

호우사상의 강우강도에 변동하는 단위유량도의 보완적 적용에 관한 고찰

A Research on a Revised Application of Unit Hydrograph Variant According to Rainfall Intensity in a Rainstorm

유 주 환*

Yoo, Ju-Hwan

Abstract

This study is a research based on an existing analysis that peak values of unit hydrograph are variant according to rainfall intensity in a watershed. Differently from the fundamental assumption that an unit hydrograph is time-invariant in a watershed a variant unit hydrograph to rainfall intensity by storms is defined and applied into rainfall events, which produces out runoff hydrograph for an examination. Peak flow and time to peak of unit hydrograph used for an application are obtained from the relation equation with rainfall intensity developed by a previous study reviewed, and its shape is made by Nash unit hydrograph which is determined by the peak values. For the purpose of a comparison an invariant unit hydrograph is defined as Nash model obtained from averaged peak values of unit hydrograph which is derived by 26 rainfall storms. Peak flow and time to peak of flood hydrograph developed respectively by variant unit hydrograph with rainfall intensity and an averaged unit hydrograph are compared to those of the observed hydrograph. With comparing both hydrographs calculated by averaged unit hydrograph and revised unit hydrograph to observed hydrograph it is shown the peak flow and time to peak of hydrograph calculated by time-invariant unit hydrograph revised in this study are closer to those of observed hydrograph than those calculated by averaged unit hydrograph.

Keywords : unit hydrograph, rainfall intensity, peak flow, time to peak, flood discharge

요 지

본 연구는 한 유역 내에서 단위유량도의 첨두치가 강우 강도에 따라 변동되는 기존 연구 분석 사례를 근간으로 하여 고찰된다. 시간불변이라는 이론적 기본 가정과 달리 호우별 강우강도에 따라 時變하는 단위유량도를 설정하고 강우사상에 적용하여 유출수문곡선을 산출하여 검토한다. 이 때 적용되는 단위유량도의 경우 첨두유량과 첨두발생시간은 기왕 연구된 강우강도와의 관계식을 검토하여 이용하고 단위유량도 형상은 산출된 첨두치를 적용한 Nash의 단위유량도로 설정된다. 비교 목적을 위해서 적용하는 유역 평균 단위유량도는 강우사상별로 유도된 26개의 단위유량도의 평균 첨두치에 의한 Nash의 모형이다. 호우사상의 강우강도별로 변동되는 단위유량도와 평균단위유량도로부터 산출된 수문곡선의 첨두유량과 첨두발생시간을 관측수문곡선과 비교한다. 비교한 결과 본 연구에서 보완적으로 제시한 時變의 단위유량도는 평균 단위유량도에 의해서 계산한 첨두홍수량과 첨두발생시간 보다 관측치에 접근함을 보인다.

핵심용어 : 단위유량도, 강우강도, 첨두유량, 첨두발생시간, 홍수유출

* 영동대학교 토목환경공학과 부교수 (e-mail: jhyoo@yd.ac.kr)

Associate Professor, Dept. of Civil and Environmental Engrg., Youngdong Univ., Chungbuk 370-701, Korea

1. 서론

1.1 연구 목적 및 배경

유역의 홍수량 또는 홍수유출수문곡선을 산출하기 위한 방법으로서 단위유량도(Sherman, 1932) 방법이 지금까지도 많이 적용되고 있다. 국내 적용되는 단위유량도에는 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) 등이 있다. 이는 선형적 특성을 갖는 단위유량도 이론의 유용성과 적용의 간편성으로 인하여 국내 도입 초창기 연구(김상용, 1972; 건설부, 1974; 윤용남과 선우중호, 1975; 윤용남과 심순보, 1976; 김제한과 이원한, 1980 등) 이후부터 최근 연구(안태진 등, 2000; 정성원과 문장원, 2001; 허창환과 이순탁, 2002; 김주철 등, 2003; 전민우, 2003; 성기원, 2008; 김홍태와 신현석, 2009 등)까지 이어 온 것이다. 그러나 실제 유역 유출이 단위유량도 가정 사항에 부합되는지에 대한 논란이 계속되어 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; 선우중호, 2006; 유주환, 2010b 등). 특히 단위유량도 시간불변의 가정에 대하여 검토한 연구로서 유주환 (2010b)은 한 유역에서 강우사상별로 유도한 단위유량도 침투치의 변동에 초점을 두어 강우사상별 강우강도와 단위유량도의 침투유량과 침투발생시간이 유의할 만한 관계를 제시한 바 있다. 본 연구는 유주환 (2010b) 연구의 후속적인 연구로서 호우사상의 강우강도에 따라 변동하는 보완적 단위유량도를 제시하고 이를 적용한 수문곡선과 시간불변의 평균 단위유량도에 의해서 산출한 수문곡선을 각각 관측 수문곡선과 비교함으로써 강우강도에 따르는 보완적 단위유량도의 적용 효과를 고찰한다.

1.2 연구범위 및 제한점

본 연구는 기존 연구(유주환, 2010b)의 검증적 연구이다. 즉 기존 연구에서 분석한 강우 사상의 강우강도와 단위유량도 침투치의 관계를 근거하여 강우사상에 따른 시변적 단위유량도의 적용성을 고찰한 것이다. 그러나 기존 연구(유주환, 2010b)가 단위유량도의 침투치와 강우와의 관계를 제시한 것이라면 본 연구는 강우사상별 강우강도에 따라 시변하는 보완적 단위유량도를 정의하고 홍수유출 수문곡선을 산출하여 유역 대표하는 시간불변의 단위유량도 적용 결과와 비교함으로써 보완적 단위유량도의 적용성을 고찰한 것이다. 이 때 적용하는 단위유량도는

침투유량과 침투발생시간을 고려한 Nash의 모형이다. 본 연구에 적용되는 수문자료는 기존 연구(유주환, 2010b)와 동일한 기간(1998~2002년)의 26개 강우사상을 선택하여 적용하였다. 직접유출량은 수평직선분리법에 의해서 기저유출을 분리하여 산출한 것이고 초과우량의 산출은 선행강우량을 고려한 Horton 침투모형에 의한 초과우량 산출 절차(유주환, 2010a)에 의하였다. 이때 유출 자료는 국책 연구기관(한국건설기술연구원, 1996)이 관측하고 관리하는 설마천 시험유역의 강우 사상 및 유출 자료를 사용한 것이다. 대상 유역은 면적이 8.5 km² 정도의 소규모 유역으로 단위유량도 이론에 부합될 수 있도록 작은 규모를 선택하였다. 유출 자료에 포함되어 있는 관측오차와 수위-유량곡선의 작성 및 적용으로부터 발생하는 오차는 관측 수문곡선에 포함되어 있다. 하지만 이와 같은 오차를 감안할지라도 26개 강우-유출 사상을 바탕으로 고찰한 본 연구결과는 평균적인 측면에서 유의성을 갖는다.

2. 단위유량도 산출

유역을 대표하는 시간불변의 평균 단위유량도와 호우별 강우강도에 따라 변동되는 보완적 단위유량도(Revised Unit Hydrograph)의 산출 과정은 다음과 같이 정리한다. 우선 단위유량도를 적용하는 대상 유역과 수문자료는 기존 연구(유주환, 2010b)와 동일하게 적용한 것으로 다음과 같이 정리할 수 있다.

2.1 대상 유역 및 수문자료

대상 유역은 소규모 유역으로서 한국건설기술연구원이 운영하고 있는 설마천 시험유역(한국건설기술연구원,

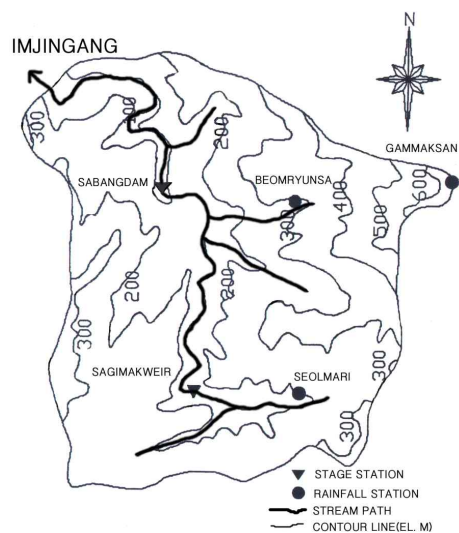


Fig. 1. Jeonjeokbigyo Watershed in Selmacheon (유주환, 2010b)

Table 1. Rainfall Storms Events Used in This Study

Storm No	Initial Date/Time (yr.month.day hr)	Antecedent Rainfall (mm/10 day)	Direct Runoff Base Time (hr)	Total Rainfall		Rainfall Loss (mm)	Rainfall Excess	
				Duration (hr)	Depth (mm)		Duration (hr)	Depth (mm)
1	1997. 5. 7 8:00	10.0	130	21	49.9	0.13	17	49.79
2	1997. 5.12 17:00	58.3	170	45	104.9	14.66	36	90.24
3	1998. 3.19 7:00	2.2	353	11	22.9	12.09	9	10.82
4	1998. 5. 2 3:00	35.7	232	11	77	33.1	8	43.9
5	1998. 6.25 19:00	6.8	126	32	110.1	89.37	7	20.73
6	1998. 6.30 16:00	110.5	177	66	88.7	27.7	26	61
7	1998. 7. 8 4:00	89.5	177	78	144.4	42.85	25	101.55
8	1998. 9.20 22:00	0.4	336	19	104.1	22.39	8	81.7
9	1999. 3.18 11:00	0.0	363	13	39	29.37	5	9.62
10	1999. 7. 9 23:00	6.6	134	10	72.1	65.95	3	6.15
11	1999. 7.30 19:00	245.8	310	103	948.2	1.53	95	946.67
12	1999. 9.18 11:00	2.4	313	67	239.1	124.25	20	114.85
13	2000. 7.22 4:00	31.0	366	13	61.8	30.92	3	30.89
14	2000. 8. 5 9:00	21.2	304	58	108.6	3.47	23	105.13
15	2000. 9.15 6:00	10.3	274	46	181.7	30.66	34	151.06
16	2001. 6.29 13:00	17.8	208	28	127.5	41.27	13	86.03
17	2001. 7. 5 8:00	153.8	59	8	49.3	11.89	3	37.41
18	2001. 7.14 19:00	84.9	151	14	126.2	14.58	8	111.63
19	2001. 7.29 1:00	73.7	174	92	415.9	54.12	55	361.78
20	2001. 8.13 5:00	3.2	307	68	91.7	35.56	12	56.14
21	2001. 10.9 20:00	25.0	315	23	61.9	54.83	2	7.07
22	2002. 4.29 8:00	0.0	380	27	94	22.55	19	71.39
23	2002. 7. 5 13:00	33.0	181	85	143.7	100.66	9	43.04
24	2002. 7.19 11:00	36.6	128	14	70.8	30.17	7	40.62
25	2002. 7.23 11:00	96.8	127	31	102.8	31.9	12	70.9
26	2002. 8.31 14:00	96.1	103	21	77.5	24.17	15	53.33

1996)이다. 위치는 한강권역 내 속해 있는 임진강의 하구로부터 상류 방향으로 약 46 km 지점에 있으며 적용대상은 설마천 유역내 있는 전적비교 관측소 지점 유역 (Fig. 1)이다. 경위도상으로는 동경 126° 55' 54" ~ 126° 54' 57", 북위 37° 54' 57" ~ 37° 56' 23"에 위치하고 대상 유역의 면적은 8.5 km²이고 유로 연장이 5.8 km 정도 되고 대부분 산림지역으로 이뤄져 있다.

그리고 본 연구에 적용한 강우 사상은 총 26개로써 Table 1과 같다. 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 손실 총량 (Rainfall Loss)은 강우 사상별 총강우 (Total Rainfall)에서 직접유출량에 상당하는 초과우량 (Rainfall

Excess)을 감하여 산출한 것이다. 그리고 시간별 강우 손실은 선행강우 (Antecedent Rainfall)을 고려하여 산출하는 Horton 침투모형에 의한 초과우량 산출 절차 (유주환, 2010a)를 적용하여 산출하였다. Table 1에서 총강우의 지속시간 (Duration)은 강우 사상의 시작점에서 종점까지 전체 기간이고 초과우량의 지속시간 (Duration)은 초과우량이 발생된 시간의 합계이다.

2.2 유역 대표하는 평균 단위유량도

유역을 대표하는 평균 단위유량도는 26개 강우사상에 대하여 초과우량과 직접유출량으로부터 단위유량도를 유도하고 얻어진 단위유량도의 첨두치를 평균한 첨두유량 (Peak Flow)와 첨두발생시간 (Time to Peak)으로부터 Nash 단위유량도를 산출한다.

2.2.1 호우별 단위유량도의 침투치

본 연구에서 강우사상별 단위유량도를 각각 유도하기 위해서 선형회귀분석법(Linear Regression Analysis Method)을 적용한다. 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 선형회전적분(Linear Convolution Integration)에 의해 다음 Eq. (1) 또는 Eq. (2)와 같은 행렬식이 구성된다.

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

$$\underline{P}\underline{U} = \underline{Q} \quad (2)$$

여기서, L 은 강우량의 종거 수이고 M 은 단위유량도의 종거 수이고 N 은 유출수문곡선의 종거 수로서

$$N = M + L - 1 \quad (3)$$

이 성립된다. 이 행렬식으로부터 단위도 종거 벡터인 \underline{U} 를 구하기 위한 선형회귀분석법은 행렬식으로 다음 Eq. (4)와 같이 나타낼 수 있다. 이 때 강우와 유출량은 각각 시간별 (Hourly) 초과우량과 직접유출량이다.

$$\underline{U} = [\underline{P}^T \underline{P}]^{-1} \underline{P}^T \underline{Q} \quad (4)$$

호우별 단위유량도를 유도한 결과 26개 강우사상의 평균 침투유량과 침투발생시간은 Table 2에서 보는 바와 같이 각각 0.083과 7hr이었다. 이 때 표준편차는 0.0484와 4.8hr로 상당한 분산을 보인다. 그런데 유도된 단위유량도의 상승 및 하강부 (Rising and Falling Limb)에 진동 (유주환, 2010b)이 발생되어 이를 매끄럽게 만들기 위해서 잘 알려진 Nash의 모형 (Nash, 1957)을 도입하였다.

2.2.2 Nash 단위유량도

Nash의 단위유량도는 하나의 유역을 저류상수 k 를 갖는 n 개의 선형저수지라고 가정한 이론적 모형으로 Eq. (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$u(t) = \frac{1}{k} \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} \frac{e^{-t/k}}{\Gamma(n)} \quad (5)$$

여기서, $\Gamma(n)$ 은 n 에 대한 Gamma 함수의 값이다. 여기서 Nash 단위유량도의 매개변수인 저류상수 k 와 저수지 개수 n 값은 주어진 침투유량(Q_p)과 침투발생시간(T_p)으로부터 침투시간에서의 조건식 Eqs. (6) and (7)에 의해 유

도된 두 개의 연립방정식 Eqs. (8) and (9)을 풀어 산출할 수 있다.

$$u(T_p) = \frac{1}{k} \left(\frac{T_p}{k}\right)^{n-1} \frac{e^{-T_p/k}}{\Gamma(n)} = Q_p \quad (6)$$

$$\frac{du(T_p)}{dt} = \frac{\left(\frac{T_p}{k}\right)^{n-2} e^{-T_p/k}}{k\Gamma(n)} \left[n-1 - \frac{T_p}{k}\right] = 0 \quad (7)$$

$$Q_p T_p = \frac{(n-1)^n}{\Gamma(n)} e^{-n+1} \quad (8)$$

$$k = \frac{T_p}{n-1} \quad (9)$$

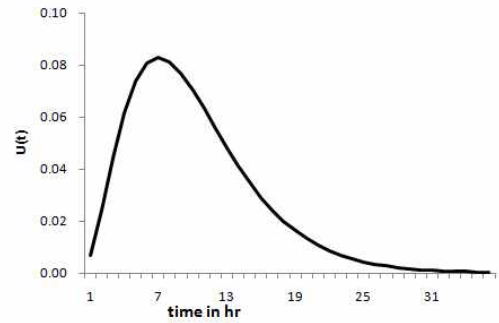


Fig. 2. Nash Unit Hydrograph by Averaged Peak Values of All Rainfall Storms (Nash parameters, $n=3.278$; $k=3.073$)

본 연구에서는 우선 Eq. (8)에 Newton-Rapson 방법 (Press et al., 1986)을 적용하여 n 값을 구하고 구한 n 값을 Eq. (9)에 적용하여 k 값을 산출하였다. 이렇게 구한 n 과 k 값은 각각 3.278, 3.073이었고 이를 그래프로 도시하면 Fig. 2와 같이 시간축과 이루는 면적이 1이 되는 Nash의 단위유량도가 된다.

2.3 보완적 단위유량도

기존에 적용되고 있는 유역내 시간불변의 대표 단위유량도를 보완하여 강우사상별로 강우강도에 따라서 단위유량도를 변동시켜 적용한다. 본 연구에서는 이를 보완적 단위유량도 (Revised Unit Hydrograph)라 명칭한다. 기 연구 (유주환, 2010b)의 결과로부터 제시된 관계식 Eqs. (10) and (11)은 어느 정도 분산은 있으나 평균적인 관계로 받아들일 수 있는 수준으로 검토하였다. 따라서 보완적 단위유량도는 초과우량의 강우강도 ($R, mm/hr$)를 산출하여 Eqs. (10) and (11)로부터 침투유량 ($Q_p, (m^3/s)/(mm/hr)$)과 침투발생시간 (T_p, hr)을 산출하여 Nash의 단위유량도를 구한다.

$$Q_p = 0.13 e^{0.0485R} \quad (10)$$

$$T_p = 12.3 e^{-0.146R} \quad (11)$$

호우사상별 강우강도와 침투유량 및 침투발생시간 그리고 Nash의 매개변수 n , k 값을 구하면 Table 3과 같다. 여기서 침투유량은 무차원으로 변환한 값이다.

3. 보완적 단위유량도 적용 및 비교검토

보완적 단위유량도의 적정성을 검토하기 위해서 앞서 산출한 Nash 모형에 의한 유역 평균 단위유량도와 보완적 단위유량도를 26개 강우사상에 적용하여 강우사상별

수문곡선을 산출한 다음 관측 수문곡선과 비교하였다. 이 때 산출된 수문곡선에서 침투홍수량과 발생시간이 관측치에 접근하는 것이 중요하므로 강우사상별로 이를 비교하였다. Tables 4 and 5는 관측 수문곡선에 대하여 평균 단위유량도와 보완적 단위유량도를 각각 비교한 결과이다. 유역 평균 단위유량도를 적용하여 산출한 수문곡선의 침투홍수량 및 발생시간과 관측 수문곡선의 침투치들과의 절대 오차는 관측한 침투홍수량 및 발생시간에 비하여 크게는 각각 2.16배 및 6.25배로 나타났고 평균적으로 각각 0.69배 및 1.33배 정도로 나타났다. 이에 비해 보완적 단위유량도를 적용할 경우 산출된 침투홍수량 및 발생시간과

Table 2. Peak Values of Unit Hydrographs Derived by Storms

Storm No	Peak Flow	Peak Time
	Dimensionless	(hr)
1	0.1176	14
2	0.0575	12
3	0.0636	5
4	0.0534	9
5	0.0673	9
6	0.0357	9
7	0.0314	8
8	0.0456	2
9	0.0256	14
10	0.1382	8
11	0.2376	4
12	0.0638	3
13	0.0501	2
14	0.0458	3
15	0.0683	22
16	0.1416	12
17	0.0693	4
18	0.1504	1
19	0.1452	3
20	0.0312	4
21	0.0866	6
22	0.0928	4
23	0.0720	5
24	0.0847	5
25	0.0752	5
26	0.1064	7
Average	0.0830	7
Standard Deviation	0.0484	5

Table 3. Rainfall Intensity, Peak Values, and Parameters of Nash Unit Hydrograph

Storm No	Rainfall Intensity	Peak Flow	Time to Peak	Nash Parameters	
	R(mm/hr)	Dimensionless	(hr)	n	k
1	2.93	0.0635	8.0	2.786	4.491
2	2.51	0.0622	8.5	2.926	4.428
3	1.20	0.0584	10.3	3.440	4.230
4	5.49	0.0718	5.5	2.142	4.835
5	2.96	0.0636	8.0	2.775	4.497
6	2.35	0.0617	8.7	2.983	4.404
7	4.06	0.0670	6.8	2.461	4.653
8	10.21	0.0904	2.8	1.527	5.259
9	1.92	0.0604	9.3	3.139	4.342
10	2.05	0.0608	9.1	3.091	4.360
11	9.96	0.0893	2.9	1.549	5.235
12	5.74	0.0727	5.3	2.092	4.873
13	10.30	0.0907	2.7	1.521	5.255
14	4.57	0.0687	6.3	2.338	4.717
15	4.44	0.0683	6.4	2.367	4.705
16	6.62	0.0759	4.7	1.940	4.982
17	12.47	0.1008	2.0	1.375	5.311
18	13.95	0.1083	1.6	1.303	5.291
19	6.58	0.0757	4.7	1.948	4.964
20	4.68	0.0691	6.2	2.311	4.738
21	3.54	0.0654	7.3	2.602	4.581
22	3.76	0.0661	7.1	2.541	4.612
23	4.78	0.0694	6.1	2.288	4.750
24	5.80	0.0730	5.3	2.080	4.880
25	5.91	0.0733	5.2	2.062	4.889
26	3.56	0.0654	7.3	2.597	4.583
Average	5.47	0.0728	6.1	2.315	4.764

Table 4. Comparison of Observed Hydrograph with Calculated Hydrograph by Averaged Unit Hydrograph

Storm No	Observed Hydrograph		Hydrograph By Averaged Unit Hydrograph		Comparison	
	Peak Flow	Peak Time	Peak Flow	Peak Time		
	A (m ³ /s)	B (hr)	C (m ³ /s)	D (hr)	A-C /A	B-D /B
1	5.8	18.0	6.7	13.0	0.14	0.28
2	6.8	21.0	10.6	14.0	0.56	0.33
3	1.3	17.0	2.0	15.0	0.53	0.12
4	4.5	10.0	7.3	16.0	0.61	0.60
5	2.5	11.0	3.5	17.0	0.43	0.55
6	1.8	17.0	4.6	18.0	1.57	0.06
7	4.7	37.0	8.4	19.0	0.77	0.49
8	7.4	12.0	15.5	20.0	1.10	0.67
9	0.6	16.0	1.7	21.0	2.16	0.31
10	1.6	10.0	1.1	22.0	0.32	1.20
11	103.0	32.0	64.3	23.0	0.38	0.28
12	1.3	15.0	1.7	24.0	0.29	0.60
13	2.9	6.0	6.0	25.0	1.07	3.17
14	6.1	6.0	14.4	26.0	1.36	3.33
15	14.0	30.0	13.1	27.0	0.07	0.10
16	14.0	16.0	11.3	28.0	0.19	0.75
17	5.6	4.0	7.3	29.0	0.30	6.25
18	30.6	7.0	20.9	30.0	0.32	3.29
19	3.3	9.0	8.4	31.0	1.54	2.44
20	1.0	23.0	2.4	32.0	1.39	0.39
21	0.9	7.0	1.4	33.0	0.46	3.71
22	8.4	20.0	10.1	34.0	0.20	0.70
23	5.6	23.0	5.9	35.0	0.06	0.52
24	5.7	9.0	7.5	36.0	0.33	3.00
25	10.9	26.0	8.0	37.0	0.27	0.42
26	7.4	18.0	9.0	38.0	1.53	1.11
Average	9.9	16.2	9.7	25.5	0.69	1.33

관측 수문곡선의 값들과의 오차는 관측 침투치에 비하여 크게 각각 1.39배 및 2.1배로 나타났고 평균적으로 각각 0.49배 및 0.21배 정도로 나타났다. 이는 보완적 단위유량도를 적용하면 유역 평균 단위유량도를 적용한 오차보다 각각 침투홍수량은 29%, 침투발생시간은 84% 정도 감소됨을 보여준다.

한편 26개 강우사상별 수문곡선의 형태는 강우사상의 분포에 따라 다양하게 나타난다. 여기서 관측 수문곡선의 형태를 대략 네 그룹으로 분류하고 대표적인 사례를 삽화하여 설명하였다. 네 그룹은 시각적으로 판단하여 관측

수문곡선에 침투부의 발생 횟수를 세어 그 횟수가 1회 발생한 그룹을 Group 1로 하고 2회, 3회, 4회 이상을 각각 Group 2, 3, 4로 나누어 분류하였다. 4개 그룹은 Table 6에서 보는 바와 같고 삽화하여 설명되는 수문곡선은 Sample로 표시하였다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 두 개 단위유량도 모두 관측 수문곡선의 뾰족한 침투부를 정확히 구현하지 못하지만 침투홍수량의 크기나 발생시간 측면에서 보완적 단위유량도의 수문곡선이 평균 단위유량도의 수문곡선보다 관측치에 더 접근됨을 보여준다.

Table 5. Comparison of Observed Hydrograph with Calculated Hydrograph by Revised Unit Hydrograph

Storm No	Observed Hydrograph		Hydrograph by Revised Unit Hydrograph		Comparison	
	Peak Flow	Peak Time	Peak Flow	Peak Time		
	A (m ³ /s)	B (hr)	C (m ³ /s)	D (hr)	A-C /A	B-D /B
1	5.8	18.0	5.8	16.0	0.01	0.11
2	6.8	21.0	9.0	20.0	0.32	0.05
3	1.3	17.0	1.4	18.0	0.12	0.06
4	4.5	10.0	6.5	9.0	0.43	0.10
5	2.5	11.0	2.8	11.0	0.15	0.00
6	1.8	17.0	3.6	17.0	1.02	0.00
7	4.7	37.0	7.4	37.0	0.55	0.00
8	7.4	12.0	16.5	11.0	1.23	0.08
9	0.6	16.0	1.3	13.0	1.39	0.19
10	1.6	10.0	0.8	31.0	0.48	2.10
11	103.0	32.0	63.8	14.0	0.38	0.56
12	1.3	15.0	1.5	5.0	0.14	0.67
13	2.9	6.0	6.5	6.0	1.25	0.00
14	6.1	6.0	12.1	10.0	0.98	0.67
15	14.0	30.0	12.4	33.0	0.12	0.10
16	14.0	16.0	10.9	17.0	0.22	0.06
17	5.6	4.0	8.8	4.0	0.57	0.00
18	30.6	7.0	25.7	8.0	0.16	0.14
19	3.3	9.0	7.7	10.0	1.32	0.11
20	1.0	23.0	2.2	23.0	1.21	0.00
21	0.9	7.0	1.1	8.0	0.15	0.14
22	8.4	20.0	8.8	22.0	0.05	0.10
23	5.6	23.0	5.4	23.0	0.04	0.00
24	5.7	9.0	6.6	10.0	0.18	0.11
25	10.9	26.0	7.4	26.0	0.32	0.00
26	7.4	18.0	7.4	20.0	0.00	0.11
Average	9.9	16.2	9.4	16.2	0.49	0.21

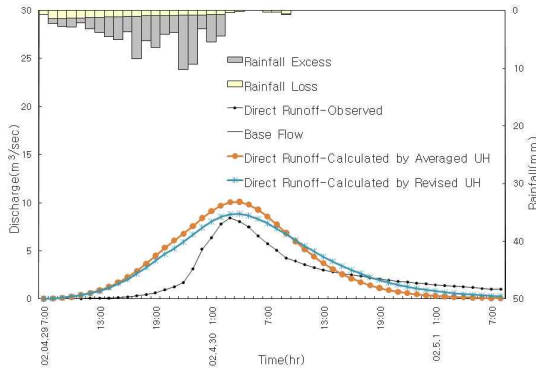
Table 6. Classifying Observed Hydrographs

Group	Sample No.	Storm No. of Observed Hydrographs
1	22	1, 2, 3, 5, 8, 9, 10, 13, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 24, 26
2	23	2, 14, 23, 25
3	6	6, 12, 20
4	11	7, 11, 19

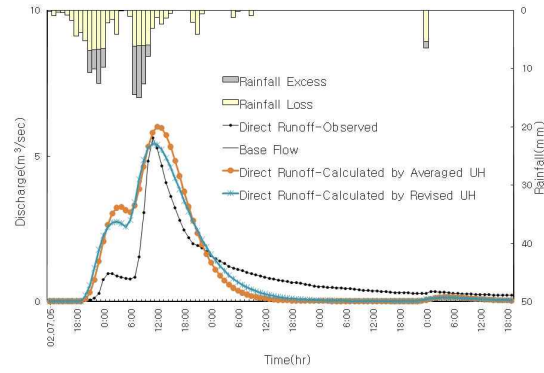
4. 결론

단위유량도는 시간불변 (Time-Invariant)이라는 전제 하에 유역의 홍수량 산출에 적용되어 왔다. 그러나 본 연구에서는 강우사상별로 유도된 단위유량도의 첨두유량

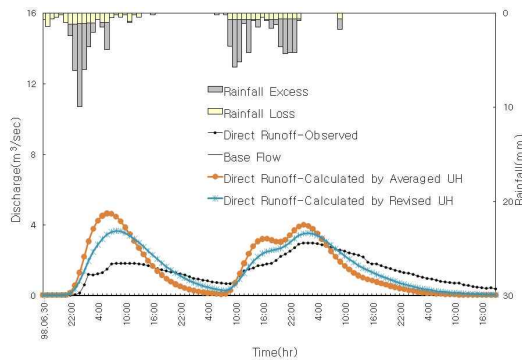
및 첨두발생시간이 다르게 나타남을 분석한 기존 연구 사례를 검토하여 강우사상별 평균적 강우강도에 따라 변동되는 보완적 단위유량도를 제시하였다. 그리고 보완적 단위유량도와 유역을 대표한 평균 단위유량도를 강우사상 26개에 적용하여 산출한 수문곡선의 첨두홍수량과 발생



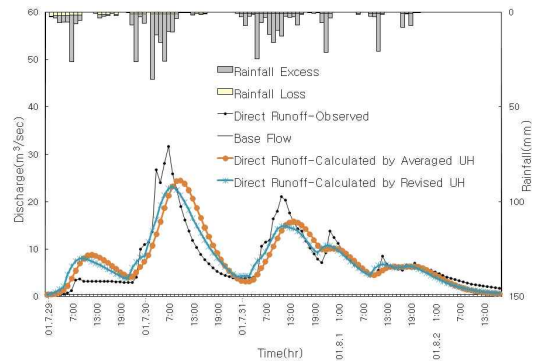
(a) Group 1 (No. 22)



(b) Group 2 (No. 23)



(c) Group 3 (No. 6)



(d) Group 4 (No. 19)

Fig. 3. Illustrations of Hydrographs in Comparison by Groups

시간을 관측 수문곡선의 값들과 비교, 검토하여 본 연구에서 제시한 보완적 단위유량도에 의한 홍수유출 수문곡선이 상당히 개선됨을 고찰하였다. 요컨대 본 연구는 지금까지 많이 적용되고 있는 시간불변의 단위유량도에 대한 보완적 시도이다. 본 연구 고찰을 바탕으로 추후 실용화할 수 있는 방법론을 정립하기 위해서는 유역 규모에 따른 연구가 추가되고 실무적인 접근 방법 및 절차가 마련되어야 할 것이다.

참고문헌

건설부 (1974). **홍수량 추정을 위한 합성단위유량도 유도의 연구조사보고서**.

김상용 (1972). “단위유량도에 의한 유출해석-낙동강을 중심으로.” **대한토목학회지**, 대한토목학회, 제19권, 제4호, pp. 89-105.

김재한, 이원한(1980). “폐선형계로 본 유역대표 단위유량도의 유도를 위한 알고리즘의 개발에 관한 연구.” **한국수문학회지**, 한국수문학회, 제13권, 제2호, 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.

선우중호 (2006). 수문학 제2판, 동명사.

성기원 (2008). “평활화된 무차원 단위해함수를 이용한 단위도의 유도.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제41권, 제6호, pp. 559-564.

안태진, 류희정, 정광근, 심명필 (2000). “단순 강우-유출 사상으로부터 최적단위도와 침투율의 결정.” **한국수자원학회논문집**, 한국수문학회, 제33권, 제3호, pp. 365-374.

유주환 (2010a). “유역단위 Horton 침투모형을 적용한 시간단위 초과유량 산출 절차 제시.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제43권, 제6호, pp. 533-541.

유주환 (2010b). “소규모 유역에서 강우와 단위유량도의 관계 제시.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제43권, 제7호, pp. 635-643.

윤용남, 선우중호 (1975). “유역특성과 유출특성간의 상관관계수 해석에 의한 단위유량도의 합성 -한강 및 금강

유역-.” **한국수문학회지**, 한국수문학회, 제8권, 제1호, pp. 61-79.

윤용남, 심순보 (1976). “단위유량도법에 의한 소유역의 계획홍수량 결정.” **한국수문학회지**, 한국수문학회, pp. 76-86.

전민우 (2003). “합성단위도를 위한 Snyder방법의 개선.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제23권, 제5B호, pp. 381-388.

정성원, 문장원 (2001). “국내 수문특성에 적합한 합성단위도의 개발.” **한국수자원학회논문집**, 한국수문학회, 제34권, 제6호, pp. 627-640.

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.

Press, W.H, Flannery, B.P., Teukolsky, S.A., and Vetterling, W.T. (1986). *Numerical Recipes, Cambridge University Press, NY*.

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: 10-083	접수: 2010.09.15
수정일자: 2010.11.01/12.30	심사완료: 2010.12.30