LID시설의 도심지 배수능력 개선 효과 분석

Analysis of the Improved Drainage Capacity of Urban Basins at an LID Facility

배강희* · 안재황** · 최영제*** · 김병식**** · 이재응*****

Bae, Kanghee*, Ahn, Jaehwang**, Choi, Youngje***, Kim, Byungsik****, and Yi, Jaeeung*****

Abstract

This study analyzes the change in the peak flow rate and discharge capacity of a sewage network with LID facilities using the rainfall runoff hydrological model SWMM. The demonstration complex has an area of 35,151 m² and include the seven elements of LID facilities: a porous pavement, tree box filter, planter box, bio retention, infiltration trench, rain barrel, and an infiltration rain catch basin. The results of analysis using the SWMM show that the peak flow rate per watershed decreased by 9.07% on average and 7.46% within the target site. According to the result observed for discharge capacity within sewerage network, the branch sewer improved by an allowance of 13.22% for a 10-year return frequency and main sewer improved by an allowance of 9.69% for a 30-year return frequency.

Key words : LID, SWMM, Peak Flow, Rate and Discharge Capacity, Sewer Network

요 지

본 연구에서는 강우-유출 수문해석 모형의 하나인 SWMM을 통해 LID시설에 따른 침투유량의 변화와 하수관망에 미치는 영향에 대해 분석하였다. 연구대상 LID시설은 투수성 포장, 나무 여과상자, 식물 재배화분, 식생 체류지, 침투 도랑, 침투통, 침투형 빗물받이 등 총 7개 요소의 LID시설이며 35,151 m²에 걸쳐 설치 되어있다. SWMM을 통한 LID시설 효과의 검토 결과, 유역별 침투유량은 평균 9.07%의 저감율을 보였으며, 전체 연구대상유역은 7.46%의 저감율을 보였다. 또한 지선하수관거는 10년빈도 확률강우에 대해 13.22%, 간선하수관거는 30년 빈도 확률강우에 대해 9.69%의 여유율의 개선 효과를 나타내었다.

핵심용어 : LID, SWMM, 침투유량, 통수능, 하수관망

1. 서 론

급속한 산업화 및 도시화에 따른 불투수 면적 증가와 기후변화에 따른 이상 강우 증가 등 최근 도시지역 물순환 체계에 많은 변화가 일어나고 있고, 물순환 왜곡에 따른 침수지역 증가, 지하수위 저하, 열환경 심화 등 여러 문제점들

이 발생하고 있어 이에 대한 방지 및 저감 대책 수립이 요구되고 있는 실정이다.

현재 도시개발 과정에서는 시민의 안정과 재산보호를 주목적으로 우수의 신속한 배제를 최우선시 하고, 개발에 따른 환경 영향 최소화를 위해 우수 유출부에 영구저류지 겸 침사지 등을 설치하는 방법을 주로 채택해 왔다. 하지만

*정회원, 바론이엔씨 대표(E-mail: kkamata@nete.com)

Member, CEO, Baron E&C

**정회원, 아주대학교 건설교통공학과 박사과정(E-mail: koreaace@ajou.ac.kr)

Member, Ph.D Candidate, Department of Civil&Transportation Engineering, Ajou University

***아주대학교 건설교통공학과 박사과정

Ph.D Candidate, Department of Civil&Transportation Engineering, Ajou University

****정회원, 강원대학교 방재전문대학원 도시·환경방재전공 교수

Member, Professor, Department of Climate change Urban & Environmental Disaster Research Lab, Kangwon National University

*****교신저자, 정회원, 아주대학교 건설교통공학과 교수(Tel: +82-31-219-2507, Fax: +82-31-219-2501, E-mail: jeyi@ajou.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil&Transportation Engineering, Ajou University

개발 사업에 의해 설치된 영구 저류지의 체계적인 자료 구축과 장기적인 유지관리 상태의 추적이 불가능하여 주민들의 민원의 대상이 되는 경우가 많았다. 영구저류지 등으로만 홍수조절에 대응하고 있는 여건을 개선코자 정부는 녹색성장정책과 부합하여 분산형 빗물관리시스템 도입과 저영향 개발기법(Low Impact Development, LID)의 의무적 사용을 추진하고 있다. 최근 계획되고 있는 사업지구 등에는 일부 LID 시설을 반영하고 있으나, 침투 및 저류시설에 대한 정량적인 효과분석 방법이 희소한 실정이고, 각 사업주체마다 LID 시설에 대한 계획 및 설계 등의 다양한 방법론이 산재되어 있는 상황이다.

국외에서는 1900년을 전후로 건전한 도시물순환을 위한 노력으로 미국을 중심으로 지자체 및 대학기관에서 LID 요소기술의 효율 검증과 실험, Best Management Practices (BMP)를 활용한 유출량 감소에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. U.S. EPA (2007)은 지역 내의 수문학적 기능을 도시화 이전의 수문특성과 같게 보존하는 계획과 설계의 접근 방법으로 LID를 정의하고 있으며, U.S. Department of HUD (2003)은 다양한 전략설정과 더불어 우수 유출 발생 단계에서 고려할 수 있도록 토지이용계획에 기술요소들을 포함시킴으로써 강우유출수를 분산식으로 관리하는 접근방식으로 정의하고 있다. 유역 단위에서의 강우유출량 저감효과에 대해 U.S. Geological Survey (2010)에서 메사추세츠주 입스위치(Ipswich) 강 유역의 사례를 보고하고 있는데, 0.25in (6.35 mm) 이하의 강우량에서 유출계수가 0.1에서 0.04로 약 60% 이상 감소되는 것으로 나타났으며, 그 이상의 강우량에서는 0.14에서 0.13으로 감소되는 것으로 보고하고 있다. 또한 U.S. EPA (2012)에서는 위스콘신주의 사례를 보고하고 있는데 0.2in (5.08 mm) 이하에서는 유출이 거의 발생하지 않으며, 1in (25.4 mm) 이하에서도 효과적인 것으로 보고하고 있다.

국내의 선행된 연구로는 비점오염원관리 측면에서 Woo et al. (2012)은 SWMM에서 LID 기법을 모델링하고 SWAT을 연계하여 경안천 유역 내 도시지역 및 비도시지역의 유출량 및 수질 개선 효과를 분석하였다. 홍수유출량 저감 측면에서 Park (2014)은 LID 시설(옥상녹화와 투수성포장) 유출저감 효과를 강우강도 변화에 따라 분석하였고, Baek (2015)은 CN값을 기준으로 같은 도심지에서도 CN값이 작아 상대적으로 침투성이 좋은 지역에서 LID 요소 기술 적용 효율이 더 좋다는 결과를 제시하였다. Cho (2012)은 SWMM-LID 모형을 활용해 동래천 유역에 옥상녹화와 투수성 인터락킹 콘크리트 블록 설치를 기존 도시에 가정하여 LID 설치에 따른 비점오염원과 홍수량 저감 효과를 분석하였다. LID 관련 최근의 연구동향을 살펴보면 환경적인 측면에서 접근한 연구들이 대다수이며, 하천유역을 포함한 대규모 유역에 대해 연구하거나 기존 개발이 완료된 시가지 등에 LID 설치(투수성포장, 옥상녹화 등)를 가정하고 우수 유출량 저감

효과 등을 분석하는 경우가 많았다. 이에 LID 시설의 치수적인 측면의 접근과 단지 개발을 포함하는 소규모 유역에 대해 실제 운영 중인 LID 시설 설치 단지에 대한 연구, 새로이 계획되는 도시가 아닌 운영 중인 도시에서의 LID 설치에 따른 문제점 등에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

2. 연구방법 및 내용

2.1 연구 대상지역 선정

본 연구의 대상 지역은 10년(1992년~2001년)의 사업기간을 거쳐 2002년 3월 준공식을 가진 충북 청원군에 위치한 오창과학산업단지 내 환경부·한국 환경공단이 주관하여 설계 및 시공 완료한 빗물유출 제로화 단지조성 시범사업(LID 시설 설치사업)단지를 대상으로 선정하였다. 면적은 444,639 m² (44.46 ha)이며, 투수성 포장 및 나무 여과상자, 식물재배 화분, 식생 체류지, 침투 도랑, 침투통, 침투형 빗물받이 등 총 7가지 요소의 LID 시설이 설치되어 있다.

2.2 연구 대상지역 현황

2.2.1 배수구역 현황

연구대상 지역의 배수 구역은 중앙의 중심상업로를 중심으로 크게 좌측은 I 배수구역, 우측은 II 배수구역으로 구분하였으며, 각각의 배수구역은 하수관망의 유출구에 따라 I 배수구역은 A, B, C, D, E 유역(5개 배수구역), II 배수구역은 F, G, H, I 유역(4개 배수구역)으로 구분하였다(Fig. 1).

Fig. 1. Drainage Area Map

2.2.2 우량관측소 현황

연구대상지와 가장 인접하여 위치하고 있으며, 강우빈도 해석 시 필요한 최소 관측년수의 기준인 30개년을 상회하는 비교적 장기간(49개년) 관측자료를 보유하고 있는 청주관측소를 선정하였다(Table 1).

2.3 LID 시설 현황

연구대상 지역에는 2014년~2015년에 걸쳐 환경부·한국

환경공단이 주관하여 총 7요소의 LID 시설이 설치되었다. 설치된 LID 시설은 투수성 포장(투수 블록 29,535 m², 투수콘 2,666 m²), 나무 여과상자(136개소), 식물 재배화분(466 m²), 식생 체류지(1,509 m²), 침투 도랑(687 m²), 침투통(22개소), 침투형 빗물받이(5개소) 등 총35,151 m²에 설치되었다(Fig. 2 and Table 2).

Table 1. Analysis of Rainfall Station

Name of station	Method of observation	Address	East longitude	North latitude	Elevation (EL.m)	Date of observation
Chung Ju station	AWS	265-14, Bockdae, Chung Ju, Chungcheongbuk-do	127°26′	36°58′	57.4	1967. 1

Fig. 2. LID Facility

Table 2. Specifications of LID Facility

Element of LID techniques	Unit	Water Quantity	Note
Porous pavement	m ²	32,200.57	percolation block 29,535 m ² , pervious concrete 2,666 m ²
Tree box filter	number	136	A=269,28 m ²
Planter box	m ²	465.90	L=465. 9 m
Bioretention	m ²	1,509.30	4EA
Infiltration trench	m ²	687.00	L=343.5 m
Dry wells	number	22	A=17.82 m ²
Infiltration basin	number	5	A=1.00 m ²

2.4 SWMM 모형 구축

SWMM 모형을 구축하기 위해서는 Fig. 3과 같이 크게 세 가지 유형의 기초 자료가 요구되며 첫째 지표면에서의 유출모의를 위한 배수구역의 소유역별 지형 및 배수관련 특성 자료, 둘째 관거 내의 유량 추적 및 통수능 검토를 위한 관거 및 맨홀 자료, 셋째 지역 강우특성을 고려한 강우 관련자료 등이 모형 구성에 필수요소이다.

Fig. 3. Basic Data of the Swmm Model

2.4.1 소유역 특성자료 구축

SWMM 모형 구축에서 필요한 소유역별 지형 특성 매개변수로는 유역별 면적(ha), 폭(m), 평균경사(m/m), 불투수 면적 비율(%) 등이 있다. 지형 매개변수 결정방법은 흔히 지형도를 토대로 DEM 생성을 통해 결정하는 방법이 흔히 사용되고 있으나, 본 연구의 대상지는 지형의 고저차가 거의 없는 평지형태로 구성되어 있고, 최근 개발 후의 측량도의 수집이 용이하여 현황측량도(1:1,000, 2015년)를 AutoCAD를 이용하여 직접 구축하는 방법으로 면적, 폭, 경사 등을 산정하였으며 불투수 및 투수 지역 구분은 지형도와 위성지도를 중첩하는 방법을 사용하였다(Figs. 4 and 5).

배수특성 자료에는 조도계수, 지면저류량 산정을 위한 저류깊이, 침투에 의한 손실량 산정을 위한 침투 방정식의 매개변수 등이 있다. 조도계수는 산업단지 특성상 토지이용 상태가 단순하여 전체 유역을 단순화 시켜 콘크리트 또는 아스팔트 포장지역으로 이루어진 불투수지역은 0.013, 투수 지역은 0.030을 일괄 적용하였으며 저류깊이는 소유역의

표면상태를 고려하여 불투수지역은 0.3 mm, 투수지역은 표면이 나대지에 수풀이 자란 형태로 가정하여 1.0 mm를 적용하였다. 또한 침투량 산정은 Horton방법을 사용하였으며 Horton방법의 매개변수 산정을 위한 토양형은 연구 대상지의 불투수율과 토지이용상태 등을 고려하여 D형으로 결정하였다.

관거 특성 자료는 Node(맨홀)에 대한 자료와 Link(관로)에 대한 자료로 구분되며, 본 연구 대상지는 150개의 Node와 149개의 Link로 구성된다. 유역에 대한 관거 특성 자료는 하수도 대장 평면도(1:1,000)를 참조하여 관망을 구성하고, 특성 자료를 구축하였다.

모형 구성을 위한 강우자료 입력과정은 강우강도, 지속시간 및 빈도, 확률강우량의 시간별 강우배분의 순서로 이루어지며 강우강도는 연구 대상지역과 가장 인접한 청주관측소의 44개년(1971년~2014년) 실 강우량 분석과 최근 기후변화 등을 고려해 자연재해대책법에서 규정한 청주시 방재성능 목표 강우량(지속시간 3시간, 30년빈도, 125.4 mm)과의 비교·검토를 통해 결정된 「청주 하수도정비 기본계획 보고서, 청주시, 2016」의 강우강도식(지속시간 3시간, 30년빈도, 131.9 mm)을 적용하였다. 또한 연구 대상 유역의 배수계통에 최대 부하를 발생시키는 설계강우의 지속시간인 임계지속 시간은 180분(3시간)으로 적용하였으며, SWMM에서 유출 해석 시간은 240분(4시간)으로 적용하였다.

모형에 적용된 확률빈도는 기존 LID 관련 연구 등에서 주로 검토하고 있는 2년 빈도와 5년 빈도를 포함하여 최근 이상강우 등의 영향을 고려하여 관로 설계 시 주로 사용하는 10년, 30년 빈도, 그리고 1997년 오창과학산업단지 설계 시 주·간선 관거의 확률빈도인 20년 빈도까지 2년, 5년, 10년, 20년, 30년 빈도 등 총 5개의 확률빈도에 대해 검토하였다. 확률강우량을 이용한 강우강도식 결정과 지속시간에 따른 빈도별 확률강우량을 산정한 후에는 강우강도의 변화 양상, 즉 호우의 시간적 분포형이 제시되어야 하며, 본 연구에서는 강우계측기에 관측된 자료의 누가 곡선을 이용하는 형태로 개발된 Huff 방법을 적용하고 실무에서 설계기준으로 활용되는 3분위를 채택하였다(Table 3).

Fig. 4. Sewer Network Line Map

Fig. 5. Perviousness & Imperviousness Area

Table 3. Probability Rainfall (Duration, 180 min)

Division	Cumulative distribution (%)	Sectional distribution (%)	2 year	5 year	10 year	20 year	30 year
10 min	0.70	0.70	0.46	0.62	0.73	0.83	0.92
20 min	2.43	1.73	1.14	1.54	1.80	2.04	2.28
30 min	4.75	2.32	1.53	2.06	2.41	2.74	3.06
40 min	7.75	3.00	1.98	2.66	3.12	3.55	3.96
50 min	11.27	3.52	2.32	3.13	3.66	4.16	4.64
60 min	15.30	4.03	2.66	3.58	4.19	4.76	5.32
70 min	21.30	6.00	3.96	5.33	6.23	7.09	7.91
80 min	28.36	7.06	4.66	6.27	7.34	8.34	9.31
90 min	36.53	8.17	5.39	7.25	8.49	9.66	10.78
100 min	46.71	10.18	6.72	9.04	10.58	12.03	13.43
110 min	58.27	11.56	7.63	10.27	12.01	13.66	15.25
120 min	70.19	11.92	7.87	10.58	12.38	14.09	15.72
130 min	81.22	11.03	7.28	9.79	11.46	13.04	14.55
140 min	90.11	8.89	5.87	7.89	9.24	10.51	11.73
150 min	95.99	5.88	3.88	5.22	6.11	6.95	7.76
160 min	98.76	2.77	1.83	2.46	2.87	3.27	3.65
170 min	99.70	0.94	0.62	0.84	0.97	1.12	1.24
180 min	100.00	0.30	0.20	0.27	0.31	0.36	0.39
Total		100.00	66.0	88.8	103.9	108.2	131.9

2.4.2 LID 시설별 매개변수 산정

본 연구에서 SWMM에서의 LID 시설 적용은 기존 소유역을 LID 시설 적용 유역과 LID 시설 비적용 유역으로 구분하고, 구분된 LID 시설 적용 유역을 LID 장치로 설정하여

처리하는 방법과 LID가 담당하는 불투수 배수구역을 Flow Redirection을 이용하여 LID 시설 침투 매개변수를 적용 후 유출시키는 두 가지 방법을 이용하였다. 그리고 7개 요소의 LID 시설에 대한 침투관련 매개변수는 LID 시설 상세도를

참조하여 표층의 상태 및 지면 저류수심, 필터 및 침투층 조건과 깊이 등을 고려하여 산정하였다.

지면 저류는 지표면의 물이 오목한 지면 등에 의해 유출되지 못하고 저류되어 결국 증발 또는 침투되는 현상을 말한다. 투수성포장의 지면저류 깊이는 투수성 포장의 타입에 따라 60~160 mm의 저류 깊이를 적용하였고, 나머지 LID 시설에 대해서는 빗물이 유입되는 높이에서 LID 시설의 침투층 상부까지의 단차를 지면 저류 깊이로 산정하였다. 침투도랑은 150 mm, 식생체류지는 상부 웅덩이 깊이 350 mm를 적용하였다. 침투능은 상부의 표면상태에 따라 크게 투수성 포장, 식생토, 자갈 및 모래층으로 구분하여 산정하였다. 나무여과상자 및 식물재배화분, 식생체류지는 식생토로 구분하고, 침투도랑 및 침투통, 침투형 빗물받이는 자갈층 상부로 구분하였다. 투수성포장의 경우에는 제품 생산 업체마다 투수시험을 통해 투수계수 성적을 제시하고 있으나, 본 연구에서는 투수계수 KS 기준(0.1 mm/sec)에 SWMM에서 제시한 막힘에 대한 계수를 적용하여 130 mm/hr를 적용하였다. 식생토 상부층과 자갈층 상부의 침투능은 SWMM 매뉴얼 및 유사연구 자료를 통해 식생토층은 127 mm/hr, 자갈층은 210 mm/hr를 적용하였다.

2.4.3 유역별 LID 시설 적용 및 투수면적 산정

본 연구의 대상 지역에는 총 7가지 요소의 LID 시설이 설치되어 있다. LID 시설 중 투수성 포장은 전 배수구역에 걸쳐 설치되었고, E유역은 배수면적(2.16 ha) 대비 가장

넓은 면적의 LID 시설(0.74 ha, 34.11%)이 설치되었다. 또한, A, B 유역은 투수성 포장과 식물 재배 화분 2가지 요소의 LID 시설만이 설치되었으며, H유역은 7가지 모든 요소의 LID 시설이 설치되었다(Fig. 6 and Table 4).

Fig. 6. LID Facility Location

Table 4. LID Facility of Basin

Basin	Division	Unit	Water Quantity	Note
A	Porous pavement	m ²	1,632.95	
	Planter box	m ²	44.00	L=44.0 m
B	Porous pavement	m ²	1,943.54	
	Planter box	m ²	15.00	L=15.0 m
C	Porous pavement	m ²	3,796.92	
	Tree box filter	number	62	A=122.76 m ²
D	Planter box	m ²	8.00	L=8.0 m
	Porous pavement	m ²	2,232.44	
	Tree box filter	number	8	A=15.84 m ²
	Planter box	m ²	29.00	L=29.0 m
E	Bioretention	m ²	498.30	
	Porous pavement	m ²	6,526.07	
	Planter box	m ²	84.00	L=84.0 m
F	Bioretention	m ²	758.40	
	Porous pavement	m ²	2,279.17	
	Tree box filter	number	4	A=7.92 m ²
	Planter box	m ²	42.50	L=42.5 m
	Infiltration trench	m ²	46.00	L=23.0 m

Table 4. (Continued)

Basin	Division	Unit	Water Quantity	Note
G	Porous pavement	m ²	2,319.25	
	Tree box filter	number	11	A=21.78 m ²
	Planter box	m ²	21.5	L=21.5 m
	Bioretention	m ²	47.5	
	Infiltration trench	m ²	161.00	L=80.5 m
	Dry wells	number	14	A=11.34 m ²
H	Porous pavement	m ²	5,678.23	
	Tree box filter	number	33	A=65.34 m ²
	Planter box	m ²	116.6	L=116.6 m
	Bioretention	m ²	99.1	
	Infiltration trench	m ²	279.00	L=139.5 m
	Dry wells	number	4	A=3.24 m ²
	Infiltration basin	number	5	A=1.00 m ²
I	Porous pavement	m ²	5,792.00	
	Tree box filter	number	18	A=35.64 m ²
	Planter box	m ²	105.30	L=105.3 m
	Bioretention	m ²	106.0	
	Infiltration trench	m ²	201.00	L=100.5 m
	Dry wells	number	4	A=3.24 m ²

3. 연구결과 및 분석

3.1 시나리오 선정 및 분석 방법

LID 시설 설치에 따른 침투 유량 변화와 기존 우수관망의 통수능 개선 효과를 분석하기 위한 시나리오를 선정하였다.

- 시나리오 A: LID 시설 설치 전 하수관망
→ None LID
- 시나리오 B: LID 시설 설치 후 하수관망
→ Apply LID

먼저 LID 시설 설치 전에 대한 분석 시나리오와 LID 시설 설치 후의 시나리오로 구분될 수 있으며, 각각의 시나리오에 대해 2년, 5년, 10년, 20년, 30년 빈도로 총 5개 빈도의 설계강우 입력 자료를 적용하였다.

침투유량에 대한 분석은 먼저 각각의 9개 배수유역에 대해 분석하고, 중심 상업로를 중심으로 구분된 I 배수구역과 II 배수구역, 그리고 전체 연구대상지에 대한 유출량 변화에 대해 분석하였다.

하수관망의 통수능에 대한 분석은 「하수도시설기준」에 따라 지선하수관거(D600 mm미만)와 간선하수관거(D600 mm이상)로 관로를 구분하고, 관로별 침투유량은 지선하수관거는 10년 빈도, 간선하수관거는 30년 빈도의 홍수량을 SWMM에 적용하는 침투유량으로 결정하였다.

원형거는 만류, 직사각형거는 높이의 90%로 수심을 적용하며, 관로가 설치되어 있는 Slope를 참조하여 Manning 식에 의해 유속을 산정한다. 수심과 유속에 의해 관로별 통과 가능한 통수능을 결정하며 발생유량과 통수능에 따른 여유율과 개선율에 대해 분석하였다.

3.2 침투유량 저감 효과 분석

SWMM을 통한 침투유량 분석은 각 배수구역 별 유출부 9개 지점과 중앙의 중심 상업도로로 구분되는 I, II 유역 유출부와 전체 유역 유출부 총 12개 지점에 대한 결과를 분석하였고, 그 위치는 Fig. 7과 같다.

3.2.1 유역별 침투유량 분석 결과

총 9개 유역에 대한 LID 시설 미설치 시와 설치 후의 유역별 최종 유출부에서의 빈도별 침투유량 변화와 LID 설치에 따른 침투유량 저감비율은 Table 5와 같다.

LID 시설 설치로 인한 유역별 평균 침투유량 저감비율은 9.07%이며, 이 중 E 유역이 33.79%로 저감비율이 가장 높고, C 유역은 2.75%로 가장 낮은 저감비율을 보이는 것으로 나타났다. E 유역은 전체 배수유역 면적 2.16 ha 중 약 34%에 해당하는 0.74 ha에 상대적으로 많은 LID 시설이 설치되었기 때문에 침투유량 저감비율이 가장 높은 것으로 나타났다. E유역은 상가 주변으로 대규모 광장이 위치하고 있어 LID 시설 설치에 가장 양호한 조건을 가지고 있었기 때문이며,

Fig. 7. Checking Point by Drainage Station

Table 5. Rate of Peak Discharge Reduction of Installing LID

Division	Rate of peak discharge frequency reduce (%)					
	2 year	5 year	10 year	20 year	30 year	Average
A Basin	9.19	9.24	9.11	9.20	9.07	9.16
B Basin	5.94	6.40	6.32	6.31	6.32	6.26
C Basin	3.67	3.90	3.44	1.33	1.41	2.75
D Basin	4.87	4.78	4.80	4.54	4.71	4.74
E Basin	33.61	33.74	33.77	33.94	33.88	33.79
F Basin	5.76	5.91	5.85	5.84	5.87	5.85
G Basin	8.24	8.31	8.25	8.28	8.16	8.25
H Basin	4.83	4.99	4.99	4.98	5.00	4.96
I Basin	7.05	7.06	7.13	4.33	3.72	5.86
Average	9.24	9.37	9.30	8.75	8.68	9.07

E유역에는 투수성 포장, 식물재배화분 외에도 가장 큰 식생 체류지가 설치되어 있다. 이에 반해 C 유역은 배수유역 면적 대비 가장 낮은 LID 시설 설치율(5.09%)로 가장 낮은 저감비율을 나타내었다. C 유역은 전체 유역 중 도로의 경사도가 가장 심하며, 사면부가 상당 부분을 차지하고 있어 LID 시설 설치에 가장 부적합한 조건이기 때문이다. 빈도별로는 5년 확률빈도에서 근소하게 가장 높은 저감비율을 보였으며, C 유역과 I 유역의 경우에는 10년 빈도 이후 급격히 저감비율이 떨어지는 것으로 분석되었다.

3.2.2 유역 총괄 침투유량 분석 결과

Fig. 8은 I, II 배수구역과 전체 시범유역 출구에서의

유출량 변화를 나타낸다. LID시설 적용 및 미적용 상황을 동시에 나타내었으며 전체 시범유역 출구에서는 30년 빈도 3시간 유출을 기준으로 침투유출량은 LID시설 미적용 시 10.771 m³/s, 적용 시 10.038 m³/s로 0.733 m³/s (6.81%)의 저감효과를 나타내었다.

총괄 유역에 대한 총괄 침투유량 및 저감율을 분석하면 Table 6과 같으며, 침투유량 저감율은 6.81~7.82%로 평균 7.46%로 분석되었다.

3.2.3 침투유량 분석 결과 검토

침투유량 저감율 분석결과, 유역별 저감율은 배수면적 대비 LID 시설 설치면적의 비율에 따라 2.75~33.79%로

Fig. 8. Drainage Flow Rate (I,II,Total)

Table 6. Rate of Peak Discharge Reduce in Installing LID

Division	Peak discharge frequency (%)					
	2 year	5 year	10 year	20 year	30 year	Average
Total of I basin	9.54	9.82	9.80	9.19	8.54	9.38
Total of II basin	6.45	6.51	6.53	5.82	5.65	6.19
Total of business district	7.72	7.82	7.81	7.13	6.81	7.46

평균 9.07%의 침투유량 저감 효과가 있는 것으로 분석되었으며, 총괄 유역에서는 평균 7.46% 저감율을 보이는 것으로 분석되었다.

가장 큰 저감율을 보인 E유역은 일부 상가와 도로 면적을 제외하면 대부분의 유역이 넓은 면적의 광장과 보행자 전용 도로 등으로 구성되어 있어 가장 넓은 면적의 LID 시설

설치가 가능했으며, 가장 작은 저감율을 보인 C유역은 연구 대상지 배수구역 중 가장 경사가 심한 유역으로, 대부분의 면적이 도로와 큰 규모의 상가로 이루어져 LID 시설 설치가 가장 불리한 여건이었기 때문에 LID 설치율의 차이에 따라 큰 차이를 보이는 것으로 판단된다.

기존 도심지에는 LID 시설을 설치하기에 많은 어려운

여건이 존재하는데 이는 결국 낮은 LID 시설 설치율을 수반하기도 한다. 또한, 실제 구도심지에서 LID 시설 설치율은 설치 여건에 따라 계획단계에서 적용하는 것과 큰 차이가 있다. 현재 운용중인 구 도심지에서는 LID 시설 설치 시 우수/오수/상수관로, 통신관로, 전기관로 등 무수한 지하매설물을 고려하여야 하며, 건축물의 노후화로 옥상녹화가 가능한 건물을 선정하기에 큰 어려움이 있기 때문이다.

본 연구 대상지는 산업단지로 대부분이 상가로 구성되어 있으며, 공동주택 단지로 구성되는 택지개발지구에서의 결과와는 상이할 수 있다. 특히 택지개발지구의 공동주택단지는 사유지이기 때문에 개발 완료 후 LID 시설의 설치에 제약이 따르는 문제가 있다. 이에 LID 시설 설치에 따른 침투유량 저감 효과를 기대하는 구 도심지에서는 대부분 본 연구 대상지와 같이 상가 및 주거지 등의 밀집지역이

많아 본 연구의 결과에 대한 활용성이 높을 것으로 기대된다. 특히 실제 도심지 LID 시설 설치 가능 면적을 산정하고, 그 결과를 예측하는 과정이 필수적으로 요구되는 설계계획 단계에서 적용성이 높을 것으로 보인다.

3.3 하수관망(지선 및 간선)의 개선 효과 분석

지선 및 간선 하수관거의 구분은 환경부 제정 「하수도 시설기준, 2011」에 의거하여 지선하수관거는 D600 mm 미만, 간선하수관거는 D600 mm 이상으로 구분하였다. 지선하수관거에 대한 여유율 및 여유율 개선을 분석하면 Table 7과 같으며, 통수능에 대한 여유율 개선은 0.64~63.69%로 평균 13.22%의 여유율이 개선된 것으로 분석되었다. 간선하수관거에 대한 여유율 및 여유율 개선을 분석하면 Table 8과 같으며, 통수능에 대한 여유율 개선은 1.66~40.24%로 대체적으로 9.69% 여유율이 개선된 것으로 분석되었다.

Table 7. Result of Checking Ground Sewer

Division	Link	NoneLID (m ³ /s)	ApplyLID (m ³ /s)	Checking Capacity				
				velocity (m/s)	discharge (m ³ /s)	excess rate (%)		improvement rate (%)
						None LID	Apply LID	
A basin	A02	0.27	0.26	2.65	0.52	90.08	102.65	12.57
	A03	0.32	0.29	2.63	0.52	63.92	76.83	12.91
	A04	0.14	0.13	3.00	0.48	240.81	269.87	29.06
B basin	B03	0.12	0.12	1.57	0.25	101.76	106.76	5.00
	B04	0.18	0.17	3.00	0.48	159.31	179.02	19.71
	B05	0.13	0.13	2.08	0.33	151.93	159.87	7.93
	B06	0.35	0.33	2.64	0.42	20.69	28.83	8.14
C basin	C05	0.14	0.13	2.40	0.38	182.16	188.57	6.41
	C07	0.12	0.12	2.93	0.47	279.46	288.95	9.49
	C08	0.19	0.18	2.87	0.46	143.94	147.92	3.98
	C09	0.35	0.35	1.23	0.20	-44.47	-43.83	0.64
D basin	D02	0.37	0.37	2.63	0.52	38.43	40.70	2.66
	D03	0.26	0.25	1.51	0.24	-7.10	-5.64	1.46
E basin	E02	0.38	0.25	3.00	0.48	24.90	88.59	63.69
F basin	F04	0.04	0.04	1.25	0.20	411.73	454.37	42.64
G basin	G03	0.16	0.15	1.22	0.19	24.63	28.75	4.13
	G04	0.23	0.21	2.30	0.37	59.23	74.39	15.16
	G05	0.16	0.15	1.66	0.26	67.92	76.93	9.02
H basin	H03	0.18	0.17	1.16	0.23	25.34	34.99	9.64
	H07	0.15	0.13	1.73	0.28	83.79	107.28	23.49
	H09	0.14	0.14	1.46	0.23	62.59	68.48	5.89
	H10	0.23	0.22	2.46	0.39	69.68	74.98	5.30
I basin	I05	0.32	0.28	3.00	0.48	50.51	68.00	17.49
	I06	0.51	0.46	2.53	0.50	-2.57	8.28	10.85
	I08	0.14	0.13	1.84	0.29	110.18	119.66	9.48
	I10	0.04	0.04	2.02	0.32	647.21	665.00	17.79
	I11	0.10	0.10	2.94	0.47	372.33	377.15	4.82
	I12	0.29	0.27	2.20	0.43	48.01	58.89	10.88

Table 8. Result of Checking Main Sewer

Division	Link	NoneLID (m ³ /s)	ApplyLID (m ³ /s)	Checking Capacity				
				velocity (m/s)	discharge (m ³ /s)	excess rate (%)		improvement rate (%)
						None LID	Apply LID	
B basin	B01	0.73	0.66	2.38	0.92	25.95	38.50	12.56
C basin	C01	1.38	1.26	2.62	1.66	20.68	32.49	11.82
	C02	0.55	0.51	2.33	0.66	19.67	29.80	10.13
D basin	D04	0.81	0.77	2.63	1.01	25.20	31.39	6.19
E basin	E01	3.73	3.50	3.00	22.50	503.54	543.78	40.24
F basin	F05	0.72	0.63	2.52	0.97	34.92	54.44	19.52
G basin	G06	0.54	0.50	1.08	0.55	1.15	10.15	8.99
H basin	H05	1.25	1.18	1.37	1.30	4.20	9.74	5.54
	H06	1.95	1.86	2.98	2.83	45.27	52.31	7.04
	H11	0.56	0.52	1.38	0.53	-4.13	1.93	6.06
	H12	2.54	2.41	2.67	3.02	18.90	25.15	6.26
I basin	I02	0.29	0.29	2.74	0.78	169.34	171.22	1.88
	I07	0.93	0.92	2.59	1.30	39.44	41.10	1.66
	I09	1.23	1.21	2.59	1.65	33.65	36.76	3.10
	I13	1.69	1.63	1.72	1.95	15.07	19.52	4.44

지선과 간선하수관거의 LID 시설 설치 전 관거의 여유율은 103.01%로 오창산업단지가 계획도시임을 감안하더라도 다소 크게 산정되었다. 그리고 LID 설치 후의 여유율은 114.99%로 전체 평균은 11.98% 여유율이 개선되는 것으로 분석되었다. E 유역과 같이 LID 시설이 집중되어 개선효과가 뚜렷한 관로를 제외하더라도 평균 10%내외의 여유율이 개선되었다.

I 배수구역의 I06관로와 같이 발생유량 대비 통과 가능 유량이 -2.57%로 통수능 부족 상태의 관로가 LID 시설 설치 후 10.85% 개선되어 8.25% 여유율을 확보 되는 경우와 같이 LID 시설만으로 관거의 통수능이 개선되는 효과를 확인할 수 있었다. 물론 본 사업지구는 상습 침수 구역이 아니며, 대부분의 관로가 충분한 통수능을 확보한 상태이긴 하나, LID 시설의 효과를 기존 도심지의 하수관거 개선 및 저지대 침수 저감 등을 위한 하나의 방법으로 접근하는 경우 본 연구 결과를 참조할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 LID 시설 설치 수량과 요소 기술별 효과는 추가적으로 검토되어야 한다.

4. 결 론

급격한 경제성장과 함께 무분별한 도시개발로 인해 기존의 물순환에 심각한 왜곡이 야기되었고, 전 세계적인 기후변화 등 이상 기후의 양상이 계속되면서 이로 인한 예기치 못한 홍수, 지하수 고갈, 도심지의 열섬화 현상 등 많은 문제점들이 발생하고 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위해 도시화 이전

의 물순환 체계를 모사하기 위한 여러 연구들이 이루어지고 있으며, 그 해결방안의 하나로 Low Impact Development (LID, 저영향개발) 기술이 주목받고 있으며, 국내·외 많은 관련 연구들이 진행 중이다.

본 연구에서는 강우-유출 수문해석 모형의 하나인 SWMM을 이용하여 LID 시설이 설치된 오창과학산업단지 일부 유역에 대해 LID 시설 현황에 대해 설명하고 우수 침투유량 저감효과와 하수관망에 미치는 영향을 분석 하였다. 현장조사 및 하수관망도와 지형도 수집 등을 통해 SWMM 모형을 구축하고, 설치된 LID 시설을 SWMM 모형에 구현하고, 시나리오를 선정하여 모의한 결과는 다음과 같다.

- (1) 유역별 침투 유량 분석 결과 평균 9.07%의 침투유량 저감율을 보였다. A유역은 평균 9.16%의 저감율로 전체평균 저감율과 비슷한 저감율을 나타내었고 B유역은 6.26%, C유역 2.75%, D유역 4.71%, F유역 5.85%, G유역 8.25%, H유역 4.96%, I유역 5.86%의 평균 침투 유량 저감율을 보였다. 9개 유역 중 전체 면적 대비 34%의 면적에 LID 시설을 설치한 E 유역이 33.79%로 가장 큰 저감율을 보였으며, 도로의 심한 경사도와 사면부가 많아 LID 시설 설치가 부적합하여 5.09%의 LID 시설 설치율을 보인 C 유역이 2.75%의 가장 작은 침투 유량 저감율을 보였다. 특히 빈도별 홍수에 대한 유역의 침투홍수량 저감효과 측면에서는 비교적 낮은 비율로 LID시설 적용이 이루어진 C 유역과 I 유역의 경우 10년 빈도 이후 급격히 저감비율이 떨어지는

것으로 분석되어 도심지 LID시설 적용 시 설계빈도 상황을 고려하여 10년 빈도 이상의 강우에 대한 LID시설 적용성능 평가가 필수적으로 수행되어야 할 것으로 보인다.

- (2) 중심 상업로를 중심으로 좌측의 I 배수구역과 우측의 II 배수구역, 그리고 전체 유역의 최종 유출부에 대해 분석한 결과 전체 평균은 7.46% 침투 유량 저감율을 보였으며, 5년 빈도 확률강우에서 7.82%의 저감율을 보였으며, 빈도가 높아질수록 다소 감소하는 경향을 보였다. 특히 I 배수구역은 가장 많은 LID시설을 적용한 E 유역이 포함되어 II 배수구역(침투유량 평균 저감율 6.19%)에 비하여 높은 9.38%의 침투유량 평균 저감율을 나타내었다.
- (3) 연구대상지의 하수관거를 지선과 간선관거로 구분하고 각각 10년과 30년 확률빈도 강우량에 대해 검토한 결과 지선하수관거의 경우 발생 우수량에 대한 통수능의 여유율은 평균 13.22% 개선된 것으로 분석되었다.
- (4) 간선하수관거의 경우에도 대체적으로 9.69%의 여유율이 개선된 것으로 분석되었다. 지선관거와 간선관거를 모두 합쳐 11.98%의 여유율 개선을 보였으며, LID 시설이 집중된 E유역을 제외하더라도 평균 10% 내외의 여유율이 개선된 것으로 분석되었다.

몇몇 연구를 제외한 LID 관련 국내 연구들이 외국 문헌들의 LID 시설 자료를 이용하거나, 대상 유역에 LID 시설 설치를 가정하여 분석한 연구들이 대부분이며, 이는 실제 LID 시설의 설계 및 시공 시 참조하는데 제한이 있었다. 이러한 한계를 극복하고자 실제 국내에 적용된 LID 시설의 자료와 현황을 활용하여 배수능력 개선효과를 분석하여 향후 국내 LID 시설 설치 계획 시 활용가능 한 결과를 도출하였다. 또한 최근 빈번히 발생하는 도심지의 부분적인 침수 등의 개선방안으로 LID 시설을 활용하고자 할 경우, 하수관망 개선사업 등과 연계하여 참고 가능한 자료가 될 것으로 판단된다. 그러나 본 연구의 대상지역은 준공 후 10여년이 지난 계획 산업단지에 대해 설치된 LID 시설로써 비교적 도심지 침수 등에는 안전하다고 판단되는 지역이다. 이에 추후 주로 도심지 침수와 하수관망 개선사업 등이 시급한 구 도심지 등에 대한 추가적인 비교연구가 필요하다. 또한 계획 당시부터 LID 시설 설치가 고려되어 지하매설물이나 주민 민원 등의 우려 없이 비교적 자유롭게 LID 시설 설치가 가능한 계획 신도시 등의 연구결과와도 비교·검토가 이루어진다면 LID시설의 효과를 비교적 정확히 판단할 수 있는 기준자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다. 또한 시범유역에서는 고려하고 있지는 않지만 최근 우수저류시설에 의한 도심지 침수를 막을 수 있는 효과가 큰 것으로 나타나고

있어 이를 통한 도심지 침수방지 효과를 함께 고려하는 후속 연구가 필요한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 행정안전부 극한재난대응기반기술개발의 연구비 지원(2017-MOIS31-004)에 의해 수행되었습니다.

References

- Baek, J.S. (2015). *A study on adaptive LID region selection based on urban hydro-geomorphological properties*. Master's thesis, Pusan National University.
- Cho, E.Y. (2012). *The analysis of LID adaptation efficiency on urban basin based on SWMM-LID model*. Master's thesis, Pusan National University.
- Park, G.Y. (2014). *Analysis runoff reducing effect of LID facilities according to rainfall intensity*. Master's thesis, Kookmin University.
- U.S. Department of Housing and Urban Development (HUD). (2003). *The practice of low impact development*. HUD's Office of Policy Development and Research.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2007). *Reducing stormwater costs through low impact development (LID) strategies and practices*. EPA 841-F-07-006.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2012). *Effectiveness of low impact development*. EPA 841-N-12-003E.
- U.S. Geological Survey. (2010). *Effects of low-impact-development (LID) practices on streamflow, runoff quantity, and runoff quality in the Ipswich River basin, Massachusetts: A summary of field and modeling studies*. Circular 1361.
- Woo, W.H., Ryu, J.C., Kang, H.W., Kum, D.H., Jang, C.H., Kim, K.S., et al. (2012). Analysis of flow and pollutant reduction with LID using SWAT-SWMM integrated system at Kyoungan watershed. *Proceedings of 2012 Annual Spring Conference*, Korean Society on Water Environment, Vol. 2012, pp. 61-62.

Received	November 15, 2018
Revised	November 19, 2018
Accepted	December 3, 2018