

산지하천 유역의 한계유출량 분석을 위한 기준우량 산정

김 동 필* / 김 주 훈** / 이 동 루***

Estimation of Trigger Rainfall for Threshold Runoff in Mountain River Watershed

Dong Phil Kim* / Joo Hun Kim** / Dong Ryul Lee***

요지 : 본 연구에서는 산지하천 유역인 설마천 유역에 대하여 GIS기법을 이용한 지형기후학적 순간단위도(GcIUH)를 유도하고, 돌발홍수 예측을 위한 기준우량을 산정하는 것을 목적으로 하고 있다. GIS기법을 적용하여 GcIUH를 유도하였으며, 유효우량을 산정하기 위한 NRCS-CN값을 산정하였다. 산정된 GcIUH를 이용하여 2011년 주요 호우사상에 대하여 분석하였다. 그 결과 전적비교의 경우 한계유출량을 초과하지 않는 것으로 분석되었으며, 사방교의 경우 모의된 침투유출량이 약 149.4m³/s로 한계유출량을 초과하는 것으로 분석되었다. 기준우량을 산정하기 위하여 50년 빈도의 설계홍수량에 해당하는 수심을 한계수심으로 설정하고, 지속기간을 고려하여 돌발홍수 기준우량을 산정하였다. 향후에는 다양한 홍수사상에 대하여 분석하고 이를 통해 한계유출량 및 기준우량의 적합성을 평가하고자 하며, 이를 바탕으로 산지하천 유역의 특성을 고려한 돌발홍수예측시스템 프로토타입을 개발하고자 한다.

핵심용어 : 산지하천, 지형기후학적 순간단위도, 돌발홍수, 기준우량, 한계유출량

Abstract : This study is on the purpose of leading Geomorphoclimatic Instantaneous Unit Hydrograph(GcIUH) by using GIS Techniques, and estimating trigger rainfall for predicting flash flood in Seolmacheon catchment, mountain river watershed. This study leads GcIUH by using GIS techniques, calculates NRCS-CN values for effective rainfall rate, and analyzes 2011 main rainfall events using estimated GcIUH. According to the results, the case of Memorial bridge does not exceed the amount of threshold runoff, however, the case of Sabang bridge shows that simulated peak flow, approximately 149.4m³/s, exceeds the threshold runoff. To estimate trigger rainfall, this study determines the depth of 50 year-frequency designed flood amount as a threshold water depth, and estimates trigger rainfall of flash flood in consideration of duration. Hereafter, this study will analyze various flood events, estimate the appropriateness of trigger rainfall as well as threshold runoff through this analysis, and develop prototype of Flash Flood Prediction System which is considered the characteristics of mountain river watershed on the basis of this estimation.

keywords : mountain river, GcIUH, flash flood, trigger rainfall, threshold runoff

1. 서 론

기상청 보도자료(2009)에 의하면 국지성 호우 및 돌발홍수 발생과 관련이 깊은 일 최고 강수량이

최근 증가하는 경향을 보이고 있으며, 특히 강원지역을 포함하는 한강수계의 증가경향이 두드러지며, 남한지역은 해안지역에 비해 내륙지역에서의 국지성 돌발홍수가 크게 증가하는 것으로 나타났다.

+ Corresponding author : dpkim@kict.re.kr

* 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 수석연구원 · E-mail : dpkim@kict.re.kr

** 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 수석연구원 · E-mail : jh-kim@kict.re.kr

*** 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구위원 · E-mail : dryl@kict.re.kr

전 세계적으로 기후변화의 영향으로 강우의 집중화 현상에 따라 발생하는 국지적 홍수에 의한 피해가 증가하고 있는 추세로 수문학적 관점에서 과거 홍수사상의 유출량자료 등을 이용하여 지역별 홍수특성을 이해하고자 하는 연구들이 수행되어 왔다. 최근에는 국지홍수 연구에 있어 시·공간적 특성을 지닌 강우를 레이더 자료를 활용하여 돌발홍수를 유발하는 지역적 강우자료 분석에 관한 연구가 수행되고 있으며, 또한 레이더 강우자료를 활용한 돌발홍수 예경보시스템에 관한 연구가 이루어지고 있다.

한편, 하천에서의 홍수(river flood)는 상류유역에서 장기간의 큰 강우에 의해 수위가 상승하고 홍수가 하류로 이동하면서 발생하는데 반해, 돌발홍수(flash flood)는 6시간 이내의 강하고 과도한 강우로 인해 발생하는 홍수(Sweeney 1992)를 의미하며, 대체로 유역이 작고 유역의 유출응답이 빠른 유역에서 발생한다. 이러한 돌발홍수의 개념에서 한계유출량은 하천의 제방을 월류하기 시작하여 홍수를 일으키기 시작할 때의 유효우량으로 정의되며, 유역과 하천 채널의 여러 가지 특성에 좌우된다. 강우에 따른 유출현상은 유역의 크기에 따라 유출량이 결정되며, 이 유출량은 하도의 경사와 하천바닥의 조도에 따라 물을 하류로 이동시키는 속도가 조절되며 하류지역에 유출부하 특성으로 나타난다.

돌발홍수 및 한계유출량 산정을 위한 수문학적 해석 모형은 토양수분이 포화된 상태에서 소하천의 제방이 월류를 시작할 때의 유효우량인 한계유출량(threshold runoff)을 계산하고 소하천에서 특정시간 이내에 홍수가 발생하기 시작할 때의 강우량인 돌발홍수능(flash flood guidance, FFG)를 산정하게 된다.

국내의 경우 1990년대 초반 GIS 개념이 도입된 이후 다양한 GIS 관련 정보가 구축되어 기상학적 영향뿐만 아니라 지형학적 영향을 충분히 고려해야 하는 수자원 분야에서도 지리정보를 정확하게 분석한 후 각종 수리·수문 해석에 활발히 적용되고 있다. 유역의 강우에 따른 유출응답에

관한 지형학적 특성을 반영할 수 있는 대표적인 단위도로는 Rodriguez-Iturbe와 Valdes(1979)에 의해 제안된 지형학적 매개변수를 갖는 순간단위도(Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph, GIUH)가 있으며, 이 방법을 Snyder의 경험적인 계수들의 불확실성을 소거하는 물리적 기반의 방법이다.

Rodriguez-Iturbe 등(1982a, 1982b)은 첨두속도를 의미하는 V 가 주관적으로 결정되는 매개변수로 지형학적 순간단위유량도(GIUH)의 단점을 지적하고, 이후 이들은 유효 강우강도와 강우 지속시간의 함수로 표시된다고 정의하고 첨두속도 V 를 결과에서 제거하여 지형기후학적 순간단위유량도(Geomorphoclimatic Instantaneous Unit Hydrograph, GcIUH)를 제안하여 GIUH를 개선하여 오늘날까지 발전해 오고 있다.

GIS를 활용한 돌발홍수 및 지형학적·지형기후학적 순간단위도 유도 및 한계유출량에 관한 연구에서 Sweeney(1992)는 돌발홍수능의 표준적인 산정 알고리즘을 제시하였고, Carpenter 등(1993)은 GIS와 연계하여 돌발홍수능을 산정하는데 중요한 한계유출량 산정방법에 관해 연구하였다. 국내의 경우 김운태 등(2002)이 GIS를 이용한 미소유역 규모의 한계유출량 산정 시스템을 개발한 바 있으며, 황창섭 등(2006)이 돌발홍수 기준우량을 결정하는 연구를 수행하였고, 황보종구(2007)는 국내 유역에 적합한 GcIUH 산정방안에 관한 연구를 수행한 바 있다. 김주철 등(2011)은 보청천 유역에 대하여 확산-유추 지형학적 순간단위도의 최적 매개변수를 추정하였으며, 평균 첨두유량과 첨두시간의 비교를 통하여 매개변수를 검증하였다.

한편, 한계유출량과 관련한 연구에서 최현 등(2005)은 한계수심을 0.5m, 0.7m, 1.0m로 설정하고 한계유출량을 발생시키는 강우량을 산정하였다. 신현식 등(2004)은 한계수심을 0.5m로 설정하고 한계유출량에 대한 기준우량을 제시한 바 있으며, Carpenter 등(1993)이 제시한 한계유출량 산정방법 4가지 방법 중에서 한계유출량을 2년

빈도 홍수량으로 제시하였다. 배덕효(2002)는 “돌발홍수예측 모델링 기법”에서 Carpenter 등(1993)이 제시한 방법을 소개하고 있다. 그러나, 국내 하천의 하천정비기본계획에서는 50년 빈도 이상으로 설계홍수량을 제시하고 있어 실제 제방을 월류하는 한계유출량 산정 시 이를 고려하여 적용해야 한다.

본 연구에서는 한국건설기술연구원에서 1995년부터 운영해 온 설마천 유역의 2011년 7월 26일~28일 호우사상에 대하여 GIS 기법을 활용하여 유역의 지형학적 매개변수들을 결정하고, GcIUH를 산정하여 단위도의 적용성을 검증하며, 설마천의 50년 빈도 설계홍수량(경기도, 2003)을 한계유출량으로 하는 기준우량을 산정하는 것을 목적으로 하였다.

2. 기본 이론

2.1 한계유출량

돌발홍수의 개념에서 한계유출량은 소하천의 제방을 월류하기 시작하여 홍수를 일으키기 시작할 때의 유효우량으로 정의되며, 또한 강우에 의한 하천의 수위가 안전성을 위협하는 한계수심 이상으로 증가하게 될 경우의 기준우량을 지속기간을 고려하여 각 지속기간에서 한계유출량을 초과하게 되는 강우량을 결정할 수 있으며, 이때의 강우량이 돌발홍수 기준우량으로 정의되며, 이는 유역과 하천의 특성에 따라 좌우된다.

한계유출량의 개념은 식 (1)에서와 같이 단위도의 침투유량 Q_{pR} 에 유역의 면적 A 와 유효우량 R 을 곱한 값이 유역 출구에서의 제방월류 유량 Q_p 와 동일하다는 근거하에 산정될 수 있다. 여기서 단위도의 기본개념은 특정 단위 시간 동안 균일한 강도로 유역 전반에 걸쳐 균등하게 내리는 단위 유효우량으로 인해 발생하는 직접유출 수문 곡선이다.

또한 한계유출량 R 은 식 (1)에서 유효우량에 해당하며, 이는 다음 식 (2)와 같이 표현된다.

$$Q_p = Q_{pR} \cdot R \cdot A \quad (1)$$

$$R = \frac{Q_p}{q_{pR} \cdot A} \quad (2)$$

여기서, 제방월류 유량 Q_p 를 결정하는 방법에는 하도단면의 특성을 이용한 Manning 공식으로부터 산정하는 방법과 2년 빈도의 홍수량을 제방 월류 유량으로 가정하여 산정하는 방법이 있다(배덕효, 2002).

통상 강우-유출 모형의 경우 강우량과 토양수분이 모형의 입력값이 되지만 돌발홍수능은 그 반대의 개념으로 현재 토양수분의 상태와 필요한 유량이 돌발홍수능을 산정하기 위한 입력값이 되며, 돌발홍수능은 토양의 수분상태, 즉 건조한 상태의 돌발홍수능(FFGD)와 습윤한 상태의 돌발홍수능(FFGW)와 같이 개념적으로 그림 1과 같이 표현할 수 있다.

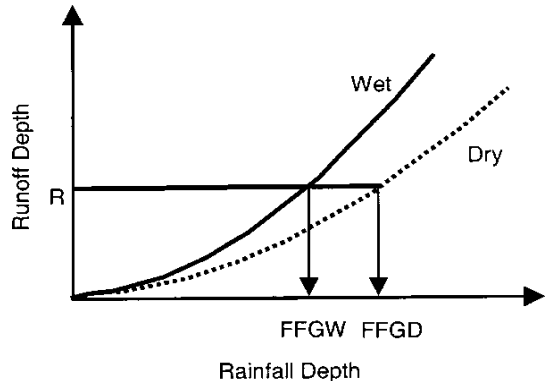


그림 1. 돌발홍수능 결정을 위한 토양조건에 따른 가상의 강우-유출 곡선(Reed et al. 2002)

단위도의 침투유량 Q_{pR} 은 실측 강우 및 유량자료가 존재하는 경우 단위도를 유도하여 결정할 수 있으나, 소하천 유역은 미세측 지역이 대부분이므로 Snyder 방법과 같은 합성단위도를 이용하는 방법과 유역의 지형학적 특성이나 Horton의 하천계수 등을 사용하는 지형학적 순간단위도를 이용하는 방법이 있다.

따라서, 한계유출량을 산정하는 방법은 다음과 같은 4가지 방법으로 요약될 수 있다(Carpenter and Georgakakos 1993).

- (1) 강터 유량 & Snyder 합성단위도
- (2) 강터 유량 & 지형학적 순간단위도
- (3) 2년 빈도 홍수량 & Snyder 합성단위도
- (4) 2년 빈도 홍수량 & 지형학적 순간단위도

여기서, 강터 유량(Bankfull discharge)은 제방을 월류하는 유량과는 다르며, 하천정비가 비교적 잘 이루어진 우리나라의 경우에는 강터 유량 개념보다는 제방을 월류하는 유량을 홍수량으로 산정하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

제방을 월류하는 유량은 Manning 공식을 이용하여 산정할 경우 단면적, 운변 등의 하도단면 자료가 요구되며, 빈도별 홍수량에 의해 산정할 경우에 빈도해석을 위한 과거의 유량자료가 필요하다. 단위도의 침투유량 Q_{pR} 을 산정하기 위해 Snyder 합성단위도법을 이용할 경우 Snyder 계수가 결정되어야 하며, 지형학적 순간단위도법을 이용하기 위해서는 유역의 하도단면과 유역 특성 값을 산정하여야 한다.

2.2 유효우량 산정

호우로 인한 직접유출에 기여하는 유효우량은 유역의 토양특성과 식생피복상태 등에 대한 상세한 자료를 가지고 총 강우량으로부터 유효우량을 산정할 수 있다. 이러한 산정 방법이 미국의 자연자원보존국(U.S. Natural Resource Conservation Service; 구 SCS - Soil Conservation Service)에서 개발한 유효우량 산정 방법이다.

NRCS 유효우량 산정 방법에서는 유효우량의 크기에 직접적으로 영향을 미치는 인자로서 토양 종류(soil type), 토지이용(land use), 식생피복 종류(vegetal cover), 처리상태(cover treatment) 및 선행토양함수조건(Antecedent soil Moisture Condition, AMC) 등이 있다. 또한, 이들 인자들이 직접유출에 미치는 복합적인 영향을 고려하여

유역의 유출지수를 결정한다.

유역의 토양특성은 강우로 인한 유출과정에 직접적인 영향을 미친다. 즉, 토양의 성질에 따라 침투능이 상이하므로, 총강우량 중 직접유출로 유효우량의 크기도 다를 수밖에 없다. 그런데 토양의 성질을 양적으로 표시하는 것이 힘들기 때문에 NRCS의 토양 침투능을 기준으로 4개의 토양군으로 분류하고 이를 토지이용 상태 및 식생피복 상태에 따라 유출곡선지수(runoff curve number, CN)를 추정하는 근거로 삼는다.

또한, 총 강우량과 유효우량 간의 관계분석에 있어 5일 혹은 30일 선행강수량을 한 유역의 선행토양함수조건을 대변하는 지수로 흔히 사용하며, 선행토양함수조건은 5일 선행강수량의 크기에 의하여 유역의 습윤정도를 분류하는 기준이 된다.

3. 적용 및 분석

3.1 대상유역 및 지형자료

본 연구의 대상유역인 설마천 유역은 설마천 전체 유역의 중류부에 위치한 영국군 전적비교를 출구점으로 하는 산지하천 유역이다(유역면적 8.47km²). 유역 상류에 마을을 중심으로 농경지가 있으며, 상류와 하류에 군부대가 위치하고 있고, 전반적으로 개발이 많이 이루어지지 않은 유역으로 유역 대부분은 산악지형으로 이루어져 있으며, 전형적인 곡류하천의 형태를 보이고 있다(한국건설기술연구원, 2011).

본 유역은 1995년부터 한국건설기술연구원의 시험유역으로 운영하고 있으며, 매우 작은 유역임에도 강우량관측소 6개소, 하천수위관측소 2개소(사방교 수위관측소는 2011년 7월 26일~28일 호우 시 유실), 지하수위관측소 2개소 및 자동기상관측소(AWS) 1개소를 운영하고 있으므로 비교적 많은 관측자료를 확보할 수 있어 향후 다양한 분석이 가능한 유역이다.

사용된 GIS 자료는 수치고도모형(DEM) 자료(WAMIS), 중분류 토지피복도 자료(환경부), 정

밀토양도(1/25,000) 자료(국립농업과학원)를 이용하였다. 수치고도모형 자료로부터 흐름방향, 흐름누적, 유역경사, 하상경사, 하천길이 등의 값을 추출할 수 있다.

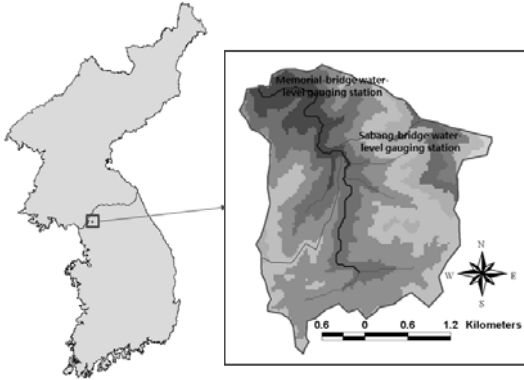


그림 2. 설마천 유역도

3.2 유효우량

강우에 따른 유역의 유출응답을 반영하는 유효우량을 산정하기 위하여 NRCS의 CN방법을 적용하였으며, 사용된 자료는 중분류 토지피복도 자료와 정밀토양도(1/25,000) 자료를 이용하여 표 1과 같이 유효우량을 산정하는 CN값을 계산하였다.

설마천 유역의 수문학적 토양형은 A, B 및 C로 분석되었고, 전적비교의 경우 사방교와 마찬가지로 산림지역이 87.5%, 시가화지역이 5.7%, 농업지역이 2.8%로 산림지역이 대부분을 차지하고 있으며, AMC-II 조건에서 CN값은 59.5로 분석되었다. 사방교도 산림지역(활엽수림, 침엽수림, 혼효림)이 84.8%, 시가화지역(주거, 상업, 교통, 공공시설지역)이 9.0%, 농업지역이 2.7%로 분석되었고, AMC-II 조건에서 CN값은 61.8로 분석되었다.

표 1. 토양형-식생피복형별 면적 및 CN값(전적비교, AMC-II 조건)

토지피복 분류	토양형								면적 (km ²)	평균 CN
	A		B		C		D			
	면적 (km ²)	CN	면적 (km ²)	CN	면적 (km ²)	CN	면적 (km ²)	CN		
110 주거지역	0.07	77	0.07	85					0.14	81.1
130 상업지역					0.00	94			0.00	94.0
150 교통지역	0.05	98	0.02	98					0.07	98.0
160 공공시설지역	0.05	49	0.21	69					0.26	65.1
220 밭	0.03	74	0.12	83	0.00	88			0.14	81.3
250 기타재배지	0.02	59	0.02	74	0.05	82			0.09	74.0
310 활엽수림	0.69	45	3.11	66	0.09	77			3.89	62.6
320 침엽수림	0.14	30	1.22	55					1.36	52.4
330 혼효림	0.57	36	1.60	60					2.17	53.7
420 인공초지	0.10	39	0.20	61					0.30	53.7
620 기타나지	0.00	77	0.03	86	0.00	91			0.04	85.4
710 내륙수			0.01	98					0.01	98.0
합계	1.72	44.0	6.61	63.1	0.15	79.3			8.47	59.5

3.3 지형인자 및 한계유출량

GIS 기법의 적용결과를 통해 산정된 설마천 유역의 지형학적 특성은 표 2와 같다. 본 연구에서는 비교적 짧은 기간의 자료를 이용한 빈도분석보다는 Manning의 공식으로부터 제방율류 유량을 산정하는 방법을 적용하였다. 설마천 유역의 경우 50년 빈도 설계홍수량을 한계유출량으로 결정하

였으며, 유역출구인 전적비교의 경우 한계유출량은 225m³/s, 한계 유출량에 해당하는 수위는 3.48m(EL.55.10m) 이다. 사방교의 경우 한계유출량은 130m³/s(전적비교와 동일하게 225m³/s로 산정되어 있으나, 본 연구에서는 유역면적비를 고려하여 결정함), 한계 유출량에 해당하는 수위는 2.95m(EL.106.45m) 이다(경기도, 2003, 한국건설기술연구원, 2011).

표 2. 설마천 유역 지형인자 및 한계유출량

하천 특성	유역명	사방교(중간 소유역)		전적비교(유역출구)	
		1차하천	2차하천	1차하천	2차하천
하천수		4	1	6	1
하천연장(km)		5.20	2.20	9.57	4.63
면적(km ²)		3.99	1.27	5.63	2.84
총면적(km ²)		-	5.26	-	8.47
분기율(R_b)		-	4.00	-	6.00
차수별 평균 하천길이(km)		1.30	2.20	1.59	4.63
하천길이비(R_L)		-	1.70	-	2.90
차수별 평균면적(km ²)		1.00	1.27	0.94	2.84
면적비(R_a)		-	1.17	-	1.98
유역출구 하천폭(m)		-	15.80	-	25.18
하천 평균폭(m)		-	10.55	-	20.49
하상경사(m/m)		-	0.020	-	0.025
한계수심(m)		-	2.95	-	3.48
한계유출량(m ³ /s)		-	130	-	225

3.4 GcIUH 적용

표 2의 지형인자 자료를 바탕으로 Rodriguez-Iturbe가 제시한 GcIUH를 그림 3과 같이 산정하였으며, 동일한 호우사상 조건에서 전적비교, 사방교 모두 지속기간별 GcIUH 단위도의 침투유량은 특히 상승구간에서 매우 일치하는 거동을 보인다. 따라서 유도된 GcIUH 단위도는 매우 양호한 결과를 보이는 것으로 분석되었으며, 전적비교의 침투도달시간 및 침투유량은 1.25시간, 17.87m³/s, 사방교는 0.99시간, 14.57m³/s로 산정되었다.

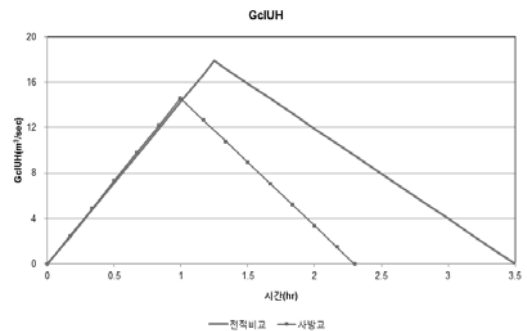


그림 3. 설마천 유역 GcIUH

유도된 GcIUH 단위도를 2011년 7월 26일~28일의 실제 호우사상에 적용하였다. 성수기(growing season)의 5일 선행강우량의 크기에 따라 선행토양함수조건을 고려하였으며, 5일 선행강우량이 78.6mm(11.07.24 06:40~07.25 11:20)이므로 AMC-III 조건인 유출률이 대단히 높은 상태(토양수분 90%)의 초기 토양수분량을 함유한 조건이다.

적용결과 그림 4와 같이 전적비교의 경우 관측 침투유출량은 191.8m³/s 이였고, 모의된 침투홍수량은 약 175.2m³/s로 한계유출량인 225m³/s보다는 작은 값으로 제방을 월류하지 않는 것으로 분석되었다. 이때의 침투유출량이 발생할 때의 총 강우량은 218.4mm 이였고, 강우지속기간은 280분, 10분 최대 강우량은 16.4mm를 기록하였다(2011. 07.27 15:30~20:10).

사방교의 경우는 그림 5에서 보는 바와 같이 GcIUH 단위도를 이용하여 모의한 결과 침투홍수량은 약 149.4m³/s로 한계유출량 130m³/s를 초과하였으며, 초과한 기간은 60분으로 나타났다. 이

때의 침투유출량이 발생할 때의 총 강우량은 208.7mm, 강우지속기간은 270분, 10분 최대강우량은 16.0mm를 기록하였다(2011.07.27 15:30~20:00). 전적비교, 사방교 모두 강우지속기간의 총 강우량은 약 100년 빈도(전적비교 약 215mm, 사방교 약 210mm)에 해당하는 재현기간을 산정할 수 있다(건설교통부, 2000).

이 기간에 홍수과와 많은 토사유출의 영향으로 사방교는 하천제방 석축의 붕괴와 수위관측시설물 및 관측장비가 유실되는 피해가 발생하였다(이의 원인으로 관측 침투유출량 산정이 불가한 상황이 발생함). 전적비교와 사방교 구간은 하천정비가 이루어지지 않은 구간(하천연장 거리 2.43km)으로 산지하천의 유출특성에 기인한 매우 짧은 도달시간, 많은 토사유출과 계획홍수량이 고려되지 않은 수공구조물의 설치에 의해 교량붕괴와 무제부 구간으로 월류가 발생한 상황에 놓여 있었다. 이의 원인으로 전적비교는 사방교와 달리 한계유출량이 발생하지 않은 것으로 미루어 볼 수 있다(김동필 등, 2011).

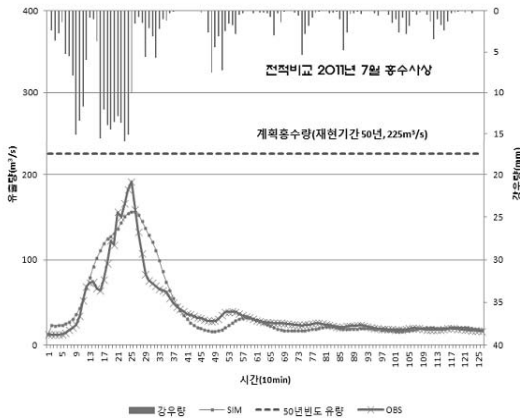


그림 4. GcIUH 단위도 분석결과(전적비교)

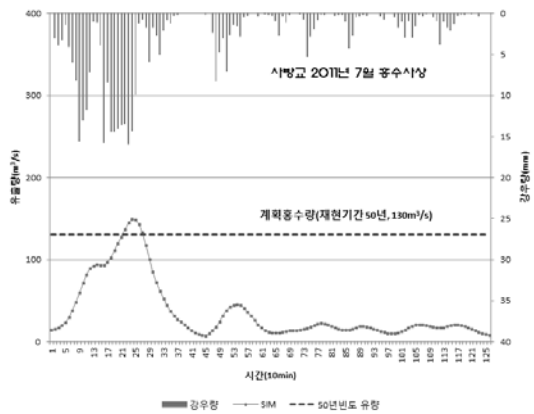


그림 5. GcIUH 단위도 분석결과(사방교)

3.5 돌발홍수 기준우량 산정

본 연구에서는 임진강(I 지구) 하천정비기본계획(경기도, 2003)에서 제시된 50년 빈도 설계홍수량에 해당하는 수위를 한계수심으로 설정하였다. 이

한계수심은 GIS와 기존 자료를 바탕으로 Manning 공식의 제방월류 유량을 산정하는 방법을 적용하였고, 전적비교 및 사방교에 대해서 각각 약 3.48m(EL.55.10m)와 약 2.95m(EL.106.45m)를 초과하는 수위의 유량을 한계유출량으로 결정하였다.

GIS 기법을 통해 산출된 GcIUH 매개변수들을 이용하여 지속기간을 10분에서 60분까지 10분 간격으로 증가시키면서 강우량의 변동성을 분석하였다. 한편, NRCS의 유효우량 산정시 차단, 침투, 지면저류를 고려하여 초기손실이 없는 경우와 초기손실 10% 및 20%를 고려하여 기준우량을 산정할 수 있으나, 본 연구에서는 초기손실이 없는 조건에서의 유효우량을 돌발홍수 기준우량으로 결정하였다.

그림 6~7 및 표 3은 지속기간별 강우량에 따른 홍수유출량을 산정하였다. 산정결과 한계유출량을 초과하게 되는 강우량(mm/10min)은 전적비교와 사방교 모두 동일하게 지속기간 10분 동안

7mm, 20분 동안 9mm, 30분 동안 12mm, 40분 동안 14mm, 50분 동안 16mm, 60분 동안 17mm 강우량이 돌발홍수 기준우량으로 분석되었다.

3.4절에서 침투유출량이 발생할 때의 전적비교, 사방교의 강우지속기간 280분, 270분의 50년 빈도 강우량은 약 195mm, 약 190mm로 산정되며(건설교통부, 2000년 한국확률강우량도 작성 확률강우량의 보간법 적용), 돌발홍수 기준우량으로 산정된 지속기간 10분의 7mm 강우량(mm/10min)을 강우지속기간 280분, 270분의 강우량으로 환산하면 전적비교는 196mm, 사방교는 189mm로 전·후자의 산정방법은 매우 근사한 값을 갖는다.

표 3. 지속기간별 돌발홍수 기준우량 및 홍수유출량

강우량 (mm/10min)	지속기간(min)											
	10		20		30		40		50		60	
	사방교 (m ³ /s)	전적 비교 (m ³ /s)	사방교 (m ³ /s)	전적 비교 (m ³ /s)	사방교 (m ³ /s)	전적 비교 (m ³ /s)	사방교 (m ³ /s)	전적 비교 (m ³ /s)	사방교 (m ³ /s)	전적 비교 (m ³ /s)	사방교 (m ³ /s)	전적 비교 (m ³ /s)
5	76.9	132.7	47.0	81.1	29.0	50.0	22.2	38.2	17.6	30.4	14.6	25.2
6	106.7	184.2	65.2	112.6	40.2	69.4	30.8	53.1	24.5	42.2	20.3	35.0
7	140.8	243.1	86.1	148.6	53.0	91.6	40.6	70.1	32.3	55.7	26.7	46.2
8	179.1	309.2	109.5	189.0	67.5	116.5	51.6	89.1	41.0	70.9	34.0	58.7
9	221.4	382.2	135.4	233.7	83.4	144.0	63.8	110.2	50.7	87.6	42.0	72.6
10	267.6	462.0	163.6	282.5	100.8	174.0	77.1	133.2	61.3	105.9	50.8	87.7
11	317.7	548.4	194.2	335.3	119.7	206.6	91.6	158.1	72.8	125.7	60.3	104.1
12	371.6	641.4	227.2	392.2	140.0	241.6	107.1	184.9	85.2	147.0	70.6	121.8
13	429.2	740.8	262.4	453.0	161.7	279.1	123.7	213.5	98.4	169.8	81.5	140.7
14	490.4	846.6	299.8	517.6	184.7	318.9	141.4	244.0	112.4	194.0	93.1	160.7
15	555.2	958.5	339.5	586.0	209.2	361.1	160.0	276.3	127.3	219.7	105.4	182.0
16	623.6	1,076.6	381.3	658.2	234.9	405.5	179.8	310.3	142.9	246.7	118.4	204.4
17	695.6	1,200.7	425.3	734.1	262.0	452.3	200.5	346.1	159.4	275.2	132.1	228.0
18	770.9	1,330.8	471.3	813.7	290.4	501.3	222.2	383.6	176.7	305.0	146.4	252.7
19	849.7	1,466.8	519.5	896.8	320.1	552.5	244.9	422.8	194.8	336.2	161.3	278.5
20	931.9	1,608.7	569.8	983.6	351.0	606.0	268.6	463.7	213.6	368.7	177.0	305.5

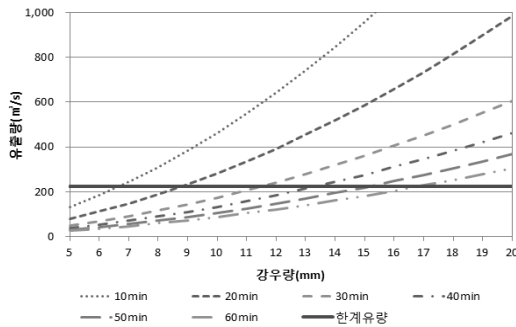


그림 6. 지속기간-돌발홍수 기준우량 (전적비교)

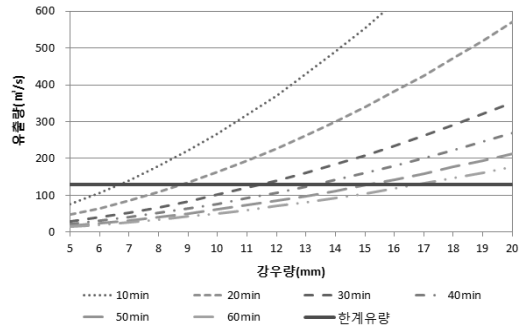


그림 7. 지속기간-돌발홍수 기준우량 (사방교)

4. 결 론

본 연구에서는 한국건설기술연구원에서 운영하고 있는 설마천 유역에 대하여 GIS기법을 이용한 GcIUH를 유도하고, 실제 호우사상에 적용하여 그 적용성을 입증하였다. 그리고 강우지속기간별로 제방일류의 한계유출량을 발생시키는 돌발홍수 기준우량을 산정하였으며, 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) GIS기법을 적용하여 유역의 지형지후학적 특성을 반영하는 단위도를 유도하였고, 유역의 강우에 따른 유출 응답을 나타내는 유효우량을 산정하기 위한 NRCS-CN값을 산정하였다.
- (2) 동일한 호우사상 조건에서 유도된 전적비교, 사방교의 GcIUH 단위도는 모두 지속기간별 상승구간에서 매우 일치하는 거동을 보이는 것으로 분석되었으며, 전적비교의 침투도달시간 및 침투유량은 1.25시간, 17.87m³/s, 사방교는 0.99시간, 14.57m³/s로 산정되었다.
- (3) 유도된 GcIUH를 이용하여 2011년 7월 26일~28일 실제 호우사상에 적용한 결과 전적비교의 경우 관측 및 모의된 침투유출량은 한계유출량을 초과하지 않는 것으로 분석되었으며, 사방교의 경우 모의된 침투유

출량은 약 149.4m³/s로 한계유출량인 130 m³/s를 초과한 것으로 분석되었다.

- (4) 제방일류의 한계유출량을 발생시키는 기준우량을 산정하기 위하여 50년 빈도의 설계홍수량에 해당하는 수심을 한계수심으로 설정하였고, 지속기간을 고려하여 돌발홍수 기준우량을 산정하였다.

향후에는 다양한 홍수사상에 대하여 한계유출량 및 기준우량의 적합성을 평가하고, 이를 바탕으로 산지하천 유역의 특성을 고려한 돌발홍수에 측시스템 프로토타입을 개발하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 주요사업인 산지하천 유역의 홍수예측을 위한 수문조사의 연구비지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 건설교통부. 2000. 한국확률강우량도 작성.
 경기도. 2003. 임진강(I지구) 하천정비기본계획. pp 628-629.
 기상청. 2009. 한반도 내륙지역 국지성 돌발홍수 크게 증가, 기상청 보도자료(<http://web>).

kma.go.kr/notify/press/kma_list.jsp?bid=press&mode=view&num=1191067).

김동필, 이남훈, 이동률. 2011. 2011년 7월 설마천 시험유역의 호우피해 분석. 한국수자원학회지 44(10): 49-55.

김운태, 배덕효, 조천호. 2002. 돌발홍수예보를 위한 미소유역의 한계 유출량산정. 한국수자원학회논문집 35(5): 553-561.

김주철, 최용준. 2011. 확산-유출 지형학적 순간단위도 모형의 최적매개변수 추정. 한국습지학회지 13(3): 385-394.

배덕효. 2002. 돌발홍수예측 모델링 기법. 한국수자원학회지 35(4): 11-28.

신현석, 김홍태, 박무중. 2004. GIS와 GCUH를 이용한 돌발홍수 기준우량 산정의 타당성 검토 연구. 한국수자원학회 논문집 37(5): 407-424.

최현, 남광우. 2005. 산악에서 돌발홍수예측을 위한 지리정보시스템의 적용. 대한원격탐사학회 21(4): 317-327.

한국건설기술연구원. 2011. 산지하천 유역의 홍수예측을 위한 수문조사, 연구보고서. 건기연 2011-069.

황보종구. 2007. 국내유역에 적합한 GcIUH 산정방안에 관한 연구. 석사학위논문, 인하대학교. pp 76.

황창섭, 전계원, 연인성. 2006. GIS를 이용한 돌발홍수 기준우량 결정. 한국지리정보학회지 9(1): 78-88.

Carpenter TM, Georgakakos KP. 1993. GIS-based Procedures in Support of Flash

Flood Guidance. NOAA/NWS/IIHR Report. No. 336.

Reed S, Johnson D, Sweeney T. 2002. Application and National Geographic Information System Database to Support Two-Year Flood and Threshold Runoff Estimates. Journal of Hydrologic Engineering. 7(3): 209-219.

Rodriguez-Iturbe I, Valdes JB. 1979. The geomorphologic structure of hydrologic response. Water Resources Research. 15(6): 1409-1419.

Rodriguez-Iturbe I, Gonzalez-Sanabria M, Bras RL. 1982a. A geomorphoclimatic theory of the instantaneous unit hydrograph. Water Resources Research. 18(4): 877-886.

Rodriguez-Iturbe I, Gonzalez-Sanabria M, Camano G. 1982b. On the climatic dependence of the IUH : A rainfall-runoff analysis of the Nash model and the geomorphoclimatic theory. Water Resources Research. 18(4): 887-903.

Sweeney TL. 1992. Modernized Areal Flash Flood Guidance. NOAA Technical Memorandum, NWS HYDRO 44, NWS Office of Hydrology.

- 논문접수일 : 2012년 08월 04일
- 심사의뢰일 : 2012년 08월 07일
- 심사완료일 : 2012년 11월 12일