

신도시 물순환체계 구축을 위한 습지 조성 입지 선정에 관한 연구

최희선* · 김귀곤**

*한국환경정책·평가연구원 · **서울대학교 조경·지역시스템공학부

Site Selection Model for Wetland Restoration and Creation for the Circulation of Water in a Newly-built Community

Choi, Hee-Sun* · Kim, Kwi-Gon**

*Division of Strategic Assessment, Korea Environment Institute.

**Dept. of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University

ABSTRACT

This study attempted to develop a model for selecting sites for ecologically effective, multi-functional wetlands during the environmental and ecological planning stage, prior to land use planning.

This model was developed with an emphasis upon the creation of a water circulation system for a newly-created city, dispersing and retaining the run-off that is increased due to urbanization and securing spaces to create wetlands that can promote urban biodiversity. A series of processes for selecting sites for wetland restoration and creation - watershed analysis, selection of evaluation items, calculation of weights, preparation of thematic maps and synthesis - were incorporated into the model. Its potentials and limitations were examined by applying it to the recently-planned WiRae New Community Development Area, which is located in the Seoul metropolitan region. At the watershed analysis stage, the site was divided into 13 sub-catchment areas. Inflow to watersheds including the area was $3,020,765\text{m}^3$. Run-off before and after development is estimated as $1,901,969\text{m}^3$ and $1,970,735\sim 2,039,502\text{m}^3$, respectively.

The total storage capacity required in the development area amounts to $68,766\sim 137,533\text{m}^3$. When thematic maps were overlapped during the selection stage for wetland sites, 13 sub-catchment areas were prioritized for wetland restoration and creation. The locations and areas for retaining run-off showed that various types of wetlands, including retaining wetlands (area wetlands), riverine wetlands (linear wetlands) and pond wetlands (point wetlands), can be created and that they can be systematically connected. By providing a basic framework for the water circulation system plan of an entire city, it may be used effectively in the space planning stage, such as planning an urban eco-network through integration with green areas.

In order to estimate reasonable run-off and create an adequate water circulation system, however, a feedback process following land use planning is required. This study strived to promote urban changes in a positive direction while minimizing urban changes in negative forms.

Key Words: Watershed Approach, New-Community Development, Eco-City, Environmental and Ecological Planning

Corresponding author: Hee-Sun Choi, Division of Strategic Assessment, Korea Environment Institute, Seoul 122-706, Korea, Tel.: +82-2-380-7611, E-mail: choihs@kei.re.kr

국문초록

본 연구는 새롭게 조성되는 도시의 물순환체계를 구축하고, 도시화로 말미암아 증가하는 유출량을 분산 저류함은 물론, 생물다양성을 증진시킬 수 있는 습지의 조성입지와 면적을 확보하는 것에 중점을 두었다. 습지조성 입지선정을 위하여 유역분석에서부터 평가항목 선정, 가중치 산출, 주제도 작성, 종합 등 일련의 과정을 모형으로 정립하였다.

개발된 모형은 수도권에 입지해 있는 위례 신도시 개발예정지역에 적용함으로써 모형의 실행가능성과 한계를 검토하였다. 적용 결과, 유역분석단계에서는 대상지가 13개의 소유역으로 구분되며, 개발대상지가 포함되는 유역들의 유입량은 3,020,765m³인 것으로 나타났다. 개발 전·후의 유출량을 비교하면 각각 1,901,969m³, 1,970,735~2,039,502m³로써 개발지역에서 확보해야 할 총 저류량은 68,766~137,533m³로 산출되었다. 습지조성 입지선정단계에서는 각각의 주제도를 중첩한 결과, 13개 소유역별로 습지조성 우선지역이 차등적으로 분류되었다.

유출량을 저류할 수 있는 습지의 입지와 면적을 도출한 결과, 저류형 습지와 하천형 습지, 연못형 습지 등 다양한 유형의 습지조성은 물론 이들의 유기적 연계가 가능한 것으로 판단되었다. 이는 도시 전체의 물순환체계 계획의 기본 골격을 제공함으로써 녹지공간과의 통합을 통해 도시생태 네트워크 계획 수립과 같은 공간계획단계에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단되었다.

그러나 본 연구는 토지이용계획 이전 단계에서 도시화로 인해 예상되는 잠재적인 유출량을 기준으로 습지의 입지와 면적을 산정함에 따라 정확한 저류량의 산정을 위해서는 토지이용계획 이후 환류(feedback)과정이 요구되었으며, 습지의 유형이나 입지적 특성에 따라서 저류량 등 저류능력이 달라질 수 있음에도 불구하고 문헌에서 고찰되는 일반적인 습지 저류량을 모든 습지에 동일하게 적용했다는 점은 본 연구의 한계라 할 수 있다.

주제어: 유역적 접근, 신도시 개발, 생태도시, 환경생태계획

1. 서론

도시의 지속가능성을 위해 우리나라에서는 일정규모 이상의 신도시 혹은 택지개발시 토지이용계획 수립 전에 보전하거나 복원해야할 서식처 혹은 공간을 우선적으로 선정하는 환경생태계획 개념과 기법의 도입을 권고하고 있다(국토해양부, 2007; 환경부, 2006). 이는 환경생태계획의 공간계획차원으로서의 발전을 도모하는 계기가 될 것으로 보인다.

특히 기후변화와 도시화로 인해 최근 더욱 큰 문제로 가시화되고 있는 홍수 피해 등 도시생태계의 훼손을 환경생태계획이 도입되는 개발계획 초기단계에서부터 고려함으로써 사전에 문제유발을 막는 하나의 해결수단으로도 고려될 것으로 보인다. 특히, 도시 물순환체계의 변화를 최소화하기 위해서는 도시화로 인한 과도한 유출량을 습지의 보전과 조성을 통해 분산 저류하여 연계하는 것이 필요하다.

그러나 도시의 물순환체계 구축과 도시생태계 향상을 위해 적절한 공간에 습지를 분산 배치하고 연결성을 도모할 필요가 있음에도 어느 지역에 얼마만큼 조성할 것인가에 대해서는 전문가마다 의견이 분분하여 종합적인 판단이 어려우며, 현장조사는 점·선적인 조사에 그치고 있어 현장조사를 통해 선정된 입지라 할지라도 확신을 갖기 어렵다. 따라서 합리적인 습지

조성을 위해서는 계획단계에 맞는 효율적이고 종합적인 입지 선정기법과 계획모형이 무엇보다 필요하다.

France(2003)는 홍수 조절용 인공습지의 면적을 유역 차원에서 도출하였으며, 특히, 습지의 성공적인 조성을 위해서는 유역의 기능분석을 통해 유역 내 주변 습지와 연계성을 함께 해야 함을 강조한 바 있다. 습지와 유역은 불가분의 관계임에도, 지역의 유역계획차원에서 습지의 관리와 계획이 이루어지지 못하고 있는데, 이를 극복하기 위해서 EPA(2000)는 유역차원의 습지보전전략 8가지 도구를 제시하고 있다.

이 외에도 습지보전, 복원 입지선정을 위한 연구들이 수행되고 있으나, 이 연구들의 대부분은 습지의 보전가치를 바탕으로 대상지에 맞는 항목과 기준, 기법 적용을 통해 유역 혹은 대상지 경계 내 보전과 복원의 우선 순위를 등급별로 설정하는 것을 최종 결과물로 도출하고 있다(Bohn, 2002; Olson and Harris, 1997; O'Neill *et al.*, 1997; Newbold, 2005; White and Fennessy, 2005).

본 연구는 현재까지 습지의 보전적 가치나 유역의 치수관리 혹은 수질관리 등에만 국한되었던 연구에서 나아가 도시의 지속가능성과 물순환체계 구축을 함께 도모할 수 있는 습지조성 지역을 합리적인 과정을 통해 찾고자 한다. 특히, 신도시 개발시 토지이용계획 전에 수립을 권고하고 있는 환경생태계획 단계에

서 활용할 수 있는 계획모형의 개발에 일차적 연구 목적이 있다.

본 연구의 결과는 환경생태계획단계에 적용되어 기존의 습지를 고려한 습지조성 입지 및 면적을 산출함으로써, 도시의 지속가능성을 높이는데 기여할 수 있을 것으로 생각되며, 도시생태네트워크 계획은 물론, 수자원 관리계획에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 보인다.

II. 연구의 범위 및 방법

1. 연구의 범위

본 연구의 공간적 범위는 신도시 개발예정지역인 위례 신도시(서울시 송파구 거여·장지동, 경기도 성남시 창곡·복정동, 하남시 학암·감이동 일원, 면적 6,768km²)로 선정하였다.

본 연구에서의 계획모형은 신도시개발 시 토지이용계획이 수립되기 이전에 진행되는 환경생태계획단계에서 적용하는 것으로 연구범위를 설정하였다. 내용적 범위에 있어서 본 연구에서 언급하는 물순환체계는 우수의 형태로 도시내로 유입되는 시점에서부터 유출되는 시점까지 도시에서 다양한 형태로 순환하는 물과 습지의 공간적 분포에 초점을 두어 연구하였다.

2. 연구의 방법

연구의 과정은 크게 입지선정 모형개발단계와 개발된 모형의 적용 및 평가단계로 구분할 수 있다. 모형의 개발은 기존 이론 및 문헌의 고찰을 통해 도출하였으며, 고찰 내용을 바탕으로 신도시 개발 시 우선적으로 고려되는 습지조성 입지선정 모형개발에 적용하였다.

1) 습지조성 입지선정 모형 개발

이론 및 문헌고찰을 바탕으로 습지조성 입지선정 모형을 개발하였다. 모형의 첫 번째 단계는 유역구분 단계로 유역 내 유출량의 규모나 배수구 위치 등 습지조성지역을 선정하는 데 있어서 가장 기본이 되는 단계이다. 본 연구에서는 일반적으로 활용되는 단위를 비롯해 유출량 산정 등에 효율적으로 적용될 수 있는 유역구분 및 단위를 조사하여 적합한 유역구분 단위를 도출하였다.

그 다음단계인 유역분석 방법은 기존의 유역평가 및 분석방법 등을 고찰하여 도출하였다. 유역분석의 하나로 개발대상지역이 포함된 유역을 인식하고 개발대상지가 포함된 유역의 유입량과 유출량 그리고 저류량을 산출하였다. 또한, 개발로 인해 발생할 수 있는 유출량의 변화를 추정함으로써 신도시 개발로 인한 유출량 변화를 보상할 수 있는 습지조성 면적을 산출하였다. 유입량과 유출량, 저류량의 산출에는 다양한 방법이 있으나, 본 연구에서는 환경생태계획 단계에서 산출하기에 용이한

방법을 선택하고자 하였다.

습지조성 입지선정 항목 및 기준은 1차적으로 이론과 문헌 고찰을 통해 도출하였다. 항목은 습지가 갖는 기능 중 공간계획적 차원에서 주요하게 고려될 수 있는 ① 물순환체계 구축, ② 생물다양성 향상, ③ 홍수 저감 등 크게 세 가지 측면을 고려하여 살펴보았다. 또한, 우리나라의 법, 지침 등에서 언급되는 항목들을 종합하여 도출하였으며, 도출된 항목들은 전문가 설문을 통해 의견을 수렴하여 최종적으로 습지조성 입지에 고려될 6개 항목을 도출하였다. 설문대상자는 습지조성 이론과 실무경험이 풍부한 전문가로 구성하였다. 설문은 대상자 54명에게 설문지를 배포하고, 이 중 22명의 답변을 분석 종합하였다.

최종 도출된 항목 및 기준은 가중치 산출을 위해 다시 관련 전문가들을 대상으로 계층분석방법(Analytic Hierarchy Process: AHP)을 실시하였으며, 설문을 통해 최종 평가 항목과 항목별 기준의 가중치를 도출하였다.

계층분석방법은 우선 물순환체계 분야와 습지생태 및 환경계획분야로 구분하여 각각 수리, 수문, 토목, 단지설계분야의 전문가와 생물, 생태, 환경생태계획 분야의 전문가로 세분하여 설문조사를 실시하였다. 전문가들은 각 학교 혹은 관련 업계에 종사하는 사람으로 박사학위를 취득하고 관련 분야의 기술사 자격을 가지고 있거나, 실무경험이 10년 이상인 사람들을 대상으로 하였다. 물순환체계분야 13명, 습지생태 및 환경계획분야 12명에게 설문지를 배포하여, 이중 유의성이 있는 총 18명의 응답내용을 종합하여 분석하였다.

최종 도출된 유역분석 방법, 입지선정 항목 및 항목별 기준을 구체적으로 대상지에 적용할 수 있는 실행기법을 도출하였다. 유역단위 구분에서부터 유역분석, 습지조성 입지선정 항목과 항목별 기준이 단계별로 적용될 수 있는 방안을 마련하였다. 설문조사 분석에는 ExpertChoice11을 활용하였다.

2) 개발된 모형의 적용 및 평가

모형의 적용은 물순환체계 구축이 요구되는 도시로서 최근 개발예정지역으로 고시된 위례신도시를 대상으로 하였다. 개발된 모형에 따라 사례지역의 유역을 구분하고 분석하였으며, 이를 바탕으로 조성해야 할 습지의 입지를 최종 도출하였다. 선정된 입지를 골격으로 도시 전체의 물순환체계 계획을 수립하였다. 도시 물순환체계 계획은 선정된 습지조성 입지를 바탕으로 면적, 선적, 점적 요소의 물순환체계 요소를 도입하여 최종 물순환체계 계획도를 작성하였다. 또한, 수립된 물순환체계 계획의 적절성을 검증하기 위하여 해당지역의 습지조성 차원에서 입지적 특성과 주변의 토지이용 등을 통합적으로 살펴보는 등 현장 조사를 실시하였다.

모형적용에는 GIS 도구로서 ArcGIS9.0, ArcView3.3, Arc-Hydro1.1 Extension 프로그램을 활용하였다.

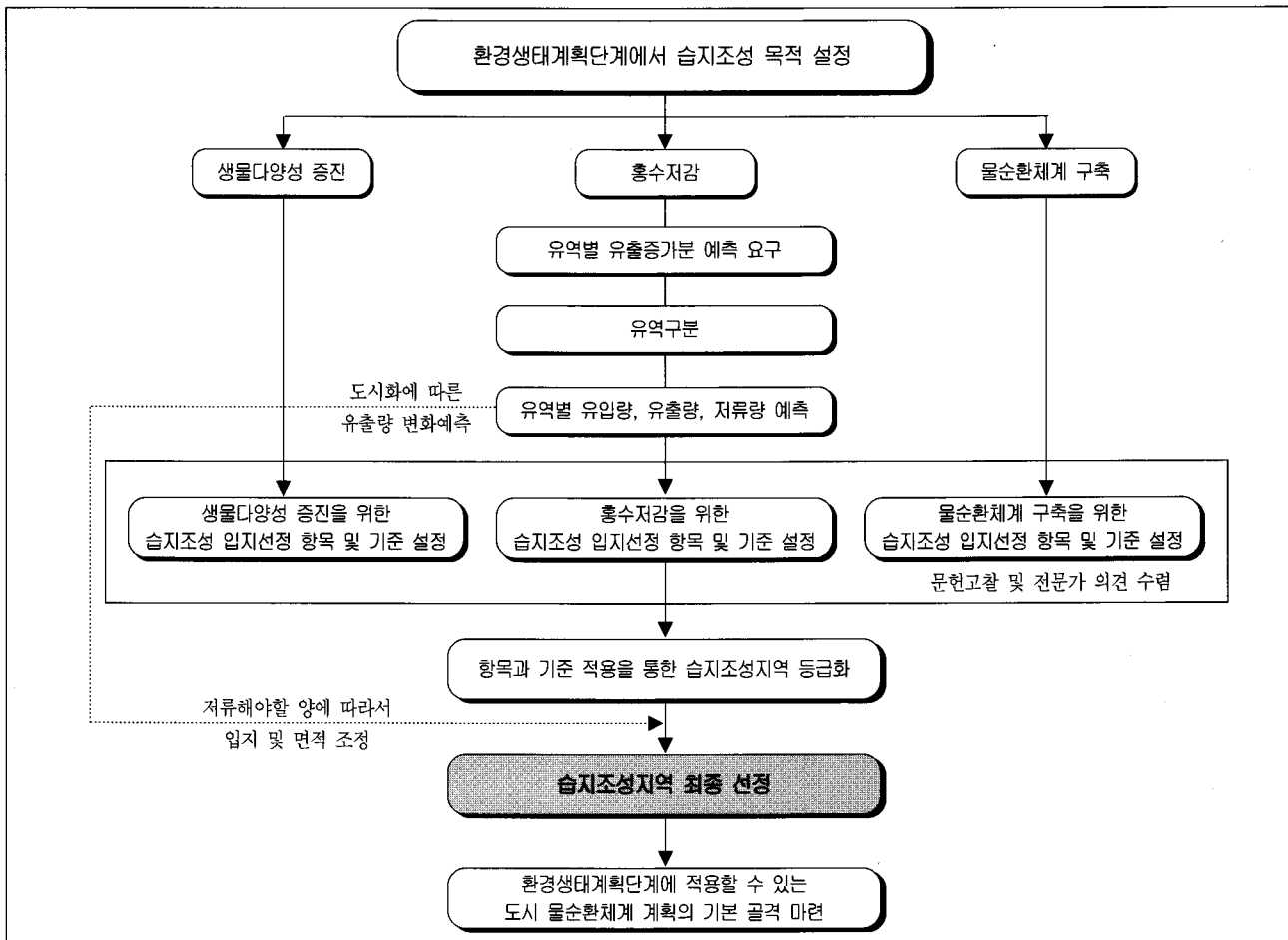


그림 1. 모형의 접근체계

III. 연구의 결과

1. 습지조성 입지선정 모형개발

1) 모형의 접근방법 및 체계

본 연구에서는 신도시 물순환체계 구축을 위한 유역 차원의 습지조성 입지선정 모형 개발을 위해 다음의 사항을 전제로 한다.

- 대상지의 현존 습지는 보전 혹은 복원 가치가 있으며, 본 연구에서 논하는 습지조성 대상에 포함시킴
- 개발 후의 유출량 변화에 있어서 다른 기 개발된 도시들과 유사하다고 봄
- 습지의 주요한 기능 중 홍수 저감, 생물다양성 향상, 물순환 체계의 기능을 중심으로 하며, 수질정화 기능의 향상은 습지의 입지선정 단계가 아닌 습지 규모 및 설계단계에서 고려하는 요소로 간주함¹⁾

최종 도출된 지역은 물순환체계 계획의 기본 골격이 되며, 이를 바탕으로 도시 전체의 물순환체계 계획과 더 나아가서는 도시의 토지이용계획이 수립될 수 있다(그림 1 참조).

2) 모형의 개발

(1) 유역의 구분

유역의 경계설정에는 수문분석 이외에 환경분석에서도 공통적으로 수행하는 항목 중의 하나이다(Djokic and Miller, 1997).

일반적으로 유역의 경계설정에는 수치고도모형(DEM: Digital Elevation Models)를 이용하여 GIS 프로그램으로 분석을 실시하거나, 지형도를 활용해 능선을 중심으로 유역을 구분할 수 있다. 본 연구에서는 유역내 유출량의 정확한 산출을 위해 평가유역과 사업지구의 면적 이 유사한 집수구역(Catchment) 단위로 구분하여 유출량 및 저류량을 산출하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다²⁾.

(2) 유역분석

유역의 물수지는 초과강우(P_e) 또는 유출량(R) = 강우(P) - 유역저류량(S)으로 살펴볼 수 있다.

유역 차원의 도시 물순환체계 구축을 위해서는 유역 내 유입량과 유출량, 유역 내에서 요구되는 저류량 등 도시 물수지 산

출이 요구된다.

따라서 본 연구에서 분석하는 유역분석 항목은 유입량(P), 유출량(R), 저류량(S)이다. 이는 개발 전과 개발 후로 나누어서 각각 분석하였다³⁾. 이 중 유출량 산출을 위해 적용될 수 있는 방법에는 합리식, SCS의 합성단위도법(이하 SCS 방법), 표준유출법 및 다양한 형태의 수문모형이 적용될 수 있으나, 이 중 최근에 가장 일반적으로 사용하고 있는 합리식과 SCS 방법을 비교·검토하였으며, 최종적으로 SCS 방법을 선택하였다⁴⁾.

① 개발 전 유역분석

㉑ 유입량

$$Q = C \times A \times I \tag{식 1}$$

단, Q : 유입량(m^3)

C : 유출계수, A : 유역면적(m^2), I : 확률강우량(m)

㉒ 유출량

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \tag{식 2}$$

단, Q : 유효강우량(직접유출량 혹은 초과강우량)(mm)

P : 확률강우량(mm)

S : 흙의 최대 가능 저류량, $S = \frac{25,400}{CN} - 254$

CN : 유출곡선지수

총유출량을 일정 지속기간 동안의 유출용적으로 구하면 다음과 같다.

$$V = Q \times A \tag{식 3}$$

단, V : 유역에서의 총유출량(m^3), Q : 유효강우량(mm),

A : 유역면적(m^2)

㉓ 저류량

$$S = P - R \tag{식 4}$$

단, S : 저류량(m^3), P : 강우(m^2),

R : 초과강우 또는 유출(m^3)

② 개발 후 유역분석

㉑ 유입량

개발전과 개발후의 유입량은 동일하기에 때문에 앞서 산출한 개발 전의 유입량을 적용한다.

㉒ 유출량

$$V' = V \times \Delta \tag{식 5}$$

단, V' : 유역에서의 개발 후 유출량(m^3),

V : 유역에서의 개발 전 유출량(m^3),

Δ : 개발 후 추정 증가분(0.1~0.2)

㉓ 저류량

$$S \geq S_2 - S_1 \tag{식 6}$$

단, S : 저류량(m^3) S_1 : 개발 후 잠재유출량(m^3)

S_2 : 개발 전유출량(m^3)

(3) 습지조성 입지선정 항목 및 기준의 도출

본 연구에서는 도시 물순환체계 구축을 위해 다양한 기능이 고려되는 습지조성 입지선정 항목을 선정하였다. 1차적으로 선정된 항목을 바탕으로 전문가설문, 항목간의 중복성, 기초 자료의 유무와 자료 확보의 용이성 등을 고려하여 최종 도출하였다(그림 2 참조).

이러한 사항들을 종합적으로 고려하여 최종적으로 도출된 항목과 기준을 도출하였으며, 항목은 크게 토지이용/토지피복, 수문, 홍수범람지역, 지형, 토양배수능력, 서식처와의 연결성으로 도출되었다(표 1 참조).

(4) 계층분석방법(AHP)에 의한 입지선정 항목 및 항목별 기준의 가중치 도출

계층분석방법을 통해 기준에 도출된 습지조성 입지선정 항목 및 항목별 기준에 대한 가중치를 도출하였다. 계층 1에 해당하는 6개 항목의 가중치는 토지이용/토지피복 0.075, 수문 0.196, 홍수범람지역 0.133, 지형 0.146, 토양배수능력 0.191, 서식처와의 연결성 0.259로 서식처와의 연결성, 수문, 토양배수능력, 지형, 홍수범람지역, 토지이용/토지피복 순으로 도출되었다. 계층 2에 해당하는 각 항목별 기준의 가중치를 비롯해 항목

항 목	입지선정단계	분류 및 조성 단계	활용 자료
서식처 크기	-----●		항공사진, 현존식생도, 조사
수문	-----●		DEM
수질	-----●		조사
홍수범람지역	-----●		기존자료
지형	-----●	통합	DEM
토양	-----●		정밀도량도
역사성	-----●		기존자료
인공에서 서식하는 식생	-----●		현존식생도
토지이용/피복	-----●	통합	토지피복도, 토지이용현황도
서식처와의 연결성	-----●	통합	토지피복도, 조사
생물다양성	-----●	통합	조사, 생태자연도
토지소유	-----●		기존자료
도시지역으로부터의 거리	-----●		토지피복도, 토지이용현황도
주변 경관과의 조화	-----●	통합	조사, 생태자연도

그림 2. 습지조성 입지선정에서 고려되는 항목의 종합

표 1. 습지조성 입지선정 항목별 기준 및 가중치

항목 (가중치)	습지조성 입지선정 항목별 기준	출처	가중치	
			항목 내	전체 (적용 가중치)
	· 저류지, 연못, 호수 등의 개방수면 · 습지 및 수변식생대		보전	보전
토지 이용/ 토지 피복 (0.075)	· 논 · 밭 · 나지 : 훼손지 · 초지 · 관목림 · 습성 교목림 · 건성 교목림 · 시가화지역	· O'Neill <i>et al.</i> (1997) · Palmeri and Trepel(2002) · Rohde <i>et al.</i> (2006) · Russell <i>et al.</i> (1997)	0.270 0.074 0.076 0.144 0.096 0.240 0.073 0.027	0.020 0.006 0.006 0.011 0.007 0.018 0.005 0.002
수문 (0.196)	· 수원지로부터 50m 이내 · 수원지로부터 50~100m 이내 · 수원지로부터 100~150m 이내 · 수원지로부터 150~200m 이내 · 수원지로부터 200m 이상	· Brophy(2005) · Macdonald <i>et al.</i> (2006) · Palmeri and Trepel(2002)	0.440 0.220 0.150 0.110 0.080	0.086 0.043 0.029 0.022 0.016
홍수범 람지역 (0.133)	· 20년빈도 홍수위 범람지역 · 30년빈도 홍수위 범람지역 · 50년빈도 홍수위 범람지역 · 80년빈도 홍수위 범람지역 · 100년빈도 홍수위 범람지역 · 현재와 달리 과거 지형상으 로 습지로 인식되는 지역	· Brophy(2005) · Palmeri and Trepel(2002) · Rohde <i>et al.</i> (2006)	0.410 0.200 0.140 0.100 0.080 0.070	0.054 0.027 0.019 0.013 0.011 0.009
지형 (0.146)	· 경사 5% 미만 · 경사 5~10% · 경사 10~15% · 경사 15% 이상	· Jubenville (1976) · Palmeri and Trepel(2002) · Rohde <i>et al.</i> (2006)	0.480 0.240 0.160 0.120	0.070 0.035 0.023 0.018
토양 배수 능력 (0.191)	· 매우 불량 · 약간 불량 · 약간 양호 · 양호 · 매우 양호	· O'Neill <i>et al.</i> (1997) · Palmeri and Trepel(2002)	0.440 0.220 0.150 0.110 0.080	0.084 0.043 0.029 0.021 0.015
서식처 와의 연결성 (0.259)	· 서식처로부터 50m 이내 · 서식처로부터 50~100m 이내 · 서식처로부터 100~150m 이내 · 서식처로부터 150m~200m 이내 · 서식처로부터 200m 이상	· Brophy (2005) · Macdonald <i>et al.</i> (2006) · Rohde <i>et al.</i> (2006)	0.440 0.220 0.150 0.110 0.080	0.114 0.059 0.039 0.028 0.021
합계	-	-	6.000	1.000

과 기준을 모두 고려한 최종 적용 가중치는 표 1과 같으며, 토지이용/토지피복에서 개방수면과 습지 및 수변식생대는 보전하는 것을 원칙으로 하였다. 최종가중치는 항목가중치와 항목내 기준별 가중치를 곱하여 산출되었으며, 합은 1이 된다.

2. 개발된 모형의 적용 및 평가

1) 사례지역의 선정 및 경계인식

모형이 적용될 위례신도시 개발예정지역은 입지적으로 한강

이남의 서울과 경기도에 걸쳐 있으면서, 주변으로는 청량산과 탄천이라는 자연자원이 둘러싸여 있다. 동측의 양호한 생태적 여건을 가진 청량산과 서측의 탄천을 연계시킬 수 있는 도시로의 조성방안 또한 요구된다.

2) 유역의 구분

유역은 물순환체계와 관련하여 중요한 지형인자 추출 요소로서 수문분석에서 보편적으로 수행하는 과정 중의 하나이다(성효현 등, 2000). 본 연구는 유역의 경계설정을 위하여 수치고도모형인 DEM⁵⁾을 구축하여 필요한 지형인자를 자동으로 추출하였다.

최종 구축된 수치고도모형(DEM)으로부터 유역경계를 추출하는 과정은 첫째, 지표수의 흐름방향(flow direction)을 계산하고, 둘째, 지표수의 누적흐름(flow accumulation)을 계산하며, 셋째, 유출구(outlet cell)에 영향을 미치는 지역을 결정하여 각 유출구에 영향을 미치는 지역을 역 추적하여 유역경계를 추출한다(이근상 등, 1999). 지표수의 흐름방향은 유로의 방향을 찾기 위하여 고도 값으로부터 가장 경사가 급한 인접 셀의 방향을 계산하는 것이고 지표수의 누적흐름은 각 셀에서 상대적으로 낮은 셀로 유입되는 모든 셀의 합을 분석하여 누적된 물의 이동을 계산하였다(성효현 등, 2000). 분석 결과, 대상지는 표준유역 「탄천02」와 「한강분류04」 유역에 포함되어 있으며, 면적은 각각 155.07km², 97.48km²로 나타났다. 2개의 표준유역은 유역구분과정을 통해 총 144개의 소유역으로 구분되었다. 이중 표준유역 「탄천02」는 92개의 소유역으로, 표준유역 「한강분류04」는 52개의 소유역으로 각각 구분되었다⁶⁾. 개발로 인해 발생할 수 있는 유출량을 산출하기 위해 대상지를 다시 소유역으로 구분하였으며, 그 결과 13개 집수구역(Catchment)⁷⁾ 단위의 소유역으로 구분되었다(그림 3 참조).

3) 유역분석

모형에 근거하여, 개발전과 개발후의 유입량, 유출량 저류량

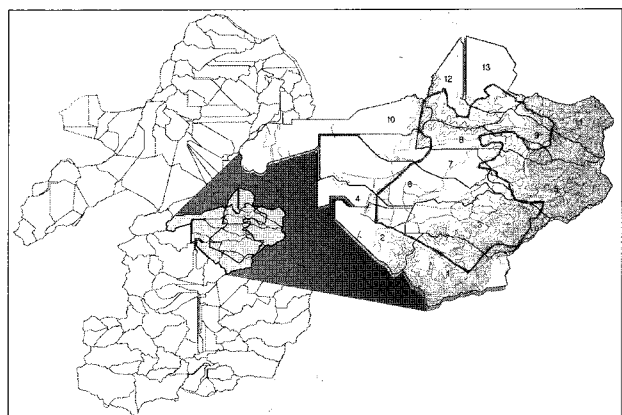


그림 3. 위례신도시를 포함하고 있는 소유역 구분

표 2. 필요한 저류량 산정 결과 (단위: m²)

소유역	개발 전 유출량	개발 후 유출량 (10%)	개발 후 유출량 (20%)	필요한 저류량 (개발 후 유출량 - 개발 전 유출량)
1	187,534.1	192,222.5	196,910.8	4,688.4~9,376.7
2	129,524.1	132,373.6	135,223.1	2,849.5~5,699.1
3	211,118.5	230,119.2	249,119.9	19,000.7~38,001.3
4	49,261.0	49,753.6	50,246.2	492.6~985.2
5	211,308.7	213,210.5	215,112.3	1,901.8~3,803.6
6	224,242.1	234,333.0	244,423.9	10,090.9~20,181.8
7	145,881.0	154,779.7	163,678.5	8,898.7~17,797.5
8	97,000.4	103,111.4	109,222.5	6,110.0~12,222.1
9	82,925.8	87,486.8	92,047.7	4,560.9~9,121.8
10	209,216.6	210,053.4	210,890.3	836.9~1,673.7
11	120,965.2	122,295.8	123,626.4	1,330.6~2,661.2
12	108,982.8	113,887.0	118,791.3	4,904.2~9,808.5
13	124,008.4	127,108.6	130,208.8	3,100.2~6,200.4
계	1,901,968.7	1,970,735.1	2,039,501.6	68,876.0~137,751.8

을 산출하였다. 구역에서의 유출량은 최소화하는 것이 바람직하나, 개발이전의 유출량을 초과하지 않도록 개발하기 위해 최소한 증가된 유출량만큼의 저류량을 습지조성을 통해 확보할 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

위례신도시 각 구역별로 확보해야 하는 저류량은 개발 후 유출량에서 개발 전 유출량을 뺀 값으로 산출하며, 다른 신도시와 같이 10~20% 유출량이 증가할 것을 기존 연구⁸⁾를 바탕으로 추정하여 산출한 결과는 표 2와 같다.

4) 습지조성 입지선정

습지조성 입지선정 평가항목에 따른 주제도를 작성하기 위하여 해당 자료를 수집하고 GIS분석이 가능하도록 자료를 변환하였다. 주제도는 토지이용/토지피복, 수문, 홍수범람지역, 지형, 토양배수능력, 서식처와의 연결성 등 총 6개의 평가항목별로 작성하였으며, 각 평가항목은 4~6개의 세부 기준으로 분류하였다 (그림 4 참조).

「토지이용/토지피복」은 환경부의 토지피복도와 항공사진을 기초로 하여 6차례 현장조사 결과를 반영하였다. 1/5,000 축척의 도면에 조사결과를 맵핑한 후에 각 속성값을 부여하는 방식으로 수치자료화 하였다. 「수문」은 앞서 구축된 「토지이용/토지피복」 주제도로부터 수원지를 추출하고 이들의 거리기준에 따라 버퍼링(buffering)하였다. 수원지는 연못, 하천 등 발생지점을 추출하였다.

「홍수범람지역」은 하천법에 의한 하천정비사업계획을 반영하여 빈도에 따른 홍수위 범람지역을 구분하였으며, 고 지도상에서 습지로 인식되는 지역을 포함하여 작성하였다. 본 대상지에서 고려한 하천정비사업계획 대상 하천은 대상지 내에 있는

장지천과 창곡천, 학암천이다. 「지형」은 앞서 구역구분에서와 같이 1/5,000 축척의 수치지형도를 수치고도모형(DEM)으로 변환하여 작성하였는데, 분석대상지의 면적을 고려하여 셀 크기를 1m×1m로 분석해상도를 설정하였다. 「토양배수능력」은 농업과학기술원에서 제작한 1/25,000 축척의 정밀토양도를 활용하여 세부 기준에 따라 작성하였다. 「서식처와의 연결성」은 앞서 구축된 「토지이용/토지피복」으로부터 서식처를 추출하고 이들의 거리기준에 따라 버퍼링(buffering)하였다.

「서식처와의 연결성」에서는 생물종 공급지역(Source area)이 될 수 있는 관목림, 교목림, 습지 및 유희농경지를 추출하였다. 입지선정 주요 항목과 세부 항목에 따라서 작성한 각각의 주제도는 그림 4와 같다.

앞서 작성한 주제도에 각 기준별 가중치를 부여한 도면들의 중첩을 통해 대상지 전체의 습지조성 입지선정 지역을 등급별로 도출하였다. 최종 점수는 0.354에서 0.038범위에서 산출되었으며, 표준편차 0.072, 평균 0.197로 나타났다. 이에 대해서 평균과 표준편차에 따라 9등급⁹⁾으로 구분하였으며, 각 등급별 습지조성지역을 개발예정 대상지에 13개 소유역 경계를 포함하여 등급별로 나타내면 그림 5와 같다.

5) 습지조성지역의 면적 산정 및 최종입지선정

개발 대상지에서 저류해야 할 저류량은 표 3에서 산출한 바와 같이, 유출량이 도시화로 인해 10~20% 증가한다고 할 때, 최소 68,766.4m³~137,532.9m³의 유출량을 저류할 수 있는 습지의 면적을 확보해야 한다. 0.4헥타르(ha)의 습지가 6,000m³의 물을 흡수한다는 기존의 연구¹⁰⁾를 바탕으로 할 때, 대상지 개발 후 증가되는 유출량을 저류하기 위해서는 최소 45,844.3m²~91,688.6m² 면적의 습지가 확보되어야 할 것으로 추정된다

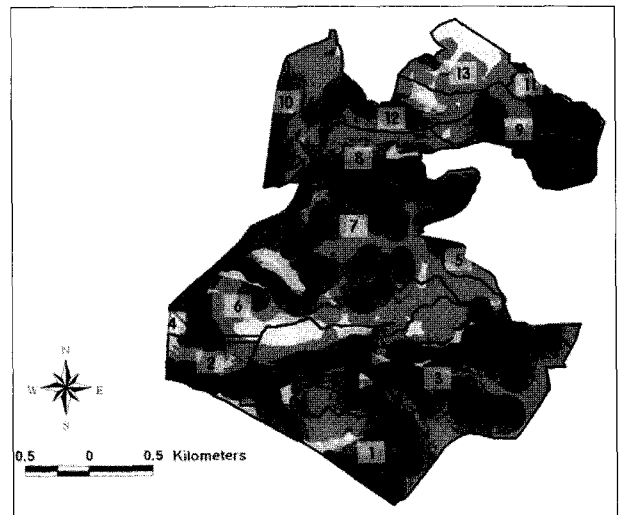


그림 5. 소유역별 습지조성 입지선정을 위한 도면중첩 결과
 범례: □ 소유역, ■ 1등급, ■ 2등급, ■ 3등급, ■ 4등급, ■ 5등급, ■ 6등급, ■ 7등급, ■ 8등급, □ 9등급

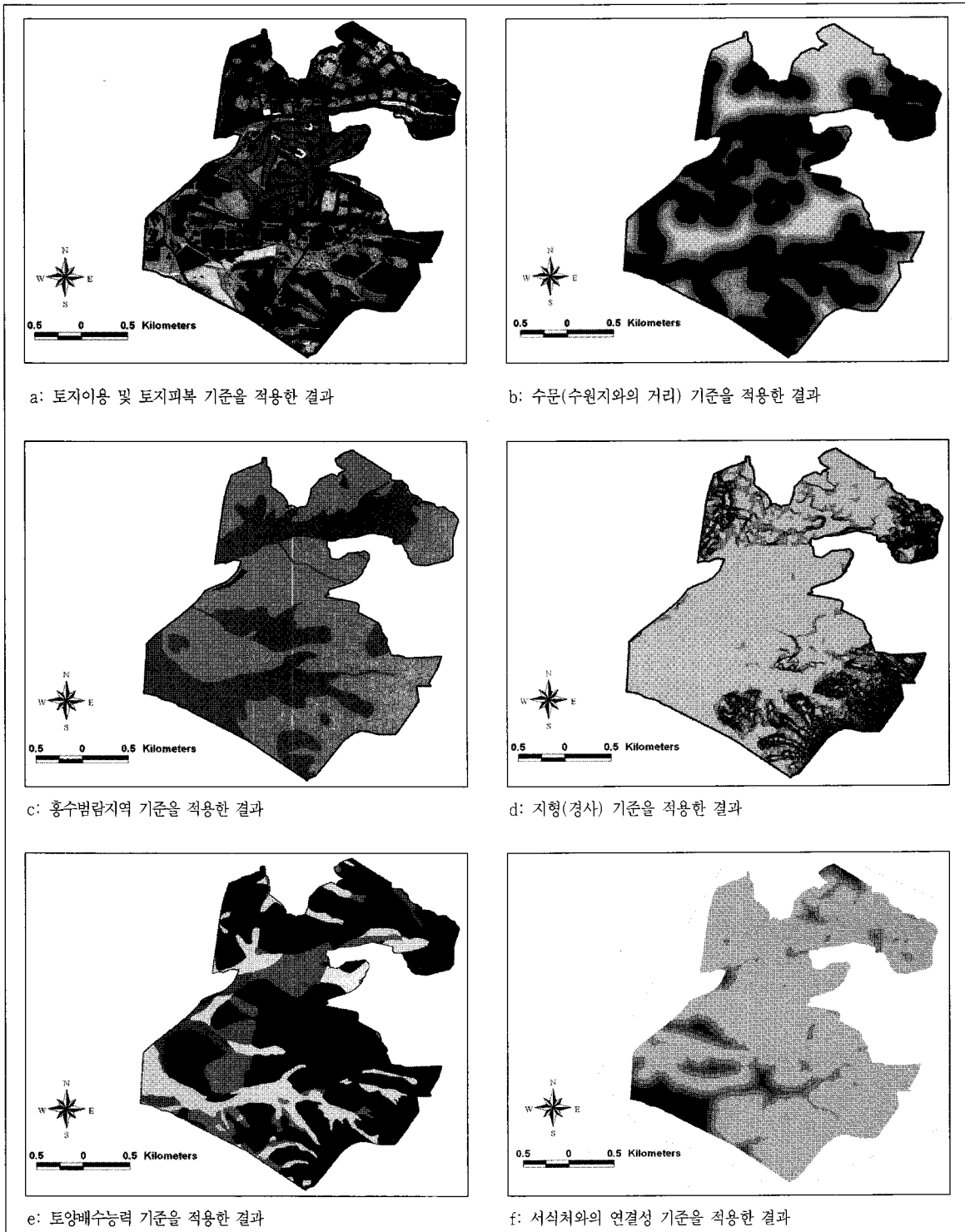


그림 4. 항목별 기준을 적용한 결과

범례: a: 토지이용/토지피복-	논,	밭,	나지,	초지,	습생교목림,	건설교목림,
b: 수문(수원지와의 거리)-	50m 이내,	50~100m,	100~150m,	150~200m,	200m 이상	
c: 홍수범람지역-	20년 빈도 홍수위,	30년 빈도 홍수위,	50년 빈도 홍수위,	80년 빈도 홍수위,	100년 빈도 홍수위,	
d: 지형(경사)-	5% 이하,	5~10%,	10~15%,	15% 이상		
e: 토양배수능력-	불량,	약간 불량,	보통,	약간 양호,	양호	
f: 서식처와의 연결성-	50m 이내,	50~100m,	100~150m,	150~200m,	200m 이상	

(표 3 참조). 개발대상지의 면적이 6,768,000m²인 것을 고려할 때 최소 확보해야 할 습지의 면적은 개발대상지 전체의 1.9~3.7%가 될 것으로 판단되며, 개발 전의 대상지 역시 일부 도시화가 진행된 곳이므로 추가적인 습지 확보를 통해 도시의 홍수 문제를 해결할 수 있을 것이다.

13개의 소유역으로 다시 구분하고, 각 유역별로 요구되는 저류량과 저류량 확보를 위해 요구되는 습지면적을 산출하였다

표 3. 소유역별로 필요한 저류량 및 저류량 확보를 위해 요구되는 조성습지 면적 (단위: m³)

소유역	필요한 저류량	저류량 확보를 위해 요구되는 습지 면적
1	4,688.4~9,376.7	3,125.6~6,251.1
2	2,849.5~5,699.1	1,899.7~3,799.4
3	19,000.7~38,001.3	12,667.1~25,334.2
4	492.6~985.2	328.4~656.8
5	1,901.8~3,803.6	1,267.9~2,535.7
6	10,090.9~20,181.8	6,727.3~13,454.5
7	8,898.7~17,797.5	5,932.5~11,865.0
8	6,110.0~12,222.1	4,074.0~8,148.0
9	4,560.9~9,121.8	3,040.6~6,081.2
10	836.9~1,673.7	557.9~1,115.8
11	1,330.6~2,661.2	887.1~1,774.2
12	4,904.2~9,808.5	3,269.5~6,539.0
13	3,100.2~6,200.4	2,066.8~4,133.6
계	68,766.4~137,532.9	45,844.3~91,688.6

(표 3 참조).

표 4에서 살펴볼 수 있는 바와 같이, 충족해야 할 저류량을 기준으로 습지면적을 각 유역별로 산출해 보면 등급에 따라서 차이가 발생하는 것을 살펴볼 수 있다. 따라서 본 연구에서 접근하였던 유역 차원의 접근을 고려할 때, 소유역 차원에서 저류량을 충족하는 습지의 입지와 면적을 산정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 또한, 이는 조성해야 할 습지를 분산 배치함으로써 생태적으로도 긍정적인 효과를 창출할 수 있다.

위의 결과를 토대로 도시개발로 인해 20% 유출량이 증가했을 경우, 이를 충족시키는 입지와 면적의 범위를 도면화하면 그림 6과 같다.

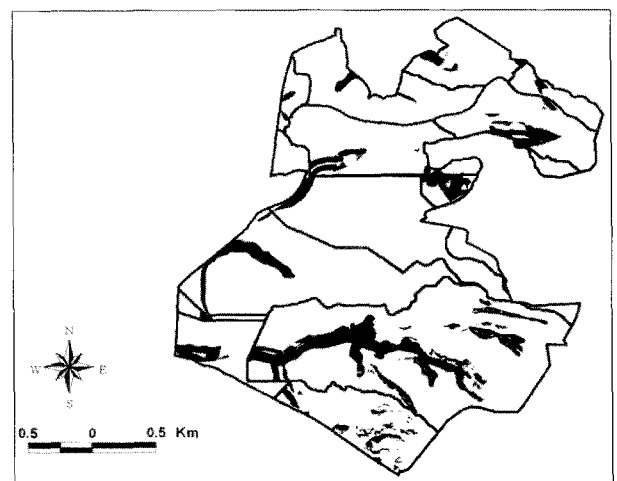


그림 6. 개발 후 유출량 20% 증가에 따른 습지조성 가능지 분포도
 범례: □ 소유역 경계, ■ 1등급, ■ 2등급, ■ 3등급, ■ 4등급, ■ 5등급

표 4. 소유역별 등급에 따른 습지조성 가능지역 면적의 누적합계 (단위: m²)

소유역	1등급	2등급	3등급	4등급	5등급	6등급	7등급	8등급	9등급
1	0	0	54,169	222,761	348,523	441,554	461,393	466,624	466,624
2		37,798	112,084	134,396	169,166	246,664	272,761	274,967	274,967
3	0	0	359,829	758,628	1,324,387	1,744,682	1,787,980	1,872,127	1,875,110
4	0	0	5,528	14,684	20,057	31,754	44,233	48,921	48,921
5	0	0	48,839	92,720	135,370	187,765	188,312	188,312	188,312
6	0	78,534	124,039	338,227	573,538	867,628	945,673	1,000,625	1,000,625
7		24,283	42,353	325,461	613,239	860,500	869,466	872,964	872,964
8	0	0	45,065	209,380	437,085	583,832	596,248	597,135	597,135
9		1,826	57,688	200,437	343,259	439,749	443,720	447,532	447,532
10	0	0	7,932	38,638	70,146	79,466	79,466	79,466	79,466
11	506	5,907	10,870	86,432	105,784	129,396	129,664	129,664	129,664
12	0	0	15,483	93,301	202,744	447,829	464,165	484,463	484,463
13	0	0	0		20,286	197,191	203,896	286,310	302,217
총계	11,489	148,348	883,879	2,517,845	4,363,584	6,258,010	6,486,977	6,749,110	6,768,000

범례: ■ 유출량 10% 증가분을 충족시키는 범위, ■ 유출량 10%와 20% 모두를 충족시키는 범위

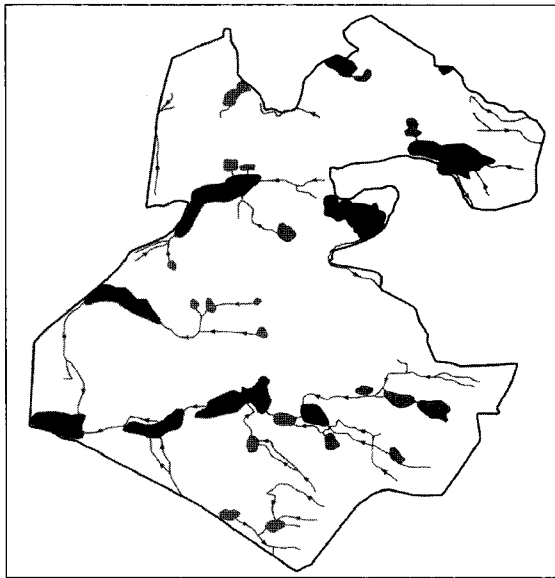


그림 7. 위례신도시 물순환체계 구상
 범례: ● 저류형 습지, ◐ 연못형 습지, --- 하천형 습지

6) 습지조성지역을 중심으로 한 물순환체계 계획
 앞에서 최종 선정된 습지조성지역을 바탕으로 물순환체계 계획 수립을 위한 기본골격을 재설정하였다. 최종 분석된 결과를 바탕으로 도시의 물순환체계 구축이 고려된 공간계획이 수립될 수 있도록 습지의 유형을 면적, 점적, 선적 습지로 크게 나눈 저류형 습지, 연못형 습지, 하천/수로형 습지로 구분하여 상호 연계되는 구상안을 작성해 보면 그림 7과 같다. 구상안을 바탕으로 개방수면과 유형별 습지로 구분하여 물순환체계 계획도¹¹⁾를 작성할 수 있다. 이러한 연구 결과는 물순환체계가 확보된 토지이용계획의 수립에 유용하게 활용될 수 있으며, 물순환체계 설계 시 설계가들에게도 유용하게 활용될 수 있을 것으로 보인다.

IV. 결론 및 제언

도시 내 물순환체계 구축은 도시의 많은 문제점을 해결하기 위한 다양한 방안을 제시해 주는 것으로서 선진 각국들이 미래

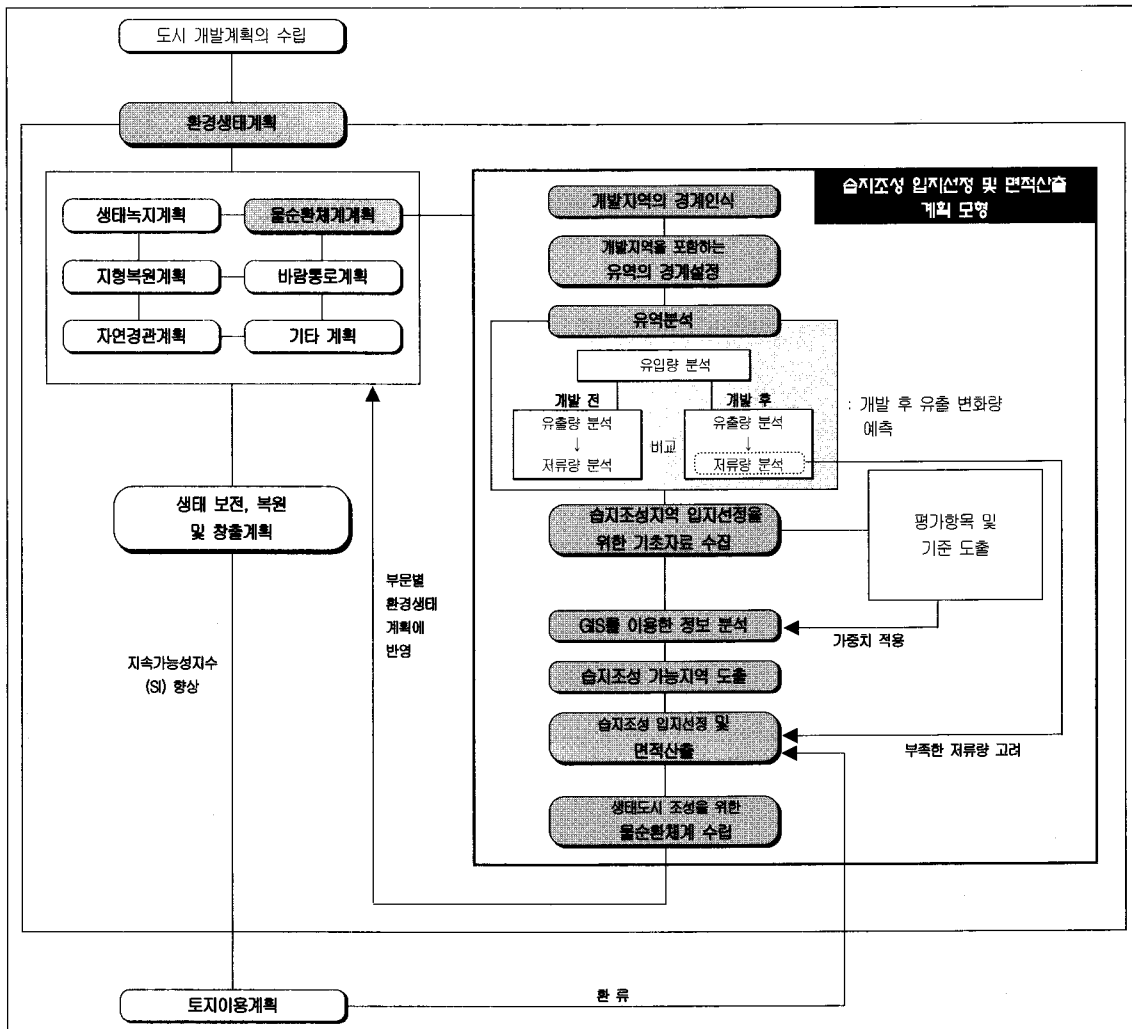


그림 8. 습지조성 입지선정 모형

지향적인 도시계획의 중요한 요소로 고려하고 있다. 이러한 문제의식에 기초하여 신도시 개발 등 규모가 비교적 큰 도시개발에 있어서 물순환체계를 구축하는 데 중점을 두면서도 생태적으로 다양한 기능을 수행할 수 있는 습지의 조성 입지와 규모를 산정하고자 하였다.

본 연구는 유역 차원에서 접근하여 습지조성을 통해 도시개발로 인해 발생하는 유출량을 저감시키는 물론, 야생동물의 핵심적인 서식공간으로서의 생태적 기능도 함께 도모할 수 있는 입지 선정 방안을 마련하였다. 기존의 홍수 저감을 위한 저류시설과 도시민들의 휴식과 레크리에이션 공간이 되는 도시공원, 도시생태계의 핵심이 되는 보전지역(생물서식공간)의 기능을 함께 도모할 수 있는 공간이라고 할 수 있다.

연구를 통해 도출한 습지조성 모형을 다른 계획들과 연계하여 제시해 보면 그림 8과 같으며, 도출된 모형의 적용을 통해 보다 지속가능한 형태의 도시개발계획을 수립할 수 있을 것으로 보인다. 또한, 개발로 인해 불가피하게 훼손되는 습지에 대한 보상 차원에서 같은 유역 혹은 인접 유역에서 습지를 조성하고자 할 때, 본 모형을 통해 선정된 습지조성 입지가 충분히 활용될 수 있을 것으로 보인다. 그러나 만들고자 하는 대체습지의 기능과 가치가 우수저류나 생물다양성이 아닐 경우에는 입지선정 항목과 기준이 달리 적용되어야 할 것이다.

본 연구를 통해 도출된 습지조성 입지를 실제 도시개발지역에 적용하여 실현시키기 위해서는 습지조성을 위한 구체적인 조성방안과 기법 또한 설계 및 시공단계에서 모색되어야 할 것으로 보인다.

본 연구는 유역 차원에서 다양한 기능을 고려한 습지조성 입지를 모색함으로써 여러 분야를 하나의 계획과정 속에 포함하는 통합적 접근을 시도했다는 점과 도시개발에 있어 유역 차원의 수질관리, 수량관리, 생태계 관리를 함께 모색해 서식처의 다기능을 도모한 점은 중요한 의의라 하겠다. 또한, 최근 신도시와 택지개발지구 조성 시 환경생태계획 개념 및 기법 도입이 적극적으로 이루어지고 있는 시점에서 도시 물순환체계 차원의 구체적 모형을 적용했다는 점에서 의의가 있다.

그러나 이러한 의의에도 불구하고 본 연구는 토지이용계획 이전 단계에서 도시화로 인해 예상되는 잠재적인 유출량을 기준으로 습지의 입지와 면적을 산정함에 따라 정확한 저류량의 산정을 위해서는 토지이용계획 이후 유출량의 재산정 및 검증과 같은 환류(feedback)과정이 요구된다(그림 8 참조). 또한, 습지 면적 산정에 있어서 습지의 유형이나 입지적 특성에 따라서 저류량 등 저류능력이 달라질 수 있어 문헌에서 고찰되는 일반적인 습지 저류량을 모든 습지에 동일하게 적용했다는 점은 본 연구의 한계라 할 수 있다. 이는 설계단계에서 습지의 유형에 따른 복합적인 기능을 보다 심도 있게 고려하여 다루어야 할 것이며, 이를 위해서는 설계단계에서의 적용기법 등이 추가적인 연구가 필요하다.

- 주 1. 수질정화 향상을 위한 습지조성과 관련해서 대부분의 문헌 및 사례에서는 기존도시 즉 토지이용이 나와 있는 상태에서의 수질정화 향상을 위한 항목으로 설정하고 있는 것을 고찰할 수 있다(최인욱, 2002; Palmeri and Trepel, 2002). 이는 토지이용계획 전단계인 환경생태계획에서의 습지조성 입지선정 시에 고려될 수 있는 사항이기 보다는 구체적인 면적 산정 및 식재설계단계에서 고려되어야 할 요소라고 할 수 있다. 기존 연구에서 고찰되었듯이, 수질정화를 위한 습지조성은 대부분 습지의 면적과 체류시간, 수처리 효율, 습지정화식물의 생육, 갈수기와 풍수기와 같은 기상조건과 직접적 관련이 있다. 따라서 본 연구는 생태도시 내 물순환체계를 목적으로 하여 1차적으로 저류량에 따른 습지입지를 선정하고 다음 단계에서 수질을 고려한 습지면적 산정 및 설계·시공 방법을 택함으로써, 입지선정 항목 도출은 ① 홍수저감, ② 생물다양성 향상, ③ 물순환체계 구축, 3가지 목적으로 압축하였다.
- 주 2. 한영해(2005)는 평가유역면적과 사업지구의 면적이 비슷할 때 비교적 정확한 유출량 변화를 도출 가능하다고 하였다.
- 주 3. 본 연구에서는 증발산량에 대한 것은 고려하지 않는 것으로 하였다.
- 주 4. 합리식은 홍수과정을 설명하기 다소 어려운 유출모형인 것으로 판단되며, 일관된 유출계수를 실제 자료에서 얻기 힘들다. 따라서, 기존의 합리식을 설계과정에서 적용하기에는 어려움이 있으며, 합리식의 기본가정인 강우강도와 홍수빈도가 일정하다는 가정 또한 실제 유역에 적용하는데 무리가 있는 것으로 보인다(한국건설기술연구원, 1994). SCS 방법은 재해영향평가 작성지침에 의하여 재해영향평가 시 일반적으로 적용하고 있는 방법이기도 하다(최상기 등, 2003).
- 주 5. 수치고도모형(DEM)을 구축하는 방법으로는 현지조사, 항공사진 측량법, 원격탐사법, 등고선내삽법 등이 있으나, 우리나라는 국가지리정보체계(NGIS) 구축사업이 시작되면서 등고선내삽법이 널리 이용되고 있다.
- 주 6. 소유역 중에서 표준편차(σ)를 벗어나는 작은 면적의 소유역은 지형도를 재비교하여 인접유역에 포함시켰다.
- 주 7. Clemets et al.(1996)은 집수구역(Catchment)의 범위를 0.25~2.5km 범위로 설정하고 있다. 본 연구는 13개의 집수구역을 소유역으로 지칭한다.
- 주 8. 신도시 개발로 인한 유역의 토지이용형태가 변화하면서 유역의 저류용량 역시 변화하게 되는데, 한국 내 18개 신도시의 개발 전·후 유출량을 비교한 결과 10년 빈도 확률강우량에 대하여 약 10~20%의 유출량이 증가하는 것으로 나타나고 있다(한영해, 2005).
- 주 9. 모형 적용 대상지의 특성 및 도출하고자 하는 습지조성 면적 및 입지지역의 산출방향에 따라, 등급을 달리 적용할 수 있으며, 보다 정확한 면적 및 입지선정을 위해 등급을 더 세분화하여 도출할 수 있다.
- 주 10. EPA에서 제시한 일반적인 습지의 수분함량 분석 결과([http://www.Ramsar.org/info/values_floodcontrol_e.htm](http://www Ramsar.org/info/values_floodcontrol_e.htm))를 활용하였으며, 습지의 수분함량을 기준으로 제시하고 있다.
- 주 11. 식생이 없는 개방수면도 조성습지 면적에 포함하였으며, 개방수면과 습지(vegetation wetland)는 강우량에 따라서 변화될 수 있다.

인용문헌

1. 국토해양부(2007) 지속가능한 신도시계획 기준.
2. 성효현, 이자영(2000) 하천유역구분을 위한 DEM 구축기법에 관한 연구. 한국지형학회, 7(2):1-12.
3. 이근상, 조기상(1999) 산간지와 준평야지의 유역자동추출기법 연구. GIS Workshop.
4. 최상기, 송영일, 서성철(2003) 수질분야 환경영향 예측내용과 사후환경조사결과와의 비교·분석. 한국환경정책·평가연구원.
5. 최인욱(2002) 농촌유역의 비점원오염 수질관리를 위한 인공습지 설계모형. 서울대학교 농공학 석사학위 논문.

6. 한국건설기술연구원(1994) 미계측 지역의 홍수유출 특성에 관한 비교연구 -합리식을 중심으로-
7. 한영해(2005) 도시주거지역에서의 분산식 빗물관리 계획 모형 개발. 서울대학교 환경대학원 박사학위 논문.
8. 환경부(2006) 사전환경성검토 업무매뉴얼.
9. Bohn, B. A.(2002) Establishing aquatic restoration priorities using a watershed approach. *Journal of Environmental Management* 64: 355-363.
10. Brophy, L.(2005) Prioritizing Tidal Wetland Construction and Restoration in Midsized Estuaries of Oregon, U.S.A. Presentation PPT. p. 15.
11. Djokic, Z. Ye. and A. Miller(1997) Efficient Watershed Delineation using ArcView and Spatial Analyst. Proc. 17th Annual ESRI User Conference, San Diego, CA.
12. EPA(2000). Watershed Analysis and Management(WAM) Guide for Tribe.
13. France, R. L.(2003) Wetland Design: Principles and Practices for Landscape Architects and Land-Use Planners. New York: W.W Morton.
14. Jubenville, A.(1976) Outdoor Recreation Planning, W.B.: Saunders Company, West washington, p. 354.
15. Macdonald, S. E., B. Eaton, C. S. Machtans, C. Paszkowski, S. Hannon, and S. Boutin(2006) Is forest close to lakes ecologically unique? Analysis of vegetation, small mammals, amphibians, and songbirds. *Forest Ecology and Management* 223(1): 1-17.
16. Newbold, S. C.(2005) A combined hydrologic simulation and landscape design model prioritize sites for wetlands restoration. *Environmental Modeling and Assessment* 10(3): 251-263.
17. Olson, C., and R. Harris(1997) Applying a two-stage system to prioritize riparian restoration at the San Luis Rey River, San Diego County, California. *Restoration Ecology* 5(4): 43-55.
18. O'Neill, M. P., J. C. Schmidt, J. P. Dobrowolski, C. P. Hawkins, and C. M. U. Neale(1997). Identifying site for riparian wetland restoration: Application of a model to the upper Arkansas River Basin. *Restoration Ecology* 5(4): 85-102.
19. 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.
20. Rohde, S., M. Hostmann, A. Peter and K. C. Ewald(2006). Room for rivers: An integrative search strategy for floodplain restoration. *Landscape and Urban Planning* 78: 50-70.
21. Russell, G. D., C. P. Hawkins and M. P. O'Neill(1997) The role of GIS in selecting sites for riparian restoration based on hydrology and land use. *Restoration Ecology* 5(4S): 56-68.
22. White, D., and S. Fennessy(2005) Modeling the suitability of wetland restoration potential at the watershed scale. *Ecological Engineering* 24: 359-377.
23. http://www.ramsar.org/info/values_floodcontrol_e.htm.

원 고 접 수 일: 2008년 10월 13일
 심 사 일: 2008년 11월 20일(1차)
 2009년 1월 30일(2차)
 계 재 확 정 일: 2009년 2월 4일
 3 인 익 명 심 사 필