

# 도달시간 산정방법에 따른 홍수유출특성 변화에 관한 연구

박기범<sup>1\*</sup> · 고진석<sup>2</sup> · 지흥기<sup>3</sup>

## A Study of Flood Runoff Variation by Travel Times Estimation Methods

Ki-Bum PARK<sup>1\*</sup> · Jin-Seuk KO<sup>2</sup> · Hong-Gee JEE<sup>2</sup>

### 요 약

본 연구에서는 하천유역의 홍수유출을 계산하는데 있어 입력인자로 사용되는 도달시간과 저류상수등을 산정하는 데 있어 사용되는 경험식들의 조합에 따른 홍수유출량의 변화양상과 실제 관측된 유속을 이용하여 계산된 도달시간을 비교하였다. 계산된 도달시간과 첨두홍수량의 관계도 도달시간이 길어질수록 첨두홍수량은 낮아지는 결과를 나타내었다. 그러나 실측된 유속과 홍수량에서는 유량의 변화에도 유속을 이용한 도달시간은 크게 변화가 일어나지 않는 것으로 나타났다. 위천의 루사와 매미의 경우는 최적화된 모델의 도달시간이 실측된 모형의 도달시간보다 짧게 산정되었다. 모형을 이용하여 홍수량을 산정할 경우 입력 매개변수의 조합에 따라 홍수량을 산정한 결과 실측된 홍수량에 비하여 모형에 의해 계산된 홍수량의 경우 도달시간이 실측보다는 짧게 산정되는 것으로 분석되었다. 매미의 관측된 자료를 이용하여 평균유속으로 검토한 결과 루사와 매미의 경우는 위천의 용곡지점에 도달시간이 28시간 정도일 경우 홍수량과 하도의 유속과 수위가 거의 일치하는 것으로 분석되어 향후 홍수량 분석의 매개변수 산정에 참고가 될 수 있을 것이다.

주요어 : Clark 모형, 홍수유출특성, 도달시간, 루사, 매미

### ABSTRACT

In this study comparison estimates travel times with observed travel time. In generally, peak flood discharges decrease become travel times longer. It is closely related to storage constant for the watershed routing of a flood. There are so many empirical formulas available for the estimation of travel time, storage coefficients and lag time but results computed generally show great different depending on individual formulas. When calculated flood discharge depend on the travel times varying the discharge. In this study the Wichun travel time shorter optimization travel time than observed travel time for the rusa and memi. There are showed good results for flood discharges, water level and velocity of the memi at the Younggok.

*KEYWORDS : Clark Model, Flood Runoff, Travel Time, Rusa, Memi*

2005년 9월 10일 접수 Received on September 10, 2005 / 2006년 2월 20일 심사완료 Accepted on February 20, 2005

1 안동과학대학 건설정보과, Department of Construction Information, Andong Science College.

2 영남대학교 건설환경공학부, School of Civil, Urban and Environmental Engineering, Yeungnam University.

3 영남대학교 건설환경공학부, School of Civil, Urban and Environmental Engineering, Yeungnam University.

\* 연락처자 E-mail : pkb5032@naver.com

## 1. 서 론

일반적으로 하천유역에서 홍수량을 산정하는데 있어 지형인자는 매우 중요한 요소이다. 유역의 지형인자를 이용하여 홍수유출 모형에 적용하기 위한 매개변수를 산정하여 강우-유출모형을 이용하여 홍수수문곡선을 추정하고 있다. 그러나 우리나라의 실정에 적합한 매개변수의 추정방법은 아직 미흡하여 외국에서 개발된 경험식을 이용하고 있는 실정이다. 국내에서는 홍수량을 산정하는 모형으로 Clark 모형을 가장 많이 이용하고 있으며, Clark 모형에 입력되는 매개변수로는 하천연장과 경사, 그리고 유로중심장을 산정하여 경험공식을 이용하여 도달시간과, 저류상수 그리고 지체시간을 산정하게 된다. 강우에 의해 발생하는 홍수유출량을 산정하기위해 유역반응을 나타내는 시간으로 도달시간과 집중시간, 그리고 지체시간들은 일반적으로 수문모형의 적용에 있어 홍수량 산정에 큰 영향을 끼치는 변수들이다. 이러한 매개변수들은 운영자에 따라서 상당한 차이를 보이는 경우가 있으며 홍수량을 검증하거나 재산정하는데 있어 구체적이고 객관적인 매개변수의 범위에 대한 제시가 불분명하여 논란에 여지가 항상 존재하고 있다.

도달시간은 하도의 최상류단에서 유역의 출구점까지의 유하시간이다. 집중시간은 유역의 시간적으로 최고원거리에 있는 점에서 유역의 출구점까지의 시간으로 유역의 최원점에서 하도의 시작점까지의 유입시간과 하도구간의 유하시간의 합으로 나타낸다. 지체시간은 유효우량의 중심에서 직접유출 수문곡선의 중심까지의 시간으로 혹은 첨두홍수량 발생시각까지로 나타낸다. 그러나 이러한 매개변수의 산정에 있어 정종호 등(2002)은 도달시간의 산정에 있어 공식별로 많은 편차를 나타내고 있으며 평균유속을 이용하여 도달시간을 산정하는 방법을 제안하였다. 안승섭 등(2002)은 하천분기 특성에 따른 홍수유출특성관계에 대하여 연구하였으며, 정대명 등(2003)은 GIS를 이용하여 도달시간과 저류상수가 유역의 홍수량에 미치는 영향을 검토

하였다. 윤태훈 등(2002)은 Clark 단위도의 저류상수의 산정에 있어 유역의 특성을 이용하여 저류상수를 산정하는 회귀식을 제안하였다. 윤광원 등(1994)은 Clark 유역추적법에 의한 첨두홍수량산정에 있어 민감도를 분석하여 도시지역의 저류상수 산정에 있어 추정식을 제안하였다. 성기원 (1999)은 유역의 상사성과 Clark 모형의 매개변수와의 상관관계를 해석하고 상관식을 제안하였다. Wilson 등(1992)은 무차원화된 Clark 모형을 제안하여 저류상수와 유역의 특성인자와 기상인자간의 관계에 대하여 연구하였으며, Sabol (1968)은 미계측 유역에 대한 저류상수를 추정하기 위하여 지형특성인자의 회귀분석식을 개발하였다.

본 연구에서는 Clark 모형을 이용한 홍수량 산정에 있어 유역의 특성인자를 산정하고 매개변수 추정공식에 따른 첨두홍수량의 변화를 파악하고 관측된 자료에 의한 하도의 유속과 도달시간에 의해 산정된 하도의 유속 그리고 최적화된 매개변수에 의한 하도의 유속등을 비교하여 Clark 모형의 매개변수 산정에 있어 객관적이고 효율적인 방안에 대해 연구하였다.

## 2. 기본이론

### 2.1 Clark 모형의 기본이론

유역의 도달시간-누가면적 관계로부터 자연 하천 유역에 순간적으로 내리는 단위유효우량으로 인한 유역출구에서의 직접유출 수문곡선인 순간단위유량도를 유도하는 방법인 Clark 단위도법은 강우로 인한 유수의 전이(translation)뿐 아니라 유역의 저류효과도 고려하는 방법이다. 이 방법은 가상의 단일 선형저수지가 유역말단에 존재하고 유역을  $n$  개의 등도달시간 소유역으로 구분할 수 있다고 가정하면 유역에 순간적으로 내리는 단위유효우량(1cm)으로 인해 유역출구에 도달하는 유입량은 다음 식 (1)과 같고, 저수지로부터 유출량  $O_t$  ( $m^3/s$ )는 저수지 홍수추적에 의해 식(2)와 같이 표현된다.

$$I_t = 2.78 \frac{A_t}{\Delta t} \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$O_t = m_0 I_t + m_1 I_{t-1} + m_2 O_{t-1} \quad (2)$$

여기서,  $I_t$ 는  $t$ 시간의 가상저수지로의 유입량( $m^3/s$ )이며,  $A_t$ 는  $t$ 번째 시간구간에 포함되어 있는 소유역면적( $km^2$ ),  $\Delta t$ 는 등시간선의 시간간격( $hr$ )이다. 이때 식(2)의  $m_0$ ,  $m_1$ ,  $m_2$ 는 홍수추적 계수로서 다음 식(3)에 의해 결정된다.

$$m_0 = \frac{0.5\Delta t}{K+0.5\Delta t}, \quad m_1 = \frac{0.5\Delta t}{K+0.5\Delta t},$$

$$m_2 = \frac{K-0.5\Delta t}{K+0.5\Delta t} \quad (3)$$

위 식은 저수지의 저류량( $S_t$ )과 유출량( $O_t$ )의 선형성 가정, 즉  $S_t = KO_t$ 에 근거한 것으로서 유역의 저류상수  $K$  및  $\Delta t$ 를 결정하면  $m_0$ ,  $m_1$ ,  $m_2$ 를 계산할 수 있으며, 식(2)를 사용하여 유입수문곡선을 추적기간별로 축차적으로 추적함으로써 유역출구점에서의 순간단위 유량도를 얻을 수 있다.

## 2.2 Clark 모형의 매개변수

Clark 방법을 이용하여 유출량을 산정하기 위해서는 시간-면적곡선, 도달시간( $tc$ ) 및 저류상수( $K$ )의 결정이 선행되어야 한다. 유역의 도달시간과 저류상수의 경우 실측 수문곡선이 존재하면 실측곡선으로부터 그 값을 산정할 수 있으나 실제 정확한 값을 구하는 것은 어려운 것이 현실이며 일반적으로 해당유역의 모든 소유역에서 유출수문곡선이 존재하는 것이 아니므로 대부분의 경우 유역의 특성인자를 산정하여 경험공식을 이용하여 산정하고 있는 실정이다.

저류상수 역시 실측수문곡선이 존재하는 경우 실측수문곡선을 이용하여 결정할 수 있으나 이 경우 숙련도 높은 경험을 요구하고, 실무에 적용하는데 어려움이 있으며 사용자의 주관에

따라 결정될 소지가 많다.

한편, 시간-면적곡선을 작성하기 위해서는 등시간선에 의한 소유역을 분할하여야 하며, 이를 위해서는 먼저 전 유역의 홍수도달시간( $tc$ )을 결정하여야 한다. 전 유역의 홍수도달시간을 결정하고 나면 유로연장을 따라 홍수류의 평균 유속이 전 하도구간에 걸쳐 대체적으로 일정하다고 가정하고 본류를 따라 등시간 구간으로 구분한다. 지표면을 통한 유하속도는 하도에서의 유하속도보다 느리고, 경사가 대체로 큰 지류하천에서의 유속은 본류에서보다 빠르다는 점을 감안하여 등시간선을 작성한다. 또한, HEC-1 (1990) 모형에서는 Clark 단위도법으로 유출해석을 하고자 할 때에는 시간-면적곡선이 주어지지 않는 경우 다음과 같은 무차원 식으로 시간에 대한 누가 면적비를 결정하여 단위도를 계산하는 법을 제안한 바 있다.

$$AI \begin{cases} 1.41 T^{1.5} & 0 \leq T \leq 0.5 \\ 1 - 1.414(1 - T)^{1.5} & 0.5 \leq T \leq 1 \end{cases} \quad (4)$$

여기서  $AI$ 는 등시간으로 나누어진 소유역 내의 누가면적비,  $T$ 는 등시간에 의해 나누어진 소유역의 도달시간에 대한 시간비이다.

유역의 도달시간은 강우가 해당 유역에 발생하였을 때 유역의 최상류점에서 최하류부(유역출구점)까지 강우가 도달하는데 소요되는 시간을 의미한다. 따라서 도달시간이 될 때 유역의 하구부에는 첨두유출량이 발생되며, 이때가 치수를 위한 수공구조물을 설계할 때 기준이 되므로 도달시간의 정확한 산정은 유출모형의 적용에 있어 중요한 인자가 된다. 하천시설기준(2005)에서는 유역의 도달시간을 결정하기 위해서는 유역의 특성에 따라 하도흐름이 지배적인 경우, 지표면 흐름이 지배적인 경우 및 하도와 지표면 흐름이 복합된 경우로 구분하여 결정하되, 하도경사, 유역면적, 토지이용조건 등을 감안하여 적절한 공식을 산정하도록 되어 있다.

그러나 현재 우리나라에서는 하천 유역에는 많은 지점의 실측자료가 확보되지 못한 상태이

므로 외국의 실험식을 사용하고 있다. 도달시간을 산정하는 여러 공식들은 적용범위, 대상하도 및 제한조건이 있으므로 설계대상 유역의 특성에 맞는 공식을 적용하여야 하며, 각 산정 방법에 따라 도달시간이 많은 값의 차이를 보이고 있다. 따라서 본 연구에서는 도달시간의 산정은 국내에서 널리 이용하고 있는 Kirpich 공식, Rizha 공식, Kraven 공식 및 Kerby 공식 등을 검토하였다.

**Kirpich 공식**

Kirpich에 의해서 유도된 홍수도달시간은 다음 식(5)와 같이 표시된다.

$$t_c = 3.976 \cdot L^{0.77} \cdot S^{-0.385} \quad (5)$$

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

**Rizha 공식**

자연하천의 상류부인 급경사 하도(하천경사 :  $S \geq 1/200$ )에서 적용되는 홍수도달시간은 다음 식(6)과 같이 표시된다.

$$t_c = 0.833 \cdot L \cdot S^{-0.6} \quad (6)$$

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

**Kraven 공식**

자연하천의 중·하류부( $S < 1/200$ )의 홍수도달시간 산정에 적용되는 식으로서 다음 식(7)과 같이 표시된다.

$$t_c = 0.444 \cdot L \cdot S^{-0.515} \quad (7)$$

여기서,  $t_c$ (min.)는 홍수도달시간,  $L$ (km)은

유로의 연장 및  $S$ 는 식 (4.5)에서 정의된 바와 같이 개략적인 유로의 평균경사이다.

**Kerby 공식**

Kerby 공식은 유로연장인 약 360m인 지표면 유출을 대상으로 개발된 공식이다.

$$t_c = 36.255 \cdot (Ln)^{0.467} \cdot S^{-0.2335} \quad (8)$$

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

지체시간 산정에 있어서는  $TL=Kn$ 에 대해 저류계수  $K$ 와 선형저수지의 개수  $n$ 을 여러 조합으로 가정하여 얻은 순간단위도를 실측우량에 적용하여 합성한 유출수문곡선을 관측된 유출수문곡선과 비교하여 가장 근접하는 결과를 주는  $K$ 와  $n$ 값을 선택하여 지체시간을 결정하는 것이 정확하다. 그러나 본 대상유역에 대하여서는 강우-유출관계에 대한 자료를 확보하기 어려운 실정이므로 식(9)~식(12)과 같은 경험식을 사용하여 지체시간을 구하였으며, 저류계수  $K$ 는 지체시간  $T_L$ 과 같다고 가정하였다.

**Linsley 공식**

$$T_L = bL \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{S}} \quad (9)$$

여기서,  $T_L$  지체시간(hr),  $b$ 는 0.01~0.03의 상수,  $L$ 은 주 유로의 연장(km),  $A$ 는 유역면적(km<sup>2</sup>),  $s$ 는 유로의 평균경사이다.

**Clark 공식**

$$T_L = C \frac{L}{\sqrt{S}} \quad (10)$$

여기서,  $C$ 는 0.5~1.4의 값을 가지는 상수이며,  $L$  및  $S$ 는 전술한 바와 같다.

### SCS<sub>lag</sub> 공식

$$T_g = \frac{L^{0.8}(S+1)^{0.7}}{1,900 Y^{0.5}} \quad (11)$$

여기서,  $L$ 은 전술한 바와 같으며,  $Y$ 는 유역 평균경사(%),  $S$ 는 지표토층의 최대잠재보유수량(mm)로서,  $S=(1,000/CN)-10$ 의 관계를 가진다.

### Sabol 공식

$$t_c/K = 1.46 - 0.0867L^2/A \quad (12)$$

여기서  $t_c$ 는 도달시간(hr),  $L$ 은 유로연장(km),  $A$ 는 유역면적(km<sup>2</sup>)이다. 이 식은 Clark 방법의 도달시간과 저류상수의 관계를 유역면적과 유로연장으로 회귀분석하여 나타낸 식으로 유역의 특성이 반영된 것이다.

하도의 지체시간은 일반적으로 실무에서 유역의 도달시간과 같이 사용하고 있으며 본 연구에서도 하도에 대한 특성인자를 산정하여 지체시간을 구하였으며, HEC-HMS(2000)에서 미계측유역에 대하여 다음과 같은 식을 나타내었다.

$$V_w = \frac{1}{B} \frac{dQ}{dy} \quad (13)$$

여기서  $B$ 는 수면폭(m)이고,  $dQ/dy$ 는 수면경사이다.

또한, HEC-HMS에서는 홍수파의 유속이 1.33~1.67m/s의 평균유속을 가지며 따라서 하도의 지체시간은 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$K = \frac{L}{V_w} \quad (14)$$

여기서  $L$ 은 하도의 연장(km)이고,  $K$ 는 지체시간이다.

## 3. 매개변수의 산정 및 홍수량 산정

### 3.1 매개변수의 산정

본 연구에 대상유역은 위천유역은 IHP대표 유역으로서 총 유역면적은 1,412.83km<sup>2</sup>이며 유역 내에는 크게 쌍계천과 위천으로 구분할 수 있다. 위천의 홍수분석을 위하여 그림 1과 같이 11개 소유역으로 분할하여 각각의 지형인자를 산정하였으며 그 결과는 다음 표 1과 같다.

소유역으로 분할한 유역의 평균 면적은 128.44km<sup>2</sup>이며 위천유역이 ①, ②, ③, ④, ⑤, ⑩, ⑪이며, 쌍계천 유역은 ⑥, ⑦, ⑧, ⑨이다.

표 1과 같이 산정된 유역인자들을 이용하여 각 방법에 의한 도달시간과 저류상수 그리고 하도의 지체시간을 산정한 결과 표 2와 같다. 도달시간 산정방법별로 보면 Kerby 공식이 대체로 도달시간이 길게 산정되었으며, Kraven 공식이 짧게 산정되었다.

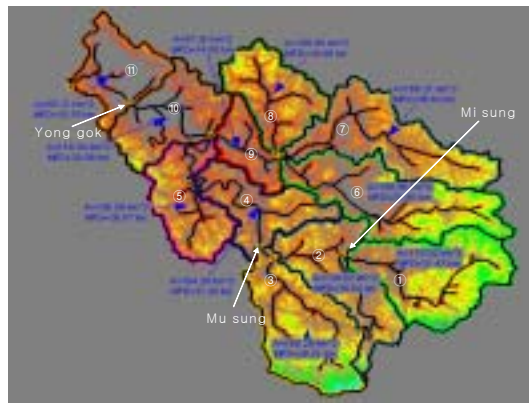


FIGURE 1. Study basin system

유역의 저류상수의 경우는 Linsley 공식이 가장 길게 산정되었으며, Clark공식이 가장 짧게 산정되었다. 각 공식별로 도달시간과 저류상수가 유역의 특성에 맞게 사용되어야 하지만 본 연구에서 도달시간과 하도의 지체시간은 홍수량에 민감하게 영향을 미치고 일반적으로 경험식에 의해 계산된 범위내에서 최적화된 값을 산정

TABLE 1. Basin characteristics

Basin No	Area(km <sup>2</sup> )	River length(km)	Elevation Difference(m)	Slope	Center of length(km)
1	172.02	31.47	566.46	0.0180	18.61
2	130.53	30.54	1038.36	0.0340	12.74
3	168.29	28.51	863.85	0.0303	13.54
4	104.28	31.20	180.96	0.0058	17.41
5	106.59	26.57	247.10	0.0093	14.40
6	188.96	35.90	538.50	0.0150	19.92
7	166.21	36.63	468.86	0.0128	20.40
8	109.90	18.48	367.75	0.0199	9.24
9	57.20	14.05	247.28	0.0176	5.17
10	116.54	20.08	295.18	0.0147	3.57
11	92.31	18.75	226.88	0.0121	6.81

TABLE 2. Results of parameters estimations

(Units : hr)

Basin No	Travel times				Coefficients of storage			
	Kirpich	Kerby	Kraven	Rizha	Sabol	Linsley	Clark	SCS <sub>lag</sub>
1	4.43	6.54	1.84	4.87	4.61	30.76	3.01	6.15
2	3.39	5.56	1.29	3.22	4.03	18.92	2.12	4.37
3	3.36	5.53	1.28	3.23	3.23	21.25	2.10	4.38
4	6.81	8.49	3.28	9.52	10.46	41.84	5.25	10.76
5	5.01	7.05	2.19	6.11	5.66	28.45	3.53	7.47
6	5.26	7.26	2.31	6.19	6.05	40.29	3.76	7.65
7	5.68	7.61	2.56	6.95	7.47	41.74	4.15	8.41
8	2.83	4.98	1.03	2.69	2.38	13.73	1.68	3.90
9	2.40	4.51	0.83	2.20	2.07	8.01	1.36	3.26
10	3.39	5.56	1.31	3.51	2.92	17.88	2.12	4.75
11	3.46	5.64	1.35	3.68	3.07	16.38	2.19	4.95

TABLE 3. Reach characteristics

Basin No.	Reach	Reach length(km)	Elevation Difference(m)	Slope
2	A	12.06	20.00	0.0017
4	B	25.91	24.00	0.0009
5	C	12.05	7.00	0.0006
9	D	10.00	10.00	0.0010
10	E	13.42	10.00	0.0007
11	F	10.36	7.00	0.0007

하므로 본 연구에서 제시한 식을 각각 적용하여 사용하였으며 유역의 저류상수는 일반적으로 많이 사용하는 Clark 공식에 의해 산정된 값을 저류상수로 고정하였다.

하도구간에 대한 유역의 특성인자와 각 방법 별 하도지체시간은 일반적으로 하도에 대한 하도의 길이와 경사를 산정하여 지체시간으로 사용하므로 도달시간을 산정하는 공식에 하도에

TABLE 4. Estimation of reach lag times

(Units : hr)

Basin No.	Reach	Lag time				Lag time(1.33Vm)				Lag time(1.67Vm)			
		Kirpich	Kerby	Kraven	Rizha	Kirpich	Kerby	Kraven	Rizha	Kirpich	Kerby	Kraven	Rizha
2	A	5.30	7.30	2.41	7.80	3.99	5.49	1.81	5.86	3.17	4.37	1.44	4.67
4	B	11.95	11.95	7.00	23.76	8.99	8.98	5.26	17.87	7.16	7.15	4.19	14.23
5	C	7.93	9.32	4.14	14.62	5.97	7.01	3.11	10.99	4.75	5.58	2.48	8.76
9	D	5.58	7.52	2.60	8.76	4.19	5.66	1.95	6.59	3.34	4.50	1.55	5.25
10	E	7.83	9.24	4.05	14.02	5.89	6.95	3.05	10.54	4.69	5.54	2.43	8.40
11	F	6.66	8.38	3.29	11.48	5.01	6.30	2.47	8.63	3.99	5.02	1.97	6.88

대한 특성인자 값을 적용하여 산정한 결과는 표 3과 같다.

하도의 지체시간 산정을 위하여 하도의 특성인자를 도달시간 공식을 이용하여 산정하였으며 식(14)를 이용하여  $V_w=1.33V_m$ 와  $V_w=1.67V_m$ 에 대하여 지체시간을 표 4와 같이 산정하였다.

여기서  $V_m$ 은 도달시간 산정 공식을 이용하여 산정한 시간을 유로연장으로 나누어 유속으로 환산하여 계산하였다. 분석된 결과를 살펴보면 대체로 Rizha 공식에 의해 산정된 값이 가장 길게 나타났으며, Kraven 공식에 의한 값

이 가장 짧게 나타났다.

3.2 홍수량산정 및 비교

홍수량 산정하기 위하여 최근의 대표적인 호우인 루사와 매미에 대하여 위천유역의 강우관측소의 강우를 수집하였으며 강우-유출 모형으로는 Clark 모형을 이용하여 산정된 도달시간과 저류상수 그리고 지체시간을 방법별로 적용하여 홍수량을 산정하여 비교하였다.

표 5는 홍수량 산정을 위해 도달시간과 저류상수 그리고 지체시간의 조합에 따른 각각의 용

TABLE 5. Results of peak discharge at Yonggok

Original K	Peak discharge(m <sup>3</sup> /s)		1.33 V <sub>m</sub>	Peak discharge(m <sup>3</sup> /s)		1.67 V <sub>m</sub>	Peak discharge(m <sup>3</sup> /s)	
	Rusa	Memi		Rusa	Memi		Rusa	Memi
Kir_Cla_Kir	774.08	1,151.70	Kir_Cla_Kir	966.11	1,351.70	Kir_Cla_Kir	1,133.30	1,506.10
Ker_Cla_Kir	768.63	1,144.80	Ker_Cla_Kir	955.44	1,340.90	Ker_Cla_Kir	1,118.40	1,490.60
Kra_Cla_Kir	775.31	1,159.80	Kra_Cla_Kir	971.88	1,367.30	Kra_Cla_Kir	1,141.80	1,529.90
Rizha_Cla_Kir	776.96	1,148.20	Rizha_Cla_Kir	966.67	1,342.60	Rizha_Cla_Kir	1,133.00	1,490.20
Kir_Cla_Ker	695.21	1,056.80	Kir_Cla_Ker	874.95	1,258.50	Kir_Cla_Ker	1,039.60	1,415.30
Ker_Cla_Ker	691.22	1,051.50	Ker_Cla_Ker	868.04	1,250.00	Ker_Cla_Ker	1,027.30	1,403.10
Kra_Cla_Ker	694.64	1,060.80	Kra_Cla_Ker	877.11	1,268.00	Kra_Cla_Ker	1,046.50	1,431.70
Rizha_Cla_Ker	699.12	1,056.40	Rizha_Cla_Ker	877.45	1,253.40	Rizha_Cla_Ker	1,039.50	1,405.40
Kir_Cla_Kra	1,216.40	1,584.20	Kir_Cla_Kra	1,443.50	1,776.30	Kir_Cla_Kra	1,627.90	1,943.00
Ker_Cla_Kra	1,199.20	1,565.60	Ker_Cla_Kra	1,415.50	1,745.70	Ker_Cla_Kra	1,589.90	1,897.90
Kra_Cla_Kra	1,228.30	1,616.40	Kra_Cla_Kra	1,470.70	1,822.20	Kra_Cla_Kra	1,670.80	2,003.90
Rizha_Cla_Kra	1,213.80	1,562.80	Rizha_Cla_Kra	1,431.60	1,745.60	Rizha_Cla_Kra	1,604.30	1,902.50
Kir_Cla_Riz	465.50	749.33	Kir_Cla_Riz	594.76	930.09	Kir_Cla_Riz	717.24	1,086.10
Ker_Cla_Riz	463.78	746.61	Ker_Cla_Riz	591.82	925.73	Ker_Cla_Riz	712.61	1,079.90
Kra_Cla_Riz	465.32	751.04	Kra_Cla_Riz	595.20	934.15	Kra_Cla_Riz	719.03	1,094.20
Rizha_Cla_Riz	468.99	749.71	Rizha_Cla_Riz	597.07	928.98	Rizha_Cla_Riz	719.11	1,082.30

TABLE 6. Results of mean velocity at Yonggok

Original K	Mean velocity(m/s)	1.33 V <sub>m</sub>	Mean velocity(m/s)	1.67 V <sub>m</sub>	Mean velocity(m/s)
Kir_Cla_Kir	0.70	Kir_Cla_Kir	0.90	Kir_Cla_Kir	1.09
Ker_Cla_Kir	0.67	Ker_Cla_Kir	0.84	Ker_Cla_Kir	1.00
Kra_Cla_Kir	0.76	Kra_Cla_Kir	0.99	Kra_Cla_Kir	1.22
Rizha_Cla_Kir	0.70	Rizha_Cla_Kir	0.89	Rizha_Cla_Kir	1.07
Kir_Cla_Ker	0.62	Kir_Cla_Ker	0.80	Kir_Cla_Ker	0.97
Ker_Cla_Ker	0.59	Ker_Cla_Ker	0.75	Ker_Cla_Ker	0.90
Kra_Cla_Ker	0.66	Kra_Cla_Ker	0.87	Kra_Cla_Ker	1.08
Rizha_Cla_Ker	0.62	Rizha_Cla_Ker	0.79	Rizha_Cla_Ker	0.96
Kir_Cla_Kra	1.20	Kir_Cla_Kra	1.49	Kir_Cla_Kra	1.76
Ker_Cla_Kra	1.09	Ker_Cla_Kra	1.33	Ker_Cla_Kra	1.54
Kra_Cla_Kra	1.36	Kra_Cla_Kra	1.75	Kra_Cla_Kra	2.13
Rizha_Cla_Kra	1.17	Rizha_Cla_Kra	1.46	Rizha_Cla_Kra	1.71
Kir_Cla_Riz	0.41	Kir_Cla_Riz	0.53	Kir_Cla_Riz	0.65
Ker_Cla_Riz	0.40	Ker_Cla_Riz	0.51	Ker_Cla_Riz	0.62
Kra_Cla_Riz	0.42	Kra_Cla_Riz	0.56	Kra_Cla_Riz	0.70
Rizha_Cla_Riz	0.41	Rizha_Cla_Riz	0.53	Rizha_Cla_Riz	0.64

곡지점의 태풍 루사와 매미에 대한 첨두홍수량을 나타내었다. 가장 큰 첨두홍수량은 도달시간을 Kraven 공식, 저류상수는 Clark 공식, 하도의 지체시간은 Kraven 공식을 사용하였을 때, 루사의 경우 2,003.90m<sup>3</sup>/s, 매미의 경우 1,670.80 m<sup>3</sup>/s로 나타났으며, 가장 적은 값은 도달시간은 Kerby 공식, 저류상수는 Clark 공식, 하도의 지체시간은 Rizha 공식을 사용하였을 때 루사의 경우 463.78m<sup>3</sup>/s, 매미의 경우 746.61m<sup>3</sup>/s로 나타났다.

본 연구에서 분석한 매개변수의 조합에서는 각 공식마다 유역의 특성에 맞게 적용하여야 양호한 결과를 얻을 수 있다. 그러나 일반적으로 실무나 기본계획 수립시 실측홍수량과의 검증을 통한 매개변수의 결정과정에서 각 공식별로 산정한 매개변수의 최대치와 최소치를 범위로 한 최적화를 통하여 매개변수를 결정하는 데 있어서 결국은 유역의 특성인자를 통한 매개변수 추정치를 공식에 그대로 대입하여 사용하기에는 어려운 점이 있어 최대치와 최소치 사이에 최적화된 어 느 값을 선택하게 된다. 본 연구에서 매개변수에

따라 계산된 첨두홍수량의 최대치와 최소치의 범위가 루사와 매미의 경우 1,540.12m<sup>3</sup>/s, 와 924.19 m<sup>3</sup>/s로 매우 크게 차이를 보인다.

용곡지점의 도달시간은 ①번 유역의 도달시간, ②번 유역하도의 지체시간, ④번 유역하도의 지체시간, ⑤번 하도의 지체시간, ⑩하도의 지체시간을 더하여 산정하였다. 표 6의 경우는 각 방법에 의해 산정된 도달시간을 하도길이로 나누어 평균유속을 산정하였다.

표 7은 2003년도에 용곡지점의 관측된 유량 자료와 유속자료로서 낙동강 홍수통제소의 자료를 조사한 결과에 의하면 루사와 매미의 경우 첨두유량이 1,171m<sup>3</sup>/s, 1,464m<sup>3</sup>/s로 나타났다. 첨두유량만을 비교할 경우 루사의 경우 도달시간이 Kerby, 유역의 저류상수는 Clark 그리고 하도의 지체시간은 Kraven의 경우가 가장 유사하며, 매미의 경우 도달시간은 Rizha, 유역의 저류상수는 Clark, 하도의 지체시간은 유속을 1.67V<sub>m</sub>으로 고려한 Kirpich의 경우가 가장 유사하게 산정되었다.

그러나 도달시간이 Kerby, 유역의 저류상수



TABLE 7. Observed velocity and discharge data at Yonggok(Year : 2003)

Depth(m)	Velocity(m/s)	Discharge(m <sup>3</sup> /s)	Depth(m)	Velocity(m/s)	Discharge (m <sup>3</sup> /s)
4.08	0.93	1,120.97	4.90	0.94	1,429.83
3.72	0.91	853.83	4.05	0.93	1,104.72
3.33	0.89	806.97	5.15	0.95	1,543.32
3.50	0.94	908.78	5.35	0.96	1,626.59
4.25	0.97	1,245.11	6.20	0.99	1,981.35
4.65	0.93	1,331.06	5.80	0.95	1,774.30
4.45	0.90	1,218.65	5.43	0.97	1,667.73

는 Clark 그리고 하도의 지체시간은 Kraven의 경우에 루사나 매미의 경우 거의 침투홍수량이 일치하는 것으로 판단된다. 유속이 관측된 매미의 경우 표 6의 침투유량과 유사한 1,429.83 m<sup>3</sup>/s과 비교할 경우 계산된 유속의 경우 1.07m/s이나 관측은 0.94m/s로 나타나 거의 유사한 것으로 판단된다. 그리고 이때의 용곡지점까지의 총 도달시간은 루사의 경우 24.14시간, 매미의 경우 26.20시간으로 실제 관측된 유속을 기준으로 산정한 도달시간의 평균은 28.07시간으로 계산된 홍수량에 의한 도달시간이 1.87시간 빠르게 산정되었다.

관측된 유량이 있는 경우 이와 같이 각 지점마다 유속과 유량을 비교하여 도달시간과 저류상수 그리고 하도의 지체시간을 어느 정도 적합하게 추정할 수 있다. 실제 용곡지점까지는 본 연구에서 유역분할이 10개로 되어 있어 각각의 소유역에 일괄적으로 적용할 경우 매개변수의 적용에 있어 각각의 소유역의 특성을 반영하지 못한다는 단점이 있으나 전체적인 하도의 도달시간을 결정하여 각각의 소유역의 홍수량을 계산하더라도 관측지점까지의 도달시간에 대한 기

준을 제시하는 데에는 도움이 될 것으로 판단된다. 루사의 경우 관측유량은 있으나 유속이 관측된 자료가 없어 비교가 불가능 하였다.

표 8은 태풍 매미의 용곡지점을 대상으로 도달시간과 저류상수 그리고 하도의 지체시간을 각 공식에 의해 계산된 값중에서 최소값과 최대값 범위내에서 HEC-HMS의 침투유량제곱오차 방법으로 최적화한 매개변수로서 용곡지점까지의 도달시간은 21.34hr로 분석되었으며, 평균유속은 1.24m/s로 분석되었다.

그림 2와 그림 3은 용곡지점의 루사와 매미 호우에 대한 Clark 모형의 계산에 의한 유량과 각 방법에 의한 도달시간을 나타내었다. 루사의 경우 유량, 유속을 관측한 자료가 없어 비교가 불가능하였으나 매미의 경우 용곡지점에 유량보고서에 관측된 자료와 비교한 결과 최적화된 결과가 관측된 자료보다는 도달시간이 빠르게 나타났다. 그림 4와 그림 5의 경우는 도달시간을 유속으로 환산한 것과 관측된 자료 그리고 최적화된 경우에 유량과 도달시간을 비교한 것으로서 관측치보다 최적화된 값이 유속이 빠르게 나타났다.

TABLE 8. Results of parameters optimization

(Units : hr)

Basin No.	Travel times	Coefficients of storage	Basin No.	Travel times	Coefficients of storage	Lag time	
1	1.91	3.01	6	4.89	4.15	A	2.43
2	3.26	2.40	7	2.15	1.68	B	7.26
3	3.83	2.46	8	3.84	1.36	C	4.36
4	3.52	9.06	9	4.05	2.99	D	3.76
5	2.53	3.53	10	3.88	2.19	E	5.38

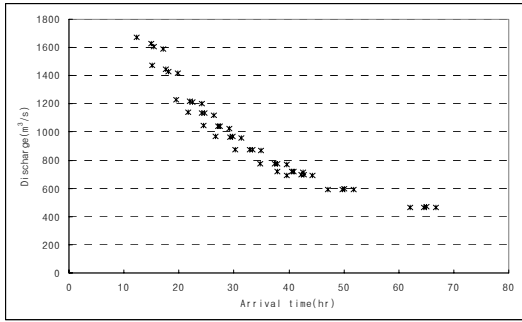


FIGURE 2. Relation of arrival time-peak discharge at Yonggok(Rusa)

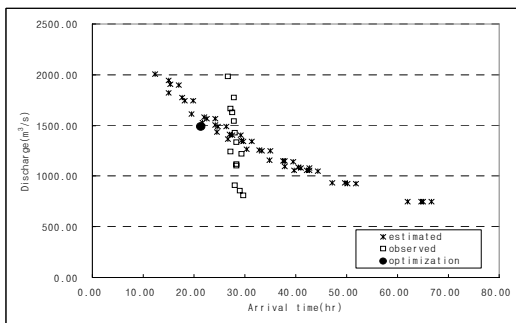


FIGURE 3. Relation of arrival time-peak discharge at Yonggok(Memi)

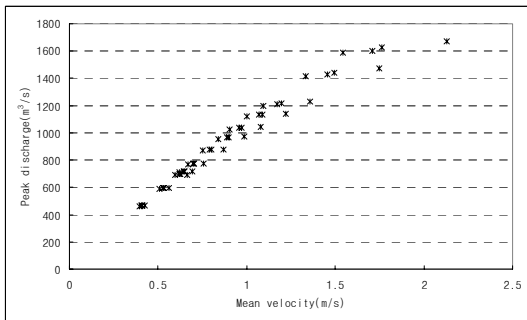


FIGURE 4. Comparison of mean velocity-peak discharge at Yonggok(Rusa)

그림 6의 경우 용곡지점의 수위-유량관계식을 이용하여 유량을 수위로 환산한 것으로 최적

화된 유량  $1,489\text{m}^3/\text{s}$ 의 경우 수위가  $5.03\text{m}$ 이며, 표 7에 나타난 관측유량  $1,430\text{m}^3/\text{s}$ 의 경우 수위가  $4.90\text{m}$ ,  $1,543\text{m}^3/\text{s}$ 의 경우  $5.15\text{m}$ 로 관측되어 거의 일치함을 알 수 있다.

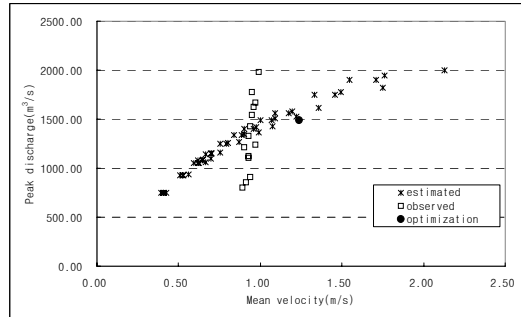


FIGURE 5. Comparison of mean velocity-peak discharge at Yonggok(Memi)

그러나 최적화된 매개변수를 보면 어느 한 공식에 적용성이 높다고 하기에는 어려움이 있는 것으로 나타났으며, 관측유량이 있는 지점까지의 도달시간과 유속을 비교하여 적용성을 평가하는 것이 정확성이 우수한 것으로 판단된다. 따라서 계측구역과 미계측 구역에서 매개변수의 산정에 있어서 산정 후 유속과 도달시간을 비교하여 매개변수를 결정하는 것이 신뢰성을 높이는 데 나을 것으로 판단된다.

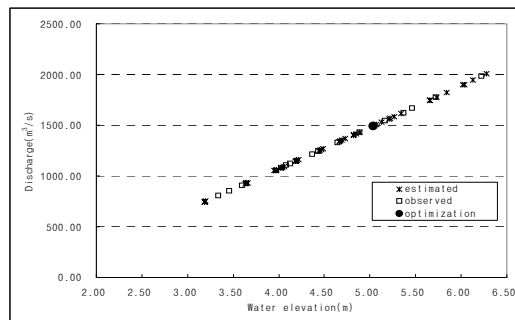


FIGURE 6. Comparison of water elevation-peak discharge at Yonggok

#### 4. 분석결과의 고찰

본 연구에서 매개변수의 산정방법에 따른 홍수량의 변화에 대하여 살펴본 결과 위천유역의 용곡지점까지의 도달시간은 28.20hr 정도로 실측유량의 결과에서 나타났으며, 유속은 0.80~1.00m/s 정도인 것으로 나타났다. 관측된 유량자료를 근거로 하였을 경우 유량이 변하여도 유속은 크게 변화가 일어나지 않으나 강우-유출 계산에서 홍수량 계산시에 사용되는 매개변수들을 이용하여 계산하였을 경우 도달시간이 증가함에 따라 홍수량이 점차 감소되는 특징이 뚜렷하게 나타나고 있음을 알 수 있었다.

위천유역의 용곡지점의 경우 침투유량만을 비교할 경우 루사의 경우 도달시간이 Kerby, 유역의 저류상수는 Clark 그리고 하도의 지체시간은 Kraven의 경우가 하도의 유속과 침투유량을 비교할 때 가장 유사하게 산정되었다. 유속이 관측된 매미의 경우 침투유량과 유사한 1,429.83 m<sup>3</sup>/s과 비교할 경우 계산된 유속의 경우 1.07m/s이나 관측은 0.94m/s로 나타나 거의 유사한 것으로 판단된다. 용곡지점까지의 총 도달시간은 24.14hr이며 실제 관측된 유속을 기준으로 산정한 도달시간의 평균은 28.07hr로 계산된 홍수량의 침투시간이 관측된 도달시간보다는 빠르게 나타났다.

본 연구에서 관측된 유량과 계산된 유량의 비교에서 실제하천에서는 홍수시 유량이 변하더라도 일정한 도달시간을 가진다는 것을 알 수 있었으며, 이에 근거한 강우-유출 모형의 매개변수 산정이 필요한 것으로 판단된다.

#### 5. 결 론

본 연구에서 Clark 모형을 이용하여 홍수량 계산시 매개변수 산정방법에 따른 침투홍수량의 변화에 대하여 살펴본 결과 다음과 같다.

- 1) 홍수량 산정에 있어서 도달시간이 크게 영향이 있음을 알 수가 있었으며 실제 관측유량에서는 유량이 변하여도 유속이

크게 변하지 않으나 계산된 홍수량의 경우 도달시간을 산정하여 유속을 산정한 결과 도달시간이 길어질수록 홍수량이 감소하는 경향을 나타내고 있었다.

- 2) 홍수량 계산시 매개변수의 산정방법에 따른 홍수량의 변화가 결국은 도달시간의 크기에 상관되므로 관측유량이 있는 경우 관측지점까지의 총 도달시간의 가이드라인을 결정함으로써 매개변수의 최적화에 적합성 검토에 도움이 될 것으로 판단된다. 본 연구에서는 위천의 루사와 매미의 경우 용곡지점까지의 도달시간이 대략 28hr시간 정도인 것으로 나타났다.
- 3) 본 연구에서 검토한 바와 같이 홍수량의 산정에서 도달시간과 홍수량의 관계는 밀접하며 유역의 홍수량산정에 있어 수문관측지점의 수가 많을수록 유속을 이용한 정확한 매개변수의 산정이 가능할 것으로 판단된다. 그리고 홍수량을 산정하는 데 있어 운영자의 판단에 따른 객관성의 부족한 부분에 대해서 유역에서의 관측된 유속자료와 계산된 모형의 매개변수와의 도달시간 비교를 통한 객관성을 부여하는데 도움이 될 것으로 판단된다.
- 4) 실제 하천유역에는 매미의 경우 홍수량의 크기에 비해 유속의 변화가 크지 않은 것으로 관측되었다. 이는 어느 정도 범위의 홍수량에서 측정지점에서의 하도의 특성이 영향을 미치는 것으로 판단되나 강우-유출 모형의 매개변수 산정시 관측자료가 있는 경우 유속과 도달시간의 검토가 매개변수 결정에 도움이 될 것으로 판단된다. **한국수자원학회**

#### 참고문헌

- 성기원, 1999, 유역의 상사성을 이용한 Clark 모형의 매개변수 해석, 한국수자원학회지 논문집, 32(4) : 427~435.

- 안승섭, 김대형, 허창환, 박종권, 2002, 하천분기 특성인자를 고려한 지형학적 순간단위도 모형의 해석, 한국지리정보학회지, 5(4), 9~23.
- 윤광원, 원석연, 윤용남, 1994, Clark 유역추적법에 의한 계획홍수량 산정에 미치는 매개변수의 민감도 분석, 한국수자원학회 논문집, 27(4) : 85~94.
- 윤태훈, 박진원, 2002, Clark 단위도의 저류상수 산정방법의 개선, 한국수자원학회 학술발표회 논문집(Ⅱ) : 1334~1339.
- 정대명, 배덕효, 2003, 시간-면적곡선의 유역유출해석 영향분석, 한국수자원학회 논문집, 36(2) : 211~221.
- 정중호, 금중호, 윤용남, 2002, 도달시간 산정방법의 개발, 한국수자원학회 논문집, 35(6) : 715~727.
- 한국수자원학회, 2005, 하천설계기준·해설 : 210~214
- Sabol, G.V. 1968, Clark unit hydrograph and R-parameter estimation, Journal of hydraulic engineering, 114(1) : 103~111.
- U.S. Army Corps of Engineers. 1990. HEC-1 Flood hydrograph package. user manual.
- U.S. Army Corps of Engineers. 2000. Hydrologic Modeling System HEC-HMS user manual chap 10~11.
- Wilson, B.N., J.W. Brown. 1992. Development and evaluation of a dimensionless unit hydrograph. Water resources bulletin. 28(2) : 397~408. ~~1992~~