

MCS를 이용한 고수위 수위-유량관계곡선의 연장에 관한 연구

Extension of Rating Curve for High Water Level using Monte Carlo Simulation

문영일* · 김종석** · 윤선권***

Young Il Moon, Jong Suk Kim, Sun Kwon Yoon

Abstract

Flood damage has been increased due to the abnormal climate and extreme rainfall. So, quantitative and qualitative hydrologic data should be improved in order to enhance accuracy of hydrologic forecast. However, research regarding hydrologic data have not been thorough enough. Therefore, in this study, monte carlo simulation was applied to rainfall runoff model to improve the reliability of runoff analysis and risk analysis. Rainfall-Stage-Discharge curve was developed as a consequence of MCS and it is possible to get correct rating curve for high water level.

key words : Monte Carlo Simulation, Rating curve, High Water Level,

1. 서 론

최근 이상기후와 게릴라성 폭우 등으로 인하여 수공구조물의 계획규모를 넘어선 재해의 발생빈도가 날로 증가하고 있는 실정이며 도시화에 따른 불투수면적의 증가와 도달시간의 감소는 최근의 강우특성과 더불어 도시하천의 과중한 홍수분담을 야기하고 있어 하천방재계획을 수립하는데 많은 어려움을 겪고 있는 것이 현실이다. 수문 예측의 정확도를 높이기 위해서는 수문관측 자료의 양적 확보와 더불어 질적인 측면에서도 고려되어야 하나 아직까지 이러한 분야에 대한 연구가 많이 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 제방의 위험도 뿐 만 아니라 유출분석의 신뢰도 확보와 실무 활용도를 고려하여 MCS를 통한 모의발생을 적용한 고수위에 대한 수위-유량관계곡선의 보완을 실시함으로써 홍수발생에 대비한 효율적인 하천방재계획 수립에 기여하고자 하였다.

2. 수위-유량관계곡선의 연장

수위-유량관계곡선은 유량측정성과의 수위 범위 밖에서는 적용될 수 없다. 그러나 관측된 수위 범위 밖의 유량 추정이 필요한 경우, 수위-유량관계곡선의 외삽이 필요하다. 유량측정치의 상한치나 하한치 밖의 외삽을 위해서는 관측소 상·하류의 하도와 통제 상황을 조사하여야 한다. 흐름 장애물, 단면의 축소나 확대, 부유물, 하도 형태의 변화 등과 같은 사항을 조사하여야 한다(건설교통부, 2007). 일반적으로 홍수시와 같은 고수위에서는 빠른 유속, 큰 수심 및 부유물 등으로 인하여 유량측정이 어렵거나 불가능하고 위험하다. 또한 고수위를 측정할 만한 호우사상이 발생하지 않았을 경우에는 외삽을 통하여 수위-유량관계곡선을 연장해야 한다. 본 연구에서는 일반적으로 많이 사용하고 있는 전대수지법과 Stevens방법을 적용하고, 임계지속시간에 대해 모의 발생을 통하여 추출된 수위-유량관계를 통하여 고수위에 대한 수위-유량관계곡선의 외삽에 대한 신뢰도를 향상시키고자 한다.

* 정희원 · 서울시립대학교 토목공학과 교수 · E-mail : ymoon@uos.ac.kr

** 서울시립대학교 토목공학과 박사 · E-mail : jongsuk@uos.ac.kr

*** 서울시립대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail : skyoon@uos.ac.kr

3. 모형의 적용

3.1 대상구역의 개황 및 특성

본 연구의 대상구역은 중랑천 제1지류로서 구역면적 28.76km², 유로연장 11.75km인 우이천 구역이다. 이 지역은 1998년과 2001년 홍수피해가 심했던 곳으로 재해관리상 지속적인 모니터링이 필요한 구역이다.

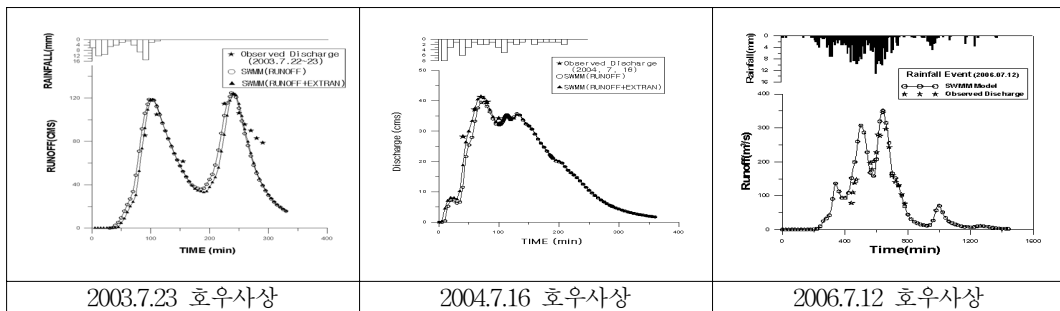
3.2 유출분석에 대한 불확실성 분석

어떠한 수문학적 모형이라든 정확히 하천에서 일어나는 현상을 계산하기는 어렵다. 왜냐하면 수문학적 모형의 대부분은 실제 하천에서 일어날 수 있는 현상의 원인인 변수들을 가장 영향이 큰 몇 개로 대표하여 계산하기 때문이다. 본 연구에서는 기왕의 관측자료에 따른 유출모형의 매개변수를 추정하고 홍수위에 대한 불확실성 분석을 실시하였다.

3.2.1. 유출모형의 매개변수 검·보정

매개변수 추정은 관측자료와 SWMM(Storm Water Management Model) 모형의 모의값을 비교하여 산정하였다. 투수지역에 대한 침투 모의는 적은 자료에 의해서도 좋은 결과를 제시한다고 인정하여 Horton 방법을 사용하였고, 배수구역에 대해서는 Runoff Block을 사용하고 본류에 대해서는 Extran Block을 사용하여 지표면 유출 및 하도/관망 유출 해석을 실시하였다.

그림 1. SWMM 모형의 매개변수 검·보정 결과



3.2.2. 홍수위 분석에 대한 불확실성 분석

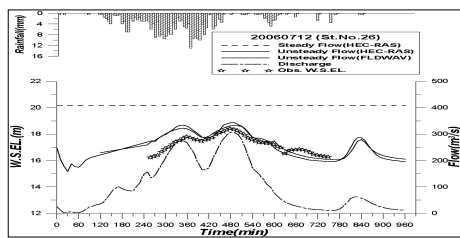


그림 2. 2006년 7월 12일 호우사상

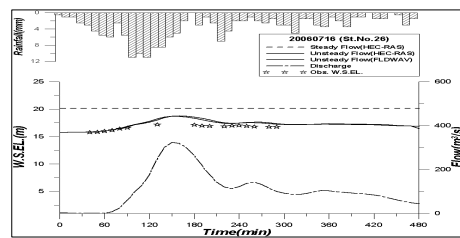


그림 3. 2006년 7월 16일 호우사상

실측호우사상에 대한 장월교 지점의 수위, 유량 관측자료를 바탕으로 주요지점에 대한 홍수량을 산정하였으며 그 값을 HEC-RAS 및 FLDWAV의 상류단 경계조건으로 적용하였다. 또한 장월교 지점의 실측된 수위 자료를 하류단 경계조건으로 적용하여 정상부등류 및 부정류 해석을 실시하였다. 관측수위에 대한 분석결과 정상부등류 해석결과는 약간 크게 나오며 전체적으로 부정류 해석결과와 유사한 양상을 나타내고 있다. 국내의 하천에서는 이·치수를 위한 홍수위 추적모형으로 정상 부등류 계산 모형이 일률적으로 적용하고 있어 홍수재해예방 및 피해 경감대책의 수립을 위한 자료로 활용하는데 어려움이 있다. 또한, 실무에서 많이 쓰고

있는 HEC-RAS 모형은 실제 하천의 형태나 수리학적 유동 등을 반영하지 않는 상태에서 분석이 이루어지므로, 이런 조건들을 반영하여 실제 하천에 가까운 보다 정교한 모의가 이루어져야 하며 보다 신뢰성 있는 결과의 도출을 위해서는 관측 자료를 통한 지속적인 검증이 필요하다.

3.3 MCS를 이용한 고수위 수위-유량 관계곡선의 연장

3.3.1. 수위-유량관계곡선의 불확실도 분석

수위-유량관계는 하천의 주요 지점에서 수위와 유량을 동시에 측정하여 이들의 관계를 식으로 나타낸 것이다. 수위-유량관계의 불확실도는 수위-유량관계에 의해 계산된 유량이 실측 유량과의 차이에서 발생하는 불확실도(S_{mr})와 수위-유량관계곡선에 대한 실측 유량의 표준오차(S_e)에 의해서 계산될 수 있다(건설교통부, 2007). 수위-유량관계의 표준오차 S_e 는 다음과 같다(ISO 1100-2, 1998).

$$S_e = \left\{ \frac{\sum (\ln Q - \ln Q_c)^2}{N-2} \right\}^{1/2} \quad (1)$$

여기서, Q 는 측정 유량이며, Q_c 는 수위-유량관계로 계산된 유량이다. 평균에 대한 불확실도 $2S_{mr}$ 은 다음 식에 의해서 계산된다.

$$2S_{mr} = \pm t S_c \left\{ \frac{1}{N} + \frac{[\ln(g-z) - \overline{\ln(g-z)}]^2}{\sum [\ln(g-z) - \overline{\ln(g-z)}]^2} \right\}^{1/2} \times 100 \quad (2)$$

여기서, t 는 수위-유량관계에서 자료 크기에 따른 검정통계량이다.

우이천 장월교 지점의 측정에 대한 표준오차(S_e)는 0.056으로 분석되었으며 이는 평균적으로 측정치의 95%는 5.6%의 직선 범위 내에 포함된다는 것을 의미한다. 다음 표는 임의 수위 $\ln(g-z)$ 에 대한 $\ln Q_c$ 의 개별 값에 대한 무작위 불확실성($2S_{mr}$) 결과를 나타내고 있으며 평균 $\pm 1.43\%$, 최대 $\pm 4.27\%$ 의 불확실성이 있는 것으로 분석되었다.

3.3.2. 수위-유량곡선의 연장

일반적으로 홍수시와 같은 고수위에서는 빠른 유속, 큰 수심 및 부유물 등으로 인하여 유량측정이 어렵거나 불가능하고 위험하다. 또한 고수위를 측정할 만한 호우사상이 발생하지 않았을 경우에는 외삽을 통하여 수위-유량관계곡선을 연장해야 한다. 본 연구에서는 일반적으로 많이 사용하고 있는 전대수지법과 Stevens 방법을 적용하고, 임계지속시간에 대해 모의 발생을 통하여 추출된 수위-유량관계를 통하여 고수위에 대한 수위-유량관계곡선의 외삽에 대한 신뢰도를 향상시키고자 한다. 관측된 수위와 유량을 전대수지에 도시하면 그림 4와 같은 직선으로 나타나며 이로부터 임의수위에 대한 유량을 적용할 수 있다. 다음 그림 4와 그림 5는 전대수지와 Stevens 방법을 적용한 결과를 나타내고 있다.

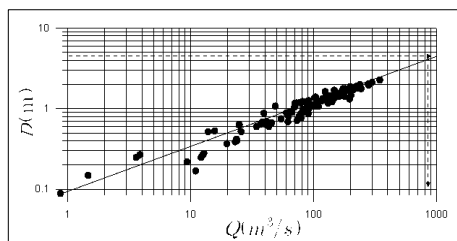


그림 4. 전대수지법

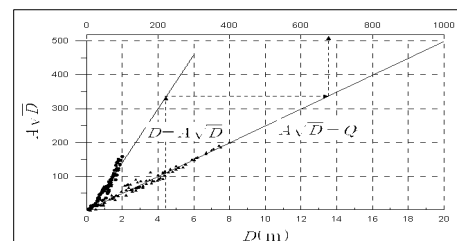


그림 5. Stevens 방법

이와 같은 외삽은 중규모와 대규모 유량에 대해서 하도통제인 경우에 적합하나 최고 측정유량의 1.5배 이상에 대해서는 외삽해서는 안 된다(건설교통부, 2007). 본 연구에서 적용된 전대수지법 및 Stevens방법의 경우 대체적으로 수위에 비하여 유량이 과대 산정되는 것으로 나타나 우이천 유역의 고수위에 대한 수위-유량

관계곡선을 적용하기에는 적합하지 않는 것으로 나타났다.

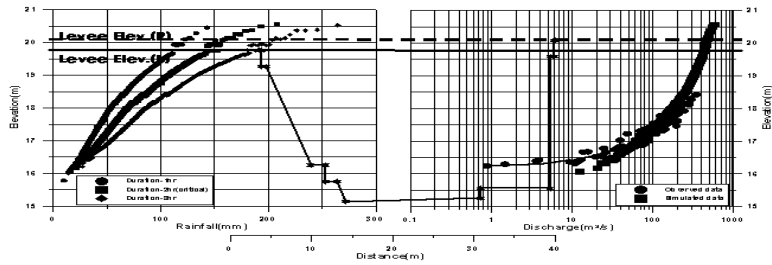


그림 6. 강우-수위-유량 관계곡선

본 연구에서는 LHS-Monte Carlo Simulation을 통한 제방의 위험도를 산정하였으며 고수위의 수위-유량관계곡선을 연장할 수 있었으며 그에 따른 강우-수위-유량곡선을 개발하였다. 분석결과 지속시간 1시간과 3시간에 대한 제방의 월류위험도는 8.0E-03과 1.8E-02이며 제방 월류 가능강수량은 1시간 114.27mm, 3시간 180.45mm로 나타났다. 또한, 제방의 월류위험도가 가장 높은 지속시간은 임계지속시간인 2시간으로 분석되었으며 월류위험도는 1.9E-02, 제방 월류 가능강수량은 143.33mm로 나타났다. 우이천과 같은 지방 2급 하천(중소하천)은 도달시간이 단시간(1~3시간)에 불과하다. 따라서 중소하천의 경우 장기간에 걸친 강우 중에서도 1~3시간 정도의 침투강우에 의해서 침투유출이 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 우이천 유역의 도달시간을 감안하여 3시간 이하에 대해서 강우-수위 관계곡선을 도출하였으며 기존의 수위-유량 관계곡선과 접목하여 최종적으로 강우-수위-유량 관계곡선을 개발하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 임계지속시간에 대한 LHS-Monte Carlo Simulation을 통하여 유출모의를 실시함으로써 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다. 대표적인 도시유역인 우이천 유역에 적합한 SWMM 유출모형의 매개변수 검·보정을 실시하여 유출분석의 신뢰도를 향상 시킬 수 있었으며 적정확률분포형에 맞는 임계지속시간의 강우를 LHS-MCS 을 통하여 직접적인 강우-수위관계를 도출할 수 있었다. 또한, 모의된 수위 및 유량자료를 통하여 고수위에 대한 수위-유량곡선을 연장하고 개발된 강우-수위곡선에 기반한 수위-유량곡선을 활용하여 강우-수위-유량관계곡선을 개발하였다. 본 연구의 성과는 홍수시 홍수피해 예측 및 위험시설물에 대한 대책 수립 등 효율적인 하천방재계획 수립에 기여할 것으로 기대된다. 그러나 보다 신뢰성 있는 결과의 도출과 실제 업무에의 적용을 위해서는 동일 유역의 관측된 자료를 바탕으로 지속적인 검증이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구의 일부는 건설교통부 한국건설교통기술평가원의 이상기후대비시설기준강화 연구단에 의해 수행되는 2005 건설기술기반구축사업(05-기반구축-D03-01)에 의해 지원되었습니다.

참고문헌

1. 문영일, 권현한(2004), “수리·수문학적 댐 위험도 분석(I).“ 대한토목학회논문집, 제24권, 제5B호, pp.477-487.
2. 김종해, 한건연, 박종석(2002), “하천 제방의 신뢰도 분석을 위한 HEC-2 모형의 Monte Carlo모의.” 한국수자원학회학술발표회 논문집(I), pp.517-522.
3. 서울특별시(2005). 대학과 연계한 하천관리에 대한 연구 보고서(2단계1차년).
4. McKay, M.D., Beckman, R.J. and Conover, W.J.(1979) A comparison of three methods for selecting values of input variables in the analysis of output from a computer code, *Technometrics*, vol. 21,pp.239-245.