

Clark 단위도법을 이용한 감천 유역의 홍수량 산정

Estimation of Flood Discharge on Gam Stream Watershed Using Clark Unit Hydrograph

복정수*, 정대진**, 김유리***, 박봉진****, 정관수*****

Jung Soo Bok, Dae Jin Jung, Yu Ri Kim, Bong Jin Park, Kwan Sue Jung

요 지

하천관리 및 수공구조물의 설계 등을 위한 빈도별 홍수량 산정 시 이용되는 방법에는 Clark 단위도법, Snyder 단위도법, KICT 단위도법 등이 있다. 이 중 대표적인 합성단위도법인 Clark 단위도법은 실무에서 가장 많이 사용되는 방법으로 꼽을 수 있으나, Clark 단위도법 매개변수인 집중시간(T_c)과 저류상수(K)를 추정하는 것은 단순하지 않다. Clark 단위도법의 매개변수 추정은 계측 유역인 경우와 미계측 유역인 경우로 나눌 수 있는데 대부분의 경우 미계측 유역의 도달시간 및 저류상수를 추정하는 방법으로 홍수량을 산정하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 감천유역을 대상유역으로 선정하였으며, 김천수위표 지점을 유출지점으로 선정하여 홍수량을 산정하였다. 호우사상은 김천수위국의 수위-유량 곡선식으로 유출량의 검정이 가능한 년도를 고려하여 1998~2005년 사이의 호우사상 중 분석이 가능한 것으로 판단되는 부항2와 김천 강우관측소의 시강우 자료를 선정하였다. 선정된 호우사상은 1999년, 2002년, 2004년에 대한 총 6개의 시우량 자료로 WAMIS(국가수자원종합정보시스템)와 한강홍수통제소(www.hrfco.go.kr)의 자료실에서 제공하는 한국수문조사연보 자료를 이용하였다.

선정된 호우사상과 WMS모형을 이용하여 산정된 유역면적 및 강우관측소 별 Thiessen 가중계수를 이용하여 HEC-1모형의 최적화기법으로 Clark 단위도법의 집중시간(T_c)과 저류상수(K)를 산정하였으며, 계측유역의 매개변수를 산정하는 방법 중 저류방정식을 이용하는 방법을 이용하여 저류상수를 산정하여 비교하였다.

집중시간의 경우 1999년과 2002년에 비해 2004년의 결과값이 작게 산정되었으며, 저류상수의 경우 2004년의 결과값이 크게 산정되었다. 그러나, 저류방정식을 이용하여 저류상수를 결정하는 방법으로 산정한 저류상수는 비교적 일관성 있게 산정되었다.

핵심용어 : Clark 단위도법, 저류상수(K), 집중시간(T_c), 계측 유역

1. 서 론

하천관리 및 수공구조물의 설계 등을 위한 빈도별 홍수량 산정 시 이용되는 방법에는 Clark 단위도법, Snyder 단위도법, KICT 단위도법 등이 있다. 이 중 대표적인 합성단위도법인 Clark 단위도법은 실무에서 가장 많이 사용되는 방법으로 꼽을 수 있으나, Clark 단위도법 매개변수인 집중시간(T_c)과 저류상수(K)를 추정하는 것은 단순하지 않다. Clark 단위도법의 매개변수 추정은 계측 유역인 경우와 미계측 유역인 경우로 나눌 수 있는데 대부분의 경우 미계측 유역의 도달시간 및 저류상수를 추정하는 방법으로 홍수량을 산정하고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 실무에서 주로 사용하고 있는 Clark 단위도법의 매개변수를 추정하는 방법을 검토하고, 이에 따른 결과값과 실측값을 비교·분석하여 대상유역을 대표할 수 있는 Clark 단위도법의 매개변수를 결정하는데 그 목적이 있다.

* 정회원-충남대학교 대학원 토목공학과 석사과정E-mail : hydrobok@cnu.ac.kr

** 정회원-충남대학교 대학원 토목공학과 석사E-mail : s9802865@cnu.ac.kr

*** 정회원-충남대학교 대학원 토목공학과 석사과정E-mail : yr8958@cnu.ac.kr

**** 정회원-한국수자원공사 수자원관리처 하천관리팀·팀장E-mail : bongjinpark@kwater.or.kr

***** 정회원-충남대학교 공과대학 토목공학과 부교수공학박사E-mail : ksjung@cnu.ac.kr

2. 기본이론

2.1 Clark 단위도의 기본 이론

Clark 단위도법은 집중시간-누가면적관계를 사용하여 자연하천유역에 내리는 순간단위유효우량 (instantaneous unit effective rainfall)으로 인한 유역출구에서의 직접유출수문곡선을 유도하는 방법으로 유수의 전이(translation)뿐만 유역의 저류효과도 고려하므로 자연유역에서의 적용에 적합하며 Clark에 의해 처음으로 제안 되었다. Clark은 유역의 출구에 1개의 선형저수지가 존재한다고 가정하였으며 이 저수지로의 매시간 구간별 유입량은 도달시간구간별 면적상에 내린 유효우량을 유량으로 환산한 값으로 보았다.

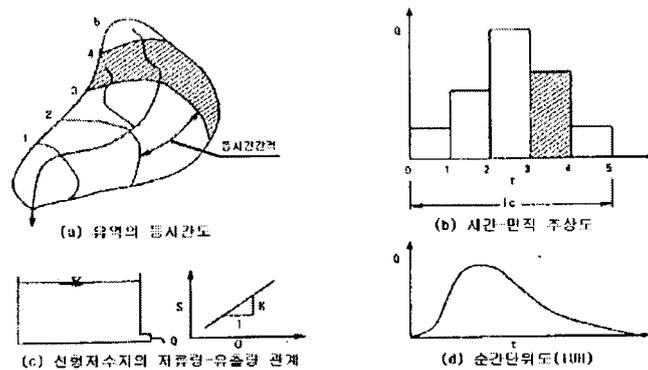


그림 1. Clark 단위도의 개념

만약 1cm의 유효우량이 유역전반에 걸쳐 순간적으로 내린다면 저수지로 등 시간구간 Δt -hr 동안 유입하는 유량은 다음 식(1)과 같다. O_t

$$I_t = \frac{A_t \times 10^6}{\Delta t \times 3,600 \times 100} = 2.78 \frac{A_t}{\Delta t} \quad (1)$$

여기서 I_t 는 시간구간 t 에 있어서의 유입량(m^3/sec)이며 A_t 는 t 번째 시간구간에 포함되는 유역면적(km^2)이다. 또한 이 방법에서는 유역의 말단부에 가상의 단일 선형 저수지가 존재한다고 가정하여, 이상과 같이 결정된 유량을 유입량으로 하여 다음과 같은 식에 의해 저수지 홍수추적을 실시한다.

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

여기서 O_t 는 t 시간에서의 유역으로 부터의 유출량(m^3/sec)이며, m_0, m_1, m_2 는 다음식에 의해 결정할 수 있다.

$$m_0 = \frac{0.5\Delta t}{K+0.5\Delta t}, m_1 = \frac{0.5\Delta t}{K+0.5\Delta t}, m_2 = \frac{K-0.5\Delta t}{K+0.5\Delta t} \quad (3)$$

위식은 저수지의 저류량(S_t)과 유출량(O_t)의 선형성 가정, 즉 $S_t = KO_t$ 에 근거한 것으로서 유역의 저류상수 K 및 Δt 를 결정하면 계수 m_0, m_1, m_2 를 계산할 수 있으며 식(2)를 사용하여 유입수문곡선을 추적 시간별로 축차적으로 추적함으로써 유역출구점에서의 순간단위유량도를 얻을 수 있다.

2.2 Clark 모형의 매개변수

Clark 단위도법의 매개변수는 집중시간(도달시간) T_c 와 저류상수 K 가 있다. 집중시간 T_c 는 수리학적으로 유역의 최원점에 내린 강우가 유역의 출구에 집중하는데 소요되는 시간이고, 저류상수 K 는 유효우량이 유역 출구로 빠져나가기 전에 유역에 일시적으로 저류시키는 능력을 시간의 단위로 표현한 것이다.

(1) 계측구역의 매개변수 산정

선형저수지의 관계를 저류방정식을 이용하는 방법, 실측수문곡선의 감수곡선부의 유출량과 저류량의 감소율간의 관계를 이용하는 방법, 수분곡선에서 변곡점 이후의 감수곡선부분을 해석하는 방법 등이 있다.

(가) 저류방정식을 이용하는 방법

선형저수지의 저류방정식의 관계를 이용하는 방법이다.

$$K = \frac{-O_T}{(dO/dt)_T} \tag{4}$$

즉, 저류상수 K 는 실측 수문곡선의 변곡점에서의 직접 유출량(q)을 그 점에서의 수문곡선에 그은 접선경사(dq/dt)로 나누어줌으로써 얻을 수 있다.

(나) 감수곡선부의 유출량과 저류량의 감소율간의 관계를 이용하는 방법

실측 수문곡선의 감수곡선부에 있어서의 유출량의 감소율과 저류량의 감소율간의 관계를 이용하는 방법이다. 1~2시간 정도의 짧은 기간 동안 계속되는 강우에 의한 수문곡선을 채택한 후, 변곡점과 변곡점에서 단위시간 떨어져있는 수문곡선상의 유량을 구하고 수문곡선상의 두 유량간의 면적을 구한 후, 면적을 ($O_1 - O_2$)로 나누어 저류상수를 산정한다.

(다) 수문곡선에서 변곡점 이후의 감수곡선을 해석하는 방법

Salbol(1988)은 다음과 같이 계측구역에서의 수문곡선에서 변곡점 이후의 수문곡선의 감수곡선부분을 해석함으로써 Clark 모형에서의 저류상수를 추정하였다.

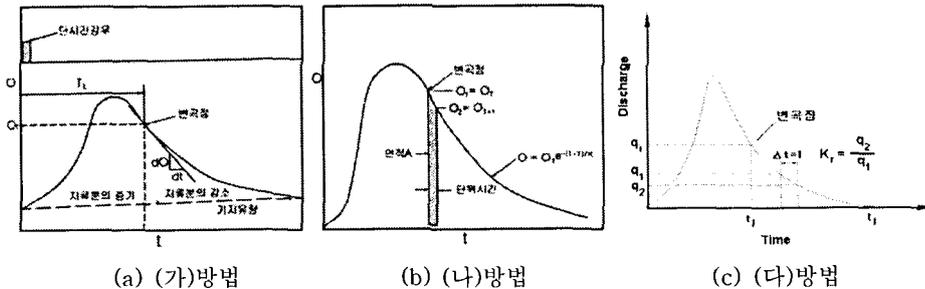


그림2. Clark 단위도의 저류상수 결정

3. 적용 및 고찰

3.1 대상구역 및 호우사상 선정

본 연구에서는 낙동강 지류인 감천유역을 대상구역으로 선정하였으며, 김천수위표 지점을 유출지점으로 선정하여 홍수량을 산정하였다. 대상구역의 유역면적은 451.21km² 이며, 호우사상은 김천수위국의 수위-유량 곡선식으로 유출량의 검정이 가능한 년도를 고려하여 1998~2005년 사이의 호우사상 중 분석이 가능한 것으로 판단되는 부항2 강우관측소, 김천 강우관측소의 1999. 9. 23~9. 24, 2002. 7. 5.~7. 6, 2004. 9. 10~9. 11로 총 6개의 호우사상을 선정하였다. 이 때, 시우량자료와 시수위자료는 WAMIS(국가수자원종합정보시스템)와 한강 홍수통제소(www.hrfco.go.kr)의 자료실에서 제공하는 한국수문조사연보 자료를 이용하였다.

표1. 선정된 호우사상

		1999년 9월23일 10시 ~ 9월24일 9시까지 24시간 강우량																								
부평2	시련량	0	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900	960	1020	1080	1140	1200	1260	1320	1380	1440
	강우량	0	9	18	3	1	4	1	7	0	4	3	3	3	4	3	6	11	3	1	3	2	2	3	1	0
김천	시련량	0	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900	960	1020	1080	1140	1200	1260	1320	1380	1440
	강우량	0	6	4	10	0	3	3	5	0	2	3	4	3	2	4	7	9	3	2	2	3	2	2	2	1
		2002년 7월5일 8시 ~ 7월6일 7시까지 24시간 강우량																								
부평2	시련량	0	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900	960	1020	1080	1140	1200	1260	1320	1380	1440
	강우량	0	1	1	1	5	3	2	1	1	5	5	15	9	9	11	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0
김천	시련량	0	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900	960	1020	1080	1140	1200	1260	1320	1380	1440
	강우량	0	2	1	0	3	5	2	1	2	4	8	10	11	10	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		2001년 9월10일 21시 ~ 9월11일 20시까지 24시간 강우량																								
부평2	시련량	0	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900	960	1020	1080	1140	1200	1260	1320	1380	1440
	강우량	0	1	1	2	2	1	2	3	2	7	11	7	5	2	4	4	5	2	1	0	0	0	0	1	0
김천	시련량	0	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900	960	1020	1080	1140	1200	1260	1320	1380	1440
	강우량	0	1	1	1	1	1	2	2	2	6	15	6	6	3	4	1	6	1	0	0	0	1	0	1	024

3.2 분석 절차 및 결과

선정된 호우사상과 WMS모형을 이용하여 산정된 유역면적 및 강우관측소 별 Thiessen 가중계수를 이용하여 HEC-1모형의 최적화기법으로 Clark 단위도법의 집중시간(T_c)과 저류상수(K)를 산정하였다.

또한, 계측유역에서 매개변수를 결정하는 방법 중 하나인 저류방정식을 이용하는 방법으로 실측수문곡선에서 저류상수를 구하였으며, 이 값과 HEC-1에서 구한 저류상수와 비교하였다. 이에 요구되는 입력자료는 유역강우량, 유역면적, 초기유량 및 기저유량등과 관측 유출수문곡선 등이다. 강우량은 12시간, 관측유출수문곡선은 72시간으로 하여 분석하였다.

표2. 김천수위국 수위유량관계곡선식

적용범위	수위유량관계곡선식 Q:m3/s H(h):m	이용 자료	영점표고 (EL.m)	인용문헌
-0.10<h<0.72	Q=109.47(h+0.15)1.63	99	61.085	한국수문조사연보(1999,건설교통부)
0.72≤h<2.10	Q=140.949(h+0.15)1.698			
-0.11≤H≤2.15	Q=98.1422(H+0.3)2.0096	2002		한국수문조사연보(2002,건설교통부)
-0.17<H<2.92	Q=149.329(H+0.2)1.941	2004		한국수문조사연보(2004,건설교통부)

HEC-1의 최적화방법을 이용하여 산정된 각 호우사상별 도달시간(T_c)과 저류상수(K), 저류방정식을 이용하여 산정된 저류상수(K)는 표4, 그림4와 같다.

표3. 도달시간 및 저류상수 산정 결과

관측년도	집중시간(T_c)	저류상수(K)	(가)방법 이용한 K
1999	19.14	11.05	13.16
2002	14.50	11.74	11.65
2004	5.05	16.67	12.01

표4. HEC-1 최적화방법으로 구한 오차

관측년도	Percent Error			
	AVG	VOL	LAG	PEAK
1999	9.2	0	-1.2	-18.3
2004	57.5	0.5	3.9	-5.2

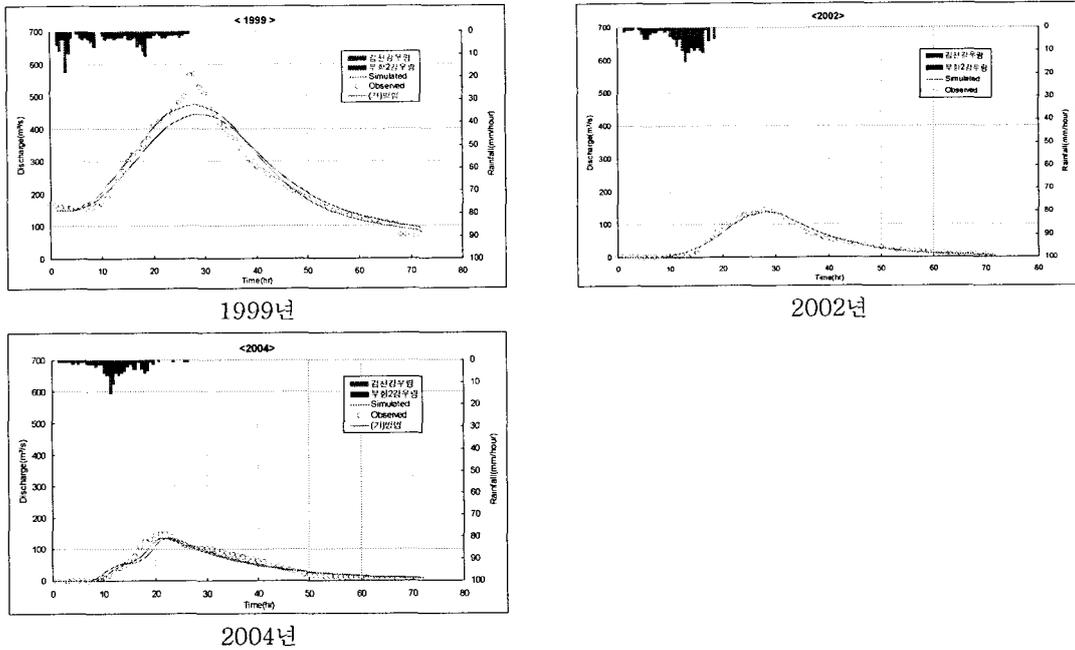


그림4. 도달시간 및 저류상수 산정 결과

4. 결론

본 연구에서는 HEC-1모형의 최적화기법과 계측유역에서 저류방정식을 이용하여 저류상수를 결정하는 방법을 이용하여 Clark 단위도법의 대표 매개변수인 집중시간(T_c)과 저류상수(K)를 산정하고, 이 결과를 실측 수문곡선과 비교하였다. 집중시간의 경우 1999년과 2002년에 비해 2004년의 결과값이 작게 산정되었으며, 저류상수의 경우 2004년의 결과값이 크게 산정되었다. 그러나, 저류방정식을 이용하여 저류상수를 결정하는 방법으로 산정한 저류상수는 비교적 일관성 있게 산정되었다.

참고 문헌

1. 박상우, 장석환, 오경두, 전병호(2004), "유효강우강도를 고려한 저류상수의 적용성 검토", 04 학술발표회 특별세션/국제세션/발표논문 초록집, 한국수자원학회, p.57.
2. 유철상(2005), "유역대표 홍수 도달시간 및 저류상수의 결정", 2005년 분과위원회 연구과업보고회 수문분과위원회, 수자원학회.
3. 윤여진, 정순우, 전병호, 김재한(1998), "강우분포형태에 따른 임계지속기간의 변화연구:산분유역을 중심으로", 한국수자원학회논문집, 제31권, 제4호, pp.375-384.
4. 이신재, 박양래, 김명수, 박상우(2004), "섬진강 유역의 도달시간 및 저류상수 산정공식 개발", 2004학술발표회 특별세션/국제세션/발표논문초록집, 한국수자원학회, p.178.
5. 정대명, 배덕효(2003), "시간-면적곡선의 유역유출해석 영향분석", 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제36권, 제2호, pp. 211-221.
6. 한국건설기술연구원, "HEC-1 홍수 수문곡선 해석 프로그램 사용자 설명서".