

# 動的計劃法을 이용한 洛東江水系 多目的 貯水池群의 連繫運營

李舜鐸\*·朴琦鎬\*\*

## 1. 序論

水資源 시스템의 開發과 利用은 각기 다른 시스템 要素들의 位置와 크기를 결정하고 計劃하는 段階, 目的에 맞는 水資源을 적절하게 配分하는 段階 및 특정한 時間에 일어나는 需要를 만족시킬 수 있도록 運營하는 段階로 크게 나누어 진다. 多段階와 多目的의 水資源 시스템에서 運營政策은 전체 시스템의 觀點에서 볼 때 중요한 영향을 끼치며, 잘못된 計劃은 효율적인 水資源의 配分과 運營政策에 악영향을 미친다. 最適 運營政策을 수립하기 위해서는 計劃과 配分の 段階에서 적절한 制約條件이 마련되어야 하며, 위 段階들이 각각으로서가 아니라 잘 조화된 상태로서 전체적인 觀點에서 다루어져야 한다.

水資源의 효율적인 이용과 그 管理를 위하여 여러 곳에 건설되어 運營되고 있는 貯水池群의 最適運營問題는 시스템적인 觀點에서의 統合運營 管理를 통하여 얻을 수 있는 潛在利得이 크므로 數理計劃技法을 이용한 貯水池群의 統合管理가 필요한 실정이다. 이에 본 論文에서는 貯水池群의 建設로 이루어진 貯水池群의 水資源을 효과적으로 이용하고 時間 및 空間別로 확보된 水資源을 적절하게 割當시키기 위하여 動的計劃法(Dynamic Programming : DP)에 基礎를 둔 離散微分 動的計劃法(Discrete Differential Dynamic Programming : DDDP)을 導入하여 洛東江水系에 適用시킬 수 있도록 連繫運營 시스템을 構成하고 遂行 알고리즘을 開發하는데 그 目的을 두고 있다.

## 2. 多目的 貯水池群의 連繫運營 모델 基本理論

多目的 貯水池에서 있어서 水資源의 最適利用을 위한 시스템의 分析을 위해서 貯水池群의 制約條件, 非線型 目的函數 및 시스템의 多段階 運營節次 등의 特徵을 알맞게 다룰 수 있는 最適化 技法들이 선택되어야 한다. 이러한 最適化 技法들은 충분한 離散目的函數 및 다루기 어려운 制約條件 등을 통합하여 고려하기 위한 알고리즘의 적절한 變形을 요구하고 있으므로 動的計劃法을 사용함으로써 이들 制限을 줄일 수 있다.

動的計劃法の 離散形態는 위의 조건들을 函數로 정의된 循環方程式으로 다룰 수 있으며, 狀態벡터와 決定벡터의 制約條件들은 계산 과정에서 컴퓨터의 演算時間의 增加를 초래하고 알고리즘의 變化를 요구한다. 그러나 多重 多段階 分析을 위한 기법인 DP 技法은 反復方程式의 해결을 위한 多量の 演算이 필요하나 水資源시스템의 分析에 유용하다.

따라서 이를 위해서 DP技法으로는 복잡한 演算過程과 많은 演算時間이 소요되나 이들 制約條件을 克服할 수 있는 DDDP모델의 基本理論을 살펴보면 다음과 같다.

\* 嶺南大學校 工科大學 教授

\*\* 嶺南大學校 大學院 博士課程

## 2.1 DDDP 모델의 基本理論

DDDP理論은 DP의 循環方程式(recursive equation of dynamic programming)으로 試圖軌跡(trial trajectory) 부근에 있는 離散된 狀態(discrete states)에서 향상된 軌跡를 찾기 위해 사용하는 反復的인 方法으로 動的시스템의 狀態方程式은 아래와 같다.

$$s(n) = \phi [s(n-1), u(n-1), n-1] \quad (1)$$

$$n = 1, 2, \dots, N$$

여기서,  $n$ 은 特定段階(時間增加가 시작되는)의 指數,  $N$ 은 時間의 限界值로 나누어지는 곳에서의 時間增加의 總數,  $s(n)$ 은  $n$  段階에서  $m$  이 狀態變數가 되는  $m$  次元の 狀態벡터,  $u(n-1)$ 은  $n-1$  段階( $q$  假決定變數가 되는)에서  $q$  次元の 決定벡터를 나타낸다.

$$s(n) \in S(n)$$

$$u(n) \in U(n) \quad (2)$$

여기서,  $S(n)$ 은  $n$  段階에서 狀態空間(state space)에 포함되는 領域,  $U(n)$ 은  $n$  段階에서 決定空間(decision space)에 포함되는 領域이며, 이 때 狀態벡터는 貯留量, 決定벡터는 放流量을 나타낸다. 目的函數  $F$ 는 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = \sum_{n=1}^N R [s(n-1), u(n-1), n-1] \quad (3)$$

여기서,  $F$ 는 時間의 限界值일 때 시스템으로 부터 回收量이고,  $R [s(n-1), u(n-1), n-1]$ 은  $n-1$  段階에서 만들어진 決定벡터  $u(n-1)$ 이  $s(n-1)$ 인 段階에서  $n$  段階까지 持續될 때 시스템으로 부터 얻어지는 回收量이다. 시스템 전체가  $n$  段階에 걸쳐서 目的函數가 最大로 되는  $F^*$ 는 식(4)와 같다.

$$F^*[s(n), n] = \max_{u(n-1) \in U(n-1)} \{R[s(n-1), u(n-1), n-1] + F^*[s(n-1), n-1]\} \quad (4)$$

즉,  $F^*[s(n), n]$ 은 段階  $n$ 이  $s(n)$ 일 때 0 段階에서  $n$  段階까지 시스템에서 回收되는 最大 回收量이다.  $s(n-1)$ 을 풀기 위해서는 식(1)을 다음과 같이 바꿀 수 있다.

$$s(n-1) = \theta [s(n), u(n-1), n-1] \quad (5)$$

식(5)를 식(4)에 대입하여 아래의 循環方程式을 얻었다.

$$F^*[s(n), n] = \max_{u(n-1) \in U(n-1)} \{R[\theta, u(n-1), n-1] + F^*[s(n-1), n-1]\} \quad (6)$$

여기서, 循環方程式은  $u(n-1)$ 의 函數로서 最適 貯水池 狀態인  $s(n)$ 이 計算되고, 식(2)를 풀기 위해서는 식(6)이 最適 狀態의  $u(n-1)$ 을 만족해야 한다. 즉,  $n$  段階의 狀態벡터가 시스템을  $n-1$  段階 狀態벡터로 만들기 위해서는 最適 決定벡터가 주어져야 한다. 식(1) 조건의 시스템에서 目的函數가 最適 狀態로 되고 最初와 最終段階에서  $m$  次원의 狀態벡터가 식(7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$s(0) = a(0)$$

한편, 포함 가능한 決定벡터의 順次的 試圖에 있어서 DDDP 接近方法은 다음과 같다.  $u'(n)$ ,  $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$ 은 試圖軌跡이라 하고 식(2)를 만족시키면  $n$ 段階의 狀態벡터는  $n+1$ 段階에서 決定된다. 이것은  $s'(n)$ ,  $n = 0, 1, 2, \dots, N$ 일 때 決定되며, 시스템에 있어서 試圖軌跡  $s'(n)$ ,  $n = 0, 1, 2, \dots, N$ 이 포함된다. 이것은 다음 試圖軌跡  $u'(n)$ ,  $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$ 을 計算하며,  $u'(n)$ 과  $s'(n)$ 을 식(3)에 대입하여 試圖軌跡의 目的函數  $F'$ 를 얻을 수 있다.

$$F' = \sum_{n=1}^N R [ s'(n-1), u'(n-1), n-1 ] \quad (8)$$

여기서,  $F'$ 는 試圖軌跡과 최종 시간까지의 全領域에 걸친 政策決定 때문에 생긴 總回收量이며,  $m$ 次元벡터의 增分値  $\Delta s_i(n)$ 를 고려하면 다음과 같다.

$$\Delta s_i(n) = \begin{bmatrix} \delta s_{i1}(n) \\ \delta s_{i2}(n) \\ \vdots \\ \delta s_{ij}(n) \\ \delta s_{im}(n) \end{bmatrix} \quad (9)$$

여기서,  $n = 0, 1, 2, \dots, N$ 이고  $i = 1, 2, 3, \dots, T_m$ 이다.  $j$ 次要素  $\delta s_{ij}(n)$ ,  $j = 1, 2, 3, \dots, m$ 은 段階別 狀態領域이 증가된 값의 集合이며,  $t$ 의 어느 한 값  $t = 1, 2, \dots, T$ 를 가진다.  $t$ 의 값은  $t$ 次로 假定된 狀態領域이고,  $T$ 는 狀態領域의 증가로 부터의 假定된 增分値의 畧이다.

따라서 Fig.1 및 Fig.2와 같이  $n$ 段階에서 增分値의 畧인  $s_i(n)$ 의 狀態벡터는  $T_m$ 이며, 한 段階에서 試圖軌跡이 더해질 때마다 이들 狀態벡터의 형태는 副領域(subdomain)  $D(n)$ 에 의해서  $m$ 次元의 狀態벡터로 나타난다. 여기서,  $s'$ 는  $d/dt[s, u, t]$ 를 나타낸다.

$$s'(n) + \Delta s_i(n) \quad i = 1, 2, \dots, T_m \quad (10)$$

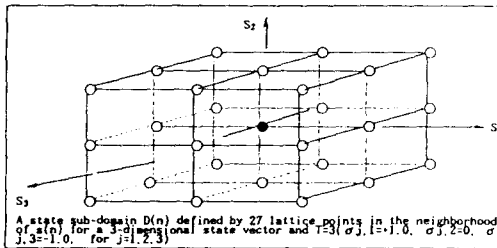


Fig. 1  $S(n)$  狀態의 副領域 狀態圖

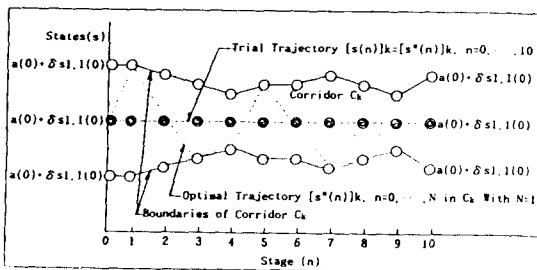


Fig. 2 試圖軌跡 追跡過程

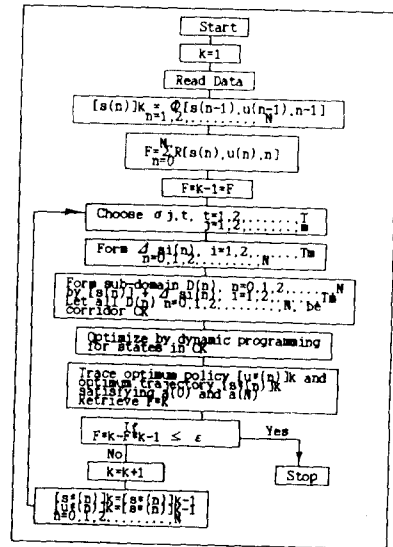


Fig. 3 DDDP 모델의 흐름도

### 3. 連繫運營 시스템의 構成

連繫運營 시스템의 構成을 위하여 먼저 對象 流域인 洛東江水系에 대한 流域의 概況과 連繫運營시스템의 連繫方程式을 설정했고 이때 사용된 連繫方程式의 基本式은 다음과 같다.

#### 3.1 對象流域

본 研究의 適用 對象河川인 洛東江의 流域面積은 23,656 km<sup>2</sup>로서 流域內에는 釜山直轄市와 大邱直轄市를 비롯하여 馬山, 鎭海, 居昌, 晉州, 龜尾 등 主要産業 및 工業都市가 있어 每年 큰 比率로 用水需要가 增加하고 있으며, 流域內 人口는 全國人口의 약 1/5 을 차지하고 있다. 또한 流域內의 金海平野를 비롯하여 沿岸에 광대한 穀倉地域들이 있으며, 全耕地面積이 流域面積의 22 %에 해당하는 5,200km<sup>2</sup>에 달한다. 본 流域의 既存댐으로는 南江댐(1970年 竣工), 安東댐(1976年 竣工), 陝川댐(1988年 竣工) 및 臨河댐(1992年 竣工) 등의 多目的댐이 竣工되어 運營中에 있다. 특히 安東댐, 臨河댐, 陝川댐 및 南江댐은 流域面積이 900 km<sup>2</sup> 以上인 大規模의 댐으로서 댐下流의 洪水調節과 用水供給을 目的으로 하는 多目的댐이며, 나머지 永川댐, 雲門댐 등은 中規模댐으로서 用水供給을 주로 담당하고 있다.

본 研究에서의 對象流域인 洛東江水系는 Fig.4와 같으며, 이를 토대로 安東댐, 臨河댐, 陝川댐 및 南江댐의 4개의 댐을 하나의 시스템으로 構成하였다.

#### 3.2 連繫方程式의 基本式

댐 貯水池群의 連繫方程式의 基本式은 식(12)와 같다.

$$\begin{aligned}
 S1(n) &= S1(n-1) - U1(n-1) + Y1(n) \\
 S2(n) &= S2(n-1) - U2(n-1) + Y2(n) \\
 S3(n) &= S3(n-1) - U3(n-1) + Y3(n) \\
 S4(n) &= S4(n-1) - U4(n-1) + Y4(n) - Y9(n)
 \end{aligned} \tag{12}$$

여기서,  $S_i(n)$ 은 貯水池  $i$ ,  $i = 1, 2, 3, 4$ 가  $n$ 月에서의 貯留狀態이며,  $U_i(n)$ 은 貯水池  $i$ ,  $i = 1, 2, 3, 4$ 에서의  $n$ 月에서의 放流量이다. 본 研究에서 사용된 貯水時 댐貯水池群의 連繫運營操作을 위한 시스템 構成圖는 Fig.4와 같이 나타낼 수 있다.

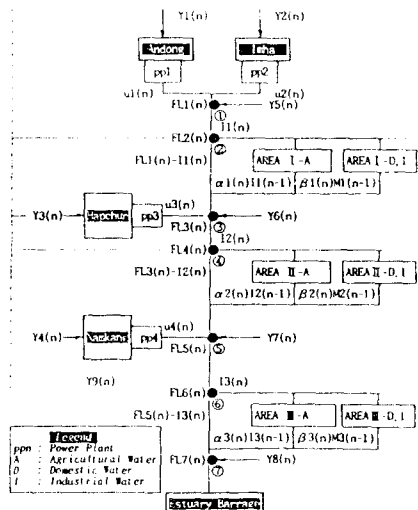


Fig.4 洛東江水系 댐貯水池群의 連繫運營 操作을 위한 시스템 構成圖

### 3.3 連繫運營시스템의 連續方程式

洛東江流域內 貯水池시스템의 連繫運營을 위한 連續方程式은 澗流入量과 支流 i에서 n 單位時間의 流入量  $Y_i(n)$  ( $i = 1, 2, 3$  및 4는 각 澗流入量이며,  $i = 5, 6, 7$  및 8은 각 支流의 流入量), 각 澗의 n單位 時間의 放流量  $U_i(n)$ , 農業用水 需要地域의 n 單位時間의 取水量  $I_i(n)$  및 각 需要地域의 農業用水 還元流量  $\alpha_i(n)$ 와 生·工用水 需要地域의 n 單位時間의 取水量  $M_i(n)$  및 각 需要地域의 生工用水 還元流量  $\beta_i(n)$ 에 의해서 계산될 수 있다. 이 때 貯水池 i에서의 放流量은 發電所  $PP_i$ 를 거쳐서 放流하며, 1地點(①)에서의 流量  $FL1(n)$ 은 식 (13)와 같이 安東澗과 臨河澗의 放流量  $U1(n)$ ,  $U2(n)$ 과 支流 流入量  $Y5(n)$ 를 합한 값으로 나타낼 수 있다.

$$FL1(n) = U1(n) + U2(n) + Y5(n) \quad (13)$$

3地點(③)에서의 流量은 1地點 流量  $FL1(n)$ , I地域의 農業用水 取水量  $I1(n)$ , 農業用水 取水量에 還元率  $\alpha1(n)$ 를 곱한 값, I地域의 生·工用水 取水量  $M1(n)$ , 生工用水 取水量에 還元率  $\beta1(n)$ 를 곱한 값과 I地域의 支流 流入量  $Y6(n)$  및 陝川澗의 放流量 및  $U3(n)$ 으로 나타낼 수 있다.

$$FL3(n) = FL1(n) - I1(n) + \alpha1(n)I1(n-1) - M1(n) + \beta1(n)I1(n-1) + u3(n) + Y6(n) \quad (14)$$

식(15)에 나타난  $I1(n-1)$ 과  $M1(n-1)$ 은 시스템에서의 月 單位만큼 지체시키며, 본 研究에 사용된 洛東江水系 시스템에서는 1個月 單位의 遲滯時間이 適用되었다. 5地點(⑤)에서의 流量  $FL5(n)$ 은 II地域의 農業用水 取水量  $I2(n)$ , 農業用水 取水量에 還元率  $\alpha2(n)$ 를 곱한 값, II地域의 生·工用水 取水量  $M2(n)$ , 生工用水 取水量에 還元率  $\beta2(n)$ 를 곱한 값과 II地域의 支流 流入量( $Y7$ ) 및 南江澗에서의 放流量  $U4(n)$ 으로 나타낼 수 있으며, 南江澗 放流量 중에서 泗川放流水  $Y9$ 는 他流域으로 轉換된다.

$$FL5(n) = FL3(n) - I2(n) + \alpha2(n)I2(n-1) - M2(n) + \beta2(n)I2(n-1) + Y7(n) - Y9(n) \quad (15)$$

7地點(⑦)에서의 流量  $FL7(n)$ 은 5地點에서의 流量  $FL5(n)$ 에서 III地域의 農業用水 取水量  $I3(n)$ , 農業用水 取水量에 還元率  $\alpha3(n)$ 를 곱한 값, III地域의 生·工用水 取水量  $M3(n)$ , 生工用水 取水量에 還元率  $\beta3(n)$ 를 곱한 값과 III地域의 支流 流入量  $Y8(n)$ 에 의해서 나타낼 수 있다.

$$FL7(n) = FL5(n) - I3(n) + \alpha3(n)I3(n-1) - M3(n) + \beta3(n)I3(n-1) + Y8(n) \quad (16)$$

#### 4. 모델의 適用

洛東江水系 多目的댐群의 用水供給 및 發電連繫運營을 위한 모델의 適用을 위하여 DDDP 모델에 水文條件인 渴水條件의 入力資料를 사용하여 각 댐群의 最適放流量을 제시 하였다.

##### 4.1 모델의 入力資料

모델의 入力資料를 구하기 위하여 댐流域에서 利水活動을 하지 않는 自然狀態의 月流入量과 支流流域의 月流出量을 算定하고 分析에 이용될 渴水年, 平水年, 豐水年 및 實際年의 형태로 나누었다. 모델에 入力될 각 流域의 月別 流出量은 流域에서 발생한 治·利水에 따른 還元流量을 사용해야 하므로 본 分析에서 還元流量은 生·工用水와 農業用水의 季節別 用水需要에 따라 각각 盛水期와 非盛水期로 나누고 각각의 還元率을 適用하여 算定하였다.

본 研究에서는 生·工用水 需要와 農業用水 需要를 분리하여 適用하였으며, 이들 각 地域別 需要에 따른 月配分係數를 사용하였다. 또한 流入量은 각 貯水池의 年度別 年最小值 系列의 流入量 資料를 이용하여 渴水條件으로 指定하고 支流流入量을 算定하였다.

한편 河道區間의 用水需要는 댐群의 시스템으로부터 각 需要地域을 I(安東~黃江 合流點), II(黃江 合流點~南江 合流點) 및 III(南江 合流點~河口堰) 地域으로 區分하여 각 需要地域別 生·工·農業用水의 需要量을 算定하였다. 用水需要는 渴水期에 特定 需要地域에서 부족이 발생할 경우가 있으므로 각 需要地域에서 最小限 取水해야 할 流量을 확보해 주기 위하여 供給率을 適用하였으며, 供給率은 각 需要地域의 用水需要에 대한 供給量의 百分率인 100%, 90% 및 80%를 각각 適用하였다. 發電用水量은 각 댐別로 韓國電力과 契約이 체결된 契約 發電量으로부터 月別 發電比率을 計算한 結果를 사용하였다.

##### 4.2 모델의 媒介變數 및 便益函數의 決定

댐群의 連繫運營 操作에 이용하기 위한 DDDP모델의 媒介變數는 貯水池 特性和 經濟便益 등이 있다. 貯水池 特性은 각 댐別 貯水位(X : EL. m)-貯水量( $10^9 m^3$ )의 關係式과 각 댐貯水池別 有效貯留量, 死水量 및 最小放流量의 制約條件이 媒介變數로 사용되었다.

각 地域에서의 生·工·農業用水 需要量은 Table 1과 같고 發電用水量은 각 댐別로 韓國電力과 契約이 체결된 契約 發電量을 조사하였으며, 이 값으로부터 月別 發電比率을 계산한 結果는 Table 2와 같다.

Table 1 각 地域에서의 生·工·農業用水 需要量 (I, II, III)  
(單位 :  $10^9 m^3$ )

| 地域  | 農業用水 需要 | 生·工用水 需要 |       |       |       | 生·工·農業用水 需要 |       |       |       |
|-----|---------|----------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|
|     |         | 1988     | 1991  | 1996  | 2001  | 1988        | 1991  | 1996  | 2001  |
| I   | 1.641   | 0.342    | 0.656 | 0.653 | 0.781 | 1.983       | 2.297 | 2.294 | 2.422 |
| II  | 0.204   | 0        | 0     | 0     | 0     | 0.204       | 0.204 | 0.204 | 0.204 |
| III | 2.365   | 1.173    | 1.441 | 1.824 | 2.073 | 3.538       | 3.806 | 4.189 | 4.384 |

\* 參考文獻 1~ 3 參照

Table 2 댐發電所에서의 發展需要量 月別 分布

(單位 : %)

| 月  | 安東댐   | 臨河댐   | 陝川댐   | 南江댐   |
|----|-------|-------|-------|-------|
| 1  | 6.92  | 1.96  | 1.56  | 3.58  |
| 2  | 6.92  | 2.07  | 1.41  | 4.89  |
| 3  | 6.92  | 8.93  | 1.56  | 25.74 |
| 4  | 6.92  | 9.72  | 3.03  | 2.34  |
| 5  | 6.92  | 7.26  | 6.26  | 2.76  |
| 6  | 20.07 | 7.02  | 6.06  | 10.21 |
| 7  | 10.37 | 22.37 | 25.03 | 13.22 |
| 8  | 10.37 | 17.31 | 27.90 | 12.65 |
| 9  | 6.92  | 15.44 | 12.11 | 13.70 |
| 10 | 6.92  | 5.15  | 9.39  | 4.10  |
| 11 | 6.92  | 3.71  | 5.74  | 4.10  |
| 12 | 6.92  | 2.33  | 5.94  | 2.32  |
| 合計 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

\* 參考文獻 1~3 參照

經濟便益은 生·工·農業用水 와 發電用水의 供給에 따른 純利益으로서 각 댐에서 需要地로 供給될 때의 純便益을 適用하였다. 이를 위하여 洛東江 流域內의 4개 多目的댐인 각 水源地로부터 需要地까지의 導水過程과 용도별 用水便益을 각 水源地로부터 洛東江 本流의 河道區間(供給地)別로 河道延長과 河幅을 조사하여 河道面積을 산정하였으며, 이 때 水路損失은 河道에서의 蒸發量과 浸透量을 계산하여 추정하였다. 水路의 損失 중에서 蒸發量은 河道面積에 河道區間的 單位 潛在蒸發量을 곱하여 추정하고 浸透量은 年平均 降雨量의 20%가 浸透에 의하여 損失이 되는 것으로 추정하고 있다. 각 水源地로부터 用水 供給地域으로 送水할 때 原水 價格에 대한 주요 지점별 用水便益 즉, 單位用水量 當의 純利益은 식(17)로 추정하였다.

$$\text{用水便益} = (\text{用水에 따른 總利益} - \text{損失費用}) / \text{用水量} \quad (17)$$

$$\text{損失費用} = \text{蒸發損失費用} + \text{浸透損失費用}$$

### 4.3 모델의 適用

洛東江水系 全域에 걸쳐서 물 不足現狀이 발생하는 渴水條件의 댐流入量資料를 사용하여 댐連繫運營을 실시하여 連繫運營에 의한 最適放流量을 정하였다. 한편 渴水條件의 댐流入量資料는 각 貯水池의 年度別 年最小值 系列의 流入量 資料를 이용하여 渴水條件으로 指定하고 이를 DDDP모델에 적용하였으며, 分析結果는 Table 3 및 Fig.5와 같다.

Table 3 DDDP 모델에 의한 渴水條件의 最適放流量 (1991年 用水需要)

(單位 : CMS)

| 댐  | 供給率  | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    |
|----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 安東 | 100% | 25.05 | 27.70 | 25.16 | 25.96 | 68.74 | 26.00 | 25.01 | 25.01 | 25.85 | 25.31 | 26.00 | 25.09 |
|    | 90%  | 25.05 | 27.70 | 25.16 | 25.96 | 66.08 | 26.04 | 25.01 | 25.01 | 25.85 | 27.93 | 26.00 | 25.09 |
|    | 80%  | 25.05 | 27.70 | 25.16 | 25.96 | 66.20 | 25.96 | 25.01 | 25.01 | 25.85 | 27.89 | 26.00 | 25.09 |
| 臨河 | 100% | 9.15  | 10.13 | 9.15  | 9.45  | 52.46 | 9.34  | 9.15  | 9.07  | 9.41  | 9.04  | 9.38  | 8.96  |
|    | 90%  | 9.15  | 10.13 | 9.15  | 9.45  | 52.34 | 9.30  | 9.15  | 9.07  | 9.41  | 9.15  | 9.38  | 8.96  |
|    | 80%  | 9.15  | 10.13 | 9.15  | 9.45  | 52.12 | 9.57  | 9.15  | 9.07  | 9.41  | 9.15  | 9.38  | 8.96  |
| 陝川 | 100% | 13.81 | 15.46 | 13.85 | 14.39 | 63.17 | 24.31 | 14.00 | 13.89 | 14.31 | 13.85 | 14.27 | 13.89 |
|    | 90%  | 13.81 | 15.46 | 13.85 | 14.39 | 58.24 | 29.40 | 14.00 | 13.89 | 14.31 | 13.85 | 14.27 | 13.89 |
|    | 80%  | 13.81 | 15.46 | 13.85 | 14.39 | 60.60 | 26.97 | 14.00 | 13.89 | 14.31 | 13.85 | 14.27 | 13.89 |
| 南江 | 100% | 9.74  | 10.83 | 9.71  | 10.22 | 39.87 | 15.39 | 9.71  | 9.89  | 10.07 | 17.92 | 10.03 | 10.19 |
|    | 90%  | 9.74  | 10.83 | 9.71  | 10.22 | 39.87 | 15.39 | 9.78  | 9.89  | 10.07 | 18.03 | 10.03 | 9.97  |
|    | 80%  | 9.74  | 10.83 | 9.71  | 10.22 | 39.87 | 15.39 | 9.78  | 9.89  | 10.07 | 18.26 | 10.03 | 9.78  |

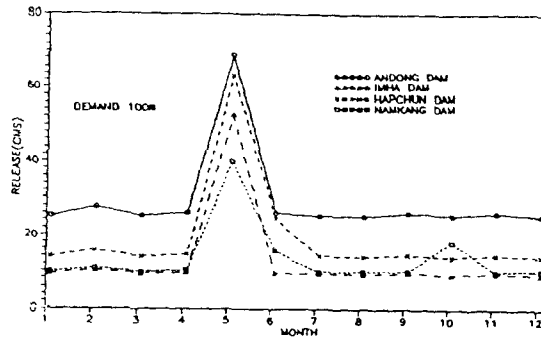


Fig.5 DDDP 모델에 의한 渴水條件의 最適放流量 (1991年 用水需要)

### 5. 結果 및 效果分析 討議

生·工用水, 農業用水 및 發電用水의 連繫運營前後 結果에 의한 便益 및 供給效果를 比較 分析하고 이 때의 供給增大와 便益增加에 의한 連繫運營의 效果를 檢討한다.

#### 5.1 生·工用水 適用結果 및 供給效果

DDDP모델에 의한 生·工用水의 供給效果 및 便益을 分析해 보면 Table 4 에서 나타난 바와 같이 I地域과 Ⅲ地域에는 生·工用水와 農業用水가 均일하게 供給되며, Ⅱ地域에는 대부분이 農業用水需要로 生·工用水의 供給은 거의 없다. 生·工用水의 需要形態는 1月부터 12月까지 均等하게 分布가 되어 있으며, 특히 農業用水의 盛需期를 제외한 때에는 生·工用水의 需要가 대부분을 차지한다. 1991年 用水需要와 渴水條件의 경우 連繫運營 前과 後의 生·工用水의 供給效果와 便益을 比較해 보면 Table 2 에서 나타난 바와 같이 連繫運營前의 I地域에서 各月別 便益의 합은 42.94억원이며, 連繫運營後 生·工用水의 供給便益의 합이 42.21억원으로 거의 비슷하나, Ⅲ地域에서 生·工用水 供給에 의한 便益의 합이 160.53억원이던 것이 連繫運營後 便益의 합이 166.71억원으로 增加하였다. 따라서 洛東江流域 全體로 볼 때 連繫運營에 의한 生·工用水의 供給이 增加하였음을 알 수 있다.

Table 4 連繫運營 前.後의 生工用水 供給效果(渴水條件, 1991年 需要)  
(單位 :  $10^9m^3$ ,  $10^6$ 원)

| 月  | I 地 域 |      |       |      | Ⅲ 地 域  |       |        |       |
|----|-------|------|-------|------|--------|-------|--------|-------|
|    | 連繫運營前 |      | 連繫運營後 |      | 連繫運營前  |       | 連繫運營後  |       |
|    | 供給量   | 便 益  | 供給量   | 便 益  | 供給量    | 便 益   | 供給量    | 便 益   |
| 1  | .0407 | 277  | .0407 | 277  | .1066  | 1345  | .1066  | 1345  |
| 2  | .0407 | 277  | .0407 | 277  | .1066  | 1345  | .1066  | 1345  |
| 3  | .0518 | 354  | .0518 | 354  | .1066  | 1345  | .1066  | 1345  |
| 4  | .0518 | 354  | .0518 | 354  | .1081  | 1363  | .1081  | 1363  |
| 5  | .0437 | 298  | .0571 | 389  | .0310  | 391   | .1025  | 1293  |
| 6  | .0458 | 312  | .0434 | 296  | .0584  | 737   | .0656  | 827   |
| 7  | .0636 | 434  | .0636 | 434  | .1355  | 1708  | .1355  | 1708  |
| 8  | .0676 | 461  | .0676 | 461  | .1412  | 1781  | .1412  | 1781  |
| 9  | .0676 | 461  | .0676 | 461  | .1412  | 1781  | .1412  | 1781  |
| 10 | .0643 | 439  | .0603 | 412  | .1298  | 1637  | .1205  | 1520  |
| 11 | .0518 | 354  | .0518 | 354  | .1081  | 1363  | .1081  | 1363  |
| 12 | .0400 | 273  | .0223 | 152  | .0996  | 1257  | .0793  | 1000  |
| 計  | .6294 | 4294 | .6187 | 4221 | 1.2727 | 16053 | 1.3218 | 16671 |



5.2 農業用水 適用結果 및 供給效果

1991年 用水需要 渴水條件에 의한 連繫運營前 農業用水의 供給效果와 便益을 分析해보면 Table 5에서 나타난 바와 같이 連繫運營前 I地域에서 農業用水供給에 의한 各月別 便益의 合은 100.76억원이며, 連繫運營後 I地域에서 農業用水供給에 의한 各月別 便益의 合은 104.15억원으로 微少한 增加가 있었다. II地域의 경우 連繫運營前 便益의 合은 139.10억원이고 連繫運營後 便益의 合 역시 139.10억원으로 同一했으나, III地域의 경우 連繫運營前 便益의 合이 217.19억원이고 連繫運營後 便益의 合이 253.11억원으로 I地域과 II地域의 便益보다 많이 增加하였다. 따라서 洛東江流域 全體로 볼 때 農業用水 供給效果가 連繫運營前 보다 높았음을 알 수 있다.

Table 5 連繫運營 前·後의 農業用水 供給效果(渴水條件, 1991年 用水需要)  
(單位 : 10<sup>9</sup>m<sup>3</sup>, 10<sup>6</sup>원)

| 月  | I 地域   |       |        |       | II 地域 |      |       |      | III 地域 |       |        |       |
|----|--------|-------|--------|-------|-------|------|-------|------|--------|-------|--------|-------|
|    | 連繫運營前  |       | 連繫運營後  |       | 連繫運營前 |      | 連繫運營後 |      | 連繫運營前  |       | 連繫運營後  |       |
|    | 供給量    | 便益    | 供給量    | 便益    | 供給量   | 便益   | 供給量   | 便益   | 供給量    | 便益    | 供給量    | 便益    |
| 1  | .0000  | 0     | .0000  | 0     | .0000 | 0    | .0000 | 0    | .0000  | 0     | .0000  | 0     |
| 2  | .0000  | 0     | .0000  | 0     | .0000 | 0    | .0000 | 0    | .0000  | 0     | .0000  | 0     |
| 3  | .0509  | 347   | .0509  | 347   | .0063 | 43   | .0063 | 43   | .0733  | 925   | .0733  | 925   |
| 4  | .0640  | 437   | .0640  | 437   | .0080 | 55   | .0080 | 55   | .0922  | 1163  | .0922  | 1163  |
| 5  | .2251  | 1535  | .2937  | 2004  | .0365 | 249  | .0365 | 249  | .1098  | 1384  | .3629  | 4577  |
| 6  | .3297  | 2249  | .3127  | 2133  | .0528 | 360  | .0528 | 360  | .2854  | 3599  | .3204  | 4041  |
| 7  | .3610  | 2463  | .3610  | 2463  | .0449 | 306  | .0449 | 306  | .5203  | 6562  | .5203  | 6562  |
| 8  | .2626  | 1791  | .2626  | 1791  | .0326 | 222  | .0326 | 222  | .3784  | 4772  | .3784  | 4772  |
| 9  | .1493  | 1019  | .1493  | 1019  | .0186 | 127  | .0186 | 127  | .2152  | 2714  | .2152  | 2714  |
| 10 | .0345  | 235   | .0324  | 221   | .0043 | 29   | .0043 | 29   | .0476  | 600   | .0442  | 557   |
| 11 | .0000  | 0     | .0000  | 0     | .0000 | 0    | .0000 | 0    | .0000  | 0     | .0000  | 0     |
| 12 | .0000  | 0     | .0000  | 0     | .0000 | 0    | .0000 | 0    | .0000  | 0     | .0000  | 0     |
| 計  | 1.4771 | 10076 | 1.5266 | 10415 | .2040 | 1391 | .2040 | 1391 | 1.7222 | 21719 | 2.0069 | 25311 |

5.3 發展用水 適用結果 및 供給效果

發電連繫運營 前 後의 效果를 分析해보면 Table 6 에 나타난 바와 같다. 各 壩別 月別 發電需要量은 6월부터 9월에 걸쳐 많이 발생했으며, 이 時의 需要條件은 安東壩, 臨河壩, 陝川壩 및 南江壩 流域에 걸쳐 비슷한 傾向을 나타내었다. Table 8은 1991年 用水需要와 渴水條件의 경우 連繫運營前과 連繫運營後의 各 壩別 月發電量과 그 時의 便益을 나타낸 것이다. 連繫運營前 各 月別 發電便益의 總合은 37.83억원 이었으며, 連繫運營後 各 月別 發電便益의 總合은 39.64억원으로 增加했음을 알 수 있다.

Table 6 連繫運營 前·後 發電效果(渴水條件, 1991年 用水需要)

| Mo | Power Generation(MW-hr) |         |          |         |                |         |          |         | Power Benefit (10 <sup>6</sup> ₩) |      |         |         |                |      |         |         |
|----|-------------------------|---------|----------|---------|----------------|---------|----------|---------|-----------------------------------|------|---------|---------|----------------|------|---------|---------|
|    | Initial Policy          |         |          |         | Optimal Policy |         |          |         | Initial Policy                    |      |         |         | Optimal Policy |      |         |         |
|    | Andong                  | Iaha    | Hapchun  | Namkang | Andong         | Iaha    | Hapchun  | Namkang | Andong                            | Iaha | Hapchun | Namkang | Andong         | Iaha | Hapchun | Namkang |
| 1  | 9057                    | 5178.5  | 12098.7  | 2547.3  | 7882.3         | 3677.5  | 9524.5   | 1841.7  | 96                                | 55   | 129     | 27      | 84             | 39   | 101     | 20      |
| 2  | 9045.2                  | 4983.3  | 12201.7  | 2554.4  | 7868.1         | 3679.3  | 9624.6   | 1848.2  | 96                                | 53   | 130     | 27      | 84             | 39   | 102     | 20      |
| 3  | 9041.8                  | 5099.7  | 11996.6  | 2496.4  | 7921.2         | 3679.1  | 9554.6   | 1838.6  | 96                                | 54   | 127     | 27      | 84             | 39   | 101     | 20      |
| 4  | 9080.5                  | 5178.5  | 12021.5  | 2533.2  | 7905.8         | 3677.5  | 9601.5   | 1869.9  | 97                                | 55   | 128     | 26      | 84             | 39   | 102     | 20      |
| 5  | 9010.0                  | 5043.4  | 12227.4  | 2547.3  | 21630.8        | 21083.3 | 43555.9  | 7533.2  | 96                                | 54   | 130     | 26      | 230            | 224  | 464     | 80      |
| 6  | 9026.2                  | 5135.9  | 12001.7  | 2534.5  | 9138.6         | 4192.7  | 18722.2  | 3249.8  | 96                                | 55   | 128     | 26      | 97             | 45   | 199     | 34      |
| 7  | 9037.1                  | 5044.5  | 12122.0  | 2574.3  | 12063.5        | 3634.4  | 14790.7  | 2814.5  | 98                                | 54   | 129     | 27      | 128            | 59   | 158     | 30      |
| 8  | 8988.1                  | 5162.8  | 12184.3  | 2540.3  | 7901.0         | 3659.2  | 9606.9   | 1875.9  | 96                                | 55   | 130     | 26      | 84             | 39   | 102     | 20      |
| 9  | 9145.3                  | 5129.6  | 12076.5  | 2525.6  | 7879.1         | 3666.3  | 9571.7   | 1846.7  | 97                                | 55   | 129     | 26      | 84             | 39   | 101     | 20      |
| 10 | 9139.2                  | 5133.4  | 12150.2  | 2582.6  | 7964.5         | 3632.4  | 9556.3   | 3385.2  | 97                                | 55   | 129     | 27      | 85             | 39   | 102     | 35      |
| 11 | 9021.7                  | 5148.4  | 22395.6  | 2490.9  | 7917.4         | 3647.4  | 9524.5   | 1837.7  | 96                                | 54   | 238     | 27      | 84             | 39   | 101     | 20      |
| 12 | 8998.3                  | 5103.4  | 12150.2  | 2540.3  | 7893.9         | 3605.8  | 9581.8   | 1927.0  | 96                                | 54   | 129     | 27      | 84             | 38   | 101     | 21      |
| Σ  | 108590.4                | 61341.4 | 155626.4 | 30467.1 | 113966.2       | 63834.9 | 163215.2 | 31868.4 | 1155                              | 653  | 1656    | 319     | 1212           | 678  | 1734    | 340     |

## 6. 結 論

본 研究는 多目的 貯水池群의 最適運用計劃에 관한 研究로서, 특히 多目的 貯水池群에 대한 最適政策 決定을 위하여 DDDP모형을 洛東江流域의 貯水池群에 適用시켜 分析한 結果 다음의 結論을 얻을 수 있었다.

1) 일반DP모형로는 時間벡타와 空間벡타의 制約條件을 수용하기에는 복잡한 演算過程과 많은 演算時間이 소요되나 DDDP모형을 利用하여 이들 制約條件을 克服할 수 있었으며, 月別 貯水池群의 最適貯留狀態를 유지하면서 貯水池群의 放流量을 算定하므로서 洛東江 流域內 貯水池群의 最適連繫運營 放流政策을 제시할 수 있었다.

2) DDDP모형의 遂行過程에서 最適軌跡에 접근하기 위한 試圖軌跡의 갯수는 Corridor의 區間과 反復演算되는 反復數에 의하여 決定되며, 最適軌跡을 얻기 위해서는 여러 區間의 Corridor에서 많은 反復演算을 필요로 한다. Corridor 범위와 反復數가 많아지면 實行時間이 많이 소요되나 適正限界에 이르면 最適軌跡의 값은 큰 변화가 없으므로 最適解의 收斂을 考慮하여 適當한 Corridor와 Iteration數를 決定하였다.

3) 洛東江水系 貯水池群의 連繫運營을 위하여 DDDP 모델에 사용되는 實際 水系시스템의 連續方程式을 決定하였으며, 이 모델에 入力資料로 渴水條件의 月平均 流入量 및 이 때의 水文資料를 사용하여 洛東江水系 多目的 貯水池群의 最適連繫運營 放流政策을 제시한 結果, 連繫運營前에 비하여 連繫運營後 生·工·農業用水 및 發電用水의 供給이 增大되고 便益이 增加하여 모델의 우수성을 立證할 수 있었다.

## 參 考 文 獻

- 1) 李舜鐸 : 洛東江水系 多目的 貯水池群 連繫運營方案研究(1次)報告書, 韓國水資源公社, 1989.
- 2) 李舜鐸 : 洛東江水系 多目的 貯水池群 連繫運營方案研究(2次)報告書, 韓國水資源公社, 1990.
- 3) 李舜鐸 : 洛東江水系 多目的 貯水池群 連繫運營 活用に 따른 綜合 水管理시스템 開發 韓國水資源公社, 1992.
- 4) Chow, V.T., Heidari, M., Meredith, D.D. : Water Resources Systems Analysis by Discrete Differential Dynamic Programming, University of Illinois Water Resources Center, 1971.
- 5) W-G. Yeh. : Reservoir Management and Operations Models : A State of the Art Review, Water Resources Research, Vol. 21, 1982.
- 6) Heidari, M., et al. : Discrete Differential Dynamic Programming Approach to Water Resources Systems Optimization, Water Resources Research, Vol. 7, No. 2, pp. 273-282, 1971.
- 7) Chow, V.T. : Methodologies for Water Resources Planning DDDP and MLOM, University of Illinois Water Resources Center, 1971.