

돌발홍수지수를 이용한 돌발홍수심도 산정

Estimation of the Flash Flood Severity using Flash Flood Index

김응석* · 최현일** · 이동의*** · 강동진****

Kim, Eung Seok · Choi, Hyun Il · Lee, Dong Eui · Kang, Dong-Jin

Abstract

The aim of this study is to quantify the severity of flash food for a study watershed in Korea by estimation of flash food index using flood runoff hydrograph following Bhaskar et. al (2000). As an extension of the previous research, we examine the relation between flash food index and rainfall intensity, rainfall duration, and total runoff, respectively. This study has estimated the flash food index through simulated flood hydrographs to investigate the relative severity of flash flood in an ungauged basin, Megok river basin for 31 flood events.

Key words : flood runoff hydrograph, flash flood index

요 지

본 연구의 목적은 Bhaskar 등(2000)의 연구를 우리나라 유역에 적용하여, 홍수사상에 따른 유출수문곡선의 특성을 이용한 돌발홍수지수를 산정함으로써 돌발홍수의 심각성 정도를 정량화하고자 하였다. 또한, Bhaskar 등(2000)의 연구내용을 보다 확장하여 돌발홍수지수와 강우강도, 강우지속시간 및 총유출량과의 상관관계를 정량적으로 분석하였다. 본 연구에서는 미계측유역인 매곡천 유역의 과거 31개의 호우사상에 대한 돌발홍수의 상대심도를 파악하기 위해, 강우-유출모의를 통한 홍수수문곡선을 모의하고 이에 따른 돌발홍수지수를 산정하여 돌발홍수심도를 정량화하였다.

핵심용어 : 홍수유출수문곡선, 돌발홍수지수

1. 서 론

1960년 이후 지구상의 광범위한 기상이변은 엘니뇨(El Niño) 및 라니냐(La Niña)의 영향으로 분석되고 있다. 이러한 기상 이변은 홍수 및 가뭄으로 나타나고 있으며, 또한 기상이변 영향의 원인이 되는 엘니뇨는 열대 태평양의 기후뿐만 아니라 전지구 기후시스템을 변동시키는 가장 강력한 기구로 알려져 있다. 이것은 국내의 경우 1997년 9-10월의 전국적인 가뭄, 북한 지역의 최악의 가뭄, 태풍 등의 이상 진로 내습 및 1998년에 연이은 라니냐로 인한 중, 남부 지역의 극심한 홍수 등의 이상 기후 현상과 밀접한 관련이 있을 것이라고 추측되고 있다. 특히, 1990년대 후반에는 강수의 특징이 극단화되면서 국지적 집중호우에 의한 돌발홍수가 빈번하게 발생하고 있다(김응석 등, 2004).

일례로 1998년에 지리산 일원에서 발생한 돌발홍수로 인해 사망68명, 실종 27명 및 재산피해 1,186억원의 손실을 초래한 것이 대표적인 경우이다(국립방재연구소, 1998). 이러한

돌발홍수 피해를 경감하기 위해 댐 및 제방 건설 등의 구조적 대책과 홍수·예경보시스템 구축과 같은 비구조적 대책을 병행하여 추진하고 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 강우-유출 모형에 의한 홍수·예경보 시스템은 강우의 실시간 관측치를 모형의 입력자료로 요구하기 때문에 홍수 도달이 짧은 소유역의 돌발홍수를 예보하는 것에는 실효성을 거두지 못하고 있다(Sweeney 등 1992; 김운태 등, 2002; 신현석 등, 2004; 김진훈 등, 2006; 김병식 등, 2007; 배덕효 등, 2007). 따라서 이러한 홍수예보의 문제점과 최근의 사회적, 환경적 여건으로 인한 구조적 대책의 한계성 때문에 다른 비구조적 대책의 일환인 돌발홍수 예·경보시스템의 구축이 어느 때 보다 중요하게 되었다. 이처럼 돌발홍수는 1990년대 이후 우리나라의 가장 빈번한 자연재해 중 하나가 되었으나 우리나라에서는 돌발홍수사상에 대한 유출특성을 분석하고자 하는 연구는 그다지 많이 수행되지는 않았다. 돌발홍수에 관한 국내 대표적 연구는 대규모 유역의 일부를 대상으로 과거의 홍수사상에 의한 유출특성에 따른 돌발홍수심도 산정하거

*정회원 · 선문대학교 토목공학과 조교수 (E-mail: hydrokes@sunmoon.ac.kr)

**정회원 · 영남대학교 건설시스템공학과 조교수 (교신저자)

***선문대학교 토목공학과 석사과정

****서울대학교 지구환경과학사업단 연구교수

나, 특정 하천 유역을 대상으로 한계유출량 산정 등에 관해 수행되었다(Bhaskar 등, 2000; 정재철, 2000; 김병식 등, 2008). 그러나, 기존의 연구는 돌발홍수심도 산정시에 필요한 유출수문곡선을 실측된 자료를 이용하여 산정하였으나 국내의 소유역의 경우 실측된 유출수문곡선 자료가 그다지 많지 않은 관계로 인해 돌발홍수심도를 산정하는데 많은 어려움을 내포하고 있다. 특히, 돌발홍수로 인해 과거 많은 피해를 입고 있는 강원도 지방하천의 경우는 대부분이 실측 유출수문곡선이 없는 관계로 인해 돌발홍수로 인해 발생하는 돌발홍수심도를 정량적으로 분석하는데 많은 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 강우자료를 이용해 유출수문곡선을 해석할 수 있는 HEC-HMS모형을 이용하여 유출수문곡선을 모의하고 이를 통한 돌발홍수의 심각성 정도를 정량화 하고자 하였다. 또한, 기존의 연구결과를 확장하여 돌발홍수지수와 강우지속시간, 강우강도, 총유출량과의 상관관계를 분석하였다.

2. 돌발홍수지수

돌발홍수의 개념은 미국의 국립기상청에서 1970년대 중반에 도입되었으며, 1990년대 초반 컴퓨터의 발달과 지형정보시스템(GIS)이 보편화되면서 보다 소유역의 단위로 산정하는 것이 가능하게 되었다. 돌발홍수는 짧은 시간동안에 많은 강우가 집중될 때 주로 경사가 급한 계곡에서 발생한다. 강우가 계곡의 하천으로 모여 수위가 급상승하게 되면 흐름의 앞부분에 큰 파가 형성되어 계곡을 따라 하천의 하류로 순식간에 흘러가는 것과 같은 것이라고 할 수 있다. 돌발홍수의 특징은 여러 종류의 홍수 중에서 가장 빨리 움직이는 홍수라고 할 수 있다. 기령 산지 계곡의 하천으로 높은 강도의 집중호우가 발생할 경우, 갑작스러운 유출의 증가와 조용히 흐르던 하천의 흐름이 갑자기 사납게 돌진하는 흐름으로 변하게 된다. 이러한 갑작스러운 흐름 변화는 큰 파괴력을 지니며 매우 위험하다(Carpenter 등, 1999).

본 연구에서는 유출수문곡선 형태의 특성을 토대로 유출수문곡선의 상승부 경사, 홍수량 비, 홍수반응 시간 등을 고려하여 각각의 홍수 사상에 대해 돌발홍수지수(flash flood index, FFI)를 정의하였다. 상승곡선의 경사(K), 홍수량 비(M), 홍수반응 시간(T_p)와 같은 특성인자가 홍수사상들을 요약하기 위하여 사용되었다. 이들 중 홍수수문곡선의 상승부 경사와 홍수반응시간은 단위를 가지고 있기 때문에 각각의 값을 지수화 하였다(김병식 등, 2008; Bhaskar 등, 2000).

2.1 홍수수문곡선의 상승부 경사(K)

홍수수문곡선의 상승곡선은 다음의 식(1)과 같은 형태의 일반적인 지수 식으로 나타내며, 상승부 경사 K 값은 식(2)를 이용하여 산정할 수 있다. 기본적으로 유출수문곡선 상승곡선의 기울기는 홍수 수문곡선의 상승부 경사도 값이므로, 식(1)에서 K 값이 증가하면 시간 후에 엄청난 크기의 홍수량이 발생하게 되며 하도에 큰 영향을 미치게 되어 돌발홍수가 발생할 수 있다는 점을 짐작할 수 있다. 또한 K 는 그 지역의 지형학적 특성을 내포하고 있으므로, 본 논문에서는 현재 홍

수사상 $K(K_i)$ 의 상대심도(RK)를 정량화하기 위하여 과거 1일 최대 강우 사상의 최대 $K(K_{max})$ 와 최소 $K(K_{min})$ 를 이용하여 식(3)과 같이 지수화 하였다.

$$Q_t = Q_0 e^{Kt} \quad (1)$$

$$K = \frac{24 \ln(Q_t/Q_0)}{t} \quad (2)$$

$$RK = \frac{K_i - K_{min}}{K_{max} - K_{min}} \quad (3)$$

여기서, Q_0 : 초기유량, Q_t : 홍수반응시간 T_p 에 가까운 시간에서의 유량, K : 상승곡선 기울기 (/day), t : 시간(hr)이다.

2.2 홍수량 비(M)

홍수량 비(M)는 홍수수문곡선에 대한 첨두홍수량과 평균유량의 비이며, 평균유량과 비교하여 얼마나 큰 홍수량이 발생하였는지를 파악 할 수 있는 인자로서, 식(4)와 같이 나타낼 수 있다. 또한, 본 연구에서는 현재 홍수사상 $M(M_i)$ 의 상대심도(RM)를 정량화하기 위하여 과거 1일 최대 강우 사상의 최대 $M(M_{max})$, 최소 $M(M_{min})$ 를 이용하여 식(5)와 같이 지수화 하였다.

$$M = Q_{max}/Q_a \quad (4)$$

$$RM = \frac{M_i - M_{min}}{M_{max} - M_{min}} \quad (5)$$

여기서, Q_{max} : 첨두홍수량, Q_a : 장기간의 평균유량 이다.

2.3 홍수 반응시간(T_p)

홍수반응(지체)시간 T_p 는 유출수문곡선으로부터 바로 산정할 수 있으며, 홍수사상의 시작과 첨두홍수량이 발생한 시간으로 정의된다. 짧은 홍수반응 시간은 높은 유출 속도를 갖는 일반적인 돌발홍수와 관련이 있으며 이러한 관점에서 작은 값의 홍수반응 시간은 높은 상대심도를 갖게 된다. T_p 의 단위는 시간(hr)이며 값이 작으면 작을수록 홍수 유출속도가 높은 것을 의미한다. 본 논문에서는 현재 홍수사상의 최대 $T_p(T_{pi})$ 의 상대심도 (RT_p)를 정량화하기 위하여 과거 1일 최대 강우 사상의 최대 $T_p(T_{pmax})$ 와 최소 $T_p(T_{pmin})$ 를 이용하여 식(6)과 같이 지수화 하였다.

$$RT_p = \frac{T_{pmax} - T_{pi}}{T_{pmax} - T_{pmin}} \quad (6)$$

2.4 돌발홍수지수(FFI)

유출수문곡선의 상승경사(K)와 홍수량 비(M)는 상대적으로 큰 값을 가지면 돌발홍수에 접근하게 되지만, 반응시간(T_p)의 경우는 값이 작을수록 돌발홍수 현상에 접근하게 된다. 식(3), (5) 그리고 (6)을 이용하여 지수화 한 이들 인자들에 대한 상대심도지수의 산술평균 백분율을 취하여, 다음 식(7)과 같이 돌발홍수지수(flash flood index, FFI)를 산정할 수 있

다(Bhaskar 등, 2000).

$$FFI = \frac{(RK + RM + RT_p)}{3} \times 100(\%) \quad (7)$$

3. 적용 및 결과

3.1 대상유역선정

본 연구에서는 강우사상에 따른 유출수문곡선이 대부분 실측되지 않는 지방의 하천을 대상으로 유역을 선정하였다. 한강을 비롯한 4대강과 같은 큰 유역 하천의 경우는 대부분이 하천의 중요지점에서 유출수문곡선을 실측하고 있다. 그러나 작은 규모의 유역을 가진 지방 2급 하천의 경우는 유출수문곡선을 실측하지 않은 관계로 인해 돌발홍수 발생에 따른 정량적 심도를 객관적으로 산정하기가 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 강우-유출모형을 통한 돌발홍수지수의 산정을 위하여 충청남도 이산시 매곡천을 대상 유역으로 선정하였다. 매곡천은 곡교천의 제1지류 하천으로 유역면적 35.48 km², 유로연장 11.25 km이며 동경 127°01'56"~127°07'29", 북위 36°46'44"~36°51'48" 사이에 위치하는 지방 2급 하천으로 유역의 형상은 수지상을 이루고 유역 평균폭은 3.15 km, 유역의 형상계수는 0.28로 약 EL.275 m 미만의 표고가 유역계를 형성하고 있다. 그림 1은 매곡천 유역도를 나타내고 있다.

3.2 수문자료 수집

본 연구에서 적용한 강우자료는 1973년부터 2003년까지 총 31년간의 천안관측소 기상청 자료를 이용하였다. 다음 표 1은 수집된 강우자료를 나타내고 있다. 또한, 돌발홍수는 주로 짧은 지속시간 및 강우강도가 큰 호우사상에서 발생하

로 31년간의 자료 중에서 1일 최대 강우량 자료를 선정하여 적용하였다. 총 31년간의 1일 최대 강우량 자료 중 1995년 자료가 239 mm로 가장 큰 호우사상을 보였으며, 가장 작은 호우사상은 1991년 자료로 61.5 mm 강우가 관측되었다.

3.3 유출수문곡선 매개변수 산정

본 연구에서는 실측된 강우자료를 이용하여 유출수문곡선을 산정하기 위해서 HEC-HMS모형을 적용하여 수행하였다. HEC-HMS모형에 필요한 매개변수는 다음 표 2와 같이 정리



그림 1. 매곡천 유역도.

표 1. 매곡천 유역의 1일 최대 강우량 자료

번호	년도	1일 최대 강우량			번호	년도	1일 최대 강우량				
		발생일	강우량 (mm)	강우지속 시간(hr)			강우강도 (mm/hr)	발생일	강우량 (mm)	강우지속 시간 (hr)	강우강도 (mm/hr)
1	1973	8월 23일	93.7	20	4.69	17	1989	9월 14일	96.0	22	4.36
2	1974	7월 9일	101.1	14	7.22	18	1990	6월 19일	112.5	19	5.92
3	1975	7월 28일	66.5	12	5.54	19	1991	5월 26일	61.5	20	3.08
4	1976	8월 14일	125.6	12	10.47	20	1992	8월 27일	159.5	21	7.60
5	1977	9월 6일	147.7	20	7.39	21	1993	7월 13일	115.5	22	5.25
6	1978	8월 16일	123.0	11	11.18	22	1994	6월 30일	128.5	22	5.84
7	1979	6월 26일	87.5	8	10.94	23	1995	8월 9일	262.5	11	23.86
8	1980	7월 14일	108.5	7	15.50	24	1996	6월 17일	101.5	22	4.61
9	1981	7월 12일	81.2	13	6.25	25	1997	6월 1일	151.5	19	7.97
10	1982	7월 28일	166.0	20	8.30	26	1998	9월 30일	165.5	23	7.20
11	1983	7월 19일	74.2	14	5.30	27	1999	8월 2일	135.5	11	12.32
12	1984	7월 4일	158.0	21	7.52	28	2000	8월 20일	106.5	14	7.61
13	1985	8월 10일	49.0	20	2.45	29	2001	8월 7일	130.0	8	16.25
14	1986	7월 19일	120.2	9	13.36	30	2002	8월 7일	239.0	16	14.94
15	1987	7월 21일	149.0	19	7.84	31	2003	6월 27일	124.0	17	7.29
16	1988	7월 11일	63.5	14	4.54						

표 2. 매곡천 유역의 매개변수

Loss Rate Parameter	Clark's Parameter		Baseflow Parameter		
SCS Curve Number	Time of Concentration (hr)	Storage Coefficient (hr)	Initial Q (cms/sqkm)	Recession Constant	Threshold Q (ratio-to-peak)
87.92	0.94	2.02	0.00	0.03645	0.10

표 3. 홍수사상별 돌발홍수지수

no	Flood Runoff Characteristics				Flood Indexing Parameters								
	Flood data	Flood Peak Q_p (cms)	Mean Q_a (cms)	Time to Peak T_p (hr)	Rising curve gradient $K(\text{day}^{-1})$	Flood magnitude ratio M	Flood response time $T_p(\text{hr})$	Relative Severity Factors			Flashfloodindex FFI		
								RK	RM	RT	Sum	Ave	%
1	1973/08/23	135.41	0.70	15	6.67	193.44	15	0.08	0.31	0.40	0.79	0.26	26.20
2	1974/07/09	135.89	0.70	6	16.68	194.13	6	0.39	0.31	0.85	1.55	0.52	51.73
3	1975/07/28	57.488	0.70	10	7.94	82.13	10	0.12	0.06	0.65	0.83	0.28	27.60
4	1976/08/14	210.21	0.70	3	36.85	300.30	3	1.03	0.54	1.00	2.57	0.86	85.71
5	1977/09/06	181.23	0.70	8	13.37	258.90	8	0.29	0.45	0.75	1.49	0.50	49.74
6	1978/08/16	189.48	0.70	11	9.82	270.69	11	0.18	0.48	0.60	1.26	0.42	41.90
7	1979/06/26	102.3	0.70	3	31.09	146.14	3	0.85	0.20	1.00	2.05	0.68	68.24
8	1980/07/14	199.26	0.70	5	21.85	284.66	5	0.56	0.51	0.90	1.97	0.66	65.52
9	1981/07/12	74.404	0.70	5	17.12	106.29	5	0.41	0.11	0.90	1.42	0.47	47.34
10	1982/07/28	181.24	0.70	8	13.37	258.91	8	0.29	0.45	0.75	1.49	0.50	49.74
11	1983/07/19	76.077	0.70	11	7.83	108.68	11	0.12	0.12	0.60	0.83	0.28	27.79
12	1984/07/04	211.11	0.70	8	13.83	301.59	8	0.30	0.55	0.75	1.60	0.53	53.38
13	1985/08/10	39.035	0.70	13	5.40	55.76	13	0.04	0.00	0.50	0.54	0.18	17.98
14	1986/07/19	172.07	0.70	5	21.15	245.81	5	0.53	0.42	0.90	1.86	0.62	61.90
15	1987/07/21	175.09	0.70	18	5.90	250.13	18	0.06	0.43	0.25	0.74	0.25	24.60
16	1988/07/11	46.404	0.70	12	6.19	66.29	12	0.06	0.02	0.55	0.64	0.21	21.26
17	1989/09/14	74.917	0.70	15	5.72	107.02	15	0.05	0.11	0.40	0.56	0.19	18.79
18	1990/06/19	104.85	0.70	8	11.73	149.79	8	0.24	0.21	0.75	1.20	0.40	39.92
19	1991/05/26	60.783	0.70	5	16.15	86.83	5	0.38	0.07	0.90	1.35	0.45	44.88
20	1992/08/27	179.45	0.70	11	9.70	256.36	11	0.17	0.45	0.60	1.22	0.41	40.71
21	1993/07/13	66.968	0.70	4	20.77	95.67	4	0.52	0.09	0.95	1.56	0.52	52.04
22	1994/06/30	110.8	0.70	23	4.14	158.29	23	0.00	0.23	0.00	0.23	0.08	7.61
23	1995/08/09	353.49	0.70	6	20.50	504.99	6	0.51	1.00	0.85	2.36	0.79	78.79
24	1996/06/17	79.364	0.70	21	4.15	113.38	21	0.00	0.13	0.10	0.23	0.08	7.62
25	1997/07/01	209.99	0.70	13	8.50	299.99	13	0.14	0.54	0.50	1.18	0.39	39.36
26	1998/09/30	72.402	0.70	17	5.00	103.43	17	0.03	0.11	0.30	0.43	0.14	14.44
27	1999/08/02	103.38	0.70	4	23.38	147.69	4	0.60	0.20	0.95	1.76	0.59	58.62
28	2000/08/20	116.91	0.70	9	10.72	167.01	9	0.21	0.25	0.70	1.15	0.38	38.47
29	2001/08/07	201.11	0.70	7	15.64	287.30	7	0.36	0.52	0.80	1.68	0.56	55.89
30	2002/08/07	240.38	0.70	13	8.75	343.40	13	0.14	0.64	0.50	1.29	0.43	42.84
31	2003/06/27	104.23	0.70	10	9.37	148.90	10	0.16	0.21	0.65	1.02	0.34	34.05
평균	-	137.60	0.70	9.90	13.20	196.58	9.90	0.28	0.31	0.65	1.25	0.42	41.76

하였다.

매개변수 산정에서 Clark's 매개변수 중 도달시간(time of concentration)를 산정하기 위한 방법으로는 Kirpich 공식, Rziha 공식, Kraven (I)공식, Kraven (II)공식 등이 있다. 따

라서 열거한 방법들을 적용하여 산정해 본 결과 Kirpich 공식, Rziha 공식의 평균유속은 각각 1.19 m/s로 동일하고, Kraven (I)공식은 평균유속 3.32 m/s, Kraven (II)공식은 평균유속 3 m/s를 나타내었다. 홍수시 유속 2~3.5 m/s의 값을

고려하고 매곡천 하천정비기본계획보고서(충청남도, 2004)의 산정결과 값과 비교하여 Kraven (I)공식 결과인 평균유속 3.32 m/s 값을 적용하기로 하였다. 또한, 저류상수(storage coefficient)를 산정하는 방법으로는 미계측구역에서 사용하는 Clark 단위도법, Linsely 공식, Russel 공식, Sabol 공식, Peter 공식 등을 적용하였다. 산정결과 Clark 방법은 값이 너무 크게 산정되었고 Linsley, Russel, Sabol, Peter 공식은 결과 값이 비슷하게 산정되었으나 실무에서 많이 쓰이는 Sabol 공식을 적용하였다. 기저유량(baseflow) 매개변수는 HEC-HMS에 매뉴얼에 기술되어 있는 기본 값을 적용하였다.

3.4. 돌발홍수지수 산정

HEC-HMS를 이용하여 모의한 31개의 유출수문곡선을 바탕으로 돌발홍수지수를 산정하기 위해서 2절에 언급한 식 (3), (5) 및 (6)을 이용하여 유출수문곡선의 상승부 경사, 홍수량 비, 홍수반응 시간에 대한 상대심도지수를 각각 산정하였다. 상승부 경사 값을 식(3)을 이용하여 산정하기 위해 식 (2)에 필요한 초기유량(Q_0)값은 매곡천 하천정비기본계획보고서(충청남도, 2004)의 월별 유출량을 DAWAST를 모의한 자료 중 7월과 8월의 유출량 모의 결과의 초기 유량의 평균값인 2.1 m³/sec를 적용하였다. 홍수량 비 산정에 필요한 식(4)에 필요한 평균유량(는 매곡천 하천정비기본계획보고서(충청남도, 2004)의 월별 유출량 12개월간의 전체 평균 값인 0.7 m³/sec를 적용하여 산정하였다. 또한, 이를 바탕으로 식 (7)을 이용하여 돌발홍수지수를 산정하여 다음 표 3에 나타내었다.

분석결과를 살펴보면 31개 호우사상 중 가장 큰 돌발홍수지수는 1976년 8월 14일에 발생한 호우로 인해 85.71의 값으로 산정되었으며, 가장 작은 돌발홍수지수는 1994년 6월 30일 발생한 호우로 인해 7.61의 값을 나타내었다. 또한, 31개 호우사상의 전체 평균 돌발홍수지수는 41.76으로 나타났다. 이는, 과거 김병식 등(2008)이 한강유역을 대상으로 2006년 7월 집중호우 101개의 홍수사상에 대한 돌발홍수지수 분석 결과에서 해발이 높지 않은 지역의 결과와 유사한 결과를 나타내었다.

3.5 돌발홍수지수와 유출수문곡선의 상관분석

본 절에서는 31개의 호우사상별 돌발홍수지수(FFI)와 유출수문곡선의 특성을 비교 분석하기 위해 상관분석을 실시하였다. 그림 2는 돌발홍수지수와 유출수문곡선의 상승부 경사(K)의 관계를 나타낸 것이며, 이에 대한 회귀식은 식(8)과 같으며 상관계수 R²는 0.916이다.

$$FFI = 31.90 \ln(K) - 35.42 \quad (8)$$

그림 3은 돌발홍수지수와 홍수량 비(M)의 관계를 나타낸 것이며, 이에 대한 회귀식은 식(9)와 같으며 상관계수 R²는 0.333이다.

$$FFI = 20.89 \ln(M) - 65.85 \quad (9)$$

그림 4는 돌발홍수지수와 홍수반응 시간(T_p)과의 관계를 나

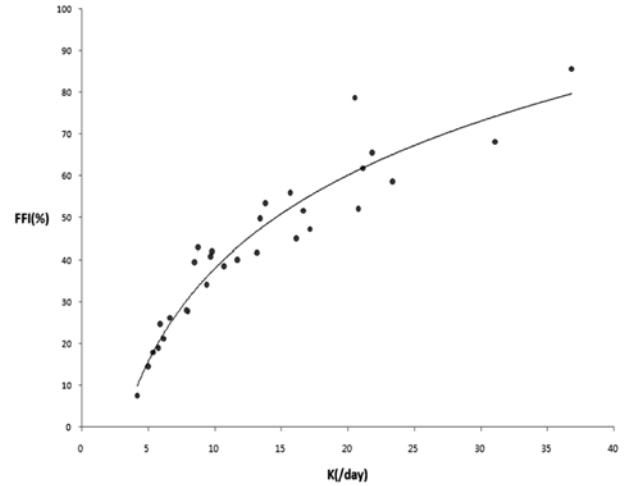


그림 2. FFI-K 상관관계.

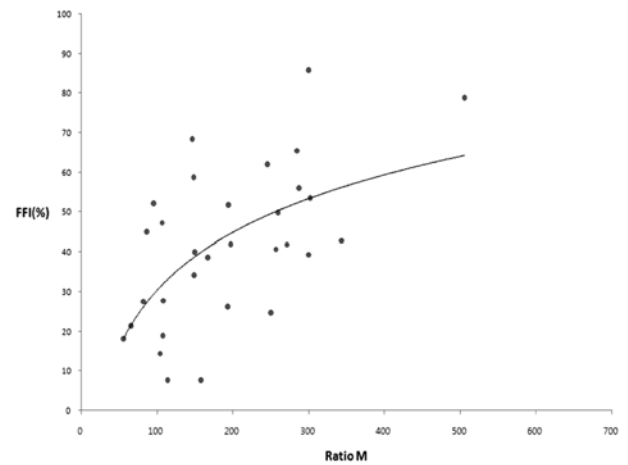


그림 3. FFI-M 상관관계.

타낸 것으로, 회귀식은 식(10)과 같으며 상관계수 R²는 0.775이다

$$FFI = -31.31 \ln(T_p) + 109.2 \quad (10)$$

그림 5는 돌발홍수지수와 강우지속 시간(t_r)과의 관계를 나타낸 것으로, 회귀식은 식(11)과 같으며 상관계수 R²는 0.383이다

$$FFI = -34.8 \ln(t_r) + 136.9 \quad (11)$$

그림 6은 돌발홍수지수와 강우강도(I)와의 관계를 나타낸 것으로, 회귀식은 식(12)와 같으며 상관계수 R²는 0.466이다

$$FFI = 26.83 \ln(T_p) - 12.26 \quad (12)$$

그림 7은 돌발홍수지수와 총유출량(Q_T)과의 관계를 나타낸 것으로, 회귀식은 식(13)과 같으며 상관계수 R²는 0.127이다

$$FFI = 15.15 \ln(Q_T) - 61.79 \quad (13)$$

분석결과 매곡천 유역의 경우 돌발홍수지수는 김병식 등(2008) 및 Bhaskar 등(2000)의 상승부 경사(K)와 홍수반응 시간(T_p) 연구결과와 비슷한 양상의 상관관계를 나타냈었으며, 특히 상승부 경사(K)의 상관계수는 0.916으로 매우 밀접한 상

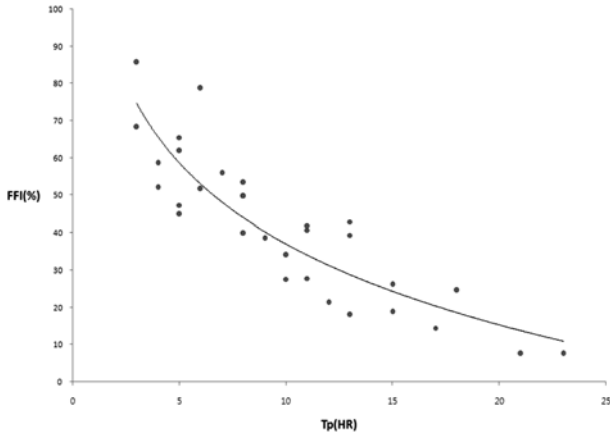


그림 4. FFI-T_p 상관관계.

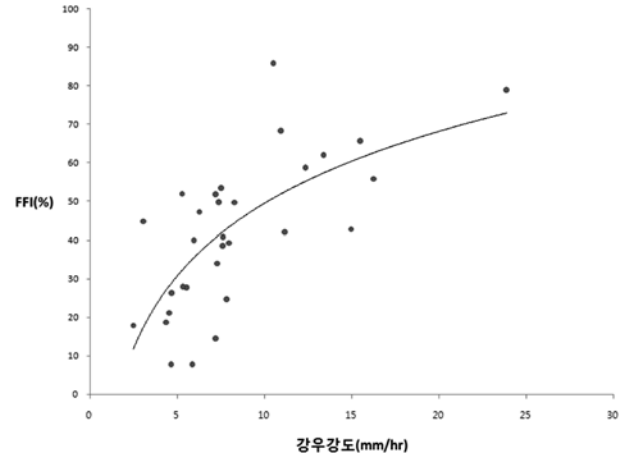


그림 6. FFI-강우강도 상관관계.

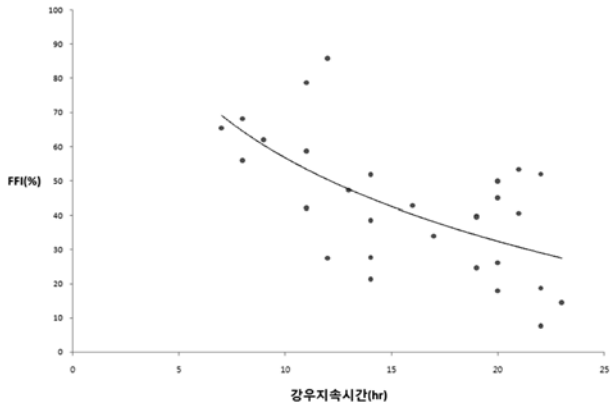


그림 5. FFI-강우지속시간 상관관계.

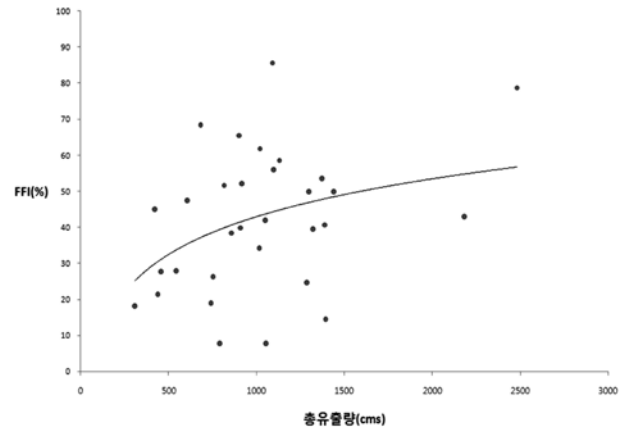


그림 7. FFI-총유출량 상관관계.

관계를 보여주었다. 또한, 본 연구에서 추가적으로 분석한 돌발홍수지수와 강우지속시간, 강우강도, 총유출량 등과의 상관관계에서 기존의 돌발홍수지수 산정에 관한 연구(김병식, 2008; Bhaskar, 2000)에는 포함되지 않은 강우강도와 돌발홍수지수의 상관계수가 0.466으로 비교적 높게 나타났다. 이는 돌발홍수의 정의에서 언급한 바와 같이, 짧은 시간에 집중된 많은 강우량이 돌발홍수의 원인이 되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 총유출량의 경우는 그림 7과 같이 돌발홍수지수와는 상관성이 낮은 것으로 분석되었다.

4 결 론

본 연구는 매곡천 유역의 대상으로 과거 31년간의 1일 최대 강우량을 이용하여 각 호우사상별 유출수문곡선을 HEC-HMS모형을 적용하여 모의한 후, 이를 통하여 돌발홍수지수를 산정하였다. 또한 기존에 한계유출량을 이용한 돌발홍수 연구하는 방법이 아닌 유출수문곡선을 이용한 돌발홍수지수를 산정하여 돌발홍수의 정도를 객관적으로 정량화 하고자 하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 기존에 돌발홍수심도는 실측된 유출수문곡선을 바탕으로 산정되었으나 본 연구에서는 미계측 중소 지방 하천에서 돌발홍수심도를 산정하기 위해 HEC-HMS모형을 적용하여 유출수문곡선을 모의하여 산정하였다. 실제 대규모 하천의 경우 홍수피해 방지를 위해 많은 구조적 또는

비구조적 홍수방어 대책을 수립하고 있으나 국내의 경우 중소 하천이 위치한 지역의 홍수피해에 대한 대책이 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 강우에 따른 유출수문곡선을 실측하지 못하는 중소 하천의 유역에 대한 돌발홍수심도를 산정하는데 많은 도움을 줄 수 있으리라 판단된다.

- 2) 본 연구에서 적용한 31개의 호우사상에 대한 돌발홍수심도와 유출특성의 상관관계분석에서 돌발홍수지수와 상승부 경사, 홍수량 비, 응답시간, 강우지속시간, 강우강도, 총유출량과의 상관계수 R^2 는 각각 0.916, 0.333, 0.775, 0.383, 0.466, 0.127로 산정되었으며, 상승부 경사가 가장 큰 상관관계를 나타내었다.
- 3) 돌발홍수지수는 기존의 돌발홍수와 관련된 연구와 비교하면 장래의 홍수에 대한 예경보 기능은 할 수는 없으나, 특정 호우사상에 대한 유출에 대한 돌발홍수의 심도를 정량적으로 제시할 수 있었다. 또한, 돌발홍수지수와 강우강도의 상관관계 분석 결과를 바탕으로 특정지역의 강우강도에 따른 돌발홍수 예경보에도 활용이 가능할 것으로 판단된다.
- 4) 돌발홍수지수를 구성하는 3가지 요소, 즉 홍수유출수문곡선의 상승부 경사, 홍수량 비, 홍수반응시간은 총강우량, 강우강도, 강우분포 등 강우특성의 직접적인 영향을

받는 항목으로 3가지 요소가 모두 상관관계가 있다고 판단되며, 이에 따른 각 변수에 대한 독립성에 관해 연구가 추후에 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 환경부가 지원한 차세대핵심환경기술개발 사업에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

국립방재연구소 (1998) 지리산 일원 호우피해조사 및 분석. 현장 보고서. NIDP-98-01

김병식, 홍준범, 김형수, 윤석영 (2007) 지형분석모형과 강우레이더를 이용한 돌발홍수 모형 개발 I. 방법론 및 모형의 개발. **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제27권, 제2B호, pp. 151-159.

김병식, 김형수 (2008) 유출수문곡선과 돌발홍수지수를 이용한 돌발홍수심도 산정. **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제41권, 제2호, pp. 185-196.

김운태, 배덕효, 조천호 (2002) 돌발홍수예보를 위한 미소유역의 한계유출량 산정. **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제35권, 제5호, pp. 553-561.

김응석, 이정호, 김중훈, 박무중 (2004) 중복간섭모형을 이용한

서울시 강우량 변화분석. **한국방재학회논문집**, 한국방재학회, 제3권, 제4호, pp. 33-41.

김진훈, 배덕효 (2006) 한강유역 한계유출량 산정. **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제2호, pp. 151-160.

배덕효, 김진후 (2007) 한국형 돌발홍수 예경보시스템 개발. **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제27권, 제3B호, pp. 237-243.

신현석, 김홍태, 박무중 (2004) GISdhk GcIUH를 이용한 돌발홍수기준우량 산정의 타당성 검토연구. **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제37권, 제5호, pp. 407-424.

충청남도 (2004) **매곡천 하천정비기본계획보고서**, 충청남도

정재철 (2000). 돌발홍수지수에 관한 연구(보청천을 중심으로). 석사학위논문, 수원대학교

Sweeney, T.L. (1992) Modernized Areal Flash Flood Guidance. *NOAA Technical Memorandum NWS HYDRO44*.

Carpenter, T.M., Spersflage, J.A., Georagakakos, K.P., Sweeney, T. and Fread, D.L. (1999) National threshold runoff estimation utilizing GIS in support of operational flash flood warning systems. *Journal of Hydrology*, Vol. 224, pp. 21-44.

Bhaskar, N.R., French, B.M. and Kyiamah, G.K. (2000) Characterization of flash floods in Eastern Kentucky. *Journal of hydrologic engineering*, Vol. 5, No. 3, pp. 327-331.

◎ 논문접수일 : 09년 11월 02일
 ◎ 심사요청일 : 09년 11월 03일
 ◎ 심사완료일 : 09년 11월 11일