

격자크기와 분포모형의 정확성에 관한 연구

Study on the Accuracy of Distributed Model Under the Resolution Change

구혜진*
Jin Hye Ku

요 지

미계측 유역에 대한 정확한 수문반응을 예측하기 위해 수문반응 모의할 때 발생하는 불확실성을 예측하고 감소시킬 필요가 있다. 이러한 불확실성은 사용가능한 자료의 질과 양에 따라 달라지므로, 자료의 해상도는 수문반응 예측에서 중요한 요소가 된다. 그러므로 본 연구에서는 격자크기가 수문모형의 강우-유출응답모의에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보았다. 격자크기가 입력데이터의 정보 손실을 발생시키지 않는 경우의 모형의 불확실성을 조사하기 위하여, 2차 및 3차 하천차수와 유역면적의 증가를 고려한 4가지 가상유역을 구성하였다. 50m, 100m, 250m, 500m, 1000m의 격자를 사용하여 강우-유출모의를 수행하고, 격자에 따른 모의결과를 비교하기 위해 유출구의 수문곡선을 작성하였다. 또한, 소유역에서 하천으로 유입되는 단위길이당 유량과 하천의 합류점 전·후 및 유출구의 하천유량에 대한 Nash 계수를 산정하고 비교하였다. 기준이 된 격자크기와의 차가 큰 격자가 사용된 경우 모의된 수문반응의 차이는 증가하였고, 대상 유역의 면적이 커질수록, 하천차수가 작을수록 그 차이는 감소하였다. 소유역에서 하천으로 유입되는 단위폭당 유량의 오차는 흐름길이가 증가할수록 감소하였다. 흐름길이가 일정한 소유역으로만 구성된 가상유역 I, II에 대한 수문모의에서 하천유량의 오차는 하천을 따라 증가한 반면, 각기 다른 흐름길이의 소유역으로 구성된 가상유역 III, IV의 경우, 오차는 하천의 흐름에 따라 일정한 경향을 갖지 않고, 하천의 합류를 통해 증가되거나 감소하였다. 이 경우, 유역 유출구의 총체적 수문반응의 오차는 1차 하천의 합류후 발생한 최대오차보다 작았다.

핵심용어 : 가상유역, 강우-유출응답, 격자크기, 분포모형, 불확실성, 정확성

1. 서 론

기후변화 및 환경파괴로 인하여, 유역의 특성 혹은 기후입력 데이터의 변동에 따른 수문반응 예측 시스템의 필요성은 더욱 강조되어 오고 있다. 이처럼 유역의 환경이 변할 경우 혹은 미계측 유역에 대한 수문반응의 예측을 위해, 유역내의 수문과정을 세부적으로 묘사함으로써 유역 유출구의 총체적 수문반응을 모의하는 복잡한 형태의 분포모형들이 개발되어 왔다. 그러나 그러한 분포모형은 모형자체로서 많은 불확실성을 포함하며, 수문모의 결과의 신뢰성도 사용가능한 자료의 질과 양에 따라 달라진다. 많은 연구들은 시간적·공간적 자료의 해상도의 선택에 따라서 모형에 의해 모의되는 결과가 달라질 수 있음을 보여주었다. 결국, 예측 시스템의 신뢰성은 사용하는 모형의 모형구조, 매개변수 및 입력변수에 존재하는 불확실성을 인식하고, 그러한 불확실성을 감소시킴으로써 획득할 수 있다¹⁾.

본 연구는 격자기반의 분포모형으로 수문모의를 수행할 경우, 격자크기에 따른 모형의 불확실

* 정회원 · 동북대학교 박사과정 · E-mail : kuhyejin@kaigan.civil.tohoku.ac.jp

성을 인식하고자 하는데 그 목적이 있다. 대부분의 연구들은 실제로 존재하는 특정유역을 사용하여 격자크기에 따른 유역특성 및 수문반응의 변화를 조사하였다. 그러나 그러한 특정유역은 복잡하고 특수하며 이질적인 수문과정을 포함하고 있기 때문에, 격자크기와 각 수문과정의 관계를 이해하고 격자크기에 대한 분포모형의 정확성을 판단하는 것은 쉽지 않다. 그러므로 본 연구에서는 다른 격자크기를 사용하여 유역을 재현할 경우에도 유역특성이 변하지 않도록 가상유역을 설정하고, 그 가상유역의 강우-유출응답을 비교 및 분석함으로써 격자크기에 대한 분포모형의 정확성을 논의하였다. 또한 격자크기로 인한 유역정보의 손실이 발생하지 않을 경우, 하천차수 또는 유역면적이 격자크기의 불확실성에 어떻게 영향을 미치는지 살펴보았다.

2. 분포모형

2.1 분포모형

본 연구에서는 연직방향으로 세 개의 버킷(bucket)을 가지는 격자기반의 분포모형을 사용하였다(그림 1). 연직 방향의 흐름은 포화되지 않은 버킷의 깊이에 비례하여 발생한다. 지표유출(Q_1)은 운동파(kinematic wave method), 지표하유출(Q_2, Q_3)은 Darcy 흐름으로 모의되며, 각 격자의 유량은 흐름방향에 따라 다음에 존재하는 격자 혹은 하천으로 유출된다. Darcy 흐름모의에 사용되는 바닥경사는 표고의 바닥경사와 동일하다고 가정되었다. 하천흐름은 동역학파흐름(dynamic wave method)으로 모의된다.

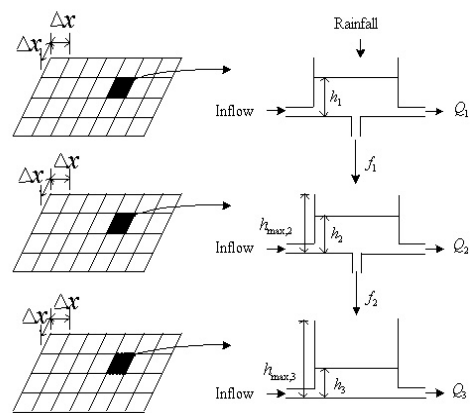


그림 1. 격자기반 분포모형

2.2 매개변수

모형의 매개변수는 평창강유역의 백옥포 상류유역에 대한 모형의 보정 및 검정을 통하여 설정하였다. 분포모형은 홍정관측소의 1시간 강우데이터를 입력변수로 하여, 1000m 격자크기, 1초 시간간격으로 적용되었고, 백옥포 관측소의 수위를 수위-유량곡선을 사용하여 유량 데이터로 변환하고, 이를 관측데이터로 가정하여 모형보정에 사용하였다. 모형의 수행능력은 Nash 계수²⁾(Model Efficiency)로 조사되었으며, 그 결과는 표 1과 같다. 보정된 매개변수는 2개의 다른 강우 이벤트에 대해 0.9이상의 정확성을 가졌다. 모형의 보정 및 검정 결과로 얻어진 매개변수는 가상유역에 동일하게 적용되었다.

표 1. 모형의 보정 및 검정

	강우기간	Nash 계수 (ME)
보정	1991년 9월 4일 ~ 9월 6일	0.9876
검정 I	1991년 5월 24일 ~ 5월 26일	0.9013
검정 II	1989년 9월 27일	0.9922

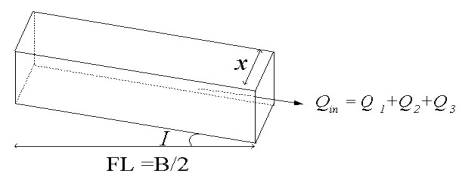


그림 2. 유역경사 및 하천유입유량

3. 가상유역

대상유역은 50m, 100m, 250m, 500m, 1000m의 격자크기의 그리드로 재현되며, 가상유역은 격

자크기의 선택에 의해 유역특성이 바뀌지 않도록 구성하였다. 가상유역은 하천을 기준으로 대칭을 이루는 소유역으로 구성하고, 모든 소유역의 경사($\tan(I)=0.38$)는 일정하며, 소유역 내에서 발생하는 유량은 한 방향으로만 흐른다고 가정하였다 (그림 2). 우선, 2차 및 3차의 하천차수를 가지는 가상유역을 고려하였으며, 그 모식도는 그림 3과 같다. 그림 3의 소유역폭(B), 하천길이(L), 소유역면적(A)의 첨자는 해당하는 하천차수를 의미한다. 하천차수와 더불어 유역 스케일의 변화에 따른 수문반응을 조사하기 위해, 소유역폭과 하천길이를 두 배로 증가시킨 가상유역도 함께 고려하였다. 즉, 모의대상이 되는 가상유역은 4가지로서 각 유역의 특성은 표 2와 같다. 유역특성의 이질성에 따른 불확실성이 발생하지 않도록 수문모의에 사용되는 매개변수는 시간적·공간적으로 동질하다고 가정하였다. 각 가상유역에 대한 24시간의 지속기간을 가지는 7mm/hr 강우강도에 대한 수문반응은 위의 5개의 격자크기를 사용하여 모의되었다.

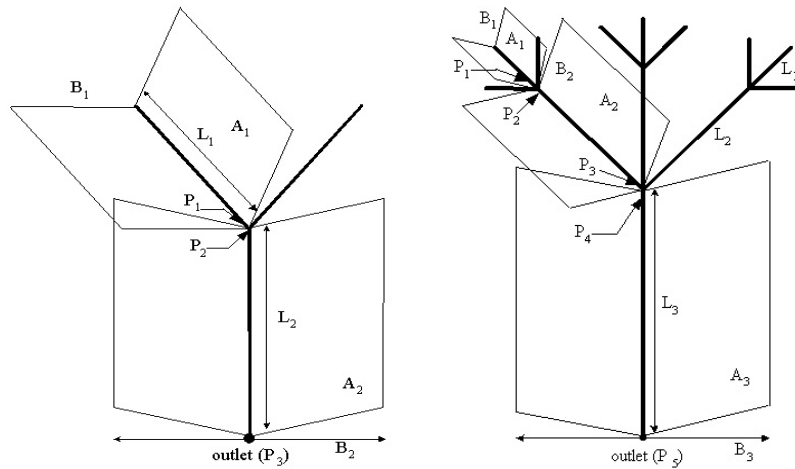


그림 3. 가상유역의 모식도

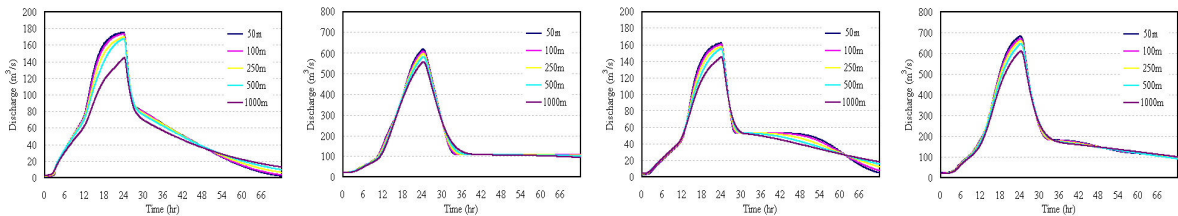
표 2. 유역특성

가상유역	하천차수	하천수	소유역흐름길이 ($FL = B/2$, km)	소유역폭 (B, km)	하천길이 (L, km)	소유역면적 (A, km ²)	총유역면적 (km ²)
I	1	2	3	6	4	24	84
	2	1	3	6	6	36	
II	1	2	6	12	8	96	336
	2	1	6	12	12	144	
III	1	9	1	2	1	2	90
	2	3	2	4	3	12	
	3	1	3	6	6	36	
IV	1	9	2	4	2	8	360
	2	3	4	8	6	48	
	3	1	6	12	12	144	

4. 결과 및 토의

유역 유출구의 격자별 수문곡선은 그림 4에 제시되었으며, 일반적으로 수문곡선의 최대유량 (peak flow)은 격자크기가 작아질수록 증가하였다. 유역면적인 작은 가상유역 I과 III의 경우, 적용된 분포모형의 각 버킷의 흐름속도 차이가 유역 유출구의 수문곡선에도 두드러지게 나타났다. 유역면적이 4배로 증가된, 가상유역 II와 IV의 경우, 매끄러운 수문곡선이 모의되었으며, 격자크기에

다른 수문곡선의 차이는 유역면적이 커지면서 감소하였다. 격자크기별 수문반응의 차이는, 1000m 격자크기로 모의된 수문반응을 관측데이터로 가정하여 다른 격자크기로 모의된 수문반응의 Nash 계수를 산정하여 비교하였다. 그림 4의 유출수문곡선에 대한 오차는 그림 5에서 비교되었다. 3차 하천차수를 갖는 유역면적이 작은 경우에 오차는 증가하였고, 유역면적이 하천차수보다 오차변화에 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 3차 하천차수를 가지며 유역면적이 작은 가상유역 III을 50m 격자크기로 모의한 경우, 수문모의는 최대 오차를 나타내었으며 Nash 계수는 0.93으로 산정되었다. 각 소유역에서 하천으로 유입되는 단위길이당 유량($Q_{in}/\Delta x$, 그림 2 참조)에 대한 격자크기별 오차를 산정한 결과는 그림 6과 같다. 적용된 모형의 경우 소유역에서 하천으로 유입되는 유량 산정시 하천유량의 크기는 고려되지 않으므로, 하천유입유량은 가상유역의 종류에 상관없이 소유역 흐름길이에 의해 결정된다. 격자크기가 작아질수록 오차는 증가하며, 흐름길이가 1km인 경우 최대 오차가 발생하였고 흐름길이가 길어질수록 오차는 감소하였다. 흐름길이가 6km인 경우 50m 격자크기의 Nash 계수는 0.97로 산정되었으며, 흐름길이가 증가할 경우 격자크기의 선택은 단위길이당 유량의 모의결과에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.



a. 가상유역 I b. 가상유역 II c. 가상유역 III d. 가상유역 IV
그림 4. 가상유역별 유출수문곡선

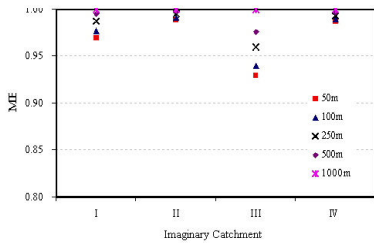


그림 5. 가상유역별 유출수문곡선의 Nash 계수

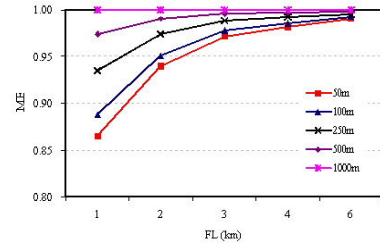
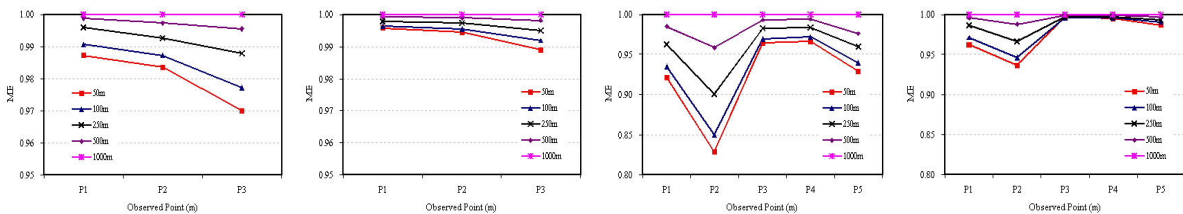


그림 6. 소유역 흐름길이별 Nash 계수



a. 가상유역 I b. 가상유역 II c. 가상유역 III d. 가상유역 IV
그림 7. 가상유역별 하천유량의 Nash 계수

하천유량 모의에서 발생하는 오차를 살펴보기 위해서, 하천의 합류점 전·후 및 유출구(그림 3

의 P지점)의 하천유량에 대한 Nash 계수를 비교하였다(그림 7). 흐름길이가 일정한 소유역으로만 구성된 가상유역 I, II에 대한 수문모의에서 하천유량의 오차는 하천을 따라 증가하였다(그림 7a, 7b). 즉, 두 하천의 합류점 후(P_2)의 오차가 합류점 전(P_1)의 오차보다 증가하였고, 유출구(P_3)의 오차는 더 증가하였다. 반면, 각기 다른 흐름길이의 소유역으로 구성된 가상유역 III, IV의 경우, 오차는 하천의 흐름에 따라 일정한 경향을 갖지 않고, 하천의 합류를 통해 증가되거나 감소하였다(그림 7c, 7d). 1차 하천유량(P_1) 모의에서 발생한 큰 오차는, 그림 6의 1km 흐름길이에 대한 단위 길이당 유량의 수문모의에서 발생한 큰 오차 때문이다. 1차 하천의 합류 후 크게 증가한 오차는 1차 하천유량이 적기 때문에 발생한 것으로 판단되며, 2차 하천의 합류전·후의 오차는 거의 일정하였다. 이후, 하천길이가 긴 3차 하천을 따라 오차는 다시 증가하지만, 유역 유출구(P_5)의 총체적 수문반응의 오차는 1차 하천의 합류후(P_2) 발생한 최대오차보다 작았다. 가상유역 III의 경우, 1차 하천의 합류전(P_1)에 발생한 오차는 유출구(P_5)에서 발생한 오차와 거의 비슷했으나, 유역면적이 4배인 가상유역 IV의 경우, 1차 하천에서 발생한 오차는 유출구에 기여하는 정도가 작아짐으로써 유출구에서 오차는 그보다 작게 나타났다. 하천유량에 대해서도 유역면적이 작을수록 오차는 증가하였고, 기준격자(1000m)와 격자크기의 차가 클수록 수문모의 결과에 대한 차이도 증가하였다.

격자크기의 변화가 유역정보의 손실을 발생시키지 않음에도 불구하고, 격자크기에 따라 모의되는 수문반응은 완전히 일치하지 않았다. 이는 적용된 모형 자체가 가지고 있는 불확실성으로 정의될 수 있으며, 이러한 불확실성은 적용되는 대상유역의 특성에 따라 다르게 전파됨을 알 수 있었다.

5. 결론

분포모형은 유역 내부의 수문응답을 모의할 수 있고, 유역특성의 변화에 쉽게 대응할 수 있는 장점이 있으나, 정확하고 신뢰성 높은 수문예측을 위해서는 시뮬레이션을 수행하는 동안 발생하는 불확실성을 예측하고 감소시킬 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 가상유역에 대한 강우-유출반응을 모의하여, 격자크기에 대한 분포모형의 불확실성을 조사하였다. 일반적으로 기준이 되는 격자크기와 고려된 격자크기와의 차가 커질수록 수문반응의 차이는 증가하였고, 대상유역의 유역면적이 커질수록, 하천차수가 작을수록 정확한 수문반응을 예측할 가능성이 높아졌다. 50m~1000m의 격자크기를 고려할 경우, 흐름이 다른 소스로부터 발생한 흐름에 의해 교란되지 않고, 2km이상 지속된다면, 유역내부의 수문모의에서 0.9이상의 정확성을 가질 것으로 판단되어졌다. 그러나 실제로 존재하는 유역은 시간적·공간적으로 변하는 유역특성을 가지므로, 가상유역을 통해 인식된 모형의 불확실성이 실제유역에 대한 수문모의에서 어떻게 전파될 것인지 비교·연구할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 동북대학의 Masaki Sawamoto교수와 So Kazama교수의 지원으로 수행되었다.

참고문헌

1. The PUB Science and Implementation Plan, (2003).
(web site: <http://cee.uiuc.edu/research/pub/>)
2. Nash JE, Sutcliffe IV. (1970). River flow forecasting through conceptual models, part I. *Journal of Hydrology*. 10: 282-290.