

다른 원격탐사 센서로 추출한 강우자료의 이질성과 이에 의한 비선형유출반응에 미치는 영향

Investigating Remotely Sensed Precipitation from Different Sources and Their Nonlinear Responses in a Physically Based Hydrologic Model

오 남 선* / 이 길 하** / 김 상 준***

Oh, Nam Sun / Lee, Khil Ha / Kim, Sang Jun

Abstract

Precipitation is the most important component to the study of water and energy cycle in hydrology. In this study we investigate rainfall retrieval uncertainty from different sources of remotely sensed precipitation field and then probable error propagation in the simulation of hydrologic variables especially, runoff on different vegetation cover. Two remotely sensed rainfall retrievals (space-borne IR-only and ground radar rainfall) are explored and compared visually and statistically. Then, an offline Community Land Model (CLM) is forced with in situ meteorological data to simulate the amount of runoff and determine their impact on model predictions. A fundamental assumption made in this study is that CLM can adequately represent the physical land surface processes. Results show there are big differences between different sources of precipitation fields in terms of the magnitude and temporal variability. The study provides some intuitions on the uncertainty of hydrologic prediction via the interaction between the land surface and near atmosphere fluxes in the modelling approach. Eventually it will contribute to the understanding of water resources redistribution to the climate change in Korean Peninsula.

keywords : precipitation, radar, IR, CLM

요 지

강우는 물과 에너지 순환에서 가장 중요한 역할을 한다. 이 연구에서는 두개의 다른 원격탐사 센서를 이용하여 추출한 강우자료의 불확실성 (uncertainty)에 대하여 검토해 보았으며, 이에 의한 오차가 비선형 수문모형에서 수문인자(유출)를 모의할 때 어떻게 영향을 미치는가를 살펴보았다. 지상에서 관측된 강우 관측을 이용하여 WSR-88D (NEXRAD)에 의해 추출한 레이더 강우, 그리고 IR (Infrared) 밴드를 기반으로 하는 인공위성 강우관측을 비교 검토하였으며, 세 가지의 서로 다른 강우와 현장에서 측정된 기상자료를 입력 자료로 사용하여, 오프라인 CLM (Community Land Model) 수문모형으로 유출량을 모의하였다. 이 연구에서 물리적 이론을 기반으로 하는 CLM수문

* 목포해양대학교 해양토목공학과 부교수

Associate Professor, Dept. of Ocean Civil Eng., Mokpo National Maritime University, Mokpo, Jeonnam, 530-729, Korea
(e-mail: sun@mmu.ac.kr)

** 경원대학교 GIS 연구소 연구원

GIS Research Institute, Kyungwon University, Seongnam, Kyunggi, 461-701, Korea
(e-mail: khil_ha@yahoo.com)

*** 경원대학교 토목공학과 교수

Professor, Dept. of Civil Eng., Kyungwon University, Seongnam, Kyunggi, 461-701, Korea
(e-mail: sj282kim@kyungwon.ac.kr)

모형의 매개변수는 지표면-대기의 수문반응 (land-atmosphere interaction)을 적절하게 묘사하도록 정의되었다고 가정한다. 다른 원격탐사 센서를 이용하여 추출한 강우자료는 시공간적으로 다른 양상을 보여 주며, 수치모형의 실험 결과는 강우입력의 불확실성이 수문반응의 결과에 어떻게 영향을 미치는지를 보여준다. 이 연구는 앞으로 우리나라에서 개발 및 활용가능성이 있는 레이더 강우와 인공위성 강우에 대한 사전 지식을 제공하고, 동시에 수치 수문모형을 수행할 때 수문반응의 불확실성에 대한 정보를 제공해 주며, 결국은 기후 변화에 따른 수자원의 재분배를 이해하는데 이바지할 것이다.

핵심용어 : 강우, 레이더, IR, CLM

1. 서론

토양 또는 식생을 지지하는 토양으로부터의 증발, 토양으로의 침투, 지표 유출은 대기/수문 모형에서 중요한 요소이며, 이러한 수문요소는 토양함수, 토양온도, 토양성질, 식생, 표면 조도, 그리고 가장 중요하게는 기상인자에 의해서 지배된다. 지표-대기 상호 작용의 동력(driving force)으로서 가장 중요한 요소의 하나인 강우는 기후의 상태나 물 순환과정에서 수분의 분포변화를 간접적으로 보여 주는 수문인자이다. 따라서 정확한 강우의 측정은 대기/수문 모형을 이용한 수문분석에서 지표-대기 상호 작용에 아주 중요하며, 수문모형의 결과에도 큰 영향을 미친다. 전통적으로 강우관측은 지상에서의 점 강우관측에 의존하여 왔으나, 최근 기후변화에 따른 미래의 불확실성에 대한 연구가 활발해지면서 수치모형의 수행이 전지구적(global-scale) 스케일, 또는 지역적/대륙적 스케일(meso-scale)에 중점을 두면서 필요한 강우자료의 스케일에서도 변화를 가져오게 되었다. 즉, 대기/수문 모형의 초기화(initiation), 자료 동화(data assimilation) 및 모형의 검증과 보정을 위해서는 수 km에서 수십 km 격자 크기의 자료를 필요로 하게 되었으며 이러한 문제점을 개선하고자 대기모형에 의한 강우예측이 시도되기도 하였다. 하지만 대기모형에 의한 강우예측은 아직도 그 정확도에 있어 미흡한 상황이며 미 항공우주국 (NASA)의 EOS(Earth Observation System)(1999) 보고서에서는 대기모형에 의하여 모의된 강우를 실제로 적용하는데 있어 문제점을 제기하였다. 그 내용을 원문대로 인용하면 다음과 같다.

“Atmospheric models have been shown to be able to produce a global precipitation rate to within 10-20% of that observed, but they have many serious faults otherwise. They differ particularly in their ability to estimate regional and subcontinental rainfall variability, and also underestimate the frequency of

occurrence of the light-rain category.”

이와 같은 문제점을 극복하기 위한 노력이 몇 가지 제시되었는데 그 중 가장 현실적이고 적합한 대안으로 제시된 것이 원격탐사에 의한 강우 관측이다. 원격 탐사를 이용한 강우는 지점 강우 관측의 단점을 보완할 뿐 아니라 부정확한 대기모형 강우예측의 향상을 위하여 실시간 자료 동화에도 중요한 역할을 한다. 따라서 원격탐사를 이용한 실시간 강우 관측에 대한 다양한 연구가 시도되어 왔는데, 그 중 레이더 강우관측이 중심이 되어왔으며, 최근 10년간은 인공위성에 의한 강우관측도 시도되고 있다. 원격탐사는 특히 도서지방이나 해안지방, 인적이 드문 산림지역에도 관측이 가능하다는 장점이 있으나, 여전히 정확도와 운영면에서 많은 취약점을 가지고 있다. 원격탐사 센서의 전자기적인 보정(calibration), 대류형(convective)과 전선형(frontal) 강우사이의 강우 입자의 분포차이, 관측에 영향을 미치는 강우의 수직적 구조 등에 의해서 오차가 발생하며, 이를 이용한 수문 수치모의에서 그 오차가 그대로 전파되므로 강우의 관측방법에 따른 오차를 검토해 보는 것도 의미가 있다.

수문 모의의 결과와 오차에 영향을 미치는 요소로는 모형의 물리적 성질, 매개 변수, 모형의 시공간 격자크기, 그리고 입력 자료의 정확도 등이 있다. 따라서 강우 자료의 적절한 선택은 정확한 수문모의 결과를 위한 첫 단계라 할 수 있으므로 이 연구에서는 원격탐사를 이용하여 추출한 서로 다른 강우관측의 불확실성(uncertainty)에 대하여 검토하고, 강우 오차가 수치수문모형에서 유출로 전달되는 영향을 간단하게 검토해 보았다.

이 연구에서는 미국에서 추출된 원격탐사자료를 이용하였다. 우리나라의 경우 기상청에서 레이더 망(C-와 S- 밴드)을 전국으로 운용하고 있으며, TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission)과 같은 강우관측 전용 인공위성자료로 강우 추출을 시도하여 부분적

인 성공을 거두었다. 하지만 여전히 해결해야 할 숙제는 산재해 있으며, 기술적인 부족에 어려움을 겪는 실정이다. 기상청, 토지기반공사, 수자원공사 등에 의하여 수백 여개의 지상 강우 관측망이 전국적으로 조밀하게 설치되어 있어 지상강우관측이라는 측면만 보면 큰 장점을 가지고 있으나, 운영이나 정확도에서는 여전히 의문이 있다. 원격탐사에 의한 강우 관측은 앞으로 활발히 검토될 것이며, 이 연구는 우리가 맞이하게 될 수문학의 새로운 시대, 즉, 원격탐사 관측강우를 이용한 수문 모의에서 발생할 수 있는 문제점 들을 미리 검토하고 이에 대한 인식을 키우는 데 있다.

이 논문은 이미 게재된 두 논문에 기초하여 그 연장선상에서 작성한 검토 논문이다. 첫 번째 논문 (Lee and Anagnostou, 2004)은 강우의 시간적 스케일 합성(upscaling)이 비선형 수문 반응에 미치는 영향에 대하여 연구하였고, 두 번째 논문 (Lee and Oh, 2006)은 강우의 공간적 스케일 합성(upscaling)이 비선형 수문 반응에 미치는 영향을 검토하였다. 이 논문에서는 서로 다른 센서에 의한 강우의 구조적 차이를 그래프, 통계치 및 새로운 분석 방법을 이용하여 가시적이고 수치적인 측면에서 살펴보고 이에 의한 수문학적 인자의 반응 특히 유출을 간략하게 검토해 봄으로써 방법론을 소개하고자 하였다.

다음 장에서 사용 자료와 연구 대상 지역에 대하여 간략히 설명하였으며, 3장에서는 연구에 사용된 수치모형과 수치실험에 대하여 설명하였으며, 4장에서는 연구 결과를 제시하였고, 마지막 장에서 요약과 결론을 제시하였다.

2. 사용 자료와 연구 대상 지역

미국의 오클라호마주는 상대적으로 지역이 편평하며, 지표면의 식생이 균일하고, 자료가 풍부하여 수문학적 연구 대상 지역으로 많이 이용된다. 따라서, 이 연구의 대상지역으로 미국의 오클라호마주 중 지표면의 식생이 많은 곳과 적은 곳의 두 곳을 격자크기 1도(약 100km)로 선정하였다. 식생이 적은 지역은(이 후에는 "H"로 부르기로 한다) 그 위치가 위도 34.6861도, 경도 99.8339도로 지배적인 식생은 초지이며 수치모형으로 사용 될 CLM에서는 식생번호 13번에 속하며, 5개의 지상강우 관측지점을 포함한다. 식생이 많은 지역은(이 후에는 "S"로 부르기로 한다) 그 위치가 위도 35.43601도, 경도 94.7740도로 지배적인 식생은 활엽수이며 수치모형으로 사용 될 CLM에서는 식생번호 7번에 속하며, 3개의 지상강우관측지점을 포함한다. H지역의 토질(soil

texture)은 모래가 47%, 점토가 19%이며 S지역의 토질은 모래가 54%, 점토가 23%이다. H지역의 LAI(Leaf Area Index)는 1.3이며 S지역의 LAI는 5.3이다. 연구에 사용된 수문모형을 수행하기 위해서는 기본적으로 두 가지 형태의 자료가 필요한데 지표면의 특성을 묘사하는 보조자료와 기상자료이다. 지표면의 특성을 묘사하는 보조자료로는 식생(vegetation cover type), 식생분포비율(vegetation fraction), 월별 LAI, 식생의 높이, 토질의 성질 등이 되며 이러한 자료는 IGBP(International Geosphere-Biosphere Programme)(Loveland et al., 2000), 메릴랜드 주립대학교의 식생자료(DeFries et al., 2000a; 2000b), AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)(Bonan et al., 2002), IGBP 토양자료(Global soil Data Task, 2000)와 같은 인공위성 자료를 근거로 하였다. 기상 자료로는 메소넷(Mesonet)(Brock et al., 1995; Elliot et al., 1994)에서 측정된 격자 평균값을 사용하였으며, 강우자료는 미우주항공연구소(NASA)에서 실시간으로 생산해낸 적외선(IR) 밴드로 구름 상층부에서 brightness temperature를 측정하여 추출한 30분 간격의 인공위성자료와 메소넷에서 관측된 4km 레이더 강우(WSR-88D)(Fulton et al., 1998) 자료이다.

3. 수치모형과 수치실험

CLM은 기존에 존재하는 수문모형인 BATS(Biosphere-Atmosphere Transfer scheme)(Dickinson et al., 1986)와 IAP94 수문모형(Dai and Zeng, 1997)에서 장점을 따와 재배합한 응용모형이다.

앞에서 언급한 바와 같이 지표면의 성질을 나타내기 위해서 토양도, 토지피복도가 보조자료로 주어지며, 외부의 입력자료(강우, 복사열, 풍속, 대기 온도, 습도, 압력)를 바탕으로 CLM(Community Land Model)(Bonan et al., 1996; 2002)은 유출, 토양함수, 토양온도, 차단, 식생온도, 잠재열(latent heat flux), 복사열전도(sensible heat flux)등의 인자를 수직 1차원으로 모의한다. 식생은 대부분의 모형처럼(예: Sib-1은 2개의 식생층으로 구성되었음) 1개의 층으로 이루어져 있고 토양의 층은 10개로 이루어져 있는데 각층의 두께가 불균일하게 구성되며, 투수계수도 중력을 고려하여 지표면에서 더 크게 주어진다(지표면에서 아래로 갈수록 층의 간격이 커지고 투수계수가 커짐). 지표면의 격자는 하나의 격자가 여러 개의 다른 식생군의 조합으로 표현하여 식생의 이질성을 고려하였으며, 수치계산은 격자 내 소 격자별로 계산하여 격자의 대표값을 산출하는 모자이크(Mosaic)

방법을 사용하고 있다. 모형내 증발산, 토양 속의 물의 이동, 식생온도와 에너지의 이동과 물의 상태(phase) 변화는 경험적이고 물리적인 식을 사용하여 매개변수화하였다.

앞서 서술한 바와 같이 먼저 식생이 많고 적음에 따라 대비되는 두 선정지역의 관측된 기상자료에 대하여 IR과 레이더 강우를 차례로 입력하여 모의한 결과를 비교하고 분석 하였다. 초기 토양습도와 토양온도는 겨울이라는 계절을 고려하여 합리적인 값(0.15/273oK)으로 설정하였으며, 연구기간인 2002년 1월 1일에서 12월 31일 중 초기의 5개월은 수문모형의 안정성에 도달(spin up)하는 기간으로 보고 제외하였다. 그래서 두 가지 경우의 모의의 차이는 오직 다른 강우 자료에 기인하며, 그 영향과 거동을 연구 분석하였다.

4. 결 과

전반적으로 두 강우자료(IR과 레이더 강우) 모두 강우강도가 낮은 경우에는 과대평가를 하며, 반대로 강우강도가 큰 경우에는 과소평가를 하는 것으로 보이나, 구체적인 거동은 조금씩 다른 것으로 나타났다. Fig. 1은 지상관측, 레이더 강우, 인공위성 강우에 대한 시계열분포를 보여주며, 그에 상응하는 기본 통계치인 강우의 평균과 표준편차를 상대오차로서 Table 1에 나타내

었다. 여기서 상대오차 ϵ_x 는 다음과 같이 표현된다.

$$\epsilon_x = (V_x - V_{ref}) / V_{ref} \quad (1)$$

여기에서 x 는 관측치, ref는 기준치를 나타낸다.

절대 오차는 H지역이 상대적으로 크며, IR강우가 레이더 강우에 비해 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 연구 기간 동안의 평균치를 보면 S지역에서는 레이더와 IR이 각 7%와 6%인 반면, IR은 38%와 121%로 나타났는데, 식생이 적은 IR의 경우 특히 과대평가되는 것으로 나타났다. 레이더의 경우 H와 S지역의 표준편차는 비슷한 수준으로 보이나, IR의 경우는 H지역의 표준편차가 더 크게 보인다.

Fig. 2는 레이더 강우와 IR강우의 산포도(scatter plot)를 보여준다. 상관계수를 볼 때 레이더 강우가 정확성이 상대적으로 높으나, 전반적으로 원격탐사에 의한 강우 관측은 아직도 그 정확도에 많은 의문이 있는 게 사실이다. H지역의 지상관측에 대한 레이더 강우의 상관계수는 약 0.48이고 IR의 상관계수는 0.19이며, S지역에서는 지상관측에 대한 레이더 강우의 상관계수는 약 0.53이며 IR의 상관계수는 0.40으로 레이더 강우의 상관성이 상대적으로 더 높은 것으로 나타났다.

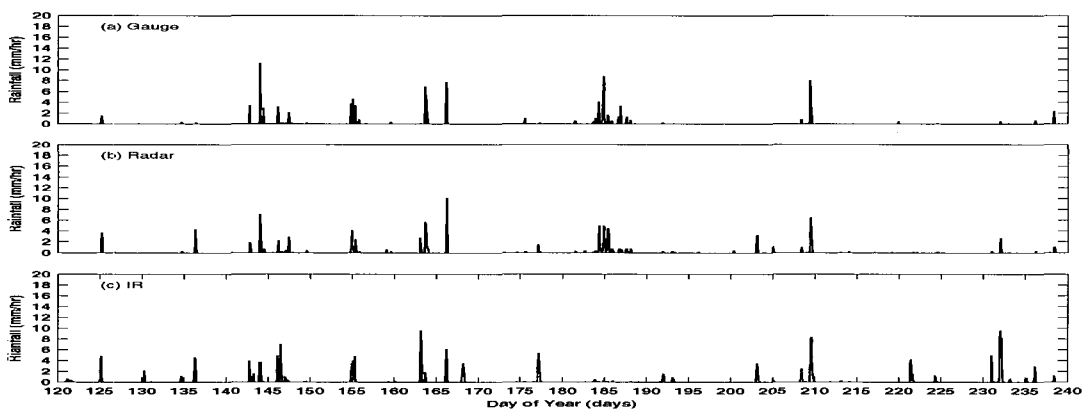


Fig. 1. A time course of three precipitation fields: (a) gauge, (b) radar, (c) IR

Table 1. Basic statistics of radar and IR expressed as relative errors in %

Sensor	H area		S area	
	Mean rain (mm/h)	Relative error, e Mean/STD (in %)	Mean rain (mm/h)	Relative error, e Mean/STD (in %)
Radar	0.0856	38/81	0.1380	7/86
IR	0.1367	121/150	0.1210	-6/93
Gauge	0.0620	-	0.1288	-

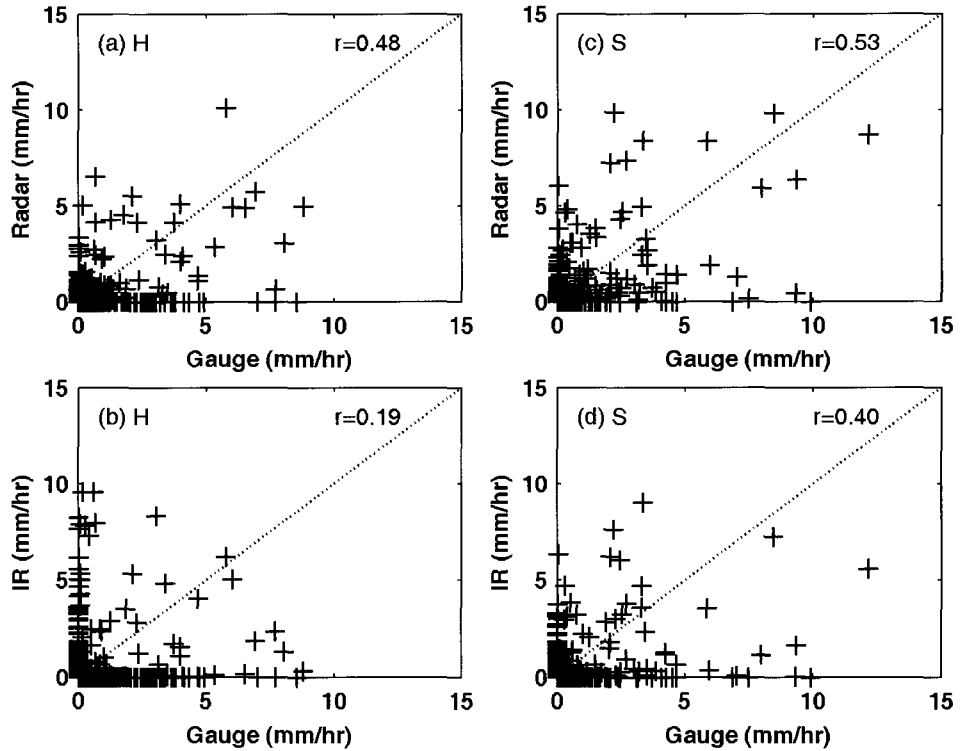
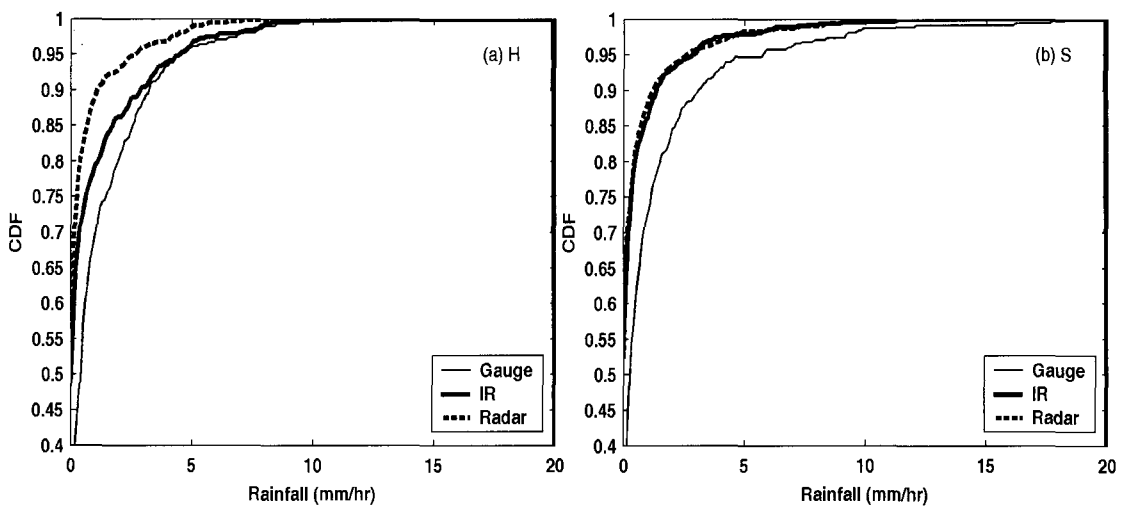


Fig. 2. A scatter plot of Radar and IR precipitation:(a)&(b) are H area with low vegetation and (c)&(d) are S area with high vegetation

Fig. 3은 두 강우의 관측방법에 따른 누가분포함수(CDF)를 보여준다. 강우 발생 빈도의 측면에서 보면 두 개의 센서 모두 약한 강도의 강우는 과대평가하고 강한 강도의 강우는 과소평가하는데 Fig. 3(b)에서 보듯이 약한 강우에서는 기울기가 지상관측보다 더 큰 반면에 강한 강우에서는 기울기가 지상관측보다 더 작은 것으

로 보아 이러한 양상은 S지역에서 더 두드러진다고 하겠다. 누가분포함수는 두 센서의 경우 비슷한 양상을 보이는데 특히 S지역이 더 비슷한 빈도양상을 보인다.

그러나 Fig. 3(a)에서 보면 IR의 경우 레이더 강우에 비해 더 부드러운 곡선을 그리는데 이러한 효과가 Fig. 4의 자기상관계수에 영향을 미친다. 지체시간을 변화시



(a) H area with low vegetation

(b) S area with high vegetation

Fig. 3. Cumulative distribution frequency for three precipitation fields

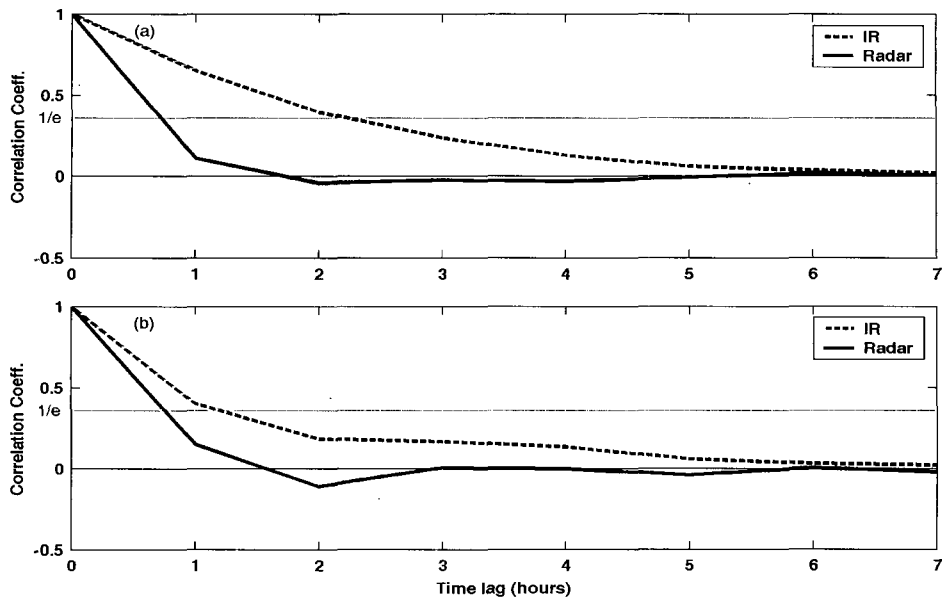


Fig. 4. Autocorrelation coefficient: (a) is H area with low vegetation and (b) is S area with high vegetation

커가면서 지상관측에 대하여 구한 자기상관계수에서는 레이더의 상관계수는 1시간보다 작은 것으로 나타났으며, 이 연구에서는 CLM모형의 시간 간격이 1시간이므로 레이더 강우는 시간적으로 상관되지 않았다고 볼 수 있다. 반면에 IR강우는 4시간 이후가 지나야 상관성이 없어지므로 시간적 상관성에 염두를 두어야한다. 이러한 상관성은 H지역에서 더 두드러진다.

Fig. 5는 Wavelet을 사용하여 강우강도의 시공간적 분포를 더 포괄적이고 종합적인 분석을 하기 위하여 이진법적 오차 이론을 기반으로 하여 개발된 강도-스케일(intensity-scale)방법 (Casati et al., 2004)을 이용하여 두 센서에 의하여 추출된 강우에 대하여 HSS(Heidke Skill Score)를 구하여 그린 그림이다. 지금까지 살펴본 바와 같이 강도에 따른 정확도의 차이라든가 시간적 분

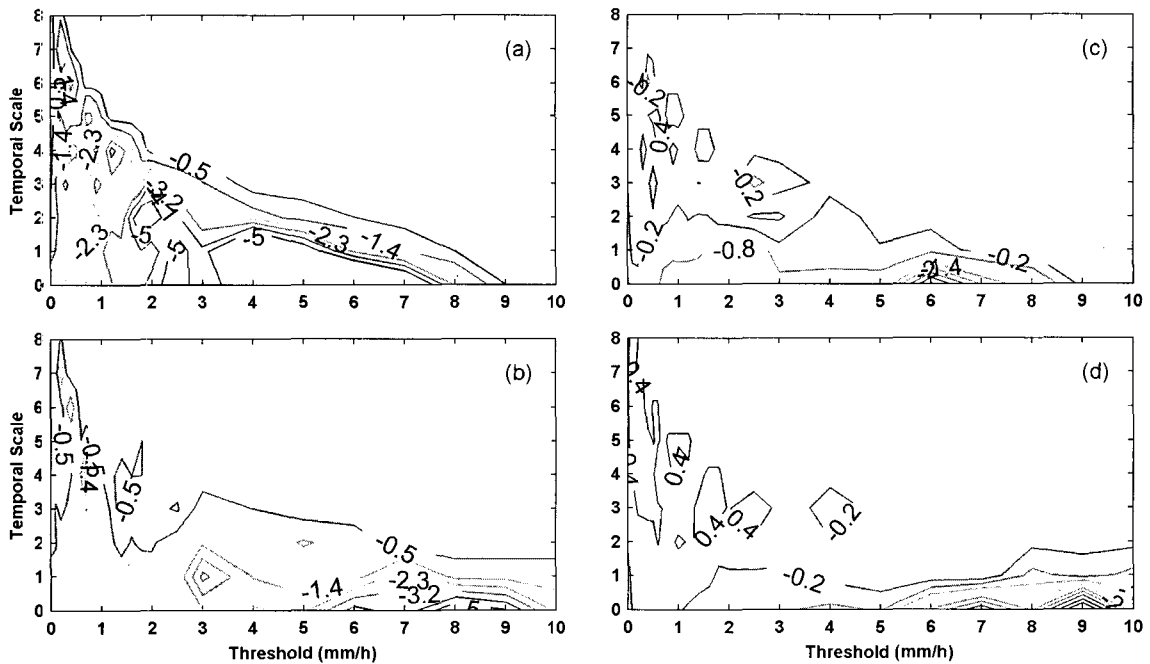


Fig. 5. Intensity-scale relationship(Casati et al., 2002) for radar and IR(Negative values denote less accuracy): (a) H area with IR, (b) H area with radar, (c) S area with IR, (d) S area with radar

Table 2. Contingency table(n1:hits, n2:false alarm, n3:misses, n4:rejection, n=n1+n2+n3+n4, obs:observation, thr:threshold value, ref:reference value)

Conditions	$P_{ref} > thr$	$P_{ref} \leq thr$
$P_{obs} > thr$	n1	n2
$P_{obs} \leq thr$	n3	n4

Table 3. POD analysis of two study sites with threshold value 1-10 mm/hr

Area threshold value of rainfall(mm/h)	H area		S area	
	IR	Radar	IR	Radar
0	0.36	0.49	0.46	0.59
1	0.21	0.25	0.31	0.44
2	0.16	0.27	0.31	0.37
3	0.18	0.26	0.26	0.33
4	0.14	0.29	0.18	0.32
5	0.17	0.25	0.20	0.30
6	0	0.10	0.12	0.19
7	0	0.14	0.13	0.13
8	0	0	0.09	0.18
9	0	0	0.10	0
10	0	0	0.20	0

포 양상에 따른 오차의 상대적인 크기가 그대로 일치한다고 보여진다. 강도-스케일방법에 대한 자세한 설명은 이 논문의 영역을 벗어나므로 Casati et al.(2004)를 참조하면 된다.

Fig. 5에서 보면 강우의 절대적인 크기에서의 정확도뿐만 아니라 시간적인 분포에 대한 정확도에서도 그 차이를 시각적으로 확실히 인지할 수 있다. 예를 들어 Fig. 1에서 DOY(Day of Year) 185일 주변에서는 지상 관측에 비해 레이더와 IR은 과소 평가하며, 특히 IR은 강우가 아주 미약하다. 그러나 DOY 135과 230일 주변에서는 레이더와 IR은 과대평가하며 잘못 산정하는 결과를 초래하기도 한다. 또한 강우의 발생에 대한 정확도가 상당한 차이를 보이며 시간적 분포의 양상과 형태도 다르다는 것을 알 수 있다. 이러한 시간적 분포의 차이는 그 중요성이 자주 부각되어 왔는데(Guo et al., 2004), 오차가 그대로 수문모의에 전달이 되므로 수문모의에서 이를 인식해 둘 필요가 있다.

POD(Probability of Detection)는 강우 발생을 관측하는데 있어 발생의 일치정도를 측정하는데 사용되는 여러 인덱스(index) 중의 하나로 Table 2와 같은 2x2

분할표(contingency table)로부터 다음과 같이 구한다.

$$POD = n1 / (n1 + n3) \quad (2)$$

여기에서 n1과 n3는 각각 맞힌 총 횟수(hits)와 빗맞힌 총 횟수(misses)를 나타낸다. 상용하는 분석결과는 Table 3에 보여준다. 여기에서도 레이더 강우의 정확성이 상대적으로 더 높게 나타나며, S지역에서 더 좋은 성과를 보여준다.

이상의 분석으로 볼 때 식생이 많은 S지역이 전반적으로 강우 관측의 정확도가 높게 나타나는데 이는 증발산의 활동이 상대적으로 더 왕성하며 수분의 수직적 대류성이 더 뚜렷한 다식생 지역에서의 지표-대기 상호작용 특성 때문인 것으로 보여진다.

강우의 관측오차는 곧바로 수문모의에서의 오차로 전달되는데 이는 지역, 수문 모형, 모형의 매개변수 등에 따라 크기와 양상이 달리 나타날 수 있으며, 또 강우의 특성(국지성, 전선형 등)에 따라 서로 다른 양상을 보일 수 있다. Fig. 6은 CLM에 의해서 모의된 유출분포를 일정구간만 세밀하게 보여주는 그림이며, Table 4에

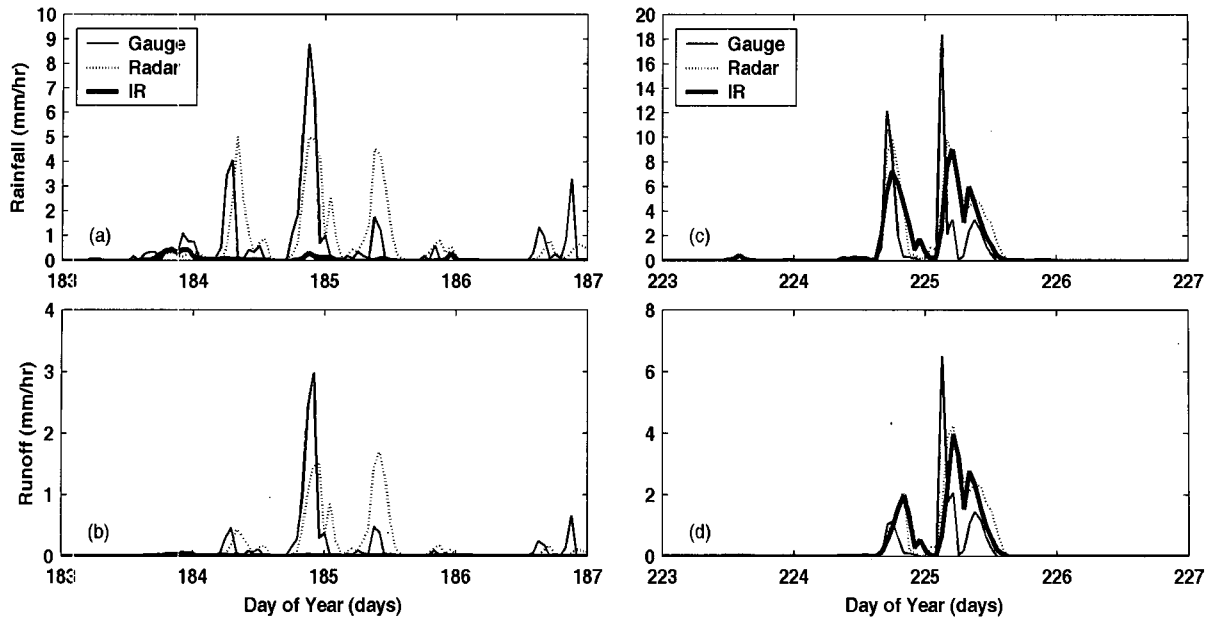


Fig. 6. A time course of runoff simulated by hydrologic model: (a)&(b) are H area with low vegetation and (c)&(d) are S area with high vegetation

Table 4. Relative errors of precipitation fields and the corresponding runoff forced by precipitation fields for each study site. The gauge is used as a reference

Area	Statistics	Sensor	Rainfall(%)	Runoff(%)
H area	Mean	Radar	38	37
		IR	121	197
	STD	Radar	46	84
		IR	150	233
S area	Mean	Radar	7	-8
		IR	-6	-13
	STD	Radar	86	85
		IR	93	114

는 분석된 기본적인 통계량이 주어졌다. S지역에서는 강우의 오차가 유출의 오차로 크게 확대하였으나, H 지역에서는 강우의 오차가 유출의 오차로 미세하나마 작게 축소하였다. IR강우의 경우 유출오차가 약 1.6배 확대하였으나, 레이더 강우는 비슷한 정도로 보인다. IR 강우의 표준편차는 두 곳에서 모두 확대되는 양상을 보인다.

5. 결론

이 연구는 서로 다른 원격탐사 센서인 IR과 레이더로부터 추출된 강우 오차의 거동과 양상에 대하여 살펴 보았으며, 수문모형에 적용될 때 그 오차가 어떻게 전달되는가를 분석해보았다. 결론을 간단히 요약하면 다

음과 같다.

- 전반적으로 레이더 강우가 IR강우보다 더 정확하며, 식생이 많은 지역이 더 정확한 강우관측을 하는 것으로 보인다.
- 서로 다른 원격탐사 센서로 추출된 강우는 강도와 시간적 분포에 많은 차이를 보이기 때문에 강우자료의 선택시 주의를 요한다.
- 식생이 많은 S지역이 전반적으로 강우 관측의 정확도가 높게 나타나는데 이는 증발산의 활동이 상대적으로 더 왕성하며 수분의 수직적 대류

성이 더 뚜렷한 다식생 지역에서 지표-대기 상호작용 특성 때문인 것으로 보여 진다.

- IR강우의 경우 두 대상 지역에서 유출오차가 약 1.6배 확대하였으나, 레이더 강우는 비슷한 정도로 보인다. IR강우의 표준편차는 두 연구지역에서 모두 확대되는 양상을 보인다.

이 연구는 앞으로 우리나라에서 활발하게 진행될 레이더와 인공위성 같은 원격탐사 강우 관측에 사전지식을 제공하며, 나아가 기후 변화에 따른 우리나라 수자원의 변화를 연구함에 있어 수문학적 정보와 지식을 제공하는데 기여할 것이다.

감사의 글

이 연구의 저자중 김상준과 이길하는 재정적으로 한국해양연구원의 “하구역 관리 및 복원기술 개발” 위탁과제의 지원을 받았으며 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Bonan, G.B. (1996). *A land surface model (LSM version 1.0) for ecological, Hydrological, and atmospheric studies: technical description and user's guide*. NCAR Technical Note; NCAR/TN-417+STR, Boulder, CO
- Bonan, G.B., Olsen, K.W., Vertenstein, M., Levis, S., Zeng, X.B., Dai, Y.J., Dickinson, R.E., and Yang, Z.L. (2002). "The land surface climatology of the community land model coupled to the NCAR community climate model." *Journal of Climate*, Vol. 15(22), pp. 3123-3149.
- Brock, F.V., Crawford, K.C., Elliot, R.L., Cupperus, G.W., Stadler, S.J., Johnson, H.J., and Elts, M.D. (1995). "The Oklahoma Mesonet: A technical overview." *J. Atmos. Oceanic Technol.*, Vol. 12(1), pp. 5-19.
- Casati, B., Ross, G., Stephenson, B.D., (2004). "A New Intensity-Scale Approach for the Verification of Spatial Precipitation Forecasts." *Meteorological Applications*, Vol. 11(2), pp. 141-154.
- Dai, Y.J. and Zeng, Q.C. (1997). "A land surface model (IAP94) for climate studies formulation and validation in off-line experiments." *Advances in Atmospheric Science*, Vol. 14, pp. 433-460.
- Defries, R.S., Hansen, M.C., and Townshend, J.R.C. (2000). "Continuous fields of vegetation characteristics: a linear mixture model applied to multi-year 8 km AVHRR data." *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 21(6-7), pp. 1389-1414.
- Dickinson, R.E., Henderson-Seller, A., Kennedy, P.J., and Wilson, M.F. (1986). *Biosphere- Atmosphere Transfer Scheme (BATS) for the NCAR community climate model*. Technical Note; NCAR/TN-275+STR, NCAR, Boulder, CO
- Elliot, R.L., Brock, F.V., Stone, M.L., and Harp, S.L. (1994). "Configuration decisions for an automated weather station network." *Applied Engineering Agriculture*, Vol. 10(1), pp. 45-51.
- Fulton, R.A., Breidenbach, J.P., Seo, D.J., Miller, D.A., and O'bannon, T. (1998). "The WSR-88D rainfall algorithm." *Weather and forecasting*, Vol. 13(2), pp. 377-395.
- Global Soil Data Task, (2000). *Global soil data products CD-ROM (IGBP-DIS)*. International Geosphere-biosphere Programme data and Information Available Services.
- Guo, J., Liang, X., and Leung, R.L. (2004). "Impacts of different precipitation data sources on water budgets." *Journal of Hydrology*, Vol. 298(1-4), pp. 311-334.
- King, M.D. (1999). *EOS: Science Plan*. NASA, pp. 13.
- Lee, K. and Oh, N.S. (2006). "Investigating the spatial scaling effect of the nonlinear hydrologic response to precipitation forcing in a physically based land surface model." *Water SA*, Vol. 32(2), pp. 145-154.
- Lee, K. and Anagnostou, E.N. (2004). "Investigation of the nonlinear hydrologic response to the precipitation in physically based land surface model." *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 30(5), pp. 706-716.
- Loveland, T.R., Reed, B.C., Brown, J.F., Ohlen, D.O., Zhu, Z., Yang, L., and Merchant, J.W. (2000).

"Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data." *International Journal of*

Remote Sensing, Vol. 21(6-7), pp. 1303-1330.

(논문번호:06-51/접수:2006.05.02/심사완료:2006.08.30)