

댐 貯水池 流入量의 長期 및 短期 豫報

(Long-and Short-term Forecasting of Inflow into Dam ReServoirs)

金 再 韓*

1. 머릿말

오늘날 産業이 高度로 成長하고 人口가 增加함에 따라 물의 使用이 急增하고 있는 實情이다. 이를 위하여 多目的 댐이 河川 水系로 建設되고 있으며, 이 多目的 댐의 役割中 洪水調節은 人類에게 災亂을 막아준다는 存在性을 한층 더 느끼게 하는 것 같다. 이와 같이 물에 대한 管理는 利水 또는 治水이냐에 따라서 大別되어 질 수가 있을 것이며, 治水目的中 洪水豫警報는 絶對的인 要素임은 말할 것도 없다. 豫測問題로는 長期豫測과 短期豫測으로 나누어 진다.

댐과 같은 水工構造物의 適切한 運用을 위하여는 數個月 또는 一年과 같은 長時間 前의 貯水池로 流入되는 量의 正確한 豫測이 必要하게 된다. 長期豫測은 不規則한 入力에 대한 것으로, 長期間을 通하여 流量樣相의 나타나는 統計的 特性이 分析되어야 할 것이다 즉, 만약 長期間이 一年間이라고 한다면, 各月の 流量相互間에 어떠한 相關性이 存在하는가 하는 것이다. 이를 위하여 平野와 石川⁽¹⁾은 水文統計量의 解析에 正準因子分析法을 使用하여 河川流量變動을 解析하고 다시 因子에 의한 再構成을 着眼하므로써 河川流量의 長期豫測을 行하였다.

短期豫測으로는 系分析(System analysis)에 의하여 推定되어지는 것으로, 流域變換系를 線形(Linear) 또는 非線形(Nonlinear)으로 看做하여 入力를 降雨 또는 上流部의 流出로 하고, 出力을 懸空地點의 流出로 생각한 것이다.

이는 水理學의 要素를 加味한 簡單한 模型을 設定하므로써, 이 模型에 包含된 媒介變數가 決(確)定論的 혹은 確率論的으로 變化한다고 생각하고, 時時刻刻 入手하여진 情報로부터 그 時刻에 의한 媒介變數 最適推定值를 구하므로써, 이것을 使用하여 數時間앞의 流

出量 豫測을 行하게 된다.

短期豫測은 이 方法外에도 주로 댐管理用으로 使用되고 있는 雨量, 水位 테레메타 無線裝置(Rainfall-water level wireless telemetering equipment)와 無線式 放流 警豫裝置(Radio river water discharge alarming equipment)가 있다. 여기서는 주로 大댐 貯水池에 流入되는 量의 長短期豫測에 關하여 最近 研究發表되고 있는 理論들을 紹介하고, 現在 우리나라 既存 大댐의 豫警報를 알아보기로 한다.

2 流量의 長期豫測

河川流量은 流域의 特性因子와 더불어 氣象學的 要素와의 關係가 크다고 생각된다. 그러나 오늘날 河川 流量과의 關係를 주로 論하고 있는 것은 流量이나 雨量資料 그 自體로서 統計的 特性에 의하여 流量豫測을 行하고 있는 實情이다. 統計的 特性에 의한 流量豫測 理論을 紹介하면 다음과 같은 것을 들 수 있겠다.

2-1. 因子分析法에 의한 豫測

年間流入量 Pattern이 가지고 있는 몇개의 統計的 特徵이 流量 Contour map으로부터 推定되어진다. 따라서 이들은 流入量의 長期豫測問題를 생각할 때에 確實히 有力한 判斷基準이 되고 있다. 그렇지만 이들의 情報를 客觀的 量으로 바꾸어 놓는다는 것은 極히 어려운 問題이다. 다시 말해서, 統計的 特徵을 直接的으로 長期豫測問題와 結付시킨다는 것은 困難하다. 長期豫測問題를 생각할 때 必要不可缺한 것은 統計量가운데 複雜한 여러 特徵을 어떻게 해서든지 客觀的인 量의 情報로 끌어내야 한다는 것이다. 그러므로 보다 多元的 特徵을 取하는 目的으로 多變量解析의 한 分野인 因子分析法(正準因子分析法)을 適用하는 경우가 있다.

지금 P 次元 觀測 Vector \vec{x}_j 에 關한 基本構造式을 다음과 같이 假定한다.

* 本學會 代議員 · 忠南大學校 工業教育大學 土木教育工學科(工博)

$$\vec{x}_j = [A] \vec{f}_j + \vec{e}_j, \quad j=1, 2, \dots, P \quad (1)$$

즉,

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1q} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2q} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{p1} & a_{p2} & \dots & a_{pq} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_q \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_p \end{pmatrix} \dots (1)'$$

여기서 \vec{x}_j : p 次元 觀測 vector, \vec{f}_j : q 次元 因子評點 vector ($q \leq p$), \vec{e}_j : p 次元 特殊因子 vector, $[A]$: $p \times q$ 因子負荷行列 j : 觀測個體番號이다.

一般的으로 p 次元의 確率變量 \vec{x}_j 는 비교적 次數가 낮은 q 次元 共通因子 \vec{f}_j 로 부터 나타내어진다고 생각 된다.

因子分析法는 \vec{x}_j 의 觀測資料로 부터 適切한 因子負荷行列 $[A]$ 를 알아내어 \vec{f}_j 를 求하는 方法이다. 만약 一年間의 月流量을 하나의 vector라 생각한다면 $p=12$ 가 된다.

因子負荷行列 $[A]$ 가 주어지는 여러 情報로 부터 各因子가 가지는 全般的인 特徵이 把握되어지며, 이 因子들은 대개 다음과 같이 나누어질 수 있겠다: ① 基本因子, ② 春秋季因子, ③ 夏季因子, ④ 豪雨因子 ⑤ 各季節型 颶風因子 等이다.

2-2. 多元回歸分析(Multiple regression analysis) 法에 의한 豫測

대부분의 水文學的 現象들은 多元的 原因에 의하여 生成되고 있기때문에 季節的 流出豫報方程式들은 多元關係理論으로 부터 誘導되어질 수 있다.

만약 關聯要素들이 測定되어지기만 한다면 河川流量 豫報技法은 關聯要素들(獨立變數)을 季節流出(從屬變數)과 相關시키므로서 비교적 簡單하게 處理되어질 있으며, 이것에 의하여 流量을 豫報할 수 있다.

이와 같은 多元的인 解析에 의하여 Wilson, Kirdar⁽²⁾는 初期 數個의 獨立變數에 의하여 이들을 組合하므로서 第2의 變數를 만들었다. 이 變數들로부터 多元線形回歸分析에 의하여 季節別 流出豫報를 行한 바 있다.

3. 流量의 短期豫測 — 洪水流出豫湖— (Kalman filter 理論을 中心으로)

降雨—流出系와 같은 自然界는 Man-made system 과는 틀리고, 또한 系의 特性이나 入力の 性質이 一定하지가 않다. 즉, 降雨는 流域의 各地點에 대하여 均一한 強度를 가지지 않을 뿐만 아니라 時時刻刻 變化한다. 따라서 過去 水文資料들로부터 流域의 流出特

性을 決定하여 流出豫測을 한다는 것은 많은 誤差를 發生시킬 수가 있다. 그러므로 時時刻刻 受信하여지는 降雨·流量資料로 부터 流出을 豫測하여야만이 높은 信賴性을 얻을 수 있다고 하겠다.

이와 같은 觀點에서 最近 制御系(Control system) 工學을 流出豫測에 導入하여 그 適用方法을 論하고 있다. 이 가운데 近代制御理論에서 가장 注目視되고 있는 것이 1960년에 發表되어진 Kalman의 Filter 理論이다.⁽³⁾

Kalman filter 理論이 優秀하다고 보는 것은 다음과 같은 理由이다.

① 古典的 Wiener filter와는 틀리며, 確率過程의 定常性을 假定하고 있지 않다.

② 問題의 設定이 一般的이다. System을 觀測系를 通하여 測定하므로서, System의 모든 狀態가 觀測되어지지 않는 경우에도 適用이 可育하다.

③ Wiener filter와 같이 많은 過却資料가 必要없으며, 逐次計算에 의하여 最適解가 求하여질 수 있다. 特別 Online 計算에 威力을 發揮한다.

Kalman의 理論은 數學的으로 그 解를 求한다는 것은 상당히 어려우므로, 여기서는 생각하는 方法을 比喻的으로 說明해 본다.

座標軸의 數를 增加해 가면, 넓은 空間을 나타낼 수 있다. 즉, 一次元座標軸은 直線, 二次元은 平面, 三次元은 空間으로 나타내고 있다.

그림 1에서 k step의 모든 情報를 一次元的으로 表現하고 있다고 하자.

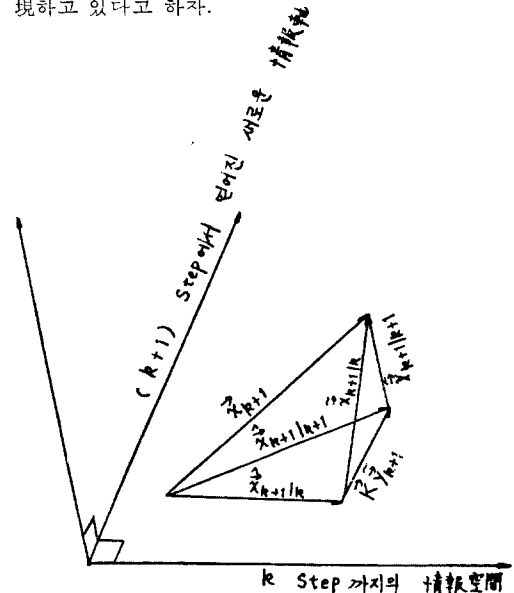


그림 1. Kalman理論의 視覺的 說明

새로운 情報가 얻어졌을 때에 지금까지의 情報에는 包含되어져 있지 않았던 部分이 發生되어 새로운 座標軸이 하나 더 加해지는 셈이 된다.

우리들이 觀測할 수 있는 것은 System의 狀態 \vec{x} 가 아니라, 어떤 觀測系를 通하여진 \vec{y} 이다. Step k 까지의 情報로부터 推定되어진 狀態 $\hat{\vec{x}}_{k+1|k}$ 는 Step k 까지의 情報가 이루는 空間內 혹은 情報軸에 있다. 다음 Step($k+1$)에서는 觀測量 \vec{y}_{k+1} 을 通하여 새롭게 獨立한 情報가 加해지기 때문에 座標軸은 한개 增加되어지므로서 空間의 次元도 增加한다. Step ($k+1$)의 바로 그 狀態 \vec{x}_{k+1} 과 Step k 까지의 時點에서의 推定值 $\hat{\vec{x}}_{k+1|k}$ 와의 誤差 $\vec{\tilde{x}}_{k+1|k}$ 에는 Step ($k+1$)에서의 情報가 얻어질 수 있다면, 推定可能한 것(즉, ($k+1$) 情報軸의 成分= $\hat{\vec{x}}_{k+1|k+1}-\hat{\vec{x}}_{k+1|k}$)과 그렇더라도 아직 推定될 수 없는 誤差로서 남아 있는 것($\vec{\tilde{x}}_{k+1|k+1}$)이 있다. 이것을 幾何學的으로 表現해 보면, Vector($\hat{\vec{x}}_{k+1|k+1}-\hat{\vec{x}}_{k+1|k}$)와 ($\vec{\tilde{x}}_{k+1|k+1}$)와는 直交하는 座標軸을 形成하게 된다. (그림 1 참조).

Kalman은 Step ($k+1$)에서의 새로운 情報 \vec{y}_{k+1} 에서 推定할 수 있는 成分은 Step ($k+1$)에서의 觀測量 \vec{y}_{k+1} 과 그 豫測值 $\hat{\vec{y}}_{k+1|k}$ 와의 誤差 $\vec{\tilde{y}}_{k+1} (= \vec{y}_{k+1} - \hat{\vec{y}}_{k+1|k})$ 로부터 얻어질 수 있다고 생각하고 이것을

$$\vec{\tilde{y}}_{k+1} = \vec{\tilde{x}}_{k+1|k+1} - \vec{\tilde{x}}_{k+1|k} \quad (2)$$

로 나타내어, 이 寫象 Matrix \vec{k} 을 理論的으로 誘導한다. 誘導方法에 關해서는 參考文獻 (3), (4) 및 (5)에 詳述되어 있다. 上記 內容을 한마디로 整理하면, “앞의 時點에서 豫想되어진 것과 지금 實際的인 것과의 사이에 差($\vec{\tilde{y}}_{k+1}$)가 發生되어진다면, 信賴할 수 있는 最新의 情報인 이 差에 適切한 加減을 取하여 다음 時點의 豫想을 한다는 것”이라고 할 수 있겠다. 이 加減方法이 Kalman gain \vec{k} 이다.

Kalman gain과 Kalman filter의 一般的인 理論은 最適制御系 理論에서 이미 잘 알려진 內容이다⁽⁶⁾.

以上の 內容은 日野⁽⁷⁾의 適應制御 理論에서 引用된 것으로 以下 “Kalman filter에 의한 狀態推定 및 Parameter 同定과 그 適用例”는 原文⁽⁷⁾에 詳述되어 있다.

4. 우리나라 既存 多目的 댐의 豫警報 System

現在 既存 多目的 댐(소양강, 안동, 대청)과 工事進行中인 댐(충주)의 洪水 豫警報 System에 대하여 알아 보면 다음과 같다.

上記 多目的 댐의 豫警報는 雨量·水位 테레메타 無線 裝置, 모니터(Monitor)를 使用한 統制 및 補助 裝置를 갖춘 System에 의하여 行하여지고 있다. 이 중 테레메타 裝置에 대한 說明은 參考文獻 (8)에 記述되어 있다.

이와 같은 System에 의하여 다음과 같이 豫警報가 이루어지고 있다.

VHF 無線體制에 의하여 送受信所로부터 統制所와 觀測所 사이의 傳達이 行하여진다. 또한 統制所로부터 觀測所의 呼出을 위하여 自動과 手動的 呼出體制가 갖추어져 있다. 모든 觀測所들은 特定時間內에서 自動呼出과 要求되어지는 時刻에서 手動呼出에 의하여 미리 決定되어진 壽命으로 呼出되어질 수 있다.

테레메타 體制에 의하여 統制所에 傳送되어진 觀測資料의 測定時間과 觀測所가 Logging typewriter에 의하여 記錄되어진다. 또한 이 資料들은 Digital indicator에 의하여 監督統制部에 同時에 알려진다.

5. 맺는 말

댐에서의 貯水池 流入量의 長期豫報를 위하여 流量에 영향을 미치는 各種 因子들을 正確하게 把握하여 分析되어져야 하나, 우리나라의 경우 아직도 未洽한 實情이다. 그러나 短期豫警報面에서는 從來水位法 洪水豫警報를 直線에 의한 未熟한 方法으로 부터 지금은 近代化된 테레메타 無線 裝置에 이르게 되었음은 우리나라 豫警報 System의 많은 發展을 뜻한다.

그러나 댐의 最適運用을 위하여는 貯水池 流入量에 영향을 미치는 各種 因子를 考慮한 長期的 豫報가 이루어져야 하겠다.

이를 위하여 實務 및 研究者들의 無斷한 勞力과 共同研究가 期待되어질 뿐만 아니라, 이들이 좋은 結果를 내놓을 수 있도록 關係機關의 積極的이고 果敢한 後援이 並行되어져야 할 것이라 생각된다. 이미 先進外國에서는 長期豫報에 對한 研究活動이 活潑하여 實用段階에 이르고 있는 面에 비추어 본다면 한층더 切實함을 느끼게 된다.

參 考 文 獻

1. 日野幹雄, 石川和秀, “河川流量의 長期および短期豫測について”, 土木學會論文報告集, 第236號, pp.59~70, 日本, 1975.
2. T.T. Wilson, Jr, and E. Kirdar, “Use of Run-off Forecasting in Reservoir Operations”, Journal of the Irrigation and Drainage Division, Proceedings of the ASCE, pp. 299~308,

- Sept., 1970.
3. R. E. Kalman, "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems", Trans. ASME, J. Basic Eng., Vol. 28, p. 35, 1960.
 4. A.M. Jazwinski, "Stochastic Processes and Filtering Theory", Academic Press, 1970
 5. 日野幹雄, "Kalmanの豫測推定理論の平易な誘導について", 東京工業大學土木工學科研究報告, No. 15, pp. 91~99, 1973.
 6. A. P. Sage, and C.C. White, III, "Optimum Systems Control", Prentice-Hall, Inc, 1977.
 7. 日野幹雄, "非線形流出解析および適應流出豫測" 1975年度(第11回) 水工學に關する夏期研修會講義集 A ユース, pp.A-8-20~A-8-25
 8. 金鏞翰, "재해대책과 예보체계" 물의 과학, 韓國水文協會, 第4卷 1號 pp. 71~75, 1971.