

# 저류함수법에 의한 홍수유출해석

## Flood Runoff Analysis by a Storage Function Model

남궁달\* · 김규성\*\*  
Nam Kung, Tal · Kim, Kyu Syung

### Summary

The formulas for estimating the constants of storage function model including  $K$  and  $T_L$  for runoff analysis and a distributed storage function model are discussed in this study.

First, the relations between parameters of the storage function model and the kinematic runoff model are theoretically examined, and then optimum constants of storage function model are obtained by the Standardized Davidson-Fletcher-Powell (SDFP) method.

Through this analysis, theoretical formulas were obtained as  $K = 0.63\alpha K_s B^{0.6}$  and  $T_L = 0.11\alpha K_s B^{0.6} / r_e^{0.4}$ , which are difficult to use practically because of the unclarified definition of shape factors.

From a practical point of view, empirical formula were derived as  $K = 15.6B_m^{0.3}$  and  $T_L = 2.1B_m^{0.36} / r_e^{0.4}$  for applied watersheds. The proposed formulas are verified for several recorded floods at a few points of watersheds. It is also found that the distributed storage function can be applied to flood runoff analysis using the new formulas above mentioned.

### I. 서 론

유출해석에 대한 방법은 여러가지가 제안되어 많은 유역에서 적용되어 왔다. 그러나 각 유역특성 및 해석목적에 따라 각기 다른 방법이 사용되고 있기 때문에 각 모델의 상호 관련성이나 토지이용형태에 따른 모델상수가 명확

하게 정의되어 있지 않고 지역개발에 따른 유출특성의 변화에 대한 연구도 미진하여 유출해석에 대한 연구가 끊임없이 진행되고 있다.

저류함수(貯留函數)모델<sup>1,2,10,11)</sup>은 유역을 우수(雨水)를 저류하는 장으로 생각하여 저류량과 유출량 간의 어떤 함수관계에 의하여 유출 계산을 하는 방법으로 비선형(非線形)효과

\* 충북대학교 농과대학

\*\* 충북대학교 대학원

키워드 : 저류함수법, 분포형 저류함수, 지체시간, 최적상수, 유효우량, 상대오차, 평가함수, 등가조도

를 무리 없이 나타내는 특징을 가지고 있다. 또한 표면류형 kinematic wave 유출모델<sup>12)</sup> (이하 표면류모델이라고 함)은 실용화된 각종의 홍수유출해석법 중에서 취급이 간편하다는 점, 수문자료에 대한 요구가 적다는 점, 분포형모델이므로 유역이 개발되어 토지이용상태가 부분적 혹은 전반적으로 변화하는 경우에 대처할 수 있는 특징을 가지고 있다. 따라서 이런 표면류모델의 특성을 저류함수모델에 접합시키면 토지이용상태가 변화된 개발유역에서도 저류함수모델에 의한 유출해석이 가능하리라 사료된다.

이와 같은 견지에서, 본 논문에서는 먼저 위에서 언급한 두가지의 모델, 즉 저류함수모델과 표면류모델을 비교검토하여 이론적인 상수추정식을 유도한다. 그리고 최적화된 상수와 유역의 사면장의 관계로부터 실용적인 상수추정식을 유도하고 이를 몇개의 실유역에 적용하여 얻은 홍수추적의 결과에 대하여 고찰하고자 한다.

## II. 연구대상유역과 대상홍수

### 1. 대상유역

연구대상 유역은 Table-1에 표시한 바와 같

이 유역면적 72.5km<sup>2</sup>-475.6km<sup>2</sup>의 범위에 속하는 4개의 수계에 포함되는 7개 하천의 9개 유역이다. 이들 유역은 농지나 시가지가 포함되어 있지만 주로 산지로 되어 있다.

우선 각 유역의 지질구조를 살펴 보면 한강수계의 섬강, 평창강유역은 전반적으로 비슷한 변성퇴적암의 연천계에 속하는 규암, 운모편암, 화강편마암으로 되어 있으며 산림상태는 양호하다.

다음으로 금강수계에 속하는 보청천유역은 변성퇴적암의 옥천계에 속하는 회색화강암, 천매암, 운모편암, 규산암등으로 되어 있다. 그리고 산림상태는 양호하나 잡목림으로 되어 있다. 그리고 영산강수계의 지석천유역의 구조는 반암, 화강암, 섬록암으로 되어 있고 산림상태는 양호하나 잡목림으로 되어 있다. 또한, 낙동강 수계에 속하는 금천 남강유역은 경상계에 속하는 화강편마암, 역암, 사암, 헬암, 화성암등으로 되어 있다. 또한 산림상태도 거의 다른 유역과 비슷하다.

대상유역의 지형법칙<sup>3)</sup>을 살펴보면 Fig. 1에 표시된 바와 같이 하천장 L과 유역면적 A의 관계는 거의 직선적이고 이들 유역에 있어 Hack의 법칙  $L=KA^b$ 가 성립한다. 이 관계를 최소자승법으로 구하면  $U=1.87$ ,  $b=0.52$

Table-1. Characteristics of watersheds for study

River system	Stream name	Subwatershed	Basin area (km <sup>2</sup> )	Stream length(km)	River slope	Average width(km)	Shape* factor
Han river " "	Suam gang	Heng syung	443.0	44.8	1/250	9.8	0.22
	Peong changgang	Jangpeong	105.8	20.0	1/100	5.3	0.26
GUM river	Bocheong cheom	Gidae	346.5	34.4	1/350	10.1	0.29
	"	Sangye	475.6	47.0	1/400	10.1	0.21
	"	Tanbu	72.5	17.2	1/250	4.2	0.24
Nakdong river	Gum cheon	Supeong	85.5	18.2	1/100	4.7	0.25
	Naghang	Beongcheon	302.1	36.7	1/300	8.1	0.22
Han river	Soksa cheon	Limok jeong	55.9	15.5	1/100	3.6	0.23
Yeongsanriver	Jiseok cheon	Libgyo	97.5	20.0	1/100	4.9	0.24

\* shape factor;  $A/L^2$

Table-2. Rainfall and discharge used for runoff analysis

River system	Stream name	Subwatershed	Total rainfall(mm)	Peak discharge (mm/hr)	Basin flow (mm/hr)	Number of flood	Number of rain gauge	Date
Han river	Suam gang	Heng syung	104.1	2.59	0.16	1	2	July. 11. '78
	Peong changgang	Jangpeong	212.8	9.70	1.28	1	2	July. 1. '84
	Socksa cheon	Limok jeong	194.0	5.52	0.45	1	1	July. 3. '84
GUM river	Bocheong cheom	Gidae	107.0	1.74	0.48	2	9	July. 12. '84
	" "	Sangye	60.2	1.33	0.3	1	12	July. 12. '84
	" "	Tanbu	49.2	3.62	2.13	1	4	July. 12. '84
Nakdong river	Gum cheon	Supeong	99.0	3.61	0.26	1	2	July. 12. '77
	Naghang	Beong cheon	62.4	5.61	0.75	1	2	July. 22. '83
Yeongsan river	Jiseok cheon	Libgyo	89.0	4.11	0.5	1	1	July. 11. '75

로 된다.

일반적으로 지수의 값은  $b=0.52-0.7$ 이므로  $b$ 를 그 평균치인 0.6으로 고정하면  $K=1.27-1.89$ 가 되므로 Fig. 1은 평균적 경향을 표시하는 것이라고 할 수 있다.<sup>16)</sup>

## 2. 대상홍수

본 연구에 사용된 수문자료는 한강 홍수통

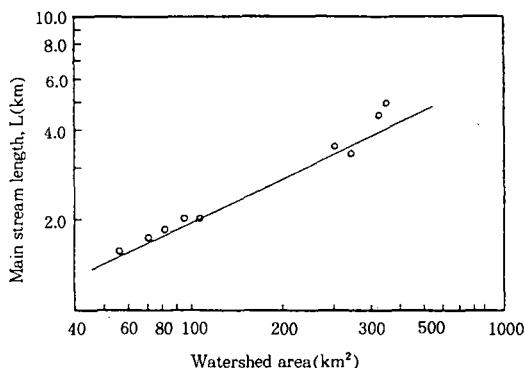


Fig. 1. The relation between watershed area and main stream length for study watersheds

제소, 대전지방 국토관리청, 원주지방 국토관리청, 농어촌 전홍공사등에서 수집한 9개의 자료(기록지)를 사용하였으며 그 개요를 Table-2에 표시하였다.

## 3. 유효강우량

유효강우량은 면적우량으로 부터 누가손실 우량곡선을 사용하여 추산하였다. 기저유량의 분리는 수평 분리법을 적용하였다. 면적우량은 원칙적으로 Thiessen법을 적용하여 추산하

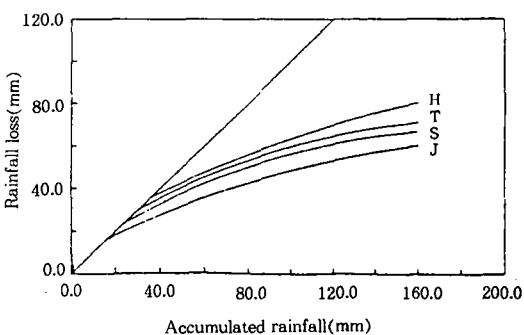


Fig. 2. Accumulated rainfall loss curve

였다. 그러나 우량관측점이 2개소인 유역에서는 2지점의 우량의 평균치를 면적우량으로 사용하였다. 여기에 사용된 누가손실우량곡선의 일례를 도시하면 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서 H, T, S, J는 각각 횡성, 탄부, 산계, 장평 유역의 홍수를 뜻한다.

### III. 홍수유출모델과 최적상수

#### 1. 유출모델

##### 가. 저류함수모델의 기초식

기초식은 다음과 같이 표시된다.

$$S_L = KQ_L^P \quad \dots \quad (1)$$

$$S_L = \int_0^{t-T_L} r_e dt - \int_0^t Q_L dt \quad \dots \quad (2)$$

여기서  $Q_L$ ; 시각  $t-T_L$ 의 유출량( $\text{mm}/\text{hr}$ )

$S_L$ ;  $t-T_L$ 의 저류량( $\text{mm}$ )

$r_e$ ; 유효강우강도( $\text{mm}/\text{hr}$ )

$K, P$ ; 상수  $T_L$ ; 지체시간( $\text{hr}$ )

실제 유출해석에서 유효강우량의 추정은 위에서 언급한 바와 같이 누가손실 우량곡선에 의하여 구하였으며 유출량 계산은 (1), (2)식에서 얻어진 (3)식을 Runge-Kutta법으로 계산하였다.

$$dQ_L/dt = (1/KP) (r_e - Q_L) Q_L^{1-P} \quad \dots \quad (3)$$

상수의 최적화의 기준이 되는 평가함수로는 (4-a)식을, 실측치와 계산치의 오차를 알아보기 위하여 (4-b)식을 적용하였다.

$$Jx = (1/m) \sum (Q_{0i} - Q_{ci})^2 / Q_{0i} \dots \text{Min.} \quad (4-a)$$

$$J = (1/m) \sum |(Q_{0i} - Q_{ci})| / Q_{0i}$$

$$Q_{01} >= Q_* \quad \dots \quad (4-b)$$

여기서  $Jx$ ; 평가함수치( $\text{mm}/\text{hr}$ )

$Jr$ ; 상대오차(%)  $m$ ; 데이타수

$Q_0$ ; 실측치( $\text{mm}/\text{hr}$ ),

$Q_c$ ; 계산치( $\text{mm}/\text{hr}$ ),

$Q_*$ ; 오차평가의 대상이 될 최저유량( $\text{mm}/\text{hr}$ )

#### 나. 표면류 모델의 기초식

기초식은 다음식으로 표시된다.

$$\text{사면류;} h = Ks q^{Ps} \quad \dots \quad (5-a)$$

$$\partial h / \partial t + \partial q / \partial x = r_e \quad \dots \quad (5-b)$$

$$\text{하천류;} W = Kc Q^{Pc} \quad \dots \quad (6-a)$$

$$\partial W / \partial t + \partial Q / \partial x = q_L \quad \dots \quad (6-b)$$

여기서  $h$ ; 사면상의 수심( $\text{m}$ )

$W$ ; 하천의 유수단면적( $\text{m}^2$ )

$q$ ; 사면 단위 폭당 유량( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$Q$ ; 하천 유량( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$r_e$ ; 유효 강우강도( $\text{m}/\text{s}$ )

$q_L$ ; 하천 단위길이당 횡유입량( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$t$ ; 시간( $\text{s}$ )  $x$ ; 거리( $\text{m}$ )

$Ks, Ps$ ; 사면류 상수

$Kc, P_c$ ; 하천류 상수

사면류 상수  $Ks, Ps$ 는 흐름의 종류에 따라 다음과 같이 된다.

$$\text{총류형 표면류 } Ks = (3\nu/gs)^{Ps}, Ps = 1/3$$

$$\dots \quad (7-a)$$

Manning형 표면류

$$Ks = (N/S^{1/2})^{Ps}, Ps = 3/5 \quad \dots \quad (7-b)$$

Chezy형 표면류

$$Ks = (CS^{1/2})^{-ps}, Ps = 2/3 \quad \dots \quad (7-c)$$

Darcy 형 중간류  $Ks = (Ki/\lambda)^{-ps}, Ps = 1$

$$\dots \quad (7-d)$$

$Ki$ ; 표층토의 투수계수( $\text{m}/\text{s}$ )  $S$ ; 사면기울기

$N$ ; 사면의 등가조도 ( $\text{s}/\text{m}^{1/3}$ )

$\lambda$ ; 표층토의 유효공극률(%)

$\nu$ ; 물의 동점성 계수( $\text{cm}^2/\text{s}$ )

$g$ ; 중력 가속도( $9.8\text{m}/\text{s}^2$ )  $c$ ; 계수

## 2. 이론적 상수추정식

저류함수모델의 상수  $K$ ,  $P$ 와  $T_L$ 의 물리적 의미를 확실히 하기 위하여 Fig. 3과 같은 유역에 대하여 수리학적 기초에서 이루어지는 표면류모델과 저류함수모델의 관계를 이론적으로 검토한다.

실제의 하천유역은 하천에 의하여 다수의 소유역으로 분할 되고 소유역은 하천과 사면으로 구성되는 것으로 생각한다. 이와 같은 경우, 사면장분포는 감마분포<sup>7)</sup> 혹은 대수정규분포<sup>5)</sup>로 알려져 있으며 이들을 이용하여 사면장을 고려한 저류함수와 표면류 모델의 연구가 진행되고 있다.<sup>4,15)</sup>

유역을 주하천과 이에 따른 좌우 대칭의 사면으로 된 간단한 구역으로 생각하여 이 유역에 공간적, 시간적으로 일정한 유효강우강도  $r_e$  가 계속 된다면 첨두유량 발생시의 유역 평균 저류량  $V$ 는 사면과 하천에 발생하는 저류량의 합이 되므로 (5-a), (6-a)식으로 부터 다음식과 같이 표시할 수 있다.

$$V = 2L \int_0^B h_s dx + \int_0^L W dx = KcL \{ (1+P_c)ts / (1+P_c)tc + 1 \} Q^{P_c} / (1+P_c) \quad (7-e)$$

위의 식은 하천의 저류량에 주안점을 둔 표현이므로 이를 사면의 저류량으로 변형시켜

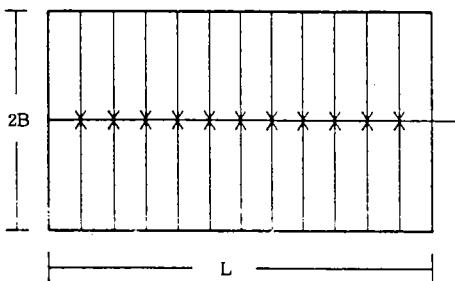


Fig. 3. Model of the watershed for kinematic wave analysis

저류량을 수심,  $h_m$ 로 표시하면 다음과 같다.<sup>13)</sup>

$$h_m = KsB^{Ps} \{ 1 + (1+Ps)tc / (1+Pc)ts \} r_e^{Ps} / (1+Ps) \quad (8)$$

$$ts = KsB^{Ps} r_e^{Ps-1}, \quad tc = KcL^{Pc} q_L^{Pc-1} \quad (9)$$

$ts$ ,  $tc$ ; 사면 및 하천에서의 흥수 전파시간(s)  
 $B$ ,  $L$ ; 사면 및 하천의 길이(m)

또한 흥수도달시간,  $T_p$ 는 다음과 같다.

$$T_p = ts + tc = KsB^{Ps} (1 + tc/ts) / r_e^{1-Ps} \quad (10)$$

여기서 지체시간  $T_L$ 는 Fig. 4에서 첨두유량 발생조건으로부터 추정할 수 있다.<sup>14,15)</sup>

지금 흥수도달시간  $T_p$ 가 Fig. 4에서 정의된 것처럼 표현되는 것<sup>6,8)</sup>이라면  $T_L$ 는 유효 강우 과정에 좌우 되는 흥수도달시간과 밀접한 관계를 가지고 있으므로  $\beta(T_L = \beta T_p)$ 를 상수로 해서 지체시간  $T_L$  및  $P$ ,  $K$ 는 다음 식으로 표시된다.<sup>6,8)</sup>

$$P = Ps \quad (11)$$

$$K = KsB^{Ps} \{ 1 + (1+Ps)tc / (1+Pc)ts \} / (1+Ps) \quad (12)$$

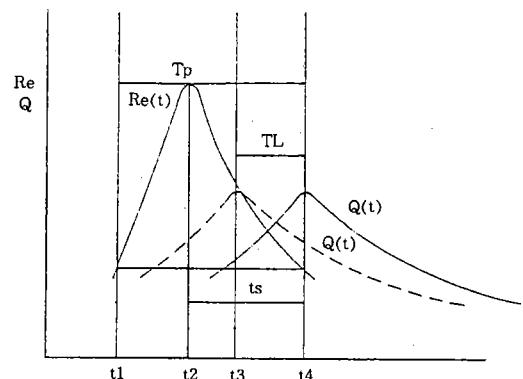


Fig. 4. Definition of the delay time  $T_L$  in the storage function model

$$T_L = \beta T_p = \beta K_s B_m^{Ps} (1 + tc/ts) / r_e^{1-Ps} \dots (13)$$

실제의 하천유역은 하천에서 많은 지류역으로 분할되고 각 하천 지류역은 하천과 그 것에 부수되는 사면으로부터 구성되므로 사면장을 어떻게 평가 할 것인가 문제가 된다. 이제 하천의 저류량이 사면의 저류량에 비해서 무시되는 것이라고 하면  $tc/ts=0$ 으로 되고 (8)식은  $h_m = K_s r_e^{Ps} \int B^{Ps} f(B) dB$ 가 된다.

여기서 사면장 분포  $f(B)$ 는 전술한 바와 같이 감마분포나 대수정규분포를 사용하고 있는데 이 중에서도 감마분포가 적합성이 일반적으로 높게 나타므로 본 연구에서는 감마분포를 사용하여 다음의 (14)식을 구하였다.

$$h_m = \{K_s B_m^{Ps} / (1 + ps)\} \{ \Gamma(\nu + ps) / v^{ps} \Gamma(\nu) \} r_e^{ps} \dots (14)$$

여기서  $\Gamma(\nu)$ ; 감마형 상함수  
 $B_m$ ; 평균사면장

(14)식의 우변에 있는  $\Gamma(\nu + ps) / v^{ps} \Gamma(\nu)$ 의 값은 거의 1에 접근하는 일정한 값이기 때문에 실용적인 면에서  $K$ 는 (15)식으로,  $T_L$ 은 (16)식으로 표시된다.

$$K = K_s B_m^{Ps} / (1 + Ps) \dots (15)$$

$$T_L = \beta K_s B_m^{Ps} / r_e^{1-Ps} \dots (16)$$

저류함수모델의 상수  $P$ ,  $K$ 와  $T_L$ 은 (11), (15), (16)식에 의하여 표면류모델의 상수  $K_s$ 와 관련되어 있다. 그런데 (15), (16)식은 유역의 변화와 토지이용상태를 고려할 수 있는 장점을 가지고 있지만 표면류모델상수를 통해서 저류함수모델의 상수를 추정하게 되므로 실용적인 면에서 불편하다.

여기서 저류량  $S_L$ 을 mm, 유출량  $Q_L$ 을 mm/

hr 단위로 표시하고 Manning형 표면류로 생각하여  $Ps=0.6$ ,  $\beta=1/9$ 이라 하면 (15), (16)식은 (17), (18)식으로 된다.<sup>3,4)</sup>

$$K = 0.63 \alpha K_s B_m^{0.6} \dots (17)$$

$$T_L = 0.11 \alpha K_s B_m^{0.6} / r_e^{0.4} \dots (18)$$

$$\alpha = (3.6 \times 10^6)^{-0.6} \times 10^3 = 0.116 \alpha; \text{환산계수}$$

여기서 표면류상수  $K_s = (N/S^{1/2})$ 에서의 등가조도  $N$ 의 단위는 ( $\text{sec}/\text{m}^{1/3}$ ), 사면장  $B_m$ 의 단위는 m이다. (17), (18)식은 유역의 토지이용상태의 변화에도 대응할 수 있음을 시사하고 있다. 따라서 표면류상수  $K_s$ 의 수리학적 의미가 명확하지는 않지만 角屋<sup>7,8)</sup>가 제시한 등가조도의 표준치를 사용하면 소유역에서 상수  $K$ 를 구할 수 있으므로 저류함수 모델에 의한 유출해석이 가능할 것이다. 그리고  $T_L$ 은 유량의 함수가 될 가능성이 있음에도 불구하고 일정하게 취급한 모델상의 문제점을 내포하고 있지만 작은 유역에서는 실용화될 수 있다고 생각된다.

### 3. 저류함수법의 상수의 보정

여기서 우선 대상홍수에 대해 저류함수법의 상수인  $P$ ,  $K$  및  $T_L$ 의 최적상수를 SDFP (standardized Davidson-Fletcher-Powell) 법<sup>1)</sup>에 의하여 보정하였으며 한편으로는 상수  $P$ 를 0.6으로 고정하고 다른 상수  $K$ ,  $T_L$  최적상수를 같은 방법으로 보정하였다. 그 결과는 Table-3과 같다.

다시 이들의 보정된 상수를 사용하여 Runge-Kutta법으로 홍수량을 산정하여 얻은 결과는 Fig. 5와 같다.

Fig. 5에서 알 수 있는 것과 같이 계산치는 실측홍수를 잘 재현하고 있다. 그리고 Table-3에 나타난 것과 같이 3개의 상수  $P$ ,  $K$ ,  $T_L$ 를 최적화한 경우의 실측치와 해석치와의 상

Table-3. Optimum parameters and errors in the storage function model

Watershed	Flood name	Peak discharge (mm/hr)	P=0.6		Jx (mm/hr)	Jr (%)	(K, P, T)opt			Jx (mm/hr)	Jr (%)
			K	T <sub>L</sub>			K	P	T <sub>L</sub>		
Heng Seong	H	2.59	24.7	4.5	0.07	21.0	21.2	0.78	5.1	0.02	13.0
Jang peong	J	9.70	20.0	1.2	0.07	14.0	28.4	0.79	1.0	0.12	11.0
Gidae	G	1.74	30.0	2.0	0.02	17.0	20.0	0.6	1.5	0.02	16.0
Sangye	S	1.33	27.7	3.0	0.02	14.0	20.0	0.6	2.0	0.02	14.0
Tanbu	T	3.62	20.0	2.0	0.02	6.0	20.0	0.6	1.5	0.01	14.0
Supeong	Sp	3.61	25.8	1.5	0.07	22.0	25.8	0.55	1.2	0.02	14.0
Beong cheong	B	5.61	17.5	1.8	0.09	18.0	16.1	0.47	2.0	0.07	18.0
Limok jeong	L	5.52	17.0	1.2	0.11	16.0	18.0	0.66	1.0	0.09	15.0
Libgyo	Li	4.11	20.4	1.5	0.08	19.0	21.0	0.7	1.2	0.06	19.0

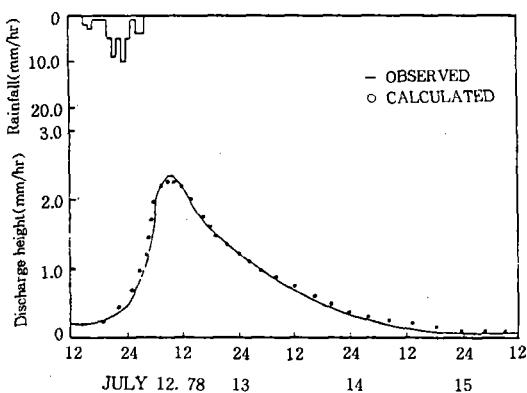


Fig. 5. Comparison between observed and calculated hydrograph for calibration in Hengseong

대오차는 P를 0.6으로 고정하고 K, T<sub>L</sub>를 최적화 한 경우 보다 작게 나타났으며 그 상대 오차의 차는 극히 미세하다. 또한 상수 P의 값은 0.47-0.79 을 나타내나 거의 0.6에 접근하고 있어 최적화된 상수는 적합하다고 생각한다.

#### 4. 실용적인 상수추정식

상수 P의 값은 출수규모의 증대에 따라 P=1.0(Darcy형 중간류)으로부터 P=0.6(Manning형표면류)의 범위를 나타내나 저류함수모델에서의 흐름을 Manning형 표면로 가정하여 P=0.6의 값을 취한다.<sup>1)</sup> 상술한 상수 K, T<sub>L</sub>

의 추정식인 (17), (18)식은 유역의 변화 및 토지 이용상태를 고려 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 저류함수모델의 상수는 전술한 바와 같이 표면류상수 K<sub>s</sub>(=N/S<sup>1/2</sup>)로 표현되어 있어 상수 추정이 어려워 진다.

여기서 (15), (16)을 살펴보면  $K \propto B_m^m$ ,  $T_L \propto B_m r_e^{-m}$ 가 기대 된다. 그래서 P=0.6으로 고정하고 최적화 된 상수 K, T<sub>L</sub><sup>1)</sup>와 유역의 평균사면장 B<sub>m</sub>의 관계로 부터 다음과 같은 추정식을 유도하였다.

$$K = 15.6 B_m^{0.3} \quad (r=0.76*) \quad \dots \dots (19)$$

$$T_L = 2.1 B_m^{0.36} / r_e^{0.4} \quad (r=0.71*) \quad \dots \dots (20)$$

여기서 K, T<sub>L</sub>; 저류함수의 상수(mm, hr)  
B<sub>m</sub>; 유역의 평균사면장(km)  
r<sub>e</sub>; 실측 첨두유량의 유효강우강  
도 환산치(mm/hr),  
 $r_e = 3.6 Q_p / A$ ,  
A: 유역면적(Km<sup>2</sup>)

(19), (20)식의 상수 K와 T<sub>L</sub> 및 B<sub>m</sub>의 관계를 도시하면 Fig. 6 및 Fig. 7과 같으며 상관계수는 각각 0.76과 0.71을 나타내어 (19), (20)식은 공히 유의성이 인정되었다.

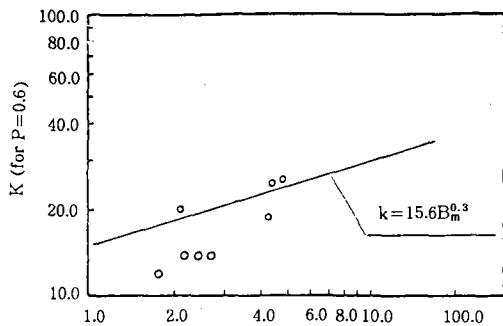


Fig. 6. Relation between parameter  $K$  and average width in the storage function model

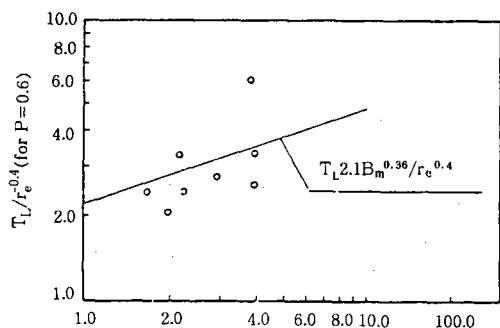


Fig. 7. Relation between delay time  $T_L$  and average width in the storage function model

#### IV. 상수추정식의 검정

여기서는 5개의 홍수를 대상으로, 유역면적은 약  $100\text{km}^2$ 이하의 작은 유역을 대상으로 저류함수모델의 실용적인 상수추정식 (19), (20)식의 적용성을 검토하였다.

우선 추정식 (19), (20)에 의하여 추정된 상수를 가지고 저류함수모델로 홍수추적을 실시하여 검정된 수문곡선과 첨두유량의 계산치와 실측치를 비교하면 Fig. 8과 Fig. 9와 같다. 이들의 계산치와 실측치의 상대오차는 Table-4에 표시하였다. 이 결과에서 알 수 있는 바와 같이 계산치가 비교적 실측치의 수문곡선을 잘 재현하고 있으며 또한 상대오차는

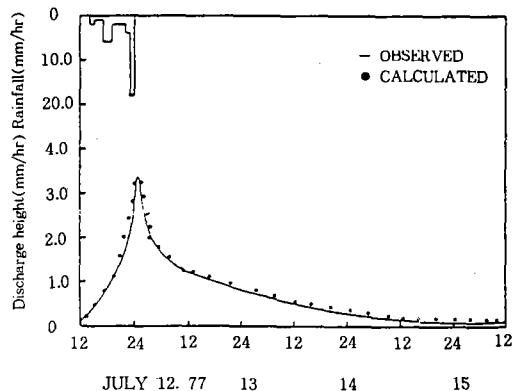


Fig. 8. Comparison between observed and calculated hydrograph for verification in Supeong

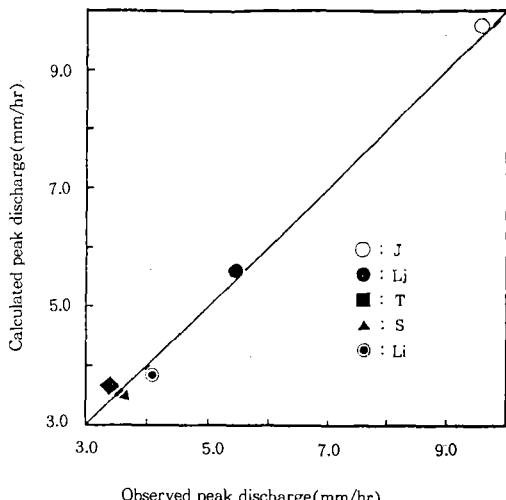


Fig. 9. Comparison between observed and calculated peak discharge height in the storage function model

20%이내 이므로 (19), (20)식은 상수  $K$ ,  $T_L$ 의 추정식으로서 유용한 식이라고 사료된다.

또한 상수  $P$ 의 값은 0.47-0.79의 범위이나 이는 홍수규모에 따라 다른 것으로 생각되며 여기서는 흐름을 Manning형 표면류로 생각하여  $P=0.6$ 으로 하였다.

따라서 장차 대상유역을 더 넓히고 더많은 자료를 수집하여 분석하면 (19), (20)식의 상수는 다소 변화 될 것으로 생각된다.

Table-4. Evaluated Constant and Errors in the Distributed Storage Function Model

Watershed	Flood name	Peak Discharge (mm/hr)	SFMO.		DSFM.	
			Jr (%)	Jx(mm/hr)	Jr (%)	Jx(mm/hr)
Limok jeong	Lj	5.52	16.0	0.11	15.0	0.10
Jang peong	J	9.70	14.0	0.07	14.0	0.07
Tanbu	T	3.62	6.0	0.02	12.0	0.03
Supeong	S	3.61	22.0	0.07	19.0	0.07
Lingyo	Li	4.11	19.0	0.08	19.0	0.07

SFMO:Storage function model by(K,TL)opt.

DSFM:Storage function model by proposed parameters.

## V. 분포형 저류함수모델의 적용성 검토

### 1. 분포형모델의 저류함수의 설정과 계산

집중형모델의 최적화된 상수에 의하여 결정된 (19), (20)식을 분포형 저류함수모델에 적용하여 그 추정식의 신뢰성을 검토한다.

분포형저류함수법을 적용하는 경우에는 주 하천의 합류점과 지형의 변화 및 토지 이용형태 등을 고려해서 몇개로 분할한 후 지유역 불러과 하천불력으로 모델화 하여 각각 저류함수를 설정한다. 지유역불력의 상수는 (19), (20)식으로 추정하고 각 하천의 저류량은 다음과 같이 설정한다.

$$V_c = Kc L Q_c^{pc}, V = \int_0^{t-T_{Lc}} I_c dt - \int_0^t Q_c dt \dots\dots (21)$$

여기서

 $K_c, P_c$ ; 하천류상수. $T_{Lc}$ ; 하천의 저류함수의 지체시간(hr). $L$ ; 대상유역의 하천불력의 하천의

길이 (km).

 $V_c$ ; 지체시간을 고려한 하천의

저류량(mm).

 $I_c, Q_c$ ; 하천불력의 유입량 및 유출량  
(mm/hr).상수  $K_c, P_c$ 를 정하기 위하여 우선 하천의

평균단면에 대하여 여러개의 수심을 정하고 각 수심에 대한 평균유속  $v$ , 유수단면적  $W$ , 유량  $Q = Wv$ , 저류량  $Z = WL$ 를 계산한다. 여기서 얻어진  $Q$ 와  $Z$ 를 양대수법안지에 도시해서 직선을 삽입하고 그 기울기로 부터  $P_c$ 를 구하고  $Q=1$ 에 대한  $Z$ 의 값을  $K_c$ 로 정한다.

실제로 하천에 유입하는 유입량에는 상류로부터의 유입량과 하천불력의 부수(付隨)유역으로 부터의 유입량이 있다. 종래에는 이들의 유입량의 합계를 하천의 상류단에 유입시켜 계산했지만 여기서는 Fig. 10에 나타낸 바와 같이 하천의 저류함수의 계산에 고려되는 유입량은 상류로 부터 유입하는 유입량 만으로

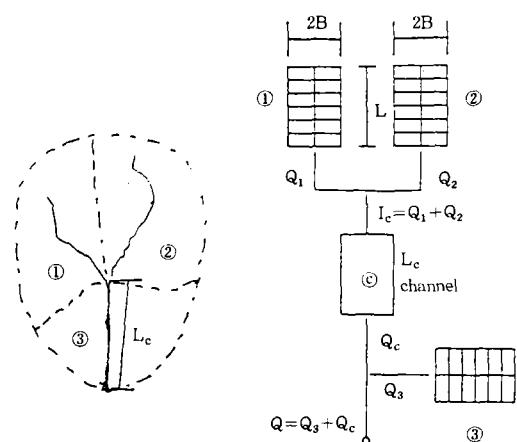


Fig. 10. Schematics of the watershed modeling in the distributed storage function model

하고 부수 유역으로 부터 발생하는 유출량은 하천에 직접 유입하지 않고 하천 하류단에 양자가 합류하는 것으로 간주하여 계산한다.

또 다른 상수인 하천의 지체시간  $T_{Lc}$ 는 첨두유량인의 전파속도  $I^*$ 에 의하여 다음 식으로 계 된다.

$$T_{Lc} = t_w - t_o \quad t_w > t_o \quad \dots \dots \dots \quad (22)$$

$$T_{Lc} = 0 \quad t_w < t_o \quad \dots \dots \dots \quad (23)$$

여기서  $t_w$ : 유입첨두유량의 전파시간

$$(t_w = L k c p c / I^{1-P_c})$$

$t_o$ : 하천 불력의 상하류단에서 첨두 유량이 발생하는 시각의 시간차

구체적인 계산방법은 지유역이나 하천불력에서 다 같으나 지유역에서는 (19)식에 의하여 구해진  $K$ 를 사용해서 (3)식으로  $Q_L$ 를 계산한다. 다음에  $Q_L$ 의 최대치에 대응하는  $r_e$ 를 사용하여 (20)식으로  $T_L$ 을 추정한다.

$T_L$ 이 추정되면 위에서 계산된  $Q_L$ 를  $T_L$ 만큼 늦추어 지유역의 유출량  $Q$ 로 한다. 또한 하천에서는  $K$ 를  $K_c$ 로  $P$ 를  $P_c$ 로,  $I$ 를  $I_c$ 로 하여 유출량 및  $t_o$ 를 구한다. 그리고 그 유출량을  $T_{Lc}$  만큼 지체시켜 하천 불력으로 부터 유출하는 유출량을  $Q_c$ 로 한다.

## 2. 분포형모델의 검정

여기서는 유역면적이 큰 병천유역( $302.1 \text{ km}^2$ ), 횡성유역( $443.0 \text{ km}^2$ ), 산계유역( $475.6 \text{ km}^2$ )의 3개의 유역에서의 3개홍수를 대상으로 앞에서 설명한 저류함수의 상수추정식의 적용성을 검토해 보았다.

각 유역의 불력의 수는 3-5개로 하였으며, 이 때 불력의 면적은  $20-25 \text{ km}^2$ 를 나타낸다. 여기서 모델화한 불력의 한 예를 나타내면 Fig. 11과 같다.

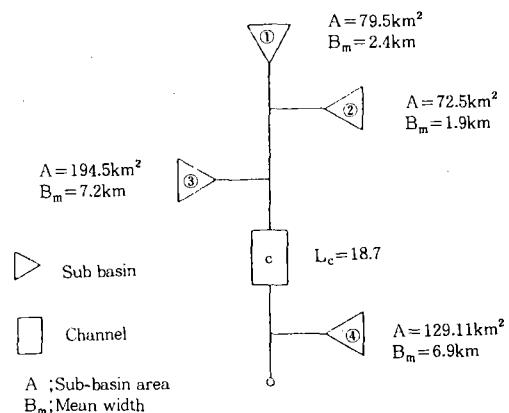


Fig. 11. The block diagram of the Sangye basin

이때의 우량은 각 유역의 평균치를 사용하였으며 유효우량 추정은 누가손실우량곡선법을 사용하였다. 상수추정식 (19), (20)에 의하여 각 불력에서 추정된 상수를 가진 저류함수모델을 이용하여 홍수추적을 하여 얻은 계산치는 Fig. 12에서 보는 바와 같이 실측치와 거의 일치하는 결과를 얻었다.

이들의 계산치와 실측치의 상대오차는 횡성이 17%, 병천이 19%, 산계가 21%라는 좋은 결과를 나타냈다. 특히 산계지역에서 오차가 크게 나타난 것은 유량이 작기 때문이라고 생각한다. 또한 첨두유량은 계산치와 실측치가 비슷하게 나타났으며 그 차는  $0.57 \text{ mm/hr}$ 정도이다. 그리고 첨두유량의 발생시간을 보면 계산치와 실측치 사이에는  $\pm 1$ 시간 정도의 차를 나타낸다.

이상의 결과에 나타난 바와 같이 계산치는 비교적 실측치의 수문곡선을 잘 재현 하고 있어, (19), (20)식은 수문자료가 부족한 유역에서 상수의 추정식으로서 실용상 유용하리라고 생각할 수 있다.

앞으로 대상 유역을 더 넓히고 더 많은 자료를 수집하여 분석하면 (19), (20)식의 상수는 다소 변화될 것으로 생각된다.

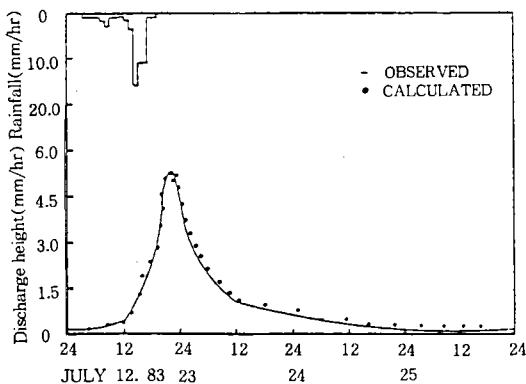


Fig. 12. Comparison between observed and calculated hydrograph in Beongchon

## VI. 결 론

본 논문에서는 저류함수모델과 표면류모델의 상호관계를 이론적으로 검토하였다. 또한 SDFP법에 의하여 최적화된 저류함수모델의 상수를 적용하여 얻은 실용적인 상수추정식을 제안하고, 이를 실유역에 적용하여 유출현상을 재현시켜 좋은 결과를 얻었다. 여기서 얻어진 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 이론적인 추정식 (17), (18)은 저류함수모델과 표면류모델의 이론에 의하여 유도되었으며 상수  $K$ ,  $T_L$ 는 Manning형 표면류상수 및 사면장에 관련되어 있다.

2. 이론적 추정식 (17), (18)식을 대신하는 실용적 추정식인 (19), (20)식을 7개의 하천, 9개의 홍수자료에 의하여 얻은 최적상수와 사면장의 관계로부터 유도하였다.

3. 저류함수모델에 의한 유출해석이 집중형 모델 뿐만 아니라 분포형모델에도 적용할 수 있음을 제시하였다.

여기서 제시된 실용적인 상수추정식은 지형, 지질등의 요소를 충분히 고려하지 못한 형식으로 표현되었으므로 이에 대한 고려는 앞으로 계속 연구됨이 바람직하다고 사료된다.

이 논문은 1993년도 한국학술진흥재단의 대학부설연구소 지원과제 연구비에 의하여 연구되었음.

## 참 고 문 헌

- 南宮達(1984), 貯留函數法과 그 應用에 관한 基礎的 研究, 韓國農工學會誌 第26卷 第3號, pp.90-99.
- Prasad, R.(1967). A Nonlinear Hydrologic System Respons Model, Jour. of Hydraul. Div., Proc. of the ASCE, vol. 93, No. HY4, pp.201-221.
- Strahler, A. N.(1964). Quantitative Geomorphology of Drainage Basin and Channel Networks, Mc-Graw-Hill, Section 4-II.
- 藤田陸博(1981), 斜面長の變動を考慮した貯留關數法に関する研究, 土木學會論文報告集 第314號, pp.75-86.
- 平野宗夫(1981), 山地小河川における流出過程について.土木學會論文報告集 第314號, pp.143-152.
- 石原藤次郎・高棹琢馬(1959), 單位圖法とその適用に關する基礎的研究, 土木學會論文集 60號, 別冊3-3.
- 角屋睦・福島晟・佐合純造(1978), 丘陵山地流域モデルと洪水流出モデル, 京都大學防災研究所年報 第21號 B-2.
- 角屋睦・福島晟(1979), 中小河川洪水到達時間, 京都大學防災研究所年報, 第22號 B-2, pp.209-224.
- 建設省水文研究會(1971), 流出計算例題集 2, 全日本建設協會.
- 木村俊晃(1961), 貯留關數による洪水流出追跡法, 建設省土木研究所.
- 木村俊晃(1962), 貯留關數法, 土木技術資料, No.4, vol.1, pp.41-51.

12. 末石夫太郎(1955), 特性曲線法出水解析, 土木學會 論文集 第29號, pp.74-87
13. 永井明博.角屋睦(1978), 洪水流出モデルの適用比較, 京都大學防災研究所年報 第21號 B-2, pp.235-249
14. 永井明博.角屋睦(1979), 流出モデル定數の最適化手法, 京都大學防災研究所年報 第22號 B-2 pp.209-224.
15. 永井明博.角屋睦(1981), 洪水流出モデルの最適定數, 京都大學防災研究所年報 第24號 B-2, pp.183-196
16. 高山茂美(1974), 河川地形, 共立出版, pp. 65-67.

(접수일자 : 1996. 1. 15)