

Linear Programming에 의한 森林經營計劃^{1*}

-갓나무林分の 森林收穫計劃을 중심으로-

禹 鍾 春²

Forest Management Planning by Linear Programming^{1*}

-Timber Harvest Scheduling of a Korean Pine stand-

Jong Choon Woo²

要 約

森林收穫計劃을 위한 線型計劃法(LP)의 適用性은 이미 널리 알려져 있다. 본 研究에서는 森林經營計劃期間 10년 동안 保續收穫量의 時間的, 空間的 最適配分을 위하여 시뮬레이션과 線型計劃法을 사용하였다. 收穫表數値를 이용하여 樹種別 生長方程式을 유도했고 시뮬레이션 模型에 유도된 生長方程式을 포함시켜 計劃期間동안 갓나무林分の 蓄積變動狀況을 推定하였다. 이것은 LP모형의 기초 data가 되며 古典的 收穫調節方法(Paulsen-Hundeshagen 公式法)에 의해 계산된 分期別 收穫材積의 上限值등이 LP모형구성에 포함되었다. 2年을 1分期로 하여 計劃期間 10年을 5分期로 나누었으며 본 研究에서 開發된 LP모형에 의해 演習林內 갓나무 林分の 補助小班別 分期別 最適收穫 計劃을 樹立하였다.

ABSTRACT

Linear programming(LP) is a well-known method in optimizing timber harvest schedules. This paper describes a linear programming formulation of Korean pine stands for timber harvest scheduling problems. Simulation technique and LP were applied to optimize the time and space distribution of the sustained yield for the 10-year forest management planning horizon. Growthfunction of Korean pine stands in study area was derived with the yield table. This growthfunction was contained to the simulation model in estimating of changing stand volume conditions for the planning horizon. These estimated values were served as the basic data of LP model, and LP model was formulated with the maximum of periodical harvest volume calculated by the classical yield regulation method(Paulsen-Hundeshagen formula) and the maximum of periodical harvest area calculated for the normal age distribution. The timber harvest schedule was established periodically for each subcompartment of Korean pine stands in experiment forest of College of Forestry in Kangweon National University with the here developed LP model.

Key words : Linear programming, simulation, growth function, timber harvest scheduling, forest management planning.

¹ 接受 1991年 11月 27日 Received on November 27, 1991.

² 江原大學校 林科大學 College of Forestry, Kangweon National University, Chuncheon 200-701, Korea.

• 이 論文은 1990年度 教育部 支援 韓國學術振興財團의 地方大育成研究助成費에 의하여 研究되었음.

緒 論

林業에 있어서 重要的 課題 中 하나는 可能的한 保續의 으로 木材生産을 하기 위한 森林의 經營 및 管理이다. 이 木材生産의 保續性을 위해서는 森林의 經營 및 管理를 適切한 方法에 의해 中·長期的으로 計劃해야 한다. 이와 같은 目的을 위해 時代의 흐름에 맞추어 여러가지 收穫調節方法들이 發展되어 왔다. 이 方法들은 森林의 여러가지 計劃因子들(材積, 面積, 生長量 등) 혹은 이 計劃因子들의 併合에 의해서 基礎되었다. 獨逸을 中心으로 發展된 이러한 古典的 收穫調節方法들은 “얼마나”라고 하는 量的인 問題(伐採量)에 解答을 줄 수 있었다. 그러나 이러한 側面은 森林計劃을 위해 必須的인 몇가지 問題點들(伐採場所, 伐採時期, 伐採量 및 伐採方法)中의 하나에 不過하다. 古典的 收穫調節方法에 의해서는 森林의 法正狀態(Normalität)의 到達時期가 正確히 規定될 수 없다. 計劃이란 計劃에 대한 影響因子들의 聯關性 및 主要 目標에 대한 作用을 綜合的으로 取扱할 수 없으면 目標志向的인 計劃이 될 수 없다. 그러므로 森林을 하나의 有機的인 시스템으로서 觀察할 수 있고 分析할 수 있어야 한다. 森林計劃에 있어서의 問題點들은 林業이 갖는 特殊性(自然法則의 尊重性, 木材生産의 長期性 및 保續性)때문에 그리 簡單하지 않다. 森林에 內在하는 이러한 複雜한 關係들을 把握하여 計劃을 세우기 위해서 지금까지 여러가지 方法들이 開發되어 왔으며 특히 森林收穫計劃을 위해 유럽에서 發展된 古典的 收穫調節方法들 外에 시뮬레이션 模型과 最適化 模型들이 開發되었다.

특히 美國에서 發展된 最適化 模型들(MAX-MILLION, FORPLAN 등)은 시뮬레이션과 線型計劃法을 連結시켜 利用하고 있다. 이러한 觀點에서 볼때 하나의 最適 森林經營計劃을 可能하게 하기 위한 위의 세가지 方法들(古典的 收穫調節方法, 시뮬레이션 및 線型計劃法)을 서로 連結시킬 수 있느냐, 可能하다면 어떤 方法으로 이러한 連結이 實現될 수 있느냐 하는 것은 매우 重要的 問題중의 하나이다. 그러므로 本 研究에서는 이 세가지 方法을 서로 連結시켜 最適의 收穫計劃을 樹立하기 위한 計劃模型開發에 目的이 있으며 우리나라의 森林經營計劃 改善에 重要的 基

礎를 提供하고자 한다.

즉, 伐採量의 適正範圍 決定을 위한 古典的 收穫調節方法, 森林經營計劃期間 동안의 林分의 蓄積變動 豫測 및 長期的인 森林利用의 保續性 檢定을 위한 시뮬레이션 模型 그리고 最大木材生産을 위한 線型計劃模型의 相互連結에 의한 最適伐採計劃의 樹立이 本 研究의 目的이다.

Navon(1971)은 線型計劃法을 利用한 長期的인 森林經營計劃인 Timber RAM(Resources Allocation Method)을 開發했으며, Clutter 등(1978)은 역시 線型計劃法을 利用하여 MAX-MILLION을 開發하였다. Johnson과 Jones(1979)는 森林의 多目的 利用을 위한 保續收穫量을 計算하기 위해 MUSYC(Multiple Use Sustained Yield Calculation)을 開發했으며, 그後 美國 國有林의 多目的 經營計劃을 위해 Stuart와 Johnson(1985)에 의해 FORPLAN(Forest Planning)이 開發되어 使用되고 있다. 日本에서는 Nagumo(1981, 1982, 1983)가 民有林 經營計劃의 合理化를 위해 LP모델을 適用한 바 있으며 우리나라에서는 權(1969, 1988), 趙(1978), 張(1987), 禹(1989, 1990)등이 LP에 의한 收穫計劃模型을 理論的으로 說明하거나 혹은 實際 適用한 바가 있다. 특히 禹(1989)는 LP模型을 開發하여 10年의 森林經營計劃期間에 대해 우리나라 國有林에 適用한 바 있다. 本 論文에서는 江原大學校 林科大學 附屬 演習林 內 잣나무 林分을 對象으로 森林經營計劃 10年 동안의 森林 收穫計劃을 LP模型을 통해 最適化하게 된다.

1. 數理計劃法

數理計劃法(mathematical programming)은 一定한 目標志向的인 問題들을 解決하기 위하여 數學的인 模型을 利用하게 된다. 數學的인 模型은 그 模型의 適用이 可能하도록 充足해야 할 特徵的인 前提條件에 따라 여러가지 數學的인 表現으로 定義될 수 있다. 즉, 그 條件들이 線型이나 非線型이나, 確定的이나 確率的이나 등에 따라 線型模型과 非線型模型, 確定的인 模型과 確率的인 模型 등으로 表現될 수 있다. 數理計劃法은 숫자에 의한 方法을 통해 最適解를 發見하게 된다. 여러가지 水準의 森林計劃에 대해서 하나의 最適解 推定을 위한 演算法(Algorithm)이 있다. 특히 컴퓨터 技術의 迅速한 發展을 통해 複雜한 問題解決이

기여할 수 있는 簡便한 演算法의 發展이 加速化되었다. 線型計劃法(linear programming, LP)은 數理計劃法 중에서 가장 널리 利用되고 있는 方法 中의 하나이다.

森林生産 調節領域에 있어서 하나의 重要的 問題點은 影響因子들의 量이 많고 複雜하다는 것이다. 이러한 觀點은 適用 가능한 模型의 選拔을 制限한다.

LP에 이어서 特殊한 適用 目的에만 解答을 주는 0-1計劃法이 Norman(1970)에 의해 開發되었다. 森林計劃問題에 대해서 非線型計劃法(non-linear programming)은 非線型 問題들이 集中的이고 均一한 解答을 줄 수 없을 정도로 서로 다르게 이루어져 있다는 이유 때문에 많이 研究되지 못했다. 動的計劃法(dynamic programming)은 標準的인 模型이 定義될 수 없고 計劃에 드는 費用이 높기 때문에 收穫調節計劃에는 작은 規模만 適用되었다. 그리고 森林의 多目的 利用問題를 다루는데 있어서 多目標 상황을 簡單한 LP模型으로 取扱하는데는 限界가 있다. 즉, 거의 비슷한 比重을 갖는 여러가지의 目標가 存在한다고 할때 LP에 의해서는 하나의 主要 目標만 目的函數로 되고 다른 目標들은 制約條件으로 전략 시켜야 하는 限界가 있게 된다. 이러한 限界點을 克服하기 위해 LP의 擴張形態인 目標計劃法(goal programming, GP)이 適用되고 있다. Field(1973)에 의해 林業問題에 처음으로 適用된 바 있다.

2. 線型計劃法

線型計劃法(linear programming, LP)은 競爭의 狀況下에 있는 制限的인 生産因子들을 最適의 方法으로 分配하게 된다. 分配의 問題는 稀少資源을 利用하는 경우 競爭을 나타내는 活動들의 強度를 決定해야 할 때에 發生하게 된다. 이 경우 生産因子들의 最適配分은 收穫을 最大化하거나 費用을 最小化하는 目的函數를 통해 이루어진다. 線型計劃法은 該當問題를 表現하기 위하여 數學的 模型을 利用한다. “線型(linear)”이라고

하는 말은 模型속의 모든 方程式들이 直線的인 關係의 等式이나 不等式으로 이루어져 있다는 것을 意味한다.

“programming”이라고 하는 말은 “planning”과 거의 類似的인 同義語이다. 그러므로 線型計劃法(linear programming)은 數學的 模型에 따라서 어느 한 問題에 대한 最適解를 얻기 위해 計劃을 세우는 것이다. LP는 다음과 같이 線型的 制約條件 下에서 線型的 目的函數를 最適化하는 意思決定變數 X_1, X_2, \dots, X_n 의 값을 決定하기 위한 數學의 方法이다. 즉,

$$\text{目的函數 } Z = \sum_{j=1}^n C_j X_j \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{制約條件 } \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j = b_i \dots\dots\dots (2)$$

$$X_j \geq 0 \dots\dots\dots (3)$$

여기에서, $\begin{cases} i=1, 2, \dots, m \\ j=1, 2, \dots, n \\ a_{ij}, b_i, c_j = \text{常數} \end{cases}$

위에 提示된 模型은 LP의 標準的 問題들을 描寫해 준다. 方程式(1)은 目的函數라고 부른다. 問題의 “最適解”는 目的函數의 최대값 및 최소값을 가리킨다. 方程式(2)는 制約條件을 그리고 方程式(3)은 非負條件을 나타낸다. 意思決定 變數 X_1, X_2, \dots, X_n 은 이 경우 여러가지 活動水準을 나타낸다. 그리고 LP는 比例性, 非負性, 附加性, 分割性, 線型性 그리고 有限性和 같은 前提條件들의 만족下에서 模型의 定式化가 이루어진다.

資料 및 方法

1. 研究資料

本 研究에 使用된 資料는 江原道 春城郡 東山面과 洪川郡 北方面 所在 江原大學校 林料大學 附屬演習林 3,079ha(8개 林班 141개 小班)에서 採種林과 開發制限地域을 除外한 2,799.66ha(7개 林班 129개 小班) 中 잣나무 林分 501.4ha를 對象으로 蒐集하였다. 잣나무 林分에 대한 齡級別

Table 1. Area composition of korean pine stand for each age class in experiment forest.

Age Class	I (1-10)	II (11-20)	III (21-30)	IV (31-40)	V (41-50)	VI (51-60)	Total (ha, %)
Area (ha)	50.6	250.2	55.5	17.1	3.3	124.7	501.4
Composition (%)	10.1	50.0	11.1	3.4	0.6	24.8	100.0

Table 2. Volume composition of korean pine stand for each age class in experiment forest.

Age Class		I (1-10)	II (11-20)	III (21-30)	IV (31-40)	V (41-50)	VI (51-60)	Total (m ³ , %)
Volume	(m ³)	0	8663	6650	3276	980	40324	59893
Composition	(%)	0.0	14.5	11.1	5.5	1.6	67.3	100.0

Table 3. Area composition of korean pine stand for each compartment in experiment forest.

Compartment		1	2	3	4	5	6	7	Total
Area	(ha)	120.8	64.7	70.3	28.5	11.7	61.3	144.1	501.4
Composition	(%)	24.1	12.9	14.0	5.7	2.4	12.2	28.7	100.0

Table 4. Volume composition of korean pine stand for each compartment in experiment forest.

Compartment		1	2	3	4	5	6	7	Total
Volume	(m ³)	10800	7094	5051	2812	2030	8448	23658	59893
Composition	(%)	18.0	11.9	8.4	4.7	3.4	14.1	39.5	100.0

面積分布 (Table 1) 및 材積分布 (Table 2) 그리고 林班別 面積分布 (Table 3) 및 材積分布 (Table 4)는 第5次期 營林計劃書에서 引用하였다.

2. 研究方法

1) 시뮬레이션 模型의 構成

森林經營計劃期間 10年(1990年~1999年)동안의 林分 蓄積의 變動狀況을 豫測하기 위하여 시뮬레이션 模型을 開發한다. 林分의 初期狀況은 面積, 材積, 樹種, 林齡등으로 描寫될 것이고 이 因子들은 컴퓨터에 入力資料로서 使用된다. 컴퓨터에 入力된 資料들을 토대로 收穫에 할당된 林分은 伐採되고 殘存林分은 生長이 이루어진다. 이와같은 方法에 의해 計劃期間內의 林分 蓄積의 變動狀況이 시뮬레이션될 수 있다. 生長方程式은 永久標準地 調査를 통한 生長研究 資料를 基礎로 하여 林分의 生長過程을 可能的한 한 模型化해야 한다. 一般적으로 生長量은 다음과 같은 生長方程式을 통해서 計算될 수 있다. 즉,

生長量 = f(林齡, 材積, 連年生長量, 平均生長量, ...)

여기에서는 演習林에서의 永久標準地 調査에 따른 資料가 미흡하므로 收穫表를 利用하여 演習林內의 主要 樹種別 生長方程式을 誘導하였다. 시뮬레이션을 할 경우 새로운 林分材積의 推定을 위한 세가지 要素들은 다음과 같은 關係式에 의해 表現될 수 있다. 즉,

$$V_e = V_a - Z - N$$

여기에서,
$$\begin{cases} V_e = \text{計劃期間 末期 材積} \\ V_a = \text{計劃期間 初期 材積} \\ Z = \text{生長量} \\ N = \text{收穫量} \end{cases}$$

本 研究를 위한 각 樹種別 生長方程式은 SPSS-X 프로그램을 利用하여 誘導된다.

2) 線型計劃 模型의 構成

(1) 古典的 收穫調節 方法에 의한 收穫量 決定

計劃期間 10年동안의 收穫量 範圍를 決定하기 위하여 우선 古典的 收穫調節 方法의 하나인 Paulsen-Hundeshagan公式法에 의해 年間收穫量을 計算할 수 있겠다. 이 方法은 利用率法의 하나로 利用率(伐期平均生長量/法正蓄積)에 現實材積을 곱하여 年間 收穫量을 調整하게 된다. 이 公式는 다음과 같이 表現된다. 즉,

$$H_i = V_w * \frac{dGZ_u}{V_n}$$

여기에서,
$$\begin{cases} H_i = \text{標準 收穫量 (ha當, 年間)} \\ V_w = \text{現實材積 (ha當)} \\ V_n = \text{法正材積 (ha當)} \\ dGZ_u = \text{伐期平均 生長量 (ha當)} \end{cases}$$

이 方法의 長點은 林分材積의 “法正狀態”에 매우 安定的으로 到達할 수 있으며 未來 收穫量의 커다란 變動을 피할 수 있다는 것이다.

(2) 線型計劃 模型

線型計劃法(LP)에 의해 經營計劃 模型이 可能하며, 특히 4가지 計劃因子들 즉, 언제, 어디서, 어떻게, 얼마나 收穫할 것인가에 대한 意思決定

情報가 提供된다. 本 研究를 위해 開發된 LP模型에서는 經營計劃에 필요한 여러가지 因子들 中에서도 現 林分의 法正狀態 誘導에 초점을 맞추어 最大 木材生産을 위한 林分 面積 및 材積의 分期別 最適 分配가 意圖된다. Paulsen-Hundeshagan公式法에 의해 計算된 年間 收穫量이 分期別 收穫量의 上限值가 되며 法正齡級分配를 위해 法正令級面積이 計算되어 模型構成에 包含된다. 그리고 伐採方法으로 皆伐 및 擇伐 등이 考慮될 수 있는데 皆伐은 伐採面積의 制限이 要求된다. 本 研究에서는 獨逸에서 皆伐의 경우 적용되고 있는 上限值 4ha를 감안하여 5ha를 上限 伐採面積으로 定했다. 이 LP模型은 다음과 같이 表現된다.

目的函數 Z를 最大化 하라 :

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \cdot V_{ij}$$

制約條件 :

- (1) $\sum_{j=1}^n X_{ij} \leq A_i$
- (2) $X_{ij} \leq MA_{ij} (=5ha)$
- (3) $\sum_{i=1}^m X_{ij} \leq NMA_j$
- (4) $\sum_{i=1}^m X_{ij} \cdot V_{ij} \leq MAXV_j$
- (5) $X_{ij} \geq 0$

여기에서,

- i : 小班數 (i=1, 2, ……………m)
- j : 計劃期間(年) (j=1, 2, …n)
- X_{ij} : i 小班에서 j 年에 伐採될 面積
- V_{ij} : i 小班에서 j 年에 伐採될 ha 當 材積
- A_i : 小班面積
- MA_{ij} : 皆伐의 경우 한 小班的 最大

- 伐採面積
- NMA_j : 全 事業區에서 j 分期의 最大 伐採面積
- $MAXV_j$: 全 事業區에서 j 分期의 最大 伐採材積

위의 LP模型을 基礎로 하여 附屬 演習林內 잣나무 林分의 7個 林班 317個 補助小班에 대한 資料를 컴퓨터에 入力시킨다. 補助小班別 面積과 시뮬레이션 模型에 의해 推定된 10年間의 材積을 基礎 data로 하여 西江大學校 電子計算所의 Cyber 170-825 computer system의 IMSL version 9.20 LP program package를 利用했다.

結果 및 考察

1. 시뮬레이션 模型

10年の 森林經營計劃期間에 대한 林分蓄積의 變動狀況을 推定하기 위해 本 大學 森林 經營學 科소장 personal computer의 SPSS-X program package를 利用하여 演習林內 主要樹種別 生長 方程式을 誘導했다(Table 5). 이때 固定 標準地 調査에 의한 資料가 미흡했으므로 收穫表를 利用했다. 여기에서는 잣나무에 대한 生長 方程式만 을 사용했다.

위에서 誘導된 各 樹種別 生長方程式을 통해 各 林分(補助小班)에 대해 그리고 年次別 10年 동안의 蓄積量이 推定되었고 다음의 LP模型計劃을 위한 基礎 data로 入力되었다. 여기에서는 演習 林內의 여러樹種 中에서 잣나무林分 7個 林班의 317個 補助小 班을 對象으로 年次別 生長量을 包含한 蓄積量이 計算되었다. Table 6은 시뮬레이

Table 5. Growthfunctions by species in experiment forest.

Species	Growthfunction (regression equation)	R(%)
<i>Pinus koraiensis</i>	$Y = -1.14 + 63.64X_1 - 0.028X_2 + 1.71X_3$	92.8
<i>Pinus densiflora in Kangwon</i>	$Y = -3.22 + 98.2X_1 - 0.048X_2 + 3.07X_3$	95.3
<i>Pinus thunbergii</i>	$Y = -0.533 - 1.81X_1 - 0.00601X_2 + 3.41X_3$	95.2
<i>Quercus aquitissima</i>	$Y = -1.06 + 17.3X_1 - 0.0226X_2 + 2.20X_3$	95.0
<i>Pinus densiflora in central</i>	$Y = -1.21 + 45.3X_2 - 0.053X_3 + 2.67X_3$	84.5
<i>Larix leptolepis</i>	$Y = -0.947 + 5.32X_1 - 0.0393X_2 + 2.42X_3$	97.2

- 여기에서,
- Y : annual increment per ha
 - X_1 : 1/age
 - X_2 : stem volume per ha
 - X_3 : mean increment per ha
 - R : multiple correlation coefficient

Table 6. Volume distribution of 10-year planning horizon estimated by simulation model.

Year	0	1	2	3	4	5	6
Volume(m ³)	59,893	61,805	65,434	70,452	76,441	82,944	89,523

Year	7	8	9	10
Volume(m ³)	95,797	101,477	106,378	110,413

선 모델에 의해 推定된 年次別 蓄積量 分布이다.

Table 6에 의하면 初期 材積은 59,893m³으로 ha當 119.5m³의 좋은 蓄積狀態를 나타내고 있다. 그리고 收穫이 전혀 行해지지 않은 狀態에서 10年 동안의 生長量은 110,413m³-59,893m³=50,520m³으로 初期 材積보다 약 84%가 增加했다. 이것은 收穫表를 利用해서 生長方程式을 誘導했고 立木度가 100%라고 假定하였으므로 過大值가 나타났으리라 생각된다.

2. 線型計劃 模型

앞에서 言及했던 LP模型 計算을 위해 目的函數와 制約條件의 값들이 決定되었다. 木材收穫의 最大化를 위해서 收穫場所에 따른 分期別 ha當 材積은 시뮬레이션 模型에 의해서 準備되었다. 木材生産의 경우 最大의 生産을 올리는 것이 經濟的 目標이겠으나 森林經營에 있어서 重要한 것은 保續的으로 生産하기 위한 材積 및 蓄積의 法正分配의 達成일 것이다.

本 LP模型을 통한 森林經營計劃에 있어서도 材積의 保續收穫達成을 위해 Paulsen-Hundeshagen公式法을 適用했으며 이 公式法에 의해 計算된 連年伐採量은 갓나무 501.4ha에 대해 1,973.5m³이었다. 計劃期間은 여러가지 計劃 領域의 要求條件에 의해 變動될 수 있다. Speidel (1972)은 伐採量 決定을 위해서는 10年을 計劃期間으로 推薦하고 있다. 本 研究에서도 10年の 計劃期間을 採擇했으며 2年을 1分期로 하여 總 5分期를 設定했다. 그래서 保續收穫을 위해 決定된 分期別 上限 伐採量은 3,947.0m³이 된다. 演習 林內 갓나무 林分의 地位指數 平均은 中에 該當했으며 伐期齡은 現 林分의 生育狀態를 考慮하여 60年으로 하였다. 그러므로 長期的으로 法正 齡級分配를 위한 分期別 上限伐採面積은 16.7ha로 計算된다. 現 林分을 장차 法正 狀態로 이끌기 위한 制約條件들을 考慮하여 本 研究에서 개발된 LP모형을 통해 계획된 各 林班에 대한 分期別,

補助小班別 收穫面積과 收穫材積은 Table 7 및 Table 8에 提示되었다. 7個 林班에 홀어져 있는 갓나무 林分 總 317個 補助小班 中에서 收穫計劃에 包含된 것은 43個에 該當되며 10年の 計劃期間 동안 501.4ha中 약 9.6%에 該當하는 48.13 ha가 수확되고 最大 收穫量은 19734.6m³에 달한다. 計劃에 採擇된 43個 補助小班의 林齡分布는 30年~60年生이었으며 30年生 林分은 大개 計劃期間 末에 伐採되는 것으로 나타났다. 各 分期別로 採擇된 收穫面積 및 材積分布를 보면 最大化를 위해 各 分期의 2次年度에 偏重돼 있는 것을 注目할 수 있다. 그리고 分期別 收穫面積 및 材積은 LP模型의 制約條件에 包含시킨대로 計算되어 分期別로 거의 갈게 골고루 分布해 있음을 알 수 있다. 이와같은 方法에 의해 LP模型은 輪伐期 60년 동안 반복實行 시킨다면 全體의 林分構造가 法正狀態에 接近할 수 있을 것이다.

LP模型에 의해 誘導된 最大收穫量은 19,734.6 m³으로 現實材積 59,893m³의 약 33%에 該當되며 10年後 材積 110,413m³에 대해서는 약 18%에 該當된다. 그러나 實際의 收穫은 年次別로 이루어지므로 위의 範圍限度에서 變動할 것이다.

結 論

森林經營計劃의 範疇에서 保續收穫量은 10年の 森林經營計劃 期間에 대해 規定되고있다. 本 論文에서는 計劃期間 10年 동안 保續收穫量의 場所的, 時間的 最適分配을 위해 시뮬레이션과 線型計劃法(LP)을 使用하였다. 演習林內 갓나무 林分의 10年 동안의 蓄積變動 狀況을 豫測하기 위하여 收穫表 數值를 利用한 生長方程式을 誘導하였다. 이렇게 誘導된 生長方程式을 시뮬레이션 模型에 包含시켜 生長量을 推定했으며 收穫(主伐 및 間伐)이 考慮되지 않는 경우의 年次別 蓄積增加狀態를 시뮬레이션 하였다. 이때 推定된 各 林分에 대한 年次別 單位面積當 材積은 LP模

Table 7. Harvesting area of each stand planned by LP model (periodical maximum harvesting area = 16.7ha).

Number of comp.	Number of subcomp.	Original area (ha)	Planning area (ha)	1. period		2. period		3. period		4. period		5. period	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	4	1.0	1.0										
	6	0.3	0.3	0.03			0.27					0.46	0.54
	7	2.3	2.3				1.56						
	9	0.8	0.8				0.8						
	15	0.8	0.8				0.62	0.18					
	16	1.0	1.0										
	22	2.4	2.4						0.98	0.27			
	23	2.4	2.4								0.53	0.86	
	31	1.4	0.46										1.01
36	2.9	2.9		0.89	2.01								0.46
46	0.1	0.1				0.1							
2	59	0.3	0.3	0.28	0.02								
	62	2.0	2.0						0.03	1.08		0.89	
	66	5.0	1.15										0.07
	69	0.3	0.3		0.3								1.08
	71	8.3	1.85		0.76			1.08				0.01	
79	0.5	0.25				0.25							
3	80	0.5	0.5		0.5								
	81	0.3	0.3				0.25	0.05					
	85	0.1	0.1		0.1								
	86	1.3	1.28					1.12		0.16			
	93	0.5	0.17		0.17								
	95	5.0	1.1									0.04	1.06
	119	2.3	2.3							1.17		1.13	
	127	0.4	0.4	0.4									
128	0.2	0.2		0.2									
4	136	0.3	0.3									0.3	
	147	3.1	1.94		0.48		0.47		0.45		0.44		0.1
5	169	2.6	0.53	0.09	0.2	0.08		0.06	0.1				
	170	0.8	0.43							0.03	0.2		0.2
	172	0.3	0.3				0.2		0.1				
6	206	1.9	1.89				0.69		0.91		0.29		
	209	1.5	0.42									0.42	
	213	0.8	0.8								0.45		0.35
	228	0.4	0.4	0.14	0.26								
	241	1.2	1.2		0.76	0.11	0.33						
7	244	4.0	3.55								1.2		2.35
	247	0.2	0.2								0.2		
	263	11.2	6.11	0.59	2.4	0.51	2.4	0.14		0.07			
	264	2.1	2.1						2.1				
	269	0.1	0.1						0.1				
	282	0.3	0.3						0.2		0.1		
	289	0.9	0.9								0.9		
SUM		501.4	48.13 (9.6%)	2.42	8.16	2.72	8.35	1.37	8.22	0.63	7.86	0.83	7.57
				10.58		11.07		9.59		8.49		8.4	

형을 위한 data로 入力되었다.

森林收穫計劃을 위해 2年을 1分期로 하여 10年의 期間을 5分期로 나누었으며 現在 林分을 장차 法正狀態로 誘導하기 위하여 古典的 收穫調節 方法에 의해 分期別 伐採材積의 上限值를 計算했으며 法正齡級分配를 위하여 分期別 伐採 面積의 上限值를 誘導했다. 그리고 10年의 計劃期間 동안 最大의 木材生産을 위하여 LP模型이 構成되

었으며 法正狀態 接近을 위해 古典的 收穫調節 方法에 의해 計算된 分期別 材積 및 面積에 대한 上限值들이 LP模型의 制約條件으로 包含되었다. 이 LP模型에 의해 演習林內 갓나무 林分의 森林 經營 計劃, 특히 最適 收穫計劃이 樹立되었다. 樹立된 計劃에 의한 最適 收穫量은 19,734.6m³이 었으며 이때의 收穫面積은 48.13ha로 갓나무 林分 全體 面積 501.4ha의 약 9.6%에 달했다. 이

Table 8. Harvesting volume of each stand planned by LP model (periodical maximum harvesting volume = 3947.0m³).

Number of comp.	Number of subcomp.	Sum of harvesting volume	1. period		2. period		3. period		4. period		5. period	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	4	396.3										
	6	93.4	8.7			84.7					175.3	221.0
	7	692.6				425.8						
	9	246.3						266.8				
	15	247.1				246.3						
	16	360.9				192.4	54.7					
	22	911.0										
	23	972.5						305.8	98.1		507.1	
	31	187.4								190.0	334.5	448.0
36	1,022.8		311.9	710.9							187.4	
46	27.7					27.7						
2	59	90.5	85.7	4.8								
	62	825.9						8.6	405.4		411.9	
	66	414.0										25.1
	69	91.2		91.2								388.9
	71	571.5		232.3			337.0				2.2	
79	77.0				77.0							
3	80	152.0		152.0								
	81	92.6				76.4	16.2					
	85	30.4		30.4								
	86	399.2					348.9	50.3				
	93	50.5		50.5								
	95	456.4									15.0	441.4
	119	817.1							391.1		426.0	
127	138.6	138.6										
128	69.9		69.9									
4	136	128.0										128.0
	147	710.0		167.6		167.6			167.6		167.6	39.6
5	169	184.3	30.3	67.9	28.4			21.8	35.9			
	170	196.4								10.4	87.8	98.2
	172	110.3					69.8		40.5			
6	206	944.3					276.2		479.4		188.7	
	209	223.2										223.2
	213	546.8									290.7	256.1
	228	166.8	58.5	108.3								
	241	515.7		312.6	49.4	153.7						
7	244	1,903.0									588.2	1,314.8
	247	107.6									107.6	
	263	2,726.2	256.4	1,058.4	227.8	1,087.0	63.1			33.5		
	264	1,101.2							1,101.2			
	269	52.7							52.7			
	282	157.8							97.8		60.0	
	289	525.5									525.5	
SUM		19,734.6	890.1	3,056.8	925.4	3,021.6	449.6	3,497.4	233.9	3,712.8	328.4	3,618.6
			3,946.9		3,947.0		3,947.0		3,946.7		3,947.0	

와같이 古典의 收穫調節方法, 시뮬레이션 및 線型計劃法등 3가지방법은 森林收穫計劃을 위하여 適切히 併合될 수 있었다.

引用文獻

1. Chappelle, D.E. 1976. Linear programming for forestry planning. Forest Economics, State

Univ. College of Forestry at Syracuse, N.Y., P129-163.

2. 張哲洙. 1987. 韓國의 林業經營에 대한 Timber RAM의 適用性. 江原大學校 博士學位 論文集.

3. 趙應赫. 1987. 시스템分析에 의한 森林收穫調節에 관한 研究. 서울大學校 博士學位 論文集.

4. Clutter, J.L., J.C. Fortson and L.V. Pienaar.

1978. MAX-MILLION II. A computerized forest management planning system. Athens, Georgia.
5. Clutter, J.L., J.C. Fortson, L.V. Pienaar, G. H. Brister and R.L. Bailey. 1983. Timber Management : a quantitative approach. John Wiley & Sons, P272-304.
 6. Davis, L.S. and K.N. Johnson. 1987. Forest Management. McGraw-Hill, P592-715.
 7. Dykstra, D.P. 1984. Mathematical programming for natural resource management. McGraw-Hill.
 8. Field, D.B. 1973. Goal programming for forest management. Forest Sci. 19(2) : 125-134.
 9. IMSL. 1982. International Mathematical & Statistical Libraries. Library Volume 4, IMSL Library, Editing 9.
 10. Johnson, K.N. and D.B. Jones. 1979. A user's guide to multiple-use sustained yield resource scheduling calculation(MUSYC). Timber Manag., USDA For. Ser. Ft. Collins, Co.
 11. 江原大學校. 1990. 林科大學 附屬演習林 洪川事業區 第5次期 營林計劃書.
 12. 權五福. 1969. Linear Programming에 의한 伐採量調節. 春川農大研究論文集. No3 : 25-31.
 13. 權五福·張哲洙. 1988. 森林經營計劃 모델의 適用性研究-Model I 대 Model II. 韓國林學會誌, 第77卷 第4號.
 14. 權五福·張哲洙·染允碩. 1988. 森林經營計劃 모델의 適用性 研究-FORPLAN의 收穫構造-江原大學校 林科大學 附屬演習林 研究報告 第8號.
 15. Nagumo, H. and A. Kitaoka. 1983. Studies on the method of regulating yield by linear models (II) : A method for scheduling forest land construction in Tokyo Univ. Forest in Chiba. J. Jap. For. Sci. 65 : 172-178.
 16. Navon, D.I. 1971. "Timber RAM.....A long-range planning method for commercial timber lands under multiple-use management." U.S. For. Ser. Res. paper PSW-70.
 17. Norman, E.L. 1970. An implicit enumeration 0, 1 algorithmen for forest production scheduling. Diss. Purdue University.
 18. Pelz, D.R. 1973. Optimizing forest production - A probabilistic mathematical programming approach. Diss. Syracuse, New York.
 19. Speidel, G. 1972. Planung im Forstbetrieb-Grundlagen und Methoden der Forsteinrichtung. Verlag Paul Parey.
 20. Stuart, T.W. and K.N. Johnson. 1985. FORPLAN Version II : a tool for forest management planning. presented at the TIMA/ORSA conference. Boston, P1-39.
 21. 山林廳. 1989. 山林立地調查要領. 林業研究院.
 22. 禹種春 外. 1989. 奧地林的 多目的 經營모델研究. 韓國林政研究會. P47-85.
 23. 禹種春. 1989. Computer-Simulation에 의한 森林經營計劃. 江原大學校 林科大學 附屬演習林 研究報告 第9號 P67-75.
 24. 禹種春 外. 1990. 新稿 林業經營學. 鄉文社.
 25. 禹種春. 1991. Simulation Model에 의한 林分狀態의 變動豫測. 韓國林學會誌, 第80卷 第1號, P9-19.
 26. Woo, J.C. 1990. Planung des jährlichen Hiebs-satz mit Simulation und linearer Programmierung. Res. Bull. of the Experiment Forest, Kangweon Nat'l Univ., No. 10 : 41-85.