

정수계획법을 이용한 산림경영계획의 수립방안 연구

원현규¹ · 김형호^{1*} · 정세경¹ · 우종춘²

¹국립산림과학원 산림경영과, ²강원대학교 산림과학대학

A Forest Management Planning Method based on Integer Programming

Hyun-kyu Won¹, Hyungho Kim^{1*}, Sekyung Chong¹ and Jong-choon Woo²

¹Div. of Forest Management, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

²College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

요 약: 이 연구는 정수계획법을 이용하여 산림경영계획을 수립하기 위한 의사결정방법을 도출하고자 수행되었다. 연구대상은 강원대학교 연습림의 잣나무, 낙엽송, 참나무림으로 구성된 85개소의 임분으로 무육, 도태간벌, 상업적 간벌, 주벌의 최적기에 도달한 상태이다. 산림경영모델은 계획기간동안 수종별, 시업종류별로 각 임분에서 별채되는 재적을 최대화하는 1개의 목적함수와 시업횟수 · 시업대상지 · 최소수확량과 최대수확량 · 균등수확량 · 최대생산량 · 의사결정변수의 제한 등 7개의 제약조건으로 구성되었다. 계획기간은 10년으로 하였고 5개의 경영분기로 구분하였다. 정수계획법을 이용한 결과, 계획기간동안 85개 임분 중에서 68개 임분(202.8ha)에 대해 산림시업을 실행하고 17개 임분(9.2ha)은 시업이 유보되며, 총 별채재적은 20,000m³으로 시업 및 별채여부 판단과 같은 특정조건에 대한 선택문제를 다룰 수 있었다.

Abstract: This paper aimed to suggest decision-making method for forest management planning using integer programming. Thus, the study examined 85 stands consisting of Korean pine, Japanese larch and oak stands-all of which were at the most suitable time for tending, selection thinning, commercial thinning and final cutting-in the experimental forest of Kangwon National University. The forest management model comprised one objective function, maximizing harvest volume in each stand according to tree species and the kinds of practices, and seven constraints: frequency and stands of practices, minimum and maximum yields, even yields, maximum production, and decision-making variables. Besides, the entire period intended by the study was 10 years, divided into 5 management periods. In conclusion, the forest management planning model using integer programming proved that among 85 stands, forest practices were conducted over 68 stands (202.8 ha), producing the total harvested volume of 20,000m³, while the rest was reserved. This case study could help make decisions on whether and when the forest practices and harvests could be done in a specific condition.

Key words : decision-making, forest management planning, integer programming, harvest volume, management periods

서 론

우리나라 산림경영은 산림자원의 빈약성, 영세소유구조로 인한 경제적 경영의 제약성, 노동력 부족과 노임상승, 수입재와의 경합에 의한 채산성 악화 등으로 경제성 부재에 따른 어려움을 겪고 있다(국립산림과학원, 2006). 산림경영의 목표가 산림가치의 총 생산력 확대와 합리적인 관리에 있는 만큼 무엇보다도 경영여건의 개선 및 경영기반 확립이 선행되어야 하며, 새로운 산림가치의 창조를 통해

산주를 포함한 국민의 혜택을 증진시키는 노력이 필요하다. 특히, 산림자원의 빈약성 문제에 있어서 산림청(2005) 통계기준으로 전국 임상의 66.6%가 III~IV영급으로 구성되어 있고, 평균임목축적이 76.4 m³/ha으로 지속적인 자원 관리가 절실히 요구되고 있는 실정이기 때문에 임목자원을 미래의 경제림으로 육성하기 위해서는 조림, 무육, 간벌, 주벌 등의 시업체계를 유기적으로 연계시키기 위한 산림경영계획의 수립이 필요하다.

이러한 산림경영계획 수립을 위한 의사결정기법으로는 선형계획법이 주로 적용되었으며, Johnson과 Scheurman (1977)에 의해 선형모형 수확모델이 Model I과 Model II

*Corresponding author
E-mail: kimlake1@hanmail.net

로 구분되어 현재까지도 산림경영계획 수립시 적용되고 있다. 우리나라에서는 권오복(1969)이 임목수확량을 조절하기 위해 처음으로 선형계획법을 이용하였으며, 조응혁(1984)은 재적수확을 최대로한 선형계획모형을, 주린원(1984)은 재적수확과 화폐수입을 최대로 하는 선형수확모델을 개발하였으며, 장철수(1987)는 우리나라 산림에 대한 Timber Ram(Navon 등, 1971) 모델의 적용성에 대한 연구를, 그리고 우중춘(1991)은 산림경영계획을 수립을 위해 선형계획을 적용하였다. Chong과 Beck(1991)는 MUSYC모델을 이용하여 작업급, 임반 그리고 접근성이 캐나다 엘버타 기업림의 연년별채량에 미치는 효과를 분석하고 임지분류에 따른 목재공급곡선을 유도하였다. 정주상과 박은식(1993), 박은식과 정주상(1999)은 대단지 산림의 목재생산계획 분석과 다목적 산림경영을 위해 선형계획을 응용한 바 있다.

특히 목재수확계획(timber harvest schedule)을 수립하기 위한 방법론은 경영목표의 구성여부에 따라 목표계획법(goal programming), 동적계획법(dynamic programming), 정수계획법(integer programming) 등의 여러 가지 기법들을 적용할 수 있다. 정수계획법은 변수의 선택여부 문제를 다룰때 주로 이용되었으며, 최근에는 벌채수확의 공간문제 해결을 위한 방안으로 채택되고 있다. 이러한 정수계획법의 적용에 대한 연구를 살펴보면 Nelson과 Brodie(1990)는 벌채단위인 임분과 임도노선 결정에 정수계획법을 적용하였으며, Hof 등(1999)은 벌채임분에서 야생동물서식처의 공간적 배치문제에 대하여, Alan(1999)은 목재수확을 위한 공간적인 제약조건을 해결하는데, John과 Joyce(1992)는 산림생태적인 문제를 해결하기 위해서 야생동물과 목재생산의 상호대립적인 문제에 정수계획법을 적용하였다. 우리나라에서는 원현규와 우중춘(2000)이 벌채로 인한 산사태, 토사유출 등을 방지하기 위해서 지리적으로 인접된 임분에서 동시에 벌채가 일어나는 것을 제한하는데 정수계획법을 적용한바 있다.

본 연구에서는 정수계획법을 이용하여 영림계획과 이행을 위한 무육간벌, 간벌, 주벌 등 일련의 산림사업과정을 포함한 지속적인 산림경영계획을 수립하기 위한 의사결정방법을 도출하고자 한다.

선형계획모델의 구축

1. 산림경영현황

연구대상지는 강원도 춘천시와 홍천군 사이에 위치한 강원대학교 부속 연습림으로서 총 면적은 약 3,061ha이다(그림 1). 연습림은 1964년 제1차기 영림계획을 편성한 이후 현재, 6차기(2000년~2009년)영림계획이 실행 중이며 산림경영단위는 총 33개 임반, 377소반, 1,521개 임

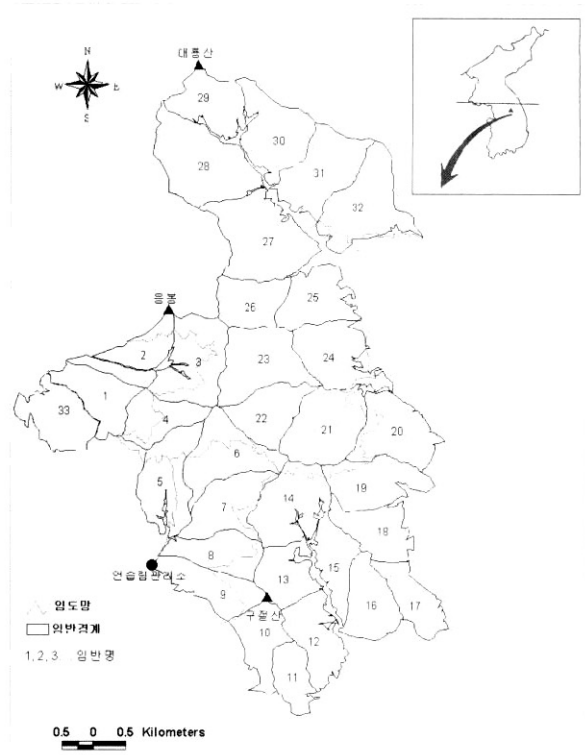


그림 1. 연구대상지의 위치도.



그림 2. 강원대학교 연습림내 사업대상지.

분단위, 즉 보조소반으로 구성되어 있다. 임반은 연습림의 주요 기능별 목표를 달성하기 위해 임산물생산권, 자연학

표 1. 수종별 산림경영계획 대상지.

임상	보조소반수	면적 (ha)	사업종류							
			무육		간벌1		간벌2		주벌	
			보조소반수	면적 (ha)	보조소반수	면적 (ha)	보조소반수	면적 (ha)	보조소반수	면적 (ha)
잣나무	24	23.1	15	12.3	3	2.2	-	-	6	8.6
낙엽송	30	26.8	7	4.9	-	-	-	-	23	21.9
참나무림	31	162.1	-	-	23	112.9	8	49.2	-	-
계	85	212.0	22	17.2	26	115.1	8	49.2	29	30.5

습휴양권, 연구실습권, 환경연구공원권, 생태계보전권 등의 권역별 구획과 유역을 고려하여 구획되었으며, 소반은 능선과 계곡을 중심으로 단일 조망권 내의 사면을 하나의 소반단위로 구획되었다. 임분은 인공림일 경우는 임분단위로, 활엽수림(참나무류)은 특수 수종을 제외하고 소반과 임분이 일치한다. 강원대학교 연습림의 주요 수종은 잣나무, 낙엽송, 리기다소나무 등이 식재되어 있고 천연림은 대부분 참나무류가 분포하고 있다.

2. 경영목표와 사업대상지

사업목표는 그림 2와 표 1에서 처럼 잣나무, 낙엽송, 참나무림의 자원평가를 통하여 사업적지로 선정된 총 85개 임분, 212ha에 대하여 계획기간 동안 사업순서를 결정하는 것과 동시에 벌채되는 재적을 최대화하는 것으로 하였다. 무육대상지는 가지치기 작업이 적기에 도달한 임분으로서 총 22개 임분(17.2ha)이며, 도태간벌을 실시하는 간벌1은 총 26개 임분(115.1ha)이 사업대상지로 선정되었다. 주벌이전 상업적 간벌2를 실시하는 지역은 8개 임분(49.2ha)이고 최종수확을 실시하는 대상지는 29개 임분(30.5ha)이다. 사업방법에 따른 벌채량의 기준은 무육대상지인 경우 현존임분 재적의 20%이하를, 간벌1은 현존임분 재적의 30% 이하를, 간벌2는 현존 재적의 50% 이하를 벌채하는 것으로 하였다. 마지막으로 주벌대상지는 현존 임분재적의 100%를 벌채하는 것으로 가정하였다. 한편 수종별 벌기령은 국유림 기준벌기령을 적용하여 잣나무는 70년, 낙엽송은 60년, 활엽수림(참나무류)은 70년으로 하였다.

계획기간은 영림계획기간과 동일한 10년으로 하였고 하나의 사업이 시작되어 종료되는 기간은 2년으로서 총 5년의 사업분기를 가진다. 그리고 분기별 벌채량은 연습림 6차기 영림계획서의 산림조사부 자료의 ha당 성장량을 이용하여 추정하였다.

3. 산림경영계획 모델의 수립

산림경영계획모델은 선형계획법의 하나인 정수계획법을 적용하였으며 LINGO 6.0을 의사결정 소프트웨어로 이용하였다. 구성된 모델은 경영과학이론의 중심인 최대화 문제를 다루고 있는 수확모델로서 1개의 목적함수(식 1)

와 7개의 제약조건(식 2-8)으로 이루어졌다. 의사결정변수는 계획기간동안의 사업종류 및 사업별 잣나무, 낙엽송, 참나무림의 임분이며, 목적함수는 임분수확재적의 최대화로 설정하였다.

$$\text{Max } Z = \sum_i \sum_j \sum_k \beta_{ijk} X_{ijk} \quad \text{식 1}$$

Subject to

$$\sum_k X_{ij} \leq 1 \quad \forall i, j \quad \text{식 2}$$

$$\sum_i \sum_j \beta_{ijk} X_{ijk} \geq L_k \quad \forall k \quad \text{식 3}$$

$$\sum_i \sum_j \beta_{ijk} X_{ijk} \leq U_k \quad \forall k \quad \text{식 4}$$

$$X_{ijk} + X_{Ak} \leq 1 \quad \forall i, j, k, A \in N \quad \text{식 5}$$

$$\sum_i \sum_j \beta_{ij(k-1)} X_{ij(k-1)} - \sum_i \sum_j \beta_{ijk} X_{ijk} \leq 0 \quad \forall k \quad \text{식 6}$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k \beta_{ijk} X_{ijk} \leq M_{ijk} \quad \forall k \quad \text{식 7}$$

$$X_{ijk} = 0 \text{ or } 1 \quad \forall i, j, k \quad \text{식 8}$$

1) 목적함수의 구성

목적함수는 식 1과 같이 나타낼 수 있으며, 계획기간 동안 벌채되어 얻어지는 재적수확을 최대화하는 것이다. 그리고 의사결정변수의 계수는 벌채된 각 임분의 재적으로서 모든 수종에 대하여 같은 벌채율을 적용하는 것으로 하였으며, 벌채방법은 택벌과 개벌을 실시하는 것으로 가정하였다.

식 1에서 i 는 보조소반명으로서 임분을 가리키며, j 는 사업종류으로 무육, 간벌1, 간벌2, 주벌을, k 는 사업분기를 의미한다. 그리고 X 는 의사결정변수이며, β 는 의사결정변수의 계수로서 ha당 수확재적이다.

2) 제약조건의 구성

제약조건은 목적함수를 달성하기 위하여 고려해야 할 여러 가지 현실적인 문제를 반영시키는 것으로 산림수확량문제, 사업적인 문제, 환경적 문제, 경제적 문제 등이 존재한다. 이 연구에서는 산림수확량 문제, 사업적인 문제와 환경적인 문제를 포함시켜 6가지 제약조건으로 구성하였다.

(1) 시업횟수제한

식 2의 제약조건은 임분 내에서 시업횟수를 제한하는 것이 아니라, 5개 분기 중에서 시업이 이루어질 분기를 선택하는 제약조건이다. 시업이 결정된 분기동안 상황에 따라서 여러 번의 시업을 실시할 수 있으며, 계획기간동안 시업이 배정되는 분기는 1의 값이 선택되며, 그렇지 않으면 0의 값이 할당된다.

(2) 보속수확량조절

보속수확량조절은 각 분기동안 벌채되는 수확량을 일정하게 하는 조건으로 분기별 수확량의 최소치와 최대치를 결정해 주는 것이다. 수확량 최소치는 산림조사부를 통해 85개의 임분을 최초 1분기에 모두 벌채할 경우 19,000m³로 분기별 수확재적은 3,800m³(19,000m³/5분기)이지만 정수계획모델의 계산의 효율성을 위하여 3,200m³로 조정하였다. 마찬가지로 수확량 최대치는 마지막 분기에서 벌채할 경우 가능한 수확량이 22,000m³로 계산될 수 있으며 분기별 수확재적은 4,400m³(22,000m³/5분기)이지만 4,000m³을 최대치로 결정하였다. 보속수확량 조절조건은 식 3과 식 4와 같이 나타낼 수 있으며, β_{jk} 는 k분기에 j시업방법으로 임분에서 벌채되는 총재적을, L_k 는 k분기에 모든 임분에서 벌채되어지는 총 재적의 최소치를 나타낸다. U_k 는 k분기에 모든 임분에서 벌채되어지는 총 재적의 최대치를 의미한다.

(3) 벌채대상지제한

벌채대상지제한은 인접한 임분에서 같은 분기에 주벌 시업이 동시에 일어나는 것을 제한하는 조건으로 식 5와 같다. 이 제약조건을 적용하는 것은 지리적으로 인접한 임분의 동시 벌채로 인한 서식지파괴, 산사태, 토사유출 등의 산림피해를 방지하고, 발생가능한 여러가지 환경적인 문제를 최소화하는 제약조건이다. 여기서 인접임분이란 벌채되는 임분과 같은 경계를 공유하는 임분을 말한다. A는 인접한 임분을 의미하고 N은 i임분에 인접되어 있는 모든 임분을 나타낸다.

(4) 균등수확량 조절

산림경영시업의 연속성을 확보하기 위해 산림에서 얻어지는 수확이 매년 또는 분기마다 균등하게 유지되도록 하는 조건이다. 균등수확량조절은 식 6과 같이 수식화 할 수 있다.

(5) 최대생산량 제한

5분기에서 모든 임분을 벌채할 경우 약 22,000m³을 생

산할 수 있으나 이는 단순 재적식에 의해 추정된 생산량으로써 현실생산량에 비해 과대치로 산정되어질 수 있다. 따라서 이 연구에서는 최대 생산량을 20,000m³로 제한하였다. 최대생산량 제약은 식 7과 같으며 M_{jk} 는 모든 k분기에서 모든 j경영방법으로 모든 i임분에서 벌채되는 총재적의 합계를 의미한다.

(6) 의사결정변수제한

의사결정변수제한은 정수계획법을 적용하기 위한 내재적인 제약조건으로 식 8과 같다. 이는 시업분기에 따른 벌채여부를 결정하는 변수로서 1과 0으로 할당이 되도록 정의하게 되며 벌채할 경우는 1, 그렇지 않으면 0이다.

결과 및 고찰

1. 시업면적 및 벌채재적

정수계획법을 이용한 산림경영계획 편성결과 표 2와 같이 전체 85개 임분 중에서 68개 임분에 대하여 시업을 실

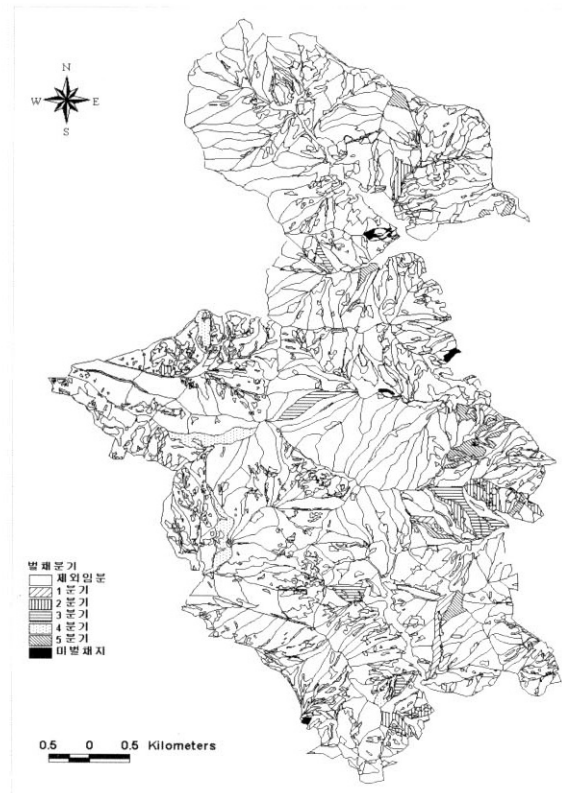


그림 3. 전체계획기간 동안 분기별 시업도.

표 2. 산림경영계획모델의 수행에 따른 분기별 시업면적 및 벌채재적.

구분	계	분기					시업 유보
		1분기	2분기	3분기	4분기	5분기	
임분 수	85	22	9	5	13	19	17
벌채재적(m ³)	20,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	-
시업면적(ha)	212.0	66.6	43.1	12.9	39.0	41.2	9.2

시하고 나머지 17개 임분은 시업을 유보하는 것으로 나타났다. 시업이 유보된 17개 임분은 인접된 임분에서 연속적으로 주벌을 제한하는 제약조건 때문에 발생된 것이다. 시업면적은 1분기가 66.6ha로서 다른 분기에 비해 시업면적이 가장 크며, 3분기는 12.9ha로서 가장 작다. 동일한 벌채제적을 유지하면서 서로 다른 시업면적을 가지는 것은 시업종류의 배분에 의해 결정되는 것으로 시업면적이 크면 주벌보다는 간벌시업이 많으며, 시업면적이 작으면 간벌보다는 주벌시업이 많이 실행되는 것을 의미한다.

전체 계획기간동안 벌채되는 재적은 20,000m³이고 보속수확량과 균등수확량조건을 통해 분기별로 4,000m³씩 벌채되어 제약조건을 만족하였다. 그림 3은 계획기간동

표 3. 사업분기별 임상별 사업계획

사업 분기	임상	사업 종류	보조 소반수	사업면적 (ha)	벌채재적 (m ³)
1 분기	잣나무	무육 주벌	3	3.6	69
		주벌	1	0.3	121
	낙엽송	무육 주벌	2	0.1	2
		주벌	6	3.2	1,129
	참나무림	간벌1	8	51.6	2,322
		간벌2	2	7.8	357
소계			22	66.6	4,000
2 분기	잣나무	간벌1 주벌	1	1.0	33
		주벌	1	1.0	304
	낙엽송	무육 주벌	1	0.1	6
		주벌	2	4.0	1,974
	참나무림	간벌1 간벌2	2	16.0	737
		간벌2	2	21.0	946
소계			9	43.1	4,000
3 분기	잣나무	주벌	1	6.1	2,106
	낙엽송	주벌	2	4.6	1,785
	참나무림	간벌2	2	2.2	109
	소계			5	12.9
4 분기	잣나무	주벌	2	0.9	309
	낙엽송	주벌	4	4.9	2,151
	참나무림	간벌1 간벌2	5	18.5	862
		간벌2	2	14.7	678
소계			13	39.0	4,000
5 분기	잣나무	무육 간벌1 주벌	3	4.1	157
		간벌1	2	2.1	147
		주벌	1	0.6	159
	낙엽송	무육 주벌	1	0.1	30
		주벌	5	4.3	1,991
	참나무림	간벌1 간벌2	6	24.3	1,245
		간벌2	1	5.7	271
소계			19	41.2	4,000
합계			68	202.8	20,000

안 각 분기별로 시업해야할 임분의 위치를 보여주고 있다.

2. 사업계획

표 3은 사업분기별 임상별 구체적인 사업계획을 보여주고 있다. 먼저 1분기에는 총 22개 임분, 66.6ha면적에서 시업이 이루어지는 것으로 나타났다. 이 중 참나무림의 간벌1에서 시업면적이 51.6ha이고 벌채재적은 2,322m³으로 전체사업분기에서 가장 많은 수확이 이루어지는 시업특성을 보였다.

그리고 낙엽송림에서도 전체 3.2ha에서 약 1,129m³정도 주벌이 이루어지고 있다. 1분기에서 상업적으로 이용가능한 벌채재적은 잣나무와 낙엽송의 주벌, 참나무림의 간벌2의 재적으로 총 1,607m³ 나타났다.

2분기에는 총 9개 임분, 43.1ha에 대하여 시업을 실시하는 것으로 나타났으며, 2분기의 시업 특징은 낙엽송림의 주벌재적이 1,974m³정도로서 분기 벌채재적 4,000m³의 약 50%정도를 차지하고 있고 이용가능한 벌채재적은 무육과 간벌1의 벌채재적을 제외한 3,244m³이었다.

3분기는 총 5개 임분, 12.9ha에 대하여 시업을 실시하여 전체사업분기 동안에 시업대상의 임분수와 시업면적이 가장 작다. 특히, 3분기는 잣나무와 낙엽송림의 주벌시업을 집중적으로 실시하는 특징을 보여주고 있으며 다른 분기와 비교하여 참나무림에 대한 시업면적이 매우 작은 것으로 나타났다. 주벌재적은 3,891m³정도로서 분기 벌채재적 4,000m³의 약 97%정도를 차지하고 분기 벌채재적 4,000m³ 모두가 이용가능한 재적이었다.

4분기는 총 13개 임분, 30.0ha에 대하여 시업을 실시하며, 2분기와 비슷한 양상을 보여주고 있다. 4분기의 시업 특징으로는 낙엽송림과 참나무림에 대한 시업이 많이 이루어진다는 것이며, 낙엽송림의 주벌재적이 2,151m³정도로서 전체 분기 벌채재적의 약 54%정도를 차지하고 있다. 이용가능한 벌채재적은 무육과 간벌1의 벌채재적을 제외한 3,138m³이었다.

마지막으로 5분기는 총 19개 임분, 41.2ha면적에서 시업이 이루어져 1분기와 비슷한 특성을 보여주고 있다. 특히, 참나무림의 시업은 무육, 간벌1, 주벌 등 다양하게 일어나지만 시업면적에 비하여 벌채재적은 적다. 특히 참나무림의 경우는 간벌1(도태간벌)을 집중적으로 실시하는 것으로 나타났다. 5분기의 전체 벌채재적 4,000m³에서 상업적으로 이용가능한 재적인 간벌2와 주벌재적은 약 2,421m³정도로서 전체의 60%를 차지하였다.

결 론

이 연구에서는 산림경영계획의 수립에 있어서 그동안 주벌시업 중심의 산림계획편성에서 무육간벌, 간벌, 주벌과

지 연계하는 계획모델을 제시하였다. 여기서 산림경영계획은 계획기간을 기준으로 크게 단기, 중기, 장기계획으로 구분하여, 중기계획을 경영계획기간(10년), 단기계획을 경영계획 기간중의 하나의 사업분기(2년)로 편성하여 연구하였다.

선형계획법의 하나인 정수계획법을 이용하여 경영단위 영림계획의 수립 및 이행을 위한 5분기동안의 실질적인 경영대안을 제시하였다. 특히 영림계획은 임·소반, 산림기능구분 등으로 인하여 많은 경영단위들을 가지고 있기 때문에 정수계획법을 이용함으로써 이러한 공간적 단위를 유지하였고, 사업 및 벌채여부 판단과 같은 특정조건 선택문제를 다룰수 있었다.

한편, 보다 현실적인 산림경영안의 제시를 위해서는 몇 가지 문제점을 해결해야 한다. 첫째로 경영계획 수립시 제약조건의 보속수확량과 최대수확량의 근거를 재적수확식을 통한 목재수확량뿐만 아니라 경제적여건 등의 조건도 고려해야 한다. 둘째는 임상 또는 수종에 따라 임목의 특성을 고려한 사업종류와 방법을 적용해야 한다. 셋째는 벌채작업은 벌목작업, 집재, 운재 등의 반출작업이 수반되므로 벌채지의 접근성, 경사, 임도노선 등을 고려한 경영계획모델을 적용하는 연구가 필요하다.

인용문헌

1. 국립산림과학원. 2006. 산림경영연구 발전방안. 2006 산림경영 심포지엄자료집. pp. 100.
2. 권오복. 1969. Linear programming에 의한 벌채량조절. 춘천농대연구논문집 3: 25-31.
3. 박은식, 정주상. 1999. 다목적 산림경영계획을 위한 선형계획의 응용. 한국임학회지 88(2): 273-281.
4. 산림청. 2005. 2005 간추린 임업통계. pp. 94.
5. 우종춘. 1991. Linear programming에 의한 삼림경영계획-잣나무 임분의 삼림수확계획을 중심으로-. 한국임학회지 80: 427-435.
6. 원현규, 우종춘. 2000. 공간제약조건을 갖는 목재수확계획을 위한 정수계획법의 적용성 연구. 강원대학교 산림과학대학 학술림연구지 20: 106-112.
7. 장철수. 1987. 한국의 임업경영에 대한 Timber RAM의 적용성. 강원대학교 박사학위 논문.
8. 정주상, 박은식. 1993. 대단지 산림의 목재생산계획 분석을 위한 선형계획 실험전산모델에 관한 연구. 한국임학회지 82(3): 292-304.
9. 조용혁. 1984. 시스템분석에 의한 삼림수확계획조절에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문. pp. 1-15.
10. 주린원. 1984. 선형계획법을 이용한 수확조절에 관한 연구. 서울대학교 석사학위 논문. pp. 1-9.
11. Alan T.M. 1999. Spatial Restrictions in Harvest Scheduling. Forest Science 45(1): 45-52.
12. Chong S.K. and J.A. Beck Jr. 1991. The effect of land classification and stratification on derivation of timber supply and allowable cut in harvest scheduling. Canadian Journal of Forest Research. 21(9): 1334-1342.
13. Hof, J.G., Bevers, M. Joyce, L.A., and Kent, B. 1994. An Integer Programming Approach for Spatially and Temporally Optimizing Wildlife Populations. Forest Science 40(1): 177-191.
14. John G.H. and Joyce, L.A. 1992. Spatial Optimization for Wildlife and Timber in Managed Forest Ecosystems. Forest Science 38(3): 489-508.
15. Johnson, K.N. and Scheurman, H.L. 1977. Techniques for prescribing optimal timber harvest and investment under different objectives discussion and synthesis. Forest Science Monograph 18.
16. Navon, D.I. 1971. Timber RAM-A Long Range Planning Method for Commercial Timber Land under Multiple-Use Management, U.S. Forest Service Research Paper PSW-70.
17. Nelson, J. and Brodie, J.D. 1990. Comparison of a random search algorithm and Mixed interger programming sloving area-based forest plans. Canadian Journal of Forest Research. 20: 934-942.

(2006년 9월 4일 접수; 2006년 10월 18일 채택)