SWMM-LID를 이용한 상습침수유역 내 유출저감효과 분석

An Analysis of Runoff Mitigation Effect Using SWMM-LID Model for Frequently Inundated Basin

신동수* · 박재범** · 강두기*** · 조덕준****

Shin, Dong Soo · Park, Jae Beom · Kang, Doo Kee · Jo, Deok Jun

Abstract

Recently meteorological phenomena caused by climate change have brought localized heavy rainfalls, flash-floods causing severe damage for human-life and property. They also increase the occurrence of record-breaking rainfall. Development in urban area decreases the portion of open spaces, landscapes, leading to significant diminution of storage and detention function of the basin. The expansion of impervious areas increases the extent of peak-runoff and runoff volume, especially the shorter time of concentraion due to development makes the basin have different hydrological characteristics compared to pre-development. In addition, urbanization worsen the requirement of site for residence and public facility so that even floodplain and inundated district are urbanized threatening safety for flood control. In this study, applicable LID techniques are analyzed and implemented using LID modules of SWMM, which is the model for urban stormwater-runoff management in the project area. Effects of implementing LID practices are also assessed and reviewed. The result shows that scenario B and C reduced 288.52ton(15.62%), 240.26ton(13.01%) each in runoff simulations compared to scenario A.

Key words : LID, SWMM-LID, Runoff from Urban Area, Mitigating Inundation

요 지

최근 기후변화에 의한 기상현상은 국지성 집중호우, 돌발홍수 등을 발생시켜 많은 인명과 재산의 피해를 가져오고 있다. 이로 인해 기록적인 폭우의 발생이 증가되고 있으며, 도시개발로 인해 자연공간이 감소하여 개발 전 지표면이 가지고 있던 유역 내 저류 및 지연효과가 현저하게 감소하고 시가지의 확대와 도로포장 등 유역 내 불투수층의 증가로 인하여 홍수유출량과 침투유량이 점차 증가되고 있다. 이와 같은 원인으로 유출 출구점까지의 도달시간은 자연유역에 비해 현격하게 짧아져 과거 자연하천 유역과는 다른 수문학적 특성을 가지게 되며, 도시집중 현상으로 택지 및 시설부지의 부족현상이 가중됨으로써 하천범람 구역이나 홍수우려가 있는 범람원내 저지대까지 도시화가 이루어짐으로써 치수상 안전도가 상대적으로 저하되고 있다. 이에 본 연구에서는 도시유출해석모형인 SWMM 내 LID 모듈을 이용하여 대상유역내 적용 가능한 LID 기법 기술요소를 분석하여 적용하고 LID 기법에 따른 유출저감효과를 분석하였다. 분석결과, LID 영향 분석 시나리오는 각 기법의 적용에 따른 영향과 LID 적용 전, 옥상녹화적용, 투수성포장의 적용 등 LID 3개의 시나리오를 선정하여 적용하였다. 시나리오 적용결과, 시나리오 A에 비하여 시나리오 B는 288.52ton, 시나리오 C는 240.26ton이 저감되었으며 각각 15.62%, 13.01%의 유출량 저감효과를 보였다.

핵심용어 : LID, SWMM-LID, 도시유출, 침수저감

1. 서 론

20세기 산업화 이후 급격한 경제개발은 이상기후와 도시화를 가속시켰으며, 지나친 도시개발에 따른 불투수면의 증가로 인한 강우유출의 증가는 도시유역 물순환의 개발 이전과 현

저히 다른 양상을 갖게 되었다. 또한, 집중호우의 증가와 함께 도시로의 인구집중으로 토지이용의 극대화와 더불어 토지 가격의 급등으로 지하공간의 활용이 급격하게 증가되었지만 집중호우에 따른 유출량의 증가와 지하공간이 가지는 폐쇄적인 특성은 침수에 취약한 구조임에도 이에 대한 대책은 미흡

*정 회원. (주)웹스, 유역개발부과장(E-mail: dsshin@nwater.co.kr)

Member. Watershed Management Dept Manager, Water & Environmental Management System Corp.

**정 회원. (주)웹스, 연구소장

Member. Director of Research, Water & Environmental Management System Corp.

***정 회원. (주)웹스, 대표이사

Member. CEO, Water & Environmental Management System Corp.

****교신저자. 정 회원. 동서대학교 건축토목공학부 부교수(Tel: +82-51-320-1831, Fax: +82-51-323-1837, E-mail: water21c@gdsu.dongseo.ac.kr)

Corresponding Author. Member. Associate Professor, Department of Civil Engineering, Dongseo University

한 실정이다. 이를 보완하고자 지하공간의 침수저감을 위한 많은 연구가 진행되어 왔으나 많은 공사비와 공사기간의 혼잡, 민원 등 제약요소가 다수 내제되어 있어 지하저류공간에 의한 침수저감은 사실상 힘든 상황이다. 따라서 홍수재해경감 기술의 새로운 패러다임이 필요하며 도시의 수문학적 물순환 회복을 통한 안전한 도시, 깨끗한 도시 및 건전한 도시로의 재생을 위한 기존의 집중형에서 분산형 유역관리기술의 필요성으로 LID 기법(저영향개발, Low Impact Development)이 제안되고 있다. LID 기법은 강우유출수를 관리하기 위하여 자연의 특성을 활용하여 불투수로 인한 영향을 최소화하기 위한 기법으로 유역의 수문학적 기능을 유지 또는 복원하여 도시우수를 효율적으로 관리하는 기술이라 할 수 있다. LID 기법은 저류형, 여과침투형, 처리·장치형, 유역관리기술 등 4가지로 분류할 수 있으며 각 기술 분류에 따른 최적관리기술(Best Practice Management: BMP)을 선정하여 유역을 관리하는 기법이다.

기후변화 및 도시화에 따른 물관리 문제점을 해소하기 위한 대책으로 독일의 분산식 도시계획(DUD, Decentralized Urban Design), 호주의 지속가능 도시계획(WSUD, Water Sensitive Urban Design), 일본의 자연 순응형 개발(SWCNP, Sound Water Cycle), 그리고 한국의 녹색도시(SWC, Smart Watery City, U-Eco City) 등을 예로 들 수 있다. 이 중에서도 개발 이전의 수문순환 상태를 모사하여 개발로 인한 영향을 최소화 하고 물 순환구조를 개선하기 위하여 미국의 PGDER(Prince George's county, maryland Department of Environmental Resources)에서 시작된 저영향개발(LID: Low Impact Development)은 강우유출수를 최대한 발생지점에서 관리하는 토지개발 혹은 Hall and Clar(2007)의 연구와 같은 건물 개축을 통한 도시재생(Retrofit) 방식의 개념으로써 강우유출관리의 키워드가 되고 있으며, 국내에서도 2008년에 국토해양부 주체로 瀆갈Z 함께 하는 국토 재창조· 등 3대 핵심 정책과제를 제시하였으며, 지방하천을 생태하천으로 조성하여 친수공간을 조성하고자 하였다. 2010년 12월에는 친수구역 활용에 관한 특별법이 제정되어 4대강 하천 경계로부터 2 km 안팎 지역을 친수구역으로 지정하고, 친수공간 조성으로 오염 부하량의 최소화, 하천 유량의 영향을 최소화 하고자 노력하고 있다. 국내에서는 이러한 LID 기법의 효율성을 검증하기 위하여 모형 선정과 이에 따른 결과를 통해 연구를 고찰해왔다. 박준호(2008)등은 LID를 적용하여 유출 감소 특성을 분석하였으며 이는 U.S. EPA에서 산정한 LID 기법별 CN 값을 바탕으로 각 소유역에 LID를 적용함으로써 대상유역의 개발 전, 개발 후, LID 적용 후에 대한 유출량과 침투유량이 약 20% 감소된 결과를 제시하였다. 또한 현경학(2008)등은 저탄소 녹색도시의 구현 방안으로 분산형 빗물관리의 관점에서 LID를 도입하여 인공 강우모의를 통해 비점오염원의 분석을 시도 하였다.

본 연구에서는 유역내 적용이 가능한 LID 기법을 선정하고 SWMM-LID모형을 이용하여 침수저감효과를 분석하였다. 대상강우는 대상지역의 확률강우량을 초과하는 100년 빈도 지속시간 24시간의 초과강우를 이용하였다(조덕준 등, 2012).

유역내 적용 가능한 LID 기법은 투수성포장과 옥상녹화를 선정하였으며, 분석 시나리오에 따른 유출저감효과를 분석하였다.

2. 연구방법

2.1 연구절차

LID 시설에 의한 유출저감 모의를 위하여 대상지역의 기초 자료를 수집하고 하수관망도를 이용하여 관망의 구성 및 소유역분할을 실시하였다. 분할된 소유역은 ArcGIS를 이용하여 지형 및 배수특성을 분석하였다. 또한 LID 기법의 BMP의 선정을 위하여 대상지역의 특성을 분석하고 별도의 부지가 필요하지 않은 LID 기법 기술을 중심으로 검토하였으며, 선정된 LID 기법을 SWMM-LID에 적용하여 모형을 구축하였다. 대상강우는 기후변화로부터 발생된다고 추정하고 있는 도시지역의 집중호우의 증가가 최근 빈번하게 일어남에 따라, 확률강우량을 초과하는 강우의 100년 빈도 지속시간 24시간의 기존연구 결과인 초과강우(조덕준 등, 2012)를 이용하여 대상유역 내 LID 기법 유무에 따른 시나리오를 선정하고 유출저감효과를 분석하였다. Fig. 1은 연구 흐름도이다.

Fig. 1. Workflow of the Runoff Reduction Effect Analysis Using SWMM

2.2 SWMM 모형 구축

2.2.1 유역 현황

유역면적 282.94ha인 대상유역은 수영강 하류유역으로 동경 129° 07' 38.82" ~ 127° 45' 20", 북위 35° 09' 48.08" ~ 35° 10' 31.19"의 범위에 있으며 북측으로 수영강, 남측으로 남해, 서쪽으로 수영강, 동측으로 장산과 우동천이 위치하고 있다. 대상유역은 상업지역으로 인구밀집 지역이며 유역내 BOX 관거는 3개 유출구로 존재하고 유출구의 인버트 고도가 수영강의 평균 조위보다 낮아 전기 시에도 수영강으로부터 유량이 유입된다. 3개의 유출구 중 복개하천인 우동천 이외는 평균조위보다 3 m이상 낮게 매설된 인버트 고도로 인해 집중호우 발생 시 지표유출수가 원활하게 유하되지 않아 Fig. 2와 같이 침수가 빈번하게 발생하는 지역이다.

Fig. 2. Inundation in the Project Area

2.2.2 모형 구축

하수도대장 평면도(1:1000)와 배수계통, 관거 합류점, 맨홀 등을 고려하여 대상유역을 79개의 소유역과 3개의 주요 토출구로 분할하였다. 관거의 상·하류의 집합점, 연장, 깊이, 유역 폭 등의 제원은 하수관망도(1:1000)로부터 추출하였으며, 조도계수는 콘크리트 관에 적용하는 0.013을 적용하였다. 강우는 부산에서 관측된 1961년에서 2010년까지의 50년 동안의 시간강우량에 대하여 분석된 100년 빈도 지속시간 24시간의 기존연구 결과인 초과강우를 이용하였다(조덕준 등, 2012). 구축된 SWMM모형은 Fig. 3과 같다.

Fig. 3. SWMM Model Used in the Project Area

2.3 LID기법 선정

2.3.1 LID기법 분류

국내·외에서의 LID 기법들은 제시가 어려울 정도로 많은 개발이 이루어지고 있는 실정이다. 임용균(2011)의 친환경적 도시개발을 위한 LID 기술 적용에 대한 연구에 의하면 LID 기술을 크게 10가지로 분류할 수 있으며, 각 요소기술은 국내·외에 널리 알려진 기법들로 구성되었다. 빗물정원 등 생태저류시설과 옥상녹화, 완충 식생대 및 수목 보존지대, 지붕층 배수관, 강우저장소 및 빗물통, 투수성 포장, 토양개량, 불투수저감, 주택 내 비점오염원 저감기법들을 소개하였다.

2.4 대상유역적용 LID 기법

대상유역은 상업시설이 밀집해 있고 대형백화점이나 전시

장 등이 집중되어 있어 유동인구가 상당히 많은 지역이다. 따라서 본 연구에서는 토지이용 특성에 적합하고 발달된 도시지역에 적합하며, 별도의 토지가 필요하지 않은 옥상녹화와 투수성포장을 적용하여 유출저감효과를 분석하였다.

2.4.1 옥상녹화(Green Roof)

옥상녹화는 옥상을 토양과 식물로 녹화하여 지붕으로 떨어지는 강우를 저장하고 증발시키는 역할을 하여 유출량을 감소시키는데 효과적인 LID기법이다. 이는 증발산에 의해 지붕온도를 낮추기도 하고 강우에 따른 침투 유출량을 지연시켜 유출량을 낮추는 기능을 한다. 특히 건물의 미관을 높이면서 서식처로의 역할도 가능하여 녹색 도시재생에서 주목받고 있으며, 지붕의 기대수명의 연장과 단열, 방음의 효과가 있다. 옥상녹화는 식생저류장치(Bio-retention)의 일종으로, 식생을 통한 투수면적 증대와 토양층을 통한 유역의 침투율 증대, 자갈층을 통한 저류가 가능하여 효율이 크다. Fig 4는 옥상녹화를 도식적으로 표현한 것이다.

Fig. 4. Green-roof Assembly

2.4.2 투수성포장

친환경적인 도시개발에 있어 택지개발지구 및 공동주택단지 내 도로포장은 종전의 아스팔트 및 콘크리트 포장에서 기능성을 가진 투수성 아스팔트 콘크리트 포장, 보도 및 보·차도용 블록포장 등이 다양하게 시공되고 있다. 현경학 등(2010)에 따르면 투수성포장은 투수기능 뿐만 아니라 다양한 종류의 블록을 인접구조물과의 색상 조화를 통하여 미관을 창조할 수 있고, 교체가 쉬우며 차량속도를 제한할 수 있어 단지 내 거주자의 안전을 도모할 수 있는 장점이 있다. Fig

Fig. 5. Cross-section of Pervious Pavement

5는 Philadelphia LID Conference(2011)에서 제안한 투수성 포장을 도식적으로 표현한 것이다.

2.5 SWMM-LID 모형의 적용

유역 내 LID 기법을 모의하는 기법은 2가지로 구분될 수 있는데 첫 번째는 LID 미적용 면적과 동일한 면적을 복수의 LID장치로 대체하는 방법이며 두 번째는 새 유역을 만들어서 단일 LID장치로 간주하는 방법이다.

첫 번째 방법은 유역 내 복수의 LID를 설치할 수 있으며 유역의 LID 미적용 지역에서 발생한 유출량을 각각의 LID장치가 다른 발생량을 처리하게 된다. 이 방법에서 각 장치는 병렬처리되며 특정 LID장치로부터 나온 유출량이 또다른 장치의 유입량으로 처리되는 것과 같은 직렬처리는 불가능하다.

Fig. 6. Parameter Modification

장치가 설치된 후 LID장치에 의해 대체된 원래 유역면적을 감안하기 위해 유역의 불투수 면적비와 유역폭에 대한 수정이 필요하다. Fig. 6은 EPA SWMM APPLICATIONS MANUAL (2009)의 LID 기법 적용시 매개변수의 수정 모식도를 표현한 것이다.

LID 장치가 추가되면 유역의 불투수면적비는 다음의 식과 같이 남겨진 LID 미적용 면적의 비율로 남겨진 불투수 면적의 비율을 나눈 값으로 변경되어야 한다.

$$Change\ imperv\% = \frac{\left(1 - \frac{LID\ area}{Imperv\ area}\right) \times Imperv\ area}{\left(100 - \frac{LID\ area}{Imperv\ area} \times Imperv\ area\right)} \times 100 \quad (1)$$

유역 내 복수의 LID장치를 설치하는 경우 각 장치별 면적비의 합이 100%를 초과할 수 없고 각 장치가 처리하는 불투수면적의 비율인 불투수율도 동일하게 각 장치의 합이 100을 초과할 수 없으며, 처리면적은 LID장치의 면적을 고려하여 적절한 면적을 적용해야 한다.

2.5.1 옥상녹화의 적용

옥상녹화 적용시 대상유역내에서 대형건물, 공공기관, 병원들을 포함한 공공건물과 아파트 단지 및 빌라는 직접 옥상면적을 구하여 옥상녹화를 적용하였으며, 개인주택, 상가건물 밀집지역에는 소유역 별로 산정한 공공건물면적을 제외한 옥상녹화 가능면적의 50%를 적용하였다. 적용결과, 전체 유역

Table 1. State of Catchments Applied with LID Techniques in the Project Area

Basin Name	Area (m ²)	Impervious Rate (%)	LID Application Area		LID Application Method
			Permeable Pavement (m ²)	Green Roof (m ²)	
nsub17	10,500	89.06	5,700	0	Permeable Pavement
nsub18	17,600	92.41	6,000	0	Permeable Pavement
nsub19	22,100	64.35	14,000	4,000	Permeable Pavement/ Green Roof
nsub44	12,900	95.00	0	6,500	Roof Green
nsub57	19,600	62.31	12,000	0	Permeable Pavement
nsub59	42,000	93.79	8,200	31,500	Permeable Pavement/ Green Roof
nsub6	40,300	87.90	7,000	20,000	Permeable Pavement/ Green Roof
nsub67	12,900	95.00	0	6,500	Green Roof
sub031	10,600	0.30	7,000	0	Permeable Pavement
sub04	25,900	60.95	6,000	0	Permeable Pavement
sub05	30,000	65.38	4,000	6,500	Permeable Pavement/ Green Roof
sub12	29,400	54.54	15,000	0	Permeable Pavement
sub19	3,700	90.00	0	3,100	Green Roof
sub36	335,500	42.33	130,000	27,150	Permeable Pavement/ Green Roof
subnj6	2,500	90.00	0	750	Green Roof
subnj7	2,200	90.00	0	650	Green Roof
subnj8	2,000	90.00	0	350	Green Roof
subnj10	3,500	56.25	0	3,100	Green Roof

면적 2,829,400 m²에 대하여 옥상녹화를 적용한 총 면적은 110,100 m²이며 적용율은 약 3.89%이다.

2.5.2 투수성포장의 적용

투수성 포장 적용시 유지관리 측면에서 교통량이 많은 도로는 제외하였으며 주로 주차장, 광장 혹은 교통량이 적은 외곽도로 및 지선도로에 적용이 가능하다. 한편, 본 연구에서 선정한 투수성 인터락킹 콘크리트 블록 포장기법은 주로 도로 옆 보도, 아파트 단지 내 도로, 주차장 등에 주로 적용된다. 본 연구에서는 유역 내 2차선 이상 도로의 양 옆 보도에 투수성 포장기법을 적용하였으며 각 소유역 별로 LID 기법의 적용이 가능한 공용주차장, 아파트 단지 내 주차장 및 도로, 건물 앞 공터, 건물광장에 적용하였으며 주로 상업밀집지역에 중점적으로 적용되었다. 유역 내 투수성 포장기법을 적용한 면적은 214,900 m²이며, 약 7.60%를 차지하였다. Table 1은 대상유역 중 LID 기법이 적용된 소유역에 대하여 소유역명, 면적, 불투수율, LID 적용면적, 적용 LID 기법을 나타낸 것이다.

2.6 분석시나리오의 선정

본 연구에 LID 기법을 적용함에 있어 100년 빈도 지속시간 24시간에 대한 초과강우 자료(조덕준 등, 2012)를 활용하여 효율성을 검증하고자 시나리오를 선정하였다. LID 영향 분석 시나리오는 각 기법의 적용에 따른 영향과 LID 적용 전 기존의 수문학적 조건을 비교 분석하기 위하여 3개의 시나리오를 선정하였다. Table 2는 LID 기법 적용 시나리오이다.

Table 2. Scenarios

Division	LID Application Method	Applied Area (m ²)
Scenarios A	Not Applied	Not Applied
Scenarios B	Green Roof	110,100
Scenarios C	Permeable Pavement	214,900

3. 연구결과

3.1 시나리오별 LID 유출량

본 연구 유역은 3개의 유출구로 구성되어 있으며 아래의

Fig. 7. Location of the Outfall

Fig. 7과 같이 대상유역은 3개의 유출구로 나누어져 있으며 Table 3은 각 유출구에 속해 있는 유역 면적, 적용된 LID 기법 및 적용면적을 나타낸 것이다. N11은 유역면적 648,300 m² 중 투수성포장 20.05%, 옥상녹화 4.19%, N01은 유역면적 339,200 m² 중 투수성포장 9.43%, 옥상녹화 1.92%, N28의 경우 유역면적 1,841,900 m² 중 투수성포장 2.87%, 옥상녹화 4.15%가 LID 기법이 적용되었다.

N11과 N28에 비해 N01은 LID 기법의 적용 면적이 작아서 유출량의 일어나지 않았다. 시나리오별 각 관거의 유출수 문곡선은 Fig. 8과 같다.

본 대상유역 내 시나리오별 총 유출량을 분석한 결과 시나리오 A의 경우 1,846.58ton, 시나리오 B의 경우 1,558.06ton, 시나리오 C의 경우 1,606.32ton의 결과를 보였다. LID 기법을 적용하지 않은 시나리오 A과, 시나리오 B, C의 유출량을 비교한 결과, 시나리오 A에 비하여 시나리오 B는 288.52ton, 시나리오 C는 240.26ton이 저감되었으며 각각 15.62%, 13.01%의 유출량 저감효과를 보였다. Fig. 9는 시나리오별 유출량과 침투량을 나타낸 것이다.

LID 기법을 적용한 소유역은 전체 79개의 소유역 중 옥상녹화 11개소, 투수성포장이 10개소이다. LID 기법의 적용효율을 소유역별로 분석하기 위하여 옥상녹화와 투수성포장 동

Table 3. Status of the Outlet

Division	N11		N01		N28	
Basin Area (m ²)	648,300		339,200		1,841,900	
LID Application Method	Permeable Pavement(PP)/ Green Roof(GR)		Permeable Pavement(PP)/ Green Roof(GR)		Permeable Pavement(PP)/ Green Roof(GR)	
Applied Area (m ²)	PP	GR	PP	GR	PP	GR
	130,000	27,150	32,000	6,500	52,900	76,450
Applied Area/Basin Area (%)	PP	GR	PP	GR	PP	GR
	20.05	4.19	9.43	1.92	2.87	4.15

Fig. 8. Runoff-hydrographs According to Scenarios

Fig. 9. Runoff Reduction Effects According to Scenarios

시에 적용한 소유역에 대하여 분석하였다. Table 4는 대상유역 내 소유역의 LID 기법 적용 결과이며 적용률은 전체면적 대비 LID 기법 면적율이다.

대상소유역 내 LID 기법인 옥상녹화와 투수성포장을 적용한 결과, 옥상녹화는 평균 25.09%의 유출저감효율을 보였고 투수성포장은 20.66%의 저감효율을 보였다. 유출저감효율은

Fig. 10. The Results of Applying LID Techniques

옥상녹화가 4.43%가 더 높게 나왔으나 이는 효율만을 고려했을 뿐 적용면적과 대상유역의 토지이용현황, 설치 가능지역, 비용 등을 고려하여 LID 기법의 기술요소를 선택해야 한다고 판단된다.

Table 4. The Results of Applying LID Techniques

Basin	Green Roof			Permeable Pavement		
	Application ratio (%)	Runoff (ton)	Removal Effectiveness (%)	Application ratio (%)	Runoff (ton)	Removal Effectiveness (%)
Nsub19	86	11.14	23.46	18	11.06	24.01
Nsub59	20	19.58	29.33	75	22.16	20.03
Nsub6	17	19.30	26.71	50	20.98	20.36
Sub05	13	14.22	24.06	22	14.81	20.94
Sub36	8	149.07	21.89	8	156.62	17.94

4. 결 론

References

상업시설이 밀집한 상습침수 지역에 유출해석모형인 SWMM 내 LID 모듈을 이용하여 LID 기법에 따른 유출저감효과를 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 본 연구지역과 같은 상업지역으로 유동인구가 많은 지역이다. 토지이용 특성과 발달된 도시지역에 적합하며, 별도의 토지가 필요하지 않은 옥상녹화와 투수성포장을 적용면 유출저감효과를 기대할 수 있으며 정량적 분석이 가능하다.
- 2) LID 영향 분석 시나리오는 각 기법의 적용에 따른 영향과 LID 적용 전, 옥상녹화적용, 투수성포장의 적용 등 LID 3개의 시나리오를 선정하여 적용하였다. 시나리오 적용결과, 시나리오 A에 비하여 시나리오 B는 288.52ton, 시나리오 C는 240.26ton이 저감되었으며 각각 15.62%, 13.01%의 유출량 저감효과를 보였다.
- 4) 소유역 내 LID 기법인 옥상녹화와 투수성포장을 적용한 결과, 옥상녹화는 총 면적대비 LID 적용 면적이 3.78%일 경우 평균 25.09%의 유출저감효율을 보였고 투수성포장은 총 면적대비 LID 적용 면적이 3.91% 일 때 20.66%의 저감효율을 보였다.
- 5) LID 시설의 경우 LID 시설 설치면적의 한계성이 있으며 비용대비 효과 및 LID 기법 적용면적에 대한 분석이 추후 연구로 이어질 필요가 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 건설기술혁신사업(10기술혁신E04)에 의한 복합지하공간 수해 방지를 위한 지하저류공동 건설기술개발의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

EPA SWMM APPLICATIONS MANUAL (2009)

Park, J.H., Yoo, Y.G., Kim, J.G., Park, Y.K., Yoon, H.T., and Lim, K.J (2008) Analysis of Runoff Reduction with LID Adaptation Using the SWMM, *Journal of Korean Society on Water Quality*, Vol. 24, No. 6, pp.806-816

Lim, Y.G. (2011) A Study of LID Technologies for Friendly Environmental Urban Development, A dissertation for the degree Doctor of Philosophy, Pusan University.

Jo, D.J. and Jeon, B.H. (2012) Analysis on the Characteristics of Exceeding Probability Rainfall Events, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 12, No. 2, pp.309-313

Hyun, K.H., Kim, J.N., Oh, J.I., Kim, G.T., Lee, G.H., and Kim, Y.H (2008) Application of the Rainwater Management and Constructed Wetland System for Implementation of Water-cycle in Asan New town, Korea Land & Housing Corporation. Land & Housing Institute.

Hyun, K.H., Kim, J.G., Lee, J.M., Jeong J.S., Kim, J.N., and Lee, Y.J., (2010). A Construction Plan for the Water-circulation Greencity in Asan Tangjeong. 1, Korea Land & Housing Corporation. Land & Housing Institute.

Marcus Hall and Michael Clar (2007) Using Low Impact Development (LID) Techniques to Retrofit an Existing Urban Mall: The Annapolis Mall Case Study.

© Received June 7, 2013

© Revised June 11, 2013

© Accepted June 19, 2013