

## 〈論 文〉

## 貯水池의 Storage-Yield 에 關한 研究

## A Study on the Storage-Yield Relationship of Reservoir

李 舜 鐸\*  
Soon Tak Lee

張 仁 洙\*\*  
In Soo Chang

**Abstract**

Basically, there are two ways viewing the reservoir storage-yield relationship. The most common viewpoint is the determination of the storage required at a given reservoir to supply a required yield. This type of problem is usually encountered in the planning and early design phases of a reservoir. The second viewpoint is the determination of yield from a given amount of storage. This often occurs in the final design phases or in re-evaluation of an existing reservoir for a more comprehensive analysis.

The purpose of this study is to improve the present methodology estimating the storage-yield relationship for a reservoir design or a reservoir operation. The Residual Mass curve Technique, the slightly modified version of Low Flow Techniques and the Transition Probability Matrix Technique are reviewed and examined for the best fit technique to find the reservoir storage-yield relationship. The historical data during 1917~1940 at the proposed Hongchun damsite and the synthetic data simulated by Thomas-Fiering model are utilized to examine the reservoir storage-yield relationship with three techniques in detail.

After the three techniques which estimate the reservoir storage-yield relationship were reviewed extensively, it was concluded that the Residual Mass Curve Technique and the slightly modified version of Low Flow Techniques were suitable for a preliminary design, but the Transition Probability Matrix Technique Provided satisfactory results as a final design technique because it reflected the variation of a monthly yield as well as seasonally.

**要 旨**

根本적으로 貯水池의 Storage-Yield 關係를 解析하는 데는 두가지 觀點이 있다. 가장 普遍的인 觀點은 必要한 需要量을 供給하기 위하여 貯水池의 必要貯水容量을 決定하는 것이다. 이런 形態의 問題는 貯水池의 計劃이나 初期 設計段階에서 普通 生진다. 두번째 觀點은 주어진 貯水容量에 대한 放流量의 決定이며, 이것은 最終 設計나 더 詳細한 分析을 위한 現存 貯水池의 再評價에서 자주 生진다.

\* 嶺南大學校 工科學 敎授

\*\* 嶺南大學校 大學院 碩士課程

本 研究의 目的은 貯水池의 設計나 運營을 위한 Storage-Yield 關係를 算定하는 現在의 方法論을 改善하는 것이다. 貯水池의 Storage-Yield 關係를 解析하는 가장 適合한 技法을 찾기 위하여 殘差累加曲線技法(Residual mass curve technique), 改善된 低流量技法(Low flow technique)과 TPM 技法(Transition probability matrix technique)이 檢討 되었다. 貯水池의 Storage-Yield 關係를 解析하는데 있어서 洪川댐 建設豫定地點의 1917~1940 年 月流入量 資料와 Thomas-Fiering 모델에 의해 模擬發生된 資料를 가지고 위의 세가지 技法을 詳細히 檢討 하였다.

貯水池의 Storage-Yield 關係를 폭넓게 檢討한 結果, 殘差累加曲線技法과 低流量技法은 豫備 設計에 妥當하며, TPM 技法은 月別 혹은 季節別 需要變動을 考慮할 수 있기 때문에 最終 設計에 妥當한 技法인을 알 수 있었다.

## 1. 序 論

經濟가 發展하고 人口가 增加함에 따라 물의 需要는 急增되고 있으며 用水의 安定的 供給이 더욱 絶對히 要求되고 있다. 그러나 降雨의 季節의 不均等으로 인하여 어려움을 겪고 있는 우리는 渴水期에 不足한 水資源量을 解決하기 위하여 洪水時 放流되고 있는 많은 물을 可用水資源化할 貯水池의 建設을 추진하거나 計劃을 樹立하고 있다.

그런데 貯水池 構造에는 많은 經費가 소요되므로 經濟性을 무시하고 많은 대규모 貯水池를 만들 수는 없는 것이다. 따라서 既存 貯水池의 運營의 效率化를 기할 必要性이 提起되어 貯水池에서 확보할 수 있는 安全放流量의 再檢討가 必要하다. 또한 貯水池를 새로 構造할때는 安定的 供給을 할 수 있도록 適正한 容量으로 設計해야 한다.

貯水池의 設計나 運營에 있어서 貯水容量(Storage)과 放流量(Yield)의 關係는 서로 從屬的이며 대단히 重要하다. 따라서 貯水池에 대한 分析에 있어서 在來의인 Rippl의 累加曲線技法(Mass curve technique)<sup>1)</sup>에서 脫皮하여 確率概念이 도입된 새로운 技法을 試圖하는 것이 妥當하리라 본다.

貯水池의 貯水容量과 放流量 關係를 分析하는 技法은 크게 極限期間技法(Critical period techniques), 推計學的技法(Stochastic techniques) 및 模擬資料技法(Synthetic data techniques)으로 나눌 수 있다.<sup>2)</sup> 極限期間技法에는 低流量技法(Low flow techniques)을 研究한 Waitt, Thomson, Stall, Alexander, Hardison 등과 其他技法(Miscellaneous techniques)에 대해 研究한 Rippl, Wilson, Law, Hurst, Fathy and Shukry 등이 있으며, 推計學的技法에는 Langbein, Gould, Melentjevich, Klemes, Loucks 그리고 Moran, Lloyd, Lloyd and Odom, Dearlove and Harris, Venetis 등이 있다. 記錄值(historical data)를 사용하는 위의 두 技法과는 달리 模擬資料技法은 流量의 확장된 系列을 模擬發生(simu-

lation)시켜 사용하는데 Hazen, Sudler, Barnes, Fiering, Gould, Young, Kartvelishvli 등이 研究했다.

貯水池의 Storage-Yield 에 關한 研究은 호주에서 Mc-Mahon<sup>2,3,4)</sup> 등에 의해 활발하게 研究되어 왔다. 國內에서는 주로 (殘差)累加曲線技法을 사용해 왔으며 尹龍男<sup>5)</sup>, 崔漢圭<sup>6)</sup>의 研究외에는 거의 없는 실정이다.

本 研究에서는 貯水容量 결정에 사용되어 온 從來의 方法보다 더 合理的이고 正確하며 貯水池 運營과 設計의 指針이 될 새로운 Storage-Yield 解析方法을 도입하여 그 適用性을 檢討코자 하였다. 分析에 있어서 古적인 殘差累加曲線技法 및 다소 改善된 低流量技法과 Transition probability matrix(TPM) 技法을 適用하였으며 漢江流域인 洪川댐 建設豫定地點의 24年間 月流量 資料를 使用하여 貯水池의 Storage-Yield 關係를 分析하였다. 또한 記錄值의 補完을 위하여 Thomas-Fiering 모델에 의해서 模擬發生된 100年間의 月流量 資料를 使用하여서 위와 같은 方法으로 分析하여 比較토록 하였다.

## 2. Storage-Yield 算定의 基本 理論

本 研究에 있어서 Storage-Yield 算定 方法은 極限期間技法인 殘差累加曲線技法 및 低流量技法 그리고 推計學的技法인 TPM 技法을 適用토록 하였으며 그 基本理論은 다음과 같다.

### 2.1 殘差累加曲線技法(Residual mass curve technique)<sup>7,8)</sup>

Rippl의 累加曲線技法은 流入量(inflow)과 必要放流量(yield)이 時間의 函數로서 時系列의으로 주어진 경우에 貯水容量의 規模를 合理的으로 決定하는 古典的인 解法이다. 流入量의 時系列值를  $I_i$ , 必要放流量을  $q$  (const.)로 하는 경우,  $I_i$ 와  $q$ 의 累加합의 差가 最大로 될 때의 값이 用水不足을 일으키지 않을 最小必要貯水容量이다.

殘差累加曲線技法은 Rippl의 累加曲線技法을 變形시킨 것으로서, 最小必要貯水容量은 平均流入量(mean

inflow)을  $I_m$  이라 할때, 殘差( $q-I_m$ )의 累加合에 의해서 나온 直線(yield gradient)과 殘差( $I_i-I_m$ )의 累加合의 差가 最大인 경우이다. 즉, Fig.1 과 같이 Mass curve 法の 平均流入量 軸을 回轉시켜 殘差累加曲線의 橫軸으로 삼은 것이다.

그리고 Storge-Yield 曲線은 放流量과 그에 대응하는 必要貯水容量을 플롯하여 연결함으로써 구한다.

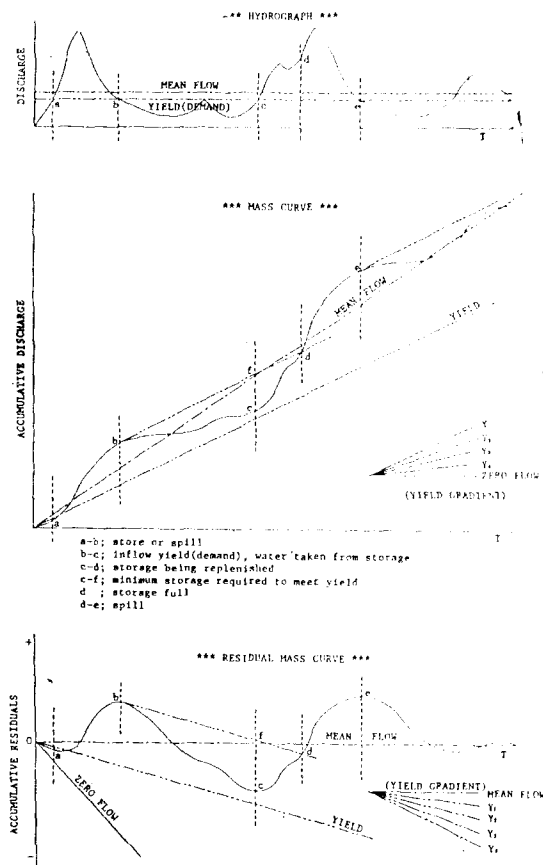


Fig. 1. Diagrams for residual mass curve technique.

2.2. 低流量技法(Low flow technique)<sup>9,10,11,12)</sup>

종전까지 주로 사용되어온 Rippl 方法은 流量記錄值를 分析하여 그 結果로부터 얻어진 最極限期間을 근거로 安全放流量을 확보할 수 있도록 貯水容量을 決定하는 方法이다. 그러나 近來에 와서는 傳統的인 Rippl 方法에서 任意의 持續期間을 가진 旱魃이 발생할 確率을 도입하는 方向으로 方法이 進歩되어 가고 있다.<sup>13)</sup>

本 低流量技法에는 여러 가지 方法이 提案되어 있으나 여기서는 이들 方法을 수정한 方法인 非連續累加曲線(Non-sequential mass curve)法을 適用토록 하였다.

일반적으로 用水供給을 위한 貯水池는 尖頭流量보다 低流量이 重要한 問題이므로 低流量技法에 의한 低流量系列(Low flow series)의 展開에 있어서 流量의 年次的 變動에 영향을 받지 않도록 低流量事象(Low flow events)을 選擇해야 한다는 事實은 대단히 중요하며, 이런 目的을 위해서는 低流量의 部分持續期間系列(partial duration series)이 融通性 있고 適合한 것이다.

部分低流量系列을 얻기 위해서는 임의의 持續期間을 選擇한 후 全流量記錄值로 부터 그 持續期間에 해당하는 期間의 月流量事象을 順次的으로 移動平均法과 같이 合하여 部分低流量을 구한다. 이 部分低流量을 最小值로 부터 順次的으로 配列함으로써 部分低流量系列을 얻는다. 이때 先順位の 部分低流量에 한번 包含된 月流量事象은 다음 順位の 部分低流量에 영향을 주는 것을 防止하기 위하여 그 月流量事象이 包含된 部分低流量은 部分低流量系列에서 除外한다. 즉 部分低流量系列에 있어서 각 順位の 部分低流量은 서로 獨立의이다. 그리고 각 順位の 部分低流量이 發生할 確率은 Beard의 plotting position 公式<sup>14)</sup>에 의해 구할 수 있다.

앞에서와 같은 方法으로 구한 각 持續期間에 대한 算定值를 對數確率紙(log probability paper)에 플롯함으로써 低流量頻度曲線(Low flow frequency curves)을 얻는다. 다음 貯水池 設計에 適合하다고 생각되는 再現期間에 대한 流量을 低流量頻度曲線에서 읽어서 流量 對 持續期間의 關係인 最小流出-持續期間曲線(Minimum runoff-duration curves)을 구한다.

마지막으로 이 最小流出-持續期間으로 부터 非連續累加曲線(Non-sequential mass curves)을 구하여 Storage-Yield 曲線을 구하게 되는데, 이는 먼저 원하는 放流量에 대한 必要한 貯水容量은 이 非連續累加曲線上에 放流量의 累加值에 의한 接線(yield slope)을 作圖하여 放流量累加接線이 縱軸을 切斷할 때 값으로서 必要한 貯水容量을 決定한다. 그리고 각 確率에 대한 貯水容量과 放流量을 구하여 플롯하면 確率에 따른 Storage-Yield 曲線이 구해진다.

2.3 TPM 技法(Transition probability matrix technique)<sup>3,15,16,17,18,19)</sup>

TPM 技法은 推計學的 技法에 屬하며 Moran이 提案한 理論을 基礎로 하여 Gould가 發展시켰다.

離散된 時間單位에 대하여 다음과 같은 貯水量에 대한 간단한 물收支方程式을 세울 수 있다.

$$C_{t+1} = C_t + X_t - Y_t \dots \dots \dots (2.3)$$

$C_t, C_{t+1}$ ;  $t$  번째 離散期間(月)의 始點과 終點에 있어서 貯水量

$X_t$  ;  $t$  번째 離散期間(月)의 流入量

$Y_t$  ;  $t$  번째 離散期間(月)의 流出量  
 貯水池의 貯水容量(Reservoir storage capacity)을 같은 容積(Volume)의  $k$  개의 Zone 으로 나누고, 1 개의 Zone 을  $M$  unit 라 하면, 貯水池狀態( $C$ )는 아래와 같이 생각할 수 있다.

$$\begin{aligned} C=0(\text{empty}) &\longrightarrow 0 \text{ state} \\ 0 < C \leq M &\longrightarrow 1 \text{ state} \\ M < C \leq 2M &\longrightarrow 2 \text{ state} \\ &\vdots \\ (k-2)M < C \leq (k-1)M &\longrightarrow (k-1) \text{ state} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (k-1)M < C < kM &\longrightarrow k \text{ state} \\ C = kM(\text{full}) &\longrightarrow (k+1) \text{ state} \end{aligned}$$

각 Zone 에 대하여 式 (2.3)의 물收支方程式을 適用시켜 年初貯水池狀態(Initial state)에 대한 年末貯水池狀態(Final state)의 transition years 를 구할 수 있으며, 이것을 각 貯水池狀態에 대한 transition years 의 個數( $n$ )의 行列로 表示한 후 資料의 總年數( $N$ )로 나눔으로써 式 (2.4)와 같은 Transition probability matrix (TPM)를 구할 수 있다.

$$\begin{matrix} & & \text{Initial State, } j \\ & & (0) & (1) & (2) & \dots & (k) & (k+1) \\ \text{Final State, } i & \left\{ \begin{array}{l} (0) \\ (1) \\ (2) \\ \vdots \\ (k) \\ (k+1) \end{array} \right. & \left[ \begin{array}{cccccc} q(0,0) & q(0,1) & q(0,2) & \dots & q(0,k) & q(0,k+1) \\ q(1,0) & q(1,1) & q(1,2) & \dots & q(1,k) & q(1,k+1) \\ q(2,0) & q(2,1) & q(2,2) & \dots & q(2,k) & q(2,k+1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ q(k,0) & q(k,1) & q(k,2) & \dots & q(k,k) & q(k,k+1) \\ q(k+1,0) & q(k+1,1) & q(k+1,2) & \dots & q(k+1,k) & q(k+1,k+1) \end{array} \right] & = T \dots \dots (2.4) \end{matrix}$$

여기서,  $q_i(i, j)$ 는 條件確率의 概念을 使用하여 表示하면 式 (2.5)와 같다.

$$q_i(i, j) = P_r(C_t = i \mid C_{t+1} = j) \dots \dots \dots (2.5)$$

$$\text{단, } 0 \leq q_i(i, j) \leq 1 \quad (i, j = 0, 1, 2 \dots k, k+1)$$

또한 式 (2.6)도 성립하며 이것은 각 列의 確率벡터의 總이 1임을 나타낸다.

$$\begin{pmatrix} P'_0 \\ P'_1 \\ P'_2 \\ \vdots \\ P'_k \\ P'_{k+1} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} q(0,0) & q(0,1) & q(0,2) & \dots & q(0,k) & q(0,k+1) \\ q(1,0) & q(1,1) & q(1,2) & \dots & q(1,k) & q(1,k+1) \\ q(2,0) & q(2,1) & q(2,2) & \dots & q(2,k) & q(2,k+1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ q(k,0) & q(k,1) & q(k,2) & \dots & q(k,k) & q(k,k+1) \\ q(k+1,0) & q(k+1,1) & q(k+1,2) & \dots & q(k+1,k) & q(k+1,k+1) \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_k \\ P_{k+1} \end{pmatrix} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$P' = TP \dots \dots \dots (2.8)$$

$P'$ ; 單位期間의 終點에서 貯水量이 0, 1, 2... $k$ ,  $k+1$  狀態가 될 確率을 表示하는 Line vector

$P$ ; 單位期間의 始點에서 貯水量이 0, 1, 2... $k$ ,  $k+1$  狀態가 될 確率을 表示하는 Line vector

$T$ ; 單位期間의 始點과 終點사이의 Transition Probability Matrix

貯水狀態를 나타내는 確率의 變動은 式 (2.8)을 反복하여 풀어서 아래와 같이 구할 수 있다.

즉, 初期確率分布가  $P_0$  라면 時間에 따른 確率의 變動은

$$\begin{pmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_k \\ P_{k+1} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} q(0,0) & q(0,1) & q(0,2) & \dots & q(0,k) & q(0,k+1) \\ q(1,0) & q(1,1) & q(1,2) & \dots & q(1,k) & q(1,k+1) \\ q(2,0) & q(2,1) & q(2,2) & \dots & q(2,k) & q(2,k+1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ q(k,0) & q(k,1) & q(k,2) & \dots & q(k,k) & q(k,k+1) \\ q(k+1,0) & q(k+1,1) & q(k+1,2) & \dots & q(k+1,k) & q(k+1,k+1) \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_k \\ P_{k+1} \end{pmatrix} \dots \dots \dots (2.10)$$

그런데 윗식을 移項整理하여 보면 相互從屬의 이기 때문에 양변이 0(Zero)이 됨을 알 수 있다. 즉, 式 (2.4)

$$\sum_{j=0}^{k+1} q(i, j) = 1 \dots \dots \dots (2.6)$$

위와 같은 條件하에서 한 單位期間의 終點에서 각 貯水池狀態에 存在하는 確率은 式 (2.7)과 같으며, 이 式은 式 (2.8)과 같이 要約될 수 있다.

$$\begin{aligned} P_1 &= TP_0 \\ P_2 &= TP_1 \dots \dots \dots (2.9) \\ &\vdots \\ P_{i+1} &= TP_i \end{aligned}$$

와 같이 表示된다.

式 (2.9)에서  $P_{i+1}$  이  $P_i$  와 같을때 貯水量의 狀態는 安定狀態이며, 式 (2.6)과 式 (2.7)로 부터 安定狀態일때의 각 Zone 에 대한 貯水量分布 確率을 구할 수 있다. 즉, 安定狀態일때 각 貯水池狀態의 確率을  $P_0, P_1, P_2, \dots, P_k, P_{k+1}$  이라 하면, 式 (2.7)은 다음과 같이 變換된다.

의 行列에 있어서 각 列이 確率벡터를 形成하기 때문이다. 式 ( $k+2$ )개의 式 중에서 하나를 제거하면 나머지

(k+1)개의 식은 相互獨立인 關係를 갖게 된다. 여 기서는 맨마지막의 식을 제거하기로 한다.

그리고 貯水池의 全狀態의 確率의 和이 1임을 表示 하는 식 (2.6)으로 부터 다음식을 얻을 수 있다.

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (q(0,0)-1) & q(0,1) & q(0,2) & \dots & q(0,k) & q(0,k+1) \\ q(1,0) & (q(1,1)-1) & q(1,2) & \dots & q(1,k) & q(1,k+1) \\ q(2,0) & q(2,1) & (q(2,2)-1) & \dots & q(2,k) & q(2,k+1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ q(k,0) & q(k,1) & q(k,2) & \dots & (q(k,k)-1) & q(k,k+1) \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_k \\ P_{k+1} \end{pmatrix} \dots\dots\dots(2.11)$$

위의 聯立方程式을 피벗-능축법을 이용하여 풀면 貯水池狀態의 確率  $P_i$ 를 구할 수 있다.

그리고, 貯水池의 各 狀態에 대한 年中 적어도 不足 이 한번 發生할 條件確率  $f_i$ 를 식 (2.3)의 물收支方程式을 適用하는 것으로 부터 구할 수 있으며, 이 값과 위에서 구한 各 貯水池狀態의 確率을 곱하여 더함으로써 어떤 貯水池에 대한 年中 不足이 한번이라도 發生할 確率을 구할 수 있다.

$$Prob. = \sum_{i=0}^{k+1} P_i \cdot f_i \quad (2.12)$$

- $P_i$ ; 貯水池狀態가  $i$ 일때 安定狀態確率(%)
- $f_i$ ; 貯水池狀態가  $i$ 일때 1년에 한번이라도 不足이 發生할 條件確率
- $k$ ; 貯水池 Zone의 個數

TPM 技法에 의한 Storage-Yield 曲線은 다양한 放流量과 貯水容量에 대하여 위에서와 같은 方法으로 確率을 구함으로써, 設計에 必要한 再現期間에 대한 Storage-Yield 曲線을 작성할 수 있다.

$$P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_k + P_{k+1} = 1 \quad \dots\dots\dots(2.6)'$$

윗식을 포함하여 새로 얻은 (k+2)개의 식 (2.11)는 相互線型獨立의(linearly independent)인 關係에 있게 된다.

### 3. Storage-Yield 分析

#### 3.1. 分析地點과 資料

本 研究에 있어서 貯水池의 Storage-Yield 分析을 위하여 選定한 地點은 洪川댐 建設豫定地點으로서 洪川江의 北漢江 合流點으로 부터 上流 11km 地點에 位置하며 左岸은 洪川郡 西面, 右岸은 春城郡 南面으로 1985 년에 댐을 着工할 예정이다.

流量資料는 洪川댐 豫定地點의 24 年(1917. 1~1940. 12)間 月流入量 資料이다<sup>20)</sup>. 記錄値는 大개 短期間에 불과하기 때문에 水資源計劃에 當면하여 그 system의 經濟的 壽命期間 中에 發生할 水文學的 樣相을 파악할 수 없고 將來에 發生possible 現狀에 맞지 않는 設計나 計劃을 할 위험성이 따른다. 그러므로 設計 水文量을 決定하는 데는 精度가 높은 長期間의 水文資料가 必要하게 되었다. 즉, 짧은 河川水文量의 記錄値는 水文統計學的인 解析에 있어서 標本으로서의 價値가 크

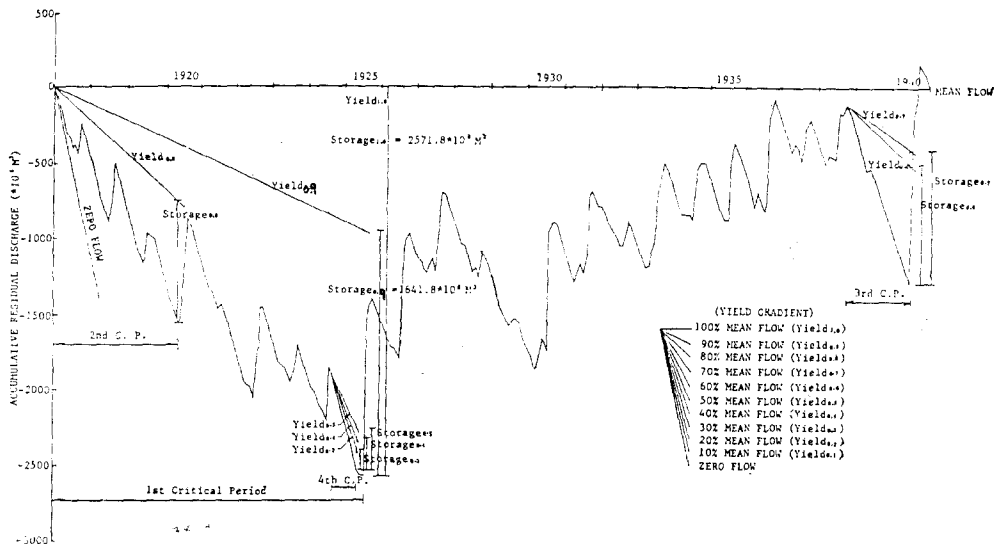


Fig. 2. Residual mass curve (historical data)

지 못하므로 模擬發生된 資料를 사용하는 것이 水資源 計劃이나 設計에 더욱 安全하고 合理的이라 생각된다. 長期間의 水文資料를 얻기 위하여 Chow, Fiering Matalas<sup>21)</sup> 및 李舜澤<sup>22,23)</sup> 등이 研究를 했으며, 最近에는 많은 새로운 모델이 紹介되고 있다.

本 研究에서는 24年間의 記錄值와 Thomas-Fiering 모델<sup>24)</sup>에 의해 模擬發生된 100年間의 資料를 사용하여 分析하고자 한다.

3.2. 各 技法에 의한 分析

1) 殘差累加曲線技法

洪川댐 建設豫定地點에 있어서 記錄值에 의한 殘差累加曲線을 그려보면 Fig. 2와 같다.

分析地點 月平均流入量( $91.08 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{month}$ )의 100% (yield<sub>1.0</sub>)와 90% (yield<sub>0.9</sub>)를 用水로 供給코자 할때는 最極限期가 1917年 1月~1925年 4月에 發生하며 最小限  $2571.8 \times 10^6 \text{ m}^3$  과  $1641.8 \times 10^6 \text{ m}^3$  을 貯水시켜야 한다. yield 0.8일때는 1917年 1月~1920年 5월에 最極限期가 發生하며  $805.1 \times 10^6 \text{ m}^3$  을 貯水시켜야 하고 yield 0.7, yield 0.6일때는 1938年 9月~1940年 6월에 각각  $603.1 \times 10^6 \text{ m}^3$  과  $411.6 \times 10^6 \text{ m}^3$  을 最小限 貯水시켜야 安定的 用水供給이 가능하다. 그 以下 放流量에 대한 貯水容量도 같은 方法으로 구할 수 있다.

또한 模擬發生된 資料를 사용하여 殘差累加曲線을 얻을 수 있는데, computer를 이용하면 쉽게 作圖가 가능하며 위에서 구한 放流量에 대한 貯水容量 값들로 부터 Storage-Yield 曲線을 얻을 수 있다.

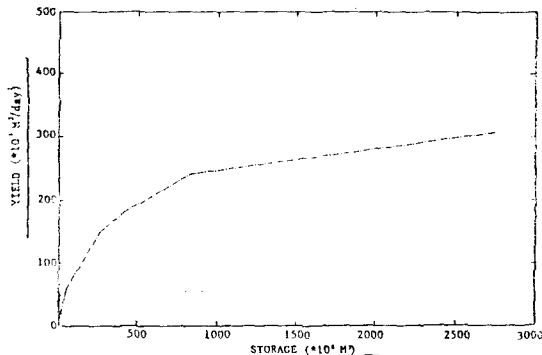


Fig. 3. Storage-yield curves by residual mass curve technique (historical data)

2) 低流量技法

流量系列은 어떤 系列을 代表하는 持續期間을 選擇하여 全流量 記錄值로부터 該當 持續期間을 가진 低流量系列을 얻는다. 本 研究에서 選擇한 持續期間은 2,

3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24, 30, 36, 48, 60, 76, 96, 120 個月의 20個 持續期間이며 各 持續期間에 대해 低流量系列을 展開하였으나 그 展開節次의 過程은 持續期間이 36個月인 系列의 경우에 대하여 例를 들면 다음과 같다.

1917년부터 1940년까지의 288개 月流量 資料로부터 임의의 36個月 連續流量을 合算한 36個月 部分低流量을 얻는다. 이와 같은 方法으로 얻은 36個月 部分低流量 중에서 最小値는 1917年 2月부터 1920年 1月 사이에 일어났으며 크기는  $2048.4 \times 10^6 \text{ m}^3$  이다. 그런데 先順位의 部分低流量에 한번 包含된 月流量事象 (monthly flow event)은 獨立性을 유지하기 위해서 除外시켰다. 2順位 36個月 部分低流量은 1920年 9月~1923年 8月에서 發生하였고 그 크기는  $2294.8 \times 10^6 \text{ m}^3$  이며, 이데도 部分低流量에 包含된 月流量事象은 그 다음 順位에서 除外시켰다. 같은 方法을 되풀이 함으로써 順位別 36個月 低流量系列을 구할 수 있으며, 또한 Beard의 plotting position 公式에 의해 發生確率을 計算할 수 있다.

選定된 20個의 持續期間에 대한 算定値는 Fig.4와 같은 計算順序에 의해서 Computer로 處理되었으며, Table 1은 36個月 持續期間에 대한 記錄值의 各 算定値를 例示한 것이다.

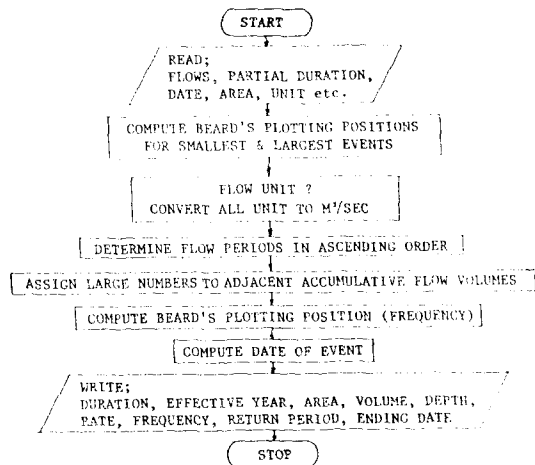


Fig. 4. Flow chart for the calculation of low flow technique.

다양한 持續期間에 대한 獨立部分低流量의 發生確率을 計算함으로써 Fig. 5와 같은 記錄值에 의한 低流量 頻度曲線을 얻을 수 있다.

Table. 1 Sample computation of independent low flow events in partial duration of 36 month (historical data).

Rank	Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Depth (cm)	Rate (m <sup>3</sup> /sec)	Frequency (%)	Return period (year)	Ending date (Year,Month)
1	2048.4	139.06	21.663	3.22	31.0	1920 1
2	2294.8	155.79	24.269	7.86	12.7	1923 8
3	2466.0	167.41	26.080	12.50	8.0	1940 5
4	2625.6	178.25	27.768	17.14	5.8	1930 2
5	3192.5	216.73	33.763	21.78	4.6	1936 7
6	3553.3	241.23	37.579	26.42	3.8	1933 7
7	4040.9	274.33	42.735	31.06	3.2	1926 9

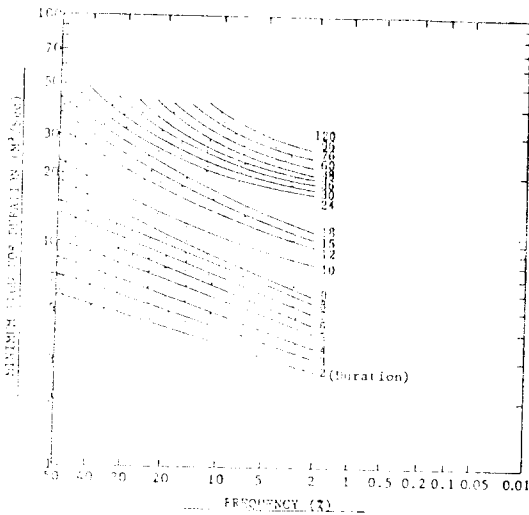


Fig. 5 Low flow frequency curves (historical data).

Fig. 5의 低流量頻度曲線에서 貯水池設計에 妥當하다고 생각되는 再現期間에 대한 값을 읽어서 全對數紙에 พล롯함으로써 Fig. 6과 같은 最小流出—持續期間曲線을 얻는다. 여기서는 再現期間이 100, 50, 20, 10,

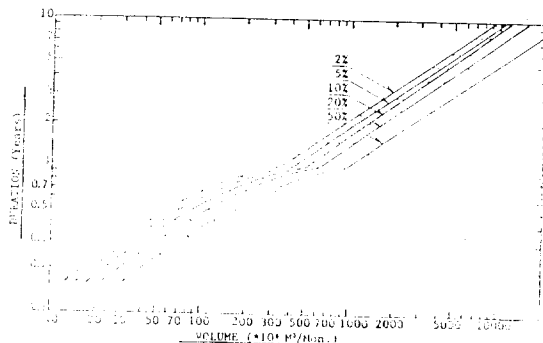


Fig. 6. Minimum runoff-duration curves based on Fig. 5(historical data).

5, 2年 즉, 發生確率이 1, 2, 5, 10, 20, 50%일 때가 選擇되었다. Fig. 5에 있어서 m<sup>3</sup>/sec單位の 流量은 Fig. 6에서는 m<sup>3</sup>/month單位로 換算되었다. 이에 對數눈금은 低流量頻度曲線에 의해 代表된 期間들 사이 값을 補間하는 간단하고 正確한 手段이다.

Fig. 7의 非連續累加曲線은 Fig. 6의 最小流出—持續期間曲線으로부터 구했으며, 放流量과 等등한 傾斜의 直線을 非連續累加曲線에 接하게 그었을때 最小必要貯水容量(minimum requirement)을 구할 수 있었으며, 다양한 需要直線을 非連續累加曲線에 接하게 作圖함으로써 必要한 貯水容量들을 구할 수 있었다.

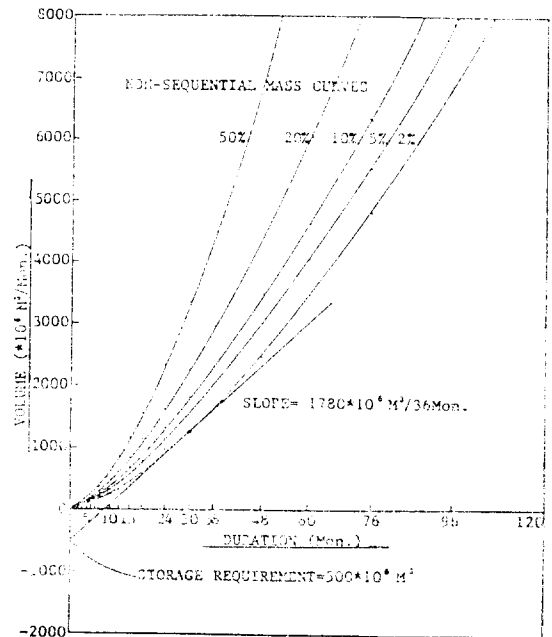


Fig. 7. Non-sequential mass curves developed from Fig. 6(historical data).

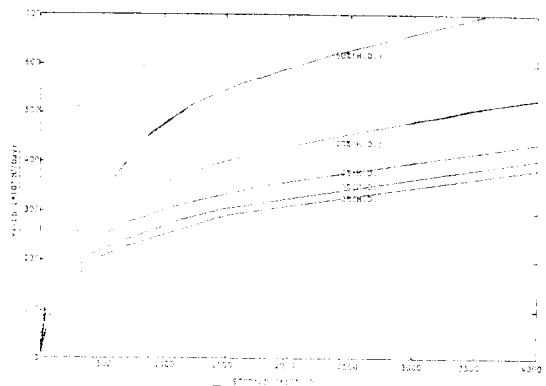


Fig. 8. Storage-yield curves by low flow technique (historical data)

Fig. 7에서 구한 다양한 放流量에 대한 必要貯水容量으로부터 Fig. 8과 같은 低流量技法에 의한 確率에 包含된 Storage-Yield 曲線을 얻을 수 있었다.

3) TPM 技法

低流量技法과 달리 TPM 技法은 주어진 貯水容量과 放流量에 대한 不足이 發生할 確率을 구한다.

예를 들어, 放流量이 分析地點 月平均流入量(91.2 × 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>/month)의 90%이고, 貯水容量이 500 × 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>인 경우에 대하여 算定하면 다음과 같다.

假定된 貯水容量을 임의의 Zone 으로 나눌 수 있으나 本 研究에서는 5個의 Zone 으로 나누면, 1개의 Zone 은 100 × 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>이며 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>을 1 unit로 할 때에 年初貯水池狀態(Initial storage state)와 年末貯水池狀態(Final storage state)는  $C=0(\text{empty}), 0 < C \leq 100, 100 < C \leq 200, 200 < C \leq 300, 300 < C \leq 400, 400 < C < 500, C=500 \text{ unit (full)}$ 의 7 가지 境遇로 생각할 수 있다.

貯水池의 初期狀態가 0(empty)일때, 즉 비어 있을때는 式 (2.3)의 물收支方程式에 의해 1917年 2月初(1917年 1月末)의 貯水量(C<sub>1917.2</sub>)은 다음과 같다.

$$C_{1917.2} = C_{1917.1} + X_{1917.1} - Y_{1917.1} = 0(\text{empty}) + 9.9 - 82.05 = -72.15(\text{unit})$$

그런데, C<sub>1917.2</sub>의 貯水量이 -72.5 unit 일 수는 없다. 왜냐하면, 貯水量에 陰(-)이 存在할 수 없기 때문이다. 이때는 貯水池를 0(empty)라고 假定하고 計算을 繼續한다.

$$C_{1917.3} = C_{1917.2} + X_{1917.2} - Y_{1917.2} = 0 + 8.5 - 82.05 = -73.55(\text{unit}) \rightarrow 0(\text{empty})$$

$$C_{1918.1} = C_{1917.12} + X_{1917.12} - Y_{1917.12} = 0 + 13.9 - 82.05 = -68.15(\text{unit}) \rightarrow 0(\text{empty})$$

즉, 1917年의 경우 物收支方程式에 의해 1918年 1月初(1917年 12月末)에 있어 貯水量을 구하면, 年初에 貯水池가 비었을 때는 年末에도 비게 된다. 만약 C<sub>t+1</sub>의 값이 貯水池容量 500 × 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>을 초과할 때는 越流되므로 貯水量을 500unit(full)라 假定하고 計算한다.

이와 같은 節次에 의해 1918年에서 1940年까지 年初貯水量이 0(empty)狀態일때 年末貯水量의 狀態를 구할 수 있으며, 結果는 Table 2와 같다. 表에서 ( ) 안의 數値는 年度의 個數를 나타낸다.

Table 2. Transition years

Initial state	C=0(empty)												
Final state													
C=0(empty) (× 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	1917	1919	1921	1929	1939							(5)	
0 < C ≤ 100	1924	1928	1932									(3)	
100 < C ≤ 200	1918	1923	1937									(3)	
200 < C ≤ 300	1920											(1)	
300 < C ≤ 400	1922	1925	1926	1927	1930	1933	1934	1935	1936	1938	1940	(11)	
400 < C < 500	1931											(1)	
C=500(full)	1917	1918	1919	1920	1921	1922	1923	1924	1925	1926	1927	1928	(24)
Failure	1929	1930	1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940	

나머지 初期貯水池狀態 0 < C ≤ 100, 100 < C ≤ 200, 200 < C ≤ 300, 300 < C ≤ 400, 400 < C < 500, C=500unit (full)에 대해서 살펴보면, C=500 unit 狀態일 때는 別問題가 없으나 그의 狀態일 때는 각 Zone의 中央值인 50, 150, 250, 350, 450 unit를 貯水池의 初期狀態라 假定한다. 그리고 앞에서와 같은 方法으로 年末에 貯水池가 어느 狀態에 속하는지를 구할 수 있다.

각 年初狀態에 대한 年末狀態를 transition years의 個數 (n)에 의한 行列로 表示하면 다음과 같다.

Final State	Initial State						
	(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(0)	5	5	5	5	4	2	2
(1)	3	3	3	2	1	2	0
(2)	3	3	3	3	3	1	3
(3)	1	1	1	2	3	4	4
(4)	11	11	11	10	11	13	13
(5)	1	1	1	2	2	2	2
(6)	0	0	0	0	0	0	0

위 行列의 元素를 記錄值의 總年數인 24로 나누면 다음과 같은 TPM을 구할 수 있다.



$$T = \begin{pmatrix} 0.20833 & 0.20833 & 0.20833 & 0.20833 & 0.16667 & 0.08333 & 0.08333 \\ 0.12500 & 0.12500 & 0.12500 & 0.08333 & 0.04167 & 0.08333 & 0.00000 \\ 0.12500 & 0.12500 & 0.12500 & 0.12500 & 0.12500 & 0.04167 & 0.12500 \\ 0.04167 & 0.04167 & 0.04167 & 0.08333 & 0.12500 & 0.16667 & 0.16667 \\ 0.45833 & 0.45833 & 0.45833 & 0.41667 & 0.45833 & 0.54167 & 0.54167 \\ 0.04167 & 0.04167 & 0.04167 & 0.08333 & 0.08333 & 0.08333 & 0.08333 \\ 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 & 0.00000 \end{pmatrix}$$

그리고 위 TPM은 安定狀態일때는 식 (2.11)에 의해서 아래와 같은 聯立方程式으로 變換된다.

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.79167 & 0.20833 & 0.20833 & 0.20833 & 0.16667 & 0.08333 & 0.08333 \\ 0.12500 & -0.87500 & 0.12500 & 0.08333 & 0.04167 & 0.08333 & 0.00000 \\ 0.12500 & 0.12500 & -0.87500 & 0.12500 & 0.12500 & 0.04167 & 0.12500 \\ 0.04167 & 0.04167 & 0.04167 & -0.91667 & 0.12500 & 0.16667 & 0.16667 \\ 0.45833 & 0.45833 & 0.45833 & 0.41667 & -0.54167 & 0.54167 & 0.54167 \\ 0.04167 & 0.04167 & 0.04167 & 0.08333 & 0.08333 & -0.91667 & 0.08333 \\ 1.00000 & 1.00000 & 1.00000 & 1.00000 & 1.00000 & 1.00000 & 1.00000 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \end{pmatrix}$$

피벗-농축법에 의해 위의 聯立方程式을 풀면 다음과 같다.

$$P_i = [0.18073 \ 0.08000 \ 0.11938 \ 0.09229 \ 0.46011 \ 0.6750 \ 0.00000]^T$$

T: 轉值行列(Transpose)

Table 2에서 Failure欄의 年度는 그 年度에 있어서 한번이라도 貯水池가 비어 있는 달이 發生하는 경우를 나타내고, ( )안의 數値는 年度의 個數를 나타낸다. 따라서 貯水池의 각 狀態에 있어서 年中 적어도 不足이 한번 發生할 確率은 7개의 初期貯水量條件 모두에 대해서 Table 2와 같은 表를 作成했을때 Failure欄의 ( )안의 값인 年數를 記錄值의 總年數인 24로 나누어서 구할 수 있다.

$$f_i = [1.00000 \ 1.00000 \ 0.83333 \ 0.45833 \ 0.20833 \ 0.08333 \ 0.83333]$$

그리하여, 不足이 發生할 確率(Probability of Failure)은 식 (2.12)에 의해서 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$\text{Prob.} = \sum_{i=0}^{k+1} P_i f_i = 0.504 \text{ 혹은 } 50.4\%$$

지금까지 放流量이  $82.05 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{month}$ 이고 貯水容量이  $500 \times 10^6 \text{ m}^3$ 인 경우의 不足이 發生할 確率 50.4%를 구했다.

앞에서와 같은 節次에 의해서 貯水池의 Storage와 Yield의 條件을 變動시키며 確率을 구할 수 있다. 즉, 放流量을 月平均流入量( $91.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{mon.}$ )의 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90%로 變動시킬 때, 이들 變動값에

대하여 貯水容量을 同時에 100, 200, 300, 400, 500 ( $\times 10^6 \text{ m}^3$ )으로 變動시키면서 不足이 發生할 確率을 구할 수 있다.

Fig. 9는 Computer를 利用하여 分析한 計算順序를 나타낸 것이며, 그 結果를 Fig. 10과 같이 Storage와 Yield의 각 條件을 表示한 +表 아래에 적고 그 數値를 감안하여 50, 20, 10, 5, 2% 確率에 對한 Storage-Yield 曲線을 作成할 수 있다. 또한 같은 方法으로 Thomas-Fiering 모델에 의해 模擬發生된 資料를 使用하여 不足이 發生할 確率을 구할 수 있다.

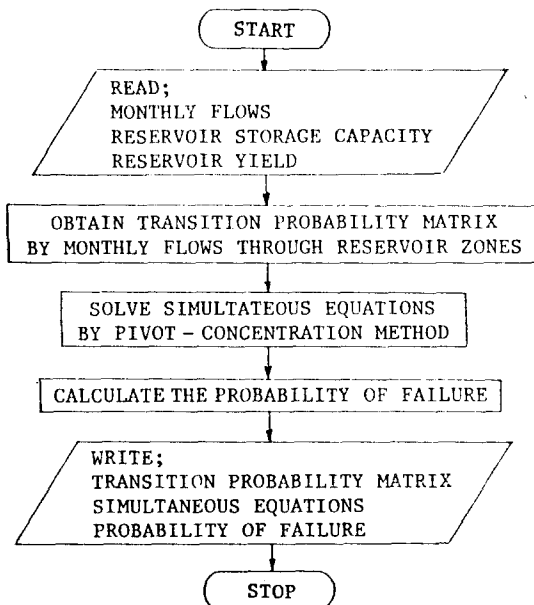


Fig. 9. Flow chart for the calculation of TPM technique.

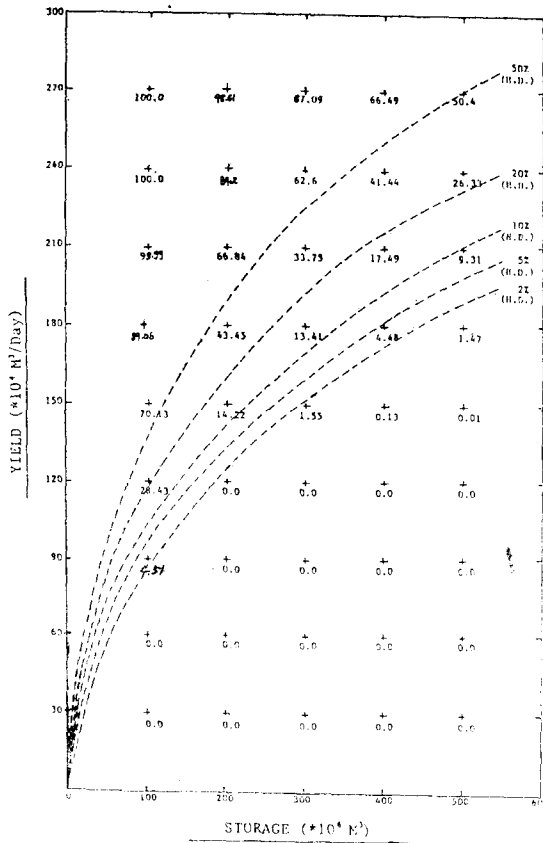


Fig. 10. Storage-Yield curves by TPM technique (historical data).

3.3. 結果의 考察

本 研究에서 記錄値와 模擬發生된 資料를 殘差累加曲線技法, 低流量技法 및 TPM 技法으로 分析한 結果를 比較해 보면 다음과 같다.

지금까지 주로 使用해온 在來의 殘差累加曲線技法에 의해서는 資料의 길이에 해당하는 再現期間을 가진 하나의 Storage-Yield 曲線만 얻을 수 있기 때문에 다양한 再現期間에 대한 Storage-Yield 曲線의 檢討을 必要로 하는 貯水池設計와 運營에 있어서는 妥當한 技法이 될 수 없다. 또한 需要傾斜는 季節的인 需要變動을 反映하지 않기 때문에 需要量(放流量)이 季節的으로 큰 變動이 있을 때는 適用이 制限된다.

記錄値와 模擬發生된 資料에 의한 低流量頻度曲線을 比較해 볼때 記錄値를 使用했을때 보다 模擬發生된 資料를 使用했을 때는 더 많은 資料를 使用했기 때문에 持續期間에 대한 頻度값의 個數가 많아 低流量頻度曲線을 作成하는데 있어서 더 적은 調整을 하여도 된다.

그리고 低流量頻度曲線으로 부터 直接 非連續累加曲

線을 作成하는 것보다 最少 流出—持續期間曲線을 使用함으로써 低流量頻度曲線들에 의해 代表된 持續期間들 사이의 값을 더욱 正確하게 補間하게 되었다. 또한 非連續累加曲線에 있어서도 다른 技法과 比較할때 選定된 20개 持續期間에 대해서 뿐 아니라 어떤 持續期間에 대해서도 接線을 그을 수 있게 됨으로써 더욱 正確한 Storage-Yield 曲線을 作成할 수 있게 되었다. 低流量技法은 低流量系列을 部分持續期間別로 展開하여 低流量의 크기, 持續期間 및 發生確率을 相關시킴으로써 Storage-Yield-Probability 關係를 얻었으나, 殘差累加曲線技法과 마찬가지로 季節的으로 需要量(放流量)이 크게 變動할 때는 非連續累加曲線에 있어서 需要接線이 季節的인 需要變動을 反映하지 않기 때문에 適用이 制限된다.

必要放流量에 대한 確率別 最小貯水容量을 구하는 低流量技法과 달리, TPM 技法은 주어진 放流量과 貯水容量에 대한 年不足이 發生할 確率을 貯水池가 安定狀態일때에 얻어지는 聯立方程式의 解를 구함으로써 貯水狀態의 確率을 얻고, 각 貯水池狀態에 대한 月不足이 年中 적어도 한번 發生할 條件確率을 구한후 順次的으로 곱하여 合함으로써 구한다. 여기서는 TPM 技法은 低流量技法과의 比較를 위해 放流量을 一定하게 고정하고 分析했으나 式(2.3)의 물收支方程式에서 放流量( $Y_t$ )을 月別 혹은 季節別로 變動시킬 수 있기 때문에 放流量이 變動하여도 確率別 Storage-Yield 曲線을 구할 수 있다.

Fig. 11은 洪川댐에서의 24年間 記錄値와 Thomas-Fiering 모델에 의해 100年間 模擬發生된 資料를 가지고 각 技法에 의해 分析된 Storage-Yield 曲線을 相互 比較 檢討기 위해서 圖示한 것이며, Fig. 12는 Fig. 11의 Storage-Yield 曲線에서 放流量이  $300 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$  이하이고 貯水容量이  $500 \times 10^6 \text{ m}^3$  이하인 部分을 技法別, 確率別로 比較가 쉽도록 擴大圖示한 것이다.

Fig. 11 및 12의 Storage-Yield 曲線으로 부터 貯水池設計나 運營에 必要한 다양한 再現期間에 대해서 貯水容量에 대한 安全放流量 혹은 安全放流量에 대한 貯水容量을 구할 수 있다. 즉, 記錄値에 있어서 貯水容量이  $300 \times 10^6 \text{ m}^3$ 일때 TPM 技法에서는 50年 確率에 대하여  $150 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ , 10年 確率에 대하여  $170 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ 의 放流量을 얻을 수 있다. 그러나 低流量技法에서는 50年 確率에 대하여  $160 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ , 10年 確率에 대하여  $180 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ 의 放流量을 얻을 수 있다. 模擬發生된 資料에 의한 Storage-Yield 曲線은 記錄値에 의한 Storage-Yield 曲線보다 같은 放流量에 대하여 적은 貯水容量값을 보인다.

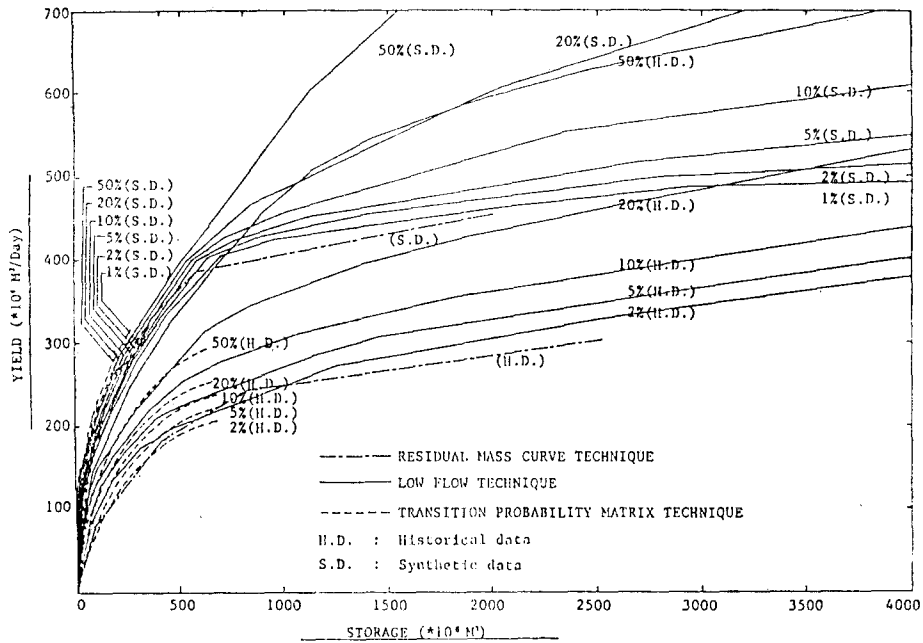


Fig. 11. Storage-yield curves by residual mass curve technique, low flow technique and TPM technique (historical data & synthetic data).

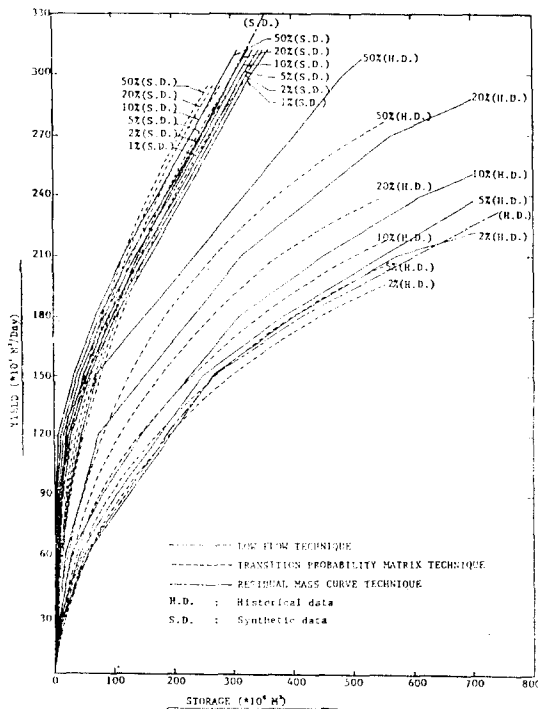


Fig. 12. Storage-yield curves by residual mass curve technique, low flow technique and TPM technique (historical data & Synthetic data).

記錄値에 의한 Storage-Yield 曲線에 있어서 50 년에 한번 旱魃이 發生할 確率의 貯水池를 建設하려고 하면 放流量을  $180 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{day}$  로 一定하게 할때 TPM 技法에서는 貯水容量을  $440 \times 10^6 \text{ m}^3$  으로 하고 低流量技法에서는 貯水容量을  $400 \times 10^6 \text{ m}^3$  으로 하면 安定的으로 供給할 수 있음을 알 수 있고, 5 년에 한번 旱魃이 發生할 確率의 貯水池를 建設하려고 하면 放流量을  $210 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{day}$  로 一定하게 할때 TPM 技法은  $380 \times 10^6 \text{ m}^3$ , 低流量技法은  $320 \times 10^6 \text{ m}^3$  의 貯水容量을 가지면 安定的으로 TPM 用水를 供給할 수 있음을 알 수 있었다. 이것은 TPM 技法에 의한 貯水容量決定結果가 더욱 安定된 結果를 보여주며 低流量技法에 의한 경우 그 貯水容量을 적게할 危險이 있음을 보여준다.

#### 4. 結 論

本 研究에서 貯水池의 Storage-Yield 關係分析에 記錄値와 模擬發生된 資料를 使用하여 殘差累加曲線技法, 低流量技法 그리고 TPM 技法이 適用檢討되었으며 그 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 殘差累加曲線技法은 Storage-Yield 曲線에 確率이 反映되지 않았으나 低流量技法과 TPM 技法은 確率에 反映되었다. 따라서 종래의 Storage-Yield 關係에 確率概念이 導入됨으로써 貯水池의 最適運營과 最適設計에

必要한 다양한 再現期間에 대하여 Storage-Yield 曲線을 誘導하였다. 즉 Storage-Yield-Probability 關係를 樹立하였다.

2. 同一한 放流量에 대하여 TPM 技法은 低流量技法보다 큰 貯水容量을 가져야 安定的으로 用水를 供給할 수 있음을 알 수 있었다. 이것은 TPM 技法에 의한 貯水容量決定結果가 더욱 安定된 結果를 보여주며 低流量技法에 의한 경우 그 貯水容量을 적게할 危險이 있음을 보여주었다.

3. 記錄值 보완을 위하여 模擬發生된 資料를 使用함으로써 信賴性을 높였고, 다양한 確率에 대한 Storage-Yield 曲線으로 부터 放流量에 대한 必要貯水容量 혹은 貯水容量에 대한 安全放流量을 구할 수 있었다.

4. 殘差累加曲線技法과 低流量技法은 放流量이 月別 혹은 季節別로 심한 變動이 있을 때는 Yield slope가 需要의 月別 혹은 季節別 變動을 反映하고 있지 않기 때문에 適用이 制限됨을 알 수 있었다. 그러나, TPM 技法은 그 放流量을 月別 혹은 季節別로 變動시켰을 때에도 適用할 수 있음을 알 수 있었다. 따라서, 殘差累加曲線技法과 低流量技法은 貯水池의 豫備設計에 妥當하지만 TPM 技法은 貯水池의 最終設計에 가장 妥當한 方法임을 알 수 있었다.

### 參 考 文 獻

- 1) Rippl, W.; The Capacity of Storage Reservoirs for Water Supply. Proc. Inst. Civil Eng., 71, 1883.
- 2) Joy, C.S. and McMahon, T.A.; Reservoir Yield Estimation Procedure. Civ. Eng. Trans. I.E. Aust., Vol. CE14, No. 1, April, 1972, p. 28~36.
- 3) McMahon, T.A. and Codner, G.P. and Joy, C.S.; Reservoir Storage-Yield Estimates Based on Historical and Generated Stream Flow. Civ. Eng. Trans. I.E. Aust., Vol. CE14, No.2, October, 1972, p. 147~152.
- 4) McMahon, T.A. and Mein, R.G.; Reservoir Capacity and Yield. Developments in Water Science 9. Elsevier, Amsterdam, 1978.
- 5) 尹龍男; 給水用 貯水池 設計를 위한 低流下量의 統計學的 解析에 관한 研究. 土木學會誌, Vol. 20, No.1, 1972, p. 37~46.
- 6) 崔漢圭; 貯水容量의 推計學的 決定에 관한 研究, 高麗大學校 大學院 工博學位論文, 1981.
- 7) Lang, J.D., B.C.E.; The Determination of Storage Reservoir Capacity. Jour. I.E., Aust., 1950, 22 : 85~91.
- 8) 池洪基; 河川流量의 Simulation Model에 依한 貯水池 解析에 관한 研究. 安養工專論文集, 제 1 집, 1978.
- 9) Waitt, F.W.F.; Studies of Droughts in the Sydney Catchment Areas. Jour. I.E. Aust., Vol. 17, No.4 ~5, April~May, 1945, p.90~97.
- 10) Thomson, R.W.S.; Application of Statistical Methods in the Determination of the Yield of a Catchment from Runoff Data. Jour. I. Water E., Vol. 4, No. 5, Aug., 1950, p.394~428.
- 11) Stall, J.B.; Reservoir Mass Analysis by Low Flow Series. Proc. ASCE Jour. Sanitary Eng. Div. Vol. 88, No. SA 5, Sept. 1962, p. 21~40.
- 12) U.S. Corps of Eng.; Hydrologic Engineering Methods for Water Resources Development. Vol. 8, HEC, Davis, California, 1976.
- 13) Chow, V.T.; Handbook of Applied Hydrology. McGraw-Hill Book Co., New York, 1964.
- 14) 李舜鐸; 水文學. 普成文化社, 1979, p. 409.
- 15) Reardon, T.J., B.E., M.I.E. Aust.; Storage Yield and Probability from an Engineer's Viewpoint. Civ. Eng. Trans., Oct., 1970.
- 16) Mitchell, T.B.; Reservoir Yield Using TPM Method. ASCE, Vol. 103, No. HY2, Feb., 1977.
- 17) Kottegoda, N.T.; Stochastic Water Resources Technology. London, McMillan, 1980, p. 264~293.
- 18) 李載寬, 計量的方法. 博英社, 1982, p. 255~273.
- 19) 金基永, 郭魯均; 計量意思 決定論. 法文社, 1981, p. 562~596.
- 20) 韓國水資源開發公社, 漢江流域 合同 調查團; 漢江流域 調查 事業 1968年度 成果 報告書.
- 21) Matalas, N.; Mathematical Assessment of Synthetic Hydrology. W.R.R., Vol. 3, No. 4, 1967, p. 937~945.
- 22) 李舜鐸; 常流川 月流量의 推計學的 模擬의 發生 모델. 大韓土木學會誌, 제 23 권, 4 호, 1974.
- 23) Lee, Soontak; Stochastic Generation of Synthetic Streams. IAHS. IAHS Publication, No. 117, Proceeding of the Tokyo Symposium, Dec., 1975.
- 24) Thomas, H.A. and Fiering, M.B.; Mathematical Synthesis of Streamflow Sequences for the Analysis of River Basins Simulation. Chapter 12 in Design of Water Resource Systems, London, MacMillan, 1962, p. 459~493.