

물재이용을 고려한 도시지역의 물순환 해석

Analysis of Urban Water Cycle Considering Water Reuse Option

이지호* · 박기정** · 윤재영*** · 유철상****
Lee, Ji Ho · Pak, Ki Jung · Yun, Jae Young · Yoo, Chul Sang

Abstract

Water cycle analysis was performed for Gunja basin located in metropolitan Seoul using Aquacycle model in order to assess the problems of urban water cycle. From the water cycle analysis of Gunja basin, it was found that 75% of total rainfall occurred in the form of surface runoff, and groundwater recharge only accounted for about 7%. This suggests serious distortion of water cycle which can be attributed to urbanization. Feasibility analysis of reuse scenarios such as rainwater use and wastewater reuse was then performed to examine their influences on improving the water cycle. From the analysis of water reuse options, it was shown that imported water supply savings of 13% can be achieved through rainwater use, and water supply savings of 31% through wastewater reuse.

Key words: Aquacycle model, water cycle, urbanization, rainwater use, wastewater reuse

1. 서 론

지상에 떨어지는 강우는 인간 활동과 생태계를 유지하는 용수로 사용되고, 나머지는 토양으로 침투하여 지하수를 함양하고, 주변 하천에 필요한 수량을 공급하는 기능을 한다. 그러나 도시 개발은 자연적인 물의 순환을 왜곡시키는 중요한 요인 중 하나이다. 도시화에 따른 불투수면적의 증가는 빗물의 침투, 지하수 함양, 하천으로의 유출 및 증발산 등에 영향을 준다(이승종 등, 2005). 녹지지역의 감소로 증발산량은 감소한다. 우수 및 하수의 배수시설 발달은 급격한 표면유출 증가를 가져오며, 자연적인 저류량을 감소시킨다. 이는 지하수위 저하로 이어져 기저유량이 감소되며 하천의 건천화가 진행된다(경기개발연구원, 2003). 경우에 따라 지하수가 지하구조물의 안정성 확보를 이유로 강제 배수된다. 이로 인해 지하철 및 대규모 지하공간으로부터의 유출지하수가 지하수위를 국부적으로 낮추는 역할을 하기도 한다.

물순환 해석은 도시화에 따른 이러한 물순환계의 문제점을 파악하기 위한 중요한 방법이 될 수 있다. 도시화로 인한 물순환 변화를 파악하고 건전한 도시 유역의 물순환계를 회복하기 위해서는 물순환계의 정량적인 이해와 이를 위한 해석 모형이 필수적이다(노성진 등, 2004). 본 연구에서는 도시화에 따른 물순환의 변화에 대해 연구를 수행하였으며, 환경친화적 물순환계 회복방안으로 빗물이용, 하수처리수 재이용에 대한 검토를 수행하였다. 물순환을 해석하기 위해 호주에서 개발된 Aquacycle 모형을 이용하였으며, 서울의 군자배수 분구에 적용하였다.

* 정희원 · 고려대학교 건축사회환경공학과 박사과정 · 공학박사 · E-mail: kjihito@korea.ac.kr

** 정희원 · 고려대학교 환경시스템공학과 석사과정 · 공학박사 · E-mail: gjpak00@hanmail.net

*** 정희원 · 고려대학교 환경시스템공학과 부교수 · 공학박사 · E-mail: jyyeon@korea.ac.kr

**** 정희원 · 고려대학교 건축사회환경공학과 교수 · 공학박사 · E-mail: envchul@korea.ac.kr

2. 모형의 개요

도시지역 물순환을 바탕을 하는 Aquacycle 모형은 호주 CRCCH(Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology)에 의해 개발되었다. 이 모형의 장점은 물 공급, 하수처리, 우수배제를 하나의 모형화 틀 내에서 고려할 수 있다는 것이며, 실측자료가 없는 경우에도 모의가 가능하다. 우수와 하수의 재이용도 모의 가능하며, 재이용할 수 있는 적정용량 결정도 가능하며, 아울러 물 재이용 시 물순환에 미치는 영향 및 문제점을 파악하는데도 이용가능하다. 모의는 일, 월, 년 단위로 수행되며, 공간적인 측면에서는 unit block, cluster, catchment로 구분하여 모의된다. 본 모형은 호주의 여러 유역의 물순환 해석에 이용된 바 있으며, 빗물탱크의 규모결정, 하수처리수 재이용 시 상수도 절감량 및 용량 결정을 위해서도 적용되고 있다(Mitchell 등, 1999; Belinda 등, 2004).

3. 모형의 적용 및 결과

3.1 Aquacycle 모형의 입력자료

도시화에 따른 물순환의 변화를 군자배수분구를 대상으로 해석하였다. 군자배수분구는 유역면적이 $0.964 km^2$ (96.4ha)인 전형적인 도시지역으로, 남쪽으로는 어린이대공원이 위치해 있고 서쪽으로는 중랑천이 흐르며, 전형적인 도시화된 지역이다. 대상유역 내 가구 수는 8,040세대이며 총 거주 인원은 21,230명이므로 가구당 평균 거주인원은 2.64명으로 산정하였다. Unit block의 평균 면적은 1:3,500 지번지도를 이용하였으며, cluster의 총 유역, 도로, 공공녹지지역은 수지지도를 이용하였다. 가정 내 물 사용형태와 관련된 자료는 서울시정개발연구원(2004)에서 조사된 내용을 이용하였다. 강우자료는 2005년 광진구청에서 측정한 일 단위 강우량을 이용하여 분석하였으며 잠재증발산량 산정은 Penman 방법을 이용하여 산정하였다. 지붕, 포장된 부분, 도로에서의 최대순실은 $6.55 mm$ (과학기술부, 2004)이였으며, 지붕, 포장된 부분, 도로에서의 유효 불투수면적 산정법은 Sutherland(2000)식을 이용하였다. 기저유출감수상수(BRC: Baseflow Recession Constant)는 Horton(1933)이 제안한 식을 이용하였으며, 지하수량은 청평지점의 지하수량으로 하였으며(이동률, 1995), 일 최대함양량은 투수계수를 이용하여 추정하였다.

3.2 도시지역에서의 물순환 해석

불투수면적이 83%인 군자배수분구에 대해 물순환 해석을 수행하였다. 모의 결과 $1,388 mm/y$ 의 강우 중 $306 mm/y$ 가 증발산으로 순실되었으며, 표면유출은 $1,044 mm/y$ 로 불투수지역에서 $937 mm/y$, 투수지역에서 $107 mm/y$ 가 발생하였으며, 지하수로 $99 mm/y$ 가 함양되는 것으로 분석되었다. 이는 총 강우 중 75%가 표면유출로 발생하는 반면 지하수 함양은 7%에 불과하여 도시화로 인한 물순환이 크게 왜곡되고 있음을 보여준다. 이러한 패턴은 전형적인 도시지역의 물순환 형태이기도 하다. 또한 상수도에서의 누수량은 $357 mm/y$ 인 것으로 파악되며 이는 강우에 의한 침투량보다 큰 값으로 불투수면 감소에 따른 침투량의 감소를 보충하는 역할을 하고 있는 것으로 파악되었다. 다음 그림 1은 군자배수분구에서의 물순환 해석 결과를 도시한 것이다.

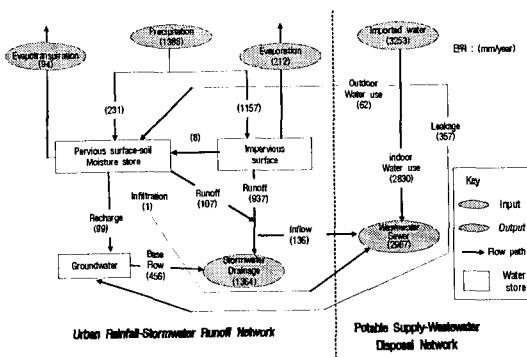


그림 1. 도시지역에서의 물순환 해석

3.3 도시화 진전이 물순환계에 미치는 영향 검토

도시화 진전이 물순환계에 미치는 영향을 검토하기 위하여 군자배수분구(1975년~2005년)의 토지이용도를 이용하였다. 30년 동안 논, 밭이 시가지화 되면서 불투수면이 2배가 증가하였다. 토지이용변화에 따라 물순환이 서로 다른 양상을 보이는데 이는 불투수면의 변화에 따른 것으로 이로 인해 증발산, 표면유출, 지하수함양의 변화를 가져온 것을 확인할 수 있다. 증발산과 지하수 함양은 각각 29%, 74%가 감소하였고, 표면유출은 41%가 증가하였다. 그림 2는 불투수면의 증가로 인한 물순환계의 변화를 도시한 것이다.

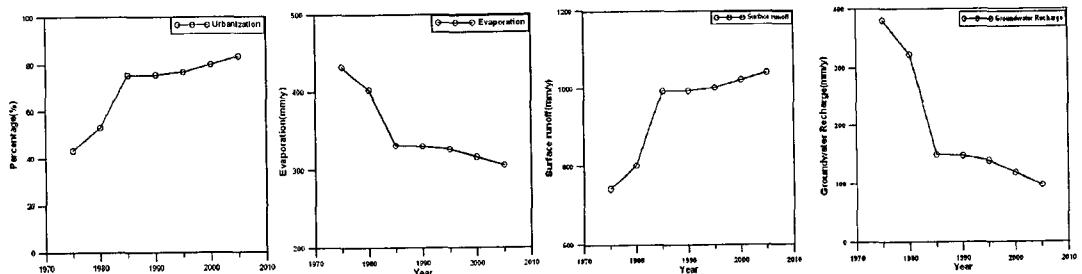


그림 2. 도시화에 따른 물순환 변화(도시화률, 증발산량, 표면유출, 지하수함양량)

아울러 1975년 ~ 2005년 동안 지하수위가 4 cm가 감소한 반면에, 지하수 이용량과 지하철 등에서 강제배수 되는 양을 고려하였을 경우 매년 11 cm의 지하수위가 감소되는 것으로 파악되었다. 이는 도시화로 인한 지하수위 감소 원인이 불투수면의 증가로 인한 것보다 지하수의 무분별한 이용이 지하수위를 감소시키는 더 큰 원인임을 나타낸다.

4. 환경친화적 물순환계회복 방안

본 연구에서는 Aquacycle 모형을 이용하여 본 대상유역에 대해 빗물이용 및 하수처리수 재이용의 효과를 검토하였다. 물 재이용은 관개용수와 화장실용으로 하였으며, 재이용할 수 있는 양은 본 대상유역에서 890 mm/y로 파악되었다. 즉, 상수공급량 중 누수량을 감안하면 상수절감양은 1,000 mm/y된다. 빗물저류조의 경우 최대 이용가능량을 만족하기 위해서는 500,000m³의 용량이 필요하나 이는 현실상으로 불가능하여 가구 당 집수할 수 있는 용량을 지붕면적(m²)×0.1×연강수량(m)이라고 가정하였다. 그 결과 25,000m³의 빗물저류조가 적정할 거라 판단되며 이때 427 mm/y의 상수도의 절감 즉, 13%의 상수도 절감효과를 보인다.

아울러 하수 재이용 시 하수처리장의 적정용량은 $2,700m^3$ 으로 파악되었으며, 31%의 상수절감효과와 30%의 하수발생감소 효과가 있는 것으로 확인되었다. 군자배수분구와 같이 인구밀도 높은 지역에서는 빗물 이용 보다 하수 재이용이 상수도 절감효과가 크다고 판단된다. 특히 우리나라는 총 강우량은 많은 편이나, 이는 여름철의 집중호우로 인한 것이며 재해예방측면에서 하천으로 배출되므로 이용할 수 있는 양은 한계가 있다. 반면에 하수의 경우 일 년 동안 일정한 양이 발생하여 공급적인 측면에서 빗물 이용에 비해 유리하다.

5. 결 론

본 연구에서는 도시화에 따른 물순환의 변화와 환경친화적 물순환계 회복방안으로 빗물이용, 하수처리수 재이용의 효과를 검토하였다. 물순환을 해석하기 위해 호주에서 개발된 Aquacycle 모형을 이용하였으며, 서울의 군자배수분구에 적용하였다.

불투수면적이 83%인 군자배수분구의 물순환 해석 결과 총 강우 중 75%가 표면유출로 발생하는 반면 지하수 함양은 7%에 불과하여 도시화로 인한 물순환이 크게 왜곡되고 있음을 보여준다. 군자배수분구의 토지 이용변화(1975년~2005년)에 따라 물순환이 서로 다른 양상을 보였다. 즉, 불투수면의 변화에 따라 증발산, 표면유출, 지하수함량의 변화를 가져온 것을 확인할 수 있었다. 아울러 본 대상유역에서는 건물의 안전성의 이유로 강제배수 되는 유출지하수와 무분별한 지하수 이용으로 인해 매년 11cm 이상의 지하수위가 낮아지고 있는 것을 확인하였다. 왜곡된 물순환계 회복방안으로 빗물이용, 하수처리수 재이용에 대해 검토한 결과 각각 13%와 31%의 상수도절감효과가 있는 것으로 분석되었다.

참 고 문 헌

1. 이동률(1995). 지하수 감수곡선을 이용한 지하수 함양량 추정과 장기 갈수량 산정. 박사학위논문, 고려대학교.
2. 경기개발연구원(2003). 경기도내 하천의 건천화 방지에 관한 연구.
3. 노성진, 김현준, 장철희, 김동필(2004). “청계천 유역에 대한 WEP 모형의 적용.”, 한국수자원학회, 학술대회지, pp. 148-152.
4. 서울시정개발연구원(2004). 가정에서의 수돗물 사용량 기초조사 연구.
5. 과학기술부(2004). 수자원의 지속적 확보기술개발 사업-청계천 복원공사 모니터링 및 물순환 해석.
6. 이승종, 김영오, 이상호, 이길성(2005). “WEP 모형을 이용한 도림천 유역 물순환 모의.”, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제38권, 제6호, pp. 449-460.
7. Horton, R.E.(1933). The role of Infiltration in the Hydrologic Cycle. Trans. Am. Geophys. Union, 14, pp. 446-460.
8. Penman, H. L.(1948). Natural evaporation from open water, bare soil, and grass, Proc. R. Soc. London A, vol. 193, pp. 120-146.
9. Mitchell, G, Mein, R, McMahon, T.(1999). The Reuse Potential of Urban Stormwater and Wastewater. Industry Report 99/14.
10. Sutherland, R. C.(2000). Methods for Estimating the Effective Impervious Area of Urban Watersheds, Article 32 in: The Practice of Watershed Protection, pp. 193-195.
11. Belinda, H., Ana Deletic, T.F.(2004). Integrated Stormwater Treatment and Re-Use-Inventory Of Australian Practices. International WSUD Conference 2004, Adelaide, pp. 21-25.