

GIUH-Clark 모형의 유도에 관한 연구

A study on the Derivation of GIUH-Clark Model

이병운*, 장대원**, 김형수***, 서병하****

Byung Woon Lee, Dae Won Jang, Hung Soo Kim, Byung Ha Seoh

요 지

강우-유출과정의 수문학적 현상을 보다 정확히 분석하고 예측하는 기법으로 강우에 의한 유출의 반응을 나타내는 지체시간, 도달시간 등 수문학적 반응시간을 유역의 지형형태학적 인자들과 연계하는 방법이 많이 이용되고 있다. 이에 본 연구에서는 Clark방법과 지형형태학적 순간단위도(GIUH)를 이용하여 계측유역의 강우-유출반응을 모의하였고, 이를 관측된 값과 비교하여 미계측유역의 적용성 여부를 검토해보았다. 대상 유역의 하상지형인자 및 지형형태학적 특성은 Arc-View를 이용하여 구하였으며, 이를 기존의 문헌자료와 비교해보았다. Clark방법의 매개변수의 결정에 있어서 시간-면적곡선은 HEC-1의 무차원 식을 이용하였고, 도달시간은 Kirpich 공식을 이용하여 구하였으며, 저류상수는 Clark방법에 의해 추정된 순간단위도의 침투유량이 Horton의 차수비의 함수로 구한 침투유량과 같아지는 값으로 결정하였다.

본 연구는 전적비교를 출구점으로하는 유역면적 8.5 km^2 인 설마천을 대상유역으로 하였으며, 모의된 강우-유출반응과 비교하기 위해 사용된 강우사상은 2002년의 8월 4일과 2002년 10월 6일의 10분 단위 우량이다.

Clark방법과 GIUH를 이용하여 모의한 유출곡선과 관측된 유출곡선을 비교해본 결과 침투유량은 8월의 강우사상 때는 21%크게, 10월의 강우사상 때는 35%작게 나타났다. 침투시간은 모의된 경우가 각각 10분, 20분 빨리 도달하였다. 또한 이러한 결과는 유역의 도달시간에 가장 민감하게 반응함을 알 수 있었다. 따라서, 유역의 도달시간 산정에 주의를 요한다면 프랙탈 차원이 유사한 미계측유역의 수문곡선 산정에 있어서 Clark방법과 GIUH를 이용하는 방법도 유용하다고 사료된다.

핵심용어 : Clark, 지형형태학적 순간단위도(GIUH), 프랙탈 차원

1. 서 론

계측유역 및 미계측유역의 수문곡선을 산정하는 것은 수자원의 계획과 개발 및 운영에 있어서 매우 중요하다. Clark 합성단위도법은 유역출구에 가상의 선형저수지가 있다는 가정하에 해당유역을 등도달시간-유역면적으로 구분하여 선형저류방정식과 저수지 홍수추적에 의해 유역출구의 단위도를 산정하는 방법이므로 3개의 매개변수인 시간-면적곡선, 도달시간, 저류상수를 포함하고 있다(배덕효, 2003). Clark 방법과 GIUH와 관련한 국내 연구동향을 살펴보면 윤석영과 홍일표(1995)는 도달시간-집수면적도를 평균유속을 이용하여 구성할 수 있도록 Clark-KICT 방법을 제안한 바 있으며, 성기원(1999)은 유역의 상사성을 이용하여 Clark 방법의 시간-면적곡선을 해석적 방법으로 유도하였다. 홍일표(1998)는 하천의 프랙탈 특성을 고려하여 지형학적 순간단위도를 개발하였고, 김상단(2000)은 지형형태학적 순간단위도의 특성속도에 대하여 연구하였다.

본 연구에서는 Clark방법과 GIUH를 이용하여 특정 지속기간에 대한 단위도를 유도하여 실제의 강우-유출사상과 비교해보고 미계측 유역에의 적용성 여부를 검토하고자 한다.

* 인하대학교 환경토목공학부 석사과정(e-mail: byongwooni@hanmai.net)

** 인하대학교 환경토목공학부 박사과정(e-mail: badajdw@mail.co.kr)

*** 인하대학교 환경토목공학부 토목공학과 조교수(e-mail: sookim@inha.ac.kr)

**** 인하대학교 환경토목공학부 토목공학과 교수(e-mail: seohydro@inha.ac.kr)

2. 적용 이론

2.1 하천 차수법칙

자연 하천 영역의 구성과 하도망의 형태에 관한 정량적인 연구는 Horton(1945)이 그가 제시한 하천 차수 법칙을 적용하여 하도의 개수, 하도 길이 등에 관한 지형법칙을 제안한 것에서 시작되었다. Strahler(1952)가 체계화한 Horton의 법칙에 의한 하천 차수 부여 방법은 다음과 같다.

- 하천의 시점에서 시작하는 하천을 1차 하천이라 한다.
- 두 개의 ω 차수 하천이 만나면 $\omega + 1$ 차의 하천이 생성된다.
- 차수가 다른 두 개의 하천이 만나면 바로 아래의 하천은 높은 차수의 하천과 동일하다.
- 영역에서 가장 높은 차수의 하천은 Ω 차 하천이다.

Horton의 차수법칙을 정리하면 다음과 같다.

$$\text{- 하천수 법칙} \quad R_B = \frac{N_{\omega-1}}{N_{\omega}} \quad (1) \quad \text{- 하천길이 법칙} \quad R_L = \frac{\overline{L_{\omega}}}{\overline{L_{\omega-1}}} \quad (2)$$

$$\text{- 하천면적의 법칙} \quad R_A = \frac{\overline{A_{\omega}}}{\overline{A_{\omega-1}}} \quad (3) \quad \text{- 하천경사 법칙} \quad R_S = \frac{\overline{S_{\omega-1}}}{\overline{S_{\omega}}} \quad (4)$$

$$\text{- 수계밀도} \quad D = \sum_{\omega=1}^{\Omega} \frac{N_{\omega} \overline{L_{\omega}}}{A_{\Omega}} \quad (5) \quad \text{- 하천주기}$$

$$F = \frac{\sum_{\omega=1}^{\Omega} N_{\omega}}{A_{\Omega}} = 0.694D^2 \quad (6)$$

위의 식에서 N_{ω} , $\overline{A_{\omega}}$, $\overline{L_{\omega}}$, $\overline{S_{\omega}}$ 는 각각 각 차수 ω 에 해당하는 하천의 수, 면적, 하도 평균 연장, 평균 경사를 의미하며, Ω 는 최고차수를 의미한다.

Rodriguez-Iturbe와 Valdes(1979)는 Horton의 차수비의 함수를 이용하여 순간단위도의 침투유량과 침투시간 계산식을 유도하였다.

$$q_p = 1.31R_L^{0.43} V/L_{\Omega} \quad (7)$$

$$t_p = 0.44(L_{\Omega}/V)(R_B/R_A)^{0.55}(R_L)^{-0.38} \quad (8)$$

여기서, q_p 는 침투유량(/hr), t_p 침투시간(hr), R_B , R_L , R_A 는 각각 Horton의 하천 차수법칙에 의한 분기비, 길이비, 면적비이다.

2.2 Clark 합성단위도

유역의 도달시간-누가면적 관계로부터 자연하천 유역에 순간적으로 내리는 유효우량으로 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 n개의 등도달시간 소유역으로 구분할 수 있다고 가정하면 유역에 순간적으로 내리는 단위유효우량(1cm)으로 인해 유역출구에 도달하는 유입량은 식 (9)와 같고, 저수지로부터의 유출량 O_t 는 저수지 홍수추적에 의해 식 (10)과 같이 표현된다.

$$I_t = 2.778 \frac{A_t}{\Delta t} \quad t = 1, 2, \dots, n$$

(9)

$$O_t = m_0 I_t + m_1 I_{t-1} + m_2 O_{t-1} \quad (10)$$

여기서, I_t 는 t 시간의 가상 저수지로의 유입량(m^3/sec)이며, A_t 는 t 번째 시간구간에 포함되어 있는 소유역 면적(km^2), Δt 는 등시간선의 시간간격(hr)이다.

본 연구에서 Clark방법과 GIUH를 이용하여 특정 지속기간에 대한 단위도를 유도하는 과정은 다음과 같다. 첫째, 수평직선분리법에 의하여 기저유출량과 직접유출량을 분리하고 초과우량주상도를 계산한다. 둘째, 도달시간을 식 (11)을 이용하여 계산한다.

$$T_c = 0.2778L / V$$

(11)

여기서, L 은 주 유로 하천의 길이(km)이고, V 는 유역의 평균유속(m/s)이다. 셋째, 도달시간을 등시간으로 나누어 HEC-1 모형에서 제시하는 무차원 식(12)으로 시간에 대한 누가면적비를 결정한다.

$$AI = 1.414T^{1.5} \quad (0 \leq T \leq 0.5), \quad AI = 1 - 1.414(1 - T)^{1.5} \quad (0.5 \leq T \leq 1) \quad (12)$$

넷째, 식(1)에서 산정된 침투유량과 Clark방법으로 산정된 침투유량이 같게되는 저류상수 R 을 비선형 최적화 절차에 의하여 구한다. 다섯째, 순간단위도를 이용해서 D 시간 단위도를 작성한다.

3. 대상유역 및 자료조사

3.1 대상유역

본 연구의 대상유역은 임진강 하구에서 약 46km 상류인 경기도 파주시 적성면에 위치하고 있는 영국군 전적비교를 출구점으로 하는 설마천 상류유역으로 유역면적이 $8.5 km^2$ 인 수지상 형태를 가지고 있는 하천이다. 이 유역의 대부분은 산악지형으로 이루어져 있으며, 유역의 동쪽엔 유역에서 가장 높은 감악산(EL. 675m)이 위치하고 있다. 하천의 형태는 수지상에 직각상이 결합된 형태를 보이고 있다. 그림 1은 설마천의 하도망을 나타내고 1:25000수치지도를 가지고 추출한 설마천유역의 하도망을 나타낸다.

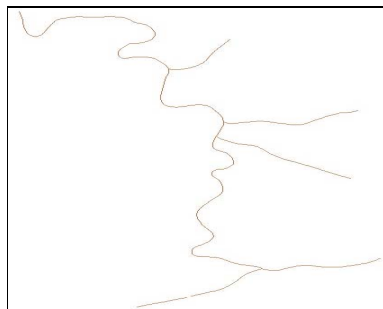


그림 1. 실제의 하천망도

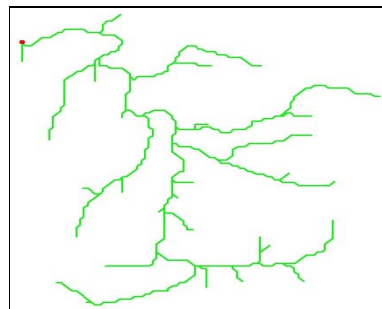


그림 2. 추출된 하천망도
(1: 25,000수치지도)

설마천유역의 실제 하천망과 추출된 하도망의 주 유로 연장과 형태는 유사하지만, 지류는 추출된 경우가 더 상세함을 알 수 있다. 추출된 하천망에서는 하천의 차수가 3차로 나타났으나, cell사이즈의 크기인 50m보다 작은 지류는 삭제한 경우 2차 하천으로 나타났다.

3.2 자료조사

Clack방법과 GIUH의 적용성을 검토하기 위하여 사용된 수문자료는 설마천 시험 유역 수문특성 조사 연구(<http://kict.datapcs.co.kr>)에서 제공하는 값을 이용하였으며, 강우사상은 2002년 강우 중에서 08041140, 10060200 강우사상(10분 우량)을 선택하였다.

4. 적용

Arc-view를 이용하여 구한 해당 지역의 지형형태학적 특성은 표 1과 같다.

표 1. 설마천 유역의 지형형태학적 특징

분기비 (R_B)	길이비 (R_L)	면적비 (R_A)	경사비 (R_S)
4.667	1.331	5.573	3.262

그림 3은 본 연구에서 설마천 전적비교 지점을 대상으로 구한 10분 단위 유효우량에 대한 GIUH-Clark 모형을 나타낸다. 강우시작 후 50분 경과 후에 침투유량이 발생하였다. 증거는 침투유량에 대한 특정시점에서의 유량비를 나타낸다. 비선형 최적화 절차에 의하여 구한 유역의 저류상수 R은 0.670이었다.

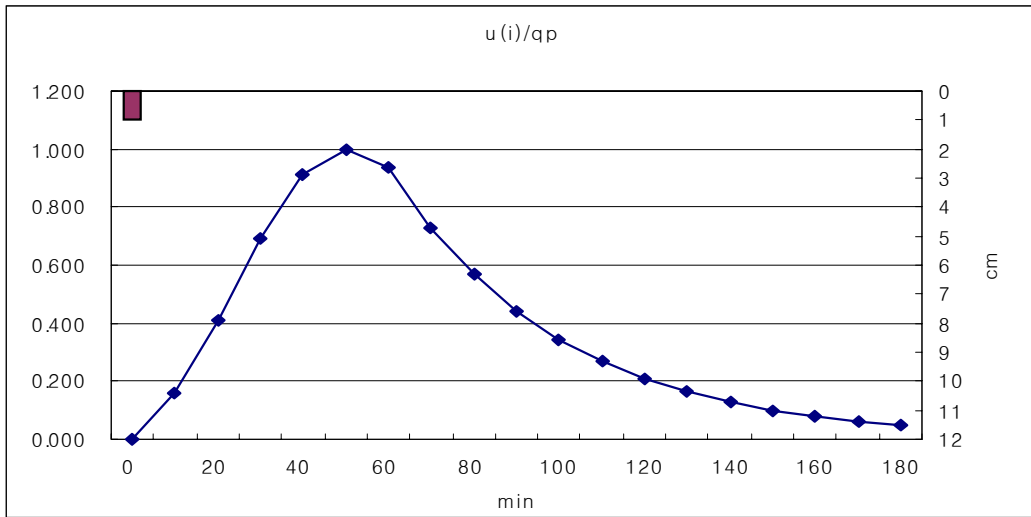


그림 3. GIUH-Clark로 유도된 10분 단위도

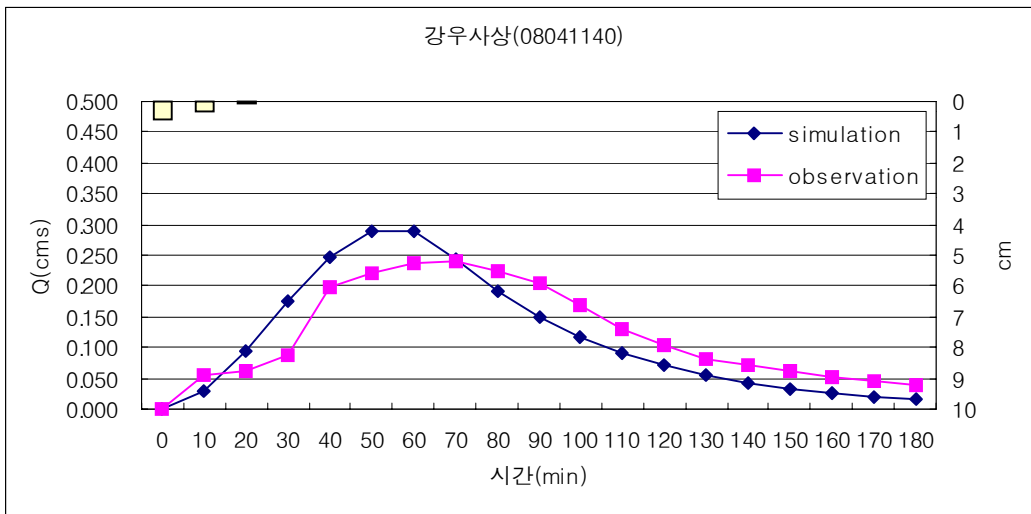


그림 4. 8월 4일 강우사상에 대한 유출곡선

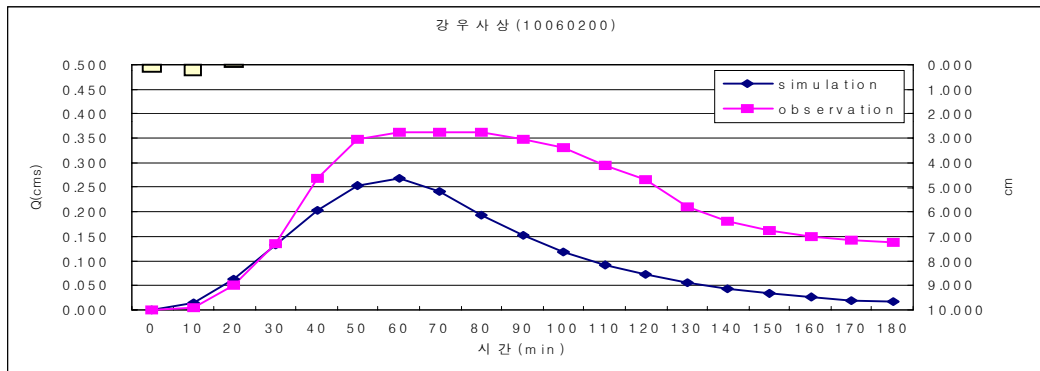


그림 5. 10월 6일 강우사상에 대한 유출곡선

그림 4와 그림 5는 각각 2002년의 8월 4일과 10월 6일의 강우사상에 대하여 GIUH-Clark으로 모의된 유출량과 관측자료에 의한 유출량을 도시한 것이다. 8월 4일의 강우사상에서는 GIUH-Clark으로 모의된 값이 관측값보다 침투유량에 있어서는 21.34% 낮고, 침투시간은 20분 일찍 발생하였으며, 10월 6일의 강우사상에서는 모의된 값이 관측값보다 침투유량은 26.17% 작게 나타났고, 침투시간은 동일하였다. 8월 4일과 10월 6일의 강우사상 모두 침투시간을 지나면서부터는 관측된 유출량 값이 모의된 값보다 더 크게 나오며, 감소율은 작아진다.

5. 결론

지형형태학적 특징과 Clark방법을 이용하여 GIUH-Clark 모형을 전적비교를 출구점으로 하는 설마천 상류유역에 대하여 유도해보았다. 두 개의 강우사상에 대하여 적용해본 결과 침투유량에 있어서는 ±20%의 오차, 침투시간에 있어서는 각각 0분, 20분의 오차가 발생하였다. 이러한 오차가 발생한 가장 큰 이유는 유역의 평균유속의 산정에 있어서 유역의 특성을 고려하지 않고, Kirpich 공식을 이용하였기 때문이다. 따라서, GIUH-Clark 모형을 미계측 유역에 적용하기 위해서는 프랙탈 차원이 유사한 계측유역에서의 평균유속과 강우강도의 관계($V=ai^b$)가 우선적으로 규명되어야 할 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. 김상단, 유철상, 윤용남(2000). 지형형태학적 순간단위도의 특성속도에 대한 고찰, 한국수자원학회 논문집, 제 33권 제 3호, pp. 315~330
2. 성기원(1999). 유역의 상사성을 이용한 Clark 모형의 매개변수 해석, 한국수자원학회 논문집, 제 32권 제 4호, pp. 427~435
3. 윤석영, 홍일표(1995). Clark 모형의 매개변수 산정 방법 개선, 한국수자원학회 논문집, 제 15권 제 5호, pp. 1287~1300
4. 정대명, 배덕효(2003). 시간-면적곡선의 유역유출해석 영향분석, 한국수자원학회 논문집, 제36권 제 2호, pp. 211~221
5. 정성원(2003). 설마천 시험유역 보고서
6. 홍일표(1998). 하천의 프랙탈 특성을 고려한 지형학적 순간단위도의 개발, 박사학위논문, 건국대학교
7. Rafael L. Bras(1990). Hydrology, Addison-Wesley Publishing Company, Inc. pp. 567~597
8. Sanjay Kumar and R. D. Singh(2002). Sensitivity Analysis of the GIUH based Clark Model for a Catchment, Water Resources Management 16: pp. 263~278