

## 유역의 상사성을 이용한 Clark 모형의 매개변수 해석

### Analysis of the Clark Model Using the Similarity Characteristics of the Basin

성 기 원\*

Seong, Kee Won

---

#### Abstract

The Clark unit hydrograph is a three parameter synthetic unit hydrograph procedure that can be used in flood hydrology. The present work is an attempt to estimate parameters of the Clark model in ungaged basin by means of relationships that provides for the hydrologic similarity. The time-area-concentration curve was determined by analytic method and the Clark model was generalized by being made dimensionless form. Calculation of the concentration time was made with the formula fractal concept used, and the storage coefficient was estimated by the empirical and regional equation. Evaluation on Dongok basin was performed to prove the validity of the proposed model. The derived hydrograph predicted the observed hydrograph fairly well.

*Keywords:* Clark model, similarity, ungaged basin, estimation

---

#### 요 지

Clark 모형은 홍수수문학에서 널리 이용되는 합성단위유량도 추정을 위한 모형이다. 본 연구에서는 미계측유역에 Clark 모형을 적용하기 위한 매개변수 추정기법을 고안하여 적용하였다. 모형의 시간-면적유하곡선은 해석적인 방법으로 유도하였으며 모형을 무차원화 하였다. 도달시간의 계산을 위하여 지형학적 자기상사성을 이용한 공식을 적용하였으며 저류상수는 유역의 시간특성의 상사성 공식을 이용하여 추정하였다. 제안된 모형의 타당성을 검토하기 위하여 동곡의 실측자료와 모형의 결과를 비교한 결과 비교적 잘 일치되는 경향을 보여주었다.

**핵심용어 :** Clark 모형, 상사성, 미계측 유역, 추정

---

\* 건국대학교 공과대학 토목공학과 조교수

Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

## 1. 서 론

강우-유출과정을 모의하는 개념적 모형 가운데 Clark 모형은 대표적인 모형 가운데 한 가지로 국내의 경우 하천시설기준에 의거 증소하천 유역의 홍수유출 계산에 널리 이용되고 있다. Clark 모형은 시간-면적 유하곡선과 도달시간 그리고 유역의 저류상수라는 매개변수들로 구성되는데 이 모형을 이용하는 다양한 방법론적 연구가 제시되어 왔다. 특히 미계측 유역에 대하여 모형을 적용하기 위한 매개변수 추정에 관한 연구동향을 살펴보면 윤석영 등(1994)과 그리고 윤석영과 홍일표(1995)는 Clark-KICT 모형을 제안하였는데 그들은 평균유속이라는 개념을 모형에 도입한 바 있다. 그리고 이정식(1994)은 다수의 개념적 모형에 대한 적용성을 검토하고 특히 Clark 모형의 경우 모형의 매개변수를 유역의 면적과 회귀분석한 관계를 도출하였다. 또한 윤평원 등(1994)은 모형의 저류상수를 유역면적 및 주하천경사를 설명변수로 하는 회귀모형을 수립하여 계획홍수량산정에 이용하였다. 그리고 Wilson과 Brown(1992)은 무차원화 된 Clark 모형을 제안하여 저류상수와 유역의 지형특성 및 기상인자들간의 관계를 설명하였으며 Sabol(1988)은 미계측 유역에 대한 저류상수를 추정하기 위하여 유역면적과 주하천유로연장과의 관계를 이용하여 회귀분석식을 제시한 바 있다. 그러나 과거의 연구에서는 매개변수들간의 연관성을 부분적으로 설명하고 있지만 수문학적 상사성에 근거한 이론전개가 미흡하였으며 특히 도달시간이나 저류상수 등을 미계측 유역에서 직접 산정하는 방법에 대한 논의가 부족하였다. 이에 본 연구에서는 미계측 유역에 대한 Clark 모형의 적용 및 매개변수의 추정을 위하여 유역의 상사성과 매개변수들과의 관계를 이용하였으며 지형 및 수리학적 특성이 반영된 해석적 시간-면적유하곡선을 이용하였다. 또한 동일한 상사성을 갖는 유역에 적용되는 무차원 모형을 유도하여 적용성 및 확장성의 향상을 도모하고자 하였다.

## 2. 본 론

Clark 모형은 강우로 인한 유역의 직접유출량의 이동과 유역의 저류효과를 고려하는 모형으로써 도달시간  $t_c$  (time of concentration)와 저류상수  $K$  및 거리-집수면적곡선으로 구성된다. 그런데 거리-집수면적곡선의 기저시간을  $t_c$  로 가정할 경우 이 곡선을 시

간-면적유하곡선(time-area-concentration curve)이라 하며 Clark 모형의 유입수문곡선 즉 시스템의 입력량으로 취급한다. 일반적으로  $t_c$  는 유역의 지형학적 회귀분석식이나 수리학적 회귀분석식을 이용하여 계산하고  $K$  는 직접유출 수문곡선의 하강부 변곡점에서의 유량과 그 변화율의 비로 정의하고 이를 도출하여 이용한다. 그리고 시간-면적유하곡선은 유역을 소분할하여 분포를 정하고  $t_c$  를 축으로 하는 변환을 통하여 얻어진다. 이와 같은 과정이 강우-유출자료와 유역에 대한 분석이 이루어진 유역에 대한 Clark 모형에 의한 합성단위도를 유도하는 절차이다.

### 2.1 유역의 상사성과 매개변수와의 관계

수문학적 상사성이 있는 인근 유역의 자료를 이용하거나 전이하여 미계측유역의 단위유량도를 합성하는 절차에 대한 이론은 꾸준히 연구되어 왔다. 이는 주로 유역의 지형인자를 설명변수로 하는 회귀분석식 형태의 결과로 제시되어 왔으며 실무적으로 많이 이용되고 있다. 그런데 성기원(1997)은 유역의 수문학적 상사성을 지형특성의 상사성과 시간응답특성의 상사성으로 구분하여 이를 미계측유역의 합성단위유량도의 추정에 이용한 바 있다. 그는 fractal 이론을 배경으로 하여 자기상사성의 해석을 수문지형특성의 상사성 해석으로 확장하였는데 그가 이용한 관계는 식 (1)로 나타내는 비교적 널리 알려진 유역면적과 주하천유로연장간의 관계식이다.

$$L = kA^z \quad (1)$$

여기서  $L$  은 주하천유로연장(km),  $A$  는 유역면적( $\text{km}^2$ ) 그리고  $k$  와  $z$  는 상수이다. 그는 수문지형학적 상사성이 있는 경우 식 (1)의 상수가 일치하는 경향이 있음을 이용하였으며 특히 Aron 등(1991)의  $t_c$  를 계산하는 방법에 식 (1)을 적용하여 식 (2)와 같은 일반식을 유도하여 제시한 바 있다.

$$t_c = 3 \frac{k^{\frac{1}{4z}} n^{\frac{3}{4}}}{S^{\frac{3}{8}} c^{\frac{1}{2}} i_e^{\frac{1}{4}}} \frac{z}{4z-1} L^{\left(1-\frac{1}{4z}\right)} \quad (2)$$

여기서  $n$  은 Manning의 조도계수,  $S$  는 주하천경사(무차원),  $c$  는 하천의 형상계수,  $i_e$  는 유효강우(mm/hr)이다. 이 식을 홍일표(1998)는 합성단위유량

도의 기저시간 계산에 이용하여 만족스러운 추정치로 이용한 바 있다. 본 연구에서도 식 (1)과 식 (2)를 유역의 지형특성의 상사성을 파악하고 이용하는 지표로 활용하였다.

Clark 모형의 매개변수 산정을 위하여 HEC-1은  $t_c$ 와  $K$ 의 경험적 관계를 이용하기도 한다. SCS(1985)에 의하면  $K/(t_c + K)$ 는 유역 내에서 일정한 관계를 보여주며 이를 이용하여 지역회귀분석을 수행하기도 하였는데 Hogan(1989)은 미국의 New Jersey의 Rahway 강 유역에는 식 (3)과 같은 관계를 만족한다고 하였다.

$$\frac{K}{t_c + K} = 0.65 \quad (3)$$

본 연구에서는 식 (3)과 유사한 관계를 만족하는 유역간에는 시간응답특성의 상사성이 있다고 가정하며 이를 이용하여 미계측 유역에 대한 매개변수를 추정하였다.

## 2.2 상사성을 고려한 Clark 모형의 해석적 유도

Clark 모형에 의한 단위유량도는 시간-면적유하곡선을 단일 저수지를 통하여 추적함으로써 얻어진다. 이 관계는 다음과 같은 연속방정식을 통하여 수식화할 수 있다.

$$I(t) - O(t) = \frac{dS(t)}{dt} \quad (4)$$

여기서  $I(t)$ 는 유입량으로 Clark 모형에서는 시간-면적유하곡선이고  $O(t)$ 는 유출수문곡선이다. 그리고  $S(t)$ 는 저류량으로 다음과 같이 정의된다.

$$S(t) = KO(t) \quad (5)$$

여기서  $K$ 는 저수지상수로 Clark 모형에서는 이를 유역의 저류상수로 정의한다. 식 (5)를 식 (4)에 대입하고 적분상수  $\exp(t/K)$ 를 적용하여 적분하고 정리하면 식(6)을 얻을 수 있다.

$$O(t) = \exp\left(-\frac{t}{K}\right) \int_0^t \frac{I(\tau)}{K} \exp\left(\frac{\tau}{K}\right) d\tau \quad (6)$$

여기서 적분구간은 시간-면적유하곡선의 기저시간인 0부터  $t_c$ 까지이며 식 (6)은 임의유역에 대한 순간단위 유량도를 나타낸다. 여기서 식 (6)에 유역의 상사성을

반영한다. 본 연구에서는 시간-면적유하곡선을 유도하기 위하여 지도작업을 통하여 적절하게 유역을 분할하고 이를 이산화된 함수로 나타내는 전통적인 방법 대신 해석적 시간-면적유하곡선을 도입하였다. 그런데 해석적 함수를 도입하면 모형을 수학적으로 처리하기 용이한 장점이 있지만 더욱 중요한 이유는 다음에 근거한다. 시간-면적유하곡선이란 유역내의 지체가 고려되지 않은 단순한 이동(simple translation)을 나타내는 개념적인 물리량이라 할 수 있다. 따라서 이 물리량을 적절하게 산정 하려면 단순히 유역을 면적 분할하는 대신 유역의 하천망과 사면이라는 구별되는 역학구조를 반영할 필요가 있으며 아울러 시간-면적유하곡선 보다는 시간-단순이동량곡선이라는 개념으로 수정하는 것이 타당하다고 본다. 그런데 이미 1970년대 후반 지형학적순간단위유량도(geomorphologic IUH, GIUH)라는 새로운 개념이 수립된 이후 하천과 사면의 특성이 반영되는 단순이동량의 시간적 분포에 관한 연구가 진행되고 있다. 이 개념은 시간-면적유하곡선의 의미와 일치하므로 이를 Clark 모형에 반영할 수가 있다고 판단하였다. Troutman과 Karlinger(1986)는 유역의 크기(magnitude)와 하천의 내부링크(internal link)의 길이가 주어질 경우 단순이동을 가정한 유역의 단위유량도의 기대값은 식 (7)로 나타낼 수 있다고 하였다.

$$E[f(t)] = \frac{t}{2M\left(\frac{\bar{l}_i}{V}\right)^2} \exp\left(-\frac{V^2 t^2}{4M\bar{l}_i^2}\right) \quad (7)$$

여기서  $E[\cdot]$ 는 기대값,  $f$ 는 순간단위유량도(단순이동량의 시간적 분포),  $\bar{l}_i$ 는 내부링크의 평균길이(m),  $M$ 은 유역크기(무차원) 그리고  $V$ 는 유속(m/sec)이다. 따라서 시간-면적유하곡선으로 식 (7)을 이용하는 것이 가장 바람직하다고 판단하였으나 이와 같은 Weibull 분포형 함수의 적분이 용이하지 않기 때문에 이 분포의 특성을 파악하여 비교적 다루기 쉬운 gamma 분포형 함수로 대체하여 이용하였다. 그런데 시간-면적유하곡선을 gamma 분포형 함수로 나타내는 방법은 Wilson과 Brown(1992)에 의하여 평가되어 타당성이 입증된 바 있다.  $t_c$ 의 계산은 시간응답특성의 상사성이 반영된 식 (2)를 이용하였는데 이 값이 계산되면 식 (3)이나 유사한 상사성 관계식을 통하여  $K$ 를 계산할 수 있다. 그리고 상사성이 있는 유역간의 유출특성을 비교할 수 있도록 식 (6)을 Wilson과

Brown(1992)이 제안한 방식의 무차원화를 하였으며 그 결과는 식 (8)과 같다.

$$O_*(t_*) = \exp\left(-\frac{t_*}{K_*}\right) \int_0^{t_*} \frac{I(\tau_*)}{K_*} \exp\left(\frac{\tau_*}{K_*}\right) d\tau_* \quad (8)$$

여기서 무차원화는 시간 스케일의 물리량은  $t_c$ 로 그리고 유역면적은 자신의 면적으로 나눔으로 이루어진다. 즉,

$$t_* = \frac{t}{t_c} \quad (9)$$

$$O_* = \frac{t_c \times \text{순간단위유량도}(t_*)}{(1 \text{ cm}) \times A} \quad (10)$$

$$K_* = \frac{K}{t_c} \quad (11)$$

$$I_*(t_*) = \frac{dA_*(t_*)}{dt} \quad (12)$$

$$A_*(t_*) = \frac{A(t_*)}{A} \quad (13)$$

본 연구에서 제시한 무차원화의 핵심은 식 (11)에 있다. 식 (11)의  $K_*$ 는 상사성이 있는 유역간에 일정한 값을 갖는데 이 값이 불안정할 경우 식 (14)를 이용할 수 있다.

$$K_* = \frac{K}{t_c + K} \quad (14)$$

식 (14)는 식 (3)과 같은 관계를 말하며 성기원(1997)은 위천유역의 경우  $K_*$ 는 0.564로 거의 일정함을 보인다.

### 3. 결과 및 해석

수문지형특성 및 시간응답특성의 상사성을 이용하여 미계측 유역의 단위유량도를 유도하였다. 대상 유역으로 위천 유역을 선정하였는데 그 가운데 동곡 소유역을 미계측 유역으로 가정하였다. 강우-유출자료에 대한 분석은 연구의 객관성을 위하여 이 유역에 대한 정밀한 분석을 수행한 바 있는 윤석영 등(1994)의 성과를 이용하였다.

#### 3.1 기초자료의 수집 및 분석

분석 대상 유역인 위천 유역의 개황과 윤석영 등(1994)이 위천유역에 대한 Clark-Johnstone 모형의 매개변수를 산정한 결과를 표 1에 수록하였다.

본 연구에서는 표 1의 자료내용을 근거로 유역의 지형특성의 상사성 및 시간응답특성의 상사성을 평가하였다. 지형특성의 상사성은 주하천유로연장과 유역면적의 관계를 나타내는 식 (1)이며 이를 재 표기한 식 (15)의 관계를 파악함으로써 평가하였다. 이에 따른 위천유역의 5개 소유역에 대한 결과를 표 2에 수록하였다.

$$L = kA^z \quad (15)$$

시간응답의 상사성을 평가하기 위하여 Sabol(1988)의 연구를 참고하였다. Sabol(1988)은  $t_c$ 와  $K$ 의 관계를 유역면적과 주하천유로연장의 유클리디안차원 관계를 설명변수로 하는 식 (16a) 형태의 회귀분석식을 제안한 바 있는데 위천유역 가운데 미계측유역으로 가정한 동곡소유역을 제외한 4개 소유역의 회귀분석 결과

표 1. 유역의 개황 및 Clark 모형 매개변수의 실측치

소유역 명	유역면적 (km <sup>2</sup> )	주하천유로연장 (km)	모형의 매개변수(hr)	
			$t_c$	$K$
동 곡	33.8	8.00	4.375	6.375
고 노	109.8	18.90	4.571	6.857
미 성	171.7	30.90	5.000	6.875
병 천	300.3	40.65	5.250	7.375
무 성	472.5	42.83	5.500	7.250

표 2. 지형 및 시간응답특성의 상사성 평가비교

	지형특성의 상사성			시간응답특성의 상사성								
	식 (15)				식 (16a)			식 (16b)				
	<i>k</i>	<i>z</i>	상관계수		<i>a</i>	<i>b</i>	상관계수	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>L/z</i>	상관계수	
5개 소유역	0.806	0.671	0.96	4개 소유역	0.650	0.012	0.62	0.563	0.169	1.490	0.73	
무성 제외	0.543	0.765	0.99	무성 제외	0.590	0.023	0.95	0.495	0.246	1.307	0.89	

를 표 2에 수록하였다.

$$\frac{t_c}{K} = a + b \times \frac{L^2}{A} \quad (16a)$$

그런데 유역의 지형특성의 상사성이 존재하는 경우 식 (16a)는 식 (15)와 더불어 식 (16b)와 같이 나타낼 수 있으며 이를 본 연구에 적용하였다. 이 관계에 대한 위천유역에 대한 결과를 표 2에 수록하였다.

$$\frac{t_c}{K} = c + d \times \frac{L^{\frac{1}{z}}}{A} = \frac{1}{K} \quad (16b)$$

표 2는 무성 소유역을 분석에서 제외한 경우도 포함 되어 있다. 표에서 볼 수 있듯이 무성 소유역을 분석에 포함하더라도 지형특성의 상사성은 별 다른 문제없이 유지된다. 그러나 시간응답 특성의 상사성 지표인 식 (16a) 및 식 (16b)를 분석할 때 무성 소유역이 포함되면 상관계수가 현저히 떨어지는 경향을 보여주고 있다. 하지만 무성 소유역 이외에는 이와 같은 두드러진 차이를 보여주지 않았다. 이런 현상에 대한 이유는  $t_c$ 와  $K$ 의 실측치 산정에 문제가 있었을 것으로 추측되지만 자료의 수가 부족한 관계로 별도의 원인분석은 시행하지 않았다. 이에 따라 본 연구에서는 무성 소유역을 분석에서 제외한 상사성관계를 수립하여 이를 동곡 소유역의 매개변수 추정에 이용하였다. 그리고 시간-면적유하곡선을 도출하기 위하여 식 (7)을 분석하였다. 이를 위하여 조홍제와 이상배(1990)가 분석한 자료를 이용하였는데 그들은 연구 대상 유역인 동곡의 경우  $M$ 은 38이며 내부링크의 길이는 751m로 분석한 바 있다. 식(2)로 표현되는 식 (7)의 기저시간을 계산하기 위하여 홍일표(1998)가 적용하여 검증한 바 있는 변수 값을 일부 이용하였다. 본 연구에서  $t_c$ 를 계산하기 위하여 적용한 변수들의 값은 식 (15)에 의하

여  $z$ 은 0.765,  $k$ 는 0.543을 홍일표(1998)의 연구에 의하여  $n$ 은 0.060,  $S$ 는 0.031 그리고  $c$ 는 0.220을 적용하였다. 이 결과  $t_c$ 는 3.6시간(약 4시간)으로 계산되는데 표 1에 수록한 동곡 소유역의 실제 관측치의 평균에는 다소 못 미친다. 그러나 실제관측치는 시간단위로 측정된 유호강우의 종료시점과 직접유출곡선의 변곡점까지의 시간차를 평균한 값이므로 시간이하 단위숫자의 유효성은 떨어진다. 따라서 본 연구를 통하여 추정된  $t_c$ 는 비교적 잘 모의하였다고 판단된다. 이 기저시간을 4시간으로 설정하고  $t_c$  이후의  $f(t)$ 가 0이 되도록 곡선을 조작하면 침투는 약 25%에 위치하게 된다. 이를 식 (9)와 같은 무차원관계에 대입함으로써 시간-면적유하곡선은 식 (17)과 같이 나타낼 수 있다. 그런데 이 결과는 Wilson과 Brown(1992)이 제시한 시간-면적유하곡선과 일치한다.

$$I_*(t_*) = 256 t_*^2 \exp(-8 t_*) \quad (17)$$

그리고 시간-면적유하곡선의 침투를 가상적으로 50%에 위치하도록 하여 이 곡선의 민감도를 분석하였는데 이 경우 시간-면적유하곡선은 식 (18)과 같다.

$$I_*(t_*) = 9839250.516 t_*^9 \exp(-18 t_*) \quad (18)$$

식 (16)에 동곡 소유역의 자료를 대입하고 식 (17)을 식 (8)에 대입하여 정리하면 동곡 소유역에 대한 무차원 순간단위유량도를 얻을 수 있는데 그 결과는 식 (19)와 같다.

$$O_*(t_*) = \exp(-0.686 t_*) [0.008(-29075.121 t_*^2 - 7950.838 t_* - 1087.112) \exp(-7.314 t_*) + 0.898] \quad (19)$$

그리고 식 (19)에 대한 무차원관계를 풀면 동곡 소유

역에 대한 순간단위유량도를 얻게 된다. 이 순간단위유량도를 1시간 단위유량도로 변환하여 실측 사상에 적용하였다.

### 3.2 모형의 적용

본 연구에서 제안된 모형을 미계측 유역으로 가정한 동곡 소유역에 적용한 결과를 실제 관측된 자료와 비교하였으며 결과를 그림 1과 그림 2에 도시하였다.

그림 1과 그림 2를 살펴보면 제안된 모형은 실제자료를 비교적 잘 재현하고 있다고 판단된다. 비록 첨두

량을 다소 과소 추정하고 있지만 첨두 발생시간을 정확하게 모의하고 있다. 그리고 상승 및 하강부의 재현이 약간 늦으며 미미하지만 분산되고 있다. 이러한 결과에 대한 이유는 첫째로 단위유량도의 기저시간의 지연에 있다고 판단된다. 일반적으로 Clark 모형에서 시간-면적유하곡선의 기저시간을  $t_c$ 로 가정한다. 따라서 도달시간 이후 유역의 지체에 따른 영향으로 순간단위유량도의 기저시간은 저류상수의 증가에 따라 크게 연장된다. 따라서 단위유량도의 첨두는 감소되고 형상은 분산되며 이 결과 첨두를 낮게 추정하였다고 판

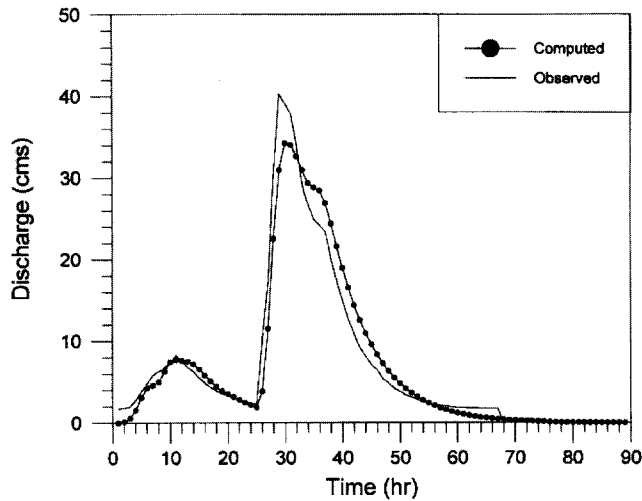


그림 1. 모형의 적용결과 ('89. 8. 21 사상)

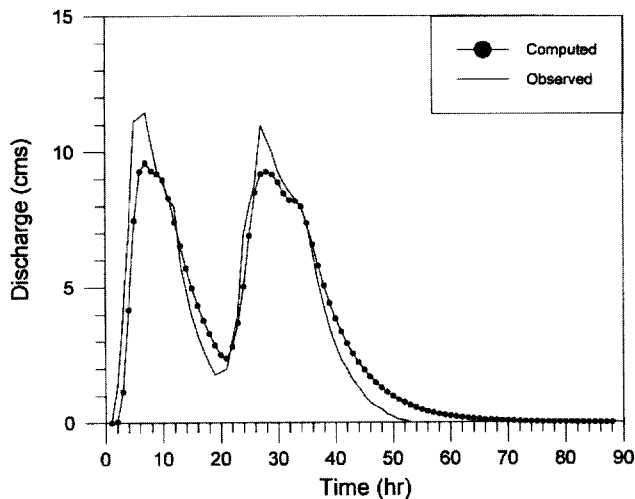


그림 2. 모형의 적용결과 ('89. 7. 11 사상)

단된다. 따라서 Clark 모형의 재현성이 상승되기 위해서는 시간-면적유하곡선의 기저시간을 조정할 필요가 있다. Singh(1962)는 시간-면적유하곡선을 삼각형, 사다리꼴 그리고 sine 곡선 등으로 대체하고 각기 하도와 지표면을 나타내는 두 개의 저류상수를 부여하여 모형을 처리하는 기법을 제안한 바 있으며 Mifflin(1984)은 그의 지형학적 순간단위유량도 모형에 빠른 유출과 지연된 유출이라는 유출과정에 대하여 설명하고 있다. 그러나 이들의 연구는 검증하기 어려운 매개변수를 포함하고 있으며 비선형이기 때문에 이들의 이론을 Clark 모형에 직접적으로 적용하기에는 어려움이 있으나 시간-면적유하곡선의 기저시간을 기존의 개념과 구별되는 도달시간으로 정의하여 Clark 모형에 도입할 수 있다는 이론적 근거를 제시한다. 따라서 본 연구에서  $t_c$ 는 유역전체를 습지대(swale)흐름으로 가정하고 계산하였으나 이를 하천흐름으로 가정하여 적용한다면 모형의 재현성은 상승할 것으로 본다. 이에 대한 후후 연구가 필요하다. 실측자료와의 불일치에 관련된 두 번째 이유는  $K$ 의 추정에 관련된 시간 응답특성의 상사성 공식의 정확도 때문일 것으로 판단된다. 그림 3은  $K$ 를 추정하기 위한 식 (16)을 임의로 50% 변화시켜 계산한 결과를 도시한 것이다.

그림을 보면  $t_c$ 와  $K$ 의 관계가 변함으로써 결과치가 매우 달라지는 경향을 보여주고 있다. 따라서  $t_c$ 와  $K$ 의 관계에 대한 안정된 관계식이 수립되지 않으면 효과적인 추정은 어렵다고 판단된다. 본 연구에서는

시간-면적유하곡선을 gamma 분포형 함수로 가정하였다. 그리고 침투시간의 계산은 식 (7)을 이용하였다. 그런데 전통적인 지도작업을 통한 거리-면적유하곡선을 이용할 경우 본 연구의 결과와 크게 달라질 것으로 예상된다. 윤석영(1994)은 위천 유역의 거리-면적유하곡선을 Clark-Johnstone 방법으로 수립하였는데 이 가운데 동곡 소유역의 곡선은 그림 4와 같다.

그림을 보면 동곡 소유역의 경우 유하면적의 침투부가 유역출구로부터 상당히 멀리 위치한다. 이는 본 연구에서 이용한 시간-면적유하곡선의 형상과 크게 다르기 때문에 이를 이용하고 상사성공식을 적용할 경우 정확한 재현이 곤란할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 이러한 영향에 대한 결과를 파악하고자 HEC-1에서 이용하는 곡선과 유사한 침투부가  $t_c$ 의 50%(분포의 중앙)에 위치하는 시간-면적유하곡선을 이용하여 모의하여 보았다. 이는 식(18)로 표현되며 이에 의한 결과는 그림 5에 수록하였다.

그림 5에서 계산결과는 실측자료에 비하여 다소 전이되고 있다. 이 사실은 지도작업을 통한 시간-면적유하곡선의 수립은 유역의 상사법칙과 부합되지 않을 수 있으며 이는 간접적으로 시간-면적유하곡선은 유역면적의 공간적 분포 외에 고려해야 하는 다른 것이 있다는 것을 시사한다. 물론 이 경우에도  $t_c$ 를 단축하여 유출을 정확하게 재현할 수도 있을 것이다. 그러나 이는 한 가지 사상에 대하여 적합하기 위해서 상사성이라는 중요한 정보 한 가지를 잃는 것이다.

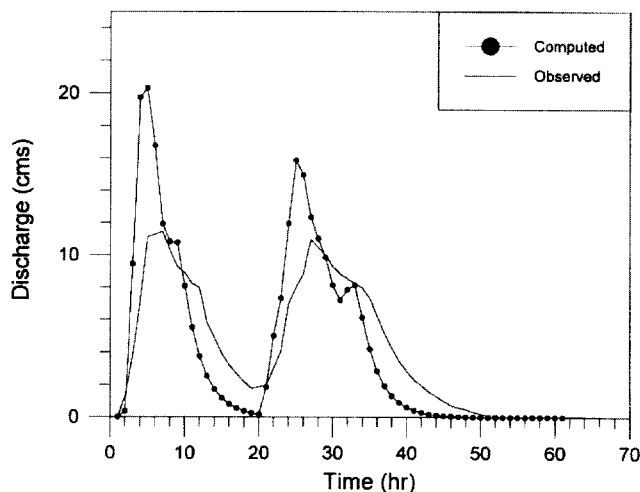


그림 3. 저류상수 추정방법 변형적용 결과 ('89. 7. 11 사상)

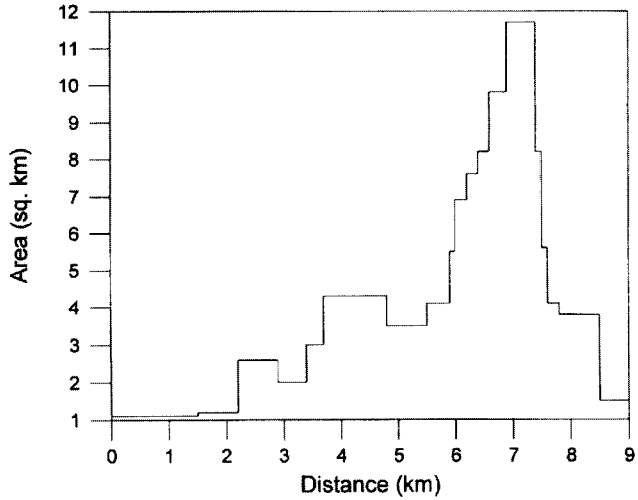


그림 4. 동곡 유역의 거리-면적유하곡선

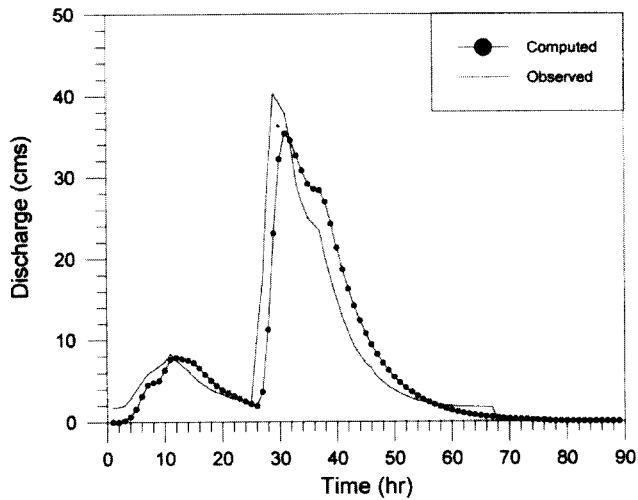


그림 5. 시간-면적유하곡선의 변형적용 결과 ('89. 8. 21 사상)

#### 4. 결 론

본 연구를 통하여 제안된 지형학적 상사성과 시간응답특성의 상사성을 이용하여 미계측 유역으로 가정한 동곡 유역에 대한 Clark 모형의 매개변수를 추정하였다. 이 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 위천유역의 지형 및 시간특성치 자료를 분석한 결과 각각 높은 상사성 관계를 갖고 있음을 확인하였

다. 그렇지만 향후 보다 많은 자료의 분석을 통하여 보완할 필요가 있다고 판단된다.

(2) 시간-면적유하곡선은 지형법칙에 근거한 이론식으로 대치하여 이용한 결과 재현성이 높았다. 그러나 이를 효과적으로 이용하기 위해서는 지형학적 수리학적 검토가 요망된다.

(3) 제시된 무차원 Clark 모형은 상사성이 있는 유역에서 동일한 형태로 구성될 것으로 예상된다. 그러나 동곡 소유역 이외의 유역에 대한 시간-면적유하곡선을



도출하기 위한 지형학적 방법에 대해서는 추가적인 논의가 필요하다.

(4) 본 연구를 통하여 지형 및 시간응답특성의 상사성을 이용한 Clark 모형의 매개변수 추정은 유효성이 있는 것으로 사료된다. 따라서 기존의 미계측 유역에 대한 검증된 매개변수 추정방법에 대한 보완적 역할을 기대할 수 있다. 그러나 이러한 이론의 일반적 적용성 및 확장성은 다른 유역에 대한 비교나 충분한 매개변수 추정에 관한 자료를 통하여 향상될 수 있을 것이다.

### 감사의 글

이 논문은 1998년도 건국대학교 학술연구비지원에 의한 논문임

### 참 고 문 헌

성기원 (1997). "수문지형특성 및 시간응답특성의 상사성을 이용한 Nash 모형의 해석." 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제30권, 제2호, pp. 97-106.

윤광원, 원석연, 윤용남 (1994). "Clark 유역 추적법에 의한 계획홍수량 산정에 미치는 매개변수의 민감도 분석." 한국수문학회논문집, 한국수문학회, 제27권, 제4호, pp. 85-94.

윤석영, 홍일표 (1994). 홍수유출예측을 위한 수리수문학적 인자의 결정 : Clark 및 Nash 모형을 중심으로. 연구보고서, 건기연 94-WR-113, 한국건설기술연구원.

윤석영, 홍일표 (1995). "Clark 모형의 매개변수 산정방법 개선." 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제15권, 제5호, pp. 1287-1300.

이정식 (1994). 기존 강우-유출관계의 개념적 모형 비교연구. 국제수문개발계획(IHP)연구보고서, 건설교통부, pp. 6.1-6.86.

조홍제, 이상배 (1990). "유역응답의 수문학적 상사성해석에 관한 연구 (I)." 한국수문학회논문집, 한국수문학회, 제23권, 제3호, pp. 421-434.

홍일표 (1998). 하천의 프랙탈 특성을 고려한 지형학적 순간단위도의 개발. 박사학위논문, 건국대학교.

Aron, G., Ball, J.E., and Smith, T.A. (1991). "Fractal concept used in time-of-concentration estimate." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, Vol. 117, No. 5, pp. 635-641.

Hogan, D.H. (1989). *Computer assisted floodplain hydrology and hydraulics*. McGraw-Hill, New York.

Mifflin, E.R. (1984). On the role of network geometry in basin response. *Master Thesis*, Univ. of Mississippi.

Sabol, G.V. (1988). "Clark unit hydrograph and R-parameter estimation." *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 114, No. 1, pp. 103-111.

Singh, K.P. (1962). A non-linear approach to instantaneous unit hydrograph. *Ph.D. Thesis*, Univ. of Illinois.

Soil Conservation Service (1985). *National engineering handbook*. U.S. Dept. of Agriculture.

Troutman, B.M., and Karlinger, M.R. (1984). "On the expected width function for topologically random channel network." *Journal of Applied Probability*, Vol. 21, pp. 836-884.

Wilson, B.N., and Brown, J.W. (1992). "Development and evaluation of a dimensionless unit hydrograph." *Water Resources Bulletin*, Vol. 28, No. 2, pp. 397-408.

(논문번호:99-020/집수:1999.03.09/심사완료:1999.06.10)