

화단형 침투시설의 단위설계침투량 산정 및 효과분석[†]

한영해* · 이태구**

*에코아르케 생태도시건축연구소 · **세명대학교 건축공학과

Estimation of Appropriate Infiltration Rate and the Effects of the Flowerbed Type Infiltration System

Han, Young-Hae* · Lee, Tae-Goo**

*Eco-Arche Institute of Ecological Urban Design and Architecture

**Dept. of Architecture Engineering in Semyung University

ABSTRACT

This study developed a flowerbed type infiltration system that could control the amount of runoff discharge under a certain level estimated its proper design infiltration rate, and analyzed the effects of its implementation. Analyzing the performance of infiltration system is the one of the essential processes that should be under review to predict its effects after implementation when a rainwater infiltration system is included in a district-based plan.

To estimate the unit design infiltration rate of this system, the runoff decrease effect was analyzed by varying the unit infiltration rate of the system applied to the parking lot adjacent to the Korea Institute of Construction Technology laboratory building by using a water balance analysis program. After varying the unit design infiltration to 0.1 ~ 3m³/m².day to analyze the variation in the rate of runoff, 80% of the runoff was infiltrated at 1.0m³/m².day, and the unit infiltration design rate at the time was 0.0416(m³/m².hr). It was also found that the unit design infiltration rate obtained from a field infiltration test of the developed system was about 0.045m³/hr.

Based on this study, it was possible that infiltration rate is estimated to consider the economic scale and environmental effect. It is significant to apply the spatial plan of rainwater infiltration system as green infrastructure.

Key Words: Hydrologic Analysis, Runoff Discharge, Green Infrastructure, Field Infiltration Experiments

국문초록

본 연구에서는 우수 유출량을 일정수준 이하로 제어할 수 있는 화단형 침투시설을 개발하여 이의 적정 설계침투량을 산정하고 적용효과를 분석하였다. 침투시설의 설계침투량을 산정하고 성능을 분석하는 것은 지구단위계획과 같은 공간계획에 구체적으로 빗물침투시설을 계획할 경우에 적용 후 효과를 예측하는데 있어 반드시 검토되어야 할 사항이다.

이에 본 연구에서는 한국건설기술연구원 실험동 옆 주차장을 대상으로 본 시설의 단위설계침투량에 변화를 주어

[†]: 이 논문은 2012년 국토해양부 첨단도시개발사업(과제번호-11첨단도시C07)의 지원에 의해 수행되었습니다.

Corresponding author: Young-Hae Han, Eco-Arche Institute of Ecological Urban Design & Architecture, Chungbuk 390-230, Korea, Tel.: +82-43-653-7291, E-mail: youngseahan@empas.com

물수지 분석 프로그램을 이용, 유출량 감소효과를 분석하였다. 침투시설의 설계침투량을 $0.1 \sim 3\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{day}$ 로 각각 변화를 주어 유출을 변화를 분석한 결과, $1.0\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{day}$ 에서 유출량 80%를 침투시키는 것으로 분석되었으며, 이때의 단위설계침투량이 $0.0416(\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{hr})$ 이었다. 또한 개발한 시스템을 현장침투실험한 결과, 단위설계침투량이 약 $0.045\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{hr}$ 으로 나타났다. 이 값은 시뮬레이션한 단위설계침투량과 유사한 것으로 분석되었다.

본 연구결과를 토대로 경제적인 규모와 환경적 효과를 최대한 고려한 침투량 산정이 가능하였으며, 또한 도시에서의 녹색인프라로서 빗물침투시설을 공간계획에 적용할 때 고려할 수 있는 근거를 마련했다는 데 의의를 갖는다.

주제어: 물수지분석, 유출량, 녹색 인프라, 현장침투실험

1. 서론

최근 기후변화에 따른 집중호우 및 가뭄 등의 문제점을 극복하기 위하여 정부에서는 보다 체계적으로 이를 대응하기 위해 다양한 정책 및 제도 등을 수립하고 있다. 특히, 2011년 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」의 시행령 개정안 내용 중 도시계획 단계에서 홍수나 가뭄 등을 사전에 방지하고, 효과적으로 대처하기 위한 조치를 다루고 있다.

즉, 광역도시계획, 도시기본계획, 도시관리계획 등을 수립할 때 자연재해대책법 제 16조에 따른 풍수해저감종합계획의 내용을 반영하도록 의무화한 것이다. 이러한 조치는 공간계획과 기후변화 대응의 연계성을 강화하기 위한 수단으로서, 각종 도시계획 수립단계부터 기후변화에 따른 자연재해에 선제적으로 대응하는 것을 목적으로 하고 있다. 이러한 조치로 말미암아 앞으로 공간계획 수립 시 빗물의 이용, 침투 및 저류를 유도하는 시설이 도시기반시설로서 적용될 수 있는 근거가 되었다.

미국 환경청(EPA)에서는 자연의 물순환을 유지하고 회복하기 위해 빗물을 침투, 증발, 집수 및 재사용하는 시설을 도시지역에 적용하고자 이러한 시설을 녹색인프라의 하나로 규정하고 있다(Benedict and McMahon, 2000). 서울시의 경우에도 수해방지 대책 중 하나로 기존의 평면적 빗물처리 방식에서 탈피하여 저류시설 확충을 통한 입체적 처리 방식을 도입하고, 침투시설 등 분산형 빗물관리를 도입함으로써 궁극적으로 물순환을 개선하고자 하고 있다(신상영 등, 2011).

이러한 배경 속에서 앞으로의 빗물관리는 강우 시 유출량 자체를 제어할 수 있도록 새로운 개발행위에 의해 증가하는 유출량은 현지에서 처리하고 공공관거로의 유입을 제한하게 된다. 기존지역에서는 기존의 하수관거 용량이 일정 강우강도 이상의 강우에 대해 처리능력이 부족한 경우를 대비하여 추가적으로 지역내에 침투 및 저류시설을 설치함으로써 늘어나는 유출량을 처리할 수 있는 방안이 적극적으로 모색되어야 한다.

분산식 빗물관리를 위한 시설계획을 할 때 두 가지 방법으로 접근 가능하다. 하나는 분산식 빗물관리에 의한 처리목표를 설정하고, 시설의 규모를 산정하는 방법과 다른 하나는 대상지의

현황을 바탕으로 시설을 배치계획하고, 적용된 시설의 설계침투량을 적용하여 예상되는 효과를 분석하는 방법이다. 전자의 경우는 토지이용별 적용시설에 따라 설계강우의 설계빈도와 지속시간을 적용하여 용량을 산정함으로써 계획목표량을 처리하게 된다. 독일의 하수처리협회(ATV, Abwassertechnisch Vereinigung)의 지침서에 의하면 도심지역의 상업, 공업지역에 빗물침투시설을 적용할 경우, 5년빈도 설계강우를 적용하도록 하고 있다. 또한 일본의 수공구조물 설계 시 적용 설계빈도는 유역 저류시설일 경우 5~10년 빈도, 방재조절 기능의 시설일 경우 50년 빈도, 하수도 우수조정지일 경우 5~10년의 재현기간을 적용하도록 하고 있다(한영해, 2005).

후자의 경우, 대상지역의 토지이용 등의 제약 때문에 설치할 수 있는 침투시설에 한계가 있고, 목표대책량을 만족할 수 없는 경우에는 설치가능한 시설의 규모를 최대로 계획하고, 그에 대한 효과를 분석함으로써 시설용량을 결정하는 것이다. 이와 같은 방법에서는 적용되는 침투시설의 단위설계침투량을 산정하는 것이 요구되며, 그 값은 적용시설의 실험을 통해 얻을 수 있다. 일본에서는 침투시설의 형상과 설계수두를 인자로 하는 간편식을 이용하여 기준침투량을 구하고, 여기에 각종 영향계수를 곱하여 단위설계침투량을 산정하는 방식을 취하고 있다(박주석 등, 2006).

본 연구에서는 소규모 집수구역에 대한 분산식 빗물관리를 수립하는데 있어서 시설배치계획을 수립하였을 때 요구되는 시설의 설계침투량 산정방법과 산정된 결과를 통해 적용 후 예상되는 효과를 분석하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구범위

분산식 빗물관리계획을 수립할 때에는 적용대상지의 분산식 빗물관리에 의한 처리목표량, 대상지에의 배치계획, 적용하는 시설의 규모, 단위설계침투량 등이 요구된다. 한편, 도시지역에서 주차공간은 포장면의 특성상 열섬현상 및 유출량 증대, 도

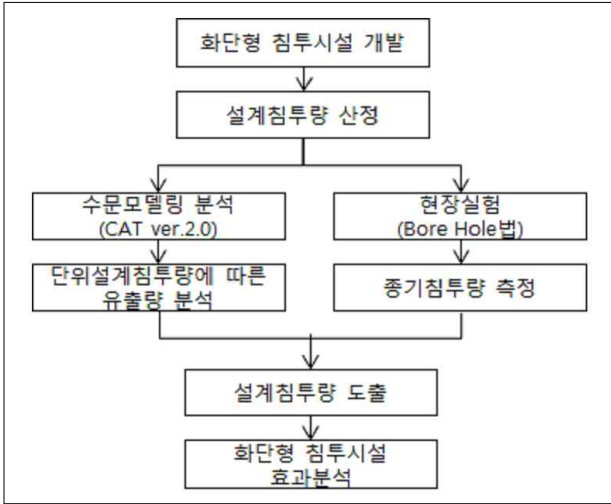


그림 1. 연구과정 및 주요내용

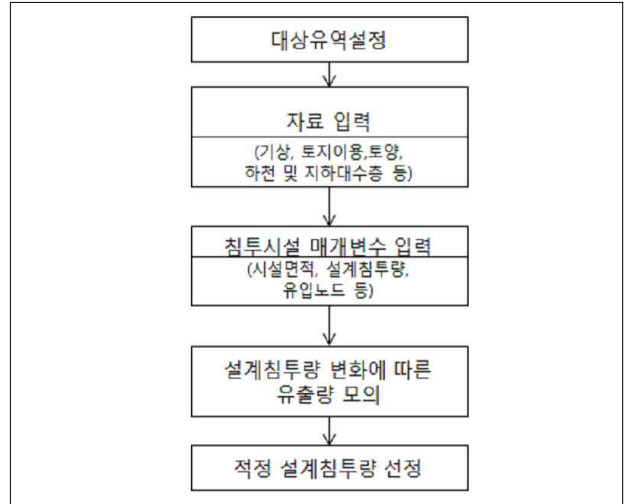


그림 2. 수문모델링 분석과정

시도양 건조화, 수질오염 등 환경적 부하를 일으키는 공간이다. 이러한 문제점들을 개선하기 위하여 주차공간의 녹지대를 이용하여 유출수를 침투저류시킴으로써 유출량을 일정수준 이하로 제어할 수 있는 시설 적용이 요구된다.

이에 본 연구에서는 유출이 발생하는 현지에서 침투, 저류가 가능한 시설로서 화단형 침투시설을 선정하였으며, 이를 주차공간에 배치하고 적용시설의 설계침투량을 변화시킴으로써 대상지에서 어느 정도의 처리수준에 도달하는지를 수문모델링을 이용하여 그 값을 도출하고자 한다.

또한 이 값의 적정성을 검토하기 위하여 실제 화단형 침투시설을 현장에서 설치하여 중기침투량을 측정함으로써 두 값의 비교를 통해 적절한 설계침투량을 선정하고자 한다. 최종적으로 도출한 화단형 침투시설의 설계침투량을 이용하여 적용 전·후의 유출량 감소효과를 분석한다(그림 1 참조).

2. 연구방법

적용시설의 적절한 설계침투량을 구하기 위하여 실제 개발한 화단형 침투시설을 대상으로 수문모델링에 의한 방법과 현장실험을 통해 설계침투량을 산정하여 두 값의 비교를 통해 적절한 설계침투량을 산정하고자 한다.

1) 수문모델링 분석

집수유역의 수문 모델링을 위하여 한국건설기술연구원에서 개발한 도시수문해석 프로그램인 CAT(Catchment Hydrologic Cycle Assessment Tool, ver.2.0)을 사용하였다(그림 6 참조). 본 모형은 다양한 분산식 빗물관리시설을 적용하여 물수지분석이 가능하다. 분석을 위하여 해당지역의 지형, 지질, 수문, 수리, 기상 등의 특성을 반영하는 입력자료가 필요하며, 물리적

매개변수 값들은 토지이용자료, 토양도, 하천자료 등을 활용하여 입력하였다.

대상유역은 한국건설기술연구원에 위치한 주차공간으로 하였으며, 적용시설은 본 연구에서 개발한 화단형 침투시설이다. 침투시설에 대한 매개변수 중 설계침투량을 변화시켜 시물레이션하여 설계침투량과 유출량의 관계를 분석하여 적정 설계침투량을 선정하였다(그림 2 참조).

2) 현장침투실험

현장침투실험은 실제 개발한 화단형 침투시설의 1m 단위규모를 실제 제작하고, 현장에 설치, 정수위 실험을 통해 시설의 중기침투량을 측정하는 방법으로 진행되었다. 이는 화단형 침투시설의 설계 침수심에 상당하는 수위까지 물을 지속적으로



그림 3. 실험체의 현장설치 및 정수위시험 현황

주입하여 시간이 지남에 따라 일정한 수량만큼 주입되는 양을 측정하여 시설의 종기침투량을 구하였다.

우선, 시설 설치를 위해 현장에 터파기를 실시하고, 화단형 침투시설을 설치하였다. 설치할 때에는 현장에 시공하는 방법과 동일하게 맨 하단에 부직포를 깔고 시설을 시공하였다. 그러나 본 실험에서는 화단형 침투시설의 침투능을 산정하기 위한 목적이므로 상단에 여과시설과 토양, 식물의 식재는 생략하였다. 최종적으로 주변의 토사가 유입되지 않도록 부직포로 덮고 잔토를 되메운 후 주변에 물을 주입하여 교란된 토양을 안정화하였다(그림 3 참조).

실험은 2012년 4월 7일과 8일에 걸쳐 총 3개의 시설에 대해 실시하였으며, 실험대상지의 토양은 사질점토로서 투수계수가 $10^{-5} \sim 10^{-7} \text{m/sec}$ 이다.

III. 결과 및 고찰

1. 화단형 침투시설 개발

본 연구에서 개발한 화단형 침투시설은 상부에 관목 및 지피 식물의 식재가 가능하며, 하부에는 토양과 식물에 의해 유출수의 오염을 자연 정화할 수 있는 시설이다. 또한 집중강우에 대비하여 토양하부에 저류공간을 두어 침투된 빗물의 일시저류 및 침투를 유도하도록 개발되었다. 하부의 저류구조체는 깊이 1m로 되어 있으나, 빗물처리 목표량에 따라 용량의 가감이 가능하도록 적층형 셀 단위로 구성할 수 있다(세명대학교 산학협력단, 2012).

일반강우 시에는 화단형 침투시설로 유입된 유출수가 전처리조를 거쳐 중금속 및 탁도 등을 필터링하고, 토양층을 통과하면서 2차 정화과정을 거친다. 정화된 빗물은 지하의 저류구조체에 일시 저류되고, 시간이 지남에 따라 원지반으로 침투되어 자연계로 돌아가도록 작동된다. 한편, 집중 강우시에는 토양으로 침투되는 빗물의 양보다 유입되는 양이 더 많기 때문에, 상부에 위치한 월류조로 직접 들어온다. 이 빗물이 지하저류조에 가득 차면 도시우수관으로 연결된 월류관을 따라 방류되도록

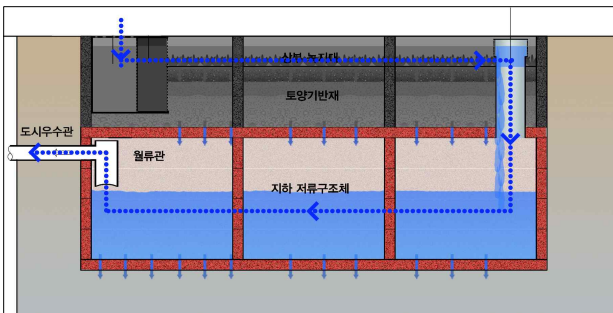


그림 4. 화단형 침투시설의 구조 및 집중강우 시의 작동원리



그림 5. 화단형 침투시설의 주차공간 적용에서도

작동된다(그림 4, 5 참조).

화단형 침투시설은 주로 도로변이나 주차장과 같이 불투수 포장면에서 유출되는 빗물을 전처리하여 지하에 침투시킴으로써 기존의 우수관거 용량을 초과하는 빗물을 현지에서 처리할 수 있는 시설이다.

2. 시뮬레이션에 의한 설계침투량 산정

1) 모형 입력자료 구축

(1) 기상자료

본 모형에 입력한 기상자료는 서울기상대의 강우, 평균기온, 풍속, 일조시간, 습도 등의 시계열자료이다. 2000~2009년의 기상자료를 이용하였다.

(2) 토지이용 자료

대상모의유역인 주차공간의 면적은 553m^2 이며, 시설 설치전에는 100% 불투수포장으로 이루어졌다. 여기에 화단형 침투저류시설을 기존의 녹지대에 조성할 경우 115m^2 의 시설면적이 투수면으로 확보된다. 또한 불투수지역 및 투수지역의 웅덩이 저류능은 각각 2mm를 적용하였다.

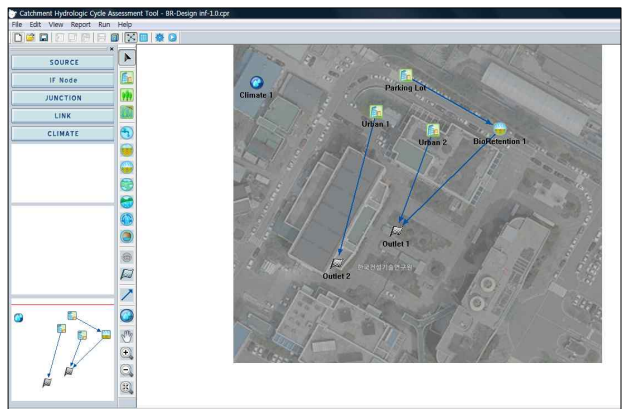


그림 6. 대상지 현황 및 CAT 모의 화면

(3) 토양

CAT에서는 토양에서의 침투 및 증발산 등을 토양의 물리적 특성에 기반하여 해석하며, 이를 위해서는 표층토양에 대한 매개변수 자료가 구축되어야 한다. 본 모형에서 사용되는 표층토양의 물리적 특성치는 토양 깊이, 포화투수계수, 사면방향 투수계수, 포화함수율, 잔류함수율, Mualem's n 등이 있으며(한국건설기술연구원, 2011), 표층토양의 매개변수에 대한 정보는 매뉴얼에 제시된 해당토양의 변수값을 입력하였다(표 1 참조).

해당지역의 표층토양은 Sandy Clay Loam이며, 이에 대한 매개변수값은 표 1과 같다.

(4) 하천 및 지하대수층

지하대수층 입력값 중 현재지하수위(gwE) 및 대수층 상면 표고(aqu Top)값은 침투시설의 침투능에 영향을 미치므로 2m 간격을 조건으로 설정하였다. 이는 침투시설의 설치 조건 시 일반적으로 지하수위로부터 2m 이상 거리가 유지된 지역에 침투시설을 설치하도록 하는 조건을 만족하기 위함이다.

주차장에서 유출된 빗물이 화단형 침투저류시설로 유입된 후 침투될 때, 침투된 빗물은 주차장 하부의 지하대수층을 채우면서 인근 유역 Urban2로 지하수의 이동이 일어난다고 가정하였다.

2) 시뮬레이션 조건

화단형 침투시설의 면적은 115m²이며, 주차장에서의 유출수를 이곳으로 유입하도록 계획하였다. 시설의 설계침투량은 하루 동안 침투 가능한 양을 입력하게 되며, 본 분석에서는 설계침투량을 0.1~3.0m³(m³/day)으로 변화시켜 시뮬레이션을 하였다. 예를 들어 설계침투량이 1.0m³/m².day이면, 본 시설의 단위설계침투량은 0.0416(m³/m².hr)이다. 시설로 침투된 빗물은 재사용되지 않고, 지하대수층으로 흘러들어 간다고 가정하였다.

3) 분석결과

기존의 주차장 현황에 대해 2007년 강우자료로 물수지를 모의한 결과는 다음과 같다. 기존 주차장 면적은 553m²이며, 아스팔트 포장으로 된 지역이다. 이 지역에서 일 년 동안 1,325mm의 강우가 발생했으며, 이중 162.6mm가 증발되고, 1,162.4mm

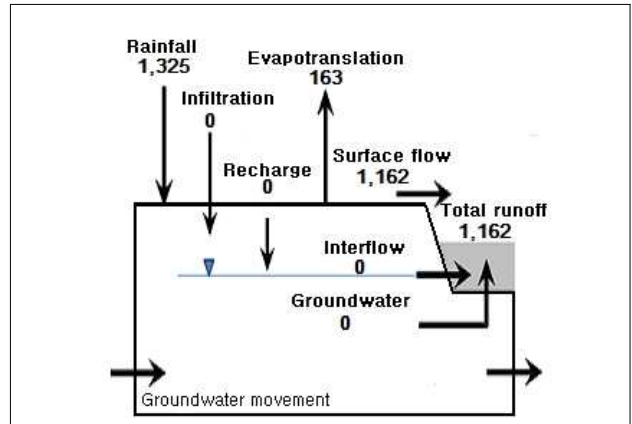


그림 7. 대상지의 침투시설 설치 전 물수지

유출됨으로써(그림 7 참조) 해당지역에서만 총 642.6m³이 유출되었다. 결과적으로 전체 강우량의 87.7%의 유출이 발생하였다.

한편, 화단형 침투시설을 설치하였을 경우는 다음과 같다. 침투시설 면적을 제외한 주차장 438m²에서 유출되는 빗물과 침투시설로 떨어지는 강우의 합이 침투시설로 유입되는 강우량(Surf_inflow)이다. 이 양이 연간 661.5m³에 이른다. 침투시설의 면적은 일정하게 두고 하부의 저류조 깊이를 달리하여 설계침투량의 변화에 따라 모의된 결과는 표 2 및 그림 8과 같다.

시설의 설계침투량을 1.0(m³/m².day)으로 모의하였을 경우, 시설에서의 유출량(Surf_out)은 연간 99.3m³의 유출이 발생되며, 침투시설 설치전의 유출량 642.6m³에 비해 약 15%가 유출됨을 알 수 있다. 이는 기존의 불투수포장면에 비해 시설의 설계침투량만큼 하부의 토양과 지하수로 유입되었음을 의미하고 있다.

설계침투량(Design_inf-1.0)이 0.1m³/m².day일 때에는 연간 강우량의 76%가 유출되는 양상을 보이며, 0.5m³/m².day일 때에는 약 35%가 유출되는 것으로 나타났다. 그러나 1.0m³/m².day을 기준으로 설계침투량 대비 유출량이 지속적으로 커지는 것은 아님을 알 수 있다(그림 9 참조). 이와 같은 시뮬레

표 2. 단위설계침투량에 따른 침투시설에서의 연간 총유출량 모의 (2007년 강우자료)

단위설계침투량 (m ³ /m ² .day)	Surf_inflow (m ³)	Surf_outflow (m ³)	Infiltrate (m ³)	EV_WS (mm)	유출률 (%)
Design_inf-0.1	661.5	502.4	156.4	24.8	76.0
Design_inf-0.3	661.5	330.2	328.7	24.8	49.9
Design_inf-0.5	661.5	230.2	428.7	24.8	34.8
Design_inf-1.0	661.5	99.3	559.2	24.8	15.0
Design_inf-2.0	661.5	23.2	635.4	24.8	3.5
Design_inf-3.0	661.5	6.5	652.1	24.8	1.0

표 1. 토성의 표층토양 입력 매개변수

토성	s_per	r_per	FC_per	W_per	Ks_per (mm/s)	Ksi_per (mm/s)	Mualem's n
Sandy clay loam	0.398	0.068	0.33	0.148	8.3E-04	8.3E-03	12

자료: 한국건설기술연구원, 2001: 66

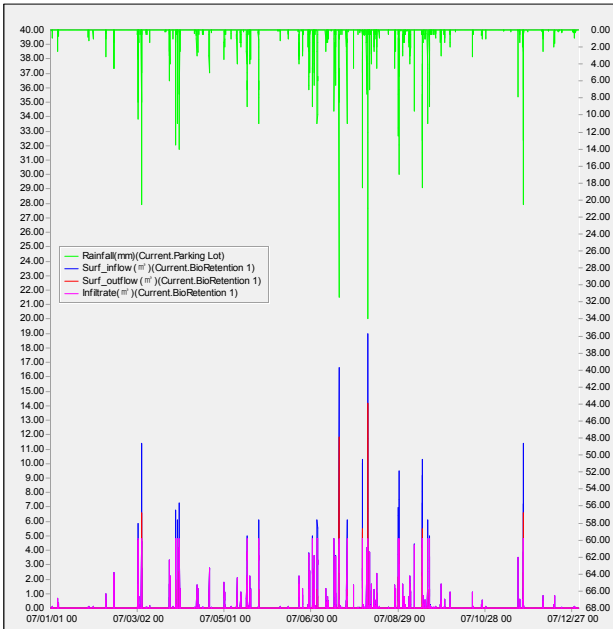


그림 8. 화단형 침투시설 설치 후 물수지(Design-Inf 1.0m³/m².day, 2007년 강우모의)
 범례: — 강수량(mm), — Surf_inflow(m³), — Surf_outflow(m³), — Infiltrate(m³)

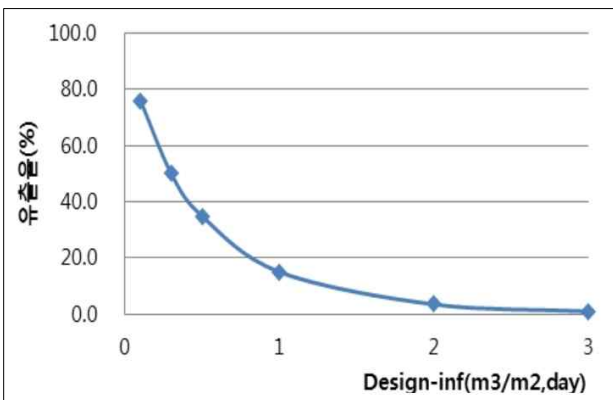


그림 9. 화단형 침투시설의 설계침투량에 따른 연간 유출율 변화 (2007년 강우자료 모의)
 범례: — 유출율

이전 결과에 따라 침투시설 설치 후 유출율 저감 목표를 결정할 수 있으며, 이에 따른 시설의 용량을 결정할 수 있게 된다.

3. 현장실험에 의한 설계침투량 산정

3곳에서 진행된 현장침투실험 결과, 주입시간 10~20분 사이에는 물이 급격히 유입되다가 그 이후부터 차차 주입량이 적어지게 되었다(그림 10 참조). 1차 실험결과, 화단형 침투시설의 종기침투량은 0.4L/min으로 이는 단위시간당 0.018m³의 침투량을 갖는다. 또한 2차 실험결과에 의하면 0.8L/min이며, 단위

표 3. 화단형 침투시설의 종기침투량

구분	측정값	종기침투량
1차 실험	0.4L/min	0.018m ³ /hr
2차 실험	0.8L/min	0.048m ³ /hr
3차 실험	0.7L/min	0.042m ³ /hr

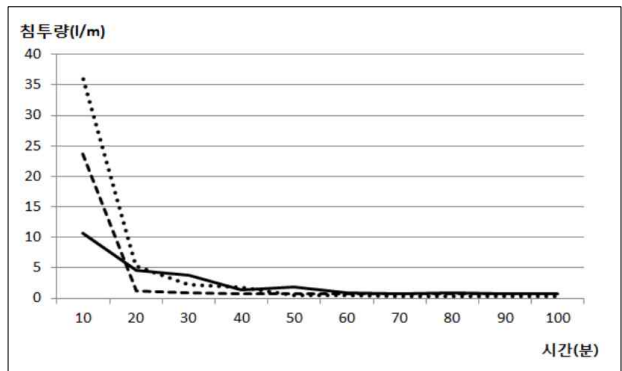


그림 10. 화단형 침투시설의 현장실험 결과
 범례: 1차, — 2차, --- 3차

시간당 0.048m³의 빗물을 침투하게 된다. 3차 실험에서는 0.7L/min으로 0.042m³/hr이다(표 3 참조).

측정값의 차이는 1차 실험 시 실험방법 및 측정상에 오류가 있었던 것으로 판단되며, 2, 3차 실험은 대상지의 토양계수의 미비한 차이에서 기인한 것으로 판단된다. 분석결과, 2, 3차 측정값이 유사하여 가장 유효하다고 판단, 두 값의 평균값을 구하여 이를 화단형 침투시설의 종기침투량 즉, 단위설계침투량으로 산정하였다. 즉, 화단형 침투시설의 단위설계 침투량은 0.045m³/m².hr이다. 이 값은 앞의 CAT 모형으로 시뮬레이션한 단위설계침투량 중 1.0m³/m².day(0.0416(m³/m².hr))값과 유사한 것으로 분석되었다.

4. 화단형 침투시설의 효과

1) 연간 유출량 저감효과

앞서 분석한 바와 같이 2007년 동안 1,325mm의 강우발생 중에서 화단형 침투시설을 설치하기 전에는 1,162.4mm 유출됨으로써 전체 강우량의 87.7%의 유출이 발생하는 것으로 분석되었다. 그러나 화단형 침투시설의 설계침투량을 0.0416(m³/m².hr)으로 하여 조성할 경우, 연간 총유출량의 약 15% 정도만 유출되는 것으로 분석되어 총유출량 저감에 상당한 효과가 있음을 알 수 있다(표 2 참조).

그림 11은 2007년 8월 한 달 동안에 발생한 강우량과 침투시설에서 처리된 양상을 분석한 것이다. 8월 한 달 동안 295mm의 강우가 발생하였고, 주차장에서 발생된 유출수가 총 1,031m³이었으나, 화단형 침투시설에서 침투 저류 후 약 225m³이 유출

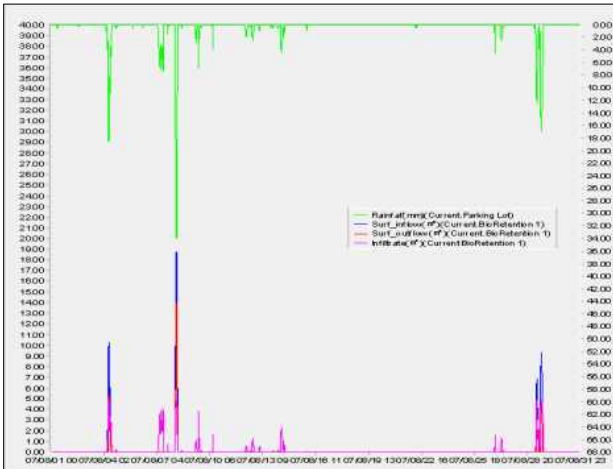


그림 11. 화단형 침투시설(Design-Inf 1.0m³/m².day)의 연간 물수지 (2007년 8월 강우모의)

범례: — 강수량(mm), — Surf_inflow(m³), — Surf_outflow(m³), — Infiltrate(m³)

되어 총 유출량의 21.8%만이 유출된 것으로 나타나고 있다(그림 11 참조).

2) 강우사상에 따른 유출량 저감 효과

본 분석은 시간당 강우강도가 달라짐에 따라 화단형 침투시설에서 처리하는 양의 변화를 살펴보기 위함이다. 8월 8일과 29일에 강우발생이 현저히 많았으며, 시간당 강우강도에 큰 차이가 있어 두 날을 선정하였다.

우선 2007년 8월 29일, 일 강우가 80mm 이상 발생하였으며, 강우패턴은 06:00~19:00까지 0.5~13.5mm의 강우가 고르게 내렸다. 화단형 침투시설로 유입된 유출수는 약 43톤에 이른다, 이 중 약 32톤이 침투처리되었다. 이날 화단형 침투시설에서 약 11톤 정도가 월류되어 우수관거로 흘러나간 것으로 분석되어 모의 결과, 유출율이 25% 가량 발생하였다. 시간당 침투유출량(m³/hr)은 64.5%가 감소하였다(표 4 참조).

반면, 2007년 8월 8일에는 하루 동안 72mm의 강우가 발생하였으나, 07:00~10:00까지 최고 시간당 강우량이 30mm 이상 발생하였다. 총 유입된 양은 약 39톤으로 이중 약 17톤 가량만 침투되고, 약 22톤 정도가 시설에서 월류되어 유출율이 약 57% 가량 발생하였다(표 4 참조). 시간당 침투유출량(m³/hr)은 32.3%가 감소하였다. 이는 하루 동안의 강우량이 많더라도 고르게

표 4. 강우사상별 화단형 침투시설 효과

일시	일강우 (mm)	최대강우 강도	Surf_inflow (m³)	Surf_outflow (m³)	EV_WS (mm)	Infiltrate (m³)
8월 29일	81	I=13.5mm/hr	43.7	10.89	0.48	32.73
8월 8일	72	I=34mm/hr	38.77	21.95	0.3	16.78

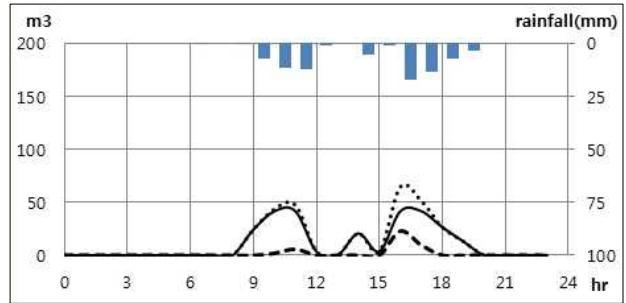


그림 12. I=13.5mm/hr일 때 화단형 침투시설에 의한 유출량 변화 (2007.8.29)

범례: — Rainfall(mm), Surf_inflow(m³), - - - Surf_outflow(m³), — Infiltrate(m³)

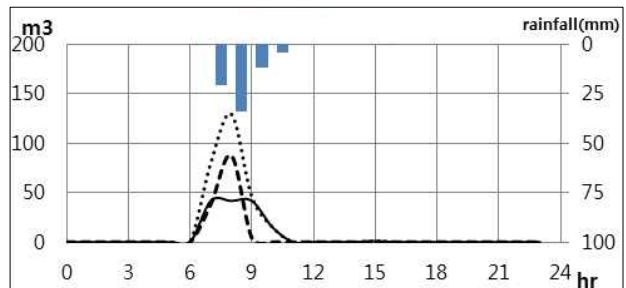


그림 13. I=30mm/hr일 때 화단형 침투시설에 의한 유출량 변화 (2007.8.8)

범례: — Rainfall(mm), Surf_inflow(m³), - - - Surf_outflow(m³), — Infiltrate(m³)

오는 경우 침투량이 많아지면서 유출량이 감소하나, 그에 비해 적은 강우량이라도 시간당 강우강도가 높을 경우에는 시설 내에서 미처 침투시키지 못하고 월류되기 때문에 외부로의 유출량이 더 많아지게 됨을 알 수 있다(그림 12, 13 참조).

IV. 결론

도시지역에서 불투수 포장면은 도시환경에 있어서 열섬현상 및 유출량 증대, 도시토양 건조화, 수질오염 등 환경적 부하를 일으키는 공간이다. 이러한 문제점들을 개선하기 위하여 주차공간의 녹지대에 적용가능하며, 우수의 유출량을 현지에서 침투시킬 수 있는 화단형 침투시설을 개발하였다. 또한 개발한 시설의 설계침투량을 산정하고, 이를 적용할 경우에 기대되는 효과를 분석하였다.

분석결과는 다음과 같다.

첫째, 주차공간에 배치계획 후 설계침투량을 달리하여 시뮬레이션한 결과 값 중 1.0m³/m².day 즉 0.0416m³/m².hr의 단위설계침투량을 적용했을 때 얻어지는 유출량 저감률이 대상지의 공간적 규모로 봤을 때 가장 적절한 규모로 판단되었다. 또한 실제 개발한 화단형 침투시설을 현장침투실험 결과, 사질점

토에서 침투량이 $0.045\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{hr}$ 을 나타냈다. 두가지 실험을 통하여 화단형침투시설을 사질점토에 적용할 경우 단위설계침투량을 이 값의 범위에서 적용할 수 있게 되었다.

둘째, 사질점토인 대상지에 단위설계침투량 $0.0416\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{hr}$ 로 계획할 경우, 적용대상지에서 연간 유출량이 총 유출량의 15%가 발생하여 유출량 감소효과가 85%에 이르는 것으로 분석되었다. 또한 2007년 8월에 월 강우가 300mm 이상 발생할 경우에도 약 20% 정도의 유출이 일어나는 것으로 분석되었다.

셋째, 시간당 최대강우강도가 $13.5\text{mm}/\text{hr}$ 이고, 하루에 80mm의 강우가 발생되었을 때는 유출율이 25% 발생하였다. 그러나 시간당 강우강도가 30mm 정도의 집중 강우시에는 유입량의 약 60% 가량 유출되어 침투유출에 대한 대비가 추가적으로 이루어져야 할 것이다.

이러한 수치는 침투트렌치나 침투측구와 같은 기존의 침투시설의 설계침투강도의 평균값이 약 $0.01\text{m}/\text{hr}$ 인 것에 비하여(박주석 등, 2006) 화단형 침투시설의 설계침투강도는 약 4배 이상의 유출량 감소 효과가 있음을 알 수 있다.

서론에서도 언급한 바와 같이 앞으로는 광역도시계획, 도시기본계획, 도시관리계획 등 공간계획을 수립할 때, 물순환 및 재해방지 등의 내용을 반영하도록 하는 관계법령이 수정되었다. 이에 따라, 좀 더 구체적인 빗물관리 계획이 요구될 것이며,

계획 수립시 계획시설의 성능 및 적용 후 예상되는 효과가 검토되어야 하는데, 이때 계획시설의 단위설계 침투량이 주요한 변수가 된다. 특히, 지구단위계획과 같은 구체적인 공간계획에서 이와 같은 침투시설을 계획할 경우, 본 연구의 결과인 단위설계침투량을 이용하여 대상지의 적절한 빗물관리 계획용량을 산정할 수 있으며, 신속하고 합리적인 효과를 예측할 수 있을 것으로 본다.

인용문헌

1. 박주석, 한무영, 송호면, 옴김, (사)일본우수저류침투기술협회 지음(2006) 일본의 빗물침투시설 기술-조사·계획편. 빗물학회. 한국빗물모으기운동본부.
2. 세명대학교 산학협력단(2012) 기후변화 대응형 도시 빗물관리시스템 연구보고서. 국토해양부·한국건설교통기술평가원.
3. 신상영, 이석민, 박민규(2011) 기상이변에 대응한 서울의 수해방지전략. SDI정책리포트 제96호.
4. 한국건설기술연구원 (2010) 도시구역 물순환 해석 모형(ver. 1.5) 사용자 매뉴얼.
5. 한영해(2005) 도시 주거지역에서의 분산식 빗물관리 계획모형 개발. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
6. Benedict, M. A. and E. T. McMahon(2000) Green Infrastructure: Smart Conservation for the 21st Century. Sprawl Watch Clearinghouse Monograph Series.

원 고 점 수 일: 2012년 8월 28일
 심 사 일: 2012년 9월 12일(1차)
 계 재 확 정 일: 2012년 9월 21일
 3인익명 심사필