



도심 공공건물 저영향개발 계획 및 유출량 최적화 계획 - 서울 농업공화국(가칭)을 중심으로 -

Optimized Planning for Urban Public Building Low Impact Development System Minimizing Runoff Volume

- Focused on Seoul Urban Farming Platform (Tentative name) -

장혜원* · 이병연** · 권미리***

Hye-Won Jang* · Byung-Yun Lee** · Mi-Lee Kwon***

* Graduate Student, Dept. of Architecture, Soongsil Univ., South Korea (jpippy0312@soongsil.ac.kr)

** Corresponding author, Professor, Dept. of Architecture, Soongsil Univ., South Korea (ecoville@ssu.ac.kr)

*** Coauthor, Principal, FLO Architects, South Korea (mlkwon@floarchitects.kr)

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this research is to evaluate rainwater storage capacity of green roof system with management trains and to find optimized alternatives. Low Impact Development(LID) techniques has been introduced and researched in Korea mitigating urban flooding issues caused by rapid urbanization and climate change. The management train comprised of several LID components and its integrated capacity is required in real projects, so this research set up the optimization process and conducted it. **Method:** In this study, the Magok Community Farm was selected as the target site, and the appropriate size was optimized for efficient stormwater runoff treatment to each catchment area when applying multiple LID components combination through the train plan of LID techniques. Bio-retention Cell, Rain Barrel, Infiltration Trench, Vegetative Swale were selected among LID technology factors by reviewing rainfall data and soil conditions, and parameters of appropriate values were derived and applied for analysis through EPA SWMM model. **Result:** This paper showed that the appropriate size calculation of LID facilities is more effective in terms of efficient rainwater management. This study is expected to be used as a reference material for the future LID method linkage plan and calculation of an appropriate scale.

© 2021. KIEAE all rights reserved.

KEYWORD

저영향개발
최적화
우수관리모형
유출량

Low Impact Development
Optimization
SWMM
Runoff

ACCEPTANCE INFO

Received Feb. 19, 2021

Final revision received Mar. 29, 2021

Accepted Apr. 2, 2021

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

도시는 시간의 흐름에 따라 사회적·문화적·환경적 영향을 받으며 끊임없이 변화하고 있다. 우리나라의 도시들도 70년대 산업화에 따른 급격한 경제성장과 도시인구집중 현상으로 균형발전 측면에 있어서 문제점이 발생하고 있다.

도시 집중화 현상으로 인한 급격한 도시 개발로 하천 건전화, 지하수 고갈, 도시 홍수, 수질 오염 등의 환경문제가 발생하고 있다. 지구온난화로 인한 기후변화는 단순히 지구 기후시스템의 변화와 더불어 도시의 물순환체계에도 큰 영향을 초래하였다[1]. 아스팔트, 콘크리트 등의 불투수면이 증가하면서 빗물 또는 눈이 녹은 물이 자연스럽게 땅으로 스며들 수 없게 되어 자연 물순환 체계와 완전히 다른 구조가 되어 버렸다.

우리나라는 도시화율이 높아 불투수율이 높고 매년 여름에 집중 호우가 발생함에 따라 홍수피해 위험이 증가하고 있다[2]. 도시화로

인한 불투수면적의 증가로 발생하는 다양한 도시 물 환경 문제는 사람과 밀접한 영향을 미친다. 저영향개발(Low Impact Development : 이하 LID)은 기후변화 대응 및 도시 재해 유발을 최소화하기 위한 방안으로 대두되고 있다.

본 연구의 목적은 (가칭)농업공화국에 건물 일체형으로 적합한 LID 기술요소들을 선정하고 요소기술들을 연계하여 적정 LID 배치 계획을 수립하고, 이러한 시스템이 최적 우수 유출량 최소화를 달성하기 위해서 주요한 요소기술들의 규모를 산정하는 것이다. LID 적용 시 집수 면적에 따른 우수유출수 모의를 위해 우수관리모형 EPA-SWMM을 이용하여 효율성을 분석하고, 분석 결과를 토대로 효과적인 LID 기법 적용을 위한 최소 적용 면적(규모)을 제시하고자 하였다.

1.2. 선행연구 고찰

LID 기법이란 개발 이전 자연의 상태로 수문 특성을 되돌려 우수 유출수를 침투 및 저류시켜 도시의 물 순환을 회복시키는 기법으로 국내에서도 LID의 중요성을 인식하여 LID 기법의 적용 효과와 효율성을 검증하기 위한 연구가 진행되었다. 특히, 현재 국내 LID 관련 연구 동향을 살펴보면 LID 기법의 제도 및 가이드라인 분석, 개별 기술

요소에 대한 효과 검증, 단일 기술요소에 대한 유출량 최적화 및 설계안 제시 등에 관한 주제로 주로 연구가 수행되었음을 알 수 있다.

배채영 외[3]는 개발된 지역에 발생원 단계에서 우수 처리를 위해 LID 기술요소인 옥상녹화와 투수성 포장을 적용하여 LID 적용 전·후 유출량을 분석하고 각 단일 기술별 우수유출저감 효율성에 대한 연구를 진행하였으며, 국내 특성을 반영한 입력 자료 구축과 더불어 다양한 기술요소를 활용하여 적용하는 연구의 필요성을 제기하였다. 유기영[4]은 개발지역의 LID 적용에 대한 중요성을 인식하고 도시지역에 LID 기술요소인 식생체류지를 적용하여 침투 및 저류를 통한 우수유출 저감 효과를 분석하고, LID 적용 시 식생체류지 설계에 대한 가이드라인을 제안하였다. 박윤경 외[5]는 LID 기술 요소 중 하나인 투수성 포장 설치에 따른 우수유출 저감효율을 목적으로 하는 최적 설계안을 제시하였다.

박윤경 외[5]는 후속 연구로 LID 시설은 다기능적인 역할이 가능하기 때문에 설치 뿐 만 아니라 다양한 기술요소를 고려한 설계방안을 제시하고 있으며, 김부연 외[6]는 현재 국내 LID 계획에 적용되는 기술요소 선정 기준은 개별 기술요소에 대한 기준이라고 지적하며, 각 기술요소들의 연계 계획을 통한 통합적 물관리 시스템으로서 LID 통합 계획 요소를 도출하였다.

선행 연구를 통해서 복수 LID 요소를 통한 통합 시스템의 계획과 정량 분석을 통한 적정 규모의 산정 연구가 통합될 필요가 있으며, 기존 지표면 설치 LID 시스템과 달리 건물 일체형 LID 계획 시 LID 기술요소의 연계 계획 및 우수유출량 최적화를 위한 최소 적용 면적(규모)을 제시하여 복합 시스템 계획 프로세스를 확립할 필요성이 제기된다.

1.3. 연구의 방법

연구 방법은 크게 4단계로 나뉘며 ABCD 순으로 진행된다(Fig. 1. 참조). A단계에서는 대상지에 LID 기술을 활용한 연계 계획을 통한 시나리오를 설정한다. B단계에서는 선행 연구를 참고하여 대상지 특성을 고려한 유역별 지표 특성과 LID 입력 변수를 도출하였다. C단계에서는 LID 적용 적정 규모 산정을 위해 면적(Area)과 통 높이(Barrel Height)를 주요 변수로 설정하여 D단계에서 EPA-SWMM 모형을 사용하여 시뮬레이션 진행 후 Storage Level(저장고 수위)과 Drain Outflow(드레인 유출량) 결과를 바탕으로 수조의 적정 크기를 도출한다.

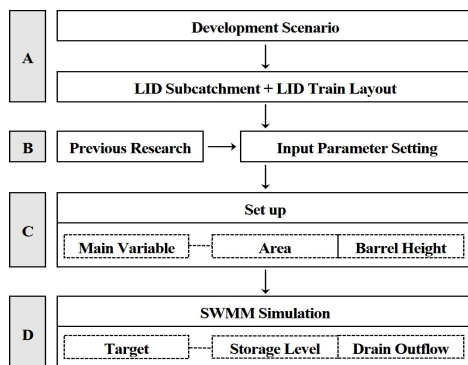


Fig. 1. A Research Methodology

2. 분석모형 설정

2.1. 대상지 현황 및 우수처리 계획

1) 대상지 현황

본 연구에서는 옥상녹화 저영향개발 계획 유형 및 유출량 최적화 효과를 검증하기 위하여 서울시 강서구 마곡지구에 위치한 (가칭)농업공화국업을 대상지로 선정하였다. 대상사업은 부지 11,817㎡에 연면적 10,009.18㎡ (지상 2,265.56㎡) 규모의 체험시설로서 농업의 과거·현재·미래와 도농상생을 체험할 수 있는 서울 농업의 상징적 공간을 목표[7]로 2023년 완공을 목표로 설계가 진행되고 있다(Fig. 2. 참조).

(가칭)농업공화국은 농업전시관부터 씨앗은행, 수직정원, 농부학교 등 다양한 실내 전시, 체험, 교육시설로 구성되며, 옥외공간에서 다양한 도시농업 체험을 할 수 있도록 계획되었다. 특히, 산등성이에 들어선 마을의 풍경과 같이 계단식 단면으로 조성된 건물 옥상에는 도시농업을 직접 체험하고 연구할 수 있는 옥상 텃밭과 휴게 조경공간으로 조성될 예정이다(Fig. 3. 참조).

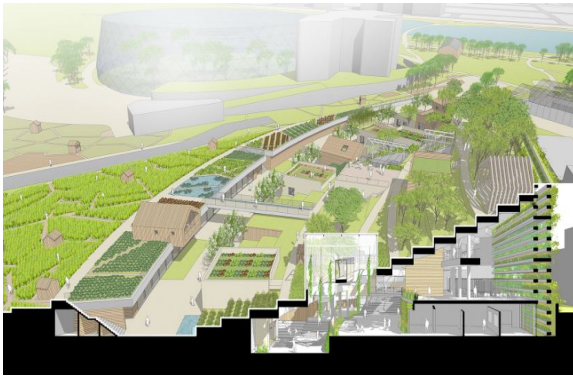
체험용과 연구용 텃밭으로 활용되는 일정 깊이의 토심을 확보하여야 하는 경작용 옥상녹화 계획을 통해서 옥상에서 유출되는 옥상 유역 빗물 유출량의 절감과 지연효과와 더불어 토양 내 저류로 인한 관개용수의 절감과 빗물의 분산 저장을 통한 관개용수 활용을 통한 장기적인 관개용수 절감효과를 위한 옥상 텃밭 우수처리 체계를 구축하였다. 실내 공간은 3개 층으로 구성되고 이를 반영하여 옥상 녹화 공간도 각 층에서의 외부 연결 통로를 중심으로 3층 옥상, 2층 옥상, 1층 옥상, 지하층 옥상으로 4단계 레벨로 크게 구획이 되며, 각 레벨에서 돌출된 실을 갖지 않는 영역에는 층별 옥상을 다시 4-5개 층위로 구분하는 작은 계단식 옥상들이 층간 보행로 사이에 구축된다. 옥상 텃밭은 최상단 3층 옥상에서부터 지하 1층 주 출입로에 이르기까지 연결되어 있다. 옥상 텃밭은 빗물의 저장 및 관수활용으로 우수를 순환 활용하기 위해서 소규모 권역으로 구획하여 계획하였으며, 기본 단위의 우수처리 계획을 반복 적용하여 계획하였다.

2) 우수처리 계획

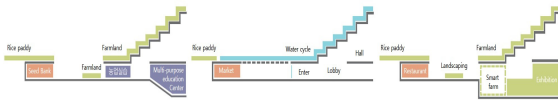
기본 단위 계획은 옥상 텃밭 앞쪽에 식생수로를 배치하여 옥상텃밭에서 흐른 유출수가 식생수로를 통해 침투 도랑으로 모이게 된다. 모인 유출수들은 다시 수조로 모여 농업용수로 활용되거나 수조에



Fig. 2. Site Plan



a) Perspective view



b) Section diagram[8]

Fig. 3. Section diagram

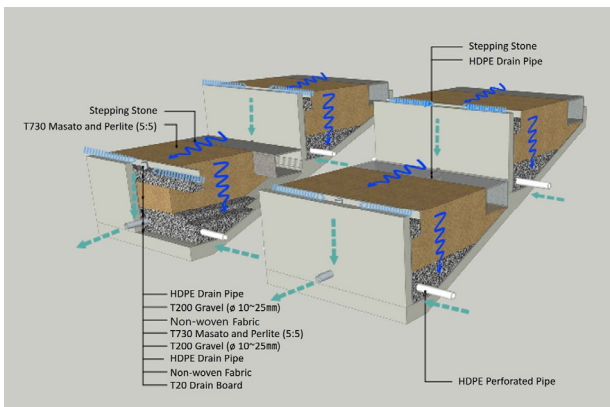


Fig. 4. Management Train of basic subcatchment

유출수가 일정 높이 이상 차게 되면 수조 내부에 있는 배수구를 통해 배출되는 구조이다. 이는 Fig. 4.와 같은 체계가 반복되는 구조로 계획하였다.

전체 계획 시 우수유출수를 관리할 수 있는 수조를 곳곳에 배치하였는데 이를 기준으로 세부 유역을 나누어 각 유역에서 발생하는 우수유출수를 저장하고 저류 할 수 있도록 계획하였다(Fig. 5. 참조). 총 25개의 유역으로 나누었으며 상층부에 5개 유역이 있고 중층부 9개 유역, 하층부 10개 유역으로 나누어 계획하였다. 25개 유역 중 18개 유역에 수조(Pond)를 계획하였다. 전체적인 흐름은 각 유역에서 발생한 우수유출수들은 각 유역에 배치된 수조로 모이도록 하는 것을 기본 흐름으로 설정하였다. 전체 대상지의 우수유출수 흐름은 Fig. 6.과 같다.

유역 13을 예로 들어 자세히 살펴보면 Fig. 7.과 같다. 우수유출수 발생 시 건물 지붕에서 발생한 우수유출수는 각 지붕에 설치된 선흡통을 따라 각 유역에 배치된 수조로 모이게 된다. 옥상텃밭에서 발생한 우수유출수는 중 일부는 텃밭으로 스며들고 월류(Overflow)가 일어나면 우수유출수는 옥상텃밭의 가장 높은 부분에서 낮은 부분으로 각 유역마다계획해 놓은 수조(Pond)로 모이게 된다. 모인

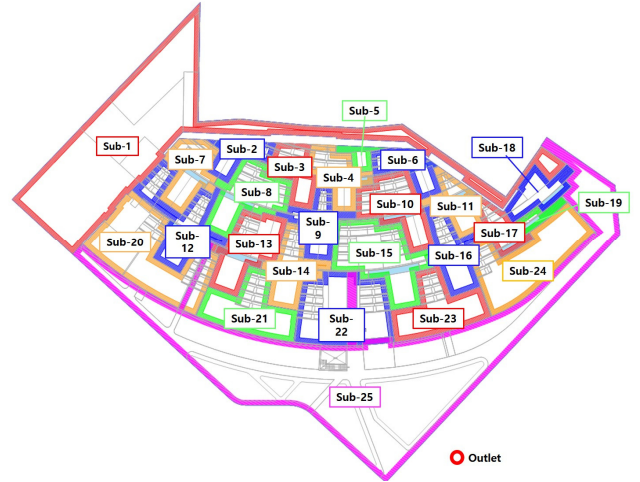


Fig. 5. Layout of LID subcatchment

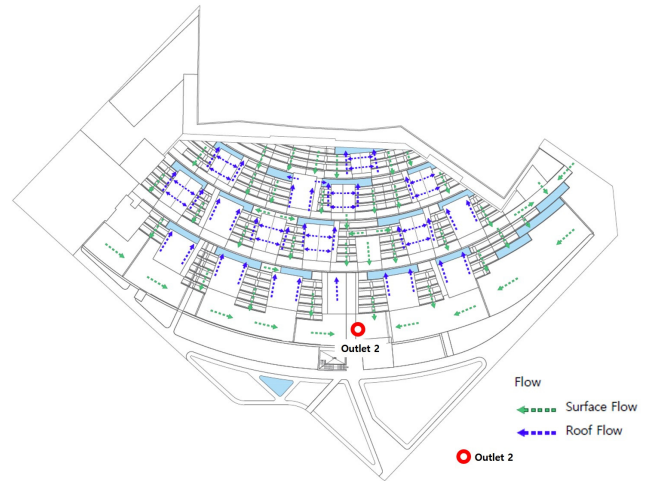


Fig. 6. Rainwater Runoff Flow Plan

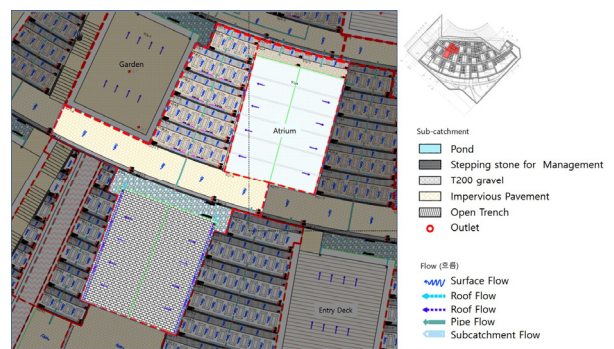


Fig. 7. Detailed runoff flow diagram of subcatchment 13

우수유출수는 옥상텃밭의 농업용수로 사용되고 수조에 우수유출수가 일정높이 이상이 되면 내부 설치된 유공관을 통해 배수관으로 배출되도록 계획하였다.

2.2. LID 기술 선정

본 모델링에 진행된 LID 기술은 식생수로(Vegetative Swale), 식생체류지(Bio-retention Cell), 침투 도랑(Infiltration Trench), 빗

물통(Rain Barrel) 총 4가지 LID 기술을 사용하였다. 옥상텃밭 부분은 우수유출수 저류가 가능한 최소 저장 높이(Storage Level) 산정을 위해 본 연구에서는 LID 기술 중 옥상녹화(Green Roof)가 아닌 식생체류지(Bio-retention Cell)로 설정하여 모델링을 진행하였고, 옥상 텃밭에서 발생한 우수유출수를 효율적으로 수조로 유출시키기 위해 침투 도랑과 식생 수로를 사용하였다. 각 구역별 우수유출수를 집수하는 수조는 저류 가능한 최소 저장 높이 산정을 위해 빗물통으로 설정하여 진행하였다.

분석에 사용한 주요 변수는 통 높이(Barrel height)와 면적(Area)을 사용하였다(Fig. 8.). 우수유출수가 도달하는 식생체류지의 면적은 각 구역에 따라 변하고 침투 도랑의 면적은 구역에 상관없이 동일하게 계획하였다. 본 연구에서는 V_a , V_b 를 조정하여 수조의 초기 면적을 $5m^2$ 로 설정하고 $2m^2$ 씩 증가시킴에 따라 Storage Level(저장고 수위)과 Drain Outflow(드레인 유출량)를 살펴보고 이를 토대로 수조의 적정 면적을 도출하고자 하였다.

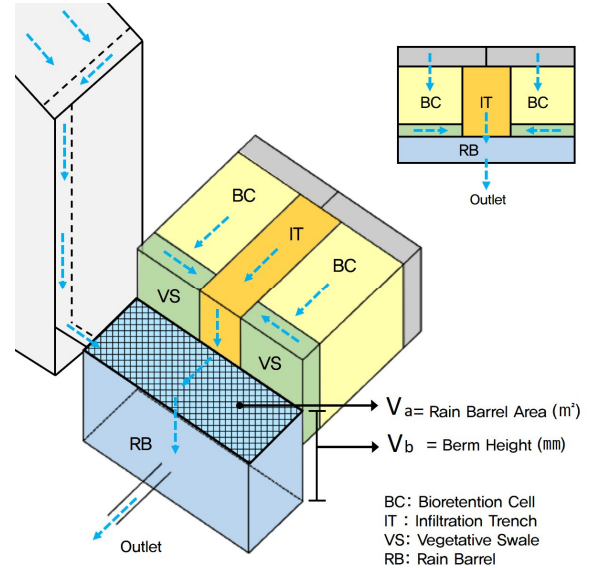


Fig. 8. LID plan of the rooftop garden and variable diagram

2.3. EPA-SWMM 모형

본 연구에서 사용한 모형은 미환경보호국 EPA (Environmental Protection Agency)에서 개발한 SWMM (Stormwater Management Model) 모형을 사용하였다. SWMM 모형은 우수유출수 시물레이션 모형으로 강우 및 기상자료, 소구역 자료 등을 입력하여 우수유출수의 수량과 수질을 계산하여 예측할 수 있다. 이에 본 연구에서는 가장 최근에 업데이트된 EPA SWMM 5.1을 분석 모형으로 선정하였다.

2.4. 적용 강수 모델

분석을 위한 강우자료는 시간단위 자료이며, 다음 Fig. 9.는 서울시의 최근 10년(2011~2020)간 강수량을 나타낸 것이다. 해당 강수량 자료는 기상자료개방포털에서 종관기상관측지점(ASOS)¹⁾에서 관측된 자료로 서울시의 최근 10년간 강수량을 분석하면 2011년 7월 평균 강수량은 1,131mm로 가장 많은 월 강수량이 나타났고 2013년 7월은 676.2mm, 2020년 8월 평균 675.7mm의 월평균 강수량이 나타났다.

2020년 8월의 경우, 3일에 최고 102.6mm가 관측되어 가장 높은 강수량을 기록하였고 해당 일의 10분 단위 강수 분포는 Fig. 10. 과 같다. 지역별 상세관측자료²⁾에서 2020년 8월 3일 24시간, 10분 간격으로 관측한 값을 그래프로 나타낸 자료이다.

본 연구에서는 서울지역 확률 강수량을 산정을 위하여 기존 PRISM(Parameter-elevation Regressions on Independent Slope Model)을 우리나라 기후에 적합하도록 개선한 K-PRISM(Korea Probability Rainfall Information System) 프로그램¹⁰⁾을 활용하였다. 옥상녹화의 특성상 보수적인 극심한 강우조건에 대한 대응방안 모색이 필요하며, 이를 위해서 100년 회귀년도 확률 강수량을 추산하였다. 엑셀 VBA 형식의 프로그램인 K-PRISM을 활용하여 추산한 강우데이터 Fig. 11.은 Huff 3분위, 강우 지속시간은 24시간, 강우 입출력 간격 10분 강우 데이터로 구축하여 EPA SWMM에 입력 활용하였다.

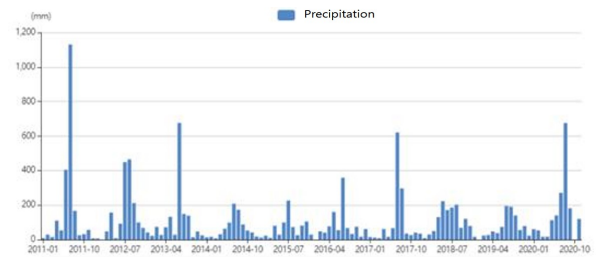


Fig. 9. Monthly precipitation for the last 10 years in Seoul (2011.11-2020.11)

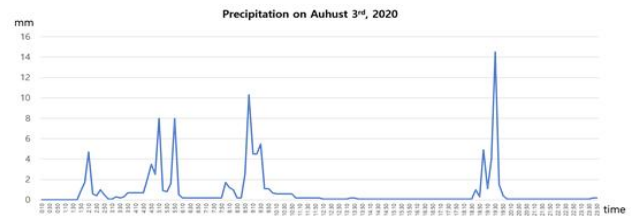


Fig. 10. Precipitation on August 3rd, 2020



Fig. 11. 24 hour rainfall profile of Seoul with 10 min interval and 100 return years developed by K-PRISM

3. 분석모형 적용

본 연구에서는 김부연¹¹⁾과 우수관리모형 응용매뉴얼¹³⁾, EPA에서 발간한 SWMM Manual¹⁵⁾에서 제시한 매개변수 범위값 내에

서 대상지 내 토양 특성을 고려하여 적정값을 선정하여 적용하였다.

3.1 유역별 지표 특성

유역별 지표 특성은 크게 기하(Geometry)지표, 투수·불투수 지표, 침투 지표로 나누어져 있다. 기하 정보인 면적(Area)과 폭(Width)은 각 유역 특성에 따라 입력하였고 Rain Gage는 3.2에서 언급한 100회귀년도 강우데이터를 사용하였다. 경사로(%slope) 지표는 전체 대지와 건물 지붕 모두 1%를 적용하였다.

불투수율(%imperv) 입력값은 SWMM Reference Manual [12]의 내용을 참고하여 상업지구(Industrial) 권장값인 76%로 적용하여 입력하였다.

N-imper, N-per, Dstore-imper, Dstore-per은 우수관리모형 응용매뉴얼[13]의 내용을 참고하여 적용하였다.

침투 지표의 값은 Horton 모델을 사용하였다. Horton 모델은 경험적 관측에 근거한 침투 방정식으로 최소 침투량과 최대 침투량을 이용하여 비선형 방정식을 사용하여 계산된다. 이 방법에 필요한 매개변수는 최대 및 최소 침투 속도, 시간 경과에 따른 속도 감소량을 설명하는 감쇠 계수, 토양이 완전히 건조되는데 걸리는 시간이 포함되어 있다[14].

침투 지표 중 최대 및 최소 침투 속도(Max/Min. Infil. Rate), 감쇠 계수(Decay Constant)는 SWMM Manual을 참고하여 적용하였다. 건조 시간(Drying Time)은 SWMM Manual[12]을 참고하여 적용한 값이다. EPA SWMM에 적용한 각 유역별 입력값은 Table 1.과 같다.

3.2 LID 입력 지표

LID 입력 지표는 현재 국내에서는 실증 연구들이 제한적으로 이루어지고 있는 현황을 고려하여, SWMM Manual[15]을 중심으로 적용하되, 국내 선행연구가 진행된 입력 변수 자료들은 최대한 활용하여 부지 및 LID 입력 지표를 구성하였다. 전체 변수들의 체계는 Table 2.에 정리하였다.

1) 식생체류지(Bio-retention Cell)

지표층(Surface)의 식생 높이(Berm Height)는 0mm를 적용하였으며 식생단위부피(Vegetation Volume)는 0.15를 적용하였다. 표면조도(Surface Roughness)는 SWMM Manual[15]에서 매닝의 계수를 사용하는데 본 연구에서는 SWMM Manual[16]에 나오는 범위를 참고하여 0.012를 적용하였고, 지표면 기울기(Surface Slope)는 2%로 동일하게 적용하였다. 토양층(Soil) 입력값의 경우 SWMM Manual[15]에 나오는 Sand loam을 기준으로 적용하였으며, 포장 두께(Thickness)는 가중평균을 낸 값인 684.2mm를 사용하였다. 저류층(Storage)에서 포장두께(Thickness)는 계획된 높이인 241mm를 적용하였다. 배수층(Drain)의 배수 계수(Flow Coefficient)는 SWMM Manual[17]에 나오는 계산식을 사용하여 계산한 값을 적용하였다. 해당 식은 (Eq. 1)과 같다.

$$Flow\ Coefficient = \frac{60,000 \times Pipe\ Area}{Bioretention\ cell\ Area} \quad (Eq. 1)$$

해당 식에 나오는 식생체류지의 면적은 전체 식생체류지 면적의 평균 크기를 산출하여 적용하였다.

배수지수(Flow Exponent)는 SWMM Manual[17]을 참고하여 적용하였다. 배수구 높이(Offset Height)는 793.3mm를 적용하였고, Open Level은 계획된 식생체류지 높이를 가중평균을 내어 그 값의 100mm 뺀 값인 584.2mm로 적용하였다.

2) 수조(Rain Barrel)

수조의 경우 적절한 저장 높이(Storage Level) 산정을 위해 LID 컨트롤에서 빗물통(Rain barrel)으로 설정하여 모델링을 진행하였으며 각 유역별 저류층(storage)의 통 높이(Barrel Height)를 651.5mm, 300mm 두 가지 경우로 나누어 모델링을 진행하였다.

배수층의 배수 계수(Flow Coefficient)는 앞서 언급했던 SWMM Manual[17]에서 제시하고 있는 계산식을 사용하여 식생체류지(Bio-retention Cell)에서 언급했던 방법으로 계산하였고, 각 수조의 면적이 유역마다 각기 다르므로 수조마다 다른 값의 배수 계수를 사용하였다.

배수지수(Flow Exponent)의 경우 SWMM Manual[11]을 참고하여 적용하였다. 배수층의 Open Level은 전체 수조 높이의 가중평균을 내어 그 값의 100mm 뺀 값을 적용하였다. Drain Delay는 SWMM Manual[16]을 참고하여 배수관이 항상 열려있다고 가정 한 값인 0mm로 적용하였다. 배수구 높이(Offset Height)는 20mm로 적용하였다. Open Level은 전체 수조 높이의 가중평균을 내어 그 값의 100mm 뺀 값인 551.5mm로 적용하였다.

3) 침투 도랑(Infiltration Trench)

침투 도랑(Infiltration Trench)의 경우 옥상녹화로 계획된 부분과 Open trench로 계획된 부분의 입력값을 다르게 적용하여 모델링을 진행하였다.

지표층의 식생 높이(Berm Height)의 경우 초기 계획된 단면을 참조하여 100mm로 적용하였고, Open Trench의 경우는 130mm로 적용하였다. 표면조도(Surface Roughness)는 SWMM Manual[17]을 참고하여 0.023으로 적용하였다. 지표면 기울기(Surface Slope)는 2%로 모두 동일하게 적용하였다. 토양층의 경우 저류층 포장두께(Thickness)는 옥상텃밭 내 침투 도랑과 Open Trench의 높이인 420mm와 241mm를 적용하였다. 배수층 배수 계수는 SWMM Manual[17]에 나오는 계산식을 사용하여 나온 값인 250으로 동일하게 적용하였다.

배수지수(Flow Exponent)의 경우 SWMM Manual[15]를 참고하여 적용하였으며, 배수구 높이(Offset Height)는 옥상텃밭 내 침투도랑과 Open Trench 모두 10mm로 적용하였다. Open Level은 옥상텃밭 내 침투도랑은 전체 침투도랑 높이의 가중평균을 내어 그 값의 100mm 뺀 값인 584.2mm로 적용하였고, Open Trench는 30mm로 설정하여 적용하였다.

4) 식생 수로(Vegetative Swale)

식생 수로의 경우, 지표층에 식생을 계획하지 않아 식생 높이(Berm Height)는 최소인 1mm로 입력하였다. 표면조도(Surface Roughness)는 SWMM Manual[17]을 참고하여 0.11로 적용하였

Table 1. Sub-catchment Property

Property		Value	
Geometry	Area	Var.	
	Width	Var.	
	Rain Gage	100-year event (Urban farm)	
	% Slope	entire 1%, roof 1%	
Per-Imper	% Imperv	Var.	
	N-Imperv[9]	0.015	
	N-perv[9]	0.24	
	Dstore-Imperv[9]	1.52	
	Dstore-perv[9]	7.62	
Infiltration	Infiltration Data[14] (HORTON)	Max. Infil. Rate	114.3
		Min. Infil. Rate	12.7
		Decay Constant	6.5
		Drying Time	7
		Max. Volume	0
LID Controls		Rain Barrel, Bioretention Cell, Infiltration Trench, Vegetative Swale	

다. 식생 수로 표면의 기울기(Surface Slope)는 2%로 하였고 빠른 배수를 위해 식생 수로 옆면의 기울기(Swale Side Slope)는 3%로 입력하였다.

전체 대상지에 설계된 우수유출수 흐름을 바탕으로 SWMM 모형도를 구축하였다(Fig. 12.).

4. 분석 결과

2, 3 장에서 제시한 LID 계획안 및 분석 모형을 토대로 LID 적용 전·후의 우수유출저감 효과와 수조의 집수 면적에 따른 적정 규모를 도출하기 위하여 통 높이(Barrel height)에 따른 시간별 저장고 수위(Storage Level)를 그래프로 나타내었다.

Fig. 13.은 통 높이(Barrel height)와 면적 변화에 따른 수조(Rain Barrel)의 저장고 수위(Storage Level)를 나타내었다. Fig. 13.의 a)는 통 높이(Barrel height)를 651.5mm로 가정하고 수조(Rain Barrel) 면적 5㎡를 시작으로 2㎡씩 증가시켰을 때 저장고 수위 변화를 나타낸 그래프이다. (A)는 수조 면적을 5㎡라고 가정했을 때 저장고 수위(Storage Level)의 변화 추이를 보여주고 있다. 이때 수조는 저장 최대 한계 수위인 Open Level 584.2mm를 초과하여 수조에 설치되어 있는 배수관이 작동하여 유공관을 통해 배수되어 월류(Over flow) 발생을 방지한다. 이러한 결과는 수조(Rain Barrel)의 통 높이(Barrel height)를 651.5mm, 수조 면적은 5㎡로 가정했을 경우 폭우 시 월류가 발생할 수 있음을 뜻한다. 그러나 (B)와 같이 수조 면적을 27㎡ 이상으로 계획했을 경우 저장고 수위(Storage Level)는 점차 증가하지만,

Table 2. LID Control Parameter (mm)

Layer	Parameter	BC	IT	RB	VS
Surface	Berm Height	0	100	-	1
	Vegetation Volume Fraction	0.15	0	-	0
	Surface Roughness (Mannings n)	0.012 [12]	0.023 [16]	-	0.11 [17]
	Surface Slope (%)	2	2	-	2
	Swale Side Slope (run/rise)	-	-	-	3
Soil[12]	Thickness	684.2	-	-	-
	Porosity (volume fraction)	0.453	-	-	-
	Field Capacity (volume fraction)	0.19	-	-	-
	Wilting Point (volume fraction)	0.085	-	-	-
	Conductivity	0.43	-	-	-
	Conductivity Slope	10	-	-	-
	Suction Head	4.33	-	-	-
Storage	Thickness	241	604.5	-	-
	Void Ratio (Voids/Solids)	0.6	0.6	-	-
	Seepage Rate	25.9	25.9	-	-
	Clogging Factor	0	0	-	-
	Barrel Height	-	-	651.5, 300	-
Drain	Flow Coefficient[14]	175.95	250	29.38	-
	Flow Exponent[14]	0.5	0.5	0.5	-
	Offset Height	793.3	10	20	-
	Drain Delay (hrs)	-	-	0	-
	Open Level	584.2	30	551.5, 200	-

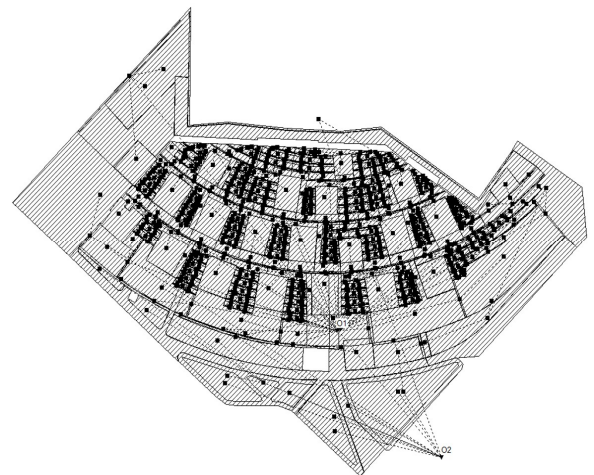


Fig. 12. SWMM Modeling of the entire site

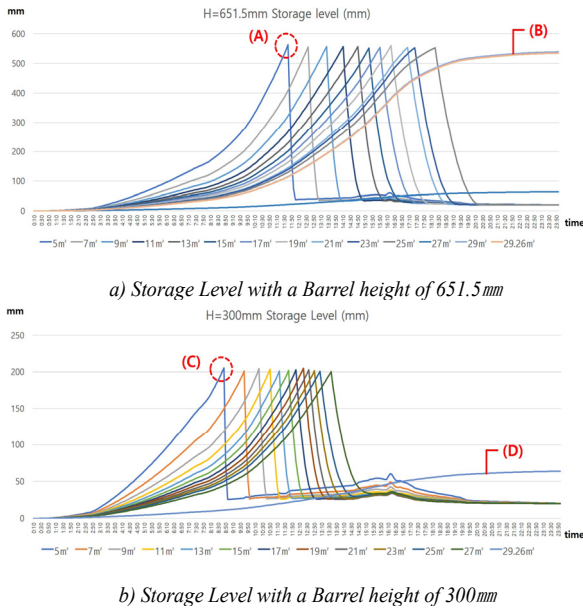


Fig. 13. Storage Level with a Barrel height

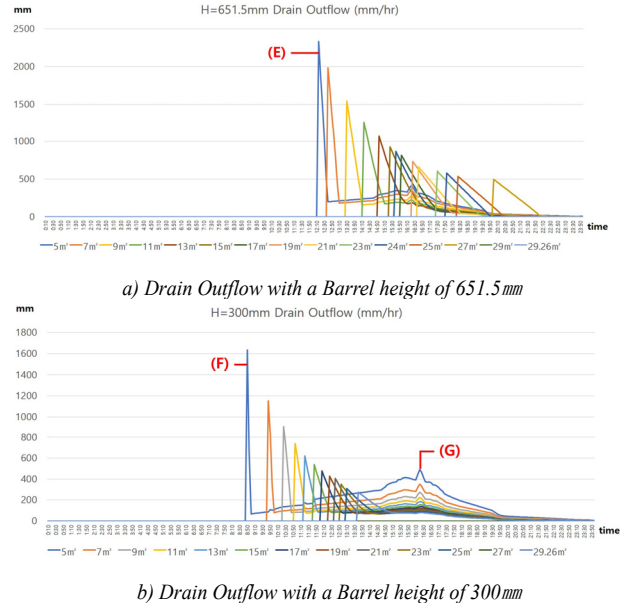


Fig. 14. Drainage Outflow with a Barrel height

Table. 3 Minimum area of ponds by subcatchment according to barrel height

Subcatchment		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Area (m ²)	H = 651.5	5	8	17	11	9	16	16.69	15	16
	H = 300	17	15	42	30	35	42	59	59	59
Subcatchment		10	11	12	13	14	15	16	17	18
Area (m ²)	H = 651.5	12	19.32	24	17	27	15	18	5	5
	H = 300	42	19.32	30	21	29.26	23	24.97	5	7

Open Level 584.2mm를 넘지 않으면서 우수유출수가 잘 관리되는 것을 볼 수 있다. Fig. 13.의 b)는 통 높이(Barrel height)를 300mm로 가정했을 경우 저장고 수위(Storage Level)를 나타낸다. (C)는 수조의 면적이 5m²라고 가정했을 때 수조(Rain Barrel)의 저장고 수위(Storage Level) 변화 추이를 보여주고 있다. 이때 수조는 저장 최대 한계 수위인 Open Level 200mm를 초과하여 수조에 설치되어있는 배수관이 작동하여 유공관을 통해 배수되어 월류 발생을 방지한다. 이러한 결과는 수조(Rain Barrel)의 통 높이(Barrel height)를 300mm, 수조 면적은 5m²로 가정했을 경우 폭우 시 월류가 발생할 수 있음을 뜻한다. (D)는 수조의 통 높이(Barrel height)는 300mm, 면적은 계획 면적인 29.26m²일 때 저장고 수위(Storage Level)를 나타내고 있다. 이것은 수조의 면적을 29.26m²를 설정한다면 통 높이(Barrel height)를 300mm로 설정해도 최대 저장한계수위를 넘지 않아 월류 발생 위험이 낮음을 나타낸다.

Fig. 14. 는 통 높이(Barrel height)와 면적 변화에 따른 수조의 드레인 유출량(Drain Outflow)을 나타내었다. Fig. 14.의 a)는 통 높이(Barrel height)를 651.5mm로 가정하고 수조 면적을 2m²씩 증가시켰을 때의 드레인 유출량(Drain Outflow)을 나타낸 그래프이다. (E)는 수조 면적을 5m²라고 가정했을 때 드레인 유출량(Drain Outflow)의 변화 추이를 나타내었으며, 이 경우 저장 최대 한계 수위를 초과하여 드레인 유출량(Drain Outflow)이 급증하고 우수유출수가 배수관을 통해 바로 배수가 되어 급감하는 양상을 보인다.

Fig. 14.의 b)는 통 높이(Barrel height)를 300mm로 가정하고 수조 면적 5m²를 시작으로 2m²씩 증가시켰을 때의 드레인 유출량(Drain Outflow)을 나타낸 그래프이다. (F)는 수조 면적을 5m²라고 가정했을 때 드레인 유출량(Drain Outflow)의 변화 추이를 나타내었으며, 이 경우 저장 최대 한계 수위를 초과하여 드레인 유출량(Drain Outflow)이 급증하고 우수유출수가 배수관을 통해 바로 배수가 되어 급감하는 양상을 보인다. (G)에서 다시 드레인 유출량(Drain Outflow)이 증가하는 모습을 보였으나 최대 저장한계수위를 넘지 않고 잘 관리되었다. Fig. 14.의 드레인 유출량(Drain Outflow)은 통 높이(Barrel height)와 관계없이 면적이 점점 증가할수록 드레인 유출량(Drain Outflow)의 양이 점차 감소하는 것을 확인하였다.

효과적인 LID 기법 적용을 위해 통 높이(Barrel height)와 면적에 의해 도출된 LID 기법인 수조(Rain Barrel)의 최소 적용 면적(규모)은 다음과 같다. 통 높이(Barrel height)가 651.5mm 일 때 수조의 최소 적용 면적은 27m² 이상으로 계획해야 하고, 통 높이(Barrel height)가 300mm 일 때 수조의 최소 적용 면적은 초기 계획 면적인 29.26m² 이상으로 계획해야 월류 위험을 낮추고 우수유출수를 효과적으로 관리할 수 있을 것으로 판단된다.

이와 같은 방법으로 대상지 내 모든 구역의 최소 수조(Pond) 면적을 도출한 결과는 Table. 3과 같다.

5. 결론

최근 도시화로 인한 불투수층의 증가 및 기후변화 등에 대한 해결책으로 LID에 대한 연구가 활발히 진행되면서 국내 LID 관련 정책 및 제도가 개정되었으며, 신도시 개발사업지구에서는 초기 계획 시 LID 기법을 적용하는 사례가 증가하고 있다. 하지만 현재 국내에서의 LID 적용은 설계 및 시공 경험과 세부 지침이 부족한 실정으로 이를 개선하기 위해 대상지 특성이 고려된 적정 LID 기법이 선정되어야 하며 개별 기술에 대한 규모 산정이 마련되어야 한다.

본 연구에서는 (가칭)농업공화국을 대상지로 선정하여 대상지 내 LID 적용 시 집수 면적에 따른 효율적인 우수유출수 처리를 위한 수조(Pond)의 최소 면적(규모)을 제시하였다. 분석을 위해 서울시의 100회기년도 강우자료와 선행연구에서 대상지 특성을 고려하여 선정된 LID 입력 지표 범위값을 EPA SWMM 모형에 적용하여 유출량을 모의한 후, 통 높이(Barrel height)와 수조 면적을 주요 변수로 설정하여 EPA SWMM 모의 결과 중 저장고 수위(Storage Level)와 드레인 유출량(Drain Outflow)을 비교·분석하여 각 구역별 집수 면적에 따른 수조(Pond)의 최소 면적 산정을 제시하였다.

초기 계획인 통 높이(Barrel height) 651.5mm인 경우 구역 4의 수조는 계획 면적인 26.72㎡보다 반 이상 줄어든 면적인 11㎡일 때에도 월류 발생 위험이 적어 우수유출수가 효과적으로 관리되고 있는 것으로 나타났다. 반면, 통 높이(Barrel height) 300mm인 경우 계획 면적인 26.72㎡일 때에도 월류 발생 위험이 있어 배수구를 통해 우수유출수를 제어하는 것으로 나타났다. 해당 수조의 면적은 계획 면적보다 4.28㎡ 증가한 31㎡일 때 우수유출수의 집수 면적이 충분하다는 것으로 나타났다.

각 구역별 집수 면적에 따른 수조의 최소 면적을 분석한 결과, 수조의 계획 면적이 클수록 효율이 좋은 것은 아니며 LID 시설의 적절한 규모 산정이 효율적인 우수관리 측면에서 더 효과적이라는 결과가 나타났다. 따라서 LID 기법의 효율적인 적용을 위해 LID 기법 설계 시 각 기술요소의 연계 계획과 토양 특성, 유량 등을 고려하여 적절한 계획 면적을 설계하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

본 연구는 LID 적용 시 집수 면적에 따른 효율적인 우수유출수 처리를 위한 최소 적용 면적(규모) 도출을 위해 다양한 측면에서 분석한 자료를 이용하여 수행하였으나, 실증 연구와 장기적인 모니터링을 통한 지속적인 검토 및 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Reference

[1] 장영수, 저영향개발 기술의 물순환 효율성 분석 기법 개발 및 적용연구, 한국 : 부산대학교 박사학위논문, 2018, p.1. // (Y.S. Jang, Development and Application of Water Cycle Efficiency Analysis Method for Low Impact Development Technology, Republic of Korea : Pusan National University Ph.D. thesis, 2018, p.1.)

[2] 이용곤, 지속가능한 물환경 조성을 위한 저영향개발(LID) 특징과 적용 사례, 경남연구원, 경남발전 127호, 2013, pp.91-106. // (Y.G. Lee, Characteristics of Low Impact Development(LID) and Application Cases for Sustainable Water Environment, Gyeongnam Institute, THE GYEONGNAM DEVELOPMENT No.127, 2013, pp.91-106.)

[3] 배채영 외 4인, 저영향개발(LID) 적용에 따른 도시지역 유출 분석-옥상 녹화 및 투수성 포장을 중심으로, 대한국토도시계획학회 제47권 제6호, 2012, pp.39-47. // (C.Y. Bae et al, C. Park, S.H. Kim, I.K. Choi,

D.K. Lee, Analysis of Urban Runoff with LID Application - Focused on Green Roofs and Permeable Paver, Korea Planning Association .47(6), 2012, pp.39-47.)

[4] 유기영, 도시지역 강우유출수 관리를 위한 식생체류지 기술 개발 및 평가, 한국 : 공주대학교 석사학위논문, 2015, pp.70-71. // (G.Y. Yu, Development and Performance Assessment of a Bioretention Technology Treating Urban Stormwater Runoff, Republic of Korea : Kongju National University Master thesis, 2015, pp.70-71.)

[5] 박윤경, 장수형, 김상단, 다목적 최적화 기법을 이용한 투수성 포장의 최적 설치, 한국방재학회 논문집 제16권 제4호, 2016, pp.313-321. // (Y.K. Kim, S.H. Jang, S.D. Kim, Optimum Installation of Permeable Pavement Using Multi-Objective Optimization Technique, Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, 16(4), 2016, pp.313-321.)

[6] 김부연, 이병연, 저영향개발 통합 계획 체계-다기능 성능 목표 구현 회귀적 계획 프로세스, 한국생태환경건축학회 논문집 제19권 제3호, 2019, pp.15-28. // (B.Y. Kim, B.Y. Lee, Integrated Planning System for Low-Impact Development - The Recursive Planning Process achieving Multi-function Performance Objectives, KIEAE Journal, 19(3), 2019, pp.15-28.)

[7] Floarchitects, "Urban Farm", <http://floarchitects.kr/>, 2020.12.13.

[8] 프로젝트서울, "농업공화국", <https://project.seoul.go.kr/view/viewDetailArch.do?cpttMstSeq=245&pageIndex=1¶mMap%5B%27prev%27%5D=cpttMstSeq%253D245%2526pageIndex%253D1>, 2020.12.13. // (PROJECT SEOUL, "Magok Community Farm", <https://project.seoul.go.kr/view/viewDetailArch.do?cpttMstSeq=245&pageIndex=1¶mMap%5B%27prev%27%5D=cpttMstSeq%253D245%2526pageIndex%253D1>, 2020.12.13.)

[9] 박준호 외 7인, SWMM을 이용한 춘천 거두 1지구의 LID 개념적으로 인한 유출 감소특성 분석, 한국물환경학회 수질보전 제24권 제6호, 2014, pp.806-816. // (J.H. Park et al, Analysis of Runoff Reduction with LID Adoption using the SWMM, Journal of Korean Society on Water Quality 24(6), 2014, pp.806-816.)

[10] Dream for AutoCAD, k-prism, <https://autoc.tistory.com/300>, 2020.12.15

[11] 김부연, 저영향개발 기술요소 연계 계획 체계 개발 및 적용, 한국 : 충북대학교 석사학위논문, 2019, p.138. // (B.Y. Kim, Development and Application of Management Train Planning System for Low-Impact Development Technologies, Republic of Korea : Chungbuk National University Master thesis, 2019, p.138.)

[12] Lewis A. Rossman, Wayne C. Huber, Storm Water Management Model Reference Manual Volume I -Hydrology(Revised), U.S. Environmental Protection Agency, 2016, pp.66-126.

[13] 김이호 외 3인, 우수관리모형 응용-메뉴얼(SWMM), 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단, 2011, p.9. // (L.H. Kim et al, Sustainable Water Resource Research Center, Storm Water Management Model Application Manual, 2011, p.9.)

[14] 구영민, 서동일, SWMM을 이용한 도시계획지역 유출량 예측 정확도 향상을 위한 매개변수 산정, 한국수자원학회논문집 제50권 제5호, 2017, pp.303-313. // (Y.M. Koo, D.I. Seo, Parameter estimations to improve urban planning area runoff prediction accuracy using Stormwater Management Model (SWMM), Journal of Korea Water Resources Association 50(5), 2017, pp.303-313.)

[15] Lewis A. Rossman, Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1, U.S. Environmental Protection Agency, 2015, pp.178-249.

[16] Lewis A. Rossman, Wayne C. Huber, Storm Water Management Model Reference Manual VolumeIII-Water Quality, U.S. Environmental Protection Agency, 2016, p.127.

[17] Lewis A. Rossman, Wayne C. Huber, Storm Water Management Model Reference Manual VolumeII-Hydraulics, U.S. Environmental Protection Agency, 2017, p.176.

1) 전국 96개(19.1.1.기준)의 종관기상관측장비(ASOS : Automated Synoptic Observing System)와 500개(19.1.1.기준)의 방재기상관측장비(AWS : Automatic Weather System)를 이용하여 자동으로 지상기상관측을 하고 있다.

2) 기상청 날씨누리(<https://www.weather.go.kr/weather/main.jsp>)에서 제공하고 있는 기후자료