

# DEM 해상도별 HyGIS-SWAT의 유출 특성 분석

## Analysis for Flow Characteristics of HyGIS-SWAT by DEM Resolution

김주훈 \*, 김경탁\*\*,  
Joo Hun Kim, Kyeong Tak Kim

### 요 지

유역의 유출현상은 유출에 직접적인 영향을 미치는 강수 등 수문학적 인자가 중요한 요인으로 작용하지만 유역의 지형학적 특성에 의해서도 유출에 미치는 영향은 매우 크다. 본 연구에서는 DEM의 해상도에 따라 유출, 유사, 증발에 어떠한 영향을 미치는지를 판단하는 것을 연구목적으로 하였다. 연구지역은 대전시를 관류하는 갑천유역(유역면적 약 609km<sup>2</sup>)을 대상으로 하였으며, 사용한 DEM 자료는 30m 공간해상도를 갖는 WAMIS의 자료를 이용하였다. 이 30m의 공간해상도를 각각 60m, 90m, 120m, 150m로 각각 resampling, sink 제거 등의 과정을 거쳐 각 해상도별 DEM자료를 생성하였다. 유출 특성 분석을 위해 HyGIS-SWAT 모형을 이용하였다. 모형의 적용 결과 침투유출은 30m해상도를 기준으로 150m해상도에서는 약 16%정도 감소하는 것으로 나타났으나, 총유출은 약 2%정도 감소하는 것으로 나타났고, 증발량의 경우에는 30m 해상도를 제외하고 대부분 비슷한 결과를 제시하고 있는 것으로 나타났다. 또한 그림 1에서 제시한 바와 같이 30m해상도에서는 침투유출은 크지만 저류부 유출은 오히려 150m해상도에서 더 많은 유출이 발생하는 것으로 분석되었다.

핵심용어 : HyGIS, RUSLE, 토양유실량, 사전재해영향평가, OECD, 토양유실위험등급도

## 1. 서 론

대부분의 강우-유출모형의 적용에 있어서 하도망과 사면의 복잡한 분포특성과 그리고 지질, 표면식생 등의 공간적 비균질성이 정확한 예측에 대한 장애가 된다. 즉, 수문인자들의 공간적 변동성과 모형구조가 부조화를 이룰 경우 부적절한 유출해석은 필연적이다. 유역의 강우에 따른 유출현상을 분석하기 위해 많은 연구자들은 연구지역에 대한 지형경사와 사면방향 등의 공간 지형 정보를 획득하기 위해 수치표고모형(DEM)을 제작하고, 이를 이용하여 유출특성을 파악하고 있다. Zhang과 Montgomery(1994)는 유역면적이 각각 0.3km<sup>2</sup>, 1.2km<sup>2</sup>인 프랑스의 소유역에 대해 DEM 공간해상도를 달리하면서 강우-유출분석을 수행하였고, 그 결과 공간해상도가 달라지면 유역의 침투유출과 지하수면 침도에 영향을 주는 것을 분석하였고, 적정해상도를 10m로 제안하였다. Bruneau 등(1995)은 12km<sup>2</sup>의 유역면적에 대한 연구에서 적정해상도를 50m로 제시한 바 있다.

이정규 등(2005)은 설마천 유역에 대하여 DEM 격자크기를 10m~100m로 변화시켜 가면서 해상도별 유출에 영향을 미치는 유로연장, 유역면적, 유로경사 등을 계산하였고, 유로연장의 경우

정회원 · 한국건설기술연구원 수자원환경연구본부 수자원연구실 수석연구원 · E-mail : [jh-kim@kict.re.kr](mailto:jh-kim@kict.re.kr)  
정회원 · 한국건설기술연구원 수자원환경연구본부 수자원연구실 연구위원 · E-mail : [ktkim1@kict.re.kr](mailto:ktkim1@kict.re.kr)

10m 해상도보다 100m해상도에서 2배이상 차이가 남을 언급하였고, 이 유로연장은 Clark방법의 도달시간과 저류상수에 영향을 미치는 중요한 인자로 30m가 적절하다고 제시한 바 있다. 이정규 등(2004)은 DEM 격자크기에 따른 유역 특성 및 유출응답 변화 연구에서 격자가 커짐에 따라 침투홍수량은 감소하고 침투발생시간은 늦어지는 경향을 나타낸다고 하였으며, 실제 유출수문곡선과 비교했을 때 DEM격자크기는 50m 일 때가 적절하다고 제시하였다.

류재욱 등(2009)은 DEM의 해상도에 따른 수문지형인자의 민감도 해석에서 셀 크기가 증가함에 따라 유로연장 및 최원유로연장이 감소하는 추세를 보이고 유역평균경사는 대체로 셀 크기 10m~30m에서 가장 큰 감소를 보이고 있으며, 셀 크기가 30m 이상에서는 감소크기가 점차 완만해가 나타난다는 연구결과를 제시하였다. 이희철 등(2003)도 이정규 등(2004)의 연구결과와 마찬가지로 격자 크기가 커짐에 따라 유역경사가 작아지고, 도달시간이 길어져 침투 홍수량은 감소하고 침투 발생 시간은 늦어진다고는 연구결과를 발표하였으며, 또한 침투홍수량에 영향을 미치는 요인에 대한 민감도지수에서 선행토양함수조건, 강수분포, 재현기간을 고정한 후 모의한 결과 도달시간이 침투홍수량과 그 발생시각에 가장 큰 영향을 미친다는 연구결과를 제시하였다.

DEM의 격자크기가 커지면 고도값 평가절하하여 면적가중치를 둔 평균값을 채택하기 때문에 유역평균경사는 작아진다. 또한 격자크기가 커질수록 하천의 형상이 단순해져 하천길이가 짧아져 유역평균경사와 반대로 도달시간은 짧아진다. 따라서 유역평균경사와 도달시간 중 어느 인자가 유출에 더 큰 영향을 미치는지는 경우에 따른 유출분석을 수행하여야 만이 알 수 있다. 이에 본 연구에서는 경우에 따른 유출 및 유사와 증발량이 DEM의 해상도에 따라 어떠한 영향을 미치는지를 판단하는 것을 연구목적으로 하였다.

## 2. 연구대상 유역

연구지역은 대전시를 관류하는 갑천유역(유역면적 약 609km<sup>2</sup>)을 대상으로 하였으며, 갑천은 유역의 최남단 지점인 충청남도과 전라북도의 도경계에 있는 대둔산(EL. 877.7m)에서 발원하여 북서쪽으로 유하하다가 두계천, 금곡천, 매노천과 차례로 합류한다. 이후 대전광역시 부근에서부터는 북향으로 유향을 바꾸어 대전광역시를 관통하여 흐르며, 유성천과 합류하고, 갑천의 제1지류인 유등천과 합류한 후 대전광역시의 경계를 벗어나면서 금강으로 유입된다. 금강홍수통제소의 회덕관측소를 기준으로 약 609km<sup>2</sup>의 유역면적을 가지며, 산림지역이 59.8%, 농업지역이 15.8%, 그리고 도시지역이 15.6%를 차지하고 있다.

수자원과 관련된 모형의 모의에 이용되는 지형자료는 지표면 유출 및 하도추적 등은 지표면의 투수성 정도, 경사도 등 지표면과 하천의 지형학적 특성이 많이 반영된다. 본 연구에서 사용한 DEM 자료는 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)의 자료를 이용하였고, 유출특성 분석을 위해 HyGIS-SWAT 모형을 이용하였다. SWAT 모형에서 유출에 영향을 미치는 HRU 계산을 위해 환경부의 중분류 토지피복도를 이용하였고, 토양도는 SWAT 모형 실행과정 중 토양의 물리화학적 성질을 결정해 주는 입력자료로서 농업과학기술원의 정밀토양도 자료를 이용하였다.

SWAT 모형에서는 강우, 풍속, 기온, 상대습도, 일사량 등의 기상자료를 입력하여 유출 및 증발산 등의 수문성분을 계산하게 되고, 또한 유사생성 및 유사유출, 그리고 각종의 영양염류 등에 대한 모의를 수행하게 된다. 기상자료는 대전기상청의 풍속, 기온, 상대습도, 그리고 일사량자료를 이용하였고, 강수량 자료는 금강홍수통제소의 신대, 회덕, 방동, 유성, 인동 우량관측소 자료와 회덕 유량자료를 이용하였다.

### 3. 모형의 적용

#### 3.1 모형의 검토

매개변수 보정방법에는 크게 시행착오법, 최적화기법에 의한 자동보정법, 그리고 이 두 가지를 병행하는 방법이 있다. SWAT과 같이 보정해야 할 매개변수가 많고 복잡한 모형에서는 여전히 시행착오법이 유용하게 적용되고 있다. 본 연구에서는 시행착오법에 의해 각 매개변수의 민감도 분석 결과를 바탕으로 단계별 변화에 따라 보정을 수행하였다. 시행착오법은 유출량에 대하여 매개변수를 보정한 후 유사관련 매개변수에 대하여 순차적으로 수행하였다.

매개변수 보정기간은 2006년도 회덕 유량자료를 이용하여 보정하였고, 보정된 매개변수를 이용하여 2007년의 자료를 이용하여 검증하였다. 갑천유역의 유출량 관측값과 모의값의 보정은 결과

표 1. 유사 검토 결과

관측값과 모의값의  $r^2$ 은 0.81이었고 보정된 매개변수를 이용하여 2007년의 자료로 검증한 결과  $r^2$ 은 0.71로 모의 결과가 관측값을 잘 반영하고 있음을 알 수 있다.

항목	기준	검정	검증	Y/N
평균	±100%	12.6%	12.6%	○
중앙값	±100%	82.1%	82.1%	○
기하평균	±100%	86.3%	86.3%	○
7-day range	>70%	51.4%	30.6%	△
7-day max		31.4%	16.7%	
7-day min		17.1%	52.8%	

유사 검토에서는 비연속적으로 추정되는 수질 관측치와 연속적으로 모의되는 모형 결과치와의 비교를 위해 Kim et al.(2007)이 제안한 '5-day window'을 고재영 등(2007)이 보정한 '7-day window' 방법을 적용하였다.

해상도에 따른 유출, 유사 및 증발량과의 관계를 분석하기 위하여 30m의 공간해상도를 갖는 원래의 WAMIS의 DEM을 각각 60m, 90m, 120m, 150m로 각각 resampling, sink 제거 등의 과정을 거쳐 각 해상도별 DEM자료를 생성하였다. 해상도별 평균경사는 30m에서 경사가 급하고 이후 해상도가 커질수록 유역의 평균경사는 작아지는 것으로 나타났다.

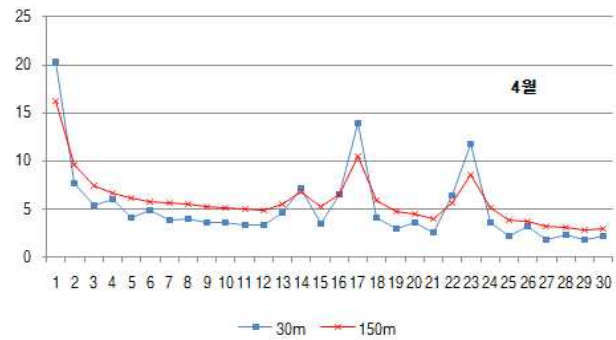


그림 1. 해상도별 유출특성

표 2. 해상도별 유출모의 결과

해상도(m)	평균경사(deg)	침투유출	총유출	침투유사	총유사	최대증발량	총증발량
30	14.4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
60	12.5	0.98	1.00	0.90	0.98	0.97	0.97
90	10.9	0.95	0.99	0.90	0.99	0.96	0.97
120	9.7	0.88	0.98	1.00	1.00	0.98	0.97
150	8.7	0.84	0.98	0.95	1.00	0.98	0.97

모형의 적용결과 그림 1에서 제시한 바와 같이 30m 해상도에서는 침투유출은 크지만 저류부 유출은 오히려 150m 해상도에서 더 많은 유출이 발생하는 것으로 분석되었다. 침투유출은 30m 해상도를 기준으로 150m 해상도에서는 약 16%정도 감소하는 것으로 나타났으나, 총유출은 약 2%정도 감소하는 것으로 나타났다. 유사 경우에는 침투유사와 총유사 모두 특별한 경향을 나타내지는 않고 있으며, 증발량의 경우에는 30m 해상도를 제외하고 대부분 비슷한 결과를 제시하고 있는 것으로 나타났다.

## 4. 결론

본 연구에서는 DEM의 해상도에 따라 유출, 유사, 증발에 어떠한 영향을 미치는지를 판단하는 것을 연구목적으로 하였다.

분석결과 DEM의 격자 크기가 커질수록 유역의 평균경사는 다른 연구자의 연구결과와 마찬가지로 작아지는 결과를 얻었다. 선행 연구의 결과에서도 제시한 바와같이 격자크기가 커짐에 따라 유역 평균경사는 작아지지만 반대로 도달시간은 작아져 유출에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 모의가 반드시 필요하다. 유출의 경우 년 총유출은 30m 해상도를 기준으로 150m 해상도에서 약 2%정도 감소하는 것으로 분석되었으나 연최고 첨두유출은 감소하는 것으로 분석되었다. 이는 그림 1에서도 제시한 바와 같이 기저부 유출량이 150m 해상도에서 더 크게 유출하는 것에 기인하는 것으로 유역의 평균경사가 DEM의 격자크기가 커질수록 완만한 경사를 갖는 것에 기인하여 유역의 기저유출의 증가에 기인하는 것으로 판단된다.

유사 유출 및 증발량의 경우에는 뚜렷한 경향성은 보이지 않는 것으로 분석되었으나, 유사의 경우에도 유량의 경우와 마찬가지로 유역의 평균경사에 영향을 미치기 때문에 다양한 규모의 유역에 대하여 적용하여 DEM의 격자크기와 유출의 상관관계를 규명하는 추가연구를 수행할 계획이다.

## 감사의 글

본 연구는 기초기술연구회의 일반연구사업(사업명: 위성자료 공공활용 연구, 과제명: 위성영상을 이용한 하천정보생산 및 활용에 관한 연구)과 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제(과제번호 06국토정보B01)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 고재영, 장태일, 박승우. 2007. HSPF 모형을 이용한 농촌유역에서의 대장균 모의. 대한토목학회지. 11(4):99-109.
2. 류재욱, 최현일, 지흥기. 2009. DEM의 표고자료 DEM의 해상도에 따른 수문지형인자의 민감도 해석. 한국수자원학회 2009년도 학술발표회 초록집, pp.1384-1388.
3. 이정규, 최병렬, 장홍준. 2004. DEM격자크기에 따른 유역특성 및 유출응답변화. 2004대한토목학회 정기학술대회. pp.4040-4044.
4. 이정규, 장홍준, 최병렬. 2005. DEM 격자크기에 따른 강우-유출 모델링(설마천유역을 중심으로). 한국수자원학회 2005년도 학술발표회 초록집, pp.1163-1173.
5. Bruneau P., C. Gascuel-Oudou, P. Robin, P. Merot and K. Beven. 1995. Sensitivity to space and time resolution of a hydrological model using digital elevation data. Hydrological Processes 9:69-81.
6. Kim, S. M., B.L. Benham, K.M. Brannan, R.W. Zeckoski, and G.R. Yagow. 2007. Water Quality Calibration Criteria for Bacteria TMDL Development. American Society of Agricultural and Biological Engineers. 23(2):171-176.
7. Zhang, W. and D.R. Montgomery. 1994. Digital elevation model grid size, land-scape representation and hydrologic simulations. Water Resources Research 30(4):1019-1028.