도시 물순환 건전화를 위한 우수저류침투시설의 적용

Application of Rainwater Utilization Facilities for Sound of Water Cycle in Urban Area

김영민*, 김이호**

Kim, Youngmin, Kim, Ree-Ho

요 지

본 연구에서는 물순환 왜곡이 심화되고 있는 도시 하천유역을 대상으로 택지개발과 같은 도시화로 인한 영향을 검토하고, 개발로 인한 영향을 최소화할 수 있도록 적정 우수저류침투시설을 계획·설계하는 것을 목적으로 하였다. 도시화 전후의 물순환의 변동특성은 WEP(Water and Energy Transfer Processes) 모형을 활용하였으며, 택지 개발 지구내 우수저류침투시설은 독일 베를린공대와 한국건설기술연구원이 공동 개발한 "공동주택 빗물관리 최적화 모형(가제)"을 활용하여 모의하였다. 대상 하천유역은 의왕시 청계동 및 포일동 일원에 도입예정인 의왕청계지구 택지개발지구를 포함한 안양천 상류의 대한교 상류유역이다.

단지 개발 전후 토지이용특성이 대부분 밭에서 중고층 주택지역으로 변경됨에 따라 불투수면적 비율이 10.5%에서 15.7%로 증가하였으며, 이로 인해 침투량, 증발산량, 지하수 유출량의 감소, 지표면 유출 및 하천으로의 유출량이 크게 증가하는 것으로 나타났다. 도시화로 인한 물순환 체계의 건전화를 위해서 우수저류침투시설의 도입이 필요할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 물순환, 건전화, 우수저류, 침투, WEP

1. 서 론

도시 내 불투수층 면적의 증가로 인해 용수 부족, 침수피해, 하천 건천화, 열섬현상과 같은 도시 환경적 문제가 심화되고 있다. 서울시의 경우 도시화로 인해 도시화 이전 7.3% 수준에서 불투수 면적율이 47.1%(2001년 현재)로 급격히 증가한 것으로 나타났으며, 이로 인해 표면 유출량의 증가, 지하수 유출량 및 증발산량 감소를 가져온 것으로 분석되고 있다. 최근 이를 해소하기 위해 빗물을 저장하고 침투시키는 우수저류 침투기술에 대한 관심이 급증하고 있으며, 정부 및 일부 지자체를 중심으로 공공청사, 학교, 공동주택단지 등에 시설도입이 점차 확산되고 있는 실정이다.

우수저류 침투시설을 설치할 경우에는 대상 건축물과 지역의 용도, 도입 목표에 따라 시설 조합을 결정하여 개략적으로 시스템을 설정하고, 도입 시스템의 이수·치수·환경보호 기능을 평가해서 도입 여부를 검토해야 한다. 그러나 현재 우리나라의 우수저류침투시설의 도입 경향을 살펴보면 대부분이 용수확보를 위해 빗물 저장조만을 설치하고 있는 수준이다.

본 연구에서는 물순환 왜곡이 심화되고 있는 도시 하천유역을 대상으로 택지개발과 같은 도시화로 인한 영향을 검토하고, 개발로 인한 영향을 최소화할 수 있도록 적정 우수저류침투시설을 계획·설계하는 것을 목적으로 하였다. 도시화 전후의 물순환의 변동특성은 WEP(Water and Energy Transfer Processes) 모형을 활용하였으며, 택지 개발 지구내 우수저류침투시설은 독일 베를린공대와 한국건설기술연구원이 공동 개발한 "공동주택 빗물관리 최적화 모형(가제)"을 활용하여 모의하였다.

* 정회원·한국건설기술연구원 건설환경연구부 연구원·E-mail : forme4u@kict.re.kr

** 정회원·한국건설기술연구원 건설환경연구부 수석연구원·E-mail : rhkim@kict.re.kr

2. 기본 이론

2.1 물순환 모의 모형(WEP)

WEP 모형은 토지이용이 복잡한 중소도시 하천유역의 물 순환의 실태를 해석하고 물 순환계의 장래 변화를 파악함과 동시에 물 순환계의 회복 대책의 효과를 분석하기 위해 개발된 모형이다. 모자이크법을 채용하여 mesh 내의 토지이용의 불균질성을 해석할 수 있으며, 우수침투시설이나 조절지에 대한 모형을 조합하고 있어 시설 설치에 따른 평상시나 홍수시의 하천 유량 및 지하수위에 미치는 영향을 검토할 수 있다. 유역을 mesh로 구성된 평면 mesh로 분할하여 적용하며, 연직방향 분포는 아래 그림과 같이 표층, 과도층, 지하수대수층으로 구분하여 모의한다.

Mesh 내의 증발산량은 수역, 나지-식생역, 불투수역의 구분하여 Penman, Penman-Monteith 방정식으로 산정하고, 침투량은 유역의 강우강도가 포화투수계수 K_S 보다 작은 경우 Richards Method, 강우강도가 K_S 보다 큰 경우 Green Ampt Model을 사용하여 산정한다. 표면 유출은 강우강도가 토양의 포화투수계수보다 큰 침투초과유출과 강우가 지속되어 토양이 포화된 상태에서 유출되는 경우인 포화초과유출로 구분하여 산정하며, 인공계 물순환 과정에서 침투트렌치에서의 침투량을 계산할 수 있다.

$$\partial S_t/\partial t = Q_{inf} - Q_{\infty} - Q_{ovf}$$

$$S_t = nLWH$$

$$Q_{inf} = K_0 L(aH+b)$$

$$Q_{ovf} = cL(H-H_m)^{3/2}$$

여기서, S_t:저류량, Q_{in}:유입량, Q_{inf}:침투량, n:공극율, L:길이, W:폭, H:높이, H_m:계획수심, K_0:토양 포화투수계수, a, b, c : 상수

2.2 공동주택 빗물관리 최적화 모형

빗물관리 최적화 모형은 공동주택 단지 내 분산식 빗물관리의 기본요소인 저류, 침투 및 활용시설의 효과적인 규모 산정과 원격제어 시스템을 통한 시설 운영을 위해 개발된 모형으로서 다음의 물수지 식을 기본으로 대상 지구에 적합한 시설 규모 및 조합을 결정할 수 있다. 그림 1은 빗물관리 최적화 모형의 프로그램 중심 작업창이다.

$V_{nz,\,i} = V_{nz,\,i-1} + (Q_{zu,\,i} - Q_{ab,\,i})$

$Q_{ab,\,i} = Q_{bw,\,i} + Q_{uber,\,i}$

여기서, $V_{nz,\,i}$: 저류량, $Q_{zu,\,i}$: 유입량, $Q_{ab,\,i}$: 유출량,

$Q_{bw,\,i}$: 용수 사용을 위해 가압수조로 보내진 양,

$Q_{uber,\,i}$: 치수용 저류조로의 월류량, i = 계산 알고리듬 상의 순차별 단위

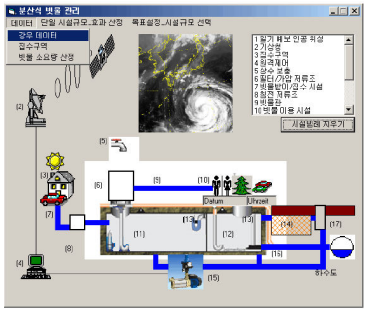


그림 1. 공동주택 빗물관리 최적화 모형

2.3 도시화 전후의 물순환 지수(안)

우수저류침투시설의 최종적인 목표는 도시의 물순환 체계를 개발이전의 상태로 복구하는 것이다. 따라서 우수저류침투시설의 적합성 및 타당성을 평가하는 방법으로서 물순환 건전화의 척도인 물순환 지수를 이용할 수 있다. 여기서 물순환 지수 (f)는 다음과 같이 정의된다.

$$f = \frac{Q_{rain,after} - Q_{runoff,after}}{Q_{rain,before} - Q_{runoff,before}}$$

여기서, $Q_{runoff,before}$는 개발 이전의 연평균 표면유출고이며 $Q_{runoff,after}$는 개발 이후의 연평균 표면유출고이다. 개발이전과 이후에 연평균 강우량($Q_{runoff,before}$과 $Q_{runoff,after}$)이 동일하다고 가정하면 물순환 지수는 증발 및 침투 등이 감소하면 감소하게 된다.

3. 대상유역

본 연구의 대상유역인 안양천 유역은 도시화에 따라 불투수면적의 증가, 취수량 증가, 합류식 하수관거로 인한 우수손실 등의 영향으로 하천건천화가 발생하는 등 물순환 체계의 왜곡이 심화되고 있는 실정이다. 프론티어 연구개발사업인 "안양천 유역의 물순환 건전화 기술 개발"의 조사에 따르면 1975년 이후로 2000년 현재까지 약 26.5% 도시화 비율이 증가한 것으로 나타나 불투수면의 증가가 급증하였음을 알 수 있다.

택지개발 전후의 물순환 특성은 경기도 의왕시 청계동 및 포일동 일원에 도입예정인 의왕청계지구 택지개발사업을 대상으로 하였다. 본 유역은 학의천 대한교 상류유역으로서, 경기도 의왕시, 과천시 및 안양시 일부 지역이 이에 해당한다.

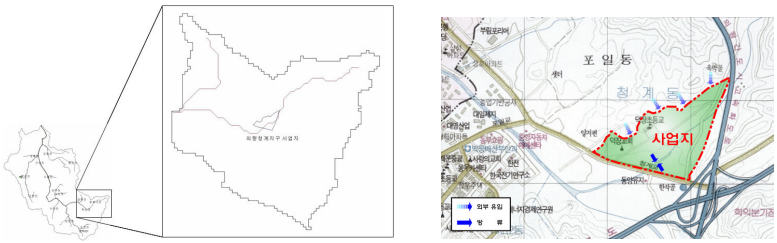


그림 2. 대상 유역 위치도

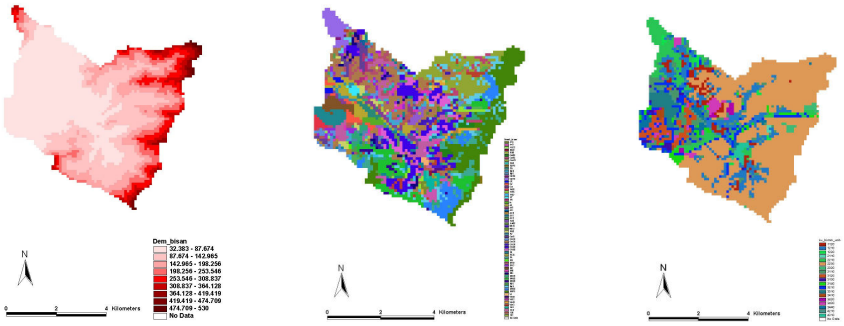
3. 택지개발에 따른 물순환 변동특성 모의

3.1 입력자료 구축

물순환 모의를 위해 대상 소유역의 지형공간 정보를 구축하여 유역의 수문해석에 활용하고자 하였다. 기본도인 DEM은 1:25,000 수치지도를 이용하여 등고선 및 표고점으로부터 TIN 생성 후 변환하였으며, GIS Tool은 ESRI사의 ArcView 3.2a와 ArcInfo 7.12를 사용하였다.

토지이용현황도는 한국건설기술연구원에서 NGIS 주제도 사업의 일환으로 1: 37,500 항공사진과 1: 5,000 수치지형도를 혼합·활용하여 구축한 1:25,000 토지이용도를 사용하였다. 정밀토양도는 농업과학기술원에서 1:25,000 정밀토양도를 사용하였고, 개략토양도는 농촌진흥청의 1: 50,000 개략토양도를 사용하였다. 아래 그림은 대상유역의 수치표고모형(DEM), 정밀토양도, 토지이용현황도이다.

지하 대수층의 두께 및 지하수위 정보 등은 국가지하수관측센터의 지하수 관측망 자료를 활용하였다. 하도재원 및 하상에 관한 정보는 현장 조사와 안양천살리기 종합계획보고서의 학의천 시범구간의 관련 정보를 활용하여 입력 자료를 구축하였으며, 기타 인공계 용수 사용량 자료는 각 시·구의 통계자료와 상수도통계자료를 활용하여 구축하였다.



a) DEM　　b) 정밀토양도　　c) 토지이용현황도

그림 3. 대상유역 지형공간 정보 기본도

3.2 단지 개발 전후의 물수지 분석

공동주택단지 개발 전후의 물순환 특성을 모의하기 위해 대상유역의 2003년 1월부터 12월까지 1년간에 대하여 WEP 모형을 이용하여 물수지를 분석하였다. 대상 하천유역에 대한 실측자료의 부족으로 모형의 보정 및 검증은 수행할 수 없었으나, 동일 강우조건 하에서 토지이용특성 변화, 주거인구 증가와 같은 개발로 인한 영향을 검토하였다.

개발 후의 주거 인구는 의왕청계지구 택지개발사업 기본계획에 따라 계획인구 6,589명(196인/ha)을 반영하였으며, 단지개발 전후 토지이용 특성이 대부분 밭에서 중고층 주택지역으로 변경됨에 따라 불투수 면적비율이 10.5%에서 15.7%로 증가하는 것으로 나타났다. WEP를 이용하여 대상지구의 물수지를 모의한 결과 그림 3~4와 같이 분석되었으며, 아래 표와 같이 정리하여 나타내었다.

표 1. 택지개발 전후의 물수지 분석결과

구 분	택지개발 전	택지개발 후	변동치
불투수 면적비율(%)	10.5	15.7	+ 5.2
강수량(mm)	1,618.0	1,618.0	0.0
증발산(mm)	402.0	370.0	**- 32.0**
지표면유출(mm)	593.0	635.0	**+ 42.0**
침투(mm)	943.2	896.6	**- 46.6**
중간유출(mm)	378.0	384.0	+ 6.0
지하수유출(mm)	223.0	212.0	- 11.0
하천유출(mm)	1,312.0	1,439.0	**+ 127.0**
상수도공급(mm)	22.1	25.2	+ 3.1

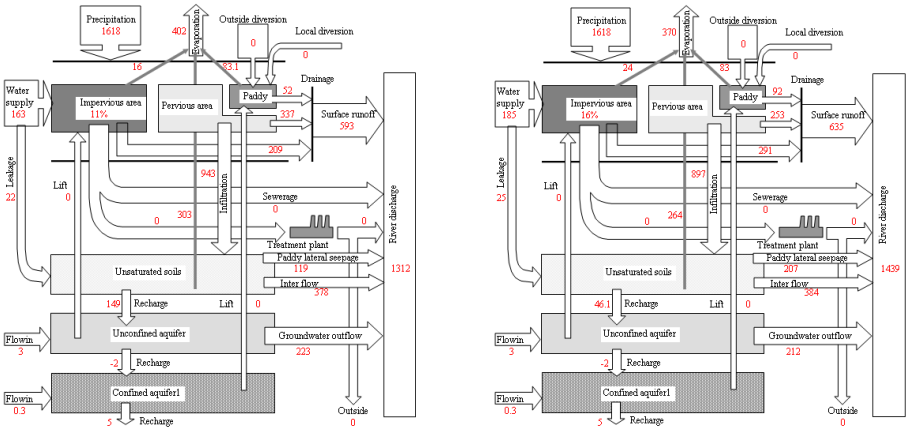


그림 4. 택지개발 전후 유역 물수지(mm, 전후 순)

모의 결과에서 보듯이 대상 택지개발지구의 토지이용과 주거인구의 변동만 고려했음에도 불구하고, 개발에 따른 불투수 면적의 증가로 인해 증발산량, 침투량 및 지하수 유출량이 크게 감소하였으며, 표면유출량과 하도유출량의 증가를 가져왔다. 도시화 전후의 물순환 지수로 표현하면 택지개발 이전의 물순환 지수 1에 대하여 택지개발 후 물순환 지수는 0.58(하천유출 기준)로 나타났다.

4. 공동주택단지 우수저류침투시설 계획·설계

WEP 모의 결과 택지개발로 인해 개발 전 총 유출량의 11.3%인 31,000㎥/yr의 유출량 증가를 가져오므로 공동주택 단지 내 우수저류침투시설을 설치하여 우수 유출량을 저감할 필요가 있다. 시설의 계획·설계는 "공동주택 빗물관리 최적화 모형"을 활용하였으며, 모의 결과 저류시설 단독 설치의 경우 1,000㎥, 침투시설 단독 설치 시 200㎥ 규모, 저류시설과 침투시설 병행 설치 시 저류시설 400㎥, 침투시설 100㎥ 톤 규모의 우수저류침투시설이 적합할 것으로 나타났다. 아래 그림은 "공동주택 빗물관리 최적화 모형"에 의한 년간 물수지 모의 결과와 특정 일시의 저류 및 침투시설 유입-유출특성 그래프이다.

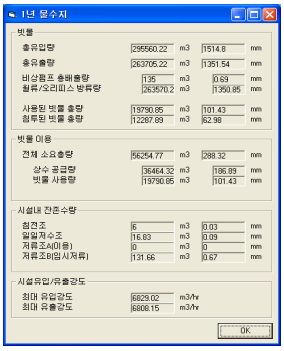


그림 5. 1년 물수지 결과창

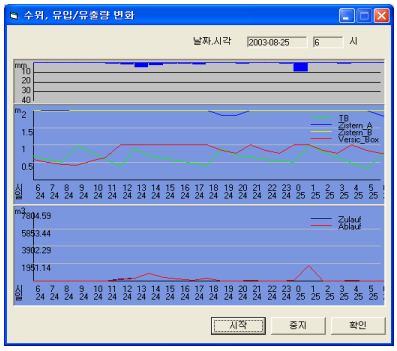


그림 6. 시설 내 유입-유출곡선

5. 결 론

본 연구에서는 물순환 왜곡이 심화되고 있는 도시 하천유역을 대상으로 도시화로 인한 영향을 최소화할 수 있는 적정 우수저류침투시설을 계획·설계하는 것을 목적으로 하였다. 유역 단위 물순환 모형과 공동주택 단지 우수저류침투시설 모형을 연계한 설계 방법론을 제시하고자 하였으며, 향후 물순환 모형의 검·보정, 빗물관리 최적화 모형의 모의 시설과 원 단위를 국내 실정에 맞게 조정한다면 공동주택 우수저류침투시설 설치 시 효과적인 계획·설계기법으로 활용될 것으로 기대된다.

감사의 글

상기 논문은 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적인 확보기술개발사업단의 우수 저류 및 활용 시스템 적용(과제번호:4-3-2)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 과학기술부(2006), 우수 저류 및 활용 시스템 적용 1차년도 요약보고서
2. 과학기술부(2006), 우수 저류 및 활용 시스템 적용 2차년도 요약보고서