

GIUH 確率密度函數를 위한 遲滯時間의 水文學的 考察

Hydrologic analysis for P.D.F. of GIUH

이 혁 규 *. 윤 석 영 **. 김 재 한 ***

Lee, Huk Kyu. Yoon, Seok Young. Kim, Jae Han

요 지 : 본 연구는 지형학적 순간단위도를 산정하는데 있어서, 주된매개변수인 지체시간을 세가지 형으로 결정하여, 그 결과들을 수문학적으로 해석 하였다. 지체시간의 산정방법으로써 첫째로 평균유속만을 이용한것과, 둘째로 유로연장과 평균유속을 조합한 방법을 적용하였으며, 셋째로 유역면적과 Boyd 및 Singh의 경험적 계수들로부터 얻어진 지체시간의 상관식을 사용 하였다. 각 방법들의 결과분석을 위하여 실제유역의 자료들을 사용하였으며, 그 결과로부터 소유역의 경우에는 평균유속만의 방법도 가능하나, 유역면적이 커질수록 유출량의 재현성에 있어 정확도가 떨어짐을 알 수 있었다. 또한 세번째 방법은 지체시간의 정확도가 떨어져, 면적뿐만 아니라 다른 수문학적 특성인자들도 고려되어야 함을 나타 내었다. 따라서, 적용방법들 중 유로연장과 평균유속을 조합한 두번째 방법이 지체시간 산정으로써 우수함을 보여주었으며, 이로부터 구한 유출량도 타 방법들에 비해 실측치와 가장 근사하게 접근 하였다.

* 정회원 忠南大學校 大學院 卒業

** 정회원 韓國建設技術研究員 先任研究員

*** 정회원 忠南大學校 土木工學科 教授

GIUH 確率密度函數를 위한 遲滯時間의 水文學的 考察

이혁규* 윤석영** 김재한***

1. 서론

지형학적 순간단위도는 水路 및 斜面에 대한 확률밀도함수(응답함수)가 얼마나 정확하게 구해 지느냐에 따라서 그 적용성이 좌우된다. 이를위하여는 확률밀도함수의 주된 매개변수인 지체시간을 가능한 한 정확도가 높게 구해져야 할것이다. Boyd(1978)는 강우-유출과정의 저류추적 모델을 위하여 지체시간 및 하천차수와 배수계 크기간의 관계를 검토 분석 하였다. 따라서, 본연구에서는 지금까지 잘 알려진 지형학적 순간 단위도의 응답함수인 확률밀도함수의 주된 因子인 지체시간을 세가지 방법으로 의하여 실측자료로부터 구하고, 그 결과들을 분석하고 실용성의 程度를 나타내고자 하는데 목적이 있다.

2. 지체시간

지형학적 순간단위도의 매개변수인 지체시간은, 강우가 유역에 떨어져 수로의 출구점까지 배출 되기까지의 유역에서 지체하는 시간을 의미하며, 유역에서의 지체시간은 유역특성인자로 표현 될 수 있고, 특성인자가 지형학적 순간단위도에 의해서 미계측유역에 대한 유출의 예측이 가능케 된다. 또한 유역의 지체시간은 실측된 강우와 유출자료가 존재할 경우 추정이 가능하며, 지형학적 특성인자는 지형도로부터 추정이 가능하다. 유역에서는 대기시간의 확률밀도함수(PDF:Probability Density Function)에 따라서 침투유량(Qp), 도달시간(Traver time) 및 유출수문곡선의 형태가 달라지며 유역의 크기와 강우의 특성에 따라서 변한다.

Singh(1983)은 유역의 GIUH를 유도하기 위하여 Gupta(1980)의 지체시간의 이론을 도입, 유역내의 강우입자는 서로독립이며 입자가 유역의 다양한 경로를 따라 각 상태(State)를 거쳐 출구까지 이동하며 소비한 총시간의 합을 지체시간으로 산정하고, 지체시간의 확률밀도함수는 독립적 무작위 변수들로 구성된 지수분포의 회선연산(Convolution operation)으로서 식(1)과 같이 나타내었다.

$$f_{x_1} * f_{x_2} * \dots * f_{x_j}(t) = \sum_{i=1}^j C_{ij} \exp(-k_{x_i} t) \quad (1)$$

위에서

* : 회선연산기호(Convolution operation)

f_{x_i} : 강우입자가 임의의경로를 따라 이동하며 소비한시간의 확률밀도함수
(x_i :지표면유역 또는 하천유역)

k_{x_i} : 상태 x_i 에서 강우입자가 소비한 시간

C_{ij} : 상수

식(1)에서 Feller(1971)는 상수 C_{ij} 를 식(2)와 같이 나타냈다.

$$C_{ij} = k_{x_1} k_{x_2} \dots k_{x_{j-1}} [(k_{x_1} - k_{x_i}) \cdot (k_{x_{i-1}} - k_{x_1}) \dots (k_{x_{i+1}} - k_{x_i}) \dots (k_{x_j} - k_{x_i})]^{-1} \quad (2)$$

식(1)과 (2)를 이용하여 Singh은 유역의 지형학적순간단위도를 다음과 같이 유도하였다.

$$h(t) = \sum_{s \in S} \sum_{i=1}^j C_{i,j} \exp(-K_{x_i} \cdot t) \cdot P(s) \quad (3)$$

$$S = \{ x_1, x_2, \dots, x_j \}$$

위에서 S : 상태의 총집합

$P(s)$: 경로 S를 통과할 확률

식(3)에서 K_{x_i} 는 지체시간 K_B 를 구함으로서 해결되는것으로서 Gupta, Waymire와 Wang(1980)은 식(4)와 같이 나타내었다.

* 忠南大學校 大學院 卒業
** 韓國建設技術研究院 先任研究員
*** 忠南大學校 工科大學 敎授

$$K_B = \sum_{s \in S} P(s) \left[\frac{1}{K_{x1}} + \frac{1}{K_{x2}} + \dots + \frac{1}{K_{xk}} \right]$$

$$S = \{ X_1, X_2, X_3, \dots, X_k \}$$

(xi : 지표면유역 또는 하천유역)

Gupta, Waymire 와 Wang (1980) 은 i 차수의 Strahler channel에서 평균지체시간을 하도와 지표면으로 나누어 다음과 같이 제시하였다.

$$\frac{1}{K_{ci}} = a(\bar{L}_i)^{\frac{1}{3}}, \quad 1 \leq i \leq w$$

여기에서

K_{ci} : i차수 하도에서의 평균지체시간

\bar{L}_i : i차 하천의 평균길이 a : 경험상수

$$\frac{1}{K_{ri}} = a \left[\frac{A_{ri}A}{2N_i\bar{L}_i} \right]^{\frac{1}{3}}, \quad 1 \leq i \leq W$$

여기서

K_{ri} : i차수 지표에서의 평균지체시간

A_{ri} : i차수 지표유역의 비율

($\frac{i\text{차수 지표유역의 면적}}{\text{총유역면적(Total area)}}$)

N_i : i차수 하천의 갯

\bar{L}_i : i차수 하천의 평균길이

A : 총유역면적 a : 경험상수

식(5)와 (6)에서 A_{ri} , N_i , \bar{L}_i , A 등은 지형도로 부터 구할 수 있지만, K_{xi} 는 지체시간(K_B)를 추정함으로서 a를 구할 수 있다.

본 연구에서는 K_B 를 추정함에 있어서, 3 가지 방법으로 K_B 를 산정하여, 미지수 a를 구함으로서, 각각의 방법으로 구한 유역평균지체시간 K_{B1} , K_{B2} , K_{B3} 를 식(3)에 대입하여, 각 방법의 결과치들을 실측치와 비교분석하여 각각의 방법들에 대한 수문학적 고찰을 하고자 한다.

3. 지체시간 산정방법

3.1 방법1 : 평균유속만을 이용한 방법(K_{B1})

방법1에서 평균유속의 산정은, 선형화된 St. Venant식을 변형한 확산식으로 부터 평균유속을 산출하였으며, Cheng의 지표와 하도의 각 경로별 지체시간을 합한 식(7)에서, 지형도로부터 미지수로 남아있는 평균유속항에 대입하여 지체시간(K_{B1})을 산정한다

$$K_{B1} = \sum_{r \in R} P(r) \left[\frac{AR^{(i)} \cdot TA}{2 \cdot N^{(i)} \cdot \bar{L}_i \cdot V} + \sum_{k=i}^M \frac{\bar{L}_k}{V} \right]$$

$\bar{L}^{(i)}$: i차 하천의 평균길이 $N^{(i)}$: i차 하천의 갯수

$AR^{(i)}$: i차 하천의 면적비 V : 평균유속

TA : 유역총면적

3.2 방법2 : 평균유속과 유로연장을 이용한 방법(K_{B2})

유역에서 일반적인 하천길이는 하천차수별 평균길이($\bar{L}^{(i)}$)와 유역출구에서 1차하천까지 유로연장의 총합을, 1차하천의 총수로 나눈 전체평균길이(\bar{L})로서 정의되어 각기 지형학적 순간단위도에 매개변수로서 사용되어 왔다.

본 연구에서는 하천길이를 유역출구에서 최원거리로 적용하였을 경우, 강우입자가 최원점유로연장을 따라 출구까지 이동된 시간을 지체시간과 비슷한 개념으로 보고, 방법1의 평균유속으로 나누어 지체시간을 산출 하였다.

최원점거리(L_d)의 산출은 "유역출구에서 본류를 따라 분수계 까지의 최원거리"로서 지형도로부터 간단히 구할 수 있다.

최원점거리와 평균유속을 사용한 지체시간 산정식은 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_{B2} = \frac{L_d}{V}$$

3.3 방법3 : Boyd의 경험식에 의한 방법(K_{B3})

Boyd(1976)는 많은 강우사상을 통한 지형학적 순간단위도의 매개변수들을 지형도와, 관측된 강우사상으로 부터 산출하여 지형학적 매개변수들과 지체시간, 그리고 유역 특성변수들 간의 최소자승회귀분석법(Least squares regression method)을 사용하여 여러가지 식을 제안하였다. 특히 Boyd는 유역면적과 지체시간과의 관계를 식(9)와 같이 간단히 나타내었다.

$$KB_3 = b \cdot A^a \quad (9)$$

여기서 a, b : 회귀계수
Boyd는 계수 a, b를 유역의 既知의 수많은 지체시간 값을 이용해 면적과 지체시간 간의 최소자승회귀분석을 통해서 식(9)의 회귀계수들을 다음과 같이 제안 하였다.

$$a : 0.33 - 0.38$$

$$b : 0.5 - 3.0$$

특히 Boyd는 a 를 0.38로 제안 하였으며, Singh(1983) 등에 의해 확인된 바 있다. 본연구에서는 Boyd의 계수 a 값으로서 0.38 과 Singh이 제안한 0.33의 2가지와, 계수 b 의 값으로 Boyd가 주장한 2.51 과 Singh의 본연구대상유역과 크기가 비슷한 미국 유역 의 계수값으로 제안한 1.67과, 실측자료의 분석을 통한 계수 b값을 산정해서 식(9)에 대입하여 평균지체시간을 산정, 방법 1, 2 와 비교하고 회귀계수값의 국내사용여부를 판별하고자 한다.

다음은 위에서 논의된 계수 들을 수식화한 평균지체시간 산정 식이다.

$$KB_3 = 1.675 \cdot A^{0.33} \quad (\text{Singh의 방법}) \quad (10)$$

$$KB_3 = 2.51 \cdot A^{0.38} \quad (\text{Boyd의 방법}) \quad (11)$$

식(12)와 식(13)은 본연구의 적용대상유역의 실측자료를 통한 계수 "b" 값이다.

$$KB_3 = 1.50 \cdot A^{0.38} \quad (\text{동곡유역}) \quad (12)$$

$$KB_3 = 1.202 \cdot A^{0.38} \quad (\text{고노유역}) \quad (13)$$

위에서 제시한 식 (10, 11, 12, 13)이, 방법3 의 최종적인 유역의 평균지체시간 산정법 이다.

4. 실제유역에 대한 적용

지형학적 순간단위도의 매개변수인, 평균지체시간의 산정 방법에 따른 비교분석을 위하여 국제수문개발계획(IHP) 대표시험 유역중 낙동강 수계의 위천 유역을 선정 하였으며, 본연구에서는 위천유역중 비교적 규모가 적은 동곡과 고노 지역을 선정 하였 다. 대상유역의 지형학적 인자를 분석하기 위하여 위천유역의 동곡과 고노 지점에서 1/50,000 지형도를 사용하여 하천차수와 지형학적 특성을 구하였다.

본연구에서는 Strahler 하천차수법칙을 적용하였으며, 지형도로 부터 전체배수 유역의 하천차수가 결정되면 최고차 하천차수가 배수유역의 차수로 결정되고, 하천수(N_i)는 각 차수별 하천수를 헤아려서 구하였고 하천평균길이는 각 하천차수의 총 길이를 하천수로 나눔으로서 구장기를 사용하여 구하였다. 또 각하천면적은 구적기를 사용하여 지형도로 부터 산출하였고, 각 하천차수별 면적비는 각 차수별 면적을 총유역면적으로 나눔으로서 산정 하였다. 지점별로 정리된 결과는 표1 과 같다.

표1 동곡 및 고노유역의 지형학적 특성인자

인 자	동 곡				고 노			
	1	2	3	4	1	2	3	4
하 천 수 (N_i)	26	7	2	1	111	23	8	1
최연장길이 (km)	18.16	11.486	4.796	3.048	82.800	33.037	19.326	13.897
면 적 (km^2)	16.965	10.218	3.890	2.715	68.107	23.185	12.936	9.970
면 적 비 ($AR_{(i)}$)	0.5021	0.3024	0.1151	0.0804	0.5964	0.2030	0.1133	0.0873
하천평균길이	0.698	1.641	2.398	3.048	0.746	1.436	2.416	13.897

본연구에 비교 및 검증자료로 이용된 강우-유출자료는 水資源管理技法 開發調查報告 書에 수록 되어있는 1시간 간격의 관측자료로서 1986년 - 1989년에 발생한 호우사상들 이다. 실측된 유량자료로부터 직적유출량은 수평직선분리법을 적용하여 분리하였으며, 유효우량은 Φ -index법을 적용하였다. 적용된 강우-유출자료는 표2 와 같다.

표2 동곡과 고노지점의 호우사상

지 점	사상명	날 짜	비 고
동 곡	DG-1	1987. 7. 14. 19시 - 7. 23. 09시	
	DG-2	1989. 8. 21. 11시 - 8. 24. 22시	
	DG-V	1986. 7. 21. 07시 - 7. 23. 09시	검증용
고 노	GN-1	1986. 7. 21. 07시 - 7. 23. 09시	
	GN-2	1989. 7. 11. 07시 - 7. 14. 18시	
	GN-3	1989. 8. 21. 11시 - 8. 24. 22시	
	GN-V	1987. 7. 14. 19시 - 7. 18. 22시	검증용

5. 결과 및 분석

각방법에 따른 적용결과는 다음과 같다.

표3 방법1, 2 에 의한 계산결과와 관측치와의 비교

유역	호우사상	관측치		방법1: 평균유속법				방법2: 유로연장과평균유속법				
				계산치		오차량		계산치		오차량		
				Q_p (CMS)	T_{QP} (hr)	Q_p (CMS)	T_{QP} (hr)	Q_p (%)	T_{QP} (hr)	Q_p (CMS)	T_{QP} (hr)	Q_p (%)
동곡	DG-1	0.30	34.46	12	35.44	12	+2.84	0	29.59	15	-14.13	+3
	DG-2	0.35	37.9	5	44.80	5	+18.21	0	37.06	6	-2.22	+1
	DG-V	0.325	19.87	8	22.95	8	+15.55	0	18.96	9	-4.58	+1
고노	GN-1	0.63	52.61	8	57.31	9	+8.93	+1	52.12	9	-0.93	+1
	GN-2	0.63	23.73	8	20.37	9	-14.16	+1	18.87	10	-20.49	+2
	GN-3	0.70	108.31	5	121.72	6	+12.38	+1	111.05	7	+2.53	+2
	GN-V	0.653	154.03	6	122.43	11	-20.52	+5	111.46	11	-25.69	+5

표4 $KB_3 = 1.675 \cdot A^{0.38}$ 및 $KB_3 = 2.51 \cdot A^{0.38}$ 에 의한 관측치와 결과비교

유역	호우사상	관측결과		방법3: $KB_3 = 1.675 \cdot A^{0.38}$				방법3: $KB_3 = 2.51 \cdot A^{0.38}$			
				계산결과		오차량		계산결과		오차량	
				Q_p (CMS)	T_{QP} (hr)	Q_p (CMS)	T_{QP} (hr)	Q_p (%)	T_{QP} (hr)	Q_p (CMS)	T_{QP} (hr)
동곡	DG-1	34.46	12	38.05	12	+10.42	0	25.46	14	-26.12	+2
	DG-2	37.9	5	44.35	5	+17.02	0	27.18	9	-28.28	+4
	DG-V	19.87	8	24.16	7	+21.59	-1	14.45	10	-27.28	+2
고노	GN-1	52.61	8	54.91	9	+4.37	+1	29.68	14	-43.58	+6
	GN-2	23.73	8	19.57	9	-17.53	+1	30.22	16	+27.35	+8
	GN-3	108.31	15	106.30	7	-1.86	+2	63.85	13	-41.05	+8
	GN-V	154.03	6	115.80	11	-24.82	+5	68.35	15	-55.63	+9

표5 방법3: $KB_3 = 1.50 \cdot A^{0.38}$ 에 의한 계산결과와 관측치와의 비교

유역	호우사상	관측결과		계산결과		오차량	
		Q_p (CMS)	T_{QP} (Hr)	Q_p (CMS)	T_{QP} (Hr)	Q_p (%)	T_{QP} (Hr)
동곡	DG-1	34.46	12	38.02	10	+10.33	0
	DG-2	37.9	5	41.62	6	+9.82	+1
	DG-V	19.87	8	22.94	8	+15.45	0

표6 방법3: $KB_3 = 1.202 \cdot A^{0.38}$ 에 의한 계산결과와 관측치와의 비교

유역	호우사상	관측결과		계산결과		오차량	
		Q_p (CMS)	T_{QP} (Hr)	Q_p (CMS)	T_{QP} (Hr)	Q_p (%)	T_{QP} (Hr)
고노	GN-1	52.61	8	59.43	10	+12.96	+2
	GN-2	23.73	8	21.08	9	-11.17	+1
	GN-3	108.31	5	114.66	7	+5.88	+2
	GN-V	154.03	6	123.12	11	-20.07	+5

본연구에서는 지형학적 순간단위도의 핵심 매개변수인 유역평균지체시간을 산정함에 있어서, 본연구에서 제안한 3가지의 방법으로 산정하고서 동곡과 고노의 두 지역에 대한 각 방법의 재현성을 비교, 분석하였다. 방법1의 경우, 유역평균유속을 사용하여 Cheng의 공식에 평균유속을 적용 한 경우 비교적 재현성이 양호하였으며, 임의의 호우사상에다 적용한 결과도 $\pm 20\%$ 의 상대오차 내에서 비교적 관측치와 일치함을 볼 수 있었다. 이것은 평균유속이 지체시간 산정에 중요한 매개변수임을 의미하는 것이라 사료되며, 특히 Cheng의 공식은 지체시간 산정의 매개변수들을 면적과, 차수별 평균하천길이, 각차수별 하천수, 그리고 유역의 평균유속을 적용함으로써, 미계측유역등의 GIUH 유도시에 지형도 하나만으로 간단히 지체시간을 산정할 수 있다.

방법2에서는 최원점하천길이와 유역의 평균유속을 이용해서 적용해본 결과 동곡은 관측치와의 상대오차가 $\pm 15\%$ 내에서 비교적 양호한 재현성을 보여주고 있으며, 첨두유량의 발생시간 또한 3시간 이내의 양호한 결과가 나타났다. 이것은 최원점하천길이를 통한 유역내의 강우입자가 하도를 따라 출구로 나올 경우 하도 제일 끝에서 출구까지 나오는 데 걸리는 시간을 평균지체시간으로 정해도 별 무리가 없음을 보여주고 있다. 하지

만 고노의 경우 상대오차가 $\pm 26\%$ 로 최원점 하천길이를 통한 지체시간 산정에 있어서 강우특성의 영향을 비교적 많이 받고 있음을 알 수 있었다. GN-1, GN-2, GN-3의 경우는 최원점하천길이에 의한 평균유속과의 지체시간 산정에 있어서 비교적 관측치와 재현성이 양호하지만 GN-V의 경우 강우 특성에 매우 민감하게 반응함을 볼 수 있었다. 이러한 결과가 의미하는 것은 유역면적이 작은 동곡유역에서는 강우특성의 영향보다는 지형학적 영향을 더 받음이라 사료되고, 유역면적이 큰 유역에서는 간략적인 방법으로 사용시에는 세심한 수문학적 고찰이 뒤따라야 할 것으로 생각된다.

방법3에서는 면적과 지체시간의 관계를 통한 지체시간 산정에 있어서 Boyd가 제안한 식은 관측치와의 재현성에 있어서 상대오차가 $\pm 60\%$ 정도로 크게 나타났으며, 3가지 방법중 지체시간이 제일크게 나타남으로서 첨두유량은 실측치보다 작게 산정되었다. Singh과 Boyd가 소유역에 있어서 제안한 계수를 통한 적용의 결과는 비교적 관측치와 상대오차가 크게 나타났다. 이것이 의미하는 것은 지체시간 산정에 있어서 면적과 지체시간만의 관계로는 강우의 특성으로 인한 부분들을 설명할 수 없고, 재현성도 타방법에 있어서 떨어진다고 하겠다. 이러한 결과로 미루어 보아 유역면적이 큰 유역에서는 유역의 지형학적 특성과 함께 강우의 특성또한 중요하게 작용함을 알 수 있다. 대체적으로 3가지 방법을 비교할 경우 최원점 하천길이를 통한 지체시간의 산정법과 평균유속을 가지고 Cheng의 공식에 적용한 방법이 첨두유출량과 첨두유출량 발생시간에서 비교적 양호한 결과를 나타내었다. 하지만 3가지 방법을 통한 첨두유출량의 오차는, 직접유출량의 산정에 있어서의 오차와 유효유량 산정시 Φ -index에 의한 오차로 인한 것과, 유역의 비선형을 선형으로 가정하여 해석하여 생기는 오차라고 생각할 수 있다.

Brutsaert(1978)는 실제로 유역의 강우유출 해석시 유역을 비선형이라고 놓고 계산한 값과 선형이라고 놓고 계산한 값은 실제로 유역을 비선형화한 계산치 보다 $\pm 20\% - \pm 40\%$ 의 오차가 더 발생함을 주장하였다. 이러한 주장을 뒷받침 할 수 있는 것은 본 연구의 결과에서도 첨두유량의 상대오차는 크게 나타났지만 첨두유량 발생시간은 거의 다가 비교적 양호하게 나타났다.

다음의 그림들은 동곡과 고노의 각 호우사상에 대한 3가지의 방법들을 하나의 그래프에 표시하여 비교한 것이다.

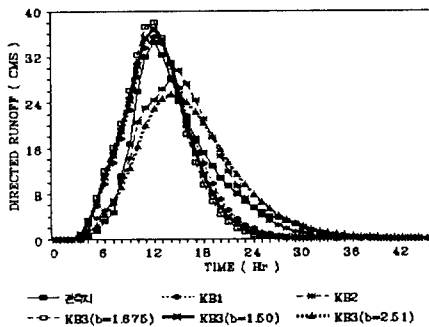


그림1 호우사상 DG-1의 KB_1, KB_2, KB_3 계산값과 실측치와의 비교

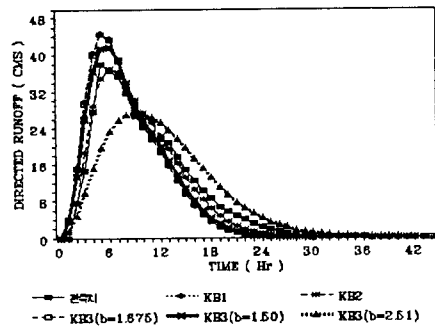


그림2 호우사상 DG-2의 KB_1, KB_2, KB_3 계산값과 실측치와의 비교

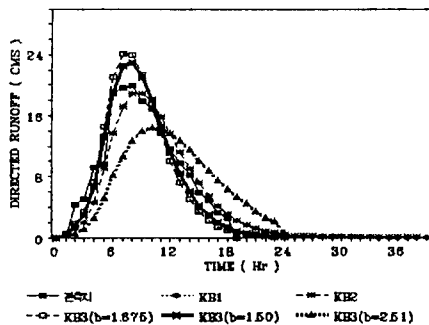


그림3 호우사상 DG-V의 KB_1, KB_2, KB_3 계산값과 실측치와의 비교

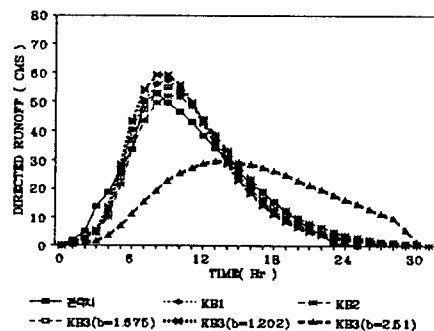


그림4 호우사상 GN-1의 KB_1, KB_2, KB_3 계산값과 실측치와의 비교

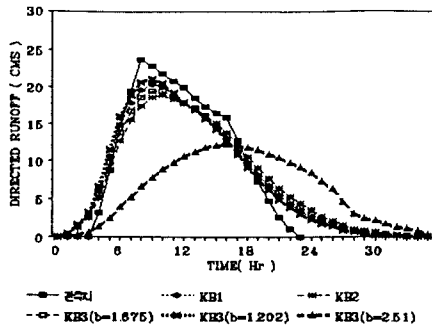


그림5 호우사상 GN-2의 KB_1, KB_2, KB_3 계산값과 실측치와의 비교

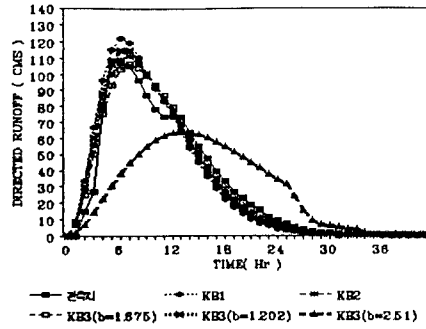


그림6 호우사상 GN-3의 KB_1, KB_2, KB_3 계산값과 실측치와의 비교

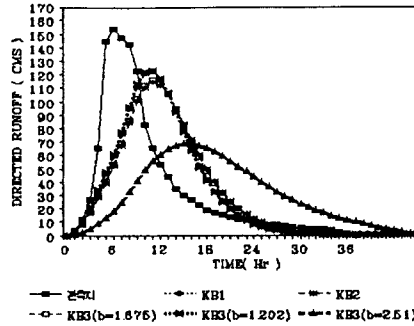


그림7 호우사상 GN-V의 KB_1, KB_2, KB_3 계산값과 실측치와의 비교

6. 결 론

- 1) 평균유속을 이용한 지체시간산정은 유역의 규모가 비교적 적은 소유역에 있어서 재현성이 양호하게 나타 났으며 유역의 규모가 적은 소유역에서는 간략적인 식으로 사용 가능할것으로 판단된다.
- 2) 유역의 평균유속은 규모가 적은 소유역에서는 강우특성 보다는 지형학적 인자에 더큰 영향을 받음을 알 수 있었고, 유역의 규모가 커질수록 평균유속은 강우특성에 따라 달라 지면서 지체시간 산정에 많은 영향을 끼침을 알 수 있었다.
- 3) 최원점 하천길이와 평균유속을 통한 지체시간의 산정에 있어서, 하천의 최원점으로 부터 유역의 출구까지 강우입자가 도달하는데 걸리는 시간이 유역의 평균지체시간과 거의 일치하게 나타나, 최원점 하천길이를 통한 강우입자의 출구까지의 이동시간을 유역의 대략적인 평균지체시간으로 사용 할 수 있음을 제시한다.
- 4) 방법3을 통하여 Boyd의 계수사용이 국내 유역에 맞게 새로이 조절 되어야 함을 알 수 있었으며, 면적-지체시간간의 관계로만은 유역의 지체시간 산정에 많은 오차가 발생되었고, 유역면적의 크기외에도 다른 지형학적 특성들이 고려 되어야 하고, 또 강우의 특성이 고려 되어야 함을 알 수 있었다.

参 考 文 献

- 1) 김제환, 윤석영(1993). "소유역의 수토기하학적 특성과 사면을 고려한 유역순간단위도의 유도", 대한토목학회 논문집, 제13권, 제2호, pp. 161-171
- 2) 윤석영(1993). "수도방용답과 사면용답을 고려한 홍수유출 해석", 박사학위논문, 충남대학교
- 3) 이정식(1987). "유역의 지형 및 강우특성인자를 고려한 순간단위도에 관한 연구", 박사학위논문, 연세대학교
- 4) 이혁규(1995). "GIUH 係介變數算定을 위한 수문학적 고찰", 석사학위논문, 충남대학교
- 5) Boyd, M.J.(1976). "A storage routing model for flood hydrograph synthesis based on geomorphologic relations," PhD dissertation, University of New South Wales, America
- 6) Cheng, B.L.(1982). "A study of geomorphologic instantaneous unit hydrograph.", PhD dissertation, University of - Illinois, America
- 7) Clark ChenKun Liu and Wilfried Brutsaert.(1978). "A nonlinear analysis of the relationship between rainfall run off for extreme floods." Water Resources Research, Vol.14, No.1, pp.75 - 83
- 8) Singh, V.P.(1983). "A geomorphic approach to hydrograph synthesis with potential for application to ungaged water sheds." Technical Completion Report for Project A-058-LA, Louisiana Water Res. Inst., Louisiana state university., Baton Rouge, LA, America