

WEP 모형을 이용한 도시 물순환 해석 (개발 전 행정중심 복합도시를 대상으로)

Application of the Water Cycle Analysis Model for The Urban Chtahment Using WEP (: Foucus in Multifuntional Administrative City of Before Developed)

이용준*, 장철희**, 노성진***, 김현준****

Yong Jun Lee, Cheol Hee Jang, Seon gjin Noh, Hyeon Jun Kim

요 지

최근에 이르러 농촌 인구의 도시유입으로 도시의 주거공간이 절대적으로 부족해지고 있으며, 이는 대도시의 아파트 가격 상승을 유발하는 등 부수적인 사회/경제적 문제를 일으키고 있다. 정부나 지방자치단체에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 대규모의 신도시 개발계획을 추진하고 있으며, 이러한 신도시 개발은 도시화로 인하여 환경적, 수문학적으로 영향을 미치는 것으로 조사되고 있으며 도시물순환계는 강우가 지표에 도달 한 후 바로 하천으로 유출되는 것과 침투하여 서서히 유출하는 자연경로 그리고 상수도 및 하수도를 통해 하천으로 배수되는 인공적 경로에 의해서 형성된다. 일반적으로 신도시 개발 전후의 수문순환을 평가하는 방법 중의 하나는 개발예정지에 대한 장단기의 수문 관측을 통하여 개발 전과 개발 후의 유출특성과 수질부하를 정량적으로 비교하는 것이다 (한국건설기술연구원, 2004).

따라서 본 연구에서는 행정중심 복합도시 물순환 해석을 하기 위해 대상유역을 100m 크기의 정방형 격자로 구분하고 기상조건, 지표면 조건, 하천, 토양, 지하 대수층, 농업용수 등의 광범위한 입력 자료를 구축한 후 이를 물리적인 기반의 공간분포모형인 WEP 모형에 적용하여 개발 전 홍수 및 유출특성을 규명하고자 한다. 이를 위해 대상지역에 대한 장기적인 수문모니터링 자료를 바탕으로 1996년에서 2007년 까지 모의 하여 실적자료가 있는 2006~2007년을 대상으로 비교한 결과 일부 갈수기 자료를 제외 하고, 전반적인 높은 상관성을 나타냈다. 하지만 일부 홍수위에서 금강으로 부터의 배수위 영향으로 인한 차이가 발생해 추가적인 검토가 필요하며, 본 연구에서 도출된 결과들은 향후 도시유역에서의 수자원 분배와 물자원 관리 등의 적응전략을 수립하는데 있어 본 연구가 도움이 될 것이라고 판단한다.

핵심용어 : WEP, 물순환, 수문 모니터링, 수문자료 분석

1. 서 론

도시유역의 물순환계는 강우가 지표에 도달한 후 바로 수로와 하천에 유출하는 것과 지하에 침투하여 서서히 하천에 유출하는 자연경로와, 상수도등에 의해 공급된 물이 이용된 후에 하수도에 배수되거나 혹은 강우처럼 하수도를 통해 하천 등에 배수되는 것과 같은 인공적 경로에 의해 형성되고 있으며, 이런 자연계와 인공계의 물순환 경로는 복잡하게 얽혀 있다. 그 과정에서 흐르는 수량과 수질이 상호 영향을 미치면서 다양한 물문제를 일으키고 있는 실정이다. 건전한 물순환계를 구축하기 위해 물순환계 회복을 구상하거나 물순환

* 정희원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원·E-mail : dydwns@kict.re.kr

** 정희원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원·E-mail : chjang@kict.re.kr

*** 정희원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원·E-mail : sjnoh@kict.re.kr

**** 정희원·한국건설기술연구원 수자원연구부 책임연구원·E-mail : hjkim@kict.re.kr

계 종합 계획을 수립할 때에 대상지역의 물순환계에 관하여 과거 및 현재의 상태, 장래예측, 각종 대책의 효과를 정량적으로 파악하여야 하며, 이를 위해서는 인구, 토지이용 등 도시화의 상황, 지형·지질, 지하수위, 강우량, 상하수도에 의한 총 배출량, 하천수의 수량 등 기본적인 자료가 필요하다. 특히 행정중심 복합도시와 같이 종합적인 개발 계획에 의하여 단기간에 큰 변화를 보이는 지역에서는 개발전·후의 상황을 보다 정확하게 파악하기 위해서는 물순환계의 각 기구를 모형화하고 해석적인 모의를 수행하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 행정중심 복합도시의 개발전의 물순환의 정량적인 평가를 하기 위하여 분포형 수문 모형인 WEP(Water and Energy transfer Processes) 모형을 사용하여 분석하고자한다.

2. WEP 모형의 개요

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 추적 계산, 침수시설 및 조절지 효과의 계산 및 농지의 상세 계산 등에 대한 기능을 덧붙이면서 모형을 개량하였다(土木研究所, 2002). WEP 모형은 다양한 물순환 과정의 물리 표현을 직접 해석하기 때문에 과거의 유량 자료나 검증이 없이 높은 정밀도의 예측이 가능한 분포형 물리 모형의 특징을 가지고 있으며, 침투, 증발산, 하천으로의 표면유출, 지하수 유출, 지하수 유동 등에 대한 시공간 분포를 유역 단위에서 모의할 수 있다(그림 1). 또한 모자이크법 등의 사용하여 격자내 토지이용의 불균질성을 고려할 수 있고 인간 활동에 따른 인공계 물의 흐름도 시공간적으로 파악할 수 있다.

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).

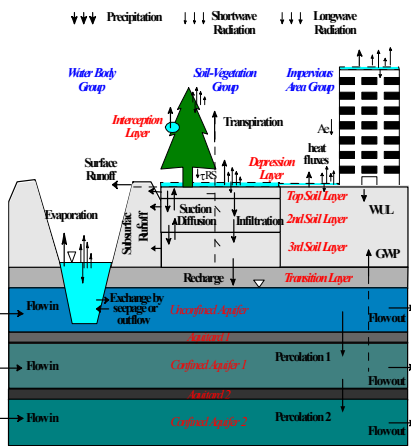


그림 1. WEP 모형의 물순환 해석을 위한 구조

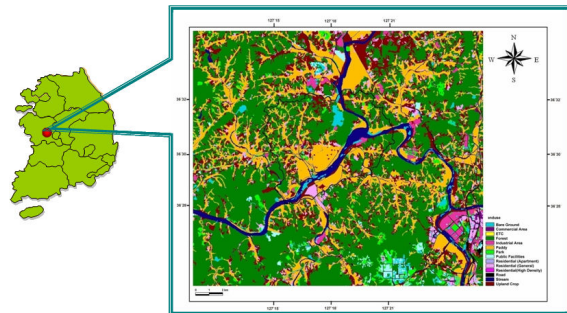


그림 2. 대상 유역

3. 대상유역

행정중심복합도시 행정구역(그림 2)은 충청남도 연기군 남면·동면·금남면, 공주시 장기면·반포면, 청원군 부용면 일원으로 면적은 예정 지역이 약 73km²이고 주변지역은 약 233km²이다. 지리적 특징으로는 중심부에 원수봉(EL.254m)이 있고 미호천과 금강이 합류하는 지점으로, 대전과 청주로부터 10km 거리에 위치한다. 평야지대는 금강유역을 따라 장남평야와 대평뜰 등이 발달되어 있고 평야지역 이외의 대부분은 구릉지로 이루어져 있으며 지리적으로 위도 36°27'10"~ 36°32'48", 경도 127°14'01"~ 127°21'15"에 위치하고 있다(한국토지공사, 2007).

2. 자료 구축 및 방법

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 입력 자료를 효과적으로 구축하고, 다양한 시계열 및 공간분포 출력자료를 효과적으로 분석할 수 있는 인터페이스를 지닌 전·후처리 프로그램이다(한국건설기술연구원, 2007). 따라서 본 연구에서는 WEP+ 을 통해 입력 자료간의 상호관계를 총체적으로 파악하였으며, 분포형, 시계열 출력을 원활히 제어하고, 출력결과를 분석하였다.

2.1 공간 자료의 구축

본 연구에서는 대상유역의 NGIS(National Geographic Information System) 1:5,000 축척의 수치지도로부터 지형관련 레이어인 7111(주곡선), 7114(계곡선), 7217(표고점), 7311(삼각점)을 추출하고 ARC/INFO 를 이용하여 Coverage, TIN(Triangulated Irregular Network), Lattice 변환과정을 거쳐 공간해상도 100m × 100m의 DEM(그림 3)과 하천망을 구축하였으며, 토양특성의 자료는 농촌진흥청에서 제공하는 1:25,000 정밀토양도를 기준으로 총 57개의 정밀토양 분포를 토성(Texture)별로 재분류하여 구축하였으며, 토양특성은 각각 식토(Clay) 39.8 %, 미사질식양토(Silty clay loam) 34.0 %, 식양질토(Clay loam) 22.9 %, 사양토(Sandy loam) 3.3 %의 순으로 조사되었다(그림 4). 개발 전의 토지이용현황을 살펴보면 논 27.8 %, 밭 11.5 %, 하천 13.1 %, 산림지역 38.0 %(혼합림 30.4 %, 침엽수림 5.6 %, 활엽수림 2.0 %), 도로 및 교통 시설 0.9 %, 주거지역 3.2 %, 산업지역 1.2 %, 축산시설 0.4 %, 공공시설 0.3 %, 상업지역 0.2 %, 공원 및 초지 2.8 %, 나지 0.7 % 등으로 나타났다(그림 5). 그림에서와 같이 행정중심복합도시 예정지역의 개발전 토지이용현황은 대부분이 산림지역과 경작지역으로 이루어져 있음을 알 수 있다. 개발전의 토지이용현황은 2001년 한국건설기술연구원에서 작성된 1:25,000 토지이용현황도를 기준으로 분류한 항목이다. 지하수위의 측정은 행정중심복합도시 재해영향평가서(한국토지공사, 2007)에서 조사된 각 시추공별 지하수위 자료를 이용하여 행정중심복합도시 예정지역 내의 지하수위의 공간분포를 살펴보기 위하여 각 지점별 자료를 내삽하여 그림 6와 같은 지하수위 분포도를 작성하였다. 그림에서 보듯이 지하수위가 지표면으로부터 10 m 이내 인 지역이 전체유역의 83.4 %를 차지하고 있다.

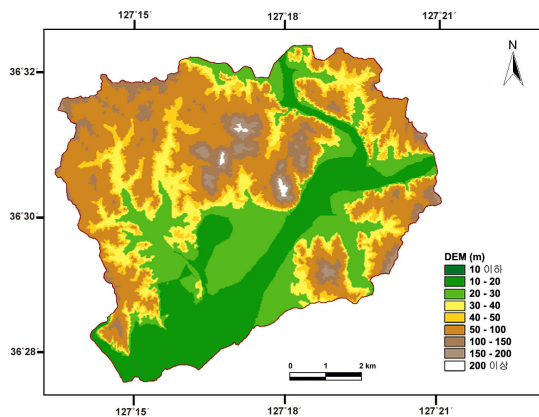


그림 3. 수치고도모형

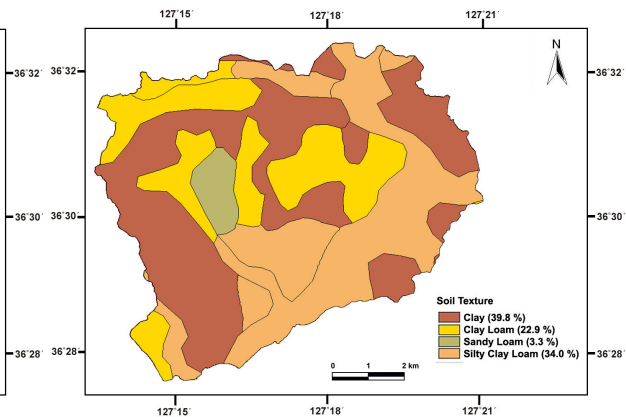


그림 4. 토양 특성

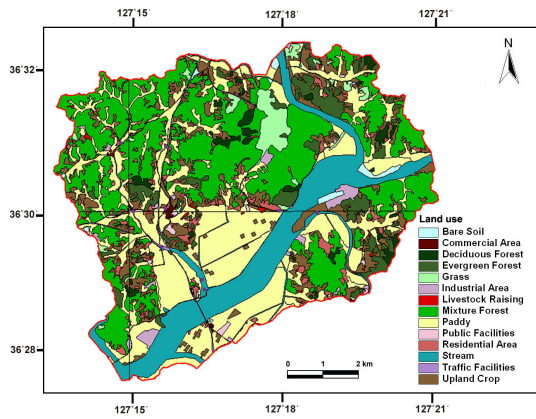


그림 5. 토지이용현황도

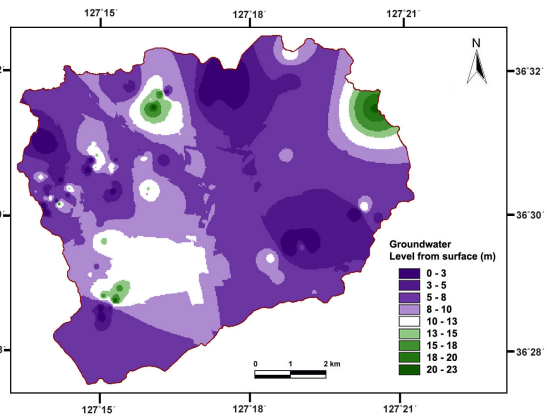


그림 6. 지하수위 분포도

2.2. 수문·기상 자료의 구축

본 연구에서는 행정중심복합도시 예정지역 내의 제천(나성교 상·하류, 고정교, 군계교, 방축천 합류점 등 5개소), 방축천(창촌교, 중촌교 등 2개소), 연기천(보병훈련장앞), 삼성천(한일교 하류), 양화양수장 용수로 등 총 10개 지점을 갈수량 측정지점으로 선정하여 2007년 2월 이후 현재까지 갈수량을 측정하고 있으며 그 결과를 검정의 자료로 구축하였다. 또한 기상 자료는 기온, 강수량, 상대습도, 평균풍속, 일조시간 자료를 구축하였다(그림 7-8).

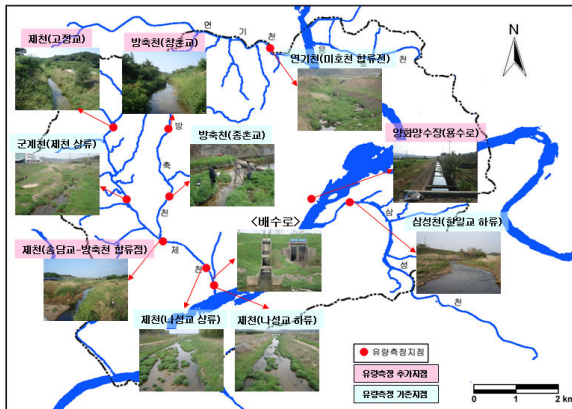


그림 7. 대상지역내 갈수량 측정지점

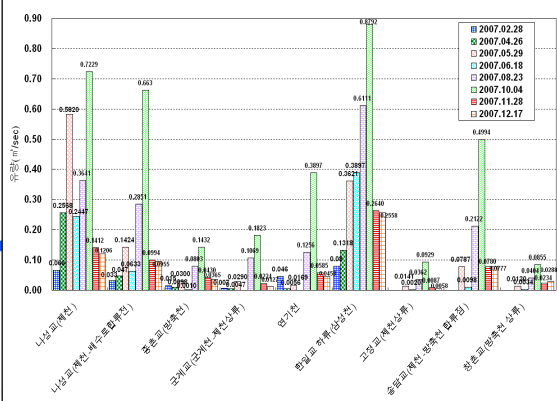


그림 8. 갈수량 측정자료

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 모의기간을 1997년~2007년까지 11년간, 1시간의 시간간격으로 물순환을 모의하였다. 그림 9를 보면 전반적으로 관측결과와 비슷한 경향을 나타냄을 알 수 있다. 홍수기 모의와 관측의 차이가 크게 나타나는 부분은 금강으로부터의 배수위 영향으로 인해 수위가 높게 측정된 부분으로 관측 자료에 대한 추가적인 검토가 필요한 부분이다. 그림 3.2-47은 나성교에서 실측 유량과 모의 유량(한국건설기술연구원, 한국수자원공사, 금강물환경연구소에서 직접 측정된 유량 자료를)을 1:1 그래프(한국건설기술연구원, 한국수자원공사, 금강물환경연구소)로 비교한 것이다(그림 10). 일부 갈수기 자료를 제외하면, 전반적으로 관측과 모의가 비교적 높은 상관성을 보였다. 그림 11(a)에서 2007년 5월 15일 강우사상에 대해서는 관측에 비해 모의 유량이 적으나, 수문곡선의 형태는 비슷한 양상을 보인다. 그림 11(b)에서 2007년 5월 24일 강우사상에 대한 결과는 모의와 관측이 침투 홍수량의 크기와 전반적인 수문곡선 형상이 비슷하다. 다만 홍수의 침투 값이 나타나는 시간이 2007년 5월 15일과 24일 강우 사상에 대하여 모의가 관측에 비해 늦은 것을 알 수 있으며,

일부 매개변수 조정이 필요한 것으로 판단된다. 그림 11(c)에서 2007년 6월 21일의 강우사상에 대해서는 모의 유량이 관측에 비해 전반적으로 작았으며, 초기 차단량 등에 대한 일부 보정이 필요할 것으로 판단된다.

각 단일사상의 유출 깊이를 다음의 표 1에 비교하였다. 유출률은 2007년 5월 16일, 24일, 6월 21에서 각각 24%, 46%, 8%로 강우량이 큰 강우사상일수록 유출률이 크게 모의되었다. 강우사상의 총 강우량이 작거나 강우강도가 작은 경우에 모의 결과의 유출률이 비교적 작은 경향이 있으며, 이에 대해서는 추가적인 보정이 필요하다고 판단된다.

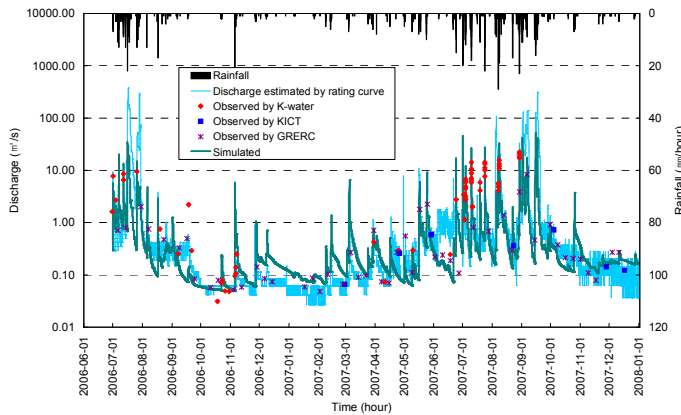


그림 9. 모의 및 관측유량 비교 (2006.06~2007.12)

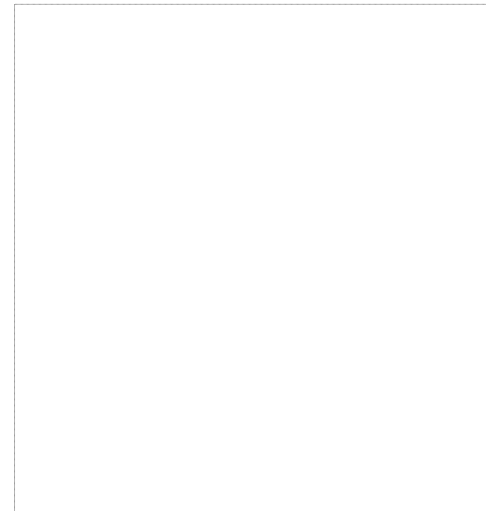
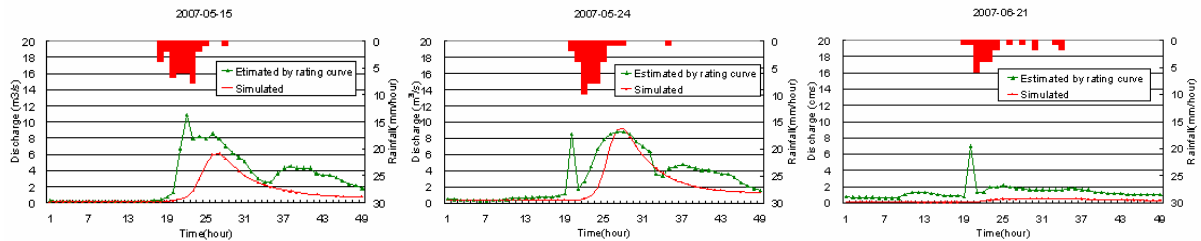


그림 10. 모의 및 관측유량 1:1 비교



(a) 2007년5월15일

(b) 2007년5월24일

(c) 2007년6월21일

그림 11. 단기사상 모의 및 관측유량 비교

표 1 강우사상별 총 유출 깊이 비교

강우사상	2007.5.16	2007.5.24	2007.6.21
총 강우량(mm)	37	40	25
유출고(mm)	9	18	2
유출률(%)	24	46	8

6. 결 론

본 연구에서는 행정중심 복합도시 물순환 해석을 하기 위해 대상유역을 100m 크기의 정방형 격자로 구분하고 기상조건, 지표면 조건, 하천, 토양, 지하 대수층, 농업용수 등의 광범위한 입력 자료를 구축한 후 이를 물리적인 기반의 공간분포모형인 WEP 모형에 적용하여 개발 전 홍수 및 유출특성을 분석하였다. 이를 위해 대상지역에 대한 장기적인 수문모니터링 자료를 바탕으로 1996년에서 2007년 까지 모의 하여 실측자료가 있는 2007년을 대상으로 비교한 결과 전반적으로 관측과 모의가 비교적 높은 상관성을 보였으며 단기강우사상에도 비슷한 양상을 나타내었다. 본 연구의 결과는 행정중심 복합도시 개발로 인한 물순환 평가의 기초자료

로서 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 : 2-6-3)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 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.
- 한국토지공사 (2007). **행정중심 복합도시 재해영향평가서**
- 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**.