

유역반응과 Clark 단위도의 매개변수

Catchment Response and Parameters of Clark Model

김남원*, 이정은**
Nam Won Kim, Jeong Eun Lee

요 지

본 연구는 그동안 우리나라 강우-유출분석에 주로 이용되어 왔던 Clark 단위도를 선택하여 그 매개변수와 유역반응과의 관계를 고찰하였다. 대상유역으로 국제수문개발계획 시험유역의 하나인 위천유역과 남강, 주암댐을 대상유역으로 선정하여, 실측강우-유출자료에 근거하여 최적화된 단위도를 유도한 후, Clark 단위도의 집중시간(T_c)과 저류상수(K)를 산정하였다. 본 연구를 수행한 결과, 유역에서의 각 홍수사상별 첨두홍수량에 대한 Clark 단위도의 매개변수인 집중시간, 저류상수와 유역반응과의 관계를 규명할 수 있었다. 집중시간과 저류상수는 모두 작은 홍수사상에서는 지수적으로 감소하지만 어느 홍수량 크기 이상부터는 거의 일정한 집중시간을 가짐을 알 수 있었다. 이는 큰 홍수사상에서는 유역의 선형성을 재현하고 있음을 보여주는 것이다. 또한, 이를 통해 우리나라에서 홍수량 산정시에 사용되어 오고 있는 대표단위도 개념은 큰 홍수사상에 적용될 경우에는 과소한 홍수량을 산정하므로 새로운 개념의 단위도 적용이 필요하다고 판단된다.

핵심용어 : 유역반응, Clark 단위도, 집중시간, 저류상수, 최적화

1. 서론

일반적으로 홍수량은 강우량을 입력으로 한 강우-유출해석의 결과이기 때문에 무엇보다 강우-유출관계를 모형화하는 것이 중요하다. 지금까지 홍수량을 추정하기 위한 많은 모형들이 개발되어 왔고, 사용되어 오고 있다. 그러한 모형들을 이용할 경우, 각 모형에서 사용되는 매개변수들의 정확성이 홍수량의 결과에 크게 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 초과강우를 유량으로 변환하는 유출성분 과정을 모형화한 단위도 중에서 우리나라 강우-유출분석에 주로 이용되어 왔던 Clark 단위도를 선택하여 그 매개변수에 따른 유역반응을 알아보려고 하였다. 윤광원 등(1994)은 Clark 단위도법에서의 매개변수가 계획홍수량에 미치는 민감도를 분석하였다. 여기서, 매개변수 중 저류상수가 계획홍수량에 매우 큰 영향을 미치고 있다고 하였으며, 이때 저류상수는 Linsley 방법을 이용하여 산정하였다. 또한, 윤태훈 등(2002)은 저류상수를 계측수문곡선의 감수곡선 분석법을 이용하여 산정하였다. 두 연구 모두 저류상수와 유역특성인자간의 상관관계식을 제시한 바 있다. 본 연구는 실측강우-유출자료의 분석을 통하여 Clark 단위도의 매개변수를 산정한 후, 집중시간, 저류상수와 유역반응의 관계를 고찰하여 홍수량 산정을 위해 지금까지 사용되어 오고 있는 소위 대표단위도의 적정성을 언급하고자 하였다.

2. Clark 단위도의 매개변수와 대표단위도

2.1 집중시간(T_c)와 저류상수(K)

HEC-HMS 모형의 유출모듈 가운데 하나인 Clark 단위도법은 자연하천 유역에 내리는 순간 단위유효수량으로 인한 유역출구에서의 직접유출 수문곡선인 순간단위유효량을 유도하는 방법으로서, 강우로 인한 유수

* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원 · E-mail : nwkim@kict.re.kr

** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : jeus22@kict.re.kr

의 전이 뿐만 아니라 유역의 저류효과까지 고려하므로 자연 유역에서의 적용에 적합한 방법으로 Clark(1945)에 의해 처음으로 제안되었다.

Clark 단위도법에서는 순간단위유량도를 구하기 위하여 두 개의 매개변수 집중시간(T_c), 저류상수(K)와 집중시간-누가면적 관계를 사용한다. 첫 번째 필요한 매개변수인 집중시간은 유효우량의 종료시간으로부터 직접유출 수문곡선 하강부의 변곡점까지의 시간간격을 말한다. 두 번째 필요한 매개변수는 시간단위를 가지는 저류상수로서, 자연하도내의 저류량이 홍수에 미치는 저류효과를 나타내는 것이며, 이는 직접유출 수문곡선의 하강부 변곡점에서의 유량 Q 를 그 점(시간)에서의 유량 변화율 (dQ/dt)로 나누어서 산정할 수 있다.

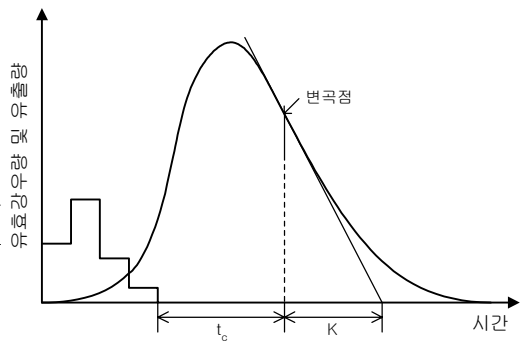


그림 1. Clark 단위도의 매개변수

2.2 매개변수 추정방법

일반적으로 집중시간은 유역특성인자로 표현된 집중시간 산정 공식을 이용하여 산정하고 있다. 이와 같은 경험식으로 Kirpich, Rziha, Kraver 공식 등이 있다.

$$\text{Kirpich 공식 : } T_c = 3.976 L^{0.77} S^{-0.385} \quad (1)$$

$$\text{Rziha 공식 : } T_c = 0.833 LS^{-0.6} \quad (2)$$

$$\text{Kraven 공식 : } T_c = 0.444 LS^{-0.515} \quad (3)$$

여기서 T_c 는 집중시간(min), L 은 유로연장(km), S 는 평균경사이다.

저류상수를 산정하는 방법으로는 유역출구에 대한 홍수수문곡선 실측자료가 있을 경우와 없을 경우에 각각 상이한 방법으로 추정한다. 자료가 있을 경우에 첫 번째 방법은 수문곡선의 감수부에서의 변곡점에서의 유량 Q_T 를 그 점에 그은 접선의 경사(dQ/dt)로 나누어주는 방법이다(식 4). 두 번째 방법은 변곡점으로부터 미소시간 ΔT 만큼 떨어진 시간구간의 수문곡선하 면적 $A(\text{m}^3/\text{sec} \cdot \text{hr})$ 를 ΔT 의 시점 및 종점시각 유량차 $(Q_1 - Q_2)(\text{m}^3/\text{sec})$ 로 나누어 계산하는 방법이다(식 5). 세 번째 방법은 직접수문곡선의 감수곡선부의 특성에 의존하는 방법으로 시간구간이 단위시간 1시간이라고 할 경우 Q_1 과 Q_2 의 비로 저류상수를 산정하는 방법이다(식 6).

$$K = \frac{-Q_T}{\left(\frac{dQ}{dt}\right)_T} \quad (4)$$

$$K = \frac{A}{Q_1 - Q_2} \quad (5)$$

$$K = -\frac{1}{\ln(Q_1/Q_2)} \quad (6)$$

수문실측자료가 없을 경우에는 여러 경험식(Clark 공식, Linsley 공식, Sabol 공식)으로 추정하고 있는 실정이다. 현재 실무에서는 Sabol(1988)이 제안한 식을 이용하여 저류상수를 산정하는 방법을 가장 많이 사용하고 있으며, 그 식은 다음과 같다.

$$\frac{T_c}{K} = 1.46 - 0.0867 L^2/A \quad (7)$$

여기서, T_c 는 집중시간(hrs), K 는 저류상수(hrs), L 은 유로연장(km), A 는 유역면적(km^2)이다.

2.3 대표단위도

일반적으로 한 유역의 유출반응을 대표하는 단위도를 작성하기 위해서는 지속기간이 서로 다른 여러개의

단순호우사상으로부터 먼저 단위도를 유도한 후에, 단위도의 지속기간을 일치시켜 같은 지속기간에 대한 여러개의 단위도를 얻는다. 그리고, 그림 2와 같이 각 단위도의 침투유량과 침투유량의 발생시간의 평균값을 구하여 대표단위도의 침투유량점을 결정한 후, 다른 단위도의 모양과 비슷하게 스케치하여 결정하게 된다. 이 때, 대표단위도의 용적은 1cm의 유출용적과 같아야 한다. 현재 우리나라에서 유출해석을 위해 사용되어 오고 있는 대표단위도는 이와 같은 개념을 사용하고 있다. 다시 말하면, 집중시간과 저류상수 역시 평균개념의 값을 사용하고 있다는 것을 의미한다. 즉, 다음과 같다.

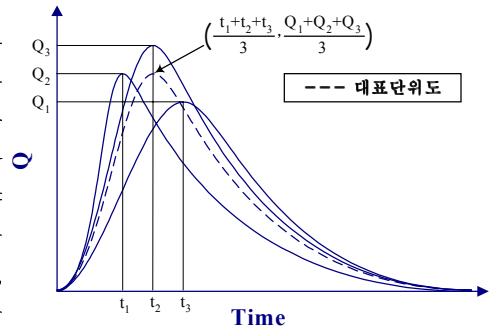


그림 2. 평균개념의 대표단위도 (윤용남, 1998)

$$T_C = \frac{1}{N}(T_{C1} + T_{C2} + T_{C3} + \dots + T_{CN})$$

(8)

$$K = \frac{1}{N}(K_1 + K_2 + K_3 + \dots + K_N) \quad (9)$$

3. 실제유역에서의 Clark 단위도의 매개변수 추정과 유역반응

3.1 실측강우-유출자료를 이용한 단위도 유도

본 연구에서는 실측강우-유출자료에 근거한 단위도를 유도하였다. 강우-유출관계를 분석하기 위한 방법으로 홍수수문곡선에 최적화된 단위도를 제공하는 집중시간(T_C)와 저류상수(R)의 값을 산정하기 위해 HEC-HMS를 이용하였다. 목적함수로는 Peak-weighted RMS error를 이용하였으며, 선정된 목적함수는 관측수문곡선과 계산된 수문곡선의 침투유량과 용적의 크기, 그리고 침투발생시간의 비교를 모두 고려하고 있다. 목적함수의 값을 최소화하는 매개변수들을 탐색하는 기법으로는 단일변량 증감법(Univariate-gradient Search Method)을 이용하였다. 이 방법은 선택된 여러 가지 매개변수 중 하나를 제외한 모든 매개변수를 고정시킨 상태에서 하나의 매개변수를 변화시켜 가면서 최적화를 수행하는 방법이다.

$$Z = \left\{ \frac{1}{NQ} \left[\sum_{i=1}^{NQ} (q_o(i) - q_s(i))^2 \left(\frac{q_o(i) + q_o(\text{mean})}{2q_o(\text{mean})} \right) \right] \right\}^{1/2}$$

(10)

여기서, Z: 목적함수, NQ: 계산된 수문곡선 종거수, $q_o(t)$: t시간의 관측수문곡선, $q_s(t)$: t시간의 계산된 수문곡선, $q_o(\text{mean})$: 관측수문곡선의 평균유량

3.2 실제유역에서 추정된 매개변수의 분석

본 연구의 대상유역으로 국제수문개발계획(IHP) 유역의 하나인 위천유역의 6개 소유역(무성, 병천, 미성, 고로, 동곡, 효령)과 댐유역으로 남강댐, 주암댐 유역을 선정하여, 강우-유출자료를 수집하였다. 그 중 강우량이 100mm 이상이 되는 홍수사상에 대해 HEC-HMS를 이용하여 집중시간과 저류상수의 값을 산정하기 위해 최적화된 단위도를 유도하였다. 그리고, 산정된 Clark 단위도의 집중시간, 저류상수에 따른 유역반응과의 관계를 고찰하였다.

3.2.1 집중시간(T_C)

먼저, 각각의 대상유역에서 홍수사상별 침투유량과 집중시간의 관계를 그림 3에 도시하였으며, 식으로 제시하였다. 그림 3에서 알 수 있듯이, 집중시간은 홍수량이 증가할수록 지수적으로 감소함을 알 수 있다. 또한, 어느 정도 이상의 홍수량부터는 일정한 경향을 보임을 알 수 있다. 이는 작은 홍수량에서는 유역반응이 비선형성으로 나타나지만, 큰 홍수량에서는 선형성을 나타내고 있음을 말한다.

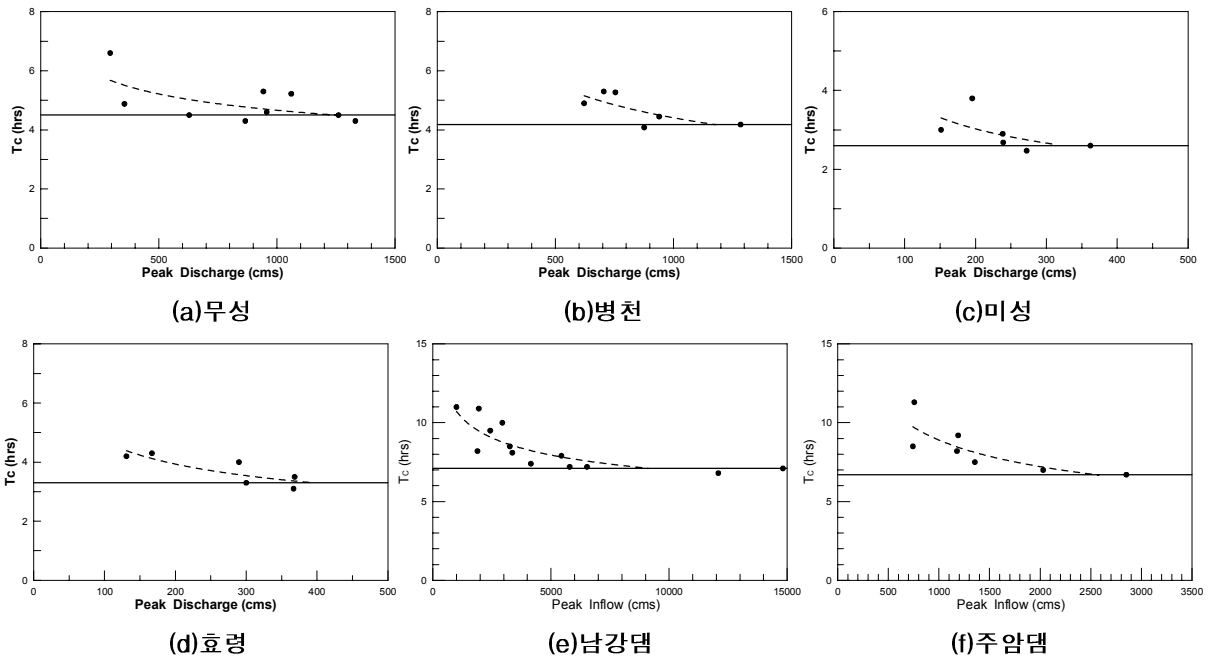


그림 3. 홍수사상별 첨두유량과 집중시간과의 관계

3.2.2 저류상수(K)

앞서 언급된 집중시간과 마찬가지로 홍수사상별 첨두유량과 저류상수와의 관계를 알아보기 위해, 그림 4에 도시하였다. 상대적으로 남강댐보다 주암댐의 저류상수의 값이 크게 산정되었음을 알 수 있다. 또한, 홍수량이 증가할수록 저류상수 역시 감소함을 알 수 있다. 이는 유역반응에 대한 집중시간과 저류상수는 일정한 경향을 가지고 있음을 의미한다.

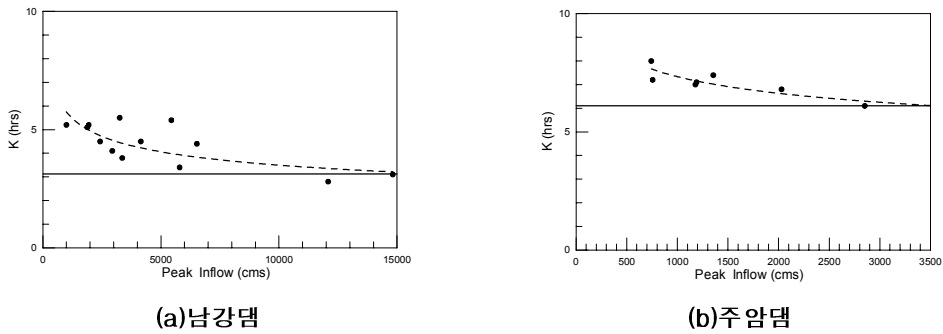


그림 4. 홍수사상별 첨두유량과 저류상수와의 관계

3.2.3 Sabol 공식과 대표단위도에 대한 평가

앞서 남강댐과 주암댐에서 산정한 집중시간과 저류상수에 대해 Sabol 공식과 비교·검토하였다. 본 연구에서의 방법으로 산정한 집중시간과 저류상수의 비(T_c/K)는 그림 5와 같은 분포를 보이며 평균값은 남강댐, 주암댐 유역에 대해 각각 2.0, 1.2로 나타났다. 반면에 Sabol 공식을 이용하였을 경우에는 남강댐, 주암댐 유역 각각 1.02, 0.72로 작게 평가되고 있음을 확인할 수 있었다. 그러므로, 실무에서 경험식을 사용하여 집중시간을 산정한 후, 집중시간과 유역면적, 유로연장으로 표현된 sabol 공식을 이용하여 저류상수를 산정하는 방법은 지양해야 한다.

지금까지 Clark 단위도의 매개변수를 산정하는 방법에 대하여 논의하여 왔다. 이러한 매개변수 산정의 목

적은 단위도를 유도하여 유역의 홍수량을 산정하기 위함이다. 그런데, 앞서 설명한 일반적인 대표단위도의 이론에 따르면 분석대상유역에서 유도된 여러 단위도의 평균개념을 적용하여 그 유역을 대표하는 단위도를 구하게 된다. 그리고, 유역의 대표단위도를 적용하여 홍수량을 산정하게 되는 것이다. 하지만, 본 연구에서의 집중시간이나 저류상수의 홍수량에 대한 관계를 고려해 볼 때, 작은 홍수로부터 유도된 집중시간과 큰 홍수로부터 유도된 집중시간이 차이가 있으므로, 모든 홍수량에 대해서 평균개념의 대표단위도를 적용하는 것은 큰 홍수사상에서는 과소한 홍수량을 산정할 수 있는 문제가 발생하리라 판단된다.

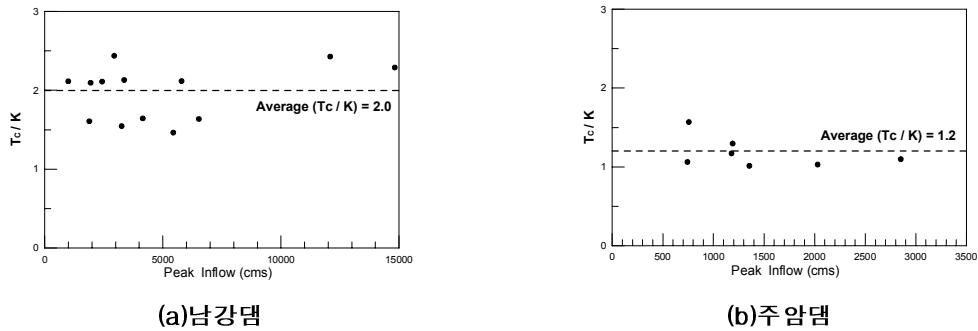


그림 5. 홍수사상별 첨두유량과 T_c/K 와의 관계

4. 결론

본 연구에서는 강우-유출관계의 적용을 위해 많이 사용되어 오고 있는 Clark 단위도의 매개변수인 집중시간과 저류상수에 대한 유역반응을 고찰하였다. Clark 단위도의 매개변수를 산정하기 위해서 기존 경험식을 사용하여 산정하지 않고, 강우-유출자료에 근거한 최적화된 단위도를 유도하여 매개변수를 추정하였다. 이는 실측수문자료에 근거하여 구하고자 했던 집중시간이나 저류상수를 산정했다는데 의미가 있다고 판단된다. 이와 같은 방법으로 산정된 집중시간과 저류상수의 유역반응을 분석해 본 결과, 대상유역에서 각 홍수사상별 첨두홍수량과의 관계는 홍수량이 커질수록 지수적으로 감소하는 경향을 보임을 알 수 있었다. 또한, 어느 정도 이상의 큰 홍수량부터는 일정한 값을 가졌다. 이는 작은 홍수량에서는 유역반응이 비선형성을 나타내고 있지만, 큰 홍수량에서는 선형성을 나타내고 있음을 의미한다. 그러므로, 현재 우리나라에서 사용되고 있는 대표단위도의 개념은 평균의 의미를 지니고 있으므로, 큰 홍수사상에 대한 홍수량 해석을 위해서는 기존의 대표단위도를 사용할 경우에는 과소한 홍수량을 산정할 수 있는 소지가 많으므로, 새로운 개념의 단위도가 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. 윤광원, 원석연, 윤용남 (1994), CLARK 유역추적법에 의한 계획홍수량 산정에 미치는 매개변수의 민감도 분석, 한국수문학회지, 제 27권, 제 4호, pp. 85~94
2. 윤태훈, 박진원 (2002), Clark 단위도의 저류상수산정방법의 개선, 2002년 한국수자원학회 학술발표회 논문집(II), pp. 1334~1339
3. 윤용남 (1998), 공업수문학, 청문각
4. Clark, C. O. (1945), "Storage and Unit Hydrograph", Transactions of the ASCE, Vol. 110, pp. 1419~1446.
5. Sabol, G. V. (1988), "Clark Unit Hydrograph and R-parameter Estimation", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 114, No. 1, pp. 103~111.