역이 가장 높게 나타났으며, 산복지역은 종수가 가장 많이 출현함에도 불구하고 개체수 및 재적이 능선지역의 절반 수준인 것으로 나타났다.

계곡지역 하층에서 교목류 중 가장 높은 재적분포를 보이는 수종은 고로쇠나무이며, 찰피나무, 층층나무 등도 비교적 높은 수치를 보였다. 산복지역에서는 신갈나무, 고로쇠나무, 찰피나무 등이 높은 수치를 나타내고 있으며, 능선지역에서는 교목 수종 중 신갈나무가 가장 세력이 높은 것으로 파악되었고, 물푸레나무와 졸참나무도 비교적 안정된 세력을 갖는 것으로 파악되었다.

교목수종만을 대상으로 치수층의 지형적 위치별 ha당 개체수 및 ha당 재적을 조사한 결과를 (표 2-13)에 나타내었다. 치수층에서는 상、중、하층과 마찬가지로 신갈나무가 산복지역과 능선지역에서 가장 강한 세력을 갖는 것으로 파악되었다. 계곡지역에서는 고로쇠나무, 물푸레나무, 찰피나무 등이 높은 세력을 띄는 것으로 분석되었다. 특히, 고로쇠나무와 물푸레나무는 모든 지형에서 고른 세력을 보이는 것으로 파악되고 있어, 이들 수종의 갱신력이 비교적 높은 것으로 사료된다.

<표 2-11> 지형적 위치별 중층 수종의 임분 구성상태

사면 / 수종	개체수(본/ha) / 재적(㎥/ha)					
	계곡지역		산복지역		능선지역	
가래나무	73	9.39	6	0.68		
개살구나무			4	0.33	7	0.05
개암나무	41	0.07	21	0.03		
개옻나무			11	0.07	24	0.33
고광나무			1	0.00		
고로쇠나무	141	5.60	53	0.76	28	0.96
고추나무	91	0.19	17	0.04		
굴참나무			7	0.95	35	1.87
귀릉나무			9	0.02		
노린재나무	18	0.02				
느릅나무	18	0.94	7	0.24	4	0.11
다릅나무	9	0.14	6	0.40		
당단풍나무	41	0.19	60	0.88	48	0.51
떡갈나무					4	0.02
물푸레나무	41	3.09	29	0.91	50	1.19
박달나무			7	0.82	30	2.13
붉나무	5	0.02	1	0.00		
산벚나무			10	0.10	4	0.06
산뽕나무	173	4.03	61	2.19	7	0.16
생강나무	155	0.32	81	0.20	30	0.05
소나무					30	3.97
소태나무	18	0.09	6	0.16	2	0.01
신갈나무	18	0.78	224	18.70	504	30.54
싸리나무	5	0.00				
얇은잎고광	5	0.01	1	0.00		
음나무	5	0.05	10	0.20		
잣나무					2	0.04
졸참나무	9	0.04	53	3.00	67	2.08
쪽동백나무	64	1.95	361	5.95	196	2.73
찰피나무	82	3.42	66	2.04	4	0.08
철쭉나무	5	0.03	1	0.04	24	0.04
층층나무	132	7.19	29	0.62	7	0.13
팥배나무	9	0.37			4	0.01
피나무					20	1.20
함박꽃	14	0.16	10	0.04	4	0.01
황벽나무			1	0.03		
합 계	1168	38.10	1156	39.37	1137	48.28

<표 2-12> 지형적 위치별 하층 수종의 임분

수종 \ 사면	개체수(본/ha) / 재적(㎤/ha)					
	계곡지역		산복지역		능선지역	
가래나무			1	562.32		
개암나무	14	967.11	23	2864.70	4	341.20
개옻나무			3	118.92	24	2239.77
고광나무	14	2008.10	7	2105.17		
고로쇠나무	41	15087.58	23	3246.94	7	610.99
고추나무	82	16831.01	24	16082.88		
국수나무	95	4777.72	3	114.33	2	380.78
귀룽나무			17	3006.21		
노린재나무	32	13469.76				
느릅나무	5	511.61				
다릅나무	5	254.32				
당단풍나무	23	11429.46	10	1331.58	24	6157.43
들메나무			1	1464.74		
떡갈나무					2	1331.65
말발도리					9	486.52
물푸레나무	5	331.34	10	3022.40	24	6274.73
붉나무					2	121.63
산뽕나무	23	7580.81	4	206.50		
산초나무			1	5.25		
생강나무	64	12786.92	81	23714.87	117	11605.31
소나무					9	6222.11
소태나무	14	5764.96	3	443.57		
신갈나무	5	6257.15	40	2606.90	85	10725.46
싸리나무					9	486.52
얇은잎고광	23	9407.29	6	687.65		
음나무			1	79.93		
잣나무			1	26.63	7	3084.89
졸참나무			7	962.89	24	4361.49
쪽동백나무			63	14665.63	150	65724.14
찰피나무	27	4980.92	19	3717.25	7	3947.26
철쭉나무	5	3721.45			91	23758.32
층층나무	14	1148.70	1	160.79	2	6.65
팥배나무	9	255.74				
피나무			1	160.79	9	2365.71
함박꽃	5	254.32	10	2553.21	11	902.45
회나무	5	511.61				
합 계	505	118337.88	363	83912.04	617	151135.02

<표 2-13> **지형적 위치별 치수층 수종의 임분 구성상태**

사면 / 수종	개체수(본/ha) / 재적(㎤/ha)					
	계곡지역		산복지역		능선지역	
가래나무					2	0.19
고로쇠나무	45	48.91	97	164.32	63	95.54
굴참나무					7	0.56
느릅나무	5	50.75	4	22.24		
다릅나무	9	4.91	27	96.42	67	9.70
당단풍나무	36	64.45	86	253.57	220	292.19
물푸레나무	45	161.48	60	318.24	89	93.44
산벚나무					2	0.37
산뽕나무			6	61.54		
소나무					11	19.23
소태나무	5	4.13	7	35.97		
신갈나무	5	4.13	210	392.81	772	1335.62
음나무	5	66.38	19	139.61	22	91.26
잣나무			4	18.34	52	294.02
졸참나무	5	0.39	40	23.04	67	55.95
찰피나무	27	229.28	50	467.69	2	1.31
피나무					4	34.58
합　　계	186	634.80	610	1993.79	1380	2323.94

전체적인 계곡, 산복, 능선 등 지형적 위치별 임분구성 상태를 분석한 결과, 지형적 위치별 전혀 다른 임분 구조가 나타나고 있으며, 미래의 식생구성도 다른 양상을 보일 것으로 예측되었다. 각 지형적 위치별 임분구성 상태 분석을 통해 연구대상 산림의 경영대상 수종을 고찰한 결과, 계곡지역에는 고로쇠나무, 층층나무, 찰피나무, 물푸레나무, 가래나무 순의 수종구성이, 산복지역에서는 신갈나무, 찰피나무, 졸참나무, 고로쇠나무, 물푸레나무 순의 수종구성이 합자연적인 산림조성을 위해 효과적일 것으로 파악되었다. 건조하고 수분조건이 불량하여 특정수종만 생육하고 있는 능선지역은 신갈나무로 주로 구성되고 소수의 졸참나무, 물푸레나무, 소나무 등이 조성되는 것이 효과적일 것으로 사료된다.

나) 지형적 위치별 토양함수율

연구대상 산림의 5개 사면을 대상으로 각 사면을 하나의 조사구로 선정하여 계곡, 산복, 능선 등 지형적 위치별 토양시료를 채취하였다. 채취된 토양시료의 생중량을 측정하고, 건조기에서 일정온도로 건조시킨 후 건중량을 측정하여 토양함수율을 산출하였다(표 2-14).

<표 2-14> 지형적 위치별 토양중량 및 함수율

조사구	중량 및 함수율	지형적 위치		
		계곡	산복	능선
A	생중량(g)	220	212	269
	건중량(g)	141	145	201
	함수율(%)	35.9	31.6	25.3
B	생중량(g)	144	150	140
	건중량(g)	99	108	105
	함수율(%)	31.3	28.0	25.0
C	생중량(g)	195	248	196
	건중량(g)	151	194	152
	함수율(%)	22.6	21.8	22.4
D	생중량(g)	118	134	122
	건중량(g)	78	88	81
	함수율(%)	33.9	34.3	33.6
E	생중량(g)	217	190	196
	건중량(g)	182	149	155
	함수율(%)	16.1	21.6	20.9

조사구에 대해서는 계곡, 산복, 능선 등 지형적 위치에 따라 각각 3개의 subplot를 설치하여(총 45개) 토양시료를 채취하였으며, 계곡과 능선은 해발

고에 따른 범위가 작기 때문에 수평적으로, 산복지역은 해발고에 따른 범위가 넓기 때문에 수직적으로 subplot을 설치하였다. 조사는 일기후 변화(강우 등)에 의한 변이를 줄이기 위해 하루에 한 조사구씩을 대상으로 실시되었다.

조사구 A와 B에서는 능선-산복-계곡으로 이어지는 토양함수율의 구배가 뚜렷하게 나타나 경사에 따른 수분환경의 구배가 존재함을 확인할 수 있었다. 조사구 C와 D에서는 지형적 위치별 뚜렷한 차이가 없었는 데 이는 이들 지역의 해발고가 높아 계곡이 협소하여 거의 산복과 크게 구별되지 않기 때문이며, 또한 조사할 시기가 장마가 끝난 직후였기 때문에 지형적 위치별 토양수분함량의 차이가 크게 나타나지 않은 것으로 파악된다. 한편 조사구 E에서는 산복과 능선의 함수율 차이가 크지 않으며 함수율이 가장 높을 것으로 예상되는 계곡이 가장 적은 함수율을 보이고 있는 것으로 파악되었다. 이러한 현상은 토양함수율이 경사 이외에 다른 인자 즉, 토양경도, 토성, 암반 등에 의해 영향을 받는 것인지 그 원인을 정확히 파악할 수 없었다. 그러나 지형적 위치와 같은 산림지형의 환경요소들의 변이가 정확히 파악된다면 같은 산림내에서도 전혀 다른 군집구조를 보이는 지형에 따라 적절한 경영안을 제시할 수 있는 기초적인 자료로 활용될 것이다.

2) 사면방향별 임분 구성상태

연구대상 산림의 북동, 남동, 남서, 북서 등 4개의 사면방향에 따른 상층수종 분포를 분석한 결과, 북동 지역에 가장 많은 16개 수종이 출현하는 것으로 파악되었으며, 남서지역은 10개 수종이 출현하여 가장 적은 수의 수종 출현을 보였다. 남동지역과 북서 지역에서는 각각 14개, 13개의 수종이 출현하고 있다. ha당 개체수와 ha당 재적 분포는 남서지역에서 가장 높게 나타났으며, 북서, 남동, 북동 순으로 나타나 수종수의 출현과는 정반대의 양상을 보였다.(표 2-15).

<표 2-15> **사면방향별 상층 수종의 임분 구성상태**

사면 / 수종	개체수(본/ha) / 재적(㎥/ha)							
	0	90	91	180	181	270	271	360
가래나무	37	17.44	41	21.25	63	37.09	31	22.71
개살구나무	3	2.12						
고로쇠나무	6	4.20	8	3.42	4	3.86	7	3.18
굴참나무			19	5.13	29	11.93	19	11.12
느릅나무			5	3.15				
물박달나무							2	0.43
물푸레나무	20	5.81	8	2.28	17	6.78	12	3.24
박달나무	51	20.82			25	17.03	2	1.43
산뽕나무	3	1.13	3	0.48				
소나무	17	9.02	27	25.81	71	60.52	55	32.81
소태나무	3	0.44						
신갈나무	134	63.54	186	71.10	150	61.90	193	90.29
음나무	6	6.11	3	5.08			5	1.89
졸참나무	20	7.02	43	17.47	38	14.56	36	38.11
찰피나무	20	8.92	22	7.32	4	2.04	12	2.93
층층나무	20	8.48	8	2.53	33	11.90	19	7.79
팥배나무			3	1.21				
피나무	3	0.67	3	3.49				
호랑버들	3	1.09						
황벽나무	3	0.55					2	0.50
합 계	349	157.35	378	169.73	433	227.62	395	216.43

북동지역에서는 신갈나무, 박달나무, 가래나무 등의 생육이 양호한 것으로 나타났으며, 남동지역에서는 신갈나무, 졸참나무, 가래나무, 소나무 등의 세력이 높은 것으로 파악되었다. 남서지역에서는 신갈나무, 소나무, 가래나무, 졸참나무 등이, 북서지역에서는 신갈나무, 소나무, 졸참나무, 가래나무 등이 강한 세력을 보였다. 모든 사면에서 최우점 수종으로 분석된 신갈나무는 개체수 분포 및 재적생장이 북서지역에서 가장 우세하게 나타났으며, 특히 재적 생장이 다른 지역보다 현저히 높은 것으로 파악되었다.

연구대상 산림의 사면방향 중층 수종의 ha당 개체수 및 재적 분포를 (표 2-16)에 나타내었다. 중층에서는 북서지역에서 32개 수종으로 가장 많은 수종이 출현하고 있으며, 남동지역에서 가장 적은 22개 수종이 출현하고 있는 것으로 파악되었다. 북동지역과 남서지역에서는 모두 26개 수종이 출현하고 있는 것으로 파악되었다.

개체수 분포와 재적생장이 가장 양호한 지역과 가장 불량한 지역은 상층과 마찬가지로 각각 남서지역과 북동지역으로 파악되었으며, 남동지역과 북서지역은 비슷한 개체수 분포와 재적생장을 보이고 있다.

북동지역에서 강한 세력을 갖는 것으로 파악된 교목 수종은 신갈나무, 찰피나무, 졸참나무 등이며, 남동지역에서는 신갈나무, 찰피나무, 졸참나무, 고로쇠나무 등이 강한 세력을 갖는 것으로 분석되었다. 남서지역에서는 신갈나무, 고로쇠나무, 졸참나무, 물푸레나무, 층층나무 등이, 북서지역에서는 신갈나무, 고로쇠나무, 층층나무, 물푸레나무 등이 세력이 강한 것으로 파악되었다.

중층에서 신갈나무는 모든 사면에서 상층과 마찬가지로 최우점의 위치를 차지하고 있으나, 개체수 및 재적 분포에 있어 상층과 같이 북동지역이 상대적으로 세력이 약한 것으로 나타났다. 이러한 양상은 상층의 두 번째 우점 수종인 소나무에서도 동일하게 나타났는데 이 두 수종은 연구대상 산림의 능선지역을 우점하는 수종으로 능선지역의 북동지역이 수분 등 환경인자

<표 2-16> **사면방향별 중층 수종의 임분 구성상태**

사면 / 수종	개체수(본/ha) / 재적(㎥/ha)							
	0~90		91~180		181~270		271~360	
가래나무	3	1.07	24	1.09	29	5.80	7	0.88
개살구나무	6	0.65	3	0.03	4	0.05	5	0.02
개암나무	14	0.02	24	0.04	21	0.03	12	0.02
개옻나무	9	0.09	11	0.08	38	0.50	5	0.02
고광나무							2	0.00
고로쇠나무	43	0.39	46	2.19	83	1.94	69	1.90
고추나무	49	0.10	14	0.03	38	0.10	2	0.00
굴참나무			38	2.32	21	1.24	5	0.89
귀룽나무							14	0.04
노린재나무	11	0.01						
느릅나무	3	0.10	11	0.66	8	0.32	10	0.17
다릅나무	9	0.68			8	0.13	2	0.10
당단풍나무	74	0.78	22	0.27	67	1.35	55	0.46
떡갈나무					8	0.04		
물푸레나무	20	0.55	30	1.81	71	1.20	40	1.70
박달나무	34	2.47			21	2.22	5	0.37
붉나무							5	0.01
산벚나무			3	0.06	29	0.29	2	0.02
산뽕나무	60	2.05	62	2.06	67	1.52	57	1.53
생강나무	97	0.27	81	0.13	121	0.28	29	0.05
소나무			16	2.69	13	0.21	12	1.31
소태나무	3	0.01	5	0.11	4	0.01	12	0.20
신갈나무	151	10.07	316	18.17	375	24.86	317	26.42
싸리나무	3	0.00						
얇은잎고광							5	0.01
음나무	14	0.25			4	0.02	5	0.14
잣나무			3	0.05				
졸참나무	37	1.40	62	3.28	79	2.30	33	1.93
쪽동백나무	269	4.17	230	4.42	238	3.48	288	4.57
찰피나무	77	3.20	81	2.51	8	0.12	17	0.34
철쭉나무	3	0.00	22	0.02	4	0.02	7	0.09
층층나무	11	0.37	32	1.21	54	3.21	55	1.74
팥배나무	3	0.23					7	0.01
피나무	9	0.84					15	0.61
함박꽃	14	0.05			17	0.15	7	0.03
황벽나무							2	0.05
합 계	1026	29.84	1135	43.21	1429	51.37	1107	45.59

<표 2-17> **사면방향별 하층 수종의 임분 구성상태**

사면 / 수종	개체수(본/ha) / 재적(㎥/ha)							
	0	90	91	180	181	270	271	360
가래나무							2	0.0009
개암나무	14	0.0023	16	0.0013	17	0.0009	14	0.0021
개옻나무			11	0.0015	17	0.0014	12	0.0005
고광나무					4	0.0016	17	0.0036
고로쇠나무	31	0.0035	14	0.0071	17	0.0019	19	0.0037
고추나무	40	0.0322	22	0.0032	21	0.0065	19	0.0023
국수나무	57	0.0028	3	0.0005			7	0.0004
귀룽나무							29	0.0050
노린재나무	14	0.0060			8	0.0037		
느릅나무					4	0.0005		
다릅나무					4	0.0002		
당단풍나무	23	0.0126	5	0.0010	13	0.0031	24	0.0028
들메나무			3	0.0028				
떡갈나무					4	0.0026		
말발도리			11	0.0006				
물푸레나무	11	0.0042			29	0.0117	19	0.0019
붉나무					4	0.0002		
산뽕나무	9	0.0015	5	0.0008	4	0.0016	5	0.0014
산초나무							2	0.0000
생강나무	57	0.0215	143	0.0132	83	0.0161	76	0.0202
소나무	3	0.0001	5	0.0033			2	0.0015
소태나무					8	0.0013	7	0.0030
신갈나무	26	0.0004	59	0.0062	29	0.0046	71	0.0109
싸리나무			11	0.0006				
얇은잎고광	6	0.0001					17	0.0060
음나무							2	0.0001
잣나무	9	0.0035	3	0.0006				
졸참나무	23	0.0021	3	0.0005	4	0.0014	14	0.0034
쪽동백나무	80	0.0215	108	0.0584	50	0.0201	79	0.0156
찰피나무	20	0.0011	24	0.0076	8	0.0020	10	0.0045
철쭉나무	11	0.0039	103	0.0258	4	0.0034		
층층나무	3	0.0003			13	0.0011	2	0.0000
팥배나무					4	0.0001	2	0.0001
피나무	9	0.0030					5	0.0004
함박꽃	17	0.0052	3	0.0002	4	0.0002	12	0.0008
회나무					4	0.0005		
합 계	463	0.1277	551	0.1350	358	0.0866	469	0.0913

가 불량한 지 아니면 이 두 수종이 북동지역의 환경인자에 대해 선호도가 낮은 것인지에 대해서는 정확히 알 수 없었다. 그러나 신갈나무와 소나무가 북동지역에서 생육이 불량하다는 사실은 이 두 수종을 조성·관리하는데 있어 매우 가치 있는 정보가 될 것이다.

계곡지역 상층을 가래나무는 중층에서 그 세력이 매우 약화되었으며, 상층에서와 마찬가지로 남동지역과 남서지역에서만 주로 분포하는 양상을 보이고 있어 남사면의 환경에 친화력을 보이는 것으로 파악되었으나, 어떤 환경적 변이가 있는가에 대해서는 정확히 파악할 수 없었다.

연구대상 산림의 사면방향별 하층 수종의 ha당 개체수 분포 및 재적분포를 분석한 결과, 가장 많은 개체수가 분포하고 재적 생장이 양호한 지역은 남동지역으로 파악되었다. 북동지역과 북서지역은 비슷한 정도의 개체수가 분포하고 있으나, 재적 생장은 북동지역이 북서지역보다 우량한 것으로 나타났다. 남서지역은 개체수뿐만 아니라 재적생장도 다른 지역에 비해 열악한 것으로 파악되었다(표 2-17).

출현 종수는 북서지역과 남서지역이 각각 25개, 24개 수종으로 파악되었으며, 북동지역과 남동지역은 각각 20개, 19개 수종이 출현하고 있는 것으로 파악되어 건조하지 않아 수분조건이 양호할 것으로 사료되는 서쪽사면을 중심으로 보다 많은 하층 수종들이 생육하는 것으로 분석되었다.

교목수종 중 북동지역에 하층목의 세력이 양호한 수종으로는 고로쇠나무, 신갈나무, 졸참나무, 그리고 찰피나무 등으로 파악되었으며, 남동지역은 신갈나무, 찰피나무 등이, 남서지역은 물푸레나무, 신갈나무, 고로쇠나무 등이, 그리고 북서지역은 신갈나무가 하층 교목 수종 중 개체수 분포 및 재적 생장에 있어 절대적인 우위에 있는 것으로 파악되었다.

(표 2-18)은 17개 교목 수종의 치수들을 대상으로 사면방향별 ha당 개체수와 재적를 나타내고 있다. 치수층에서는 남서지역에서 14개 수종이, 북동

지역에서 13개 수종이, 북서지역에서 12개 수종이, 그리고 남동지역에서 11개 수종이 출현하는 것으로 파악되어 사면방향에 따른 종수 분포에는 큰 차이가 없는 것으로 파악되었다.

치수층에서 가장 많은 출현을 보이고 있는 수종은 신갈나무이며, 남동지역과 북서지역의 개체수 분포가 높은 것으로 파악되었다. 재적생장에 있어서는 남서지역이 가장 높게 나타났으며, 북동지역은 개체수 및 재적생장에 있어 가장 낮은 것으로 나타나 신갈나무는 전형적으로 북동지역에서 생육이나 갱신이 다른 사면에 비해 불량한 것으로 파악되었다.

<표 2-18> 사면방향별 치수층 수종의 임분 구성상태

사면 / 수종	개체수(본/ha) / 재적(㎤/ha)							
	0	90	91	180	181	270	271	360
가래나무			3	0.23				
고로쇠나무	114	191.04	59	56.78	29	49.13	93	167.03
굴참나무					13	1.07		
느릅나무			5	64.70			5	6.66
다릅나무	46	170.63			8	5.77	81	28.41
당단풍나무	129	189.49	35	29.29	129	368.71	190	381.98
물푸레나무	57	82.53	41	109.80	33	603.20	119	207.14
산벚나무					4	0.72		
산뽕나무	6	7.12			4	115.89	2	30.42
소나무	6	17.55			8	17.87	2	0.37
소태나무	6	9.32	3	23.07	13	59.52		
신갈나무	169	192.58	554	856.68	242	982.41	431	643.12
음나무	17	147.59	5	69.31	29	97.27	21	127.76
잣나무	26	194.44	32	108.07	4	64.53	12	32.86
졸참나무	57	50.67	16	2.33	83	56.92	40	24.31
찰피나무	71	420.29	35	536.95	4	7.87	7	73.25
피나무	6	45.44						
합 계	709	1718.69	789	1857.22	604	2430.88	1005	1723.28

신갈나무 다음으로 치수의 세력이 강한 수종은 고로쇠나무와 물푸레나무로서 고로쇠나무는 북동사면과 북서사면에서, 물푸레나무는 남서사면과 북서사면에서 신갈나무에 이어 두 번째로 강한 세력을 갖는 수종으로 파악되었다. 특히, 고로쇠나무는 북동지역에서, 물푸레나무는 북서지역에서 강한 세력을 보이고 있어 이들 두 수종은 사면에 따라 다른 분포를 갖는 것으로 예측되었다.

이와 같이 사면방향별 수관층 수종의 개체수 분포 및 재적생장을 분석한 결과, 수종별 생장이 우량하거나 또는 불량한 사면이 있는 것으로 파악되었다. 물론 이러한 양상을 그 수종의 생육특성 중의 하나라고 단정짓기에는 다소 미흡하나, 연구대상 산림에서 사면방향별 경영수종을 선정하고 그 순위를 결정하는 데는 활용 가치가 있는 것으로 판단된다. 이에 따라 사면방향별 경영대상 수종을 선별한 결과, 북동지역에서는 신갈나무, 고로쇠나무, 찰피나무, 졸참나무, 물푸레나무 등이, 남동지역에서는 신갈나무, 물푸레나무, 고로쇠나무, 찰피나무, 가래나무 등이 적합할 것으로 판단되며, 남서지역에서는 신갈나무, 물푸레나무, 고로쇠나무, 층층나무, 가래나무, 소나무 등이, 북서지역에서는 신갈나무, 고로쇠나무, 물푸레나무, 졸참나무, 층층나무, 소나무 등이 적합한 것으로 분석되었다.

2. 생태적 속성 분석을 이용한 생태적 접근방안

가. 공간분포

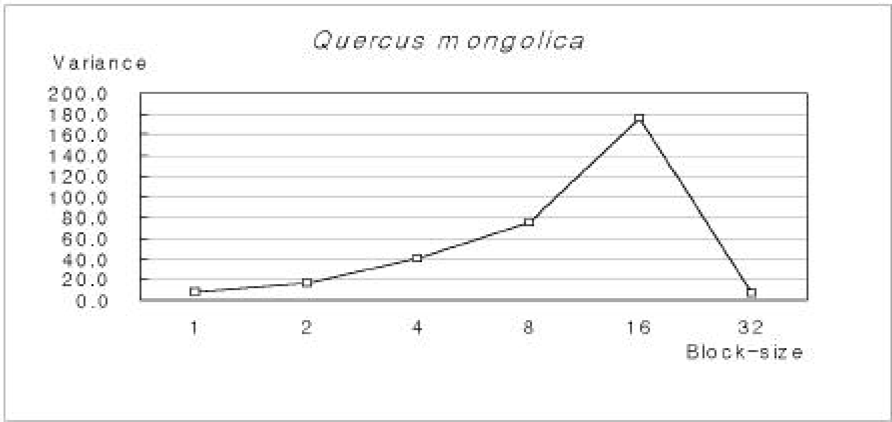
수종의 공간분포 양상은 수종 고유의 서식 특성, 생식 특성뿐만 아니라 주위 환경적 요소들과의 연관관계에 의해 발생하기 때문에 수종의 공간분포 분석은 수종의 생태적 특성을 파악하는 가장 기초적인 방법으로 알려져 있다.

이 연구에서는 연구대상 산림의 주요 경영대상 수종으로 제안된 가래나무, 고로쇠나무, 물푸레나무, 소나무, 신갈나무, 졸참나무, 찰피나무, 층층나무 등 8개 수종을 대상으로 공간분포 양상을 판별하여 이들 수종의 생태적 분포 특성을 파악하였다.

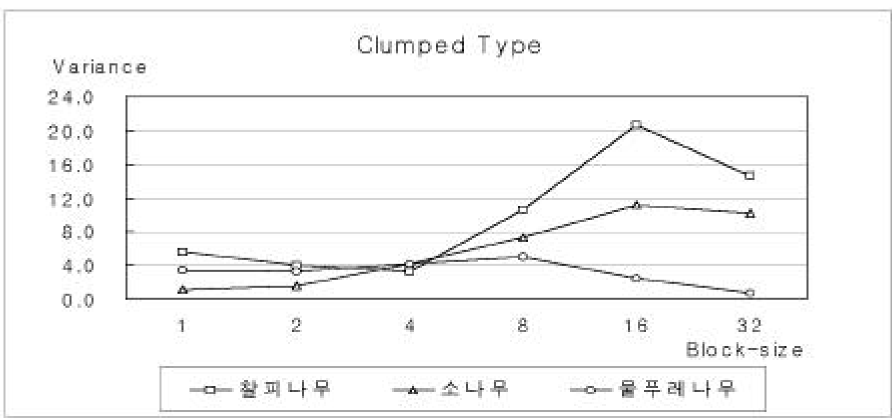
(그림 2-3)은 연구대상 산림의 최우점 수종인 신갈나무의 Block-size별 분산값을 나타낸 그림이다. 신갈나무는 8개 경영대상 수종 중 분산값의 변이가 매우 높은 것으로 나타났다. 분산값이 높다는 것은 표본구에 따라 임목분포의 변이가 심하다는 것을 의미하므로 신갈나무는 연구대상 산림의 산복지역과 능선지역 전역에 출현하고 있지만 표본구에 따라 출현변이가 매우 심하다는 것을 알 수 있다. (그림2-3)에서 신갈나무의 분산값은 Block-size 16에서 이전 Block size들보다 급격히 증가하였다가 Block-size 32에서 급격히 감소하는 양상 즉, peak 현상을 나타내고 있다. peak 현상은 수종이 Clumped 양상을 띨 때 나타나는 전형적인 현상으로 그 수종이 군거하는 clump의 간격을 추정할 때 응용될 수 있다.

이와 같이 신갈나무는 매우 뚜렷한 Clumped 양상을 띠는 것으로 분석되어, 생육 및 생식특성이 군거성을 띠거나 특정 환경조건에 강하게 적응하고 있는 것으로 파악되었다. 신갈나무가 Clumped 양상을 뚜렷하게 나타낸 이

유로는 무거운 중력종자와 강한 맹아력에 의해 집중적으로 갱신되는 생식특



<그림 2-3> 신갈나무의 공간분포 양상



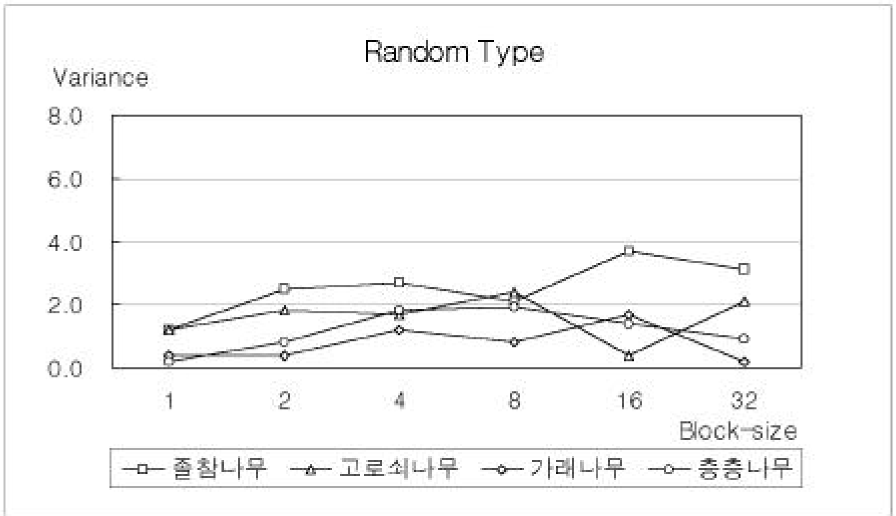
<그림 2-4> Clumped 양상을 보이는 찰피나무, 소나무, 물푸레나무의 공간분포 양상

성이 원인일 것으로 사료되며, 능선지역과 산복지역의 건조한 지역 등 다른 수종이 생육하지 못하는 일부 특정 지역에서 잘 생육하는 생육특성 역시 이러한 분포양상이 나타나는 원인일 것으로 사료된다.

(그림 2-4)는 8개 경영대상 수종 중 신갈나무와 마찬가지로 Clumped 분포 양상을 갖는 것으로 판별된 찰피나무, 소나무, 물푸레나무의 공간분포 양상을 나타내고 있다. 그러나 이들 수종은 신갈나무에 비해 분산값의 변이가 적고, peak의 폭도 적어, 신갈나무보다는 clump간의 간격이나, clump의 규모나 범위가 적은 것으로 분석되었다. 특히, 물푸레나무는 분산값의 범위가 1 5정도로 미약하며, peak현상도 뚜렷하지 않아 clump의 간격도 좁고, 규모도 매우 작은 것으로 나타나 random 양상과 clumped 양상의 구별이 뚜렷하지 않은 randomly clumped양상인 것으로 파악된다.

찰피나무는 서식양상이 비교적 넓고, 종자의 산포 범위도 넓은 수종으로 알려져 있으나 연구대상 산림의 공간분포 분석에 있어서는 전형적인 Clumped 양상을 띠는 것으로 나타나 예상 밖의 결과를 보였다. 찰피나무는 연구대상 산림의 산복 하부지역부터 산복 중상부 지역까지 분포하고 있으며, 산복 중부 이상에서 주로 출현하는 같은 속의 피나무보다는 왕성한 개체수 출현을 보이고 있다. 신갈나무와 함께 연구대상 산림의 능선지역을 우점하는 것으로 파악되고 있는 소나무 역시 분포가 능선지역에 국한되어 있어 Clumped 분포양상을 띠는 것으로 분석되었다.

이상과 같이 Clumped 양상을 띠는 것으로 파악된 신갈나무, 물푸레나무, 찰피나무, 소나무 등에 대해서는 후계림 조성시 여러 임목들이 군락을 이루어 생육할 수 있도록 처리하거나, 적합한 환경조건을 파악하여 조성하는 것이 바람직할 것이다.



<그림 2-5> Random 양상을 보이는 졸참나무, 고로쇠나무, 가래나무, 층층나무의 공간분포 양상

(그림 2-5)는 연구대상 산림에서 random 양상을 보이는 졸참나무, 고로쇠나무, 가래나무, 층층나무의 공간분포 양상을 나타내고 있다. 이들 수종들은 최대 분산값이 4 이하로 나타났고, 분산값의 변동범위는 3 이하로 파악되어 연구대상 산림에 불규칙한 분포 경향을 띠는 것으로 파악되었다. Random 양상은 수종의 생식 및 서식특성이 군거성을 띠지 않거나, 어느 정도의 환경적 변화에 큰 영향을 받지 않는 수종들에게서 나타나는 분포 양상이다. 따라서 이들 수종은 연구대상 산림에 군락을 형성하지 않고 균일하게 분포시켜야 할 것이다. 그러나 가래나무, 층층나무 등은 지형적 위치 중 수분조건이 양호한 지역에서 매우 잘 생육하는 특성이 있어 계곡지역에서 중점적으로 조성ㆍ관리되어야 할 것이다.

나. 임목 형질지수

임목 형질지수를 이용하여 연구대상 산림을 포함한 강원도 영서지역의 천연활엽수림을 대상으로 주요 18개 상층 수종들의 형질을 평가하여 표본목수와 평균흉고직경, 그리고 평균수고 등을 (표 2-19)에 나타내었다.

<표 2-19> 18개 활엽수종의 표본목수와 평균흉고직경 및 평균수고

수종	표본목수	평균흉고직경	평균수고
복장나무	18	31.8±10.5*	17.1±1.5*
고로쇠나무	19	22.7±10.7	16.7±1.9
거제수나무	33	25.8±7.3	19.6±1.8
박달나무	5	34.0±7.2	19.0±1.2
까치박달나무	10	21.4±12.5	12.7±3.3
층층나무	22	27.0±6.0	17.1±1.8
들메나무	23	32.8±7.2	20.1±2.1
물푸레나무	11	22.9±5.9	17.2±2.4
가래나무	8	37.4±8.9	17.6±2.4
음나무	16	34.1±7.1	18.8±2.0
황벽나무	5	17.8±5.1	14.8±2.2
사시나무	5	29.0±2.6	20.4±1.4
산벚나무	5	25.8±4.8	16.4±1.2
신갈나무	13	32.6±13.7	18.1±2.1
팥배나무	5	32.2±8.9	16.8±1.3
피나무	7	24.0±5.5	16.1±2.6
느릅나무	5	22.6±6.6	16.2±1.5
난티나무	46	30.7±9.1	18.7±1.8

*. 평균±표준편차

18개 활엽수종의 평균흉고직경은 최대 37.4cm를 기록한 가래나무에서 최소 17.8cm를 기록한 황벽나무까지의 범위를 보이며, 평균치는 약 28cm로 파악되었다. 평균수고는 수고생장이 뛰어난 사시나무가 20.4m로 가장 높은 수치를 보였으며, 들메나무(약 20m), 거제수나무(약 20m), 박달나무(약 19m), 음나무(약19m), 난티나무(약 19m) 등도 비교적 높은 수고생장을 보이는 것으로 파악되었다. 평균수고가 가장 낮게 나타난 수종은 아교목인 까치박달나무로 파악되었는데 까치박달나무는 토심이 깊고 수분조건이 양호한 지역에서는 상층목까지 도약하는 것으로 확인되었다.

표본목 수가 가장 많은 수종은 난티나무로 총 46본의 표본목이 조사되었는데 난티나무는 연구대상 산림에서는 출현하지 않는 것으로 파악되었다. 박달나무, 까치박달나무, 가래나무, 황벽나무, 사시나무, 산벚나무, 팥배나무, 피나무, 느릅나무 등은 10본 이하의 표본목만이 조사되었는데, 지속적인 임목형질 평가를 통해 주요 활엽수종의 형질지수를 정확히 파악하기 위해서는 보다 많은 표본목이 선정되어 조사되어야 할 것이다.

임목 형질지수를 이용하여 18개 연구대상 수종들의 형질을 파악하고, 이를 계수로 환산하여 (표 2-20)과 같은 결과를 얻었다. 가장 높은 형질지수를 갖는 수종은 80.8의 형질계수 값을 갖는 사시나무로 파악되었는데 일반적으로 *Populus*류들은 수고생장이 좋은 속성수로 형질이 좋은데 비해 재질이 떨어지는 것으로 알려져 수종을 평가하는 데는 형질 이외의 재질 등의 정보가 함께 고려되어야 할 것으로 사료된다. 사시나무 외에 비교적 우량한 형질을 갖는 것으로 파악된 수종은 거제수나무, 들메나무, 느릅나무, 황벽나무 등으로 나타났다. 반대로 형질이 가장 불량한 수종으로 분석된 수종은 까치박달나무로 46.3의 형질계수 값을 갖는 것으로 파악되었으며, 까치박달나무 외에 형질계수가 60 이하로 비교적 형질이 불량한 임목으로 파악된 수종은 가래나무, 복장나무, 산벚나무, 팥배나무 등으로 나타났다. 그러나 이들 수종

중 가래나무, 산벚나무, 팥배나무 등은 표본목 수가 10미만으로 정확한 정보로 활용되기 위해서는 충분한 표본목에 대한 자료가 수집되어야 할 것이다.

<표 2-20> 주요 활엽수종들의 임목 형질지수 평가

수종	BS[1]	TD[1]	CW[1]	BH[1]	BA[1]	BI[1]	TFI[2]
사시나무	20.0	20.0	14.6	12.8	5.4	8.0	80.8
거제수나무	18.2	18.6	12.8	10.1	11.5	7.3	78.5
들메나무	17.9	19.1	10.9	11.4	10.0	7.5	76.8
느릅나무	13.8	13.5	16.0	13.7	8.0	8.0	73.0
황벽나무	12.0	18.7	12.8	8.0	11.2	6.4	69.1
물푸레나무	13.9	17.8	11.6	6.1	10.3	7.7	67.4
피나무	17.3	20.0	9.6	9.3	7.2	3.2	66.6
음나무	12.5	19.2	9.7	8.3	8.5	6.8	65.0
고로쇠나무	12.3	17.9	10.4	10.5	8.6	4.4	64.1
난티나무	14.6	18.1	9.5	4.8	9.7	6.6	63.3
신갈나무	13.3	19.4	6.2	7.2	10.0	6.7	62.8
층층나무	15.4	16.2	8.9	11.9	4.2	4.9	61.5
박달나무	13.3	20.0	5.3	6.7	12.0	4.0	61.3
팥배나무	13.3	20.0	10.7	6.7	4.0	4.0	58.7
산벚나무	10.7	13.6	7.8	6.7	8.8	9.4	57.0
복장나무	9.2	16.5	6.2	6.4	7.6	6.7	52.6
가래나무	6.7	14.7	5.3	8.2	6.5	8.0	49.4
까치박달나무	9.6	15.3	5.9	4.7	8.0	2.8	46.3

1. 임목 형질 항목 (표 2-2 참조)
2. 임목 형질지수(tree form index)

연구대상 산림의 8개 주요 경영대상 수종 중 임목 형질지수를 이용하여 분석된 수종은 가래나무, 고로쇠나무, 물푸레나무, 신갈나무, 층층나무 등 5개 수종이며, 침엽수종인 소나무와 잣나무, 졸참나무 등은 연구에서 제외되었다. 잣나무, 졸참나무 등은 임목 형질평가에 대한 조사가 경영대상 수종을 결정하기 이전에 수행되었기 때문에 형질평가에서 제외되었으나, 차후의 강원도 영서지방 활엽수종의 형질평가를 위해서는 이들 수종에 대한 임목 형질평가가 수행될 예정이다.

이 연구에서 조사된 5개 경영대상 수종 중, 형질이 우량한 것으로 평가된 수종은 물푸레나무이며, 고로쇠나무, 신갈나무, 층층나무, 가래나무 순으로 파악되었으며, 가래나무를 제외하곤 임목형질지수 70   60점 사이의 형질을 갖는 것으로 파악되었다. 가래나무는 측지간격을 제외하곤 모든 형질에서 낮은 점수로 판정받아 아교목류인 까치박달나무 다음으로 형질이 불량한 것으로 파악되었으나, 수분조건이 양호한 계곡지역에서 형질이 비교적 우량한 임목들이 표본목으로 조사되지 않아 보다 많은 표본목들을 조사한다면 다소 형질계수에 변화가 있을 것으로 예상된다.

층층나무는 약 62점으로 비교적 낮은 형질계수를 나타내었으나, 통직성과 지하고에 있어서는 형질이 매우 좋은 것으로 파악되었다. 층층나무는 가지가 수평적으로 넓게 확장되는 성질이 있어 가지각도, 측지간격, 수관폭 등에서 낮은 형질점수를 받았으나, 가지치기 등 적절한 보육시업이 적용된다면 높은 가치의 형질을 갖는 임목으로 평가될 것이다. 물푸레나무, 고로쇠나무, 신갈나무 등은 수간통직성이 다른 수종에 비해 낮은 것으로 나타났는데 이들 수종들은 하층목 시기에 측면가지 제거 등의 보육시업이 시행된다면 보다 좋은 형질을 갖게 될 것으로 예상된다.

이 연구에서 수종을 평가하는 척도로 제안된 임목 형질지수는 천연활엽수림을 보다 가치 높은 수종으로 조성하는데 활용될 수 있다. 물론 수종을 형

질만으로 그 가치를 판정하기에는 곤란한 점이 많으나 산림을 경영하는 목적은 산림자원의 가치를 극대화하기 위한 것이기에 여러 다른 기준(수종별 CO_2 배출량, 재질)과 함께 적용된다면 매우 효과적인 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 또한 임목 형질평가는 개개목의 형질을 평가하여 간벌 등 보육시업 작업시 벌채목 등을 선정하는 데 활용될 수 있으며, 주요 수종에 대한 보육시업의 어떠한 양상으로 수행되어야 하는 가에 대한 기준으로 활용될 수 있다.

이 연구에서는 수종 당 표본목을 5본에서 45본까지(평균 14본) 선정하여 조사하였는데 한 수종당 약 50 100정도의 표본목이 조사되어야 보다 객관성이 있는 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료되며, 이에 대한 지속적인 연구가 수행될 것이다.

다. 수종간 상관관계

연구대상 산림의 8개 경영대상 수종을 포함하여 전체 산림(상층, 중층, 하층 포함)에서 비교적 높은 우점도를 보이는 12개 수종을 대상으로 수종간 상관관계를 분석하여 수종간의 친화도에 대한 정보를 파악하였다. 그림 2-6은 연구대상 산림의 12개 주요 우점 수종들간 상관관계 결과를 정리하여 나타낸 그림이다.

(그림 2-6)에서 '+'는 두 수종간 서식처에 대해 같은 요구도를 갖는다는 '정의 상관(positive association)'을, '-'는 서식처에 대해 다른 요구도를 갖는다는 '부의 상관(negative association)'을 의미한다. p와 Ⓟ는 정의 상관 중 유의성 검정(choi-square 검정)을 통해 각각 95%와 99% 확률수준에서 유의성이 인정되어 두 수종간 서식처 요구도가 확률적으로 더욱 동일하다는 것을 의미하며, 반대로 n과 Ⓝ은 각각 95%와 99% 확률수준에서 부의 상관관

계가 인정된다는 것을 의미한다. 따라서 정의 관계가 높은 수종끼리는 같은 장소에서 어우러져 생육할 가능성이 높으나, 부의 관계에 높은 수종간에는 자원에 대해 요구하는 바가 다르기 때문에 인접하여 생육하지 않는 것으로 예측할 수 있다.

VR(Index of overall association) : 0.9221126

W(Test Staristic) : 127.2515

가래나무													
p	고로쇠나무												
n	n	굴참나무											
Ⓟ	Ⓟ	-	느릅나무										
+	+	+	+	물푸레									
-	-	-	-	-	박달나무								
Ⓟ	Ⓟ	Ⓝ	Ⓟ	p	n	산뽕나무							
Ⓝ	Ⓝ	+	-	n	+	Ⓝ	소나무						
Ⓝ	Ⓝ	p	Ⓝ	-	+	Ⓝ	Ⓟ	신갈나무					
-	+	+	-	+	+	-	-	+	음나무				
n	-	+	-	p	+	n	+	Ⓟ	-	졸참나무			
+	p	-	-	+	-	Ⓟ	n	Ⓝ	+	-	찰피나무		
Ⓟ	Ⓟ	n	p	Ⓟ	-	Ⓟ	Ⓝ	Ⓝ	-	-	+	층층나무	
+	+	-	+	+	p	+	-	n	-	+	+	-	피나무

Ⓟ, p : 1%, 5% 유의수준에서의 정의 상관관계

Ⓝ, n : 1%, 5% 유의수준에서의 부의 상관관계

<그림 2-6> 연구대상 지역의 14개 우점 수종의 수종간 상관관계

그림 2-6에서 전체에 대한 상관지수(Index of overall association: VR)는 1보다 작은 약 0.92로 산출되었는 데, VR이 1보다 클 경우에는 12개 전체 수종간 정의 상관관계 양상이 지배적이고, 반대로 1보다 크지 않으면 부의 상관관계가 지배적이다고 해석되기 때문에 연구대상 산림의 전반적인 상관관계는 부의 관계에 있는 것으로 해석되었으나, 정의 상관관계와 부의 상관관계를 갖는 수종쌍 수의 차이는 매우 작은 것으로 파악되었다. W는 전체 산림의 상관관계에 대한 유의성검정에 이용되는 검정통계량으로 이 연구에서 총 138개 표본구에 대해 조사가 이루어졌으므로 자유도 137인 5% 유의수준의 χ^2 분포값과 비교하여 전체 산림의 유의성 검정을 실시할 수 있었다. 연구대상 산림은 검정통계량이 χ^2 분포값보다 낮은 것으로 분석되어 전체 산림의 상관관계에는 유의성이 없는 것으로 파악되었다.

12개 수종 중, 5% 이하의 유의수준에서 정의 상관관계가 있는 것으로 파악된 수종쌍은 19개로 나타났으며, 이중 1% 유의수준에서 유의성이 인정되어 고도의 정의 상관관계를 갖는 것으로 파악된 수종쌍도 12개가 있는 것으로 나타났다

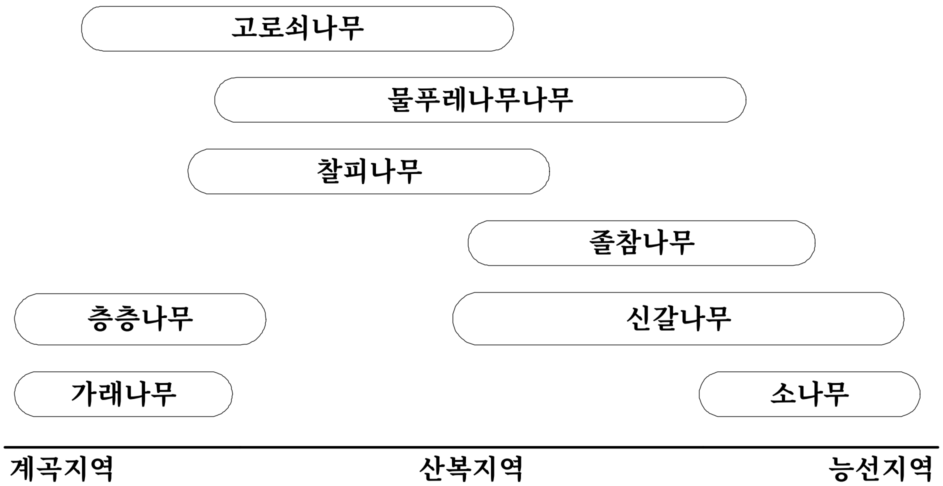
99% 확률수준에서 고도의 양의 상관관계를 갖는 것으로 파악된 수종쌍은 가래나무와 느릅나무, 가래나무와 산뽕나무, 가래나무와 층층나무, 고로쇠나무와 느릅나무, 고로쇠나무와 산뽕나무, 고로쇠나무와 층층나무, 느릅나무와 산뽕나무, 물푸레나무와 층층나무, 산뽕나무와 찰피나무, 산뽕나무와 층층나무, 소나무와 신갈나무, 신갈나무와 졸참나무 등이며, 가래나무와 고로쇠나무, 고로쇠나무와 찰피나무, 굴참나무와 신갈나무, 느릅나무와 층층나무, 물푸레나무와 산뽕나무, 물푸레나무와 졸참나무, 박달나무와 피나무간에는 95% 확률수준에서 양의 상관관계가 있는 것으로 파악되어 같은 서식처 선호도를 갖는 것으로 분석되었다.

양의 상관관계를 갖는 수종들을 대상으로 분석한 결과, 연구대상 산림은

3가지 산림구성 양상 즉, 가래나무-층층나무-느릅나무-산뽕나무-고로쇠나무-찰피나무 등으로 혼효되는 산림구성 양상(Ⅰ)과 음나무-박달나무-피나무-물푸레나무 등의 산림구성 양상(Ⅱ), 그리고 신갈나무-소나무-졸참나무-굴참나무 등의 산림 구성양상(Ⅲ)을 갖는 것으로 파악되었다. 이들 3가지 구성양상은 계곡에서 산복, 그리고 능선으로 이어지는 지형적 수종분포와 같은 양상을 띠는 것으로 지형적위치가 수종구성에 매우 큰 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있다. 각 산림구성 양상을 연결하는 연결고리의 역할을 하는 수종은 (Ⅰ)과 (Ⅱ)의 산림구성을 연결하는 찰피나무, 고로쇠나무, 물푸레나무 등과 (Ⅱ)와 (Ⅲ)의 산림구성을 연결하는 졸참나무, 굴참나무, 음나무 등으로 파악되었다. 따라서 이들 수종은 계곡에서 산복까지 또는 산복에서 능선까지 비교적 넓은 서식처를 가지며 폭넓은 개체수 분포 범위를 나타내는 것으로 파악되었다.

부의 상관관계는 99% 확률수준에서는 11개 수종쌍간에, 95% 확률수준에서는 9개 수종쌍간에 발생하는 것으로 나타났다. 99% 확률수준에서 부의 상관관계를 갖는 수종은 가래나무와 소나무, 가래나무와 신갈나무, 고로쇠나무와 소나무, 고로쇠나무와 신갈나무, 굴참나무와 산뽕나무, 느릅나무와 신갈나무, 산뽕나무와 소나무, 산뽕나무와 신갈나무, 소나무와 층층나무, 신갈나무와 찰피나무, 신갈나무와 층층나무 등으로 파악되었으며, 95% 확률수준에서 부의 상관관계를 갖는 수종은 가래나무와 굴참나무, 가래나무와 졸참나무, 고로쇠나무와 굴참나무, 굴참나무와 층층나무, 물푸레나무와 소나무, 박달나무와 산뽕나무, 산뽕나무와 졸참나무, 소나무와 찰피나무, 신갈나무와 피나무 등으로 나타났다.

이상의 수종간 상관관계 결과와 연구대상지의 식생조사 중 관찰되었던 수종의 생육분포 현황을 이용하여 8개 경영대상 수종에 대한 계곡-산복-능선 등의 지형에 따른 서식적지 및 분포범위를 고찰하여 그림2-7에 나타내었다.



<그림 2-7> 연구대상 산림의 8개 경영대상 수종의 서식적지

(그림 2-7)에 나타난 것처럼 가래나무와 층층나무는 계곡지역이, 소나무는 능선지역이 서식적지인 것으로 파악되었으며, 고로쇠나무와 찰피나무 등은 계곡지역에서 산복지역 중부까지가 서식적지인 것으로 평가되었다. 물푸레나무는 계곡상부에서 산복전역 그리고 능선하부까지가 서식적지로 파악되어 매우 넓은 서식 범위를 갖는 수종임을 알 수 있었다. 졸참나무와 신갈나무 서식적지는 산복중부 이상에서 능선지역까지로 파악되었다. 신갈나무는 수분조건이 불량하여 소나무 외에 다른 수종이 거의 생육하지 않는 능선지역이서 매우 높은 서식력을 갖는 것으로 파악되었는데 이는 신갈나무의 강한 번식력(맹아력)에 의해 기인된 것으로 예상된다.

수종간 상관관계와 지형에 따른 수종구성 상태를 비교·고찰한 결과, 연구대상 산림은 지형적 위치별 매우 다른 군집구조를 보이며, 수종의 친화성에 따라 분류된 그룹은 지형적 위치별 식생구조와 같음이 확인되었다. 따라서 연구대상 산림은 지형적 위치별로 경영되어야 할 것으로 사료되며, 이에

따라 지형적 위치별 조성되어야 할 주요 경영대상 수종을 다음과 같이 선정하였다.

① 계곡지역 : 가래나무-층층나무-고로쇠나무-물푸레나무-찰피나무

② 산복 중부이하 지역 : 고로쇠나무-물푸레나무-찰피나무

③ 산복 중부이상 지역 : 물푸레나무-졸참나무-신갈나무-찰피나무

④ 능선지역 : 신갈나무-소나무-졸참나무-물푸레나무

연구대상 산림을 지형적 위치별로 분류하고, 각 지형적 위치별 위의 수종을 중심으로 산림을 조성하는 것이 합자연적인 경영을 위해 우선적으로 선택해야 할 방안으로 사료되며, 합리적 산림경영의 성공을 보다 쉽게 이끄는 지름길이 될 것이다.

라. 종다양성

연구대상 산림 전체와 계곡, 산복, 능선 등 지형적 위치에 따라 상층, 중층, 하층별로 다양성 지표를 산출하여 (표 2-21)에 나타내었다.

다양성지수는 희귀종의 출현에 민감한 Shannon-Wiener의 종다양성 지수 산출 공식을 이용하였으며, 최대다양성지수, 균재도, 우점도 등의 다양성 지표를 산출하였다.

지형적 위치별 종다양성 지수를 분석한 결과, 상층식생의 종다양성은 산복지역이 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 산복지역이 조사범위가 좁은 계곡과 능선과는 달리 광범위한 범위를 갖고 있고, 계곡인접 지역부터 능선인접 지역까지 다양한 상층 수종의 종구성 변화가 발생하고 있기 때문이다. 그러나 중층, 하층에서는 수분조건이 양호한 계곡지역의 종다양성이 높은 것으로 파악되었는데, 계곡지역에서는 교목 수종 외에 관목수종의 출현 및

생장상태가 매우 양호한 것으로 나타났다. 수목이 생육하기에 환경조건이 좋지 않은 것으로 파악되는 능선지역은 상층, 중층, 하층 등 모든 수관층에서 가장 낮은 종다양성을 보이고 있으며, 관목류의 출현도 매우 저조한 것으로 파악되었다.

<표 2-21> **연구대상 산림의 종다양성 지수**

다양성 지표	계곡지역			산복지역			능선지역			전체산림		
	상층	중층	하층	상층	중층	하층	상층	중층	하층	상층	중층	하층
종수	11	24	21	19	29	25	8	24	21	20	36	36
다양성지수	1.72	2.65	2.59	1.96	2.38	2.54	1.27	2.06	2.29	1.97	2.57	2.78
최대 다양성지수	2.39	3.15	3.05	2.93	3.35	3.22	2.08	3.17	3.05	2.98	3.57	3.56
균재도	0.72	0.84	0.85	0.67	0.71	0.79	0.61	0.65	0.75	0.66	0.72	0.78
우점도	0.28	0.16	0.15	0.33	0.29	0.21	0.39	0.35	0.25	0.34	0.28	0.22

전체 산림의 종다양성 지수는 상층이 약 2.0, 중층이 약 2.6, 그리고 하층이 약 2.8로 나타났다. 종다양성 지수는 산림의 안정도를 평가하는 척도로 이용되며, 다른 산림간의 비교를 통해 또는 시간의 지남에 따른 비교를 통해 안정도의 차이를 평가하는 방안으로 사용된다. 일반적으로 천연림에서 종다양성은 천이계열에 따라 변화되는 양상을 갖는다. 즉, 천이 초기단계에는 종다양성이 낮다가 단계를 거치면서 점차로 높아지고, 아극상림 단계부터는 다소 낮아져 산림의 구조가 안정상태로 유지되는 극상림 단계에서는 거의 변동이 없게 된다(이 등 1996). 이러한 천이계열에 따른 종다양성의 변화에 입각하여 연구대상 산림의 종구성을 고찰해 보면 연구대상 산림은 소

나무 등의 침엽수 수종 중심에서 활엽수 수종 중심의 산림으로 변화되어 가는 천이계열의 중간 단계에 도달한 것으로 예측된다. 따라서 연구대상 산림을 안정성 있게 경영하기 위해서는 극상림의 안정상태를 유지할 수 있는 수준으로 종다양성을 증가시켜야 가능할 것으로 사료된다.

<표 2-22> 연구대상 산림의 지형적 위치별 적정 종구성 비율 및 종다양성

종구성 및 다양성		수종구성비율(%)			
		능선지역	산복지역	계곡지역	전체산림
교목수종	가래나무	-	-	15	5
	고로쇠나무	-	10	25	15
	물푸레나무	10	10	15	10
	소나무	20	-	-	5
	신갈나무	40	25	-	20
	졸참나무	20	10	-	5
	찰피나무	-	30	15	20
	층층나무	-	-	15	5
	기타수종	10	15	15	15
소 계		100	100	100	100
임분구성	교목류	70(7)[1]	65(11)	55(9)	65(16)
	아교목류	20(5)	25(5)	15(5)	20(6)
	관목류	10(7)	10(9)	30(12)	15(13)
소 계		100	100	100	100
다양성	종수	19	25	26	34
	다양성지수	2.33	2.66	2.90	3.05
	최대다양성지수	2.95	3.21	3.26	3.55
	균재도	0.79	0.83	0.89	0.86
	우점도	0.21	0.17	0.11	0.14

1. 종수

(표 2-22)는 경영대상 수종을 중심으로 전체 연구대상 산림과 계곡, 산복, 능선 등 지형군집에 따라 적정 교목수종 구성 비율과 교목류, 아교목류 그리고 관목류의 구성비율, 그리고 적정 종다양성 지수를 고찰한 표이다. 임분 구성에서 아교목류와 관목류의 종수는 현재 출현하는 종수를 그대로 유지하고 적정 구성비율만을 고찰하여 제시하였다. 연구대상 산림에 출현하는 아교목류는 개옻나무, 까치박달나무, 당단풍나무, 산뽕나무, 쪽동백나무, 함박꽃나무 등이며, 관목류는 개암나무, 고광나무, 생강나무, 철쭉 등 총 13개 종이 출현하고 있다. 일반적으로 아교목류나 관목류들이 너무 밀하면 교목 수종의 갱신 및 하층목의 생장을 저해하는 것으로 알려졌으나, 적당한 수준의 밀도를 유지하면 오히려 임지피음 및 토양유기물 증가 등의 효과를 거둘 수 있다.

연구대상 산림의 계곡지역에서는 고로쇠나무(25%), 물푸레나무(15%), 층층나무(15%), 가래나무(15%), 찰피나무(15%) 등의 수종구성 비율을 제시하였으며, 나머지 15%는 피나무, 다릅나무, 팥배나무, 소태나무 등으로 구성되어야 할 것이다. 산복지역에서는 찰피나무(30%), 신갈나무(25%), 고로쇠나무(10%), 물푸레나무(10%), 졸참나무(10%), 그리고 기타 수종으로 피나무, 음나무, 다릅나무, 황벽나무, 개살구나무, 굴참나무 등이 15%를 차지하는 수종구성 비율이 산림의 안정성을 유지할 수 있을 것으로 사료된다. 비교적 수종 다양성이 떨어지는 능선지역에서는 신갈나무(40%), 소나무(20%), 졸참나무(20%), 물푸레나무(10%) 등을 중심으로 나머지 10%를 피나무, 음나무, 굴참나무 등으로 조성하는 수종구성 비율이 효과적으로 사료된다.

아교목 및 관목류의 비율에 따라 수종별 적정 밀도를 임의로 추정하여 교목수종 구성과 함께 적정 종다양성 지수를 산출하였다. 전체산림은 3.05, 계곡지역은 2.90, 산복지역은 2.66, 그리고 능선지역은 2.33으로 현재의 종다양성보다는 높게 산출되었다. 그러나 아교목류 및 관목류 등의 밀도조절과 상

층목 벌채시 발생되는 벌목 및 운재 피해 등 여러 가지 상황을 고려할 때 적정 종다양성 지수는 다소 낮게 제시하는 것이 효과적일 것으로 사료된다. 즉, 계곡지역은 2.7 이상, 산복지역은 2.5 이상, 그리고 능선지역은 2.2 이상이 타당할 것으로 사료된다.

마. 산림의 생산력

연구대상 산림의 현존량 site를 대상으로 6개월에 걸쳐 현존량의 증가를 조사한 결과, 약 710 g/㎡/yr의 임목현존량 증가량이 산출되었으며, 6개월간 6회에 걸쳐 조사한 낙엽과 낙지 등의 고사량은 약 280 g/㎡/yr로 산출되었다. planimter를 이용한 포식량 추정에서는 약 30 g/㎡/yr이 산출되어 이를 토대로 수확법에 의한 순생산량 측정법을 이용하여 연구대상 산림의 순생산력을 산출하였다.

GPP : 2270 g/㎡/yr

‖

RS_A : 1250 g/㎡/yr <Gpp의 55%) + NPP : 1020 g/㎡/yr <GPP의 45%)

‖

임목현존량 : 450 g/㎡/yr
뿌리현존량 : 260 g/㎡/yr

\+

고사량 : 280 g/㎡/yr

\+

포식량 : 30 g/㎡/yr

<그림 2-8> 연구대상 산림의 1차 생산력

(그림 2-8)은 천연활엽수림의 호흡량이 산림 총생산력의 약 55% 정도를 차지하고 있다는 가설에 입각하여 연구대상 산림의 총생산력을 추정한 그림이다.

산림의 생산력은 산림군집의 가장 기초적인 기능 중의 하나로, 산림의 기능을 개선하거나 유지하도록 경영하기 위해서는 반드시 파악해야 한다. 임목현존량 증가량과 고사량, 포식량 등을 합산한 결과, 연구대상 산림의 순생산력은 약 1020 g/㎡/yr으로 파악되었다. 따라서 연구대상 산림의 기능을 유지하기 위해서는 산림 순생산력이 약 1000 g/㎡/yr 이상되도록 유지해야 할 것으로 사료된다.

제4절 결론 및 향후 연구를 위한 제언

1. 생태적 속성을 이용한 경영대상 수종 선발

산림을 합자연성에 입각하여 경영하기 위해서는 적지적수 개념의 도입과 생태적 안정성을 고려한 경영대상 수종 선정이 우선되어야 한다. 경영대상 수종은 현재뿐만 아니라 미래에도 산림을 우점할 가능성이 높은 수종이어야 하며, 이들 수종으로 산림을 조성·관리할 때 산림의 안정성 및 합자연성을 유지하고자 하는 경영목적이 달성될 수 있다.

이 연구에서는 경영대상 수종 선정을 위해 수관층별 종구성, 천이계열 분석 등을 실시하였으며, 같은 산림내 다른 군집구조를 유발하는 지형적 위치와 사면방향에 따라 임분 구성상태를 파악하여 지형인자에 따른 산림군집별 경영대상 수종을 제시하였다.

연구대상 산림을 상층, 중층, 하층, 그리고 치수층 등 수관층별로 분류하여 종구성을 분석한 결과, 현재의 주요 우점 수종은 신갈나무, 소나무, 졸참나무, 가래나무 등으로 나타났으며, 다음 세대에 또는 다음 세대부터 높은 우점 가능성을 갖는 수종으로는 신갈나무, 고로쇠나무, 졸참나무, 찰피나무, 물푸레나무, 층층나무 등으로 예측되었다. 따라서 연구대상 산림을 생태적 경영의 안목에서 합자연적으로 경영하기 위해서는, 산림의 안정성을 고려하여 다음 세대부터는 세력이 약화될 것으로 사료되지만 현재 산림에서 높은 우점도를 보이는 소나무, 가래나무 등의 세력을 다음 세대까지 유지시키고, 신갈나무, 고로쇠나무, 졸참나무, 찰피나무, 물푸레나무, 층층나무 등을 중심으로 산림을 조성ㆍ관리하여야 할 것이다.

연구대상 산림은 세대가 지날수록 수종 구성비율이 변화되며, 약 7세대에 이르러 수종 구성비율의 변화가 거의 없어지는 안정상태(steadsty state)에

도달할 것으로 예측되었다. 안정상태의 수종구성은 신갈나무, 찰피나무, 고로쇠나무, 물푸레나무, 졸참나무 등이 약 90%를 차지할 것으로 예측되어, 수관층별 종구성 분석과 같은 결과를 보였다. 천이계열 분석은 미래 세대의 수종 구성을 세대별로 예측하여 연구대상 산림의 경영대상 수종을 어떠한 수준으로 조성ㆍ관리해야 하는가에 대해 보다 객관적인 자료로 활용될 수 있다. 이 연구에서는 미래의 우점 수종에서 제외되었으나, 현재에 높은 세력을 보이는 소나무와 가래나무 등을 경영대상 수종으로 고려하고, 세력이 미약한 수종 중 형질이 우량한 임목이나 희귀 수종의 보전을 전제로 하기 때문에 천이계열 분석의 결과에서 다소 조정된 신갈나무(20%), 찰피나무(20%), 고로쇠나무(15%), 물푸레나무(10%), 졸참나무(5%), 층층나무(5%), 가래나무(5%), 소나무(5%) 그리고 기타수종(15%) 등의 구성비율을 생태적 경영을 위한 수종 구성비율로서 제시하였다.

계곡, 산복, 능선 등의 지형적 위치는 같은 산림일지라도 다른 군집구조를 유발하는 것으로 분석되었다. 지형인자에 따른 수종 구성의 변화는 환경인자의 변이에 의한 것으로 예측되며, 지형적 위치는 토양수분의 구배가, 사면방향은 일조량의 변이가 심할 것으로 사료된다. 지형적 위치별 임분 구성상태를 분석한 결과, 계곡지역에는 고로쇠나무, 층층나무, 찰피나무, 물푸레나무, 가래나무 등이, 산복지역에서는 신갈나무, 찰피나무, 졸참나무, 고로쇠나무, 물푸레나무 등이 높은 세력을 갖거나 미래에 우점할 가능성이 높은 것으로 파악되어 이들 수종을 중심으로 경영되어야 할 것이다. 한편, 건조한 환경조건에 의해 수종 생육 및 분포가 불량한 것으로 예상되는 능선지역에서는 신갈나무와 소나무가 비교적 잘 생육하고 있으며, 특히, 신갈나무는 미래에도 우점할 가능성이 매우 높은 것으로 나타나, 신갈나무를 중심으로 소수의 졸참나무, 물푸레나무, 소나무 등이 조성되는 것이 바람직한다.

사면방향에 따라서는 특정 수종의 사면 선호성이 나타났는데 신갈나무와

소나무는 북동지역을 기피하는 것으로 파악되었으며, 가래나무는 남동지역과 남서지역을 선호하는 것으로 분석되었다. 그러나 사면방향별 수종구성은 지형적 위치와는 달리 큰 변이가 없어 사면방향에 따라 군집을 분류하여 경영하는 것은 부적합한 것으로 판단되었다.

2. 생태적 속성을 이용한 생태적 접근방안

산림의 보속성 및 안정성을 유지하고, 가치창출을 극대화하는 생태적 경영의 안목에서 연구대상 산림의 여러 군집 생태적 속성(공간분포 양상, 임목형질계수, 수종간 상관관계, 종다양성, 산림의 생산력)을 분석하고, 경영대상 수종을 중심으로 이를 활용할 수 있는 방안을 모색한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

연구대상 산림의 가래나무, 고로쇠나무, 물푸레나무, 소나무, 신갈나무, 졸참나무, 찰피나무, 층층나무 등 8개 경영대상 수종의 공간분포 양상을 판별한 결과, 고로쇠나무, 물푸레나무, 소나무, 신갈나무 등은 Clumped 양상을 띄는 것으로 파악되었다. 따라서 이들 수종은 보육시업 적용 및 후계목 조성시 같은 수종의 여러 임목들이 군락을 이루어 생육할 수 있도록 하는 방안이 마련되어야 할 것이며, 생육에 적합한 환경조건을 파악하여 이러한 환경조건이 나타나는 지역에 집중적으로 생육시켜야 좋은 경영 효과를 거둘 수 있을 것이다. 반대로 Random 양상을 보이고 있는 졸참나무, 고로쇠나무, 가래나무, 층층나무에 대해서는 집중적인 후계목 조성보다는 넓게 산재시켜 조성하는 것이 바람직할 것으로 사료된다. Clumped 양상을 보인 수종에 대해서는 보다 많은 연구가 요구되는 데, 그 대표적인 것이 clump지수를 이용하여 이들 수종의 clump 규모를 밝히는 것이다. clump의 규모가 결정되면 후계목 조성시 군락의 크기를 조절할 수 있으며, 적정 밀도 수준을 쉽게 파

악할 수 있을 것이다.

임목의 형질을 이용한 산림 보육시업 체계를 개발하고자 고안된 임목 형질지수을 분석한 결과, 연구대상 수종 중 물푸레나무의 형질이 가장 높은 것으로 파악되었다. 그러나 계곡지역에서 가장 우점하고 있는 수종인 가래나무는 6개 형질지수에서 모두 불량한 것으로 나타나, 이들 형질을 개량할 수 있는 보육시업이 수행되어야 할 것이다. 임목 형질지수를 이용한 형질 파악은 보육시업을 체계적으로 수행할 수 있는 좋은 기초자료로 활용될 수 있으며, 다른 평가기준(예를 들어, 수종의 탄소동화량, 재질 및 이용가치 등)와 함께 임목 및 수종을 평가하게 된다면 여러 경영목적에 부합하는 수종선택 및 임목선발의 기준으로 활용될 것이다.

수종간 서식의 친화성을 파악하는 수종간 상관관계 분석 결과, 95% 이상의 확률수준에서 동일한 서식처 요구도를 갖는 수종쌍은 모두 19개로 나타났으며, 이들 수종쌍간 관계를 이용하여 연구대상 산림의 산림군집형을 분류한 결과, 가래나무-층층나무-느릅나무-산뽕나무-고로쇠나무-찰피나무 등의 그룹(Ⅰ)과 음나무-박달나무-피나무-물푸레나무 등의 그룹(Ⅱ), 그리고 신갈나무-소나무-졸참나무-굴참나무 등의 그룹(Ⅲ) 등이 파악되었다. 서식처 친화성에 따른 식생 그룹들은 계곡・능선・산복 등 지형적 위치에 따라 다른 구조를 보이는 식생 군집들과 매우 유사한 결과를 보였다. 즉, (Ⅰ)그룹은 계곡지역 산림군집과, (Ⅱ)그룹은 능선지역 산림군집과, 그리고 (Ⅲ)그룹은 산복지역 산림군집과 거의 동일한 것으로 파악되어 식생구성은 계곡, 산복, 능선 등 지형적 위치에 따라 매우 큰 영향을 받고 있음이 입증되었다. 따라서 후계림을 조성할 때는 지형적 위치에 따라 다른 식생형으로 조성되어야 할 것이며, 연구대상 산림의 계곡지역은 가래나무-층층나무-고로쇠나무-찰피나무 중심의 식생형으로, 산복지역은 음나무-박달나무-피나무-물푸레나무를 중심으로, 그리고 능선지역은 신갈나무-소나무-졸참나무-굴참나무

중심의 식생형으로 조성되어야 할 것이다.

연구대상 산림의 종다양성은 상층이 1.97, 중층이 2.57, 하층이 2.78로 나타났으며, 지형적 위치별 종다양성 분석에서는 수분조건이 좋은 계곡지역의 다양도가 전반적으로 높은 것으로 파악되었다. 경영 대상 수종을 중심으로 계곡, 산복, 능선 등 지형적 위치별 수종구성 비율을 고찰한 결과, 산림의 안정성을 유지하기 위해 능선지역은 신갈(약 40%), 소나무(약 20%), 졸참나무(약 20%), 물푸레나무(약 10%) 그리고 피나무, 음나무, 굴참나무 등 기타 수종(약 10%)의 구성비율을, 산복지역에서는 찰피나무(약 30%), 신갈나무(약 25%), 고로쇠나무(약 10%), 물푸레나무(약 10%), 졸참나무(약 10%), 피나무, 음나무, 다릅나무, 황벽나무, 개살구나무, 굴참나무 등의 기타 수종(약 15%)의 구성비율을, 그리고 계곡지역에서는 고로쇠나무(약 25%), 가래나무(약 15%), 물푸레나무(약 15%), 층층나무(약 15%), 찰피나무(15%) 그리고 다릅나무, 소나무, 팥배나무, 피나무 등의 기타수종(약 15%)의 구성비율을 제안하였다. 제안된 지형적 위치별 수종 구성 비율을 이용하여 적정 종다양성 수준을 고찰한 결과, 능선지역은 2.2 이상, 산복지역은 2.5 이상, 그리고 계곡지역은 2.7 이상을 유지하는 것이 산림의 안정성을 유지하는데 효과적일 것으로 파악되었다. 아교목류와 관목류에 대해서는 임지 피음 효과를 거두고, 교목 치수들과의 경쟁을 완화하기 위한 두 가지 상충된 작용이 가능하도록 계곡지역에서는 아교목류와 관목류 각각 15%, 30% 정도, 산복지역에서는 각각 25%, 10%, 그리고 능선지역에서는 각각 약 20%와 약 10% 정도의 밀도수준을 제시하였다.

연구대상 산림의 순생산력은 약 1,020 g/㎡/yr로 파악되었으며, 호흡량이 천연활엽수림의 약 55%를 차지한다는 이론에 입각하여 추정한 총생산력은 약 2,270 g/㎡/yr로 산출되었다. 산림의 적정 생산력의 유지는 안정성을 유지하고자 하는 생태적 경영의 안목에서 중요한 경영목적이 될 것이며, 이를

위해 연구대상산림의 적정 순생산력은 최소1,000 g/㎡/yr **이상을 유지하도록 해야 할 것이다**.

제3장 도시유역림의 수자원관리 및 훼손지 방지를 위한 관리 대책

제1절 서 론

1. 연구의 필요성

우리나라의 경우 1960년대 이후 산업화 및 도시화가 진행되면서 도시유역림이 파괴되고 있으며, 이와 같은 현상은 앞으로 택지조성, 도로개설 및 각종 위락시설(골프장, 스키장 및 캠프장)의 개발이 요구되고 있으므로 더욱 심화되리라 사료된다. 특히 도시유역림은 도시 생활공간으로서의 환경보전은 물론 도시유역의 수원지대로서 그 의미가 중요하므로 도시유역림의 수자원을 양적·질적으로 관리하는 것은 환경보전 및 유역관리 차원에서 중요한 선결과제라 생각된다. 또한 도시팽창은 지금까지 임지로 보전되어왔던 경사지의 무계획한 개발을 야기하여 각종 토사재해가 발생하고 있으며, 최근 도시주변에서는 소규모의 토사이동에 의해서도 막대한 인명과 재산피해를 일으키고 있다.

도시유역림의 합리적인 관리를 위해 복층림 형성, 노망정비 및 침투촉진 시설의 시공 등이 필요하나 실제적으로는 이와 같은 작업이 부분적으로 진행되고 있을 뿐 유역을 종합적으로 관리하는 운영체계가 확립되어 있지 않다. 특히 지금까지의 수자원관리는 주로 임업이외의 부서에서 담당하고 있으므로 전국토의 65%를 차지하고 있는 산림지 내에서의 수자원의 기본기구

는 평지와 다르므로 관리체계에 대한 근본적인 재검토가 이루어져야할 것이다. 또한 훼손지 방지대책 역시 도시유역은 유역특성상 중·소규모에 의한 토사이동에도 큰 피해를 입으므로 지금까지의 대규모 토사이동에 대한 방재대책 중심에서 벗어나 이에 대한 연구를 병행해야할 것이다.

맑은 물을 지속적으로 공급받기 위해서는 막대한 예산이 필요하다. 즉 질·양적으로 지속적인 수자원을 확보하기 위해 국가적으로 매년 수질정화 및 댐 공사 등에 막대한 예산을 투입하고 있으며, 이와 같은 현상은 앞으로 더욱 심각해 질 것이다. 특히 도시유역림은 도시에 인접해 있기 때문에 이곳에서 생산되는 물은 도시인들에게 식수로서 공급될 뿐 아니라 생활용수 및 공업용수 등으로도 사용되고 있으므로 도시유역림이 오염되면 자연히 이곳에서 생산되는 유출수 역시 오염되어 이를 정화하는 데에 막대한 예산이 필요하게되며, 반대로 수자원이 합리적으로 관리되면 예산절감의 효과가 크다고 할 수 있다. 또한 도시유역림은 방재분야에서 지금까지 주로 진행되고 있는 복구위주의 방재사업을 예방위주로 전환하는 과정에서 우선 시공대상지이므로 중·소규모의 토사이동 방지에 친환경적인 재료인 목재, 석재 등을 이용한 공법이 사용될 수 있으며, 간벌재 이용에 의한 소득증대도 기대할 수 있다.

도시유역림이 합리적으로 정비되면 수자원의 확보와 훼손지 방지가 이루어질뿐만 아니라 유역내의 생태계 보전에도 좋은 영향을 미쳐 각종 생물의 생육환경에도 조성할 수 있다. 즉 산지계류를 중심으로 어류 및 수생동물의 생육환경을 조성하며, 수변환경과 하안의 자연환경의 보전과 복원에 의해 야생동물의 생육환경을 조성할 수도 있다. 따라서 도시유역림이 다자연형으로 기능을 발휘하여 사회적·문화적으로 크게 기여할 수도 있을 것이다.

2. 연구목적

가. 도시유역림의 수자원관리를 위한 합리적인 임종배비법 제시

도시의 배후지역에 위치하고 있는 도시유역림에서의 수순환은 일반 토지 이용구조에서 나타나고 있는 수순환 구조보다 복잡하고 고려되어야할 환경 변수들이 다양하여, 수순환 현상의 규명은 물론 산림식생과의 상호작용을 규명하는 것 또한 매우 곤란하다. 따라서 산림수문학 특히, 도시유역림에서의 산림식생과 강우의 상호작용을 규명하기 위한 노력이 전세계적으로 활발히 진행되고 있다.

이 연구에서는 이러한 도시유역림에서의 수순환 특성을 규명하고 합리적인 수자원 이용을 위한 임종배비법을 제안하기 위해, 산지소유역을 선정하고 소유역내에 산재한 대표적 수종(5종 10본)을 중심으로 강우, 수관류, 수간류, 계류수를 채수하기 위한 시설을 설치하여, 채수된 유출수로부터 pH, EC, TDS, Na, Ca, K, Cl, NO_3-N, PO_4, SO_4를 분석하여, 계절별 측정치의 변이, 강우간격에 따른 측정치의 변이, 임상에 따른 측정치의 변이를 파악하여, 수질정화기능을 고려한 도시유역림의 임종배비 근거를 제공하고자 한다.

나. 도시유역림의 환경보전 및 유역관리를 고려한 임도시공법 제시

도시의 확장과 토지이용의 고도화로 인해 도시환경과 직·간접적으로 인과관계가 있는 도시유역림은 도시 거주인들에 의해 중요한 휴양 및 환경보전대상으로서의 입지가 강조됨에 따라 다양한 개발행위의 대상이 되고 있다. 도시유역림의 주요 관리기관인 국가기관 및 지방자치단체에서는 최소한의 개발에 의해, 도시유역림을 보전하려고 노력하고 있으나, 실제 도시유역

림에 대한 개발행위로 인한 영향성 평가에 관한 연구는 미진한 실정이다.

이 연구에서는 도시유역림에서 발생될 수 있는 다양한 개발행위 중 그 환경적 영향력이 가장 커, 민원제기의 주요 대상인 임도개설지와 미개설지를 대상으로 계류수의 pH, EC, Na^+, Mg^{2+}, K^+, Ca^+, Cl^- NO^-_3-N, SO_4^{2-}를 측정·비교하여, 임도개설이 계류수의 수질에 미치는 영향을 파악한다.

임도 비탈면 보호를 위한 공법을 개발하기 위해 임도 노선통과지의 지형개변실태를 비탈면 길이, 비탈면 물매, 노폭 및 측구를 중심으로 조사하여 각각의 기하학적 요소가 임도사면의 안정화에 어떠한 영향을 미치는지 파악하여, 최소한의 사면보호시설인, 비탈면처리공, 수로공, 침사지 및 정화시설이 현재, 저가의 단비로 개설되는 임도시공시, 고려될 수 있도록 하기 위한 근거자료의 제시를 목적으로 한다.

또한 임도사면처리 기술개발을 목적으로 임도시공후 식생의 자연침입에만 의존하여 거의 방치되고 있는 임도비탈면을 대상으로 절·성토 사면별, 사면토질별, 사면물매별, 사면장별로 식생침입 상태를 시계열적으로 조사하여 사면보호에 적합한 초본류 및 목본류 수종을 선정하고, 각 사면입지 특성에 따른 "우선 임도사면처리 기준안 제안"을 위한 기초자료를 제공하고자한다.

그리고, 도시유역림에서 흔히 발생되고 있는 인공 비탈면 중 환경적 심미적 가치로 인해 비탈면 발생과 동시에 피복이 필요한 지역과 식생의 자연침입으로는 피복을 기대하기 곤란한 비탈면에 시공가능한 피복자재를 개발하고, 피복자재 시공법을 제안하기 위해, 국내·외의 다양한 피복자재를 중심으로 현장실험을 통한 검증과 피복자재 시공법을 개발하고자 한다.

다. 수자원 확보 및 훼손지 방지를 위한 공법 개발

국내 도시유역림의 경우, 과거 도시생활 연료 제공 및 산업용재로의 이용

을 목적으로 과도한 도ㆍ남벌이 발생하면서, 산지의 황폐화가 진행되었으나, 치산녹화 사업시행기를 거치면서 대부분 녹화되면서 지표침식 및 토사유출의 위험성은 감소하였다.

그러나, 최근의 지구환경변화로 인해 국지적으로 발생되는 국지성 폭우로 인해 아직 충분한 식생생육 여건이 조성되지 않은 사방조림지 및 산지급류 소하천에서 새로이 토사나 유목이 발생하여 소하천의 경사변환점, 확폭부, 도로의 컬버트, 농경지수로에 퇴적하여, 강우유출수의 흐름을 방해함으로서 인명과 재산에 막대한 피해를 발생시키고 있다.

이 연구에서는 유목의 체유특성, 수종별 유목발생빈도, 유목에 의한 피해형태 등을 파악하여 사방 계획 수립시 유목의 발생, 이동 및 체유에 영향을 미치는 하도 특성과 유목 자체의 특성을 고려한 유목 대책 마련이 가능하도록하며, 단순한 유목막이 도입이 아닌 적절한 유목보족공의 선정을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

또한, 상류지역에 대규모 토공이 발생된 도시하천을 대상으로 하천 미지형과 토사이동 및 퇴적간의 특성을 파악하여 하천 미지형별 토사이동 억제시설물 설치공법을 제시하고자 한다.

3. 연구내용 및 체제(연차별 및 종합적 연구체제 요약)

도시배후 공간으로서 도시사회의 환경 및 휴양기능을 제공하는 도시유역림의 수자원 관리 및 훼손지 방지를 위한 관리대책의 제시는 특성상 장기적 연구과제라 할 수 있으며, 이에 따른 연구계획은 각 연구 소과제의 성과물들이 다음 연구계획의 수립과 진행에 기초자료로 사용될 수 있으므로 체계적인 연구계획의 수립이 필요하다.

이 연구에서는 “도시유역림의 수자원 관리실태 문제점 파악을 파악하기

위해 제 1차년도에는 도시유역림과 유사한 입지환경을 지닌 산림을 모델림으로 선정하고 각 모델림의 지황, 임황 및 입지환경적 상태를 파악하고, 연구과제 중 장기적 Monitoring이 필요한 연구를 시작한다. 2차년도에는 1차년도의 연구결과를 바탕으로 1차년도 실험 및 분석 내용중 미비점을 보완하고, 3차년도에는 1,2차년도에서 얻은 연구결과를 바탕으로 각 연구결과의 일반적 특성을 추출하며, 4차년도에는 현지실험 및 적용자료를 근거로하여 각 연구목적별 연구내용의 합리성 및 타당성을 평가하여 연구결과에 대한 종합적 보고서를 작성한다. (표 3-1)은 각 연도별 연구체제이다.

<표3-1> 도시유역림의 수자원 관리 및 훼손지 방지를 위한 관리 대책

구분	연구개발 목표	연구개발내용 및 범위
1차년도 (1996)	도시유역림의 모델지역 선정 및 기초조사	강원대학교 산림과학대학 부속연습림을 모델림으로 선정, 강우-유출수를 채수할 수 있는 장비를 설치, 임도개설지를 중심으로 한 식생침입정도 조사 plot 설치, 피복자재 개발시험을 위한 시험구 설치
2차년도 (1997)	도시유역림의 수자원 관리실태 문제점 파악 및 개선방향제시	도시유역림으로부터 유출되는 강우-유출수의 수질분석, 산림이수기능 파악, 임도개설 및 미개설지의 계류수의 수질분석
3차년도 (1998)	도시유역림의 훼손지 방지책을 위한 문제점 파악과 공법개발	도시유역림의 훼손지 특성 파악을 위한 도시하천에 대한 하천측량, 임도개설지의 식생침입 상황조사, 피복자재 기능평가, 산지급류소하천의 유목발생 현황파악 및 문제점 분석
4차년도 (1999)	도시유역림의 수자원 보전 및 관리기법 제시를 위한 평가	임종배비에 따른 도시유역림의 강우-유출수의 수질분석 합리적 임도개설을 위한 노선선정, 비탈면 처리 기법제시 도시유역 하천의 하상변동과 유목발생 상황파악 및 해결책 제시

제2절 연구방법(재료 및 방법)

1. 연구내용

가. 임종배비와 임도시공법 제안을 위한 모델림의 선정

도시사회의 환경 및 휴양에 직·간접적으로 관련을 맺고 있는 도시유역림에서 발생되는 공통적인 현상으로서는 도시의 팽창 및 과밀화로 대규모 지형개변, 위락 및 휴양 기능을 부여하기 위한 소규모 지형개변과 산화 및 대기환경 변화로 인한 산림쇠퇴 등이 주로 발생되고 있어, 이 연구에서는 이와 같은 사례가 발견되고 있는 도시유역림을 모델림으로 선정하여 연구를 진행하였다.

도시유역림의 수자원 관리를 위한 합리적 임종배비법 제안과 도시유역림의 환경 보전 및 유역관리를 고려한 임도시공법을 제안하기 위한 조사 ·실험 및 분석 대상으로 강원대학교 산림과학대학 부속연습림을 선정하였다.

부속 연습림의 산림 면적은 3,058ha로 8개임반 141개 소반으로 구성되어 있으며, 인공림 696ha(23%), 천연림 2,329ha(76%) 및 제지 33ha(1%)이다. 총임목축적은 434,861㎥으로 ha당 축적은 142㎥(천연림 151㎥, 인공림 118㎥)에 이른다.

부속 연습림의 임상별 면적은 소나무 및 리기다소나무림 1%, 활엽수림 76%, 잣나무림 17%, 일본잎갈나무 5%, 제지 1%로 구성되어 있으며, 벌채는 최근에는 거의 이루어지지 않고 있으나 1985년에는 1,041㎥로 ha당 벌채량은 0.3㎥였으며, 앞으로 점차적으로 벌채량을 증대시킬 예정이다. 한편 연습림의 제1차 경영계획(실행기간 1965-1974)은 기조림지의 무육작업을 목적으로 1964년 편성되었다. 그후 5년마다 영림계획을 편성, 계획적 시업을

시도하고 있으며, 현재는 5차 영림계획(1990-1999)에 기초를 두고 시업을 이행하고 있다. 또한 휴양 시설은 2임반을 중심으로 산림욕장을 개설하여 제한적 개방에 의한 연습림의 사회봉사기능을 높이고 있다.

임도시공 상태의 분석과 친환경적 임도시공법을 제시하기 위한 연구대상인 임도 시설은 1995년 현재 11.792㎞(봉명→북방노선)로 임도밀도는 3.86m／ha이나 2000년까지 임도총연장 24㎞, 임도밀도 7.85m／ha를 목표로 연차적으로 임도를 배치할 계획이다. 특히 1996년부터 착동된 구절산에서 원창노선은 1998년 완공되었고, 방재시설의 배치 상황으로는 임도개설지에는 임도 비탈면을 중심으로 부분적인 식생공(성토면; 종자 파종, 절토면; 초류종자살포)이 시공되어 있으나 나지의 상태로 방치되는 곳이 많으며, 구조물공으로 암거, 관보호공, 옹벽, BOX부설 및 콘크리트 포장이 부분적으로 시공되어 있으나 절대적으로 부족한 실정이다. 또한 임도 비탈면에서 생산된 토사가 하류역으로 유출되는 것을 방지하기 위하여 강원도의 지원으로 1억 2천 6백만원의 예산을 들여 저수저사겸용댐(1995년 4월 9일 착공, 동년 6월 9일)을 시공되어 있다(상부댐 길이 60m, 하부댐 길이 44m, 천체 높이 6m, 유효 높이 4m, 총저사량 8,288㎥; 토사조절량 6,257㎥, 저수량 1,758㎥).

지형개변 상황을 조사하기 위해 임도 개설지와 산지 계류를 중심으로 수목년대학적 방법에 의해서 지표변동을 조사하였으며, 이후의 공법 개발 및 현지 적용 효과를 파악하기 위해 580여개소의 고정 플롯을 설정하였다.

부속 연습림의 수계는 중 ·소규모의 산지급류하천인 원창천, 봉명천, 성동천 및 북방천으로 구성되어 있으며, 주로 홍천강으로 유입되고 있다. 하천의 규모는 북방천의 10㎞를 제외하면 3 4㎞로 소규모이며, 하도 폭은 원창천 30 70m, 굴지천 20 50m, 성동천 20 50m, 북방천 25 75m이다.

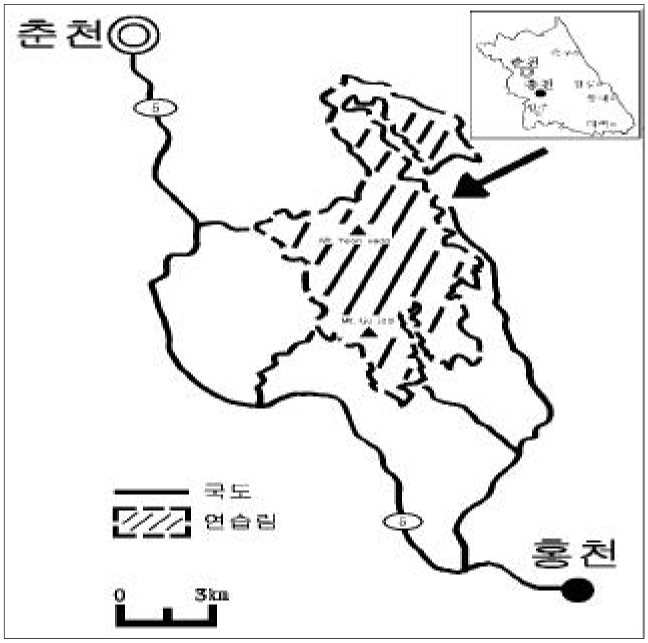
도시유역림으로부터 유출되는 유출수의 수질유지 및 개선을 위한 합리적인 임종배비법을 제안하기 위해, 부속연습림의 2임반의 나,마 소반과 5임반

의 파소반에 생육하고 있는 소나무, 일본잎갈나무, 굴참나무, 신갈나무, 잣나무 5개 수종을 대상으로 2본씩을 공시목으로 선정하여 수간류, 수관류 및 계류수를 채수분석하였다.

임도시공지의 문제점 파악과 공법개발을 위한 조사·실험을 위해 부속연습림내 5임반에 위치한 임도 개설유역의 산지급류소하천으로 행정구역상 강원도 홍천군 북방면 북방1리 산61-1에 위치하며, 수원발생원으로 부터 약 2.1km를 남동진한 후 북방천에 유입되고 있다. 이 구간에는 1994년 11월부터 1995년 10월까지 약 12개월에 걸쳐 4억 2천만원의 예산으로 개설된 7.333km 임도중 1.1km(A 유역: 1.058km, B 유역: 0.042km)가 통과하고 있으며, 채수장소는 이 산지급류소하천과 북방천이 합류하는 지점에서 약 0.9km의 상류지점으로 본류와 2개의 지류가 합류하고 있다.

임도개설지의 임황은 대부분 굴참나무가 주종을 이루는 천연림 지역이나, 상·하류의 일부 지역에는 잣나무, 일본잎갈나무 인공림이 조성되어 있다. 또한 삼림지대의 물 순환에 관계하는 인자중에서 유출과정에 직·간접적으로 관여하는 지형요인을 1/25,000 지형도와 현지답사 결과를 참고로 해석하면, 조사대상 유역의 총유로 연장은 A 유역이 1.5km, B 유역이 0.86km 및 C 유역이 0.7km였으며, 고도는 260 680m에 달한다. 또한 유역면적은 A 유역 120ha, B 유역 18.1ha 및 C 유역 8.1ha로 유역간의 차이가 있다.

또한 도시유역림에서 산지유역림을 대상으로 휴양기능을 부여하기 위해 소규모 토공이 발생되는 것에 착안하여, 임도비탈면의 식생침입과 비탈면 안정화를 위한 피복자재 도입효과를 파악하기 위해 3개 지역에서 연구를 진행하였다. 조사지Ⅰ은 행정구역상 강원도 춘천시 동산면 봉명리에 소재하고 있는 강원대학교 산림과학대학 부속 연습림의 연엽 및 구절 임도에 설치되어 있으며, 조사지Ⅱ는 행정구역상 강원도 춘천시 효자2동 192-1번지에 소재하는 강원대학교 산림과학대학 산림대 2호관의 비탈면에 위치하고 있다



<그림 3-1> 강원대학교 연습림 위치도

조사지Ⅰ은 임도 비탈면의 식생 천이과정을 파악하기 위해 1992년 11월에 착공하여, 1993년 12월에 완공된 연엽임도 중 임산물 가공공장에서 새목현에 이르는 3.68km 구간의 절·성토 비탈면에 100m 간격으로 「폭 2m의 절·성토 비탈면 길이」의 조사 방형구를 각각 36개 설치하였다. 표2는 조사지 Ⅰ,Ⅱ의 실험지 개황자료이다. 조사지Ⅱ는 피복자재(그림3-2)가 유출수의 유량과 수질, 토사유출 및 식생 등에 미치는 영향을 파악하기 위해 2개의 시험구가 하나의 대조구가 되도록 8개의 시험구를 조성하였다.

<표3-2> **사면의 식생침입 및 피복자재 개발연구를 위한 실험지 개황**

조사항목 조사지역		토양경도 (kg/㎠)	평균 면적 (㎡)	평균 물매 (°)	모 암	지 질
조사지 I	절토	--	12.0	47	화강암	--
	성토	--	16.0	38		--
조사지 II		0.8	3.0	31		마사토

도입식생(**표**3-3)**은 조사지** 2**에 파종한 동일종자에 목본** 5**종류**, **초본** 1**종류를 추가하여 파종하였다**. **시험구 주위의 식생은 소나무림이 주변에 위치하고 있으며**, **조경수인 회양목 및 함박꽃나무 등이 식재되어 있고**, **오동나무**, **아카시아나무 및 버드나무 등이 자연침입하여 생육하고 있다**.

< **그림** 3-2 > **피복자재**(Multi Function Filter : M.F.F)**의 구조**

<표 3-3> 피복자재 개발시험을 위한 파종 초종

시험구	종 자 명	종 자 수
1	나 지	- -
2	나지에 피복자재만 시工	- -
3	*Indigofera pseudo-tinctorica* 낭아초 *Iris nertschinskia* 붓꽃 *Pulsatilla koreana* 할미꽃 *Lespedeza cuneata* 비수리	낭아초, 붓꽃, 할미꽃, 비수리 (各各 500粒)
4	낭아초, 붓꽃, 할미꽃, 비수리 + 피복자재	〃
5	*Rhododendron schlippenbachii* 철쭉꽃 *Lespedeza cyrtobotrya* 참싸리	철쭉꽃, 참싸리 (各各 500粒)
6	철쭉꽃, 참싸리 + 피복자재	〃
7	*Aster scaber* 참취 *Iris nertschinskia* 붓꽃 *Pulsatilla koreana* 할미꽃 *Capesella bursa-pastoris* 냉이 *Indigofera pseudo-tinctorica* 낭아초 *Lespedeza cuneata* 비수리 *Rhododendron schlippenbachii* 철쭉꽃 *Lespedeza cyrtobotrya* 참싸리 *Spiraea trichocarpa* 갈기조팝나무 *Spiraea blumei* 산조팝나무 *Lindera obtusiloba* 생강나무 *Aquilegia buergeriana* var. *oxysepala* 매발톱꽃 *Staphylea bumalda* 고추나무	참취, 붓꽃, 할미꽃, 냉이, 낭아초, 비수리, 철쭉꽃, 참싸리 (各各 500粒) 갈기조팝나무, 산조팝나무, 생강나무 (各各 100粒) 매발톱꽃 (250粒), 고추나무 (90粒)
8	참취, 붓꽃, 할미꽃, 냉이, 낭아초, 비수리, 철쭉꽃, 참싸리, 갈기조팝나무, 산조팝나무, 생강나무, 매발톱꽃, 고추나무 ＋피복자재	〃

나. 도시유역림의 훼손지 방지책 개발 및 문제점 파악을 위한 조사 · 실험을 모델하천 유역의 선정.

하천유역 산지에서 발원한 계류가 대규모 토공이 발생된 도시를 관통하는 하천으로 유입되면서, 산지사면의 토공지로부터 다량의 토사를 이동시켜 도시하천의 하상변동을 발생시키는 현상을 규명하고자 강원도 춘천시 석사동에 위치한 공지천의 2차류인 태백천을 연구대상 하천 및 유역으로 선정하였다. 태백천은 대룡산(899m) 서쪽 사면 일대의 산록완사면과 배후 급사면을 포함하는 도시하천으로서 하천지형은 산지완사면의 상단부에서는 소규모 계류로 형성되어 있으나 하단부로 갈수록 하폭이 확대되어 평탄한 저위단구면에 형성된 저지대를 중심으로 하도가 발달되어 있고, 하천장은 비교적 짧으며, 좌우안에는 농경지가 조성되어 있다. 특히 태백천은 이전부터 지속적으로 하상정비가 이루어져 하상이 안정되어 있었으나 1992년 시작된 중앙고속도로의 개설로 인해 불안정한 도로비탈면을 중심으로 여름철 강우시 토사가 유출되고 있다. 한편조사지점으로부터 상류 3km의 지역은 사면물매가 급하며, 중앙고속도로는 해발고 150m-250m 구간을 통과하고 있다. 평균하상물매는 약 1.3%이고, 지질은 하천 주변부와 하상면이 각각 흑운모 화강암과 충적층이다.

또한 도시유역림 중, 지형개변, 산사태, 계간침식 및 산화등으로 인해 계안에 위치한 산림이 쇠퇴하거나 고사할 때 발생되는 유목의 특성을 조사하고자 강원도 화천군 상서면 다목리에 위치하는 산지급류 소하천을 조사대상하천으로 선정하였다. 이 하천은 화천군 일대를 유하하는 북한강의 支流인 봉오천의 3차류로 행정구역상으로는 이 산지급류소하천은 1996년도 집중호우에 의한 토사유출로 막대한 재산과 인명 피해를 발생시킨 화천군 사내면 명월리와 화천군 상서면 다목리의 경계인 실내고개(788.5m)를 수원발생원으

로 하여 약27㎞를 남동진하면서 화천군 화천면 상리에서 마현천과 합류한 후 화천교 부근에서 북한강에 유입한다. 조사대상 구간은 주유로장 1.14㎞, 유역 면적 41.25ha로 평균 하상종단물매 13°17′, 하도폭 8.8 49.6m, 총기복량 277m, 평균 유로폭 2.0m이며, 양안에는 중·소규모의 하안붕괴지가 다수 분포하고 있다. 특히 하류부의 하천부지에 일반국도 21호선이 개설된 것과 유역면적에 비해 도로를 횡단하는 컬버트의 규모(길이 3m×높이 2m×2개)가 너무 작아 이번의 집중호우에 의해 유목이 발생하자 곧 매몰되어 유수가 월류하므로서 도로가 유로화하여 도로유실 및 도로주변부의 가옥피해가 심하게 발생하였다.

2. 연구방법

가. 도시유역림의 수자원관리를 위한 합리적인 임종배비법 제시를 위한 연구방법

도시에서는 강우-차단-침투-투수-유출의 수순환 과정 중 차단-침투-투수 현상의 기여도가 매우 낮아 강우-유출의 단순관계로 연결되나, 도시배후에 위치한 도시유역림의 경우 산림의 영향으로 정상적인 수순환과정을 보이고 있다. 특히 산림에 의한 차단-침투-투수의 기능 중 차단은 초기강우시 도시에서 발생된 오염물이 가스상이나 입자상의 형태로 대기중에 체유하다가 강우시 습성인 산성강하물로서 산림에 낙하함으로 도시유역에 위치한 산림식생 및 토양을 산성화함으로서 산림식생의 활력을 저하시키고 나아가 산림쇠퇴를 발생시키고 있다. 최근 자연과학분야의 여러 연구자들을 도시유역림에서 발생되는 이러한 산성강하물의 산림식생에 대한 영향력을 파악하고자 다양한 입지조건을 갖는 산림을 대상으로 연구를 진행하고 있다.

이 연구에서는 이러한 시각에서의 연구와는 달리, 산림이 산성강하물에 대해 미치는 영향을 파악하여 합리적인 수자원 이용을 위한 임종배비법을 제안하기 위해, 모델림을 선정하고 모델림으로부터 유출되는 유출수의 양적・질적 특성을 파악하고자 하였다.

모델림은 강원대학교 산림과학대학 부속연습림 2, 5임반의 산림으로서 대표적 수종인 소나무, 일본잎갈나무, 잣나무, 신갈나무, 굴참나무 5개수종에 대해 각 2본을 실험목 선정하여 강우 및 유출수 채수장비를 설치하였다. 수간류 채수를 위한 장치는 합성 고무판에 날카로운 각도로 물이 배수될 수 있는 notch를 만들고, 수목의 흉고부위에 말아 접착 후 그 표면 위에 collar을 덧붙여 수간으로부터 모여드는 물을 일시적으로 저장하도록 장치를 하였다. 또한 임시 저장 된 물의 손실을 막기 위해 접착부분을 silicon glass로 밀봉하였다. 수간류량의 측정을 위해, 20 *l* 짜리 폴리에틸렌 통을 세라믹 호수를 이용하여 설치하였으며, 후에 화학성 분석을 위한 sample을 채취하기 위해 1 *l* 짜리 폴리에틸렌 통을 중간에 설치하여 수간류가 수간류 저장통에 흘러들어올 때 자연적으로 희석되어지게 하였다. 수관 통과우는 직경 22 cm의 깔대기를 통하여 20 *l* 폴리에틸렌 통으로 수집되었으며 수관의 아래 부분의 적정 장소에 거치 되었다 강우의 측정은 접지전극 자동우량계에 의하여 이루어졌으며, 기록계의 정확도의 차이를 보완하기 위하여 인근의 춘천측후소의 자료와 비교되어졌다. 평균강우강도의 인자는 전체강우량을 강우지속시간으로 나누어 산정하였다. 위에서 언급된 항목들에 대한 측정은 1996년 4월 13일부터 시행되었으며, 근본적으로 야외 측정과 시료의 채취(화학성 분석)는 강우가 끝난 직후에 하는 것으로 하였으며, 강우량이 측정하기에 너무 적었거나, 연속 된 강우로 구분이 명확하지 않았을 때는 측정이 이루어지지 않았다

채수된 수간류 및 계류수의 양이온 분석에는 원자흡광분석기를 이용하여

원자흡광광도를 측정하였으며, 음이온 분석에는 waters 484-pic 291을 이용한 이온크로마토 그래피법으로 측정하였다. 유출량을 계측하기 위해서는 삼림이수시험법을 적용하였고, 수질은 현지조사시에 pH, EC를, 실내실험에서는 수질의 일반적인 조사항목과 수목의 생육에 영향을 미치는 양분 중에서 중복되는 Na^{+}, Mg^{2+}, K^{+}, Ca^{+}, Cl^{-} NO^{-}_{3}-N, SO_{4}^{2-}를 측정하였다.

나. 도시유역림의 환경보전 및 유역관리를 고려한 임도시공법 제시를 위한 연구방법

도시의 확장과 토지이용의 고도화로 인해 도시환경과 직·간접적으로 인과관계가 있는 도시유역림은 환경보전 및 휴양 기능을 제공할 수 있는 공간으로서 부각됨에 따라 다양한 개발행위의 대상이 되고 있다. 도시유역림의 주요 관리기관인 국가기관 및 지방자치단체에서는 최소한의 개발행위로 도시유역림을 보전하려고 노력하고 있으나, 실제 도시유역림에서 발생된 개발행위가 계류수 및 산지에 미치는 영향평가 연구는 미진한 실정이다.

이 연구에서는 산지에서 진행되는 각종 개발행위 중 임도사업이 토사유출 및 산지급류하천 수질에 미치는 영향과 비탈면 안정이 주변환경에 미치는 영향을 파악하기 위한 연구의 일환으로, 여름철의 집중호우에 의해 증가하는 부유토사 및 양분의 양·질적 변화과정을 조사, 분석하여 현재의 임도사업에 따른 문제점을 파악함으로서 합리적인 임도시공법을 개발하고자 하였다.

임도개설에 따른 수질변화를 파악하기 위해서, 강우는 임도개설 후의 일강우량이 상이한 총 28회의 자료를 해석하였다. 강우량 측정은 강원대학교 산림과학대학 부속연습림내 봉명서원의 나지에 설치된 직경 20㎝ ×높이 60㎝의 원통형 자기우량계의 연중 측정결과를 시간단위별로 계산한 후, 해석

방법에 따라 일강우량과 시우량으로 구분하여 사용하였고, 유출량은 부속연습림내 2임반 가소반 계류에 자기수위계를 설치한 후, 연중 수위변화를 측정하였다. 또한 통수단면적과 Manning식을 이용하여 평균유속을 구한 후, 유출량을 산정하였다(菅原正巳, 1972).

채수는 강우개시부터 종료까지는 2～3시간을, 강우종료 후는 3～4시간을 각각 기본간격으로 육안으로 관찰하여 계류수의 탁도가 강우이전의 상태로 회복되는 시각까지 채수하였다. 채수량은 200㎖로 하였으며, 채수후 즉시 아이스박스에 보관한 후 실험실로 운반하여 측정할 때까지 일정 온도를 유지시켰다. 또한 임도밀도에 따른 농도차이를 파악하기 위해 임도밀도가 상이한 3개소(유역 A: 8.82m／㏊, B: 2.32m／㏊ 및 C: 미개설)에서 동시에 측정, 채수하였다.

현지조사시에 pH, EC(Electronic Conductivity)를 측정하였으며, 실내실험에서는 수질의 일반적인 조사항목과 수목의 生育에 영향을 미치는 양분중에서 중복되는 Na^{+}, Mg^{2+}, K^{+}, Ca^{2+}, Cl^{-}, NO_3^{-}-N 및 SO_4^{2-} 등을 정량화하였다.

또한 양이온 분석은 원자흡광분석기를 이용하여 원자흡광광도를 측정하였고, 음이온의 분석에는 Waters 484-pic 291을 이용한 이온크로마토 그라피법으로 측정하였다.

최근 산지에 개설된 임도는 토사유출로 인한 자연재해는 물론, 심미적으로도 부정적 이미지를 낳기 때문에 민원사항의 주요 원인이 되고 있다. 이 연구에서는 임도 비탈면으로부터 유출되는 토사량을 저감하고 조기에 임도비탈면을 안정화하기 위해 임도 비탈면 처리 공법 및 자재의 개발이 필수적이라 생각하여, 임도비탈면의 식생침입을 시계열적으로 해석하고, 피복자재를 이용한 임도비탈면 처리공법 개발 및 피복재료의 개발을 목표로 연구를 진행하였다. 각 조사지에 있어 식생의 천이과정과 피복자재가 식생생육 및 비탈면의 물리적 안정에 미치는 영향을 파악하기 위해 실시한 조사항목과

실내·외 실험 및 조사 방법은 다음과 같다(표 3-4)

<표 3-4> 식생침입 및 피복자재 시험을 위한 조사항목

조사지역 / 조사항목	조사지 Ⅰ	조사지 Ⅲ
종 수	●	●
개 체 수	●	●
피 복 율	●	●
우 점 종	●	●
파종종子의 발아율		●
강 우 양		●
유 출 수 양		●
부 유 물 질 농 도		●
유 출 토 사 양		●

식생 침입률 조사는 조사 대상지를 상, 중, 하로 구분하여 종수 및 개체수, 파종종자의 발아율, 피복율 및 우점종 등을 상세하게 조사하였다. 조사시기는 식물의 성장이 가장 왕성한 9 10월 중에 현지기입방법을 사용하여 조사하였으며, 분류체계는 이창복(1979)의 대한식물도감에 준하였다.

임도개설로 인해 발생된 지형개변지의 사면안정화 기술개발을 위한 기초연구는 임도비탈면의 식생침입 상황을 파악하고, 다양한 피복자재의 피복시험을 통해, 피복자재의 효과를 분석하고자, 피복자재 설치구 및 미설치구를 비탈면에 각각 설치하고, 강우시 유출되는 토사량을 zipper pack과 집수통을 이용하여 채토하였고, 유출수에 포함된 부유물질을 측정하기 위해 유리섬유여과지를 사용하였다. 각각의 실험방법을 구체적으로 살펴보면 유출토사량의 경우, 각 시험구에 있어서 1차 집수통에 유출되어 있는 토사를 Zipper pack을 이용하여 채취하고, 실험실내에서 1 2일간 기건시킨 다음 85℃의

건조기에서 3시간 건조시켜 수분을 완전히 제거한 후 무게를 측정하여 산정하였다. 유출수량의 경우, 각 조사구의 취수구에서 집수된 유출수를 유출량에 따라 1차 집수통(49ℓ)과 2차 집수통(350ℓ)에 집수되도록 하였다. 유출수량은 플라스틱 비이커(1ℓ)를 사용하여 측정하였고, 플라스틱 용기(215㎖)를 이용하여 시료를 채취한 후, 실내실험의 시료로 사용하였다. 부유물질의 측정은 유리섬유여과지(GF/C)를 증류수로 세척한 다음 60 65℃의 건조기 안에서 2시간동안 건조한 후, Desiccator에서 30분간 안정시키고 여과지의 무게를 정밀하게 측정하였다. 이어서 무게를 측정한 여과지를 Vacuum Filter Assembly를 사용하여 50㎖의 시료를 여과시키고 다시 60 65℃의 건조기 안에서 2시간 건조한 다음 Desiccator에서 30분간 안정시킨 후 여과지의 무게를 측정하여 여과전·후의 유리섬유여지의 무게 차로 부유물질농도를 산정하였다.

강우량은 강원대학교 산림과학대학 2호관의 나지에 설치한 자기우량계의 측정결과를 참조하여 일강우량을 산정하였으며, 춘천시 기상대의 강우자료를 참고자료로 활용하였다.

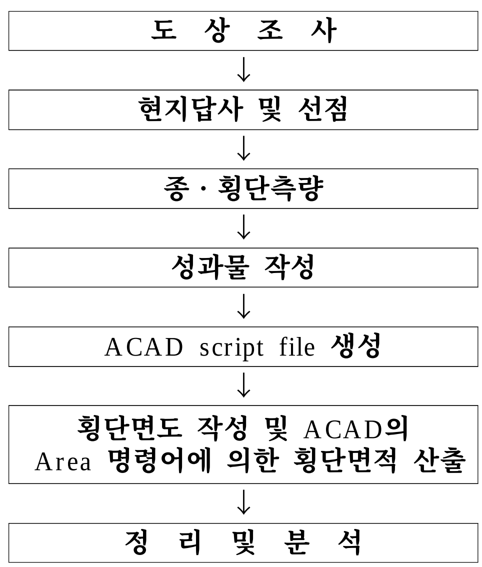
다. 수자원 확보 및 훼손지 방지를 위한 공법 개발

도시하천의 하상미지형 변화특성을 파악하고자 1993년 6월 부터 1996년 6월까지 총 5회에 걸쳐 실시한 정점측량 결과를 기초로 하상미지형 변화의 시계열적 분석을 시도하였다. 즉 총 20개 측점을 태백교 부근의 하천 분류점으로부터 50m를 기본간격으로 설치하고, 우기 전·후를 기준으로 하천측량을 실시하였다. 현지 측량의 주요 조사항목은 유로방향, 하도의 편의상태, 하폭, 하상의 평면형상, 하천 주변부의 토지이용현황, 하도내 사방구조물 배치상태, 하상내의 식생현황 등이다. 특히 하도의 종합적 특성을 파악하기 위

해 하천의 종·횡단을 조사하였으며, 현장 스케치와 현장사진을 보조자료로 활용하였다(그림 3-3).

또한 구체적인 분석항목으로는 각 측점별 횡단형상 변화에 따른 퇴적고 및 세굴심 파악, 유로변동에 기초한 편의도를 파악하였고, 각 구간별로는 하상미지형 변동량을 파악하기 위해 1993년 6월의 하상면을 기준으로 양단면 평균법을 이용하여 구간별 하상변동량을 산출하였다.

외업인 하천측량과 내업을 통하여 하상변동량을 산출하고 각 하천 미지형과 하상변동 발생과의 관계에 따라 사방구조물의 배치가 합리적으로 이루어질 수 있는 공법을 제시하고자 하였다.



<그림 3-3> 도시하천의 하상변동 연구를 위한 흐름도

또한 도시유역림 중, 지형개변, 산사태, 계간침식, 산화 및 벌목 등으로 인해 계안에 위치한 산림이 쇠퇴하거나 고사할 때 발생되는 유목의 특성을 조사하고자 강원도 화천군 상서면 다목리에 위치하는 산지급류 소하천을 조사대상하천으로 선정하고, 유목의 발생 및 체유특성, 피해정도를 조사하였다. 현지조사는 우선 집중호우가 발생한 직후인 1996년 7월 31일에 화천군 일대를 현지 답사하여 사진 촬영을 실시하였고, 응급 복구가 끝난 10월 4일, 18일, 23일과 26일에 하상미지형 및 유목에 대한 상세 조사를 실시하였다.

하상미지형은 하상변동에 따른 유목 이동을 지속적으로 파악하기 위해 하도의 종·횡단면도 및 평면도를 작성하였을 뿐 아니라 이를 정량화하기 위해 정점 측량을 실시하였다. 또한 유목 조사는 현지에서 직접 측정하였으며, 각 구간마다 사진 촬영 및 현장 스케치를 실시하여 판독 자료로 사용하였다. 조사 대상 유목은 도로 파괴, 천연 댐 형성 및 각종 하상재료의 이동에 직·간접적으로 관여하는 규모인 직경 10㎝이상, 길이 2m이상을 대상으로 하였으며, 구체적인 조사 항목은 유목의 길이, 흉고직경 또는 평균 직경, 유목의 체유 방향과 체유 장소, 유목 형태, 부후도 및 유목의 종류 등이다.

제3절 결과 및 고찰

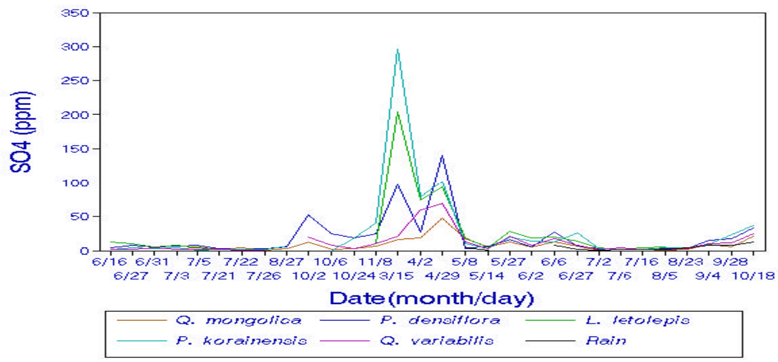
1. 도시유역림의 수자원관리를 위한 합리적 임종배비법 제안

도시 유역림의 수자원 관리를 위한 합리적인 임종배비법을 제안하기 위해 모델유역내에 분포하고 있는 주요 수종(Larix leptolepis, Quercus mongolica, Quercus variabilis, Pinus koraiensis, Pinus densiflora)의 수간류를 채취, 분석하였다. 즉 5수종 10개목을 대상으로 1996년의 수간류가 발생한 6월 16일, 27일, 30일, 7월 3일, 15일, 20일, 22일, 26일, 8월 27일, 10월 2일, 6일, 24일 8일의 14회와 1997년의 3월 15일, 4월 2일, 29일, 5월 8일, 14일, 27일, 6월 2일, 6일, 27일, 7월 2일, 6일, 16일, 8월 5일, 23일, 9월 4일, 28일등 16회, 총 30회의 강우와 임외우, 임내우 및 수간류를 채취하여 pH, Cond., TDS, Na, Ca, K, Cl, NO_3-N, PO_4 및 SO_4 등을 분석하였다.

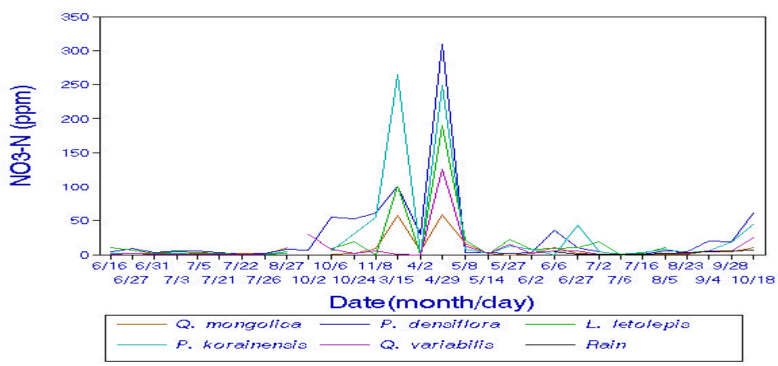
분석결과, 계절별로 측정치가 상이하게 나타났으며, 전강우와의 간격에 크게 영향받고 있는 것이 확인되었다. 즉 전체적으로는 약한 산성우(pH 4.58 6.50, 평균: 5.36)가 내리고 있었으며, 수간류의 pH 변화는 침엽수인 소나무, 잣나무 및 일본잎갈나무가 활엽수의 굴참나무, 신갈나무보다 낮게 나타났다. 즉 소나무의 pH 범위는 3.13 4.84(평균: 4.17), 잣나무의 pH 범위는 3.20 5.92(평균: 4.22), 일본잎갈나무의 pH 범위는 3.18 6.73(평균: 4.24), 굴참나무의 pH 범위는 3.40 6.50(평균: 4.50), 신갈나무의 pH 범위는 3.78 5.85(평균: 4.91)였다

산림에 대한 인위적 영향의 지표가 되는 강우 및 수간류의 SO_4(그림 3-4) 및 NO_3-N(그림 3-5) 변화 파악에 있어서는 수간류의 SO_4 및 NO_3-N는 pH(그림 3-6)와는 반대로 침엽수인 소나무, 잣나무 및 일본잎갈나무가 활엽수의 굴참나무, 신갈나무보다 낮게 나타났으며, 계절별 또는 전강우와의 간

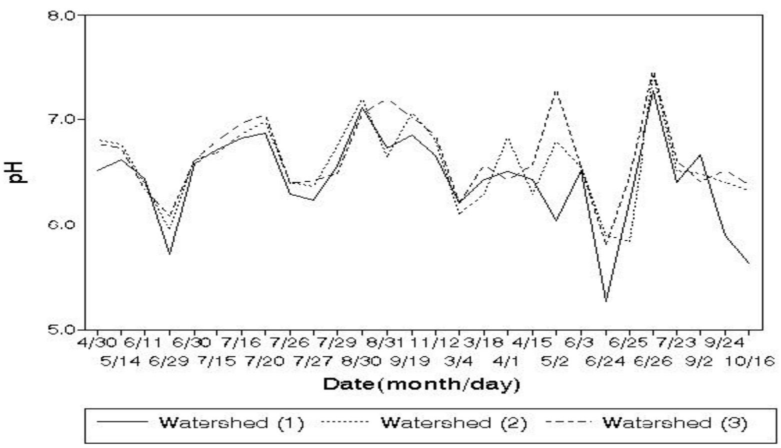
격에 크게 영향받는 것으로 확인되었다.



<그림 3-4> 수간류의 SO_4의 변화



<그림 3-5> 수간류의 NO_3-N 변화



<그림 3-6> 계류수의 pH 변화

한편 수간류의 EC는 침엽수인 소나무, 잣나무 및 일본잎갈나무가 활엽수의 굴참나무, 신갈나무보다 높게 나타나 잣나무(20.1 800.0㎲, 평균: 182.3㎲) 〉 일본잎갈나무(21.2 773.0㎲, 평균: 168.2㎲) 〉 소나무(18.7 850.0㎲, 평균: 153.1㎲) 〉 굴참나무(19.4 581.0㎲, 평균: 83.7㎲) 〉 신갈나무(7.73 371.0㎲, 평균: 67.4㎲)였다. 여기서 EC는 이온의 총량을 나타내는 지표로 측정목 중 잣나무의 수피에서 발생되는 용탈성분이 가장 크게 나타났으며, 침엽수종이 활엽수종보다 수피의 용탈성분이 많게 나타났다. 특히 산성우의 정화 기능의 판단지표의 하나인 pH 농도의 경우에는 침엽수와 활엽수의 차이가 명확히 나타났다.

이상과 같이 산지의 강우, 수간류 및 계류수에 대한 pH값의 년간 추이가 조사되어 산성우의 정화기능이 파악되었으므로 앞으로의 수원함양림의 조성과 수질정화기능을 고려한 도시 유역림의 임종배비를 위한 자료로 사용될 것이다.

2. 도시유역림의 환경보전 및 유역관리를 고려한 임도시공법의 제안

가. 임도개설 유역 계류수의 강우별 EC 및 이온농도

각 강우별 EC와 이온농도의 평균값은 (표 3-5)와 같다. EC는 삼림내에 존재하고 있는 양분이 산지급류소하천으로 유출되는 정도를 나타내는 것으로 양분의 소실을 파악하는데 매우 중요한 항목이다.

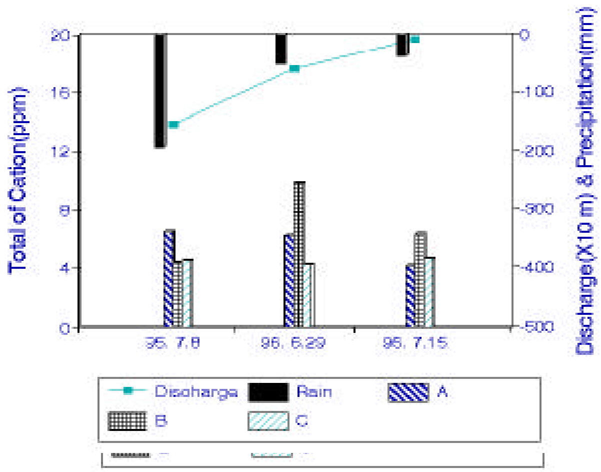
<표 3-5> 강우기간 동안의 강우당 EC 와 이온농도

날짜	유역	강우량(mm)	EC(μs)	양이온(ppm)				음이온(ppm)		
				Na^{+}	Mg^{2+}	Ca^{2+}	K^{+}	Cl^{-}	NO_3-N	SO_4^{2-}
‘95. 7. 8	A	192.0	45.35	4.33	0.69	0.55	0.88	1.65	3.60	6.46
	B		46.63	2.27	0.61	0.57	0.92	0.83	1.25	4.15
	C		41.50	2.23	0.83	0.48	1.01	0.76	4.15	4.00
‘96. 6. 29	A	51.0	37.71	3.14	0.85	0.41	1.87	1.58	7.18	4.70
	B		27.44	1.03	1.05	0.59	2.16	1.88	6.46	7.00
	C		28.88	1.99	0.66	0.49	1.28	1.47	8.17	4.12
‘96. 7. 15	A	36.5	47.74	2.11	0.59	0.32	1.11	1.15	3.51	5.02
	B		45.41	3.57	0.59	0.23	1.93	1.28	2.11	5.34
	C		41.79	1.62	0.54	0.40	2.09	1.33	3.30	3.60

(표 3-5)에서 알 수 있듯이 EC는 강우량에 따라 크게 변화하지 않았으나 대체로 전강우와의 간격이 비교적 긴 경우에 높게 나타났다.

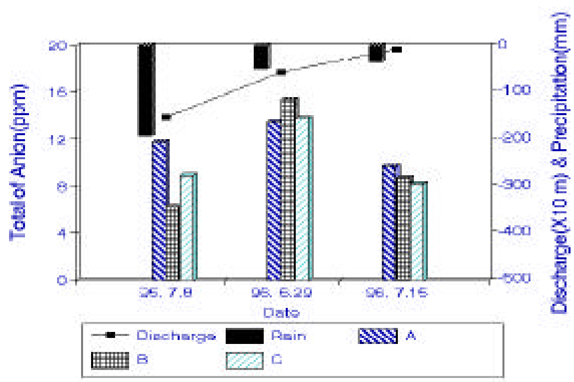
이온성분별 농도변화는 음이온이 양이온보다 평균 약 2배이상 유출되었으며, 특히 1996년 6월 29일 SO_4^{2-}(7.00ppm)가 Ca^{2+}(0.59ppm)보다 최대 11.9배 이상 높게 나타났다. 이온별 평균농도는 양이온의 경우 Na^{+}이 가장 높고

(1.03   4.33ppm, **평균** : 2.48ppm), Ca^{2+}**가 가장 낮게**(0.23   0.59ppm, **평균** : 0.45ppm)**나타났으며**(**그림** 3-7)



<**그림** 3-7> **강우-유출에 따른 양이온의 관계**

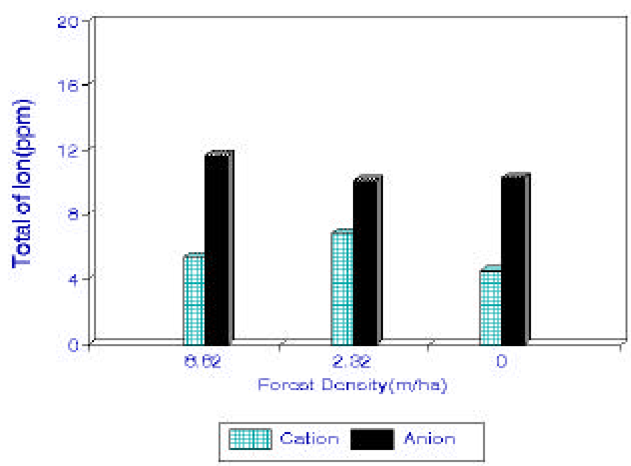
음이온의 경우는 SO_4^{2-}(4.00   7.00ppm, **평균** : 4.93ppm)**가** Cl^-(0.76   1.88ppm, **평균** : 1.33ppm)**보다** 3.7**배 이상 높게 나타났다**(**그림** 3-8).



<**그림** 3-8> **강우-유출에 따른 음이온의 관계**

양이온중 Na^+이 1995년 7월 8일(강우량 192.0mm) A 유역에서 최대치(4.33ppm)를 기록한 것 외에는 다른 양이온들은 강우량에 민감하게 반응하지 않았으며, 음이온의 경우도 강우량에는 크게 영향을 받지 않았으나, 1996년 6월 29일(강우량 51.0mm)의 NO_3-N(A 유역: 3.60ppm, B 유역: 1.25ppm 및 C 유역: 4.15ppm)는 1995년 7월8일 성분(A 유역: 7.18ppm, B 유역: 6.46ppm 및 C 유역: 8.17ppm)보다 2 5배이상 유출되었다.

임도개설에 따른 EC와 이온농도는 EC의 경우 임도개설유역[A 유역: 33.67 47.74μs; 평균 42.10μs, B 유역: 27.44 55.38μs; 평균 43.42μs]이 미개설유역(C 유역: 27.99 41.5μs; 평균 36.05μs)보다 높게 나타났으며, 양이온중 Na^+, Mg^{2+} 및 Ca^{2+}과 음이온 Cl^- 및 SO_4^{2-}이 임도개설유역(A와 B 유역)이 미개설유역(C 유역)보다 높게 나타났으나, K^+와 NO_3-N는 임도 미개설유역인 C 유역에서 반대로 높게 나타났다(그림 3-9).



<그림 3-9> 임도밀와 총이온과의 관계

나. 임도개설로 인한 지형개변과 식생침입 및 피복자재 시험

임도개설은 급격하고도 대규모로 토지의 형상을 변화시키므로 기상재해에 대한 저항력이 저하하여 동일 기상조건에서도 일반 임지에 비해 대규모의 토사재해를 일으킨다. 따라서 임도사업은 이와 같은 변화를 충분히 예측하여 조치를 취해야 하나 실제로는 예산 등의 문제에 의해 합리적인 방재사업이 이루어지지 않고 있다. 따라서 현재 시공되고 있는 임도사업의 문제점을 파악하고 앞으로의 임도사업에 필요한 방재사업의 기초자료를 얻기 위하여 1993년과 1998년에 걸쳐 시공된 구간을 중심으로 고정 플롯을 설정하여 시험사업을 실시하였다.

1) 조사구 설정

임도개설지의 침식상황을 파악하기 위해서는 가능한 한 많은 항목에 대하여 상세하게 실시할 필요가 있으나 이와 같은 작업은 많은 경비와 시간을 필요로 한다. 또한 침식상황은 지역특성에 따라 다르므로 획일화된 일부 조사항목에 의한 해석에는 문제가 있다. 따라서 국내외에서 임도개설에 따른 침식상황을 파악하는 항목으로 제기된 조사항목 중 지형개변을 대변하는 항목을 일차적으로 채택하였다. 즉 임도개설에 따른 지형개변과 그로 인한 재해현상을 파악하기 위한 기초조사항목으로 절·성토 비탈면의 길이와 물매, 노폭, 측구의 폭 및 최대 깊이를 채택하였다.

기초조사는 1993년부터 1999년까지 실시하였으며, 조사지점은 20m를 기본 측점으로 하되 절·성토 비탈면 형상의 연속성이 없는 지점이나 토목기초공 및 식생공이 실시된 지점은 보조측점을 설정하였다. 임도 비탈면의 측정항 설치는 비탈면 횡단형상에 직각이 되도록 위치를 선정하였으며, 측정항의 위치는 절토 비탈면 최상단부, 절토면과 임도의 시공기면의 교차점, 성토 비

탈면과 시공기면의 교차점 및 성토 비탈면의 최하단부에 각각 설치하였다. 측정항의 재료는 경질염화비닐관 VP(Ø＝20mm)를 사용하였으며, 설치방법은 측정항의 길이가 50cm가 되도록 제작한 후, 상단으로 부터 15cm 및 20cm 되는 지점에 측정 기준선을 표시하여 20cm지점이 지표면과 일치되도록 하였다. 설치개소가 암반인 경우에는 측정지점만을 페인트로 표시하였으며, 비탈면 구성재료에 의해 측정항의 설치가 어려운 경우에는 측정항의 설치 가능 깊이만큼 설치한 후 지표면의 위치를 별도로 표시하였다.

2) 각 노선별 지형개변

임도사업은 개설 당초에 지질구조가 충분히 검토된 후에 시공해야 하나, 실제로는 지질조사가 거의 이루어지지 못하므로 시공후 2 3년에 걸쳐 노체의 자연안정을 기대하게 된다. 그러나 임도 비탈면은 임도시공후 방치되어 매년 비탈면 침식이 발생하고 있으며, 따라서 비탈면 길이는 비탈면 안정에 상당히 중요한 영향을 미친다고 할 수 있다.

각 노선별 비탈면의 길이를 살펴보면(표 3-6), 1노선의 절토사면은 90%가 10m 이하이고 성토사면의 길이 또한 80% 가 10m 이하로서 유사한 지형기복량을 갖는 다른 노선에 비하여 비교적 짧은 비탈면 길이를 나타내고 있다. 이것은 유사한 지형조건아래에서 노선선정에 따라서는 비탈면의 길이를 작게 형성 시킬수 있음을 뜻한다. 2노선의 경우는 절토 및 성토 모두 장대사면의 비율이 30%를 넘고 있어 1노선과 대비가 되고 있다. 3노선의 경우 절·성토 사면 모두 짧은 사면길이를 유지하고 있으며, 4노선의 경우 절토사면에서 35%가 장대사면으로 형성되어 있어 산악 임도의 특성을 잘 나타내고 있다.

<표 3-6> 임도 노선별 절·성토사면 길이의 특징

노선	절토사면길이(m)	절토사면 특징	성토사면길이(m)	성토사면 특징
1노선	5.1-10.0/90%	평균길이 6.01m	5.1-10.0/80%	평균길이 7.99m
2노선	5.1-10.0/90%	30m이상 30%이상	5.1-10.0/35%	65%가 장대사면
3노선	5.1-10.0/90%	70%이상 5m이하	5.1-10.0/90%	성토사면길이 짧음
4노선	5m 이하/40%	90%이상 10m이하	5.1-10.0/65%	35%가 장대사면

임도시공에 있어 비탈면의 안정을 위해 비탈면 물매를 안식각 이내로 조성하는 것이 바람직하나 대상지가 급경사지이기 때문에 토공량 등을 줄이기 위한 방법으로 비탈면을 급경사로 조성하고 있다. 특히 절토 비탈면의 경우는 조성 비탈면의 상당 부분이 암반으로 조성되므로 설계 및 시공단계에서 무리하게 급경사로 조성되며, 따라서 임도개설후 상당기간 비탈면이 불안정한 상태로 방치된다.

각 노선별 임도비탈면의 물매를 비교하면(표 3-7), 절토 비탈면 평균물매 46.91。, 성토 비탈면 평균물매 37.54。이고, 안식각 이내로 조성되어 있는 비탈면은 22개소로 전체의 12.22%에 불과하였다. 2노선의 경우 표에서 보는 바와 같이 절·성토 비탈면이 급하게 조성되어 식생의 자연침입에 의한 피복과 물리적 안정에 상당히 문제가 있을 것으로 파악되었다. 3노선의 경우, 비탈면이 비교적 완만하게 조성되었기 때문에 어느 정도는 주변 식생의 자연침입에 의한 피복과 물리적 안정을 기대할 수 있을 것으로 파악되었다.

<표 3-7> **임도 노선별 절·성토사면 물매의 특징**

노선	절토사면물매	절토사면 특징	성토사면물매	성토사면 특징
1노선	40.1-50.0。/56.5%	평균 46.91。	30.1。-40.0。/78.3%	평균 37.54。
2노선	40.1-50.0。/36.2%	60。 이상 30%	30.1。-40.0。/57.9%	40.0。 이상 30%
3노선	40.1　50.0°/46.9%	60。 이상 5%	30.1　40.0°/72.5%	40。 이상 10%
4노선	40.1　50.0°/44.4%	60。 이상 15%	30.1　40.0°/61.5%	40° 이상 30%

각 노선의 노폭을 분석하면(표 3-8), 각 노선은 2급 임도로 설계상에는 노폭을 4m를 원칙으로 하고 있으나 대부분 4m 이상이고, 노폭이 확대되어 7m 이상 되는 지점은 평면적으로 보면 주로 곡선부위이거나 집재장 또는 차돌림곳으로서의 역할이 기대되는 평탄지에 해당된다. 따라서 이러한 구간은 잘 정리하면 비탈면 확대 없이도 차돌림곳으로 이용할 수 있으며, 또한 목재 반출시에는 간이 집재장으로 사용할 수 있을 것이다.

<표 3-8> **각 노선별 노폭 및 측구의 특징**

노선	노폭 특징	측구폭 특징	측구깊이 특징
1노선	평균 4m, 60%이상 5m이상	150cm 이상/80%	40.1-50.0cm/50%
2노선	4-6m 80%이상	150cm 이상/60%	30.1-40.0cm/29%
3노선	4-6m 80%이상 4m이하 18%	150cm 이상/65%	40.1-50.0cm/40%
4노선	4-6m 55%	150cm 이상/80%	40.1-50.0cm/30%

주요 배수 처리법의 하나인 측구 배수법은 부분적인 소규모의 토사 및 지엽의 이동에 의해서도 유수의 이동방향에 지대한 영향을 받으므로 노체 유지면에서도 중요한 구조물이라 할 수 있다. 각 노선별 측구폭을 비교하면, 제1노선의 경우 전체적으로는 사다리꼴의 흙수로로 조성되어 있으나 대규모의 비탈면 및 유수의 집중 예상구역에는 콘크리트 측구를 설치하였다. 측구의 폭은 1,4노선은 150cm 이상이 80%, 2,3노선은 60%으로, 사다리꼴의 흙수로로 조성이 되어있다.

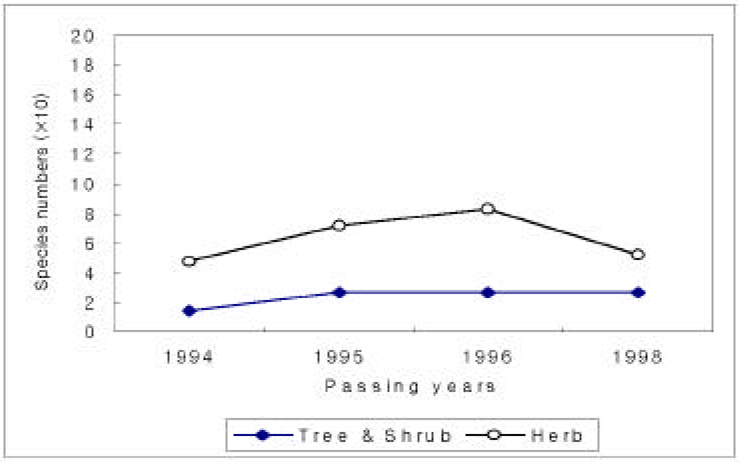
측구의 깊이는 토사의 이동에 민감하게 반응하므로 최대 깊이를 조사하였다. 각 노선별 측구깊이를 비교하면, 1,3,4노선은 40.1-50.0cm이고 2노선은 30.1-40.0cm 로서 다른 노선에 비하여 상대적으로 얕게 조성되어 있기 때문에 우기를 전·후로 지속적인 측구정리가 필요하다.

3) 임도절토 비탈면에 있어서 식생변화

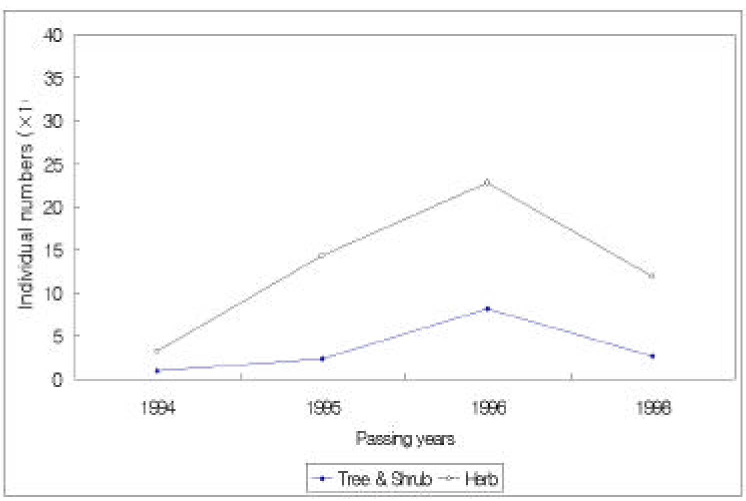
현재 절토 비탈면에 생육하고 있는 식물의 종류조성은 33과 60속 71종 7변종 1품종 총 79종류의 식물이 출현하였다. 비탈면 조성 후 5년간의 종수변화는 초본류의 경우 47 → 72 → 83 → 52 종류로 임도 개설 후 2차년까지는 증가하였으나, 임도 개설후 5년이 경과한 금년에는 감소하였으며, 목본류의 경우 14 → 26 → 27 → 27 종류로 개설 후 2차년도부터 금년까지는 거의 변화가 없었다(그림 3-10). 개체수의 변화는 초본류의 경우 320 → 1,430 → 2,247 → 1,172로 개설 후 3년까지는 급격히 증가하다가 금년에 크게 감소하였으며, 목본류의 경우는 89 → 229 → 298 → 259로 3차년까지는 증가하다 5차년에는 다소 감소하였다(그림 3-11).

이는 절토 비탈면의 경우 개설 후 3 4년까지 침입수종이 증가하지만 그 이후로는 점차 감소한다(江崎次夫 등, 1984)는 기존의 연구결과와 일치하며, 임도 개설후 시간이 경과함에 따라 침입종이 초본 중심에서 목본으로 천이

되어 가는 과정이 반영된 것으로 사료된다. 특히, 금년도에는 엘리뇨현상에 의해 하기에 집중 강우가 내려 식생이 상당수 유실되므로서 목·초본류의 종수 및 개체수가 크게 영향을 감소한 것으로 사료된다.



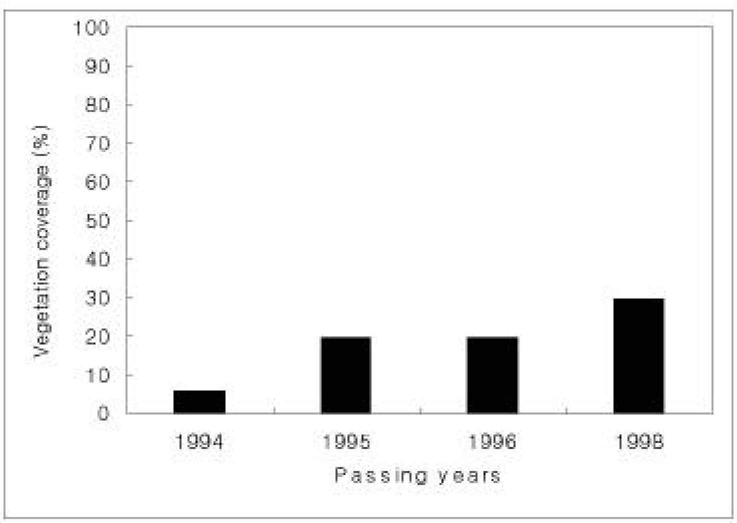
<그림 3-10> 절토 비탈면에 있어서 목·초본류의 종수 변화.



<그림 3-11> 절토 비탈면에 있어서 목·초본류의 개체수 변화.

절토 비탈면에 있어서 식생의 자연침입에 의한 피복율은 개설 후 초년도에는 평균 5.7%에 지나지 않았으나, 2차년에는 식생이 전혀 침입하지 않은 시험구가 크게 감소하여 평균 19.5%로 증가하였다. 3차년에는 2차년에 비해 피복율이 크게 증가하지는 않았지만, 금년에는 식생의 생육조건이 양호한 지역을 중심으로 50%이상의 피복율을 나타낸 시험구가 증가하여 평균 28%로 증가하였다(그림 3-12).

그러나 임도개설 후 5년이 경과한 현재에도 전체의 평균 피복율이 30%를 넘지 못하였으며, 특히 비탈면의 토성 및 물리적 특성에 따라서는 식생이 전혀 침입하지 못한 지역도 상당히 분포하고 있었다. 따라서 절토 비탈면의 경우 조성후 방치하면 식생의 자연침입에 의한 비탈면 자연피복은 상당한 기간이 요구된다고 사료되며, 이로 인해 임도 개설 후 방치되고 있는 비탈면을 중심으로 매년 하기의 집중호우시에는 표면침식에 의해 많은 양의 토사가 하류로 유출되어 하류의 하상을 높이고 있는 실정이다.



<그림 3-12> 절토 비탈면에 있어서 피복율의 변화.

절토 비탈면의 주요 침입 목본류로는 1차년에는 호랑버들, 산딸기, 싸리, 조록싸리 및 산초나무 등이, 2차년에는 산딸기, 참싸리, 호랑버들, 산초나무 및 버드나무 등이, 3차년에는 산딸기, 생강나무, 호랑버들, 붉나무 및 싸리 등이, 5차년에는 뱀딸기, 산딸기, 참싸리 및 쥐다래등으로 각각 나타났다. 즉, 임도 개설 후 5년이 경과하는 동안 절토 비탈면에는 산딸기류, 싸리류 및 버드나무류가 주요수종을 이루고 있어 목본류의 우점종은 경과년수에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

초본류는 1차년에는 방동사니, 큰까치수영, 산쑥바귀, 강아지풀 및 달맞이꽃 등이, 2차년에는 좀닭의장풀, 새, 큰까치수영, 산씀바귀 및 주름조개풀 등이, 3차년에는 산씀바귀, 좀닭의장풀, 새, 큰까치수영 및 나래새 등이, 5차년에는 산씀바귀, 나래새, 기름새 및 큰까치수영 등이 각각 주요 침입종으로 나타났다. 초본류의 경우 큰까치수영, 산씀바귀 및 새류 등이 5년간 주요 침입초종으로 나타나 우점종은 목본의 경우와 마찬가지로 경과년수에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다(표 3-9).

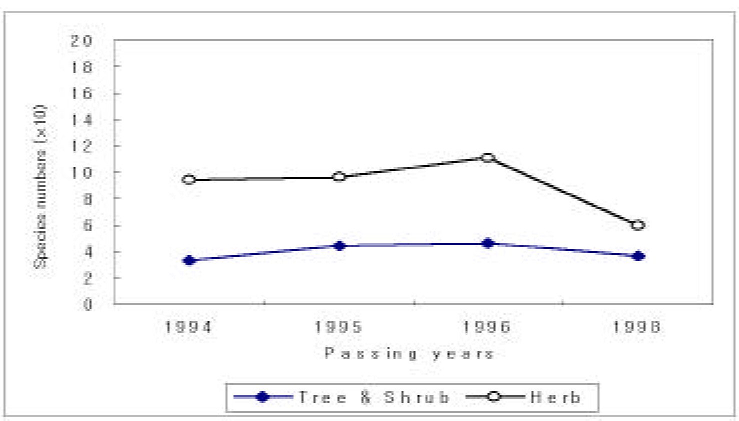
따라서 조사대상지역 및 유역조건이 유사한 지역에서 절토 비탈면에 식생을 도입할 경우에는 목본의 경우 산딸기류, 싸리류 및 버드나무류를, 초본의 경우 큰까치수영, 산씀바귀 및 새류 등의 향토식생을 도입하는 것이 비탈면을 조기에 안정화시키는데 효과적일 것으로 사료된다.

<표 3-9> 절토 비탈면에 생육하고 있는 식생의 우점종 변화.

조사항목 / 경과년수	우점종	
	목본류	초본류
1차년	호랑버들, 산딸기, 싸리	방동사니, 큰까치수영, 산씀바귀
2차년	산딸기, 참싸리, 호랑버들	좀닭의장풀, 새, 큰까치수영
3차년	산딸기, 생강나무, 호랑버들	산씀바귀, 좀닭의장풀, 새
5차년	뱀딸기, 산딸기, 참싸리	산씀바귀, 나래새, 기름새

4) 임도성토 비탈면의 식생변화

현재 성토 비탈면에 생육하고 있는 식물의 종류조성은 41과 69속 85종 11 변종 1 품종 총 97종류의 식물이 출현하였다. 5년간의 종수 변화를 살펴보면 초본류의 경우 94 → 97 → 111→ 60 종류로 임도개설 후 3차년까지는 소폭 증가하였으나, 금년에는 크게 감소하였으며, 목본류의 경우 33 → 45 → 47 → 37 종류로 임도 개설 후 3차년까지는 증가하다가 금년에 감소하였다(그림 3-13). 개체수는 초본류의 경우 1,161 → 3,019 → 3,499 → 1,542로 임도 개설 후 3차년까지는 급격히 증가하였다가 금년에 크게 감소하였으며, 목본류 역시 314 → 532 → 936 → 870로 유사한 경향을 나타내었다(그림 3-14). 이는 절토 비탈면과 마찬가지로 금년도에는 엘리뇨현상으로 인한 집중 강우가 초본류의 종수와 개체수에 크게 영향을 미친 것으로 사료되며, 임도 개설 후 3 4년간은 침입종의 변화가 많고 그 후에는 감소한다(江崎次夫, 1984)는 기존의 연구결과와 동일한 경향을 나타냈다. 또한 성토 비탈면의 주요 침입식생이 임도개설 경과년이 증가함에 따라 초본중심에서 목본으로 천이되는 과정이 나타난 결과라고 사료된다.

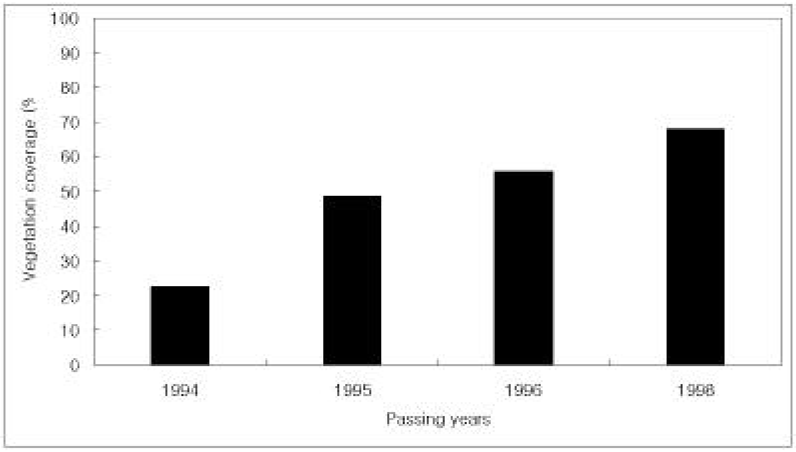


<그림 3-13> 성토 비탈면에 있어서 목 · 초본류의 종수 변화.

<그림 3-14> 성토 비탈면에 있어서 목·초본류의 개체수 변화.

임도 성토 비탈면에 있어서 피복율의 변화(그림 3-15)는 임도 개설 후 초년도부터 평균 22.7%로 나타나 절토 비탈면의 5.7%에 비해 상당히 높은 피복율을 나타냈으며, 2차년도 역시 48.8%로 초년도에 비해 2배 이상 증가하였다. 또한 3차년에는 55.7 %, 5차년인 금년에는 68%로 임도 개설 후 시간이 경과함에 따라 피복율이 지속적으로 증가하였다.

따라서 성토 비탈면의 경우 절토 비탈면에 비해 식생의 자연침입에 의한 피복이 상대적으로 용이하다고 할 수 있으며, 일부 척악지를 제외하면 비탈면 조성후 피복자재를 도입하여 비탈면의 표면을 전면적으로 피복하지 않더라도 목책등의 간단한 붕괴방지용 토목시설에 의해서도 상당한 수준까지 표면침식을 방지하고, 또한 식생의 자연침입을 기대할 수 있을 것으로 사료된다. 성토 비탈면에 생육하고 있는 주요 침입 목본류로는 1차년에는 산딸기, 호랑버들, 소나무 및 싸리 등이, 2차년은 산딸기, 호랑버들, 소나무 및 붉나무 등이, 3차년은 산딸기, 소나무, 산초나무 및 붉나무 등이, 5차년에는 산딸기, 족제비싸리, 두릅나무 및 칡 등으로 각각 나타났다.



<그림 3-15> 성토 비탈면에 있어서 피복율의 변화

초본류는 1차년에는 큰까치수영, 방동사니, 주름조개풀 및 기름새 등이, 2차년은 큰까치수영, 좀닭의장풀, 산씀바귀 및 새 등이, 3차년은 산씀바귀, 주름조개풀, 큰까치수영 및 달맞이꽃 등이, 5차년은 주름조개풀, 산씀바귀, 물봉선 및 큰까치수영 등이 주요 침입종으로 나타났다.

성토 비탈면의 우점종 변화는 절토 비탈면과는 달리 목본류의 경우 산딸기, 호랑버들, 소나무가 3차년까지 우점종이었으나, 5차년에는 산딸기, 족제비싸리 및 두릅이 우점을 이루었다. 또한, 초본류에 있어서도 3차년까지는 큰까치수영, 방동사니 및 주름조개풀 등이 우점종이었으나, 5차년에는 주름조개풀, 산씀바귀 및 물봉선이 우점종으로 나타나는 변화를 보였다(표 3-10). 따라서 산딸기, 호랑버들, 소나무, 족제비사리 및 두릅 등의 목본류와 주름조개풀, 산씀바귀, 주름조개풀, 큰까치수영, 방동사니 및 좀닭의장풀 등의 초본류를 임도개설 초기에 도입하는 방안을 강구해야 할 것이다.

<표 3-10> 성토 비탈면에 生育하고 있는 식생의 우점종 변화.

조사항목 / 경과년수	우 점 종	
	목본류	초본류
1차년	산딸기, 호랑버들, 소나무	큰까치수영, 방동사니, 주름조개풀
2차년	산딸기, 호랑버들, 소나무	큰까치수영, 좀닭의장풀, 산씀바귀
3차년	산딸기, 소나무, 산초나무	산씀바귀, 주름조개풀, 큰까치수영
5차년	산딸기, 족제비싸리, 두릅나무	주름조개풀, 산씀바귀, 물봉선

5) 피복자재가 식생생육에 미치는 영향

시험구 설치 후 1차년도에 있어서의 식물 조성은 조사지Ⅱ는 11과 16속 16종 2변종 총 18종류의 식물이 출현하였다. 조사지 Ⅱ지역은 콩과, 국화과 및 벼과의 식물 순으로 각각 나타났다.

모든 조사지가 파종종인 콩과식물을 제외한다면, 국화과와 벼과의 식물들이 인공적으로 조성된 비탈면에 선구종으로 나타나는 것으로 보아 이러한 선구종들을 녹화용식물로 사용하는 것이 조기녹화에 효과적일 것으로 사료된다. 각 시험구내에 생육하는 식생의 종수 및 개체수는 피복자재를 설치한 시험구들과 피복자재를 설치하지 않은 시험구의 개체수에 있어서 조사지 Ⅱ의 목본 파종 시험구인 5, 6번 시험구를 제외하면, 피복자재를 설치한 시험구에서 최소 1.7배에서 최대 7.7배까지 높게 나타났으나, 종수에 있어서는 차이가 나타나지 않았다.

전체적으로 보아 비탈면에 침입하는 식물들의 종수 및 개체수 증가는 토양 등 입지조건에 크게 영향을 받는 것으로 사료되며, 피복자재의 경우 개체수 증가에는 영향을 미치지만, 종수의 증가에는 영향을 주지 않는 것으로 나타났다(표 3-11). 이러한 원인은 주변으로부터 비산 혹은 산포된 많은 식

물종자들이 피복자재를 설치한 곳에 정착하였더라도 이들 종자가 발아할 수 없는 조건이었기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 주변식생이 용이하게 침입하여 활착할 수 있도록 피복자재의 밀도, 두께, 통기성 및 보습성 등의 개선이 필요하며, 균근균 등의 활용을 통한 식생의 조기 활착에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

<표 3-11> 각 시험구의 종수 및 개체수 변화.

조사지역	시험구 / 조사항목	1	2	3	4	5	6	7	8
II	종 수	9	7	3(3)	7(3)	8(0)	3(1)	8(3)	8(2)
	개 체 수	21	35	9(4)	29(72)	31(0)	12(1)	43(5)	57(35)

※ ( )은 파종종자의 종수 및 개체수

피복자재 설치 후 1년이 경과한 각 조사지역의 피복율은 마사토의 척박 건조한 조사지 II에서 평균 6 13%로 피복율이 매우 낮았으나m 마사토 지역은 조사지 II의 목본 파종구인 시험구 5, 6을 제외하면 피복지의 피복율이 나지보다 최대 35배까지 높게 나타나 척박토양에서 피복자재의 효과가 큰 것으로 사료된다. 따라서 건조하고 척박한 비탈면을 조기에 녹화시키기 위해서는 피복자재를 적극적으로 도입해야 할 것으로 사료된다.

각 시험구에 파종된 종자 중 비수리, 낭아초 및 붓꽃 등의 초본류와 목본인 참싸리가 발아하였으나, 참취, 할미꽃, 냉이 및 매발톱꽃 등의 초본류와 철쭉꽃, 갈기조팝나무, 산조팝나무, 고추나무 및 생강나무 등의 목본류는 전혀 발아되지 않았다. 이는 파종한 종자가 파종 당년에 발아되지 않는 종류이거나 종자의 수명 및 충실도에 문제가 있었던 것으로 사료된다.

각 시험구의 종자 발아율은 나지보다 피복지에서 발아율이 높게 나타났으며, 목본류를 파종한 플롯 6의 경우 플롯 5에 비해 4배 이상의 피복율을 나

타냈다(표 3-12). 그러나, 발아율은 전체적으로 35% 미만에 머물러 피복자재를 도입하는 것만으로는 종자발아를 기대하는 데에는 한계가 있는 것로 나타났으므로 비료 및 菌根菌 등을 이용한 식생 생육환경 개선 방법을 병행해야 할 것으로 사료된다.

<표 3-12> 각 시험구의 파종종자 발아율.

시험구	조사지역	*Indigofera pseudo-tinctorica*	*Iris nertschinskia*	*Lespedeza cuneata*	*Lespedeza cyrtobotrya*
3	Ⅱ	0.2	1.6	0.2	-
4	Ⅱ	1.8	3.8	8.8	-
5	Ⅱ	-	-	-	-
6	Ⅱ	-	-	-	0.2
7	Ⅱ	0.2	0.8	0.8	-
8	Ⅱ	3.8	2.0	3.2	-

※ 참취, 할미꽃, 냉이, 매발톱꽃, 철쭉꽃, 갈기조팝나무, 산조팝나무, 고추나무, 생강나무의 種자는 발아되지 않음.

6) 피복자재가 비탈면의 물리적 안정에 미치는 영향

조사지 Ⅱ에서 현지조사를 시작한 해 5월 19일부터 8월 15일까지 지표유출이 발생한 강우는 총 10회였다. 각 강우별 표면 유출수량은 강우 1: 1,350 2,500mℓ(평균 2,243mℓ), 강우 2: 700 2,000mℓ(평균 913mℓ), 강우 3: 870 1,180mℓ(평균 975mℓ), 강우 4: 7,010 21,100mℓ(평균 9,430mℓ), 강우 5: 12,500 65,050mℓ(평균 27,223mℓ), 강우 6: 7,000 39,700mℓ(평균 24, 440mℓ), 강우7: 5,930 38,750mℓ(평균 20,650mℓ), 강우 8: 2,500 23,820mℓ(평균 9,545mℓ), 강우 9: 3,740 52,320mℓ(평균 22,876mℓ) 및 강우 10: 357,020 903,310mℓ(평균 641,015mℓ)로 강우 10 → 강우 5 → 강우 6 → 강우 9 → 강우 7 → 강우 8 → 강우 4 → 강우 1 → 강우 3 → 강우 2 순으로 나타났다. 시험구별로는 시험구 1: 700 792,740mℓ(평균 99,633mℓ), 시험구 2: 800 903,310mℓ(평균

99,714㎖), 시험구 3: 1,180 674,850㎖(평균 82,608㎖), 시험구 4: 770 654,000㎖(평균 70,275㎖), 시험구 5: 700 596,490㎖(평균 74,679㎖), 시험구6: 730 357,020㎖(평균 40,069㎖), 시험구 7: 800 704,640㎖(평균 91,759㎖) 및 시험구 8: 800 445,070㎖(평균 445,070㎖)로 시험구 6 → 시험구 8 → 시험구 4 → 시험구 5 → 시험구 3 → 시험구 7 → 시험구 1 → 시험구 2 순으로 나타났다.

따라서 전체적으로 보아 유출수량은 강우량에 비례하여 증가하는 경향이 뚜렷히 나타났으며, 초기의 일부 강우를 제외하면 피복자재 설치구가 나지구 보다 유출수량이 적게 나타나 피복자재가 유수의 표면 유출을 억제하고 지중 침투능을 증가하는데 효과적인 것으로 나타났다.

강우별 부유물질농도(g/50㎖)(표 3-13)는 강우 1: 0.0006 0.0074g/50㎖(평균 0.0032g/ 50㎖), 강우 2: 0.0001 0.0015g/50㎖(평균 0.0007g/50㎖), 강우 3: 0.0001 0.0008g/50㎖(평균 0.0003g/50㎖), 강우 4: 0.0017 0.1007g/50㎖(평균 0.0155g/50㎖), 강우 5: 0.0007 0.0914g/50㎖(평균 0.0190g/50㎖), 강우 6: 0.0002 0.1769g/50㎖(평균 0.0267g/50㎖), 강우 7: 0.0025 0.0529g/50㎖(평균 0.0148g/50㎖), 강우 8: 0.0003 0.0264g/50㎖(평균 0.0049g/50㎖), 강우 9: 0.0007 0.0072g/50㎖(평균 0.0032g/50㎖) 및 강우 10: 0.0019 0.1113g /50㎖(평균 0.0367g/50㎖)로, 강우 10 → 강우 6 → 강우 5 → 강우 4 → 강우 7 → 강우 8 → 강우 1 → 강우 9 → 강우 2 → 강우 3 순으로 나타났다. 시험구별 부유물질농도는 시험구 1: 0.0006 0.1113g/50㎖(평균 0.0293g/50㎖), 시험구 2: 0.0001 0.0039g/50㎖(평균 0.0017g /50㎖), 시험구 3: 0.0001 0.0326g/50㎖(평균 0.0039g/50㎖), 시험구 4: 0.0001 0.0094g /50㎖(평균 0.0023g/50㎖), 시험구 5: 0.0001 0.0636g/50㎖(평균 0.0126g/50㎖), 시험구 6: 0.0001 0.0075g/50㎖(평균 0.0025g/50㎖), 시험구 7: 0.0006 0.1769g/50㎖(평균 0.0379g/50㎖) 및 시험구 8: 0.0002 0.0154g/50㎖(평균 0.0042g/50㎖)로,

시험구 7 → 시험구 1 → 시험구 5 → 시험구 3 → 시험구 8 → 시험구 6 → 시험구 4 → 시험구 2 순으로 나타났다.

이상의 결과에서 알 수 있듯이 유출수량이 증가할수록, 즉 강우가 증가할수록 부유물질농도가 증가였으며, 특히 피복자재 설치구가 나지구보다 부유물질농도가 훨씬 적게 나타나 피복자재가 비탈면에 있어서 부유물질의 유출을 억제하는데에 효과가 매우 큰 것으로 나타났다.

한편, 강우별 총부유물질량(표 3-14)은 강우 1: 1.39 17.61g(평균 7.21g), 강우 2: 0.07 3.00g(평균0.77g), 강우 3: 0.09 0.70g(평균 0.28g), 강우 4: 8.89 1,309.10g(평균 191.57g), 강우 5: 10.92 5,945.57g(평균 918.47g), 강우 6: 3.53 6,881.41g(평균 960.10g), 강우 7: 18.38 2,049.88g(평균 467.94g), 강우 8: 0.87 264.00g(평균54.48 g), 강우 9: 2.67 376.70g(평균 104.58g) 및 강우 10: 678.34 88,231.96g(평균 25,968.63g)로 강우 10 → 강우 6 → 강우 5 → 강우 7 → 강우 4 → 강우 9 → 강우 8 → 강우 1 → 강우 2 → 강우 3 순으로 나타났다. 또한, 시험구별 총부유물질량은 시험구 1: 0.42 88,231.96g(평균 9,252.86g), 시험구 2: 0.11 3,522.91g(평균 371.74g), 시험구 3: 0.12 22,000.11g(평균 2,311.80g), 시험구 4: 0.09 3,858.60g(평균 403.66g), 시험구 5: 0.07 37,936.76g(평균 3,957.03g), 시험구 6: 0.07 678.34g(평균 84.71g), 시험구 7: 0.63 50,452.22g(평균 6,417.99g) 및 시험구 8: 0.19 1,068.17g(평균 139.41g)로, 시험구 1 → 시험구 7 → 시험구 5 → 시험구 3 → 시험구 4 → 시험구 2 → 시험구 8 → 시험구 6 순이었다.

전체적으로 보아 총부유물질량 역시 부유물질농도와 마찬가지로 시험구의 피복상태와 강우에 강하게 영향을 받는 것으로 나타났으며, 시험구의 넓이가 3㎡임을 감안할 때 실제 임도 개설지역과 같은 대규모 비탈면에서 유출되는 부유물질은 대단히 클 것으로 추정된다. 따라서 이러한 오염원으로부터 계류로 유입되어 산지 계류수질을 악화시키는 오염물질을 방지하기 위해

서는 현재 방치되고 있는 비탈면에 녹화공법을 적극적으로 도입하도록 해야 할 것이다.

<표 3-13> **각 시험구에 있어서 유출수의 부유물질농도**(g/50㎖).

강우 \ 시험구	1	2	3	4	5	6	7	8	**평 균**
1	0.0031	0.0013	0.0033	0.0006	0.0043	0.0016	0.0074	0.0041	0.0032
2	0.0006	0.0002	0.0015	0.0007	0.0001	0.0001	0.0015	0.0009	0.0007
3	0.0008	0.0001	0.0001	0.0001	0.0003	0.0002	0.0006	0.0002	0.0003
4	0.1007	0.0020	0.0020	0.0017	0.0060	0.0053	0.0045	0.0017	0.0155
5	0.0048	0.0007	0.0087	0.0094	0.0178	0.0040	0.0914	0.0154	0.0190
6	0.0073	0.0002	0.0038	0.0004	0.0060	0.0075	0.1769	0.0111	0.0267
7	0.0529	0.0071	0.0094	0.0025	0.0210	0.0030	0.0196	0.0031	0.0148
8	0.0045	0.0008	0.0264	0.0013	0.0018	0.0003	0.0017	0.0027	0.0049
9	0.0072	0.0011	0.0050	0.0008	0.0052	0.0011	0.0033	0.0007	0.0031
10	0.1113	0.0039	0.0326	0.0059	0.0636	0.0019	0.0716	0.0024	0.0367
평 균	0.0293	0.0017	0.0093	0.0023	0.0126	0.0025	0.0379	0.0042	

<표 3-14> **각 시험구에 있어서 유출수의 총부유물질량**(g).

강우 \ 시험구	1	2	3	4	5	6	7	8	**평 균**
1	4.19	3.25	7.26	1.39	10.32	3.84	17.61	9.80	7.21
2	0.42	0.16	3.00	0.54	0.07	0.07	1.20	0.72	0.77
3	0.70	0.11	0.12	0.09	0.26	0.18	0.63	0.19	0.29
4	1309.10	15.20	16.48	11.92	42.12	38.37	90.45	8.891	191.57
5	158.76	10.92	282.27	135.36	572.09	50.28	5945.57	192.50	918.47
6	289.81	3.53	150.75	3.72	213.60	52.50	6881.41	85.47	960.10
7	2049.80	130.21	249.01	18.40	613.83	18.54	645.23	18.38	467.93
8	107.19	5.77	264.00	3.25	20.59	0.87	26.78	7.34	54.47
9	376.70	25.344	145.00	3.352	160.68	4.11	118.80	2.67	104.58
10	88231.96	3522.91	22000.11	3858.60	37936.76	678.34	50452.22	1068.17	25968.63
평 균	9252.86	371.74	2311.80	403.66	3957.03	84.71	6417.99	139.41	

조사기간 중 강우별 유출토사량은 나지 시험구인 홀수 시험구가 피복자재를 시공한 짝수 시험구에 비해 많았으며, 같은 조사구내에서는 강우량에 크게 영향을 받은 것으로 나타났다. 특히 시험구 시공 직후에 내린 강우 1(6월 2 3일: 24.9mm), 강우 2(6월 13 14일: 9.0mm), 강우 3(6월 18 19일: 13.5mm)의 경우에는 유출수량 자체가 적어 토사가 유출하지 않았으나, 그 이후에는 강우에 비례하여 유출토사량이 증가하는 경향이 명확하게 나타났다. 즉, 강우 4: 0.02 24.90g(평균 7.52g), 강우 5: 2.65 198.77g(평균 42.71g), 강우 6: 3.21 36.52g(평균 16.09g), 강우 7: 4.56 150.71g(평균 49.73g), 강우 8: ＋ 16.24g(평균 3.70g), 강우 9: 0.67 46.36g(평균 17.27g) 및 강우 10: 36.91 10,346.68g(평균 3,476.02g)로, 강우 10 → 강우 7 → 강우 5 → 강우 9 → 강우 6 → 강우 4 → 강우 8 순으로 강우량에 비례하여 유출토사량이 증가하였다(표 3-13).

또한, 시험구별 유출토사량은 시험구 1: 11.83 10,346.68g(평균 1,327.85 g), 시험구 2: 0.30 129.85(평균 19.52g), 시험구 3: 0.51 3,228.76g(평균 413.15g), 시험구 4: ＋ 65.61g(평균 15.64g), 시험구 5: 1.99 5,585.94g(평균 718.27g), 시험구 6: ＋ 36.91g(평균 9.64g), 시험구 7: 10.29 8,296.90(평균 1,089.31g) 및 시험구 8: 0.02 117.54g(평균 19.67g)로, 시험구 1 → 시험구 7 → 시험구 5 → 시험구 3 → 시험구 8 → 시험구 2 → 시험구4 → 시험구 6 순이었다(표 3-15).

따라서 전체적으로 보아 유출토사량은 부유물질과 마찬가지로 강우에 영향을 강하게 받는 것으로 나타났으며, 피복자재 설치구가 나지구보다 최대 1/155까지 적게 유출되어 피복자재가 유출토사량의 억제에 뛰어난 효과가 있는 것으로 나타났다.

<표 3-15> **각 시험구의 유출토사량.**

試驗區 / 降 雨	1	2	3	4	5	6	7	8	平 均
1	＋	＋	＋	＋	＋	＋	＋	＋	＋
2	＋	＋	＋	＋	＋	＋	＋	＋	＋
3	＋	＋	＋	＋	＋	＋	＋	＋	＋
4	11.83	2.30	6.10	6.60	3.89	4.51	24.90	0.02	7.52
5	4.82	2.65	17.71	42.94	31.49	12.65	198.77	20.62	42.71
6	36.52	8.06	21.36	3.21	19.65	6.25	26.80	6.87	16.09
7	150.71	12.29	22.14	4.56	82.73	7.28	110.45	7.66	49.73
8	16.24	0.30	0.51	＋	1.99	＋	10.29	0.25	3.70
9	45.99	0.67	8.59	2.20	20.44	9.49	46.36	4.41	17.27
10	10,346.68	129.85	3,228.76	65.61	5,585.94	36.91	8,296.90	117.54	3,476.02
平 均	1,327.85	19.52	413.15	15.64	718.27	9.64	1,089.31	19.67	

※ ＋: 토사가 유출되지 않음.

3. 수자원 확보 및 훼손지 방지를 위한 공법의 개발

가. 도시하천의 하상변동의 추적

1) 측선별·구간별 하상변동폭 비교

태백천은 안정하천으로 조사구간은 하상종단 물매가 완만하여 상류에 비해 발달된 저위단구면을 지니고 있어 토지를 고도로 이용할 목적으로 과거부터 지속적인 하도정비가 이루어져 왔다. 즉 (표 3-16)에서 알 수 있듯이 태백천에서의 하상변화는 1993년 이후 매년 발생하고 있으며, 일부구간의 하상변동(그림 3-16)은 1993년 6월 조사를 기준으로 최대 퇴적량 1247m^3(측선:19 20,1996년 6월), 최대 세굴량 446m^3(측선:15 16,1995년 6월)에 이른다.

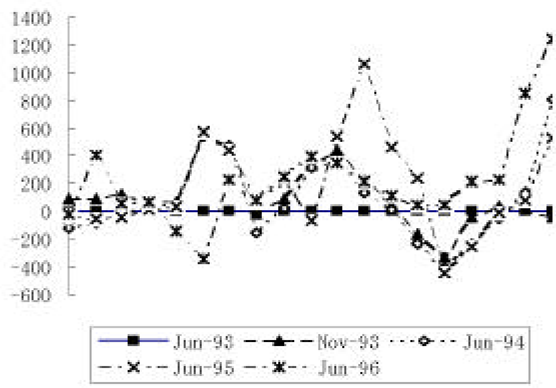
<표 3-16> **태백천에서의 횡단면적**(m^2) **변화와 하상변동량**(m^3)

번호	1993,6		1993,11		1994,6		1995,6		1996,6	
	면적 (m^2)	**변동량** (m^3)	**면적** (m^2)	**변동량** (m^3)	**면적** (m^2)	**변동량** (m^3)	**면적** (m^2)	**변동량** (m^3)	**면적** (m^2)	**변동량** (m^3)
1	88.42	4191.63	84.93	4094.17	89.60	4311.11	89.31	4233.43	89.69	4212.65
2	79.25	4100.16	78.84	4009.49	82.85	4182.54	80.03	4157.25	78.82	3696.47
3	84.76	4139.30	81.54	4014.55	84.45	4148.21	86.26	4177.61	69.04	4081.97
4	80.82	4077.40	79.04	4008.94	81.47	4051.45	80.84	4063.23	94.24	4005.35
5	82.28	3834.84	81.31	3767.55	80.58	3780.92	81.69	3795.00	65.97	3975.80
6	71.11	3991.64	69.39	3431.34	70.65	3423.32	70.11	3423.32	93.06	4331.51
7	88.55	4034.21	67.87	3583.79	67.34	3557.12	66.82	3600.27	80.20	3805.50
8	72.82	3618.41	75.49	3642.65	74.95	3766.06	77.19	3551.22	72.02	3533.78
9	71.92	3866.85	70.22	3771.81	75.70	3842.30	64.86	3654.53	69.33	3619.66
10	82.75	4080.91	80.65	3757.43	77.99	3761.88	81.32	4143.04	75.45	3687.47
11	80.48	4263.01	69.65	3818.44	72.48	3899.24	84.40	3717.89	72.05	3918.47
12	90.04	4891.35	83.09	4668.28	83.49	4749.79	64.32	3827.04	84.69	4677.61
13	109.34	5373.91	109.97	5340.25	107.80	5357.46	107.80	4914.01	107.80	5255.22
14	105.62	4995.95	103.64	5160.08	106.50	5228.90	88.76	4760.18	102.41	4953.04
15	94.22	4597.61	102.76	4931.89	102.65	5006.89	101.64	5043.19	95.71	4549.55
16	89.68	4236.91	94.51	4274.30	97.62	4473.33	100.09	4492.49	86.27	4016.46
17	79.79	4491.96	76.46	4450.79	81.31	4546.45	79.61	4505.16	74.39	4267.68
18	99.89	6918.83	101.57	6907.95	100.55	6777.03	100.59	6832.66	96.32	6065.07
19	176.87	6678.61	174.75	6722.14	170.53	5873.21	172.71	6148.31	146.28	5431.29
20	90.28		94.14		64.39		73.22		70.97	

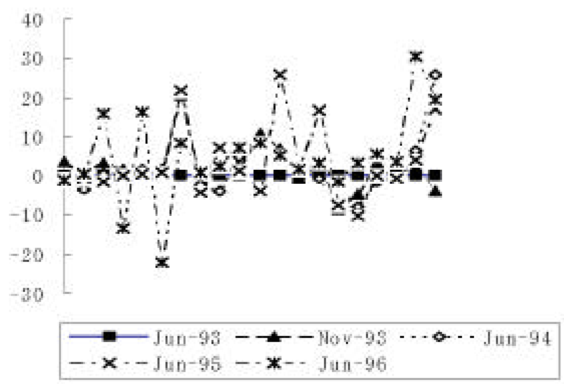
각 측선별, 시기별 하상횡단면적 변화폭은 (그림 3-4)와 같이 '93년 6월 조사를 기준으로 하여 10m^2이상이 변화한 측선중 '96년 6월에는 측선 3,5,7,19,20에서 하상이 상승하였고, 4,6측선에서는 하상이 저하하였다. '95년 6월에는 측선 7,12,14,20에서 하상의 상승이, 측선 16에서는 저하가 발생하였으며, '94년의 경우에는 11측선에서 하상이 저하하였다.

또한 각 구간별, 시기별 하상미지형 변화량은 (그림 3-17)과 같이 '93년 6월을 기준으로 '96년 6월 조사에서는 측선 19-20구간에서 최대 퇴적량 1247m^3, 측선 6-7구간에서 최대 세굴량 340m^3이 각각 발생하였고, '95년 6월

에는 측선 12-13구간에서 최대 퇴적량 1064m^3, 측선 15-16구간에서 최대 세굴량 446m^3이 각각 발생하였다, 또한 '94년 6월에는 측선 19-20구간에서 최대 퇴적량 805m^3, 측선 15-16구간에서 최대 세굴량 409m^3이 발생하였다.

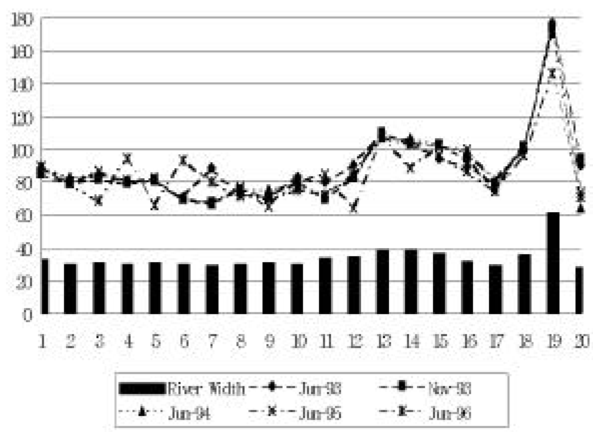


<그림 3-16> 태백천의 측선별 횡단면적의 변화(m^2)



<그림 3-17> 태백천의 측선별 하상 변동량(m^3)

하폭과 하상미지형 변화의 관계는 그림 18에서 알 수 있듯이 하폭에 비례하여 횡단형상의 변화가 발생하고 있으며, 특히 지류와의 합류부인 19측선의 경우 '93년 6월조사의 176.87m^2에서 1996년 6월에는 146.28m^2로 나타나 상류 인공나지로부터 유출된 토사가 1차적으로 퇴적하는 것으로 파악되었다.

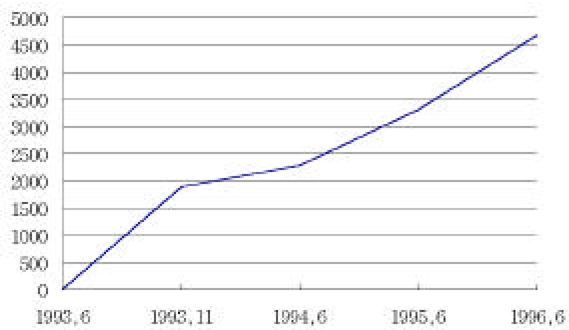


<그림 3-18> 각 측선별 횡단형상의 변화와 하폭과의 관계

이상의 결과에 의하면 1996년 6월의 하상상태가 4개년간 5회에 걸친 조사결과 중에서 변동이 가장 크게 나타났으며, 또한 전조사구간에 걸쳐서 고속도로비탈면으로부터 토사가 유입된 것으로 사료된다. 하도내 불안정 토사는 방재적 측면에서 볼 때 우기의 집중강우시 하류지역 하상상승 및 유로변화을 유발하고 수변환경적 측면에서는 하상재료 유출로 인한 하상의 나지화가 가속될 것으로 사료된다.

2. 시기별 하상변화 추이

太白川에서의 ‘93년 6월 조사자료를 기준으로 할 경우 각 측정시기별, 각 측선별 하상변동은 하폭과 비례하고 있으며, 조사구간에 있어서 하도내 토사의 이동추이를 시기별로 나타내면 최초 조사시점인 ’93년 6월의 하상횡단면 형상을 기준으로 했을 경우 그림 19와 같이 하상내 퇴적토사의 양은 매년 증가하여 ‘96년 6월 에는 약 4660m³가량의 토사가 유입·퇴적하고 있는 것으로 나타났다.



<그림 3-19> 태백천의 하상변동량의 연년 변화경향

즉 태백천의 하상변동은 상류로부터의 지속적인 토사의 유입과 하류로의 유출이 전구간에서 발생하고 있는 것으로 파악되며, 이러한 하상변동은 유로변화에 크게 좌우되는 것으로 사료된다.

또한 5회에 걸친 하천측량 결과에서 계절적으로는 여름철에 집중되는 것으로 사료된다. 즉 ‘93년 6월의 하상면을 기준으로 할 경우 ’93년 11월에는 하도내 퇴적토사량이 약 1,890m³, ‘94년 6월에는 2,270m³, ’95년 6월에는 3,310m³, 및 ‘96년 6월은 4,660m³으로 증가하여 상류에 형성된 인위적인 나

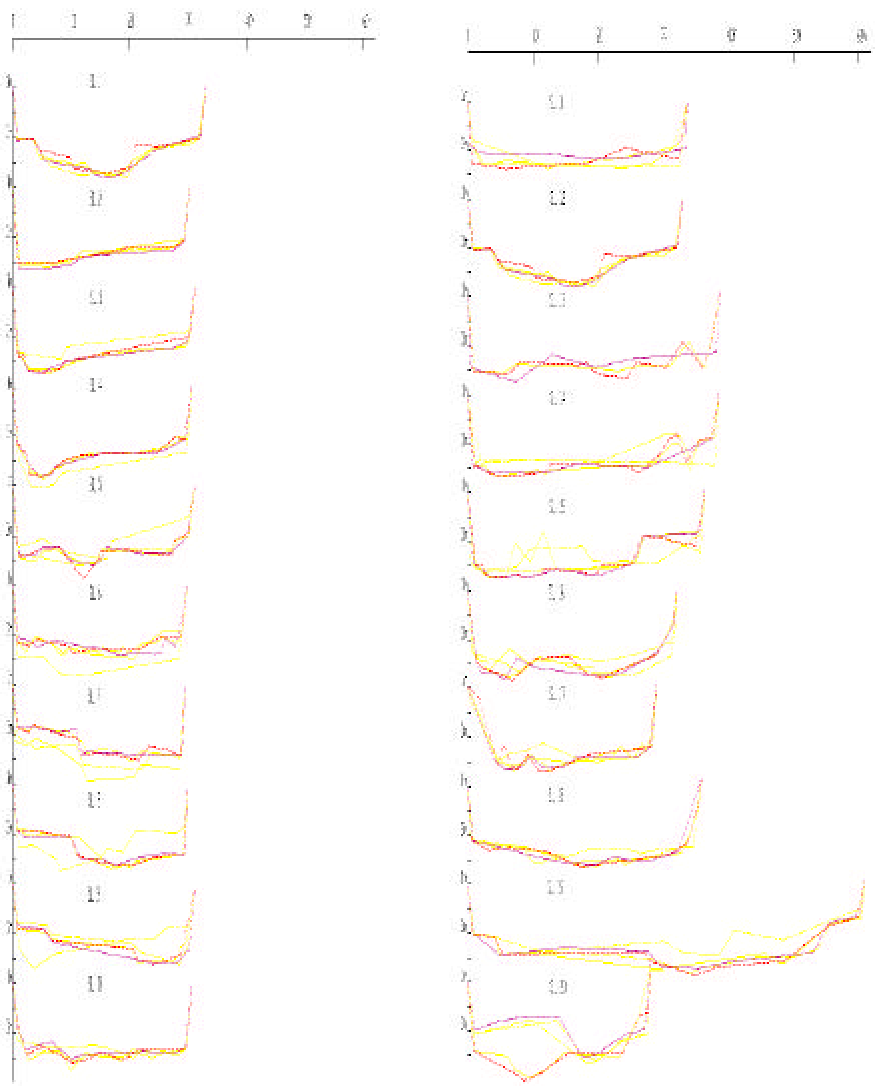
지로부터 유출되는 토사는 여름철 강우시 집중적으로 유출되어 조사구역 구간에 잠정적으로 체류하는 것으로 추정된다.

3. 각 측선의 편의도 변화

하천미지형 중, 각 측선의 횡단면 형상은 방재측면에서 종단형상 보다 더욱 중요하게 인식되고 있으므로 각 측선별로 5회에 걸친 현지 조사자료를 기초로 하여 (그림 3-20)과 같이 횡단면도를 작성하였다.

태백천에서의 편의도는 1번 측선은 유로가 점진적으로 좌안으로, 2,3,4번 측선은 유로가 완전히 左岸으로 편의되었으며, 특히 3,4번 측선에서는 1996년 6월 조사에 의하면 각각 퇴적과 세굴이 가장 크게 발생한 것으로 나타났다. 한편 5번 측선에서는 좌안을 중심으로 발생한 유로가 1996년 6월에는 하상의 중심부를 중심으로 종침식이 발생하였고, 좌우안에는 상류로부터 이동한 토사가 퇴적하고 있다. 6번 측선에서는 1993 1995년까지는 하상변동면을 발생하지 않았으나 '96년 6월에는 세굴이 발생하여 조사기간중 최저하상고를 나타내고 있다. 측선 7에서는 하상이 점진적으로 상승하고 있으나 연도 순서에 상관없이 지속적인 하상변동이 현유로를 중심으로 발생하고 있었다. 측선 8, 9에서는 1993 1995까지는 우안에 편의하였으나 '96년에는 좌안으로 편의하는 하상변동이 크게 발생하였다. 측선 8, 9와 같은 급격한 하상변동은 방재적 측면에서 현재 퇴적된 불안정 토사가 2차 하상변동이 발생되기 쉬우므로 사방구조물에 의한 하도고정이 필요하다. 측선 10은 비교적 변동량이 적은 측선으로 하상의 종·횡침식을 방지하기 위해 주유로의 발달을 유도할 필요가 있다. 측선 11, 13에서는 '94년 이후 유로변화가 발생하여 '96년에는 중앙부에 주유로를 형성하여 좌·우안에 비교적 소규모의 하상퇴적지를 형성하고 있으며, 측선 12에서는 점진적인 세굴에 의해 중앙부에 유

로를 형성하고 있다. 측선 14는 '94년까지 유로가 좌안에 편의하였으나 시간이 경과함에 따라 상류에서 이동되어온 토사에 의해 하상면의 상승과 함께 주유로가 변화되어 유로폭이 확대되었다. 측선 15는 '96년에는 하상면 중앙부에 형성된 하상퇴적지를 중심으로 유로가 발달하여 전형적인 좌우비대칭형을 나타내고 있으며, 특히 우안에 새로이 형성된 유로는 우안상부에 퇴적되었던 토사가 유송된 것으로 사료된다. 측선 16은 '93년에 비해 하상면이 소규모이지만 점진적으로 상승하고 있으며, 측선 17은 하상면의 고저차가 적었으나 '96년에는 유로변화에 의해 좌안을 중심으로 다량의 토사가 퇴적하였다. 측선 18은 우안에 넓게 형성된 유로에 토사가 퇴적되어 유로를 좌안으로 편의시켰다. 측선 19는 조사측선중 하폭이 가장 넓은 측선으로 '95년에 우안을 중심으로 다량의 토사가 퇴적됨으로서 유로가 중앙부로 변화하였으며, 특히 '96년에는 하상면이 현저하게 상승하였다. 측선 20에서는 좌안에 상류로부터 이동되어온 토사가 퇴적되어 유로가 우안으로 편의되었다.



<그림 3-20> **태백천의 각 측선별 횡단면의 편의정도**

나. 산지하천의 하상변동 및 유목체유 특성 파악

1) 유목의 피해 형태 및 발생 원인

유목에 의한 피해 형태는 ①유목이 교량, 컬버트, 수로 등을 매몰시키므로서 토석류나 유수가 하도를 넘쳐 주변의 주택이나 각종 시설에 피해를 주는 경우, ②유목이 교량을 매몰하여 상류의 토석류나 수위가 상승하므로서 유체력이나 수압이 증가하여 하천 공작물이 유실되는 경우, ③취수 댐이나 방수로의 취수구를 유목이 매몰하여 취수 및 방수 기능을 저하시키는 경우, ④토사 조절을 목적으로 하는 투과형 사방댐의 슬리트부를 막아 토사의 조절기능을 저하시키는 경우, ⑤유목의 충돌·충격력에 의해 주택 혹은 하천에 설치되어 있는 구조물 등이 파괴되는 경우, ⑥저수지 등에 유출된 유목이 침적한 후, 부패하여 수질이나 경관을 손상시키는 경우 등으로 구분되나(石川 등, 1989), 이번 조사지에서는 ①, ②, ③ 및 ⑤와 같은 유형의 유목재해가 다량으로 발생하였다(全權雨 등, 1996).

유목의 발생 원인은 순수한 자연현상에 의한 경우와 인위적인 요인에 의한 경우로 크게 구분할 수 있다. 자연현상에 의한 경우는 유목이 직접 하도에 유실되는 경우와 과거의 도목이 유출되는 경우가 있으며, 인위적 요인이 가해진 경우는 벌·원목이 유출하는 경우와 용재가 유출되는 경우가 있다. 즉 유목이 직접 유출되는 경우는 ①비탈면 붕괴에 의해 입목이 활락하는 경우, ②토석류에 의해 입목이 활락하는 경우, ③토석류에 의해 하안 및 하상이 침식되어 입목이 유출되는 경우, ④홍수에 의해 하안 및 하상이 침식되어 입목이 유출되는 경우 등이며, 과거의 도목이 유출되는 경우는 ⑤병충해나 태풍에 의해 발생한 도목이 하류로 유출되는 경우, ⑥과거에 유출되어 하상에 퇴적하거나 하상퇴적물속에 매몰해 있던 유목이 토석류나 홍수에 의해 하류로 유출되는 경우, ⑦눈사태에 의해 발생한 도목이 토석류나 홍수에

의해 하류로 유출되는 경우, ⑧화산 분화에 의해 생긴 도목이 토석류나 홍수에 의해 하류로 유출되는 경우가 있다. 또한 벌・원목의 유출은 ⑨방치된 벌목이나 간벌재가 비탈면 붕괴, 토석류 및 홍수 등에 의해 유출되는 경우, ⑩집적한 목재가 비탈면 붕괴, 토석류 및 홍수 등에 의해 유출되는 경우, ⑪표고 원목이 비탈면 붕괴, 토석류 및 홍수 등에 의해 유출되는 경우가 있으며, 용재 유출은 주로 토석류, 홍수에 의해 ⑫가옥이 파괴되어 그 파손재가 유출되는 경우, ⑬교량이 유출되는 경우, ⑭전주가 유출되는 경우도 있다. 한편 유목의 발생 장소는 자연현상에 의한 경우는 주로 산지급류소하천의 중・상류역에서 발생하는데 비해 인위적 요인이 가해진 경우는 중・하류역에서 발생하고 있다(石川, 1994).

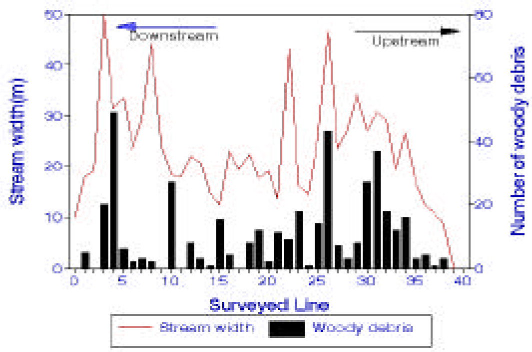
2) 산지급류소하천에서의 유목체유 형태

유목은 유체력, 크기, 자중 및 형상 등의 유목 특성과 하상을 구성하고 있는 토석, 잡목, 장해물 등과 같은 저항 물질의 형상 및 하상미지형에 지배되므로 이를 해석하기 위해 다음과 같이 하상미지형과 유목의 특성을 파악하였다.

유목이 주로 체유하는 장소는 평면적으로 볼 때 합류 지점의 하상과 하안, 거석 또는 임목에 의해 형성된 협착부, 사방 댐의 퇴사지, 하도 곡류부의 바깥쪽, 가교 지점 및 하상 재료의 조도가 큰 확폭부등이며, 이 중에서도 산지급류소하천의 경우는 하도 확폭부의 출구, 하도 협착부의 입구 및 하안 붕괴지의 말단부에 주로 체유하고 있다(清水 등, 1985).

조사 결과, 각 구간별 하폭은 (그림 3-21)에서 알 수 있듯이 상류로 갈수록 하폭이 감소하는 일반적인 경향은 나타나지 않았다. 즉 하류의 측선 1 3구간은 도로 개설에 따라 인위적으로 하도를 정비하여 하폭이 축소되었기 때문이며, 중・상류의 일부 구간에서는 지류와의 합류 지점을 중심으로 하

폭이 확대되고 있기 때문이다. 각 구간에 있어서 하폭과 유목의 체유와의 관계는 주로 하도의 평면 형상에 영향을 받아 확폭부인 측선 4, 26, 30, 31 및 32구간, 합류 지점인 측선 3, 10, 15, 19 및 26구간에 다량으로 체유하고 있었으며, 특히 확폭부에 있어서도 복수 유로가 발달한 측선 26, 30 및 31을 중심으로 다량의 유목이 체유하고 있었다.

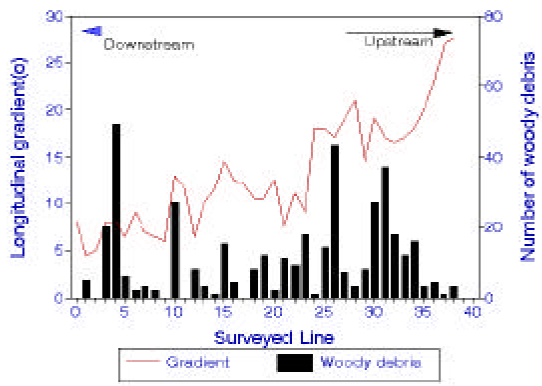


<그림 3-21> 각 측선별 유목의 수와 하폭과의 관계

따라서 전체적으로는 하폭에 비례하여 유목의 체류 본수가 증가하는 경향이 나타났다. 즉 복수 유로가 발달된 확폭부를 중심으로 다량의 유목이 체유하고 있었으며, 이는 하폭이 하상의 각종 이동 물질의 체류에 크게 영향을 미치고 있다는 연구 결과(清水, 1983; Araya, 1986; 全槿雨, 1988; 中村, 1990)와 같이 확폭부가 토석류는 물론 유목의 체유에도 시·공간적으로 크게 영향을 미치고 있으므로 유목 대책을 수립할 때에는 중요한 방재 공간으로 이용할 수 있을 것으로 생각된다.

각 측선 간의 평균 종단물매는 그림 3-22에서 알 수 있듯이 4°30′ 28°로 다양했으며, 전체 조사 구간의 평균 종단물매는 13°17′였다. 河床의

종단물매 분포 상황은 상류로 갈수록 종단물매가 급해져 산지급류소하천의 전형적인 형태가 잘 나타났으나 확폭부와 지류와의 합류 지점을 중심으로 완만해 지는 구간도 분포하고 있었다.



<그림 3-22> 각 측선별 유목의 수와 종단물매와의 관계

한편 종단물매와 유목의 체유 본수와는 종단물매가 증가할수록 유목 본수가 감소한다는 일반적인 경향은 명확히 나타나지는 않았다. 즉 (그림 3-22)에서 알 수 있듯이 비교적 종단물매가 급하게 조성되어 있는 측선 10, 26, 30 및 31에서 다량의 유목이 체유하고 있었으며, 물매가 완만한 측선 2, 9, 및 11측선에는 유목이 전혀 체유하지 않아 하폭에 비해 종단물매는 유목의 체유에 크게 영향을 미치지 못하는 것을 알 수 있었다.

일반적으로 하천의 확폭부에는 모자이크 형상의 하안림 임분이 발달하고 있으므로 유로 변화에 의해 토석류 및 유목의 생산원이 되기도 하며(淸水, 1983; 全權雨, 1988; 中村, 1990), 구유로 주변부는 수심 및 수세가 감소되므로 상류로부터 유송되어 온 유목의 분산·퇴적이 조장되어 체유하게 된다. 특히 곡류부에서는 바깥쪽에 하상퇴적지가 발달하기 때문에 상류에서 유하

한 유목이 주로 바깥쪽 고위단구면에 체유하고 있으며, 이후의 집중호우 시에는 이 부분이 공격 사면이 되므로 유목이 재 이동하기 쉽다.

조사 결과, 유목의 대부분이 현유로보다는 하상퇴적지에 주로 체유하고 있었으며, 하상을 확폭부와 협착부로 구분해 볼 때 하상 형태에 따라 상이한 체유 양상이 나타났다. 하상의 횡단 기복이 풍부하고 확폭부에 해당하는 측선 24 28에서는 상류의 일부를 제외하고 대부분의 유목이 하상퇴적지에 체유하고 있었으나 횡단 기복이 적고 협착부에 해당하는 측선 10 14에서는 상대적으로 현유로안에 체유하고 있는 유목이 많았다.

3) 유목의 특성 파악

원래 유목 대책을 수립하기 위해서는 모든 유목에 대한 상세한 조사가 이루어져야 하나 하도내에 분포하는 유목 전체를 파악하는 것은 실제로 곤란하므로 하상변동에 크게 영향을 미치는 일정 크기의 유목을 대상으로 본수, 크기, 형태, 부후도, 체류 방향 및 유목의 종류에 대하여 조사하였다.

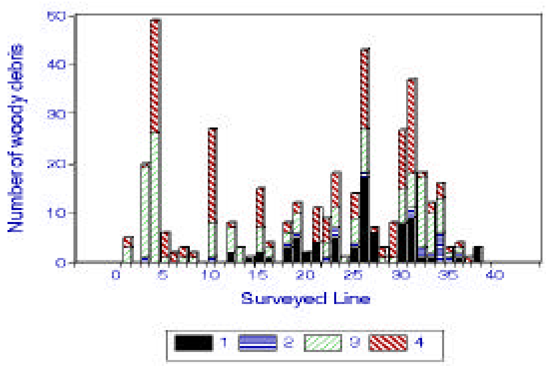
도로와 하천 공작물 파괴, 천연 댐 형성 및 하상 재료의 이동 등에 크게 영향을 미치는 직경 10㎝, 길이 2m 이상의 유목을 조사한 결과, 조사 대상 구간에 체유하고 있는 유목의 총 본수는 402본이었으며, 이를 100m당 滯留 본수는 환산하면 35.3본이 되어 유목 피해가 다량으로 발생하고 있는 일본의 14.7본(淸水 등, 1983)과 미국의 18.3본(中村와 Swanson, 1992)에 비교하여 많은 양의 유목이 체유하고 있었다. 유목의 길이의 경우 L_{mean}＝4.0m, L_{max}＝27.0m, L_{min}＝2.0m였으며, 흉고직경 및 평균 직경은 D_{mean}＝14.0cm, D_{max}＝60.0cm, D_{min}＝10.0m로 일본의 조사 결과(水原, 1979)와 비교하여 유목의 평균 길이는 4.0m : 4.4m로 별 차이가 없었으나 직경 면에서는 14.0cm : 41.1cm로 차이가 크게 나타났다.

한편 각 구간에 있어서 유목의 길이는 침엽수 경우, 중·상류의 유목에

비해 하류에 체유하고 있는 유목의 길이가 짧았으나 활엽수의 경우에는 차이가 거의 나타나지 않았으며, 유목의 직경은 유목의 종류와 체유 구간에 상관없이 일정하게 나타났다. 즉 침엽수의 대부분을 차지하고 있는 일본잎갈나무가 활엽수인 참나무류에 비해 강도면에서 떨어지므로 이동 거리에 비례하여 손상을 입었으며, 그 결과 하류 의 유목의 길이가 5.0m이하로, 중・상류는 15.0m 전후로 차이가 크게 나타났다. 이는 각 측선에 분포하고 있는 유목이 그 구간을 유하한 유목을 대표한다고 가정할 경우, 이동 거리에 따라 침엽수가 하안, 하상, 토사 및 유목과의 충돌 기회가 증가하여 길이 면에서 크게 영향을 받는 것을 알 수 있었다.

유목이 하류에 운반되어 체유하는 과정에서 발생하는 형태 변화를 파악하기 위해 현지 조사시에 유목의 형태를 크게 ①뿌리, 줄기, 가지, 잎이 붙어 있는 것, ②뿌리, 줄기, 가지가 붙어 있거나 줄기, 가지, 잎만 붙어 있는 것, ③뿌리, 줄기만 있는 것, ④줄기만 있는 것으로 구분하여 조사하였다.

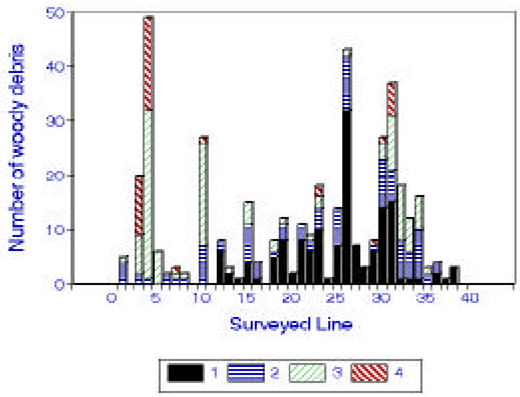
원래 산지급류소하천에서의 유목은 하류의 경우에는 ③과 ④의 경우가, 상류로 갈수록 원형이 잘 보전되어 있는 ①, ②의 경우가 많으나(水山 등, 1991), 이번 조사에서는 그림 23에서 알 수 있듯이 하류와 일부 상류에서 뿌리가 없는 ④와 같은 형태의 유목이 다수 발견되었으며, 중・상류에서도 ①과 ②와 같은 형태의 유목이 부분적으로 체유하고 있을 뿐 전체적으로는 유목의 원형이 크게 손상된 경우가 많았다. 이는 상류에서 발생한 유목이 유출되는 과정에서 주로 토석류나 조도가 큰 하상 재료와의 마찰에 의해 생긴 현상으로 생각된다.



<그림 3-23> 각 측선별 유목의 형태

또한 생산된 유목은 하상의 미지형 및 하상 재료의 조도 등에 시·공간적으로 영향을 받아 마모, 손상 및 부후를 반복하면서 하류로 운반되고 있으므로 유목의 부후도를 ①수피가 완벽한 상태로 보전되어 있는 경우, ②수피의 일부가 벗겨져 있을 뿐 보전 상태가 양호한 경우, ③수피가 대부분 벗겨져 있으나 손상을 입지 않은 경우, ④유목 자체가 상당히 손상되어 부후가 진행된 경우 등으로 구분하여 조사하였다.

조사 결과, (그림 3-24)에서 알 수 있듯이 중·상류에 체유하고 있는 유목은 생산 지점으로부터의 이동 거리가 하류의 유목보다 상대적으로 짧으므로 대부분의 ①과 ②에 해당되는데 비해 하류에 체유하는 유목은 대부분이 ③과 ④에 해당하여 이상의 현상이 잘 나타나고 있다. 특히 측선 3, 4에서는 부후가 상당히 진행된 유목이 발견되어 현재 각 구간에 분포하고 있는 유목이 단지 이번 집중호우에 의해 생산된 것뿐만 아니라 이전에도 어떠한 원인에 의해 생산되어 체유하고 있던 유목이 재 이동한 것임을 알 수 있었다.

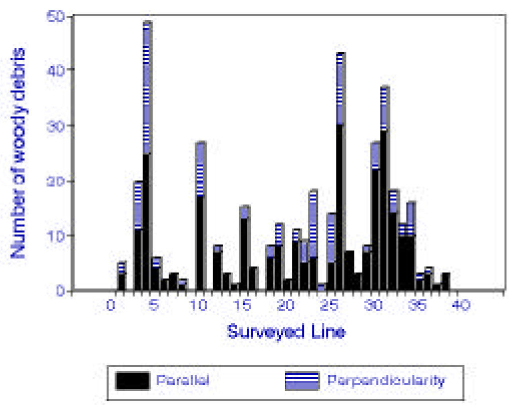


<그림 3-24> 각 측선별 유목의 부후도

유목은 하상미지형과 각종 하상 재료의 조도에 영향을 받아 유목 자체가 체유할 뿐 아니라 하상의 이동 물질을 일시적으로 저지하거나 이동을 촉진시키기도 한다. 그러나 유목에 의해 일시적으로 체유하고 있는 각종 하상 재료는 불안정한 상태이며, 시간이 경과하여 유목의 부후가 진행되면 하상 퇴적물의 지지력을 상실하여 한번에 다량의 토사가 이동하게 되므로 토석류를 일으키기도 한다. 이러한 점에서 유목의 체유 방향은 유목 자체의 재이동은 물론 각종 하상 재료의 체유와 이후의 하상변동 예측에 중요한 판독 지표가 될 수 있다.

따라서 유목의 체유 방향을 크게 ①유심의 진행 방향을 중심으로 평행하게 체유하는 경우(유심으로부터 좌우 45° 이내와 135° 225° 이내)와 ②직각으로 체유하는 경우(유심으로부터 45° 135° 이내와 225° 315° 이내)로 구분하여 보았다. 분석 결과(그림 3-25), 그림 25와 같이 유심에 평행하게 체유하는 경우와 직각으로 체유하는 경우의 유목 본수는 276 : 126으로 평행하게 체유하는 경우가 많았다. 그러나 가교 지점인 최하류부의 일부 구

간과 확폭부에 해당하는 측선 4, 23, 26, 30 및 31에는 유심에 직각 방향으로 체유하는 유목이 많이 분포하고 있어 유목 자체가 불안정할 뿐 아니라 이동 토사의 퇴적이 예상되므로 장래의 하상변동에 대한 충분한 대책이 마련되어야 할 것이다.

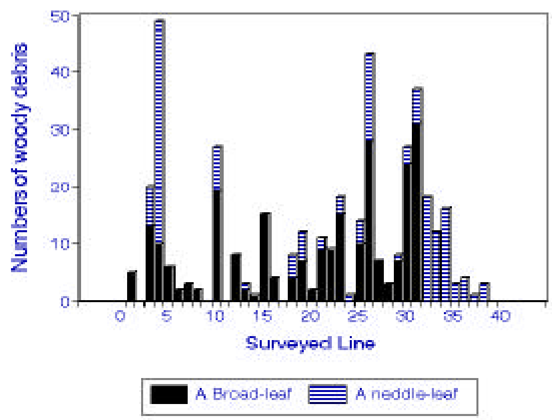


<그림 3-25> 각 측선별 유목의 체유방향

유목의 발생원과 이동 과정을 파악하기 위해서는 하도내에 체유하고 있는 유목과 하안림의 수종을 추적할 필요가 있으나 실제로 산지급류소하천에서는 유목 형태의 파손 정도가 심해 대부분의 유목에 대해 수종을 명확히 파악할 수 없었다. 그러나 형태가 불안정하여 수종을 파악하지 못해도 침엽수와 활엽수에 대한 구분은 어느 정도 가능하였고, 특히 조사 구간의 하안림은 대부분이 일본잎갈나무와 참나무류로 조성되어 있어 이에 대한 조사를 실시하였다.

조사 결과, (그림 3-26)에서 알 수 있듯이 측선 4, 26 및 32 38 구간을 제외하면 대부분이 침엽수인 일본잎갈나무에 해당하여 총 유목의 64%에 해당하는 256본을 차지하고 있었으며, 이는 일본의 62%(石川, 1994)와 유사하

였다. 특히 일본잎갈나무의 경우 지상부에 비해 지하부가 빈약하기 때문에 河床 재료의 작은 충격이나 소규모의 하상변동에 의해서도 유목화하기 쉬우며, 현지 조사시에 입목 상태에서 근계의 지표가 부분적으로 유실된 경우에도 고사한 흔적이 현유로 주변부에서 종종 발견되었으므로 하안림의 수종으로 선정할 때에는 신중을 기해야 할 것이다.



<그림 3-26> 각 측선별 유목화된 수종

제4절. 결론 및 향후 연구를 위한 제언

1. 도시유역림의 수자원관리를 위한 합리적인 임종배비법 제시

도시유역림으로부터 유출되는 수자원의 보전과 이용을 목적으로, 최근 논란이 되고 있는 산성우 발생 지역에서 산림식생이 대기로부터 강우에 용해되어 강하하는 습성강하물에 미치는 영향을 파악하기 위해 진행한 이 연구에서는 소나무, 잣나무, 일본잎갈나무, 굴참나무, 신갈나무 5개 수종에 대해 채수 및 분석실험을 한 결과, pH의 경우 신갈나무, 굴참나무 실험목에서 잣나무, 소나무, 일본잎갈나무의 침엽수림보다 높은 값을 나타내고 있었고, 이온의 총량의 지표가 되는 전기전도도는 침엽수인 소나무, 잣나무, 일본잎갈나무가 활엽수인 굴참나무 신갈나무 보다 높게 나타났다. 이 연구에서는 특성상 각 화학원소들의 반응 메카니즘은 파악할 수 없었으나, 이상의 연구결과에 비추어 볼 때, 침엽수의 경우 수피로부터의 용탈성분이 활엽수 보다 많은 것으로 추정되고, pH의 경우 활엽수와 침엽수의 명확한 차이가 보이므로 차후 임종배비시 도시유역림의 수질정화기능을 고려한 배치가 필요할 것으로 사료된다.

2. 도시유역림의 환경보전 및 유역관리를 고려한 임도시공법 제시

현재 강원대학교 산림과학대학 부속연습림내에 임도를 개설함으로서 발생된 임도비탈면은 지형의 점진적 발달현상으로 물리적으로 안정화되어 있는 산지 사면에 비해 매우 불안정한 비탈면으로서 임도개설로 인해 나타나는 대표적인 지형개변 요소 중의 하나이다. 이 연구결과 유사한 기복량을 갖는 지형이라도 임도노선 선정시 지형요소를 충분히 고려한다면 연습림에 개설

된 1노선과 같이 기하학적으로 비교적 안정된 비탈면을 갖는 임도를 개설할 수 있을 것으로 판단되며, 이러한 임도 비탈면의 자연 식생천이 과정은 시공 후 시간이 경과할수록 점차 비탈면의 우점종이 초본에서 관목성 목본으로 천이되는 것으로 파악되었다. 또한 비탈면에서 피복자재가 식생생육에 미치는 효과를 파악하기 위해 실시한 현지실험에서는 피복자재가 파종한 식생의 발아 및 생육에 양호한 환경을 제공하는 것으로 나타났으나, 주변 식생의 침입에는 효과를 나타내지 못하여 피복자재의 두께, 통기성 및 보습성 등이 개선되어야 할 것으로 사료되었다.

피복자재가 식생, 유출수 및 유출토사량에 미치는 영향을 파악하기 위한 Lysimeter 시험구에서의 실험결과는 피복자재가 유출수량의 조절, 부유물질 및 토사의 유출억제에 매우 효과적이며, 파종한 식생의 생육에 양호한 조건을 제공하는 것으로 밝혀졌다. 즉, 피복자재 설치구가 나지구에 비해 도입식생생육 및 비탈면의 물리적 안정에 효과적이지만, 식생의 자연침입에는 그 효과가 뚜렷히 인정되지 못하였다. 따라서 이러한 문제점들을 해결하기 위해 파종종자의 발아 및 생육을 촉진시킬 수 있는 비료, 균근균 등을 피복자재와 함께 도입하는 방법을 강구해야하며, 또한 피복자재의 구조를 보완하는 것도 병행해야 할 것이다.

3. 수자원 확보 및 훼손지 방지를 위한 공법 개발

이 연구에서는 '93년 이후의 시계열적 하천조사를 통하여 상류로부터의 불안정 토사의 이동으로 인해 조사구간내에 토사가 퇴적되고 있는 것을 알 수 있었다.

그러나 하천주변부에서 토목공사가 시행된 경우 인접하고 있는 중소규모의 소하천에는 불안정 토사의 이동에 따른 하상변동이 즉시 영향을 받으므

로 수변환경의 안정화를 위한 적극적인 노력이 필요할 것으로 사료된다.

태백천의 경우에는 조사구간(1000m)내의 종단물매(1.3%)가 비교적 완만하므로 상류로부터 이동되어온 불안정 토사가 집중적으로 퇴적되고 있는 것으로 파악되며, 이러한 일시적 체류현상은 여름철의 집중호우에 의해 퇴적토사가 하류로 일시에 유출될 염려가 있으므로 계절적 상황을 고려한 사방구조물의 시공이 필요하다고 사료된다. 특히 이동가능 토사의 퇴적촉진을 위해 측선 19와 같은 확폭부구간은 퇴적촉진 공간으로 적극활용하여 유해토사에 대한 완충기능을 갖도록 사방시설물을 배치하는 것이 필요하며, 또한 하도내 사방구조물은 현재 하상변동이 중점적으로 발생하는 구간에 배치하여 하도안정을 유도하여야한다.

산지급류소하천에 분포하고 있는 유목은 하안 비탈면이나 하상퇴적지에 생육하고 있는 수목이 유체화한 것으로 주로 풍도, 땅밀림, 하안의 비탈면 붕괴, 하안 침식등 지표 변동에 의해 생산되고 있다. 또한 유목은 하상미지형을 구성하는 인자중 하폭에 주로 규제되고 있었으며, 구체적으로는 복수유로가 발달한 구간, 합류 지점의 입구, 거석 및 천연 댐 주변부, 수리 조건이 급격히 변화하는 지점인 확폭부에서 다량으로 유목이 체유하고 있었다. 특히 복수 유로가 발달된 산지급류소하천의 확폭부는 모자이크 모양의 하안임 구조를 발달시킴과 동시에 비교적 장기간에 걸쳐 유목을 저유하여 다양한 하천 환경을 제공하기 때문에 방재 공간뿐만 아니라 환경 공간으로서도 중요하다고 할 수 있다.

따라서 앞으로 사방 계획을 수립할 때에는 유목의 발생, 이동 및 체유에 영향을 미치는 하도 특성과 유목 자체의 특성을 고려한 유목 대책을 마련해야 하며, 이를 위해서는 단순히 유목막이를 도입하는 방법보다는 유목 발생억지공 및 투과형 사방댐 등의 유목 보착공의 설치를 적극적으로 배치해야함은 물론 하안림의 수종 선택에도 신중을 기해야 할 것이다. 또한 하천 환

경을 개선하기 위해서는 방재 공간뿐 만 아니라 환경 공간을 확보하기 위한 하도 정비가 이루어져야 하며, 이에는 하천 종단형에 치우쳐 왔던 사방의 시각을 하천의 횡단 형상을 포함한 입체적인 관점으로 전환해야 함은 물론 궁극적으로는 하도의 생물 다양성이 보장되어 각종 친수행위가 이루어질 수 있도록 정비되어야 할 것이다.

제4장 산림환경 모니터링 및 다목적 이용 증진을 위한 산림자원 관리체계

제 1 절 서 론

1. 연구배경

지난 1992년에 열린 유엔환경개발회의(UNCED)에서 채택된 산림원칙은 환경적으로 건전하고, 지속가능한 개발의 개념에 기초하여 사회적, 경제적, 생태적, 문화적 및 정신적 소요가 충족될 수 있도록 산림자원을 지속 가능하게 경영할 것을 권고하고 있다. 여기서 지속가능한 개발이라 함은 미래세대의 필요를 충족시키는 능력을 손상시키지 않고 현재의 필요를 충족시키는 것을 의미한다. 이러한 내용은 앞으로의 산림경영 방향을 제시한 것으로 산림에 대한 사회적 요구가 경제적 기능과 환경적 기능의 조화를 강조하고 있음을 말해준다.

산림을 둘러싼 사회적 요구의 변화는 산림경영분야에도 많은 영향을 미치고 있다. 지금까지 산림경영의 근간을 이루던 물질생산 중심의 경영체계에 대한 반성과 산림의 다양한 기능을 균형 있게 반영할 수 있는 방안에 대한 검토가 활발하게 이루어지고 있다. 즉, 산림에서 전통적으로 행해지던 목재생산 뿐만 아니라 생태계의 안정성, 생물다양성, 탄소저장, 경관보호 등과 같은 환경·생태적 요인들이 계획의 수립과 실행과정에 새로운 평가 기준으

로 반영되고 있다. 따라서 산림경영의 목표는 과거에 비해 다양화되고 있으며, 여러 가지 제약요인들이 새롭게 제기되므로 인해 기존의 계획체계로는 합리적인 계획의 수립과 실행이 어렵게 되어 보다 근본적인 대응방안이 필요한 시점에 이르렀다.

새로운 경영체계에서는 지속가능성에 기초하여 산림이 갖는 여러 가지 기능들의 균형을 유지하는 것이 중요하며, 기존의 관리방식에서 벗어나 생태적 측면의 관리방식을 적극적으로 수용할 필요가 있다. 뿐만 아니라 정부의 산림경영정책 역시 기존의 임업에서 추구하던 경제림 조성이나 산지자원화 같은 기본 목표는 물론 국민의 산림이용에 대한 수요를 충족시킬 수 있는 방향의 산지이용체계의 정립과 산림의 공익적 기능 증진까지도 포함할 수 있어야 한다. 이러한 목표를 달성하기 위해서는 최근 새롭게 대두되고 있는 환경생태적 지침(guideline)을 충족시키며, 산림의 환경생태적 기능을 건전하게 유지할 수 있도록 하는 것이 중요하다.

현재 우리 나라의 산림은 소유주체에 따라 국유림, 공유림, 사유림으로 구분된다. 이중 국내 산림면적의 약 79%를 차지하는 공유림과 사유림의 경우 열악한 경영여건으로 인해 대부분이 산주의 무관심 속에 방치되고 있으며, 경영을 목적으로 하는 산림시업은 거의 이루어지지 않고 있다. 산림경영의지의 부재 이외에도 소유규모의 영세성, 임업투자의 장기성 및 낮은 수익성과 같은 열악한 사회경제적 여건은 새로운 산림경영체계의 도입을 어렵게 하고 있다.

나머지 21%를 차지하는 국유림의 경우 상대적으로 임상조건이 양호하며, 대면적 산림에 대한 포괄적인 경영이 가능한 형태이고, 경영주체가 산림청 산하 영림서 및 관리소로 되어 있어 관리조직 및 경영여건상 보다 새로운 개념에 의한 다원적 산림관리체계의 도입이 가능한 것으로 판단된다. 특히 지방자치제도의 도입, 급속한 산업화에 따른 생활환경의 오염과 휴식공간으

로서의 산림에 대한 국민의 이용 수요, 지구차원의 환경생태적 문제 등 정치 · 사회 · 경제적 변화와 관련된 제반 수요를 감당할 수 있는 국유림 관리 대책이 시급하다고 볼 수 있다. 물론 기존의 산림자원관리 정책에서도 이러한 전략적 차원의 대응방안이 마련되어 산림자원 관리 행정의 지침이 되고 있기는 하지만, 실행단계에 있어서 대개의 경우 기존의 보호위주 산림관리 체계의 틀을 크게 벗어나지 못하고 있는 실정이다.

이러한 국유 산림자원관리의 문제점을 개선하기 위해서는 북미나 유럽의 임업선진국들과 같이 보다 과학적이고, 합리적인 산림관리체계를 적용할 필요가 있다. 이들 국가는 이미 자국의 특성에 맞는 산림경영시스템을 개발하여 경영계획의 수립이나 의사결정과정에 적극적으로 활용하고 있으며, 그 형태는 기초적인 투자분석에서부터 환경 · 생태 정보의 종합적 관리 및 분석이 가능한 형태까지 매우 다양하다. 특히 최근에는 정보시스템의 발전과 더불어 지리정보시스템(geographic information system; GIS)이나 데이터베이스시스템(database system)을 이용한 통합적인 산림경영시스템의 형태로 발전하고 있다.

산림 현황을 무시하거나 부정확한 정보에 기초한 산림시업은 성공하기 어려울 뿐만 아니라 환경 · 생태적으로 많은 문제를 발생시킬 수 있다. 장기적인 생육특성을 갖는 산림의 특성상 잘못된 시업에 따른 피해를 회복하는데 엄청난 시간과 비용이 소요될 수 있으며, 경우에 따라서는 회복 자체가 불가능 할 수도 있다. 따라서 성공적인 산림경영이 이루어지기 위해서는 산림 현황에 대한 정확한 정보를 바탕으로 과학적인 분석과 합리적인 의사결정이 필수적이며, 산림자원이 갖는 다양한 기능을 경영계획에 적절하게 반영할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 산림경영과정을 효과적으로 지원할 수 있는 경영시스템의 개발과 이를 이용한 계획의 수립과 분석체계가 절실히 요구된다.

2. 연구목적

이 연구의 목적은 산림생산성과 산림생태계의 건전성을 유지할 수 있는 산림시업기준에 기초한 국유림 산림계획체계를 개발하는 것이며, 세부연구목표는 다음과 같다.

○ 선진화된 형태의 대면적 국유림 산림계획 수립 체계의 응용성 분석과 개선 방안의 도출

○ 국유림의 데이타베이스 활용에 의한 모니터링 시스템의 개발 및 적용성 실험

○ 국유림의 다목적 경영을 위한 의사결정지원시스템의 개발과 적용성 실험

○ 국유림 관리 계획의 실행계획 수립 및 평가 및 보완을 위한 정보처리시스템의 개발과 적용성 검토

3. 연구내용 및 추진체계

지속가능한 산림경영을 지원하기 위한 산림자원 관리체계는 효율적인 정보처리 및 의사결정지원에 기초하고 있으며, 여기에는 산림시업에 대한 환경적 측면에서의 평가는 물론 지역 주민들의 참여, 계획에 대한 모니터링 등이 포함된다. 이러한 체계는 문제 정의, 자료수집 및 분석, 대안개발 , 최적 대안의 선정, 계획의 실행, 결과 검토가 반복적으로 이루어지는 적응경영체계(adaptive management system)를 토대로 하고 있다. 즉, 산림경영에는 산림현황에 대한 분석 및 평가, 실행 대안의 개발, 최적 대안의 선정과 실행결과에 대한 검토 및 반영 과정이 포함되기 때문에 적응경영체계가 효과적

으로 활용될 수 있다. 적응경영체계의 세부 단계는 다음과 같다(Driver 등, 1992).

문제 정의 - 산림경영체계의 첫 단계는 산림경영의 목표를 분석하고 각종 제약요인들을 정의하는 것이다. 경영주체의 경영목표는 물론 대상 산림을 둘러싼 이해당사자들의 다양한 의견을 수렴하여 실행 단계에서 발생할 수 있는 문제를 최소화한다. 또 계획안에 대한 재정적 뒷받침과 제도적 측면의 평가도 이루어진다.

자료 수집 및 분석 - 산림자원 관리에는 많은 자료가 필요하며, 특히 산림생태계의 현황과 변동추이에 관한 자료의 수집은 합리적인 의사결정에 핵심적인 사항이다. 산림관리에서 사용되는 자료는 그 특성에 따라 공간적 자료와 비공간적 자료로 나눌 수 있다. 비공간적 자료에는 환경적, 경제적 정보가 포함되며, 공간적 자료에는 식생분포 형태, 임소반의 분포, 임도망의 위치, 소유경계 등이 포함된다. 수집된 자료에 대한 분석은 의사결정지원체계에서 가장 중요한 요소이며, 통계, 시뮬레이션 등과 같은 다양한 자료분석 방법이 사용된다. 산림은 생물자원이므로 경영활동의 결과가 산림의 생장에 어떠한 변화를 가져올 것인가에 대한 예측과 분석이 필요하다. 최근에는 지리정보시스템을 활용하여 산림관리에 필요한 공간적 자료에 대한 평가 분석도 이루어지고 있다.

대안 개발 - 이 단계에서는 분석된 자료를 바탕으로 여러 가지 가능한 대안들을 개발하게 된다. 이 과정에서는 산림시업에 대한 환경·생태적 평가와 함께 시업의 결과로 얻을 수 있는 임업생산의 경제적 측면도 고려하게 된다.

최적 대안의 선정 - 개발된 몇 가지 대안에 대해 그 결과를 예측, 평

가하여 가장 적합한 대안을 선정한다. 특히 이 단계에서는 산림정책의 이해당사자라 할 수 있는 지역주민, 비정부단체 등이 참여할 수 있도록 하며, 대안의 내용이 여러 가지 시각자료를 통해 의사결정 참여자들에게 설명된다. 이미 대안개발 단계에서 산림의 환경 생태적 관리에 관한 제약인자들이 포함되었으나, 여러 가지 평가 기준 및 시업기준에 의해 대안들중 상당부분이 걸러진다.

계획의 실행 및 결과 검토 - 선정된 최적 대안을 실제 산림자원 관리에 적용하고 그 결과를 산림시업 기준에 따라 검토한다. 여기서는 계획의 실행결과가 생태적으로 건전하며, 임업생산성을 바람직하게 유지하고 있는가를 모니터링하고, 그 내용은 계획의 진행이나 수정 과정의 지침으로 이용된다.

제 2 절 산림생태계 관리의 개념과 의사결정지원체계의 발전 동향

기존의 산림자원관리는 1970년대 초반까지 임산업위주의 생산성 향상을 위한 채취임업이 주류를 이루고 있었고, 1970년대 중반부터 목재생산을 포함한 제반 공익적 기능을 동시에 고려할 수 있는 종합적 관리원칙으로 다목적경영의 개념이 도입되었다. 그러나 1980년대 중반부터 산림자원관리의 지속가능성에 중점을 두고 산림자원의 환경생태적 변화에 대한 감시 및 평가체계가 강조되고 있으며 최근의 국제동향에서 산림생태계 관리(Forest Ecosystem Management)가 새로운 개념으로 정립되고 있다.

이러한 변화에 부응하기 위해 산림관리에 대한 접근방법에도 많은 변화가 일고 있다. 기존의 다목적경영체계에서도 지속가능한 산림관리의 원칙이 강조는 되었지만 이러한 원칙을 실행하기 위한 접근방법에 많은 허점이 노출되었다. 일례로, 기존의 접근체계에서는 산림의 생태적 기능을 유지 발전시키기 위한 노력을 적극적으로 모색하기보다는 경제적 기능을 다소 제약하는 수준에서 이루어 진 것이 사실이다. 산림생태계 관리에서는 기존의 생산위주의 산림관리방식에 감시 및 평가체계를 도입함으로써 보다 적극적인 산림의 지속가능성에 초점을 맞추고 있다.

한편 산림생태계 관리는 물론 기존의 다목적경영에서도 다양한 산림정보를 관리하기 위한 의사결정지원시스템(Decision Support System)이 요구된다. 이것은 대개 산림자원관리는 방대한 면적을 대상으로 하고, 산림자원의 속성상 시간에 따라 매우 복잡하게 변해 가는 동태구조(Dynamic Structure)를 지니고 있어 체계적인 분석이 어려운 것에 기인한다.

다만 산림관리에서 추구하는 목표에 따라 필요한 분석을 할 수 있는 기능을 지닌 의사결정지원시스템의 개발이 요구된다. 산림생태계 관리에서는 뛰어난 정보처리 능력에 의해 종합적인 타당성 검토를 통하여 과학적인 산림정책 입안 및 실행계획 수립을 가능하게 할 수 있고, 동시에 산림자원을 지속적으로 모니터링할 수 있는 기능들이 필요하다. 최근 전산과학의 급속한 발전은 데이터베이스, 지리정보체계 등을 의사결정지원시스템 개발에 매우 효과적으로 이용할 수 있도록 해주고 있다.

이러한 점들을 인식하고 본 연구에서는 우선 새로운 산림관리의 개념으로 정립되고 있는 산림생태계 관리의 개념을 기존의 다목적 산림관리와 비교검토하고, 산림생태계 관리의 접근체계 및 이를 지원하기 위한 의사결정지원시스템의 발전동향을 검토하였다.

1. 산림관리 paradigm의 변화

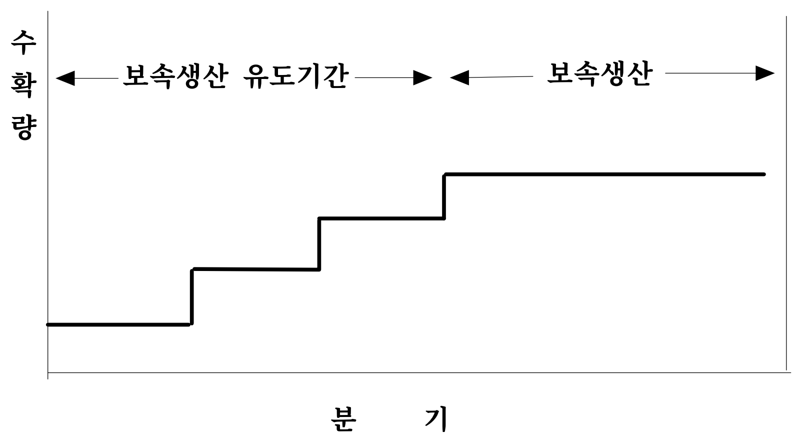
가. 생산위주의 다목적경영 산림관리

1970년대 중반 이후 산림관리는 목재생산기능, 휴양기능, 야생동물의 서식기능, 수자원 함양기능 등 산림의 제 기능을 생산의 관점에서 평가하고 있다. 즉, 이러한 산림의 제 기능이 목재생산을 지속적으로 유지시킴으로써 가능할 것으로 판단하였다. 따라서 산림의 다목적경영을 위한 지속가능한 목재생산(Sustained Yield) 혹은 보속생산(Even-Flow)에 중시하여 대부분의 산림계획이 산림의 생산기능에 초점을 맞추고 있는 것을 알 수 있다.

이러한 관리전략에서는 산림의 다목적 이용과 그에 따른 이용체계를 전략적 차원에서 수립하고 있다. 이를 위해 산림의 경제적 기능, 공익적 기능 및 환경생태적 기능 등과 같이 상충되는 정책적 경영목표들을 조절하여 종합적

인 관리계획을 수립하는 것이 다목적경영 관리체계의 주된 내용이 된다. 이 단계의 산림계획 분석 과정을 통해 중장기의 다원적 산림관리 목표들을 절충하여 정량적인 결정을 할 수 있으며, 시간에 따라 변해가는 산림의 변화를 모니터링하는 것이 가능하다.

즉, 다목적경영계획에서는 여러 가지 산림관리 목표를 종합적으로 성취하기 위한 타당성 검토를 거쳐서 장기적 관점의 사업계획을 수립하고, 이 계획을 토대로 산림수확 및 갱신계획을 수립한다. 한편 다목적경영계획이 대면적 산림을 대상으로 수립되는 계획인 반면 개별 임분단위의 산림시업계획은 산림자원조사 결과에 따라 각 임분의 시업강도 및 시업시기를 결정함으로써 그 결과를 다목적계획에 적용하도록 되어 있다.



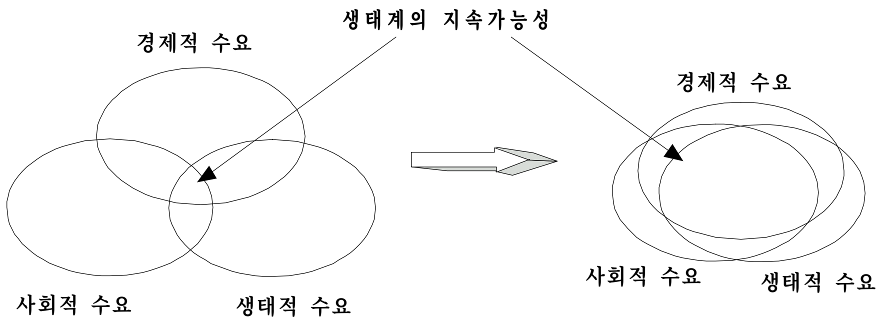
<그림 4-1> 비감소수확에 의한 보속림 유도의 개념도

특히 다목적 경영목표를 지향하는 산림에서 여러가지 정책목표중 가장 기본적인 것은 현재의 산림을 보속생산체계의 지속가능한 산림으로 유도하는 것이다. (그림 4-1)은 전체 경영대상이 되는 단지내의 산림에 비감소수확의 개

념을 적용하여 보속림으로 유도하기 위한 방안을 개념적으로 보여주고 있다. 이 그림에서 연차적인 생산량이 점진적으로 증가하도록 유도하고 있는데 이와같이 연차적으로 산림수확량을 지속적으로 유지 혹은 증대시켜 가는 것을 비감소수확이라고 한다. 다목적경영에 이 개념을 적용함으로써 보속생산이 가능한 목표림의 수종 및 영급분포와 목표림 유도를 위한 산림수확계획 일정을 구체적으로 제시하여 예측가능한 임업을 구현함과 동시에 지속가능한 산림관리를 구현하는 방법으로 간주된다. 따라서 이와 같은 다목적경영의 개념에서는 보속적 목재수확의 개념이 목재생산 이외의 제반 산림기능을 동시에 지속적으로 보장해 줄 수 있다는 전제가 있음을 알 수 있다.

나. 새로운 Paradigm: 지속가능한 산림생태계 관리

산림자원관리의 국제적 동향은 여러 가지 산림의 기능적 측면을 고려한 형태로 발전하고 있다. 이것은 기존의 다목적 산림자원관리가 비록 사회적, 환경적, 경제적 수요를 동시에 충족시키기 위한 개념으로 도입되었으나 결국 목재생산중심의 산림관리전략으로 이용되었던 것에 기인한다. 즉, 기존의 산림관리를 위한 의사결정이 시뮬레이션이나 최적화기법의 적용에 의해 지속가능한 산림생산을 추구하고는 있으나 의사결정을 위한 평가척도가 목재생산에 의한 경제재로서의 가치에 비중을 둠으로써 산림의 제 기능이 적절하게 평가될 수 없었던 것이다. 그 결과 전체적인 산림의 임목축적은 크게 줄지 않았으나 대신 임령이 100년내지 150년 이상된 천연성숙림 (Old-Growth Forest Stand)의 비중이 크게 줄어 특정 야생동물의 서식지가 위협을 받아 환경생태적 입지가 악화되는 등 산림의 기능이 심각하게 훼손되는 것이 나타났다.



<그림 4-2> 산림의 기능에 대한 수요의 변화

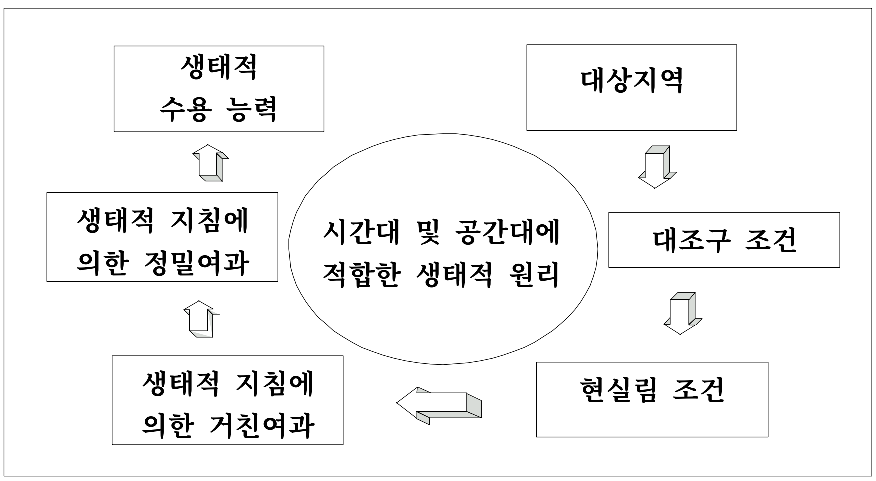
이러한 제반 환경변화에 의해 1990년대 들어 산림의 환경생태에 관한 문제들이 미국사회에 심각하게 대두되면서 기존 목재생산중심의 다목적경영 산림관리체계에 생태적 기능 및 사회적 기능을 보다 강화하여 생태계의 지속가능성을 증대하기 위한 노력이 가시화 되었다(그림 4-2). 그 결과 다목적경영에서 추구하던 산림자원의 효율적 이용측면에 환경생태적 기능을 강조함으로써 산림자원의 이용과 보전에 대한 기존의 개념에 상당한 변화를 초래하였고, 그러한 변화를 수용하기 위한 새로운 paradigm으로 생태계관리의 개념이 산림관리를 위한 기본전략으로 자리를 잡고 있다.

이와같이 새로운 산림관리체계 혹은 Ecosystem management에서는 자연생태계 및 종다양성의 보전, 경관보호 등 산림환경의 생태적 관리를 보다 적극적으로 수용함으로써 지속가능한 산림관리체계를 요구하고 있다. 이러한 관점에서 산림자원의 경영관리는 과거에 비해 지향하는 목표가 다양해지고, 그 결과 기존의 산림관리체계에서 중시되던 목재생산기능에 산림에 대한 사회적 수요 및 환경생태적 수요를 동등하게 수용하기 위한 새로운 산림평가분석 및 의사결정단계를 요구하고 있는 것이 그 특징이다.

2. 지속가능한 생태계 관리를 위한 산림관리체계

가. 환경생태적 관리지침 및 실행체계

(그림 4-3)에 보이는 변화에 대응하기 위해서는 산림관리의 계획 및 실행에 도입할 수 있는 생태적 수요의 분석 및 평가체계가 요구된다. 그러나 이를 위해서는 복잡한 산림생태계에 대한 이해가 우선적으로 요구되지만 아직 충분한 자료가 축적되지 못하고, 분석방법 등에 대한 연구도 충분하지 못한 실정이다.



<그림 4-3> 생태적 수용능력의 평가체계(After Kaufmann and Regan, 1995)

한편 (그림 4-3)은 시간대 및 공간대에 따라 적용가능한 생태적 지침들을 산림자원관리에 응용하기 위한 평가체계의 기본 틀로서 생태적 원리를 산림관리실행체계에 직접 응용하여 생태계의 수용능력을 평가하기 위한 체계를

제시하고 있다. 이러한 평가체계는 산림관리자가 건전하고, 다양한 특성의 지속가능한 산림생태계를 유지하거나 유도할 수 있는 정보를 제공하기 위한 것이다. 산림을 효과적으로 관리하기 위해서 산림관리자는 시간대 및 공간대의 범위(Spatial and Temporal Scales)에 따른 산림생태계의 특성을 파악함으로써 생태적 흐름을 인식하고, 대조구의 제반 조건들과 비교검토를 통해 현실림의 생태적 조건들을 평가할 수 있어야 한다.

이 그림에서 대조구의 조건(Reference Conditions)은 천연상태 산림의 생태적 다양성을 의미하며 현실림을 지속가능한 산림으로 유도하기 위한 목표림을 정의하거나, 현실림이 지닌 조건들이 과거 산림의 생태적 조건에 비해 어떻게 달라진 것인지를 비교하기 위한 지표로 활용될 수 있다. 이것은 현실림의 조건(Existing Conditions)만으로는 산림관리시업 등으로 인한 인간의 간섭에 의해 생태계의 지속가능성이 어떻게 변화할 것인지 판단하기 어렵기 때문에 비교적 인간의 간섭이 적게 미치는 산림을 참고할 필요가 있기 때문이다.

'생태적 지침에 의한 여과장치'는 산림관리의 내용이 대조구의 생태적 조건 혹은 목표하는 산림의 생태적 건전성을 성취하기에 적합한지 그 타당성을 검토하기 위한 장치로 볼 수 있다. 여기서 '거친 여과장치'(Coarse Filter)는 생태적 요소들의 집합체(Aggregates of Ecological Elements)를 보호하기 위한 장치가 되고, '정밀 여과장치'(Fine Filter)는 희귀종의 보호 등과 같이 세심한 주의를 요하는 생태적 보호장치를 의미한다.

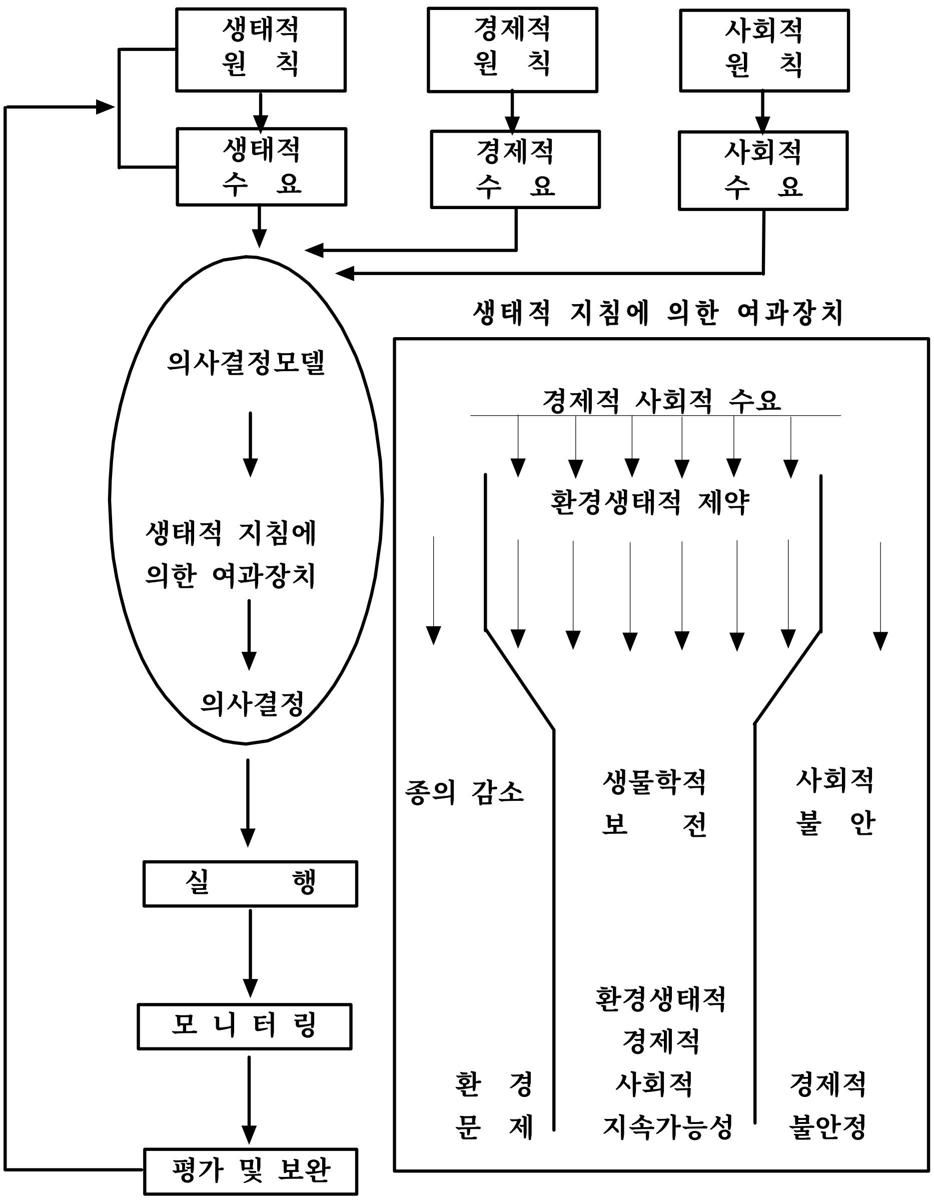
나. 산림의 이용과 보전을 위한 적응관리체계의 개념

지속가능한 산림관리를 위해서는 사회적, 경제적 그리고 생태적 수요를 종합적으로 수용하기 위한 감시 및 평가체계로 적응관리(Adaptive

Management)의 개념이 요구되고 있다. 산림관리에 있어서 적응관리란 (그림 4-3)에 나타난 것과 같이 의사결정에 의한 계획수립, 실행, 감시 및 평가 그리고 조정단계를 반복적으로 수행하여 장기적으로 이상적인 산림관리체계를 구축하기 위한 생태계 관리의 구현 방안이 된다. 이러한 관리체계에서는 시간의 흐름에 따라 부각되는 새로운 관리목표, 기술, 지식 등에 대한 정보를 끊임없이 입력하여 장기적으로 이상적인 산림관리체계를 구현하기 위한 것으로 해석할 수 있다.

특히 이 그림에 나타난 관리체계는 '생태적 지침에 의한 여과장치'를 주요 의사결정과정에 포함시키고 있다. 이것은 기존의 다목적경영에서 상대적으로 소외된 산림의 생태적 기능을 강조하여 생태적으로, 사회적으로 그리고 경제적으로 지속가능한 산림관리가 가능할 수 있도록 하기 위한 것이다.

이 점이 기존의 다목적경영을 위한 의사결정지원체계와 큰 차이가 있다. 즉, 다목적경영에서는 임목중심의 관리체계를 지향하여 목표림 유도를 위한 비감소수확의 조건이나 임분의 생장특성에 의한 벌기령의 결정 등에 의해 산림수확계획을 수립하게 함으로써 지속가능한 산림을 간접적으로 유도하고자 한 반면 (그림 4-4)에서는 대상지역의 생태적 특성에 따른 지침을 우선적으로 충족시키도록 접근하고 있다.



<그림 4-4> **지속가능한** Forest Ecosystem Management**를 위한 적응관리 체계 및 생태적 지침에 의한 여과 장치** (After Kaufmann and etc., 1994)

다. 새로운 의사결정지원체계의 발전 동향

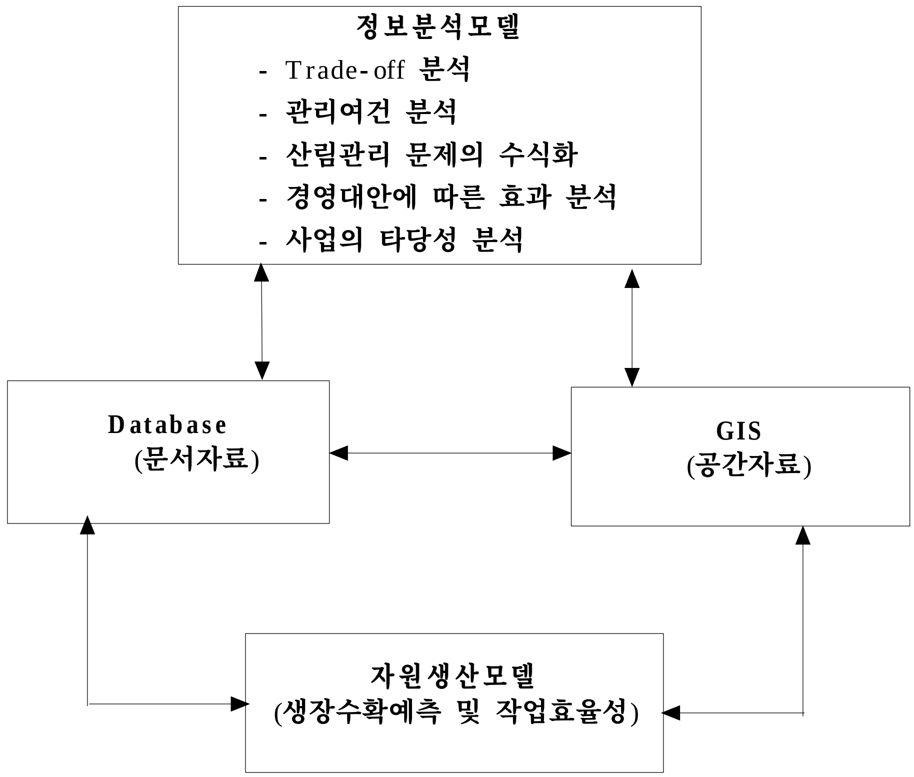
기존의 생산위주 산림계획에서는 다목적경영을 위한 시뮬레이션이나 최적화기법(optimization techniques) 응용에 의한 전산모델들이 다양하게 개발되었다. 다목적경영계획을 위해 여러 가지 형태의 선형계획모델들이 개발되었지만 그중 FORPLAN(Iversion and Alston, 1986; Johnson, Stuart and Crim, 1986)은 미국의 국유림이나 대규모 산업림 관리에 폭넓게 이용되는 전산모델이다. 그러나 이러한 기존의 모델은 산림관리에서 임분시업을 위한 투자효율의 극대화나 다목적경영에서 요구하는 보속수확체계의 유도 혹은 유지를 추구하기 위한 것으로 산림생태계 관리의 지원시스템으로 사용되기에는 다음과 같은 문제가 있다.

1) 산림의 동태구조는 그 변이가 심하고 복잡하지만 이러한 변이를 충분히 예측할 수 있는 확정함수(deterministic function)를 사용함으로써 예측이 어려운 자연의 변화를 과도하게 단순화하는 경향이 있음.
2) 비슷한 임상구조를 지닌 임분들을 하나의 임분속성으로 묶어 처리함으로써 개별 임분의 공간분포를 충분히 고려할 수 없음.
3) 다목적경영의 수확벌채계획에서 산림생태의 변화과정을 선형모델로 해석하게되어 복잡한 산림의 동태구조를 충분히 설명할 수 없음.

산림생태계 관리의 도입을 위해서는 기존의 산림관리 의사결정지원체계의 한계를 극복하기 위한 노력이 중요하다. 1990년대 초에 Forest Ecosystem Management의 개념이 정립되고 현재는 이러한 개념을 실무 산림관리에 응용하기 위한 기초연구들이 다각적으로 이루어지고 있다. 예를 들어 산림생태와 관련된 토양, 물, 동식물, 산림의 건전성 및 종다양성 등을 보다 근원

적으로 이해하기 위한 기초조사연구와 이러한 자료들을 정보화 하여 종합적으로 관리하고 분석하기 위한 전산체계의 개발 등 응용을 위한 연구들이 집중적으로 이루어지게 된다.

(그림 4-5)는 산림생태계 관리를 위한 바람직한 의사결정지원체계의 기본 구조를 보여주고 있다. 이 체계는 자원생산모델(Resource Production Model), 데이터베이스, 지리정보체계 (GIS) 및 정보분석모델(Analytical Model)의 4가지 요소로 구성되어 있다. 이중 자원생산모델, 데이터베이스, 지리정보체계는 자료 및 정보의 관리를 위한 기능을 지니고 정보분석모델은 의사결정체계의 핵심부분으로 생태계, 자원 및 산림관리 행위간에 발생하는 상호작용을 해석하는 기능을 지닌 동시에 최적화기법을 적용하여 가장 바람직한 관리방안을 제시하는 기능을 지닌다. 특히 최근 지리정보체계의 급속한 발전은 공간분석을 가능하게 하여 Forest Ecosystem Management 구현을 위한 분석 및 의사결정지원체계 발전에 크게 기여하고 있다.



<그림 4-5> 산림생태계 관리를 위한 의사결정지원체계의 기본 구조

라. 지속가능한 산림생태계 관리를 위한 의사결정지원체계

이와 같은 산림생태계 관리를 위한 의사결정지원체계(Decision-Making Supporting System)의 발전동향은 (표 4-1)에 나타난 자료에서 쉽게 알 수 있다. 이 표는 1997년 미국 Forest Service에 의해 산림생태계 관리를 위한 분석 및 의사결정지원체계 발전동향을 파악하기 위해 발표된 자료중 일부를 발췌한 것이다. 이 표에 의하면 산림생태계 관리를 위한 분석 및 의사결정

지원체계들이 다양한 형태로 개발되고 있음을 알 수 있다. 이러한 모델들은 기존의 생산위주 산림관리에서 요구되던 모델들에 비해 생태적 분석을 위한 기능들이 포함되고 있고, 많은 모델들이 지리정보체계의 응용에 의한 공간 분석 기능들을 장착하고 있다.

이 표에서 분석기법(Modeling Techniques)이 표시되지 않은 모델은 지리정보분석기법을 적용하여 공간분석에 중점을 두고 개발된 것들이다. 그 외에 시뮬레이션이나 최적화기법 등을 적용한 모델들중 공간분석이 가능한 모델들은 대개 정교한 공간분석보다는 시간대에 따라 변하는 산림의 동태를 공간상에 mapping을 하는 수준에 그치고 있으나 상대적으로 정교한 생장예측이나 경제성 분석에 중점을 두고 있는 것으로 볼 수 있다.

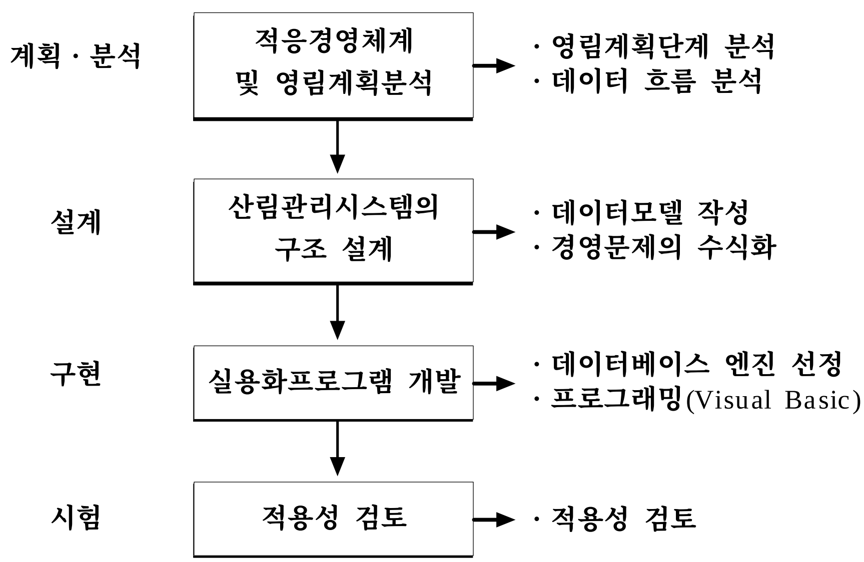
Evaluation Criteria	Decision Support Systems																					
	ARCFOREST	ARGIS	CRBSUM	EMDS	FIREBGC	FVS	GYPSES	IMPLAN	INFORMS	KLEMS	LANDIS	MAGIS	NED	RELMDSS	SARA	SIMPPLLE	SNAP	SPECTRUM	TEAMS	TERRA VIS	UPEST	UTOOLS
Analyze Current Conditions	X		X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
Predict Future Conditions			X		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
Spatial Analysis	X	X	X	X	X		X		X		X	X		X	X	X	X			X		X
Multiscale Interactions					X	X								X	X	X		X		X		
Modeling Techniques:																						
Simulation					X	X	X	X		X	X		X		X	X		X		X	X	X
Optimization												X		X	X			X	X	X		
Knowledge-Based						X	X			X			X			X	X					X
Fuzzy Logic										X			X		X							

<표 4-1> 산림생태계 관리를 위한 분석 및 의사결정지원체계

제 3 절 국유림관리 의사결정모델의 개발

1. 모델 개발 체계

산림관리체계의 개발은 영림계획체계 분석, 산림관리시스템의 설계, 실용화프로그램의 개발, 적용성 검토의 단계로 수행되었으며, 각 연구단계별 주요 연구방법은 (그림 4-6)와 같다.



〈그림 4-6〉 연구단계별 주요 연구방법

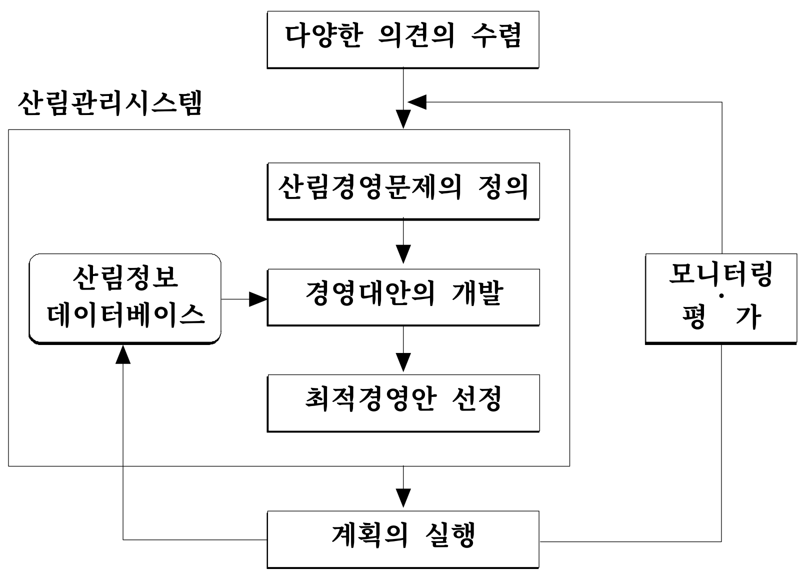
가. 영림계획체계 분석

산림관리시스템 개발의 첫 단계로 현행 영림계획 운영체계의 문제점을 검토하고, 그 결과를 바탕으로 개발하고자 하는 관리체계가 갖추어야 할 기본기능을 파악하였다. 검토 결과 영림계획 업무를 지원하는데 필요한 기능으로 자료관리기능과 의사결정지원기능을 선정하였다. 자료관리기능은 영림계획 운영과정에서 사용되는 각종 자료들을 효율적으로 관리하고, 산림경영자에게 필요한 정보를 제공하기 위한 것이며, 의사결정지원기능은 임상현황을 바탕으로 주어진 조건을 만족하는 최적의 계획안을 제시하여 영림계획 작성을 지원하고, 현재의 영림계획이 갖는 문제점들을 개선하기 위한 것이다. 이러한 기능을 산림관리체계에 효과적으로 반영하기 위해서는 관리대상이 되는 자료의 종류와 자료들간의 관계, 영림계획 작성 절차 등을 명확하게 파악하고, 데이터베이스시스템이나 의사결정지원시스템에 반영할 수 있어야 한다. 따라서 영림계획체계 분석에서는 우리 나라의 산림계획제도를 검토하고, 국유림의 영림계획 운영과정을 분석하였으며, 이를 토대로 시스템에서 다루어야 할 정보의 영역을 정리하였다.

나. 산림관리시스템의 구조 설계

산림관리시스템의 기본 설계를 위해서는 먼저 산림관리시스템과 외부환경의 관계를 분석하고, 시스템내의 데이터 흐름을 파악할 필요가 있으므로 시스템의 배경도(context diagram)와 데이터 흐름도(data flow diagram)를 작성하였다. 배경도는 시스템을 둘러싼 외부환경 요소들의 역할과 기능을 분석하는 것으로서 최종적으로 개발될 시스템의 운영 환경을 표현하는 수단이 된다. 그리고 데이터 흐름도는 데이터가 산림관리시스템내의 각 절차를 따라

변화되는 과정을 도형화한 것으로서 시스템을 전체적인 관점에서 조망할 수 있기 때문에 시스템 설계의 기본 자료가 된다. 여기서는 일반적인 산림경영 과정을 중심으로 배경도를 작성하였으며, 데이터 흐름도는 우리 나라의 현행 산림계획체계와 영림계획 운영과정을 기초로 하였다. 즉, 영림계획 운영 과정에 요구되는 산림경영정보의 종류와 변환 과정을 정리한 후, 이를 이용하여 시스템내의 자료 입력, 처리, 저장 과정을 데이터 흐름도로 표현하였다. 이러한 연구내용을 토대로 적응경영체계에 기초하여 (그림 4-7)과 같은 산림관리시스템의 기본구조를 선정하였다.



<그림 4-7> 적응경영체계에 기초한 산림관리시스템의 기본구조

먼저 데이터베이스시스템의 구축은 기본요건 분석, 데이터베이스 설계의 순서로 진행되었다. 기본요건 분석은 영림계획체계를 분석하는 것으로 산림

행정종합정보시스템 기본계획(산림청, 1993)과 국유림 관리소의 산림경영 담당자와의 면담을 통해 문제를 정의하고, 서식을 분석하였다. 데이터베이스 설계에서는 영림계획 운영과정에 대한 분석을 바탕으로 데이터 개체와 개체간의 관계를 정의하고, 개체-관계 모델을 작성하였으며, 데이터 개체의 개념을 명확히 하기 위해 데이터 사전을 작성하였다.

다음으로 의사결정지원시스템의 구축은 문제정의, 모형수립, 분석으로 이루어진 수리계획법의 적용과정을 바탕으로 하였다. 즉, 문제정의 단계에서 산림경영문제를 분석하고, 모형수립 단계에서 산림경영문제의 수식화에 사용되는 Model I과 Model II 유형를 이용하여 수식모형을 개발하였으며, 분석단계에서는 얻어진 최적해를 해석하여 최적경영안을 제시하도록 하였다. 따라서 의사결정지원시스템은 이러한 세가지 단계를 수행하는 수식화 모듈, 최적화 모듈, 최적해 해석 모듈로 구성하였다.

의사결정지원시스템의 최적화 방법으로 선형계획법(linear programming)을 이용하였다. 선형계획법은 가장 널리 사용되는 수리계획법의 하나로서 모형 자체가 비교적 단순하고, 많은 양의 입력자료를 처리할 수 있기 때문에 대규모 문제에 많이 적용된다(박순달, 1992). 이러한 이유로 이 연구에서도 최적 경영대안의 선정에 선형계획법을 이용하였다. 하지만 선형계획법은 기본적으로 목적함수의 구성이 한가지 기준을 중심으로 이루어지기 때문에 다수의 목표를 포함하는 현실문제의 표현에는 제한이 있다(이상문과 이병찬, 1983). 따라서 이러한 한계를 극복하기 위해 수식모형의 구성에 점수모형(scoring model)을 고려하였다. 점수모형은 다목적 의사결정방법 중에서 선호보정이 있는 모형(compensatory model)에 속한다. 선호보정이 있는 모형은 의사결정자의 선호(preference)에 관한 정보를 바탕으로 요소들간의 상쇄효과(trade-off)가 가능하며, 점수모형, 절충모형, 일치모형 등이 있다. 반면 선호보정이 없는 모형(non-compensatory model)에서는 요소들간의 선호보

정을 고려하지 않는데, 즉 어떤 한 요소에서의 불리한 평가와 다른 요소에서의 유리한 평가는 서로 상쇄효과를 일으키지 못하며, 각 요소는 동일한 요소와만 비교될 수 있다(김성희, 1994). 따라서 이 모형에 속하는 방법들은 의사결정자로부터 선호 정보를 얻지 않고도 의사결정과정을 처리할 수 있지만 산림경영문제와 같이 고려해야하는 요소가 많은 경우 우위성을 갖는 대안의 수가 급증하여 현실적인 적용이 어렵게 된다. 결국 산림경영문제는 현실조건을 수식으로 정확하게 표현하는 것도 중요하지만 실제 산림계획과정에 직접 활용할 수 있어야 하므로 최적해의 계산도 그에 못지 않은 중요성을 갖는다. 따라서 현 단계에서 가장 실용성을 가지면서 계산의 효율성을 확보할 수 있는 모형을 적용하는 것이 효과적이다. 이 연구에서는 대안의 평가에 두 개 이상의 기준을 적용할 경우 각 요소에 가중치를 부여하는 단순가중치법(simple additive weighting method)을 이용하였다.

다. 실용화 프로그램의 개발

실용화 프로그램의 개발에 앞서 시스템의 운영환경으로 하드웨어는 IBM 호환 개인용 컴퓨터를, 운영체계로는 한글 윈도우 95 또는 98을 선정하였으며, 프로그램 개발 역시 운영환경과 동일한 환경을 이용하였다.

데이터베이스시스템의 개발을 위해 먼저 데이터베이스 엔진을 선정하였다. 데이터베이스는 자료관리의 효율성과 산림경영분야의 다양한 응용프로그램에 대한 지원 가능성을 고려하여 선정하는 것이 바람직하기 때문에 다음과 같은 선정기준을 적용하였다. 먼저 시스템의 운영환경으로 선정한 IBM 호환 개인용 컴퓨터와 한글 윈도우 환경에서의 구동성을 고려하였다. 그리고 다른 데이터베이스나 응용프로그램들과의 자료 호환성을 평가하기 위해 자료호환 방법으로 흔히 사용되는 ODBC(open database connectivity)

의 지원 여부와 다른 소프트웨어의 입출력과정에서 해당 데이터베이스의 파일양식이 지원되고 있는가를 고려하였다. 또, 소프트웨어 개발도구로 흔히 사용되는 Visual C, Visual Basic 등과 같은 프로그래밍 언어의 지원 가능성을 고려하였으며, 데이터베이스의 안정성에 대한 충분한 검증 여부와 함께 경제성을 포함하였다. 이러한 기준을 토대로 Microsoft ACCESS를 채택하였다. ACCESS는 개인용 컴퓨터에서 가장 많이 사용되는 소프트웨어의 하나로서 Visual Basic 등과 같은 프로그래밍 언어를 이용할 경우 데이터베이스를 직접 조작할 수 있으므로 경제성 측면에서 유리하고, 이미 많은 사용자들을 통해 안정성에 대한 충분한 검증이 이루어진 것으로 판단되어 데이터베이스 엔진으로 선정하였다. 그러나 네트워크를 통한 데이터베이스의 접근 등에서는 다른 소프트웨어에 비해 취약한 단점을 가지고 있으므로 산림관리시스템의 확장을 위해서는 엄격한 평가기준을 적용할 필요가 있다.

한편 선정된 데이터베이스 엔진을 이용하여 데이터베이스를 구축하고 데이터베이스의 활용을 위해 사용자 인터페이스를 개발하였다. 인터페이스 개발 도구로는 윈도우용 프로그래밍 언어인 Microsoft Visual Basic (professional edition version 5.0)을 이용하였다.

의사결정지원시스템의 수식화 모듈과 최적해 해석 모듈의 개발에는 데이터베이스 개발시 사용하였던 Visual Basic을 이용하였으며, 데이터베이스시스템에서 정의한 데이터베이스 구조와 호환이 가능하도록 하였다. 수식화 모듈을 통해 얻어진 자료 파일의 형식은 선형계획 최적해 계산 프로그램에서 공통적으로 사용하는 MPS(Mathematical Programming System) 형식을 이용하였으며, 입력자료로 MPS 형식을 지원하는 최적화 프로그램이라면 어느 것이든지 활용할 수 있도록 하여 시스템의 호환성을 높였다. 이 연구에서는 최적화 개인용 컴퓨터에서 많이 사용하고 있는 최적화 프로그램의 하나인 C-WHIZ (Ketron Management Science)를 이용하였다.

라. 적용성 검토

개발된 시스템의 적용성 검토를 위한 사례연구를 목적으로 춘천관리소의 춘천영림구 일부 지역을 분석 대상지역으로 선정하였으며, 춘천관리소의 협조를 얻어 해당 영림구의 6차기 산림조사부, 임소반도 등을 이용하였다. 검토 내용은 시스템의 자료관리기능과 의사결정지원기능에 대한 평가를 위해 대상 지역의 임상 및 입지현황을 분석하고, 영림계획안을 작성하였다. 이를 위해 대상지역의 지역 특성을 중심으로 경영구역을 구분하고, 경영구역별 특성을 반영하여 목적함수나 제약조건의 강도에 따라 4개의 대안을 구성하였다.

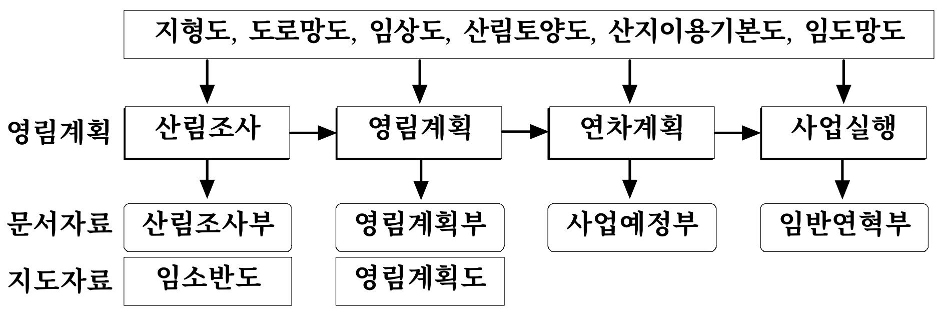
임상 분석에서는 경영구역별로 수종, 영급, ha당 축적 등을 분석하였으며, 입지 분석을 위해서는 경사도, 지리, 지위지수 등을 분석하였다. 일반적으로 경영환경 분석에는 경영목적이나 형태에 따라 다양하고 복잡한 분석들이 실행되지만 이 연구에서는 산림관리시스템의 이용에 대한 시범적 예를 제시하기 위한 것이므로 대표적인 인자들을 중심으로 분석을 실시하였다.

수식모형의 평가를 위해서는 각 대안별로 최적 경영안을 계산하였으며, 얻어진 경영안들의 목적함수 값과 분기별 재적생산량, 탄소저장량의 변동 경향을 분석하였다. 그리고 영림계획 운영과정에 대한 지원 가능성 검토를 위해서 선정된 대안 중에서 하나를 선택하여 최적 경영안을 계산하고, 경영단위별 시업계획, 임소반별 시업계획 등을 작성하였다. 그리고 산림관리시스템에서 제시되는 경영안은 산림경영자가 영림계획을 작성하거나 운영하는데 필요한 의사결정이나 분석 등을 지원하기 위한 것이므로 산림경영계획모델을 통해 얻어지는 결과물들에 대한 이용 방향을 제시하였다.

2. 데이터베이스관리 시스템의 구조체계

가. 영림계획체계 분석

우리나라의 영림계획 운영과정은 크게 산림조사, 영림계획, 연차계획, 사업실행의 순서로 이루어지고 있다. 보다 정확하게 구분하면 연차계획과 사업실행 사이에 사업예정 단계가 있으나 연차계획이 수립되면 사업예정은 실질적으로 그에 따른 물량의 조정이므로 이 연구에서는 연차계획에 사업예정이 포함되는 것으로 하였다.



<그림 4-8> 영림계획 단계와 데이터의 흐름

(그림 4-8)는 영림계획 운영과정과 그에 따른 데이터의 흐름을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 산림경영을 위한 계획수립 및 실행은 이러한 자료들을 근거로 일련의 단계적 과정을 거치도록 되어 있어 각 자료들은 상호 보완적인 동시에 유기적인 연관성을 지니고 있다. 따라서 방대한 산림자원정보를 효율적으로 관리하기 위해서는 이들 자료의 성격과 자료간의 상호관계를 파악하고, 이를 산림관리시스템에 정확하게 반영하는 것이 중요하다.

그림에서 상단부분의 지형도, 임상도, 산림토양도, 산지이용기본도, 임도망도 등은 영림계획과는 무관하게 작성되는 자료로서 별도의 조사를 통해 작성된다. 하단부분은 영림계획의 세부 단계에서 생성되는 자료로서 산림조사부, 영림계획부, 사업예정부, 사업실행부, 임반연혁부 등의 문서자료와 임소반도, 영림계획도 등의 지도자료로 구분할 수 있다.

한편 구체적인 시스템의 개발을 위해서는 전체적인 관점에서 시스템의 성격과 시스템내의 정보처리 과정을 정리할 필요가 있다. 즉, 영림계획체계에 대한 분석 결과를 바탕으로 시스템과 외부환경과의 관계를 분석하고, 시스템 내부의 정보 가공 체계를 파악하므로써 현실의 체계를 보다 정확하게 시스템에 반영할 수 있다.

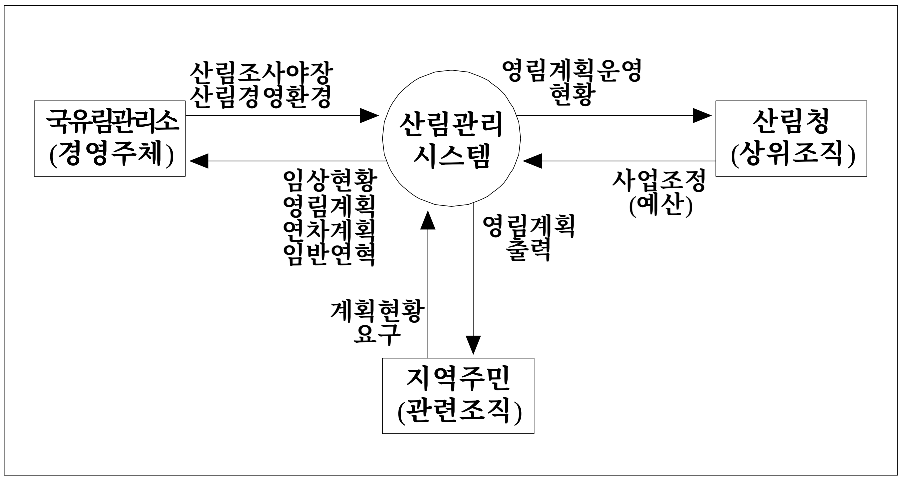
거시적 측면에서 산림관리시스템은 산림경영과 관련된 의사결정이나 활동을 지원하기 위한 것이므로 산림을 둘러싼 외부 환경과 밀접한 관계를 갖는다. 외부 환경을 구성하는 요소는 크게 경영조직, 상위조직, 관련조직 등으로 분류할 수 있다. (그림 4-9)은 산림관리시스템의 외부 환경과 시스템과의 관계를 요약한 것이다.

경영주체는 직접적인 산림경영활동을 수행하는 경영조직으로서 국유림의 경우에는 관리소, 사유림의 경우에는 산주가 될 수 있다. 관리소는 산림조사나 영림계획 내용, 산림경영방침 등을 시스템에 입력하고, 임상현황, 영림계획 내역, 임반연혁 등과 같은 경영활동에 필요한 정보를 획득하므로써 시스템을 운영하는 실질적인 주체가 된다.

산림청은 일선 경영조직의 상위 기관으로서 산림경영의 목적이나 정책을 수립하며, 예산 분배와 사업의 조정을 담당한다. 이 과정에서 상위조직은 산림관리시스템을 통해 영림계획 운영현황에 관한 다양한 정보를 파악하고, 예산이나 산림정책을 바탕으로 영림계획의 변경 기준을 제공한다.

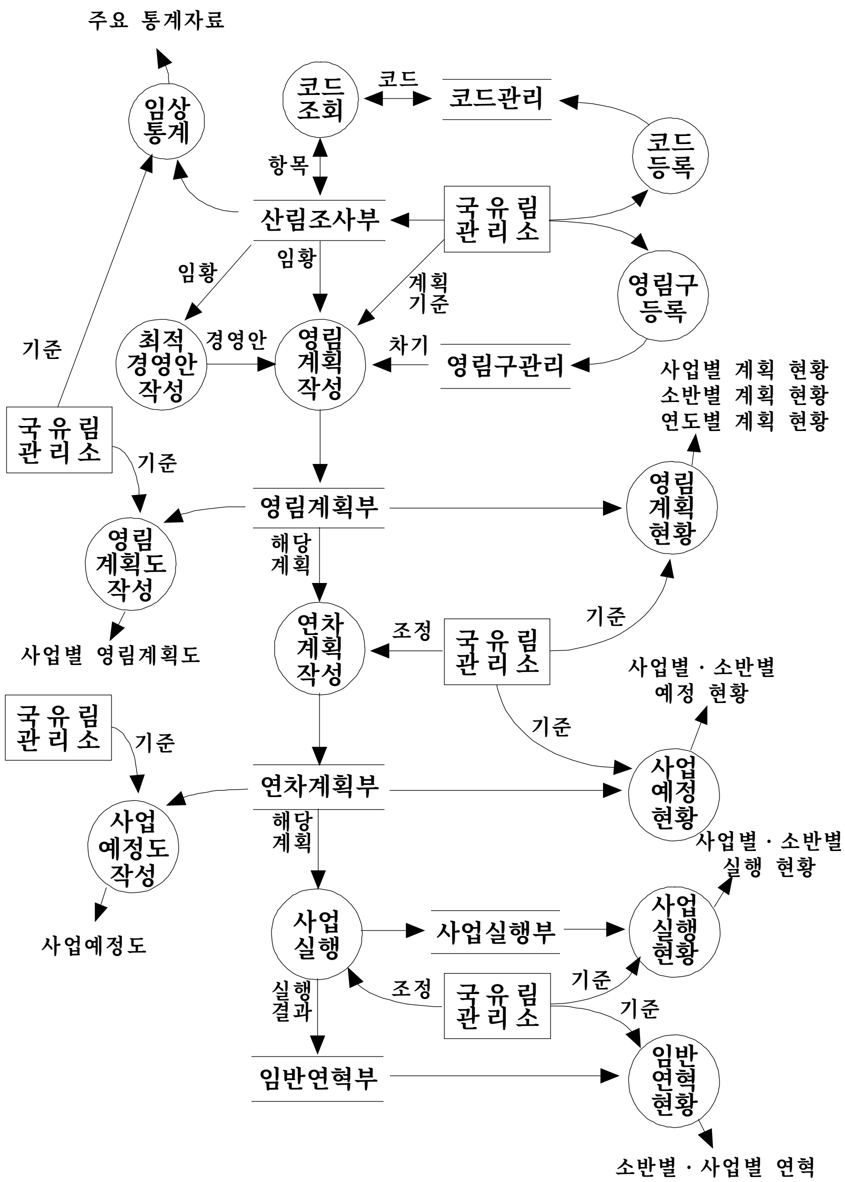
한편 현재의 영림계획체계에는 포함되지 않으나 산림을 둘러싼 이해당사

자나 관련조직의 의견을 계획수립과정에 반영하는 것이 필요하며, 이들은 산림관리시스템을 통해 산림 현황 및 영림계획에 관한 정보를 획득할 수 있다. 이러한 체계는 종합적인 정보망의 구축을 통해 실현 가능하므로 이 연구에서는 경영주체인 관리소와 산림관리시스템의 관계에 중점을 두고 시스템을 구축하였다.



<그림 4-9> 산림관리시스템의 배경도

데이터 흐름도는 배경도를 토대로 영림계획 운영 과정을 중심으로 세분화하여 작성하였다. (그림 4-10)는 산림관리시스템의 데이터 흐름도로서 시스템의 데이터 입력, 처리, 저장 과정을 정리한 것이다. 그림에서 사각형은 외부의 입출력을 나타내고, 원은 프로세스를, 화살표는 자료의 흐름을, 두 줄로 표현된 사각형은 데이터의 저장소를 의미한다.



<그림 4-10> 영림계획과정의 데이터흐름도

산림관리시스템은 영림계획의 세부 단계를 중심으로 자료를 관리하고 처리하기 때문에 (그림 4-10)에서와 같이 데이터 흐름은 영림계획 운영과정과 동일한 체계로 이루어진다. 즉, 입력된 자료는 산림조사부, 영림계획부, 연차계획부, 사업실행부, 임반연혁부 등에 저장되고, 영림계획작성, 연차계획작성, 사업실행 등의 처리과정을 거친다. 따라서 데이터의 저장형태에 따라 산림조사, 영림계획, 연차계획, 사업실행 단계로 구분할 수 있다.

산림조사 단계에서는 입력된 산림조사자료를 산림조사부의 형태로 저장하고, 영림계획작성 과정에 임황, 지황 등의 자료를 제공한다. 또 지리정보의 분석이나 최적경영안 작성 등에 필요한 자료를 제공하고, 여기서 얻어지는 분석 결과는 영림계획 작성을 위한 의사결정에 기초 자료로 이용된다. 영림계획 단계에서는 산림조사 단계에서 제공하는 산림조사자료나 영림계획안을 바탕으로 영림계획을 작성하고, 그 결과를 영림계획부로 저장한다. 영림계획 내용은 영림계획현황이나 영림계획도 등의 형태로 출력될 수 있으며, 연차계획 작성의 기초 자료가 된다. 연차계획 단계에서는 영림계획부를 이용하여 사업년도별로 연차계획을 작성하여 연차계획부에 저장하고, 사업예정현황이나 사업예정도 등의 형태로 출력되어 실제 산림시업에 활용된다. 그리고 연차계획부는 다시 사업실행 단계에서 기초 자료로 이용된다. 사업실행 단계에서는 사업실행결과를 입력받아 해당 차기의 사업실행부로 저장되고, 동시에 임소반별로 임반연혁부에 저장된다. 이들 데이터는 산림시업이나 임반연혁 등의 현황 파악에 이용된다.

나. 데이터 사전 및 데이터 모델

1) 데이터 사전

데이터 개체(entity)는 데이터베이스에서 표현하려고 하는 정보의 대상을

의미하며, 파일 구성 측면에서는 하나의 레코드를 형성하게 된다. 영림계획에서 이용되는 자료를 파일로 관리하기 위해서는 각 개체들과 함께 개체들을 구성하는 속성들을 구분하고, 파일구조를 결정해야 한다. 데이터 개체의 속성을 파악하고, 개념을 명확히 하기 위해 주요 데이터 개체에 대한 데이터 사전을 작성하였다(표 4-2).

표에서 산림조사부는 전체를 하나의 개체로 분석하였는데 이는 현재의 영림계획체계에서는 소반내의 수종 수에 관계없이 소반을 동일 임상(수종)으로 정의하고, 관리하기 때문이다. 그러나 자료관리의 효율성을 높이기 위해서는 유사한 속성들을 구분하여 구획, 지황, 임황, 수종 등의 개체로 세분하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 그 이유는 산림조사에서 지황부분은 시간에 따라 변화하는 임황과 달리 기존의 조사내용을 바탕으로 약간의 수정만을 실시하고 있기 때문에 임황과는 달리 취급하는 것이 효과적이다. 특히 현재 산림조사의 지황부분을 대신할 수 있는 산림입지조사가 실시되고 있기 때문에 입지조사 자료의 관리 측면에서도 개체를 분리하는 것이 유리하다.

벌채사업부, 조림사업부, 무육사업부, 시설사업부, 소득사업부 등은 전체를 하나의 개체로 분석하였으며, 각 사업별로 사업번호와 사업년도, 사업내용을 포함하고 있다. 이들 데이터는 영림계획, 연차계획, 사업예정, 사업실행단계에서 모두 동일한 형태를 갖는다.

임반연혁부 역시 전체를 하나의 개체로 표현하였으며, 벌채, 조림, 무육, 시설, 소득 사업의 세부 구분을 위해 사업구분 항목을 추가하였다.

영림구관리는 문서정보시스템의 운영을 위해 필요한 것으로 영림구별 계획차기 현황과 자료파일 내용을 포함하고 있다.

<표 4-2> 데이터 사전

이 름	데이터 항목	단 계
산림 조사부	=임소반+영림구+임반+보조임반+소반+보조소반+차기+도+군+면+리+입목지면적+미입목지면적+제지면적+작업종+지종+1{세부지종+세부지종면적}3+방위+경사+토양+심도+습도+지위+지리+임종+임상+입목도+소밀도+1{하층식생}4+생장율+ha당생장량+총생장량+1{수종+혼효율+평균임령+최대임령+최소임령+평균수고+최대수고+최소수고+평균경급+최대경급+최소경급+ha당재적+ha당건전목재적+ha당불량목재적+건전목재적+불량목재적}5+지황적요+임황적요+조사일+조사자+비고+코드+임소반코드	산림조사
벌채 사업부	=임소반+차기+사업번호+사업년도+벌채수종+벌채구분+벌채종+벌채율+벌채면적+벌채재적(침)+벌채재적(활)	영림계획 연차계획 사업실행
조림 사업부	=임소반+차기+사업번호+사업년도+조림수종+조림구분+갱신종+조림면적+수량	
무육 사업부	=임소반+차기+사업번호+사업년도+무육종+면적+횟수	
시설 사업부	=임소반+차기+사업번호+사업년도+시설구분+시설종+연장거리+면적	
소득 사업부	=임소반+차기+사업번호+사업년도+사업종류+물량	
임반 연혁부	=임소반+차기+사업번호+사업구분+사업년도+사업일자+수종+수량+면적+벌채재적(침)+벌채재적(활)+사업비+실행자+비고+임소반코드	임반연혁
영림구 관리	=영림구+차기+조사시작년도+조사종료년도+계획시작년도+계획종료년도+자료파일	-

산림경영에 사용되는 자료는 동일한 항목이라 하더라도 대상 산림의 성격에 따라 분류기준이 달라진다. 예를 들어 국유림의 경우 사유림과는 임소반 구획 등에서부터 다른 기준이 적용된다. 이 연구에서는 산림경영에 초점을 맞추어 현재 국유림 영림계획운영요강에서 정하고 있는 지침에 준하여 데이터의 속성을 구분하였다.

(표 4-3)는 주요 데이터들의 속성 내역을 요약한 것이다. 데이터베이스의 효율성을 위해서는 각각의 자료들을 코드화하여 관리하는 것이 바람직하지만 현재 일부 항목에서는 형태가 다른 자료가 동시에 사용되는 경우가 있으므로 영림계획의 운영시에 사용되는 약어를 기본으로 하였으며, 일부 자료의 경우 해당 자료명을 직접 사용하였다.

<표 4-3> **데이터 속성 내용**

속 성	내 용
영 림 구	관리소관할구역 단위로 설정하며, 그 명칭은 영림계획구 앞에 관리소명을 붙인다. 다만, 효율적인 경영을 위하여 필요할 때에는 1개 관리소에 2개이상의 영림계획구를 설정할 수 있으며, 1개 영림계획구의 면적은 가급적 1,000ha 이상이 되도록 하고, 그 명칭은 영림계획구 앞에 가장 많은 면적이 포함된 행정단위의 명칭을 붙이며, 특수한 사정이 있을 경우에는 관리소관할구역에 관계없이 별도의 영림계획구를 설정할 수 있다.
임 반	임반은 산림의 위치를 명확히 하고 사업실행에 편리하도록 영림계획구별로 다음 각호에 따라 구획한다. ① 임반의 면적은 100ha내외를 기준으로 구획하되, 현지 여건상 불가피한 경우에는 예외로 할 수 있다. ② 임반경계는 가급적 하천, 능선등 자연계 또는 방화선, 도로 등 고정적 시설을 이용한다. ③ 임반번호는 영림계획구의 유역하류에서 시계침 방향으로 연속하여 아라비아 숫자를 이용하여 연속되게 붙인다.
보조임반	민유림의 매수·교환 또는 국유림의 환수등 기타 불가피한 경우중에서 기존 임반 구획과 별도로 구획할 때 인접된 임반에 보조번호를 부여한다.
소 반	소반은 임반내에서 다음의 사항에 해당되어 시업상 취급을 달리할 필요가 있는 구역에 대하여 별도 구획하고 소반번호를 붙인다. ① 지종이 상이할 때 ② 임상(수종), 작업종이 상이할 때 ③ 임령, 지위, 지리, 또는 운반계통이 현저하게 상이할 때
보조소반	소반내에서 소면적이 분산되어 있을 경우와 임도시설등으로 산림사업여건이 양호하여 집약적인 산림경영이 필요한 지역에는 소구역단위로 구획하여 보조소반을 둘 수 있다.

<표 4-3> (계속)

속 성	내 용
차 기	영림계획기간은 10년으로 하며, 영림계획구 단위로 매 10년마다 순차적으로 차기번호를 부여한다.
지 종	① 시업지(시): 임산물의 생산을 주목적으로 하는 임지 ② 시업제한지(한): 법률에 의하여 국토보존, 공익적 기능증진등을 목적으로 경영을 제한하는 임지 ③ 제지(제) 부대지: 묘포, 건물, 임도, 기타 국유림 경영에 직접 필요한 시설용 부지 대부지: 산림법 제75조의 규정에 의하여 대부된 임지 잡종지: 부대지 및 대부지 이외의 제지
세부지종	① 시업지 ② 시업제한지: 국립공원, 도립공원, 군립공원, 개발제한구역, 자연환경보전지역, 보안림, 채종림, 시험림, 도시지역, 군사시설, 천연보호림, 관광휴양지, 민통선북방, 기타 ③ 제지: 부대지, 대부지, 잡종지, 기타
작 업 종	① 모두베기작업(두) ② 모수작업(모) ③ 골라베기작업(골) ④ 왜림작업(왜)
면 적	① 입목지면적:입목도가 30%를 넘는 임분의 면적 ② 미입목지면적:입목도 30%이하인 임분의 면적 ③ 제지면적:임지이외의 토지로서 묘포, 건물, 임도, 방화선 등 산림경영에 필요한 시설의 부지와 하천, 지소, 암석지, 풍충지대 등으로서 임목육성에 사용치 못하는 임지면적
방 위	동, 서, 남, 북, 남동, 남서, 북동, 북서의 8방위로 구분하여 표시한다.
경 사	① 완: 15도 미만 ② 중: 15~30도 미만 ③ 급: 30도 이상
토 양	① 사토(사):흙을 손에 쥐었을 때 대부분 모래만으로 구성된 감이 있는 것 (점토함량 12.5%이하) ② 사양토(사양):모래가 대략 1/3~2/3를 점하는 것(점토함량 12.6~25%) ③ 양토(양):대략 1/3미만의 모래를 함유하는 것(점토함량 26~37.5%) ④ 식양토(식양):점토가 대략 1/3~2/3을 점하고 점토중에서 모래를 약간 촉감할 수 있는 것(점토함량 37.6~50%) ⑤ 점토(점):점토가 대부분인 것 (점토함량 50%이상)
토 심	① 천: 유효토심 30cm미만 ② 중: 유효토심 30~60cm미만 ③ 심: 유효토심 60cm이상
습 도	① 적윤: 손으로 꽉 쥐었을 때 손바닥 전체에 습기가 묻고 물에 대한 감촉이 뚜렷함. (해당지: 계곡, 평탄지, 계곡평지, 산록 등) ② 약건: 손으로 꽉 쥐었을 때 손바닥에 습기가 약간 묻는 정도. (해당지: 경사가 약간급한 사면) ③ 약습: 손을 꽉 쥐었을 때 손가락 사이에 약간의 물기가 비친 정도(해당지: 경사가 완만한 계곡 및 평탄지) ④ 습: 손을 꽉 쥐었을 때 손가락 사이에 물방물이 맺히는 정도(해당지: 낮은 지대로 지하수위가 높은 곳) ⑤ 건조: 손을 꽉 쥐었을 때 수분에 대한 감촉이 거의 없음(풍충지에 가까운 경사지)
지 위	해당임분의 우세목의 수령과 수고를 측정하여 지위표에 따라 상, 중, 하로 표시

<표 4-3> (계속)

속 성	내 용
지 리	① Ⅰ등지: 간단한 반출시설에 의해 개발 가능한 (차도로부터 500m이내 위치) ② Ⅱ등지: 개발가능한 오지림 (차도로부터 2km이내 위치) ③ Ⅲ등지: 특별한 반출시설에 의해 개발할 수 있는 오지림 (차도로부터 2km이상 떨어진 곳에 위치)
임 종	임분의 기원으로 천연림(천연)과 인공림(인공)으로 구분하여 기록
임 상	수관점유면적 또는 입목 본수 비율에 의하여 다음과 같이 구분 ① 미입목지: 입목도 30%이하인 임분 ② 제지: 임지이외의 토지로서 산림경영에 필요한 토지나 임목육성에 사용할 수 없는 임지 ③ 침엽수림(침): 침엽수가 75%이상 점유하고 있는 임분 ④ 활엽수림(활): 활엽수가 75%이상 점유하고 있는 임분 ⑤ 혼효림(혼): 침엽수 또는 활엽수가 26 ~75%를 점유하고 있는 임분
혼 효 율	수종별로 재적의 백분율로 표시하되 치수림에 대하여는 입목본수 또는 점유면적의 백분율로 표시
임 령	임분의 평균임령, 최고임령, 최저임령을 각각 기록
영 급	평균임령을 기준으로 구분하며, 영급은 10년으로 범위는 다음과 같다.
입 목 도	현존임분의 축적에 대한 정상임분의 축적을 백분율로 표시한다. 다만, 재적산출이 곤란한 임분에 대해서는 입목본수에 의하여 산정한다.
소 밀 도	수관투영 면적에 대한 입목생립면적을 백분율로 표시한다. ① 소: 수관밀도가 40%이하인 임분 ② 중: 수관밀도가 40%~70%인 임분 ③ 밀: 수관밀도가 71%이상인 임분
경 급	입목의 가슴높이지름을 측정하여 기록(2cm괄약으로 측정)
수 고	입목의 수고를 측정하여 기록(m단위로 측정하고, 그 이하는 반올림)
하층식생	① 덩굴류: 칡, 다래, 머루, 기타덩굴 ② 특이하층식생: 산죽, 철쭉, 기타
축 적 · 생 장 량	다음의 기준에 따라 재적을 측정하고, 그 결과를 기록한다. ① 재적측정 대상입목: 가슴높이지름 6cm이상의 입목 ② 가슴높이지름 측정부위: 지상고 120cm 위치의 직경을 말하며, 2cm 괄약으로 측정함 ③ 수고측정: m 단위로 측정하고 m 이하는 반올림함 ④ 조사방법은 전수조사 또는 표준지 조사에 의하되, 표준지 면적은 소반면적의 2%(인공조림지로서 조림년도와 수종이 같은 경우 1%)이상으로 한다. 다만, 동일 임분은 연접소반의 기조사자료를 활용할 수 있다. ⑤ 표준지는 소반내 평균 임상인 개소에서 선정하고 1개 표준지 면적은 최소 0.04ha (20m×20m, 10m×40m,⋯) 이상이 되게 한다.
벌채구분	벌채작업의 방법에 따라 다음과 같이 구분한다. ① 입목처분(입목) ② 직영생산(직영)
벌채종별	① 주벌: 모두베기작업(두), 모수작업(모), 골라베기작업(골), 왜림작업(왜) ② 간벌: 인공림간벌(인간), 천연림간벌(천간)
벌 채 율	임소반 안의 벌채예정구역내 축적에 대한 벌채재적의 백분율을 기재한다.
조림종류	① 갱신 ② 보식

<표 4-3> (계속)

속 성	내 용
갱신종별	① 인공갱신(인공) ② 천연갱신(천연)
무 육 종	① 풀베기(풀, 천풀) ② 비료주기(비, 천비) ③ 어린나무가꾸기(어린, 천어린) ④ 덩굴제거(덩, 천덩) ⑤ 무육간벌 ⑥ 천연림보육 ※천연림인 경우에는 이 약호 앞에 "천"자를 첨가
시 설 종	① 임도 ② 자연휴양림 ③ 삼림욕장 ④ 임간수련장 ⑤ 수렵장
시설구분	① 신설 ② 보수
시설구분	① 굴피 ② 송지 ③ 버섯류 ④ 산채류 ⑤ 약초류 ⑥ 분재소재 ⑦ 관상수 ⑧ 야생조수사육 ⑨ 임간방목 ⑩ 임산물가공시설 ⑪ 기타산림부산물 ⑫ 자연휴양림 ⑬ 삼림욕장 ⑭ 임간수련장 ⑮ 기타
시업종류	① 벌채사업(벌채) ② 조림사업(조림) ③ 무육사업(무육) ④ 시설사업(시설) ⑤ 소득사업(소득)

※ 자료: 영림계획운영요강(1995)

다. 데이터 모델

데이터베이스가 갖는 주요한 기능중의 하나는 불필요한 중복을 없애고, 논리적 구조를 통해 관련된 자료를 연결시켜 주는 것이다. 데이터베이스 시스템에서 흔히 사용되는 논리적 구조에는 계층 구조(hierarchical structure), 네트워크 구조(network structure), 관계형 구조(relational structure) 등이 있으며, 이 연구에서는 관계형 구조를 이용하였다. 일반적으로 관계형 구조는 다른 구조에 비해 단순하여 이해가 쉽고, 구현이 간단할 뿐만 아니라 레코드들간의 관계를 동태적으로 설정할 수 있고, 자료의 확장이 유리한 장점을 가지고 있다(소영일과 이종민, 1994).

데이터베이스 구조를 관계형 데이터 모델로 표현하면 기본적으로 산림, 영림계획, 연차계획, 임반연혁은 개체 릴레이션으로, 영림계획작성, 연차계획작성, 사업실행은 관계 릴레이션으로 처리할 수 있다. 그러나 현재의 영림계

획 운영과정에서는 대부분의 업무가 개체를 중심으로 이루어지고 있기 때문에 데이터베이스의 효율성을 위해 영림계획작성, 연차계획작성, 사업실행 등을 관계 릴레이션으로 독립시켜 구성하는 것보다는 개체의 속성으로 처리하는 것이 유리하므로 산림조사, 영림계획, 연차계획, 임반연혁 등에 임소반과 사업번호 속성을 첨가시켜 각 개체들간의 관계를 표현하였다. (그림 4-11)는 이러한 분석을 바탕으로 데이터베이스의 스키마를 작성한 것이다.

산림조사	임소반						
	영림구	임반	보조임반	소반	보조소반	계획차기	소재지
	면적	작업종	지종	방위	경사	토성	토심
	습도	지리	지위	임종	임상	입목도	소밀도
	하층식생	생장율	수종	혼효율	임령	수고	경급
	ha당축적	조사일	조사자	전차기번호			
영림계획(벌채)	사업번호						
	임소반	사업년도	수종	구분	벌채종	벌채율	면적
	재적						
영림계획(조림)	사업번호						
	임소반	사업년도	수종	구분	갱신종	면적	수량
영림계획(무육)	사업번호						
	임소반	사업년도	무육종	면적	횟수		
영림계획(시설)	사업번호						
	임소반	사업년도	사업구분	사업종류	면적	연장거리	
영림계획(소득)	사업번호						
	임소반	사업년도	사업종류	물량			
임반연혁	사업번호						
	임소반	계획차기	사업일자	사업분류	사업구분	사업종류	면적(물량)
	재적(수량, 연장거리, 횟수)						

<그림 4-11> 데이터베이스의 스키마(schema) 다이어그램

3. 의사결정지원 시스템의 구조체계

가. 산림경영문제의 정의

1) 경영목적 및 대안 평가기준

경영목적은 산림을 경영하는 기본 방향이 됨과 동시에 수식모형내의 목적함수를 선정하는 토대가 되는데 목적함수는 여러 가지 경영대안들을 평가하는 일차적인 척도가 된다. 경영목적의 구체적인 형태는 경영주체의 특성에 따라 달라지는데 사유림의 경우 이윤추구를 목적으로 하기 때문에 시장에서 거래되는 목재나 산림부산물 생산의 극대화를 일반적으로 사용한다. 반면 국유림인 경우에는 물질생산과 함께 산림이용 수요의 충족이나 산림의 생태적 안정성 등과 같은 기준들이 사용되기도 한다. 이 연구에서는 대안 평가기준으로 재적생산량, 탄소저장량, 산소방출량 등을 선정하였으며, 수식모형내의 목적함수로 재적생산량의 극대화, 순현재가치의 극대화, 탄소저장량의 극대화 등을 선정하였다.

① 재적생산량

재적생산량은 산림경영분석에서 경영대안을 평가하는 기준으로 가장 많이 사용되며, 시장을 통해 거래되기 때문에 손쉽게 화폐단위로 변환이 가능하다. 평가기준의 구체적인 형태로는 재적생산량(m^3), 순수익, 순현재가치 등을 들 수 있다. 특히 임분은 장기간의 생육을 필요로 하기 때문에 투자에 대한 평가를 위해서는 총수익을 현재 가치로 환산한 순현재가(net present value: NPV)를 많이 사용한다.

② 탄소저장량과 산소방출량

산업화에 따라 화석연료의 사용이 급격히 증가하면서 지구온난화문제가 국제적인 현안으로 대두되고 있으며, 이에 대한 위기감은 기후변화협약과 같은 구체적인 형태로 나타나고 있다. 우리 나라도 이미 1993년에 기후변화협약에 가입하여 이산화탄소 배출에 대한 국제적 압력이 강화되고 있다.

산림은 주요한 온실가스의 하나인 대기중의 이산화탄소를 흡수, 저장하는 기능을 갖기 때문에 산림의 활용방안에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이러한 배경에서 탄소저장량은 경영대안을 평가하는 중요한 기준이 될 수 있다. 특히 최근에는 목재와 같은 산림의 유형적 생산품보다는 공기나 경관 같은 무형적 가치의 비중이 커지고 있으므로 경영대안의 환경적 측면을 평가할 수 있는 기준이 보완되어야 한다. 그러나 평가기준으로 활용되기 위해서는 경영대안별로 기준 인자들의 변화량을 예측할 수 있어야 하는데 많은 환경인자들이 이러한 요건을 만족시키지 못하여 현실적으로 적용이 불가능하다. 따라서 다른 인자들에 비해 비교적 정확한 예측이 가능한 탄소저장량이나 산소방출량을 평가기준으로 선정하였다.

2) 제약조건

산림경영에는 사회적, 경제적, 환경적 요인들이 제약조건으로 작용하고 있으며, 경영대안을 정확히 평가하기 위해서는 이러한 현실적 제약들을 명확히 분석하여 수식모형에 반영하는 것이 중요하다. 특히 산림경영계획모델에서 사용하는 선형계획법은 기본적으로 목적함수에 한가지 평가기준만을 사용할 수 있으므로 두 가지 이상의 인자를 고려하고자 할 때는 제약조건의 형태로 수식모형에 포함하는 방법을 사용한다. 따라서 이 연구에서는 보속적 산림경영체계의 확보, 산림시업에 따른 피해의 최소화 및 산림의 환경기능 보전 측면에서 다음과 같은 제약조건을 선정하였다.

① 보속경영체계

산림경영의 안정성을 위해서는 산림에서 얻는 수확이 매년 균등하게, 그리고 지속적으로 유지되어야 한다. 이러한 보속성 개념은 이미 산림경영의 기본원칙으로 인식되고 있다. 따라서 수확량의 급격한 변동을 막고 매 분기 재적생산량을 일정하게 유지하는 동시에 후계림을 보속림으로 유도하기 위해서는 생산되는 재적을 인위적으로 조절할 필요가 있다. 현존 산림을 보속림 체계로 유도하기 위해서는 유도기간과 분기별 수확량에 대한 결정이 선행되어야 한다. 그러나 어느 한 시점에서의 과도한 벌채는 이후의 가용벌채량(allowable cut)을 감소시키며, 과소한 벌채는 이후의 가용벌채량을 증가시킬 수 있으나 계획기간동안의 총재적생산량의 감소를 가져오기 때문에 적절한 유도기간과 분기별 벌채량을 결정하는 것이 중요하다.

보속수확체계는 연년수확량이 일정한 산림생산체계를 의미하며 전체경영기간을 n, i 번째 분기의 재적생산량을 H_i라고 하면 (식 4-1)과 같이 표현할 수 있으며 (식 4-2)와 같은 비감소수확(nondeclining yield, NDY)의 개념으로 확대될 수 있다.

$$H_1 = H_2 = H_3 = \cdots = H_n \quad \text{<식 4-1>}$$

$$H_1 \le H_2 \le H_3 \le \cdots \le H_n \quad \text{<식 4-2>}$$

그러나 불균등한 산림구조와 인위적인 경영단위(임·소반)구분, 입지조건에 따른 임분생장의 차이 등으로 인해 비감소수확조건을 엄격히 적용하는 것이 현실적으로 불가능한 경우가 많아 일반적으로 분기별 재적생산량의 변동폭을 일정한 범위 이내로 제한하는 방법을 사용한다. 즉, α를 허용감소율 그리고 β를 허용증가율이라고 하면 분기별 생산량의 변동폭을 조절하기 위한 제약조건은 (식 4-3)과 같이 표현할 수 있다.

$$(1+\alpha)\cdot H_{i-1} \le H_i \le (1+\beta)\cdot H_{i-1} \quad \text{<식 4-3>}$$

② 재적생산

현재 국내에서 소비되는 목재자원의 대부분이 외국으로부터 수입되고 있으며 목재 소비량이 증가함에 따라 수입량 역시 크게 증가하고 있다. 그러나 주요 목재수출국들이 원목수출에 대한 요건을 강화하기 시작하면서 국내재 생산의 필요성이 높아지고 있다. 산림청의 목재수급계획을 보면 2050년의 목재수요량을 4,204만m^3으로 예측하고, 1,275만m^3의 국내재 생산(자급율 30%)을 계획하고 있다. 이처럼 특정 시기의 재적생산량을 일정수준 이상 또는 이하로 유지시킬 필요가 있을 경우 (식 4-4)와 같이 경영대상 임분에서의 분기별, 수종별, 경영구역별 수확량 등에 대하여 상한(U_i)과 하한(L_i)을 설정하여 매 분기 생산되는 재적량을 조절할 수 있다.

$$L_i \leq H_i \leq U_i \qquad \text{<식 4-4>}$$

③ 벌채면적 제한

산림은 목재생산지로서의 기능뿐만 아니라 국토보안, 수원함양, 환경보전, 보건휴양과 같은 공공재로서의 기능이 중시되고 있다. 따라서 산림에서 목재를 생산하여 사회의 경제적 복지에 공헌하는 동시에 임목생산 이외의 다양한 외부적 이익 역시 충분히 고려하여야 한다. 하지만 목재를 생산하기 위한 경영활동은 때로는 여러 가지 환경문제를 발생시킨다. 벌채행위는 그 대표적인 예가 될 수 있다. 벌채는 목재생산을 위한 가장 필수적인 경영활동이지만 동시에 환경적 측면에서는 토양유실, 경관훼손 등 여러 가지 문제를 일으키는 것이 사실이며 대면적 벌채의 경우 환경적 피해는 더욱 심각하다. 따라서 벌채면적을 제한하는 것은 목재생산과 환경보전이라는 상충되는 두 가지 목적을 동시에 고려하는 하나의 방편이 될 수 있을 것이다. 만약 i 구역에서 j 번째 분기의 총벌채면적을 C_{ij}, i 구역의 전체 면적을 A_i, 그리고 i 구역의 벌채허용비율을 γ라고 가정하면 벌채면적을 제한하는 수식모형은

(식 4-5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$C_{ij} \leq \gamma \cdot A_i$$ <식 4-5>

④ 토사유출량 제한

토사유출은 벌채에 따른 가장 구체적인 피해 형태의 하나로서 수질오염의 직접적인 원인이 된다. 토사유출량을 일반적으로 벌채면적이나 모암의 특성, 경사도에 따라 달라지지만 지금까지 국내에서는 벌채와 토사유출량의 관계에 대한 연구가 매우 빈약하여 그 관계를 정확하게 수식모형에 반영하기 어려운 실정이다. 따라서 벌채면적에 따른 토사유출량을 일정수준 이하로 조절하는 형태로 표현될 수 있다.

만약 i 구역에서 j 번째 분기의 총벌채면적을 C_{ij}, 단위면적당 벌채에 따른 토사유출량을 se_i 그리고 토사유출량의 허용 수준을 USi라 하면 (식 4-6)과 같이 표현할 수 있다.

$$se_i \cdot C_{ij} \leq US_i$$ <식 4-6>

⑤ 조림수종의 다양성 확보

만약 재적극대화를 위한 최적해를 구할 경우 후계림이 때로는 가장 많은 재적생산량을 가져오는 어느 한 수종으로만 이루어진 단순림이 될 수 있다. 단순림은 산림 전체를 입지 조건에 알맞은 가장 가치 있는 수종으로 조림할 수 있고 산림을 관리하고 벌채하는데 상대적으로 비용이 적다는 장점이 있는 반면 시장수요에 유연하게 대처할 수 없고, 산림의 미적 가치나 휴양적 가치 그리고 야생동물의 보호 및 관리 측면에서 불리할 수 있다. 따라서 (식 4-7)과 같이 특정 수종의 조림면적(P_{ik})이 해당 분기 벌채면적(C_i)의 일정 비율(μ) 이상이 되도록 하여 미래의 임분구조를 조절 할 수 있다.

$$P_{ik} \geq \mu \cdot C_i \qquad \text{<식 4-7>}$$

⑥ 탄소저장량과 산소방출량

경영대안을 평가하는데 있어 탄소저장량이나 산소방출량은 경영대안의 환경적 측면을 평가하는 유용한 기준이 될 수 있다. 특히 경영목적으로 재적생산량이나 화폐순수익의 극대화를 취할 경우 경영대안은 산림의 탄소저장량이나 산소방출량에 대한 고려가 어려워진다. 따라서 경영계획기간동안의 탄소저장량이나 산소방출량을 일정 수준 이상으로 유지하도록 하므로써 목적함수의 종류에 관계없이 경영대안에 산림의 환경기능에 대한 고려가 포함되도록 할 수 있다. (식 4-8)은 이러한 조건의 구체적인 수식형태를 나타낸 것으로 식에서 CS_i는 i 번째 분기의 탄소저장량이며, LF_i는 탄소저장량의 하한을 의미한다.

$$CS_i \geq LF_i \qquad \text{<식 4-8>}$$

⑦ 계획기간 말의 영급구성

수식모형은 현실문제를 수식형태로 구성한 것이므로 계산과정에서는 단순한 수학적 문제의 하나로 인식하게 된다. 따라서 계획기간이후의 상황에 대한 조건을 부여하지 않을 경우 보속경영체계가 유지되지 않는다. 예를 들어 50년 동안의 목재생산량을 극대화하고자 할 경우 수식모형에서는 50년 이후는 고려하지 않기 때문에 계획기간 말에 벌기령에 도달한 모든 지역을 벌채하게되므로 보속경영체계가 유지되지 않는다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 계획기간 말에 경영자가 원하는 임분구조를 수식모형에 포함시킬 필요가 있으며, (식 4-9)와 같은 형태로 수식모형에 포함될 수 있다. 즉, 해당 영급의 면적 (AA_{il})을 일정 면적(LA_l) 이상이 되도록 하여 계획기간 이후의 임분구조를 조절할 수 있다.

$$AA_{il} \geq LA_{l}$$ <식 4-9>

⑧ 예산제약

현실의 경영문제는 경영목적을 달성하기 위해 제한된 가용 자원을 어떻게 사용할 것인가에 관한 문제로 해석할 수 있다. 이 때 자원의 제한은 산림면적, 임분생장함수와 같은 물리적 자원의 제한과 함께 예산의 제한을 의미한다. 예산의 제한은 (식 4-10)과 같은 형태로 수식모형에 반영하였다. 식에서 C_i와 B_i는 각각 i 번째 분기의 총비용과 예산을 의미한다.

$$C_{i} \leq B_{i}$$ <식 4-10>

나. 산림경영문제의 수식화

산림경영문제를 수식화하는데는 의사결정변수의 정의 방법에 따라 Model Ⅰ과 Model Ⅱ의 두 가지 방법이 있다. Model I에서는 현존 임분의 각 분기별 벌채면적이 전체 경영계획기간 동안 동일한 경영단위로 정의되며 의사결정변수는 특정 경영단위에 대해 전체 계획기간 동안 적용 가능한 시나리오를 나타낸다. 즉 의사결정변수 X_{ijklm}은 경영구역 i, 지위지수 j, 수종 k, 영급 l인 산림을 시나리오 m에 따라 경영하는 면적을 의미한다.

반면 Model II에서는 현존 임분의 경영단위가 벌채 전까지만 동일하며, 분기별로 벌채되는 면적은 그 지역을 다시 벌채하기 전까지 또 하나의 새로운 경영단위로 정의된다. 따라서 Model II에서 각각의 의사결정변수는 특정 경영단위가 조림되어 다시 벌채되기까지 적용 가능한 시나리오를 의미한다. 즉, 의사결정변수 X_{ijklm}은 경영구역 i, 지위지수 j, 수종 k, 조림분기 l, 벌채분기 m인 지역의 면적을 나타낸다.

1) Model Ⅰ 수식화

$$Max\ Z = \sum_{i=1}^{nmz}\sum_{j=1}^{nsi}\sum_{k=1}^{nsp}\sum_{l=1}^{nac}\sum_{m=1}^{nsc} c_{ijklm} \cdot X_{ijklm}$$

subject to

$$\sum_{m=1}^{nsc} X_{ijklm} = A_{ijkl} \qquad \text{for } all\ i,\ j,\ k,\ l.$$

$$\sum_{i=1}^{nmz}\sum_{j=1}^{nsi}\sum_{k=1}^{nsp}\sum_{l=1}^{nac}\sum_{m=1}^{nsc} vh_{ijklmp} \cdot X_{ijklm} - VH_p = 0 \qquad \text{for } all\ p.$$

$$\sum_{i=1}^{nmz}\sum_{j=1}^{nsi}\sum_{k=1}^{nsp}\sum_{l=1}^{nac}\sum_{m=1}^{nsc} vt_{ijklmp} \cdot X_{ijklm} - VT_p = 0 \qquad \text{for } all\ p.$$

$$\sum_{i=1}^{nmz}\sum_{j=1}^{nsi}\sum_{k=1}^{nsp}\sum_{l=1}^{nac}\sum_{m=1}^{nsc} cs_{ijklmp} \cdot X_{ijklm} - CS_p = 0 \qquad \text{for } all\ p.$$

$$\sum_{k=1}^{nsp}\sum_{l=1}^{nac}\sum_{m \in P}^{nsc} X_{ijklm} - TCA_{ijp} = 0 \qquad \text{for } all\ i,\ j,\ p.$$

$$\sum_{j=1}^{nsi}\sum_{k=1}^{nsp}\sum_{m \in E}^{nsc} X_{ijklm} - EA_{il} = 0 \qquad \text{for } all\ i,\ l.$$

$$VH_p + VT_p - VS_p = 0 \qquad \text{for } all\ p.$$

$$\sum_{j=1}^{nsi} TCA_{ijp} \le cp_i \cdot ZA_i \qquad \text{for } all\ i,\ j,\ p.$$

$$\sum_{j=1}^{nsi} TCA_{ijp} \cdot se \le GS_i \qquad \text{for } all\ i,\ j,\ p.$$

$$VS_p \ge GV_p \qquad \text{for } all\ p.$$

$$VS_p - \alpha \cdot VS_{p-1} \ge 0 \qquad p = 2,\ 3,\ \cdots\ pdn.$$

$$VS_p - (1+\beta) \cdot VS_{p-1} \le 0 \qquad p = 2,\ 3,\ \cdots\ pdn.$$

$$CS_p \ge GC_p \qquad \text{for } all\ p.$$

$$CB_p \le GB_p \qquad \text{for } all\ p.$$

$$\sum_{i=1}^{acn} EA_{il} \ge GA_l \qquad \text{for } all\ l$$

$$X_{ijklm} \ge 0 \qquad \text{for } all\ i,\ j,\ k,\ l,\ m.$$

Model I의 변수정의 :

X_{ijklm} = 경영구역 i, 지위지수 j, 수종 k, 영급 l, 시나리오 m에 따라 경영하는 면적(ha)

c_{ijklm} = 목적함수의 변수 X_{ijklm}의 계수

A_{ijkl} = 경영구역 i, 지위지수 j, 수종 k, 영급 l 지역의 면적

VH_p = p분기에 주벌 재적 VT_p = p분기의 간벌 재적

VS_p = p분기의 재적생산량 CS_p = p분기의 탄소저장량

CB_p = p분기의 비용

vh_{ijklmp} = 경영구역 i, 지위지수 j, 수종 k, 영급 l, 시나리오 m에 따라 경영할 때의 p분기의 ha당 주벌 재적

vt_{ijklmp} = 경영구역 i, 지위지수 j, 수종 k, 영급 l, 시나리오 m에 따라 경영할 때의 p분기의 ha당 간벌 재적

cs_{ijklmp} = 경영구역 i, 지위지수 j, 수종 k, 영급 l, 시나리오 m에 따라 경영할 때의 p분기의 ha당 탄소저장량

TCA_{ijp} = 경영구역 i, 지위지수 j인 지역의 p분기의 벌채면적(ha)

EA_{il} = 계획기간 말에 경영구역 i에서의 영급 l인 지역의 면적(ha)

ZA_i = 경영구역 i의 면적(ha)

cp_i = 경영구역 i의 벌채허용 비율

GV_p = p분기의 재적생산량의 하한

GC_p = p분기의 탄소저장량의 하한

GA_l = 계획기간 말에 영급 l인 면적의 하한

GB_p = p분기의 예산

se = 벌채시의 토사 유출량

α = 재적생산량의 허용 감소율 β = 재적생산량의 허용 증가율

nzm = 경영구역의 수 nsi = 지위지수의 수

nsp = 수종의 수 nac = 영급의 수

<표 4-4> Model I의 시나리오 구성

벌기	시나리오	분 기																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
40년	1	E				R				R				R				R			
	2		E				R				R				R				R		
	3			E				R				R				R				R	
	4				E				R				R				R				R
	5					E				R				R				R			
	6						E				R				R				R		
	7							E				R				R				R	
	8								E				R				R				R
	9									E				R				R			
	10										E				R				R		
50년	1	E					R					R					R				
	2		E					R					R					R			
	3			E					R					R					R		
	4				E					R					R					R	
	5					E					R					R					R
	6						E					R					R				
	7							E					R					R			
	8								E					R					R		
	9									E					R					R	
	10										E					R					R
60년	1	E						R						R						R	
	2		E						R						R						R
	3			E						R						R					
	4				E						R						R				
	5					E						R						R			
	6						E						R						R		
	7							E						R						R	
	8								E						R						R
	9									E						R					
	10										E						R				
70년	1	E							R							R					
	2		E							R							R				
	3			E							R							R			
	4				E							R							R		
	5					E							R							R	
	6						E							R							R
	7							E							R						
	8								E							R					
	9									E							R				
	10										E							R			

E : 현존 임분의 벌채, R : 미래 임분의 벌채

2) Model Ⅱ 수식화

$$\begin{aligned}
& Max\ Z = \sum_{i=1}^{nmz}\sum_{j=1}^{nsi}\sum_{k=1}^{nsp}\sum_{l=mac}^{npd}\sum_{m=1}^{npd} c_{ijklm}\cdot X_{ijklm} \\
& \text{subject to} \\
& \sum_{m=1}^{npd} X_{ijklm} = A_{ijkl} && \text{for } all\ i,\ j,\ k,\ l. \\
& \sum_{i=1}^{nmz}\sum_{j=1}^{nsi}\sum_{k=1}^{nsp}\sum_{l=ax}^{npd}\sum_{m=1}^{npd} vh_{ijklmp}\cdot X_{ijklm} - VH_m = 0 && \text{for } all\ p. \\
& \sum_{i=1}^{nmz}\sum_{j=1}^{nsi}\sum_{k=1}^{nsp}\sum_{l=ax}^{npd}\sum_{m=1}^{npd} vt_{ijklmp}\cdot X_{ijklm} - VT_m = 0 && \text{for } all\ p. \\
& \sum_{i=1}^{nmz}\sum_{j=1}^{nsi}\sum_{k=1}^{nsp}\sum_{l=ax}^{npd}\sum_{m=1}^{npd} cs_{ijklmp}\cdot X_{ijklm} - CS_m = 0 && \text{for } all\ p. \\
& \sum_{k=1}^{nsp}\sum_{l=ax}^{npd} X_{ijklm} - TCA_{ijm} = 0 && \text{for } all\ i,\ j,\ m. \\
& \sum_{k=1}^{nsp}\sum_{m=1}^{npd} X_{ijklm} - TCA_{ijl} = 0 && \text{for } all\ i,\ j,\ l. \\
& \sum_{j=1}^{nsi}\sum_{m=1}^{npd} X_{ijklm} - PA_{ikl} = 0 && \text{for } all\ i,\ j,\ l. \\
& \sum_{j=1}^{nsi}\sum_{k=1}^{nsp}\sum_{m\in ES} X_{ijklm} - EA_{il} = 0 && \text{for } all\ i,\ l. \\
& VH_m + VT_m - VS_m = 0 && \text{for } all\ p. \\
& \sum_{j=1}^{nsi} TCA_{ijm} \le cp_i\cdot ZA_i && \text{for } all\ i,\ j,\ p. \\
& \sum_{j=1}^{nsi} TCA_{ijm}\cdot se \le GS_i && \text{for } all\ i,\ j,\ p. \\
& PA_{ikl} - mr_k\cdot \sum_{j=1}^{nsi} TCA_{ijl} \ge 0 && \text{for } all\ p. \\
& VS_m \ge GV_m && \text{for } all\ p. \\
& VS_m - \alpha\cdot VS_{m-1} \ge 0 && m = 2,\ 3,\ \cdots\ npd. \\
& VS_m - (1+\beta)\cdot VS_{m-1} \le 0 && m = 2,\ 3,\ \cdots\ npd. \\
& CS_p \ge GC_p && \text{for } all\ p. \\
& CB_p \le GB_p && \text{for } all\ p. \\
& \sum_{i=1}^{acn} EA_{il} \ge GA_l && \text{for } all\ l \\
& X_{ijklm} \ge 0 && \text{for } all\ i,\ j,\ k,\ l,\ m.
\end{aligned}$$

Model II의 변수 정의 :

X_{ijklm} = 경영구역 i, 지위지수 j인 지역에 수종 k를 l분기에 조림하여 m분기에 벌채하는 면적

c_{ijklm} = 목적함수의 변수 X_{ijklm}의 계수

A_{ijkl} = 경영구역 i, 지위지수 j, 수종 k, 영급 l인 지역의 면적

vh_{ijklmp} = 경영구역 i, 지위지수 j인 지역에 수종 k를 l분기에 조림하여 m분기에 벌채할 경우 p분기의 ha당 주벌 재적

vt_{ijklmp} = 경영구역 i, 지위지수 j인 지역에 수종 k를 l분기에 조림하여 m분기에 벌채할 경우 p분기의 ha당 간벌 재적

cs_{ijklmp} = 경영구역 i, 지위지수 j인 지역에 수종 k를 l분기에 조림하여 m분기에 벌채할 경우 p분기의 ha당 탄소저장량

VH_p = p분기의 주벌 재적 VT_p = p분기의 간벌 재적

VS_p = p분기의 재적생산량 CS_p = p분기의 탄소저장량

CB_p = p분기의 비용

TCA_{ijp} = 경영구역 i, 지위지수 j인 지역의 p분기 벌채면적

EA_{il} = 계획기간 말에 경영구역 i에서의 영급 l인 지역의 면적(ha)

ZA_i = 경영구역 i의 면적(ha) mr_k = 수종 k의 갱신비율의 하한

PA_{ikl} = 경영구역 i에서 l분기에 수종 k의 조림면적

cp_i = 경영구역 i의 벌채허용 비율 GV_p = p분기의 재적생산량의 하한

GC_p = p분기의 탄소저장량의 하한

GA_l = 계획기간 말에 영급 l인 면적의 하한

GB_p = p분기의 예산 se = 벌채시의 토사 유출량

α = 재적생산량의 허용 감소율 β = 재적생산량의 허용 증가율

nzm = 경영구역의 수 nsi = 지위지수의 수

nsp = 수종의 수 nac = 영급의 수

다. 모델내의 주요 함수

1) 산림생장함수

지금까지 수확표가 조제된 수종은 침엽수로는 강송, 중부지방소나무, 잣나무, 낙엽송, 리기다소나무, 삼나무, 편백 등이 있으며, 활엽수로는 상수리나무, 신갈나무, 포플러 등이 있다. 따라서 산림조사의 수종구분 기준과 비교하면 많은 수종이 수확표가 조제되어 있지 않으므로 이들 수종에 대해서는 유사수종의 생장함수를 적용하였다. (표 4-5)은 수종별 생장함수의 적용현황을 요약한 것이다.

<표 4-5> 수종별 적용 생장식

대표수종	수종 기호	적용 수종
강 송	D	강송
소나무(중부)	P	소나무, 해송, 기타침엽수
잣 나 무	K	잣나무, 스트로브잣나무
낙 엽 송	L	낙엽송
리기다소나무	R	리기다소나무, 리기테다소나무
삼 나 무	C	삼나무
편 백	J	편백, 측백
상수리나무	A	상수리나무, 기타활엽수
신 갈 나 무	Q	신갈나무, 떡갈나무, 피나무
포 플 러	O	포플러, 사시나무, 현사시, 황철나무

한편 산림생장함수는 지금까지 발표된 각 수종별 생장함수를 기초로 하였다(표 4-6). 그러나 기존의 연구에서 제시된 수확표의 경우 대부분이 50년 또는 60년까지만을 예측하고 있으며, 함수식 역시 임령이 증가함에 따라 지

속적으로 증가하는 형태를 보이므로 적절한 생장형태로 받아들이기 힘들다. 이는 60년대 수확표 조제에 사용되었던 자료들이 Ⅲ영급 이하의 임분에서 수집되었기 때문에 임령 증가에 따른 생장의 둔화를 충분히 반영하지 못한 것에 기인하는 것으로 판단된다. 따라서 기존의 연구에서 제시한 수확표의 지위지수 '中'인 主林木의 임령별 축적을 이용하여 생장함수를 수정하였다(임업연구원. 1996).

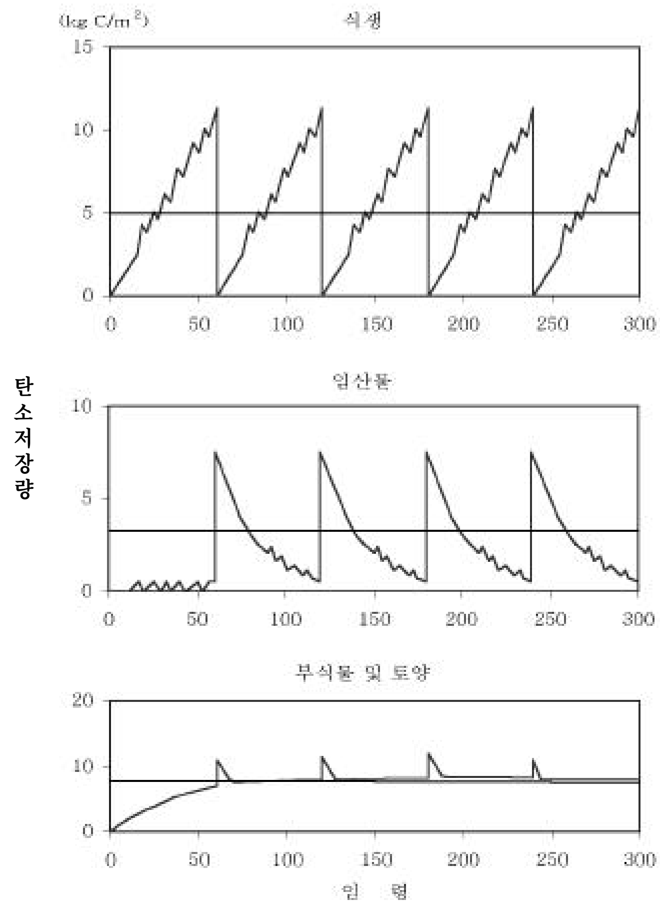
<표 4-6> 기존 연구의 생장함수와 수정 생장함수

종류	수종	회귀계수 추정치			적용 수식
		a	b	c	
기존의 생장함수	강송	1.2394	0.5620	0.5105	$LogV = a + bLogT - \frac{c}{T}$
	소나무(중부)	-2.1482	2.5859	-5.8956	〃
	잣나무	2.0474	0.3453	10.1185	〃
	낙엽송	0.3076	1.3545	0.0529	〃
	리기다소나무	0.5482	1.8361	3.2320	〃
	삼나무	1.7301	0.5295	6.4151	〃
	편백	2.1404	0.2041	8.2228	〃
	상수리나무	-0.0178	1.3524	2.0201	〃
	신갈나무	1.2394	0.5620	0.5105	〃
	포플러	1.1877	1.1809	2.8207	〃
수정 생장함수	강송	307.816	0.060	3.114	$V = a(1 - e^{-bT})^{c}$
	소나무(중부)	246.030	0.054	3.795	〃
	잣나무	339.690	0.047	2.654	〃
	낙엽송	426.363	0.044	2.103	〃
	리기다소나무	422.999	3.983	0.053	$V = ae^{-be^{-cT}}$
	삼나무	341.400	1.287	0.058	$V = ae^{-e^{b-cT}}$
	편백	263.640	1.210	0.060	〃
	상수리나무	391.583	0.029	2.020	$V = a(1 - e^{-bT})^{c}$
	신갈나무	256.941	0.040	2.013	〃
	포플러	348.739	1.818	0.175	$V = ae^{-e^{b-cT}}$

V:stand volume per unit area(m^3/ha), T:stand age

2) **탄소저장량**

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change; **기후변화에 관한 정부간 협의체**)**에서 논의되는 인간활동에 의한 토지이용변화 및 임업부문에서의 이산화탄소 및 미량가스의 유출입 관련 요인은 크게 산림개간**, **초원개간**, **폐경지 방치**, **경영림에서의 시업 등으로 요약할 수 있다**(**임업연구원**, 1996).



<**그림** 4-12> **산림경영에 따른 탄소저장량의 변화** (Cannell, 1994)

이 연구에서는 산림경영안에 대한 평가이므로 산림의 탄소저장량 계산은 앞의 4가지 경우 중 경영림에서의 시업만을 고려하였다. 산림에서의 탄소저장은 크게 임목, 임산물, 토양의 세 가지 부분으로 나눌 수 있으며, 산림경영에 따른 각 부분의 탄소저장은 (그림 4-12)와 같다. 여기서 임목의 탄소저장은 임목의 생장에 의해 좌우되며, 임산물의 경우 각 임산물의 내구연한에 따라 결정된다. 따라서 영속윤벌 경영림에서의 탄소저장량은 다음과 같은 식에 의해 계산할 수 있다(임업연구원, 1994).

총탄소저장량 = 임지(식생 + 토양 + 분해물)탄소량 + 임산물탄소량

<표 4-7> **수종별 탄소흡수량 계산**

수 종	전건비중 (dm/㎥)	수간 대 지상부 바이오매스 비율	지상부 대 전체 바이오매스 비율	탄소 전환 인자	탄소 흡수량 계수
강송	0.44	1.59	1.22	0.5	0.43
소나무(중부)	0.44	1.59	1.22	0.5	0.43
잣나무	0.43	1.74	1.22	0.5	0.46
낙엽송	0.56	1.22	1.22	0.5	0.42
리기다소나무	0.49	1.44	1.22	0.5	0.43
삼나무	0.41	1.26	1.22	0.5	0.32
편백	0.45	1.28	1.22	0.5	0.35
상수리나무	0.80	1.33	1.31	0.5	0.70
신갈나무	0.78	1.31	1.31	0.5	0.67
포플러	0.33	1.33	1.31	0.5	0.29

이 연구에서는 영속적인 경영을 전제로 수식모형을 구성하였기 때문에 경영기간동안에 산림에 저장되어 있는 평균 탄소저장량의 개념에서 접근하였으며, 식생에 의한 부분만을 고려하였다.

탄소저장량은 먼저 임분생장함수에서 얻어지는 재적량에 전건비중을 곱하여 바이오매스를 계산한다. 이는 수간부분의 바이오매스만을 의미하므로 지상부 전체와 지하부의 바이오매스를 계산하기 위해 수간 바이오매스 대 지상부 전체 바이오매스, 지하부 바이오매스의 비율을 이용하여 임분 전체 바이오매스를 계산한다. 마지막으로 바이오매스에 포함되어 있는 탄소의 비율을 계산하기 위해 탄소전환인자를 곱하여 임분에 저장된 탄소량을 계산하였다. 여기서 전건비중은 각 수종별 자료를 이용하였으나 각 부위별 바이오매스 비율은 침엽수와 활엽수로 구분하여 침엽수는 잣나무, 활엽수는 상수리나무의 값을 적용하였다. (표 4-7)은 이러한 계산과정을 요약한 것이다.

3) 산소방출량

산소방출량은 기본적으로 탄소저장량을 계산하는 방법과 동일한 방법으로 계산한다. 산림의 탄소저장이나 산소방출은 녹색식물의 광합성 기작 [$6CO_2+12H_2O+688Kcal \rightarrow C_6H_{12}O_6+O_2+H_2O$]에 의해 이루어진다. 기존의 연구에 따르면 바이오매스 1g을 생성하기 위해서 이산화탄소 1.467g을 흡수하는데 생성된 글루코스는 $(C_6H_{10}O_5)_n$의 형태로 결합되므로 이러한 형태의 유기물 생성을 위해서는 이산화탄소 1.63g을 흡수하며, 산소 1.185g을 방출한다(과학기술처, 1991). 따라서 바이오매스량에 1.185를 곱하면 산소방출량을 얻을 수 있으며, 탄소흡수량에 2.37(1.185/탄소전환인자)을 곱하여 계산할 수도 있다. 즉, 탄소전환인자를 CF, i 분기의 탄소흡수량을 CS_i 라고 하면 산소방출량 OE_i는 (식 4-11)과 같이 계산할 수 있다.

$$OE_i = 1.185 \cdot \frac{CS_i}{CF}$$ <식 4-11>

4) 토사유출량

산지사면의 침식량은 토양의 용적밀도, 강수의 표면유출량, 단위강우량, 식생피복도 등에 영향을 받는다(박재현, 1995). 따라서 벌채는 토사유출량을 증가시키는 원인이 되며, 증가 정도는 벌채지의 지역적 특성에 따라 달라진다. 하지만 벌채지의 특성이 토사유출량에 미치는 영향에 대한 연구결과가 미비하여 정확하게 수식에 반영하기는 어려운 실정이므로 이 연구에서는 서울대학교 남부연습림(전남 광양 소재)에서 실시된 박재현(1995)의 연구 결과를 이용하였다.

박재현(1995)의 연구에 따르면 성숙림의 벌채는 토사유출량의 증가를 가져오는데 강우량에 유출계수 0.4를 적용하였을 경우 벌채지에서는 벌채당년도에는 0.127 ton/ha/yr, 벌채 다음해에는 0.023 ton/ha/yr로 나타났으며, 미벌채지에서는 0.003 ton/ha/yr의 유출량을 보이는 것으로 나타났다. 따라서 이 연구에서는 벌채지의 토사유출은 벌채당년도와 벌채 이듬해에 증가하였다가 3년후부터는 식생의 피복등으로 미벌채지와 같아지는 것으로 가정하였으며, 벌채로 인한 토사유출증가 정도를 수식내에 계수로 반영하였다. 예를 들면, 1분기를 10년으로 설정할 경우 벌채지의 토사유출량 0.174(=0.127+0.023 +0.003×8년)ton/ha/period와 미벌채지의 0.030(=0.003×10년) ton/ha/period의 차이인 0.144 ton/ha/period을 벌채의 영향으로 보았다. 따라서 i 분기의 벌채지 면적을 XC_i, 미벌채지 면적을 XE_i 라고 하면 토사유출량을 SE_i는 (식 4-12)와 같이 계산할 수 있다.

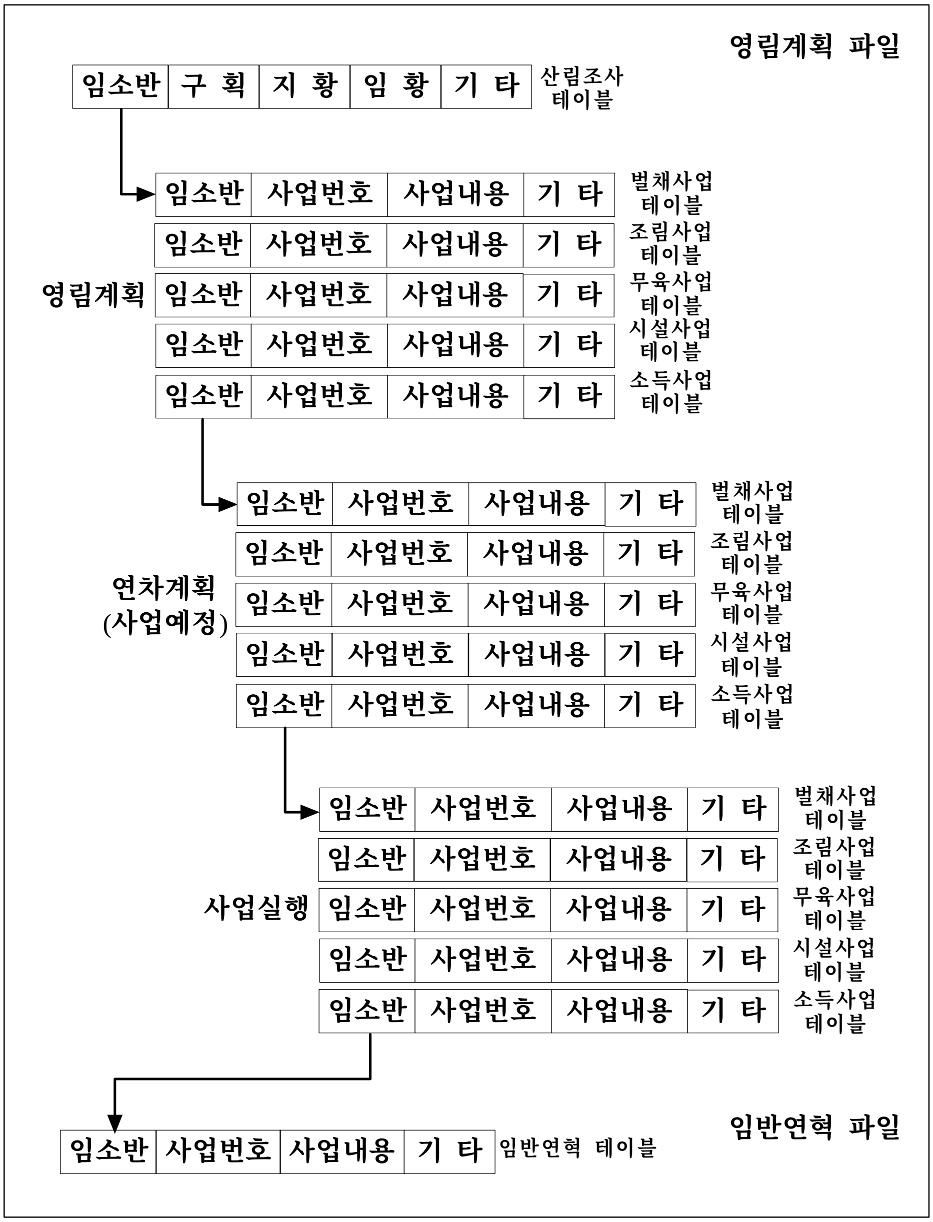
$$SE_i = 0.174 \cdot XC_i + 0.030 \cdot XE_i$$ <식 4-12>

4. 실용화 프로그램의 개발

프로그램의 개발에 앞서 분석된 데이터 모델을 이용하여 데이터베이스 파일을 개발하였다. 파일의 관리는 영림계획이 영림구와 계획차기 단위로 이루어지기 때문에 영림계획 파일은 영림구와 계획차기 단위로 이루어지도록 하였다. 다만, 임반연혁은 영림구내의 임반들에 대한 시업기록으로 계획차기에 영향을 받지 않으므로 영림구 단위로 이루어지도록 하였다. 따라서 각각의 영림구에는 하나의 임반연혁 파일과 계획차기마다 별도의 영림계획 파일이 존재한다.

데이터베이스의 파일 구조는 (그림 4-13)과 같으며, 그림에서 보듯이 영림계획 파일은 산림조사, 벌채사업, 조림사업, 무육사업, 시설사업, 소득사업의 6개 테이블로 구성되어 있으며, 임반연혁 파일은 임반연혁 테이블로 구성되어 있다. 각각의 테이블은 (그림 4-11)의 스키마 다이어그램과 같은 테이블 구조를 가진다. 그리고 데이터 모델의 작성과정에서 테이블간의 관계는 별도의 관계 릴레이션을 작성하지 않고, 속성을 이용하여 처리하였으므로 각 테이블내에 임소반, 사업번호 속성을 이용하여 연결되도록 하였다.

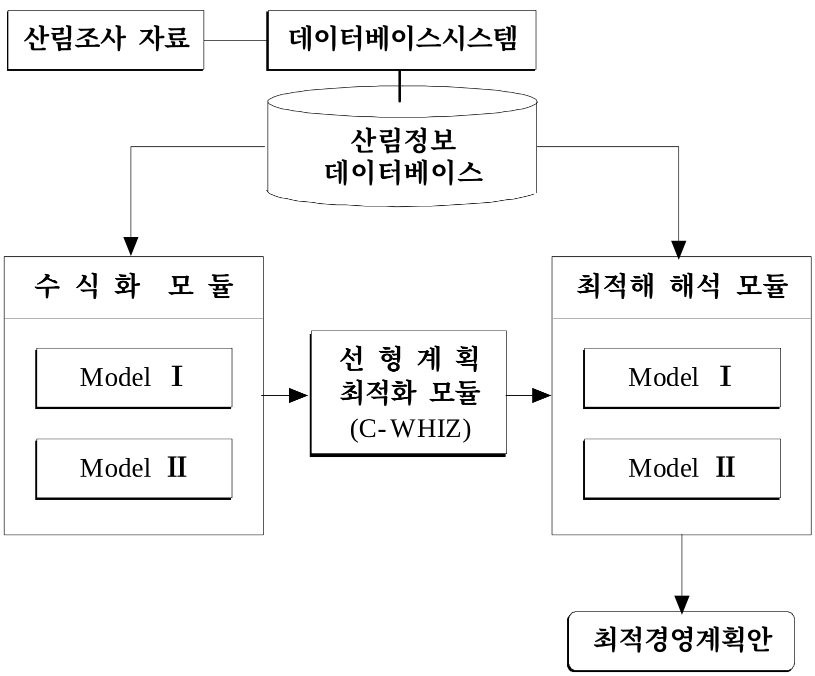
개발된 데이터베이스 파일과 의사결정지원시스템을 연결하기 위해 작성된 데이터베이스 파일을 의사결정지원시스템에서 직접 이용할 수 있도록 하였다. 즉, 의사결정지원시스템에서는 해당 영림구의 산림조사자료와 이용자에 의해 주어지는 경영여건 및 제약조건을 이용하여 산림경영문제를 정의하고, 이를 수학적인 문제로 전환한다. 또 도출된 최적해의 해석과정에서 산림조사자료를 이용하여 최적경영안을 작성하고, 이를 다시 데이터베이스 파일내에 포함된 영림계획의 작성에 기초자료로 활용하므로서 해당 데이터베이스 파일을 중심으로 일련의 영림계획 운영내용이 처리되도록 하였다.



<그림 4-13> 데이터베이스 구조

한편 의사결정지원시스템의 세부 구조는 (그림 4-14)과 같이 수식화 모듈, 최적화 모듈, 해석 모듈의 세 부분으로 구성하였다. 수식화 모듈은 데이터베이스 파일의 자료를 바탕으로 산림경영에 요구되는 기본 인자들의 상호관계를 수식으로 표현하여 산림경영문제를 수리적 분석체계로 전환시킨다. 이 과정에서 임분생장함수를 이용하여 미래의 임상을 예측하고, 입력된 수식유형과 목적함수 및 제약조건을 이용하여 경영대안을 구성한다.

수식화 모듈에서는 대상 산림에 관한 자료로서 임소반 구성, 면적, 지위지수, 수종, 영급 등과 같은 자료가 요구되며, 경영방침에 관한 자료로는 목적함수의 유형, 각 제약조건의 제약정도 등을 필요로 한다.



<그림 4-14> 산림경영계획모델의 구성

최적화 모듈에서는 최적해 계산 프로그램으로 선정한 C-WHIZ를 이용하여 최적해를 계산한다. 산림경영계획모델은 다양한 최적화 프로그램들을 이용할 수 있도록 최적화 프로그램의 입력파일 양식으로 MPS 양식을 이용하였다.

최적해 해석 모듈은 최적화 프로그램의 실행결과로 생성되는 최적해 파일을 이용하여 최적경영안을 제시한다. 최적화 모듈에서 얻어지는 최적해 파일에는 수식화 과정에서 사용된 모든 변수에 관한 정보를 포함하고 있다. 하지만 의사결정변수의 해 값이 0일 경우 그 변수에 해당하는 경영활동이 전혀 존재하지 않으므로 산림경영자에게는 아무런 의미가 없다. 따라서 최적해 해석 모듈에서는 최적해 파일에 포함된 의사결정변수들을 정리하고, 수식유형에 따라 그 의미를 재해석하여 경영계획의 수립에 활용될 수 있는 형태로 전환한다.

메뉴체계는 프로그램의 주된 이용자가 영림계획 업무를 담당하는 산림경영 실무자임을 감안하여 영림계획 운영업무에 관련된 용어를 이용하였으며, 영림계획 운영단계별로 구성하였다. 즉, 영림계획 운영단계인 산림조사, 영림계획작성 및 실행, 임소반연혁관리 등을 각각 ‘산림조사’, ‘영림계획’, ‘임소반연혁’에 포함시켰으며, 이와 함께 의사결정지원기능을 갖는 ‘최적경영안’을 주메뉴로 선정하였다. 그리고 각 단계별로 산림조사자료나 영림계획자료, 임소반연혁자료의 보기, 입력, 수정, 검색 기능을 하위메뉴로 구성하였으며, 각 하위메뉴의 기능을 상세화할 필요가 있는 ‘자료통계’, ‘영림계획 현황’, ‘경영환경’, ‘시업계획’ 등의 메뉴에 대해서는 2차 하위메뉴로 구분하였다.

프로그램의 효율적인 운영을 위해서 ‘영림구’와 ‘도움말’을 주메뉴에 포함시켰으며, ‘영림구’에는 ‘영림구 선택’, ‘영림구 등록’, ‘코드 관리’, ‘끝내기’를, 그리고 ‘도움말’에는 ‘영림2000 도움말 항목’과 ‘영림2000 정보’를 하위메뉴로 선정하였다.

제 4 절 국유림 관리 의사결정모델의 적용

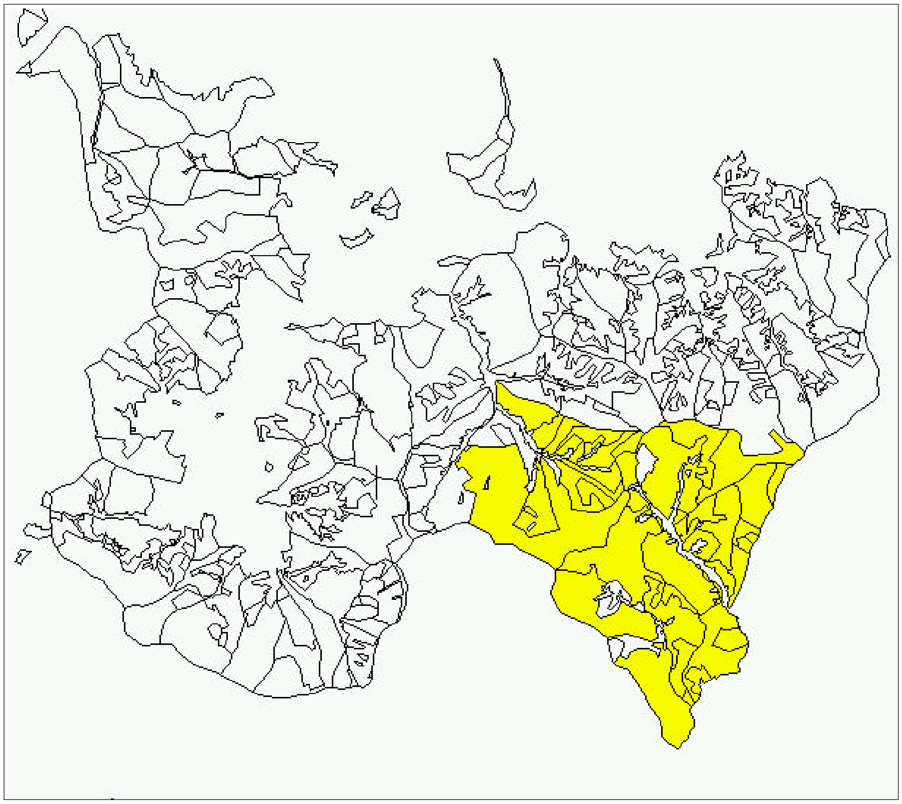
1. 연구대상지 개황

개발된 시스템의 적용성을 평가하기 위해 연구대상지역의 일부 지역을 선정하여 임상현황을 평가하고, 영림계획을 작성하였다. 적용성 검토 대상지역은 가리산 지역의 춘천영림구 79 84임반을 경영대상지역으로 선정하였다. (표4-8)은 연구대상지의 지종 및 면적 현황을 요약한 것이다. 적용성 검토에서는 지종이 시업지이면서 입목지로 분류된 1,644ha를 분석 대상으로 하였다.

<표 4-8> 연구대상지의 지종별 면적 (단위:ha)

지 종	입목지	미입목지	제 지	계
시 업 지	1,644	48	0	1,692 (91%)
시업제한지	78	0	0	78 (4%)
제 지	0	0	92	92 (5%)
계	1,722	48	92	1,862 (100%)

(그림 4-15)는 연구대상지의 위치를 나타낸 것으로 그림에 표시된 지역은 춘천관리소의 춘천영림구 가리산 지역이며, 점선 부분이 연구대상지역이다.



<그림 4-15> 연구대상지 위치

제 2 절 경영구역 구분

산림경영은 자연자원의 하나인 산림을 대상으로 하기 때문에 대상 지역의 기후나 입지조건 등과 같은 자연환경에 많은 영향을 받는다. 특히 산림의 입지 특성은 생태환경의 중요한 요소이며, 산림경영을 위한 생태적 지침의 적용 기준이 된다. 적용성 검토에서는 제2, 3세부과제에서 제시되는 생태적 지침을 바탕으로 산림경영안을 작성하였다. (표 4-9)는 제 2, 3세부과제에서 제시되는 생태적 지침을 요약한 것으로 계곡부에는 가래나무, 층층나무, 산복부에는 신갈나무,졸참나무, 물푸레나무 능선부에는 신갈나무와 소나무 등이 분포하고 있는 것으로 나타나고 있다.

<표 4-9> 가리산 지역의 생태적 갱신 수종

구분	수종
계곡부	가래나무, 층층나무, 고로쇠나무, 찰피나무, 물푸레나무
산복부	물푸레나무, 찰피나무, 졸참나무, 신갈나무, 고로쇠나무
능선부	소나무, 신갈나무, 졸참나무

따라서 이러한 지침을 적용하기 위해서는 대상지역을 계곡부, 산복부, 능선부의 3개 지역으로 구분할 필요가 있다. 그러나 현행 임소반 구획체계는 이러한 입지적 특성 보다는 위치나 임상 등을 바탕으로 하고 있으며, 그것도 관리의 편의성을 위해 소반을 크게 구획하므로써 임상의 균질성이 결여되는 문제점을 안고 있다. 다음은 현행 영림계획운영예규의 임소반 구획 기준을 요약한 것이다.

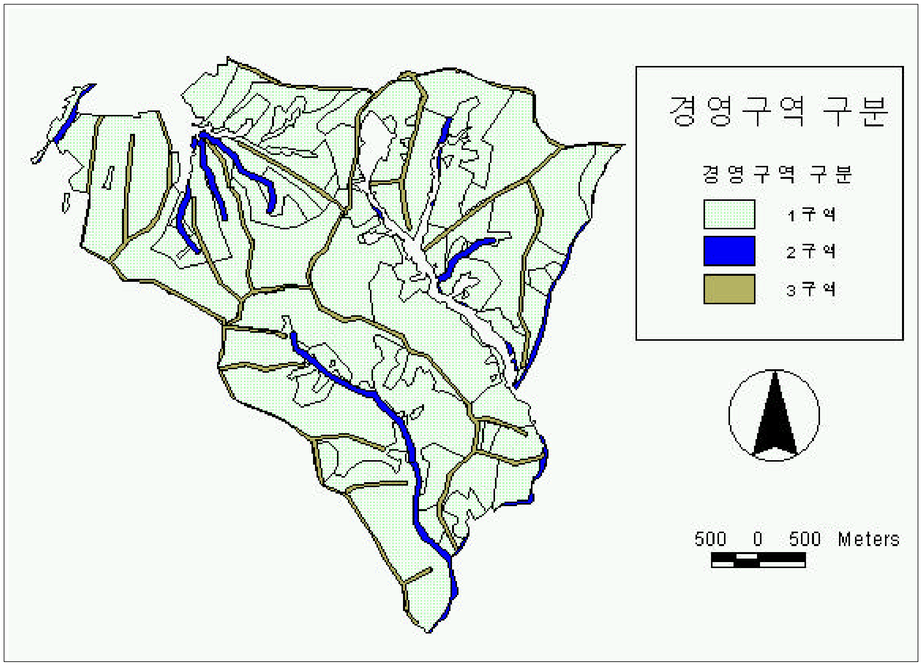
임반은 산림의 위치를 명확히 하고 사업실행에 편리하도록 영림계획
구별로 다음 각호에 따라 구획한다.

1) 임반의 면적은 100ha내외를 기준으로 구획하되, 현지 여건상 불가피한 경우에는 예외로 할 수 있다.
2) 임반경계는 가급적 하천, 능선등 자연계 또는 방화선, 도로 등 고정적 시설을 이용한다.
3) 임반번호는 영림계획구의 유역하류에서 시계침 방향으로 연속하여 아라비아 숫자를 이용하여 연속되게 붙인다.

소반은 임반내에서 다음의 사항에 해당되어 시업상 취급을 달리할 필요가 있는 구역에 대하여 별도 구획하고 소반번호를 붙인다.

1) 지종이 상이할 때
2) 임상(수종), 작업종이 상이할 때
3) 임령, 지위, 지리, 또는 운반계통이 현저하게 상이할 때

따라서 현재의 임소반 구획이 입지 특성을 명확하게 반영하지 못하는 문제점을 내포하고 있으므로 적용성 검토에서는 제2, 3세부과제에서 제시되는 생태적 지침을 적용하기 위해 기존의 임소반 구획을 토대로 계곡을 중심으로 좌우 30m 지역과 능선을 중심으로 좌우 30m 지역을 각각 계곡부와 능선부로 분리하여 별도의 임소반으로 구획하였다. 수정된 임소반도를 기준으로 기존의 79임반부터 84임반을 1구역으로 설정하였으며, 계곡부를 2구역, 능선부를 3구역으로 구분하였다(그림 4-16).



<**그림** 4-16> **대상지역의 경영구역 구분**

3. 임상분석

(표 -10)은 산림조사자료를 기초로 3개 경영구역에 대한 임상 현황을 요약한 것이다. 영급구성은 Ⅳ 영급이 전체 면적의 33%를 차지하여 가장 많았고, Ⅰ 영급은 2.1%에 불과하였다. 대상 지역의 총축적은 72,214㎥이었으며, ha당 평균축적은 41.9㎥/ha로 나타났다.

경영구역별 영급 분포와 ha당 축적은 1구역의 경우 Ⅲ영급 이상인 지역이 구역 면적의 76%를 차지하였으며, ha당 축적은 41.8㎥/ha을 나타낸다. 또한 2, 3구역은 Ⅲ영급 이상인 지역 면적이 100%와 82%를 차지하였으며, ha당 축적도 각각 40.5㎥/ha와 43.8㎥/ha를 나타내고 있다.

<표 4-10> 경영구역별 임상현황

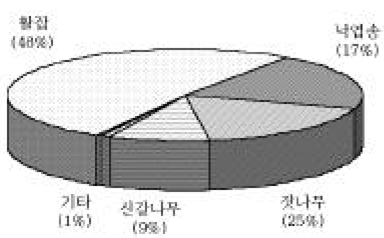
구역 \ 영급		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	합계	ha당 축적
1 구역	면적	39	358	517	541	104	1489	41.8
	축적	0	14,320	24,816	18,394	7,695	65,225	
2 구역	면적	0	0	34	11	0	45	40.5
	축적	0	0	1,360	462	0	1822	
3 구역	면적	0	22	61	35	0	118	43.8
	축적	0	1,100	2,562	1,505	0	5167	
합계	면적	39	380	612	587	104	1,692	41.9
	축적	0	15,420	28,738	20,361	7,695	72,214	

(면적 : ha, 축적 : ㎥)

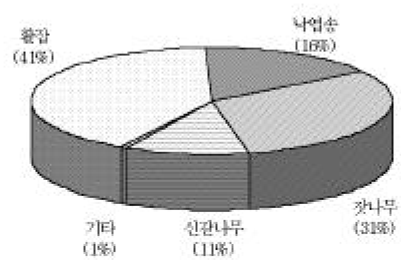
(그림 4-17)은 대상 지역의 수종 구성 내용과 분포 현황을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 활엽수 및 잡목(활잡)이 전체 면적의 48%, 축적의 41%를 차지하여 가장 많았으며, 다음으로는 잣나무, 신갈나무, 낙엽송등의 순서로 나타났다. 그리고 기타 수종으로는 물푸레나무, 자작나무, 소나무 등이 있으나 전체 면적의 1%에 불과하였다.

수종별 평균축적은 낙엽송이 84㎥/ha로 가장 높았으며, 잣나무 50㎥/ha, 신갈나무 35㎥/ha, 활잡 35㎥/ha의 순서로 나타났다. 영급분포 역시 신갈나무나 낙엽송의 경우 Ⅲ, Ⅳ영급이 많은 반면 잣나무의 경우는 Ⅱ영급이 많았다.

경영구역별 수종 분포 현황을 보면 1구역의 경우 활잡, 잣나무, 신갈나무, 낙엽송 등이 모두 100ha이상의 면적을 차지하고 있었으며, 2구역은 활잡, 낙엽송, 3구역은 활잡, 신갈나무, 잣나무등이 대부분을 차지하고 있는 것으로 나타났다.



(a) 면적



(b) 축적

<그림 4-17> 수종 구성 현황

4. 영림계획안 작성

가. 경영지침 선정

경영구역 설정과 함께 적용성 검토에서는 다음과 같은 가정을 토대로 분석을 실시하였다. 먼저 경영계획기간은 수종별로 최소한 2회 이상의 벌채가 가능하도록 10년 단위 20분기를 적용하였으며, 시업과 관련하여서는 다음의 세가지 전제를 토대로 하였다.

1) 모든 경영활동은 각 분기말에 이루어진다는 점과
2) 임분의 벌채는 영림계획운영요강(산림청)에서 제시하는 벌기령 이상의 임령에서만 벌채하며, 수종별 벌기령은 소나무 70년, 잣나무 70년, 리기다소나무 40년, 낙엽송 60년, 삼나무 60년, 편백 70년, 활엽수 70년, 포플러류 20년으로 설정하였다. 리기다소나무와 포플러류의 경우 운영요강에는 벌기령이 각각 35년과 15년으로 되어 있으나 적용성 검토에서는 분기의 단위를 10년으로 설정하였으므로 벌기령을 40년과 20년으로 연장하여 적용하였다.
3) 임분의 벌채와 동시에 조림하는 것을 원칙으로 하였으며, Model I의 경우는 현존 임분과 동일한 수종으로 조림한다.

한편 구역별 경영지침을 수식유형에 반영하기 위해 제약조건의 제약정도를 구역별로 차등을 두어 적용하였다. 먼저 현존 임분의 갱신은 보속림의 유도와 계획기간 동안의 안정적인 산림생산에 그 목적이 있으므로 재적생산 중심의 경영방침을 적용한 1구역에서는 현존 임분이 계획기간의 전반 10분기 이내에 반드시 갱신되도록 하였다. 반면 2, 3구역은 생태적으로 보다 중요한 지역으므로 현존 임분을 계속적으로 유지할 수 있도록 하였다.

토사유출량 제한과 벌채면적 제한조건 역시 구역별 경영방침에 따라 상대적으로 차등을 두었다. 1구역의 경우 집약적인 재적생산을 위해서는 상대적으로 많은 양의 벌채를 필요로 하기 때문에 벌채면적 제한과 토사유출량의 제한을 완화시킨 반면 2, 3구역에서는 제약조건을 강화하여 환경피해를 최소화하도록 하였다. 또 1구역은 영속적인 산림경영을 위해서 계획기간말의 영급구조를 Ⅰ Ⅵ영급이 모두 50ha이상이 되도록 하였으며, 2, 3구역에서는 각각 2ha와 5ha 이상으로 선정하였다.

수종별 갱신비율은 후계림이 단순림으로 조성되는 것을 방지하기 위해 1구역에서는 10가지 수종에 대해 갱신면적이 30%이내가 되도록 하였으며, 2, 3구역의 경우에는 제2세부과제에서 제시되는 생태적 지침에 따라 신갈나무와 소나무 등 일부 수종으로 제한하였으며, 단일 수종의 최대 갱신비율은 70% 이내가 되도록 하였다. <표 4-11>은 각 제약조건별 제약 강도를 요약한 것이며, 동일한 제약조건하에서 경영목적을 재적생산량 극대화, 탄소저장량 극대화, 재적생산량 및 탄소저장량의 극대화의 3가지 경우에 따라 경영안을 작성하였다. 재적생산량과 탄소저장량을 동시에 고려하였을 때에는 각각의 가중치를 1:0.1를 부여하였다.

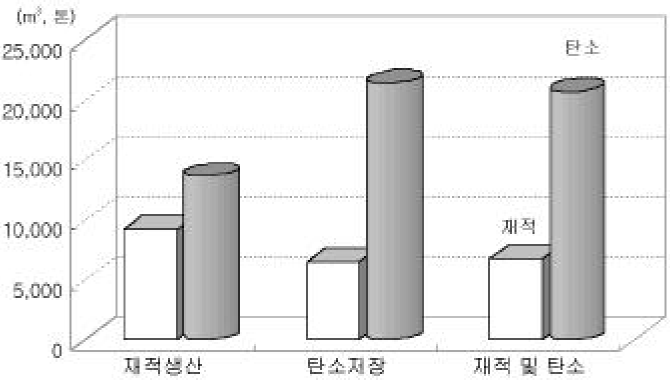
<표 4-11> 경영대안별 수식 구성

항 목		제약강도
수식(Model) 유형		II
최저 벌기령	전 구역	기준 벌기령
현존 임분의 갱신	1구역	10분기 이내
	2구역	제외
비감소수확	허용증가율	제외
	허용감소율	0%이내
벌채면적 제한	1구역	20% 이내
	2구역	5% 이내
	3구역	5% 이내
토사 유출량 제한 (ton/ha)	1구역	0.05 이내
	2구역	0.01 이내
	3구역	0.01 이내
재적생산량 (㎥)	11분기이후	100,000 이상
탄소저장량 (ton/ha)	11분기이후	100,000 이상
계획기간 말의 영급분포 (0 6영급)	1구역	50ha
	2구역	2ha
	3구역	50ha
수종별 갱신비율	1구역	모든 수종이 30%이내
	2구역	신갈나무 70%이내
	3구역	신갈나무, 소나무 70%
예산제약	전체분기	제외

나. 최적경영안 분석

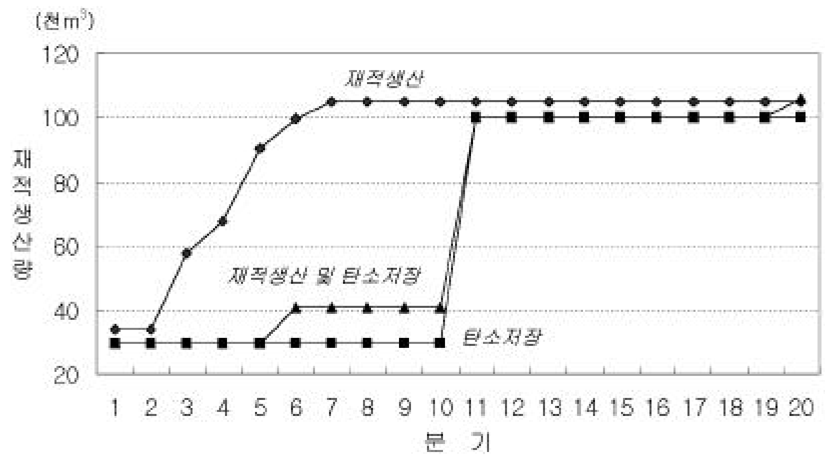
(그림 4-18)는 동일한 제약조건을 적용하였을 때 목적함수의 유형에 따른 계획기간 동안의 연평균 재적생산량과 탄소저장량을 비교한 것이다. 그림에서 보듯이 재적생산을 극대화한 경우의 계획기간 동안의 재적생산량은 9,256천㎥/년이었으며, 탄소저장량은 13,652톤/년이었다. 반면 탄소저장량을 극대화하였을 경우에는 각각 6,489㎥/년과 21,420톤/년으로 나타나 재적생산량은 30% 감소한 반면 탄소저장량은 57%가 증가하였다. 그리고 가중치를 적용한 경우에는 각각 6,799㎥/년과 20,688톤/년으로 나타나 탄소저장량을

극대화한 경우와 큰 차이를 보이지 않았으며, 이는 제약조건에서 분기별 탄소저장량을 강하게 적용하였기 때문이다.

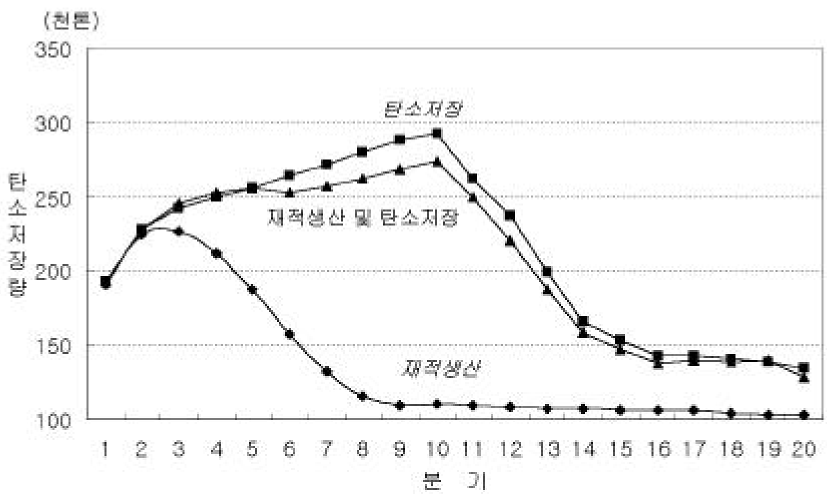


<그림 4-18> 경영대안별 재적생산량과 탄소저장량

<그림 4-19>과 <그림 4-20>은 각 대안의 분기별 재적생산량과 탄소저장량을 비교한 그래프이다. 분기별 재적생산량은 세가지 경우 모두 제약조건이 적용되는 11분기 이후부터는 일정한 수준을 유지하는 것으로 나타났으나, 산림을 보속림으로 유도하기 위한 조정기간이라 할 수 있는 전반 10분기까지는 목적함수의 유형에 따라 다르게 나타났다. 특히 재적생산량을 극대화 한 경우에는 벌채가 Ⅲ, Ⅳ영급 중심의 현존 임분이 2분기 이후부터는 벌채가 가능한 임령에 도달하기 때문에 벌채량이 급격히 증가하였다.



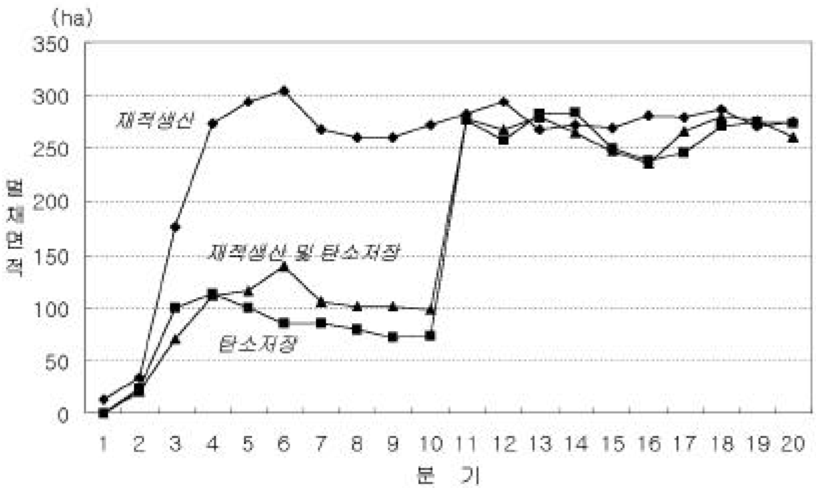
<**그림** 4-19> **분기별 재적생산량**



<**그림** 4-20> **분기별 탄소저장량**

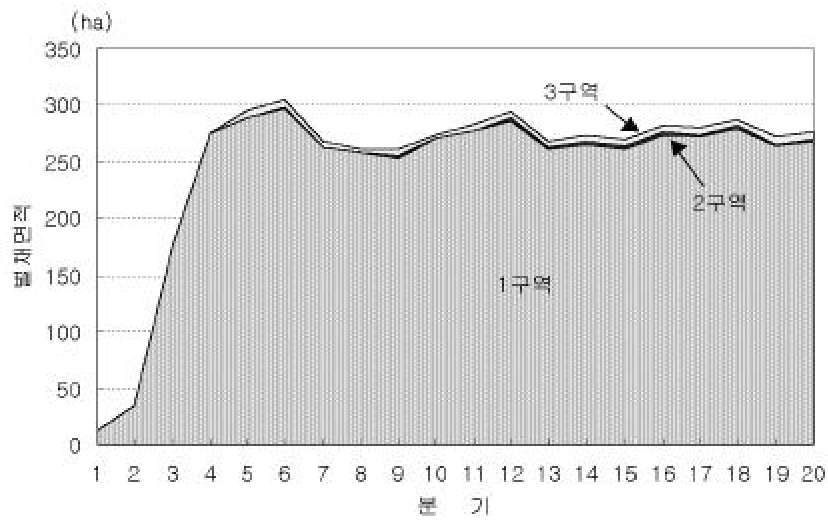
분기별 탄소저장량은 재적생산을 극대화하였을 경우에는 현존 임분의 갱신에 따라 3분기에 최대에 도달하였다가 지속적으로 감소하여 10분기 이후부터는 일정한 수준을 유지하는 것으로 나타났다. 그러나 탄소저장량을 극대화한 경우에는 현존 임분의 축적 증가에 따라 10분기까지 지속적으로 증가하다가 11분기 이후부터 감소하여 16분기부터는 대체로 일정한 수준을 유지하는 것으로 나타났다. 탄소저장량이 초기에 증가하는 것은 현존 임분의 벌채에서 그 원인을 찾을 수 있다. 즉, 현존 임분은 활엽수(상수리나무)와 신갈나무가 가장 많은 비율을 차지하고 있으며, 이들 수종은 다른 수종에 비해 상대적으로 우수한 탄소저장기능을 갖는다. 따라서 재적생산량을 극대화하였을 경우에는 II IV영급으로 구성된 현존 임분이 벌기령에 도달하는 3분기 이후에는 현존 임분을 재적생산에 유리한 수종으로 갱신하게 되며, 그 결과 탄소저장량은 점차 감소하는 형태를 보이게 된다. 그리고 수종갱신에 따라 미래 임분이 보속림 구조를 형성하게 되는 10분기 이후부터는 탄소저장량이 다시 일정한 수준을 유지하게 된다.

(그림 4-21)은 분기별 벌채면적을 나타낸 그래프이다. 벌채면적은 재적생산량과 밀접한 관계가 있으므로 전체적인 추이는 재적생산량과 유사한 형태를 보였다. 즉, 3분기까지는 벌채면적이 지속적으로 상승하였으며, 그 이후에는 일정한 수준을 유지하는 것으로 나타나 벌채면적 제한 조건의 영향을 받고 있음을 알 수 있다.



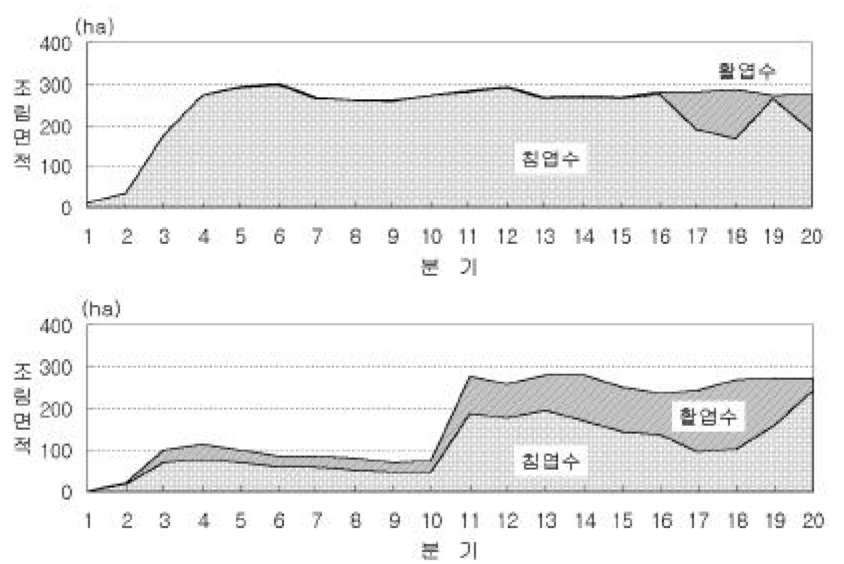
<그림 4-21> 대안 3의 구역별 벌채면적

(그림 4-22)는 재적생산 극대화를 적용하였을 경우의 구역별 벌채면적을 나타낸 것이다. 면적이 가장 넓은 1구역에서의 벌채가 대부분을 차지하였으며, 분기별 벌채면적을 구역면적의 5% 이내로 제한한 2, 3구역의 벌채는 제약조건을 충족시키기 위한 최소한의 벌채만이 이루어지기 때문에 매우 적음을 알 수 있다.



<그림 4-22> 재적생산량 극대화를 적용한 경우의 구역별 벌채면적

(그림 4-23)은 재적생산량을 극대화한 경우(위)와 탄소저장량을 극대화한 경우(아래)의 분기별 조림면적을 비교한 그래프이다. 조림면적은 벌채면적과 직결되기 때문에 벌채면적이 많은 재적생산량 극대화의 경우가 조림면적 또한 당연히 많다. 한편 그림에서 보듯이 탄소저장을 극대화한 경우는 재적생산을 극대화한 경우에 비해 활엽수의 조림면적이 크게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 앞에서도 언급한 바와 같이 활엽수가 침엽수에 비해 상대적으로 바이오매스량이 많기 때문에 탄소저장을 극대화하였을 경우에는 탄소저장에 유리한 활엽수 중심의 조림이 이루어지기 때문이다.



<그림 4-23> 재적생산(위)과 탄소저장(아래) 극대화의 분기별 조림면적

다. 영림계획안의 작성

최적화 과정을 통해 얻어지는 최적해는 영림계획 작성을 위한 하나의 지침이 될 수 있으며, 산림경영자는 최적 경영안을 기초로 예산, 사업의 우선순위, 사업의 타당성 등을 판단하여 영림계획을 작성하게 된다. 이러한 일련의 과정을 효과적으로 지원할 수 있도록 분기별 경영내용, 경영단위별 벌채계획, 경영단위별 임소반 구성, 임소반별 벌채계획, 분기별 임상변화, 1분기 시업계획 등의 출력 결과들이 제시된다.

1) 영림계획 작성을 위한 주요 지침

○ 분기별 경영내용 : 경영안에 따른 주요 경영내용을 요약한 것으로

분기별 재적생산량, 탄소저장량, 수입 및 비용내역, 경영구역별 벌채면적, 계획기간말의 영급별 면적 등의 내용이 포함된다. 산림경영자는 분기별 경영내용을 이용하여 경영안의 전체적인 개요를 파악하고, 다른 경영안과의 비교, 분석을 실시할 수 있다.

○ 경영단위별 계획 : 경영단위는 대상 지역내의 동일한 입지 및 임상조건을 갖는 지역으로서 임분의 위치에 관계없이 하나의 경영단위에는 동일한 경영시나리오가 적용된다. 최적해는 경영단위별로 경영시나리오를 제시하는 것이며, 경영단위별 계획에서는 각각의 경영단위에 대한 벌채계획을 제시한다.

○ 경영단위별 임소반 구성 : 경영단위별 벌채계획을 이용하기 위해서는 대상 지역의 경영단위와 각각의 경영단위를 구성하는 임분의 위치를 파악할 수 있어야 한다. 경영단위별 임소반 구성은 경영단위별로 해당 임소반과 면적을 정리한 것이다. 따라서 산림경영자는 경영단위별 임소반 구성 자료를 이용하여 경영단위별 계획에 제시된 경영시나리오에 따라 영림계획을 작성할 수 있다.

○ 임소반별 계획 : 경영단위별 계획은 최적해를 경영단위별로 제시하기 때문에 최적해의 의미를 정확하게 전달할 수 있으나 경영단위별로 해당 임소반을 일일히 확인해야 하는 불편함이 뒤따른다. 이러한 문제를 해결하기 위해 산림경영계획모델에서는 임소반 번호에 따라 순차적으로 경영단위를 적용하여 임소반별 계획을 제시한다. 그러나 임소반별 계획은 최적해에서 제시하는 경영안을 임소반 번호에 따라 일률적으로 적용한 것이기 때문에 경우에 따라서는 적절하지 못한 결과를 가져올 수도

있다. 이를 보완하기 위해서는 임소반별 계획을 참고하여 영림계획을 수립하고, 그 내용이 부적합하다고 판단될 때는 경영단위별 계획을 이용하는 것이 효과적이다.

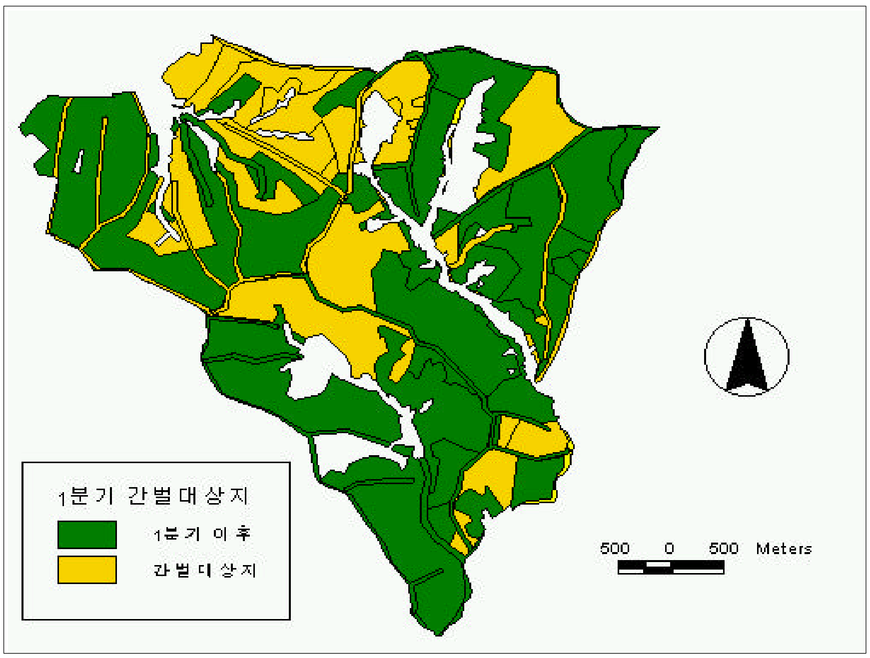
○ 분기별 임상변화 : 대상 지역의 미래 임상구조를 파악하기 위해 산림경영계획모델에서는 최적 경영안에 따라 시업할 경우의 분기별 임상변화를 제시한다. 영림계획을 수작업으로 작성할 경우에는 계획의 실행에 따른 임상 구조의 변화를 파악하는 것이 매우 어렵다. 그러나 임상의 변화내용을 파악할 수 없으면 경영자의 의도가 적절하게 반영되고 있는가에 대한 평가가 곤란하다. 따라서 출력물로 제시되는 분기별 임상변화 자료는 미래의 임상 구조를 파악할 수 있는 기초자료가 된다.

○ 1분기 시업계획 : 영림계획은 10년 단위의 계획이므로 첫 번째 분기의 시업내용이 영림계획의 기초 자료가 된다. 1분기 시업계획에서는 임소반별로 해당 사업의 종류와 임령을 제시하여 산림경영자의 영림계획 작성과정을 지원한다. 여기서 제시하는 시업계획은 산림경영계획모델의 입력 자료인 수종별 시업계획을 기본으로 작성된다.

2) 영림계획안의 작성

이러한 지침들은 경영안을 평가하거나 영림계획을 작성하는데 기초 자료로 활용될 수 있다. <부록 2>는 가중치를 적용하였을 경우의 경영지침자료들을 정리한 것이다. 경영단위별 계획이나 임소반별 계획, 분기별 임상변화 등은 자료의 양이 많기 때문에 일부만을 발췌하였으며, 임소반 단위로 제시되는 1분기 사업예정 내역 역시 1구역의 자료만을 수록하였다.

(그림 4-24)는 최적경영안에서 제시되는 1분기 시업계획안 중에서 벌채대상지역을 표시한 것이다. 1분기에는 현존 임분의 임령이 벌기령에 도달하지 않았기 때문에 주벌대상지는 없으며, 간벌대상지들만이 지도에 표시되어 있다.



<그림 4-24> 1분기 간벌대상지

제 5 절 결론 및 향후 활용을 위한 제언

이 연구의 목적은 산림의 이용과 보전을 추구하기 위한 방안으로 산림의 변화를 모니터링하고, 적정 산림경영계획을 수립할 수 있는 전산정보모델을 개발하는데 있다. 이를 위해 우선 최근 국제적으로 많은 주목을 받고 있는 산림의 생태계 관리에 관한 개념 및 실행체계 및 이를 지원하기 위한 전산정보체계에 대하여 검토하였고, 이를 토대로 국유림 경영에 요구되는 선형계획 전산모델을 개발하였다. 그리고 개발된 전산모델의 적용성을 검토하고, 제2, 3세부과제에서 제시된 생태적, 공학적 관점의 산림관리 지침을 고려한 산림관리계획을 수립할 목적으로 연구대상지 국유림의 일부에 대한 산림경영계획을 수립하여 분석하였다.

이러한 결과를 요약하면 다음과 같다.

산림관리와 관련된 국제적 동향은 산림의 다면적 기능을 중시하는 지속가능한 산림경영 혹은 생태계관리의 개념을 정립하고, 이를 실현하기 위한 관리체계의 개발에 중점이 두어지고 있다. 특히 산림자원의 변화를 모니터링하고 평가할 수 있는 효율적인 시스템의 개발과 상호 상충될 수 있는 산림의 사회적, 생태적, 경제적 기능에 대한 수요를 조정하기 위한 방법론의 개발이 중요한 과제가 되고 있음을 알 수 있다. 산림변화에 대한 모니터링 체계는 주로 데이터베이스체계 및 지리정보체계를 응용하는 모델개발이 중점적으로 이루어지고 있으며, 이러한 정보체계를 토대로 선형계획기법 등을 응용한 의사결정지원체계가 개발되고 있다.

본 연구에서는 이러한 국제적 연구추세에 따라 산림자료를 효율적으로 관리할 수 있는 데이터베이스를 개발하고, 이 데이터베이스를 응용하기 위한 선형계획모델(영림 2000)을 개발하였다. 이 모델은 국내 산림경영의 현실을 감안하여 국유림 영림계획에서 요구되는 산림자원조사부 자료를 정보화

하고, 다목적 경영의 개념을 도입하여 영림계획 수립을 지원할 수 있는 보급형 체계로 설계되었다. 특히 본 모델에서는 산림의 목재생산기능과 탄소저장기능을 선형계획의 평가척도로 사용함으로써 두가지 기능을 동시에 고려할 수 있도록 다목적계획기법(multi-objective programming)의 체계로 만들어졌다. 따라서 이 모델은 산림관리 정책적 목표가 될 수 있는 목재생산이나 탄소저장기능의 증진 방안을 제시할 수 있는 동시에 벌채량의 제한이나 벌채면적의 제한 등 여러 가지 환경적 제약을 부여함으로써 환경적 기능을 증진할 수 있도록 하였다. 그 외에 조림생태적 관점에서 요구되는 건강한 숲을 유도하기 위한 수종선택을 위한 기능이 최적화 기법에 포함되어 있다.

그 외에 본 연구에서는 사례연구를 통해 연구대상지 산림에 개발된 모델을 적용하여 산림경영계획을 수립해 봄으로써 모델의 응용성을 검토하고 보완하였다. 이 과정을 통해 제2, 3 세부과제에서 제시한 생태적 지침을 수용하여 모델의 적용성에 대한 타당성을 검토하였다. 그 결과 이 모델은 산림입지조건에 따른 여러 가지 생태적 산림관리지침이 제시되는 경우 입력 자료의 zoning을 통해 적정 산림계획을 수립할 수 있는 것으로 나타났다.

한편 본 연구에서 제시된 모델의 현실적 한계는 입력장치가 데이터베이스에 의존하므로 공간분석기능이 없고, 또한 산림의 변화를 예측하기 위한 임분생장모델이 충분히 고려될 수 없었다는 점을 들 수 있다. 그 동안 국내의 임분생장모델에 관한 연구는 매우 제한적으로 이루어져 본 모델개발에 활용할 수 있는 임분생장함수가 극히 제한되어 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 현재 국내 산림의 임분생장예측함수는 대부분 포함시켰으나 수종에 따라 임분생장함수가 존재하지 않는 것은 유사한 수종의 생장함수로 대체하여 사용하도록 하였다. 그 외에 앞으로 이 모델의 기능을 증진하기 위해서는 지리정보체계의 도입이 필히 요구된다. 지리정보기능을 도입함으

로써 산림 생태계관리에서 요구되는 산림변화의 공간적 분포상황을 모니터링하는 효과가 기대되기 때문이다.

본 연구에서 제시된 모델은 편의프로그램을 부착하고 있어 선형계획기법 등에 대한 이해가 없이도 실무적용이 가능한 체계로 개발되었다. 그러나 영림계획 등에 이 모델을 응용하기 위해서는 다목적 산림경영에 대한 이론적 배경이 요구된다. 이를 위해서는 실무자에 대한 지속적인 교육이 요구될 것이며, 특히 전산모델의 이용에 대한 교육도 동시에 이루어져야 할 것이다.

그 외에 본 연구에서 개발된 모델은 선형계획문제를 풀기 위해 C-Whiz 라는 상업용 프로그램을 사용하고 있다. 따라서 이 모델을 현장에 보급하기 위해서는 C-Whiz를 구입해야하는 바 국유림에 보급하기 위해서는 지역 혹은 기관 사용권을 구입함으로써 비용을 절감할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

김성일. 1990. 산림휴양계획을 위한 지리정보체계의 이용에 관한 소개. 한국임학회지 79(2) : 205-215.

김지홍. 1992. 추이행렬 모델에 의한 오대산 활엽수-젓나무속 혼효림의 천이경향 분석. 한국임학회지 81(4) : 325-336.

김지홍, 양희문. 1999. 천연활엽수림 주요 상층 임관 수종의 임목 형질 지수추정. 산림과학연구 15:1-9.

김지홍, 이경준, 한상섭, 박은식. 1996. 산림생태학. 향문사

麻鎬燮·全權石·鄭源玉·金溶鐵·鄭秀永. 1997. GIS技法에 의한 都市林의 散策路線의 選定에 關한 硏究 慶尙大學校 農科大學 附屬演習林 硏究報告 7: 69-76.

朴完根. 1994. 韓國産ヤナギ科ヤナギ屬の分類學的再檢討. 110pp. 東北大學博士學位論文

박은식. 1998. 다목적 산림경영을 위한 산림정보시스템의 개발과 적용. 서울대학교 박사학위논문. 19-36.

산림청. 1994. 國有林 營林計劃 情報시스템(運營指針書).

禹保命, 金慶勳. 1997. 高速道路 切開비탈면에서 綠化工法 選定基準 設定에 關한 硏究. 韓國林學會誌 86(4): 476-488

禹保命, 金慶勳. 1998. 岩切取 毁損비탈면에 대한 環境生態的으로 安定된 綠化工法에 關한 硏究(Ⅰ). -山林表層土를 利用한 綠化土의 効能分析을 위한 室內實驗-. 韓國林學會誌 87(2): 308-315

禹保命, 金南椿, 金慶勳, 全起成. 1996a. 高速道路 切土비탈면의 植生遷移過程에 關한 硏究. -中部高速道路를 中心으로-. 韓國林學會誌 85(3): 347-359

禹保命, 全起成, 金慶勳, 崔炯太. 1996b. 高速道路 비탈面에서 周邊環境을 考慮한 綠化工法과 植生選拔에 關한 硏究. 韓國林學會誌 85(4): 619-633

이상문, 이병찬. 1983. 다목표의사결정론. 법문사. 369pp.

임업연구원. 1989. 주요수종의 최적 벌기령에 관한 연구. 임업연구원 시험연구보고서 4-Ⅳ p6-21.

임업연구원. 1994. 공무해외출장 귀국보고서(온실가스 저감방안 및 평가. 미국). 29-30pp.

임업연구원. 1994. 한국산 주요 목재의 성질과 용도. 119-265pp.

임업연구원. 1996. 한국 산림과 온실가스. 55-79pp.

全槿雨, 吳在萬, 池炳潤. 1994a. 山岳林의 林道開設에 關한 硏究(Ⅴ). -調査區의 地形改變-. 江原大學校 林科大學 演習林硏究報告 14: 110-120

全槿雨, 車斗松, 朴完根, 吳在萬. 1994b. 山岳林의 林道開設에 關한 硏究(Ⅵ). -開設後 初期年의 植生侵入-. 江原大學校 林科大學 演習林硏究報告 14: 121-134

全槿雨, 朴完根, 吳在萬, 車斗松. 1995. 山岳林의 林道開設에 關한 硏究(Ⅶ). -開設後 2次年度의 植生侵入 變化-. 江原大學校 林科大學 演習林硏究報告 15: 45-63

全槿雨, 朴完根, 車斗松, 金炅南, 金玟植, 廉圭眞, 西門原, 吳在萬, 江崎次夫. 1996. 山岳林의 林道開設에 關한 硏究(Ⅷ). -開設後 3年間의 植生侵入 變化-. 江原大學校 林科大學 演習林硏究報告 16: 109-131

全槿雨, 江崎次夫, 吳在萬. 1996. 流域의 環境保全을 고려한 합리적인 林道施工에 關한 硏究(Ⅰ). -일본에 있어서 최근의 林道事業을 중심으로-. 삼림과학연보 12: 26-36

程龍鎬, 金在憲. 1994. 切開斜面 綠化工을 위한 有用 鄕土種 選拔. 林硏 硏報 49: 110-120

정주상 등. 1995. 山林環境情報시스템 構築을 위한 應用電算모델의 開發. 산림청.

정주상 등. 1996. 山林地理情報시스템 構築을 위한 應用電算모델의 開發. 산림청.

정주상 · 박은식 · 오동하. 1998. 地理情報시스템을 利用한 實務型 山林經營電算모델의 開發. 한국임학회지 87(2) : 300-307.

車斗松, 池炳潤, 金炅南, 崔麟和. 1998. 林道開設에 따른 森林施業의 實態分析 및 効果 分析. 韓國林學會誌 87(2): 239-252

加藤正一. 1996. 都市近郊の實情にあった林業の振興と森林の保全を目指して. 山林 1245: 11-16.

江崎次夫. 1984. 林道のり面保全に關する硏究. 愛媛大學演習林報告 21 : 1-116

江崎次夫. 1989. のり面の綠化について. 平成元年度第1會愛媛縣土質工學硏究會發表要旨集: 1-10

高瀨香代. 1994. 都市近郊林の推移解析と機能發揮のための方策に關する調査. 埼玉縣林業試驗場 業務成績報告 36: 33-36.

高瀨香代. 1995. 都市近郊林の推移解析と機能發揮のための方策究明. 埼玉縣林業試驗場 業務成績報告 37: 26-27.

駒村富士弥. 1984. 都市近郊保安林の防災機能に關する基礎的硏究. 昭和58年度文部省科學硏究費自然災害特別硏究(課題番號 : 58020018) 硏究成果報告書 79pp.

宮岡誠司. 1996. 都市山麓グリ-ンベルト整備事業. 砂防と治水 109: 16-19.

宮本克己. 1995. 都市近郊における綠地帶構想の展開に關する二・三の考察. ランドスケ-プ硏究 58(5): 229-233.

陶山正憲. 1989. 都市近郊林の整備と水土保全機能の評價. 水利科學 33(1): 1-33.

東三郎. 1964. 砂防植生工におけるヤナギ類導入に關する硏究. 北海道大學演習林硏究報告 23(2): 151-228

北海道. 1984. 都市水源林の實態と整備手法に關する硏究. 117pp.

半田眞理子 · 秋山千秋 · 田畑正敏. 1994. 都市林の現況急び機能評價. 土木技

術資料 36(12) : 32-37.

北海道開發協會. 1984. 札内川流域の自然環境保全に關する調査報告書. 82pp.

北海道林業技術センタ-. 1993. 自然度の高い生態系の保全を考慮した流域管理に關するランドスケ-プエコロジ-的研究. 平成4年度科學技術廳委託調査研究報告書 128pp.

北海道林務部治山課. 1986. 天賣島重要水源山地整備治山事業. 207pp.

肥後賢輔. 1996. 都市近郊等における林地の保全・利用. 山林 1342: 43-49.

砂防學會・環境と調和した砂防事業に關する研究委員會. 1994. 環境と調和した砂防事業に關する研究 -特に景觀問題について-. 89PP

松本 勗. 1984. 森林の生態系維持と森林資源の高度な有効利用に關する研究. 昭和58年度科學研究費補助金(特定研究) 研究成果報告書(課題番號 : 58124028) 172pp.

松本 勗. 1986. 森林の生態系維持と森林資源の高度な有効利用に關する研究. 昭和58年度科學研究費補助金(特定研究) 研究成果報告書(課題番號 : 60129042) 342pp.

伊藤育子. 1997. まちを綠で取り囲もう -森で遊び, 森を育て, 自然との關聯性を結び直す-. 森林科學 19: 64-68.

佐藤義夫. 1955. ヤナギ科種子の生存期間. 北大演報 17(2): 225-266

紙野伸二. 1992. 社會林の立地配置と維持管理システム化に關する研究. 平成元年度 平成3年度科學研究費補助金(一般研究(B)) 研究成果報告書 221pp.

倉橋昭夫. 1997. 森林生態系の保全に配慮した森づくり -東京大學北海道演習林の事例-. 森林科學 19: 55-58.

澤登信子. 1997. 森と都市の共生摸索 -結び直しのとき-. 山林 1254: 2-7.

澤畑 浩. 1988. 北海道における環境林造成計劃に關する基礎的研究. 北海道大學審査學位論文 139pp.

鶴 助治. 1994. **ヤンゴン近郊國有林における住民の無斷利用の實態と森林保全對策. 平成5年度**

Brower, J.E and J.H. Zar. 1977. Field and Laboratory Methods for General Ecology. WM. C. Brown Co. Publ. Dubuque, Iowa. p.194.

Brown, R.T. and J.T. Curtis. 1952. The upland conifer-hardwood forests of northern Wisconsin. Ecological Monographs 22:217-234.

Buckley D.J., J.K. Berry, and C. A. Ulbricht, 1998a. The Virtual Forest: Advanced 3-D Visualization Techniques for Forest Research and Management. GIS-RT '98 Symposium Proceedings. Toronto, Canada.

Church, R.L., A.T. Murray and M.A. Figueroa. 1995. Regional Ecosystems and Land Management Decision Support(RELMdss). Univ. California, Santa Barbara.

Cohon. 1978. Multiobjective programming and planning. Academic press.

Connell, J. H. 1963. Territorial behaviour and dispersion In some marine invertebrate. Research in Population Ecology 5:87-101.

Curtis, J.T. and R.P. McIntosh. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest boarder region of Wisconsin. Ecology 32:476-498.

Dick, R.C., and Jordan, G.A. 1990. GIS Activity in Canadian Forestry. Forest Management and GIS, Vol. I-beginnings, pp. 144-176.

Diggle, P.J. 1983. Statistical Analysis of Spatial Point Patterns. Academic Press, New York.

Driver, B. L., B. Kent and J. G. Hof. 1993. A planning and analysis process for including social and biophysical considerations in sustainable ecosystem management. Proc. of Sustainable Ecological System: Implementing An Ecological "Approach to Land Management. Flagstaff, Arizona. July 12-15, 1993.

Eberhardt, L.L. 1976. Quantitative ecology and impact assessment. Journal of Environmental Management 4: 27-70.

Greig-Smith, P. 1983. Quantitative Plant Ecology, 3rd ed. Blackwell Scientific Pub. Oxford, U.K. p. 359.

Henry Lachowski, Paul Maus, and Bruce Platt. 1992. Intergrating Remote Sensing with GIS. J. of Forestry 89(12) : 16-21.

Horn, H.S. 1975a. Forest succession. Scient. Am. 232 : 90-98.

Horn, H.S. 1975b. Markovian properties of forest succession. In Eclogy and Evolution of Communities(M.L. Cody and J.M. Diamond, eds) : 196-211.

Horn, H. S. 1976. Succession. In Theoretical Ecology; Principles and Application (R.M. May, ed.) : 187-204.

Hutchinson, G.E. 1953. The concept of pattern in ecology. Proceeding Academy Natural Science, Philadelphia, PA.

Iversion, D. and R. Alston. 1986. The genesis of FORPLAN: a historical and analytical review of Forest Service planning models. USDA For. Serv. General Technical Report INT-214.

Johnson, K. N., T. Stuart and S. Crim. 1986. FORPLAN Ver. 2: an overview. Land Management Planning Systems Section, USDA For. Serv. var. pag. Wash. D.C.

Johnson, R.B. and W.J. Zimmer. 1985. A more powerful test for dispersion using distance measurements. Ecology 66:1084-1085.

Jordan, G.A., and Erdle, T.A. 1989. Forest Management and GIS : What Have We Learned in New Brunswick? The Canadian Institute of Surveying and Mapping Journal, 43(3) : 287-295.

Kaufmann, M. R. and C. M. Regan. 1995. Ecosystem management, forest health, and silviculture. *Proc.* of the 1995 National Silviculture

Workshop. Mescalero, New Mexico, May 8-11.

Kaufmann, M. R. and etc. 1994. An eclogical basis for ecosystem management. USDA For. Serv. GTR RM-246.

Kershaw, J.A., C.D. Oliver and T.M. Hincley. 1993. Effect of harvest of old growth douglas-fir stands and subsequent management on carbon dioxide levels in the atmosphere. Journal of Sustainable Forestry 1(1):61-77.

Kimmins, J. P. 1987. Forest ecology. MacMillan 80(4):360-368.

Kovach, W.L. 1995. MVSP - A Multivariate Statistical Package for IBM PCs, Ver. 2.2. Kovach Computing Services, Pentraeth, Wales, U.K.

Louise M. T. and Gary L. W. 1997. Evaluating biodiversity of land units : scale, diversity, types, and stakes. Integrating Social Science and Ecosystem Management Proceeding p108-111.

Ludwig, J.A. and J.F. Reynolds. 1988. Statistical Ecology. John wiley and Sons, Inc.

Lynn A. M. 1997. Defining future forest conditions for the Chattooga basin: Methods and preliminary analysis. Integrating Social Science and Ecosystem Management Proceeding p14-19.

Maclean, A.L. ,D.D.Reed. and G.D.Mroz. 1992. Using GIS to Estimate Forest Resource Changes. J. of Forestry 89(12) : 22-25.

Mowrer, T. H. and etc. 1997. Decision support systems for ecosystem management: an evaluation of existing systems. USDA For. Serv. GTR RM-GTR-246.

Pielou, E.C. 1959. The use of point-to-plant distance in the study of the pattern of plant population. Journal of Ecology 47:607-615.

Pielou, E.C. 1977. Mathematical Ecology. Wiley, New York.

Quinn, J.F. and A.E. Dunham. 1983. On hypothesis testing in ecology and evolution. American Naturalist 122:602-617.

Roise, J., Chung, J., Lancia, R., and M. Lennartz. 1990. Red-Cockaded woopecker habitat and timber management prodcution possiblities. The Southern Journal of Applied Forestry. 14(1):6-12.

Sieg, G.E. and M.P. McCollum. 1988. Integrating Geographic Information Systems and Decision Support Systems. Proceedings, GIS/LIS '88, Nov. 31-Dec. 2, San Antonio, TX, 2 : 901-910

Society of American Foresters. 1993. Task force report on sustaining long-term forest health and productivity. SAF.

Thomas, J. W. and etc. 1993. Forest ecosystem management: an ecological, economic and social assessment. Report of the Forest Ecosystem Management Assessment Team. USDA For. Serv.

부 록

1. 「영림 2000」의 사용

2. 산림경영계획모델 출력 예

Ⅰ. 영림2000 개요

환경생태적 기준에 근거한 산림관리를 지원하기 위해 산림자료의 효율적인 관리와 경영계획의 수립을 지원할 수 있도록 응용프로그램인 영림2000을 개발하였다. 영림2000의 메뉴구성은 크게 영림구, 산림조사, 영림계획, 임소반연혁, 최적경영안, 도움말로 이루어져 있다. 이용자는 이들 메뉴를 선택하므로써 원하는 작업을 손쉽게 수행할 수 있다.

1. 영림2000의 시작

영림2000을 시작하면 (그림 1)과 같은 화면이 나타난다. 화면 중앙부분에는 영림구 선택 윈도우가 나타나 작업대상 자료를 선택할 수 있다. 초기화면에서는 검정색으로 표시되는 메뉴만을 사용할 수 있으며, 회색으로 표시되는 메뉴는 사용할 수 없는 상태이다.

<그림 1> 영림구 선택 화면

2. 영림구 선택

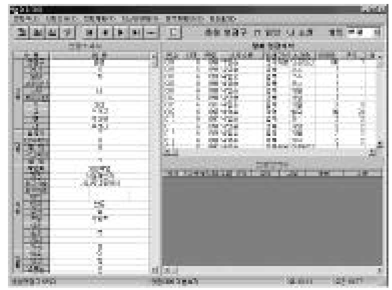
작업하고자 하는 영림구를 다음과 같은 방법으로 선택한다. 만약 처음으로 작업하는 영림구이거나 새로운 차기일 경우는 입력창 오른쪽에 있는 새로등록 버튼을 누른 다음 영림구와 계획차기를 새로 등록해야 한다. 등록이 되어 있지 않은 경우는 영림구나 계획차기 콤보상자에 나타나지 않는다.

♣ 영림구 선택 방법

① 작업하고자 하는 영림구를 영림구 콤보상자에서 선택한다.

② 같은 방법으로 계획차기를 콤보상자에서 선택한다.

③ 콤보상자 오른쪽 위에 있는 선택 버튼을 누른다.



<그림 2> 기본 윈도우

3. 영림2000의 기본 윈도우

작업대상 영림구를 선택하면 (그림 2)와 같은 영림2000 기본 윈도우가 나타난다. 윈도우는 왼쪽에 산림조사부, 오른쪽 상단부에 영림계획, 오른쪽 하단부에 임반연혁이 나타나 대상 영림구의 관련 자료를 임소반별로 확인할 수 있다.

4. 영림구 등록

영림2000을 처음 사용하거나 새로운 영림구 자료를 입력하기 위해서는 먼저 해당 영림구를 등록해야 한다. 새로운 영림구를 등록하기 위해서는 파일-영림구 등록 메뉴를 선택한다. 영림구 및 차기 등록 윈도우는 (그림 3), (그림 4)와 같은 신규 등록과 등록 현황의 두 가지 화면으로 구성되어 있다. 신규 등록은 새로운 영림구나 차기를 등록할 때 사용하며, 등록현황에서는 현재 영림2000에 등록되어 있는 영림구 현황과 관련 정보를 확인할 수 있다.

영림구나 차기를 등록할 때에는 영림구 이름, 차기, 산림자원조사 기간, 영림계획 기간을 입력한 후 등록 버튼을 누르면 된다. 그리고 윈도우에서 등록 현황을 선택하면 입력한 영림구가 표에 추가되어 나타난다. 등록 현황에는 영림구, 차기, 조사 시작년도, 조사 종료연도, 영림계획 시작연도, 영림계획 종료연도, 자료 파일명 등에 대한 정보가 나타난다. (그림 4)에서는 현재 춘천 6차기가 등록되어 있다.

<그림 3> 영림구 등록

<그림 4> 영림구 등록현황

♣ 영림구 등록 방법

① 영림구 이름과 계획차기를 입력한다. 계획차기를 콤보상자를 이용하여 입력할 수 있다.

② 산림자원조사 기간을 시작년도와 종료년도로 나누어 콤보상자로 입력한다.

③ 산림자원조사 기간과 동일한 방법으로 영림계획기간의 시작년도와 종료년도를 입력한다.

④ 등록 버튼을 누르면 해당 정보가 영림2000에 입력됩니다.

5. 코드 등록

영림2000에서는 입력과정의 편리성과 일관성을 위해 콤보박스를 이용하고 있다. 입력시 콤보박스를 활용하면 입력의 효율성을 높일 수 있을 뿐만 아니라 오타나 일관되지 못한 자료 입력을 미리 방지할 수 있는 장점이 있다. 예를 들어 산림조사 내역중 지종은 시업지, 시업제한지, 제지의 3가지 종류가 있다. 따라서 지종을 입력할 때는 이들 3가지 중에서 하나를 입력하는 것이 보통이므로 이들 항목을 콤보박스의 목록에 미리 등록한 후, 지종 입력시에는 콤보박스를 이용하면 된다.

코드를 등록하려면 먼저 등록하고자 하는 항목을 콤보박스에서 선택한 다음, 값란에 원하는 값을 입력하고, 등록 버튼을 누르면 된다. 여기서 비고와 코드란은 등록하는 값에 대한 상세한 정보나 코드 값을 적기 위한 것이다. 한편 코드 등록 윈도우에서도 코드 등록 현황을 선택하면 현재 등록되어 있는 코드 값들을 표를 통해 확인할 수 있다.

<그림 5> 코드 등록

<그림 6> 코드 등록현황

♣ 코드 등록 방법

① 항목 콤보상자를 이용하여 입력하고자 하는 항목을 선택한다. 항목에는 산림조사부나 영림계획부에서 사용되는 주요한 항목들이 첨가되어 있다(예, 작업종, 지종, 수종 등).

② 입력하고자 하는 내용을 값 텍스트 상자에 입력한다. 콤보상자가 아니므로 이용자가 직접 키보드로 입력해야 한다.

③ 동일한 방법으로 비고와 코드 내용을 입력한 후, 아래의 등록 버튼을 눌러 입력한다.

♣ 등록된 코드의 수정 및 삭제 방법

① 코드등록 현황 탭을 선택하면 코드등록 표가 나타납니다. 여기서 수정 또는 삭제하고자 하는 자료로 이동한다. 자료의 이동은 입력창 윗부분의 자료이동 버튼을 이용하며, 자료이동 상황은 표의 맨 첫째 열에 ☞표가 나타나는 줄의 자료가 현재 선택된 자료입니다.

② 자료를 수정하고자 할 때는 수정 버튼을, 삭제하고자 할 때는 삭제 버튼을 눌러 자료의 수정 또는 삭제작업을 실행한다.

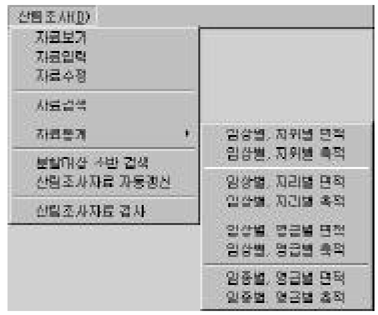
③ 수정 또는 삭제가 잘못되었을 경우는 즉시 되살리기 버튼을 눌러 작업을 취소할 수 있다.

6. 끝내기

영림2000을 종료한다.

Ⅱ. 산 림 조 사

산림조사 메뉴는 산림조사자료를 관리하는 업무를 다루며, 크게 자료보기, 자료입력, 자료수정, 자료검색, 자료통계와 같은 기본기능과 분할대상소반 검색, 산림조사자료 자동갱신, 산림조사자료 검사와 같은 부가기능으로 구성되어 있다.



<그림 7> 산림조사 메뉴구성

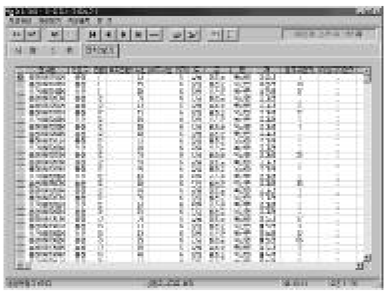
1. 자료 보기

자료 보기 하위메뉴를 선택하면 (그림 8)과 같은 화면이 나타난다. 자료보기 윈도우는 지황(그림 8), 임황(그림 9), 전체보기(그림 10)의 3가지 화면으로 구성되어 있으며, 마우스를 이용하여 지황, 임황, 전체보기의 부분을 클릭하면 해당 화면이 나타난다. 지황과 임황은 각각 산림조사부의 지황과 임황 자료 부분을 나타낸 것이며, 전체보기는 대상 영림구 소반 전체를 표의 형식으로 나타낸 것으로서 ☞표가 있는 소반이 현재 화면에 표시된다.

화면 오른쪽 상단에 표시되는 숫자는 현재 자료의 위치와 전체자료의 수를 의미한다. 예를 들어 402개 소반중 1번째는 대상 영림구에는 402개의 소반이 존재하면 현재 화면에는 첫 번째 소반이 표시되어 있음을 의미한다.

<그림 9> 자료보기(임황)

<그림 8> 자료보기(지황)



<그림 10> 자료보기(전체보기)

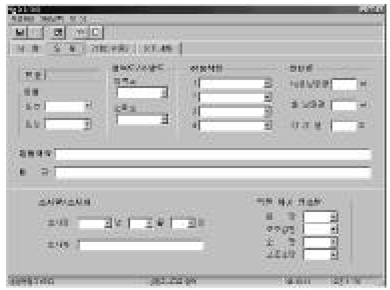
2. 자료 입력

영림구와 차기를 등록한 후에는 현지조사를 통해 얻은 산림조사자료를 영림2000에 입력하는 과정을 거치게 된다. 산림조사 자료의 입력은 파일 - 자료입력 메뉴를 선택하면 된다. 자료 입력 메뉴를 클릭하면 (그림 11)과 같은 화면이 나타난다. 자료 입력 윈도우는 지황, 임황, 임황(수종), 사업개요의 4가지 화면으로 이루어져 있다. 기본적인 입력 형태는 현재 관리소에서 사용하고 있는 산림조사야장과 동일한 형태이므로 야장을 보면서 컴퓨터에 직접 입력하면 된다.

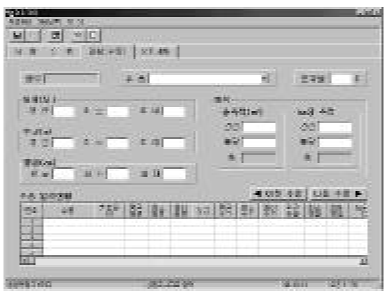
입력 작업시 화면에서 회색으로 표시되는 부분은 컴퓨터에서 자동으로 계

산이 되기 때문에 입력할 필요가 없다. 예를 들어 입목지와 미입목지, 제지 면적을 입력하면 무입목지와 합계는 컴퓨터가 자동으로 계산한다.

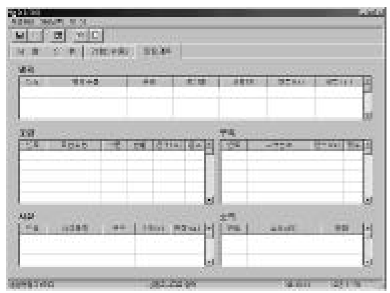
<그림 11> 자료입력(지황)



<그림 12> 자료입력(임황)



<그림 13> 자료입력(수종)



<그림 14> 자료입력(사업개요)

♣ 산림조사 자료입력

① 지황, 임황, 임황(수종) 화면에 나타나는 콤보박스와 텍스트박스를 이용하여 자료를 입력한다.

② 임황(수종)에서는 한 개의 소반에 최대 5개의 수종을 입력할 수 있으므로 첫번째 수종에 대한 정보를 입력한 후, '다음 수종으로 ▶' 버튼을 누르면 첫 번째 수종 정보가 저장되며, 계속해서 두 번째 수종을 입력한다.

③ 영림계획 내역이 있을 경우 각 영림계획을 벌채, 조림, 무육, 시

설, 소득의 5가지 사업별로 입력표에 입력한다. 영림계획의 입력은 영림계획 작성 메뉴를 이용해서도 입력할 수 있다.

④ 임황 화면에서 직전 차기 임소반에는 현재 자료를 입력하고 있는 소반이 직전 차기에 어느 임소반에 속했는가를 입력하면 된다. 예를 들어 5차기에 1임반 다소반이 6차기에는 2임반 가소반이 되었다면, 6차기 자료를 입력할 때 2임반 가소반의 직전 차기 임소반란에 1임반 다소반을 입력한다.

⑤ 자료의 입력이 끝나면 저장 아이콘(디스켙 모양의 아이콘)이나 파일 메뉴의 자료저장을 선택하여 입력한 내용을 데이터베이스에 저장한다.

3. 자료 수정

자료 수정은 현재 입력된 자료를 수정하는 기능으로 기본적인 이용방법은 자료 입력과 유사하며, 현재 임소반의 자료가 화면에 표시되어 있으므로 수정하고자하는 항목의 콤보박스를 이용하여 자료를 수정하면 된다.

<그림 15> 자료수정

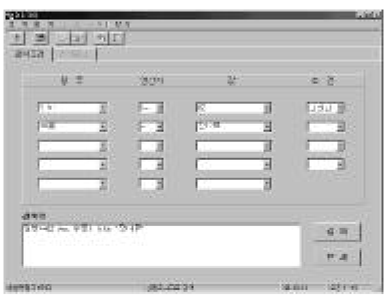
4. 자료 검색

자료 검색은 특정한 자료를 데이터베이스에서 찾고자 할 때 사용한다. 자료 검색 윈도우는 검색조건 화면과 검색결과 화면으로 구성되어 있다. 검색조건은 찾고자 하는 자료가 어떤 것인가를 입력하기 위한 것이며, 검색결과

는 검색조건을 만족시키는 자료를 보여주기 위한 것이다.

검색조건을 입력하는 방법은 콤보박스를 이용하는 방법과 검색어를 직접 사용하는 방법이 있다. 콤보박스를 이용할 경우 항목란에서 어떠한 항목을 기준으로 선정할 것인가를 입력하고, 값란에 원하는 수치를 입력하면 된다. 두가지 이상의 검색조건을 이용하고자 할 경우 조건란에는 검색조건간의 연결관계를 입력한다.

예를 들어 82임반 이후의 임반중에서 주요 수종이 잣나무인 지역을 검색하고 할 경우 (그림 16)과 같이 입력하면 된다. 여기서 값란의 콤보박스에 목록이 있을 경우는 제시된 목록중에서 하나를 선택하면 되지만 만약 콤보박스에 아무런 목록도 나타나지 않을 경우는 이용자가 직접 입력해야 된다. 일반적으로 숫자값들은 콤보박스의 목록이 나타나지 않는다.


<그림 16> 자료검색 조건


<그림 17> 자료검색 결과

♣ 콤보상자를 이용한 자료검색 방법

① 각 항목별로 연산자와 값을 입력하고, 기준과 기준 사이의 관계는 조건 콤보상자를 이용해 입력한다.

② 검색조건의 입력이 끝나면 검색 버튼을 누르면 검색결과가 출력된다.

♣ 검색어 상자를 이용한 자료검색 방법

① 검색어 상자에 SQL을 이용하여 검색조건을 입력한다.

② 검색조건의 입력이 끝나면 검색 버튼을 누르면 검색결과가 출력된다.

(그림 17)은 앞에서 예로든 조건을 만족시키는 자료를 검색한 결과이다. 검색결과 화면의 오른쪽 위에 있는 데이터 컨트롤의 숫자를 통해 검색된 자료가 17개임을 알 수 있다.

한편 검색조건을 사용할 때는 기준을 5개까지 입력할 수 있으며, 만약 검색조건으로 표현하기 힘든 복잡한 기준을 사용하고자 할 때는 검색어를 이용할 수 있다. 검색어는 데이터베이스에서 일반적으로 사용하는 SQL (standard query language)을 이용한다. 영림2000에서는 SQL의 비교연자자와 와일드 문자(wild character)만을 이해하면 원하는 조건을 검색할 수 있도록 하였으며, (표 1)은 비교연산자와 와일드 문자를 요약한 것이다.

<표 1> 연산자와 와일드 문자

항목	내용	의미
비교 연산자	=	같다
	<>	같지 않다
	>	크다
	>=	크거나 같다
	<	작다
	<=	작거나 같다
	like	문자값이 같다
논리 연산자	AND	그리고
	OR	또는
와일드 문자	?	1개의 문자
	*	문자 수에 관계없이 모든 문자열

검색어를 사용할 때는 산림조사 테이블의 필드명을 사용해야하며, 한글 필드명을 사용할 때는 필드명의 좌우에 [ ]을 넣고, 문자열을 사용할 때는 좌우에 따옴표(')를 첨가한다. 그리고 조건들의 우선순위가 필요할 때는 우선

순위가 높은 것부터 괄호안에 넣는다.

검색어의 구체적인 사용방법을 예를 들어 설명하면 다음과 같다.

① 입목지면적이 10ha 보다 큰 경우 ☞ AreaSF > 10

② 입목지면적이 10ha보다 크거나 같고 미입목지면적이 5ha보다 작은 경우 ☞ AreaSF >= 10 AND AreaNF < 5

② 산림소재지의 면이 남면이나 남산면과 같이 남자로 시작하는 경우 ☞ Amm like 남*

③ 방위가 북서나 북동인 경우 ☞ Azim like 북서 OR Azim like 북동

④ 방위가 북서이고 습도가 적윤인 경우 ☞ Azim like 북서 AND Hum like 적윤

⑤ 5임반이나 10임반중에서 입목지면적이 10ha가 넘는 소반들을 검색하고자 할 경우 ☞ (IDc = 5 OR IDc = 10) AND AreaSF >= 10

⑥ 수종1이 잣나무이고 소반이 소반번호가 나인 경우 ☞ SPP1 like '잣나무 AND IDs like '나

5. 자료 통계

자료 통계는 대상 영림구의 통계자료를 작성하는 기능으로서 임상별·지위별 면적, 임상별·지위별 축적, 임상별·지리별 면적, 임상별·지리별 축적, 임상별·영급별 면적, 임상별·영급별 축적, 임종별·영급별 면적, 임종별·영급별 축적과 같은 8개 기준으로 통계를 작성할 수 있다. 자료 통계는 크리스탈 리포트(Crystal Report)를 이용하며, 인쇄 버튼이나 닫기 버튼을 이용하여 자료를 인쇄하거나 영림2000 화면으로 돌아갈 수 있다.

6. 분할대상 소반 검색

현재 산림조사를 위한 소반 구획은 영림계획 운영요강의 기준을 따라 다음과 같은 기준을 적용하고 있다.

<그림 18> 자료통계

※ 현행 소반구획 기준 (영림계획운영)

소반은 임반내에서 다음의 사항에 해당되어 시업상 취급을 달리할 필요가 있는 구역에 대하여 별도 구획하고 소반번호를 붙인다.

① 지종이 상이할 때

② 임상(수종), 작업종이 상이할 때

③ 임령, 지위, 지리 또는 운반계통이 현저하게 상이할 때

그러나 현재의 소반은 규모의 차이가 너무 크거나 계속되는 시업으로 인해 소반의 임상이 불균일한 경우가 많다. 하지만 일반적으로 임반은 수백개의 소반으로 구성되어 있기 때문에 분할이 요구되는 소반을 수작업에 의해 찾아내는 것은 많은 시간과 노력이 요구되며, 또 주어진 기준을 만족시키는 소반을 모두 찾는 것은 매우 어려운 작업이다. 분할대상 소반 검색은 이용자가 선택한 분할 기준에 부합되는 소반들을 신속히 찾아내어 보다 효율적으로 관리할 수 있게 해준다. (그림 19)와 (그림 20)은 입목지 면적이 20ha 이상이면서 소반내의 수종 수가 3개 이상인 소반을 찾아낸 것이다.

♣ 분할대상 소반 검색방법

① 분할 기준으로 사용할 항목을 면적 또는 수종 체크상자로 선택한다. 한 가지만 선택할 수도 있고, 두 가지 항목을 모두 선택할 수도 있다.

② 선택한 기준에 따라 기준 항목과 적용 값들을 콤보상자나 텍스트상자에 입력한다.

③ 조건과 조건사이의 관계(그리고, 또는)을 선택한 후, 계속해서 다른 조건을 입력한다. 면적은 최대 3가지, 수종은 최대 5가지의 기준을 입력할 수 있다.

④ 검색버튼을 누르면 검색결과가 나타난다.

<그림 19> 검색 조건

<그림 20> 검색 결과

7. 산림조사자료 자동갱신

산림조사는 영림계획을 위하여 매 10년 단위로 이루어지고 있다. 매 차기마다 실시하는 산림조사는 전차기에 이루어진 시업결과와 임상변화를 다음차기에 보다 정확히 반영하기 위해 실시되고 있다. 그러나 산림조사내역중에서 지황은 임황과 달리 시업결과에 영향을 받지 않기 때문에 한번 조사된

자료를 계속적으로 활용할 수 있다. 산림조사자료 자동갱신은 지황자료는 전차기 자료를 그대로 유지하면서 임상 변화에 대한 몇 가지 지침을 입력하여 산림조사자료를 자동으로 갱신할 수 있는 기능이다. (그림 21)에서는 임령은 10년 증가, 수고와 경급, ha당 건전목축적은 5%증가, 그리고 ha당 불량목축적은 3%가 증가하는 것을 갱신기준으로 적용하였다.

<그림 21> 자동갱신

♣ 산림조사자료 자동갱신방법

① 자동갱신에 사용하는 지침을 선택한다. 지침은 임령, 수고, 경급, ha당 건전목축적, ha당 불량목축적 중에서 선택할 수 있으며, 적용하고자 하는 항목의 체크상자를 선택한다.

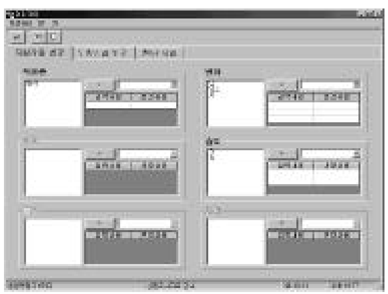
② 선택한 기준별로 변화량을 입력한다. 예를 들어 임령의 경우 초기값이 10년으로 되어 있으므로 새로운 자료에서는 기존 자료의 임령에 10을 더한 값으로 갱신된다.

③ 기준별로 적용하고자 하는 단위를 선택한다. 적용 단위는 백분율과 물리적 단위가 있다. 백분율은 기존의 자료에서 증가되는 양을 의미한다. 예를 들어 수고가 10m인 경우 10%를 선택하면 갱신되는 자료에서는 11m가 된다. 또 물리적 단위는 측정에 사용되는 단위를 직접 입력하는 것으로 수고는 m, 경급은 cm, 축적은 ㎥/ha로 입력할 수 있다. 예를 들면 수고가 10m인 경우 0.5m를 입력하면 갱신되는 자료에서는 10.5m가 된다.

④ 동일한 방법으로 수고, 경급, 축적을 입력한 후, 갱신버튼을 누르면 자료가 자동으로 갱신된다.

8. 산림조사자료검사

대상 영림구의 산림조사부 자료가 코드 등록에서 입력한 자료의 형태에 맞게 입력되어 있는가를 검토하고, 만약 입력형태가 다를 경우 해당 자료를 올바른 형태로 수정하는 기능을 갖는다. 산림조사자료가 올바르게 입력되지 않았을 경우는 자료 검색이나 자료 통계 작성 등을 실행할 수 없고, 프로그램의 작동과정에서 예기치 않은 오류를 발생시킬 수 있으므로 프로그램의 자료 입력 기능을 이용하지 않고 별도의 방법으로 입력된 자료에 대해서는 자료 검사기능을 이용하여 입력된 자료를 점검하는 것이 필요하다.

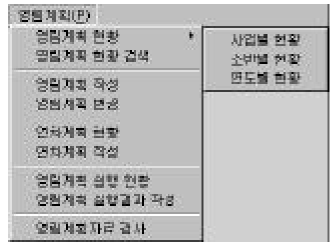


<그림 22> 자료검사(지황)

<그림 23> 자료검사(임황)

Ⅲ. 영 림 계 획

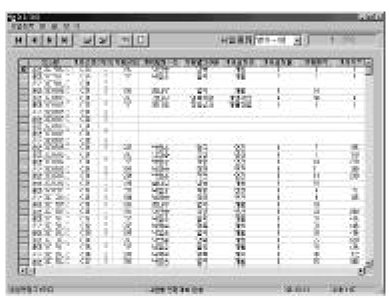
영림계획은 영림계획, 연도별 계획, 사업실행결과 자료를 관리하는 기능을 갖고 있으며, 각각에 대해 자료의 입력과 현재 입력된 자료를 보기 위한 하위메뉴가 있다. 그리고 벌채, 조림, 무육, 시설, 소득의 5가지 사업별로 작업을 수행한다.



<그림 24> 영림계획 메뉴

1. 사업별 영림계획 현황

사업별 영림계획 현황은 현재 작성되어 있는 영림계획 내역을 사업별로 보기 위한 것이다. 사업종류는 벌채사업, 조림사업, 무육사업, 소득사업, 시설사업등이 있으며, 초기화면에서는 벌채사업이 나타나도록 되어 있으며, 사업종류를 변경하고자 할 경우에는 사업종류 메뉴나 화면 상단부에 있는 사업종류 콤보박스를 이용하여 원하는 사업종류를 선택하면 된다.



<그림 25> 사업별 계획현황

2. 소반별 영림계획 현황

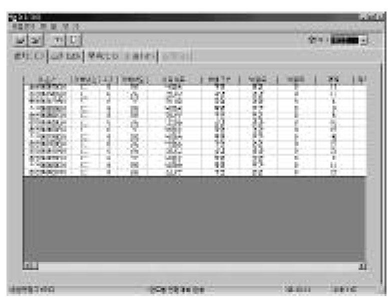
소반별 영림계획 현황은 앞에서 설명한 사업별 영림계획 현황과 유사하며, 현재 작성되어 있는 영림계획을 해당 소반별로 요약한 것이다. (그림 26)은 춘천영림구 6차기 1임반 나소반의 벌채사업계획을 정리한 것이다.


<그림 26> 소반별 계획현황

화면을 보면 윗부분에 다섯가지의 사업명이 있으며, 원하는 사업명을 선택하면 해당 사업현황이 나타난다. 그리고 툴바(tool bar)에 있는 코드는 현재 화면에 나타난 영림계획이 어느 소반의 것인가를 나타낸다. 그 옆에 있는 데이터 컨트롤은 임소반의 위치를 이동하기 위한 것으로 [부록]에서 설명한 일반적인 데이터 컨트롤의 기능과 동일하다. 임소반을 변경하고자 할 때는 코드란 옆에 있는 임소반 선택 버튼을 이용하여 직접 원하는 소반으로 이동할 수도 있다.

3. 연도별 영림계획 현황

연도별 영림계획 현황은 사업별이나 소반별 영림계획 현황과 마찬가지로 현재 작성되어 있는 영림계획을 연도별로 요약한 것이며, (그림 27)은 춘천영림구 6차기의 1994년 벌채사업계획을 정리한 것이다. 소반


<그림 27> 연도별 계획현황

별 영림계획과 같이 각 사업명을 선택하면 해당 사업의 현황을 볼 수 있다. 한편 사업년도는 화면의 툴바에 있는 연도 콤보박스를 이용하여 선택한다.

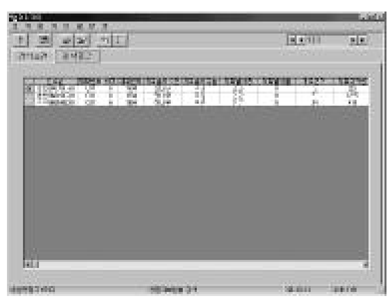
이 콤보박스는 드롭 리스트(drop list)형태이므로 직접 입력하는 것은 불가능하고 콤보 목록에서 선택하는 것만 가능하다. 목록에 나타나는 연도는 영림구 등록시에 입력한 영림계획기간에 포함되는 연도들이 나타난다.

4. 영림계획 현황 검색

영림계획 현황 검색은 현재 작성되어 있는 영림계획중에서 조건에 맞는 영림계획을 찾아내는 기능을 갖고 있다. 검색방법은 기본적으로 산림조사 메뉴의 자료검색 하위메뉴와 동일하다. 자료검색 메뉴와 다른 점은 선택해야 할 내용에 시업종류가 추가된 것 뿐이다.

(그림 28)은 현재 작성된 영림계획중에서 사업종류가 벌채사업이며, 시업년도는 1994년 그리고 벌채수종이 잣나무인 것만을 검색하도록 검색조건을 입력한 것이며, 그 결과는 (그림 29)와 같다. 여기서도 자료검색의 경우와 같이 검색조건을 통해 기준을 5개까지 입력할 수 있으며, 검색어를 사용하여 영림2000의 이용자가 직접 원하는 검색조건을 입력할 수도 있다.

<그림 28> 검색 조건



<그림 29> 검색결과

♣ 콤보상자를 이용한 자료검색 방법

① 각 항목별로 연산자와 값을 입력하고, 기준과 기준 사이의 관계는 조건 콤보상자를 이용해 입력한다.

② 검색조건을 입력한 후 검색버튼을 누르면 결과가 나타난다.

♣ 검색어 상자를 이용한 자료검색 방법

① 검색어 상자에 SQL을 이용하여 검색조건을 입력한다.

② 검색조건을 입력한 후 검색버튼을 누르면 결과가 나타난다.

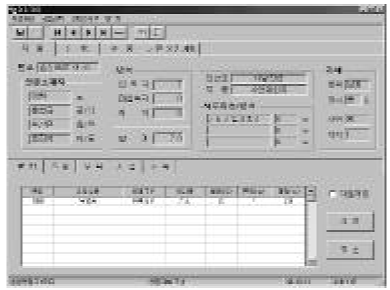
5. 영림계획 작성

영림2000에 새로운 영림계획을 입력하는 방법은 두 가지가 있다. 앞에서 살펴본 산림조사의 자료 입력메뉴에서 산림조사야장에 기록한 사업개요를 입력하는 것이 첫 번째 방법이며, 영림계획의 영림계획 작성 메뉴를 이용하는 것이 두 번째 방법이다. 두가지 방법간의 차이는 없으며, 사용자의 편의에 따라 산림조사야장을 많이 사용하는 경우는 자료 입력 메뉴를, 그리고 산림조사 작업과는 별도로 영림계획을 작성하는 경우에는 영림계획 작성 메뉴를 이용하는 것이 효과적이다.

영림계획 작성을 선택하면 (그림 30)과 같은 윈도우가 나타나며, 영림계획을 작성할 때 산림조사자료와 기존의 영림계획을 확인할 수 있도록 윗부분에 자료가 나타나고, 아랫부분에 사업별 영림계획을 입력할 수 있다. 그리고 툴바의 데이터 컨트롤은 산림조사자료를 변경하기 위한 것이다.

입력 방법은 산림조사자료와 기존의 영림계획 자료를 참고하면서 아랫 부분의 표를 활용하여 새로운 영림계획을 입력한다. 예를 (그림 30)에서는 1999년의 잣나무 벌채계획을 작성한 것이다. 벌채사업의 경우에 사업년도, 벌채수종, 구분, 벌채종 등은 콤보박스를 이용하여 입력하도록 되어 있다.

특히 벌채수종은 산림조사자료에 기록된 벌채수종들 중에서 선택하도록 되어 있다. 만약 산림조사자료에 수종 관련 자료가 누락되어 있다면 벌채수종을 입력할 수 없으므로 산림조사자료를 점검하여야 한다. 입력이 끝나면 화면 아래쪽에 있는 저장 버튼을 누르면 표에 입력한 내용이 저장되고 왼쪽 아랫부분에 있는 자료저장 상태를 나타내는 확인상자에 v가 나타난다.


<그림 30> 영림계획의 작성

♣ 영림계획 작성방법

① 입력하고자 사업에 해당하는 탭을 선택하고, 화면 위부분에 있는 산림조사자료를 참고하여 영림계획을 입력한다.

② 영림계획은 입력 표의 해당 란에 나타나는 콤보상자에서 선택하거나 표에 직접 입력한다. 입력이 끝나면 저장 버튼을 누른다.

③ 자료가 저장되면 저장 버튼 위쪽에 있는 자료저장 체크상자에 V표가 나타난다. 체크상자에 V표가 나타난 후에도 저장 버튼을 누르면 동일한 내용이 다시 저장된다. 따라서 V표가 나타나면 동일한 자료가 반복되어 저장되지 않도록 주의해야 한다.

④ 입력하려는 다른 사업을 선택하여 동일한 방법으로 입력한다.

6. 영림계획 변경

영림계획 변경은 현재 입력되어 있는 영림계획의 내용을 변경하기 위한

것이다. 영림계획 변경을 선택하면 (그림 31)과 같은 윈도우가 나타난다. 초기 화면에는 영림계획이 각 사업별로 요약되어 있으므로 변경하고자 하는 사업명을 선택하면 해당하는 사업의 현재 계획내역을 볼 수 있다.

(그림 31)은 1임반 가소반의 벌채계획 현황을 선택한 것이다. 여기서 만약 사업번호가 C02인 벌채사업을 변경하고자 할 경우 먼저 벌채계획 데이터 컨트롤이나 마우스를 이용하여 사업번호가 C02인 사업을 선택한다. 만약 여기서 이 사업을 삭제하고자 할 때는 삭제 버튼을 누르면 된다. 그리고 변경을 원할 경우는 화면 아래쪽의 변경 버튼을 누르면 <그림 32>와 같은 화면이 나타난다.


<그림 31> 영림계획 변경(1)


<그림 32> 영림계획 변경(2)

영림계획 변경 화면은 앞에서 설명한 영림계획 작성의 경우와 같이 윈도우의 윗부분에 해당 소반의 산림조사자료가 나타나고 아랫부분에는 계획을 변경하기 위한 표가 나타난다.

기본적인 입력방법은 영림계획 작성의 경우와 같으며, 다만 아랫부분의 계획 변경 표에 두 개의 줄(row)이 나타나는데, 첫 번째 줄은 현재의 계획을 정리한 것이며, 두 번째 줄은 사용자가 변경하고자 하는 내용을 적기 위한 것이다. 여기서도 영림계획을 작성할 때와 마찬가지로 벌채수종의 경우 윗부분의 산림조사 자료에 나타나는 수종들중에서 선택하도록 되어 있으므

로 산림조사 자료의 수종 부분이 누락되어서는 안된다.

예를 들어 <그림 32>는 1997년도에 낙엽송을 10% 벌채하여 20m^{3}을 생산하려는 것을 낙엽송을 20% 벌채하여 40m^{3}을 생산하는 것으로 변경한 것이다.

♣ 영림계획 변경방법

① 화면 위쪽의 이동 버튼을 이용하여 원하는 임소반을 선택한다.

② 화면에 나타나는 영림계획 중에서 변경하고자 하는 계획으로 이동한다. 이동할 때는 표의 오른쪽 위부분에 있는 데이터베이스 상자의 이동버튼을 누른다. 변경하고자 하는 계획 앞부분에 손가락표(☞)가 오도록 한다.

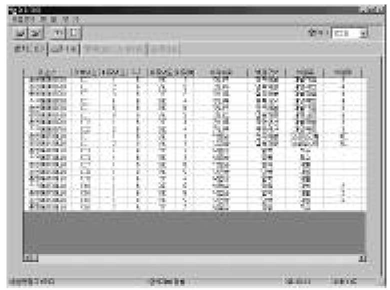
③ 자료를 삭제하고자 할 때는 삭제 버튼을 누르면 자료가 삭제된다. 자료를 변경하고자 할 때는 변경버튼을 누르면 화면이 바뀌면서 화면 아랫부분에 계획변경 표가 나타난다. 표의 위쪽 줄에는 현재 입력되어 있는 내용이 나타난다.

④ 표의 아래쪽 줄에 변경하고자 하는 내용을 콤보상자나 직접 입력을 통해 입력한 후 변경 버튼을 누른다.

7. 연차별 계획 현황

연차별 계획 현황을 보기 위해서는 먼저 연차별 계획을 작성해야 한다. 그러나 산림정보시스템에서는 연차별 계획 현황 메뉴를 연차별 계획 작성 메뉴 앞에 두었는데 이것은 연차별 계획 현황을 미리 파악한 후 연차별 계획을 작성하도록 하기 위한 것으로 동일한 계획을 중복해서 작성하는 오류를 방지하기 위한 것이다.

연차별 계획 현황은 당해연도의 사업에 대해 수립하는 연차별 계획 의 현황을 볼 때 사용한다. 연차별 계획 현황 메뉴를 선택하면 (그림 33)과 같은 윈도우가 나타난다. 사업 연도는 화면 윗쪽에 있는 툴바의 연도 콤보박스를 이용하여 선택할 수 있다. 그림에서는 1990년도 벌채사업의 연도별 계획 현황을 선택하였으며, 1임반 가소반의 상수리나무에 대한 벌채계획이 나타나 있다.



<그림 33> 연차별 계획 현황

8. 연차별 계획 작성

연차별 계획 작성 메뉴를 선택하면 (그림 34)와 같은 윈도우가 나타난다. 윈도우에서 화면의 윗부분은 현재 수립되어 있는 영림계획들을 사업별로 분류하여 요약한 표가 있고, 가운데 부분에는 현재 선택되어 있는 영림계획(☞가 나타나 있는 영림계획)에 대해 이미 작성된 연차별 계획 내용이 표시되며, 아랫부분에는 선택한 영림계획에 대한 연차별 계획을 작성하기 위한 표가 있다.

<그림 34> 연차별 계획의 작성

연차별 계획을 작성하는 방법은 먼저 현재 수립되어 있는 영림계획중에서 연차별 계획을 수립하고자 하는 사업을 선택한다. 영림계획이 선택되면 아래의 연차별 계획 표에 선택된 내용이 나타나며, 영림계획에는 없는 사업 예정

月란이 첨가된다. 만약 영림계획서상의 계획을 그대로 실행하고자 할 때는 사업 예정 月만을 입력한 후 등록 버튼을 누르면 된다. 그림에서는 11월에 사업을 실행할 예정으로 등록하였다. 한편 연차별 계획을 영림계획과 달리 입력할 경우 변경된 내용으로 새롭게 입력하면 된다.

♣ 연차계획 작성방법

① 화면 맨 아래에 나타나는 표에 이미 입력된 영림계획내용과 동일한 내용의 사업기록이 나타난다.
② 만약 연차계획이 영림계획과 다르다면 해당 내용을 수정하고, 동일한 경우에는 사업시행월을 입력한 후 등록 버튼을 누른다.
③ 등록 버튼을 누르면 표 위에 있는 자료저장 체크상자에 v표가 나타나며, 이때 저장버튼을 계속 누르면 동일한 자료가 계속 입력되므로 주의해야 한다.
④ 다른 영림계획에 대한 연차계획을 입력하기 위해서는 영림계획 표의 위쪽에 있는 이동버튼을 눌러 원하는 영림계획으로 이동한 후 동일한 방법으로 연차계획을 입력한다.

9. 영림계획 실행 현황

영림계획을 바탕으로 해당 연도에 연차별 계획을 수립하고, 사업을 실행한 후, 실행결과를 산림정보시스템에 등록하여 관리하게 된다. 영림계획 실행 현황은 현재 등록되어 있는 사업실행 결과를 보기 위한 것이다. 연차별 계획에서와 같이 실행 현황을 실행결과 작성보다 앞에 배치한 것은 동일한 사업결과를 중복해서 등록하는 것을 방지하기 위한 것이다.

(그림 35)는 1990년도의 벌채사업 실행 결과를 요약한 것이다. 화면에서

사업년도의 선택은 연도별 영림계획 현황과 같이 툴바의 연도 콤보박스를 이용하면 된다. 한편 여기서 사업번호는 영림계획상의 사업번호가 아니라 연차별 계획에 따른 사업번호를 의미한다.


<그림 35> 영림계획 실행현황

10. 영림계획 실행 결과 작성

영림계획 실행 결과 작성은 연차별 계획에 따라 사업을 실행하고 그 결과를 등록하기 위한 것이다. 영림계획 실행 결과 작성을 선택하면 (그림 36)과 같은 윈도우가 나타나며, 윈도우의 구성과 이용방법은 영림계획 작성 윈도우와 동일하다. 즉, 화면의 윗부분은 연차별 계획을 나타내며, 가운데 부분에는 현재 선택된 연차별 계획에 대한 기존의 실행현황이 나타나며, 아래 부분에는 실행 결과를 등록하기 위한 표가 나타난다.


<그림 36> 실행결과 작성

사업실행 결과를 입력하는 방법은 앞에서 설명한 연차별 계획 작성과 같다. 먼저 화면의 윗부분에 나타나는 연차별 계획 중에서 사업을 실행한 계획을 마우스나 데이터 컨트롤을 이용하여 선택한다. 계획이 선택되면 아랫부분의 표에 동일한 내용이 나타난다. 만약 연차별 계획에 따라 사업을 실행하였을 경우 등록 버튼을 누르면 된다. 변경된 내용이 있을 경우는 입력

한 내용을 수정할 수 있으며, 1개의 연차별 계획을 2회로 나누어 실행하였을 때는 두 번째 줄에 별도로 입력한다.

♣ 영림계획실행 결과 작성방법

① 화면 맨 아래에 나타나는 표에 이미 입력되어 있는 연차계획과 동일한 내용의 사업기록이 나타난다.

② 만약 실행결과가 연차계획과 다르다면 해당 내용을 수정하고, 동일한 경우에는 사업시행일자를 입력한 후 등록 버튼을 누른다.

③ 등록 버튼을 누르면 표 위에 있는 자료저장 체크상자에 v표가 나타나며, 이때 저장버튼을 계속 누르면 동일한 자료가 계속 입력되므로 주의해야 한다.

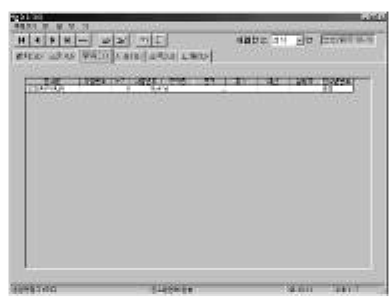
④ 다른 실행결과를 입력하기 위해서는 연차계획 표의 위쪽에 있는 이동버튼을 눌러 원하는 연차계획으로 이동한 후 동일한 방법으로 사업실행결과를 입력한다.

Ⅳ. 임소반 연혁

임소반 연혁은 대상 영림구의 임소반 연혁자료를 관리하는 기능을 가지며, 임소반연혁 현황, 임소반연혁 검색, 임소반연혁 입력의 3가지 하위메뉴로 구성되어 있다.

1. 임소반 연혁 현황

영림계획을 실행한 후 그 결과는 임소반연혁부에 기록된다. 임소반연혁은 지금까지 임소반에 실시한 사업내역을 보기 위한 것이다. 임소반 연혁 메뉴의 임소반연혁 현황을 선택하면 (그림 38)과 같은 윈도우가 나타난다. 화면의 툴바에는 연도 콤보박스와 코드 입력상자, 데이터 컨트롤이 있으며, 이것을 이용하여 사업년도와 소반번호를 선택할 수 있다. 현재 (그림 38)의 화면에서는 춘천영림구 1임반 마소반의 연혁(무육)을 검색한 것이며, 만약 특정한 사업년도에 시행한 사업들을 검색하고자 할 경우는 연도 콤보박스를 이용하여 원하는 사업년도를 선택할 수 있다. 콤보박스에는 1951년부터 2100년까지 나타나도록 되어 있다.

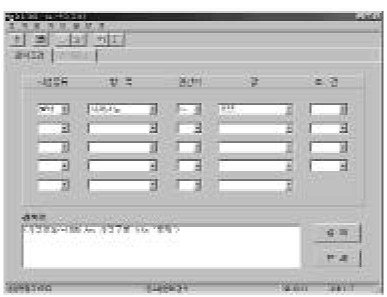


<그림 38> 임소반연혁 현황

2. 임소반 연혁 검색

임소반 연혁 현황은 소반별로 지금까지의 시업내역을 보는 것인데 반해 임소반 연혁 검색은 어떠한 시업내역을 만족시키는 임소반을 찾는데 그 목적이 있다. 임소반연혁 검색은 산림정보시스템의 다른 검색 메뉴인 산림조사자료의 검색이나 영림계획의 검색과 기본적으로 동일한 방법을 사용하고 있어 검색조건이나 검색어 입력 방식을 통해 원하는 임소반을 찾을 수 있도록 하였다.

검색조건을 입력할 때는 사업종류, 항목, 연산자, 값, 조건 등을 입력하도록 되어 있으며, 검색조건과 검색어의 사용방법은 산림조사의 자료 검색 부분에서 설명한 것과 같다. (그림 39)의 화면은 1995년도에 벌채를 실시한 임소반을 검색하는 조건을 입력한 것이며, (그림 40)은 입력한 조건으로 검색한 결과를 보여주는 화면이다.



<그림 39> 검색조건

<그림 40> 검색결과

♣ 콤보상자를 이용한 자료검색 방법

① 각 항목별로 연산자와 값을 입력하고, 기준과 기준 사이의 관계는 조건 콤보상자를 이용해 입력한다.

② 검색조건을 입력한 후 검색버튼을 누르면 검색결과가 나타난다.

♣ 검색어 상자를 이용한 자료검색 방법

① 검색어 상자에 SQL을 이용하여 검색조건을 입력한다.

② 검색조건을 입력한 후 검색버튼을 누르면 검색결과가 나타난다.

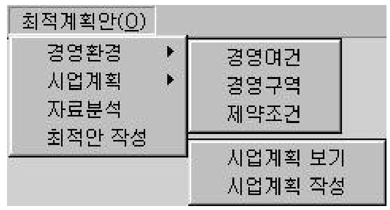
3. 임소반 연혁 입력

<그림 41> 임소반연혁 입력

영림2000 프로그램을 이용하여 자료를 관리할 경우에는 영림계획을 작성하고, 실행결과를 입력하면 실행결과는 자동적으로 임소반 연혁부에 기록된다. 하지만 영림구의 자료를 최초로 입력하거나 임소반 연혁 자료가 누락된 경우에는 임소반 연혁 입력 메뉴를 이용하여 입력하면 된다. 임소반 연혁 입력은 다른 자료의 입력과 마찬가지로 콤보박스를 이용하여 해당 자료를 선택하면 된다.

V. 최적경영안

최적경영안은 경영자가 선택한 조건에 따라 대상 영림구의 최적 산림경영 계획안을 작성하는 기능을 가지며, 경영환경, 시업계획, 자료분석, 최적안 작성과 같은 4개의 메뉴를 포함하고 있다. 또 경영환경은 경영여건, 경영구역, 제약조건의 3개 하위메뉴를, 시업계획은 시업계획 보기와 시업계획 작성의 2개 하위메뉴를 포함하고 있다.



<그림 42> 임소반연혁 입력

1. 경영여건

경영여건은 최적경영안을 작성할 때 경영자가 의도하는 경영조건을 입력하기 위한 것이며, 입력내용으로는 목적함수의 종류, 분기의 길이 및 분기 수, 생장함수 및 지위지수의 구분방법, 이자율, 수종별 벌기령 등이 있다.


<그림 43> 경영여건 입력

♣ 경영목적

① 재적생산 극대화 : 경영계획기간 동안의 재적생산량을 극대화한다.

② 탄소저장 극대화 : 경영계획기간 동안의 탄소저장량을 극대화한다.

③ 순수익 극대화 : 경영계획기간 동안의 금액으로 환산된 순수익을 극대화한다.

④ 재적, 탄소저장 극대화 : 재적생산량과 탄소저장량에 가중치를 부여하여 이 값을 더한 수치를 극대화한다. 재적, 탄소저장 극대화를 선택하였을 때는 재적생산량과 탄소저장량의 가중치를 입력해야 하며, 가중치의 합이 1이 되도록 하려면 가중치의 정규화 체크상자를 선택한다.

※ 간벌재를 재적생산량에 포함시킬 경우는 목적함수에 간벌재 포함 체크상자를 선택한다.

♣ 계획기간

① 분기단위 : 1분기를 몇 년으로 할 것인지를 입력한다. 5년과 10년을 선택할 수 있다.

② 분기의 수 : 전체 계획기간을 얼마로 할 것인지를 입력한다. 최대 20분기가 가능하다.

③ 계획시작년도 : 계획기간이 시작되는 연도를 입력한다.

♣ 경영구역

전체지역을 몇 개의 경영구역으로 구분할 것인 가를 입력한다. 경영구역은 최대 10개까지 입력가능하다.

♣ 이자율

적용하고자는 이자율을 %단위로 입력한다.

♣ 수종별 벌기령

각 구역별로, 수종별로 벌기령을 입력한다.

※ 산림청 국유림 벌기령을 선택하면 현재 국유림에 적용하고 있는 벌기령이 자동으로 입력된다. 현재 영림계획운영요강에서 제시하는 벌기령은 다음과 같다.

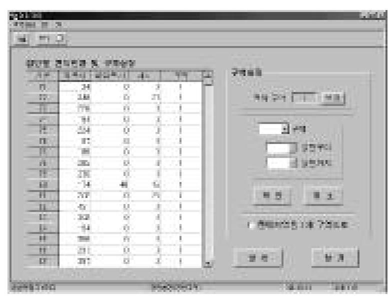
소나무 70년　잣나무 70년　리기다소나무 40년

낙엽송 60년　삼나무 60년　편백 70년

활엽수 70년　포플러류 20년

※ 모든 구역에 동일한 벌기령을 적용하고자 할 때는 모든 구역을 동일하게 체크상자를 선택한다.

2. 경영구역



<그림 44> 경영구역 입력

경영구역은 경영대상지역을 몇 개의 지역으로 세분하고자 할 경우 세분된 지역을 하나의 경영구역을 설정할 수 있다. 동일한 경영구역은 기본적으로 동일한 경영방침을 가지며, 제약조건도 동일하게 적용된다.

경영구역은 표에 직접 구역번호를 입력하는 방법과 경영구역 표 오른쪽에 있는 입력도구를 이용하여 입력하는 방법이 있다.

♣ 직접 입력 방법

표에 나타난 임반별로 해당 구역의 번호를 직접 입력한 후, 설정버튼을 누른다.

♣ 입력도구를 이용하는 방법

① 분류하고자 하는 구역의 수를 입력한다.

② 구역별로 차례로 해당 임반의 범위를 콤보상자에서 선택한 후, 확인버튼을 누른다. 다음 구역도 동일한 방법으로 입력한다.

③ 설정버튼을 누르면 입력내용이 저장된다.

※ 대상지역을 1개의 구역으로 지정하고자 할 경우 전체지역을 1개 구역으로 체크상자를 선택한다.

3. 제약조건

선형계획 수식모형에 포함된 비감소수확, 재적생산량, 탄소저장량, 벌채면적, 토사유출, 갱신수종, 기말축적, 사업예산 제약조건에 대해 경영방침에 따라 제약강도를 입력한다. 제약조건을 입력하기 위해서는 먼저 화면 오른쪽에 제약조건 설정상자에서 포함시키고자 하는 제약조건을 선택한다(체크상자 선택). 선택된 제약조건별로 제약강도를 입력한다. 각 제약조건에 대한 구체적인 설명은 다음과 같으며, 제약조건의 강도를 입력한 다음에는 입력 버튼을 눌러 입력한 내용을 저장한다.

<그림 45> 경영구역 입력

♣ 비감소수확

① 허용감소율의 포함여부를 결정한다.

② 포함시킬 경우 감소율을 %단위로 입력한다.
③ 허용증가율도 동일한 방법으로 입력한다.

♣ 재적생산량, 탄소저장량, 사업예산
① 각 분기별로 입력표에 직접 입력하거나 오른쪽의 입력도구를 이용하여 하한 값을 입력한다.
② 모든 분기에 동일한 하한값을 적용하고자 할 경우 모든 분기에 적용 체크상자를 선택한다.

♣ 벌채면적
① 입력표에 각 구역별로 분기별 최대 벌채면적을 %단위로 입력한다.
② 현존 임분의 갱신 여부를 입력한다. 현존 임분의 갱신 여부는 마우스로 해당셀을 클릭하면 V표가 나타난다.

♣ 토사유출
① 분기별 토사유출량을 톤단위로 입력표에 직접 입력한다.
② 연간토사유출량은 최대 토사유출량을 입력하면 자동으로 계산되므로 입력할 필요가 없다.

♣ 갱신수종
① 각 수종별로 분기별 갱신면적의 상한과 하한을 표에 입력한다.
② 모든 구역을 동일하게 하거나 모든 수종을 동일하게 하고자 할 때는 해당하는 체크상자를 선택한다.

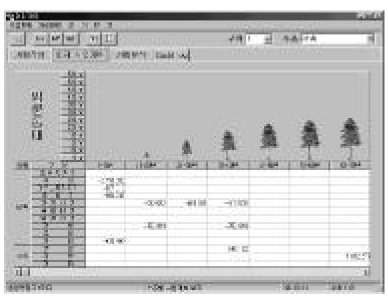
♣ 기말축적

① 각 구역별, 영급별로 최종 분기이후의 면적을 입력한다.

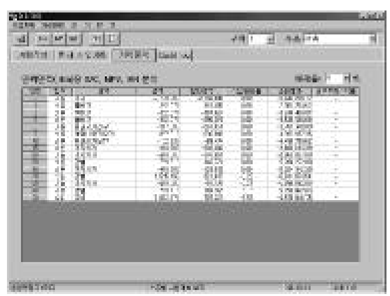
② 모든 구역을 동일하게 하거나 모든 영급을 동일하게 하고자 할 때는 해당하는 체크상자를 선택한다.

4. 시업계획보기

현재 입력되어 있는 수종별 시업계획를 화면에 표시한다. 화면 아래쪽에는 10년 단위로 투입되는 비용과 얻을 수 있는 수입이 나타나며, 화면 위쪽에는 단위임분(1ha)의 재적변화가 나무 그림으로 나타난다. 계획분석 탭을 누르면 현재 계획의 수입비용율(B/C율), 순현재가(NPV), 내부투자수익율(IRR)이 나타난다. Cashflow 탭을 누르면 현재 계획의 자금흐름도를 화면에 표시한다. 계획작성 탭을 선택하여 계획을 수정할 수도 있다.



<그림 46> 시업계획 보기



<그림 47> Cashflow 보기

5. 시업계획작성

수종별로 새로운 시업계획을 작성한다. 시업계획은 크게 비용과 수입으로 분류하여 입력할 수 있으며, 각 항목별로 몇 가지의 세부항목이 있다. 화면 왼쪽에는 현재 입력되어 있는 시업계획이 표의 형태로 나타난다.

♣ 시업계획입력 방법

① 작업종류를 선택한다. 계획을 추가하고자 할때는 추가 버튼을, 수정이나 삭제하고자할 때는 각각 해당하는 버튼을 누른다.

<그림 48> 시업계획 입력

② 계획이 수입인지 비용인지에 따라 옵션 버튼을 이용하여 계획이 종류를 선택한다.

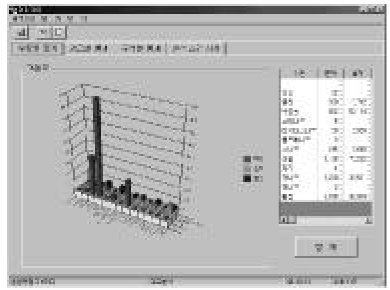
③ 임령, 내용, 비용, 수입 등을 입력한 후, 모든 구역에 적용하고자 할 때는 모든 구역에 적용 체크상자를, 특정 구역에만 적용하고자 할 경우에는 해당 구역의 체크상자를 선택다.

④ 입력버튼을 선택하여 내용을 저장한다.

6. 자료분석

현재의 대상 자료를 주어진 분석기준에 따라 분석하여 임상을 파악할 수 있도록 한다. 자료분석은 수종별, 영급별, 구역별 분석이 가능하다.

<그림 49> 자료분석 조건



<그림 50> 구역별 자료분석

♣ 자료분석 방법

① 분석하고자 하는 항목을 선택한다.

② 계산기준을 선택한다. 면접합계에 입목지면적을 계산할 경우는 입목지면적 체크상자를 누르고, 미입목지면적을 계산할 경우는 미입목지면적 체크상자를 누른다. 모두 포함시키고자 할 경우에는 세 가지 체크상자를 모두 선택한다. 동일한 방법으로 지종, 수종, 축적의 기준을 설정한다.

③ 표현하고자 하는 그래프의 종류를 콤보상자를 이용하여 선택하고, 3차원표시여부와 범례표시여부를 체크상자로 입력한다.

④ 적용버튼을 누르면 입력한 기준에 따라 자료가 분석된다.

7. 최적안 작성

이용자가 입력한 경영환경에 따라 선형계획법을 이용하여 최적해를 계산하고, 최적경영안을 작성하는 기능을 가진다. 화면에는 현재 입력되어 있는 경영목적, 제약조건, 계획기간 등의 정보가 나타나며, 수식화 유형, 출력물

의 종류를 선택할 수 있다.

♣ 최적안 작성 방법


<그림 51> 최적안 작성

① 최적안 작성 기준을 확인하고 기준이 다르면 해당 메뉴를 이용하여 기준을 수정한다.

② 수식유형을 선택하고, 출력물을 선택한다. 수식유형은 반드시 모델 I이나 모델 II 중에서 한가지를 선택해야 하며, 출력물은 한가지 이상을 선택해야 한다. 초기값은 수식유형은 모델 II, 출력물은 분기별 경영내용만 선택되어 있다.

③ 최적경영안 작성 버튼을 누른다. 최적경영안을 작성하기 위해서는 약간의 시간이 소요된다.

Ⅵ. 도 움 말

영림2000에 관한 각종 도움말 정보를 제공하는 기능을 가지며, 영림2000 도움말 항목과 영림2000정보의 2가지 하위메뉴가 포함된다.

<그림 52> 도움말 메뉴

1. 영림2000 도움말 항목

영림2000을 이용하는데 필요한 도움말을 표시한다.

2. 영림2000 정보

영림2000에 관한 정보를 표시한다.

<그림 53> 자료분석 조건

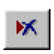
<그림 54> 구역별 자료분석

◇ 영림2000의 단축 아이콘

산림정보시스템에서는 여러 가지 아이콘(icon)을 사용하고 있다. 아이콘은 작은 그림으로 윈도우즈 프로그램에서 어떠한 작업을 수행할 때 작업의 편리를 위해 메뉴를 선택하지 않고서도 아이콘을 클릭(click)하기만 하면 원하는 기능을 수행할 수 있는 도구이다. 산림정보시스템에서 사용되는 주요한 아이콘들은 다음과 같다.

 **자료삽입**

현재 입력된 자료이외에 새로운 자료를 추가할 때 사용하며, 산림조사자료나 영림계획을 입력하기 위한 윈도우가 열린다.

 **자료삭제**

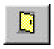
현재 입력되어 있는 자료중에서 일부를 삭제할 때 사용한다. 아이콘을 클릭하면 현재 화면에 보이는 자료나 전체 보기화면에서 왼쪽에 삼각형(▶)표시가 되어 있는 자료를 삭제한다.

 **자료수정**

현재 입력되어 있는 자료를 변경하고자 할 때 사용한다. 자료삭제의 경우와 같이 현재 화면에 표시된 자료나 전체 보기 화면에서 왼쪽에 삼각형(▶)표시가 되어 있는 자료를 수정할 수 있는 윈도우를 연다.

 **상위메뉴로**

하위메뉴에 해당하는 작업을 종료하고 산림정보시스템의 초기 메뉴로 이동한다.

 **끝내기**

산림정보시스템을 종료한다. 현재 작업중인 모든 윈도우를 닫고, 산림정보시스템을 종료한다.

 **프린터 인쇄**

현재 작업중인 내용을 프린터로 인쇄한다.

 **파일 인쇄**

현재 작업중인 내용을 파일로 저장한다.

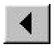
 **저장하기**

새로운 산림조사자료나 영림계획을 입력하고자 할 때 해당 자료의 입력 윈도우에 표시되는 각 항목을 선택하거나 입력한 후 저장하기 아이콘을 클릭하면 현재의 자료가 데이터베이스에 저장된다.

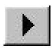
 **화면지우기**

산림조사자료의 경우 자료를 입력하고 저장하기 아이콘을 클릭하여 자료를 저장한 후에도 다음 자료가 저장된 자료와 동일한 값을 가질 수 있으므로 입력된 내용이 그대로 남아 있다. 만약 남아 있는 자료를 모두 지우고 입력 윈도우를 초기 상태로 만들고자 할 경우 화면지

우기 아이콘을 사용 한다.

 이전 자료로

데이터베이스에서 현재 자료의 직전 자료로 이동한다.

 다음 자료로

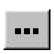
데이터베이스에서 현재 자료의 다음 자료로 이동한다.

 처음 자료로

데이터베이스의 맨 처음 자료로 이동한다.

 마지막 자료로

데이터베이스의 맨 마지막 자료로 이동한다.

 임소반 선택

작업중인 데이터베이스에서 작업중인 자료의 위치를 이동시킬 때 임소반 번호를 직접 입력하여 원하는 임소반 자료로 이동시킨다. 이 아이콘을 클릭하면 임소반을 선택하는 윈도우가 나타나며, 콤보박스에서 원하는 임소반을 선택하면 된다.

◇ 산림정보데이터베이스의 입력 도구

아이콘이외에 산림정보시스템에서 사용하는 몇가지 도구의 기능을 이해하면 산림정보시스템을 보다 정확하고, 효율적으로 활용할 수 있다.

☞ 

데이터 컨트롤(data control)

데이터 컨트롤은 데이터베이스에서 작업중인 자료의 위치를 이동시킬 때 사용된다. 그림에서 보듯이 양쪽에 각각 두 개씩 자료를 이동시키기 위한 기호가 있는데 그 의미는 다음과 같다.

- ⏮ : 맨 처음 자료로 이동한다.
- ◀ : 이전 자료로 이동한다.
- ▶ : 다음 자료로 이동한다.
- ⏭ : 맨 끝 자료로 이동한다.

☞ 

드롭다운 콤보(dropdown combo)

드롭다운 콤보는 입력 도구로서 화살표 기호를 클릭하면 상자에 입력 가능한 내용이 나타난다. 드롭다운 콤보를 이용하여 입력할 때는 마우스를 이용하여 입력 가능한 내용중에서 선택할 수도 있고, 키보드를 이용하여 직접 입력할 수도 있다.

☞ 

드롭다운 리스트(dropdown list)

드롭다운 리스트 역시 드롭다운 콤보와 동일한 방법으로 오른쪽의 화살표 기호를 클릭하면 상자에 입력 가능한 내용이 나타나 원하는

내용을 선택할 수 있다. 그러나 드롭다운 콤보와는 달리 키보드를 이용하여 직접 입력할 수는 없고, 마우스를 이용하여 입력 가능한 내용 중에서 선택하는 것만 가능하다.

부 록 2. 산림경영계획모델 출력 예

경영구역별 조림면적

분기	D	P	K	R	L	C	J	A	Q	O	합계
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	6.1	6.1	2.0	0.0	6.1	0.0	0.0	20.4
3	0.0	0.0	0.0	21.1	21.1	18.6	0.0	9.5	0.0	0.0	70.3
4	0.0	0.0	0.0	33.5	33.5	11.2	0.0	33.5	0.0	0.0	111.6
5	0.0	0.0	0.0	34.7	34.7	34.7	0.0	11.6	0.0	0.0	115.7
6	0.0	0.0	0.0	41.9	41.9	41.9	0.0	14.0	0.0	0.0	139.6
7	0.0	0.0	0.0	31.8	31.8	31.8	0.0	10.6	0.0	0.0	105.9
8	1.8	0.0	0.0	27.7	27.7	27.7	0.0	15.6	0.0	0.0	100.5
9	1.8	0.0	0.0	28.0	28.0	28.0	0.0	15.7	0.0	0.0	101.4
10	0.0	0.0	0.0	28.8	28.8	28.8	0.0	11.8	0.0	0.0	98.2
11	0.1	0.0	0.0	82.6	82.6	82.6	0.0	30.0	0.0	0.0	277.7
12	0.0	0.0	0.0	79.5	79.5	79.5	0.0	28.8	0.0	0.0	267.3
13	0.0	0.0	0.0	83.3	83.3	83.3	0.0	30.0	0.0	0.0	279.9
14	27.4	0.0	0.0	76.9	76.9	0.0	0.0	83.3	0.0	0.0	264.6
15	76.1	0.0	24.0	72.0	72.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	248.0
16	72.4	0.0	0.0	68.3	68.3	22.8	0.0	4.0	0.0	0.0	235.7
17	0.0	0.0	0.0	25.8	77.4	0.0	0.0	83.8	79.2	0.0	266.2
18	0.0	0.0	0.0	27.2	81.5	0.0	0.0	83.3	87.9	0.0	279.8
19	0.0	0.0	0.0	80.5	80.5	0.0	0.0	28.6	86.9	0.0	276.4
20	77.8	27.8	76.0	73.6	0.0	0.0	0.0	2.3	4.1	0.0	261.4

경영단위별 임소반 구성 현황

경영단위 (면적) : 임소반 (면적)

A01101 (5.0) : 0820타0(5.0)
A01102 (22.0) : 0810다0(22.0)
A01103 (17.0) : 0830아0(17.0)
A01104 (252.0) : 0800아0(16.0) 0810라0(31.0) 0820가0(85.0) 0820차0(19.0) 0840바0(101.0)
A01202 (12.0) : 0820아0(12.0)
A01203 (181.0) : 0810나0(50.0) 0830마0(27.0) 0830자0(57.0) 0840마0(47.0)
A01204 (208.0) : 0800마0(82.0) 0820다0(9.0) 0820라0(117.0)
A02104 (11.0) : 0850다0(11.0)
A02203 (14.0) : 0850나0(14.0)
A03104 (23.0) : 0860마0(23.0)
A03202 (22.0) : 0860라0(22.0)
A03203 (43.0) : 0860바0(22.0) 0860사0(21.0)
A03204 (12.0) : 0860나0(12.0)
D01202 (22.0) : 0830차0(22.0)
K01103 (27.0) : 0790사0(11.0) 0800가0(4.0) 0810자0(12.0)
K01201 (18.0) : 0800자0(18.0)
K01202 (177.0) : 0790마0(34.0) 0790바0(5.0) 0800나0(3.0) 0800사0(3.0) 0800차0(35.0) 0810가0(14.0)
0810사0(12.0) 0820나0(25.0) 0820사0(8.0) 0820카0(8.0) 0830바0(13.0)
0840다0(17.0)
K01203 (46.0) : 0830사0(46.0)
K01205 (30.0) : 0820바0(27.0) 0840라0(3.0)
K01210 (13.0) : 0800다0(13.0)
K01301 (7.0) : 0790아0(4.0) 0790자0(3.0)
K01302 (69.0) : 0820자0(69.0)
K02203 (20.0) : 0850가0(20.0)
K03203 (18.0) : 0860가0(9.0) 0860다0(9.0)
L01103 (59.0) : 0790다0(59.0)
L01201 (9.0) : 0810바0(7.0) 0810차0(2.0)
L01202 (15.0) : 0790가0(15.0)
L01205 (12.0) : 0840나0(12.0)
L01305 (49.0) : 0790나0(49.0)
Q01203 (164.0) : 0790라0(56.0) 0810아0(52.0) 0830카0(56.0)
Q01204 (67.0) : 0820마0(67.0)

분석제외지역 : 0800라0(0.0) 0800바0(0.0) 0810마0(0.0) 0830가0(8.0) 0830나0(9.0) 0830다0(24.0)
0830라0(23.0) 0840가0(14.0)

분기별 임상변화

[1 분기]

구역	지위	수종	조림지	벌채지	1영급	2영급	3영급	4영급	5영급	6영급	7영급	8영급	9영급	10영급	합계
1	1	K	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.0
			0	0	0	0	0	4,728	0	0	0	0	0	0	4,728
		L	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	59.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	59.0
			0	0	0	0	0	13,530	0	0	0	0	0	0	13,530
		A	0.0	0.0	0.0	5.0	22.0	17.0	252.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	296.0
			0	0	0	298	2,302	2,491	46,005	0	0	0	0	0	51,096
	2	D	0.0	0.0	0.0	0.0	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.0
			0	0	0	0	3,858	0	0	0	0	0	0	0	3,858
		K	0.0	0.0	0.0	18.0	177.0	46.0	0.0	30.0	0.0	0.0	0.0	13.0	284.0
			0	0	0	1,642	28,605	10,069	0	8,657	0	0	0	4,350	53,323
		L	0.0	0.0	0.0	9.0	15.0	0.0	0.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.0
			0	0	0	1,244	3,327	0	0	4,379	0	0	0	0	8,949
		A	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	181.0	208.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	401.0
			0	0	0	0	1,569	33,154	47,465	0	0	0	0	0	82,188
		Q	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	164.0	67.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	231.0
			0	0	0	0	0	26,762	12,846	0	0	0	0	0	39,609
	3	K	0.0	0.0	0.0	7.0	69.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	76.0
			0	0	0	766	13,381	0	0	0	0	0	0	0	14,147
		L	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0
			0	0	0	0	0	0	0	21,455	0	0	0	0	21,455
	합 계		0.0	0.0	0.0	39.0	317.0	494.0	527.0	91.0	0.0	0.0	0.0	13.0	1481.0
			0	0	0	3,951	53,041	90,735	106,317	34,491	0	0	0	4,350	292,884
2	1	A	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0
			0	0	0	0	0	0	2,008	0	0	0	0	0	2,008

	2	K	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0
			0	0	0	0	0	4,378	0	0	0	0	0	0	4,378
		A	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0
			0	0	0	0	0	2,564	0	0	0	0	0	0	2,564
	3														
	합 계		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.0	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	45.0
			0	0	0	0	0	6,942	2,008	0	0	0	0	0	8,951
3	1	A	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.0
			0	0	0	0	0	0	4,199	0	0	0	0	0	4,199
	2	K	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.0
			0	0	0	0	0	3,940	0	0	0	0	0	0	3,940
		A	0.0	0.0	0.0	0.0	22.0	43.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	77.0
			0	0	0	0	2,877	7,876	2,738	0	0	0	0	0	13,492
	3														
	합 계		0.0	0.0	0.0	0.0	22.0	61.0	35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	118.0
			0	0	0	0	2,877	11,817	6,937	0	0	0	0	0	21
1분기 합계			0.0	0.0	0.0	39.0	339.0	589.0	573.0	91.0	0.0	0.0	0.0	13.0	1644.0
			0	0	0	3,951	55,918	109,493	115,262	34,491	0	0	0	4,350	323,465

경영단위별 벌채계획경영단위별 벌채계획

경영단위	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	220	0	0	0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A01102	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	967	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A01103	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	747	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A01104	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A01160	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.6
A01161	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A01162	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A01163	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A01168	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A01169	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C01154	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.6
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,622
	0	0	0	0	0	0	0	551	0	0
	0.0	0.0	0.0	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C01155	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	999	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	17.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C01161	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
조림면적	0.0	20.4	70.3	111.6	115.7	139.6	105.9	100.5	101.4	98.2
주벌면적	0.0	20.4	70.3	111.6	115.7	139.6	105.9	100.5	101.4	98.2
주벌재적	0	7,782	27,834	29,788	29,788	40,533	39,108	38,838	40,682	39,61
간벌재적	29,787	22,006	1,953	0	745	3,196	5,585	6,346	8,064	7,563

(계속)

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	0	0	0	0	0	1,544	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	6,792	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	5,268	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	98.2	111.1	25.6	17.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	30,151	34,288	7,947	5,322	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.6	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	3,007	0	0	0
	0	0	0	422	0	0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.5	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	8,621	0	0
	0	0	0	0	1,210	0	0	0	0	0
	27.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.5	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	8,302	0
	0	0	0	0	0	1,165	0	0	0	0
	0.0	26.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.8
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,699
	0	0	0	0	0	0	1,221	0	0	0
	0.0	0.0	27.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	79.9	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.8	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	17.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	4,753	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	11,205	0	0	0
	0	0	0	0	2,355	0	0	0	0	0
	41.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	79.5	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	21,717	0	0
	0	0	0	0	0	4,564	0	0	0	0
	277.7	267.3	279.9	264.6	248.0	235.7	266.2	279.8	276.4	261.4
	277.7	267.3	279.9	264.6	248.0	235.7	266.2	279.8	276.4	261.4
5	104,046	103,076	101,596	101,004	97,943	99,312	102,009	103,144	102,713	104,9
	6,157	6,191	6,175	12,107	16,077	15,261	14,633	3,168	3,005	0

임소반별 계획(1-10분기)

임소반	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0790가0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	998	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0790나0	0.0	7.4	36.0	2.9	0.0	0.0	0.0	7.4	36.0	2.9
	0	3,407	17,297	1,447	0	0	0	3,219	15,769	1,289
	0	0	0	0	587	2,875	235	0	0	0
0790다0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0790라0	0.0	0.0	0.0	0.0	56.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	13,232	0	0	0	0	0
	2,741	0	0	0	0	0	0	0	2,741	0
0790마0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	11,109	0	0	0
	0	2,233	0	0	0	0	0	0	0	0
0790바0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	1,634	0	0	0
	0	328	0	0	0	0	0	0	0	0
0790사0	0.0	0.0	0.0	9.6	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	2,359	357	0	0	0	0	0
	578	0	0	0	0	0	0	504	74	0
0790아0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	315	0	0	0	0	0	0	0
0790자0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	236	0	0	0	0	0	0	0
0800가0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	1,021	0	0	0	0	0
	210	0	0	0	0	0	0	0	210	0
0800나0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	980	0	0	0
	0	197	0	0	0	0	0	0	0	0
0800라0										
0800바0										
0800사0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	980	0	0	0
	0	197	0	0	0	0	0	0	0	0
0800아0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0800자0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	1,182	0	0	0	0	0	0	0
0800차0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.1	5.9	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	9,515	1,949	0	0
	0	2,298	0	0	0	0	0	0	0	0
0810가0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	4,642	0	0
	0	919	0	0	0	0	0	0	0	0
0810나0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2,748	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0810다0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	967	0	0	0	0	0	0	0	0
0810마0										
0810바0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	466	0	0	0	0	0	0	0	0
0810사0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.7	3.3	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	2,871	1,118	0
	0	788	0	0	0	0	0	0	0	0
0810아0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.3	41.7	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	2,436	10,131	0	0	0	0
	2,546	0	0	0	0	0	0	0	505	2,041
0810자0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	3,063	0	0	0	0	0
	630	0	0	0	0	0	0	0	630	0
0810차0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	133	0	0	0	0	0	0	0	0
0820가0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0820나0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.3	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	3,124	0
	0	1,642	0	0	0	0	0	0	0	0
0820다0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0820라0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0820마0	0.0	0.0	4.3	62.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3
	0	0	964	14,826	0	0	0	0	0	964
	0	0	0	0	0	0	208	3,072	0	0
0820바0	0.0	0.0	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.0
	0	0	8,616	0	0	0	0	0	0	8,293
	0	0	0	0	0	0	1,773	0	0	0
0820사0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	525	0	0	0	0	0	0	0	0
0820아0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	659	0	0	0	0	0	0	0	0
0820자0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	35.8	10.7	22.2	0.0	0.0
	0	0	0	0	130	13,694	4,190	8,832	0	0
	0	5,437	0	0	0	0	0	0	28	2,818
0820차0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0820카0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	525	0	0	0	0	0	0	0	0
0830라0										
0830마0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1,484	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0830바0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	854	0	0	0	0	0	0	0	0
0830사0	0.0	0.0	0.0	36.3	9.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	11,157	3,087	0	0	0	0	0
	3,021	0	0	0	0	0	0	2,385	635	0
0830아0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	747	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0830자0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3,132	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0830차0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

	0	0	0	0	6,461	0	0	0	0	0
	0	1,511	0	0	0	0	0	0	1,511	0
0840가0										
0840나0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0840다0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	1,116	0	0	0	0	0	0	0	0
0840라0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0
	0	0	957	0	0	0	0	0	0	921
	0	0	0	0	0	0	197	0	0	0
0840마0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2,583	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0840바0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0850가0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	2.3	2.3	2.3
	0	0	0	0	0	0	1,305	753	757	760
	1,313	0	0	279	0	0	0	0	0	0
0850나0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	4,125	0	0	0
	769	0	0	769	0	0	0	0	0	0
0850다0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	2,593	0	0	0
	0	0	0	484	0	0	0	0	0	0
0860가0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	3.1	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	1,974	1,043	0
	591	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0860나0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0860다0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	942	0
	591	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0860라0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	6,482	0	0	0
	0	1,209	0	1,209	0	0	0	0	0	0
0860마0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	5,422	0	0	0
	0	0	0	1,011	0	0	0	0	0	0
0860바0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.0	0.0	0.0	0.0
	0	0	0	0	0	0	6,482	0	0	0
	1,209	0	0	1,209	0	0	0	0	0	0
면적합계	0.0	20.4	70.3	111.6	115.7	133.5	190.8	66.2	69.8	39.5
주별합계	0	7,782	27,834	29,788	29,788	37,434	57,675	24,240	26,746	12,227
간별합계	29,787	22,006	1,953	5,494	587	3,729	2,414	5,961	6,334	7,601