線形 貯水池 模型의 parameter 硏究

(A study on parameters of the linear reservoir models)

農業振興公社 技術支援課 徐 栄済
建国大学校 工大教授 高 在雄

ABSTRACT

The purpose of this study is to estimate the parameters of linear reservoir models in order to derive the instantaneous unit hydrograph from a given small experimental watershed. The linear reservoir model is a conceptual model,consisting of cascade or parallel equal linear reservoirs,preceded by a linear channel which involved NASH,SLR(single linear reservoir)and 2-PLR(two-parallel linear reservoir)model.The NASH model have two parameters N and K,single linear reservoir has one parameter K1 and two-parallel linear reservoirs have two parameters K1,K2;where N denote the number of reservoirs and K is the storage coefficient of each reservoirs.

1. 序論

지금까지 우리나라 河川의 設計洪水量 計算은 無計測 中小河川流域이 많으므로 대부분 外国의 公式을 修正補完하여 쓰거나 또는 그대로 使用함으로 地形的, 流域特性別 相異한 條件에서 이를 適用함은 多少 矛盾을 안고 있는 実情이다. 현재까지 実務에 応用된 공식은 일찌기 1851년 Mulvany가 提案한 合理式에서 부터 1921년 Kajiyama가 発表한 韓国河川 最大洪水量 공식까지 모두가 尖頭洪水量을 算定하기 위한것으로 時間別 水文曲線을 誘導하기 위한 努力은 1980년대까지 単位図를 제외하고는 尹,鮮于,朴等에 의한 漢江,錦江,洛東江의 綜合単位流量図 誘導例 밖에 없다.그러나 国内에서도 局部的으로 大河川에서 大清댐이나 栄山江 河口堰設計時 탱크模型이 適用되기 시작하였으며 錦江,平沢과 揷橋川 大単位農業開発事業에서는 無次元単位図와 単位図가 各各 活用되었다.

本研究는 農業振興公社에서 実測한 論山塔亭池 流域의 降雨-流出量 記録을 바탕으로 最近 水文学分野에서 활발이 研究開発되고 있는 線形貯水池 流出模型을 適用하여 瞬間単位図(IUH)를 誘導함과 同時에 各模型이 가지는 媒介変数(parameters)를 決定比較하기 위한 것으로 NASH와 SLR,2-PLR 模型의 設計適用与否를 検討하였다.그리고 위의 模型変数 推定은 NASH는 積率法으로 N,K값을 推定하였으며 線形貯水池 模型은 回旋積分(convolution integral)方程式에 線型貯水池 模型理論을 unit pulse 函数로 適用 瞬間単位図 基本式으로 使用하였다.

2. 基本理論

2.1 線形貯水池 模型(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 模型의 貯水量 S 가 流出量 Q 에 比例한다고 생각하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S=KQ \qquad \text{------------}(2.1)$$

여기서 K 는 貯留常数이며 시간에 대한 貯水池의 流入量 I(t) 와 流出量 Q(t)의 變化에 따라 連続方程式을 適用하면

$$I-Q=ds/dt \qquad \text{------------}(2.2)$$

가 되고 여기서 流入量을 無視한 水文曲線의 減水部(recession curve:Fig.2.2)만 생각하면 I=0 이므로

$$ds/dt=-Q \qquad \text{------------}(2.3)$$

이 된다. 식(2.1)에 식(2.3)의 微分項을, t=0 일때 Q=Q0 를 대입하여 풀면

$$Qt=Q0\ EXP(-t/k) \qquad \text{------------}(2.4)$$

가 된다. 또 t=0 일때 線形貯水池의 単位体積을 考慮하면 S(0)=1 이므로 이것을 식(2.1)에 적용하면

$$Q0=1/k \qquad \text{------------}(2.5)$$

가 되고 윗식을 다시 식(2.4)에 대입하면

$$Q(t)=1/k\ EXP(-t/k) \qquad \text{------------}(2.6)$$

으로 나타낼 수 있으며 이 식을 NASH 와 線形貯水池 模型의 unit pulse 函数로 사용 하였다.

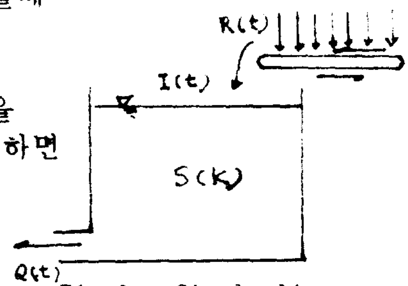

Fig.2.1 Single linear resernoir model

2.2 NASH 模型의 理論

NASH(1957)는 線形貯水池 模型을 cascade化 하여 만든것으로 우선 두개의 線形貯水池 貯留常数가 K1,K2 된다고 假定하여 첫번째 貯水池에서 瞬間単位図(IUH)의 函数를 식(2.6)을 適用 두번째 貯水池로 routing되어 回旋된다고 하면

$$U(0,t)=\int_0^t Q(\tau)1/k2\ EXP(-(t-\tau)/k2)\ d\tau \qquad \text{------------}(2.7)$$

이 되고 $Q(\tau)=(1/k1)\ EXP(-\tau/k1)$ 이므로

$$U(0,t)=\int_0^t (1/k1)\ EXP(-\tau/k1)\cdot 1/k2\ EXP(-(t-\tau)/k2)\ d\tau \qquad \text{------------}(2.8)$$

이 되며 다시 이 식은

$$U(0,t)=1/(k1-k2)(EXP(t/k1)-EXP(t/k2)) \qquad \text{------------}(2.9)$$

으로 變形할 수 있다. 같은 方法으로 cascade化 된 線形貯水池 模型의 IUH 를 誘導하면

$$U(0,t)=\int_0^t 1/k\ EXP(-\tau/k)\cdot 1/k\ EXP(-(t-\tau)/k)\ d\tau$$
$$=(1/k)\ EXP(-t/k)=1/k(t/k)EXP(-t/k) \qquad \text{------------}(2.10)$$

이 되며 여기서 cascade 된 線形貯水池 模型의 k1 과 k2 는 같으므로 同一化 하였다. 만약 n개의 貯水池일 경우

$$U(0,t)=1/k(t/k)^{n-1}\cdot 1/(n-1)!\cdot EXP(-t/k) \qquad \text{------------}(2.11)$$

으로 나타낼 수 있으며 (n-1)! 代身 gamma ($\Gamma(n)$)函数로 代置하여 사용할 수 있다 Fig.2.2

$$U(0,t)=1/k(t/k)^{n-1}\cdot(1/\Gamma(n))\cdot EXP(-t/k) \qquad \text{------------}(2.12)$$

2.3 平行線形 貯水池模型(Parallel-linear reservoir model)의 理論

Fig.2.3에서 瞬間単位図(IUH)의 単位函数가 $U(0,t)=1/k\ EXP(-t/k)$로 주어졌다면

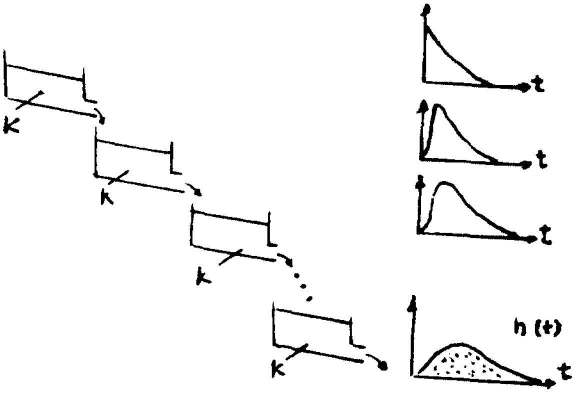

Fig.2.2 A cascade of linear reservoir

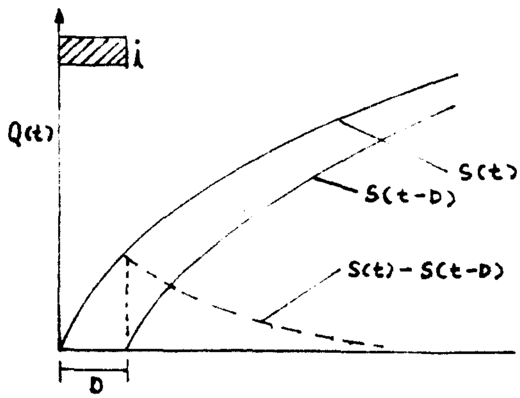

Fig2.3 S-curve

$$S(t)=i/d \int_0^t U(0,t)dt \qquad \text{————————}(2.13)$$

식에서 i=1을 適用하면

$$S(t)=1/d \int_0^t 1/k\ EXP(-t/k)\ dt = 1/d\ (1-EXP(-t/k)) \qquad \text{———}(2.14)$$

가 된다. 이 식에서 d 時間만큼 S 曲線을 移動시키면

$$S(t-d)=1/d(1-EXP(-(t-d)/k)) \qquad T>=d \qquad \text{————}(2.15)$$

이 되고 다시 単位図 U(d,t)는

$$U(d,t)=S(t)-S(t-d)=1/d(1-EXP(-t/k))-1/d(1-EXP(-(t-d)/k))$$
$$=1/d\ EXP(-t/k)(EXP(d/k)-1) \qquad t>=d \qquad \text{—}(2.16)$$

으로 나타낼 수 있다.그러므로 d=1.0시간을 적용할 경우

$$\left.\begin{array}{ll} U(1,t)=1-EXP(-t/k) & 0<t<=1 \\ =EXP(-t/k)(EXP(1/k)-1) & t>=1 \end{array}\right] \qquad \text{———}(2.17)$$

이 되며 単位図는 시간의 函数로써 瞬間単位 時間에 대한 一般式으로 나타내면

$$DUH=\int_{t-1}^{t} U(d,t)dt=\int_{t-1}^{t}(1-EXP(-t/k))dt=kEXP(-t/k)-(k-1) \qquad t=1$$
$$=\int_{t-1}^{t} EXP(-t/k)(EXP(1/t)-1)dt=kEXP(-t/k)(EXP(1/k)-1) \qquad t=2,3,4 \qquad \text{——}$$

가 된다. 그러므로 SLR의 基本方程式은

$$DUH=\{\ k\ EXP(-t/k)-(k-1) \qquad t=1 \qquad \}\text{———}(2.18)$$
$$DUH=\{\ k\ EXP(-t/k)(EXP(1/k)-1) \qquad t=2,3,4 \qquad \}$$

이 된다.그리고 2-PLR(Two-parallel linear reservoir)模型의 基本方程式은

$$DUH=\{1/2[k1EXP(-t/k1)-(k1-1)]+1/2[k2\ EXP(-t/k2)-(k2-1)] \qquad t=1\}$$
$$\{1/2k1EXP(-t/k1)(EXP(1/k)-1)+1/2k2\ EXP(-t/k2)(EXP(1/k2)-1) \qquad t=2,3,\text{--} \qquad \}\text{—}(2.19)$$

로 나타낼 수 있다.(Fig.2.4)

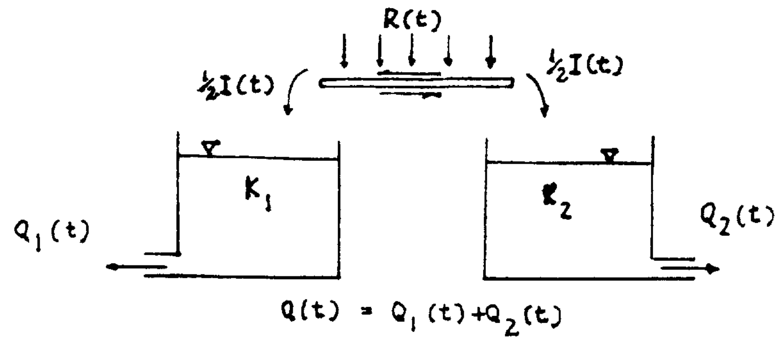

Fig.2.4 General runoff system of 2-PLR model

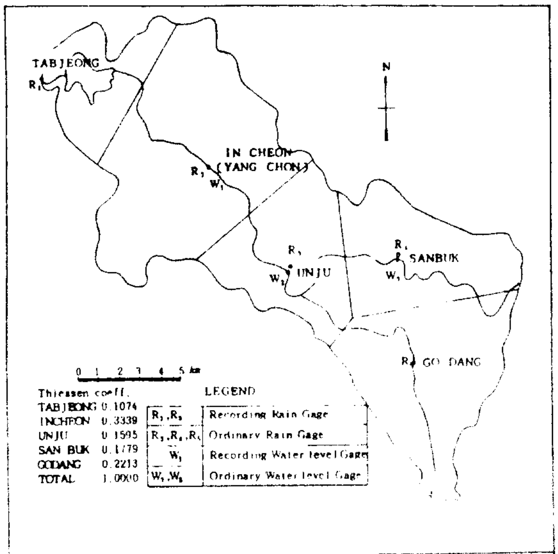

Fig.3.1 Map showing of TABJEONG

2.4 適用된 模型의 媒介変数 算定

NASH 模型의 決定変数 N,K는 観測된 降雨記録-流出水文曲線으로 積率法에 의해 구하였으며 SLR와 2-PLR模型의 決定変数 K1 과 K1,K2는 観測된 水文曲線의 代表減水曲線(Master depression curve)을 이용하여 구하였다.

3. 使用資料및 分析方法

3.1 使用資料

本 分析에 適用된 対象流域은 錦江의 支流인 論山川 上流部에 築造된 塔亭貯水池의 集水流域(CA=218.8KM^2)으로서 農業振興公社가 世界銀行에 塔亭池 물管理 指針書를 提出하기 위해 設置된 水文観測所 資料를 引用하였다. 그러나 W2(UN JU)지점과 W3(SAN BUK)지점의 水位観測所는 普通水位標로서 시간별 資料가 不充分 하여 단지 W1(IN CHEON)지점의 自記水位 記録置만을 이용 하였으며 시간별 降雨資料는 Thiessen網에 의거 面積雨量을 適用하였다.(Fig.3.1 参照)

3.2 直接流出量과 有效雨量의 分離.

Sampling한 流出量 記錄置에서 直接流出과 有效雨量 分離는 水文曲線 減水部 變曲点 이후의 流量이 Qt=Q0 EXP(-t/k)에 比例한다는 條件에서 流量-時間과의 水文曲線을 半代數紙에 프롯팅하여 물매急變点法으로 分離하였고 有效雨量은 初期損失과 一定損失雨量法으로 나누어 取하였다.

Table 4.1 Comparison of modelling parameters

Date	Applied model	Channel delay time	Parameters Starting $k_1(N)^*$	Parameters Starting $k_2(K)$	Parameters Final $k_1(N)^*$	Parameters Final $k_2(K)$	Qp(mm) Observed	Qp(mm) Computed	Qp(mm) Error rate(%)	Tp(hr) Observed	Tp(hr) Computed	RMS	F	Depth of IUH (Cm)
[illegible](S_1)	NASH		1,476	8,705	1,311	9,177	[illegible]	[illegible]	[illegible]	12	12	0.0033	0.448	0.996
	SLR ⑧	4	16.8	-	1[illegible],405	-	1.70	[illegible]	[illegible]	12	1[illegible]	0.0027	0.501	0.995
	2-PLR	3	2.7	16.8	10,298	14,480	1.70	1.701	2.0	12	12	0.0042	0.736	0.988
[illegible](S_2)	NASH ⑧	-	1,706	8,965	1,315	12,104	0.71	0.687	-3.[illegible]	6	-	0.0027	0.086	0.976
	SLR	3	16.8	-	17,576	-	0.71	0.767	+8.3	8	6	0.0037	0.158	0.947
	2-PLR	3	2.7	16.8	15,900	16,585	0.71	0.827	+16.5	8	6	0.004	0.189	0.958
[illegible]12(S_3)	NASH	3	1,125	5,069	1,007	5,213	4.79	4.84	+1.0	8	8	0.0058	1.65	0.997
	SLR	3	16.8	-	4,077	-	4.79	5.82	+21.5	8	8	0.0109	5.86	0.999
	2-PLR⑧	3	2.7	16.8	3,317	9,857	4.79	4.685	-2.2	6	8	0.0056	1.509	0.977

⑧는 Parameter검정에 사용된 IUH

* ( )는 Nash-model 의 Parameter 임.

3.3 分析方法

本 分析에서는 論山 塔亭池 流域에서 觀測된 降雨-流出量 資料中 洪水 水文曲線이 比較的 뚜렷한 '84년 洪水記錄 3件을 Sampling하여 NASH模型의 變數 N,K는 積率法(Moment method)으로 그리고 SLR와 2-PLR模型의 變數는 代表 減水曲線(Master depression curve)방법으로 算定한 k1 과 k2값을 初期變數로 정하였다.그리고 實測値에서 誘導된 各模型의 媒介變數는 模型化(Modelling)하는 過程에서 RMS(Root mean square)값을 比較하여 가장最少値를 檢定하는 目的函數(Objective function)로 삼았으며 또 降雨 発生時間과 流出量과의 遅滯時間(Channel delay time)은 수로지체 시간으로 假定하여 1시간씩 變化시켜 가면서 행하였다.(Table4.1)

4. 檢討및 考察

4.1 實測値와의 比較

3건의 洪水発生 記錄으로 水路遅滯 시간을 한시간씩 주면서 NASH模型과 SLR,2-PLR 模型의 變數들을 模型化한 結果 水路遅滯 시간은 大部分의降雨発生件에서 3시간 範囲로 나타났으며 RMS값은 0.002-0.005範囲(7/12 SLR 模型만 除外)로 比較的 모든 模型이 類似한 값으로 檢定되었다. 그리고 尖頭洪水量(Qp)의 誤差도 10% 未滿 이었으며 全体 瞬間単位図(IUH)体積도 0.95cm이상으로 나타났다.그러나 實測値와 誘導된 模型의 結果値의 最終檢定은 RMS값으로 判別하였으며 S1洪水에서는 SLR模型의 瞬間単位図를 S2,S3

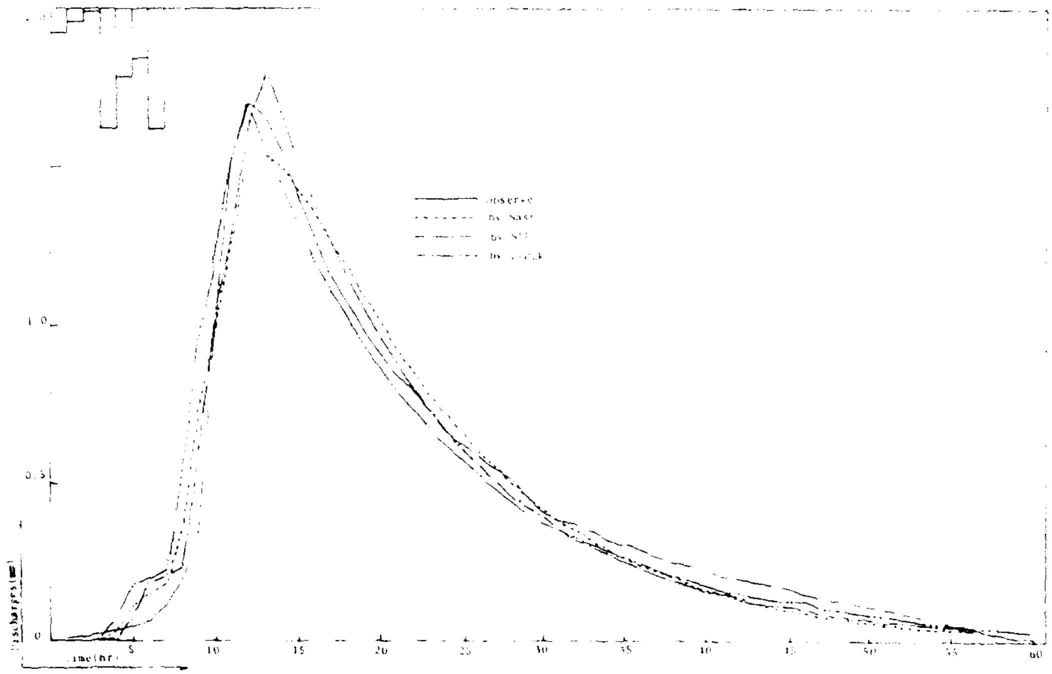

Fig.4.1 Observed & computed flood hydrograph for S1

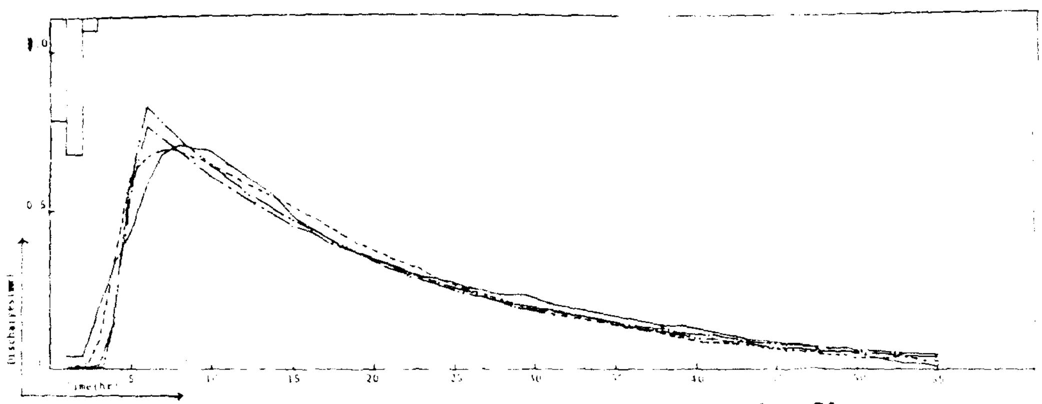

Fig.4.2 Observed & computed flood hydrograph for S2

洪水에서는 NASH와 2-PLR模型의 瞬間単位図를 複合降雨-流出記録의 回旋検定을 위한 標本IUH로 選定하였다. 그리고 Peak洪水量만을 比較할때 S1洪水에서는 2-PLR, S2,S3洪水에서는 NASH模型이 잘 맞는것으로 나타났다.(Table4.1 , Fig.4.1-Fig.4.3)

4.2 模型의 媒介変数 検定

4.1에서 選定된 RMS값이 가장 작은 模型의 瞬間単位図로써 複合降雨-流出量 記録에 回旋하여 실제로 각 模型이 実験流域의 流出形態와 어느精度까지 一致하는가를 살펴 보았다. 즉 세가지 洪水에서 얻은 가장 適合한 3가지 模型의 瞬間単位図를 長期間의 降雨에 回旋하여 多様하게 나타난 실제

流出記録과 比較하여 봄으로서 금회 誘導된 模型의 媒介変数 適用与否를 検討함과 함께 瞬間単位図의 適合性도 검토 하였다. 그 結果 RMS값은 3개 模型 공히 0.003範囲로 나타났으며 SLR와 NASH模型의 相関性은 대단히 높았다. (Table4.2)(Fig.4.4)

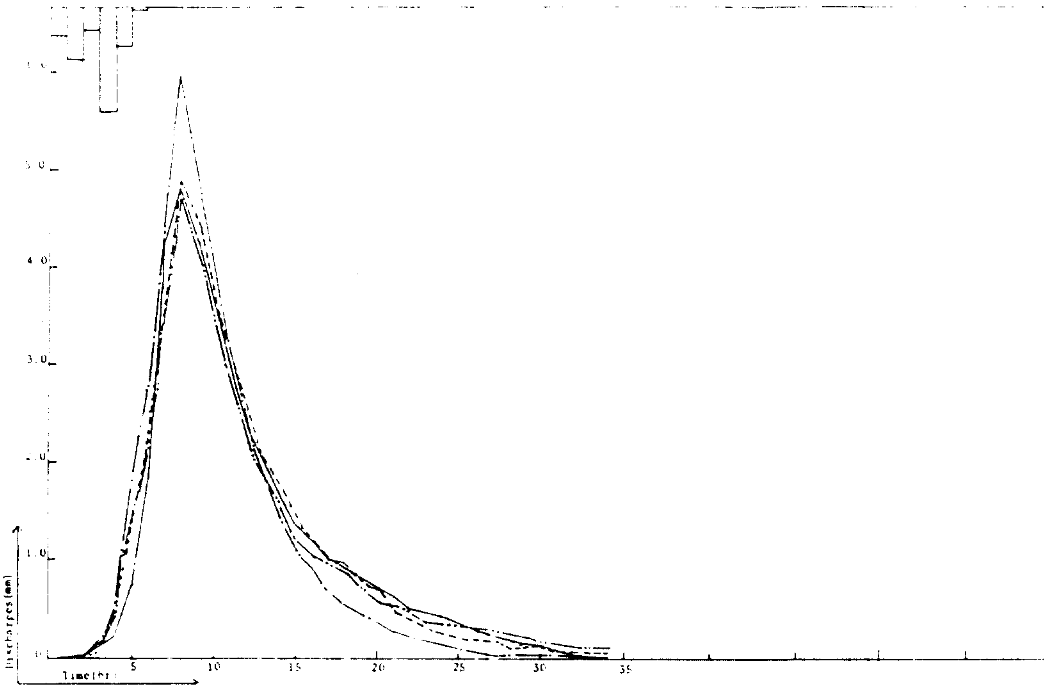

Fig.4.3 Observed & computed flood hydrograph for S3

Table 4.2 Test of estimated parameters for complex hydrograph

Date	Type	Parameters		RMS	Observed ΣQ(mm)	Computed ΣQ (mm)	Error rate(%)	r
		K_1(N)	K_2(K)					
'84.7.1-7.5	S_1,SLR	11.405	-	0.00362	109.96	103.52	-6.44	0.942
	S_2, Nash	1.315	12.104	0.00324	109.96	103.47	-6.49	0.895
	S_3,2-PLR	3.317	9.857	0.00296	109.96	102.69	-7.27	0.771

( ) Nash-model parameters

5. 結論

이상과 같이 論山川 上流部에 位置한 塔亭池 流域의 実測된 時間別 降雨量과 自己水位計의 流出量 資料를 利用하여 NASH模型과 SLR,2-PLR模型의 媒介変数들을 推定함과 同時에 誘導된 瞬間単位図를 複合降雨에 回旋하여 検討하였으며 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

1) 今回 誘導된 3개 模型 공히 実測資料만 満足하면 洪水流出解析에는 設計模型으로 충분히 活用할 수 있는 正確度가 検定 되었다.

2) 洪水流出에 適用할 模型은 長期流出과는 달리 降雨-流出量 관계를 線形으로

模型化 하여도 滿足할 만한 結果를 얻을 수 있었다.

3) 実験流域의 降雨-洪水 遅滯시간은 금회분석에서 概略的으로 3-4 hr 範囲로 나타났다.

4) S3洪水는 事前降雨가 많은 豪雨期間중 발취된 資料로서 瞬間単位図 誘導에는 不適合 하였다.

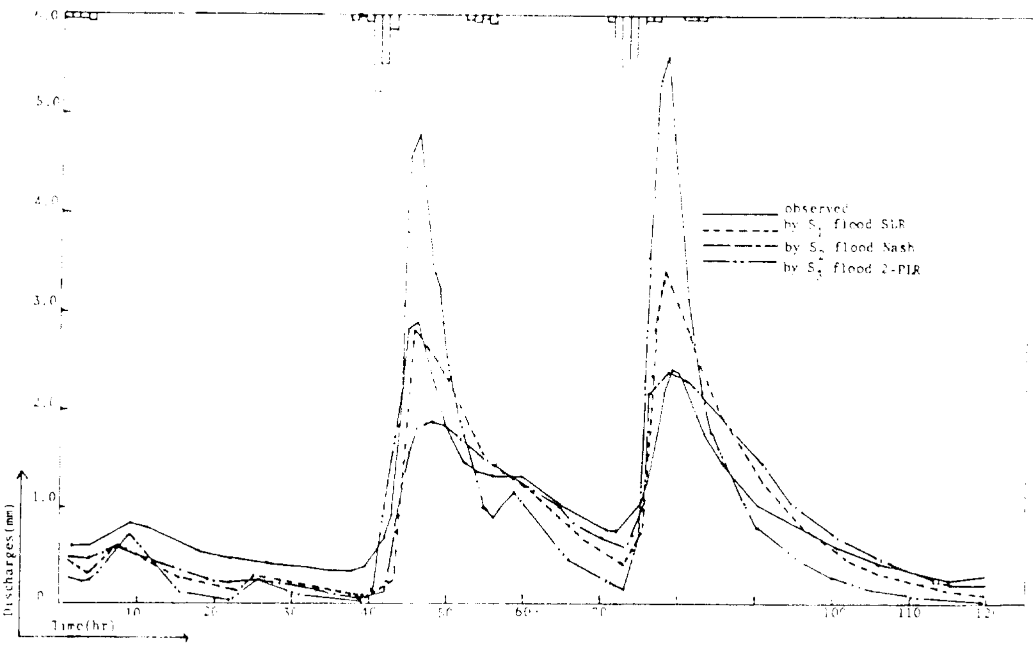

Fig.4.4 Test of complex hydrograph for estimated parameters

5) S1,S2洪水에서 얻은 各 模型의 媒介変数範囲는 NASH-model의 N,K값은 N=1.3, K=9.0-12.0 그리고 平行線形貯水池 模型의 K값은 10-17 범위로 나타났다. (table4.1)

짧은 기간('83.6-'84.12)동안 観測된 資料이므로 不充分하여 여러면으로 分析해 보지 못한점이 아쉽다. 앞으로 自然発生的인 水文現象의 正確한 糾明은 계속적인 観測없이는 불가능 하다는점과 우리나라에서도 実験流域을 拡大 選定하여 外国에서 発表된 여러 模型의 媒介変数를 流域特性에 맞게 誘導하여야 할 것으로 思料된다.