

홍수유출해석을 위한 Hydro-BEAM모형의 개선

Modification of Hydro-BEAM Model for Flood Discharge Analysis

박진혁*, 윤지현**, 정구열***, 성영두****

Jin Hyeog Park, Ji Heun Yun, Koo Yol Chong, Young Du Sung

요 지

지금까지 분포형 모형 개발에 대한 많은 노력이 있음에도 불구하고 여러 제약사항들에 의해 잠재력을 보여주는 정도로 활용되어 왔으나, 최근 급속도로 발전하는 컴퓨터의 계산능력, DEM 등 디지털정보의 구축이 진행되어 오고 있고, GIS 및 인공위성 영상기법의 발달로 공간적인 비균질성을 고려하여 유출과정에서 운동역학적인 이론을 기반으로 물의 흐름을 수리학적으로 추적해 나가는 물리적기반의 분포형 유출모형의 활용도가 높아지고 있다. 본 모형개발에 있어 이론적 배경이 된 모형은 1998년부터 일본 교토대학 방재연구소 코지리 연구실에서 개발 중인 Hydro-BEAM으로 유역 물순환의 건전성을 평가하기 위하여 장기간의 유역 내 유량, 수질을 시계열 및 공간적으로 파악하여 유역의 영향평가를 위해 개발된 물리적 기반의 격자구조를 가진 분포형 장기유출 모형이다. 유출량 계산은 유역내 수평 유출량산정 모듈로서 평면 분포형의 격자형을, 연직 분포형으로는 A~B층의 수평유출량은 하천으로 유입하고, C층은 하천유량에 영향을 미치지 않는 지하수층으로 가정하는 다층모형을 이용해서 A층, 지표 및 하도흐름은 운동파 법(kinematic wave)으로, B~C층의 유출량은 선형저류법으로 계산하는 모형이다.

본 연구에서는 격자흐름방향을 4방향에서 8방향으로 개선하였고, 모형의 각종 수문매개변수들을 GIS와 연계하여 직접 입력할 수 있도록 하였으며, 물리적기반의 침투과정을 모의할 수 있도록 Green & Ampt모듈을 추가하고, 향후 레이더 강우 및 수치예보강우의 홍수유출예측을 염두에 두고 격자강우량을 활용할 수 있도록 하는 등 홍수유출해석을 위한 분포형 강우-유출모형으로 개선하였고, 이를 남강댐유역에 적용해 봄으로써 모형의 적용성을 검토해 보고자 하였다. 홍수기동안의 지표흐름과 지표하 흐름의 시간적 변화와 공간적 분포를 모의할 수 있었으며, 전처리과정으로서 ArcGIS 혹은 ArcView등의 GIS 프로그램을 이용하여 모형에 필요한 ASCII형태의 입력 매개변수 자료들을 가공하였다. 또한 후처리과정으로서 모형의 수행결과인 유역내의 유출량 분포 등을 GIS상에서 나타낼 수 있도록 ASCII형태로 출력하도록 구성하였다. 남강댐유역을 대상으로 유역을 500m의 정방형 격자로 분할하고 수계망을 통하여 유역 출구까지 운동파이론에 의해 추적 계산하였으며, 수문곡선 비교결과 재현성 높은 결과를 보여주었다. 모형의 정확성 및 실용성에 대한 보다 정확한 평가를 위해서는 향후 다양한 강우 사상 혹은 다양한 크기의 유역에 대한 유출량의 재현성 및 매개변수 등에 검증이 이루어져야 할 것이다.

핵심용어 : 홍수유출, 운동파, 분포형모형, GIS, 격자기반

* 정희원 · 한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원 대우 · E-mail : park5103@kwater.or.kr
** 정희원 · 한국수자원공사 물관리센터 차장 · E-mail : ykimo@kwater.or.kr
*** 정희원 · 한국수자원공사 물관리센터 부장 · E-mail : kyong@kwater.or.kr
**** 정희원 · 한국수자원공사 물관리센터 실장 · E-mail : ydsung@kwater.or.kr

1. 서론

수문모형은 유역의 유출현상을 물리적으로 표현하는 수학적 모형으로서, 공간적인 변화의 고려 유무에 따라서 집중형모형 (lumped model)과 분포형모형(distributed model)으로 구분된다(김성준, 1998). 집중형 수문모형의 경우 물리기반의 분포형 모형에 비해 매개변수가 개념적 그리고 경험적 의미가 크기 때문에 수문모형 구축시의 초기매개변수에 의한 모의정확도가 상당히 떨어지며, 이를 위해 시행착오 또는 유전자 등과 같은 최적화 기법을 통해 매개변수를 보정한다. 그러나, 물리적 기반의 분포형 수문모형의 가장 큰 장점은 분포형 지형자료와 강우자료로부터 추정된 초기 매개변수의 값에 의한 유출모의가 집중형 모형에 비해 비교적 정확하기 때문에 미세한 매개변수의 조정만으로도 유역의 유출량을 모의할 수 있다는 점이다 (홍준범 등, 2006). 지금까지 분포형 모형 개발에 대한 많은 노력이 있음에도 불구하고 여러 제약사항들에 의해 잠재력을 보여주는 정도로 활용되어 왔으나, 최근 급속도로 발전하는 컴퓨터의 계산능력, DEM(Digital Elevation Model) 등 디지털정보의 구축이 진행되어 오고 있고, GIS 및 인공위성 영상기법의 발달로 유역에 대한 정확하고 상세한 각종 수문매개변수의 수집이 가능하여 유출과정의 공간적인 분포나 변동을 유역 혹은 소유역단위로 평균화해서 취급하는 개념적기반의 집중형 수문모형 보다 공간적인 비균질성을 고려하여 유출과정에서 운동역학적인 이론을 기반으로 물의 흐름을 수리학적으로 추적해 나가는 물리적기반의 분포형 유출모형의 활용도가 높아지고 있다(박진혁, 2006).

본 연구에서는 격자강우량과 GIS와 연계한 격자기반의 공간수문자료들을 모형의 입력매개변수로 활용하고, 수계망을 통하여 유역 출구까지 운동파(kinematic wave)이론에 의해 유출량을 물리적으로 추적해 나가는 격자기반의 분포형 강우-유출모형을 Hydro-BEAM모형을 근간으로 개선하였고, 이를 남강댐유역에 적용해 봄으로써 모형의 적용성을 검토해 보고자 하였다.

2. 모형의 개요 및 이론

본 모형개발에 있어 이론적 배경이 된 모형은 1998년부터 일본 교토대학 방재연구소 코지리 연구실에서 개발 중인 Hydro-BEAM으로서 유역 물순환의 건전성을 평가하기 위하여 장기간의 유역 내 유량, 수질을 시계열 및 공간적으로 파악하여 장래 토지이용의 변화나 인공적인 변화에 의한 유역의 영향평가를 하기 위해 개발된 물리적 기반의 격자구조를 가진 분포형 장기유출 모형이다(박진혁 등, 2003). 유역내 수평 유출량산정 모듈로서 평면 분포형의 격자형을, 연직분포형으로 다층모형을 이용해서 격자기반다층유출모형을 적용한다. 연직구조는 A~B층의 수평유출량은 하천으로 유입하고, C층은 하천유량에 영향을 미치지 않는 지하수층으로 가정하였다. 동일한 유출 특성 및 부하발생특성을 가지는 토지피복을 하나로 묶어서 산림지역, 논지역, 밭지역, 도시지역, 수역으로 5종류로 재분류하여 격자마다 모자이크법을 적용하여 토지피복의 영향을 상세하게 파악할 수 있도록 고려하였으며, 지표 및 하도흐름은 운동파 법(kinematic wave)으로, B~C층의 유출량은 선형저류법으로 계산하였다.

본 연구에서는 격자흐름방향을 4방향에서 8방향으로 개선하였고, 모형의 각종 수문매개변수들을 GIS와 연계하여 직접 입력할 수 있도록 하였으며, 물리적기반의 침투과정을 모의할 수 있도록 Green & Ampt모듈을 추가하고, 향후 레이더 강우 및 수치예보강우의 홍수유출예측을 염두에 두고 격자강우량을 활용할 수 있도록 하는 등 홍수유출해석을 위한 분포형 강우-유출모형으로 개발하였다.

3. 대상유역 및 GIS수문매개변수 구축

본 연구에서는 실제유역에서의 적용가능성을 평가하기 위해 남강댐유역을 대상 유역으로 선정하였다. 남강댐유역은 낙동강 합류지점으로부터 약 80km 상류지점에 위치하며, 유역면적은 2,293km²로 낙동강 전체 유역면적의 9.6%를 차지하고 있다. 연평균 기온은 13℃이며 여름철에 몬순기후와 남해안의 난류가 어우러져 집중호우나 태풍을 동반하는 다우지역으로서 연평균 강우량이 1,416mm나 된다. 남강유역의 행정구역은 3도 1시 11군 68개 읍면동에 달하며 주된 산업은 농업과 임업이며 진주시 일원에 일부 공업이 발달되어 있다(한국대담회, 2006).



그림 1. 남강댐유역 현황도

유역의 수문학적인 특성은 지형, 토지피복, 토양 등에 의해 크게 좌우된다. 본 연구에서는 HEC-GeoHMS를 ArcView에 탑재하여 DEM, 토양도, 토지피복도 등을 이용하여 물리적기반의 분포형 모형의 입력인자로서 공간분포형 수문매개변수들을 추출하였다. 남강댐유역 30m DEM을 ArcView에서 GIS 각 주제도의 투영과 해상도가 동일한 해상도를 갖도록 조정된 후 500m로 리샘플(Resample) 하였다. 유하방향도는 ArcView에서 HEC-GeoHMS extension을 사용하여 유도하였다. 유역의 가로흐름을 막고 수계망을 향하여 유하방향도를 작성하기 위하여 Charleux-Demarge 과 Peuch(2000)가 제안한 방법을 이용하여 30m DEM과 전체 유역도로부터 유도된 수계망을 500m DEM에 중첩시켰다. 30m DEM에서 유도된 수계망은 500m 분포형모형 격자내에서 배수방향을 결정하는데 사용되었다. 토지피복도는 환경부에서 제작한 30m 해상도의 토지피복도를 이용하여 동일한 유출부하 특성을 보이는 항목을 묶어서 5가지로 재분류하여 격자마다 조도계수를 계산하였다. 토양도와 토양깊이, 점토와 모래비율 등의 정보가 포함된 GIS 토양주제도는 ArcView를 이용하여 토심 및 토양수분의 시간변화량 추정을 위한 Green-Ampt 침투 매개변수를 구하였다.

4. 적용 및 결과

4.1 격자강우자료 처리

본 연구에서는 유역에서의 분포형 강우-유출모형을 적용함에 있어 모형의 중요 입력 자료인 강우에 대하여 시공간적인 강우분포를 유출계산에 모의하기 위해 남강댐 유역에 위치한 서하, 아영, 안의, 운봉, 함양, 산내, 마천, 임천, 삼장, 산천, 차황, 시천, 청암, 태수, 신안, 삼가, 창촌, 수곡의 총 18개 관측소의 시강우자료를 사용하였다. 분포형 강우는 모형의 해상도와 같은 크기의 500m격자로 유역내의 강우관측소와 주위의 관측소로부터 역거리가중법을 이용하여 각 격자로부터 관측소까지의 거리에 따라 관측치를 가중 평균한 값을 그 격자에서의 강우량으로 산정하였다. 산정된 격자 강우량은 ASCII포맷의 형식으로 변환하여 분포형모형의 입력인자로 사용하였다.

4.2 유출계산 결과

본 모형의 적용을 위한 강우사상은 최근 남강댐 유역에 큰 영향을 준 태풍 루사 (2002년 8월 31일 01시~9월1일 23시), 태풍 매미 (2003년 9월 12일 01시~9월13일 23시) 및 태풍 에위니아 (2006년 7월 8일 18시~7월11일 12시) 의 총 3개의 사상에 대하여 유출량 모의를 실시하였다. 남강댐 유역에는 9개의 수위관측소 지점이 있으며 그 중 대표적으로 3개의 지점(신안, 창촌, 산청)과 최종 유출지점(남강댐)에 대하여 수문곡선을 관측치와 비교하였다.

모형의 수문매개변수들은 GIS와 연계하여 수치지형, 토지피복도, 토양도로부터 물리적인 공간분포형 매개변수를 추출함으로써 초기매개변수에 의한 모의정확도가 비교적 정확하였으며, 남강댐 유역내 4개 수위관측소(신안, 창촌, 산청, 남강댐)로부터 수위-유량 관계곡선에 의해 유량자료로 환산한 관측치와 비교해 본 결과, 대부분의 지점에서 매개변수의 별다른 보정없이도 유량의 크기와 첨두시간 모두 관측치와 비교적 잘 맞는 것을 확인할 수 있었다. 그림 4는 앞에서 언급한 3개의 강우사상(태풍 루사, 매미, 에위니아)중 루사사상에 대하여 최종 유출지점인 남강댐지점의 유출 모의 곡선 결과를 예로 매개변수 보정 전·후 및 관측치와 비교하여 나타내고 있다.

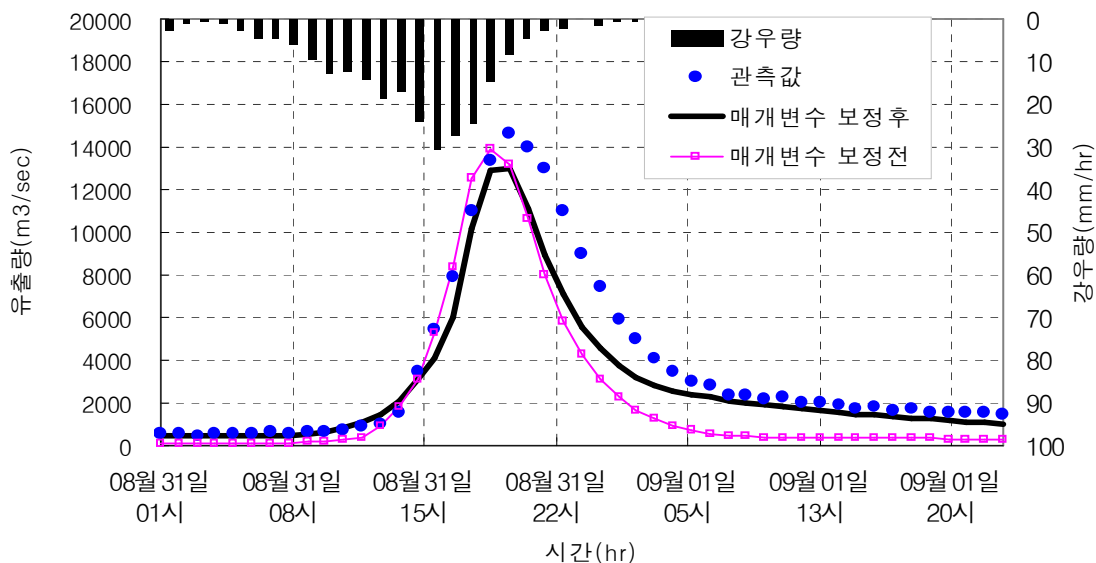


그림 2. 2002년 태풍 루사시 유출해석 결과(남강댐 지점)

남강댐 유역내 4개 수위관측소(신안, 창촌, 산청, 남강댐)로부터 수위-유량 관계곡선에 의해 유량자료로 환산한 관측치와 비교해 본 결과, 대부분의 지점에서 매개변수의 별다른 보정없이도 유량의 크기와 첨두시간 모두 관측값과 대체적으로 잘 맞는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 격자강우와 함께 모든 수문매개변수들을 격자마다 달리함으로써 공간적인 비균질성을 고려할 수 있고, 격자마다 유출량을 산정함으로써 유역내 임의의 지점에서도 상세한 유출량 모의가 가능하도록 시간별 지표유출 분포도를 GIS와 연계하여 공간적으로 파악할 수 있었다(그림 3).

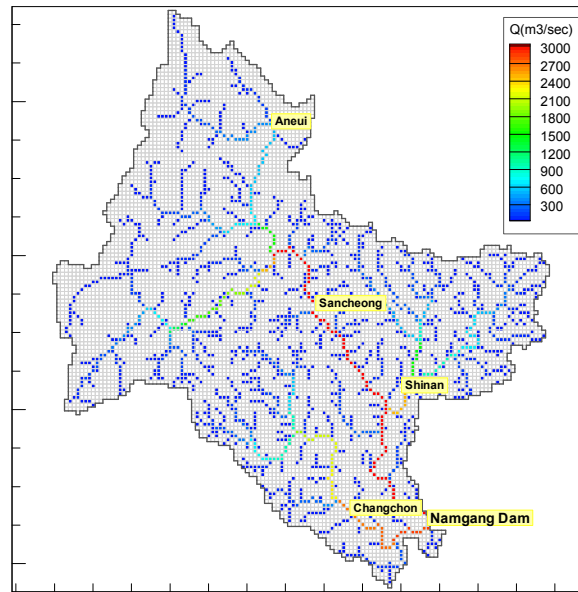


그림 3. 하천유출량 분포도 (2003년 태풍 에위니아 첨두시)

참 고 문 헌

1. 김성준 (1998). "격자기반의 운동과 강우유출모형 개발(I)." 한국수자원학회논문집, 제31권, 제3호, pp.303-308.
2. 박진혁, 코지리, 토모스기 (2003). "유역환경평가를 위한 GIS기반 분포형유출모형의 구축(일본어)." 일본 수문·수자원학회논문집, 제16권, 제5호, pp.541-555.
3. 박진혁 (2003). "GIS기반의 분포형유출모형을 이용한 비교수문학의 제안." 교토대학 공학박사 학위논문, pp.39-60.
4. 박진혁, 강부식 (2006). "댐유역 홍수예측을 위한 GIS기반의 분포형모형과 집중형모형의 유출해석 비교." 한국지리정보학회지, 제9권, 제3호, pp.171-182.
5. 한국대댐회 홈페이지 (2006). http://www.kncold.or.kr/korean/dam/k_dam9.html.
6. 홍준범, 김병식, 윤석영 (2006). "VfloTM 모형을 이용한 물리기반의 분포형 수문모형의 정확성 평가." 대한토목학회논문집, 제26권, 제6호, pp.613-622.
7. Charleux-Demargne, J. and Puech, C., (2000). "Quality assessment for drainage networks and watershed boundaries extraction from a Digital Elevation Model(DEM)." Eighth ACM Symposium on Advances in Geographic Information Systems in Washington D.C., November 10-11, pp. 89-94.