

우수 침투 시설을 활용한 친환경 도시 개발지구에서의 유출량 및 비점오염 저감 효과 분석

Analysis of Effect on Runoff and Water Quality of LID using Infiltration Facilities

황진용* · 연규석* · 김익재** · 김기성* · 최중대* · 전지홍*** · 임경재*†
Hwang, Jin Yong* · Yeon, Kyu-Seok* · Kim, Ik Jae** · Kim, Ki-Sung* ·
Choi, Joongdae* · Jeon, Ji Hong*** · Lim, Kyoung Jae*†

ABSTRACT

With urbanization in many countries, many pervious areas are being converted into impervious areas. These land use changes cause many negative impacts on runoff and water quality in the areas. Especially runoff volume and peak runoff are increasing with urbanization. In addition to the increased runoff, more pollutant transports to the downstream areas. For these reasons, Low Impact Development (LID) are nowadays being introduced in urban planning. For environment-friendly and economical urban development, the LID Integrated Management Practices (IMPs) are applied in various urban development. However, exact effects on runoff and water quality of various LID IMPs are not assessed with proper LID evaluation technique. Thus, the SWMM (Storm Water Management Model) 5.0 model was slightly modified to simulate the effect of infiltration manhole on runoff and water quality. For comparison of runoff and TSS (Total Suspended Solids) from the study area (26.5 ha), three scenarios were made in this study. It was found that runoff volume, peak runoff, and TSS could be reduced with infiltration manholes and pervious pavements to some degree. Although, there are many limitations in the analysis of LID effects on runoff and TSS, similar trends shown in this study would be expected with site-specific LID IMPs. Thus, it is strongly recommended that various site-specific LID IMPs, such as infiltration facilities, should be applied as much as possible for environment-friendly urban planning.

Keywords: Urbanization; low impact development (LID); SWMM (storm water management model); peak rate runoff

1. 서 론

지난 수십여 년 간 산업화로 인하여 임야 및 농경지, 또는 저밀도 주거지역이었던 지역이 고밀도 주거단지, 산업단지, 상가 등으로 개발되어 도시의 광역화를 이룸으로써 도시 유역내 수문 및 환경에 많은 변화가 발생하였다. 수문학적 관점에서 살펴보면 불투수면적이 증대되고, 이로 인해 침투능이 감소하

여 유역 내 유출량 및 침투유량이 증가하게 된다 (Choi et al., 2009). 그동안 도시 유역에서의 지표수 배출방안으로 우수관거를 매설하여 유출수를 하천으로 빨리 유출시켜 지표면의 침수를 방지하였으나, 결국 유하시간이 단축되어 유역 전체적으로 볼 때 오히려 침투홍수량이 증가되어 또 다른 홍수 피해 위험인자로 작용할 수도 있다. 이러한 기존의 지표수 배출방안으로는 최근 급격하게 증가하고 있는 대규모 개발 사업 등으로 지표유출 증가를 근본적으로 대처하는데 한계가 있다. 또한 도시화에 따른 유출 및 침투유량의 증가, 특히 초기강우는 도시유역 비점오염 발생 및 거동에도 많은 영향을 미치게 된다 (Park and Kim, 2007). 이와 같이 택지 및 각종 단지 개발과 같은 사업은 기존 수계에 대한 수문학적 요소들을 변화시켜 하천이 가지고 있던 기능을 축소시킴으로써 다양한 수문 및 수환경 문제를 야기하고 있다. 또한 녹지공간이 가지고 있는 역할

* 강원대학교 지역건설공학과

** 한국환경정책평가연구원

*** 안동대학교 환경공학과

† Corresponding author. Tel.: +81-33-250-6468

Fax: +81-33-251-1518

E-mail address: kjlim@kangwon.ac.kr

2009년 11월 16일 투고

2009년 11월 24일 심사완료

2009년 11월 25일 게재확정

중 수문학적 역할만을 위해 면적 및 위치 등을 결정할 수 있는 것은 아니다. 따라서 기존의 불투수면적 비율을 유지하면서도 그에 따른 유출량의 증가분에 대해 효율적으로 제어가 가능한 대안이 필요로 하게 되었으며, 그 결과 우수침투시설, 저류시설, 각종 투수성 포장재료가 개발되어 택지 및 각종 단지 개발에 적용되고 있다. 그 예로 도시지역 집수구역의 대부분이 불투수층으로 포장됨으로 인해 발생하는 홍수피해 및 건천화 문제를 감소시키기 위한 방안으로 우수 침투통 (Shim and Ahn, 2004; Sung et al., 2004) 및 투수성 포장재에 대한 유출량 저감 효과 분석 (Yi et al., 2001; Lee et al., 2008)에 관한 연구가 진행되어 오고 있다. 또한 최근에는 단지 계획 및 개발시 토지개발에 따른 수환경 영향을 최소화할 수 있는 저영향 개발 (Low Impact Development: LID)에 관한 많은 연구가 집중되고 있다. 위에서 언급한 우수 침투통 및 투수성 포장재를 비롯하여 도시개발로 인해 발생하는 각종 환경 오염 및 물순환 체계 변화 인자를 개발지역내에서 흡수 처리할 수 있는 LID 개념을 도입하여 단지 개발을 계획하는 사례가 많이 있다 (Park et al., 2008; Jeon et al., 2009; Coffman, 2000; Dalziel and Cloak, 2005; Department of Environmental Resources, 1999). 그동안 도시 유역에서 강우-유출수 문제는 주로 우수저류 탱크나 우수저류지 등의 시설을 설치하여 해결하려는 방안이 주로 모색되어 왔다. 그러나 최근 앞에 기술한 바와 같이 투수성 포장재나 우수 침투 시설 등을 이용하여 유출수가 외부로 빠져나가는 것을 최소화하고 빗물이 떨어지는 지점에서 빗물을 모아 재처리하거나 지하로 침투시킴으로써 보다 친환경적인 물순환 체계를 유지할 수 있는 방법에 관심이 집중되고 있다. 외국의 경우 1970 ~ 1980년대부터 홍수 등의 재해예방과 하천의 건천화 방지를 위하여 도로, 주차장 등 공공 시설은 물론 주택, 아파트 등 사유시설에서도 우수 유출저감시설의 설치를 법적으로 제도화 하고 있다 (Department of Housing and Urban Development Office of policy Development and Research Washington, D.C., 2003). 우리나라의 경우 물순환 회복에 대해 다양한 노력을 기울이고 있으며, 그 일환으로 우수 침투 및 저류 시설 설치, 공원과 녹지 정비, 하천정비, 하수도 정비 등을 제시하고 있으나, 도시 유역내 물흐름을 고려한 배치 및 설계, 토양기반 관리에 대해서는 매우 제한적인 연구가 수행되어 오고 있다 (Song et al., 2005; Lee et al., 2001). 일반적으로 우리나라 도시 환경의 모든 부분은 LID Integrated Management Practices (IMP)로 이용될 수 있는 가능성을 가지고 있다. 이러한 LID 기술은 신도시 건설, 모든 개발 사업장, 도시재생 또는 재개발, 농공단지 및 산업단지 개발 등에 모두 적용가능하다. 이러한 다양한 시도는 유역의 지하수 함양 능력을 유지시킴으로써 도시 하천의 건천화

방지효과를 기대할 수 있으며, 하천 제방 시설 및 하천시설 확충을 기하지 않고도 도시 유역의 효율적 홍수관리를 기대할 수 있는 좋은 대안이 될 수 있다 (Woo and Oh, 2006; Whittaker and Reddish, 1989).

하지만 이와 같은 저영향 개발 (LID) 기법을 적용하여 친환경 도시개발을 하였을 때, 효과가 있을 것이라는 짐작만으로 이용되고 있는 실정이지, 정량적으로 그 효과를 평가하는 연구는 매우 제한적으로 행해져왔으며, 또한 효과적인 평가방법 부재로 인하여 많은 가정하에 이루어졌다. 친환경 도시개발을 위해서는 도시 개발 후 평가보다는 도시 설계단계부터 유출 감소 및 수질개선이 가능한 LID IMPs 를 고려하여 개발계획을 수립하는 것이 필요하다. 따라서 LID IMPs 적용에 따른 효과를 평가하기 위한 많은 모형이 개발되어 이용되고 있다. 최근 들어 Park et al. (2008)은 LID 개념을 SWMM (Storm Water Management Model) 모형에 적용하여 도시지역 개발 전·후 유출량 및 침투유량 변화를 모의한 바 있으며, Jeon et al. (2009)은 지속가능한 친환경 도시개발을 위한 LID 기법의 설계 및 평가를 위해 CN기법을 기반으로 한 LIDMOD를 개발 및 적용하여 유출량 저감효과를 분석한 바 있다. 그동안 LID IMPs 효과를 평가하기 위한 연구 내용 중 다양한 침투시설의 효과를 분석한 내용은 매우 제한적으로 수행되어 왔으며, 이중 우수 침투통 및 투수성 포장 효과를 함께 평가한 연구 내용은 거의 전무한 실정이다. 이는 우수 침투통을 개략적으로라도 평가할 수 있는 평가모듈이 없었기 때문이다. 따라서 이러한 우수 침투통을 고려할 수 있는 간단한 모듈이 개발된다면 개발 지역 내 LID IMPs를 효율적으로 결정할 수 있어 과다 설계를 방지하고 불필요한 요소를 제거하여 친환경 도시 개발이 가능해질 것으로 판단된다.

따라서 본 연구의 목적은 1) 기존 LID 평가 기법의 장단점을 분석하여 LID 효과를 평가할 수 있는 모형을 선정하여, 2) 우수 침투통의 효과를 간단하게 평가할 수 있도록 모듈을 개발하여 우수 침투통과 투수포장과 같은 LID 최적기법의 유출 및 침투유량 저감, 그리고 수질 개선효과를 분석하는데 있다.

II. 연구방법

1. 연구대상 지역

본 연구의 연구대상 지역은 강원도 춘천시 동내면 거두리 산 70번지 일원에 위치한 거두 농공단지이다. 거두 농공단지 연구대상 지역의 면적은 26.5 ha로서 개발 전에는 주로 임야와 농경지로 구성되어 있었고, 현재 농공단지 택지 조성이 완료된 상태이다. Fig. 1은 다음위성영상지도를 이용하여 본 연구 대상

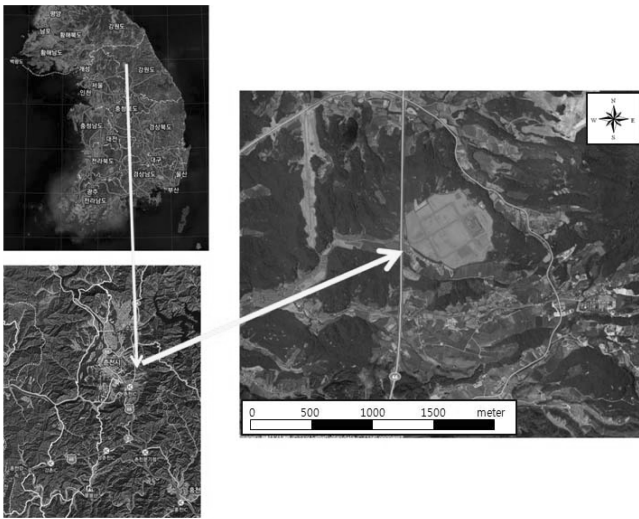


Fig. 1 Location of Geo-Du study area

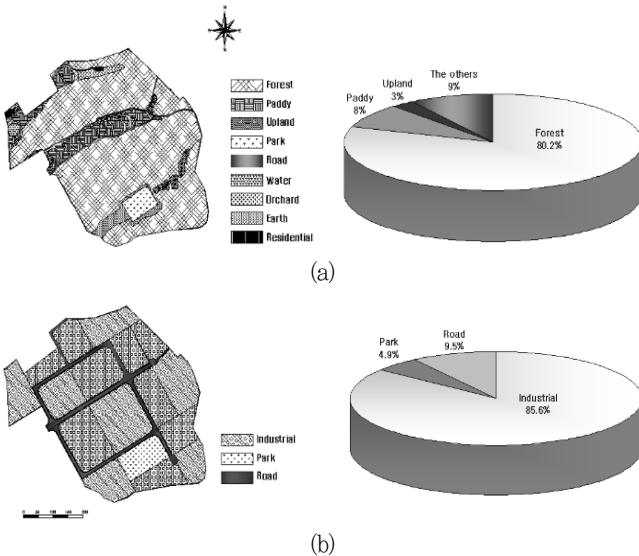


Fig. 2 Land use changes at study area before (a) and after (b) urbanization

지역을 보여주는 그림이다.

연구 대상 지역의 개발 전의 토지이용을 살펴보면 산림이 80.2%를 차지하며, 논이 8%, 밭이 3%를 차지하고 기타 공원, 도로, 수체, 과수원 등으로 구성되어 있다. 택지 조성후 농공단지 85.6%, 도로 9.5%, 공원 5%로 개발될 것이다 (KRCC, 2003) (Fig. 2, 3). 개발 전에는 불투수층이 1.3%를 차지하였으나, 개발 후에는 불투수층이 95%를 차지할 것이다. 본 연구에서는 향후 단지구획 내 토지이용을 불투수성으로 개발함을 가정하였다. 이러한 불투수층 면적의 증가로 인해 개발 후에는 유출 및 침투유량, 그리고 비점오염 발생량이 급증할 것으로

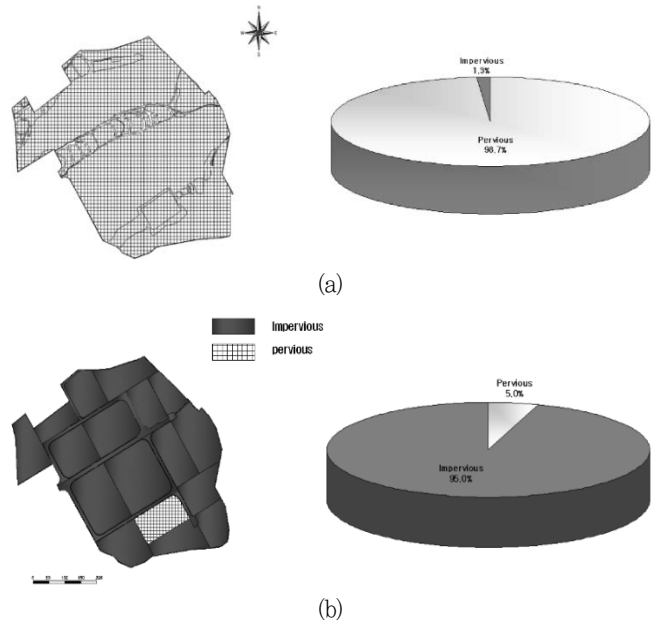


Fig. 3 Changes in impervious areas before (a) and after (b) urbanization

판단된다. 따라서 농공단지 조성시 다양한 LID 기법의 적용을 통해 유출 및 비점오염 발생량을 개발 전 이전 수준이나 이와 비슷한 수준으로 되돌리기 위한 노력이 필요할 것으로 사료된다.

2. LID 평가 모형 선정

지역향 개발 (LID) 효과를 평가하기 위해서 기존에 개발된 유출 및 비점오염 모형들이 활용되거나, LID IMPs를 평가하기 위한 LID 모형들이 개발되어 활용되어 오고 있다. 이중에서 screening 모형으로서 널리 활용되어 오고 있는 Long-Term Hydrologic Impact Assessment (L-THIA)/LID (Hunter and Engel, 2009; <https://engineering.purdue.edu/~lthia/LID>)은 L-THIA WWW (Lim et al., 2001)모형에 LID 컴포넌트를 추가하여 개발된 모형이다. 이 L-THIA/LID 모형은 Basic/Lot-level 모형으로 구성되어 있는데 Basic L-THIA/LID 모형은 특정 토지이용에 대해 불투수층의 면적비를 조정함으로써 유출 저감 및 비점오염 효과를 평가하기 위해서 개발된 것이며, Lot-level L-THIA/LID 모형은 식생저류시설, 투수성 포장 기법, 옥상 녹화 등과 같은 일련의 LID 기법을 평가하는 모듈로 구성되어 있다. 이러한 LID 기법은 유역에서 유출수 및 비점오염 물질을 차단, 우회시키고 이동속도를 저하시키는 역할을 한다. 이 L-THIA/LID 모델은 장기 일 강수량 자료를 이용하여 직접 유출량을 평가하고, 이 직접유출량과 토지이용별 EMC 자료를

활용하여 비점오염 부하량을 산정한다. 그러나 이 L-THIA/LID 모형은 도시 유역에서 강우에 따른 유출은 고려하지만, 지표유출수가 불투수층에서 투수층으로, 그리고 관거시스템을 통해 유역의 출구로 유하되는 것은 정확하게 평가할 수 없는 단점이 있다. 이러한 이유로 LID 기법 적용에 따른 효과를 개략적으로 평가할 수 있지만, 정확하게 유출량 감소 및 침투유량 감소효과를 평가하는데 한계가 있다.

이에 비해 본 연구에서 사용하려는 SWMM 모형은 1971년 처음 개발되어 배포된 이후 최근 들어 윈도우 기반의 SWMM 5.0 모형이 개발되어 전 세계로 배포되고 있다. 이 SWMM 5.0 시스템은 단일 강우나 장기 강우에 따른 강우-유출과 수질을 평가할 수 있는 모형으로 최근들에 LID 평가에 널리 활용되고 있다. 이는 기존의 CN 기반의 모형의 한계점으로 지적되어 온 도시유역에서의 유출수가 관거시스템을 통해 유하되는 것을 제대로 평가할 수 있기 때문이며, 합류식 및 분류식 관거 배수구역에 유출 및 수질을 제대로 평가할 수 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 CN 기반의 L-THIA/LID 평가 모형과 같이 유입 및 유하시간을 고려하지 않았을 때와 관거시스템을 고려하여 유입 및 유하시간을 고려하였을 때 (SWMM Kinematic Wave routing 옵션; Gironas et al., 2009) 침투유출 특성을 비교 분석하였다. L-THIA/LID 모형은 소배수역별로 할당된 CN 값을 이용하여 유출량을 산정하고, 모든 격자에서 발생한 유출수가 바로 유역의 출구로 흘러들어오는 것으로 최종 유출구에서의 수문곡선을 산정한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 개념을 하도추적으로 하는 “Steady Flow” routing 옵션을 이용하여 L-THIA/LID 유출 특성을 평가하였다. 직접 L-THIA/LID 모형을 이용하여 유역내 토지이용 및 수문학적 토양그룹 자료를 이용하여 평가하지 않은 이유는 L-THIA/LID 모형은 일강수량을 이용하여 유출량을 평가하고, 분단위 또는 시간단위 강수량 자료를 이용하여 유출량을 평가할 수 없기 때문이다. 이러한 이유로 관거시스템을 고려하여 유입 및 유하시간을 고려하였을 때 유출특성과의 비교를 위해서 본 연구에서는 SWMM 모형의 “Steady Flow” routing 방법을 이용하여 L-THIA/LID 모형의 유출특성방법을 모의하였다. SWMM 모형의 “Steady flow” routing 옵션은 관거의 크기 및 재질에 상관없이 관거로 유입되는 유량특성을 시간적 차이나 수문곡선의 변화없이 바로 유역의 출구로 흘러들어오는 것으로 산정하는 방법이다. 이에 반해서 “Kinematic Wave” routing은 전체 관거 시스템에 대해서 하상경사와 동수구배가 같다고 가정하여 흐름을 산정한다 (U.S. EPA, 2009). 따라서 본 연구에서는 “Kinematic Wave” routing 방법을 이용하여 배수구역에서의 유입시간과 관거를 통한 유하시간을 고려하여 유출량 및 침투유량, 그리고 오염부하량을 평가하였다. 본 연구에서는 이렇게 구성된 모형을 이용

하여 앞에서 기술한 L-THIA/LID모형 (SWMM Steady Flow routing 옵션)과 SWMM 모형 (SWMM Kinematic Wave Routing)의 예측 침투유량을 비교분석하였다. 이러한 비교분석을 통해 SWMM 모형이 L-THIA 모형에 비하여 배수시스템을 고려한 도시지역의 유출 및 침투유량을 평가하는데 있어 보다 적절함을 알 수 있다.

3. SWMM 인터페이스 모형

SWMM 5.0 모형은 도시 유역내 강우에 따른 유출 및 수질을 평가하는데 널리 활용되어 있다. 최근 들어 많은 Lee et al. (2009)를 포함한 많은 연구자들에 의해서 다양한 침투 증진 시설을 평가할 수 있는 연구가 진행되어 왔고, 이 중 다양한 침투시설을 평가할 수 있는 SWMM-GE 시스템이 개발되어 적용되었다. 그러나 이 SWMM-GE에도 우수 침투통을 평가할 수 있는 모듈이 개발되어있지는 않다. 이러한 이유로 본 연구에서는 SWMM 5.0 시스템 인터페이스와 엔진을 수정하여 간단하게 우수 침투통 효과를 분석할 수 있도록 하였다. Fig. 4은 본 연구에서 개발한 간단한 우수 침투통 모의 개념도이다. 그림에서 보이는 바와 같이 우수 침투통 맨홀로 유입되는 유량중 사용자가 정의한 우수 침투통 바닥 면적과 투수계수로 산정한 침투량을 제외한 유량이 다음 관거로 유입되는 것으로 산정하였다.

이러한 우수 침투통 모의를 위해서 먼저 SWMM 5.0 인터페이스 구조를 분석 한 후, Junction 인터페이스에 “Coeff Perv.”와 “Bottom Area”라는 2개의 항목을 추가하였고 (Fig. 5(a)) 이를 SWMM 모형의 “Steady Flow”와 “Kinematic Wave” routing 옵션에서 반영할 수 있도록 시스템 인터페이스와 엔진을 수정 (Fig. 5(b))하였다. 또한 다수의 우수 침투통을 쉽게 모의하기 위하여 시스템 전체에서 적용할 수 있도록 기본값 설정 인터페이스를 수정하였다.

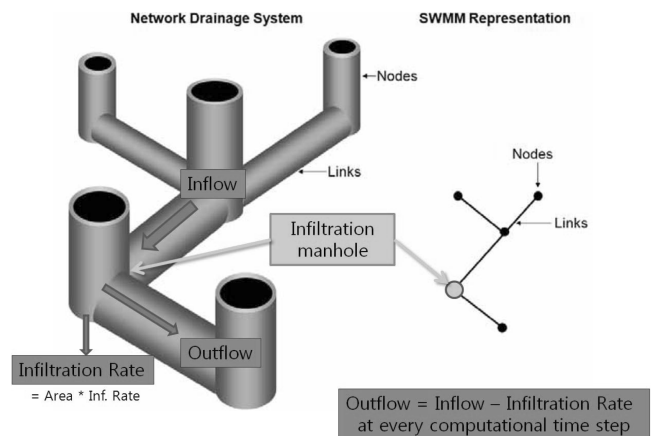
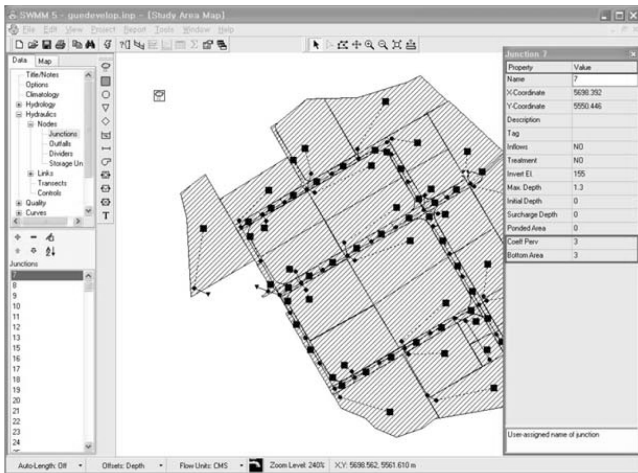
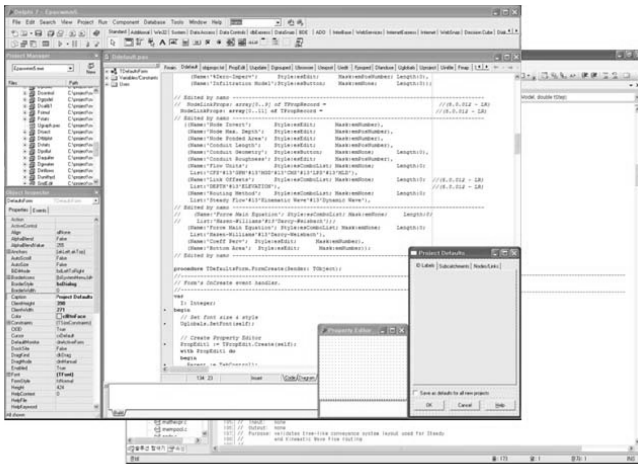


Fig. 4 Overview of SWMM infiltration manhole simulation



(a) SWMM 5.0 Interface design for infiltration manhole



(b) SWMM interface/engine modification

Fig. 5 Modification of SWMM interface and engine to simulate effect on runoff and water quality of infiltration manhole

4. LID 효과 분석 시나리오

현재 택지 조성이 완료된 상태에서 도로 포장 이외에는 대부분 나지로 구성되어 있는 상태 (시나리오 1; Fig. 6(a)), 그리고 일반적인 단지 개발을 하였을 경우, 즉 불투수포장과 일반적인 배수 시스템을 적용하였을 경우 (시나리오 2; Fig. 6(b)), 그리고 택지 조성후 소구획별로 해당 면적의 40%를 주차장 및 기타 포장공간에 대해서 투수성 포장으로, 교통량이 그다지 크지 않은 단지내 도로를 투수성 포장으로 조성하고, 기존 맨홀을 대체해 우수 침투통을 적용하여 (시나리오 3; Fig. 6(c)) 친환경적 우수관리가 가능하게 조성하였을 경우, 이렇게 3가지 시나리오별 춘천시, 50년 빈도, 지속시간 240분, 334.15mm 강우 자료를 이용하여 유출, 침투유량, 그리고 TSS 저감효과를 분석

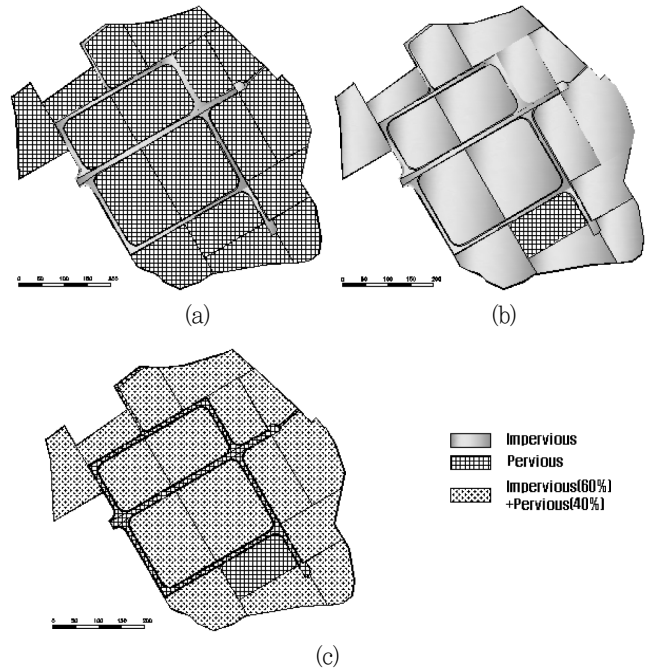


Fig. 6 Land uses of subcatchment at study area

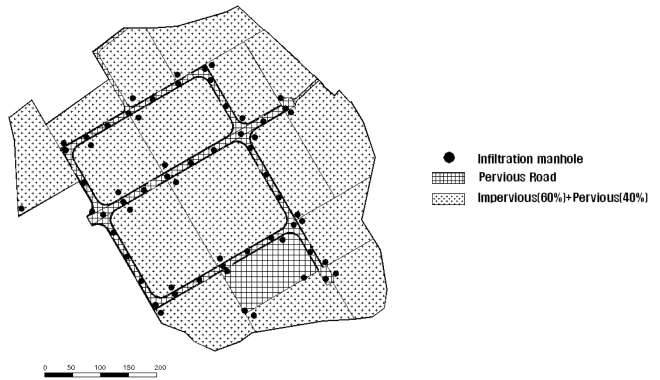


Fig. 7 Location of infiltration manhole and pervious roads at the study area

하였다.

위 3가지 시나리오 적용을 위해서 본 연구에서 개발한 간단한 우수 침투통 모듈 SWMM 을 이용하여 우수 침투통 효과를 분석하였으며, 투수성 포장의 효과를 분석하기 위해서 소배수 구역별 침투특성을 평가할 수 있는 Curve Number (CN) 방법을 이용하였다. 먼저 우수 침투통 효과를 모의하기 위하여 본 연구에서는 총 62개의 우수 침투통 맨홀을 설치할 것이라 가정하여 본 연구에서 개발한 간단한 우수 침투통 모듈 SWMM 을 이용하였다 (Fig. 7). 우수침투통의 크기와 제품의 종류에 따라 침투량이 달라지므로 침투통에 대한 선정이 우선 되어야 하나, 본 연구는 친환경적 우수관리시설 효과에 대한 수문경향

Table 1 Curve Number for various LID IMPs and hydrologic soil group (U.S. EPA, 2008)

IMPs	No LID	LID
Imp. Driveway	98/98/98/98	
Per. Driveway		70/80/85/87
Imp. Parking lot	98/98/98/98	
Per. Parking lot		46/65/77/82
Imp. Patio	95/95/95/95	
Per. Patio		76/85/89/91
Imp. Roof	95/95/95/95	
Green Roof		85/85/85/85
Imp. Sidewalk	98/98/98/98	
Per. Sidewalk		70/80/85/87
Imp. Street	98/98/98/98	
Per. Street		70/80/85/87
-Swales Street		76/85/89/91
-Both Street		61/75/83/87
Wood	36/60/73/79	
Lawn	49/69/79/84	
Bioretention	15/20/35/40	

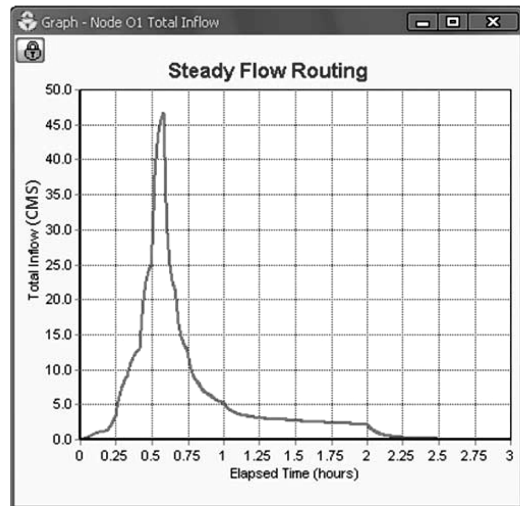
을 파악하기 위해 일반적으로 요구되고 있는 기준 투수계수인 3.0×10^{-1} cm/sec를 적용하였다. 이와 같이 투수계수와 침투단 면적을 이용하여 우수침투통의 침투율을 계산하여 유입량에서 설계침투량을 빼는 방법을 본 연구에 적용하였다.

우수 침투통과 함께 투수성 포장의 효과를 분석하기 위하여 본 연구에서는 토지이용 및 하수관거 위치를 고려하여 대상유역을 총 66개의 소배수구역으로 구분하고 소배수구역별 CN 값을 아래 Table 1에 나열되어 있는 LID IMP 별 CN 값 (US, EPA, 2008) 에 따라 할당하였다.

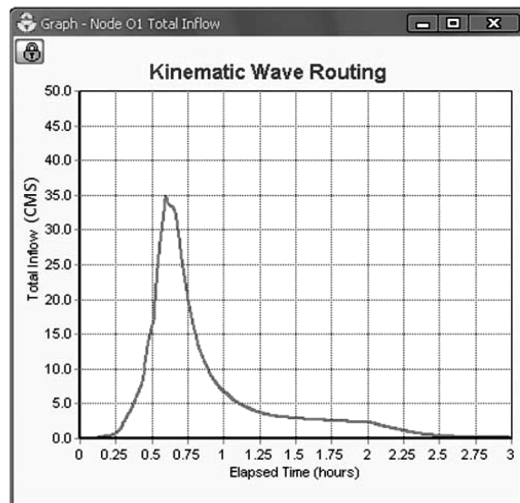
III. 결과 및 고찰

1. 침투유출량 비교

L-THIA/LID 모형을 이용하였을 때와 SWMM 모형을 이용하여 관거시스템을 고려하여 유입 및 유하시간을 산정하여 침투유출량을 산정하면 Fig. 8과 같다. 그림에서 보이는 바와 같이 SWMM 모형을 이용하여 유입 및 유하시간을 평가하면 침투유출량이 약 25 %가량 감소한다는 것을 알 수 있다. 이는 L-THIA/LID 모형을 이용하게 되면 유역면적 및 유역형상, 관거 시스템 등에 따라 반대로 침투유출량이 크게 산정된다는 의미이다. 이는 L-THIA/LID 모형으로는 LID 적용에 따른 유출 및 침투유출량 저감효과, 그리고 수질개선효과를 정확하게 평가하는



(a) Peak rate runoff using SWMM Steady Flow routing option - L-THIA/LID



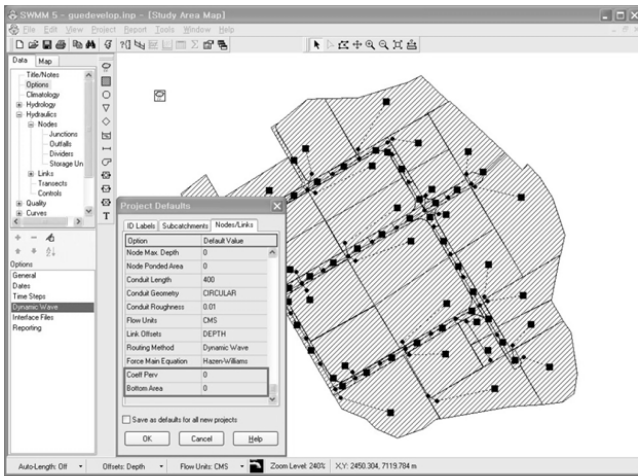
(b) Peak rate runoff using SWMM Kinematic Wave routing option

Fig. 8 Comparison of peak rate runoff using steady flow (L-THIA/LID) and Kinematic Wave routing option in SWMM

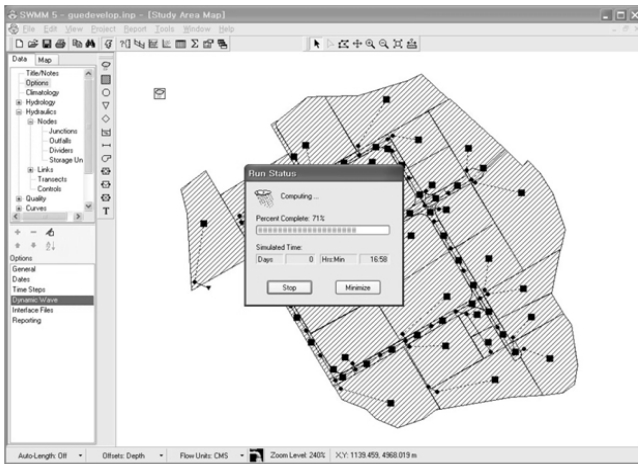
어는 정도 한계가 있다는 것을 의미하고, 이러한 이유로 과대 설계가 되는 단점이 있을 수도 있다. 따라서 검·보정된 SWMM 모형을 이용하여 LID를 평가하는 것이 보다 정확하게 LID 적용에 따른 수질개선효과를 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

2. SWMM 인터페이스 모형의 수정

본 연구에서는 우수 침투통의 침투효과를 복잡한 수리학적 계산을 통해 하지 않고 침투통의 투수계수와 침투통의 면적으



(a) Input parameter interface of infiltration manhole



(b) Simulation of effect of infiltration manhole

Fig. 9 SWMM interface with infiltration manhole option

로 투수효과를 평가하였다. Fig. 9 (a)는 본 연구에서 개발한 간단한 우수 침투통 효과를 모의하기위한 입력 인터페이스이다. 이렇게 전체대상 구역에 대해서 우수 침투통의 입력변수를 함께 입력할 수 있도록 우수 침투통 인터페이스를 구축하였다. 본 연구에서는 총 62개의 우수 침투통에 대해서 동일한 입력변수를 Fig. 9 (a) 인터페이스를 통해 입력하였다. Fig. 9(b)는 이렇게 구축된 우수 침투통 모듈을 고려하여 관거 해석을 하는 것을 보여준다. Fig. 9에서 보이는 바와 같이 본 연구에서 개발한 간단한 우수 침투통 인터페이스/엔진 모듈은 다양한 LID 침투시설의 효과를 평가하는데 효과적으로 사용될 수 있을 것이다.

3. 저감 효과분석 결과

앞에 기술한 바와 같이 3가지 시나리오에 따른 유출, 침투유량,

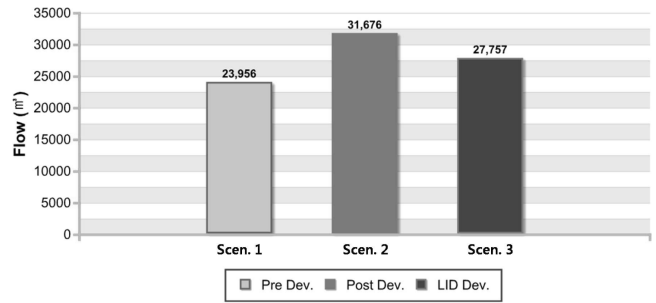


Fig. 10 Total flow at the catchment outlet

그리고 TSS 저감효과를 분석하였다. 분석결과 Fig. 10과 같이 시나리오 1 (현재 택지 조성 완료후 나지 상태; Pre Dev.) 상태에서의 유출량은 23,956 m³, 시나리오 2 (불투수포장과 일반적인 배수 시스템을 적용; Post Dev.) 상태에서의 유출량은 31,676 m³으로 시나리오 1에 비해서 유출량 32.2 % 증가하였다. 이에 비해 다양한 투수성 시설 (시나리오 3 - 우수침투통과 투수성 포장; LID Dev.)을 적용하였을 때 유출량은 27,757 m³으로 택지 조성후 (시나리오 1)에 비해서 15.9 % 유출량이 증가하여 일반적인 개발 방법 (시나리오 2)에 비해 유출량이 12.4 % 감소하는 것으로 평가되었다 (Fig. 10). 본 연구의 결과에서 보이는 바와 같이 거두 농공단지내 다양한 LID IMPs를 적용한다면 개발 이전 수준으로 유출량을 감소시켜 다양한 비점오염 발생량도 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 특히 농공단지의 경우 우수 침투통 이외에도 침투 트렌치, 침투측구 등 현장 여건 상황이 충족된다면 좀 더 다양한 우수 침투 시설을 적용해서 도시개발에 따른 수문 및 수질 영향을 개발 구역내에서 흡수할 수 있을 것으로 기대되며, 이를 통해 관행적인 도시개발 기법으로 인해 증가될 수 밖에 없는 오염부하를 상당부분 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 11은 3가지 시나리오에 따른 침투유출량 증가를 보여준다. 총유출량과 마찬가지로 침투유출량도 시나리오 2 (불투수포장과 일반적인 배수 시스템을 적용; Post Dev.; 5.74 m³/sec) > 시나리오 3 (우수침투통과 투수성 포장; LID Dev.; 5.48 m³/sec) > 시나리오 1 (현재 택지 조성 완료후 나지 상태; Pre Dev.; 4.81 m³/sec) 순으로 증가함으로 알 수 있고, 침투유량 발생시간도 빨라지는 것 (Post Dev. - 3시간 40분 > LID Dev. - 3시간 45분 > Pre Dev. - 3시간 50분)을 알 수 있다. Fig. 11에 나타난 바와 같이 강우 초기 30분 이내의 침투유량은 일반적인 불투수포장을 적용한 Post Dev.가 0.93 m³/sec, LID 개념을 적용한 LID Dev.나 택지조성 후 나지상태의 Pre Dev.가 0.02~0.03 m³/sec로 Post Dev.의 초기우수가 다른 2가지 시나리오에 비하여 상당히 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 최근 문제시 되고 있는 초기우수에 의한 비점오염원 문제

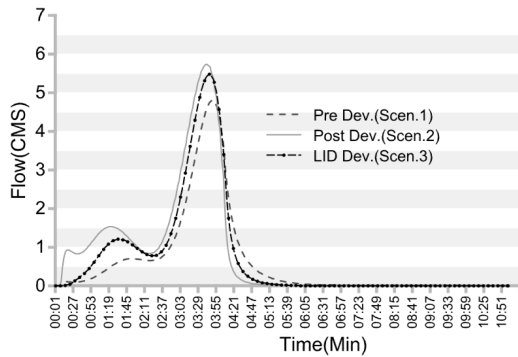


Fig. 11 Comparison of peak rate runoff under 3 development scenarios

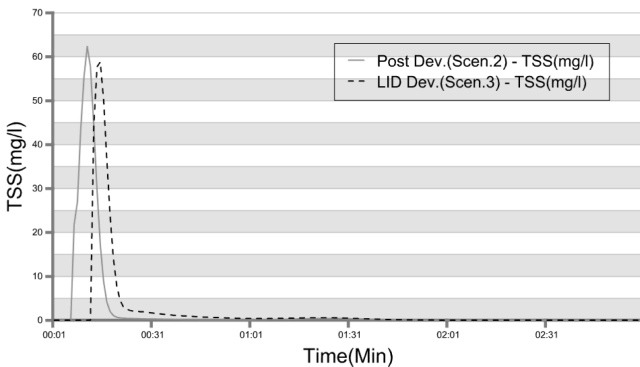


Fig. 12 Comparison of TSS from post-development and LID-development scenarios

와 관련지을 수 있다. 불투수성포장으로 인한 유출증가는 그로 인해 발생할 수 있는 홍수 및 도시침수 등의 위험인자만 함유하는 것이 아니라, 초기우수 증가에 따른 수질오염을 일으키는 주된 원인이 되기도 한다.

Fig. 12는 시나리오 2 (불투수포장과 일반적인 배수 시스템을 적용; Post Dev.)와 시나리오 3 (우수침투통과 투수성 포장; LID Dev.) 개발시 TSS 부하량을 비교한 그래프이다. TSS 부하량 역시 LID 개념을 도입 (시나리오 3; 2.14 kg)할 경우 일반 관행적인 도시개발 (시나리오 2; 11.76 kg)에 비해서 줄어드는 것을 알 수 있다. 이는 결국 유출량 및 침투유량의 감소형태가 침투능이 증대됨에 따라 강우초기에 곧바로 유출로 이어지지 않고 일시적으로 유출을 제한함으로써 초기우수에 의한 초기세척으로 인한 오염부하를 줄일 수 있음을 알 수 있다.

결론적으로 우수침투시설을 이용한 LID 개념을 통한 개발은 단순한 유출량 및 침투유량의 감소뿐만 아니라 초기우수를 제어함으로써 수질개선에도 효과가 있음을 알 수 있다. 즉 강우의 유출량 감소 및 비점오염 저감을 위해 저류지나 기타 비점오염저감 시설의 설치가 필요한 것은 당연할 수 있으나, 위 결과에서 보듯이 유량감소 및 오염부하량 감소에 대한 효과를 기

대할 수 있는 우수침투시설을 적용함으로써 하수관거에 대한 과다설계나 우수관리를 위한 중복적인 시설의 설치를 막을 수 있다는 것을 의미한다. 또한 대상지역의 교통량 및 용도, 지반상태 등 현장여건을 고려하여 최적의 우수저감시설을 설계단계에서 도출함으로써 친환경적 우수관리가 가능할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 그동안 친환경 도시개발을 위해서 시도되었던 LID IMPs 적용에 따른 유출, 침투유량, 그리고 TSS 저감효과를 분석하였다. LID IMPs 중 연구 대상 지역인 춘천시 거두농공단지에 적용하기 적합한 우수 침투통과 투수성 포장을 적용 하였을 때의 유출 및 수질개선효과를 분석하였다. 이를 위해 도시지역의 유출 및 침투 유출을 보다 정확하게 평가할 수 있는 SWMM 모형을 선정, 이용하였다.

우수 침투통과 투수성 포장의 적용을 통한 유출 저감 및 수질개선효과를 평가하기 위하여 본 연구에서는 SWMM 모형에 간단한 우수 침투통 모듈을 추가하였으며, 이렇게 개선된 SWMM 모형을 이용하여 3가지 시나리오를 작성하여 유출량, 침투유량, 그리고 TSS 저감효과를 평가하였다. 그 결과 초기 30분 이내 침투유출의 경우 또한 시나리오 2 (Post Dev.)일 때가 시나리오 1 (Pre Dev.)에 비해서 매우 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이렇듯 도시화에 따라 유출량 증가 및 침투유량, 그리고 초기 우수에 따른 수질 영향이 클 것으로 판단된다. 시나리오 2와 시나리오 3 부하량 비교시 LID 개념을 도입한 시나리오 3에서 TSS 부하량이 줄어드는 것을 알 수 있다. 특히 LID 도입으로 인해 초기 30분간 유출량 감소로 인해서 TSS 부하량이 현저하게 줄어드는 것을 알 수 있다. 이는 결국 유출량 및 침투유량의 감소형태가 침투능이 증대됨에 따라 강우초기에 곧바로 유출로 이어지지 않고 일시적으로 유출을 제한함으로써 초기우수에 의한 초기세척으로 인한 오염부하를 줄일 수 있음을 알 수 있다. 본 연구의 결과에서 보이는 바와 같이 교통량이 그리 많지 않은 산업단지 및 농공단지 개발시에 현장 조건에 따라 우수 침투통과 투수성 포장, 침투 트랜치 등과 같은 투수성 시설을 많이 적용한다면 친환경 산업단지 및 농공단지 개발이 가능할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 간단하게 우수 침투통 효과를 평가할 수 있도록 SWMM 모형 인터페이스 및 엔진을 수정하였다. 그러나 보다 정확한 우수 침투통 효과를 평가하기 위해서는 침투시설별 비침투량 및 적용가능한 각종 영향계수 등에 관한 연구결과가 뒷받침되어야 할 것이다. 이를 통해 보다 정확한 LID 평가 모형이 개발될 수 있으리라 판단된다. 또한 본 연구에서는 소구획별 투수포장 면적으로 일률적으로 적용하였다. 그러나, 교통

량, 토질 상태 등 대상 지역 여건에 따라 투수성포장 비율을 무한적 늘릴 수 없는 상황인 만큼 계획된 유출감소를 위한 우수저감시설의 적절한 이용이 필요하다. 이를 위해서 정확한 평가가 가능한 모델을 이용한 설계 기법의 체계 및 기준이 성립되어야 할 것이다. 본 연구의 결과에서 보이는 바와 같이 기존의 도시개발의 경우 배수 위주의 시스템과 중앙집중식 정화시설에 의한 수질개선에 대해 고정관념을 가지고 개발되어 왔기 때문에 환경 및 경제적 관점에서 볼 때 그 효과가 그리 우수하지 못한 한계성을 가지고 있다. 우수 발생 및 비점오염물질에 관한 사후 처리보다 사전에 예방 및 처리가 가능한 다양한 우수 침투시설과 같은 소규모 시설의 적용을 통해 보다 효과적인 친환경 우수관리 효과를 기대할 수 있을 것이다. 또한 이러한 우수 침투시설을 통해 유출 및 침투유량의 감소, 이를 통해 하수관거 시스템의 설계 배수량이 작아져 관거 축소를 유도하고, 오염부하의 감소로 인한 정화시설 등의 축소 및 환경복원 비용의 절감등의 간접적인 효과를 기대할 수 있을 것이라 판단된다.

본 연구는 강원대학교 농업생명과학연구원의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

REFERENCES

1. Choi, Y. H., C. H. Chul, W. J. Park, J. Y. Seo, M. H. Shin, C. K. Lee, and J. D. Choi, 2009. Optimum Flow and Pollution Load Monitoring Time of Combined Sewers of Urban Watersheds during Dry Weather. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 51(3): 9-14.
2. Coffman, L. S., 2000. Low Impact Development Design Strategies, An Intergrated Design Approach. EPA Publication number. 841-B-00-003. <http://www.epa.gov/owow/nps/lidnatl.pdf>.
3. Dalziel, T. and D. Cloak, 2005. Simplified Low Impact Development Design for Compliance with Stormwater Treatment Requirements. California Association of Stormwater Quality Agencies - Annual Conference. October 3-5.
4. Department of Environmental Resources, 1999. Low Impact Development Hydrologic Analysis, Prince George's Country, Maryland.
5. Department of Housing and Urban Development Office of policy Development and Research Washington, D.C., 2003. The Practice of Low Impact Development. NAHB Research Center, Inc. Upper Marlboro, Maryland. Contract No. H-21314CA.
6. Gironas, J., L. A. Roesner, and J. Davis, 2009. Storm Water Management Model Applications Manual. United States Environmental Protection Agency, EPA/600/R-09/077.
7. Hunter, J., and Engel, B. A., 2009. L-THIA/LID Fact Sheet. <https://engineering.purdue.edu/~lthia/LID/>. Accessed Nov. 2009.
8. Lee, C. S., N. H. Ryu, and S. H. Han, 2008. The Effect of Pervious Pavement on Reducing the Surface Runoff. *Journal of Korean Society of Environmental Restoration Technology* 11(6): 26-37.
9. Lee, K. L., J. H. Park, M. Y. Han, and S. K. Lee, 2001. A Study on the Promotion of Rainwater Utilization. In Proc. 2001 Korean Society on Water Quality and Korean Society of Water and Wastewater Conference. 223-226.
10. Lee, S. H., J. M. Lee, J. H. Park, and G. S. Lee, 2009. Development and Application of SWMM-GE to Simulate Infiltration Facilities. Sustainable Water Resources Research Center, SWRRC Rechnical Report TR 2009-07.
11. Lim, K. J., B. A. Engel, Y. Kim, and J. Harbor, 2001. Development of the Long-Term Hydrologic Impact Assessment (L-THIA) WWW Systems. In: D.E. Stott, R.H. Mohtar, and G.C. Steinhardt, (eds.), Sustaining the Global Farm - Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting, May 24-29, 1999, West Lafayette, Indiana, International Soil Conservation Organization in cooperation with the USDA and Purdue University, West Lafayette, Indiana. 1018-1023.
12. Jeon, J. H., D. H. Choi, and T. D. Kim, 2009. LIDMOD Development for Evaluating Low Impact Development and Its Applicability to Total Maximum Daily Loads. *Journal of Korean Society on Water Quality* 25(1): 58-68.
13. Korea Rural Community Corporation, 2003. Master Plan of Gue-du industrial complex at Chun-cheon, Chun-cheon, Korea.

14. Park, G. A. and S. J. Kim, 2007. Prediction of the Urbanization Progress Using Factor Analysis and CA-Markov Technique. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 49(6): 105-114.
15. Park, J. H., Y. G. Yoo, Y. G. Park, H. T. Yoon, J. G. Kim, Y. S. Park, J. H. Jeon, and K. J. Lim, 2008. Analysis of Runoff Reduction with LID Adoption using the SWMM. *Journal of Korean Society on Water Quality* 24(6): 805-815.
16. Shim, J. H. and J. C. Ahn, 2004. Analysis of Runoff Reduction with Infiltration Manhole. Special Issue of Urban Rainfall-Runoff. 2004. July. 23-37
17. Song, J. W., K. W. Bak, I. H. Choi, Y. J. Park, J. H. Kim, S. S. Park, J. H. Lim, J. B. Jeon, J. T. Kim, M. H. Kim, J. W. Mun, and J. W. Yeon, 2005. A Study on the Capacity Evaluation of Infiltration Facilities for Reducing of Runoff Quantity, 1. The Disaster Prevention Research Center, Hongik University. December.
18. Sung, J. S., T. G. Lee, Y. H. Han, Y. G. Kim, and N. H. Kim, 2004. Development and Application of the Rainwater Infiltrating Equipment for the Decentralized Stormwater Managements. *Korean Institute of Landscape Architecture* 32(2): 78-85.
19. U.S. EPA (Environmental Protection Agency), 2008. <http://www.epa.gov/>. Whittaker, B. N. and D. J. Reddish, 1989. Subsidence Occurrence, Prediction and Control. Elsevier 56: 528.
20. U.S. EPA, 2009. Storm Water Management Model Applications Manual. EPA/6000/R-09/077, July, 2009. U.S. EPA
21. Woo, S. H. and J. M. Oh, 2006. Assessment of Flow Rate Required to Prevent the Drying of River. In Proc. 2006 Korean Society on Water Quality and Korean Society of Water and Wastewater Conference. 1153-1160.
22. Yi, J. E., W. G. Yeo, J. H. Shim, and T. H. Kang, 2001. Analysis of Stormwater Runoff Reduction Effects by Using Porous Pavement. *Korean Society of Civil Engineers* 21(6-B): 645-654.