

분포형 수문모형을 이용한 판교유역 물순환 해석

Analysis of the Hydrologic Cycle in Pangyo Watershed Using Distributed Hydrologic Model

장철희*, 김현준**, 노성진***, 김철겸****

Cheol Hee Jang, Hyeon Jun Kim, Seong Jin Noh, Chul Gyum Kim

요 지

본 연구에서는 WEP 모형을 통해 판교신도시 개발 전의 물순환을 해석하였다. 정밀한 해석을 위해 대상유역을 30m 크기의 정방형 격자로 구분하고 기상 조건, 지표면 조건, 하천, 토양, 지하대수층, 농업용수 이용 등 물순환에 관련된 광범위한 입력자료를 기존 측정 자료 및 관련 문헌, 현장 조사를 통해 각각 구축하였다. 물순환 해석 결과는 개발 전 모의에 대해 하천유출, 유허곡선 및 물수지, 수문요소 공간분포 분석을 통해 수행하였다.

모의 결과의 전·후처리는 WEP+ (Water and Energy transfer Process model Plus)를 통해 수행되었으며, WEP+는 WEP 모형의 방대한 양의 입력자료를 효과적으로 구축하고, 다양한 시계열 및 공간분포 출력자료를 효과적으로 분석할 수 있는 인터페이스를 지닌 전·후처리 프로그램이다(한국건설기술연구원, 2007).

향후 판교신도시 개발후의 물순환 특성 변화를 평가하여 개발전·후의 수문요소의 변화를 정량적으로 비교분석 함으로써 효율적인 저감 대책의 수립에 활용할 계획이다. 즉 도시개발로 인해 변화되는 지형, 토지이용, 토양, 지하대수층, 용수이용 등의 각 요소들을 모형에 적용하여 각 매개변수들이 수문순환 요소에 미치는 영향을 분석할 계획이다.

핵심용어 : 판교신도시, WEP모형, WEP+, 수문순환, 도시화, 저감대책

1. 서론

시공간적으로 변화하는 다양한 수문 현상을 하나의 시스템으로 이해하기 위해서는 먼저 어느 경로로 어떤 수질의 물이 얼마만큼 이동하는가를 실측해야만 한다. 그러나 실측 데이터만으로는 복잡한 물순환계의 구조와 인과관계를 알 수 없으므로 물순환 모형이 필요하다. 이에 따라 다양한 관측 결과를 기초로 물순환계를 구성하는 인자간의 관계를 정량적으로 명시하고, 유역 물순환계의 특징을 이해함과 동시에 물순환계의 일부 변화가 다른 부분에 미치는 영향을 평가할 수 있게 된다. 물순환 모형은 다양한 이해관계를 갖는 사람들에게 공통의 검토 수단이 되고, 구체적인 대책을 결정하는 과정에 있어서도 의견을 모으는 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다. 이를 위해서는 기존의 단순 형태의 집중형 유출모형보다는 유역의 공간적 특성을 반영하고, 유역의 물질순환을 반영할 수 있는 물리적 이론에 근거한 분포형 모형이 적합하다.

본 연구에서는 판교 신도시 개발에 따른 유역에서의 홍수 및 유출변화의 정량적 규명을 목표로, 격자기반의 물리적 분포형 모형인 WEP 모형을 이용하여 판교신도시 개발전의 수문순환을 평가하였다.

* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원·E-mail : chjang@kict.re.kr
** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 책임연구원·E-mail : hjkim@kict.re.kr
*** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원·E-mail : sjnoh@kict.re.kr
****정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원·E-mail : cgkim@kict.re.kr

2. 판교시험유역

2.1 유역 현황

판교시험유역은 한강의 제1지류인 탄천의 제2지류인 운중천이 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 되었다. 개발예정지구는 937.6 ha이며, 지구내 운중천과 금토천이 흐르고 있고, 좌우측에는 임상이 양호한 청계산이 위치하고 있으며, 논과 밭은 전체 면적의 37% 정도를 차지하고 있으나 대부분 화훼나 채소재배를 위한 비닐하우스로 이용되고 있다. 시험유역의 면적은 금토천 유역이 9.84km², 운중천 유역이 13.26 km²으로 총 23.1km²의 면적에 해당하는 지역이다. 경위도 상으로 볼 때 동경 127°1'17"~127°11'22", 북위 37°19'54"~37°23'23"에 해당된다. 인구는 7만 5,885명, 인구밀도는 235명/km², 가구수는 2만 4,190 가구 (2002년 기준)에 해당한다 (성남시 통계연보, 2002). 그림 1은 판교신도시의 유역 및 하천현황을 나타낸 것이다.

수계현황을 살펴보면, 운중천이 서측에서 동측으로 가로질러 유하한 후 금토천을 좌안에서 합류시킨 후 사업지구를 지나 약 300 m 하류에서 탄천에 합류하고 있으며, 하천등급은 지방 2급 하천으로 탄천 수계에 포함된 하천이다.

2.2 수문관측 현황

판교신도시 내에는 2004년 8월 운중천 하류의 판교교 지점과 지류인 금토천 하류의 삼평교 지점, 그리고 두 하천이 합류하는 운중천 본류의 매송2교 지점 등 3개 지점에 초음파 수위계를 설치하고, 매송2교 지점에 전도형 강우계를 설치하여 본격적인 수문계측을 시작하게 되었으며, 2008년 2월 현재는 4개의 하천수위관측소 (판교교, 삼평교, 매송2교, 내동교), 3개의 우량관측소 (매송, 내동, 운중), 그리고 운중지 저수위 및 용수로 수위관측소 등 총 8개 지점에 대하여 초음파 수위계 5개, 압력식 수위계 5개, 전도형 강우계 3개가 설치되어 운영 중이다(그림 1). 모든 자료는 10분 단위로 관측되고 있으며, 무선인터넷시스템을 통하여 모니터링 서버에 주기적으로 전송되어, 현장의 계측 상황 및 장비에 대한 제어, 자료 분석 및 저장이 가능하도록 되어 있다.

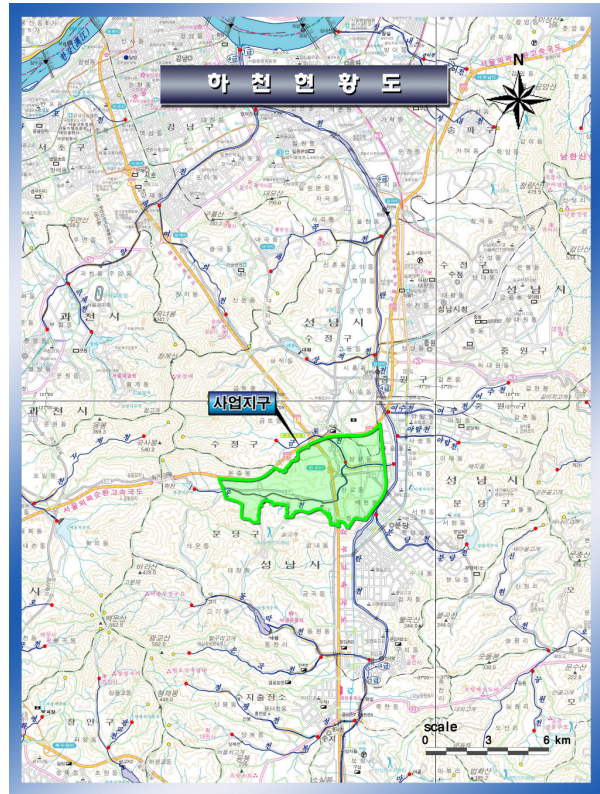


그림 1. 판교신도시 유역 및 하천현황(성남판교지구 재해영향평가 보고서, 2005)

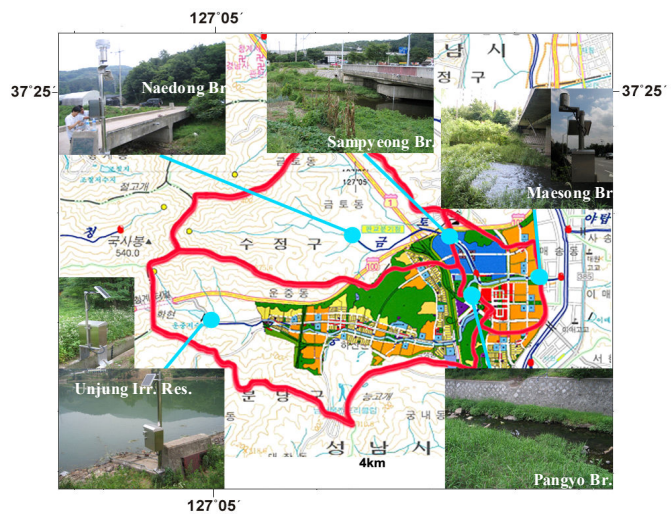


그림 2. 판교시험유역 수문관측 지점 및 시설 현황

2.3. 수위-유량 관계식

판교신도시 유역내의 수위관측소(매송2교, 판교교, 삼평교, 내동교)에서 계측된 수위를 유량으로 환산하기 위해 갈수시에는 월 1회, 그리고 홍수시에는 수시로 유량 측정을 실시하여 연도별 수위-유량 관계를 도출하고 있다. 우선은 2007년에 조사되어진 자료만으로 수위-유량 관계곡선을 개발하여 2005년, 2006년의 자료와 비교하였으며, 이들 자료를 통합하여 개발되어진 관계곡선과도 비교하도록 하였다.

그림 3은 최하류 지점인 매송교 지점의 경우로서, 낮은 저수위에서의 유량측정 결과가 부족하였으나 전체적으로 2005년, 2006년 조사결과와 비슷한 경향을 보여주었다.

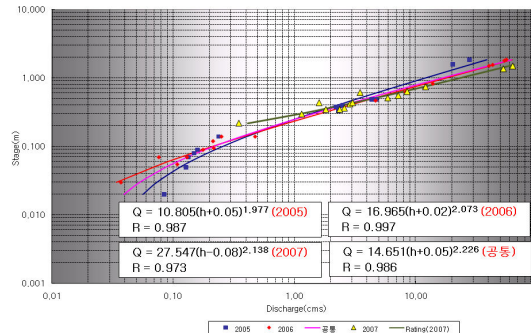


그림 3. 매송교 지점의 수위-유량 관계

3. 모형 입력자료 구축

본 연구에서는 판교 신도시 개발전의 WEP 모형을 시험 적용하기 위해 소유역을 12개로 구분하여 해석하였다. 대상 유역을 가로 세로 30m의 격자로 나누어(남북방향 235개, 동서방향 256개) 총 60,160개의 격자로 계산영역을 설정하였으며 이 중 대상지역내의 격자는 25,666개이다.

대상지역에 대한 공간정보를 제공하는 기본적인 틀인 수치지도모형(DEM)은 환경부에서 구축된 1초 간격(약 30m × 30m)의 자료를 이용하였다. 토지이용 자료는 기존 연구의 1:25,000 토지이용현황도(한국건설기술연구원, 2001)를 이용하여, 이를 가로, 세로 30 m 격자로 변환하여 구축하였다. 토지이용은 침엽수, 활엽수, 혼합림, 논, 밭, 나지, 도시, 하천 등 15개로 분류하였다. 토양자료는 농업과학기술원의 1:25,000 정밀토양도를 활용하여 유역내 78개의 토양통에 대한 자료를 구축하고, 다시 각 토양통별 토양층 자료 입력을 위해 USDA에서 분류하고 있는 12개 토성으로 구분하여 각 층별 토양의 물리적 특성을 정의하였다. 지하수 유동을 해석하기 위해서는 불압대수층, 난투수층 등의 깊이, 투수계수, 저류계수 등이 요구된다. 본 연구에서는 판교신도시 개발계획 기본조사보고서(한국토지공사, 2004)의 총 178개 시추자료를 토대로 내삽하여 다음의 그림 3.21과 같이 불압대수층의 공간분포 자료를 구축하였다. 또한, 하천의 위치는 운중천, 금토천 등을 14개의 소구간으로 구분하였으며, 각 구간의 구간길이, 경사, 상부폭, 하부폭, 단면 깊이, 조도계수, 하상재료 투수계수, 하상재료 깊이 등의 매개변수는 탄천수계 하천정비기본계획(경기도, 2001)에서 제시한 값의 범위 내에서 사용하였다.

4. 판교신도시 물순환 해석 결과

판교 신도시 개발전의 WEP 모형을 시험 적용하기 위해 모의 기간은 2000년 1월 1일 01:00에서 2007년 12월 31일 24:00까지 총 8년간을 모의하였다. 모의 시간간격은 1시간으로 하였으며, PC(Pentium Dual-Core CPU, 2.4 Ghz, 2GB RAM)에서 8년을 모의하는데 24시간 정도가 소요되었다.

모의 기간 중인 2000년부터 2004년까지의 판교 시험유역 내에는 모의결과와 비교하기 위한 유량자료가 없는 관계로 본 모의 결과에서는 유량자료가 있는 2005년부터 2007년까지의 유량자료를 이용하여 판교 시험유역 개발전의 유역 및 유출특성을 살펴보았다. 판교 시험유역에는 2004년 8월부터 2007년 10월 현재까지 총 6개의 수위관측소와 2개의 유량관측소를 운영 중에 있다. 따라서, 향후 판교 신도시 개발후의 모의에 있어서는 개발후의 관측자료와의 비교를 통하여 신도시 개발 전·후의 수문순환 변화특성을 평가할 수 있을 것이다. 모의 결과의 전·후처리는 WEP+ (Water and Energy transfer Process model Plus)를 통해 수행되었다.

다음의 그림 4 ~ 그림 6은 모의결과 중 유역 최하류 지점인 매송2교 지점의 하천 유출 수문곡선을 관측자료가 있는 2005년 ~ 2007년의 기간 동안 연별로 비교한 것이다. 사용된 관측자료는 각 지점의 수위를 수위-유량 관계식을 통해 유량으로 환산한 자료이다. 위의 모의결과는 매개변수에 대한 별도의 보정을 거치지 않았으나, 전반적으로 관측과 모의 결과가 비교적 비슷한 경향을 나타내었다. 그림 4에서 2005년의 모의값이

관측값과 비슷한 경향을 보이거나, 전반적으로 크게 나타나는 양상을 보이고 있으며 9월 홍수기 이후의 기저유출이 급격히 감소되었다. 이는 일부 매개변수 조성이 필요한 것으로 사료된다. 그림 7은 2005년부터 2007년까지 매송2교에서의 실측 유량과 모의 유량을 1:1 그래프로 비교한 것이다. 일부 갈수기 자료를 제외하면, 전반적으로 관측과 모의가 비교적 적절한 상관성을 보인다.

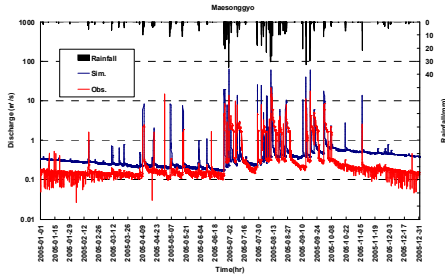


그림 4. 매송2교 모의 및 관측 유량 비교(2005년)

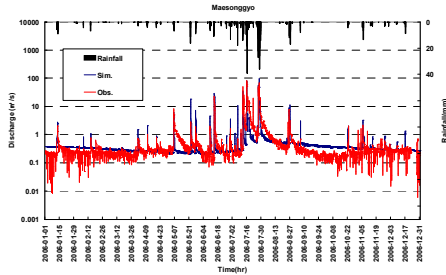


그림 5. 매송2교 모의 및 관측 유량 비교(2006년)

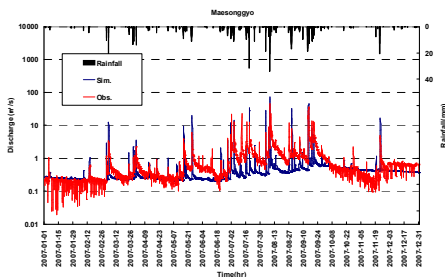


그림 6. 매송2교 모의 및 관측 유량 비교(2007년)

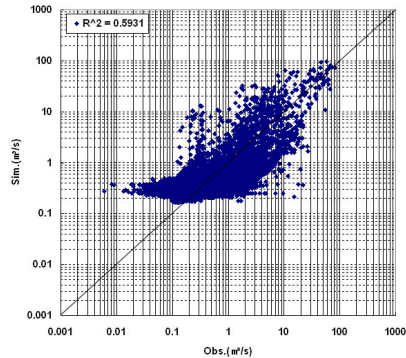


그림 7. 매송2교 모의 및 실측 유량 1:1 비교(2005~2007)

모의된 시간별 유출 해석 결과를 일단위로 환산하여 유황곡선을 작성하면 다음의 그림 8과 같으며, 유황관련 지수는 표 1에 나타난 바와 같다.

표 1. 유황지수 비교

Year	Q95	Q185	Q275	Q355	Min
2005	0.489932	0.331402	0.247742	0.185651	0.172807
2006	0.422284	0.335874	0.277051	0.220713	0.207726
2007	0.480994	0.377059	0.241901	0.210112	0.200435

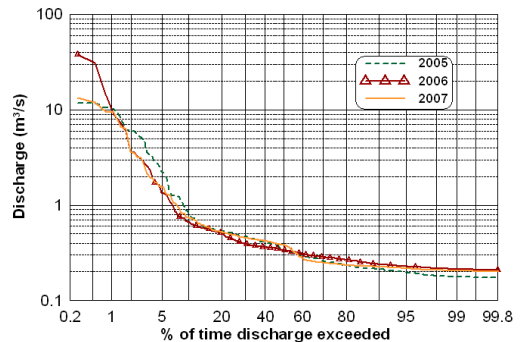


그림 8. 유황곡선 비교(2005~2007)

WEP 모형은 유역을 격자로 분할하여 각 격자를 수문요소 계산의 기본 단위로 사용하므로 모의 결과에서 수문요소의 공간분포를 파악할 수 있다. 다음의 그림 9는 WEP모형의 전후 처리 프로그램인 WEP+를 통하여 나타나는 연간 직접유출(2007년)의 공간 분포를 도시한 것이다. 그림에서 보듯이 주거지역 등을 중심으로 직접유출이 많이 나타남을 확인할 수 있다. 그림 10은 증발산(2007)의 공간분포를 나타낸 것이다. 증발산의 경우는 하천 및 산지지역에서 높게 나타남을 확인할 수 있다.

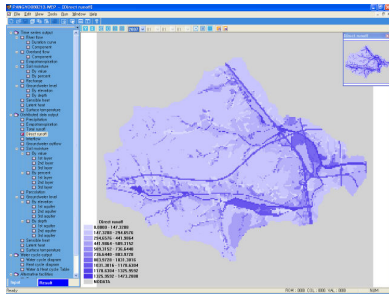


그림 9. 직접유출
공간분포(2007년)

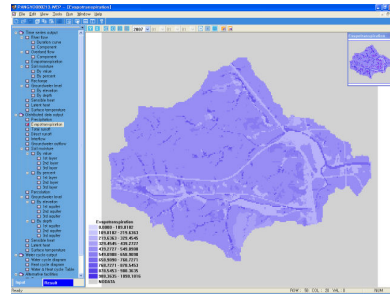


그림 10. 증발산량
공간분포(2007년)

5. 요약 및 향후 연구계획

분포형 수문모형인 WEP 모형을 통해 판교신도시 개발 전의 물순환을 해석하였다. 정밀한 해석을 위해 대상유역을 30m 크기의 정방형 격자로 구분하고 기상 조건, 지표면 조건, 하천, 토양, 지하대수층, 농업용수 이용 등 물순환에 관련된 광범위한 입력자료를 기존 측정 자료 및 관련 문헌, 현장 조사를 통해 각각 구축하였다. 모의 기간 중인 2000년부터 2004년까지의 판교 시험유역 내에는 모의결과와 비교하기 위한 유량자료가 없는 관계로 본 모의 결과에서는 유량자료가 있는 2005년부터 2007년까지의 유량자료를 이용하여 판교 시험유역 개발전의 유역 및 유출특성을 살펴보았다. 판교 시험유역에는 2004년 8월부터 2007년 10월 현재까지 총 6개의 수위관측소와 2개의 유량관측소를 운영 중에 있다.

향후 연구에서는 판교신도시 개발후의 물순환 특성 변화를 평가하여 개발전·후의 수문요소의 변화를 정량적으로 비교분석 함으로써 효율적인 저감 대책의 수립에 활용할 계획이다. 즉 도시개발로 인해 변화되는 지형, 토지이용, 토양, 지하대수층, 용수이용 등의 각 요소들을 모형에 적용하여 각 매개변수들이 수문순환 요소에 미치는 영향을 분석할 계획이다. 성남판교지구 재해영향평가서(한국토지공사, 2005)에서는 판교신도시 내에 공사중 침사지를 설치하여 토사유출방지, 홍수저감, 수질오염방지 대책을 계획하였으며, 개발후에는 영구저류지를 설치하여 재해저감효과를 이루도록 하였다. WEP 모형에서는 침투시설과 저류시설 등의 대안시설이 물순환에 미치는 영향을 검토할 수 있으므로, 차년도 연구에서는 기 계획된 개발중 10개의 침사지 및 개발후 4개의 저류시설에 대한 저감효과를 정량적으로 분석할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 기관고유사업인 “건강한 물순환체계 구축을 위한 유역진단기법 개발 연구” 과제의 연구비지원(과제번호: 건기연 2008-0005-1-1)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

1. 경기도(2002), 탄천수계 하천정비기본계획
2. 노성진, 김현준, 김상현, 김철겸, 장철희 (2006a). WEP 모형을 이용한 산지 사면에서의 토양수분 모의. 2006 대한토목학회 학술발표회 논문집, 대한토목학회, pp. 1081-1084.
3. 노성진, 김현준, 김철겸, 장철희 (2006b). WEP 모형을 이용한 경안천 유역 토양수분 모의. 2006 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 720-725.
4. 노성진, 김현준, 장철희 (2005). "청계천 유역에 대한 WEP 모형의 적용". 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제 38권, 제 8호, pp. 645-653.
5. 한국건설기술연구원 (2007). 건강한 유역진단체계구축을위한 유역진단기법 개발 연구(5차년도).
6. 한국토지공사 (2004). 판교신도시 개발계획 기본조사보고서
7. 한국토지공사 (2005). 성남판교지구 재해영향평가보고서
8. 土木研究所 (2002). WEP 모델 解説書.