

도시차원의 빗물순환체계 요소별 입지선정에 관한 연구[†]

- 개발예정지역의 환경생태계획 적용방안을 중심으로 -

김효민* · 김귀곤**

*서울대학교 환경대학원 협동과정 조경학 · **서울대학교 조경 · 지역시스템공학부

A Study on Location Selection for Rainwater Circulation System Elements at a City Level

- Focusing on the Application of the Environmental and Ecological Plan of a Development -

Kim, Hyo-Min* · Kim, Kwi-Gon**

*Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Graduate School, Seoul National University

**Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University

ABSTRACT

This study focused on establishing a natural rainwater circulation system using rainwater meant for relatively large urban development projects such as a new town development. In particular, when the location selection techniques for individual elements of a natural rainwater circulation system are developed for the integrated rainwater management, changes in hydrological environment will be minimized and the natural water circulation would be restored to realize the low impact development (LID). In that case, not only the excess will be reduced but water space and green areas in a city would also increase to improve the urban sustainability.

First of all, there were five elements selected for the location selection of a rainwater circulation system intended for the integrated rainwater management: rainwater collection, infiltration, filtration, retention and movement spaces. After generating these items, the location selection items and criteria were defined for each of the five elements. For a technique to apply the generated evaluation items and criteria, a grid cell analysis was conducted based on the suitability index theory, and thematic maps were overlapped through suitability assessment of each element and graded based on the suitability index. The priority areas were identified for each element. The developed technique was applied to a site where Gim-cheon Innovation City development is planned to review its feasibility and limitations. The combined score of the overlapped map for each element was separated into five levels: very low, low, moderate, high and very high. Finally, it was concluded that creating a rainwater circulation system conceptual map on the current land use plan based on the outcome of the application would be useful in building a water circulation system at the detailed space planning stage after environmental and ecological planning. Furthermore, we use the results of this study as a means for environment-friendly urban planning for sustainable urban development.

Key Words: Intergrated Rainwater Management, Water Circulation System, Low Impact Development(LID), New Town Development, Environmental and Ecological Plan

[†]: 본 연구는 2012 한국조경학회 춘계 학술대회에서 발표된 논문을 보완·발전시킨 연구임을 밝힙니다.

Corresponding author: Hyo-Min Kim, Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Graduate School, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea, Tel.: +82-2-880-4885, E-mail: a98776@snu.ac.kr

국문초록

본 연구는 신도시 개발 등 규모가 비교적 큰 도시개발에 있어 빗물을 이용하여 자연적인 빗물순환체계를 구축하는데 중점을 두고 있다. 특히 통합빗물관리를 위한 자연적인 빗물순환체계 요소별 입지 선정 방법을 개발하여 수문환경의 변화를 최소화하고, 자연적인 물순환을 회복하여 저영향개발(LID)을 실현할 수 있으며, 이를 통해 유출량 저감뿐만 아니라 도시 내의 수공간 및 녹지공간의 증가로 인한 도시의 지속가능성을 증진시키는 데 목적이 있다.

통합빗물관리를 위한 빗물순환체계 요소별 입지 선정을 위한 최종적인 빗물순환체계 요소로는 집수, 침투, 여과, 저류, 이동 공간의 5가지 항목이 도출되었으며, 이를 토대로 각 요소별 입지선정 항목 및 기준을 설정하였다. 도출된 평가항목과 기준을 적용하기 위한 방법은 적합성지수 이론을 바탕으로 Grid cell analysis를 실시하여 각 요소별로 적합성평가를 통해 주제도를 중첩하고 종합하여, 적합성지수에 따라 등급화 함으로써 요소별 조성가능 우선지역을 구분하도록 하였다. 개발된 방법은 경북 김천 혁신도시 개발예정지에 적용함으로써 그 실행가능성과 한계를 검토하였으며, 각 요소별 주제도의 중첩 결과는 Very low, Low, Moderate, High, Very high의 5단계로 구분하여, 공간 특성을 쉽게 파악할 수 있게 하였다. 마지막으로 적용한 결과를 바탕으로 현 토지이용계획도면 위에 빗물순환체계 구상도를 작성해 봄으로써 환경생태 계획 후 세부공간계획 단계에서 물순환체계를 구축하는데 있어 유용하게 활용될 수 있으며, 지속가능한 도시개발을 위한 친환경적 도시계획의 수단으로 이용될 수 있다.

주제어: 통합빗물관리, 물순환체계, 저영향개발(LID), 신도시개발, 친환경계획

1. 서론

우리나라가 매년 홍수피해를 반복적으로 겪게 되는 주요원인은 우기에 강수량이 지나치게 편중된다는 강우 특성 때문이기도 하지만, 급속한 산업화로 인한 도시화에도 그 원인이 있다(최지용과 장수환, 2004). 그 결과, 지속적인 개발로 인해 자연녹지지역이 불투수면으로 변화되고 있으며, 빗물의 지하 침투량은 감소되면서 지표면에서의 빗물 유출량은 증가하게 되었다(이우준, 2006). 이에 따라 도시홍수의 야기, 지하수 함양 저해, 토양환경 및 도시의 사막화 초래, 생물서식 기반의 파괴, 도시하천의 건천화, 하천수질의 악화, 도시열섬화 등을 초래하여 결국 도시 물순환체계를 변형시키게 되었다.

지금까지의 빗물관리는 홍수에 대한 안전성 확보가 주요 목적이었으므로(한영해, 2005; 신수용, 2006), 도시전반의 물순환체계 구축을 위한 자연적인 빗물관리시설의 도입이 아닌 수해방지와 수자원 이용만을 목적으로 하는 국지적인 공간계획 및 기법들이 중심이 되었고, 그 기법 또한 인공적인 빗물 재이용 시설 설치에 국한되고 있다.

우리나라에서는 1990년대 후반부터 빗물 재이용 움직임이 공동주택 단지계획 및 설계에 등장하기 시작하였다. 아직 그 적용 사례는 일부에 지나지 않으나, 최근 들어 빗물 침투, 저류 및 활용을 통한 친환경적 우수관리의 중요성이 부각되기 시작하면서 단지 및 도시에서의 자연순응형 빗물관리시설이 중요한 관심사항이 되고 있다(현경학 등, 2006). 하지만 빗물관리를 위한 각 요소들의 개별적인 기술개발은 활발히 이루어지고 있

음에도 불구하고, 단위 공간별로의 빗물관리 기법이 통합적으로 연계되지 못하고 있다. 즉, 공간계획과 연계하여 실행될 수 있는 계획기법이 부재한 것이다.

우리나라에서도 도시의 물순환 문제를 해결하기 위한 방안으로 도시공간의 투수면적을 확보하여 빗물을 적극적으로 활용하기 위한 많은 실천이 이루어지고 있다. 그러나 현재의 빗물이용실태는 단순히 빗물 '집수 후 저류, 사용'이라는 초보적인 수준이다. 특히 기능적인 측면만을 너무 우선시 하다 보니 환경친화적인 저류지나 연못의 조성보다는 기반시설 중심의 건설이 이루어지고 있으며, 도시유역 전반에 있어서 각각의 단위 공간별로의 빗물관리기법이 통합적으로 연계되지 못하고 있다. 이로 인해 자연적인 빗물순환체계 구축을 위한 빗물관리를 통해 도시 지속가능성을 높일 수 있는 기회를 놓치고 있다.

따라서 본 연구는 이러한 문제의식에 기초하여 신도시 개발 등 규모가 비교적 큰 도시개발에 있어 중요한 자원인 빗물을 이용하여 자연적인 빗물순환체계를 구축하는데 중점을 두고 있으며, 본 연구의 목적은 다음과 같다.

첫째, 도시차원에서 자연적인 빗물관리가 적합한 지역을 선정하고 계획함으로써 도시화로 인해 발생하는 유출량 문제를 해결하고, 홍수조절 등의 기후변화에 현명하게 대응할 수 있도록 한다. 둘째, 통합빗물관리를 위한 자연적인 빗물순환체계 기능별 요소와 각 요소별 항목 및 기준을 도출하여 적지선정 방법을 개발한다. 셋째, 빗물관리를 위한 요소별 적지선정 방법을 국내 도시차원으로 적용하여 저영향개발(LID) 접근을 통한 공간계획의 실행가능성을 제시하고자 한다.

II. 선행연구 및 사례고찰

도시화가 계속해서 진행됨에 따라 도시표면의 변화로 물의 자연적인 순환이 변화되고 있다. 도시화로 인한 도시 물순환체계 변화에 관한 연구는 국내외적으로 꾸준히 이루어지고 있으며(국토연구원, 2005; USEPA, 1993; Booth and Renelt, 1993; Dreiseitl and Geiger, 1995), 도시화로 인한 변화를 극복하기 위해 유출량 감소를 위한 기능적 측면의 연구(진은진, 2001)에서부터 도시 내의 자연적인 물순환체계 구축을 통한 서식처 네트워크에 관련된 연구(Haaren and Reich, 2006)까지 매우 다양하다. 그러나 물순환체계 구축이 공간적인 계획을 통해 직접적으로 구현될 수 있는 방법을 제시한 연구(최희선, 2009; 김지선, 2008)는 일부 존재하나, 도시차원의 통합적인 빗물순환체계 관리의 공간계획으로의 적용과 관련된 연구는 미미하다.

환경친화적 계획기법에 관한 연구로는 환경생태계획에 관한 이론 및 연구와 저영향개발(LID)에 관한 연구에 대해 고찰해보았다. 현재 국내의 환경생태계획(김귀곤, 2008; 이창우, 2004, 권전오, 2003)은 미국의 저영향개발(LID)기법(PGC, 1999; PGDCER, 1997; 박은진, 2007; Marjorie van Roon, 2007, 최지용, 2004)과는 달리 실행계획이기보다는 정책계획수준으로 적용되고 있으며, 환경계획에 대한 선인적 의미로만 다루어질 뿐 공간계획단계와 직접적으로 연계할 수 있는 체계적인 실행계획이 마련되어 있지 않다. 따라서 기존의 환경을 최대한 고려하여 저영향개발에 일조하는 빗물순환체계를 구축하기 위해서는 환경생태계획단계에서 이루어지는 하천 및 저류지 계획 등의 광역적인 물순환체계와 연계하여, 기존의 대상지 성격에 맞는 빗물순환체계에 대한 세부 계획이 이루어져야 한다.

빗물순환체계(Stormwater chain)에 관한 다양한 연구에서는 빗물관리에 필요한 다양한 기능별로 그 유형을 나누고 있으며, 국내·외에서 자연배수체계를 갖추고 있는 사례를 고찰하였다. 미국 포틀랜드시와 시애틀에서는 자연적인 빗물관리시설을 집 앞마당부터 적극적으로 도입하여 도시차원으로 네트워크를 구축하고 있었으나, 그에 반해 국내의 경우는 아산신도시의 경우 빗물순환체계를 시범적으로 도입하려는 시도가 이루어졌으나, 대부분의 경우 부분적인 시설의 도입으로 도시차원의 빗물순환체계가 형성되지 못하고 있었다.

빗물관리의 각 유형별 기법은 다양한 연구가 진행되었으나, 단편적인 시설 설치를 통한 유출억제와 방재중심으로 이루어지거나, 개별 건축물에 대한 빗물이용을 목적으로 진행되고 있음을 알 수 있으며, 단위시설단위의 시설 도입을 통한 효과에 대한 연구(Simonds, 1983; Gelderen, 1996; Leccese, 1998; Rohde et al., 2006; White and Fennessy, 2005; 서울특별시, 2004; 권경호, 1999 등)가 다수 존재했다. 특히 자연적인 집수, 침투 및 저류 등을 통한 분산식 빗물관리를 통해 자연적인 물순환체계를

회복하거나, 개발로 인한 영향을 최소화 할 수 있는 접근방식은 부족함을 알 수 있다. 또한 빗물관리지역의 입지를 선정하는 데 있어 기존의 연구(독일 하수처리협회, 2000; 한영해, 2005; Palmeri and Trepel, 2002; J. Mwenge Kahinda et al., 2008)는 기준 및 지침자료는 풍부하지만, 공간계획적인 접근방식이 부족하여 직접적인 계획 실행에 있어 어려움이 있음을 알 수 있다.

이처럼 도시차원의 물순환체계는 기존의 단편적인 시설의 설치에 국한될 것이 아니라, 도시차원의 환경생태계획과 맞물려 도시 공간체계와 연계될 때, 도시차원의 홍수 방지 및 유출량 저감과 도시의 지속가능성에 큰 기여를 할 수 있다. 특히 빗물순환체계 구축을 위해 기존의 대상지 환경을 고려하지 않은 인공시설의 부분적인 설치에 도시차원의 물순환체계 형성에 있어 긍정적인 효과를 발생시키기 어렵다. 또한 저영향개발 기법에 대한 연구가 늘어나고 있는 추세이긴 하지만, 자연적인 빗물순환체계를 중심으로 직접적으로 공간에 적용할 수 있게 방법을 제시한 연구는 미미하다. 그러므로 요소별 단편적인 시설차원의 계획이 아닌 통합적인 빗물관리계획을 위해서는 기존 대지 특성을 고려한 자연적인 빗물순환체계 요소별 입지선정 방법개발이 필요하다.

따라서 본 연구는 기존 연구에서 한걸음 더 나아가, 도시차원의 자연적인 빗물순환체계를 구축하고, 도시차원의 공간계획에 실질적으로 활용될 수 있는 통합적인 빗물관리 요소별 입지선정방법을 제시하고자 한다.

III. 연구의 범위 및 방법

1. 연구의 범위

본 연구는 자연적인 빗물순환체계의 구축을 위해 빗물순환체계 요소별 최적입지를 선정하는 것으로서, 신도시 개발예정 지역에서 이루어지는 환경생태계획의 후속과정인 환경생태상세계획의 한 부분으로 진행될 수 있다. 그러므로 본 연구의 공간적 범위는 환경생태계획을 통해 토지이용계획이 수립된 지역인 경북 김천 혁신도시 개발지를 사례지역으로 선정하였다. 대상지는 김천시 남면(용전리, 운남리, 옥산리), 농소면(월곡리) 일원을 포함하고 있으며, 면적은 3,807,011m²이다. 김천혁신도시 개발 예정지의 경우, 개발 전의 토지상태가 양호하며, 토지이용계획이 확정되어 본 연구에서 개발한 개발 전·후의 대상지 현황을 평가하는 입지선정 방법을 적용하기에 적합한 지역이었으며, 연구 진행시 준공이 되지 않은 상태로 현황 조사·분석을 하기에 용이하여 본 연구의 적용대상지로 선정하였다.

본 연구에서는 도시차원의 빗물순환체계 요소별 입지선정 방법 개발 및 적용을 위해 다음의 사항을 전제로 한다.

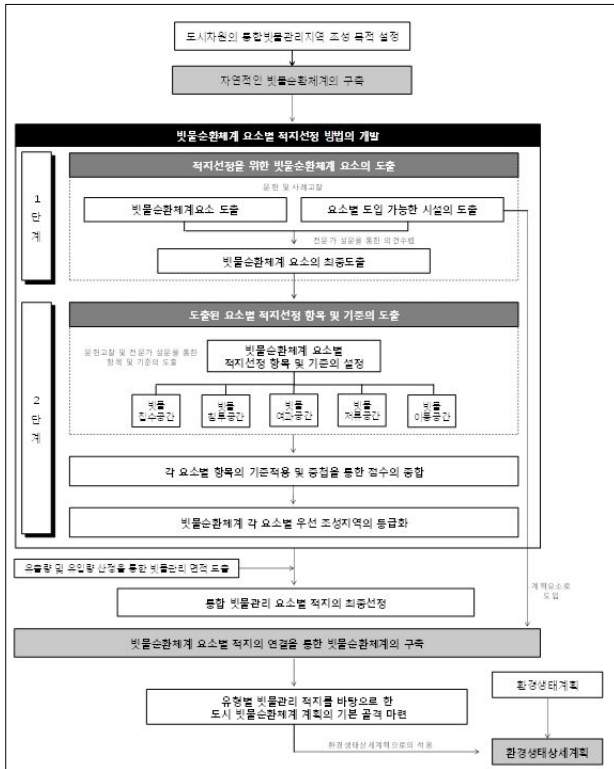


그림 1. 연구의 수행절차 및 내용

첫째, 빗물관리 지역 선정에 있어 각 유역별 유출량에 따른 용량산정은 불가피하다. 그러나 본 논문에서는 빗물관리를 위한 요소별 입지 선정에 대한 방법 개발이 연구의 주된 목적이므로, 유출량을 통한 용량산정은 입지선정이 된 후 이루어지는 것을 전제로 한다. 둘째, 자연 그대로의 모습을 최대한 반영할 수 있도록 저영향개발(LID) 기법을 중심으로 자연적인 빗물순환체계 요소를 도출하는 것으로 한다. 셋째, 빗물순환체계의 구축을 위해서는 일반적으로 대상지의 상태에 따라 빗물의 자연유하 및 침전물의 제거 등을 위해 인공시설의 요소가 불가피하다. 그러나 본 논문에서는 기존 대상지 현황을 고려한 자연적인 빗물순환체계의 구축을 위해 최대한 인공시설을 배제하는 것을 전제로 하여 연구를 진행하도록 한다. 넷째, 본 연구에서 제시하는 계획방법은 택지 개발사업 및 신도시 조성 등 신규로 토지가 확보될 경우 적용 가능한 것이다.

이를 바탕으로 작성된 본 연구의 수행절차 및 내용은 그림 1과 같다.

2. 연구의 방법

1) 빗물순환체계 요소별 입지선정 방법 개발

(1) 빗물순환체계 요소의 도출

방법개발의 첫 단계는 적지선정을 위한 빗물순환체계 요소의 도출이다. 자연적인 빗물순환체계의 구축을 위해서는 물순환 기능을 포함하는 각 요소별로 대상지의 특성이 달라져야 하므로 개발예정지역에서의 빗물관리를 위한 입지를 선정하는데 있어 중요한 의미가 있다.

본 연구에서는 빗물순환체계 요소의 도출을 위해, 국내·외 기존 문헌 및 사례의 고찰을 통해 빗물관리를 위한 1차 요소를 도출하였으며, 이렇게 도출된 요소 중 자연적인 빗물순환체계의 입지선정을 위한 최종적인 유형을 구분하기 위해 전문가 설문을 실시하였다. 설문항목은 1차 도출된 유형이 자연적인 빗물순환체계 구축을 위해 얼마나 필요한지에 대한 질문을 통해 그 관련 정도를 표시할 수 있도록 하였으며, 추가적으로 고려해야 할 사항이 있으면 기입할 수 있도록 하였다. 이같은 설문종합을 통해 본 연구의 빗물순환체계 입지선정을 위한 최종요소를 도출하였다.

전문가 설문은 2008년 10월 9일부터 12일까지 이루어졌으며, 관련 전문가 30명에게 설문지를 배포하고, 이중 23명의 설문지를 받아서 답변을 종합하였다. 설문조사 분석에는 MS-Excel 2007 프로그램을 활용하였다.

(2) 도출된 요소별 입지선정 항목 및 기준의 도출

방법개발의 두 번째 단계는 입지선정에 앞서 최종 도출된 5가지 요소인 집수, 침투, 여과, 저류, 이동에 대한 적지선정 항목 및 기준의 도출이다. 각 요소의 입지선정 항목 및 기준 도출 방법은 1차적으로 국내·외 이론, 문헌 및 사례 고찰을 통해 도출하였으며, 2차적으로 이에 대한 최종적인 항목을 도출하고자 전문가 설문 및 심층면접을 실시하였다. 전문가 설문은 2008년 10월 15일부터 27일까지 이루어졌으며, 관련 전문가 22명에게 설문지를 배포하고 이중 20명의 답변을 받아서 종합하였다. 설문조사 분석에는 MS-Excel 2007 프로그램을 활용하였다.

수렴된 전문가 의견과 주요항목들을 심층 고찰하여 최종항목 및 기준을 도출하며, 각 기준별 문헌 및 사례 연구를 통해 종합된 측정방법을 통해 1부터 5까지의 적합성지수(SI)를 부여하여 정량적으로 분석이 가능하게 하였다. 이를 위해 등간척도를 활용하고, 평가항목의 배점은 5단계와 3단계 평가를 병행하였다¹⁾.

2) 개발된 방법의 적용

개발된 방법에서 각 요소별로 선정한 항목별 기준을 적용할 수 있도록 평가 항목에 맞는 대상지역의 현황을 파악하였다. 사례지역 조사는 사전환경성검토서(2006), 환경영향평가서(2007) 등의 기존문헌과, 현장조사(2007년 1월, 9월), 토지이용계획(2008년 12월) 분석을 통해 이루어졌으며, 조사 내용은 앞서 개발된 방법에서 제시된 평가항목에 따라 필요한 내용들로 조사되었다²⁾.

수집된 기존 문헌 자료 및 현장조사 자료 등을 활용하여

항목별 기본도와 주제도를 작성하였다. 표고 및 경사분석은 1:5,000 축척의 수치지도를 ArcView를 통해 DEM으로 변환하여 작성하였으며, 토양은 수자원관리종합정보시스템(WAMIS) 자료를 기초로 하여, 주제도 작성에 필요한 토양성분, 유효토심, 배수능력의 토양정보를 추출한 후 분석하였다. 지하수위는 한국토지공사에서 2007년에 실시된 대상지 120군데의 시추조사 결과를 기반으로 하여, Golden Software Surfer 8.0을 이용해 등고선으로 나타내었으며, 서식처 분석은 환경부의 중분류 토지피복도 및 현지조사를 토대로 이루어졌다. 현재(2008년) 토지이용은 환경부에서 제작한 1:25,000 축척의 중분류 토지피복도를 기초로 하여 현장조사 결과를 반영하였으며, 계획 후 토지이용은 2008년 12월까지 수정된 토지이용계획 자료를 대상으로 주제도를 작성하였다.

작성된 각 항목별 주제도는 빗물순환체계 요소별로 중첩하여 종합도를 작성한다. 각 주제도별 중첩단계에서는 Arc GIS 9.2, ArcView GIS 3.2, Microsoft Office Excel 2007, AutoCad 2007, Photoshop CS를 활용하였으며, 그리드는 대상지의 세부 계획을 고려하여 현황을 최대한 반영하기 위해 1m×1m로 설정하여 평가하였다. 평가된 종합점수가 높을수록 적합한 지역으로 평가된다.

그 후 작성된 종합도를 등급화하여 조성 우선지역을 설정한다. 등급화는 각 유형별 총 합산점수에 대한 비율로 나뉘게 되며 각 등급은 Very low, low, Moderate, High, Very high의 5 단계로 구분하여³⁾, 전체 점수의 최대값을 5등분하여 균등하게 나누도록 했다. 이렇게 도출된 빗물순환체계 요소별 입지 우선지역을 바탕으로 도시의 전반적인 빗물순환체계 계획도를 작성할 수 있으며, 이는 도시의 환경생태계획과 연계되어 더 세부적인 계획으로 이어질 수 있다.

IV. 결과 및 고찰

1. 빗물순환체계 요소별 입지선정 방법 개발

1) 빗물순환체계 요소의 도출

문헌 및 사례 고찰을 통해 도출된 물순환 기능에는 집수, 급수, 침투, 여과/처리, 이동, 저류, 이용의 7개 항목이 도출되었고, 대부분 집수, 침투, 저류, 여과/처리의 항목이 반드시 필요하다고 언급하고 있으며, 급수, 이동/수송, 이용/활용의 항목은 빈도가 낮게 나타났다(표 1 참조).

이를 토대로 한 전문가 심층 설문조사 결과, '이용/활용' 항목은 빗물순환체계 요소별 입지선정 이후에 다루어져야 한다는 의견을 수렴하여 항목에서 제외하였으며, 설문결과를 1점을 만점으로 하였을 때 집수(0.88), 저류(0.87), 침투(0.82), 처리(0.76), 이동(0.71), 급수(0.59)로 점수가 집계되었다. 이 6개 항

표 1. 문헌 및 사례를 통한 빗물순환체계 요소의 종합

구분	급수	집수	침투	저류	여과/처리	이동/수송	이용/활용
전인배 등(2001)	✓	✓		✓			
W. Geiger 등(2001)			✓	✓	✓		✓
손삼기(2003)			✓	✓	✓		✓
Nigel Dunnett(2007)		✓		✓		✓	
이우준(2006)		✓	✓	✓	✓		✓
한무영(2004)	✓	✓	✓	✓	✓		
일본 후쿠오카현(1998)	✓	✓		✓	✓		
Zeng Bing et al(2007)		✓	✓			✓	✓
김영란(2007)			✓	✓			✓
NYSDEC(2003)		✓	✓	✓	✓	✓	
이상규(2005)			✓	✓			

목 중 급수항목은 가장 점수가 낮았고, 급수 항목 구성요소는 소독장치, 잠용수조, 급수설비, 수도용수 보급장치 등으로 구성(이우준, 2006)되며, 인공시설의 도입이 불가피한 기능이므로 본 논문의 범위에서 벗어난다고 생각하여 제외하도록 했다. 또한 이동항목은 각 요소들과의 근접성 및 이동, 연결의 용이성을 비교하여 입지가 선정되어야 하는 의견 등으로 두 번째로 낮은 점수를 얻었으나, 급수항목과는 달리 자연적인 빗물순환체계 구축에 있어 항목별 연결의 중요한 역할을 하므로 본 연구의 입지선정 방법을 위한 항목으로 포함시키도록 하였다.

따라서 자연적인 빗물순환체계 구축을 위해 필요한 최종 도출된 항목은 집수, 침투, 여과, 저류, 이동기능이며, 이 5가지 요소를 바탕으로 항목 및 기준을 설정하였다⁴⁾.

2) 도출된 요소별 입지선정 항목 및 기준의 도출

앞서 도출된 5가지 항목별로 문헌 및 사례 고찰을 통해 항목을 종합한 후, 전문가 설문을 통해 각 요소별 최종항목 및 기준을 도출하였다(표 2 참조). 각 요소별 항목과 기준을 선정할 때는 많은 인자들이 설정하여 정확한 입지를 선정하는 것이 바람직하나, 인자가 많을수록 자료구축에 많은 시간과 비용이 소요(R.A.Van Lonkhuyzen et al., 2004)되므로, 이를 고려하여 적절한 수준에서 조정하였고, 항목은 최대한 단순화하며 객관적으로 적용할 수 있게 선정하였다.

(1) 빗물집수공간

빗물집수는 일반적으로 건물의 지붕이나 기타 집수면에서 강우된 빗물을 모으는 것으로서 오염되지 않은 빗물을 얻기 위한 중요한 과정이다(환경부, 1999). 본 논문에서는 개발예정지역에서 필요한 방법을 개발하는 것으로 기존의 건축물이나 포장면적을 고려하지 않기 때문에 자연적으로 빗물이 모아지는 공간으로 한정하여 연구를 진행하였다.

빗물 집수공간 입지선정을 위한 최종 항목은 경사, 현 토지 피복, 토양성분, 토양깊이, 서식처와의 거리가 도출되었다. 지형은 전문가 설문 결과, 빗물의 집수에 있어 매우 중요한 요소이며, 빗물의 자연 유하에 가장 큰 역할을 하는 요소로 도출되었다. 또한 현재 토지피복 상태는 자연적인 빗물순환체계의 구축에 있어 저영향개발을 통해 현상태의 토지이용을 최대한 반영할 수 있기 때문에 중요한 요소로 선정되었으며, 현재 개발이 되어 있는 건조지역은 0점이며, 자연지역일수록 높은 점수를 부여하였고, 논 밭 경작지의 토지피복이 적합성지수를 높게 평가한다(B.P.Mbilini *et al.*, 2007).

토양 또한 빗물 집수에 있어 중요한 요소로 토양 중에서도 토양성분과 토양 깊이가 중요한 역할을 한다. 토양성분은 점토(clay) 성분의 포함 정도에 따라 적합성 점수가 달라지며, 점토 성분이 많이 포함될수록 빗물을 침투시키지 않고 잡아 두기 때문에 적합성지수를 높게 평가한다(J. Mwenge Kahinda *et al.*, 2008). 토양깊이는 표토와 심토층의 두께를 모두 합하여 계산되는 것으로 두께가 두꺼울수록 높은 점수로 평가한다(J. Mwenge Kahinda *et al.*, 2008).

생태적 중요성 및 민감성 항목은 서식처와의 거리를 통해 평가하였다. 야생동물의 중요한 서식처이거나 그 잠재성이 있는 지역의 경우 빗물집수공간의 구성을 통해 인공설비가 연결되게 되면 파괴 우려가 있으므로 중요한 서식처로부터 가까울수록 적합성점수를 낮게 평가하도록 한다. 본 연구에서의 서식처는 생물다양성이 높은 생물종 공급지역(Source area)으로 산림, 자연초지, 습지 및 수계를 포함한다.

(2) 빗물침투공간

빗물침투공간은 빗물을 잔디나 정원 등 포장되지 않은 지표면이나 투수성 포장면으로 광범위하게 침투시키는 것으로(김현수, 2008), 지반의 침투능력에 따라 지하로 우수를 침투시켜 침투 유출량뿐만 아니라, 홍수유출량 자체도 감소시켜 하류하천의 홍수부담을 경감시키는 것 이외에도 토지의 다목적 이용과 지하수자원 확보 및 환경보전의 효과도 탁월하다(김귀곤, 1993).

빗물 침투공간 입지선정을 위한 최종 항목은 경사, 토양성분, 4계절 평균 지하수위, 계획 후 교통량, 현 토지이용이 도출되었다. 지형 항목은 대상지역의 경사를 평가하도록 하며, 경사가 5% 이하일 때 다양한 빗물관리 요소들의 도입이 용이하며, 빗물의 침투 기능도 높아진다(SUDAS, 2007). 토양의 종류 항목은 유기질 비율이 적은 조립토양이고 자갈, 모래 등이 많이 포함될수록 침투기능이 높다고 판단되어 높은 적합성 점수로 평가된다(Urbonas and Stahre, 1993). 지하수위는 침투기능에서 매우 중요한 항목으로, 지하수위가 높을 경우 빗물이 침투될 수 있는 용량이 적어 충분한 침투가 이루어질 수 없다. 또한 침투되는 빗물로 인해 지하수의 오염가능성을 배제하고, 토양에 의해 정

화될 수 있는 공간을 확보하기 위해 충분한 지하수위와의 거리가 필요하다(한영해, 2005; Urbonas and Stahre, 1993; City of Franklin, 2002, 서울특별시, 2004). 그러므로 지표면으로부터 지하수위가 2.4m 이상일 경우 적합성 점수를 가장 높게 평가하였으며, 0.6m 이하일 경우는 가장 낮은 점수로 평가하였다.

또한 지하부에 오염원이 있는 쓰레기 매립지 같은 지역이나 지역적으로 대기오염도가 높아 유출되는 빗물의 수질이 나쁠 경우에는 침투시설을 제한해야 하므로(한영해, 2005), 오염물의 존재 여부 항목에서는 기존의 토지피복도를 및 수치지도를 토대로 하여 오염시설원이 있었거나, 교통량 및 보도 통행량이 많은 지역을 낮은 점수로 평가하고, 개발 후 토지이용계획을 토대로 교통량 및 보도 통행량이 많을 수 있는 잠재지역일수록 침투불가능지역으로 평가하였다.

(3) 빗물여과공간

빗물여과공간은 식생여과대나 수변완충대 등의 구성요소로 이루어지며, 불투수표면을 대체하면서 유속을 느리게 하고 침투를 촉진시키며, 침전물, 유기물질, 미량의 금속 등의 입자 오염물질을 줄일 수 있다. 효과적인 여과공간은 퇴적, 침투, 흡착, 흡수, 여과, 생물학적 분해, 식물의 흡수와 같은 자연적인 기작을 거쳐 오염물질을 여과시킨다. 빗물의 여과뿐만 아니라 자연적인 경관의 창출을 통해 도시쾌적성을 가져다 주며, 생물서식공간으로도 사용될 수 있다(박은진, 2007).

빗물 여과공간 입지선정을 위한 최종 항목은 식생유형, 계획 후 토지이용, 지하수위, 자연습지와와의 거리가 도출되었다. 식생유형은 전문가 설문에서 가장 높은 평가를 받은 항목으로, 기존에 갈대, 부들 등의 정화식물이 자라는 곳은 보전하여 계획 후에도 이용할 수 있도록 높은 적합성점수를 부여하였으며(A.M. Mohamed Ali, 2007), 정화식물이 없는 경우는 나지보다는 잔디 등의 야생초화류가 자라거나 덩굴 등의 관목림을 적합성지수를 높게 평가하도록 한다. 유출 및 침식특성 항목은 계획 후의 토지이용을 토대로 평가를 실시하며, 도로, 고속도로, 주차장 등 불투수성 포장이 많아질수록 유출 및 침식이 많아지는 것으로 가정하여 빗물여과공간의 필요성을 높기 때문에, 적합성지수를 높게 평가한다(Minnesota Metropolitan Council, 2001). 지하수위는 침투공간과 마찬가지로 오염물질이 여과되어 침투되는 것이기 때문에 최소 0.6m의 지하수위는 지켜야 하며(A.M. Mohamed Ali, 2007), 습지는 자연여과 특성이 있으므로 자연습지와와의 거리는 50m 이내로 가까울수록 높은 점수로 평가하였다. 본 연구에서의 자연습지는 현재 수계, 유흥농경지 습지 및 기타습지 등을 포함하여 추출하도록 한다.

(4) 빗물저류공간

빗물저류공간은 강우시 급격하게 늘어난 침투유량을 모아둠

으로써 일시적으로 유출을 억제하고, 주거공간에서는 외부공간의 수환경을 창출하는 요소로 작용하게 된다(이상규, 2005). 토지확보가 용이한 지역에는 저류연못의 도입이 가능하며, 연못 형태의 저류공간은 형태적으로 자연에 가까우며, 기능상으로도 유출감소뿐만 아니라 경관적 요소로 작용함으로써 환경의 질을 개선하는 효과가 있다(한영해, 2005).

빗물 저류공간 입지선정을 위한 최종 항목은 배수능력, 하천으로부터 거리, 지하수위, 토지이용, 경사가 도출되었다. 빗물 저류공간이 조성될 때 우선적으로 고려해야할 사항은 전문가 설문에서도 가장 높은 점수를 받았듯이 토양배수능력이다. 저류기능을 최대화하기 위해서는 빗물이 지하로 침투되는 것을 최소화해야 하므로 토양의 물리성을 고려하도록 해야 한다(최희선, 2009). 그러므로 토양 배수능력이 불량일수록 적합성 평가점수는 높게 나타난다. 지하수위는 최소 지표면으로부터 60cm 이하일 경우 가장 낮은 1점의 적합성평가 지수로 나타내었다(SUDAS, 2007).

주변하천과의 연계성은 수문항목과 통합할 수 있는 항목으로 자연적인 빗물순환체계의 구축을 위해 중요한 요소이며, 저류된 빗물이 수로를 통해 외부 하천과 연계되어 흘러나가 순환이 쉽게 일어날 수 있도록 하기 위함이다. 주변하천과의 연계가 쉬울수록 적합성지수를 높게 평가하도록 한다. 우수차집의 용이성은 지형과 관련이 깊으므로 경사 정도를 평가하였다. 이는 식생도입이 용이하고 완만한 경사로 물이 중력에 의해 자연스럽게 시스템을 통과할 수 있도록 함이며(임유라, 2007) 이를 통해 우수차집이 인공요소를 거치지 않고 자연스럽게 이루어질 수 있다. 토지이용 항목은 개발 전 기존의 대상지 특성을 최대한 반영하기 위한 항목으로 도시지역에 대해서는 가중치를 낮게 주고, 습지, 농지, 초지, 산림 순으로 높게 설정하였다(Luca Palmeri and Michael Trepel, 2002).

(5) 빗물이동공간

빗물이동공간은 식생수로, 건식수로, 습식수로 나누어질 수 있으며, 본 논문의 목적에 맞는 자연적인 빗물순환체계 구축을 위해서는 다기능적인 개방형 배수체계를 이용하는 것이 바람직하다. 개방형 빗물이동공간은 부지와 부지사이 또는 도로를 따라 지표 유출수를 운반하며, 기존의 우수배수 시스템이 가진 범람문제를 완화시킬 수 있다. 그러므로 개방수로체계에서는 부지의 경사를 완화해서 지표유출수의 양과 속력을 줄일 수 있어야 한다(최지용과 장수환, 2004).

빗물 이동공간 입지선정을 위한 최종 항목은 경사, 주변하천과의 연계성, 하층토 성분이 도출되었다. 지형은 빗물이동에 있어 가장 중요한 요소로 빗물의 자연유하가 가능하기 위해서는 경사가 연속적이고 균일해야 하며, 2~4%의 경사가 적합하다(Metropolitan Council, 2001). 가파른 구배를 가진 지역에 계획

표 2. 빗물순환체계 요소별 평가항목 및 기준

구분	평가항목	평가기준	세부기준	지수	출처		
빗물 집수 공간	지형	경사	32~57%	5	①,②		
			17~32%	4			
			8~17%	3			
			3~8%	2			
			0~3%	1			
	토지피복 · 토지이용	현재 토지 피복 상태	경작지(논, 밭)	5	①,②		
			개방된 관목 수풀림	4			
			교목과 혼합된 관목 수풀림	3			
			교목림	2			
	토양	토양성분	강 및 하천 주변식생	1	①,②, ③		
			사질양토	5			
			사질식양토	4			
			식양토	3			
			양질사토 및 사질식토	2			
	토양	토양깊이	이외의 다른 종류	1	①,③		
1.5m 이상			5				
1~1.5m			4				
0.5~1m			3				
0.2~0.5m			2				
생태적 중요성 및 민감성	서식처와의 거리	0.2m 이하	1	③			
		100m 이상	5				
		60~100m	4				
		30~60m	3				
		10~30m	2				
지형	경사	10m 이내	1	④,⑤, ⑥,⑦			
		5% 이하	5				
		5~10%	4				
		10~15%	3				
		15~20%	2				
		20% 이상	1				
		토양	표토종류		유기질 비율이 높은 세립토	1	④,⑦ ⑧,⑨ ⑩,⑪
					유기질 비율이 적은 조립토양 (자갈, 모래 등)	5	
					정상적인 부식토 (실트 모래나 진흙)	3	
		지하수위	4계절 평균 지하수위		지표면으로부터 2.4m 이상	5	⑥,⑨, ⑩,⑫
지표면으로부터 1.8~2.4m	4						
지표면으로부터 1.2~1.8m	3						
지표면으로부터 0.6~1.2m	2						
지표면으로부터 0.6m 이하	1						
오염물질 존재여부	현 토지이용	오염원이 거의 없는 경우 (산림, 습지, 수역)	5	⑤,⑦ ⑧,⑩			
		오염원이 약간 있는 경우 (농업지역)	4				
		오염원이 보통인 경우 (자연초지 및 기타 나지)	3				

(표 2. 계속)

빗물 침투 공간	오염물질 존재여부	현 토지이용	오염원이 많은 경우 (주거, 공공시설지역)	2	⑧,⑨, ⑬
			오염원이 매우 많은 경우 (공업, 상업, 교통지역)	1	
	계획 후 교통량	보도통행이 적은 경우 (산림, 습지 수역 등)	보도의 통행량 (공원, 주거지역, 잔디밭)	5	
			보도 통행량이 많은 경우 (상업지구 및 도로, 운동장)	3	
			보도 통행량이 적은 경우 (상업지구 및 도로, 운동장)	1	
식생	식생유형	습지식물	5	⑩,⑭	
		잔디밭, 야생초화원, 덩굴류 등의 관목림, 교목림	3		
		나지	1		
유출 및 침식특성	계획 후 토지이용	도로, 고속도로, 주차장 등의 도로시설, 상업시설, 공업시설	5	⑩,⑭	
		주거시설, 공공시설	3		
		공원 및 녹지공간	1		
빗물 여과 공간	지하수위	지하수위	지표면으로부터 2.4m 이상	5	⑥,⑩
			지표면으로부터 1.8~2.4m	4	
			지표면으로부터 1.2~1.8m	3	
			지표면으로부터 0.6~1.2m	2	
			지표면으로부터 0.6m 이하	1	
자연습지 와의 거리	자연습지 와의 거리	자연습지로부터 50m 이내	5	⑩	
		자연습지로부터 50~100m	4		
		자연습지로부터 100~150m	3		
		자연습지로부터 150~200m	2		
		자연습지로부터 200m 이상	1		
토양	배수능력	매우 불량	5	⑮,⑯	
		약간 불량	4		
		약간 양호	3		
		양호	2		
		매우 양호	1		
지하수위	지하수위	지표면으로부터 100cm 이상	5	⑥,⑰	
		지표면으로부터 60~100cm	3		
		지표면으로부터 60cm 이하	1		
수문	하천으로 부터 거리	하천으로부터 50m 이내	5	⑮,⑯, ⑱	
		하천으로부터 50~100m 이내	4		
		하천으로부터 100~150m 이내	3		
		하천으로부터 150~200m 이내	2		
		하천으로부터 200m 이상	1		
우수차집 용이성	경사	5% 미만	5	⑥,⑱	
		5~10%	3		
		10% 이상	1		
토지이용	토지이용	기존의 개방수면, 습지	5	⑮,⑲, ⑳	
		논, 습성교목림	4		
		초지, 관목림	3		
		밭, 나지, 건성교목림	2		
		시가화지역(포장도로, 건축물)	1		

(표 2. 계속)

빗물 이동 공간	지형	경사	2~4%	5	㉑,㉒
			4~6%	3	
			6% 이상 또는 2% 이하	1	
	수문	주변하천 과의 연계성	기존 하천 및 수로	5	㉓
			하천 및 수로로부터 50m 이내	3	
			하천 및 수로로부터 100m 이내	1	
	토양	하층토 성분	Sandy loam 토양 (유기물과 점토가 20%)	5	⑥,㉔
			점토질 토양(점토 20% 이상)	3	
			자갈, 거친 모래	1	

* ① B. P. Mbilini *et al.*(2007), ② K. Ragul *et al.*(2006), ③ J. Mwenge Kahinda *et al.*(2008), ④ S. Yokota *et al.*(1998), ⑤ Rohde *et al.*(2006), ⑥ SUDAS(2007), ⑦ White and Fennessy(2005), ⑧ SAWSW(1983), ⑨ Urbanas and Stahre(1993), ⑩ A. M. Mohamed Ali(2007), ⑪ 서울시(2004), ⑫ City of Franklin(2002), ⑬ ATV Arbeitshilfen-abwasser(1999), ⑭ Allen P. *et al.*(2005), ⑮ 최희선(2007), ⑯ 임유라(2007), ⑰ 한영해(2005), ⑱ 한국토지공사(2006), ⑲ R. A. Van Lonk-huyzen *et al.*(2004), ⑳ Luca Palmeri and Michael Trepel(2002), ㉑ Metropolitan Council(2001), ㉒ George E. Pataki *et al.*(2003), ㉓ 전문가설문(2008)

될 경우, 수로가 등고선에 나란히 따라 가야 효과를 볼 수 있다 (George E. Pataki *et al.*, 2003). 수문과 주변하천과의 연계성은 통합될 수 있으며, 이는 기존의 하천과의 거리가 가까울수록 하천과의 연계가 쉬우며, 기존하천을 빗물이동공간으로 계획하여 빗물집수 및 침투, 저류지역과 연계하는 것도 빗물순환 체계의 구축에 용이하다(전문가설문, 2008). 토양은 표토의 경우 유기물과 점토가 소량 함유된 sandy loam 토양이 적합하며 (SUDAS, 2007), 밀집한 식생을 쉽게 허용하지 않는 자갈로 이루어진 땅 및 거친 모래땅에는 시공하지 않아야 하며, 하부토양이 침투가 거의 되지 않는 점토성 토양일 경우 침투성을 증대시킬 목적으로 개량할 필요가 있다(Metropolitan Council, 2001).

2. 개발된 방법의 적용

개발된 방법은 경북 김천 혁신도시 개발예정지에 적용함으로써 방법의 실행가능성과 한계를 검토하였다.

빗물집수공간의 경우, 대상지가 농경지가 많고 사질양토지역이 대부분이어서 적합성종합 결과 높은 점수로 평가되었으며, 대상지 북측 구릉지의 토양 깊이가 1.5m 이상으로 분석되어 5점으로 평가되었다. 적합성지수 종합결과 4점에서 24점까지 평가되었으며, 20점 이상을 받은 지역이 전체면적의 약 12%를 차지했고, 'High' 등급이 2,359,747m²로 가장 많았다. 대상지는 전반적으로 빗물집수에 있어서는 양호한 특성을 보이는 것으로 나타났다.

빗물 침투공간의 경우, 대상지의 북측이 -2.4m 이상의 낮은 지하수위를 나타내고 있어 높은 점수로 평가되었으며, 상업지

구 및 도로, 운동장 등으로 계획된 지역은 오염원이 침투될 가능성이 높아 낮은 점수로 평가되었다. 또한 대상지의 현 토지 이용은 대부분 농경지로 이루어져 있어 통행량이 크지 않은 편이므로 4점으로 평가되었으며, 북측의 산림 및 수역은 최고점인 5점으로 평가되었다. 적합성지수 종합결과, 7점에서 25점까지 평가되었으며, 수역주변과 경사가 낮은 지역을 중심으로 높은 점수가 평가되었다. 또한 20점 이상을 받은 지역이 전체면적의 약 17%를 차지했고, 'High' 등급이 2,540,657m²로 가장 많은 반면 'Very low' 등급은 대상지 전체에 전혀 나타나지 않았으며, 따라서 대상지 전반적으로 빗물침투에 있어서는 양호한 특성을 보인다고 평가될 수 있다.

빗물여과공간의 경우에는 대상지 내 도로 및 남측의 상업시설 계획 공간이 다량의 유출과 침식이 예상되기 때문에 여과시설이 필요하다고 인식되어 5점으로 평가되었으며, 대상지의 북측이 낮은 지하수위와를 나타내고 있어 높은 점수로 평가되었다. 또한 울곡천 및 석정천, 지산천 주변에 습지가 발달되어 있으며, 우래저수지 및 용전저수지 주변에도 저수지습지가 발달되어 있어 높은 점수로 평가되었다. 적합성지수 종합결과, 2점에서 18점까지 평가되었으며, 'Very high'와 'High' 등급이 19,914m², 396,656m²로 대상지 면적의 10.94%를 차지하고 있고, Moderate 등급은 2,410,073m²로 대상지의 약 63%를 차지하고 있다. 대상지는 전반적으로 빗물여과에 있어서는 보통의 특성을 가지며, 계획 및 설계 시 빗물여과공간 조성을 위한 다양한 정화식생 및 습지 등의 환경을 조성해줄 필요가 있다.

빗물저류공간의 경우, 수계가 발달된 곳은 토양의 배수능력이 떨어지므로 대상지 내부를 흐르는 석정천과 울곡천을 따라 높은 점수로 평가되었으며, 하천으로부터의 거리가 가까울수록 적합성지수가 높았다. 또한 대상지 북측의 봉화재 일대와 중앙의 산림이 10% 이상의 경사를 보여 1점으로 평가되었다. 적합성지수 종합결과, 5점에서 25점까지 평가되었으며, 대부분 수로를 중심으로 발달된 습지 지역이 높은 점수로 나타났다. 'Very high' 등급이 846,821m²로 전체 면적의 22.24%를 차지하고 있었고, 'High' 등급은 1,962,896m²로 전체면적의 42.9%를 차지하고 있어 이 두 개 등급이 대상지 전반에 걸쳐 다수 분포하고 있었다. 그러므로 대상지는 전반적으로 빗물저류에 있어 양호한 특성을 보이는 지역이라고 판단할 수 있다.

빗물이동공간의 경우, 대상지 북측의 봉화재 일대 등의 산림은 6% 이상이고, 농경지 일부는 2% 이하로 빗물이동에 적합하지 않아 1점으로 평가되었고, 수원인 하천으로부터의 거리가 가까울수록 빗물이동공간의 적합성지수가 높게 평가되었다. 또한 대상지 내 울곡천 서쪽의 토양은 Sandy loam 성분으로 적합성 지수 5점으로 평가됐으며, 대상지 대부분은 점토질 토양으로 3점으로 평가되어 중간정도의 적합성을 가지고 있다고 평가되었다. 적합성지수 종합결과, 2점에서 15점까지 평가되었으며, 2,158,026m²의 면적이 'Moderate' 등급의 평가가 이루어졌고, 'High', 'Very high'의 경우는 전체의 7.46% 면적을 차지하고 있다. 대상지는 물순환체계 계획 및 설계 시 기존의 수계를 중심으로 빗물이동공간을 설치하되, 추가적인 수로를 더 설치할 필요가 있다.

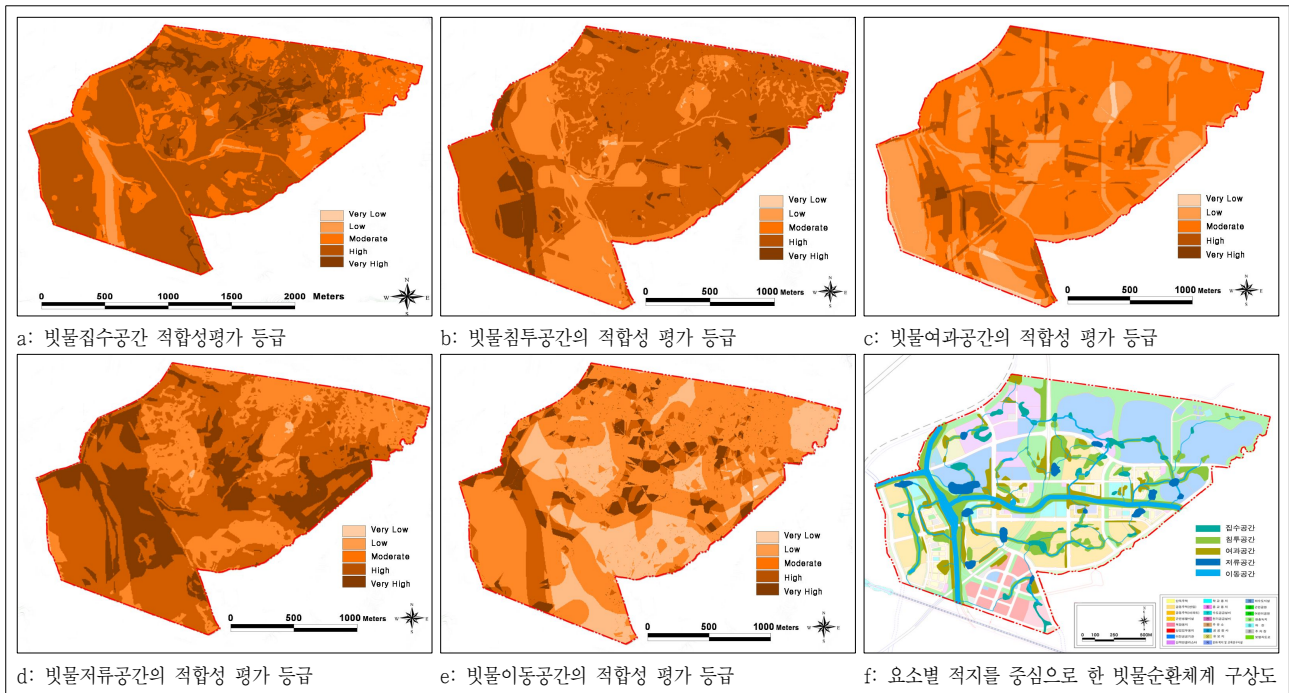


그림 2. 빗물순환체계 요소별 적합성 평가 등급도 및 요소별 적지를 중심으로 한 빗물순환체계 구상도

이러한 방법의 적용을 통해 공간별 점수를 한눈에 알아볼 수 있게 됨으로써 빗물순환체계 계획 시 집수, 저류, 여과, 침투, 이동기능에 적합한 공간이 어디인지에 대해 쉽게 파악할 수 있으며, 높은 점수가 나온 지역은 자연적인 빗물순환체계 구축에 있어 우선적으로 검토될 수 있다. 또한 점수가 낮게 나온 지역에 빗물관리 시설을 설치해야 할 경우에는 본 연구에서 제시한 평가 항목 및 기준에 맞는 물순환 기능을 잘 할 수 있도록 공간의 재조성이 필요할 것이다.

마지막으로 최종 선정된 각 요소별 우선 입지를 바탕으로 현재 토지이용계획 도면 위에 빗물순환체계 구상도를 작성해 봄으로써 빗물순환체계 계획 수립을 위한 기본골격을 설정하였다. 이 구상도는 앞서 도출된 종합결과 중 각 요소별 상위 30% 이내 지역을 바탕으로, 빗물집수, 침투, 여과, 저류, 이동공간의 적지를 연계하여 개략적으로 작성하였다. 각 등급별 최종결과, 도면에서도 살펴볼 수 있듯이, 일부지역은 넓은 면적의 집수, 저류, 침투 등의 적지가 존재하여 최대한 기존 토지를 그대로 이용할 수 있는 반면, 일부지역은 토지개량이나 인공적인 빗물관리 시설이 부분적으로 도입될 필요가 있다. 그러므로 대부분의 빗물순환체계 요소는 적지분석 결과에 충실히 따라 입지가 선정되었으나, 빗물 이동공간의 경우는 적지분석을 통해 나온 결과 외에도 집수, 침투, 여과, 저류 등 면적인 다른 요소들을 연결하기 용이하도록 임의적으로 조성하였다.

이처럼 본 연구 결과를 토대로 기존 토지이용계획에서 제시한 용도지역 위에 기존의 자연환경 및 토지의 특성에 맞는 적지에 빗물순환체계 요소를 조성할 수 있으며, 추후 진행될 환경생태계획 시 단지 별로 도입될 수 있는 각 빗물순환체계 요소를 그 기능에 맞게 배치시킬 수 있다. 이를 통해 도시지역의 물순환체계 조성 시 계획가 및 설계가들에게 있어 유용한 도구로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

V. 결론

본 연구는 신도시 개발 등 개발예정지에 빗물을 이용하여 자연적인 빗물순환체계를 구축하는데 중점을 두고 있으며, 빗물관리에 있어 개별적인 기술 및 기법 위주로 진행되었던 선행연구와는 달리 자연적인 빗물순환체계 요소별 입지선정 방법을 제시하고 있다. 특히 도시차원에서 쉽게 적용할 수 있는 빗물순환체계 요소별 항목 및 기준을 도출하여 공간계획과의 연계가 가능하게 하였으며, 국내 도시차원으로 적용하여 지속가능한 도시개발을 위한 도시계획 수단으로 쉽게 이용될 수 있게 하였다.

본 연구의 의의를 제시해 보면 다음과 같다. 첫째, 본 연구에서는 환경생태상세계획 단계에서 도시차원에 적용할 수 있는 빗물순환체계 기능별 요소 및 각 요소별 항목 및 기준을 도출

하여 공간계획과의 연계가 가능하게 하고 있다. 이러한 방법은 지속가능한 도시개발을 위한 친환경적 도시계획의 수단으로 이용될 수 있다는 점에서 큰 의의가 있다고 할 수 있다.

둘째, 빗물관리에 있어 개별적인 기술 및 기법 위주로 진행되었던 선행연구와는 달리 자연적인 빗물순환체계 요소별 입지의 연결을 통해, 도시차원의 자연적인 빗물순환체계를 구축할 수 있게 하였다.

셋째, 자연적인 요소를 통한 빗물순환체계 구축으로 도시화로 인해 발생하는 유출량 문제를 해결하고, 홍수조절 등의 기후변화에 현명하게 대응할 수 있게 하였으며, 수면적 및 녹지 면적의 증가로 도시 내 생물다양성 또한 증진시킬 수 있는 도시차원의 통합빗물관리 방법을 개발하였다는 데에 의의가 있다.

넷째, 통합빗물관리를 위한 요소별 입지선정 방법을 국내 도시차원으로 적용하여 저영향개발(LID) 접근을 통한 공간계획의 실현가능성을 제시하였다.

그러나 이러한 의의에도 불구하고 본 연구는 다음과 같은 몇 가지 한계점을 가진다. 첫째, 본 논문에서는 빗물순환체계의 5가지 요소별 입지선정 방법을 개발하였으나, 더 나아가 각 요소별로 도입가능한 시설들이 충족해야할 구체적인 항목 및 기준의 개발로 세부적인 입지의 선정이 필요하다.

둘째, 본 논문에서는 각 요소별 입지 우선지역에 대해서 등급으로만 제시만 하고, 각 유역별 유출량 및 유입량의 계산을 통한 빗물관리지역의 구체적인 면적산정이 이루어지지 않고 있어 빗물순환체계의 요소별 적지 면적을 정확히 추정하기가 어려웠다. 추후연구에서는 보완할 필요가 있을 것이다.

셋째, 각 요소별 입지 선정시 항목이 상이함에도 불구하고 동일한 5점, 3점 척도를 통해 문헌에서 고찰되는 가치평가의 기준을 동일하게 적용하였다는 점은 본 연구에서의 한계점이라 할 수 있다. 따라서 추후 연구에서는 각 항목별로의 가중치가 부여되어야 할 것이다.

주 1. 5단계 평가는 문헌이 정성적일 경우, 3단계 평가가 되는 문제점이 있지만 인간의 가치판단과 가장 근접해서 정확한 평가를 내릴 수 있으며(환경정보과학, 1992), 3단계 평가는 평균점이 존재하여 평가가 용이하다(박진희, 2005).

주 2. 본 연구의 사례대상지는 김천 혁신도시 개발지로서 현재 시공 중에 있는 곳이다. 본 연구에서 사용한 데이터는 2007년, 2008년 조사 자료를 토대로 하였지만, 본 연구에서 개발한 평가항목 및 기준의 내용이 기존의 토지 및 환경을 평가하는 부분이 대부분이고, 계획 후 토지이용을 측정하는 부분은 단순히 토지이용계획 상의 용도지역에 대해 평가하고 있다. 특히 본 연구에서는 개발된 방법을 적용하여 도시에서의 적용가능성을 본 것이기 때문에, 5년이 지난 데이터어도 본 연구에서 적용하기에는 문제가 없다고 판단된다.

주 3. 이는 J. Mwenge Kahinda(2008)에서 제시하는 빗물집수를 위한 적합성평가 결과의 등급화 단계로 각 항목별 점수를 더한 후 전체 점수에 $Very\ low < 20\%$, $20\% \leq Low < 40\%$, $40\% \leq Moderate < 60\%$, $60\% \leq High < 80\%$, $80\% \leq Very\ high < 100\%$ 로 구분하고 있다.

주 4. 더 정확한 입지 선정을 위해서는 5가지 요소별로 도입될 수 있는 시설

을 선정하여 각 시설별 입지를 선정하는 것이 정확도가 높으나, 각 요소별로의 도입시설은 대상지 면적 및 대상지 환경, 유출량에 따라 달라질 수 있으므로, 본 논문에서는 통합빗물관리를 위한 빗물순환체계 5가지 요소별 적지선정 방법을 개발하기로 한다.

인용문헌

1. 국토연구원(2005) 생태적 도시개발을 위한 물순환 체계 확보방안 연구.
2. 권경호(1999) 유출수 저류 침투를 위한 자연배수체계 설계지침에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
3. 권전오(2003) 환경친화적 택지개발계획 수립을 위한 환경생태평가방법 활용에 관한 연구. 서울시립대학교 조경학 대학원 박사학위논문.
4. 김귀곤(2008) 지속가능 환경생태계획론: 이론과 실제. 드림미디어.
5. 김영관(2007) 빗물관리시설 설치 및 관리 매뉴얼 작성. 서울시정개발연구원.
6. 김지선(2008) 생태도시 조성을 위한 서귀포시 물순환체계 계획에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
7. 박은진(2007) 물순환을 고려한 도시녹지 기능 제고방안. 경기개발연구원.
8. 서울특별시(2004) 서울시 물순환기본계획 연구. pp. 619.
9. 손삼기(2000) 도시화된 지역에서 빗물의 지하침투 증대를 통한 토양환경 변화분석에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
10. 신수용(2006) 친환경 건축을 위한 빗물이용시설 보급확대 방안. 세명대학교 대학원 석사학위논문.
11. 이상규(2005) 경기도 주거지개발시 빗물관리 및 도입방안에 관한 연구. 경기개발연구원.
12. 이우준(2006) 생태캠퍼스 구현을 위한 빗물이용 방향설정 연구. 동국대학교 대학원 석사학위논문.
13. 이은석(2007) 저밀도 기성개발지의 물순환체계 개선에 관한 연구: 서울대학교 관악캠퍼스를 중심으로. 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
14. 임유리(2007). 생물다양성 증진을 위한 유휴농경지 습지복원 적지선정에 관한 연구: 군포시 반월천 유역을 사례로. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
15. 진은진(2001) 도시화에 따른 수문환경의 변화 분석에 관한 연구: SCS 유출모형을 활용한 저류용량산정에 관하여. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
16. 최지용, 장수환(2004) 유역관리 효율화를 위한 불투수면 지표개발과 적용 II. 환경정책평가연구원.
17. 최희선(2009) 신도시 물순환체계 구축을 위한 습지조성 입지선정에 관한 연구. 한국조경학회지 36(6): 43-54.
18. 한무영(2003) 지속가능한 도시의 물관리를 위한 빗물모이기와 빗물이용. 대한토목학회지 51(2): 62-77.
19. 한영혜(2005) 도시 주거지역에서의 분산식 빗물관리 계획모형 개발: 공동주택단지를 대상으로. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
20. 현경학, 장선영, 안성식(2006) 국내 공동주택단지 자연 순응형 빗물관리 시설 사례 분석. 환경영향평가 15(2): 111-119.
21. 환경부(1999) 생태도시 조성 기반기술 개발사업(3). 한국건설기술연구원. pp. 81-144.
22. Ahamed Medhat Mohamed Ali(2007) Water quality enhancement in Sloterbinnenpolder by adopting ecological engineering approaches. UNESCO- IHE. pp. 19-39.
23. ATV Arbeitshilfen-abwasser(1999) Arbeitsbericht der ATV- Arbeitsgruppe 1.2.6. Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten zur Angleichung an natuerliche Abflussverhaeltnisse. Korrespondenz Abwasser Heft4, 46. Jahrgang.
24. Booth and Renelt(1993) Consequences of urbanization aquatic systems measured effect, Degradation thresholds and corrective strategies. In Proceeding of Watershed '93.

25. City of Franklin(2002) Stormwater Best Management Practices- Permanent Stormwater Treatment Controls PTP 01. pp. 1-12.
26. Dreiseitl, H. and W. Geiger(1995) Neue Wege furdas Regenwasser, Handbuch zum Ruckhalt und zur Versickerung von Regenwasser in Baugebieten. Munchen.
27. Dunnett, N. and A. Clayden(2007) Rain gardens: Managing water sustainably in the garden and designed landscap. pp. 45-49.
28. Leccese, M.(1998) "Rocky Mountain Retrofit-A Colorado center will demonstrate how landscapes can be rethought to cleanse polluted storm water.". Landscape Architecture May, 1998 pp. 58-63.
29. Mbilini, B. P., S. S. Tumbo, H. F. Mahoo and F. O. Mkiramwinyi (2007) GIS- based decision support system for identifying potential sites for rainwater harvesting. Physics and Chemistry of the Earth 32: 1074-1081.
30. Mc Cuew, Allen P. and H. Richard(2005) Stromwater Management for Smart Growth, pp. 225-259.
31. Metropolitan Council(2001) Urban Small Sites Best Management Practice Manual.
32. Minnesota Metropolitan Council(2001) Minnesota Urban Small sites BMP Manual: Stormwater Best Management Practices for Cold Climates, pp. 213-219.
33. Mwenge Kahinda, J., E. S. B. Lillie, A. E. Taigbenu, M. Taute and R. J. Boroto(2008) Developing suitability maps for rainwater harvesting in South Africa. Physics and Chemistry of the Earth 33: 788-799.
34. Palmeri, L. and M. Trepel(2002) A GIS-based score system for siting and sizing of created or restored wetlands: two case studies. Water Resources Management 16: 307-328.
35. Prince George's County, Maryland(1999) Low-Impact Development Design Strategies: An Integrated Design Approach.
36. Ragul, K. and V. Sathish Kumar(2006) Rain water Management Using Remote Sensing and GIS. GIS Development
37. SAWSW(Swedish Association for Water and Sewer Works)(1983) Iowa Statewide Urban Design Standards Manual.
38. Simonds, J. O.(1983). Landscape Architecture, pp. 47-54.
39. Statewide Urban Design And Specifications(2007) Iowa State wide Urban Design Standards Manual.
40. U. S. Environmental Protection Agency(USEPA)(1993) Guidance Specifying Management Measures for Sources of Nonpoint Pollution in Coastal Waters. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Water, Washington, DC.
41. Urbonas, B. and P. Stahre(1993) Stormwater-Best management practices and detention for water quality, drainage and CSO management, pp. 7-30, 39-92.
42. Van Lonkhuizen R. A., K. E. Lagory and J. A. Kuiper(2004) Modeling the suitability of potential wetland mitigation sites with geographic information system, Environmental Management 33(3): pp. 368-375.
43. White, D. and S. Fennessy(2005) Modeling the suitability of wetland restoration potential at the watershed scale. Ecological Engineering 24: 359-377.
44. Yokota, S., T. Fukuda, A. Iwamatsu, T. Wada and H. masaki(1998) The effect fo rainwater infiltration within aslope of pyroclastic deposits, recorded using automated electric prospecting, Bull Engineering Geology Environment 57: 51

원 고 접 수 일: 2012년 5월 11일
 심사 일: 2012년 6월 14일(1차)
 2012년 6월 25일(2차)
 게재 확정 일: 2012년 6월 26일
 3인익명 심사필