

# 도시하천 소배수구역에서의 분포형 수문모형의 효율성 평가

## Evaluation for the Effectiveness of Distributed Hydrologic Model in Urban Sub-drainages

김충수<sup>\*</sup>, 김학수<sup>\*\*</sup>  
Chung Soo Kim, Hak Su Kim

### 요    지

최근 강우-유출 모형은 유역의 지형적, 물리적 상황을 최대한 반영한 입력자료를 이용할 수 있고, 최종 유출지점에서의 해석 결과뿐만 아니라 해석하고자 하는 유역내의 시간적, 공간적 수문 요소 분포 특성을 이해할 수 있도록 물리적 이론에 기초한 분포형 수문모형을 개발하고 지속 발전시키고 있다. 분포형 수문모형은 집중형 수문모형에 비해 매개변수 갯수를 현저히 줄일 뿐만 아니라 실지 지형자료에 입각한 매개변수 선정이 가능하다. 분포형 지형자료와 강우자료로부터 추정된 초기 매개변수의 값에 의한 모의가 매개변수가 개념적, 경험적 의미가 큰 집중형 모형에 비해 정확하기 때문에 미세한 매개변수의 조정만으로도 유역의 유출량을 모의할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 여러 가지 장점을 지닌 분포형 수문모형이 유역크기가 작고, 시간·공간적으로 지형입력자료의 변동성이 작은 도시하천 소배수구역에서의 모의 효율성 및 적용성을 평가하였다. 레이더강우를 이용한 분포형 수문모형으로서 미국 University of Oklahoma에서 개발한 Vflo™을 사용하여 중랑천 유역의 3개 소배수구역(월계1 배수구역, 군자 배수구역, 어린이대공원 배수구역)에서 유출 모의를 수행하였다. 각 소배수구역 특성별 모의 결과 비교, 분석을 수행하였다. 이를 통해 도시하천 소배수구역에서의 유출 모의 및 분포형 수문모형 선정에 적절한 근거로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 도시하천 소배수구역, 분포형 수문모형, 집중형 수문모형, Vflo™

### 1. 서    론

강우-유출 모형은 유역의 수문현상을 분석하고 예측하기 위한 수단으로 사용되고 있다. 지형정보시스템(GIS)의 개발과 발전과 더불어 컴퓨터의 획기적인 계산 능력 향상 등으로 유역의 지형적, 물리적 상황을 최대한 반영한 입력자료를 이용할 수 있고, 최종 유출지점에서의 해석 결과뿐만 아니라 해석하고자 하는 유역내의 시간적, 공간적 수문 요소 분포 특성을 이해할 수 있도록 물리적 이론에 기초한 분포형 수문모형을 개발되었으며 지속 발전시키고 있다. 또한, 분포형 모형은 강우-유출 모형 모의에서 가장 번거롭고 까다로운 매개변수 추정이 집중형 모형에 비해 매개변수 갯수를 현저히 줄일 뿐만 아니라 실지 지형자료에 입각한 매개변수 선정이 가능하다. 분포형 지형자료와 강우자료로부터 추정된 초기 매개변수의 값에 의한 모의가 매개변수가 개념적, 경험적 의미가 큰 집중형 모형에 비해 정확하기 때문에 미세한 매개변수의 조정만으로도 유역의 유출량을 모의할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 장점을 지닌 분포형 강우-유출 모형의 소규모의 도시하천 유역에서의 모의 효율성을 분석하고자 하였다. 유역크기가 작고, 지형입력자료의 변동성이 작으며 강우사상에 대한 유출반응 시간도 짧은 도시하천 소배수구역에서의 분포형 모형의 적용성을 평가하였다.

\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : alska710@kict.re.kr

\*\* 정회원 · 명지전문대학 교수 · E-mail : haksu@mjc.ac.kr

중랑천 유역 내 3개 소배수구역(월계1, 군자, 어린이대공원)을 대상으로 분포형 강우-유출 모형인 Vflo<sup>TM</sup>를 이용하여 모의를 수행하여 각 소배수구역별 모의 결과를 비교, 분석하였으며 분포형 모형의 적용성, 효율성을 평가해 보았다.

## 2. 대상유역

“도시홍수재해관리기술연구사업단”에서 운영 중인 중랑천 유역 내 3개 소배수구역을 살펴보면 다음과 같다 (건설교통부/한국건설교통기술평가원, 2005).

월계1 소배수구역의 면적은 약 53.9 ha로 노원구 면적 35.49 km<sup>2</sup>의 약 1.5%에 해당하고, 유역의 대부분은 행정구역상 서울시 노원구 월계1, 2, 3동의 일부를 포함하며 우이천 하류의 좌안에 위치해 있어 중랑천의 홍수위 영향을 많이 받는다. 월계1 소배수구역의 상류부와 하류부는 성북역과 석계역이 위치하고, 우이천까지의 유로연장은 약 1,967 m 정도이며, 철로 주변의 지반고가 낮은 지역에서는 상습적인 침수가 발생한다. 월계1 소배수구역에서 상류지역은 산림과 상업시설 등으로 구성되어 있으며 우이천과 만나는 하류의 유출구 주변 지역은 아파트단지와 주택으로 구성된 주거지역으로 대부분이 불투수지역으로 구성되어 있다. 배수계통을 따라 우이천으로 직접 연결되어 있으며, 유출분석을 위한 우량관측소가 유역의 동쪽 월계3동 동사무소에 설치되어 있다. 월계1 소배수구역은 성북구의 석관동과 노원구 월계동을 포함하며, 유역내에 약 1.39만명이 거주하며, 인구밀도는 약 25,435 인/km<sup>2</sup>이다. 월계1 소배수구역의 토양형은 전체 유역면적의 약 65%가 C형을 이루고 있으며, 토지이용현황은 철로 및 도로(38%), 삼림(16%), 주거지(15%), 공업시설(14%)의 순이다.

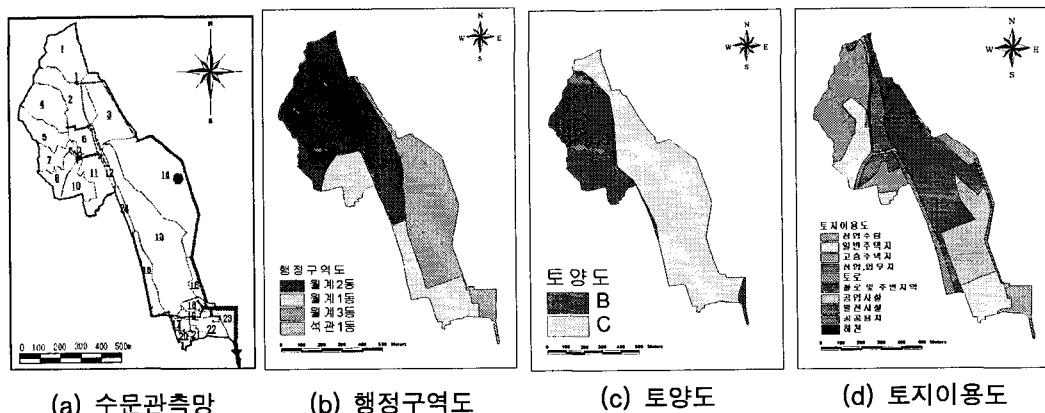


그림 1. 월계1 배수구역

군자 배수구역의 면적은 약 96.4 ha이며 중랑천 좌안의 하류(군자교)에 위치하고 있다. 대부분의 유역이 주택지와 상업지, 아파트 단지로 구성되어 있으며 유역의 20% 정도는 산지이다. 군자배수구역의 최종유출구는 군자교 하류에 위치하고 있으며, 수위·유량관측기기가 설치되어 실시간으로 수문 관측 및 자료를 수집하고 있다. 집수유역의 우수는 관거를 따라 최종유출구인 군자교 하류로 차집되어 중랑하수처리장으로 들어가거나, 유출량이 증가할 경우에는 중랑천으로 유입된다. 또한, 중랑천 수위가 상승하여 유역 내의 우수가 원활하게 배수되지 못할 경우에는 하천수의 역류를 방지하기 위하여 수문으로 차단한다. 행정구역으로 광진구의 군자동, 능동, 중곡동을 포함하며, 유역 내에 약 2.12만명이 거주하며, 인구밀도는 약 21,628 인/km<sup>2</sup>이다. 능동이 전체 유역의 약 60%를 차지하고 있으며, 중곡2동의 인구밀도(43,279 인/km<sup>2</sup>)가 가장 높으며 그 다음으로 중곡1동, 군자동 순으로 분석되었다. 유역의 대부분이 일반주택지 및 상업지로 구성된 군자 배수구역은 주거지 및 상업지가 약 49%, 도로 및 공공시설물이 26%로서 전체 유역면적의 약 75%에서 도시화가 진행되었으며, 유역의 토양형은 유출률이 비교적 낮은 B형이 99%를 차지하고 있다.

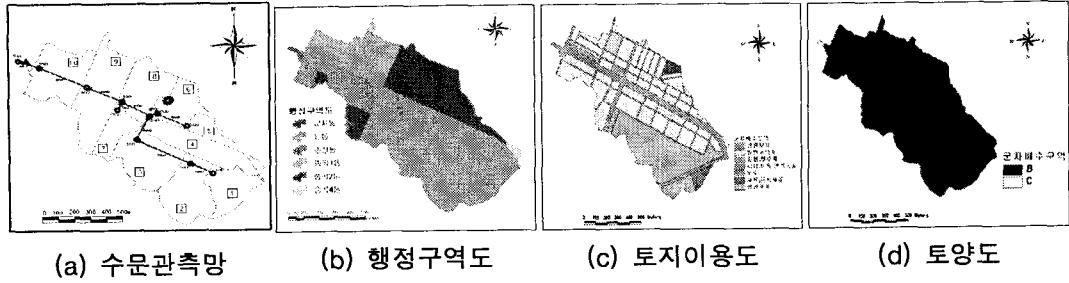


그림 2. 군자 배수구역

군자배수구역의 남쪽 경계와 접하는 지역으로 도시지역 유출 특성 분석을 위해 서울시 광진구에 위치한 어린이대공원 유역을 선택하여 도심에 위치한 공원에서의 수문특성을 관측함으로써 유출특성을 분석하고자 한다. 현재 공원내의 배수는 크게 2곳으로 유출되고 있는 실정으로 각각 공원내의 약 50% 정도의 양을 분담하여 배출하고 있다. 이에 따라 공원내 전체유출량을 알기 위해서는 여러 지점의 관측이 필요하다. 어린이대공원 소배수구역은 동쪽으로 광진구와 서쪽으로는 성동구와 접하며, 광진구 능동, 모진동이 유역에 속하고 있다. 전체 유역면적에 대한 면적비로 유역내의 인구를 분석한 결과 유역내에 약 4천명이 거주하며, 인구밀도는 약 12,866 인/km<sup>2</sup>이다. 토지이용현황을 살펴보면 유역의 대부분이 어린이대공원으로 구성되어 유원지가 전체 유역의 97%의 높은 비율을 이루고 있으며, B형 토양군으로 되어있다.

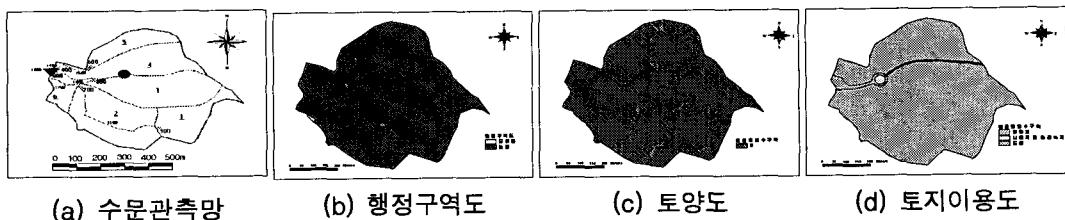


그림 3. 어린이대공원 배수구역

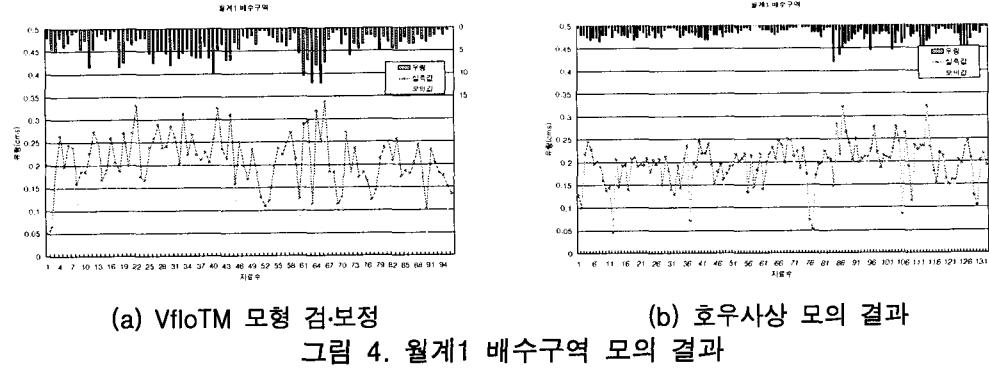
### 3. 분포형 강우-유출 모형

본 연구에서 물리적 기반의 분포형 수문모형으로 레이더강우를 이용한 유출해석을 수행하고 미국 University of Oklahoma에서 개발한 Vflo™을 이용하였다. Vflo™은 지표유출에 운동파방정식(Kinematic Wave Equation)을 사용하고, 수치해를 공간적으로는 유한요소법(Vieux, 2001, 2002)을 시간적으로는 유한차분 음해법을 사용한다. 하도망은 지형정보로부터 유도한 유하방향도로부터 형성되며 하도망의 지형학적 특성은 유역과 수문곡선의 형태와 반응특성을 결정한다. 지표, 하도, 저수지, 천수격자의 수리특성이 강우와 함께 수문모형의 입력을 구성한다. 완경사의 하도 및 하천 외 저류는 Modified Puls 및 Jones방정식을 이용한다. 지표격자로부터 발생하는 유출은 하도추적과 연결된다. 하도추적은 실제단면, 사다리꼴단면, 수위-유량곡선 등을 이용하여 수행된다. 실시간 홍수예보를 위한 Vflo™의 적용사례는 Vieux 등(2002), Vieux와 Bedient(2004) 등의 문헌에 소개되어 있다.

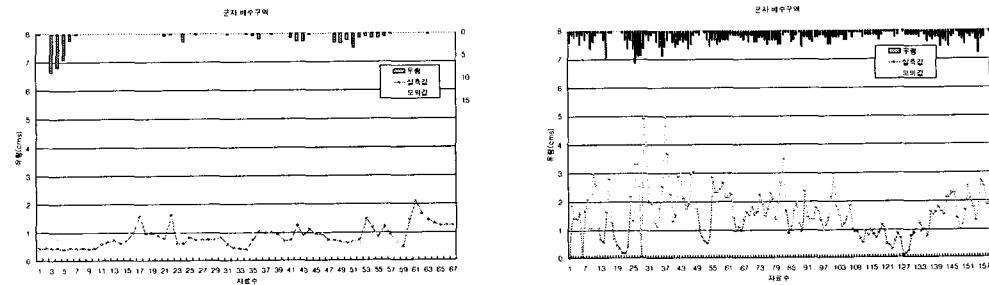
### 4. 모의 결과 분석

모형의 매개변수 추정을 위해 모형 calibration과 verification에 사용된 강우사상은 2005년 6월 26일, 7월 1일, 7월 3일 호우사상이다. 추정된 매개변수로 구축된 모형의 모의를 2006년 7월 12일, 7월 16일, 7월 27일 호우

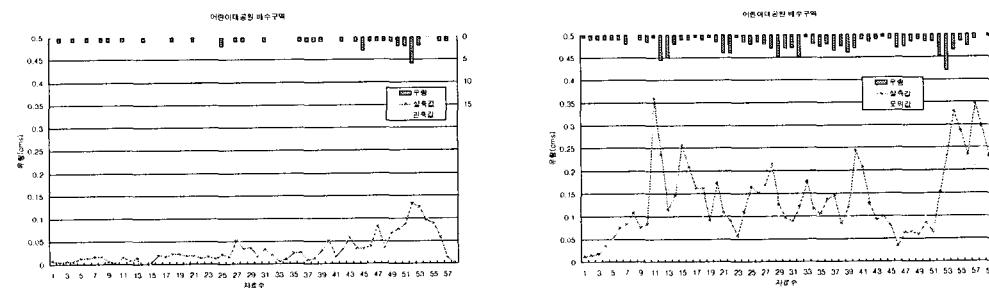
사상으로 수행하였다(그림 4~6 참조). 각 소배수구역별 모의결과를 분석해 보면 3개 소배수구역 모두 관측값과 모의값이 거의 일치하는 것을 알 수 있으며 첨두유량 발생시간에 있어 다소 차이를 보이고 있다. 또한, 매개변수 추정에서 시행착오법으로 매개변수를 조정하지만 미세한 조정만으로 매개변수를 추정할 수 있음을 알 수 있었다. 이는 분포형 모형의 입력자료들이 집중형 모형의 입력자료에 비해 큰 물리적 의미를 내포하고 있기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 도시하천 소배수구역의 한 특성인 호우 도달시간이 대략 30분 정도로 짧은 것이 관측되었으며 Vflo<sup>TM</sup> 모형 모의에서도 잘 반영되었음을 알 수 있었다.



(a) VfloTM 모형 검·보정  
(b) 호우사상 모의 결과  
그림 4. 월계1 배수구역 모의 결과



(a) VfloTM 모형 검·보정  
(b) 호우사상 모의 결과  
그림 5. 군자 배수구역 모의 결과



(a) VfloTM 모형 검·보정  
(b) 호우사상 모의 결과  
그림 6. 어린이대공원 배수구역 모의 결과

## 5. 결 론

본 연구에서는 소규모의 도시하천 소배수구역에 대해 분포형 수문모형인 Vflo<sup>TM</sup>모형의 적용성을 분석해 보았다. 각각 상가 및 주거지역, 아파트 지역, 공원 지역의 특성을 지닌 3개 소배수구역에서의 모형 모의는 양호한 것으로 판단되었다. 모의결과, 실제 관측 유량값과 거의 유사한 시계열 양상과 정량적인 값을 보였다. 또한, 매개변수 추정은 아주 미세한 조정만으로 실측값과 거의 동일한 모의값을 모의하여 매개변수 추정을 용이하게 수

행할 수 있었다. 그러나 이러한 분포형 수문모형을 적용하기 위해서는 자세하고 방대한 정보의 입력자료를 구성해야 하므로 소규모 유역에 대한 분포형 수문모형의 적용성을 검토하기 위해서는 집중형 모형 모의를 통한 비교, 분석이 필요할 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

- 건설교통부/한국건설교통기술평가원 (2005). 도시홍수재해관리기술 연구보고서, 별책 제1권.
- Vieux, B.E., (2001) *Distributed Hydrologic Modeling Using GIS*, ISBN 0-7923-7002-3, Kluwer Academic Publishers, Norwell, Massachusetts, Wat. Sci. Tech. Series, Vol. 38. p. 293.
- Vieux, B.E. and P.B. Bedient. (2004) *Evaluation of urban hydrology prediction accuracy for real-time forecasting using radar*, 18th Conference on Hydrology, 84th AMS Annual Meeting, 11-15 January
- Vieux, B.E., Vieux, J.E. (2002). Vfloe: *A real-time distributed hydrologic model*, Proceedings of the Second Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference, July 28-August 1