

Research Paper

불투수면 저감기법의 유출량 및 오염부하량 저감 효과 분석

박형석* · 최환규** · 정세웅*

충북대학교 환경공학과*, 국립환경과학원**

Analysing the effect of impervious cover management techniques on the reduction of runoff and pollutant loads

Park, Hyung Seok* · Hwan Gyu Cho** · Se Woong Chung*

Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University*
National Institute of Environmental Research**

요약 : 불투수면(IC)이란 빗물 등의 강수가 토양 속으로 침투할 수 없는 포장 지역이라 정의할 수 있으며, 일반적으로 도시화 과정에서 형성되는 불투수면은 주로 도로(Drive way), 인도(Sidewalk), 주차장(Parking lot), 건물의 지붕(Roof) 등의 형태로 나타난다. 불투수면의 증가는 유출계수를 증가시켜 강수의 침투량 및 지하수 수위를 감소시킨다. 이로 인해 홍수기에 직접 유출량과 홍수피해를 증가시키고, 갈수기에는 하천의 건천화를 유발하여 수생태계를 악화시킨다. 미국 환경부에서는 불투수면을 저감하기 위한 주요정책으로 LID(Low Impact Development) 또는 GI(Green Infrastructure)의 도입을 제시하고 있다. 본 연구에서는 도시 지역의 강우-유출 및 수질 해석을 위해 SWMM모형을 구축하고, 도시 지역의 대표적인 토지이용 유형에서 불투수면 영향 저감을 위한 다양한 LID 기법을 적용하고 그 효과를 평가하였다. 모형의 보정기간은 2009년 7월 17일, 검증기간은 2009년 8월 11일이며, 강우유출발생시 측정된 실측 데이터를 사용하여 검 · 보정을 하였다. 아파트, 학교, 도로, 공원 등으로 구성된 복합용지에 투수성 포장(Pervious cover)과 옥상녹화(Green roof)기법을 단계별로 적용하고 유출량 및 오염부하 저감에 미치는 영향을 모의한 결과, 유역 내 불투수면이 투수면으로 전환되는 비율이 증가함에 따라 강우시 발생하는 유출량과 오염물질 부하량의 저감 효과가 큰 것으로 나타났다. 특히, 건물 옥상 녹화 및 주차장과 도로에 투수성 포장을 적용한 경우, 총 유출량은 15~61 %의 저감효과를 보였으며, 오염부하량에 대해서는 TSS 22~72 %, BOD 23~71 %, COD 22~71 %, TN 15~79 %, TP 9~64 %의 저감효율을 나타냈다.

주요어 : 불투수면(IC), LID, SWMM, 도시유역, 비점오염원

Abstract : Impervious covers(IC) are artificial structures, such as driveways, sidewalks, building's roofs, and parking lots, through which water cannot infiltrate into the soil. IC is an environmental concern because the pavement materials seal the soil surface, decreasing rainwater infiltration and natural groundwater recharge, and consequently disturb the hydrological cycle in a watershed.

Increase of IC in a watershed can cause more frequent flooding, higher flood peaks, groundwater drawdown, dry river, and decline of water quality and ecosystem health. There has been an increased public interest in the institutional adoption of LID(Low Impact Development) and GI(Green Infrastructure) techniques to address the adverse impact of IC. The objectives of this study were to construct the modeling site for a small urban watershed with the Storm Water Management Model(SWMM), and to evaluate the effect of various LID techniques on the control of rainfall runoff processes and non-point pollutant load. The model was calibrated and validated using the field data collected during two flood events on July 17 and August 11, 2009, respectively, and applied to a complex area, where is consist of apartments, school, roads, park, etc. The LID techniques applied to the impervious area were decentralized rainwater management measures such as pervious cover and green roof. The results showed that the increase of perviousness land cover through LID applications decreases the runoff volume and pollutants loading during flood events. In particular, applications of pervious pavement for parking lots and sidewalk, green roof, and their combinations reduced the total volume of runoff by 15~61 % and non-point pollutant loads by TSS 22~72 %, BOD 23~71 %, COD 22~71 %, TN 15~79 %, TP 9~64 % in the study site.

Keywords : Impervious cover(IC), LID, SWMM, Urban watershed, Non-point source pollution

I. 서론

우리나라는 단기간에 고도의 경제성장을 이루어 낸 반면, 환경적 측면에서는 취약한 국토 개발을 진행하였다. 그 결과로써 도시지역에 인구가 집중되었으며, 도시지역의 공간적 확대와 함께 무분별한 토지 개발을 가속화시켰다. 도시화 현상의 가장 큰 특징은 농지, 임야 등의 투수면이 감소하는 반면, 건물과 도로 등의 불투수 영역이 증가하는 것이다. 불투수면(Impervious Cover, IC)이란 빗물 등의 강수가 토양 속으로 침투할 수 없는 포장 지역이라 정의할 수 있다(Arnold and Gibbons, 1994; Schueler, 1994). 일반적으로 도시화 과정에서 형성되는 불투수면은 주로 도로(Drive way), 인도(Sidewalk), 주차장(Parking lot), 건물의 지붕(Roof) 등의 형태로 나타난다.

선행연구(Galli, 1991; Brabec *et al.*, 2002)에 의하면 유역 내에서 불투수면 비율의 증가는 환경적 측면에서 매우 유의할 사항으로 알려져 있다. 불투수면의 증가는 유출계수를 증가시켜 강수의 침투량 및 지하수 수위를 감소시킴으로써 홍수기에는 직접 유출량과 홍수피해를 증가시키고, 갈수기에는 하천의 건천화를 유발한다. 포장된 도로, 주차장, 건물 지붕에

의해 태양과 대기열의 흡수율이 높아지는 반면, 유역의 증발산작용은 감소하여 도시의 열섬 효과를 가속화시키는 요인으로 작용하여 기온을 증가시킨다(Whittaker and Reddish, 1989). 또한, 대기와 차량 등에서부터 발생하여 노면에 축적된 오염물질들이 강우시 한 번에 쓸림으로써 하천으로 유입되기 때문에 도시지역의 오염부하량에도 영향을 준다(Schuler, 1987). 이 밖에도 불투수면의 증가는 도시 유역의 하천에서 무척추동물의 종 다양성을 감소시키며(Klein, 1979; Jones and Clark, 1987; Shaver *et al.*, 1995), 어류 등의 하천 생태계에 부정적인 요인으로 작용한다는 연구결과도 있다(Klein, 1979; Booth and Reinelt, 1993). 국내에서도 불투수면의 변화에 따른 하천 수온의 변화 연구가 진행된 바 있으며(함광준 등, 2006), 불투수면 증가와 기저유출량 감소에 대한 연구도 다수 있었다(김성준 등, 2005; 최지용 등, 2008).

국내·외 연구결과를 종합해 보면, 불투수면 비율이 25%를 초과하는 경우 하천복원 사업을 시행함에도 불구하고 목표수질기준을 달성하기는 어렵다고 제시하고 있다(한강수계관리위원회, 2007). 그러므로 유역과 하천에 건전한 물 순환 시스템과 수질 및 생태계 관리를 위해 토지이용에 따른 관리 대책 수립

이 필요하다. 유역의 건전한 물 순환 관리를 위해서는 유역에 대한 토지이용에 따른 불투수면 현황의 세밀한 조사가 수반되어야 하며, 불투수면과 환경 지표와의 상관관계를 일반화시킬 수 있는 지표개발과 아울러 불투수면을 고려한 물 순환을 해석할 수 있는 물 순환 시스템을 구축해야 한다.

미국 환경부에서는 불투수면을 저감하기 위한 주요정책으로 LID(Low Impact Development) 또는 GI(Green Infrastructure)의 도입을 제시하고 있다(<http://water.epa.gov/polwaste/green/>). LID는 기존의 BMP(Best Management Practices)와 같이 유출이 발생한 이후에 처리하는 집중식 처리기법이 아닌 발생원 단계에서 처리하는 것에 초점을 맞춘 사전예방기법으로 유출수를 분산식으로 처리하는 기법을 말한다(박준호 등, 2008). 또한 LID는 지속 가능한 도시 개발의 개념으로써 새롭게 조성될 도시지역에 대해 투수성 포장, 옥상녹화, 침투트렌치, 우수저류시설 등과 같은 IMPs(Integrated Management Practices)를 적용시킴으로써 토양의 수문학적 특성의 유지 및 투수면의 최대화를 통해 침투유량, 홍수 도달시간, 직접 유출 등의 수문 상태를 개발 전과 유사한 특성을 지닐 수 있도록 하는 자연 친화적 도시 설계 기법이다(박준호 등, 2008; 전지홍 등, 2009).

도시유출모형은 LID기법과 같은 유역의 불투수면 저감 기술의 계획, 설계, 효과분석, 사후평가 등에 활용할 수 있는 유용한 도구이다(Elliott and Trowsdale, 2007; van der Sterren *et al.*, 2014; 백종락 등, 2014). Ahiablame 등(2013)은 미국의 인디애나주에 위치한 도시유역에서 강우저류를 위한 우물통과 투수성 포장의 유출저감 효과를 평가하기 위해 Long-Term Hydrologic Impact Assessment(L-THIA)-LID model(Engel and Hunter, 2009)을 적용한 바 있다. Qin 등(2013)은 SWMM(Storm Water Management Model) 모형을 이용하여 중국의 심천시에 위치한 도시유역에서 다양한 강우조건에서 투수성포장과 옥상녹화 기법이 유출량 저감에 미치는 영향을 모의하고 기존의 도시 배수 설계 기법과 비교한 바 있다. Burszta-Adamiak과 Mrowiec(2013)은 폴란드 Wroclaw에서 옥상녹화공법의 저류 능력을

평가하기 위해 SWMM 모형의 LID 평가모듈을 적용한 바 있다. 최근에는 미래 기후변화에 따른 도시유출량 변화를 해석하고, 다양한 LID 기술 적용에 따른 저감효과를 평가하기 위해 유출모형이 활발히 연구되고 있다(Pyke *et al.*, 2011; Pingale *et al.*, 2013; Zahmatkesh *et al.*, 2014). 국내에서는 여규동과 정영훈(2014)이 청계천 유역을 대상으로 XP-SWMM과 Clark 유역추적법을 적용하여 도시지역의 옥상녹화에 따른 유출저감효과 분석과 비용 산정 연구를 수행한 바 있다. 그러나 대부분의 연구는 국외 사례를 중심으로 하고 있으며, LID 기법 적용에 따른 효과분석도 홍수 유출량 저감에 중점을 두고 있어 도시하천의 수질관리를 위한 정보제공에는 한계가 있다. 따라서 국내에서도 도시하천의 수질개선을 위한 LID 기술의 효과적 적용을 위해서는 실측자료를 이용한 유출모형의 검정과 함께 불투수면 저감기법의 적용에 따른 효과분석 연구가 필요한 실정이다.

본 연구의 목적은 금강 수계에 위치한 도시 유역에 대표적인 토지이용 유형에서 불투수면 영향 저감을 위한 다양한 LID 기법을 적용하고, 그 효과를 모의함으로써 유출량과 오염부하 특성에 미치는 영향을 분석하는데 있다. 시범유역은 갑천 유역내에 위치한 관평천 유역과 도시 지역에 대표적으로 나타나는 토지이용 유형인 복합용지를 선택하였다. 관평천 유역은 2007년 12월에 준공된 주거, 상업 및 산업단지로 도시화과정에서 나타나는 전형적인 토지이용 형태를 보여주며, 지금도 도시의 확장에 의한 불투수면적률이 증가하는 추세이다. 따라서 도시화 지역의 불투수면 토지피복 분류 중 가장 높은 비율을 차지하는 주거지역에 대한 상세한 모의가 필요하여 2개의 대상 지역을 선정해 모의를 수행 하였습니다. 본 연구 결과는 유역의 불투수면 관리 및 건전한 물순환 시스템 구축을 위한 기초정보를 제공하며, 향후 불투수면 저감관리 기법의 적용에 따른 유역의 수문 및 수질에 미치는 영향 평가, 물 순환 시스템 해석 및 불투수면 저감방안 수립 등 여러 방면으로 활용될 것으로 기대한다.

Table 1. Landuse status of Kwanpyeng Stream watershed

	Building and Apartment	Park and bare land	Parking lot	Driveway	Total
Area(m ²)	330,058.33	888,787.09	485,223.11	98,649.77	1,802,718.30
Ratio(%)	18.31	49.30	26.92	5.47	100

II. 연구 방법 및 모형의 구성

1. 대상지역

본 연구의 대상지역은 대전광역시 유성구 관평동에 위치한 대덕 테크노 밸리로써 2001년 11월에 착공하여 2007년 12월에 준공된 환경 친화적인 복합단지이며, 대덕 테크노 밸리의 중앙으로 감천 제 1지류인 관평천이 흐르고 있다. 관평천 유역은 유역면적이 10.85 km²이며, 유로연장은 5.45 km로써 유역의 종류는 농경지로 구성되어 있고, 하류부는 주거단지 및 상업단지, 산업단지로 구성되어 있는 유역 내 도시환경과 농촌환경이 혼합된 지역이며, 구체적인 토지이용 형태별 면적과 비율은 Table 1과 같다. 대상 유역 내의 불투수면 산정은 토지이용현황 중 공원 및 나지상태인 경우를 제외한 나머지를 불투수면으로 산정하였으며, 전체 면적의 50.7%가 불투수율로 나타났

다. 대상 유역의 특성 자료 및 모형에 필요한 입력데이터는 선행연구(주명호, 2009)에서 연구된 자료를 이용하였으며, 대상 유역의 인공위성 전경과 SWMM 유출모의 구조는 Figure 1과 같다.

또한, 불투수면 저감기법 효과 분석을 위해, 감천 유역 내 다양한 지목의 토지유형에 대한 현장 조사를 통하여 불투수율의 기여도가 현저히 높은 대지를 관심토지유형으로 선정하였다. 주요관심토지유형에 대한 물 순환 관리기법의 적용성 평가를 위해 관평천 유역내의 H 아파트 일대 복합용지를 선정하였다. 대상 유역의 불투수면 분석 결과는 Table 2에 나타내었다. 복합용지는 아파트단지, 공원, 학교, 도로 등 도시에서 볼 수 있는 전형적인 복합 토지 이용형태를 보이고 있는 토지이용상태를 말한다.

대상지역은 복합용지인 H 아파트 주변 일대로, 총 면적 및 투수면적과 불투수면적은 각각 125,675.83 m²,

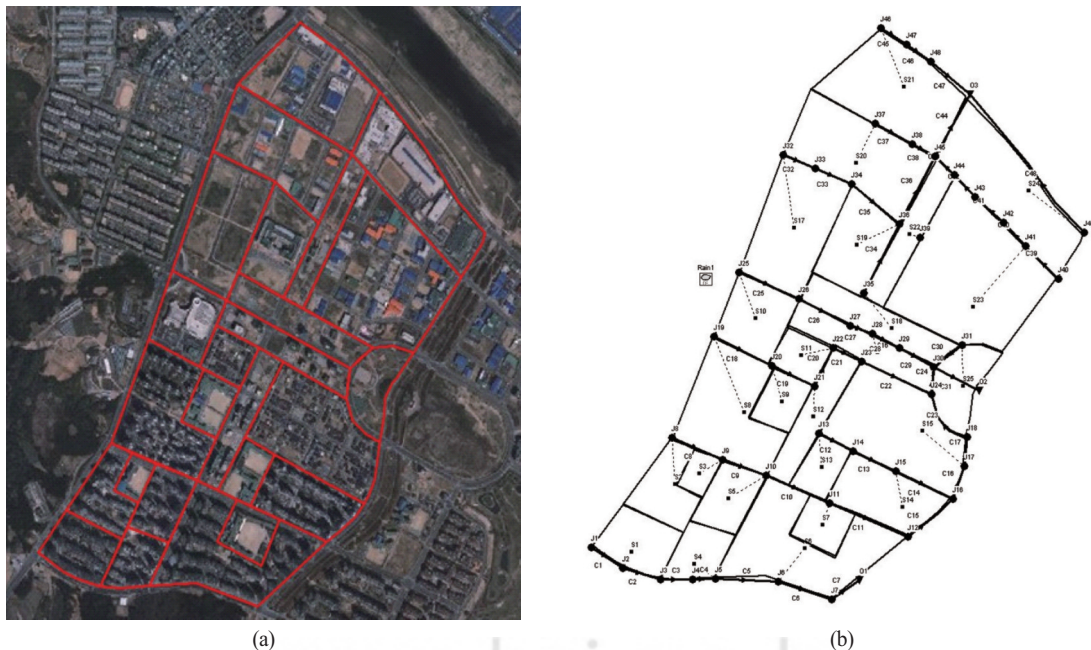


Figure 1. (a) Satellite image and (b) SWMM drain networks for Kwanpyeng Stream watershed

Table 2. Areas and percentages of each land use in the complex areas

Land use	Roof (m ² %)	Parking lot (m ² %)	Driveway (m ² %)	Playground (m ² %)	Sidewalk (m ² %)	Park (m ² %)
complex areas	38,402.94	34,750.05	30,062.30	19,693.81	9,509.14	15,021.64
	26.05	23.57	20.39	13.36	6.45	10.19

24,662.40 m²(19.62%), 101,013.43 m²(80.38%)이고, 투수면적의 이용현황은 아파트내 운동장 및 화단, 학교 운동장, 공원으로 사용하고 있고 불투수면적은 도로, 보도, 아파트 건물, 학교 건물, 주차장으로 이용하고 있다. 대상지역의 토지이용현황은 Table 2에 나타내었으며, 대상 지역의 위성사진은 Figure 2(a)에 나타냈다.

대상 지역의 특성 자료 및 모형에 필요한 입력 자료는 지적도, 농업과학기술원의 1:25,000 정밀도양도, 대전시 하수시설물, 대상지역의 위성사진 자료로

부터 ArcGIS 9.2 프로그램을 이용하여 추출하였다.

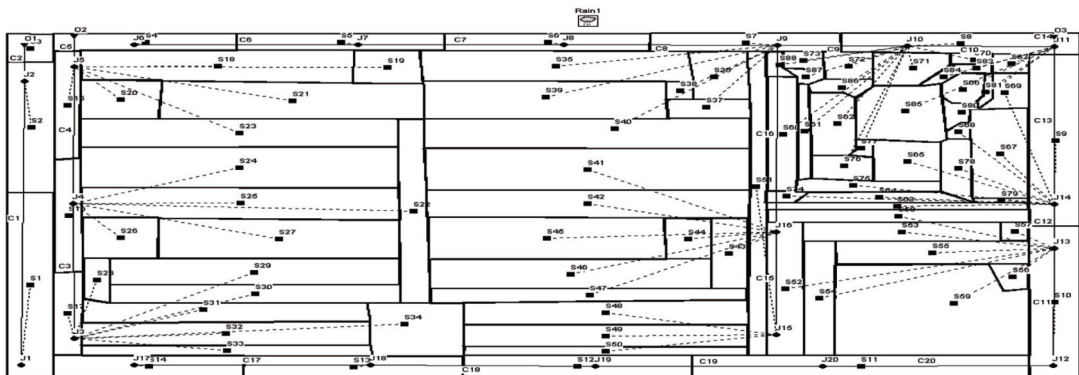
2. 모형 구성

(1) 모형 개요

본 연구에 사용된 SWMM 모형은 1971년 미국 EPA의 지원으로 Metcalf & Eddy사와 Florida 대학 및 Water Resources Engineers가 공동연구로 개발한 모형으로 도시지역의 강우 유출수 해석뿐만 아니라, 하수관거시스템 내의 유량 및 수질 모의가 가능



(a)



(b)

Figure 2. (a) Satellite image and (b) SWMM drain networks of the complex area

하다(Huber and Dickinson, 1988). SWMM 모형의 주요 기능은 유역내의 강우사상에 따른 유출량과 오염물질의 지표면 및 지표하 흐름 해석, 배수관망에서의 유출량 추적 및 저류량의 산정 등이 포함되며, 단일 강우사상 및 연속 모의를 할 수 있다는 장점이 있어 널리 사용되고 있다(주명호, 2009). SWMM 모형의 특징은 Table 3과 같다.

(2) SWMM 모형 구축대상 지역의 유출체계 구성

본 연구에서는 대상유역의 토지이용 특성, 수리·수문학적 특성 등 유역 내 특성 인자들의 균일성이 보장되는 범위 내에서 소유역 분할을 실시하였다. 모형의 비교 평가를 위해 위성사진을 이용하였으며, 현재의 토지이용 및 배수관망 시스템을 고려하여 해당 유역의 유출체계를 구성하였다. 관평천 유역에 대해서는 총 25개의 소유역(Figure 1(b))을 분할하였으며, 복합용지에 대해서는 88개의 소유역(Figure 2(b))으로 구분하여 유출체계를 구성하였다.

(3) 입력 자료 구성

SWMM 모형의 구동을 위해서는 기상자료, 대상 지역의 특성 자료, 관망 자료, 수질 자료가 필요하다. 기상자료는 대상 유역으로부터 약 7 km 거리에 있는 대전 기상대에서 매시 관측한 2009년의 강우자료를 사용하였으며, 대상지역의 특성 자료는 위성사진과

지적도로부터 GIS를 이용하여 소유역의 면적, 기울기, 유역폭 등을 산정하였으며 관망자료는 대전시 하수시설물 자료에서 우수관에 해당하는 정보를 추출하여 모형에 적용하였다.

관평천 유역의 SWMM 모형에 적용한 CN값은 미계측 유역의 유효우량 산정에 널리 이용되고 있는 SCS-CN법(USDA-SCS, 1986)을 적용하여 산정하였다. 불투수저감기법 모의에 적용한 CN값은 미국 환경부에서 제시한 LID IMPs별 CN(U.S. EPA, 2008)의 값을 참고하였다(Table 4).

3. 모의 시나리오 구성

(1) 불투수면 저감기법 적용에 따른 유출 및 수질분석

관평천유역 불투수면에 물순환 관리기법을 적용할 경우 유출량과 수질에 미치는 영향을 분석하기 위해 시나리오 모의를 수행하였다. 2009년 8월 11일 단일

Table 4. CN values used for LID techniques and hydrological soil group

LID technique	Hydrological soil group			
	A	B	C	D
Pervious driveway	70	80	85	87
Pervious parking lot	46	65	77	82
Green roof	85	85	85	85
Pervious sidewalk	70	80	85	87

Table 3. Characteristics of SWMM

Section	Characteristics
Application watershed	<ul style="list-style-type: none"> • Urban watershed • Watershed having artificial drainage system
Temporal characteristics	<ul style="list-style-type: none"> • Possible to calculate at single event rainfall, continuous rainfall • Computing time interval is able to control about rainfall event.
Spatial characteristics	<ul style="list-style-type: none"> • Possible to apply on random drainage area • Each drainage area is able to be synthesized/separated. • Drainage basin is able to compose of 200 subbasin, channel and conduit.
Physical characteristics	<ul style="list-style-type: none"> • Runoff is occurred by rainfall and snow-melting • Surface runoff is calculated by nonlinear storage equation • Using Horton or Green-Ampt equation at calculation of infiltration • Channel / conduit <ul style="list-style-type: none"> ① RUNOFF - Nonlinear storage equation ② TRANSPORT - Kinematic equation ③ EXTRAN - Dynamic equation, continuity equation • Using Modified-Pulse method ; assumes parallel surface
Interoperability	<ul style="list-style-type: none"> • WASP, DYNHYD, HEC, STORM, QUAL-II etc.

Table 5. SWMM simulation scenarios applied to Kwanpeyng Stream Watershed

Scenario	Impervious Cover Reduction Techniques	Impervious(%)
KS-S1	Initial condition	50.7
KS-S2	Parking lot and Sidewalk ⇒ Pervious cover	23.78
KS-S3	Apartment and Building ⇒ Green roof	32.39
KS-S4	Parking lot and Sidewalk ⇒ Pervious cover Apartment and Building ⇒ Green roof	5.47

Table 6. SWMM simulation scenarios applied to the complex landuse area

Scenario	Complex area	Impervious(%)
CL-S1	Initial condition	76.45
CL-S2	Sidewalk ⇒ Pervious cover	70.01
CL-S3	Apartment and building ⇒ Green roof	50.41
CL-S4	Parking lot ⇒ Pervious cover	52.89
CL-S5	Sidewalk ⇒ Pervious cover Parking lot ⇒ Pervious cover	46.44
CL-S6	Sidewalk ⇒ Pervious cover Apartment and building ⇒ Green roof	43.96
CL-S7	Parking lot ⇒ Pervious cover Apartment and building ⇒ Green roof	26.84
CL-S8	Sidewalk ⇒ Pervious cover Parking lot ⇒ Pervious cover Apartment and building ⇒ Green roof	20.39

강우사상에 대해서 현재의 토지이용상태를 기초로 물순환 관리기법을 단계적으로 적용한 시나리오를 구성하였다(Table 5). 물순환 관리기법은 연구대상 지역에서 저류시설 부지 확보가 여의치 않음을 고려하여 현실적으로 적용 가능한 투수성포장(pervious cover)과 옥상녹화(green roof)를 선정하였다.

(2) 토지이용별 불투수면 저감기법의 적용 효과 분석
복합용지의 불투수면에 대해서 토지이용에 따라 물순환 관리기법을 적용하여 유출량 및 수질에 미치는 영향을 분석하였다. 2008년의 시간별 강우사상에 대해 모의 시나리오를 구성하였으며, Table 6에 나타내었다. 현재의 토지이용상태를 기초로 물순환 기법을

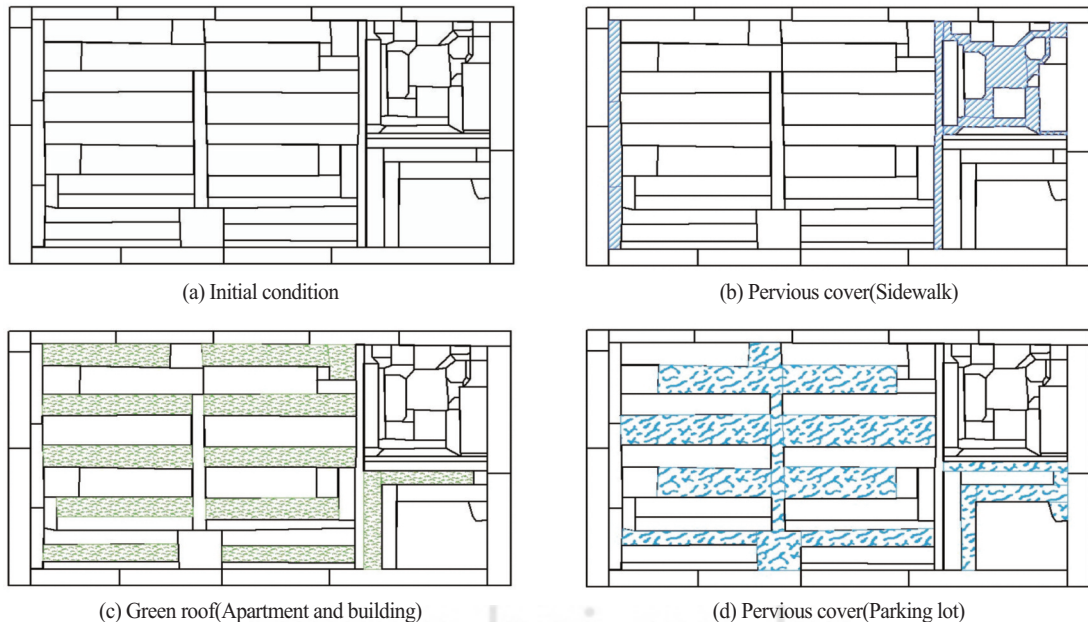


Figure 3. Graphical description of LID techniques applied to the complex landuse area

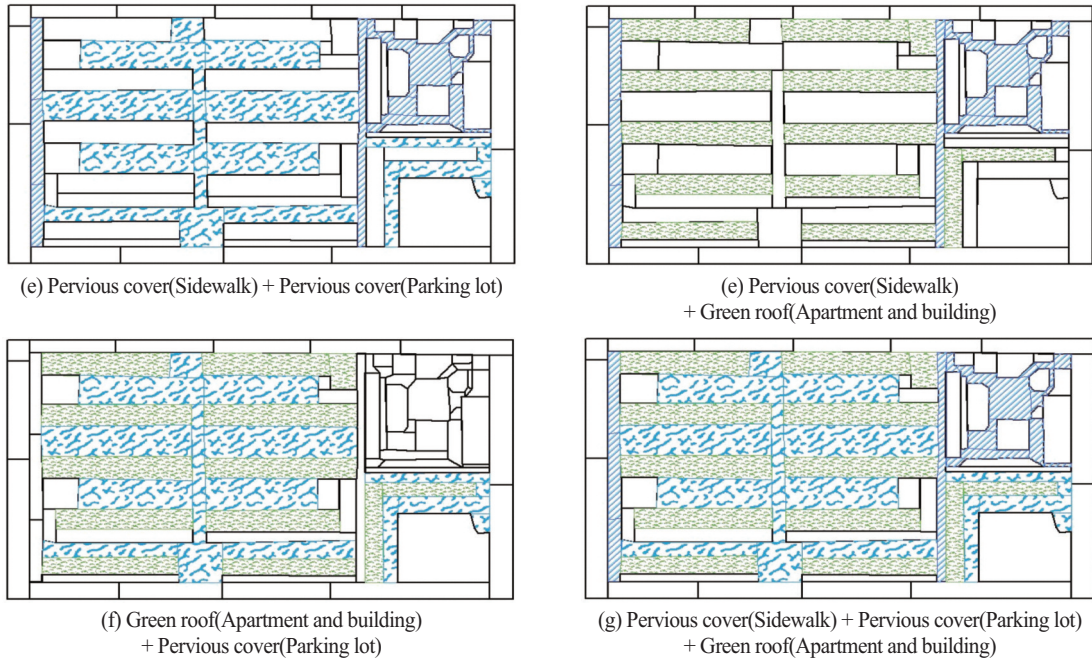


Figure 3. Continued

단계별로 적용하였으며, Figure 3에 불투수면 저감 기법을 적용한 시나리오를 도식화하여 나타내었다.

III. 결과 및 고찰

1. 모형의 보정 및 검증

강우 유출모의에 사용한 매개변수는 투수지역 및 불투수지역의 조도계수, 관거의 조도계수 등이며, SWMM 사용자매뉴얼(Rossmann, 2008)을 참고하여 Table 7과 같이 입력해 주었다. 모형에서의 수질모의는 소유역의 토지이용현황에 따른 오염물질의 축적(Build up)과 쓸림(Wash off) 기작에 의해 모의된다. 본 연구에서는 오염원의 축적 모의는 Power Function, 쓸림은 Exponential Washoff 방법을 사용하여 모의하였으며, 유역특성에 맞게 보정을 통하여 Table 8과 같은 값을 입력하였다.

모형의 보정기간은 2009년 7월 17일, 검증기간은 2009년 8월 11일로 하였으며, 주명호(2009)의 선행 연구에서 측정된 관평천 유역의 실측 자료와 시간별 모의 결과를 비교하여 Figure 4와 Figure 5에 나타내었다. 모형의 오차와 신뢰성 평가는 모의값과 실측

값의 선형회귀분석을 통해 상관관계를 판단하는 결정계수(coefficient of determination, R^2)와 모의결과에 대해 평균오차를 나타내는 예측오차(Root Mean Square Error, RMSE), Nash and Sutcliffe(1970)에 의해 제안된 모형 효율성 지수(Efficient Index, EI)를 이용하여 평가하였다. R^2 는 피어슨 상관계수의 제곱으로 표현되며, 실측유량과 모의유량의 분산정도를 설명할 수 있다(Legate and McCabe, 1999). RMSE는 모의결과와 실측값이 평균적으로 어느 정도의 오차를 포함하는가를 나타내는 지표로 0에 가까울수록 모형이 실측값을 잘 반영함을 알 수 있다. EI는 실측값의 초기 분산(initial variation)과 실측값과 모의값의 불일치(index of disagreement)의 차이와 실측값의 초기 분산과의 비를 나타내는 값으로써 EI가 1.0이면 실측값과 모의값이 일치함을 나타내고, 0과 1사이에 존재하면 실측값의 평균보다 모의값을 사용하는 것이 더 좋은 결과를 얻을 수 있음을 나타내며, 0보다 작게 나올 경우에는 모형의 모의값이 나쁘거나 실측값과 일관성이 없음을 의미한다. 선행 연구 결과에서 R^2 와 EI가 각각 0.5 이상과 0.3 이상(Chung *et al.*, 1999, 2002), 0.5 이상과 0.4 이상

Table 7. Model parameter used for SWMM application to simulation

Manning's n for Impervious area	Manning's n for Pervious area	Depression storage for impervious area (mm)	Depression storage for pervious area(mm)	Manning's n for conduit
0.012	0.12	1.6	5.1	0.015

Table 8. Pollutant parameter used for SWMM application to simulation

Pollutant	Build up(POW)			Wash off(EXP)	
	Max Build up	Rate Constant	Power/Sat. Constant	Coefficient	Exponent
TSS	20	0.38	0.8	0.5	0.65
BOD	20	0.28	0.90	0.5	0.79
COD	20	0.31	0.8	0.48	0.7
TN	5	0.0075	0.75	0.5	0.7
TP	0.5	0.008	0.85	0.5	0.79

(Green *et al.*, 2006), 0.6 이상과 0.5 이상 (Ramanarayanan *et al.*, 1997; Santhi *et al.*, 2001a, 2001b)이면 모형이 자연현상을 잘 반영하여 모의한다고 제안한 바 있다.

모형의 보정기간과 검증기간 동안의 유역 유출 모의 결과에 대한 결정계수와 오차 통계값을 Table 9에 제시하였다. 보정과 검증 기간에 대한 R² 값은 각각 0.519, 0.925, RMSE 값은 각각 0.591, 0.126으로 나타났다. 또한, 보정 및 검증 기간의 EI 값은 각각 -0.514와 0.680으로 나타났다. 7월 17일의 오차 통계 값 중 EI지수가 0보다 작은 값을 보였다. 총 유입량은 18,126 m³, 유출량 17,226 m³으로 유량 실측값이 관측 강우량(19.4 mm, 34,920 m³)에 비해 적게 나타났기 때문에 판단된다.

이러한 결과는 모의에 사용한 강우량 값이 대상유역에서 실제 강우의 공간적 변동성을 정확히 반영하지 못했기 때문으로 사료된다. 하지만, 모의 결과에 두 번째로 나타난 첨두유량 값은 첫 번째 값보다 크게 나타났고, 이는 입력 강우패턴과 유사한 경향을 보였다. 따라서 구축된 모형은 관평천 유역의 강우 유출 해석에 적합한 것으로 판단된다.

수질모의에 대한 보정과 검증 기간의 모의값과 실측값의 오차 통계값을 Table 9에 제시하였다. 대체적으로 R² 값은 0.6 이상의 높은 수치를 보이는 반면에 EI 값은 다소 낮은 수치를 보이는데, 이는 모형에서 유출이 끝남에 따라 오염 물질 배출량도 같이 0으로 수렴하는 경향을 보여주고 있어 유출이 종료되는 시점부터 발생한 오차가 원인으로 판단된다. 그러나

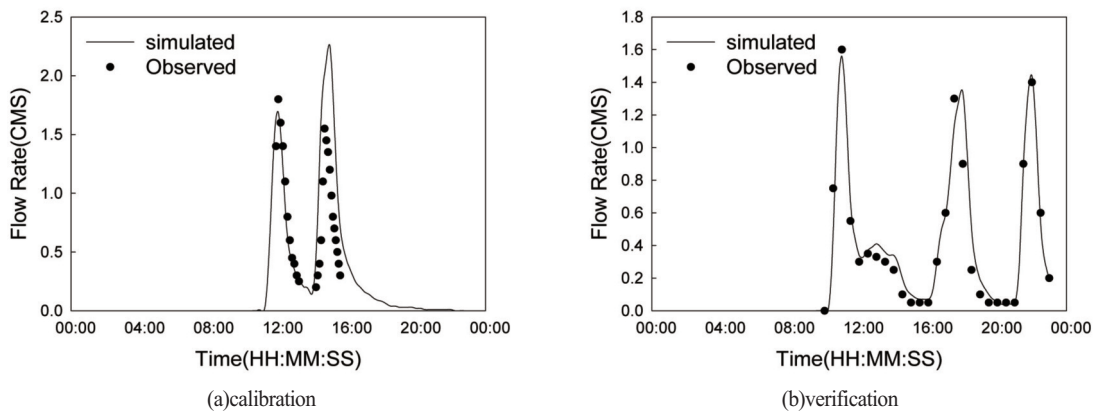


Figure 4. Comparisons of observed and simulated hydrographs during the calibration period('09.07.17) and verification period('09.08.11)

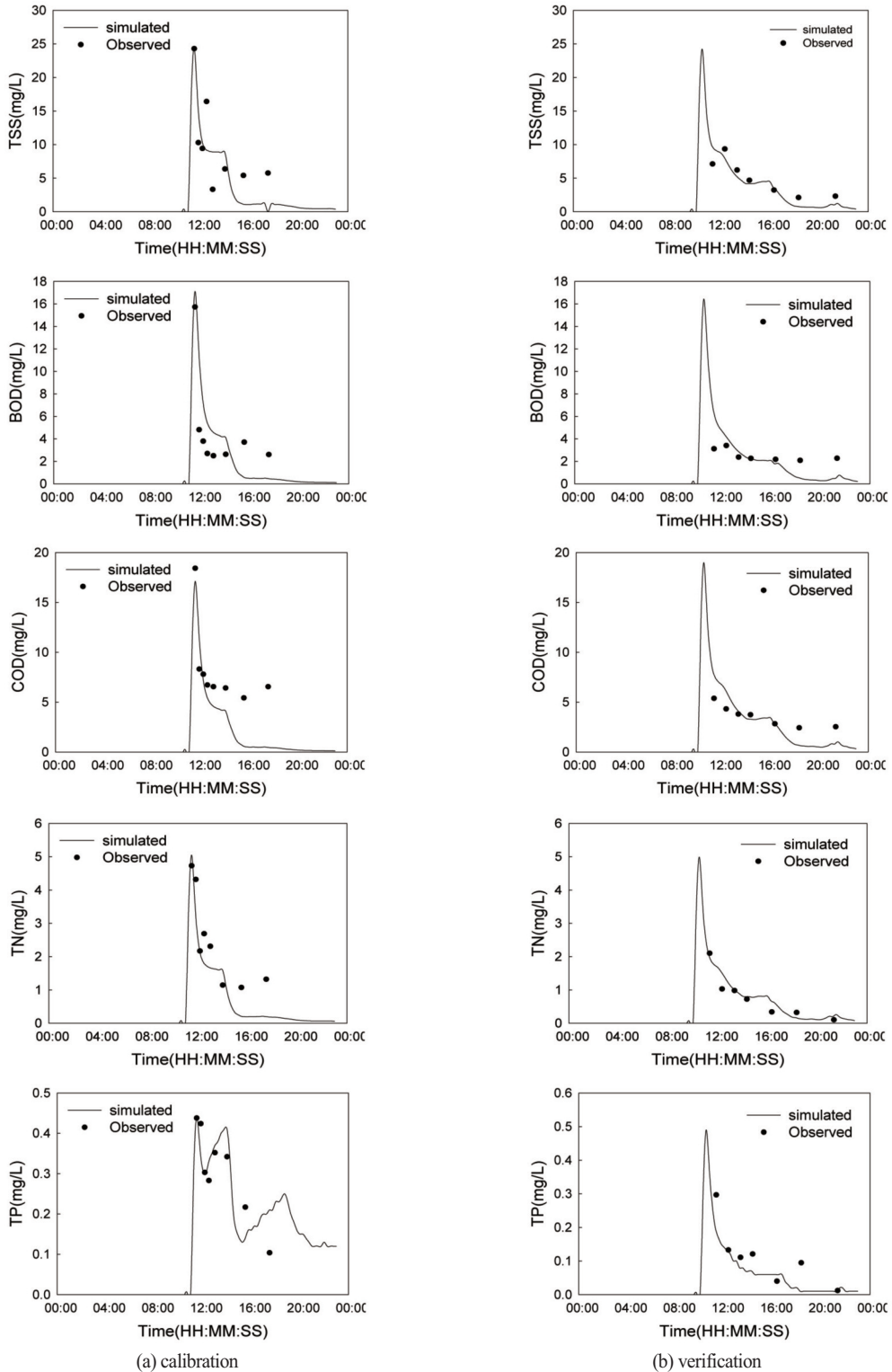


Figure 5. Comparisons of observed and simulated pollutographs during the calibration period('09.07.17) and verification period('09.08.11)

Table 9. R², RMSE, and EI values between simulated and observed values

Contents	Period	R ²	RMSE	EI
Runoff	Calibration	0.519	0.591	-0.514
	Verification	0.925	0.126	0.919
TSS	Calibration	0.591	4.750	0.473
	Verification	0.823	1.206	1.412
BOD	Calibration	0.650	3.640	0.248
	Verification	0.618	0.623	-0.857
COD	Calibration	0.714	3.486	0.211
	Verification	0.943	1.329	-0.901
TN	Calibration	0.884	0.702	0.712
	Verification	0.890	0.182	0.247
TP	Calibration	0.701	0.058	0.676
	Verification	0.789	0.054	0.588

강우시 도시 불투수면을 통한 오염물질의 대부분은 유출 초기와 침투유량 발생기간에 유출이 일어나므로 전체 비점오염물질 배출량 산정에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 사료된다.

2. 시나리오 모의 결과

(1) 불투수면 저감기법 적용에 따른 유출 및 수질분석

관평천 유역에 물순환 관리기법을 적용할 경우, 시나리오별 총 유출량 및 부하량을 Table 10에 나타내었고, 시계열 유출량 및 부하량을 Figure 6에 나타내었다. 불투수면에 물 순환 관리기법 적용에 따라서 강우 유출량과 수질 항목의 오염부하량에 대한 변화가 두드러지게 나타났다. 강우유출량의 경우, KP-S1 대비 각각의 LID 기법을 적용한 순서대로 약 54%, 37%, 89%의 저감 효율을 나타냈고, 불투수면이 투수성으로 바뀌는 비율이 증가할수록 유출량이 감소하는 경향을 보였다. 또한, KP-S1 대비 KP-S4의 TSS, BOD, COD, TN, TP 부하량은 각 항목별로 약 60~62%의 저감효율을 보였다.

하지만 KP-S2와 KP-S3의 경우와 같이, 오염부하량은 침투유량 발생 이후 기저유량의 유출이 발생하는 기간에 부하량의 저감효과가 감소하거나, 오히려 부하량이 증가하는 경향을 보였다. 이것은 도시유역 불투수면에 축적된 오염물질의 배출특성이 주로

Table 10. Changes of runoff and pollutant loads according to LID scenarios in Kwanpyeng Stream watershed (09.08.11)

Contents	KP-S1	KP-S2	KP-S3	KP-S4
Runoff(m ³)	24.5	11.27	15.43	2.68
TSS(kg)	416.81	418.87	457.13	165.77
BOD(kg)	68.22	67.76	75.14	26.07
COD(kg)	335.86	334.33	371.28	129.61
TN(kg)	85.28	85.62	94.76	33.32
TP(kg)	8.05	8.15	9.00	3.12

강우시 쓸림 현상에 의해 발생하며, 초기에 높은 농도의 오염물질이 배출되는 초기유출(First flush) 현상이 원인으로 판단된다. 즉, 강우시에 초기유출의 유량이 감소함에 따라서 오염물질의 유출이 감소되며, KP-1에 비해 많은 오염물질이 남게 된다. 이후 기저유출이 발생하면서 KP-1은 오염부하량이 급격히 감소하는 반면에, KP-S2와 KP-S3는 오염물질의 유출이 지속되면서 부하량이 증가한 것이 원인으로 사료된다.

(2) 토지이용별 불투수면 저감기법의 적용 효과 분석

복합용지에 순환 관리기법을 적용해 모의한 결과, 물 순환 관리기법에 대한 효과가 가장 우수한 시나리오는 CL-S8로써 인도와 주차장, 아파트 및 건물에 각각 투수성 포장과 옥상녹화를 전부 적용한 것으로 초기 상태에 비해 총 유출이 약 61%정도 감소하였다. 두 가지의 기법을 적용한 CL-S5~CL-S7의 경우, Sidewalk에 Pervious cover를 적용 기법이 포함된 CL-S5, CL-S6에서 약 46%의 높은 저감효율을 보였으며, 각각 한가지 기법을 적용한 CL-S2~CL-S4 시나리오 중에는 CL-S2 시나리오에서 약 29%의 가장 높은 저감효율을 보였다.

복합용지에 대한 물 순환 관리기법을 적용한 결과, Figure 7에서 보여주는 것과 같이 총유출량과 침투유량에 대한 저감 효과는 물 순환 관리기법을 적용하는 수준에 따라 크게 구분되는 경향을 보였으며, 배수관망시스템과의 직접 연결성과 불투수면적이 투수성으로 바뀌는 비율에 따라 저감 효과의 차이를 보였다.

복합용지에 대해 물 순환 관리기법을 적용하여 물 순환 개선 효과를 분석한 결과를 Figure 8에 나타내

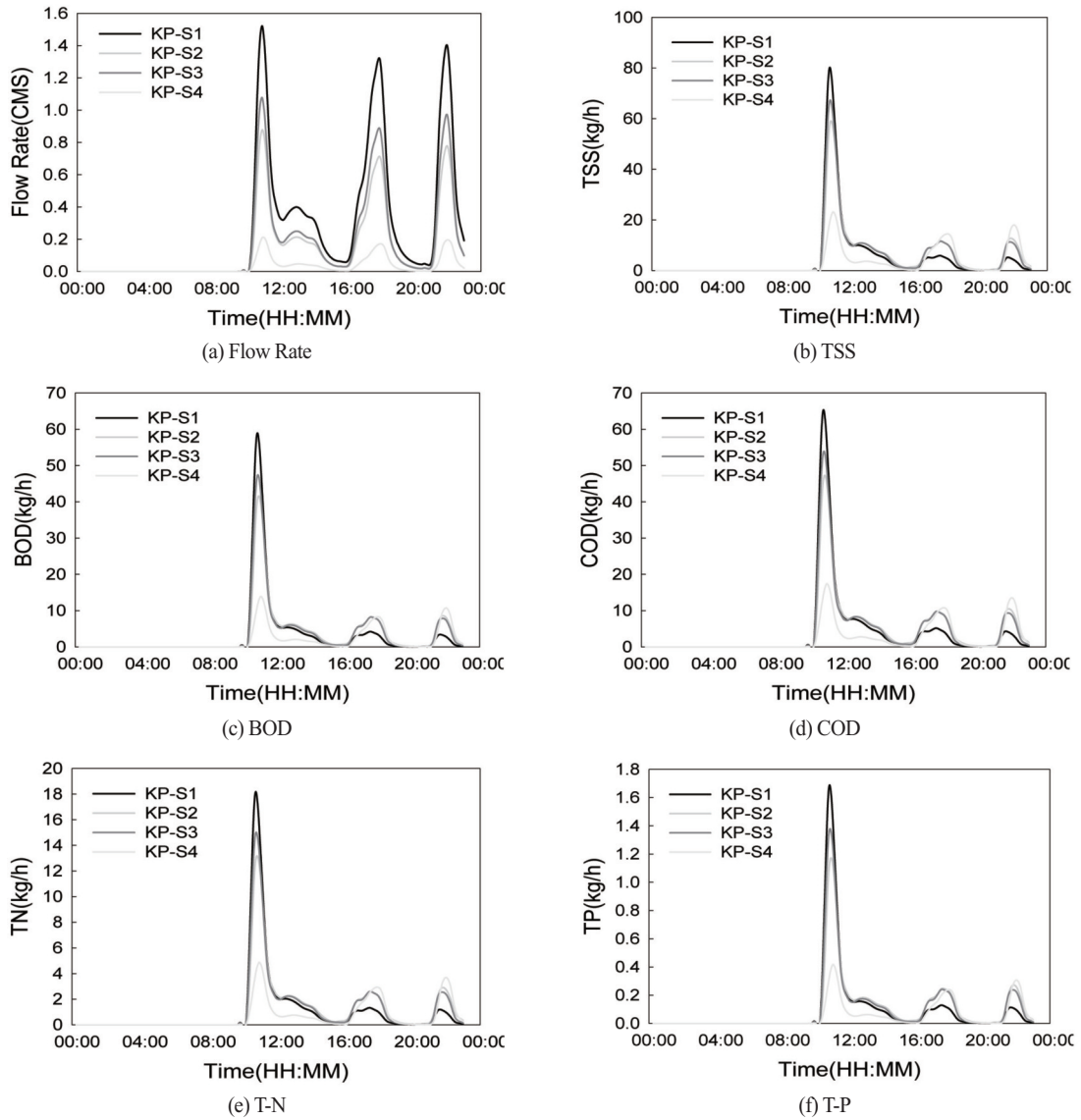


Figure 6. Comparisons of simulated runoffs and pollutant loads for different LID scenarios in Kwanypyeng Stream watershed

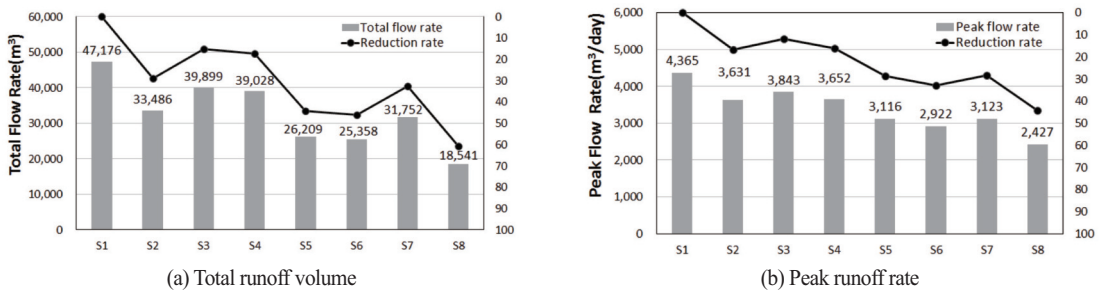


Figure 7. Reduction of total runoff volume and peak flow rate for different LID scenarios in the complex area

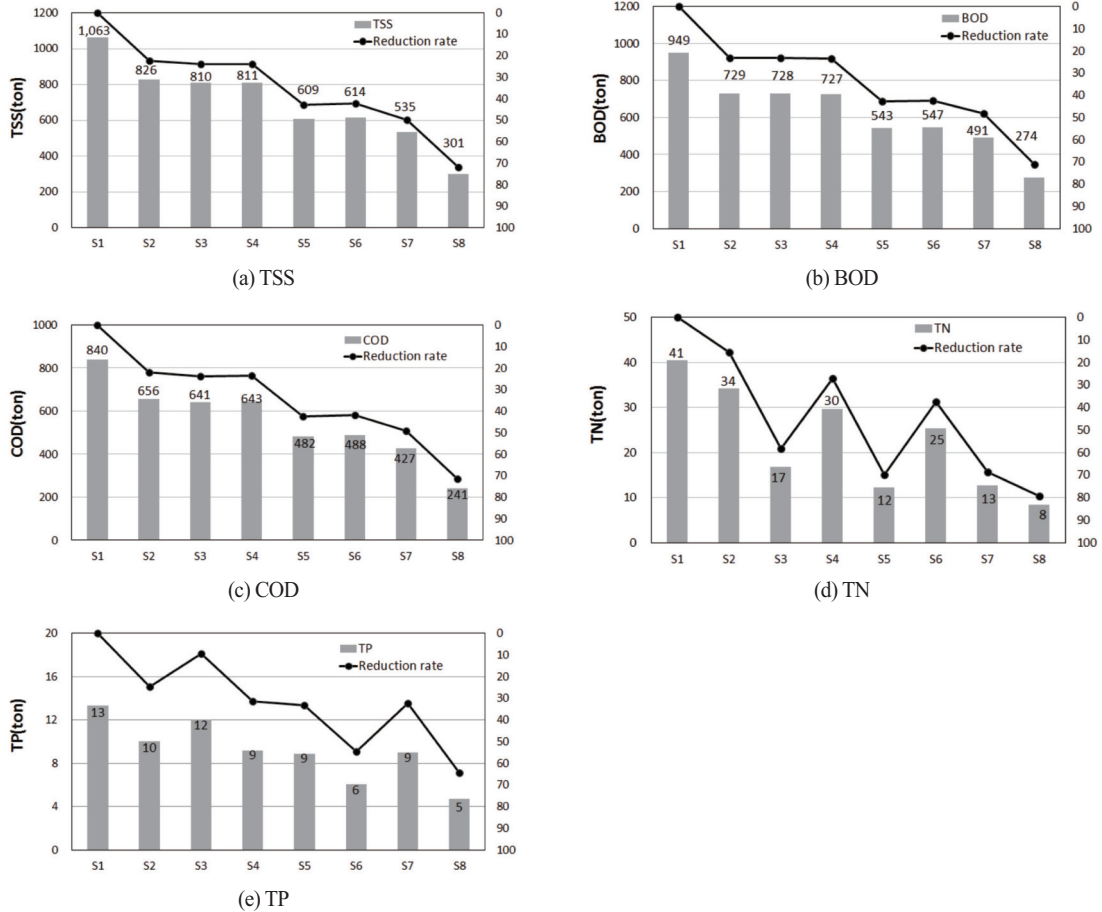


Figure 8. Reduction effect of pollutant loads for different LID scenarios in complex area(08.08.14~08.09.10)

었다. 물순환 관리기법 적용에 따라서, 항목별로 TSS 22~72 %, BOD 23~71 %, COD 22~71 %, TN 15~79 %, TP 9~64 %의 저감효율을 나타냈다. 또한, 물 순환 관리기법의 적용 수준에 따라서 저감 효율이 크게 4개 그룹으로 구분되어 나타났다. 같은 그룹 내에서는 불투수면적이 투수성으로 변하는 비율에 따라 저감의 차이를 보였다. 각 그룹 간 저감 효율은 물 순환 관리 기법이 1개 적용되었을 경우, 약 25 %의 효율을 보였으며, 2개 적용시 약 40~50 %, 3개 전부 적용시 약 70 %의 효율을 보였다. 유출의 경우에 동일 그룹 내에서 불투수면적이 투수면으로 변하는 비율보다 배수관망시스템의 연결성에 따른 총유출량과 침투유량의 저감이 더욱 지배적인 영향을 주는 것으로 나타났다. 수질의 경우 유출 모의와

비슷한 경향을 보였으며, 큰 강우에 의한 유출 발생 시에는 오염원의 배출부하량의 저감 효과가 두드러지게 나타나지만, 작은 강우에 의한 유출에는 배출부하량의 저감효과가 미미하게 나타나는 경향을 보였다. 따라서 복합용지의 경우, 물 순환 관리기법을 통한 물 순환 개선효과를 얻기 위해서는 배수관망을 고려한 불투수면 관리가 필요하다고 판단된다.

IV. 결론

본 연구에서는 도심하천인 관평천 유역을 대상으로 SWMM 모형을 구축하고, 유역의 불투수면 관리 대안으로 저영향개발기법(LID)을 적용할 경우 유출량과 오염부하량에 미치는 영향을 모의 분석하였다. 또한, 도시화된 유역에서 빈번하게 나타나는 토지유

형인 아파트, 학교, 공원 등을 포함한 복합용지를 대상으로 불투수면 저감기법을 적용하여 효과를 분석하였으며, 본 연구결과를 통해 도출된 결론은 다음과 같다.

- (1) SWMM 모형은 관평천 유역에서 모형의 보정과 검증 기간에 유출량과 오염물질 농도의 시계열 변화를 적절히 모의하였다. 그러나, 모의 대상 유역과 강우관측 지점의 공간적 차이(7 km)로 인해 모형 보정 기간에는 유출량 EI 값이 음의 값을 보였으며, 모형의 신뢰도를 높이기 위해서는 대상유역 내 실측 강우 자료를 사용할 필요가 있다.
- (2) 관평천 유역의 불투수면에 대해 투수성 포장과 옥상녹화 기법을 단계별로 적용하고 유출량 및 오염부하 저감에 미치는 영향을 모의한 결과, 유역 내 불투수면이 투수면으로 전환되는 비율이 증가함에 따라 저감 효과가 큰 것으로 나타났다. LID 기법 적용의 정도에 따라서 유출량은 37~89 %의 저감효과를 보였고, TSS, BOD, COD, TN, TP 등의 부하량도 항목별로 최대 60~62 %의 저감효율을 보였다. 그러나 불투수면에 축적된 오염물질의 배출특성이 주로 강우 초기 쓸림 현상(First flush)에 의해 발생하여, 침투 유량 이후 기저유출이 발생하는 기간에는 부하량의 저감효과가 감소 또는 오히려 부하량이 증가하는 경향을 보였다.
- (3) 대상 하천의 대표적 토지이용 형태인 아파트, 학교, 공원 등을 포함한 복합용지에 대해 다양한 LID 기법 적용 효과를 모의한 결과, 관평천 유역과 유사하게 LID 적용 면적 비율이 증가함에 따라 저감효과가 크게 나타났다. 총 유출량은 15~61 %의 저감효과를 보였으며, 오염부하량에 대해서는 TSS 22~72 %, BOD 23~71 %, COD 22~71 %, TN 15~79 %, TP 9~64 %의 저감효율을 나타냈다.
- (4) 불투수면 영향 저감을 위한 LID 및 GI 기법들은 이미 개발이 완료된 도시지역에 적용할 경우 부지확보 등 여러 가지 제약이 있을 수 있으므로, 물 순환 개선을 위한 기존 도시의 재개발

과 신도시 설계에 유용하게 적용 가능할 것으로 판단된다.

- (5) 본 연구의 결과는 유역의 불투수면 관리 정책 개발을 위한 기초정보로 활용될 수 있을 것으로 기대되며, 도시유역의 물순환 개선과 비점 오염부하량 저감을 위한 정책 및 제도 개발을 위해서는 오염총량관리와의 연계가 필요하다. 그리고 국내 실정에 맞는 SWMM 모형의 중요 입력 변수(LID 기법별 CN값, 오염물질 축적 및 쓸림 매개변수 등) 제시를 위한 실험적 연구가 지속적으로 요구된다.

인용문헌

- 김성준, 박근애, 전무갑. 2005. 토지이용의 변화가 홍수유출에 미치는 영향분석. 한국수자원학회지, 38(4), pp. 301-311.
- 박준호, 유용규, 박영곤, 윤희택, 김종건, 박윤식, 전지홍, 임경재. 2008. SWMM을 이용한 춘천 거두 1지구의 LID 개념 적용으로 인한 유출 감소 특성 분석. 수질보전한국물환경학회지, 24(6), pp. 806-816.
- 백종락, 김환석, 박기정, 윤재영. 2014. SWMM 모형을 이용한 식생저류지의 오염물질 저감효율 평가. 한국물환경학회 · 대한상하수도학회 공동총계 학술발표논문집, pp. 600-601.
- 여규동, 정영훈. 2013. 도시지역의 옥상녹화에 따른 유출저감효과 분석과 비용 산정, 서울도시연구, 14(2), pp. 161-177.
- 전지홍, 최동혁, 김태동. 2009. 지속가능한 도시개발을 위한 LID평가모델(LIDMOD)개발과 수질오염총량제에 대한 적용성 평가. 한국물환경학회, 25(1), pp. 58-68.
- 주명호. 2009. 도시 소유역에서의 우수에 의한 오염부하 산정을 위한 자동 Monitoring System의 구축과 SWMM의 적용. 충남대학원 석사학위 청구논문.
- 최지용, 김병익, 박백수, 정은성. 2008. 물 환경관리를 위한 불투수면 지표의 적용성 연구, 수

- 질보전한국물환경학회지, 24(6), pp. 767-772.
- 한강수계관리위원회. 2007. 수계별 유역의 불투수율조사 및 저감방안 연구(1차년 최종보고서), pp. 219-223.
- 함광준, 김준현, 허범녕, 최지용, 김영진. 2006. 유역의 불투수성에 따른 강우유출특성 비교. 환경영향평가학회지, 15(2), pp. 157-163.
- Barry NW, Reddish DJ. 1989. Subsidence occurrence, prediction and control. Elsevier. Amsterdam, Developments in Geotechnical Engineering.
- Bernard E, James GH. 2009. L-THIA LID Long-term Hydrologic Impact Assessment Low Impact Development Model. Spreadsheet Version. Purdue University.
- Burszta-Adamiak E, Mrowiec M. 2013. Modelling of green roofs 'hydrologic performance using EPA's SWMM. Water Science&Technology, 68(1), pp. 36-42.
- Chester L, Arnold Jr. and C, James G. 1996. Impervious surface coverage : The emergence of a key environmental indicator. Journal of the American Planning Association, 6(2), pp. 243-258.
- Christopher P, Meredith PW, Thomas J, James L Jr.b, Jeremy S, Philip G, Randall F, William S, Eric M. 2011. Assessment of low impact development for managing stormwater with changing precipitation due to climate change, Landscape Urban Planning, 103(2), pp. 166-173.
- Chung SW, Gassman PW, Gu R, Kanwar RS. 2002. Evaluation of EPIC for assessing tile flow and nitrogen losses for alternative agricultural management systems. Transactions of the ASAE, 45(4), pp. 113-122.
- Chung SW, Gassman PW, Kramer LA, Williams JR, Gu R. 1999. Validation of EPIC for two watersheds in southwest Iowa. J. of Environmental Quality, 28(3), pp. 971-979.
- David RL, Gregory JM Jr. 1999. Evaluating the use of "goodness of fit" measures in hydrologic and hydro-climatic model validation. Water Resource Research, 35(1), pp. 233-241.
- Derek BB, Lorin ER. 1993. Consequences of urbanization on aquatic system: Measured Effect, Degradation Thresholds, and Corrective Strategies, Watershed '93 A National Conference on Watershed Management. U. S. Environmental Protection Agency. pp. 545-550.
- Elizabeth B, Stacey S, Paul LR. 2002. Impervious surface and water quality: A review of current literature and its implications for watershed planning. J. of Planning Literature, 16(4), pp. 499-514.
- Elliotta AH, Trowsdaleb SA. 2007. "A review of models for lowimpact urban stormwater drainage." Environ. Model. Software, 22(3), pp. 394-405.
- Green CH, Tomer MD, Luzio MD, Arnold JG. 2006. Hydrologic evaluation of the soil and water assessment tool for a large tile-drained watershed in Iowa. Transactions of the ASAE, 49(2), pp. 413-422.
- <http://water.epa.gov/polwaste/green/>
- John G. 1991. Thermal Impacts Associated With Urbanization and Stormwater Management Best Management Practices. Metropolitan Washington Council of Governments. Maryland Department of Environment. Washington, D.C.
- Jones RC, Christopher CC. 1987. Impact of

- watershed urbanization on stream insect communities. *American Water Resources Association*, 23(6), pp. 1047-1056.
- Laurent A, Indrajeet C, Bernard E, Keith C, Venkatesh M. 2013. Estimation of annual baseflow at ungauged sites in Indiana USA. *Journal of Hydrology*, 476, pp. 13-27.
- Lewis AR. 2008. Storm water management model User's manual version 5.0
- Marlene S, Aatur R, Garry R. 2014. Modeling of a lot scale rainwater tank system in XP-SWMM: A case study in Western Sydney, Australia. *Journal of Environmental Management*, 141, pp. 177-189.
- Nash JE, Sutcliffe JV. 1970. River flow forecasting through conceptual model; Part1 - A discussion of principles. *J. of Hydrology*, 10(3), pp. 398-409.
- Qin H, Li Z, Fu G. 2013. The effects of low impact development on urban flooding under different rainfall characteristics. *Journal of Environmental Management*, 129, pp. 577-585.
- Ramanarayanan TS, Williams JR, Dugas WA, Hauck LM, McFarland AMS. 1997. Using APEC to identify alternative practiced for animal waste management. ASAE Paper.
- Richard DK. 1979. Urbanization and stream quality impairment. *Water Resources Bulletin. American Water Resources Association*, 15, pp. 948-963.
- Santhi C, Arnold JG, Williams JR, Dugas WA, Srinivasan R, Hauck LM. 2001a. Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources. *J. of the American Water Resources Association*, 37(5), pp. 1169-1188.
- Santhi C, Arnold JG, Williams JR, Hauck LM, Dugas WA. 2001b. Application of a watershed model to evaluate management effects on point and nonpoint source pollution. *Transactions of the ASAE*, 44(6), pp. 1559-1570.
- Santosh MP, Mahesh KJ, Deepak K. 2013. "Integrated urban watermanagement modelling under climate change scenarios." *Resour. Conserv. Recycl*, 83, pp. 176-189.
- Shaver EMJ, Curtis G, Carter D. 1995. Watershed protection using an integrated approach. In *Stormwater NPDES Related Monitoring Needs*. Engineering Foundation, America Society of Civil Engineers.
- Thomas RS. 1987. *Controlling Urban Runoff- A Practical Manual for Planning and Designing Urban Best Management Practices*. Metropolitan Washington Council of Governments.
- Thomas RS. 1994. The importance of imperviousness. *Watershed Protection Techniques*, Center for Watershed Protection, 1(3), pp. 100-111.
- USDA-SCS(U.S. Department of Agriculture-Soil Conservation Service). 1986. *Urban Hydrology for small Watersheds*. Technical Release No.55. U.S. Government Printing Office.
- Wayne CH, Robert ED. 1988. *Storm Water Management Model version 4; User's Manual*. University of Florida, Gainesville. USA. Department of Environmental Engineering Sciences.
- Zahra Z, Steven JB, Mohammad K, F.ASCE, Hassan T, Erfan G. 2014. *Low-Impact Development Practices to Mitigate*

Climate Change Effects on Urban Stormwater Runoff : Case Study of New York City. *J. Irrig. Drain Eng.* 04014043. 1-13.

References

- Barry NW, Reddish DJ. 1989. Subsidence occurrence, prediction and control. Elsevier. Amsterdam, *Developments in Geotechnical Engineering*.
- Beak J, Kim H, Pak G, Yoon J. 2014. Evaluation of Bioretention performance using EPA's SWMM. *Journal of Korean Society on water Quality*. 2014. pp. 600-601.
- Bernard E, James GH. 2009. L-THIA LID Long-term Hydrologic Impact Assessment Low Impact Development Model. Spreadsheet Version. Purdue University.
- Burszta-Adamiak E, Mrowiec M. 2013. Modelling of green roofs 'hydrologic performance using EPA's SWMM. *Water Science&Technology*, 68(1), pp. 36-42.
- Chester L, Arnold Jr. and C, James G. 1996. Impervious surface coverage : The emergence of a key environmental indicator. *Journal of the American Planning Association*, 6(2), pp. 243-258.
- Choi J, Kim B, Park B, Chung E. 2008. Applicability of Impervious Cover Index of Water Environment Management. *Journal of Korean Society on water Quality*, 24(6), pp. 767-772.
- Christopher P, Meredith PW, Thomas J, James L Jr.b, Jeremy S, Philip G, Randall F, William S, Eric M. 2011. Assessment of low impact development for managing stormwater with changing precipitation due to climate change, *Landscape Urban Planning*, 103(2), pp. 166-173.
- Chung SW, Gassman PW, Gu R, Kanwar RS. 2002. Evaluation of EPIC for assessing tile flow and nitrogen losses for alternative agricultural management systems. *Transactions of the ASAE*, 45(4), pp. 113-122.
- Chung SW, Gassman PW, Kramer LA, Williams JR, Gu R. 1999. Validation of EPIC for two watersheds in southwest Iowa. *J. of Environmental Quality*, 28(3), pp. 971-979.
- David RL, Gregory JM Jr. 1999. Evaluating the use of "goodness of fit" measures in hydrologic and hydro-climatic model validation. *Water Resource Research*, 35(1), pp. 233-241.
- Derek BB, Lorin ER. 1993. Consequences of urbanization on aquatic system : Measured Effect, Degradation Thresholds, and Corrective Strategies, Watershed '93 A National Conference on Watershed Management. U. S. Environmental Protection Agency. pp. 545-550.
- Elizabeth B, Stacey S, Paul LR. 2002. Impervious surface and water quality: A review of current literature and its implications for watershed planning. *J. of Planning Literature*, 16(4), pp. 499-514.
- Elliotta AH, Trowsdale SA. 2007. "A review of models for lowimpact urban stormwater drainage." *Environ. Model. Software*, 22(3), pp. 394-405.
- Green CH, Tomer MD, Luzio MD, Arnold JG. 2006. Hydrologic evaluation of the soil and water assessment tool for a large tile-drained watershed in Iowa. *Transactions of the ASAE*, 49(2), pp.

- 413-422.
- Ham K, Kim J, Huh B, Choi J, Kim Y. 2006. The watershed Imperviousness Impact for the characteristic of Stormwater runoff. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 15(2), pp. 157-163.
- <http://water.epa.gov/polwaste/green/>
- Jeon J, Choi D, Kim T. 2009. LIDMOD Development of Evaluating Low Impact Development and Its Applicability to Total Maximum Daily Loads. *Journal of Korean Society on water Quality*, 25(1), pp. 58-68.
- John G. 1991. Thermal Impacts Associated With Urbanization and Stormwater Management Best Management Practices. Metropolitan Washington Council of Governments. Maryland Department of Environment. Washington, D.C.
- Jones RC, Christopher CC. 1987. Impact of watershed urbanization on stream insect communities. *American Water Resources Association*, 23(6), pp. 1047-1056.
- Joo M. 2009. Application of SWMM and establishment of auto monitoring system to evaluate small urban nonpoint source pollutant.
- Kim S, Park G, Chun M. 2005. Analysis of Runoff Impact by Land Use Change - Using Grid Based Kinematic Wave Storm Runoff Model (KIMSTORM). *Journal of Korea Water Resources Association*, 38(4), pp. 301-311.
- Laurent A, Indrajeet C, Bernard E, Keith C, Venkatesh M. 2013. Estimation of annual baseflow at ungauged sites in Indiana USA. *Journal of Hydrology*, 476, pp. 13-27.
- Lewis AR. 2008. Storm water management model User's manual version 5.0
- Marlene S, Ataur R, Garry R. 2014. Modeling of a lot scale rainwater tank system in XP-SWMM: A case study in Western Sydney, Australia. *Journal of Environmental Management*, 141, pp. 177-189.
- Nash JE, Sutcliffe JV. 1970. River flow forecasting through conceptual model; Part1 - A discussion of principles. *J. of Hydrology*, 10(3), pp. 398-409.
- Park J, Yoo Y, Park Y, Yoon H, Kim J, Park Y, Jeon J, Lim KJ. 2008. Analysis of Runoff Reduction with LID Adoption using the SWMM. *Journal of Korean Society on water Quality*, 24(6), pp. 806-816.
- Qin H, Li Z, Fu G. 2013. The effects of low impact development on urban flooding under different rainfall characteristics. *Journal of Environmental Management*, 129, pp. 577-585.
- Ramanarayanan TS, Williams JR, Dugas WA, Hauck LM, McFarland AMS. 1997. Using APEC to identify alternative practiced for animal waste management. ASAE Paper.
- Richard DK. 1979. Urbanization and stream quality impairment. *Water Resources Bulletin. American Water Resources Association*, 15, pp. 948-963.
- Santhi C, Arnold JG, Williams JR, Dugas WA, Srinivasan R, Hauck LM. 2001a. Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources. *J. of the American Water Resources Association*, 37(5), pp. 1169-1188.
- Santhi C, Arnold JG, Williams JR, Hauck LM, Dugas WA. 2001b. Application of a watershed model to evaluate management

- effects on point and nonpoint source pollution. Transactions of the ASAE, 44(6), pp. 1559-1570.
- Santosh MP, Mahesh KJ, Deepak K. 2013. "Integrated urban watermanagement modelling under climate change scenarios." Resour. Conserv. Recycl, 83, pp. 176-189.
- Shaver EMJ, Curtis G, Carter D. 1995. Watershed protection using an integrated approach. In Stormwater NPDES Related Monitoring Needs. Engineering Foundation, America Society of Civil Engineers.
- The management committee of Han River Hydrosphere. 2007. A research on investigation and management of watershed imperviousness. pp. 219-223.
- Thomas RS. 1987. Controlling Urban Runoff- A Practical Manual for Planning and Designing Urban Best Management Practices. Metropolitan Washington Council of Governments.
- Thomas RS. 1994. The importance of imperviousness. Watershed Protection Techniques, Center for Watershed Protection, 1(3), pp. 100-111.
- USDA-SCS(U.S. Department of Agriculture-Soil Conservation Service). 1986. Urban Hydrology for small Watersheds. Technical Release No.55. U.S. Government Printing Office.
- Wayne CH, Robert ED. 1988. Storm Water Management Model version 4; User's Manual. University of Florida, Gainesville. USA. Department of Environmental Engineering Sciences.
- Yeo K, Jung Y. 2013. An Analysis of Effect of Green roofs in Urbanized Areas on Runoff Alleviation and Cost Estimation, Reserch of City Seoul. 14(2), pp. 161-177.
- Zahra Z, Steven JB, Mohammad K, F.ASCE, Hassan T, Erfan G. 2014. Low-Impact Development Practices to Mitigate Climate Change Effects on Urban Stormwater Runoff : Case Study of New York City. J. Irrig. Drain Eng. 04014043. 1-13.