

토지이용면적을 고려한 LID 규모 산정 및 우수저류지 적용에 따른 유출저감 연구

김병성* · 김재문** · 김성수*** · 신강욱**** · 이상진*****

Kim, Byung Sung* · Kim, Jea Moon** · Kim, Seong Su*** · Shin, Gang Wook**** · Lee, Sang Jin*****

A Study on the Runoff Reduction According to the Calculation Method of the LID Scale Considering the Land Use Area and the Application of Stormwater Storage Basin

ABSTRACT

Globally, due to climate change and urbanization, problems with water cycle destruction in urban areas frequently occur. In order to solve this problem, LID technique is being actively conducted the application in urban and research. In this study, some areas of the new city located in Busan was constructed using a widely used SWMM model to verify the effectiveness of the LID technique. This is to present a plan to maximize the efficiency of urban water cycle of the stormwater management target figure and the LID scale calculation method. In addition, the efficiency of runoff reduction using stormwater storage basin was analyzed in urban development projects. By calculating the scale of customized LID for each sub basin, the amount of runoff and peak runoff after LID application was reduced by 86.8 % and 69.5 %, respectively. Depending on the application of the stormwater storage basin, the reduction effect of peak runoff from 0.5 m³/s to 4.9 m³/s and delay effect of 8 minutes to 10 minutes was shown.

Key words : Stormwater, Runoff reduction, Low impact development, Water cycle

초록

전 지구적으로 기후변화 및 도시화로 인해 도시지역에서 물순환 건전성에 대한 문제가 빈번하게 발생하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 LID 기법 연구 및 개발사업 시 도입이 활발하게 진행되고 있다. 본 연구에서는 LID 기법의 효율성을 검증하기 위해 많이 사용되고 있는 SWMM 모형을 이용하여 부산광역시 내 신도시의 일부지역을 구축하고, 빗물관리 목표량 산정 및 LID 규모 산정방법 제시를 통해 도시 물순환 효율성을 극대화하는 방안을 제시하고자 한다. 또한, 도시개발 사업 시 대상지 면적 대비 개발이 많이 일어나는 경우 우수저류지를 이용한 유출저감 효율성을 분석하였다. 소유역별로 맞춤형 LID 규모를 산정하여 LID 적용 후 유출량과 첨두유출량은 각각 86.8 %, 69.5 %의 저감효과가 나타났으며, 우수저류지의 적용에 따라 0.5 m³/s에서 4.9 m³/s의 첨두유출량 저감효과 및 8분에서 10분가량의 지체시간 지연효과가 나타났다.

검색어 : 강우, 유출저감, 저영향개발, SWMM, 물순환

* 정회원 · 한국수자원공사 K-water연구원 위촉연구원 (K-water Research Institute · rqt5060@kwater.or.kr)

** 정회원 · 부산대학교 사회환경시스템공학과 박사수로 (Pusan National University · ekzms7@naver.com)

*** 한국수자원공사 K-water연구원 책임연구원 (K-water Research Institute · kssman@kwater.or.kr)

**** 한국수자원공사 K-water연구원 수석연구원 (K-water Research Institute · gwshin@kwater.or.kr)

***** 정회원 · 교신저자 · 한국수자원공사 K-water연구원 책임연구원 (Corresponding Author · K-water Research Institute · sjlee@kwater.or.kr)

Received November 19, 2020/ revised December 14, 2020/ accepted December 18, 2020

1. 서론

전 지구적으로 산업화 이후 기후변화를 겪고 있으며, 우리나라 1912년부터 2017년까지 총 106년 기상관측자료를 통해 연평균기온은 +0.18 °C/10년으로 상승하고 연 강수량은 +16 mm/10년으로 상승하였다(NIMS, 2018). 또한, 불투수면적률이 25 %를 초과하는 유역은 물순환 건전성 측면에서 악화되는 것으로 알려져 있으며, 51개의 소권역 유역의 불투수면적률이 25 %를 초과하는 것으로 나타났다(NIER, 2014). 도시개발을 진행하면서 도시지역에 불투수면적이 증가하고 기후변화로 인한 강수량 증가로 인해 도시 유역에서는 유출량 증가, 지하수위 감소, 비점오염 증가 등 많은 수재해 문제가 발생하고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 국내외에서 도시 유역에 저영향개발(Low Impact Development, LID) 기법 적용에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. LID 기법은 도시개발 시 비점오염 및 빗물관리에 대한 새로운 방법으로 수질유지, 수생태, 수자원관리를 개선할 수 있는 기술이다(ME, 2016). 이러한 LID 기법의 효율성을 검증하기 위해 국외에서 Luan et al.(2017)은 SWMM (Storm Water Management Model) 모형을 이용하여 LID 기법이 1년 중 재현기간 5년 이하의 강우에 대해 표면유출을 효과적으로 관리할 수 있으며, 재현기간 2년 이하의 강우에 대해서는 교통혼잡 완화의 효과가 있다는 것을 평가하였다. Bai et al.(2019)은 SWMM 모형을 이용하여 4가지 시나리오(1. LID 적용 전, 2. 침투형 LID 적용, 3. 저류형 LID 적용, 4. 침투 및 저류 연계형 LID 적용)를 기반으로 침투형 LID 기법이 저류형 LID 기법보다 지표유출의 저감율이 더 높다는 것을 평가하였다. 또한, 국내에서 Jung et al.(2017)은 아산탕정 지구 내의 식생수로, 침투도랑, 측구형 침투 3종류의 LID 시설의 유출 및 수질 모니터링을 통해 SWMM 모형으로 LID 시설 적용 전·후의 효율성을 평가하였으며, Kim et al.(2019)은 LID 기법 중 하나인 식생화분을 이용하여 확률강우 강도에 따른 물순환 실험으로 Curve Number (CN)값을 산정하여 강우-유출 저감 효율성을 연구하였다.

기존의 연구사례를 통해 LID 기법의 효율성은 검증되었지만, LID 기법의 설계 시 초기 물순환 목표량 달성에 대해 소유역별로 적용된 각 LID 요소기술의 물순환을 파악하여 집수면적에서 발생한 유출량의 저감이 효율적으로 이루어지고 있는지에 대한 검증은 부족한 실정이다. 본 연구에서는 SWMM을 이용하여 대상지를 구축하고 유출저감 효율성 극대화를 위한 LID 설계 방안을 제시하고자 하였다. 또한, 우수저류지를 이용하여 방재성능목표에 대한 강우 시 유출의 지체시간 및 침투유출량의 저감 효율성을 분석하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 연구대상지

본 연구는 부산광역시 강서구 강동동에 위치한 신도시의 일부지역을 대상으로 Fig. 1과 같이 토지이용계획에서 2개의 유출구에 따라 1U-1, 1U-2로 유역을 나타내었다. 대상지의 총 면적은 588,153.70 m²(주거 249,089.14 m², 상업 124,864.89 m², 녹지 53,572.61 m², 도로 160,627.06 m²)이며, 1U 유역을 대상으로 홍수 저감대책 수립을 위해 연구 저류지 설치 계획을 수립하였다. 대상지와 인접한 부산관측소 2009년에서 2018년까지 기상관측자료를 바탕으로 연평균강수량은 1,544.6 mm이며, 일 평균 증발산량은 3.48 mm/day이다.

2.2 빗물관리 목표량 및 SWMM 모형 구축

LID 기법은 빗물관리 목표량 설정에 따른 유출량을 고려하여 설계하기 때문에 도시개발 시 빗물관리 목표량을 설정하는 것은 필수적이다. 국내에서 도시 물순환 건전화를 위해 10년 이상의 강우자료를 이용하여 80에서 85 %ile에 해당하는 15 mm에서 30 mm의 강우량을 목표량으로 선정하고 있다. 또한, 기존연구 사례 LHI(2017), URI(2018) 등에서 직접유출에 기여하는 강우량을 이용하기 위해 강우자료에서 2 mm 강우를 제외한 자료를 이용하였다. 이와 같은 방법은 SWMM 모형 내에서 적용되는 각 토지이용별 유출 및 증발산 특성을 중복되는 것이며, 추후 SWMM 모형 분석 시 목표량에 대해 저감량을 정량적으로 분석하기 어렵다고 판단하였다. 따라서 본 연구에서는 2 mm 강우 제외 없이 모든 강우자료를 이용하여 물순환 목표량을 설정하였다. 부산관측소에서 2009년 ~ 2018년까지 10년간 관측된 시 단위 강우자료를 무강우시간 6시간의 강우사상으로 구분하였으며, 백분위수 분석을 통해 80, 85 %ile에 해당하는 강우량은 각 29.1, 38.1 mm로

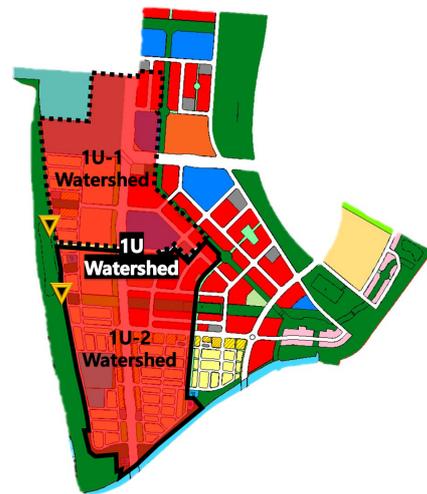


Fig. 1. Basin in the Research Site

나타났다. 본 연구의 목적은 도시 물순환 건전화에 목적을 두고 있으며, 기존연구 사례의 범주를 고려하여 85 %ile의 강우량 38.1 mm는 적합하지 않은 것으로 판단하여 80 %ile에 해당하는 강우량을 고려하여 목표 강우량은 30 mm로 설정하였다.

강우량 설정에 따라 강우의 지속시간과 분포를 설정하기 위해 20 mm에서 40 mm 강우사상을 이용하여 경향성을 분석하였다. 각 강우사상별로 지속시간의 중간값과 빈도수를 분석하여 강우의 지속시간은 13시간으로 나타났으며, 25 mm에서 35 mm로 목표량에 가까운 범주 내에서 분석한 결과 역시 중간값과 빈도수가 13시간으로 나타났다. 강우분포는 huff 4분위법을 이용하여 각 강우사상에 대한 분포를 분석하였으며, 연도별 강우사상에 대한 분포를 분석한 결과 3분위가 가장 많이 나타났다. Fig. 2와 같이 강우의 지속시간 및 분포 분석 결과를 나타내었으며, 물순환 목표량의 지속시간은 13시간, 분포는 3분위로 설정하였다.

강우-유출 모형으로 SWMM 모형을 선정하였으며, SWMM은 도시 지역의 주거·녹지·관로 등에 대해 단장기 강우사상에 따른

물순환 모의가 가능하다. 연구대상지의 집수면은 총 890개로 구성되어 있으며, 1U-1 구역의 주거지역은 30개, 상업지역은 21개, 녹지지역은 9개, 도로지역은 149개이며, 1U-2 구역의 주거지역은 108개, 상업지역은 16개, 녹지지역은 50개, 도로지역은 396개로 구분되어 있고 Table 1과 같이 구역별 면적을 나타내었다. 구역 내의 지표면 저류는 일반적으로 일정값을 가정하므로 투수지역은 5.08 mm, 불투수지역은 2.54 mm로 설정하였으며, 침투방정식은 Horton 공식을 적용하여 도시개발 복토계획에 따라 중사질 토양을 입력자료로 설정하였다. 우수관망은 우수계획평면도 및 종단면도를 바탕으로 우수관로는 229개, 집수정 229개, 유출구 2개를 구축하였으며, Table 2와 같이 SWMM 내의 입력자료를 나타내었다. 우수저류지는 사업대상지에서 개밭이 많이 일어나는 배수구역에 설치 계획을 수립하였으며, 1U 구역이 해당된다. 1U 구역 내 우수저류지의 총 용량은 22,948 m³이며, 홍수조절부의 상단고는 2.12 m로 17,522 m³의 용량을 차지하고 Fig. 3에서 단면도를 나타내었다. 해당 우수저류지는 2개의 유출구에서 발생하는 유출량이 유입되며 주여수로를 통해 방류된다.

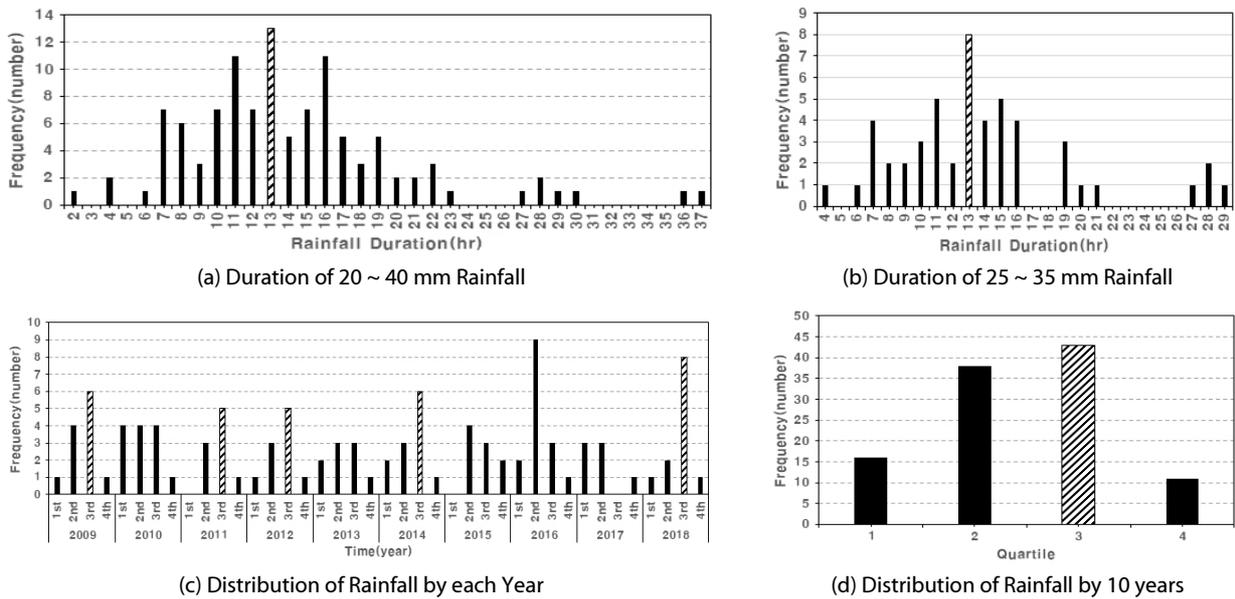


Fig. 2. Analysis of Duration and Distribution by Rainfall Events for 10 years

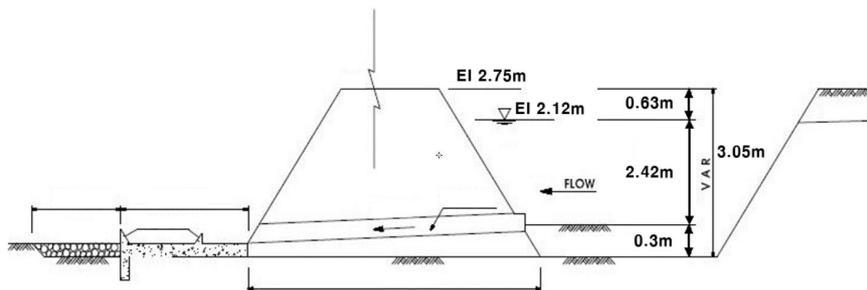


Fig. 3. Cross-Section of Stormwater Storage Basin

Table 1. Area by Each Land Use in Site

	Residential (m ²)	Commercial (m ²)	Green (m ²)	Road (m ²)
1U-1	118,736.21	76,027.89	11,174.56	57,616.86
1U-2	130,352.93	48,837.00	42,398.05	103,010.20
1U	249,089.14	124,864.89	53,572.61	160,627.06

Table 2. Input Data of Subcatchment in the SWMM

Parameter	Residential	Commercial	Green	Road
Area (ha)	24.908914	12.486489	5.357261	16.062706
Slope (%)	1	1	0.1	1
Impervious area (%)	60	80	15	95
Mannings N	Impervious	0.015		
	pervious	0.25	0.25	0.4
Depression storage	Impervious	2.54		
	pervious	5.08		
Horton Eq.	Max of infiltration rate (mm/hr)	200		
	Min of infiltration rate (mm/hr)	12		
	Decay constant (1/hr)	1		
	Drying time (days)	2		

2.3 LID 규모 산정방법

LID 기법의 규모를 산정하기 위해 SWMM 모형을 이용하여 각 소유역별 유출량을 산정하였다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이 각 소유역의 토지이용별로 유출되는 깊이가 상이하며, 이러한 부분을 고려하여 소유역별로 맞춤형 LID 기법의 규모를 산정하였다. 도시 개발 시 LID 기법은 민간부분과 공공부분으로 구분되며, 본 연구에서는 공공부분에서 부담할 수 있는 토지이용을 고려하여 도로지역에 투수성포장, 침투 빗물받이를 적용하여 Fig. 5에서 모식도를 나타내었다. 투수성포장은 도로에 적용하고 침투 빗물받이는 차도

의 지반 내에 적용하여 도로면적 외에서 흡수되는 빗물을 처리하도록 적용하였다. LID의 규모는 환경부(ME, 2016)에서 제시한 빗물 처리용량 산정식 Eq. (1)을 이용하였다.

$$V = V_f \times n + 10^{-3} \times k \times T_f \times A_i \quad (1)$$

여기서, V 는 빗물 처리용량(m³), V_f 는 침투시설의 체적(m³), n 은 시설 내 충전재의 공극률을 나타내며, 충전재 정보 불충분 시 0.32를 적용한다. k 는 13 ~ 210 mm/h 범위 내 하부토양의 침투속도



Fig. 4. Depth of Stormwater Runoff by the Land Use

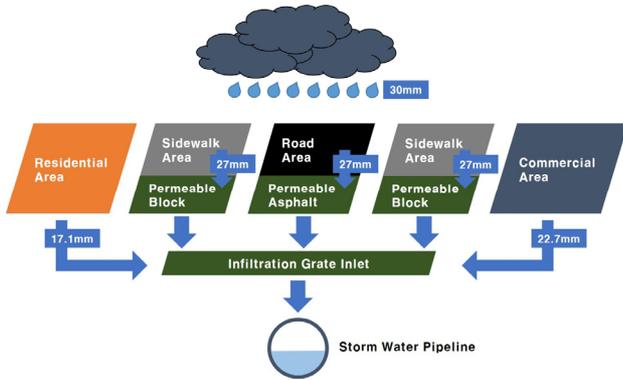


Fig. 5. Concept Diagram of LID and Stormwater Flow at the Research Site

(mm/h), T_f 는 유입시간으로 2시간 적용하며 단, 유입시간에 대한 자료가 있는 경우 해당 자료를 활용한다. A_i 는 하부토양과 접하여 침투를 유도하는 침투면적(m^2)을 표시한다. 이와 같은 산정식은 LID 요소기술로 유입되는 빗물을 저류 및 침투를 통해 처리하는 수량을 산정할 수 있으며, 각 소유역별로 발생하는 유출량을 고려하여 해당 LID 요소기술의 규모를 산정하였다.

3. 적용 결과

3.1 LID의 규모 산정 및 효율성 분석

연구대상지를 SWMM으로 구축하여 목표량인 30 mm를 대상으로 총 유출량이 11,368 m^3 으로 산정되었다. 이러한 유출량을 관리하기 위한 LID 기법은 도로의 유출량 깊이 27.00 mm를 고려하여 투수성포장의 규모를 산정하였으며, 상업 22.70 mm, 주거 17.10 mm, 녹지 4.28 mm를 고려하여 침투 빗물받이의 규모를 산정하였다. Table 3과 같이 규모를 산정하였으며, Eq. (1)에 따라 산정한 총 빗물처리용량은 11,864 m^3 으로 산정되었다. 이는 총 유출량이 11,368 m^3 으로 30 mm 강우에 적합하게 산정된 것으로 판단하였다. 각 소유역의 맞춤형으로 산정된 LID 규모를 SWMM 모형으로 구축하여 총 유출량, 침투유출량, 침투에 대한 효율성을 분석하였다. Table 4와 Table 5에서 총 유출량과 침투 유출량의 산정 결과를 나타내었다. 총 유출량은 LID 적용 후 1,501 m^3 로 산정되어 86.8 %의 저감효과가 나타났으며, 침투 유출량은 LID 적용 후 0.163 m^3/s 로 산정되어 69.5 %의 저감효과가 나타났다. 또한, Table 6와 같이 대상지 내 강우 30 mm 대비 침투는 9.6 mm로 나타났으며, LID 적용 후 25.5 mm의 침투 효과가 나타났다.

Table 3. Amount of Runoff Reduction and Scale of Low Impact Development

LID Technique		Area (m^2)	Height (m)	Number	Stormwater Treatment Capacity (m^3)
Pervious Pavement	Block	7,961	0.36	-	1,009.5
	Asphalt	22,740	0.35	-	2,883.4
Infiltration Grate Inlet	Tunnel type	10	1.25	376	1,905.4
		5	1.25	991	2,575.1
	Box type	2.56	1.4	54	80.6
		3.2	1.4	18	32.5
		1.96	1.4	755	901.2
		2.8	1	1109	1,322.0
3.44	1	809	1,154.2		

Table 4. Reduction of Total Runoff in each Basin

	Before Application LID (m^3)	After Application LID (m^3)	Runoff Reduction Rate (%)
1U-1	5,195	534	89.7
1U-2	6,173	967	84.3
1U	11,368	1,501	86.8

Table 5. Reduction of Peak Runoff in each Basin

	Before Application LID (m^3/s)	After Application LID (m^3/s)	Runoff Reduction Rate (%)
1U-1	0.245	0.050	79.6
1U-2	0.290	0.113	61.0
1U	0.535	0.163	69.5

Table 6. Infiltration and Runoff Depth by Precipitation Depth in the Site

	Precipitation (mm)	Infiltration (mm)	Runoff (mm)
Original	30	9.6	19.4
LID	30	25.5	2.6

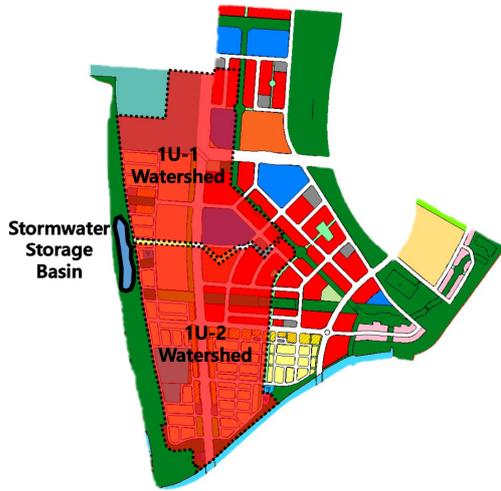


Fig. 6. Spot of Stormwater Storage Basin in Site

3.2 우수저류지의 유출 특성 분석

Fig. 6에서 나타난 바와 같이 총 용량 22,948 m³의 규모인 우수저류지를 SWMM 모형을 이용하여 구축하였다. 방재성능에 대한 효율성을 검증하기 위해 부산관측소의 1961년부터 2012년까지 52개년에 해당하는 강우자료를 이용한 확률강우량을 적용하였다. 재현기간은 50, 100, 200년 빈도의 강우량을 적용하였으며, 지속시간은 1, 2, 3시간으로 3분위 분포를 적용하여 Table 7과 같이 나타내었다. SWMM 모형 결과 총 유출량은 저류지의 유무에 따라 큰 차이가 나타나지 않았다. Table 8에서 볼 수 있듯이 첨두유

출량은 저류지의 유무에 따라 강우지속시간 1시간의 경우 3.3~4.9 m³/s, 2시간의 경우 1.1~1.8 m³/s, 3시간의 경우 0.5~0.7 m³/s로 나타났으며, 지체시간은 저류지의 유무에 따라 약 8 ~ 10분의 지연효과가 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 현재 활발하게 연구가 진행되고 사업 시 빈번하게 적용되고 있는 LID 기법의 규모를 산정 시에 고려사항 및 효율성과 우수저류지 적용 시 유출특성을 분석하였다. 유역 또는 도시단위가 아닌 소유역단위로 목표 강우량에 대한 유출량을 고려하여 맞춤형 LID 요소기술의 규모를 산정하였으며, SWMM 유출모형을 이용하여 해당 강우량에 대한 유출저감 효율성을 분석하였다.

LID 규모를 수문학적 및 경제적 측면에서 효율적으로 산정하기 위해 대상지의 기상자료를 분석하는 것은 필수적이다. 대상지 내의 빗물을 관리하기 위한 목표량을 설정하기 위해 기존의 연구사례를 참고하여 적절한 범주를 파악하였다. 본 연구의 목표량을 설정하기 위해 대상지에 인접한 관측소를 통해 10년간의 강우자료 백분위수 분석하였으며, 80 %ile에 해당하는 강우량을 설정하였다. 10년간의 강우자료를 분석하는 과정에서 기존의 연구에서는 유효강우를 고려하기 위해 2 mm를 제외하여 분석하였지만 본 연구에서는 SWMM 모형을 이용하여 각 소유역별로 유출량을 산정하기 때문에 2 mm 강우를 제외하면 실제 강우를 모의하기 힘들다고 판단하여 전 강우자료를 이용하여 분석하였다. 또한, 설정된 강우량의 ±10

Table 7. Probable Rainfall for 1961 to 2012 years

Return Period	Duration		
	1 hr	2 hr	3 hr
50	104.7 mm	150.4 mm	180.5 mm
100	116.3 mm	167.1 mm	200.4 mm
200	127.8 mm	183.7 mm	220.3 mm

Table 8. Peak Runoff and Delay Time by Application of Stormwater Storage Basin

Return Period	Duration	Original		Storage	
		Peak Runoff (m ³ /s)	Time	Peak Runoff (m ³ /s)	Time
50	1	21.419	1:06	18.092	1:15
	2	17.490	1:46	16.402	1:55
	3	14.332	2:25	13.871	2:35
100	1	24.549	1:06	20.702	1:15
	2	20.249	1:47	19.038	1:55
	3	16.659	2:28	16.117	2:36
200	1	27.721	1:05	22.776	1:15
	2	23.103	1:47	21.343	1:55
	3	19.118	2:28	18.473	2:36

mm 강우사상의 지속시간 및 분포를 분석하여 SWMM 내에서 적용하였다.

설정된 목표량을 통해 각 소유역에서 토지이용별로 유출량을 산정하기 위해 SWMM 모형을 이용하였으며, 토지이용별 평균 유출량을 산정하였다. 각 토지이용별 유출량에 따라 각 소유역에서 맞춤형 LID 규모를 산정하기 위해 환경부에서 제시한 빗물처리용량 산정식을 이용하였다. SWMM 모형을 이용하여 맞춤형 LID 규모를 적용한 결과 대상지의 유출량은 86.8 %의 유출저감 효과가 나타났으며, 침투유출량은 69.5 %의 저감효과가 나타났다. 또한, 강우량 30 mm 대비 침투깊이는 9.6 mm에서 LID 적용 후 25.5 mm로 산정되어 약 2.7배 증가한 것으로 나타났다. 대상지 내 우수저류지의 효율성 분석을 위해 재현기간 50, 100, 200년 빈도에 해당하는 강우량을 모의하였다. 우수저류지의 적용 결과 총 유출량의 변화는 미미하게 나타났지만 침투유출량은 0.5 m³/s에서 4.9 m³/s까지 저감효과가 나타났으며, 지체시간은 8분에서 10분의 지연효과가 나타났다.

현재 LID 기법의 효율성은 다수 연구에서 규명되었지만 효율적인 설계방법에 대한 연구는 부족한 실정이다. 기존의 연구는 유역 및 도시 단위로 LID 기법을 적용하였지만 본 연구에서는 소유역별로 맞춤형 LID 규모를 산정함으로써 유출저감 효율성을 분석하였다. 추후 개발사업 완료하여 SWMM 모형을 검증한 LID 효율성 분석이 필요하지만 개발사업 직전에 LID 설계 시 수문학적 및 경제적 측면에서 본 논문의 과정을 통해 검토하는 것이 필요하다. 또한, 우수저류지 효율성 분석을 통해 도시사업 중 많은 면적이 개발되는 경우 이러한 우수저류지를 적용하기 위한 참고자료로 활용될 것이라 사료된다. 본 연구는 개발사업 직전에 LID 설계 및 우수저류지에 대한 규모 산정 및 효과 분석에 관한 연구이며, 향후 개발사업 후에 LID 기법 및 우수저류지 등 물관리 인프라의 실제 데이터를 이용한 SWMM 모형의 검증을 위한 참고자료로 활용될 것으로 판단된다. 또한, 검증된 SWMM 모형을 이용하여 효과적인 수재해 예방시스템을 구축할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2020 CONVENTION 논문을 수정·보완하여 작성되었습니다.

References

- Bai, Y., Zhao, N., Zhang, R. and Zeng, X. (2019). "Storm water management of low impact development in urban areas based on SWMM." *Water*, Vol. 11, No. 1, p. 33.
- Jung, K. W., Jung, J. S., Park, J. S. and Hyun, K. H. (2017). "Application of SWMM for reduction of runoff and pollutant loading in LID facilities." *LHI Journal of Land, Housing and Urban Affairs*, Vol. 8, No. 4, pp. 249-256 (in Korean).
- Kim, B. S., Kim, J. M., Beak, J. S. and Shin, H. S. (2019). "An analysis of storage and runoff reduction characteristics using planter box in architectural LID system." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 52, No. 3, pp. 219-226 (in Korean).
- Land and Housing Institute (LHI) (2017). *A study on introduction plan of low impact development techniques in multifunctional administrative city (MAC) (I)* (in Korean).
- Luan, Q., Fu, X., Song, C., Wang, H., Liu, J. and Wang, Y. (2017). "Runoff effect evaluation of LID through SWMM in typical mountainous low-lying urban areas: A case study in China." *Water*, Vol. 9, No. 6, p. 439.
- Ministry of Environment (ME) (2016). *Manual for installation and management of non-point pollution reduction facility*, No. 11-1480000-001430-01 (in Korean).
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2014). *A research on control targets and strategies for impervious surface management*, No. 11-1480523-002212-01 (in Korean).
- National Institute of Meteorological Sciences (NIMS) (2018). *Climate change over 100 years on the Korean peninsula*, No. 11-1360620-000132-01 (in Korean).
- Ulsan Research Institute (URI) (2018). *Establishment of basic plan for leading city of water cycle* (in Korean).