

## 친환경시범마을의 LID 적용에 따른 물순환 효과 및 비용편익 분석

백종석\* · 이상진\* · 신현석\*\* · 김형산\*\*†

\*K-water융합연구원 물순환연구소

\*\*부산대학교 사회환경시스템공학과

### Analysis of Effectiveness for Water Cycle and Cost-Benefit according to LID Application Method in Environmentally-Friendly Village

Jongseok Baek\* · Sangjin Lee\* · Hyunsuk Shin\*\* · Hyungsan Kim\*\*†

\*Water Resources Research Center, K-water Convergence Institute

\*\*Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University

(Received 20 October 2017, Revised 30 November 2017, Accepted 14 December 2017)

#### Abstract

Water disasters such as flash floods and inundation caused by localized heavy rainfall in urban areas have a large impact on climate change but are also closely related to the increase in impervious areas as pointed out in domestic and international studies. It is difficult to secure natural green areas in urban areas that have already been developed. So, urban regeneration can be expected using water management optimized with technologies to secure infiltration and storage capacity such as Low-Impact Development technology. In this study, the water cycle improvement ability was confirmed by applying the LID technology within the district unit plan of the environmentally friendly village, and the economic feasibility of LID application was analyzed by estimating the costs and benefits of installing the facilities. The site was planned to conserve sufficient green and plans for securing the watershed infiltration and storage capacity were formulated with the application of additional LID technology, such as infiltration trenches, rain barrels and permeable pavements. The LID design method applicable to the site was established, and the water balance of the watershed was analyzed through simulations of the SWMM model. The water circulation improvement effect was confirmed through the water balance analysis, and the cost-benefits were determined according to the estimation method, and the economic analysis was conducted. This study confirms that the investment of LID technology is economically feasible for the hydrological improvement effect of the housing complex.

**Key words** : Cost-benefit, EPA SWMM, LID, Water balance, Water cycle

## 1. Introduction

2016년 태화강 범람으로 인한 울산시의 주거·산업단지 침수피해, 2017년 국지적 호우로 인한 청주시, 인천시, 부산시 등 대도시의 이례적 홍수 사례, 그리고 최근 해마다 반복되는 가뭄으로 인한 댐, 하천의 갈수화를 해결하기 위해 정부, 지자체, 학계 등 국가적 차원에서 물관리 패러다임의 변화를 강조하고 있다. 이를 계기로 수문현상을 개발 이전의 상태로 되돌리는 친환경적 도시 물관리 기법인 저영향개발(Low Impact Development, LID)에 대한 관심이 크게 증가하고 있으며, 관련 연구 및 실제 적용사례가 증가하고 있다.

국내에 LID 기술이 보급된 이후 관련 연구 성과를 바탕으로 대규모 도시지역에서 LID 기술이 적용되었으며, 적용 전·후의 물순환 개선효과에 대한 모니터링 및 분석에 대한 연구가 진행되고 있다. Lee et al. (2014)은 아산탕정 신도시 개발 사업에 적용된 LID 기술의 물순환 효과를 분석하기 위해 SWMM (Storm Water Management Model) 5.0 모형을 이용하여 개발 전후의 강우량에 따른 침투량, 증발산량, 유출량 등 물수지 인자의 변화량을 분석하였으며, Ko et al. (2016)은 분산형 빗물관리 시범단지를 대상으로 실제 강우와 인공강우를 이용한 모니터링을 통해 침투도량, 식생수로, 도심형 인공습지, 축구형 침투도랑 등의 LID 요소기술별 물순환 개선 효과를 평가하고 LID 기법의 강우 사상별 빗물관리 효과를 정량화하여 제시하였다. 또한, Lee (2016)는 LID 기법을 적용한 대규모 개발단지의 빗물관리 시스템에 대한 모니터링을 수행하고 개발 전과 기존방식의 개발 방법을 비교 분석하여 LID 기법의 도시 물순환 기능 복원 및 환원에 관한 효과를 분석하였다.

물순환 효과 분석에는 LID 시설을 적용하여 모의할 수

† To whom correspondence should be addressed.

hskim@kwater.or.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

있는 SWMM 모형이 국내외적으로 널리 활용되고 있다. SWMM 모형을 적용한 연구로는 저탄소 녹색마을에 자연계 물순환 복원을 위한 LID 시설을 설치하여, 설치 전후의 SWMM 5.0 모의 분석 결과 비교를 통해 물순환 복원 효과를 제시하였고(Lee et al., 2011), 공동주택단지 3개소를 대상으로 LID 기술 적용 전후의 물수지 인자 변화에 따른 물순환 개선효과를 SWMM 5.0 모형을 통해 분석하였다(Suh and Lee, 2013). 또한, 신도시의 특성을 반영한 설계인자를 활용하여 도시 개발 전후의 LID 기법 적용에 따른 물수지 변동 특성을 SWMM 5.0으로 분석 하였다(Park et al., 2013).

이처럼 LID 적용에 따른 SWMM 모형을 이용한 물순환 분석에 대한 연구가 최근들어 증가하고 있으나 LID 적용에 따른 사업성 및 비용-편익에 대한 연구는 아직까지 초기 단계에 있으며, 현재 현장에서는 시공이 먼저 이루어지고 있는 실정이다. LID 적용에 따른 사업성 평가에 대한 연구동향을 살펴보면 현재까지 국내실정에 적합한 시공 경험과 노하우가 축적되어 있지 않고, 유지관리 비용에 대한 명확한 금액산정에 어려움이 있어 비용편익에 대한 연구는 미비한 실정이다. 기존의 비용편익에 관련된 연구는 주로 LID 요소기술에 관련된 연구가 주를 이루었으며(Kim, Choi et al., 2014; Kim and Yoon, 2011), 최근에는 편익 평가방안에 대한 연구가 진행되고 있다(Lee and Kim, 2016).

이는 현재 시공 및 적용이 이루어지고 있는 LID 기술에 대한 물순환 효과 이외에 시공 과정에서 발생하는 LID 기술의 투자비용과 적용으로 인해 얻을 수 있는 편익에 대한 정량적인 분석 사례가 미비하여 사업성과 경제성에 대한 확신이 부족한 실정으로 시공이 이루어지고 있음을 의미한다. 따라서 본 연구에서는 도시 주거단지를 대상으로 LID 기술 적용에 따른 물순환 개선효과를 분석하고, 이에 따라 발생할 수 있는 비용편익 분석을 통해 LID 기술의 경제성과 실효성을 분석하고자 하였다.

## 2. Materials and Methods

### 2.1 연구방법

LID 기술이 반영된 지역을 선정하여 지구단위 계획의 시행지침을 기준으로 단지에 적용 가능한 LID 기술 방안에

대해 고려하였고, 설정한 방안들을 바탕으로 SWMM 모형을 구축하였다. 모형에 적용된 LID 기술의 설치비용을 초기 설치비와 유지관리비를 고려하여 총 투자비용을 산정하였고, 투자비용을 상쇄할 수 있는 편익 방안을 제시하였다.

### 2.2 대상지역

경기도 화성시 송산면의 송산그린시티 동측 주거단지 진입부에 위치한 친환경시범마을을 대상지역으로 선정하였다. 대상지는 243세대 계획인구를 대상으로 120,000 m<sup>2</sup>의 면적에 설계된 블록형 단독주택 주거용지로 선도적 친환경 설비 및 생태환경 구현에 적합한 단지 조성을 목표로 충분한 녹지의 확보, 건축물 및 주차장 녹화, 투수성 포장 등의 기법을 적극적으로 도입하도록 계획되었다. 연구대상지역의 지리적 위치는 Fig. 1과 같다.

녹지 확보, 우수활용시설, 우수유출 저감시설 등의 항목은 송산그린시티 동측지구 지구단위계획의 시행지침에 따라 조성하였다. 친환경시범마을의 전체면적 120,000 m<sup>2</sup>은 공공시설용지인 주거용지 114,000 m<sup>2</sup>와 도로면적 6,000 m<sup>2</sup>로 구성된다. 전체면적의 40%인 48,000 m<sup>2</sup>는 녹지로 설정하였고, 부지 내 건폐율 50%의 기준에 따라 주거용지 면적 114,000 m<sup>2</sup> 중 57,000 m<sup>2</sup>으로 적용하여 Table 1에 정리하였다.

대상지는 강우시 유출량의 집중을 분산 관리할 수 있도록 소유역 단위로 분산식 빗물관리 시스템을 적용하여 설계되었고, 분산식 배수분구에 따라 EE1~6까지 총 6개의 소유역으로 구분되며, 각각의 면적과 소유역에 포함되는 세대수는 Table 2에 표시하였다.

### 2.3 관측소 선정

송산그린시티 동측지구에 위치한 연구대상 지역은 경기도 화성시 시화호 일대의 간척지로 연구대상지 주변에 위치한 AWS 관측자료는 기록년수에 따른 표본의 수가 충분하지 않고 이상값과 결측값의 분포가 많아 비교적 정확하고 장기간 관측을 수행하고 있는 수원기상대를 선정하였다. 기상청의 수원관측소 지점 2007년 1월부터 2016년 12월까지 총 10개년의 강수량, 증발량, 기온을 수집하였다. 강우자료는 10년간 시단위 관측자료를 활용하였고, 증발량과 기온은 10개년 일평균 자료를 바탕으로 월평균으로 정리하여 Table 3과 Table 4에 나타내었다.



Fig. 1. Geographical position of eco-friendly village.

**Table 1.** Watershed information by land use for eco-friendly village

Land use		Area		Note
		m <sup>2</sup>	%	
Residential area	Building area	57,000	47.5	Building-to-land ratio 50%
	Green area	48,000	40.0	40% of the total area
	Pavement area	9,000	7.5	Remaining part of residential area
	Sum	114,000	95.0	-
Road area		6,000	5.0	District units plan
Total area		120,000	100.0	-

**Table 2.** Watershed information by subcatchments

Subcatchments	Area		Household (EA)
	m <sup>2</sup>	%	
EE1	14,000	11.7	30
EE2	17,000	14.2	36
EE3	17,000	14.2	36
EE4	18,000	15.0	38
EE5	27,000	22.5	58
EE6	21,000	17.5	45
Road	6,000	5.0	-
Total	120,000	100.0	243

**2.4 모형 구축**

모형은 미환경보호국(Environmental Protection Agency, EPA)에 의해 개발된 SWMM 5.1 모형을 이용하였다. SWMM 5.1 모형은 기존의 유역 관망해석 모형인 SWMM에 LID 시설 모의가 가능하도록 Tool을 추가하여 LID 수문영향분석이 가능한 프로그램으로 도시지역의 유출 모의에 적합한 모형이다. 최근 아산탕정지구와 부산에코델타시티, 송산그린시티 등 국내의 대규모 단지 사업에서 LID 기법이 적용되었으며(Baek et al., 2017; Kang et al., 2015; Kim, Seo et al., 2014; Lee et al., 2014), 이에 대한 다방면의 영향 분석이 적용되고 있다. SWMM 모형은 대규모 도시 유역의 단일 및 연속 강우사상에 대한 모의가 가능하고 강우에 의해 발생하는 유출량, 침투량, 저류량, 증발산량 등의 물수지 산정과 LID 물수지 영향 분석이 가능하여 본 연구에서 사용하였다.

**2.4.1 SWMM 구축**

대상지역과 관측소 선정에서 설정한 각각의 면적과 관측자료 등을 바탕으로 기본 변수들을 입력하여 SWMM 모형을 구축하였다. 소유역의 조도계수와 저류깊이 등의 매개변

수는 Koo and Seo (2017)가 도시개발 지역에서 실제 모니터링을 바탕으로 산정한 매개변수 값을 적용하였다. 유역의 침투 산정식으로는 최대 및 최소 침투량 간의 비선형 방정식으로 계산되는 Horton의 침투식을 선정하였다. 대상지역은 간척지에 개발되어 기반 토양이 clay로, 토양 형질이 주거단지에 적합하지 않기 때문에 일정 깊이 이상의 성토 및 다짐을 수행하여 양토에 준하는 투수계수를 가지도록 조성되었다. 대상지의 SWMM 구축에 적용한 기본 매개변수 설정은 Table 5와 같이 정리하였다.

**2.4.2 LID 요소기술 설정**

송산그린시티 동측지구 지구단위계획의 친환경시범마을 시행지침에서 제시한 기준을 근거로 지구 내 LID 요소기술 적용을 Table 6과 같이 설계하였다. 대상지 전체면적에 적용된 건물과 녹지 비율 등은 각 243세대에 적용한 기준을 총합한 것으로 세부적인 계획의 설명을 위해 세대별 기준으로 수행하였다. 각 세대는 빗물이용시설의 설치를 의무화하고 있어 면적의 50%로 설정한 건물옥상의 불투수면적에서 차집된 강우-유출수를 수용할 수 있는 빗물통을 설치해 유출 저감과 우수 재이용을 하도록 계획하였다. 강우시 빗물통 저장용량을 초과하는 월류수는 유역의 투수면적으로 전달되어 침투 및 표면저류를 거쳐 유역의 유출구로 배수된다. 전체면적의 5%인 도로 면적에는 투수성 포장을 7.5%에는 침투트렌치를 설치하였고, 빗물통의 유출 시스템과 같이 침투용량을 초과하는 월류수는 투수면적으로 전달되어 유역 유출구로 배수되는 프로세스를 Fig. 2와 Fig. 3과 같이 설계하였다.

**2.4.2.1 빗물통**

대상지 내 우수 저류조 및 저류지는 “친환경건축물 인증기준(Ministry of Land, Transportation Maritime Affairs

**Table 3.** Annual average precipitation by 10 years in Suwon meteorological station

Year	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Average
Precipitation (mm)	1,325.0	1,342.9	1,541.2	1,470.6	1,975.9	1,748.3	1,240.1	1,029.1	751.1	1,023.4	1,344.8

**Table 4.** Monthly average evaporation and temperature by 10 years in Suwon meteorological station

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Evaporation (mm/day)	1.23	1.69	2.55	3.53	4.60	5.03	3.70	4.24	3.70	2.86	1.65	1.23
Temperature (°C)	-2.53	0.74	5.75	11.83	17.93	22.68	25.33	26.36	21.82	15.16	7.51	-0.14

Table 5. Design for SWMM option

SWMM 5.1 options						
Routing model		Kinematic wave		Infiltration model	Horton	
Start-end date		2006-12-31 to 2017-01-01		Simulation interval (min)	15	
Subcatchment summary						
Subcatchments (EA)		6		Total area (ha)	12	
Average impervious area rate (%)		50		Average slope (%)	0.5	
Manning's roughness coefficient	N-impervious	0.035		Depression storage (mm)	Impervious	0.3
	N-pervious	0.055			Pervious	1
Infiltration model : Horton						
Maximum infiltration rate of the Horton infiltration curve (mm/hr)		76.2		Minimum infiltration rate of the Horton infiltration curve (mm/hr)	3.302	
Decay constant of the Horton infiltration curve (1/hr)		4.14		Drying time a fully saturated soil (days)	7	

Table 6. Information of LID application by land use

Land use	LID technology	Subcatchment area		Household (EA)	Area per household (m <sup>2</sup> )	Note	
		m <sup>2</sup>	%				
Residential area	Building area	Rain barrel	57,000	47.5	243	Building area(m <sup>2</sup> )×0.01(m)	
	Green area	-	48,000	40.0		198	-
	Pavement area	Infiltration trench	9,000	7.5		37	100% of pavement area
	Sum	-	114,000	95.0		469	-
Road area	Permeable pavement		6,000	5.0	-	100% of road area	
Total area			120,000	100.0	-	-	

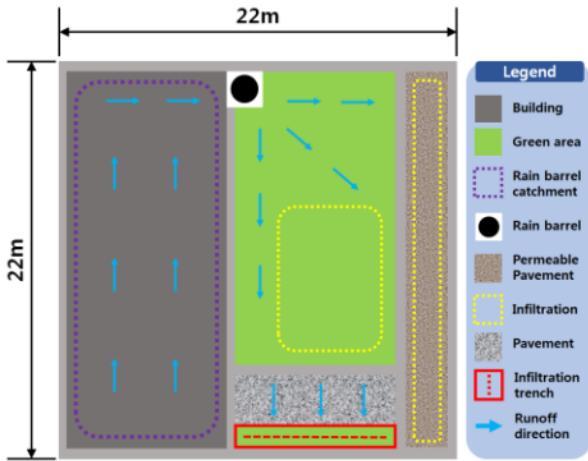


Fig. 2. Runoff process of LID design by household.

(MLTMA, 2011)의 평가항목 ‘우수이용’ 1급 기준인 건축면적(m<sup>2</sup>)×0.05 m 용량을 만족하도록 고시하고 있으나, MLTMA (2011)의 경우 공동주택 등 다세대주택에 적합한 반면 단독주택의 경우에는 현실적인 어려움이 있다. 1급 기준을 만족하는 용량을 적용한다면 대상지와 같이 세대당 면적 469.14 m<sup>2</sup>에 건폐율이 50%인 단독 주택의 경우 각 세대당 12 m<sup>3</sup> 규모의 빗물통을 분담해야 하는 경우가 발생한다. 이에 본 연구에서는 MLTMA (2011) 최소기준과 세대당 부담을 고려하여 3급 기준인 건축면적(m<sup>2</sup>)×0.01 m를 적용하여 세대당 2.35 m<sup>3</sup>, 전체 570 m<sup>3</sup> 규모의 빗물통 용량을 결정하였다.

빗물통에서의 빗물 이용량은 빗물통의 편익 분석에서

고려할 내용을 바탕으로 화성시의 세대당 일평균 빗물 이용량(R<sub>y</sub>) 0.201 m<sup>3</sup>/day을 SWMM모형 LID tool의 빗물통 시간당 배수 유량 값인 Flow coefficient 값으로 환산 입력하여 빗물통 용량에 부합하는 세대당 일평균 빗물통의 이용량 0.0351 mm/hr를 반영하도록 설정하였다.

2.4.2.2 투수성포장

송산그린시티 동측지구 시행지침에서는 단지 내 총 포장면적의 30% 이상을 투수성 포장으로 설치할 것을 고시하였다. 이는 친환경시범마을의 전체면적 120,000 m<sup>2</sup> 중 건축면적 57,000 m<sup>2</sup>, 녹지면적 48,000 m<sup>2</sup>을 제외한 도로와 불투수면적 15,000 m<sup>2</sup>를 포장면적으로 설정하였고, 이 중 30%인 4,500 m<sup>2</sup> 이상에 투수성 포장을 적용하도록 설정하였다. 불투수면적 9,000 m<sup>2</sup>에는 침투트렌치를 적용하였으므로, 나머지 도로 6,000 m<sup>2</sup>에 투수성 포장을 적용하여 시행지침 기준을 만족하고자 하였다. 도로는 폭 20 m 내외로 보도를 제외한다면 왕복 2~4차선 도로이고, 단독주택 특성상 대형차량의 통행이 없는 교통량이 적은 지역이기 때문에 투수성 포장으로도 도로의 충분한 내구성을 가질 수 있을 것으로 판단하였다.

2.4.2.3 침투트렌치

단지내 우수유출 저감시설은 MLTMA (2011)의 평가항목 ‘우수부하 절감대책’ 1급 기준에 해당하는 저감시설로 인한 집수면적이 대지 전체면적의 30% 이상 설치할 것을 권장하고 있다. 앞서 적용한 빗물통 집수면적 57,000 m<sup>2</sup>과 투수성포장 6,000 m<sup>2</sup> 만으로도 대지면적의 52.5%에 우수유

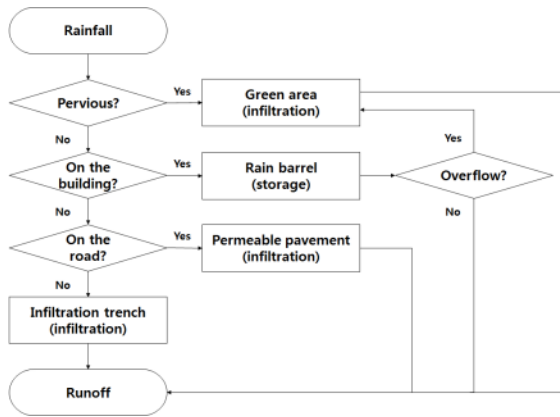


Fig. 3. Flow chart for runoff process.

출 저감시설을 설치한 것으로 1급 기준을 만족하였으나, 빗물통 산정시 세대당 부담하는 빗물통 용량의 비현실성으로 인해 규모를 대폭 축소하였고, 도로에 적용한 투수성포장을 제외하고 단지 내에 적용 가능한 침투능 향상 기술이 전무하여 불투수면적을 대상으로 침투트렌치를 적용하였다. 침투트렌치는 도로를 제외한 전체 주거면적 114,000 m<sup>2</sup>의

불투수면적 7.5%인 9,000 m<sup>2</sup>의 강우를 집수하도록 설계하였고, 세대당 37 m<sup>2</sup>의 면적을 설치하도록 설정하였다. 이상의 적용 방안은 Fig. 4와 같이 모형을 구축하였다.

2.5 비용-편익 산정 방안

LID 요소기술의 설치에 따른 비용-편익 산정 방안은 다음과 같다. 비용과 편익에 따른 주요 인자 및 공식들은 LID 기술을 시공하는 업체에서 제공받은 견적서 정보와 기 수행된 LID 기술 관련 문헌에서 제시하고 있는 내용들을 Table 7과 같이 참고하여 작성하였다.

비용과 편익 분석에 적용된 연차별 실질할인율은 한국은행 경제통계 관리시스템(Economic Statics System, The bank of Korea, 2017)의 2007년부터 2016년까지 최근 10년간의 금리와 물가상승률을 수집하여 Eq. (1)에 적용하였고, 10년 평균 실질할인율 0.89%를 산정하여 Table 8에 정리하였다. 비용-편익 분석을 위한 기간 선정은 기획재정부령으로 2011년 개정된 법인세법(Ministry of Strategy and Finance (MSF), 2011) 시행규칙의 제 15조 3항에 따라 건축물 등의 기준내용연수 및 내용연수범위인 철근콘크리트조 40년을 기준으로 수행하였다.

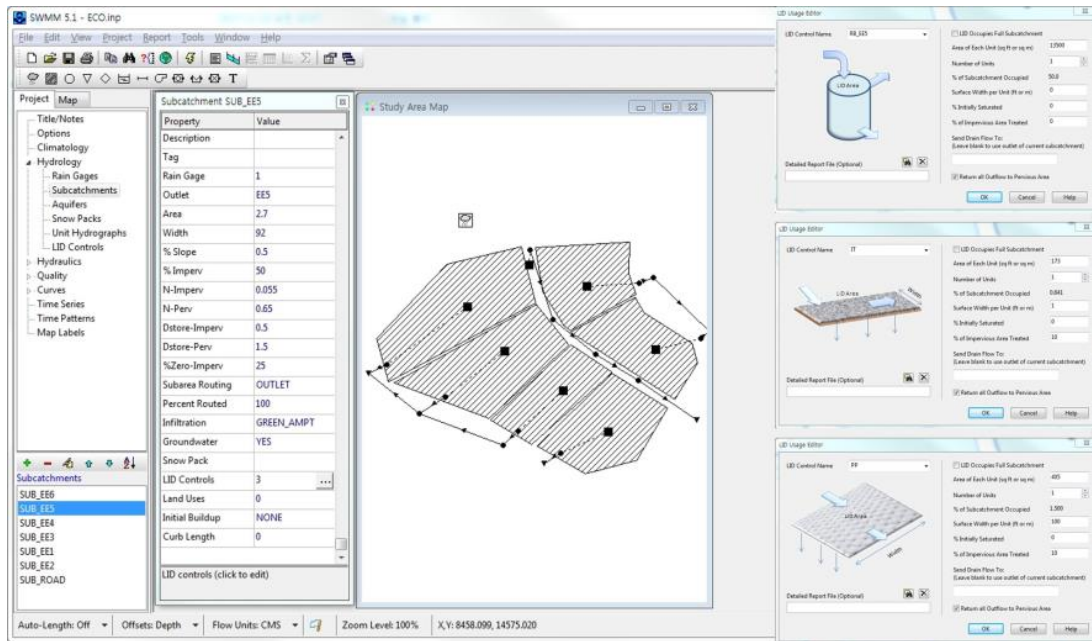


Fig. 4. LID design for SWMM model.

Table 7. Estimate method of benefit for LID application

Classification	Classification detail		Quantification	References
Direct cost	Initial installation cost		○	Company survey
	Management cost		○	
Direct benefit	Water charge reduction	Reduction for water supply charge	○	SK (2017), The water statistics (ME, 2015), Lee and Kim (2016)
		Reduction for production cost of water supply	○	
		Reduction for cost of sewage treatment	○	
	Reduction for cost of regular roof management		○	Company survey and Kim, Choi et al. (2014)
	Energy charge reduction	Reduction for electricity charge of air-conditioning	○	SK (2017), Lee and Kim (2016)
Reduction for gas charge of heating				

**Table 8.** Annual average for real discount rate

Year	Interest rate ( $I_N$ )	Inflation rate ( $F$ )	Real discount rate ( $I_R$ )
2007	5.01	2.5	2.45
2008	5.67	4.7	0.93
⋮	⋮	⋮	⋮
2015	1.72	0.7	1.01
2016	1.47	1.0	0.47
Average	3.252	2.34	0.89

$$I_R = \frac{(1 + I_N)}{1 + F} - 1 \quad (1)$$

여기서,  $I_R$  = 실질할인율,  $I_N$  = 명목할인율,  $F$  = 물가변동율

**2.5.1 비용요인 산정 방안**

비용요인으로는 시설의 초기 설치비용과 유지관리비용을 고려하였고, 빗물통, 투수성포장, 침투트렌치 등 각각의 요소기술 적용 특성별 자재비, 경비, 노무비에 따라 최종적인 공사비를 결정하였다.

**2.5.1.1 빗물통**

빗물통 지원사업이 진행 중인 서울시의 경우 설치비용의 90%를 시에서 자체적으로 지원해주고 있으나, 송산그린시티가 포함되는 화성시의 경우 빗물통의 경제적 지원 사업이 진행되지 않기 때문에 설계 견적서 금액을 그대로 반영하였다. 설치비용을 비교한 업체로는 실제 서울시 빗물저금통 설치 업체 2곳과 저류조 전문시공 업체 1곳의 견적을 비교하여 C업체의 설치비용으로 결정하였고, 결정한 C업체의 가격은 서울시 빗물 저금통 1m<sup>3</sup>당 설치비용 기준 2,188,000 won의 63% 규모로 합리적인 가격이라 판단하였다. 자재비는 앞서 설정한 세대당 2.35 m<sup>3</sup> 규모의 빗물통을 기준으로 집수 물통, 배관 및 펌프 등의 비용을 계산하여 Table 9에 정리하였다. 최근의 단독주택 빗물통 시공은 저류시설의 현장 타설이 아닌 주문 제작 후 운송하여 조립하는 방식을 사용하므로 추가적인 공사비는 고려하지 않았다.

유지관리비용으로는 Lee et al. (2012)이 빗물이용시설 운영비로 제시한 기준에 따라 전기요금은 설치비의 0.3%/yr, 모니터링은 설치비의 0.7%/yr, 보수/기타/인건비의 경우 1.0%/yr로 설정하였고, 청소비는 20세대 기준 1,000,000 won/yr을 환산하여 243세대에 12,150,000 won/yr으로 적용하였다.

**Table 9.** Comparison of estimate for rain barrel by construction company

Construction company	Total (won/rain barrel)	Materials cost (won/rain barrel)					
		Sum	Barrel	Pipe	Pump	Log	Etc.
A	5,447,000	5,149,000	3,102,000	847,000	738,000	297,000	165,000
B	3,512,000	2,961,000	1,421,000	715,000	550,000	275,000	-
C	2,857,000	2,857,000	1,233,000	542,000	450,000	-	632,000

**Table 10.** Cost information for porous pavement

Pavement type	Replacement period (yr)	Initial installation cost (won/m <sup>2</sup> )	Pavement overlay cost (won/m <sup>2</sup> )	Management cost (won/m <sup>2</sup> )
Porous ascon pavement	10	70,912	62,671	2,672

**2.5.1.2 투수성포장**

투수성포장은 단지내 도로포장별 생애주기비용 분석을 수행한 Jung et al. (2014)의 연구를 참고하였다. LH의 설계·견적 팀에서 제시한 재료비 및 시공비를 바탕으로 투수아스콘 포장에 대한 초기 설치비용을 제시하였으며, 10년 교체 주기로 덧씌우기 비용과 유지관리비를 산정하였다. 대상지는 투수아스콘 포장을 기준으로 Table 10과 같이 설정하였다. 단지내 도로면적 6,000 m<sup>2</sup>에 적용하여 425,000,000 won의 초기비용과 37,602,000 won/yr의 덧씌우기비, 1,603,000 won/yr의 유지관리비를 산정하였다.

**2.5.1.3 침투트렌치**

침투트렌치 전문 제작업체 3곳을 대상으로 유선 및 이메일 조사를 수행하였고, 응답 결과 최근의 침투트렌치 시공 방식은 현장 타설이 아닌 주문 제작 후 운송하여 조립하는 방식이라는 점과 시설은 2 m 단위로 단가를 산정하며 시공 후 추가적인 유지관리 비용은 없다는 점을 확인하였다. 지구단위계획에 따른 단지 시공 시 추가 설치 가능한 공사 이기에 공사비와 노무비는 제외하고 자재비에 대한 설치비용만을 비교하여 최소 견적을 선정하였다. 침투트렌치는 앞서 결정한 변수들에 따라 전체 9,000 m<sup>2</sup>, 세대당 37 m<sup>2</sup>의 집수면적을 가지고, Fig. 2와 같이 10 m 정도의 길이로 설치하도록 설정하여 전체 초기 설치비용으로 249,000,000 won을 산정하였다.

**2.5.2 편익요인 산정 방안**

본 연구에서는 정량적으로 결과를 산정할 수 있는 직접 편익에 대한 부분만을 고려하였고, 결과의 신뢰도 편차가 큰 간접편익은 제외하였다. LID 적용 비용요인을 저감 및 상쇄할 수 있도록 상하수도 요금 절감, 정기적 옥상 관리 비용 절감, 냉·난방 전기요금 절감 등의 편익요인을 원단위 기반으로 정량화 하였다. 편익요인으로 결정한 직접편익 인자들을 사적 편익과 사회적 편익으로 분류하여 Table 11에 정리하였다.

**2.5.2.1 상하수도 요금 절감**

상하수도 요금 절감에 대한 편익으로는 가정용 상수도 사용액 절감에 대한 사적 편익과, 상수도 생산원가와 하수 처리비용 단가에 대한 사회적 편익을 고려하였다. 상수도

**Table 11.** Estimate method of direct benefit by classification

Classification	Classification detail	Estimate method
Direct benefit	Private benefit	Reduction for water supply charge Annual reduction for water supply charge (won/yr) = total daily rainwater use (m <sup>3</sup> /day) × 365 (day/yr) × water supply cost (won/m <sup>3</sup> )
		Reduction for cost of regular roof management Annual reduction for cost of regular roof management (won/yr) = annual roof water proof cost (won/m <sup>2</sup> ·yr) × total area (m <sup>2</sup> )
		Reduction for electricity charge of air-conditioning Annual reduction for electricity charge of air-conditioning (won/yr) = annual reduction for electricity of air-conditioning (kWh/yr) × production charge of electricity (won/kWh) × rate of roof storage (%)
		Reduction for gas charge of heating Annual reduction for gas charge of heating (won/yr) = annual reduction for gas of heating (MJ/yr) × production charge of gas (won/MJ) × rate of roof storage (%)
	Social benefit	Reduction for production cost of water supply Annual reduction for production cost of water supply (won/yr) = total daily rainwater use (m <sup>3</sup> /day) × 365 (day/yr) × production cost of water supply (won/m <sup>3</sup> )
		Reduction for cost of sewage treatment Annual reduction for cost of sewage treatment (won/yr) = annual reduction quantity (m <sup>3</sup> /day) × unit cost for waste water treatment (won/m <sup>3</sup> )

**Table 12.** Availability for rain water reuse

Use	Component ratio of water use (%)	Availability for rainwater
Toilet	24	○
Washbowl	9	×
Bathtub	16	×
Laundry	22	×
Kitchen	20	×
etc	9	○

요금에 대한 편익으로는 빗물통에 저장되어 있는 저장수의 빗물 재이용을 고려하여 주택단지 생활용 상수도 요금 절감에 대한 사회적 편익과 상수도 생산원가 절감에 대한 사회적 편익을 고려하였다. 빗물 이용으로 인한 상수도 비용 절감 계산을 위해 Lee et al. (2012)이 제시한 세대당 평균 빗물 이용량을 Eq. (2)를 적용해 계산하였다.

$$R_g = R_o \times R_w \times R_p \quad (2)$$

여기서,  $R_g$ : 세대당 일평균 빗물 이용량  
 $R_o$ : 생활용수 중 빗물이용 비율  
 $R_w$ : 인당 일평균 생활용수 사용량  
 $R_p$ : 세대당 평균 가구원 수

생활용수 중 빗물이용 비율( $R_o$ )은 Kim et al. (2007)이 Table 12에서 제시한 단독주택의 전체 생활용수 중 빗물통의 저장수로 사용가능한 화장실용수와 기타용수(베란다 및 정원 용수)를 합한 33%를 적용하였다. 1인당 일평균 생활용수 사용량( $R_w$ )은 2015년 상수도통계에서 제시된 화성시 1인 1일 급수량 361 L 중 가정용 64%인 231.04 L/day를 사용하였고, 1세대당 평균 가구원 수( $R_p$ )는 2005년에서 2015년 수목기간을 대상으로 통계청에서 제시하고 있는 화성시 인구수 597,000명에서 세대수 226,000을 나눈 세대당 인구수 2.64인을 적용하였다. 이상의 값들을 Eq. (2)로 계산한 결과, 화성시의 세대당 일평균 빗물이용량( $R_g$ )은 201 L/day = 0.201 m<sup>3</sup>/day를 산정하였다.

2015년 상수도통계에서 제시한 수도물 요금 784 won/m<sup>3</sup>과 현실화율 86.9%를 기준으로 상수도 생산원가 902 won/m<sup>3</sup>을 계산하였다. 앞서 계산한 변수를 Table 11의 상수도 요금 절감 공식에 대입한 결과, 친환경시범마을 전체의 연간 상수도 절감액은 13,448,000 won/yr, 상수도 생산원가 절감액은 15,482,000 won/yr으로 분석되었다.

하수처리비용은 하수도 요금 절감에 대한 사회적 편익을 고려할 필요가 없어 하수처리비용 절감에 대한 사회적 편익만을 고려하였다. Lee and Kim (2016)의 제안에 따라 연간 하수처리비용 절감액은 Table 11의 하수처리비용 절감 공식과 같이 LID 시설 적용으로 인한 연간 유출량 저감량에 단위부피당 하수처리비용을 계산하여 나타낼 수 있다. 결과에서 정리한 내용을 바탕으로 연간 417.54 mm 감소한 유출량을 전체면적 120,000 m<sup>2</sup>에 적용하여 화성시 하수도통계에서 제시하는 하수도 요금 305 won/m<sup>3</sup>에 현실화율 31%를 반영한 결과 연간 하수처리비용 절감액은 49,297,000 won/yr으로 분석되었다.

2.5.2.2 정기적 옥상 관리 비용 절감

주택단지의 빗물통 시공 시 집수통으로 차집이 용이하도록 영구적인 방수공사를 수행하기 때문에 주기적인 옥상 방수공사 비용을 절감할 수 있다. 옥상 방수공사는 시행하는 업체와 페인트의 종류에 따라 가격의 편차가 크다. 옥상 방수공사 전문 시공업체 3곳의 견적을 비교한 결과, 평수에 따른 노무비의 차이가 크므로 정량적으로 산정할 수 있는 재료비를 기준으로 최저가로 선정하였다. 선정된 업체의 14 L 방수페인트 1통을 기준으로 친환경시범마을 전체 57,000 m<sup>2</sup>의 옥상에 도포하였을 때 소요되는 예산은 총 63,000,000 won으로 시공업체에서 제공받은 권장 페인트 교체주기 3년의 정보에 따라 연간 21,000,000 won이 소요되는 것으로 산정하였다.

2.5.2.3 냉·난방용 전기요금 절감

빗물통의 저장수를 이용하여 냉·난방용 전기요금 절감에

대한 편익을 고려하였다. 빗물통 저류시설 자재비 산정 시 펌프의 설치를 포함하여 비용을 산정하였기에 비녹화 옥상 저류시설과 같은 효과를 나타낼 수 있을 것으로 판단하였다. 비녹화 옥상 저류시설과 같은 효과를 보이기 위해서 빗물통에 우수가 저장되어 있는 날에 대해서만 고려하였다.

에너지 저감량은 수원시 10년 평균 냉·난방도일 449.61 °C·day, 3,776.21 °C·day와 Lee and Kim (2016)이 제시한 옥상시설의 열전달계수 0.0056 kWh/m<sup>2</sup>·°C·day를 고려하여 계산하였다. 에너지 단가는 2015년 한국전력공사와 한국가스공사 표준단가인 108.0 won/kWh와 15.6 won/MJ를 적용하였다.

빗물통에 우수가 항상 저장되어 있지 않기 때문에, 우수가 저장되어 있어 연간 옥상에 냉·난방이 가능한 일수의 산정이 필요하다. 물수지 개선 효과 분석에서 명시한 연간 빗물 저장량 237.87 mm에 세대당 건물면적 235 m<sup>2</sup>을 곱하여 연간 세대당 저장량 55.90 m<sup>3</sup>을 계산하였고, 세대당 저장량에 빗물통의 세대당 일평균 빗물이용량 0.201 m<sup>3</sup>/day을 나누어 연간 세대당 빗물통에 우수가 저장되어 있는 날 278 day을 산정하여 빗물의 사용이 가능한 옥상저류 가능 비율 0.76을 결정하였다.

연간 냉·난방 에너지 저감 편익은 Table 11에 제시한 연간 에너지 저감량과 단가, 그리고 옥상녹화 저류가능 비율의 곱으로 계산한 결과 각각 연간 12,000,000 won과 51,000,000 won이 소요되는 것으로 산정하였다.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1 물수지 개선 효과 분석

LID 적용 방안에 따라 구축한 SWMM 모형을 2007년부터 2016년까지 10년간의 강우사상으로 모의를 수행하였다. 모의 수행 결과를 강수량, 증발량, 침투량, 저장량, 유출량의 물수지 인자로 나누어 Table 13에 정리하였다. LID 기술 설치 이전에는 증발량 6.95%와 침투량 25.58%를 제외한 유출율이 67.47%로 저류지 등의 시설이 적용되지 않았기에 표면저류를 제외한 저장량은 없는 것으로 확인되었다. LID 기술을 적용하기 전에 비하여 적용한 후 증발산량 6.63%, 침투량 6.74%, 저장량 17.70%가 증가하였고, 유출량은 31.07% 감소한 결과를 Fig. 5에 그래프로 나타내었다.

유출 저감량의 규모가 큰 것은 주택단지의 건폐율 50%에 적용된 빗물통의 빗물 저장 능력이 가장 크게 작용하였고, LID 기술 적용이 증발산과 침투량 증가에 영향을 미친

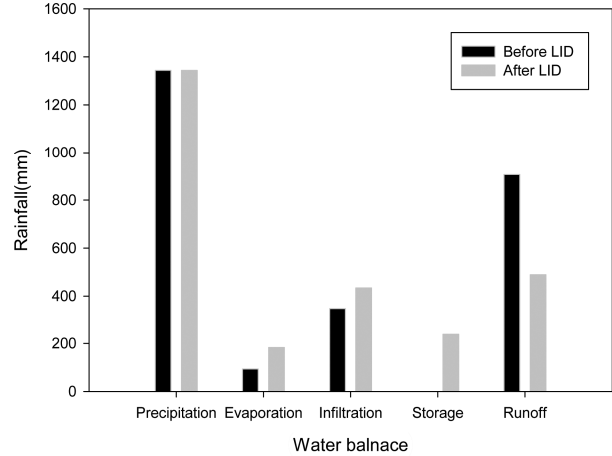


Fig. 5. Water balance change for LID application.

것으로 판단하였다. 빗물통 설치로 인해 증가한 저장량 17.70%는 건물면적에서 차집한 전체 빗물통의 월류량과 일평균 빗물 이용량, 저장량을 고려한 결과이다.

#### 3.2 비용편익 분석 결과

물수지 분석을 통해 개선된 물순환 효과를 위해 필요한 LID 적용 비용과 그 비용을 상쇄할 수 있는 편익 계상을 통해 LID 기술의 적용 타당성을 확인하고자 하였다. 비용-편익 계산을 위해서는 향후 진행될 연차에 따라 책정될 미래가치를 현재의 가치로 환산이 필요하여 Eq. (3)에서 제시한 현재가치법을 적용하였다.

$$PV = \frac{FV_1}{1+r^1} + \frac{FV_1}{(1+r^1)(1+r^2)} + \dots + \frac{FV_n}{(1+r^1)(1+r^2) + \dots + (1+r^n)} \quad (3)$$

여기서, PV=현재가치, FV=미래가치, r=실질할인율, n=기간

실질할인율 r은 Table 8에서 산정한 실질할인율 0.89%를 적용하였고, 기간 n은 철근콘크리트조의 내용연수 기간인 40년으로 적용하였다.

#### 3.2.1 비용요인 분석

빗물통, 투수성포장, 침투트렌치의 초기 설치비와 유지관리비를 분석하였다. 초기 설치비는 최초 시공 시에 적용되는 금액으로 연차의 진행에 따라 추가 비용은 없다. 유지관리비는 각 시설의 전기요금, 청소비, 보수비 등의 금액을

Table 13. Annual average of water balance for LID application

		Annual average				
		Precipitation	Evaporation	Infiltration	Storage	Surface runoff
Before LID application	mm	1,343.73	93.34	343.71	0.00	906.68
	%	100.00	6.95	25.58	0.00	67.47
After LID application	mm	1,343.73	182.45	434.27	237.87	489.14
	%	100.00	13.58	32.32	17.70	36.40
Improvement effect	mm	-	89.10	90.57	237.87	-417.54
	%	-	6.63	6.74	17.70	-31.07



Table 15. Benefit for LID application

Year	Total cost	Private benefit				Social benefit		
		Sum	Water supply charge	Regular roof management	Energy charge	Sum	Production of water supply	Sewage treatment
		(won)						
Sum	5,435,562,921	3,263,962,099	450,826,705	706,473,475	2,106,661,920	2,171,600,822	519,011,726	1,652,589,096
1	160,710,430	96,503,851	13,329,356	20,887,930	62,286,565	64,206,579	15,345,347	48,861,233
2	320,001,343	95,651,455	13,211,621	20,703,432	61,736,403	63,639,458	15,209,805	48,429,653
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
39	5,321,859,189	68,885,586	9,514,651	14,910,050	44,460,884	45,831,413	10,953,689	34,877,724
40	5,435,562,921	68,277,137	9,430,611	14,778,354	44,068,172	45,426,595	10,856,938	34,569,657

Table 16. Cost-benefit analysis for LID application

Classification		10 years	20 years	30 years	40 years
Benefit	Cost (won)	1,990,000,000	2,559,000,000	3,079,000,000	3,555,000,000
	Sum (won)	1,545,000,000	2,958,000,000	4,252,000,000	5,436,000,000
	Private benefit (won)	928,000,000	1,776,000,000	2,553,000,000	3,264,000,000
	Social benefit (won)	617,000,000	1,182,000,000	1,699,000,000	2,172,000,000
B/C ratio		0.78	1.15	1.38	1.53
Cost recovery(yr)		15			

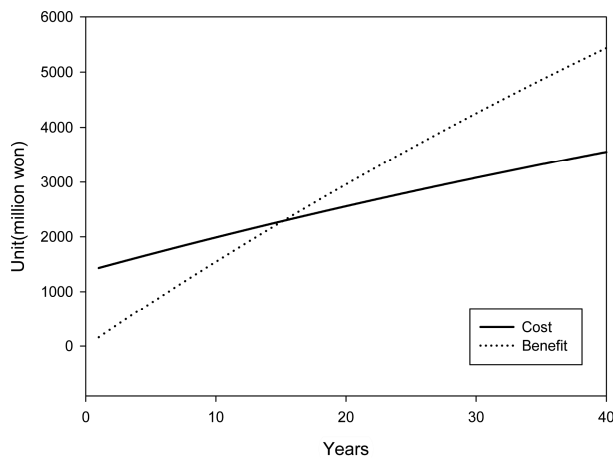


Fig. 6. B/C ratio for cost-benefit analysis.

총합하여 연차 진행에 따라 현재가치법으로 산정하였다. 미래가치  $FV$ 는 연차가 진행됨에 따른 유지관리비용을 적용하여 계산하였다. LID 기술 설치 이후 1년차부터 40년차의 비용에 대해 현재가치법 Eq. (3)으로 계산한 결과의 일부는 Table 14와 같다.

3.2.2 편익요인 분석

편익요인 산정에서 결정한 방안들을 기준으로 LID 기술 설치 이후 1년차부터 40년차까지 상하수도 요금 절감, 정기적 옥상 관리 비용 절감, 냉·난방 전기요금 절감에 따른 편익을 사적 편익과 사회적 편익으로 분류하여 Table 15에 정리하였다. 비용 산정 시의 현재가치법을 동일하게 적용하여 계산하였으나, 비용요인에서 산정한 초기 설치비에 대한 적용이 없으므로 1년차의 총 편익 금액은 적으나 연차가 진행됨에 따라 누적되는 금액이 큰 것으로 확인되었다.

3.2.3 비용-편익 종합 분석

총 분석기간은 철근콘크리트조의 내용연수 기간인 40년 까지 수행하였고, 매 10년에 대한 결과를 Table 16에 정리하였다. 각 년차에 따른 비용과 편익을 계산하여 편익/비용의 비율로 나타내었다. 친환경시범마을의 LID 적용에 따른 B/C Ratio 그래프는 Fig. 6과 같다. B/C ratio 비율이 1을 넘어서야 투자비용에 대한 회수가 이루어진다고 판단할 수 있고, 분석결과 15년이 지난 뒤에야 투자비용을 상회하는 편익을 갖는 것으로 나타났다.

4. Conclusion

건강한 도시 물순환을 위한 시민들의 관심이 높아지고 있다. 도시 물순환을 위한 국가사업이 확대 보급됨에 따라 시민들은 상대 지자체에서의 물순환 관련 지원 사업과 비교하며 사회적 지원을 요구하고 있다. LID 기술은 빠르게 도시에 스며들고 있으나, 실제 시민들이 개인적으로 얻을 수 있는 효과와 경제성에 대한 입증은 모호한 현실이다.

본 연구에서는 친환경시범마을을 대상으로 지구단위계획 시행지침에서 제시하고 있는 LID 기술의 적용이 대상지역 물순환에 미치는 영향과 비용편익을 분석하였다. LID 기술은 빗물통, 투수성포장, 침투트렌치를 적용하였으며, 2007년부터 2016년까지의 기상자료를 이용하여 장기유출분석을 수행하였다. 분석결과 LID 시설의 적용으로 인해 침투량 6.63%, 증발량 6.74%, 저류량 17.70%가 증가한 반면에, 표면유출은 31.07% 감소하여 기존의 개발 방식 보다 건강한 물순환 체계가 구축된 것으로 분석되었다.

LID 기술의 적용에 대한 투자비용을 편익과의 비교를 통해 사업성을 분석하였다. 비용요인으로는 빗물통, 투수성포장, 침투트렌치의 초기 설치비용과 유지관리비용을 고려하

였으며, 편익요인은 직접 편익인 사적 편익과 사회적 편익으로 분류하였다. 사적 편익으로는 상수도 사용액 절감 비용, 정기적 옥상관리 비용 절감, 냉·난방용 전기 요금 절감 등을 고려하였고, 사회적 편익으로는 상수도 생산원가와 하수처리비용 단가를 선정하였다. 40년간의 LID 기술 적용에 대한 비용-편익 분석을 수행한 결과, 15년의 회수기간이 선정되었다. 이는 LID 기술 설치 15년 이후부터 투자비용에 비하여 얻을 수 있는 편익비용이 크다는 것이며, 20년 이상의 내용연수를 가진 건물에서는 충분한 경제성을 가질 수 있는 것으로 판단하였다.

본 연구에서는 직접 비용과 직접 편익만을 고려하였고, 간접 비용과 간접 편익은 정량화가 어려운 변수들로 실제 금액과의 편차가 크기 때문에 근거가 불충분할 것으로 판단하여 산정 대상에서 제외하였다. 실제 비용-편익과 관련된 연구들에서는 간접 비용에 추가되는 금액은 적으나, 간접 편익으로 발생하는 금액의 비율은 상당히 높아 B/C ratio를 높이고 회수 년차를 앞당기는 것으로 확인되어, 추후 도시의 심미적 기능 향상, 그린 어메니티의 확보, 홍수 피해 저감 효과, 부동산 가치 향상 및 수질 개선 효과 등을 정량화 할 수 있다면 LID 기술의 적용에 대한 경제성을 보다 확보할 수 있을 것으로 기대한다.

## Acknowledgment

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 1615007273).

## Reference

- Baek, J. S., Kim, B. J., Lee, S. J., and Kim, H. S. (2017). A Study on Application of LID Technology for Improvement of Drainage Capacity of Sewer Network in Urban Watershed, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 33(6), 617-625. [Korean Literature]
- Jung, J. S., Park, Y. B., and Sohn, J. R. (2014). A Case Study of Life Cycle Cost Analysis on Pavements in Apartment Complex, *LHI Journal of the Land, Housing, and Urban Affairs*, 5(4), 297-303. [Korean Literature]
- Kang, T. U., Koo, Y. M., and Lee, S. J. (2015). A Study on Design Method and Effect Analysis of Rainwater Harvesting Facility for Efficient Use, *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 15(2), 353-361. [Korean Literature]
- Kim, D. H., Seo, H. J., and Lee, B. K. (2014). Method of Green Infrastructure Application for Sustainable Land Use of Non-urban Area : The Case Study of Eco-delta City, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 36(6), 402-411. [Korean Literature]
- Kim, H. S., Choi, J. Y., and Shin, E. H. (2014). Economic Analysis Based on the Type of Green Roof Initiatives, *Architectural Research*, 30(10), 159-167. [Korean Literature]
- Kim, J. H., Kim, H. S., Lee, D. J., and Kim, G. H. (2007). Analysis of Water Use Characteristics by Household Demand Monitoring, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 29(8), 864-869. [Korean Literature]
- Kim, J. H. and Yoon, H. Y. (2011). Economic Analysis and Energy Reduction by the Types of the Green Roof, *Seoul Studies*, 12(2), 125-140. [Korean Literature]
- Ko, H. B., Choi, H. N., Lee, Y. K., and Lee, C. Y. (2016). Analysis on the Water Circulation and Water Quality Improvement Effect of Low Impact Development Techniques by Test-Bed Monitoring, *Journal of the Korean Geo-Environmental*, 17(5), 27-36. [Korean Literature]
- Koo, Y. M. and Seo, D. I. (2017). Parameter Estimations to Improve Urban Planning Area Runoff Prediction Accuracy Using Stormwater Management Model (SWMM), *Journal of Korea Water Resources Association*, 50(5), 303-313. [Korean Literature]
- Lee, D. C. (2016). Restoration of Water Cycle by a Rainwater Management System Applied to Low Impact Development (LID), *Ecology and Resilient Infrastructure*, 3(2), 130-133. [Korean Literature]
- Lee, J. M., Hyun, K. H., Lee, Y. S., Kim, J. G., Park, Y. B., and Choi, J. S. (2011). Analysis of Water Cycle Effect by Plan of LID-decentralized Rainwater Management Using SWMM-LID Model in a Low-carbon Green Village, *LHI Journal of the Land, Housing, and Urban Affairs*, 2(4), 503-507. [Korean Literature]
- Lee, J. M., Lee, Y. S., and Choi, J. S. (2014). Analysis of Water Cycle Effect according to Application of LID Techniques, *Journal of Wetlands Research*, 16(3), 411-421. [Korean Literature]
- Lee, S. W. and Kim, R. H. (2016). Study of Benefit Characteristics for Low Impact Development (LID) Facilities demonstrated in Seoul Metropolitan, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 38(6), 299-308. [Korean Literature]
- Lee, W. B., Kim, J. H., Kang, S. I., Jeong, H. C., Moon, H. S., and Hyun, C. T. (2012). Installation Criterion for Rainwater Harvesting Facilities of Multi-Family Housings using Cost-Benefit Analysis, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 28(10), 121-130. [Korean Literature]
- Ministry of Land, Transportation Maritime Affairs (MLTMA). (2011). *Certificate Regulation of Environmentally-friendly Building*, Ministry of Land, Transportation Maritime Affairs. [Korean Literature]
- Ministry of Strategy and Finance (MSF). (2011). *Enforcement Regulations of Corporate Tax Act*, Ministry of Strategy and Finance. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (ME). (2015). *The Water Statistics*, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Park, J. Y., Lim, H. M., Lee, H. I., Yoon, Y. H., Oh, H. J., and Kim, W. J. (2013). Water Balance and Pollutant Load Analyses according to LID Techniques for a Town Development, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 35(11), 795-802. [Korean Literature]
- Statistics Korea (SK). (2017). *Korean Statistical Information Service (KOSIS)*, <http://kostat.go.kr/>(accessed Oct. 2017).
- Suh, J. H. and Lee, I. K. (2013). The Water Circulation Improvement of Apartment Complex by applying LID Technologies - Focused on the Application of Infiltration Facilities -, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, 41(5), 68-77. [Korean Literature]
- The Bank of Korea. (2017). *Economic Statics System (ESS)*, <http://ecos.bok.or.kr/>(accessed Oct. 2017).