

소규모 유역에서 강우와 단위유량도의 관계 제시

An Offer of Relation between Rainfall and Unit Hydrograph in a Small Basin

유 주 환*

Yoo, Ju-Hwan

Abstract

A representative unit hydrograph responding to a small basin is used to calculate the flood discharge in the basin. The peak discharge and the time to peak of the unit hydrograph are dealt with its characteristic values. In this study it is shown and analyzed the fluctuations at peak discharges and times to peak of unit hydrographs by rainfall storms in a small national basin 8.5 km² wide are no small. And on assumption that a major factor in the fluctuations of the unit hydrographs in a small basin be rainfall intensity of a rainstorm, both relations of peak discharge and time to peak with rainfall intensity are suggested as exponential functions respectively. In this result although it is a limit of the study in which its result is accompanied with not small dispersion in the peak values of unit hydrograph due to a defect in used data it is sure an averaging regression relation between peak discharge and time to peak with rainfall intensity as identified in this study has hydrological worth from the complementary viewpoint of the theory of unit hydrograph.

Keywords : unit hydrograph, peak discharge, time to peak, rainfall intensity, rainfall-runoff

요 지

작은 규모 유역의 홍수 유출량을 산출하기 위해서 유역을 대표하는 하나의 단위유량도를 많이 적용해 왔다. 이 때 단위유량도의 첨두유량과 첨두 발생시간은 단위유량도를 결정하는 특성치로 취급된다. 본 연구에서는 국내에서 8.5 km² 정도의 소규모 유역에서도 강우 사상별로 단위유량도의 첨두유량과 발생시간은 상당히 변동되는 것을 보이고 분석하였다. 그리고 동일 소유역에서 단위유량도 변동의 주요인으로 강우 사상별 평균 강우강도라고 보고 강우 사상별 강우강도와 단위유량도의 첨두유량 및 발생시간의 관계를 각각 지수함수식으로 제시하였다. 결과적으로 사용 자료상의 제약 등으로 단위유량도 첨두치에 상당한 분산을 동반하는 한계는 있지만 연구된 대로 단위유량도의 첨두유량 및 첨두 발생시간과 강우의 평균적인 회귀 관계는 단위유량도 이론의 보완적 측면에서 수문학적 가치를 갖는다.

핵심용어 : 단위유량도, 첨두유량, 첨두 발생시간, 강우강도, 강우-유출

1. 서 론

1.1 연구 목적 및 배경

유역내 홍수 방어를 위한 구조물을 설계할 경우나 홍수 피해 예방을 위한 제도적인 대책을 수립하기 위해서

설계 강우나 예측 강우 사상에 상당하는 홍수량이나 홍수 수문곡선을 산출하는 수문분석 과정이 요구된다. 이와 같은 경우로 도시계획이나 하천정비계획 또는 하천 치수계획에서 유역 유출에 의한 홍수량이나 홍수 수문곡선을 구하기 위해서 유역평균 강우에 대하여 단위유량도

* 영동대학교 토목환경공학과 부교수

Associate Professor, Dept. of Civil and Environmental Engrg., Youngdong Univ., Chungbuk 370-701, Korea (e-mail: jhyoo@youngdong.ac.kr)

(Sherman, 1932)를 적용하는 경우가 많다. 이 경우로 국내에서 Snyder (1938), Clark (1945), Nash (1957), Dooge (1959), HYMO (Williams and Hann, 1972), SCS (1975), Nakayasu (佐藤勝夫, 1982), GIUH (Rodriguez-Iturbe and Valdes, 1979), 한국건설기술연구원 (2000) 등 여러 단위 유량도가 적용되어 왔다. 이 때 단위유량도의 기본 가정에는 우선 강우가 유역 내에서 시간 및 공간적으로 균일성을 갖는다는 것이 있다. 즉 강우 지속기간 동안에서 강우강도가 일정해야 하며 공간적으로도 균일하게 분포해야 한다. 그러나 실제 자연 강우의 경우 시간적 또는 공간적으로 다양하게 변화하기 때문에 이 가정은 일반적으로 부합되지 않는다 (Singh, 1988; 선우중호, 2006). 이와 더불어 근간을 이루는 가정은 유역내 강우-유출이 일정한 선형성을 갖는다는 것이다. 즉 강우가 유역 시스템에 입력되어 홍수량으로 유출되는 경우 유역을 시불변환 (Time-Invariant) 선형 시스템 (Linear System)으로 보는 것이다. 그러나 실제적으로 유역 유출에서 이와 같은 선형성 (Linearity)의 가정에 대한 논란은 오래되어 왔다 (Minshall, 1960; Amorocho and Orlob, 1961; Amorocho, 1963; Amorocho and Hart, 1964; Singh, 1964; Diskin, 1964; Kulandaiswamy, 1964; Dooge, 1967; Pilgrim, 1976; Singh, 1979; 1988). 그럼에도 불구하고 비선형 유출해석의 어려움에 비하여 단위유량도 이론의 간편성 때문에 국내에서도 단위유량도에 관하여 많이 연구되고 이용되어 왔다 (김상용, 1972; 건설부, 1974; 윤용남과 선우중호, 1975; 윤용남과 심순보, 1976; 김재한과 이원한, 1980; 선우중호와 고영찬, 1986; 이순탁과 박종권, 1987; 이정식 등, 1987; 한국건설기술연구원, 1989; 권오현 등, 1993; 김재한과 윤석영, 1993; 전시영, 1994; 김상단 등, 2000; 박진욱 등, 2000; 안태진 등, 2000; 정성원과 문장원, 2001; 허창환과 이순탁, 2002; 김주철 등, 2003; 전민우, 2003; 신현석 등, 2004; 성기원, 2008; 김홍태와 신현석, 2009 외 다수). 이와 같은 많은 연구에도 불구하고 단위유량도의 기본 가정 항목에 대하여 위배 정도나 오차에 관한 구체적인 연구 내용은 찾기 힘든 형편이다.

따라서 본 연구에서는, 아직까지 연구 발표되지 않은 부분으로서, 단위유량도의 시불변성 (Time-Invariance) 가정에 의해서 하나의 소규모 유역에서는 단일 단위유량도를 갖는 기존 이론으로부터 벗어나 한 유역에서도 강우 규모에 따라 단위유량도가 변동되는 것을 보였다. 그리고 이 때 단위유량도의 변동에 추세적 요인을 강우 규모로 보고 강우의 규모와 단위유량도의 관계를 정량적인 관계식으로 제시하였다. 이 과정에서 강우의 시간 및 공간적 균일성 등의 가정 사항을 최대한 만족시킬 수 있도록 소규모 유역을 선택하였다.

1.2 연구범위 및 제한점

본 연구의 범위는 단위유량도의 기본 이론과 가정을 전제로 하여 소규모 유역의 강우-유출 자료를 바탕으로 단위유량도를 유도하고 강우의 규모와 관계를 조사하는 것이다. 정량적인 관계 분석을 위해서 강우 사상의 규모는 초과우량의 총량을 지속시간으로 나눈 평균적 강우강도 (Rainfall Intensity)로 계량하였고 단위유량도는 첨두치 (Peak Value)의 크기와 발생시간을 정량화하였다. 신뢰도 있는 강우-유출 자료를 사용하기 위해서 국책연구기관 (한국건설기술연구원)이 시험유역으로 운영하고 있는 설마천의 강우 사상 자료를 선택하였다. 그리고 직접유출량에 상당한 초과우량을 산출하는데 우수하다고 판단되는 Horton의 침투 모형을 적용하기 위해서 선행강수, 초기 및 종기 침투능, 감쇠지수 등을 결정한 기존 연구 (유주환, 2006) 성과와 동일 기간의 강우 사상을 이용하였다. 강우-유출 사상은 기존 연구와 동일한 기간인 1998년~2002년 사이의 동일 사상 10개와 동일기간 내 독립된 다른 복합호우 사상 16개를 추가하여 총 26개를 본 연구에 적용하였다. 그럼에도 불구하고 연구 결과의 한계점은 본 연구 과정에 적용한 유출 자료가 수위-유량 곡선 (Rating Curve) 으로부터 산출되었기 때문에 이 유출 자료에 포함된 관측 오차와 수위-유량 곡선의 작성 및 적용 오차가 포함될 수밖에 없다는 것이다. 또한 본 연구는 단위유량도의 변동에 관계 요인을 강우강도로 국한시킨 연구 결과이다. 본 연구에서 이와 같은 자료와 연구범위의 한정 아래서 제시한 단위유량도와 강우의 관계식은 통계적인 측면에서 자유도 (Degree of Freedom)가 24이고 평균적인 회귀 (Regression) 관계를 나타낸다.

2. 단위유량도 산출

2.1 대상 유역 및 수문자료

단위유량도의 기본 가정에 접근할 수 있도록 소규모 유역을 택하였다. 대상 유역은 충분히 작은 유역으로서 한국건설기술연구원이 운영하고 있는 설마천 시험유역 (한국건설기술연구원, 1996)을 선택하였다. 위치는 한강권역 내 속해 있는 임진강의 하구로부터 상류 방향으로 약 46 km 지점에 있으며 적용 대상은 설마천 유역 내 있는 전적비교 관측소 지점 유역 (Fig. 1)을 택하였다. 경위도상으로는 동경 126° 55' 54" ~ 126° 54' 57", 북위 37° 54' 57" ~ 37° 56' 23"에 위치한다. 적용 유역의 면적은 8.5 km²이고 유로 연장이 5.8km 정도 되는 미개발 지대로서 대부분이 산림지대이고 약간의 전답이 있는 상황이다.

그리고 본 연구에 적용한 강우 사상은 총 26개로서

Table 1과 같은 복합 호우 사상이다. 강우 사상 자료는 2개 그룹으로 구성된다. 첫째 그룹(Group I)은 기존 연구

(유주환, 2006)에서 사용한 10개의 강우 사상이고 두 번째(Group II)는 기존 연구에서 적용한 강우 발생년도가 동일하지만 독립된 다른 강우 사상들 16개이다. Table 1에서 초기 시간(Initial Time)은 직접유출이 발생된 시간(년, 월, 일, 시간)이다. 직접유출(Direct Runoff)은 수위-유량곡선에 의해 산출된 유출 수문곡선에서 수평직선분리법으로 분리한 것이다. 강우 사상별 총강우(Total Rainfall)에서 직접유출량에 해당하는 초과우량을 감하여 강우 손실 총량(Rainfall Loss)을 산출하였고 시간별 강우 손실은 Horton의 침투모형(유주환, 2006)을 이용하여 산출하였다. Table 1에서 총강우의 지속시간(Duration)은 강우 사상의 시작점에서 종점까지 전체 기간이고 초과우량(Rainfall Excess)의 지속시간(Duration)은 초과우량이 발생된 시간의 합계이다.

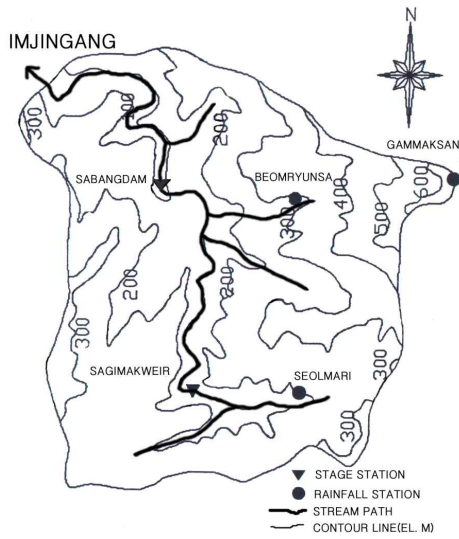


Fig. 1. Jeonjeokbigyo Basin in Selmacheon

2.2 단위유량도 유도 방법

본 연구 분석을 위해서 2개 그룹의 총 26개 강우 사상별 단위유량도를 각각 유도하였다. 본 연구에서 단위유량

Table 1. Rainfall Storms Events Used in this Study

Storm Group	Sign No.	Initial Date/Time (yr.month.day hr)	Direct Runoff Base Time (hr)	Total Rainfall		Rainfall Loss (mm)	Rainfall Excess	
				Duration (hr)	Depth (mm)		Duration (hr)	Depth (mm)
Group I	G1-1	1998. 3.19 7:00	353	11	22.90	12.09	9	10.82
	G1-2	1998. 9.20 22:00	336	19	104.10	22.39	8	81.70
	G1-3	1999. 3.18 11:00	363	13	39.00	29.37	5	9.62
	G1-4	2000. 7.22 4:00	366	13	61.80	30.92	3	30.89
	G1-5	2000. 9.15 6:00	274	46	181.70	30.66	34	151.06
	G1-6	2001. 6.29 13:00	208	28	127.50	41.27	13	86.03
	G1-7	2001. 7. 5 8:00	59	8	49.30	11.89	3	37.41
	G1-8	2001. 7.14 19:00	151	14	126.20	14.58	8	111.63
	G1-9	2002. 4.29 8:00	380	27	94.00	22.55	19	71.39
	G1-10	2002. 7.19 11:00	128	14	70.80	30.17	7	40.62
Group II	G2-1	1997. 5. 7 8:00	130	21	49.90	0.13	17	49.79
	G2-2	1997. 5.12 17:00	170	45	104.90	14.66	36	90.24
	G2-3	1998. 5. 2 3:00	232	11	77.00	33.10	8	43.90
	G2-4	1998. 6.25 19:00	126	32	110.10	89.37	7	20.73
	G2-5	1998. 6.30 16:00	177	66	88.70	27.70	26	61.00
	G2-6	1998. 7. 8 4:00	177	78	144.40	42.85	25	101.55
	G2-7	1999. 7. 9 23:00	134	10	72.10	65.95	3	6.15
	G2-8	1999. 7.30 19:00	310	103	948.20	1.53	95	946.67
	G2-9	1999. 9.18 11:00	313	67	239.10	124.25	20	114.85
	G2-10	2000. 8. 5 9:00	304	58	108.60	3.47	23	105.13
	G2-11	2001. 7.29 1:00	174	92	415.90	54.12	55	361.78
	G2-12	2001. 8.13 5:00	307	68	91.70	35.56	12	56.14
	G2-13	2001.10. 9 20:00	315	23	61.90	54.83	2	7.07
	G2-14	2002. 7. 5 13:00	181	85	143.70	100.66	9	43.04
	G2-15	2002. 7.23 11:00	127	31	102.80	31.90	12	70.90
	G2-16	2002. 8.31 14:00	103	21	77.50	24.17	15	53.33

도를 유도하는 주목적은 강우 사상별로 단위유량도의 특성치인 침투유량과 침투 발생시간을 구하는 것이므로 이에 적합하다고 판단되는 선형회귀분석법 (Linear Regression Analysis Method)을 적용하였다. 이 방법을 행렬식으로 표현하기 위해서 강우량, 유출량, 단위도 종거를 각각 $P_i (i=1,2,\dots,L)$, $Q_i (i=1,2,\dots,N)$, $U_i (i=1,2,\dots,M)$ 라 하면 선형 회선적분 (Linear Convolution Integration)에 의한 유출 수문곡선의 증첩은 다음 Eqs. (1a) and (1b)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} P_1 & 0 & \dots & 0 \\ P_2 & P_1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & P_L & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \dots \\ U_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \dots \\ Q_N \end{bmatrix} \quad (1a)$$

$$\underline{P}\underline{U} = \underline{Q} \quad (1b)$$

여기서 L 은 강우량의 종거 수이고 M 은 단위유량도의 종거 수이고 N 은 유출 수문곡선의 종거 수로서 $N = M + L - 1$ 이 성립된다. 이 행렬식으로부터 단위도 종거 벡터인 \underline{U} 를 구하기 위해서 선형회귀분석법을 적용할 수 있고 행렬식으로는 다음 Eq. (2)와 같이 나타낼 수 있다. 이 때 강우와 유출량은 각각 시간별 (Hourly) 초과우량과 직접유출

량이다.

$$\underline{U} = [\underline{P}^T \underline{P}]^{-1} \underline{P}^T \underline{Q} \quad (2)$$

2.3 단위유량도 산출 결과

본 연구에서 단위유량도를 유도한 주된 목적은 단위유량도 특성치인 침투유량과 침투 발생시간이 강우강도와 어떠한 관계를 가질 것인가를 조사하는 것이다. 따라서 본 절에서 분석되는 주요 결과는 단위유량도 특성치에 관한 것이다. 이에 부차적인 부분으로서 유도한 단위유량도의 형상을 나타내기 위해서 유도된 단위유량도 26개를 4개로 분류하고 대표적인 단위유량도를 Fig. 2와 같이 보였다.

2.3.1 단위유량도 유도

Eq. (2)에 의해 강우 사상별로 단위유량도를 유도하면 단위유량도는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 진동부분을 포함하여 다양한 형태로 나타났다. 형태별로 단위유량도를 Table 2와 같이 4개 부류[Class I: 약간 진동이 있으나 단위유량도 형상을 잘 갖춤, Class II: 진동은 있으나 단위유량도 형상을 이룸, Class III: 진동이 크나 대부분 양수(+) 영역에서 진동함, Class IV: 양수(+)와 음수(-) 영역에서 크게 진동하는 양상을 보임]로 나누었고 Fig. 2는 4개 부

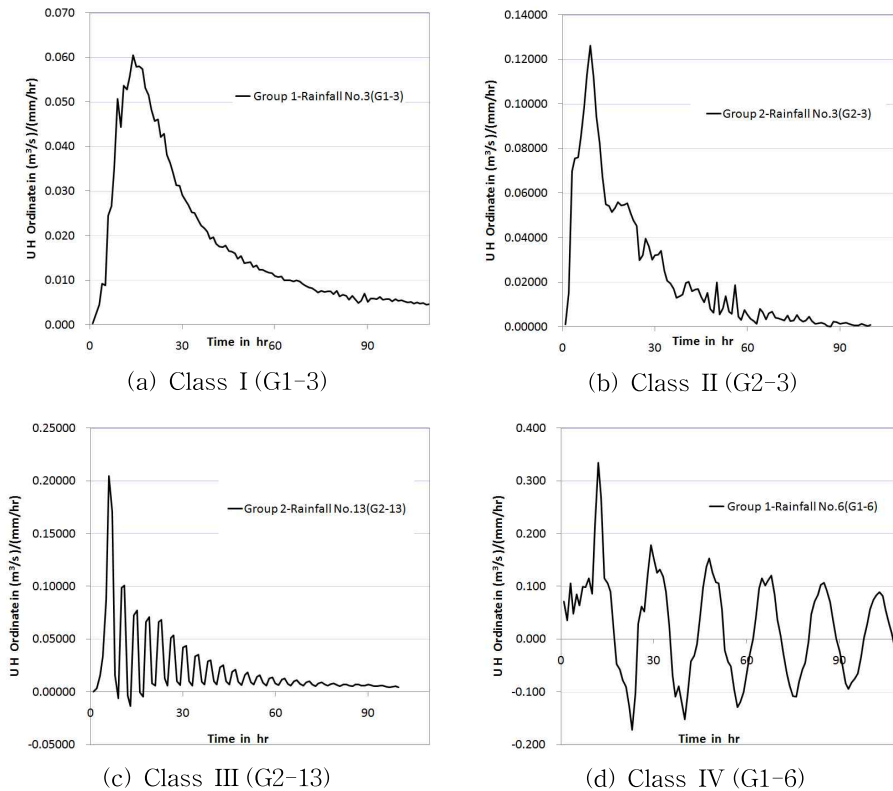


Fig. 2. Derived Unit Hydrograph by Classes

Table 2. Classifying the Derived Unit Hydrographs

Class	A Sample	Classified Derived Unit Hydrographs by the Rainstorms
I	G1-3	G1-3, G1-4, G1-8, G1-10, G2-4
II	G2-3	G1-1, G1-2, G1-7, G1-9, G2-2, G2-3, G2-5, G2-6, G2-10, G2-12, G2-14, G2-16
III	G2-13	G2-1, G2-9, G2-11, G2-13, G2-15
IV	G1-6	G1-5, G1-6, G2-7, G2-8

Table 3. Peak Discharge and Time to Peak of Derived Unit Hydrograph

No.	Storm Sign	Peak Flow (A)	IA-BI \times 100/B (%)	Time to Peak (C)	IC-BI \times 100/B (%)
1	G1-1	0.150	23.3	5	27.8
2	G1-2	0.108	45.1	2	71.1
3	G1-3	0.060	69.1	14	102.2
4	G1-4	0.118	39.6	2	71.1
5	G1-5	0.161	17.6	22	217.8
6	G1-6	0.334	70.7	12	73.3
7	G1-7	0.164	16.4	4	42.2
8	G1-8	0.355	81.3	1	85.6
9	G1-9	0.219	11.8	4	42.2
10	G1-10	0.200	2.1	5	27.8
11	G2-1	0.278	41.7	14	102.2
12	G2-2	0.136	30.7	12	73.3
13	G2-3	0.126	35.6	9	30.0
14	G2-4	0.159	18.9	9	30.0
15	G2-5	0.084	57.0	9	30.0
16	G2-6	0.074	62.2	8	15.6
17	G2-7	0.326	66.6	8	15.6
18	G2-8	0.561	186.5	4	42.2
19	G2-9	0.151	23.1	3	56.7
20	G2-10	0.108	44.8	3	56.7
21	G2-11	0.343	75.0	3	56.7
22	G2-12	0.074	62.4	4	42.2
23	G2-13	0.204	4.3	6	13.3
24	G2-14	0.170	13.2	5	27.8
25	G2-15	0.178	9.3	5	27.8
26	G2-16	0.251	28.2	7	1.1
Average (B)		0.196	43.7	7	53.2
Variance		0.0130	-	23	-

류별 표본을 보여 준다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 단위유량도의 상승부 및 하강부에 진동은 있으나 이 때 나타난 첨두치는 단위유량도를 결정하는 특성치 (Characteristic Value)를 나타낸다.

2.3.2 단위유량도의 특성치 분석

본 연구의 주된 분석 대상으로서 강우 사상별로 유도된

단위유량도의 특성치인 첨두유량 (Peak Flow)과 첨두 발생시간 (Time to Peak)을 정리하면 Table 3과 같다.

26개 강우 사상으로부터 유도한 단위유량도의 첨두유량 평균치는 $0.196 (m^3/s)/(mm/hr)$ 이고 첨두 발생시간은 7 hr로 나타났다. 전체적으로 단위유량도의 첨두유량은 평균치보다 크기는 2배 가까이, 평균적으로 44% 정도의 편차를 보였다. 그리고 첨두 발생시간은 평균치보다

크게는 2배 이상, 평균 53% 정도의 편차를 보였다. 즉 유도한 단위유량도의 특성치는 상당한 변동을 보였다. 이와 같이 동일 유역에서 유도된 단위유량도가 변동되는 것은 단위유량도 이론의 시불변성 (Time-Invariance) 또는 선형성 (Linearity) 가정에 한계점을 보여 준다. 본 연구는 이와 같이 변동되는 단위유량도가 강우 사상에 따라 달라지는 것에 주목하여 강우 규모와 관계를 다음과 같이 분석하였다.

3. 단위유량도와 강우 규모의 관계 분석

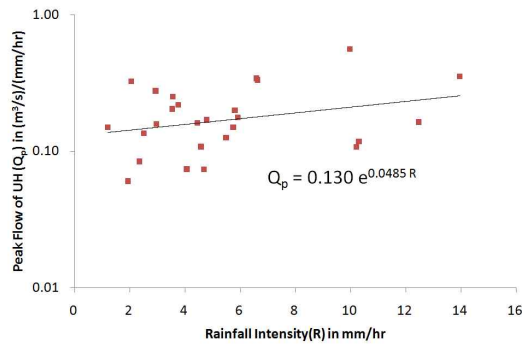
강우 사상별로 상당한 변동 또는 분산이 있음에도 불구하고 단위유량도의 첨두치인 첨두유량과 첨두 발생시간은

강우 규모에 대하여 일정 경향을 보였다. 즉 강우의 규모를 평균적 강우강도 (Rainfall Intensity)로 나타내면 Table 4와 같고 이를 도시한 Fig. 3에서 보는 바와 같이 강우강도에 따라 단위유량도의 첨두유량 ($Q_p, (m^3/s)/(mm/hr)$) 과 발생시간 (T_p, hr)의 경향을 관찰할 수 있다. 강우강도가 증가함에 따라 첨두유량은 증가하고 첨두 발생시간은 감소하는 추세를 보여 준다. 이 때 강우 규모를 나타낸 강우강도는 초과우량 총량을 초과우량의 발생시간으로 나눈 평균적인 강우강도를 나타낸다.

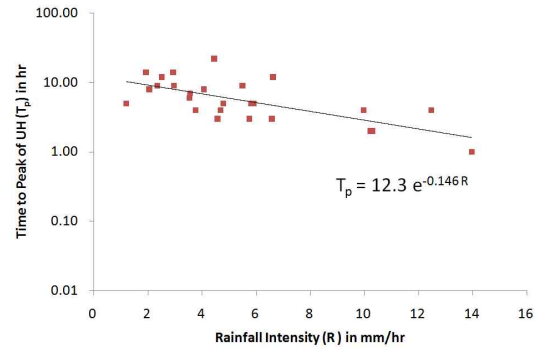
Fig. 3은 세로축을 대수 (Logarithm) 축으로 하고 가로축을 선형 눈금으로 하는 반대수 스케일 (Semi-Logarithm Scale)로 도시한 것이다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 강우강도 (R)에 대한 첨두유량 (Q_p)과 첨두 발생시간 (T_p)의 관

Table 4. Relation of Unit Hydrograph with Rainfall Intensity

No	Storm Sign	Rainfall Excess	Rainfall Duration	Rainfall Intensity, R	Peak Flow, Q_p	Time to Peak, T_p
		(A, mm)	(B, hr)	(A/B, mm/hr)	(m^3/s)/(mm/hr)	(hr)
1	G1-1	10.8	9	1.20	0.1502	5
2	G1-2	81.7	8	10.21	0.1076	2
3	G1-3	9.6	5	1.92	0.0604	14
4	G1-4	30.9	3	10.30	0.1183	2
5	G1-5	151.1	34	4.44	0.1613	22
6	G1-6	86.0	13	6.62	0.3342	12
7	G1-7	37.4	3	12.47	0.1637	4
8	G1-8	111.6	8	13.95	0.3551	1
9	G1-9	71.4	19	3.76	0.2190	4
10	G1-10	40.6	7	5.80	0.2000	5
11	G2-1	49.8	17	2.93	0.2776	14
12	G2-2	90.2	36	2.51	0.1358	12
13	G2-3	43.9	8	5.49	0.1261	9
14	G2-4	20.7	7	2.96	0.1588	9
15	G2-5	61.0	26	2.35	0.0842	9
16	G2-6	101.5	25	4.06	0.0740	8
17	G2-7	6.2	3	2.05	0.3264	8
18	G2-8	946.7	95	9.96	0.5611	4
19	G2-9	114.8	20	5.74	0.1506	3
20	G2-10	105.1	23	4.57	0.1081	3
21	G2-11	361.8	55	6.58	0.3428	3
22	G2-12	56.1	12	4.68	0.0737	4
23	G2-13	7.1	2	3.54	0.2044	6
24	G2-14	43.0	9	4.78	0.1700	5
25	G2-15	70.9	12	5.91	0.1776	5
26	G2-16	53.3	15	3.56	0.2511	7



(a) Peak Flow vs. Rainfall Intensity



(b) Time to Peak vs. Rainfall Intensity

Fig. 3. Relation of Unit Hydrograph with Rainfall Intensity

계는 지수적 (Exponential) 증가 또는 감소 함수형으로 나타났다. 이에 본 연구에서는 회귀분석 (Regression Analysis)을 하여 첨두유량 (Q_p)과 강우강도 (R)의 관계식을 Eq. (3)과 같이 제시하였다.

$$Q_p = 0.130 e^{0.0485 R} \quad (3)$$

이 식의 평균제곱오차의 제곱근 (Root Mean Squared Error) 또는 표준추정오차 (Standard Error of Estimate)는 $0.109 (m^3/s)/(mm/hr)$ 이고 평균절대오차 (Mean Absolute Error)는 $0.080 (m^3/s)/(mm/hr)$ 정도 된다. 그리고 첨두 발생시간과 강우강도의 관계식은 Eq. (4)와 같이 제시하였다.

$$T_p = 12.3 e^{-0.146 R} \quad (4)$$

여기서 이 회귀식의 표준추정오차는 $4.2 hr$ 이고 평균절대오차는 $2.7 hr$ 정도이었다. 여기서 회귀식을 결정된 자유도는 24이다.

4. 결 론

$8.5 km^2$ 정도의 국내 소규모 유역에서 강우 규모와 단위유량도의 관계를 분석한 주요 결론은 두 가지로 요약할 수 있다. 첫째 소규모 유역에서도 강우 사상별로 단위유량도의 첨두유량과 발생시간은 상당히 변동되었다는 것이고 두 번째 본 연구에서는 이 변동의 주요인으로서 강우 사상의 규모인 강우 사상별 평균 강우강도에 주목하여 강우 사상별 강우강도와 단위유량도의 첨두유량 및 발생시간의 관계를 각각 지수함수식으로 제시하였다. 요컨대 본 연구는 소규모 유역에서 단위유량도의 강우 사상별 변동을 조사하고 변동의 요인으로서 강우 사상의 평균 강우강도에 초점을 두고 단위유량도와의 관계를 정량화하여 제시하는데 근본 목적을 둔다. 앞서 서론에서 언급한 바와 같이 자료상의 제약 등으로 일정 분산을 동반하는 한

계는 있지만 본 연구에서 검토하고 제시한 강우와 단위유량도 첨두치의 관계는 단일 단위유량도에 의하던 기존 적용 방법을 보완하는 측면에서 수문학적 가치를 갖는다.

참고문헌

- 건설부 (1974). **홍수량 추정을 위한 합성단위유량도 유도의 연구조사보고서**.
- 권오현, 류태상, 유주환 (1993). “선형계획법에 의한 대표 단위도 유도.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제13권, 제2호, pp. 173-182.
- 김상단, 유철상, 윤용남 (2000). “지형형태학적 순간단위도의 특성속도에 대한 고찰.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제33권, 제3호, pp. 315-330.
- 김상용 (1972). “단위유량도에 의한 유출해석-낙동강을 중심으로.” **대한토목학회지**, 대한토목학회, 제19권, 제4호, pp. 89-105.
- 김재한, 윤석영 (1993). “소유역의 수로기하학적 특성과 사면을 고려한 유역순간단위도의 유도.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제13권, 제2호, pp. 161-171.
- 김재한, 이원한 (1980). “폐선형계로 본 유역대표 단위유량도의 유도를 위한 알고리즘의 개발에 관한 연구.” **한국수문학회지**, 한국수문학회, 제13권, 제2권, pp. 35-47.
- 김주철, 정관수, 김재한 (2003). “지형학적 인자를 고려한 대표순간단위도 추정.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제36권, 제1호, pp. 23-32.
- 김홍태, 신현석 (2009). “산악지역을 위한 한국형 지형수문단위도 개발.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제42권, 제1호, pp. 75-92.
- 박진욱, 유철상, 김중훈 (2000). “Nash 모형과 Diskin 모형을 이용한 순간단위도의 유도 및 비교 연구.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제33권, 제1호, pp. 123-132.

- 선우중호 (2006), 수문학 제2판, 동명사.
- 선우중호, 고영찬 (1986). “단위유량도 합성을 위한 Snyder 계수의 조정.” **한국수문학회지**, 한국수문학회, 제19권, 제1권, pp. 57-63.
- 성기원 (2008). “평활화된 무차원 단위해함수를 이용한 단위도의 유도.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제41권, 제6호, pp. 559-564.
- 신현석, 김홍태, 박무중 (2004). “GIS 및 GCUH를 이용한 돌발홍수 기준수량 산정의 타당성 검토 연구.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제37권, 제5호, pp. 407-424.
- 안태진, 류희정, 정광근, 심명필 (2000). “단순 강우-유출 사상으로부터 최적단위도와 침투율의 결정.” **한국수자원학회논문집**, 한국수문학회, 제33권, 제3호, pp. 365-374.
- 유주환 (2006). “유역을 대표하는 Horton 침투 모형내 매개변수의 최적 결정.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제11호, pp. 977-984.
- 윤용남, 선우중호 (1975). “유역특성과 유출특성간의 상관 계수 해석에 의한 단위유량도의 합성-한강 및 금강유역-.” **한국수문학회지**, 한국수문학회, 제8권, 제1권, pp. 61-79.
- 윤용남, 심순보 (1976). “단위유량도법에 의한 소유역의 계획홍수량 결정.” **한국수문학회지**, 한국수문학회, pp. 76-86.
- 이순탁, 박종권 (1987). “하천 유출량 산정을 위한 GIUH 모델.” **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제20권, 제4권, pp. 267-278.
- 이정식, 김제한, 이원환 (1987). “지형학적 순간단위도에 의한 침투유량의 강우-유출 해석.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제7권, 제1호, pp. 55-64.
- 전민우 (2003). “합성단위도를 위한 Snyder방법의 개선.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제23권, 제5B호, pp. 381-388.
- 전시영 (1994). “국내기준 합성단위유량도 비교분석.” **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제27권, 제2호, pp. 97-109.
- 정성원, 문장원 (2001). “국내 수문특성에 적합한 합성단위도의 개발.” **한국수자원학회논문집**, 한국수문학회, 제34권, 제6호, pp. 627-640.
- 한국건설기술연구원 (1989). **설계홍수량 산정을 위한 단위유량도의 합성방법 개발**.
- 한국건설기술연구원 (1996). **시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구보고서**, 1996년 설마천 시험유역.
- 한국건설기술연구원 (2000). **시험유역의 운영 및 수문특성 조사, 연구-합성단위도 개발을 중심으로**.
- 허창환, 이순탁 (2002). “하천유역에서 GIS를 이용한 GIUH 모형의 해석.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제35권, 제3호, pp. 321-330.
- Amorocho, J. (1963). “Measures of the linearity of the hydrologic systems.” *Journal of Geophysical Research*, Vol. 68, No. 8, pp. 2237-2249.
- Amorocho, J., and Hart, W.E. (1964). “A critique of current methods of hydrologic systems investigation.” *Transactions of the American Geophysical Union*, Vol. 45, pp. 307-321.
- Amorocho, J., and Orlob, G.T. (1961). *Nonlinear analysis of hydrologic systems*. Water Resources Center Contribution 40, University of California, Berkeley.
- Clark, C.O. (1945). “Storage and the unit hydrograph.” *Transactions of the ASCE*, Vol. 110, pp. 1419-1446.
- Diskin, M.H. (1964). *A basic study of the linearity of the rainfall-runoff process in watersheds*. Ph.D. diss., University of Illinois, Urbana.
- Dooge, J.C.I. (1959). “A general theory of the unit hydrograph.” *Journal of Geophysical Research*, Vol. 64, No. 2, pp. 241-256.
- Dooge, J.C.I. (1967). *A new approach to nonlinear problems in surface water hydrology: hydrologic system with uniform nonlinearity*. International Association of Scientific Hydrology Publication, Vol. 76, pp. 409-413.
- Kulandaiswamy, V.C. (1964). *A basic study of the rainfall excess-surface runoff relationship in a basin system*. Ph.D. diss., University of Illinois, Urbana.
- Minshall, N.E. (1960). “Predicting storm runoff on small experimental watersheds.” *Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, Vol. 86, No. HY8, pp. 17-38.
- Nash, J.E. (1957). “The form of the instantaneous unit hydrograph.” *International Association of Scientific Hydrology Publication*, Vol. 45, No. 3, pp. 114-121.
- Pilgrim, D.H. (1976). “Travel times and nonlinearity of flood runoff from tracer measurements on a small watershed.” *Water Resources Research*, Vol. 12, No. 3, pp. 487-496.
- Rodriguez-Iturbe, I., Valdes, J.B. (1979). “The geomorphologic structure of hydrologic response.” *Water Resources Research*, Vol. 15, No. 6, pp. 1409-1420.

SCS (1975). *Urban hydrology for small watersheds*. Technical Release No.55, Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.

Sherman, L.K. (1932). "Stream flow from rainfall by the unit graph method." *Engineering News-Record*, Vol. 108, pp. 501-505.

Singh, K.P. (1964). "Nonlinear instantaneous unit hydrograph theory." *Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, Vol. 90, No. HY2, pp. 313-347.

Singh, V.P. (1979). "A uniformly nonlinear hydrologic cascade model." *Irrigation and Power*, Vol. 36, No. 3, pp. 301-317.

Singh, V.P. (1988). *Hydrologic Systems, Rainfall-runoff Modeling Vol. I*, Prentice-Hall.

Snyder, F.F. (1938). "Synthetic unit graphs." *Transactions of the American Geophysical Union*, Vol. 19, pp. 447-454.

Williams, J.R., and Hann, R.W. (1972). "HYMO, a problem-oriented computer language for building hydrologic models." *Water Resources Research*, Vol. 8, pp. 79-86.

佐藤勝夫 (1982). **洪水流出計算法**, 山海堂.

논문번호: 10-031	접수: 2010.04.18
수정일자: 2010.06.29	심사완료: 2010.06.29