DEM 해상도에 따른 지형인자 및 수문성분의 변화 분석

Variation of Geographical Factors and Hydrologic Components according to DEM Spatial Resolution

김남원*, 이정은**

Nam Won Kim, Jeong Eun Lee

요 지

최근 수자원 분야에서는 대상유역의 최종출구점 뿐만 아니라 유역내 수문성분의 시·공간적인 분포특성에 관한 관심이 높아지고 있다. 이러한 분석을 위해 GIS와 연계된 물리적 기반의 분포형 수문모형이 널리 사용되고 있다. 하지만, 분포형 모형의 적용에 있어 문제로 제기되고 있는 격자크기에 대한 명확한 해법은 제시되지 못하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 DEM 해상도(격자크기)에 따른 지형인자 및 수문성분의 변화를 검토하였다. 이를 위해 지형인자 도출에서 수문성분 분석까지 가능한 SWAT-K 모형을 횡성댐 상류유역에 적용하였다. 결과를 검토해보면, DEM 해상도가 낮아질수록, 최저고도는 증가, 최고고도는 감소, 따라서 평균고도는 다소 증가하는 경향을 보였다. 대상유역의 지형인자에 관계된 유역면적의 경우에는 해상도가 낮아질수록 다소 증가하였으며, 소유역별 유역평균경사의 경우에는 크게 감소하였다. 하도 지형인자의 경우, 해상도가 낮아질수록 주하도 길이는 감소, 주하도 경사는 반대로 증가하였다. 마지막으로 수문성분의 경우, DEM 해상도가 낮아질수록 유역 전체유출량은 다소 감소하였으며, 반대로 증발산량은 다소 증가하는 경향을 보였다. 유출성분을 세분하여 검토해보면, DEM 해상도가 낮아질수록 중간유출, 지하수유출의 경우 각각 크게 감소, 증가하는 경향을 보였다. 이는 DEM 해상도가 낮아질수록 유역경사가 완만해져 중간유출이 지하수유출로 유입되는 현상으로 파악된다.

핵심용어 : 지형공간정보체계, DEM, 공간해상도, SWAT-K, 지형인자, 수문성분

1. 서론

수자원 분야에서 수문모형은 개념적, 물리적 기반의 모형으로 나뉘고, 유역내 공간적 해석 정도에 따라 집중형, 분포형으로 나뉜다(Resfsgaard, 1996). 국내의 경우, 주로 집중형 모형에 관한 연구가 이루어져 왔다. 특히 장기유출해석을 위해 TANK 모형 혹은 국내에서 개발된 DAWAST 모형 등이 널리 사용되어 왔으며, HSPF, NWS-PC, PRMS, SSARR 등과 같은 집중형 모형이 사용되고 있다. 최근에는 MIKE-SHE와 같은 분포형 모형, SWAT과 같은 준분포형 모형도 널리 적용되고 있는 있는 실정이다.

오늘날에는 수문분석에 있어 대상유역의 최종출구점 뿐만 아니라 유역내 수문성분의 시·공간적인 분포특성에 관한 관심이 높아지고 있다. 이를 위해 GIS와 연계된 물리적 기반의 분포형 수문모형이 활발히 적용되어지고 있다. 하지만, 분포형 모형의 적용에 있어 문제 중 하나로 제기되고 있는 격자크기에 대한 명확한 해법은 제시되지 못하고 있다. 외국의 경우, Refsgaard(1997)는 분포형 모형인 MIKE-SHE 모형의 격자크기에 따른 영향을 분석한 바 있으며, Chaplot(2005)은 DEM 격자크기의 변화에 따른 유역 출구점에서의 유출량, 유사량, NO3-N 양 등을 SWAT 모형을 통해 산정하고 각각의 결과에 격자 크기가 미치는 영향을 분석한 바 있다. 하지만, 국내의 경우 이러한 연구는 전무한 실정이다.

따라서, 지형인자 도출에서 수문성분 분석까지 가능한 준분포형 SWAT-K 모형(과학기술부, 2007)을 적

* 정회원・한국건설기술연구원 수자원연구부 책임연구원・E-mail : nwkim@kict.re.kr
** 정회원・한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원・E-mail : jeus22@kict.re.kr

용하여, DEM 해상도(격자크기)가 지형인자 및 수문성분 모의결과에 미치는 영향을 분석하였다.

2. SWAT-K 개요 및 국내 GIS 자료구축 현황

2.1 SWAT-K 개요

SWAT-K 모형은 미농무성 농업연구소(USDA Agricultural Research Service, ARS)에서 개발된 모형인 SWAT 모형의 인위적, 자연적인 물순환 구조변화와 지표수-지하수 연계 해석, 저수지 운영, 도시유출 등을 개선하여 강우, 증발산, 토양수분, 지표수, 지하수의 시공간적 분포를 정량적으로 산정하는 한국형 장기유출 해석 모형으로 수문순환 과정은 식(1)과 같은 물수지 방정식을 채택하고 있다.

$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^{t} (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

여기서, SW_t : t일의 토양수분량(mm), SW_o : 초기 토양수분량(mm), t : 시간(day), R_{day} : i일의 강수량(mm), Q_{surf} : i일의 지표유출량(mm), E_a : i일의 증발산량(mm),w_{seep} : i일의 침투량(mm), Q_{gw} : i일의 지하수 유출량(mm)이다. 모형의 기본입력자료는 수문기상자료(강우, 최고/최저 기온, 풍속, 상대습도, 태양복사량 등)와 GIS 입력자료(DEM, 토지이용도/토지피복도, 토양도)로 크게 구분할 수 있다.

2.2 국내 GIS 자료구축 현황

국내 GIS 자료구축 현황을 살펴보면, DEM은 국립지리원, 환경부 등 여러기관에서 제공하고 있으며, 토지이용도는 국립지리원, 토지피복도는 환경부, 토양도는 농촌진흥청 산하의 농업과학기술원에서 제공하고 있다. 자세한 사항은 아래와 같다.

2.2.1 토지이용도 / 토지피복도

일반적인 관점에서 토지는 인간의 사회·경제적인 활동에 의하여 이용되는 현황 즉, 인간의 활동에 의하여 토지가 이용되는 상태에 관심을 두고 중시하는 토지이용분류와 토지의 물리적인 지색 및 피복유형을 중시하는 토지피복분류가 있다. 토지이용도는 국립지리원에서, 토지피복도는 환경부에서 제공받을 수 있다. 토지이용도는 전국의 약 55%에 걸쳐 구축되어 있으며, 토지피복도 중 대분류(7항목)는 전국에 걸쳐, 중분류(23항목)는 수도권, 한강, 금강, 낙동강 권역에 대하여 구축되어 있다.

2.2.2 토양도 및 토양 D/B

농업과학기술원에서는 전국을 대상으로 정밀토양도(축척 1:25,000)를 구축하였으며, 일정한 절차를 거쳐 무상으로 배포하고 있다(농업토양정보시스템(Agriculture Soil Information System : http://asis.rda.go.kr/)). SWAT-K 모형에서 수치화된 토양도는 토양특성별 공간적인 분포에 관한 정보만 가지고 있으며, 토양특성별 속성 정보를 가진 토양D/B를 구축하여야 한다. 농업과학기술원에서는 전국의 토양을 토양통(soil series)으로 분류하여 각 토양통(약 390여개)에 대한 물리적인 자료를 제공하고 있다. 토양 D/B에는 토양의 수문학적 그룹(A, B, C, D), 토양층 개수, 층별 자갈, 모래, 실트, 점토 비율, 습윤용적밀도, 토양층의 유효수분량, 포화수리전도도 등이 요구된다. 이중 토양층 개수, 층별 깊이, 자갈, 모래, 실트, 점토 비율 등이 구축되어 농업토양정보시스템에서 제공하고 있다. 습윤용적밀도, 토양층의 유효수분량, 포화수리전도도 등은 과학기술부(2007)의 결과를 이용하였다.

3. 대상유역 및 입력자료 구축

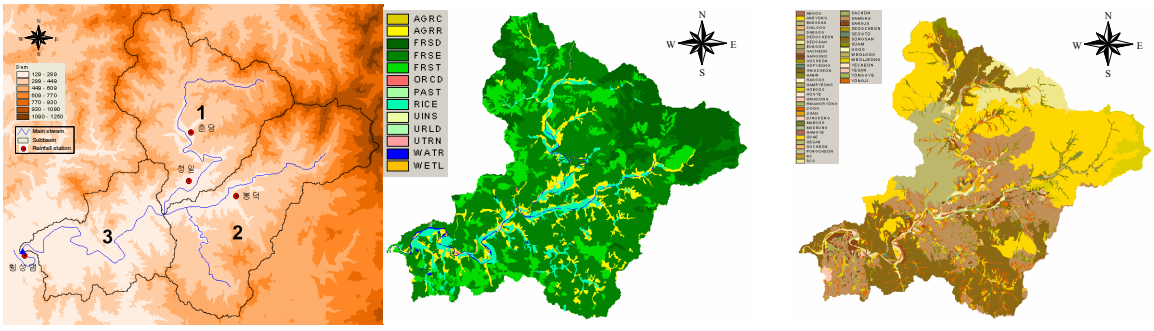
3.1 대상유역 현황

본 연구의 대상유역으로 선정한 횡성댐 상류유역은 유역면적이 209.0 km^2으로서 남한강 제 1지류인 섬강 지류의 계천에 위치하고 있다. 횡성댐은 강원도 원주시와 횡성군 일원의 용수공급과 댐하류부의 홍수피해

방지 및 수력에너지의 공급을 목적으로 하는 다목적댐이다. 유역내에는 3개의 강우관측소가 위치하고 있으며, 유역에 지형학적으로 가장 가까이 원주관측소가 위치하고 있다. 본 연구의 효율적인 분석을 위하여 그림 1에서와 같이 대상유역을 3개의 소유역으로 구분하였다.

3.2 입력자료 구축현황

앞서 기술한 바와 같이 SWAT-K 모형의 기본입력자료는 크게 수문기상자료와 수치주제도로 나누어 볼 수 있다. 수문기상자료의 경우, 강우자료는 그림 1에서의 강우관측소 자료를 이용하였으며, 강우자료를 제외한 기상자료는 적용 대상유역에 영향을 미치는 원주 기상관측소를 이용하였다. 수치주제도의 경우, 대상유역 DEM은 한국수자원공사에서 제공하는 30 m 격자크기의 DEM을 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 m 격자크기로 리샘플링하여 구축하였다. 토지피복도는 환경부에서 제공하는 토지피복 중분류를 사용하였으며, 토양도는 농업과학기술원에서 제공하는 정밀토양도를 이용하여 토양통으로 분류하여 구축하였다.



(a) 소유역 분할 및 관측소 (b) 토지피복도(환경부, 중분류) (c) 정밀토양도(농과원, 통분류)

그림 1. 대상유역 현황 및 토지피복 및 토양자료

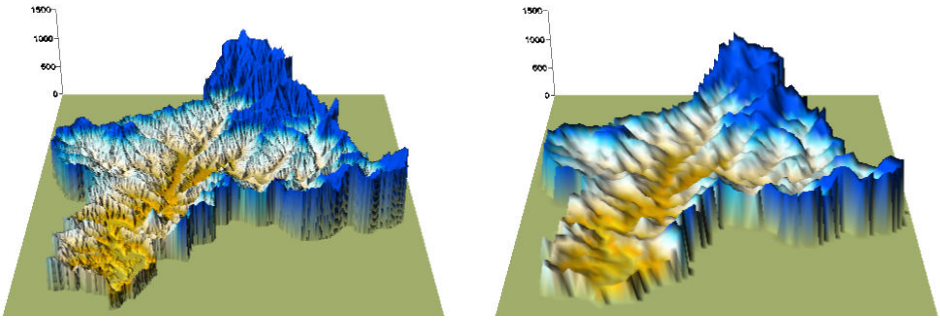
4. DEM 해상도에 따른 모형적용결과

4.1 DEM 해상도의 변화

DEM의 경우, 해상도의 변화에 따라 대상유역의 최저/최고/평균 고도 및 표준편차는 표 1에 제시한 바와 같다. 일반적으로 DEM 해상도가 낮아질수록, 최저고도는 증가, 최고고도는 감소, 평균고도는 다소 증가하는 경향을 보였다. 이는 DEM 해상도가 낮아질수록 유역경사가 완만해지는 것을 의미한다. DEM 해상도에 따른 유역의 상황을 쉽게 이해하기 위해, 30, 300 m 격자크기에 대한 유역형상을 3D로 도시하였다(그림 2).

표 1. DEM 해상도에 따른 통계량 (단위: m)

DEM resolution	Min. E.L.	Max. E.L.	Mean. E.L.	Std. Deviation
30	140	1250	437.6	190.0
60	140	1239	437.5	189.7
90	140	1239	437.7	189.7
120	145	1240	437.7	189.4
180	140	1234	438.0	190.0
240	145	1224	456.9	194.6
300	145	1210	439.0	190.7

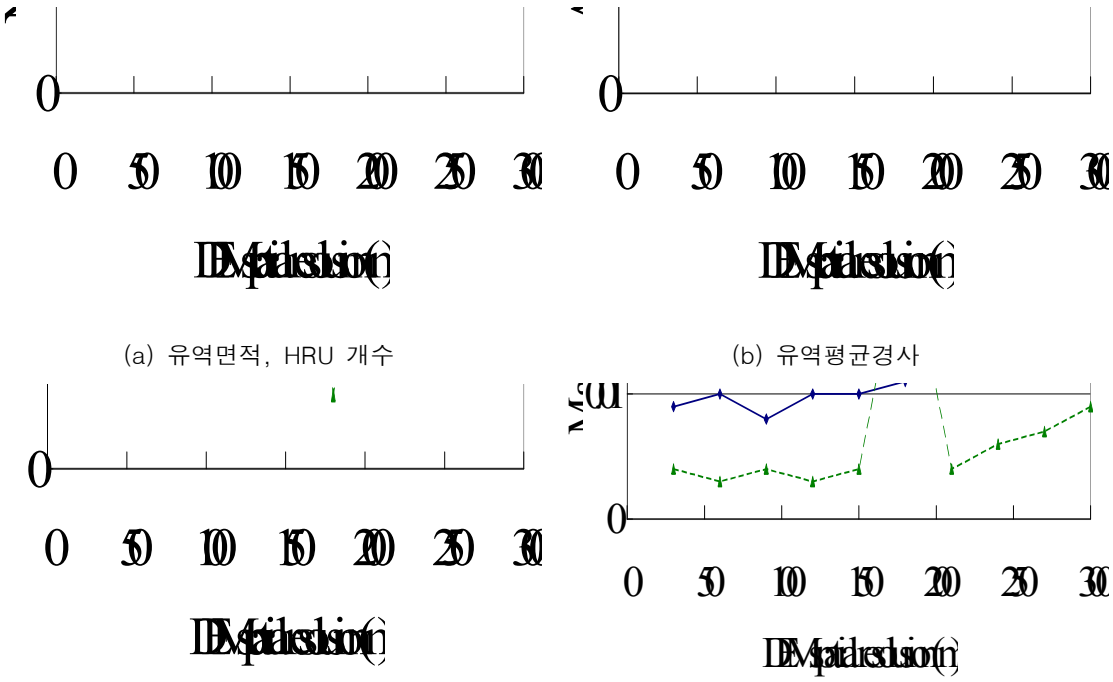


(a) 30 m (b) 300 m

그림 2. DEM 해상도에 따른 유역형상(3D)

4.2 지형인자 변화분석

DEM 해상도에 따른 지형인자 도출결과는 그림 3과 같다. 먼저 SWAT-K 모형에서 기본 계산단위인 HRU(Hydrologic Response Unit)의 경우, DEM 해상도가 낮아질수록 크게 감소하였다. 이는 분포형 모형에서의 모의시간과 밀접한 관련이 있다. 대상유역의 지형인자에 관계된 유역면적의 경우에는 해상도가 낮아질수록 다소 증가하였으며, 소유역별 유역평균경사의 경우에는 크게 감소하였다. 하도의 지형인자의 경우, 분할된 소유역별로 그 결과를 분석하였다. 해상도가 낮아질수록 1, 2, 3번 소유역 모두, 주하도 길이는 감소하였으며, 주하도 경사는 반대로 증가하는 경향을 보였다. 이는 DEM 해상도가 낮아질수록 완만해지는 폭보다 하도길이의 감소폭이 더 크기 때문으로 판단된다. 그리고, 주하도 길이 분석결과에서 소유역 1번의 60, 90 m, 소유역 3번의 180 m, 주하도 경사 분석결과에서 소유역 3번의 180 m의 DEM 해상도에 대한 결과는 DEM 리샘플링 과정 혹은 모형내 DEM 분석기법의 오류로 판단된다.



(a) 유역면적, HRU 개수 (b) 유역평균경사

(c) 주하도 길이 (d) 주하도 경사

그림 3. DEM 해상도에 따른 지형인자의 변화

4.3 수문성분 변화분석

마지막으로 DEM 해상도에 따른 수문성분 분석을 수행하였다. DEM 해상도가 낮아질수록 유역 전체유출량(Total Q)은 다소 감소하는 경향을 보였으며, 반대로 증발산량은 다소 증가하는 경향을 보였다. 전체유출량은 지표면 유출, 중간유출, 지하수로 나누어 볼 수 있다. DEM 해상도가 낮아질수록 지표면 유출의 경우에는 증가폭이 미미하였으며, 중간유출, 지하수의 경우 각각 크게 감소, 증가하는 경향을 보였다. 이는 DEM 해상도가 낮아질수록 유역경사가 완만해져 중간유출량이 지하수량으로 유입되는 현상으로 파악된다.

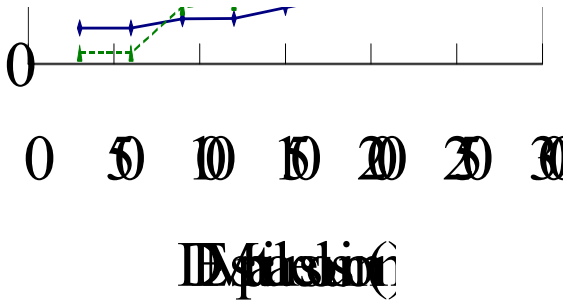


그림 4. DEM 해상도에 따른 수문성분의 변화

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 분포형 모형의 적용에 있어 문제 중 하나인 매개변수들이 동일한 특성을 갖는 단위인 격자크기가 지형인자 및 수문성분 모의결과에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위해 횡성댐 상류유역에 대하여 SWAT-K 모형을 적용한 결과는 다음과 같다.

(1) 일반적으로 DEM 해상도가 낮아질수록, 최저고도는 증가, 최고고도는 감소, 평균고도는 다소 증가하는 경향을 보였다.

(2) 대상유역의 지형인자에 관계된 유역면적의 경우에는 해상도가 낮아질수록 다소 증가하였으며, 소유역별 유역평균경사의 경우에는 크게 감소함을 확인할 수 있었다. 하도의 지형인자에 대하여, 해상도가 낮아질수록 주하도 길이는 감소하였으며, 주하도 경사는 반대로 증가하는 경향을 보였다. 이는 DEM 해상도가 낮아질수록 완만해지는 폭보다 하도길이의 감소폭이 더 크기 때문이다.

(3) DEM 해상도가 낮아질수록 유역 전체유출량은 다소 감소하는 경향을 보였으며, 반대로 증발산량은 다소 증가하는 경향을 보였다. 전체유출량을 세분하여 검토해보면, DEM 해상도가 낮아질수록 중간유출, 지하수의 경우 각각 크게 감소, 증가하는 경향을 보였다. 이는 DEM 해상도가 낮아질수록 유역경사가 완만해져 중간유출량이 지하수량으로 유입되는 현상으로 인한 것이다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 2-2-3)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 과학기술부 (2007). 21세기 프론티어연구개발사업 - 수자원의 지속적 확보기술개발 사업, 지표수 수문성분 해석시스템 개발, 과제번호(2-2-2).
2. Chaplot, V. (2005). Impact of DEM mesh size and soil map scale on SWAT runoff, sediment, and NO3-N loads predictions, Journal of Hydrology, 312, pp. 207?222.
3. Resfsgaard, J. C. (1996). Terminology, Modelling protocal and classification of hydrological model codes, In: Abbott, M. B., Resfgaard, J. C.(Eds.), Distributed Hydrological Modelling, Kluwer Academic, pp. 41~54.
4. Refsgaard, J. C. (1997). Parametrisation, calibration and validation of distributed hydrological models. Journal of Hydrology, 198, 69-97.