

GIS기반 K-DRUM을 이용한 금강권 대유역 홍수유출 적용 Application of Flood Discharge for Gungang Watershed Using GIS-based K-DRUM

박진혁* · 허영택**

Park, Jin Hyeog · Hur, Young Teck

要 旨

지금까지 국내에서 개발된 분포형 강우-유출모형은 입력 자료의 구축에 많은 시간과 노력이 필요하며, 유출과정에서 운동역학적인 이론에 근거하여 물의 흐름을 수치해석으로 추적해 나가는데 많은 계산시간이 소요되는 단점이 있었다. 그래서 지금까지 분포형모형의 적용유역은 대부분 일정규모 이내의 유역에 국한되어 적용되어왔다. 하지만, 최근 유역관리 개념의 변화에 따라 통합유역관리의 필요성이 증대되면서 댐의 상·하류를 포함한 유역전체의 유출계산이 요구되었다. 본 논문은 자체개발한 GIS기반의 물리학적 분포형 강우-유출모형인 K-DRUM을 국내 대유역인 금강권수계 전체를 대상으로 모의하여 홍수유출시 대유역에 대하여 분포형모형의 실무에서의 적용 가능성을 검토하였다. GIS수문개변수를 DEM, 토지피복도, 토양도 등의 기본 GIS자료들로부터 추출하여 모형의 입력인자로 사용하였으며, 초기 토양함수조건을 설정하는데 있어서 자동보정기법을 적용함으로써 기존의 시행착오법으로 인해 소요되는 시간과 부정확한 설정으로 인해 발생될 수 있는 문제점을 해결하였다. 태풍 “에위니아”를 대상으로 용담, 대청, 공주 지점에서의 유출량 모의 결과 체적오차백분율은 13.3~25.6%, 첨두유량오차백분율은 5.4~22.8%, 총유출량오차는 7.3~12.5%로 실무적용 가능성이 충분한 것으로 판단된다.

핵심용어 : 분포형모형(K-DRUM), 운동파, 초기토양함수, 자동보정기법, 기저유출

Abstract

The distributed rainfall-runoff model which is developed in the country requires a lot of time and effort to generate input data. Also, it takes a lot of time to calculate discharge by numerical analysis based on kinematic wave theory in runoff process. Therefore, most river basins using the distributed model are of limited scale, such as small river basins. However, recently, the necessity of integrated watershed management has been increasing due to change of watershed management concept and discharge calculation of whole river basin, including upstream and downstream of dam. Thus, in this study, the feasibility of the GIS based physical distributed rainfall-runoff model, K-DRUM(K-water hydrologic & hydraulic Distributed RUnoff Model) which has been developed by own technology was reviewed in the flood discharge process for the Geum River basin, including Yongdam and Daecheong Dam Watersheds. GIS hydrological parameters were extracted from basic GIS data such as DEM, land cover and soil map, and used as input data of the model. Problems in running time and inaccuracy setting using the existing trial and error method were solved by applying an auto calibration method in setting initial soil moisture conditions. The accuracy of discharge analysis for application of the method was evaluated using VER, QER and Total Error in case of the typhoon 'Ewinia' event. and the calculation results shows a good agreement with observed data.

Keywords : K-DRUM, Kinematic wave, Initial soil moisture, Auto calibration, Baseflow

1. 서 론

컴퓨터 기반의 수문모형은 지난 30년 동안 꾸준히

개발되어 왔음에도 불구하고 개념적인 기반의 집중형 수문모형들은 과학적으로 논리적이지 못한 기술적인 한계를 가지고 있었고, 이러한 모형으로부터 예측된 결

2009년 11월 3일 접수, 2009년 12월 1일 채택

* 정희원 · 한국수자원공사 K-water연구원 책임연구원(park5103@kwater.or.kr)

** 교신저자 · 한국수자원공사 물관리센터 선임연구원(korcivil@kwater.or.kr)

과에 대한 신뢰성에 의문을 가져왔다. 최근 전 세계적으로 GIS 및 RS데이터 등 디지털정보의 구축이 급속도로 진행되어 오고 있고, 인공위성 영상기법의 발달로 유역에 대한 정확하고 상세한 각종 수문매개변수 수집이 가능하여 유역을 부분유역으로 분할한 기존의 집중형 수문모형보다 유역내의 공간적인 유량변동을 보다 상세하게 고려할 수 있는 격자기반의 분포형 수문모형의 활용도가 높아지고 있다(박진혁과 강부식, 박진혁 등, 2007, 박진혁과 허영택, 2008a, 2008b). 특히, 우리나라의 경우, 치수 등을 위한 단기유량예측은 그 긴박한 필요성으로 인하여 연구와 실무에서 관심의 대상이 되고 있으며, 특히 단시간, 실시간으로 강우자료의 갱신을 수반하는 기상 레이더자료와 GIS와 연계한 물리적기반의 분포형 유출모형의 활용은 치수분야에 있어 홍수량 예측 향상에 매우 중요한 역할을 할 것으로 기대되고 있다(박진혁 등, 2008).

분포형모형 개발과 관련된 국내의 선행연구로서는 고덕구(1989)에 의해 소유역의 장기유출예측을 위한 모의발생 수문모형이 처음으로 개발되었고, 1990년대 중반부터 GIS를 이용한 수문모형의 적용 및 개발에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 특히, 수자원분야에서 김성준(1998)은 격자 물수지기법을 이용하여 지표흐름과 지표하흐름을 모두 고려한 분포형 강우-유출모형(KIMSTORM)을 개발하였다. 추가로 GRASS를 이용하여 모형의 입력자료를 추출하는 모형의 전처리과정과 모형의 결과를 사공간적으로 표현해 주는 후처리 과정을 개발하여 임진강유역내의 연천댐 유역에 적용한 바 있다. 박진혁 등(2006)은 댐유역의 홍수예측을 위하여 GIS기반의 분포형모형인 Vflo모형과 집중형모형인 KOWACO모형을 이용하여 국내 최초로 용담댐 유역의 유출해석을 실시하여 결과 및 모형의 차이를 비교 검토한 바 있다. 또한 물리적인 운동파이론과 유한차분법을 이용한 분포형 강우-유출모형인 K-DRUM모형을 자체 개발하여 남강댐유역(박진혁 등, 2008) 및 용담댐유역(박진혁 등, 2009) 등에 적용한 바 있다.

지금까지 국내에서 개발된 분포형 강우-유출모형은 입력 자료의 구축에 많은 시간과 노력이 필요하며, 유출계산시 운동역학적인 이론에 근거하여 물의 흐름을 수치해석으로 추적해 나가는데 많은 계산시간이 소요되는 단점이 있었다. 그래서 지금까지 분포형모형의 적용유역은 대부분 일정규모 이내의 유역에 국한되어 적용되어왔다. 하지만, 최근 유역관리 개념의 변화에 따라 통합유역관리의 필요성이 증대되면서 댐상하류를 포함한 유역전체의 유출계산이 요구되었다.

이에 따라 본 논문은 용담댐 및 대청댐을 포함하는

대유역권인 금강수계 전체를 대상으로 자체 개발한 물리적기반의 분포형모형을 이용하여 실무에서의 적용가능성을 검토하였다. 연구대상 지역인 금강수계 전체유역의 GIS수문매개변수를 DEM, 토지피복도, 토양도 등의 기본 GIS자료들로부터 추출하여 모형의 입력인자로 사용하였으며, 실무자들의 편의를 위해 수문곡선상 유출에 가장 큰 영향을 미치는 매개변수의 하나인 초기토양함수조건을 설정하는데 있어서 자동보정기법을 적용하였다.

2. 모형의 구성

2.1 모형의 개요

유역내 수평 유출량산정 모듈로서 평면분포형의 격자형, 연직분포형의 다층모형을 이용해서 격자기반 다층유출모형을 적용한다. 연직구조는 A~B층의 수평 유출량은 하천으로 유입하고, C층은 하천유량에 영향을 미치지 않는 지하수층으로 가정하였다(그림 1). 본 모형의 특성으로서는 DEM을 이용하여 격자기반으로 지형정보를 수치화하고 GIS를 이용하여 위성영상을 통한 실제 토양 및 토지피복에 대한 매개변수들을 추출하고, 실제와 근사한 하천흐름도를 추출하여 운동역학적인 이론을 기반으로 물의 흐름을 수리학적으로 추적하는 것이다. 또한, 침투능 공극을 통한 흐름과정으로 산정하고 레이더강우자료 등의 격자기반의 분포형강우를 입력할 수 있도록 설계되어 있다.

본 모형은 단순화된 조건하에서 사용하기 적합한 해석해가 존재하여 검증이 용이하고 넓은 범위의 조건하에서 적용성이 우수하며 강우-유출로 인한 지표흐름을 추적하기 위하여 보편적으로 적용하고 있는 운동파 해석법(kinematic wave)을 이용하였다(박진혁과 허영택, 2008c). 지표 흐름 및 A층(얇은면 흐름)은 중간유출을

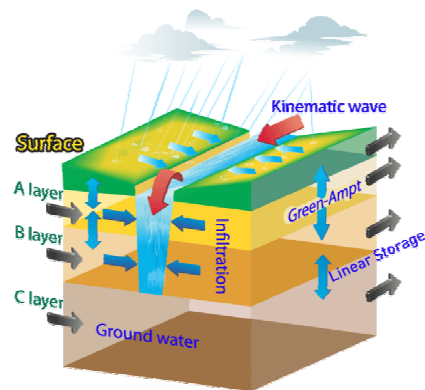


그림 1. 모형의 구조

고려한 운동과법을 적용하였고, B층(지표하 흐름)과 C층(지하수 흐름)은 선형저류법을 적용하였다. 강우발생시 토양내부로의 침투강도를 계산하기 위하여 Mein과 Larson(1973)이 제안한 Green-Ampt식을 이용하였다.

2.2 K-DRUM모형의 지배방정식

각층에서의 유출해석을 위한 지배방정식과 각각의 변수에 대한 내용은 다음과 같다(Beven, 1979).

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(vh)}{\partial x} = R - I \tag{1}$$

$$v = \frac{1}{n} h^{2/3} S^{1/2} \tag{2}$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{S_o^{1/2}}{n} \frac{\partial h^{5/3}}{\partial x} = R - I \tag{3}$$

여기서, x : 상류단에서의 거리(m), h : 수심(m), v : 유속(m/s), R : 강우량(mm), I : 침투량(mm)으로 표현된다.

강우발생시 토양내부로의 침투강도를 계산하기 위한 Green-Ampt식의 수식은 다음과 같다.

$$F_t = k_s \Delta t + \psi(\theta_s - \theta_0) \ln \left(1.0 + \frac{F_t}{\psi(\theta_s - \theta_0)} \right), \quad f_t = k_s \left(1.0 + \frac{\psi(\theta_s - \theta_0)}{F_t} \right) \tag{4}$$

여기서, F_t : t 시간에서의 누가침투량(m), k_s : 유효투수계수(m/sec), Δt : 계산시간 간격(sec), ψ : 습윤선 흡입수두(m), θ_s : 포화 함수비, θ_0 : 초기 함수비, f_t : t 시간에서의 침투강도(m/sec)

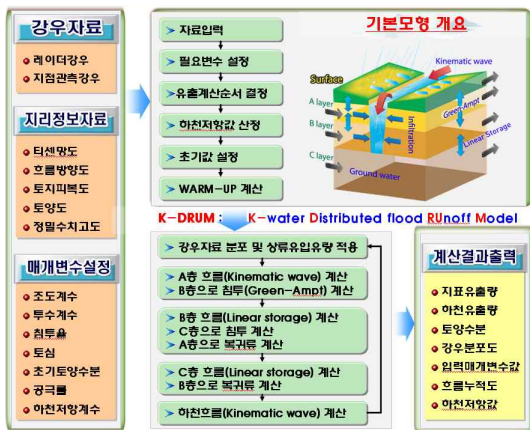


그림 2. K-DRUM 모형의 계산흐름도

앞의 식들을 기본 방정식으로 하여 구성된 K-DRUM 모형은 강우자료와 지리정보자료를 이용하여 산출된 수문 매개변수를 입력 자료로 하여 계산에 필요한 세부적인 격자 특성을 산출한다. 산출된 격자 특성을 토대로 강우 및 기저유출을 고려하여 유출계산을 수행한다. 계산된 각종 수문 자료는 시간 및 공간별로 구분되어 출력된다. 그림 2는 K-DRUM 모형의 입출력 자료의 종류 및 계산 흐름에 대한 간략한 설명을 나타내고 있다.

3. 연구대상지 및 GIS 수문매개변수 구축

3.1 연구대상지

본 연구에서는 실제 국내 대유역에서의 실무적용가능성을 검토하기 위하여 용담댐 및 대청댐유역이 포함된 금강권 수계 전체(9,914km²)를 대상유역으로 선정하였다. 금강권 전체유역의 지형지세 및 하도, 강우 및 수위관측소 등 기본현황은 그림 3에 나타나 있다.

3.2 GIS수문매개변수 구축

유역의 수문학적인 특성은 지형, 토지피복, 토양 등에 의해 크게 좌우된다. 표 1은 분포형 모형에서 입력 자료로 사용되는 수문매개변수 산정을 위한 원시자료의 출처, 매개변수명, 산정방법 및 기준에 대하여 정리하였다(박진혁과 허영택, 2009).

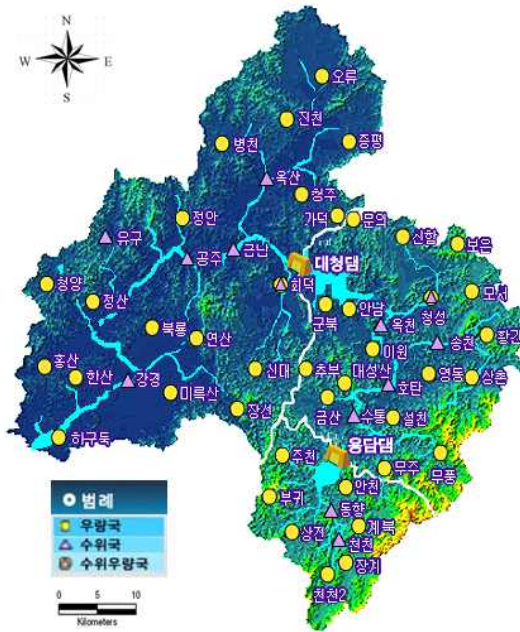


그림 3. 연구대상지

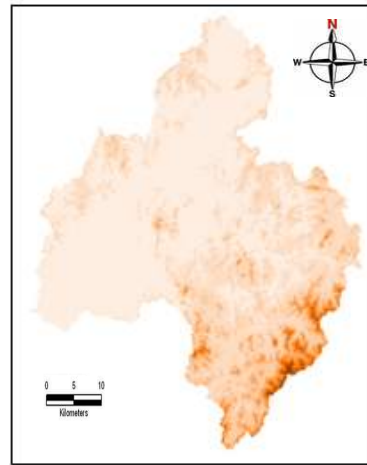
표 1. 주요 매개변수 종류

원시자료 (출처)	수문매개변수	비 고
DEM (환경부)	유역경사	ArcView (Spatial Analysis) 이용
	하상경사	
	하도측면경사	
	하도폭	
	하도조도계수	
	하천셀	HEC-GeoHMS 이용
	유하방향	HEC-GeoHMS 이용
토지피복도 (환경부)	토지피복별 조도계수	유출특성에 따라 8가지로 재분류 표 2 참고
토양도 (농업과학 기술원)	유효토심	Green-Ampt 침투 과정 모의 표 3 참고
	투수계수	
	흡인수두계수	
	유효공극율	
격자 해상도		250 m

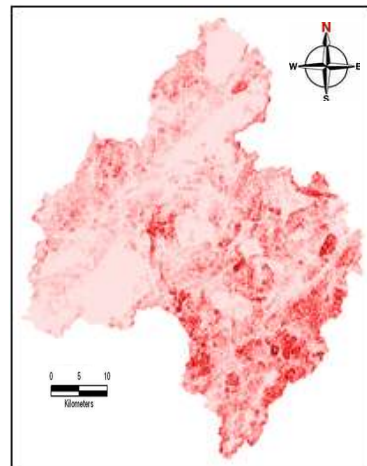
본 연구에서는 HEC-GeoHMS를 ArcView에 탑재하여 DEM, 토양도, 토지피복도 등을 이용하여 아래와 같이 물리적기반의 분포형 모형인 K-DRUM모형의 입력인자로서 공간분포형 수문매개변수들을 추출하였다.

3.2.1 지형매개변수

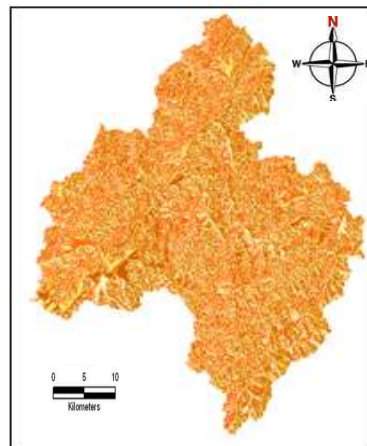
금강유역의 30m DEM을 ArcView에서 GIS 각 주제의 투영과 해상도가 동일한 해상도를 갖도록 조정후 250m로 리샘플(Resample) 하였다. 유하방향도는 ArcView에서 HEC-GeoHMS extension을 사용하여 유도하였다. 유역경계선의 셀값을 유역내 수정한 최대표고값보다 더 높여서 수문학적인 DEM을 생성하였고, 하천의 흐름이 유역경계선 밖을 벗어나지 않도록 하여 유역경계 및 하천망(stream network)을 원활하게 추출하는 기법(Charleux-Demarge, Peuch, 2000)을 적용하였다. 30m DEM에서 유도된 수계망은 250m K-DRUM 모형 격자내에서 배수방향을 결정하는데 사용되었다. 하도셀을 구하기 위한 배수면적의 기준값은 수계망이 얼마나 하도화되어 있는지에 따라 경험적으로 설정되는데, 여기서는 5km²의 값을 가지고 산정하였다(박진혁과 허영택, 2009). 그림 4에 금강유역의 DEM과 이로부터 획득한 경사도 및 흐름방향도를 나타내었다.



(a) DEM



(b) 경사도



(c) 흐름방향도

그림 4. 금강유역의 지형특성들

3.2.2 토지피복 매개변수

토지피복은 지표면 조도 및 불투수층의 분포를 좌우하며 이에 따른 유역의 수문응답 반응시간과 유출용적의 변화에 직접적인 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 환경부에서 제작한 30m 해상도의 토지피복도를 이용하였다. 동일한 유출부하 특성을 보이는 항목을 묶어서 8가지로 재분류하여 격자마다 조도계수를 계산하였다(그림 5). 각각의 토지피복분류에 대한 전형적인 조도계수 값은 Vieux가 제시한 값(Vieux, 2004)을 참고로 하였다. 표 2에 각 토지항목별 조도계수값을 표시하였다(박진혁과 허영택, 2009).

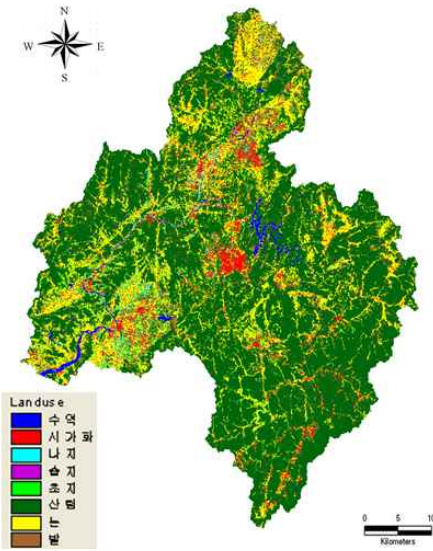


그림 5. 금강유역의 토지피복도

표 2. 조도계수의 분류(Vieux, 2004)

항목	토지이용	조도계수
1	Water Area	0.03
2	Urbanization	0.015
3	Eroded Land	0.035
4	Marsh	0.05
5	Grassland	0.13
6	Forest	0.1
7	Paddy Field	0.05
8	Cropland	0.035

3.2.3 토양 매개변수

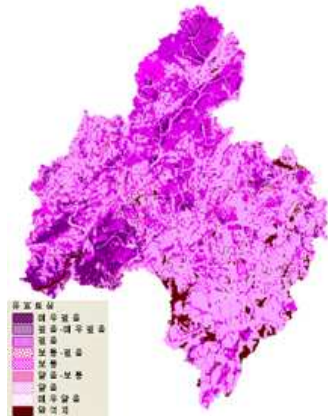
토양은 초기 함유수분, 토심, 입도분포 등에 따라 강우의 침투능에 직접적인 영향을 미치게 된다. 토양도와 토양깊이, 점토와 모래비율 등의 정보가 포함된 GIS 토양주제도는 농업과학기술원에서 제공받아 ArcView를 이용하여 토심 및 토양수분의 시간변화량 추정을 위한 Green-Ampt 침투 매개변수를 구하였다.

Green-Ampt식은 토양 수분에 따른 시간변화 영향을 물리적으로 설명하기 위해 Darcy법칙의 이론적인 근거에서 유도되었다. 또한 Green-Ampt식은 흙의 성질로부터 계산될 수 있는 물리적인 의미를 갖고 다양한 토양조건에서 좋은 결과를 보여주었다. 금강 유역 30m 해상도의 토양자료를 모형의 격자해상도(250m)에 맞게 리샘플링한 후 Vieux가 제시한 값(Vieux, 2004)을 참고로 토심 및 Green-Ampt 매개변수인 습윤전선(wetting front suction), 포화 투수계수 그리고 유효공극율과 같은 침투 매개변수를 산정하였다. 산정된 각종 매개변수는 모형의 입력포맷인 ASCII파일로 변환하여 출력하였다. 표 3에 Green-Ampt 매개변수값을 표시하였고, 그림 6에 토양도(토심)로부터 유효토심 매개변수

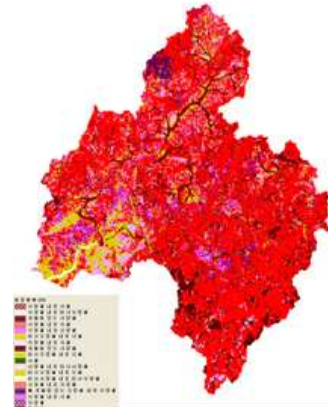
표 3. Green-Ampt매개변수(Vieux, 2004)

항목	토양 종류	유효공극률 θ_e (cm ³ /cm ³)	습윤전선 흡입수두 Ψ_f (cm)	포화투수계수 K_s (cm/hr)
0	No data	0.361	15.945	0.595
1	Sandy Loam/Sands	0.415	7.980	6.435
2	Clay Loam/Silty Clay Loam	0.371	24.090	0.100
3	Sandy Loam (with gravels)	0.412	11.010	1.090
4	Sandy Loam/Clay	0.399	21.320	0.560
6	Silty Clay Loam/Clay	0.409	29.465	0.065
7	Clay Loam/Clay	0.347	26.255	0.065
8	Sandy Loam (with gravels)	0.412	11.010	1.090
14	Sandy Loam/Clay Loam	0.361	15.945	0.595
15	Clay Loam (with gravels)	0.309	20.880	0.100
16	Clay Loam/Silt	0.393	18.780	0.375
17	Clay Loam	0.309	20.880	0.100
49	Rocky Land	0.010	0.000	0.000

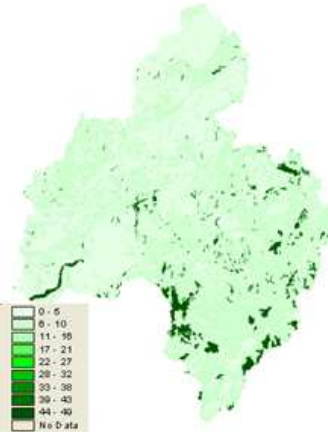
를, 토양도(종류)를 산정한 결과를 GIS상에서 나타내었다(박진혁과 허영택, 2009).



(a) 토양도(토심)



(b) 토양도(종류)



(c) 유효토심(cm)

그림 6. 금강 유역의 토양 매개변수

4. 초기토양 자동 보정기법 적용 및 결과

4.1 초기토양 자동 보정기법 개요

이번 연구에서 개발한 초기토양 조건 자동 보정 기법은 모형에서 적용된 토양 조건이 물리적으로 실제의 기저유출을 재현하는 것에 기초하였다. 각 격자에서 발생하는 기저유출량은 격자의 토양함수비가 완전포화상태에서 일정비율로 감소하게 되는 특성을 가지고 있다. 만약 유역 전체에 불균등한 강우가 발생하면 유역내 토양의 함수량은 불균등한 분포를 나타내지만, 강우가 종료한 후 약 3~5일 경과하면 토양내부의 특성상 토양함수비 감소는 유역의 지형특성 및 수문 특성에 따라 기저유출량의 감소와 비슷하게 진행되게 된다.

본 연구에서 사용된 초기 토양 함수비 자동 보정 기법은 다음과 같이 진행된다(박진혁과 허영택, 2009).

- 1) 유역의 토양조건 중에서 B층과 C층의 초기토양함수비를 완전포화상태로 설정한다.
- 2) 유역 내에 위치한 유량관측소의 관측 자료를 이용하여 기저유출량을 설정한다.
- 3) 적용할 유량관측소의 위치에 해당하는 격자번호를 선택한다.
- 4) 무강우 조건으로 단위 시간당 유역 내부 전체의 유출계산을 진행한다.
- 5) 선택된 격자번호에 대한 계산 기저유출량과 관측 기저유출량을 비교한다.
- 6) 비교결과 관측 기저유출량보다 큰 경우 4)번으로 돌아간다.
- 7) 관측 기저유출량과 거의 같아진 경우 초기토양 자동 보정 과정이 완료된 것으로 한다.

위의 과정을 그림 7에 수식과 흐름도로 나타내었다. 비교 지점에서 계산 유출량이 관측 유출량에 도달할 경우 다음 식을 만족한다.

$$Q_{cal} \approx Q_{obs} \tag{5}$$

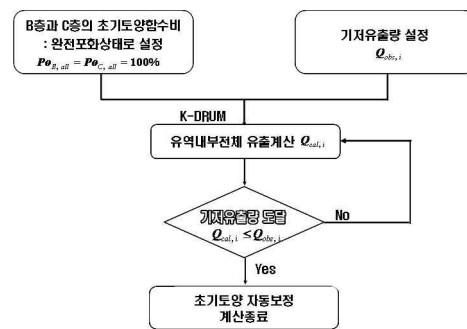


그림 7. 초기토양함수 자동보정기법 Flowchart

4.2 적용 및 결과

본 연구에서는 유역에서의 분포형 강우-유출모형을 적용함에 있어 모형의 중요 입력 자료인 강우에 대하여 시공간적인 강우분포를 유출계산에 모의하기 위해 금강 유역에 위치한 총 87개 관측소의 시강우자료를 사용하였다. 분포형 강우는 모형의 해상도와 같은 크기의 250m격자로 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 입

력인자로 사용하였다.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i R_i)}{\sum_{i=1}^n W_i}, \quad W_i = \frac{1}{L_i^2} \tag{6}$$

여기서 r은 격자 점에서의 강우량, N은 대상관측소 수, W_i 는 관측소 i의 거리에 의한 가중계수, R_i 는 관측소 i의 관측강우량, L_i 는 산정할 점으로부터 관측소까지의 거리이다.

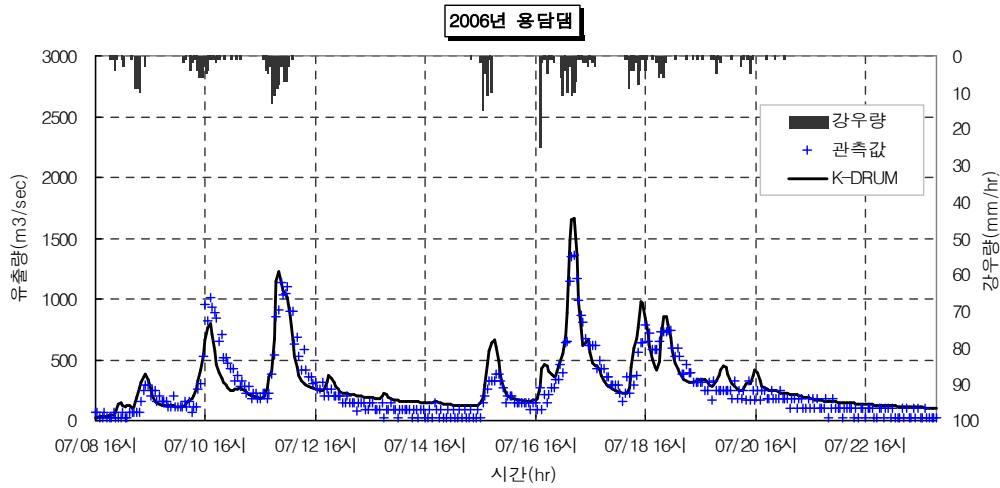


그림 8. 용담댐지점의 유출해석 결과

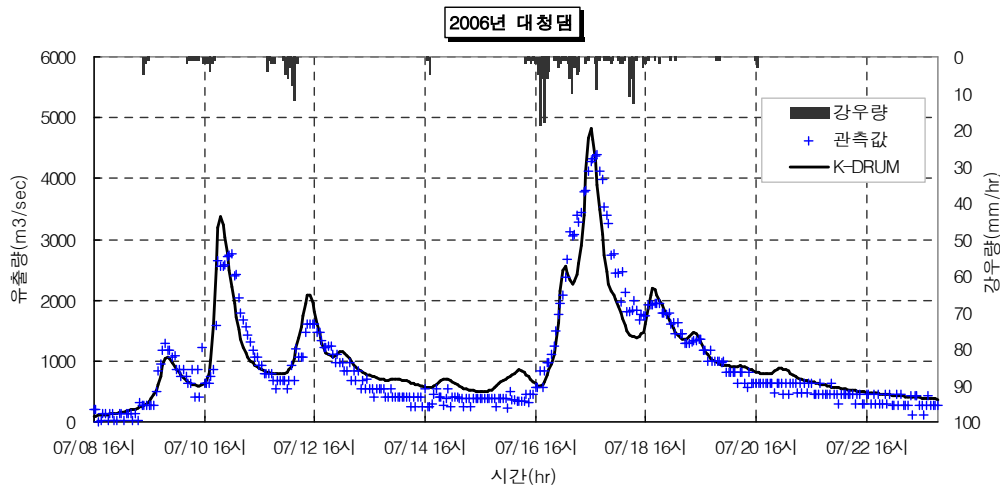


그림 9. 대청댐지점의 유출해석 결과

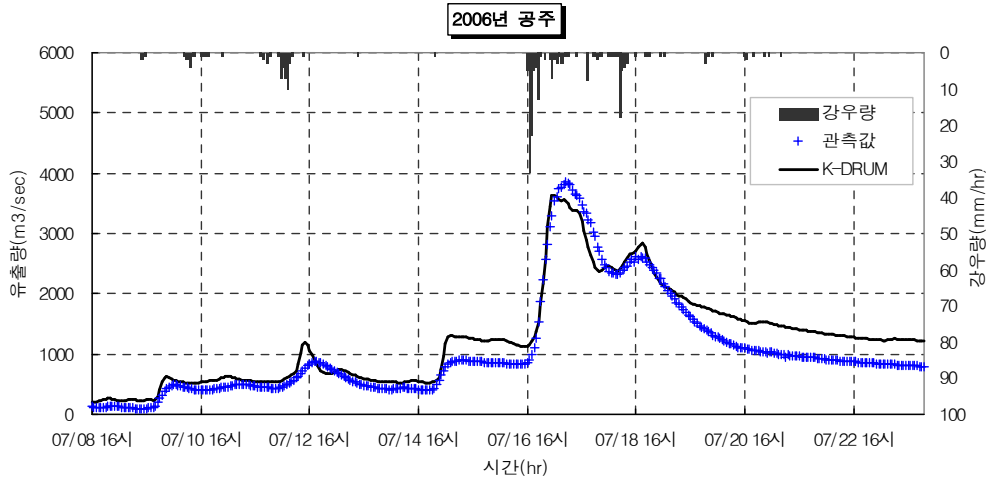


그림 10. 공주지점의 유출해석 결과

본 연구에서 사용한 강우사상은 금강유역에 큰 영향을 준 태풍 에위니아(2006년 7월 8일 18시~7월11일 12시) 사상에 대하여 유출량 모의를 실시하였다. 관측유출량으로는 국가수자원관리 종합정보홈페이지(WAMIS, 2009)에서 금강유역에 대한 수위-유량 관계곡선으로부터 환산된 유량값을 이용하였다.

모형의 수문매개변수들은 GIS와 연계하여 수치지형, 토지피복도, 토양도로부터 물리적인 공간분포형 매개변수를 추출함으로써 모형의 초기상태를 개선시킬 수 있었다. 또한 실무자들의 편의를 위해 수문곡선상 유출에 가장 큰 영향을 미치는 매개변수의 하나인 초기토양함수조건을 설정하는데 있어서 자동보정기법(박진혁과 허영택, 2009)을 적용함으로써 기존의 시행착오법으로 인해 소요되는 시간과 부정확한 설정으로 인해 발생될 수 있는 문제점을 해결할 수 있었다.

금강 유역에는 54개의 수위관측소 지점이 있으며 그 중 대표적으로 3개의 지점(용담댐, 남강댐, 공주)에 대하여 수위-유량 관계곡선에 의해 유량자료로 환산한 관측값과 비교해 본 결과, 여러 저수지가 연계된 대유역임에도 대부분의 지점에서 매개변수의 별다른 보정 없이도 유량의 크기와 첨두시간 모두 관측치와 비교적 잘 맞는 것을 확인할 수 있었다(그림 8~그림 9). 다만 그림 10의 공주지점에서의 수문곡선은 부분적으로 관측값에 비해 계산값이 높게 나타나고 있다. 이는 공주지점으로 유입하는 유량의 경우 상류에 위치한 수리구조물에 의해 영향을 받기 때문으로 판단된다. 대청댐의 방류량은 본 모형에서 적용되었지만 농어촌공사에서 관리하고 있는 백곡댐과 미호댐의 경우 유출량 자료 확보가 어려워 미적용 조건으로 수행하였고, 그 결과 7월

15일 경에는 관측값이 다소 작게 나타나고 있고 7월 17일에는 관측값이 크고 이후에는 관측값이 다시 작아지고 있다. 이는 상기 두 댐에서 강우에 대한 저류효과와 방류효과로 인해 발생하는 것으로 사료되어 진다.

강우유출해석의 결과로부터 모형의 적합성을 평가하기 위하여 7월 16일 0시부터 7월 20일 23시 동안의 체적오차 백분율(VER)과 첨두유량 오차 백분율(QER), 추가로 계산유량의 합계와 관측유량의 합계를 나눈 총유출량 오차(Total Error)를 비교하여 표 4에 나타내었다.

적합성 평가에 사용된 항목의 계산식은 다음과 같다.

$$VER = \frac{\sum |(Q_{obs} - Q_{cal})|}{\sum Q_{obs}} \times 100 \quad (7)$$

$$QER = \left| \frac{Q_{pobs} - Q_{pcal}}{Q_{pobs}} \right| \times 100 \quad (8)$$

$$Total Error = \frac{|\sum Q_{obs} - \sum Q_{cal}|}{\sum Q_{obs}} \times 100 \quad (9)$$

여기에서, Q_{obs} : 관측유량(CMS), Q_{cal} : 계산유량(CMS), Q_{pobs} : 관측첨두유량, Q_{pcal} : 계산첨두유량이다.

적합성 평가 결과 3개의 지점에 대하여 VER은 13.3~25.6%로 비교적 적절하게 나타나고 있고, QER은 용담댐지점에서 22.8%로 다소 크게 나타나지만 대청댐과 공주지점에서는 10.0% 이하로 첨두유량의 크기를 비교적 정확하게 재현하였다. 총유출량오차(Total Error)는 세 지점 모두 12.5% 이하로 매우 양호하게 나

표 4. 분포형모형의 적합성 평가

지 점	VER(%)	QER(%)	Total Error(%)
용담댐	25.6	22.8	12.5
대청댐	17.6	9.4	2.8
공주	13.3	5.4	7.3

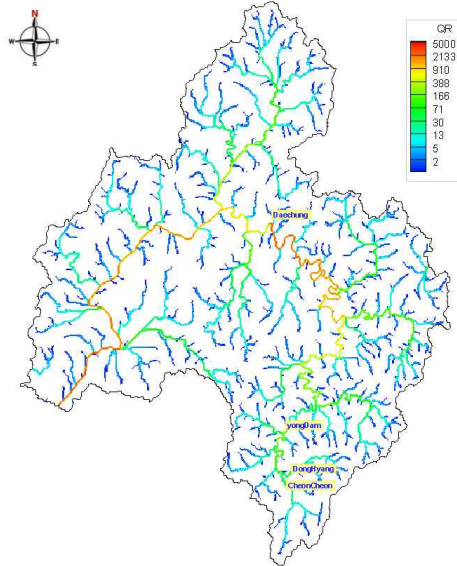


그림 11. 하천유출량의 Peak시 공간분포도

타나 실무에서의 적용 가능성이 충분하다고 판단된다.

그림 11은 금강유역을 대상으로 태풍 에위니아 기간 중 첨두(Peak)유량시 하천유출량을 분포형모형의 주된 장점중 하나인 전 유역에 대하여 유역 내 임의의 지점에 대한 유출량을 파악하기 위하여 분포형 유출모형의 계산 결과 값을 이용하여 격자마다의 유출량을 GIS와 연계하여 시-공간적 분포로 나타낸 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 홍수기동안 격자강우량과 GIS와 연계하여 격자기반의 수문정보에 대응할 수 있도록 물리적인 운동과 이론에 근거한 분포형 강우-유출모형을 이용하여 지금까지 분포형모형에서 적용이 드물었던 대유역권인 금강 유역을 대상으로 적용하여 실무 적용성을 검토하였다.

이 연구결과를 통하여 분포형 모형을 이용하여 댐 등 수리구조물의 방류조건을 적용한 대유역 강우-유출 계산이 가능한 것으로 나타났으며, 적합성 평가결과에서도 세 지점 모두 비교적 적절하게 유출결과를 재현한

것으로 나타나 실무에서 충분한 적용성이 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 유역내 소규모 농업용 댐 등 수리구조물에 의한 유역유출의 영향을 고려하기 위해서 유역내 수리구조물의 방류량 등 자료 확보가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

향후 추가 연구로서 MPI기법을 적용한 모형의 병렬화 코딩 및 병렬클러스터 시스템 탑재 등을 통해 분포형 모형의 계산시간을 충분히 단축시킴으로서 실무적용 능력을 최대화 할 필요가 있다.

참고문헌

- 고덕구, 1989 “소유역의 장기유출 해석을 위한 모의발생 수문모형의 개발”, 서울대학교 박사학위 논문.
- 김성준, 1998, “격자기반의 운동과 강우유출모형 개발”, *한국수자원학회 논문집*, 제31권 제3호, pp.303-308.
- 박진혁, 강부식, 2006, “댐유역 홍수예측을 위한 GIS기반의 분포형모형과 집중형모형의 유출해석 비교”, *한국지리정보학회논문집*, 제9권 제3호, pp.171-182.
- 박진혁, 강부식, 이근상, 이을래, 2007, “레이더강우와 Vflo모형을 이용한 남강댐유역 홍수유출해석”, *한국지리정보학회지*, 제10권 제3호, pp.13-21.
- 박진혁, 강부식, 이근상, 2008, “레이더강우를 이용한 GIS기반의 분포형모형 적용성 분석”, *한국지형공간정보학회지*, 제16권 제1호, pp.23-32.
- 박진혁, 강부식, 2007, “레이더 및 강우수치예보자료를 활용한 초단기 강우-유출예측시스템 개발”, *한국수자원학회 학술발표회 논문집*, pp.281-285.
- 박진혁, 허영택, 2008a, “초기토양조건에 대한 분포형 모형 유출민감도 분석”, *대한토목학회지*, 제28권, 제4B호, pp.375-381.
- 박진혁, 허영택, 2008b, “유역특성을 반영한 공간격자기반의 분포형모형 개선”, *대한토목학회지*, 제28권, 제3D호, pp.431-436.
- 박진혁, 허영택, 2008c, “홍수유출해석을 위한 운동과기반의 분포형모형 개발 및 적용”, *한국수자원학회지*, 제41권, 제5호, pp.455-462.
- 박진혁, 허영택, 2009, “K-DRUM 개선을 위한 초기토양 함수 자동보정기법 개발”, *한국지형공간정보학회지*, 제17권 제2호, pp.1-10.
- 박진혁, 허영택, 2009, “물리적기반의 분포형모형을 활용한 임진강유역 홍수유출모의”, *한국수자원학회지*, 제42권 제1호, pp.51-60.
- Beven, K., 1979, “On the generalized kinematic routing method”, *Water Resources Research*, Vol.

- 15, pp.1238-1242.
13. 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.
 14. Mein, R. G. and Larson, C. L., 1973, "Modelinf the infiltration component of the rainfall-runoff process" *Water Resources Research*, Bull. 43, p.72.
 15. Vieux, B.E., 2004, "Distributed Hydrologic Modeling Using GIS", Second Edition, ISBN: 1-4020-2459-2, *Kkuwer Academic Publishers*, The Netherlands.
 16. WAMIS, 2009, <http://www.wamis.go.kr>