

강우자료의 스케일 효과가 비선형수문반응에 미치는 영향

Investigating the scaling effect of the nonlinear response to precipitation forcing in a physically based hydrologic model

오남선*, 이길하**

Nam Sun Oh, K Lee

Abstract

Precipitation is the most important component and critical to the study of water and energy cycle. This study investigates the propagation of precipitation retrieval uncertainty in the simulation of hydrologic variables for varying spatial resolution on two different vegetation cover. We explore two remotely sensed rain retrievals (space-borne IR-only and radar rainfall) and three spatial grid resolutions. An offline Community Land Model (CLM) was forced with in situ meteorological data. In turn, radar rainfall is replaced by the satellite rain estimates at coarser resolution (0.25° , 0.5° and 1°) to determine their probable impact on model predictions. Results show how uncertainty of precipitation measurement affects the spatial variability of model output in various modelling scales. The study provides some intuition on the uncertainty of hydrologic prediction via interaction between the land surface and near atmosphere fluxes in the modelling approach.

Key words : Precipitation, Water and energy cycle, Resolution, Radar, IR, error propagation

요 지

강우는 물과 에너지 순환에서 가장 중요한 역할을 한다. 이 연구에서는 원격탐사를 이용하여 추출한 강우자료의 불확실성 (uncertainty)이 수치수문모형에서 수문인자 (토양함수, 토양온도, 유출, 증발산, 열전도 등)를 모의할 때 공간 스케일의 영향을 검토해 보았다. 지상강우관측을 이용하여 보정된 WSR-88D (NEXRAD)에 의해 추출한 강우자료와 현장에서 측정된 기상자료를 입력 자료로 사용하여, 오프라인 CLM(Community Land Model) 수문모형을 세 가지의 다른 공간 스케일 0.25° , 0.5° and 1.0° 에 대하여 수행하였다. 이어서 현장에서 측정된 기상자료는 고정시키고 동시공간에 해당하는 IR (Infrared) 밴드를 기반으로 하는 인공위성 강우자료로 대체시켜 같은 모형을 수행하여 비교 검토하였다. 이 연구에서는 물리적 이론을 기반으로 하는 CLM수문모형의 매개변수는 지표면-대기의 수문반응 (land-atmosphere interaction)을 적절하게 묘사하도록 정의되었다고 가정한다. 모형의 실험결과는 강우입력의 불확실성이 수문반응의 공간분포 결과에 어떻게 영향을 미치는지를 보여준다. 이 연구는 수문모형을 수행할 때 수문반응의 불확실성에 대한 정보를 제공해 주며, 결국은 기후 변화에 따른 수자원의 재분배를 이해하는데 이바지 할 것이다.

핵심용어 : 강우, 수문학적 순환, 해상도, 레이더, 오차전파

* 정회원·목포해양대학교 E-mail : sun@mmu.ac.kr

** 정회원·경원대학교 GIS 연구소 E-mail : klee@kowaco.or.kr

1. 연구의 배경

전통적으로 수자원의 분배와 계획에 있어 장기에 걸친 기후 변화는 생략되어왔으나, 최근에 빚어진 온도, 강우 등의 수문인자의 변화는 수자원의 분배와 계획에 기후변화가 고려되어야 한다는 사실을 뒷받침한다.

토양 또는 식생 표면의 토양으로부터의 증발, 토양으로의 침투, 지표 유출은 대기/수문 모형에서 중요한 요소이며, 이러한 수문요소는 토양함수, 토양 온도, 토양성질, 식생, 표면 조도, 가장 중요하게는 기상인자에 의해서 지배된다. 지표-대기 상호 작용의 동력 (driving force)으로서 가장 중요한 강우는 기후의 상태나 물 순환과정에서 수분의 분포변화를 나타내주는 수문인자이다. 그래서 정확한 강우의 측정은 지표-대기 상호 작용에서 아주 중요하며, 수문모형의 결과에도 큰 영향을 미친다. 수문모형의 결과와 오차에 영향을 미치는 요소로는 모형의 물리적 성질, 매개 변수, 모형의 시공간 격자크기, 그리고 입력자료의 정확도가 있다. 따라서 강우자료의 적절한 선택은 정확한 수문모의 결과를 위한 첫 단계라 할 수 있으며, 모형의 시공간 격자크기 또한 중요한 요소이므로 이 연구에서는 원격탐사를 이용하여 추출한 강우자료의 불확실성 (uncertainty)이 수치수문모형에서 수문인자 (토양함수, 토양온도, 유출, 증발산, 열전도 등)를 모의할 때 공간 격자크기의 영향을 검토해 보았다.

2. 수치모형과 수치실험

지표면의 성질을 나타내기 위해서 토양도, 토지피복도가 보조 자료로 주어지며, 외부의 입력자료 (강우, 복사열, 풍속, 대기 온도, 습도, 압력)를 바탕으로 CLM (Community Land Model)은 유출, 토양 함수, 토양 온도, 차단, 식생 온도, 잠열 (latent heat flux), 복사열전도 (sensible heat flux)등의 인자를 수직 1차원으로 모의한다. 식생은 1개의 층으로 이루어져 있고 토양의 층은 10개로 이루어져 있는데 각층의 두께가 불균일하게 구성되며, 투수계수도 중력을 고려하여 지표면에서 더 크게 주어진다. 지표면의 격자는 하나의 격자가 여러 개의 다른 식생군의 조합으로 표현하여 식생의 이질성을 고려하였으며, 수치계산은 격자내 소 격자별로 계산하여 격자값을 산출하는 모자의 방법을 사용하고 있다. 모형내 증발산, 토양속의 물의 이동, 식생 온도와 에너지의 이동과 물의 상태 (phase) 변화는 경험적이고 물리적인 식을 사용하여 매개 변수화 하였다.

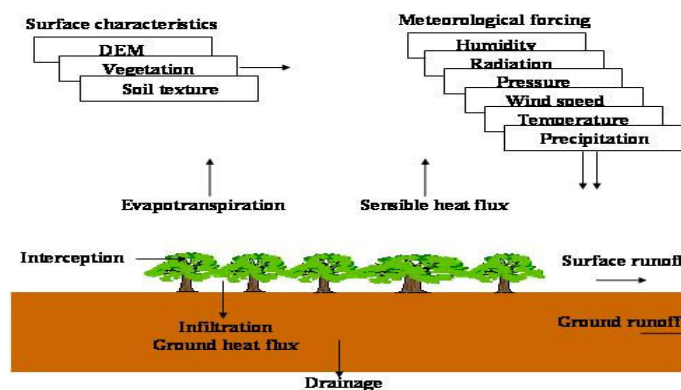


그림 1. CLM 모형의 수문반응과정을 보여주는 개략도

연구지역은 미국 오클라호마로 선정하였으며, 강우자료는 미우주항공연구소 (나사)에서 실시간으로 생산해낸 인프라레드 (IR) 밴드로서 구름 상층부에서 brightness temperature를 측정하여 추출한 30분 간격의 자료와 메소넷에서 관측된 4km 레이더 강우이다.

먼저 연구 대상 지역은 식생이 많고 적음에 따라 대조되는 두 지역을 선정하여 관측된 기상자료를 이용하여 설치 후 모의 한 후, 위에서 언급한 IR과 레이더 강우로 차례로 대치하여 모의한 결과를 비교 분석 하였다. 초기 토양함수와 토양온도는 합리적인 값 (0.15/273°K)으로 주었으며, 연구기간인 2002년 1월 1일에서 12월 31일중

앞의 5개월은 수문모형의 안정성에 도달하는 기간으로 보고 제외 시켰다. 그래서 두 가지 경우의 모의의 차이는 오직 다른 강우 자료에 기인하며, 세 가지의 다른 격자 크기에 대해서 그 영향과 거동을 연구 분석하였다.

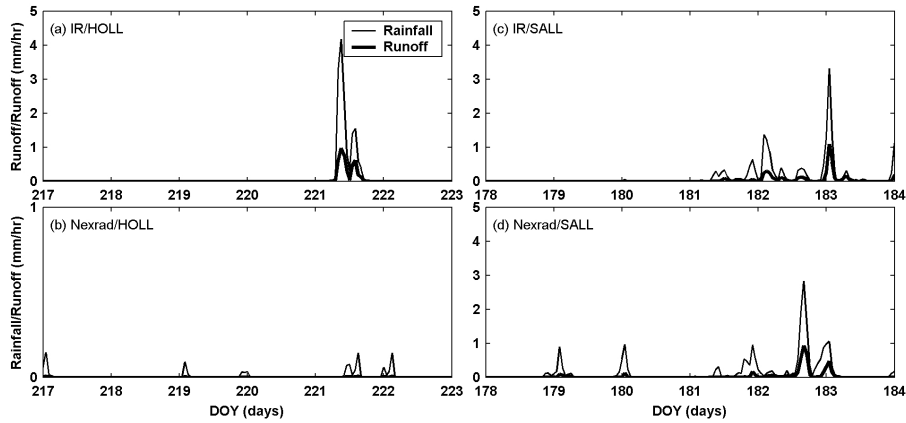


그림 2. 연구지역에서의 강우 비교

3. 연구 결과

두 강우자료 (IR과 레이더 강우) 모두 강우강도가 낮은 경우에는 과저평가를 하며, 반대로 강우강도가 큰 경우에는 과대 평가를 하는 것으로 보이나, 구체적인 거동은 조금씩 다른 것으로 나타났다. 표 1은 두 강우의 평균과 표준편차를 보여준다.

표 1. 강우의 평균과 표준편차

Statistics of hourly precipitation and sensor retrieval error (1° grid-averaged value for the period May to Oct 2002) for both sites				
	HOLL		SALL	
	Mean(mm/h)	Relative error, mean (STD) (in %)	Mean (mm/h)	Relative error, mean (STD) (in %)
IR	0.1367	60(130)	0.1210	-12(76)
Nexrad	0.0856		0.1380	

우선 POD를 분석한 결과, IR강우가 레이더 강우에 비하여 식생의 밀도가 적은 지역에서 훨씬 더 크게 나타났으며, 식생이 많은 지역에서는 약간 작게 나타났다. 표준 오차는 식생의 밀도가 적은 지역에서 크게 나타났다. 강우 오차는 어느 정도 센스의 보정과 관련이 있으며, Z-R관계식의 구현은 강우 강도에 따라 변하므로 이를 염두에 두어야 한다. 각기 다른 강우 강도에 따른 POD의 분석 결과는 표2에서 보여준다.

연구기간동안의 수치모의 결과 시스템오차는 격자의 크기에 따라 큰 영향을 받지 않지만, 랜덤오차는 상대적으로 큰 영향을 받는 것으로 나타났는데, 특히 식생이 적은 지역에서의 유출에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 토양함수의 시스템오차는 1cm의 표면 토양함수가 20cm 깊이의 토양함수보다 크게 나타났으나, 랜덤오차는 식생이 적은 지역에서는 반대로 나타났다. 토양온도 오차는 미약하며, 거의 열전도의 오차와 비슷한 것으로 나타났다.

표 2. 레이더와 IR 강우의 POD

POD of radar and IR rain estimate presented for different rain-rate thresholds				
Rain rate threshold (mm/h)	HOLL		SALL	
	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

거리에 따른 자기상관계수를 계산한 결과 식생이 적은 지역에서와 IR강우에서 크게 나타났다. 유출의 상관 계수 거동이 강우와 비슷하게 나타났는데 이것은 유출이 강우의 즉각적인 수문반응이라는 것을 고려해 볼 때 충분히 예상되는 현상이다. 증발산과 열전도에서는 유출보다 공간적으로 상관성이 큰 것으로 나타났다. 강우 오차가 수문 모의에서 시간적으로 얼마나 오래 유지되는가를 보기 위하여 각 인자들에 시간 지체를 시켜가면서 상관관계를 조사한 결과 격자크기가 클 수록 또 IR강우에서 강우 오차가 오래 지속된다는 것을 발견하였다.

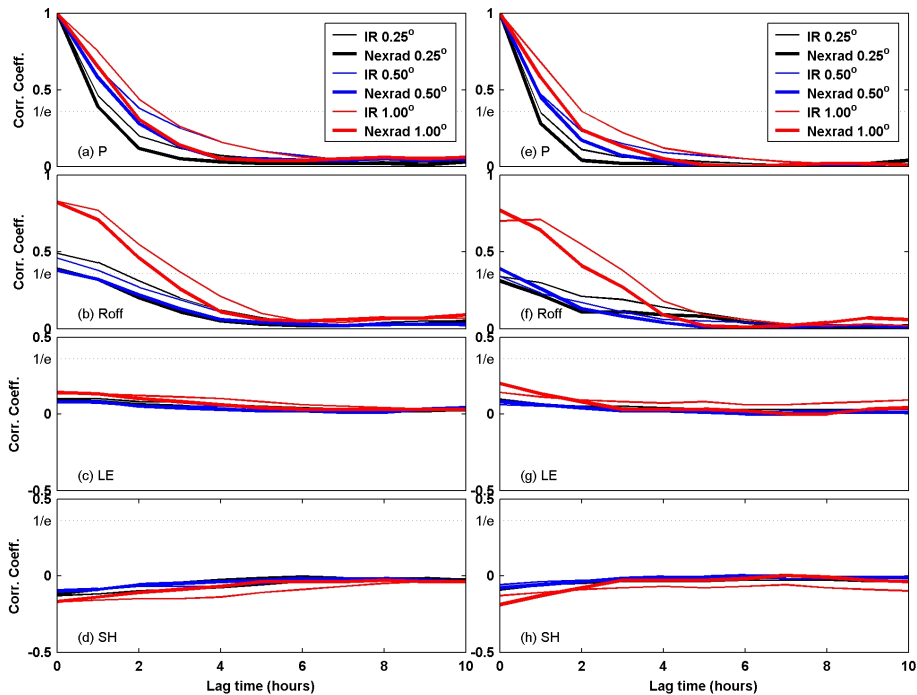


그림 3. 상관 계수 비교

4. 요약과 결론

이 연구는 서로 다른 원격탐사 센스로 추출된 강우의 오차가 수문모형에 적용될 때 그 오차가 어떻게 전달되는가를 거시적으로 살펴 보고자 하였다. 결론을 간단히 요약하면 다음과 같다.

- 서로 다른 원격탐사 센스로 추출된 강우의 시간적 강우 양상은 많은 차이를 보이기 때문에 강우의 선택시 주의를 요한다.
- 식생이 적은 지역에서 유출의 오차는 약 2배로 증가된다.
- 식생이 적은 지역에서 증발산의 오차는 크거나 반대로 식생이 많은 지역에서는 작아진다. 이는 식생이 적은 지역에서 강우가 과다측정하고 식생이 많은 지역에서 과소측정하기 때문이다.
- 격자크기가 클 수록 또 IR강우에서 강우 오차가 오래 지속된다는 것을 발견하였다.
- 토양온도 상관오차는 강우와 거의 무관한 것으로 보인다.
- 1cm 깊이의 토양함수 상관계수는 약 2시간에서 최고치에 다다르는데, 20cm 깊이의 토양함수 상관계수는 최고치에 다다르는데 더 오랜 시간이 걸린다.

이 연구는 앞으로 기후 변화에 따른 우리나라 수자원의 변화를 연구하는 데 수문학적 정보와 지식을 제공하는데 기여할 것이다.