

側方 流入水를 考慮한 自然

河道의 Muskingum 洪水追跡

A Channel Flood Routing by Muskingum Method Incorporating Lateral Inflows.

康 仁 柱 ** 尹 龍 男 *

Kang, Inn Ju Yoon, Yong Nam

要 旨

側方流入水가 考慮되는 3變數 Muskingum河道追跡模型을 洛東江水系中 倭館에서 赤浦橋區間의 12個 洪水事象에 대하여 適用하였고, 既存方法인 2變數 Muskingum 方法의 貯留常數 K와 加重係數 x에 追加된 α 는 側方流入水를 考慮해주는 變數이다.

3變數模型의 追跡方程式은 有限差分 方程式으로 表現되며, 追跡常數 決定은 Matrix Inversion에 의하여 直接 計算可能하며, 이로부터 各洪水事象의 $K \times \alpha$ 값을 구할수 있다. 本 研究를 實流域에 適用하여 實測値와 比較하여본 結果 比較的 잘 맞음을 알 수 있었으며, K와 x값은 河道特性因子로서 洪水規模와 關係되고 側方流入因子 α 는 降特性에 의하여 支配되는 變數로 側方流入量이 클수록 값이 커지는 性向으로 나타났다.

1 序 論

河川改修 計劃樹立 및 水工構造物의 基準 水文量은 流出水文 曲線解析에 의하여 그 크기가 決定된다.

또한 側方流入量의 크기는 流出水文曲線 解析에 直接的으로 寄與하며, 이를 糾明하는것은 設計洪水量 算定에 매우 重要한 意味를 가진다. Muskingum河道 洪水追跡方法은 McCarthy가 提案한 以來 Chow, Wilson 등을 거치면서 線型模型이 完成되었고, Gill, Tung 등은 非線型模型을 提案하였으나 側方流入水를 考慮할 수 없는 短點이 있다.

本 研究에서는 支流 등으로 부터 側方流入水가 考慮되고 係數(C_1, C_2, C_3) 결정에 있어서 直接 計算이 可能한 O·Donnel의 발전된 Muskingum 河道 洪水追跡 方法을 實流域에 適用하여 實測値와 計算値를 比較하였다.

** 高麗大學校 工科大學 土木工學科 碩士過程, 農漁村振興公社

* 高麗大學校 工科大學 土木工學科 教授

2. 理論的 背景

2.1 Muskingum 方法의 發展過程

水文學的 洪水追跡을 위한 기존 模型의 基本方程式은

$$I - O = \frac{dS}{dt} \quad (1)$$

여기서 I는 流入量, O는 流出量이며

$$S = K [xI + (1-x) O] \quad (2)$$

K는 時間次元을 가지는 貯溜常數(storage constant)이고 x는加重係數(weighting factor)이며 S는 貯溜量(storage)이다.

式(2)는 線型模型이며 非線型模型은 아래 式으로 表現 된다.

$$S = K [xI + (1-x) O]^m \quad (3)$$

또한 時間間隔(time interval) Δt 를 考慮한 有限差分 方程式은

$$\begin{aligned} O_2 &= C_1 I_1 + C_2 I_2 + C_3 O_1 \\ O_3 &= C_1 I_2 + C_2 I_3 + C_3 O_2 \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \end{aligned} \quad (4)$$

$$O_{j+1} = C_1 I_j + C_2 I_{j+1} + C_3 O_j$$

$$\begin{aligned} &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \\ O_{n+1} &= C_1 I_n + C_2 I_{n+1} + C_3 O_n \end{aligned}$$

$$\sum_2^{n+1} O = C_1 \sum_1^n I + C_2 \sum_2^{n+1} I + C_3 \sum_1^n O \quad (5)$$

式(5)에서 側方流入水가 없다면 $C_1 + C_2 + C_3 = 1$ 이 되며 $\sum I = \sum O$ 가 된다.

그러나 洪水波가 進行하는 동안 側方流入水로 인하여 $\sum O$ 는 $\sum I$ 보다 커지며, 增加因子(gain factor)를 γ 이라 하면

$$\sum O = \gamma \sum I \quad (6)$$

γ 값은 洪水事象(flood event)에 따라 變하는 값이며 式(5)에서 마지막 $n+1$ 의 I와 O의 값을 무시하면

$$\sum O = C_1 \sum I + C_2 \sum I + C_3 \sum O$$

이므로 式(6)을 정리하면

$$\gamma = C_1 + C_2 + \gamma C_3 \quad (7)$$

式(7)에서 $\gamma = 1$ 이 아니면 $\sum C_i$ 는 1 이 될 수 없다.

따라서, 模型變數는 x, K, γ 의 3 變數가 되며 係數 C_i 는 2 變數模型과 區別하기 위하여 d_i 로 표기 한다.

2.2 側方流入模型(lateral inflow model)

自然河川에서 側方流入이 考慮되면式 (1),(2)의 連續方程式과 貯溜方程式은

$$I (1 + \alpha) = O + \frac{dS}{dt} \quad (8)$$

$$S = K [x(1+\alpha)I + (1-x)O] \quad (9)$$

有限差分方程式은

$$O_{j+1} = d_1 I_j + d_2 I_{j+1} + d_3 O_j \quad (10)$$

係數값은

$$d_1 = (1 + \alpha) \frac{\Delta t + 2 K x}{\Delta t + 2K(1-x)} = (1 + \alpha) C_1$$

$$d_2 = (1 + \alpha) \frac{\Delta t - 2 K x}{\Delta t + 2K(1-x)} = (1 + \alpha) C_2 \quad (11)$$

$$d_3 = \frac{-\Delta t + 2 K x}{\Delta t + 2K(1-x)} = C_3$$

또한,

$$K = \Delta t \frac{d_1 + d_2 d_3}{(1-d_3) (d_1+d_2)}$$

$$x = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{d_2 + d_1 d_3}{d_1 + d_2 d_3} \right] \quad (12)$$

$$\alpha = \frac{d_1 + d_2 + d_3 - 1}{1 - d_3}$$

만약 側方流入水가 없다고 假定하면 $\alpha = 0$ 이 되며 式(11)의 $\sum d_i = 1$ 이 되고 C_1 값이 되며 側方流出水(lateral outflow)가 있는 경우는 α 값이 (-)가 됨을 의미 한다.

2.3 係數 d_i 의 決定

係數 d_i 값 算出은 既往의 流入및 流出洪水 資料를 利用하여 Matrix 技法을 利用하면 式(4)는

$$| O_{j+1} | = | I_j \ I_{j+1} \ O_j | * | d_i | \quad (13)$$

n 列 3 行 ($n \times 3$)인 長方形列(rectangular matrix) $| I_j \ I_{j+1} \ O_j | = | P |$ 라 두고 轉置(transpose)시켜 兩邊에 곱하면

$$| P |^T | O_{j+1} | = | P |^T | P | * | d_i | \quad (14)$$

$| Q | = | P |^T | O_{j+1} |$, $| R | = | P |^T | P |$ 라 두면 $| R |$ 은 3×3 正方形列(square matrix)이 되며

$$|d_i| = |R|^{-1} * |Q| \quad (15)$$

따라서 式(15)에 의하여 係數 d_i 가 決定되며 式(14)는 轉置시켜 兩邊에 곱하므로 最小自乘效果(least square sense)를 얻을 수 있고 $\sum (\hat{O} - O)^2_{j+1}$ 의 값을 最小로 할 수 있다.

2.4 最適追跡期間과 最適變數 決定

追跡期間 (routing period) Δt 는 流入 및 流出水文曲線에 큰 影響을 미치므로 最適값 Δt 를 求하기 위하여 式 (10)을 變形시키면

$$O_j = d_1 I_{j-M} + d_2 I_j + d_3 O_{j-M} \quad (16)$$

여기서, M 은 Δt 의 變數 ($M=1,2,3,\dots,n$ hr)이며 $M \geq 1$ 이다.

$$O_{j-1} = d_1 I_{j-M-1} + d_2 I_{j-1} + d_3 O_{j-M-1}$$

$$O_j = d_1 I_{j-M} + d_2 I_j + d_3 O_{j-M} \quad (17)$$

$$O_{j+1} = d_1 I_{j-M+1} + d_2 I_{j+1} + d_3 O_{j-M+1}$$

式(16),(17)를 다시 정리하면

$$O_{j-M} = d_1 I_{j-2M} + d_2 I_{j-M} + d_3 O_{j-2M}$$

$$O_j = d_1 I_{j-M} + d_2 I_j + d_3 O_{j-M} \quad (18)$$

$$O_{j+M} = d_1 I_j + d_2 I_{j+M} + d_3 O_j$$

基本資料 時間間隔 (Basic Data Interval ; BDI)은 1 時間間隔으로 定하고 各 洪水事象의 I/O 資料 set를 利用하여 BDI $M=1,2,\dots,n$ 까지 變化시키면서 計算한 뒤 最適 M 을 決定하며, 이에 相應하는 最適變數(best parameter) d_i, x, K 를 決定한다.

이때 洪水追跡 結果에 대한 適合度檢定(goodness-of-fit test)은 RMS 偏差(root-mean-square deviation)와 R^2 값에 의하여 RMS값이 最小가 되고 R^2 값이 最大가 될때 最適값이 된다.

$$RMS = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (\hat{O} - O)_i^2}, \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (19)$$

$$VAR = \sigma^2 = (O_i - O_{mean})^2 / n \quad (20)$$

$$R^2 = 1 - \frac{(RMS)^2}{VAR} \quad (21)$$

여기서, \hat{O}_i 는 計算된 流出量(outflow)이고 O_i 와 O_{mean} 은 觀測된 流出量 및 平均값이며 또한 VAR은 算術平均값 周圍의 分散 (variance about their arithmetic mean) 이다.

위에서 紹介한 3 變數模型은 2 變數模型과 比較하여 3가지 利點이 있다. 즉, 첫째 어떤 條件에서나 側方流入水가 考慮되며, 둘째 係數 d_i 가 直接 計算되며, 셋째 BDI를 1時間으로 하여 M 을 變化시키면서 全體 資料를 利用하므로 資料의 損失이 없다.

3. 三變數 Muskingum 方法의 實 流域適用

3.1 使用 資料

本 研究에서 適用流域은 洛東江流域 중 倭館을 上流端으로 赤浦橋를 下流端으로 하였으며, 支流流入은 琴湖江, 會川, 黃江 등이 있고, 두地點間 距離는 약 72.2 km이고 流域面積은 5,375.2Km²이다. 또한, 적용될 洪水事象은 BDI(basic data interval)을 1 時間間隔 으로 하고 12 個 同日同時 事象을 採擇하였다.

3.2. 既存方法인 2 變數模型과의 比較

側方流入量이 比較적 적은 洪水事象3으로서 2 變數模型 中 Gill의 最小自乘法과 3 變數模型을 적용해 본 결과 表 3.1과 그림 3.1과 같이 나타났다.

이때 時間間隔(time interval) Δt 는 12 時間으로 하였고 RMS값으로 計算結果를 판단해보면 3 變數模型이 잘 fitting 되었음을 보여준다.

表 3.1 2 變數模型과 3 變數模型의 比較

| | 流出水文曲線 | | |
|----------------|--------|---------|--------|
| | 記錄值 | 適用值 | |
| | | 2變數 | 3變數 |
| Qp(cms) | 1528.0 | 1490.1 | 1382.5 |
| d ₁ | | 0.995 | 0.854 |
| d ₂ | | -0.077 | -0.050 |
| d ₃ | | 0.082 | 0.199 |
| K(hr) | | 14.088 | 15.720 |
| α | | - | 0.003 |
| RMS(cms) | | 106.059 | 98.491 |

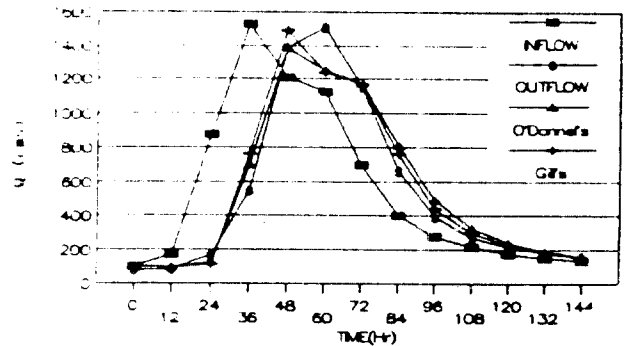


그림 3.1 2變數模型과 3變數模型의 比較

3.3 資料群의 分類와 最適時間間隔 (best M) 分析

12個 洪水事象의 資料群(data group)別 分類는 上流端인 倭館地點의 尖頭洪水量 크기順에 의하여 고대로 A, B群으로 나누어 模型評價(model evaluation)의 適合度檢定(goodness of fit)에 이용하였다.

最適分析 時間間隔(best analysis)은 BDI를 1 時間間隔으로 하여 式(18)의 M을 1부터 n까지 (n=1,2,3,...,n) fitting한 결과 RMS가 가장 작은 값이 最適 M이 되며, 이때 各 洪水事象에 대한 最適分析 時間 間隔 M과 RMS값을 表 3.2에 수록하였다.

洪水事象別 最適 M을 사용하여 式(15)에 의해 계산된 d_i로 式(12)에 의해 계산된 各 洪水事象에 대한 變數값과 R²값은 表3.3, 3.4와 같다.

한편, 表 3.5와 그림3.2를 보면 倭館地點에서의 水位標 零點標高 EL.18.991m를 감안하여 無堤部인 右岸標高 EL.24.555m 보다 큰 境遇인 最高洪水水位가 5.564m 以上이면 K값은 20 時間 以上이 되고 x값은 K값의 크기에 따라서 相對的으로 작아짐을 알 수 있다.

따라서, 表 3.5의 결과로 부터 K 와 x 값은 水位가 變化하는데 따른 河道特性에 의하여 變化하는 값임을 알 수 있다.

表 3.2 最適分析時間 間隔 M과 RMS

| 洪水事象 | 群 | 最適分析時間 M (hr) | RMS (cms) | 最適分析時間 間隔의 RMS (cms) | 備考 |
|------|---|------------------|--------------|-------------------------|----|
| 1 | A | 19 | 41.6 | 41.8 | |
| 2 | B | 25 | 60.7 | 61.3 | |
| 3 | A | 17 | 70.6 | 71.0 | |
| 4 | A | 17 | 137.5 | 138.1 | |
| 5 | B | 19 | 112.6 | 113.3 | |
| 6 | B | 14 | 62.2 | 62.3 | |
| 7 | B | 12 | 260.9 | 261.0 | |
| 8 | A | 13 | 74.0 | 75.7 | |
| 9 | A | 20 | 35.5 | 35.6 | |
| 10 | A | 24 | 301.6 | 302.3 | |
| 11 | B | 17 | 67.3 | 69.4 | |
| 12 | A | 15 | 115.6 | 116.9 | |

表 3.3 A 群 洪水事象에 대한 變數값과 R²값

| 洪水事象 | K(hr) | x | α | R ² | 備考 |
|------|---------|--------|----------|----------------|----|
| 1 | 21.7959 | 0.2594 | 0.4506 | 0.988 | |
| 3 | 14.7648 | 0.4460 | 0.1036 | 0.979 | |
| 4 | 12.1962 | 0.2858 | 0.3460 | 0.890 | |
| 8 | 26.0154 | 0.1101 | 0.3981 | 0.990 | |
| 9 | 16.0707 | 0.2637 | 0.5586 | 0.973 | |
| 10 | 30.1493 | 0.0401 | 0.8298 | 0.975 | |

表 3.4 B 群 洪水事象에 대한 變數값과 R²값

| 洪水事象 | K(hr) | x | α | R ² | 備考 |
|------|---------|--------|----------|----------------|----|
| 2 | 17.7500 | 0.4278 | 0.4518 | 0.979 | |
| 5 | 30.3806 | 0.1399 | 0.6798 | 0.986 | |
| 6 | 12.4958 | 0.4241 | 0.3730 | 0.969 | |
| 7 | 29.0149 | 0.0857 | 0.1645 | 0.986 | |
| 11 | 16.7018 | 0.2170 | 0.7313 | 0.977 | |
| 12 | 21.5302 | 0.2423 | 0.4145 | 0.972 | |

表 3.5 最高水位別 K, x 값

| 洪水事象 | 群 | 最高水位 (m) | | 變數 | | 備考 |
|------|---|----------|-------|-------|------|----|
| | | 倭館 | 赤浦橋 | K | x | |
| 1 | A | 3.64 | 4.00 | 21.80 | 0.26 | |
| 2 | B | 3.63 | 4.10 | 17.75 | 0.43 | |
| 3 | A | 4.73 | 4.43 | 14.76 | 0.45 | |
| 4 | A | 4.18 | 4.35 | 12.20 | 0.29 | |
| 5 | B | 6.85 | 8.28 | 30.38 | 0.14 | |
| 6 | B | 4.17 | 4.45 | 12.50 | 0.42 | |
| 7 | B | 9.30 | 10.75 | 29.01 | 0.09 | |
| 8 | A | 6.52 | 7.17 | 26.02 | 0.11 | |
| 9 | A | 3.36 | 3.80 | 16.07 | 0.26 | |
| 10 | A | 7.84 | 9.66 | 30.15 | 0.04 | |
| 11 | B | 4.20 | 4.73 | 16.70 | 0.22 | |
| 12 | B | 5.56 | 5.65 | 21.53 | 0.24 | |

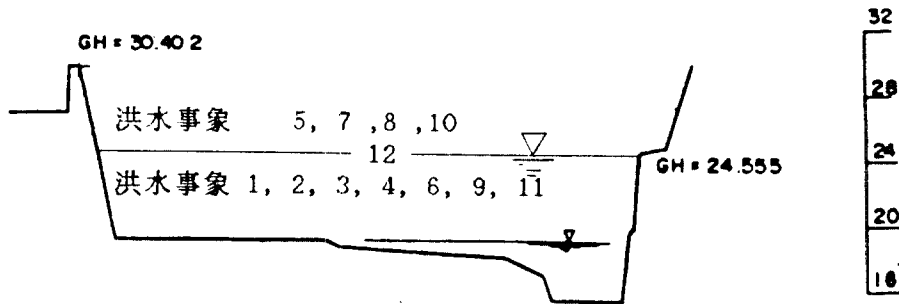


그림 3.2 倭館 水位標地點의 洪水位와 K, x값간의 關係

3.4 模型의 適用(model fitting)

A, B群의 平均 遲滯時間(lag time)은 A群이 18.3 時間이고 B群이 17 時間이며 平均 M값은 A 群이 18 時間, B 群이 17 時間으로 平均 遲滯時間과 거의 같게 나타났다.

또한, 模型의 檢定(model calibration)은 表 3.3과 表 3.4에 收錄된 各 資料群의 平均값으로 計算하였으며 表 3.6과 같다. 이때, 適合度檢定(goodness-of-fit)은 赤浦橋地點 流出水文曲線의 記錄値와 計算値에 대한 分散(variance) 즉, VAR과 RMS 偏差(root mean square deviation)에 의한 R^2 값(式 21)으로 하였다.

表 3.6 A, B 群의 平均값

| 群 | M(hr) | K(hr) | x | 平均 R^2 | 備 考 |
|---|-------|---------|--------|----------|-----|
| A | 18 | 20.1654 | 0.2342 | 0.9658 | |
| B | 17 | 21.3122 | 0.2561 | 0.9782 | |

3.5 模型의 評價 (model evaluation)

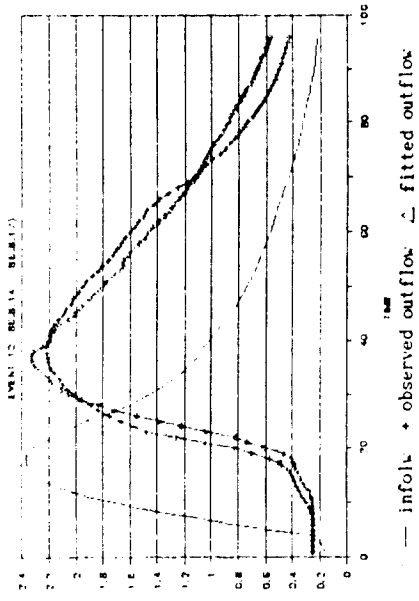
模型의 評價는 表 3.6에 收錄된 A群과 B群의 平均값 $[\bar{M}, \bar{K}, \bar{x}]$ 을 서로 교체하여 적용하였고, 模型檢定(model calibration)은 各 群의 平均값으로 하여 檢定하였다. 이때 側方流入因子 α 값은 各 洪水事象의 값으로 赤浦橋地點에 적용 계산해 본 결과 表 3.7, 表 3.8과 같다. 또한, 各 洪水事象에 대하여 各 資料群의 分割 檢定테스트한 값과 觀測 尖頭洪水量과 비교해 본 결과, B 資料群을 평가한 값에 絶對値를 취하여 平均한 값은 $513 \text{ m}^3/\text{sec}$ (12.23%) 및 2 時間 이며, A 資料群을 평가한 값에 絶對値를 취하여 平均한 값은 $555 \text{ m}^3/\text{sec}$ (14.95%) 및 2 時間 이므로 B 資料群 보다는 A 資料群을 사용하여 檢定값의 分割標本테스트 값이 약간 더 나은 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 그림 3.3, 3.4, 3.5, 3.6는 各 資料群 평가 결과에서 R^2 값이 가장 큰 境遇와 가장 작은 境遇에 대한 fitting 정도를 보여주고 있다.

表 3.7 A群 檢定값의 分割標本테스트
 ($K_A = 20.1645$, $x_A = 0.2342$, $M_A = 18$ 時間)

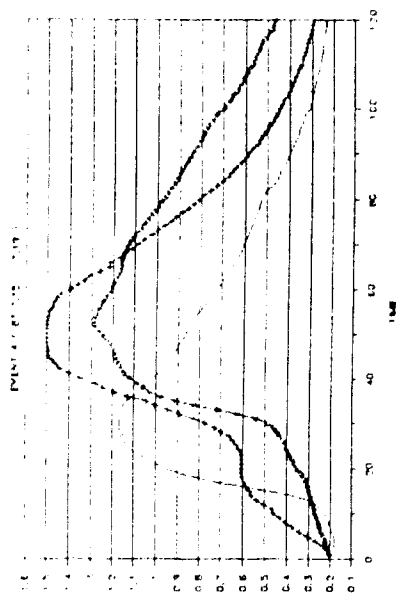
| 洪水 事象 | R ² | | 赤浦橋 尖頭誤差(K_A, x_A 使用) | | | 觀測尖頭 洪水量 (cms) |
|--------------------------------|----------------|---------------|--------------------------|--------|----|----------------------|
| | K_A, x_A 使用 | K_i, x_i 使用 | 誤差(cms) | 百分率(%) | 時間 | |
| (a) 檢定 (calibration) (A 群) | | | | | | |
| 1 | 0.988 | 0.988 | -58 | - 4.76 | -7 | 1218 |
| 3 | 0.889 | 0.979 | -220 | -14.28 | 1 | 1541 |
| 4 | 0.735 | 0.890 | -223 | -14.84 | 2 | 1503 |
| 8 | 0.876 | 0.990 | 523 | 15.53 | -3 | 3368 |
| 9 | 0.945 | 0.973 | -57 | - 5.45 | 0 | 1046 |
| 10 | 0.785 | 0.975 | 2217 | 35.89 | -4 | 6178 |
| 平均 | 0.870 | | | | | |
| (b) 評價 (evaluation) (B 群) | | | | | | |
| 2 | 0.947 | - | -194 | -14.79 | 0 | 1312 |
| 5 | 0.746 | - | 950 | 21.30 | -4 | 4460 |
| 6 | 0.789 | - | -148 | - 9.54 | 4 | 1551 |
| 7 | 0.797 | - | 1635 | 20.57 | -2 | 7948 |
| 11 | 0.940 | - | -22 | - 1.30 | 3 | 1691 |
| 12 | 0.957 | - | 130 | 5.85 | -1 | 2221 |
| 絕對值 의平均 | 0.863 | | 513 | 12.23 | 2 | |

表 3.8 B群 檢定값의 分割標本테스트
 ($K_B = 21.3122$, $x_B = 0.2561$, $M_B = 17$ 時間)

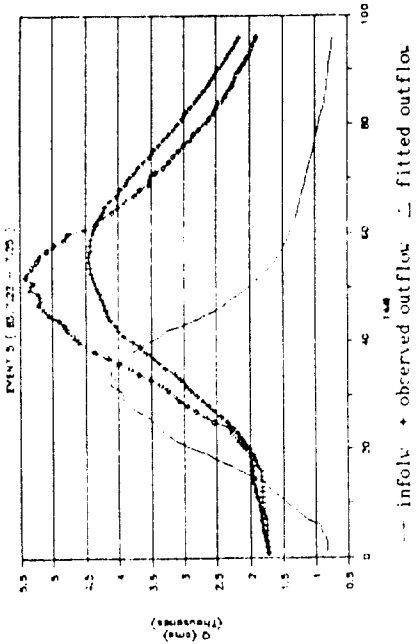
| 洪水 事象 | R ² | | 赤浦橋 尖頭誤差(K_B, x_B 使用) | | | 觀測尖頭 洪水量 (cms) |
|--------------------------------|----------------|---------------|--------------------------|--------|----|----------------------|
| | K_B, x_B 使用 | K_i, x_i 使用 | 誤差(cms) | 百分率(%) | 時間 | |
| (a) 評價 (evaluation) (A 群) | | | | | | |
| 1 | 0.988 | - | -51 | - 4.19 | 0 | 1218 |
| 3 | 0.880 | - | -233 | -15.12 | -1 | 1541 |
| 4 | 0.710 | - | -215 | -14.30 | 1 | 1503 |
| 8 | 0.872 | - | 446 | 13.24 | -4 | 3368 |
| 9 | 0.931 | - | -53 | - 5.07 | 0 | 1046 |
| 10 | 0.784 | - | 2332 | 37.75 | -3 | 6178 |
| 絕對值 의平均 | 0.861 | | 555 | 14.95 | 2 | |
| (b) 檢定 (calibration) (B 群) | | | | | | |
| 2 | 0.946 | 0.979 | -183 | -13.95 | 0 | 1312 |
| 5 | 0.756 | 0.986 | 1021 | 22.89 | -4 | 4460 |
| 6 | 0.768 | 0.969 | -166 | -10.70 | 4 | 1551 |
| 7 | 0.807 | 0.986 | 1727 | 21.73 | 2 | 7948 |
| 11 | 0.926 | 0.977 | -18 | - 1.06 | 3 | 1691 |
| 12 | 0.963 | 0.927 | 88 | 3.96 | -2 | 2221 |
| 平均 | 0.861 | | | | | |



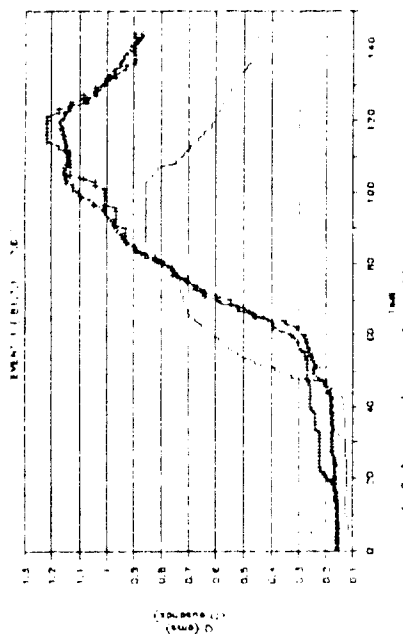
— inflo + observed outflow △ fitted outflow
 그림 3.4 洪水事象 12



— inflo + observed outflow △ fitted outflow
 그림 3.6 洪水事象 4



— inflo + observed outflow △ fitted outflow
 그림 3.3 洪水事象 5



— inflo + observed outflow △ fitted outflow
 그림 3.5 洪水事象 1

3.6 側方 流入量과 側方流入因子와의 關係

各 洪水事象에 대하여 貯流量을 殘流域面積 5375.2 Km² 으로 나누어서 구한 側方流入量(PL)과 側方流入因子 (α) 값은 표 3.9에 수록하였으며 α 값은 대체로 側方流入量이 클수록 커지는 性向을 보여 주고 있다.

表 3.9 流出容積, 側方流入量 및 α 값

| 洪水象 | 群 | 流 量 (1000 m ³) | | | 側方流入量 (PL) (mm) | α | 備 考 |
|-----|---|-----------------------------|-----------|----------|-------------------|----------|-----|
| | | 倭 館 | 赤浦橋 | 貯溜量 | | | |
| 1 | A | 273743.9 | 369597.6 | 95853.6 | 17.833 | 0.451 | |
| 2 | B | 236253.6 | 319453.3 | 83199.6 | 15.478 | 0.452 | |
| 3 | A | 275666.4 | 291542.4 | 15876.0 | 2.954 | 0.104 | |
| 4 | A | 263372.3 | 349394.5 | 86002.2 | 16.004 | 0.346 | |
| 5 | B | 716036.5 | 1178744.0 | 462707.5 | 86.082 | 0.680 | |
| 6 | B | 284896.8 | 388288.8 | 103392.0 | 19.235 | 0.373 | |
| 7 | B | 1840860.0 | 2036318.0 | 195458.4 | 36.363 | 0.165 | |
| 8 | A | 595404.3 | 823503.5 | 228099.2 | 42.435 | 0.398 | |
| 9 | A | 189734.4 | 294663.6 | 104929.2 | 19.521 | 0.559 | |
| 10 | A | 1265217.7 | 2051702.0 | 786485.1 | 146.317 | 0.830 | |
| 11 | B | 243111.6 | 404225.9 | 161114.3 | 29.974 | 0.731 | |
| 12 | B | 336088.8 | 441831.7 | 105742.9 | 19.672 | 0.415 | |

4. 結 論

本 研究에서는 3 變數 Muskingum 洪水追跡方法을 사용하여 洛東江의 倭館 水位標 地點을 上流端으로 하고 赤浦橋 水位標 地點을 下流端으로 하는 河道 區間에 대해 洪水追跡을 수행해 보았으며 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 河道區間으로의 流入 水文曲線과 側方流入이 고려되는 流出水文曲線의 時間別 流量資料 만을 사용하여 追跡常數 d_1, d_2, d_3 를 Matrix Inversion 에 의 해 直接 구할 수 있으며 이로부터 常數 K, x, α 값을 구할 수 있었다.

2. 最適分析 時間間隔 M 값을 사용하여 洪水追跡을 하더라도 追跡期間 동안의 全資料의 이용이 가능하므로 資料의 損失이 없었다.

3. 洪水波에 미치는 河道의 特性變數인 K 와 x 값은 洪水의 규모에 관계가 있는 것으로 나타났다. 즉, 洪水位가 높아져서 高水부지에 이르면 K 값은 커지나 x 값은 減少하는 것으로 나타났으며 洪水位가 낮아지면 반대되는 性向을 나타내었다.

4. 實際 河道區間에 대한 洪水資料를 사용하여 3 變數 Muskingum方法으로 洪水追跡하여 常數 K, x 및 M 의 代表值를 결정하였으며, 임의의 流入 水文曲線에 대한 河道區間 末端部의 流出 水文曲線을 側方流入水까지 고려하여 豫測할 수 있다.

5. 側方流入 因子 α 값을 규명하기 위해 殘流域으로 부터의 降雨와 聯關시켜 研究해 본 결과, 좋은 成果를 얻지 못하였으나 α 값은 대체로 側方流入量이 클수록 커지는 性向으로 나타났다. 즉, α 는 殘流域에 내리는 降雨量의 크기와 降雨의 時間的 및 空間的 分布特性에 의해 지배되는 因子일 것으로 판단된다.

7. 本 研究를 더욱 발전시켜 側方流入因子 α 의 推定이 가능하다면 電算網 등을 이용하여 各 雨量觀測所의 時間別 雨量값을 즉시 獲得하여 洪水크기의 實時間豫測(real time forecasting)으로 豫警報도 가능할 것이다.

参 考 文 献

1. Gill, M. A. "Flood routing by the Muskingum method.", Journal of Hydrology Vol.36, 1978 PP 353 -363
2. Goring, A. D. "Flood routing by a linear systems analysis technique.", Journal of Hydrology Vol.69, 1984 PP 59 - 76
3. O'Donnel. T "A direct three-parameter Muskingum procedure incorporating lateral inflow", Hydrological Science, Vol.30, No. 4, 1985 PP 479 - 496
4. O'Donnel. T., Pearson, C. P. and Woods, R. A. "Improved fitting for three parameter Muskingum procedure", ASCE, Vol.114, No 5, 1988 PP 516 - 528
5. Ponce, V. M. and Yevjevich, V. "Muskingum-Cunge method with variable parameters.", ASCE, Vol.104, No HY12, 1978 PP1663 - 1667
6. Ponce, V. M. "Simplified Muskingum routing equation.", ASCE, Vol.105, No HY1, 1979 PP 85 -91
7. Ponce, V. M. and Theurer, F. D. "Accuracy Criterion in diffusion routing.", ASCE, Vol.108, No HY6, 1982 PP 747 -757
8. Shaw, E.M. "Hydrology in practice.", Van Nostrand Reinhold CO. 1983 PP 407 - 423
9. Singh, V. P. and Scarlotos, P. D. "Analysis of nonlinear Muskingum flood routing.", ASCE, Vol.311, No HY1, 1987 PP 61-77
10. Stephenson, D. "Direct optimization of Muskingum routing coefficients.", Journal of Hydrology, No 41, 1979 PP 161 - 165
11. Strupczewski, W. and Kundzewicz, Z. "Translatory characteristics of the Muskingum method of flood routing.", Journal of Hydrology, No 48, 1980 PP 363 - 383
12. Strupczewski, W. and Kundzewicz, Z "Muskingum method revisited.", Journal of Hydrology, No 48, 1980 PP 363 - 369
13. Tung, Y. K. "Flood routing by nonlinear Muskingum method.", ASCE, Vol.111, No HY12, 1985 PP 1447 - 1460
14. Weinmann, P. E. and Laurenson, E.M. "Approximate flood routing method.", ASCE, Vol.105, No HY12, 1979 PP 1521 - 1536
15. 尹龍男, "工業水文學", 清文閣, 1986