

# Meta-Gaussian 방법을 이용한 강우-유출 모형에서의 불확실성 산정

## Evaluation of the uncertainties in Rainfall-Runoff model using Meta-Gaussian Approach

김병식\*·김보경\*\*·권현한\*\*\*·함창학\*\*\*\*

Byung Sik Kim, Bo Kyung Kim, Hyun Han Kwon, Chang Hahk Hahm

### 요 지

강우-유출(Rainfall Runoff, R-R)모형은 수자원계획과 관리를 위하여 가장 보편적으로 이용되는 도구로 홍수, 가뭄 등과 같은 극한 사상의 예측 또는 물수지 분석에 사용되고 있다. 오랜 기간 많은 수문학자들이 강우-유출 모형의 불확실성 개선 및 정량화하기 위하여 노력하였으나, 여전히 중요한 수문학적 과제로 남아있다. 이에 본 연구에서는 강우-유출 모형의 불확실성을 정량화하는데 목적을 두고 물리적 기반의 분포형 모형과 개념적 준 분포형 모형을 중랑천 유역에 적용하여 그 결과를 비교하였다.

**핵심용어** : 불확실성, 강우-유출 모의, 신뢰구간, Meta-Gaussian approach

### 1. 서 론

강우-유출(Rainfall Runoff, R-R)모형은 홍수, 가뭄 등과 같은 극한 사상의 예측 또는 물수지의 분석과 같은 수자원 전반의 계획과 관리를 위하여 이용되어 왔으며, 최근 컴퓨터 계산능력의 발달과 고해상도 시공간적 수문자료 관측이 가능해지면서 강우-유출 모형의 활용과 적용이 점차 증가하고 있다. 그러나 수문학자들의 많은 노력에도 불구하고, 이들 모형이 통계학적으로 유의한지를 평가하는 불확실성에 대한 검토가 여전히 해결해야 할 과제로 남아있다. 불확실성이 발생하는 요인은 크게 ① 입력 자료로 이용되는 수문자료의 불확실성, ② 강우-유출 모형 매개변수의 불확실성과 ③ 강우-유출 모형 구조의 불확실성을 들 수 있다. 특히, 강우-유출 모형 구조에 의한 불확실성은 강우-유출 전이 과정을 표현하는 수문학적 과정과 현상을 완벽히 구현하지 못하는 고유의 잠재성으로 설명할 수 있다. 불확실성 방법을 평가하기 위하여 확률분포형을 가정하여 불확실성을 평가하는 방법, 강우-유출 모형의 오차시계열의 통계학적 특성을 분석하는 방법과 Monte Carlo 기법(Metropolis, 1987) 등과 같이 재 표본추출기법을 이용하는 방법론이 적용되고 있다.

본 논문에서는 Montanari 등(2004)에 의해 제시된 Meta-Gaussian 기법을 이용하여 강우-유출 모형의 불확실성을 정량화하고자 하였다. 이를 위하여 최근 들어 홍수유출을 위해 사용이 증가하고 있는 물리적 기반의 분포형 모형인 Vflo<sup>TM</sup> 모형과 개념적 준 분포형 모형인 HEC-HMS 모형을 선택하고, 비교적 양질의 과거 수문기상자료와 유출량자료를 보유하고 있는 중랑천 유역을 선

\* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원 e-mail : hydrokbs@kict.re.kr

\*\* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원 e-mail : winnerbk@kict.re.kr

\*\*\* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원 e-mail : hkwon@kict.re.kr

\*\*\*\* 정회원·인하공업전문대학 항공지형시스템과 교수 e-mail : chhahm@inhac.ac.kr

정하여 신뢰구간 95%에서의 불확실성 분석결과를 비교·검토하였다.

## 2. Meta-Gaussian 기법을 이용한 강우-유출 모형의 불확실성 분석

### 2.1 Meta-Gaussian 기법의 이론

최근 Montanari 와 Brath(2004)는 Meta-Gaussian 기법에 의하여 강우-유출 모형의 불확실성을 정량화하는 방법을 제시한 바 있다. 이 방법의 목적은 강우-유출 모형에 의해 모의된 유량의 조건부로서 모형 오차의 확률분포형을 추정하는 데 있다. 일단 오차의 확률 분포형이 추정되면, 주어진 유의수준에서의 강우-유출 모의결과의 신뢰구간(Confidence Interval)의 상·하한계를 추정할 수 있다(그림 1).

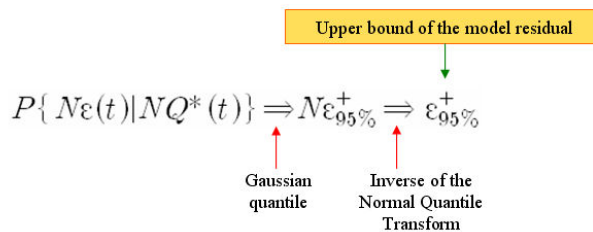


그림 1. Meta-Gaussian 방법의 기본 개념

### 2.2 대상유역 및 분석에 이용한 R-R 모형

강우-유출 모형의 불확실성을 평가하기 위하여 본 논문에서는 한강에 위치한 중랑천 유역을 선정하였다. 중랑천 유역은 유역면적 296.34km<sup>2</sup>, 유역연장 34.80km으로 서울시와 의정부시가 3/4 이상을 점하고 있으며 농경지는 상류부에 다소 포함하여 대표적인 도시유역으로 설명할 수 있다(건설교통부, 2007).

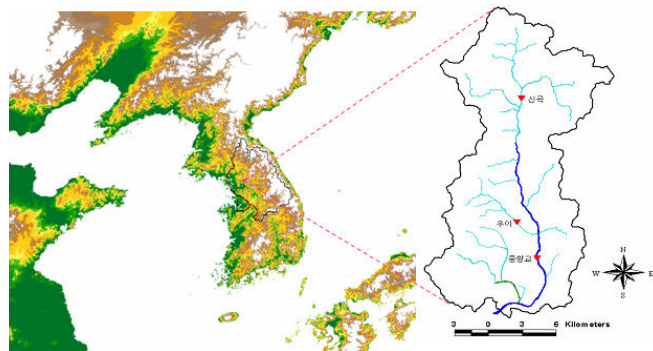


그림 2. 중랑천 위치 및 유역도

#### 2.2.1 Spatially distributed model, Vflo<sup>TM</sup> 모형

본 논문에서는 최근 홍수유출 모의를 위하여 국내에서 적용성이 높은 물리적 기반의 분포형 모형을 이용하였다. 이 모형은 미국 Oklahoma 대학에서 개발한 모형으로 격자별 지형자료인 수치고도자료(DEM), 토양도와 토지이용도로부터 흐름방향(Flow Direction), 경사도(slope), 조도계수(Roughness)와 수리전도도(hydraulic conduction) 등이 입력자료로 요구된다. Vflo<sup>TM</sup> 모형은 수치해를 구하기 위하여 시공간적으로는 각각 유한차분 음해법과 유한요소법(Vieux, 2001, 2002, 2004)을 이용하고 지표유출 산정을 위하여 운동파방정식(Kinematic Wave Equation, KWA)를 사용한다(홍준범 등, 2006; 김병식 등, 2007; 건설교통부, 2007)(그림 3).

그림 4(a)는 컴퓨터 계산 용량과 계산 시간의 효율성을 고려하여 중랑천 유역의 DEM 크기를 300m로 재구성하여 Vflo<sup>TM</sup> 모형에 입력한 결과로, 기본 입력 자료인 흐름방향(Flow Direction)을

나타낸다. Vflo™ 모형의 입력자료 변환과정을 포함한 상세 설명은 홍준범 등(2006)과 건설교통부(2007)를 참고할 수 있다.

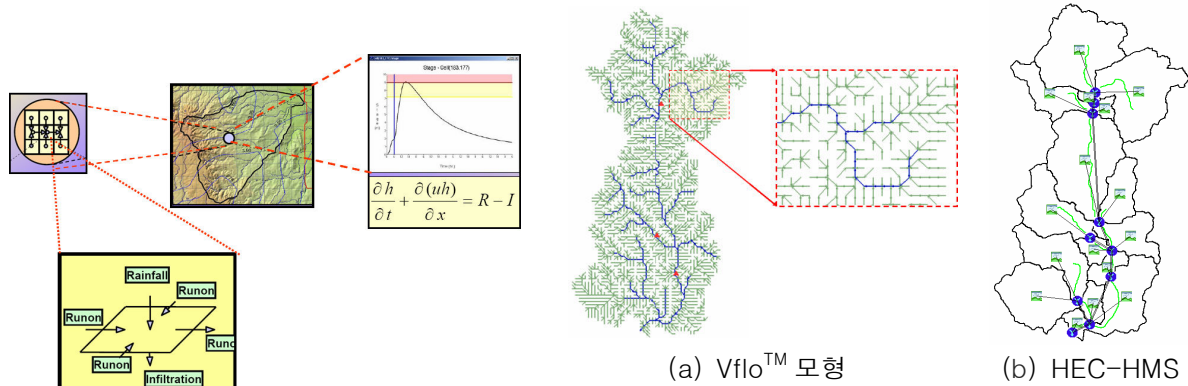


그림 3. Vflo™ 모형 개념도(Vieux, 2004) 그림 4. 중랑천 유역의 각 강우-유출 모형별 입력 결과 도시

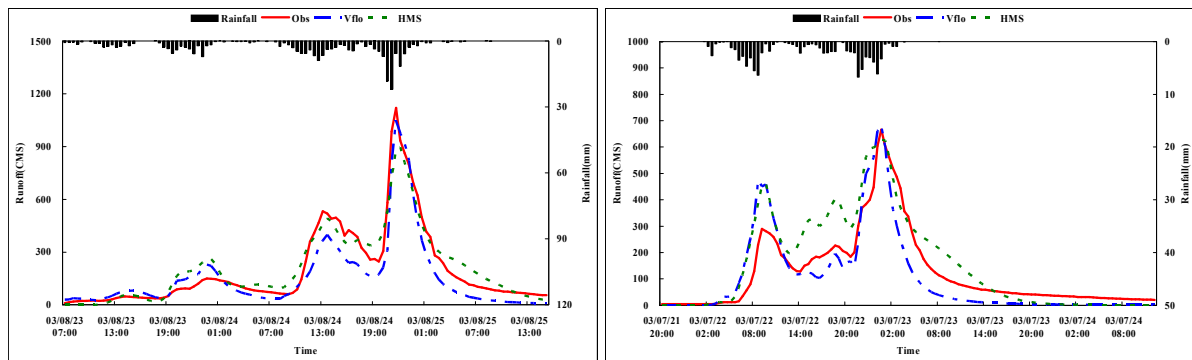
### 2.2.2 Lumped model, HEC-HMS 모형

본 논문에서는 집중형 강우-유출 모형의 불확실성을 분석하기 위하여 HEC-GeoHMS를 이용하여 중랑천 유역을 13개의 소유역으로 분할하였다. 그리고 중랑천 수위관측소인 신곡, 우이, 중랑교에서의 유출량을 산정하기 위하여 16개의 소유역으로 구성하였다. 한편, 유출량과 홍수추적 산정을 위하여 각각 Clark 단위도법과 Muskingum 방법을 사용하였으며 강우 손실분석에는 SCS 방법을 사용하였다. 그림 4(b)는 중랑천 유역의 HEC-GeoHMS 입력결과이다.

## 3. 적용

### 3.1 강우-유출 모형의 매개변수 보정 및 검증

강우-유출 모의를 위하여 중랑천 유역에 위치한 상계, 송정, 우이, 의정부, 장암, 퇴계원과 진접 총 7개 관측소의 2003년 7월 21일 ~ 7월 23일, 8월 19일 ~ 8월 20일 기간의 30분 강우자료를 이용하였다. 분포형 모형인 Vflo™ 모형은 지형자료와 동일하게 300m 격자의 크리깅 기법을 적용하고, 집중형 모형인 HEC-HMS는 Thiessen 망을 구성하여 면적강우량을 산정하였다.



(a) 보정 강우(2003/08/23)

(b) 검증 강우(2003/07/21)

그림 5. 강우-유출 모형별 강우-유출 수문곡선의 비교

2003년 2가지 강우 사상을 이용하여 중랑천 유역 유출량 모의를 위하여 각 모형의 매개변수를 보정하였다. 김병식 등(2007)과 건설교통부(2007)는 Vflo<sup>TM</sup> 모형의 주요 매개변수에 대한 민감도 분석을 실시하였으며, 본 논문에서는 이에 의거하여 2003년 8월 23일 강우 사상에 대하여 매개변수 보정을 실시하고 2003년 7월 21일 강우에 대한 검증을 실시하였다(그림 5).

### 3.2 Meta-Gaussian 기법을 이용한 강우-유출 모형의 불확실성 산정 및 비교 분석

Meta-Gaussian 기법을 이용하여 분포형 및 집중형 모형으로 모의된 보정 및 검증 기간의 강우 사상에 대한 유출 결과의 불확실성 분석을 실시하였다. 그림 6(a)와 (b)는 보정기간의 각 모형별 결과를 분석한 것으로 각 관측 유출량과 모의 유출량의 Q-Q plot, 확률밀도함수(Probability Density Function, PDF), 모형 잔차의 Gaussian 변환 결과, Gaussian domain에서 신뢰구간 산정을 위한 회귀분석 결과를 나타낸 것이며, 마지막 그림은 신뢰구간 95%에서의 불확실성 범위를 산정한 것이다. 각 모형별 모의치 모두 신뢰구간 범위 내에서 거동하고 있으며, 보정 시 모의 유출량 값이 유의한 것을 확인할 수 있다.

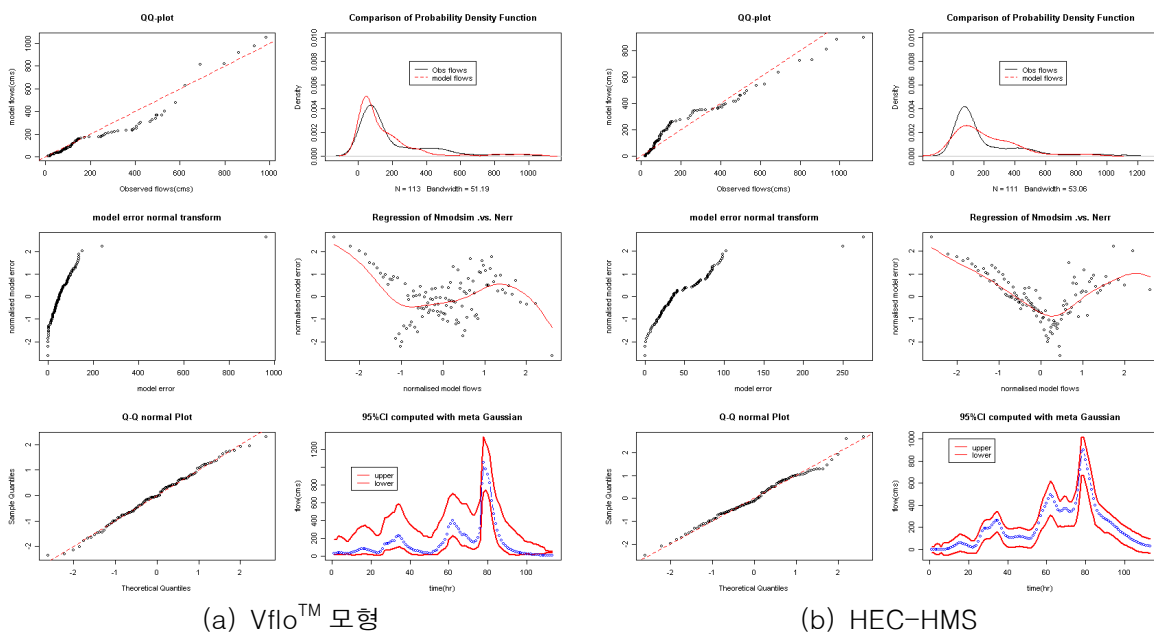
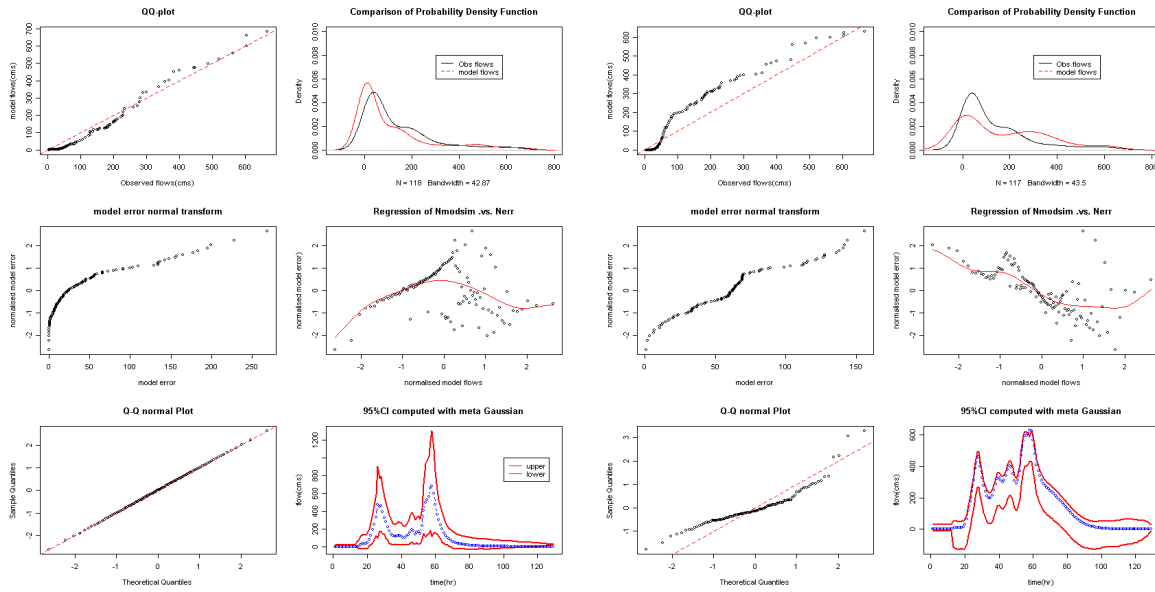


그림 6. 모형별 보정기간의 불확실성 분석(2003/08/19 ~ 2003/08/20)

한편, 검증 사상에 대하여 불확실성을 분석한 결과, 그림 7에 나타낸 것과 같이 Q-Q plot, 확률밀도함수와 95% 신뢰구간에서 큰 차이를 보이는 것으로 확인되었다. 특히, 그림 7(a)에 나타낸 집중형 모형인 Vflo<sup>TM</sup> 모형의 경우 검증기간임에도 확률밀도함수가 관측 유출량을 잘 재현하고 95% 신뢰구간 내에 위치하는 것과는 달리 그림 7(b)에 나타낸 분포형 모형인 HEC-HMS의 경우, 관측 유출량의 확률밀도함수와 95% 신뢰구간 내에서 많이 벗어나고 있는 것을 알 수 있다.



(a) Vflo™ 모형

(b) HEC-HMS

그림 7. 모형별 검증기간의 불확실성 분석(2003/07/21 ~ 2003/07/23)

#### 4. 결 론

본 논문에서는 Meta-Gaussian 기법을 적용하여 분포형과 집중형 강우-유출 모형의 불확실성을 검토하였다. 매개변수를 보정한 사상에 대하여는 Q-Q plot, 확률밀도함수, 모형 잔차의 Gaussian 변환, Gaussian domain에서 신뢰구간 산정을 위한 회귀분석 결과가 관측치를 잘 재현하는 것으로 나타났다. 검정 사상을 분석한 결과에서는 분포형 모형 모의 유출량이 실측 유출량의 확률밀도 함수를 거의 유사하게 재현하는 반면, 집중형 모형 모의 결과는 적절히 재현하지 못하였으며, 이러한 결과는 95% 신뢰구간에서도 확인되었다. 이는 집중형 강우-유출 모형의 매개변수가 물리적 기반의 분포형 강우-유출 모형에 비해 잘 반영되지 못하기 때문에 발생하는 문제로 판단된다.

#### 감 사 의 글

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

#### 참 고 문 헌

1. 건설교통부(2007). 강우레이더에 의한 돌발홍수예보시스템 개발(3차년도)
2. 김병식, 홍준범, 김보경, 김형수(2007). 중랑천 유역에서의 Vflo™ 모형의 민감도 분석, 대한토목학회2007년도 정기학술대회논문집, pp.2010-2014
3. 홍준범, 김병식, 윤석영(2006). Vflo™ 모형을 이용한 물리기반의 분포형 수문모형의 정확성 평가, 대한토목학회논문집, Vol.26, No.6B, pp.613-622