

연구논문

GIS 기반의 물순환 면적률을 활용한 창원시 도심지역의 물순환성 평가

송봉근 · 박경훈 · 이택순

창원대학교 환경공학과

(2013년 7월 14일 접수, 2013년 9월 2일 승인)

An Assessment of Urban Water Cycle in Changwon-si Using GIS-based Water Cycle Area Ratio

Bonggeun Song · Kyunghun Park · Taeksoon Lee

Dept. of Environmental Engineering, Changwon National University

(Manuscript received 14 July 2013; accepted 2 September 2013)

Abstract

The purpose of this study is to analyze water cycle area ratio and spatial evaluation of water cycle in urban area of Changwon-si, Gyeongsangnam-do. Water cycle area ratio are analyzed by using spatial data of land-cover and land-use, and Hot spot analysis of GIS program was used for spatial evaluation of water cycle. The results are as below. Firstly, the high water cycle area ratio areas were forests, parks, and rivers, but urban areas covered asphalt and concrete were low under 40%. Public institutions and co-residential of urban areas were higher than others because of high area ratio of pervious land-cover. Spatial evaluation of water cycle was analyzed to vulnerable areas there are dense residential and commercial area. These areas are really occurring frequently flooding and immersion, therefore, is required water management facilities and improvement of land-cover from impervious to pervious. In the future, it will require additionally analysis of water cycle area ratio supplemented data of water management facility and ground water.

Keywords : GIS, Water cycle area ratio, Hot Spot Analysis, Spatial Statistical Analysis

I. 서론

자연적 물순환은 강수가 지표면에 이르러 지하 침투 및 지표면 유출을 통해 하천 및 바다로 유입되고 다시 대기 증으로 증발되어 비로 내리는 자연계의 순

환현상을 의미한다(박기정 등, 2007). 그러나 도시화와 산업화를 거치면서 콘크리트 아스팔트 등의 불투수 포장면이 급격히 증가하고, 최근 빈번히 발생하는 게릴라성 집중호우 등의 이상기후 현상이 심화되면서 도시지역을 중심으로 국지적 침수 및 홍수발생이

심각한 환경문제로 대두되고 있다(수원시, 2011). 또한 도시지역의 아스팔트, 콘크리트 등의 건조한 피복 재질로 인해 증발산작용이 감소되면서 도시열섬현상 등 도시기후문제가 발생되며, 이로 인해 도시환경의 쾌적성 악화와 주거 환경의 질적 저하 등이 가속화되면서 도시지역을 중심으로 물순환 체계를 개선하기 위한 도시의 물리적 환경 개선의 필요성이 중요시되고 있다(박기용 등, 2011).

최근까지 도시지역의 물순환을 개선하기 위한 다양한 연구가 진행되어져 오고 있는데, 먼저 국내에서는 이정민 등(2006), 이상호와 이정민(2006), 박기정(2008)은 수치모델링을 이용하여 유역단위의 강우 유출과 증발산, 침투작용 등 물순환과 관련된 특성을 분석하였고, 송봉근 등(2011)은 도시의 지형 및 공간환경, 생태적 환경에 따른 물순환의 건전성을 평가하였다. 이택순 등(2011)은 경상남도를 대상으로 빗물의 효율적인 관리를 위해 GIS 기반의 강우량, 증발산량, 표면유출량의 물순환 체계를 공간적으로 분석하였다. 한국환경정책평가연구원(2009)에서는 신도시 개발사업에 있어서 도시지역의 침투 및 저류기능 향상을 통한 물순환의 건전성 확보를 위해 그린인프라 조성 기준을 제안하였다. 최치현 등(2011)은 도시지역의 자연상태 물순환 복원을 위해 개발 전·후의 연간 직접 유출량 및 침투량을 평가하였으며, 최원호 등(2009)은 경안천 유역을 대상으로 지속가능하고 건전화된 물순환을 위해 물순환 건전성을 객관적으로 정량화할 수 있는 평가기법을 개발하였다. 국외사례로 Portoghese *et al.*(2005)은 GIS 기술을 이용하여 소유역 단위의 공간특성에 따른 물수지를 분석 및 예측하였으며, Batelaan and De Smedt(2007)은 토양유형, 경사, 토지피복 등의 공간특성과 기상상태에 따른 지표면과 지표면 아래의 물수지를 분석하여 모델링 예측을 위한 공간요인의 특징을 파악하고자 하였다. Wealands *et al.*(2005)은 물순환 모델의 평가를 위해 GIS 기반의 분석자료와 현장조사 자료를 바탕으로 공간예측평가를 실시하였다. 이상과 같이 선행연구에서는 수치모델링을 이용하여 물순환 특성을 파악하고 예측하거나 대상지역의 공간특성 및 물순환 기능과 관련된 강우,

침투, 유출 등을 분석하여 공간적인 평가를 통해 물순환 기능을 개선하기 위한 다양한 방안을 제시하고자 하였다.

이상의 선행연구에서와 같이 도시지역의 물순환성을 회복하기 위한 다양한 연구가 시도되고 있으며, 최근에는 토지이용계획, 건축계획, 또는 공원녹지계획 등의 각종 공간계획 수립단계에서 물순환성을 고려하기 위한 계획지표로서 물순환 면적률을 개발하여 적용하기 위한 연구가 진행되고 있다(수원시, 2011; 이택순 등, 2011). 물순환 면적률은 환경부의 생태면적률(환경부 생태면적률 지침을 환경부에서 다운받아 참고문헌으로 제시할 것)을 토대로 지표면의 물순환 기능을 평가하는 지표로서 강우, 증발산, 침투, 등의 자연적 물순환 체계와 함께 빗물을 모아 생활 및 경제활동 용수로 사용하는 인위적인 물순환 체계까지 포함하고 있다. 또한, 토지이용 및 지표면의 상태에 따른 물순환의 건전성을 정량적으로 평가할 뿐만 아니라, 물관리 시설의 설치에 따른 효과 평가, 그리고 공간계획적 차원에서 물순환성을 개선할 수 있는 방안 등을 제시하는데 활용가능하다(수원시, 2011). 따라서 물순환 면적률은 도시개발 대상지의 자연 및 인위적인 물순환 체계의 현황을 공간적, 정량적으로 분석 및 평가하는 것이 가능하고, 개발사업 전후의 물순환성 변화와 물순환 개선을 위한 공간계획적 차원의 합리적 대안을 마련하는데 매우 유용하게 활용할 수 있는 도구이다. 하지만 기존의 선행연구에서는 공간계획 차원에서 도시공간의 물순환성을 평가할 수 있는 지표가 부재하였고, 도시의 물순환을 개선하는데 있어 합리적인 방안을 마련하는데 의사결정도구로서의 기초자료가 부족하였다.

이에 본 연구는 경상남도 창원시 성산구 및 의창구의 도심지역을 대상으로 GIS 기반의 물순환 면적률과 공간통계기법을 활용하여 물순환 특성을 공간적, 정량적으로 평가하고, 이 결과를 활용한 공간계획적 차원의 물순환성 개선, 도시침수 방지 등 사전재해예방 등의 합리적 의사결정도구로서의 활용방안을 검토해보고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상지

본 연구의 대상지는 Fig. 1과 같이 경상남도 창원시 도시지역으로 우리나라 동남단에 위치하고 있으며, 남해안의 마산만과 인접해 있다. 지형적 특징으로는 정병산, 천주산, 불모산, 장복산의 해발고도 약 600m 정도의 산이 둘러싸고 있는 분지지형이며, 외곽의 산지에서 형성되는 하천지류가 창원천과 남천의 지방하천을 형성하여 도시지역을 가로질러 마산만으로 유출되는 형태를 띠고 있다. 연평균 강수량은 1,395mm로 우리나라의 전형적인 강우패턴인 여름철 장마기간의 6~8월 사이에 강우가 집중적으로 내리며, 인구는 2013년 3월 기준 약 46만 명으로 창원시 전체의 약 42%를 차지하고 있다(창원시홈페이지). 이택순 등(2011)에 따르면, 창원시의 월 평균증발산량은 84.37mm이고, 월 평균 표면유출량은 61.69mm로 나타났다. 또한 창원시 도시지역은 창원대로를 중심으로 북으로는 주거와 상업시설지역이 분포하고 남으로는 대규모 국가산업단지가 위치하고 있으며, 계획적인 도시설계의 영향으로 용도지역 및 토지이용의 경계가 명확하게 구분되어 있다(송봉근과 박경훈, 2012).

한편 창원시 빗물관리 기본계획 보고서(2011)에 따르면, 도시 인공계 물순환의 건전성을 평가하는 지표인 물자급률이 창원시는 85.2%로 전국 약 72% 보다

높은 것으로 나타났으며, 서울특별시 53.7%, 부산광역시 37.9%, 인천광역시 17.5% 등의 대도시에 비해 현저히 높은 것으로 분석되었다. 그러나 창원시 도시지역은 아스팔트와 콘크리트 등 불투수성 재질로 포장된 지역이 집약적으로 분포하고 있어 빗물의 지하침투, 증발산과 같은 자연적인 물순환 체계가 파괴되고 있으며, 이로 인해 지하수 고갈 및 오염, 도심하천의 건천화, 도시형 홍수 및 하천수 수질오염 유발 등의 다양한 형태의 물환경 문제가 발생하고 있는 실정이다(창원시, 2011). 따라서 창원시 도시지역의 물순환 특성을 분석하여 물환경 문제의 대책을 마련하는 것이 필요하다.

2. 연구과정

본 연구는 Fig. 2와 같은 과정으로 연구를 수행하였다. 우선 분석을 위해 창원시 도시지역에 해당하는 토지이용도와 토지피복도의 공간자료를 수집하였다. 토지피복도는 물순환 면적률 산출을 위한 피복분류 유형을 재분류하는데 활용하였으며, 토지이용도는 물순환 면적률의 공간단위로 이용하였다. 다음으로 재분류된 토지피복도와 토지이용도의 공간단위를 바탕으로 물순환 면적률을 분석하였고, GIS 프로그램을 활용한 공간통계분석을 통해 도시지역의 물순환 특성을 공간적으로 평가하고 이를 개선하기 위한 방안에 대해 고찰하였다.

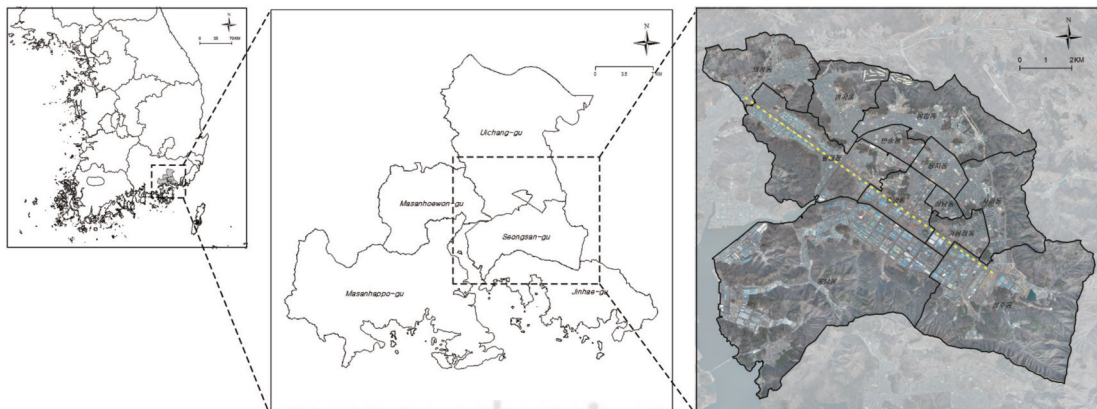


Fig 1. Study area

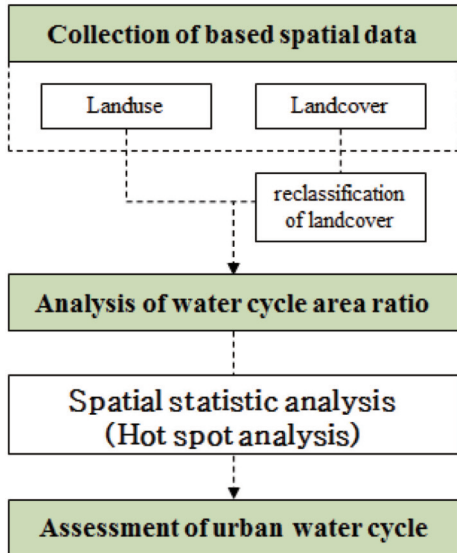


Fig 2. Process of this study

3. 물순환 면적률 분석

1) 물순환 면적률의 정의

물순환 면적률은 기존의 물질수지를 통한 물순환 체계 분석방법의 문제점을 개선하고자 환경부에서 제정한 생태면적률에 물관리 시설물의 기능 및 효과를 추가적으로 고려하여 새롭게 개발된 지표이다. 이는 도시계획이나 정책개발 시에 효과적으로 쉽게 이

용할 수 있도록 수치를 통해 정량적으로 자료를 제시할 수 있어 개발 전· 후에 따른 물순환의 개선효과를 파악하는데 유용하게 활용할 수 있다. 또한, 도시의 공간특성 뿐만 아니라 물관리 시설의 이용에 따른 효과를 반영하여 다양한 시설물의 설치기준을 제시하는데도 용이한 지표이다(수원시, 2011).

물순환 면적률은 대상지역의 지표면 피복특성과 물관리 시설의 설치 여부, 그리고 지하수 이용량을 고려하여 물순환 가중치를 부여하여 계산되며, 가중치 부여는 빗물의 증발과 침투, 이용, 유출저감의 4 가지 측면을 고려하여 산정된다. 물순환 면적률의 분석과정은 Fig. 3과 같이 총 3단계로 구분되며, 1단계에서는 지표면의 피복특성을 고려하여 빗물의 증발과 침투, 유출저감에 대해 분석하고, 2단계는 빗물의 침투와 이용을 위한 시설의 설치 여부와 그에 따른 효과를 분석하며, 마지막 3단계에서는 대상지역에서 현재 이용 중인 지하수의 양을 산정하여 평가에 반영한다. 본 연구는 도시의 공간특성에 따른 물순환성을 파악하기 위해 물순환 면적률 분석과정 중 1단계인 지표면 피복특성에 한 해 분석을 수행하였다.

2) 물순환 면적률 분석방법

분석방법은 Fig. 4와 Fig. 5와 같이 창원시 도시지역에 해당하는 1:1,000 축척의 토지이용도와 토지피

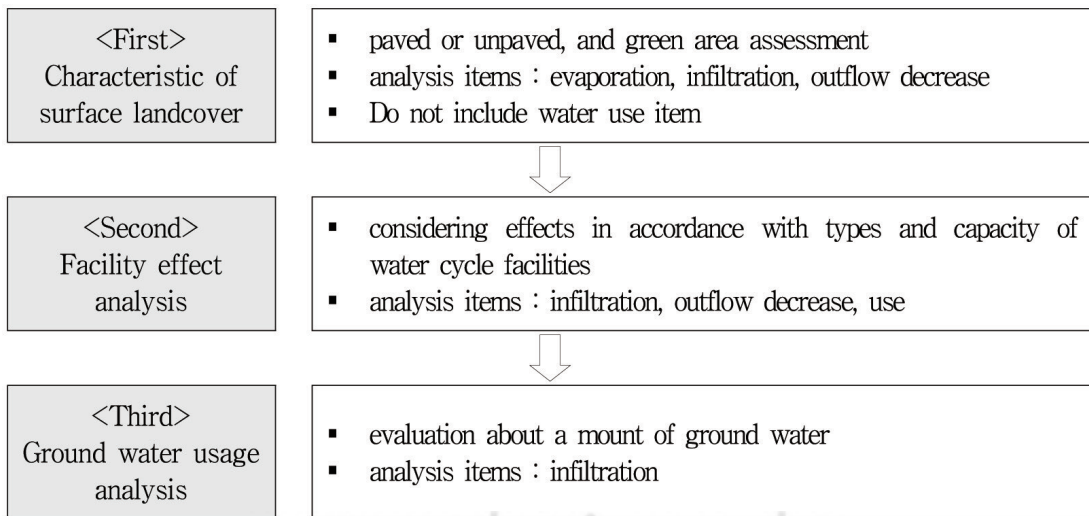


Fig 3. Analysis process of water cycle area ratio(Suwon-si, 2011)

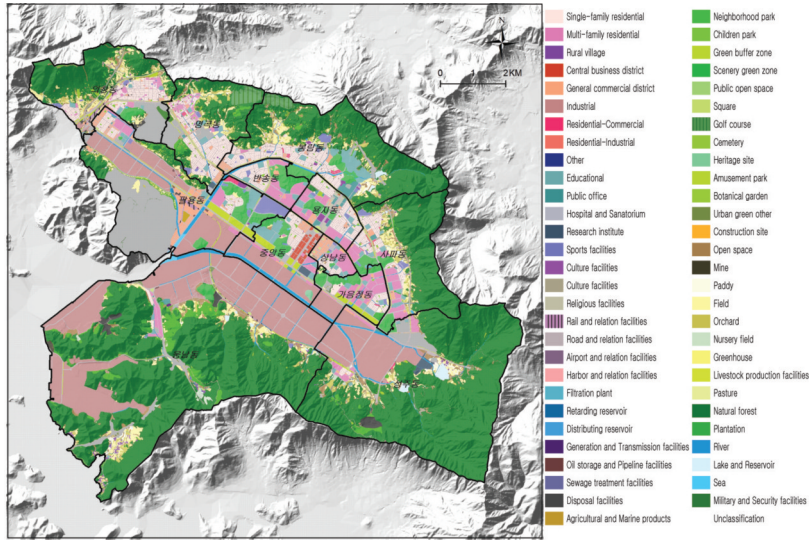


Fig 4. Landuse data

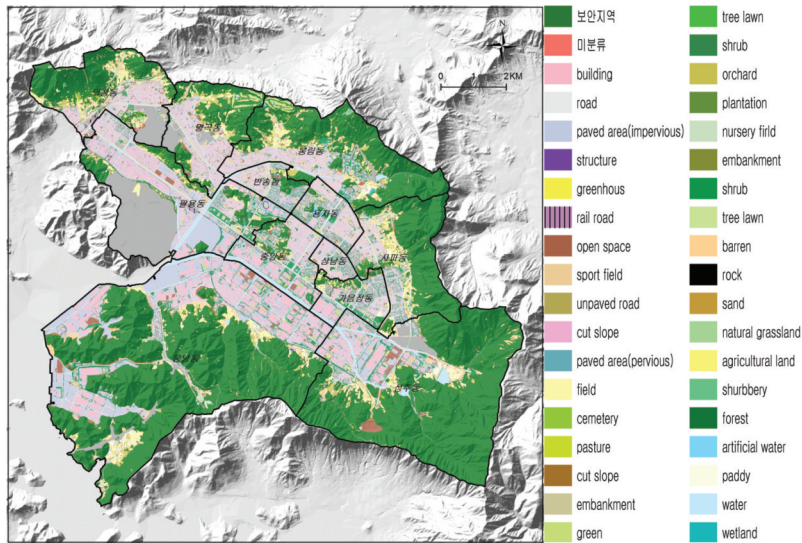














Fig 5. Landcover data

복도를 이용하였는데, 토지이용도는 물순환 면적률의 단위공간을 설정하는데 활용하였고, 토지피복도는 Table 1과 같이 물순환 면적률의 1단계 분석인 지표면 피복특성을 분류하기 위해 이용하였다. 지표면 피복특성 중 자연녹지는 토지피복도의 투수성 포장재질이면서 산림과 초지 등과 같이 식생과 농작물이 재배되는 지역을 선정하였고, 이는 증발산 효과에 대한 물순환 기능을 반영하기 위함이다. 포장지역은 아스팔트와 콘크리트의 증발과 침투, 유출저감의 기중

치에 대한 차이가 없기 때문에 같은 속성으로 재분류하였으며, 벽돌은 토지피복속성 중에서 보도블록을 선정하여 분류하였다. 나대지는 투수성 포장재질이면서 식생이 분포하지 않는 운동장, 나지, 비포장도로 등의 피복속성을 이용하였고, 건물의 지붕은 옥상 녹화의 유무에 따라 피복유형을 구분하였다. 연못은 토지피복의 수면지역 중 하도가 콘크리트로 이루어진 지역을 불투수 지역으로, 자연하천인 지역을 투수 지역으로 나눠 분류하였다. 한편, 군사지역 및 현재

Table 1. Water cycle weight about landcover types

landcover type	section	attribution of landcover	evaporation (A)	infiltration (B)	outflow decrease(C)	weight (A+B+C)	
Natural vegetation		Natural vegetation, farmland, shrub, forest, orchard, cemetery, paddy, field, etc	50	40	30	120	
Paved area	Asphalt		road	10	0	0	10
	Concrete		paved area(impervious)	10	0	0	10
	sidewalk brick		paved area(pervious)	10	10	3.8	23.8
Barren		barren, cut slope, sand	25	40	20.6	85.6	
Roof	General		building, structure	10	0	0	10
	Green roof (under 20cm)		-	45	15	18.8	78.8
	Green roof (over 20cm)		green roof	45	20	20.6	85.6
Artificial ground vegetation	under 90cm		-	45	25	22.5	92.5
	over 90cm		-	45	30	24.4	99.4
Pond	pervious		water, wetland	40	50	30	120
	impervious		artificial water	65	15	26.3	106.3

Source: Suwon-si(2011), Gyeongnam green environment center(2011)

공사가 진행 중인 미분류 지역은 물순환 면적률 분석에 적용하지 않았다.

이와 같은 분석으로 토지이용의 공간단위에 대해 재분류된 피복유형별 면적률을 산출하였고, 피복유형별 물순환 가중치를 적용하여 식(1)과 같이 물순환 면적률을 산출하였다.

$$\text{물순환면적률(\%)} = \frac{\sum(\text{피복유형별면적}(m^2) \times \text{가중치})}{\text{토지이용단위공간면적}(m^2)} \times 100\% \quad (1)$$

4. 공간통계분석 방법

물순환 면적률을 이용한 공간통계분석은 물순환성의 공간적 분포패턴을 분류 및 평가하여 물순환성이 양호한 지역과 취약한 지역을 구분하고, 이를 바탕으로 침수나 홍수 등과 같은 도시 물환경 문제를 개선할 수 있는 방안을 마련하는데 활용하고자 하였다. 분석방법은 ArcGIS 9.3 프로그램의 공간통계분석기



Fig 6. Examples of Hotspot analysis using ArcGIS program (<http://www.esri.com>)

법 중 하나인 Hot Spot 분석을 이용하였다. Hot Spot 분석은 Fig. 6과 같이 공간적 사상의 집단화를 분석하는 공간군집분석(Spatial clustering analysis)의 하나로 Hot Spot 분석결과에서 도출되는 Gi* Z scores이 0에 근접하면 공간적 속성 값이 전체 지역의 평균값에 가깝거나 높고 낮은 값들이 이질적으로 분포하며, Gi* Z scores이 낮으면 낮은 속성 값의 군집을, 높으면 높은 지역이고, Gi* Z scores가 낮을수록 물순환성이 낮은 지역이다. 이에 본 연구는 물순

주차시설이나 운동장 등이 분포하기 때문에 판단된다. 또한 공공기관 뿐만 아니라 공동주거지 유형에서 자연녹지의 피복유형이 약 17%를 차지하고 있어 다른 시가화 유형보다 자연적인 피복재질의 구성비율이 높은 것으로 나타났다. 공공기관과 공동주거지를 제외한 나머지 시가화 유형들은 건물의 밀집도가 매우 높아 옥상녹화가 되지 않은 건물 지붕의 평균 면적률이 50%에 이르는 것으로 나타났다. 이들 지역은 자연녹지와 나대지와 같은 물순환 기능이 양호한 피복재질의 면적이 적기 때문에 빗물침투와 증발산 효과, 그리고 유출저감효과가 취약할 것으로 보인다.

2. 물순환 면적률 분석결과

창원시 도시지역 물순환 면적률의 공간적 분포는

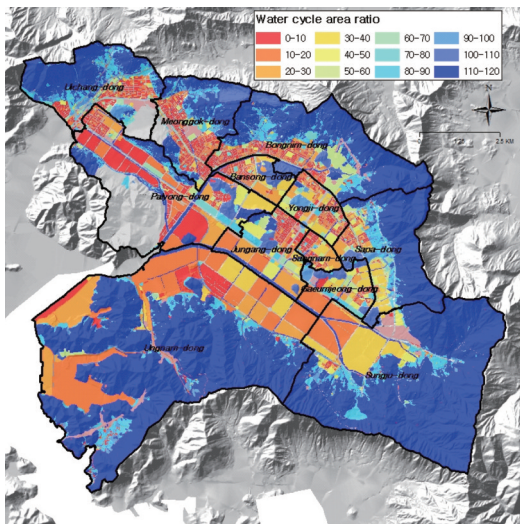


Fig 8. Spatial distribution of water cycle area ratio

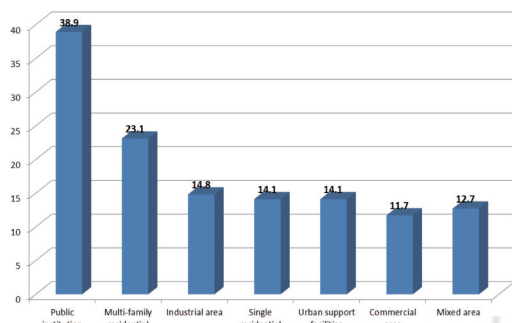


Fig 9. Features of water cycle area ratio by urban area

Fig. 8과 같다. 자연녹지 및 수면 등으로 구성된 물순환 면적률 100% 이상인 지역은 도시외곽의 산림지역과 도시공원, 하천 곳곳에 위치하고 있으며, 나대지와 일부 자연녹지 등으로 피복된 농경지와 운동장, 초지 일대는 물순환 면적률이 약 80~100%로 대체로 도시외곽지역에 분포하고 있었다. 따라서 자연적인 피복재질로 구성되어 물순환성이 양호한 지역은 주로 도시외곽의 산림지역이나 농경지, 도시공원, 하천 일대인 것으로 확인되었다.

그러나 아스팔트 및 콘크리트와 같은 불투수 포장재질로 피복된 시가화 지역은 물순환 면적률이 40% 이하로 분석되었고, 대부분 도시내부지역에 집중적으로 분포하고 있는 것으로 나타났다. 시가화 유형 중에서도 공공기관의 물순환 면적률은 38.9%로 비교적 높는데 반해, 공업지역과 단독주거지, 상업지역 등은 물순환 면적률이 15% 이하로 나타났는데(Fig. 9), 이는 공공기관의 경우 물순환 기능 중에서 빗물침투와 유출저감효과가 큰 자연녹지와 나대지가 차지하는 면적이 공업지역과 단독주거지, 상업지역보다 크기 때문인 것으로 확인되었다.

3. 도시지역 물순환성 공간적 평가

물순환 면적률을 입력데이터로 하여 GIS 프로그램의 Hot Spot 분석을 통해 도시지역의 물순환성을 공간적으로 평가한 결과는 Fig. 10과 같다. 분석결과에서 G*값이 양(+)의 값일수록 물순환 면적률이 높은 값이 집중된 것을 의미하며, 반대로 G*값이 음(-)의 값일수록 물순환 면적률이 낮은 값이 집중되어 물순환성이 취약한 것을 나타낸다. 분석결과를 살펴보면, 대체로 도시외곽지에서 물순환성이 양호한 것으로 분석되었으나, 도시 내부지역 중 반송동, 명곡동 일대의 A지역과 용지동, 상남동, 중앙동 일대의 B지역에서 물순환성이 매우 취약한 것으로 분석되었다.

물순환성이 취약한 A와 B지역 일대는 콘크리트 및 아스팔트와 같은 불투수재질로 피복된 주거와 상업지역이 밀집되어 분포하고 있으며, 주변 지형의 영향으로 인해 취약지역으로 물이 모여드는 형태를 나타내고 있다. 이러한 취약지역 주변의 공간적 형태는

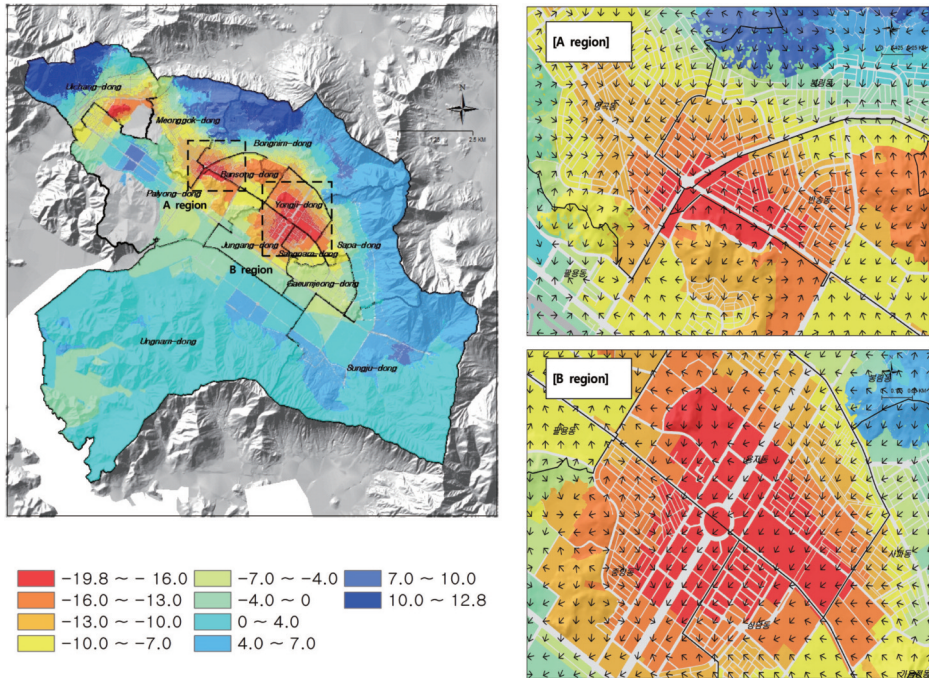


Fig 10. Assessment of water cycle and spatial distribution of water flow in vulnerable area by spatial statistic analysis

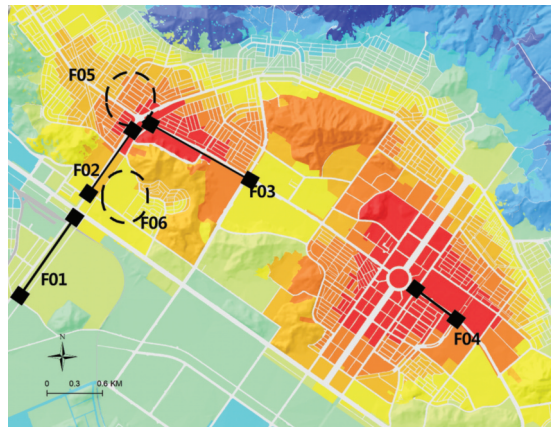


Fig 11. Spatial distribution of flooding vulnerable area in urban area of Changwon-si

Table 3. Flooding vulnerable areas in urban area of Changwon-si

Type	Vulnerable area	
Road flooding	F01	Changwon-daero
	F02	Sahwa-ro
	F03	Bansong-ro
	F04	Towol-ro
House flooding	F05	around 180, Myeongseo-dong
	F06	around Hyundai apartment, Daewon-dong

Source : <http://bangjae.changwon.go.kr>

강우시 빗물이 표면으로 유출되어 취약지역으로 집중되기 때문에 홍수와 침수현상이 빈번히 발생할 것으로 판단된다. 실제로 창원시 재난안전대책본부에서 제공되는 창원시 도심지역의 침수취약현황자료와 비교해 보면, A지역과 B지역 일대인 반송로(F06), 명서동 180번지 주변(F09), 토월로(F07)에서 도로 및 주택침수가 빈번히 발생하는 것으로 나타났다 (Fig. 11, Table 3). 이는 도로 배수시설의 문제일 수

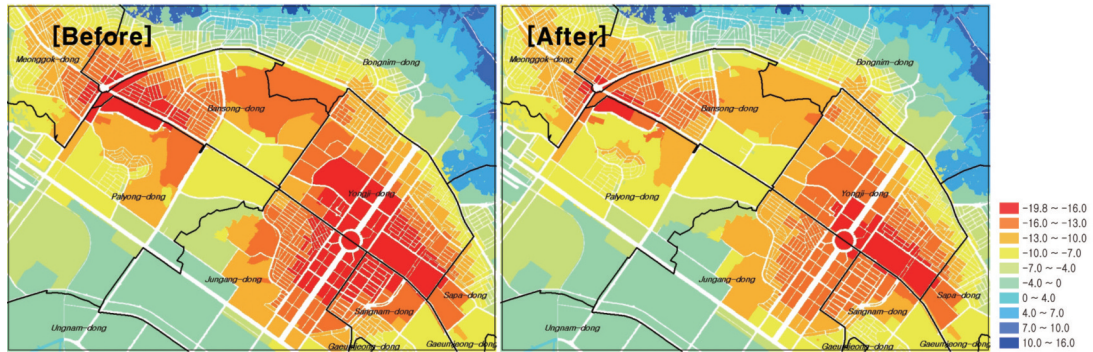


Fig 12. Spatial distribution change of water cycle vulnerable area in accordance with 10% improvement of water cycle area ratio

도 있지만, 근본적으로 불투수 포장재질에 의한 침투 저하와 표면유출량의 증가로 물순환 기능의 취약성으로 인해 나타나는 현상으로 생각된다. 따라서 물순환 취약지역에 대해 물순환성을 회복할 수 있는 적절한 방안이 마련되어야 할 것으로 사료된다.

물순환 개선방안은 투수성 피복재질의 조성과 각종 물관리 시설의 설치 등을 통해 빗물의 침투 및 유출저감효과를 극대화하여 물순환성을 확보해야 할 것으로 판단된다. 예를 들어, 물순환 취약지역 주변의 아스팔트와 콘크리트 등의 불투수 피복재질을 초지와 잔디, 조경녹지 등의 투수성 피복재질로 개선하거나, 건물에 옥상녹화를 조성하여 빗물의 침투효과를 높이고 표면유출량을 저감할 수 있도록 하고, 공공기관과 단독주거지 및 공동주거지역의 각 건물에 빗물이용 및 저장조 등의 물관리 시설을 설치함으로써 표면으로 유출되는 빗물의 양을 감소시키는 방안이 있다. 이러한 방안은 이 일대의 물순환 면적률을 상승시킬 수 있으며, Fig. 12와 같이 물순환 면적률을 약 10% 향상시켰을 때 취약지역의 분포가 확연하게 줄어드는 것을 알 수 있다. 또한 이를 통해 수돗물과 지하수를 빗물로 대체할 수 있어 에너지소비를 감소시킬 수 있고, 지하수 개발에 따른 지하침반현상을 예방할 수 있으며, 하천의 유지용수를 확보할 수 있어 수질오염을 개선하는데 긍정적인 효과를 볼 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구는 경상남도 창원시 도시지역을 대상으로 물순환 특성을 정량적으로 분석하기 위해 공간적 특징에 따른 물순환 면적률을 분석하였으며, GIS프로그램의 공간통계분석기법인 Hot Spot분석을 실시하여 물순환의 공간적인 평가와 도시지역의 물순환 개선방안에 대해 알아보고자 하였다.

분석결과를 요약하면 다음과 같다. 우선 물순환 면적률을 분석한 결과, 자연녹지와 초지 등으로 피복된 산림과 공원 일대는 물순환 면적률이 높은 것으로 나타났으나 시가지 지역의 대부분은 40% 이하로 낮은 것으로 분석되었다. 시가지 지역 중에서도 녹지와 투수성 재질이 많은 공공기관이 38.9%로 높은 반면, 상업지역, 단독주거지, 상업지역은 콘크리트와 아스팔트의 인공적인 포장재질로 구성되어 있어 물순환 면적률이 매우 낮았다. Hot Spot 분석을 실시한 결과, 도시 외곽은 대체로 물순환성이 양호한 것으로 나타났으나, 단독주거지와 상업지역이 밀집된 반송동, 명곡동 일대와 용지동, 상남동, 중앙동 일대에서 물순환성이 취약한 것으로 분석되었다. 또한 이 일대는 주변 지형의 영향으로 인해 취약지역으로 물이 유입되는 흐름을 보이고 있으며, 침수취약현황자료에서 실제로 도로 및 주택 침수현상이 빈번히 발생하고 있음을 확인할 수 있었다.

이상의 결과를 통해 도시지역의 물순환성에 대해 공간적으로 평가하였으며, 이를 바탕으로 물순환성 개선이 필요한 지역을 선정하고 개선방안을 모색해 보았다. 본 연구에서 분석된 물순환성 취약지역의 대

IV. 결론

부분은 아스팔트와 콘크리트와 같은 불투수 포장재 질로 피복된 주거와 상업지역이 밀집되어 분포하는 곳으로 이 지역의 물순환성을 개선하기 위해서는 빗물의 침투효과와 유출저감효과를 극대화할 수 있는 방안이 필요하며, 이러한 방안으로는 불투수성 피복 재질을 녹지와 초지와 같은 투수성 피복재질로 공간을 개선하거나 각 가정 및 상업시설의 건물에 빗물이용 및 저장장치의 물관리 시설을 설치하는 것 등이 있다. 따라서 공간개선 및 물관리 시설물 설치로 도시지역의 물순환을 향상 및 물환경 문제를 완화할 수 있을 것으로 사료되며, 아울러 빗물이용으로 수돗물 사용에 따른 에너지 소비를 절감할 수 있을 뿐만 아니라, 지하수량의 확보, 증발산 작용 증대에 따른 도시열섬완화 등 부가적인 효과를 확보할 수 있어 건전한 도시성장 및 쾌적한 환경을 조성할 수 있는데 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

한편, 본 연구에서 분석된 물순환 면적률은 1단계인 토지피복속성을 고려한 분석결과로서 2단계의 빗물이용 및 침투시설에 따른 시설효과와 3단계의 지하수 이용현황을 고려하지 않았으며, 향후 빗물이용 시설물 및 지하수 이용현황 자료를 추가하여 물순환 면적률 분석을 보완할 계획이다. 또한 실제 강우측정 자료를 바탕으로 홍수예측모델을 분석 및 적용하여 물순환성 취약지역과 비교함으로써 도시지역의 물순환성을 다양한 측면 개선방안을 알아볼 필요가 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 경남녹색환경지원센터의 2011년도 연구개발사업 지원(11-1-30-33-14-3)에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

경남녹색환경지원센터, 2011, 창원시 빗물관리 기본계획 수립, 경남녹색환경지원센터 연구보고서.
 김희주, 오규식, 이동근, 2011, 공간자기상관분석을

통한 시계열적 경관구조의 변화 분석, 한국환경복원기술학회지 14(3), 1-14.

박기정, 이지호, 이경섭, 유철상, 윤재영, 2007, Aquacycle 모형을 이용한 도시 물 순환 해석, 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 2007 공동 추계학술대회 논문집, 114-121.
 박기정, 2008, 도시 물순환 해석을 위한 Aquacycle 모형의 적용성 검토, 고려대학교 대학원 석사학위논문
 박기용, 이선우, 김중권, 황희연, 2011, 물 순환체계 형성을 통한 도시의 열섬현상 저감효과 분석: 대전시 노은지구를 중심으로, 한국지역개발학회 학술대회, 118-130.
 송봉근, 이택순, 박경훈, 한치복, 2011, 도시의 물순환 요인을 고려한 공간환경평가, 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 2011 공동 추계학술대회 논문집, 271-272.
 송봉근, 박경훈, 2012, 도시공간을 고려한 야간시간대의 열섬특성 분석, 한국지리정보학회지 15(1), 133-143.
 수원시, 2011, 수원시 물순환 관리 기본계획.
 이상호, 이정민, 2006, 물 환경 건전화를 위한 도시하천의 물 순환 모의(II) -도림천 유역-, 수질보전 한국물환경학회지 22(2), 815-323.
 이정민, 이상호, 이길성, 2006, 물 환경 건전화를 위한 도시하천의 물 순환 모의(I) -안양천 유역-, 수질보전 한국물환경학회지 22(2), 349-357.
 이택순, 송봉근, 한치복, 박경훈, 2011, 경상남도의 효율적 빗물관리를 위한 GIS 기반 물순환체계 분석, 한국지리정보학회지 14(2), 82-95.
 최원호, 신자원, 오현제, 최민하, 박주양, 2009, 물순환 건전성 평가를 위한 지표 및 기법 연구: 경안천 유역 물순환 건전성 변화 모의, 대한토목학회 학술대회, 2114-2117.
 최치현, 최대규, 이재관, 김상단, 2011, 도시 물순환 건전성을 위한 우수지와 침투기반 저류지의 복합설계기법, 대한환경공학회지 33(1),

- 1-8.
한국환경정책평가연구원, 2009, 신도시의 물순환
건전화를 위한 그린인프라 조성 기준에 대한
연구, 한국환경정책평가연구원 기초연구보
고서.
- Batelaan O. and De Smedt F., 2007, GIS-based
recharge estimation by coupling surface-
subsurface water balances, *Journal of
Hydrology* 337, 337-355.
- Portoghese, I., Uricchio V. and Vurro M., 2005,
A GIS tool for hydrogeological water
balance evaluation on a regional scale in
semi-arid environments, *Computers &
Geosciences* 31, 15-27.
- Wealands S.R., Grayson R.B. and Walker J.P.,
2005, Quantitative comparison of spatial
fields for hydrological model assessment-
some promising approaches, *Advances in
Water Resources* 28, 15-32.
- 경상남도 재난안전대책본부: <http://bangjae.changwon.go.kr>
- 창원시 홈페이지: <http://www.changwon.go.kr>

최종원고채택 13. 09. 09