

GIUH 특성속도에 대한 강우의 영향 분석

Analysis of Rainfall Effect on the GIUH Characteristic Velocity

김기욱* / 노정환* / 전용운* / 유철상**

Kim, Kee-Wook / Roh, Jung-Hwan / Jeon, Yong-Woon / Yoo, Chulsang

Abstract

This study analyzed several storm events observed in the Seolma-chun basin to derive the characteristic velocity of GIUH (Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph) as well as its variability. Especially, this study focused on the variation of characteristic velocity due to the change of rainfall characteristics. The IUH of the Seolma-chun basin was derived using the HEC-1, whose peak discharge and time were then compared with those of the GIUH to derive the characteristic velocities. The characteristics velocities were analyzed by comparing with the GcIUH (Geomorphoclimatic IUH) as well as the characteristics of rainfall. Results are summarized as follows. (1) The characteristic velocity of GIUH was estimated higher with higher variability than the GcIUH, but their trends were found similar. (2) Total amount of effective rainfall (or, mean effective rainfall) well explains the characteristic velocity of GIUH. This could be assured by the regression analysis, whose coefficient of determination was estimated about 0.6. (3) The duration and the maximum intensity of rainfall were found not to affect significantly on the characteristic velocity of GIUH. The coefficients of determination were estimated less than 0.3 for all cases considered. (4) For the rainfall events used in this study, the characteristic velocities of GIUH were found to follow the Gaussian distribution with its mean and the standard deviation 0.402 m/s and 0.173 m/s, respectively. Most of the values are within the range of 0.4~0.5 m/s, and its coefficient of variation was estimated to be 0.43, much less than that of the runoff itself (about 1.0).

Keyword : IUH, GIUH, characteristic velocity, Seolma-chun basin

요 지

본 연구에서는 설마천 유역에서 관측된 여러 강우-유출사상을 분석하여, 각 사상마다 GIUH의 특성속도를 추정하고, 이를 분석하여 그 변동특성을 살펴보았다. 특히, 본 연구에서는 강우의 특성에 따른 특성속도의 변화에 초점을 맞추어 분석하였다. 설마천 유역의 순간단위도는 HEC-1모형을 이용하여 유도하였으며, 이렇게 유도된 순간단위도의 침투유량과 침투시간을 GIUH의 그것과 비교함으로써 특성속도가 계산될 수 있도록 하였다. 각 강우사상

* 성균관대학교 토목환경공학과 석사과정

** 고려대학교 토목환경공학과 부교수

Asso. Prof., Dept. of Civil and Env. Engr., Korea University, Seoul, 136-701, Korea
(E-mail: envchul@korea.ac.kr)

별 특성속도는 GcIUH 및 강우의 여러 특성과 비교분석하였다. 이 과정을 통하여 얻은 결과를 정리하면 다음과 같다. (1) GIUH의 특성속도는 GcIUH의 그것보다 변동정도가 크고 아울러 약간 크게 산정되었으나 그 경향은 유사한 것으로 파악되었다. (2) 총유효우량(또는, 평균유효우량)이 GIUH의 특성속도를 상대적으로 잘 설명함을 파악할 수 있었다. 이는 회귀분석의 결과로 나타나는데 그 결정계수가 0.6 전후로 크게 나타났다. (3) 반대로 강우의 지속기간이나 최대강우강도는 GIUH의 특성속도를 결정하는데 큰 영향을 끼치지 못하고 있음을 파악하였다. 회귀분석 결과 결정계수는 최대 0.3을 넘지 않았다. (4) 본 연구에서 분석한 강우사상들의 경우 GIUH의 특성속도의 분포가 평균 0.402 m/s 표준편차 0.173 m/s인 정규분포를 따르는 것으로 나타났으며, 주로 0.4~0.5 m/s 사이에 대부분의 값이 위치하는 것으로 나타났다. 그 변동계수는 0.43정도로 유출의 경우(대략 1.0 정도)에 비해 훨씬 적은 변동 특성을 나타냄을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : IUH, GIUH, 특성속도, 설마천 유역

1. 서 론

1970년대 말에 발표된 Rodriguez-Iturbe와 Valdes의 논문(1979)은 Horton(1932; 1945)이나 Strahler(1957) 등이 정량화 한 유역 및 하천의 특성을 이용하여 수문-응답함수(hydrological response function)를 유도할 수 있다는 것을 보여 준다. 즉, 유역의 응답함수는 유역이나 하천망의 특성에 의해 결정된다는 이론이다. 이는 지형형태학적 순간단위도(Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph, GIUH)라 불리고 있으며, 이후 수문과정의 이론적 해석에서 가장 중요한 부분으로 자리잡게 되었다.

그러나 GIUH는 기본적으로 유역 내 사면 및 하천에서 유체의 이동속도가 동일하다고 가정한다. 이와 같은 유체의 이동속도를 GIUH의 특성속도(characteristic velocity)라 부르며, 이 역시 유역의 특성을 나타내는 하나의 변수가 된다. 그러나, 하천에서의 유체의 속도가 하천의 형태, 하상경사, 구성재료 및 유량 등에 따라 달라지듯이, GIUH의 특성속도 또한 유역 내 모든 지점에서 동일한 값을 가질 수는 없다. 아울러, 강우강도의 변화 등 유량조건이 달라질 경우 그 값이 변하게 된다. 이러한 측면을 고려하여 GIUH의 특성속도를 정량하여 나타낸 것이 소위 지형형태기후학적 순간단위도(Geomorphoclimatic Instantaneous Unit Hydrograph, GcIUH)이다(Rodriguez-Iturbe 등, 1982). 따라서 GcIUH는 강우-유출 과정의 비선형성을 어느 정도 반영한다고 볼 수 있다.

GIUH와 GcIUH를 비교하는 경우, GIUH는 강우-유출 과정의 선형성을, GcIUH는 비선형성을 고려한다는 가장 큰 차이점이 있다. 이는 물론 유역의 특성속도를 상수로 처리하느냐 또는 강우특성이나 하천의 특성을

고려하여 결정하느냐의 차이이기도 하다. 그러나, 이러한 특성속도가 강우나 하천의 특성변화에 따라 어떻게 나타나는지는 명확하지 않다. 일반적으로 유역에 대해 유일하게 결정되는 단위도의 경우처럼 GIUH가 강우-유출 과정의 비선형성을 나타내지 못하는 문제점을 인정한다고 하더라도, GcIUH에 비해 얼마나 열등한지를 평가해 볼 필요가 있다. 이는 바로 GIUH의 특성속도의 변동 정도에 달려있는 문제이기도 하다. 국내의 경우에도 김상단 등(2000)과 이혁규 등(1995a; 1995b)이 GIUH에 대하여 연구한 바 있으며, 특히 김상단 등(2000)은 우리나라 위천지역에 GIUH 이론을 적용하여 특성속도에 대하여 연구를 수행한 바 있다. 그러나, 이 연구는 유역의 특성속도를 경험적으로 결정하기 위한 시도였으며, 그 자체의 변동성향은 분석되지 못하고 있다.

이에 본 연구에서는 한국건설기술연구원 관리 시험 유역인 설마천 유역에서 관측된 여러 강우-유출사상을 분석하여, 각 사상마다 GIUH의 특성속도를 추정하고, 마지막으로 이를 분석하여 그 변동특성을 살펴보고자 한다. 특히, 본 연구에서는 강우의 특성에 따른 특성속도의 변화에 초점을 맞추어 분석하고자 한다. 이는 기본적으로 설마천 시험유역에서 관측된 강우 및 유출 기록이 대체로 최근의 것이어서 그 기간동안 아주 유의한 유역 특성의 변화가 없었을 것이라고 판단했기 때문이다. 반면에, 유역의 규모가 작음으로 해서 강우에 대한 특성속도의 민감도는 더욱 크게 나타나리라 판단되며, 따라서 강우의 영향을 보다 명확히 규명할 수 있을 것으로 예상된다.

2. 지형형태학적순간단위도(GIUH)

유역반응과 지형형태학적 특징의 이론적 연결은 선형성가정과 순간단위도 이론에 기초를 둔다. 특히, 지형

형태학적 특징으로부터 수문학적 반응을 유도하기 위해 다음과 같은 두 가지의 가정이 필요하다(Shreve, 1967; Gupta와 Waymire, 1983).

(1) 인위적인 통제가 없다면, 하천망에서 유원점(source)과 접합점(junction)은 서로 독립적으로 발생하며, 각각의 발생확률은 0.5이므로 지형학적으로 무작위이다. 이는 주어진 크기의 모든 하천망은 서로 비슷하다는 것을 나타낸다.

(2) 유원점에서 시작되는 하천과 내부 접합점을 연결하는 하천, 그리고 그와 관련된 유역은 무작위적인 변수들로서, 그 발생위치나 확률밀도함수에 있어서 서로 독립이다.

이러한 가정 하에 무한히 많은 수의 물 입자가 전체 유역에 순간적으로 균등하게 유입된다고 가정한 후, 물 입자가 유역 출구까지 이동하는데 걸리는 시간의 확률밀도함수를 구하면 이것이 바로 유역의 응답함수가 된다(Gupta 등, 1980). Rodriguez-Iturbe 등(1982)의 가정처럼 각 상태의 천이를 지배하는 함수를 지수함수로 가정하고, 아울러 Leopold와 Maddock(1953)의 연구에서처럼 유역 전반에 걸쳐서 일정한 값을 갖는 특성속도를 도입하고, 마지막으로 Rodriguez-Iturbe와 Valdes(1979)에서처럼 삼각형의 순간단위유량도를 가정하면, 그 침투유량 q_p 와 침투시간 t_p 는 다음 식과 같이 간단히 나타낼 수 있다.

$$q_p = 1.31 \frac{R_L^{0.43} V}{L_Q} \quad (1)$$

$$t_p = 0.44 \frac{L_Q}{V} \left(\frac{R_B}{R_A} \right)^{0.55} \frac{1}{R_L^{0.38}} \quad (2)$$

위 식에서 R_L 는 길이비(length ratio), V 는 유역의 특성속도, L_Q 는 유역 최고차 하천의 길이, R_B 는 분기비(bifurcation ratio), R_A 는 면적비(area ratio)를 나타낸다. Valdes 등(1979)은 GIUH의 동역학적 매개변수인 특성속도의 적절한 추정 값으로 유역의 어떤 강우사상시 침투유량이 발생할 때의 속도를 사용할 것을 추천하고 있다.

만약, 각 차수 소유역의 하천길이와 그 지배면적이 모두 같은 경우 유역은 동일 크기 선형저수지의 조합으로 볼 수 있으며, 이에 대한 유역응답은 Nash모형(1957)에서의 그것과 완전히 동일하다고 할 수 있다. 따라서 Nash모형은 GIUH의 특수한 형태가 된다.

한편, Rodriguez-Iturbe 등(1982)은 특성속도를 강우강도와 수로의 운동파 변수로 표현한 지형기후학적 순간단위도(GcIUH)를 유도하였다. 특정강우사상에 대한 GcIUH의 유속은 다음 식과 같이 표현된다.

$$V = 0.665 a_Q^{0.6} (i, A_Q)^{0.4} \quad (3)$$

여기서, i ,는 평균유효강우강도를, $a = S_Q^{1/2} / nb_Q^{2/3}$ 를 나타낸다.

3. 설마천 시험유역에의 적용

3.1 설마천 시험유역

GIUH의 특성속도를 추정하기 위해 대상유역으로 건설기술연구원에서 운영하고 있는 설마천 시험유역을 선택하였다(그림 1).

설마천은 임진강 하구에서 약 46 km 상류인 경기도 파주시 적성면에 위치하고 있는 임진강의 제 1지류로서, 전체 유역면적 18.5 km², 유로연장 11.3 km인 수지상 형태를 가지고 있는 유역이다. 이 중에서 시험유역은 설마천 유역의 중류부에 위치한 영곡군 전적비교를 출구점으로 한다.

설마천 시험유역은 유역면적 8.5 km², 유로연장 5.8 km인 전형적인 산지하천이다. 이 유역은 대부분이 산악지형으로 이루어져 있으며, 유역의 동쪽엔 시험유역에서 가장 높은 감악산(EL. 675m)이 위치하고 있다. 하천의 형태는 수지상에 직각상이 결합된 형태를 보이고 있으며, 주 하천은 그림 1의 유역도에서 보는 바와 같이 전형적인 곡류하천의 형태를 보이고 있다.

3.2 GIUH의 유도

설마천 시험유역에 대한 GIUH의 특성속도를 추정하기 위해 한국건설기술연구원으로부터 제공받은 30m×30m 크기의 DEM 자료로부터 Arc-info와 Arc-view를 이용하여 유역의 인자를 추정하였다.

그림 2를 보면 설마천 시험유역은 1차하천 6개와 2차하천 1개로 이루어진 것을 알 수 있다. 따라서 설마천 시험유역의 분기비는 6으로 계산된다. 6이라는 분기비는 상대적으로 큰 편에 속하며, 따라서 DEM의 해상도에 따라 약간 작은 값의 추정도 가능하리라 판단된다. 아울러, 그림 3의 유역분할 및 여기에 나타난 1차 하천의 길이와 지류면적, 2차 하천의 길이와 지류면적도

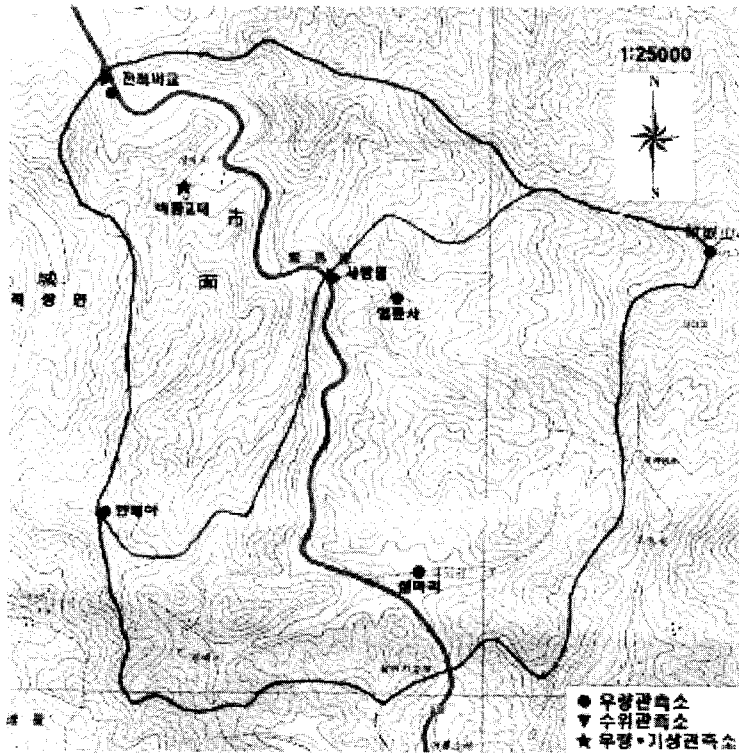


그림 1. 설마천 유역도

Arc-view를 이용하여 추정하였다. 각 소유역에 대한 하천 길이와 유역면적은 표 1과 같다.

표 1에서 나타난 소유역 별 면적과 하천길이를 이용하면 하천의 길이비와 면적비를 구할 수 있다. 즉, 길이비는

$R_L = \overline{L_{i+1}} / \overline{L_i} \approx 6.89$ 이고, 면적비는 $R_A = \overline{A_{i+1}} / \overline{A_i} = 3.04$ 이다. 따라서, 식 (1)과 (2)는 각각 다음과 같이 간단히 나타낼 수 있다.

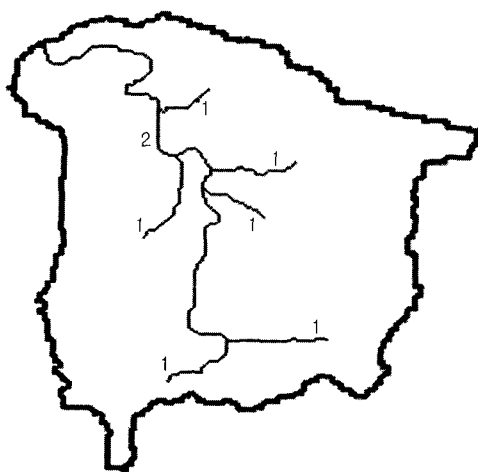


그림 2. 하천망과 하천차수

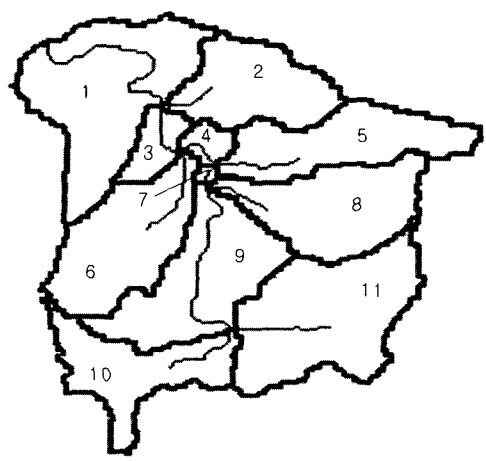


그림 3. 유역의 분할

$$q_p = 0.6498 V$$

$$t_p = \frac{1.4199}{V}$$

3.3 강우사상의 추출

설마천 유역의 출구점인 전적비교 관측소의 면적강

- (4) 우 및 유량자료로부터 1997년~2000년 사이의 강우사상 중 20개의 호우사상을 추출하고 유출율을 계산하여 적절한 강우사상을 선택하였다(표 2 참조). 기저유출은 강우가 시작되는 시각에서의 유출량으로 설정하기 위해 주로 단일강우사상을 선택하였다. 표 2의 유출량은 기저유출을 일정하게 제거한 유출량이다. 4년 정도의 관

표 1. 설마천 유역내 소유역별 면적, 하천차수, 하천길이

유역번호	유역면적(m ²)	하천길이(m)	하천차수
1	1425600	1816	2
2	751500	486	1
3	221400	505	2
4	113400	405	2
5	842400	696	1
6	977400	865	1
7	27900	175	2
8	941400	541	1
9	1055700	1722	2
10	747000	666	1
11	1361700	772	1
합계	8465400	8649	

표 2. 설마천 유역의 강우자료

No.	강우사상	강우지속시간 (hr)	기저유량 (cms)	총강우량 (mm)	강우×면적 (10 ⁵ m ³)	유출량 (10 ⁵ m ³)	유출율	선정여부
1	1997051216	45	0.100	104.9	8.87	7.65	0.86	○
2	1997070101	19	0.020	56.7	4.8	4.46	0.93	○
3	1998050114	39	0.028	83.0	7.02	3.73	0.53	○
4	1998060205	30	0.024	12.4	1.05	0.003	0.00	×
5	1998070205	28	0.747	43.5	3.68	1.95	0.53	○
6	1998092916	24	0.164	22.7	1.92	0.56	0.29	○
7	1999041207	28	0.203	23.0	1.95	0.51	0.26	○
8	1999050302	11	0.029	26.9	2.28	0.202	0.09	×
9	1999060123	12	0.047	30.6	2.59	0.243	0.09	×
10	1999070914	20	0.007	73.4	6.31	0.54	0.09	×
11	1999072207	17	0.118	144.1	12.19	5.18	0.42	○
12	1999072804	22	0.174	21.7	1.84	0.374	0.20	○
13	1999100111	27	0.110	39.1	3.31	0.42	0.13	○
14	1999101006	27	0.100	12.2	1.03	0.10	0.096	×
15	1999111108	20	0.500	26.4	2.23	0.28	0.12	○
16	2000062916	19	0.034	26.8	2.27	0.14	0.06	×
17	2000072203	16	0.056	62.0	5.25	2.25	0.43	○
18	2000083112	18	0.421	70.1	5.93	4.13	0.70	○
19	2000091503	46	0.078	181.7	15.37	12.84	0.84	○
20	2000111920	15	0.021	10.5	0.88	0.024	0.03	×

측자료로부터 홍수사상만을 추출하는 것이 무리가 있어 유출율이 낮은 경우도 채택하여 단위도를 유도하였다. 그러나 유출율이 0.1 이하로 계산된 경우에는 관측자료의 신뢰성이 낮다고 보고 채택하지 않았다.

표 2와 같은 방식으로 강우사상을 선정하여 총 13개의 강우사상을 선택하였다. 단위도 계산에 필요한 손실 계산은 SCS방법을 이용하였다. SCS방법은 유효우량의 크기에 직접적으로 영향을 미치는 인자로서 유역을 형성하고 있는 토양의 종류(soil type), 토지이용(land use) 상태, 식생피복의 처리상태(vegetal cover treatment) 및 토양의 수문학적 조건등을 고려하여 이들 인자들이 직접유출에 미치는 복합적인 영향을 양적으로 나타내며, 강우사상 이전의 선행토양함수조건(antecedent soil moisture condition)도 함께 고려하게 된다.

본 연구진이 보유한 설마천 시험유역에 대한 1/25,000 정밀 토양도는 하천 주위를 따라 일부분에 대한 조사만이 수행된 것으로 전체적인 토양구분은 확보되어 있지 않다. 따라서, 본 연구에서는 대상유역 전체에 대해 산림토양의 경우를 적용하여 CN값을 83으로 추정하여 사용하였다.

3.4 각 강우사상별 단위도 유도

각 강우사상별로 최적화하여 유도된 1시간 단위도에 대한 결과는 표 3과 같다. 최적화는 HEC-1을 이용하였으며, Clark의 합성단위도를 이용하여 단위도를 유도하였다. 유도된 단위도는 그림 4에 함께 도시하였다.

익히 알려진 바와 같이 관측자료에 근거한 단위도는 강우나 지표면의 조건에 민감하여 그 형상이 매우 다르

게 나타난다. 본 연구에서도 그러한 점을 확인할 수 있었는데, 침투유량의 경우는 2배 이상, 침투시간의 경우는 5배 이상의 큰 차이를 보이는 경우까지도 확인되었다. 유사한 결과를 백경록 등(2000)에서도 살펴볼 수 있다.

3.5 GIUH의 특성속도 및 분포특성 분석

전 절에서 얻어낸 강우사상별 1시간 단위도를 이용하여 순간단위도를 유도한 후 그 침투값과 침투시간을 추출하여 GIUH의 특성속도를 식 (4) 및 (5)를 이용하여 계산하고, 아울러 GcIUH의 특성속도와도 비교하였다 (표 4). GcIUH의 특성속도 계산에 사용한 조도계수는 자연형 곡류하천임을 감안하여 0.045를 사용하였고, 하천폭은 사방댐 직하류(12-13m), 설마교 (22m), 전적비교(25m)를 평균하여 19.7m를 적용하였다. 하천경사는 Arc-view를 이용하여 계산한 0.025를 사용하였다.

표 4에서 나타난 각 강우사상에 대한 두 개의 특성속도 값은 산술평균하여 대표치로 사용하였으며, 이를 GcIUH의 특성속도와 비교하면 그림 5와 같다. 그림 5는 특히 유효우량에 대한 특성속도의 변화양상을 나타내고 것이며, 비록 GIUH의 특성속도가 불규칙하게 아울러 약간 크게 산정되기는 하였지만 GcIUH의 특성속도와 비슷한 경향으로 증가하는 것을 확인할 수 있다. 각 강우사상별로 얻어진 특성속도와 강우특성을 정리하면 표 5와 같다.

표 3. 최적화 결과 유도된 1시간 단위도의 침투유량과 침투시간

No.	강우사상	침투유량 (cms)	침투시간 (hr)	도달시간 (tc, hr)	저류상수 (R, hr)
1	1997051216	0.275	3	2.66	6.41
2	1997070101	0.809	2	1.02	1.76
3	1998050114	0.143	2	1.03	15.42
5	1998070205	0.25	3	1.99	7.79
6	1998092916	0.092	3	1.30	23.57
7	1999041207	0.085	14	15.17	19.16
11	1999072207	0.499	2	1.02	3.63
12	1999072804	0.086	2	1.03	26.26
13	1999100111	0.041	5	4.03	55.31
15	1999111108	0.097	10	10.27	18.40
17	2000072200	0.148	2	1.03	14.76
18	2000083112	0.312	4	3.01	5.25
19	2000091503	0.318	2	1.02	6.35

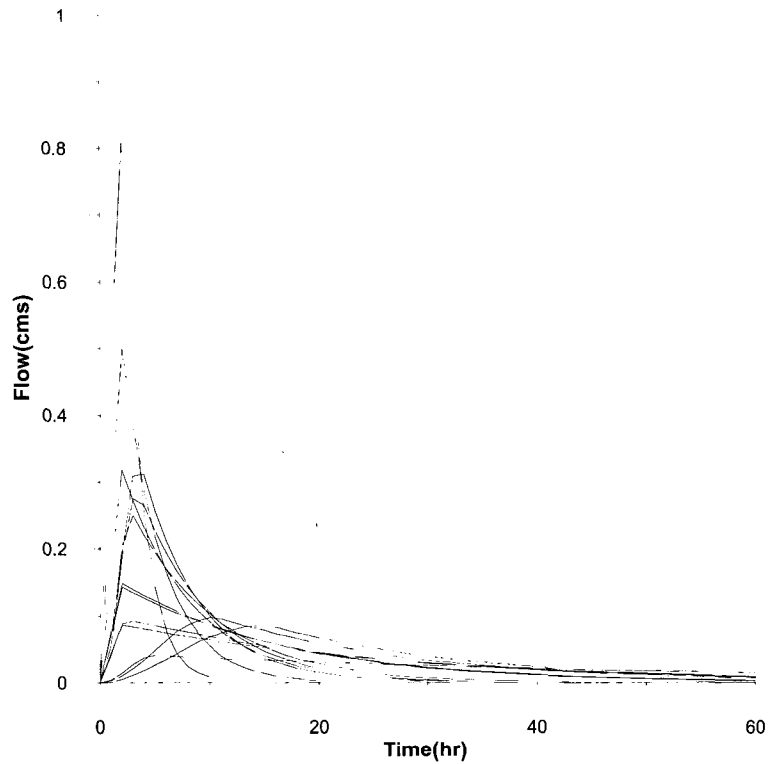


그림 4. 각 강우사상에 대한 1시간 단위도

표 4. 강우사상별로 첨두유량 및 첨두시간을 이용하여 얻은 GIUH의 특성속도

No.	강우사상	첨두유량(hr)	첨두시간(hr)	특성속도 V (m/s)		
				첨두유량 이용	첨두시간 이용	GcIUH
1	1997051216	0.27	3	0.416	0.473	0.343
2	1997070101	0.66	1	1.016	1.420	0.390
3	1998050114	0.14	2	0.213	0.710	0.273
5	1998070205	0.24	3	0.362	0.473	0.240
6	1998092916	0.09	2	0.139	0.710	0.155
7	1999041207	0.09	14	0.139	0.101	0.140
11	1999072207	0.44	2	0.677	0.710	0.433
12	1999072804	0.08	2	0.129	0.710	0.137
13	1999100111	0.04	5	0.062	0.284	0.132
15	1999111108	0.10	10	0.154	0.142	0.127
17	2000072200	0.14	2	0.222	0.710	0.318
18	2000083112	0.31	3	0.479	0.473	0.387
19	2000091503	0.30	2	0.454	0.710	0.418
평균		0.22	3.92	0.343	0.587	0.269
표준편차		0.18	3.80	0.270	0.335	0.120
변동계수		0.79	0.97	0.787	0.572	0.446

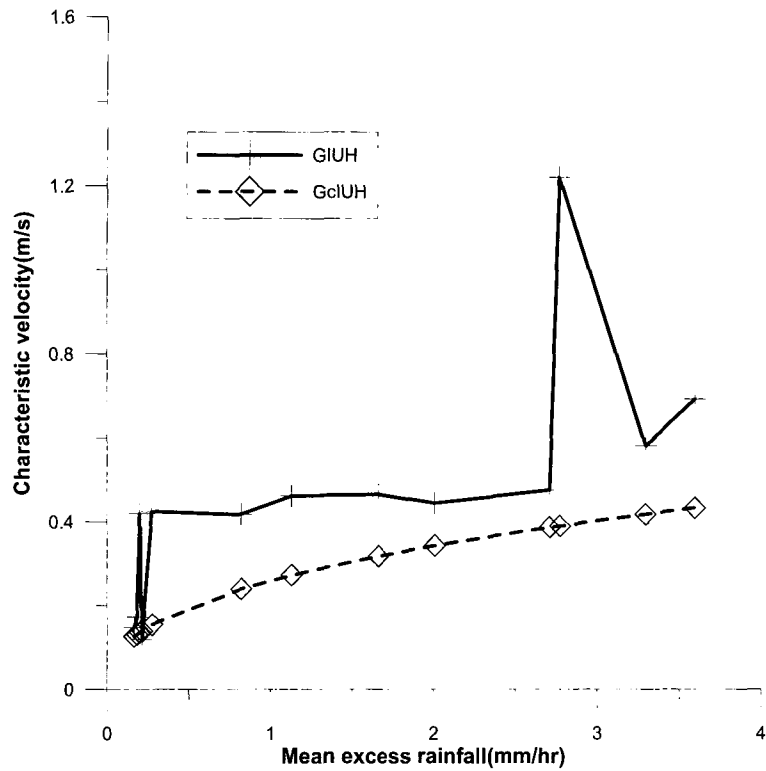


그림 5. GIUH와 GclUH의 특성속도 비교

표 5. 강우사상 별 유효강우특성과 특성속도

No.	호우사상	특성속도 (m/s)	유효우량 (mm)	강우지속시간 (hr)	최대강우강도 (mm/hr)	평균유효우량 (mm/hr)
1	1997051216	0.444	90.37	45	14.1	2.008
2	1997070101	1.218	52.69	19	14.3	2.773
3	1998050114	0.462	44.06	39	21.0	1.130
5	1998070205	0.417	23.03	28	5.7	0.823
6	1998092916	0.424	6.62	24	2.1	0.276
7	1999041207	0.120	6.02	28	5.2	0.215
11	1999072207	0.694	61.19	17	57.8	3.599
12	1999072804	0.420	4.42	22	2.1	0.201
13	1999100111	0.173	4.96	27	8.0	0.184
15	1999111108	0.148	3.31	20	4.4	0.166
17	2000072200	0.466	26.58	16	22.3	1.661
18	2000083112	0.476	48.79	18	12.1	2.711
19	2000091503	0.582	151.68	46	12.0	3.297

표 5에서 강우사상 2의 특성속도가 다른 값들에 비해 매우 크게 나타났으므로 제외하고 강우특성에 대한 특성속도의 분포를 아래의 그림 6부터 9에 나타내고 그 회귀식을 찾아보았다. 최대강우강도, 총유효우량, 평균유효우량에 대한 특성속도의 변화에 대한 회귀식의 형태는 최대강우강도, 총유효우량, 평균유효우량이 '0'이 되면 특성속도도 '0'이 되어야 하므로 X가 '0'에 가까워질 때 Y도 '0'에 가까워지는 형태 중 특성속도의 변화 양상을 적당히 표현할 수 있다고 판단되는 log 함수의 형태로 결정하였다. 강우지속기간에 대한 특성속도의 변화에 대한 회귀식의 형태는 강우지속기간이 길어지면 강우가 분산되므로 특성속도가 작아질 것이라고 판단하

여 분수함수의 형태로 결정하였다. 또한 강우지속기간에 대한 특성속도의 변화에 대한 회귀식의 산정이 어려워 지속기간이 35시간보다 큰 강우사상 1, 3, 19를 제외하고 회귀식을 산정하였다. 그 결과는 표 6에서 정리하였다.

표 6을 살펴보면 총유효우량과 평균유효우량에 대한 특성속도의 회귀식은 비교적 적당한 것으로 나타난다. 그러나 최대강우강도와 강우지속기간에 대한 특성속도의 회귀식은 결정계수값이 작아 일반화에는 무리가 있는 것으로 나타나고 있다.

마지막으로 GIUH의 특성속도의 분포특성을 살펴보면 각각의 호우사상으로부터 얻어진 특성속도를 이

표 6. 각 강우특성(X)과 특성속도(Y)의 관계에 대한 회귀식과 결정계수

	회귀식	결정계수(R-squared)
최대강우강도	$Y=0.098\ln(X)+0.188$	0.309
총유효우량	$Y=0.101\ln(X)+0.101$	0.599
강우지속기간	$Y=0.449/\langle 0.082(X-6.19)\rangle$	0.177
평균유효우량	$Y=0.117\ln(X)+0.435$	0.693

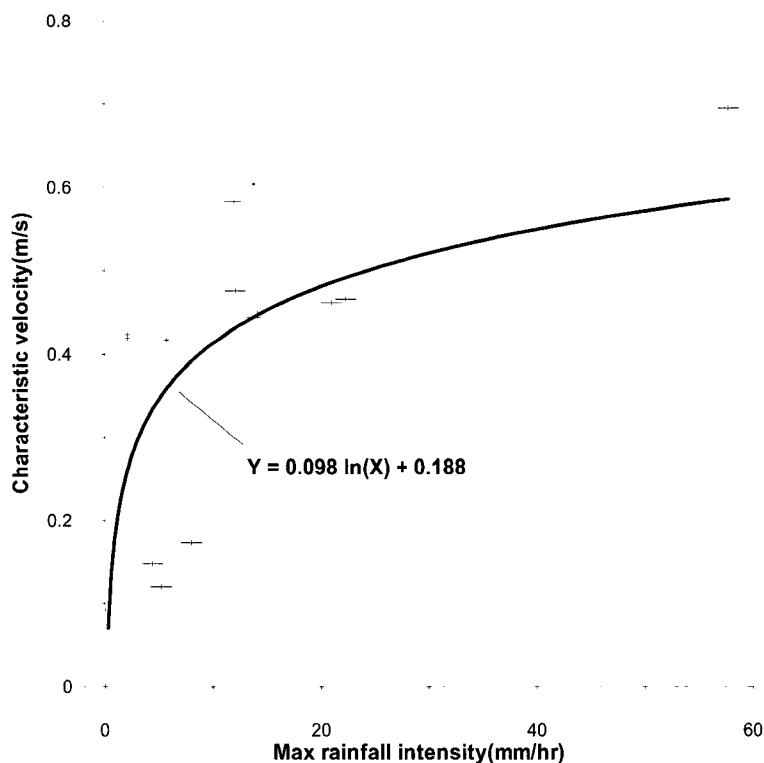


그림 6. 최대강우강도에 대한 특성속도의 변화

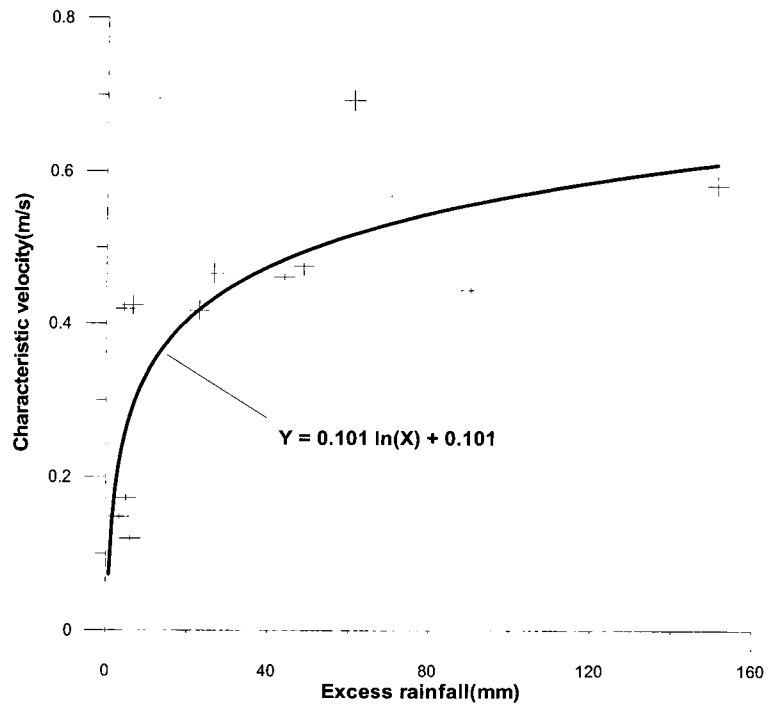


그림 7. 총유효우량에 대한 특성속도의 변화

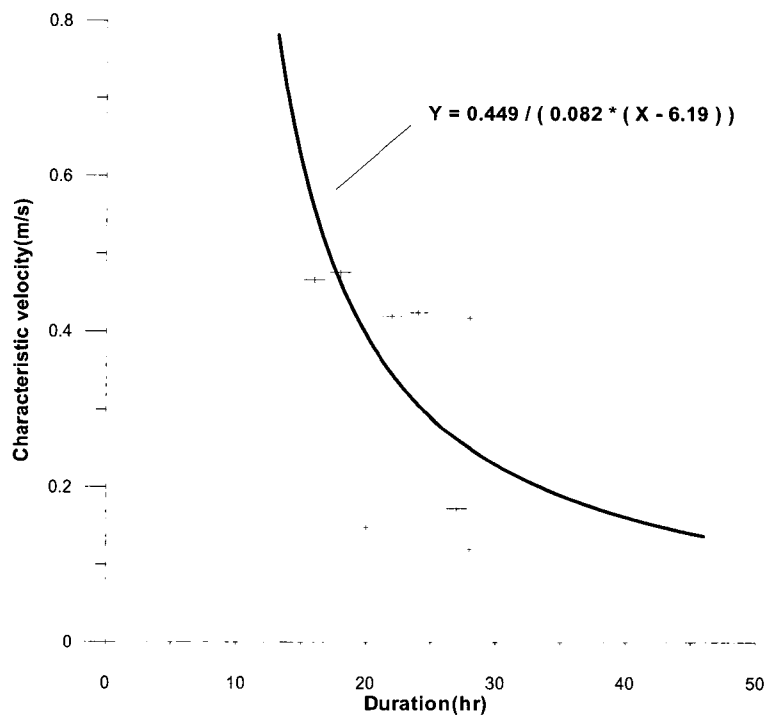


그림 8. 강우지속기간에 대한 특성속도의 변화

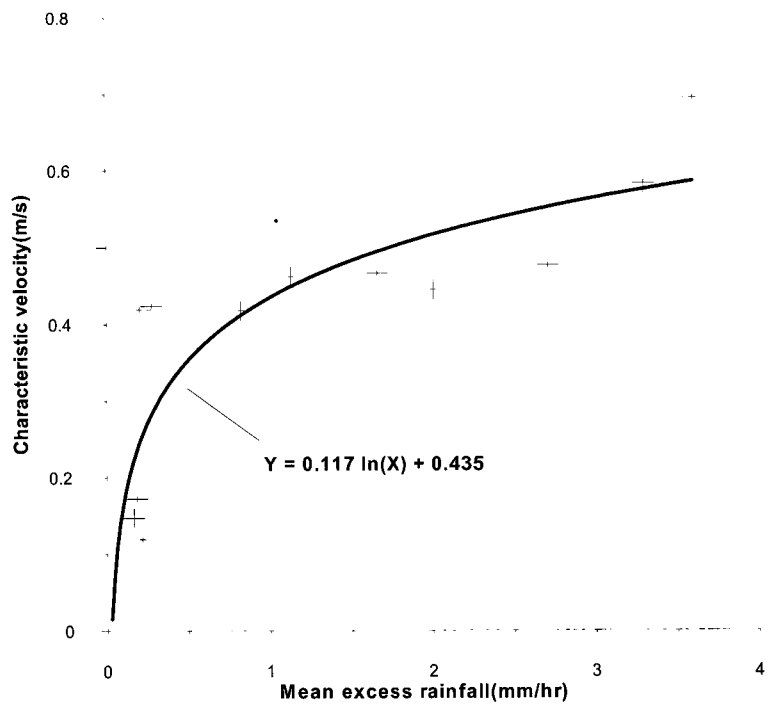


그림 9. 평균유효우량에 대한 특성속도의 변화

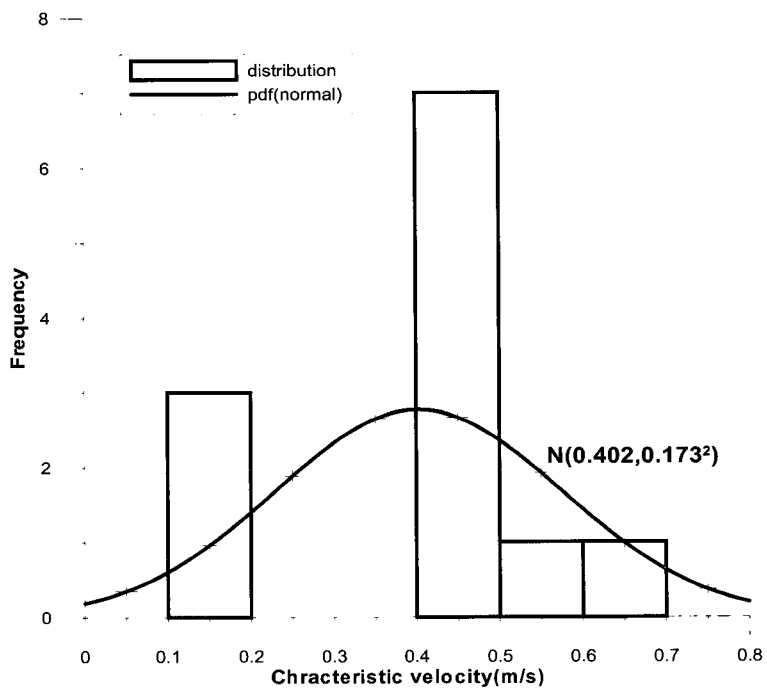


그림 10. 특성속도의 분포특성과 최적 pdf

용하여 그 분포를 얻은 후, 정규분포에 적합시켜 보았다. Kolmogorov-Smirnov test 결과 정규분포로 가정하는데 무리가 없음을 파악할 수 있었다. 특성속도의 분포와 정규분포함수를 함께 그려보면 그림 10과 같다. 설마천 유역의 경우 그 특성속도는 평균이 0.402 m/s 표준편차가 0.173 m/s인 정규분포를 나타내고 있으며 대체로 0.4~0.5 m/s 사이에 주로 위치하고 있음을 파악할 수 있다. 즉, 그 변동계수는 0.46 정도로 나타나 강우나 유출의 경우에 비해 훨씬 적은 변동특성을 나타냄을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 한국건설기술연구원 관리 시험유역인 설마천 유역에서 관측된 여러 강우-유출사상을 분석하여, 각 사상마다 GIUH의 특성속도를 추정하고, 이를 분석하여 그 변동특성을 살펴보았다. 특히, 본 연구에서는 강우의 특성에 따른 특성속도의 변화에 초점을 맞추어 분석하였다.

관측자료에 근거한 설마천 시험유역의 순간단위도는 HEC-1모형 이용하여 유도하였으며, 이렇게 유도된 순간단위도의 침투유량과 침투시간을 GIUH의 그것과 비교함으로써 특성속도가 계산될 수 있도록 하였다. 아울러 강우사상별 대표 특성속도는 이 둘을 평균한 값으로 결정하였으며 GcIUH 및 강우의 여러 특성과 비교하였다. 이 과정을 통하여 얻은 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 본 연구의 경우 GIUH의 특성속도는 GcIUH의 그것보다 변동정도가 크고 아울러 약간 크게 산정되었으나 그 경향은 유사한 것으로 파악되었다.

(2) 총유효우량(또는, 평균유효우량)이 GIUH의 특성속도를 상대적으로 잘 설명함을 파악할 수 있었다. 이는 회귀분석의 결과로 나타나는데 그 결정계수가 0.6 전후로 크게 나타났다.

(3) 반대로 강우의 지속기간이나 최대강우강도는 GIUH의 특성속도를 결정하는데 큰 영향을 끼치지 못하고 있음을 파악하였다. 회귀분석결과 결정계수는 최대 0.3을 넘지 않았다.

(4) 본 연구에서 분석한 강우사상들의 경우 GIUH의 특성속도의 분포가 평균 0.402 m/s 표준편차 0.173 m/s인 정규분포를 따르는 것으로 나타났으며, 주로 0.4~0.5 m/s 사이에 대부분의 값이 위치하는 것으로 나타났다. 그 변동계수는 0.43(=0.173/0.402) 정도로 유출의 경우(대략 1.0 정도)에 비해 훨씬 적은 변동특성을

나타냄을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 적용대상으로 한 설마천 유역은 유역 규모가 상대적으로 작아 강우의 영향이 민감하게 나타나는 것이 당연하다. 만일 더 큰 유역을 적용유역으로 선정한다면 그 영향이 더 작을 것으로 예상되나 그 양상이 어떨지는 확실하지 않다. 아울러, 이번 연구에서 사용한 강우사상의 수도 많지 않을 뿐만 아니라 관측 유출의 정도도 낮은 경우가 많아 결론을 유도하는데 무리가 있을 수도 있다. 따라서, 추후의 연구에서는 보다 다양한 유역규모를 고려함과 더불어 정도 높은 많은 강우사상을 고려함으로써 GIUH 특성속도를 보다 정도 있게 정량화 할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구에 사용된 자료는 건설기술연구원에서 설마천 시험유역을 담당하시는 정성원 수석연구원과 문장원 연구원께서 제공해 주셨습니다. 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김상단, 유철상, 윤용남(2000). 지형형태학적 순간단위도의 특성속도에 대한 고찰, **한국수자원학회 논문집**, 제33권 제3호, pp. 315-330.
- 백경록, 최종남, 유철상, 김종훈(2000). 강우-유출관계의 변동성에 관한 고찰, **대한토목학회논문집**, 제20권 3-B호, pp. 377-386.
- 이혁규, 윤석영, 김재한(1995a). GIUH 확률밀도함수를 위한 지체시간의 수문학적 고찰, **한국수자원학회 1995년도 학술발표회 논문집**, pp. 331-337.
- 이혁규, 윤석영, 김재한(1995b). GIUH의 지체시간 산정을 위한 수문학적 해석, **한국수자원학회지**, Vol. 28, No. 4, pp. 155-169.
- Nash, J. E. (1957). The Form of the Instantaneous Unit Hydrograph, Pub. 42, Wallingford, England.
- Gupta, V. K., Waymire, E., and Wang, C. T. (1980). A Representation of an Instantaneous Unit Hydrograph from Geomorphology, **Water Resources Research**, Vol. 16, No. 5, pp. 855-862.
- Gupta, V. K. and Waymire, E. (1983). On the Formulation of an Analytical Approach to Hydrologic Response and Similarity at the Basin Scale, **J. Hydrol.**, Vol. 65, pp. 95-123.
- Horton, R. E. (1932). Drainage Basin Characteristics, **Transactions in American Geophysical Union**,

- Vol. 13, pp. 350-361.
- Horton, R. E. (1945). Erosional Development of Streams and their Drainage Basins : Geophysical Approach to Quantitative Morphology, *Bulletin of Geological Society of America*, Vol. 56, pp. 275-370.
- Leopold, L. B. and Maddock, Jr., T. (1953). The Hydraulic Geometry of Stream Channels Some Physiographic Implications, *U. S. Geological Survey professional paper*, No. 252, Washington, D. C.
- Rodriguez-Iturbe, I. and Valdes, J. (1979). The Geomorphologic Structure of Hydrologic Response, *Water Resources Research*, Vol. 15, No. 6, pp. 1409-1420.
- Rodriguez-Iturbe, I., Gonzalez-Sanabia, M., and Bras, R. L. (1982). A Geomorphoclimatic Theory of the Instantaneous Unit Hydrograph, *Water Resources Research*, Vol. 18, No. 4, pp. 877-886.
- Strahler, A. N. (1957). Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology, *Trans. Am Geophys. Union*, Vol. 38, No. 6, pp. 913-920.
- Shreve, R. L. (1967). Infinite Topologically Random Channel Networks, *J. Geol.*, Vol. 75, pp. 178-186.
- Valdes, V., Fiallo, Y., and Rodriguez-Iturbe, I. (1979). A Rainfall Runoff Analysis of the Geomorphologic IUH, *Water Resources Research*, Vol. 15, No. 6, pp. 1421-1434.

(논문번호:03-22/접수:2003.02.26/심사완료:2003.06.02)