

# 灌漑組織의 日別 모의操作

## Simulating Daily Operational Characteristics of Irrigation Systems

李 南 鎬\* · 鄭 夏 禹\*\* · 朴 承 禹\*\*  
Lee, Nam Ho · Chung, Ha Woo · Park, Seung Woo

### Summary

A decision support system, Daily Irrigation Network Operation Simulation model (DINOPS) was developed that can adequately describe the physical behavior of an irrigation system. The model is to depict the physical features of complex water allocation schemes of the irrigation system and to simulate the response of the system to different irrigation schemes. The model was validated on the Banweol irrigation district by comparing the simulated canal discharges and paddy water levels with the field data. The operation of the DINOPS model was demonstrated on the irrigation district where several irrigation management practices were evaluated with computing irrigation efficiencies and rainfall effectiveness respectively. The model sensitivity with respect to heights of bund and block diversion rates were analyzed and discussed.

### I. 緒 論

全体 水資源의 用水需要 中 약 50%를 차지하는 農業用水는 自然的, 社會的 및 人爲的인 要因에 의해 可用水資源의 供給比率이 減少 추세에 있으며, 이러한 現象은 앞으로 더욱 加速化될 展望이다. 지금까지는 畝作을 主對象으로 旱害를 防止하고, 效率的인 用水供給을 위하여 새로운 水資源의 開發에 主力해 왔으나, 新規 水資源의 開發에는 막대한 費用이 投資되어

하고, 또한 開發可能地域도 既存의 開發地域과 比較해 볼 때 開發與件이 相對的으로 不利하여 많은 費用을 필요하게 되므로 既存의 水資源을 效率的으로 活用하는 方向으로 關心을 기울여야 할 時期인 것으로 사료된다.

既存 水資源을 效率的으로 活用하는 方法으로 合理的인 水管理가 절실하게 要請되는데, 農業 用水의 水管理란 作物의 生産을 最大로 하기 위해 適切한 時期에 適當한 量의 물을 作物에 供給하는 것인데, 이는 河川流出水의 貯溜 및

\* 서울大學校 農業開發研究所

\*\*서울大學校 農科大學

키워드: 決定支援體制, 灌漑組織, 灌漑效率, 有效降雨率, 물꼬, 물管理, 模擬操作

取水, 水路組織을 통한 물의 分配 및 포장에서의 灌溉, 排水의 效果的인 操作등이 포함된다. 水源工을 포함한 灌溉組織은 여러가지 因子들로 構成되어 있으며, 이들은 각각 獨立的인 機能을 갖고 있으면서 또한 서로 有機的인 關係를 形成하고 있기 때문에 물을 效果的으로 管理하기 위해서 각 因子들을 統合的으로 管理해야 할 必要가 있다. 統合的인 물管理를 위해서는 水源工施設과 灌溉組織의 挙動을 再現하여 灌溉組織을 造作하기 前에 利用可能한 물을 時間的 및 空間的으로 어떻게 分配하며 調節할 것인가를 決定하는 用水分配計劃에 대한 適正性을 평가하고, 가장 適切한 方法을 選擇 할 수 있는 道具들이 開發이 요청된다.

따라서 본 研究는 灌溉地區의 물管理組織을 效率的으로 運用할 수 있도록 支援하는 手段을 提供하기 위하여 電算機를 이용하여 灌溉組織內의 물의 挙動을 再現하고 灌溉計劃들을 評價할 수 있는 灌溉組織 모의操作模型을 開發하고 灌溉地區를 대상으로 模型으로 檢定하여 灌溉方式을 評價하는데 目的을 두었다.

## II. 研究史

灌溉組織이란 水理學的 network인 하드웨어와 操作計劃인 소프트웨어로 構成된 複合組織으로 定義되고<sup>1)</sup> 있는데, 하드웨어가 設置된 後에는, 作物生育에 必要한 水量을 供給하기 위해 소프트웨어가 實際組織의 運用을 전적으로 支配하게 된다. 이와 같은 灌溉組織의 運用을 위한 소프트웨어는 초기에는 氣象資料, 灌溉방식과 收穫量과의 關係를 利用하여 灌溉計劃을 수립하였으나, 최근에 들어서는 電算機를 이용한 決定支援體制(Decision support system : DSS)나 最適化 技法들이 개발되고 있다.

Changnon<sup>5)</sup>은 作物生産을 最大로 하는데 必要한 必要水量을 算定하는 氣象學의 方法에 관한 研究를 實施하였다. 그는 33년간의 氣象資料와

收穫量資料를 利用하여 回歸模型을 開發하였다. Dudley, et al.<sup>10)</sup>은 作物生育과 土壤水分의 關係를 모의發生 하는 模型을 開發하였다. Blank<sup>2)</sup>는 給水計劃模型과 灌溉計劃模型의 差異점에 대해 論議하고, 灌溉面積, 灌溉時期 및 灌溉量을 決定할 수 있는 多作物灌溉計劃模型을 開發하였다. 그는 單一作物의 미리 計劃된 時間에서 最適灌溉量을 決定하는 動的計劃模型의 開發도 試圖하였다.

Cochran, et al.<sup>6)</sup>은 日降雨量, 증발계증발量, 土壤水分貯溜資料 및 作物管理係數 등을 利用하여 灌溉期間의 必要水量을 豫測하는 물收支模型을 開發하였다. 그는 40년간의 氣象資料들로부터 模型을 利用하여 灌溉期間의 必要水量을 모의發生하여 頻度分析을 實施한 바 있다.

水稻作物 對象으로한 灌溉組織에 관한 研究는 주로 日本, 台灣, 필리핀, 韓國 등에서 實施되고 있는데, 이들은 대부분 灌溉方式에 따른 用水節約과 收穫量의 變化에 대한 研究들이었다. Hsu<sup>12)</sup>는 連續灌溉方式, 間斷灌溉方式, 수잉기 담수灌溉方式 및 調節灌溉方式에 대한 研究를 實施하였는바, 調節灌溉方式이 用水節約과 收穫量增加에 效果가 있는 것으로 報告하였다. IRRI<sup>13,14)</sup>와 Sen<sup>23)</sup>등은 담수심의 有無를 作物의 stress 概念으로 變換하여, 이 stress와 收穫量과의 關係를 回歸模型化하여 灌溉組織의 操作基準을 提供하였다. Gilles<sup>11)</sup>는 貯水池를 水源으로 하는 重力式 灌溉組織의 inventory 模型과 灌溉導水組織에 대한 分配模型을 開發하여 그 適用性에 대해 論議하였다.

Koch와 Allen<sup>17)</sup>은 效果的인 물管理計劃을 隨行할 수 있는 方法의 일환으로 DSS를 開發하고 그 應用性에 대해 檢討하였다. DSS는 데이터베이스, 모의模型 및 使用者 등과 같은 基本要素로 構成되어 있는데, 이들 3가지 基本要素를 統合하여 灌溉組織의 操作전에 代案들을 評價할 수 있는 電算시스템이 必要하다. Sprague와 Carlson<sup>24)</sup>은 DSS를 決定權자가 具體化 되지 않았

거나 規明되지 않은 問題들을 先決하기 위해 데이터와 模型들을 利用할 수 있도록 支援해주는 對話式 電算組織으로 定義하고 있다. Johnson<sup>16)</sup>과 Labadie와 Sullivan<sup>19)</sup> 등은 洪水豫警報組織, 地域水資源 觀測組織, 用水供給組織, 貯水池 操作組織 및 專門家시스템<sup>15, 21)</sup> 등에서 利用되는 DSS의 각 構成要素들의 機能에 대해 評價하였고 이들의 活用效果를 論議하였다. 이와 더불어 graphic機能을 活用한 水資源管理에 대한 對話式 電算模型<sup>3, 7, 8, 9, 20)</sup>들이 많이 利用되고 있다.

電算機의 發達과 더불어, 最適化 技法을 導入한 水管理 模型들이 많이 개발되고 있다. Bush와 Yoo<sup>4)</sup>는 動的計劃技法을 利用해서 灌溉用水의 分水組織을 效率的이고 저렴하게 運營할 수 있도록 關聯因子들의 最適조합을 決定하는 方法을 提示하고 있다. Yoo, et al.<sup>26)</sup>은 灌溉事業의 水管理에 대한 여러 物理的, 社會的, 經濟的 및 法的 基準의 影響을 定義하였고, 水管理 基準을 滿足하기 위해 대규모 灌溉組織의 最適設計와 管理計劃을 樹立하기 위한 技法을 開發하였다. 그는 混合 整数-線形計劃法을 導入하여 問題를 解決하였다. Suryavanshi와 Reddy<sup>25)</sup>는 必要水量을 導水하기 위해 灌溉用水路組織을 分轄하고 처리하는 問題를 Zero-one 線形計劃問題로 形成하여, 分水組織들의 操作計劃을 最適化하기 위한 數學的 計劃模型을 開發하였다. Pleban과 Amir<sup>22)</sup>은 新規灌溉망을 設計하고 既存施設을 改善하기 위한 對話式的 電算模型을 開發하였는데, 線形計劃法을 利用하여 서로 相反되는 두개의 중요한 經濟因子인 投資費用과 維持管理費의 最適組合을 구하도록 되어있다.

Kuroda와 Cho<sup>18)</sup>는 水稻作을 위한 灌溉組織을 理想的으로 管理할 수 있는 方法을 樹立하기 위하여 灌溉用水의 需要와 供給의 特性을 分析할 目的으로, 첫째, 動的計劃법을 利用하여 最適操作指針을 決定하고 이를 實操作結果와 比較하였고, 둘째, 損失因子라는 媒介變數를 導入

하여 用水損失의 特性을 分析한 바 있다.

### III. 模型의 開發

水管理는 각각 獨立인 機能을 갖는 여러 要素들로 構成되어 있는 灌溉組織을 대상으로 하기 때문에, 이들의 效果的인 管理를 위해서는 여러가지 用水損失의 發生機構를 分析, 檢討하여 用水損失을 最小化시킬 수 있는 用水分配管理計劃이 樹立되어야 한다. 이를 위한 模型은, 流域流出量, 보의 取水 및 반복이용수에 의한 河川흐름의 變化, 반복이용수 自體의 物理的 過程, 貯水池 操作에 따른 用水路 흐름의 變化, 포장에서의 水消費와 排水課程 등을 나타낼 수 있어야 한다.

#### 1. 灌溉組織의 構成要素

貯水池와 河川을 川水源으로 하는 灌溉組織은 取水施設, 導水施設, 포장施設, 排水施設 등으로 構成되며, 이들의 關係는 Fig. 1과 같다. 이 構成要素들은 서로 연결되어 있기 때문에 이 組織을 合理的으로 管理하기 위해서는 綜合的으로 分析·評價 되어야 한다.

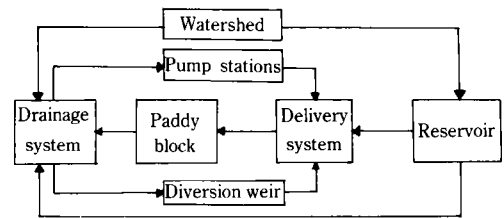


Fig. 1. Schematic diagram of irrigation systems.

#### 2. 灌溉組織의 模式化

取水施設, 導水施設, 포장施設 및 排水施設로 構成되는 灌溉組織의 水收支는 여러가지 要素들에 의해 支配되는데, 要素들 사이의 相互關係는 Fig. 2와 같다.

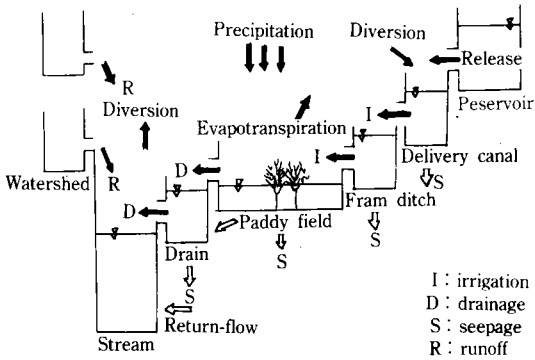


Fig. 2. Water balance in irrigation systems.

가. 取水施設

본 모델의 목적은 각 取水施設로부터의 取水量이 灌溉組織內에서 어떻게 挙動하는가를 把握하는 것이기 때문에 각 取水施設別 日別 取水量은 入力資料로 處理한다. 특히 보시설로부터의 取水量은 流出模型을 利用한 豫測流出量을 使用한다.

나. 導水施設

導水施設은 貯水池 통관으로부터 灌溉블럭까지 灌溉用水를 供給하는 送水組織으로 定義할 수 있는데, 물의 傳達을 主機能으로 하고 있다. 導水施設의 調節 變數는 通水量, 水位, 水路의 幾何學的要素, 水路 기울기, 水路損失率, 水路의 斷面의 粗度 등이다. 模型의 單純化를 위하여 水路區間에서는 1개의 포장블럭에만 給水하고 이때 水分率은 季節平均 값으로 하고, 1개의 水路區間에서 2개 이상의 區間으로 分枝 될 수 있고, 水路의 形態는 直四角形으로 가정하고 水理解析에는 等流水深法을 使用하며, 水路에서의 貯溜概念을 導入한다.

다. 블럭

블럭은 用水支渠, 포장 및 排水支渠로 構成되며, 그 構成要素는 아래와 같은 特性을 가지며 블럭을 대표한다.

1) 用水支渠

用水支渠는 블럭의 일부로서 물의 흐름은 없고 貯溜機能만을 갖는 것으로서, 灌溉用水를 幹·

支線으로부터 포장으로 전달하는 機能을 갖는다. 또한 導水施設과 마찬가지로 지체저류심이 存在하는데 이것이 水路損失量의 供給源이 된다.

2) 포장

블럭은 하나의 포장만을 갖고, 포장은 同一 블럭내의 用水支渠를 통해서만 灌溉用水를 供給받아 貯留하는 機能을 갖는다. 포장은 土壤 特性, 作物의 種類, 灌溉水深의 調節方式 및 포장管理方式 등의 4가지 因子를 利用해서 그 特性을 定義한다. 포장에서의 물收支는 물管理를 위한 重要한 手段이 된다. 포장에서의 이들 물收支 要素들을 定量分析하고 이들 要素들에 影響을 미치는 因子들을 糾明함으로써, 灌溉組織의 運用結果를 評價하고, 作物의 消費水量을 決定할 수 있다. 포장에서의 물收支는 여러가지 要素에 의해 支配되는데, 그 關係는 다음식과 같다.

$$H(t) - H(t-1) = P(t) + I(t) - DR(t) - IN(t) - S(t) - ET(t)$$

여기서, H는 담수심, P는 純降雨量, I는 灌溉量, DR은 排水量, IN은 浸透量, S는 논둑삼투量, ET는 증발산量, t는 日이다.

3) 排水支渠

排水支渠의 水理的 特性은 用水支渠와 同一하며 포장의 지체저류심인 물꼬높이에 의해 調節되는 포장排水量을 貯溜시킨 후에 排水施設이나 導水施設로 排除시키는 機能을 갖는다.

라. 排水施設

排水施設은 排水幹線과 河川으로 構成되는데, 河川의 斷面形態는 等價水深을 갖는 直四角形으로 가정하고 等流水深法에 의해 흐름의 特性을 解析하고, 水面으로부터의 증발은 없는 것으로 하며, 河川 바닥에서의 浸透損失은 없는 것으로 假定한다.

### 3. 模型의 構成

관개조직 모의조작模型은 流出量模型에 의해 推定된 流域流出量과 降雨資料 및 증발산량을 模型의 日操作條件으로 하여 用水源으로부터 任意의 灌漑用水를 取入했을때 아래 事項들을 모의發生하며, 模型의 계산과정은 Fig. 3과 같다.

- 河川區間別 水位, 流速 및 流量
- 用水幹·支線의 區間別 水位, 流速, 流量, 水路損失量 및 導水效率
- 用水支渠의 水位 및 損失量
- 포장담수심 및 블럭別 灌漑效率
- 排水支渠의 水位 및 損失量
- 反復利用水量

- 이상의 結果에서, 灌漑組織의 日別 물收支를 計算하고 有效雨量을 計算하며 灌漑組織의 操作結果를 評價한다.

관개조직 모의조작模型을 利用하여 灌漑組織을 模擬操作하기 위해서는 模擬發生時機 및 期間, 降雨量과 증발계 증발量, 操作 用水源의 指定番號 및 取水施設의 개소수, 流域別 流出量, 用水源의 稼動時間 및 灌漑量 등과 같은 日別 操作變數가 必要하다.

入力資料는 灌漑組織의 各 構成要素別로 분

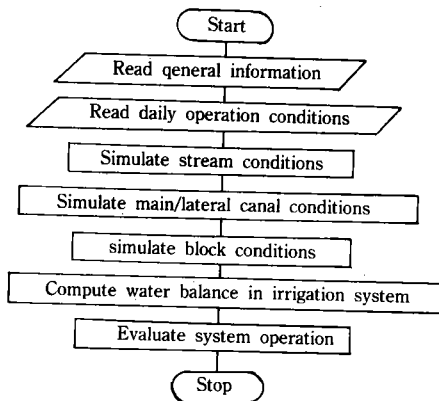


Fig. 3. Flow chart of daily irrigation network operation simulation model.

리하여 構成하는 것을 원칙으로 하였다.

### IV. 模型의 應用

본 模型의 適用을 위하여 半月地區를 對象으로 하여, 對象地區의 灌漑組織網을 模式化하고, 各 組織의 特性因子들을 選定하여 模型의 適用에 必要한 資料를 구하며, 實測資料를 利用하여 模型의 媒介變數를 補正하고, 補正된 媒介變數를 利用하여 模擬發生한 結果를 實測된 논의 담수심과 用水路流量과 比較하도록 하였다.

#### 1. 對象地區

모형의 응용을 위하여 반월지구를 대상지구로 선정하였다. 半月地區는 京畿道 華城郡 半月面에 位置하며, 水源工 施設은 貯水池 1個所, 보 2 個所, 揚水場 1 個所로 構成되며, 灌漑面積은 總405 ha이다 (Fig. 4참조).

#### 2. 模型의 適用

##### 가. 灌漑組織의 模式化

半月地區를 模式化한 結果는 Fig. 5와 같다. 블럭은 用水幹·支線의 系統圖, 用水支線分岐点, 用水地点의 給水地區, 取入보 地点, 流域 流出水의 地區內 流入地点, 用水路 區間, 土壤 特性 등을 고려하여 13개로 분할하였으며 Fig. 6과 같다. 半月地區는 主水源工을 貯水池로 하고 副水源工으로는 下流지역에 설치된 揚水場을 利用한다. 取水施設로는 上·下流區間에 位置한 2개의 取入보(intake point #1, #2)가 있으며 3개流域(Ished #1, #2, 및 #3)의 流出量을 集水하여 組織內에 用水를 供給한다. 河川은 流域境界와 取水施設의 位置를 考慮하여 4개 區間으로 구분되며, 假想區間 SR #5에서 河川의 흐름이 終結된다. 用水幹·支線은 14개 區間으로 분할되어 各 1개의 블럭에 給水하는데, R#8과 R#10이 공동으로 BLOCK #8에 연결되어 있다.

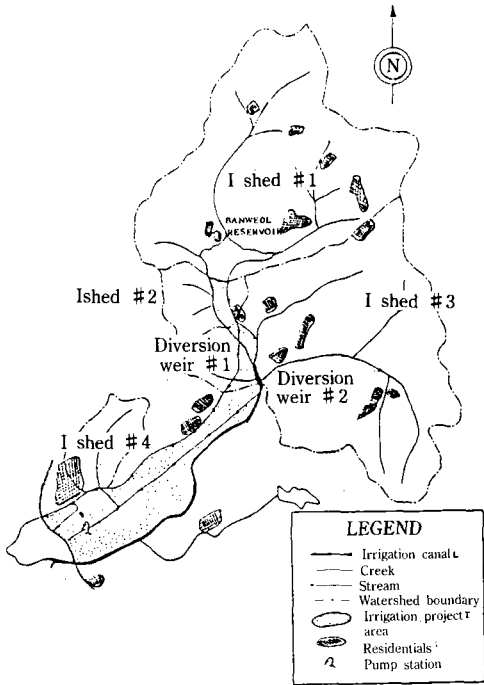


Fig. 4. Location of Watersheds & Irrigation System of Banweol Irrigation District.

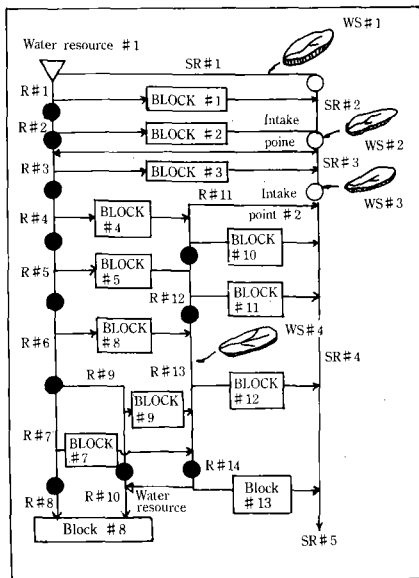


Fig. 5. Schematic diagram of irrigation network of banweol irrigation district.

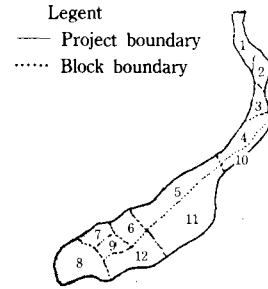


Fig. 6. Block Segmentation.

나. 媒介變數의 補正

본 模型의 媒介變數는 1986年에 半月地區에서 實測한 貯水池 통한 取水量, 用水幹線과 支線의 日別流量, 블럭의 日別담수심 및 導水效率등을 利用하여 補正하였다. 補正된 媒介變數는 用水幹線과 支線의 포장給水率, 生育時期別 물꼬높이, 取入보의 取水率, 用水幹線과 支線의 지체 저류심, 水路損失率 등이다.

다. 模型의 檢定

본 模型의 檢定은 1987년과 1988년의 實測 用水路 區間流量과 블럭담수심을 使用하였다. 이때 媒介變數의 값은 模型의 補正 과정에서 얻은 값을 使用하였다. 이 媒介變數를 통해 用水路 區間別 流量과 블럭 담수심을 日別로 推定하여 각각의 實測值과 比較하는 것으로 模型을 檢定하였다.

1987年의 경우, 用水路區間 #3에 대한 用水路 流量의 모의발생 結果는 Fig. 7과 같고, 블럭 #3의 담수심 모의발생 結果는 Fig. 8에 圖示되어 있다. 이들 用水路 流量과 블럭담수심 的 모의발생 에 따른 RMS 誤差는 Table-1과 같다. 用水路 流量의 경우 RMS 誤差가 1993~3033 m<sup>3</sup>/day 이고, 블럭담수심 的 RMS 誤差는 11.13 mm/day이다.

用水路區間 流量들은 앞의 補正 과정에서도 言及한 바와 같이 각 區間別로 推定值가 實測 值에 잘 一致하고 있는데, 이때 使用된 用水幹線 支線의 포장 給水率은 季節平均 媒介變數이다.

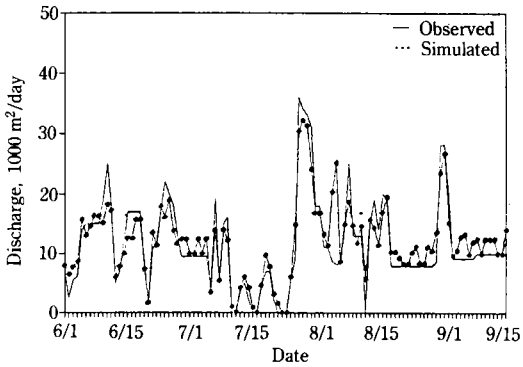


Fig. 7. Observed and simulation discharges in reach #3(1987).

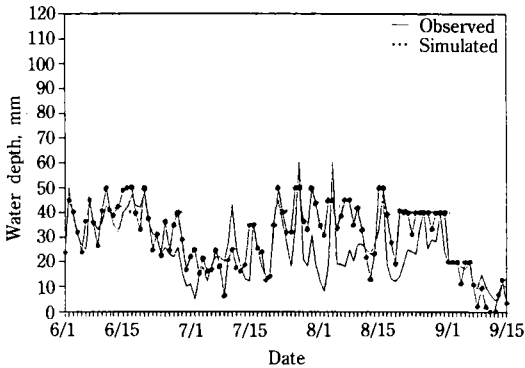


Fig. 8. Observed and simulation water depth in block #3(1987).

Table-1. RMS error of simulated discharge & ponded water depth vs. observed ones.

Year	Discharge, m <sup>3</sup>				Water depth, mm	
	R#1	R#2	R#3	R#5	Blk #3	Blk #5
1987	2026	1993	3033	-	11.13	-
1988	1523	1796	1241	1245	9.95	12.82

이와 같이 季節平均 媒介變數를 사용했음에도 불구하고 日別로 正確한 推定이 可能한 것은 각 포장으로 給水된 量이 물의 需要에 따른 分水工 操作에 의해 決定되지 않고 上流區間으로부터의 流入量에 의해 결정되기 때문인 것으로 생각된다.

다. 즉, 半月地區의 경우 上流調節方式에 의해 導水施設이 管理되는 關係로 貯水池 통관을 통해 用水路에 流入된 물은 正比例關係를 갖고 支渠에 流入되고 있음을 推定할 수 있다.

### 3. 模型의 應用 및 考察

#### 가. 물管理 方式의 評價

本 模型의 目的의 하나는 灌溉組織의 運營結果를 評價하는 것인데, 이 경우 灌溉效率과 有效雨量이 評價의 資料가 된다. 이들에 影響을 미치는 물管理媒介變數는 포장組織의 물꼬높이와 導水組織의 포장給水率이라 할 수 있다.

물꼬높이와 포장給水率의 變化에 따른 灌溉效率과 有效雨量 모의發生 結果의 變化를 計算하고, 이들 比較함으로써 模型의 拳動을 分析하였다. 分析期間을 短期間으로 하면 初期條件에 많은 影響을 받기 때문에 全 灌溉期間을 對象으로 하였고, 1987年과 1988年의 2個年 資料를 使用하였다. 灌溉方式은 實操作結果인 實測 貯水池 灌溉量 資料를 使用하였다.

#### 1) 물꼬높이

물꼬높이를 作物의 生育時期별로 變化시키거나 또는 全 生育期間에 걸쳐 固定하는 경우를 대상으로하여, 5가지 경우에 대하여 각종 灌溉效率, 有效雨量 및 有效降雨率을 計算하였다. CASE I은 물꼬높이가 實操作條件으로서 生育期間별로 變하는 경우이고, CASE II~CASE V는 물꼬높이를 固定하는 경우로 각각 40 mm, 50 mm, 75 mm 및 100 mm인 경우이다.

分析은 年度別로 實操作 結果를 使用하여 각 CASE 別로 導水效率, 포장灌溉效率, 組織效率, 有效雨量 및 有效降雨率을 計算하였는 바, 1987年의 結果는 Table-2에 表示되어있다. Table-2에서 보면, 灌溉效率들은 각 CASE 別로 同一한 값을 보이는데 導水效率는 97.9%, 포장灌溉效率는 11.3%, 組織效率는 9.8% 이었다. 포장灌溉效率와 組織效率가 낮은 값을 보이는 것은 灌溉期間의 降雨量이 많았고, 이에 따른 貯水池의 可

용수량의 증가로 灌溉量도 必要이상으로 많았던  
때문으로 생각된다. 특히 河川으로부터의 많은  
取水量이 灌溉效率를 낮게하는 원인이 되고 있  
다. 有效降雨率은 9.2%~13.9%의 범위의값을  
보이는데, 물꼬높이가 增加함에 따라 有效降雨  
率도 增加하였으며 CASE I의 경우는 有效降雨  
率이 13.0%로 5가지 경우 중에서 제2위 값을  
記錄하였는데, 물꼬높이를 生育時期別로 調節  
하는 경우에도 相對的으로 降雨의 利用度를 높일  
수 있다는 것을 보이고 있다. 이와같은 결과를  
보면 有效降雨率은 관계방식과 포장의 물관리  
방식의 영향을 받는 것으로 생각되는 바, 鄭 등<sup>27)</sup>  
도 유사한 연구결과를 보고한 바 있다.

**Table-2. Sensitivity analyses of irri. efficien-  
cies & effective rainfall with respect  
to bund height in 1987.**

CASE	Efficiencies, %			Effective rainfall	
	Conveyance	Field	System	1000m <sup>2</sup>	%
I	97.7	11.3	9.8	704	13.0
II	97.7	11.3	9.8	497	9.2
III	97.7	11.3	9.8	543	10.0
IV	97.7	11.3	9.8	645	11.9
V	97.7	11.3	9.8	752	13.9

Table-2에서 보는 바와 같이 有效雨量이 增加  
함에도 불구하고 組織效率이 增加하지 않고 一  
정한 것은 降雨量 중에서 灌溉에 利用된 量이  
많은 反面에 그 量 만큼 取水施設에서 考慮  
되어야만 灌溉效率를 높일 수 있는데 실제 모  
형은 그렇지 못한 關係로 灌溉效率이 變하지  
않은 때문이다. 즉 灌溉效率의 增加를 위해서는  
取水施設의 取水量(灌溉量)決定에 有效雨量이  
考慮되어야 한다는 점을 위의 結果에서 알 수  
있었다.

2) 포장給水率

用水路區間別 포장給水率은 季節平均값을 갖  
는 媒介變數로서 上流調節方式에 의한 것이다.

이와 같은 上流調節方式의 短點은 灌溉지구의  
上流에서 必要이상의 水量을 取水하는데 있다.  
이포장 給水率을 人爲的으로 調節하였을 때 模  
型的 挙動을 分析하기 위해 다음 3가지 경우에  
대해 灌溉效率와 有效雨量을 計算하였다. CASE  
A는 實操作條件, CASE B는 블럭 給水面積比를  
考慮하여 給水率을 決定한 경우이고, CASE C는  
上流區間의 給水率을 實操作條件의 50%로 減  
少한 경우이다.

實操作條件에 의하면 上流의 3개 用水路 區  
間에서 分水되는 量은 全体 貯水池 灌溉量의 50  
%이상을 차지하고 있는데 이들의 灌溉面積이  
차지하는 比率은 24%이다. 따라서 CASE C에  
서는 이들 3개區間의 給水率을 任意로 50%로  
減少하였을 때의 模型的 反應을 살피기로 하였  
다. 이상의 3가지 경우에 대한 分析結果는 Table-  
3에 CASE 別로 표시되었다. 導水效率은 CASE  
A가 92.4%로 가장 큰값을 보이고 작은값은  
CASE B의 88.7%이다. 組織效率 및 포장관개  
效率은 모두 CASE B가 66.8%와 38.5%로 가장  
크고 CASE A가 가장 적은 60.5%와 36.7%를  
記錄하였는데, 이것은 導水效率의 경우와는 반  
대의 現象을 보였다. 이것은 CASE B가 灌溉面  
積比를 考慮해서 灌溉用水가 供給되므로 CASE  
A보다는 導水組織의 下流區間에 물이 供給되는  
기회가 增加하게 되고 또한 対象지구의 地形的  
特性으로 下流로 갈수록 지체저류량이 크고 損  
失量이 增加하였기 때문으로 추정된다.

有效降雨率은 CASE A, CASE B 및 CASE  
C일때 各各 36.7%, 36.8%와 37.1%를 보이고

**Table-3. Sensitivity analyses of irri. efficien-  
cies & effective rainfall with respect  
to block diversion rates.**

CASE	Efficiencies, %			Effective rainfall	
	Conveyance	Field	System	1000m <sup>2</sup>	%
A	92.4	60.5	36.7	1,260	36.7
B	88.7	66.6	38.5	1,264	36.8
C	89.8	64.6	38.1	1,274	37.1



있는데, 實操作條件의 경우가 CASE B와 CASE C보다 낮은 값을 나타냈다. 이는 上流에서 항상 많은 물을 遮斷 取水하는 關係로 降雨時 이를 貯溜할 수 있는 餘裕高가 減少되어 有效雨量이 減少된 때문으로 보인다. CASE A와 CASE B의 경우 포장效率의 차이가 6.1%인데도 組織效率에서는 1.8%의 차이만 보이는 것은 CASE A의 導水效率이 반대로 높아졌기 때문이라 할 수 있을 것이다. 半月地區는 보를 이용하여 河川水를 취입하고 있는데, 1988年 貯水池로 부터의 灌溉量은 2.3백만 m<sup>3</sup>이고, 보로 부터의 灌溉量은 2.6백만 m<sup>3</sup>이었다. 따라서 貯水池 조작이나 閘 개조작의 조작에 따른 효과는 보 灌溉量이 많은 關係로 크게 증가하지 않고 있다.

이상의 결과에서 보면 給水面積比를 考慮하여 給水率을 決定하는, 全体灌溉地區에 同一한 強度로 灌溉를 실시하는 경우에 높은 效率를 기대할 수 있을 것이다.

나. 灌溉方式의 評價

本 研究에서는 다음의 6가지 灌溉方式에 대한 模型의 物理的 挙動을 分析하기 위해 導水效率, 포장灌溉效率, 組織效率, 有效降雨量 및 有效降雨率을 각각 計算하였다. CASE 1은 實操作條件으로 實測貯水池 灌溉量을 利用하고 CASE 2는 灌溉量豫測模型으로 算定한 日灌溉量을 매일 灌溉하는 連續灌溉方法이고, CASE 3은 CASE 2에 의한 日灌溉量을 3일에 1회씩 灌溉하는 間斷灌溉方法이고, CASE 4는 固定灌溉量을 連續灌溉하는 方法이고, CASE 5는 固定灌溉量을 3일에 間斷灌溉하는 方法이며 CASE 6은 固定灌溉量을 5일 間斷灌溉하는 方法이다. 또한 各 CASE의 물꼬높이에 따른 變化特性을 分析하기 위해 實操作 條件일 때와 물꼬높이를 40 mm와 100 mm로 했을 경우의 挙動을 分析하였다. Table-4는 물꼬높이가 實操作條件에 따라 生育時期別로 變하는 경우의 分析한 結果이고 Table-5와 Table-6은 各 물꼬높이가 40 mm와 100 mm인 경우의 結果이며, Fig. 9는 實操作

Table-4. Sensitivity analyses of irri. efficiencies & effective rainfall with respect to irrigation methods.(Bund height =varied)

CASE	Efficiencies, %			Effective rainfall	
	Conveyance	System	Field	1000m <sup>2</sup>	%
1	92.4	36.7	60.5	1,260	36.7
2	91.0	37.0	62.4	1,244	36.2
3	92.2	36.9	61.5	1,236	35.9
4	89.5	32.6	52.0	1,166	33.9
5	88.9	31.4	49.4	1,209	35.2
6	86.8	24.6	35.4	1,154	33.6

Table-5. Sensitivity analyses of irri. efficiencies & effective rainfall with respect to irrigation methods.(Bund height =40 mm)

CASE	Efficiencies, %			Effective rainfall	
	Conveyance	System	Field	1000m <sup>2</sup>	%
1	92.4	36.7	59.4	1,020	29.7
2	91.1	37.0	61.3	1,034	30.1
3	92.3	37.0	60.2	1,013	29.5
4	89.5	32.6	51.2	953	27.7
5	89.0	31.4	48.4	977	28.4
6	87.0	24.6	34.9	935	27.2

Table 6 Sensitivity analyses of irri. efficiencies & effective rainfall with respect to irrigation methods.(Bund height = 100 mm)

CASE	Efficiencies, %			Effective rainfall	
	Conveyance	System	Field	1000m <sup>2</sup>	%
1	92.3	36.8	61.0	1,297	37.7
2	91.0	37.3	63.4	1,274	37.1
3	92.1	37.3	62.5	1,274	37.1
4	89.4	32.7	52.4	1,174	34.2
5	88.9	31.5	49.6	1,223	35.6
6	86.9	24.6	35.7	1,148	33.4

條件일 때의 結果를 도시한 것이다.

Table-4에서 보는 것과 같이 포장관개效率은

CASE 2의 灌溉量 豫測模型을 이용한 연속관개 방식의 경우에 62.4%로 가장 높고, 그 다음은 CASE 3, CASE 1, CASE 4, CASE 5의 順이고 固定灌溉量을 5日 間隔으로 間斷灌溉하는 CASE 6의 경우는 35.4%로 가장 낮는데, 이런 現象은 組織效率의 경우에도 同一하였다. 특히 포장관개效率의 경우 CASE 2와 CASE 6의 차이는 27%로 상당히 큰 값을 보이고 있다. 導水效率의 경우에는 CASE 1의 경우가 92.4%로 가장 높고, 그 다음은 CASE 3, CASE 2, CASE 4, CASE 5, CASE 6의 順으로 낮아지고 있는데, 灌溉效率의 경우와 달리 많은 차이가 보이지 않고 있다. 물꼬높이에 따른 각 灌溉方式別 變化를 보면 물꼬높이의 變化에 따른 導水效率, 포장效率 및 組織效率의 變化는 거의 나타내지 않았다.

Table-4, 6에서 보면 물꼬높이에 關係없이 實操作條件을 除外하면 有效降雨率이 가장 높은 것은 CASE 2이고 가장 낮은 것은 CASE 6의 경우이다. 5일 間斷灌溉를 하는 CASE 6의 경우, 일시에 많은 물을 담수하는 關係로 降雨를 貯溜할 수 있는 논의 餘裕高가 적기 때문에 有效降雨率이 가장 적은 것으로 생각된다. 灌溉效率의 경우에는 물꼬높이에 따른 變化는 거의 없었으나 有效降雨率의 경우에는 變化를 보였는데 물꼬높이가 增加할 수록 有效降雨率도 增

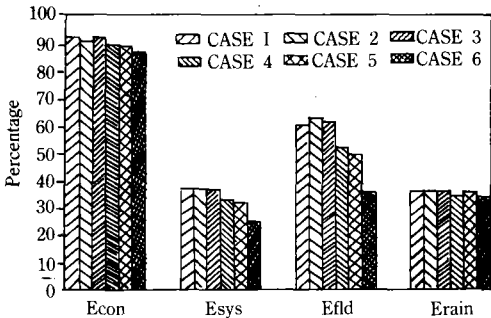


Fig. 9. Irrigation efficiencies & rainfall effectiveness with different irrigation practices.

加하였다.

가項에서는 물管理 方式의 變化에 대한 灌溉效率를 분석하였고 여기서는 灌溉方式에 따른 灌溉效率의 變化만을 계산하였는데, 이들 중에서 灌溉效率이 높은 물管理 方式과 灌溉方式을 동시에 고려한 경우의 灌溉效率를 계산하였다. 물管理 方式에서 給水面積比를 고려한 포장給水率을 적용하는 CASE B와 灌溉量 豫測模型인 SIDFOM을 이용한 灌溉方式인 CASE 2를 적용한 결과, 導水效率은 86.2%, 포장灌溉效率은 70.8%, 組織效率은 38.9%, 有效降雨率은 38.5%이었다. 이를 實操作條件과 비교하면 포장灌溉效率은 9.8%, 組織效率은 2.1%의 灌溉改善 效果를 보였는데, 이것은 보로부터의 많은 灌溉量에 의해 改善效果가 감소된 것으로 사료된다.

## V. 要約 및 結論

灌溉組織 모의操作模型을 開發하여 이를 半月地區에 適用하여 물꼬높이 및 포장給水率 變化에 따른 模型의 挙動을 分析하고 灌溉方式을 評價하였던바, 다음과 같은 結果를 얻었다.

1. 1987~1988年の 모의操作에 따른 用水路區 間流量과 블럭담수심은 實測值들과 잘 一致하여 그 응용성이 좋은 것으로 평가 되었다.

2. 물꼬높이의 變化에 따른 導水效率, 포장灌溉效率 및 組織效率의 變化는 거의 없는 것으로 나타났으나, 有效降雨量은 물꼬높이의 增加에 따라 增加하는 傾向을 보였다.

3. 포장給水率의 결정방법에 따른 灌溉效率의 계산결과, 블럭의 給水面積比를 考慮해서 포장給水率을 決定하여 全体灌溉地區에 同一한 強度로 灌溉를 하는 것이 가장 높은 灌溉效率을 나타내었다.

4. 灌溉量算定模型에 의한 灌溉量을 使用한 灌溉方式이 灌溉效率 및 有效降雨率 面에서 有利한 것으로 判斷되었다.

5. 有效降雨率은 灌溉方式과 포장의 물管理方

式에 의해 좌우되는 것으로 나타났다.

6. 給水面積比를 고려한 물管理方式과 灌漑量算定模型을 이용한 灌漑方式을 적용하여 灌漑效率을 계산하였는바, 實操作條件인 경우보다 포장灌漑效率은 9.8%, 組織效率은 2.1%의 灌漑改善 效果를 보였다.

### 參 考 文 獻

1. Amir, U., 1983, Irrigation Management and Scheduling, CRC Handbook of Irrigation Technology Vol. II, Boca Raton, Florida.
2. Blank, H. G., 1975, Optimal Irrigation Decisions with Limited Water, Unpublished Ph.d Dissertation, Colorado State Univ. Fort Collins, Colorado.
3. Buchleiter, G. W. and D. F. Heermann, 1986, Using Computer to Manage Irrigation System, ASCE, 112(WR3), pp. 354-365.
4. Busch, J. R. and K. H. Yoo. 1981, Optimal Multistage Decisions using Dynamic Programming, Paper Presented at the 1981 Summer Meeting, ASAE, Paper No. 81-5013.
5. Changnon, S. A., 1969, A Climatological-Technological Method for Estimating Irrigation Water Requirements for Maximum Crop Yields, J. of Soil and Water Conservation, 24(1).
6. Cochran, D. L., J. L. Chesness and J. E. Hook, 1983, Predicting Seasonal Irrigation Water Requirements in Humid Regions, Paper Presented at the 1983 Summer Meeting, ASAE, Paper No. 83-2165.
7. Cosgriff, G. O., P. E. Forte, M. A. Kennedy, J. V. Russell, R. O. Smith and A. K. West, 1985, Interactive Computer Modeling, Monitoring and Control of Melbourne's Water Supply System, WRR, 21(2), pp. 123-129.
8. Cunningham, A. B. and J. R. Amend, 1984, Water Management Using Interactive Simulation, ASCE, 110(WR3), pp. 310-322.
9. \_\_\_\_\_, 1986, Interactive Simulation of Resource Systems, ASCE, 112(WR3), pp. 326-338.
10. Dudley, N., D. Howell & W. Musgrave, 1971, Optimal Intraseasonal Allocation, Water Resource Research, pp.770-778.
11. Gilles, B. C., 1980, A Water Management Model for Lowland Paddy Irrigation System, Thesis for the degree of Master of Eng., A.I. T., Bangkok, Thailand.
12. Hsu, Y.P., 1970, Water Management in Paddy Fields, Extension Bulletin No. 1, Food and Fertilizer Technology Center, pp. 1-42.
13. IRRI, 1972, Irrigation and Water Management, Annual Report, pp. 57-66.
14. \_\_\_\_\_, 1974, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, pp. 236-241.
15. Jones, J. W., 1985, Using Expert Systems in Agricultural Models, Agri. Eng. Vol. 66(7), pp. 21-23.
16. Johnson, L. E., 1986, Water Resource Management Decision Support Systems, ASCE, 112(WR3).
17. Koch, R. W., & R. L. Allen, 1986, Decision Support System for Local Water Management, ASCE, 112(WR4), pp. 527-541.
18. Kuroda, M. and T. Cho, 1988, Water Management and Operation of Irrigation System in Lowlying Paddy Area with Creek Network, J. of Irri. Eng. & Rural Planning, The Japaness Soc. of Irri., Drai. & Recl. Eng., Vol. 13, pp. 36-46.
19. Labadie, J. W. and C. H. Sullivan, 1986, Computer Decision Support Systems for Water Managers, ASCE, 112(WR3), pp. 299-307.

20. Loucks, D. P., J. Kindler and K. Fedra, 1975, Interactive Water Resources Modeling and Model use : An Overview, WRR, 21(2), pp. 95-102.
21. Palmer, R. G., 1986, How Expert Systems Can Improve Crop Production, Agri. Eng., Vol. 67(10), pp. 28-29.
22. Pleban, S. and I. Amir, 1980, An Interactive Computerized Aid for the Design of Branching Irrigation Networks, Trans. of ASAE, pp. 358-361.
23. Sen, L. N. & T. Wickham, 1978, Water Management for Lowland Rice : Water Requirement and Yield Response, Soil & Rice, IRRI.
24. Sprague, R. H., Jr., and E. D. Carlson, 1982, Building Effective Decision Support System, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J.
25. Suryavanshi, A. R. and J. M. Reddy, 1986, Optimal Operation Schedule of Irrigation Distribution Systems, Agri. Water Management, Vol. 11, pp. 23-30.
26. Yoo, K. H., J. R. Busch, & C. E. Brockway, 1982, Optimal Planning of Irrigation Distribution and Application Systems for a large Irrigated Area, Idaho Water Resource Research Institute, Univ. of Idaho, Moscow, Idaho pp. 235.
27. 鄭夏禹 外, 1986, 畝에서의 有效雨量에 關한 研究, 서울大學校農學研究, 第11卷, 第1集.