

LID시설 모델검증을 활용한 미래형 통합 물순환관리시스템 도입방안

이지원·길경익[†]

서울과학기술대학교 건설시스템공학과

Introduction plan of future integrated water circulation management system using LID facility model verification

Jiwon Lee·Kyungik Gil[†]

Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea
(Received : 10 February 2021, Revised : 17 February 2021, Accepted : 17 February 2021)

요약

도시화와 산업화로 인하여 불투수면적이 증가함에 따라 강우유출에 의한 비점오염원이 수계에 미치는 영향이 커지고 있다. 과거에는 비점오염원을 관리하기 위해 장치형 시설(BMP)이 많이 사용되었으나 최근 LID(Low Impact Development)기술을 통해 자연적으로 처리하는 기술이 많이 활용되고 있다. 본 연구에서는 자연형 시설 중 식생체류지에서의 강우 모니터링을 실시한 데이터를 토대로 SWMM 모델을 통해 다양한 강우사상을 모의하였다. LID 모델링 연구의 특징으로 실데이터가 자연시설을 통해 얻은 결과이기 때문에 단기간 데이터로는 정확한 모델링 자료를 구축하기 어려워 정확한 모델을 구현하기가 힘들다는 특징이 있는데, 본 연구에서는 3년간 모니터링한 데이터를 통해 정밀한 모델을 구축하였다는 점에서 의의가 있다. 총 18회 모니터링한 실데이터를 모의하였으며, 유입량과 유출량, 오염물질 5개항목의 제거효율을 모의하였다. 성능평가를 실시한 결과 7개 항목 대부분이 우수한 지표를 나타내었으며, 상대적으로 TN과 TP 항목이 모의성능이 낮은 것으로 나타났다. 미래에는 우리나라도 상수도 시스템과 하수도 시스템이 실질적으로 통합되어 운영되는 통합물관리 시스템이 도입될 것으로 예상된다. 따라서, 본 연구결과는 미래형 통합물관리시스템에서 강우를 초기에 관리하는 단계에서 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 판단되며, 설치예상지역의 강우유출저감 및 오염물질 저감 정도를 사전에 예측할 수 있으며, 이를 통해 식생체류지의 과다설계를 방지할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 지역향개발, 모델링, SWMM, 통합, 물순환관리시스템

Abstract

As the impermeable area increases due to urbanization and industrialization, the influence of non-point pollutants caused by rainfall runoff on the water system is increasing. In the past, the best management practices(BMP) were used a lot to manage non-point pollutants, but recently, technology that naturally treats them through LID (Low Impact Development) technology is widely used. In this study, various rainfall events were simulated through the SWMM model based on the data of rainfall monitoring in bioretention among natural facilities. The characteristic of LID modeling research is that it is difficult to build accurate modeling data with short-term data because real data is the result obtained through natural facilities, and it is difficult to implement an accurate model. In this study, the data monitored for 3 years is significant in that it has built a precise model. The actual data monitored a total of 18 times was simulated, and the inflow and outflow and the removal efficiency of five pollutants were simulated. As a result of performing the performance evaluation, most of the 7 items showed excellent indicators, and the TN and TP showed relatively low simulation performance. In the future, it is expected that Korea will introduce an integrated water management system in which the water supply system and the sewage system are substantially integrated and operated. Therefore, the results of this study are considered to play an important role in the initial stage of rainfall management in the future integrated water management system, and the extent of rainfall runoff reduction and pollutant reduction in the expected installation area can be predicted in advance. This is expected to prevent overdesign of bioretention.

Key words : LID, Modeling, SWMM, Integration, Water circulation management system

[†]To whom correspondence should be addressed.
Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology
E-mail: kgil@seoultech.ac.kr

• Jiwon Lee Department of Civil engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea/ Ph.D. candidate (abcjeewon@seoultech.ac.kr)
• Kyungik Gil Department of Civil engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea/ Professor (kgil@seoultech.ac.kr)

1. 서 론

도시화와 산업화로 인하여 도시지역으로 인구가 집중되면서 급격한 토지개발이 이루어짐에 따라 농지와 임지 등 투수면적은 감소하는 반면 주거지 및 상업지, 도로와 주차장 등 불투수면적은 지속적으로 증가하여 도시지역 내 물순환 체계를 심각하게 왜곡시켰다. 불투수면적이 증가하면 비점오염에 의하여 하천 수질에 악영향을 미치게 되는데, 이때 비점오염이란 도시, 도로, 농지, 산지, 공사장 등 불특정장소에서 불특정하게 배출하는 수질오염물질을 뜻한다. 비점오염물질의 종류로는 유기물질, 영양염류, 박테리아 및 바이러스, 오일, 중금속류, 항생제 등 매우 다양하다. 특히, 불투수지역은 평상시 노면에 축적되어 있던 오염물질들이 초기강우에 의해 쓸려내려와 고농도의 비점오염원을 하천으로 유출시키는 초기세척효과(First flush effect)를 야기하기도 한다(Shon et al., 2013).

연구초기에는 이러한 비점오염 및 강우유출수를 관리하기 위해 배수 구역의 말단 출구점이나 지대가 낮은 곳에 강우에 의해 발생된 유출수가 저류될 수 있도록 집중식 BMP(Best Management Practice), 즉 장치형 시설들을 설치하였다. 하지만 장치형 시설의 단점으로 개발 전에 비해 유출의 지속시간과 유출량이 증가하는 문제점이 있었고, 초기설치비용과 유지관리비용이 많이 들어간다는 점 때문에, 최근에는 자연시설을 활용하는 LID(Low impact development) 기술이 많이 활용되고 있다. LID는 말 그대로 ‘저영향개발’의 뜻을 가진 기술로써 주로 식생을 자연 그대로 활용하는 기술을 뜻한다. 이는 ‘Grey Infra’와 반대되는 개념으로 ‘Green Infra’로도 불리고 있으며, LID 기술을 활용한 대표적인 시설은 식생수로, 식생체류지, 식생여과대, 나무여과 상자 등이 있다.

본 연구에서는 식생체류지에서의 강우유출수를 모니터링하여 유출저감효과와 오염저감효과를 분석하였으며, 해당 데이터를 바탕으로 모델링을 구축하여 다양한 강우조건과 기후환경에서 식생체류지를 모의하여 이를 활용한 통합 물 관리 방안을 마련하고자 하였다. LID 모델링 연구의 특징으로는 실험데이터가 자연시설을 통해 얻은 결과이기 때문에 단기간 데이터로는 정확한 모델링 자료를 구축하기 어려워 정확한 모델을 구현하기가 힘들다는 특징이 있다. 따라서 본 연구에서는 3년간 모니터링한 데이터를 통해 정밀한 모델을 구축하였다는 점에서 의의가 있다.

2. 연구방법

2.1 대상 LID 시설

본 연구의 모델 대상구역은 J시 경관녹지 지역내 공원에 위치한 시설을 대상으로 하였으며, 본 연구진이 직접 모니터링하여 모델에 필요한 기초자료를 수집하였다. 해당 지역의 주요 오염물질로는 공원 내 축적된 부유물질, 유기물질, 영양염류들이 주로 있으며, 차량통행에 따른 중금속 및 오일류 등도 미세하게 발생하고 있다. LID 시설은 식생형 시설중 하나인 식생체류지이며 시설의 용량은 58.5m³, 시설 면적은 106m²로 설계되었다.

시설의 배수구역은 공원 내 인도 및 투수블럭으로 확인하였다. Figure 1은 식생체류지의 현장사진 및 인공위성으로 찍은 위치 사진을 나타내었다. 식생체류지의 하부 토양층은 식생토와 자갈층으로 구성되었으며 일정량 이상의 강우유출수가 침투할 경우 원활한 유출을 위해 자갈층에 유공관을 설치하여 유출이 원활하게 이루어질 수 있도록 설계되었다.

식생체류지의 모니터링 지점은 Figure 2에 표시된 지표하 유출과 지표면 유출이 만나는 지점에서 샘플링을 실시하였다. 하지만, 투수율이 높아 대부분 지표하 유출로 발생하였으며, 유공관을 막을 경우 지표면까지 지하수위가 차오른 후 지표면을 통해 유출이 되도록 유도하였다. 설계상으로는 집수면적이 1,950m²로 설계되었으나, 집수면적의 대부분이 투수블럭으로 구성되어 있어 집수면적 위로 내린 강우가 식생체류지로 유입되지 않고, 바로 침투 및 침투가 발생하였다. 따라서 실질적인 집수면적은 식생체류지의 시설면적인 106m²와 동일하게 계산



Fig. 1. Monitoring site for modeling.

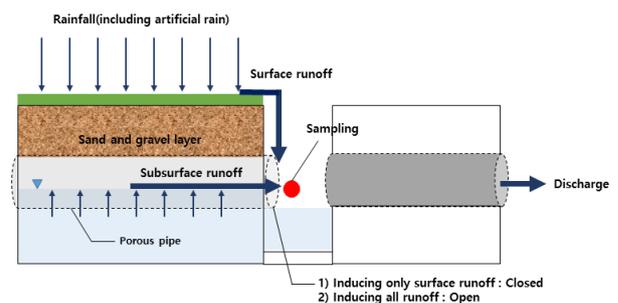


Fig. 2. Facility schematic diagram and sampling point.

하였다. 이러한 시설 특성 때문에 유입부에서의 모니터링이 불가하였으며, 유입부하량과 유입EMC등은 발생한 유입량과 인공오염물(준설토)의 농도로 계산하였다.

2.2 모델링 프로그램

식생체류지 모의에 이용되는 모형은 강우로 인해 발생하는 지표면 및 지표하 흐름, 배수관망에 대한 유출량 추적, 저류조 모의, 오염물질에 대한 처리 등을 모의할 수 있는 종합적인 모형이어야 한다. 따라서 비점오염물질 모의, 소규모 배수구역에서 대규모 배수구역까지의 적용이 가능하며, LID 모듈을 통해

식생체류지 모의가 가능한 EPA SWMM 모형을 모의 모형으로 선정하였다. SWMM은 서로 다른 특성을 가진 배수 구역 간의 흐름을 고려하면서 각 배수 구역의 특성에 따라 각기 다르게 침투 및 유출 흐름에 대한 분석이 용이하고 유역과 LID 간의 유출 흐름 분석이 가능하기 때문에 식생체류지 저감효율 모의 분석에 적합하다고 판단하였다. SWMM-LID모의는 일반적으로 수직층은 Pavement layer, Soil layer, Storage layer가 포함되며, 설비에 따라 Surface layer나 Underdrain layer가 포함될 수 있다. 다음 Table 1은 EPA에서 식생체류지를 모의할 시 권장하는 매개변수 값을 나타내었다.

Table 1. Recommended value of SWMM parameter(EPA)

Layer	Parameter	Bioretention
Surface layer	• Storage depth (mm)	• ≤ 152(12.5-25)
	• Vegetation volume fraction	• 0
	• Surface roughness	• 0(0.1)
	• Surface slope (%)	• 0(1.0)
	• Swale side slope	• -
Soil layer	• Thickness (mm)	• 450-900 (75-150)
	• Porosity	• 0.5
	• Field capacity	• 0.2
	• Wilting point	• 0.1
	• Conductivity	• 0.5
	• Conductivity slope	• 10
	• Suction head (mm)	• 3.5
Pavement layer	• Thickness (mm)	
	• Void ratio (Voids/Solids)	
	• Impervious surface fraction	
	• Permeability (mm/hr)	
	• Clogging factor	
Storage layer	• Height (mm)	• 150-450
	• Void ratio	• 0.5-0.75
	• Conductivity	• 10
	• Clogging factor	• 7042
Under drain	• Drain coefficient (mm/hr)	• 0
	• Drain exponent	• 0.5
	• Drain offset height (mm)	• 0
	• Drain delay (hours)	• -

3. 연구결과 및 고찰

3.1 모니터링 데이터

모델의 검보정을 위해 3년간 식생체류지에서 실제 모니터링한 유입 및 유출 데이터를 활용하였다. 시설로 유입되는 강우량과 강우강도를 다양하게 조절하기 위해 실강우 및 인공강우를 함께 활용하였으며, 총 18회의 모니터링을 실시하였다. 시설로 유입된 환산 강우량과 평균 강우강도, 유입유량, 유출유량, 저류량, 유출저감율을 아래 Table 2에 기재하였으며, Table 3에는 유입 및 유출 부하량을 정리하여 나타냈다. 대상시설의 유입 및 유출 수의 오염물질 농도는 BOD, COD, SS, TN, TP를 수질오염공정시험법에 맞게 측정하였으며, 유입량과 유출량을 적용하여 유입 및 유출 부하량을 산정하였다. 강우량은 17.3~143.1mm까지 넓은 강우범위를 보였으며, 강우강도 또한 2.0~32.0mm/hr까지 다양한 강우강도가 기록된 데이터를 입력하였다. 해당 모니터링 데이터들을 최대한 활용하여 모델을 구축하였고, 참조할 수 있는 자료가 없는 인자들에 대해서는 앞장에서 기술한 Table 1의 SWMM 매개변수 권장값을 사용하였다.

Table 2. Monitoring results in bioretention

Event	Rainfall (mm)	Rainfall intensity(Avg.) (mm/hr)	Inflow (m ³)	Outflow (m ³)	Stored (m ³)	Runoff reduction efficiency (%)
1	87.1	32.9	19.1	3.1	16	83.6
2	42.5	10.7	9.3	1.1	8.2	88.3
3	63.8	15.1	14	2.2	11.8	84.1
4	47.5	4.8	10.4	6.1	4.3	41.5
5	55.6	2.9	12.2	8.7	3.5	28.9
6	14.7	11.0	3.23	2.42	0.81	21.0
7	143.1	4.8	15.17	4.31	10.86	71.6
8	150	6.0	15.9	1.98	13.92	87.5
9	99.7	2.2	10.57	0.56	10.01	94.7
10	101.0	7.4	10.71	0.59	10.12	94.5
11	96.7	10.2	10.25	0.48	9.77	95.3
12	108.9	11.8	11.54	0.42	11.12	96.3
13	60.8	10.0	6.45	0.49	5.96	92.4
14	70.0	12.0	7.42	0.47	6.95	93.7
15	42.5	3.9	4.51	1.64	2.87	63.6
16	20.0	8.0	2.12	0.94	1.18	55.5
17	17.3	9.0	1.83	0.67	1.16	63.2
18	43.3	2.0	4.59	1.07	3.52	76.7

Table 3. Inflow and outflow loads in bioretention

	Inflow load(g)					Outflow load(g)				
	SS	BOD	TOC	T-N	T-P	SS	BOD	TOC	T-N	T-P
1	2,000	46	55	46	9	2.1	1.3	1.8	2.6	0.1
2	2,000	69	83	68	14	29.6	2.9	5.1	4.4	0.3
3	2,000	52	62	51	10	124.4	4.3	12.1	4.9	0.4
4	2,000	60	73	60	12	116.8	4.9	12.1	4.7	0.4
5	2,000	35	45	48	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	2,000	44	63	75	1	493.0	4.1	5.9	5.8	0.2
7	2,000	151	121	73	13	201.9	3.4	9.5	4.2	0.3
8	2,000	159	127	76	14	54.0	6.1	3.9	3.2	0.1
9	2,000	94	75	45	8	14.3	1.1	0.9	0.8	0.1
10	2,000	107	85	51	9	14.2	1.3	14.3	0.1	0.0
11	2,000	102	82	49	9	5.1	0.5	0.4	0.2	0.0
12	2,000	115	92	55	10	10.4	0.9	0.7	0.5	0.0
13	2,000	65	52	31	6	13.4	1.9	1.7	1.3	0.1
14	2,000	74	59	36	6	9.3	1.2	1.6	1.1	0.0
15	2,000	45	36	22	4	132.5	9.2	6.3	6.0	0.2
16	2,000	21	17	10	2	69.6	9.6	9.4	3.4	0.1
17	2,000	18	15	9	2	46.8	6.7	6.5	1.7	0.1
18	2,000	46	37	22	4	56.9	8.8	10.3	2.6	0.1

3.2 보정 및 검증

앞서 정리한 식생체류지에서의 실제 모니터링 데이터를 바탕으로 SMWW모델에 입력하여 검보정을 실시한 결과를 Figure 3에 나타내었다. 그래프 내에서 실측값은 검정선으로 표기하였으며, SWMM을 통해 모의한 값은 빨간색 점선으로 구분하여 표기하였다. SWMM을 통해 검보정한 항목은 총 7개 항목으로, 유입 및 유출량(m³과) BOD, TOC, SS, TN, TP

항목의 제거율(%)을 비교하였다.

3.3 모의 성능 분석

SWMM모형을 통해 18회 모니터링의 데이터를 모의수행한 결과의 성능 분석을 실시하기 위해 %Diff(ASCE, 1992) 와 유효지수를 이용하였다. 유효지수 산정에는 Nash- Sutcliffe Model Efficiency Coefficient(NSE; Nash와 Sutcliffe, 1970)

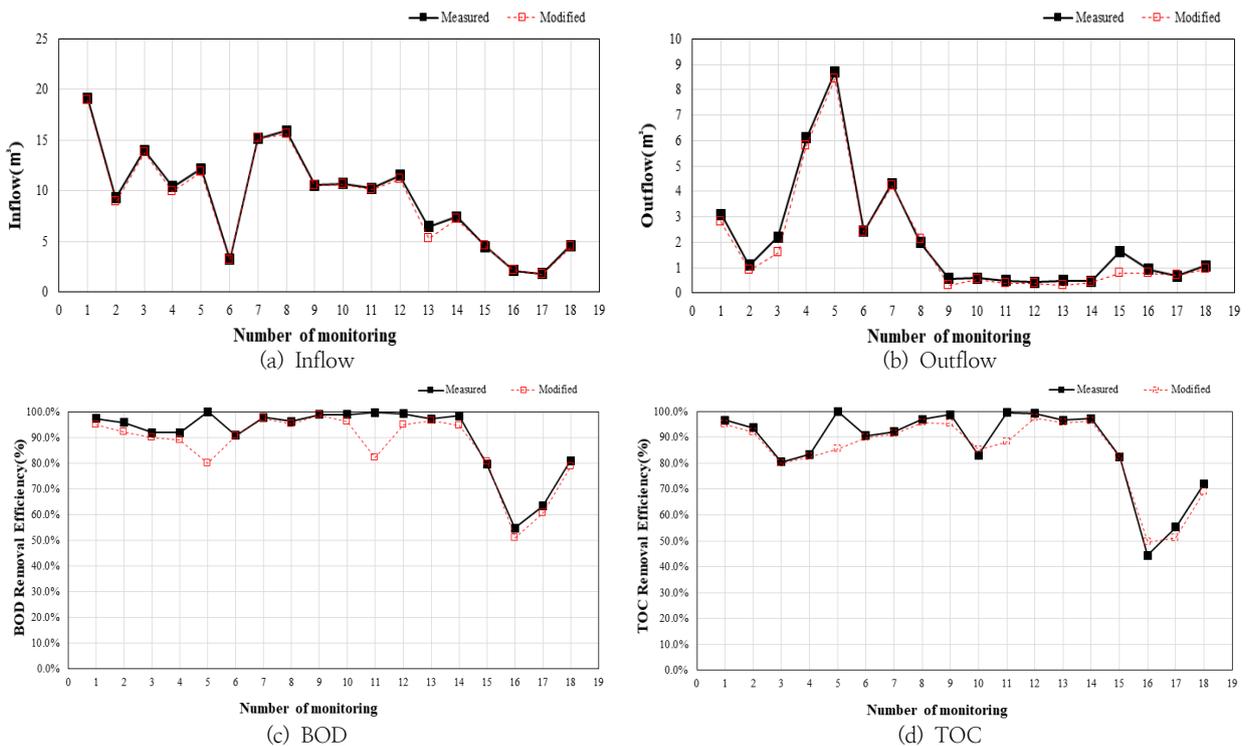


Fig. 3. Simulation results through SWMM model.

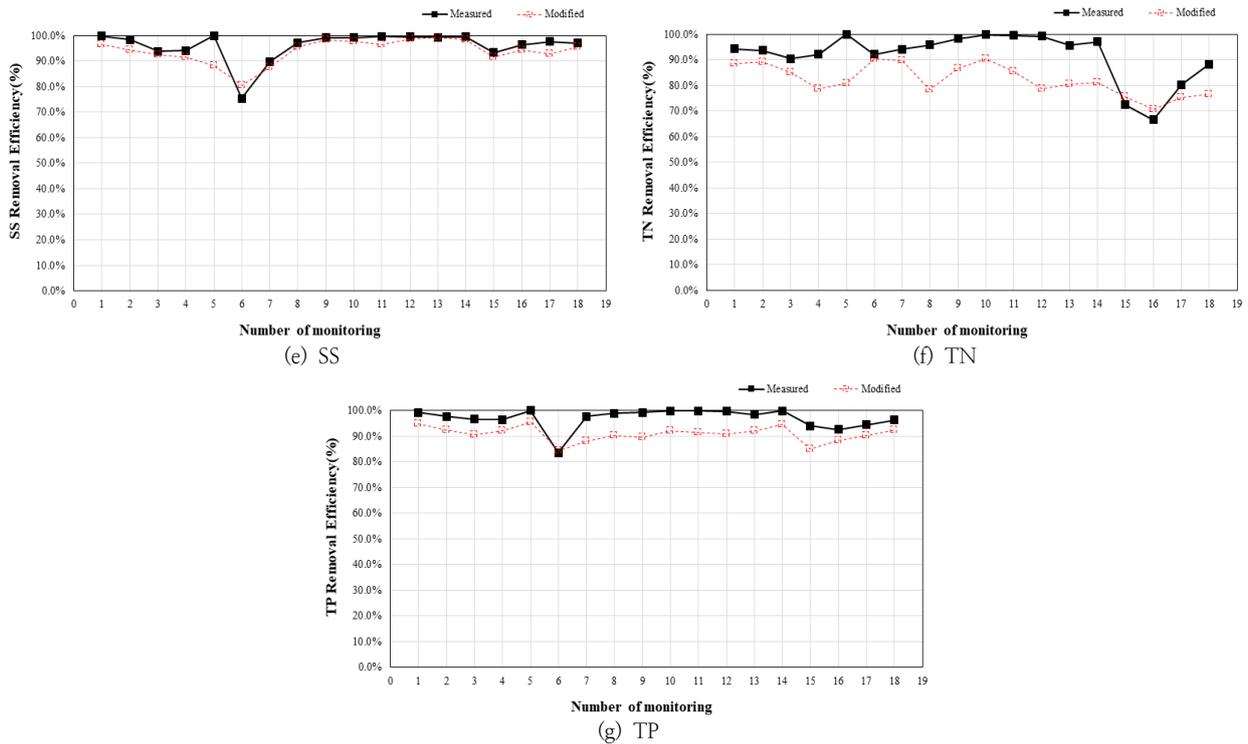


Fig. 3. Simulation results through SWMM model(Continued).

을 이용하였으며, 식은 식(1)과 식(2)와 같다.

$$\%Diff. = \left| \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \right| \times 100 \quad (1)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (2)$$

여기서, O_i 는 실측값, P_i 는 모형 예측값, \bar{O}_i 는 모형 실측값의 평균이다. %Diff의 값이 0에 가까울수록, NSE의 값이 1에 가까울수록 모형의 예측치가 실측치를 잘 예측하는 것을 의미한다. Table 4는 Donigian와 Love(2003)가 제안한 목적함수 평가 기준을 정리하였다.

Table 5에서는 상기 2개 지표에 해당되는 모의성능을 항목별로 정리하여 나타내었다. 유입의 경우 %Diff가 2.4가 나왔으며, NSE는 0.994로 나타났다. 이는 모델 적용성 평가기준에 두 지표

모두 ‘Very good’에 해당하는 값으로 나타났다. 유출의 경우 %Diff가 9.5, NSE가 0.982로 유출역시 두 평가기준에 만족하는 것으로 나타났다. 5가지 오염물질 항목을 모의한 결과 %Diff 평가기준으로는 모두 ‘Very good’에 해당하는 것으로 나타났으나, NSE 기준으로는 TOC항목만 ‘Very good’ 부합하는 것으로 나타났으며, BOD와 SS는 ‘Good’으로 나타났다. 그리고 TN과 TP는 ‘Poor’로 나타나 실측값과 모사값의 차이가 다른 항목에 비해 큰 것으로 나타났다. 영양염류의 경우 SWMM 기작을 통해 완벽하게 모사하는 것이 다소 어려운 것으로 나타났다. 하지만, 추세는 충분히 모의가 되었으므로 설계 시 제거효율을 예상하는 것은 충분히 가능할 것으로 판단된다.

3.4 통합물환경관리 방안

앞서 SWMM을 통해 식생체류지를 모의하였으며 모의결과 의 성능도 우수한 것으로 나타났다. LID시설은 자연형 시설이

Table 4. Criteria for evaluating model applicability

Parameter		Very good	Good	Fair	Poor
%Diff.	Flow	< 10	10 - 15	15 - 25	> 25
	Pollutant	< 20	20 - 35	30 - 45	> 45
NSE		> 0.80	0.70 - 0.80	0.60 - 0.70	< 0.60

Table 5. Simulation performance analysis

Parameter	Inflow	Outflow	BOD	TOC	SS	TN	TP
%Diff.	2.4%	9.5%	4.3%	2.6%	2.3%	10.1%	6.3%
NSE	0.994	0.982	0.722	0.907	0.772	-0.598	0.195

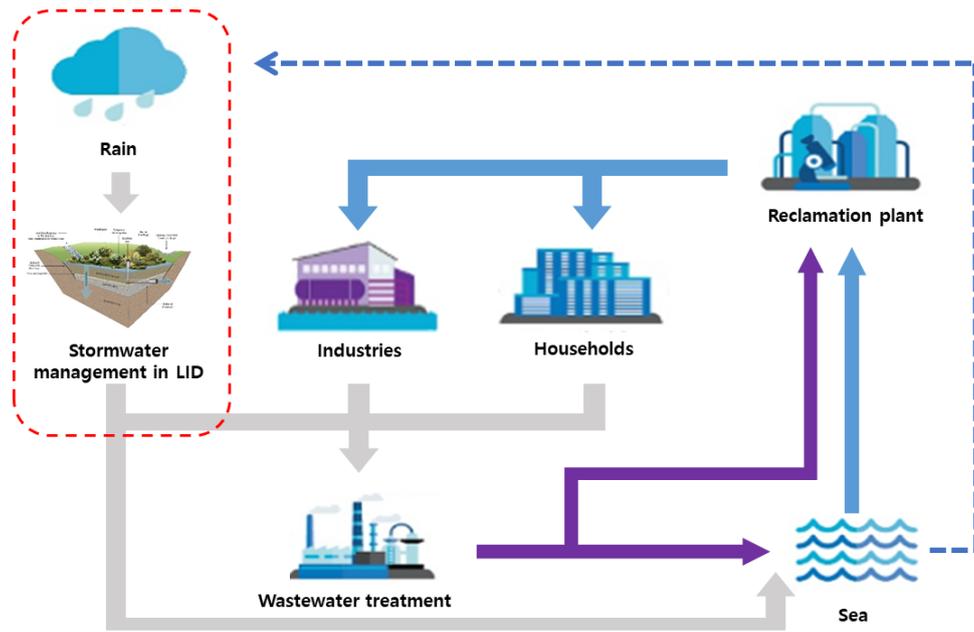


Fig. 4. Future Integrated Water Management System.

기 때문에 단기간의 모니터링으로는 일정한 데이터를 얻기 어려워 정교한 모델을 구축하는 것이 어렵다는 점을 감안하였을 때 본 연구의 결과는 활용성이 매우 높다고 볼 수 있다. 현재 국내 상수도시스템과 하수도시스템은 구분되어 운영되고 있으나, 결국 하수도시설에서 방류하는 물이 증발 및 강우로 순환된다고 보면 결국 하나의 물순환체계 안에 하수도와 상수도가 포함된다고 볼 수 있다. 이러한 관점에서 정부차원에서도 통합물관리 정책을 시행한 것이나 실질적으로 부처간 행정문제나 오랜관습 등에 의해 아직까지는 통합적인 물환경관리가 된다고 보기는 힘든 실정이다. 하지만, 미래에는 Figure 4에 제시한 모식도처럼 상수도와 하수도가 통합되어 운영되는 시스템으로 바뀔 것으로 예상된다. 이미 싱가포르에서는 하수처리장에서 처리한 물을 'Newater'라는 이름으로 식용하고 있는 만큼, 향후에는 우리나라도 지정상수원 뿐만 아니라 방류구와 하류의 수원도 상수원으로 활용할 수 있을 것이다. 따라서, 본 연구의 결과는 미래 통합물환경 시스템 내에서 강우를 초기에 관리하는 단계에서 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다. 구체적으로 식생체류지를 설계할 경우 해당 지역의 강우사상을 입력하여 사전에 강우유출저감 및 오염물질 저감 정도를 예측할 수 있으며, 도시 및 홍수의 범람도 예방할 수 있다. 또한, 정확한 성능평가를 통해 식생체류지의 과다설계를 방지할 수 있으므로, 시설 구축비와 설치비에서도 경제절감 효과를 볼 수 있을 것으로 기대된다. 환경적인 측면에서는 수질오염예방은 물론 열섬 저감효과와 미세먼지 저감효과도 충분히 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 식생체류지에서의 강우 모니터링 데이터와 SWMM 모델을 통해 다양한 강우사상을 모의하였으며, 본 연

구결과가 미래형 통합물관리방안에 미치는 영향을 연구하였다. 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 모델의 검보정을 위해 3년간 식생체류지에서 실제 모니터링한 유입 및 유출 데이터와 오염물질 부하량 데이터를 활용하였으며, 모의 결과를 %Diff와 NSE 지표를 통해 성능평가를 실시하였다. 총 7개 항목(유입, 유출, BOD, TOC, SS, TN, TP)을 모의 및 성능평가한 결과 대부분 'Very good'에 해당하는 지표를 받아 정교한 모델을 구축하였다고 판단된다.

2) 상기 모의 결과는 미래 통합물환경 시스템 내에서 강우를 초기에 관리하는 단계에서 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다. 특히, 설치예상지역의 강우유출저감 및 오염물질 저감 정도를 사전에 예측할 수 있으며, 이를 통해 식생체류지의 과다설계를 방지할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 환경적인 면에서도 수질오염예방은 물론 열섬 저감효과와 미세먼지 저감효과도 기대할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 한국수자원공사(K-water)의 개방형 혁신 R&D (Together PRO) 사업의 일환으로 수행되었습니다.

References

- Park, EJ, Kang, GY, Lee, HJ(2007). Improving the Function of Urban Green Space for Stormwater Management, *Gyenggi Research Institute*, [Korea literature]
- Park, JH, Yoo, YG, Park, YG, Yoon, HT, Kim, JG, Park, YS, Jeon, JH, Lim, KJ(2008). Analysis of Runoff Reduction with LID Adoption using the SWMM, *J. of Korean Society on Water Quality*, 24(6), pp 806-816 [Korea literature]

- Paekp, JR(2014), Improvement of SWMM-LID Module for Water Quality Modeling of Bioretention, *Master's thesis, Korea University, Seoul, Korea*, [Korean Literature]
- Song, CJ(2011), Vulnerability Analysis of Urban Drainage System Under Climate Change and Applicability of LID - A Case Study for Gulpo Stream Basin -, *Master's Thesis, Inha University, Seoul, Korea*, [Korean Literature]
- Lee, SB(2011), BASIN/HSPF-LID DEVELOPMENT FOR WATERSHED MANAGEMENT IN KOREA, *Doctor's Thesis, Konkuk University, Seoul, Korea*, [Korean Literature]
- Yi, JU, Yeo, WG, Shim, JH, Kang, TH(2001), Analysis of Runoff Reduction Effects by Using Porous Pavement, *KSCE*, 21(6), pp 645-654 [Korean Literature]
- Korea Environment Corporation(2013), Guideline for technical element of LID
- ASCE(1992), Design & Construction of Urban Stormwater Management System. New York, NY
- Donigian A. S. Jr and Love, J. T(2003), Sediment Calibration Procedures and Guidelines for Watershed Modeling, *J. of Proceedings of the Water Environment Federation*, 03(4) pp 728-747 [DOI 10.2175/193864703784828345]
- Elliott, A.H and Trowsdale, S.A(2007) A review of models for low impact urban stormwater drainage. *J. of Environmental Modelling & Software*, 22 pp 394-405 [DOI <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.12.005>]
- Shon, TS, Kim, ME, Joo, SJ, Jo, DJ(2013) Analysis of the characteristics of non-point pollutant runoff applied LID techniques in industrial area, *Desalination and Water Treatment*, 51(19-21) [DOI <http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2013.781107>]
- U.S. Department of HUD (2003), The Practice of Low Impact Development, HUD's Office of Policy Development and Research.