

## 단기 홍수 사상의 특성과 ReFH 강우유출모형 검정의 관계\*

- 증평 유역 -

### Relationships between the Characteristics of Short Flood Events and Calibration of ReFH Model at Jeungpyeong Catchment, Korea

Hyung Joon Chang\*\*, Hyosang Lee\*\*\*\*, Kazimierz Banasik, Pavol Miklanek,  
School of Civil Engineering, 102, E8-6, Chungbuk National University, 52 Naesudong-ro, Heungduk-gu,  
Cheongju, Korea

Warsaw University of Life Sciences-SGGW, Department of Water Engineering, 166 Nowoursynowska  
str., PL-02-787 Warsaw, Poland

Institute of Hydrology of the Slovak Academy of Sciences, Slovakia

#### Abstract

Rainfall runoff models have been used as main tool for water management in the catchment. The majority of the practical models in water managements are a type of conceptual models. This study aim to define relationships between characteristics of short term flood events and calibration of the ReFH(Revitalized Flood Hydrograph model). Ten flood events of Jeungpyeong in the period of 2000 and 2013 are analyzed with model performances and characteristics of flood, such as the maximum rainfall intensity, runoff ratio, peak rainfall-flood time difference and etc. the. The results indicate that a larger quantitative magnitude of the event(flood peak, maximum rainfall intensity, etc.) better performance in calibration. However, prior rainfall to flood events does not show a clear correlation. The calibrated parameters of the model(i.e.,  $C_{max}$ ,) of flood events are consistent, which reflect the unique characteristics of the watershed. The results of this study are used as a basis for future studies of regionalization of rainfall

---

\* 본 연구는 국토교통부 건설교통기술 지역특성화사업 연구개발사업의 연구비지원(13RDRP-B066173)과 한국연구재단(미래부) 과학기술국제화사업의 연구비지원(NRF-2012K1A3A7A03052516)에 의해 수행되었습니다.

\*\* First author. Tel. +82-43-272-0312. E-mail. param79@chungbuk.ac.kr

\*\*\* Corresponding author. Tel. +82-43-261-2379. Fax. +82-43-275-2377, E-mail. hyosanglee@chungbuk.ac.kr

Submission & Publication Process

Received: Nov. 18, 2014 / Revised: Dec. 14, 2014 / Accepted: Jan. 20, 2015

runoff model for Geum river region.

**Key words:** conceptual rainfall runoff model, calibration, characteristics of flood events, NSE, Jeungpyeong

### 국문초록

최근 급증하는 이상 기후 및 기후 변화의 영향 등으로 인하여 수자원관리의 어려움이 증대되고 있다. 유역의 수자원관리는 강우 유출모형의 적용을 바탕으로 하고 있으며, 개념적 강우 유출모형은 실무에 많이 적용되고 있다. 본 연구에서는 단기 홍수 수문사상의 특성이 강우유출모형의 매개변수 검정에 미치는 영향을 평가 한다. 대표적인 개념적 강우 유출모형(ReFH)을 한국의 증평 유역의 최근 10개 홍수사상(2000-2013년)에 적용하여 평가 한다. 증평 유역의 단기 홍수 수문특성을 유출비, 첨두 강우-홍수량의 시간차, 최대 강우 강도 등으로 평가했으며, 이러한 특성과 모형의 성능(NSE\*) 및 매개변수의 검정치의 상관관계를 분석하였다. 분석결과, 사상의 양적 크기(첨두홍수량, 최대 강우 강도 등)가 증가 할수록 모의 성능이 개선되는 것으로 확인되었으나 선행 강우량은 뚜렷한 상관관계를 보이지 않고 있는 것으로 확인되었다. 또한 모형의 매개변수(Cmax)들은 홍수사상과 무관하게 일정한 값을 제시하여, 유역의 고유한 유출 특성을 잘 반영하고 있다고 판단된다. 본 연구 결과는 향후 강우 유출 모형의 지역화 연구 기초 자료로 활용될 수 있는 것으로 판단된다.

**주제어:** 개념적 강우-유출모형, 모형검정, 홍수사상특성, NSE, 증평

## 1. 서론

최근 급증하는 이상 기후 및 기후 변화의 영향으로 수자원관리의 어려움이 증대되고 있다. 이러한 수자원관리의 도구로서 강우 유출모형이 일반적으로 활용되고 있으며, 유역의 유량산정, 유출특성 분석 등 수자원분석의 기초자료로 제공한다. 수자원관리 실무에 적용되고 있는 강우-유출모형은 유출을 해석하는 개념에 따라 물리적(Physical based Model)모형과 매트릭(Metric Model)모형, 개념적(Conceptual Model) 모형 등으로 구분할 수 있다(최호훈, 2013). 개념적 강우-유출모형은 유역의 복잡한 수문작용을 개념화하여, 유효우량을 산정하는 토양저류 함수 모형과 유효우량을 추적하는 유역유출모형으로 구성된다. 대표적인 모형으로 영국의 홍수량 산정 실무에 적용되고 있는 ReFH(Revitalised Flood Hydrograph model)와 미 육군 공병단에서 개발 한 HEC-HMS(Hydrologic Engineering Center- Hydrologic Modeling System)등이 있다.

유역의 수문 현상은 유역이 위치한 기후대뿐만 아니라, 개별 유역의 수문환경에 영향을 받는다. 우리나라의 기후가 유럽 및 미국의 기후와 상이한 것과 마찬가지로 우리나라의 유출 특성이 이들 국가 및 유역과 상이하다. 또한 같은 기후대에 위치하더라도, 산지/평지 유역, 농촌/도시 유역 등이 다른 경우에 그 유출 특성은 매우 다르다. 이에 따라 연구자들은 각각 고유의 유출 특성을 반영한 모형들을 개발 하여 실무에 적용하고 있다. 국내에서는 다른 나라 유역의 수문분석 결과로 개발된 SCS방법,

Synder방법, 종합단위도법 등이 적용되고 있으며, 일반적으로 이론적 기반의 단위도법인 Clark단위도법이 적용되고 있다(국토해양부, 2012).

국내·외에서는 각국의 유역 특성을 반영한 개념적 모형들에 대한 비교 평가 연구가 활발히 이루어지고 있으며(예:유럽연합의 FloodFreq, www.Acrom.or.kr), 이러한 강우 유출모형의 개발 특성 및 적용유역에 대한 분석을 종합적인 비교 평가를 수행하는 연구가 진행되고 있다(Joo, *et. al.*, 2014, 김상호 외, 2013). 또한 홍수량 산정고하 적용의 신뢰성 향상을 위한 강우-유출모델링의 불확실성 반영에 관한 연구의 필요성이 꾸준히 제기되고 있으며, 불확실성 요인이 유량 예측에 미치는 영향(Beven, 2007)과 이를 반영한 유량 예측(Lee, *et. al.*, 2010, Nweshia, *et. al.*, 2007, Bourgin, *et. al.*, 2014)에 대한 연구가 진행 중에 있다. 최근 Monte Carlo기법과 이를 발전시킨 Monte Carlo Markov Chain기법을 적용하여 모형내의 불확실성에 대한 정량화를 수행하는 연구(Blasone, *et. al.*, 2008) 및 Bayesian 모형을 함께 활용하는 연구(Kwon, *et. al.*, 2012) 등이 가장 활발히 이루어지고 있다.

국내 유역의 수문특성과 강우 유출모형의 적용성을 분석한 연구로는 금강 유역의 유역 특성인자와 PDMM 강우-유출모형의 적용성을 평가(이소정, 2013)하여, 중규모 유역에서 모형의 적용성이 우수함을 확인 하였다. 김상호 외(2013)은 남천유역을 대상으로 ReFH적용을 위한 GIS 유역 특성인자를 도출하고, 이를 바탕으로 ReFH모형의 매개변수 산정을 제시하였다. 모형의 적용결과에 있어, 강우의 지속시간, 강우강도, 선행강우등 모형의 선행강우 일수 등이 검정에 영향을 미치는 주요 사항으로 제시되고 있다.

본 연구에서는 금강의 증평 유역의 10개 홍수사상(2000-2013년)을 ReFH모형에 적용하여 단기 홍수 수문사상 특성이 강우-유출모형의 매개변수 검정에 미치는 영향을 평가하였다.

## II. 강우 유출 모형 및 증평 연구 유역

본 연구에서는 대표적인 개념적 강우-유출모형인 ReFH(Revitalised Flood Hydrograph model)를 증평유역에 적용하였다. ReFH모형은 최근 영국에서 개선된 홍수량 산정 방법의 강우-유출모형(Kjeldsen, 2006)으로서, 현재 영국의 홍수위험도 평가, 하천관리계획등 실무에서 적용되고 있는 모형이다.

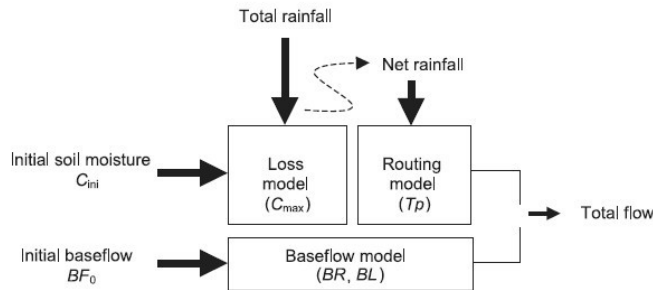
연구 유역인 증평 유역은 금강 상류에 대규모 댐이 위치하고 있지 않으며, 인위적인 홍수 조절이 이루어지지 않는 비조절 자연유역이다. 또한 Joo, *et. al.*,(2014)등 최근의 연구 논문에서 검증된 수문자료를 제공하고 있다.

모형의 적용은 ReFH모형에서 기본으로 제공되는 검정 방법에 따라 수행하였으며, 단기홍수 수문사상(10개)에 대하여 개별적으로 적용하였다. 모형의 개략적인 개요는 다음과 같다.

### 1. ReFH(Revitalised Flood Hydrograph model)

ReFH모형은 영국의 홍수량 산정 가이드라인 Flood Estimation Handbook(IH, 1999)의 보완보고서인 The revitalised FSR/FEH rainfall runoff method(CEH, 2007)에서 제시된 홍수량 산정 표준 강우-유출모형이다. 강우-유출모형의 홍수량 산정 방법은 통계적인 분석 방법(Statistical methods of flood frequency method)과 더불어 홍수수문곡선의 산정 및 홍수량 산정부분에 적용되고 있다.

ReFH 모형은 영국의 대표적 개념적 강우-유출모형인 Probability Distributed Model(More, 1985)을 바탕으로, 지표유출과 기저흐름의 상호작용을 고려한 별도의 모형으로 개발하였다. 또한 이 모형은 시간적인 측면에서 사상형 모형, 공간적인 측면에서 집중형 모형, 수문모의 측면에서 개념적 강우-유출 모형으로 분류된다. ReFH 모형은 유역의 유출을 모형화 하기 위하여 손실 부분(Loss)과 유역 유출 부분(Routing), 유역 기저 흐름 부분(Base flow)으로 구성된다. ReFH모형의 매개변수는 토양수분최대용량( $C_{max}$ : Baseflow recession constant), 유역유출부분 단위도 침투홍수량의 발생시간차( $T_p$ : Baseflow recession constant), 기저유량의 함양(BR: Baseflow recession constant), 기저유량감쇠상수(BL: Base flow lag)이다. 다음 <그림 1>은 ReFH의 개요도이다.

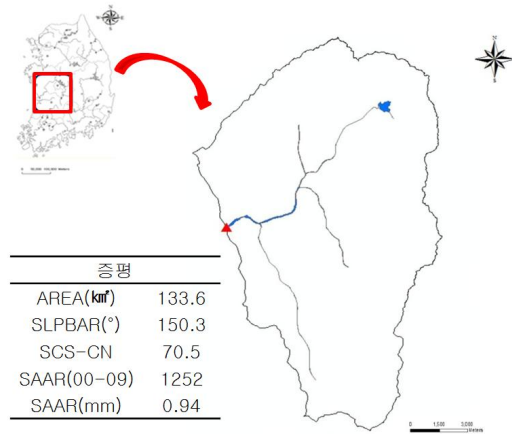


<그림 1> ReFH 개요도

※ 자료: FEH supplementary report(2006).

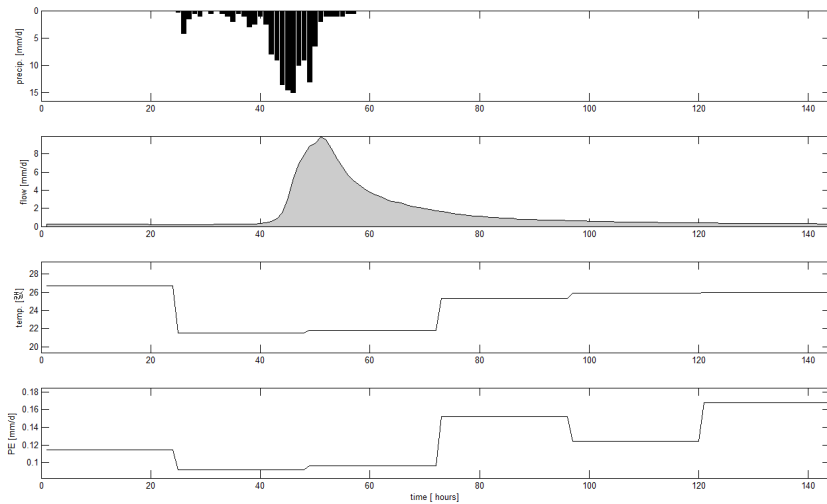
### 2. 증평 연구 유역

금강 상류의 증평유역은 미호천유역의 상류에 위치하며, 상류 지역은 산림과 농지로 이루어진 자연 유역이다. 하류 지역은 증평읍이 위치한 전형적인 소규모의 도시-농촌 유역으로 유역면적은 133.6km<sup>2</sup>이다. 증평 유역의 위치와 개략적인 특성은 <그림 2>와 같다. 증평 유역에 대하여 국가 수자원 관리종합정보 시스템(WAMIS; Water Management Information System) 및 기상청의 자료를 이용하여, 장 단기 강우-유출 자료, 유역 증발산량 자료를 산정하여 이를 활용하였다.



<그림 2> 증평 연구유역

대상 유역의 단기 수문자료는 2001년부터 2013년 기간의 시 단위의 강우량, 증발산량 및 유량 자료로 구축하였다. 강우량은 유역 인근에 위치한 청주 기상 관측소의 자료를 바탕으로 하였다. 유역의 증발산량 자료는 국제식량농업기구(FAO; Food and Agriculture Organization of the United Nations)에서 개발한 FAO Penman-Monteith방법을 이용하여 산정하였다(김재철, 2010). 유량 자료는 국가 수자원 관리종합정보 시스템의 해당 수위 관측소 자료를 수위-유량 관계곡선식을 활용하여 유량 자료로 환산하였다. <그림 3>은 증평의 단기 유출 수문자료의 예(Event 1)이다.



<그림 3> 증평 유역(Event 1)의 단기 수문자료(강우량, 유량, 온도, 증발산량)

단기 홍수사상은 유역에 단기간 발생한 호우 사상의 유역유출을 분석하기 위한 자료로서, 시간 단위의 강우량 및 유출량으로 구성된다. 증발산량자료는 홍수 시 강우-유출량에 비하여 증발산량이 현저히 작음을 고려하여 일 단위의 자료를 적용하였다.

단기 홍수 사상은 강우사상과 홍수사상이 하나의 첨두치를 갖는 사상을 우선적으로 고려하였다. 강우와 유역 유출 호응 정도(시간차 및 총량 등)를 우선적으로 고려하였으며, 선행 강우를 고려한 개별 사상의 물수지 분석을 통하여 자료의 활용여부를 검토하였다. 증평 유역의 단기 홍수 사상은 <표 1>과 같다.

<표 1> 증평 유역의 단기 홍수사상

증평		E1	E2	E3	E4	E5
Start	Date	2002/08/31	2003/05/06	2003/06/27	2005/07/09	2005/07/11
	Time	00:00	13:00	06:00	01:00	00:00
End	Date	2002/09/05	2003/05/11	2003/07/01	2005/07/10	2005/07/13
	Time	00:00	00:00	00:00	21:00	00:00
증평		E6	E7	E8	E9	E10
Start	Date	2005/09/17	2005/09/21	2007/07/23	2007/09/16	2010/08/10
	Time	14:00	01:00	11:00	02:00	01:00
End	Date	2005/09/21	2005/09/24	2007/07/27	2007/09/18	2010/08/11
	Time	00:00	00:00	00:00	20:00	01:00

선정된 홍수 사상의 특성을 분석하기 위하여, 홍수 사상 지속기간중의 총강우량, 홍수 사상의 강우량에 대한 총 유출량의 비율, 최대 강우강도, 홍수 사상의 발생 전 5일기간의 총강우량, 홍수 수문곡선의 최대 홍수량, 최대 강우 강도와 첨두 홍수량 발생 시간과의 차를 지체 시간으로 검토하였다. 증평의 선정된 홍수 사상의 특성을 다음 <표 2>와 같다.

<표 2> 증평 유역의 단기 홍수사상 특성

증평	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
총강우량(mm)	127.5	64.0	119.0	53.5	102.0	72.0	102.5	72.5	96.5	21.5
총 잠재증발산량(mm)	15.3	15.3	15.2	4.7	5.9	8.4	6.1	11.7	6.7	2.1
총유출(mm)	186.8	101.6	84.6	52.8	78.7	121.8	147.1	91.2	118.4	6.1
유출비(유출/강우)	1.5	1.6	0.7	1.0	0.8	1.7	1.4	1.3	1.2	0.3
강우지속시간(hr)	33.0	35.0	30.0	16.0	22.0	19.0	28.0	22.0	20.0	20.0
최대강우강도(mm/hr)	15.0	12.0	16.5	10.0	18.5	15.5	14.5	15.4	10.5	3.5
5일선행강우량(mm/5day)	28.9	0.0	32.2	22.5	69.4	7.8	67.7	31.7	91.4	11.4
첨두홍수량(mm/hr)	9.9	2.0	1.8	1.6	2.6	2.9	4.8	2.2	6.6	0.4
지체시간(hr)	5.0	11.0	6.0	4.0	5.0	1.0	4.0	9.0	8.0	9.0

<표 2>는 각 사상별 홍수 사상의 특성을 나타내고 있으며, 전체적으로 홍수 사상 특성의 경향이 비슷하게 나타났지만, 10번 사상의 경우는 유출비가 0.3으로 상대적으로 작게 나왔다. 이는 기본 데이터의 문제로 판단되며, 데이터 검증이 필요하다고 판단된다.

### III. 강우 유출 모형의 적용 및 결과

본 연구에서는 증평의 단기 홍수사상에 대하여 ReFH모형을 이용한 개별 검정을 수행하였다. ReFH 모형은 모든 홍수 사상에 대하여 동시에 검정을 수행한 후 1개의 매개변수를 선정하는 방법이 기본방법으로 적용되지만, 개별 홍수사상의 수문특성이 모형의 검정에 미치는 영향을 평가하기 위하여 홍수 사상별 검정을 수행하였다.

#### 1. 강우 유출모형의 검정 및 검증

개별홍수사상에 대한 검정은 ReFH모형에서 제공된 검정방법인 자동최적화방법을 수행하였으며, 객관적인 평가를 위하여 NSE\*목적함수를 이용하였다. NSE\*목적함수는 유역에서 관측된 관측자료와 모형의 모의 결과의 차이를 검토하여 최적의 모형성능 및 매개변수를 검토하는 수단으로 적용된다. 목적함수 NSE(Nash Sutcliffe Efficiency)는 무차원인 목적함수로서 -∞에서 1의 값을 나타내며, 1에 가까울수록 최적값을 나타낸다. 목적함수 NSE는 식 (1)과 같다.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (o_i - c_i(\theta))^2}{\sum_{i=1}^N (o_i - \bar{o})^2} \quad \text{식(1)}$$

여기서  $o_i$ 는  $i$  시간단위(일)에 관측유량이며,  $c_i(\theta)$ 는  $i$  시간단위(일)에 모델변수세트  $\theta$ 로 계산된 유량은 나타낸다.

본 연구에서는 0에 가까울수록 우수한 모의 성능을 나타내도록  $NSE*(1-NSE)$ 를 적용하였으며, 우수한 모형 모의성능 범위는 0.3이하이다(Joo et. al, 2013). NSE\*는 다음 식(2)와 같다.

$$NSE^* = 1 - NSE \quad \text{식(2)}$$

다음 <표 3>은 개별사상의 검정결과를 목적함수 NSE\*의 적용결과이다.

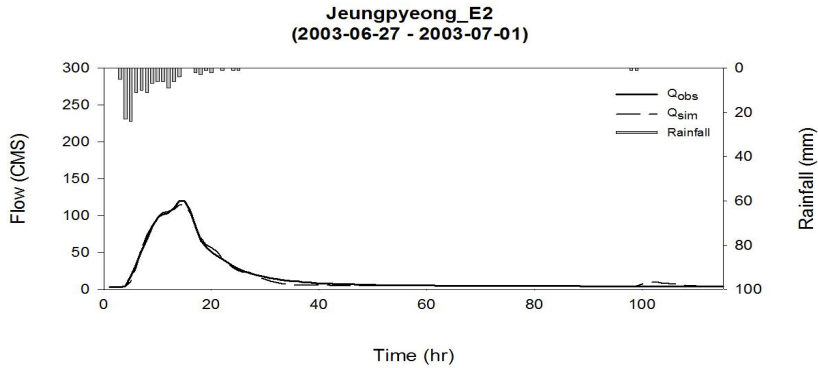
<표 3> 증평 유역의 단기 홍수사상에 대한 ReFH의 검정 결과(NSE\*)

증평	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
NSE*	0.06	0.08	0.01	0.24	0.69	0.27	0.21	0.47	0.03	0.01

Event 5(0.69)와 Evnet 8(0.47)을 제외한 8개 사상이 모두 0.3이하로 우수하다고 판단된다. 특히 Event 10(0.1)은 매우 우수하게 모의되었다. 목적함수는 모의 기간의 오차를 나타낸 값으로, 적용성을

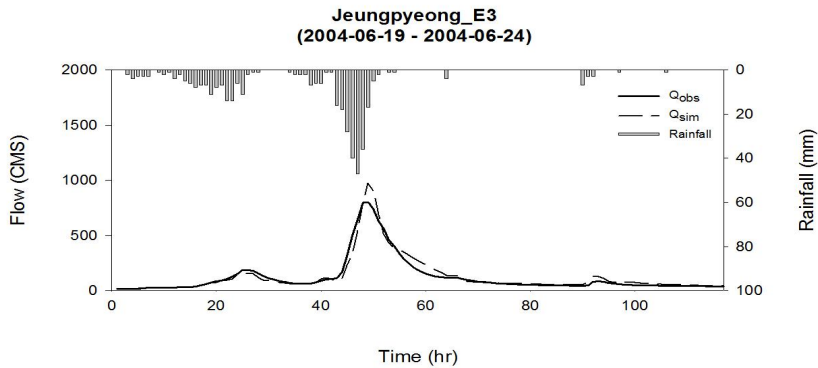
판단하기 위해서는 개별 모의 수문곡선의 검토가 필요하다.

다음 <그림 4>는 Event 2에 대한 검정 수문곡선의 예이다. 실선은 관측유량, 점선은 모의된 유량, 위 바차트는 강수량을 나타낸다. ReFH모형은 첨두홍수량 부분, 전체적인 수문 곡선의 모의 등에서 우수한 모의성능을 나타내었다.



<그림 4> 증평 유역 Event 2의 모의수문곡선

다음 <그림 5>는 Event 3의 모의 수문곡선이다. Event 3은 상승기, 하강기 수문곡선에서는 우수하게 모의되고 있으나 첨두홍수량이 과다하게 산정되었음을 확인 할 수 있다.



<그림 5> 증평 유역 Event 3의 모의수문곡선

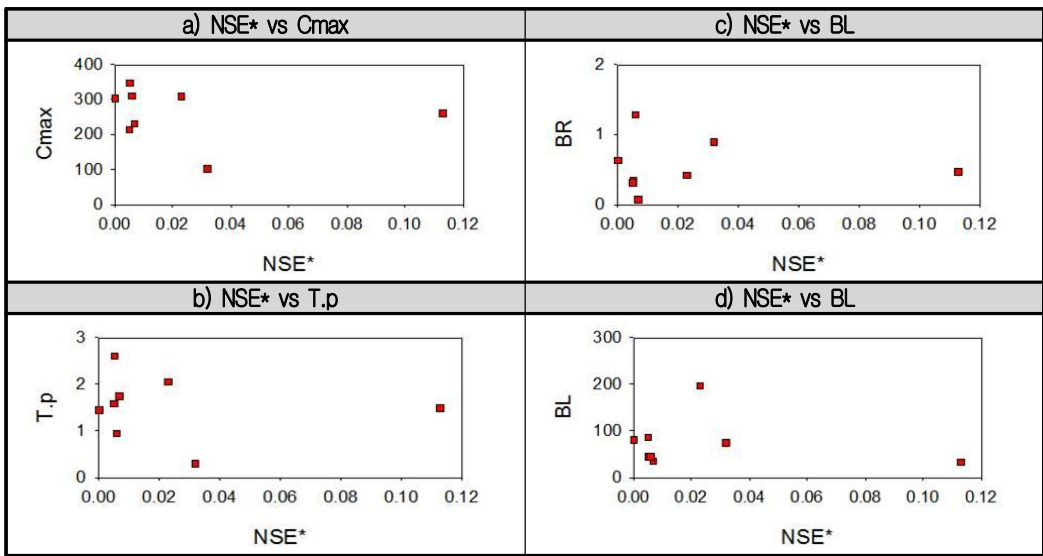
## 2. 홍수 수문사상의 특성과 강우 유출모형의 검정 및 매개변수

증평유역의 홍수 수문 사상별 모의성능(NSE\*) 및 개별 검정 매개변수를 개별홍수사상의 특성(총 강우량, 총 유출량, 유출비, 강우지속시간, 최대 강우 강도, 5일 선행강우 강도, 첨두 홍수량 및 최대 강우 강도와 첨두홍수량의 도달시간)을 산포도로 비교하였다. <그림 6>은 모형성능과 검정 매개변수



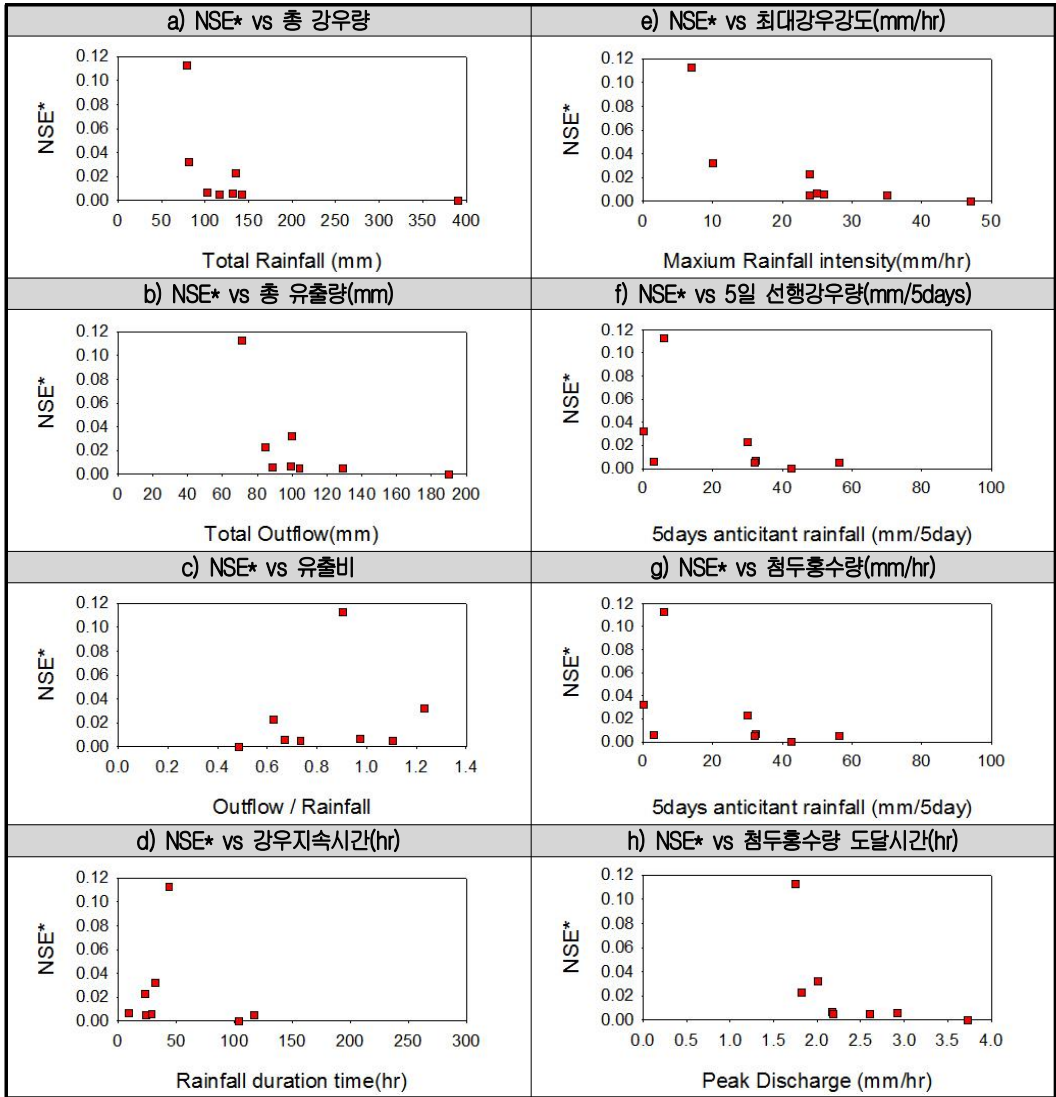
의 산포도이고, <그림 7>은 모의 성능과 홍수수문사상의 산포도이다.

<그림 6>의 a)는 유역의 유효 우량 산정을 반영한 저류함수 모형의 용량을 나타내는 Cmax 매개변수 값과 모의 성능(NSE\*)의 산포도를 나타내며, Cmax값은 개별 홍수사상에 대하여 일관된 값의 분포(102.3-346.1)를 나타내고 있다. 이는 유역의 고유한 토양 저류의 특성을 잘 반영하고 있다고 판단된다. b)는 유역유출부분 단위도 침투홍수량의 발생 시간차를 나타내는 매개변수로 개별 홍수사상에 따라 0.3-2.6의 분포를 나타내고 있다. 이는 개별 홍수사상의 강우의 크기에 따른 유출 특성을 잘 반영하고 있다고 판단된다. 그러나 기저유량의 함양 c)의 매개변수인 BR과 기저유량감쇠상수 d)의 매개변수인 BL은 모의 성능과 뚜렷한 연관성을 보여주지 못하고 있다.



<그림 6> 모형 매개변수와 모형성능 산포도

<그림 7>은 모의성능(NSE\*)과 개별 홍수사상의 관계를 나타낸 산포도이다. <그림 7>의 총 강우량a), 총 유출량b) 및 최대강우강도e)는 홍수 수문사상의 규모가 커질수록 모형의 모의성능이 우수하게 모의되고 있다. 특히 최대 강우강도가 증가 할수록 우수한 모의성능을 나타내었다. 또 한, 5일 선행강우량 f)는 일 단위 모의 모형의 결과를 바탕으로 초기조건을 선정하여, 유역의 습윤 특성이 충분히 사전에 반영된 결과로 판단된다. 그러나 유출비 c)와 강우의 지속시간 d)는 모형의 모의성능에 영향을 미치지 못하고 있다. 최대강우강도 e)와 침투홍수량 도달시간 h)는 두 침투 값의 시간차를 나타낸 것으로, 시간차가 크게 발생할수록 개선된 모의 성능을 보이고 있다.



<그림 7> 개별홍수사상특성과 모형성능 산포도

ReFH 모형은 홍수문사상의 규모가 클수록(총 강우량, 총 유출량, 최대강우강도, 첨두홍수량) 모의 성능이 우수하게 나타났다. 또한 강우와 첨두홍수량의 시간차가 크게 나타날수록 우수한 성능을 보인다. 그러나 유출비, 강우지속시간, 5일 선행 강우량은 모형 성능에 대한 뚜렷한 경향성을 확인할 수 없었다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 대표적인 개념적 강우 유출모형(ReFH)과 증평 유역의 최근의 10개 홍수사상(2000-2013년)을 활용하여, 단기 홍수수문사상의 특성이 강우유출모형의 매개변수 검정에 미치는 영향을 평가한다. 주요 결론은 다음과 같다.

증평 유역의 단기 홍수 수문특성과 모형의 모의 성능을 산포도로 분석한 결과, 사상의 양적 크기(총 강우량, 총 유출량, 최대강우강도, 첨두홍수량)가 증가 할수록 모의 성능이 개선되나, 다른 홍수 수문 특성은 뚜렷한 상관관계를 나타내고 있지 않다.

유역의 유효우량을 산정하는 토양저류 함수모형의 매개변수( $C_{max}$ )는 유역의 고유 특성을 나타내고 있으며, 유역표면 유출을 추적하는 단위유량도의 매개변수( $T_p$ )는 상대적으로 개별 홍수 사상의 특성에 영향을 받고 있다. 그러나 기저흐름산정 부분 매개변수인 BR 및 BL은 개별 홍수사상과 뚜렷한 상관관계를 나타내지 못하고 있다.

본 연구에서는 ReFH모형이 증평유역의 고유한 유출 특성과 개별 홍수수문사상의 특성을 반영하고 있음을 보여준다. 이러한 ReFH모형의 특성은 향후 강우-유출 모형의 지역화 연구 기초 자료로 활용된다.

## 참고문헌

- 고아라, 이효상. 2011. 금강 상류 유역의 저수지 홍수저감지수 산정. 한국방재학회. 11(5): 273-280.
- 국토해양부. 2012. 설계홍수량산정요령. 국토해양부.
- 김상호, 안소라, 정철희, 김성준. 2013. 영국의 설계홍수량 산정모형인 FEH-ReFH의 국내 남천유역 적용성 평가. 한국지리정보학회지. 16(3): 68-80.
- 김성민, 김성재, 김상민. 2012. 남강댐 유역 내 주요 하천관측지점의 홍수유출량 추정을 위한 단위도 모형 비교 연구. 한국농공학회. 54(3): 65-74.
- 기상청. 2011. 이상기후보고서. 기상청.
- 윤용남. 2007. 수문학. 청문각출판사.
- 이소정, 조원호, 이효상. 2014. 금강 유역특성과 PDMM 강우-유출모형의 적용성 관계 평가. 한국위기관리논집. 10(3): 41-60.
- 주재원, 이효상. 2011. FEH-ReFH 모형의 적용성 평가-증평유역. 건설기술논문집. 30(2): 161-168.
- 최호훈, 이효상. 2012. 미호천 유역의 지역화 연구를 위한 개념적 강우유출모형의 평가. 한국방재학회 논문집. 12(1): 192-203.
- 한국수자원학회. 2011. Water for future on Oct, 2011. 한국수자원학회.
- Ali, M., S. J. Khan, I. Aslam, and Z. Khan. 2011. Simulation of the Impacts of Land-use Change on Surface Runoff of Lai Nullah Basin in Islamabad, Pakistan. *Landscape and Urban*

- Planning*. 102: 271-279.
- Apel H., A. H. Thielen, B. Merz, and G. Bloschl. 2004. Flood Risk Assessment and Associated Uncertainty. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 4: 295-308.
- Blasone. R. S., H. Madsen, and D. Rosbjerg. 2008. Uncertainty Assessment of Integrated Distributed Hydrological Models using GLUE with Markov Chain Monte Carlo Sampling. *Journal of Hydrology*. 353(1-2): 18-32.
- Centre of Ecology & Hydrology. 2005. *The Revitalised FSR/FEH Rainfall-Runoff Method User Guide*. Version 1.3.
- Centre of Ecology and Hydrology. 2007. *Flood Estimation Handbook-Supplementary Report No.1*.
- Defra. 2007. *Making Space for Water: Taking Forward a New Government Strategy for Flood & Coastal Erosion Risk Management Encouraging and Incentivising Increased Resilience to Flooding*. London: Defra.
- Faulkner, D. S. and S. Barber. 2009. Performance of the Revitalised Flood Hydrograph Method. *Journal of Flood Risk Management*. 2(4): 254-261.
- Garcia, A., A. Sainz, J. A. Revilla, C. R. Alvarez, J. A. Juanes, and A. Puente. 2008. Surface Water Resources Assessment in Scarcely Gauged Basins in the North of Spain. *Journal of Hydrology*. 356(3-4): 312-326.
- Joo, J., T. Kjeldsen, H. Kim, and H. Lee. 2014. A Comparison of Two Event-based Flood Models(ReFH-rainfall Runoff Model and HEC-HMS) at Two Korean Catchments, Bukil and Jeungpyeong. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 18(1): 330-343.
- Kjeldsen, T. R. 2007. *The Revitalised FSR/FEH Rainfall-runoff Method: A User Handbook Flood Estimation Handbook Supplementary Report No. 1*. Wallingford: Centre for Ecology and Hydrology.
- Kjeldsen, T. R. 2009. Modelling the Impact of Urbanisation on Flood Runoff Volumes. *Proceedings of the ICE: Water Management*. 162(5). 329-336.
- Kwon, Y., H. Bozdogan, and H. Bensmail. 2009. Performance of Model Selection Criteria in Bayesian Threshold VAR(TVAR) Models. *Econometric Reviews*. 28(1-3): 83-101
- Lee, H. S. 2006. *Regionalisation of Rainfall-Runoff Model in the UK*. London: Imperial College.
- Moore, R. J. 1985. The Probability-distributed Principle and Runoff Production at Point an Basin Scales. *Hydrological Sciences Journal*. 3(2): 273-297.
- NERC. 1975. *Flood Studies Report*. London: National Environment Research Council.
- Ajami, Newsha K., Qingyun Duan, and Soroosh Sorooshian. 2007. An Integrated Hydrologic Bayesian Multimodel Combination Framework. *Water Resources Research* 43(1): 1-19.

<http://www.arcrom.re.kr> accessed on July 2014.

<http://www.ceh.ac.uk/feh2/FEHReFH.html> accessed on July 2014.

<http://www.geumriver.go.kr> accessed on July 2014.

<http://www.wamis.go.kr> accessed on July 2014.

---

**장형준:** 충북대학교 대학원 토목공학 석사과정에 재학 중이며, 강우유출모형의 적용 및 설계홍수량 산정에 관하여 연구중에 있다(param79@chungbuk.ac.kr).

**이효상:** 충북대학교 토목공학부에 교수로 재직 중이며 영국의 Imperial College London UK에서 박사학위(논문: Regionalisation of Rainfall-Runoff Models in the UK, 2006)를 취득하였다. 주요 연구 분야는 강우-유출모형의 계측 및 미계측 유역의 적용이며 주요 논문으로는 "강우자료의 불확실성을 고려한 강우 유출 모형의 적용(2009)", "미호천 유역의 지역화 연구를 위한 개념적 강우-유출 모형의 적용성 평가(2012)" 등이 있다(hyosanglee@chungbuk.ac.kr).

**Kazimierz Banasik:** 폴란드 Warsaw University에 교수로 재직 중 이다(kazimierz\_banasik@sggw.pl).

**Pavol Miklanek:** 슬로바키아의 Institute of Hydrology of the Slovak Academy of Science에서 교수로 재직 중 이다(miklanek@uh.savba.sk).