研 究

自然河川의 洪水追跡과 貯溜量解釋

Flood routing and storage analysis in a streamflow

徐 承 德*
Seung Duk Su

目 次

Summary

flood routing is a process of calculating the flood hydrograph at a given point in a stream, given the corresponding flood hydrograph for some upstream point on the same stream.

Storage routing or analysis is a flood routing procedure based on consideration of the actual volumes of in flow to, out flow from, and storage in the reach being considered.

Flood routing in a river reach is very important for the designing spillway of reservoir and the incidental structures, flood mitigation, flood forecasting, and utilization of storage on agricultural and industrial fields.

Many routing methods derived by Muskingum, Puls, Steinberg, Horton, Snyder, Clork, Nash (England), Laurenson(Australia), and Kimura(Japan) are being used in many Countries.

As the Muskingum flood routing method of the named above is mainly being used for the river routing, the writer introduces the Muskingum flood routing method and its application by using the storage factor K, weighing factor x and Muskingum routing Coefficient C (C_0, C_1, and C_2)

The procedures of stream flow routing are based on the law of continuity expressed in the storage equation

$$\bar{I}=\bar{O}=\triangle S$$

in terms of differentials,

$$\frac{ds}{dt}=I-O$$

Rewriting the above equation in terms of the known and desired factors and assuming that

$$(I_1+I_2)/2=I \quad \text{and} \quad O_1+O_2/2=O,$$

$$\left(\frac{I_1+I_2}{2}\right)T-\left(\frac{O_1+O_2}{2}\right)T=S_2-S_1$$

this equation is the form of the storage equation on which most of the common solution are based.

The Muskingum method is an example of an analytical approach to routing by using the equation

$$S=k[xI+(1-x)O] \quad \text{and } fig\ 5$$

The factor x and k are determined for the reach under study, and then the routing coefficient $C(C_0, C_1, C_2)$ is determined by using the derived x and k too.

$$C_0=-\frac{kx-0.5T}{k-kx+0.5T}, \quad C_1=\frac{kx+0.5T}{k-kx+0.5T}$$

$$C_2=\frac{k-kx-0.5T}{k-kx+0.5T}$$

where routing period T, should be smaller than storage factor k.

Summarising the above determined results, the working formula for routing is derived as

$$O_2=C_0I_2+C_1I_1+C_2O_1$$
$$C_0+C_1+C_2=1$$

*筆者 土聯, 農業土木研究所

I. 序 言

地表流出의 一部는 純粹한 地表流出과 다른 部分은 地下에 滲入하여 地下水와의 合流 또는 伏流現象에 依하여 低地帶의 河川區間에 達하여서는 無降雨期間에도 湧出現象을 나타내어 低降雨時에도 高流出率의 結果를 나타내기도 한다. 降水에서 부터 河川의 流出까지는 fig 1 과 같은 하나의 水文循環過程을 밟게 되는것이다. 이러한 循環過程으로 부터 河川에 達하게되는 洪水流出의 追跡에 대해서 過去 水文學의 先覺者들은 많은 方法을 研究 發表하였다. 이들中 代表的인 方法으로서는 머스킹감, 펄스, 슈나이더, 홀톤, 스타인버그, 테이탐, 하아젠氏 등의 方法을 들 수 있고 이들 연구를 뒷받침 해가는 英國의 나쉬, 美國의 크라아크, 濠洲의 로렌손 및 日本의 기무라 諸氏의 研究를 들 수 있다.

洪水調節方法中 貯水池의 洪水調節方法으로서 가장 많이 쓰이는 펄스方法의 理論 및 計算에 對해서는 本 農業土木學會誌 六巻 第一號(1964. 5)의 23項에(土聯. 水資源開發部 金東萬 課長) 詳細히 紹介가 되어 있으므로 筆者는 貯水池 設計 및 洪水調節方法으로써 펄스方法(修正펄스법)이 가장 많이 使用되고 있는 反面에 自然河川의 洪水追跡과 그에 對한 貯溜量의 解釋 및 其他 流出量現象에 對해서는 머스킹감의 洪水追跡方法이 水文技術者에게 가장 많이 쓰이고 있다는 事實을 想起시키면서 本稿에서는 河川의 洪水追跡 및 貯溜量 解釋만을 數編의 文獻을 參考하여 解釋코저한다.

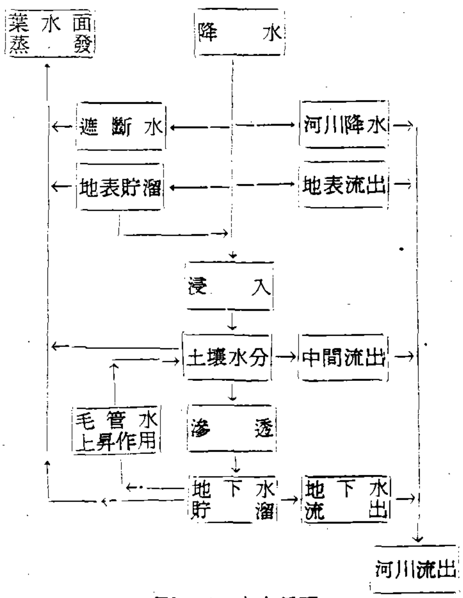
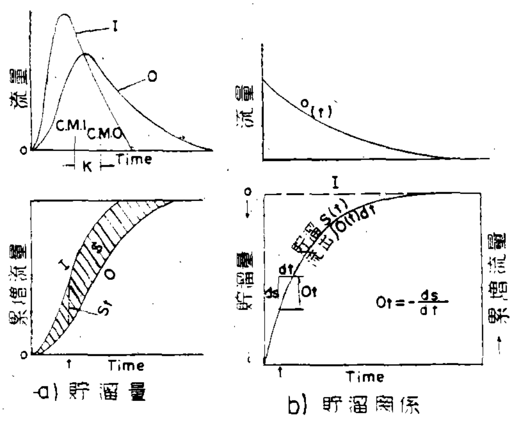


Fig 1. 水文循環

II. 河川의 洪水追跡

a. 追跡의 理論

河川의 洪水追跡이라함은 河川內에서 旣知의 上流部選點流量으로 부터 이에 相關되는 同一河川의 下流部地點의 洪水 流量을 計算하는 河川洪水量 계산過程을 말한다. 洪水調節은 降雨로 因하여 發生流入되는 流入量(inflow)의 時間的 增加와 이에 따라서 必然的으로 뒤따른 流出量(outflow)과 兩者間에 形成되는 貯溜量(storage) 即 一般的인 簡單한 式으로서는 貯溜量方程式으로 $\int I(t)dt-\int O(t)dt=S(t)$ 와 貯溜函數方程式으로는 $K=\frac{ds}{do}$ 와 같이 表示되며 *Fig* 2 와 같은 圖解釋을 볼 수 있다. 그리고 一般的인 應用方程式으로는 $I-O=\Delta S$, 即 $\left(\frac{I_1+I_2}{2}\right)T-\left(\frac{O_1+O_2}{2}\right)T=S_2-S_1$ 의 形態를 이루는 한 過程을 뜻할 수 있으며 이러한 三者間에 이루어지는 數式을 이끌어 貯水池에 있어서는 餘水吐 및 附帶水利構造物의 設計와 一般水文事業으로서는 洪水災害防止(flood mitigation) 洪水豫報 (flood forecasting), 洪水被害對策 樹立 및 可用水源의 研究等에 크게 利用할 수가 있는것이다.



I; Inflow
O; outflow
C.M.I., C.M.O.=流入 流出量의 무게重心
S; 貯溜量
K; 貯溜常數

Fig 2. 貯溜量 關係圖解

流量을 水位의 函數로 나타낼 수 있는 貯水池에서의 洪水追跡은 比較的 簡單히 행할 수 있지만 自然河川에서의 貯溜量은 單純히 流出量의 函數가 아니기때문에 洪水追跡은 大端히 복잡하다.

河川의 洪水追跡은 河川을 流達區間別로하여 進行하며 流達區間의 上下端에 位置해있는 水位觀測所와 地

形을 考慮해가면서 한편으로 洪水波에 影響을 줄만한 支流流出(中間流出, Intermediate out flow)이 있을때는 이를 合流點 區間의 下流部에 位置토록 區分하여야 하며 洪水波의 樣相은 洪水量이 流下함에 따라 그의 變化를 달리하기 때문에 洪水追跡의 精密度는 流達區間이 짧을 수록 精密하나 計算上의 雜業이 많으므로 알맞게 여러가지 洪水波의 影響, 流達區間의 地形的 現象및 支流流出의 영향등을 考慮하여 區間別 洪水追跡을 適切히 行할것이다.

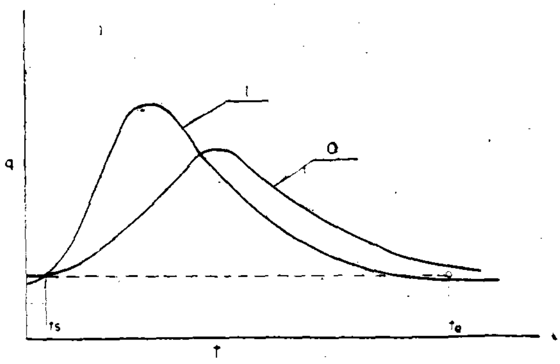
한편 洪水波가 通過할 때 各 時間의 背水曲線을 考慮하여 河床에 對하여 平行線의 아래에 있는 貯溜量을 台形貯溜(prism storage)라 부르며 이 線과 實際의 水面사이의 貯溜量을 쐐기貯溜(wedge storage)라고 부른다.

그리해서 水位가 上昇할 때는 큰流出量이 生起기 前에 多量의 쐐기貯溜가 있는것이며 水位下降期에는 流入量의 減少는 流出量의 減少보다 빠르고 따라서 쐐기貯溜는 負가된다.

그런고로 河川의 洪水追跡으로는 充分히 쐐기貯溜를 表示하는 關係式이 必要하며 이것은 流入量을 貯溜方程式의 變數로써 만드는것이 보통이다.

b. 流出入流量圖의 調整

一般的으로 同一河川의 두 選點에서의 流入量과 流出量의 樣相은 支流流出(又는 中間流出)의 影響이 그리크지 않고 急激한 水位狀態의 變化가 없다고 假定할 때에 다음 Fig 3에서 보는 바와 같이 流出入流量圖의 始點 ts 에서는 流出入量을 同一視하고 또 이點은 두流量圖의 終點 te 에서의 流入量과 流出量의 平均値와는 大略 같아야 된다는 것이다. 이러한 結論은 特히 後述할 머스킹감의 洪水追跡계수에 依한 河川洪水量追跡時에 顯著히 理論과 實際面에서 解釋이 되는 것이며 事實上 河川의 流達區間內에서는 必然的으로 支流流出이 있는것이 豫想됨으로 이상과 같은 理論은 結果的으로 流出量의 調整 다시 말해서 支流流出의 값을 調整해서 유출량에 附加計算하게되는 結果를 가져오는것이다.



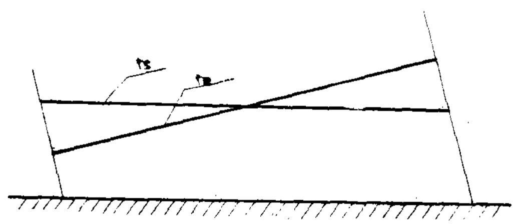


fig 3. 流出入流量의 調整圖

Ⅲ. 머스킹감의 洪水追跡法 解釋

a. 解釋의 一般

自然河川의 洪水追跡方法으로써 가장 널리 使用되는 方法이며 이는 G. T. Mc Carthy 가 美國의 머스킹감江의 流域開發計劃에서 그 첫起源을 보게된 것이다. Mc Carthy 는 河川의 한 區間에 對한 貯溜量을 다음과 같은 式으로 表示하였다.

$$S=\frac{b}{a}\{xI^{m/n}+(1-x)O^{m/n}\}$$

어느 河川區間에 對한 平均水位와 流量과의 關係를 $q=ag^n$ 라 표시하고, (g 는 평균수위) 그 區間에 對한 평균수위 貯溜量 關係를 $s=bg^m$ 로 表示하면 이를 整理해서 다음式을 얻을 수 있다.

卽 $s=b\left(\frac{g}{a}\right)^{m/n}$ 다시 變形하여 $s=Kq^{m/n}$ 로 쓸수 있으며 式中 q 는 그 河川區間에 對한 流量을 代表하는 數式이며 指數 m/n 은 meinzer 및 Linsley 氏는 하나의 理論的인 制限値로서 均一한 矩形水路에서는 0.6을 그리고 廣幅의 河川에서는 1보다 큰값을 취한다고 하나 머스킹감의 추적방법에서는 一般的으로 1을 使用하여 $s=K\cdot q$ 卽 $s=K[xI+(1-x)O]$로 쓰고 있으며 이상의 方程式에서 追跡에 必要한 계수 x. K 는 다음 節에서와 같은 解釋方法으로 求한다.

1) 係數 x(weighing factor)의 計算

x 는 하나의 洪水追跡上에 있어서 流域性質과도 關係가 있는 流出入의 比重을 表示하는 계수(weighing factor)로서 一名 漸尖계수(attenuation factor)라고도 하며 一般的으로 이 계수는 0~1.0까지 變化可能한 것이나 工學的인 應用面에서는 99.5% 程度까지는 이 값은 0.5보다 적은 값을 維持한다. 그리고 大概의 境遇 流入量의 影響이 없어 流出量 혼자만의 水文現象을 가지는 貯水池나 wedge storage(쐐기貯溜)가 없는 溜水池形의 貯溜量 追跡에서는 이 값을 無視하여 $x=0$을 使用한다.

한편 支流의 流入量으로 因하여 上流部 流水區間이

洪水波의 영향을 받을 境遇는 x 는 零보다 커가는 特殊現象도 發見할 수가 있고 流出入의 影響이 同等한 境遇 다시 말해서 漸尖(attenuation) 現象이 없고 순수한 同等變換(translation) 狀態만 있을 境遇 x 는 0.5의 값을 갖게되나 一般的으로 普通河川의 境遇에 있어서는 $x=0.0\sim0.3$ 또는 평균치로서 0.2를 使用하고 있다. 試算過程은 다음項 例解에서 說明한다.

2) 貯溜常數(Storage Constant) K 의 計算

K 는 貯溜常數로서 貯溜量과 流量의 比를 나타내며 單位로는

$L^3=[K]L^3T^{-1}$ 에서 $[K]=T$ 로서 時間을 나타 낸다. 實際的으로 볼때 K 는 大略的으로 所定의 河川區間을 通하여 흐르는 洪水波의 流下하는 時間과 같다고 말할 수 있으며 더욱 正確하게 말한다면 이는 流入總量의 重心(Center mass of Inflow)으로부터 流出總量의 重心(Center mass of Outflow)까지의 距離 即 時間을 말한다. (fig 4 참조)

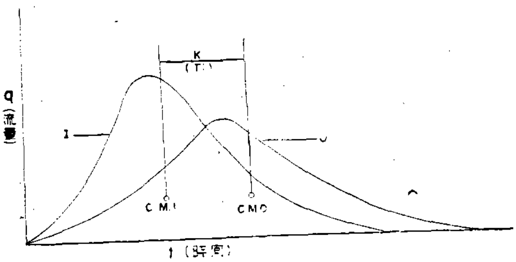


Fig 4. 貯溜常數 K의 圖識

이를 濠洲 뉴우 시우스 웨일스工大의 로렌손 박사는 다음과 같이 증명하고 있다.

먼저 連續方程式으로써

$$O=I-\frac{ds}{dt}$$

即 $O=I-\frac{d}{dt}\{K[xI+(1-x)0]\}$

그리고 流入總量의 重心에서부터 流出 總量의 重心까지의 距離를 fig 4에서 K 대신 T_1 이라 놓자.

그러면

$$T_1=\frac{\int_0^\infty o\cdot td^t}{\int_0^\infty odt}-\frac{\int_0^\infty I\cdot tdt}{\int_0^\infty Idt}$$

다시 上式의 0 값을 代入하고

$\int_0^\infty odt=\int_0^\infty Idt$ 라 놓으면

$$T_1=\frac{\int_0^\infty I\cdot tdt-\int_0^\infty t\,\frac{d}{dt}\{K[xI+(1-x)0\}dt-\int_0^\infty I\cdot tdt}{\int_0^\infty Idt}$$

$$=\frac{-K\int_0^\infty t\cdot\frac{d}{dt}[xI+(1-x)0]dt}{\int_0^\infty Idt}$$

上式을 部分別로 分子를 積分하면

$$T_1=\frac{K}{\int_0^\infty Idt}\left\{\int_0^\infty[xI+(1-x)0]dt-[t\{xI+(1-x)0\}]_0^\infty\right\}$$

그러면 괄호中 2項에 대해서는 그 값이 下限에서 零이되면 結局에 上限에서도 無限대의 零의 값으로 수렴함으로 結局에 2項은 零이되며 괄호中 前項에 대해서는 x 는 일정한 常數임으로 $\int_0^\infty Idt=\int_0^\infty Odt$ 그래서

$$\int_0^\infty[xI+(1-x)o]dt=\int_0^\infty Idt$$

$\therefore\ T_1=K$ 가 成立된다.

그리하여 過去의 洪水記錄이 없는 河川流域에서는 以上의 解釋과 같이 이 값을 洪水波의 流達時間과 같게 응용할 수가 있으며 過去의 洪水記錄值를 利用할수가 있다면 S 와 각 假定值 x 에 대한 $[xI+(1-x)O]$ 의 관계式을 fig 5와 같이 그려서 K 와 x 의 값을 決定할 수가 있다.

머스킹감方法에서는 이曲線을 貯溜常數 K 와 等價의 勾配 $\frac{ds}{dq}$ 를 가지는 直線으로 假定하여서 S 와 $[xI+(1-x)0]$ 의 좌표上에 가장 近似한 線形(linerity)을 形成하는 값에서 가장 알맞는 x 와 K 의 값이 決定되는 것이다.

(後述 例解參照)

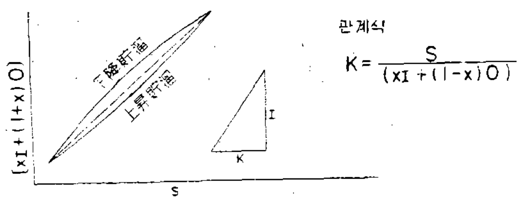


Fig 5 머스킹감 貯溜常數 K 試驗圖

그리고 追跡의 應用方程式 (operating-equation)은 다음과 같이 解釋을 얻었다.

$S=K[xI+(1-x)O]$ ………貯溜方程式

다시 함수 式으로 표시해서

$S=f(I\cdot O)$ 로 表示하여 $S-q$ 의 하나의 線形關係를 가질 수가 있다.

그러면 前述한바 있는

$\left(\frac{I_1+I_2}{2}\right)T-\left(\frac{O_1+O_2}{2}\right)T=S_2-S_1$ 의 式에 앞의 貯溜方程式을 代入하면

$$\left(\frac{I_1+I_2}{2}\right)T-\left(\frac{O_1+O_2}{2}\right)T$$

$$=K[xI_2+(1-x)O_2]-K[xI_1+(1-x)O_1]$$

이를 다시 정리하면

$O_2(-0.5T-K+Kx)=I_2(Kx-0.5T)$
$+I_1(-Kx-0.5T)+O_1(-K+Kx+0.5T)$

또는 $O_2=C_0\cdot I_2+C_1\cdot I_1+C_2\cdot O_1$

即 洪水追跡의 應用方程式과

$$C_0=\frac{-Kx-0.5T}{K-Kx+0.5T},\quad C_1=\frac{Kx+0.5T}{K-Kx+0.5T}$$

$$C_2=\frac{K-Kx-0.5T}{K-Kx+0.5T}$$

이상과 같은 Muskingum의 洪水追跡계수가 誘導되는 것이다. 式中 O_1은 追跡量 O_2에 대한 先行流出量의 값이고 I_1은 추적하려는 I_2에 대한 先行流入量으로 이렇게하면 O_2와 I_2는 다음追跡期間에 대한 先行値 O_1, I_1이 連續的으로 되어 가면서 洪水量이 追跡되는 것이다. 그러니까 洪水追跡計算은 단순히 operating equation $O_2=C_0I_2+C_1I_1+C_2O_1$의 式을 풀어가는 것이며 T는 追跡期間으로서 K와 같은 時間의 單位를 가지며 T의 길이는 美國의 水文學者 Clark 氏에 依해서 $T<K$의 조건이 提示되었으며 Muskingum 法에서도 마찬가지로 上式의 조건에서 T는 유입량의 上昇時間의 $1/4 \sim 1/8$로 한다. 그리고 C_0 C_1 C_2의 總和는 반드시 1이되어야 하며 추적의 始點에서는 $I_1=O_1$의 조건으로 추적을 하여야한다. (後述例解參照)

b. 類似한 追跡解法의 紹介

日本의 木村氏는 洪水追跡方法에 있어서 追跡上의 重要한 假定은 河川區間이 一定한 物理的性質을 가짐으로써 流出入의 追跡期間에는 그의 現象이 線形條件을 이루어야 한다는 것으로서 貯溜量과 流出量間의 關係를 代表하는 貯溜函數를 가지는 連續方程式을 使用한다. 氏는 또한 定流(Steady flow)와 不定流(unsteady flow) 即 洪水流量의 狀態에 대해서 각각 式을 유도하였다.

Steady flow에 대하여

$\varphi_s=ds/do=KPQ^{p-1}=PT,$

φ, 貯溜函數(s는 Steady flow의 표시)

S, 貯溜量, O, 유출량, Q, 流量으로써 Steady flow 때는 Out flow와 同一, T, 유달시간, P, K는 常數이다.

Unsteady flow에 對하여

$\varphi=K\overline{PQ}^{p-1}=\varphi_s-T^*$

$\overline{Q}$, 區間의 평균유량,

T^*, lig time

Steady flow에서는 貯溜函數는 各己 獨立函數로써 φ는 K와 T에 同一하다.

한편 英國의 Nash는 一般的인 洪水追跡의 水文學的인 方程式

$\int I(t)dt-\int O(t)dt=S(t)$의 貯溜方程式과 $\varphi=ds/do=K$, 다시 $S=K\cdot O$의 式에서 氏는 In flow를 out flow에 대해서 하나의 直線形으로 使用한다고 假定하여 $S=K\cdot O$를 t에 대해서 微分한다.

$$\frac{ds}{dt}=K\frac{do}{dt}$$

이 ds/dt의 값을 貯溜方程式에 代入하면

$$I-O=\frac{ds}{dt}=K\frac{do}{dt}$$

여기서 $I=K\frac{do}{dt}+O=(KD+1)O$

式中 $D=\frac{d}{dt}$, 微分導式 그리고 괄호안의 式은 線形導式으로써 流出量 O는 流入量 I에 대하여 다음과 같은 관계가 있다. $O(\ )=\frac{1}{KD+1}I(\ )$

그리고 解釋法으로서 $O=\frac{1}{K}e^{-t/k}\int_e^{t/k}1dt$ 式을 갖는다. 그리고 以上의 Nash 解法은 Muskingum 法과는 달리 $T>K$의 條件에서도 관계없이 成立됨이 解釋되었다.

이밖에도 이와 類似한 方法으로 Tatum, Parzen, Farrell 氏등의 方法이 있지만 本稿에서는 省略한다.

Ⅴ. 머스킹감법에 의한 例解

a. 問題의 槪述

다음에 解釋하려는 問題는 筆者가 濠洲中 當地 工大 水文學敎室의 硏究生으로 在職時 洪水追跡에 대한 硏究課題를 받고 Muskingum 法에 依해서 解釋했던것이며 不得已 內國의 河川洪水量記錄値가 아님을 이 紙面에 사과하는 바이다.

다음 表1은 1926年 3.24日-27日의 4日間에 亘하여 濠洲 뉴우 사우스 웨일스州의 東端 마콰리江의 上流部 5,360 mile² 의 流域으로부터 降雨에 依하여 集水되어 바른동이라는 地點에 流入된 洪水流入量과 그로부터 35km 下流河川地點 웨링톤에서 觀測한 流出量이다. 이 바른동지점에는 현재 댐을 工事完了하여 大貯水源을 이루고 있으며 웨링톤은 重要한 地方都市로서 바른동에서의 洪水流出이 자못 그 被害 또는 영향을 크게 미칠만한 곳이기도하여 洪水追跡과 貯溜量의 解釋은 퍽 重要한 關心事이다. 이제 洪水追跡의 解釋으로써 실제 흐른 두地點의 流出入 流量圖의 解釋을 뒷받침하고 이로부터 이 地域에 알맞는 Muskingum 追跡계수 C와 貯溜계수 K와 weighing factor x의 값을 定하여 洪水追跡과 貯溜量解釋에 크게 이용하려는 것이다. 그리고 追跡過程으로써 洪水追跡時間은 4時間

으로하고, 區間의 中間流出(支流流出)은 모두 이 河川 區間의 末端部에서 集中되는것으로 假定하여 計算하였다.

表-1 마콰리강 上下流 두地點의 유량도($c.f.s$)

(1926. 3. 24—27)

日 字		時 間	바 른 동	웨 링 톤
3.	24	09	4,000	1,000
		13	7,000	2,000
		17	21,000	4,600
		21	60,000	17,500
3.	25	01	135,500	42,000
		05	199,000	78,000
		09	152,000	109,000
		13	108,000	135,000
		17	80,200	133,500
		21	62,000	116,000
3.	26	01	48,000	84,500
		05	37,500	65,000
		09	29,300	50,000
		13	22,500	40,500
		17	17,800	30,000
		21	14,700	21,500
3.	27	01	12,100	16,700
		05	10,100	13,200
		09	8,500	10,700
		13	7,300	9,200
		17	6,700	8,000
		21	6,300	7,000

b. 貯溜量計算 및 流量圖의 修正

Muskingum의 洪水追跡계수 C 및 貯溜계수 K, x를 求하기 前에 먼저 實測値에 依한 流量圖를, 이河川 區間의 中間部에서 中間流出이 發生하여 下流部 웨링톤 地點에서 合流할것을 考慮하여 Ⅱ項 6節의 流量圖의 調整槪念으로 修正하여 表2의 (5), (6) 欄을 얻었다.

修正方法으로서는 流出入 流量圖의 마지막시간 27日 21時의 流出入 流量圖 6,300 $c.f.s$와 7,000 $c.f.s$의 평균치 6,650 $c.f.s$의 좌표상點에서 부터 流出入流量의 始作點까지 直線을 그으면 24일의 17.00時에서 流出量 上昇點과 만나게됨으로 貯溜量은 이점에서 부터 累加하기 始作하나이 평행선은 大略 流入量의 13.00時點까지 연결됨으로 09.00시의 流出入은 無視하고 13.00時의 유출입량 부터 分析에 넣는다. 이상의 解釋으로 부터 (2)欄의 總和에서 5,500 $c.f.s$을 뺀값 1,039,000 $c.f.s.$와 (4)欄의 總和에서 1,500 $c.f.s.$를 뺀 990,350 $c.f.s.$사이에는 48,650 $c.f.s.$의 값이 差異가 있는데 이 값은 990,350 $c.f.s.$의 約 5%에 該當되는 값이 (2)欄의 總和에서 不足됨으로 (3),(4)欄의 各 時間 增加量에다 그 增加量의 5% 만큼씩을 보태여 修正해가면 (5)欄의 Oa와 (6)欄의 $\bar{O}_1$의 修正값이 計算되어 (6)欄의 總和는 (2)欄 $\bar{I}$의 總和와 같게되어 流出量의 수정은 끝난다.

다음 貯溜量은 (2)~(6) 으로써 該當時間에 對한 貯溜量 7欄이 나오며 이를 누적해가면 貯溜曲線이 이루어진다(8欄). 그리고 다시 이 (8)欄을 에카휘트로 換算하면 (9)欄을 얻을 수 있다.

表-2 流出量 수정 및 貯溜量計算

日別	時間	I (1)	$\bar{I}$ (2)	O (3)	$\bar{O}$ (4)	Oa (5)	$\bar{O}_1$ (6)	$\frac{\Delta s}{t}$ (7)	$\frac{s}{t}$ (8)	에카휘트 (9)
24日	09	4,000		1,000						
			5,500		1,500					
	13	7,000		2,000		2,100			0.0	
			14,000		3,300		3,400	10,600		
	17	21,000		4,600		4,900			10,600	3,540
			40,500		11,050		11,600	28,600		
	21	60,000		17,500		18,400			39,500	13,200
			97,800		29,750		31,200	66,600		
25	01	135,500		42,000		44,100			106,100	35,400
			167,300		60,000		63,000	104,300		
	05	199,000		78,000		82,000			210,400	70,000
			175,500		93,500		98,000	77,500		
	09	152,000		109,000		114,700			287,900	96,000
			130,000		122,000		128,000	2,000		
	13	108,000		135,000		142,200			289,900	97,000
			94,100		135,250		142,000	− 47,900		
	17	80,200		133,500		140,300			242,000	81,000
			71,100		124,750		130,900	− 59,800		
	21	62,000		116,000		122,000			182,000	60,800
			55,000		100,200		105,300	− 50,300		
26	01	48,000		84,500		88,900			131,900	44,000
			42,750		74,750		78,400	− 35,650		
	05	37,500		65,000		68,400			96,250	32,000
			33,400		57,500		60,300	− 26,900		
	09	29,300		50,000		52,800			69,350	23,000
			25,900		45,250		47,500	− 21,600		

	13	22,500		40,500		42,600			47,750	15,900
			20,200		35,250		37,000	— 16,800		
	17	17,800		30,000		31,500			30,950	10,300
			16,250		25,750		27,000	— 10,750		
	21	14,700		21,500		22,600			20,200	6,750
			13,400		19,100		20,000	— 6,600		
27	01	12,100		16,700		17,500			13,600	4,530
			11,100		14,950		15,700	— 4,600		
	05	10,100		13,200		13,800			9,000	3,000
			9,300		11,950		12,500	— 3,200		
	09	8,500		10,700		11,200			5,800	1,930
			7,900		9,950		10,400	— 2,500		
	13	7,300		9,200		9,700			3,300	1,100
			7,000		8,600		9,000	— 2,000		
	17	6,700		8,000		8,400			1,300	430
			6,500		7,500		7,800	— 1,300		
	21	6,300		7,000		7,400			0	0
合計		1,049,500 (1,045,500)	1,044,500 (1,039,000)	994,900 (994,900)	991,850 (990,350)	(1,045,500)	(1,039,000)			

저류량 에카휘트 계산÷$\frac{1}{3}\times(8)$난

$\because$ $1\,c.f.s = 1.983\,ac.\,ft/24hrs.$

$1\,c.f.s = \frac{1.983}{24} = \frac{1}{12}$, 시간간격이 4시간임으로 $\frac{4}{12}\times cfs = ac.\,ft$

c. 追跡에 必要한 諸係數의 算定

1) x 및 K 값의 計算

Muskingum 法에 依해서 洪水를 追跡할 때 가장 重要한 追跡계수 C값을 求하는데 必要한 weighing factor x와 貯溜常數 K에 대한 說明은 旣히 前項에서 詳論한바 있어 本項에서는 說明을 略한다. 다만 x는 工學的인 分野에서는 0.5以下의 값으로 應用되고 K는 流入量의 무게 重心에서부터 유출량의 무게 重心까지의 時間과 같다고 證明한바가 있다. 본문제의 追跡解釋에서는 이地方의 流域特性을 考慮하여 대개 0.3 前後에 있다고 經驗解釋이 있어 다음과 같이 $x=0.25$, 0.27, 0.30의 3개값으로

$$K=\frac{S}{[xI+(1-x)O]}$$ 의 式을 利用試算하여 다음 Fig 6에서 x와 K를 결정한다. (表3 및 Fig 5. 6 참조)

表-3 $S=K[xI+(1-x)O]$의 試算表

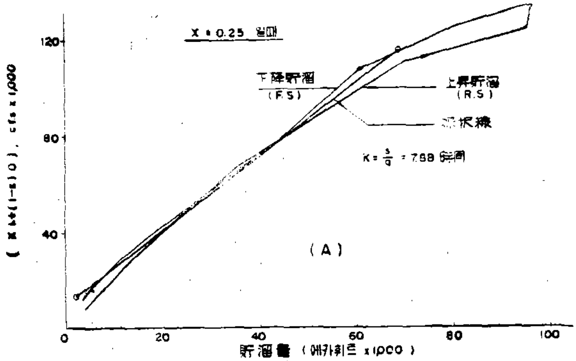
$x=0.27$로 가정하였을때

I (1)	O (2)	x (3)	xI (4)	1—x (5)	(5)×(2) (6)	(6)+(4) (7)	貯溜量(에카휘트) (8)
21,000	4,900	0.27	5,670	0.73	3,588	9,258	3,540
60,000	18,400	〃	16,200	〃	13,432	29,632	13,200
135,500	44,100	〃	35,585	〃	32,193	68,778	35,400
199,000	82,000	〃	53,730	〃	59,860	113,590	70,000
152,000	114,700	〃	41,040	〃	83,731	124,771	96,000
108,000	142,200	〃	29,160	〃	103,806	132,966	97,000
80,200	140,300	〃	21,654	〃	102,419	124,073	81,000
62,000	122,000	〃	16,740	〃	89,060	105,800	60,800
48,000	88,900	〃	12,960	〃	64,897	77,857	44,000
37,500	68,400	〃	10,125	〃	49,932	60,057	32,000
29,300	52,800	〃	7,911	〃	38,544	46,455	23,000
22,500	42,600	〃	6,075	〃	31,098	37,173	15,900
17,800	31,500	〃	4,806	〃	22,995	27,801	10,300
14,700	22,600	〃	3,969	〃	16,498	20,467	6,750
12,100	17,500	〃	2,367	〃	12,775	16,042	4,530
10,100	13,800	〃	2,727	〃	10,074	12,801	3,000
8,500	11,200	〃	2,295	〃	8,176	10,471	1,930
7,300	9,700	〃	1,971	〃	7,081	9,052	1,100
6,700	8,400	〃	1,809	〃	6,132	7,941	430

以上의 表는 $x=0.27$일 境遇의 計算表이며 이外 $x=0.25$, $x=0.30$의 경우에 대해서는 表3中 (3)欄과 (5)欄을 0.25, 0.75, 0.3, 0.70으로 각각 代置하여 同樣으로 試算하였다.

結局에 表3中 (7)欄과 (8)欄을 圖表化하여 x와 K값을 決定하게되며 本稿에서 試算한 3개의 값 $x=0.25$, 0.27, 0.30 中에서 0.27로 가정했을 경우가 가장 線形을 이루어 이문제의 追跡에 대해서는 $x=0.27$로써 定

하여 常數 및 計數를 결정한다. 계산된 貯溜常數 K 값은 $x=0.25$ 일 경우 7.88時間, $x=0.27$ 일 경우 7.65時間, $x=0.30$ 일 때 7.58時間으로 각각 계산되었다. (Fig 6 참조)



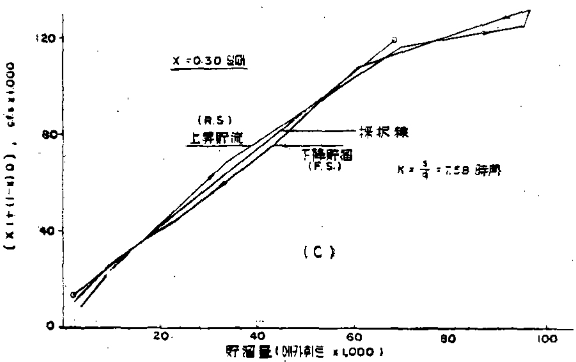


Fig 6. 머스킹감의 貯溜常數 決定圖

2) 追跡係數 C 의 算定

Muskingum 洪水追跡의 應用方程式

$O_2=C_0I_2+C_1I_1+C_2O_1$ 에 代入응용시킬 洪水追跡계수는 前述한 바도 있지만 $C_0+C_1+C_2=1.0$ 이라는 조건을 滿足시키면서 다음식에서 얻는다.

$$C_0=\frac{-Kx-0.5T}{K-Kx+0.5T},\quad C_1=\frac{Kx+0.5T}{K-Kx+0.5T},$$

$$C_2=\frac{K-Kx-0.5T}{K-Kx+0.5T}$$

에서 $x=0.27$ 일 경우 $K=7.65\,hrs$

$T=4.0\,hrs \quad \therefore\ 0.5T=2.0$

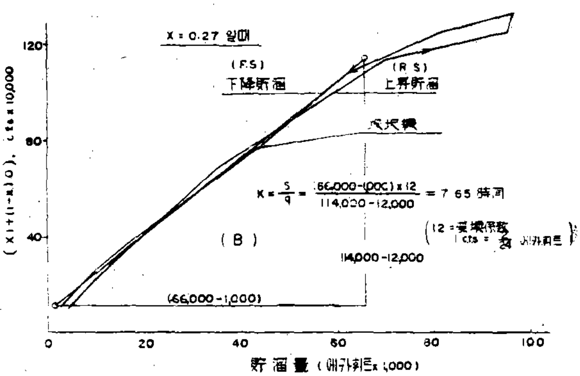
即 上式 "C"方程式에 代入하여

$C_0=-0.008,\ C_1=0.536,\ C_2=0.472$

를 각각 계산하여 $-0.008+0.536+0.472=1.0$ 을 얻었다.

d. 洪水의 追跡

以上의 C 項 2)節에서 算出한 C 값을 가지고 Muskingum 의 追跡應用方程式 $O_2=C_0I_2+C_1I_1+C_2O_1$ 을 應用하여 本流域 流入量에 따라 必然的으로 追跡되어야할 流出量을 計算한 結果 다음 表4와 같으며 이는 $x=0.27$ 일 境遇만의 것이며 $x=0.25$, $x=0.30$ 에 대한 計算式은 省略한다. 그리고 追跡時에는 반드시 처



음 項만은 流入量과 流出量을 同一視하여 始作해야함을 留意해야한다.

한편 流入量對 流出量의 實測에 依한 追跡, 유출량을 수정하여 追跡한 結果와 $x=0.27$, 0.25, 0.30 으로 계산하여 誘導된 유출량의 比較圖는 Fig 7 과 같고 $x=0.27$ 일 경우의 流出入 流量圖와 이의 作用時間에 追跡되는 貯溜量關係圖는 Fig 8 과 같다.

表-4 流 出 追 跡 計 算 表

日	時	I (c.f.s.) (1)	C_0I_2 (2)	C_1I_1 (3)	C_2O_1 (4)	O (c.f.s.) (5) (2)+(3)+(4)	備考
3 24日	13	7,000	—	—	—	7,000	$C_0=-0.008$
	17	21,000	− 168	3,752	3,304	6,888	$C_1=0.536$
	21	60,000	− 480	11,256	3,251	14,027	$C_2=0.472$
25	01	135,500	− 1,084	32,160	6,621	37,697	
	05	199,000	− 1,592	72,628	17,793	88,829	
	09	152,000	− 1,216	106,664	41,927	147,375	
	13	108,000	− 864	81,472	69,561	150,169	
	17	80,200	− 642	57,888	70,880	128,126	
	21	62,000	− 496	42,987	60,476	102,967	
26	01	48,000	− 384	33,232	48,600	81,448	
	05	37,500	− 300	25,728	38,443	63,871	

	09	29,300	—	234	20,100	30,147	50,013
	13	22,500	—	180	15,705	23,606	39,131
	17	17,800	—	142	12,060	18,470	30,530
	21	14,700	—	118	9,541	14,410	23,833
27	01	12,100	—	97	7,879	11,249	19,031
	05	10,100	—	81	6,486	8,983	15,469
	09	8,500	—	68	5,414	7,301	12,647
	13	7,300	—	58	4,556	5,969	10,467
	17	6,700	—	54	3,913	4,940	8,799
	21	6,300	—	50	3,591	4,153	7,694

Fig 6. *B*圖에서 보는 $x=0.27$로 假定하여 誘導한 流出量曲線은 *Fig* 7에서 보는 바와 같이 Peak部分이 實測流量과 若干의 差異를 보였지만 比較的 合理的인 結果가 計算되었다.

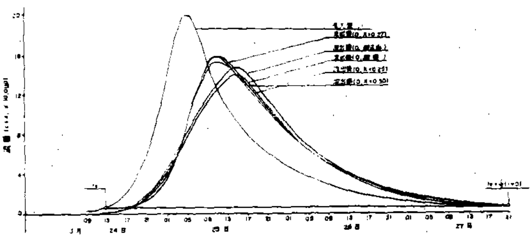


Fig 7. 流入量 對流出量의 比較圖

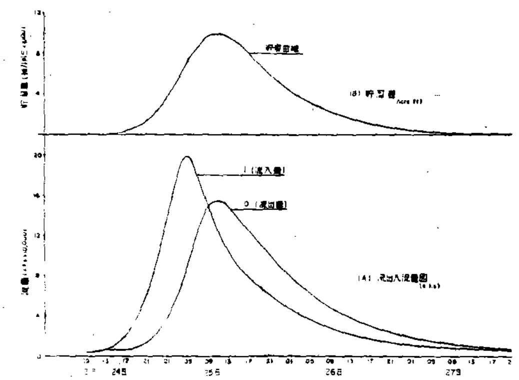


Fig 8. 流入量 流出量 및 貯溜量 關係曲線

V. 結 言

Muskingum 法에 依한 流出追跡方法은 *Fig* 7, 8에서 보는 바와 같이 실측流入量에 대한 실측流出量의 水文學的인 追跡의 結果와 大同小異한 比較的 合理的인 結果가 算出되어 河川洪水나 流出의 追跡또는 流域의 地表流出追跡에는 퍽 人氣있는 應用方法으로 많이 使用되고있다. 特히 單一流量의 記錄値만이 있을 경우 一定한 自然河川區間에 대하여 weighing factor x를 0.0~0.3으로 假定하고 K를 流域의 流達時間과 同一視하여 追跡계수 C를 算定하여 洪水追跡에 特히 應用可能한 것이다.

山間地 또는 自然河川의 洪水調節과 그의 對策 그리고 水資源開發이 必要한 韓國에서는 河川의 洪水追跡, 洪水의 硏究와 被害防止를 爲한 洪水豫報 그리고 水資源獲得을 爲한 貯溜量의 解釋 및 流域開發事業에 對한 硏究는 河川의 洪水分析과 流出量追跡에 크게 關係있는 것이기에 本拙稿가 水資源開發硏究와 流出解釋에 關心있는 분에게 多少라도 參考가 된다면 크게 多幸으로 생각하는 바이다.

參 照 文 獻

1) F.M.J Ribeny,
Flood routing with a unit-graph approach,
The Journal of the Institution of Engineers, Australia Jan.-Feb. 1964.

2) J.E. Nash,
A note on the Muskingum flood-routing Method
Journal of Geophysical Research, Vol. 64. No 8.
Aug. 1959.

3) J.R. Burton
Water Storage on the farm, Sec. 9-5 flood routing,
water Research Foundation of Australia Pulletin
No. 9. Vol. 1 Aug. 1965.

4) W.P. Creager and others
Engineering for dams, Vol. 1, chapt. 5 Mar. 1944.

5) R.M. Ragan (univ. of Vermont),
Lab. evaluation of a numerical flood routing technique for channels subject to lateral in flows, water Resources Research Vol. 2, No. 1 American Geophysical Union 1966.

6) V.M. Yevdjevich, (Professor of the Colorado state Univ.)
Effect of sudden water release on the reservoir free out flow hydrograph,
Journal Research of the national Bureau of standards. B-Mathematics and Mathematical physics.

7) R.K. Linsley and others,
Applied hydrology (1949) page 488-504

8) 朴成宇 外 共譯
水文學 (1965) 페이지 236~239