LID 기법 적용에 따른 물순환 효과분석

이정민⁺ · 이윤상 · 최중수

한국토지주택공사 토지주택연구원

Analysis of Water Cycle Effect according to Application of LID Techniques

Lee, Jungmin⁺ · Lee Yun Sang · Choi, Jongsoo

Land & Housing Institute, Korea Land & Housing Corporation, Daejeon, Republic of Korea

요 약

지금까지 우리나라는 빗물을 빨리 그리고 많이 집수하여 배수하는 중앙 집중식 빗물관리 방식을 취하면서 도시 환경에 많은 악영향을 미쳐왔다. 이제는 개발 이전의 자연 상태에 최대한 근접하는 빗물 침투와 증발산이 이루어지도록 발생원에서 분산형으로 빗물을 관리하도록 개발할 필요가 있다. 이는 개발로 인한 영향을 최소화하는 저영향개발(LID; Low Impact Development)기법이기도 하다. 이러한 자연 순응형 빗물관리에 따라 개발로 인한 유출량 저감, 열섬 현상 저감 등 기후변화에 대응하는 새로운 도시 조성을 기대해 볼 수 있다. 이에 따라 신도시 개발 지구 등에서 LID 시설의 적용 계획에 따른 물순환 영향 연구 사례가 보고되고 있다. 다만, 단지나 신도시와 같이 대규모 개발 부지에서 LID 시설과 기법을 개발 초기부터 계획, 설계하여 적용한 사례가 거의 없다. 또한, 대규모 개발 사업의 LID 적용 계획에 따른 물순환 복원 효과 예측과 실제 적용 후 물순환 복원 효과를 연구한 사례도 많지 않다. 본 연구에서는 대규모 개발 부지에 계획한 아산 탕정 LID 물순환 시범도시의 물순환 개선 효과를 분석하였다. 이를 통하여 향후 개발에 따른 도시 물순환 회복을 위한 도시 물관리 계획 패러다임의 변화 여부를 검토하고자 한다. 도시 물순환 개선효과 모의는 최근 EPA(United States Environmental Protection Agency, 미국환경보호국)에서 LID 시설을 모의할 수 있도록 개선·개발한 SWMM5 모형을 이용하였다.

핵심용어 : 저영향개발(LID), SWMM5 모델, 물순환모의

Abstract

At present, the development in rainwater management approach is still insufficient due to the numerous adverse effects of urbanization. Storm water management is being developed to restore the natural state of water cycle undergoing several processes which were hindered such as infiltration and evapotranspiration. Low Impact Development (LID) was established in order to reduce the negative effects of urbanization to our environment. These developments can be used to respond to the effects of climate change such as heat island phenomenon. The effects of the development of new town in the district plan with application of LID facilities were studied and reported. Typically, LID facilities were applied in small scale development and were rarely used in large-scale development. Most of studies, however, did not assessment the effects of large-scale development projects with LID application to the natural water cycle. This study was conducted to simulate the urban hydrologic cycle simulation on Asan-Tangjeong in Korea. This study may be used in urban hydrologic cycle simulation and establishment of an urban water management plan in the future. Lastly, this study generated a model using the recently updated SWMM5 which determined the hydrologic cycle simulation after installation of LID facilities.

Key words : Low Impact Development (LID), Storm Water Management Model 5 (SWMM5), Water cycle simulation

1. 서 론

우리나라는 급속한 산업화와 도시화로 도시로의 인구집중이 급속히 진행되어 도시지역에 사는 인구가 1960년대에 39.1%였지만, 2013년에는 91%로서 급격히 증가하였다(MOLIT, 2013). 도시지역에 많은 인구를 수용하는 과정에서 도시지역 토지의 대부분

이 택지와 도로로 변하는 도시화가 진행되어 강우 시 물이 하류지역으로 빠르게 도달하고 평상시에는 도심하천에 물이 흐르지 않게 되었다. 물순환의 왜곡은 홍수, 도시 침수, 지하수 고갈로 인한 하천의 건천화 등 자연재해를 유발하며, 이에 범지구적인 기후변화에 대한 대처방안 중 하나로 물순환형 도시가 대두되고 있다.

⁺ Corresponding author : andrew4502@lh.or.kr

과거에는 빗물을 주로 대규모 강우에 대응하는 관거 및 저류지 위주로 관리하여 왔다. 도시 개발에 따른 불투수면의 증가와 더불어 빗물을 도시 외부로 밀어내는 방식으로 빗물을 관리한 것이다. 이는 빗물순환의 왜곡으로 이어져 증발산량 감소, 지하수위 하강, 건천화 및 비점오염원 증가 등 개발 이전과는 매우 다른 도시 환경을 만들게 한다. 이에 따라 이제는 자연스런 빗물순환이 이루어지고, 빗물순환에서 더 나아가 상하수 순환이 이루어지는 도시 개발을 고민할 시점이다(LHI, 2010). 이러한 물순환 도시를 위해 새로이 부각되는 개념이 저영향 개발(LID; Low Impact Development)이다. LID 기법은 기존의 도시개발 기법과는 달리 신도시 개발에 따른 영향을 최소화하기 위한 방법으로, 개발 이전의 수문순환 상태에 최대한 근사하도록 개발하는 기법이다. 따라서 LID 기법을 적용한 물순환형 도시는 빗물, 하수 등 물 관련 도시 기반구조 자체를 지속가능한 순환형으로 시스템화한 도시라고 말할 수 있다.

한국토지주택공사(LH)에서는 이러한 물순환 도시를 구축하고자 아산탕정 신도시 지구 내 물순환 시범지구를 선정하였다. 시범지구 유역은 하천 수질 및 물순환 개선을 위해 LID 시설을 적용하여 강우 시 초기우수 5~10 mm 규모의 강우를 하천으로 유출시키지 않고 유역 내에 침투시키도록 계획되었다.

본 연구에서는 아산탕정 물순환 시범도시 유역을 대상으로 미국 EPA(United States Environmental Protection Agency, 환경보호국)에서 수정 개발한 SWMM 5.0의 LID 모듈을 적용하여 개발 전·후, 계획된 LID 시설 설치에 따른 물순환 개선효과를 분석하였다.

2. 연구방법

2.1 SWMM5 모형의 개요

본 연구에 적용된 SWMM5 모형은 SWMM 모형에 LID 빗물관리시설의 수문영향분석이 가능하도록 추가 수정 개발된 모형이다. 미국 EPA에서 기존 SWMM 모형에 빗물정원, 습지, 침투트렌치, 침투정, 식생도랑, 투수성포장, 빗물정원 등의 LID 시설 모의가 가능하도록 개발(2010년)되었고 현재 지속적인 수정·개발이 이루어지고 있다. 적용이 가능한 대상 유역은 도시유역, 인위적 배수계통을 갖는 소유역 등이다. 시간적 특성은 단일, 연속강우에 의한 계산이 가능하며, 강우간격은 임의로 설정할 수 있다. 연산시간 간격도 강우사상에 대해 임의로 조절이 가능하다. 공간

적 특성은 배수유역에서 큰 배수유역까지 적용이 가능하다. 물리적 특성으로 유출은 강우와 유출로 발생하고 지표면 유출은 비선형 저류방정식을 사용한다. SWMM 모형에서 침투량 산정에는 Horton 식과 Green-Ampt 및 NRCS 방법을 이용한다. Fig. 1은 SWMM5 모형의 지표면 유출개념도이고, Fig. 2는 LID 시설 중 하나인 Bio-retention cell의 개념도이다(Rossman, 2010).

Fig. 1. SWMM5-LID's conceptualization for surface runoff (Rossman, 2010)

Fig. 2. Conceptualization of Bio-retention cell (Rossman, 2010)

2.2 연구대상유역 현황

아산신도시는 충남 천안시를 대상으로 하는 택지개발 사업이다. 남북방향으로 매곡천과 장재천이 흐르고 본 연구대상 유역인 아산탕정 시범유역은 장재천 유역에 속한다. 대상지 남쪽에는 곡교천과 천안천이 합류하고 있으며, 동서쪽에 완만한 표고의 산지가 형성되어 있다.

아산탕정 시범유역의 유출모의 수행을 위해 SWMM5 모형을 적용하였으며, 시범지구가 속한 유역인 장재천 유역에 대하여 Fig. 3과 같이 장재천 유역 현황 및 소유역 분할도를 나타내었다.

아산신도시의 경우 Fig. 4와 같이 개발 전 불투수면적의 비율이 8.69%이며, 신도시 조성에 따른 개발이 진행될 경우 불투수면적은 83.38%로 예상되어 개발에 의해서 불투수면적이 75% 정도 증가하게 된다.

이에 아산신도시시는 늘어난 불투수면적으로 인한 우수 유출 및 물순환에 끼칠 영향을 개발 전 상태와 유사하게 되돌리기 위해 분산형 빗물관리 시범지구로 선정하고 LID 기법을 적용하였다.

Fig. 3. Schematization of Jangjaecheon drainage watershed (Lee *et al.*, 2013)

Fig. 4. Change of impervious area result from development (Lee *et al.*, 2013)

2.3 SWMM5 모형의 구축

대상유역에 대한 유역유출 모의를 위해 SWMM5 모형에 구축한 입력자료를 각각의 소유역에 대하여 적용하였다. 분할된 소유역, 하도에 대한 입력 자료와 수집된 기상자료를 이용하여 유역 유출모의 체계를 구축하였다. SWMM5 모형은 유역 입력자료로 소유역 면적, 유역폭, 평균경사, 불투수면적비, 조도계수, CN(Curve Number) 값 등을 사용한다. 하도와 관련된 입력자료는 하도형상, 단면제원, 하도길이 등이다. 본 논문에서는 유역과 하도에 관련된 입력자료 구축을

위해 대상유역의 경사도 분석, 토양도, 토지이용도 등을 GIS(geographic information system) 프로그램을 이용하여 분석하였다(Fig. 5). CN값의 경우 Arcview 3.2 프로그램을 사용하여 토지이용도와 토양도에 대한 특성인자의 조합으로 산정을 하였다. 그리고 지면 저류량과 조도계수에 대한 값은 Table 1과 Table 2에서 제시된 값을 이용하였다. 최종적으로 본 연구에서 적용된 개발 전·후에 대한 잠재천 유역의 특성인자는 각각 Table 3과 Table 4와 같다. SWMM5 모형으로 구축된 시범유역의 모의체계 화면은 Fig. 6과 같다.

Table 1. Various depression storage value

Surface	Depression storage (mm)	Source
Grassed urban surfaces	2.5	
Sand	5.1	Hick (1944)
Loam in Los Angeles	3.8	
Clay	2.5	
Pervious area	6.4	Tholin and Keifer (1960)
Impervious area	1.6	
Three basins in metropolitan Detroit	5.1	Brater (1968)
Four composite urban catchments	2.5-3.8	Miller and Viessman (1972)

Table 2. Roughness of overland flow

Source	Surface	Roughness coefficient	Range
Crawford and Linsley (1966)	smooth asphalt	0.012	
	asphalt concrete paving	0.014	
	packed clay	0.03	
	light turf	0.20	
	dense turf	0.35	
	shrubbery and forest litter	0.4	
Engman (1986)	concrete or asphalt	0.011	0.01-0.013
	bare sand	0.01	0.01-0.016
	graveled surface	0.02	0.012-0.03
	bare clay-loam (eroded)	0.02	0.012-0.033
	range (natural)	0.13	0.01-0.32
	bluegrass sod	0.45	0.39-0.63
	short grass prairie	0.15	0.10-0.20
	bermuda grass	0.41	0.30-0.48

Table 3. Major input data of subcatchments for the Jangjaecheon basin (before development)

Subcatchment name	Area (ha)	Width (m)	Slope (%)	Impervious area (%)	Roughness coefficient		Depth of depression storage (mm)		Curve number
					Impervious	Pervious	Impervious	Pervious	
Upstream of Jangjaecheon	463.8	3117.6	5.09	39.98	0.013	0.400	1.6	6.4	85.22
Middle stream of Jangjaecheon 1	83.7	1491.1	6.13	47.47	0.013	0.400	1.6	6.4	84.82
Middle stream of Jangjaecheon 2	13.3	779.5	3.77	0.66	0.013	0.400	1.6	6.4	82.88
Middle stream of Jangjaecheon 3	62.1	841.1	6.50	7.32	0.013	0.400	1.6	6.4	83.04
Asan-Tangjung first step	51.7	2979.6	9.55	4.88	0.013	0.400	1.6	6.4	71.58
Asan-Tangjung testbed	175.3	4846.7	3.79	8.69	0.013	0.400	1.6	6.4	83.51
Asan-Baebang	256.9	5115.4	5.42	57.43	0.013	0.400	1.6	6.4	90.28
Downstream of Jangjaecheon	25.1	532.7	1.19	19.43	0.013	0.400	1.6	6.4	89.67

Table 4. Major input data of subcatchments for the Jangjaecheon basin (after development)

Subcatchment name		Area (ha)	Width (m)	Slope (%)	Impervious area (%)	Roughness coefficient		Depth of depression storage (mm)		Curve number
						Impervious	Pervious	Impervious	Pervious	
Upstream of Jangjaecheon		463.8	3117.6	5.09	39.98	0.013	0.400	1.6	6.4	85.22
Middle stream of Jangjaecheon 1		83.7	1491.1	6.13	47.47	0.013	0.400	1.6	6.4	84.82
Middle stream of Jangjaecheon 2		13.3	779.5	3.77	0.66	0.013	0.400	1.6	6.4	82.88
Middle stream of Jangjaecheon 3		62.1	841.1	6.50	7.32	0.013	0.400	1.6	6.4	83.04
Asan-Tangjung first step		51.7	2979.6	9.55	4.88	0.013	0.400	1.6	6.4	71.58
Asan-Tangjung testbed	1	8.3	1050.0	2.75	89.52	0.013	0.400	1.6	6.4	83.38
	2	22.0	925.7	2.75	75.76	0.013	0.400	1.6	6.4	83.86
	3	12.0	988.4	2.75	87.84	0.013	0.400	1.6	6.4	89.39
	4	4.9	670.3	2.75	54.23	0.013	0.400	1.6	6.4	82.77
	5	23.6	672.7	2.75	69.65	0.013	0.400	1.6	6.4	82.71
	6	17.8	1039.8	2.75	77.85	0.013	0.400	1.6	6.4	85.40
	7	12.1	688.1	2.75	82.84	0.013	0.400	1.6	6.4	83.37
	8	7.2	637.5	2.75	91.01	0.013	0.400	1.6	6.4	88.17
	9	9.5	412.7	2.75	61.87	0.013	0.400	1.6	6.4	84.29
	A	23.8	1560.6	2.75	97.34	0.013	0.400	1.6	6.4	96.34
	B	19.4	1153.9	2.75	99.12	0.013	0.400	1.6	6.4	96.40
	C	4.5	558.4	2.75	97.10	0.013	0.400	1.6	6.4	89.77
	D	4.7	567.7	2.75	41.55	0.013	0.400	1.6	6.4	91.59
	E	8.5	626.2	2.75	99.66	0.013	0.400	1.6	6.4	96.17
	F	11.6	680.6	2.75	95.75	0.013	0.400	1.6	6.4	92.01
Asan-Baebang		256.9	5115.4	5.42	57.43	0.013	0.400	1.6	6.4	90.28
Downstream of Jangjaecheon		25.1	532.7	1.19	19.43	0.013	0.400	1.6	6.4	89.67

Fig. 5. Input data for area using Arc view GIS program (Lee *et al.*, 2013)

Fig. 6. Screen of LID designed demonstration district using SWMM5 (Lee *et al.*, 2013)

3. 결과 및 고찰

3.1 장재천 유역의 유출모니터링 결과 및 SWMM5 모형 보정

3.1.1 유출 모니터링

입력자료 및 모형의 매개변수에 대한 보정을 위해 강우 시 유량측정을 수행하였다. 유출 모니터링의 결과는 SWMM5 모형의 보정에 사용되며 장기유출모의

의 경우 호우사상뿐 아니라 평상시 유출 모니터링도 필요하다. 모형 보정 수행에서 모형의 신뢰를 확보하기 위하여 시범지구와 장재천 하류에 대해 단면 측량과 음파도플러유속계(ADV; Acoustic Doppler Velocimeter)를 이용하여 유속을 측정하여 유량을 조사하였다. 유량측정의 측정위치는 시범지구 유역의 하류부와 장재천 유역의 하류부로 총 2곳으로 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 7. Flood flow measurement in Jangjaecheon

3.1.2 모형의 보정

모형의 보정은 모의 결과의 정확성과 모형예측을 위한 신뢰성 확보를 위해 수행된다. 장재천 유역의 유량 측정 결과를 통해 모형 보정에 활용할 실측유량과 최초 SWMM5 모형의 계산결과를 통해 보정을 수행하였다. 모형의 보정에는 유역 및 하도의 조도계수, 지면 저류량, 지하수 유출과 관련된 매개변수 등과 같은 수문학적 매개변수를 반복적으로 조정하여 계산된 결과가 측정 결과에 근사하도록 시행착오법이 적용되었다.

천안관측소의 1973년 1월부터 2011년 8월까지 약 38년 동안의 기상자료를 이용하여 장재천 유역의 유출 연속모의를 실시하여 보정하였으며, 장재천 유역에 대한 보정결과는 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내었다. 전반적으로 모의된 결과와 측정값이 비교적 일치하는 것을 확인할 수 있으며, Table 5는 각 측정값과 모의된 결과를 나타낸 것으로 대부분이 5% 이하의 상대오차를 가지는 것으로 나타났다. 최대 오차인 13%가 발생한 2011년 7월 7일 12시경의 측정값과 모의값은 $0.340 \text{ m}^3/\text{s}$ 와 $0.392 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 유량 차이는 $0.052 \text{ m}^3/\text{s}$ 에 불과하므로 유량측정 시 발생할 수 있는 오차를 감안한다면 모형의 보정결과는 비교적 양호한 것으로 판단된다.

본 논문에서는 아산 탕정 시범유역의 개발 전 유역 및 하도 특성자료와 실측된 유량 측정 값으로 SWMM5 모형을 보정하였으며, 보정된 모형을 통하여 아산 탕정 1단계 시범지구의 개발 후 수문분석과 LID 시설을 설치할 경우에 대한 유출 저감 효과분석을 수행하였다.

Fig. 8. Hydrograph from model calibration in the storm event at middle stream (July 7 ~ August 11, 2011)

Fig. 9. Hydrograph from model calibration in the storm event at downstream (July 7 ~ August 11, 2011)

Table 5. The result of runoff simulation error for calibration

Date & Time		Middle stream of Jangjaecheon (Asan-Tangjung testbed)			Downstream of Jangjaecheon		
		Simulated (m³/s)	Measured (m³/s)	Relative error (%)	Simulated (m³/s)	Measured (m³/s)	Relative error (%)
2011. 7. 7	12:00	0.340	0.392	13.3		-	
	13:00		-		1.137	1.158	1.8
	16:00	0.673	0.671	0.3	1.173	1.138	3.1
2011. 7. 14	13:00	0.707	0.744	5.0		-	
	16:00		-		9.730	9.407	3.5
2011. 8. 10	13:00	0.680	0.708	4.0		-	
	14:00	0.590	0.618	4.5		-	
	15:00	0.450	0.433	3.9		-	
2011. 8. 11	12:00	0.450	0.472	4.7		-	
	13:00	0.450	0.458	1.7		-	
	14:00	0.450	0.460	2.1		-	

3.2.2 LID 시설의 적용

LID 분산형 빗물관리 시범지구는 충청남도 천안시의 아산탕정 신도시 개발사업 중 일부 구간에 시공될 계획으로 도시 내 선형 기반시설인 도로부에 적용되어 강우 시 발생하는 비점오염물질을 저감하는 동시에 도시 내 빗물의 저류, 침투, 증발 등을 향상시키는 역할을 한다. 대상지역에 적용된 시설은 토지이용의

계획, 도로횡단구성, 적용 지점의 토질 특성을 고려하여 대상지역을 15개의 유역으로 구분하여 LID 시설을 적용하였으며, 적용된 LID 시설의 개요는 Table 6과 같다. 적용된 LID 시설은 도심형 인공습지의 경우 60개소, 측구형 침투시설 435개소, 침투트렌치 845개소, 식생수로 76개소의 시설을 배치하였으며, 빗물통과 투수성포장도 배치하였다. 그리고 시범지구 유역 내 5 mm 강우에 대한 배제를 위하여 식생수로의 추

가 배치를 계획하고 있다. 침투도랑과 식생수로의 경우 공원 및 완충녹지 구간에 적용하였으며 도심형 인공습지는 도로 내 식수대 공간에 적용하였다. 측구형 침투시설의 경우 녹지구간과 식수대 공간이 없는 지역에 우수받이를 대신하여 적용되었다. Table 7은 시

범지구 내 LID 시설의 적용 면적 및 개수를 나타낸다. SWMM5 모형 내 LID 시설의 적용은 개발 후에 대한 SWMM5 모형에서 Table 7에서 제시한 LID 시설을 각 소유역에 적용하여 구축하였다.

Table 6. Overview of the LID facilities applied to the demonstration district

LID facility	LID type in SWMM	Name	Volume (m ³ /EA)
Rain barrel	Rain barrel	RB	-
Porous pavement	Porous pavement	PP	-
Grassed swale	Bio-retention cell	BR_subs	-
Wetlands		BR1	5.0
Grassed swale		BR2-1	7.0
Grassed swale		BR2-2	3.0
Infiltration trench	Infiltration trench	IT1-1	7.2
Infiltration trench		IT1-2	4.2
Infiltration trench		IT1-3	2.2
Infiltration gutter		IT2	0.9

Table 7. Applied the area and number of LID facilities in subcatchments

Subcatchment name		Area (m ²)			Number (EA)						
		RB	PP	BR_subs	BR1	BR2-1	BR2-2	IT1-1	IT1-2	IT1-3	IT2
Asan Tangjeung Testbed	1	6,588	-	1,382	-	1	-	4	-	32	4
	2	26,686	-	412	-	11	-	1	11	51	8
	3	17,572	-	1,945	-	8	-	9	1	44	3
	4	-	-	866	-	12	-	1	8	27	1
	5	18,590	81	3,174	-	10	14	1	21	46	9
	6	61,589	-	3,200	-	3	-	2	-	78	4
	7	27,016	69	1,804	-	1	-	7	-	30	94
	8	8,186	68	751	-	10	-	7	-	16	76
	9	1,036	-	1,036	9	1	-	2	-	8	11
	A	107,047	-	2,887	41	-	-	-	-	155	59
	B	19,524	178	808	-	-	-	-	-	153	113
	C	-	49	500	-	-	-	-	-	39	70
	D	-	-	347	-	5	-	6	-	12	4
	E	-	-	785	-	-	-	-	-	48	3
	F	30,387	19	1,350	10	-	-	-	-	25	4
	Total	324,221	464	21,247	60	76		845			463

3.3 LID 기법 적용에 따른 우수유출 저감 효과 및 물순환 개선효과 분석

대상구역의 개발 전·후, LID 시설 설치 후의 지표수, 지하수유출 및 수문순환인자에 대한 변화를 살펴보고자 SWMM5 모형을 이용하여 물순환 분석을 수행하였다. 구축된 SWMM5 모형으로 대상구역에 대한 개발 전·후, LID 시설 설치 후의 유출특성을 분석하였다.

천안관측소 2002 ~ 2011년까지 10년 강우에 대한 지표수, 지하수흐름에 대한 특성인자를 분석하였으며 그 결과는 Table 8, Table 9와 같다. 개발에 따른 불투수면적의 증가로 인하여 개발 후의 경우 개발 전보다 지표면 유출량이 약 38% 증가하였으며 이로 인해 침투가 감소하여 지표수 및 지하수 순환이 원활하지 않았다. 개발 후의 유역 특성인자를 그대로 적용한 모형에 계획된 LID 시설을 적용하여 분석한 결과, LID 시설을 적용하지 않은 상태의 개발 후보다 지표 유출이 약 20% 감소한 반면, 침투와 증발산은 각각 18%와 8% 증가하였다. 또한, 지하수 유출도 10% 증가하여 평상시 하천수량을 증대시키는 것으로 나타났다. 즉, LID 시설을 적용함에 따라 유역의 전체적인 물순환 개선효과가 뚜렷하게 나타나는 것으로 분석되었다.

Table 8. Comparison of surface water cycle among before and after development, setting LID facility

	Precipitation (mm/yr) [%]	Infiltration (mm/yr) [%]	Evaporation (mm/yr) [%]	Surface runoff (mm/yr) [%]
Before development	1329.1 [100.0]	607.8 [45.7]	189.2 [14.2]	532.2 [40.1]
After development	1329.1 [100.0]	105.4 [7.9]	184.5 [13.9]	1039.3 [78.2]
After setting LID facility	1329.1 [100.0]	344.0 [25.9]	194.6 [14.6]	790.6 [59.5]

Table 9. Comparison of ground water cycle among before and after development, setting LID facility

	Infiltration (mm/yr) [%]	Groundwater flow (mm/yr) [%]	Evapotranspiration (mm/yr) [%]	Deep percolation (mm/yr) [%]
Before development	607.8 [45.7]	323.1 [24.3]	284.1 [21.3]	0.6 [0.1]
After development	105.4 [7.9]	63.9 [4.8]	40.9 [3.0]	0.6 [0.1]
After setting LID facility	344.0 [25.9]	197.1 [14.8]	146.2 [11.0]	0.6 [0.1]

4. 결 론

본 연구에서는 조성 중인 아산탕정 물순환 시범지구구를 대상으로 미국 EPA에서 개발·수정한 SWMM 5 모형의 LID 모듈을 적용하여 개발 전·후의 유출 저감 효과와 LID 시설 설치에 따른 물순환 개선효과를 분석하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. SWMM5 모형의 보정 결과, 모의 및 실측유량의 오차는 전반적으로 5% 이하의 상대오차를 나타냈다. 최대오차 13%에 대한 측정값과 모의값의 경우 0.340 m³/s와 0.392 m³/s로 유량 차이는 0.052 m³/s로 유량측정 시 발생할 수 있는 오차로 감안한다면 모형의 보정은 비교적 적절하였다고 판단된다.
2. 대상구역에 대한 개발 전·후의 모의 결과, 개발 전 대비 개발 후의 지표 유출량이 약 38% 증가하였고, 지하수 유출량은 약 20% 감소하는 것으로 분석되었다. 하지만 LID 시설을 설치함에 따라 LID 시설을 설치하지 않을 때보다 지표 유출량의 경우 18% 정도의 감소와 지하수 유출량은 10% 증가의 물순환 개선효과를 나타내었다.
3. 본 연구에서는 LID 시설 설치에 따른 우수유출 저감 효과에 대한 실험적인 모니터링과 모델링을 통한 물순환 개선효과를 분석하였고, 본 연구의 결과는 추후 LID 시설 설치에 따른 정량적인 우수유출저감 및 물순환 개선효과 방법론으로 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 “LID 기술을 이용한 홍수저감효과분석 연구” 및 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업의 연구비지원(13건설연구S04)에 의해 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- Brater, EF (1968). Steps toward a better understanding of urban runoff processes. *Water resources Research*, Vol. 4, No. 2, pp. 335-347
- Crawford, NH and Linsley, RK (1966). *Digital simulation in hydrology: Stanford Watershed Model IV*. Technical report No. 39, Civil Engineering

- Department, Stanford University, C.A.
- Engman, ET (1986). Roughness coefficients for routing surface runoff. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, Vol. 112, No. 1, pp. 39-53.
- Hick, WI (1944). A Method of Computing Urban Runoff. *Transactions ASCE*, Vol. 109, pp. 1217-1253.
- Lee, JM, Hyun, KH and Choi, JS (2013). Analysis of the impact of low impact development on runoff from a new district in Korea. *Water science & Technology*, IWA, Vol. 68, No. 6, pp. 1315-1321.
- LHI (2010). *Development Plan for Water-cycle Green City in Asan New Town I*. Land & Housing Institute , Korea [Korean Literature]
- Miller, CR and Viessman, WJr (1972). Runoff volumes from small urban watersheds. *Water Resources Research*, Vol. 8, No. 2, pp. 429-434.
- MOLIT (2013). *The Status of Urban Planning Statistics in 2013*. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea. [Korean Literature]
- Rossmann, LA (2010). *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0*. EPA/600/R-05/040, National Risk Management Research Laboratory, Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- Tholin, AL and Keifer, CJ (1960). *Hydrology of urban runoff*. *Transactions ASCE*, No. 3061, Vol. 125, pp 1308-1355.
- 논문접수일 : 2014년 07월 08일
- 심사의뢰일 : 2014년 07월 18일
- 심사완료일 : 2014년 08월 14일