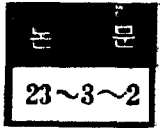


Dynamic Programming에 의한最適制御

“M.D.P.法에 의한 漢江水系 貯水池群의 最適運用에 관한 研究”



Optimal Control by Dynamic Programming

“Optimal Control of Hydraulic Sources of Han River by Multiple Dynamic Programming”

梁 興 錫* · 朴 永 文**

(Heung Suk Yang, Young Moon Park)

Abstract

The purpose of this paper is to use hydraulic sources optimally on the hydro-thermal power coordination in power system of Korea by means of Multiple Dynamic Programming.

Four principal hydraulic power plants of Korea; Whachon, Chunchon, Uiam and Chongpyong which are located on Han river side are treated in this research.

For the illustrative purpose, a case study was made on the year round monthly optimal water control under the given load distribution and constraints.

1. 緒 論

漢江水系 水資源의 효과적인 이용은 각 發電所 貯水池의 적절한 운용에 의한 電力單價의 절감, 首都서울, 春川地域을 포함한 漢江流域의 洪水調節, 都心地의 工業用水의 확보 등의 다각적인 측면에서 고려되어야 한다.

漢江水系의 水火力 發電用量 合計 약 30萬kW를 이루고 있는 華川, 春川, 衣岩 및 淸平의 4개 既設發電所 및 貯水池를 대상으로 하고, 火力發電所群은 1개의 大容量 等價 火力發電所로 近似化하여, 이 等價 火力發電所와 4개의 水力發電所의 水資源의 효과적인 運用으로 水火力協助를 도모하는 漢江水系의 最適運用計劃法을 수립코져 한다.

이 最適運用計劃法은 다음의 과정에 의하여 수립하

였다.

(1) 과거의 漢江水系 運用實績資料 및 貯水池 設計資料의 分析 및 綜合과 現場踏査 등으로 기초적 系統特性值를 결정한다.

(2) Multiple Dynamic Programming (1)을 이용하여 水火力協調에 관한 數理模型을 작성한다.

(3) 火力發電所의 發電費用을 최소화 하는 각 發電所의 年間月別 發電出力計劃 및 각 貯水池의 運用計劃을 작성하는 算式(algorithm) 및 電子計算機 프로그램을 작성한다.

(4) 이 프로그램을 사용한 事例研究로서 漢江水系 각 貯水池의 最適運用特性을 규명하였다.

2. 漢江水系貯水池群의 數理模型

2-1. 漢江水系 貯水池群 系統構成(System Configuration of the Han River Reservoirs Group)

漢江水系의 貯水池群은 그림 1에 表示한 바와 같이

*正會員 : 서울工大教授(工學博士)

**正會員 : 서울工大副教授(工學博士)

北漢江, 昭陽江 및 洪川江 流域에 位置한 連接貯水池群으로 되어 있다. 그리고 華川貯水池의 流域은 北漢江 上流의 自己流域面積(3,901km²)으로 構成되어 있고, 春川貯水池는 華川貯水池와 自己流域面積의 合(總 4,678km²)으로, 衣岩貯水池는 上流 2個 貯水池와 昭陽江 및 自己流域面積의 合(總7,660km²)으로, 淸平貯水池는 上流 3個貯水池와 洪川江 및 自己流域面積의 合(總9,921km²)으로 各各 構成되어 있다.

本 研究에는 各貯水池의 變數를 區分하기 爲하여 便宜上 上流 貯水池부터 下流貯水池 順位로 (華川: No. 1, 春川: No.2, 衣岩: No.3, 淸平: No.4) 番號를 附與하여 記述하고자 한다.

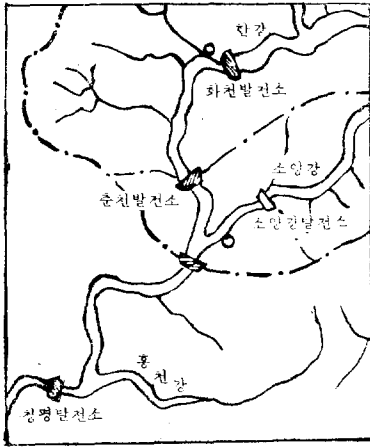


그림 1. 漢江水系 貯水池群의 系統圖
Fig. 1. System map of the Han River reservoirs group.

2-2. 水力發電所 出力模型(Mathematical Model for Power Out Put of Hydropower Plants)

第*i* 水力發電所의 第*j*時間帶의 平均出力 ${}_iPh_j$ 는 近似의으로

$${}_iPh_j = 9.8 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \left\{ \frac{{}_iH_j + {}_iH_{j+1}}{2} - {}_iHt_j \right\} \cdot \{Q_j - {}_iQO_j\} - {}_iPO_j \quad (2-1)$$

로서 表示된다. 그런데, 여기서 發電所의 水車 效率 η_1 와 發電機 效率 η_2 는 엄밀히 말해서 落差와 放水量의 함수이나 이번 研究에서는 常數로 간주하여

$$\eta = 9.8 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \quad (2-2)$$

로서 定義되는 發電所 常數 η 를 決定한다. 그리고 放水時의 平均 漏水率, ${}_iQO_j$ 와 平均 所內電力消費, ${}_iPO_j$ 도 時時刻刻으로 變動할 것으로 짐작되나, 實際로는 出力 計算에 큰 영향이 없으므로 常數로 간주하여

$${}_iQO_j = {}_iQO_j = 0 \quad (2-3)$$

$${}_iPO_j = {}_iPO_j = \begin{cases} \text{常數}, & {}_iPh_j > 0 \\ 0, & {}_iPh_j = 0 \end{cases} \quad (2-4)$$

와 같이 取扱하였다. 式 (2-1)에서 ${}_iH_j$ 및 ${}_iH_{j+1}$ 은 第

i 貯水池의 第*j*時間帶 및 第*j*+1時間帶의 初期時刻의 有効落差量, ${}_iQ_j$ 는 第*j* 時間帶의 (單位時間當) 平均 使用水量을, ${}_iHt_j$ 는 放水量으로 因한 放水位(tailrace elevation)上昇을 의미한다.

式(2-2), (2-3) 및 (2-4)를 式(2-1)에 代入하면

$${}_iPh_j = \eta \cdot \left\{ \frac{{}_iH_j + {}_iH_{j+1}}{2} - {}_iHt_j \right\} \cdot \{Q_j - {}_iPO\} \quad (2-5)$$

$$\text{단, } {}_iPO_j = {}_iPO_j = \begin{cases} \text{常數}, & {}_iPh_j > 0 \\ 0, & {}_iPh_j = 0 \end{cases}$$

와 같이 된다.

2-3. 貯水池流入水量 模型

貯水池의 第*j* 時間帶中の 總流入水量(total inflow) ${}_iFt_j$ 는

$$\left. \begin{aligned} {}_iFt_j &= {}_iIt_j + {}_i^+Qt_{(j-\tau_{i-1})} + {}_iO_{(j-\tau_{i-1})} \quad i > 1 \text{ 또는} \\ {}_iFt_j &= {}_iIt_j \quad i = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2-6)$$

로서 表示된다. 여기서 ${}_iIt_j$ 는 第*i* 貯水池 단독의 流域面積(Drainage area)에서 第*j* 時間帶中에 流入하는 總水量을, ${}_i^+Qt_{(j-\tau_{i-1})}$ 및 ${}_iO_{(j-\tau_{i-1})}$ 은 第*i*-1 貯水池 즉 直上流 貯水池에서 第*j*- τ_{i-1} 時間帶中の 總使用水量 및 總溢流量을, τ_{i-1} 은 第*i*-1 貯水池에서 第*i* 貯水池까지 放水量이 到達하는 時間(遲延時間)을 意味한다.

2-4. 有効落差模型(Mathematical Model for Effective Head)

第*i* 貯水池의 第*j* 時間帶의 單位時間當 平均 流入水量 ${}_iF_j$, 單獨流域의 平均 流入水量 ${}_iI_j$, 平均使用水量 ${}_iQ_j$, 平均溢流量 ${}_iO_j$ 는

$${}_iF_j = {}_iFt_j/T_j \quad (2-7)$$

$${}_iI_j = {}_iIt_j/T_j \quad (2-8)$$

$${}_iQ_j = {}_iQt_j/T_j \quad (2-9)$$

$${}_iO_j = {}_iOt_j/T_j \quad (2-10)$$

와 같이 計算되며, 여기서 T_j 는 第*j* 時間帶의 時間間隔(time interval)이다.

有効落差는 第*j*貯水池의 第 時間帶의 初期時刻 有効貯水量(effective storage) ${}_iS_j$ 의 2次式으로 近似化하여

$${}_iH_j = D \cdot E \cdot {}_iS_j - F \cdot {}_iS_j \cdot {}_iS_j \quad (2-11)$$

로서 表示한다. 여기서 ${}_iD$, ${}_iE$, ${}_iF$ 는 貯水池 常數이다.

2-5. 平均使用水量 및 平均溢流量의 決定((Determination of Average Discharge Rates and Average Overflow Rates)

各 貯水池의 第*j* 및 *j*+1時間帶 初期 有効貯水量 間에는

$${}_iS_{j+1} = {}_iS_j - (Ft_j - Qt_j - Ot_j) \quad (2-12)$$

의 關係가 成立하므로

$${}_iQ_j + {}_iO_j = {}_iF_j - [{}_iS_{j+1} - {}_iS_j]/T_j \quad (2-13)$$

와 같이 變形될 수 있다. 그런데 水車의 特性上 平均 使用水量 ${}_iQ_j$ 는 ${}_iQ_j$ 의 最大值 ${}_i\bar{Q}$ 및 最小值 ${}_i\bar{Q}$ 에 對하여 $[{}_i\bar{Q}, {}_i\bar{Q}]$ 의 閉區間集合(closed interval set) ${}_iQ_j$ 의 要素(element)이거나 屬하여야 하고, 卽

$${}_iQ_j \in [{}_i\bar{Q}, {}_i\bar{Q}], {}_iQ_j = 0 \quad (2-14)$$

이어야 하고, 또 이를 充足하는 條件下에서 可及의 커야 하므로 ${}_iQ_j$ 및 ${}_iQ_j$ 는 다음과 같이, 경우에 따라 다르게 決定된다.

$$\left. \begin{aligned} (1) \quad & {}_iF_j - \{ {}_iS_{j+1} - {}_iS_j \} / T_j \geq {}_i\bar{Q} \text{의 경우;} \\ & {}_iQ_j = {}_i\bar{Q} \\ & {}_iO_j = {}_iF_j - \{ {}_iS_{j+1} - {}_iS_j \} / T_j - {}_i\bar{Q} \end{aligned} \right\} \quad (2-15)$$

$$\left. \begin{aligned} (2) \quad & 0 \leq {}_iF_j - \{ {}_iS_{j+1} - {}_iS_j \} / T_j < {}_i\bar{Q} \text{의 경우;} \\ & {}_iQ_j = {}_iF_j - \{ {}_iS_{j+1} - {}_iS_j \} / T_j \\ & {}_iO_j = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2-16)$$

$$\left. \begin{aligned} (3) \quad & 0 \leq {}_iF_j - \{ {}_iS_{j+1} - {}_iS_j \} / T_j < {}_i\bar{Q} \text{의 경우;} \\ & {}_iQ_j = 0 \\ (3-1). \quad & \text{最終時間帶의 경우;} \\ & {}_iO_j = {}_iF_j - \{ {}_iS_{j+1} - {}_iS_j \} / T_j \\ (3-2). \quad & \text{最終時間帶가 아닌 경우;} \\ & {}_iO_j = 0 \\ & {}_iS_{j+1} = {}_iS_j + {}_iF_{tj} \end{aligned} \right\} \quad (2-17)$$

(4) ${}_iF_j - \{ {}_iS_{j+1} - {}_iS_j \} / T_j < 0$ 의 경우; 이 와 같은 경우에는 制御 不可能하므로 除外함.

2-6. 放水水位 上昇 模型(Mathematical Models for Rise of Tailrace Elevation)

放水水位 上昇은 貯水池의 平均放水量 卽 ${}_iQ_j$ 와 ${}_iO_j$ 의 合計值에 關係되므로, 이를

$${}_iHt_j = -{}_iAt + {}_iBt \cdot \{ {}_iQ_j + {}_iO_j \} - {}_iCt \cdot \{ {}_iQ_j + {}_iO_j \} \cdot \{ {}_iQ_j + {}_iO_j \} \quad (2-18)$$

와 같이 2次式으로 表示할수 있으며, 여기서 ${}_iAt$, ${}_iBt$, ${}_iCt$ 는 常數이다.

2-7. 發電費用函數 模型(Mathematical Model for Generating Function)

發電費用은 固定費, 運轉費, 燃料費 등의 各種 費用을 包含하나, 여기서는 最適運用에 直接 關係되는 火力發電所의 燃料費만을 考慮한다.

全 火力發電所의 發電費用을 最小로 하는 水火力系統의 經濟運用을 嚴密하게 決定하기 爲하여는 現在의 與件下에서는 難點이 있으므로 우선 火力系統만의 最適經濟運用 原則은 既知라는 假定下에 全火力系統을 負荷端에서 본 1個의 大容量 火力發電所라고 보고, 이 火力發電所와 漢江水系의 各 水力發電所間의 最適經濟運用 原則을 決定코져 한다. 그리고 다른 地域의 水力發電所 出力負擔은 負荷에서 相殺한다.

全 火力發電所의 負荷端에서 본 第j時間帶의 發電費用 CO_j 는

$$CO_j = A + B \cdot Pt_j + C \cdot Pt_j \cdot Pt_j \quad (2-19)$$

의 2次近似式으로서 表示되며, 여기서 Pt_j 는 第j時間帶의 負荷端에서 본 全 火力發電所의 出力을 意味한다. 그런데 水火力發電出力과 負荷間에는 供給均衡 條件이 成立하여야 하므로

$$P_j + \sum_{i=1}^n P_i h_{ij} = W_j + L_j \quad (2-20)$$

의 關係가 成立한다. 여기서 W_j 는 第j時間帶의 平均 負荷를, L_j 는 水力出力의 負荷端까지의 線路損失을 且리고, n 은 水力發電所의 總數를 意味한다.

L_j 는 이번 研究에서는 無視하였다. 따라서 式(2-19)는

$$\begin{aligned} CO_j = A + B \cdot \{ W_j + L_j - \sum_{i=1}^n P_i h_{ij} \} \\ + C \cdot \{ W_j + L_j - \sum_{i=1}^n P_i h_{ij} \} \cdot \{ W_j + L_j \\ - \sum_{i=1}^n P_i h_{ij} \} \end{aligned} \quad (2-21)$$

와 같이 되고, 全 期間의 總 發電費用 CO 는

$$CO = \sum_{j=1}^m CO_j \quad (2-22)$$

이다. 여기서 m 은 時間帶 總數를 意味한다.

2-8. 制限條件(Constraints)

前述의 各 模型을 利用하여 M.D.P.法으로 式(2-22)의 CO 를 最小化하는 經濟運用 原則을 決定하게 될 것 이다, 여기에는 다음과 같은 여러 制限條件의 全部 또는 一部가 附加된다.

(1) 使用水量의 制限條件:
平均使用水量 ${}_iQ_j$ 는 이미 2-5.에서 記述한 바와 같다.

(2) 溢流量의 制限條件:
第j時間帶에서 各 貯水池의 平均 洪水下限量 ${}_iQf$ 以上으로 放流하면 下流地域에 洪水被害가 發生하게 되므로, 豊水期에는

$${}_iQ_j + {}_iO_j = {}_iE_j - \{ {}_iS_{j+1} - {}_iS_j \} / T_j \leq {}_iQf \quad (2-23)$$

의 制限條件이 附加된다.

(3) 貯水量의 制限條件:
各 貯水池 의 第j時間帶의 有效貯水量 ${}_iS_j$ 는 다음의 各 條件을 同時에 滿足시켜야 한다.

(3-1). 貯水池 構造上의 制限條件:
滿水位時의 有效貯水量 ${}_iS_x$ 및 最低水位時의 有效貯水量을 零이라 하면, ${}_iS_j$ 는 $[0, {}_iS_x]$ 의 閉區間集合 ${}_iS_j$ 에 屬하여야 한다. 卽

$${}_iS_j \in [0, {}_iS_x] \quad (2-24)$$

(3-2). 運用上의 制限條件:
어느 경우에나, 洪水量 ${}_iQf$ 以上으로 放流할 수 없고 負數의 放流는 許容되지 아니하고, 또 考慮期間의 始點과 終點의 有效貯水量 ${}_iS_1$ 과 ${}_iS_{m+1}$ 은 固定이므로, ${}_iS_j$ 의 固定에 의하여 ${}_iS_j$ 의 上限值 ${}_iS_{xj}$ 및 下限值 ${}_iS_{mj}$ 는

$${}_iS_{x1j} = {}_iS_1 + \sum_{k=1}^{j-1} \{ {}_iFt_k \} \quad (2-25)$$

$${}_iS_{n1j} = {}_iS_1 + \sum_{k=1}^{j-1} \{ {}_iFt_k - {}_iQf \cdot T_k \} \quad (2-26)$$

와 같이 되고, ${}_iS_{m+1}$ 의 固定에 의하여 ${}_iS_j$ 의 上限値 ${}_iS_{xmj}$ 및 下限値 ${}_iS_{nmj}$ 는

$${}_iS_{xmj} = {}_iS_{m+1} - \sum_{k=j}^m \{ {}_iFt_k - {}_iQf \cdot T_k \} \quad (2-27)$$

$${}_iS_{nmj} = {}_iS_{m+1} - \sum_{k=j}^m \{ {}_iFt_k \} \quad (2-28)$$

와 같이 된다. 따라서 ${}_iS_j$ 는 貯水池運用上 $[{}_iS_{n1j}, {}_iS_{x1j}]$ 의 閉區間 集合 ${}_iS_{1j}$ 및 $[{}_iS_{nmj}, {}_iS_{xmj}]$ 의 閉區間 集合 ${}_iS_{mj}$ 에 대하여

$${}_iS_j \equiv {}_iS_{1j} \cap {}_iS_{mj} \quad (2-29)$$

이어야 한다. 그런데 式(2-24)와 (2-29)는 同時에 滿足되어야 하므로 결국 ${}_iS_j$ 는

$${}_iS_j \equiv {}_iS_1 \cap {}_iS_{1j} \cap {}_iS_{mj} = {}_iS_j \quad (2-30)$$

이다.

(3-3). M.D.P.法의 適用時의 制限條件

M.D.P.法의 適用時 第一過程에서는 第 p 反復計算時의 集合 ${}_iS_j^p$ 의 上限値를 ${}_i\bar{S}_j^p$, 下限値를 ${}_iS_j^p$ 라 할때, 이를 k 等분한

$${}_iS_j^p(l) = {}_iS_j^p + [{}_i\bar{S}_j^p - {}_iS_j^p] \cdot \left\{ \frac{l-1}{k} \right\} \\ = {}_iS_j^p + {}_iDS_j^p \cdot (l-1) \quad (2-31)$$

의 $k+1$ 個의 ${}_iS_j^p(l)$ [$l=1, 2, \dots, k, k+1$]을 考察한다.

第二過程 以後에서는 第 p 反復 計算時의 有效貯水量 ${}_iS_j^p$ 는 精密計算을 위한 狀態變數 範圍 縮少로 $[{}_iS_j^{p-1}, {}_iDS_j^{p-1}, {}_iS_j^{p-1} + {}_iDS_j^{p-1}]$ 의 閉區間集合 ${}_iSd_j^{p-1}$ 에 對하여

$${}_iS_j^p \equiv {}_iSd_j^{p-1} \quad (2-32)$$

로 限定함과 同時에 式(2-30)도 滿足시켜야 하므로

$${}_iS_j^p \equiv {}_iS_j^p, {}_iSd_j^{p-1} = {}_iSc_j^p \quad (2-33)$$

와 같이 된다. 이 ${}_iSc_j^p$ 의 上限値를 ${}_i\bar{S}_j^p$, 下限値를 ${}_iS_j^p$ 라 할 때 이를 k 等분한

$${}_iS_j^p(l) = {}_iS_j^p + [{}_i\bar{S}_j^p - {}_iS_j^p] \cdot \left\{ \frac{l-1}{k} \right\} \\ = {}_iS_j^p + {}_iDS_j^p \cdot (l-1) \quad (2-34)$$

의 $k+1$ 個의 ${}_iS_j^p(l)$ 을 考察한다.

3. 年間月別 最適 水火力 協調
(Optimum Hydro-thermal Coordination for Annual Period with Monthly Intervals)

3-1. 年間月別 最適運用法 算式(Algorithm for Optimum Hydro-thermal Coordination for Annual Period with Monthly Intervals)

複數個의 貯水池가 上下流에 連接하여 있으므로 우선 自流式으로 貯水池가 運用된다고 보고, 이를 反復

計算을 위한 初期値로 設定한다. 그 다음에는 M.D.P.法에 따라 第一過程의 g 回數만큼 反復한다. 그리고 다시 第二過程을 g 回數만큼 反復하여 最適運用法의 解答을 얻는다.

(1). 初期値 設定;

運用法이 自流式이어서 容易하게 計算되므로 이에 대한 說明을 省略한다.

(2). 第一過程의 算式;

第 i 貯水池의 第 P 回의 反復計算時 다음에 段階를 밝는다.

(2-1). 狀態變數의 分割;

式(2-30) 및 (2-31)에 의하여 有效貯水量 ${}_iS_j^p(l)$ 을 決定한다.

(2-2). 使用水量 및 溢流量의 計算;

第 i 貯水池의 第 j 時間帶의 경우, ${}_iF_j - \{ {}_iS_{j+1}^p(l) - {}_iS_j^p(u) \} / T_j$ 의 값을 計算한 후, 式(2-15) ~ (2-17)에 의하여 ${}_iQ_j^p(l, u)$ 및 ${}_iO_j^p(l, u)$ 를 計算한다.

(2-3). 有效貯水位의 計算;

式(2-11)에 의하여, ${}_iH_j^p(l)$ 및 ${}_iH_{j+1}^p(u)$ 를 計算한다.

(2-4). 放水水位上昇의 計算;

年間月別 最適運用에서는 放水水位 上昇을 고려하지 아니한다.

(2-5). 各 發電所 出力의 計算;

式(2-5)에 의하여, ${}_iPh_j^p(l, u)$ 와 그 下流發電所의 各 出力 變動分의 合計 $\delta Ph_j^p(l, u)$ 를 計算한다.

(2-6). 火力 出力의 計算;

式(2-20)에 의하여 $Pt_j^p(l, u)$ 를 計算하되, 여기서 上記 $\delta Ph_j^p(l, u)$ 의 影響을 考慮한다.

(2-7). 發電費用의 計算;

式(2-19)에 의하여 $Co_j^p(l, u)$ 를 計算한다.

(2-8). 最適運用法의 探索;

第 i 貯水池의 第 P 回 反復計算時, 第 j 時間帶의 始點의 有效貯水量 ${}_iS_j^p(l)$ 로 維持할 경우, 考察期間의 始點에서 第 j 時間帶 始點까지의 發電費用은 式(2-22)에 의하여 $\sum_{l=1}^k Co_l^p$ 이며, 最適運用에 依한 이 最小値 $\phi_j^p(l)$, 即

$$\phi_j^p(l) = \min \left\{ \sum_{l=1}^{j-1} Co_l^p \right\}, {}_iS_j^p(l) \quad (3-1)$$

를 定義할 때, 第 $j+1$ 時間帶 始點의 有效貯水量 ${}_iS_{j+1}^p(u)$ 에 對한 最小 發電費用 $\phi_{j+1}^p(u)$ 는 M.D.P.法의 最適性 原理에 依하여

$$\phi_{j+1}^p(u) = \min_l \{ \phi_j^p(l) + Co_{j+1}^p(l, u) \}, {}_iS_{j+1}^p(u) \quad (3-2)$$

와 같이 表示되고, $l=1, 2, \dots, k, k+1$ 에 對한 $k+1$ 回數의 計算을 反復하여 그 最小値 $\phi_{j+1}^p(u)$ 를 決定한다.

그리고 目的函數(performance criterion) $\phi_k^p(1)$ 은

$$\phi_{m+1}^*(1) = \min \{ \phi_m^*(l) + CO_m^*(l, 1) \}; S_{m+1}(1) \quad (3-3)$$

이다. 여기서 始端點 및 終端點의 有效貯水量을 $s_1(1)$ 및 $s_{m+1}(1)$ 의 唯一值로 固定된다.

(3) 第2過程의 算式

다른 算式은 第1過程의 것과 同一하나, 狀態變數의 分割法이 相異하다. 卽 式(2-33)과 (2-34)에 依하여 $s_j^*(l)$ 을 決定한다.

上述의 順序에 따라 計算하되, 年間長期 最適運用에 서는 洪水量에 對한 制限條件, 放水位 上昇의 影響 및

放水의 流下遲延特性은 考慮하지 아니한다.

3-2. 年間月別 最適運用法 決定 플로우·차트

(Flowchart for Optimum Hydro-thermal Coordination for Annual Period with Monthly Intervals)

上述한 計算順序를 플로우·차트로 表示하면 그림 2와 같다. 그리고 이 플로우차트에 依하여 프로그램(program)을 作成하였다.

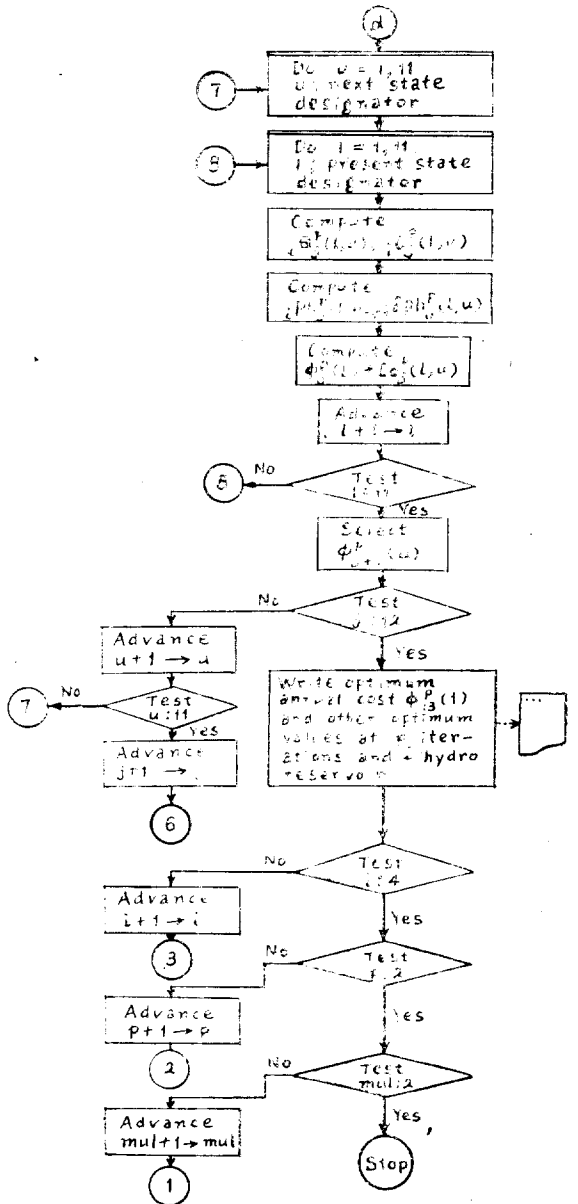
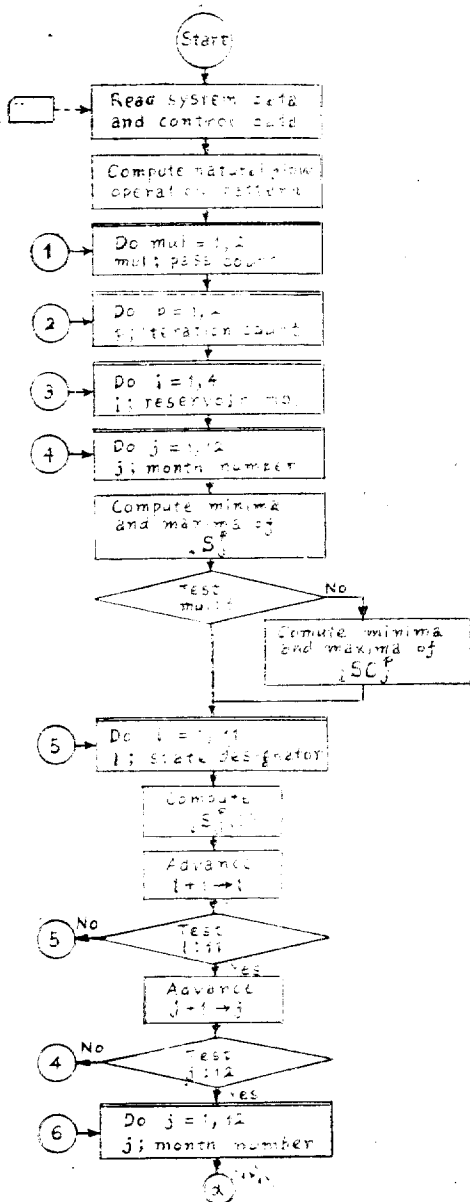


그림 2. 年間月別 最適運用法 決定 플로우차트

Fig 2. Flowchart for optimum hydro-thermal coordination for annual period with monthly intervals.

3-3. 年間月別 最適運用法の 事例研究(Case Studies on Optimum Hydro-thermal Coordination for Annual Period with Monthly Intervals)

프로그램의 實用性を 檢討하기 위하여 다음의 두 境遇에 對하여 事例研究를 行하였다.

狀態變數(有效貯水量)格子를 第1過程에서 10分割, 第2過程에서 10分割, 都合 50分割하는 精密計算을 IBM 1130計算機로 計算하는데 計算時間은 35分, 記憶容量은 約 12K語가 所要되었다.

그리고 計算 結果는

(1) 漢江水系의 代表的 年間月別 最適運用法에 關한 事例研究;

平均 月別 河川流量은 漢江水系 各 貯水池의 代表的 特性을 反映하기 위하여 1968年 1월부터 1970年 12月 까지 過去 3年間의 統計資料를 蒐集分析하여 그 月別 平均値를 取하였다. 그리고 平均月別 系統負荷는 1970年 1월부터 1970年 12月 까지의 最近 1年間의 實績値를 擇하되, 漢江水系를 除外한 水力發電所 出力을 扣除한 값을 取하였다.

그리고 計算結果는 그림 3~7에 표시하였다.

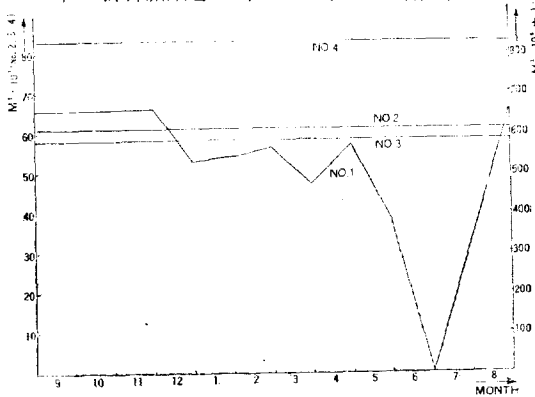


그림 3. 貯水量 分布
Fig. 3. Storage distribution.

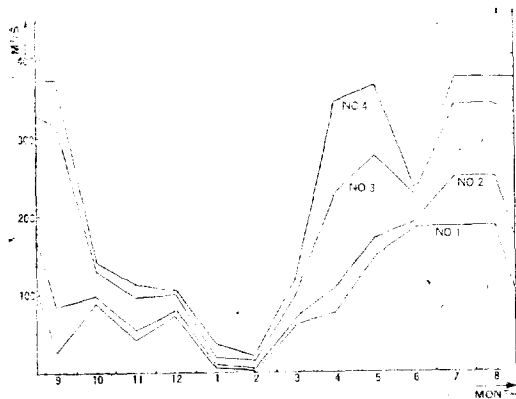


그림 4. 放水率 分布
Fig. 4. Discharge rate distribution.

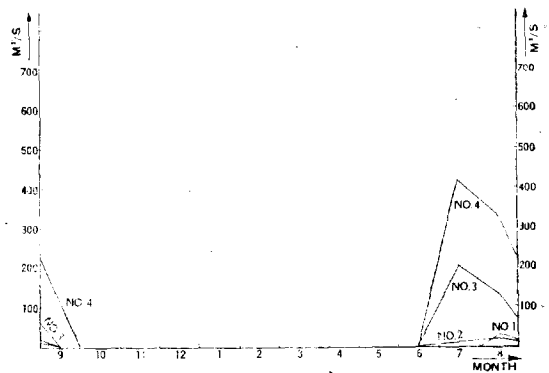


그림 5. 溢流率 分布
Fig. 5. Overflow rate distribution.

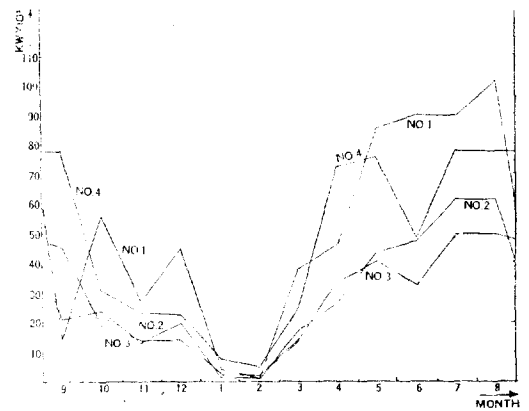


그림 6. 水力發電 電力 分布
Fig. 6. Hydro power distribution.

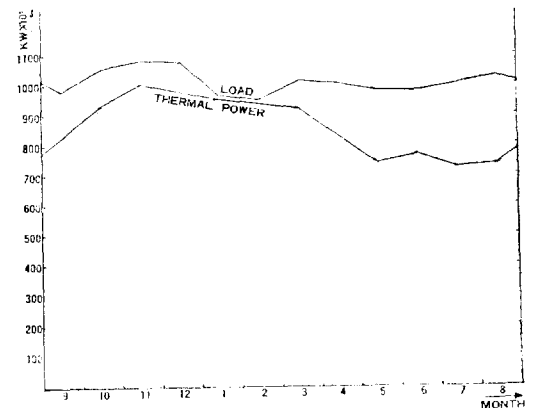


그림 7. 負荷 및 火力發電 電力 分布
Fig. 7. System load and thermal power distribution.

4. 結論 및 檢討

4-1. 漢江水系의 年間月別 最適運用 特性
上記의 두 事例研究와 其他의 補助研究 結果에 依하

면 漢江水系의 年間月別 最適運用패턴은 一般的으로 다음과 같은 特性을 지니고 있다.

(1) 上流의 華川貯水池를 除外한 3個 貯水池는 거의 自流式으로 滿水位 運轉을 하는 것이 經濟的이다.

(2) 華川貯水池는 平均降雨時, 大略 7月初에 最低水位를, 9月初에 滿水位를 維持하는 것이 經濟的이다.

(3) 最適運用을 行하면 完全自流式에 比하여 年間約 2億원以上의 利益을 見출수 있다.

(4) 降雨量이 增加할수록 最適運用으로 因한 利益이 增大한다.

(5) 系統負荷가 增加할수록 最適運用으로 因한 利益이 增大한다.

4-2. 結論

이 研究에서 얻은 結果는 다음과 같다.

(1) 漢江水系 既設 4個 發電所 및 貯水池의 諸特性을 數理模型으로 數式化함으로서 定量的인 特性解析이 容易하게 되었다.

(2) 漢江水系 既設 4個 貯水池의 最適運用計劃을 電子計算機의 도움으로 過去보다 便利, 迅速하게 樹立할 수있게 되었고 筆算에 依한 것보다 월등하게 正確하므로 年間發電費用의 多大한 節減을 期待할수 있게 되었다.

(3) 漢江水系의 洪水調節에 의하여 洪水被害를 막을 수 있는 方案이 提示되었다.

(4) 漢江水系 貯水池群의 最適運用패턴이 理論적으로 究明되었다. 이를 要約하면 다음과 같다.

年間月別 最適運用패턴, 春川, 衣岩, 清平貯水池는 大略 自流式으로, 華川貯水池는 7月初에 最低水位로, 또 9月初에 滿水位에 維持하고, 9月에서 春季까지는 大略 自流式으로 運用하는 것이 經濟的이다.

4-3. 檢 討

漢江水系 貯水池群의 最適化計劃의 계획화에 대한 기본적 방향은 제시되었으나, 다음 몇가지 계속적 研究가 절실히 요망된다. 즉 (a) 河川의 流下遲延特性에 관한 研究 (b) 火力發電所의 發電費用에 관한 보다 精確한 數理模型에 관한 研究 (c) 八堂 및 昭陽江 貯水池를 동시에 고려한 종합적인 漢江水系의 最適運用計劃의 계획화에 관한 研究 등이다.

參 考 文 獻

1. 朴永文, Multiple Dynamic Programmings에 관한 연구, 대한전기학회지, Vol.21, No.1, pp.13~16, 1972년 1월.
2. D.E. Kirk, Optimal Control Theory, Prentice-Hall, Inc., 1970, pp.64~93.
3. S. Touzaki, On the Method of Calculation for the Optimum Boundary Value of Water Storage for the Economic Operation Schedule of Hydro-Thermal Power System, 日本電氣學會雜誌, Vol. 86~7, No. 934 pp. 177~184, July, 1966.
4. M. Shizawa, A Method for Economic Operation of Flow-Interconnected Hydro-Plants, 日本電氣學會雜誌, Vol.90, No.3, pp.133~142, March, 1970.
5. I. Hano, An Application of the Maximum Principle to the Most Economical Operation of Power Systems, IEEE Vol. PAS~85, No. 5, pp.486~494 May, 1966.