〈論　　壇〉

降雨-流出에 대한 線形貯水池模型의 總論
(A THEORITICAL STUDY OF LINEAR RESERVOIR MODEL FOR RAINFALL-RUNOFF)

徐 榮 濟*

1. 序　論

降雨가 河川에서 流出의 형태로 흘러가는 과정은 매우 복잡하므로 이와 같은 現象을 定量的으로 分析하기 위하여 여러가지의 降雨-流出模型이 各國에서 開發되어 왔다. 이웃나라 日本의 Sugawara (菅原)(1956)가 提案한 Tank-model[5]은 降雨-流出資料만을 이용하여 모델링하는 長點이 있는 반면 模型의 비선형성때문에 多年間의 熟練이 必要하므로 韓國에서 實用化 하기에는 多少 어려운 점이 있었다[10]. 그리고 美國에서 開發된 實驗模型(USDHAL, SSARR, STANFORD)等은 모델링에 必要한 流域內의 物理的 媒介變數가 降雨-流出資料와 함께 많이 要求되는 것이 또한 短點이다. 따라서 短期洪水時 降雨-流出事象을 再現하기 위해서는 Nash가 提案한 階段式 線形貯水池模型(Cascade Linear Reservoirs Model: Nash-model)이 概念的인 模型인 동시에 數學的으로 誘導가 可能한 측면에서 널리 이용되고 있다[3]. 금회 본 논단을 통하여 線形貯水池 模型의 理論的 基礎와 함께 降雨-流出反應에 대한 數學的인 解析를 간단하게 流出量의 S-曲線으로 誘導할 수 있는 數式을 一般化하고 지금까지 發表한 線形貯水池 模型[11][12][13]의 理論的 背景을 整理함으로 向後 우리나라의 水文計測流域에 擴大 適用 할 수 있는 契機를 마련하는데 있다. 그리고 더 나아가 誘導된 模型이 가지는 媒介變數를 流域의 水文學的 地形特性과 相關시켜 無計測流域에서도 洪水水文曲線을 誘導할 수 있도록 試圖하였다.

2. 線形貯水池 模型의 衝擊函數(Impulse Function of Linear Reservoir Model)

線形貯水池 模型은 하나의 集水流域을 貯水池로 假想하여 流出量을 推定하는 方法으로 貯水量(S)가 流出量(Q)에 比例한다고 假定하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S = K \cdot Q \tag{1}$$

여기서 K＝貯溜常數이며 時間에 대한 그림.2의 貯水池 流入量 I(t)과 流出量 Q(t)의 變化에 따라 連續方程式을 適用하면 (2)式이 된다.

$$I - Q = \frac{ds}{dt} \tag{2}$$

따라서 流入量을 無視한 水文曲線의 減水部分(Recession Curve)만 생각하면 I＝0이므로

$$\frac{ds}{dt} = -Q \tag{3}$$

式이 된다. 여기서 (1)式에 (2)式의 微分項을 t＝0일때, $Q = Q_o$를 代入하여 풀면 (4)式이 된다.

$$Q_t = Q_o \cdot e^{-k/t} \tag{4}$$

* 農漁村振興公社 始華事業團

그리고 t=0일때 線形貯水池의 全體流出總量 S(0)=1로 두고 (1)式에 代入하면 $Q_o=1/k$이 되어 瞬間單位圖의 衝擊函數(Impulse function of Instantaneous unit hydrograph)는

$$IUH=u(0,t)=Q(t)=\frac{1}{k}\cdot e^{-t/k} \tag{5}$$

式이 된다.

3. Nash-模型의 理論

Nash(1957)는 線形貯水池 模型을 階段式(Cascade化)으로 나열하여 流域의 降雨-流出 反應을 貯水池의 貯溜常數 k의 函數로 誘導하였다. 數式으로 誘導하면 우선 두개의 線形貯水池(그림.1)의 貯溜常數를 k_1, k_2라고 두고 첫번째 貯水池에서 瞬間單位圖의 反應函數 (5)式을 適用하여 두번째 貯水池로 回旋積分方程式(Convolution Integral Eq.)을 適用하여 流出量을 追跡하면 (6)式으로 나타낼 수 있다.

$$U(0,t)=\int_o^t Q(\tau)\ \frac{1}{k_2}\ e^{(-(t-\tau)/k_2)}\ d\tau \tag{6}$$

여기서 τ는 時間(t)에 대한 瞬間單位時間을 나타내며 첫번째 貯水池의 流出量을 나타내는 (7)式을 (6)式에 代入하면 (8)式이 된다.

$$Q(\tau)=(\frac{1}{k_1})\ e^{-\tau/k_1} \tag{7}$$

$$U(0,t)=\int_o^t \frac{1}{k_1}\ e^{-\tau/k_1}\ \cdot\frac{1}{k_2}\ e^{(-(t-\tau)/k_2)}d\tau \tag{8}$$

따라서 上記式을 整理하면 다음과 같다.

$$U(0,t)=\frac{1}{(k_1-k_2)}\ e^{(t/k_1)}-e^{(t/k_2)} \tag{9}$$

같은 方法으로 階段式 線形貯水池 模型의 貯溜常數 k가 同一하다고 假定하고 두번째 貯水池에 대한 瞬間單位圖를 誘導하면 (10)式이 된다.

$$U(0,t)=\int_o^t \frac{1}{k}\ e^{-\tau/k}\ \cdot\frac{1}{k}\ e^{(-(t-\tau)/k)}d\tau$$
$$=\frac{1}{k}(\frac{t}{k})\ e^{(-t/k)} \tag{10}$$

그리고 세번째 貯水池에 대한 瞬間單位圖를 나타내면

$$U(0,t)=\int_o^t \frac{1}{k^2}\ e^{-\tau/k}\ \cdot\frac{1}{k}\ e^{(-(t-\tau)/k}d\tau$$
$$=\frac{1}{k}(\frac{t}{k})^2\ \frac{1}{2}\ e^{(-t/k)} \tag{11}$$

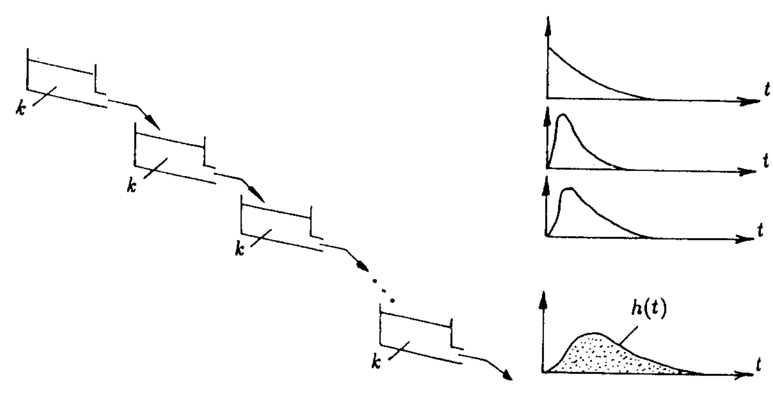

그림 1 A cascade of linear reservoirs(Nash-model)

式이 되고 階段式 貯水池가 n개 일 경우의 瞬間單位圖는 (12)式으로 나타낼 수 있다.

$$U(0, t) = \frac{1}{k} \left(\frac{t}{k}\right)^{(n-1)} \frac{1}{(n-1)!} e^{(-t/k)} \quad (12)$$

上記式에서 (n−1)! 대신에 Gamma(Γ(n))函數로 代置하여 使用 할 수 있다.

$$U(0, t) = \frac{1}{k} \left(\frac{t}{k}\right)^{(n-1)} \frac{1}{\Gamma(n)} e^{(-t/k)} \quad (13)$$

4. 平行線形貯水池(Parallel Linear Reservoir : PLR)模型

降雨-流出反應의 概念的인 模型을 하나의 線形貯水池(Single Linear Reservoir : SLR) (그림 2)로 생각하고 線形시스템의 代表函數인 回旋積分方程式(Convolution Integral)을 S-曲線(그림.3)에 適用하면

$$S(t) = \frac{P}{D} \cdot \int_{o}^{t} u \cdot (0, t) \cdot dt \quad (14)$$

式으로 나타낼 수 있다. 여기서 單位降雨强度 P=1로 두고 瞬間單位圖의 反應函數,

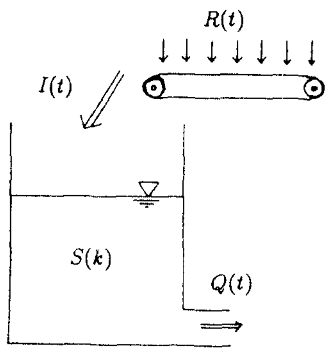

그림 2 Single linear reservoir model(SLR)

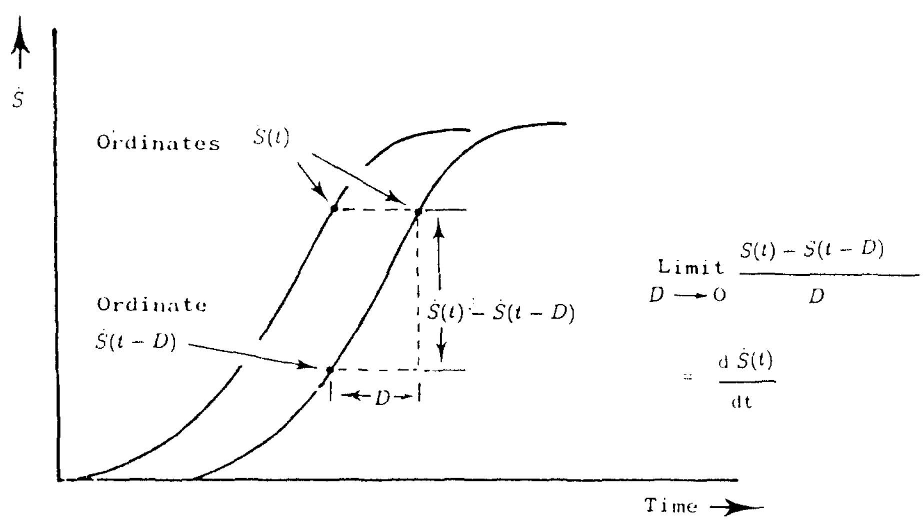

그림 3 Instantaneous unit hydrograph as the derivative of the S-curve

$IUH=U(0,t)=\frac{1}{k}\cdot e^{-t/k}$을 (14)식에 代入하면

$$S(t)=\frac{1}{D}\cdot\int_{o}^{t}\frac{1}{k}\cdot e^{-t/k}\cdot dt=\frac{1}{D}\cdot(1-e^{-t/k}) \quad (15)$$

式이 되며 降雨持續時間 D 만큼 遲滯시킨 S(t-D) 曲線의 函數式은 (16)式이 된다.

$$S(t-D)=\frac{1}{D}\cdot(1-e^{-(t-D)/k}) \quad ;t\geq D \quad (16)$$

따라서 單位圖의 概念 u(D, t)는 u(D, t)=S(t)-S(t-D)로 誘導되며

$$u(D,t)=\frac{1}{D}\cdot(1-e^{-t/k})-\frac{1}{D}\cdot(1-e^{-(t-D)/t})$$
$$=\frac{1}{D}\cdot e^{-t/k}\cdot(e^{D/k}-1) \quad ;t\geq D \quad (17)$$

式으로 나타낼 수 있다. 上記式에서 k 値는 時間의 函數로 單位時間에 대하여 D=1을 適用하면

$0<t\leq 1$의 條件에서

$$u(D,t)=S(t)=1-e^{-t/k} \quad (18)$$

$t>1$일 경우

$$u(D,t)=e^{-t/k}\cdot(e^{1/k}-1) \quad (19)$$

式이 된다. 그리고 (18), (19)式은 單一線形貯水池(SLR) 模型의 單位圖 縱距를 구하기 위한 一般式으로 誘導하면 t=1일 경우는 (18)式으로 부터 (20)式을 구할 수 있다.

$$DUH(SLR)=\int_{t-1}^{t}u(D,t)\cdot dt$$
$$=\int_{t-1}^{t}(1-e^{-t/k})\cdot dt=k\cdot e^{-t/k}-(k-1) \quad (20)$$

그리고 t=2, 3, 4, ……일 경우 上記와 같이 (19)式으로 부터 (21)式을 誘導할 수 있다.

$$DUH(SLR)=\int_{t-1}^{t}e^{-t/k}\cdot(e^{-1/k}-1)\cdot dt$$
$$=k\cdot e^{-t/k}\cdot(e^{1/k}-1)^2 \quad (21)$$

또 이를 두개의 平行貯水池模型(2-Parallel Linear Reservoir)(그림 4)에 대한 一般式으로 나타내면

$$DUH(2\text{-}PLR)=\frac{1}{2}\cdot[k_1\cdot e^{-t/k_1}-(k_1-1)]$$
$$\left.\begin{array}{l} +\frac{1}{2}\cdot[k_2\cdot e^{-t/k_2}-(k_2-1)];t=1 \\ =\frac{1}{2}\cdot k_1\cdot e^{-t/k_1}\cdot(e^{1/k_1}-1)^2+\frac{1}{2}\cdot k_2\cdot e^{-t/k_2} \\ \cdot(e^{1/k_2}-1)^2;t=2,\ 3,\ 4,\ \cdots\cdots \end{array}\right] \quad (22)$$

식이 되며 N개의 平行線形貯水池(그림.5)를 構築할 경우 模型의 一般式은

$$DUH(N\text{-}PLR)=\sum_{i=1}^{N}\cdot\frac{1}{N}$$
$$\left.\begin{array}{l} \cdot[k_i\cdot e^{-t/k_i}-(K_i-1)] \quad ;t=1 \\ =\sum_{i=1}^{N}\cdot\frac{1}{N}\ [k_i\cdot e^{-t/k}\cdot(e^{-1/k}-1)^2] \\ ;t=2,\ 3,\ 4,\ \cdots\cdots \end{array}\right] \quad (23)$$

式이 된다. 또 2個의 平行線形貯水池 模型에서 流入되는 降雨의 形態가 等分布되지 않고 α만큼 分配되는 경우, 즉 分布函數 $\alpha\leq 1$를 고려한 $2\text{-}PLR_u$ (Unequal distributed Rainfall of 2-PLR) 模型(그림 6)을 數式으로 나타내면

$$DUH(2\text{-}PLR_u)=(\alpha)\cdot[k_1\cdot e^{-t/k_1}-(k_1-1)]$$
$$\left.\begin{array}{l} +(1-\alpha)\cdot[k_2\cdot e^{-t/k_2}-(k_2-1)] \quad ;t=1 \\ =(\alpha)\cdot[k_1\cdot e^{-t/k_1}-(e^{1/k_1}-1)^2]+(1-\alpha)\cdot k_2^{\circ} \\ [K_2\cdot e^{-t/k_2}-(e^{-t/k_2}-1)^2] \quad ;t=2,3,4,\cdots\cdots \end{array}\right] (24)$$

式으로 誘導할 수 있다. 여기서 DUH는 Distributed Unit Hydrograph의 약자이다.

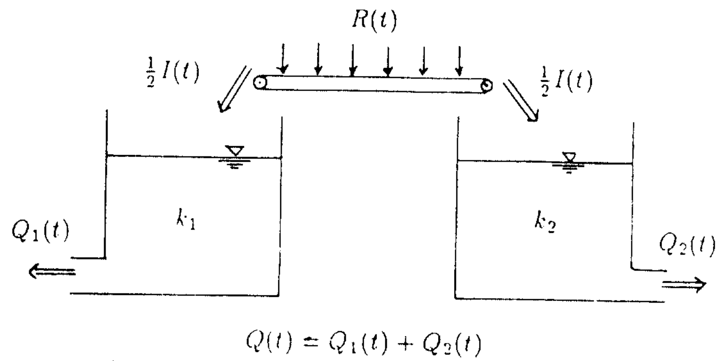

그림 4 Conceptual 2-PLR Model(2-Parallel Linear Reservoir)

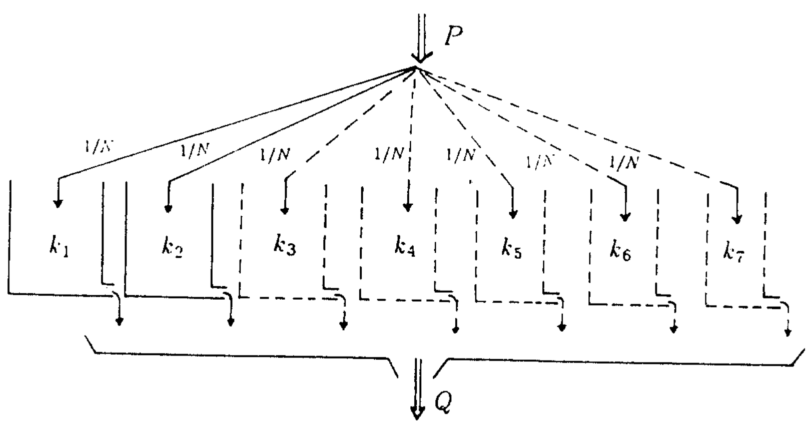

그림 5 (N-Parallel Linear Reservoir Model)

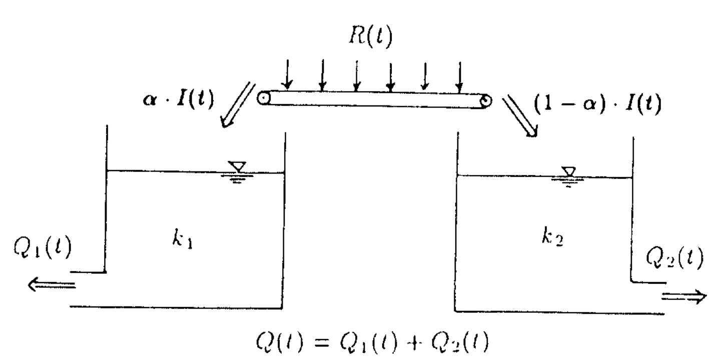

그림 6 Conceptual 2-PLRu Model(Unequal Distributed Rainfall of 2-PLR)

5. J-model

J-model은 和蘭의 干拓地에서 等間隔으로 分割된 排水路의 流出量을 算定하기 위하여 Krayenhoff Van de Leur[2]에 의해 誘導된 模型이다. 이 模型에서 誘導된 瞬間單位圖 IUH는 다음과 같다.

$$U(0,\ t)=\frac{8}{\pi^2}\cdot\frac{1}{j}\cdot\sum_{n=1,3,5,\cdots}^{\infty} e^{-(n^2\cdot t/j)} \tag{25}$$

上記式에서 j는 貯溜常數이며 n은 貯水池의 갯수이다. 여기서 (25)式을 풀어쓰면 (26)式이 된다.

$$U(0,\ t)=\frac{8}{\pi^2}\cdot\frac{1}{j}\ e^{-(t/j)}+\frac{1}{9}\cdot\frac{8}{\pi^2}\cdot\frac{9}{j}\ e^{-(9t/j)}+\frac{1}{25}\cdot\frac{8}{\pi^2}\cdot\frac{25}{j}\ e^{-(25t/j)}+\ \cdots\cdots \tag{26}$$

여기서 $k_n=(j/n^2)$, 그리고 $\alpha_n=(8/\pi^2\cdot n^2)$로 置換하면 (27)式이 된다.

$$u(0,\ t)=\frac{\alpha_1}{k_1}\ e^{-(t/k_1)}+\frac{\alpha_3}{k_3}\ e^{-(t/k_3)}+\frac{\alpha_5}{k_5}\ e^{-(t/k_5)}+\cdots\cdots \tag{27}$$

이상과 같이 上記(27)式은 結果的으로 平行線形貯水池 模型의 貯水量 減少를 나타내는 衝擊函數式과 같다(그림 7). 여기서 單位入力降雨 P=1을 適用하면

$$P=\sum_{n=1,3,5,\cdots}^{\infty}\alpha_n=\frac{8}{\pi^2}\left(1+\frac{1}{9}+\frac{1}{25}+\ \cdots\cdots\right) \tag{28}$$

式이 되고 平行線形貯水池 模型과 같이 S－曲線과 一定한 降雨強度(1/D : 單位降雨 P=1, 降雨持續時間=D)을 回旋積分方程式에 適用하면 다음과 같다.

$$S(t)=\int_{0}^{t}\frac{1}{D}\ U(0,\ t-\tau)\cdot dt \tag{29}$$

여기서 (25)式을 (29)式에 代入하여 展開하면 (30)式이 된다.

$$S(t)=\frac{1}{D}\cdot\frac{8}{\pi^2}\cdot\frac{1}{j}\cdot\sum_{n=1,3,5,\cdots}^{\infty}\frac{1}{n^2}\ [1-e^{(n^2\cdot t/j)}] \tag{30}$$

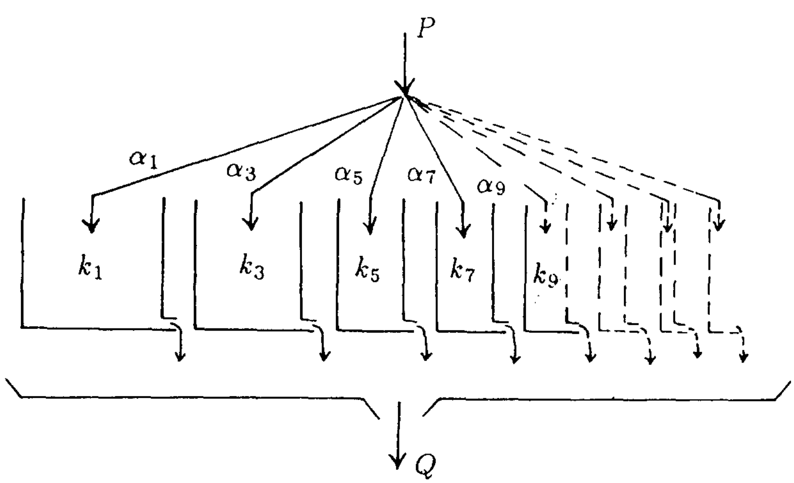

그림 7 J-model of Linear Reservoirs Response

만약 $t \leq D$ 範圍내에서의 D－時間 單位圖 u(D, t)는 平行線形貯水池 模型의 理論과 같이 S-曲線의 S(t)와 같다. 또 $t > D$ 일 경우의 D-時間 單位圖는 $t=0$와 $t=D$에 대한 S-曲線의 縱距差異로서 구할 수 있다. 즉 $u(D,t)=S(t)-S(t-D)$로서

$$u(D,t)=\frac{1}{D}\cdot\frac{8}{\pi^2}\cdot\sum_{n=1,3,5,\cdots}^{\infty}\frac{1}{n^2}\cdot\left(e^{n^2\cdot D/j}-1\right)\cdot e^{-n^2\cdot t/j} \tag{31}$$

式이 되고 여기서 j를 時間의 函數로 나타내고 $t=1$일 경우 DUH(Distribution of Unit Hydrograph)의 縱距는 다음 式과 같이 誘導할 수 있다.

$$DUH(1)=1-j\cdot\frac{\pi^2}{12}-j\cdot\frac{8}{\pi^2}\cdot\sum_{n=1,3,5,\cdots}^{\infty}\frac{1}{n^4}\cdot e^{-n^2/j} \tag{32}$$

그리고 $i>1$의 경우는 (33) 式이 된다.

$$DUH(i)=j\cdot\frac{8}{\pi^2}\cdot\sum_{n=1,3,5,\cdots}^{\infty}\frac{1}{n^4}\cdot\left(e^{n^2/j}-1\right)^2\cdot e^{-n^2\cdot i/j} \tag{33}$$

分析에 利用된 實際의 J-model은 2가지 形態의 分散된 水文模型으로 構成되어 있으며 降雨 P가 앞서 誘導된 $2\text{-}PLR_u$ 模型과 같이 分布函數 로서 j_1과 j_2의 總體的模型에 分散된다고 假定하여 誘導된 것임을 밝혀둔다(그림 8).

지금까지 誘導된 모든 線形貯水池模型의 單位圖 誘導方程式들은 單位降雨強度를 $P=1$로 두고 誘導된 것임으로 持續時間 D-hour에 대한 全體流出量은 1cm(10㎜)가 됨을 밝혀둔다.

6. 適用事例

上記模型들을 우리나라의 3개 河口湖와 連結된 河川의 上流部 5個 觀測地點[8][9]에 適用하였다(표-1). SLR, 2-PLR, 3-PLR, 4-PLR, 5-PLR, $2\text{-}PLR_u$, J-model 그리고 Nash-model을 包含하여 全體 8個의 模型으로서 實測된 降雨-流出 事象

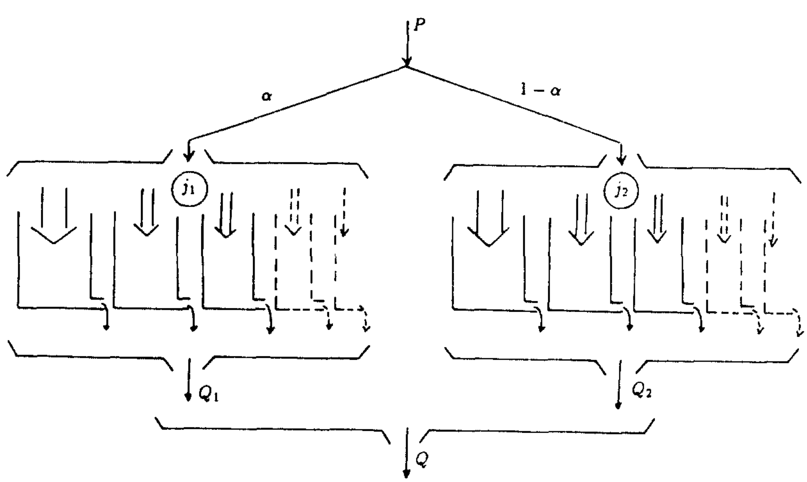

그림 8 Image of J-model

表-1 Characteristics of the selected catchment basin

Project name	A-san		Sae-man-keum		Young-san
Station name	Yu-cheun	Hoei-hwa	Dae-cheun	Sin-tae-in	Na-ju
Catchment area(km²)	491.7	367.3	856.9	222.9	2063.0
Main river length(km)	40.0	34.5	43.5	26.5	69.0
Slope of river×(10^{-3})	2.1370	3.0769	2.0000	4.2918	1.8182

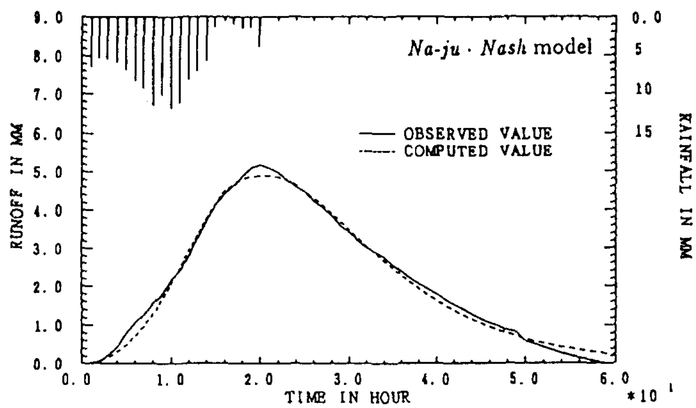

그림 9 Modeling result in displayed Nash-model

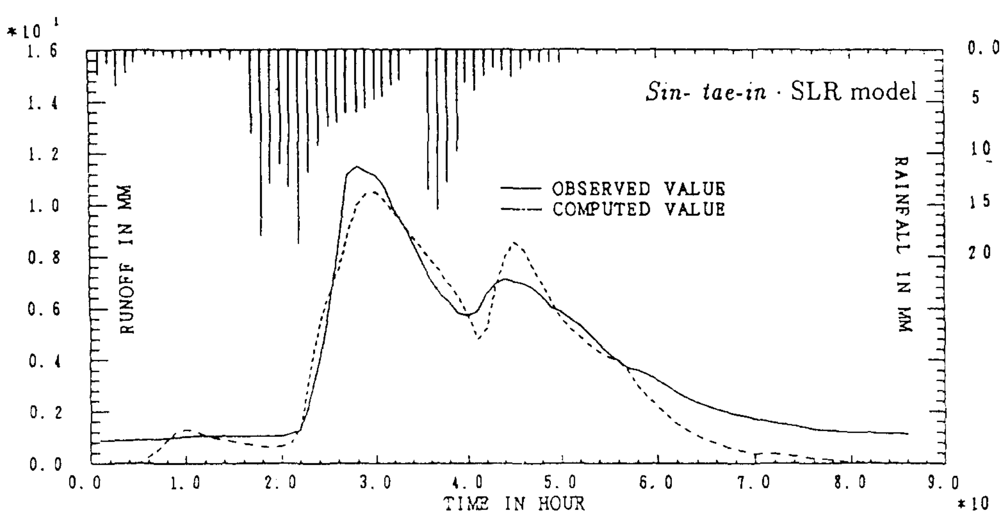

그림 10 Calibration of DUH in displayed SLR-model

을 利用하여 瞬間單位圖와 各種 모델이 가지는 媒介變數를 誘導하였고 媒介變數 最適化를 위한 프로그램은 F.A.O.의 Irrigation and Drainage Paper NO.19[1]에 실린 OPT 프로그램을 이용하였다. 상기 프로그램은 目的函數를 최소화 하기 위하여 Rosenbrock[4]가 誘導한 Hill Climbing Method를 一般化 한 것으로서 降雨-流出 事象의 模型化를 위한 目的函數로서는 (34)式의 F값을 利用하였다. (34)式에서 q_{to}는 t時間의 實測된 水文曲線의 流出高를 나타내며 q_{tf}는 模型에서 誘導된 流出高를 나타낸다. 表-2는 上記 8個 模型을 5個 地點에서 降雨-流出 事象을 模型化한 最終結果이다. 各各의 模型에 대한 初期 媒介變數는 實測된 水文曲線의 減水部分을 半代數紙에 프롯트 하여 抽出한 것이다. 媒介變數 最適化를 위한 시뮬레이션에서 降雨遲滯時間(Lag Time)은 실정수로 入力하여야 한다.

$$F = \sum (q_{to} - q_{tf})^2 \tag{34}$$

그림 9는 羅州地點에서 Nash-model을 利用하여 單純降雨-流出 事象을 模型化한 結果이며 그림 10은 新泰仁 地點에서 模型化된 SLR-model의 單位圖를 利用하여 複合降雨-流出 事象의 檢定結果를 나타낸 것이다.

7. 結 論

以上과 같이 降雨-流出資料가 빈약하고 精密하지 못한 우리나라의 實情을 감안하여 線形貯水池模型에 대한 理論的 背景을 基礎로 實驗流域에 대한 洪水量 算定을 多樣한 方法으로 試圖해 보았다. 表-2에서 보는바와 같이 Nash와 J-model을 除外하고는 平行線形貯水池 模型들의 媒介變數가 거의 同一하게 나타남은 選定된 流域들의 水文學的 物理特性이 거의 同一하다고 推論할 수 있다. 따라서 이

表-2 Ending presentation of parameter optimization for the each models

Station	Models	Starting Parameters	Fitted LAG(t)	Final Parameters	Depth of IUH(cm)	F	RMS
Na-ju	SLR	14.87	5	14.356	0.9975	5.742	0.00235
	2-PLR	14.87,36.68	5	14.353,14.354	0.9776	5.742	0.00235
	3-PLR	14.5,14.5,14.5	5	14.354,14.354,14.354	0.9766	5.742	0.00235
	4-PLR	14.5,14.5,14.5,14.5	5	14.356,14.354,14.354,14.354	0.9776	5.742	0.00235
	5-PLR	14.5,14.5,14.5,14.5,14.5	5	14.364,14.351,14.353,14.351,14.353	0.9776	5.742	0.00235
	2-PLR.	14.0,14.0,0.5	5	14.355,14.353,0.509	0.9776	5.742	0.00235
	J-model	14.0,14.0,0.5	7	16.130,16.135,0.361	0.9685	11.67	0.00335
	Nash	2,648,6,131	0	2.251,7.675	0.9943	1.195	0.00107
Dae-chen	SLR	10.3	4	9.377	0.9816	3.060	0.00328
	2-PLR	10.3,10.9	4	9.376,9.376	0.9817	3.060	0.00328
	3-PLR	9.5,9.5,9.5	4	9.377,9.374,9.377	0.9817	3.060	0.00328
	4-PLR	9.5,9.5,9.5,9.5	4	9.371,9.378,9.380,9.374	0.9817	3.060	0.00328
	5-PLR	9.5,9.5,9.5,9.5,9.5	4	9.375,9.382,9.374,9.372,9.376	0.9817	3.060	0.00328
	2-PLR.	9.0,9.0,0.5	5	0.028,8.738,0.036	0.9842	2.831	0.00316
	J-model	9.5,9.5,9.5	6	10.330,10.330,0.471	0.9737	10.37	0.00605
	Nash	1.829,4.989	3	1.606,5.859	0.9947	1.140	0.00200
Sin-tae-in	SLR	7.1,7.1	9	5.678	0.9981	14.53	0.00467
	2-PLR	,51.34	9	5.678,5.678	0.9981	14.53	0.00467
	3-PLR	5.6,5.6,5.6	9	5.678,5.678,5.678	0.9981	14.53	0.00467
	4-PLR	5.6,5.6,5.6,5.6	9	5.886,5.593,5.612,5.626	0.9981	14.53	0.00467
	5-PLR	5.6,5.6,5.6,5.6,5.6	9	5.997,5.607,5.602,5.598,5.598	0.9980	14.53	0.00467
	2-PLR.	5.6,5.6,0.5	9	5.686,5.670,5.598,5.598	0.9981	14.53	0.00467
	J-model	5.6,5.6,0.5	10	7.220,5.250,0.507	0.9957	26.66	0.00633
	Nash	2.029,5.737	2	1.671,6.834	0.9993	4.894	0.00271
Hae-hwa	SLR	10.02	1	9.422	0.9958	7.581	0.00278
	2-PLR	10.02,19.14	1	9.422,9.422	0.9958	7.581	0.00278
	3-PLR	9.5,9.5,9.5	1	9.426,9.425,9.413	0.9958	7.582	0.00278
	4-PLR	9.5,9.5,9.5,9.5	1	9.459,9.408,9.401,9.421	0.9958	7.582	0.00278
	5-PLR	9.5,9.5,9.5,9.5,9.5	1	9.443,9.424,9.403,9.419,9.410	0.9958	7.582	0.00278
	2-PLR.	9.5,9.5,0.5	1	9.422,9.420,0.501	0.9958	7.582	0.00278
	J-model	9.5,9.5,0.5	2	10.908,10.906,0.489	0.9919	18.68	0.00436
	Nash	1.279,6.683	0	1.385,7.133	0.9984	5.022	0.00226
Yu-chen	SLR	14.85	3	10.680	0.9672	5.943	0.00427
	2-PLR	14.85,27.05	3	10.680,10.680	0.9672	5.943	0.00427
	3-PLR	10.5,10.5,10.5	3	10.680,10.680,10.680	0.9672	5.943	0.00427
	4-PLR	10.5,10.5,10.5,10.5	3	10.683,10.683,10.672,10.679	0.9672	5.943	0.00427
	5-PLR	10.5,10.5,10.5,10.5,10.5	3	10.682,10.680,10.672,10.684,10.673	0.9672	5.943	0.00427
	2-PLR.	10.5,10.5,0.5	3	10.681,10.677,0.454	0.9672	5.943	0.00427
	J-model	10.5,10.5,0.5	4	13.220,13.219,0.445	0.9446	17.40	0.00731
	Nash	2.412,4.711	0	2.020,5.862	0.9906	0.514	0.00126

들 媒介變數와 選定된 流域의 水文地形學的 特性과의 關係를 回歸非線形 代數方程式으로 나타내었다. 이 模型은 逆行列의 解法으로 간단히 模型化 할 수 있으며 選定된 模型의 媒介變數는 Nash-Model의 貯水池數 N, 와 그리고 線形貯水池 및 Nash模型의 貯溜常數 k 값이다.

$$N = 0.4466\ L^{0.3704} \tag{35}$$

$$k_{(Nash)} = 0.20144\ A^{-0.1183}\ L^{0.9802}\ S^{0.6689} \tag{36}$$

$$k_{(PLR)} = 0.2739\ A^{-0.7329}\ L^{2.3115}\ S^{-0.3660} \tag{37}$$

上記式에서 L＝主 河川의 流路長(km), A＝流域面積(km²), S＝河川의 傾斜(10^{-3})이다. 여기서 이용된 河川의 傾斜는 水文觀測地點으로 부터 全體 河川길이의 10% 와 85% 되는 地點의 傾斜를 圖上에서 구하여 그 標高差를 流路長에 適用하였다. 上記式을 利用하여 無計測流域에서도 流域의 特性만으로 Nash-Model의 N, k와 平行線形貯水池 模型의 k値를 推定함으로서 瞬間單位圖(IUH)와 分散單位圖(DUH)를 誘導할 수 있다. 이상으로서 降雨-流出 現象中 短期流出(洪水時)은 線形理論을 利用한 數學的 槪念模型으로서도 충분히 誘導할 수 있으며 觀測資料만 正確하다면 推定된 洪水水文曲線을 洪水豫警報에 應用할 수 있을 것이다.

參 考 文 獻

[1] F.A.O. 1973. Mathematical models in hydrology, Irrigation and drainage paper, No. 19, pp.252-260.

[2] Krayenhoff Van de Leur, D.A. 1973. Rainfall-runoff relation and computational models, In: Drainage principles and application Vol.2, ILRI, Wageningen, The Netherlands.

[3] Nash, J.E. 1957. The form of instantaneous unit hydrograph, IASH, publ.45, Vol.3, pp.114-121.

[4] Rosenbrock, H. H. 1960. An automatic method of finding the greatest of least value of a function, Computer J. 3, pp.175-184.

[5] Sugawara, M. and Maruyama, F. 1956. A method of revision of the river discharge by means of a rainfall model, Symposia Darcy, IASH, publ.42, Vol.3.

[6] U. S. Dep. of Agriculture, 1973. Technical Bulletin No.1468, Linear theory of hydrologic systems by James C.I.Dooge, pp.4.

[7] Y. J. SUH, 1992. Parameter study of runoff models for the estuarine reservoirs, Proceedings of the 1992 Regional Conference, International Rainwater Catchment Systems Association, Vol.2 pp.665-674, Kyoto, Japan.

[8] 農業振興公社, 1973. 錦江, 平澤地區 農業綜合開發事業 水文報告書.

[9] 農業振興公社, 1975. 榮山江 2段階 農業綜合開發事業 水文調査 報告書.

[10] 徐榮濟, 1983. Tank-model에 의한 流出解析, 建國大學校 碩士學位 論文, 未發表.

[11] 徐榮濟, 高在雄, 1987. 線形貯水池模型의 媒介變數硏究, 韓國水文學會誌, Vol.20, No.3, pp.229-235.

[12] 徐榮濟, 1990. 淡水化湖의 水資源 開發에 관한 硏究, 日本 京都大學, 博士學位論文, pp.69-121.

[13] 徐榮濟, 1991. 平行線形貯水池模型의 一般化에 관한 硏究, 第34回 水工學硏究 發表會 論文集, pp.435-pp.442.