

K-DRUM 개선을 위한 초기토양함수 자동보정기법 개발 A Development of Auto-Calibration for Initial Soil Condition in K-DRUM Model

박진혁* · 허영택**

Park, Jin Hyeog · Hur, Young Teck

要 旨

본 연구에서는 격자강우량과 격자기반의 GIS수문 매개변수와 연계하여 홍수기 유출량의 시공간적 분포를 파악할 수 있도록 물리적인 운동과 이론에 근거한 분포형 강우-유출모형인 K-DRUM을 자체 개발하였다. 이 모형은 홍수 기동간의 지표흐름과 지표하 흐름의 시간적 변화와 공간적 분포를 모의할 수 있으며, 전처리과정으로서 ArcView를 이용하여 모형에 필요한 ASCII형태의 입력 매개변수 자료들을 가공하였다. 또한 후처리과정으로서 모형의 수행결과인 유역내의 유출량 분포 등을 GIS상에서 나타낼 수 있도록 ASCII형태로 출력하도록 구성하였으며 TecPlot을 이용하여 유출량을 애니메이션으로 표현하였다. 또한, 유출량에 가장 큰 영향을 미치는 초기토양함수 상태에 대한 자동보정기법을 추가 개발하였으며, 남강댐유역을 대상으로 기저유출해석을 수행하여 개발된 자동보정기법의 활용가능성을 검토하였다. K-DRUM모형의 초기토양함수조건을 설정하는데 있어서 자동보정기법을 적용함으로써 기존의 시행착오법으로 인해 소요되는 시간과 부정확한 설정으로 발생될 수 있는 문제점을 해결할 수 있었다.

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

Abstract

In this study, a distributed rainfall-runoff model, K-DRUM, based on physical kinematic wave was developed to simulate temporal and spatial distribution of flood discharge considering grid rainfall and grid based GIS hydrological parameters. The developed model can simulate temporal and spatial distribution of surface flow and sub-surface flow during flood period, and input parameters of ASCII format as pre-process can be extracted using ArcView. Output results of ASCII format as post-process can be created to express distribution of discharge in the watershed using GIS and express discharge as animation using TecPlot. an auto calibration method for initial soil moisture conditions that have an effect on discharge in the physics based K-DRUM was additionally developed. The baseflow for Namgang Dam Watershed was analysed to review the applicability of the developed auto calibration method. The accuracy of discharge analysis for application of the method was evaluated using RMSE and NRMSE. 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 of K-DRUM.

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

1. 서 론

최근 GIS 및 인공위성을 이용한 토양 및 지형에 대한 정보구축이 진행되어 유역에 대한 정확하고 상세한 각종 수문매개변수의 수집이 가능하게 되고, 컴퓨터의 기능 향상과 수치모의 기술 개발에 의해 유역내 강우에 의한 유출과정을 공간적인 분포나 비균질성을 고려하

여 물의 흐름을 수리학적으로 추적해 나가는 물리적기반의 분포형 유출모형의 활용도가 높아지고 있다(박진혁과 허영택, 2008b). GIS기술의 급속한 발전에 따라 다양한 공간자료들이 위치좌표와 결합되어 통일적으로 다루는 것이 가능해졌고 수량과 수질의 공간적인 분포 특성을 충실히 반영할 수 있는 분포형 유출모형의 구축이 최근에 비교적 활발하게 연구되고 있다(박진혁과 허

2009년 4월 27일 접수, 2009년 5월 22일 채택

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

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

영택, 2008b). 이러한 분포형 모형은 유출모의를 위해서 강우와 개념화된 몇 개의 매개변수에 의존적인 집중형 수문모형에 비해 공간적인 분포특성을 가진 많은 수문매개변수들이 필요하다. 상당수의 매개변수들은 GIS 및 원격탐사자료 등을 통하여 영역의 물리적 특성이나 실측된 자료로 부터 구할 수 있지만, 일부는 매개변수들의 불확실성으로 인한 매개변수 보정이 필요하다(박진혁과 허영택, 2008a). 특히, 유출량에 영향을 주는 여러 수문요소 중 지표유출량의 변화는 침투량에 크게 영향을 미친다. 강우에 의한 지표유출은 토양의 건조상태에 따라 크게 달라진다. 매우 건조한 상태에서 혹은 무한에 가까운 침투율을 갖고 있으나, 이미 발생한 강우에 의한 영향으로 토양의 함수량이 커지면 같은 강수량이라고 할지라도 건조상태의 토양보다 많은 지표유출이 일어난다. 이와 같이 토양의 초기 함수상태에 따라 침투량은 직접적으로 영향을 받기 때문에 토양의 초기 함수율은 강수량으로부터 발생하는 유출량을 결정하는 주요한 요인이 된다(김종건 등, 2007).

기존의 분포형 모형을 사용한 강우-유출 해석에서는 초기토양 함수율을 설정하기 위하여 전체 영역을 대상으로 개략적인 함수율을 적용하여 기저유출을 파악하고, 관측된 기저유출량과의 비교를 통해서 시행착오법으로 보정하는 기법이 보편적으로 사용되었다. 이러한 기법은 사용자 하위급 수치모의를 수행할 경우, 초기 단계의 매개변수 보정에 더욱더 많은 시간과 노력이 요구되고 또한, 사용자의 주관적 관점에 따라 전체 영역의 초기 토양함수율이 결정되게 되는 단점이 있다.

분포형 유출모형과 관련된 최근의 연구동향을 살펴보면, 홍수기모형으로 격자기반의 레이더 강우와 연계한 연구와, 영역의 복잡한 지형특성이나 인위적인 영향 등을 충분히 고려할 수 있도록 물순환적인 측면에서 접근하여 모형이 보다 복잡화되고 있고, 각종 물리적 수문매개변수 추출에 GIS를 도입하는 경우가 증가하고 있다(박진혁과 허영택, 2008c). 또한 분포형모형의 적용시 강우의 시공간적 분포를 고려할 수 있는 레이더강우의 활용도 최근 활발하게 연구되고 있다. 레이더 강우와 분포형 수문모형을 이용한 미세측 영역의 홍수 유출모의(김병식 등, 2007) 에서 강우 레이더에 의하여 관측된 강우자료의 수문학적 활용성을 평가하기 위하여 임진강유역을 대상으로 지상강우와 레이더 강우량을 적용하여 홍수 유출량을 산정하였으며, HyGIS와 연계한 수문통합 모형의 개발 및 적용(한건연 등, 2005), 레이더 및 강우수치예보자료를 이용한 초단기 강우-유출예측시스템 개발(박진혁과 강부식, 2007) 등에서 강우레이더를 활용한 사례가 있다.

본 연구에서는 격자강우량과 GIS와 연계한 격자기반의 공간수문자료들을 모형의 입력매개변수로 활용하고, 수계망을 통하여 유역 출구까지 운동량이론에 의해 유출량을 물리적으로 추적해 나가는 격자기반의 분포형 강우-유출모형(K-DRUM; K-water hydrologic & hydraulic Distributed Runoff Model)을 개발하였다. 또한, 초기조건 중에서 지표유출량의 변화에 가장 영향을 주지만, 실제 관측은 용이하지 않은 토양수분을 자동으로 보정할 수 있는 기법을 제시하였다. 개발된 기법을 이용하여 남강댐유역을 대상으로 최하류 유출지점의 관측값을 기준값으로 하여 초기토양 수분 자동 보정기법을 적용하였다. 계산 결과를 유역 내에 설치되어 있는 관측소의 관측값 비교분석 함으로서 개발된 자동 보정기법의 활용성과 정확도를 파악하였다.

2. 모형의 구성

2.1 모형의 개요

유역내 수평 유출량산정 모듈로서 평면분포형의 격자형을, 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.

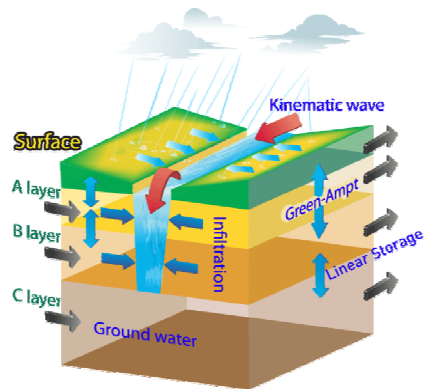


그림 1. 모형의 구조

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(얕은면 흐름)은 중간유출을 고려한 운동파법을 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 :상류단으로부터의 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.

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

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

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)

위 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.

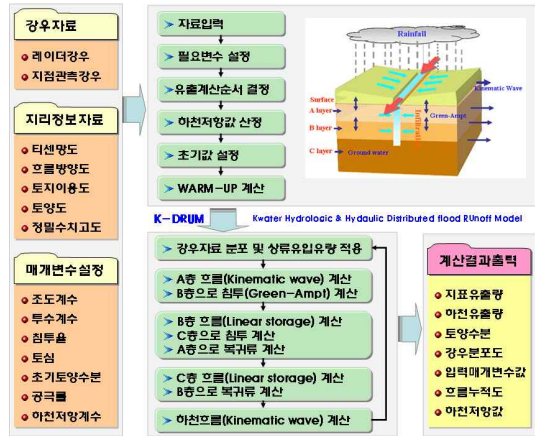


그림 2. K-DRUM 모형의 계산흐름도

계산된 각종 수문 자료는 시간 및 공간별로 구분되어 출력된다. 그림 2는 K-DRUM 모형의 입·출력 자료의 종류 및 계산 흐름에 대한 간략한 설명을 나타내고 있다.

3. 연구대상지 및 GIS 수문매개변수 구축

3.1 연구대상지

본 연구에서는 실제유역에서의 적용가능성을 평가하기 위해 남강댐유역을 대상 유역으로 선정하였다. 남강댐유역의 지형지세 및 하도, 강우 및 수위관측소 등 기본현황은 그림 3에 나타나 있다(한국수자원공사, 2006).



그림 3. 연구대상지

3.2 GIS수문매개변수 구축

유역의 수문학적 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.

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

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 (농업과학기술원)	유효토심	Green-Ampt침투과정 모의 표 3 참고
	투수계수	
	흡인수두계수	
	유효공극율	
격자 해상도		500 m

3.2.1 지형매개변수

남강댐유역의 30m DEM을 ArcView에서 GIS 각 주 제도의 투영과 해상도가 동일한 해상도를 갖도록 조정 한 후 500m로 리샘플(Resample)하였다. 유하방향도는 ArcView에서 HEC-GeoHMS extension을 사용하여 유 도하였다. 유역경계선의 셀값을 유역내 수정한 최대표 고값보다 더 높여서 수문학적인 DEM을 생성하였고, 하천의 흐름이 유역경계선 밖을 벗어나지 않도록 하여 유역경계 및 하천망(stream network)을 원활하게 추출 하는 기법(Charleux-Demarge, Peuch, 2000)을 적용하 였다. 30m DEM에서 유도된 수계망은 500m K-DRUM 모형 격자내에서 배수방향을 결정하는데 사용되었다. 하도셀을 구하기 위한 배수면적의 기준값은 수계망이 얼마나 하도화되어 있는지에 따라 경험적으로 설정되 는데, 여기서는 5km²의 값을 가지고 산정하였다. 그림 4에 남강댐 유역의 DEM과 이로부터 획득한 경사도 및 흐름방향도를 나타내었다.

3.2.2 토지피복 매개변수

토지피복은 지표면 조도 및 불투수층의 분포를 좌우 하며 이에 따른 유역의 수문응답 반응시간과 유출용적 의 변화에 직접적인 영향을 미치게 된다. 본 연구에서 는 환경부에서 제작한 30m 해상도의 토지피복도를 이 용하였다. 동일한 유출부하 특성을 보이는 항목을 묶어 서 8가지로 재분류하여 격자마다 조도계수를 계산하였 다(그림 5). 각각의 토지피복분류에 대한 전형적인 조 도계수 값은 Vieux가 제시한 값(Vieux, 2004)을 참고 로 하였다. 표 2에 각 토지항목별 조도계수값을 표시하 였다.

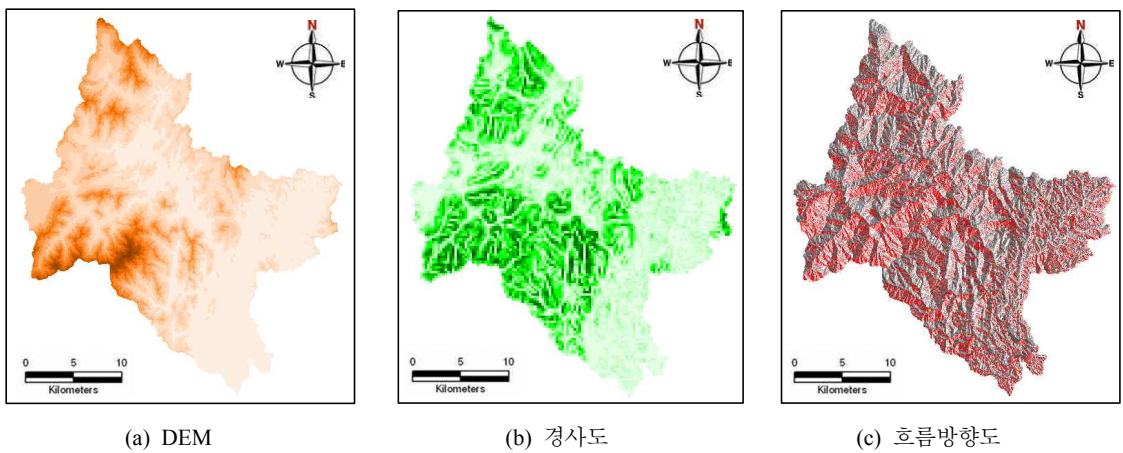


그림 4. 남강댐유역의 지형특성들

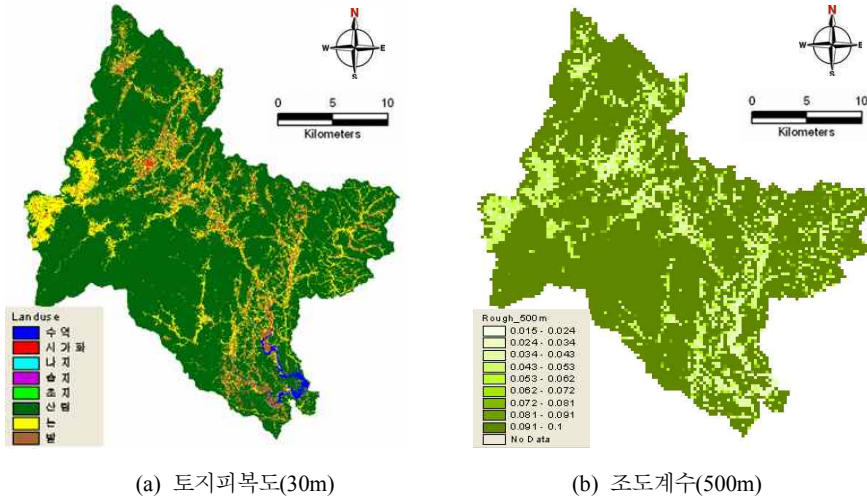


그림 5. 남강댐유역의 토지피복도와 조도계수

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. 남강댐 유역 30m 해상도의 토양자료를 모형의 격자해상도(500m)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 매개변수를, 토양도(종류)로부터 유효공극율, 습윤전선, 포화투수계수를 산정한 결과를 GIS상에서 나타내었다.

표 3. Green-Ampt매개변수(Vieux, 2004)

항목	토양 종류	유효공극율 θ_e (cm ³ /cm ³)	습윤전선 흡입수두 Ψ_f (cm)	포화 투수계수 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

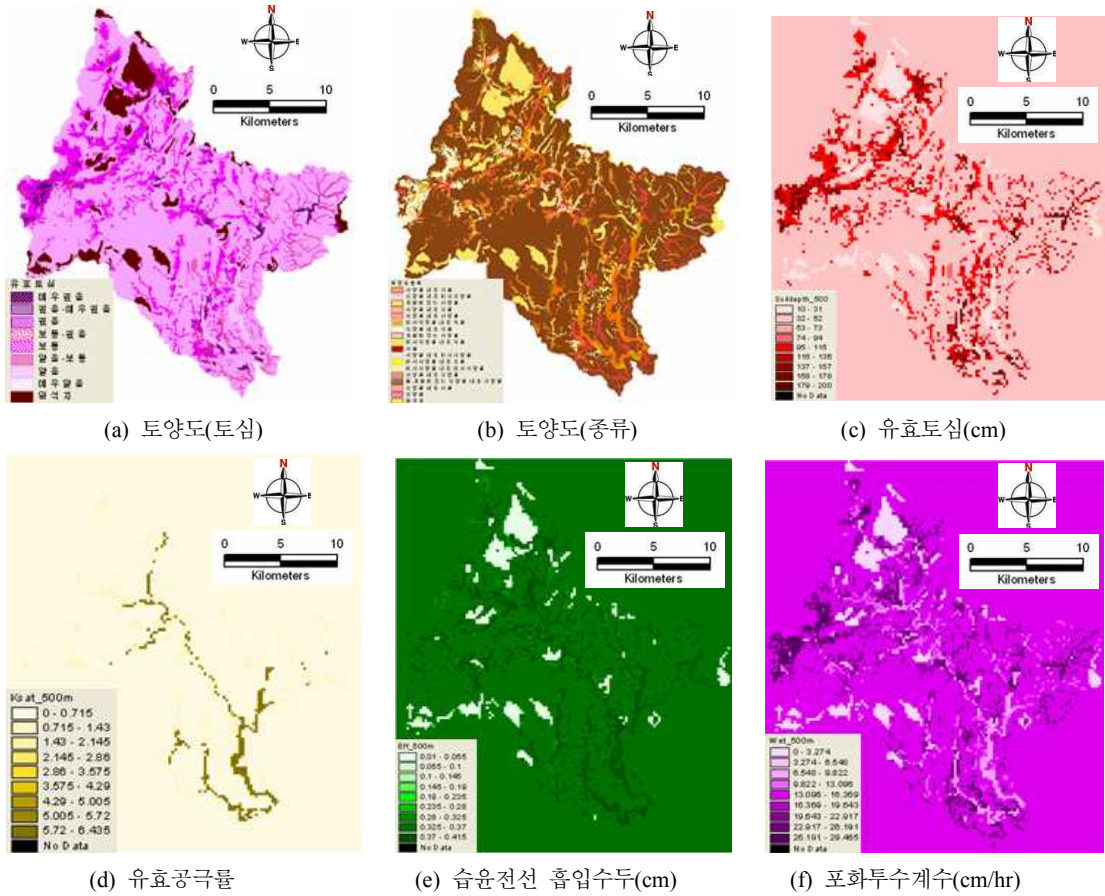


그림 6. 남강댐 유역의 토양 매개변수

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.

- 1) 유역의 토양조건 중에서 B층과 C층의 초기토양함수비를 완전포화상태로 설정한다.
- 2) 유역 내에 위치한 유량관측소의 관측 자료를 이용

하여 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.

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

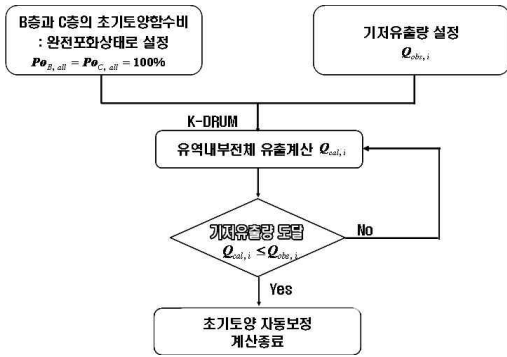


그림 7. 초기토양함수 자동보정기법 Flowchart

4.2 초기토양 자동 보정기법 적용 및 결과

모형에 의한 기저유출을 검토하기 위하여 최근 4년간 남강댐 상류유역 수위-유량 관측소에서 관측된 유량 값에 대한 신뢰성이 높고, 검토 시점을 기준으로 3~5 일간 선행 무강우일수가 확보되는 조건을 만족하도록

표 4. Green & Ampt식에 사용된 매개변수

항목	토양 종류	유효공극률 θ_e (cm ³ /cm ³)	습윤전선 흡입수두 Ψ_f (cm)	포화 투수계수 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
5	Clay Loam/Sandy Loam	0.361	15.945	0.595
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
9	Silty Clay Loam/Clay	0.409	29.465	0.065
11	Sandy Loam/Silty Clay Loam	0.422	19.155	0.595
12	Silty Clay Loam/Clay	0.409	29.465	0.065
13	Silty Clay Loam/Silty Clay	0.428	28.260	0.075
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/Sily	0.393	18.780	0.375
17	Clay Loam	0.309	20.880	0.100
49	Rocky Land	0.010	0.000	0.000

선택하였다. 대상일은 2002년 11월 17일, 2003년 9월 18일, 2004년 9월 23일, 2005년 8월 6일이다. 관측유출량으로는 국기수자원관리 종합정보홈페이지(WAMIS, 2009)에서 남강댐유역에 대한 수위-유량 관계곡선으로부터 환산된 유량값을 이용하였다. 본 연구에서 사용된 토양 관련 매개변수인 유효토심, 흡인수두계수, 공극률, 투수계수를 표 4에 정리하였다.

유출량의 총량 및 침투유량과 관련해서는 주로 토양 내부의 초기함수비 및 투수계수에 매우 큰 영향을 받기 때문에 민감도 분석을 위한 검토 대상 매개변수는 표 5와 같이 설정하였다. 토양관련 매개변수는 박진혁과 허영택(2008a)에서 검토된 K-DRUM의 적정 매개변수 산출 내용을 참고로 하여 적용하였다.

그림 8에 초기토양 함수비를 100%로 설정한 후에 각 지점별 시간경과에 따른 기저유출량을 그래프로 나타내었다. 최하류 지점에 위치한 남강댐의 경우 최대 3000.0m³/sec 이상이 발생한 후에 시간이 경과함에 따라 지수형태로 감소하고 있다.

그림 9는 시간별 토양 함수비 감소 상태를 전 유역에 대하여 명암으로 나타내었다. 그림에서 HBSO는 토양 내 함수비를 나타내고 있다. 격자별 토양 함수비는 시간이 경과함에 따라 격자별 토양 특성에 따라 서로 다른 비율로 감소하고 있다.

그림 10은 연도별 안이, 산청, 신안, 창춘 및 남강댐에서 관측된 기저유출량과 K-DRUM에서 계산된 기저유출량을 비교하여 나타내었다. K-DRUM에서 계산된 결과는 2004년 9월 23일 남강댐에서 관측된 기저유출 유량과 상류 4개 지점의 유출량을 나타내고 있다. 연도별 각 지점별 기저유출량은 관측지점을 기준으로 상류 유역의 토양 및 지형 특성에 따라 비슷한 값으로 나타

표 5. 초기토양 조건

초기토양함수비(%)		층 분할 비율(%)		총 토양수분량(%)
B 층	C 층	B 층	C 층	B+C 층
80.0	80.0	60.0	40.0	60.0

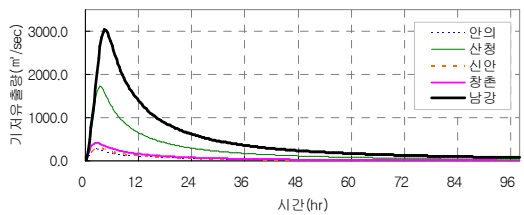


그림 8. 기저유출량 저감곡선

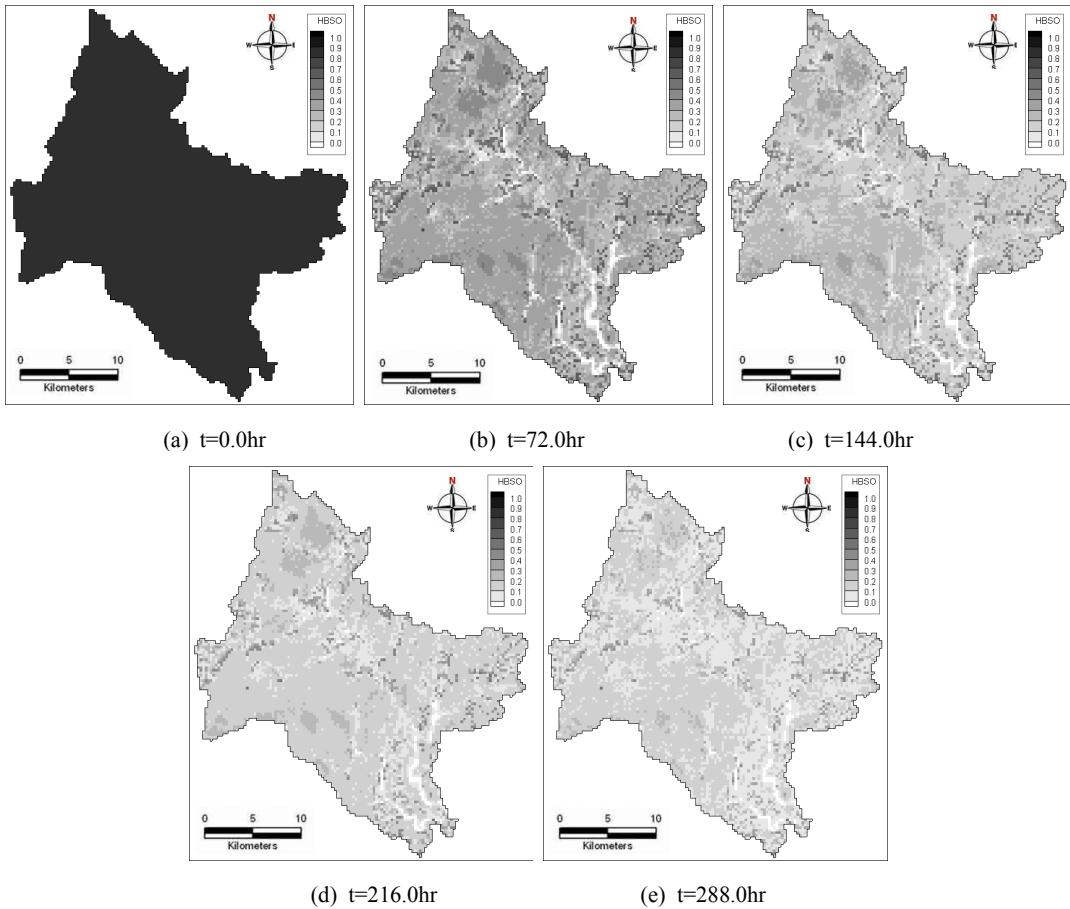


그림 9. 모의 진행시간별 토양 함수비 분포도

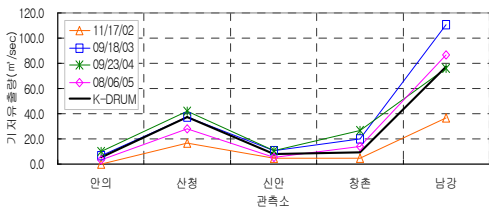


그림 10. 연도별 관측 기저유출량과 계산유출량 비교

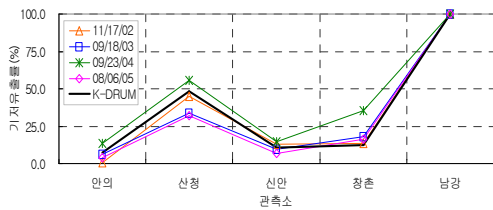


그림 11. 남강댐 지점 대비 연도별 관측 기저유출률과 계산유출률 비교

나고 있다.

그림 11은 각 연도별 남강댐 관측 기저유출량을 100%로 환산하여 상류 4개 지점의 기저유출량의 비율을 나타내었다. 기저유출량 비율의 경우 각 지점의 유출량 비율은 연도별로 일정한 경향을 보이고 있다.

수치모형에 의한 계산 결과와 관측 수위와의 오차분석을 위하여 RMSE(Root Mean Square Error)와 NRMSE(Normalized Root Mean Squared Error)를 계산하였다. RMSE와 NRMSE의 산출 식은 다음과 같다.

$$SE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_{obs,i} - h_{cal,i})^2}$$

$$NRMSE = \frac{SE}{(h_{obs,max} - h_{obs,min})} \tag{6}$$

여기서 n : 총 자료 개수, $h_{obs,i}$: 시간 i 에서의 관측수위, $h_{cal,i}$: 시간 i 에서의 계산수위, $h_{obs,max}$: 최대관측수위, $h_{obs,min}$: 최소관측수위이다.

표 6. 기저 유출량 및 유출률에 대한 오차분석 결과

	안의	산청	신안	창촌
기저유출량 평균(m ³ /sec)	5.1	30.9	8.0	16.3
기저유출률 평균(%)	6.6	39.9	10.3	21.0
RMSE(m ³ /sec)	3.82	11.66	2.83	10.51
NRMSE(%)	0.38	0.46	0.45	0.49

4개년도의 관측 유출량을 이용하여 각 지점별 평균 기저유출량, 평균 기저유출량비와 K-DRUM의 결과값과의 RMSE 및 NRMSE에 대한 분석결과를 표 6에 나타내었다.

오차분석 결과 RMSE의 경우 창촌과 산청에서 약 12.0m³/sec 이하의 오차가 발생하고 있고, 안의와 신안에서는 4.0m³/sec 이하의 오차가 발생하고 있다. NRMSE의 분석결과에서는 전 구간에서 0.5% 이하의 오차가 발생하고 있어 이번 연구에서 개발된 초기토양 함수상태 자동보정 기법의 적용에 의한 기저유출량은 대체적으로 관측값과 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 홍수기동안 격자강우량과 GIS와 연계하여 격자기반의 수문정보에 대응할 수 있도록 물리적인 운동과 이론에 근거한 분포형 강우-유출모형인 K-DRUM을 개발하였다. 이 모형을 이용하여 남강댐 유역을 대상으로 개발된 초기토양 함수상태 자동보정 기법을 평가 하였다. 2002년에서 2005년 동안 4개 연도의 관측 기저유출량을 분석한 결과 관측지점별 일정한 경향성이 나타났고 K-DRUM의 계산 결과 역시 그 경향성을 따르고 있음을 알 수 있었다. 오차분석 결과를 통하여 적용된 기법의 정확성은 우수한 것으로 나타났다.

이 연구결과를 통하여 검토된 초기토양 함수상태 자동보정 기법은 향후 실무에서 실시간으로 K-DRUM을 이용한 강우-유출 예측을 수행할 경우 사용자의 주관적 판단에 따른 입력 자료를 최소화함과 동시에 정확도 높은 유출량 산출을 가능하게 할 것으로 기대된다. 본 연구에서는 모형의 개발과 적합도의 검증을 위한 초기 단계로서, 남강댐유역에 대한 결과에 대하여 논하고 있으나, 모형의 정확성 및 사용성에 대한 정확한 평가를 위해서는 보다 다양한 강우 사상 혹은 다양한 크기의 유역에 대한 유출량의 재현성 및 매개변수 등에 대한 검증이 추후 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 김병식, 배영혜, 박정술, 김경탁, 2008, “레이더강우와 분포형 수문모형을 이용한 미계측유역의 홍수 유출모의”, 한국지리정보학회지, 제11권 제3호, pp.52-67.
2. 김종건, 박윤식, 전지홍, Bernard A. Engel, 안재훈, 박영곤, 김기성, 최종대, 임경재, 2007, “선형토양함수조건(AMC)을 고려한 L-THIA WWW 직접유출 모의 정확성 평가”, 수질보전 한국물환경학회지, 제23권 제4호, pp.474-481.
3. 박진혁, 강부식, 2007, “레이더 및 강우수치예보자료를 활용한 초단기 강우-유출예측시스템 개발”, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.281-285.
4. 박진혁, 허영택, 2008a, “초기토양조건에 대한 분포형 모형 유출민감도 분석”, 대한토목학회지, 제28권, 제4B호, pp.375-381.
5. 박진혁, 허영택, 2008b, “유역특성을 반영한 공간격자기반의 분포형모형 개선”, 대한토목학회지, 제28권, 제3D호, pp.431-436.
6. 박진혁, 허영택, 2008c, “홍수유출해석을 위한 운동과기반의 분포형모형 개발 및 적용”, 한국수자원학회지, 제41권, 제5호, pp.455-462.
7. 한건연, 이창희, 김동일, 김경록, 2007, “HyGIS와 연계한 수문통합 모형의 개발 및 적용”, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.933-936.
8. 한국수자원공사, 2006, “레이더 강수를 이용한 단기강수 및 유출예측시스템 개발(3차년도)”, 연구보고서, pp.68.
9. Beven, K., 1979, “On the Generalized Kinematic Routing Method”, Water Resources Research, Vol. 15, pp.1238-1242.
10. 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.
11. Mein, R. G. and Larson, C. L., 1971, “Modeling the Infiltration Component of the Rainfall-Runoff Process” Water Resources Research, Bull. 43, pp. 72.
12. Vieux, B.E., 2004, “Distributed Hydrologic Modeling Using GIS”, Second Edition, ISBN: 1-4020-2459-2, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
13. WAMIS, 2009, <http://www.wamis.go.kr>