머스킹감 洪水追跡法上의 水文常數解析

徐 承 德
<正會員 · 晋州農科大學助教授>

<目 次>

1. 河川 洪水追跡의 理論的 背景

降水는 地上에 落下하여 地表流出을 일으키기前에 森林 및 地表의 樹木등에 依하여 一部는 遮斷되고 一部는 地表의 凹地等에 滯溜되는 한편 地中에 浸入하여 地層을 飽和시킨뒤에 一部는 蒸發되고 一部는 地表流出을 일으켜 流域의 河道에 流入하게 되며 그 降水가 클 境遇에는 洪水現象을 일으켜 河川은 범람하고 水災의 화를 면치 못하는 事例까지 일으게되어 水資源의 利用과함께 過剩과의 調節도 크게 重要한 問題의 하나가된다. 이러한 降水의 循環過程으로부터 河川에 達하게되는 洪水流出의 計算 및 追跡에 對해서는 過去로부터 水文學者인 메카시, 필스, 슈나이더, 홀톤, 스타인버그, 데이탐, 한젠씨등과 최근에는 나쉬, 크라크, 로렌손 및 기무라 諸氏등이 많은 硏究를 거듭해왔다.

河川의 洪水追跡이라함은 河川內에서 既知의 上流部選點流量으로부터 이에 連續된 同一河川의 下流部 一定地點의 洪水流量을 計算하는 河川의 洪水量計算過程을 말한다. 그리고 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 뒤따르는 流出量(outflow)과에 兩者間에 形成되는 貯溜量(Storge) 即 一般的인 簡單한 式으로서는 貯溜方程式으로 $\int I(t)dt-\int o(t)dt=S(t)$와 貯溜函數方程式으로는 $K=\dfrac{ds}{do}$와 같이 表示되며 (fig 1 참조) 一般的인 應用方程式으로는

$$I-0=\triangle S \text{ 即 } \left(\frac{I_1+I_2}{2}\right)T-\left(\frac{0_1+0_2}{2}\right)T=S_2-S_1 \text{ 의}$$

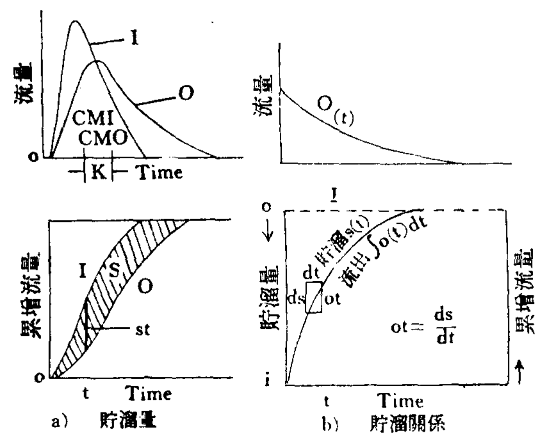
관계를 볼수있으며 三者間에 이루어지는 數式을 이끌어 貯水池에 있어서는 餘水吐 및 附帶水利構造物의 設計와 一般 水文事業으로서는 洪水災害防止 (flood mitigation), 洪水豫報(flood forecasting), 洪水被害對策樹立 및 可用水源의 開發等에 크게 利用의 價値가 있는 것이다.

流量을 水位의 函數로 나타낼수있는 貯水池에서의 洪水追跡은 比較的 簡單히 行할수있지만 自然河川에서의 貯溜量은 單純히 流出量의 函數가 아니기 때문에 洪水追跡은 大端히 複雜하다.

河川 洪水追跡은 河川을 流達區分制로 하여 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(local 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 짧을수록 精密하나 計算上의 雜業이 많음으로 알맞게 여러가지 洪水波의 영향 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 적절히 행할것이다. 한편 洪水波가 通過할때 各 時間의 背水曲線을 考慮하여 河床에 對하여 平行線의 下部에 있는 貯溜量을 臺形貯溜(Prism storage)라 부르며 이 線과 實際의 水面사이의 貯溜量을 쐐기貯溜(wedge storage)라고 부른다.

그래서 水位가 上昇할때는 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. 故로 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 貯溜式의 變數로 써 만드는 것이 普通이다.



I: Inflow O: outflow

C.M.I., CMO=Center mass of Inflow and outflow

S: storage

K: storage constant

Fig 1. 貯溜關係圖

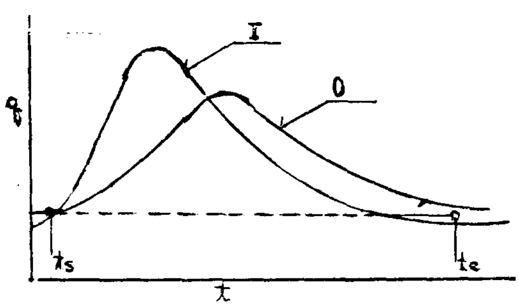
2. 머스킹감 洪水追跡의 解析

1) 解析의 一般性

G.T. McCarthy 가 美國의 머스감킹江의 流域開發計劃에서 그 첫起原을 본것으로 自然河川의 洪水追跡方法으로서 河川의 한 區間에 對한 貯溜量을 $S=\frac{b}{a}[xI^{m/n}+(1-x)0^{m/n}]$으로 나타내고 어느 河川區間에 對한 平均水位와 流量과의 關係를 $q=ag^n$ 으로 나타내고 (g: 평균수위), 그 區間에 對한 平均水位와 貯溜量關係를 $S=bg^m$ 로 表示하면 이를 整理해서 $S=b\left(\frac{g}{a}\right)^{m/n}$을 얻을 수 있고 다시 變形하여 $S=Kq^{m/n}$ 으로 쓸 수 있다. 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有意値로써 均一한 矩形水路에서는 0.6 을 그리고 廣幅의 河川에서는 1 보다 큰값을 取한다고 하나 머스킹감의 追跡方法에서는 一般的으로 1 을 사용하여 $S=k,q$ 即 $S=k[xI\times(1-x)0]$로 사용한다.

2) 流入 및 流出量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의 영향이 그리 크지않고 急激한 水位狀態의 變化가 없다고 假定할때 fig 2 에에서 보는바와 같이 流出入流量圖의 始點 t_s 에서는 流出入量을 同一視하고 또 이 點은 두 流量圖의 終點 t_e 에서의 流入量과 流出量의 平均值와는 大略 같아야 된다. 事實上 河川의 流達區間內에서는 必然的으로 支流流出이



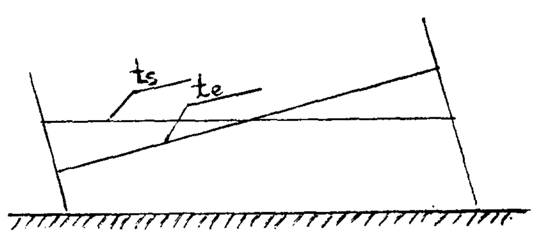


fig 2. 流出入 流量의 調整圖

있는것이 豫想되므로 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 流出量에 附加計算하게 되는 結果를 가져온다.

한편 支流流入이 主로 河川上流端에서 發生하게되면 總流入量 算出時 이를 主流入量의 一部分으로 加算하고 이와 反對로 河川의 下流末端에서 主로 發生하면 貯溜量算出에 加算치않고 流出量에서 減하는것이 普通이다.

3) 漸尖係數 x(weighing factor or attenuation factor)의 계산

x는 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 係數(weighing factor)로써 一名 漸尖係數(attenuation factor)라고도 하며 一般的으로 이 係數는 0～1.0까지 變化可能한 것이나 大概의 境遇 流入量의 影響이 없이 流出量 혼자만의 水文理象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하며 $x=0$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 x는 零보다 커가는 特殊現象도 發見할수있고 流出入의 영향이 向等한 境遇 다시 말해서 漸尖(attenuation)理象이 없고 순수한 向等變換(translation)狀態만 있을 境遇 x는 0.5의 값을 갖게되나 一般的으로 普通河川의 境遇에 있어서는 $x=0.0$～0.3 또는 平均値로서 0.2를 사용하는 例가 많다.

4) 貯溜常數 K(Storage Constant)의 計算

K는 貯溜常數로써 貯溜量과 流量의 比를 나타내며 Dimension으로는 $L^3=[K]L^3T^{-1}$에서 $[K]=T$로써 時間을 나타낸다. 實際的으로 볼때 K는 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 말할수 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 out flow)까지의 距離 即 그 區間時間을 말한다.(fig 3 참조) 이를 濠洲 뉴우사우스 웰즈 工大로 렌손박사는 다음과 같이 증명한다 먼저 連續方程式으로써

$$0=I-\frac{ds}{dt}$$

即 $$0=I-\frac{d}{dt}\left\{K[xI+(1-x)0]\right\}$$

그리고 流入總量의 重心에서부터 流出總量의 重心까지의 距離를 fig 3에서 K代身 T_1라 놓자 그리고

$$T_1=\frac{\int_0^\infty O\cdot tdt}{\int_0^\infty O\cdot dt}-\frac{\int_0^\infty I\cdot tdt}{\int_0^\infty Idt}$$

다시 上式의 O값을 代入하고 $\int_0^\infty Odt=\int_0^\infty Idt$라 놓으면

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

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

上式의 分子를 部分別로 積分하면

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

$$\left.-\left[t\{xI+(1-x)O\}\right]_0^\infty\right\}$$

그러면 괄호中 2項에 대해서는 그 값이 下限에서 零이되면 結局에 上限에서도 無限帶의 零의 값으로 수렴함으로 結局에 2項도 영이 되며 괄호중 前項에 對해서는 x는 一定한 常數임으로

$\int_0^\infty Idt=\int_0^\infty Odt$가 成立되고 그래서

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

$T_1=K$가 成立된다.

그리하여 過去의 洪水記錄이 없는 河川流域에서는 以上의 解析과 같이 이 값을 洪水波의 流達時間과 같이 應用할수 있으며 過去의 洪水記錄値를 利用할 수 있다면 S와 각 假定値 x에 對한 $[xI+(1-xO]$의 관계식을 fig 4와 같이 그려서 K와 x의 값을 決定할 수가 있다.

머스킹감方法에서는 이 曲線을 貯溜常數 K와 等價의 傾斜 $\frac{ds}{dq}$를 가지는 直線으로 假定하여서 S와 $[xI+(1-x)O]$의 좌표上에 가장 近似한 線形(linerity)을 形成하는 값에서 가장 알맞는 x와 K의 값이 形成되는 것이다. 그리고 追跡의 應用方程式(operating equation)은 다음을 사용한다. $S=K[xI+(1-x)O]$……貯溜方程式 다시 函數式으로 表示해서 $S=f(I\cdot O)$로 表示하여 $S—q$의 하나의 線形關係를 갖는다. 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 식에 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 整理하면

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

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

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

$C_2=\dfrac{K-Kx-0.5T}{K-Kx+0.5T}$ 의 洪水追跡係數가 誘導된다.

式中 O_1 은 追跡量 O_2 에 對한 先行流出量이고 I_1 은 추적하려는 I_2 에 對한 先行流入量으로 하면 O_2 와 I_2 는 다음 追跡期間에 對한 先行值 O_1 I_1 이 連續的으로 되어가면서 洪水量이 追跡되는 것이다. 그러니까 洪水追跡計算은 單純히 Operating equation $O_2=C_0I_2+C_1I_1+C_2O_1$ 의 式을 풀어가는 것이며 T 는 追跡期間으로서 K 와 같은 時間의 單位를 가지며 T 의 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 T 는 流入量의 上昇時間의 1/4~1/8 로 한다. 그리고 C_0, C_1, C_2 의 總和는 반드시 1 이 되어야하며 追跡의 始點에서는 $I_1=O_1$ 의 條件으로 追跡을 해야 한다.

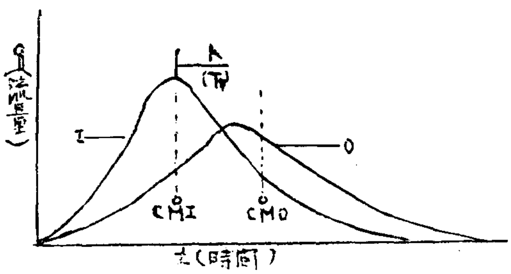


Fig 3. 貯溜常數 K 圖識

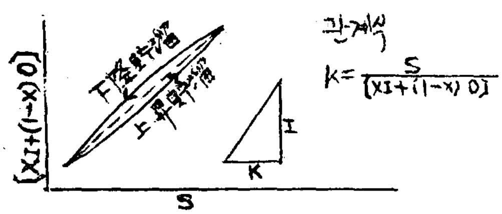


Fig 4. 貯溜常數 K 試驗圖

5) 類似解法의 略述

日本의 木村氏는 洪水追跡上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 이루어야한다는 것으로써 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 定流(Steady flow)와 不定流(Unsteady flow) 即 洪水流量의 狀態에 對해서 각각 式을 誘導하였다.

Steady flow 에 對하여

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

式中 φ : 貯溜函數(S 는 Steady flow)

S : 貯溜量, O : 流出量, Q : 流量으로써 Steady flow 때는 out flow 와 同一, T : 流達時間, $P.K$: 常數

Unsteady flow 에 對하여

$$\varphi=KP\bar{Q}^{P-1}=\varphi_s-T^*$$

式中 $\bar{Q}$: 區間의 平均流量

T^* : lag time

Steady flow 에서는 貯溜函數는 各已 獨立函數로써는 K 와 T 에 向一하다.

한편 英國의 Nash 는 $\int I(t)dt-\int O(t)dt=S(t)$ 의 貯溜方程式과 $\varphi=\dfrac{ds}{do}=K$, 다시 $S=K\cdot O$ 의 式에서 氏는 Inflow 를 Outflow 에 對해서 하나의 直線形으로 使用한다고 假定하며 $S=K\cdot O$ 를 t 에 對해서 微分한다.

$\dfrac{ds}{dt}=K\dfrac{do}{dt}$ 이 $\dfrac{ds}{dt}$ 의 값을 貯溜方程式에 代入하면 $I-O=\dfrac{ds}{dt}=K\dfrac{do}{dt}$ 여기서

$$I=K\frac{do}{dt}+O=(KD+1)O$$

式中 $D=\dfrac{d}{dt}$, 微分導式, 그리고 괄호안의 式은 線形導式으로써 流出量 O 는 流入量 I 에 對하여 다음과 같은 관계가 있다. $O(t)=\dfrac{1}{KD+1}I(t)$ 그리고 解析法 으로써

$O=\dfrac{1}{K}e^{t-/K}\int e^{t/K}Idt$ 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 解析되었다. 이 밖에도 이와 類似한 方法으로 Tatum, Parzen, Farrell 氏등의 方法이 있음을 일러둔다.

3. 解析의 例證

1) 問題의 背景

다음 表 1 은 1926 년 3월 24 일—27 日의 4 日間에 亘하여 濠洲 뉴우 사우스 웰즈洲의 東端 마콰리江의 上流部 5360mile^2 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 35*km* 下流河川地點인 웨링톤에서 觀測한 流出量이다. 이 바른동地點에는 現在는 댐을 築造하여 大 貯水源을 이루고 있으며 웨링톤은 重要한 地方都市로써 바른 동에서의 洪水流出이 자못 그 被害 또는 영향을 크게 미칠만한 곳이기도 하여 洪水追跡과 貯溜量의 解析은 퍽 重要한 關心事이다. 이제 洪水追跡의 解析으로써 實際 흐른 두 地點의 流出入 流量圖의 解析을 뒷받침하고 이로부터 이 地域에 알맞는 Muskingum 追跡係數 C 와 貯溜係數 K 와 weighing factor x 의 값을 定하여 洪水追跡과 貯溜量 解析에 利用하려는 것이다. 追跡過程에서 追跡時間을 4 時間으로 하고 區間의 中間流出은 모두 河川區間의 末端部에서 集中되는 것으로 假定하여 計算하였다.

表—1 마콰리강 流量圖(Lc.f.Ls) (1926 3.24—27)

字 日	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

2) 貯溜量算出 및 流量圖의 修正

追跡係數 C 및 貯溜係數 K, x 를 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할 것을 考慮하여 2 項 2)節의 流量圖調整概念으로 修正하여 表—2 의 (5), (6)欄을 얻는다.

수정方法으로서는 流出入流量圖의 마지막時間 27 日 21 時의 流出入流量圖 6,300 c.f.s 와 7000 c.f.s 의 평균치 6,650 cfs 의 좌표상 點에서부터 流出入流量의 始作點까지 直線을 그으면 24 일의 17 : 00 時에서 流出量上昇點과 만나게 됨으로 貯溜量은 이 點에서부터 累加하기 始作하나 이 平行線은 大略 流出量의 13 : 00 時點까지 연결됨으로 09 : 00 시의 流出入은 無視하고 13 :

表—2 流出量修正 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	09	4,000		1,000						
			5,500		1,500					
	13	7,000		2,000		2,100			00	
			14,000		3,300		3,400	10,600		
	17	21,000		4,600		4,900			10,600	3,540
			40,500		10,050		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	97,00
			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			00	00
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)			

※ 貯溜에카휘트 計算 $\frac{1}{3}$(8)난

∵ 1 cfs=1,983 ac,fx/24 hrs

$1\text{ cfs}=\frac{1,983}{24}=\frac{1}{12}$, 시간간격이 4시간 이므로 $\frac{4}{12}\times\text{cfs}=\text{ac,ft,}$

00時의 流出入量부터 分析에 넣는다. 이상의 解析으로부터 (2)난의 總和에서 5,000c.f.s를 뺀값 1,039,000 c.f.s와 (4)난의 總和에서 1,500c.f.s를 뺀값 990,350 c.f.s 사이에는 48,560c.f.s의 값이 差가 있게 되는데 이 값은 990,350c.f.s의 約 5%에 해당되는 값이 (2)난의 總和에서 不足됨으로 (3) (4)난의 各時間增加量에 그 增加量의 5%만큼씩을 보태여 修正해가면 (5)난의 O_a와 (6)난의 $\bar{Q}_1$의 수정값이 計算되어 (6)난의 總和는 (2)난 I의 總和와 같게되어 流出量의 수정은 끝난다.

다음 貯溜量은 (2)—(6)으로써 해당시간에 대한 貯溜量 (7)난이 나오며 이를 累積해가면 貯溜曲線이 이루어진다. (8난) 그리고 이 (8)난을 에카휘트로 換算하면 (9)난을 얻을 수 있다.

3) x 및 K 値의 算定

Muskingum flood routing에서 가장 重要한 追跡계수 C값을 求하는데 必要한 Weighing factor x와 貯溜常數 K는 前述한바 있거니와 K는 유입량의 무게重心에서 부터 유출량의 무게 重心까지의 時間과 같다고 論證한바 있다. 본 문제의 追跡해석에서는 이 地域의 流域特性을 考慮하여 대개 $x=0.3$ 以內에 있을 것으로 推定되어 다음 $X=0.25$, 0.27, 0.30의 3개값으로 $K=\frac{S}{[xI+(1-x)O]}$의 式을 利用 試算하여 다음 fig 5에서 x와 K를 결정한다.

表—3 　　**$S=K[xI+(1-x)O]$의 시산표** 　　($X=0.27$로 가정)

I (1)	O (2)	X (3)	XI (4)	$1-X$ (5)	(5)×(2) (6)	(6)+(4) (7)	저류량(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	〃	14,040	〃	83,731	124,771	96,000
108,000	142,200	〃	29,160	〃	103,806	132,966	97,000
80,200	140,300	〃	21,164	〃	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	0.27	6,075	0.73	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

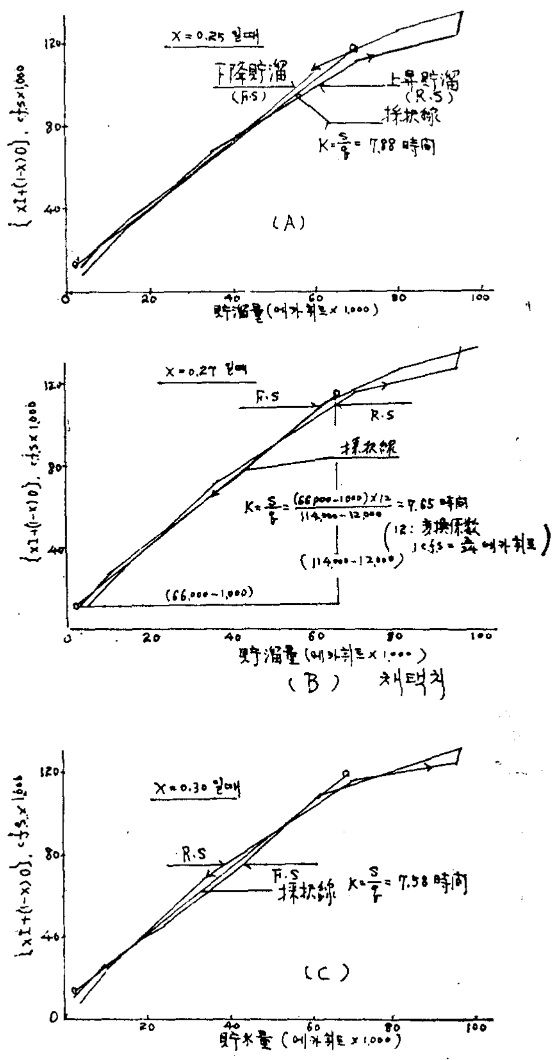


Fig 5. 머스킹감의 貯溜常數決定圖

上表는 $x=0.27$ 일 境遇의 計算表이며 이 外에 $x=0.25$, $x=0.30$ 의 경우에 대해서는 表 3 中 (3)난과 (5)난을 0.25, 0.75, 및 0.3, 0.7 로 각각 대치하여 同樣으로 試算하였다. 結局에 表 3 中 (7)난과 (8)난을 圖表化하여 x 와 K 값을 決定하게 되며 本문제에서는 $x=0.25$, 0.27, 0.30 의 세 값중에서 0.27 로 가정시산하였을 경우가 가장 線形(linear)을 이루어 본문제의 追跡에서는 $x=0.27$ 로써 결정하며 常數 및 계수를 결정한다. 계산된 저류상수 K 값은 $x=0.25$ 일때 7.88 시간 $x=0.27$ 일때 7.65 시간 $x=0.30$ 일때 7.58 시간으로 각각 계산되었다. (fig.5 참조)

4) 追跡係數 c 의 算定

Muskingum flood routing operating equation

$O_2=C_0I_2+C_1I_1+C_2O_1$ 에 代入응용시킬 洪水追跡계수는 前述한 바와 같이 $C_0+C_1+C_2=1.0$ 의 조건을 滿足시켜야 한다.

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

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

에서 $x=0.27$, $K=7.65\text{hr}$. $T=4.0\text{hr}$.

$\therefore\ 0.5\,T=2.0\text{ hr}$.

上式 "C"方程式에 代入하며

$C_0=-0.008$, $C_1=0.536$, $C_2=0.472$ 을 산출하여 $-0.008+0.536+0.472=1.0$ 을 얻었다.

5) 洪水의 追跡

以上에서 설명한 Routing operating equation $O_2=C_0I_2+C_1I_1+C_2O_1$ 을 利用하여 本流域의 流入量에 따라 必然的으로 追跡되어야할 流出量을 계산한 結果 表—4 와 같고 추적시에는 반드시 처음項만은 유입량과 流出量을 同一視하며 始作해야할 일이다. $x=0.27$ 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.6 과 같다.

表—4 流出追跡計算表

日	時	I(cfs) (1)	C_0I_2 (2)	C_1I_1 (3)	C_2O_1 (4)	O(cfs) (5) (2)+(3)+(4)	R/ks
3.24	13	7,000	—	—	—	7,000	$C_0=-0.008$
	17	21,000	−168	3,752	3,304	6,888	$C_1=0536$
	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	

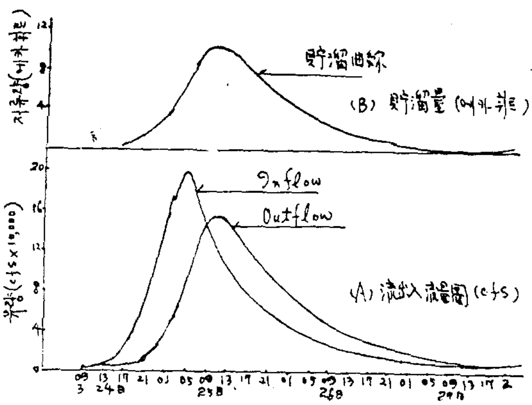


fig 6. 유입량 유출량 및 貯溜量 關係曲線圖

4. 結 言

Muskingum 法에 의한 洪水追跡方法은 實測流入量에 對한 實測流出量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 꽉 인기있는 응용方法으로 널리 사용되고 있다. 特히 單一流量의 기록만이 있을境遇 一定한 自然河川 區間에 對하여 Weighing factor x를 0.0~0.3으로 假定하고 K를 流域의 流達時間과 同一視하며 追跡係數 C를 算定하여 洪水追跡에 特히 應用가능한 것이다.

山間地 또는 自然河川의 洪水調節과 그의 豫報對策 그리고 水資源開發이 必要한 韓國에서는 河川의 洪水追跡, 洪水의 硏究分析과 被害防止를 위한 洪水豫報 그리고 水資源 獲得을 위한 貯溜量의 해석 및 流域開發事業에 對한 硏究는 水文學의 重要한 핵심부를 형성하고있어 拙稿가 이 方面의 硏究者에게 도움이 되었으면 하는 마음 간절하다.

5. References

(1) J.E. Nash,
A note on the Muskingum flood-routing method J.G.R. Vol, 64, No.8 Aug, 1959.

(2) J.R. Burton
Water storage on the farm sec, 9-5 flood routing, Water Research Foundation of Aust, Bull. No.9 Vol, I, Aug. 1965.

(3) R.M. Ragan (univ. of Vermont)
Lab, evaluation of a numerical flood routing technique for channels subject to lateral inflows, Water Resosrces Research, Vol. 2. No. 1 A.G.U. 1966.

(4) R.K Linsley and others
Hydrology for engineers 1958 pp488—504.

(5) F.M.J Ribeny
Flood routing with a unit-graph approach.
The journal of the Institution of engineers. Aust, Jan -Feb. 1964.