

유출수문곡선의 특성을 이용한 미계측 소유역에서의 홍수심도산정



김 응 석 |

선문대학교 토목공학과 부교수
고려대학교 대학원 토목환경공학과 공학박사
hydrokes@sunmoon.ac.kr



최 현 일 |

영남대학교 건설시스템공학과 조교수
미국 일리노이대 대학원 토목환경공학과 공학박사
hichoi@ynu.ac.kr

1. 연구배경 및 절차

최근 지구온난화, 엘니뇨 및 라니냐 등 지구환경 변화에 따른 기후변화의 영향으로 짧은 시간에 매우 높은 강도를 가진 이상호우에 의해 많은 인명과 재산피해가 발생하고 있어 우리나라의 경우에도 1990년대 후반부터 과거와 달리 국지적 집중호우가 빈번히 발생하고 있으며 집중호우에 의한 홍수는 우리나라의 가장 빈번한 자연재해 중 하나가 되었다. 예를 들면 산간계곡의 집중호우로 산사태가 발생하고 이로 인한 토석류에 의해 하천변 주택, 농경지, 도로 유실 등의 피해가 극심하였으며, 하천으로 유입된 토석류에 의해 홍수범람의 피해가 가중되었다(재해연보, 2007). 이러한 성격의 홍수는 소유역 규모의 좁은 지역과 급경사지역에서 짧은 지

속시간과 집중적인 강우강도에 의해 발생하고, 빠른 유속과 토사를 동반하는 빠른 수문반응으로 홍수에 대비할 시간이 부족한 것이 특징이기 때문에 기존의 홍수예보모형을 이용하여 예측하기에는 많은 어려움이 있다.

유출수문곡선의 특성을 분석하여 홍수의 특성을 분석하는 연구는 Kyiamah(1996)가 유출수문곡선의 기초적인 상승곡선, 지체시간, 첨두홍수량을 이용하여 돌발홍수사상에 대한 크기를 산정하였으며, 이를 바탕으로 Bhaskar 등(2000)은 유출수문곡선의 상승부 기울기, 첨두 홍수량비, 홍수 반응시간을 이용하여 돌발홍수지수(Flash Flood Index)를 산정하고 이 지수에 의해 돌발홍수를 설명하고자 하였다. 국내에서는 정재철(2000)이 보청천을 대상으로 단 몇 개의 사상만을 대상으로 Bhaskar 등(2000)이 제시한 돌발홍수지수를 산정하고자 한 바가 있다. 그러나, 이들 연구에서는 소수의 수문사상만을 이용하였기 때문에 상대심도를 산정하는데 있어 문제가 있으며 상대심도를 산정하는데 있어 각 심도계수들의 임의적인 도수분포를 이용하였기 때문에 매우 주관적이라고 할 수 있다. 김병식 등(2008)은 한강유역의 과거 101개의 홍수사상에 대해 돌발홍수의 상대심도를 파악하기 위하여 돌발홍수지수를 산정하고 2006년 7월의 집중호우에 의해 발행한 홍수사상의 돌발홍수 심도를 시간 및 공간적으로 정량화하였다. 이러한 기존의 연구는 홍수

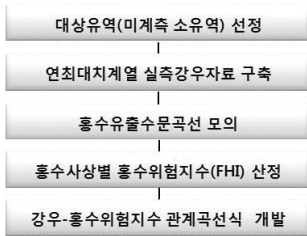


그림 1. 미계측 소유역의 홍수심도산정을 위한 연구절차
 심도 산정시에 필요한 유출수문곡선을 실측된 자료를 이용하여 산정하였으나 국내의 소유역의 경우 실측된 유출수문곡선 자료가 그다지 많지 않은 관계로 인해 홍수심도를 산정하는데 많은 어려움을 내포하고 있다. 따라서 본 연구에서는 그림 1의 연구절차 흐름도와 같이 미계측 소유역중 2개의 시범유역을 선정하고 30년 이상 장기간 연최대 실측 강우량자료에 대하여 강우-유출모형을 통한 홍수유출수문곡선을 모의한 후, 기존의 돌발홍수지수 산정방법에 기초한 홍수위험지수(Flood Hazard Index) 산정방법을 개발하여 제시하였으며, 홍수도달시간이 짧은 미계측 소유역에서 강우자료만으로 발생홍수의 상대심도를 예측할 수 있도록 유역별 강우특성별 홍수위험지수 관계곡선식을 개발하고자 하였다.

2. 대상유역

본 연구에서는 미계측 소유역에서 홍수의 심도를



그림 2. 오미천(좌) 및 매곡천(우) 유역도

객관적으로 정량화하기 위하여 30년 이상 장기간 실측 시우량 강우관측소가 위치한 소유역 중, 지형학적 조건에 근거하여 산지하천인 강원도 원주시 오미천 유역과 평지하천인 충청남도 천안시 매곡천 유역을 선정하였다. 그림 2는 오미천 및 매곡천 유역의 유역도이다.

오미천 유역은 임야가 전체 면적의 86.32%인 14.45km²을 차지하는 자연하천유역으로, 산지하천 소유역에서의 홍수심도 특성을 연구하기 위하여 선택하였다. 오미천은 주천강의 1지류인 황둔천으로 유입하는 지방2급 하천으로 유역면적은 16.74km², 유로연장은 7.52km이다. 동경 128° 10' 35"~128° 11' 37", 북위 37° 14' 39"~37° 15' 29" 사이에 위치한 오미천 유역의 형상은 수지상이며 유역의 평균폭은 2.33km, 형상계수는 0.30이다(원주시, 2007).

매곡천 유역은 농경지가 전체 면적의 46.08%인 16.35km²을 차지하는 전형적인 평지하천유역으로 최근 주변지역이 급격히 도시화되고 있으며, 산지하천인 오미천유역의 결과와 비교하기 위하여 선택하였다. 매곡천은 유역면적 35.48km², 유로연장 11.25km이며 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 3.15km, 유역의 형상계수는 0.28이다(충청남도, 2004).

3. 강우-유출모형 적용

시우량 자료의 구축기간이 충분하고 신뢰할 수 있는 자료를 보유하고 있는 기상청관할 제천관측소(오미천 유역) 및 천안관측소(매곡천 유역)의 자료를 분석하여 1973년 ~ 2008년의 36개년 간의 연 최대 실측 강우량을 산정하고 이에 대한 유출수문곡선을 산정하기 위해서 HEC-HMS모형을 적용하였다. HEC-HMS모형의 유효우량 산정방법으로는 NRCS방법을 이용하고, 단위도 산정방법으로는 Clark의 유역추적법을 사용하였다. 1973년~2008년까지 36개년 연최대 강우량에 대한 유출수문곡선의 첨두홍수량과 첨두발생시간은 표 1(오미천 유역) 및 표 2(매곡천 유역)의 (2)칸과 (3)칸에 정리하였다.

4. 홍수위험지수(Flood Hazard Index, FHI)의 산정

소유역에서 짧은 시간동안에 발생하는 홍수의 특성을 분석하기 위해서는 강우와 유출과의 특성을 파악하는 것이 중요하다. 유출수문곡선의 상승부 경사(K), 홍수량 비(M), 홍수반응 시간(T) 등의 3가지 특성인자를 사용한 Bhaskar 등(2000)의 돌발홍수지수(Flash Flood Index, FFI)는 소수의 과거 홍수사상을 대상으로 분석되었고, 각각 스케일이 다른 임의의 도수분포가 사용된 3가지 심도계수의 합으로 산정되는 돌발홍수지수는 3가지 심도계수 중 특정값에 의해 지배를 받을 가능성이 있다. 따라서 본 연구에서는 각각의 특성인자들의 상대심도를 산정하기 위하여 과거 홍수사상의 최대값에 대한 비를 취하여 동일 스케일로 무차원 지수화하였다. 이상홍수를 일반적으로 과거 30년 동안 한 번도 관측되지 않았던 기후현상으로 정의할 때, 30년 이상 실측과거자료에 대한 상대심도지수는 해당유역의 이상홍수에 대한 위험도를 간접적으로 평가할 수

있을 것으로 사료된다.

4.1 홍수수문곡선의 상승부 경사(K)

홍수수문곡선의 상승곡선을 일반적인 지수식으로 나타낼 때, 기본적으로 유출수문곡선 상승곡선의 기울기는 상승부 경사도(K) 값이므로, K 값이 증가할 수록 규모가 큰 홍수량이 발생될 가능성이 크다. 2개의 시범유역 적용결과, 오미천 유역에서는 표 1의 (4)칸에 나타난 것과 같이 3.79/day에서 24.67/day의 분포를 나타내었고, 매곡천 유역에서는 표 2의 (4)칸에서와 같이 3.17/day에서 36.81/day의 분포를 보였다. 본 연구에서는 현재 홍수사상의 상대심도(0)를 정량화하기 위하여 과거 홍수사상의 최대 K_{max} 에 대한 비($RK=K_i/K_{max}$)를 사용하여 지수화하였다.

4.2 홍수량 비(M)

홍수량 비(M)는 홍수수문곡선에 대한 첨두홍수량과 장기간 평균우량의 비이며, 평균우량과 비교하여 얼마나 큰 홍수량이 발생하였는지를 파악할 수 있는 인자이다. 산정결과, 오미천 유역에서는 표 1의 (5)칸에 나타난 것과 같이 36.17에서 458.15의 분포를 나타내었고, 매곡천 유역에서는 표 2의 (5)칸에서와 같이 46.60에서 504.04의 분포를 보였다. 본 연구에서는 현재 홍수사상 M_i 의 상대심도(RM)를 정량화하기 위하여 과거 홍수사상의 최대 M_{max} 에 대한 비($RM=M_i/M_{max}$)를 사용하여 지수화하였다.

4.3 홍수 반응시간(T)

홍수반응(지체)시간 T 는 유출수문곡선으로부터 직접 산정할 수 있으며, 홍수사상의 시작과 첨두홍수량이 발생한 시간으로 정의된다. 짧은 홍수반응시간은 높은 유출속도를 갖게 되므로 홍수위험도가 높아질 가능성이 있다. 산정결과, 오미천 유역에서

는 표 1의 (6)칸에 나타난 것과 같이 3시간에서 24시간의 분포를 나타내었고, 매곡천 유역에서는 표 2의 (6)칸에서와 같이 3시간에서 25시간의 분포를 보였다. 유출수문곡선의 상승경사(K) 및 홍수량 비(M)와는 달리, 반응시간(T)의 경우는 값이 작을수록 홍수위험성이 커지게 된다. 본 연구에서는 현재 홍수사상 T_i 의 상대심도(RT)를 정량화하기 위하여 과거 홍수사상의 최소 T_{min} 의 역수에 대한 T_i 의 역수의 비($RT=T_{min}/T_i$)를 사용하여 지수화하였다.

4.4 홍수위험지수(FHI)

이상에서 살펴 본 홍수수문곡선의 특성들을 무차원 지수화한 심도계수의 개수를 n 이라 하면, 이들 심도계수들의 합($RF_n=RK+RM+RT+\dots$)의 대소를 비교하여 홍수의 심도를 평가하기 위한 상대홍수심도 RF_n 를 정의할 수 있다. Bhaskar 등(2000)의 연구에서 각각 스케일이 다른 3개의 심도계수($RK=1\sim 7$, $RM=1\sim 16$, $RT=1\sim 10$)의 합으로 돌발홍수지수를 산정한 반면, 본 연구에서는 0~1사이의 스케일로 무차원 지수화한 심도계수의 합을 취하여, 상대홍수심도 $RF_3=RK+RM+RT$ 를 산정하였다. 한편 유출수문곡선에서 유사한 특성을 표현하는 상승부 경사(K)와 홍수 반응시간(T)의 상관성을 표 1. 오미천 연최대치계열 홍수심도 산정 결과

분석한 결과, 표 3에서와 같이 각각 오미천 유역의 경우 $R_{RK,RT} = 0.948$ 및 매곡천 유역에서 $R_{RK,RT} = 0.973$ 으로 높게 나타났으므로, 심도계수의 합으로 결정되는 상대홍수심도 산정 시, 물리적으로 유사한 성격을 갖는 심도계수의 중복적용을 방지하는 것이 필요하다. 따라서 기존의 3개 심도계수의 합으로 계산되는 상대홍수심도 $RF_3=RK+RM+RT$ 와 2개 심도계수의 합으로만 계산되는 또 하나의 상대홍수심도를 각각 산정하여 비교하였다. 또한 본 연구에서는 무차원 지수화한 홍수사상별 상대홍수심도의 과거 홍수사상에 대한 심각성을 평가하고자 최종적으로 다음 식과 같은 잠재 홍수지수(FHI_n)를 산정하였다.

$$FHI_n = \frac{(RF_n)_i}{(RF_n)_{\max}} \times 100 (\%)$$

이와 같이, 두 시험유역의 과거 36개 홍수사상에 대하여 무차원 지수화한 3개의 심도계수지수(RK , RM , RT)를 산정하고, 기존 3개 심도계수의 합으로 나타내는 상대홍수심도 RF_3 및 홍수위험지수 FHI_3 , 그리고 2개의 심도계수 합으로 나타내는 상대홍수심도 RF_2 및 홍수위험지수 FHI_2 를 각각 산정하여 표 1 및 표 2에 수록하였다.

표 1. 오미천 연최대치계열 홍수심도 산정 결과

No	Flood Runoff Characteristics						Flood Indexing Parameters							
	Flood event date (1)	Flood peak discharge Qp (m ³ /s) (2)	Time to peak discharge T (hr) (3)	Rising curve gradient K (day ⁻¹) (4)	Flood magnitude ratio M (5)	Flood response time T (hr) (6)	Relative Severity Factors			Flood Hazard Index				
							RK (7)	RM (8)	RT (9)	RF ₃ (10)	FHI ₃ (11)	RF ₂ (12)	FHI ₂ (13)	
1	06/29/73	20.5	8.0	8.51	51.18	8.00	0.34	0.11	0.38	0.83	38.81	0.46	26.88	
2	08/23/74	14.5	4.0	14.94	36.17	4.00	0.61	0.08	0.75	1.43	66.94	0.68	40.29	
3	09/15/75	30.7	19.0	4.10	76.81	19.00	0.17	0.17	0.16	0.49	22.94	0.33	19.64	
4	08/14/76	28.0	11.0	6.87	69.95	11.00	0.28	0.15	0.27	0.70	32.85	0.43	25.38	
5	09/06/77	39.6	16.0	5.24	98.97	16.00	0.21	0.22	0.19	0.62	28.75	0.43	25.23	
6	08/19/78	44.9	18.0	4.83	112.35	18.00	0.20	0.25	0.17	0.61	28.36	0.44	25.96	
7	08/04/79	59.2	11.0	8.51	147.97	11.00	0.34	0.32	0.27	0.94	43.89	0.67	39.31	
8	07/22/80	71.7	17.0	5.78	179.35	17.00	0.23	0.39	0.18	0.80	37.43	0.63	36.82	
9	07/01/81	31.9	15.0	5.25	79.69	15.00	0.21	0.17	0.20	0.59	27.38	0.39	22.76	
10	08/21/82	26.2	3.0	24.67	65.51	3.00	1.00	0.14	1.00	2.14	100.00	1.14	67.28	
11	07/19/83	24.7	7.0	10.37	61.73	7.00	0.42	0.13	0.43	0.98	45.90	0.56	32.67	
12	09/02/84	24.0	17.0	4.23	59.99	17.00	0.17	0.13	0.18	0.48	22.34	0.30	17.80	

표 1. 오미천 연최대치계열 홍수심도 산정 결과 (계속)

No	Flood Runoff Characteristics						Flood Indexing Parameters						
	Flood event date (1)	Flood peak discharge Qp (m³/s) (2)	Time to peak discharge T (hr) (3)	Rising curve gradient K (day⁻¹) (4)	Flood magnitude ratio M (5)	Flood response time T (hr) (6)	Relative Severity Factors			Flood Hazard Index			
							RK (7)	RM (8)	RT (9)	RF₃ (10)	FHI₃ (11)	RF₂ (12)	FHI₂ (13)
13	07/17/85	57.8	5.0	18.60	144.49	5.00	0.75	0.32	0.60	1.67	77.90	1.07	62.94
14	07/19/86	80.5	7.0	14.42	201.33	7.00	0.58	0.44	0.43	1.45	67.78	1.02	60.28
15	07/22/87	70.0	4.0	24.40	175.04	4.00	0.99	0.38	0.75	2.12	98.98	1.37	80.71
16	07/14/88	111.5	12.0	9.06	278.70	12.00	0.37	0.61	0.25	1.23	57.20	0.98	57.43
17	07/26/89	77.4	7.0	14.28	193.40	7.00	0.58	0.42	0.43	1.43	66.72	1.00	58.93
18	09/11/90	92.8	24.0	4.35	232.09	24.00	0.18	0.51	0.13	0.81	37.70	0.68	40.19
19	07/20/91	58.3	12.0	7.77	145.64	12.00	0.31	0.32	0.25	0.88	41.19	0.63	37.24
20	09/24/92	35.6	15.0	5.42	88.91	15.00	0.22	0.19	0.20	0.61	28.65	0.41	24.36
21	07/13/93	70.4	13.0	7.52	176.02	13.00	0.30	0.38	0.23	0.92	42.92	0.69	40.55
22	06/30/94	123.6	20.0	5.56	309.10	20.00	0.23	0.67	0.15	1.05	49.00	0.90	52.98
23	08/25/95	40.7	8.0	10.57	101.83	8.00	0.43	0.22	0.38	1.03	47.87	0.65	38.31
24	07/28/96	55.0	4.0	22.95	137.50	4.00	0.93	0.30	0.75	1.98	92.41	1.23	72.43
25	07/01/97	98.7	18.0	5.88	246.82	18.00	0.24	0.54	0.17	0.94	44.04	0.78	45.74
26	08/08/98	50.7	15.0	5.99	126.73	15.00	0.24	0.28	0.20	0.72	33.57	0.52	30.57
27	08/02/99	57.8	22.0	4.23	144.51	22.00	0.17	0.32	0.14	0.62	29.08	0.49	28.65
28	07/22/00	64.2	11.0	8.68	160.45	11.00	0.35	0.35	0.27	0.97	45.49	0.70	41.33
29	06/30/01	98.3	5.0	21.15	245.79	5.00	0.86	0.54	0.60	1.99	93.04	1.39	82.04
30	08/31/02	62.1	23.0	4.12	155.22	23.00	0.17	0.34	0.13	0.64	29.69	0.51	29.77
31	06/27/03	46.8	9.0	9.77	117.07	9.00	0.40	0.26	0.33	0.98	45.96	0.65	38.35
32	08/18/04	33.0	21.0	3.79	82.43	21.00	0.15	0.18	0.14	0.48	22.22	0.33	19.63
33	07/11/05	33.6	10.0	8.00	83.97	10.00	0.32	0.18	0.30	0.81	37.68	0.51	29.87
34	07/16/06	67.5	15.0	6.45	168.65	15.00	0.26	0.37	0.20	0.83	38.70	0.63	37.05
35	08/05/07	183.3	7.0	17.24	458.15	7.00	0.70	1.00	0.43	2.13	99.28	1.70	100.00
36	07/24/08	70.6	19.0	5.15	176.43	19.00	0.21	0.39	0.16	0.75	35.07	0.59	34.95
average		59.9	12.6	9.68	149.72	12.56	0.39	0.33	0.33	1.05	48.83	0.72	42.34
maximum		183.3	24.0	24.67	458.15	24.00	1.00	1.00	1.00	2.14	100.00	1.70	100.00
minimum		14.5	3.0	3.79	36.17	3.00	0.15	0.08	0.13	0.48	22.22	0.30	17.80

표 2. 매곡천 연최대치계열 홍수심도 산정 결과

No	Flood Runoff Characteristics						Flood Indexing Parameters						
	Flood event date (1)	Flood peak discharge Qp (m³/s) (2)	Time to peak discharge T (hr) (3)	Rising curve gradient K (day⁻¹) (4)	Flood magnitude ratio M (5)	Flood response time T (hr) (6)	Relative Severity Factors			Flood Hazard Index			
							RK (7)	RM (8)	RT (9)	RF₃ (10)	FHI₃ (11)	RF₂ (12)	FHI₂ (13)
1	08/23/73	135.22	15.0	6.66	193.17	15.00	0.18	0.38	0.20	0.76	29.48	0.56	35.42
2	07/09/74	135.23	6.0	16.66	193.19	6.00	0.45	0.38	0.50	1.34	51.52	0.84	52.47
3	07/28/75	57.11	9.0	8.81	81.58	9.00	0.24	0.16	0.33	0.73	28.33	0.40	25.18
4	08/14/76	209.21	3.0	36.81	298.87	3.00	1.00	0.59	1.00	2.59	100.00	1.59	100.00
5	09/06/77	180.72	8.0	13.37	258.17	8.00	0.36	0.51	0.38	1.25	48.22	0.88	54.95
6	08/16/78	189.15	9.0	12.00	270.21	9.00	0.33	0.54	0.33	1.20	46.10	0.86	54.12
7	06/26/79	101.30	3.0	31.01	144.71	3.00	0.84	0.29	1.00	2.13	82.13	1.13	70.91
8	07/14/80	198.50	5.0	21.83	283.57	5.00	0.59	0.56	0.60	1.76	67.71	1.16	72.55
9	07/12/81	73.64	5.0	17.07	105.20	5.00	0.46	0.21	0.60	1.27	49.08	0.67	42.22
10	07/28/82	180.74	8.0	13.37	258.20	8.00	0.36	0.51	0.38	1.25	48.22	0.88	54.95
11	07/19/83	75.74	11.0	7.82	108.21	11.00	0.21	0.21	0.27	0.70	26.99	0.43	26.82
12	07/04/84	210.61	8.0	13.82	300.87	8.00	0.38	0.60	0.38	1.35	51.97	0.97	61.05

표 2. 매곡천 연최대치계열 홍수심도 산정 결과 (계속)

No	Flood Runoff Characteristics						Flood Indexing Parameters						
	Flood event date (1)	Flood peak discharge Qp (m ³ /s) (2)	Time to peak discharge T (hr) (3)	Rising curve gradient K (day ⁻¹) (4)	Flood magnitude M (5)	Flood response time T (hr) (6)	Relative Severity Factors			Flood Hazard Index			
							RK (7)	RM (8)	RT (9)	RF ₃ (10)	FHI ₃ (11)	RF ₂ (12)	FHI ₂ (13)
13	08/10/85	38.78	13.0	5.38	55.40	13.00	0.15	0.11	0.23	0.49	18.78	0.26	16.08
14	07/19/86	171.31	5.0	21.13	244.73	5.00	0.57	0.49	0.60	1.66	64.00	1.06	66.51
15	07/21/87	174.96	18.0	5.90	249.94	18.00	0.16	0.50	0.17	0.82	31.73	0.66	41.19
16	07/11/88	46.11	12.0	6.18	65.88	12.00	0.17	0.13	0.25	0.55	21.15	0.30	18.74
17	09/14/89	74.73	15.0	5.72	106.75	15.00	0.16	0.21	0.20	0.57	21.87	0.37	23.04
18	06/19/90	104.34	8.0	11.72	149.06	8.00	0.32	0.30	0.38	0.99	38.14	0.61	38.55
19	05/26/91	60.02	5.0	16.09	85.74	5.00	0.44	0.17	0.60	1.21	46.56	0.61	38.12
20	08/27/92	179.12	11.0	9.70	255.89	11.00	0.26	0.51	0.27	1.04	40.26	0.77	48.41
21	07/13/93	66.09	4.0	20.69	94.42	4.00	0.56	0.19	0.75	1.50	57.83	0.75	47.05
22	06/30/94	110.73	23.0	4.14	158.19	23.00	0.11	0.31	0.13	0.56	21.47	0.43	26.76
23	08/09/95	352.83	6.0	20.50	504.04	6.00	0.56	1.00	0.50	2.06	79.32	1.56	97.73
24	06/17/96	79.28	21.0	4.15	113.26	21.00	0.11	0.22	0.14	0.48	18.52	0.34	21.18
25	07/01/97	209.74	13.0	8.50	299.63	13.00	0.23	0.59	0.23	1.06	40.73	0.83	51.81
26	09/30/98	72.26	17.0	5.00	103.22	17.00	0.14	0.20	0.18	0.52	19.94	0.34	21.37
27	08/02/99	107.51	4.0	23.61	153.59	4.00	0.64	0.30	0.75	1.70	65.42	0.95	59.40
28	08/20/00	116.47	9.0	10.71	166.39	9.00	0.29	0.33	0.33	0.95	36.81	0.62	38.98
29	08/07/01	200.53	7.0	15.63	286.47	7.00	0.42	0.57	0.43	1.42	54.82	0.99	62.34
30	08/07/02	240.13	13.0	8.75	343.04	13.00	0.24	0.68	0.23	1.15	44.31	0.92	57.65
31	06/27/03	103.84	10.0	9.36	148.34	10.00	0.25	0.29	0.30	0.85	32.73	0.55	34.44
32	06/16/04	56.95	25.0	3.17	81.36	25.00	0.09	0.16	0.12	0.37	14.17	0.25	15.54
33	09/17/05	164.66	10.0	10.47	235.23	10.00	0.28	0.47	0.30	1.05	40.54	0.75	47.15
34	07/16/06	83.36	12.0	7.36	119.09	12.00	0.20	0.24	0.25	0.69	26.47	0.44	27.39
35	08/04/07	90.39	9.0	10.03	129.13	9.00	0.27	0.26	0.33	0.86	33.25	0.53	33.19
36	06/18/08	32.62	16.0	4.11	46.60	16.00	0.11	0.09	0.19	0.39	15.11	0.20	12.82
average	130.1	10.4	12.42	185.87	10.44	0.34	0.37	0.38	1.09	42.05	0.71	44.34	
maximum	352.8	25.0	36.81	504.04	25.00	1.00	1.00	1.00	2.59	100.00	1.59	100.00	
minimum	32.6	3.0	3.17	46.60	3.00	0.09	0.09	0.12	0.37	14.17	0.20	12.82	

표 3. 심도계수(RK, RM, RT)간의 상관성 분석결과

구분	R _{RK, RM}	R _{RM, RT}	R _{RK, RT}
오미천 유역	0.162	-0.089	0.948
매곡천 유역	0.371	0.174	0.973

5. 강우-홍수위험지수의 상관분석 결과

홍수위험지수와 강우특성과의 상관관계를 분석하고자, 두 유역의 각각 36개 호우사상별 평균강우강도(I_a)를 비롯하여, 각각 1시간, 2시간, 3시간, 4시간, 5시간, 6시간 최대 강우량(R_{1h}, R_{2h}, R_{3h},

표 4. 강우특성별 홍수위험지수와외의 관계곡선식

강우 특성	오미천 유역		매곡천 유역	
	회귀곡선식	R ²	회귀곡선식	R ²
I _a	FHI ₃ =4.000I _a +17.928	0.393	FHI ₃ =2.893I _a +17.737	0.424
	FHI ₂ =4.064I _a +10.956	0.577	FHI ₂ =3.633I _a +13.807	0.601

R_{4h}, R_{5h}, R_{6h}), 총강우량(R_t) 및 강우지속시간(D)과의 관계곡선식을 산정하였다. 여기서 평균강우강도는 총강우량을 강우지속시간으로 나눈 값을 의미한다. 강우특성별 홍수위험지수와외의 관계곡선식은 표 4에 정리하였으며, 주요 관계곡선식에 대한 그래프는 그림 3(오미천 유역) 및 그림 4(매곡천 유역)에 나타내었다.

이와 같이 분석한 홍수위험지수와 강우특성 요소들과의 상관관계 분석에서, 전체적으로 기존 돌발

표 4. 강우특성별 홍수위험지수와의 관계곡선식 (계속)

강우 특성	오미천 유역		매곡천 유역	
	회귀곡선식	R ²	회귀곡선식	R ²
R _{1h}	$FHI_3=1.058R_{1h}+18.643$	0.321	$FHI_3=1.005R_{1h}+13.238$	0.405
	$FHI_2=1.152R_{1h}+9.484$	0.542	$FHI_2=1.311R_{1h}+6.774$	0.619
R _{2h}	$FHI_3=0.659R_{2h}+19.371$	0.325	$FHI_3=0.692R_{2h}+9.854$	0.525
	$FHI_2=0.754R_{2h}+8.635$	0.605	$FHI_2=0.871R_{2h}+3.769$	0.750
R _{3h}	$FHI_3=0.528R_{3h}+19.555$	0.311	$FHI_3=0.538R_{3h}+9.855$	0.507
	$FHI_2=0.614R_{3h}+8.311$	0.599	$FHI_2=0.692R_{3h}+2.918$	0.754
R _{4h}	$FHI_3=0.473R_{4h}+18.190$	0.272	$FHI_3=0.468R_{4h}+9.257$	0.505
	$FHI_2=0.568R_{4h}+5.593$	0.557	$FHI_2=0.607R_{4h}+1.779$	0.765
R _{5h}	$FHI_3=0.429R_{5h}+17.621$	0.247	$FHI_3=0.388R_{5h}+11.156$	0.428
	$FHI_2=0.519R_{5h}+4.581$	0.516	$FHI_2=0.519R_{5h}+3.016$	0.688
R _{6h}	$FHI_3=0.382R_{6h}+18.611$	0.211	$FHI_3=0.323R_{6h}+13.634$	0.359
	$FHI_2=0.479R_{6h}+4.420$	0.472	$FHI_2=0.445R_{6h}+5.218$	0.612
R _t	$FHI_3=0.026R_t+45.589$	0.003	$FHI_3=0.147R_t+24.198$	0.107
	$FHI_2=0.119R_t+27.628$	0.084	$FHI_2=0.253R_t+13.739$	0.282
D	$FHI_3=0.232R_D^2-9.325R_D+133.130$	0.360	$FHI_3=0.092R_D^2-5.175R_D+99.582$	0.352
	$FHI_2=0.223R_D^2-8.304R_D+111.980$	0.277	$FHI_2=0.091R_D^2-5.133R_D+101.340$	0.309

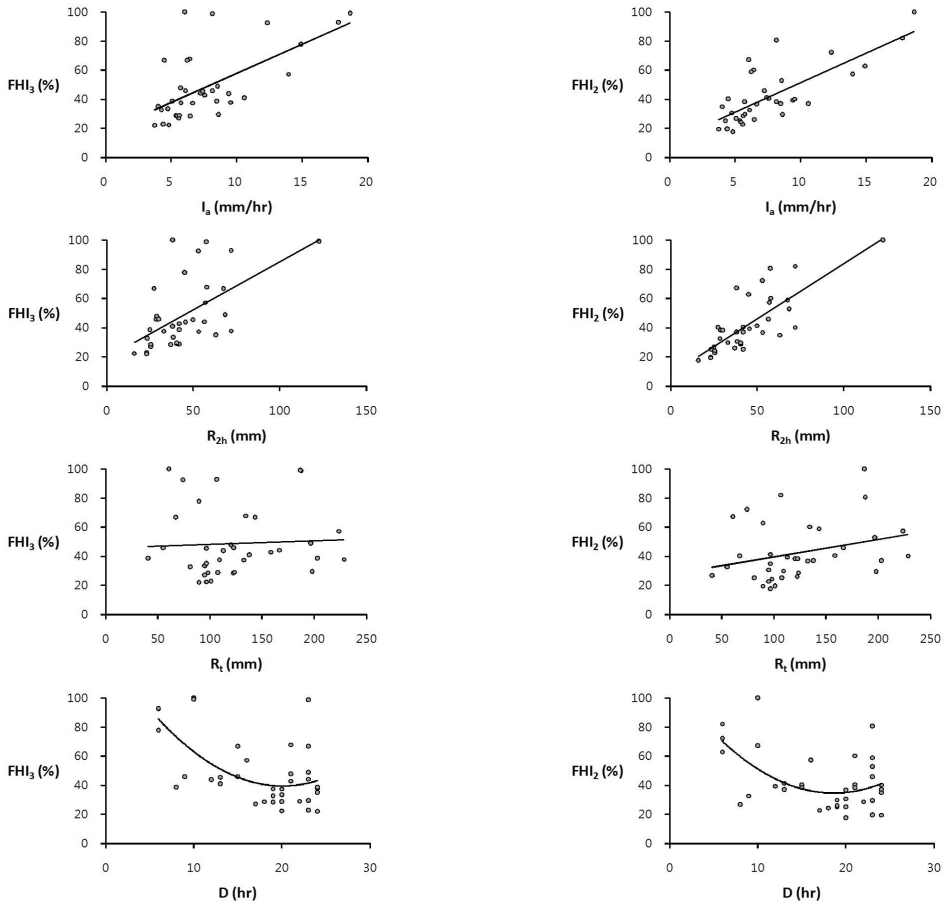


그림 3. 오미천 강우-홍수위험지수 상관관계 곡선

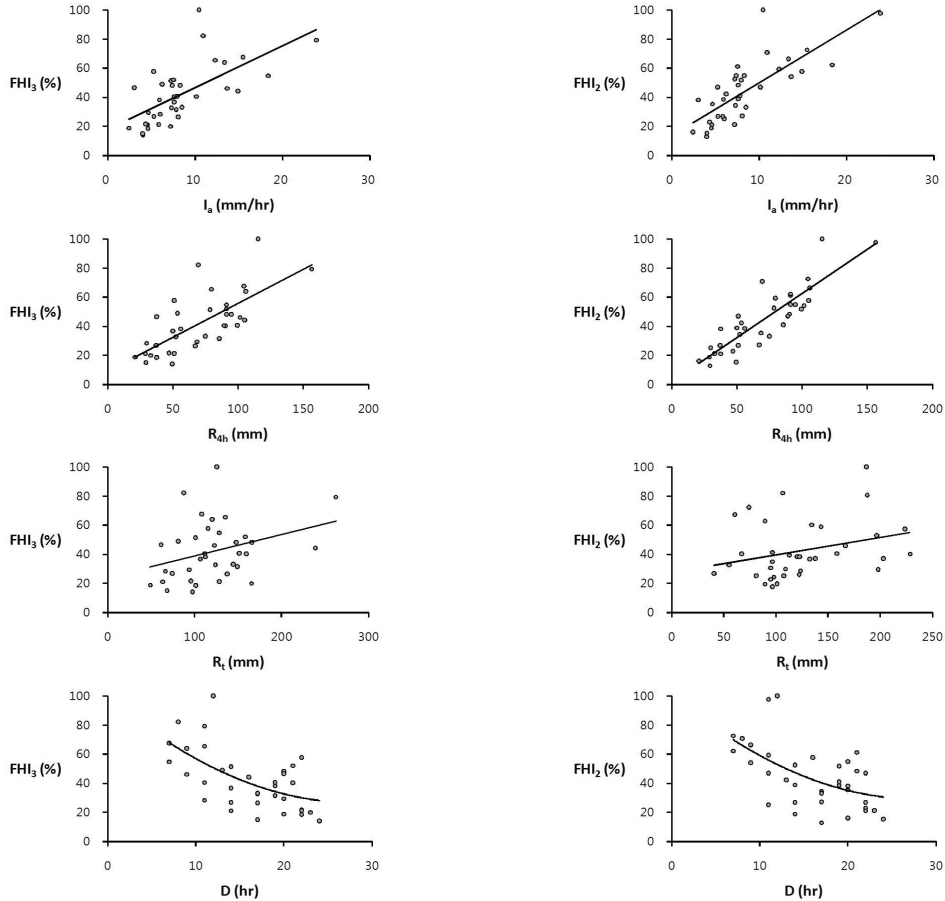


그림 4. 매곡천 강우-홍수위험지수 상관관계 곡선

홍수지수 산정방법을 이용한 FHI_3 산정결과보다 본 연구에서 제시한 FHI_2 와 강우특성과의 상관성이 크게 향상된 것으로 분석되었다. 오미천 유역의 경우, 강우특성자료 중 2시간 최대 강우량 R_{2h} 과 FHI_2 의 상관계수가 0.605로 상대적으로 가장 높게 나타났으며, 매곡천 유역의 경우 4시간 최대 강우량 R_{4h} 과 FHI_2 의 상관계수가 0.765로 가장 크게 나타났다. 이는 유역면적이 더 크고 평지하천인 매곡천 유역에서는 보다 장기간의 강우량에 대하여 유역홍수의 특성이 영향을 받는 것으로 사료된다. 또한 두 유역에서 모두 홍수위험지수와 총강우량과의 상관성은 매우 낮은 것으로 분석되었는 바, 이를 통하여 짧은 시간에 집중된 많은 강우량이 소유역에서 발생하는 홍수의 주요 원인이 되는 것을 확인

할 수 있었다. 이와 같이 유역특성에 따라 강우특성-홍수위험지수의 관계곡선식을 산정하면 강우예측을 통해 신속하게 발생할 홍수의 심도예측이 가능하므로, 미계측 소유역의 홍수예경보를 위한 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. ☺

● **참고문헌**

1. 김병식, 김형수 (2008). 유출수문곡선과 돌발홍수지수를 이용한 돌발홍수심도 산정. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제41권, 제2호, pp. 185-196.
2. 소방방재청 중앙재난안전대책본부 (2007). “재해연보”, 소방방재청 평가관리팀.
3. 원주시 (2007). “오미천 하천정비기보계획 보고서”.
4. 정채철 (2000). 돌발홍수지수 산정에 관한 연구(보청천을 중심으로). 석사학위논문. 수원대학교 대학원.
5. 충청남도 (2004). “매곡천수계 하천정비기본계획 보고서”.
6. 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.
7. Kyiamah, G.K.A. (1996). “Monitoring and Characterization of Flash Flood”, Dept. of Civil Engrg, University of Louisville, MS thesis.