VfloTM를 이용한 홍수유출수문곡선의 반응해석The Analysis of Flood Hydrograph by Using VfloTM

김근영* · 추연문** · 여운기*** · 지홍기****

Kim, Keun Yeong · Choo, Yean Moon · Yeo, Won Ki · Jee, Hong Kee

Abstract

This research examined a rainfall-runoff relationship containing linearity by applying radar rainfall to grasp more accurate properties of rainfall. In addition, this research improved accuracy of estimated radar rainfall by applying a G/R(Gauge to Radar) technique compensating estimated radar rainfall through using a ratio relationship between estimated radar rainfall and observed ground rainfall. In order to verify applicability of distributed rainfall-runoff model from radar estimated rainfall, this research constructs a VfloTM analysis system which is typical distributed rainfall-runoff model and analyzed a discharge aspect while changing the size of a lattice. This research proposed estimation and compensation of radar rainfall as well as the lattice size of distributed rainfall-runoff model.

Key words : VfloTM, Radar Rainfall, Flood Hydrograph

요 지

본 논문에서는 보다 정확한 강우의 특성을 파악하기 위하여 레이더 강우를 적용하여 비선형성을 내포하는 강우-유출관계를 연구고찰하였다. 레이더 추정강우량과 지상의 관측강우량의 비율관계를 이용하여 레이더 추정강우를 보정하는 G/R기법을 적용하여 레이더 추정강우의 정확도를 향상시켰다. 레이더 추정강우로부터 분포형 강우 유출모델의 적용성을 검증하기 위하여 대표적인 분포형 강우-유출모델인 VfloTM분석체계를 구축하고 격자의 크기를 변화시켜가면서 유출양상을 분석하였다. 이 논문에서는 레이더 강우의 추정 및 보정과 분포형 강우-유출모델의 격자크기(Sell Size)를 제안하였다.

핵심용어 : VfloTM, 레이더 강우, 홍수유출수문곡선, 격자크기, 분포형 모형

1. 서 론

최근의 극심한 기상이변으로 인하여 하천유역에서 발생하는 이상홍수와 이에 따른 홍수유출과정의 정확한 해석과 예측은 수자원의 효율적인 활용과 하천의 치·이수는 물론 친수관점에서 매우 중요하다. 홍수유출을 해석하고 예측하기 위해서는 유역 내에서 발생하는 수문기상학적 요소와 유역의 특성인자들의 정확한 상호 관련성의 규명이 필요한데, 이 중 강우의 시·공간적 불균등 분포, 침투, 토양특성 등과 같은 물리인자들의 변동이 비선형적으로 하천 홍수량에 영향을 끼치기 때문에 홍수량을 예측하는데 매우 어려움이 있다.

지금까지 국내 수자원 분야에서는 관측 강우량 자료는 지상우량계에 의존해왔으나, 이는 관측망과 고도별로 그 분포를 충분히 고려하지 못하기 때문에 적절한 시·공간적 강우분포 예측에 어려움이 있었다. 이를 보완하기 위하여 우량계를 통

해 측정된 점 강우량을 Thiessen 다각형법, 역거리법(IDW, Inverse Distance Weighted Method), Spline 기법 또는 지형통계학적 크리깅기법(Kriging) 등의 공간적 내삽기법을 이용하여 유역에 대한 면적(공간) 강우량으로 변환하여 사용하고 있지만, 이 기법들에 의해 추정된 공간적 분포는 연속적인 강우의 시간적·공간적인 특성과 연관성 증명이 어려워 다양한 형태의 강우유출특성 해석에 큰 어려움이 발생하고 있다.

이러한 지상 우량계 관측망의 한계를 보완하고 미세측지점의 강우량을 추정하기 위하여, 최근 기상위성탐사(레이더 및 위성) 자료를 활용하여 보다 정확한 강우의 시·공간적 분포특성에 따른 홍수유출을 예측하고 있으며, 국내에서도 기상위성탐사 자료를 이용한 강우해석과 홍수예측에 관한 연구가 점차 증가하고 있다.

레이더 강우의 시·공간적 분포특성에 관한 연구는 레이더

*정회원 · 영남대학교 공과대학 건설시스템공학과 석사과정(E-mail: yeongkim@yahoo.com)

**정회원 · 영남대학교 공과대학 건설시스템공학과 석사과정

***정회원 · 대구경북개발연구원 책임연구원 공학박사

****정회원 · 영남대학교 공과대학 건설시스템공학과 교수(교신저자)

방정식을 정립하면서 반사도와 강우강도의 관계를 이용한 강우추정 연구를 토대로 본격적으로 시작되었다. 국내에서는 1988년 기상 레이더가 설치된 이후, 기상연구소에서 레이더를 이용한 유역의 강우량 산정기법 연구를 통하여 레이더 반사강도의 정량적 분석에 의해서 유역 강우량 산출에 관해 연구하였으며, 오경두, 이순철 등(2008)에 의해 레이더 강우자료에 의한 도시홍수 예보 시스템 연구 및 레이더 영상 디지털 변환의 강우유출모의 적용성을 연구하기 시작하였다.

본 연구에서는 기상청에서 제공하는 CAPPI(Constant Altitude Plan Position Indicator) 합성영상을 이용한 레이더 강우자료를 디지털 강우자료로 변환하는 RAIDOM(Radar Image Digitalization Method)기법을 적용하여 강우를 시·공간적으로 분포시키고 이를 지상관측 자료와 비교하여 자료의 정확성을 검토하고자 한다. 여기서, 추정강우의 정확성 검토를 통하여 보정이 필요한 추정강우에 대해서는 국내 기상청에서도 레이더 강우의 보정기법으로 사용하고 있는 G/R기법을 적용하여 분포형 강우-유출모형에 적용하였다. 또한 분포형 강우-유출모형의 적용시 강우와 수문모형의 매개변수를 격자크기의 변화에 따라 분석함으로써 입력자료의 시·공간적 분포특성에 따른 유출양상의 및 위천유역의 적정 격자크기와 그 적용성을 검토하고자 현재 국내에서 널리 사용되고 있는 기존 면적강우량 산정방법인 Thiessen, Kriging, 역거리 기법과 비교분석하였다. 시·공간적 강우해석과 분포형 기반의 강우-유출모델로부터 얻어진 연구결과는 앞으로 효과적인 수자원의 이용과 신뢰도 높은 홍수유출 예측을 실시하는데 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 이론적 배경

2.1 레이더영상 디지털 변환기법

RAIDOM기법은 전송받은 레이더 영상의 RGB(Red, Green, and Blue) 값을 기반으로 룩업테이블(Look-Up Table) 상의 데이터 값을 참조하여 변환하는 장치 및 방법에 따라 전송받은 영상의 RGB 값을 추출한 후 이 RGB 값을 기반으로 룩업테이블 상의 데이터 값을 참조하여 해당 수치 배열로 변환하는 시스템이다. RGB 색상 모형을 바탕으로 각 색의 조합에 대한 256단계의 명도값을 이용하여 컴퓨터로 디지털 처리할 수 있어 이를 조합하면 16,777,216개의 색상 정보를 표현할 수 있고 실시간 데이터를 담은 영상을 기반으

Fig. 1. RGB 조합 배열에 의한 변환

로 영상 정보를 분석하고 변환하여 그 값을 사용할 수 있다 (Fig. 1. 참조).

2.2 G/R 보정기법

현재 국내에서 레이더 강우량 추정방법에 있어서 주로 적용되고 있는 방법은 대상유역을 선정한 후 해당유역에서 발생한 특정 사상에 대한 레이더 추정 강우량 자료를 바탕으로 그 결과를 보정하여 이용하는 방법으로 레이더 추정 강우량의 정확도를 높이고 있다.

레이더 추정강우의 시·공간적 특성뿐만 아니라 지상 관측 강우량의 정량적 특성을 가질 수 있도록 처리하는 과정으로서, 본 연구에서는 Koistinen과 Puhakka (1981)의 레이더 추정강우에 지상 강우량 보정기법을 적용하기 위한 선행 가정조건을 적용하였다.

- i) 지상 관측소에서 관측된 점 강우량은 정확하다.
- ii) 레이더는 강우의 시·공간적인 변동성을 정확하게 측정한다.
- iii) 레이더 추정강우와 지상 강우량의 관측은 같은 지점에서 측정된 것이다.

현재 국내 기상청에서도 적용하고 있는 G/R기법은 관측된 지상 강우량과 레이더 추정강우의 보정계수(f)를 산정하여 레이더 추정강우를 보정하는 방법으로 대상유역에 대하여 시·공간적인 특성을 잘 반영하고 있는 레이더 추정강우량과 지상의 T/M(Telemeter) 강우관측소에서 관측된 강우량과의 비율관계를 이용한 레이더 추정강우 보정기법을 사용하고 있으며, 이는 크게 단일·다중 매개변수 우량계 보정방법으로 구분된다.

단일 매개변수 우량계 보정방법은 분석하고자 하는 대상유역을 기준으로 유역 내 T/M 강우관측소에서 관측된 총 강우량과 레이더영상 디지털화하여 변환한 후 추정된 유역의 총

Table 1. 단일 매개변수 우량계 보정계수 산정(유역보정)

지점	1	2	3	4	5	유역보정
관측 지상강우량(G)	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	$\sum_{i=1}^5 G_i$
레이더 추정강우량(R)	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	$\sum_{i=1}^5 R_i$
보정계수 (f)	-	-	-	-	-	$f = \frac{\sum_{i=1}^N G_i}{\sum_{i=1}^N R_i}$

Table 2. 다중 매개변수 우량계 보정계수 산정(지점별 보정)

지점	1	2	3	4	5
관측 지상강우량(G)	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5
레이더 추정강우량(R)	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
보정계수 (f)	$f_1 = \frac{G_1}{R_1}$	$f_2 = \frac{G_2}{R_2}$	$f_3 = \frac{G_3}{R_3}$	$f_4 = \frac{G_4}{R_4}$	$f_5 = \frac{G_5}{R_5}$

강우량이 동일하다고 가정하고 보정계수를 산정하여 레이더 강우를 추정하는 기법이다.

$$f = \sum_{i=1}^N G_i / \sum_{i=1}^N R_i \quad (1)$$

여기서, G_i : 유역 내 강우관측소 i 지점에 해당하는 관측된 지상 강우량

R_i : 레이더영상 디지털변환법을 이용한 레이더 추정 강우량

f_i : 레이더 추정강우량에 적용되는 보정계수

다중 매개변수 우량계 보정방법은 대상유역에 위치하고 있는 T/M 우량계 자료를 활용하여 지점별로 레이더 추정강우와의 지점별 보정계수(f_i)를 각각 산출한 후, 모든 지점별 보정계수를 레이더 관측영역 내의 모든 레이더 격자 강우량의 보정에 이용하는 방법이다. 다중 매개변수 우량계 자료를 이용한 기법은 단일 매개변수 기법을 사용한 레이더 강우량 보다 시·공간적으로 분포가 잘 된 좋은 결과를 얻기 위하여 고안된 방법이다.

$$f_i = G_i / R_i \quad (2)$$

2.3 Vflo™

레이더 강우 시스템, GIS 수리수문모델 솔루션을 제공하는 물리적 인자 기반의 분포형 모형으로 레이더 강우 시스템을 활용하여 불규칙하고 복잡한 강우분포를 실시간으로 입력하여 유출을 모의함으로써 실시간 홍수예측과 침수에 대비한 조치를 수행할 수 있다.

Vflo™ 모형은 수치해를 구하기 위하여 공간적으로는 유한 요소법, 시간적으로는 유한차분 음해법을 사용하고 지표유출 산정 및 수학적 상사성 지배방정식 표현을 위하여 운동과 방정식을 사용하고 있다. 이는 매우 평평한 지역을 제외한 기본적인 기울기를 가지고 있으며, 배수(Back Water)가 중요하지 않은 유역의 어느 곳에서든지 이용될 수 있다. 운동과 방정식은 단순화된 운동량 방정식과 연속 방정식으로 구성되며, 초과우량에 의해 발생하는 지표유출을 다음의 식 (3)과 같이 1차원 연속 방정식으로 표현한다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} = R - I \quad (3)$$

여기서, R : 강우강도(Rainfall Rate, L/T)

I : 침투율(Infiltration Rate, L/T)

h : 수리수심(Flow Depth, L)

u : 표면유출속도(Overland Flow Velocity, L/T)

운동과 방정식은 마찰경사를 이용하여 하상경사를 공식화할 수 있는데, 지표면 흐름을 등류로 가정하고 Manning 공식을 이용하여 수리심(L), 속도(L/T), 하상계수, 조도계수 등의 항으로 다음의 식 (4)와 같이 표현한다.

$$u = \frac{1}{n} h^{2/3} S_0^{1/2} \quad (4)$$

여기서, S_0 : 하상경사 또는 지표면 경사

n : Manning의 조도계수

시간에 대한 수리심의 변화와 거리에 따른 유출률의 변화는 위의 두 식을 이용하여 다음과 같이 나타낸다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{S_0^{1/2}}{n} + \frac{\partial h^{5/3}}{\partial x} = R - I_u = \frac{1}{n} h^{2/3} S_0^{1/2} \quad (5)$$

또한 속도와 수리심은 지표면 경사와 조도계수에 의해 유도된 마찰력에 지배를 받는다. 하도구간의 흐름에서 수심 h 를 단면 A 로 치환할 수 있다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (6)$$

여기서, Q : 하도에서의 유출률 · 유량

q : 하도의 단위 길이당 측방 유입률

침투량 산정은 Darcy의 법칙을 이용한 Green-Ampt 침투능 모형을 적용한다.

$$f = K \left(\frac{h_1 - h_2}{z_1 - z_2} \right) \quad (7)$$

지표면에서의 수두 h_1 은 지면에 보류된 물의 깊이와 같고, 습윤선 아래의 건조한 토양에서의 수두 h_2 는 $-\psi - L$ 과 같다. 비포화 된 다공성 매질에서 토양 흡인력에 의해 물이 가지고 있는 총 에너지의 일부를 흡인수두 ψ 라 한다. 만일, 저류수두가 ψ 및 L 에 비해 무시할 수 있다고 가정하면 위의 식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$F(t) - \psi \Delta \theta \ln \left(1 + \frac{F(t)}{\psi \Delta \theta} \right) = Kt \quad (8)$$

이는 누가침투량 $F(t)$ 에 대한 비선형방정식으로 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$F(t) = Kt + \psi \Delta \theta \ln \left(1 + \frac{F(t)}{\psi \Delta \theta} \right) \quad (9)$$

Green-Ampt 공식을 적용하기 위해서는 매개변수인 투수계수 K , 공극률 η , 양흡인수두 ψ , 그리고 함수비의 변화 $\Delta \theta$ 를 산정해야 한다. 토양의 종류에 따른 K , η , ψ 의 값이 주어져 있지만 $\Delta \theta$ 를 산정해야 하므로 유효포화도(S_e)를 도입한다. 만일, 토양이 완전히 배수된 후에도 남아 있는 수분을 잔류함량률(θ_r)이라 하면 유효포화도(S_e)는 다음과 같이 나타낸다.

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\eta - \theta_r} \quad (10)$$

$\eta - \theta_r$ 을 유효공극률, θ_e 라 하고 $\Delta \theta = \eta - \theta_r$ 를 적용하여 위의 식을 다시 정리하면 다음과 같이 $\Delta \theta$ 를 산정할 수 있다.

$$\Delta \theta = (1 - S_e) \theta_e \quad (11)$$

3. 대상유역의 선정 및 적용

위천유역은 유역의 약 82%가 산지유역으로써 강우의 시·공간적 분포에 따른 유출의 양상을 비교분석하기에 적합하며, 기존 TM 강우자료와 레이더 강우자료를 비교분석하는데 적절한 유역으로 판단된다. 또한 비교적 소유역(총 유역면적 472.53 km²)임에도 불구하고 11개소의 강우관측소(TM)와 6개소의 수위관측소(TM)가 유역 전반에 고르게 분포하고 있어 레이더 추정강우와 실제 관측강우량과의 비교검정이 가능하며 대상유역으로 선정하게 되었다.

3.1 유역의 개황

위천 IHP 대표유역은 동경 128°33'~128°49' 북위 36°07'~36°11' 범위에 위치하고 있으며, 행정구역상 군위군의 효령면, 우보면, 고로면과 군위읍 일부에 걸쳐 있고 유로연장은 42.83 km이다. 평균고도는 EL.410.5 m로서 비교적 높은 표고를 나타내고 있으며, 유역의 평균경사는 0.318이고 하천경사는 0.0745로서 비교적 급한 경사를 보이고 있다. 또한 면적의 82% 이상이 산지로 구성되어 있으며, 하천의 형태는 전형적인 곡류하천의 형태를 보이고 있다.

3.2 수문관측현황

무성 수위 관측소 지점을 출구점으로 하는 위천 대표유역에 대한 강우-유출관계 해석을 위해 1982년에 설치·운영되고 있는 TM강우 관측소는 다음과 같다.

위천유역은 현재 6개의 수위관측소가 설치되었고 이를 통해 유역의 수문현상을 측정하고 있다. 홍수예보를 위한 위천 유역의 수위관측소 현황 및 지리적 위치는 다음과 같다.

본 연구에서는 기상청에서 제공하는 전국 각지의 레이더에

Fig. 2. 위천유역의 DEM(50m×0m)

Fig. 3. 위천유역의 수문관측소

서 관측도니 일정고도의 구름영상을 합성한 CAPPI 합성영상 기법을 이용하여 실시간 처리하여 수문모형에 필요한 디지털 강우자료로 변환하는 레이더영상 디지털변환기법을 위천유역

Table 3. 위천 IHP 대표유역의 강우 관측소

관측소	위도	경도	TM_X (m)	TM_Y (m)	표고(EL.m)
군위	36°11'43"	128°34'01"	340,660.928	300,868.147	80
효령	36°09'13"	128°35'23"	342,785.173	296,277.944	80
대울	36°03'34"	128°39'28"	349,087.309	285,931.123	200
고매	36°05'39"	128°35'05"	342,442.617	289,674.497	140
우보	36°11'31"	128°39'46"	349,286.603	300,641.507	120
산성	36°07'29"	128°41'57"	352,689.965	293,238.811	100
신령	36°02'33"	128°47'30"	361,184.963	284,264.335	120
의흥	36°10'21"	128°43'02"	354,221.779	298,569.011	140
화수	36°07'42"	128°45'15"	357,634.022	293,727.367	160
화산	36°05'38"	128°46'23"	359,404.011	289,936.037	680
석산	36°09'49"	128°49'46"	364,336.900	297,766.831	260

Table 4. 위천 IHP 대표유역의 수위 관측소

관측소	위도	경도	TM_X (m)	TM_Y (m)
무성	36°11'27"	128°33'59"	340,618.910	300,374.171
미성	36°10'44"	128°40'28"	350,360.929	299,210.816
병천	36°10'26"	128°35'15"	342,548.468	298,524.766
고로	36°07'24"	128°35'15"	357,869.086	293,176.599
동곡	36°09'31"	128°49'27"	363,872.414	297,203.070
효령	36°09'09"	128°35'10"	342,462.226	296,149.347

에 적용토록 하였다.

3.3 강우사상의 선정

6~9월에 연 강수량의 약 70%가 집중되는 위천유역은 2006년 이후 태풍 에위니아(2006), 나리(2007), 곤파스(2010) 등이 위천유역을 통과하였지만 대부분 소강상태였으며, 그 영향은 미비하였다. 따라서 시우량별 주요호우, 수위 및 유출량 관측 자료를 이용하여 침투유량의 발생시각이 호우 중심 전에 발생한 것으로 관측된 자료 등 합리성이 결여된 일부자료는 제외한 비교적 홍수량이 큰 3개의 국지성 강우사상을 선정하였다.

4. 레이더영상 디지털변환 강우량 추정 및 비교분석

4.1 RAIDOM기법에 의한 강우추정 및 보정

기상청에서 제공하는 CAPPI 합성영상은 단순 이미지파일로써 공간적인 정보가 없으므로 사전에 공간 정보를 설정하는 전처리 과정을 거친 후 자료를 분석토록하였다. 또한 원시레이더 강우자료를 디지털 변환하여 강우추정시 격자크기에 따른 강우의 공간분포 특성과 유출모의 해석 결과의 특징을 분석하기 위하여 격자크기를 세분화하여 원시레이더 강우

Fig. 4. 기상청 제공 CAPPI 합성영상(2009년)

Table 5. 적용 강우사상

CASE	강우 시작 시간 (hr)	강우 종료 시간 (hr)	TM관측소별 평균강우량(mm)
1	2006. 09. 17 01:00	2006. 09. 18 11:00	71.5
2	2007. 09. 04 01:00	2007. 09. 05 18:00	84.9
3	2008. 08. 15 14:00	2008. 08. 16 21:00	131.0
4	2009. 07. 21 01:00	2009. 07. 21 13:00	58.1
5	2010. 07. 11 01:00	2010. 07. 12 02:00	100.8

Fig. 5. 기상청 제공 강우사상별 CAPPI 합성영상

Fig. 6. 기상청 제공 강우사상별 CAPPI 합성영상

Table 6. 적용 강우사상 (단위 : mm/hr)

구분		CASE 1		CASE 2		CASE 3		CASE 4		CASE 5	
		Peak R	오차	Peak R	오차	Peak R	오차	Peak R	오차	Peak R	오차
군위	Obs	8.0	-	13.0	-	15.0	-	11.0	-	10.0	-
	Rad	6.0	-2.0(25%)	6.0	-7.0(54%)	30.0	+15(100%)	18.0	+7.0(46%)	9.0	-1.0(10%)
효령	Obs	7.0	-	13.0	-	24.0	-	18.0	-	11.0	-
	Rad	6.0	-1.0(14%)	9.0	-4.0(31%)	25.0	+1.0(4%)	16.0	-2.0(11%)	12.0	+1.0(9%)
대울	Obs	11.0	-	14.0	-	28.0	-	15.0	-	27.0	-
	Rad	8.0	-3.0(3%)	6.0	-8.0(57%)	16.0	-12.0(43%)	11.0	-4.0(27%)	20.0	-7.0(26%)
고매	Obs	7.0	-	13.0	-	29.0	-	18.0	-	22.0	-
	Rad	12.0	+5.0(71%)	9.0	-4.0(31%)	13.0	-16.0(55%)	18.0	+0.0(0%)	14.0	-8.0(36%)
우보	Obs	7.0	-	11.0	-	36.0	-	13.0	-	11.0	-
	Rad	25.0	+18.0(257%)	6.0	-5.0(46%)	10.0	-26.0(72%)	19.0	+6.0(46%)	8.0	-3.0(27%)
산성	Obs	13.0	-	19.0	-	16.0	-	16.0	-	23.0	-
	Rad	10.0	-3.0(23%)	14.0	-5.0(26%)	12.0	-4.0(25%)	14.0	-2.0(13%)	14.0	-9.0(39%)
신령	Obs	10.0	-	10.0	-	20.0	-	22.0	-	19.0	-
	Rad	7.0	-3.0(30%)	6.0	-4.0(40%)	10.0	-10.0(50%)	15.0	-7.0(32%)	18.0	-1.0(5%)
의흥	Obs	11.0	-	11.0	-	15.0	-	9.0	-	11.0	-
	Rad	10.0	-1.0(9%)	12.0	+1.0(9%)	14.0	-1.0(7%)	8.0	-1.0(11%)	8.0	-3.0(27%)
화수	Obs	9.0	-	11.0	-	20.0	-	16.0	-	30.0	-
	Rad	5.0	-4.0(44%)	8.0	-3.0(27%)	12.0	-8.0(50%)	12.0	-4.0(25%)	24.0	-6.0(20%)
화산	Obs	10.0	-	9.0	-	25.0	-	14.0	-	34.0	-
	Rad	8.0	-2.0(20%)	7.0	-2.0(22%)	16.0	-9.0(36%)	11.0	-3.0(21%)	23.0	-11.0(32%)
석산	Obs	7.0	-	8.0	-	15.0	-	11.0	-	25.0	-
	Rad	6.0	-1.0(14%)	6.0	-2.0(25%)	16.0	+1.0(7%)	9.0	-2.0(18%)	18.0	-7.0(28%)

Fig. 7. 기상청 제공 강우사상별 CAPPI 합성영상

자료를 분석하였다.

위천유역 내 11개소의 강우관측소 지점에 대하여 레이더 강우를 추정하고, 이를 지상 관측강우량과 비교하여 레이더

추정강우의 정확도를 평가·보정하고자 한다. 유역 내 강우 관측소 중 고도가 낮은 지역(군위 관측소)과 비교적 관측소가 높은 지역(화수 관측소)의 지상 관측강우량과 레이더 추정

Table 7. 보정계수 산정 (단위 : mm/hr)

구분		CASE 1			CASE 2			CASE 3			CASE 4			CASE 5		
		R	f_i	f	R	f_i	f	R	f_i	f	R	f_i	f	R	f_i	f
군위	Obs	80.0	1.23	1.07	63.0	1.19	1.26	129.0	1.45	1.52	73.0	1.06	1.23	77.0	1.24	1.32
	Rad	65.0	1.23		53.0	1.19		89.0	1.45		69.0	1.06		62.0	1.24	
효령	Obs	72.0	1.01		90.0	1.01		133.0	1.60		50.0	1.22		92.0	1.21	
	Rad	71.0	1.01		89.0	1.01		81.0	1.60		41.0	1.22		76.0	1.21	
대율	Obs	73.0	1.01		90.0	1.41		133.0	1.80		61.0	1.42		113.0	1.30	
	Rad	72.0	1.01		64.0	1.41		74.0	1.80		43.0	1.42		87.0	1.30	
고매	Obs	82.0	1.30		95.0	1.34		123.0	1.29		87.0	1.45		100.0	1.45	
	Rad	63.0	1.30		71.0	1.34		95.0	1.29		60.0	1.45		69.0	1.45	
우보	Obs	82.0	1.00		77.0	1.12		141.0	1.60		63.0	1.05		96.0	1.48	
	Rad	82.0	1.00		69.0	1.12		88.0	1.60		60.0	1.05		65.0	1.48	
산성	Obs	71.0	1.03		91.0	1.28		119.0	1.65		61.0	1.20		105.0	1.27	
	Rad	69.0	1.03		71.0	1.28		72.0	1.65		51.0	1.20		83.0	1.27	
신령	Obs	69.0	1.11		89.0	1.78		170.0	1.79		60.0	1.30		113.0	1.28	
	Rad	62.0	1.11		50.0	1.78		95.0	1.79		46.0	1.30		88.0	1.28	
의흥	Obs	70.0	1.06		82.0	1.09		111.0	1.35		42.0	1.27		82.0	1.26	
	Rad	66.0	1.06		75.0	1.09		82.0	1.35		33.0	1.27		65.0	1.26	
화수	Obs	63.0	1.07		91.0	1.21		123.0	1.40		47.0	1.15		113.0	1.36	
	Rad	59.0	1.07		75.0	1.21		88.0	1.40		41.0	1.15		83.0	1.36	
화산	Obs	64.0	1.05		97.0	1.45		135.0	1.57		51.0	1.16		115.0	1.28	
	Rad	61.0	1.05		67.0	1.45		86.0	1.57		44.0	1.16		90.0	1.28	
석산	Obs	60.0	1.11		69.0	1.19		127.0	1.30		44.0	1.38		103.0	1.49	
	Rad	54.0	1.11		58.0	1.19		98.0	1.30		32.0	1.38		69.0	1.49	

※: Rain Fall, f_i : 다중보정계수, f : 단일보정계수

Fig. 8. 대표 관측소의 레이더 보정강우 비교분석

Fig. 9. 강우사상별 기존 면적강우량과의 비교분석

Table 8. 기존 면적강우량 산정기법과의 비교분석 (단위 : mm/hr)

Case	산정기법	MAX R	MAX 발생시각	Average R	오차(%)
1	Radar	18.51	06.09.18 03:00	4.28	-
	Thiessen	7.57	06.09.18 03:00	1.84	43.0
	IDW	15.31	06.09.18 03:00	3.13	73.1
	Kriging	17.37	06.09.18 03:00	3.84	89.7
	Radar 단일 매개변수	19.11	06.09.18 03:00	4.94	115.4
	Radar 다중 매개변수	20.15	06.09.18 03:00	6.42	150.0
2	Radar	15.36	07.09.05 08:00	3.48	-
	Thiessen	10.27	07.09.05 07:00	1.95	56.0
	IDW	11.44	07.09.05 07:00	2.77	79.7
	Kriging	14.64	07.09.05 07:00	3.59	103.0
	Radar 단일 매개변수	21.70	07.09.05 08:00	4.57	131.2
	Radar 다중 매개변수	17.66	07.09.05 08:00	4.10	117.8
3	Radar	19.85	08.08.15 19:00	4.69	-
	Thiessen	15.47	08.08.15 19:00	3.93	83.7
	IDW	16.44	08.08.15 19:00	5.05	107.6
	Kriging	25.97	08.08.15 19:00	6.47	137.9
	Radar 단일 매개변수	27.99	08.08.15 19:00	6.62	141.1
	Radar 다중 매개변수	26.60	08.08.15 19:00	6.29	134.1
4	Radar	19.84	09.07.21 07:00	6.27	-
	Thiessen	12.25	09.07.21 07:00	3.38	53.8
	IDW	16.05	09.07.21 07:00	4.56	72.7
	Kriging	22.51	09.07.21 07:00	7.02	112.0
	Radar 단일 매개변수	23.01	09.07.21 07:00	7.28	116.1
	Radar 다중 매개변수	24.43	09.07.21 07:00	8.48	135.3
5	Radar	19.89	10.07.11 09:00	5.68	-
	Thiessen	15.03	10.07.11 10:00	3.42	60.1
	IDW	17.47	10.07.11 10:00	5.28	93.0
	Kriging	27.61	10.07.11 10:00	8.39	147.7
	Radar 단일 매개변수	27.85	10.07.11 09:00	8.27	145.6
	Radar 다중 매개변수	30.03	10.07.11 09:00	8.92	157.1

강우량을 비교하였으며, 대부분의 강우사상에서 강우패턴은 유사한 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 위천유역을 대상으로 하여 유역 내 총 11개소의 강우 관측소 지점에 대하여 레이더 추정강우의 지점 우량과 T/M 강우관측소 지점의 강우량의 비율을 계산하여 지점별로 보정계수를 산정하였다.

단일 매개변수 우량계 보정방법(유역보정)은 위천유역의 강우의 시·공간적 분포특성을 잘 나타내주는 레이더 추정강우에 보정계수를 곱하여 산정하였다. 또한 다중 매개변수 우량계 보정방법(지점별 보정)은 각 강우관측소 지점에 대한 각각의 지점별 보정계수를 산정하고 이를 셀 보정계수로 적용하여 보정 레이더 셀 우량을 구하는 방법을 적용하였다.

4.2 기존 면적강우량 산정기법과의 비교분석

각 우량계 사이에 대한 강우의 공간적 분포와 그 양상을 파악할 수 없는 점을 보완하고자 유역에 대한 면적 강우량으로 변환하는 공간적 내삽기법을 적용하여 레이더 원 추정강우와 보정된 추정강우의 면적강우량을 비교분석하여 그 정확도를 비교분석하였다.

5. Vflo™에 의한 홍수유출해석 및 분석결과 고찰

분포형 수문모형은 유역 내에서 매개변수의 공간적인 변화를 허용하여 유역의 특성인자 및 물리적 특성이 있는 수문과 정변수의 시·공간적 변화를 고려하며, 개개의 그리드별로 모의한 후 전체에 걸쳐 합성함으로써 분석하고자 하는 전 유역의 수문학적 반응을 알 수 있는 방법이다.

따라서 본 연구에서는 강우의 시·공간적인 정보를 가지고 있는 레이더 추정강우에 의한 유출양상을 분석하기 위하여 분포형 강우-유출모형인 Vflo™모형을 사용하였으며, 이는 작은 지역에 호우가 집중되고 일부 지역은 비가 내리지 않은 국지적인 강우 현상을 적절히 묘사할 수 있다.

5.1 Vflo™ 매개변수 추정

Vflo™모형은 입력자료로 흐름방향(Flow Direction), 경사도(Slope), 조도계수(Roughness) 등을 포함한 침투요소의 자료가 기본적으로 요구된다. Vflo™모형의 유출모의 과정은 다음의 Fig. 10과 같다.

분포형 강우-유출모형을 적용하기 위해 DEM, 토지피복도, 토양도의 3가지 기본적인 자료를 이용하여 유역의 Flow Direction, 조도계수, 수리전도도 등 침투요소의 필수자료를 구축하였다. 이는 각 유역의 지형자료에서 추출하였으며, GIS 프로그램을 적용하여 일련의 과정을 수행하였다.

모형의 격자 크기에 따라 홍수량에 차이가 발생할 수 있는 분포형 모형의 특성을 고려하였으며, 본 연구에서는 위천유역의 좀 더 정확한 강우-유출관계를 분석하기 위하여 격자의 크기를 달리하여 수문매개변수를 산정하였다. 최소 1 km×1 km 크기를 갖는 격자 형태로 강우를 관측하는 기상 레이더의 특성을 고려하여 1,000 m를 기준으로 격자 크기를 세부화하여 500 m, 100 m, 50 m로 구분하였다.

Vflo™를 이용한 홍수유출수문곡선의 반응해석

Fig. 10. Vflo™모형의 유출모의 과정

Table 9. 격자크기에 따른 격자수

격자크기	1,000m× 1,000m	500m× 500m	500m× 500m	50m× 50m
행 (Row)	27	53	265	530
열 (Column)	34	68	340	680

Fig. 11. 격자크기별 DEM

Fig. 12. 격자크기별 유출양상해석을 위한 임의강우량의 적용

DEM은 3차원적인 지형기록과 고저를 나타내는 수치지도 자료로 적정 격자크기의 흐름방향을 산정하기 위하여 위천유역의 DEM 자료를 격자 크기별로 재구성하였다. 여기서, 격자의 크기별로 DEM의 격자수가 현저하게 차이 나는 것을 나

Fig. 13. 격자크기별 주요 매개변수

Fig. 14. VfloTM모형의 적용 및 강우자료 입력(100m×100m)

타내고 있다. 이는 차후 분포형 강우-유출모형에 적용시 막대한 영향을 미칠 것으로 판단되어 진다.

5.2 레이더 추정강우량에 의한 유출해석

본 연구에서는 위천유역의 분포형 모형의 격자크기에 따른 강우와 유출관계를 살펴보기 위하여 위천유역의 월평균 강우량 88.2 mm/hr의 임의강우를 전 유역에 일정하게 적용하고 분포형 강우-유출모형에 격자크기를 변화시켜 본 대상유역의 출구점인 무성 수위표를 대상으로 그 영향을 비교분석하였다. 임의강우는 지속시간 24시간을 적용하였으며, 유출의 양상은 Vflo™의 Default값을 지정된 48시간을 적용하여 격자크기별 유출양상을 분석하였다.

유역 내 수문매개변수는 동일하게 적용하고 격자크기만을 변수로 하여 그 유출양상을 분석한 결과, 레이더가 기본 격자크기 1,000×1,000를 기준으로 격자의 크기가 줄어들수록 침투유출량은 증가하고 침투도달시간은 빨라지는 양상을 나타내었다.

레이더 추정강우의 보정 전·후 등의 유출해석을 위하여 임의강우와 마찬가지로 본 연구대상의 출구점인 무성수위표

지점을 대상으로 유출해석을 실시하였다.

대부분의 보정 전의 레이더 추정강우에 따른 유출은 무성 수위 관측소 지점의 유출에 비하여 침투유출량 및 총 유출량이 과소추정되는 경향을 나타내었다. 이는 강우추정 및 유출 해석에서 내포하고 있는 여러 오차 중에서 레이더 강우를 추정하는 방법으로 적용된 RAIDOM 기법 적용시 강우량 추정의 오차에서 비롯되는 것으로 판단된다.

5.3 유출해석 분석결과와 고찰

분포형 강우-유출모형에서 격자크기에 따른 유출양상을 분석하기 위하여 각 격자크기 별로 레이더 추정강우의 보정 전·후의 유출값을 실제 관측값과 비교분석해 보면, 격자의 크기가 1,000 m에서 50 m로 줄어들수록 보정 전·후의 레이더 강우를 막론하고 침투유출량은 증가하였으며, 침투유출량의 발생시각 또한 빨라졌다.

또한 레이더 추정강우를 두 가지 보정기법에 의하여 보정함으로써 실제 관측값에 근접하는 경향을 보였으며, 발생시각 또한 빨라지는 것으로 분석되었다. 특히, CASE 1의 경우 100 m 격자크기에서 보정 전에는 10% 정도 낮게 관측되던

Fig. 15. CASE별 격자크기에 따른 레이더강우 유출해석 비교

Table 10. 대표 CASE(1, 3) 격자크기에 따른 레이더 강우-유출해석 비교

Case	격자크기(m)	구분	발생시점	침투유량(CMS)	오차(CMS)
1	50	observation	06-09-18 08:00	540.94	-
		Radar보정전	06-09-18 12:00	511.12	-29.82(5.5%)
		Radar유역보정	06-09-18 08:00	581.81	40.87(7.5%)
		Radar지점보정	06-09-18 05:00	603.77	62.83(11.61%)
	100	observation	06-09-18 08:00	540.94	-
		Radar보정전	06-09-18 14:00	489.49	-51.45(9.5%)
		Radar유역보정	06-09-18 11:00	538.44	-2.5(0.5%)
		Radar지점보정	06-09-18 09:00	564.13	33.19(6.1%)
	500	observation	06-09-18 08:00	540.94	-
		Radar보정전	06-09-18 23:00	474.83	-66.11(12.2%)
		Radar유역보정	06-09-18 20:00	498.57	-42.37(7.8%)
		Radar지점보정	06-09-18 18:00	533.47	-7.47(1.4%)
	1,000	observation	06-09-18 08:00	540.94	-
		Radar보정전	06-09-18 03:00	463.51	-77.43(14.3%)
		Radar유역보정	06-09-18 23:00	482.05	-58.89(10.9%)
		Radar지점보정	06-09-18 23:00	515.79	-25.15(4.6%)
3	50	observation	07-09-05 12:00	735.27	-
		Radar보정전	07-09-05 13:00	637.40	-97.9(13.3%)
		Radar유역보정	07-09-05 12:00	720.26	-15.0(2.0%)
		Radar지점보정	07-09-05 11:00	749.07	13.8(1.9%)
	100	observation	07-09-05 12:00	735.27	-
		Radar보정전	07-09-05 18:00	577.43	-157.8(21.5%)
		Radar유역보정	07-09-05 18:00	652.50	-82.7(11.3%)
		Radar지점보정	07-09-05 14:00	678.60	-56.7(7.7%)

Table 10. Continued

Case	격자크기(m)	구분	발생시점	침투유량(CMS)	오차(CMS)
3	500	observation	07-09-05 12:00	735.27	-
		Radar보정전	07-09-06 02:00	494.40	-240.9(32.8%)
		Radar유역보정	07-09-05 23:00	558.67	-176.6(24.0%)
		Radar지점보정	07-09-05 23:00	581.02	-154.3(20.9%)
	1,000	observation	07-09-05 12:00	735.27	-
		Radar보정전	07-09-06 05:00	456.42	-278.9(37.9%)
		Radar유역보정	07-09-06 01:00	515.75	-219.5(29.9%)
		Radar지점보정	07-09-06 01:00	536.38	-198.9(27.0%)

유출값이 단일 변수 우량계 보정기법(유역별 보정)을 적용 후에는 관측 침투유출량의 약 0.5% 정도로 보정된 것으로 나타났다. 50 m 격자크기의 경우 레이더 보정 전·후의 유출값과 발생시간 또한 유사한 것으로 나타나 가장 적합한 격자크기인 것으로 분석되었다.

6. 결 론

본 연구에서는 지상 관측 강우량으로는 실제유역에 내리는 강우의 시·공간적 특성을 정확히 측정하지 못하므로 보다 정확한 강우의 특성을 파악하기 위하여 레이더 강우를 적용하고 비선형성을 내포하는 강우-유출관계를 살펴보았다.

레이더 추정강우로부터 분포형 강우-유출모델의 적용성을 검증하기 위하여 대표적인 분포형 강우-유출모델인 Vflo™ 분석체계를 구축하고 격자의 크기를 50 m, 100 m, 500 m, 1,000 m로 변화시키면서 유출양상을 분석하였다. 지금까지의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 위천유역 내에서 11개소의 강우관측소 지점에 대하여 레이더 추정강우를 산정한 결과, 레이더 추정강우량은 지상 관측강우량에 비하여 과소추정되는 경향이 있었지만 강우패턴은 비교적 유사한 것으로 분석되었다.
- 2) 과소 추정된 레이더 강우를 시·공간적 특성뿐만 아니라 관측 지상 강우량이 지닌 정량적인 특성을 가질 수 있도록 G/R 보정기법을 적용하였다. 위천유역에 대하여 강우량 레이더 추정강우와 지상 관측강우간의 비율관계를 이용한 결과에서 5개의 강우사상 대부분이 강우 관측소가 위치하는 지점별로 보정계수를 산정하여 레이더 추정강우량을 보정해 주는 다중 매개변수 우량계 보정계수 산정기법이 강우가 지니는 시·공간적인 분포에 관한 정보가 복합적으로 작용하는 것으로 나타났다.
- 3) 불균일한 지상 우량계 관측망의 한계를 보완하기 위하여 현재 국내에서 널리 사용되고 있는 면적강우량 변환기법인 티센 다각형법, 역거리 가중법, 크리깅 기법을 적용하여 보정 전의 레이더 추정강우와 보정 후의 추정강우를 비교분석하였다. 티센 다각형법은 각 강우 관측점의 지배면적에 대한 가중인자만이 영향을 미치므로 레이더 추정강우에 비하여 면적강우량이 강우사상과 발생시간 등에 따라 약 30~40% 정도로 낮은 값이 추정됨을 알 수 있었다.

- 4) 레이더 추정강우의 보정 전·후의 유출양상을 해석한 결과에서, 대부분의 보정 전 레이더 추정강우에 따른 유출양상은 무성 수위관측소지점의 유출양상에 비하여 침투 유출량 및 총 유출량이 과소 추정되는 경향으로 나타났다.
- 5) G/R 보정기법을 적용한 레이더 추정강우의 유출은 보정 전보다 관측 값이 격자의 크기에 따라 유사하게 나타나는 것으로 분석되었다. 대부분의 강우사상은 격자크기 50~100 m에서 관측값과 유사한 침투유출량 값을 나타내었다. 또한 격자의 크기가 커질수록 침투유출량의 지속 시간이 길어지는 양상으로 나타났지만, 그 값은 관측값에 훨씬 못 미치는 것으로 판단되었다.
- 6) 레이더 디지털 변화(RAIDOM), 매개변수 도출, 유출해석 등 분포형 모형의 격자분할 및 격자크기에 따른 유출해석시, 격자크기 1,000 m기준, 소요시간 약 1시간에 대하여 격자 1/2 축소시 약 1.5배의 시간이 소요되는 것으로 나타났다. 신뢰도 향상에 따른 격자크기 축소는 불가피 한 것으로 판단되나 이에 따른 소요시간 과다로 인한 적용성 저하문제가 발생할 것으로 고려되며 이에 대한 근본적인 방법개선이 필요할 것으로 판단된다.
- 7) 본 연구 결과, 격자크기에 따라 유출양상 및 정확도 차이가 확연히 드러난 것으로 나타났으며, 이는 분포형 모형의 매개변수의 민감도와 연계된 것으로 판단된다. 따라서, 위천유역의 경우 신뢰도 높은 강우-유출결과 도출을 위해서는 50×50 m 격자간격이 가장 적절한 것으로 보이며, 각 유역의 지형별 특성을 고려한 격자간격 및 매개변수 민감도에 따른 분포형 모형 적용방안에 관한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 “2009~2010년 영남대학교 산학연구처의 교비연구비 지원에 의해서 수행되었으며, 이에 감사한다.”

참고문헌

- 최종진 (2002) Grid Size의 크기에 따른 홍수량 변화에 관한 연구, 경희대학교 대학원 석사학위논문
이경도 (2003) 기상 레이더 강수추정을 통한 수문학적 해석, 세종

대학교 대학원 석사학위논문

남경엽, 송병현, 서은경, 최지혜, 이정석, 남재철 (2003) 청주부근 발생한 여름철 강우의 레이더-지상강우계 관계에 관한 연구, **한국기상학회 한국기상학회논문집**, 제39권, 제4호, pp. 431-440.

김진국 (2004) 기상레이더 강우량 산정법을 이용한 유출해석, 충북대학교 대학원 박사학위논문.

안선복 (2006) **홍수유출예측에 있어서 분포모형과 집중모형의 비교 분석**, 영남대학교 일반대학원 석사학위논문.

배덕효, 윤성심 (2006) 레이더의 특성 및 활용현황, **한국수자원학회지**, 제39권, 제6호, pp. 14-19.

김병식, 홍준범, 김형수, 최규현 (2007) 조건부 합성방법을 이용한 레이더 강우와 지상강우자료의 조합, **대한토목학회 논문집**, 제27권, 제3B호, pp. 255-265.

오경두, 이순철, 안원식, 최병구, 강태호 (2008) 레이더영상 디지털 변화(RAIDOM)의 강우-유출도의 적용성 연구, **한국수자원학회 2008 학술발표대회 논문집**.

신동현 (2009) 레이더 강우자료를 이용한 분포형 모형의 유출량 분석, 경희대학교 대학원 석사학위논문.

박태준 (2010) CAPPI 합성영상을 이용한 레이더 강우자료의 강우 보정계수에 관한 연구, 경희대학교 대학원 석사학위논문.

김근영, 지홍기 (2011) 강우의 시공간적 분포특성에 따른 홍수유출 수문곡선 반응해석, 영남대학교 대학원 석사학위논문.

Wilson, J.W. (1970) *Integration of Radar and Raingage Data for Improved Rainfall Measurment*, Journal of Applied Meteorology, Vol. 9, pp. 489-498.

Koistinen, J. and T. Puhakka (1981) An Improved Spatial Gauge-radar Adjustment Technique. Preprints, 20th Conf. on Radar Meteorol., AMS, Boston, 179-186.

ESRI, INC (1996), *Using ArcView Gis*

Vieux&Associates, INC. (2010), *Vflotm 5.0 User's Guide*.

Vieux&Associates, INC. (2010), *Step-by-Step Procedure ArcView 3.2*.

◎ 논문접수일 : 2012년 05월 07일
 ◎ 심사의뢰일 : 2012년 05월 08일
 ◎ 심사완료일 : 2012년 06월 18일