

**분포형 수문모형을 이용한
행정중심복합도시 개발 전후 물순환 변화 해석**
**Analysis of Water Cycle Changes in the Multi-functional Administrative
City using a Distributed Hydrologic model**

노성진*, 김현준**, 장철희***,이용준****
Seongjin Noh, Hyeonjun Kim, Cheolhee Jang, Yongjun Lee

.....
요 지

도시지역은 도시형 수해발생, 갈수시의 급수안전도 저하, 평시 하천유량의 감소, 공공수역의 수질악화, 지하수 오염 등 여러가지 문제에 직면하고 있다. 개발로 인한 수환경의 피해를 최소화하기 위한 대안적인 설계 방안이 필요하며, 이를 위해서는 개발 전후 물순환 환경 변화에 대한 정량적인 해석이 가장 우선적으로 수행되어야 한다.

본 연구에서는 우리나라와 일본에서 도시유역에의 적용이 활발한 물리적 개념의 분포형 수문모형인 WEP(Water and Energy transfer Process) 모형을 통해 행정중심복합도시 개발 전후의 물순환 변화를 해석하였다. 정밀한 해석을 위해 대상유역을 100m 크기의 정방형 격자로 구분하고 기상 조건, 지표면 조건, 하천, 토양, 지하대수층, 농업용수 이용 등 물순환에 관련된 광범위한 입력자료는 기존 측정 자료 및 관련 문헌, 현장 조사를 통해 각각 구축하였다. 모의의 전·후처리는 WEP+ 를 통해 수행되었는데, WEP+ 는 WEP 모형의 방대한 양의 입력자료를 효과적으로 구축하고, 다양한 시계열 및 공간분포 출력자료를 효과적으로 분석할 수 있는 인터페이스를 지닌 전·후처리 프로그램이다.

개발로 인한 물순환 변화는 절성토로 인한 지형 및 토양 조건 변화, 토지이용 및 용수이용 변화에 대한 개발 계획을 모형 입력자료로 구축한 후, 개발전과 동일한 기상조건과 초기 모의조건 하에서 각각 11년간 모의하여 수문 요소 변화를 비교하는 방법을 사용하였다. 물순환 해석 결과는 개발 전후 모의에 대해 유허곡선 및 물수지, 수문요소 공간분포 비교를 통해 수행하였다.

핵심용어 : 행정중심복합도시, 분포형 수문모형, WEP, WEP+, 물순환 변화
.....

1. 서론

도시 개발에 의해 우수의 불투수지역 확대, 하천부지의 축소, 산림 및 유수지의 감소 등이 급속히 진행되어 하천유량의 변화, 지하수위의 저하, 용수의 고갈, 생태계의 파괴 등이 발생되어 왔다. 도시지역은 도시형 수해발생, 갈수시의 급수안전도 저하, 평시 하천유량의 감소, 공공수역의 수질악화, 지하수 오염 등 여러가지 문제에 직면하고 있다. 개발로 인한 수환경의 피해를 최소화하고 자연과 공존이 가능한 도시 주거 환경을 구축하기 위한 대안적인 설계 방안이 필요하며, 이를 위해서는 개발 전후 물순환 환경 변화에 대한 정량적인 해석이 가장 우선적으로 수행되어야 한다. 본 연구에서는 행정중심복합도시 개발 전후의 물순환 해석을 위해 우리나라와 일본에서 도시유역에의 적용이 활발한 물리적 개념의 분포형 수문모형인 WEP(Water and

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

Energy transfer Process) 모형을 통해 행정중심복합도시 개발 전후의 물순환 변화를 해석하였다. 개발로 인한 물순환 변화는 절성토로 인한 지형 및 토양 조건 변화, 토지이용 및 용수이용 변화에 대한 개발 계획을 모형 입력자료로 구축한 후, 동일한 기상조건과 초기 모의조건 하에서 각각 11년간 모의하여 수문 요소 변화를 비교하는 방법을 사용하였다. 정밀한 해석을 위해 대상유역을 100m 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 전후 모의에 대해 유향곡선 및 물수지, 수문요소 공간분포 비교를 통해 수행하였다.

2. WEP 모형과 WEP+

WEP 모형은 복잡한 토지이용이 이루어지고 있는 도시하천 유역에 대한 물순환의 정량화를 목적으로 일본의 토목연구소, 과학기술진흥사업단, Jia 박사 등이 공동으로 개발한 물리적인 기반의 공간분포형 모형(PBSD; Physically Based Spatially Distributed)이다. 기본형 개발 이후, 지하수의 유동계산, 지표수의 추적계산, 침투시설 및 조절지 효과의 계산 및 농지의 상세 계산 등에 대한 기능을 덧붙이면서 모형을 개량하였다(土木研究所, 2002).

WEP 모형은 우리나라와 일본의 도시유역 물순환 해석에 주로 적용되었다. 일본에서는 도시지역, 준도시지역, 농촌지역의 물·열순환 해석을 위해 적용된 바 있다(Jia 등, 2001). 국내 적용 사례로는 청계천 유역의 물순환 해석에 적용된 바 있으며(노성진 등 2005), 경안천 유역 및 설마천 유역 산지 사면의 토양수분 거동 해석(노성진 등 2006a, 노성진 등 2006b), 단지 개발 지역의 개발 전후 물순환 변화 예측에 적용되었다. 중국에서는 WEP모형을 확장한 WEP-L모형을 이용하여 대륙단위의 물순환 및 물질순환 해석에 대한 연구가 수행된 바 있다(Jia 등, 2006).

WEP 모형을 통해 도시 물순환을 해석하기 위해서는 방대한 양의 분포형 자료 및 시계열 자료가 필요하며, 이를 구축하기 위해서는 많은 시간과 인적 물적 자원이 소요된다. WEP+는 이와 같이 방대한 양의 WEP 모형 입력자료를 효과적으로 구축하고, 다양한 시계열 및 공간분포 출력자료를 효과적으로 분석할 수 있는 인터페이스를 지닌 전·후처리 프로그램이다(한국건설기술연구원, 2007). WEP+를 통해 입력자료간의 상호관계를 총체적으로 파악할 수 있으며, 분포형, 시계열 출력을 원활히 제어하고, 출력결과를 별도의 프로그램없이 분석할 수 있다. 또한 입력자료의 포맷 및 입력자료간 일관성 검토를 통해 모형 수행 능력을 극대화한다.

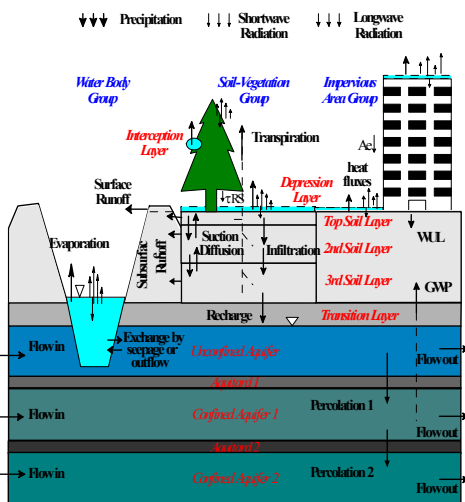


그림 1. WEP 격자내 개념도

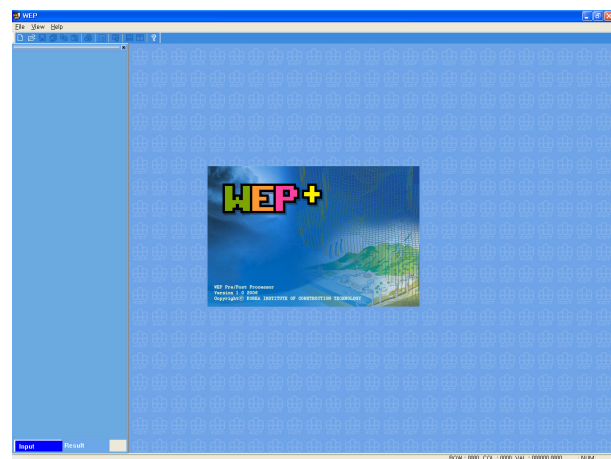


그림 2. WEP+ 메인화면

3. 입력자료 구축

분포형 수문모형인 WEP 모형은 각각의 수문요소를 물리적으로 모의하기 위해 대상유역, 기상조건, 지표면 조건, 표층토양, 하천 지하대수층 등 다양한 입력자료가 필요하며 총 40여개 이상의 입력파일 구축이 요구된다. 이 중 행정중심복합도시 개발로 인해 변화가 예상되는 입력자료로는 지형, 토지이용, 표층토양, 지하대수층, 용수이용 등이 있다. 개발 전후 변화된 유역 특성을 반영하기 위해 각각의 모의에 대해 다르게 구축된 입력자료와 동일하게 적용된 입력자료를 정리하면 다음의 표와 같다.

개발 전후 상황에 대해 구축된 WEP 모형의 토지이용 입력자료는 각각 다음의 그림 3, 4와 같다. 개발전 표층토양 자료는 기존의 정밀토양도를 이용하여 공간분포 자료를 다음 5와 같이 생성하고, 각각 토양층에 대한 물리적 특성 자료를 구축하였다. 개발후 표층토양은 절토 및 성토로 인해 그 특성이 달라질 것으로 예상되므로, 절성토 구간을 표고 및 토지이용 자료로부터 별도로 추출하여 해당 격자들의 새로운 토양종류로 구분하였다(그림 6).

표 1. 개발 전후 모의시 적용된 자료 구분

구분	입력 자료
개발 전후 모의시 같이 적용된 자료	기상 조건(강우, 풍속, 일조시간, 기온, 상대습도), 초기조건, 소유역 분할, 하천 위치, 식생인자, 지하대수층 인자 등
개발 전후 모의시 다르게 적용된 자료	지형(격자별 표고, 경사, 흐름방향, 흐름누적 등), 토지이용, 표층토양 분포, 표층토양 인자, 지하대수층 깊이, 관개용수 등

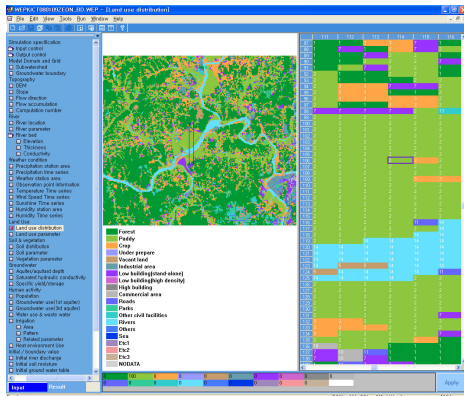


그림 3. 개발전 토지이용

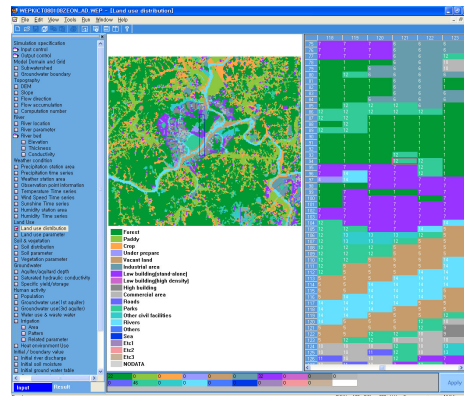


그림 4. 개발후 토지이용

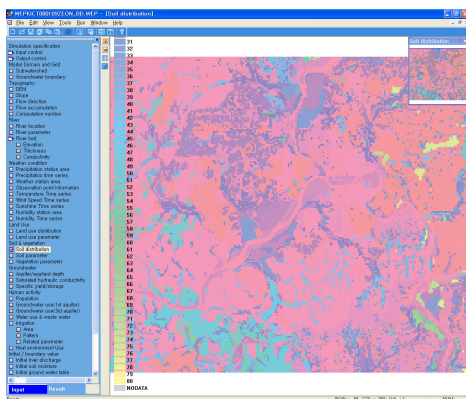


그림 5. 개발전 표층토양 분포

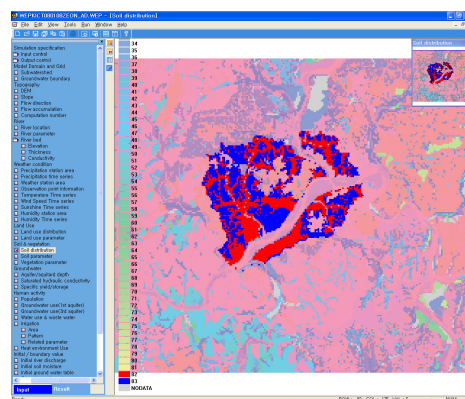


그림 6. 개발후 표층토양 분포

4. 모의 결과

모의된 시간별 유출 해석 결과를 일단위로 환산하여 유황곡선을 작성하면 다음의 그림 7과 같다. 시간축의 10%이내에서는 개발후의 유황이 개발전에 비해 높고, 10%이후에는 개발후의 유황이 급속히 감소하는 것으로 나타나 개발후 갈수시 유량 감소가 예상된다. 유황관련 지수를 다음의 표 2에서 비교하면 풍수량(Q95)은 개발전 0.386m³/s에서 개발후 0.146m³/s으로 0.2m³/s 이상 감소하고, 저수량(Q275), 갈수량(Q355)은 각각 0.06m³/s, 0.04m³/s 이상 줄어드는 것으로 산정되었다.

2007년 세부 수문 요소의 연간 물수지를 다음의 표 3을 통해 비교하였다. 강수량 1,442.0mm가 100%일 때 증발산, 직접유출, 기저유출의 비율이 각각 44.7%, 39.7%, 20.4%였으며, 개발후에는 각각 37.0%, 57.0%, 7.2%다. 이는 증발산과 기저유출은 각각 17.3%, 64.6% 감소되고, 직접유출은 43.6% 증가되었음을 의미한다. 본 모의는 개발후 토지이용의 불투수 면적과 절성토 토양의 특성에 대해 기존의 연구자료를 적용해 도출한 결과이므로, 자료의 보완을 통해 보다 정확한 예측이 가능할 것으로 판단된다. 그림 8은 WEP 모형의 전후 처리 프로그램인 WEP+를 통하여 개발 전후 연간 직접유출(2007년)의 공간 분포를 도시한 것이다. 그림에서 보듯이 주거지역 등을 중심으로 직접유출이 증가하며, 녹지축에는 큰 변화가 없다.

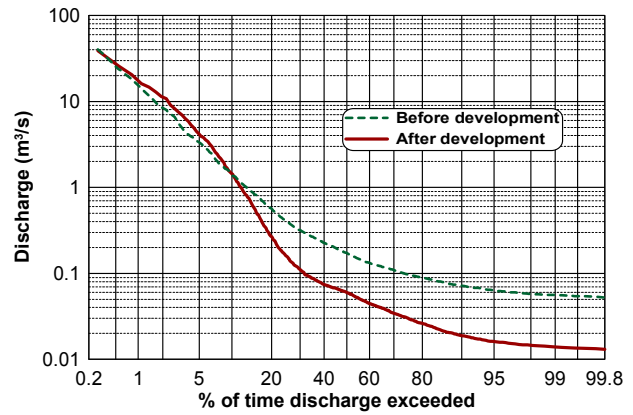


그림 7. 개발 전후 유황곡선 비교(1997~2007 평균)

표 2. 개발 전후 유황지수 비교

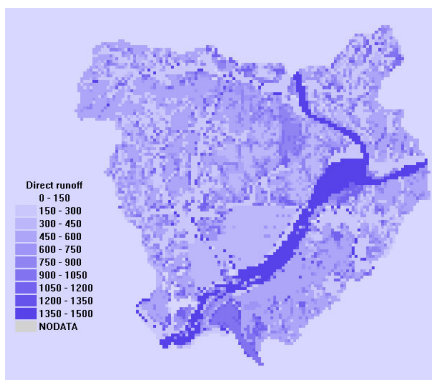
(Unit: m³/s)

Case	Q95	Q185	Q275	Q355	Min
Before development	0.386	0.168	0.097	0.059	0.053
After development	0.146	0.059	0.030	0.015	0.013

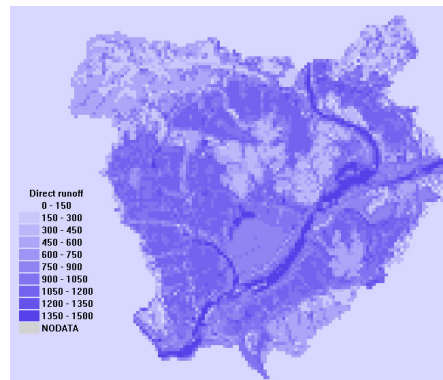
표 3. 연간 물수지 비교(2007년)

(Unit: mm/yr)

구분	면적(km ²)	불투수면 적을	강수	증발산	침투	직접 유출	중간 유출	지하수 유출	총 유출
Before dev.	90.7	0.063	1,442.0	644.3	853.1	572.1	266.8	27.3	866.2
After dev.	90.7	0.324	1,442.0	533.1	468.1	821.3	79.3	24.8	925.4



(a) 개발전



(b) 개발후

그림 8. 개발 전후 직접유출 공간분포 비교(2007년)

5. 결론

분포형 수문모형인 WEP 모형을 통해 행정중심복합도시 개발 전후의 물순환 변화를 해석하였다. 개발로 인한 물순환 변화는 절성토로 인한 지형 및 토양 조건 변화, 토지이용 및 용수이용 변화에 대한 개발 계획을 모형 입력자료로 구축한 후, 동일한 기상조건과 초기 모의조건 하에서 개발 전후에 대해 각각 11년간 모의 후 수문 요소 변화를 비교하는 방법을 사용하였다.

개발 전후의 유황곡선은 시간축의 10%이내에서는 개발후의 유황이 개발전에 비해 높고, 10%이후에는 개발후의 유황이 급속히 감소하는 것으로 나타나 개발후 갈수시 유량 감소가 예상되었다. 세부 수문 요소의 물수지를 비교한 결과, 2007년 연간 증발산과 기저유출은 17.3%, 64.6% 감소되고, 직접유출은 43.6% 증가되는 것으로 나타났다. 개발 전후 직접유출의 공간 분포 비교를 통해 주거 지역 등을 중심으로 직접유출이 증가되는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호: 2-6-3)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 노성진, 김현준, 김상현, 김철겸, 장철희 (2006a). WEP 모형을 이용한 산지 사면에서의 토양수분 모의. 2006 대한토목학회 학술발표회 논문집, 대한토목학회, pp. 1081-1084.
- 노성진, 김현준, 김철겸, 장철희 (2006b). WEP 모형을 이용한 경안천 유역 토양수분 모의. 2006 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 720-725.
- 노성진, 김현준, 장철희 (2005). "청계천 유역에 대한 WEP 모형의 적용". 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제 38권, 제 8호, pp. 645-653.
- 한국건설기술연구원 (2007). 건강한 유역진단체계구축을위한 유역진단기법 개발 연구(5차년도). 한국건설기술연구원.
- 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.
- Jia, Y., Wang, H., Zhou, Z., Qiu, Y., Luo, X., Wang, J., Yan, D., and Qin, D. (2006). "Development of the WEP-L distributed hydrological model and dynamic assessment of water resources in the Yellow River basin." *Journal of Hydrology*, Vol 331, pp. 606-629.
- 土木研究所 (2002). WEP 모델 解説書.