LID 표준 조합 Set 및 계획모델 개발

Development of LID Standard Combination Set and Planning Model

김형산* · 이상진** · 백종석*** · 박상권**** · 신현석*****

Kim, Hyungsan*, Lee, Sangjin**, Baek, Jongseok***, Park, Sangkwon****, and Shin, Hyunsuk*****

Abstract

Recently, in Korea, various efforts are being made by local governments and national ministries to restore the sustainable water cycle of the city. Waterfront water cycle is designed to introduce the concept of LID (Low Impact Development) for build a water cycle system but there are many difficulties due to lack of detailed planning and design methods. In this study, the commission developed GIS based planning model for convenient and efficient analysis of LID design and application according to the land use plan. A combined set of element technology has developed according to the land use and system was constructed by DB technology designed in Korea. The LID element technology provide efficient performance, relatively low construction cost and able to provide the information necessary for business development by utilizing the effect analysis results of LID technology. The module developed in this study is expected to be used for applying new LID technology and in existing redevelopment complex.

Key words : LID Standard Combination Set, Water Cycle City, Planning Model, SWMM

요 지

최근 국내에서는 도시의 건전한 물순환을 회복하고자 하천중심의 물순환 수변도시 조성을 위해 지자체와 국가부처에서 여러 노력을 기울이고 있다. 물순환 수변도시는 물순환 시스템 구축을 위해 LID (Low Impact Development) 개념을 도입하도록 하고 있으나, 구체적인 계획 및 설계지침이 부재하여 LID 적용시 많은 어려움을 겪고 있다. 본 연구에서는 토지이용계획에 따른 LID 설계 및 적용효과 분석을 편리하고 효율적으로 수행하기 위해 GIS기반의 계획모델을 개발하였다. 토지이용도에 따른 LID 표준 조합 Set을 개발하였으며, 국내 개발되어있는 기술을 DB화하여 시스템을 구축하였다. LID 요소기술별 성능효율 및 개략적인 공사비 등의 정보를 제공하도록 개발하였으며, LID 기술 적용에 따른 효과분석 결과를 활용하여 단지사업개발에 필요한 정보를 쉽게 제공할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 개발된 모듈은 향후 신규 단지개발과 더불어 기존의 재개발단지의 LID 기술을 적용하는데 유용하게 사용될 것이라 생각한다.

핵심용어 : LID 표준 조합 Set, 물순환 도시, 계획모델, SWMM

*정회원, 한국수자원공사 K-water융합연구원 위촉선임연구원(E-mail: hskim@kwater.or.kr)

Member, Postdoctoral Research Associate, K-water Convergence Institute, K-water

**교신저자, 정회원, 한국수자원공사 K-water융합연구원 책임연구원(Tel: +82-42-870-7402, Fax: +82-42-870-7499, E-mail: sjlee@kwater.or.kr)

Corresponding Author, Member, Principal Researcher, K-water Convergence Institute, K-water

***정회원, 한국수자원공사 K-water융합연구원 위촉연구원

Member, Researcher, K-water Convergence Institute, K-water

****한국수자원공사 K-water 설계처 차장

Senior Manager, Engineering Department, K-water

*****정회원, 부산대학교 사회환경시스템공학과 교수

Member, Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University

1. 서 론

도시 집중화에 따른 불투수면적의 증가는 도시의 물순환 왜곡을 발생시켰으며, 이러한 문제를 해결하고자 서울시, 수원시 등 지자체와 국토교통부 및 환경부에서도 도시의 건전한 물순환을 회복하기 위해 여러 노력을 기울이고 있다. 이러한 노력과 더불어 도심지역의 수변공간에 대한 시민들의 요구가 증가하고 있으며, 이를 바탕으로 국가하천의 주변 지역을 체계적이고 계획적으로 조성하기 위한 “친수구역 활용에 관한 특별법”이 제정되어 물순환이 이루어지는 친환경적인 수변도시 조성에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히 “친수구역 조성 지침”에서는 국가하천 주변의 지속가능한 개발을 통하여 국토발전이 종합적으로 이루어지도록 토지이용계획서 저영향개발기법(Low Impact Development, LID)을 적용하도록 기본방향을 수립하였다. 이러한 LID 기법과 관련하여 국외의 경우 이미 80년대에 LID 시설에 대한 효과와 영향분석, 저류를 위한 시스템모형 등의 연구가 수행되어 왔다. Smith and Bedient (1980)는 저류시설의 크기와 위치가 도시구역 하류부 홍수량에 미치는 영향을 분석하였으며, Mays and Bedient (1982)는 LID 시설 설치에 따른 비용-효과를 최적화하는 동적프로그래밍을 통해 저류시설의 최적 설치위치, 크기, 비용결정 등을 결정하는 방안을 제시하였다. 또한, Bennett and Mays (1985)는 도시지역의 배수 시스템 설계 및 저류시설 배치를 위한 최적화모형을 구축하였으며, Ormsbee et al. (1987)은 저류시설과 방류구조물의 용량과 위치를 결정하는 알고리즘을 개발하였다. 이와 같이 국외에서는 이미 LID 시설에 대한 용량, 위치 등의 결정과 운영을 위한 다양한 연구가 수행되어 왔다.

반면 국내의 경우 실험을 기반으로 한 LID 시설 효과검토가 우선되어져 왔다. Yeo et al. (2000)은 실시간 현장계측시스템(F-DAS, Field-Data Acquisition System)을 통해 취득한 실측자료를 이용하여 침투집수정과 일반집수정의 유출저감 효과를 비교·분석하였으며, Choi et al. (2003), Choi et al. (2004), Sim et al. (2004)은 현장계측 및 실험을 통해 LID 시설의 저류효과를 분석하여 도시화에 따른 유출증가량을 저감하는데 LID 시설이 효과적이라는 결론을 도출하였다. 이후, Im et al. (2007)은 수리모형실험을 통해 운동장, 도로, 공원 등 토지이용에 따른 강우조건별 LID 시설의 효과분석 연구를 수행하여 저류시설 중심의 효과분석 외에 LID 시설의 유출저감효과를 검증하였다. 모형개발에 대한 연구로는 Jeon et al. (2009)은 LID 기법의 설계 및 평가를 위해 토지이용별 수문학적 토양군과 선행함수를 고려한 CN (Curve Number) 기반의 LIDMOD 유출량 추정식을 도출하고, 개발 전후의 유역에 적용하여 LID 기술의 유출 개선 효과를 분석하였으며, Woo et al. (2012)는 도시 및 비도시 유역의 LID 기법 분석을 위하여 SWAT (Soil and Water Assessment Tool)과 SWMM (Storm Water Management Model)의 연계모형을

개발하여 LID 기술 적용에 따른 유출량 저감 효과를 분석하였다. Son et al. (2017)은 LID 지구단위계획에 의사결정 기준을 제시할 수 있는 모형인 LID-DP (based District unit Planning)를 개발하여 개발 전후의 비점오염원과 유출량의 변화를 분석하였으며, 구조적 기술에 비하여 비구조적 LID 기술이 환경적 편익 효과가 더 뛰어나다는 점을 강조하였다.

최근 국내에서는 LID 기술의 현장 적용과 모니터링 분석 등 실제 시공사례와 관련된 연구가 진행되고 있다. Lee et al. (2015a), Lee et al. (2015b)은 신도시 유역을 대상으로 최적 LID 기법을 선정하고 적정규모를 제안하였으며, 모니터링을 통해 테스트베드에 적용한 LID 기술의 오염원 및 유출량 저감 효과를 제시하였다. Lee (2016)는 LID 기술 적용 단지를 대상으로 도시 개발 이전의 수문상태를 일반적인 개발 이후 상태와 LID 기법을 적용한 개발 이후의 상태를 각각 비교하여 LID 기술 적용이 개발 이전 상태로의 물순환 복원 효과가 있음을 제시하였다. Ko et al. (2016)은 LID 기술이 실제 적용되는 단지의 일부에 시범 단지를 조성하여 표면적 및 시설용량과 유역면적간의 비율에 따른 LID 요소 기술의 물순환 및 수질개선 효과를 정량적으로 분석하였으며, Baek et al. (2017)은 도시지역의 우수관거 설계시 LID 시설의 설치를 통하여 홍수량을 저감시킬 수 있는 LID 시설의 용량 및 비율을 산정하였다.

이처럼 LID 기술에 대한 연구는 증가하고 있으나 현장 적용은 초기단계로 LID가 적용된 국내 사례가 적고, 구체적인 계획 및 위치선정 등의 설계방안이 미흡하여 LID 설계시 많은 어려움을 겪고 있다. 현재까지 LID 설계에 필요한 시설의 배치 및 운영 등의 결정을 지원하기 위한 모형으로는 EPA (Environmental Protection Agency)-SWMM, XP-SWMM 등이 있으나, 우리나라 현장에서 적용되고 있는 LID 시설과 모형을 통해 적용 가능한 시설이 상이하여 모형사용에 한계성이 있다. 또한 이러한 프로그램들도 LID 시설의 위치 선정, 토지이용 등에 따른 적용 가능한 LID 시설 등을 제시하지는 않고 있으며, 현재 실무에서 사용되고 있는 LID 관련 프로그램들은 현장에서 실제 사용되고 있는 LID 시설물을 반영하기 어렵거나, 적용 절차가 복잡하여 관련분야에 대한 전문적인 지식이 없는 사용자는 사용하기 어려운 한계가 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 토지이용계획에 따른 LID 설계 및 적용효과 분석을 편리하고 효율적으로 수행하기 위해 GIS기반의 계획모형을 개발하였다.

2. LID 표준 조합 Set 및 계획모델 개발

2.1 LID 요소기술 조합 Set 개발

본 연구에서는 LID 설계에 적용할 수 있도록 토지이용계획에 따른 표준 LID 표준 조합 Set을 개발하였다. 개발된 LID 요소기술 조합 Set은 “우수유출저감대책 세부수립 기준”에 수록된 작성 절차를 준수하였으며, 단지개발시 필요한

토지이용에 대해 작성하였다. 표준 조합 Set 개발은 주요계획 시설의 현황조사 및 분석, LID 설치가능시설 도출, 체크리스트 작성을 통하여 표준 LID 요소기술 조합 Set을 작성하는 과정으로 분석을 수행하였다.

2.1.1 주요계획시설 조사 및 설치가능시설 도출

주요계획시설은 개발단지의 토지이용계획을 분석하여 주거, 숙박, 근린생활, 교통, 공간, 유통공급, 공공문화체육, 방재, 보건위생, 환경기초시설로 분류하였으며, 시설구분에 따라 주요계획시설 현황을 조사하고 주요계획시설 중 LID 요소기술의 설치가 가능한 시설을 채택하였다. 또한 표준 토지이용현황을 분석하기 위해 동탄, 검단, 일산 등 신도시 사례를 검토하여 주거시설, 교통시설 등의 표준 토지이용을 조사하여 설치 가능 시설별 표준 토지이용을 분석하였다. 분석결과 중 동탄신도시의 학교시설에 대하여 분석한 결과는 Table 1과 같다.

Table 1의 표준 토지이용 조사 결과를 토대로 토지용도 시설별 표준 토지이용을 Fig. 1과 같이 도식화 하였고, 토지용도 시설별 표준 토지이용은 표준 LID 요소기술 조합 Set 작성에 기본 자료로 활용하였다. 분석결과 학교의 표준 토지이용과 동일한 시설은 공공청사, 하수처리시설, 청소 연수원시설 등으로 구분되었으며, 문화시설의 표준 토지이용과 동일한 시설로는 사회복지시설 등이 있는 것으로 나타났다.

설치 가능한 토지용도 시설별 표준 토지이용을 조사하여 토지이용별 적용가능한 모든 LID 요소기술을 선정하고 토지용도 시설별, 토지이용별 적용가능한 LID 체크리스트를 작성하여 LID 요소기술 조합 Set에 반영되도록 설계하였다.

Fig. 1. LID Element Technology Combination Set (School)

2.1.2 표준 LID 요소기술 조합 Set

계획여건 및 계획수립자의 의견수렴 등을 고려하여 작성된 LID 체크리스트를 기반으로 도로(1, 2, 3), 주차장, 보도, 공원, 녹지, 학교, 문화시설로 구성된 9개의 토지용도 시설별 표준 LID 요소기술 조합 Set을 개발하였다. 개발된 조합 Set 중 학교, 공원, 문화시설, 도로 및 보도에 대한 토지용도별 LID 요소기술 Fig. 2와 같다. 토지용도별 각각의 시설을 구성하는데 있어 적용 가능한 요소기술을 선택하여 적용할 수 있도록 개발하였다.

Fig. 2. LID Standard Combination Set

Table 1. Standard Area of the Detail Components and Ratio in Dongtan New Town

Division	Hakdong School		Seokwoo School		Dongtan School		Average	
	Area (m ²)	Ratio (%)	Area (m ²)	Ratio (%)	Area (m ²)	Ratio (%)	Area (m ²)	Ratio (%)
Total Area	10,000	100.00	11,250	100.00	15,000	100.00	12,083	100.00
Building	3,310	33.10	3,400	30.22	3,000	20.00	3,237	26.79
Playground	2,600	26.00	3,200	28.44	3,380	22.53	3,060	25.32
Roads/Parking	2,220	22.20	1,960	17.42	2,860	19.07	2,347	19.42
Green fields	1,870	18.70	2,690	23.91	5,260	35.07	3,273	27.09
Sidewalk	0	0.00	0	0.00	500	3.33	167	1.38

2.2 LID 요소기술 Data Base 구축

현재 국내에서 적용할 수 있는 LID 요소기술이 다양하게 존재하고 있으나 기관별로 용어 및 분류기준이 상이한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 국내 개발되어 있는 LID 요소기술의 지칭용어를 통일하고 분류하여 DB (Data Base)를 구축하였다. LID 요소기술 DB 구축을 위해 모듈 및 기능구성, 분석결과 필요한 입력변수들을 고려하여 DB 항목을 Table 2와 같이 설정하였다. DB는 기본적으로 총 21개의 요소기술을 기준으로 하여 각 요소당 실제적으로 설치할 수 있는 시설을 조사하여 구성하는 것으로 하였으며, 요소기술의 비점오염원 저감량, 규격, 처리용량 등에 대해 조사를 수행하였다.

Table 2. Data Base List

List	Description
Reduction of non-point source pollutant	SS, T-N, T-P, BOD, Minerals, Oil, COD, Reduction of heavy metal
Size	Width, length, height, area, outer and inner diameter
Treatment capacity	Total capacity and capacity per hour
Storage capacity	Total capacity and capacity per area
Cost	Cost per unit(Unit cost)
Company	Company name
Names by company	Name used by company
Version	Version of the market of facilities
Runoff reduction	Runoff reduction
Infiltration	Infiltration of facilities
Hydraulic conductivity	Hydraulic conductivity of facilities
Image	Actual image of facilities

LID 요소기술은 LID 요소기술 설계지침(K-water, 2012a), 수변구역 LID 적용 마스터플랜수립(K-water, 2012b), 저영향개발 기술요소 가이드라인(ME, 2013) 등의 지침과 가이드라인에 대해 조사 및 분석을 통해 LID 요소기술 지칭용어를 통일하였으며, 이를 통해 8개의 대분류와 21개의 소분류로 구분하였다. 또한 “비점오염저감시설 정보관리시스템(<http://npplid.hecsystem.com/user/intro.do>)”의 LID 시설물 정보를 연계하기 위해 44개 제품에 대해 조사 및 분석을 수행하였으며, 적용 가능한 시설을 선정하여 DB에 추가하였다.

분류를 통해 구분된 LID 요소기술은 Table 3과 같다. 8개 대분류의 경우 식생체류지, 옥상녹화, 빗물정원, 투수성 포장, 침투트렌치, 빗물통, 식생수로, 기타로 구분하였으며, 기타의 경우 시스템 기작으로 분류되지 않고 비점오염처리만을 목적으로 하는 시설로 기타를 제외한 7개의 시설은 계획모형에서 적용이 가능하도록 개발하였다. 21개 소분류에 대한 LID 요소기술은 총 312개로 분석되었으며 이를 바탕으로 DB를 구축하였다.

Table 3. LID Element Technology DB

No.	LID element technologies		Number of DB
	Major categories	Sub-categories	
1	Bio retention	Stormwater pond	2
2		Bioretention	1
3		Tree box filter	1
4		Infiltration planter	1
5		Stormwater wetland	7
6		Infiltration basin	1
7	Green roof	Green roof	8
8	Rain garden	Rain garden	2
9		Riparian buffers	16
10	Porous pavement	Porous pavement	91
11		Water-retentive pavement	1
12	Infiltration trench	Infiltration trench	16
13		Infiltration channel	3
14		Infiltration chamber	3
15	Rain barrel	Rainwater harvesting system	6
16		Rainwater harvesting device	3
17		Underground storage tank	3
18	Vegetated swale	Vegetated swale	7
19	Etc.	Manufactured reduction system	1
20		Manufactured filtering system	73
21		Porous infiltration pipe	66
Total	8	21	312

최종적으로 구축된 LID 요소기술에 대한 DB 구축결과는 Fig. 3과 같다. DB관리에서 LID 요소기술별 제품에 대한 상세제원과 사진을 제공하도록 개발하였으며, 21개의 요소기술에 대한 정보를 확인 가능하도록 하였다.

Fig. 3. Construction of Final DB

2.3 사업비 산정 및 비용-효과분석 모듈개발

LID 요소기술을 적용하여 설계를 실시할 경우 발생할 수 있는 사업비는 설계시 중요한 요소로 사업비 산정 및 효과분석은 반드시 필요한 요소 중 하나이다. 본 연구에서는 LID 시설 설치관련 비용뿐만 아니라 재료비, 노무비, 경비를 고려하여 사업비 산정에 필요한 모듈을 개발하였다.

사업비 산정 기준 분석을 위해 “비점오염저감시설(국고 보조사업)의 설치 및 관리지침”을 분석하였으며, 표준품셈을 기초로 원가를 산정하는 원가계산방식 적용을 위해 원가 계산서 관련 국내의 자료 수집 및 분석하고, LID 요소기술에 대한 설계내역을 조사하였다. 사업비 산정항목에 대한 분석결과 LID 관련사업은 주로 토공, 구조물공, 관로공, 부대공, 전기공사, 조경공사, 기계공사, 포장공사, 모니터링, 저류시설, 가시설, 전처리시설, 부대시설, 유입·유출시설 설치비용 등으로 구성되는 것으로 나타났으며, LID 관련 사업뿐만 아니라 기타 사업 등에 대한 사업비 산정 기준의 추가 보완을 통해 사업비 산정 모듈을 개발하였다. 향후 정확한 사업비 산정을 위해서는 LID 요소기술별 설계내역서의 자료 획득 및 일위대가와 단가산출 등에 대한 분석이 필요할 것이라 판단한다.

사업비 산정 모듈은 LID 시설의 배치 우선순위 선정시 사용자의 중요도에 따라 유출저감률, 비점오염저감률, LID 적용률 및 사업비에 대한 가중치를 조정할 수 있도록 하였으며, 비교하고자 하는 결과만을 표시하여 그래프에 표출할 수 있도록 비용-효과분석 모듈을 Fig. 4와 같이 개발하였다.

Fig. 4. Cost-effectiveness Analysis

2.4 계획모델 개발

LID 표준 조합 Set과 구축된 DB, 사업비 산정 및 비용-효과 분석 모듈을 적용하여 국내 사정에 적합한 토지이용계획에 따른 LID 설계 및 효과분석을 수행할 수 있는 GIS기반의 계획모형을 개발하였다. 모형은 토지이용계획 기반의 LID 시설배치 및 분석에 특화된 모델로서 실무에서 사용되고 있는 LID-Data를 기반으로 LID 표준 조합 Set과 LID 요소기술을 간편하게 적용할 수 있도록 개발하였다. 우수유출량 및 저감효과는 다수의 연구를 통해 적합성이 입증된 EPA-SWMM 5.1 모형의 엔진을 이용하여 산정하며, 기존 EPA-SWMM에서는 구현할 수 없었던 GIS 화면을 구축하여 가시성과 사용자의 편의성을 높였다.

개발된 모형은 대상지역의 LID 시설 설치 타당성 및 효율적인 배치를 위한 사전 모의 프로그램으로 시스템의 기본적인 프로젝트 생성 및 저장 등 정보관리 기능과 입력된 지형 및 강우 자료의 리스트 표출 기능, 사업지구의 취약성 분석결과 표출 기능을 수행한다. 또한 시스템의 주요 목적인 LID 시설 배치 및 규모설정, LID 시설 배치 전, 후 유출량저감 분석결과 표출 등이 가능하다. 모형의 흐름도는 Fig. 5와 같다.

Fig. 5. Flow Chart

3. 모형의 적용

개발된 모형의 적용성을 판단하기 위하여 부여 규암지구를 연구 대상지역으로 선정하였다. 부여 규암지구는 백제문화단지와 연계한 수상 레포츠시설 등 체험시설과 중저가형

숙박시설 등의 체류형 관광시설을 조성할 계획이 있는 지역이다. 토지이용계획상 불투수면적 비율이 증가하는 시설들이 개발 방향에 포함됨에 따라 LID 요소기술 적용에 따른 효과를 적용하기에 적합한 대상유역으로 판단하였고, 모형의 기능구현 검토를 통해 향후 발전방향에 대한 시사점을 도출하였다.

3.1 대상지역 개요

대상지역은 충청북도 부여군 구암면 호암리 일원으로 전면에는 금강과 백제역사재현단지에 인접해 있으며 연구 대상지역의 위치는 Fig. 6과 같다.

Fig. 6. Study Area

Table 4. Landuse Plan for Development Both Before and After

Before development		
Landuse	Area (m ²)	Ratio (%)
Filed	9,921	8.8
Paddy	45,838	40.7
Forest	30,271	26.8
Barren land	6,678	5.9
Road	6,760	6.0
Etc.	13,291	11.8
Total	112,759	100.0
After development		
Landuse	Area (m ²)	Ratio (%)
Accommodations	30,003	26.6
Recreational · cultural	23,249	20.6
Exercise · leisure	10,775	9.6
Commercial facilities	5,123	4.5
Public facilities	43,609	38.7
Total	112,759	100.0

개발전 사업대상지는 대부분 농경지 및 산지로 이용되고 있어 투수면적비율이 불투수면적비율 17.8%에 비해 높은 상태이나, 개발후 공공시설용지의 공원·녹지를 제외하고 대부분 건축물, 도로, 주차장등의 불투수면적을 가지는 시설들이 예정되어 개발후 불투수면적비가 73.2%로 개발전보다 약 55%가 증가하여 유출량의 증가가 예상되는 지역이다 (Table 4). 토지이용계획에 따른 주요시설은 숙박시설, 휴양·문화시설, 운동·오락시설, 상가시설 및 공공시설이 계획되어 있다.

3.2 모형적용 및 결과

3.2.1 모형구축

모형에서 기초자료를 입력하는 방법은 EPA-SWMM과 같이 사용자가 화면에 직접 유역 및 관망체계 기능을 이용하여 입력하는 방법과 미리 작성된 토지이용계획도 및 관망도의 데이터를 추출하여 입력하는 방법으로 구분할 수 있다. 본 연구에서 적용하는 기초자료입력 방법은 부여군암지구 기본계획보고서(K-water, 2013)에 따라 구축된 토지이용계획도 및 관망체계(link, node) 설계도(shp 파일)를 불러오는 방법으로 모형을 Fig. 7과 같이 구축하였다.

Fig. 7. Input Basic Information

관망체계, 설계도를 포함한 기초자료 외 유출분석에 필요한 설계강우는 대상유역에 인접해 있는 부여관측소의 확률강우량을 산정하여 적용하였다. 재현기간은 “사전재해영향성검토 협의제도”의 저류지 등 영구구조물 설계빈도인 50년을 적용하였으며, 지속기간은 강우유출량을 전량 저감하지 않고 전체 유출량 중 일부를 분담 저감시키는 동시에 비점오염원 부하저감을 고려하여 1시간을 적용하였다. 부여관측소의 재현기간 50년, 지속시간 1시간에 해당하는 강우량은 91.45 mm로 분석되었으며, 강우분포는 확률강우량도 개선 및 보완연구(MLTMA, 2011)의 결과를 바탕으로 3분위를 적용하였다.

3.2.2 LID 요소기술 적용

토지이용에 따른 LID 요소기술을 적용하기 위해 본 연구

에서 개발한 LID 표준 조합 Set을 이용하였다. LID 요소기술은 부여구암지구 전체면적 112,759 m²의 29%에 해당하는 도로 및 상업용지 지역에 적용하였다. 이 지역은 개발후의 불투수면적이 높은 지역으로 도로로 계획되어 있는 지역의 경우 ‘도로 type 1’의 표준 set을 적용하였으며, 상업용지의 경우 ‘문화시설’ 표준 set을 Fig. 8과 같이 적용하였다. 도로의 경우 투수성포장을 적용하고 문화시설은 옥상녹화, 빗물이용시설 및 투수성포장등을 Table 5와 같이 적용하였다.

Fig. 8. Application of LID Element Technology

3.2.3 분석결과

연구 대상지역을 바탕으로 개발후 불투수율이 높은 도로와 상업용지에 표준 LID 요소기술 조합 Set을 배치하여 개발된 모형의 기능구현을 검토하였다. 도로의 경우 7,300 m²의 면적중 17.5%에 투수성포장을 적용하였으며, 상업용지 24,900 m²의 8.4%에 해당하는 지역에는 옥상녹화, 빗물이용시설 및 투수성포장을 적용하였다. 최종적인 LID 요소기술의 적용비율은 전체 연구대상지역 면적의 10.5%가 적용되었다.

표준 LID 요소기술 조합 Set을 적용하여 분석한 결과는 Table 6과 같다. LID 요소기술의 적용전 대비 침투유출은 약 11.5%, 유출총량은 약 10.6%가 저감되는 것으로 나타났다.

으며, LID 요소기술 설계모듈과 연계모듈이 정상적으로 구현되고 있는 것으로 확인되었다. 또한, 사업비 산정 부분에 있어서도 DB에 일부 탑재되어 있는 개략적인 금액으로 재료비, 노무비 및 경비등이 산정되었으며, 본 연구에서 적용되어진 요소기술의 사업비 총액은 815,144천원으로 분석되었다.

Table 6. Result for LID Application

Classification	Before LID application	After LID application	Reduction rate (%)
Peak runoff (m ³ /sec)	4.42	3.91	11.54
Total runoff (m ³)	8,231	7,363	10.55
Total cost (won)	-	815,144,000	-
Material cost	-	198,764,000	-
Labor cost	-	473,920,000	-
Overhead cost	-	142,460,000	-

본 연구에서는 도시개발지역의 개발 전후 토지이용계획도를 바탕으로 연구를 수행하였기 때문에 모형의 검증 및 보정에 대한 연구를 수행할 수 없는 한계가 있었으나, 현재까지 개발되어 있는 각각의 기술들이 모형에서 적용되어 분석되는 것을 확인하였다. 향후 모형의 검 · 보정과 더불어 DB와 각각의 요소기술의 효율성에 대한 연구가 추가적으로 이루어져 모형의 기반이 다져진다면, 국내 LID 기술을 적용할 수 있는 합리적인 모형으로 사용될 것으로 판단한다.

Table 5. LID Element Technology Input Parameter

Landuse	Subcatchments	Area (m ²)	LID standard combination set	LID application	LID application ratio (%)
Road	s31	1,600	Road1(road)	Porous pavement	20.0
	s33	2,000	Road1(road)	Porous pavement	16.0
	s34	1,900	Road1(road)	Porous pavement	16.8
	s35	1,800	Road1(road)	Porous pavement	17.8
Land for commercial	s21	1,700	Cultural facilities (Building)	Green roof	50.0
			Cultural facilities (Building)	Rainwater harvesting system	50.0
	s30	23,200	Cultural facilities (Building)	Green roof	5.0
			Cultural facilities (Building)	Rainwater harvesting system	25.0
			Parking lot (Building)	Porous pavement	8.0
Total		32,200	-		10.5

4. 결 론

본 연구에서는 국내 개발사업에서 주로 적용되고 있는 토지이용계획에 따른 LID 설계 및 적용효과분석을 효율적으로 수행하기 위해 GIS기반의 LID 표준 조합 Set 및 계획모델을 개발하였으며 결과는 다음과 같다.

도로, 주차장, 보도, 공원, 녹지, 학교 및 문화시설로 구성된 9개의 토지용도에 따른 LID 표준 조합 Set을 개발하여 전문적인 지식이 없는 사람들도 프로그램을 활용하여 쉽게 LID 시설을 적용하여 분석할 수 있도록 하였다.

현재까지 국내에서 개발되어있는 LID 요소기술을 분석하여 8개의 대분류와 21개의 소분류로 구분하였으며 312개의 DB를 구축하였다. 구축된 DB를 활용하여 LID 요소기술별 성능효율 및 개략적인 공사비 등의 정보를 제공하도록 개발하였으며, LID 기술 적용에 따른 효과분석 결과를 활용하여 단지사업개발에 필요한 정보를 쉽게 제공할 수 있도록 하였다.

개발된 계획모델을 부여 규암지구를 대상으로 토지이용에 따른 LID 시설의 전후 유출분석 및 공사비를 산정한 결과 LID 요소기술 설계모델과 연계모델이 적정하게 구현되고 있는 것으로 확인되었다.

향후 모형의 검·보정과 더불어 DB 및 LID 요소기술의 효율성에 대한 연구가 추가적으로 이루어진다면 국내 신규 단지개발과 더불어 기존의 재개발단지의 LID 기술을 적용할 수 있는 가장 합리적인 모형으로 적용되어 질 것이다. 앞으로 지속적인 LID 요소기술 DB 업데이트와 더불어 계획모델을 활용한 다양한 사례분석 및 연구를 진행하여 모형의 신뢰성을 지속적으로 확보해 나갈 예정이다.

감사의 글

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

References

- 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*, Vol. 33, No. 6, pp. 617-625.
- Bennett, M.S., and Mays, L.W. (1985) Optimal Design of Detention and Drainage Channel System. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 111, No. 1, pp. 99-112.
- Choi, G.Y., Choi, J.Y., and Jo, J.B. (2003) Analysis of the Effluent Reduction Effect in Accordance with the Surface State of Rainwater Harvesting Equipment. *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*, pp. 298-292.
- Choi, G.Y., Choi, J.Y., and Kim, S.B. (2004) Development of the Sub-soil Storage System for Utilization Urban Instream Flow of Rainfall Runoff. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 37, No. 2, pp. 163-172.
- Im, J.H., Song, J.W., Park, S.S., and Park, H.S. (2007) An Experimental Study on Infiltration Characteristics of Facilities for Reducing Runoff Considering Surface Materials According to Housing Lot Developments. *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, No. 8, Vol. 5, pp. 47-55.
- Jeon, J.H., Choi, D.H., and Kim, T.D. (2009) LIDMOD Development for Evaluating Low Impact Development and Its Applicability to Total Maximum Daily Loads. *Journal of Korean Society on Water Quality*, Vol. 25, No. 1, pp. 58-68.
- 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 Society*, Vol. 17, No. 5, pp. 27-36.
- K-water (2012a) *Design Guidelines for LID Element Technology*.
- K-water (2012b) *Mater Plan for LID Application in Waterfront Area*.
- K-water (2013) *Schematic Design Report in Buyeo Gyuam District*.
- Lee, D.C. (2016) Restoration of Water Cycle by a Rainwater Management System Applied to Low Impact Development (LID). *Ecology and Resilient Infrastructure*, Vol. 3, No. 2, pp. 130-133.
- Lee, J.M., Lee, Y.S., Choi, J.S., and Kang, S.U. (2015a) A Study on the Application and Effect Analysis Monitoring of LID Technique in New Town City (I) LID Technique Selection and Optimum Size Estimate. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 15, No. 5, pp. 291-299.
- Lee, J.M., Lee, Y.S., Kim, Y.C., and Kim, L.H. (2015b) A Study on the Application and Effect Analysis Monitoring of LID Technique in New Town City (II) LID Practice Facilities Effect Analysis Monitoring. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 15, No. 5, pp. 301-310.
- Mays, L.W., and Bedient, P.B. (1982) Model for Optimal

- Size and Location of Detention. *Journal of Water Resources Planning and Management Division*, ASCE, Vol. 108, No. 3, pp. 270-285.
- ME (Ministry of Environment) (2013) *Guidelines for LID Element Technology*.
- MLTMA (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs) (2011) *Study on Improvement and Supplement of Probability Rainfall*.
- Ormsbee, L.E., Delleur, J.W., and Houck, M.H. (1987) Design of Stormwater Detention Basins for Multiple Design Frequencies. *Journal of Hydraulics Engineering*, Vol. 113, No. 5, pp. 601-614.
- Sim, J.H., Lee, C.K., Lee, J.K., and Kim, J.Y. (2004) Analysis on the Effect of Infiltration Collector Well Installation on the Water Control. *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*, pp. 298-302.
- Smith, D.P.Jr., and Bedient, P.B. (1980) Detention Storage for Urban Flood Control. *Journal of Water Resources Planning and Management Division*, Vol. 106, No. 2, pp. 413-425.
- Son, C.H., Hyun, K.H., Kim, D.H., Baek, J.I., and Ban, Y.U. (2017) Development and Application of a Low Impact Development(LID)-based District Unit Planning Model. *Sustainability*, Vol. 9, No.1, pp. 145-162.
- Woo, W.H., Ryu, J.C., Moon, J.P., Jang, C.H., Kum, D.H., Kang, H.W., Kim, K.S., Lim, K.J. (2012) Development of Coupled SWAT-SWMM to Evaluate Effects of LID on Flow Reduction in Complex Landuse. *Journal of Korean Society on Water Environment*, Vol. 28, No. 4, pp. 495-504.
- Yeo, W.K., Lee, J.K., Shim, J.H., and Kim, J.S. (2000) Effectiveness of Infiltrative Manhole for Runoff Reduction in Urban Catchments. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, No. 20, Vol. 6, pp. 795-800.

Received	October 30, 2017
Revised	November 1, 2017
Accepted	November 20, 2017