

분포형 수문·수질 모델링의 최근 동향과 활용 방안

김성준

건국대학교 지역생태시스템공학과

Distributed Hydrological and Water Quality Modeling - Recent Progress and Its Potential Applicability

Seong-Joon Kim

Department of Biological Systems Engineering, Konkuk University

(Correspondence: kimsj@konkuk.ac.kr)

1. 서 언

컴퓨터 성능의 향상과 더불어 GIS의 발전 그리고 DEM(Digital Elevation Model)의 획득·사용이 가능하게 되므로 수문학(또는 생태학)에서의 분포형 모델은 1969년 Freeze와 Harlan이 처음으로 물리적인 기반의 분포형 모델을 소개한 이후로 그 발전을 거듭하고 있다.

국내에서는 1990년대 중반부터 GIS를 이용한 수문모델의 적용 및 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 국내의 연구로는 농공학분야에서 김대식 등(1995)이 격자 물수지를 이용한 강우유출모델을 개발하여 경기도 화성군 반월유역에 적용하였고, 최진용(1996)은 GIS를 이용한 장기유출모델을 개발하여 동일유역에 적용한 바 있다. 한편 수자원분야에서는 김상현 등(1996), 김상현(1997, 1998), 조홍제 등(1997, 1998), 김상현 등(1999), 정선희 등(1999), 배덕효 등(2000)이 TOPMODEL의 적용성 검토와 알고리즘 개선과 관련된 연구, 김성준(1998), 김성준 등(1998), 채효석 등(1999), 김성준 등(1999), 김성준 등(2000)은 격자기반의 강우유출, 일유출, 증발산량 산정모델의 개발을 시도하였으며, 이 외에도 SCS-CN법을 이용한 유출해석(김경탁 등, 1999) 등의 연구가 활발히 이루어지고 있다. 수질환경분야에서는 김진택(1995)이 농업 비점원오염 유출모델인 AGNPS와 GRASS(Geographic Resources Analysis Support System)와의 호환모델을 개발하여 반월유역에 적용하였고, 김성준(1996), Kim et al.(2000), 김성준 등(2000)은 각각 농촌 소유역의 하천수질관리를 위한 시스템을 개발하여 경기도 북하천유역에 적용한 연구, 격자기반의 토양침식 및 유사운송모델을 개발하여 화용간척지역에 적용한 연구, AGNPS 모델을 이용하여 농촌 소유역의 축산농가 관리기법을 제시한 연구 등이 있다.

본 고에서는 지금까지 개발되어 온 분포형 수문·수질모델들의 유형과 현재 국내외의 대표적인 분포형 수문·수질모델들을 살펴보고, 이들을 수자원분야에 활용하기 위한 실질적인 방안을 제시함으로써, 분포형 모델의 기본적인 이해와 더불어 앞으로 이 분야에서의 연구활성화 및 실무적용성을 기대하고자 한다.

2. 분포형 모델 (Distributed Model)

2.1 분포형 모델의 분류

분포형 모델 중에서도 수문·수질과 관련된 지표 및 지표하 모델에서는 일반적으로 4가지의 모델 구조를 찾아볼 수 있는데, 이들은 모두 지형(topography)을 기본으로 하고 있다: (1) 소위 균질한 소유역(homogeneous subcatchment)으로 구성되어 동일한 성질을 갖는 수문반응단위(Hydrological Response Units, HRUs)에 근거를 둔 모델; (2) 격자기반(grid-based)의 모델; (3) 불규칙삼각망(Triangular Irregular Network, TIN) 기반의 모델; (4) 등고기반(contour-based)의 모델이 그 것이

다(Moore et al., 1993).

2.2 국외의 대표적인 분포형 수문·수질모델

분포형 유출모델과 관련된 최근의 연구동향을 살펴보면 소규모의 시험유역이나 실험실 규모에서 개발되어 적용성을 평가받은 많은 모델들이 있으며, 유역의 복잡한 지형특성을 충분히 고려할 수 있도록 GIS를 도입하는 경우가 증가하고 있다. 이렇게 개발된 모델들로는 미국에서 개발된 AGNPS 모델, ANSWERS 모델, DBSIM 모델 등이 있고, 영국에서 개발된 IHDM 모델, TOPMODEL 모델, 영국과 프랑스, 덴마크가 공동으로 개발한 SHE 모델, 호주에서 개발된 THALES 모델 등이 있다. 이 중 SHE 모델은 그 구조가 가장 복잡하지만 각 수문과정 등이 모듈화되어 있고 상업용으로 상품화되어 있다. 그리고 AGNPS 모델과 ANSWERS 모델은 소규모 유역에서 농업에 의한 비점오염원의 대책 수립에 많이 이용되고 있는 모델이다. 또한 DBSIM 모델과 TOPMODEL 모델은 유역의 지형에 의한 토양 내에서의 물의 이동을 모의하는 새로운 개념의 모델로, DBSIM 모델은 홍수예보에 이용되도록 시스템화하여 발표되기도 하였다.

2.3 국내의 분포형 수문모델 개발 현황

2.3.1 KIMSTORM(Grid-based Kinematic Wave Strom Runoff Model)

김성준(1998), 김성준 등(1998)은 격자 물수지 기법(Grid-based water balance technique)을 이용하여 지표흐름과 지표하 흐름을 모두 고려한 분포형 강우-유출모델(KIMSTORM)을 개발하고, 래스터 GIS 소프트웨어인 GRASS를 이용하여 모델의 입력자료를 추출하는 모델의 전처리과정과 모델의 결과를 시간적·공간적으로 표현해 주는 후처리과정을 개발하였다.

개발한 격자기반의 운동과 강우-유출모델의 적용가능성을 검토하기 위하여 임진강유역내의 연천댐 유역(1,875 km²)에 적용한 바 있다. 모델의 입력자료로는 수치고도모델, 하천도, 흐름방향도, 토양도, 토지피복도, 티센망도 등 6개의 도형자료를 이용하였다. '90년 및 '96년도에 발생한 홍수사상과 비교하였는 바, 모델의 결과는 양호하였다. 출력결과인 시간별 지표유출 분포도로부터 유역에서 발생된 유출양상을 공간적으로 확인할 수 있었다. 본 모델은 이 외에도 보청천유역, 홍보간척지역(Kim, et al., 2000)에도 적용하여 그 적용성이 재차 입증된 바 있다.

2.3.2 GRISMORM(Grid-based Soil Moisture Routing Model)

김성준 등(2000)은 격자 물수지 기법을 이용하여 유역내의 토양수분변화를 일단위로 추적할 수 있는 격자기반의 일유출모델을 개발하고, 래스터 GIS 소프트웨어인 GRASS를 이용하여 모델의 입력자료를 추출하는 모델의 전처리과정과 모델의 결과를 시간적·공간적으로 표현해 주는 후처리과정을 개발하였다. 본 모델은 단방향 흐름경로 알고리즘을 채택하였으며, 유역 유출이 선형저수지(linear reservoir) 개념을 따른다고 가정하였다. 개발한 격자기반의 일단위 토양수분 추적모델의 적용가능성을 검토하기 위하여 대청댐 상류에 위치한 보청천 유역의 일부인 이평교 지점(75.6 km²)을 대상으로 '95년 및 '96년도의 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서 자료를 이용하여 적용하여 보므로써 개발된 모델을 이용한 하천 일유출, 유역 토양수분 추적 및 지하수 함양량 추정의 효용성을 입증하였다.

3. 분포형 수문·수질모델의 개발과 활용을 위한 방안

3.1 한국형 분포형 모델 개발의 필요성

GIS와 수문·수질모델의 결합은 이 분야 모델개발의 새로운 장을 열고 있다. 특히 국내외의 분포형 수문·수질모델의 개발양상은 격자기반(grid-based)으로 그 방향을 잡아가고 있다. 국내에서 수자원 연구분야에 적용되고 있는 모델들을 보면 그 경향을 잘 파악할 수가 있다. 국외의 분포형 모델 중에서 현재 국내에서 그 적용이 활발한 모델들은 TOPMODEL, AGNPS, SWAT 등이다. 이들 분포형 모델들이 활발하게 적용되는 가장 큰 이유 중의 하나는 기존의 총괄형 모델에서는 불가능하였던 유역내 수문·수질 거동의 시간적·공간적 분포상황을 파악할 수 있다는 것이라고 할 수 있다. 즉 유역의 어느 지역에서 문제가 발생되어 이들이 궁극적으로는 어떻게 하천의 유량과 수질에 영향을 미치는지를 파악하므로써 유역단위(watershed scale)의 계획(planning), 관리(management), 복원(restoration) 등의 문제를 해결할 수 있다는 것이다.

한편 이 모델들은 우리나라의 지형조건 및 토지이용조건에 적합한지 의문을 가져볼 필요가 있다. 우리나라는 토지이용의 형태상 외국에서는 거의 찾아볼 수 없는 논(paddy field)이 하천주변에 산재해 있는 특징을 가지고 있다. 따라서 논에서의 수문·수질 거동을 고려하는 우리나라 고유의 모델 개발 또는 기존 외국모델의 수정이 요구된다. 또한 상기의 모델들은 중·소규모의 농업유역(수십km² ~ 수백 km²)에 적용하도록 개발된 모델들이다. 따라서 도시유역에서의 수문·수질거동을 적절하게 표현할 수 있는 모델 그리고 중·대유역단위(수백km² ~ 수천km²)의 모델개발도 요구된다.

기상분야에서는 RS, GIS를 이용한 전지구적 대기순환모델(General Circulation Model; GCM)에 집중적인 연구가 진행되고 있다. 이는 미래 지구의 다양한 기후변화 시나리오에 의한 지구자원의 변동상황을 예측하고, 이에 대한 범세계적인 차원의 대책수립을 지원하기 위함이다. GCM에 사용되는 계산격자의 크기는 2° × 2.5°(위도×경도)로 그 규모가 상당히 크다. 따라서 GCM과 같은 전지구적 규모(global-scale)의 모델 결과를 지역적/구역적 규모(regional/local-scale; 수문학적인 측면에서는 광역적 규모; meso-scale)의 수문모델과 결합하기 위해서는 공간수문학(Spatial Hydrology)의 근본 문제인 규모(scale)와 해상도(resolution)와 관련된 다양한 연구가 필요하다.

3.2 GIS자료의 공유 및 활용문제

분포형 수문·수질모델들을 적용하기 위해서는 우선 수자원관련 GIS자료의 구축과 더불어 이들 GIS자료들을 모델링에 적합하게 가공하여야만 한다. 그러나 지금까지는 이러한 GIS자료들을 개인적으로 구축해야 하는 어려움과 더불어 구축된 자료들을 어떻게 다루어야 하는지 그 방법론에 있어 표준화에 대한 연구가 없었던 것이 사실이다. 그러나 이제는 NGIS에서 구축한 자료들을 구입하여 사용할 수 있는 단계에 이르렀으며, 한국수자원공사에서는 수자원관리종합정보시스템(Water Resources Management Information System; WAMIS)을 「기초자료 관리시스템」, 「분석 시스템」 및 「정책지원 시스템」의 3분야로 구분하여 추진하고 있으며, 전체를 단기, 중기 및 장기계획의 3단계로 설정하여, 1단계인 1999년까지는 우선적으로 기초자료 관리시스템 구축을 완료하였으며, 2단계로 2000~2005년(6년)까지 분석시스템을 개발하고 최종단계인 2006년~2011년(6년)에는 기초자료관리 및 분석시스템을 연계하여 수자원 정책지원시스템을 구축하는 것으로 추진하고 있다. 따라서 이 시스템의 개발이 진행됨에 따라 모델의 개발 또는 적용에 필요한 다양한 수자원관련 GIS주제도들이 수문단위지도(Hydrologic Unit Map) 기반하에서 제공될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

지금까지 개발된 수문·수질 모델들은 각기 새롭고 흥미로운 방법으로 복잡한 수문과정을 검토하기 위한 기반을 제공하여 왔다. Horton, Saint Venant, Chow와 같은 학자들의 선구자적인 노력에 힘입어 수문모델링 분야는 그 발전을 거듭해 왔으며 지금도 다양한 사용자들이 그들만의 독특한 사회를 형성하고 있다. 수문·수질에서 분포형 모델들은 Morton(1993)이 "조정모델(mediating model)"이라 정의한 바 있는 영역에 속한다. 이들은 그럴듯한 사실에 근거하여 정량적인 예측을 가능하게 한다. 이제 수문·수질분야에서 분포형 모델링은 연구초반에 생각했던 것보다는 그렇게 나쁘지 않다는 것이다. 이미 언급한 바와 같이 유역규모에서 수문 및 하천수질 거동 등을 예측하는데 있어 성공적으로 평가받고 있는 TOPMODEL, AGNPS, MIKE SHE, KIMSTORM 등과 같은 모델들이 그 예라 할 수 있다.

이제 당면과제는 우리나라 실정에 맞는 다양한 목적을 위한 분포형 모델들을 개발하는 것이다. 또한 이들 모델들을 어떻게 하면 보다 편리하고도 실용적으로 활용할 수 있겠는가를 생각해야 할 때이다. 이들 모델을 사용하여 원하는 결과를 신속하게 얻기 위해서는 수자원분야에서 어떠한 GIS자료(수자원분야에서의 프레임워크 자료)가 필요하며, 또한 이들 GIS자료들을 어떻게 가공하여 준비해야 하는지에 대한 표준화가 필요하다. 자료의 표준화는 모델 개발자와 사용자에게 필수불가결한 조건이라고 말할 수 있다.

한편 모델의 적용가능성 여부(기존/개발 모델의 보정 및 검증)를 판단하기 위해서는 현장 관측자료의 중요성을 간과해서는 안된다. 즉 하천유량관측과 더불어 유역에서의 증발산량, 토양수분, 지하수위, 수질 등과 관련된 자료들의 관측이 병행되어야 할 것이다. 이는 분포형 모델의 미래뿐만이 아니라 수자원 전 분야의 진일보 발전하는 계기가 될 것임을 확신한다. 따라서 이를 위하여 학계 및 수자원관련기관 등이 의견수렴하여 권역별 대표유역의 선정(또는 기존 대표유역의 재설계) 및 현장관측자료의 장기적이고도 체계적인 수집, 관리 및 정보화에 관한 일련의 연구들을 기대하는 바이다.

Acknowledgements:

본 연구는 2000년도 농림기술개발연구과제의 연구비로 수행되었음.

인용문헌

김성준, 1996: 농촌소유역의 하천수질관리를 위한 GIS응용. *한국GIS학회지* 4(2), 147-157.

김성준, 1998: 격자기반의 운동과 강우유출모형 개발(I)-이론 및 모형-. *한국수자원학회논문집* 31(3), 303-308.

김성준, 채효석, 1999. 격자기반의 토양수분추적모형 개발: 보청천유역 사례연구. *한국GIS학회지* 7(1), 39-48.

채효석, 김성준, 정관수, 1999. 격자기반의 일 증발산량 추정모형 개발. *한국수자원학회논문집* 32(6), 721-730.

Singh, V. P., 1995. *Computer Models of Watershed Hydrology*. WRP, Colorado.