돌발홍수분석을 위한 강우-유출관계의 신뢰구간 추정

Estimation of the Confidence Interval for Flash Flood Analysis

이 건 행 *, 김 형 수 **, 김 수 전***, 김 병 식****

Keon Haeng Lee, Hung Soo Kim, Soo Jun Kim, Byung Sik Kim

요 지

돌발홍수는 급격한 경사와 많은 불투수층을 포함하고 있는 좁은 지역에서 짧은 지속기간의 강우강도를 가진 큰 강우가 내리는 경우 발생한다. 이러한 돌발홍수가 발생할 수 있는 강우의 양을 파악하기 위해서 돌발홍수기준(Flash Flood Guidance)을 산정하여 활용하고 있다. 돌발홍수기준은 수문모형으로부터 도출되는 강우-유출관계곡선에서 한계유출량에 대응되는 강우량을 의미한다. 따라서 강우-유출관계가 갖고 있는 불확실성(uncertainty)을 최소화 할수록 돌발홍수기준을 정확하게 산정할 수 있으며, 수문모형은 각각 고유의 매개변수와 특성을 갖고 있으므로 어떠한 수문모형을 사용하여 강우-유출관계를 도출하느냐에 따라 불확실성의 정도가 크게 좌우된다. 본 연구에서는 네 개의 수문모형(HEC-HMS 모형, 저류함수모형, SSARR 모형 , TANK 모형)의 모의값에 Monte Carlo 모의 방법을 적용하여 네 개의 수문모형에 대한 신뢰구간을 추정하여 제시하였다.

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

1. 서 론

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 강우는 기후변화로 인하여 짧은 시간동안 강한 강우강도를 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).

AMS(American Meteorology Society) 의회에 따르면 이상기후의 결과인 돌발홍수를 효과적으로 감소시키는 방안은 돌발홍수예보시스템을 개선하는 것이라고 하고 있다. 돌발홍수는 짧은 시간(6시간 이내)에 작은 공간(1000㎢ 이내)에서 발생가능성이 큰 것으로 특성지어지고, 돌발홍수파의 영향을 조절하는 많은 구조물을 파괴하는 것은 불가능하므로 돌발홍수예보를 개선하는 것이 효율적이라고 판단하는 것이다. 따라서 돌발홍수예보의 기준이 얼마나 정확한가의 문제가 매우 중요하다고 할 수 있으며, 이러한 기준을 산정하는 과정에는 불확실성이 포함되기 마련이다.

* 정회원・인하대학교 토목공학과 박사과정・E-mail : ggun@inha.ac.kr

** 정회원・인하대학교 사회기반시스템 공학부 부교수・E-mail : sookim@inha.ac.kr

*** 정회원・인하대학교 토목공학과 박사과정・E-mail : soojuny@empal.com

**** 정회원・한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원・E-mail : hydrokbs@kict.re.kr

본 연구에서는 HEC-HMS 모형, 저류함수모형, SSARR(Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation)모형, TANK 모형의 4가지 강우-유출모형을 사용하여 돌발홍수예보의 기준이 되는 돌발홍수기준(Flash Flood Guidance, FFG)을 산정하기 위한 강우-유출관계의 신뢰구간을 추정하였다.

2. 돌발홍수기준

2.1 돌발홍수기준의 산정방법

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

$$Q_p = q_{pR}\ RA \qquad \rightarrow \qquad R = \frac{Q_p}{q_{pR}A} \tag{1}$$

따라서, 한계유출량(Threshold-Runoff)을 산정하기 위해서는 제방월류유량 Q_p과 단위첨두유량 q_{pR}을 산정하여야하며, 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 합성단위도
③ 2년 빈도 홍수량 - 지형학적 순간단위도(GIUH)
④ 2년 빈도 홍수량 - Snyder 합성단위도

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

Fig. 1에서와 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, 이 때의 기준이 되는 강우의 정도가 돌발홍수기준이다.

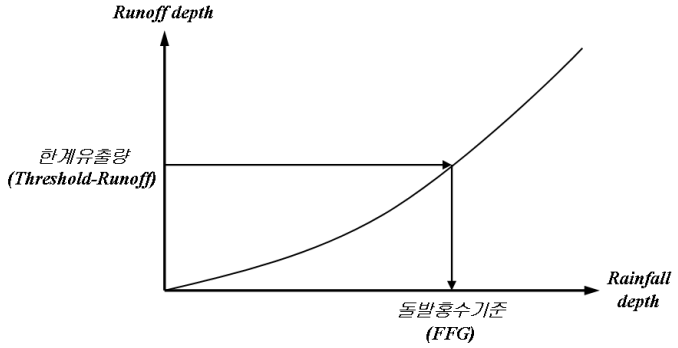


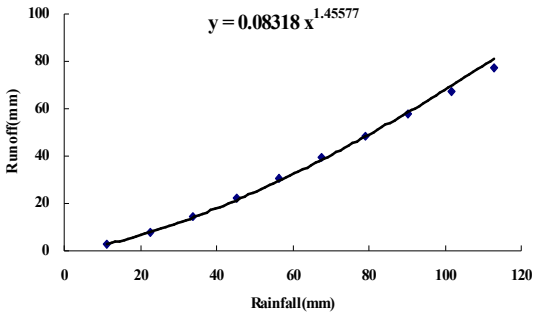
Fig. 1. Derivation of Flash Flood Guidance from rainfall-runoff relationship

돌발홍수기준은 앞서 설명한 바와 같이 강우-유출 모형에서 유도된 강우-유출 관계곡선(여기서의 유출은 유출고, runoff depth)과 제방월류홍수량, 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.

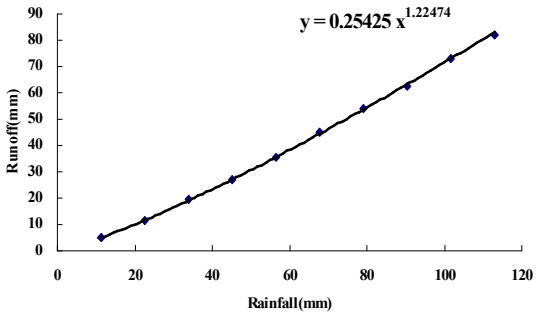
2.2 돌발홍수기준의 불확실성

일반적으로 발생하게 되는 수많은 불확실성 외에 돌발홍수기준을 산정하는데 있어서의 불확실성은 강우-유출 관계를 유도하는 과정에서 발생하게 된다. 따라서 어떠한 강우-유출모형을 사용할 것인가의 문제가 중요하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 강우-유출 관계 유도를 위하여 HEC-HMS 모형, 저류함수모형, SSARR 모형, TANK 모형의 4개 강우-유출모형을 사용하였다. 대상유역은 안양천 유역으로써, 적용된 강우사상은 13개 강우사상이다.

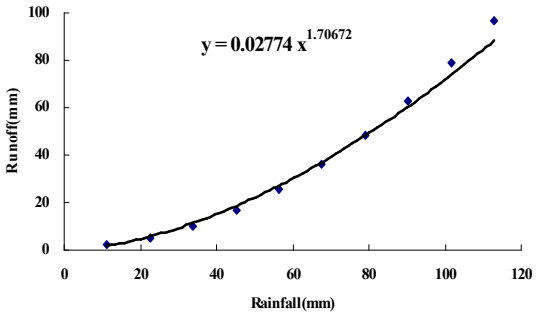
각각의 강우사상을 4개의 모형에 사용하여 매개변수를 최적화한 후, 강우-유출관계를 유도하고 유도된 13개의 강우-유출관계를 평균하여 모형별로 하나의 강우-유출관계를 도출하였다(fig. 2).



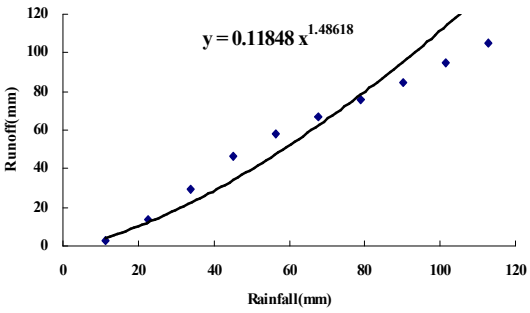
(a) HEC-HMS 모형



(b) 저류함수 모형



(c) SSARR 모형



(d) TANK 모형

Fig. 2. Rainfall-runoff relationships by hydrologic models (1hr-duration time)

2.3 불확실성 분석방법

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

$$X_i = \overline{X} + \sigma_x z_i \quad (2)$$

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. 3과 같다.

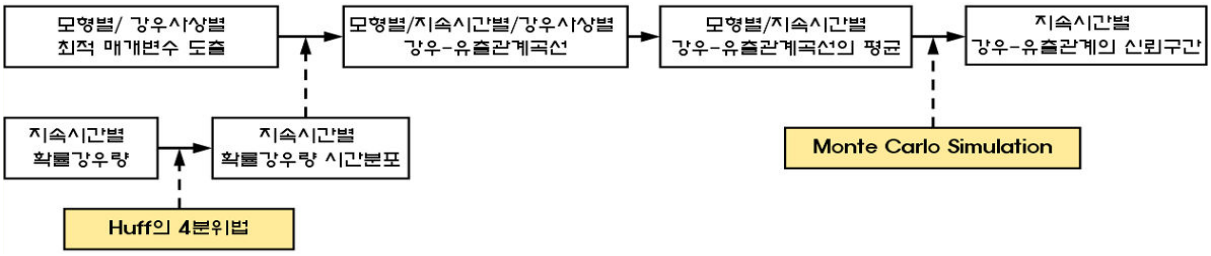
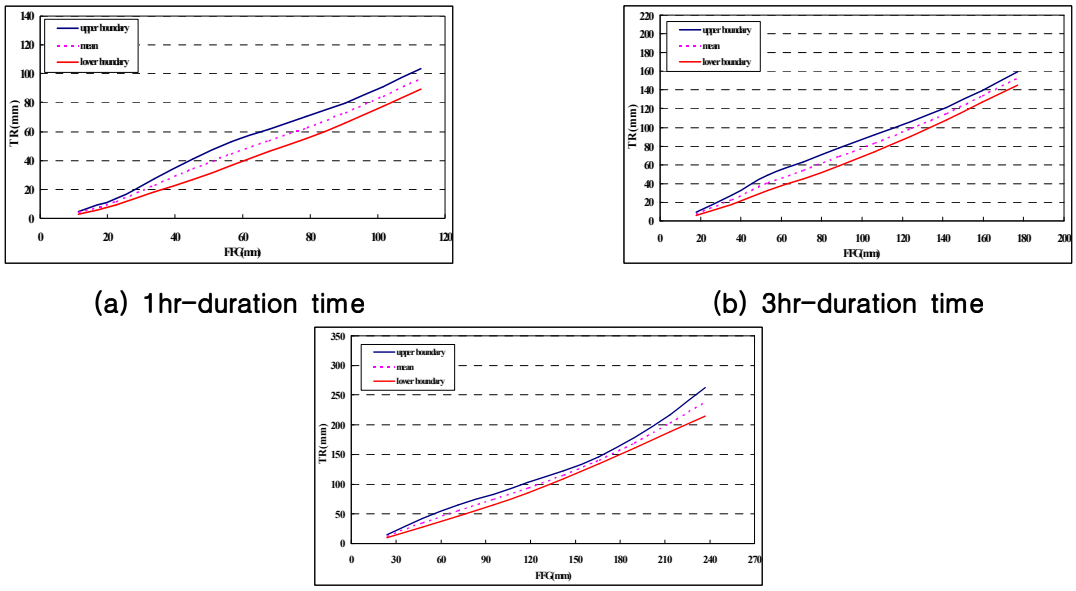


Fig. 3. Procedure of uncertainty analysis for a hydrologic model used in this study

먼저 강우-유출 모형에 따라 최적 매개변수를 도출한 후, 지속시간별로 산정된 확률강우량을 Huff의 4분위법을 통해 시간분포된 설계강우량을 이용하여 모형별/지속시간별/강우사상별 강우-유출관계를 유도한다. 유도된 강우-유출관계는 모형별로 평균하여 4개의 강우-유출관계를 만든다. 4개의 강우-유출관계의 평균과 표준편차를 MCS방법을 통해 500개의 새로운 강우-유출관계를 발생시킨 후, 이에 대한 신뢰수준(confidence level) 95%에 대한 신뢰구간(confidence level)과 신뢰한계(confidence limits)를 설정하였다. Fig. 4는 지속시간 1시간, 3시간, 6시간에 대한 신뢰구간과 신뢰한계를 보여주고 있다.



(a) 1hr-duration time (b) 3hr-duration time

(c) 6hr-duration time

Fig. 4. Confidence limits of rainfall-runoff relationship on 95%-confidence level

3. 결 론

본 연구에서는 4개의 강우-유출모형의 최적 매개변수를 시간분포시킨 확률강우량에 이용하여 모형별 강우-유출관계를 유도하고 각 모형의 강우-유출관계에 대하여 Monte Carlo 모의기법을 적용해 500개의 새로운 강우-유출관계를 발생시킨 후 이에 대한 95% 신뢰수준에 대한 신뢰구간과 신뢰한계를 추정하였다.

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 제시함으로서 돌발홍수예보에 있어서의 불확실성을 최소화하고자 하였다.

참고문헌

1. 김양수 (2006). 홍수예보현황, 한국수자원학회지, Vol.39, No.7
2. 건설교통부 (2005). 강우레이더에 의한 돌발홍수예보시스템 개발 1차년도
3. AMS(American Meteorology Society) (2000). Prediction and mitigation of flash flood, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol.81, No.6, pp.1338-1340