

## 森林經營計劃모델의 適用性研究<sup>1\*</sup>

-Model I 대 Model II-

權五福<sup>2</sup> · 張哲洙<sup>2</sup>

## The Application of Various Forest Resource Planning Models to Forest Management in Korea<sup>1\*</sup>

-Model I vs. Model II-

O Bok Kwon<sup>2</sup> · Cheol Su Chang<sup>2</sup>

### 要 約

森林經營計劃 모델들의 발전과정을 연대순으로 살펴 볼 때 독립적인 機能別計劃 모델에서 綜合的인 多目的利用計劃 모델로 발전해 가고 있으며 모델의 數學的構造도 Model I 이나 Model II의 어느 한 쪽을 사용하는 單一構造에서 두 Model을 겸용하는 複數構造로 변해가고 있다. Model I 과 Model II의 일반적 特性, 計劃上의 差異, 分析上의 差異는 L.P. 모델을 통하여 잘 설명될 수 있다.

여기에서는 共通的인 計劃資料를 사용하여 L.P. 문제를 數式化해 가면서 그들의 差異點을 비교 검토하고 Model II가 森林의 變化를 표현하는데 있어서나 문제를 분석하는데 있어서 Model I 보다 더 간편하다는 사실을 재확인했다.

### ABSTRACT

The recent trend in multiple-use land management planning is using Model I and Model II formulations designed for timber activity scheduling problems. Numerous models have been developed, with MUSYC(Johnson and Jones, 1979) being the first to incorporate both model structures. Currently the most popular computer program using both Model I and Model II is FORPLAN(Johnson and others, 1986).

A Model I formulation requires fewer rows and provides more direct information on what happens to an acre from rotation to rotation. In some problems, Model II provides a much more compact problem matrix with much fewer columns and only a moderate increase in row number.

In this paper we examined and evaluated their usefulness in comprehensive multiresource forest management planning.

*Key words* : timber activity ; model structure ; problem matrix ; multiresource .

<sup>1</sup> 接受 9月 1日 Received on September 1, 1988.

<sup>2</sup> 江原大學校 林科大學 College of Forestry, Kangweon National University, Chuncheon, Korea.

\* 本 研究는 1987年度 文教部 學術研究 助成費 지원에 의해 이루어진 것임.

## 緒 論

모든 森林機能에 대한 需要가 증가하고 한편으로는 森林生態系를 합리적으로 관리할 필요성이 높아지자 여러가지 복잡한 森林經營計劃 모델들이 개발되었다. 그 計劃 모델들의 발전과정을 연대순으로 살펴 볼 때 獨立的인 機能別計劃 모델에서부터 모든 森林機能을 고려하는 복잡한 綜合的인 多目的利用計劃 모델로 발전해 가고 있음을 알 수 있다.

예를 들면 1960년대 중반에 개발된 여러가지 算術모델들 (Amidon(1964, 1966)<sup>1)</sup>, Broido(1965)<sup>2)</sup>, Navon(1967)<sup>3)</sup>, Navon and Mcconmen(1967)<sup>4)</sup>, 그리고 1970년대 초반까지에 개발된 Max Million Clutter, 1968)<sup>5)</sup>, Timber RAM(Navon, 1971)<sup>6)</sup>, 등과 같은 L.P. 모델들, SORAC Chappelle, 1966)<sup>7)</sup>, ECHO(Walker, 1971)<sup>8)</sup>, SIMAC(Sasserman, 1972)<sup>9)</sup>, TREES(Johnson, 1975)<sup>10)</sup> 등과 같은 simulation 모델들은 주로 木材生産計劃을 위한 모델이었으며, 그 후에 나타난 MUSYC(Johnson, 1979)<sup>11)</sup>, Forplan Version 1(Johnson and Stuart, 1985)<sup>12)</sup>, Forplan Version 2(Johnson, 1986)<sup>13)</sup> 등은 多目的利用을 위한 모델이었다.

또 이 모델들의 特色은 늦게 개발된 모델일수록 現存林뿐만 아니라 後續林에 대한 收穫調節까지도 계획에 포함시키는 長期計劃 모델이라는 점이다. 그것은 원래 經營案은 향후 5~10년 동안 한 森林을 經營하기위한 것이나 그러한 짧은 計劃을 위해서도 長期의 展望이 필요하고 경우에 따라서는 50년 후의 豫測情報을 수집해야 하는 등 더 長期展望이 필요하다는 것을 알았기 때문이라 한다.<sup>5)</sup> 그러나 무엇보다도 計劃이 長期化된 것은 社會의 要請에 따라 分析의 초점이 收穫의 保續보다도 森林의 生物學的保續에 치중했기 때문이며 그러한 長期計劃業務를 위해서는 學際間的 計劃要員들이 담당하도록 하고 있다는 것도 最近의 森林計劃의 特色이라고 말할 수 있다.

이와같이 計劃範圍가 擴大돼 나가는 過程에서 모델의 基本的인 數學構造도 單一構造에서 複數構造로 變해왔다. 예를들면 MUSYC(Johnson, 1979)<sup>11)</sup>이 開發되기 전까지에서 어느 모델에서는 Model I을, 그리고 어느 모델에서는 Model II를

사용하는 등 單一構造의 모델들이 開發되었으나 그 후의 모델들은 복잡한 分析을 처리하기 위하여 두 Model을 겸용할 수 있는 複數構造의 것들이다.

本稿는 Model I 과 Model II의 一般적 特性, 計劃上의 差異, 分析上의 差異, 등을 論議하기 위한 것이다. 여기에서는 Linear Programming L.P.)을 사용하는 計劃 모델에서 이 두 Model들이 비교검토되는 관계로 그러한 모델에서 공통적으로 사용되는 몇 가지 용어들을 우선 알아둘 필요가 있다.

첫째로 更新林이란 計劃期間初에 이미 成林되어 있던 現存林이 벌채된 후 새로 나타나게 될 後續林 전체를 말한다. 同齡林經營에서 現存林과 更新林은 撫育內容이 다소 다르다. 現存林에 대해서는 更新될 때 까지 특별한 施業 없이 자연에 의존하는 것이 보통이며 更新林에 대해서는 지존작업, 조림, 제벌, 非商業的間伐, 商業的間伐등 집약적으로 관리하게 된다. 그러므로 개별작업에서는 現存林과 更新林과를 엄격하게 구별하여 施業計劃을 세우는 것이 보통이다. 한편 異齡林經營에서는 更新林이란 있을 수 없고 全計劃期間을 통하여 現存林에 대한 施業만을 반복하는 것으로 생각하는 것이다.

둘째로 決定變數란 L.P.문제에서 우리가 구하고자 하는 未知數 즉, 計劃變數를 말하며,

셋째로 經營方式(activity)이란 生産方式이라고도 말할 수 있으며 計劃期間동안 계속되는 一連의 造林的取扱方法을 말한다. 그리고 이러한 森林活動에서는 一定한 種類의 生産物을 一定한 量만큼 生産하게 된다. 生産物의 종류가 다를 때 예를 들면 木林生産이나 牧草生産이나, 또는 休養價値生産이나에 따라 方式이 달라지는 것은 물론이고 같은 木林生産이라 하여도 樹種에 따라, 作業種에 따라 또는 伐採分期에 따라 方式이 달라지며 각 方式에는 하나의 決定變數가 對應한다.

### 1. 計劃 資料

Model I 과 Model II를 효과적으로 비교 검토하기 위하여 다음과 같은 共通資料를 사용하여 각 Model을 기초로한 線形計劃문제를 數式化하기로 한다.

1) 計劃對象林은 50年生, 500ha인 A林分과 40年生, 300ha의 B林分으로 구성된 赤松林으로 立

木度は 100%다.

2) A, B 두 林分의 地位는 같고 ha당 現存林 收穫量은 45, 55, 65, 75年生 때 각각 275, 363, 446, 526m<sup>3</sup>이며 更新林收穫量은 10, 20, 30, 40年生 때 25, 150, 200, 275m<sup>3</sup>다. 現存林 45年生과 更新林 40年生의 ha당 收穫量이 같은 것은 更新林에 대한 施肥效果때문이다.

3) 現存林은 最高伐期 80年으로 皆伐하고 更新林은 伐期 40年으로 皆伐을 반복한다.

4) 計劃期間 80년, 分期年數는 10년으로 한다.

5) 計劃期間에 나타난 수입과 지출의 現存純收益을 最大로 하는 것을 經營目標로 삼는다.

6) 각 分期收穫量을 같도록 한다.

7) 收穫을 永續시키기 위하여 期末蓄積은 적어도 50,000m<sup>3</sup>이상이 되도록 한다.

8) 期末의 齡級配置를 정상화 하기 위하여 齡級面積은 150ha 이상이 되도록 한다.

9) 통나무 市場價는 現存林에서 생산된 통나무는 m<sup>3</sup>당 4만원, 更新林에서 생산된 것은 3만원이다.

10) 採收費는 m<sup>3</sup>당 1만원, 조림비 ha당 20만원, 年率의 管理費 ha당 2만원, 年利率 4%다.

## 2. 決定 變數

收穫計劃에서 更新林을 어떻게 취급하느냐에 따라 決定變數에 대한 定義가 달라지고 따라서 計劃 모델의 數學的構造가 달라진다. 예를 들면 Model I에서 更新林들은 그들의 원래 속해 있던 現存林과 직접적인 관계를 맺고 있으며 決定變數도 更新林的 遷移 歷史가 확인될 수 있도록 定義된다. 이에 반하여 Model II에서 각 更新林들은 그들이 속해 있던 現存林과 아무런 관계가 없으며 決定變數만으로는 更新林的 遷移歷史를 확인할 방법이 없다.

환언하면 Model I에서 更新林은 그것이 어느 分期에서 更新되든지 상관없이 그 林分이 원래 속해 있던 現存林的 決定變數를 그대로 이어 받게 되나 Model II에서는 現存林과 更新林을 완전히 分離하여 更新林에는 更新되는 分期에 따라 새로운 決定變數를 부여한다. 그러므로 Model I에서 어느 林地에 부여된 決定變數는 全計劃期間을 통하여 변함없이 그 變數를 사용하는데 반하여 Model II에서는 同一한 林地라 하여도 林木이 어느 分期

에 發生해서 어느 分期에 벌채되느냐에 따라 變數가 달라진다. 그러므로 Model I에서 決定變數는 林地에 붙인 變數라고 생각할 수 있고 Model II의 決定變數는 林木에게 붙인 變數라고 생각할 수 있다.

이러한 관계를 더 확실히 하기 위하여 앞에서 말한 A, B 두 齡級的 赤松林에 대하여 생각해 보기로 한다.

現存林的 最高伐期가 80년, 更新林 伐期가 40년, 計劃期間 80년이므로 Model I에서는 7개의 決定變數가(표1), 그리고 Model II에서는 11개의 變數(표2)가 생긴다.

現存林에 대한 決定變數는 Model I에서나 Model II에서 다 같이 7개로 되어있고 그 중에서 A林分에 대한 變數가 3개, B林分에 대한 것이 4개로 되어 있다. 그것은 現在 50년생인 A林分은 最高伐期 80년이라는 가정 밑에서는 각 分期의 中央年齡인 55, 65, 75년생 때 벌채되고 40년생인 B林分은 45, 55, 65, 75년생 때의 어느 時點에서 벌채되기 때문이다. 그러므로 A林分の 現存林은 벌채 분기의 선택방법이 3가지가 있고 B林分은 4가지가 있는 셈이다. 여기에서 만약에 最高伐期가 달라진다면 現存林에 대한 決定變數의 수에도 변화가 생긴다. 예를 들면 最高伐期가 90년으로 연장될 때 Model I의 決定變數는 9개로, 그리고 Model II의 變數는 14개로 증가할 것이고 現存林에 대한 變數는 A林分에서 4개, B林分에서 5개로 증가하게 된다.

다음으로 우리가 알아야 할 사실은 Model I에서 각 決定變數는 計劃期間동안 그 林地에서 發生될 經營方式과 그에 관련된 經營效果를 모두 포함시키고 있다는 것이다. 즉 표1의 決定變數 A<sub>1</sub>에는 1分期에 실시할 現存林的 更新伐과 그리고 5分期에 실시할 更新林에 대한 伐採效果가 재적으로 표시되어 있으며 決定變數 A<sub>2</sub>에는 2分期와 6分期에 실시할 벌채재적이 모두 표시되어 있다. 그러나 Model II에서는 일단 現存林的 更新伐이 끝나면 그 후에는 現存林과 更新林과를 分離시키기 위하여 更新林들에게 새로운 變數를 부여하게 된다. 표2에서 R<sub>15</sub>는 1分期에 發生해서 5分期에 벌채되는 更新林面積을 말하며 그面積은 決定變數 A<sub>3</sub>과 B<sub>1</sub>에 속하는 林地에서 부터 오게됨으로 이들面積사이에는 A<sub>3</sub>+B<sub>1</sub>=R<sub>15</sub>의 관계가 성립한다.

마찬가지로  $R_{26}$ 의 林地는 現存林  $A_2$ 와  $B_2$ 에서 오  
게되므로  $A_2 + B_2 = R_{26}$ 의 관계가 있다.

決定變數를 이와같이 定義할 때 Model I에서는  
更新林의 歷史를 확인할 수 있도록 定義하고 있는  
데 반하여 Model II에서는 更新林의 遷移歷史를  
추적할 방법이 없다. 예를 들면 표1에서 現存林의  
更新伐 材積과 更新林에 대한 그것이 同一列에 기  
록되어 있으나 表2에서는 現存林의 更新伐材積과  
更新林의 그것이 分離되어 있기 때문에 구체적으  
로  $R_{15}$ 가 A林分에서 계승된 면적인지 B林分에서  
온것인지 알 수가 없다. 計劃期間이 長期化되어  
更新度數가 증가함에 따라 更新林의 역사적 추적  
은 더욱 어려워진다.

3. 利益 係數

林業經營에서 흔히 사용되고 있는 두 가지 主要  
目標은 材積收穫의 最大와 現在 純收益最大라고  
말할 수 있다. 전자는 무엇보다도 木材生産만을  
중시하는 目標이기 때문에 加工工場에 木材를 공  
급하는 森林에서 설정할 수 있는 目標이라고 말할  
수 있으며 후자는 管理會計學에서 投資決定에 사  
용되는 現價法에 해당하는 것으로 林業經營을 하  
나의 獨立된 企業으로 생각하여 木材供給 외에 非  
木材生産物이나 用役까지 고려하는 森林에서 설정  
할 수 있는 目標이라고 말할 수 있다.

材積收穫最大를 目標로 하는 경우 각 決定變數  
의 利益係數는 각 變數列에 있는 ha당 收穫材積  
을 모두 합제한 것이다. 예를 들면 Model I에서  
 $A_1, A_2, A_3$ 에 대한 利益係數는 각 각 638, 721,  
801m<sup>3</sup>으로 계산되며 Model II에서 그것들에 대한  
利益係數는 각 각 363, 446, 526으로 계산된다.

現在純收益을 最大로 하는 目標에서는 材積뿐만  
아니라 평가범위를 더 확대시켜 林地에 대한 모든  
財政的評價를 해야한다.

환언하면 決定變數의 單位는 1ha로 되어 있으  
므로 각각의 變數가 관련되어 있는 林地 1ha에서  
計劃期間동안에 나타날이라고 기대되는 利益과 費  
用을 고려하여 그것들로부터 계산된 現在純收益이

目的函數에서 해당 變數들의 利益係數가 되는 것  
이다.

本 計劃에서는 經營目標가 現存純收益 最大임으  
로 Model I과 Model II에서 이 數值들이 계산되  
어 표1, 2에 제시되어 있다.

표1에서 Model I의 決定變數  $A_1, A_2, A_3$ 의 利  
益係數는 각 각 938, 743, 926만원으로 되어 있고  
표2에서 Model II의 變數  $A_1, A_2, A_3$ 에 대한 利  
益係數는 829, 682, 885만원으로 Model I의 係數  
들보다 적음을 알 수 있다.

利益係數를 산출한 근거는 앞에서 제시한 計劃  
資料의 數值들이고 여기에서는 木材生産만을 고려  
한 관계로 대단히 간단히 계산할 수 있다. Model  
I의 決定變數  $A_1$ 에 대한 利益係數는 다음과 같  
이 계산된 것이다.

즉 위 계산에서 決定變數  $A_1$ 은 1分期 중앙에서  
363m<sup>3</sup>을 수확하고 5分期 중앙에서 275m<sup>3</sup>를 수확  
하게 되는데 그것은 현재로부터 각 각 5년 후와 45  
년 후의 일이다. 그러므로 1分期와 5分期 收穫에  
대한 現在純收益은 각 각 878.6만원과 90.7만원으  
로 계산되었고 그것들을 합한 969.3만원이 決定變  
數  $A_1$ 에 대한 現在純收益이다. 그러나 이 數值에  
서는 매년 2만원씩 지출된 管理費가 공제되지 않  
고 있다. 그 管理費들의 現在價 대신에 管理資本  
(2/0.04=50만원)을 공제한다면 919.3만원이 되며  
결국 現在純收益 즉 利益係數는 약 919만원이다.

이와 같이 계산된 利益係數는 Model II의 決定  
變數  $R_{37}$ 과  $R_{48}$ 에서 -9와 -21로 되어 있다. 그것  
은 그 林地에서 金買收穫이 작은 반면 매년 管理  
費만 지출되었기 때문에 負數로 나타난 것이다.

4. 期末 蓄積

Model I에서 決定變數  $A_1, A_2, A_3$ , 그리고  
 $B_1, B_2, B_3$ 에서 ha당 期末蓄積은 각 각 200,  
150, 25, 200, 150, 25m<sup>3</sup>로 나타났고 (표1의 9  
行), Model II에서는 決定變數  $R_{15}, R_{26}, R_{37}$ 에서  
만 각 각 200, 150, 25m<sup>3</sup> (표2의 9行)로 되어 있  
다. Model I의  $A_1$ 에서 期末蓄積, 즉 終蓄積이

收穫 分期	ha당 收穫材 積(m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup> 당 통나무市 場價	m <sup>3</sup> 당 採收費 (만원)	m <sup>3</sup> 당 立木價 (만원)	ha당 木材收穫 (만원)	ha당 造林費 (만원)	純收益 (만원)	收穫가 지의年數	4%의 前價係數	現存價 (만원)
1	363	4(만원)	1	3	1089	20	1069	5	0.8219	878.6
5	275	3	1	2	550	20	530	45	0.1712	90.7

200으로 나타난 것은 그 施業方法에서는 5分期에서 개별되었으므로 期末인 8分期 中央時點에서는 更新林年齡이 30년생이 됨으로 ha당 蓄積은 200 m<sup>3</sup>이 된다는 것이다. 다른 終蓄積에 대해서도 마찬가지로 計算되었으며 Model II의 모든 現存林에 대한 決定變數에서 終蓄積이 0으로 되어 있는 것은 이미 現存林들은 모두 更新林으로 移轉되어 終蓄積과는 관계가 없기 때문이다.

Model I에서는 각 決定變數에서 終蓄積이 나타날 수 있는데 반하여 Model II에서는 마지막 몇 개의 決定變數에서만 終蓄積이 나타날 수 있다는 점도 두 model의 차이점이라 할 수 있다.

두 Model의 終蓄積에서 공통적으로 말할 수 있는 것은 收穫의 恒續을 생각할 때 또는 그 森林의 生態學的恒續을 생각할 때 일정한 蓄積이 終蓄積으로 보잔되어야 한다는 점이다.

木材生産만을 목표로 하는 森林計劃에서는 制約條件이 어긋나지 않는 범위내에서 가능한한 終蓄積을 적게하고 目的函數가 最大가 되도록 희망하기 쉽다. 그러나 그러한 계획은 바람직한 계획이 될 수 없고 따라서 어느 정도의 終蓄積이 林地에 보잔되도록 計劃期間의 벌채량을 조절할 필요가 있다.

適正한 終蓄積의 크기를 규정하는 방법으로는 終蓄積의 가치를 평가하여 그것을 目的函數에 반영시키는 방법이 있다. 예를 들면 Model I의 決定變數 A<sub>1</sub>에 대한 利益係數는 938만원으로 되어 있다. 그런데 만약에 A<sub>1</sub>의 終蓄積 200m<sup>3</sup>에 대한 期望價와 그 林地의 ha당 期望價가 합계 50만원으로 계산되었다면 A<sub>1</sub>의 利益係數를 988만원으로 결정하므로서 終蓄積을 目的函數에 반영시킨 결과가 되는 것이다.

그러나 이 방법은 소유자의 경제적 측면에서는 모순이 없을 것이나 대경목들의 보잔을 보장해 주지는 않는다. 오히려 終蓄積을 과소하게 보잔시킬 가능성이 크다. 왜냐하면 現存價로 할인될 때 終蓄積價는 그리 크지 않으며 그 現存價는 기말 이전에 증벌해서 나타난 現在純收益의 증가분보다 대개의 경우 적을 것이기 때문이다.

그러므로 終蓄積의 보잔을 가장 확실히 보장해 줄 수 있는 가장 간단한 방법으로는 終蓄積의 最小限界를 制約條件으로 제시하고 다시 보잔될 林分의 齡級別 面積을 제약하는 방법일 것이다. 여

기에서 材積의으로 그리고 面積의으로 2重 制約하는 이유는 終蓄積의 最小限界만 규정하는 경우 蓄積이 어느 齡級에만 집중되어 정상적인 齡級配置가 실현될 수 없을 가능성이 있기 때문이다. 그리고 여기에서 終蓄積의 最小限界단 論理的으로 正當林에서 얻을 수 있는 平均蓄積을 말한다.

本 計劃에서 森林面積은 800ha(A林分 500, B林分 300ha)이고 伐期 40년임으로 正當林을 가정할 때 終伐後 齡級面積은 0齡級 200ha, 10齡級 200ha, 20齡級 200ha, 30齡級 200ha이고 總期末蓄積은 75,000m<sup>3</sup>이 될 것이다.

그러나 실제로 制約條件을 제시할 때에는 期末蓄積은 50,000m<sup>3</sup> 이상으로 하고 期末齡級面積은 150ha 이상으로 制約하는 것이 바람직하다. 왜냐하면 너무 엄격하게 제약하는 경우 computer 계산이 잘 안되는 경우가 생기기 때문이다.

### 5. 制約 條件

문제에 따라 다르나 거의 모든 森林經營計劃 문제에서 土地資源, 收穫材積, 伐採面積, 期末蓄積에 대한 制約을 받게 되고, 制約에 따라서는 Model I에서는 필요치 않으나 Model II에서 반드시 필요한 制約이 있는가 하면 Model II에만 適用되는 制約도 있다. 그리고 이러한 制約들을 computer 계산과정에서 효과적으로 처리하기 위하여 두 Model에서 공통적으로 會計變數를 사용하고 있다.

會計變數는 Model I 行列表(표1)에서는 1~10행의 8~17列에 표시되어 있고 Model II 行列表(표2)에서는 1~10행의 12~31列에 표시되어 있다.

이 變數들을 사용하면 여러가지 材積制約에 대한 효과적인 처리뿐만 아니라 分期別收穫量, 期末蓄積合計, 現在純收益合計 등을 쉽게 계산할 수 있다.

#### 1) 두 Model에 적용되는 制約

##### i) 材積制約

林業經營에서는 여러가지 目的으로 材積을 制約할 필요가 생긴다. 標準伐採量을 결정하는 문제는 收穫保續의 목적으로 과거부터 林業經營學의 중심 과제였고 그 문제를 위하여 많은 방법들이 제안되어 왔다.

이러한 材積制約의 필요성은 computer를 이용하

는 計劃모델에서도 예외적일 수 없으며 몇가지 制約方法이 개발되어 이용되고 있다.

材積을 제약하는 가장 직접적인 방법은 伐採材積에 대하여 上限과 下限을 결정하는 방법이다. 예를 들면 표1에서 Model I의 제1分期 伐採量을 200~300m<sup>3</sup>에 속하도록 制約하는 것이라면  $363A_1 + 275B_1 \geq 200$ ,  $363A_1 + 275B_1 \leq 300$ 의 두 식으로 목적을 달성할 수 있다. 그러나 이것을 위하여 會計變數를 이용하면  $H_1 \geq 200$ ,  $H_1 \leq 300$ 의 두 식으로 간단히 처리할 수 있는 것이다. 制限式에 함수가 많으면 계산하는 데 시간이 오래 걸린다. 그러므로 계산 시간을 단축시키는데 있어서 會計變數는 computer 계산에서 큰 役割을 하고 있다고 말할 수 있다.

材積制約에는 어느 分期의 伐採量이 그 바로 앞 分期伐採量의 일정한 比率 내외에 속하도록 制約하는 경우도 있다. 예를 들면 Model I에서 제2分期 伐採量이 제1分期 伐採量의 20%내외에 떨어지도록 제한하는 경우이다. 이 때에는

$$0.8(363A_1 + 275B_1) \leq 446A_2 + 363B_2$$

$$1.2(363A_1 + 275B_1) \geq 446A_2 + 363B_2$$

의 두 식으로 목적을 달성할 수 있으나 계산 시간을 단축하기 위하여  $0.8H_1 \leq H_2$ ,  $1.2H_1 \geq H_2$ 로 간단히 재적을 제한시킬 수 있다.

이 以外에도 여러가지 목적으로 材積을 制約할 필요가 생긴다. 예를 들면 연속된 두 分期 사이에서 뒤 分期伐採量이 앞 分期의 그것보다 적어서는 않된다는 制約, 正常林에서와 같이 각 分期의 伐採量이 一定하도록 조절하기 위한 制約, 期末蓄積이 어느 一定材積 이하가 되지 않도록 하기 위한 制約 등 여러가지이다.

ii) 面積制約

林業經營에서 面積制約의 歷史는 어느면에서는 材積制約의 歷史보다 길다. 測樹技術이 발전되기 전에는 대개의 경우 伐採面積을 조절하므로써 간접적으로 材積收穫의 保續을 실현시키려 했던 것이다. 그리고 林業生産에서 林地는 一種의 制限資源이다. 어떠한 計劃에 있어서나 林地面積이 制限되지 않는 때가 없다. 이러한 이유에서 森林計劃에서는 材積制約의 경우와 마찬가지로 여러가지 目的으로 面積을 制約할 필요가 생긴다.

하나의 예로서 分期別 伐採面積을 制約하는 경우를 생각해 본다.

本 計劃에서 森林面積 800ha, 伐期 40년, 分期年數 10년이므로 과거의 面積調節方法으로 계산된 分期別 伐採面積은  $(800/40) \times 10 = 200$ ha다.

그러므로 Model I에서 제1分期과 제2分期에 대한 制約式은 다음과 같다.

$$A_1 + B_1 = 200, \quad A_2 + B_2 = 200$$

이 以外에도 林分別 可用面積에 대한 制約, 期末齡級面積에 대한 制約, 各種 施業制限地에 대한 面積制約 등 여러가지 面積制約을 생각할 수 있다.

2) Model II에 적용되는 制約

i) 移轉面積制約

Model II에서는 일단 벌채되면 그 면적은 다음 세대의 決定變數로 移轉시켜 줘야한다. 그러므로 Model II의 行列表에는 특별히 면적이전행이 있게 마련이다. 이들을 표2의 23~26행에 제시해 놓았다.

각 移轉行에서 (+1)은 새로 탄생될 면적을, 그리고 (-1)은 벌채로 인하여 소멸될 면적을 의미한다. 현재 표2의 行列表에는 나타나지 않고 있으나 計劃期間이 더 長期化될 때 面積移轉列에는 (+1) (-1)이 모두 포함되는 경우가 있다. 이것은 計劃期間 동안에 나타났다가 사라지는 林分을 의미하는 것으로 조람되면 반드시 벌채된다는 것을 말해 준다. Model II에서는 Model I에서 불필요한 面積移轉行을 필요로 하기 때문에 同一 문제를 계획하는 경우라 하여도 行數가 늘 Model I에서보다 더 많다. 行數가 많다는 것은 computer의 계산시간이 더 오래 걸린다는 것을 의미하며 특히 線形計劃 문제에서 계산시간은 行列表의 行數에 대단히 민감하다는 것을 알아 둘 필요가 있다.

ii) 複合結果를 위한 制約

이제까지의 계획에서는 임분변화를 묘사하는 데 있어서 지극히 단순한 單一結果만을 가정해 왔다. 즉 林分이 벌채되면 곧 更新되고, 새로 나타난 更新林은 일련의 撫育作業을 통하여 정상적으로 성장하고, 伐期에 가서는 지체없이 벌채된다는 確實性을 전제로한 계획이었다. 그러므로 그러한 계획에서는 更新林의 일부가 更新失敗된다는가 山火로 일부 森林이 伐期이전에 파괴된다는가 하는 複合的인 結果에 대해서는 전연 고려될 수 없었다.

그러나 Model II에서는 移轉行의 係數를 이용하여 複合結果 즉 造林과 主伐 사이에서 일어나는

여러가지 林分變化를 표현할 수 있게 되었다.

單一 結果의 경우 Model II의 移轉行에서 係數는 (-1)로 표시된다. (-1)의 係數란 그 林地는 모두 일시에 다음 세대의 林分을 위하여 更新에 들어간다는 뜻이다.

複合結果의 경우 係數를 (-1)로 하는 대신에 이것을 林分變化가 發生된 分期에 分割表示해주므로서 목적을 달성할 수 있는 것이다. 예를 들면 主伐收穫이전에 각 分期에서 5%씩의 삼림과피가 발생하고 삼림이 파괴되면 發生된 그 分期에서 곧 更新되는 것으로 가정할 때 伐期가 3分期의 경우 係數를 제1分期에서 -0.05, 제2分期에서 -0.05, 그리고 제3分期에서 -0.90으로 分割表示해 주므로서 목적을 달성할 수 있다는 것이다.

여기에 예시한 것 이외에도 Model II의 移轉行을 이용하면 여러가지 複合結果를 효과적으로 처리할 수 있다.

6. 行列 構造

Table 1. Model I formulation.

	Stand decision variables							Accounting variables										
	(1) A <sub>1</sub>	(2) A <sub>2</sub>	(3) A <sub>3</sub>	(4) B <sub>1</sub>	(5) B <sub>2</sub>	(6) B <sub>3</sub>	(7) B <sub>4</sub>	(8) H <sub>1</sub>	(9) H <sub>2</sub>	(10) H <sub>3</sub>	(11) H <sub>4</sub>	(12) H <sub>5</sub>	(13) H <sub>6</sub>	(14) H <sub>7</sub>	(15) H <sub>8</sub>	(16) I	(17) PNWRHS	(18)
Accounting rows	(1) H <sub>1</sub>	363		275				-1										=0
	(2) H <sub>2</sub>		446		363				-1									=0
	(3) H <sub>3</sub>			526		446				1								=0
	(4) H <sub>4</sub>						526				-1							=0
	(5) H <sub>5</sub>	275			275							-1						=0
	(6) H <sub>6</sub>		275			275							1					=0
	(7) H <sub>7</sub>			275			275							1				=0
	(8) H <sub>8</sub>							275							1			=0
	(9) I	200	150	25	200	150	25									1		=0
	(10) PNW	919	743	576	702	605	486	373									1	=0
Constraints																		
Harvest volume control	(11)							-1	1									=0
	(12)								-1	1								=0
	(13)									1	1							=0
	(14)										-1	1						=0
	(15)											-1	1					=0
	(16)												-1	1				=0
	(17)													-1	1			=0
Ending inventory	(18)															1		≧ 50,000
Area control	(19)						1											≧ 150
	(20)			1				1										≧ 150
	(21)		1			1												≧ 150
	(22)	1			1													≧ 150
Area available	(23)	1	1	1														≧ 500
	(24)				1	1	1	1										≧ 300
Objective	(25)																1	= Max

L.P. 문제를 풀기 위하여 目的函數와 制約條件을 한 行列表에 綜合해 놓은 것이 표1과 표2다. 동일한 문제를 위하여 Model I 行列表는 25行 18列의 行列로 구성되어 있고 Model II 行列表는 29行 22列의 行列로 되어 있다.

Model I 行列表(표1)에서 제1~10행의 제8~17列은 會計變數를 위한 行列이다. 이 變數들을 도입하므로서 列數가 10개나 더 증가하고 있음을 알 수 있다.

제9행에는 ha당 期末蓄積이, 그리고 제10행에는 ha당 現在純收益이 기록되어 있다. 그런데 여기에서 말하는 現在純收益은 期末蓄積에 대한 現在價를 포함하지 않은 것이다. 本計劃에서 期末蓄積에 대한 制約은 보잔될 期末蓄積의 크기로 조건이 제시되어 있기 때문에 그들의 現存價를 現在純收益에 포함시킬 필요가 없었다.

제11~17행은 서로 隣接한 두 分期사이의 收穫量에 대한 相關制約關係를 표시한 것이다. 환언하면 뒤 分期의 收穫量은 앞 分期의 그것과 같다는

Table 2. Model II formulation.

	Existing stand decision variables						Future stand decision variables						Accounting variables										
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	R <sub>15</sub>	R <sub>25</sub>	R <sub>35</sub>	R <sub>45</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>	I	PNW	RHS	
Accounting	1	H <sub>1</sub>	363			275																	= 0
	2	H <sub>2</sub>		446			363							1									= 0
	3	H <sub>3</sub>			526			446							-1								= 0
	4	H <sub>4</sub>							526							1							= 0
	5	H <sub>5</sub>								275							1						= 0
	6	H <sub>6</sub>									275							1					= 0
	7	H <sub>7</sub>										275							1				= 0
	8	H <sub>8</sub>											275							1			= 0
	9	I							200	150	25										1		= 0
	10	PNW	829	682	534	612	544	444	345	41	11	9	-22										= 0
Constraints																							
Harvest	11												1	1									= 0
Volume	12													1	1								= 0
Control	13														-1	1							= 0
	14															-1	1						= 0
	15																-1	1					= 0
	16																	-1	1				= 0
	17																		-1	1			= 0
Ending	18																				1		≥ 50,000
Inventory	19																						≥ 150
Area	20																						≥ 150
Control	21																						≥ 150
	22																						≥ 150
Transfer	23		1			-1																	= 0
rows	24			1																			= 0
	25				1																		= 0
	26							-1															= 0
Area	27		1	1	1																		≤ 500
available	28					1	1	1	1														≤ 300
Objective	29																						1 = Max.

制約條件을 표현한 것이다. 이 制約에서는 모두 會計變數를 사용하고 있으며 그것들을 사용할 때 다단히 편리하게 制約할 수 있음을 알 수 있다. 그러나 무엇보다도 會計變數의 長點은 계산시간의 단축에 있다.

제18행은 8分期의 벌채가 끝난 후 모든 林分에서 보잔될 期末蓄積을 50,000m<sup>3</sup> 이상으로 制約하는 行이다. 각 施業方式별로 期末蓄積에 대한 계산은 이미 9行에서 실시했다. 그러므로 여기에서는 期末蓄積의 下限만 명시해주면 되는 것이다.

제19~22행은 計劃期間末의 齡級別 面積을 정상화 하기 위하여 각 齡級面積이 150ha 이상은 되어야 한다는 制約이다. 計劃期間후의 收穫保續을 위하여 期末의 林分構造가 材積뿐만 아니라 面積의

로도 정상림에 가까워야 한다는 것이다.

제23行과 제24行은 林分의 面積을 표시해 주는 行들이다. 土地資源을 제약하는 行이라고 말할 수도 있다. 끝으로 제25行은 經營目標가 現在純收益 最大에 있다는 것을 표현해 주는 行이다.

Model II 行列表(표2)에는 Model I 行列表에 없는 面積移轉行(제23~26行)들이 있고 나머지 行들은 Model I 의 行들과 내용이 같다.

다음에 行列表 내용을 數式으로 표시하면 다음과 같다.

Model I 目的函數

$$\max. Z = 938A_1 + 743A_2 + 926A_3 + 721B_1 - 605B_2 + 783B_3 + 374B_4$$



制約條件

1) 面積制約

$$A_1 + A_2 + A_3 \leq 500, \quad B_1 + B_2 + B_3 + B_4 \leq 300$$

$$A_1 + B_1 \geq 150, \quad A_2 + B_2 \geq 150, \quad A_3 + B_3 \geq 150,$$

$$B_4 \geq 150$$

2) 材積制約

$$H_i = H_{i+1} (i=1, 2, \dots, 7)$$

$$I \geq 50,000$$

Model II

目的函數

$$\max. Z = 829A_1 + 682A_2 + 885A_3 + 562B_1 + 544B_2$$

$$+ 741B_3 + 345B_4 + 60R_{15} + 11R_{26} + 9R_{37}$$

$$- 21R_{48}$$

制約條件

1) 面積制約

$$A_1 + A_2 + A_3 \leq 500, \quad B_1 + B_2 + B_3 + B_4 \leq 300$$

$$-A_1 - A_3 = R_{15}, \quad -A_2 - B_2 = R_{26}, \quad -A_3 - B_3 = R_{37},$$

$$-B_4 = R_{48}$$

$$R_{15} = R_{26} = R_{37} = R_{48} \geq 150$$

2) 材積制約

$$H_i = H_{i+1} (i=1, 2, \dots, 7)$$

$$I \geq 50,000$$

7. 經營方式의 數

이제까지의 論議에서 Model I 과 Model II 의 行列의 크기에 대한 언급은 없었다. 다만 Model II 에서는 面積移轉行이 필요하게 되므로 Model I 에서 보다 行數가 많다는 사실만 확인되었을 뿐이다. 그러므로 여기에서는 두 Model 의 列數를 추정하여 서로 비교해 보기로 한다.

L.P. 문제에서 行列表의 列數는 결국 經營方式의 數에 의하여 결정되므로 우선 Model I 과 Model II 의 經營方式의 數를 추정하는 방법에 대하여 언급한다.

Johnson(1977)<sup>6)</sup>은 Model I 과 Model II 의 行列의 數를 비교하기 위하여 經營方式의 數를 추정하는 공식을 제시한 바 있다. 여기에서는 일정한 공식없이 어느 일정한 순서에 따라 추정하는 방법을 택하기로 한다.

1) Model I

Johnson 공식에서와 같이 한 齡級으로 구성되어 있는 成熟林을 생각한다. 最高伐期에 대한 制約이 없고 計劃期間(N)은 5分期, 更新伐 사이의 最小

**Table 3.** Possible regeneration harvest sequences over 5 periods for an age class that contains merchantable volume in period one and where there must be at least two periods between regeneration harvests.

Harvest sequence number	Period number				
	1	2	3	4	5
1	E	-	R	-	R
2	E	-	-	R	-
3	E	-	-	-	R
4	E	-	-	-	-
5	E	-	R	-	-
6	-	E	-	R	-
7	-	E	-	-	R
8	-	E	-	-	-
9	-	-	E	-	R
10	-	-	E	-	-
11	-	-	-	E	-
12	-	-	-	-	E
13	-	-	-	-	-

E : a regeneration harvest for the existing inventory

R : a regeneration harvest for the regenerated inventory

- : no harvest

期間(Z)을 2分期라 할 때 Model I 에서 經營方式의 數는 표3에서와 같이 13가지로 나타난다.

표3의 각 經營方式에서 첫 收穫分期가 제1分期인 경우가 5가지, 제2分期의 경우가 3가지 등으로 되어 있으며 이것들을 종합하면 다음과 같다.

첫 收穫의 分期	5	4	3	2	1
經營方式의 實測數	1	1	2	3	5

표3의 결과를 실례로 들면서 經營方式의 數를 추정하는 일반적 순서를 요약하면 다음과 같다. 표3에서 E는 現存林의 벌채를, 그리고 R은 更新林의 벌채를 의미한다.

i) 첫 收穫이 나타나는 分期別로 그 첫 分期에서 計劃期間末까지의 分期數(i)를 조사한다. 표3에서 첫 收穫이 5分期에서 나타나는 경우 計劃期間末까지는 1分期라고 보는 것이다. 그러므로 4分期에서 첫 收穫이 나타나는 경우 期間末까지는 2分期가 남아있는 셈이다. 그 결과를 종합하면 다음과 같다.

ii)  $i \leq Z$ 면 1을 부여하고  $i > Z$ 면  $t_{i-1} + t_i - Z$ 를 부여하면서 각  $t_i$ 를 계산해 나간다. 환언하면 첫 收

첫 收穫의 分期	5	4	3	2	1
期 間 末 까 지 의 分 期 數 i	1	2	3	4	5
經 營 方 式 的 推 定 數 (t <sub>i</sub> )	1	1	2	3	5

伐이 나타나는 分期에서 計劃期間末까지의 分期 중 i가 Z보다 크지 않을 때 activity는 한가지만 있을 수 있다. 그러므로 위 예에서 첫 收穫이 4分期와 5分期에서 나타나는 경우 t<sub>i</sub>는 각각 1로 되어 있다. i > Z일때 activity의 수 t<sub>i</sub>는 그 바로 다음 分期에 대한 activity의 수에다 Z分期 후의 activity 수를 가산한 것이다. 예를 들면 위 예에서 첫 收穫이 3分期에 나타나는 경우 activity의 수는 그 分期에 대한 i가 3으로 되어 있고 그것은 Z=2보다 크기 때문에 첫 收穫이 4分期에 나타날 때의 activity 수와 5分期에 나타날 때의 activity 수를 가산한 것이다. 이와 같이 계산된 각 t<sub>i</sub>의 activity 수는 1, 1, 2, 3, 5로 나타났고 그것들은 표3에서 확인한 實測數와 일치한다.

iii) t<sub>i</sub>를 모두 합하면 12개의 activity가 되는데 각각에 收穫을 전연 하지않는 경우의 수를 가산하면 전체 activity 수는 13가지가 된다.

iv) 現存林이 U齡級으로 구성되어 있을 때 그 森林의 총 activity 수는 13×U가 됨은 물론이다.

2) Model II

最高伐期에 대한 制約이 없고 現存林은 모두 成熟되어 있다고 가정할 때 다음 순서로 activity 수를 계산하면 편리하다.

i) Model I에서와 같이 齡級數를 U라하고 計劃期間을 N라할 때 우선 U와 N를 곱한다. 이 수치는 現存林을 벌채하는 경우의 수라고 말할 수 있다. 한편하면 伐期에 대한 上限이 없으므로 現存林은 計劃期間의 어느 分期에서나 벌채될 수 있고 따라서 어느 齡級의 林分이 벌채分期를 택할 수 있는 방법은 N가지다. 그러므로 齡級數가 U 라면 現存林 벌채에 대한 activity 수는 U×N 가지가 되는 것이다.

ii) 다음에는 更新林에 대한 activity 수를 결정한다. 벌채되면 곧 갱신되는 것을 전제로 하고 있으므로 첫 分期부터 更新林이 나타난다. 그런데 Model II에서는 齡級이 다른 林分이라 하여도 같은 分期에 벌채되면 하나의 更新林으로 통합시킬 수 있다. 그리고 여기에서 구하고자 하는 activity의 수는 計劃期間 동안에 다시 벌채될 수 있도록

충분한 여유를 주기위하여 N-Z개의 更新林들의 收穫分期의 선택방법에 따라 결정되는 것으로 한다. 따라서 이러한 更新林들을 위한 activity의 수는  $\sum_{z=1}^{N-Z} C_z$ , 즉,  $(N-Z+1)(N-Z)/2!$ 이다.

예를 들면 N=5, Z=2일 때의 activity는 R<sub>13</sub>, R<sub>14</sub>, R<sub>15</sub>, R<sub>24</sub>, R<sub>25</sub>, R<sub>35</sub>의 6가지다( ${}_4C_2$ ).

iii) 끝으로 期末蓄積으로 남게될 現存林이나 更新林에 대한 activity를 생각해야 한다. 그러한 activity는 U+N가지다. 예를 들면 U=1, N=5의 경우 activity는 E<sub>u</sub>, R<sub>1u</sub>, R<sub>2u</sub>, R<sub>3u</sub>, R<sub>4u</sub>, R<sub>5u</sub>의 6가지다.

iv) 따라서 총 activity의 數는 i)에서 iii)까지의 activity 수를 합제한 것이다.

위에서 論議된 方法으로 Johnson(1977)<sup>1)</sup>은 동일한 삼림문제에 대하여 Model I과 Model II에서 요구하는 經營方式의 數(列數)와 制約條件의 數(行數)를 계산한 바 있다(표4). 표4를 통하여 알 수 있는 사실은 다음과 같다.

i) 동일문제를 분석하는데 있어서 일반적으로 Model I에서는 Model II에서 보다 더 많은 列數를 요구한다.

ii) 일반적으로 Model II에서는 더 많은 行數를 요구하고 있으나 그것은 Model I에서 列數의 요구도 보다는 크지 않다.

iii) 모든 조건은 일정할 때 更新伐 사이의 最小期間이 짧을수록, 最大期間이 길수록 行數에는 변함이 없으나 列數는 증가한다.

iv) 計劃期間이 연장될 때 Model I의 行數에는 변함이 없으나 Model I의 列數, Model II의 行數와 列數는 모두 증가한다.

v) 동시에 벌채되었을 때 동일 林型내에서 初期齡級 사이에서 面積移轉이 허용되지 않는 경우 Model I의 行과 列數에는 변함이 없으나 Model II의 行과 列數는 증가한다.

vi) 林型의 數가 증가할 때 두 Model의 行과 列數는 증가한다.

結 論

거의 모든 森林經營計劃 모델에서 Model I과 Model II는 모델의 基本構造를 형성하고 있다. MUSYC(Johnson, 1979)이 開發되기 전에는 Binary Search를 포함하는 모든 森林計劃 모델들은

**Table 4.** Comparison of the number of rows and columns needed in Model I and Model II when each type-site has a beginning inventory of 15 age classes aged 6 to 20 periods.

stand types	Within a stand type, hectares from beginning age classes combined when regeneration harvested at same time ?	Length of planning horizon (periods)	Min. periods between regeneration harvests	Max. periods between regeneration harvests	Model I		Model II	
					Constraints (rows)	Activities (columns)	Constraints (rows)	Activities (columns)
					1	yes	20	2
1	yes	20	2	20	15	237,029	35	311
1	yes	20	4	-	15	13,605	35	471
1	yes	20	4	20	15	11,239	35	276
1	yes	20	6	-	15	3,765	35	440
1	yes	20	6	20	15	2,904	35	245
1	yes	20	6	15	15	1,819	35	170
1	yes	20	12	20	15	339	35	146
1	yes	30	6	15	15	20,581	45	270
3	yes	20	4	20	45	33,717	75	828
3	yes	20	6	20	45	8,712	75	733
3	yes	20	12	20	45	1,017	75	438
1	no	20	4	20	15	11,239	315	2,460
1	no	20	6	20	15	2,904	315	1,995
1	no	20	12	20	15	339	315	939
3	no	20	4	20	45	33,717	915	7,380
3	no	20	6	20	45	8,712	915	5,985
3	no	20	12	20	45	1,017	915	2,817

Model I 이나 Model II 의 어느 하나를 기본으로 하는 單一構造의 것들이 있으나 그 후에는 두 model 을 기본으로 하는 複數構造의 모델들이開發되었다.

本稿에서는 共通資料를 사용하여 L.P. 문제를 수식화 하면서, 이 두 Model 들의 일반적 特性, 計劃上의 差異, 分析上의 差異를 비교 검토해 보았다.

이러한 검토과정에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1) Model I 에서 更新林들은 그들이 원래 속해 있던 現存林과 직접적인 관계를 맺고 있으며 決定變數도 更新林의 遷移歷史가 확인될 수 있도록 定義된다.

2) Model II 에서는 現存林과 更新林을 완전히 分離하도록 決定變數가 定義되는 관계로 更新林의 歷史를 확인할 방법이 없다.

3) Model I 에서 각 activity 에는 現存林에 대한 收穫과 經費, 그리고 更新林에 대한 그것들이 모두 포함되므로 利益係數는 負値가 되는 일이 거의 없다.

4) Model II 에서 現存林에 대한 期末蓄積은 現存林을 제외하고는 모두 0으로 나타난다.

5) Model II 에서는 Model I 에서 불필요한 面積 移轉行을 필요로 하는 관계로 더 많은 行數를 요구한다.

6) Model II 에서는 移轉行의 係數를 利用하여 複合結果 즉 造林과 主伐사이에서 일어나는 여러 가지 林分變化를 표현할 수 있다.

7) 두 Model 에서 會計變數를 도입하면 材積制約에 대한 모든 계산을 쉽게 할 수 있다.

8) 동일문제를 분석하는데 있어서 일반적으로 Model I 에서는 Model II 에서보다 더 많은 列數를 요구한다.

9) 일반적으로 Model II 에서는 더 많은 行數를 요구하고 있으나 그것은 Model I 에서 列數의 요구도 보다는 크지 않으므로 Model II 를 사용하는 경우 계산이 보다 간편하다.

### 引用文獻

1. Davis, L.S., and K.N. Johnson, 1986. Forest management, 3rd ed., McGraw Hill Book Co., New York, 790pp.
2. Hennes, L.C., M.J. Irving, and D.I. Navon.

1971. Forest control and regulation : a comparison of traditional methods and alternatives, USDA For. Ser. Res. Not. PSW 231. 10pp.
3. Iverson, D.C., and R.M. Alson. 1986. The genesis of FORPLAN : a historical and analytical review of forest service planning models. USDA For. Ser. Res. Pap. INT-214. 31pp.
  4. Johnson, K.N., and P.L. Tedder. 1983. Linear programming vs. binary search in periodic harvest level calculation. For. Sci. 29(3) : 569-581.
  5. \_\_\_\_\_, T.W. Stuart, and S.A. Crim. 1986. FORPLAN version 2 : an overview. USDA For. Ser., Land Management Planning Systems Section, Fort Collins, Colorado.
  6. \_\_\_\_\_, and H.L. Scheurman. 1977. Techniques for prescribing optimal timber harvest and investment under different objectives-discussion and synthesis. For. Sci. Monogr. 18. 31pp.
  7. Navon, D.I. 1971. Timber RAM : a long-range planning method for commercial timber lands under multiple-use management. USDA For. Ser. Res. Pap. PSW- 70. 22pp.
  8. Schmidt, J.B., and P.L. Tedder. 1980. TREES : timber resource economic estimation system. Volume I-mathematical analysis and policy guide. For. Res. Lab., Oregon State Univ., Corvallis, Res. Bull. 31b. 71pp.