

Marxan을 이용한 도시하천의 보전지역 설정 및 생태적 관리방안 연구[†] - 서울시 중랑천을 대상으로 -

윤호근* · 한봉호** · kwakjeongin***

*국립수목원 DMZ자생식물연구과 석사연구원 · **서울시립대학교 조경학과 교수 · ***(재)환경생태연구재단 연구원

A Study on Zoning and Management of Conservation Area and Ecological Management Plan on Urban Stream Using Marxan - A Case of Jungrangcheon(Stream) in Seoul -

Yun, Ho-Geun* · Han, Bong-Ho** · Kwak, Jeong-In***

*Post-Master Researcher, DMZ Botanic Garden, Korea National Arboretum

**Professor, Dept. of Landscape Architecture, University of Seoul

***Researcher, Environment Ecosystem Research Foundation

ABSTRACT

This study presented a plan for the establishment of conservation areas and the ecological management of those areas in the stream based on the Marxan with Zones Program for a Jungrangcheon Stream in downtown Seoul. The application of the Marxan with Zones Program included the stage of planning unit setting, application of mapping indices, numerical correction for repetitive analysis, creation of scenario-specific optimizations through analysis, analysis of sensitivity by scenario, review, and the selection of optimal plans among the scenarios considered. As a result of the establishment of a conservation area near Jungrangcheon Stream, which has several watershed areas, including an upper-middle-class wildlife protection zone, which was previously designated and managed as a conservation area, and the migratory protection zone downstream of Jungrangcheon Stream were designated as key conservation areas. A number of wild birds were observed in the upper reaches of Jungrangcheon Stream, adjacent to the forests of Suraksan Mountain and Dobongsan Mountain. The downstream area is a habitat for migratory birds that travel along the stream and the adjacent river ecosystem, including the Hangang River confluence and Cheonggyecheon Stream confluence. Therefore, the upper and lower reaches of Jungrangcheon Stream are connected to forest ecosystems such as Dobongsan Mountain, Suraksan Mountain, and Eungbongsan Mountain, as well as urban green area and river ecosystems in the basin area, which influence the establishment of conservation areas. This study verified the establishment and evaluation of existing conservation areas through the Marxan with Zones Program during the verification of the conservation areas and was presented as in-stream management and basin management method to manage the basin areas derived from core conservation areas determined through the program.

[†]: 본 논문은 윤호근의 석사학위논문(2018) 일부를 보완 발전시킨 것임.

Corresponding author: Jeong-In Kwark, Researcher, Environment Ecosystem Research Foundation, Seoul 05643, Korea, Tel.: +82-2-412-1242, E-mail: kkwark@uos.ac.kr

Key Words: Hydrophilic Function, Watershed, Impermeable Index, Biotope Index, UNESCO MAB

국문초록

본 연구는 서울시 도심 하천 중 국가하천인 중랑천을 대상으로 보전지역 설정 프로그램인 Marxan with zones 프로그램을 기반으로 한 하천 내 보전지역 설정 및 생태적 관리방안을 제시하였다. Marxan with zones 프로그램 적용은 유역권(planing unit) 설정, 맵핑지표(mapping index) 적용, 반복적인 분석을 위한 수치보정, 분석을 통한 시나리오 별 최적안 작성, 시나리오 별 민감도 분석, 시나리오 중 최적안 검토 및 선정 단계로 진행하였다. 중랑천 내 보전지역 설정 결과, 기존에 보전지역으로 지정 및 관리하고 있는 중랑천 상류 야생생물보호구역을 포함한 다수의 유역권과 중랑천 하류의 철새보호구역을 포함한 유역권이 핵심보전지역으로 설정되었다. 상류는 중랑천을 중심으로 수락산과 도봉산 등 산림이 인접하여 다수의 야생조류가 관찰되었다. 하류는 한강 합수부, 청계천 합수부 등 하천생태계가 인접하여 하천을 따라 이동하는 철새 도래지이다. 따라서 중랑천 상류와 하류는 유역권 내 도봉산, 수락산, 응봉산 등 산림생태계, 도심 내 녹지, 청계천 합수부, 한강 합수부 등 다양한 생태계와 연결되어 있어 보전지역 설정에 영향을 주었다. 본 연구는 보전지역 검증 시 Marxan with zones 프로그램을 통한 기존 보전지역 설정 및 평가를 검증하였고, 프로그램을 통해 핵심보전지역으로 도출된 유역권을 생태적으로 관리하기 위해 하천 내 관리방안과 유역권 관리방안으로 구분하여 제시하였다.

주제어: 친수기능, 유역권, 불투수지수, 비오톱지수, UNESCO MAB

1. 서론

1990년대 중반 이후 자연형 하천을 표방한 하천 정비 사업이 대도시를 중심으로 추진되면서 서울시의 중랑천, 우이천, 홍제천, 탄천, 정릉천, 양재천, 수원시의 수원천 등이 최초로 정비가 실시되었다. 그러나 이런 사업들은 자연형 하천 조성을 목적으로 보고 있지만, 생물서식처의 보전, 복원, 창조가 아닌 자전거도로, 체육시설, 쉼터 등 시설의 이용에 초점을 둔 친수기능의 하천조성을 목표로 하고 있었다(Jung, 2010). 친수기능은 하천의 생물서식처 기능이 충족되고 회복이 이루어진다면 자연스럽게 수반되는 기능이므로 생물서식처 회복 이후에 고려되어야 할 것이다(Woo, 2004).

따라서 하천정비 시 보전지역 평가 및 구간 별 관리평가가 필요하고, 생물다양성 증진 및 경관개선을 위해 인공화 된 하천을 자연스러운 하천으로 복원하는 과정에서도 각 하천이 처한 상황에 대한 진단수단으로서 하천 생물현황 평가 및 보전지표 설정이 필요하였다. 현재 하천을 평가하는 기준은 하천 내 수질에 편중되어 있고, 생물서식처 분포 및 기능을 고려하지 않았으므로 수질의 개선만으로는 생태적 복원의 효과를 달성하기 어렵다(Otto *et al.*, 2004).

서울시는 2000년대 이후 도시개발로 인해 훼손된 하천의 물리적 형태 및 생태적 기능의 복원을 목표로 서울시 내 19개 하천을 정비하는 생태하천 복원사업을 진행하였다. 생태하천 복원사업은 생태적 기능 향상을 목적으로 하는 사업이 아닌 친수기능의 확장을 통한 하천 내 이용자 증대를 목표로 자전거도로,

운동시설, 산책로 조성, 쉼터 조성 등이 먼저 진행되었다(Seoul, 2017). 진정한 생태하천 복원사업을 위해서는 하천 구간 별 모니터링을 통한 과학적 조사 및 평가를 기준으로 생물종 출현현황 및 서식범위를 확인하여 도면화를 실시하고, 생태적으로 우수하다고 판단되는 지역에 대한 핵심보전지역 선정 및 관리방안 수립 등 전략설정이 필요하였다.

하지만 대부분 하천의 보전과 관리는 하천구역 내로 한정되어 있어 주변 도시지역에서 미치는 영향과 생태적 연결성 등의 과제를 해결하는 데 한계가 있으며, 하천의 모니터링 및 생태적 가치 평가 또한 생물상에 주로 편중되어 있다. 또한 관리 목적에 따른 보전지역 및 완충지역 등의 관리범위 설정에 있어 정량적으로 도출된 공간적 범위를 바탕으로 구분하는데 한계를 갖고 있다. 따라서 하천에 영향을 미치는 유역권 차원에서의 관리구역 설정과 하천과 유역권의 생태적 가치를 종합적으로 해석하고, 정량적인 공간단위의 의사결정과정을 거쳐 합리적인 생태적 복원과 지속가능한 관리를 위한 접근이 필요하였다.

Marxan with zones는 다양한 용도지역 설정이 가능한 Marxan 프로그램의 확장판으로 데이터 유형에 따라 작성된 도면을 중첩하고 설정된 보전지역간 연결수치 조정(BLM)과 수치보정(FPF) 등 변수 부여를 바탕으로 1,000~1,000,000회 이상을 반복하는 오차보정 작업(simulated annealing)을 통해 보전지역간 연결성을 고려한 시나리오를 도출하여 최종안 설정을 쉽게 할 수 있다(Watts *et al.*, 2009). 도출된 최종안은 대규모 보전 계획 문제를 반복적이고 적정화된 알고리즘을 통해 해결안을 제시해 주며, 유역권 간 네트워크 연결성을 고려하여 최대한

넓은 면적의 보전지역을 설정해 주어 생물 서식처 조성과 경제적으로도 우수한 지역을 찾아 줄 수 있다(Bos, 1993). Marxan은 프로그램의 정량적인 분석과정을 거쳐 결과를 도출할 수 있어 기존의 보호지역이나 관리범위 설정에 있어 발생할 수 있는 의사결정을 보다 합리적으로 진행할 수 있을 것으로 판단되었다.

본 연구는 하천의 형성과 유지에 영향을 미치는 유역권을 계획 단위 설정하고, 기존의 생물상보다는 생태적 가치와 범위를 공간적으로 해석한 맵핑자료(Biotope map) 작성, Marxan 프로그램을 이용하여 합리적이고 정량적인 의사결정과정을 통해 보전과 관리를 위한 구역의 설정과 관리방안 도출을 목표로 하였다. 서울시 내 생태하천 복원사업이 조성된 하천 중 규모가 크고 한강 지천 중 유일하게 국가 하천으로 지정되어 있는 중랑천을 대상으로 용도지역 설정현황 및 보전지역 설정 적절성을 검토하였고, 중랑천의 전체적인 관리방안을 제안하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상지 선정

본 연구의 대상지는 서울시 내 흐르는 30개 하천 중 하천의 유형, 규모, 하천 상류와의 연계 여부, 하천 하안구조 및 특성, 보호지역 지정 관리 등을 검토하여 국가하천인 중랑천을 대상으로 하였다. 중랑천은 대규모의 여러 지자체에 걸쳐 있는 광역형 하천으로 서울시 한강의 지천 중 유일하게 국가하천으로 지정되어 있으며, 둔치가 발달된 구조이었다. 중랑천은 하천의 규모가 크며, 하류와 상류구간에 다양한 야생조류 및 표범장지뱀을 보호하기 위한 야생동물보호구역으로 지정되어 있는 등 생태적 가치가 높은 하천이나, 이용 중심의 조성과 관리가 지속적으로 진행되어 왔고, 하천 주변이 대부분 고밀도 도시로 개발되면서 유역권 제내지의 영향을 많이 받게 되어 연구대상지로 선정하였다.

중랑천은 한강합수부에서 의정부~서울시 경계까지 하천연장 24km 구간으로 이루어져 있었다. 중랑천 상류는 도봉산, 수락산 등 산림생태계와 서울 창포원 내 습지, 중랑천 상류 야생생물보호구역 등 하천 주변으로 다양한 유형의 생물서식공간이 인접하고 있었다. 중랑천 중류는 초안산, 영축산 등 산림과 방학천 합수부, 우이천 합수부, 묵동천 합수부 등 하천 합수부와 연결되는 곳으로 타 하천을 통한 식물 및 동물의 이동가능성이 있었다. 중랑천 하류는 한강 합수부, 청계천 합수부, 철새보호구역, 서울 숲 등 산림생태계, 하천 합수부, 도심 내 녹지 등 다양한 유형의 생물서식처와 연결되어 있었다.

2. Marxan 프로그램을 활용한 보전지역 실행 체계

생태적 가치, 사회·문화적 가치를 반영한 지구 구분은 Marxan

with zones(v. 2.01) 프로그램을 활용하였으며, 보전지역 맵핑 결과 검증에서 최종안 선정은 Marxan with zones 프로그램을 통해 도출된 시나리오에 대한 적합성을 검토하여 판단하였다. 각 시나리오 별 최종안을 선정 후 각 단계별로 적합성을 재검토하였다. 1단계는 보전지역간 인접 여부, 2단계 유역권 내 핵심보전지역과 완충지역의 비율, 3단계 보전지역 설정 시 비오름의 반영 여부, 4단계 보전지역 설정의 적절성 여부 등을 고려하여 최종안을 선정하였다(Figure 1 참조).

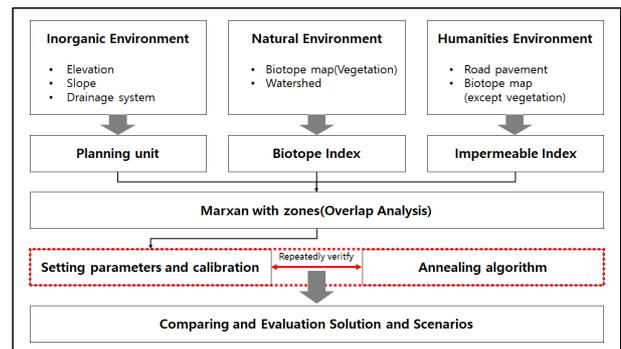


Figure 1. Marxan with zones system programming algorithm

3. 조사·분석 방법

1) 유역권 분석

유역권 분석은 하천의 친환경적인 보전 및 관리를 위해 생물 서식처 범위설정 및 이동범위를 고려하여 유역권 범위를 설정하였다. 유역권 분석을 위한 수계의 구분은 Horton(1945)과 Strahler(1952)의 방법을 이용하였으며, 국토교통부에서 제공하는 서울시 1/1,000 수치지형도를 이용하여 Arcgis 10.3 프로그램으로 분석하였다. 유역권 규모는 표준유역보다 작은 세유역권을 단위 유역권 기준으로 하였고, 유역권의 평균 크기는 중규모 야생동물 핵심 행동권을 단위 유역권 선정기준에 따라 설정하였으며, 선정된 수치는 중형 포유류인 너구리, 삿, 오소리(Lee *et al.*, 2014)를 기준으로 하여 유역권 크기를 조정하였다.

2) 맵핑지표 산정

(1) 불투수지수

불투수지수는 서울시 도시생태현황지도를 활용하여 유역권 내 건폐지와 불투수포장지 등 개발지역을 포함하는 불투수포장비율을 활용하여 분석하였다. 불투수포장비율은 경사와 수계를 기준으로 작성된 대상지 별 유역권 경계와 서울시에서 제공하는 서울시 도시생태현황도(Seoul, 2015)를 Arcgis 10.3 프로그램 내 Clip 기능을 이용하여 유역권 경계 별 불투수포장비율 현황을 분석하였다.

불투수포장비율을 10% 미만은 1등급, 10% 이상~30% 미만

은 2등급, 30% 이상~50% 미만은 3등급, 50% 이상~70% 미만은 4등급, 70% 이상은 5등급으로 구분하여 등급 별 면적을 산출하였다. 불투수지수는 유역권 별 작성된 등급 별 면적에 가중치를 곱하여 값을 산출하였다. 가중치는 1등급 1.0, 2등급 0.75, 3등급 0.5, 4등급 0.25, 5등급 0 등 5개의 등구간으로 구분하여 설정하였다. 불투수지수는 1개 유역권에서 작성된 폴리곤 면적과 가중치를 곱하여 가중치 면적을 산출하고, 유역권을 기준으로 산출값을 모두 더한 후 유역권 전체면적으로 나누어서 유역권 내 불투수지수를 도출하였다. 도출된 불투수지수의 값은 높을수록 산림 및 녹지와 인접하여 생물서식처에 유리하였으나, Marxan with zones 프로그램은 지수화된 수치가 낮을수록 보전가치가 높게 평가되므로 지수의 최대값인 1에서 등급 별 면적을 통해 산출된 불투수지수를 차감하여 역 불투수지수로 변경한 후 프로그램에 적용하였다.

(2) 비오톱지수

비오톱지수는 1/1,000 수치지형도를 활용하여 현장조사를 통해 하천 내 식생 분포지역 및 시설물 조성지역 등을 구분하고, 식생분포지역에 대해 우점종을 중심으로 한 식생상관에 따라 현존식생도를 작성하였다. 이를 토대로 식생의 자연성, 생육특성 및 피복도 등을 기준으로 비오톱 유형화하였고, 서울시 도시생태현황지도 비오톱 유형평가기준을 활용하여 5개 등급으로 평가하였다. 하천을 제외한 유역권 전체의 비오톱 평가자료는 서울시 도시생태현황지도에서 추출하였다.

비오톱지수는 Choi(2008)의 방법을 응용하여 유역권에 포함된 하천 구간별, 하천을 제외한 유역권별로 각각의 평가등급에 따른 폴리곤 면적에 가중치를 곱하여 등급별 가중치 면적을 산출하였고, 산출된 값을 모두 더한 후 각각의 총 면적으로 나누어 비오톱지수를 산출하였다. 유역권별 최종 비오톱지수는 하천의 비오톱지수와 하천을 제외한 유역권 비오톱지수의 평균값으로 산출하였다. 가중치는 불투수지수와 동일하게 적용하였다. 도출된 비오톱지수는 높은 값이 생태적으로 우수하고 생물서식처에 유리한 것을 의미하나, Marxan with zones 프로그램은 지수화된 수치가 낮을수록 보전가치가 높게 평가되므로 지수의 최대값인 1에서 등급 별 면적을 통해 산출된 비오톱지수를 차감하여 역 비오톱지수로 변경한 후 프로그램에 적용하였다.

3) Marxan with zone을 활용한 시나리오 분석

Marxan with zone 프로그램에서는 최종안의 반복횟수와 도출되는 최종안의 개수, 수치보정 계수인 FPF와 지구간 연결수치를 설정하는 Zoneboundcost 등 수치보정을 해야 한다. 반복횟수를 통한 수치보정은 반복횟수와 수치감소 단위를 조정하여 목적기능값(score)을 도출하는 작업으로 Marxan with zones 분석을 통한 최종값인 목적기능값(score)은 계획단위(planning unit)에 반영된 비용, 계획단위의 외곽 길이비용, 특성지표

(feature)가 반영되지 않았을 경우 Penalty 비용 등 세 가지 수치의 합으로 구성된다. 목적기능값이 낮을수록 가장 효율적인 해결안을 도출할 수 있으며, 목적기능값의 오류를 최소화하고 실효성 있는 값을 도출하기 위해 수치보정 단계가 필수적이다(Watts *et al.*, 2008).

수치보정은 보전지역 설정 시 단위와 자릿수가 다른 다수의 지표들이 반영되는 한계를 정하기 위해 기본적인 가이드라인을 설정하는 단계이다. Marxan with zones 적용을 위한 사용자 가이드(Watts *et al.*, 2008)에서는 해결안(Solution)의 반복횟수, 도출하는 해결안의 개수 수치보정 계수인 FPF와 지구간 연결수치를 위미하는 Zoneboundcost 값 등 4가지에 대한 수치보정을 강조하고 있다. 수치보정단계로 제시되지 않지만 발생비용 중 상대적으로 수치가 큰 계획단위의 외곽경계의 길이(boundary length)에 대한 보정을 위해 유역권과 비교해 가며 BLM 수치를 맞추어가는 것이 필요하다고 하였다(Andron *et al.*, 2010). 수치보정 중 도출되는 해결안의 개수는 결과에 큰 영향을 주지않으므로 초기 설정값인 10회로 고정하였다(Watts *et al.*, 2008).

BLM과 FPF는 계수로 연구자가 지표의 수치를 확인하면서 보정할 수 있도록 되어 있고, 담금질 알고리즘(annealing)을 반영하여 반복횟수와 수치감소 단위를 설정한다. BLM, FPF, Zoneboundcost를 수치보정하는 방법으로는 Marxan with zones 적용을 위한 사용자 가이드(Watts *et al.*, 2008)에서 제시하는 방법으로 0.00001부터 10단위로 숫자를 증가하면서 가장 적합한 수치를 찾는 과정이었다.

III. 결과 및 고찰

1. 유역권 설정(Planning Unit)

중랑천 유역권은 총 27개로 설정되었고, 유역권 전체 면적은 58,746,161m²이었다. 유역권 내 주요 수계로는 유역권 중앙을 흐르는 중랑천과 중랑천 상류의 유역권에서 방학천, 무수천 등이 연결되어 있었다. 중류에서는 우이천, 목동천, 면목천 등이 연결되어 있었고, 하류에서는 전농천, 청계천, 한강합수부 등이 연결되어 있었다. 유역권과 인접한 주요 지점으로는 도심 내 녹지시설을 조성한 서울창포원, 서울숲 등 공원녹지시설, 도봉산, 수락산, 초안산, 개운산, 응봉산 등 중랑천과 인접하는 산림 생태계, 한강, 청계천, 우이천, 목동천 등 하천생태계, 녹천교-상계교 구간에서 서식하는 표범장지뱀을 보호하기 위해 지정된 중랑천 야생생물보호구역 등이 위치하고 있었다.

중랑천 유역권 내 가장 넓은 면적을 차지하는 곳은 중랑천 중류에 위치하는 16번 유역권으로 유역권 전체면적의 9.3%를 차지하였다. 중랑천 유역권 16번은 대단위 주거시설지 및 상업

시설지가 밀집하는 지역으로 다수의 시설지가 분포하고 있었으나, 유역권 주변으로 초안산, 영축산 등 산림생태계와, 당현천 등 하천생태계가 위치하는 곳으로 녹지 및 오픈스페이스 면적이 넓게 분포하는 지역이었다. 다음으로 넓은 면적을 차지하는 유역권 15번은 유역권 16번과 인접하는 유역권으로 중랑천 수계를 중심으로 대단위 주거시설 및 상업시설지가 밀집하고 있는 지역이었다. 세 번째로 넓은 면적을 차지하는 유역권 25번은 중랑천 상류에 위치하는 곳으로 하천을 중심으로 고밀도 시가지지역이 분포하는 지역이었으나, 방학천 등 하천 생태계와 멸종위기종을 보호하는 야생생물보호구역이 위치하였다.

중랑천 내 설정된 유역권이 야생동물의 서식 면적의 소규모 야생생물 서식범위인 1km²보다 큰 이유는 도봉산, 수락산, 개운산, 응봉산 등 경사의 범위가 큰 산림생태계와 방학천, 우이천, 목동천, 청계천 등 경사의 차이가 없는 도시 하천생태계가 인접하기 때문에 경사 및 수계를 기준으로 설정되므로 유역권의 면적이 넓게 도출되었다(Figure 2 참조).

2. 맵핑 지표

1) 불투수지수(Impermeable index)

불투수지수는 높을수록 물순환기능과 자연성이 우수하였고, 낮을수록 포장지 및 시가지의 비율이 높아 자연성이 낮은 것을 의미한다. 중랑천 내 불투수포장비율을 이용한 불투수지수 산출 결과, 중랑천 상류의 유역권 27번이 불투수지수 0.87로 나타

나 전체 유역권 중 1순위이었다. 유역권 27번은 중랑천 유역권 내 도봉산, 수락산 등 산림생태계가 인접하였고, 서울습지원 등 근린공원 내 녹지가 인접하여 산림생태계, 하천생태계가 연결될 수 있는 공간이었다. 또한 하천 내 주거지, 상업지 등 시가지 시설이 적어 보전지역 설정 시 하천 주변지역까지 확대가 가능하다고 판단되었다. 두 번째로 불투수지수가 높은 곳은 유역권 26번으로 불투수지수가 0.71, 전체 유역권 중 2순위이었다. 유역권 26번은 유역권 27번과 같은 중랑천 상류에 위치하는 곳으로 도봉산, 수락산 등 산림생태계가 인접하고, 도봉천 합수부 등 산림과 하천 생태계가 연결되는 곳이었다. 중랑천 상류의 유역권 26번과 27번은 하나의 유역권으로 보전 및 관리계획을 설정하여 생물 서식처 보전 및 이동통로 조성, 주변 산림과 연계되는 네트워크 녹지 조성 등이 필요하다고 판단되었다.

세 번째는 중랑천 중류에 위치하는 유역권 19, 20번이었다. 유역권 19, 20번은 불투수지수가 0.60, 0.50으로 전체 유역권 중 3, 4순위를 차지하였다. 중랑천 중류에 위치한 유역권 19, 20번은 당현천, 방학천 합수부 등 하천생태계와 초안산, 영축산 등 산림생태계가 인접하고 있었다. 중랑천 중류는 하천 주변의 산림, 하천을 연결하는 서식처 및 이동통로 역할을 하므로 보전할 가치가 있었다. 유역권 주변으로 불암산, 오패산, 북서울 꿈의 숲 등 산림생태계 축이 연결될 가능성이 있는 지역으로 판단되었다. 네번째로 유역권 1, 3번은 유역권 전체 6, 7순위를 차지하며, 중랑천 합수부, 청계천 합수부와 인접하는 곳이었다. 또한 유역권 내 철새보호구역이 위치하여 한강합수부, 중랑천 구간에 다수의 야생조류가 관찰되는 지역이었다.

중랑천 하류의 유역권 1, 3번은 남산과 인접하는 응봉산과 대현산 근린공원, 서울숲 등 근린공원, 응봉체육공원, 살곶이체육공원 등 친수기능을 가지는 공원·녹지 등 다양한 유형의 공원·녹지 뿐만 아니라, 남산~매봉산~응봉산으로 연결된 산림생태축, 청계천 합수부, 한강합수부 등 하천 생태계를 모두 보유하는 곳으로 생물다양성이 풍부한 지역이었다. 따라서 다양한 유형의 생태계를 보전하기 위해 구간 별 보전강도를 차별화한 보전방안이 필요하다 판단되었다.

중랑천 유역권 내 불투수지수가 가장 낮은 곳은 중랑천 하류의 유역권 6, 7, 8번 지역으로 불투수지수가 0.13, 0.13, 0.17로 나타났고, 전체유역권 중 24, 25, 27 순위를 차지하고 있었다. 중랑천 하류의 유역권 6, 7, 8번은 근자역과 장한평역 구간에 위치하는 곳으로 고밀도 시가지가 인접하여 포장지의 비율이 높고, 식생분포지역의 비율이 낮아 생물의 서식과 자연적인 물순환에 어려움이 있었다. 또한 하천 내 조성된 체육공원으로 인해 불투수포장비율이 높아져 보전지역 설정에 영향을 미쳤다. 따라서 유역권 내 보전지역 설정 시 중랑천 상류의 유역권 26, 27번과 중랑천 중류의 유역권 19, 20번, 중랑천 하류의 유역권 1, 3번 등은 생물서식에 적합한 지역이었으며, 보전지역 설정 시 우선적으로 반영해야 할 것이다(Table 1 참조).

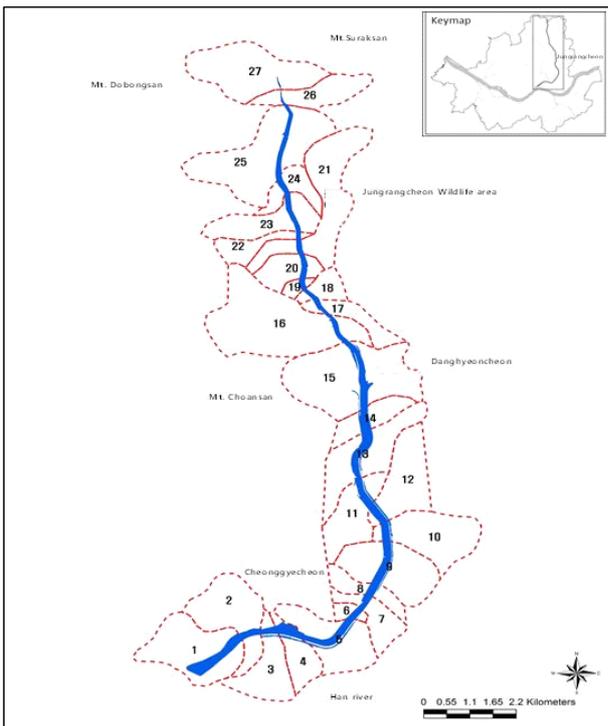


Figure 2. Jungrangcheon stream watershed

Table 1. Impermeable index by Jungrangcheon watershed

Watershed		Area(m ²)	Conversion area(m ²)	Urbanization index	Priority
Jungrang Cheon Stream	1	5,484,821	2,344,903	0.43	7
	2	4,281,807	1,019,616	0.24	14
	3	4,060,263	1,824,444	0.45	6
	4	2,567,248	521,888	0.20	17
	5	4,216,688	866,034	0.21	16
	6	1,122,063	143,641	0.13	24
	7	3,311,945	436,948	0.13	25
	8	2,474,912	187,955	0.08	27
	9	4,415,335	732,454	0.17	19
	10	3,708,743	1,812,183	0.49	5
	11	3,103,306	821,731	0.26	13
	12	4,082,394	507,774	0.12	26
	13	5,833,921	1,255,203	0.22	15
	14	2,870,166	558,146	0.19	18
	15	6,911,134	1,045,017	0.15	20
	16	8,039,576	2,923,332	0.36	10
	17	2,310,112	672,913	0.29	12
	18	1,339,632	476,958	0.36	11
	19	937,840	559,776	0.60	3
	20	2,073,976	1,032,917	0.50	4
	21	5,650,731	2,103,211	0.37	8
	22	2,537,623	365,547	0.14	22
	23	3,485,657	523,133	0.15	21
	24	2,102,811	286,095	0.14	23
	25	6,745,192	2,519,266	0.37	9
	26	2,244,089	1,587,572	0.71	2
	27	2,267,360	1,967,998	0.87	1
Total		98,179,343	29,096,653	-	-

2) 비오톱지수(Biotope Index)

중랑천 유역권 내 비오톱지수가 가장 높게 도출된 곳은 중랑천 하류에 위치하는 유역권 2번 지역으로 최종 비오톱지수가 0.60으로 전체 유역권 중 1순위를 차지하였다. 유역권 2번의 하천 내 비오톱지수는 0.77, 하천을 제외한 유역권 전체 비오톱지수가 0.43이었다. 유역권 2번은 하천 내 비오톱 1등급에 해당하는 피도 75%이상 습지자생식물인 갈대, 물억새 등 초본이 우점하였고, 하천 제방에는 버드나무가 분포하였기 때문에 하천 비오톱지수가 높게 도출되었다. 하천을 제외한 유역권 전체 면적의 등급을 비교하였을 때, 비오톱지수는 0.43으로 낮은 값을 보였는데, 이는 유역권 내 5등급에 해당하는 시가지지역이 대단위로 분포하였고, 응봉산을 제외하면 산림 및 근린공원 등 녹지 및 오픈스페이스로 구분되는 비오톱 1등급의 비율이 8.8%로 등급 비율이 낮았기 때문이었다. 따라서 유역권 2번지

역에 보전지역 설정 시 핵심보전지역인 하천을 중심으로 보전 강도를 구분하여 유역권을 관리하는 방안이 필요하다고 판단되었다.

두 번째는 중랑천 상류의 유역권 27번으로 최종 비오톱지수가 0.60으로 전체 유역권 중 2순위이었다. 유역권 27번의 하천 내 비오톱지수는 0.84, 하천을 제외한 유역권 전체 비오톱지수가 0.36이었다. 유역권 27번은 하천 내 비오톱 1등급에 해당하는 갈대, 물억새가 다수 분포하는 곳으로 하천 주변으로 버드나무 등 습지성 자생식물이 다수 분포하고 있었다. 하천을 제외한 유역권 전체 면적의 등급을 비교하였을 때, 비오톱지수는 0.36으로 비교적 낮은 값을 보였는데, 유역권 27번 지역은 의정부와 서울시의 경계로 하천 주변으로 대단위 주거시설, 도봉역, 경작지, 도봉산 광역환승센터 주차장 등 비오톱 3, 5등급에 해당하는 시가지지역의 비율이 38.8%로 다소 높았다. 그러나 유역권 내 도봉산, 수락산 등 산림과 서울창포원 내 녹지 등 비오톱 1, 2등급의 비율이 41.2%로 타 지역에 비해 월등히 높아 보전지역 설정 시 높은 우선순위를 가질 수 있는 것으로 판단되었다.

중랑천 유역권 내 비오톱지수가 가장 낮은 곳은 중랑천 중류에 위치하는 유역권 9번으로 최종 비오톱지수가 0.25로 전체 유역권 중 27순위를 차지하였다. 유역권 9번의 하천 내 비오톱지수는 0.10, 하천을 제외한 유역권 전체의 비오톱지수가 0.40이었다. 유역권 9번은 하천 내 귀화식물의 분포가 높았고, 하천 산책로 변에 체육공원이 위치하여 시설지 및 포장지의 비율이 높아 하천 내 비오톱지수가 낮게 도출되었다. 하천을 제외한 유역권 전체 면적의 등급을 비교하였을 때, 비오톱지수가 0.40으로 비교적 낮게 도출되었는데, 이는 해당 유역권 내 비오톱 5등급에 해당하는 대단위 주거시설, 상업지, 업무시설 등 시가지지역의 비율이 46.4%로 높은 비율을 차지하였기 때문으로 판단되었다. 따라서 보전지역 설정 시 우선순위 제외, 전이지역 설정 등 방안이 필요하였다.

중랑천 유역권 내 비오톱지수 현황을 분석한 결과, 중랑천 중류의 초안산, 영축산, 봉화산이 인접하는 유역권 8번, 10번, 11번 등을 제외한 나머지 유역권의 비오톱지수가 낮게 도출되었다. 이는 하천 주변으로 대단위 주거시설인 아파트, 상업시설, 업무시설, 도로 및 포장지, 지하철 역 등 고밀도 시가지지역이 유역권 전면적으로 분포하고, 녹지 및 오픈스페이스의 면적이 적었기 때문으로 판단되었다. 반면에 중랑천 상류의 도봉산, 수락산 등 산림과 인접하는 유역권 25번, 26번, 27번과 중랑천 하류의 한강 합수부, 청계천 합수부 등 하천합수부와 인접하는 유역권 1번, 2번, 4번 등은 유역권 내 산림 및 공원 녹지가 인접하거나, 하천 내 갈대, 물억새, 버드나무 등 습지성 자연식생의 우점 및 분포면적이 넓어 비오톱지수가 높게 도출되었다. 따라서 중랑천 유역권의 상류와 하류는 산림생태계, 하천생태계 등 다양한 생물이 서식할 수 있는 서식처로서의 역할을 할 수 있는 곳으로 보전지역 설정 시 각각의 유역권을 관리하는

것보다는 인접하는 유역권을 통합하여 유역권 전체를 보전 및 관리하는 방안이 필요하였다(Table 2 참조).

3. 생태적 특성을 고려한 보전지역 구분

1) 시나리오 I

중랑천 시나리오 I의 BLM 지수 조정방법은 연구방법에서 제시한 수치 중 지표의 보전가치를 95%로 설정하여 보전지역 범위를 설정하였다. 보전가치를 기준으로 하여 시나리오를 설정하고, BLM을 적용한 결과, 핵심보전지역(core area), 완충지역(buffer area), 전이지역(transition area) 등 3개의 보전지역으로 구분되어 보전지역간 누락없이 3개 지구가 모두 도출되는 BLM=10에서 지역 각각 면적 합에 대한 외곽길이 비율이 0.004로 가장 짧았고, 유역권 간 연결성이 높은 것으로 분석되었다. 따라서 보전지구의 개수, 유역권 전체의 보전길이 등을 고려한 결과, BLM이 0.01과 7.5가 아닌 10으로 설정되었고, 유

역권 별 외곽 경계의 길이 보정을 위해 지수 값에 10,000을 곱하여 값을 환산하였다.

설정된 BLM을 10으로 설정한 후 반복횟수에 따른 가장 효율적인 목적기능값을 확인하기 위해 수치보정을 실시하였다. 초기설정값인 1,000,000회부터 시작하여 500,000회, 100,000회, 50,000회, 10,000회, 5,000회, 1,000회까지 반복하여 분석하였고, 담금질 기법의 알고리즘 중 0까지 감소하는 수치는 초기 설정값과의 비율을 고려하여 10,000, 5,000, 1,000, 500, 100, 50, 10 등으로 설정하였다. 수치보정 결과, 반복횟수 1,000회에 수치감소 단위 10에서 목적기능값(score)가 낮았으며, 가장 효율적인 수치로 판단되었다.

마지막 보정단계인 Zoneboundcost는 기존의 설정된 BLM과 반복횟수, FPF값을 고정한 후 핵심보전지역(core area), 완충지역(buffer area), 전이지역(transition area)간의 연결 수치를 0.00001로 설정하고, 10단위씩 수치를 늘려가면서 지역간의 연결성에 대한 분석을 실시하였다. 보전지역이 충분히 확보되었는지를 최우선 기준으로 선택하였으며, 각 지역간 그룹화 정도를 판단하여 최종안을 선정하였다.

민감도분석을 통한 수치보정 및 반복횟수를 통한 수치보정, Zoneboundcost 수치보정 등 오차수정을 위한 작업한 결과, CM=0.00001부터 CM=1까지 총 6개의 시나리오를 도출하였다. 도출된 시나리오는 최종 시나리오 선정 기준에 따라 재분류를 실시하였으며, 핵심보전지역의 유역권 수, 면적 등이 가장 넓게 형성된 시나리오, 핵심보전지역이 분산되어 있지 않고 하나의 유역권을 형성하는 시나리오, 생태경관보전지역, 야생생물보호구역 등 중요 보전지역이 포함되는 시나리오, 야생조류, 양서·파충류 등 동물이 다수 서식하는 유역권 등 총 4단계의 과정을 통해 시나리오를 검증하였다.

먼저 1단계인 핵심보전지역의 유역권 수, 면적이 넓게 형성된 시나리오는 CM=0.001, CM=1 2개의 시나리오이었다. 시나리오 CM=0.001은 핵심보전지역의 수가 4개, 비율은 0.27로 나타났고, CM=1은 핵심보전지역 유역권 수가 7개, 비율은 0.24로 도출되었다. 2단계인 핵심보전지역이 분산되어 있지 않고 하나의 유역권을 형성하는 시나리오는 시나리오 CM=0.1, CM=1 2개가 선정되었다. CM=0.1은 중랑천 상류의 유역권 2개가 통합되어 하나의 유역권을 형성하고, 하류에는 유역권 1개소가 도출되었다. CM=1은 중랑천 상류의 5개 유역권이 통합되어 핵심보전지역으로 설정되었으며, 하류의 2개 유역권이 통합되어 핵심보전지역으로 지정되었다. 3단계인 생태경관보전지역, 야생생물보호구역 등 중요 보전지역이 포함된 시나리오는 CM=0.001, CM=0.01, CM=1 3개의 시나리오로 도출되었다. 선정된 3개의 시나리오는 모두 중랑천 상류 야생생물 보호구역이 포함되었으나, CM=0.01은 중랑천 하류 철새보호구역이 포함되지 않았다. 4단계인 야생조류, 양서·파충류 등 동물이 다수 서식하는 유역권이 포함된 시나리오는 한강 합수부,

Table 2. Biotope index by Jungrangcheon watershed

Watershed	Biotope index (inside the river)	Biotope index (arround the river)	Biotope index(total)	Priority	
	1	0.60	0.35	0.48	6
	2	0.77	0.43	0.60	1
	3	0.38	0.44	0.41	15
	4	0.50	0.45	0.48	7
	5	0.58	0.32	0.45	10
	6	0.48	0.32	0.40	16
	7	0.42	0.36	0.39	17
	8	0.59	0.37	0.48	5
	9	0.10	0.40	0.25	27
	10	0.27	0.35	0.31	23
	11	0.53	0.41	0.47	8
	12	0.44	0.40	0.42	12
Jungrang Cheon Stream	13	0.51	0.43	0.47	9
	14	0.42	0.42	0.42	14
	15	0.27	0.41	0.34	22
	16	0.12	0.42	0.27	26
	17	0.32	0.42	0.37	19
	18	0.22	0.38	0.30	24
	19	0.20	0.36	0.28	25
	20	0.28	0.48	0.38	18
	21	0.30	0.40	0.35	21
	22	0.22	0.50	0.36	20
	23	0.45	0.39	0.42	13
	24	0.36	0.53	0.45	11
	25	0.53	0.47	0.50	3
	26	0.65	0.35	0.50	4
	27	0.84	0.36	0.60	2

청계천 합수부 등 하천생태계와 도봉산, 수락산 등 산림생태계가 포함된 유형으로 다시 구분하였다. 하천생태계가 포함되는 시나리오는 CM=0.0001, CM=1 등 2개로 하천 내 주요 종이 가장 많이 도출된 시나리오를 선택하였다. 산림생태계가 포함되는 시나리오는 CM=0.1, CM=1 등 2개로 산새류의 비율이 가장 넓게 분포하고 있었다.

각 단계를 거쳐 선정된 최종 시나리오인 CM=1은 중랑천 상·하류가 핵심보전지역으로 설정된 시나리오로 상류는 중랑천 수계 주변으로 도봉산, 수락산, 초안산 등 산림과 연계된 유역권과 방학천 등 인근지역의 수계가 인접한 곳으로 생물종 보호 및 생태계 간 연계를 위해서 보전지역 설정이 필요하였다. 또한 상류에는 유역권 내 멸종위기종 II급으로 지정된 표범장지뱀의 서식처인 중랑천 야생생물보호구역이 위치하는 하고 있었고, 하류에는 청계천, 한강합수부와 인접하고, 중랑천 하류 철새보호구역이 위치하고 있었다. 따라서 다양한 시나리오 중 단계별 시나리오를 통해 최종 선정된 CM=1을 중랑천 시나리오 I의 최종안으로 선정하였다(Table 3, Figure 3 참조).

2) 시나리오 II

시나리오 II의 민감도분석을 통한 수치보정 및 반복횟수를

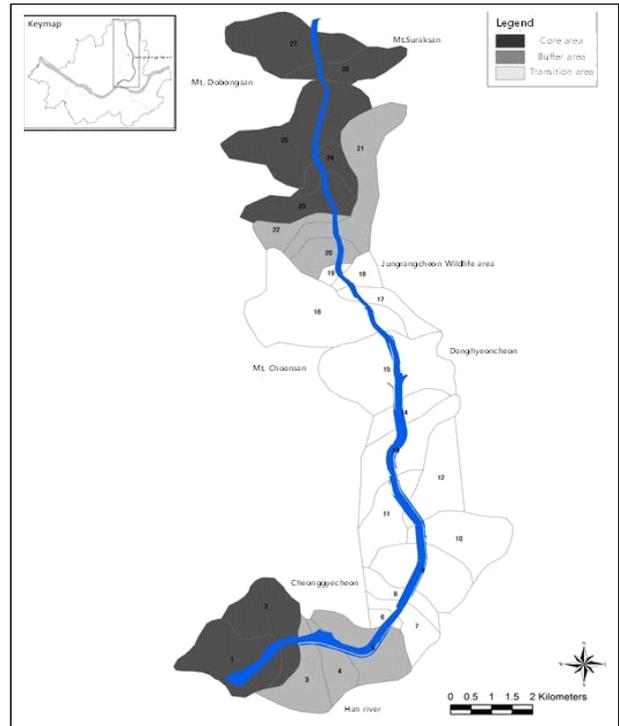


Figure 3. The result map of Jungrangcheon scenario I
Legend: ■ Core area ■ Buffer area □ Transition area

Table 3. The result of Jungrangcheon scenario I

Scenario I	Contents
1	<ul style="list-style-type: none"> Number of watersheds in core area Watershed area ratio of core area
	<ul style="list-style-type: none"> CM=0.001 <ul style="list-style-type: none"> Number of watersheds: 4 Watershed area ratio: 0.27 CM=1 <ul style="list-style-type: none"> Number of watersheds: 7 Watershed area ratio: 0.24
2	<ul style="list-style-type: none"> Number of watersheds close to the core area
	<ul style="list-style-type: none"> CM=0.1 <ul style="list-style-type: none"> Upstream watershed 2 Downstream watershed 1 CM=1 <ul style="list-style-type: none"> Upstream watershed 5 Downstream watershed 2
3	<ul style="list-style-type: none"> Adjacent to the conservation area
	<ul style="list-style-type: none"> CM= 0.001 <ul style="list-style-type: none"> Wildlife reserve(upstream) Migratory bird sanctuary(downstream) CM= 0.01 <ul style="list-style-type: none"> Wildlife reserve(upstream) CM= 1 <ul style="list-style-type: none"> Wildlife reserve(upstream) Migratory bird sanctuary(downstream)
	<ul style="list-style-type: none"> CM=0.0001, CM=0.001 <ul style="list-style-type: none"> Hanriver, Cheonggyecheon stream CM=0.1, CM=1 <ul style="list-style-type: none"> Mt. Dobongsan, Mt.Suraksan Mt. Choansan, Hanriver Cheonggyecheon, Banghakcheon stream
4	<ul style="list-style-type: none"> Places with many wild animals in the watershed (adjacent mountains and rivers)

통한 수치보정, Zoneboundcost 수치보정 등 오차수정을 위한 작업한 결과, CM=0.0001부터 CM=1까지 총 6개의 시나리오를 도출하였다. 도출된 시나리오는 최종 시나리오 선정 기준에 따라 재분류를 실시하였으며, 핵심보전지역의 유역권 수, 면적 등이 가장 넓게 형성된 시나리오, 핵심보전지역이 분산되어 있지 않고 하나의 유역권을 형성하는 시나리오, 생태경관보전지역, 야생생물보호구역 등 중요 보전지역이 포함되는 시나리오, 야생조류, 양서·파충류 등 동물이 다수 서식하는 유역권 등 총 4단계의 과정을 통해 시나리오를 검증하였다.

먼저 1단계인 핵심보전지역의 유역권 수, 면적이 넓게 형성된 시나리오는 CM=0.001, CM=0.01 2개의 시나리오이었다. 시나리오 CM=0.001은 핵심보전지역의 수가 5개, 비율은 0.18로 나타났고, CM=0.01은 핵심보전지역 유역권 수가 5개, 비율은 0.24로 도출되었다. 2단계인 핵심보전지역이 분산되어 있지 않고, 하나의 유역권을 형성하는 시나리오는 시나리오 CM=0.0001, CM=0.001, CM=0.1, CM=1등 총 4개가 선정되었다. CM=0.0001은 중랑천 상류의 유역권이 2개, 하류의 유역권 2개가 보전지역으로 설정되었고, CM= 0.001은 중랑천 상류가 3개, 하류가 2개로 설정되었다. CM=0.1은 중랑천 상류 유역권 2개, 중류에 1개, 하류에는 2개가 설정되어 있었다. CM=1은 중랑천 중류에 2개, 하류에 1개가 형성되어 있었다. 3단계인 생태경관보전지역, 야생생물보호구역 등 중요 보전지역이 포함된 시나리오는 CM=0.0001, CM=0.001, CM=0.1 등 3개의 시나

리으로 도출되었다. 선정된 3개의 시나리오는 모두 중랑천 상류 야생생물 보호구역, 중랑천 하류 철새보호구역이 포함되어 보전지역 설정이 적절하다 판단되었다. 4단계인 야생조류, 양서·파충류 등 동물이 다수 서식하는 유역권이 포함된 시나리오는 한강 합수부, 청계천 합수부 등 하천생태계와 도봉산, 수락산 등 산림생태계가 포함된 유형으로 다시 구분하였다. 먼저 하천생태계가 포함되는 시나리오는 6개 모두 동일하게 포함되었다. 그러나 중랑천 상류의 도봉산, 수락산 등 산림과 인접하는 유역권이 포함된 시나리오는 CM=0.001 등 1개 시나리오로 유일하였다.

각 단계를 거쳐 선정된 중랑천 시나리오 II의 최종안인 CM=0.001은 중랑천 상·하류가 핵심보전지역으로 설정된 시

Table 4. The result of Jungrangcheon Scenario II

Scenario II		Contents
1	<ul style="list-style-type: none"> Number of watersheds in core area Watershed area ratio of core area 	<ul style="list-style-type: none"> CM=0.001 - Number of watersheds: 5 - Watershed area ratio: 0.18
		<ul style="list-style-type: none"> CM=1 - Number of watersheds: 5 - Watershed area ratio: 0.24
2	<ul style="list-style-type: none"> Number of watersheds close to the core area 	<ul style="list-style-type: none"> CM=0.0001 - Upstream watershed 2 - Downstream watershed 2
		<ul style="list-style-type: none"> CM=0.001 - Upstream watershed 3 - Downstream watershed 2
		<ul style="list-style-type: none"> CM=0.1 - Upstream watershed 5 - Midstream watershed 1 - Downstream watershed 2
		<ul style="list-style-type: none"> CM=1 - Midstream watershed 2 - Downstream watershed 1
3	<ul style="list-style-type: none"> Adjacent to the conservation area 	<ul style="list-style-type: none"> CM= 0.001 - Wildlife reserve(upstream) - Migratory bird Sanctuary (downstream)
		<ul style="list-style-type: none"> CM= 0.001 - Wildlife reserve(upstream) - Migratory bird Sanctuary (downstream)
		<ul style="list-style-type: none"> CM= 0.1 - Wildlife reserve(upstream) - Migratory bird Sanctuary (downstream)
4	<ul style="list-style-type: none"> Places with many wild animals in the watershed (adjacent mountains and rivers) 	<ul style="list-style-type: none"> CM=0.1, CM=1 - Mt. Dobogsan, Mt.Suraksan - Mt. Choansan, Hanriver - Cheonggyecheon Stream - Banghakcheon Stream
		<ul style="list-style-type: none"> CM=0.001, 0.01 - Mt. Dobogsan, Mt.Suraksan

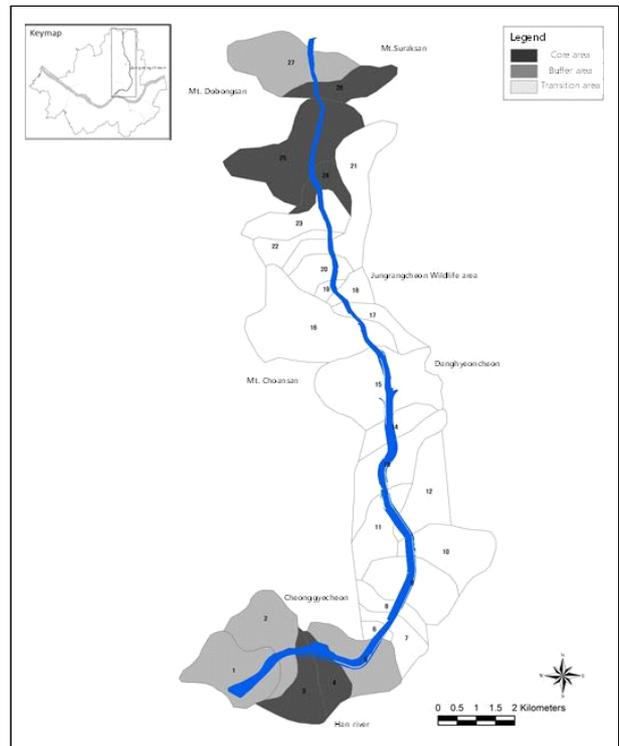


Figure 4. The result map of Jungrangcheon scenario II
Legend: ■ Core area ■ Buffer area □ Transition area

나리오로 상류는 중랑천 수계 주변으로 도봉산, 수락산, 초안산 등 산림과 연계된 유역권과 방학천 등 인근지역의 수계가 인접한 곳으로 생물종 보호 및 생태계 간 연계를 위해서 보전지역 설정이 필요하였다. 또한 상류에는 유역권 내 멸종위기종 II급으로 지정된 표범장지뱀의 서식처인 중랑천 야생생물보호구역이 위치하고 있었고, 하류에는 청계천, 한강합수부와 인접하고, 중랑천 하류 철새보호구역이 위치하고 있었다. 따라서 다양한 시나리오 중 단계별 시나리오를 통해 최종 선정된 CM=0.001을 중랑천 시나리오 II의 최종안으로 선정하였다(Table 4, Figure 4 참조).

3) 최종안 선정

시나리오 I, II 등 보전가치를 기준으로 도출된 시나리오 별 최종안을 비교한 결과, 다음과 같은 결과를 도출하였다. 보전가치를 90%를 부여한 시나리오 I의 핵심보전지역 유역권 수는 7개, 면적은 13,888,261m²로 전체 유역권 중 24%가 도출되었다. 핵심보전지역의 보전가치를 70%를 부여하여 보전지역 간 연계를 높인 시나리오 II의 핵심보전지역은 6개로 면적은 10,349,511m²로 전체 유역권 중 18%를 차지하였으며, 시나리오 I과 II의 핵심보전지역은 모두 중랑천 상류와 하류에 위치하고 있었다. 시나리오 I과 시나리오 II의 핵심보전지역을 비교한 결과, 시나리오 I의 핵심보전지역 유역권 수와 면적 모두 높게 도출되었다.

핵심보전지역에 인접한 완충지역을 비교한 결과, 시나리오 I 은 6개의 유역권으로 면적은 7,801,651m²를 차지하였으며, 전체 유역권 중 13%가 도출되었다. 시나리오 II는 4개의 유역권으로 면적은 11,925,086m²를 차지하였으며, 전체 유역권 중 20%가 도출되었다. 중랑천 유역권 내 완충지역 수는 시나리오 I 이 6개, 시나리오 II가 4개로 시나리오 I 이 많았으나, 면적비율은 시나리오 II가 20%로 월등히 높았다. 이는 시나리오 I 에서 핵심보전지역으로 설정된 유역권이 시나리오 II에서 완충지역으로 설정되어 유역권 수는 적었으나 면적의 차이가 발생한 것이었다.

시나리오 별 핵심보전지역 결합 여부를 파악한 결과, 시나리오 I 이 중랑천 상류에 5개 유역권, 하류에 2개 유역권이 연계되어 형성되어 있었고, 시나리오 II는 중랑천 상류에 3개 유역권, 하류에 2개 유역권이 연계되어 있었다. 핵심보전지역 내 중랑천 상류 야생생물 보호구역, 중랑천 하류 철새보호구역 등 주요 보전지역은 시나리오 I, II 모두 유역권 내부에 포함되고

Table 5. The comparison result of Jungrangcheon scenario I and II

Type		Scenario I	Scenario II
Core area	Conservation value	90%	70%
	Number of watersheds	7	5
	Area(m ²)	13,888,261m ²	10,349,511m ²
	Area ratio(%)	0.24	0.18
	Core area conservation target	Upstream, downstream	Upstream, downstream
Buffer area	Number of watersheds	6	4
	Area(m ²)	7,801,651m ²	11,925,086m ²
	Area ratio(%)	0.13	0.20
Number of watersheds connected between protected areas		- Upstream watershed 5 - Downstream watershed 2	- Upstream watershed 3 - Downstream watershed 2
Number of watersheds adjacent to the protected area		- Wildlife reserve (upstream) - Migratory bird sanctuary (downstream)	- Wildlife reserve (upstream) - Migratory bird sanctuary (downstream)
Wildlife habitat status	Bird	<i>Aix galericulata</i> , <i>Charadrius placidus</i>	<i>Aix galericulata</i> , <i>Charadrius placidus</i>
	Amphibia reptile	<i>Mongolia racerunner</i>	<i>Mongolia racerunner</i>
Watershed adjacent to forest		- Upstream Mt. Dobong, Surak - Downstream Uengbong	- Upstream Mt. Surak - Downstream Uengbong
Link to other rivers		- Han river - Cheonggyecheon - Dobongcheon - Banghakcheon	- Han river - Cheonggyecheon

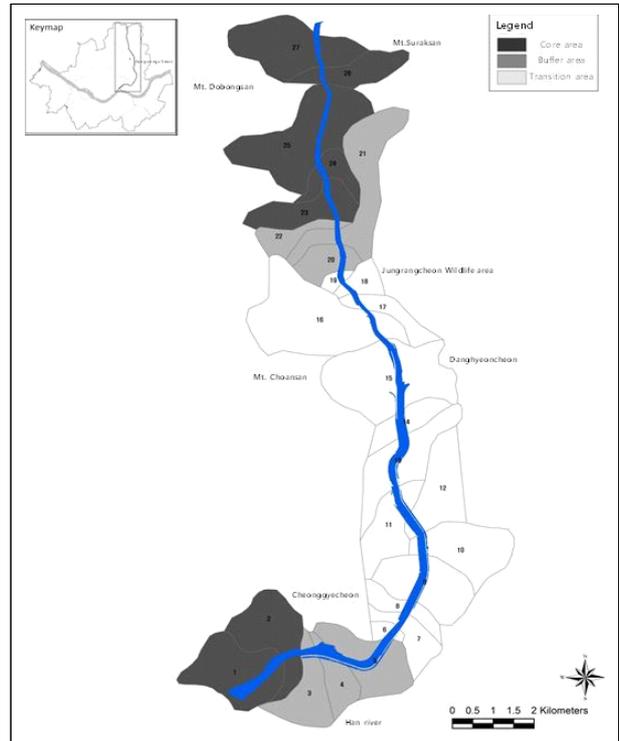


Figure 5. The final conservation area map of Jungrangcheon
Legend: ■ Core area ■ Buffer area □ Transition area

있었으며, 보전지역 내 서식하는 표범장지뱀, 원앙, 흰목물떼새 등 멸종위기종, 천연기념물 등은 모두 동일하게 분포하였다.

중랑천 시나리오 I 과 II 를 비교한 결과, 중랑천 시나리오 I 이 최종안으로 적합하였다. 시나리오 I 의 핵심보전지역은 도봉산, 수락산, 응봉산 등 산림생태계와 한강합수부, 청계천 합수부, 도봉 1, 2천 합수부, 방학천 합수부 등 하천생태계 등 생물의 서식과 은신처로 적합하고, 생물이 이동할 수 있는 이동통로 역할을 충분히 수행하는 곳으로 보전지역 설정 시 생물다양성 증진에 큰 도움을 줄 수 있었다. 또한 중랑천 상류 유역권 전체가 보전지역으로 설정되어 기존의 중랑천 상류 야생생물 보호구역의 서식범위가 확장 등이 가능하므로 시나리오 I 이 적합하였다(Table 5, Figure 5 참조).

4. 보전지역 검증과 관리방안

중랑천의 핵심보전지역은 Marxan with zones 프로그램을 이용하여 대상지의 분석기준을 설정한 후 프로그램 내 변수에 따라 반복작업을 실행하여 최적안을 도출해주는 담글질기법(annealing algorithm)을 이용하여 보전지역 최종안을 도출하였다. 생물의 이동범위를 고려하여 서식범위인 유역권을 설정하였고, 기존 보전지역으로 지정된 하천 내부뿐만 아니라, 유역권 전체로 확장하여 분석을 실시하였다. 분석방법은 중랑천 수계 주변으로 방학천, 우이천, 묵동천, 청계천 등 하천 생태계, 도봉산, 수락

산, 초안산, 영축산, 불암산 등 산림생태계, 서울숲 등 도심 내 공원녹지 등 녹지 및 오픈스페이스의 유무, 서울시 도시생태현황도를 통해 작성된 유역권 전체의 불투수포장비율, 현장조사로 작성된 하천 내 비오름유형도와 하천을 제외한 유역권 전체의 비오름유형, 유역권 내 동물생태 출현현황 등의 자료를 토대로 분석을 실시하였다.

중랑천의 핵심보전지역은 중랑천 상류 야생생물보호구역과 하류의 철새보호구역 등 현재 지정된 2개의 보호구역이었다. 중랑천 상류 야생생물 보호구역은 녹천교~상계교 구간에 위치하며, 멸종위기종 II급으로 지정된 표범장지뱀이 서식하는 공간이었다. 하천둔치와 수면사이의 모래톱 등이 보전지역으로 설정되어 있으나, 현재의 보호구역은 보호종이 출현한 지점을 기준으로 일정범위를 고려하여 보전지역을 설정하고 있으므로, 생물의 이동범위 및 주변 환경에 따른 서식범위를 고려하지 않아 보전지역 설정에 오류가 있었다. 또한 보전지역 내 산책로, 자전거도로 등 하천 이용자를 위해 조성된 시설 등으로 로드킬 등 생물에게 위협이 되는 요인들이 많아 생물 서식이 어려운 환경이었다.

중랑천 하류 철새보호구역은 중랑천과 한강 합수부 사이에 위치하며, 겨울철 철새 이동시기 중 일정기간 머무는 곳으로 다양한 철새를 서식하고 관찰할 수 있는 공간이었으며, 생물다양성 증진을 위해서는 보전 및 관리방안이 필요하였다. 현재 보호구역은 하천 수면을 기준으로 보전지역이 설정되어 있는데, 하천 수변 내 녹지, 응봉산 등이 포함되지 않아 보전지역 설정에 오류가 있었으며, 하천 내 어로행위 등 생물서식에 위협이 되는 요인이 많았다.

현재 보전지역으로 설정된 중랑천 상류와 하류 보전지역에 대한 개선을 위해 하천 내부와 유역권 전체 관리방안을 제안하였다. 먼저 하천 내 관리방안으로는 첫째, 불법 어로행위, 로드킬 등 생물 위협요인 제거를 위한 산책로 및 자전거도로 우회로 조성 및 산책로 폐쇄, 철새보호구역 내 어로행위 감시 등이 필요하였다. 둘째, 지속적인 모니터링을 통한 생물서식처 변화 기록 및 위협요인 조기 제거 등이 필요하였다. 보전지역 내 생물 서식현황 및 변화를 기록하여 생물에 위협이 되는 요인을 제거할 필요가 있었다. 또한 하천 내 생태계 교란종으로 지정된 단풍잎돼지풀, 미국쑥부쟁이 등 식생의 제거, 환삼덩굴, 가시박 등 덩굴성 식물의 제거를 통해 식생 피압을 막아야 할 필요가 있었다. 셋째, 생물의 번식기, 산란기 등 생물활동에 중요한 은신처 및 서식처를 제공하기 위해 버드나무, 갈대, 물억새 등을 수변가에 조성하고, 서식처 주변을 통제하여 일시적으로 출입을 금지하는 방안이 필요하였다. 하천 내 이용자의 출입을 막아 생물의 안전한 생물활동을 유도할 필요가 있었다. 넷째, 하천 내 어도 조성을 통한 생물 먹이터 조성 등의 방안이 필요하였다. 중랑천 하류 철새보호구역에는 어류를 먹이로 하는 야

생조류들이 다수 관찰되는 곳으로 하천 내 어도 조성을 통해 먹이를 공급해야 할 필요가 있었다.

유역권 전체의 관리방안으로는 첫째, 기존 보전지역과 인접하는 산림과 하천생태계의 연계를 위해 하천과 산림 사이에 거점녹지를 조성하여 생물 이동통로 설정 등 방안이 필요하였다. 이를 통해 하천 내 생물뿐만 아니라, 주변의 다양한 서식처에서 이동이 가능하여 생물다양성 증진에 도움을 줄 수 있는 방안이 필요하였다. 둘째, 보전지역 주변 안내센터 조성을 통한 도심 내 보전지역 홍보 및 시민참여 유도가 필요하였다. 중랑천 내 보전지역으로 설정된 상류와 하류에는 보전지역 설정에 대한 안내가 부족하여 해당지역을 모르고 지나치는 경우가 많아 로드킬, 낚시 등 불법어로행위 등이 발생되고 있었다. 따라서 보전지역을 홍보하기 위해 유역권 내 안내센터를 조성하여 지역주민에게 생물보전지역에 대한 교육을 제공하여 인식변화, 자발적인 주민참여를 통한 하천 모니터링 등을 유도해야 할 필요가 있었다.

IV. 결론

본 연구는 Marxan with zone 프로그램을 적용하여 서울시 내 도시하천 중 중랑천을 대상으로 생태계 가치를 고려한 보전지역 설정을 목적으로 하였다. 첫째, 보전지역 설정 프로그램 중 하나인 Marxan with zones는 생태계 가치에 따른 맵핑지표를 통해 유형 별 도면을 작성하고, 유형 별 도면을 중첩시킨 후 보전지역의 길이 및 다양한 변수에 따라 반복적인 작업을 통해 최적의 시나리오를 작성하고, 최적의 시나리오를 이해관계자들에게 제공해준다. 따라서 하천의 구조, 유형이 비슷한 국내 하천을 구분하여 선정된 하천을 분석하여 도출된 최종안을 기준으로 국내 대부분의 하천에 적용 가능하였다.

둘째, Marxan 프로그램을 이용한 보전지역 설정을 위해서는 생태계 가치를 고려하여 작성된 기초자료가 필요하였다. 보전지역의 계획단위는 산림분포비율이 높은 한국의 지형특성을 반영하고, 도심지 내부를 흐르는 하천 및 주변 수계, 야생동물 서식단위의 기본단위 등을 고려한 유역권 설정이 필요하였다. 기존 설정된 보전지역은 수면과 하천 내부만 설정되었고, 생물의 이동범위 및 서식범위, 주변 서식환경 등을 고려하지 않은 경계설정으로 보전지역 설정에 오류가 있었다. 따라서 유역권을 통한 보전범위 설정 시 대상지의 경사, 하천 및 수계, 중형 포유류의 핵심행동권 범위 등을 고려한 보전지역 설정이 필요하였다.

셋째, 하천의 생태적 가치를 고려한 맵핑지표 설정이 필요하였다. 서울시 도시생태현황도에서 도출한 불투수포장율을 기준으로 작성된 불투수지수, 서울시 도시생태현황도에서 하천을 제외한 유역권 전체의 토지이용유형과 식생현황을 기준으로

작성된 비오톱지도, 현장조사를 통해 하천 내부의 식생유형을 기준으로 작성된 하천 내 비오톱지도, 야생조류 및 양서·파충류 출현지점 및 현황을 통해 작성된 동물생태 출현현황도 등 다양한 유형의 맵핑지표가 작성되어 Marxan with zones 프로그램에 반영되었다.

넷째, 기존 생태경관보전지역의 검증 및 야생생물보호구역 설정체계를 검증한 결과, 경계설정 및 보전지역 설정에 대한 기준은 있었으나, 생물이 출현한 지점을 중심으로 보전경계가 지정되어 있으므로, 생물의 이동범위, 서식처 확대 및 주변지역 연계를 고려하지 않은 경계설정으로 오류가 있었다. 따라서 기존 보전지역의 생물서식범위 확대, 주변 생물권의 연계를 고려한 보전지역 설정이 필요하였다.

관리방안은 하천과 유역권을 구분하여 제안하였다. 하천에서는 보호지역 내에서 발생하는 불법행위, 생태계 교란야생생물의 관리와 주요 보호야생동물의 서식지 보호관리, 이용자 관리 등을 제안하였고, 유역권 차원에서는 하천과 주변 생태계와의 연결성 강화, 하천 이용자들에게 대한 인식제고를 위한 홍보 및 주민참여 모니터링 등을 제안하였다.

본 연구는 하천 생태계의 지속가능한 관리를 위한 관리지역 설정에 있어 하천을 포함하는 유역권을 공간기준으로 설정하고, 하천의 생태적 가치와 주변 유역권의 생태적 가치를 종합하여 정량적인 분석방법을 활용하였다. 특히 도시에서 하천의 생태적 기능과 유역권의 제내지가 하천에 미치는 영향 등을 고려했을 때 하천의 보호지역을 포함한 관리지역의 설정은 하천 구역 내로 제안되는 것이 아니라, 보다 광역적인 측면에서 유역권 차원에서 시행되어야 하며, 유역권의 관리 또한 도시의 전체적인 생물다양성 관리 측면에서 도시계획 등과 연계되어 시행이 필요하였다.

References

1. Ardron, J. A., H. P. Possingham and C. J. Klein(2010) Marxan Good Practices Handbook, Version 2. Pacific Marine Analysis and Research Association, Victoria, BC, Canada, p. 165.
2. Bos, J.(1993) Zoning in forest management—a quadratic assignment problem solved by simulated annealing. *Journal of Environmental Management* 37(2): 127-145.
3. Choi, S. H.(2008) Biotope mapping and evaluation in Gangseo-gu of Busan metropolitan city. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 11(3): 92-106.
4. Horton, R. E.(1945) Erosional development of streams and their drainage basins: Hydro-physical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin* 56(3): 275-370.
5. Jung, T. J.(2010) A Study on the Construction Methods and the Distribution of Proper Spatial Function for Making Urban Stream into Close-to-Nature Stream, Master's Thesis, University of Seoul, Korea, p. 143.
6. Lee, H. J., J. Y. Cha, C. U. Chung, Y. C. Kim, S. C. Kim, G. H. Kwon and J. J. Kim(2014) Home range analysis of tree midium-sized mammals in Sobeaksan National Park a water system. *Journal of the Korea Society for Environmental Restoration Technology* 17(6): 51-60.
7. Otto, B., K. McCormick and M. Leccese(2004) Ecological Riverfront Design: Restoring Rivers, Connecting Communities. *American Planning Association*, p. 151.
8. Seoul(2017) Seoul River Environment Evaluation and Management Strategy Establishment. Seoul Metropolitan Government, p. 1,045.
9. Straher, A. N.(1952) Hypsometric of erosional topography. *Bulletin Geol. Soc. Amer* 63: 1,117-1,142.
10. Seoul Independent City(2003) Maintenance Plan for River in Cheonggyecheon Stream. Seoul Independent City, p. 427.
11. Watts, M., B. Ian, S. Romola, K. Carissa, W. Kerrie, S. Charles, L. Reinaldo, K. Lindsay and P. Hugh(2009) Marxan with zones: Software for optimal conservation based land-and sea-use zoning. *Environmental Modelling & Software* 24: 1513-1521.
12. Woo, H. S.(2004) Evolution and prospect of national river project-indicators of Cheonggyecheon project. *Journal of Korea Water Resources Association* 37(1): 41-46.
13. Yoon, H. G.(2018) A Study on Zoning and Management of Conservation Area and Ecological Management Plan on Urban Stream Using Marxan, Master's Thesis, Graduate School of University of Seoul, Korea, p. 212.

Received : 28 July, 2020

Revised : 31 August, 2020

Accepted : 31 August, 2020

4인익명 심사필

(1st)