

판교신도시유역의 장기유출해석을 위한 SWAT-K모형 적용

Application of the SWAT-K Model on the Pangyo Development Area

박창언*, 김제형**

Chang Eon Park, Je Hyung Kim

요 지

수도권 지역의 신도시 개발에 따른 유역의 도시화와 인구 증가는 유역의 피복상태를 변화시키고, 생태계에 영향을 미치는 수문학적 과정과 하천수질의 변화를 초래하게 된다. 지표면의 침투, 침투 및 토양함수량을 변화시키고, 차단저류량과 요지저류량(depression storage) 등을 변화시킴으로써 유출량과 수질을 변화시키게 되는 것이다. 이와 같은 수문학적과정을 평가하기 위해서는 수문모형을 사용하는데 본 연구에서는 미국 농림부에서 개발한 SWAT모형을 이용하였다.

SWAT-K모형은 SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 모형에 인위적, 자연적인 물순환 구조변화와 지표수-지하수 연계 해석 등을 개선하여, 강우·증발산·토양수분·지표수·지하수 등의 시, 공간적 분포를 정량적으로 산정하는 장기유출 해석 모형이다. 또한, 본 모형의 적용을 위하여 GIS를 이용한 공간정보를 처리하여 수문모형의 매개변수를 결정하는 방법이 널리 사용되고 있는데, 본 연구에서는 ArcView GIS를 이용하여 입력자료를 구축하였다.

대상유역은 판교유역으로서 신도시 개발이 한창 진행되고 있는 지역으로서, 개발 과정에 따라 수문특성, 유출특성, 수질변화 특성 등이 계속하여 변화되고 있으며, 개발이 완전히 종료된 이후의 특성을 예측할 필요가 있는 유역이다. 본 연구에서는 SWAT-K모형을 이용하여 판교 신도시 개발에 따른 장기유출량을 예측하였고 모델의 매개변수를 최적화하였으며, 그 결과 본 모델이 장기 유출량 해석 및 판교유역의 수문변화를 평가하는데 유용하게 적용될 수 있을 것으로 판단되었다.

핵심용어 : SWAT모형, 신도시 개발, 유역, 수문분석, 장기유출

* 정회원 · 신구대학 건설정보과 교수 · E-mail : cepark@shingu.ac.kr

** 비회원 · 한양대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : cell0342@empal.com

1. 서론

도시화에 따른 수문현상 및 물순환 체계의 변화에 의하여 도시 하천 유역에 많은 문제점이 야기되고 있다. 그 예로는 도시개발에 의해 하천 유량의 변화, 지하수위의 저하 등을 들 수 있으며, 그로 인해 도시 지역은 도시형 수해 발생, 갈수기의 급수 안전도 저하, 평시 하천유량의 감소로 인한 공공수역의 수질 악화, 지하수 오염 등 여러 가지 문제에 직면하고 있다. (김현준 외, 2004) 그리고 도시하천의 개발 또는 복원에 있어 하천의 주변경관과 오락적 기능을 지나치게 강조하기 보다는 기본적으로 고려되어야 하는 하천 고유의 특성 분석과 이에 따른 물 순환분석의 중요성에 대한 인식이 높아지고 있다.

도시하천 유역에 있어서 하천 유량은 강수의 우수에 의한 유출 성분뿐만 아니라 각종 용·배수에 의한 인공적인 영향을 크게 받는다. 또 지하수에 있어서도 상수도의 누수, 하수관에서의 침출, 생활용수, 농업용수, 공업용수의 우물취수 등의 영향을 받아 매우 복잡한 구조로 되어 있다. 유역의 토지이용 변화나 하천·하수도 등의 정비 상태에 따라서도 하천에의 유량이나 지하수위를 시작으로 유역의 수환경이 크게 변화한다. 이처럼 자연적인 요소와 인공적인 요소가 복잡하게 조합되어있는 도시지역의 물 순환을 파악하기 위해서는 모델링이 필수 불가결하다.

도시하천유역에서 표면화되어 버린 도시형 수해, 하천수질·생태계의 악화, 평상시 하천유량의 감소 등의 다양한 문제는 유역의 급격한 변화가 물순환계에 초래한 영향에 의하여 발생하는 것이다. 이러한 문제들은 물순환계 전체에 밀접하게 관련되어 있기 때문에 이와 같은 문제의 해결책을 찾아내기 위해서는 문제를 개별적으로 다루어서 대책을 수립하기보다 유역의 물순환계 전체에서 정량적으로 생각할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 SWAT 모형을 이용하여 신도시 개발예정 도시유역의 물순환체계 변화를 정량적으로 분석하였다.

2. SWAT 모형

2.1 모형의 개요

본 연구에서 활용하고자 하는 SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 모형은 장기-강우 유출모형(Continuous Rainfall-Runoff Model)으로 장기간에 걸친 다양한 토양속성과 토지이용 그리고 관리상태의 변화에 따른 크고 복잡한 유역의 유출량 및 미계측유역의 비점원오염을 추정하기 위해 미국 농무성 농업연구소(USDA, ARS)에 의해 개발된 유역모델이다. SWAT 모형은 일단위 모의가 가능한 유역단위의 준분포형 장기강우유출모형으로서 4가지 부모형(수문 부모형, 토양유실 부모형, 영양물질 부모형, 하도추적 부모형)으로 구성되어 있다.

2.1.1 수문 부모형

물수지방정식에 근거를 두고 있는 SWAT모형에서의 수문순환은 지표유출, 측방유출(Lateral flow) 또는 중간유출(Inter flow), 침투, 지하수 흐름, 수로손실, 증발산 등으로 구성되며, 토양과 토지이용조건에 의해 결정되는 수문반응단위(Hydrologic Response Unit, HRU)를 기본으로 SCS 유출곡선법과 Green & Ampt 침투법을 이용하여 지표유출량을 산정하며, 측방유출량은 Kinematic Storage Model을 이용한다.

2.1.2 토양유실 부모형

유사량 산정은 Williams(1995)가 제안한 수정된 범용토양유실공식(MUSLE, Modified Universal Soil Loss Equation)을 사용하고 있다.

2.1.3 영양물질 부모형

SWAT모형에서는 질소와 인에 대한 영양물질 부모형의 모의기작은 유사에 의한 영양물질의 이동과 유출에 의한 영양물질의 모의기작으로 이루어져 있다

2.1.4 하도추적 부모형

홍수량을 결정하기 위하여 하천의 속도와 유량으로 정의되는 Manning 방정식을 이용하고 하천망에 대해서는 변수 저류추적(variable storage routing) 방법과 Muskingum 추적방법을 사용하는 데 양 방법 모두 운동과 홍수추적 모델을 사용한다(Chow 등, 1988). 특히 SWAT모형에서는 주수로나 하천을 사다리꼴로 가정하여 모의한다.

3. 모형의 적용

3.1 대상유역

관교유역은 한강의 제1지류인 탄천의 지류에 속하는 운중천을 사이에 두고 위치하고 있으며, 북으로 운중천의 지류인 금토천이 위치한 유역이다. 동 지역은 2001년 수도권 지역의 계획적인 신도시 조성을 통한 만성적인 주택난 해소와 강남의 대체도시 조성을 목적으로 개발에 착수하게 되었으며, 개발예정지구는 937.6ha에 이른다. 지구 내 좌, 우측에는 임상이 양호한 청계산이 위치하고 있으며, 논과 밭은 전체 면적의 37% 정도를 차지하고 있으나 대부분 화훼나 채소 재배를 위한 비닐하우스로 이용되고 있다. 대상유역의 면적은 금토천 유역이 9.84km², 운중천 유역이 13.26 km²으로 총 23.1 km²의 면적에 해당하는 지역이다.

관교유역에 대한 수문관측망 구성을 위해 한국건설기술연구원에서는 2004년 8월 운중천 하류의 관교교 지점과 금토천 하류 삼평교 지점, 그리고 두 하천이 합류하는 운중천 본류의 매송2교 지점 등 총 3곳에 초음파 수위계를 설치하고, 전도형 강우계를 매송2교 지점에 설치하여 본격적인 수문계측을 시작하였다. 2007년 현재 대상유역 내 4개의 하천수위관측소(관교교, 삼평교, 매송2교, 내동교), 3개의 우량관측소(매송2교, 내동교, 운중저수지), 그리고 저수지 및 용수로 수위관측소(운중저수지) 등 총 8개 지점에 대하여 초음파 수위계 5개, 압력식 수위계 5개, 전도형 강우계 3개가 설치되어 운영중에 있으며, 모든 자료는 10분 단위로 관측되고 무선인터넷시스템을 통하여 모니터링 서버에 주기적으로 전송되어 현장의 계측 상황 및 장비에 대한 제어, 자료 분석 및 저장이 가능하도록 되어있다.

대상유역에서는 2005년부터 수위-유량관계를 구하기 위하여 갈수기 및 홍수기에 유량측정을 수행해 오고 있으며, 동시에 유사량 및 수온, pH, 전기전도도, BOD, DO, SS, TN, TP 등 13개 수질항목에 대해서도 정기적으로 측정을 하고 있다.

3.2 입력자료 구축

모형의 적용을 위한 입력자료는 3가지로 구분된다. 즉 지형자료, 지형자료의 속성과 연결된 데이터, 그리고 기상 및 유역관리에 관련된 자료이다. 지형자료는 수자원 단위지도 상의 유역경계와 토지이용도, 수치고도모형(DEM), 토양도 등을 사용하였다. 공간정보의 기본적인 틀을 제공하는 기본도인 수치고도모형(DEM)은 환경부에서 구축한 1" 간격(약 30m)을 이용하여 추출하였다.

관교유역의 토양특성을 토성(Soil texture)별로 살펴보면, 먼저 북쪽의 금토천 유역의 경우 사질양토(Sandy loam) 62.4%, 식양질토(Clay loam) 32.7%, 암석(Rock) 3.0%, 사토(Sand) 1.9%로 이루어져 있으며, 본류구간인 운중천 유역의 경우 사질양토 47.6%, 식양질토 47.2%, 식토(Clay) 5.2%로 두 유역을 합쳐서 대부분이 사질양토로 구성되어 있다. 또한 신도시개발예정지구인 운중천 유역은 그림 2에서 볼 수 있듯이 하천을 따라 대부분 식양질토로 구성되어 있음을 알 수 있다.

토지이용현황을 살펴보면, 금토천의 경우 산림지역이 73.9%(침엽수 13.1%, 혼합림 60.8%)로 대부분을 차지하며, 수역 1.4%, 논 1.7%, 밭 13.8%, 주거지 및 도로, 공공기관, 산업시설을 포함한 도시지역이 9.2%로 나타났다. 운중천의 경우 산림지역이 69.1%(침엽수 18.9%, 활엽수 8.8%, 혼합림 41.4%)로 금토천과 마찬가지로 대부분 산림지역이 차지하였다. 이 외에 수역 1.7%, 논 1.8%, 밭 12.2%, 도시지역이 15.2%로 조사되었다. 신도시 개발이전의 관교시험유역은 운중천과 금토천 유역 모두 대부분 산림인접지역으로 식생 피복율이 높으며 자연이 잘 보존된 지역들이라 할 수 있다. 그림 3은 관교시험유역의 토지이용 현황을 나타낸 것이다.

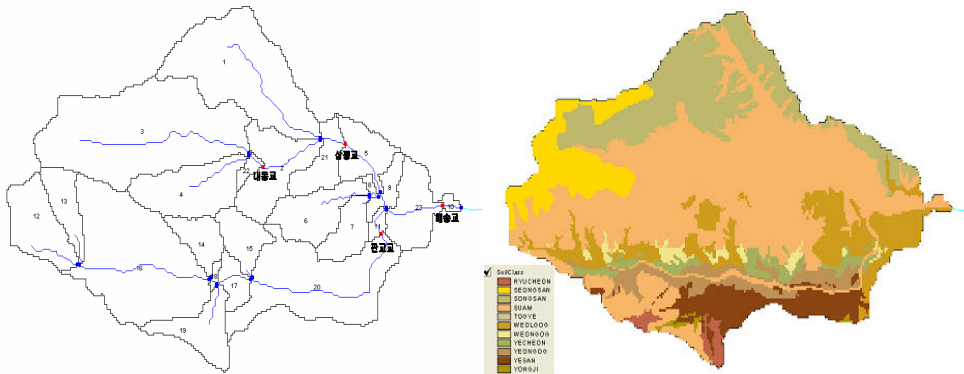


그림1. 판교유역 개황

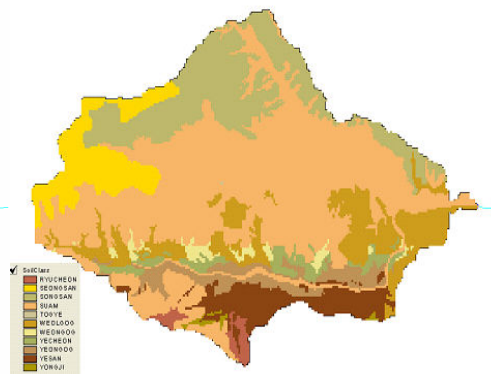


그림2. 판교유역 토양특성

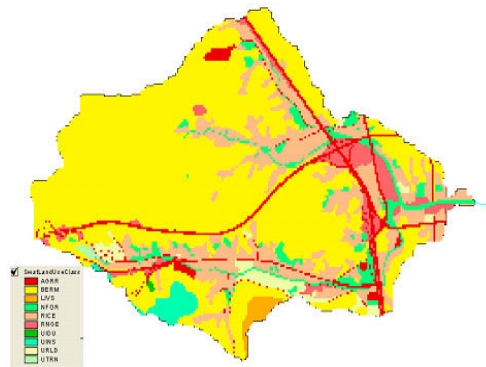


그림3. 판교유역 토지이용현황

강우 및 기상 자료는 1990년 1월 1일 ~ 2007년 12월 31일까지의 수원 기상청의 최대·최저 온도, 풍속, 습도, 태양복사량, 강수 자료를 이용하였다.

3.3 적용 결과

최하류인 매송2교 합류부 지점에서의 장기유출 특성을 모의하였으며, 매개변수를 보정하여 실측치와 비교하였다. 모형적용을 위한 소유역의 구분은 각 지류의 합류점을 소유역 출구로 정하여 총 23개의 소유역으로 구분하였다(그림1). 이렇게 분할된 소유역을 기준으로 각 토지이용에 따른 토양별 120개의 수문반응단위(HRU)로 세분하여 모형을 적용하였다. 모형의 보정은 2006년의 자료를 이용하였으며, 검정은 유역의 최종 출구지점인 매송2교의 2005년, 2007년의 실측 유량자료를 면적비로 확장하여 이용하였다.

모형의 적용결과, 각 지점에서의 실측유량과 모의유량이 상관계수가 0.7 이상을 나타내는 등 적절하게 일치하는 것으로 나타났다. 그림 4는 2005년의 매송2교 지점에서의 검정 결과로서 상관계수가 0.80으로 나타났으며, 그림 5의 2006년 보정 결과는 0.94의 상관계수를 보여 관교유역에서의 본 모형의 적용은 충분히 가능할 것으로 판단되었다.

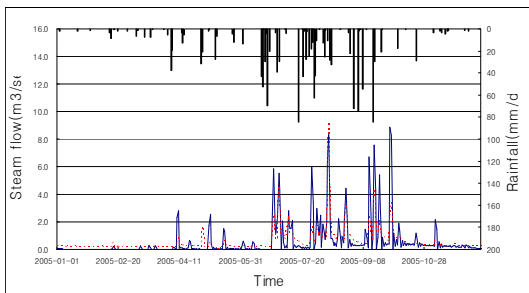


그림 4. 매송2교 검정결과(2005년)

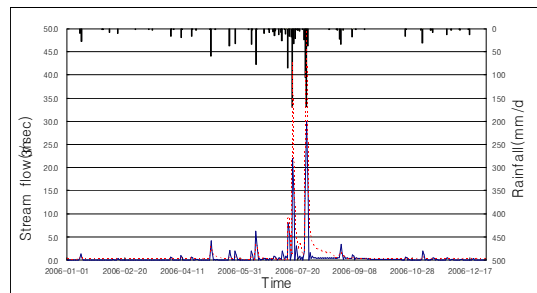


그림 5. 매송2교 보정결과(2006년)

4. 결론

본 연구는 SWAT 모형을 이용하여 신도시 개발사업이 한창 진행 중인 관교 유역의 장기 강우 유출현상을 모의하였다. ArcView GIS를 이용하여 입력자료를 구성하였으며, 현장에 설치되어 운영 중인 수위관측시설로부터 관측되어진 실측유량 자료를 기준으로 모형의 보정 및 검정을 거쳐 대상유역에서의 모형의 적용성을 평가한 결과, 개발에 따른 유역 및 수문특성의 변화 예측 등을 위하여 적용 가능할 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

1. 박정규, 2007, 錦江流域의 長技流出解析을 위한 SWAT 模型 適用.
2. 이길성 외, 2007, SWAT 모형을 이용한 도시하천 상류유역의 하천유지유량 산정방안.
3. 장철희 외, 2007, 청계천 유역에 대한 SWAT 모형의 적용.
4. 장대원, 김남원, 김형수, 서병하. 2007. GIS 기반의 SWAT 모형을 이용한 하천 유출량 모의
5. 김철겸 외, 2007, SWAT 모형을 이용한 경안천 유역의 유출 및 유사량 추정