

수변도시의 물순환 목표 산정 방안 연구

김재문¹, 백종석², 신현석¹, 박경재^{3*}

¹부산대학교 사회환경시스템공학과, ²한국수자원조사기술원, ³울산광역시 울주군청 도로과

Study on Estimation Method of Water Cycle Goal in Waterfront City

Jae-Moon Kim¹, Jong-Seok Baek², Hyun-Suk Shin¹, Kyoung-Jae Park^{3*}

¹Dept. of Social Environmental Systems Engineering, Pusan National University,

²Korea Institute of Hydrological Survey,

³Ulju country office, Ulsan, road administration, Ulsan South Korea

요약 국토교통부와 환경부의 물관리 일원화로 인해 국민들의 물관리 및 물환경 보존에 대한 관심이 고조되고 있다. 기존의 단순 유출 및 비점오염원 관리를 위한 장치형 시설 및 합양지의 확대에서 유역 전반의 건전한 물순환 체계 구축으로의 물관리 패러다임이 변화하고 있다. 이에 힘입어 유역 전반의 물관리에 대한 필요성은 지자체별 조례를 통해 기준을 확립하고 있다. 하지만 건전한 물순환을 위한 도시별 물관리 기준이 통일되지 않아 도시별 목표가 각기 다르고 대도시를 제외하고는 정량적 목표가 전무한 현실이다. 본 연구에서는 지자체별 물순환과 관련한 연구 및 조례를 정리하여 수변 지역의 도시를 대상으로 개발 이후에도 탄력적인 물관리가 가능한 물순환 목표를 설정하고, 이를 달성할 수 있는 정량적인 방안을 강우의 저장과 침투를 통해 제시하였다. 대상지의 전체 강우 분석을 통해 합리적인 수준의 물순환 목표를 설정하였고, 저영향개발 기법을 통해 최초 강우의 저장과 저장량을 초과한 강우에 대한 유역 전반의 침투를 통해 물관리를 계획하였다. 연구결과, 계획한 수변도시의 물순환 목표는 전체 강우의 52%, 백분위수 비교를 통한 80 percentile의 강우 17 mm/day를 처리할 수 있는 것으로 확인되었다. 이러한 산정절차결과에 정량적으로 질을 높이기 위해서 추후에 저영향개발 요소의 안전성이나 적정제원선정 등과 같은 여러 변수들을 고려한다면 물순환 목표 산정에 신뢰도가 더 높을 것으로 사료된다.

Abstract The current water-management paradigm is changing from the expansion of reservoirs and facilities for simple outflows and non-point source management to the building of a sound water circulation system throughout the watershed. Based on this, water management for the watershed as a whole is establishing standards through local ordinances. The purpose of this study is to establish water cycle targets that are resilient to water management even after the development of cities in watersheds where water management is highly needed. This was done by referring to research and ordinances related to water circulation by local governments. A method is proposed based on a storage and infiltration method for rainfall. Through a comparison of percentiles, it was found that the water circulation target of a planned waterside city can be treated with 52% of total rainfall and 80% of rainfall of 17 mm per day. To quantitatively improve the quality results of these calculation procedures, it is estimated that the calculation of water cycle targets will be more reliable if other various variables such as the safety of low impact development factors or the selection of appropriate specifications are considered later.

Keywords : Water Cycle, Waterfront City, Water Balance, Storage, Infiltration, Low Impact Development

“본 연구는 「기후변화특성화대학원사업」의 지원으로 수행되었습니다.”

*Corresponding Author : Kyoung-Jae Park(Ulsan South Korea)

email: econopark@korea.kr

Received October 19, 2020

Revised November 10, 2020

Accepted December 4, 2020

Published December 31, 2020

1. 서론

2017년 부산시, 인천시, 청주시 등 도심지 침수 및 도시하천 범람 사례, 2018년 대구의 수돗물 발암물질 검출 사건, 그리고 국토교통부와 환경부의물관리 일원화 등 국민들의 유역 물관리와 물환경 보존에 대한 관심이 어느 때보다 높아져 있다.

과거에는 피해가 많이 발생하는 치수 위주의 정책과 관련연구가 활발하게 진행되었으나 최근들어 도시의 건전한 물순환에 대한 관심이 증가하고 있으며, 이러한 물순환을 관리하는데 가장 우선되어야 할 것 중 하나는 유역의 체계적이고 정량적인 물관리 목표를 설정하는 것이라 할 수 있다. 신도시 개발 및 도시 재생사업을 수행할 경우 [1]과 [2] 등을 통해 유역의 수문순환 개선 및 물환경 보존에 대한 계획을 설정하도록 계획되어 있으며, 초기 계획시 유역에 대한 정확한 이해를 바탕으로 지형적 특성에 맞는 물순환 방안을 선정하는 것이 중요하다. 국내의 도시들은 [3]을 시점으로 강우 발생원에서부터 표면 유출 저감 방안에 대한 연구를 수행하여 시범단지 혹은 실증시설 차원에서의 물순환 목표를 설정하고 있고, 상급 지자체인 특별시, 광역시, 도에서 제정한 조례안을 바탕으로 하급 지자체인 시, 군, 자치구도 따라서 유역 물관리 계획을 수립중이다.

물순환 목표를 설정하기 위해서는 대상지의 도시화에 따른 물순환의 변화 추이 확인이 우선되어야 한다. 국내 각 도시 유역을 대상으로 물순환 변화에 대한 정량적 물수지 분석 연구를 살펴보면 [4]는 광주광역시를 관통하는 광주천 유역을 대상으로 하천의 유출특성을 분석하여 1960년 대비 1990년의 직접 유출량 증가를 기준으로 2010년대 직접 유출 예상량을 제시하여 도시화에 따른 물수지의 변화에 대해 제시하였으며, [5]는 대전광역시 갑천 유역을 대상으로 1975년부터 2000년까지의 도시화율에 따른 수문요소별 변화를 정밀분석하여 하천의 건천화, 지표 유출량의 급증 등에 대한 근거를 정리하였다. [6]은 경기도 남양주시 미사지구를 대상으로 단지개발에 있어서의 표면유출량 증가와 지하수 유출량 감소에 대한 문제점을 분석하고, 저영향개발(LID: Low Impact Development, 이하 LID)을 통해 물순환 왜곡을 회복할 수 있다는 점을 강조하였으며, [7]은 대전시 관평천 유역을 대상으로 도시화에 따른 유역의 변화를 불투수면적 비율별 시나리오로 설정하여 Storm Water Management Model 5(SWMM5) 모형을 통해 시나리오별 물수지 변화량을 정량적으로 제시하였다.

물순환 목표의 정량적 달성을 위하여 국내 대부분의 지자체에서는 저영향개발 기술을 권장하고 있다. [2]에서 명시하는 저영향개발 기술은 유역 유출량 및 비점오염원을 저감할 수 있는 물관리 방안으로서 대규모 신도시 개발 사업 시 저영향개발 기술을 사용하도록 권장하고 있다. 국내 대규모 단지에서 저영향개발 기술을 이용하여 물순환 개선 실증 연구가 이루어진 사례로 [8]은 경기도 화성시 동탄지역, 신갈지역과 인천광역시 송도지역의 공동주택단지를 대상으로 설정하여 침투정, 침투트렌치 등의 저영향개발 기술 설치가 물순환 변화에 미치는 영향을 SWMM5 모형을 통해 제시하였으며, [9]는 경기도 화성시 동탄신도시 내 일부 지역을 선정하여 도시 개발 전·후의 토지이용 변화에 따라 투수성포장, 빗물저류조, 빗물정원 등의 저영향개발 기술을 침투형, 저류형, 침투 및 저류형으로 분류하여 유역의 물수지 변화를 분석하였다. [10]은 천안시 장재천 유역에 포함된 아산탕정 시범유역을 대상으로 국내 대규모 개발부지 중 저영향개발 기술을 계획, 설계단계에서부터 적용한 첫 사례로서, SWMM5 모형을 통한 개발 전·후의 유출저감 효과와 물순환 개선 효과에 대해 분석하였다.

수변지역은 [11]의 공포 이후 에코델타시티, 송산그린시티 등과 같은 신도시개발 및 수변도시 재생사업으로서 물을 매개로한 주거, 상업, 레저 등의 기능을 갖춘 복합공간으로의 개발이 진행중이다. 하천 혹은 유역 하구에 인접한 수변도시는 지역적으로 수재해에 취약할 수밖에 없어 기존의 도시들 보다 높은 목표를 설정하여 관리하여야 한다. 수변도시의 친환경적 도시재생 방안과 저영향개발을 통한 물순환 개선에 대한 분석을 수행한 연구는 다음과 같다. [12]는 실제적인 수변지역 물관리 방안 마련을 위해 LIDMOD2 모형을 이용하여 청송군 청송읍과 양평군 양평읍의 토지이용 변화에 따른 비점오염원 부하량, 표면 유출량, 침투유량 개선 등을 위한 정량적인 분석의 수행과 물순환형 수변도시 정착을 위한 제도적 개선을 제시하였다. [13]은 수변공간의 입지적 특성을 고려하여 국내 도시 상황에 부합되는 친환경적 도시재생으로서의 지속가능한 수변공간의 개선 및 관리방안을 제시하였다. [14]는 에코델타시티 인근의 비도시화 토지를 대상으로 토지이용 및 특성에 따라 저영향개발 기술의 적용방안을 등급별로 검토하였고, 미래 토지이용결정을 예상하여 토지에 적절한 개발 및 보전 결정과 그린인프라 기법의 구조, 비구조적 기법의 적용을 제안하였다. [15]는 국내 대표적 수변도시인 에코델타시티를 대상으로 식생수로와 투수성포장 등의 저영향개발 기술 적용 면적별

유출저감 효과분석을 수행하여 배수구역과 저영향개발 기술 배치면적의 상관관계에 대한 연구를 수행하였다. [16]은 수변지역에 계획된 친환경 시범마을을 대상으로 저영향개발 기술을 적용하였을 때의 물순환 개선효과와 그에 따른 비용-편익 분석을 통해 기술 적용에 대한 경제성을 제시하였다.

물, 자연, 사람이 공존하는 친환경적 복합공간으로서의 수변도시는 시민들의 요구에 의한 개발 수요가 증가하고 있는 반면, 수변도시의 정량적 물순환 목표 설정 기준이 모호한 것이 문제점이다. 수변지역의 단지개발 시에도 [2]의 기준을 만족해야 하기 때문에 저영향개발 기술을 이용한 대상지의 물관리 개선 방법이 필요하다. 본 연구에서는 수변지역의 도시 개발시 자연적 수문순환에 최소한의 영향을 미치도록 하는 적정 물순환 목표를 설정하고, 목표 달성 방안으로서 저영향개발의 적용 방법을 고려하여 물관리 중심의 안전한 도시 설계 방안을 제시하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 연구방향

일반적인 도시개발 시 수재해에 대한 해결 방법으로 우수유출 저감대책을 수립하고, 장치형 혹은 자연형 시설

의 설치를 통해 수방재 적절성을 [2]에 인증받고 있다. 신도시 개발시에는 저영향개발과 같은 자연형 시설을 통하여 물관리를 수행하는데, 이는 지자체별 조례안을 통해 자치구내 개발시의 수방재 목표를 설정하고 있다. 본 연구에서는 도시 구역에서의 물수지 변화 연구사례와 현재 우리나라 도시에서 물순환 개선을 위해 시행하고 있는 조례안들을 조사 및 비교하여, 수변도시에 적용 가능한 적정 물순환 목표를 설정하고, 이에 따른 목표 달성 방안을 실제 대상지 적용을 통해 제안하고자 한다.

2.2 도시별 물순환 개선 연구

도심지는 개발에 의한 불투수면적의 증가로 돌발홍수, 국지적 침수, 수질악화, 도시하천의 범람 및 하천의 건천화 등 다양한 수재해에 취약한 모습을 보이고 있다. 이를 대응하기 위해 각 지자체는 발생원에서부터의 강우관리가 가능하도록 빗물관리조례를 제정하여 유출량 관리를 수행하고 있고, 이 중 유역의 전체적인 물순환 건전화에 관심이 있는 상급 지자체들은 빗물관리보다 좀 더 포괄적인 범위를 가질 수 있는 물순환 관련 조례를 제정하여 정량적이고 체계적인 관리를 수행하고 있다.

2.2.1 도시화에 따른 물수지 변화

도시화에 따른 유역의 증발량, 침투량, 저류량의 감소 및 표면 유출량의 증가와 같은 물수지의 변화는 최근 증

Table 1. Study Case for Change of Water Balance in Downtown

Analysis method	Target area		Water balance (%)			Reference	
			Evapotranspiration	Infiltration	Surface runoff		
Long-term	Seoul	Before development	43.3	46.1	10.6	△ 41.3	[3]
		After development	25.0	23.1	51.9		
Long-term	Misa district, Hanam-si, Gyeonggi-do	Before development	7.8	43.2	49.0	△ 17.7	[6]
		After development	11.1	22.3	66.7		
Short-term	Dongtan, Hwaseong-si, Gyeonggi-do	Before development	3.0	91.8	5.2	△ 44.7	[9]
		After development	16.3	33.8	49.9		
Long-term	Gwangju	Before development	53.9	46.1	0.0	△ 18.3	[4]
		After development	53.9	27.8	18.3		
Long-term	Gapcheon basin, Daejeon	Before development	37.6	28.8	33.6	△ 17.0	[5]
		After development	24.6	24.8	50.6		
Long-term	Gwanpyeong basin, Daejeon	Before development	4.3	86.1	9.5	△ 63.1	[7]
		After development	6.7	20.7	72.6		
Long-term	Chungcheongnam-do, Asan-si	Before development	14.2	45.7	40.1	△ 38.1	[10]
		After development	13.9	7.9	78.2		

가하고 있는 도시 수재해 문제와 밀접한 연관이 있다. 많은 연구자들이 수문학적 왜곡이 심한 국내 도심지들을 대상으로 물수지 변화에 대한 연구를 수행하였으며, 각 물수지 인자에 따라 연구결과를 Table 1과 같이 분류하였다. 연구는 목적에 따라 단기 및 장기 사상에 대한 개발 전후의 물수지 분석을 수행하였으며, 각 대상지의 특성에 따라 정도의 차이가 존재하나, 증발량과 침투량의 감소량만큼 표면유출량이 증가하는 것으로 분석되었다.

2.2.2 지자체별 빗물관리 조례

서울특별시, 경기도, 인천광역시를 포함한 수도권에서부터 빗물관리 개선 방안의 연구가 시작되었으며, 최근

도시의 빗물에 대한 관심이 증가하면서 도시군 빗물관리 조례의 제정이 증가하고 있다. 2018년 7월 기준 각 지자체별 빗물관리 관련 조례를 Table 2에 정리하였다. 수도권 지자체를 중심으로 2005년 이후 빗물관리 관련 조례가 제정되기 시작하여 지방 도시군으로 조례 제정 범위가 넓혀졌다. 인구 밀집도가 높아 수재해에 민감하고 물관리에 관심이 큰 지자체들을 우선으로 빗물관리 조례의 개정을 거듭하여 최근의 개정안에 이르고 있다.

2.2.3 지자체별 물순환 조례

서울특별시의 빗물관리 뿐만 아니라, 유역 전체의 물순환 관리까지 고려한 지자체에서는 기존에 제정한 빗물

Table 2. Ordinance on rainwater management by local governments [11]

No	Name of local government		Name of local statutes	Date of enactment	Final revision date	
	Higher	Lower				
1	Seoul	All	Ordinance on rainwater management in Seoul metropolitan city	2005.12.29.	2012.05.22.	
2	Gwangju	Gwangsan-gu	Ordinance on rainwater management in Gwangju metropolitan city	2011.09.27.	2014.08.14.	
3		Namgu		2015.08.10.	2015.08.10.	
4	Incheon	All	Ordinance on rainwater management in Incheon metropolitan city	2009.11.09.	2011.10.24.	
5		Bupyeong-gu		2017.09.25.	2017.09.25.	
6		Dong-gu		2011.10.01.	2016.11.01.	
7		Nam-gu		2016.11.14.	2016.11.14.	
8	Gyeonggi-do	All	Ordinance on establishment of rainwater management facility in Gyeonggi-do province	2012.12.28.	2015.04.30.	
9		Goyang-si		2013.10.04.	2015.01.09.	
10		Hwaseong-si	Ordinance on rainwater management in Gyeonggi-do province	2013.06.13.	2013.06.13.	
11		Pocheon-si		2014.02.27.	2014.02.27.	
12		Uijeongbu-si		2013.03.19.	2013.03.19.	
13		Ansan-si	Ordinance on establishment of rainwater using facility in Gyeonggi-do province	2005.04.20.	2005.04.20.	
14				Anseong-si	2014.05.01.	2014.05.01.
15				Gapyeong-gun	2009.10.01.	2016.03.16.
16				Gunpo-si	2005.06.03.	2005.06.03.
17				Gwacheon-si	2007.06.22.	2017.06.30.
18				Icheon-si	2005.06.09.	2005.06.09.
19		Siheung-si	2006.03.16.	2006.03.16.		
20	Gyeongsangnam-do	All	Ordinance on rainwater management in Gyeongsangnam-do porvince	2009.05.14.	2016.12.29.	
21		Yangsan-si		2011.11.11.	2012.12.31.	
22		Chanwon-si		2010.07.01.	2014.12.24.	
23	Gyeongsangbuk-do	All	Ordinance on rainwater management in Gyeongsangbuk-do porvince	2013.12.30.	2013.12.30.	
24		Gyeonsan-si		2012.11.30.	2012.11.30.	
25		Yeongyang-gun		2013.03.08.	2013.03.08.	
26	Jeollanam-do	All	Ordinance on rainwater management in Jeollanam-do porvince	2009.10.05.	2017.11.02.	
27		Naju-si		2010.01.20.	2011.02.14.	
28	Jeollabuk-do	Jeonju-si	Ordinance on rainwater management in Jeollabuk-do porvince	2009.11.04.	2015.12.30.	

관리 조례를 바탕으로 저영향개발 기법을 활용한 수문순환 개선방안을 정리하여 신규 제정하거나, 기존조례 전부 개정을 통한 개정안을 제시하였다. 빗물관리 및 물순환 관련 조례를 기준으로 도시의 빗물관리 목표량을 설정하도록 하였으며, 빗물관리 목표량은 도시의 개발후에 증가한 표면유출량을 개발이전의 표면유출량으로 복원하고자 유출량의 차이만큼을 관리목표로 설정하는 것으로 추진되고 있다. 설정된 빗물관리 목표량은 저영향개발 기법을 적용하여 표면유출량을 저장과 침투의 방법으로 분산 처리하여 개발 이전의 상태를 유지할 수 있도록 계획되어지고 있다. 각 지자체별 물순환 관련 조례는 Table 3과 같다.

서울특별시 서울특별시 빗물관리에 관한 조례를 2005년 12월 29일 제정 이후 2012년 5월 22일까지 9차례의 개정을 거쳐 서울특별시 물순환 회복 및 저영향개발 기본조례로 2014년 2월 9일 전부 개정되었으며, 7차례의 개정을 거쳐 2018년 1월 4일 개정본을 기준으로 시행중이다. 광주광역시 광주광역시

물순환 기본 조례를 2017년 1월 1일 제정하여 시행중이며, 대전광역시는 대전광역시 물순환 개선 조례를 2017년 12월 29일 제정하여 2018년 1월 18일부로 시행중이다. 울산광역시는 울산광역시 물 순환 회복 기본 조례를 2017년 12월 27일 제정하여 시행중이고 남양주시는 물관리 및 물순환 기본 조례를 2009년 10월 21일

제정하여 2017년 12월 26일까지 4차례 개정을 거쳐 시행중이다. 수원시는 수원시 물순환 관리에 관한 조례 2009년 6월 19일 제정되어, 2012년 10월 4일 1차례의 개정을 거쳐 시행중이다.

2.3 수변도시의 물순환 목표설정

대도시들을 중심으로 조례에 의거하여 물순환 목표의 선정연구가 진행되었고, 목표를 달성할 수 있는 방안으로서 저영향개발 기술을 적용하여 대상지의 물순환을 개발이전으로 회귀하고자 하였다. 일반적인 내륙의 도시들은 대상지의 개발전과 개발후의 표면유출량 차이를 강우관리 목표량으로 설정하였고, 저영향개발 기술을 이용한 침투량, 저류량, 증발산량 등의 물수지 개선으로 물순환 목표를 충족하도록 계획하였다.

수변도시란 댐, 보, 호수, 하천, 항구 등 수역을 접하면서 물을 매개로 주거, 레저, 문화 공간 등의 가치를 부여해 개발하는 도시 지역으로 시민의 삶의 질을 높이는 차세대 도시개발 개념으로 정의한다. 친수구역 특별법에 의해 시행중인 대부분의 수변도시들은 토양 포화도가 높은 간척지나 침투가 불리한 지형에서의 개발이 진행되고 있다. 이와 같은 수변도시의 기존 도시 물순환 목표 산정법과 다르게 개발 이전의 침투가 양호하고, 유출이 적은 건전한 물수지 체계였던 적이 없기 때문에 기존의 물순환 목표 설정 접근법과는 다른 방법이 필요하다. 본 연구

Table 3. Ordinance on water cycle by local governments [11]

No	Name of local government		Name of local statutes	Date of enactment	Final revision date
	Higher	Lower			
1	Seoul	All	Master planning ordinance on recovery of water cycle and Low Impact Development in Seoul metropolitan city	2014.02.09.	2018.01.04.
2		Gangdong-gu		2015.12.30	2016.05.04.
3	Gwangju	All	Master planning ordinance on water cycle in Gwangju metropolitan city	2017.01.01.	2017.01.01.
4	Daejeon	All	Ordinance on improvement of water cycle in Gwangju metropolitan city	2017.12.29.	2017.12.29.
5		Seo-gu		2017.04.10.	2017.04.10.
6	Ulsan	All	Master planning ordinance on recovery of water cycle in Ulsan metropolitan city	2017.12.28.	2017.12.28.
7	Gyeonggi-do	Namyangju-si	Master planning ordinance on water management and water cycle in Gyeonggi-do province	2009.10.21.	2017.12.26.
8		Suwon-si	Ondinance on water cycle management in Gyeonggi-do province	2009.06.19.	2012.10.04.
9	Gyeongsangbuk-do	Andon-si	Ondinance on recovery of water cycle in Gyeonggi-do province	2018.04.18.	2018.04.18.
10	Gyeongsangnam-do	Gimhae-si	Ondinance on improvement of water cycle in Gyeonggi-do province	2018.04.27	2018.04.27

에서는 수변도시의 물순환 개선 방안으로서 저영향개발이 적용된 각 도시들을 소개하고, 수변도시에 적합한 물순환 목표의 설정 방안에 대해 제시하였다.

2.3.1 도시별 저영향개발 적용 사례

저영향개발은 대상지의 개발이 수문순환에 미치는 영향을 최소화하여 자연 상태와 유사한 물의 순환이 구현되도록 저류, 증발산, 침투 등을 통해 강우 발생원에서부터 유출을 관리하는 시설 및 설계 방법이다. [2]의 우수유출 저감대책으로서 저영향개발 기술을 권장하고 있으며, 신도시 개발시 적극 반영되고 있는 친환경적 물관리 기술이다. 국토교통부 및 환경부의 연구성과를 바탕으로 저영향개발 기술의 유출량 및 비점오염원 저감에 대한 정량적인 분석 결과가 도출되었고, 이를 이용한 실증적 시공기술이 보급되고 있다. 또한, 환경부에서는 2016년 물

순환 선도도시 5곳을 공모하여 광주광역시, 대전광역시, 울산광역시, 김해시 및 안동시를 선정하여 2018년 물순환 개선 시범사업을 추진중에 있다. 도시 재생 및 신도시 개발, 그리고 환경부의 시범사업 등을 기준으로 실제 저영향개발 기술이 적용된 지역 및 특징을 Table 4에 정리하였다.

2.3.2 수변도시의 물순환 목표 설정 방안

일반적인 도시 개발 과정에서의 대표적인 물순환 목표 선정 방안의 사례로는 [3]과 LH공사에서 준공한 아산탕정지구, 그리고 개발 진행중인 세종시의 행복도시 등이 있다. 위 사례들의 공통된 물순환 목표 선정 방안으로는 [2]를 큰 틀로 대상지의 개발전 표면 유출량과 개발후 증가된 표면 유출량의 증가량을 저영향개발 기술을 통하여 처리하도록 설계한다. 하지만 수변도시의 경우 일반적인

Table 4. Domestic construction case applied LID

Type	Target area	Element technologies	Note
Urban regeneration	Master Plan for Rainwater Management in Seoul Metropolitan	Infiltration facility, rainwater harvesting facility	Establishing the first quantitative rainwater management plan in Korea
	Seoul(each government)	Infiltration trench, porous pavement	Mandatory installation of sidewalk and driveway
	Seoul(magok district)	Bioswale, infiltration channel, infiltration trench, porous pavement, wetland	First LID application district by rainwater management ordinance
New town development	Gwanggyo new town	Detention reservoir, wetland	Considering initial infiltration and storage of rainwater
	Asan-tanjeong new town	Bioswale, infiltration channel, infiltration trench, porous pavement, wetland	An example of the first distributed rainwater management system in Korea
	Pyeongtaek godeok new town	Bioretention, infiltration trench, porous pavement, tree box filter, wetland	Acquisition of incentives by lowering the green rate due to LID application
	Busan eco-delta city	Bioswale, infiltration chamber, pland box, tree box filter	LID applications by the special law of the hydrophilic zone
	Sejong haengbok city	Bioswale, infiltration channel, infiltration chamber, infiltration trench, porous pavement, rain garden, wetland	Examples of cooperation between Ministry of Environment and local governments for LID application
Green rainwater infrastructure (Ministry of environment)	Chungcheongbuk-do ochang, Jeollabuk-do jeonju	Bioswale, green roof, infiltration trench, porous pavement, tree box filter	Demonstration project of zero storm drainage
	Daegu(bukgu government building)	Plant box, porous pavement, rain garden, tree box filter	Apply green rainwater infrastructure during remodeling
	Suwon-si(jangan-gu government building)	Green roof, porous pavement, rain barrel	Rain city demonstration for drainage reduction
	Daejeon(city hall)	Bioswale, green roof, infiltration planter, porous pavement, rain garden, tree box filter	Apply green rainwater infrastructure during remodeling
Water cycle leading city (Ministry of environment)	Gwangju chipyeong-dong	Bioswale, green roof, porous pavement	Establish water cycle ordinance and promote pilot project
	Daejeon dunsan-wolpyeong-dong	Bioretention, green roof, porous pavement	
	Ulsan samho-dong	Bioswale, porous pavement, rainwater harvesting facility	
	Andong-si urbanization area	Infiltration basin, porous pavement, rain garden	
	Gimhae-si dongsang-hoehyeong-buwon-dong	Infiltration-vegetated facility, porous pavement	

개발 대상지와 다르게 하천 및 바다 등의 수역에 인접하여 개발이 이루어지기 때문에 개발 이전부터 토양의 포화도가 높아 지하수로의 침투가 불량하고 표면 유출율이 커서 개발후 유출율과의 비교가 무의미하다. 따라서 수변도시의 물순환 목표는 대상지 말단의 유출량 비교가 불가하여, Table 5의 세종시, 울산시와 같이 대상지에 최초 발생하는 강우량에서부터의 관리가 필요하다.

Table 5. Water cycle goal by each city

Target area	Water cycle goal		Calculating method
	percentile	mm	
Andong	-	20	Reduced runoff before and after development
Daejeon	-	20	Reduced runoff before and after development
Gimhae	-	20	Reduced runoff before and after development
Gwangju	-	15	Reduced runoff before and after development
Sejong	90	30	Precipitation depth by percentile
Ulsan	85	25	Precipitation depth by percentile

본 연구에서는 [17]에서 고시한 백분위수 분석을 통해 빗물관리 목표량을 설정하였다. 대상지구의 10년 이상의 유효강우를 대상으로 최소에서 최대 강우까지 크기순으로 나열한 후 적정 백분위수에 해당하는 강우량을 물순환 목표로 설정하였다.

물순환 목표를 산정하는 방식은 개념과 이용방식에 따라 접근법이 상이한데, 일반적으로 표현하는 기준단위에 따라 분류될 수 있다. 일정량 차감 방식, 저류-침투 연계 방식, 목표 강우깊이-집수면 방식, 유효우량 산정 방식 등 물순환 목표를 설정하는 가이드라인 마다 다른 방식으로 사용된다. 본 연구에서는 최근의 도시 물순환 목표 설정 방법으로 강우 처리 규모를 간단하게 제시할 수 있고, 목표 강우깊이(mm)와 대상지의 면적(m²)으로 양적인 단위를 표현할 수 있는 목표 강우깊이-집수면 방식을 사용하였다.

물순환 목표를 설정한 후, 강우를 저장과 침투로 처리하기 위해 빗물관리 목표 및 빗물관리능력의 설정이 필요하다. 빗물관리 목표란 대상지의 면적과 처리하고자 하는 저감 목표를 고려하여 시간당 관리하고자 하는 강우량(m³/hr)을 설정한 것을 말하고, 빗물관리 능력은 강우 분석을 통해 대상지의 관리 목표량은 건축면적을 고려하여 시간에 따른 유량에서 높이 단위(mm)로 표현할 수 있다[3]. 빗물관리능력은 연간 발생하는 전체 시강우의 기준을 설정하는 것으로, 대상지에 적용될 저장과 침투의 방법으로 나누었을 때, 각각의 표면유출 저감 능력을 의

미한다. 시설분류별 면적 대비 단위 빗물관리능력을 설정할 수 있다. 시설분류별 단위 빗물관리능력을 기준으로 대상지의 빗물관리 목표량을 달성하기 위한 저영향개발 시설물 규모를 설정할 수 있다.

[2]에서는 우수유출저감 방안으로 저영향개발을 이용한 강우의 저장 및 침투에 대한 방안을 권장하며, 목표량의 10 %이상을 침투량으로 분담하고 나머지는 저류량으로 처리할 것을 권장하고 있으나, 저장 공간의 비중을 우선으로 고려하기에는 빗물의 저장량 확보에 공간적, 경제적 어려움이 있어 대상지의 저장 규모 적정량을 산정한 이후 남은 유출량에 대해 침투시설에 의한 처리를 하도록 하였다.

대상지를 건물면적과 대지면적으로 나누어 건물 옥상면에서 집수할 수 있는 강우량을 저장량이라고 고려하고, 대지면적에서 처리하는 강우량을 침투량으로 설정하여 Fig. 1과 같이 나타내었다.

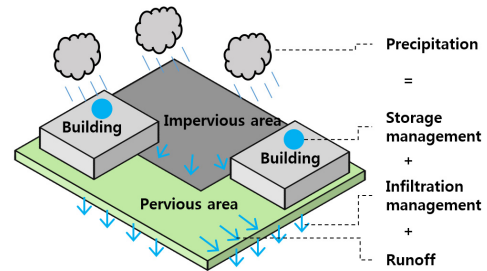


Fig. 1. Schematic diagram of rainfall management

설정된 빗물관리 목표량에서 우선 처리할 저장량은 대상지의 건물면적과 빗물저장시설 규모를 고려하여 산정하고, 목표량에서 저장량을 제한 나머지 관리량은 투수성 포장, 침투트렌치, 침투통 등의 저영향개발 침투 요소를 이용하여 처리하도록 Fig. 2와 같이 설계한다.

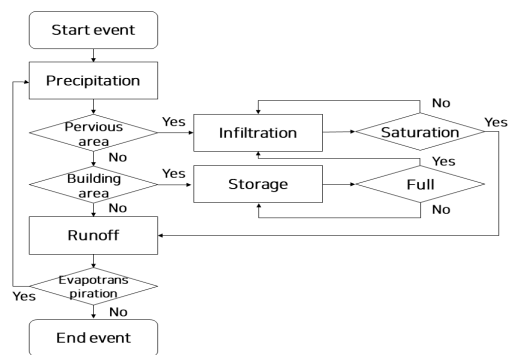


Fig. 2. Flowchart for rainfall management

대상지의 전체 강우에 대해 저장시설로 저장할 수 있는 유출량을 우선 처리하고, 나머지 유출량은 침투시설을 통해 저장하도록 설정하였다. 빗물 저장시설의 연간 유출량 저장고를 고려하여 대상지의 저장 처리 규모를 산정할 수 있다. 저장 및 침투는 시강우의 크기순 나열에 따른 빗물관리능력(mm/hr)을 선정하여 면적을 고려한 관리량(m³/hr)을 산정할 수 있다. 대상지의 토지이용, 건물면적, 저장규모 등 여러 변수에 따라 저장량 및 침투량의 편차가 크다.

2.4 수변도시 적용 분석

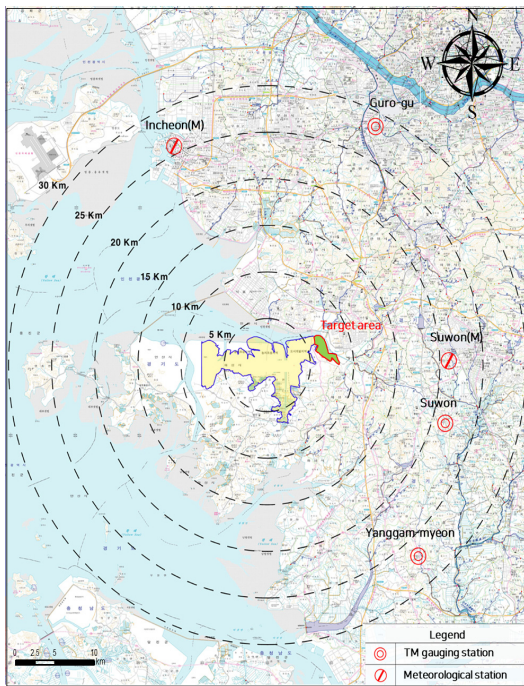


Fig. 3. Geographical position of target area

물순환 목표 선정기준을 실제 수변도시에 적용할 수 있도록 대상지를 선정하고 물순환 목표 달성 절차에 따

라 분석을 수행하였다. 수변에 인접한 도시를 선정하고, 대상지의 기상관측소로부터 기상자료를 수집하여 분석하였다. 강우분석을 통해 대상지에 적합한 물순환 목표량을 설정하고, 토지이용과 시설분류에 따라 저장 및 침투 처리량을 산정하였다. 물순환 목표량은 최초 저장에서부터 처리를 수행하고 남은 유출에 한해 침투 처리가 가능하도록 분배하여 수변도시의 물수지 개선 분석을 수행하였다.

2.4.1 대상지 현황

연구 대상지는 경기도 화성시 송산그린시티내 개발지구로 Fig. 3과 같이 물에 인접한 수변도시이다. 대상지는 주거 및 상업 구역으로 자연 친화적 녹색 도시를 표방하여 타도시에 비해 상대적으로 공원·녹지 비율이 높고, 건축개발면적이 낮게 계획되어 Fig. 4와 같은 토지이용으로 분류된다.

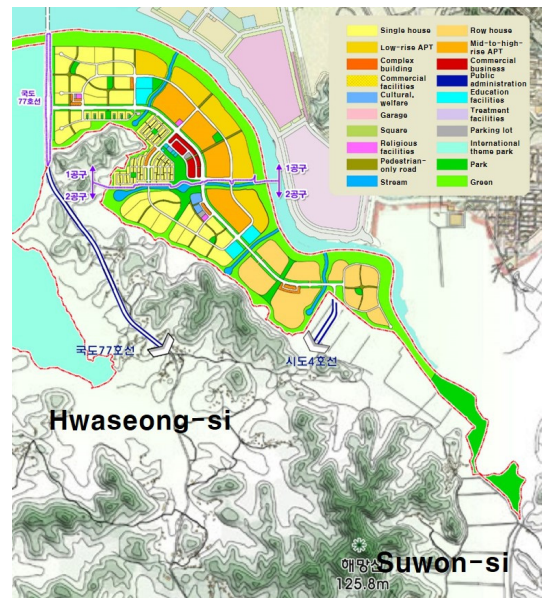


Fig. 4. Landuse map of eastern district

Table 6. Landuse of development district in Songsan green city

Classification	Total area (m ²)	Area ratio (%)	Bulk ratio of Seoul(SMG(2013), %)	Building area (m ²)
Public-education	87,464	2.47	0.77	27,294
Park-green	1,350,472	38.11	0.07	2,449
Traffic-infrastructure	550,698	15.54	1.72	60,770
Large scale	881,306	24.87	13.75	487,128
Small scale	673,416	19.01	11.35	402,267
Total	3,543,356	100.00	27.65	979,908

토지이용계획도는 [3]에서 시설에 따라 분류한 공공·교육, 공원·녹지, 교통·기반, 대규모 민간영역, 소규모 민간영역 등 5개로 분류하여 Table 6과 같이 정리하였다. 대상지는 신규 개발지로 토지이용별 건물면적의 파악이 어려워 서울시의 대지면적에 대한 총 건축면적의 비율과 개발지구의 용도지구별 용적률 및 건폐율을 고려하여 작성하였다. 지리적 위치상 수원시와 화성시의 경계 지점으로, 수원기상관측소의 기상자료를 적용하는 것이 최적이라고 판단하였으며, 2008년에서 2017년까지 최근 10년 시강우를 대상으로 분석을 수행하였다.

2.4.2 물순환 목표 설정

대상 수변도시의 물순환 목표는 [17]에서 제시한 목표 강우깊이-집수면 방식을 이용하여 10년 일강우의 80percentile에 해당하는 17 mm/day로 설정하였다. 물순환 목표 달성을 위해 저류 및 침투를 통한 목표 설정 방안을 수립하였으며, Eq. (1)과 같이 제시하였다.

$$H_{goal} = H_s + H_i \quad (1)$$

여기서, H_{goal} = 물순환 목표고(mm), H_s =저류고(mm), H_i =침투고(mm)

2.4.3 저류고 설정

대상 강우시 저장시설로 유입되는 저장량은 [3]의 제안에 따라 Eq. (2)와 같이 정리하였다. 강우고는 시단위 강우사상을 기반으로 산정되며 mm 단위로 산정된다. 표면저류고는 강우가 대지나 건축물의 옥상 표면에서 유출되지 않는 저류 높이이며, 서울시의 제안에 따라 2 mm로 고정하였다. 초기우수고는 강우발생시 오염물질로 인해 저장할 필요가 없는 초기 2 mm 강우이고, 무강우 기간이 24시간 이상일 때 마다 새로운 강우사상으로 반영하여 고려하도록 하였다. 증발고는 시단위 강우량 중 강우가 기록되지 않은 시간을 제외하고는 고려하도록 설정하였다. 시강우에 따라 Eq. (2)의 절차를 수행하여, 전체 기간 동안의 저류 가능량을 파악할 수 있고, 설정한 저류량을 수용할 수 있는 저장시설 규모를 대상지에 설계한다.

$$H_s = \sum_{k=1}^n (H_p - H_{ss} - H_{ir} - H_c) \quad (2)$$

여기서, H_s =저류고, n =강우사상, H_p =강우고(mm), H_{ss} =표면 저류고(mm), H_{ir} =초기우수고(mm), H_c =증발고(mm)

빗물 저장시설 규모는 대상지의 건축면적에 비례하여 고려하였고, 나머지 대지에 한해서 침투면적으로 처리할 수 있다. 대상지의 저장시설 대상지 면적은 Table 5의 건축면적과 같이 979,908 m²로 전체면적의 27.7 %에 적용가능하다. 저장시설의 규모는 [18]의 '우수이용'에 따라 건축면적 m² 당 저류할 수 있는 저류고의 급수가 나뉜다. [10]은 1급 기준인 50 mm는 공동주택과 같은 대규모 민간영역에서 적용할 수 있는 저류조 규모이나, 단독주택과 같은 소규모 민간영역에서는 3급 기준인 10 mm를 적용하도록 제시하였고, 본 논문에서는 대규모와 민간영역과 나머지 영역에서의 건물 적용 기준과 소규모 민간영역의 적용 기준을 다르게 설정하였다. 대규모 민간영역 및 나머지 건축면적에서는 50 mm 지붕 저류고를 고려하여 28,882 m³, 소규모의 경우 10 mm 저류고를 고려하여 4,023 m³으로 설정하였다. 이는 지붕에서 유출되는 빗물을 저류조로 저장시, 평균적으로 34 mm 지붕 저류고를 가진다고 고려할 수 있다.

2.4.4 침투고 설정

물순환 목표에서 저장시설의 적용으로 처리하고 남은 유출고에 대해 침투 시설로 처리하도록 한다. 침투고는 목표 관리고에서 저류고를 제외한 나머지로 설정하였으므로, Eq. (2)와 같이 강우고에서 저류고를 감하는 방식으로 산정한다. 대상지의 침투시설 대상 면적은 전체면적에서 저장시설 면적을 제외한 2,563,449 m²로 전체면적의 72.4 %에 적용가능하고, 시설분류별 빗물관리 능력 산정을 통해 대상지의 침투에 의한 빗물 관리량을 산정할 수 있다. 침투고 산정식은 Eq. (1)을 이항한 Eq. (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_i = H_{goal} - H_s \quad (3)$$

여기서, H_i =침투고(mm), H_{goal} =물순환 목표고(mm), H_s =저류고(mm)

3. 연구결과

3.1 수변도시의 물순환 목표연구방향

대상지의 강우분석 결과, 2008년에서 2017년까지 2,634일의 무강우 일수와 1,019일의 강우일수, 276.5 mm의 최대 일강우량을 가진다. 10년치 일강우량을 기준으로 백분위수 그래프를 Fig. 5와 같이 나타내었다.

Table 7. Water cycle goal by percentile

Year	Precipitation (mm)	Less than 5 mm/day		Less than 10 mm/day		Less than 15 mm/day		Less than 17 mm/day	
		mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
2008	1,343	318	24	503	37	627	47	671	50
2009	1,541	268	17	449	29	582	38	628	41
2010	1,471	413	28	669	45	841	57	898	61
2011	1,976	325	16	556	28	746	38	811	41
2012	1,748	335	19	533	30	687	39	742	42
2013	1,240	363	29	589	48	761	61	813	66
2014	1,029	285	28	439	43	532	52	564	55
2015	751	305	41	459	61	568	76	597	79
2016	1,023	257	34	403	54	536	71	585	78
2017	1,329	316	42	491	65	612	81	652	87
Average	1,345	319	24	509	38	649	48	696	52

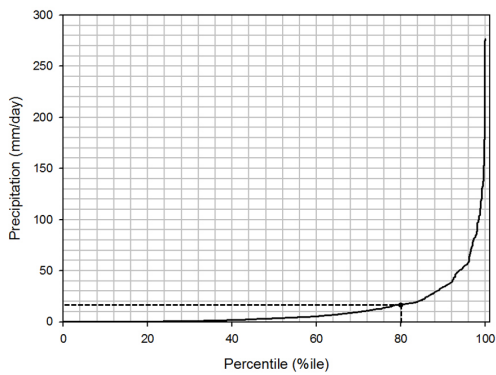


Fig. 5. Daily rainfall by percentile

Percentile별 시강우량을 확인할 수 있고, 이는 선택한 백분위수에 따라 처리 가능한 시간별 강우고를 의미

한다. 50percentile에서의 일강우량은 3.5 mm, 60percentile 일강우량은 5.5 mm, 70 percentile 일강우량은 9.7 mm, 80percentile 일강우량은 17.0 mm, 90percentile 일강우량은 34.0 mm로 나타났다.

본 연구 대상지에서는 기존 물순환 연구사례 및 일반 도시들에서 설정하고 있는 물순환 목표 범위내에 포함되는 80 percentile의 강우량 처리를 목표로 설정하였으며, 이는 17.0 mm/day 이하의 강우시 저장과 침투의 처리과정을 통해 유역내에서 강우를 처리하여 유출량을 최소화하는 것을 의미한다. 물순환 목표 설정에 따라 연평균 강우 중 처리해야 하는 강우고(mm)를 Table 7과 같이 정리하였다. 설정한 물순환 목표 80 percentile은 전체 연평균 강우 1,345 mm 중 52 %인 696 mm를 저장 및 침투로 처리하는 것을 의미한다.

Table 8. Calculation for Storage depth & Management Water Cycle Goal

Year	Precipitation (mm)	Calculation for Storage depth			Management water cycle goal		
		Loss (mm)	Storage (mm)	Runoff (mm)	Water cycle goal (mm)	Storage (mm)	Infiltration (mm)
2008	1,343	208	573	562	671	161	510
2009	1,541	191	628	721	628	176	452
2010	1,471	236	691	543	898	194	704
2011	1,976	188	606	1,182	811	170	641
2012	1,748	206	671	871	742	188	554
2013	1,240	231	652	357	813	182	631
2014	1,029	190	500	339	564	140	424
2015	751	201	445	106	597	124	473
2016	1,023	184	605	233	585	170	415
2017	1,329	239	533	557	652	149	503
Average	1,345	207	591	547	696	165	531

3.2 물순환 목표의 관리

3.2.1 저장량 및 침투량 산정

10년 강우를 시간위로 나열하여 Eq. (2)와 Eq. (3)을 이용해 강우에서 유출까지의 처리과정을 Excel의 스프레드시트로 연산 수행하였다. 앞서 설정한 지붕 저류고 34 mm에서 차집할 수 있는 저장량과, 외부 유출되는 유출량으로 결과를 확인하였다. 강수량부터 순차적으로 연산되는 손실고, 저장고, 유출고는 Table 8과 같이 정리하였다. 전체 대상지에 적용하였을 때의 연평균 가능 저류고는 591 mm로, 대상지의 건물 면적 27.7 %를 고려하여 165 mm를 저장 시설로 처리가 가능하다고 고려할 수 있다. 이는 물순환 목표 80 percentile의 일강우 17 mm를 연단위 강우로 고려하였을 때, 전체 1,345 mm 강우량의 12.3 %, 물순환 목표 696 mm의 23.8 %를 저장 시설에 의한 유출 저감 효과를 보인다는 것을 의미한다. 대상지의 건물면적 27.7 %를 제외한 2,653,961 m²의 대지를 대상으로 물순환 목표 696 mm 중 저류고 165 mm를 제외한 531 mm를 침투고로 처리하여 Table 8과 같이 정리하였다. 침투시설의 적용으로 전체 1,345 mm의 강우량 중 39.5 %, 물순환 목표 696 mm의 76.2 %의 유출 저감 효과를 가진다.

3.2.2 빗물관리능력

빗물관리 목표 달성을 위한 저류고와 침투고는 Table 9와 같이 각각의 빗물관리능력을 가진다. 대상지의 전체 면적에 대한 10년간의 시강우를 Fig. 6과 같이 나열하였을 때, 저장시설에 의한 총 유출저감 목표 165mm를 처리하기 위한 빗물관리능력은 2.1 mm/hr으로, 시간당 2.1 mm 이하의 강우는 모두 저장시설로 처리할 수 있다.

양적인 비교를 위해 시간당 빗물관리량으로 나타내면 빗물관리능력에 저장시설 면적 979,907 m²을 고려하여 2,033 m³/hr을 처리가능한 것으로 분석되었다. 침투시설에 의한 유출저감 목표 531 mm를 달성하기 위해 3.1 mm/hr의 빗물관리능력을 가지며, 시간당 3.1 mm 이하의 강우는 침투시설에 의해 유출이 발생하지 않는다. 시간당 빗물관리량으로 나타내면 2,563,449 m²의 면적에

서 7,939 m³/hr를 처리가능하다.

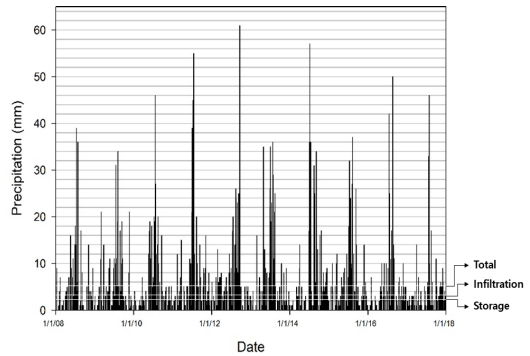


Fig. 6. Processable hourly precipitation by water cycle goal

대상지의 물순환 목표 관리량 696 mm를 저장과 침투의 방법으로 처리하였다. 설정한 목표를 처리할 수 있는 적정 저영향개발 시설의 설치가 수반된다면, 대상 수변도시에 시간당 5.2 mm 이하의 강우 발생시 내부 순환에 의해 유출이 발생하지 않고, 9,972 m³/hr의 강우를 처리할 수 있는 것으로 분석되었다.

4. 결론

도시별 물수지 관련 연구 및 지자체별 물순환 관련 조례를 통해 물순환에 대한 필요성을 반추할 수 있고, 이를 통해 물관리 목표의 기준 범위를 확인할 수 있다. 서울경기 수도권을 중심으로 빗물관리에 대한 조례를 통해 강우 발생원에서부터의 관리를 수행하였다. 물순환 회복 및 건전화에 위해 서울시는 빗물이용시설 지원 사업, 물순환 박람회, 물순환 시민문화제 등 시민들이 참여 가능한 물순환 건전화 방안을 지원하고 있고, 환경부는 물순환 선도도시 시범사업을 중심으로 친환경적 물순환 건전화 방안에 대한 연구와 지원을 진행중이다. 또한, 정부부처에서는 재난 및 안전관리 기본법에 의해 개발지의 사전재해영향성검토를 수행하고, 물관리를 위한 정량적 방안을

Table 9. Ability of water cycle goal for rainfall management

Water cycle goal (mm)	Storage			Infiltration			Total		
	Height (mm)	Rainfall management ability		Height (mm)	Rainfall management ability		Height (mm)	Rainfall management ability	
		(mm/hr)	(m ³ /hr)		(mm/hr)	(m ³ /hr)		(mm/hr)	(m ³ /hr)
696	165	2.1	2,033	531	3.1	7,939	696	5.2	9,972

저영향개발 기술 등으로서 권장하고 있다.

본 연구에서는 정부부처 및 지자체별 물관리 방안을 통해 수변도시에 적합한 물순환 목표를 설정하였고, 이에 따른 정량적 해결 방안을 물수지의 저장과 침투로서 제시하였다. 대상 수변도시의 물순환 목표는 80 percentile로 설정하여 17 mm/day 이하의 강우에 한해서는 유출이 없도록 설정하였다. 설정한 목표의 달성을 위해 저장과 침투, 두 종류의 카테고리 분류하여 강우-유출 처리 시스템을 구축하였다. 대상지의 토지이용과 건폐율을 고려하여 저장시설 및 침투시설의 설치 가능 규모를 산정하였고, 각각의 빗물관리능력을 산정하였다. 빗물관리능력 분석을 통해 대상지의 시강우별 유출 처리 가능량을 확인하였다.

물순환 목표의 설정은 대상지의 지형학적, 기상학적 상황에 따라 매우 유동적이다. 본 연구에 포함된 수변도시의 물순환 목표가 모든 수역을 접한 수변도시에 적용될 수 없으나, 대상지의 목표를 본 연구와 같은 절차를 거친다면 합리적인 결과를 도출할 수 있을 것이라 판단한다. 추후 저영향개발 기법 중 침투와 관련된 시설물의 침투능이나 도시안전에 위한 시설물의 안전성, 시설물의 적정제원적용 등 여러변수들을 고려한다면 정량적인 연구결과를 다양한 변수적 접근을 통해 연구할 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] Ministry of Environment (ME). Environmental Impact Assessment, Ministry of Environment. 2009.
- [2] Ministry of Interior and Safety (MIS). Prior Consultations on Examination of Factors Influencing Disasters, Ministry of Interior and Safety. 2016.
- [3] Seoul Metropolitan Government (SMG). Master Plan for Rainwater Management in Seoul Metropolitan. Seoul Metropolitan Government. 2013.
- [4] H. K. Yang, J. I. Kim. The Change of Water Balance due to Urbanization in Gwangju River Basin. *Journal of The Korean Association of Regional Geographers* 10, no.1: 192-205. 2004.
- [5] J. K. Kim, H. H. Son, J. W. Noh, C. L. Jang, I. H. Ko. Evaluation of Urbanization Effect and Analysis of Hydrological Characteristics in the Gap River Catchment using SWAT. *Journal of Korea Water Resources Association* 39, no.10: 881-890. 2006. DOI: <https://doi.org/10.3741/KWRA.2006.39.10.881>
- [6] J. M. Lee, J. R. Kim. The Urban Water Cycle Planning Elements and Hydrologic Cycle Simulation for Green City. *LHI Journal of the Land, Housing, and Urban Affairs* 3, no.3: 271-278. 2012. DOI: <https://doi.org/10.5804/LHIJ.2012.3.3.271>
- [7] Y. H. Han, D. I. Seo. Application of LID Methods for Sustainable Management of Small Urban Stream Using SWMM. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* 36, no.10: 691-697. 2014. DOI: <https://doi.org/10.4491/KSEE.2014.36.10.691>
- [8] J. H. Suh, I. K. Lee. The Water Circulation Improvement of Apartment Complex by applying LID Technologies - Focused on the Application of Infiltration Facilities -. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 41, no.5: 68-77. 2013. DOI: <https://doi.org/10.9715/KILA.2013.41.5.068>
- [9] J. Y. Park, H. M. Lim, H. I. Lee, Y. H. Yoon, H. J. Oh, W. J. Kim. Water Balance and Pollutant Load Analyses according to LID Techniques for a Town Development. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* 35, no.11: 795-802. 2013. DOI: <https://doi.org/10.4491/KSEE.2013.35.11.795>
- [10] J. M. Lee, Y. S. Lee, J. S. Choi. Analysis of Water Cycle Effect according to Application of LID Techniques. *Journal of Wetlands Research* 16, no.3: 411-421. 2014. DOI: <https://doi.org/10.17663/JWR.2014.16.3.411>
- [11] Korea Ministry of Government Legislation (KMGL). (2018). <http://www.law.go.kr/>
- [12] H. S. Choi, D. H. Kim, S. Y. Cho. Application and Effects of Low Impact Development in Urban Regeneration of Waterfront Areas. *Korea Environment Institute Report* 2010-12. 2010. DOI: <https://doi.org/10.3390/su9010145>
- [13] H. J. Kim. Current Status and Environment - Friendly Development Policy of Urban Riverfront in Korea on the Basis of It's Locational Property. *Journal of Environmental Science International Korea Contents Association Review* 12, no.3: 449-460. 2012. DOI: <https://doi.org/10.5392/JKCA.2012.12.03.449>
- [14] D. H. Kim, H. J. Seo, B. K. Lee. Method of Green Infrastructure Application for Sustainable Land Use of Non-urban Area : The Case Study of Eco-delta City. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* 36, no.3: 402-411. 2014. DOI: <https://doi.org/10.4491/KSEE.2014.36.6.402>
- [15] S. H. Kang, W. M. Heo, S. H. Kang. Water Balance Estimate of LID Technique for Circulating Urban Design. *Journal of Environmental Science International* 24, no.8: 1065-1073. 2015. DOI: <https://doi.org/10.5322/JESI.2015.24.8.1065>

- [16] J. S. Baek, S. J. Lee, H. S. Shin, H. S. Kim. Analysis of Effectiveness for Water Cycle and Cost-Benefit according to LID Application Method in Environmentally-Friendly Village. Journal of Korean Society on Water Environment 34, no.1: 57-66. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.15681/KSWE.2017.34.1.57>
- [17] Ministry of Environment (ME). Guidelines for Designing Low Impact Development Techniques, Ministry of Environment. 2016.
- [18] Ministry of Land, Transportation Maritime Affairs (MLTMA), Certificate regulation of environment friendly building. 2011.

김 재 문(Jae-Moon Kim)

[정회원]



- 2014년 2월 : 부산대학교 토목공학과 (공학사)
- 2016년 2월 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 (공학석사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 수공학 전공

<관심분야>

수공학, 수자원

백 종 석(Jong-Seok Baek)

[정회원]



- 2013년 2월 : 부산대학교 토목공학과 (공학사)
- 2015년 2월 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 (공학석사)
- 2015년 3월 ~2019년 2월 : K-water연구원, 위촉연구원
- 2019년 3월 ~ 현재 : 한국수자원조사기술원 전임연구원

<관심분야>

수공학, 수자원

신 현 석(Hyun-Suk Shin)

[정회원]



- 1990년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학사)
- 1993년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 1997년 1월 : University of Colorado 토목환경공학 (공학박사)

- 1998년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 교수

<관심분야>

수공학, 수자원

박 경 재(Kyoung-Jae Park)

[정회원]



- 2008년 2월 : 부산대학교 토목공학과 (공학사)
- 2011년 2월 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 (공학석사)
- 2017년 2월 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 수공학 전공 (박사과정 수료)

- 2019년 1월 ~ 현재 : 울산광역시 울주군청 도로과 도로개설 담당

<관심분야>

수공학, 수자원