

# 강우-유출 모형의 불확실성을 고려한 돌발홍수기준

이 건 행\* / 김 형 수\*\*\* / 김 수 전\*\*\* / 김 병 식\*\*\*\*

## Estimation of Flash Flood Guidance considering Uncertainty of Rainfall-Runoff Model

Keon Haeng Lee\*+ / Hung Soo Kim\*\* / Soo Jun Kim\*\*\* / Byung Sik Kim\*\*\*\*

**요약** : 돌발홍수는 짧은 지속기간, 급격한 경사와 불투수층에 대해 강한 강우로 인하여 피해를 유발하는 홍수를 말한다. 돌발홍수는 강우가 돌발홍수기준(Flash Flood Guidance)을 초과하는 경우에 발생하게 되며, 따라서 돌발홍수기준을 정확히 산정하는 것이 돌발홍수예보의 정확성에 크게 기여한다. 즉, 강우-유출관계가 갖고 있는 불확실성(uncertainty)을 최소화 할수록 돌발홍수기준을 정확하게 산정할 수 있으며, 강우-유출 모형은 각각 고유의 매개변수와 특성을 갖고 있으므로 어떠한 강우-유출 모형을 사용하여 강우-유출관계를 도출하느냐에 따라 불확실성의 정도가 크게 좌우된다. 본 연구에서는 4개의 강우-유출모형(HEC-HMS 모형, 저류함수모형, SSARR 모형, TANK 모형)의 모의값에 Monte Carlo 모의 방법을 적용하여 95%신뢰수준에 대한 신뢰한계를 추정하여 제시하였다.

**핵심용어** : 돌발홍수기준, 강우-유출모형, 불확실성, Monte Carlo 모의

**Abstract** : The flash flood is characterized as flood leading to damage by heavy rainfall occurred in steep slope and impervious area with short duration. Flash flood occurs when rainfall exceeds Flash Flood Guidance(FFG). So, the accurate estimation of FFG will be helpful in flash flood forecasting and warning system. Say, if we can reduce the uncertainty of rainfall-runoff relationship, FFG can be estimated more accurately. However, since the rainfall-runoff models have their own parameter characteristics, the uncertainty of FFG will depend upon the selection of rainfall-runoff model. This study used four rainfall-runoff models of HEC-HMS model, Storage Function model, SSARR model and TANK model for the estimation of models' uncertainties by using Monte Carlo simulation. Then, we derived the confidence limits of rainfall-runoff relationship by four models on 95%-confidence level.

**Keywords** : Flash Flood Guidance, rainfall-runoff model, uncertainty, Monte Carlo Simulation

### 1. 서 론

최근 우리나라에 큰 피해를 준 홍수사상으로 2002년 태풍 루사와 2003년의 태풍 매미가 가장 빈번하게 언급되고 있다. 태풍 루사로 인하여 무려 124명이 사망하고 60명이 실종되었으며, 2만

7619세대 8만 8625명의 이재민이 발생하였다. 또한 건물 1만 7046동과 농경지 14만 3261ha가 물에 잠기고, 전국의 도로·철도·전기·통신 등 주요 기간망과 생활 기반시설이 붕괴되거나 마비되어 총 5조 4696억 원의 재산 피해를 냈다. 태풍 매미는 130명(사망 117명, 실종 13명)의 인명피해와

+ Corresponding author : sookim@inha.ac.kr  
\* 정희원 · 인하대학교 토목공학과 박사과정  
\*\* 정희원 · 인하대학교 사회기반시스템 공학부 부교수  
\*\*\* 정희원 · 인하대학교 토목공학과 박사과정  
\*\*\*\* 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원

4조 7810억 원의 재산피해, 4,089세대 1만 975명의 이재민을 발생시키고, 주택 42만 1015동과 농경지 3만 7986ha를 침수시켰다. 그밖에 도로·교량 2,278개소, 하천 2,676개소, 수리시설 2만 7547개소가 유실되거나 파괴되는 피해를 주고 5조원에 가까운 재산피해를 냈다.

이러한 홍수는 강우의 지속시간과 지역적 특성에 따라 돌발홍수, 도시홍수, 하천홍수, 해안홍수로 구분할 수 있다. 그러나 이러한 홍수 유형은 복합적으로 발생하는 경우가 많으며, 따라서 홍수로 인한 피해가 가중된다(건설교통부, 2005). 최근의 경우는 기후변화로 인하여 짧은 시간동안 강한 강우 강도를 갖는 경우가 많으며, 이러한 강우가 대부분이 불투수층으로 이루어진 도시지역이나, 경사가 급한 지역에 발생하는 경우 홍수가 발생하기 쉽다. 이와 같이 짧은 시간동안 높은 강우강도를 갖는 강우가 홍수를 발생시키는 경우를 돌발홍수라고 한다. 최근의 기후변화로 인한 국지성 집중호우에 의한 피해가 빈번하게 발생하고 있기 때문에 돌발홍수예보에 대한 관심도 높아지고, 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(김양수, 2006).

미국기상학회(American Meteorological Society, AMS)의 기상학 관련 용어집에는 돌발홍수를 “상대적으로 작은 지역에 걸쳐 강한 강우로 인해 발생하는 것으로, 경고없이 빠르게 발생하는 홍수”로 정의하였다. 이와 유사하게 세계기상학회(World Meteorological Organization)의 UNESCO의 용어집에서는 돌발홍수를 “상대적으로 높은 침투유량을 갖는 짧은 지속시간동안 발생하는 홍수”로 언급하고 있다. Sweeny(1992)는 “6시간 또는 그 이내에 발생하는 강우로 인해 발생하는 홍수”라고 정의하였고, Georgakakos(1986)는 “강한 강우나 초과강우 사상 발생 이후 짧은 시간에 발생하는 홍수”로 정의하였다. 이러한 정의에서 알 수 있듯이 돌발홍수는 짧은 시간동안 높은 강우강도를 갖는 강우에 의하여 발생한다고 할 수 있다.

미국기상학회에 따르면 이상기후의 결과인 돌발홍수를 효과적으로 감소시키는 방안은 돌발홍수예보시스템을 개선하는 것이라고 하고 있다. 돌발홍

수 발생을 유도하는 많은 구조물을 파괴하는 것은 불가능하므로 돌발홍수예보를 개선하는 것이 효율적이라고 판단하는 것이다. 따라서 돌발홍수예보 발령의 기준이 되는 돌발홍수기준을 정확하게 산정하는 것이 중요하다고 할 수 있다. 이는 돌발홍수기준을 산정하는데 있어서 불확실성이 존재하기 때문이며, 이를 확인하고 제거하기 위한 많은 연구가 수행되었다.

실시간 예보에 있어서 불확실성의 정도는 외국에서 수세기전에 알려지기 시작했다(Cooke, 1906). 수문학과 돌발홍수예보 분야에서도 이러한 불확실성 분야에 대한 노력이 계속되고 있다(Georgakakos and Hudlow, 1984; Georgakakos, 1992; Krzysztofowicz, 1999; Ferraris 등, 2002). 이미 많은 연구가 진행되어 왔으나 불확실성은 완전히 제거하는 것은 불가능하고, 아직 적용되지 않은 많은 방법론이 있기 때문에 연구개발을 할 수 있는 방향이 많이 열려 있다. 예를 들어, 미국기상학회는 정책적으로 홍수예보의 불확실성과 확률론적 예보에 대해 관심을 돌리고 있다.

고해상도의 분포형 모형을 이용한 돌발홍수예보는 작은 유역에서 모형의 불확실도가 얼마나 증가하는지에 대하여 초점을 맞추고 있다. Carpenter와 Georgakakos(2004)는 Monte Carlo 모의를 이용하여, 유역의 크기가 작아짐에 따라 모형의 불확실성이 증가하는 것을 모의하였으나, 유역의 내부 관측점으로부터의 관측 유량자료를 사용하여 그 결과를 검증하기에는 충분한 자료를 갖고 있지 않았다.

또한 분포형 모형에 있어서 격자의 크기에 따른 매개변수 변화로 인한 모의 오차에 대한 연구가 발표되기도 하였다(Michaud, 1994; Refsgaard, 1997; Finnerty et al., 1997; Carpenter et al., 2001; Boyle et al., 2001). 그러나 매개변수 효과에 대한 평가와 운영자료를 이용한 스케일 범위에 대한 유출모의의 불확실성의 특징을 묘사하기에는 어려움이 있었다. Wagener 등(2007)은 GLUE(Generalized Likelihood Uncertainty Estimation)를 사용하여 돌발홍수예보에 있어서의

불확실성을 분석하기도 하였다.

이와 같이 아직은 돌발홍수에 대한 불확실성 검증은 크게 발전한 상태는 아니며, 현재 매우 활발히 이루어지고 있다. 본 연구에서는 국내유역에 적용 가능한 돌발홍수기준 산정에 있어서의 불확실성을 분석하기 위하여 HEC-HMS모형, 저류함수모형, SSARR(Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation)모형, TANK모형을 사용하여 따른 강우-유출 관계를 유도하고, 도출된 유출량들의 평균과 표준편차를 이용하여 Monte Carlo 모의를 수행한 후, 이에 대한 신뢰구간을 제시하고자 한다.

## 2. 돌발홍수예보

### 2.1 돌발홍수예보체계

돌발홍수예보시스템은 강우-유출관계를 분석하여 제방범람을 유발하는 강우량을 설정하고, 이 강우량이 예상될 경우 정보를 발령하는 시스템이다. 제방범람을 유발하게 되는 강우량을 돌발홍수기준(Flash Flood Guidance, FFG)이라고 하는데, 이를 산정하는 방법은 다음 절에서 자세히 설명하기로 한다. 돌발홍수예보시스템은 돌발홍수의 특성에 맞게, 좁은 지역에서 단시간의 호우로 인한 피해를 예방하기 위한 것이다. 최근의 기후변화로 인한 국지성 집중호우에 의한 피해가 빈번하게 발생하고 있기 때문에 돌발홍수예보에 대한 관심도 높아지고, 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(김양수, 2006). 다음 Fig. 1은 돌발홍수예보체계이다.

Fig. 1의 돌발홍수예보 체계를 간단하게 설명하면 다음과 같다. 먼저 강우-유출 모형의 최적 매개변수를 이용하여 확률강우량에 대한 강우-유출관계를 도출한다. 강우-유출관계 곡선에서 대상지역의 지형정보로부터 산정된 한계유출량(Threshold-runoff)에 대응하는 강우량이 돌발홍수기준이 되며, 강우레이더를 통하여 관측된 강우량과 비교하여 관측된 강우량이 더 큰 경우 돌발홍수예보가 발령된다. 이러한 과정은 다음에서 보다 자세히 설명하기로 한다.

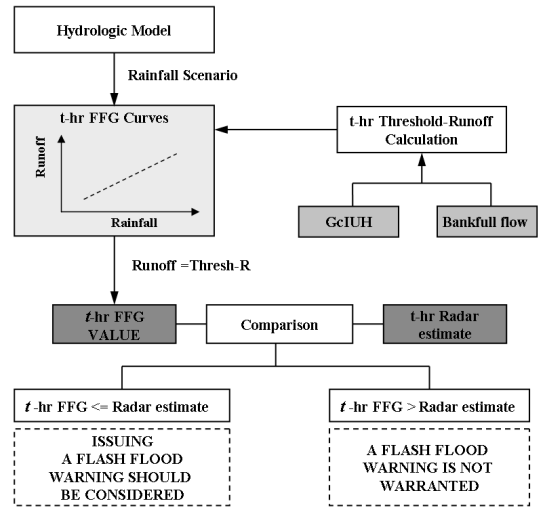


Fig. 1. Flash flood forecasting system

### 2.2 돌발홍수기준의 산정방법

한계유출량은 토양이 완전히 포화된 상태에서 하천의 제방을 월류하기 시작할 때의 유효우량(effective rainfall)을 의미하며, 이는 단위도의 침투우량  $q_{pR}(cfs/mi^2/in)$ 과 유역면적  $A(mi^2)$ , 유효우량  $R(in)$ 의 곱이 유역출구에서의 제방월류유량  $Q_p(cfs)$ 와 동일하다는 원리에서 산정할 수 있다(건설교통부, 2005).

$$Q_p = q_{pR}RA \quad \rightarrow \quad R = \frac{Q_p}{q_{pR}A} \quad (1)$$

따라서, 한계유출량(Threshold-Runoff)을 산정하기 위해서는 제방월류유량  $Q_p$ 와 단위침투우량  $q_{pR}$ 을 산정하여야 하며, 각각 두 가지 방법으로 산정할 수 있으므로, 한계유출량은 다음과 같이 4가지 방법을 통하여 산정이 가능하다.

- ① Manning 공식을 이용한 홍수량 - 지형학적 순간단위도(GIUH)
- ② Manning 공식을 이용한 홍수량 - Snyder 합성 단위도
- ③ 2년 빈도 홍수량 - 지형학적 순간단위도(GIUH)
- ④ 2년 빈도 홍수량 - Snyder 합성단위도

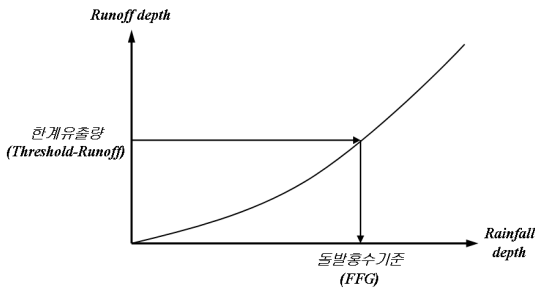


Fig. 2. Derivation of Flash Flood Guidance from rainfall-runoff relationship

본 연구에서는 Manning 공식에 의하여 제방일류유량을 산정하였고, 지형학적 순간단위도 대신에 지형기후학적순간단위도(GcIUH)를 이용하여 단위첨두유량을 산정하였다.

Fig. 2에서와 같이 계산된 한계유출량은 강우-유출모형으로부터 유도된 강우-유출관계에서 유출량에 해당되며, 이에 대응하는 강우량이 돌발홍수기준이 된다. 돌발홍수예보는 돌발홍수를 발생시킬 수 있는 크기의 강우가 예상되는 경우 이루어지며, 이때의 기준이 되는 강우의 정도가 돌발홍수기준이다.

돌발홍수기준은 앞서 설명한 바와 같이 강우-유출 모형에서 유도된 강우-유출 관계곡선(여기서의 유출은 유출고, runoff depth)과 제방일류홍수량, 단위도의 첨두유량에서 구해지는 한계유출량을 통하여 산정된다. 따라서, 돌발홍수기준은 강우-유출 모형의 매개변수에 의해 크게 변화할 수 있으며, 어떠한 강우-유출 모형을 사용하느냐에 따라 많이 의존하게 된다.

### 3. 강우-유출 모형

앞서 설명한 바와 같이, 본 연구에서는 4개의 강우-유출 모형을 사용하였으며, 각 모형을 간단하게 설명하면 다음과 같다.

#### 3.1 HEC-HMS 모형

HEC-HMS(Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System)는 강우-유출 모

의를 위한 소프트웨어로서, GUI (Graphical User Interface)환경, 통합 수문분석 성분, 자료 저장 및 관리능력, 그래픽 처리 및 리포트 출력기능을 포함하고 있다. HEC-HMS는 수문요소관련 Basin model, 기상학적 자료 관련 Precipitation Model, 모의를 위한 시간정보를 포함하고 있는 Control Specifications의 세 가지 종류의 자료로 구성된다. 본 연구에서는 SCS CN방법, Clark 단위도법, Muskingum방법을 선택하여 사용하였고, HEC-HMS에서 제공하는 툴(tool)을 이용하여 매개변수를 최적화하였다.

#### 3.2 저류함수모형

저류함수모형(Storage Function Method)은 홍수유출모형으로 산지가 많은 유역에 적합토록 개발된 모형이다. 이 방법은 일본에서 널리 사용되어 왔으며, 국내에서는 1974년 한강 홍수예경보 시스템에 도입된 이후 낙동강, 금강, 섬진강 홍수예경보 시스템에도 이 방법이 채택되었다.

저류함수모형에서는 홍수유출을 Manning 공식으로 표시할 수 있는 지표면 유출이라고 가정하여, 유역과 하도구간의 저류량을 유출량의 지수함수로서 (2)와 같이 나타내었다.

$$S_i = KQ_i^P \tag{2}$$

여기서,  $K$ ,  $P$ 는 유역이나 하도구간에 대한 저류상수이다.

#### 3.3 SSARR 모형

SSARR(Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation) 모형은 미국 공병단의 북태평양지부에서 수자원시스템의 설계, 계획 및 관리를 위한 수학적 수문모형으로 1956년 처음 개발되었다. 본 연구에서 사용한 SSARR-8은 산악지역에서의 강설에 대한 유출해석을 대폭 강화시킨 것으로 강우만을 해석하는 경우 저수유출관리와 같은 장기적인 유출관리 모의와 증발산 기능이 보완 되어진 모형이다(김범준, 2007)

### 3.4 TANK 모형

TANK모형이란, 유역을 오리피스형의 유출공을 가진 몇 개의 저류형의 가상용기(TANK)를 조합하여 유량을 유량으로 변환하는 유출계산법으로 저수 유출 해석에서 높은 평가를 받고 있다. TANK모형의 적용에서 어려운 점은 모형 매개변수를 시행착오에 의해서 결정을 하므로 직감과 경험에 의존할 수 밖에 없는 점이다. 한편 계산법이 명확하고 유출기구가 수문현상을 잘 재현한다는 점에서 모형의 객관성을 인정받고 있다.

## 4. 돌발홍수기준 산정의 불확실성 분석

### 4.1 대상 유역 및 강우사상

본 연구에서는 안양천 유역을 대상으로 돌발홍수기준을 산정하였다. 안양천 유역은 유역면적 286km<sup>2</sup>, 유로연장은 32.5km로 유역평균폭이 8.8km인 중규모 하천이다. 안양천 유역내 및 인근에 위치하여 안양천유역의 강우특성을 파악하는데 영향을 줄 수 있는 우량관측소는 기상청관할 2개소, 건설교통부 관할 3개소, 행정자치부 관할 14개소 등 총 19개소가 위치하고 있다. 이 중, 기상청 관할 수원관측소의 자료를 이용하여 100년 빈도의 지속시간 1시간, 3시간, 6시간에 대한 확률강우량을 산정하였다(Table 1).

Table 1. 100-year frequency based rainfalls at Suwon station

관측소명	지속시간		
	1시간	3시간	6시간
수원	112.9mm	177.1mm	237mm

각 지속시간별 확률강우량을 설계강우량으로 작성하기 위하여 Huff 4분위법을 사용하였다. Huff 방법은 강우기록에 따라 통계분석을 통해 제시된 무차원누가곡선을 이용하여 강우를 분포하는 방법으로써, “지역적 설계강우의 시간적분포(건설교통

부, 2000)”에서 제시된 호우분포표에 따라 평균이상을 갖는 중호우에 대하여 시간분포를 하였다. 안양천 유역의 2003년~2006년의 10개의 강우사상(Table 2)에 대하여 각 강우사상별로 최적매개변수를 산정하고, 이 최적매개변수들과 앞서 산정한 설계강우량을 이용하여 각 강우-유출 모형별로 강우-유출관계를 도출한다.

Table 2. Rainfall events

	강우사상 기간
1	2003년 8월 23일~8월 26일
2	2003년 8월 27일~8월 30일
3	2004년 6월 19일~6월 21일
4	2004년 7월 15일~7월 20일
5	2004년 9월 7일~9월 8일
6	2005년 7월 8일~7월 15일
7	2005년 8월 24일~8월 27일
8	2005년 9월 30일~10월 4일
9	2006년 7월 11일~7월 14일
10	2006년 7월 26일~8월 4일

### 4.2 돌발홍수기준의 불확실성

불확실성이라는 용어는 수문학분야에서 뿐만 아니라, 공학을 비롯한 사회현상에도 널리 쓰이고 있다. 사전적으로는 확실하지 아니한 성질, 또는 그런 상태를 의미하며, 해석적으로는 어느 양에 대해서 관측하거나 계산한 값이 그 양의 참값에서 벗어나 있다고 추정되는 벗어남 값, 또는 계통적 오차와 측정 방법의 부적합에서 발생하는 무작위적 오차를 포함한 것에 대하여 주어져야 할 허용값으로 정의된다.

일반적으로 발생하게 되는 수많은 불확실성외에 돌발홍수기준을 산정하는데 있어서의 불확실성은 강우-유출 관계를 유도하는 과정에서 발생하게 된다. 따라서 어떠한 강우-유출모형을 사용할 것인가의 문제가 중요하다고 할 수 있다.

각각의 강우사상을 각각의 모형에 사용하여 매개변수를 최적화한 후, 강우-유출관계를 유도하고 유도된 10개의 강우-유출관계를 평균하여 모형별 하나의 강우-유출관계를 도출하였다(Fig. 3).

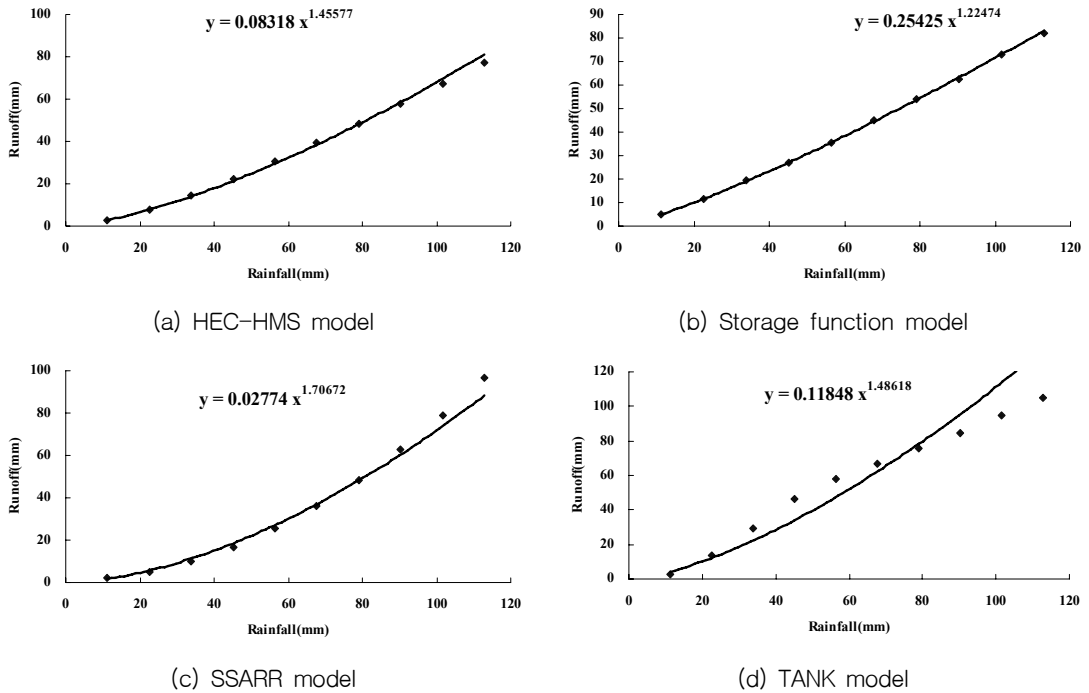


Fig. 4. Rainfall-runoff relationships by rainfall-runoff models (1hr-duration)

### 4.3 불확실성 분석방법 및 결과

본 연구에서는 강우-유출관계의 불확실성 분석을 위하여 Monte Carlo Simulation(MCS)기법을 사용하였다. MCS 기법은 어떤 특정한 통계분포 특성을 가지는 무작위 변수를 발생시키는 방법이다. 따라서 Monte Carlo 모의는 Eq. (2)와 같이 표현할 수 있으며, 여기서  $X_i$ 는 생성된 값,  $\bar{x}$ 는 원자료의 평균,  $\sigma_x$ 는 원자료의 표준편차,  $z_i$ 는 발생시킨 무작위변수이다.

$$X_i = \bar{x} + \sigma_x z_i \quad (3)$$

여기서는 강우-유출관계의 신뢰도 분석을 위하여, 강우사상별 최적 매개변수를 이용하여 유도된 강우-유출관계의 유출량을 평균하여 모형별로 하나의 강우-유출관계를 구축하고 4개 모형의 유출량의 평균과 표준편차를 이용하여 MCS를 적용하였다. 이러한 방법을 그림으로 정리하면 Fig. 4 과 같다.

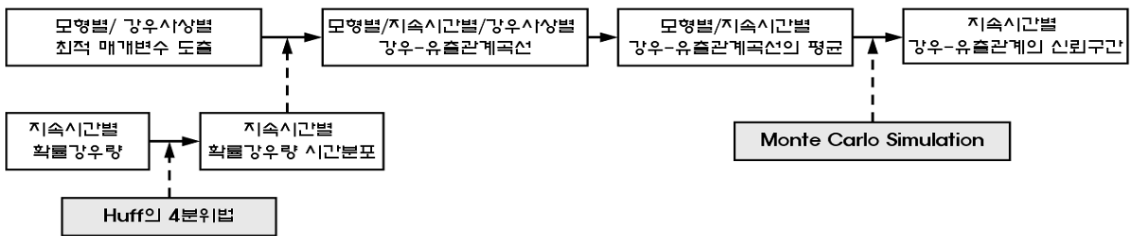


Fig. 5. Procedure of uncertainty analysis by rainfall-runoff models

먼저 강우-유출 모형에 따라 최적 매개변수를 도출한 후, 지속시간별로 산정된 확률강우량을 Huff의 4분위법을 통해 시간분포된 설계강우량을 이용하여 모형별/지속시간별/강우사상별 강우-유출 관계를 유도한다. 유도된 강우-유출관계는 모형별로 평균하여 4개의 강우-유출관계를 만든다. 4개의 강우-유출관계의 평균과 표준편차를 이용하여

MCS방법을 통해 500개의 새로운 강우-유출관계를 발생시킨 후, 이에 대한 신뢰수준(confidence level) 95%에 대한 신뢰구간(confidence interval)과 신뢰한계(confidence limits)를 설정하였다. Fig. 5는 지속시간 1시간, 3시간, 6시간에 대한 신뢰구간과 신뢰한계를 보여주고 있다.

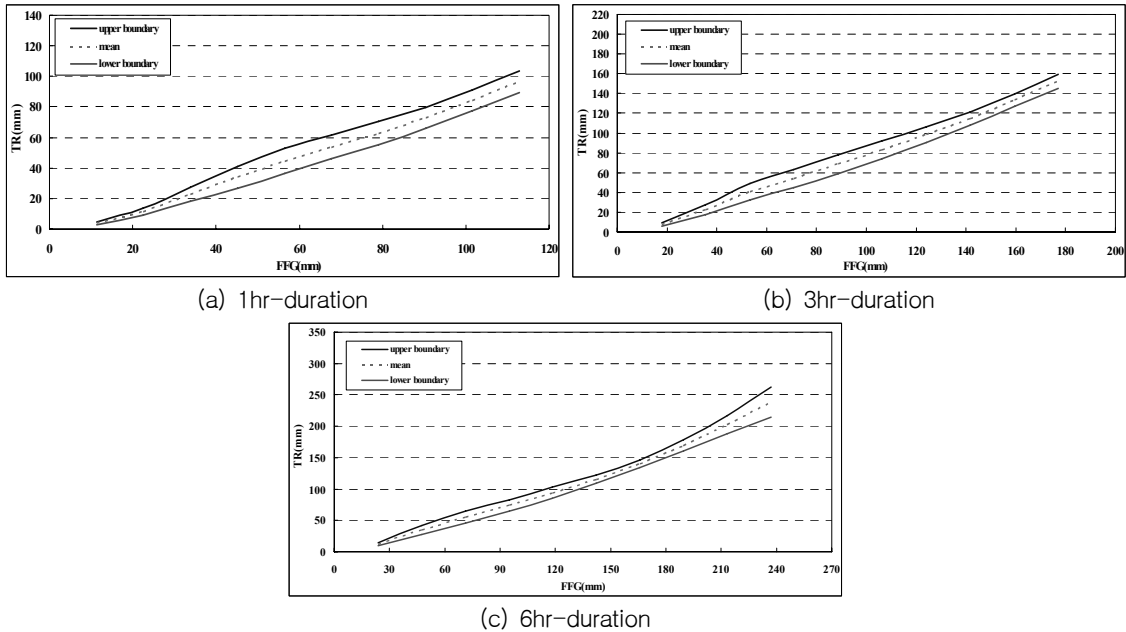


Fig. 6. Confidence limits of rainfall-runoff relationships on 95%-confidence level

각 지속시간별로 신뢰구간의 폭은 크게 차이가 없었으며, 지속시간 1시간, 3시간의 경우는 강우량이 증가함에 따라 신뢰구간의 폭 또한 넓어지는 양상을 보였으며, 지속시간 6시간의 경우는 강우량이 확률강우량에 가까워짐에 따라 신뢰구간의 폭이 넓어진 것을 확인 할 수 있다. 지속시간이 긴 강우의 경우, 확률강우량 또한 크므로 이에 따른 강우-유출 모형의 모의 정확도가 감소하기 때문인 것으로 판단된다.

### 5. 결론

본 연구에서는 안양천 유역의 10개 강우사상에 대하여 4개의 강우-유출모형의 최적 매개변수를

시간분포시킨 확률강우량에 이용하여 모형별 강우-유출관계를 유도하고 각 모형의 강우-유출관계에 대하여 MCS 기법을 적용해 500개의 새로운 강우-유출관계를 발생시킨 후 이에 대한 95% 신뢰수준에 대한 신뢰구간과 신뢰한계를 추정하였다.

각 수문모형의 모의에 따른 유출량을 MCS 기법을 이용하여 강우-유출관계의 신뢰구간을 추정하였다. 돌발홍수기준은 어떠한 강우-유출 모형을 선택하느냐에 따라 변할 수 있으며, 이는 강우-유출 모형의 매개변수의 특성, 매개변수의 개수, 강우사상의 특성에 크게 영향을 받는다. 유역별로 크게 다르게 산정될 수 있는 토양의 습윤상태 등에 의한 영향이 크다고 할 수 있으며, 매개변수의 개수가 많으면 매개변수간의 조합으로 인하여 특정 강우사

상에만 맞는 매개변수가 도출되기 쉽다. 최적 매개변수, 즉 대표 매개변수를 도출하여 사용하더라도 모형의 불확실성으로 인해 어떠한 강우사상에서 매개변수를 산정하였느냐에 따라 돌발홍수기준이 다르게 산정될 수 있다. 또한 본 연구의 결과에서 알 수 있듯이 강우의 크기가 클수록 강우-유출 모의의 불확실성이 커지는 것을 알 수 있다.

강우-유출모형은 수자원 분야를 연구하는데 있어서 최소한 한번 이상은 다루어지게 되어 있다. 활용 빈도가 높은 만큼 많은 강우-유출모형이 개발되어 사용되고 있으며, 각각의 강우-유출모형은 갖고 있는 매개변수와 특성이 다르므로 이를 잘 고려하여 사용해야한다. 여기에 우리 주변에 존재하고 있는 불확실성도 문제가 된다. 공학분야에 있어서 불확실성은 곧 위험도와 직결되므로 우리는 이를 고려하고 최소화하려는 노력을 하고 있다. 이러한 의미에서 본 연구에서는 강우-유출모형에서 유도된 강우-유출관계를 결합하여 신뢰구간을 제시함으로써 돌발홍수예보에 있어서의 불확실성을 최소화하고자 하였다.

## 참 고 문 헌

김범준 (2007). “미호천 유역의 홍수모의예측을 위한 저류함수모형과 SSARR모형의 비교 연구”, 인하대학교, 석사학위논문

김양수 (2006). “홍수예보현황”, 한국수자원학회지, Vol. 39, No. 7

건설교통부 (2000), “지역적 설계 강우의 시간적 분포”

건설교통부 (2005). “강우레이더에 의한 돌발홍수 예보시스템 개발 1차년도”

AMS(American Meteorological Society) (2000). "Prediction and mitigation of flash flood", *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 81, No. 6, pp. 1338-1340

Boyle, D.B., Gupta, H.V., Sorooshian, S., Koren, V., Zhang, Z., Smith, M., (2001). "Toward improved streamflow forecasts,

value of semi-distributed modeling". *Water Resources Research*, Vol. 37, No. 11, pp. 2749-2759

Carpenter, T.M., Georgakakos, K.P., Sperflage, J.A., (2001). "On the parametric and NEXRAD-radar sensitivities of a distributed hydrologic model suitable for operational use". *Journal of Hydrology*, Vol. 254, pp. 169-193

Carpenter, T.M., Georgakakos, K.P. (2004). "Impacts of parametric and radar rainfall uncertainty on the ensemble streamflow simulations of a distributed hydrologic model", *Journal of Hydrology*, Vol. 298, pp. 202-221

Cooke, W.E. (1906), "Forecast and verification in Western Australia", *Monthly Weather Review*, Vol. 34, No. 1, pp. 23-24

Ferraris, L, R.Rudari, F. Siccardi (2002), "The uncertainty in the prediction of flash floods in the northern Mediterranean environment", *Journal of hydrometeorology*, Vol. 3, No. 6, pp. 714-727

Finnerty, B.D., Smith, M.B., Seo, D.-J., Koren, V., Moglen, G.E., (1997). "Space-time sensitivity of the Sacramento model to radar-gage precipitation inputs". *Journal of Hydrology*, Vol. 203, pp. 21-38

Georgakakos, K.P. and M.D. Hudlow (1984), "Quantitative precipitation forecasts techniques for use in hydrologic forecasting", *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 65, No. 11, pp. 1196-1200

Georgakakos, K.P.(1986). "A generalized stochastic hydrometeorological model for flood and flash-flood forecasting, 1 Formulation", *Water Resource Research*, Vol. 22, No. 13, pp. 2083-2095

Georgakakos, K.P. (1992), "Advances in



- Forecasting Flash Floods, Proceedings of the 1992 National Science Foundation", U.S. National Science Council, Taiwan, *Joint Seminar on Prediction and Damage Mitigation of Meteorologically Induced Natural Disaster*, May 21-24, 1992, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, pp. 280-291
- Krzysztofowicz, R. (1999), "Bayesian theory of probabilistic forecasting via deterministic hydrologic model, *Water Resources Research*, Vol. 35, No. 9, pp. 2739-2750
- Michaud, J., Sorooshian, S., (1994). "Comparison of simple versus complex distributed runoff models on a midsized semiarid watershed". *Water Resources Research*, Vol. 30, No. 3, pp. 593-605
- Refsgaard, J.C., (1997). "Parameterization, calibration, and validation of distributed hydrological models", *Journal of Hydrology*, Vol. 198, pp. 69-97
- Sweeny, T.L.(1992). "Modernized area flash flood guidance", *NOAA Technical Report NWS HYDRO 44*, Hydrologic Research Laboratory, National Weather Service
- Wagener, T., Gupta, H., Yatheendradas, S., Goodrich, D., Unkrich, C., Schaffner, M.(2007). "Understanding sources of uncertainty in flash flood forecasting for semi-arid regions", Quantification and Reduction of Predictive Uncertainty for Sustainable Water Resources Management (Proceedings of Symposium HS2004 at IUGG2007, Perugia, July 2007). IAHS Publ. 313
- World Meteorological Organization(1974). "International Glossary of hydrology", UNESCO panel of terminology.
- 논문접수일 : 10년 08월 10일  
○심사의뢰일 : 10년 08월 11일  
○심사완료일 : 10년 09월 05일