# 공동주택 빗물관리시설 적용방안 연구

## Application of Rainwater Utilization Facilities in Building Complexes

**김영민*, 김이호****

Kim, Youngmin, Kim, Ree-Ho

**요 지**

최근 서울시 등 일부 지자체에서는 택지개발 시 대체 수자원을 확보하고 물순환 왜곡을 해소하기 위해 개발면적의 일정비율 이상의 저류시설을 설치하도록 하고 있으나, 국내의 경우 체계적인 빗물관리시설의 계획, 설계기술이 보급되지 못해 시설도입 시 적정 시설 및 규모 선정에 많은 어려움을 겪고 있다.

본 연구에서는 도시 지역을 대상으로 공동주택단지에서의 빗물관리시설 적용방안을 수립하고자 하였다. 독일 STORM 모형을 활용하여 택지 개발 전후의 물순환 특성과 빗물관리시설 도입에 따른 이·치수적, 물순환 개선 측면에서의 적용 효과를 분석하였으며, 적정 시설조합 및 규모를 제시하였다.

인천 C지구에 도입 예정인 공동주택 단지를 대상으로 하였으며, 빗물관리시설 적용을 통해 연간 약 12만톤의 수돗물 대체, 약 20.25%의 총 유출량 저감, 증발 및 침투유도를 통해 저류시설 설치 전 대비 약 120% 물순환 기여 효과가 있을 것으로 나타났다.

**핵심용어 : 물순환, 건전화, 빗물관리, 빗물이용, STORM**

## 1. 서 론

도시 내 불투수층 면적의 증가로 인해 용수 부족, 침수피해, 하천 건천화, 열섬현상과 같은 도시환경적 문제가 심화되고 있다. 서울시의 경우 도시화로 인해 도시화 이전 7.3% 수준에서 불투수면적율이 47.1%(2001년 현재)로 급격히 증가한 것으로 나타났으며, 이로 인해 표면 유출량의 증가, 지하수 유출량 및 증발산량 감소를 가져온 것으로 분석되고 있다[3]. 최근 대체수자원 개발과 물순환 건전화를 위해 도심 내에서 빗물을 저장하고 침투시키는 빗물관리 기술에 대한 관심이 급증하고 있으며, 정부 및 일부 지자체를 중심으로 공공청사, 학교, 공동주택단지 등에 시설도입이 점차 확산되고 있는 실정이다.

빗물관리 시설을 설치할 경우에는 도입 시스템의 이수·치수·환경보호 기능을 평가하여 적정 규모를 선정해야 한다. 그러나 현재 도입 경향을 살펴보면 대부분이 용수확보를 위해 빗물 저장조만을 설치하거나 유출저감 등 제반 효과에 대한 충분한 고려 없이 건축면적이나 대지면적에 일정비율을 곱하여 산정하고 있는 실정이다. 이는 여러 가지 원인이 있겠으나 시설도입의 당사자인 정부 및 지자체 공무원, 용역회사 및 개인이 우수저류 침투시설의 영향을 평가하고 시설조합을 결정하기엔 기술적인 어려움이 따르기 때문인 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 택지개발과 같은 도시화로 인한 영향을 검토하고, 개발로 인한 영향을 최소화할 수 있도록 적정 빗물관리시설을 계획·설계하는 것을 목적으로 하였다. 택지개발로 인한 물순환의 변동특성과 빗물관리시설의 적용 효과는 독일에서 개발된 STORM( 모형을 활용하여 모의하였으며, 모의 결과를 토대로 적정규모와 물순환 체계의 기여효과 등 도입 효과를 검토하였다.

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

** 정회원·한국건설기술연구원 국토환경연구부 책임연구원·E-mail : rhkim@kict.re.kr

## 2. 모형 이론

STORM 모형은 독일 IPS(Ingenineurgesellschaft Prof.Dr.Sieker mbH)에서 개발된 모형으로서, 물수지 및 오염물질 유출부하의 산정을 통해 합류식 하수관거 시스템과 분산식 빗물관리시설의 계획·설계를 지원한다. 활용 가능한 합류식 하수관거 시스템으로는 저류시설(Stormwater retention Tanks), 방수로(Rainwater overflow tank), 토양 여과조(Soil Filter Retention Tank) 등이 있으며, 분산식 빗물관리시설로는 빗물 저류조(Cisterns), 토양 침투시설, 투수구덩이, 옥상녹화, Innodrain 등 다양한 시설의 특성을 반영할 수 있다.

강우 및 증발산 자료는 5분 간격의 자료를 기본으로 하고 있으나 시계열 자료를 텍스트 형태로 구축하여 활용할 수 있으며, 대상지역의 유출특성은 불투수면과 투수면으로 구분하여 모의한다.

불투수면 유출은 아래 식(1)과 같이 강우량으로부터 식생차단을 제외한 유효우량을 산정하며, 투수면 유출은 증발 및 식생차단이외에 식(2, (3)과 같이 강우강도에 따라 침투량을 산정하여 유출량을 산정한다.

i시간 유효우량 $\Delta h_{N_e,i}$는

$$\Delta h_{N_e,i} = \psi_e \cdot [\Delta h_{N,i} - h_m \cdot (\epsilon_{m,i} - \epsilon_{m,i-1})] \tag{1}$$

여기서, $h_{N_e,i}$ : i시간 유효우량(mm), $\psi_e$ : 종기 유출율, $h_{N,i}$ : i 시간 강우량(mm), $h_m$ : 식생차단 손실량(mm), $\epsilon_{m,i}$ : degree of trough filling

투수면 침투량은 강우강도가 침투능보다 클 경우 식(2)의 Horton 식을, 강우강도가 침투능보다 작을 경우 식(3)의 Paulsen의 침투량 공식을 활용한다.

$$f(t) = f_e + (f_0 - f_e) \cdot e^{-k \cdot \Delta t} \tag{2}$$

여기서 $f(t)$ : t시간 침투능(mm/hr), $f_o$ : 초기침투능, $f_e$ : 종기 침투능, k : 상수

$$f_i = f_o + (f_o - f_{i-1}) \cdot e^{-k_D \cdot c_{hv} \cdot \Delta t} \tag{3}$$

여기서, $f_i$ : i시간 침투능(mm/hr), $f_{i-1}$ : 이전 침투능, $k_D$ : 재생 상수, $c_{hv}$ : 현재/평균 증발량 비율

빗물저류조의 경우 물수지 관계로부터 월류수심 $h_b$를 초과하는 유출량 $Q_b$를 산정하며, 습지(Swales)의 경우 아래 식(4)로부터 습지 하부 침투량을 산정하여 적용한다.

습지하부 침투량 $Q_{v,M}$은

$$Q_{v,M} = \frac{k_{f,M}}{2} \cdot A_s(h) \cdot 1000 \tag{4}$$

여기서, $Q_{v,M}$ : 침투량(㎥/s), $k_{f,M}$ : 습지하부 투수계수(m/s), $A_s(h)$ : 침투가능 습지 표면적(㎡)

습지로부터의 최대유출량 $Q_{v,M,\max}$은

$$Q_{v,M,\max} = 0.1 \cdot A_{red} \cdot 1000 \tag{5}$$

여기서, $A_{red}$ : 집수면적(㎡)

침투트렌치는 습지와 마찬가지로 침투가능한 표면적으로부터의 침투량을 산정하고, 일정 방류량(Throttle discharge) $Q_{D,R}$과 아래 식(6)의 트렌치 월류량으로부터 저류량 변화를 산정하여 모의한다.

$$Q_{A,\max}(h = h_R) = \mu \cdot A_Q \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_R + \frac{h_R}{20})} \cdot 1000 - Q_{D,R} \tag{6}$$

여기서, $h_R$ : 트렌치 최대수심(m), $A_Q$ : 연결관 단면적(㎡), μ : 유출계수(=0.7)

## 3. 대상 유역

본 연구는 인천지역에 도입예정인 C지구를 대상으로 하였다. 본 지구는 동측으로 철마산(226m), 계양산(395m) 등에 의해 둘러싸인 분지형이며, 동서쪽으로 2%이내 경사를 갖는 평탄형 지형으로 대부분 공유수면 매립에 의해 조성되었다. 평균지반고 3m(홍수위 4.2m)이하인 순성토지역이며, 갯벌매립지로 연약지반층이 존재(심도 5~20m)한다. 지방2급하천으로 지정된 공촌천(993m)과 심곡천(895m)이 본 사업지구를 관통하여 서해로 유입되는 공간적 특성을 갖고 있다[4].

본 연구에서는 C지구에 도입예정인 공동주택단지 중 3공구 및 5공구 일부지역을 대상으로 하였으며, 대상지역의 총 면적은 1,069,800 ㎡이다.

그림 1. 인천 C지구 조감도(좌)

그림 2. 3공구 토지이용계획

## 4. 택지개발 후의 물순환 특성 모의

STORM 모형을 이용하여 택지 개발 후의 물순환 특성을 모의하였다. 대상강우는 10년간의 인천 기상청 시우량 자료(1995.1.1~2004.12.31)를 활용하였으며, 단지 내 집수구역의 설정 및 우수관거의 설정은 단지 실시설계보고서 및 관련도면을 참조하여 구축하였다. 모형 내 집수구역별 우수유출 특성을 좌우하는 표면손실 및 유출계수는 토지이용 특성에 따라 아래와 같이 설정하였으며, 제반 입력자료를 이용하여 그림 3과 같이 네트워크를 구축하였다.

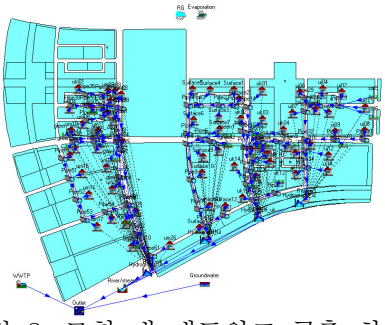

그림 3. 모형 내 네트워크 구축 화면

표 1. 표면손실 및 유출계수

| 토지이용 | 습윤 손실 (mm) | 식생 차단 (mm) | 초기유출계수 | 종기유출계수 |
|---|---|---|---|---|
| 불투수층 | 0.5 | 1.8 | 0.3 | 0.85 |
| 투수층 | 2.0 | 3.0 | 0.0 | 0.3 |

STORM 모형을 활용하여 공동주택단지 조성 후의 빗물 확보가능량을 모의한 결과 10년간 표면손실량을 제외한 유효우량(Netto-precipitation)으로부터 연평균 937,782 ㎥/yr 집수가 가능할 것으로 분석되었다.

표 2. 택지 개발 후 10개년간 연평균 물수지

| Field | Absolute | Co mm | Percentage |
|---|---|---|---|
| | [㎡]/[㎥] | [mm] | [%] |
| Brutto-precipitation | 1,385,754.7 | 1295.3 | 147.77 |
| Surface loss | 427,452.8 | 399.6 | 45.58 |
| Infiltration on surface | 20,519.4 | 19.2 | 2.19 |
| Netto-precipitation | **937,782.3** | **876.6** | **100.00** |
| Dry weather inflow | 0.0 | 0 | 0.00 |
| System inflow | 937,782.3 | 876.6 | 100.00 |
| Outflow from system (inflow WWTP) | 0.0 | 0 | 0.00 |
| Overflow/Direct introduction (Inflow to river/stream) | 937,782.3 | 876.6 | 100.00 |
| Infiltration from system (Inflow GW) | 0.0 | 0 | 0.00 |
| Evaporation from system | 0.0 | 0 | 0.00 |
| Withdrawal from system | 0.0 | 0 | 0.00 |
| Starting volume in system | 0.0 | 0 | 0.00 |

## 5. 공동주택 빗물관리시설 도입효과 예측

### 5.1 빗물관리시설 규모 결정

C지구는 바다와 인접한 매립지형으로서 낮은 지하수위의 영향으로 침투시설의 도입이 어려우므로 빗물저류시설을 활용한 이·치수 및 물순환 기여효과를 검토하고자 하였다. 저류한 빗물은 호수공원 증발량 보충수, 공원 수경시설, 화장실 세정용수, 도로노면 청소용수, 학교 친수시설 등으로의 활용할 계획이며, 대상 지역의 4개 소유역 중 3개 소유역 출구점에서 우수를 집수하여 급수할 경우 저류용량별로 우수이용률을 산정하여 적정한 빗물저류시설 용량을 결정하였다.

아래 그림은 저류용량별 각 저류조에서의 우수이용률 그래프이며, 평균 우수이용률 80% 수준에서 용량 증가 대비 효율이 급격히 감소되는 지점의 용량인 12,600㎥을 선정하였으며, 아래 표는 저류시설 설치 후의 물수지 특성을 보여주고 있다.

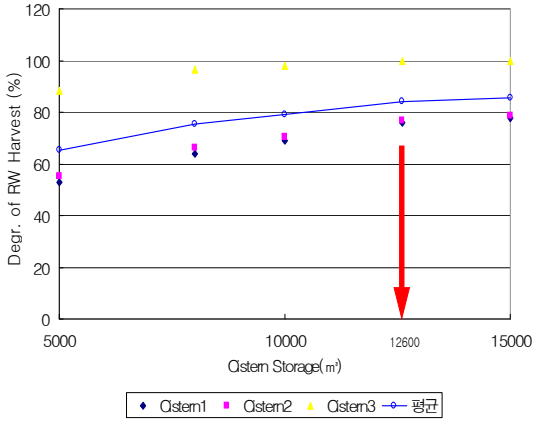


그림 4. 저류용량별 우수이용률

표 3. 저류시설 설치 후 물수지 특성(V=12,600㎥)

| Field | Absolute | Co mm | Percentage |
|---|---|---|---|
| | [㎥] | [mm] | [%] |
| Brutto-precipitation | 13,85,754.7 | 1,295.3 | 142.60 |
| Surface loss | 427,452.8 | 399.6 | 43.99 |
| Infiltration on surface | 20,519.4 | 19.2 | 2.11 |
| Netto-precipitation | 937,782.3 | 876.6 | 96.50 |
| Dry weather inflow | 0.0 | 0 | 0.00 |
| System inflow | 971,746.7 | 908.3 | 100.00 |
| Outflow from system (inflow WWTP) | 0.0 | 0 | 0.00 |
| Overflow/Direct introduction (Inflow to river/stream) | **814,102.6** | **761.0** | **83.78** |
| Infiltration from system (Inflow GW) | 0.0 | 0 | 0.00 |
| Evaporation from system | 0.0 | 0 | 0.00 |
| Withdrawal from system | 123,260.6 | 115.2 | 12.68 |
| Starting volume in system | 0.0 | 0 | 0.00 |

### 5.2 빗물관리시설 도입 효과

상기와 같이 빗물저류시설 도입 시의 이수·치수, 물순환 기여 효과를 검토하였다. 3개의 소유역 출구점에 12,600㎥의 빗물저류시설 도입 시 그림 4에 표시한 바와 같이 저류시설 유입수량 대비 84%의 우수이용률을 나타내며, 표 3과 같이 연평균 123,206㎥의 빗물을 활용함으로써 시스템 유입수량 대비 12.7%의 총유출량 저감 효과를 보일 것으로 나타났다.

저류시설 월류수를 호수로 방류할 경우에 대하여 치수효과 및 물순환 기여 효과를 분석한 결과, 빗물 활용 및 호수 방류를 통해 저류조 설치 전에 비해 20.25%의 총유출량 저감(저류시설 설치 전 하천방류량 대비), 약 120%의 물순환 기여 효과가 증가하는 것으로 분석되었다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 택지개발과 같은 도시화로 인한 영향을 검토하고, 개발로 인한 영향을 최소화할 수 있도록 적정 빗물관리시설을 계획·설계하고자 하였다. 본 연구는 외국 모형을 활용하였으나 이수 기능뿐 아니라 도시 물순환에 기여할 수 있는 빗물관리시설 계획·설계 시 충분한 참고자료가 될 것으로 기대된다.

## 감 사 의 글

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

## 참 고 문 헌

1. 과학기술부(2004), 우수 저류 및 활용 시스템 적용 1단계 최종보고서
2. 과학기술부(2007), 우수 저류 및 활용 시스템 적용 2단계 최종보고서(안)
3. 서울특별시(2004), 서울특별시 물순환 기본계획 연구
4. 한국토지공사(2006), 인천C지구개발사업 기본 및 실시설계보고서
5. IPS(2006), STORM Manual