

農業用 貯水池의 多目的 利用을 爲한 用水의 適正配分

Optimized Allocation of Water for the Multi-Purpose Use in Agricultural Reservoirs

辛 逸 善* · 權 純 國**
Shin, Il Seon · Kwun, Soon Kuk

Summary

The purpose of this paper is to examine some difficulties in water management of agricultural reservoirs in Korea, for there are approximately more than 15,000 reservoirs which are now being utilized for the purpose of irrigation, along with the much amount of expenses and labors to be invested against droughts and floods periodically occurred. Recently, the effective use of water resources in the agricultural reservoirs with a single purpose, is becoming multiple according to the alterable environment of water use. Therefore, the task to allocate agricultural water rationally and economically must be solved for the multiple use of agricultural reservoirs.

On the basis of the above statement, this study aims at suggesting the rational method of water management by introducing an optimal technique to allocate the water in an existing agricultural reservoir rationally, for the sake of maximizing the economic effect.

To achieve this objective, a reservoir, called "O-Bongje" as a sample of the case study, is selected for an agricultural water development project of medium scale. As a model for the optimum allocation of water in the multi-purpose use of reservoirs a linear programming model is developed and analyzed. As a result, findings of the study are as follows :

First, a linear programming model is developed for the optimum allocation of water in the multi-purpose use of agricultural reservoirs. By adopting the model in the case of reservoir called "O-Bongje," the optimum solution for such various objects as irrigation area, the amount of domestic water supply, the size of power generation, and the size of reservoir storage, etc., can be obtained.

Second, by comparing the net benefits in each object under the changing condition of inflow into the reservoir, the factors which can most affect the yearly total net benefit can be drawn, and they are in the order of the amount of domestic water supply, irrigation area, and power generation.

* 農業振興公社 水利施設管理團

** 서울大學校, 農科大學

Third, the sensitivity analysis for the decision variable of irrigation which may have a first priority among the objects indicate that the effective method of water management can be rapidly suggested in accordance with a condition under the decreasing area of irrigation.

Fourth, in the case of decision making on the water allocation policy in an existing multi-purpose reservoir, the rapid comparison of numerous alternatives can be possible by adopting the linear programming model. Besides, as the resources can be analyzed in connection with various activities, it can be concluded that the linear programming model developed in this study is more quantitative than the traditional methods of analysis.

Fifth, all the possible constraint equations, in using a linear programming model for adopting a water allocation problem in the agricultural reservoirs, are presented, and the method of analysis is also suggested in this study.

Finally, as the linear programming model in this study is found comprehensive, the model can be adopted in any different kind of conditions of agricultural reservoirs for the purpose of analyzing optimum water allocation, if the economic and technical coefficients are known, and the decision variable is changed in accordance with the changing condition of irrigation area.

I. 緒 論

우리나라 水利施設의 維持管理는 制度的으로 農地改良組合(農組)과 農地改良楔에서 施行하도록 되어 있다. 農組가 管理하는 貯水池數는 2,467 個所이고 蒙利面積은 347千ha이다.

現在 우리나라 水利施設에 대한 維持管理, 특히 물管理를 中心으로 살펴볼때 單純히 經驗에 의한 非計量的인 方法을 踏襲하므로써 많은 問題點을 지니고 있다. 10年頻度 旱魃에 充足할 수 있도록 計劃되어 있으나 計量的인 適正用水管理를 하지 않음으로써 頻繁히 來襲하는 적은 旱魃에도 물 不足現象이 나타나며 旱害克服을 위한 所要人力과 經費가 莫大한 實情이다. 用水管理는 管理費節減, 便利提高, 水資源의 效率의 利用등이고 이러한 目的을 充足시키기 위하여 물의 使用이 規制되어야 한다.

農業用水管理는 自然, 氣象, 社會 및 人爲의 要因이 關聯되어 있어 複雜多端하다. 또한 그때그때 變化하는 諸條件에 對應하여 適切한 措置를 即時 취해야 하며, 특히 設置時의 計劃과 竣工後 維持管理時의 諸與件의 相當한 差異를 나타내고 있는 것이 一般的인 現象이다. 即 當初 計劃된 蒙利面積은 都市地域, 工場敷地, 道路敷地 등의 擴大로 減少되는 傾向이 있고 또한 當

初에는 灌溉만이 目的이었으나 上水道, 小水力發電 등으로 多目的化 될 수도 있다. 이와같이 與件變動에 따른 用途別 適正用水配分, 施設의 改修方向, 規模등이 檢討되어 最大의 經濟的인 便益을 가져올 수 있는 方案은 반드시 講究되어야 한다.

어떤 方式으로 目的이 設定된다면 그 基準은 計量的이어야 할 必要가 있으며 또한 計量化된 量의 處理에 있어서는 工學的이며 數學的이어야 한다. 用水를 管理하기 위한 目的에 따라 그 目的의 自體를 數學的인 模型으로 具體化해야 하며 構成된 模型을 解析할 수 있는 方案이 마련되어야 할 것이다.

시스템分析(System Analysis)이란 使用目的과 用途가 多樣하므로 한마디로 定義하기는 困難하나 Morse와 Kinball은 管理者가 그들의 統制下에 있는 諸般運營問題에 대하여 合理的인 意思決定을 할 수 있도록 計量的 基盤(quantitative basis)을 提供하는 科學的인 方法이라고 定義하였고, Churchman, Ackoff 및 Arnoff는 시스템의 運營上 일어나는 諸般問題에 대하여 그의 最適解를 提供하기 위한 科學的인 方法과 技術 및 道具를 適用하는 것이라고 하였다¹⁵⁾. 以上の 定義를 綜合해보면 서로 關聯되어 있는 多樣한 要素들을 모아놓은 하나의 集合體를 시스템이라 할 수 있으며 시스템分析이란 合理的인 意思決定을

할 수 있도록 計量的 資料를 提供하는 科學的 方法이라고 할 수 있겠다.

本 研究에서 適用한 시스템分析은 用水의 需要와 供給量을 必要에 따라 推定하고 適正配分하는 綜合的인 技法으로서 灌溉面積, 作物必要水量, 上水道 및 發電用水 등의 需要側面에서의 諸與件과, 流入量인 供給側面 및 貯水池內容積, 取水施設, 물넘이放水路等 現地施設側面에서의 물의 適正配分方法을 講究하는 것이다. 따라서 本 研究의 目的은 既設貯水池의 用水를 合理的으로 配分 管理하기 위하여 시스템分析技法을 導入함으로써 地區全體의 經濟的인 便益을 提高하고 水資源利用의 極大化를 圖謀하는 方法을 究明하는데 있다.

以上과 같은 目的을 達成하기 위하여 水資源 시스템의 開發 및 管理에 시스템分析技法을 利用한 研究開發過程을 살펴보았으며 貯水池 물管理에 適用한 最適化 模型의 理論的 背景과 模型을 紹介하고 本 模型을 檢定하기 위하여 中規模 農業用水開發地區인 江陵農組 五峰池를 標本地區로 選定하여 그 地域에 맞는 模型을 開發分析하였다. 本 研究에서 適用한 技法은 實務者가 理解하기 쉽고, 複雜한 他技法에 比하여 結果值에 큰 差異를 가져오지 않는 標準化된 線型計劃法(LP)을 適用하여 貯水池 물管理의 最適化를 圖謀하였다.

II. 最適化模型의 理論的 背景

本章에서는 最適化模型의 性質과 必須的으로 包含되어야 할 項目에 대하여 理論的인 背景을 記述코져 한다. 卽 模型의 一般的인 概念, 最適化技法, 模型의 構成要素, 經濟分析, 需要水量 및 供給水量에 대한 一般的인 理論을 論하고저 한다.

1. 模型의 概念

模型은 事實을 理想的으로 묘사해 놓은 것이지만 實際事實 全部를 그대로 包含시킬수는 없으며 시스템分析에서는 物理的模型보다는 物理的인 시스템을 數學的으로 묘사하는 數學的模型에 力點을 두고 있다. 數學的 模型은 O. R(Operations Research)의 最適化 技法과 이런 技法을 電子計算機로 解析하게 하는 橋梁의 役割을 하여 매우 實用的이므로 시스템分析에 많이 利

用된다.

水資源 시스템分析에서 數學的 模型은 數學的인 理論과 特定問題에 대한 物理的인 樣相이 있어야 하고 模型構成의 目的에 따라 模型이 開發되어야 한다. 最近에 水資源시스템 分野에서 貯水池 시스템의 計劃設計 및 運用에 最適化 技法을 導入함으로써 劃期的인 發展을 이룩하게 되었고 最適化 模型은 與件에 따라 單一 또는 多目的, 靜的 또는 動的, 確定的 또는 推計的 模型으로 細分될 수 있다.

2. 最適化 技法

水資源 시스템分析에 適用되는 最適化 技法은 線型計劃, 非線型計劃 및 動的計劃이 있으며 다음과 같다.

線型計劃은 目的函數와 制約條件을 묘사한 數學函數가 線型代數의 形態라면 線型計劃이라고 하며 이 計劃의 長點은 電算알고리즘이 明確함으로 使用者의 理解가 쉽고 수많은 變數의 包含이 可能하며 電算時間이 짧다는 것이다.

非線型計劃은 目的函數나 制約條件을 나타낸 數學函數가 非線型일때 非線型計劃이라고 하며 이 計劃은 事實을 多少 正確하게 묘사하여 좀더 正確한 해를 얻을 수 있으나 전산알고리즘이 複雜하고 전산기의 容量과 電算時間이 긴것이 問題로서 特別한 目的에 많이 使用된다.

動的計劃은 線型 또는 非線型으로 解析하는 方法이나 決定變數가 連續的인 性質을 가지고 있는 計劃을 말한다.

어떠한 問題에도 適用할 수 있는 唯一한 最上의 模型은 있을수 없고 찾고자하는 目的과 制約條件의 性質과 必要한 資料의 取得可能與否에 따라 數學的 模型을 採擇해야 한다.

3. 構型的 構成要素

貯水池와 같은 水資源 시스템에 適用하는 最適化 模型에서 고려되어야 할 事項은 連續性, 貯水池內容積, 灌溉, 水力發電, 流域相互間의 流出入, 現地與件 및 政策등의 制約條件과 目的函數라 할 수 있으며 最適化 模型으로서의 線型計劃에 대한 一般的인 構成要素는 다음과 같다.

連續性(Continuity Constraints)이란 河川에서 貯水池로 들어오는 물은 一定期間 貯水池에 貯溜되었다가 用途에 따라 流出되는 一連의 連續性을 말한다.

貯水池內容積(Reservoir Constraints)이란 最大貯水能力을 말하며, 貯水量과 水位의 關係를 규명 하는 것이다.

灌漑(Irrigation Constraints)에 대한 條件은 물과 作物과의 關係를 나타내야 하나 作物은 生育과 生産에 물 以外에도 많은 因子가 作用되므로 물과 作物만으로 模型化 하기는 어렵다. 따라서 몇가지 條件을 假定하여 模型을 構成하며 여기서 單位面積當 最大의 收穫을 얻을 수 있는 單位灌漑水量을 基準으로 採擇하였다.

水力發電(Hydroelectric Constraints)에 關係되는 決定變數는 發電機의 터빈을 通過하는 流量, 水頭 및 發電施設規模로 決定된다.

流域相互間의 流出人(Input-output constraints)은 全體 流域內 小流域間의 물의 流出人에 關한 條件으로서 一定期間에 流域相互間의 流出入에 대한 狀況을 규명해야 한다.

現地與件(Conditional Constraints)은 어떠한 流域에서 他流域으로 流出시켜야 하는데는 流出能力과 貯溜能力의 制限條件이 있다.

政策(Policy constraints)이란 分析對象 貯水池의 當初目的이 農業用이라면 灌漑에 대하여 最優先權을 賦與하게 되는 것과 같은 政策上의 制限條件이다.

目的函數(Objective function)는 各各의 計劃目標에서 純利益의 合計가 最大가 되도록 하는 것으로 하는 것으로 一般數式은 다음과 같이 表示된다.

$$\max Z = \sum_{i=1}^n C_{ix}, X_1, \dots \dots \dots (1)$$

여기서 Z : 追加純利益에 대한 現在價值
 C_{ix} : 開發規模 X일 때의 變數i에 따른 利益費用의 現在價值로 表示되는 係數
 X_i : 開發規模 X에 따른 變數 i
 n : 變數의 數

4. 經濟分析

經濟分析은 投資의 相對的 有利性을 判斷하는 基準으로서 水資源開發地區에서 適用하는 代表的인 指標에는 便益費用比率(B/C Ratio), 追加純利益의 現在價值(NPW) 및 內部投資收益率(IRR) 등 세가지가 있으며 各各 適用目的과 投資事業의 特性에 따라 長短點을 가지고 있다. 이 세가지 指標中에서 新規地區의 投資順位를 決定할

때는 便益費用比率이나 內部投資率 指標를 適用하는 것이 合理的으로 判斷되며 既沒地區에서 純利益의 極大化를 追求하는 경우에는 追加純利益의 現在價值 指標를 適用하는 것이 妥當하다.

$$NPW = B - C = \sum_{i=0}^n \frac{b_i}{(1+r)^i} - \sum_{i=0}^n \frac{c_i}{(1+r)^i} \dots (2)$$

여기서 NPW : 追加純利益에 대한 現在價值
 B : 便益의 現在價值의 總計
 C : 費用의 現在 價值의 總計
 b_i : i년의 便益
 c_i : i년의 費用
 r : 割引率
 n : 事業耐用年數

5. 需要水量

需要水量은 目的에 따라 供給해야 할 用水量으로서 灌漑用水, 生活用水 및 發電用水 등으로 區分될 수 있다.

가. 灌漑用水

畝에서 가장 많이 使用하는 潛在蒸發散量(ET_p)의 算定方法으로는 Blancy & Criddle式, 日射量式, Penman式 및 蒸發計蒸發量式이 있으며 本研究에서 採擇된 方法은 우리나라의 農業用水算定公式으로 採用하고 있는 Blancy & Criddle 式을 使用하였다.

나. 生活用水

生活用水 需要量은 供給對象地의 人口增加와 産業發達 趨勢에 따라 年度別 需要量을 推定한다. 韓國長期成長計劃에 의한 人口增加率은 農村地域이 若干 減少하는 趨勢이고 都市地域은 現在平均 1.38%에서 1990年代 前半期는 年1.22% 後半期는 1.02% 增加로 推定한다. 1人當 물의 消費量은 1990年代에 400ℓ/日, 2,000年代에 500ℓ/日을 基準으로 한다.

다. 發電用水

發電可能性은 地形的인 與件과 流出量에 따라 左右되며, 灌漑用水, 上水道 供給水로 放出할수 있는 流量이 커야 發電으로 因한 經濟性이 크다.

라. 供給水量

河川流量은 確率의인 樣相을 띄우고 있어 觀測된 既存流量이 將來에도 同一하게 反復發生한다는 假定을 前提로하여 分析한다.

河川流量은 貯水池 물管理 最適化 模型에서 가장 重要한 要素로서 推計의 方法과 確定的 方法

으로 推定할 수 있다.

推計的方法(Stochastic method)은 過去流量記錄을 分析하여 만들어진 推計의인 模型으로 回歸의인 樣相을 維持하려는 河川流量의 特性을 利用한 것으로서 過去 多年間의 利用可能한 流量記錄이 있다면 훌륭한 推計의 模型을 構成할 수 있고 一般의인 模型의 實例로는 first-order Markov 模型을 들 수 있다.

確定的模型(Deterministic model)은 過去流量資料가 全無하거나 극히 빈약한 경우에는 合理的인 推計學的模型의 構成은 不可能하며 이런 경우 類似한 다른 地區에서 推定한 模型을 適用할 수 밖에 없으며 主要因子만으로서 確定的으로 推定하게 된다.

이러한 過去流量資料가 없거나 貧弱한 경우에 우리나라에서는 梶山의 韓國河川 流出量 公式를 使用하여 왔으며 다음과 같다.

$$C = \sqrt{R^2 + (138.6f + 10.2)^2} - 138.6f + E \dots\dots (3)$$

여기서 C : 月受水量 (mm)

f = 流域係數 (0.6~1.4)

R : 月別降雨量 (mm)

E : 更正係數

Ⅲ. 模型의 開發 및 解析

1. 地區의 選定

本 研究에서 開發한 線型計劃模型을 實際地區에 適用하기 위하여 當初計劃과 竣工時와는 많은 變化가 豫想되고 地區의 計劃內容이 灌溉, 生活用水供給 및 小水力發電을 겸한 多目的地區인 江陵地區를 標本地區로 選定하였다.

本 江陵地區는 1977년에 着工하여 水源工인 五峰堤와 導水路는 1983年度에 竣工하였으며, 現在까지 灌溉 및 上水道源으로 利用중이며 앞으로

2~3年內에 全工程이 完工될 豫定이다.

本 地區의 流域은 太白山脈을 分水嶺으로 하여 東海岸인 江原道 溟州郡 旺山川一帶의 山林地帶로서 流域面積은 10,900ha이다. 太白山脈에서 發源된 旺山川은 貯水池 築造地點의 인근下流地點에서, 大關嶺에서 發源된 無名川과 合流하여 江陵市를 貫流, 東海로 들어간다. 溟州郡 邱井面 五峰里의 旺山川에 五峰堤를 築造함으로써 溟州郡, 邱井面, 江東面의 9個里와 江陵市의 9個洞에 展開된 1,722ha의 蒙利地域에 灌溉用水를 供給하게 되며 江陵市民의 生活用水, 觀光 및 産業用水를 供給하게 된다. 또한 貯水池와 水路始點까지의 큰 落差를 利用해서 小水力發電을 計劃하고 있다.

江陵地區의 水資源利用 系統圖는 Fig. 1과 같다.

2. 模型의 構成

가. 模型의 採擇

本 研究의 標本地區인 江陵地區는 灌溉, 生活 및 發電用水供給에 對하여 各目的別 追加純利益에 對한 現在 價値의 最大化를 圖謀하는 것으로서 目的函數의 構成要素인 便益과 費用式이 線型函數로 되어 있다.

制限條件式의 하나인 河川流出量 推定模型(貯水池 流入量)은 過去 河川流出量記錄이 全無하여 確率分析에 의한 推計의 模型을 誘導할 수 없으므로 確定模型인 韓國河川 流出量 公式으로 河川流出量을 推定함이 不可避하다 (Table-1)

또 한가지 發電의 直接變數인 發電水頭 H로서 取水塔에서 放出하는 流量과 貯水池의 水頭關係는 實際는 動的이면서 非線型의 性質을 가지고 있다. 그러나 發電水頭의 變化幅이 極少하여 發電量에 미치는 影響이 微小하며, 電算 알고리즘의 複雜性에 따르는 電算機의 容量과 計算時間

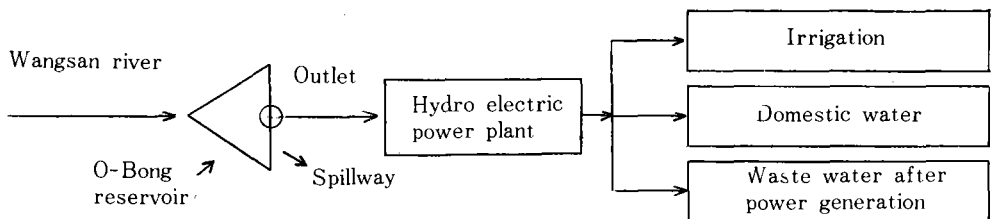


Fig. 1. Water resource systems of Gang-Neung project

의 短縮을 避하기 위하여 平均水頭를 適用하였다.

그러므로 本地區의 模型은 目的 函數가 線型이며 制限式中的 流入 및 發電式이 靜的 確定的 模型이 되므로 地區의 模型은 線型計劃을 採擇하였다.

本地區 模型의 System은 Fig. 2와 같다.

- 註 : f_t : t期間의 流入量 (ha·m)
- Y : 貯水池 有效 內容積 (ha·m)
- S_t : t期間 始點에서의 貯水量 (ha·m)
- a_t : t期間의 取水塔에서의 放出量 (ha·m)
- P : 發電施設規模 (kw)
- E_t : t期間의 發電量 (KWH)
- W : 물넘이 放出量 (ha·m)
- R : 灌溉面積 (ha)
- D : 生活用水供給量 (ha·m)
- L : 發電後 河川放流量 (ha·m)

나. 目的函數

本地區 目的函數(Z)의 決定變數는 灌溉面積(R), 生活用水供給量(D), 發電量(E), 發電規模(P) 및 貯水池內容積(Y)으로서 式 4와 같다.

$$\max Z = C_1R + C_2E + C_3D - C_4Y \dots\dots\dots (4)$$

여기서

- C_1 : 農業開發에 關한 追加純利益의 現在값.
- C_2 : 水力發電에 따른 追加純利益의 現在값.
- C_3 : 生活用水供給에 따른 追加純利益의 現在값.
- C_4 : 貯水池 施設 投資費에 對한 減價償却費 및 維持管理費.

1) 農業開發에 따른 追加 純利益係數 (C_1)

C_1 은 式(5)와 같이 單位面積當 (ha) 便益部分과 費用部分으로 表示할 수 있다.

$$C_1 = B_R - O_R - C_R \dots\dots\dots (5)$$

여기서 B_R : 農業開發에 따른 便益

O_R : 農業開發에 따른 維持管理費

C_R : 農業開發에 따른 施設費의 減價償却費

B_R 은 農業開發로서 얻어지는 便益으로서 事業施行前後의 農作物增收量과 增收量에 따른 副産物에 대한 便益으로서, 이로부터 營農管理費 增加額을 減한 便益이다. 本 江陵地區에서 施行前後 農作物 增收量은 施行前의 2,745kg/ha에서 施行後의 5,050kg/ha로서 增收량이 2,805kg/ha로 計上되었다. 이것을 86政府收買價 756.62 원/kg으로 換算하면 1,744천원/ha의 利益을 얻게 되고, 副産物(벼짚 및 겨) 收益과 農業管理費增加額은 各各 增收量에 對한 穀價換算額의 8.7%와 5.7%로 하여 純利益은 1,794천원/ha가 된다.

O_R 은 灌溉에 대한 年間 維持管理費로서 貯水池地區에 一括적으로 年間費用으로 計上되므로 水源工部와 平野部로 區分하기란 事實上 모호하다. 그러나 水源工인 貯水池部分은 多目的인 경우 共同으로 計上돼야 하므로 이러한 경우는 平野部만을 計上해야 한다. 貯水池 地區의 年間 維持管理費 119천원/ha를 水源工과 平野部 施設投資費 各各 8,368 百萬元 및 10,320 百萬元에 대한 比例로 區分하여 65.7천원/ha를 算出하였다.

C_R 은 農業開發目的으로 投入된 施設費의 年間 償還額으로서 農業開發目的의 投資事業費로서는 用排水路費, 導水路費 및 開畝費 등의 工事費와 附隨되는 用地買收補償費, 測量設計工事 監督費 및 其他費用이 包含된다. 施設物의 耐久年數는 施設物에 따라 各各 다르므로 어느 하나를 基準하기가 困難하다. 따라서 本 研究에서는 平野部의 主施設物인 水路構造物과 用水路의 耐久年數의 平均值인 35年을 채택하였다.

年賦償還 等價償却費(R_A)를 投資費用에 따라 算出할 때 元金A를 n年間, 利率i의 複利條件

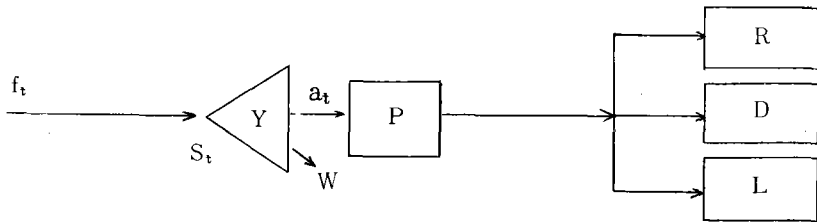


Fig. 2. Systems of model

農業用 貯水池의 多目的 利用을 爲한 用水의 適正配分

으로 하여 식(6)을 適用, 計算하였다.

$$R_A = A \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \dots\dots\dots (6)$$

近來 數年間の 國內 年平均利率이 10% 内外 이므로 本地區에서는 10%를 適用하고 平野部 總投資費 10,320百萬원에 대하여 식(6)을 利用, 年間等價償却費를 計算하면 621.41천원/ha가 된다. 그러므로 農業開發에 따른 純利益의 現在값 (C₁)은 식(5)에 의하여 1,106.89천원/ha가 된다.

2) 小水力發電에 따른 追加 純利益係數(C₂) C₂는 發電에 따른 販賣利益(B_p)와 施設의 維持管理費(O_p) 및 施設의 減價償却費(C_p)로 構成 되어 있다.

$$C_2 = B_p - O_p - C_p \dots\dots\dots (7)$$

B_p는 電力生産量(發電施設容量×稼動時間數)을 1986年度 韓國電力의 購賣價格으로서 換算하면 식(8)과 같다.

$$B_p = 0.03854 \text{ 千원/KWH} \dots\dots\dots (8)$$

O_p는 發電施設에 대한 年間 維持管理費 및 管理인 人件費로 構成되며 施設의 年間 維持管理費는 施設費의 3.5%를 計上하였다. 發電施設投資費는 950kw 規模를 假定하여 單位規模當(kw)는 施設費를 算出하였고 管理인은 規模에 큰 變動이 없는 小水力일 경우 基本管理인은 3人으로 固定算出하였다. 施設維持管理費는 27.41 千원/kw/年이며 人件費는 25,000千원/年으로서 식(9)와 같다.

$$O_p = 27.41P + 25,000 \dots\dots\dots (9)$$

C_p는 發電施設에 대한 年間 減價償却費로서 發電施設의 耐久年限을 35年으로 假定하고 年利率을 灌溉에서와 같이 10%를 適用할 때 83.09P가 된다. 그러므로 小水力發電으로 인한 便益一費用式을 整理하면 식(10)과 같다.

$$C_2 = 0.0385 - (27.41P + 25,000) / E - 83.09P / E = 0.0385 - \frac{(110.50P + 25,000)}{E} \dots\dots (10)$$

3) 生活用水供給에 따른 追加純利益係數(C₃) 江陵市에 供給하는 生活用水의 水源工으로서 五峰堤의 役割은 原水만을 供給할 뿐이고 導水淨水, 供給 및 維持管理一切를 江陵市에서 主管運營한다. 그러므로 本 江陵地區에서의 便益으

로 計上해야 하며 一切의 費用은 計上할 必要가 없다. 原水代金은 江陵農地改良組合과 江陵市와의 契約에 의하여 決定하며 '86年度는 29.12千원/㎡으로 契約되었다. 그러므로 C₃는 291.2千원/ha·m이다.

4) 貯水池 費用係數(C₄)

C₄는 水源工에 對한 維持管理費와 施設投資費에 대한 年償却費이다. 水源工인 貯水池는 農業開發, 生活用水 및 發電用水에 共同으로 寄與하므로 便益部分은 開發部分에서 計上하고 여기서는 費用인 維持管理費와 施設投資에 대한 償却費만을 考慮해야 한다. 貯水池에 대한 年間 維持管理費는 年間 貯水池地區의 維持管理費중에서 貯水池가 負擔해야 할 53.3千원/ha가 된다.

C₄는 施設投資費에 대한 年間償却費로 저수지의 耐久年即을 70年, 年利率을 10%로 볼때 年間 元利金平均償却費는 837,887千원이며, 維持管理費를 合한 年間 總 貯水池費用은 930,100千원이 된다. 그러므로 貯水池의 年間費用(C₄)은 有效內容積이 1.445ha·m이므로 643.59千원/ha가 된다.

式(4)의 目的函數를 各 目的에 따른 純利益의 現在價値 係數를 適用하여 整理하면 식(11)과 같다.

$$\max Z = 1,106.89R + 0.0385E - 110.50P + 291.2D - 643.59Y - 25,000 \dots\dots\dots (11)$$

다. 制約條件(Constraints)

制約條件은 模型의 構成要素에서 言及한 바와 같은 諸事項을 現地에 맞게 適用 및 修正해야 한다.

1) 連續性

流域에서의 流入 및 流出, 물넘이의 放出量W를 考慮해서 整理하면 식(12)와 같다.

$$S_t = S_{t-1} + f_{t-1} - a_{t-1} - W_{t-1} \dots\dots\dots (12)$$

즉 t期間 始点에서의 貯溜量(S_t)는 t-1 期間 始点에서의 貯溜量(S_{t-1})에서 t-1期間의 流入量(f_{t-1})을 더하고 t-1期間의 取水塔 流出量(a_{t-1})과 그 期間의 물넘이 排除量(W_{t-1})을 減한 量과 같다.

2) 貯水池 內容積

內容積은 本地區에서 1.445ha·m로서 이를 整理하면 식(13)이 된다.

$$Y - 1.445 \leq 0 \quad \dots\dots\dots (13)$$

貯水深과貯水量과의關係는發電水頭差가근소하므로平均水頭를適用하였다.

3) 灌漑

最大의收穫量을얻기위한時期別必要水量은Table-1과같고標本地區의諸氣象事項을確率處理하여이를適用하였다.

總灌漑水量은灌漑面積을考慮하여 $R \cdot \gamma_t$ 로算出하였다. 또한最大灌漑可能面積은本地區에서1.722ha이므로式(14)과같이나타낼수있다.

$$R \leq 1.722 \quad \dots\dots\dots (14)$$

4) 水力發電

發電水頭는變化幅이極少하므로平均값34.19m을適用하였고發電施設容量P는式(15)와같다.

$$P = 1.03414 a_t \quad \dots\dots\dots (15)$$

發電量은本地區의期間t를月間으로定하였으므로年間發電量E는式(16)과같으며月間發電量 E_t 는式(17)으로表示된다.

$$E = \sum_{t=1}^{12} E_t \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$E_t = P \cdot T \quad \dots\dots\dots (17)$$

式(17)의T를月間平均時間數720을適用式(16)을代入하여整理하면式(18)가된다.

$$E_t = 744.58 a_t \quad \dots\dots\dots (18)$$

5) 流域相互間의流出入

本標本地區의水資源시스템은單一流域이므로考慮할必要가없다.

6) 現地與件

本標本地區에서考慮해야할現地與件은물넘이의규모와取水塔의放出能力인바,물넘이의規模는500年頻度洪水時를基準하여設置되었으므로本研究의分配와는無關하며다만取水施設의放出能力은問題가된다.取水塔의月間最大放出容量은1,384ha·m이므로式(19)으로表示된다.

$$a_t - 1.384 \leq 0 \quad \dots\dots\dots (19)$$

現地與件上的의또하나의條件은取水塔으로부터放流되는水量은全量發電流量이되며發電施設規模와의關係는式(20)및式(21)과같다.

$$a_t' = R \cdot r_t + D_t + L_t \quad \dots\dots\dots (20)$$

$$a_t = 0.0967P \quad \dots\dots\dots (21)$$

7) 政策

本地區에서政策上的의問題는灌漑用水및生活用水以外的發電用水供給과生活用水供給의上下限界로서式(22),(23)과같이나타낼수있다.

Table-1. River inflow and crop water requirement in different months and exceedance probabilities
unit : ha·m

Month (t)	Exceedance probability																		
	10%		20%		30%		40%		50%		60%		70%		80%		90%		
	f_t	r_t	f_t	r_t	f_t	r_t	f_t	r_t	f_t	r_t	f_t	r_t	f_t	r_t	f_t	r_t	f_t	r_t	
1	545.47	-	326.89	-	240.96	-	191.94	-	165.21	-	135.11	-	121.89	-	107.77	-	101.30	-	-
2	875.69	-	524.11	-	379.27	-	289.33	-	236.49	-	195.62	-	168.28	-	135.11	-	110.98	-	-
3	619.11	-	435.84	-	343.86	-	284.21	-	245.50	-	211.10	-	184.79	-	162.23	-	141.26	-	-
4	935.28	0.0105	611.59	0.0110	550.29	0.0116	458.31	0.0119	355.44	0.0122	320.39	0.0125	284.59	0.0128	268.76	0.0134	243.57	0.0139	0.0139
5	827.26	0.0581	472.91	0.0639	319.96	0.0668	255.28	0.0697	214.80	0.0738	199.38	0.0767	168.28	0.0801	146.01	0.0854	129.07	0.0929	-
6	1,524.98	0.2439	789.97	0.2497	484.65	0.2846	305.83	0.2991	250.92	0.3136	170.15	0.3310	143.34	0.3484	117.06	0.3658	99.81	0.4007	-
7	3,451.21	0.1655	2,419.00	0.1916	1,917.64	0.2091	1,509.52	0.2294	1,201.40	0.2497	1,066.36	0.2671	768.05	0.3904	589.23	0.3198	416.55	0.3775	-
8	3,451.21	0.1452	2,419.00	0.1684	1,868.33	0.1887	1,480.98	0.2062	1,201.40	0.2265	961.15	0.2439	715.87	0.2671	574.49	0.2962	397.68	0.3426	-
9	2,879.79	0.0192	1,917.28	0.0261	1,424.12	0.0331	1,066.08	0.0401	831.82	0.0476	658.21	0.0563	504.20	0.0674	390.44	0.2848	294.32	0.1161	-
10	1,386.56	-	792.51	-	524.11	-	388.50	-	302.03	-	257.43	-	231.36	-	201.92	-	188.37	-	-
11	978.49	-	611.59	-	448.94	-	349.63	-	279.14	-	232.08	-	191.94	-	162.23	-	139.02	-	-
12	649.54	-	403.92	-	294.52	-	236.49	-	195.62	-	171.43	-	151.09	-	134.78	-	122.65	-	-

$$L_t = f_t - \{Y - \{S_t - (R \cdot r_t + D_t)\}\} \dots\dots\dots (22)$$

$$60 \leq D \leq 300 \dots\dots\dots (23)$$

即, 發電用水는 灌溉用水 및 生活用水가 自然的으로 되며 이러한 用水를 充當하고도 滿水位 以上の 물은 發電用水로 使用한 후 하천으로 放水하는 流量(L_t)이 된다. t 期間의 始點에서의 貯水量에다 그 期間의 流入量을 더하고 取水塔의 流出量 및 물넘이 放流量을 減한 貯水量은 有效內容積(Y)을 超過할 수 없다는 關係가 물管理政策上的 問題로서 式(24)과 같다.

$$S_t + f_t - a_t - W_t \leq Y \dots\dots\dots (24)$$

式(11)의 目的函數와 式(12-24)까지의 制限條件式을 整理하면 式(25)와 같다.

$$\begin{aligned} \max Z &= 1,106.89R + 0.03854 \cdot E - 110.50 \cdot P \\ &\quad + 291.2D - 643.59 \cdot Y - 25,000 \\ S_t &= S_{t-1} + f_{t-1} - a_{t-1} - W_{t-1} \\ Y - 1,445 &\leq 0 \\ R &\leq 1,772 \\ E_t &= 744.58a_t \\ a_t - 1.384 &\leq 0 \\ a_t &= R \cdot r_t + D_t + L_t \\ a_t &\leq 0.967P \\ L_t &= f_t - \{Y - \{S_t - (R \cdot r_t + D_t)\}\} \\ 60 \leq D &\leq 300 \\ S_t + f_t - a_t - W_t &\leq Y \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} t = 1, 2 \\ \dots 12 \end{array} \right\} \dots\dots (25)$$

3. 模型의 解析

式(25)로 整理된 本地區의 模型을 FACOM-

OSIV SUBLP의 基本패키지를 利用하여 解析하였다.

IV. 結果 및 考察

1. 貯水池 用水配分計劃의 最適案

第3章에서 最終적으로 確定된 線型計劃 알고리즘(式25)을 FACOM OSIV SUBLP 電算패키지로 演算한 結果, 標本地區 貯水池로 流入되는 供給水量의 超過確率이 50%일때 Table-2로부터 다음과 같은 最適解가 導出될 수 있었다.

灌溉面積規模: 1,410ha

年間生活用水供給量: 2,797ha·m

年間發電水量: 1,279ha·m

위의 最適案은 平年の 水資源供給條件下에서 年間 純利益이 約16億원으로서 最大임을 나타내 주고 있다. 우선 灌溉面積의 最適規模 1,410ha는 標本地區의 現在주어진 與件 및 水資源活用面에서 볼때 아주 適切한 값으로 思料된다.

江陵市에 對한 補充上水道源으로서 生活用水供給量은 未來의 需要增加를 감안하여 볼 때 年間 最小 720ha·m, 最大 9,600ha·m의 範圍로 計算되었으나 本 研究의 最適値는 2,797ha·m로 나타났다. 즉, 未來 最大豫想需要量의 30%程度만 供給可能하다는 것이다. 適正發電規模에 대하여는 最適案으로서 600kw를 提示하고 있으며 이경우 年間發電으로 인한 收益은 約1억2천만원으로 나타났다. 그러므로 發電에 대한 決定變數는 利益規模面에서 볼때 너무 작아서 全體 純利益 Z를 增加시키는데는 큰 役割을 하지 못하는 것

Table-2. Optimized solution in different levels of water supply

Exceedance probability (%)	Total net benefit (Th'won/yr)	Irrigated area (ha)	Size of power plant (kw)	Power generation (KWH/yr)	Reservoir capacity (ha·m)	Domestic water supply (ha·m/yr)
10	2,151,938	1,722	1,431	8872992	1,385	3360
20	2,324,563	1,722	1,303	6716969	1,118	3600
30	2,212,958	1,722	790	4615320	1,204	3490
40	2,047,021	1,722	718	3849906	1,253	3102
50	1,578,413	1,410	674	3276077	1,279	2797
60	798,415	781	526	2661056	1,309	2598
70	483,072	538	538	2376627	1,323	2409
80	191,099	361	430	1974959	1,337	2221
90	78,885	231	392	1698027	1,343	1969

으로 생각된다. 이것은發電이 他目的과 相互 경쟁적이 아니므로 機會費用이 0이라는 것이며費用보다 이익이 약간만 크다면 總年間純利益을 증가시키게 됨을 뜻한다.

2. 水資源供給量 變動에 따른 純利益變化의 反應

Table-1은 江陵標本地區에서 69個年間の 降水量을 確率 分析하여 超過確率10%, 20%, …… 90%에서의 降水量 값을 求하고 이들을 강수-유출 經驗模型인 韓國河川 流出量公式에 의하여 各各의 超過確率에 該當되는 流出量으로 計算한 것을 供給水量으로하여 供給水量 變動에 대한 各各의 最適解를 얻은 結果를 나타내는 것이다.

Table-2에서와 같이 供給水量規模에 따른 最大年間 純利益의 變化量을 살펴보면 供給水量이 增加할수록 最大年間 純利益은 增加하며 供給水量의 規模가 20% 超過確率時(5年1回 豐水條件) 最大가 되었으나 10% 超過確率時(10年 1回豐水條件)는 供給量에서는 供給水量이 增加함에도 불구하고 오히려 最大純利益은 減少하는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 20% 超過確率時的 供給水量 條件에서는 生活用水決定變數 및 貯水池 規模決定變數의 雙對活動(dual activity)이 10%超過確率時보다 훨씬 크게 나타났기 때문이다.

한편 供給水量의 變動에 따른 各決定變數의 變動狀況을 살펴보면 灌溉規模는 旱魃時(超過確率 60~90%)는 減少되고 平年(超過確率50%)에는 1,410ha, 豐水時(超過確率10~40%) 時는 1,700ha 등과 같이 各水準別로 均一한 값이 나타났으나 平年을 前後로 아주 急激히 變化되는 傾向을 보이고 있다. 그러나 供給水量變化에 따르는 生活用水供給量 規格에 대한 影響은 灌溉規模와는 달리 旱魃로부터 豐水條件에 이르기까지 繼續 最大純利益의 增加를 나타내고 있다. 이것은 總年間純利益의 傾向과 一致되는 것으로서 90%超過確率時(10年1回頻度旱魃)의 1,969ha·m로부터 繼續增加되어 20%超過確率時3,600ha·m로 最大가 되었다가 10%超過確率時는 3,360ha·m로 減少되었다. 따라서 年間 總純利益 曲線에서 頂點을 나타내는 特異한 現象은 生活用水供給의 純利益 曲線의 影響을 받음이 크다는 事實을 시사하고 있다. 發電에 대한 純利益은 供給水量의 大小에 따라 큰 影響을 받고 있는 것으로 나타났으며 年間 總純收益 生活用水供給에서의 純收益과는 달

리 供給水量이 增加됨에 따라 純收益은 繼續 增加되는 것으로 나타났다. 이것은 供給水量과 發電量과의 關係를 볼때 妥當한 結果라 생각된다. 그러나 超過確率70%에서 便益과 費用이 一致되고 이보다 供給量이 增加할 경우에만 便益이 保障되는 취약점을 가지는 것으로 分析되었다.

이상에서 살펴본 바와같이 供給水量의 規模變動에 따라 年間最大 純利益에 가장 큰 影響을 미치는 決定變數는 生活用水인 것으로 나타났으며 그 다음으로 灌溉, 發電의 順序임을 알수 있다.

3. 灌溉決定變數에 대한 感應度分析 (Sensitivity analysis)

標本地區의 平年供給水量 條件下에서 나타난 最適解에서 認識할 수 있었던 바와 같이 灌溉決定變數는 政策的인 制約條件 即 農業用 貯水池라는 制約條件에 支配를 받으므로 絶對的인 變數로 看做할 수 있다. 다시말하면 灌溉에 대한 制約條件이 目的函數보다 優位의 位置를 차지한다는 것이다. 이러한 경우 灌溉決定變數의 感應度 分析은 저수지의 貯水容수 配분에 대한 最適值을 說明할 수 있는 자료가 되므로 必要한 것이라 생각된다. 따라서 이를 위해 본 研究에서는 관계면적의 규모를 600ha, 800ha, 1,000ha, 1,200ha, 1,400ha로 固定했을때 (等式 制約條件으로 變更) 年間 總純利益의 變化樣相과 기타 결정변수의 影響變化를 살펴 보았던바 그 결과는 Table-3과 같다.

Table-3에서 보는바와 같이 50% 超過確率의 供給水量 條件下에서 灌溉規模 1,400ha로부터 灌溉面積 規模의 減少에 따라 最適值도 점차 減少되는 樣相을 보이고 있으며 貯水量은 전혀 變動을 나타내지 않았다. 그러나 年間純利益은 灌溉面積規模의 減少에 따라 繼續 減少되는 傾向을 보이고 있어 모든 目的中에서 灌溉가 가장 重要한 것이 밝혀졌다. 또한 50% 超過確率의 供給水量 條件에서는 貯水量은 制約條件이 되지 못함을 보여주고 있다. 본 研究에서 絶對變數인 灌溉規模에 대한 感應度分析 結果 앞으로 既設 農業用 貯水池의 蒙利面積이 점차 감소될 경우 물 관리 政策을 決定하는데 線型計劃模型이 잘 利用될 수 있는 것으로 나타났다.

4. 當初計劃에 대한 檢討

灌溉事業에서 用水配分政策 意思決定時 傳統

農業用 貯水池의 多目的 利用을 爲한 用水의 適正配分

Table-3. Optimized solution in different absolute levels of irrigated area

Irrigated area	Total net benefit	Size of power plant	Storage capacity	Domestic water supply	Electric generation
(ha)	(Th'won)	(kw)	(ha·m)	(ha·m/ye)	KWH
600	734,019	465	1,279	2,965	2,762,339
800	943,014	516	1,279	2,923	2,902,514
1,000	1,152,009	568	1,279	2,882	3,042,688
1,200	1,361,003	620	1,279	2,840	3,182,862
1,400	1,568,040	671	1,279	2,799	3,272,242

的으로 利用되어온 方法은 決定變數들간의 個別的인 關係만을 分析하여 왔다. 이와같이 最適化 概念에 의하지 않았던 當初計劃에서는 灌溉可能 面積 1,722ha, 發電施設規模 1,200 kw, 生活用水 供給量이 2,520ha·m로 되어 있다. 本 研究에서 線型計劃 模型으로부터 導出된 最適化用水配分 政策 內容과 比較해 보면 灌溉面積規模와 發電 施設 規模에서 큰 差異를 나타내고 있으나 上水道 供給量은 兩者 共히 一致하고 있다.

이와같은 結果를 分析해 볼때 純利益의 極大化를 利用한 線型計劃 模型에 의한 用水配分 政策 意思決定方法은 農業用 貯水池의 多目的用水 配分 政策決定에 아주 有用하게 利用될 수 있음이 立證된다. 뿐만아니라 數 많은 代案을 同時에 신속하게 比較할 수 있으며 各決定變數 또는 目的 函數에 使用된 各種係數의 感應度分析을 通하여 絶對的最適值을 손쉽게 찾아낼 수 있는 利 點을 가지고 있다.

5. 農業用貯水池의 用水配分에 線型計劃 模型利用의 一般의인 特徵

線型計劃法이란 주어진 制約條件下에서 設定된 目的函數의 期待值을 極大化(또는 極小化)하 는데 必要한 最適條件으로서는 소위 비례성, 가 산성, 가분성, 결정성 등의 가상조건이 전제가 된다. 이러한 가상조건은 때때로 線型計劃 模型 利用의 制限條件이 되는 수가 있으므로 이를 考 察해 보기로 한다. 線型計劃技法의 貯水池 用水 配分上의 假定條件은 첫째 물의 生産活動이 이 루어지는데 소요되는 投入物資의 結合比率 및 投 入物量과 產出比率間의 關係가 一定하다고 가정 된 것이다. 即 目的函數와 制約函數가 線型函數 임을 전제로 한 것이다.

둘째는 貯水池로 인한 總純收益은 各種用水의 各各 活動으로부터 나온 수익의 合임을 前題로 한 것이다. 即 주어진 活動水準에 대하여 各 資源의 總使用量과 全體效果들 사이의 相互作用이 存在하지 않는 것으로 생각하는 것이다.

세째로 線型計劃模型의 모든 係數는 알려져 있는 상수로 假定하며, 물生産費, 工事費, 發電費 用 등의 技術係數는 確實히 알려져 있는 것으로 看做된다. 따라서 線型計劃法은 計算 過程이 一 般化 되어 있으며 수많은 代案에 대한 比較가 용 이한 長點이 있기는 하지만 이상과 같은 가정으 로 인한 여러가지 모순점을 內在하게 되며 模型 自體의 內在的 制約性을 가지는 것으로 알려져 있다.

即 첫째 선형계획 分析模型은 規模에 대한 收 益不變을 大前提로 함으로써 限定生産 制法則과 相互 모순이 되는 특성을 지니고 있다. 即 本 研究의 結果를 보아서도 絶對變數인 灌溉面積規 模를 繼續 增加시키므로써 年間最大 純利益이 繼 續 增加되는 것과 같은 모순성을 지니게 된다.

둘째, 線型計劃法에서는 決定變數사이의 關係는 線型性을 前提로 하고 있으나 水資源配分 問題에서는 變數들간의 關係가 非線型으로 보는 것 이 더 現實의인 경우가 생긴다.

세째로 선형계획 模型은 部分均衡分析(Partial equilibrium analysis)에 限定되므로 標本地區로 부터 얻은 結果를 農業用 貯水池의 一般의인 見 點으로 해석하는데는 無理가 있다는 것이다. 끝 으로 線型計劃은 可變의 經濟與件을 반영하는데 限界가 있고 또한 장래의 用水需要豫測의 경우 模型係數가 確實히 알려져 있다고 假定하는 것 은 非現實의인 경우가 있다는 것이다. 그러나 이 와같은 선형계획 모형이 가지는 여러가지 制限

條件에도 불구하고 線型計劃法을 貯水池 用水配分問題에 利用하는 데는 다음과 같은 利點이 있다. 即 線型計劃法은 當初農業用 貯水池로 築造되었으나 주위 여건변동에 따라 生活用水供給, 小水力發電用으로 用水를 擴大 利用하려고 하는 경우의 用水配分問題에 대하여 本研究에서 開發된 線型計劃 模型을 利用할 수가 있다. 本模型을 여러가지 政策代案에 대하여 實行시켜 보았는바 包括의임이 밝혀졌다. 즉 地區의 條件에 따른 係數를 어느程度 精密히 算定할 수 있다면 線型計劃 模型에 의하여 貯水池의 水配分政策을 신속하게 決定하여 물관리에 대한 意思決定에 큰 도움을 주는 것으로 나타났다. 그러나 앞으로 農業用貯水池의 用水配分問題에 本 線型計劃 模型을 좀 더 잘 利用하기 위하여는 各 活動別 費用係數의 相對性을 극복할 수 있는 方案이 講究되어야 할 것이며 특히 供給水資源의 分析方法에 대한 標準化의 研究가 必要할 뿐만 아니라 水資源에 대한 各種 活動에 關聯된 費用 및 利益에 대한 正確한 評價를 위한 體系의인 調查研究가 先行되어야 할 것이다.

끝으로 用水配分의 問題가 根本的으로 水資源의 量的인 問題인지 아니면 經濟變數 相互間의 問題인지, 다시 말하자면 生産要素의 相對價格 差異에 變化가 있을 경우 貯水池 用水配分 政策 變化에 어떠한 영향을 미칠 것인지에 대한 研究도 함께 이루어져야 할 것이다.

V. 結 論

우리나라는 約15,000個所의 大小 農業用 貯水池가 灌溉에 利用되고 있을 뿐 아니라 頻번히 닥쳐오는 旱水害克服에 莫大한 人力과 豫算이 投入되는 등 貯水池의 水管理에 많은 어려움을 겪고 있는 實情이다. 더욱이 最近에 와서는 水資源의 效率的인 利用이라는 側面에서 農業用 貯水池 일지라도 水利用環境의 變化에 따라 多目的의 使用이 要請되고 있는 實情이므로 앞으로 農業用 貯水池의 多目的의 利用을 위한 合理的이고 經濟的인 用水配分問題는 解決해야할 課題이다.

本 研究은 既設 農業用貯水池의 用水의 最適配分으로 最大의 經濟的인 效果를 擧揚하기 위하여 最適化技法을 導入하여 合理的인 貯水池 水管理方法을 講究하는데 그 目的이 있다. 이러한 目的의 達成을 위하여 事例研究地區로서 中規模農

業用水開發地區인 江陵地區가 選拔 되었으며 多目的貯水池에 대한 最適化模型으로서 線型計劃模型이 開發되고 分析되었는바 그 結果는 다음과 같이 要約된다.

(1) 貯水池의 多目的의 利用에 대한 用水適正配分을 위하여 線型計劃模型이 開發되었으며 江陵地區의 五峰堤를 事例貯水池로 分析한 結果 灌溉面積規模, 生活用水供給量, 發電規模 및 貯水量 등 各種目的에 대한 最適解를 얻을 수 있었다.

(2) 貯水池 供給量의 變動에 따른 總純收益의 變化樣相으로부터 用水의 各目的別 年間 最大純收益에 가장 큰 영향을 미치는 要因을 導出할 수 있었으며 本 事例地區에서는 生活用水, 灌溉用水 및 發電用水 順으로 나타났다.

(3) 灌溉決定變數에 대한 感應度 分析結果 農業用貯水池에서는 灌溉가 他目的의보다 優先的인 이므로 灌溉에 대한 制約條件이 目的函數보다 優位에 있음이 밝혀졌으며 灌溉面積 規模減少에 따라 年間 總純收益의 민감한 減少反應을 나타내는 것으로 보아 本 研究에서 開發된 線型計劃模型은 農業用貯水池의 蒙利面積이 減少되는 環境變化에 신속히 대응하는 水管理方法의 提示가 可能하다.

(4) 線型計劃模型에 의하여 既設 多目的貯水池의 用水配分政策에 대한 意思決定을 할 경우 수많은 代案의 신속한 比較와 資源과 活動의 연계分析이 可能하므로 平面的인 從來의 解析方法보다 훨씬 計量的인 方法임을 알 수 있었다.

(5) 農業用 貯水池의 用水配分問題에 線型計劃模型을 適用할 경우 나타낼 수 있는 各種 制約事項을 導出하고 이의 解決方案을 提示할 수 있었다.

(6) 本 研究에서 開發된 線型計劃模型은 包括的인 模型이므로 地區條件의 變動에 따른 係數 및 決定變數를 變更한다면 모든 農業用貯水池의 用水配分最適化에 利用될 수 있음이 밝혀졌다.

參 考 文 獻

1. Ahmed, K. M., E. R. Petersen and N. B. Arvantidis (1967) Optimal Operation and Control of Multi-Dam Hydroelectric Power Systems. Stanford University Report No. CCB 8
2. 朴成宇, 權純國, 徐承德, 安秉基, 李淳赫,

- 崔禮煥 (1984) 應用水文學, 鄉文社
3. 朴淳達 (1983) 線型計劃法, 大英社
 4. Biswas, A. K. (1971) *Mathematical Modeling and Water Resources Decision-making* McGraw-Hill
 5. Biswas, A. K. (1976) *Systems Approach to Water Management*. McGraw-Hill
 6. Chaube, Umesho (1982) *Two level Multi-Objective Reconnaissance System Study of a large Water Resource System India* Inst. of Tech, New Delhi.
 7. Dantzig, George (1963) *Linear Programming and Extension*. Princeton, N. J., Princeton University Press.
 8. Douglas A. H and D. P. Loucks (1976), *Multi-Objective Water Resources Planning*. McGraw-Hill
 9. 鄭夏禹外10人 (1986), 作物消費水量算定方法 定立, 서울大學校 農科大學 農業開發研究所
 10. 2000年을 향한 國家長期發展構想 (1985) 韓國 人口保健研究所, P. 30
 11. FAO Technical Paper 23 "Crop Water Requirement"
 12. Frank, E. P. (1973) *The Role of Mathematical Models in Water Resources Planning*.
 13. Hall, W. A. (1964), *Optimum Design of a Multi-Purpose Reservoir*, ASCE Journal of the Hydraulics Division, Vol. 90, No. 4, July.
 14. Hall, W. A., and J. A. Dracup (1975) *Water Resources Systems Analysis* N. Y.: McGraw-Hill.
 15. 李相鎔著 (1984) OR理論, 二友出版社
 16. 李樟雨著 (1983) 線型計劃과 그應用, 東明社.
 17. Loucks, D. P. (1969) *Stochastic Methods for Analyzing River Basin Systems*, Technical Report No. 16, Cornell University Water Resources and Marine Sciences Center Ithaca, N. Y.
 18. Major, D. C. (1977) *Multiobjective Water Resource Planning*, Washington, D. C. American Geophysical Union, Water Resources Monograph 4.
 19. Meta Systems, Inc. (1975), *Systems Analysis in Water Resources Planning*. Port Washington N. Y. Water Information Center Inc.
 20. 閔丙燮, 安秉基, 李淳赫, 崔禮煥, 黃 垠 (1973) *新制水文學*, 鄉文社
 21. 文八龍外 1人著 (1986) *農業投資分析論*, pp. 49~50.
 22. 農水産部 (1981) *必要水量算定基準*
 23. 農水産部 (1986) *농업기반조성사업 통계연보*
 24. Simmons, M. (1972) *Linear Programming for Operations Research*, San Francisco Holden-day.
 25. United States Army Corps of Engineers (1967) *Hydrologic Engineering Center, HEC - Simulation of Flood Control System Users Manual*. Davis, California.
 26. 尹龍男著 (1977) *水文學*, 漬文閣