

분포형 수문모형의 격자크기가 모의결과에 미치는 영향 분석

Grid Size Effects in Distributed Hydrological model

노성진*, 김현준**, 장철희***

Seong Jin Noh, Hyeon Jun Kim, Cheol Hee Jang

요 지

최종 유출지점에서의 해석 결과뿐만 아니라 해석하고자 하는 유역내의 시간적, 공간적 수문 요소 분포 특성을 이해하기 위해서는 분포형 수문모형을 적용해야 하며, 최근 이에 대한 활용이 늘어나고 있다. 본 연구에서는 분포형 수문모형인 WEP 모형을 서로 다른 크기의 격자단위로 해석하여 그 결과를 비교하였다. 격자는 가로, 세로 50m, 200m 격자를 사용하였으며, 각각의 연간 물수지, 하천 유출, 모의 시간, 수문 요소의 공간분포 양상 등을 비교, 분석하였다.

핵심용어 : 분포형 수문모형, WEP 모형, 격자크기, 모의 시간 간격

1. 서론

수문모형은 물리적 과정을 어떤 방식으로 묘사하는지에 따라 개념적, 물리적 기반의 모형으로 나뉘고 유역내 수문과정의 공간적 묘사 정도에 따라 집중형과 분포형으로 나뉜다(Refsgaard(1996)). 강우-유출을 포함한 일련의 수문과정은 유역내 높은 이질성에 의해 영향을 받으므로, 물리적 기반의 접근법은 공간적으로 분포된 매개변수를 필요로 한다. 이 때 보통, 유역을 격자로 나누어 각 격자마다 다른 분포형 매개변수를 사용하는데, 이 때문에 '물리적 기반의 모형'과 '분포형 모형'은 비슷한 동의어로 사용되곤 한다(Brath와 Montanari(2000)).

분포형 모형의 적용에 있어서의 난점 중 하나는 매개변수들이 동일한 특성을 갖는 단위인 격자의 크기를 어떻게 결정할 것인가 하는 점이다. 모의의 기본 단위가 작을수록 그 정확도가 높아지지만, 모형의 성능이 더 나아지지 않는 어떤 수준이 존재한다는 지적도 있지만(Wood 등(1988)), 이런 다소 이론적인 측면뿐만 아니라 분포형 모형의 격자가 작을수록 모의 시간이 길어지고 입력자료를 구축하는데 더 많은 노력이 필요하므로 적절한 격자 크기의 결정은 모형의 적용성 측면에서도 중요하다고 하겠다.

Molnar 등(2000)은 강우사상에 대한 단기 모의시에는 매개변수만 적절히 보정된다면 상대적으로 큰 격자를 사용할 수 있으며, 분포형 모형의 격자 크기를 조절하면 하도류 격자보다 표면류 격자의 수가 훨씬 많이 늘어나기 때문에 표면류 해석에 더 많은 영향을 준다고 하였다. Refsgaard(1997)는 분포형 모형인 MIKE SHE 모형의 격자 크기에 따른 영향을 분석한 바 있으며, Vazquez 등(2002)은 각 격자 크기별로 매개변수를 보정하여 모의한 결과, 가장 작은 격자 크기의 결과가 제일 우수하지 않았다고 하였다.

본 연구에서는 유역 물순환의 정량화와 유역변화의 영향예측을 위해 개발된 물리적 기반의 공간 분포형 모형인 WEP(Water and Energy Transfer Process) 모형을 대상으로 격자 크기가 수문 모의 결과에 미치는 영향을 분석하였다. WEP 모형은 일본, 중국의 여러 유역의 유역단위 물순환 해석에 이용되었으며(Jia, 1997; Jia, 2004; Jia 등, 2001), 국내에서는 2003년 소개된 이후(Kinouchi와 Jia, 2003), 일부 유역의 물순환 해석에 적용되었다(김현준 등, 2004; 과학기술부 2004).

* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : sjnoh@kict.re.kr

** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원 · E-mail : hjkim@kict.re.kr

*** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : chjang@kict.re.kr

2. 모형의 개요

WEP 모형은 일본의 토목연구소, 과학기술진흥사업단, Jia 등이 공동으로 개발한 물리적인 기반의 공간 분포형 모형(Physically Based Spatially Distributed)이다. WEP 모형은 격자 기반 모형으로 유역을 평면 격자로 분할하여 각각의 격자를 계산단위로 하며, 연직방향으로 표층, 과도층, 지하대수층으로 나누어진다. 수평방향으로 표면류와 하도류는 각각 1차원 운동과 기법으로 추적되고 지하수 흐름은 각 층간의 함양, 침투, 양수량 등을 고려하여 2차원 해석을 하며, 이때 지표면, 하도와의 물 교환을 고려한다. 토지이용은 크게 수역, 나지-식생역, 불투수역 등의 세가지로 분류되며, 각 요소별로 다시 세부 분할된다. 증발산은 식생 등의 차단을 고려하여 Penman 식으로 계산되며, 침투는 Green-Ampt 모형을 다층 토양에 대해서 적용 가능하도록 수정한 “Generalized Green-Ampt 모형”을 이용하여 계산한다(土木研究所, 2002).

3. 모형의 적용 및 결과

3.1 적용유역

청계천은 서울의 서북쪽에 위치한 인왕산과 북한산의 남쪽 기슭, 남산의 북쪽 기슭에서 시작하여 서에서 동으로 서울의 도심부를 흐르는 유로연장 13.75 km, 유역면적 50.96 km²의 도시하천으로 지천으로 성북천과 정릉천을 포함한다. 토지이용은 산림지역이 23.2%, 도시지역이 75.9%를 차지하고 있으며 유역내 인구는 120만명에 달한다(서울특별시, 2004). 유역내 수위 관측소는 청계천과 정릉천 하류부인 제2마장교와 용두교에 1999년에 각각 설치되어 운영되고 있다. 갈수량은 한국건설기술연구원에서 모니터링하고 있으며, 청계천 유역 내 수위관측소(2개 지점) 및 정릉천 상류(2개 지점), 성북천 중류(1개 지점) 등의 주요 지류와 청운동천, 백운동천, 창덕궁천 등 청계천 세부 지류에 대해 2003년 9월부터 현재까지 월 1회 이상 지속적으로 측정하고 있으며, 측정지점 위치는 그림 2에서 보는 바와 같다.

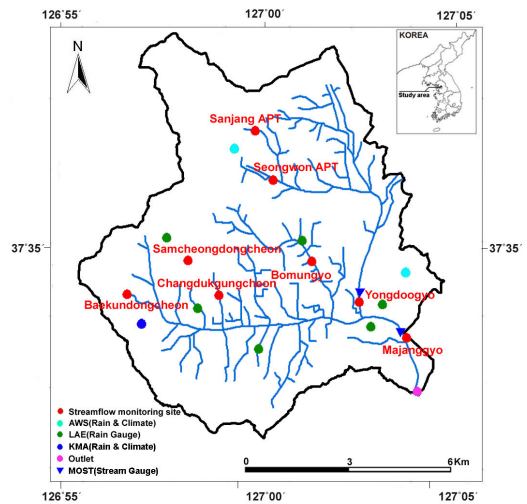


그림 1, 청계천 유역도

3.2 입력자료 구축

WEP 모형의 입력 자료를 그 특성에 따라 크게 분류하면 대상유역 (유역분할, 인구분포 등), 기상조건, 지표면 조건, 표층토양, 하천, 지하 대수층, 인공계 용수, 인공계 열수지, 초기경계 조건으로 나눌 수 있다. 격자 크기는 가로, 세로 50m 격자와 200m 격자를 사용하였으며, 50m, 200m 격자로 유역을 나누었을 때 유역면적 및 계산격자수 등의 정보는 표 1과 같다. 50m, 200m 격자에 대해서 모두 유역을 15개로 구분하였으며, 하천은 두 격자에 대해서 똑같이, 물리적 특성(경사, 단면형상, 조도계수 등)이나 모의 결과 비교지점 설정 등을 고려하여 14개로 구분하고 47개의 세부 구간을 설정하였다. 하천과 관련된 매개변수인 조도계수, 하천의 상·하부폭, 하도경사, 길이 등의 매개변수도 두 격자에 대해서 동일값을 사용하였으며, 수치고도자료 및 기존연구(서울특별시, 2004)에서 제시한 값의 범위 내에서 사용하였다. 하상재료의 투수계수는 하류 부근은 현장 측정값의 범위인 4.0×10^{-4} m/s를, 중상류에는 $4.0 \times 10^{-5} \sim 4.0 \times 10^{-6}$ m/s를 각각 적용하였다. 표층 토양은 미사질식양토(Silty clay loam), 사질양토(Sandy loam), 식양질토(Clay loam), 암석(Rock)의 4가지로 구분하여 공간적 분포자료를 구축하였다.

표 1. 격자 크기에 따른 모형내 하천 및 총 유역 격자수

구분	50m	200m
유역면적(km ²)	50.5	50.8
총 격자수	20206	1270
하천격자수	540	141
하천격자 비율(%)	3	11
표면류격자 비율(%)	97	89

3.3 모형의 적용

3.3.1 모의 조건

표층토양의 초기 함수율과 초기 지하수위 등 초기 계산 시작 조건의 영향을 줄이기 위해 1998년부터 2000년까지의 기간을 모의한 후 2000년 12월 31일 24:00의 조건을 초기조건으로 2001년 1월 1일 01:00에서 2004년 12월 31일 24:00까지 4년간을 모의하였다. 이 중 2001~2002년 자료는 모형의 보정에, 2003~2004년 자료는 검정에 각각 사용하였다.

3.3.2 유출 모의 결과

각각의 격자에 대한 하천 유출 결과 중 홍수기의 관측 유량과 모의 유량을 비교하면 그림 5와 같다. 50m, 200m 격자 모두 관측값에 근사한 수문곡선을 모의할 수 있었으며, 200m 격자의 수문곡선이 첨두홍수량이 더 크고 도달시간이 빠르다는 것을 알 수 있다.

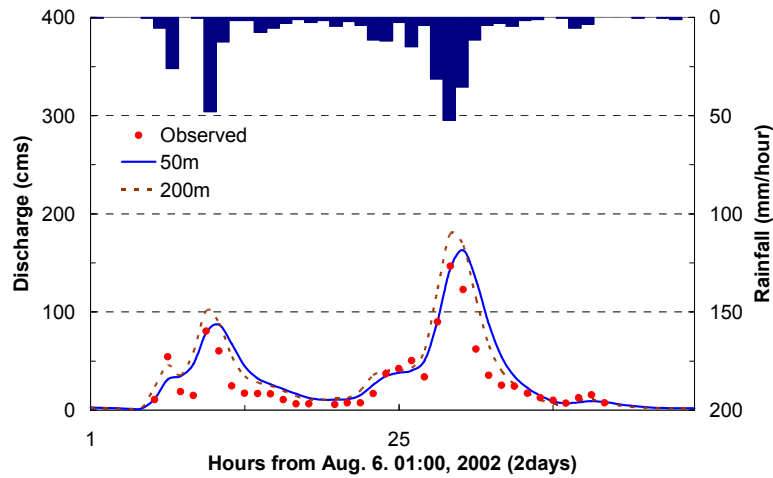
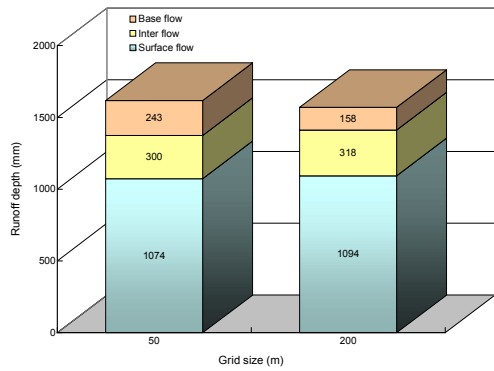


그림 2. 관측 유량과 모의 유량의 비교

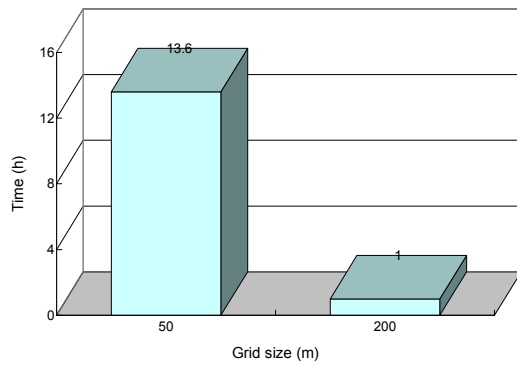
3.3.3 모의 결과 비교

그림 3 (a)에서 2004년의 연간유출량 결과를 비교하면 지표면유출과 중간유출은 비슷한 값을 나타내지만 지하수유출은 50m 격자에서 243mm, 200m 격자에서 158mm로 50m 격자에서 다소 크게 모의됨을 알 수 있다. 모의 시간은 50m 격자에서 13.6h, 200m 격자에서 1h로 13배 정도의 차이가 있었다.

그림 4는 50m 및 200m 격자에서 모의된 2004년의 연간 증발산, 연간 지표면유출 결과이다. 50m 격자가 200m 격자에 비해 유역내 수문요소의 분포를 세밀하게 묘사하고 있음을 알 수 있으나 전체적인 분포양상은 두 격자에 대한 결과가 비슷함을 알 수 있다.

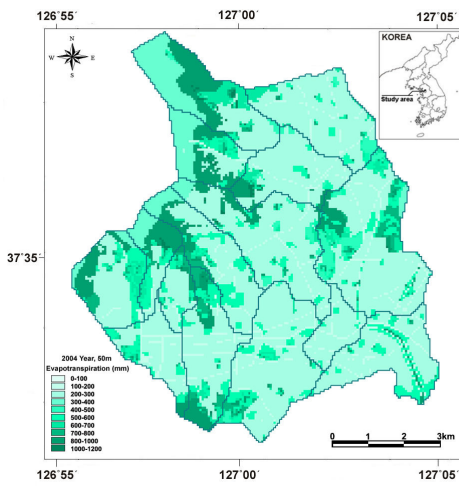


(a) 연간 유출량(2004)

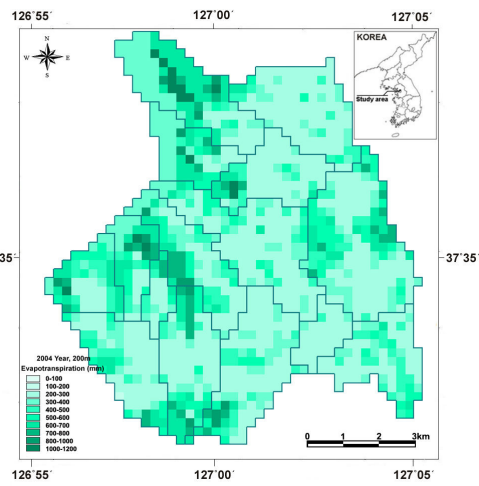


(b) 모의 시간

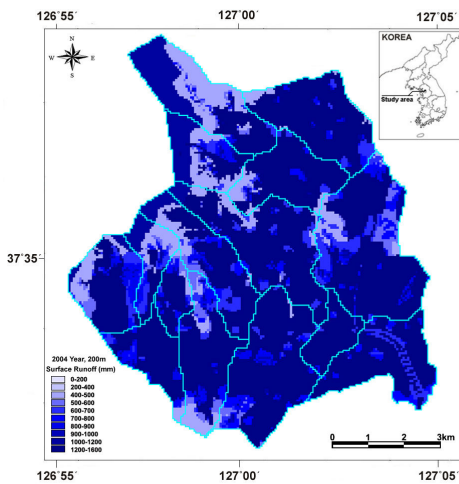
그림 3. 격자 크기에 따른 모의 결과 비교



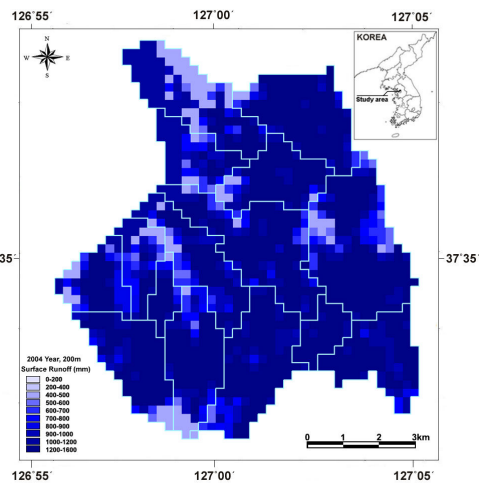
(a) 증발산(50m)



(b) 증발산(200m)



(d) 지표면유출(50m)



(c) 지표면유출(200m)

그림 4. 갈수량 측정값과 모의 결과의 비교(갈수기)

4. 결론

본 연구에서는 분포형 수문모형인 WEP 모형을 서로 다른 크기의 격자단위로 해석하여 그 결과를 비교하였다. 격자는 가로, 세로 50m, 200m격자를 사용하였으며, 각각의 연간 물수지, 하천 유출, 모의 시간, 수문 요소의 공간분포 양상 등을 비교, 분석하였다. 연간유출량 결과는 지표면유출과 중간유출은 비슷한 값을 나타내지만 지하수유출은 50m 격자에서 243mm, 200m 격자에서 158mm로 50m 격자에서 다소 크게 모의되었고, 모의 시간은 50m 격자에서 13.6h, 200m 격자에서 1h로 13배 정도의 차이가 있었다. 연간 증발산, 연간 지표면유출의 분포양상은 50m 격자가 200m 격자에 비해 유역내 수문요소의 분포를 세밀하게 묘사하고 있음을 알 수 있으나 전체적인 분포양상은 두 격자에 대한 결과가 비슷함을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단의 연구비지원(과제번호 2-6-2)에 의해 수행되었습니다. 연구비 지원에 심심한 감사의 뜻을 표합니다.

WEP 모형의 적용에 있어서 기술지원을 한 일본 토목연구소와 Jia 박사에게 감사드립니다.

참고문헌

- 과학기술부(2004). **수자원의 지속적 확보기술개발사업-청계천 복원공사 모니터링 및 물순환 해석(과제번호 6-1-1)**. 한국건설기술연구원.
- 김현준, 장철희, 노성진, 김동필, 정일문, 홍일표(2004). "청계천 유역의 수문 모니터링 및 물순환 해석." 청계천 유역 물순환 해석 국제 심포지엄 자료집, 한국건설기술연구원, pp. 3-22.
- 서울특별시(2004). 대학과 연계한 하천관리에 대한 연구(최종보고서), 서울특별시.
- Jia, Y.(2004). "3차원 유역 물순환 해석을 위한 WEP 모형의 적용." 청계천 유역 물순환 해석 국제 심포지엄 자료집, 한국건설기술연구원, pp. 25-37.
- Kinouchi, T., and Jia, Y.(2003). "WEP Model의 개발과 적용." 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제36권, 제5호, pp. 48-58.
- Brath A. and Montanari A.(2000). "The Effect of the Spatial variability of Soil Infiltration Capacity in Distributed Flood Modelling" *Hydrological Processes*, Vol. 14, pp. 2779-2794.
- Jia, Y.(1997). *Integrated analysis of water and heat balances in Tokyo metropolis with a distributed model*. Ph. D., dissertation, University of Tokyo, Japan.
- Jia, Y., Ni, G., Kawahara, Y. and Suetsugi, T.(2001). "Simulation of hydrological cycle in an urbanized watershed and effect evaluation of infiltration facilities with WEP MODEL." *Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering*, Vol. 19, No.1, pp. 43-52.
- Refsgaard, J. C.(1996). Terminology, modelling protocol and classification of hydrological model codes. In: Abbott, M. B., Refsgaard, J. C.(Eds.), *Distributed Hydrological Modelling*. Kluwer Academic, pp. 41-54.
- Vazquez R. F., Feyen L. and Refsgaard J. C.(2002). "Effect of grid size on effective parameters and model performance of the MIKE-SHE code." *Hydrological Processes*, Vol. 16, pp. 355-372.
- Wood E. F., Sivapalan M, Beven K. and Band L.(1988). "Effects of spatial variability and scale with implications to hydrologic modelling.:" *Journal of Hydrology* Vol. 102, pp. 29-47.
- 土木研究所(2002). WEP 모델 解説書. 土木研究所, pp. 3-22.