국유림 목재자원관리 모델 연구*

목표계획법을 응용한 목재생산을 중심으로

장 철 수** 석 현 덕***

1. 문제의 제기
2. 목재자원관리 모델
3. 적용사례
4. 요약 및 결론

1. 문제의 제기

우리 나라 국유림은 총산림면적의 21%, 총임목축적의 33.5%를 차지하는 등 단일 임업사업체로서 그의 비중은 막중하다. 특히 국유림의 규모, 자본, 기술, 노동력 등은 민유림에 비해 현저히 높은 생산력을 가지고 있어 장래 국내 임업활성화에 중요한 역할을 할 것으로 기대되고 있다. 그러나 국유림을 구성하고 있는 영급구조를 살펴보면 목재로서 상업적 가치가 있는 V영급 이상의 산림은 국유림면적의 10.6%에 불과하며, Ⅲ영급 이하의 유령림이 70%를 차지하는 불규칙한 영급구조를 가지고 있어 지속적인 육림투자가 요구되고 있는 실정이다.

절대녹화 완성 이후 국유림의 주요과제는 유령림 위주의 산림자원을 어떻게 효율적으로 경영·관리하여 장래 본격적으로 전개될 목재생산시대를 대비할 것이냐 하는 것이다. 목재생산은 임목이라고 하는 산림생산 기반시설물의 파괴를 전제로 하고 있다. 비록 임목이 재생산 가능한 자원이라고 하더라도 일단 파괴된 산림이 원상태로 복구되려면 장구한 시간과 막대한 투자자금, 노력이 소요되기 때문에 산림자원의 효율적 관리는 무엇보다 중요한 것이다. 특히 국민재산인 국유림의 경우 경영의 목적은 임산물의 보속적 공급, 공공재 생산과 국토 보존 및 국민복리증진에 있기 때문에 목재생산활동은 생태적인 균형을 유지하면서 목재 공급이 지속적으로 이루어지도록 해야 할 것이다. 그리고 현재 뿐만 아니라 미래의 산림조직, 이용, 관리문제를 동시에 고려하여 생산의 보속을 이룰 수 있도록 해야 할 것

* 본 논문은 「산림 100년 계획수립을 위한 기초연구」중 일부분을 논문형태로 수정 및 보완하였으며, 1995년 2월 24일 한국농업경제학회 동계학술대회에서 발표된 바 있음.
** 책임연구원
*** 부연구위원

이다.

산림자원의 효율적 관리문제는 언제, 어디서, 얼마나 많은 양의 목재를 생산할 것인가 하는 산림의 벌채량(수확량) 조절문제와 직결된다(南雲秀次郎과 木平勇吉, 1989). 과거에는 법정림(Normal Forest)[1]이라고 하는 이상적인 산림상태에 기초를 두고 산림의 허용벌채량을 결정하였다. 그러나 현실 산림은 이미 법정상태의 산림이 아니며, 여러 가지 서로 다른 수종들이 서로 다른 영급과 면적을 가지고 여러 곳에 산재해 있는 것이다. 또한 당시에는 주로 수계산에 의존하였던 관계로 계획자체는 1~2년의 극히 단기적인 생산계획만을 작성할 수 있었고, 이것에 의해 장래 산림이 어떻게 변화해 가는지를 예측한다는 것은 거의 불가능하였다.

세계 제2차대전 이후 전자계산기의 발달과 경영과학기법(Operations Research)이 임업부문에 도입되면서부터 장기계획 작성뿐만 아니라 장기계획에 의해 산림을 벌채 및 조림해 나갈 경우 현실림이 어떻게 변화해 갈 것인지 예측이 가능하게 되었다. 임업경영부문에서 가장 널리 사용되고 있는 경영과학기법으로 시뮬레이션, 동적계획법, 선형계획법, 목표계획법 등을 들 수 있으며 이들 가운데 목표계획법을 이용하여 만든 전산모델로는 GOAL(Bartlett와 Rope, 1975), MOP(Mendoza와 Rolfe, 1986) 등을 들 수 있다. 이러한 전산모델들이 널리 사용되고 있는 것은 일정한 경영목표를 달성하는데 있어서 한정된 자원을 가장 효율적으로 배분할 수 있다는 점이다. 또한 모델 구성이 비교적 용이하며, 민감도 분석을 함으로써 능동적으로 여건변화에 대처할 수 있다는 점이다. 특히 목표계획법의 경우 Charnes와 Cooper(1961), Field(1973), Dyer외 4인(1979), Dykstra(1984) 등 기존의 연구들에서 언급하였듯이 여러 가지 서로 다른 목적을 가진 의사결정문제를 단일 목적함수내에서 동시에 취급할 수 있는 장점을 가지고 있어 임업부문에서의 적용 가능성은 매우 넓다고 하겠다.

Bell(1976), Bottoms와 Bartlett(1975), Dane외 2인(1977), Field(1973), Schuler외 2인(1977), Romero와 Rehman(1989) 등이 토지 이용문제, 자원 배분문제, 다목적 임업경영 및 조림계획문제에 Field(1980), Kao와 Brodie(1979), Rustagi(1976) 등은 목재생산문제에 목표계획법을 적용한 바 있다. 일본에서는 黑川泰亨(1981), 野上啓一郎(1991) 등이 임업경영계획문제에 목표계획법을 응용 적용한 바 있다. 우리 나라에서는 Chang(1990, 1991), 그리고 장외 2인(1993)이 목재생산 및 다목적 산지이용문제에, 그리고 협업림 목재생산계획을 수립하는데 있어서 선형계획법의 보완 수법으로 목표계획법을 사용한 바 있다.

본 연구의 목적은 목표계획법을 응용하여 목재자원 관리모델을 작성하고, 이를 국유림 목재생산계획에 적용분석해 봄으로써 장래 효율적인 국유림 경영관리를 위한 기초자료를 제공하는 데 있다.

2. 목재자원관리 모델

[1] 법정림이란 보속적인 재적 수확을 실현할 수 있는 조건을 완전히 구비한 산림을 말하며, 법정상태요건으로는 법정영급분배, 법정임분배치, 법정생장량, 법정축적 등을 들 수 있다.

경영의 대상인 산림은 자연력에 크게 의존하고 있다. 규칙적인 산출이 발생하는 산림생산구조를 갖추지 않으면 지속적인 투자와 소득을 보장할 수 없게 된다. 자연에 순응하면서 이것을 지속적으로 이용한다는 보속성원칙은 수익성을 실현하기 위한 기본전제가 된다.

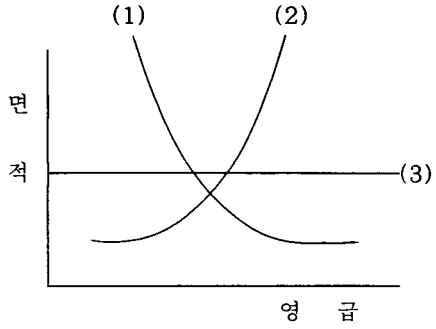
먼저 산림생장과 수확(벌채)과의 관계를 일반화한 수식으로 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

(1)[2] $dx/dt = I(x) - H(t)$

여기서, $x=x(t)$로서 시간 t에 있어서 산림축적을 나타내며, $I(x)$는 산림축적의 증가율 즉, 생장률로서 산림축적의 크기에 의존한다. $H(t)$는 시간 t에 있어서 수확률(벌채율)을 나타낸다. 수확률이 생장율 보다 클 경우 즉, $H(t) > I(x)$일 때는 $dx/dt < 0$이 되므로 산림축적은 감소하게 되며, 그 반대인 $H(t) < I(x)$일 경우는 $dx/dt > 0$이 되므로 산림축적은 증가하게 된다. 그리고 수확률과 생장률이 같게 되는 경우인 $H(t)=I(x)$일 때는 $dx/dt = 0$이 되어 균형상태를 이루게 된다. 바꾸어 말하면 생장률 $I(x)$는 산림축적수준 x를 유지하면서 수확될 수 있는 보속수확량에 해당된다.

여기서 산림 생장률은 현존 산림의 구성상태 즉, 영급의 배치 상황이 어떻게 되어있느냐에 의존하게 된다. 〈그림 1〉에서 보듯이 산림의 상태는 세 가지로 나타낼 수 있다.

그림 1 **이론적 산림상태의 모식도**



(1) 유령림 위주의 산림
(2) 노령림 위주의 산림
(3) 법정영급산림

만약 산림의 생산능력(지위)이 동일하다고 가정하면 산림이 유령림 위주의 영급분포로 되어 있는 경우 전체적인 생장률은 높게 될 것이다. 그리고 노령림 위주의 영급 분포로 되어 있는 경우 전체적인 산림 생장률은 낮게 될 것이다. 법정영급 분배를 가지고 있는 산림인 경우 생장율은 벌기평균생장률과 동일하게 되므로 생장과 벌채의 균형을 통한 생산의 보속상태를 유지할 수 있게 된다.

그러나 법정영급 분배를 가지고 있는 산림은 현실적으로 찾아보기 어렵고, 대부분이 유령림상태 또는 노령림상태의 산림이라고 할 수 있다. 노령림에서는 이미 축적이 過熟상태에 있기 때문에 허용 벌채량을 증가시킴으로써 자본 및 노동의 투입에 따른 비용을 충분히 상쇄시킬 수가 있으나 유령림인 경우는 축적이 未熟상태에 있기 때문에 산출물만 가지고는 벌채에 따른 자본과 노동투입비용을 상쇄하기 어렵다. 특히 우

[2] Clark(1976)은 (1)식을 생물자원의 이용을 위한 일반모델로 사용하였으며, 구체적인 내용은 그의 저서인 「Mathematical Bioeconomics:the optimal management of renewable resources」를 참조하기 바람.

표 1 **산림 생장 및 벌채모델**

분기	구 분	영급										
		1	2	3	....	m-3	m-2	m-1	m	.	.	.
1	현존면적 벌채면적	A_{11} X_{11}	A_{12} X_{12}	A_{13} X_{13}	....	A_{1m-3} X_{1m-3}	.	.	.	.	.	.
2	잔존면적 벌채면적	$\sum_{j=1}^{m-3} X_{1j}$ X_{21}	$A_{11} - X_{11}$ X_{22}	$A_{12} - X_{12}$ X_{23}	....	$A_{1m-4} - X_{1m-4}$ X_{2m-3}	$A_{1m-3} - X_{1m-3}$ X_{2m-2}	.	.	.	.	.
3	잔존면적 벌채면적	$\sum_{j=1}^{m-2} X_{2j}$ X_{31}	$\sum_{j=1}^{m-3} X_{1j} - X_{21}$ X_{32}	$A_{11} - X_{11} - X_{22}$ X_{33}	....	$A_{1m-5} - X_{1m-5} - X_{2m-4}$ X_{3m-3}	$A_{1m-4} - X_{1m-4} - X_{2m-3}$ X_{3m-2}	$A_{1m-3} - X_{1m-3} - X_{2m-2}$ X_{3m-1}	.	.	.	.
4	잔존면적 벌채면적	$\sum_{j=1}^{m-1} X_{3j}$ X_{41}	$\sum_{j=1}^{m-2} X_{2j} - X_{31}$ X_{42}	$\sum_{j=1}^{m-3} X_{1j} - X_{21} - X_{32}$ X_{43}	....	$A_{1m-6} - X_{1m-6} - X_{2m-5} - X_{3m-4}$ X_{4m-3}	$A_{1m-5} - X_{1m-5} - X_{2m-4} - X_{3m-3}$ X_{4m-2}	$A_{1m-4} - X_{1m-4} - X_{2m-3} - X_{3m-2}$ X_{4m-1}	$A_{1m-3} - X_{1m-3} - X_{2m-2} - X_{3m-1}$ X_{4m}	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

리 나라와 같이 유령림 위주의 영급배분구조를 가지고 있는 경우 정상적인 경영이 이루어지기 어려운 이유도 여기에 있는 것이다. 결국 노령림 상태인 경우는 당분간 $H(t) \geq I(x)$를 유지함으로써 법정영급분배상태로의 유도가 필요하며, 유령림상태인 경우는 $H(t) < I(x)$를 유지하여 법정영급분배상태로의 유도가 필요하게 된다.

법정영급배분상태로 산림을 유도하기 위한 관리모델을 만들기 위하여 먼저 산림 생장 및 벌채과정을 살펴 보기로 하자. 지금 산림이 1영급 임분이 A_1 ha, 2영급 임분이 A_2 ha, 3영급 임분이 A_3 ha, ... 등으로 구성되어 있다고 가정해 보자.

그리고 벌채임분은 즉시 재조림하여 갱신하는 것으로 가정하자. 이들 임분중 어떤 임분은 벌채되어 새로운 1영급 임분으로 조성될 것이고, 어떤 임분은 벌채되지 않고 계속 생장하여 다음 영급으로 영급 이전이 일어날 것이며, 또한 어떤 임분은 일부만 벌채되어 새로운 1영급 임분으로 조성되고 벌채되지 않고 남아있는 임분은 그 다음 영급으로 영급 이전이 일어나게 될 것이다. 따라서 전체 산림의 모습은 이와 같이 복잡한 생장 및 벌채과정을 통하여 새로운 형태로 변해가게 될 것이다.

상기한 내용을 수식으로 나타내기 위해 먼저 올해 1영급 임분에서 X_1 ha, 2영급 임분에서 X_2 ha, 3영급 임분에서 X_3 ha, ... 등이 벌채된다고 가정하면 총 벌채면적은 $X_1 + X_2 + X_3 + \ldots$이 되며, 이들 면적은 바로 조림되어 다음 해에 새로운 1영급 임분을 구성하게 될 것이다.

그리고 벌채되지 않고 남게 되는 잔존면적들은 다음 해에 새로운 상위영급을 구성하게 될 것이다.

즉, 1영급 임분중 잔존면적인 $A_1 - X_1$은 다음 해에 2영급 임분으로, 2영급 임분중 잔존면적인 $A_2 - X_2$는 3영급 임분으로, 그리고 3영급 임분중 잔존면적인 $A_3 - X_3$는 4영급 임분이 될 것이다. 〈표 1〉은 계속 반복되는 산림생장과 벌채과정을 알기 쉽게 표로 나타낸 것이다. 이러한 산림생장 및 벌채과정은 산림이 타용도로 전용하기 위해 일시에 모든 면적이 벌채 이용되지 않고 목재생산을 위해 사용되는 한 계속 반복될 것이다. 산림생장과 벌채가 무한히 계속되는 과정을 우리가 어떻게 조절할 것이냐에 따라서 생산되는 목재량과 미래 산림의 모습은 달라지게 될 것이다. 따라서 얼마나 많은 목재를 생산할 것인가, 그리고 미래 산림은 어떠한 모습으로 가져갈 것인가에 대한 목표가 설정된다면, 상술한 산림생장 및 벌채과정[3]을 이용하여 목재생산을 위한 관리모델은 다음과 같이 나타낼 수 있을 것이다.

• 목적함수 :

(2) $\text{Min. } \{P_1(g^-_i + g^+_i),\ P_2(d^-_1 + d^+_1 + d^-_h + d^+_h)\}$

• 목표제약 :

(3) $\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} C_{ij} X_{ij} + g_i^- - g_i^+ = b_i H_i$

(분기별 벌채량)

(4) $\sum_{j=1}^{m} X_{ij} + d_1^- d_1^+ = D1$

(1영급의 법정영급면적)

(5) $\sum_{j=1}^{m} X_{n-ij} - \sum_{j=1}^{m} X_{kj} + d_h^- - d_h^+ = D_h$

(법정 영급면적, 단, $k=n-i+j$, $h=2,\ldots,q$, $i=1,\ldots,n-1$)

• 자원제약 :

(6) $\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} X_{ij} = A_{ij}$ (총면적)

• 비부제약 :

(7) $X_{ij} \geq 0$

C_{ij} : j영급 임분이 i분기에 벌채될 경우의 단위 면적당 재적
X_{ij} : j영급 임분이 i분기에 벌채될 경우의 면적
H_i : i분기의 생장량
b_i : i분기의 벌채율
h : 법정영급수
g^+ : 초과달성편차
g^- : 미달성편차
P : 우선순위

(2)식은 목적함수로서 우선순위에 따른 편차의 크기를 최소화하는 것으로 여기서는 분기별 목재생산목표를 1순위, 그리고 계획기간말의 법정영급배치를 2순위로 하여 나타낸 것이다. (3)식은 분기별 목재생산목표를 나타내며, (4)식은 n+1분기에 있어서 1영급으로 존재하게 되는 면적으로 n분기에 벌채된 면적이 법정영급면적의 크기와 같아야 됨을 나타낸다. (5)식은 n-i분기까지의 벌채면적에서 n-i+1분기부터 n분기까지 벌채된 면적을 뺀 나머지 면적이 법정영급면적을 가져야 됨을 나타낸다. 그리고 (6)식은 자원제약으로 계획분기 동안 벌채 이용될 면적의 크기는 초기영급의 총면적과

[3] Johnson과 Scheurman(1977)은 이와 같은 산림생장 및 벌채과정을 Model II로 분류하고 있음. 자세한 내용은 "Techniques for Prescribing Optimal Timber Harvest and Investment Under Different Objectives-discussion and synthesis", For. Sci. Monograph 18을 참조하기 바람.

표 2 국유림 시업지의 수종별 영급별 면적 분포 상황

단위: ha

구 분	영 급						합 계
	I	II	III	IV	V	VI	
침 엽 수	95,538	109,134	72,693	60,078	11,742	5,188	354,373
활 엽 수	22,394	96,705	146,870	99,966	54,946	8,531	429,412
혼 효 림	18,575	82,211	91,368	64,277	13,889	5,373	275,693
합 계	136,507	288,050	310,931	224,321	80,577	19,092	1,059,478

주: 한 영급의 길이는 10년임.
자료: 산림청, 「임업통계연보」, 1993.

같아야 됨을 나타내며, (7)식은 의사결정변수가 부의 값을 가질 수 없으므로 비부제약조건을 나타낸다.

3. 적용사례

3.1 분석에 사용된 자료

이 연구에 사용된 자료는 산림청 소관 국유림의 시업지를 대상으로 하였다(표 2 참조). 수종별 장래 목재생산량을 추정하기 위하여 해방 이후 현재까지 식재되어 온 수종 및 식재면적은 산림청에서 발행한 임업통계연보를 이용하였다(수종명, 수종구성, 면적 등). 혼효림의 경우 영림계획예규집에 의한 정의에 의거하여 침엽수와 활엽수의 면적을 50 : 50, 25 : 75, 75 : 25로 하여 각 수종의 면적을 추정하였다. 활엽수의 경우 현행 표준수확표상에서 수종을 구분할 수 없으므로 상수리의 표준수확표[4]를 사용하였다.

[4] 임업연구원, 「미입목지의 주요수종 수확예측」, 임업연구원 연구자료 제42호, 1989.

침엽수는 표준수확표상에서 구분이 가능한 수종별로 면적을 합산하고 〈표 3〉의 생장회귀식을 이용하여 각 수종의 장래 수확량을 예측하였다. 임목도는 임업통계연보의 수종별 축적과 표준임분수확표상의 수종별 축적을 이용하여 침엽수와 활엽수의 평균 임목도를 구한 다음(0.64), 각 수종별 장래 임분의 생장예측을 위해 사용하였다.

3.2 전제조건 및 분석방법

모형 구성의 전제조건은 다음과 같다.

① 경영목적은 계획기간동안 지속적인 목재생산과 계획기간말의 법정영급 배치에 있다.

② 벌채된 임분은 즉시 동일수종으로 갱신된다.

③ 계획기간의 길이는 국유림 평균 벌기령인 60년으로 한다.

④ 벌채되지 않고 남아있는 임분은 100% 상위영급으로 이전된다.

⑤ 한 분기의 길이는 영급의 길이와 동일한 10년으로 한다.

⑥ 벌채갱신된 임분은 계획기간 동안 재벌채되지 않는다.

표 3 **수종별 수확량 예측을 위한 생장회귀식**

수 종	회 귀 식	적 합 도
낙 엽 송	Ln V = 3.833783 + 0.883325Ln T - 1.21893(1/T) (9.53) (4.98)	R^2 = 0.99
잣 나 무	Ln V = 4.174140 + 0.706355Ln T - 1.18314(1/T) (21.15) (14.09)	R^2 = 0.99
상 수 리	Ln V = 3.373247 + 0.860262Ln T - 0.43977(1/T) (21.03) (3.61)	R^2 = 0.99
리 기 다	Ln V = 3.254634 + 1.140134Ln T + 0.47650(1/T) (17.28) (2.87)	R^2 = 0.99
삼 나 무	Ln V = 4.121077 + 0.718976Ln T - 0.48437(1/T) (21.66) (5.50)	R^2 = 0.99
편 백	Ln V = 4.097723 + 0.567010Ln T - 0.63910(1/T) (17.66) (7.52)	R^2 = 0.99
강 송	Ln V = 4.513413 + 0.573955Ln T - 1.51260(1/T) (13.86) (14.54)	R^2 = 0.99

주: 사용된 수종별 지위지수- 낙엽송 14, 잣나무 14, 상수리 16, 리기다 16 삼나무 12, 편백 10, 강송 10 이며, 괄호안의 수치는 t값을 나타냄.

표 4 **대안별 벌채율의 구성**

단위: %

구 분 \ 분 기	1	2	3	4	5	6
대안 1	15	15	15	15	15	15
대안 2	15	20	25	30	35	40
대안 3	15	25	35	45	55	65
대안 4	15	30	45	60	75	90

⑦ 유령림(I-III영급)은 벌채하지 않는다.

벌채율은 연간 생장량에 대한 벌채량의 비율로 나타냈으며, 기본 벌채율은 영림계획예규집규정(국유림)[5]에 따라 15%로 하였다. 그리고 벌채율의 변화가 목재 생산량과 임분영급 배치에 미치는 영향을 분석하기 위하여 〈표 4〉와 같은 대안을 작성하여 분석하였다. 즉, 대안 1은 현행 국유림 벌채율규정인 연년생장량에 대한 15%의 벌채율을 유지하는 것이고, 대안 2~4는 1분기까지는 현행 벌채율을 유지하고, 매10년마다 벌채율을 5%, 10%, 15%로 각각 증가하도록 하였다.

3.3 결과 및 고찰

먼저 계산을 실행하기 전에 상술한 전제조건을 고려하여 목표계획모형을 제시하면 다음과 같다.

• 목적함수:

$$\text{Minimize} \left\{ \sum_{i=1}^{6}(g_i^- + g_i^+), \sum_{h=1}^{6}(d_h^- + d_h^+) \right\}$$

[5] 산림청, 「영림계획예규집」, 산림청예규 제373호 및 제 374호, 1992.

• 목표제약:

- 분기별 벌채량 목표제약

1분기: $\sum_{j=4}^{6} C_{1j}X_{1j} + g_1^- - g_1^+ = b_1H_1$

2분기: $\sum_{j=4}^{7} C_{2j}X_{2j} + g_2^- - g_2^+ = b_2H_2$

3분기: $\sum_{j=4}^{8} C_{3j}X_{3j} + g_3^- - g_3^+ = b_3H_3$

4분기: $\sum_{j=4}^{9} C_{4j}X_{4j} + g_4^- - g_4^+ = b_4H_4$

5분기: $\sum_{j=4}^{10} C_{5j}X_{5j} + g_5^- - g_5^+ = b_5H_5$

6분기: $\sum_{j=4}^{11} C_{6j}X_{6j} + g_6^- - g_6^+ = b_6H_6$

- 법정영급면적 목표제약

Ⅵ영급 : $\sum_{j=4}^{6} X_{1j} + d_6^- - d_6^+ = D_6$

Ⅴ영급 : $\sum_{j=4}^{7} X_{2j} - X_{61} + d_5^- - d_5^+ = D_5$

Ⅳ영급 :

$$\sum_{j=4}^{8} X_{3j} - X_{51} - X_{62} + d_4^- - d_4^+ = D_4$$

Ⅲ영급 : $\sum_{j=4}^{9} X_{4j} - X_{41} - X_{52} - X_{63} + d_3^- - d_3^+ = D_3$

Ⅱ영급 : $\sum_{j} = 4^{10} X_{5j} - X_{31} - X_{42} - X_{53} - X_{64} + d_2^- - d_2^+ = D_2$

Ⅰ영급 : $\sum_{j=4}^{11} X_{6j} + d_1^- - d_1^+ = D_1$

단, 상기한 수식에서 X_{61}, X_{51}, X_{62}, X_{41}, X_{52}, X_{63}, X_{31}, X_{42}, X_{53}, X_{64} 는 전제조건 ⑥과 ⑦에 의해 각각 0이 된다.

자원제약:

Ⅰ영급면적; $A_1 - X_{44} - X_{55} - X_{66} = 0$

Ⅱ영급면적; $A_2 - X_{34} - X_{45} - X_{56} - X_{67} = 0$

Ⅲ영급면적; $A_3 - X_{24} - X_{35} - X_{46} - X_{57} - X_{68} = 0$

Ⅳ영급면적 ; $A_4 - X_{14} - X_{25} - X_{36} - X_{47} - X_{58} - X_{69} = 0$

Ⅴ영급면적 ; $A_5 - X_{15} - X_{26} - X_{37} - X_{48} - X_{59} - X_{70} = 0$

Ⅵ영급면적 ; $A_6 - X_{16} - X_{27} - X_{38} - X_{49} - X_{60} - X_{71} = 0$

비부제약: $X_{ij} \geq 0$

표 5 **대안별 목재 생산 목표량과 편차량**

단위: m^3

구 분 \ 분 기		1	2	3	4	5	6
대안 1	목표량	4,693,073	4,693,073	4,693,073	4,693,073	4,693,073	4,693,073
	편차량	-	-	-	-	-	-
대안 2	목표량	4,693,073	6,257,430	7,821,788	9,836,146	10,950,503	12,514,861
	편차량	-	-	-	-	-	-
대안 3	목표량	4,693,073	7,821,788	10,950,503	14,079,219	17,207,933	20,336,654
	편차량	-	-	-	-	-	-
대안 4	목표량	4,693,073	9,836,146	14,079,219	18,772,295	23,465,361	28,158,440
	편차량	-	-	-	-	-	-

상기한 모형에 의하여 제1목표인 분기별 목재 생산목표량과 이에 대한 달성 정도를 살펴 보면 《표 5》와 같다. 표에서 보듯이 각 대안별로 설정한 분기별 목재 생산목표량은 정확히 달성되었으며, 미달성과 초과 달성에 따른 편차는 발생하지 않고 있다. 대안별 목재생산량을 살펴 보면 현행 국유림 벌채율인 연년생장량의 15%(대안 1)를 유지할 경우 매분기마다 4,693,073m^3(매년 469,307.3m^3)을 계획기간동안 동량 생산하게 된다.

1분기동안 벌채율을 현행 국유림 벌채율을 유지하고 그 이후 분기부터는 5%, 10%, 15%로 벌채율을 증가시킨 대안 2, 3, 4에서는 2분기동안 최소 6,257,430m^3(매년 625,743m^3)에서 최대 9,836,146m^3(매년 983,614.6m^3)을 생산하게 된다. 그리고 계획기간말인 6분기동안에는 최소 12,514,861m^3(매년 1,251,486.1m^3)에서 최대 28,158,440m^3(매년 2,815,844m^3)을 생산하게 된다.

이와 같은 목재 생산목표량의 달성과는 달리 〈표 6〉에서 보듯이 제2목표인 법정영급 배치에 대하여는 모두 미달성량이 발생하고 있다. 즉, 계획기간말의 법정영급면적은 I-VI영급까지 동일한 면적인 176,579.66ha이나 대안별로는 최소 31,884.06ha에서 최대 151,840.641ha만큼의 차이를 보이고 있다.

대안 1에서와 같이 벌채율이 낮을수록 목표값에 대한 미달성량은 많아지며 대안 4와 같이 벌채율이 높아질수록 목표값에 대한 미달성량은 작아지고 있는 것이다. 현행 국유림 벌채율인 연년생장량에 대한 15%(대안 1)를 장래에도 계속 유지할 경우 I영급 임분면적은 법정영급면적인 176,579.66ha에서 151,840.64ha가 부족한 24,739.02ha가 존재하게 된다. 그러나 대안 4에서와 같이 1분기 동안 현행 벌채율을 유지하고, 매10년마다 15%씩 벌채율을 증가시킬

표 6 대안별 법정영급 배치달성 정도

단위: ha

구분 \ 영급		I	II	III	IV	V	VI
법정영급면적		176,579.66	176,579.66	176,579.66	176,579.66	176,579.66	176,579.66
대안 1	달성량	24,739.02	30,339.38	38,941.10	38,941.12	38,941.12	38,917.09
	편차량	151,840.64	146,240.28	137,638.56	137,638.54	137,638.54	137,662.57
대안 2	달성량	65,970.69	66,802.44	75,604.21	64,901.84	51,921.47	38,917.10
	편차량	110,608.97	109,777.22	100,975.45	111,677.82	124,658.19	137,662.56
대안 3	달성량	96,351.72	104,857.78	110,149.88	90,862.59	64,901.84	38,917.10
	편차량	80,227.94	71,721.88	66,429.78	85,717.07	111,677.82	137,662.56
대안 4	달성량	131,503.73	132,583.33	144,695.60	116,823.30	77,882.21	38,917.09
	편차량	45,075.93	43,996.33	31,884.06	59,756.36	98,697.45	137,662.57

주: 편차량은 미달성 편차량을 의미함.

경우 I영급 임분면적은 법정영급면적(176,579.66ha)에서 45,075.93ha가 부족한 131,503.73ha가 존재함으로써 목표값에 대한 미달성 편차의 크기가 작아지게 된다. 즉, 그만큼 법정영급면적에 가까워진다는 것이다. 벌채율의 증감에 따른 영급별 면적 자원의 이용 상황을 살펴 보면 〈표 7〉과 같다. 표에서 보는 바와 같이 벌채율의 증감은 현존 영급별 면적에 대한 미이용량의 크기를 감소시키거나 증가시키게 된다. 예를 들어 I영급임분의 현존면적 136,507ha에서 대안 1에 의할 경우 76,248.65ha만 벌채 갱신되며, 나머지 60,258.35ha는 벌채되지 않고 잔존하게 된다. 대안 2에 의할 경우 133,999.63ha가 벌채 갱신되며, 나머지 2,507.37ha는 벌채되지 않고 잔존하게 된다. 반면에 대안 3과 4의 경우 I영급 임분과 II영급 임분의 현존면적이 모두 벌채 갱신되고 있다. 결국 벌채율의 증가는 영급별 미이용면적(잔존면적)을 감소시키며, 반대로 벌채율의 감소는 영급별 미이용면적을 증가시키게 된다는 것을 알 수 있다.

이와 같이 벌채되지 않고 잔존하게 되는 영급별 미이용면적은 상위 영급으로 이전하게 되므로 장래 영급구조는 벌채 갱신된 면적에 의해 조성된 새로운 영급과 벌채되지 않고 잔존하고 있는 면적이 상위 영급으로 이전한 영급들과 함께 산림은 전혀 새로운 형태의 영급구조를 갖게 될 것이다. 이것을 그림으로 나타낸 것이 〈그림 2〉이다. 〈그림 2〉는 벌채 갱신되어 새로운 영급을 구성한 면적을 나타내는 〈표 6〉과 벌채되지 않고 잔존한 면적들 〈표 7〉이 상위영급으로 이전함에 따라 구성한 영급들을 모두 나타낸 것이다. 즉, 〈표 7〉에서 현재 I영급임분 면적 136,507ha에서 대안 1에 의할 경우 벌채 갱신되지 않고 남아 있는 60,258.35ha는 계획기간말(6분기후)에는 VII영급 임분으로 이전하게 되며, 현재 II영급 임분면적 288,050ha에서 미이용된 231,338.08ha는 계획기간말에는 VIII영급임분으로 이전하게 된다. 그리고 현재 V영급과 VI영급 임분면적인 80,577ha와 19,092ha는 계획기간동안 벌채이용되지 않고 잔존하여 계획기간말에는 최노영급인 XI영급 임분과 XII영급 임분을 각각 구성하게 된다.

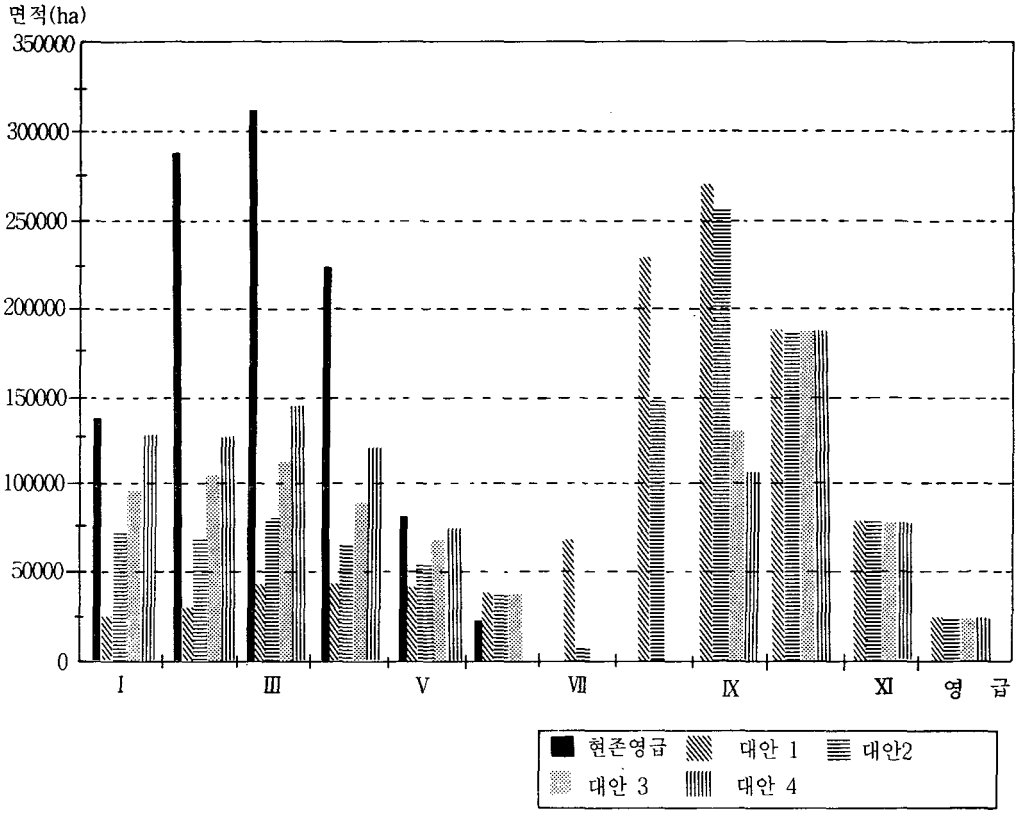
따라서 대안 1과 대안 2에 의할 경우 장래 임분영급구조는 I영급 임분에서부터 X

표 7 **대안별 · 영급별 면적의 미이용량**

단위: ha

구 분 \ 영 급	I	II	III	IV	V	VI
면 적	136,507	288,050	310,931	224,321	80,577	19,092
대안 1	60,258.35	231,338.08	271,989.9	185,403.89	80,577	19,092
대안 2	2,507.37	148,770.45	259,009.52	185,403.89	80,577	19,092
대안 3	-	-	131,999.84	185,403.90	80,577	19,092
대안 4	-	-	110,932.93	117,037.76	80,577	19,092

그림 2 **대안별 장래 임분영급배분구조**



II영급 임분이 모두 존재하면서 VIII영급과 IX영급 임분이 많은 노령림 위주의 산림 형태가 될 것이다. 대안 3과 대안 4에 의할 경우 장래 산림의 모습은 VII영급 임분과 VIII영급 임분을 제외한 I영급 임분에서부터 XII영급 임분이 존재하면서 상술한 대안 1과 2에서 나타났던 IX영급과 X영급의 산림면적이 감소하고, 목표영급인 I~VI영급의 면적이 증가하여 균형상태의 산림으로 변화하는 산림형태가 될 것이다. 현재 유령림 위주의 영급구조를 가지고 있는 우리 나라 산림에 있어서 낮은 벌채율의 적용은 결과적으로 노령림 위주의 영급구조를 갖는 산림으로 가져갈 공산이 매우 크다고 하겠다. 따라서 국유림에서 취하고 있는 절벌정책 즉, 연년생장량의 15% 내외에서 벌채량을 결정하는 것은 단순히 자원의 비축뿐만 아니라 궁극적으로는 벌기령의 연장과 현재 소경재 위주의 목재생산구조를 장래에는 대경재 위주로 가져간다는 의미를 함축하고 있는 것으로 생각된다.

4. 요약 및 결론

이 연구에서는 이론적인 산림생장 및 벌채과정을 목표계획법으로 모델화하여 국유림 목재생산관리모델을 제시하고 적용해 보았다. 목표로서는 분기별 목재생산목표량의 달성과 법정영급배치를 선택하였으며, 벌채

량을 조절하는 4가지 대안을 제시하여 벌채량의 증감이 목재생산, 법정영급배치, 자원이용, 장래 목재생산구조 등에 미치는 영향을 분석하였다. 제1목표로 설정한 분기별 목재생산목표량의 달성에 대하여는 초과 또는 미달성량이 없이 모두 목표값을 달성하는 것으로 나타났다. 대안 1인 현행 국유림벌채율(연년생장량의 15%)을 장래에도 계속 적용할 경우 매 분기마다 4,693,073m^3(매년 469,307.3m^3)를 동량 생산할 수 있으며, 계획 1분기동안은 국유림 벌채율을 유지하고, 그 이후 분기부터는 벌채율을 5%, 10%, 15%로 증가시킨 경우(대안 2, 3, 4) 2분기동안 최소 6,257,430m^3(매년 625,743m^3)에서 최대 9,836,146m^3(매년 983,614.6m^3)를 생산할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 제2목표인 법정영급 배치(영급당 176,579.66ha)는 벌채율의 증감에 따라 목표값에 대한 미달성량이 작거나 크게 나타났다. 즉, 대안 1의 경우 최소 137,662.57ha에서 최대 151,840.64ha의 미달성량을 보인 반면 벌채율이 큰 대안 4에서는 최소 31,884.06ha에서 최대 137,662.57ha의 미달성량을 보여 주고 있다.

한편 벌채율의 증감에 따른 자원(면적)이용 상황을 살펴 보면 대안 1의 경우 최소 19,092ha에서 최대 271,989.9ha의 산림면적이 미이용되고 있는 반면 대안 4에 의할 경우 최소 19,092ha에서 최대 117,037.76ha의 산림면적이 미이용되고 있는 것으로 나타났다. 결국 벌채율의 증가는 산림면적의 미이용량을 감소시키며, 벌채율의 감소는 산림면적의 미이용량을 증가시키는 결과를 가져오게 되며, 이러한 자원이용 상황은 목표로 하는 목재생산목표량과 법정영급 배치의 달성 정도에 직접적인 영향을 미치게 된다는 것을 알 수 있다.

이러한 벌채율의 증감은 장래의 목재생산구조(영급배치)를 현재와는 전혀 다른 상태로 유도하게 된다. 대안 1과 2에 의할 경우 장래 산림은 I영급에서 XII영급 임분까지 모든 임분이 존재하면서 노령림 위주의 산림형태가 되며, 대안 3과 4에 의할 경우 장래 산림은 대안 1과 2의 경우와는 달리 노령림의 산림면적이 줄어들면서 목표영급인 I~VI영급이 면적이 증가하는 비교적 균형을 유지해 가는 산림이 될 것이다. 상술한 바와 같이 국유림에서의 절벌정책(대안 1)은 낮은 목재 생산과 함께 장래 산림형태는 노령림 위주의 생산구조를 가져오게 되고, 궁극적으로는 단순히 자원의 비축이라는 성격을 넘어서 장래의 목재생산을 현재의 소경재 생산에서 대경재 생산으로 가져가고자 하는 의미를 내포하고 있는 것으로 생각된다.

국유림 경영목적은 국가소득의 증대보다는 사회적 편익의 증대에 있다. 그러므로 국유림에서의 벌채율은 국유림 경영에서 발생하는 여러 가지 편익이 지역주민의 소득과 복지에 기여하도록 현재 뿐만 아니라 미래의 산림모습을 고려하여 결정되어야 할 것이다. 즉, 현재와 같이 낮은 벌채율로 고정시키기 보다는 목재자원 관리에 대한 장기 목표를 분명히 하면서 장래의 산림모습, 목재자원의 축적상태, 목재시장여건, 국유림에 대한 사회적 수요 등을 감안하여 탄력적인 조정이 가능하도록 법적·제도적 장치를 마련해야 할 것으로 생각된다.

본 모델에 의할 경우 산림관리를 위해 벌

채율이 결정되면 산림으로부터 어떤 영급의 임분이 언제 얼마나 벌채되고, 갱신되는지, 그리고 현재의 산림이 벌채율의 크기에 따라 장래 어떠한 모습으로 변화해 가게 되는지 등에 대한 예측이 가능하게 된다. 이 연구에서는 산림의 주벌만을 고려하여 목재생산관리모델을 작성하였으나 간벌이나 산림무육 등을 모델화하는 연구가 심도있게 진행된다면 인력, 예산, 투자계획 등을 목재생산과 결부하여 작성할 수 있으므로 좀 더 실질적인 국유림 자원관리가 이루어질 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

산림청, 「영림계획예규집」, 산림청예규 제 373호, 제374호, 1992.

석현덕, 장철수, 「산림 100년 계획수립을 위한 기초연구」, 산림청, 1994.

임업연구원, 「미입목지의 주요수종 수확 예측」, 임업연구원 연구자료 제42호, 1989.

장철수, 이광원, 장우환, "산림자원의 최적 배분 모형 개발에 관한 연구," 한국농촌경제연구원 농촌경제, 1993, 16(3): 55~67.

南雲秀次郎, 木平勇吉 監修, 「森林の許容伐採量: 世界18カ國考え方」, 日本林業調査會, 1989.

黑川泰亨, "林業經營計劃に對する目標計劃法の利用について," 日本林學會誌, 1981, 63(4): 144~149.

野上啓一郎, "林業經營計劃とフアシイ目標計劃法," 日本林學會誌, 1991, 73(1):34~39.

Bell, E. F., "Goal Programming for Land Use Planning," Pacific Northwest Forest and Range Exp. Station, USDA Forest Service, Portland, OR. General Tech. Rep. PNW-53, 1976.

Bartlett, E. T., K. E. Bottoms, and R. P. Pope, *GOAL:Multiple Objective Programming*, Range Science Series No. 27. Range Science Department, College of Forestry and Natural Resources, Colorado State University, 1975.

Bottoms, K. E., and E. T. Bartlett, "Resource Allocation through Goal Programming," J. of Range Management, 1975, 28 : 442~447.

Chang, C. S., "The Use of A Multi-Criteria Technique in Korean Timber Management Applications," Proceedings of the International IUFRO S.4.02 and S.6.04 Symposium, May 14~16, 1990, Birmensdorf, Switzerland, 1990, pp. 143~154.

Chang, C. S., and J. C. Woo, "Multi-criteria Decision Making in Natural Resource Management: goal programming," J. of Science and Technology, Kangwon Nat'l Univ., 1991, 30: 254~261.

Charnes, A. and Cooper, W. W., *Management Models and Industrial Applications of Linear Programming*, Vol. 1, John Wiley and Sons, New York, 1961.

Clark, C. W., *Mathematical Bioeconomics :the Optimal Management of Renewable Resources*, John Wiely & Sons, Inc., 1976.

Dane, C. W., N. C. Meador, and J. B.

White, "Goal Programming in Land-use Planning," J. of Forestry, 1977, 75: 325~329.

Dyer, A. A., J. G. Hof, J. W. Kelly, S. A. Crim, and G. S. Alward, "Implications of goal Programming in forest resource allocation," For. Sci., 1979, 25(4): 535~543.

Dykstra, D.P., *Mathematical Programming for Natural Resource Management*, McGraw-Hill Co., New York, 1984.

Field, D. B., "Goal programming for Forest Management," For. Sci., 1973, 19: 125~135.

Field, R. C., P. E. Dress, and J. C. Fortson, "Complementary Linear and Goal Programming Procedures for Timber Harvest Scheduling," For. Sci., 1980, 26: 121~133.

Johnson, K. N. and Scheurman, E. L., "Techniques for Prescribing Optimal Timber Harvest and Investment Under Different Objectives-Discussion and Synthesis,"For. Sci. Monograph 18, 1977.

Kao, C., and J. D. Brodie, "Goal Programming for Reconciling Economic, even-flow, and Regulation Objectives in Forest Harvest Scheduling," Canadian J. of Forest Research, 1979, 9: 525~531.

Mendoza, G. A., G.E. Campbell, and G. L. Rolfe, "Multiple Objective Programming: an Approach to Planning and Evaluation of Agroforestry Systems, Part 1:Model Prescription and Development ," Agricultural Systems, 1986, 22: 243~253.

Romero, C. and T. Rehman, *Multiple Criteria Analysis for Agricultural Decisions*, Elsevier Science Pub. B. V., 1989.

Rustagi, K. P., "Forest management planning for timber production: a goal programming approach," School of Forestry and Environmental Studies, Yale Univ., New Haven, CT. Bulletin 89, 1976.

Schuler, A. T., H. H. Webster, and J. C. Meadows, "Goal programming in forest management," J. of Forestry, 1977, 75: 320~324.