

# 레이더강우를 이용한 GIS기반의 분포형모형 적용성 분석 Application Analysis of GIS Based Distributed Model Using Radar Rainfall

박진혁\* · 강부식\*\* · 이근상\*\*\*

Park, Jin Hyeog · Kang, Boo Sik · Lee, Geun Sang

## 要 旨

최근 기상이변에 따른 국지성 돌발 홍수의 빈번한 발생으로 인해 레이더 등을 이용한 초단기 강우예보의 필요성이 대두되고 있다. 본 연구는 시공간 분포를 적절하게 표현할 수 있는 레이더 강우시계열자료와 GIS기반의 분포형모형을 연계하여 국내 댐유역에 적용해 봄으로써, 분포형모형의 홍수유출시 현업에서의 적용가능성을 검증하였다. 본 연구에서 사용한 물리적기반의 분포형모형으로는 *Vflo*<sup>TM</sup>모형을 이용하였으며, 급강권역의 용담댐유역(930km<sup>2</sup>)을 시험유역으로 적용하였다. 입력강우로는 2005년 8월 국지성호우사상, 2007년 태풍 「에위니아」와 「빌리스」를 대상으로 하여, 진도레이더로 부터 레이더강우 전처리프로그램인 K-RainVieux를 이용하여 모형의 격자해상도에 맞는 분포형 강우를 생성하여 지역편차보정한 결과 누적강수량은 2%내외, 편이(bias)값은 0.886~0.908로서 양호한 결과를 보여주었다. GIS수문매개변수를 DEM, 토지피복도, 토양도 등의 기본 GIS자료들로부터 추출, 물리적기반의 분포형모형(*Vflo*<sup>TM</sup>)의 매개변수로 사용하였으며, 3가지 강우사상에 대한 다침두수문곡선 모의결과 총유출량 및 침투유량 오차가 20%미만으로 나타나 실무에서의 사용시 홍수량 예측에 충분한 적용성이 있음을 확인할 수 있었다. 본 연구의 성과는 향후 돌발홍수에 대응한 실시간 단기 강우유출예측시스템을 구축하기위한 기반이 될 것으로 기대된다.

**핵심용어** : 분포형모형, 레이더강우, 돌발홍수, GIS

## Abstract

According to recent frequent local flash flood due to climate change, the very short-term rainfall forecast using remotely sensed rainfall like radar is necessary to establish. This research is to evaluate the feasibility of GIS-based distributed model coupled with radar rainfall, which can express temporal and spatial distribution, for multipurpose dam operation during flood season. *Vflo*<sup>TM</sup> model was used as physically based distributed hydrologic model. The study area was Yongdam dam basin (930 km<sup>2</sup>) and the 3 storm events of local convective rainfall in August 2005, and the typhoon 「Ewinia」 and 「Bilis」 collected from Jindo radar was adopted for runoff simulation. Distributed rainfall consistent with hydrologic model grid resolution was generated by using K-RainVieux, pre-processor program for radar rainfall. The local bias correction for original radar rainfall shows reasonable results of which the percent error from the gauge observation is less than 2% and the bias value is 0.886~0.908. The parameters for the *Vflo*<sup>TM</sup> were estimated from basic GIS data such as DEM, land cover and soil map. As a result of the 3 events of multiple peak hydrographs, the bias of total accumulated runoff and peak flow is less than 20%, which can provide a reasonable base for building operational real-time short-term rainfall-runoff forecast system.

**Keywords** : Distributed model, Radar rainfall, Flash flood, GIS

## 1. 서 론

최근 전 세계적으로 GIS 및 RS데이터 등 디지털정보의

구축이 급속도로 진행되어 오고 있고, GIS 및 인공위성 영상기법의 발달로 유역에 대한 정확하고 상세한 각종 수문매개변수 수집이 가능하여 유역을 부분유역으로 분

2008년 1월 10일 접수, 2008년 2월 15일 채택

\* 정희원·한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원 (park5103@kwater.or.kr)

\*\* 교신저자·정희원·단국대학교 토목환경공학과 조교수 (bskang@dankook.ac.kr)

\*\*\* 정희원·한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원 (ilovegod@kwater.or.kr)

할한 기존의 집중형 수문모형보다 유역내의 공간적인 유량변동을 보다 상세하게 고려할 수 있는 격자기반의 분포형 수문모형의 활용도가 높아지고 있다. 특히, 우리나라의 경우, 치수 등을 위한 단기유량예측은 그 긴박한 필요성으로 인하여 연구와 실무에서 관심의 대상이 되고 있으며, 특히 단시간, 실시간으로 강우자료의 갱신을 수반하는 기상레이더 자료와 GIS와 연계한 물리적 기반의 분포형 유출모형의 활용은 치수분야에 있어 홍수량 예측 향상에 매우 중요한 역할을 할 것으로 기대되고 있다.

현재, 수자원공사 물관리센터에서는 종관일기예보를 바탕으로 유역별 강수총량예측과 저류함수법을 기반으로 한 Kwater홍수분석모형을 이용하여 저수지 홍수유입량을 추정하고 있는데, 태풍이나 국지성 집중호우의 경우 강수의 발달과 소멸이 매우 짧은 시간에 이루어지고, 공간적인 분포의 변화가 매우 심하기 때문에, 종관일기예보에서 이러한 변화에 대한 충분한 정보를 제공하기란 쉽지 않다. 과거 수자원관리를 위해서는 지상강우관측소에서의 관측자료가 주류를 이루었고, 지금까지도 이러한 자료는 실제 지상에 떨어진 강수자료로서 활용가치가 매우 높다. 그러나 악기상시의 태풍이나 대류형의 집중호우가 발생하였을 때, 강수 클러스터의 이동경로나 강도 등을 예측하기 위해서는 강수대의 공간분포를 정확히 파악해야 하는데, 이 경우 레이더 등의 원격탐사자료가 유용하게 활용될 수 있다. 이러한 국지성 돌발홍수에 대응해서 신뢰성있는 강우예측의 필요성이 대두되고 있으며 미국이나 일본 등의 선진외국에서는 신속한 관측능력과 시·공간적 해상도가 뛰어난 레이더 강우자료를 이용하여 실시간으로 강우현상을 감지하고 실무차원에서 레이더와 연계한 홍수 예·경보 시스템을 구축하여 운영하고 있다(한국수자원공사, 2006, 배덕효, 2005).

지금까지는 기상 레이더 및 기상수치예보에 대한 연구는 대부분 기상청 산하의 기상연구소 등을 통해 이루어지고 있는 등 기상과 수문은 각각 서로 다른 분야에서 활발하게 연구되어 오고 있었으나, 최근 들어 실무응용분야인 수문학 분야에서 현업에 적용하기 위한 많은 연구와 노력이 진행되고 있다. 국내에서는 레이더 강우와 지상우량계와의 합성을 통해 지상우량계 수준의 레이더 강우를 얻고자 하는 연구(Seo, 1998, 김병식 등, 2007)가 진행된 바 있으며, 이밖에 유출해석에 적용한 예는 대상 유역내 영춘수위표 지점의 유출량을 기준으로 산정된 지점별 레이더 관계식으로 산정된 강우량을 HEC-GeoHMS모형에 적용한 모의 결과가 실제 수문곡선에 근접한 결과를 보여준 연구(김진국 등, 2006)와 레이더 강우량을 활용하여 왕숙천 유역을 대상으로 NWSPC 모형에 적용하여 레이더 강우량의 적용 가능성을 검토한 연구(최지혜 등, 2003) 등

이 있다. 국내에서도 이러한 기반 기술을 모두 통합하여 실제 유출예측에 활용할 수 있는 현업시스템의 구축이 필요한 단계에 와있다. 아직 우리나라에서는 정량적 강우예측기술과 운영결과에 대한 검증결과가 체계적으로 구축되어 있지 않는 등 전반적으로 국내에서의 수문수자원분야와 기상분야의 기술적 연계를 통한 공동연구가 시급한 상황이다.

이러한 연구배경을 바탕으로 본 연구에서는 시공간 분포를 적절하게 표현할 수 있는 레이더 강우시계열자료와 GIS와 물리적기반의 분포형모형을 연계하여 국내 댐유역에 적용해 봄으로써, 분포형모형의 홍수유출시 현업에서의 적용가능성을 검증해 보고자 하였다. 본 연구에서 사용한 물리적기반의 분포형모형으로는 미국 오클라호마 대학에서 개발한 VfloTM모형을 이용하였으며, 금강권역의 용담댐유역(930km<sup>2</sup>)을 시험유역으로 적용하였다.

## 2. Vflo<sup>TM</sup>모형의 개념 및 이론

### 2.1 개념

본 연구에서는 물리적인 개념을 기반으로 하고 있으며 각종 수문자료들을 GIS와 연계하여 추출할 수 있고, 레이더 강우와 연계한 유출모의가 가능하다는 장점으로 미국 오클라호마 대학에서 개발한 물리적기반의 분포형모형인 Vflo<sup>TM</sup>모형을 이용하였다. Vflo<sup>TM</sup>모형은 JAVA언어로 개발되었으며, 현재 미국 여러 주와 대만 기상청 등에서 현업모형으로 실무에서 활용되고 있다.

Vflo<sup>TM</sup>모형은 지표유출에 운동파방정식(Kinematic Wave Equation)을 사용하며, 수치해를 구하기 위하여 공간적으로는 유한요소법(Vieux, 2001, 2002, 2004)과 시간적으로는 유한차분 음해법을 사용한다. 하도망은 지형정보로부터 유도한 유하방향도로부터 형성되며 하도망의 지형학적 특성은 유역과 수문곡선의 형태와 반응특성을 결정한다. 환경사의 하도 및 하천 외 저류는 Modified Puls 및 Jones방정식을 이용한다. 지표격자로부터 발생하는 유출은 하도추적과 연결된다. 하도추적은 실제단면, 사다리꼴 단면, 수위-유량곡선 등을 이용하여 수행된다(홍준범 등, 2006).

Vflo<sup>TM</sup>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 추적한다. 또한, 침투능 공극을 통한 흐름과정으로 산정하고 레이더강우자료를 활용한 분포형강우를 입력할 수 있는 전처리시스템이 개발되어 있다는 점이다.

표 1. 주요 매개변수 종류

원시자료(출처)	수문매개변수	비 고
DEM (환경부)	유역경사	ArcView (Spatial Analysis) 이용
	하상경사	ArcView (Spatial Analysis) 이용
	하도측면경사	ArcView (Spatial Analysis) 이용
	하도폭	ArcView (Spatial Analysis) 이용
	하도조도계수	ArcView (Spatial Analysis) 이용
	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		250m

2.2 Vflo™모형의 지배방정식

Vflo™모형은 수학적 상사성을 지배 방정식으로 표현하기 위하여 운동과 상사(kinematic wave analogy, KWA)를 이용한다. KWA는 매우 평평한 지역을 제외한 기본적인 기울기를 가지고 있으며 배수가 중요하지 않은 유역의 어느 곳에서든지 이용될 수 있다. KWA는 단순화된 운동량방정식과 연속방정식으로 구성되며, 초과우량에 의해 발생하는 지표유출을 1차원 연속방정식의 형태로 표현한다. 직접유출은 유출 흐름이 등류라는 가정 하에서 계산되며 수치지도 형태의 분포형 격자기반 토양도, 토지피복도, 지형도 그리고 강우강도를 입력자료로 하여 유한요소(Finite element method)를 이용하여 하천망을 계산하기 위해 이용된다(홍준범 등, 2006).

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

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

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

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

3. 연구대상지 및 GIS수문매개변수 구축

3.1 연구대상지

본 연구에서는 Vflo™모형의 실제유역에서의 적용가능성을 평가하기 위해 용담댐유역을 대상 유역으로 선정하였다. 용담댐유역의 유역면적은 930km<sup>2</sup>이며, 유역의



그림 1. 용담댐유역 현황

경사는 대체로 남고북저의 형태를 취하고 있어 주하천인 금강분류가 전북 장수군에서 발원하여 유역의 북쪽출구에 위치한 용담댐으로 흘러나간다. 용담댐유역의 지형지세 및 하도, 강우 및 수위관측소등 기본현황은 그림 1에 나타나 있다(박진혁 등, 2006). 용담다목적댐은 전주권을 포함한 서해안 개발계획에 따라 날로 급증하게 될 생활용수 및 공업용수 수요에 대비하고 홍수조절 기능을 확보하여 대청댐 상류인 금강 중류부의 홍수피해를 경감시키고 갈수기에 하천의 오염을 방지하며 수력에너지 개발을 하는 등 수자원의 효율적 배분에 의한 국토의 균형개발과 지역경제 발전에 기여하였다(한국대대회, 2006).

### 3.2 GIS수문매개변수 구축

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 *Vflo*<sup>TM</sup> 모형의 입력인자로서 공간분포형 수문매개변수들을 추출하였다(박진혁 등, 2006).

#### 3.2.1 지형매개변수

용담댐유역의 30m DEM을 ArcView에서 GIS 각 주제도의 투영과 해상도가 동일한 해상도를 갖도록 조정 한 후 250m로 리샘플(Resample) 하였다. 유하방향도는 ArcView에서 HEC-GeoHMS extension을 사용하여 유도하였다. 유역경계선의 셀값을 유역내 수정한 최대표고값보다 더 높여서 수문학적인 DEM을 생성하여 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 *Vflo*<sup>TM</sup>모형 격자내에서 배수방향을 결정하는데 사용되었다. 하도셀을 구하기 위한 배수면적의 기준 값은 수계망이 얼마나 하도화되어 있는지에 따라 경험적으로 설정되는데 여기서는 5km<sup>2</sup>의 값을 가지고 산정하였다. 모든 하도셀의 사면경사는 1:1로 설정하였다. *Vflo*<sup>TM</sup> 모형에서 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 가중함수로서 각각의 셀의 배수면적(총유량)을 사용하여 하도저폭과 총유량 사이에 경험적으로 유도된 선형관계 기초를 두고 결정하였다. 그림 2에 용담댐 유역의 DEM과 이로부터 획득한 경사도 및 흐름방향도를 나타내었다.

#### 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 이용하여 동일한 유출부하 특성을 보이는 항목을 묶어서 8가지로 재분류하여 격자마다 조도계수를 계산하였다(그림 3). 각각의 토지피복분류에 대한 전형적인 조도계수 값은 Vieux가 제시한 값(Vieux, 2004)을 참고로 하였다. 표 2에 각 토지 항목별 조도계수값을 표시하였다.

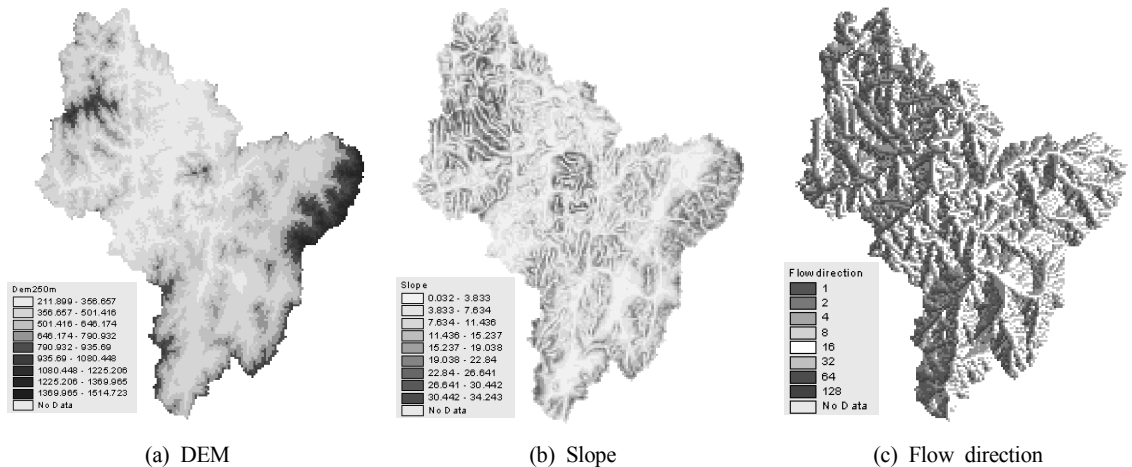


그림 2. 용담댐유역의 지형특성들

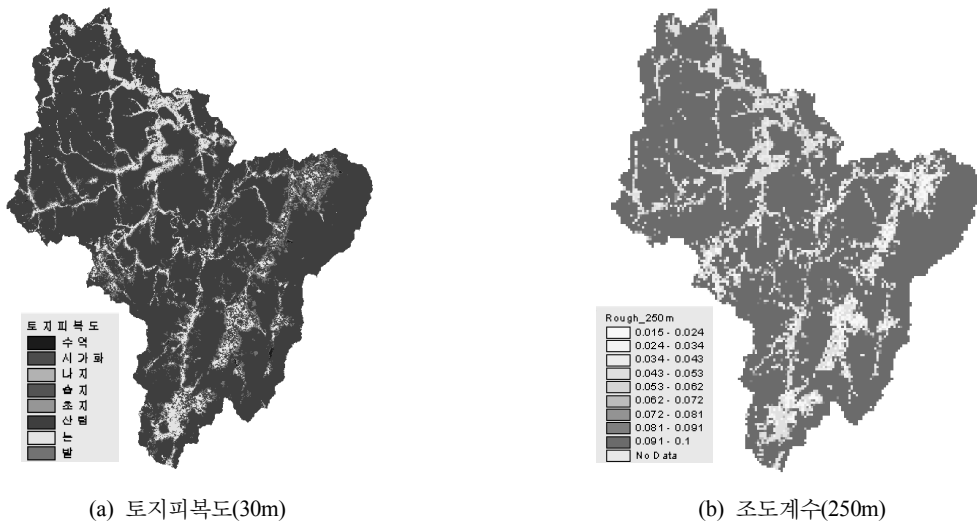


그림 3. 용담댐유역의 토지피복도와 조도계수

표 2. 조도계수의 분류(Vieux, 2004)

클래스	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 토양 깊이, 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 유도되어 흙의 성질로부터 계산될 수 있는 물리적

표 3. Green-Ampt매개변수(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



였다. 레이더 강우 처리시 위도, 경도를 가지는 3차원의 구면으로 된 좌표를 2차원의 직교좌표로 변환시키고, 분포형모형의 격자크기 및 해상도와 동일한 격자크기 및 해상도를 가지는 좌표체계로 투영하였다. 또한, 원시레이더UF포맷의 레이더 반사도값(Z)을 정량적인 레이더 강수량(R)으로 산정하기 위한 Z-R관계식을 산정하였다. 여기서는 대류성의 경우엔 보편적으로 사용되는 경험적 Z-R관계식인  $Z=200R^{1.6}$ 을 사용하였으며, 태풍의 경우엔  $Z=250R^{1.2}$ 를 이용하여 강수 변환하였다.

레이더가 지상으로부터 일정한 높이의 대기 중에서 전자기파의 반사 및 감쇄 특성을 이용하여 강우강도를 추정하기 때문에 보다 정확한 강우량으로 산정하기 위해서는 지상에 떨어진 관측강우와의 보정이 필요하다. 여기서는 강우강도로 전환한 격자기반의 분포형 강우자료로부터 LB(Local Bias)기법을 사용해서 지상에 떨어진 관측강우와의 보정작업을 거쳐 정량적 분포형강우로 생성하여 Vflo™모형의 입력강우로 사용하였다.

LB보정기법은 주변의 G/R값과 관측소로부터 해당 격자까지의 거리에 지수 함수적으로 반비례하는 가중값을 계산하여 국부편이량을 산정하는 방법이다.

$$\frac{G_x}{R_x} = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i G_i / R_i)}{\sum_{i=1}^n W_i} \tag{4}$$

$$R^* = \frac{R G_x}{R_x} \tag{5}$$

여기서 R은 보정전의 레이더 강수량, R\*은 각 격자(x)에서의 보정강수, W는 지수가중값이며, G<sub>x</sub>와 R<sub>x</sub>는 각 격자에서의 지상 강수와 레이더강수의 사상별 총량이다. n은 어떤 격자에서의 레이더보정강수를 알기위해 G/R값이 산정되는 주변의 강우관측소의 개수를 의미한다.

표 4 및 그림 5에 LB기법을 이용하여 보정한 레이더강우 및 지상관측강우와의 비교 결과를 나타내었다. 지상

표 4. 레이더보정강우 및 지상관측강우와의 비교(2005년 8월 대류성 강우시)

관측소명	지상관측강우 (mm)	레이더보정강우 (mm)	편의 (Bias)
무주	170	172	0.988
천천	193	181	0.938
장계	143	189	0.757
계북	225	206	0.916
장계	353	316	0.895
부귀	178	220	0.809
주천	243	217	0.893
안천	275	245	0.890
합계평균	222.50	218.25	0.886

표 5. 레이더보정강우 및 지상관측강우와의 비교(2007년 태풍 「에위니아」)

관측소명	지상관측강우 (mm)	레이더보정강우 (mm)	편의 (Bias)
무주	97	86	0.887
천천	104	103	0.990
장계	79	106	0.745
계북	91	99	0.919
장계	124	116	0.935
부귀	109	122	0.893
주천	136	129	0.949
안천	107	100	0.935
합계평균	105.88	107.63	0.907

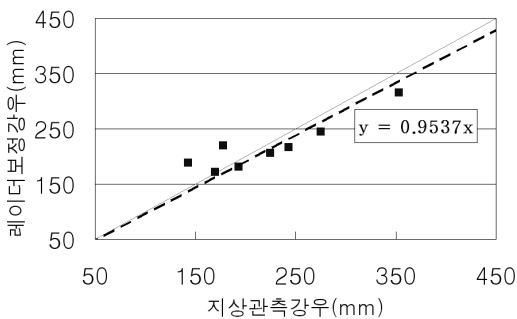


그림 5. LB보정 후 레이더강우 및 지상관측강우 비교 (2005년 8월 대류성 강우)

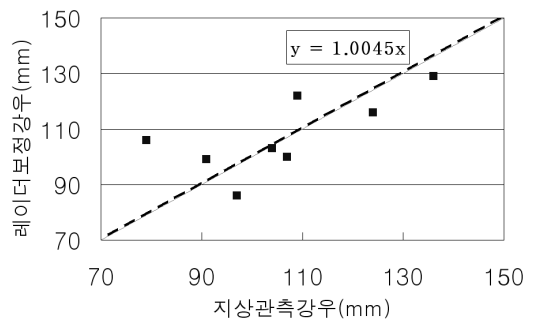


그림 6. LB보정 후 레이더강우 및 지상관측강우 비교 (2007년 태풍 「에위니아」)

관측강우량과 레이더보정강우량의 총량 오차는 불과 2% 미만이며 편의는 0.886으로 상당히 양호한 결과를 보여 주었다.

표 6. 레이더보정강우 및 지상관측강우와의 비교(2007년 태풍 「빌리스」)

관측소명	지상관측강우 (mm)	레이더보정강우 (mm)	편의 (Bias)
무주	368	377	0.976
천천	309	262	0.848
장계	195	275	0.709
계북	277	279	0.993
장계	223	218	0.978
부귀	194	185	0.954
주천	238	277	0.859
안천	245	232	0.947
합계평균	256.13	263.13	0.908

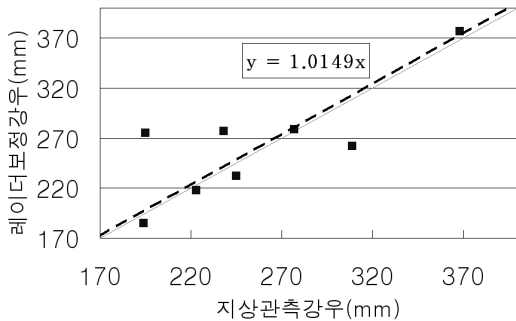


그림 7. LB보정 후 레이더강우 및 지상관측강우 비교 (2007년 태풍 「빌리스」)

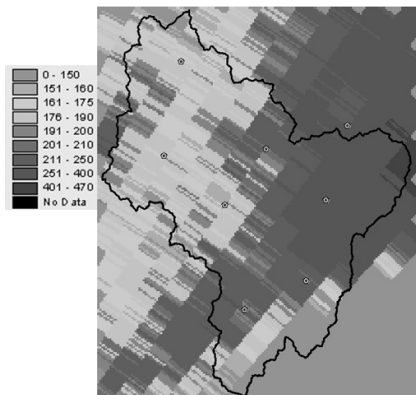


그림 8. LB보정된 레이더강우 분포(2005년 8월 대류성 강우시)

추가적으로 2006년 태풍 에위니아시의 편의는 0.907, 태풍 빌리스시의 편의는 0.908로 보다 더 양호한 결과를 보여 주었다(표 5~6, 그림 6~7). 그림 8은 LB기법에 의해 보정된 레이더보정강우의 공간분포를 나타내었으며, 지상관측강우와의 보정을 통해 유역 내 공간적인 강우분포를 효과적으로 나타내었다고 판단된다.

#### 4.2 유출계산 결과

전절에서 언급한 3가지 강우사상에 대하여 격자기반의 공간분포형 레이더보정강우 및 GIS와 연계한 물리적기반의 *Vflo*<sup>TM</sup> 모형을 이용하여 유출량모의를 실시하여 실제유역에 대한 모형의 적합성을 검토하였다. 모형의 격자 해상도는 모형의 처리능력, 계산시간, 유역면적 등을 고려하여 930km<sup>2</sup> 유역을 가진 용담댐유역에서는 격자의 해상도를 250m로 결정하였다. 이 때 모형에 이용된 격자의 총 개수는 14,879개로 유역셀이 13,894개, 하도셀이 985개였다. 그림 9~11은 용담댐유역의 용담댐지점에서의 3개 강우사상에 대한 매개변수 보정 후의 유출량을

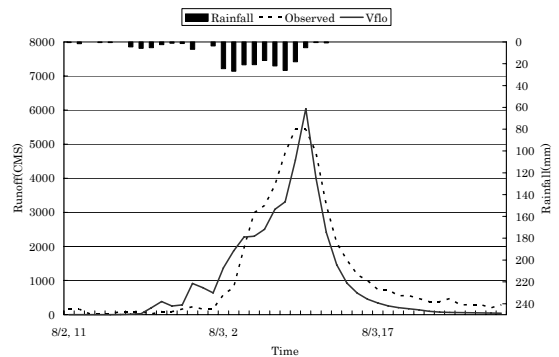


그림 9. 2005년 대류성강우시 유출해석 결과(용담댐지점)

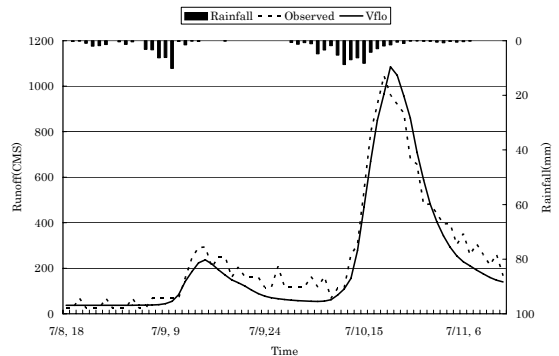


그림 10. 2006년 태풍 에위니아시 유출해석 결과(용담댐 지점)



관측값과 비교하여 나타낸 수문곡선이다.

모형의 수문매개변수들은 GIS와 연계하여 수치지형, 토지피복도, 토양도로부터 물리적인 공간분포형 매개변수를 추출함으로써 모형의 초기설정을 향상시킬 수 있으며 용담댐 유역내 3개 수위관측소(천천, 동향, 용담댐)로부터 수위-유량 관계곡선에 의해 유량자료로 환산한 관측값과 비교해 본 결과, 미세한 매개변수의 보정(침투계수 및 조도계수)만을 통해 유량의 크기와 침투시간 모두 관측값과 잘 맞는 것을 확인할 수 있었다. 매개변수의 보정절차는 유출량의 총량 및 침투유량과 관련해서는 주로 기저유량 및 침투계수를 조정함으로써 보정하였고, 변동의 형폭은 조도계수를 시행착오법에 의해 조정함으로써 수문곡선을 보정하였다.

강우유출해석의 결과로부터 모형의 적합성을 평가하기 위하여 체적오차의 백분율(VER)과 침투유량 오차의 백분율(QER)을 산정하였다. 각각의 계산식은 다음과 같다.

$$VER = \left| \frac{\sum(Q_{obs} - Q_{cal})}{\sum Q_{obs}} \right| \times 100 \quad (6)$$

$$QER = \left| \frac{Q_{pobs} - Q_{pcal}}{Q_{pobs}} \right| \times 100 \quad (7)$$

여기에서,  $Q_{obs}$ : 관측유량(CMS),  $Q_{cal}$ : 계산유량(CMS),  $Q_{pobs}$ : 관측침투유량,  $Q_{pcal}$ : 계산침투유량 이다.

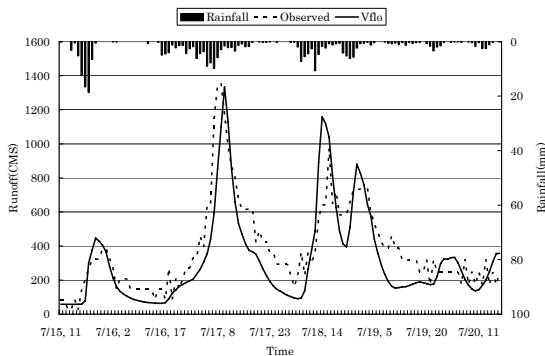


그림 11. 2006년 태풍 빌리스시 유출해석 결과(용담댐지점)

표 7. VfloTM모형의 적합성 평가

강우사상	VER(%)	QER(%)	총유출량오차(%)
2005년 대류성 강우	21.16	16.63	15.41
2006년 예위니아	15.22	7.71	11.58
2006년 빌리스	21.91	18.77	16.32
평균	19.43	14.37	14.44

표 7은 용담댐유역의 3개 강우사상에 대하여 VER, QER, 추가로 계산유량의 합계와 관측유량의 합계를 나눈 총유출량오차를 비교하여 나타낸 것이다. 적합성 평가 결과 3개의 강우사상에 대하여 VER, QER 및 총유출량오차 지표의 평균 오차가 20%미만으로 나타났다. 본 연구결과는 다첨두(multiple peak) 수문곡선에서의 검증 결과이므로 단일 혹은 양첨두(single or double peak) 수문곡선에서는 이보다 감소된 오차를 기대할 수 있다. 특히 첨두유량오차는 총유출오차보다 상대적으로 낮은 수준을 보이고 있는데, 실시간 적용시 초기토양수분이나 기저유출에 대한 신뢰성있는 정보를 기반으로 유출모의가 수행된다면 총유출을 포함하여 전체적인 모의신뢰도를 한층 개선할 수 있어 Vflo<sup>TM</sup>모형의 정확성 및 현업에서의 적용가능성은 충분하다고 판단된다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 금강권역의 용담댐유역을 대상으로 물리적기반의 분포형 모형인 Vflo<sup>TM</sup>모형과 강우입력자료로서 지상관측강우와 LB기법을 이용하여 보정한 분포형 레이더강우를 이용하여 홍수유출 모의를 실시하여 레이더강우를 이용한 Vflo<sup>TM</sup>모형의 정확성 및 현업에서의 적용가능성을 검토해 보고자 하였다.

본 연구를 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 모형의 수문매개변수들은 GIS를 이용하여 수치지형, 토지피복도, 토양도로부터 포화투수계수, 유효공극율, 습윤전선 흡인수두, 유효토심등 물리적인 특성을 가진 공간분포형 매개변수의 초기값(default value)를 추출함으로써 유역의 물리적특성을 유출모형에 적절히 반영할 수 있었다.
2. 용담댐유역내의 시공간적인 강우분포를 유출계산에 모의하기 위해 S-밴드 진도레이더를 원시자료로 이용하여 지상에 떨어진 관측강우와의 LB기법에 의한 보정작업을 거쳐 정량적 분포형강우로 생성하였으며 누적강수 총량은 2%내외, 편이(bias)값은 0.886~0.908로서 양호한 결과를 보여주었다.
3. Vflo<sup>TM</sup>모형에서는 초기 설정된 매개변수로부터 미

제한 매개변수의 보정만을 통해 총유량 및 침투유량 오차가 20%미만으로 나타나 실무에서의 사용시 홍수량 예측에 충분한 적용성이 있음을 확인할 수 있었다. 본 연구 결과는 다첨두(multiple peak) 수문곡선에서의 검증결과이므로 단일 혹은 양첨두(single or double peak) 수문곡선에서는 이보다 감소된 오차를 기대할 수 있다. 또한 격자강우와 함께 모든 수문매개변수들에 대한 공간적인 비균질성을 고려할 수 있고, 격자별 유출량 산정이 가능함으로써 유역 내 임의의 지점에서도 상세한 유출량 모의가 가능하였다.

홍수시 실시간으로 강우자료의 갱신을 수반하는 기상 레이더 자료 및 수치예보자료와 GIS기반의 분포형 유출 모형과의 연계는 치수분야에 있어 홍수량 예측 향상에 매우 중요한 역할을 할 것으로 사료된다. 지금까지 연구된 성과를 기반으로 후속적으로 홍수기 저수지 유입량 예측 및 수계주요지점에서의 유출량 예측의 신뢰도를 제고하기 위하여 레이더 강수 시계열자료를 이용한 단시간 강우 예측기법의 개발 및 이를 이용한 분포형 유출모형에서의 유량예측 시스템구축을 통하여 현재 개발 중인 다목적댐 저수지 단기 운영모형의 효용성을 제고하고자 한다.

### 참고문헌

1. 김병식, 홍준범, 김형수, 최규현, 2007, "조건부 합성방법을 이용한 레이더 강우와 지상강우자료의 조합", *대한토목학회논문집*, 제27권, 제3B호, pp. 255-265.
2. 김진극, 안상진, 2006, "기상레이더 강우량 산정법을 이용한 유출해석", *대한토목학회논문집*, 제26권, 제1B호, pp. 7-14.
3. 박진혁, 강부식, 2006, "댐유역 홍수예측을 위한 GIS기반의 분포형모형과 집중형모형의 유출해석 비교", *한국지리정보학회지*, 제9권, 제3호, pp. 171-182.
4. 배덕효, 2005, "도시유역에서의 레이더강수 추정", *한국수자원학회지*, 제53권, 제9호, pp. 33-45.
5. 최지혜, 배덕효, 남재철, 김정윤, 안병철, 2003, "레이더 강우량을 활용한 왕숙천 유역의 유출해석", *한국기상학회*, Vol. 13, No. 1, pp. 570-573.
6. 한국대댐회 홈페이지, 2006, [http://www.kncold.or.kr/korean/dam/k\\_dam9.html](http://www.kncold.or.kr/korean/dam/k_dam9.html).
7. 한국수자원공사, 2006, "레이더 강수를 이용한 단기강수 및 유출 예측시스템 개발(3차년도)", 연구보고서.
8. 홍준범, 김병식, 윤석영, 2006, "Vflo<sup>TM</sup>모형을 이용한 물리기반의 분포형 수문모형의 정확성 평가", *대한토목학회논문집*, 제26권, 제6B호, pp. 614-615.
9. 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.
10. Seo, D.J., 1998, "Real-time estimation of rainfall fields using radar rainfall and rain gage data", *Journal of Hydrology*, Vol. 208, pp. 37-52.
11. Vieux, B.E., 2001, "Distributed Hydrologic Modeling Using GIS", Kluwer Academic Publishers, Norwell, Massachusetts, Wat. Sci. Tech. Series, Vol. 38, pp. 293.
12. Vieux, B.E., 2004, "Distributed Hydrologic Modeling Using GIS", Second Edition, ISBN: 1-4020-2459-2, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
13. Vieux, B.E., Cui, Z., Gaur, A., 2004, "Evaluation of a physics-based distributed hydrologic model for flood forecasting", *Journal of Hydrology*, Vol. 298, pp. 154-155.
14. Vieux, B.E., Vieux, J.E., 2002, "Vflo<sup>TM</sup>: a real-time distributed hydrologic model", Proceedings of the Second Federal Inter-agency Hydrologic Modeling Conference, July 28-August 1,