

댐유역 홍수예측을 위한 GIS기반의 분포형모형과 집중형모형의 유출해석 비교

박진혁^{1*} · 강부식²

Comparison of Runoff Analysis Between GIS-based Distributed Model and Lumped Model for Flood Forecast of Dam Watershed

Jin-Hyeog PARK^{1*} · Boo-Sik KANG²

요 약

본 연구는 집중형모형으로서 저류함수법을 근간으로 수자원공사 현업에서 실시간 물관리에 사용하고 있는 KOWACO홍수분석모형을, 분포형모형으로는 실시간 홍수조절을 목적으로 미국 Oklahoma대학에서 개발된 Vflo모형을 이용하여 금강권역의 용담댐유역(930km²)을 대상으로 유출해석을 수행하여 양 모형의 구조적인 장단점 등을 비교분석하였다. 모의결과 경험식으로부터 구한 매개변수의 초기값을 이용한 수문곡선은 관측수문곡선과 상당한 차이를 보이고 있었으나 분포형 수문곡선의 경우 천천지점의 수문곡선은 매개변수의 추가적 보정이 필요 없을 정도로 매개변수의 초기값이 수문곡선을 잘 모의하고 있었다. 이는 매우 고무적인 결과로서 실시간 홍수모형으로서 요구되는 중요한 특성과 동시에 물리적 기반의 분포형모형의 가장 큰 장점일 수 있는 사상 독립적 유역매개변수군을 구축하는데 중요한 단서가 될 것으로 보인다.

주요어 : 분포형모형, 집중형모형, 유출해석, 격자강우

ABSTRACT

In this study, rainfall-runoff analysis was performed for Yongdam watershed(930km²) using KOWACO flood analysis model based on Storage Function Method as lumped hydrologic model and Vflo which was developed for real-time flood prediction by University of Oklahoma. The results shows that, the hydrographs of lumped and distributed model with uncalibrated parameters which estimated from physical or experimental relationship show significant biases from observed hydrographs. However, the hydrograph at Cheoncheon site from the distributed model follows the actual hydrograph to an extent that no more calibration is necessary. It

2006년 8월 3일 접수 Received on August 3, 2006 / 2006년 9월 26일 심사완료 Accepted on September 26, 2006

1 한국수자원공사 물관리센터 Korea Water Resources Corporation, Water Resources Operation Center

2 단국대학교 토목환경공학과 Department of Civil and Environmental Engineering, Dankook university

* 연락처 E-mail : park5103@kwater.or.kr

encourages that distributed model can have advantages for application in real-time flood forecasting as physically based distributed hydrologic model which can construct event-independent basin parameter group.

KEYWORDS : Distributed Model, Lumped Model, Runoff Analysis, Grid Rainfall

서 론

홍수기 다목적댐의 운영을 위해서는 홍수조절용량을 확보하는 것은 물론 홍수시 댐유역 상하류 및 저수지 수문상황을 신속히 파악하고 예측하여 댐의 수문조작 의사결정을 내리는데 필요한 정보가 필요하다. 홍수조절을 위한 댐방류량의 결정은 댐 상류 유입량을 산정하여 이에 따른 댐 저수지 수위를 예측하고, 저수지 운영수위별 댐하류 지류유입에 따른 댐 수계 본류의 수위변화 등을 고려하여 이루어지기 때문에 이들에 대한 정보를 취득하기 위해서는 이를 추정할 수 있는 모형의 도입이 필요하다. 현재 다목적댐 운영을 맡고 있는 수자원공사에서는 댐 방류량의 조절을 위한 상류 유입량 예측 및 방류량 결정은 주로 집중형 수문모형인 저류함수모형 분석결과를 이용해 상류유역을 중심으로 이루어져 왔다. 한편, 전 세계적으로 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.

분포형 수문모형에 관한 국내의 연구로는 김성준(2001)은 격자 물수지 기법을 이용하여 지표흐름과 지표하 흐름을 모두 고려한 분포형 강우-유출모형(KIMSTORM)을 개발하고,

래스터 GIS 소프트웨어인 GRASS를 이용하여 모형의 입력자료를 추출하는 모형의 전처리과정과 모형의 결과를 시간적·공간적으로 표현해주는 후처리 과정을 개발하여 임진강 유역내의 연천댐 유역(1,875km²)에 적용한 바 있다. 박진혁 등(2004)은 격자기반의 강우유출, 일유출, 증발산량 산정모형의 개발을 시도하였다. 분포형 유출모형과 관련된 최근의 연구동향을 살펴보면 소규모의 시험유역이나 실험실 규모에서 개발되어 적용성을 평가받은 많은 모형들이 있으며, 유역의 복잡한 지형특성이나 인위적인 영향 등을 충분히 고려할 수 있도록 물 순환적인 측면에서 접근하여 모형이 보다 복잡화되고 있고 각종 물리적 수문변수 추출에 GIS를 도입하는 경우가 증가하고 있다.

우리가 강우-유출해석에 있어서 분포형 모형을 사용하는 주된 목적으로는 첫째 실제 복잡한 유역에서의 유출과정 또는 물질의 수문순환과정을 잘 이해하기 위해서이고, 두 번째 어떤 유역의 토지이용형태의 변화가 초래하는 영향과 효과를 사전에 예측하기 위해서이다. 마지막으로 신뢰성있는 과거의 수문자료가 없거나 부족한 유역에서의 유출계산을 위해서이다. 이러한 목적에 맞게 실제 적용분야는 홍수예측분야 이외에도 설계홍수량 산정을 위한 강우 유출모의 및 사전재해 영향성을 평가한다든지, 유역의 개발 등 유역특성의 변화에 따른 수문변화를 모의해 본다든지, 유역 종합 치수계획이나 하천정비 기본계획을 수립하는 등 여러 방면에서 활용할 수 있을 것이다. 이러한 분포형 수문모형에 의해 유역의 임의의 지점에서 유량, 오타부하량 등을 추정할 수 있고, 그 프로세스를

물리적으로 추적하고 있기 때문에 유역내의 인간 활동이나 자연조건 변화 등의 공간적인 분포특성을 계산에 반영시킬 수 있다는 장점이 있다. 이처럼 시공간적으로 변화하는 기상과 유역이라는 동적이고 복잡한 시스템을 대상으로 그 물리적 특성을 있는 그대로 반영하여 수문학적인 모의를 수행하는 것이 필요한 시점이다.

본 연구는 집중형모형으로서 저류함수법을 근간으로 수자원공사 현업에서 실시간 물관에 사용하고 있는 KOWACO홍수분석모형을, 물리적 기반의 분포형모형으로는 실시간 홍수조절을 목적으로 미국 Oklahoma대학에서 개발된 Vflo모형을 이용하여 금강권역의 용담댐유역(930km²)을 대상으로 유출해석을 수행하여 양 모형의 구조적인 장단점 등을 비교분석하였다.

KOWACO홍수분석모형 이론

KOWACO 홍수분석모형은 유출계산에 있어서 저류함수법을 근간으로 하는데 이 기법은 유역과 하도에서의 유출량과 저류량의 관계를 표시하는 저류함수를 홍수과의 운동방정식에 대입하여 홍수과의 연속방정식을 계산함으로써 홍수유출량을 결정하는 방법이다. 저류함수모형에서 소유역이라 할 수 있는 격자단위의 유출을 모의하기 위한 개념도는 그림 1과 같다. 여기서 R은 강우량, A_r은 유출역, A_p는 침투역, R_{sa}는 침투역의 포화우량, L은 하도의 길이, S은 하도저류량, Q_i는 하도유입량(소유역 유출량), Q_o는 하도의 유출량이다. 하도구간은 아래로 경사져 있으며 유역 전체에 강우량 R이 발생하고, 소유역 A에서의 초과강우량에 유출계수(f₁)를 적용하여 얻어지는 유출량은 하천에 유입(Q_i)된 후, 하도 형상에 따른 저류과정을 거쳐 출구로 배출된다고 가정한다.

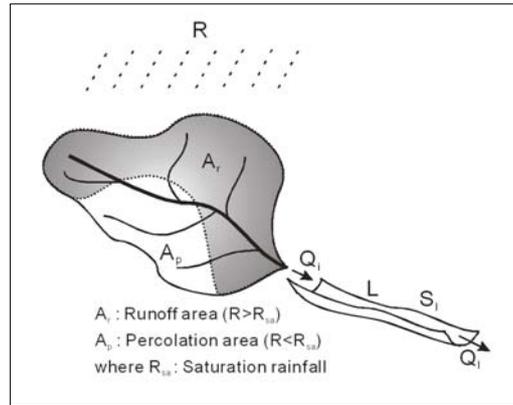


FIGURE 1. 저류함수모형의 개념도

본 연구의 유역 유출계산은 유역저류와 유출에 관한 단위를 강우량단위(mm/hr)와 같이 단위저류고(mm), 단위유출고(mm/hr)로 사용한다. 이에 따라 유역의 저류함수식은 식(1) 및 식(2)로 표시한다(한국수자원공사, 2000).

$$R_e(t) - Q_i(t) = \frac{dS_i(t)}{dt} \quad (1)$$

$$S_i(t) = kQ_i(t)^p \quad (2)$$

여기서, t 시간의 유역출구에서의 유출량 Q_i(t)는 Q_i(t - Δt)의 개념이며, R_e : 유효강우(mm/Δt), k : 저류상수(mm^(1-p)/Δt^(-p)), p : 저류상수(무차원), S_i : (하도)저류고(mm), Q_i : 하도유출고(mm/Δt), Q_o : 하도유입고(mm/Δt), Δt : 계산단위시간

하도에서의 저류함수식은

$$S_i(t) = kQ_i(t)^p - T_iQ_i \quad (3)$$

여기서, T_i : 지체시간(hr)으로 표현된다.

KOWACO모형은 홍수유출예측량을 계산하기 위한 입력 자료로 예상강우량, 예상강우분포형, 지속시간, 예측강우 시작일시를 설정하도록

록 되어 있다. KOWACO홍수분석 모형에서 면적평균강수량 산정의 경우는 산술 평균법, 티센분할법, 삼각형법, 등우선법, 크리깅기법 등의 5가지를 고려할 수 있으며, 결측강우의 보완은 산술 평균에 의한 방법, 상관 관계법, RDS방법, 연평균강수량에 의한 가중 평균법의 4가지 중에서 주로 RDS 방법을 사용하고 있다(한국수자원공사, 2004).

Vflo모형 개요 및 이론

본 연구에서는 유출해석을 위한 물리적기반의 분포형 유출모형으로서 Java언어로 개발된 Vflo모형을 사용하였다. Vflo모형(Vieux,B.E, 2002)은 레이더강우를 이용한 홍수예측분야의 세계적인 권위자인 오클라호마 대학의 Dr. Vieux에 의해서 최근에 개발된 물리적기반의 분포형 모형으로 강우사상기반의 유출모의 및 연속유출모의가 모두 가능하며, 강력한 사용자 인터페이스와 레이더와 지상관측 자료를 이용한 초단시간 강우예측 모듈 등의 전처리과정 등을 갖추고 있다. 현재 수치예보 및 Vflo 모형의 연계는 대만 기상청 등에서 현업모형으로 활용되고 있다. Vflo모형의 적용분야는 강우레이더 자료와 연계한 실시간 홍수예측 분야 뿐만 아니라 설계홍수량 산정을 위한 강우유출모의나 사전재해영향성 평가, 하천정비기본계획 수립, 유역종합치수계획 수립 등 다양한 분야에서 적용이 가능하며, 특히 유역의 개발 등 유역 특성의 변화에 따른 수문변화를 모의하는데 적합하다고 사료된다.

Vflo모형은 지표면 유출에 운동파방정식(Kinematic Wave Equation)을 사용하며, 수치해를 구하기 위하여 공간적으로는 유한요소법을 사용(Vieux, 2004; Vieux & Vieux, 2002)하며, 해의 안정화를 위해서 시간적으로는 유한차분 음해법을 사용한다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(vh)}{\partial x} = R - I \quad (4)$$

$$v = \frac{1}{n} h^{2/3} S^{1/2} \quad (B \gg h) \quad (5)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{S_o^{1/2}}{n} \frac{\partial h^{5/3}}{\partial x} = R - I \quad (6)$$

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

이 모형의 일반적인 특징으로는 먼저 DEM을 이용하여 격자기반으로 지형정보를 수치화하여 유역경사, 유하방향, 하상경사, 하도폭, 하도조도계수 등의 유출계산을 위한 입력매개변수를 추출하고 운동방정식과 연속방정식을 이용하여 물의 흐름을 수리학적으로 추적해서 유출량을 계산하고 있다. 또한, GIS 및 위성영상을 이용하여 토지피복도로부터 토지피복별 조도계수와 토양도로 부터 토심과 Green-Ampt 매개변수 등을 추출하여 공극을 통한 침투과정을 모의할 수 있도록 하였다.

대상유역 및 GIS자료 구축

1. 대상유역 현황

용담댐유역의 유역면적은 930km²이며, 유역의 경사는 대체로 남고북저의 형태를 취하고 있어 주하천인 금강분류가 전북 장수군에서 발원하여 유역의 북쪽출구에 위치한 용담댐으로 흘러나간다. 유역의 지형지세 및 하도, 강우 및 수위관측소 등 기본현황은 그림 2에 나타나 있다(한국대댐회 홈페이지). 2006년 현재 용담댐 유역내에 실시간 T/M전송장비를 갖춘 강우관측소는 7군데가 있으며, 무주관측소는 용담댐 유역외에 위치하나 용담댐 유역내에 티센면적을 갖고 있으므로 티센망구성에 포함되는 관측소는 총 8개소이다. 용담댐 유역내 강우관측소에 대한 고도분석결과 관측소가 대체로 티센다각형내의 평균고도에 훨씬 못 미치고 있어 실제 강수보다 과소 관측될 소지가 있다고 판단된다. 유역내 수위관측소는 천천, 동향, 용담댐 등 3개소가 운영되고 있다.



FIGURE 2. 용담댐 유역 현황도

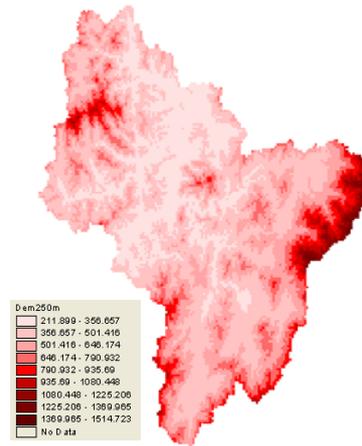
2. HEC-GeoHMS를 이용한 분포형 매개변수 추출

유역의 수문학적인 특성은 지형, 토지피복, 토양 등에 의해 크게 좌우된다. 본 연구에서는 HEC-GeoHMS를 ArcView에 탑재하여 DEM, 토양도, 토지피복도 등을 이용하여 아래와 같이 물리적기반의 분포형 모형인 Vflo모형의 입력인자로서 12개의 공간분포형 수문매개변수들을 추출하였다. 즉, DEM으로 부터는 유역경사, 하천셀, 유하방향, 하상경사, 하도측면경사, 하도폭, 하도조도계수를, 토지피복도로부터는 토지피복별 조도계수를, 토양도로부터는 토심과 Green-Ampt매개변수인 투수계수, 흡인수두계수, 유효공극율을 추출하였다.

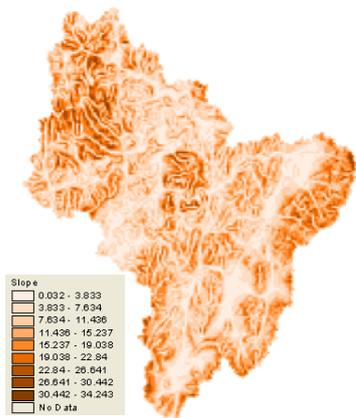
3. 지형 매개변수

용담댐유역 30m DEM을 ArcView에서 GIS 각 주제도의 투영과 해상도가 동일한 해상도를 갖도록 조정한 후 250m로 리샘플(Resample) 하였다. 유하방향도는 ArcView에서 HEC-Geo

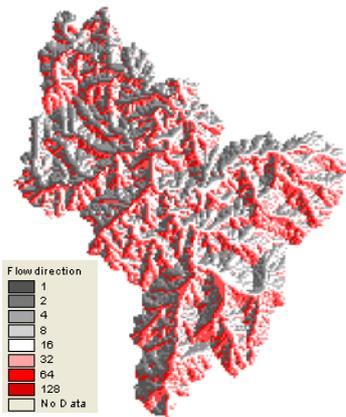
HMS extention을 사용하여 유도하였다. 유역의 가로흐름을 막고 수계망을 향하여 유하방향도를 작성하기 위하여 Charleux-Demarge과 Peuch(2000)가 제안한 방법을 이용하여 30m DEM과 전체 유역도로부터 유도된 수계망을 250m DEM에 중첩시켰다. 30m DEM에서 유도된 수계망은 250m Vflo모형 격자내에서 배수방향을 결정하는데 사용되었다. 하도셀을 구하기 위한 배수면적의 기준값은 수계망이 얼마나 하도화되어 있는지에 따라 경험적으로 설정되는데 여기서는 5km²의 값을 가지고 산정하였다. 모든 하도셀의 사면경사는 1:1로 설정하였다. Vflo모형에서 수위-유량 관계 곡선과 단면자료를 이용하는 것은 사다리꼴 근사를 사용하는 것이 아닌 실제 하도지형을 표현할 수도 있다. 향후에 좀 더 많은 하도단면과 수위-유량관계곡선을 이용할 수 있다면 현재 기본적인 사다리꼴 하도셀 보다 많은 하도셀에 하도단면과 수위-유량 관계곡선을 입력할 수 있을 것이다. 하도 저폭값은 가중합수로서 각각의 셀의 배수면적(총유량)을 사용하여 하도저폭과 총유량 사이에 경험적으로 유도된 선형관계 기초를 두고 결정하였다. 그림 3에 용담댐 유역의 DEM과 이로부터 획득한 경사도 및 흐름방향도를 나타내었다.



(a) DEM



(b) Slope



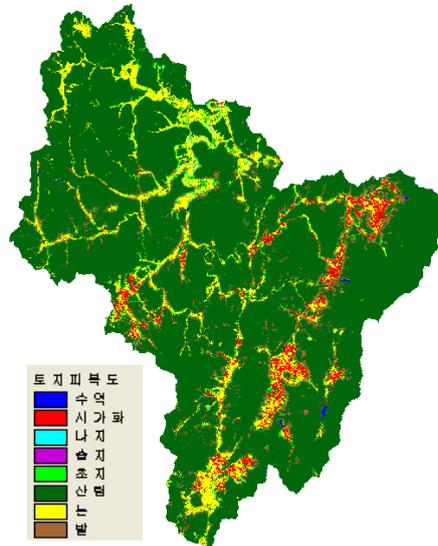
(c) Flow direction

FIGURE 3. 용담댐 유역의 지형 특성들

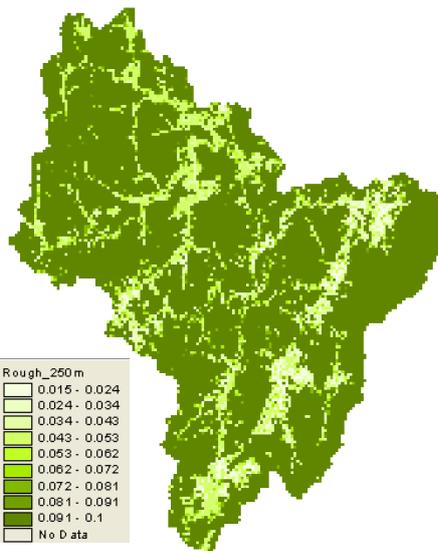
4. 토지피복 매개변수

토지피복은 지표면 조도 및 불투수층의 분포를 좌우하며 이에 따른 유역의 수문응답 반응 시간과 유출용적의 변화에 직접적인 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 한국수자원공사 조사기획처에서 자체 제작한 토지피복도를 이용하여 동일한 유출부하 특성을 보이는 항목을 묶어서 8가지로 재분류하여 격자마다 조도계수를 계산하였다(그림 4). 각각의 토지이용분류에 대한 전형적인 조도계수 값은 Vieux가 제시한

값(Vieux, 2004)을 참고로 하였다. 표 1에 각 토지항목별 조도계수값을 표시하였다.



(a) 토지피복도(30m)



(b) 조도계수(250m)

FIGURE 4. 용담댐 유역의 토지피복도와 조도계수

TABLE 1. 조도계수 분류 (Vieux, 2004)

Class	Land Cover	Roughness Coefficient
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

5. 토양 매개변수

토양은 초기 함유수분, 토심, 입도분포 등에 따라 강우의 침투능에 직접적인 영향을 미치게 된다. 토양도와 토양깊이, 점토(clay)와 모래비율 등의 정보가 포함된 GIS 토양주제도는 농업과학기술원에서 제공받아 ArcView를 이용하여 토심 및 토양수분의 시간변화량 추정을

위한 Green and Ampt 침투 매개변수를 구하였다.

Green-Ampt식은 토양 수분에 따른 시간변화 영향을 물리적으로 설명하기 위해 Darcy법칙의 이론적인 근거에서 유도되어 흙의 성질로부터 계산될 수 있는 물리적인 의미를 갖고 다양한 토양조건에서 좋은 결과를 보여주었다. 용담댐 유역 30m해상도의 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 산정하여 모형의 입력포맷인 ASCII파일로 변환하여 출력하였다. 표 2에 Green-Ampt 매개변수값을 표시하였고, 그림 5에 토양도(토심)로부터 유효 토심 매개변수를, 토양도(종류)로부터 유효공극율, 습윤전선, 포화투수계수를 산정한 결과를 GIS상에서 나타내었다.

TABLE 2. Green-Ampt 매개변수들 (Vieux, 2004)

Value	Description	Effective Porosity	Wetting Front (cm)	Saturated Hydraulic Conductivity (cm)
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
No data		0.361	15.945	0.595

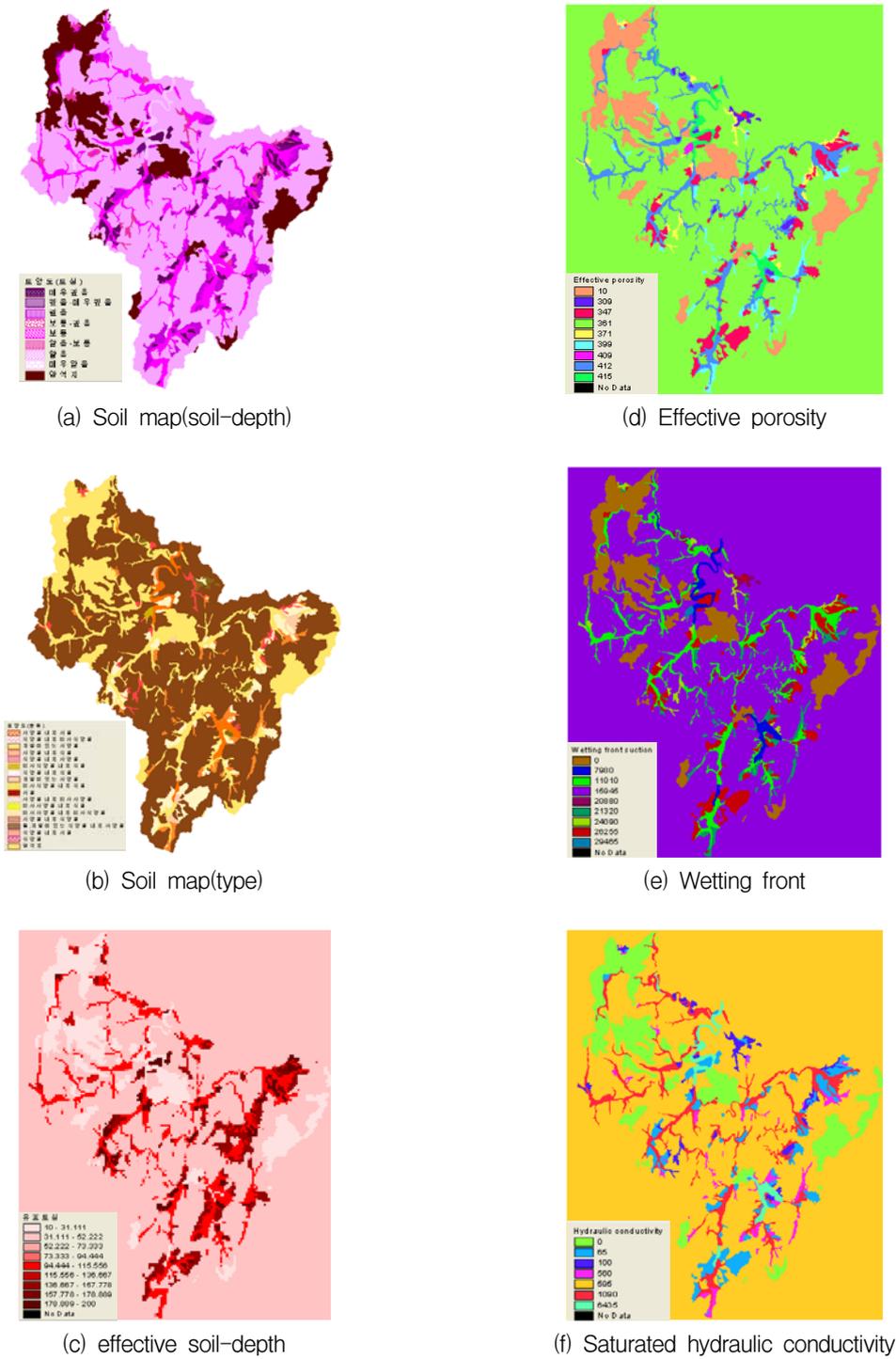


FIGURE 5. 용담댐 유역의 토양매개변수

적용결과

개념적 기반의 집중형 모형인 KOWACO홍수분석모형과 물리적 기반의 분포형모형인 Vflo모형을 이용하여 2003년 태풍 매미사상에 대하여 유출해석을 한 결과를 아래와 같이 나타내었다.

1. KOWACO홍수모형(집중형모형)의 적용결과

저류함수모형에서 각각의 관측소를 이용하여 티센망을 구성하여 면적강우량을 산정하여 모형의 입력자료로 사용하였다. 용담댐유역의 소유역별 티센망 및 소유역구분 모식도는 그림 6과 그림 7에 표현되어 있다. 전체유역은 7개의 단위유역으로 나뉘어 계산이 수행된다.



FIGURE 6. 용담댐 유역하도 및 티센구성

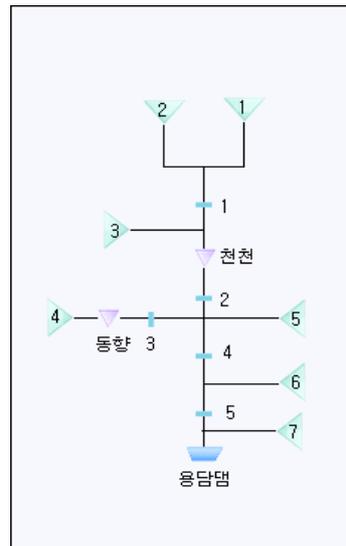


FIGURE 7. 용담댐유역 유역구분 모식도

모의결과 경험식으로부터 구한 매개변수의 초기값을 이용한 초기 수문곡선은 관측수문곡선과 다소 차이를 보였으나 매개변수를 조정하여 계산한 수문곡선은 양호하게 잘 모의되었다(그림 8). 이때 사용되어진 소유역 매개변수값은 표 3과 같다. 수문곡선은 관측값과 비교했을 때 양호하게 모의되는 것으로 나타나고 있으나 매개변수의 추정과정은 수학적으로 효율성만을 높이기 위한 것이기 때문에 유역의 물리적 현상과는 다소 상이한 결과를 보일 수 있고 강우사상에 의존적인 개념적 모형의 매개변수특성을 어떻게 극복하느냐가 실시간 유량예측에 있어서 KOWACO 모형의 과제라 보여진다.

TABLE 3. 태풍 매미에 대한 소유역 매개변수들

Parameters	K	P	T _i [hr]	f ₁	R _{sa} [mm]
Sub Basin1	11.50	0.57	0.60	0.31	34.65
Sub Basin2	11.58	0.57	0.43	0.31	34.65
Sub Basin3	11.77	0.56	0.43	0.31	34.65
Sub Basin4	11.98	0.55	0.71	0.31	34.65
Sub Basin5	11.80	0.56	0.46	0.31	34.65
Sub Basin6	12.44	0.54	0.72	0.31	34.65
Sub Basin7	12.19	0.55	0.85	0.31	34.65

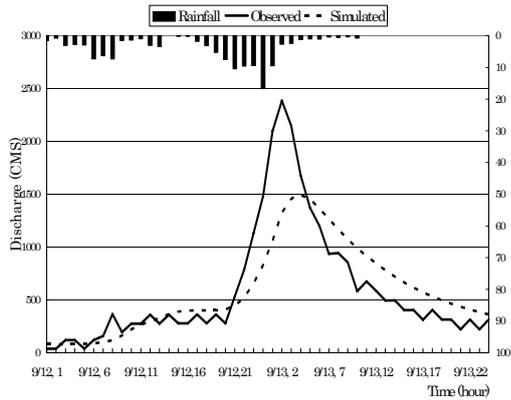


FIGURE 8. 매개변수보정 전의 태풍 “매미” 수문곡선(용담댐지점)

2. Vflo모형(분포형모형)의 적용결과

본 연구에서는 용담댐 유역에 위치한 주천, 부귀, 상전, 천천, 장계, 계북, 안천, 무주의 총 8개 관측소의 1시간 강우 자료를 사용하였다. Vflo 모형을 위하여 각 관측소의 강우를 지형자료와 같은 크기의 250m 격자로 역거리 가중치법을 이용하여 분포형 격자강우로 변환할 수 있는 프로그램을 개발하여 태풍매미시의 분포형 모형의 격자강우를 생성하였다(그림 9). 모형의 수문매개변수들은 GIS와 연계하여 수치지형, 토지피복도, 토양도로부터 12개의 물리적인 공간분포형 매개변수를 추출함으로써 모형의 초기상태를 개선시킬 수 있었다. 용담댐 유역내 3개 수위 관측소(천천, 동향, 용담댐)로부터 수위-유량 관계곡선에 의해 유량자료로 환산한 관측값과 비교해 본 결과, 천천은 매개변수의 보정 없이도 유량의 크기와 침투시간 모두 관측값과 잘 맞는 것을 확인할 수 있었고, 동향과 용담댐에 대해서는 조도계수 및 침투계수 등을 이용하여 시행착오법으로 매개변수를 보정하였다. 그림 10은 용담댐지점에서 보정한 유출량을 관측값과 비교하여 나타낸 수문곡선이다.

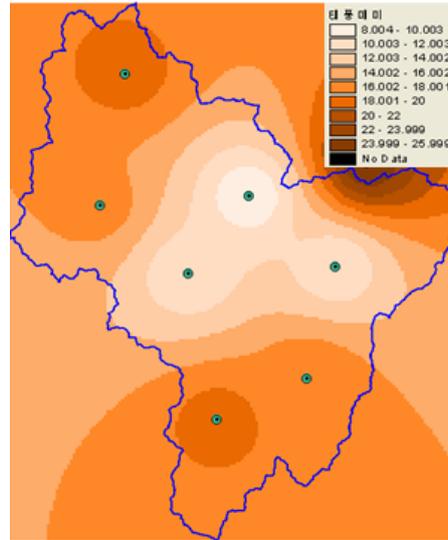


FIGURE 9. 매미사상시의 분포형 격자강우(용담댐유역)

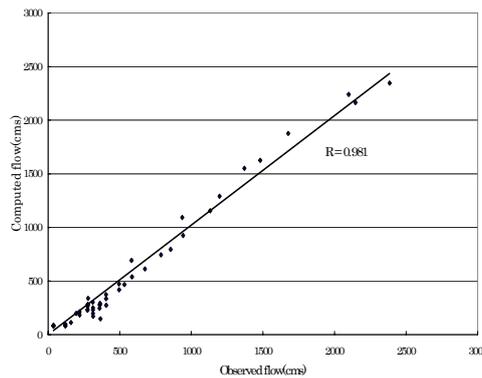
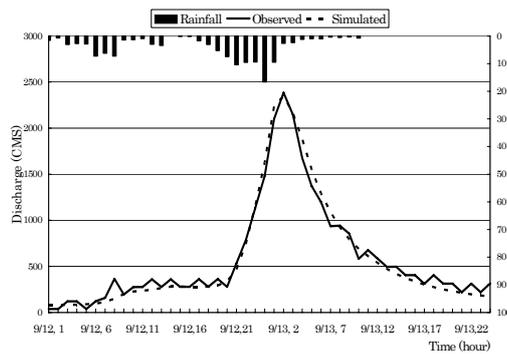


FIGURE 10. 분포형 강우에 대한 태풍 “매미” 수문곡선(용담댐지점)

결론 및 제언

지금까지 수자원공사 현업에서 사용중인 집중형유출모형인 KOWACO모형과 분포형 유출모형인 Vflo모형을 용담댐 유역에 대해 적용성을 검토하고 수문곡선변화를 통해 양 모형의 장단점을 비교분석하였다. 모형 수행 결과, 모형 보정은 분포형유출모형이 집중형모형에 비하여 지형공간 자료와 토양, 토지피복과 같은 물리적 특성을 사용한 모형의 초기 설정을 향상시킴에 의해 첨두유량에서 ± 254 cms, 유출량에서 ± 14 mm, 첨두도달 시간차에서 ± 15 분 이내의 정확도 향상을 가져왔다.

물리학적 기반의 분포형 모형은 용담댐유역 천천관측소에서 별다른 매개변수의 보정없이도 합리적이고 유용한 결과를 보여주었으며, 추가적인 강우사상에 대한 적용을 통해 모형 보정문제를 해결하거나 모형의 성능을 향상시킬 수 있을 것이다. 집중형 수문모형의 경우 물리기반의 분포형 모형에 비해 매개변수가 개념적 그리고 경험적 의미가 크기 때문에 수문모형의 구축시의 초기매개변수에 의한 모의 정확도가 상당히 떨어지며 이를 위해 시행착오 또는 최적화기법을 통해 매개변수를 보정하지만 수학적으로 효율성만을 높일 뿐이지 유역의 물리적 현상과는 상이한 결과를 보일 수 있다. 이와 같이 물리적 기반의 분포형 수문모형이 가지는 가장 큰 장점 중의 하나는 분포형 지형자료, 지표면 공간 매개변수, 강우자료 등 유역의 물리적 특성이나 실측된 자료로부터 추정된 초기 매개변수의 값에 의한 유출모의가 집중형 모형에 비해 정확하기 때문에 미세한 매개변수의 조정만을 통해 유역의 유출량을 모의할 수 있다는 점이다.

KOWACO모형은 그동안 현업에서 충분히 검증된 저류함수법을 이용하여 계산을 수행하기 때문에 홍수시 첨두유량과 첨두시기를 실시간으로 예측하는데도 효과적인 것이라고 판단되지만 물리적기반의 분포형모형에 비하여 강우사상이 도래하기 전 단계에서 수문학적 유량

예측을 수행하는데 있어서는 몇 가지 단점을 지니고 있다.

첫째로, 집중형 수문모형은 대체로 단위도계열의 유출모형으로서 모형의 매개변수가 강우사상에 따라 변화가 심한 경향이 있다. 따라서, 강우가 직접 도래하여 관측수문곡선을 보기 전에는 최적 매개변수값을 추정하기가 어렵고 매개변수의 검보정 과정에서 객관적 기준보다는 사용자의 주관적 판단이 작용할 여지가 많다. 즉, 첨두홍수가 오기 직전까지 그 시점과 크기를 정확히 알 수 없고, 매개변수도 강우사상의 진행과 더불어 변화한다. 또 강우사상에 지나치게 의존적이고 실측값에 의한 유역특성의 매개변수 추정이 어렵다. 또한 유역의 복잡다양한 특성이 몇 개의 매개변수에 의해 반영됨으로써, 분석기간이 긴 경우에는 물리적인 요소가 불명확하게 되어 유출계산정도를 떨어뜨리게 된다.

둘째로, 집중형 수문모형은 수문곡선을 검보정하는데 있어서 과거 강우 및 유량관측자료에 대한 의존도가 높은 것이 특징이다. 강우와 하천유량의 신뢰도가 높은 지역에서는 효과적이지만, 결측지역이나 관측자료의 신뢰가 높지 않은 지역에서는 적용하기 쉽지 않다. 또한 매개변수 보정을 위해서 실제 유량으로부터 자연유량을 분리해내기가 용이하지 않으며, 분리한다하더라도 그 과정에서 상당한 노이즈성분이 포함되게 된다.

셋째로, 대부분의 유출모형이 댐에서의 조절방류를 고려하고 있지 않거나 자연월류방식으로 처리하고 있다. 따라서 댐상류 유입량 예측이나 댐하류 주요지점에서의 자연유출예측모의를 시도할 때는 물리적기반의 분포형 수문모형이 상당히 유력할 수 있다고 생각된다.

본 연구에서는 2003년 태풍 매미의 사상에 대해서만 분석을 수행하였으나 추가적인 강우사상에 대하여 보완 검토하면 보다 신뢰성있는 매개변수 검보정이 가능할 것으로 기대된다. 또한 VfloTM모형에서는 주로 조도계수, 침투계수, 하폭, 하상경사 등이 민감한 매개변수였

으며 토양도나 토지이용도로부터 침투나 조도 계수등을 추정하게 되는데 우리나라 지질과 지형특성에 맞는 매개변수 추정기법의 연구가 시급히 이루어져야 할 것이다. KOWACO홍수분석모형은 신속한 홍수분석능력 및 의사결정을 위해 단일 호우사상에 대한 집중형 모형으로 구성되어서 각 분석 단계별로 지속적으로 상황에 맞는 분석정보를 재생산하여야 하는 이유로 비교적 단순하며, 사용자의 매개변수 조정이 최소화된 모형을 채택하고 있으나 향후에는 시간 및 공간적으로 분석이 가능한 분포형 모형을 구축하여 실용화할 필요성이 있을 것으로 사료된다.

향후 연구로서는 홍수기 저수지 유입량 예측 및 수계주요지점에서의 유출량 예측의 신뢰도를 제고하기 위하여 레이더 강수 시계열 자료를 이용한 단시간 강우예측기법의 개발 및 이를 이용한 분포형 유출모형에서의 유출 예측 시스템구축을 통하여 현재 개발 중인 다목적댐 저수지 단기 운영모형의 효용성을 제고하고자 한다. **KAGIS**

참 고 문 헌

- 김성준. 2001. 분포형 수문수질 모델링의 최근 동향과 활용방안. 한국수자원학회지. 36(6):33-45.
- 박진혁, 황의호, 이근상, 채효석. 2004. 분포증발산량 산정 결과의 격자형 GIS표현. 한국지리정보학회지. 7(4):88-97.
- 한국대댐회 홈페이지. http://www.kncold.or.kr/korean/dam/k_dam9.html.
- 한국수자원공사. 2004. 정량적 강우예측을 이용한 실시간 저수지유입예보시스템 개발(1차년도). 연구보고서. 21~25쪽.
- 한국수자원공사. 2000. KOWACO 홍수분석 모형 개발. 연구보고서. 30~33쪽.
- Charleux-Demargne, J. and C. Puech. 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.
- Vieux, B.E. 2004. Distributed Hydrologic Modeling Using GIS" Second Edition. ISBN: 1-4020-2459-2. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. pp.122~124.
- Vieux, B.E., C.Chen, J.E. Vieux, and K.W. Howard. 2004. Operational deployment of a physics-based distributed rainfall-runoff model for flood forecasting in Taiwan. In proc., eds Tachikawa, B. Vieux, K.P. Georgakakos, and Nakakita, International Symposium on Weather Radar Information and Distributed Hydrological Modeling. IAHS General Assembly at Sapporo, Japan, July 3-11. IAHS Red Book Publication No. 282, pp.251-257.
- 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. and J.E. Vieux. 2002. VfloTM: A real-time distributed hydrologic model. Proceedings of the 2nd Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference. July 28-August 1, Las Vegas, Nevada. **KAGIS**