

토지이용 변화가 물순환에 미치는 영향과 침투트렌치 설치 효과 분석 - A 신도시 지구를 중심으로 -

Impacts on water-cycle by land use change and effects of infiltration trenches in Asan New town

현경학 · 이정민*

Kyounghak Hyun · Jungmin Lee*

한국토지주택공사 토지주택연구원

(2010년 4월 27일 접수 ; 2010년 10월 20일 1차수정 ; 2010년 12월 7일 2차수정 ; 2010년 12월 10일 채택)

Abstract

As the water-cycle is transformed by increasing of the impermeable area in process of urbanization, decentralized rainwater management facilities(infiltration, harvesting and retention facilities) as source control are considered to be a method of restoring water-cycle of urban and reducing runoff.

SWMM model was used to analyse the change of water-cycle structure before and after development in A new town watershed. Modified SWMM code was developed to apply infiltration facilities. The modified SWMM was used to analyse the change of water-cycle before and after infiltration trench setup in AJ subcatchment. Changes of the impervious area by development and consequent increase in runoff were analyzed. These analyses were performed by a day rainfall during ten years from 1998 to 2007. According to the results, surface runoff increased from 51.85% to 65.25 %, and total infiltration volume decreased from 34.15 % to 21.08 % in A newtown watershed. If more than 80 infiltration trenches are constructed in AJ subcatchment, the low flow and the drought flow increases by around 47%, 44%, separately. The results of this study, infiltration trench is interpreted to be an effective infiltration facility to restore water-cycle in new town.

Key words : decentralized rainwater mangement, low impact development, SWMM model

주제어 : 분산형 빗물 관리, 저영향 개발, SWMM 모형

1. 서론

도시화로 불투수 면적이 증가하게 되면서, 증발산량과 지하 침투는 감소하고, 지표유출은 크게 증가한다. 그에 따라 도시 하천으로의 평상 시 유출량이 감소하고, 비점오염 부하 증가, 지하수위 하락 및 하천의 건천화 등 도시 환경 전반에 악영향을 미치게 된다 (김갑수, 2004). 지금까지 우리

는 홍수 방지를 우선하고, 대규모 강우에 주로 대처하는 관위주의 빗물 관리 방식을 채택하여 왔다. 도시 외곽으로 빗물을 빨리 그리고 많이 강제 배수하는 방식으로 빗물을 관리하여 온 것이다. 그러나 이는 빗물의 자연 순환에 역행하는 방식이다. 이에 개발 이전의 자연 상태에 최대한 근접하는 빗물 침투와 증발산이 이루어지도록 개발할 필요가 있다 (현경학 등, 2008a).

* Corresponding author Tel:+82-42-866-8444, Fax:+82-42-866-8472, E-mail: khhyun85@naver.com(Hyun, K.H.)

개발 이전의 수문 순환 상태에 최대한 근접하여 개발 영향을 최소화하는 저영향 개발(LID : Low Impact Development)과 발생원 관리(Source Control) 또는 분산형 빗물관리(Decentralized Rainwater Management)는 유사한 개념의 빗물관리 방식이다. LID는 도시와 개발 지역의 개발 이전 수문학적 체계의 유지와 향상을 위한 광범위한 토지 계획 및 공학적 설계를 고려하는 방식으로, 발생원에서 가까운 곳에서 빗물을 관리함으로써 지표유출과 오염부하를 줄이기 위한 설계, 일련의 시설과 그 방법이다 (<http://www.lowimpactdevelopment.org>; U.S. EPA, 2007). 발생원 관리란 발생원 근처에서 빗물을 저류, 침투 및 이용하는 등의 관리를 의미한다. 빗물의 발생원 관리는 수질관리, 홍수 방지 및 담수 부족 문제 등의 해결에 기여할 수 있는 다기능적인 방법이다. 유럽에서는 여러 도시들이 발생원 빗물관리를 선택하고 있다. 이러한 발생원 관리는 거대한 관 위주(End-of-pipe) 시설들에 비해 저렴하고, 좀 더 자연적인 물순환에 부응하며, 빗물 유출량을 저감하고, 기존 하수관거 네트워크의 재건이 없더라도 도시 확장을 가능하게 할 수 있다 (Chouli et al., 2007). 이렇듯 개발 이전의 자연 상태에 근접하도록 빗물을 순환시키는 신도시를 개발하려면 LID 또는 분산형 빗물관리와 토지이용계획과의 조율이 필요하다.

이를 위하여 국내에서는 토지이용 현황 분석 등을 통해 한국에서의 분산형 빗물관리시설의 적용 가능성을 도출하고, 도시계획이나 지구단위계획 등 각 계획단계에서 분산형 빗물관리시설의 설치 목표를 설정하고, 시행할 수 있는 제도적 장치 필요성 등이 제기되고 있다. 또한, 50% 이상의 세대를 차지하는 공동주택단지의 건설로 빗물 유출 증가율은 개발 이전에 비해 약 10~40% 정도 증가하는 것으로 보고, 이를 공동주택단지 분산형 빗물관리 목표량으로 제시하기도 하였다 (이태구 등, 2003; 이태구 등, 2006). 또한, 한국 공동주택단지에서의 초기 단계 빗물관리시설 설치 사례 분석을 통하여 공동주택단지 분산형 빗물관리시설의 설치 개선 방향을 논하기도 하였다 (현경학 등, 2006).

국토부도 2009년부터 “저탄소 녹색도시 조성을 위한 도시계획 수립지침”과 “지속가능한 신도시 계획기준”에서 도시와 신도시에 규모가 비교적 작은 다수의 침투, 저류 및 이용 등의 빗물관리시설을 분산형으로 설치할 것을 권장하고 있다. 다만, 빗물 관리에 대한 계획 차원을 넘어서지 못하고 있다. 이에 물순환 도시 조성에 필요한 각 토지이용형태별 설계 가이드라인에 대한 개발 연구가 요구되고 있다. 특히, 신도시 개발의 경우, 물순환 도시로 조성하기 위하여 기본 설계 가이드라인을 도출하고, 그 적용 방안 등을 검토함으로써 새로운 신도시 전형을 마련할 필요가 있다.

이를 위하여 단독주택, 공원 및 도로 등에 분산형 빗물관리시설의 설치를 위한 가이드라인 작성 작업이 추진되었다. 빗물관리시설에는 침투정, 침투트렌치, 빗물정원, 도랑, 빗물이용시설 및 저류·침투조 등이 있다 (현경학 등, 2008b). 다만, 국내 실정에 보다 적합하면서도 각 토지이용형태별 특성을 반영하는 가이드라인의 제시 및 적용 사례 등이 다양하게 연구될 필요가 있다.

물순환 신도시 조성을 위해서는 현장조사, 물순환 계획, 재원의 반영, 물순환 회복 빗물관리시설의 설치 및 관리 등의 단계별 검토가 필요하다. 특히, 물순환 계획단계에서는 신도시 개발이 물순환에 미치는 영향을 개발 전후로 비교하여 분석할 필요가 있다. 또한 이 과정에서 토지이용형태별 빗물관리시설 적용 가이드라인을 참조하여 빗물관리시설을 설치하는 경우 그 효과를 정량적으로 추정, 평가하여 계획의 실효성을 검토할 필요가 있다.

국내에서 이루어진 도시화의 수문학적 영향 평가는 주로 단기 홍수사상에 대하여 이루어진 것으로 토지이용 변화가 침투유량 변화에 미치는 영향을 분석하는 정도였다. 이와 관련하여 우수유출저감시설을 시범 지역에 설치하고 ILLUDAS(Illinois Urban Drainage Area Simulator) 모형으로 유출저감 효과를 분석한 사례가 있다 (조원철 등, 2000). 또한, 국립방재연구소(2005)에서는 치수 측면에서 저류·침투 시설을 통한 재해저감기법을 연구하였다. 이외에 이정민 등(2006)은 SWMM 5를 이용하여 안양천 유역에 대한 강우, 증발량, 지표유출 및 지하수 유출을 고려하는 도시유출 연속모의와 수문 순환모의에 대한 연구를 수행하였으며, SWMM의 장기유출 연속모의의 적절성을 평가하였다. 또한 이정민(2007)은 기존 SWMM 모형을 이용하여 투수성 포장 및 침투트렌치 설치 효과 분석이 가능하도록 모형을 수정 개발하기도 하였다. 즉, 도시유출 연속모의를 통해 도시 개발로 인한 물순환 영향분석에 대한 연구가 이루어져 왔다.

본 연구에서는 A 신도시 개발 지구를 대상으로 개발 전후의 물순환 분석과 침투트렌치 설치에 따른 효과를 분석하여 보고자 한다. 이를 통하여 분산형 빗물관리시스템이 도시기반시설로 적용되는 신도시에서 토지이용계획과 연계한 발생원에서의 분산형 빗물관리시설의 설치가 미치는 효과를 살펴보고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 침투트렌치를 고려한 SWMM 모형의 개요

본 연구에 사용된 수정 SWMM 모형에 대한 간략한 개요 및 연구동향을 살펴보면 다음과 같다. 침투시설 모의가 가

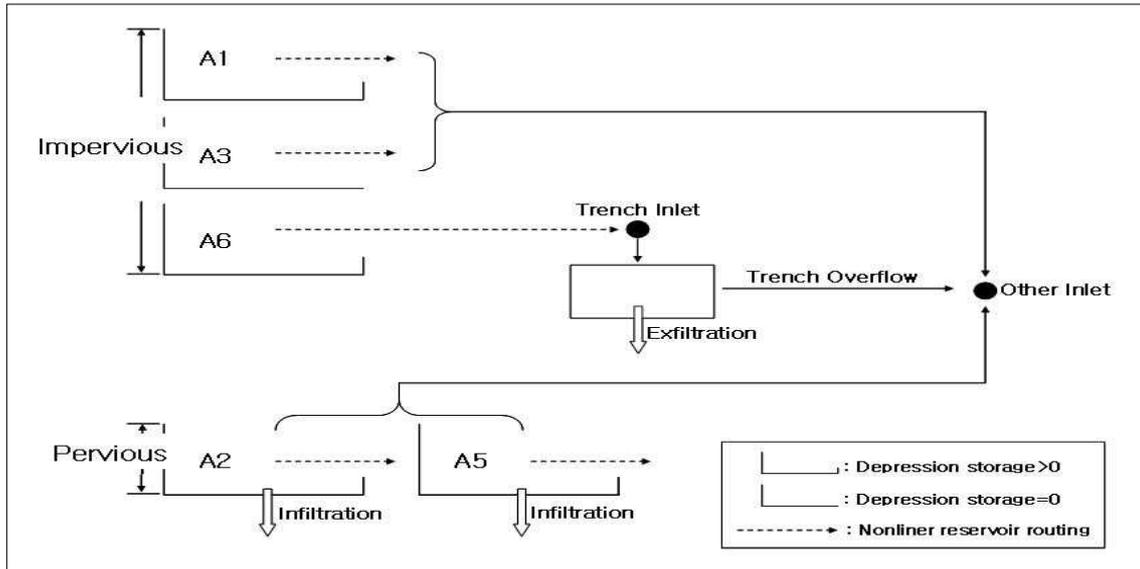


Fig. 1 Surface flow computation of modified SWMM (이정민, 2007)

능한 모형의 경우, Jia and Tamai(1998)에 의해 개발된 WEP 모형과 Smith(2004)가 개발한 MIDUSS 모형의 경우 트랜치의 수문학적 영향을 고려할 수 있도록 트랜치 모듈의 모듈을 가지고 있다. 그리고 국내의 경우 투수성 포장과 침투트랜치 모의가 가능하도록 SWMM 모형을 수정 개발한 사례가 있으며, 수정 개발된 모형은 MIDUSS 모형이 가지고 있는 침투 트랜치 모듈의 기본 이론과 방법을 이용하여 SWMM 모형을 수정하였다. MIDUSS 모형은 유입량을 통하여 지하로 빠져나가는 침투량을 탈출(exfiltration)로 표현하고 있으며 이러한 트랜치를 탈출 트랜치로 명명하고 있다.

기존의 SWMM 지표면 흐름 계산과 비교하여 침투트랜치 소영역을 추가한 수정 SWMM의 지표면 흐름계산은 Fig. 1과 같다. 침투시설을 고려하여 수정 개발된 SWMM의 상세한 내용은 이정민(2007)을 참고할 수 있다. SWMM RUNOFF 블록의 지표면은 평상 시 세 가지 유형이고 용설(A4)이 추가되면 네 가지의 지표면 유형으로 구분되기도 한다. 세 가지 유형이란 지표면 저류가 있는 불투수 유역(A1), 지표면 저류가 없는 불투수 유역(A3) 및 투수유역(A2)이고, 이들의 면적비가 입력된다. 소유역에 트랜치를 설치하게 되면 트랜치로 유입되는 트랜치 소영역이 생기게 된다. 그리고 트랜치 소영역의 유출량은 트랜치 유입구로 유입되며, 트랜치를 거친 다음 관로나 수로로 빠져나가게 된다. 이를 고려하기 위하여 투수성 포장영역(A5)과 동일하게 침투 트랜치 소영역(A6)을 추가하였다. 침투

트랜치 소영역은 저류가 있는 불투수 유역 중 트랜치로 유입되는 영역을 면적비로 입력할 수 있도록 하였다.

2.2 대상 지구의 유역 구분 및 SWMM과 수정 SWMM 모형의 적용

대상유역인 A 신도시의 우수유출은 우수관로에 의해 43개의 소유역으로 분할되고 지역 중심에 위치한 매곡천으로 대부분 방류되고 있다. 또한 남동쪽의 장재천, 남서쪽의 용두천 등으로 일부 유역의 유출량이 방류되는 것으로 계획되어 있다. 본 연구에서는 배수유역을 Fig. 2와 같이 구분하였으며, 소유역 내 우수량을 배출하는 하천을 기준으로 무명천, 용두천, 매곡천, 장재천과 곡곡천 및 천안천의 5개로 구분하였다. 우수관로를 포함하지 않는 자연 유역을 고려하여 SWMM 모형의 입력 자료를 구축하고 모의를 수행하였다. 신도시 개발로 물순환에 미치는 영향을 복원하는 방안으로 침투트랜치의 설치를 검토하였다. 이를 위하여 AJ 유역을 선정하여 침투트랜치 설치 전·후 효과를 수정 SWMM 모형으로 비교 분석하였다. A 신도시 지역 43개 소유역 중 하나인 AJ 유역은 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 개발 전 불투수 면적비 1.5%, 투수면적비가 98.5%인 전형적인 농촌지역이나 개발 후에는 불투수 면적비 78.5%, 투수면적비가 21.5%로 불투수 면적이 급격히 증가하는 전형적인 도시개발 형태를 보여 주고 있다. 즉, AJ 유역은 침투시설 설치 전·후의 지표·지하 유출량 및 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량 등의 유황을 평가하기에 적합한 지역으로 판단된다. AJ

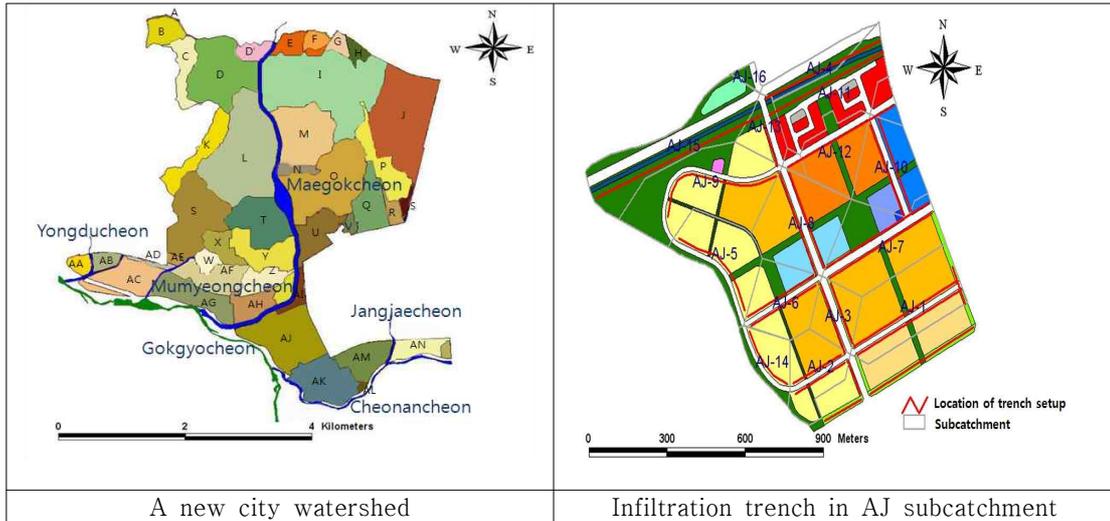


Fig. 2 A new city watershed and infiltration trench in AJ subcatchment

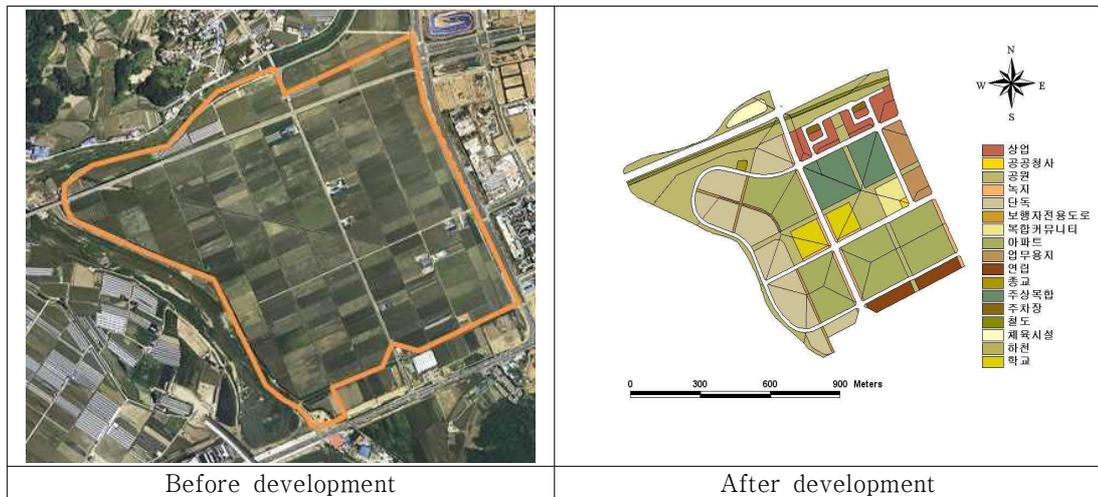


Fig. 3 Before and after development of AJ subcatchment

유역의 소유역 분할은 지표경사 및 관경사, 관저고 등을 고려하여 총 16개의 소배수 유역으로 분할하였다. 본 연구에서는 AJ 유역의 토지이용계획을 고려하여 주상복합, 단독주택, 업무용지, 녹지 및 공원, 도로변 등에 적용할 수 있는 형태 및 시설 규모를 고려하여 침투트렌치를 적용하였다. Fig. 2는 AJ 유역에서 침투트렌치 설치 위치를 보여주고 있다.

2.3 대상유역 유량 측정 및 모형 보정

본 연구에서는 대상유역에 구축된 모형보정 및 검증을 위하

여 지난 2010년 8월 10일 ~ 11일 태풍 덴무 호우시 프로펠러 도섭 유속계를 이용하여 유량측정을 수행하였다. 유량측정은 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 AJ 유역을 대각선으로 관통하여 매곡천으로 유입되는 A 지점, AJ 유역 농수로가 매곡천으로 합류하기 전인 B 지점 및 합류 후인 C 지점에서 수행하였다. B 지점과 C 지점은 AJ 유역 유출수가 매곡천 합류하기 전후의 지점으로, 두 지점간의 유량측정 결과를 바탕으로 간접적으로 AJ 유역의 유출량을 추정하고자 하였다. 유량측정 결과는 Table 1과 같다.

태풍 덴무 호우 시 유량측정 결과를 바탕으로 대상유역

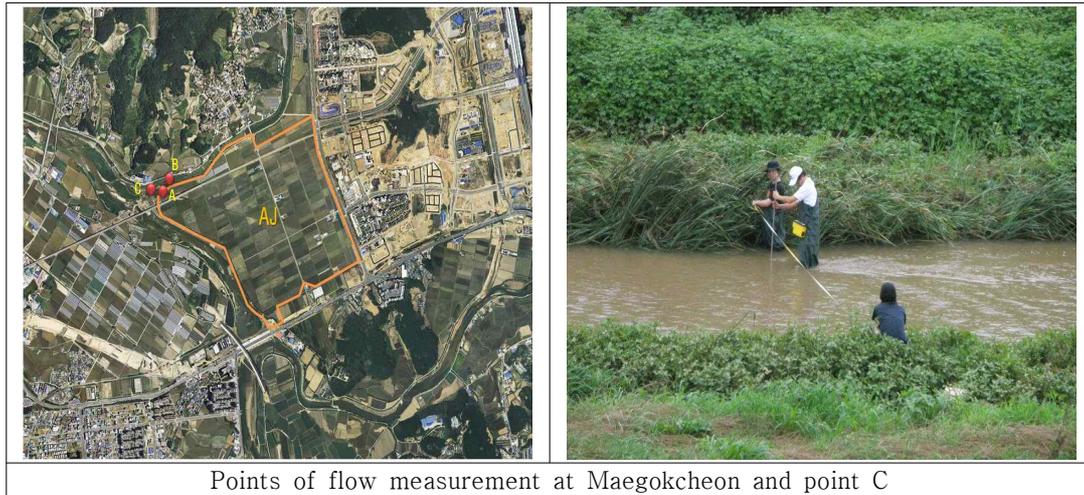


Fig. 4 Points and photograph of flow measurement at Maegokcheon

Table 1. The result of flow measurement at Maegokcheon

Maegokcheon (Point B, C)			Ditch of AJ subcatchment (Point A)	
Date	Point B	Point C	Date	Point A
18:00, Aug. 10, 2010	-	-	18:00, Aug. 10, 2010	0.212 m ³ /s
06:00, Aug. 11, 2010	1.619m ³ /s	1.687m ³ /s	06:00, Aug. 11, 2010	0.068 m ³ /s
14:00, Aug. 11, 2010	1.027m ³ /s	1.090m ³ /s	14:00, Aug. 11, 2010	0.063 m ³ /s

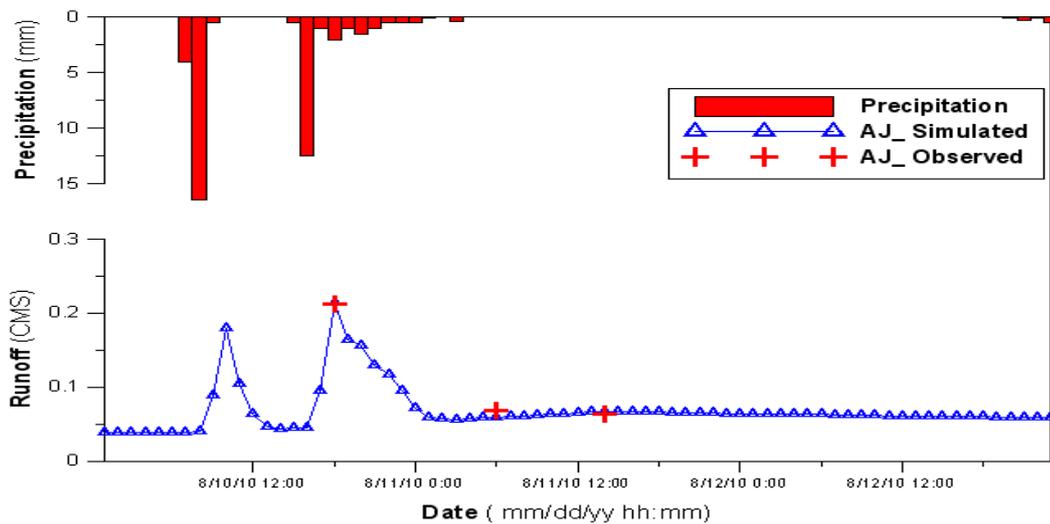


Fig. 5 Hydrograph from model calibration (August 10 ~ 11, 2010)

유출 모델링을 수행하였으며 AJ 지역의 유출 수문곡선은 Fig. 5와 같다. Table 2를 살펴보면 모의값과 측정값이 -15.3 ~ 6% 정도의 차이를 보이고 있으나 수문곡선의 첨

두에서 비교적 근사한 오차를 보였다. 태풍 호우상황과 유량측정 오차를 고려한다면 대상유역에 대한 SWMM 모형 구축 결과는 비교적 신뢰할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 2. Runoff simulation error of AJ subcatchment

Date	Runoff (m ³ /s)		Error (%)
	Observed	Simulated	
18:00, Aug. 10, 2010	0.212 m ³ /s	0.213	0.4
06:00, Aug. 11, 2010	0.068 m ³ /s	0.059	-15.3
14:00, Aug. 11, 2010	0.063 m ³ /s	0.067	6.0

3. 결과

3.1 A 신도시 전유역에 대한 SWMM 모의 결과

매곡천 하류지점에 대한 물순환 분석을 위해 도시유출 연속모의는 자연유하 유역을 제외한 총 5개 유역에 대하여 10년 동안의 일강우량에 따른 유출 분석을 실시하였다. 대상지구 남북으로 유하하는 매곡천에 총 유역 면적의 약 92%에 해당하는 우수가 유출되고 있으며, 이를 중심으로 A

신도시의 개발 전·후 물순환을 비교·분석하였다.

A 신도시의 대부분을 차지하고 있는 매곡천의 유출수문곡선은 Fig. 6, 7과 같다. Table 3은 Fig. 6, 7의 1999년에 발생한 세 번의 강우에 대한 개발 전·후의 유출량 변화를 예시적으로 보여주고 있다. 4월 16일의 경우 지속시간 5시간에 강우강도 약 9mm/hr에 개발 전 대비 개발 후 유출량이 3배 정도 증가하였으며, 6월 16일의 경우 지속시간 11시간에 강우강도 약 46mm/hr에 개발 전 대비 개발 후 유출

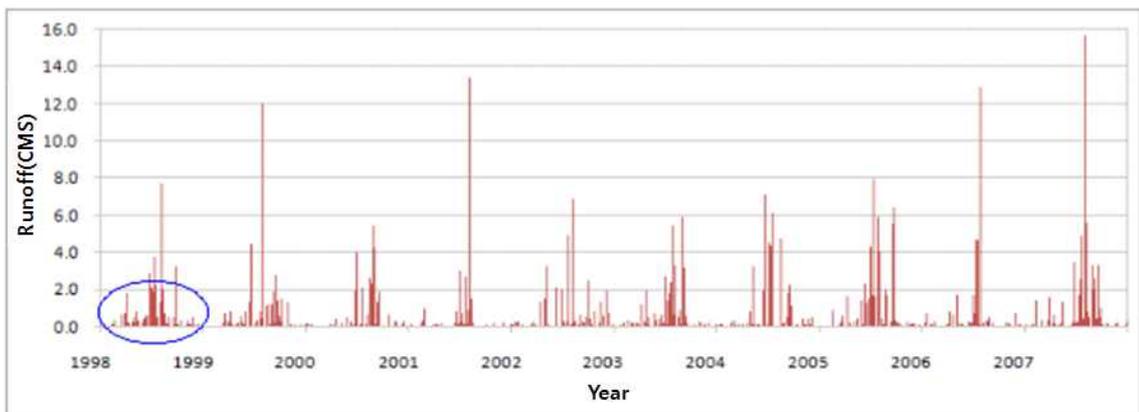


Fig. 6 Outflow of Meagokcheon before development

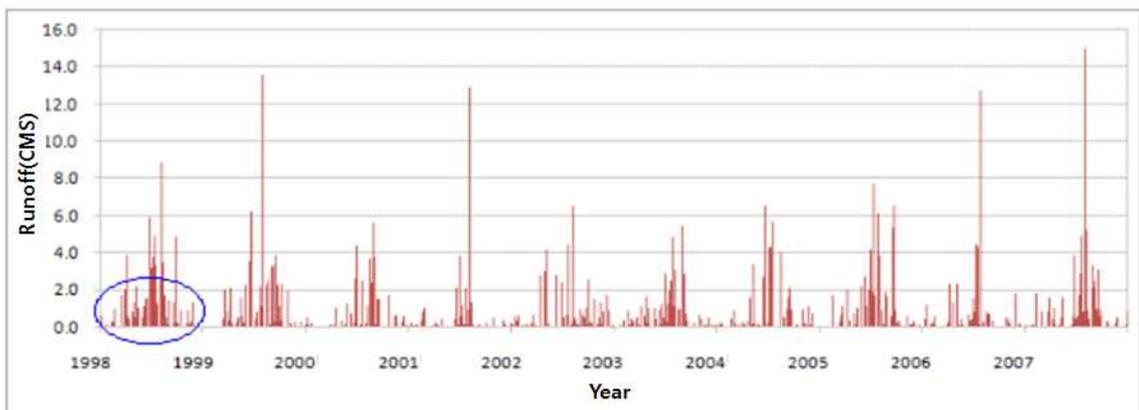


Fig. 7 Outflow of Meagokcheon after development

Table 3. Outflow change before and after development in 1999

Date	Duration (hr)	Accumulated Rainfall (mm)	Rainfall Intensity (mm/hr)	Outflow (CMS) before development	Outflow (CMS) after development	Times
9:00 ~ 13:00 Apr. 16, 1999	5	45	9	0.7	2.1	3
10:00 ~ 20:00 Jun. 16, 1999	11	505	45.9	4.4	6.1	1.4
19:00 ~ 04:00 Sept. 18 ~ 19, 1999	10	650	65.0	12	13.2	1.1

Table 4. Hydrologic cycle change before and after development in A newtown

	Before development			After development		
	m ³ /s	mm	%	m ³ /s	mm	%
Total Precipitation	155,341,400.0	9,046.20	100.00	155,341,400.0	9,046.20	100.00
Total Infiltration	53,056,904.35	3,089.73	34.15	32,750,543.01	1,907.21	21.08
Total Evaporation	21,736,661.50	1,265.82	13.99	21,237,958.47	1,236.78	13.67
Surface Runoff from Watersheds	80,547,834.16	4,690.65	51.85	101,352,898.5	5,902.22	65.25
Total Water remaining in Surface Storage	524,087.10	30.52	0.34	625,216.90	36.41	0.40
Infiltration over the Pervious Area	53,758,780.00	3,130.61	-	33,286,170.00	1,938.40	-
Runoff Rate	51.85 %			65.25 %		
The error in continuity	-1.66 %			-2.04 %		

량이 1.4배 정도 증가하였으며, 9월 18일의 경우 지속시간 10시간에 강우강도 약 65mm/hr에 개발 전 대비 개발 후 유출량이 1.1배 정도 증가하였다. 대체적으로 개발 후 지표 유출량의 증가를 가져 왔으며, 특히 강우강도가 약한 경우 그 차이가 큰 것으로 분석되었다.

개발 전·후의 대상지구 물순환 분석 결과는 다음 **Table 4**와 같다. 개발 전·후 유출률은 각각 51.85%, 65.25%로 개발 후 불투수면적의 증가에 따른 유출량의 증가를 보여주고 있다. 또한 개발 전·후 침투율은 각 34.15%, 21.08%로 개발 후에 감소하고, 개발 전·후의 증발량은 각 13.99%에서 13.67%로 감소하는 등 개발이 물순환에 미치는 영향이

상당함을 추정하여 볼 수 있다.

Table 5와 **Fig. 8**에서 대상유역에 대한 10년간 장기유출 연속도의 분석결과를 바탕으로 한 유역에 대한 풍수기, 평수기, 저수기, 갈수기 유황을 분석한 결과를 제시하고 있다. 유황분석은 각 특정시기에 대한 유출량의 분석으로 물순환 분석과는 다른 의미로 전 기간에 대한 총량 분석이 아닌 강우특성에 대한 분석이다. 풍수기의 경우 개발 후에 지표 유출량이 증가하였으나 평수기, 저수기, 갈수기의 경우에는 개발 후에 지표 유출량이 전체적으로 감소하였다. 개발 후 침투량 감소로 인한 지하대수층 보유량의 감소와 풍수기 유출 증가로 인하여 평상시 유량이 감소함을 나타내고

Table 5. Change of flow duration before and after development in A newtown(m³/s)

	Abundant flow(Q95)	Normal flow(Q185)	Low flow(Q275)	Drought flow(Q355)
Before development	0.134	0.073	0.071	0.070
After development	0.165	0.023	0.022	0.022

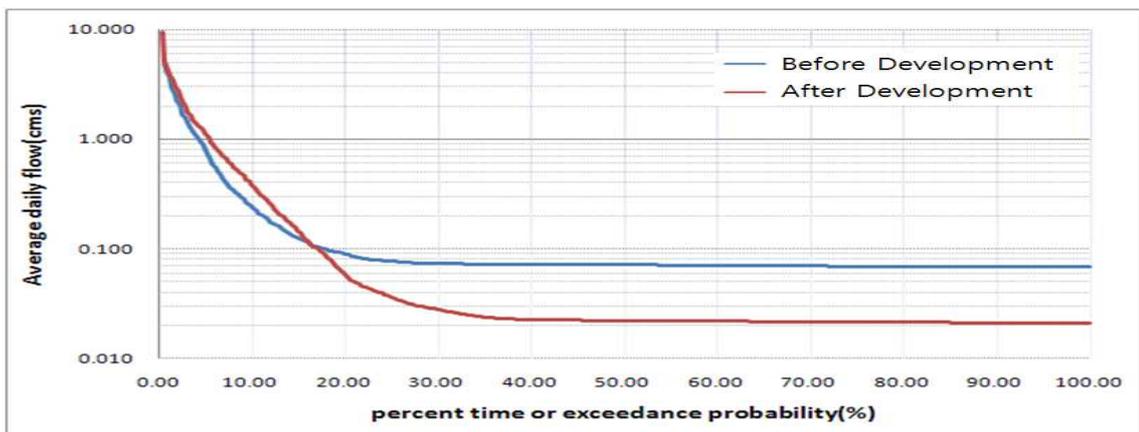


Fig. 8 Change of flow duration curve before and after development in A newtown

Table. 6 Input data about infiltration facility and ground-water

Property	Depth of Aquifer	Ground-water Level	Saturated Conductivity	Green-Ampt Infiltration parameter		
				Suction Head	Conductivity	Initial Deficit
Value	8.50m	4.82m	15.51(cm/hr)	218.5(mm)	1.5(mm/hr)	0.31

있다. Table 5는 평수기, 저수기 및 갈수기의 평상시 유량이 개발 전 대비 약 70% 이상 감소한 결과를 보여주고 있다. 개발 전-후의 유황곡선은 Fig. 8과 같다.

3.2 AJ 구역에서의 침투트렌치 설치 효과에 대한 수정 SWMM 모의 결과

개발에 따른 물순환 왜곡을 정상화하기 위하여 본 연구에서는 침투시설을 활용하여 그 설치효과를 살펴보고자 한다. 전체 구역에 대한 모형 적용의 어려움으로 소유역인 AJ 구역에서의 설치로 인한 물순환 개선 효과를 수정된 SWMM 모형을 이용하여 분석하였다. 침투트렌치를 고려하여 수정된 SWMM 모형에 입력되는 지하수 흐름 및 침투트렌치 관

련 입력 자료는 대수층 깊이, 수리전도도 등이다. 입력자료 구축을 위해 “국가지하수 정보센터(www.gims.go.kr)”의 A 신도시 택지개발 지역과 인접한 지하수 관측소인 충남 아산시 득산동에 위치한 아산 득산 관측소 자료를 활용하였으며 사용된 자료는 Table. 6과 같다.

침투 트렌치의 경우, 1.0ha당 최대 설치 가능길이는 450m이다 (조원철 등, 2000). 이미 확정된 토지이용계획으로 인한 대상구역의 불투수율, 현지어건 및 도로 등의 기 결정된 조건을 고려하여 길이 100m, 폭 2~3m, 높이 3m의 침투트렌치를 기준으로 AJ 구역에 약 80여개를 설치하는 것으로 하였다. 그리하여 개발된 상태에서의 침투트렌치 설치 전과 후의 효과를 분석하여 보았다. 침투시설의 설치가

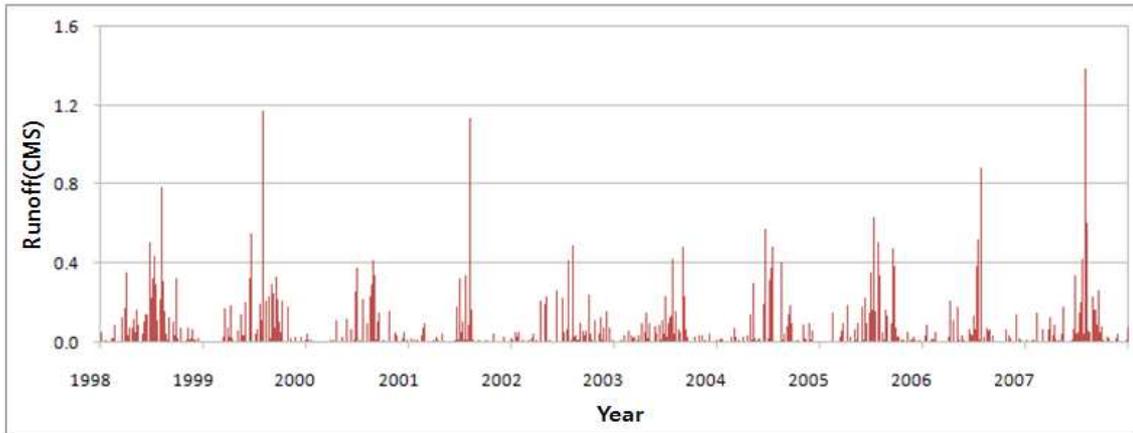


Fig. 9 Outflow of AJ subcatchment before infiltration trench setup

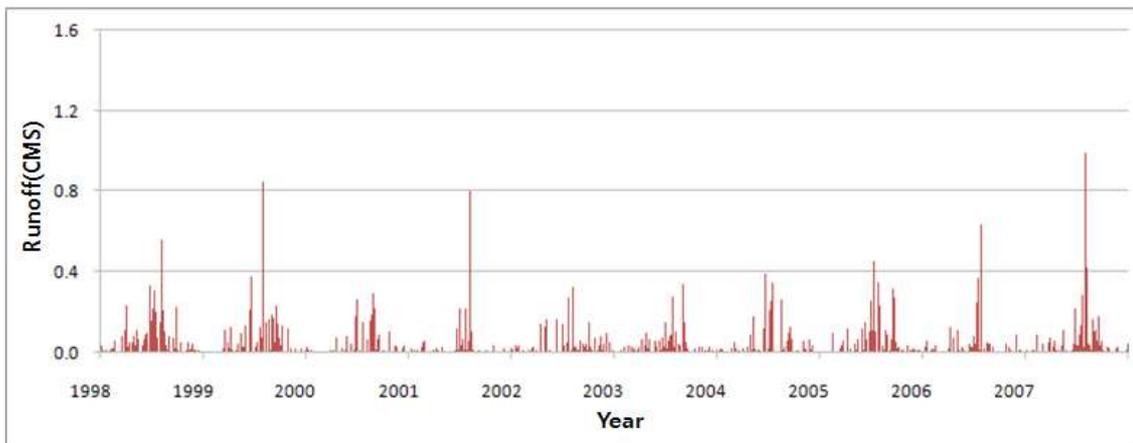


Fig. 10 Outflow of AJ subcatchment after infiltration trench setup

건기 하천유량과 빗물유출에 어떤 영향을 미치는지 파악하고자 장기유출 연속모의를 수행하고, 침투시설 설치 전·후 10년간의 일평균 유출수문곡선을 Fig. 9, 10에 나타내었다. 참고로 투수계수 15.51cm/hr, 수두와 폭을 1.5m로 놓고 일본우수저류침투기술협회의 침투량 산정식을 참조하여 추정하여 본 침투량은 100m 길이의 침투트렌치에서 약 92m³/hr으로 나타나고 있다.

Fig. 11은 침투시설 설치 전·후의 효과를 보다 자세히 파악하고자 연속유출 모의 결과 중 강우가 발생하였던 특정 기간(호우기)인 2007년 8월 8일부터 8월 9일까지의 유출 수문곡선을 따로 분리하여 나타내었다. 침투시설을 설치한 경우, 호우기간 동안은 0.008 m³/s~0.638 m³/s의 유출량

감소를 보였고, 건기(Dry weather period)에는 오히려 0.00099 m³/s~0.00112 m³/s의 유출량 증가를 보였다.

침투시설의 효과를 파악하기 위하여 시공한 경우와 시공하지 않은 경우에 대하여 시간단위로 수행된 연속유출모의 결과를 일단위로 계산하여 유황 분석결과를 Table 7, Fig. 12에서 제시하고 있다. 유황은 침투시설을 설치한 경우와 설치하지 않은 경우에 대해 풍수기, 평수기, 저수기 및 갈수기 유량을 비교하여 나타내었다. 유황분석 결과 평수량(Q₁₈₅)은 0.0018 m³/s에서 0.0028 m³/s로 약 56 %, 저수량(Q₂₇₅)은 0.0017 m³/s에서 0.0025 m³/s로 약 47 %, 갈수량(Q₃₅₅)은 0.0016 m³/s에서 0.0023 m³/s로 약 44 % 증가하였다.

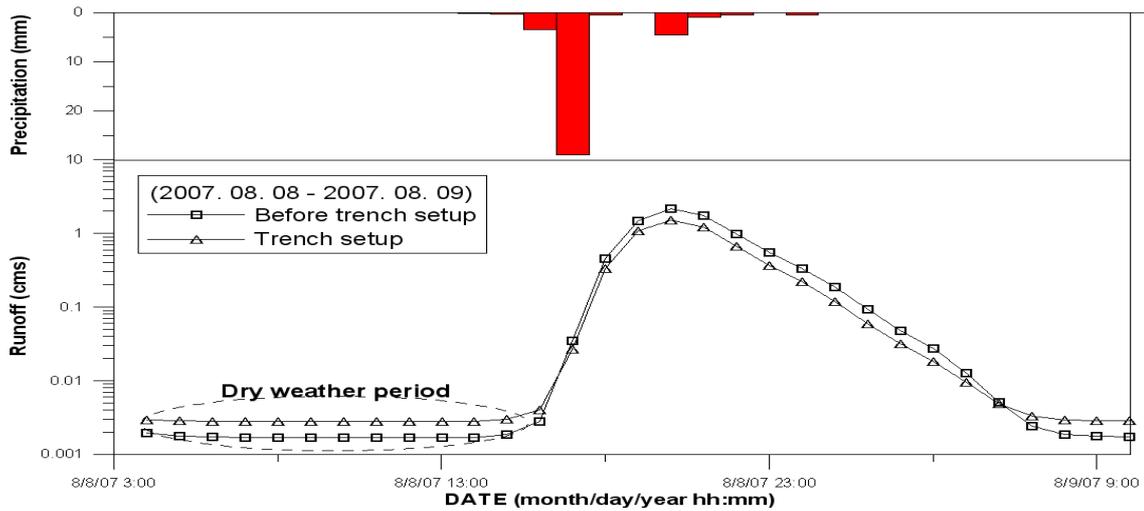


Fig. 11 Effect of infiltration trench in AJ subcatchment(8~9 Aug., 2007)

Table 7. Change of flow duration before and after infiltration trench setup in AJ subcatchment(m³/s)

	Abundant flow(Q ₉₅)	Normal flow(Q ₁₈₅)	Low flow(Q ₂₇₅)	Drought flow(Q ₃₅₅)
Before infiltration trench setup	0.0169	0.0018	0.0017	0.0016
After infiltration trench setup	0.0130	0.0028	0.0025	0.0023

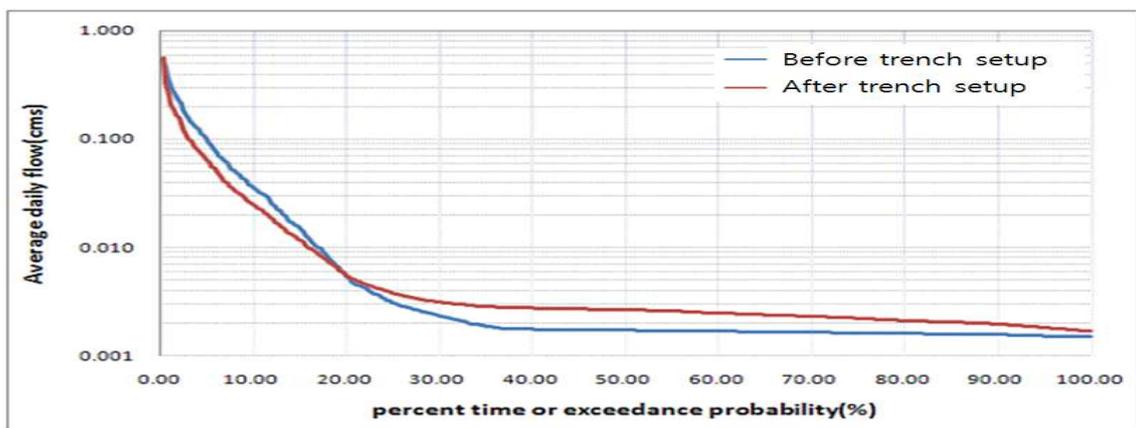


Fig. 12 Change of flow duration curve before and after infiltration trench setup in AJ subcatchment

4. 결론

물순환 계획단계에서는 신도시 개발이 물순환에 미치는 영향을 개발 전과 비교하여 개발 후 상태를 분석할 필요가 있다. 또한 이 과정에서 토지이용형태별 빗물관리시설 적용 가이드라인을 참조하여 빗물관리시설을 아파트, 공원 등에 설치하는 경우 그 효과를 정량적으로 추정, 평가하여 계획

의 실효성을 검토할 필요가 있다.

본 연구에서는 SWMM 모형을 활용하여 대상유역의 개발 전·후 물순환 분석을 수행하였다. 먼저 대상유역에 구축된 모형보정을 위하여 지난 2010년 8월 10일 ~ 11일 태풍 덴무 호우시 프로펠러 도섭 유속계를 이용하여 유량측정을 수행하고, 모의값과 측정값의 비교분석을 통해 모형을 보정하였다. 모의값과 측정값은 -15.3 ~ 6% 정도의 차이를

보였으나 태풍 호우상황과 유량측정 오차를 고려한다면 비교적 근사한 오차를 보였다. 대상구역의 물순환 분석결과, 개발 전·후 지표수 유출량은 각각 51.85%, 65.25%로 분석되었다. 반면 침투율의 경우 34.15 %에서 21.08 %로 감소하였다. 대상구역의 개발 전·후 물순환 분석결과를 보다 객관적으로 파악하고자 유형을 분석한 결과, 풍수량은 불투수면적의 증가와 강우강도에 영향을 받아 개발 후 증가하는 경향을 보였으나, 그 외 평수량, 저수량, 갈수량은 개발 후 감소하는 것으로 나타나 평상시 유량이 상당히 줄어든다는 것을 간접적으로 알 수 있다. 본 분석결과를 토대로 개발 후 지표유출량의 증가와 침투율의 감소를 정량적으로 파악할 있으며, 개발도시 유역에서 물순환 체계의 개선은 투수면적과 침투량의 증가에 있음을 알 수 있다.

본 연구에서는 개발로 인해 왜곡된 물순환 체계를 개선하기 위한 방법으로 대상구역의 일부 특정유역에 대하여 빗물관리시설인 침투트렌치를 가상적으로 설치하고 그 효과를 침투트렌치를 고려하여 개발된 수정 SWMM 모형을 이용하여 분석하였다. 전체 대상지구 유역 중 AJ 유역을 특정유역으로 선정하였고, 선정된 유역은 개발 전에는 논이다. 개발 후 주거단지 등으로 사용될 예정으로 토지이용 변화에 의해 불투수 면적의 증가와 함께 유역 내 유황이 악화될 것으로 예상되는 전형적인 도시화 지역이다. 빗물관리시설의 설치효과를 정량적으로 살펴보기 위하여 지표유량(유황)을 분석한 결과 평수량, 저수량 및 갈수량이 각각 56 %, 47 % 및 44 % 가량 증가되는 개선효과가 있었다.

본 연구에서 수행한 물순환 분석 및 침투시설의 설치효과 분석에 대한 방법론과 토지이용형태를 고려한 빗물관리시설의 적용 방안은 향후 신도시 건설을 위해 도시유역의 물순환 체계를 복원하는 방법 등으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 향후, 다양한 빗물관리시설에 대한 분석을 통해 신도시 개발에 적절한 분산형 빗물관리 및 침투시설의 선택과 다양한 방안들과의 최적 조합에 대한 연구 분석이 이루어져야 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 “아산신도시 물순환 도시 조성을 위한 우수관리 및 인공습지 시스템 적용 연구”의 일부를 수정, 보완하였으며, LH의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

김갑수 (2004) *서울시 물순환 기본계획 연구*, 서울시정개발연구원.
국립방재연구소 (2005) *우수유출저감시설 설치기법연구*.

국토해양부 (2009) *저탄소 녹색도시 조성을 위한 도시계획수립 지침*
국토해양부 (2010) *지속가능한 신도시 계획기준*
이정민, 이상호, 이길성 (2006) 물 환경 건전화를 위한 도시하천의 물 순환 모의 (I) -안양천 유역-, *수질보전 한국물환경학회지*, **22**(2), pp. 349-357.
이정민 (2007) *투수성 포장과 침투 트렌치를 고려한 수정 SWMM의 개발 및 적용*, 박사학위 논문, 부경대학교.
이태구, 한영해, (2003) 분산식 우수관리의 개념과 국내에서의 적용방안, *대한국토·도시계획학회지 「국토계획」*, **38**(5), pp. 271-282.
이태구, 한영해, (2006) 공동주택단지 개발에서의 분산식 빗물관리 목표량 설정, *한국생태건축학회 논문집*, **6**(3), pp. 27-34.
조원철, 송재우, 허준행, 최성욱, 이홍래 (2000) 우수유출 저감시설 시범사업 검토연구, 서울특별시.
현경학, 김종남, 오정익, 김길태, 이기홍, 김용환 (2008, b) *아산신도시 물순환 도시 조성을 위한 우수관리 및 인공습지 시스템 적용 연구*, 대한주택공사 주택도시연구원.
현경학, 오정익, 박종배, 김종남, 정경영, 이강문, 김용환, 최경주, 진상우 (2008, a) 자연순응형 빗물관리시설에 의한 빗물 오염부하 및 유출량 저감효과, *HURI FOCUS*, **32**.
현경학, 장선영, 안성식, (2006) 국내 공동주택단지 자연 순응형 빗물관리시설 사례 분석, *환경영향평가*, **15**(2), pp. 111-119.
社団法人 雨水貯留浸透技術協會 編集 (1995) *雨水浸透施設技術指針[案] 調査・計劃編*, pp. 40-41, 東京, 日本
Chouli, E., Aftias, E., and Deutsch, J.-C. (2007) Applying storm water management in Greek cities: learning from the European experience, *Desalination*, **210**, pp. 61-68.
Jia, Y. and Tamai, N. (1998) Integrated analysis of water and heat balances in Tokyo Metropolis with a distributed model, *Journal of Japan Society Hydrology & Water Resources*, **11**(2), pp. 150-163.
Smith A. A. (2004) *MIDUSS Version 2 Reference manual*, Alan A. Smith Inc., pp. 310-314.
U.S. Environmental Protection Agency (2007) *Reducing Stormwater Costs through Low Impact Development (LID) Strategies and Practices*. Available at: <http://www.epa.gov/nps/lid>
<http://www.lowimpactdevelopment.org>