SWMM-LID 요소기술 적용에 따른 유출해석(I): 매개변수 민감도 분석

Analysis of Runoff According to Application of SWMM-LID Element Technology (I): Parameter Sensitivity Analysis

김응석*

Kim, Eung Seok*

Abstract

An increase in the ratio of impermeable area due to urban watersheds and industrial development has led to an increase in nonpoint source pollution and floodplains. In order to solve these problems, development and application of low impact development (LID), which is a rainwater management facility, is actively underway. In this study (I), parameters and ranges applied to the Storm Water Management Model-Low Impact Development (SWMM-LID) model are examined. To this end, 100 scenarios were created through the simulation method within the parameter range, and the sensitivity of peak and total runoff to the influence of the parameters of each element technology dealing with runoff was analyzed. As a result, bio retention cell, green roof, rain garden, rain barrel, in the given order, showed a sensitive response. However, since the LID element technology itself is intended to store low-frequency small-scale rainfall, it is important to understand the degree of rainfall, from low to high frequency. Further, the results of this study can be used as basic data for the design and development of LID element technology and performance verification of LID facilities.

Key words : Non-point Sources Pollution, LID, SWMM-LID Model, Sensitivity

요 지

도시유역 및 산업화 발전으로 불투수면적 비율이 증가하므로 인해 비점오염원과 홍수피해가 함께 증가하고 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 빗물관리 시설인 저영향개발(Low Impact Development, LID)의 다양한 요소기술 등이 개발되고 실험 등을 실시하고 있다. 본 연구(I)에서는 SWMM-LID 모형에 적용되는 요소기술의 매개변수 및 범위를 조사하였다. 이를 바탕으로 매개변수 범위에서 모의발생기법을 통해 100개의 시나리오를 작성하고 각 요소기술별 매개변수가 유출에 미치는 영향을 침투 및 총 유출량에 관해 민감도 분석을 수행하였다. 수행결과 생태저류지, 옥상녹화, 빗물정원, 빗물통 순서로 민감한 반응을 보였다. 그러나 LID 요소기술 자체는 저빈도 소규모 강우를 저류하는 것이 목적이기 때문에 향후 저빈도부터 고빈도까지 강우의 조건을 달리하여 유출에 미치는 정도를 파악하는 것이 중요하다고 판단된다. 또한, 본 연구는 LID 시설물 설계 및 LID 요소기술의 개발, 성능검증 실험 등의 기초자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 비점오염, 저영향개발, SWMM-LID 모형, 민감도

1. 서 론

도시유역 내 홍수저감 및 오염물질 저감을 위해 집중형 빗물관리시설을 시공하였지만, 지속적인 홍수피해와 막대한 비용에 따른 문제점 발생되고 있다. 이러한 집중형 빗물관리 시설의 문제점을 개선하기 위해 분산형 빗물관리 시설인

LID 요소기술들에 관한 시설개발 및 실험 등이 이루어지고 있다. LID는 기존의 집중형 빗물관리시설 보다 저렴하며, 대상지역의 자연환경과 조화롭게 개발되어 도심지역 내 악화된 물순환 체계를 개선하고 우수유출수 및 비점오염원 저감 효과가 뛰어날 것으로 기대하고 있다(Kim et al., 2017). 현재 미국 등 여러 국가에서 녹색성장을 위한 중요한 기술로

*교신저자, 정회원, 선문대학교 토목방재공학과 교수(Tel: +82-41-530-2325, Fax: +82-41-530-2926, E-mail: hydroskes@sunmoon.ac.kr)
Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil and Disaster Prevention Engineering, Sunmoon University

고려되어 국내 역시 LID에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 국내의 실정에 맞는 LID 요소기술 개발을 위한 LID 실증단지가 조성되고 있다.

도시 유역의 유출 특성에 관해 다양한 수리·수문 모형 등이 적용되고 있으며 분석 모형의 매개변수 특성에 따른 민감도 분석에 관한 연구를 수행되었다. Wei (2012)는 도시 유출 모형인 SWMM을 불투수 및 투수지역 등의 조도계수와 노면 저류량 등의 다양한 모형의 매개변수를 이용하여 각 매개변수별 민감도를 분석하여 도시홍수 방어 및 예·경보에 활용하였다.

Park (2013)은 도시지역의 홍수피해를 예방하기 위해 대표적인 도시유출 모형인 SWMM 모형을 이용하여 대상유역에 빈도별 지속시간 24시간에 다양한 확률 분포형을 적용하여 모의 강우를 발생시켜 유출량을 산정하였으며, 유출량 산정 시에 적용한 SWMM 모형의 입력자료의 민감도를 분석하였다.

Kim et al. (2009)은 물리적 기반의 분포형 모형인 Vflo™ 모형의 매개변수별 민감도를 분석하기 위하여 중랑천 유역을 대상유역으로 선정하고 적용하였으며, Lee et al. (2013)은 도시유역의 강우 유출 저감 시설인 지하저류조 설치 시에 최적의 위치선정을 위해 화음탐색기법 등을 적용하여 도시 지하저류조의 최적 위치 및 규모를 산정하였으며 동시에 SWMM 모형의 입력자료 중 관거 조도계수, 맨홀의 손실계수에 따른 절점에서의 월류 발생 양상에 대한 민감도를 분석하였다. 국내에서 SWMM-LID 모형과 관련해서 강우-유출, 비점오염 등에 관한 실험 및 적용에 관한 연구를 살펴보면 다음과 같다. Lee et al. (2014)은 신도시 개발 유역을 대상으로 SWMM-LID 모형을 적용에 따른 물순환 복원효과 예측과 실제 적용 후 물순환 복원 효과를 해석 후 미국의 EPA 적용 사례와 비교 분석 하였다. Cho et al. (2013)은 대도시의 구 단위의 대상유역을 대상으로 SWMM-LID 모형에서 제시하는 6개 요소기술을 대상으로 비점오염원 중 하나인 BOD의 각 요소 기술별 저감효과를 산정하고 추가로 요소기술의 최적의 시설물 위치까지 동시에 산정하였다. Shin et al. (2013)은 부산시 일부 해운대구 유역 일부를 대상으로 SWMM-LID 모형의 다양한 요소기술을 적용하여 각 요소 기술별 적용 전·후의 강우-유출에 따른 저감율을 산정하였다. Lim et al. (2014)은 비점오염원 관리방안으로 SWMM-LID 기법이 현실적으로 대안으로 적용할 수 있는지에 대한 효율성을 비점오염원 처리효율 및 경제성 분석을 위해 실제 도시유역을 대상으로 적용하였다. 그러나 현재 SWMM-LID 모형의 매개변수별 총 유출량 및 침투유출량 변화의 영향 정도에 관한 연구가 미미한 실정이다. 따라서 LID 요소기술별 실험 및 계측자료를 이용하여 SWMM 모형을 통한 성능검증(LID 요소기술 시공에 따른 성능시험 및 요소기술에 필요한 복합재료 시험 등) 시에 보다 신뢰도 높은 결과를 얻기 어렵다. 또한 SWMM-LID의 입력매개변수 중 총유출량 및 침투유출량 변화에 영향이 큰 매개변수를

모르기 때문에 실험 및 계측 시 많은 시행착오가 필요할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 SWMM-LID 모형에 사용되는 요소기술별 매개변수를 대상으로 민감도 분석을 수행하였으며 민감도 분석에 따라 유출에 영향을 미치는 주요 매개변수를 산정하였다.

2. 연구방법(요소기술별 매개변수의 시나리오 작성)

SWMM-LID 모형은 ① 생태저류장치, ② 옥상녹화, ③ 빗물정원, ④ 투수성포장, ⑤ 침투트렌치, ⑥ 빗물통 등의 6가지 요소기술로 구성되며, 요소기술별 특징을 고려하여 매개변수가 구성되어 있다. SWMM-LID의 입력은 크게 ① 표면층, ② 토양층, ③ 포장층, ④ 저류층, ⑤ 암거층, ⑥ 배수매트층 등 총 6개의 구성 층으로 구성되며, 총 28개의 매개변수로 구성되어 있다. 본 연구에서 총 6개 LID 요소기술별 SWMM 모형을 이용하여 요소기술별 매개변수의 유출에 대한 민감도 분석을 수행하였다. SWMM-LID 모의에 사용된 요소기술별 매개변수의 입력 값은 Table 1에 나타내었으며, 입력층별 입력값의 범위는 국내의 주요 문헌 및 LID 요소기술 시공사례를 참고하여 추정 및 적용하였다 (Conway and Svetich, 2007; Bosley II, 2008; Palla et al., 2008; NEMA, 2010; U.S. EPA, 2010; Lee et al., 2011; ME, 2011; BWSC, 2013; Yeon et al., 2015).

본 연구에서는 매개변수 범위를 확률밀도함수로 가정하였다. 이러한 이유는 대부분에 매개변수의 변화는 확률밀도함수 중앙에 위치하고 있기 때문이며, 실질적으로 확률밀도함수 양끝의 매개변수 값은 존재하기 어렵기 때문이다. 통계처리에서 보편적으로 많이 사용하는 분포형을 살펴보면 감마분포 (Gamma distribution), 정규분포(Normal distribution), 베이블 분포(Weibull distribution), 베타분포(Beta distribution) 등이 있다. 어떤 확률분포에 있어 사전 기대값(Prior expectation)을 알 수 있는 베타분포는 이항분포(성공과 실패로 나뉘는 것, 성공이면 '1', 실패하면 '0')로 나타 낼 수 있는 문제들이 주어졌을 때 사전 기대값을 표현할 수 있는 가장 좋은 확률 분포형이다. 베타분포(Beta distribution)는 두 매개변수 α , β 에 따라 $[0, 1]$ 구간에서 정의 되는 연속확률 분포이며, 누적확률밀도함수는 Eq. (1)과 같다.

$$B(\alpha, \beta) = \int_0^1 x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} dx \quad (1)$$

여기서 x 는 확률변수이며, α , β 는 매개변수이며, 베타확률변수 x 의 확률밀도함수는 Eq. (2)와 같다.

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} \quad (0 < x < 1) \quad (2)$$

Table 1. Selected Value of SWMM-LID Parameters

Layers	Parameters	Bio-retention cell	Green Roof	Rain Garden	Permeable Pavement	Infiltration Trench	Rain Barrel	Note
Surface Layer	Storage depth (mm)	0~305	0~25	0~300	0	0~408	-	U.S. EPA (2010) Conway and Svetich (2007) NEMA (2010)
	Vegetation	0~1	0~1	0~1	0	0~1		
	Surface roughness	0.1~0.8	0.1~0.8	0.1~0.41	0.011~0.1	0.1~0.41		
	Surface slope (%)	0~1	0~5	0~5	0~3	0~2		
Soil Layer	Thickness (mm)	50~400	50~900	100~900	-	-	-	ME (2011) U.S. EPA (2010) Palla et al. (2008) Bosley II (2008)
	Porosity	0.4~0.78	0.4~0.78	0.4~0.78				
	Field capacity	0.2~0.3	0.2~0.3	0.2~0.3				
	Wilting point	0.05~0.1	0.05~0.1	0.05~0.1				
	Conductivity (mm/hr)	0.5~36	0.5~203.2	0.5~036				
	Conductivity slope	5~15	5~15	5~15				
	Suction Head (mm)	3.5	3.5	3.5				
Pavement Layer	Thickness (mm)	-	-	-	100~250			U.S. EPA (2010) Lee et al. (2011)
	Void ratio				0.12~0.21			
	Impervious Surface Fraction				0~100			
	Permeability (mm)				6.5~35,280			
	Clogging Factor				0			
Storage Layer	Height (mm)	150~610	-	-	150~820	150~2,900	600~2,000	U.S. EPA (2010) BWSC (2013) NEMA (2010)
	Void ratio	0.3~0.75			0.3~0.75	-		
	Conductivity (mm/hr)	10~10,800			10~10,800		10~10,800	
	Clogging Factor	0			0		0	
Under Drain Layer	Drain Coefficient (mm/hr)	0~31.62	-	-	0~28.28	0~28.28	0	U.S. EPA (2010)
	Drain Exponent	0.5			0.5	0.5	0.5	
	Drain offset Height (mm)	0~762			0~200	0~200	0	
	Drain delay (hr)	-			-	-	6	
Drainage Mat Layer	Thickness (mm)	-	25.4~50	-	-	-	-	U.S. EPA (2010)
	Void Fraction		0.5~0.6					
	Roughness		0.1~0.4					

3. 적용 및 결과

3.1 대상유역 및 강우선정

본 연구의 대상유역 선정은 가능한 SWMM-LID 모형 구축 시에 따른 강우-유출 시에 외부적 영향을 최소화하기 위해서 유역의 규모가 작은 아파트 단지, 대규모 공공시설물 단지, 도시유역 내 공원 부지 등이 대상이므로 아산시에 위치한 선문대학 부지를 선정하여 적용하였다. 대상유역 총면적은 150,821 m²이며, 토지이용은 건물(15%), 식생(41.3%), 주차장(20.1%), 보도(8.5%), 도로(14.5%) 등으로 구성되어있다. 또한, 대학 내 발생하는 유출량은 주변 매곡천으로 유출될 수 있도록 구성되어 Fig. 1에 우수 관망도를 나타내었다.

또한 선문대학교 하수관거는 설계 지침에 따라 10년 빈도로 설계되어 있으며, 최대 도달시간은 학교 중심 중앙잔디부터 유출구인 매곡천까지 39.8분이다. 대상유역에 관망도 구성은 14개 절점, 14개 관거, 1개 유출구로 구성되어 Fig. 1에 나타내었다. SWMM 모형의 중요 변수 중 하나인 유출계수 매개변수인 CN값은 토지이용 상태에 따라 Table 2에 나타내었다.

대부분의 도시유역의 경우 2시간 이내에 강우에 의해 발생한 강우유출수가 모두 배수된다. 또한 선문대학교 유역의 경우 강우발생 이후 최대도달시간은 약 40분으로 산정되었다. 따라서, 본 연구에서는 천안시 확률강우량 10년 빈도 지속시간 60분 확률강우량을 사용하였으며 5분 단위 Huff 3분위로 강우를 분포시켜 적용하였다.

Fig. 1. SWMM Pipe Network in Target Area

3.2 민감도 분석 결과 및 요소기술별 주요 매개변수 선정

본 연구에서는 SWMM-LID에 사용되는 6개의 요소기술별 사용되는 매개변수를 이용하여 민감도 분석을 수행하였다. 민감도 분석 수행결과 유출에 민감한 반응을 보인 요소기술은 6개 중에서 4개로 생태저류지, 옥상녹화, 빗물정원, 빗물통으로 나타났다.

Fig. 2의 생태저류지의 경우는 Surface layer의 Storage depth, Vegetation, Soil layer의 Conductivity 등 총 3매개변수에 따른 매개변수별 침투유출량과 총유출량의 관계를 나타내었다. 생태저류지에서 Storage depth의 경우 총 유출량 및 침투유출량 모두 매개변수 값이 증가할수록 감소하는 반비례 경향을 보였으며, 총 유출량은 선형적인 반응을 보였으나, 침투유출량과의 민감도 분석에는 일부구간(0~200) 이후에 급격히 감소하는 경향을 보였다. 이러한 이유는 강우 및 유역이 가지는 특성 때문이라 판단된다. Vegetation의 경우 총 유출량 및 침투유출량 모두 매개변수가 증가할수록 증가하는 경향을 보였다. 총 유출량의 경우 선형적인 증가 경향을 보였으나, 침투유출량의 경우 분산정도가 심한 증가경향을 보였다. Conductivity의 경우 총 유출량 및 침투유출량 모두 매개변수 값이 증가할수록 감소하는 반비례 경향을 보였으며, 총 유출량의 경우 매개변수 값이 일정 구간을 형성하면서 감소하는 경향을 보였다. 침투 유출량의 경우 Vegetation과 유사하게 분산 정도가 다소 심한 감소하는 경향을 보였다.

옥상녹화의 경우 Fig. 3에서 Surface layer의 Storage depth, Soil layer의 Porosity와 Wilting point 등 총 3개 매개변수가 민감한 반응을 보였다. Storage depth의 경우 총 유출량 및 침투유출량 모두 매개변수가 증가할수록 선형적인 감소 반비례 경향을 보였다.

매개변수 Porosity의 경우 또한, 총 유출량 및 침투유출량 모두 매개변수가 증가할수록 감소하는 경향을 보였으나, 총 유출량의 경우 일부구간을 가지며 감소하는 경향을 보였다. Wilting point의 경우 총 유출량 및 침투유출량 모두

Table 2. SWMM Parameters for Target Area

	Area (m ²)	CN
① Main Building	29,832	86
② Wonhwa Building	15,875	88
③ Natural Science Building	11,523	85
④ Central Park	15,193	76
⑤ Humanities and Social Building	11,523	85
⑥ Artificial Turf	22,411	76
⑦ Health Building	12,223	89
⑧ Flags of All Nations	6,990	81
⑨ Central Library	12,099	86
⑩ Student Union	13,152	88

증가하는 경향을 보였으나 매개변수 범위의 최소 최대에서 민감한 반응을 보였다. 이는 최대 매개변수 범위를 0.1보다 크게 하여 민감도 분석을 수행할 필요가 있다고 판단되었다.

빗물통의 경우 Fig. 4에서 Storage layer의 height 매개변수에서 민감한 반응을 보였으나 매개변수 범위가 600~800 이내에서만 민감한 반응을 보였다. 이는 매개변수 최대, 최소범위를 조정하거나 다른 유역에 적용하여 재분석할 필요가 있다고 판단되었다.

빗물정원의 경우 Fig. 5에서 Surface layer의 Storage depth, Vegetation 등 총 2개 매개변수가 민감한 반응을 보였다. Storage depth의 경우 총 유출량 및 침투유출량 모두 감소하는 경향을 보였으며, Vegetation의 경우 총 유출량 및 침투유출량 모두 증가하는 경향을 보였다. Surface layer의 Storage depth 매개변수와 Vegetation 매개변수의 경우 민감도 분석결과 반대되는 경향을 보이는 것으로 판단되었다. 투수성포장과 침투트렌치의 경우 민감도 분석결과 아무 반응을 보이지 않았다.

4. 결론

SWMM-LID는 기존의 집중형 빗물관리시설 보다 상대적으로 저렴하며, 대상지역의 자연환경과 조화롭게 개발되어 도심지역 내 악화된 물순환 체계를 개선할 수 있으며 우수유출수 및 비점오염원 저감 효과가 뛰어난 장점을 가지고 있으나 현재까지는 SWMM-LID 요소기술별 매개변수에 대한 특성 정보가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 도시지역에서 강우-유출 발생 시에 SWMM-LID 요소기술의 매개변수별 침투 및 총유출량 저감효과에 관해 민감도 분석을 수행하였다. 분석에 사용된 매개변수별 입력 값의 범위는 국내외 연구문헌 및 국내 시공사례 등을 참고하여 추정 및 적용하였다. 또한 모형 구축 및 실행 시에 주변의 외부환경적 요소를 가능한 최소화하기 위해서 선문대학교 캠퍼스를 10개 소규모 유역으로 구분하여 요소기술별 매개변수의 민감도 분석을 수행하였다.

Fig. 2. Parameter Sensitivity Analysis Results of Bio-retention Cell

Fig. 3. Parameter Sensitivity Analysis Results of Green Roof

Fig. 4. Parameter Sensitivity Analysis Results of Rain Barrel

Fig. 5. Parameter Sensitivity Analysis Results of Rain Garden

SWMM-LID에 사용되는 6개의 요소기술별 매개변수를 이용하여 민감도 분석을 수행한 결과 유출에 민감한 반응을 보인 요소기술은 생태저류지, 옥상녹화, 빗물정원, 빗물통 등 4개로 선정되었다.

생태저류지의 경우 Surface layer의 Storage depth, Vegetation, Soil layer의 Conductivity 매개변수, 옥상녹화의 경우 Surface layer의 Storage depth, Soil layer의 Porosity, Wilting point 매개변수, 빗물정원의 경우 Surface layer의 Storage depth, Vegetation 매개변수, 투수성포장과 침투트렌치의 경우 민감도 분석결과 아무 반응이 없었으며, 빗물통의 경우 Storage layer의 Height 매개변수에서 민감한 반응을 나타내었다.

LID 요소기술은 유역발단에 대규모로 시공되는 전통적인 우수유출수 저감시설과 다르게 대상유역 내 분산되어 소규모로 시공되고 2년 빈도 이하의 소규모 강우를 저류하는 것이 목적이다. 따라서 향후 저빈도 부터 고빈도 까지 강우의 조건을 추가하고, 단기간의 강우가 아닌 장기간의 강우를 적용하여 매개변수의 반응정도를 보다 광범위 하게 파악한 다면 LID 시설물 설계 및 LID 요소기술의 개발, 성능검증 실험 등의 기초자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 본 연구결과는 추후 LID 요소기술과 관련되어 요소기술에 필요한 복합재료 개발 및 시공 시에 SWMM-LID 모형을 통한 성능검증에 보다 신뢰성 높은 결과 값을 제공할 수 기초 연구가 될 것으로 판단된다.

References

- Boston Water and Sewer Commission (BWSC). (2013). *Stormwater best management practices: Guidance document*.
- Cho, S.J., Kang, M.J., Kwon, H., Lee, J.W., and Kim, S. (2013). Evaluation of the effectiveness of low impact development practices in an urban area: Non-point pollutant removal measures using EPA-SWMM. *Journal of Korean Society on Water Environment*, Vol 29, No. 4, pp. 466-475.
- Conway, C., and Svetich, T. (2007). *Virginia street tree box filters demonstration project*. pp. 1-40.
- Bosley II, E.K. (2008). *Hydrologic evaluation of low impact development using a continuous, spatially-distributed model*. Master's thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Kim, B.S., Kim, B.K., and Kim, H.S. (2009). Parameter sensitivity analysis of VfloTM model in Jungnang basin. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 29, No. 6B, pp. 503-512.
- Kim, J.H., Choi, S.W., and Joo, J.G. (2017). *EPA SWMM-LID modeling for low impact development*. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 17, No. 2, pp. 415-424.
- Lee, J.H., Song, Y.H., and Jo, D.J. (2013). Determination of optimal locations of urban subsurface storage considering SWMM parameter sensitivity. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 13, No. 4, pp. 295-301.
- Lee, J.M., Lee, Y.S., and Choi, J.S. (2014). Analysis of water cycle effect according to application of LID techniques. *Journal of Wetland Research*, Vol. 16, No. 3, pp. 411-421.
- Lee, S.H., Yoo, I.K., and Kim, J.W. (2011). A study on the structural design of permeable asphalt pavement. *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, Vol. 13, No. 3, pp. 39-49.
- Lim, Y.K., Jung, J.C., Shin, H.S., and Ha, G.J. (2014). Analyzing the efficiency of LID Technique for urban non-point source management. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*, Vol. 17, No. 2, pp. 1-14.
- Ministry of Environment (ME). (2011). *Guidance revised ecological area ratio (Draft)*.
- National Emergency Management Agency (NEMA). (2010). *Type of runoff reduction facilities, structures, installation and maintenance standards*.
- Palla, A., Berretta, C., Lanza, L.G., and La Barbera, P. (2008). Modelling storm water control operated by green roofs at the urban catchment scale. *11th International Conference on Urban Drainage*, Edinburgh, Scotland, UK.
- Park, G.R. (2013). Sensitive analysis of parameters for urban sewer network using SWMM simulation model. Master's thesis, Daejin University.
- Shin, D.S., Park, J.B., Kang, D.K., and Jo, D.J. (2013). An analysis of runoff mitigation effect using SWMM-LID model for frequently inundated basin. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 13, No. 4, pp. 303-309.
- United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA). (2010). *Storm water management model user's manual Version 5.0*.
- Wei, S.B. (2012). *A study on the sensitivity analysis of SWMM model for urban flood forecasting*. Master's thesis, Chonnam University.
- Yeon, J.S., Kim, S., Choi H.I., Shin, H.S., and Kim, E.S. (2015). Rainfall runoff reduction analysis for the construction and maintenance costs of LID facilities. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 15, No. 4, pp. 281-287.

Received	October 20, 2020
Revised	October 21, 2020
Accepted	October 26, 2020