

## 장기산림경영계획의 목표수확량 산출을 위한 목표계획법의 적용

원현규 · 김영환\* · 권순덕  
국립산림과학원

### Estimation of Optimal Harvest Volume for the Long-term Forest Management Planning using Goal Programming

Hyun-Kyu Won, Young-Hwan Kim, and Soon-Duk Kwon  
Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

**요 약:** 산림청에서는 지속가능한 산림경영의 실현과 국내 목재수급 및 우량 목재자원 확보를 위해서 전국 450개 단지, 292만ha의 산림을 경제림육성단지로 지정하고, 경제림육성단지별 관리계획을 수립하도록 하였으며, 이를 통해 각 지자체에서 보다 체계적이고 집약적으로 산림사업을 관리할 수 있도록 유도하고 있다. 현재 우리나라 산림의 대부분은 III, IV영급에 집중되어 있기 때문에 지속가능한 산림경영을 위해서는 이러한 불균형한 영급구조를 개선하는 것이 무엇보다 시급한 과제이다. 본 연구에서는 충북 영동군의 경제림육성단지를 대상으로 이 지역의 산림을 지속가능한 영급구조로 유도할 수 있도록 경영목표를 설정하고, 이를 위해 필요한 벌채수확량을 산출하였다. 벌채수확량의 최적화를 위해서 목표계획법(Goal Programming)을 적용하였으며, 그 결과 연구대상지의 산림을 지속가능한 영급구조로 유도하기 위해서는 50년을 전체사업기간으로 하여 매 분기(10년)별로 약 124만m<sup>3</sup>의 벌채수확이 필요한 것으로 나타났다. 본 연구결과는 앞으로 영급구조 개선을 위한 관련 정책 및 사업들을 수립하는데 활용될 것으로 기대된다.

**Abstract:** To facilitate the sustainable forest management, Forest Service in Korea has assigned 2.9 million hectare forests as 'intensive management forests' and encouraged local governments to develop a strategic management plan for their forests. One of problems for the sustainable forest management in Korea is the skewed distribution of forest age classes. Currently the majority of forestlands in Korea is occupied by age classes III and IV. In this study, we intended to find an optimum harvest volume, which enable one to make the intensive management forest in Yeungdong-Gun evenly distributed for the age classes and allow an even harvest volume through a 50 year time horizon. To develop an optimization model, we applied the goal programming technique which is adequate for a multi-purpose management planning. The results indicated that it is necessary to harvest 1.2 million cubic meters in each decade to achieve the most stable distribution of age classes for the study site. The harvest volume target resulted from this study would be used in a management planning or an associated policy making process in the future.

**Key words :** goal programming, optimization, harvest volume target, forest age class, South Korea

### 서 론

지난 수십 년간 지속되어온 치산녹화 및 산림자원화사업을 통해 우리나라의 산림은 성공적으로 녹화가 이루어졌으며 입목축적 역시 꾸준히 증가하는 추세에 있다. 그러나 아직까지 대부분의 산림이 III영급과 IV영급의 장령림에 집중되어 있어서 목재수확이 활성화되지 못하고 있으며, 산림에 대한 적절한 관리가 이루어지지 못하고 있

는 실정이다. 2008년 산림청에서 발표한 제5차 산림기본계획(산림청, 2008a)에서도 우리나라는 현재 지속가능한 자원육성기반이 매우 취약하다고 지적하면서, 영급구조의 불균형과 조림·숲가꾸기·수확의 연계 미흡 등을 그 요인으로 들고 있으며, 앞으로 이러한 불균형한 영급구조 개선을 위해서 숲가꾸기 사업을 확대 시행하는 등 관련사업을 추진해나갈 것이라고 밝히고 있다. 따라서 앞으로 이러한 정책의지를 뒷받침할 수 있도록 구체적인 사업량을 제시하는 등 관련 연구들이 뒤따라야 할 것이다.

또한 산림청에서는 목재의 안정적 수급 및 우량 목재자

\*Corresponding author  
E-mail: alliedk@nate.com

원의 확보를 위해서, 2005년 전국 450개 단지(국유림 105개, 민유림 345개), 292만ha(국유림 58만ha, 민유림 234만ha)의 산림을 경제림육성단지로 지정하고, 특히 민유림 경제림육성단지를 포함하고 있는 128개 시·군에 대해서 경제림육성단지 관리계획을 수립하여 산림사업을 보다 체계적이고 집약적으로 관리할 수 있도록 유도하고 있다(산림청, 2007). 각 시군별로 작성되는 경제림육성단지 관리계획은 기본계획이면서 종합계획이며, 또한 장기계획의 성격을 가지고 있어서, 여기에는 경제림육성단지에 대한 각 시군의 경영목표와 방침 및 장기적인 사업계획 등이 제시되어야 한다. 따라서 경제림육성단지의 지속가능한 경영을 위해 다양한 경영목표와 대안들을 구성하고 이를 토대로 최적의 산림 사업량을 추정할 수 있는 의사결정기법의 개발이 요구되고 있다.

현재까지 우리나라 산림경영분야에는 모델링 기법을 적용한 다양한 연구사례가 보고된 바 있다. 권오복(1969)과 우종춘(1991)이 임목수확량의 조절을 위해 선형계획법을 적용하였으며, 주원원(1984)은 재적수확과 경제성을 고려한 선형수확모델을 개발한 바 있고, 정주상 등(1993)은 대단지 산림을 대상으로 목재생산을 비롯한 다목적 산림경영을 위해 선형계획법을 적용하였다. 장철수 등(1995)은 국유림 목재자원생산계획의 수립을 위하여 목표계획법을 적용한 바 있다. 가장 최근에는 원현규 등(2006)이 무육간벌, 간벌, 주벌 등 다양한 시업을 통해 보속수확이 가능하도록 정수계획법을 적용하여 산림경영계획을 수립한 바 있다.

이처럼 다양한 산림경영 모델링 연구가 수행되어왔음에도 불구하고, 아직까지 우리나라 산림이 지속가능한 영급구조를 가지기 위해서 과연 어느 정도 면적에서 얼마만큼의 산림사업이 시행되어야 하는지를 구체적으로 제시한 자료나 연구사례가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 우리나라 산림이 지속가능한 영급구조를 가질 수 있도록 국가단위의 장기적 목표수확량을 제시하는 데 최종

적인 목적이 있으며, 이를 위한 선행연구로서 충북 영동군의 경제림육성단지를 대상으로 영급구조 개선을 위해 필요한 목표수확량을 산출하는 방법론을 제시하였다.

## 연구방법

### 1. 연구 대상지 개황 및 기능구분

본 연구는 충북 영동군의 경제림육성단지를 대상지로 하였는데, 영동군은 2006년 현재 총 64,326 ha의 산림을 보유하고 있으며, 이 가운데 69%인 44,216 ha가 경제림육성단지로 지정·관리되고 있다. 영동단지, 추풍령단지, 상촌단지, 용화·학산단지, 심천단지 등 총 5개 경제림육성단지로 구성되어 있으며, 단지평균면적은 약 8,800 ha이다. 임상은 주로 활엽수림(51%), 혼효림(30%), 침엽수림(27%) 등으로 구성되어 있으며, 활엽수림은 대부분 신갈나무와 굴참나무가 우점하고 있다(영동군, 2007). 전체 경제림육성단지의 71%가 III, IV영급에 편중되어 있어서 (Table 1), 우리나라 산림의 전형적인 영급구조 형태를 보여주고 있다.

우리나라에서는 지속가능한 산림경영의 현장이행을 위해, 산림을 주요기능에 따라 목재생산림, 수자원함양림, 산림휴양림, 자연환경보전림, 산지재해방지림, 생활환경보전림 등으로 구분하고, 각각의 기능별로 경영목표 및 시업체계를 달리할 것을 권고하고 있다(국립산림과학원, 2005; 정세경 등, 2006). 따라서 본 연구에서는 연구대상지의 산림을 주요기능별로 구분하고 각 기능별로 차별화된 경영목표를 적용하고자 하였다. 현재 우리나라 산림기능구분 연구는 주로 국유림을 대상으로 수행되어 왔으며, 사유림의 기능구분에 대한 연구는 아직까지 보고되지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 국유림 산림기능구분체계 및 기준(박영규 등, 2006)을 적용하여 기능구분을 실시하였다. 기능별 우선순위는 수자원함양>목재생산>산림휴양>산지재해방지의 순으로 하였으며, 이외는 별개로 연구대상지

Table 1. Forest areas by forest function and age class.

(Unit: ha)

Forest Function	Age Class					Total
	I	II	III	IV	V	
Watershed Protection	152	928	2,163	1,252	112	4,607 (10%)
Timber Production	1,327	4,802	11,590	6,543	820	25,082 (57%)
Recreation	441	1,539	4,048	2,023	492	8,543 (20%)
Natural Preserve	36	272	880	415	35	1,638 (4%)
Urban Interface	133	1,645	2,076	470	22	4,346 (9%)
Total	2,101 (5%)	9,283 (21%)	20,580 (47%)	10,765 (24%)	1,487 (3%)	44,216 (100%)

**Table 2. Weights corresponding to each management goal in management scenarios.**

Management Goals	Management Scenarios					
	Scenario1	Scenario2	Scenario3	Scenario4	Scenario5	Scenario6
Goal1	$W_1^*$	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_2$	$W_3$
Goal2	$W_2$	$W_3$	$W_1$	$W_1$	$W_3$	$W_2$
Goal3	$W_3$	$W_2$	$W_3$	$W_2$	$W_1$	$W_1$
Goal4	$W_4$	$W_4$	$W_4$	$W_4$	$W_4$	$W_4$

\*  $W_1 (=1,000) > W_2 (=100) > W_3 (=10) > W_4 (=1)$

내의 보존산지는 자연환경보전림으로, 인구밀집지역인 영동읍 내의 산림은 생활환경보전림으로 선정하였다. 영동군 경제림육성단지에 대한 기능구분을 실시한 결과, 그 면적에 있어서 목재생산림(57%)이 가장 큰 비중을 차지하였으며, 휴양림(20%), 수자원함양림(10%), 생활환경보전림(9%), 자연환경보전림(4%)의 순으로 나타났다(Table 1).

**2. 목표계획법 최적화모델의 개발**

목표계획법(goal programming)은 주어진 의사결정 조건들을 고려하여 다수의 경영목표를 동시에 달성할 수 있도록 최적의 안을 제시하는 모델링 기법으로서, 선형계획법(linear programming)으로 해결하기 어려운 문제들을 해결하기 위해 Charnes and Cooper(1961)가 처음으로 제시하였으며, 이후 산림경영분야에 폭넓게 이용되어 왔다(Hotvedt, 1983; Howard and Nelson, 1993; Buongiorno 등, 1995).

선형계획법이 주어진 여러 가지 경영목표들을 제약조건으로 고정시킨 상태에서 하나의 목표를 목적함수로 정하여 최대화(혹은 최소화)하는데 반해, 목표계획법은 다수의 경영목표들을 최적화하는 과정에서 각 목표별로 발생하는 편차(deviation)를 최소화하게 된다. 따라서 목표계획법은 다수의 경영목표에 대한 성취 정도(level of achievement)를 최적화하는 것으로 볼 수 있으며, 다목적 경영을 추구하는 현대적 의사결정에 적합한 기법으로 평가받고 있다(이상문 1995). 목표계획법은 다수의 목표를 해결하고 각 목표들 간의 가중치를 부여한다는 점에서 다목적 선형계획법(multi-objective linear programming)과 유사한 점이 많으며, 보다 진보된 형태의 다목적 선형계획법으로 볼 수 있다.

**1) 경영목표 및 대안 설정**

영동군 경제림육성단지의 지속가능한 산림경영을 위해 아래와 같은 네 가지 경영목표를 설정하였다.

- 목표1: 목재 생산림을 지속가능한 영급구조로 유도한다(영급별 면적편차를 최소화).
- 목표2: 사업 분기별 목재수확량의 변동이 10%를 넘지 않도록 한다.

- 목표3: 벌채면적의 비율이 생활환경보전림과 산림휴양림에서는 30%, 수자원함양림에서는 20%, 자연환경보전림에서는 10%를 유지하도록 한다.
- 목표4: 벌채수확량을 최대화(벌채수확량의 편차를 최소화) 한다.

위의 목표들을 1순위에서 4순위까지 우선순위에 따라 가중치를 달리하여 경영대안(Scenario)들을 설정하였다(Table 2). 우선 대안1과 2에서는 목재생산림의 영급구조 개선(목표1)을 최우선 목표로 하였으며, 대안3과 4에서는 분기별 목재수확량의 변동이 10%를 넘지 않는 것(목표2)을 최우선 목표로, 대안5와 6에서는 산림기능에 따라 벌채면적을 제한하는 목표(목표3)를 최우선 순위로 하였다. 우선순위에 따른 차이가 뚜렷이 나타날 수 있도록 가중치를 달리 적용해야 하는데, 본 연구에서는 de Oliveira 등(2003)의 모형에서 사용한 수치(1순위=1,000>2순위=100>3순위=10>4순위=1)를 적용하였다.

**2) 최적화 모델 구성**

목표계획법을 이용한 최적화 모델의 구성을 위해서 다양한 모형들이 적용되고 있으나, 본 연구에서는 일반적으로 많이 사용되는 de Oliveira 등(2003)의 모형을 적용하였다. 제약조건은 총 여섯 가지로서, 목적함수 제약조건, 현실면적 제약조건, 목재생산림의 영급구조 제약조건, 산림기능별 벌채면적 제약조건, 분기별 수확량 변동 제약조건, 그리고 비부조건(non-negativity constraint)으로 구성된다. 최적화 모델을 구성하기 위해서는 몇 가지 기본적인 가정이 요구되는데, 우선 전체 계획기간은 2009년 말부터 2059년 초까지 총 50년으로 하였으며, 매 10년을 사업 분기로 하여 총 5분기로 구성하였다. 또한 수종갱신이 가능하도록 III영급부터 수확벌채가 가능하도록 하였으며, 벌채지에 대해서는 벌채 직후 조림이 곧 바로 실시되는 것으로 가정하여 새로운 영급이 생성되도록 하였다. 최적화 과정에 적용되는 사업안으로는, 각 분기별로 벌채사업이 이루어지는 다섯 가지 사업안(1사업안: 1분기 벌채, 2사업안: 2분기 벌채 등)과 벌채가 전혀 이루어지지 않는 무시업을 포함하여 총 여섯 개 사업안을 적용하였다. 구성된 모델은 수식 (1)에서 (7)과 같다.

$$\text{Minimize } Z = W_1 \sum_{m=1}^M (d_m^- + d_m^+) + W_2 \sum_{m=1}^M (e_m^- + e_m^+) + W_3 \sum_{m=1}^M (a_i^- + a_i^+) + W_4 (q^- + q^+) \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M C_{ijkm} X_{ijkm} + q^- - q^+ = H_t, \forall t = 1, 2, \dots, T \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M X_{ijkm} = A_t, \forall t = 1, 2, \dots, T \quad (3)$$

$$\sum_{m=1}^M \left\{ \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_{4jkm} + d_m^- - d_m^+ \right\} = N_m \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^I \left\{ \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M X_{ijkm} + a_i^- - a_i^+ \right\} = \beta_i A_i \quad (5)$$

$$\sum_{m=1}^M \left\{ \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K C_{ijkm} X_{ijkm} \right\} - (1-\alpha) \left( \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K C_{ijkm+1} X_{ijkm+1} \right) + (e_m^- - e_m^+) = 0 \quad (6)$$

$$d_m^+, d_m^-, e_m^+, e_m^-, a_i^+, a_i^-, q^+, q^-, C_{ijkm}, X_{ijkm} \geq 0 \quad (7)$$

여기서,

- Z : 목적함수
- W<sub>1</sub>, W<sub>2</sub>, W<sub>3</sub>, W<sub>4</sub>: 목표들의 편차에 대한 가중치
- d<sub>m</sub><sup>+</sup>, e<sub>m</sub><sup>+</sup>, a<sub>i</sub><sup>+</sup>, q<sup>+</sup>: 경영목표들의 (+) 편차
- d<sub>m</sub><sup>-</sup>, e<sub>m</sub><sup>-</sup>, a<sub>i</sub><sup>-</sup>, q<sup>-</sup>: 경영목표들의 (-) 편차
- C<sub>ijkm</sub>: 단위면적당 벌채재적(기여계수)
- X<sub>ijkm</sub>: 사업면적(의사결정변수)
- i : 산림기능구분(i=생활환경보전림, 자연환경보전림, 산림휴양림, 목재생산림, 수자함양림)
- j : 영급(j=1...5)
- k : 임상(k=침엽수림, 활엽수림, 혼효림)
- m : 경영안(m=1...6)
- t : 사업분기/기능/영급/임상의 모든 조합(t ≡ {i, j, k, m})
- H<sub>t</sub>: 총벌채수확량
- A<sub>t</sub>: 총현실면적
- N<sub>m</sub>: 목재생산림의 벌채면적
- β<sub>i</sub>: 기능별 벌채면적 제한비율(β<sub>i</sub>=0.3, 0.1, 0.3, 1.0, 0.2)
- A<sub>i</sub>: 기능별 현실면적
- α : 분기별 수확량 변동 허용비율(α=0.1)

식 (2)는 목적함수 제약조건에 대한 수식으로서, 벌채사업면적(X<sub>ijkm</sub>)과 단위면적당 재적(C<sub>ijkm</sub>)을 이용하여 전체 계획기간동안 수확되어지는 총벌채수확량(H<sub>t</sub>)을 산정한다. 단위면적당 재적은 임분수확표를 참조하였다(손영모 등, 2004). 식 (3)은 현실면적 제약조건에 대한 수식으로서, 무사업을 포함하여 벌채사업에 대한 의사결정이 이루어지는 총면적(X<sub>ijkm</sub>)을 현실면적(A<sub>t</sub>)과 같게 한다. 목재생산림을 지속가능한 영급으로 유도하기 위한 제약조건은 식 (4)에서 다루고 있는데, 계획기간 내에 벌채사업이 이루어지는 목재생산림의 면적(X<sub>4jkm</sub>)이 분기별로 동일하게 유지(N<sub>1</sub>=N<sub>2</sub>=...=N<sub>m</sub>)되도록 한다. 식 (5)는 산림기능별 벌채면적 제약조건을 다루고 있는데, 각 기능별 면적(A<sub>i</sub>)에 대해서 제한비율(β<sub>i</sub>=0.3, 0.1, 0.3, 1.0, 0.2)을 적용하였다. 식 (6)은 분기별 수확량의 변동을 10%로 제한하기 위해서 변동비율(α=0.1)을 적용하였다. 마지막으로 식 (7)은 모든 변수는 0보다 크거나 같다는 비부조건(non-negativity constraint)에 대한 수식이다. 최적화모델의 분석에는 LINGO6.0 소프트웨어가 이용되었다.

### 결과 및 고찰

#### 1. 목표계획법 최적화 모델의 분석 결과

각 대안별 최적화 모델의 분석 결과를 토대로, 목재생산림을 지속가능한 영급구조로 유도하는 목표1의 만족여부를 확인하기 위해 사업기간 말의 목재생산림의 영급별 면적을 살펴본 결과(Figure 1), 목표1을 최우선 순위로 하는 대안(Scenario) 1과 2에서 매우 만족스러운 결과를 얻을 수 있었다. 하지만 사업분기별 벌채수확량의 변동을 10% 이내로 제한하는 것(목표2)을 최우선 순위로 하는 대안3과 4에서는 다소 영급간의 면적차이가 나타났으며, 특히 기능별 벌채면적을 제한하는 것(목표3)을 최우선 순위로 하는 대안 5와 6의 경우에는 영급구조가 4영급에 집중되어 있고 영급간의 면적차이도 크게 나타나 적절하지 않은 것으로 판단된다.

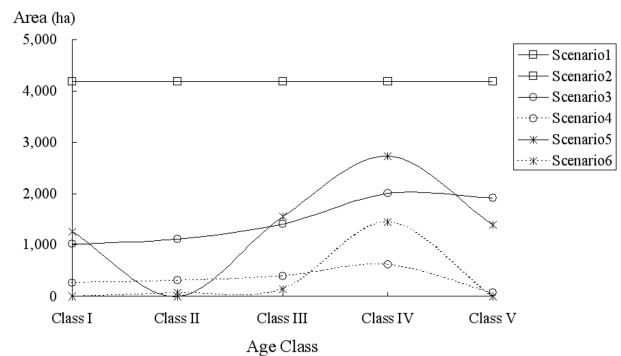


Figure 1. Distribution of age classes in timber production forests after the 5 decades.

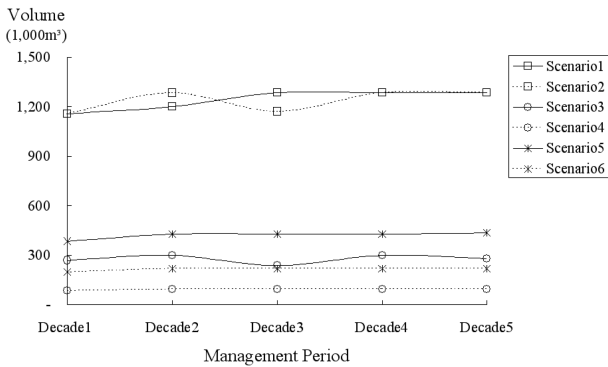


Figure 2. Harvested volume in each management period.

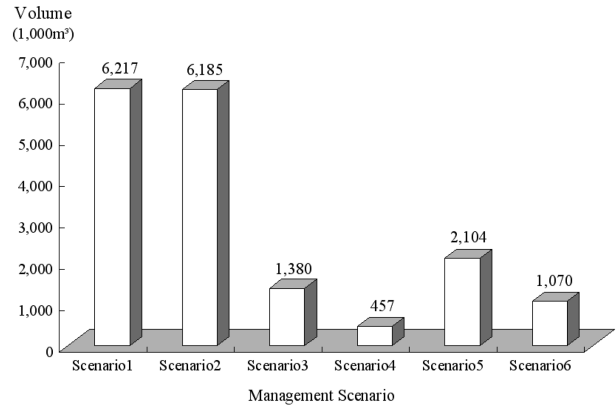


Figure 3. Total harvested volume during the 5 decades.

전체 계획기간동안 분기별 수확량의 변동을 10% 이내로 제한하는 목표2의 만족여부를 분석하기 위해서 각 대안별 수확량의 변동을 살펴본 결과(Figure 2), 대안1과 2의 경우 다른 대안들에 비해 분기별 수확량의 차이가 큰 것으로 보이지만, 분기별 수확량이 약 120만<sup>3</sup> 수준으로 높기 때문에 변동량은 10% 내에서 유지되고 있었다. 따라서 목표2에 대해서는 모든 시나리오들이 만족스러운 결과를 보여주고 있는 것으로 분석되었다.

별채 수확이 이루어지는 면적이 생활환경보전림과 산림휴양림에서는 전체 면적의 30%, 수자원함양림에서는 20%, 자연환경보전림에서는 10%를 유지하도록 하는 목표3의 경우, 대안 3과 4는 목표면적과의 편차가 크게 나타나 만족시키지 못하는 것으로 나타났으며, 그 외의 대안들은 모두 목표3을 만족하였다(Table 3).

수확량의 편차를 최소화하여 수확량을 최대화하는 목표4의 달성여부를 확인하기 위해서, 전체 계획기간동안 별채된 총재적량을 각 대안별로 비교하였는데(Figure 3), 그 결과 대안 1과 2의 재적수확량이 620만<sup>3</sup> 정도로 가장 많았고, 대안5가 약 20만<sup>3</sup>으로 그 다음으로 많은 재적수확량을 보였으나 앞서의 대안 1, 2와는 큰 차이를 보였다. 따라서 수확량을 최대화하는 목표4의 경우에도 목재생산림의 영급구조 개선을 최우선 경영목표로 하는 대안1과 2

가 가장 적합한 것으로 나타났다.

## 2. 최적경영안의 선정

앞서 언급한 바와 같이 현재 영동군 경제림육성단지의 영급분포는 III, IV영급에 주로 집중된 중형구조로서 우리나라 산림의 전형적인 형태를 나타내고 있다. 본 연구에서는 이러한 불균형한 영급구조를 지속가능한 구조로 유도하기 위해서 목표계획법을 이용한 최적화모형을 개발하고 여러 가지 경영대안들을 비교 검토하였다. 그 결과 모든 대안들이 전체 계획기간동안 분기별 수확량의 변동을 10% 이내로 제한하는 목표2를 만족하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 최적경영안의 선정을 위한 의사결정을 위해서는 목재생산림을 지속가능한 영급구조로 유도하기 위한 목표1과 산림기능별 별채면적을 제한하는 목표3, 수확량 최대화를 위한 목표4의 달성여부를 고려해야 한다.

우선 사업 분기별 별채수확량의 변동을 10% 이내로 제한하는 것(목표2)을 최우선 순위로 하는 대안3과 4의 경우에는 목표3을 만족시키지 못했으며, 기능별 별채면적을 제한하는 것(목표3)을 최우선 순위로 하는 대안 5와 6의 경우에는 목표1을 달성하는데 적합하지 않은 것으로 나타났다. 반면 목재생산림의 영급구조 개선(목표1)을 최우선

Table 3. Harvested areas scheduled in the management scenarios.

(Unit: ha)

Forest Function	Size Limit*	Management Scenarios					
		Scenario1	Scenario2	Scenario3	Scenario4	Scenario5	Scenario6
Urban Interface	1,303	1,303 (0)**	1,303 (0)	0 (-1,303)	600 (-703)	1,303 (0)	1,303 (0)
Natural Preserve	164	164 (0)	164 (0)	0 (-164)	0 (-164)	164 (0)	164 (0)
Recreation	2,563	2,563 (0)	2,563 (0)	0 (-2,563)	0 (-2,563)	2,563 (0)	2,563 (0)
Watershed Protection	921	921 (0)	921 (0)	309 (-612)	0 (-921)	921 (0)	921 (0)

\*Size limit of harvesting for each forest function

\*\*Difference from the size limit

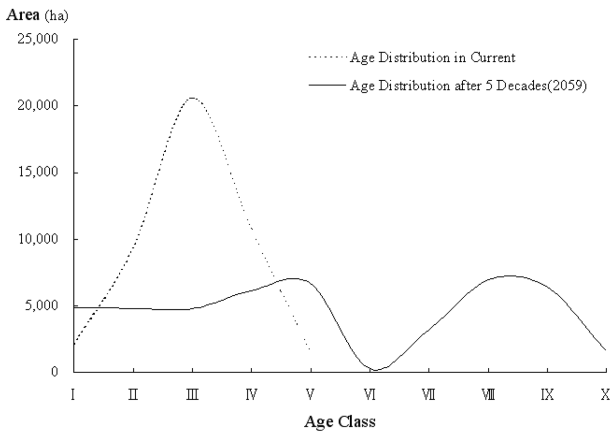


Figure 4. Distribution of age classes in current and after the 5 decades.

순위로 하는 대안1과 2의 경우에는 목표1 뿐만 아니라 다른 모든 경영목표들을 만족하였으며, 전체 목재수확량에 있어서도 다른 대안들에 비해 현저하게 높은 수준을 보이고 있었다. 특히 대안1의 경우에는 전체 계획기간동안 수확되는 목재량이 총 622만 $m^3$ 으로 가장 높았으며(Figure 3), 분기별 목재수확량도 평균 124만 $m^3$ 으로 대안2에 비해 안정적으로 유지되고 있어서(Figure 2), 6개 대안 가운데 가장 바람직한 경영안으로 최종 선정되었다.

최종 선정된 대안1을 적용할 경우, 계획기간 말인 2059년에 목재생산림의 영급구조가 균일하게 분포하였는데, 전체 산림의 영급구조는 어떻게 변화되는지 살펴보았다(Figure 4). 전체 산림의 영급구조 역시 I영급에서 X영급까지 VI영급을 제외하고는 대체로 균일하게 분포하는 것으로 나타났다. 계획기간 말에 VI영급의 면적이 작게 나타난 것은 현재 I영급의 면적이 작은 것에 기인한다. 즉 현재의 I영급 면적이 계획기간 말인 50년 후에 VI영급이 되는데, 현재 I영급 면적이 매우 작기 때문에 계획기간 말에도 면적이 작게 나타난 것이다. 하지만 앞으로 계획기간 이후의 경영계획을 수립하는 과정에서 벌채수확조절을 통해 보다 안정적인 영급구조로 전환할 수 있을 것이다.

### 결론

본 연구에서는 경제림육성단지를 보다 체계적으로 관리하고, 특히 지속가능한 산림경영을 이행하는데 문제가 되고 있는 불균형한 영급구조를 개선하기 위해서 충북영동군의 경제림육성단지를 대상으로 목표계획법을 이용한 최적경영기법을 제시하였다. 지속가능한 산림경영의 이행을 강화하기 위하여 연구대상지를 산림기능별로 구분하고, 각각의 기능별로 차별화된 시업기준을 적용하였으며(경영목표3), 특히 목재생산림의 영급분포를 지속가능한 구조로 개선하고(경영목표1), 분기별 목재생산량을 일정

하게 유지하는 한편(경영목표2), 목재수확량을 최대화할 수 있도록(경영목표4) 경영목표들을 수립하였다. 이러한 경영목표들의 우선순위를 다르게 하여 6개의 대안을 작성하고, 50년을 전체계획기간으로 하여 최적화모델을 분석한 결과, 목재생산림의 지속가능한 영급구조 유도(경영목표1)를 최우선 순위로 하는 대안1과 2가 가장 바람직한 경영대안으로 분석되었다. 대안1과 2는 최우선 순위인 목표1 뿐만 아니라 다른 경영목표들에 대해서도 매우 만족스러운 결과를 보여주었으며, 특히 총 벌채수확량에 있어서 다른 대안들에 비해 현저하게 높은 수준의 수확량을 제시하였다. 통계적으로는 대안1과 대안2의 차이를 찾을 수 없으나, 전체 계획기간동안 대안1의 총 수확량이 622만 $m^3$ 으로 가장 높았고, 분기별 목재수확량도 평균 124만 $m^3$ 으로 대안1이 대안2에 비해 안정적이어서 가장 바람직한 경영안으로 선정되었다. 최종 선정된 대안1을 적용하여 계획기간 말의 전체산림의 영급구조를 분석한 결과, 영급이 I영급에서 X영급까지 균일하게 분포하고 있었으며, 따라서 본 연구를 통해 제시된 최적화 모델 및 목표수확량이 연구대상지의 지속가능한 산림경영을 위해 적절한 방법론을 제시한 것으로 판단된다.

본 연구 결과, 충북 영동군의 경제림육성단지를 지속가능한 영급으로 유도하기 위해서는 매 분기(10년)별로 약 124만 $m^3$ 의 재적이 수확되어야 하는 것으로 나타났다. 따라서 ha당 평균축적을 300 $m^3$ 으로 가정하면, 산술적으로 매년 413 ha의 산림에서 벌채와 조림이 이루어져야 한다. 하지만 산림청에서 발표한 2008년도 산림자원분야 사업계획(산림청, 2008b)에 따르면 각 시군별로 평균 170 ha(총 21,653 ha)의 조림사업을 계획하고 있어서, 2.5배 가량의 사업량 확대가 요구된다. 물론 보다 현실적인 의사결정이 가능하도록 전체 계획기간을 장기간으로 설정하여 분기별 사업량을 조절하는 것이 가능하지만, 이 경우 지속가능한 산림경영에 문제가 되고 있는 불균형한 영급구조를 개선하는데 50년 이상의 오랜 시간이 걸린다는 단점이 있을 수 있다. 이러한 현실적인 제약에도 불구하고 본 연구는 우리나라 산림의 영급구조 개선을 위한 목표수확량을 산출했다는 점에서 큰 의미가 있으며, 앞으로 지속가능한 산림경영을 위한 관련 정책을 수립하는데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 인용문헌

1. 국립산림과학원. 2005. 지속가능한 산림자원관리 표준매뉴얼. 국립산림과학원, 연구신서 제5호, 289p.
2. 권오복. 1969. Linear programming에 의한 벌채량조절. 춘천농대연구논문집 3: 25-31.
3. 박영규, 권순덕, 이경학, 성규철, 김형호. 2006. 국립영림경영계획단위 산림기능구분도 작성. 국립산림과학원 연

- 구보고 06-04. 69p.
4. 산림청. 2007. 경제림육성단지 관리계획 수립지침. 19p.
  5. 산림청. 2008a. 제5차 산림기본계획 (2008-2017). 196p.
  6. 산림청. 2008b. 산림자원분야사업계획. 235p.
  7. 손영모, 이경학, 권순덕, 이우균. 2004. 주요 수종의 임목자원 평가 및 예측시스템. 국립산림과학원 연구보고 04-01: 125p.
  8. 영동균. 2007. 2007-2017 경제림육성단지 관리계획(충청북도 영동군 일원). 383p.
  9. 우종춘. 1991. Linear Programming에 의한 산림경영계획-잣나무 임분의 삼림수확계획을 중심으로. 한국임학회지 80(4): 427-435.
  10. 원현규, 김형호, 정세경, 우종춘. 2006. 정수계획법을 이용한 산림경영계획의 수립방안 연구. 한국임학회지 95(6): 729-734.
  11. 이상문, 백종현. 1995. 어퍼레이션 리썬치-경영과학적 기법과 그 응용. 삼영사. 486p.
  12. 장철수, 석현덕. 1995. 국유림 목재자원관리 모델 연구-목표계획법을 응용한 목재생산을 중심으로. 농촌경제 18(2): 31-44.
  13. 정세경, 손영모, 김형호, 서정호, 이경학, 이우균. 2006. 국유림 장기경영 계획기법 및 임분단위 사업의사결정 지원시스템 개발. 국립산림과학원 연구보고 06-09, 165p.
  14. 정주상, 박은식. 1993. 대단지 산림의 목재생산계획 분석을 위한 선형계획 실험전산모델에 관한 연구. 한국임학회지 82(3): 292-304.
  15. 주린원. 1984. 선형계획법을 이용한 수확조절에 관한 연구. 서울대학교 석사학위 논문.
  16. Buongiorno, J., Peyron, J.L., Houllier, F. and Bruciamacchie, M. 1995. Growth and management of mixed-species, uneven-aged forests in the French Jura: Implication for economic returns and tree diversity. Forest Science 41(3): 397-429.
  17. Charnes, A. and Cooper, W.W. 1961. Management Models and Industrial Application of Linear Programming. Vol 1, John Wiley & Sons, Inc.
  18. de Oliveira, F., Volpi, N.M.P. and Sangquetta, C.R. 2003. Goal programming in a planning problem. Applied Mathematics and Computation 140(2003): 165-178.
  19. Hotvedt, J.E. 1983. Application of linear goal programming to forest harvest scheduling. Southern Journal of Agricultural Economics 15(1): 103-108.
  20. Howard, A.F. and Nelson, J.D. 1993. Area-based harvest scheduling and allocation of forest land using methods for multiple-criteria decision making. Canadian Journal of Forest Research 23: 151-158.

---

(2009년 2월 24일 접수; 2009년 3월 23일 채택)