

LID 기술 적용 지역 선정에 따른 물순환 개선 연구 -온천천 유역을 대상으로-

김재문¹, 백종석^{2*}, 신현석¹
¹부산대학교 사회환경시스템공학과, ²한국수자원조사기술원

A Study on Improvement of Hydrologic Cycle by Selection of LID Technology Application Area -in Oncheon Stream Basin-

Jae-Moon Kim¹, Jong-Seok Baek^{2*}, Hyun-Suk Shin¹
¹Dept. of Social Environmental Systems Engineering, Pusan National University,
²Korea Institute of Hydrological Survey,

요약 기후변화와 도시화로 인해 도시 내 수재해의 발생 빈도가 지속적으로 증가하고 있다. 이로 인한 수재해 피해를 감소하기 위해, 대책방안에 대한 연구가 수행되고 있다. 도시유역의 정량적인 유출량 예측과 홍수량 저감 연구를 위해 유출량에 영향을 미치는 매개변수 중 하나인 침투성을 기준으로한 분석이 필요하다. 본 연구에서는 부산의 대표적 도시 하천인 온천천 유역을 대상으로 SWAT 모형을 모의하여 수문학적반응단위별로 CN 값을 산정하여 침투성 맵을 작성하였다. 작성한 침투성 맵을 바탕으로 EPA SWMM을 이용해 단기 강우사상에 대해 LID 기술 적용이 유역의 물순환에 미치는 영향을 분석하였다. 대상유역에 적용된 LID 요소기술로는 주거단지지에 옥상녹화, 도로에 투수성포장을 설치하였다. 침투성 맵을 기준으로 선정된 소유역의 토지피복 상태와 LID 기술 적용에 따라 유출량, 침투유량, 유출율은 감소하였고 침투량은 증가한 것으로 나타나 LID 기술이 도시유역의 물순환에 긍정적인 효과를 내는 것으로 확인하였다.

Abstract The frequency by water disaster in urban areas are increasing continuously due to climate change and urbanization. Countermeasures are being conducted to reduce the damage caused by water disasters. An analysis based on permeability, one of the parameters that affect runoff, is needed to predict quantitative runoff in urban watersheds and study runoff reduction. In this study, the SWAT model was simulated for the oncheon stream basin, a representative urban stream in Busan. The permeability map was prepared by calculating the CN values for each hydrologic response unit. Based on the permeability map prepared, EPA SWMM analyzed the effect of LID technology application on the water cycle in the basin for short-term rainfall events. The LID element technology applied to the oncheon stream basin was rooftop greening in the residential complex, and waterproof packaging was installed on the road. The land cover status of the land selected based on the permeability map and the application of LID technology reduced the outflow rate, peak flow rate, and outflow rate and increased the infiltration. Hence, LID technology has a positive effect on the water cycle in an urban basin.

Keywords : Low Impact Development, SWAT, SWMM, CN, Hydrologic Cycle

본 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)지원으로 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Jong-Seok Baek(Korea Institute of Hydrological Survey)
email: bjs@kihs.re.kr

Received February 1, 2021

Revised March 15, 2021

Accepted April 2, 2021

Published April 30, 2021

1. 서론

기후변화 및 집중호우로 인한 피해의 증가로 도시지역 물순환 개선을 위한 수문해석 모형 모의 분석 연구가 국내외에서 수행되고 있다. 친환경적 도시재생을 목표로 하는 LID(Low Impact Development)의 국외 연구동향으로는 미국을 중심으로 지자체 및 대학기관에서 LID 요소기술의 효율 검증 실험과 BMP(Best Management Practices)를 활용한 유출량 감소에 관한 연구 및 실증이 수행되고 있다. 국내에서도 GI&LID 연구단을 비롯한 여러 연구기관에서 활발히 연구를 수행한 결과, 점점 대중화되어 가고 있는 도시 지역의 물순환 개선 기술이다. 국내에서는 LID 기술을 우리나라 실정에 맞게 적용하기 위하여 국외의 문헌 및 사례를 참조하여 국내 설계지침과 설계모형 등의 제작에 힘써왔고, 최근에는 LID 실증센터 등의 건립으로 실증 모의 및 모니터링 자료 수집도 수행 중이다.

CN(Curve Number)은 지역의 총 수문순환 중 침투량의 변동에 영향을 미치는 주요인자로서 대상지역의 유출량 변화를 확인하기 위해 국내외에서 많은 연구가 이루어지고 있다. 이와 관련한 국외 논문으로 [1]은 침투에 기반한 BMP를 활용하여 지역 CN값의 변화에 따른 유출량의 변동 추이를 연구하였고, [2]는 NEXRAD 모델을 이용하여 매개변수와 선행강수에 따른 CN의 변화를 연구하였다. CN에 관한 국내 연구사례로 [3]은 수문학적 지형인자의 결정에 중요한 기초자료로 사용하기 위하여 수영강 지역의 토지이용도 및 토양도를 분류·선정한 후 GIS(Geographic Information System)를 이용하여 CN을 계산하였고, [4]는 금호수위관측소지점 상류유역에 대한 정밀토양도와 토지피복특성을 이용하여 대상유역의 CN 값을 산정한 연구결과를 제시하였다.

지형학적 요소들을 복합적 지리정보시스템인 GIS는 지형과 토양, 토지이용도를 종합적으로 고려하여 대상유역을 정밀하게 분석할 수 있어 수문학적으로도 이용 빈도가 잦은 모형이다. 대상유역에 대해 GIS를 이용하여 수문분석을 수행한 국내외 논문 중 CN과 관련한 연구로는, [5]는 GIS에 기반하여 대상 유역에 대해 CN값을 선정한 후 지역에 따른 CN맵을 작성하여 지역의 침투능 산정을 수행하였고, [6]은 큐슈 지방의 Jorabu 강 유역에 대해 ArcGIS를 이용한 모형을 구축한 후 토지이용도를 변화시키며 CN값의 변화에 대한 유출량 변화를 평가하였다. 또한, [7]은 ArcGIS와 NRCS-CN 방법을 활용하여 산악 지역의 유출량과 침투량을 산정 후 수문분석을 수행하였고,

[8]은 식생, 불투수면적, 토양을 변화에 따라 CN을 계산하는 방법을 개선하였다. 국내 사례로는 [9]는 기후조건, 토지이용 및 토양조건 등의 유역의 비균질성을 SWAT으로 모의하여 홍수량 계산에 활용될 수 있는 유출곡선지수를 산정하였고, [10]은 미세측 유역에서 SWAT의 수문성분을 모의한 결과를 이용하여 유역의 유출곡선지수 산정 방법을 제시하였다. 그리고 [11]은 제주도 남부지역에 위치한 강정천과 약근천을 대상으로 SWAT 모형에 적용하여 CN 변화에 따른 장기간의 유출량을 산정하였다.

LID 기술의 유출량 저감효과에 대한 실증연구와 SWMM(Storm Water Management Model)을 이용한 모의 분석에 관한 국내 논문으로 [12]는 재개발계획이 확정되어 착공된 주택지구를 대상으로 LID 요소기술인 옥상녹화와 투수성포장의 효율성에 대해 연구하였고, 그 결과 옥상녹화가 투수성포장에 비해 높은 유출량 저감효과를 가지고 있으나 300mm 이상의 높은 일강우량에서는 유출 저감효과가 급격히 떨어지는 것을 확인하였다. 또한, [13]는 신도시 개발 후 토지이용 특성의 변화에 기인하는 수문환경의 변화가 강우유출에 미치는 영향을 파악하기 위하여 신도시를 연구 대상으로, SWMM을 이용하여 개발 전·후의 물수지 분석 및 불투수면적의 증가가 유출특성에 미치는 영향을 검토하여 LID 기법을 적용한 경우 침투량은 높아지고 유출량은 감소하는 것을 확인하였으며, [14]는 SWMM 내 LID 모듈을 이용하여 대상 유역 내 적용 가능한 LID 기법 기술요소를 분석하여 적용하고 LID 적용, 옥상녹화 적용, 투수성포장 적용 등의 시나리오에 따라 유출 저감효과를 분석하였다.

본 연구의 목적은 부산광역시 대표적 도시하천인 온천천 유역에 SWAT모형을 이용하여 수문학적 반응 단위(Hydrologic Response Unit) 별로 CN 값을 결정하고 온천천 유역의 침투가능성 맵을 구축해 LID 적정 설치지역을 파악한 후 SWMM의 LID 모듈을 이용하여 LID 적용 전후의 유출량 저감 효과를 확인하는 것이다. LID 적정 설치지역이란 불투수면적과 같이 침투능이 낮아 강우를 지표하 침투시키지 못하고 지표 유출되어 유역의 지체시간을 앞당기고 침투유량을 높이는 전형적인 도심지 지역으로, 이와 같은 지역에 LID 요소기술을 설치하여 침투성 향상 및 유출량 감소를 확인하고자 한다.

2. 연구방법

온천천유역에 LID 기술 도입시의 물순환 개선 효과

분석을 위해 SWAT과 SWMM을 통한 모의를 수행하였다. 대상지에 침투성이 불량한 지역을 대상으로 LID 기술을 설치하기 위해서는 유역의 CN값 분석이 필요하여 SWAT 모형을 이용한 침투성 맵의 작성을 수행하였다. CN 값을 일정 기준으로 분류한 침투성 맵을 이용하여 LID 기술 설치가 필요한 도시화 지역과 적용할 요소기술을 선정하고 SWMM으로 모의 분석하는 연구 과정을 진행하였다.

2.1 대상지역

본 연구의 대상유역인 온천천은 수영강의 제1지류로서 금정산에서 발원하여 금정구, 동래구, 연제구를 거쳐 수영강으로 유입되는 지방하천이다. 온천천유역은 수영강 전체유역면적의 27.7%를 차지하며, 길이 15.62km, 너비 60~90m, 유역면적 55.97km²이다. Fig. 1.과 같이 북으로는 양산시와 경계를 하면서 양산천 유역과 접하고 있고, 서로는 부산광역시 북구 및 부산진구와 경계를 하면서 덕천천 및 동천 유역과 접해 있으며 동으로는 수영강 분류 유역과 접하고 있다.



Fig. 1. Spatial location of oncheon stream basin

온천천 유역은 동래구, 금정구, 연제구, 부산진구 등을 포함하고 있는 부산광역시의 대표적 도시하천으로 직강화 하천 계획과 무분별한 복개, 하천 제방의 콘크리트화 등 근시안적인 난개발로 인해 하천 생태계가 거의 파괴되고 도시의 배수로로 전락하였으나, 1995년 시작된 온천천 살리기 사업으로 자연형 하천 정비를 통한 하천의 생태계 복원, 수질 및 수량의 개선이 이루어졌다.

2.2 SWAT 모형구축

이전의 수문순환 모형을 위한 수치고도자료(Digital Elevation Model) 구축은 해당유역의 지형도나 도면, 현장 관측 등에 의한 자료들로 간단한 연산을 통해 이루어졌다. 하지만 이와 같은 방법은 투자한 시간과 노력에 비해 효율성과 신뢰도가 낮아 유역의 물리적 특성을 반

영하기 쉽고 연계된 자료와의 호환성이 높은 GIS를 이용한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 연구에서 분석하고자 하는 침투성 맵 구축에 필요한 CN 값 산정을 위해 SWAT 모형을 선정하였다. Fig. 2.는 SWAT 모의를 위한 자료 수집 및 모형 구축의 흐름도를 나타낸다.

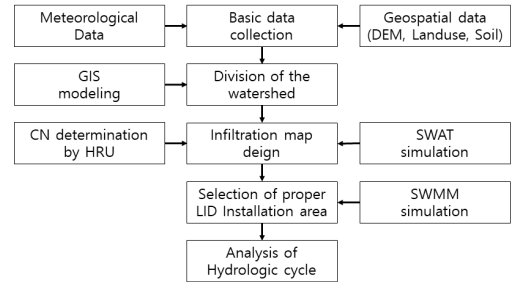


Fig. 2. Procedure for building data for swat simulation

GIS와 연계되는 SWAT 모형의 구축에 필요한 지형공간자료로는 DEM, 토지이용도, 토양도 등이 있다. DEM(Digital Elevation Model)은 30m×30m 공간해상도를 가지며 남한 전체 공간 범위의 자료를 Raster processing의 Clip을 이용하여 온천천 유역에 대한 수치고도자료를 추출하였고, 토지이용도는 국토지리정보원에서 제공한 수영강 유역의 2013년 토지이용도를 사용하였다. 이 토지이용도는 shape 파일의 형태로 SWAT에 불러올 수 있으며 속성부호(ucb) 값과 Name을 표시한 dbf 파일을 매칭하여 raster 파일로 변환 후 사용할 수 있다. 토양도는 WAMIS(Water Resources Management Information System)에서 배포하는 농업진흥청의 전산화 사업을 통해 구축된 1:50,000 축척의 개략토양도를 제공받아 모형을 구축하였다. 토양도는 미국 농림부(U.S. Department of Agriculture)의 Soil Survey Manual에 기초를 두고 있어 NRCS(Natural Resources Conservation Service)의 수문토양군에 관한 분류기준을 사용할 수 있다. 토양도 자료는 소정의 과정을 거쳐 Raster 자료로 변환하였고 SWAT 2009 Access 파일에 관련된 토양자료를 입력하였다.

GIS 상의 좌표체계로는 우리나라에서 대표적으로 사용하는 Bessel1841 타원체, GRS80타원체 및 WGS84 타원체 중 최근 우리나라의 공식 준거 타원체가 Bessel1841에서 GRS80 타원체로 변경되는 시점이라 GRS80 타원체를 선정하여 SWAT 모형을 구축하였다. 토양도, 토지피복도와 같은 입력자료는 측지기준계에 의

거하여 경도/위도로써 위치를 표현하는 방식인 지리좌표 체계를 ITRF2000으로 정의 및 투영하여 토양도, 토지피복도 등의 입력자료를 동일 좌표로 설정하였다.

2.3 CN 값 산정 및 침투성맵 구축

연구 수행에 필요한 기초자료들은 GIS를 이용하여 구축한 후 SWAT 모형으로 HRU 단위구역별 CN 값을 산정하였다. Fig. 3.은 CN 값을 온천천 유역 지도상에 법정 행정구역인 동 단위별로 나타내었다.

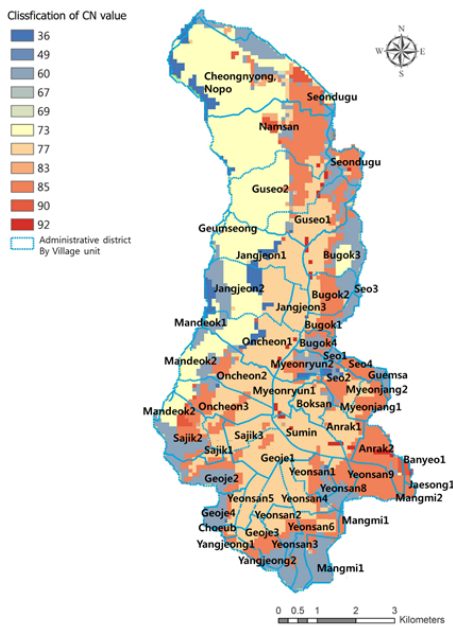


Fig. 3. CN maps for HRU

CN 값의 분류가 세분화되어 있어 각 지역의 침투성을 효율적으로 확인하기 어려워 일정한 기준을 두고자 확률 밀도함수(Probability Density Function)를 이용하여 재분류하였다. 다섯번의 시행착오 분류 후 A는 CN 값 55이하, B는 56에서 70, C는 71에서 85, D는 86~98과 같이 4개의 구간으로 선정하였고 범위 내 CN값은 그래프화하여 Fig. 4.로 나타내었다. 분류된 CN 기준을 토대로 온천천 유역을 법정행정구역인 동 단위별로 나누어 지역별 침투성 확인에 용이한 침투성 맵을 Fig. 5.와 같이 구축하였다.

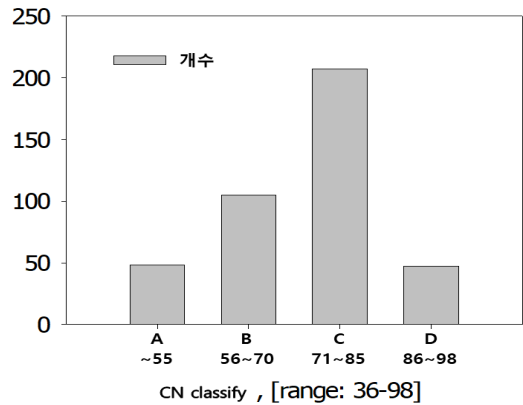


Fig. 4. CN classification using probability density function



Fig. 5. Infiltration system map

2.4 SWMM-LID 모형 구축

도시지역의 우수관망을 포함한 유역 유출 모의에 적합하고 도시 유역의 하천유량을 단일 및 연속 강우사상으로 모의할 수 있어 강우에 의해 발생하는 유출량, 침투량, 저류량 등의 산정이 가능한 미환경부(Environmental Protection Agency)에서 개발된 SWMM을 사용하여 대상지의 LID 기술 적용에 따른 물순환 변화를 분석하였다.

Table 1. Application area for green roof and porous pavement by each subbasin

Sub basin	Name	Total area(m ²)	Impermeable are(m ²)	Green roof			Porous pavement		
				Residential area ratio(%)	Application ratio(%)	Total application area (m ²)	Road area ratio(%)	Application ratio(%)	Total application area (m ²)
S9	Namsandong	181,700	170,352	62.13	18.50	33,615	11.91	9.00	16,353
S37	Pusan National University	556,400	540,420	18.98	18.50	102,934	9.87	9.00	50,076
S98	City hall	566,000	393,432	30.34	18.50	104,710	9.52	9.00	50,940
S113	Yeonsandong	906,000	566,000	45.44	18.50	16,761	10.67	9.00	81,540
Total		2,210,100	1,670,204	-	-	258,020	-	-	198,909

대상지역은 주거 및 상업지역이 밀집한 도심지로 전체 면적중 주택지 비율이 39.22%, 도로 비율이 10.49%를 차지한다. 이에 본 연구에서는 LID 요소기술 중 주택지 면적에 옥상녹화 기술, 도로 면적에 투수성 포장 기술을 선정하였다. 선정한 옥상녹화(Green Roof)와 투수성 포장 기법의 각 매개변수를 설정하기 위해 [15]를 비롯한 국내외 문헌을 중심으로 LID 제원설계 분석을 수행하였다.

2.4.1 옥상녹화 설계

개발 전 상태의 소유역들은 현재 자연 수문특성을 보유하고 있어 도시유역에 비하여 CN 값이 낮으므로 LID 설치의 필요성이 없어 불투수 면적이 높은 지역을 대상으로 옥상녹화 시설을 적용하였다. 토지이용도 중분류 기준을 이용하여 일반 주택지 및 고층 주택지에 적용하였다. 각 소유역의 주택지 비율로 남산동은 62.18%이고, 부산대는 18.98%이며, 시청은 30.34%, 연산동은 45.44%로 나타났다. 이중 각 소유역들 중 부산대의 18.98%가 가장 적은 주택지로 나타나 최소 비율인 18.5%에 옥상녹화를 Table 1.과 같이 적용하였다.

SWMM-LID 모형 내의 옥상녹화 설계를 위한 매개변수로는 [15]에서 제안한 식생저류장치의 저류수심인 610mm를 적용하였고, 90%의 식생체적을 갖도록 설계하였다. 또한 지표경사는 0.01로 거의 존재하지 않는다고 가정하고, 표면 조도계수는 Manning의 조도계수 표를 참고하였다. SWMM 매뉴얼에서 제안한 매개변수 범위를 토대로 토양층의 두께는 150mm, 공극률은 64%로 설정하였다. 포장용수량(Field Capacity)과 위조점(Wilting point)은 0.2~0.3과 0.05의 값을 채택하였으며 유출률은 12.7mm/hr로 선정하였다. 저류층의 높이는 자갈층의 경우 457.2mm, 간극률(Void rate)은 0.75, 막힘계수(Clogging factor)는 0으로 하여 저류층 내 막

힘 현상이 발생되지 않도록 가정하였다. 암거층에서 유출율은 12.7mm/hr, 지수는 0.5, 암거단차(Underdrain offset height)은 76.2mm 로 설정하였다.

2.4.2 SWMM-LID 투수성포장 설계

각 소유역 별로 LID 기법의 적용이 가능한 공용주차장 및 개인 주차장, 아파트 단지 내 주차장 및 도로, 건물 앞 공터를 분류하기에 어려움이 있어 토지이용도 중분류 기준을 이용하여 모든 도로지역에 적용하였다. 각 소유역의 도로 비율로는 남산동 11.91%, 부산대 9.87%, 시청 9.52%, 연산동 10.67%로 나타났다. 이중 각 소유역들 중 시청의 9.52%가 가장 적은 도로로 나타나 최소 비율인 9.00%에 투수성 포장을 Table 1.과 같이 적용하였다.

SWMM 매뉴얼을 바탕으로 본 연구의 투수성 포장에 대한 매개변수들을 산정하였다. SWMM-LID 모형에서는 Porous pavement에서 제원을 설정할 수 있으며, 이는 표면층, 저류층, 암거층, 그리고 옥상녹화와는 달리 토양층대신 포장층으로 구성되어있다. 표면층의 저류수심은 투수성 포장기법에 대해 제안한 수치인 304.8mm로 적용하였으며, 투수성 포장에 식생효과는 없는 것으로 가정하여 온전히 투수성포장 기법에 의한 유출량 저감 효과를 산정하고자 하였다. 표면 조도계수는 기본 콘크리트에 적용되는 Manning의 조도계수 0.013, 포장층의 두께는 101.6mm, 간극률(Void rate)은 0.12로 설정하였다. 불투수 표면적의 비율은 연속적인 투수성 포장인 것으로 간주하고 0으로 설정하였다.

2.4.3 강우시나리오 분석

동래천 세병교 실시간모니터링 시스템의 관측결과를 바탕으로 유량 검정 및 검증을 하기전에 관측결과데이터의 수문분석을 실시하였다. Fig. 6을 보면 유량-강우-수

Table 2. Calibration and verification for rainfall of oncheon stream model

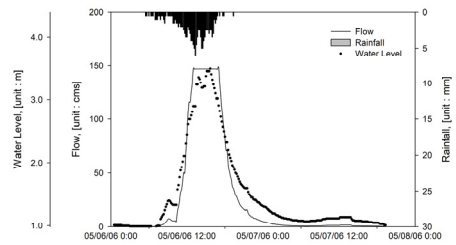
Short period rainfall for calibration						
Start time	End Time	Precipitation (mm)	Duration (hr)	Intensity (mm/hr)	Peak flow	
					Observation (cms)	Simulation (cms)
2006/05/06 05:30	2006/05/06 19:20	137	13.8	9.9	127.3	142.1
2006/05/09 14:10	2006/05/10 12:30	56	22.3	2.5	53.0	56.8
Short period rainfall for verification						
Start time	End Time	Precipitation (mm)	Duration (hr)	Intensity (mm/hr)	Peak flow	
					Observation (cms)	Simulation (cms)
2006/05/18 20:20	2006/05/19 22:00	78	25.7	3.0	51.8	54.9

	Observation (cms)	Simulation (cms)	error (%)	CC (Correlation coefficient)	RMSE (Root mean square error)
2006/05/06	127.3	142.1	10	0.96	22.4
2006/05/09	53	56.8	7	0.89	10.29
2006/05/18	51.8	54.9	6	0.95	8.97

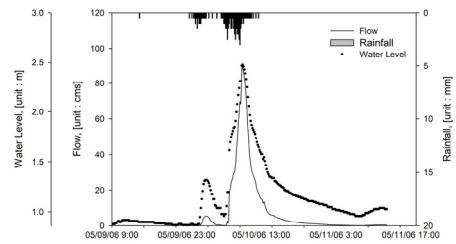
위 3가지 요소를 각 강우사상별로 나타내었으며, 강우사상 (b), (c) 같은 경우 강우량과 수위-유량이 측정될 때 결측치와 이상치가 없어서 수문곡선을 잘 반영하여 바로 사용하였으나, 첫 번째 강우사상인 (a)의 경우 집중호우로 인해 수위가 급작스럽게 상승하였고 수위는 관측되었으나 하천의 유량이 범람하여 유량관측값에 결측값이 생겼다. 결측치로 인해 유량 검증 및 검증을 수행할 때 결측값을 제외하고 수행하였다.

2.4.4 유량 검증 및 검증

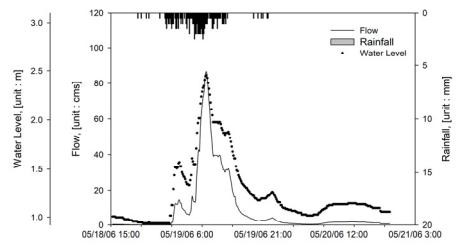
온천천 모형의 강우-유출 검증 및 검증에는 단기 강우사상의 첨두유량을 기준으로 분석을 수행하였다. 강우-유출 검증 및 검증은 모형에 사용할 2개의 검증 강우사상과 1개의 검증 강우사상으로 비교 분석하였고, 타 강우사상과 비교할 기본값으로 실시간 모니터링 자료 중 가장 결측치와 이상치가 적은 2006년 5월 6일 16:00부터 8월 20일 06:00까지의 사상을 선정하였다. 적용된 강우사상의 각 관측 및 모의 첨두유량은 Table 2.로 나타내었다. Fig. 7.은 관측값과 모의값의 검증 및 검증에 대한 상관관계 그래프이다.



(a) Hydrological analysis graph for 2006/5/6



(b) Hydrological analysis graph for 2006/5/9



(c) Hydrological analysis graph 2006/5/18

Fig. 6. Hydrological Analysis of Rainfall Scenario

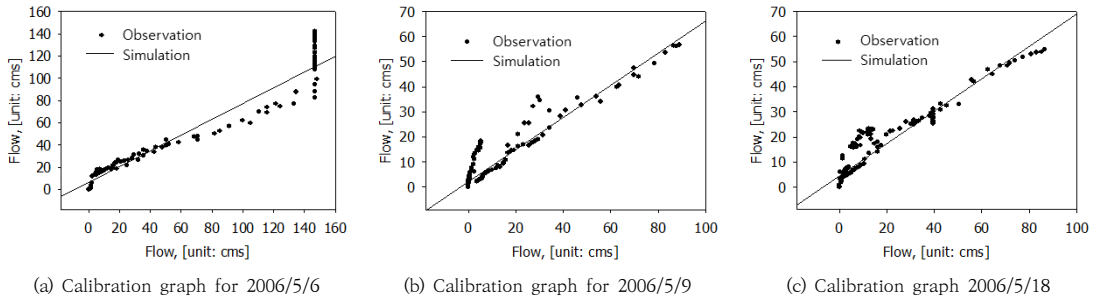


Fig. 7. Correlation of calibration and verification graph for oncheon stream model

3. 결과 및 고찰

온천천 유역의 대표적으로 도시화가 진행된 남산동, 부산대, 시청, 연산동 지점 소유역들을 대상으로 LID 적용 전, 후의 침투량 및 유출량 변화를 비교하였다. 대상지 면적의 18.5%에 옥상녹화, 9.0%에 투수성 포장 등 총면적 대비 27.5%에 LID 기술을 적용하였다.

강우사상의 시간단위 결과에 대해 남산동 소유역의 총 침투량은 $25.08\text{m}^3/\text{s}$ 에서 $89.54\text{m}^3/\text{s}$ 로 257.02% 증가하였고, 유출량은 $19.91\text{m}^3/\text{s}$ 에서 $12.73\text{m}^3/\text{s}$ 로 56.40% 감소하였다. 부산대 소유역의 총 침투량은 $30.00\text{m}^3/\text{s}$ 에서 $85.91\text{m}^3/\text{s}$ 로 186.37% 증가하였고, 유출량은 $60.30\text{m}^3/\text{s}$ 에서 $42.5\text{m}^3/\text{s}$ 로 41.88% 감소하였다. 시청 소유역의 총 침투량은 $17.51\text{m}^3/\text{s}$ 에서 $70.51\text{m}^3/\text{s}$ 로 302.68% 증가하였고, 유출량은 $60.37\text{m}^3/\text{s}$ 에서 $43.27\text{m}^3/\text{s}$ 로 39.52% 감소하였다. 연산동 소유역의 총 침투량은 $30.70\text{m}^3/\text{s}$ 에서 $90.22\text{m}^3/\text{s}$ 로 193.88% 증가하였고, 유출량은 $96.12\text{m}^3/\text{s}$ 에서 $61.25\text{m}^3/\text{s}$ 로 56.93% 감소하였다. 침투량 증가율은 시청, 남산동, 연산동, 부산대순으로 산정되었고, 유출량 감소율은 연산동, 남산동, 부산대, 시청 순으로 산정되었다. 침투량의 경우 기존 시청유역 내 침투량 수치가 적었고, 주거와 도로면적대비 적용비율로 인해 침투량 증가율이 가장 많이 증가함을 나타냈고, 부산대의 경우 주거와 도로면적대비 적용비율이 적어 침투량 증가율이 다른 유역에 비해 비교적 적게 증가한 것으로 보여진다. 유출량 감소율은 연산동에서 가장 많이 감소하였는데 이는 연산동 지점 면적에 비해 도시화면적, 주거 및 도로면적대비 적용비율이 도로에서 많이 적용되어 유출량 감소가 다른 지점에 비해 높게 산정된 것으로 보여진다. Fig. 8은 각 소유역별 침투량과 유출량을 시계열화하여 나타낸 것이다.

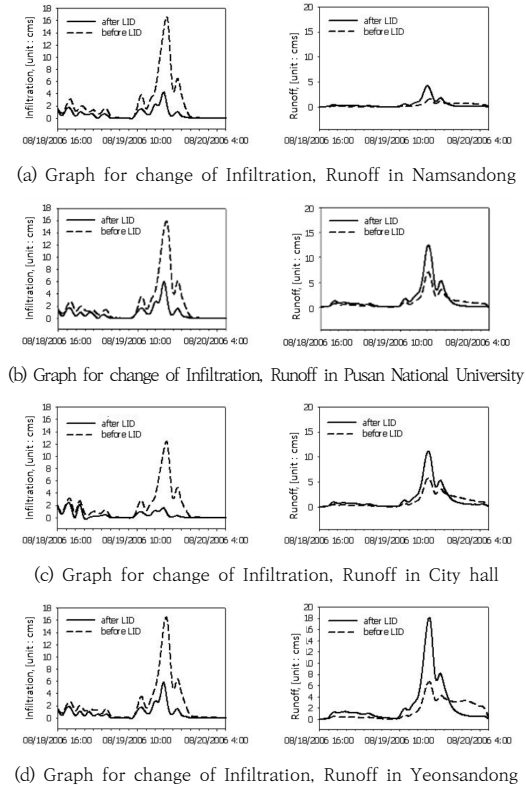


Fig. 8. Change of Infiltration and Runoff in subbasin

각 소유역들의 LID 적용으로 인한 물순환 개선 효과를 분석을 위해 관련지표로 침투량, 유출량, 침투유량, 유출율 등 4개를 기준으로 적용 전과 후의 비교를 수행하였다. Fig. 9와 같이 침투량의 경우 설치 전에 비해 설치 후 225.74% 증가하였고, 유출량은 44.74% 감소, 침투유량은 117% 감소, 유출율은 44.74% 감소한 것으로 분석했다.

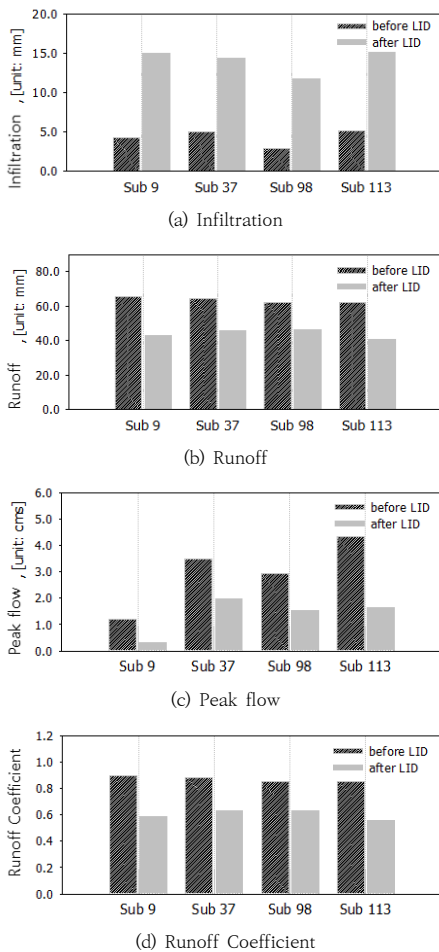


Fig. 9. Comparison of improvement for hydrologic cycle

4. 결론

유역 면적의 절반 이상이 도시화가 진행된 부산광역시 온천천 유역에 SWAT 모형을 기반으로 토지이용도와 토양도를 동시에 고려하여 CN 값을 선정하였고, 이를 확률 밀도함수를 통해 4가지 기준으로 분류해 침투성 맵을 제작하였다. 침투성 맵으로 침투 취약지점을 선정해 온천천 상류로부터 하류 순으로 소유역에 LID 요소기술을 적용하고 물수지 분석을 수행하여 도시물순환 개선 효과를 분석한 본 연구로부터 도출된 결론은 다음과 같다.

첫 번째, 유역의 도시화와 기후변화로 인한 수재해를 저감시키고자 LID 기술을 적용한다면 CN 값을 기준으로 상대적 침투 불량 지역을 지도화 하여 선정하고, 선정

된 지역을 대상으로 LID 기술을 우선 적용한다면 같은 비용으로 고효율을 발현할 수 있을 것으로 기대한다.

두 번째, 제작한 침투성 맵을 바탕으로 도시화 지역 중 침투 불량 지역을 선정하여 대상지의 주택지에 옥상녹화, 도로지역에 투수성 포장 등의 LID 요소기술 적용을 통해 설치 전, 후의 물수지 분석을 수행한 결과, 각 소유역의 침투량 증가, 유출량 감소로 LID 기술의 물순환 개선 효과를 확인하였다.

본 연구에서 적용된 대상지 LID 기술의 적용 비율은 실제 시공시 개별적 주택단지 주민들의 비용부담과 편익에 대한 추가적인 연구가 수행되어야 할 것으로 생각한다. 그리고 침투성 맵을 통한 LID 적정 설치 지역이 일반적 혹은 보편적인 결과로 판단하기에는 무리가 있어 추후 도시 지역이 발달되어 있는 타 유역에 적용을 통하여 본 연구 결과의 효율성 검증에 관한 추가적인 연구를 기대한다.

또한, 단기 강우사상에 관한 물수지 분석이었으므로, 장마철과 같은 장기 강우에 대한 LID 요소기술의 효율성에 대해서는 미지수이므로 LID 기술을 적용한 온천천 유역에 대한 장기모의 연구와 본 연구의 비교도 필요할 것으로 판단된다.

본 연구의 결과를 토대로 도심지역 LID 기술 적용시 우선 도입 지역을 선정할 수 있어 각 지자체별 예산 규모에 따라 고효율 설치 지역을 판단하여 경제성을 확보한 친환경적이고 안전한 도시 우수관리 시스템 구축에 도움이 될 것으로 기대한다.

References

- [1] C. Perez-Pedini, J. Limbrunner, R. Vogel. Optimal Location of Infiltration-Based Best Management Practices for Storm Water Management. *Journal of Water Resources Planning and Management* 131, no.6: 441-448. 2005. DOI: [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2005\)131:6\(441\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2005)131:6(441))
- [2] B.P. Weissling, H. Xie, K. Murray. Evaluation of NRCS Curve Number and MODIS time-series proxies for Antecedent Moisture Condition. *Civil Engineering and Environmental Systems* 0, no.0: 1-17. 2008. DOI: <http://doi.org/10.1080/10286600802005356>
- [3] Y.J. Cho, S.J. Park, I.J. Jeong, S.Y. Kim. A Study on the Computation of Curve Number Using GIS. *The Korea Society For Geospatial Information System* 11, no.3: 47-53. 2003.
- [4] B.G. Jeong. A Study on the Flood Runoff Analysis

of River Basin by using Land Cover Characteristic and Detailed Soil Map. Master's Thesis Kyungil University, Daegu, Korea. 2004.

[5] S. Shadeed, M. Lmasri. Application of GIS-based SCS-CN method in West Bank catchments, Palestine. *Water Science and Engineering* 3, no.1: 1-13. 2010. DOI: <http://doi.org/10.3882/j.issn.1674-2370.2010.01.001>

[6] J. S. F. Sumarawu, K. Ohgushi. Analysis on Curve Number, Land use, and Land Cover Changes and The Impact to the Peak Flow in the Jobaru River Basin, Japan. *International Journal of Civil & Environmental Engineering* 12, no.2: 17-23. 2012.

[7] M. Ebrahimian, A. Ainuddin Nuruddin, M. A. B. Mohd Soom, A. M. Sood Application of NRCS-Curve Number Method for Runoff Estimation in a Mountainous Watershed. *Caspian Journal of Environmental Sciences* 10 no.1: 103-114. 2012.

[8] F. Fan, Y. Deng, X. Hu, Q. Weng. Estimating Composite Curve Number Using an Improved SCS-CN Method with Remotely Sensed Variables in Guangzhou, China, *Remote Sens* 5 no.3: 1425-1438. 2013. DOI: <http://doi.org/10.3390/rs5031425>

[9] N.W. Kim, J.W. Lee, J.W. Lee, J.E. Lee. Estimation of Runoff Curve Number for Chungju Dam Watershed Using SWAT. *Journal of Korea Water Resource Association* 41 no.12: 1231-1244. 2008. DOI: <http://doi.org/10.3741/JKWRA.2008.41.12.1231>

[10] J.W. Lee, N.W. Kim, J.W. Lee, B.H. Seo. Estimation of Runoff Curve Number for Ungaged Watershed using SWAT Model. *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers* 51 no.6: 11-16. 2009. DOI: <http://doi.org/10.5389/KSAE.2009.51.6.011>

[11] M.S. Kang, S.K. Yang, W.Y. Jung, D.S. Kim. Characteristics of Runoff on Southern Area of Jeju Island, Korea. *Journal of Environmental Science International* 22 no.5: 591-597. 2013. DOI: <https://doi.org/10.5322/JESI.2013.22.5.591>

[12] C.Y. Bae, C. Park, S.H. Kim, I.K. Choi, D.G. Lee. Analysis of Urban Runoff with LID Application - Focused on Green Roofs and Permeable Paver -. *Journal of Korea Planning Association* 47 no.6: 39-47. 2012.

[13] J.Y. Park. Analysis of rainfall runoff reduction for LID applied new town development using SWMM. Master's Thesis University of Science&Technology, Daegu, Korea. 2013.

[14] D.S. Shin, J.B. Park, D.G. Kang, D.J. Jo. An Analysis of Runoff Mitigation Effect Using SWMM-LID Model for Frequently Inundated Basin. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation* 13 no.4: 303-309. 2013. DOI: <http://doi.org/10.9798/KOSHAM.2013.13.4.303>

[15] Environmental Protection Agency (EPA). Storm Water Management Model (SWMM) Manual. 2009.

김 재 문(Jae-Moon Kim)

[정회원]



- 2014년 2월 : 부산대학교 토목공학과 (공학사)
- 2016년 2월 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 (공학석사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 수공학 전공

<관심분야>

수공학, 수자원

백 증 석(Jong-Seok Baek)

[정회원]



- 2013년 2월 : 부산대학교 토목공학과 (공학사)
- 2015년 2월 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 (공학석사)
- 2015년 3월 ~2019년 2월 : K-water연구원, 위촉연구원
- 2019년 3월 ~ 현재 : 한국수자원조사기술원 전임연구원

<관심분야>

수공학, 수자원

신 현 석(Hyun-Suk Shin)

[정회원]



- 1990년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학사)
- 1993년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 1997년 1월 : University of Colorado 토목환경공학 (공학박사)

• 1998년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 교수

<관심분야>

수공학, 수자원