

유역분할에 따른 첨두홍수량 특성에 관한 연구

박 기 범

안동과학대학 건설정보과

(2005년 11월 23일 접수; 2006년 3월 31일 채택)

A Study of Peak Discharge Variation by Dividing Watershed

Ki-Bum Park

Department of Construction Information, Andong Science College, Andong 760-820, Korea

(Manuscript received 23 November, 2005; accepted 31 March, 2006)

In this study investigated that topographical parameters estimate and calculated travel time, storage coefficient and lag time by watershed dividing 11, 8, 6 and 2. The results showed the more divide watershed, the more increase peak discharges. The results showed that Kraven-Clark-Kraven case is good simulated by compared observed data with calculated data. The sub-basin number are adequate 6~11 for whichun and travel times compare observed data with calculated data at the younggok, to take about 18~20hr by simulated results but observed data shorter 8~10hr. From this study results showed that it could be make narrow parameter estimate for observed hydrograph simulation, if more observed velocity and hydrograph. Also, as results of this study that is help to estimate parameters (arrival time, storage coefficient and lag time for Clark model).

Key Words : Watershed dividing, Geomorphology parametric, Clark model

1. 서 론

홍수량을 산정하기 위하여 하천유역을 분할하여 각각의 소유역의 지형학적 매개변수를 추정한다. 그리고 모형에 의해 산정된 소유역의 홍수량들이 중첩되어 본류의 홍수수문곡선을 형성한다. 홍수량 산정을 위한 유역분할이 유출모의에 영향을 미칠 것이라는 것은 오래전부터 많은 학자들 사이에서 인식되어 유역분할시 유역의 수문학적 지형특성 값의 변화와 유출에 대한 연구가 많이 수행되었으며, 특히 집중형 모형(lumped model)에 의한 강우유출해석에서 유역의 분할은 매우 중요한 부분이다. 그러나 유역의 수문학적 특성을 잘 반영할 수 있는 적정 소유역 면적과 지형학적 특성을 이용한 도달시간의 적용에 있어 유역의 유출의 변화양상과 실측자료가 부족하여 모의 기법을 적용하는데 있어 비교 판단할 수 있는 충분한 연구가 이루어지지 않은 상태이다.

일반적으로 강우-유출모형을 이용하여 홍수유출

을 계산하는 경우 지형학적 인자를 추출하여 하류지점에 관측된 수문자료를 이용하여 시행착오법으로 매개변수를 보정하면서 관측수문곡선과 일치하는 매개변수를 결정하는 것이다. 그러나 일반적으로 중소하천 유역의 홍수유출모델로 많이 적용하는 Clark모형의 경우 지형학적 인자를 이용한 도달시간과 저류상수, 하도의 지체시간등을 산정하는 공식들을 이용하여 유역에 적합한 경험식으로 산정한 값이 직접적으로 유역의 상황과 일치하여 결정되지 않고 시행착오법으로 매개변수를 결정하게 된다. 따라서 각각의 경험공식들에 의해 산정된 값이 유역의 특성을 그대로 반영한다기 보다는 매개변수의 범위를 한정시켜 주는 역할을 하는 것이 현실이다. 따라서 본 연구에서는 각각의 경험식에 의해 산정된 매개변수를 조합하여 시행착오법이 아닌 경험공식의 조합에 의해 위천유역에 대해 관측수문곡선과 유사한 방법을 찾아내어 도달시간을 관측치와 최적화 방법에 의한 것을 비교하였다. 또한 계산에 의해 산정된 도달시간과 실제 유속측정에 의한 도달시간을 비교하여 차이점을 비교하여 제시하였다.

먼저 유역의 인자와 유역의 특성을 이용한 연구로는 조홍제(1996)¹⁾는 유역분할에 따른 형상계수의 변

Corresponding Author : Ki-Bum Park, Department of Construction Information, Andong Science College, Andong 760-820, Korea
Phone: +82-54-851-3604
E-mail: pkb5032@naver.com

화를 비교 분석함으로써 우리나라 유역의 형태학적 특성에 대하여 연구를 통해 유역의 형상계수는 유역 분할에 따라 거의 유사한 값을 나타내었으며, 이는 서로 유사한 유출특성을 가지는 것이라고 기술한 바 있다. 이종태 등(1997)²⁾은 도시내 약 10 km² 이내의 면적을 가지는 유역을 대상으로 유역분할이 유출특성에 미치는 영향에 대하여 분석하였으며, 유역분할이 유출해석에 미치는 영향이 유역의 지형학적 특성에 따라 다양하며 유역경사가 완만할 경우 급경사의 유역보다 그 영향이 민감하게 나타나고 있음을 보여주는 것으로 나타났다. 또한 소유역의 면적비가 전체 유역의 35%이내 (유역분할 3개소 이상)가 되게 분할하는 것을 제안한 바 있다. 한편, GIS의 발달과 함께 분포형 모형(distribution model)에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며 분포형 모형의 적용에서는 유역분할보다는 유역의 지형학적 특성을 모의하기 위한 격자크기의 결정이 중요한 요소로 작용된다. Zhang 과 Montgomery (1994)³⁾는 TOP model을 이용하여 토지면적을 나타내고 수문모의를 수행하기 위해 격자크기 (2, 4, 10, 30 90m)의 영향을 검토하였다. 윤용남 등 (1999)⁴⁾은 분포형 개념을 이용한 토사유출량 산정에 대한 연구에서 Grid크기에 따른 토양침식량 추정치의 변화에 대해 분석한 바 있고, 한건연 등(2003)⁵⁾은 GIS자료를 이용한 수문모델링에서 적정해상도 도출에 대해 연구한 바 있다. 그러나 이러한 분포형 모형은 실무에서 적용하기에는 보다 많은 연구가 선행되어야 하므로 현실적으로 집중형 모형을 이용하되 GIS를 활용하여 모형의 매개변수를 산정하는 방법이 활성화 되고 있다. 특히, 미계측 유역에서의 홍수량을 추정하기 위해서는 실측데이터에 의한 모형 매개변수의 검증이 불가능하므로 분포형 모형보다는 미계측 유역에 적용 가능한 집중형 모형을 적용한다고 하더라도 유역을 어떤 크기로 분할하여 매개변수의 적정 범위의 선정에 따라 모의결과가 달라질 수 있다. 이러한 유역분할에 따른 연구로는 김경탁 등(2003)⁶⁾이

GIS를 이용하여 위천과 평창강 유역에 대하여 유역분할에 따른 유출해석을 SCS 모형을 이용하여 분석하였다. 또한, 정종호 등(2002)⁷⁾은 도달시간의 산정에 있어 경험식에 의해 산정된 값과 유속에 의한 값을 비교하여 매개변수 산정에 보다 도움이 되도록 하였다.

따라서 본 연구에서는 유역분할이 지형인자의 추정에 있어 어떠한 변화를 나타내는지 분석하고 경험식에 의해 매개변수를 산정하였다. 또한, Clark 모형에 의해 계산된 홍수량의 변화패턴과 실측된 유속을 이용하여 산정된 도달시간을 비교하여 추후 매개변수의 추정방법에 있어 유역분할과 매개변수의 적정 범위의 결정에 도움이 되도록 하였다.

2. 유역분할에 따른 매개변수의 추정

본 연구의 대상유역인 위천 유역은 국제수문개발계획(IHP) 대표유역으로서 낙동강 중류부 좌안에 위치하고 있으며, 남북이 짧고, 동서가 길며 유역의 경계부가 산악으로 둘러쌓여 있고 본류를 중심으로 상류는 깊은 협곡을 이루고 있으나 하류부는 비교적 평坦한 구릉을 형성하면서 소규모의 평야지대를 이루고 있다. 또한 유역의 형상을 조사해보면 유역면적 472.53km², 유로연장 42.83km이다.

본 연구에 있어 위천유역의 소유역 분할은 위천 하류지점인 용곡지점을 기준으로 용곡상류지역과 용곡하류지역으로 분할한 경우와 용곡상류지역으로 쌍계천과 위천 상류지역으로 총 4개소유역으로 분할한 경우, 용곡상류지역에서 쌍계천유역을 2개, 위천 상류유역을 2개로 분할하여 총 6개 소유역으로 분할한 경우, 그리고 쌍계천 3개, 위천상류유역을 5개로 총 11개로 소유역을 분할하였다.

유역의 분할은 일반적으로 위천유역의 홍수량을 산정하기 위하여 지류하천별로 분할하였다. 분할된 소유역별 지형학적 특성인자는 Table 1에 정리하였으며, 하도의 특성인자는 Table 2와 같다. 위천 유역의 분할에 따른 유역도는 Fig. 1~Fig. 4에 나타내었다.

Table 1. Comparison of basin area

(Unit : Km²)

Sub basin 11		Sub basin 6		Sub basin 4		Sub basin 2	
No.	Area	No.	Area	No.	Area	No.	Area
1	172.02	1	470.95	1	681.71	1	1,320.52
2	130.53						
3	168.29						
4	104.28						
5	106.59	2	210.76	2	522.27	2	92.31
6	188.96						
7	166.21						
8	109.90						
9	57.20	4	167.04	3	116.54	2	92.31
10	116.54						
11	92.31						

유역분할에 따른 첨두홍수량 특성에 관한 연구

Table 2. Comparison of river lengths and center of river length

(Unit : Km)

Sub basin 11			Sub basin 6			Sub basin 4			Sub basin 2		
No.	L	Lc	No.	L	Lc	No.	L	Lc	No.	L	Lc
1	31.47	18.61	1	43.68	18.26	1	79.63	45.27	1	93.39	51.76
2	30.54	12.74									
3	28.51	13.54	2	43.26	20.59						
4	31.20	17.41									
5	26.57	14.40									
6	35.90	19.92	3	36.73	14.37	2	47.06	17.62			
7	36.63	20.40									
8	18.48	9.24	4	28.71	17.00						
9	14.05	5.17									
10	20.08	3.57	5	20.08	3.57	3	20.08	3.57			
11	18.75	6.81	6	18.75	6.81	4	18.75	6.81	2	18.75	6.81

L : river length, Lc : center of river length



Fig. 1. Watershed dividing 11.

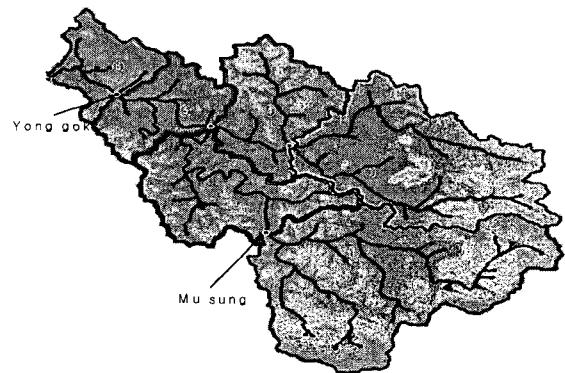


Fig. 2. Watershed dividing 6.

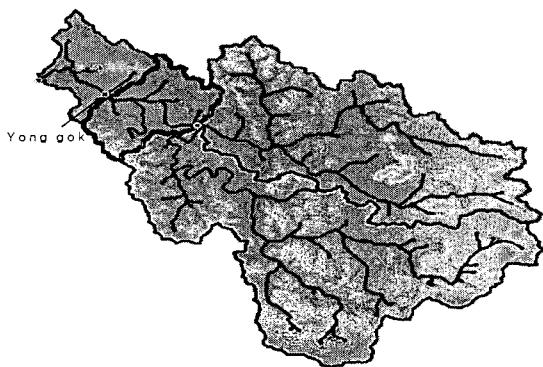


Fig. 3. Watershed dividing 4.

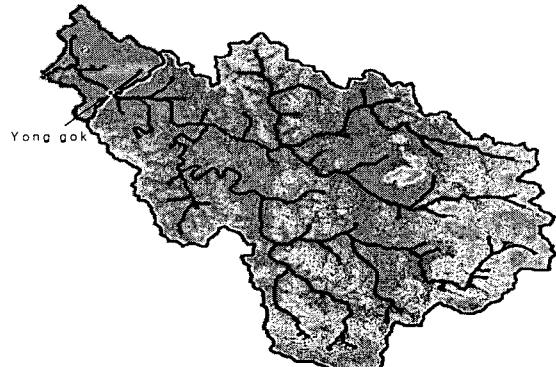


Fig. 4. Watershed dividing 2.

3. 홍수량의 산정 및 비교

본 연구에서 홍수량 산정을 위해 Clark 모델을 사용하였으며, 하도추적은 Muskingum방법을 사용하였다. 먼저, 홍수량 산정에 필요한 매개변수의 추정에서 유역의 도달시간은 국내에서 널리 이용하고

있는 Kirpich 식, Rizha 식, Kraven 식 및 Kerby 식을 이용하여 각각 산정하였으며, 유역의 저류상수는 Clark 식을 이용하여 산정하였다. Muskingum하도추적을 위한 하도의 지체시간의 산정은 하도에 대한 유로연장과 경사등을 따로 산정하여 Kirpich 식,

박기범

Rizha 식, Kraven 식 및 Kerby 식에 적용하여 산정하였다.

Kirpich 공식

Kirpich에 의해서 유도된 홍수도달시간은 다음 식(1)과 같이 표시된다.

$$t_c = 3.976 \cdot L^{0.77} \cdot S^{-0.385} \quad (1)$$

여기서, t_c 는 도달시간(min.)이고 L 은 유역의 주 유로를 따라 측정한 유로연장(km)이며, S 는 유역 출구점과 최원점(Farthest Point)의 표고차(H)를 유로 연장으로 나눈($S = H / L$) 개략적인 유로의 평균경사를 표시한다.

Kerby 공식

Kerby 공식은 유로연장인 약 360m인 지표면 유출을 대상으로 개발된 공식으로 전 유역에 걸쳐 홍수도달시간 변화율이 매우 큰 값을 나타내는 공식이다.

$$t_c = 36.255 \cdot (\ln n)^{0.467} \cdot S^{-0.2335} \quad (2)$$

여기서, L 은 유로의 최원점부터 하천유입부분까지의 직선거리(km), S 는 유로의 평균경사(m/m), n 은 유역의 조도를 나타내는 상수이다.

Kraven 공식

자연하천의 중·하류부($S < 1/200$)의 홍수도달시간 산정에 적용되는 식으로서 다음 식(3)과 같이 표시된다.

$$t_c = 0.444 \cdot L \cdot S^{-0.515} \quad (3)$$

여기서, t_c (min.)는 홍수도달시간, L (km)은 유로의 연장 및 S 는 개략적인 유로의 평균경사이다.

Rizha 공식

자연하천의 상류부인 급경사 하도(하천경사 : $S \geq 1/200$)에서 적용되는 홍수도달시간은 다음 식(2)와 같이 표시된다.

$$t_c = 0.833 \cdot L \cdot S^{-0.6} \quad (4)$$

여기서, t_c (min.)는 홍수도달시간이고 L (km)는 유로의 연장이며, S 는 개략적인 유로의 평균경사이다.

위 식(1)~(4)를 이용하여 소유역별로 도달시간을 산정하였으며 소유역분할의 개수가 증가할수록 도달시간이 대체로 길어지는 경향을 보이고 있으며 Rizha에 의한 방법이 가장 시간이 길게 나타나며, Kraven에 의한 방법이 가장 짧게 나타났다. 각 방법에 의해 산정된 소유역별 도달시간은 Table 3과 같다.

유역의 저류상수 산정에 있어서는 $T_L=Kn$ 에 대해 저류계수 K 와 선형저수지의 개수 n 을 여러 조합으

로 가정하여 얻은 순간단위도를 실측우량에 적용하여 합성한 유출수문곡선을 관측된 유출수문곡선과 비교하여 가장 근접하는 결과를 주는 K 와 n 값을 선택하여 유역의 저류시간을 결정하는 것이 정확하다. 그러나 본 대상유역에 대하여서는 강우-유출관계에 대한 자료를 확보하기 어려운 실정이므로 식(1)~식

Table 3. Comparison of Travel times (Unit : hr)

	Sub basin 11	Sub basin 6	Sub basin 4	Sub basin 2	
No.	Travel times	No.	Travel times	No.	Travel times
1	1) 4.43 2) 6.54 3) 1.84 4) 4.87	1	1) 6.39 2) 8.17 3) 2.98 4) 8.06	1) 12.56 2) 12.31 3) 7.22 4) 20.50	1) 14.98 2) 13.70 3) 9.10 4) 26.13
	1) 3.39 2) 5.56 3) 1.29 4) 3.22				
	1) 3.36 2) 5.53 3) 1.28 4) 3.23				
	1) 6.81 2) 8.49 3) 3.28 4) 9.52		1) 9.91 2) 10.66		
4	1) 5.01 2) 7.05 3) 2.19 4) 6.11	2	1) 5.36 2) 16.02	1) 7.57 2) 9.06 3) 3.73 4) 10.56	1) 3.48 2) 5.56 3) 1.31 4) 3.51
	1) 5.26 2) 7.26 3) 2.31 4) 6.19		1) 5.69 2) 7.62		
	1) 5.68 2) 7.61 3) 2.56 4) 6.95		1) 2.56 2) 6.97		
	1) 2.83 2) 4.98 3) 1.03 4) 2.69		1) 4.69 2) 6.78		
8	1) 2.40 2) 4.51 3) 0.83 4) 2.20	4	1) 2.00 2) 5.42	1) 3.39 2) 5.56 3) 1.31 4) 3.51	1) 3.46 2) 5.64 3) 1.35 4) 3.68
	1) 3.39 2) 5.56 3) 1.31 4) 3.51		1) 3.39 2) 5.56 3) 1.31 4) 3.51		
	1) 3.46 2) 5.64 3) 1.35 4) 3.68		1) 3.48 2) 5.64 3) 1.35 4) 3.68		
	1) 3.48 2) 5.64 3) 1.35 4) 3.68		1) 3.48 2) 5.64 3) 1.35 4) 3.68		

* 1) Kirpich 2) Kerby 3) Kraven 4) Rhiza

유역분할에 따른 첨두홍수량 특성에 관한 연구

(4)와 같은 경험식을 사용하여 지체시간을 구하였으며, 저류계수 K 는 저류시간 T_L 과 같다고 가정하였다. 유역의 저류시간은 아래 식(5)의 Clark 식을 이용하여 산정하였다.

Clark 공식

$$T_L = C \frac{L}{\sqrt{S}} \quad (5)$$

여기서, C 는 0.8~2.2의 값을 가지는 상수이며, L 및 S 는 전술한 바와 같다.

또한 식(1)~(4)를 이용하여 하도에 대한 인자를 산정하여 하도의 지체시간을 산정한 결과 Table 4 와 같다.

본 연구에서 소유역 분할에 따른 매개변수를 산정하여 2003년도 태풍 매미에 대한 호우에 대하여 홍수량을 각각 산정한 결과 Fig. 6에 나타난 바와 같이 소유역 분할 수가 많을수록 각 방법에 따른 첨

Table 4. Comparison of lag times (Unit : hr)

Sub basin 11		Sub basin 6		Sub basin 4		Sub basin 2	
No.	Travel times	No.	Travel times	No.	Travel times	No.	Travel times
2	1) 5.30 2) 7.30 3) 2.41 4) 7.80	2	1) 16.84 2) 14.70 3) 10.94 4) 37.55	3	1) 7.83 2) 9.24 3) 4.05 4) 14.02	2	1) 6.66 2) 8.38 3) 3.29 4) 11.48
	1) 11.95 2) 11.95 3) 7.00 4) 23.76						
	1) 7.93 2) 9.32 3) 4.14 4) 14.62						
	1) 5.58 2) 7.52 3) 2.60 4) 8.76		4				
10	1) 7.83 2) 9.24 3) 4.05 4) 14.02	5	1) 7.83 2) 9.24 3) 4.05 4) 14.02	4	1) 6.66 2) 8.38 3) 3.29 4) 11.48		
	1) 6.66 2) 8.38 3) 3.29 4) 11.48		6				

* 1) Kirpich 2) Kerby 3) Kraven 4) Rhiza

두홍수량의 차이는 크게 나타나는 것으로 나타났다. 이는 각 매개변수의 적용에 따른 차이가 수문곡선의 중첩으로 인하여 하류지점인 용곡지점에서 첨두치의 차이가 더욱 크게 나타나는 것으로 판단된다.

용곡지점을 기준으로 도달하는 시간을 산정하여 유속으로 환산한 결과 Fig. 7과 같으며, Clark 모델에 의해 계산된 홍수량의 경우 유량과 유속이 비례하는 경향을 보이고 있으나 용곡지점의 실측자료의 경우 유량이 증가하여도 거의 일정한 유속을 보여주고 있다. 이는 유역의 도달시간이 유역의 특성변수라는 것을 보여주는 예가 되며, 모형에 의해 산정된 홍수량과 실측치와의 차이라고 할 수 있다. 모형에 의한 경우 홍수량이 증가하면 도달시간은 짧아지고 홍수량이 감소하면 도달시간이 길어지나 실측치는 크게 변화를 보이지 않는 것으로 분석되었다.

Fig 8~Fig.11은 식(1)~(4)에 의해 산정된 도달시간과 하도의 지체시간 그리고 식(5)에 의해 산정된 저류시간을 이용하여 산정된 방법에 의해 계산된 홍수수문곡선이다. 동일한 방법에 의해 매개변수가 산정되어도 전체적으로는 유역분할의 개수가 11개와 6개의 경우 홍수수문곡선의 크기가 크게 나타났으며, 유역분할의 개수가 4개와 2개의 경우 상대적으로 수문곡선의 크기가 작게 나타났다.

수문곡선의 모의에 있어 도달시간-저류시간-지체시간의 조합에서 Kraven-Clark-Kraven의 경우가 대체로 실측수문곡선을 잘 모의하는 것으로 나타났다.

모의된 수문곡선과 실측 수문곡선을 비교하면 유출형태는 대체로 양호하나 도달시간의 산정에서 유역분할이 11개로 분할된 경우 용곡지점까지의 도달시간이 19.44hr이며 이때 홍수량은 $1,616.40\text{m}^3/\text{s}$ 이었다. 유역의 분할이 6개인 경우 용곡지점까지의 도달시간이 17.97hr이고 홍수량은 $1,591.20\text{m}^3/\text{s}$ 이었다. 유역의 분할이 4개인 경우 용곡지점까지의 도달시간은 11.27hr이며, 홍수량은 $1,585.70\text{m}^3/\text{s}$ 이었다. 유역분할이 2개인 경우 용곡지점까지의 도달시간은 14.98hr이며, 홍수량은 $1,368.30\text{m}^3/\text{s}$ 이었다. 분석결과에서 나타난 바와 같이 유역의 분할갯수가 적어질수록 동일한 매개변수 산정방법에서는 홍수량이 작아지는 결과를 보여주고 있으며, 산정방법별 홍수수문곡선의 차이는 도달시간과 지체시간의 차이에 의한 것으로 판단된다.

위천유역의 경우 11개~6개 사이의 유역분할이 적합한 것으로 나타났으며 용곡지점까지의 도달시간은 모형에서는 18hr~20hr정도인 것으로 분석되었다. 그러나 실측에서는 첨두홍수량이 최대치가 나타나지는 않았지만 수문곡선상의 최대치는 $1,464.00\text{m}^3/\text{s}$ 이며 도달시간은 28.07hr로 분석되었다.

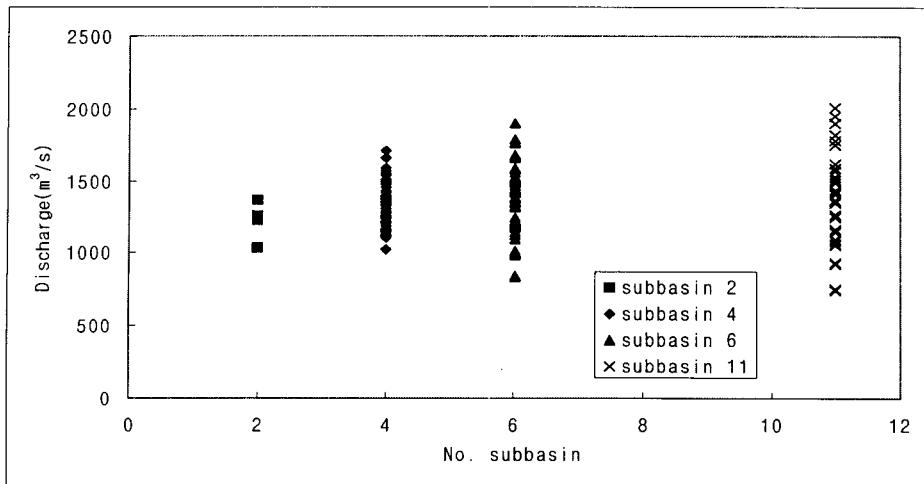


Fig. 6. Comparison of peak discharges by Subbasin divided(Yonggok).

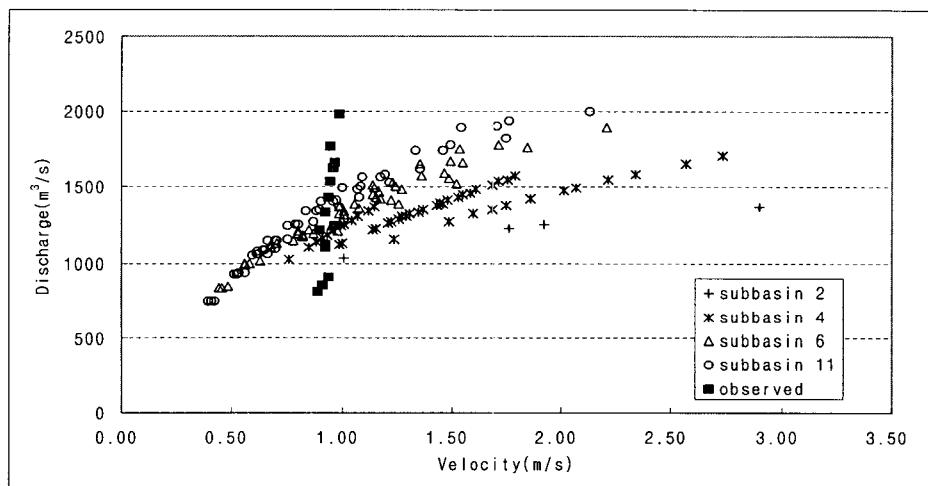


Fig. 7. Comparison of velocity-peak discharges by Subbasin divided(Yonggok).

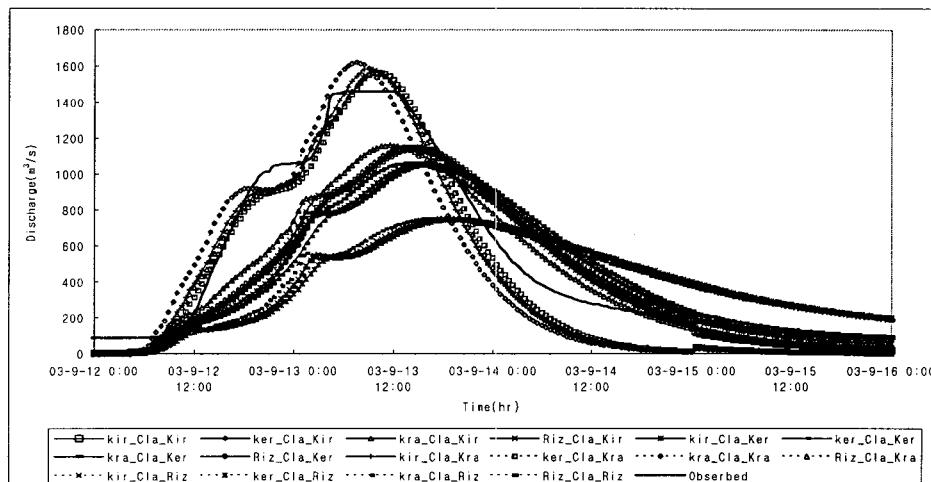


Fig. 8. Comparison of hydrograph by Subbasin 11 divided(Yonggok).

유역분할에 따른 첨두홍수량 특성에 관한 연구

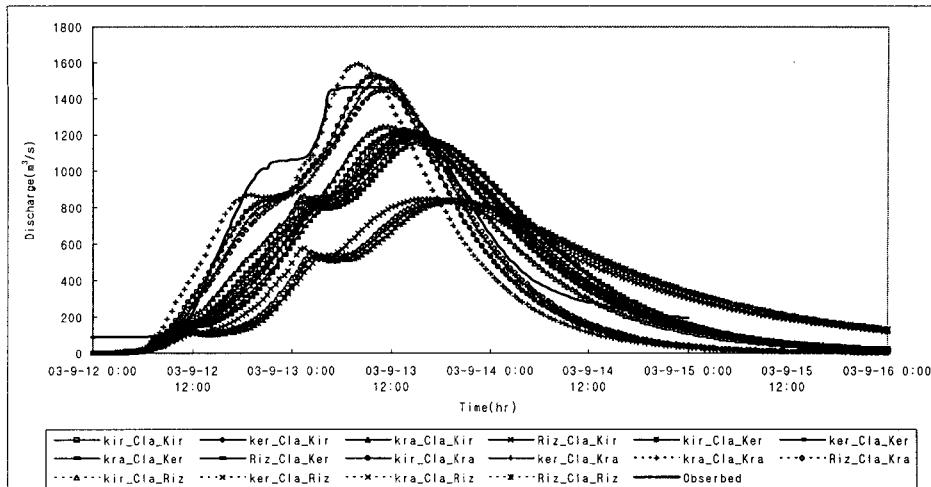


Fig. 9. Comparison of hydrograph by Subbasin 6 divided(Yonggok).

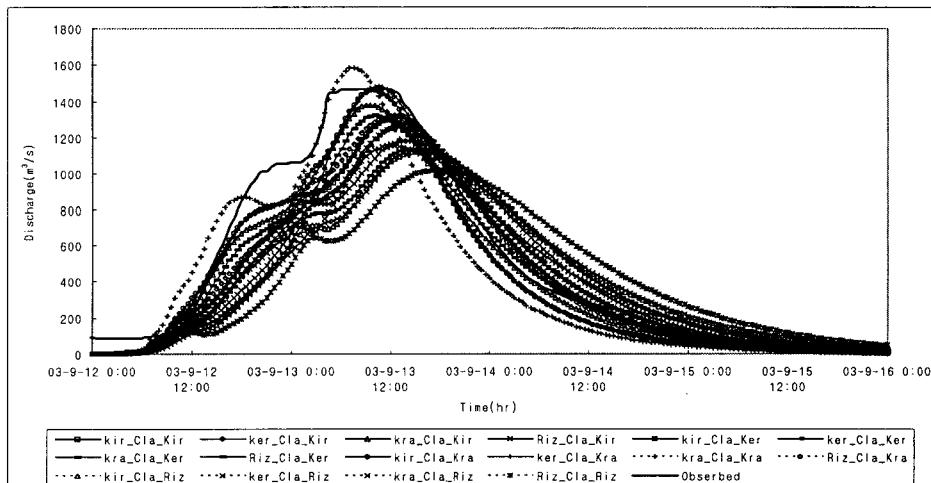


Fig. 10. Comparison of hydrograph by Subbasin 4 divided(Yonggok).

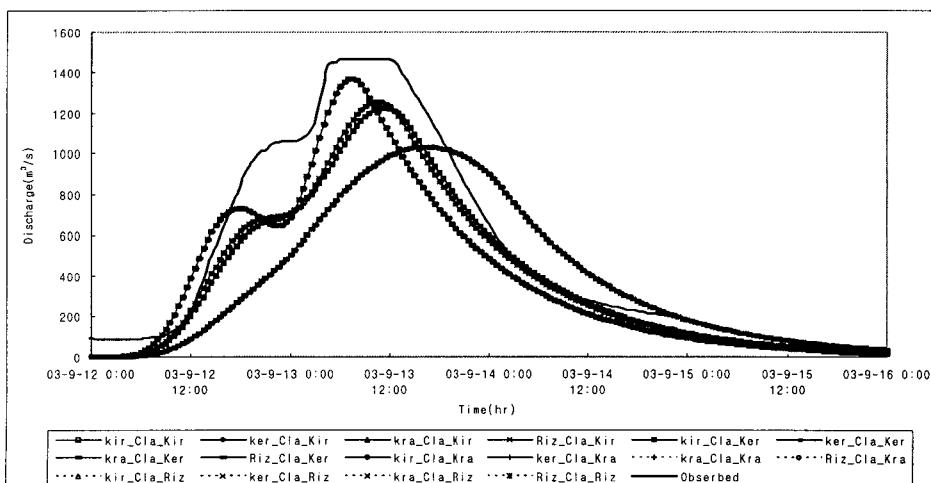


Fig. 11. Comparison of hydrograph by Subbasin 2 divided(Yonggok).

4. 결 론

본 연구에서 유역분할에 따라 지형인자를 추출하고 경험공식에 의해 도달시간, 저류시간, 하도의 지체시간을 산정하였다. 산정된 매개변수를 이용하여 위천유역에 홍수량을 산정한 결과 유역의 분할을 11개, 6개, 4개, 2개의 경우 유역분할의 수가 많을수록 첨두홍수량의 크기는 크게 나타났다.

또한 경험공식에 의해 매개변수를 산정하여 홍수수문곡선을 모의하여 실측치와 비교한 결과 유역분할 개수에 상관없이 도달시간-저류시간-지체시간의 조합에서 Kraven-Clark -Kraven의 경우가 대체로 실측수문곡선을 잘 모의하는 것으로 분석되었다. 도달시간의 적용에 있어 유역의 특성이 반영되는 점은 부족하였지만 매개변수의 추정에 있어 좀더 범위를 제한 시켜준다는 의미가 있는 것으로 판단되었다.

위천유역을 유역분할의 갯수에서는 11개와 6개의 소유역 분할이 적합한 수문곡선의 모의가 되는 것으로 나타났다. 이때 용곡지점까지의 도달시간의 범위는 18hr~20hr정도인 것으로 분석되었으며 실측된 자료와의 차이는 약 8hr~10hr정도 나는 것으로 나타났다.

향후 홍수량 산정을 위한 모형을 적용하여 수문곡선을 모의하는 데 있어 실측자료와 계산된 도달시간의 차이를 줄이고 수문곡선의 모의를 하는 것이 앞으로 남은 연구과제이다. 또한, 수문관측망의 확충과 자료의 축적이 이루어지면 위천유역의 경우 유역분할된 주요지점마다 측정된 유속을 이용하여

도달시간을 산정하여 수문곡선과 비교함으로써 홍수수문곡선 모의를 위한 유역 전체에 대한 도달시간의 산정과 홍수수문곡선 모의에 정확성을 기할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) 조홍제, 조인률, 1998, 분포형 유출모형을 이용한 홍수유출해석, 한국수자원학회지, 31(2), 199-208.
- 2) 이종태, 이상태, 1997, 도시유역에서의 강우 공간분포 및 소유역분할이 유출특성에 미치는 영향, 한국수자원학회 논문집, 30(2), 177-191.
- 3) Zhang, W. and D. R. Motagomery, 1994, Digital elevation model grid size, landscape representation and hydrologic simulation, Water Resources Research, 30(24), 1019-1028.
- 4) 윤용남, 김옹태, 박무종, 김재형, 1999, 분포형 개념을 이용한 토사유출량 산정에 관한 연구, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 3-8.
- 5) 한건연, 이수현, 이창희, 2003, GIS를 이용한 수문모델링에서의 적정해상도 도출, 한국수자원학회 학술발표회 논문집(II), 971-974.
- 6) 김경탁, 최윤석, 2003, 유역분할에 따른 유출응답에 관한 연구, 한국수자원학회 논문집, 36(6), 911-924.
- 7) 정종호, 금종호, 윤용남, 2002, 도달시간 산정 방법의 개발, 한국수자원학회 논문집, 35(6), 715-727.