





| SRI-기본-2020-8 |

# 공간생태학적 특성을 고려한 수원시 그린인프라 구축기법 연구

Green Infrastructure with the Consideration of Spatial Ecological Characteristics  
in Suwon

김은영

연구진

연구책임자 김은영 (수원시정연구원 연구위원)

참여연구원 정경민 (수원시정연구원 위촉연구원)

연구 자문위원

김명수 (국토연구원 본부장)

박 찬 (서울시립대학교 교수)

송원경 (단국대학교 교수)

신지영 (한국환경정책·평가연구원 연구위원)

윤은주 (국토연구원 부연구위원)

이동근 (서울대학교 교수)

이양주 (경기연구원 선임연구위원)

조세환 (한양대학교 명예교수)

최희선 (한국환경정책·평가연구원 연구위원)

© 2020 수원시정연구원

**발행인** 최병대

**발행처** 수원시정연구원

경기도 수원시 권선구 수인로 126

(우편번호) 16429

전화 031-220-8001 팩스 031-220-8000

<http://www.suwon.re.kr>

**인쇄** 2020년 10월 30일

**발행** 2020년 10월 30일

**ISBN** 979-11-90343-54-1 (93300)

---

이 보고서를 인용 및 활용 시 아래와 같이 출처 표시해 주십시오.

김은영. 2020. 「공간생태학적 특성을 고려한 수원시 그린인프라 구축기법 연구」. 수원시정연구원.

---

비매품

## 국문요약

폭염, 폭우 등 이상기후가 증가함에 따라 도시열섬 및 도시홍수가 발생하는 등 도시환경문제가 빈번하게 발생하고 있다. 이와 같은 도시문제는 도시의 불투수면적 증가에 따른 것으로 도시의 지속가능성측면에서 그린인프라의 중요성이 강조되고 있는 실정이다. 하지만 현재 그린인프라 구축을 위해 선행되어야 하는 녹지축이 추상적인 네트워크를 제공하는데 그치고 있어 지속가능한 도시를 관리하는데 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 공간생태학적 특성을 고려한 구체적이고 객관적인 그린인프라 구축기법을 제시하여 수원시 그린인프라를 제공하고자 한다.

본 연구에서는 공간생태학적 특성을 고려한 그린인프라 구축을 위해 다양한 모델링 기법 및 공간자료를 검토하였으며, 지형 및 수분의 활력도 등을 반영하여 도시의 기반시설로서 그린인프라를 분석하였다. 수원시의 그린인프라 범위를 산림, 하천, 공원녹지, 농경지 등을 포함하는 녹지비오톱을 대상으로 하였다. 수원시 그린인프라를 구축하기 위해 D8 알고리즘이 적용된 SWAT 모형을 활용하였으며 데이터는 수치표고모델(DEM) 대신 Landsat 8 영상을 이용한 정규식생수분지수(NDMI) 값을 입력데이터로 활용하였다. SWAT 모형을 이용한 결과 수원시의 북측과 남측으로 구분되었다. 북측은 광교산과 칠보산에 이어지는 녹지축이 도출되었으며, 남측은 하천을 중심으로 녹지축이 이어지는 것을 확인할 수 있다. 수원시 내부에서 외부로 향하는 간선 녹지축은 크게 6개의 축이 존재하고 있다. 6개의 축은 1) 숙지산-서호·여기산-서울대수목원-황구지천 경작지-칠보산 2) 수원비행장 북측 경작지-서호천-평리들 3) 효원공원-원천리천 4-1) 화홍문-수원천-광교산 4-2)연암공원-광교산 5) 신대호수-광교중앙공원-광교산으로 구분된다. Landsat 8 영상에서는 하천 위에 설치된 교량 등이 인공지반으로 인식되어 단절된 것으로 인식하여 하천정보를 추가로 반영하여 녹지축을 설정하였다.

정규식생수분지수를 이용함에 따라 과거 산림 위주의 녹지축 설정에서 산림, 하천, 농경지를 동시에 고려한 결과 광교산, 칠보산으로 연계된 산림축과 황구지천 등의 중요 하천축이 포함되어 그린인프라 중심축을 설정했다는 점에서 의의가 있다. 이러한 녹지축은 광역 및 국가차원에서의 녹지축과 인접 지자체와 연계할 수 있는 기반이 마련되었다.

향후 녹지축을 구축하는 보다 다양한 모델링 기법을 적용하여 녹지축의 일반화 과정을 수행할 필요가 있다. 또한, 연구 데이터로 Landsat 8 위성영상을 사용함에 따라 하천 위에 설

치된 교량으로 인해 하천축이 단절된 것으로 분석된 것이 연구의 한계라 할 수 있다.

본 연구결과를 토대로 기존의 추상적인 개념에 그치는 녹지축이 아닌 객관적 데이터에 근거한 녹지축을 설정함으로써 수원시의 보전대상이 될 수 있는 기반을 마련하고 이를 통해 환경친화적이고 지속가능한 토지이용계획 수립이 가능할 것이다. 나아가 수원의 녹색도시 실현을 위해서는 수원시 내 녹지축 보호를 위한 제도 마련, 공간계획과 연계된 그린인프라 전략 수립, 녹지축과 도시녹지를 연계할 수 있는 그린인프라 구축사업과 이를 위한 시민참여 확대 방안 등의 정책이 뒷받침되어야 한다.

주제어: 도시생태계, 그린인프라, 녹지축, 정규식생수분지수(NDMI), SWAT 모델

---

## 차례

---

<b>제1장 서론</b> .....	<b>1</b>
제1절 연구의 배경 및 목적 .....	3
1. 연구의 배경 .....	3
2. 연구의 목적 .....	5
제2절 연구의 범위 및 방법 .....	6
1. 연구의 범위 .....	6
2. 연구의 방법 .....	6
 <b>제2장 이론적 고찰</b> .....	 <b>9</b>
제1절 그린인프라의 개념 .....	11
1. 그린인프라의 정의 .....	11
2. 그린인프라의 특성 .....	13
3. 그린인프라 네트워크의 유사개념 비교 .....	19
제2절 국내·외 사례 검토 .....	24
1. 국외사례 .....	24
2. 국내사례 .....	36
 <b>제3장 공간생태학적 그린인프라 구축 방법론</b> .....	 <b>49</b>
제1절 그린인프라 구축 방법론 사례 .....	51
1. 산줄기연결망 구축 .....	51
2. SWAT 모형 .....	54
3. 공간그래프 이론 .....	56
4. 최소비용경로 .....	58
5. 써킷스케이프(Circuitscape) .....	60
6. 정규식생지수(NDVI) .....	64

7. 정규식생수분지수(NDMI) .....	67
제2절 수원시 그린인프라 구축체계 마련 .....	69
1. 그린인프라 중심 녹지축 분석 방향 .....	69
2. 그린인프라 연결성 분석 체계 .....	73
<b>제4장 수원시 그린인프라 구축 .....</b>	<b>79</b>
제1절 수원시 그린인프라 구성요소 및 현황 .....	81
1. 수원시 그린인프라 구성요소 .....	81
2. 수원시 그린인프라 현황 .....	82
3. 녹지축 설정 현황 .....	88
제2절 공간생태적 특성을 고려한 수원시 그린인프라 구축 .....	90
1. 정규수분식생지수(NDMI) 자료 구축 .....	90
2. 수문분석도구(SWAT)를 활용한 녹지축 추출 .....	91
3. 수원시 녹지축 추출 결과 .....	93
4. 녹지축 연계방안 .....	94
<b>제5장 결론 .....</b>	<b>99</b>
제1절 결론 .....	101
제2절 정책 제언 .....	103

---

## 표 차례

---

〈표 2-1〉 그린인프라의 다양한 정의 .....	12
〈표 2-2〉 그린인프라 구성요소 .....	16
〈표 2-3〉 지역 규모에 따른 그린인프라 요소 및 기능 .....	17
〈표 2-4〉 그린인프라 계획의 원칙 .....	19
〈표 2-5〉 그린인프라 네트워크 관련 용어의 개념과 특징 비교 .....	23
〈표 2-6〉 허브의 맵핑 기준 .....	25
〈표 2-7〉 코리더의 맵핑 기준 .....	26
〈표 2-8〉 올 런던 그린그리드 목표 및 기능 .....	32
〈표 2-9〉 아이치현 자연환경 보전전략 행동규칙 .....	33
〈표 2-10〉 서울플랜 공원녹지부문 목표체계 .....	38
〈표 2-11〉 지방자치단체 환경보전계획 수립지침 자연생태부문 계획 .....	41
〈표 3-1〉 산줄기연결망 체계분석의 기본조건 및 참조대상 .....	53
〈표 3-2〉 토지피복 유형에 따른 저항값 .....	63
〈표 3-3〉 그린인프라 네트워크 구축에 사용되는 주요 기법 .....	70
〈표 3-4〉 그린인프라 분석 모델 특성 비교 .....	71
〈표 3-5〉 그린인프라 구성요소 및 분석 방법에 따른 모델링 기법 적용 가능성 .....	72
〈표 4-1〉 수원시 산림현황 .....	83
〈표 4-2〉 수원시 하천 .....	84
〈표 4-3〉 수원시 공원·녹지·가로수 현황 .....	86
〈표 4-4〉 수원시 농경지 현황 .....	87
〈표 4-5〉 수원시 4대 하천 정비구상 .....	89

---

## 그림 차례

---

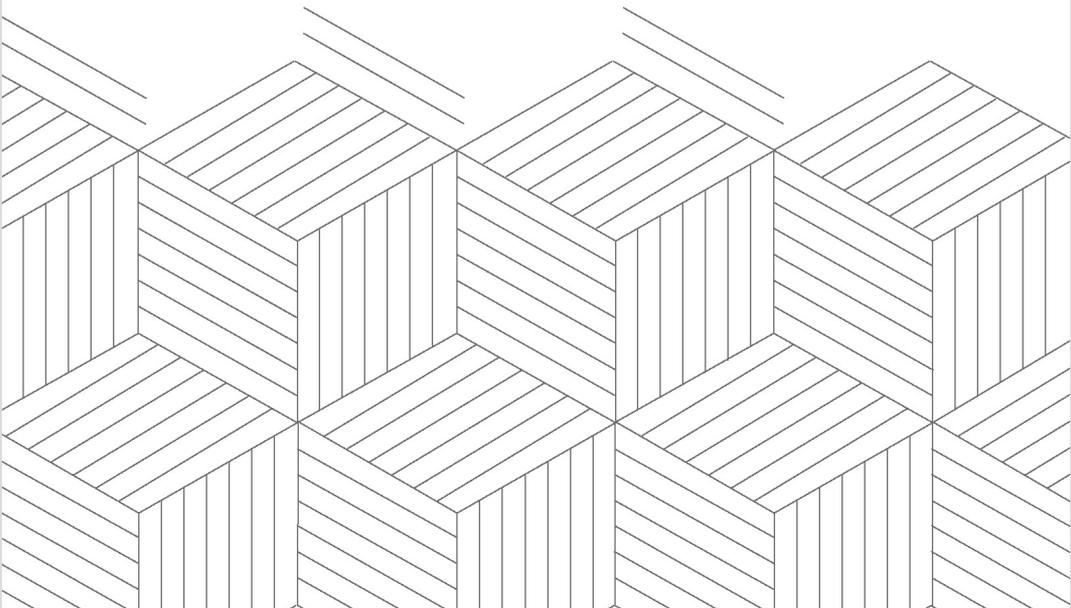
〈그림 1-1〉 2020 수원시 녹지축 구상 .....	4
〈그림 1-2〉 2030 수원시 녹지축 구상 .....	4
〈그림 1-3〉 연구 목적 .....	5
〈그림 1-4〉 연구의 방법 및 흐름 .....	7
〈그림 2-1〉 그린인프라의 구성요소 .....	14
〈그림 2-2〉 그린인프라 네트워크의 개념도 및 조감도 .....	15
〈그림 2-3〉 보스톤 그린웨이 분포도 .....	20
〈그림 2-4〉 수도권 생태축 .....	21
〈그림 2-5〉 부산시 생태네트워크 설정 모형 .....	22
〈그림 2-6〉 하워드 카운티 그린인프라 네트워크 및 보호구역 .....	27
〈그림 2-7〉 하워드 카운티 그린인프라 대화식 맵 .....	28
〈그림 2-8〉 런던의 지역계획 체계 .....	29
〈그림 2-9〉 런던의 전략적 열린공간 네트워크 .....	30
〈그림 2-10〉 런던 그린그리드 계획 .....	31
〈그림 2-11〉 아이치현 생태계 네트워크 계획 이미지 .....	34
〈그림 2-12〉 슈트트가르트의 Green-U forest .....	35
〈그림 2-13〉 독일 슈트트가르트의 녹지축 현황 및 녹지계획 .....	36
〈그림 2-14〉 ‘2030 서울플랜’ 공원서비스 소외지역의 공원 확충 구상 .....	37
〈그림 2-15〉 서울시 녹지축 단절구간 종합 .....	38
〈그림 2-16〉 ‘2030 서울플랜’ 녹지축을 연결한 그린네트워크 구축 체계 .....	39
〈그림 2-17〉 환경계획과 국토계획의 연계 체계 .....	40
〈그림 2-18〉 생태축(네트워크) 도면 작성의 예 .....	41
〈그림 2-19〉 대전광역시 방사환상형 녹지체계 .....	43
〈그림 2-20〉 바이오툼 유형평가 지표 및 가치등급 .....	44
〈그림 2-21〉 대전광역시 생태네트워크 기본 틀 유도방법 .....	45
〈그림 2-22〉 청주시 생활권 생태네트워크 구축 방법 .....	45
〈그림 2-23〉 청주시 생활권 생태네트워크 .....	47

〈그림 3-1〉 산자분수령(山自分水嶺)의 개념 .....	52
〈그림 3-2〉 산줄기연결망 체계의 줄기 - 가지관계 .....	52
〈그림 3-3〉 위계화된 산줄기 및 물줄기 구축 결과 .....	53
〈그림 3-4〉 산줄기연결망 체계도(1~5차 산줄기·물줄기) .....	54
〈그림 3-5〉 SWAT 모형 입력 데이터 .....	55
〈그림 3-6〉 공간그래프 이론을 활용한 연결망 모형 .....	57
〈그림 3-7〉 전통적인 그래프이론과 공간그래프이론의 주요 차이점 .....	58
〈그림 3-8〉 최소비용경로 분석의 적용 과정 예시 .....	59
〈그림 3-9〉 공간그래프와 최소비용거리 이론을 적용한 삶의 이동경로 분석 .....	60
〈그림 3-10〉 전류의 흐름 구조 .....	61
〈그림 3-11〉 씨킷스케이프를 리치몬드시의 활용한 연결성 분석 결과 .....	62
〈그림 3-12〉 토지피복의 저항값을 반영한 연결경로 탐색과정 .....	62
〈그림 3-13〉 씨킷스케이프 분석결과(A) 및 유의미한 연결통로의 구분결과(B) .....	63
〈그림 3-14〉 기능적 연결성 분석을 통한 연결성 평가 .....	64
〈그림 3-15〉 정규식생지수(NDVI)의 개념 .....	65
〈그림 3-16〉 인공위성 종류에 따른 정규식생지수(NDVI) 계산식 .....	66
〈그림 3-17〉 정규식생지수(NDVI) 표현 예시 .....	66
〈그림 3-18〉 인공위성 종류에 따른 정규식생수분지수(NDMI) 계산식 .....	67
〈그림 3-19〉 Landsat8 위성영상을 이용한 정규식생수분지수(NDMI) 표현 .....	68
〈그림 3-20〉 정규식생수분지수(NDMI)를 이용한 발작물의 수분스트레스 분석 사례 ..	68
〈그림 3-21〉 그린인프라 연결성 분석 체계 .....	73
〈그림 3-22〉 그린인프라 연결성 분석 체계 .....	73
〈그림 3-23〉 D8 알고리즘 .....	75
〈그림 3-24〉 구역의 구성요소 .....	75
〈그림 3-25〉 DEM을 통해 묘사된 구역 .....	76
〈그림 3-26〉 하천차수 결정방법 .....	77
〈그림 3-27〉 수문분석도구(SWAT)를 활용한 녹지축 추출 과정 .....	78
〈그림 4-1〉 수원시 그린인프라 구성요소 .....	82
〈그림 4-2〉 수원시 산림 현황도 .....	83
〈그림 4-3〉 수원시 하천 및 저수지 현황 .....	85
〈그림 4-4〉 수원시 공원·녹지 현황도 .....	86

〈그림 4-5〉 수원시 농경지 현황도 .....	87
〈그림 4-6〉 수원시 공원녹지체계 구상도 .....	88
〈그림 4-7〉 정규식생수분지수(NDMI) 분포도 .....	90
〈그림 4-8〉 수정된 정규식생수분지수(NDMI) 분포도 .....	91
〈그림 4-9〉 분석규모별 녹지축 분석 .....	92
〈그림 4-10〉 정규식생수분지수(NDMI)값을 활용한 수원시 녹지축 .....	93
〈그림 4-11〉 하천축이 보완된 수원시 녹지축 .....	94
〈그림 4-12〉 한남정맥 현황 .....	95
〈그림 4-13〉 경기녹지축 현황 .....	95
〈그림 4-14〉 토지이용계획과의 연계방안 .....	96
〈그림 4-15〉 도시생태현황도와의 연계방안 .....	97
〈그림 4-16〉 가로수 및 학교숲과의 연계방안 .....	98

# 제1장 서론

제1절 연구의 배경 및 목적  
제2절 연구의 범위 및 방법





# 제1장 서론

## 제1절 연구의 배경 및 목적

### 1. 연구의 배경

산업화에 따른 빠른 도시화와 개발수요에 대체하기 위하여 공급에 초점을 맞춘 토지정책으로 난개발과 생태계 훼손 등의 환경문제가 초래되었다. 도시지역에서의 불투수면적의 증가는 도시열섬효과를 가중시켜 폭염에 취약할 뿐만 아니라 우수유출 등으로 집중호우 시 도심홍수의 원인이 되는 등 도시지역은 이상기후에 더욱 취약한 공간이 되었다. 최근 들어 자연환경과 생태계에 대한 관심과 가치가 높아지고 환경이 삶의 질을 좌우하는 중요한 요소로 부각되면서 도시지역의 자연환경 보전에 대한 보다 체계적이고 과학적인 접근뿐만 아니라 사전예방 노력이 더욱 필요로 하고 있다(한국환경정책·평가연구원, 2007). 특히, 도시녹지와 생물서식지 등의 도시생태계는 각종 주택 및 주거단지, 도로 및 철도, 공장 등의 무분별한 개발과 외연적 확산으로 훼손과 단편화를 초래하고, 실제 생물이 서식가능하고 생태적 기능을 하는 녹지도 지속적으로 감소하고 있는 실정이다. 이는 우리나라 도시화율이 2018년 기준 81.4%<sup>1)</sup>로 인구 대다수가 도시지역에 거주하고 있는 점을 감안하면 도시녹지의 체계적인 보전과 관리가 중요하다.

도시생태축은 도시생태계 및 자연환경, 생물다양성을 보전하고 개발과 보전의 상충 해소, 지속가능한 도시발전을 위한 대표적인 공간관리 수단으로 활용되고 있다(박창석·오규식, 2007). 특히, 도시생태축의 구축을 통해 생물서식공간이 취약한 도시공간에 다양한 생물다양성을 확보하거나 바람길, 열섬효과 저감 등 도시미기후를 조절이 가능하며, 보전이 꼭 필요한 토지를 사전에 보전하게 되어 더 좋은 개발을 유도할 수 있다(Benedict and McMahon, 2006). 도시생태축은 한번 훼손되면 회복하기 어려울 뿐만 아니라 다시 회복하는데 많은 비용과 시간이 소모되기 때문에 사전 예방과 보전이 경제적인 측면에서 가장 효과적이다(한국환경정책·평가연구원, 2007).

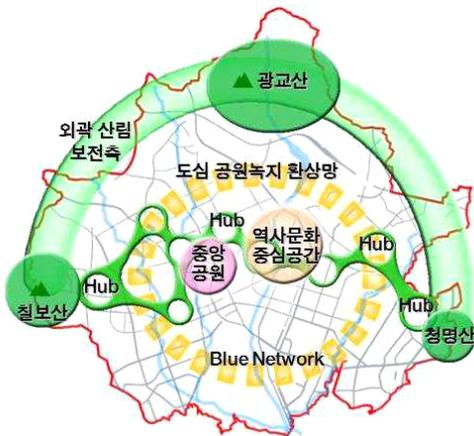
최근 선진국에서는 도시생태축 구축을 넘어 도시지역의 녹지를 기반시설측면에서 접근하

1) UN 「<http://esa.un.org/unpd/wup>, World Urbanization Prospects, the 2018 Revision」 2018. 8

는 도시생태계를 보전·관리하는 사례가 증가하고 있다. 특히, 미국, 영국 등에서는 녹지기반 시설(Green Infrastructure)이라는 개념을 통해 도시생태축을 도로, 상·하수도 등 사회기반 시설(Grey Infrastructure)과 같이 반드시 구축하고 마련해야 하는 사회적 기반임을 강조하고 있다(박창석·오구식, 2007). 특히, 영국 런던의 경우 도시계획체계 내에 그린인프라 개념이 포함되어 있으며 실질적인 공간계획으로 구현되고 있다(Wright, 2011; 김용국·손용훈, 2012). 그린인프라는 자연생태계의 가치와 기능을 보전하고 인간에게 관련 혜택을 제공하는 상호 연결된 녹지 네트워크로서 환경, 사회, 경제 지속가능성에 필요한 생태 프레임워크라고 할 수 있다(Benedict and McMahon, 2002). 특히, 그린인프라의 확대는 도시의 지속가능성을 향상시키는 주요 전략 중 하나이며 경관생태원칙을 사용하여 지역의 생태적 안정성을 달성하기 위한 접근법으로 간주된다(Shi and Qin, 2018).

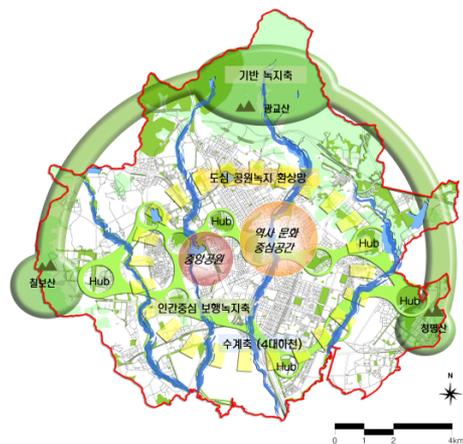
이와 같이 그린인프라 측면에서 도시환경을 보전·관리하기 위해서는 그린인프라의 중심이 될 수 있는 도시생태축 설정이 선행되어야 하며, 이를 고려한 도시계획이 수립되어야 한다. 하지만 2020 공원녹지기본계획과 2030 도시기본계획 등에 제시된 녹지축 설정은 추상적인 네트워크를 제공하는데 그치고 있어 지속가능한 도시계획 수립에는 한계가 있다.

〈그림 1-1〉 2020 수원시 녹지축 구상



자료: 수원시(2012) 2020 수원시 공원녹지 기본계획  
수원시(2018a) 2030 수원도시기본계획 변경(안)

〈그림 1-2〉 2030 수원시 녹지축 구상



자료: 수원시(2020) 2030 수원시 공원녹지 기본계획  
공청회 자료집

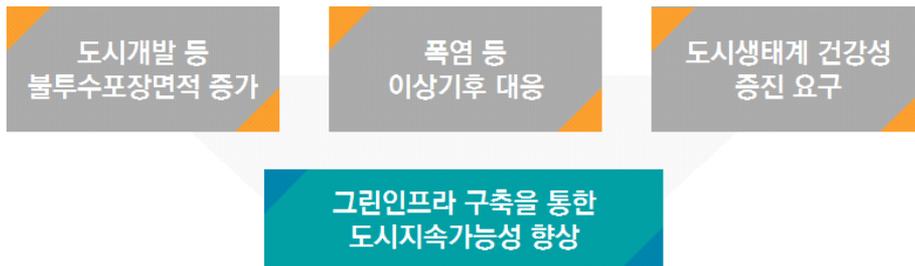
도시기본계획 및 공원녹지기본계획 등 관련 기본계획 수립 시 녹지축을 설정함에 있어 체계적이고 객관적인 분석방법이 부재하며, 주변 지역과의 연계성이 떨어지는 것이 문제라 할 수 있다. 이와 관련하여 환경부는 「자연환경보전법」을 통해 한반도 생태축을 국가(환경부)-광역시(시·도지사)-지역(기초지자체장) 등으로 위계별로 설정하고, 보전·복원까지 체계적으로

관리하고자 한다(강은하 외, 2019). 따라서 지역차원에서의 녹지축을 설정하더라도 연접 지역의 녹지뿐만 아니라 녹지 특성 및 분포 등 공간생태학적 측면에서의 고려가 필요하다.

## 2. 연구의 목적

본 연구에서는 도시화로 인한 불투포장면적 증가로 인한 환경영향을 최소화하고 도시생태계 건강성 증진을 위해 공간생태학적 특성을 고려하여 객관적이고 체계적인 그린인프라 구축 방법론을 제시하고자 한다. 본 연구 결과를 통해 보다 실효성 있는 녹지계획 수립이 가능하며 국가 혹은 광역생태축과의 연계성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

〈그림 1-3〉 연구 목적



### AS IS

- 지자체 차원에서의 녹지축 설정
- 국가(광역)생태축과의 낮은 연계성
- 녹지축 등 추상적인 수준의 그린인프라 구축
- 구체적인 방향성 없이 녹지 연결성 위주의 그린인프라 설정



### TO BE

- 객관적·체계적인 그린인프라 구축 방법론 제시
  - 공간생태학적 측면에서의 방법론 사례 증가
- 그린인프라 구축을 위한 실효성 있는 녹지계획 수립 방안 마련
- 향후 국가(광역)생태축과의 연계성 확보 가능

## 제2절 연구의 범위 및 방법

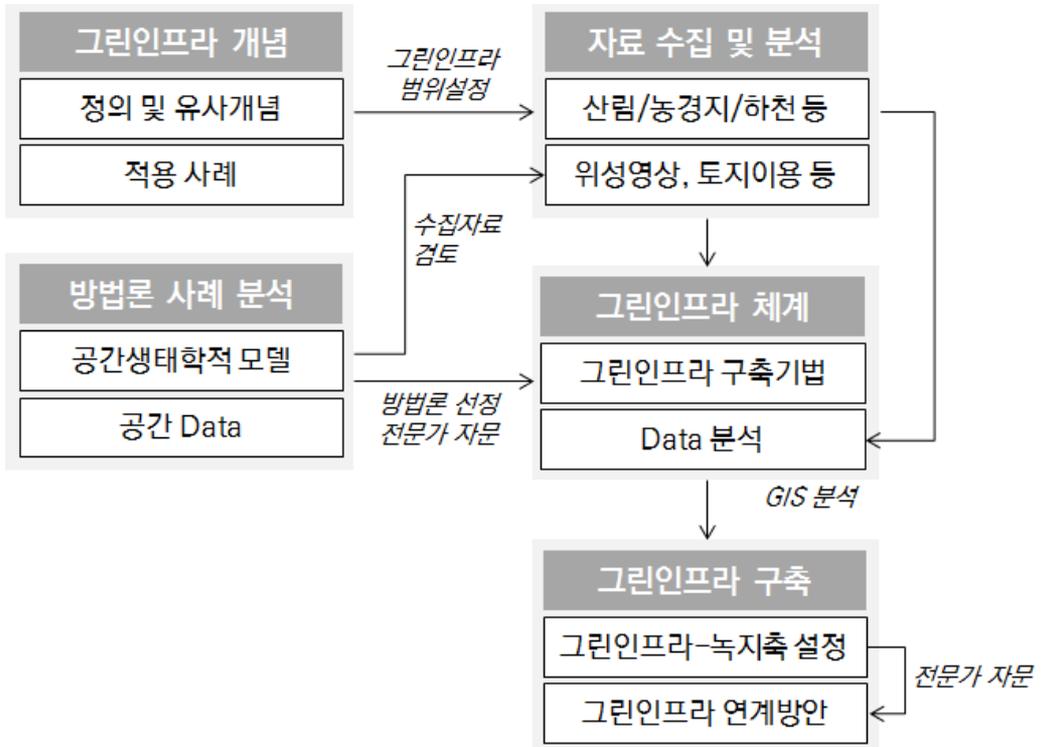
### 1. 연구의 범위

본 연구의 내용적 범위는 수원시 전역을 대상으로 산림, 습지, 기타 자연지역으로 연결된 그린인프라를 대상으로 녹지축을 분석하였다. 녹지축 분석을 위해 산줄기연결망 구축, SWAT 모형, 공간그래프 이론, 최소비용경로, 써킷스케이프(Circuitscape), 정규식생지수(NDVI), 정규식생수분지수(NDMI) 등 다양한 공간생태학적 분석기법들을 대상으로 수원시에 적합한 그린인프라 연결성 분석기법을 연구하였다.

### 2. 연구의 방법

본 연구는 보다 실효성 있는 녹지계획 수립을 위해 수원시의 그린인프라 중심축인 녹지축을 분석하고 평가하였다. 이를 위해 그린인프라의 개념을 확인하고 국내·외의 적용 사례를 살펴보았으며 이를 통해 그린인프라의 범위를 설정하였다. 또한 수원시 그린인프라 분석에 공간생태학적 기법을 적용하기 위해 산줄기연결망 구축, SWAT 모형, 공간그래프 이론, 최소비용경로, 써킷스케이프(Circuitscape), 정규식생지수(NDVI), 정규식생수분지수(NDMI) 등 다양한 분석기법들을 검토하였다. 설정된 그린인프라의 범위에 해당하는 산림, 농경지, 하천 등 수원시 내 위치하는 그린인프라 조성 현황을 파악하였으며 위성영상, 토지이용현황 등을 분석하였다. 검토된 다양한 공간생태학적 특성을 고려한 그린인프라 분석기법들 중 수원시 현황을 바탕으로 가장 적합한 방법론 선정을 위해 전문가 자문을 실시하였고 이에 따라 수문 분석도구인 SWAT(Soil and Water Assessment Tool)을 활용하여 생태축을 추출하였다. 분석에는 ArcGIS 10.1을 이용하였다. 마지막으로 수원시 그린인프라 연결성 증진을 위해 녹지축을 설정하였고 설정된 녹지축의 실효성 있는 수립 방안 마련을 위해 향후 토지이용 및 도시생태현황도 등과의 연계방안을 제시하였다.

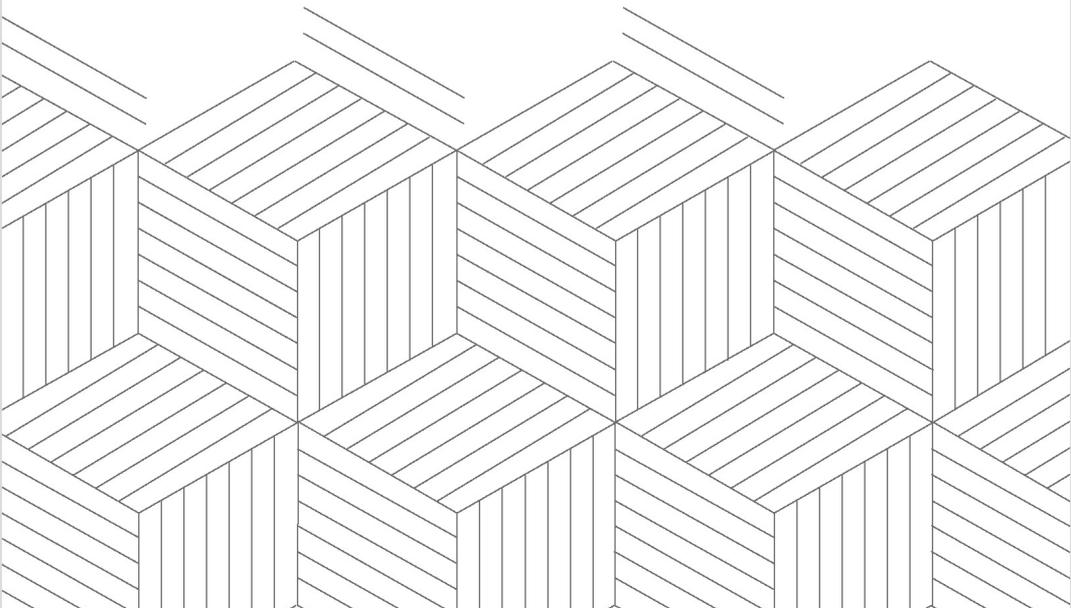
〈그림 1-4〉 연구의 방법 및 흐름





# 제2장 이론적 고찰

제1절 그린인프라의 개념  
제2절 국내·외 사례 검토





## 제2장 이론적 고찰

### 제1절 그린인프라의 개념

#### 1. 그린인프라의 정의

그린인프라스트럭처(green Infrastructure)의 사전적 의미는 ‘녹색사회기반시설’로 녹지, 공원 등의 생태적 요소를 뜻하는 ‘green’과 생활환경을 형성하는 기반시설을 뜻하는 ‘infrastructure’의 합성어로 국내에서는 주로 ‘그린인프라’로 줄여 사용되고 있다. 자연과 인간 환경에 다양한 영향을 미치는 그린인프라는 그 특성으로 인해 다각적으로 정의되고 있다. 1999년 보전기금(The Conservation Found)과 USDA 산림청이 정의한 그린인프라스트럭처는 국가의 자연생활(natural life) 지원시스템으로 수로, 습지, 산림, 야생생물 서식지 및 기타 자연지역으로 연결된 네트워크라고 정의하고 있다. 이는 공간관련 학문분야에서 만들어진 것이 아닌, 지속가능성을 도시개발에 적용하기 위해 생태계서비스의 개념을 차용한 정책적 신조어이다(이은석 외, 2014). 그린인프라라는 용어가 공식적으로 사용되기 시작한 이후 연구자들과 기관에서 도시의 문제를 해결하기 위한 방안으로 그린인프라를 연구하기 시작하면서 그린인프라의 개념 또한 다양하게 정의되고 있다.

EPA(2008)는 그린인프라를 침투, 증발산 및 재사용의 자연적인 수문학적 순환 프로세스를 활용, 향상 및 모방하는 관리 접근 방식 및 기술로 정의하고 있다. 도시화와 개발로 인한 불투수층 증가가 자연적인 물순환 체계에 변화를 가져오고 이러한 현상이 도시홍수와 밀접한 관련이 있음에 주목하여 우수관리(stormwater management)의 개념을 확장하여 그린인프라 관리를 제시하고 있다. 그린인프라는 옥상녹화, 나무상자, 다공성 및 투과성 포장, 가로수, 공원 등 녹색 기반 시설은 모두 포함될 수 있으며 이는 도시나 교외의 경관에 작용할 수 있다고 설명한다(강정은 외, 2011). 유럽연합(EU)은 그린인프라를 광범위한 환경 서비스를 제공하고 농촌 및 도시 환경에서 생물 다양성을 보호하도록 설계·관리되는 다양한 기능을 갖춘 자연 및 준자연지역의 전략적으로 계획된 네트워크로 정의하고 있다(EU, 2014). 보다 구체적으로 자연이 인간에게 혜택을 제공하는 공간 구조인 그린인프라는 깨끗한 공기나 물과 같

은 귀중한 생태자원을 제공하는 자연의 능력을 향상시키는 것을 목표로 하고 있다. 그 결과 생물 다양성의 증가, 기후변화 및 기타 환경 재난 방지 등 양질의 환경을 조성함으로써 더 나은 삶의 질과 인간의 복지를 제공할 수 있다고 설명한다. Benedict & McMahon(2002)은 그린인프라를 자연 생태계의 가치와 기능을 보존하고 인류에게 관련 혜택을 제공하는 상호 연결된 녹색 공간 네트워크로 정의하고 있다. 또한 그린인프라가 환경, 사회 및 경제 지속 가능성에 필요한 생태적 틀이며 토지개발, 성장관리 및 구축된 인프라 계획과 연계하여 보존 가치와 행동을 검토하기 때문에 오픈스페이스 계획에 대한 기존의 접근 방식과는 다르다고 설명하고 있다. Williamson(2003)에 따르면 그린인프라는 “하위 구조 또는 기초 기반, 특히 공동체의 연속성과 성장이 의존하는 기본 설치 및 시설”로 정의되며 자연적인 네트워크 프로세스를 유지하기 위해 함께 작동하는 여러 요소로 구성된다고 설명하고 있다. 이러한 구성 요소는 보호할 대상의 유형과 규모에 따라 크기와 모양이 다양하며 각각의 구성요소 내에서 희귀성 또는 생태학적 중요성은 대상 자원을 보호하는 데 필요한 보존 수준을 결정하는 반면, 인간 활동에 대한 환경의 민감도는 인간과 자연 사이의 상호작용이 얼마나 많은지를 결정한다고 보고 있다.

〈표 2-1〉 그린인프라의 다양한 정의

저자	정의
EPA(2008)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 도시화와 개발로 인한 불투수층 증가가 자연적인 물순환 체계에 변화를 가져오고 이러한 현상이 도시홍수와 밀접한 관련이 있음에 주목하여 우수관리 (stormwater management)의 개념을 확장하여 그린인프라 관리 제시</li> <li>- 도시공간 속에서 자연적인 물의 선순환 과정에 가깝게 만드는 기술, 정책들을 의미</li> <li>- 공원, 정원, 녹지지대, 수로 뿐 아니라 옥상녹화, 가로수, 나무상자, 투수포장 등의 시설 및 기술 포함</li> </ul>
EU(2013)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 광범위한 환경 서비스를 제공하고 농촌 및 도시 환경에서 생물 다양성을 보호하도록 설계·관리되는 다양한 기능을 갖춘 자연 및 준자연지역의 전략적으로 계획된 네트워크</li> <li>- 인간 복지를 위한 고품질의 환경 제공, 생물다양성 증가, 기후변화 및 환경 재난으로부터의 보호, 효율적이고 활용성이 높은 통합된 개발 접근 방식을 목표로 함</li> <li>- 산울타리, 어도, 옥상녹화 같은 작은 선형의 공간부터 산림, 범람숲, 수령 등 완전한 기능을 하는 생태계까지 다양한 규모로 작동할 수 있는 환경 기능으로 구성됨</li> </ul>
Benedict and McMahon(2002)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 자연 생태계의 가치와 기능을 보존하고 인간에게 관련 혜택을 제공하는 상호 연결된 녹지 네트워크</li> <li>- 환경, 사회, 경제 지속가능성에 필요한 생태 프레임워크</li> </ul>
Williamson(2003)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 토착종을 보호하고 자연 생태계 및 대기와 수자원을 유지하기 위한 보호된 토지와 수공간의 상호 연결 네트워크</li> <li>- 인간의 건강과 삶의 질에 기여</li> </ul>

## 2. 그린인프라의 특성

### 1) 그린인프라의 구성요소

그린인프라는 크고 작은 자연환경적 요소들이 모여 이루어지는 총체로 볼 수 있다. 그린인프라의 구성요소로는 자연보호가치가 높은 핵심공간으로 그린인프라의 접점기능이 가능한 자연·경관·서식지 보호구역이나 보호구역 외의 핵심적 공간으로 대규모의 온전한 생태기능을 보유한 지역, 갈대밭, 야생화초지 등의 복원된 자연생태공간, 생태통로나 징검다리 역할을 할 수 있는 계류·연못·자연울타리·관목군락 등의 소규모 환경요소가 있다. 또한 생태계를 호전시키거나 동물의 이동을 가능하게 하는 요소인 녹색터널, 생태교량, 옥상녹화 등이 있으며 생태경작지 등 일반적인 환경의 질과 자연경관의 상호 연결성을 개선하여 종의 이동을 돕는 완충지대 등이 포함된다(EU, 2014). 자연·경관·서식지 보호구역 등은 높은 자연보호 가치를 지닌 핵심공간으로 다양한 그린인프라 요소들을 잇는 접점의 기능을 할 수 있다. 하천, 저수지 등 수공간은 보호구역 외의 핵심적 공간으로 대규모의 온전한 생태 기능을 보유한 지역이다. 갈대밭, 초지 등은 복원된 자연생태공간으로써 기존의 자연보호구역을 서로 연결하고 개선하는 역할을 한다. 계류지, 연못, 자연울타리, 관목군락 등은 소규모 환경요소로써 야생생물의 생태통로나 징검다리의 기능을 하며 녹색터널, 생태교량, 물고기사다리, 옥상녹화 또한 야생생물들의 이동을 가능하게 하는 요소로써 생태계를 호전시키는 역할을 한다. 생태경작지 등의 지속가능하게 이용되는 완충지대는 일반적인 환경의 질과 자연경관의 상호 연결성을 개선하여 종의 이동을 도울 수 있으며 자연휴양지, 농장 등은 다기능 공간으로써 자연친화적 공간이용이 서로 연계되어 있어 인간의 이용과 생태적 다양성을 높이는 용도로 인간과 자연이 서로 공존할 수 있는 공간이 된다. 그러나 모든 녹지가 자연적 요소가 자동적으로 그린인프라의 구성요소가 되는 것은 아니다. 종 다양성을 훼손하지 않거나 물의 정화기능 역할을 할 수 있는 친환경적 경작지 외에 집약적으로 이용되는 경작지는 해당지역의 종 다양성을 훼손함으로 그린인프라에 속하지 않는다. 이러한 관점으로 그린인프라는 우선적으로 생태적으로 높은 가치를 지녀야 하며 비오톱 네트워크의 일부가 될 수 있어야 한다.

〈그림 2-1〉 그린인프라의 구성요소



자료 : 써드스페이스 베를린 환경아카데미 홈페이지  
 (<https://thirdspace-berlin.com/thirdspace-archive/green-infrastructure/>)

그린인프라 관련 선행연구에서는 그린인프라의 구성요소를 다양한 시각으로 정의하고 있다. 먼저 Benedict and McMahon(2006)은 그린인프라를 다양한 자연환경, 복원된 생태계 및 조경적 요소를 구성하는 ‘허브(hubs)’와 ‘링크(links)’로 이루어진 시스템으로 보고 이를 구분하여 설명한다. 허브는 자연적 과정이 일어나는 기반이 되는 경관 요소로서 보류지, 자연 경관 관리지역, 생산지역, 공원, 오픈스페이스, 재순환 토지 등이 포함되며 지역과 지역을 연결하는 공간인 링크는 생태과정의 흐름을 원활하게 하는 역할을 하며 완충지역, 그린벨트, 경관 연결지 등이 포함된다.

〈그림 2-2〉 그린인프라 네트워크의 개념도 및 조감도



자료 : <https://archive.epa.gov/region03/green/web/html/infrastructure.html>

허브는 그린인프라 네트워크를 고정시키며 그것들을 통해 이동하는 야생동물과 생태적 과정들의 근원 및 목적이 된다. 링크는 시스템을 함께 연결하고 그린인프라 네트워크가 작동할 수 있도록 한다. 이러한 개념은 경관생태학의 패치(patch)와 코리더(corridor)와 연계된 개념이다(송원경, 2011).

영국 정부의 자연환경에 대한 고문을 담당하는 'Natural England'는 발간보고서에서 그린인프라를 “광범위한 높은 질의 녹지공간과 그 밖에 다른 환경적 요소들로 구성되어 전략적으로 계획되고 인도(引渡)되는 네트워크”라고 정의하였다(강정은 외, 2012). 그린인프라는 녹지공간과 새로운 부지가(new sites) 포함되며 도시환경을 관통하고 둘러싸며 더 넓은 도시의 배후지와 연결되어야 한다고 보고 있다(Natural England, 2009). 도립·국립·지역공원 등의 공원 및 정원, 인간이 이용하며 동시에 자연적으로 가치가 있는 어메니티 공간, 산림지대·초원습지 등의 자연적·반자연적 도시 녹색공간, 강, 운하, 도로 등의 녹색 코리더, 시민농장, 도시공원 등의 기타 지역으로 그린인프라를 구분하고 있다.

Sustainable Cities Institute(2010)는 공원·커뮤니티 정원·식물원·그린웨이 등 인간이 소극적 또는 적극적으로 이용하는 레크레이션 공간과 동식물 서식지·수변 완충지대·습지 및 범람원 등의 생물 서식지 및 환경적 자원을 그린인프라의 구성요소로 보고 있다. 또한 농장 및 농경지·산림 및 수목 등의 생산지역과 역사적 자원·문화적 경관을 보유하고 있는 역사적·문화적 자원을 그린인프라라고 구분하고 있다.

Ecological Institute(2011)는 생태계 서비스를 인간 복지·중요한 요소로 보고, 그린인프라의 구축은 생물 다양성과 인간에 대한 다양한 혜택을 확보하고 기후변화에 적응하며 생물종과 생태계의 탄력성을 향상시킬 수 있다고 설명한다. 이러한 맥락에서 그린인프라의 구성요소는 자연환경을 보호하고 복원할 수 있는 지역과 생태계적 질과 투수성을 향상시키는

지속적 사용이 가능한 지역, 공원 및 정원 등 녹색 도시지역, 생태계의 연결통로인 자연적이거나 인공적 연결지역으로 구분하고 있다.

〈표 2-2〉 그린인프라 구성요소

구분	분류	적용범위	
Benedict and McMahon (2006)	보존 지역 (hubs)	보류지	주요한 생태학적 장소 또는 개발되지 않고 잘 보존된 지역
		야생경관 관리지역	국가관리. 자연적인 가치와 여가가치, 자원 가치를 위해 관리하는 지역
		생산지역	농업지역, 산림지역, 방목지를 포함한 사적인 이용지
		공원과 오픈스페이스	자연자원을 보호하거나 여가 기회를 제공하는 개인, 국가 또는 지방차원의 경관, 공원, 자연지역, 놀이장, 골프장 등
		재순환 토지	집약적 이용으로 이전에 손상을 받았던 토지 중 전체 또는 일부에 환경적 기능을 제공하기 위해 조성
	연결망 (links)	완충지역	선으로 된 지역. 그린웨이와 수변 완충지역
		그린벨트	자연적인 생태계 또는 농지, 방목지 등을 보존하는 한편 개발을 위한 경과이나 다른 토지이용의 영향을 완충하고 인접한 토지이용 분리하는 경관
		경관 연결지 (landscape linkage)	보존지역, 공원, 관리지역을 연결하고 자생적인 식물과 동물이 살 수 있는 공간을 공공용지로 제공하도록 함. 소규모 보존지 포함
Natural England (2009)	공원 및 정원	도시공원, 국립공원, 지역공원, 정원	
	어메니티 녹지공간	일상적 레크리에이션 공간, 주거 녹지공간, 자급농원, 마을녹지, 도시 공유재(urban commons), 옥상녹화, 그 밖에 부수 적인 공간	
	자연적·반자연적 도시 녹색공간	산림지대 및 덤불숲, 초원, 황야 또는 황야지대, 습지, 유수 지, 볼모지, 절벽	
	녹색 코리더	강, 운하, 도로, 철도, 자전거 도로, 보행자 통로, 공공통행로	
	기타	시민농장, 커뮤니티 농장, 도시농원, 묘지	
Sustainable Cities Institute (2010)	소극적·적극적 레크리에이션 공간	공원, 커뮤니티 정원, 식물원, 오솔길, 그린웨이, 공공통행로	
	서식지 및 환경적 자원	지하수, 유역보호구역, 멸종위기 동물·식물의 서식지, 수변 완충지대, 습지 및 범람원	
	생산지역	농장 및 농경지, 커뮤니티 지원 농업, 산림 및 수목, 초원 및 목초지	
	역사적·문화적 자원	역사적 지원, 문화적 경관	
Ecological Institute (2011)	보호지역	최소한의 간섭(intervention)으로 건강하고 기능적인 생태계를 유지하기 위한 광대한 지역	
	복원지역	재조림(reforestation) 지역, 수렵채집의 증가지역, 생태계 서식지	
	지속적 사용가능 지역	생태계적 질과 투수성을 향상시키기 위한 지역	
	녹색도시지역	공원, 정원, 풀로 덮인 길, 녹색담장, 옥상녹화	

구분	분류	적용범위
	자연적 연결지역	생태계 코리더-생울타리, 야생동물 통행로, 돌담 등
	인공적 연결지역	종의 이동을 도와주기 위해 설치-녹교(green bridge). 에코 덕(eco-ducks)

자료 : 강정은 외(2012), 강정은 외(2011)를 참고하여 저자 재작성

Davies et al.(2006)은 다른 규모를 가지고 있는 각각의 그린인프라 구성요소가 기능하는 실체가 근본적으로 다르지 않으며 궁극적으로 지역적 규모로 존재하지만 지역적 특정 요소와 링크가 서로 상호작용하여 지역적 규모보다 더 큰 규모에서 의미 있는 시너지 효과와 더 높은 수준의 효과를 창출한다고 보고 있다. 따라서 그린인프라를 지역(Regional), 하위지역 또는 카운티(Sub-regional/County), 자치구 또는 지구(Borough or District), 마을(Neighbourhood)규모에 따라 구분하고 그 규모에 따라 부과된 다기능 요구와 관련하여 전략적 요소와 연결고리가 무엇인지를 확립해야 한다고 설명한다.

〈표 2-3〉 지역 규모에 따른 그린인프라 요소 및 기능

규모	그린인프라 요소	그린인프라 계획의 기능
지역 (Regional)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국가별로 지정된</li> <li>• 자연보호구역</li> <li>• 주요 하천 코리더</li> <li>• 주요 레크리에이션 및 편의시설 지역</li> <li>• 장거리 보행로</li> <li>• 전국 자전거도로 네트워크</li> </ul>	전략적 환경 자원은 자연자원(예: 탄소싱크, 수계, 서식처 등)과 문화자원(예: 국립공원, 문화유산 등과 같은 조경, 레크리에이션 및 편의시설)으로 세분될 수 있다. 이러한 자원의 가장 일반적이며 중요하게 지정된 지역은 지역적 그린인프라스트럭처로 식별된다. 이 수준에서는 최우선 순위 요소와 경로를 식별하고 그린인프라 개발을 위한 전략적 우선순위를 설정하는데 중점을 둔다. 영역을 개선하거나 개발할 경로에 대한 규정적인 세부 사항은 이 수준에서는 부적절하다.
하위지역/ 카운티 (Sub- regional/ County)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 광범위하거나 중요한 공공공원 및 정원</li> <li>• 지역 자연보호구역</li> <li>• 중요한 하천 코리더</li> <li>• 중요한 레크리에이션 루트</li> <li>• 중요한 해안 해변</li> </ul>	하위지역 수준에서 그린인프라 계획의 중요점은 지역 환경을 전체적이고 질적으로 향상시킬 수 있는 요소(해당 환경에 대한 인식 포함)와 더 높은 수준의 계획에 의해 인프라가 크게 강화될 수 있는 요소를 식별하는 것이다.
자치구 또는 지구 (Borough or District)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 공공공원 및 정원</li> <li>• 기타 하천 코리더</li> <li>• 공공 통행로 및 그린웨이</li> <li>• 지역 자전거도로</li> <li>• Playing fields</li> <li>• 비공식적 녹지</li> <li>• 접근 가능한 산림지역</li> <li>• 저수지, 수역 및 습지</li> <li>• 기타 해안 접근 구역</li> </ul>	이 단계에서 그린인프라 계획은 기본적으로 (a) 레크리에이션, 편의시설 및 보존 목적을 위해 적절하고 충분한 녹지 공간을 제공하는 것과 (b) 다목적 경로를 제공하는 그린 및 그린-그레이 링크의 일관된 인프라를 제공하는 것이다. 그린인프라 계획은 인프라 전체와 링크가 어떻게 지역적 이익을 제공할 수 있는지에 초점을 맞춰야 하며 더 높은 수준의 그린인프라 우선순위 및 계획과 인접지역 또는 자치구의 우선순위 및 계획과 통합되어야 한다. 그린인프라를 새롭거나 예상하지 못했던 기회를 통해 확장할 수 있는 기회가 수용되어야 하므로 그러한 기회에 대응할 수 있는 유연성이 필수적이다.

규모	그린인프라 요소	그린인프라 계획의 기능
마을 (Neighborhood)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가로 경관(예: 나무, 화단)</li> <li>• 개인 정원</li> <li>• 시민농장 및 공동묘지</li> <li>• 작은 수공간 및 개울</li> <li>• 허가된 개인통행로</li> <li>• 기관 또는 개인의 사유지</li> <li>• 그린인프라 잠재력이 있는 재개발용지</li> <li>• 그린인프라 잠재력이 있는 생산 농지 및 산림</li> </ul>	<p>이 단계에서 공식적인 그린인프라 계획은 작성되지 않을 수 있지만 기본 원칙은 가로수 식재/관리 또는 개인 정원의 조성 장려와 같은 지역화된 계획의 누적 효과가 상당할 수 있다.</p> <p>이와 관련하여 지역 또는 마을 수준에서의 삶의 질, 공간 및 환경의 향상은 민간소유의 토지에 대한 개인과 공공 당국 간의 협력 관계로서 이루어져야 한다.</p>

자료 : Davies et al.(2006)

## 2) 그린인프라의 구성원칙

그린인프라는 도시사회문제의 해법을 제시할 수 있는 하나의 방법이기도 하면서, 구체적으로 다양한 스케일의 물리적 공간을 만들어내는 기술이 상존한다는 점이 특징이다(Allen, 2012; 이은석 외, 2014). 그린인프라는 공간계획을 통해 공간요소들을 연결하며 다양한 생태계 서비스를 인간들에게 제공한다. 따라서 체계적인 그린인프라 네트워크 구축은 자연 및 인간 환경에 다각적으로 영향을 미치며 다양한 기능을 한다. 그린인프라는 생태계 및 사회·경제적으로 다양한 이익을 창출함과 동시에 서식지와 종 다양성 강화, 자연경관 유지, 공기 및 물 정화 등과 같은 생태계 기능을 보호한다(김은영, 2014). 이를 통해 녹지의 가치가 증가하고 홍수조절, 물관리 시스템, 폭우 관리 등과 같은 공공시설 및 서비스 비용을 감소할 수 있는 이점을 갖게 된다(김은영, 2014). 이와 같이 그린인프라의 구성요소들이 가지는 생태적, 사회적, 경제적으로 다양한 기능과 이점들의 효과를 극대화하기 위해서는 그린인프라 구축계획을 잘 세우는 것이 무엇보다도 중요하다.

Benedict and McMahon(2002)은 성공적인 그린인프라 구축을 위한 7가지 기본 원칙과 전략을 제시하였다. 이러한 원칙은 인간, 야생생물 및 경제에 도움이 되는 녹색 공간의 상호 연결된 시스템을 제공하는 동시에 지속가능한 사용을 발전시킬 수 있는 토지 보전을 위한 전략적 접근 방식과 프레임 워크를 제공하며 이는 커뮤니티 기반의 지속가능한 개발을 위한 설계, 계획, 인수 및 기타 의사결정 지침을 제공하는데 도움을 줄 수 있다(Benedict and McMahon, 2002)고 설명한다. 그린인프라 계획의 원칙은 다음 표와 같다.

〈표 2-4〉 그린인프라 계획의 원칙

구분	원칙	내용
1	그린인프라는 보전과 개발의 틀이 되어야한다.	그린인프라를 사전에 보호하면 기존의 오픈스페이스와 생태적 공간이 지역 사회의 필수 자산으로 인식되고 그린인프라를 더욱 축소하고 분열시키는 개발 압력에 취약하지 않게 된다.
2	개발 전에 그린인프라를 설계하고 계획한다.	자연 시스템의 복원은 보존 및 보호보다 비용이 훨씬 더 많이 들며 그린인프라는 토지의 지속가능한 사용을 위한 생태적 틀을 제공하기 때문에 도로, 주택, 상업지 및 기타 개발의 계획 및 건설에 앞서 중요한 생태적 사이트를 식별하고 연결 및 보호하는 것이 필수적이다.
3	연결이 핵심이다.	다양한 시스템 구성요소의 전략적 연결은 생태계 프로세스 및 서비스를 유지하는데 중요하며 생물 다양성을 유지하는 핵심이다.
4	그린인프라는 여러 구역에서 다양한 규모로 가능하다.	여러 지역에 다양한 규모로 분포되어있는 그린인프라 요소 및 기능을 통합하기 위해서는 도시, 교외, 농촌 및 야생경관을 연결하고 전략적인 그린인프라 시스템을 설계해야 한다.
5	그린인프라는 견고한 과학 및 토지이용계획 이론과 전문가의 지식을 기초로 한다.	보존생물학, 조경생태학, 도시 및 지역계획, 조경, 지리 및 토목공학 등 다양한 과학 및 토지이용계획 이론과 전문가의 경험을 토대로 그린인프라 시스템의 설계 및 계획이 이루어진다.
6	그린인프라는 중요한 공공투자이다.	그린인프라의 기능, 가치 및 이점은 누구나 이용할 수 있는 것으로 공공의 가치를 위해 투자하는 것은 지역 사회를 위한 길이다.
7	그린인프라에는 다양한 이해 관계자가 존재한다.	성공적인 그린인프라 구축을 위해서는 공공 및 민간기관, 다양한 조직 간의 제휴 및 상호 관계를 구축해야 한다.

자료 : Benedict and McMahon(2002)

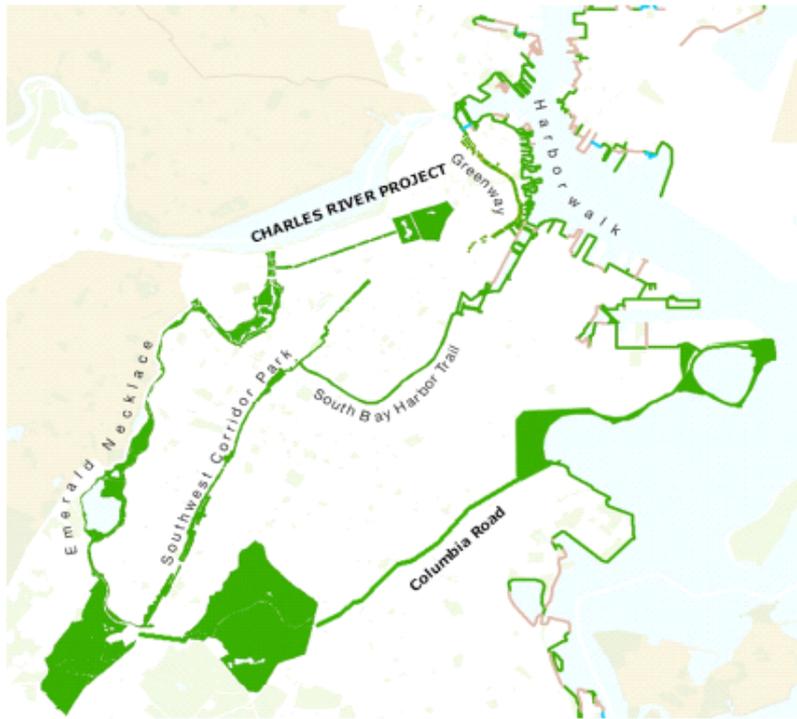
### 3. 그린인프라 네트워크의 유사개념 비교

#### 1) 그린웨이

그린웨이는 선형 구조 형태를 지니며 각각의 경관 요소들을 연결하여 전체적인 시스템을 형성한다. 현재까지 그린웨이의 개념 및 정의에 대하여 다양한 연구가 진행되었으며, 주요 관련 연구에서는 그린웨이를 다음과 같이 정의 하고 있다(전성우, 2007).

- 그린웨이는 절절점 또는 면적으로 고립된 녹지를 연결하는 선형 구조를 갖는 체계로서 이용을 강조한 녹도의 성격을 지님(Harris(1985); Smith(1993), 이수동(2004)에서 재인용)
- 그린웨이는 선형적 요소를 지닌 네트워크로서 다양한 목적에 의해 계획 및 설계 됨
- 그린웨이란 다양한 넓이를 가지는 코리더로 네트워크로 서로 연결되어 있으며, 생태적 그린웨이, 여가적 그린웨이, 역사적 그린웨이, 문화적 그린웨이로 분류할 수 있음
- 그린웨이는 경관 바탕 내에서의 절절점 또는 패치들을 연결하는 코리더로 구성된 선형네트워크라고 할 수 있음

〈그림 2-3〉 보스턴 그린웨이 분포도



자료 : 양석우 외(2007)

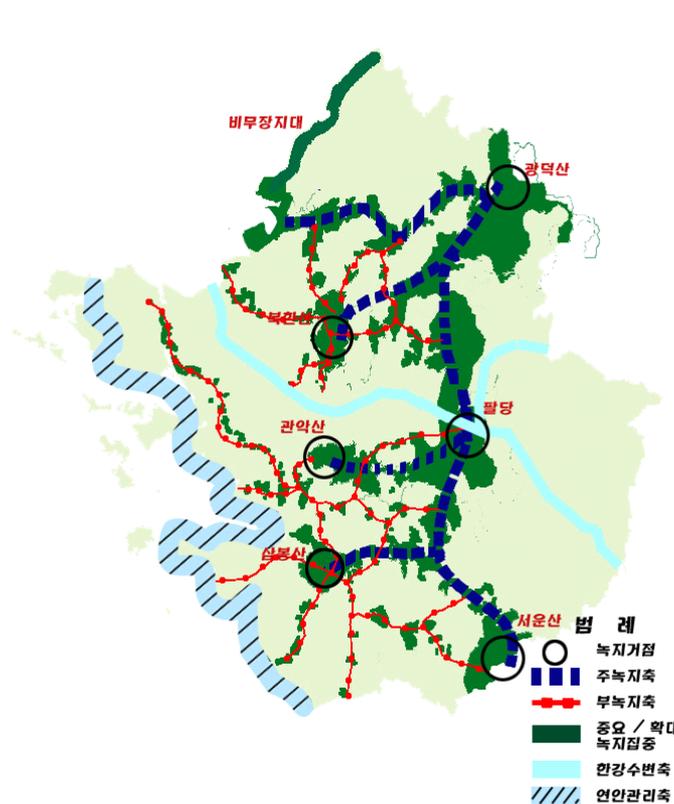
그린인프라는 그린웨이와 같은 기원을 갖고 있어 유사한 개념으로 인식할 수 있지만, 세 가지 측면에서 다른 점을 갖는다. 먼저 그린인프라는 오락기능이 아닌 생태적 기능을 강조한다. 둘째, 그린인프라는 주요 경관들이 최대한 잘 연결될 수 있도록 돕는 허브를 생태적으로 중요하게 포함하고 있다. 마지막으로 그린인프라는 도시 형태를 형성하고 도시의 성장을 위한 골격을 제시한다. 이는 그 체계가 생태적으로 중요한 지역과 적합한 개발지역 모두를 설정할 때 가장 효율적으로 작용한다(김은영, 2014 재인용).

## 2) 녹지축(생태축)

녹지축 또는 생태축이라는 개념은 주어진 공간구조 내에서 녹지의 물리적 연결 또는 기능적 관점에서 생물의 생태적인 거점이 될 수 있는 지역들 간에 방향성을 나타낸다. 주로 경관 패턴에서 보이는 연결성 파악이 관건이며, 이로 인해 패턴화된 녹지의 골격체계의 파악을 가능하게 한다. '축(axis)'이라는 개념이 선형 이미지를 상기시킴에 따라 일반적으로 도시체계를 거시적으로 분석할 때 구상적 형태로 활용되고 있는 추세이다.(전성우, 2007). 녹지 흐름이 공간적으로 어떠한 골격을 형성하는지에 초점을 두며 생태적으로 중요한 지역을 도출할

수 있어 도시개발 시 이를 고려한 계획이 가능하며 그린웨이와 비슷한 개념이라고 볼 수 있다. 이러한 녹지축은 광역 또는 도시차원에서 도시의 공간구조와 관련한 구조적 틀로서 계획되거나, 녹도형 보행자도로나 녹도형 자전거도로 등 단지 내 도로를 생태적으로 구성하는데 이용되기도 한다(전성우, 2007).

〈그림 2-4〉 수도권 생태축



자료 : 환경부(2002); 한국환경정책·평가연구원(2007)

### 3) 비오톱 네트워크(서식처 네트워크)

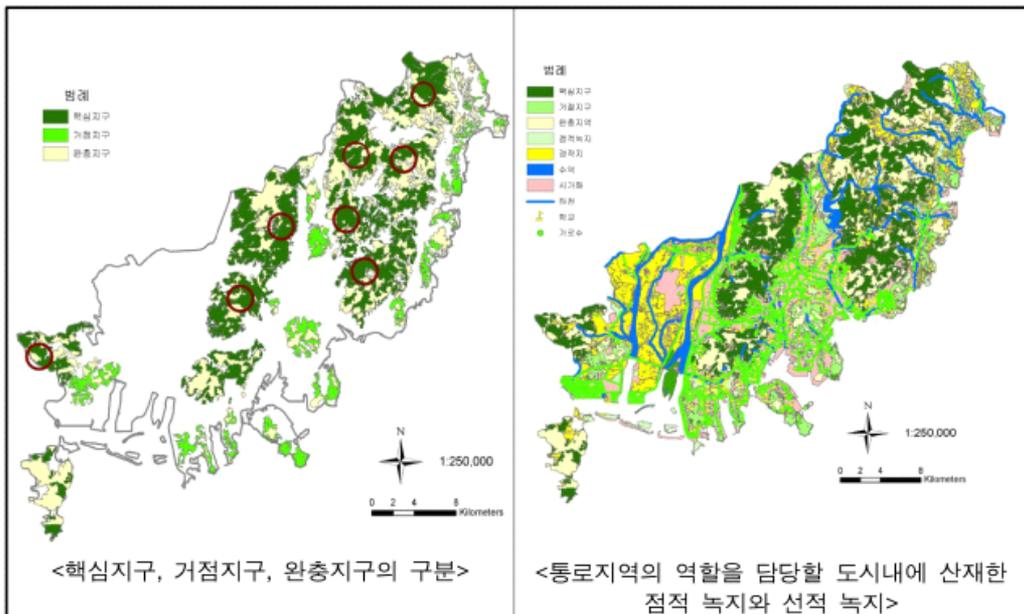
비오톱 네트워크는 야생생물종에 따라 서식환경에 필요한 비오톱(서식공간) 타입이나 규모가 다르고, 단독의 비오톱만으로는 이들의 생활이 완결될 수 없기 때문에 먹이섭취, 휴식, 은신, 번식 등 하루·일년·일생의 생활패턴에 대한 복수의 다양한 비오톱 타입이 일정 범위 내에 존재해야 한다는 필요성에서 이를 연결하는 개념이다. 비오톱과 서식처는 엄밀한 의미에서 차이가 있지만, 대부분의 경우 상호 양립할 수 있는 개념이므로 비오톱 네트워크와 서식처 네트워크의 개념 역시 거의 유사하다고 볼 수 있다(전성우, 2007).

- 서식처 네트워크는 생물이 서식하는 공간의 연결을 강조한 것임(김귀곤 외,1998)
- 비오톱 네트워크는 야생생물종에 따라 서식환경에 필요한 서식공간의 종류나 규모가 다르고, 단독의 비오톱만으로는 생물종들의 생활이 완결될 수 없기 때문에 먹이섭취, 휴식, 은신, 번식 등 하루, 일년, 일생의 생활패턴에 대한 다양한 타입의 비오톱이 일정 범위 내에 존재해야 한다는 필요성에서 연결하는 개념임(환경부, 2004)
- 서식처 네트워크는 하나의 서식처 또는 생물종에 초점을 맞추지 않고 지역 적인 맥락 차원에서 축 설정 및 관리하는 차원으로 서식처 연계를 강조한 개념임(이수동, 2005)

#### 4) 생태네트워크(녹지네트워크)

생태·경관적으로 중요한 지역을 연계시키는 생태적 구조를 만드는 것이 생태네트워크의 기본 개념이며 모든 서식처와 녹지거점을 대상으로 하므로 가장 통합적인 네트워크 이다. 국가적 차원에서의 접근이 가장 바람직하며 점·선·면적인 요소를 모두 고려한다. 생태네트워크 계획은 자연 생태계의 통합적 보호가 가능하며 공간계획 및 물리적 계획의 도구로 활용될 수 있다. 또한 녹지네트워크는 생태네트워크와 유사하나, 네트워크를 위한 연결대상이 주로 식생, 공원, 녹지, 산림으로 제한된다(전성우, 2007).

<그림 2-5> 부산시 생태네트워크 설정 모형



자료 : 전성우(2007)

## 5) 유사개념 비교

그린웨이, 녹지축(생태축), 바이오톱 네트워크(서식처 네트워크), 생태네트워크(녹지네트워크)는 그린인프라 네트워크와 유사한 개념으로 ‘그린인프라’라는 개념이 사용되기 시작할 때부터 현재까지 여러 의미로 다양한 연구자들에 의해 혼동되어 사용되고 있다. 생태적 연결성을 의미하는 다양한 용어들은 먼저 형태로 선형과 망형의 형태로 구분되고 있으며 범위나 규모를 통해서도 구분할 수 있다. 또한 그린인프라는 생태적 기능과 상호 관계성 회복과 유지, 보전 등을 함께 포함하며 총체적인 설계, 전략적 배치를 고려하는 네트워크로서 다른 용어들에 비해 보다 포괄적이며 다기능적인 특징을 갖고 있다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 녹지축을 그린인프라의 중심축으로 정의하고자 한다.

〈표 2-5〉 그린인프라 네트워크 관련 용어의 개념과 특징 비교

구분	주요 개념 및 특징	주요 연구자	비고
그린웨이 (코리더, 녹도)	- 결절점 또는 면적으로 고립된 녹지를 연결하는 선형의 구조를 갖는 체계로 이용을 강조한 녹도개념 - 연결성과 방향성을 중시	Smith(1993), Harris(1985)	선형(線形)
녹지축 (생태축)	- 녹지의 물리적 연결 또는 기능적 관점에서 생물의 생태적 거점이 될 수 있는 녹지의 연결성 및 골격체계 계획 수립 - 녹지흐름이 공간적으로 어떠한 골격을 형성하는지에 초점	Little(1990), Burkey(1995)	
바이오톱 네트워크 (서식처 네트워크)	- 생물종과 서식기반에 초점 - 야생동식물의 종류에 따라 서식형태가 다르므로 전체 지역을 대상으로 복원관리차원에서 연구	Andrew(1982), Simberloff et al.(1992), Smith & Buchenau(1993), Forman(1995)	망형(網形)
생태 네트워크 (녹지 네트워크)	- 하나의 서식처, 생물종에 초점을 맞추지 않고 맥락 속에서 생물종 또는 서식처 보전복원에 관련된 축의 설정을 도모하여 가장 통합적 - 생태·경관적으로 중요한 지역을 연계시키는 생태적 구조	Noss & Harris(1986), 환경부(1995)	
그린인프라 네트워크	- 자연 생태계의 가치와 기능을 보존하고 인간에게 관련 혜택을 제공하는 상호 연결된 녹지 네트워크 - 다기능적 사용을 제공해야하며 도시 중심지에서 시골에 이르는 모든 공간 규모에 작용해야함	Benedict and McMahon(2002), TGPA(2004)	

자료: 한국환경정책·평가연구원(2007), 「도시생태축 구축을 위한 가이드라인 개발」을 참고하여 저자 재구성

주1: 구분의 하단에 위치한 괄호( )의 용어는 유사개념을 의미

주2: 녹지네트워크는 생태네트워크와 유사하지만 연결대상을 녹지와 산림으로 제한

## 제2절 국내·외 사례 검토

### 1. 국외사례

#### 1) 미국, 하워드 카운티 그린인프라 네트워크 플랜

메릴랜드 주의 하워드 카운티(Howard County)의 그린인프라 네트워크는 야생 동·식물 및 자연 생태 과정을 유지하고 대기과 수자원을 관리하며 인간의 삶의 질에 기여하기 위해 생태적으로 가장 가치 있는 산림, 습지, 초원, 수로 및 기타 자연지역뿐만 아니라 각각의 요소들을 연결하는 지역을 맵핑하는 그린인프라 네트워크를 구축하고 있다. 하워드 카운티의 그린인프라 네트워크는 허브(대형 자연 지역)와 강과 시내를 따라가는 코리더(연결통로)로 구성된다. 그린인프라 네트워크 플랜(GI Plan)은 하워드 카운티에서 가장 생태학적으로 중요한 자연 지역을 포함하고 연결하는 그린인프라 네트워크를 정의하고, 보호 및 향상시키기 위해 다음과 같은 목표가 설정되었다(Howard County, 2012).

- 목표: 다양한 식물과 동물 생물을 지원하기 위해 그린인프라 네트워크 내의 서식지와 자연 지역을 보호, 개선 및 복원
  - 삼림, 인테리어 삼림, 습지를 보존, 개선, 복원한다.
  - 연못, 호수, 저수지의 서식 가치를 높인다.
  - 하천 서식지를 개선 및 복원한다.
  - 야생동물을 관리하여 토종 생물들의 건강하고 다양한 개체군을 지원한다.
- 목표: 개인, 지역사회 단체, 기업, 학교 등 녹색 인프라 네트워크의 책임 촉진
  - 인지도와 개인적 관여를 높인다.
  - 토지보존 프로그램 참여를 유도한다.
  - 자원을 보존하고, 오염을 줄이고, 서식지를 향상시키는 토지 관리 관행을 촉진한다.
- 일반계획, 토지보존, 레크리에이션 및 공원 계획, 교통 계획, 구역관리 계획 및 커뮤니티 계획의 준비 시
- 구역 지정 및 개발 제안에 대한 결정
- 공원 및 공공시설의 토지 취득
- 농업, 환경 및 기타 토지 보존 완화 확보

개발계획을 고려한 토지 및 수자원 보존에 대해 포괄적으로 접근하며 메릴랜드 주 전체 계획을 확장하여 그린인프라를 정의하고 카운티 규모에 맞는 분석 및 계획 우선순위를 조정

하였다. 하워드 카운티 네트워크에서 허브를 매핑하기 위한 기본 기준은 다음과 같다.

- 300피트 버퍼가 있는 50에이커 이상의 내부 산림
- 100피트 버퍼가 있는 25에이커 이상의 습지
- 내부 산림 및 습지자원이 포함 된 공원 및 오픈스페이스
- 내부 산림 및 습지 자원에 인접한 산림, 공원 및 오픈 스페이스

〈표 2-6〉 허브의 맵핑 기준

구성자원 (resource)	매핑 기준	비고
산림 내부 (interior forest)	300피트(약90m) 버퍼를 가진 50에이커(약0.2km <sup>2</sup> ) 이상	-
인접 산림 (adjacent forest)	산림내부 및 인접산림을 포함한 산림 패치	650피트 미만 너비의 산림은 포함되지 않음. 300피트 이상 보호구역은 산림보전 지역권에 포함됨
습지 (wetlands)	100피트 버퍼를 가진 25에이커 이상/ 최소 너비 500피트 이상	하천 코리더에 한정된 좁은 습지는 코리더에 더 적합할 수 있음. 연못과 호수는 크기 기준에 맞는다면 모양에 관계없이 포함됨
100년 빈도 범람원 (100-year floodplain)	-	범람원은 허브로 매핑되지는 않지만 인접한 경우 허브를 확장하는 데 사용될 수 있음
2차 수계와 양호한 수질하천 (Tier II streams and other high quality waters)	-	하천은 형태와 현재의 하안상태에 따라 코리더의 우선순위가 결정됨
민감종 검토관리지역 (Sensitive Species Project Review Areas (SSPRAs))	위 산림내부 및 습지자원을 포함	SSPRA는 희귀종 또는 멸종위기종의 서식지를 포함함. 허브에 포함되지 않은 SSPRA는 코리더로 고려됨
최소폭 300피트 이상의 보존지역 (protected lands with a minimum width of 300')	인접한 카운티, CA&HOA Park, 오픈스페이스뿐만 아니라 WSSC, 주 및 카운티 공원과 오픈스페이스 포함	작고 격리된 DNR 지역은 허브 보다는 코리더로 고려됨. 보호지역에서 작고 좁은 부분은 포함되지 않음
목표 생태지역 (targeted Ecological Areas (TEAs))	위 산림내부 및 습지자원을 포함	TEA는 매릴랜드주 그린인프라 내에 있는 주 우선 보전지역임. 허브에 포함되지 않은 TEA는 코리더로 고려됨
주 허브와 인접 카운티의 허브 (state hubs and adjacent county hubs)	-	카운티 허브 기준을 충족하지 않는 주 허브는 포함 대상으로 평가됨. 허브와 코리더를 매핑할 때 인접한 카운티의 네트워크 또한 고려됨
기존건물, 주차장, 도로, 철길 등 (existing buildings, parking lots, roads, railroad tracks)	가능한 최대한 제외	이러한 토지이용 중 일부는 갑작스럽게 포함되기도 하는데 특히 주 또는 카운티 공원부지에 위치할 때 등임

자료 : Howard County(2012)

코리더는 허브를 연결하는 선형의 형태이며 여기에는 강과 시내, 좁은 숲, 식물과 야생생물의 생태학적 통로 역할을 하는 고지대(upland area)가 포함될 수 있다. 코리더는 최소 너비가 1,100피트(약 330m)인 것을 정의하며 이것은 각 면에 300피트(약 90m) 전이구역이 있는 500피트(약 150m)의 내부 이동 코리더를 제공한다.

〈표 2-7〉 코리더의 맵핑 기준

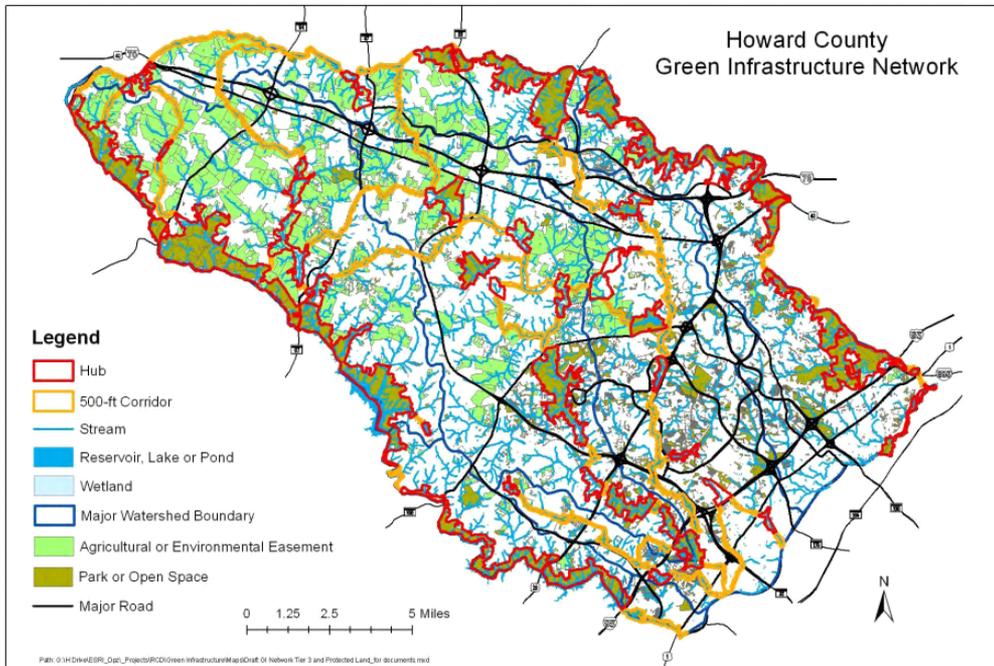
구성자원 (resource)	맵핑 기준	비고
일반기준(general)	최소폭 300피트 또는 500피트	조류에 권장되며, 침입종을 제한하기 위한 최소 너비는 300피트임
산림(forest)	산림보전 지역권을 포함하여 확장	코리더로부터 폭 300피트 미만의 부분을 최소화
습지(wetlands)	인접한 습지와 25피트의 버퍼를 포함하여 확장	-
100년 빈도 범람원 (100-year Floodplain)	인접한 범람원을 포함하여 확장	-
2차 수계와 양호한 수질하천 (Tier II streams and other high quality waters)	가능하다면 코리더의 위계 설정	격리된 하천은 네트워크에 적합하지 않을 수 있음
민감종 검토관리지역 (Sensitive Species Project Review Areas (SSPRAs))	가능한 경우 포함	SSPRA는 희귀종 또는 멸종위기종의 서식지를 포함함. 대부분은 허브에 포함되어 있음. 소규모의 개별적인 지역은 네트워크에 적합하지 않을 수 있음
보존지역(protected Lands)	인접한 공원 및 오픈스페이스를 포함하여 확장	코리더로부터 폭 300피트 미만의 부분을 최소화. 가능한 경우 농업 또는 환경지역권에서 상위 코리더를 찾음
목표 생태지역(Targeted Ecological Areas (TEAs))	가능한 경우 포함	TEA는 매릴랜드 그린인프라 내에 있는 주 우선 보존지역임
기존건물, 주차장, 도로, 철길 등(existing buildings, parking lots, roads, railroad tracks)	가능한 한 최대한 제외	코리더는 야생생물이 도로를 통과할 수 있는 이동통로일 수 있음. 일반적으로 사유지의 경우 주택으로부터 50피트 이상 이격거리를 둠

자료 : Howard County(2012)

이를 바탕으로 분석한 하워드 카운티의 그린인프라는 51개의 허브와 48개의 코리더로 구성되어 있다. 허브는 전체 면적의 14%인 약 22,148에이커이며 국립공원, 저수지, 자연자원 지역 등이 포함되어 있다. 허브에 있는 토지의 약 76%는 공원이나 오픈스페이스로 보호되고 있으며 나머지는 농업, 환경, 역사시설 등 다양한 용도로 사용되고 있었다. 허브와 연결된 코리더는 일반적으로 강과 하천을 따르는 지역이며 카운티의 도심부에서는 종종 인접 개발로

인해 제약을 받고 있는 것으로 분석되었다.

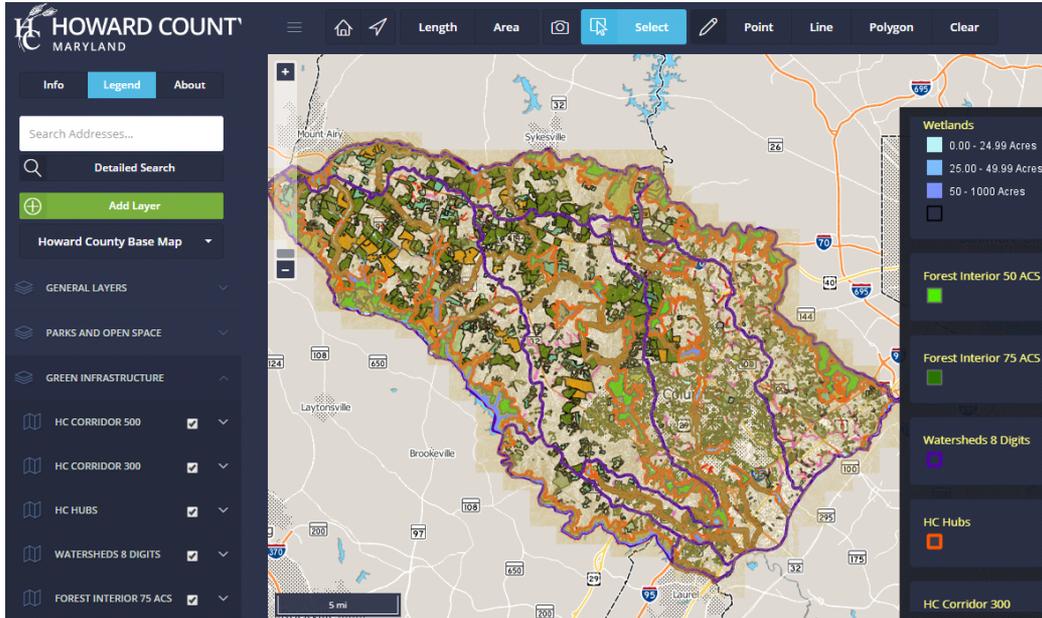
〈그림 2-6〉 하워드 카운티 그린인프라 네트워크 및 보호구역



자료 : Howard County(2012)

하워드 카운티는 그린인프라 네트워크 플랜을 통해 네트워크 내에 포함된 자원을 보호하고 향상시키기 위해 사용될 수 있는 도구로 재정적 인센티브, 규제적 보호, 용이성 획득을 포함하며 이러한 도구는 개별적으로 또는 조합하여 사용할 수 있다고 설명하고 있다. 카운티는 현재의 서식지 조건을 평가하고 가장 적절한 서식지 보호 및 강화 조치를 식별하는 각 허브와 코리더에 대한 관리 계획을 개발해야 하며 그린인프라 네트워크 플랜의 실시에는 민간 토지 소유자와 카운티 및 주 정부기관 간 협력의 필요성을 언급하고 있다. 또한 접근이 용이하고 효율적인 그린인프라 네트워크 플랜을 위하여 대화형 지도를 통해 카운티의 그린인프라 정보를 제공하고 있다.

〈그림 2-7〉 하워드 카운티 그린인프라 대화식 맵

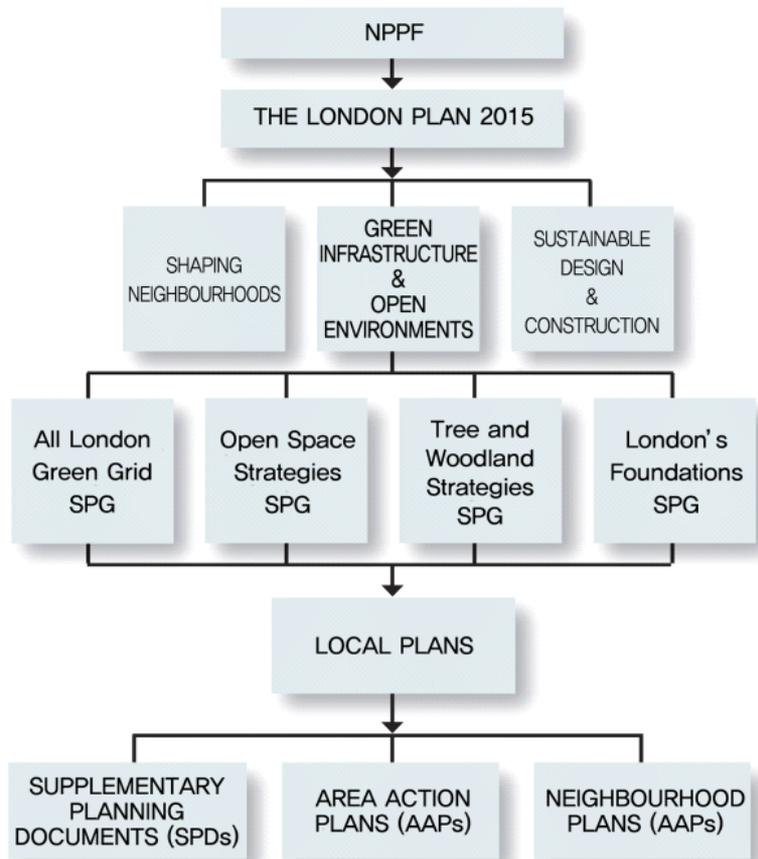


자료 : <https://livegreenhoward.com/land/green-infrastructure-network/>

## 2) 영국, 런던 플랜(The London Plan)

영국에서는 그린인프라 개념이 법적 도시계획체계 속에 반영되어 있으며, 지방 차원에서는 실질적인 공간계획으로 구현되고 있다(Wright, 2011; 김용국·손용훈, 2012). 영국의 그린인프라 개념은 1999년 도시특별위원회(Urban Task Force)의 정책문서에서 최초로 언급되었고, 2003년 중앙정부의 지속가능한 커뮤니티 계획(Sustainable Community Plan)을 통해 영국 그린인프라의 주요 추진 요인인 성장 아젠다(Growth Agenda)가 구체화 되었다. 성장 아젠다 실현을 위한 중앙정부의 성장지점 및 성장지역(Growth Points/Growth Areas) 계획 내용에는 지방정부 차원의 그린인프라 전략을 포함하고 있다(Natural England, 2009; 김용국·손용훈, 2012). 영국의 국가 계획 정책 프레임워크(the National Planning Policy Framework, NPPF)(2012)는 국가계획에 있어 그린인프라와 생태축 개발을 권장하며 지방 정부는 “생물다양성과 그린인프라 네트워크의 생성, 보호, 강화 및 관리를 적극적으로 계획해야 한다”고 권고한다. 이에 따라 각 지방정부는 지역 계획을 위한 정책 프레임워크를 제공하는 지역계획을 작성한다.

〈그림 2-8〉 런던의 지역계획 체계

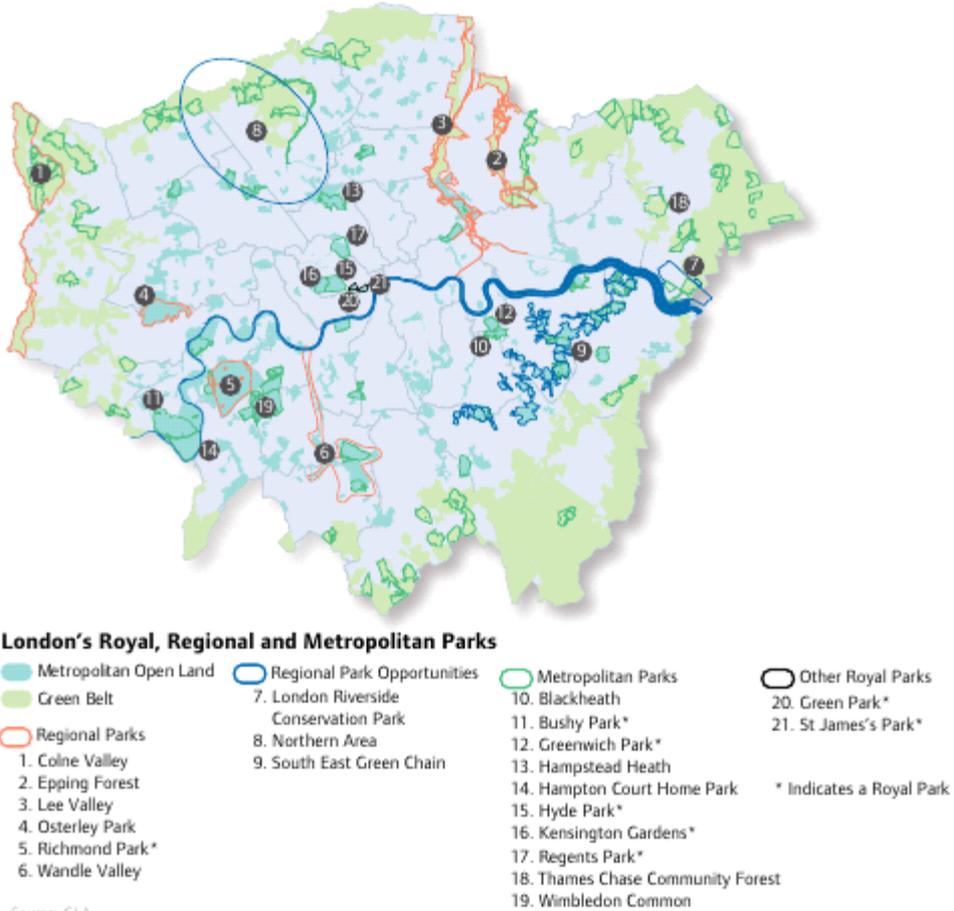


자료 : Mayor of London(2012)

영국의 지역정부계획의 하나인 런던플랜은 지방정부의 계획인 로컬플랜(Local Plan)의 가이드라인 역할을 하여 일관된 그린 인프라스트럭처 정책을 실현하고 있다. 또한 런던 광역자치단체인 광역런던기구(Greater London Authority)는 그린 인프라스트럭처 구축을 위한 다양한 프로그램을 통하여 지방정부를 지원하고 있으며 녹색수도 (Green Capital)를 미래의 런던 이미지로 선정하고 ‘그린인프라스트럭처 특별위원회(Green Infrastructure Task Force)’를 조직하는 등 관련 정책을 강화하고 있다(윤상준, 2016). 런던플랜에서는 그린인프라를 수역 네트워크인 블루리본 네트워크(Blue Ribbon Network, BRN)와 함께 모든 녹지 및 오픈스페이스의 네트워크로 다루고 있다. 런던의 그린인프라에 대한 개선은 공원부족지역을 분석하고 추가적인 공원 조성이 가능한 지역을 개발함으로써 해결할 수 있다고 보고 있다. 이러한 개발은 그린인프라 구성요소의 적절한 연결과 블루리본 네트워크를 포함한 더 넓은 그린인프라를 연결하여 접근성을 개선하며 가로수 및 기타 도시 녹화 구성요소 등 새로운

연결 요소들을 개발할 것을 제안하고 있다. 다양한 형태의 그린인프라 네트워크의 생성, 보호, 강화 및 관리를 위해 우선순위를 식별하며 이는 지역 생물 다양성계획 및 전략과 연결되어 있어야 한다고 보고 있으며 나아가 지역사회에 혜택이 제공되도록 지원 할 것을 계획하고 있다.

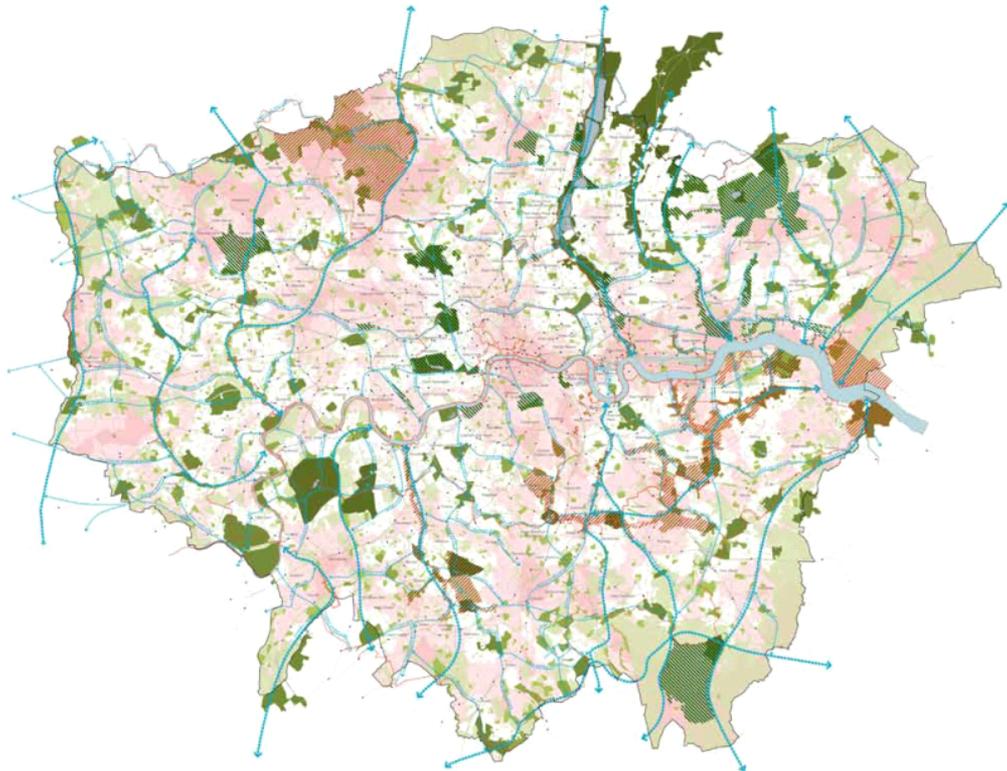
〈그림 2-9〉 런던의 전략적 열린공간 네트워크



자료 : Mayor of London(2016)

런던플랜에서 제시된 그린인프라의 방향성을 구체화하기 위해 하위 지역체재인 그린그리드(Green Grid)를 설정하였다. 그린그리드는 이스트 런던지역에서 처음 시작된 계획으로 런던 전역으로 확대하여 올 런던 그린그리드(All London Green Grid) 전략을 수립하였다. 런던플랜에서는 자치구, 공원 및 녹지 협회 및 기타 주요 이해관계자들이 협력하여 런던 전역의 네트워크 확장을 위해 그린그리드를 시행할 것을 제안하고 있다.

〈그림 2-10〉 런던 그린그리드 계획



The map above illustrates the strategic Framework Plan for the All London Green Grid SPG to the London Plan. The composite drawing illustrates open space typologies, open space deficiency and primary transport corridors. It identifies strategic opportunities for the Green Grid area.

Map derived from GIG, 4 Dec 2011. © Crown Copyright and Database Right 2011. Ordnance Survey 10002216.

- Strategic Corridors
- - - Strategic Links
- ▨ Metropolitan Park Opportunities
- ▨ Regional Park Opportunities
- Regional Parks
- Metropolitan Parks
- District Parks
- Local Park and Open Spaces
- Small Open Spaces - Pocket Parks
- Other / Private Open Spaces
- ⋯ Strategic Walking Routes
- Strategic Cycling Routes

자료 : Mayor of London(2012), All London Green Grid

올 런던 그린그리드의 목표는 3가지로 런던의 녹지와 자연지역의 전략적 네트워크를 보호하고 강화하며 런던의 그린인프라의 이용 및 참여 증대, 가치가 높은 그린인프라 네트워크 확보를 설정하고 있으며 기후변화 적응, 오픈스페이스 접근성 증대, 생물다양성 보존 및 향상, 지속가능한 교통체계로 개선, 건강한 생활 증진, 문화유산 보존 및 기능 향상, 특이지역 강화, 지속가능한 디자인 촉진, 녹지 기술 향상, 지속가능한 식량 생산 촉진, 대기질 및 소음 (soundscape) 개선, 품질, 도시 외곽지역 개선 및 접근성 증대, 템즈 강변 공간 보존 등 13 가지 기능을 기대하고 있다.

〈표 2-8〉 올 런던 그린그리드 목표 및 기능

<b>목표 3가지</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 런던의 녹지 및 자연지역의 전략적 네트워크 보호 및 강화 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 도시의 일상생활을 다양한 경험과 풍경, 타운센터, 대중교통 중심지, 도시 외곽지역, 템즈강 및 주요 산업 및 주거 지역에 연결</li> </ul> </li> <li>2. 그린인프라의 이용 및 참여 증대 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 네트워크 내 주요지역을 대중화하고 런던의 자연 및 문화 경관에 대한 인식 증대</li> <li>- 런던에서 일하고 방문하고 거주하는 모든 사람들에게 장소와 소유 의식을 증진시키기 위해 방문객 시설을 강화하고 보행 및 자전거 네트워크를 확장하고 업그레이드 함</li> </ul> </li> <li>3. 가치가 높은 그린인프라 네트워크 확보 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 21세기 환경문제, 특히 기후변화를 해결할 수 있는 도시 인프라의 중요한 구성요소를 확립하기 위해 잘 설계된 다기능적인 녹지 및 오픈스페이스 조성</li> </ul> </li> </ol>
<b>기능 13가지</b>	<p>기후변화 적응, 오픈스페이스 접근성 증대, 생물다양성 보존 및 향상, 지속가능한 교통체계로 개선, 건강한 생활 증진, 문화유산 보존 및 기능 향상, 특이지역 강화, 지속가능한 디자인 촉진, 녹지 기술 향상, 지속가능한 식량 생산 촉진, 대기질 및 소음(soundscape) 개선, 품질, 도시 외곽지역 개선 및 접근성 증대, 템즈 강변 공간 보존</p>

자료 : Mayor of London(2012)

### 3) 일본, 아이치현 자연환경 보전전략

아이치현은 2010년 생물다양성 협약 제 10차 당사국 총회(COP10) 개최지로 2009년 3월 「아이치 자연환경 보전전략」을 책정하였다. 이 계획은 자연환경 보전의 도모와 생물다양성을 배려한 지역 만들기를 위해 사람과 자연이 공생하는 사회의 구축을 목표로 한 행동계획이다. 아이치 자연환경 보전전략의 비전은 ‘다양한 자연과 풍부한 생명의 관계’를 형성하여 생물다양성을 보전하는 것과 미래 세대에 걸쳐 생물다양성의 혜택을 공유하기 위한 생물다양성의 지속가능한 이용, 다양한 주체들의 협동에 의해 통합적인 대처를 하고 인간과 자연의 공생이 문화로 정착하는 것이다(아이치현 홈페이지).

이를 실현하기 위해 통합적인 사고방식에 의한 활동, 에코시스템적 접근 방식에 의한 활동, 다양한 주체의 참여와 협력, 장기적인 안목에서의 대처, 광역적·국제적 시야에서의 대처를 계획을 위한 기본개념으로 설정하고 있다. 아이치현의 자연환경 보전을 위해 3가지 행동계획을 설정하고 있는데 생물다양성의 보전, 생물다양성의 지속가능한 이용, 다양한 주체들의 협동에 의한 통합적인 대처이다. 생물다양성의 보전을 위한 행동계획 중 그린인프라의 연결과 관련된 계획은 생태계 네트워크의 형성을 위한 노력으로 생태적으로 중요한 지역의 보전, 생태계 네트워크의 유지와 형성, 물 순환 및 재생에 대한 내용을 다루고 있다. 생태계 네트워크 형성을 추진하기 위해서는 다양한 생물의 서식 및 생육의 장이 되는 주요 지역에 대하여 법령이나 조례에 근거하는 각종 제도를 활용하고 보전해 나가는 것과 과학적인 데이터에 근거해 보호지역 지정 확대와 검토를 진행시켜 나가는 것이 필요하다고 설명하고 있다. 나아가 주요 지역으로 지정된 지역에 대한 건강성 확보 및 향상을 위해 정기

적인 생태계 모니터링과 이를 바탕으로 한 적절한 관리의 필요성을 강조했다.

〈표 2-9〉 아이치현 자연환경 보전전략 행동규칙

행동규칙	행동내용
기본개념	1. 통합적인 사고방식에 의한 활동
	2. 에코시스템적 접근 방식에 의한 활동
	3. 다양한 주체의 참가와 협동
	4. 장기적 시야에서의 대처
	5. 광역적·국제적 시야에서의 대처
생물다양성의 보전	1. 생태계 네트워크 형성 ① 중요한 지역의 보전 ② 생태계 네트워크의 유지와 형성 ③ 물순환 재생
	2. 사람의 관계에 의한 里地里山* · 里海** 등의 보전·재생 ① 奥山 생태계의 보전·재생 ② 里地里山 생태계의 보전·재생 ③ 습지습원 생태계의 보전·재생 ④ 평야 생태계의 보전·재생 ⑤ 연안지역·里海 생태계의 보전·재생 ⑥ 하천·호소 생태계의 보전·재생
	3. 야생 동·식물 보호 및 관리 ① 희귀 야생 동·식물의 보호 ② 이입종 대책 등 ③ 야생 조수의 보호 및 관리
생물다양성의 지속 가능한 이용	1. 지역의 지속가능한 발전을 위한 생물다양성에 대한 배려 ① 지역개발과 생물다양성의 조화 ② 기업 활동에서 생물다양성에 대한 배려 촉진 ③ 기업 활동에서 생물자원의 이용 및 활용
	2. 농림수산업의 다면적 기능 발휘 ① 농업에서의 대처 ② 임업에서의 대처 ③ 수산업에서의 대처
생물 다양성을 뒷받침하는 기반 만들기	1. 현민 의식의 양성 ① 현민의 라이프스타일 전환 촉진 ② 환경학습·보급개발 추진 ③ 자연과의 소통 증진
	2. 참가협동의 충실화 ① 자발적 보전활동 촉진 ② 기업의 사회공헌 활동 촉진 ③ 아이치숲과 녹지조성세를 활용한 숲과 녹지조성 추진
	3. 조사연구 기능의 정비·충실
	4. 지구 온난화의 완화와 영향에 대한 적응

자료 : 愛知県(2009)

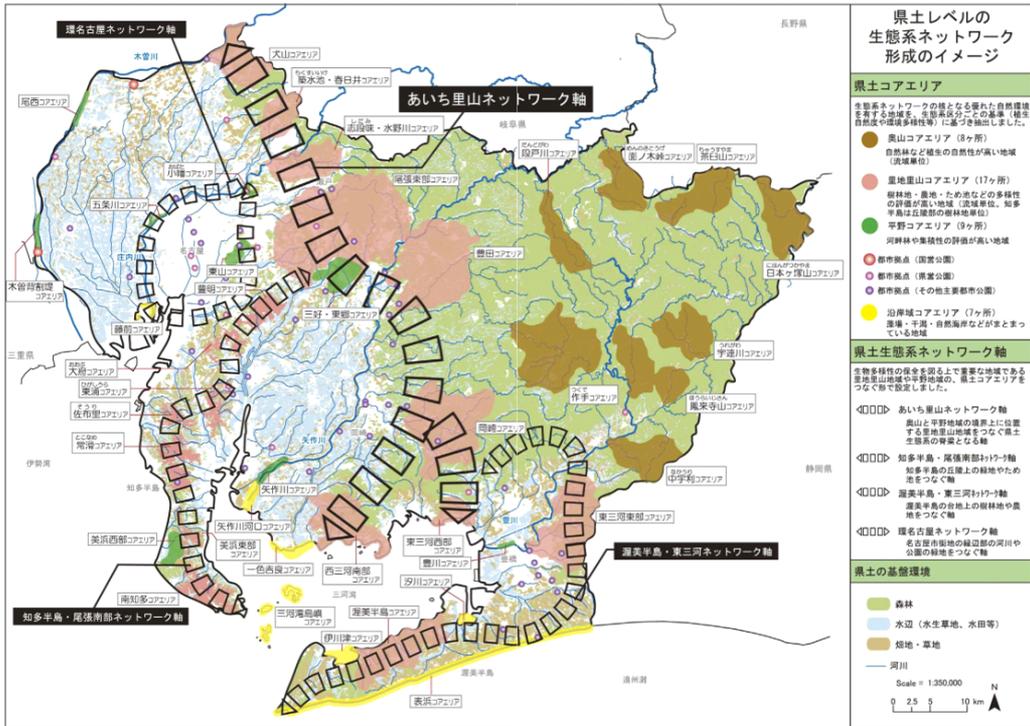
\* 里地里山 : 마을 산, 마을 가까이에 있어 그 지역 사람들의 생활과 밀접한 산이나 삼림

\*\* 里海 : 마을 앞바다, 마을 가까이에 있어 자연환경이 잘 보존되고 생산성이 높은 해안

아이치현은 현민 참여와 산·학·행정의 협동 하에 생물 다양성 보전과 지속 가능한 이용, 이를 위한 사회 기반 마련을 골자로 생태 네트워크의 형성과 희귀 야생 동·식물 보호 등을 진행시켜 나가고 있다. 2010년부터는 모델 지역 중 하나를 선정하여 '생태계 네트워크 형성 시범사업'을 실시하고 있다. 또한 대학 및 기업 등 지역 내에 녹지를 소유하고 있는 기관이

연계하여 효율적인 생태 네트워크 형성에 기여하고 있으며 시범사업 대상 지역의 대학이 연계하여 2010년부터 ‘릴레이 학제토크(リレー学際トーク)’를 실시하고 참여 대학 간의 정보 교환을 하고 있다. 기업과 정부와 협력하여 ‘생태계 네트워크 협의회’를 설립하여 생태 네트워크 형성을 위한 계획이나 사업을 추진하기 위해 노력하고 있다(国土交通省, 2010).

〈그림 2-11〉 아이치현 생태계 네트워크 계획 이미지



자료 : 愛知県(2009)

#### 4) 독일, 슈트트가르트 그린유(GRÜNE U)

슈트트가르트(Stuttgart)는 전체 면적의 50%이상이 삼림, 농업 또는 레크리에이션 공간으로 이미 녹색 도시로 지칭되고 있지만 자연의 다양성과 기후변화에 대비하기 위한 그린 네트워크를 목표로 그린인프라 조성, 유지 및 관리에 많은 투자를 하고 있다. 슈트트가르트 토지 이용계획의 모토는 ‘도시형 콤팩트 그린(Urban-compact-green)’으로 도심의 모든 큰 규모의 수목을 보호하고 1992년부터 프로그램을 통해 주민들이 수목을 입양할 수 있도록 했다. 1986년 이래로 본격적인 옥상녹화 사업을 시작해 보조금을 지원했다. 70년대부터 도시는 대형의 “U자형” 녹지로 통합해 중앙 왕실정원(central royal garden)에서 도시 가장자리의 숲

까지 도시 어디에서든 공원을 통과할 수 있도록 계획해 현재는 8km 이상의 녹지축을 이루고 있다. 또한 2010년부터의 토지이용계획에서는 녹지 보호로 인해 총 60ha 이상 계획된 건설 사업이 중단되었다.

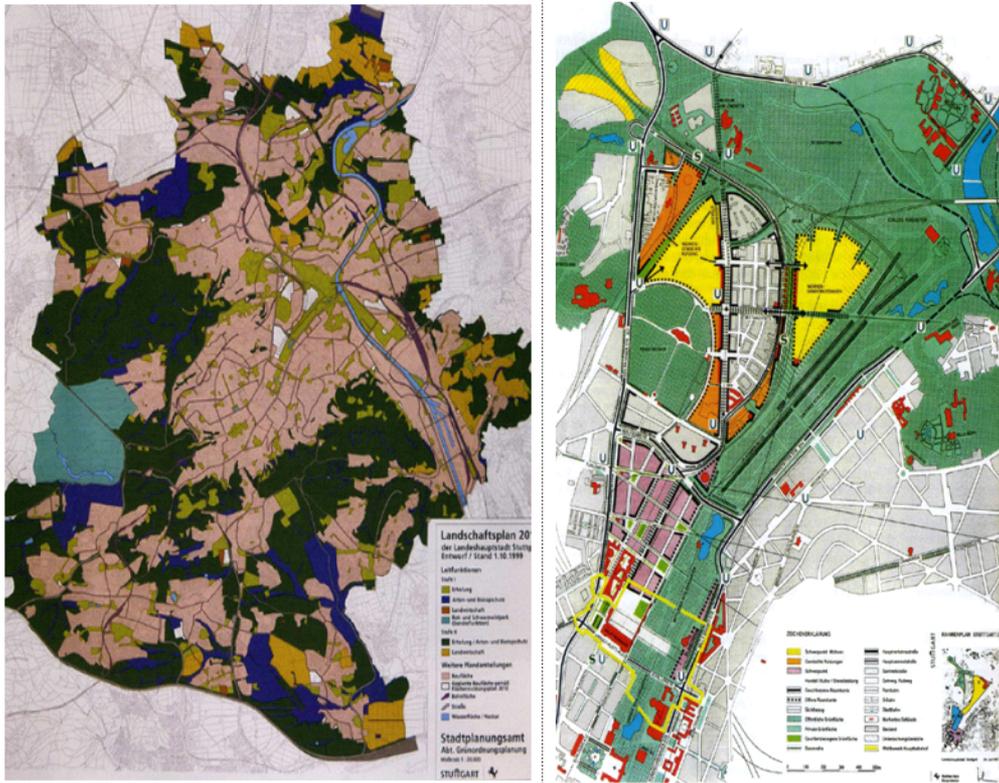
〈그림 2-12〉 슈트트가르트의 Green-U forest



자료 : <http://www.stgt.com/parks/homee.htm>

슈트트가르트는 도시열섬효과 완화 및 미세먼지 저감을 위해 바람통로가 확보될 수 있는 바람길 조성을 위한 다양한 노력을 시도하고 있으며 이를 위해 녹지 조성 및 생태네트워크 구축을 위한 노력을 강화하고 있다. 1992년 최초의 기후지도를 만들어 지형과 건물이 공기의 흐름에 영향을 미치는가를 연구(김은영, 2018)하였고, 기후지도를 토대로 지역 기후에 대한 영향을 평가하고 중요한 지역을 보호구역으로 보존하며 환경사무소를 설립하여 도시의 생태네트워크 증진을 위한 역할을 수행하고 있다. 2004년에 제정된 지속가능한 개발원칙에 따라 건축법 및 녹지와 공기 질에 관한 법령을 규정하고 있다. 기후에 영향을 미치는 정도에 따라 8개의 지역을 구분하고 지역 특성에 맞춘 녹지 조성 및 개발 계획 등에 대한 관리방안을 제시하고 있다. 또한 도시계획에 있어 건축물 조성 시 주변 녹지조성을 의무화하고, 계곡구릉사면 등에 건축물을 제한하거나 무분별한 도시외부로의 확장을 금지하는 등 생태네트워크 조성 및 바람길 확보를 위한 다양한 노력을 하고 있다.

〈그림 2-13〉 독일 슈트트가르트의 녹지축 현황 및 녹지계획



도시 전체의 녹지축

도시 중심의 녹지축

자료 : 송인주(2011)

## 2. 국내사례

우리나라의 경우도 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률 “제6조 (공원녹지기본계획의 내용 등) 4항 공원녹지의 축(軸)과 망(網)에 관한 사항”으로 그린 인프라스트럭처와 유사한 개념을 법정 계획에서 담고 있으나 개념적으로 충분히 반영되어 있지 못하다. 또한 상위의 도시기본 계획에서는 아직까지 그린 인프라스트럭처 개념을 전략적 정책으로 담아내지 못하고 있으며 기초단체에서 또한 실행으로 이어지지 못하고 있다(윤상준, 2016).

국내 정책으로는 2002년에 ‘한반도 생태네트워크 구축 추진전략(2002. 12.)’을 수립하여 백두대간, 비무장지대, 연안·도서생태네트워크를 3대 핵심축으로 설정하고, 도시·농촌의 자연생태계를 보전·복원하여 핵심생태네트워크와 연결하는 방안 등을 제시하였다(환경부, 2008; 이은재 외, 2012).

### 1) 서울특별시 ‘2030 서울플랜’

서울의 경우, 서울시 모든 분야를 아우르는 최상위 법정계획인 서울 도시기본계획 “2030 서울플랜”(Seoul Metropolitan Government, 2014)을 발표하였다. 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 및 「도시기본계획 수립지침」의 틀 하에서, 계획수립과정, 계획내용, 계획 위상 등을 대도시 서울에 맞게 구성하여 ‘서울플랜’이라는 별칭 하에 도시기본계획을 새롭게 수립하였다(서울시 홈페이지).

서울플랜에서는 서울 도처에 산재하는 도시숲 및 한강 본류와 지류의 생태계에 대한 보존 관리 강화를 위해 단절된 생태축을 연결을 강조하며 이를 위한 주요 생태 녹지 네트워크를 선정하였다. 북한산에서 관악산으로 이어지는 남북녹지축과 서울의 도심과 외곽을 둘러싸고 있는 내·외사산을 연결한 환상녹지축을 주 축으로 하며 녹지축은 수도권 근교도시와 연계하여 전개하고 내·외사산은 서울둘레길, 자락길, 생태문화길 등의 연결 네트워크 구축을 극대화하는 방향으로 설정하고 있다.

〈그림 2-14〉 ‘2030 서울플랜’ 공원서비스 소외지역의 공원 확충 구상



자료 : 서울시(2014)

‘2030 서울플랜’에서는 서울시의 현황점검 및 분석을 통해 공원녹지의 지속적 감소와 공원녹지간 단절, 생물서식환경의 축소 및 파괴, 자연생태계의 질 저하, 도시 주변부 녹지지역의 용도관리 소홀, 구릉지주변의 과도한 개발 허용 등의 다양한 문제를 파악하였고 이를 위한 다양한 해결방안을 제시하였다.

〈그림 2-15〉 서울시 녹지축 단절구간 종합



자료 : 서울시(2014)

‘공원 선도형 생태도시 조성’을 목표로 4가지 전략을 구축하였다. ‘공원인프라 선도 도시로의 이행’을 위해 공원개념의 확대와 공원이용의 형평성 개선, 공원의 역할 강화로 사회·문화 가치 창출 확대, 생활권녹지 보존·확대를 위한 제도·관리기반 구축 등을 주요 시책으로 삼고 있다. ‘도시기후 조절 능력 강화’ 전략에서는 도시표면(피복)의 친환경성 강화, 열섬현상 저감·완화, 기후변화 모니터링 강화를 위한 노력을 제안하였고 ‘도시 내 자연생태계 보전·회복과 공익기능 증대’를 위한 시책으로는 도시생태계 보전·관리, 생태녹지 네트워크 구축, 도시생태계를 활용한 도시계획, 산림 공익기능 증대의 필요성을 강조하였다. 마지막으로 ‘도시생활 환경의 질적 향상 및 최적화’를 위해 미세먼지·스모그 저감, 시 수돗물 급수환경 개선 및 음용 확대, 실생활 환경요소 지표 강화, 생활폐기물 관리방식 개선을 주요시책으로 선정하였다.

〈표 2-10〉 서울플랜 공원녹지부문 목표체계

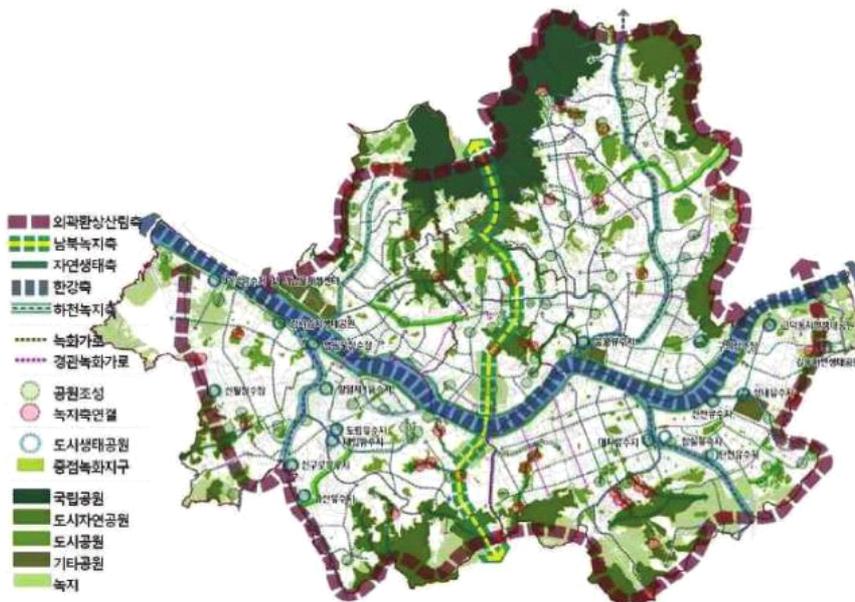
목표	전략	주요시책
공원 선도형 생태도시 조성	공원인프라 선도 도시로의 이행	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 공원개념의 확대와 공원이용의 형평성 개선</li> <li>■ 공원의 역할 강화로 사회·문화 가치 창출 확대</li> <li>■ 생활권녹지 보존·확대를 위한 제도·관리기반 구축</li> </ul>
	도시기후 조절 능력 강화	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 도시표면(피복)의 친환경성 강화</li> <li>■ 열섬현상 저감·완화</li> <li>■ 기후변화 모니터링 강화</li> </ul>
	도시 내 자연생태계 보전·회복과	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 도시생태계 보전·관리</li> </ul>

목표	전략	주요시책
	공익기능 증대	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 생태녹지 네트워크 구축</li> <li>■ 도시생태계를 활용한 도시계획</li> <li>■ 산림 공익기능 증대</li> </ul>
	도시생활 환경의 질적 향상 및 최적화	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 미세먼지·스모그 저감</li> <li>■ 시 수돗물 급수환경 개선 및 음용 확대</li> <li>■ 실생활 환경요소 지표 강화</li> <li>■ 생활폐기물 관리방식 개선</li> </ul>

자료 : 서울시(2014)

서울시 도시생태축 구축은 도시공간의 전체 구조에 생명과 소통·배려의 개념을 적용하여 공원개념을 도시전체에 적용함으로써 주요 환경요소들의 수준을 향상시키고 고립된 공원들을 도시기능과 연계하여 지역의 건전성을 회복(서울시, 2014)하기 위한 녹지지역 조성 및 관리를 구상하고 있다. 녹지공간의 확보, 무질서한 시가지 확산의 방지, 녹지축 연계 등을 위해 타 용도지역으로의 조정을 최소화하고, 녹지지역 내 불법용도 유입, 공장 등 도시기능의 과도한 밀집으로 녹지가 훼손되지 않도록 하며, 훼손된 녹지지역은 복원을 원칙으로 하되 국책사업 및 서울시 현안사업과 같이 공공의 정책상 불가피하게 조정이 필요한 경우 서울시 전체 녹지지역 면적의 3.2%(약 7.9km<sup>2</sup>) 범위 내에서 제한적으로 조정을 검토할 수 있도록 (서울시, 2014) 하는 것을 제안하고 있다.

〈그림 2-16〉 ‘2030 서울플랜’ 녹지축을 연결한 그린네트워크 구축 체계



자료 : 서울시(2014)

## 2) 환경부 생태네트워크 구축

환경부는 생태계와 야생동·식물 보전 및 보호에 초점을 맞춘 기존의 자연환경보전계획은 국토 전체 자연환경의 체계적 보전에 한계가 존재하며 이러한 한계 극복을 위해 국토·도시계획의 연계성 강화가 필요할 것으로 판단하였다. 또한 자연환경보전계획의 국가-시·도-시·군 구 단위의 수직적 연계체계를 강화하기 위해 지자체 단위의 자연환경보전계획에 포함되어야 할 지침을 마련하기 위해 2007년 「지방자치단체 환경보전계획 수립지침」을 작성하였다. 지침에서는 자연환경 조사 항목·방법 및 결과 관리, 전체 및 부문별 계획 수립, 공간환경계획의 수립, 계획 추진 및 집행체계의 정립 등에 대해 규정하고 있으며 그린인프라 구축에 관한 내용은 자연환경 부문에서 다루고 있다.

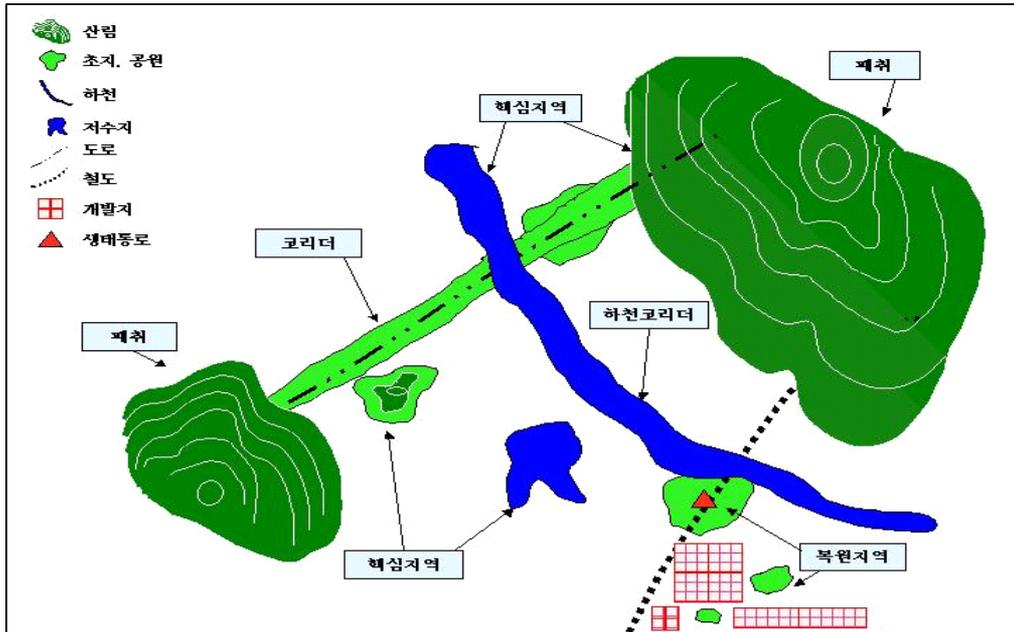
〈그림 2-17〉 환경계획과 국토계획의 연계 체계



자료 : 환경부(2007)

지방자치단체 환경보전계획을 위한 지침에서는 생태축 구축 시 기본적인 공간구성은 보전해야 하는 가장 중요한 지역인 핵심지역(core), 외부의 위협요인으로부터 핵심지역으로의 영향을 감소시키기 위한 완충지역(buffer), 단절되지 않은 소규모의 선형 또는 징검다리형 지역으로 핵심지역들을 서로 연결할 수 있는 코리더(corridor)로 구분하여 공간구성을 해야 한다고 설명하고 있다.

〈그림 2-18〉 생태축(네트워크) 도면 작성의 예



자료 : 환경부(2007)

생태축의 구축 대상은 산림, 공원, 보호지역 등 환경적으로 중요한 일정 면적 이상의 면적(area) 요소와 소규모 녹지 등 연결성에 기여할 수 있는 점적(point) 요소 및 이들을 연결시켜주는 강, 산맥, 녹도 등 선적(line) 요소를 포함한다(환경부, 2007). 국토 전체의 생태 네트워크를 위해 지자체 생태축 계획은 각 관할구역을 대상으로 하되 한반도 3대 핵심생태축(백두대간·비무장지대일원·도서연안지역)을 근간으로 하여 인접한 지자체와의 연결성을 도모해야 한다. 또한 생태적 연속성이 단절된 지역에 대해서는 생태통로 설치계획 또는 복원계획을 수립(환경부, 2007)해야 한다고 권장하고 있다.

〈표 2-11〉 지방자치단체 환경보전계획 수립지침 자연생태부문 계획

#### 3-2-2-1-4. 생태축 구축

- (1) 생태축(“생태 네트워크”를 포함한다. 이하 같다) 구축은 생태적으로 중요한 지역들을 유기적으로 연결시킴으로서 계획의 대상지역을 건강한 유기체로서 통합적으로 보호관리하여 사람과 자연이 어우러지는 생명공동체 형성을 목적으로 한다.
- (2) 개발계획 및 사업은 환경보전계획에서 설정된 생태축을 훼손하지 않는 범위 내에서 계획이 수립되고 사업이 집행되어야 한다. 만약 개발계획 및 개발사업이 생태축을 훼손할 경우에는 이를 해소할 수 있는 대안을 제시한다.
- (3) 생태축의 공간구성은 핵심지역(core), 완충지역(buffer), 코리더(corridor)로 구분한다.
  - ① 핵심지역은 중요 생물종의 이동 및 번식과 관련된 지역 등 생태적으로 중요한 서식처로 구성한다.
  - ② 완충지역은 핵심지역과 코리더를 보호하기 위해 외부 위협요인으로부터의 충격을 어느 정도 감소시켜 줄 수 있는 지역이다.

- ③ 코리더는 핵심지역 또는 완충지역 상호간을 연결시켜 주는 통로를 의미한다.
- (4) 생태축의 구축 대상은 산림, 공원, 보호지역 등 환경적으로 중요한 일정면적 이상의 면적(area)요소와 소규모 녹지 등 연결성에 기여할 수 있는 점적(point)요소 및 이들을 연결시키는 강, 산맥, 녹도 등 선적(line)요소를 포함한다.
- (5) 시·도 생태축은 시·도관할구역 단위, 시·군·구 생태축은 시·군·구 관할구역 단위로 하되, 국가환경종합계획의 한반도 3대 핵심생태축(백두대간·비무장지대일원·도서연안지역)을 근간으로 하여 인접 지방자치단체와의 연결성을 도모한다.
- (6) 인접 지방자치단체 관할구역의 전부 또는 일부를 포함하여 생태축을 구축하는 경우 사전에 인접 지방자치단체의 장과 협의하여야 한다.
- (7) 각종 개발사업에 의하여 야생동·식물의 이동 및 생태적 연속성이 단절되지 않도록 하고, 생태적 연속성이 단절된 지역에 대해서는 생태통로 설치계획 또는 복원계획을 수립한다.
- (8) 생태축 도면은 환경지리정보 공간자료를 바탕으로 하여 작성하도록 하고, 주생태축-부생태축 등 생태적 측면에서의 공간구조를 구상도 형태로 표현한다.
- (9) 생태축 도면에는 핵심지역, 완충지역, 생태적 거점이 되는 중요 패취(patch), 코리더, 복원지역 등이 표시되어야 한다.
- (10) 생태축 도면 축척은 도의 경우는 1:100,000 이상, 특별시·광역시·시·군의 경우에는 1: 25,000을 원칙으로 하되, 지역적 여건을 반영하여 조정할 수 있다.

**3-2-2-1-5. 생태계우수지역 관리**

- (1) 주요 야생동·식물 서식처 및 철새 도래지에 대한 현황을 도면화하여 제시한다.
- (2) 생태·경관의 보전 및 야생동·식물 보호를 위하여 생태계우수지역을 지속적으로 발굴하고, 법정보호구역 지정을 포함하여 보전 및 관리방안을 제시한다.
- (3) 법정보호지역 지정에 의하여 직간접적인 영향을 받는 지역주민에 대한 보상 및 지원방안을 고려한다.

**3-2-2-1-6. 생물자원의 보전과 야생동·식물 보호**

- (1) 생물자원이 국가 및 당해지역의 중요한 자산이라는 인식하에 생물다양성 증진을 위한 목표와 전략을 수립한다.
- (2) 지역내 희귀종, 외래종 등 주요 야생동·식물에 대하여 분포 및 서식현황을 파악할 수 있는 조사계획을 제시한다.
- (3) 지역내 깃대종, 멸종위기종 등 중요 종에 대한 보호 및 복원방안을 제시한다.
- (4) 지역내 생태계교란 야생동·식물, 유해동물 등에 대한 관리방안을 제시한다.
- (5) 지역내 특히 보호가 필요한 종에 대하여는 시·도보호야생동·식물로 지정·관리하는 방안을 제시한다.
- (6) 지역내 중요 야생동·식물 서식지에 대하여는 시·도야생동·식물보호구역으로 지정·관리하는 방안을 제시한다.
- (7) 지역 내의 생물자원을 효율적으로 보전·관리하기 위하여 생물자원관 설치를 포함한 생물자원 보전·관리체계를 제시한다.
- (8) 수렵관리 및 밀렵방지대책을 제시한다.
- (9) 우리나라가 가입한 생물다양성에관한협약, 멸종위기종국제거래협약, 물새서식처로서 국제적으로 중요한 습지에관한 협약 등의 내용을 검토하고, 지방자치단체 수준에서 이행할 수 있는 방안을 마련한다.

**3-2-2-1-7. 자연자산 관리**

- (1) 자연환경보전 및 자연환경의 건전한 이용을 위하여 자연환경보전·이용시설의 설치·운영을 고려한다.
- (2) 지방자치단체의 장은 생태적·경관적 가치가 높고 자연탐방·생태교육 등을 위하여 활용하기에 적합한 장소를 자연휴식지의 지정하여 관리할 수 있다.
- (3) 생태관광 계획 수립 시 지역의 생태적·사회적·문화적·경제적 지속가능성을 종합적으로 고려하되, 관광으로 인해 생태계가 훼손되지 않도록 한다.
- (4) 생태계 파괴 및 훼손지역 등에 대한 복원계획을 제시한다.

**3-2-2-1-8. 공원·녹지**

- (1) 당해지역의 녹지총량을 분석하고 각종 개발사업으로 인한 녹지총량이 줄어들지 않도록 한다. 특히 재개발 및 재건축 시 녹지보전방안과 개발제한구역 내 녹지보전방안 등을 제시한다.
- (2) 공원·녹지체계 구축 시 생태네트워크와 연계하는 방안을 제시한다.
- (3) 공원·녹지 확충방안을 제시하고, 필요시 제도개선방안을 강구한다.
- (4) 도시 내 공원·녹지의 생태적 수준을 향상시킬 수 있는 방안을 제시한다.

(5) 도시계획의 공원·녹지계획, 지방자치단체의 공원·녹지기본계획과 산림계획에 반영할 수 있는 기준과 원칙 등 핵심적인 사항을 제시한다.

(6) 공원·녹지계획 수립시 대기분야, 수질·수자원분야 관련계획과 연계하여 공원·녹지의 공익적 가치를 제고한다.

자료 : 환경부(2007)

### 3) 대전광역시 산림 생태네트워크 구축

이은재·이소라(2012)는 대전광역시가 가지고 있는 기존 녹지의 자연성, 구조, 기능성을 더욱 증진시켜 생태적으로 건강한 광역생태네트워크 구축을 위한 연구를 진행하였다. 녹지분포 현황과 규모 및 특징을 조사하여 생태적 가치를 분석하고 대전광역시 내 산림을 대상으로 핵심녹지, 거점녹지, 점녹지를 선정하여 산림생태네트워크를 제안하였다. 대전시는 내부 및 외부에 두 개의 큰 환상형 녹지를 가지고 있으며 백두대간 및 금남정맥과도 연결되는 대규모 산림들이 배치되어 있다. 하지만 고속도로와 산업단지로 인해 녹지의 연결성이 악화되어 있어 연결성 강화를 위한 녹지축 설정을 제안하고 있다.

〈그림 2-19〉 대전광역시 방사환상형 녹지체계



자료 : 이은재·이소라(2012)

대전시에 적합한 녹지체계는 방사환상형 녹지체계로 이는 두 환상형 녹지의 연결성 강화뿐만 아니라 도시 내부까지 건강한 녹지가 영향을 미칠 수 있는 방안임을 설명하고 있다. 생태

적으로 건강한 방사환상형 녹지체계를 위해서는 1) 두 환상형 녹지체계가 환상형 고속도로들로 인해 단절된 부분을 연결하고, 2) 두 환상형 녹지체계가 시가지 중심까지 이어질 수 있도록 시가지에 산발적으로 분포하는 중요 잔존림을 선정하여 보존해야하며, 3) 잔존림이 없어 추가적인 산림조성이 필요한 지점을 선정하여 소규모 녹지공간이나 공원 등을 조성해야 한다고 제안한다(이은재 외, 2012). 또한 현실적인 생태네트워크 구축을 위해서는 비오톱 가치평가를 통해 중요한 녹지를 선정해야 하며 그 방법으로 매트릭스 합산 방법을 제시하였다. 비오톱의 구조적측면, 자연성측면, 환경적 측면을 각각 평가하여 1차 합산한 결과를 도출하고 이를 다시 2차로 합산하여 합산평가 등급을 총 5단계 등급으로 구분하며 여기서 1등급으로 평가된 비오톱을 중요녹지로 선정해 비오톱 관리에 활용할 수 있다.

〈그림 2-20〉 비오톱 유형평가 지표 및 가치등급

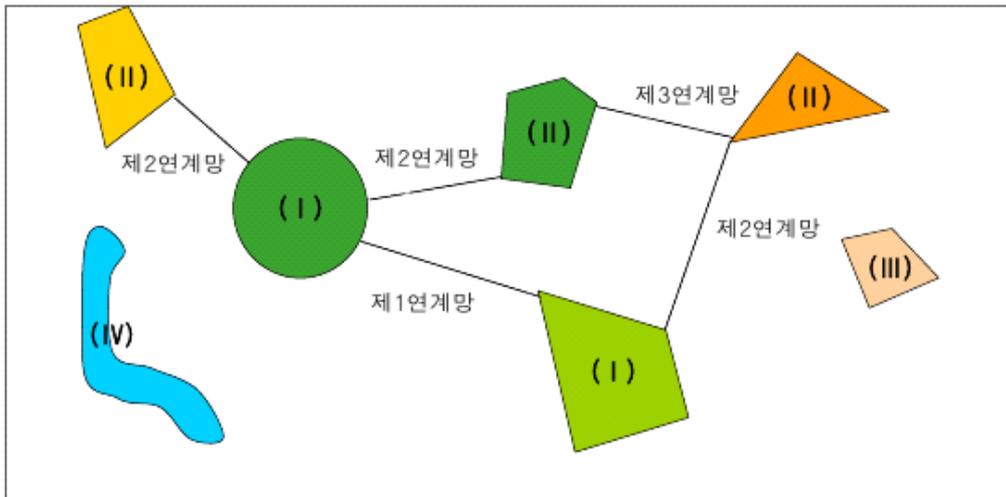
기준	지표	최고 점수	합산평가																																																																										
			1차 합산	2차 합산					최종 합산																																																																				
비오톱 구조적측면	면적	5	I 등급 : 17~20 II 등급 : 14~16 III 등급 : 11~13 IV 등급 : 8~10 V 등급 : 4~7	<table border="1"> <tr><td></td><td>I</td><td>II</td><td>III</td><td>IV</td><td>V</td></tr> <tr><td>I</td><td>I</td><td>II</td><td>II</td><td>III</td><td>III</td></tr> <tr><td>II</td><td>II</td><td>II</td><td>III</td><td>III</td><td>IV</td></tr> <tr><td>III</td><td>II</td><td>III</td><td>III</td><td>IV</td><td>IV</td></tr> <tr><td>IV</td><td>III</td><td>III</td><td>IV</td><td>IV</td><td>V</td></tr> <tr><td>V</td><td>III</td><td>IV</td><td>IV</td><td>V</td><td>V</td></tr> </table>		I	II	III	IV	V	I	I	II	II	III	III	II	II	II	III	III	IV	III	II	III	III	IV	IV	IV	III	III	IV	IV	V	V	III	IV	IV	V	V	<table border="1"> <tr><td></td><td>I</td><td>II</td><td>III</td><td>IV</td><td>V</td></tr> <tr><td>I</td><td>I</td><td>II</td><td>II</td><td>III</td><td>III</td></tr> <tr><td>II</td><td>II</td><td>II</td><td>III</td><td>III</td><td>IV</td></tr> <tr><td>III</td><td>II</td><td>III</td><td>III</td><td>IV</td><td>IV</td></tr> <tr><td>IV</td><td>III</td><td>III</td><td>IV</td><td>IV</td><td>V</td></tr> <tr><td>V</td><td>III</td><td>IV</td><td>IV</td><td>V</td><td>V</td></tr> </table>		I	II	III	IV	V	I	I	II	II	III	III	II	II	II	III	III	IV	III	II	III	III	IV	IV	IV	III	III	IV	IV	V	V	III	IV	IV	V	V
		I			II	III	IV	V																																																																					
	I	I			II	II	III	III																																																																					
	II	II			II	III	III	IV																																																																					
III	II	III	III	IV	IV																																																																								
IV	III	III	IV	IV	V																																																																								
V	III	IV	IV	V	V																																																																								
	I	II	III	IV	V																																																																								
I	I	II	II	III	III																																																																								
II	II	II	III	III	IV																																																																								
III	II	III	III	IV	IV																																																																								
IV	III	III	IV	IV	V																																																																								
V	III	IV	IV	V	V																																																																								
모양	5																																																																												
경사	5																																																																												
표고	5																																																																												
자연성측면	녹피도	5	I 등급 : 27~30 II 등급 : 21~26 III 등급 : 15~20 IV 등급 : 9~14 V 등급 : 2~8	<table border="1"> <tr><td></td><td>I</td><td>II</td><td>III</td><td>IV</td><td>V</td></tr> <tr><td>I</td><td>I</td><td>II</td><td>II</td><td>III</td><td>III</td></tr> <tr><td>II</td><td>II</td><td>II</td><td>III</td><td>III</td><td>IV</td></tr> <tr><td>III</td><td>II</td><td>III</td><td>III</td><td>IV</td><td>IV</td></tr> <tr><td>IV</td><td>III</td><td>III</td><td>IV</td><td>IV</td><td>V</td></tr> <tr><td>V</td><td>III</td><td>IV</td><td>IV</td><td>V</td><td>V</td></tr> </table>		I	II	III	IV	V	I	I	II	II	III	III	II	II	II	III	III	IV	III	II	III	III	IV	IV	IV	III	III	IV	IV	V	V	III	IV	IV	V	V	<table border="1"> <tr><td></td><td>I</td><td>II</td><td>III</td><td>IV</td><td>V</td></tr> <tr><td>I</td><td>I</td><td>II</td><td>II</td><td>III</td><td>III</td></tr> <tr><td>II</td><td>II</td><td>II</td><td>III</td><td>III</td><td>IV</td></tr> <tr><td>III</td><td>II</td><td>III</td><td>III</td><td>IV</td><td>IV</td></tr> <tr><td>IV</td><td>III</td><td>III</td><td>IV</td><td>IV</td><td>V</td></tr> <tr><td>V</td><td>III</td><td>IV</td><td>IV</td><td>V</td><td>V</td></tr> </table>		I	II	III	IV	V	I	I	II	II	III	III	II	II	II	III	III	IV	III	II	III	III	IV	IV	IV	III	III	IV	IV	V	V	III	IV	IV	V	V
		I			II	III	IV	V																																																																					
	I	I			II	II	III	III																																																																					
	II	II			II	III	III	IV																																																																					
	III	II			III	III	IV	IV																																																																					
	IV	III			III	IV	IV	V																																																																					
V	III	IV	IV	V	V																																																																								
	I	II	III	IV	V																																																																								
I	I	II	II	III	III																																																																								
II	II	II	III	III	IV																																																																								
III	II	III	III	IV	IV																																																																								
IV	III	III	IV	IV	V																																																																								
V	III	IV	IV	V	V																																																																								
식생중위구조	5																																																																												
식생다양성	5																																																																												
투수성포장율	5																																																																												
이용강도	5																																																																												
형성기간	5																																																																												
환경적측면	도로 이격거리	5	I 등급 : 10 II 등급 : 8~9 III 등급 : 6~7 IV 등급 : 4~5 V 등급 : 2~3	<table border="1"> <tr><td></td><td>I</td><td>II</td><td>III</td><td>IV</td><td>V</td></tr> <tr><td>I</td><td>I</td><td>II</td><td>II</td><td>III</td><td>III</td></tr> <tr><td>II</td><td>II</td><td>II</td><td>III</td><td>III</td><td>IV</td></tr> <tr><td>III</td><td>II</td><td>III</td><td>III</td><td>IV</td><td>IV</td></tr> <tr><td>IV</td><td>III</td><td>III</td><td>IV</td><td>IV</td><td>V</td></tr> <tr><td>V</td><td>III</td><td>IV</td><td>IV</td><td>V</td><td>V</td></tr> </table>		I	II	III	IV	V	I	I	II	II	III	III	II	II	II	III	III	IV	III	II	III	III	IV	IV	IV	III	III	IV	IV	V	V	III	IV	IV	V	V	<table border="1"> <tr><td></td><td>I</td><td>II</td><td>III</td><td>IV</td><td>V</td></tr> <tr><td>I</td><td>I</td><td>II</td><td>II</td><td>III</td><td>III</td></tr> <tr><td>II</td><td>II</td><td>II</td><td>III</td><td>III</td><td>IV</td></tr> <tr><td>III</td><td>II</td><td>III</td><td>III</td><td>IV</td><td>IV</td></tr> <tr><td>IV</td><td>III</td><td>III</td><td>IV</td><td>IV</td><td>V</td></tr> <tr><td>V</td><td>III</td><td>IV</td><td>IV</td><td>V</td><td>V</td></tr> </table>		I	II	III	IV	V	I	I	II	II	III	III	II	II	II	III	III	IV	III	II	III	III	IV	IV	IV	III	III	IV	IV	V	V	III	IV	IV	V	V
		I			II	III	IV	V																																																																					
I	I	II	II	III	III																																																																								
II	II	II	III	III	IV																																																																								
III	II	III	III	IV	IV																																																																								
IV	III	III	IV	IV	V																																																																								
V	III	IV	IV	V	V																																																																								
	I	II	III	IV	V																																																																								
I	I	II	II	III	III																																																																								
II	II	II	III	III	IV																																																																								
III	II	III	III	IV	IV																																																																								
IV	III	III	IV	IV	V																																																																								
V	III	IV	IV	V	V																																																																								
수원 접근성	5																																																																												

자료 : 이은재·이소라(2012)

선정된 각각의 중요녹지는 연결을 통해 생태네트워크를 유도해야하며 비오톱 1등급과 2등급 녹지들을 상호 연결하는 방식으로 기본 틀을 유도해야한다고 제시하고 있다. 또한 3등급 이하의 녹지들은 중요녹지로서의 가치보다 중요녹지들 간의 연계성 증진을 위한 징검다리 녹지로서의 가치를 부여할 수 있으며 향후 중요녹지를 근간으로 한 생태네트워크의 기본 틀을 현실화시키는데 매개 변수로 활용할 수 있다고 강조한다(Forman and Godron, 1986; Forman, 1995; 이은재·이소라, 2012). 중요녹지를 활용한 기본 틀 유도방법은 1등급과 2

등급의 중요녹지들을 상호 직선 연결하는 방식으로 전체적인 기본 틀을 유도할 수 있으며, I등급 녹지들 간을 연결할 경우 제 1 연계망, I등급 녹지와 II등급 녹지를 연결할 경우 제 2 연계망, II등급 녹지들 간을 연결할 경우 제 3 연계망으로 규정할 수 있다고 설명한다(이은재·이소라, 2012).

〈그림 2-21〉 대전광역시 생태네트워크 기본 틀 유도방법

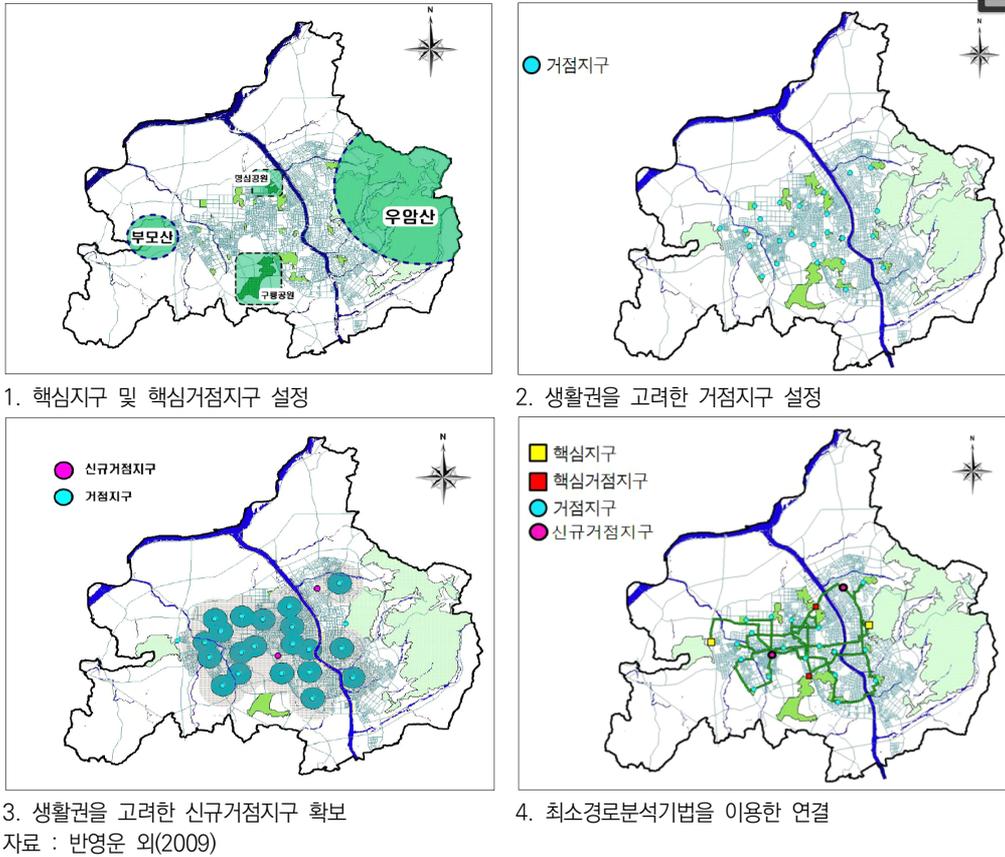


자료 : 이은재·이소라(2012)

#### 4) 청주시 생활권 생태네트워크 구축

반영운 외(2009)는 생활권 녹지의 부족, 미조성 공원 등으로 인한 공원 이용률 저하, 지역 간 생태서비스 불평등 등의 문제를 도시계획구역 내의 녹지 단절성 회복을 통해 해결하고자 생활권 생태네트워크 구축방안을 마련하였다. 청주시의 녹지공간은 외곽의 산지와 생산녹지가 어느 정도 면적분포로 형성되어있지만 주거지역과 같은 도심 내부지역은 녹지부족에 시달리고 있으며 내부에 있는 공원 및 녹지 간의 연계성이 떨어져 생태네트워크 구축을 통해 해결하고자 하였다. 청주시의 생활권 생태네트워크 구축은 생태현황도(biotope map)을 기반으로 GIS 네트워크 분석을 실시하였고 핵심지구 및 핵심거점지구를 설정한 뒤 생활권을 고려한 거점지구 및 신규 거점지구와 최소경로분석기법을 통해 통로(corridor)를 설정하였다(반영운 외, 2009).

〈그림 2-22〉 청주시 생활권 생태네트워크 구축 방법



청주시 비오톱 등급과 토지이용 현황 등을 이용하여 핵심지구, 핵심거점지구, 거점지구, 신규거점지구를 구축하였으며 핵심지구는 생태적으로 우수한 비오톱 1등급 지역과 도시에서 상대적으로 양호한 생태적 도시이용이 이루어지고 있는 임야를 선정하였다. 생태적 요소들을 연결하고 이용자 측면에서 휴양 및 여가, 커뮤니티 장소 등으로 이용될 수 있는 거점지구는 생태성과 이용의 편의성을 고려하여 생활권 내에 비오톱 2등급 지역 중 근린생활권의 도시공원인 근린공원과 생활에서 중심적인 역할을 하는 어린이 공원과 학교를 거점지구로 선정하였다(반영운 외, 2009). 추가로 거점지구에서 근린공원 시설배치 법적 범위인 500m 범위의 버퍼링 분석을 통해 접근이 양호하고 생활권 내 녹지연결이 취약한 지역을 보완할 수 있는 신규 거점지구를 선정하였다(반영운 외, 2009). 마지막으로 핵심지구를 중심으로 한 네트워크 형성을 위해 GIS 최소경로분석기법을 이용하여 핵심지구와 거점지구를 잇는 최단거리 통로를 분석하였다. 이를 통해 시민들의 생활권인 도심을 외부 녹지로부터 연결시켜 생활권 생태네트워크를 구축하였다.

〈그림 2-23〉 청주시 생활권 생태네트워크



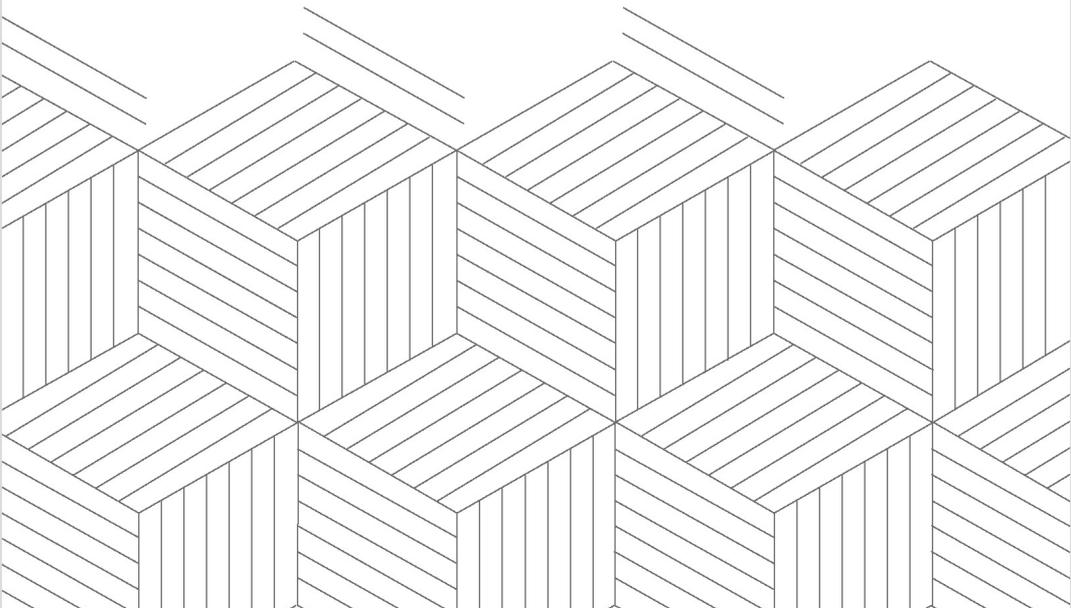
자료 : 반영운 외(2009)



# 제3장

## 공간생태적 그린인프라 구축 방법론

제1절 그린인프라 구축 방법론 사례  
제2절 수원시 그린인프라 구축체계 마련





## 제3장 공간생태학적 그린인프라 구축 방법론

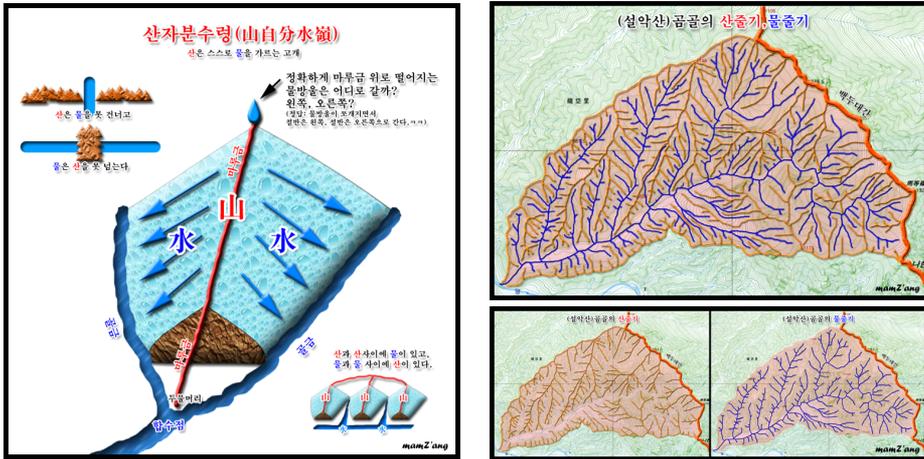
### 제1절 그린인프라 구축 방법론 사례

공간적인 측면에서 그린인프라는 허브와 링크로 구성된 자연적이고 인공적인 녹지 네트워크 시스템이다(Shi and Qin, 2018). 생태네트워크를 구축한다는 것은 하천이나 그린웨이를 사용하여 연결성을 강화하는 것을 의미한다(City of Richmond, 2014). 코리더 및 징검다리 패치의 존재 여부, 배치를 통해 연결성을 측정하는 연구는 일반적으로 개체가 서식지가 아닌 곳으로는 이동하지 않는다는 가정을 통해 연결성을 측정한다(Kindlmann and Burel, 2008 재인용). 이러한 접근에서는 해당 경관에 존재하는 코리더의 존재 여부 및 면적비 등으로 연결성을 측정한다(2008; 송원경 외, 2012 재인용). 상호 연결된 네트워크가 총체적인 기능을 실현할 수 있도록 그린인프라의 요소 및 패턴을 결정해야하며 이를 위한 분석에는 공간그래프 이론 모델, 써킷스케이프 모델, 최소비용경로 모델 등 다양한 연구 방법이 있다.

#### 1. 산줄기연결망 구축

산림청(2016)은 산줄기연결망체계를 구축하기 위해 물은 산을 넘지 못하고 산은 물을 건너지 못한다는 산자분수령(山自分水嶺) 개념을 산줄기 물줄기 통합개념으로 활용하였다. 산자분수령 원리는 산과 강에 대한 독특한 인식체계로 “산은 스스로 분수령이 된다.”를 기본원리로 “강이 흐르듯 산이 흐르며, 산은 강을 가르고, 강은 산을 넘지 못한다.”는 기준에 따라 분류한다(산림청, 2016). 산줄기와 물줄기를 통합하여 백두산에서 뒷동산까지 연결이 가능한 세부적인 산줄기연결망체계 구축을 목표로 산줄기연결망 위계를 정립하였고, 위계체계를 기반으로 GIS를 활용하여 상세수준의 산줄기를 추출하였다. 또한 추출된 산줄기의 거시적 연결성과 기능지형적 특성을 평가하였고, 이를 이용한 산지관리방안 마련을 위해 산지제도 개선방안 및 타 부처 제도와의 연동방안을 제시하고 있다.

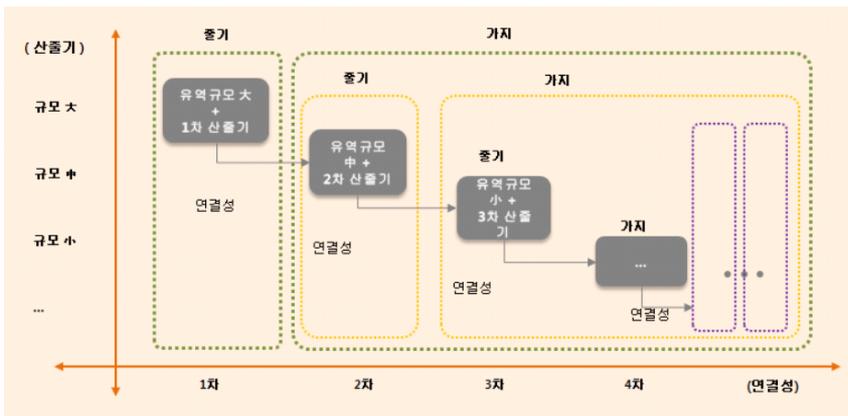
〈그림 3-1〉 산자분수령(山自分水嶺)의 개념



자료 : 산림청(2016)

산줄기연결망체계의 위계체계는 ‘줄기-가지’ 관계로 정립하고 있다. 산줄기와 물줄기가 깊이(구조)와 유역규모(기능)를 통합하며 서로 짝을 이루는 과정을 논리적으로 해석하고 체계화 하였으며 백두대간을 중심으로 1차 산줄기부터 하위차수로 위계관계를 정립하는 ‘Top-down’ 방식을 적용하였다(산림청, 2016). 동해와 서해를 구분하는 1차 산줄기(=백두대간)로부터 발원하여 바다로 연결되는 1차 물줄기(=주요 강), 1차 물줄기를 공간적으로 구획하는 2차 산줄기, 1~2차 산줄기로부터 발원하여 1차 물줄기로 이어지는 2차 물줄기를 구하고 이러한 단순한 과정을 반복함으로써 국토 내의 산줄기와 물줄기의 위계관계를 산지유역 규모까지 공간적으로 정립하고 있다(산림청, 2016).

〈그림 3-2〉 산줄기연결망 체계의 줄기 - 가지관계



자료 : 산림청(2016)

산줄기연결망 체계 분석을 위해 사용된 입력 자료는 수치표고모델(digital elevation model, DEM)을 사용하였고 전처리와 기초자료 산출은 다음 표의 내용과 같은 조건을 기본적으로 만족하는 것을 가정하였고 주요 강줄기 및 산줄기를 산출하기 위해 신산경표를 이용하였다(산림청, 2016).

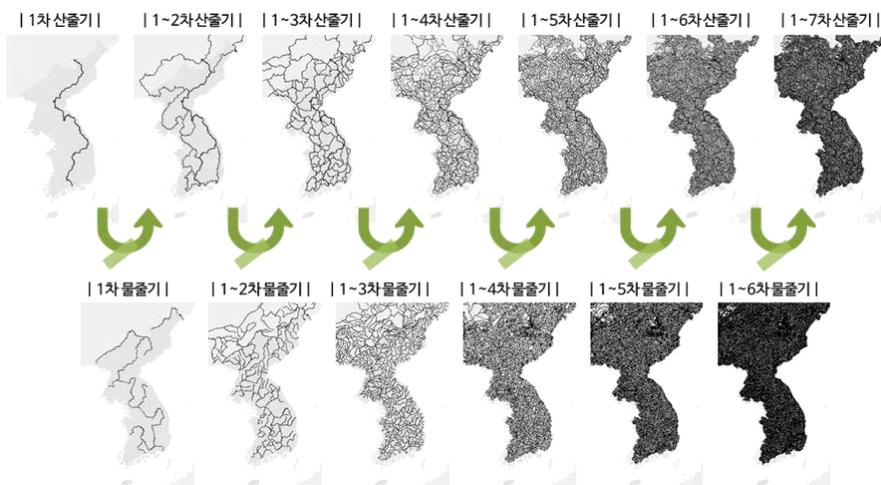
〈표 3-1〉 산줄기연결망 체계분석의 기본조건 및 참조대상

구분	내용
기본조건	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수치표고자료는 물의 흐름을 멈출 수 있는 요인이 없음(Fill Sink)</li> <li>- 경사는 8방향 이외의 어떠한 방향성도 가지지 않음(D8)</li> <li>- 산줄기-물줄기 구축을 위한 구획화(zoning)에 있어 기준이 되는 산줄기는 한반도의 동-서를 구분하는 백두대간으로 한반도 내의 모든 물의 흐름은 동해와 서해로 이어짐</li> </ul>
참조대상	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 신산경표의 대간-정맥의 줄기-가지 관계 및 주요 강과의 연결 관계를 산줄기 및 물줄기의 주요 체계로 반영함</li> <li>- 주요 산줄기를 산출하기 위한 참조 대상으로는 신산경표의 산줄기와 물줄기를 전통적인 인식체계로 참조하지만 논리성과 한반도 지형의 지리학적 위계성을 우선적으로 고려함</li> <li>- 산줄기의 경계는 집수점(pit) 또는 산과 평야가 만나는 경계로부터 최소 1km 이상 이격되어 있어야 함</li> </ul>

자료 : 산림청(2016)

추출된 산줄기와 물줄기는 차수(order) 개념을 통해 위계화 되었으며 모든 규모의 유역(watershed)공간을 공유할 수 있도록 분석되었다. 순차적 차수화 반복을 통해 1차~7차 산줄기 및 물줄기 통합연결체계가 실증되었으며 산출한 1차 산줄기 길이는 약 2,099km, 2~7차 산줄기 총 연장은 약 223,323km로 나타났다(산림청, 2016). 위계적으로 통합된 결과는 산지 및 유역을 점(합수점)-선(산줄기/물줄기)-면(산지유역) 형태로 통합하여 관리할 수 있는 공간적 정보 기반이 조성되었고 평가하고 있다.

〈그림 3-3〉 위계화된 산줄기 및 물줄기 구축 결과



자료 : 산림청(2016)

〈그림 3-4〉 산줄기연결망 체계도(1~5차 산줄기·물줄기)



자료 : 산림청(2016)

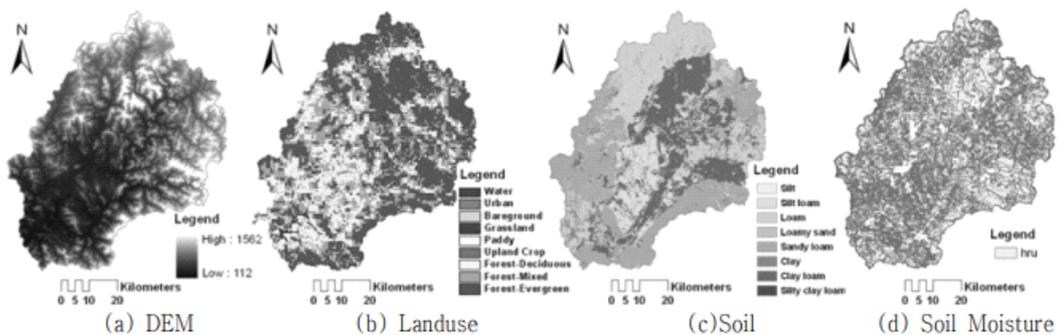
## 2. SWAT 모형

SWAT(Soil and Water Assessment Tool)은 미국 농무성 농업연구소(U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, USAD ARS)의 제프 아놀드(Jeff Arnold)에 의해 개발된 유역모델로 대규모의 복잡한 유역에서 장기간에 걸친 다양한 종류의 토양과 토지이용 및 토지관리 상태에 따른 물과 유사 및 농업화학물질의 거동에 대한 토지관리방법의 영향을 예측하기 위하여 개발되었다. SWAT 모형은 토양 침식방지 및 제어, 비점

오염원 제어 및 유역의 지역관리를 평가하는 등 토양 및 수질을 평가하기 위해 다양하게 사용되고 있다. 특히 우리나라에서는 수문 순환 분석, 유량 예측 등 수자원과 관련한 연구에서 많이 활용되고 있으며 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)<sup>1)</sup>, 수치표고모델(Digital Elevation Model, DEM)<sup>2)</sup> 등의 데이터를 추가하여 산림 토양수분 평가, 산림 파편화 분석 등 산림연구에도 활용되고 있다.

SWAT 분석 시 사용되는 속성 정보는 경사도, 경사방도시향, 토양, 토지이용, 토지피복 등(장대원, 2004)을 포함한다. 이러한 공간정보의 기본 틀을 제공하는 기본도는 수치고도모델로 SWAT 분석의 입력 자료로 활용되며 정확한 지형자료의 구축은 모의결과에 큰 영향을 미치므로 정확한 자료의 구축이 필요하다(홍우용 외, 2009 재인용). SWAT 모형에서 정규식생지수는 모의된 토양수분의 신뢰성을 판단하는 척도로 사용되는데 홍우용 외(2009)는 SWAT 모델과 MODIS 위성영상으로부터 추출한 정규식생지수를 활용하여 토양수분과 산림 지역의 공간적, 시간적 상관성 분석을 하였다. 분석을 위한 입력 데이터로는 지형의 특성을 고려하기 위해 DEM, 토지이용도, 정밀토양도를 이용하였다.

〈그림 3-5〉 SWAT 모형 입력 데이터



자료 : 홍우용 외(2009)

SWAT 분석에 입력 자료로 토양 정보가 들어가는 것은 수계와 토양과의 연관성에서 찾을 수 있다. 많은 연구들이 생태계의 연결성을 논의할 때 육상생태계와 육수생태계를 분리 하여 접근하였으며, 특히 육상생태계 연결성의 경우 식생패치의 모양과 분포에 중점을 두고 접근하였지만(이상범; 2007 재인용) 육상생태계에서 수계가 가지는 중요성이 부각되면서, 식생패

- 1) 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)는 인공위성이나 항공기 등 원격탐사 기술을 이용한 영상 처리 기술로서 식생의 유무를 강조하는 데 사용되는 기술이다.
- 2) 수치표고모델(DEM, Digital Elevation Model)은 수치지도에서 추출한 등고선을 이용하여, 1초(30m) 간격의 격자단위로 표고값을 표현한 자료로서 USGS에서 전 세계를 대상으로 구축한 수치고도자료이다(장대원, 2004).

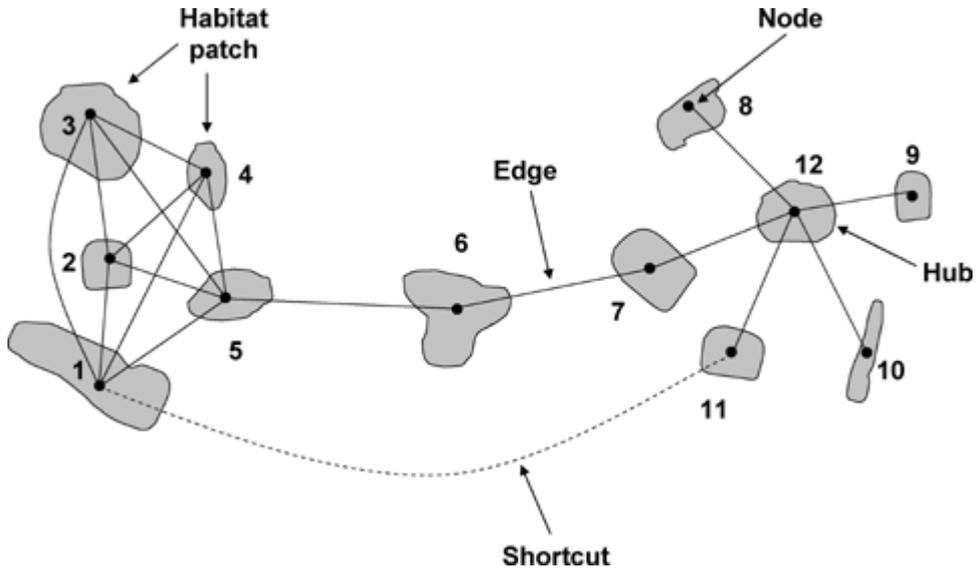
치의 패턴과 수계를 함께 고려하는 접근법이 강조되고 있다(강병선 외, 2001; 이상범, 2007). SWAT 모형의 이론을 담은 매뉴얼에서도 여러 개의 하위유역을 구분할 때 중요한 영향을 미치는 것은 토지이용이나 토양특성으로 물수지(water balance)<sup>3)</sup>가 수문 순환의 원동력이라고 설명하고 있다(Neitsch et al., 2011). 따라서 식생패치의 패턴을 사용하여 경관 연결성을 분석하고자 할 때, 수계에 의해 이어지는 패치의 경우 생태적으로 연결이 되었다고 가정하고 경관연결성을 분석하면 생태적으로 중요한 식생패치와 수계구간을 산정할 수 있다고 평가된다(이상범, 2007).

### 3. 공간그래프 이론

그래피이론(graph theory)은 수학 분야에서 창시된 것으로 컴퓨터공학, 교통학, 사회연결망 이론과 같은 다른 분야로부터 연결성 분석을 위해 경관생태학자들에게 도입된 모형으로, 복잡한 연결망을 연결점(node)과 경계선(line)으로 표현한 모형이다(산림청, 2016). 사회 과학과 컴퓨터 과학 등에서 널리 적용되고 있는 그래프 이론(graph theory)에 기반을 둔 네트워크 분석은 적은 양의 자료를 이용하여 효율적인 분석을 가능하게 하여(Theobald, 2001; 강완모·박찬열, 2011) 다양한 분야에서 널리 응용되고 있으며 특히 경관생태학과 보전생물학 분야에서 이용이 급격하게 증가하였다(Bunn et al., 2000; Urban and Keitt, 2001; Fall et al., 2007; Urban et al., 2009, 송원경, 2011). 공간그래프는 복잡한 연결망을 노드(nodes)와 링크(links 또는 edge)로 단순하게 표현한 모형이다. 연결망은 서로 연결되어 있지만 다른 경관요소들과 분리된 노드 집합으로 구성되어 있으며 구성 요소의 두 노드 간에는 이동할 수 있지만 다른 구성요소의 노드 간에는 이동할 수 없다. 링크는 연결되거나 연결되어 있지 않거나 둘 중 하나이며 연결 수준에 대한 추가 정보를 포함할 수 있다(Minor and Urban, 2008). 이러한 단순성은 복잡한 연결망을 시각화하기 좋을 뿐 만 아니라 더 복잡한 연결망 분석을 위한 알고리즘을 개발하는 데에도 유용하게 활용되고 있다(산림청, 2016).

3) 물수지란 어떤 지역의 일정 기간 내의 물의 유입과 유출의 균형 상태를 말한다  
(두산백과, <https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1095849&cid=40942&categoryId=32300>).

〈그림 3-6〉 공간그래프 이론을 활용한 연결망 모형



자료 : Minor and Urban(2008)

전통적인 공간그래프는 연결지역을 노드와 링크로 파악하고 있으나(송원경, 2011) 이는 2차원적인 공간배치와 모양만을 고려하기 때문에 상호연관성을 파악하기에는 한계가 있었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 개별 식생패치가 전체 패치군 중에서 가지는 중요성을 그래프 이론에 기반을 두어 분석하는 방법론이 사용되고 있다. 그래프 이론을 사용하여 각 패치가 전체 패치 간 연결성에서 가지는 중요성을 분석하여 동물의 이동에 있어서 개별 패치가 가지는 중요성을 평가하고 면적은 적으나 전체 패치 간 연결에서는 중요한 패치를 파악할 수 있다. 이러한 분석 결과는 서식지 보전계획이나 도시기본계획과 같은 공간계획 수립 시 각 식생패치의 보전 우선순위 부여에 중요한 기준으로 사용될 수 있다(이상범, 2007). 나아가 경관구조는 그래프 이론 요소와 직접 일치하지 않으므로 그래프이론의 개념을 구체화하고 다른 개념을 일반화해야 한다. 노드와 링크의 기하학적 맵핑을 명시적으로 유지하면 공간 분석 및 서식지 패턴의 해석을 더 잘 지원할 수 있으며(Fall et al., 2007), 그래프 이론을 통한 분석은 지리적 정확도는 떨어지지만 연결통로의 우선순위나 중요성을 평가하는데 중요하기 때문에 연결통로의 개수 등을 결정하는 의사결정과정에서 도움이 되는 모형이다(산림청, 2016). 따라서 그래프 이론 모형은 회로이론이나 최소비용경로 모형 등과 함께 사용되는 경우가 많다.

〈그림 3-7〉 전통적인 그래피 이론과 공간그래피 이론의 주요 차이점

	<u>Conventional graphs</u>		<u>Spatial Graphs</u>	
Nodes	<i>Zero-dimension points</i> <i>Arbitrary locations</i>	●	<i>Two-dimension patches</i> <i>Georeferenced locations</i>	
Links	<i>One-dimension lines</i> <i>Arbitrary pathways</i> <i>Externally defined weights</i>		<i>One-dimension lines</i> <i>Georeferenced pathways</i> <i>Geometric weights (Euclidean or least cost)</i>	

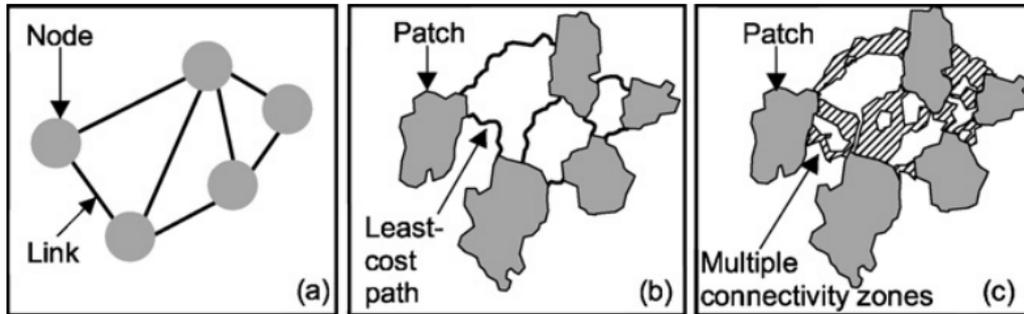
자료 : Fall et al.(2007)

#### 4. 최소비용경로

최소비용경로분석은 경관생태학의 경관투과성(Landscape Permeability) 분석 시 사용된다. 경관투과성이란 핵심지역 또는 개체가 풍부한 지역으로 움직이기 위해 어떠한 종이 소비하는 비용을 계산하는 것을 의미한다(Singleton et al., 2002). 최소비용경로(least-cost path)는 핵심 서식처 또는 개체군들 사이에서 가능한 모든 경로 비용의 계산, 동물 이동을 위해 최소 비용이 소요되는 경로의 확인, 보전계획에서 사용하기 위한 도면상에 가장 적합한 경로 기입의 과정으로 결정된다(송원경, 2011).

최소비용경로는 래스터 기반 알고리즘을 사용하여 이론적 누적 비용의 최소 경로를 계산한다(Adriaensen et al, 2003; Xiu et al, 2017). 각각의 격자들은 서로 다른 서식처 또는 식생 유형, 표고, 경사 또는 다른 경관 형태를 반영하고 있다. 이 격자들에는 목표가 되는 동물의 이동에 영향을 미치는 정도가 추정된 저항값(resistance value)으로 주어진다(Clinton et al., 2007). 최소비용거리 모델링은 동물의 이동은 경관조건에 따라 복잡한 형태를 보이고, 동물은 이동 선택에 있어서 최소거리를 따른다는 가정을 기초로 하고 있다(Bunn et al., 2000; Tischendorf and Fahrig, 2000; Belisle, 2005; Baguette and Dick, 2007). 행동생태학적 관점에서 야생동물의 행동은 순이익을 최대로 하는 비용과 편익의 관점에서 결정된다고 연구되고 있으며(Krebs and Davies, 1981), Winfree et al.(2005)은 나비(*Icaricia icarioides fenderi*) 조사를 통해 최소비용거리 모델링 결과 나타난 동물의 이동경로가 실제로 유효하다는 것을 확인하였다(이동근 외, 2008).

〈그림 3-8〉 최소비용경로 분석의 적용 과정 예시

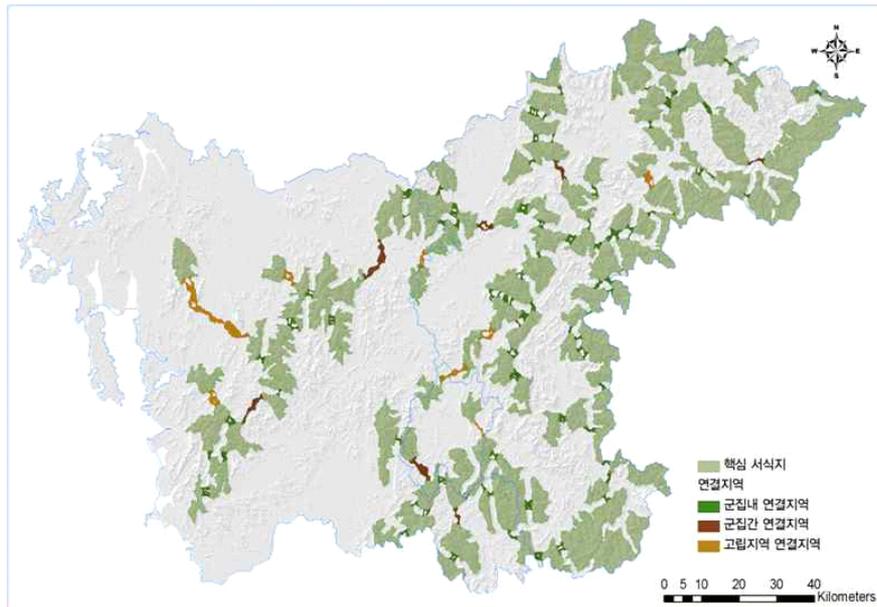


자료 : Zetterberg et al(2010)

최소비용경로 분석은 다음과 같은 가정을 기초로 한다. i) 동물의 이동은 경관조건에 따라 복잡한 형태를 보인다. ii) 동물은 이동 선택에 있어서 최소거리를 따른다(Bunn et al., 2000; Tischendorf and Fabrig, 2000; Bélisle, 2005; Baguette and Dyck, 2007). 최소비용경로 분석의 과정에서 가장 첫 번째는 생태적으로 중요한 주요종(focal species)을 선정하는 것이다. 모든 종들을 다 고려하여 생태축을 구축하는 것은 매우 어려운 문제이기 때문에 대상지의 조건을 고려하여 이동이 필요하고 서식처 다양성이 요구되는 많은 분류학상의 그룹들로부터 주요종을 선정하는 과정이 필요하다(이동근 외, 2008). 주요종 선정 시 Penrod et al.(2006)은 다음의 네 가지를 고려해야 한다고 언급했다. 첫째, 대상 종의 이동에 대한 충분한 정보를 알고 있어서 분석에 사용하는 자료를 통해 가중비용거리의 추정이 합리적으로 가능한 종이어야 한다. 둘째, 분석을 위해 구축한 자료들이 그 종의 이동 능력을 반영해야 한다. 셋째, 연결하려는 핵심지역 모두에서 서식이 가능한 종이어야 한다. 넷째, 핵심지역 간에 유전적 흐름이 기후변화 등의 환경 교란보다 빠르게 나타나야 한다(이동근 외, 2008). 주요종 선정 후에는 선정된 주요종이 충분한 개체군으로 유지하면서 서식할 것으로 예상되는 핵심지역을 선정하여야 하며 종의 이동 가능한 지역을 확인하고 안정적인 서식지들을 연결하는 최소비용경로 분석을 진행한다. 최소비용경로 분석은 경관 투과성(Landscape Permeability) 분석, 비용표면 계산, 최소비용경로 분석의 과정이 수행된다. 일반적으로 경관생태학에서 연결성으로 알려진 경관 투과성은 유기체가 경관을 통해 이동할 수 있는 정도를 의미하며 핵심지역 또는 개체가 풍부한 서식처로 이동하기 위해 어떠한 종이 소모하는 비용을 계산(Singleton et al., 2002)하는 것이 경관 투과성 분석이다. 야생동물의 이동은 크게 토지피복 등과 같은 경관구조, 표고, 경사 등과 같은 지형적 요인, 도로밀도 등의 인위적인 장애요인에 영향을 받는다(Singleton et al., 2002; Penrod et al., 2006). 이러한 저항값(resistance value)을 부여하여 경관 투과성을 분석한다. 비용표면은 각 격자별로 이

동에 소요되는 비용을 값으로 나타내는 것으로서 경관 투과성 값이 계산된 도면과 출발 지점 으로부터 각각의 격자까지의 거리 값을 중첩하여 구축할 수 있다(이동근 외, 2008). 마지막으로 최종적인 최소비용경로를 추출하기 위해서는 두 개의 점을 설정하여 두 경로 사이의 최소비용을 산정한다.

〈그림 3-9〉 공간그래프와 최소비용거리 이론을 적용한 삼의 이동경로 분석



자료 : 송원경(2011)

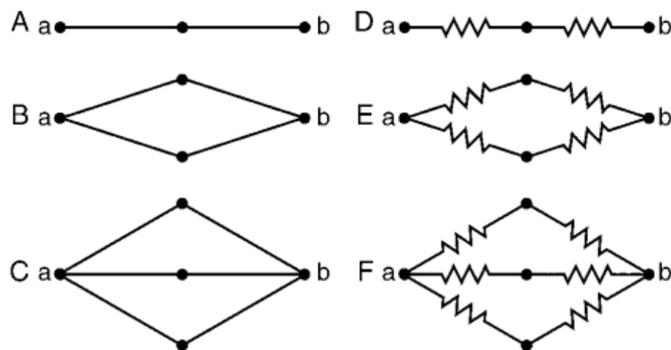
## 5. 써킷스케이프(Circuitscape)

McRae et al.(2008)에 의해 처음 제안된 써킷스케이프(Circuitscape)는 저항의 분포에 따른 전류의 양을 산출하는 회로이론에 기초한 연결성 평가 소프트웨어로서 개별 격자의 토지이용을 종 이동에 대한 저항으로 간주하여 목표지점 간 연결된 모든 격자에 대해 종의 상대적인 이동량을 계산하여 연결성을 맵핑하는 것이 가능하다(윤은주 외, 2019). 즉, 저항을 고려한다는 점에서는 동일하지만, 목표지점 간 하나의 경로만을 산출하는 최소비용경로 평가기법과는 달리 써킷스케이프는 연결된 모든 격자에 대해 종 이동의 확산(diffusion)과 집중(channel, pinch point) 등을 통합적으로 평가할 수 있다(Koen et al. 2014; Pellitier et al. 2014; Rayfield et al. 2016; 윤은주 외, 2019).

써킷스케이프의 주요 용도는 소량의 이동 서식지 손실로 인해 연결성이 불균형적으로 손상

될 수 있는 흐름이 높은 영역, 특히 핀치포인트(pinch-point)를 식별하는 것이다(as cited in McRae et al., 2016). 생물다양성의 움직임을 나타내는 모의 전류는 서식지 간 저항이 가장 적은 경로를 찾는다. 서식지가 좋은 지역은 전류의 움직임을 위한 저항력이 낮고, 서식지가 열악한 지역은 저항력이 높아 전류의 흐름을 늦추며 극단적인 경우 전류를 모두 차단한다. 써킷스케이프는 최소비용경로 방법에 비해 두 가지 장점을 가진다. 첫째, 단일 경로 또는 코리더에 대한 연결을 제한하지 않는다. 전류는 경로가 저항을 만나 계속할 수 없는 막다른 골목(dead ends)뿐만 아니라 다중 경로 등 아무 곳이나 자유롭게 흐를 수 있다. 이는 생물다양성이 어떻게 경관을 사용하는지에 대한 보다 현실적인 측면으로 이동성 야생동물은 종종 식별된 단일 경로보다 가능한 경로 또는 코리더를 사용한다. 둘째, 써킷스케이프에서 전류의 흐름은 종들이 경관을 가로질러 무작위로 움직이며 저항에 부딪히는 '무작위 걷기(random-walk)'를 기반으로 한다. 즉, 경로에서 측면 경로 또는 분할이 가능하기 때문에 코리더 분석보다 더 현실적이다(City of Richmond, 2014).

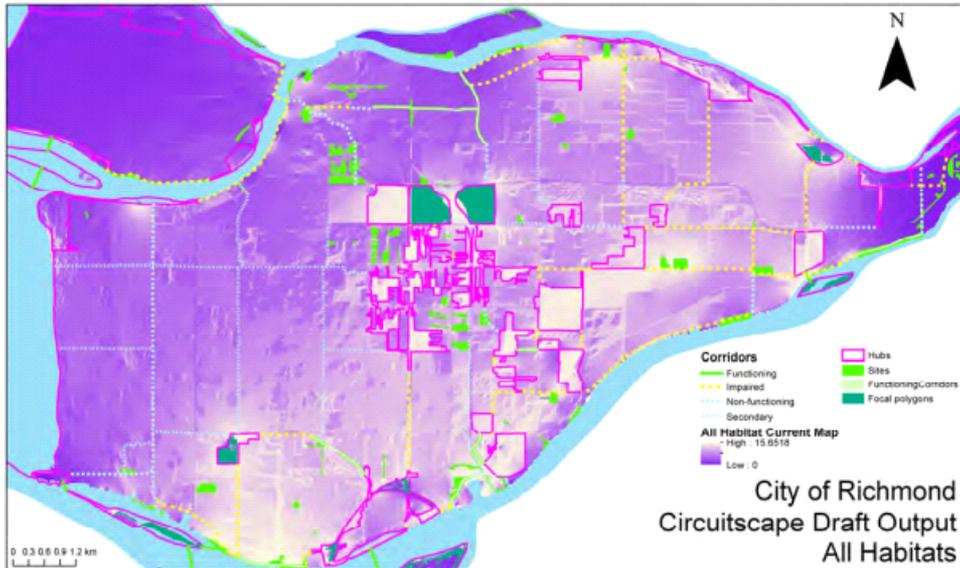
〈그림 3-10〉 전류의 흐름 구조



자료 : McRae et al., 2016

미국 버지니아주 리치몬드(Richmond)시는 생태네트워크의 장기적인 연결성 확보, 보호 및 향상과 그린인프라의 강화를 위한 생태네트워크 관리 전략을 세우는데 써킷스케이프 모델링을 사용하였다. 숲이 우거진 습지, 경작지, 관목과 초지로 이루어진 오래된 식생 등 생태적으로 민감한 지역에 대한 데이터와 토지이용 및 도로현황을 활용하여 분석하였다.

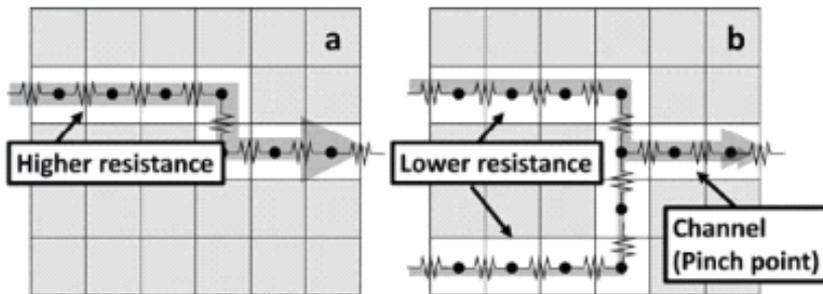
〈그림 3-11〉 씨킷스케이프를 리치몬드시의 활용한 연결성 분석 결과



자료: City of Richmond(2014)

윤은주 외(2019)는 기존의 개략적인 생태축 연결 계획을 효과적으로 보완하고 실제적인 개발계획 및 관리에서의 실효성을 확보하기 위해 연결되는 모든 격자에 종의 이동량을 맵핑할 수 있는 씨킷스케이프를 적용한 생태적 연결성을 평가하였다. 각종 개발사업으로 인한 서식지 파편화가 발생하는 수원시를 대상으로 회로 이론에 의하여 토지피복의 이용이 동물의 이동에 어느 정도의 저항을 주게 되는지 값을 부여하여, 동물이 저항이 낮은 쪽으로 이동하는 방향으로 나아감을 이용하여 연결성을 분석하였다.

〈그림 3-12〉 토지피복의 저항값을 반영한 연결경로 탐색과정



a. 최적경로를 탐색한 경우

b. 대체경로를 탐색한 경우

자료 : 윤은주 외(2019)

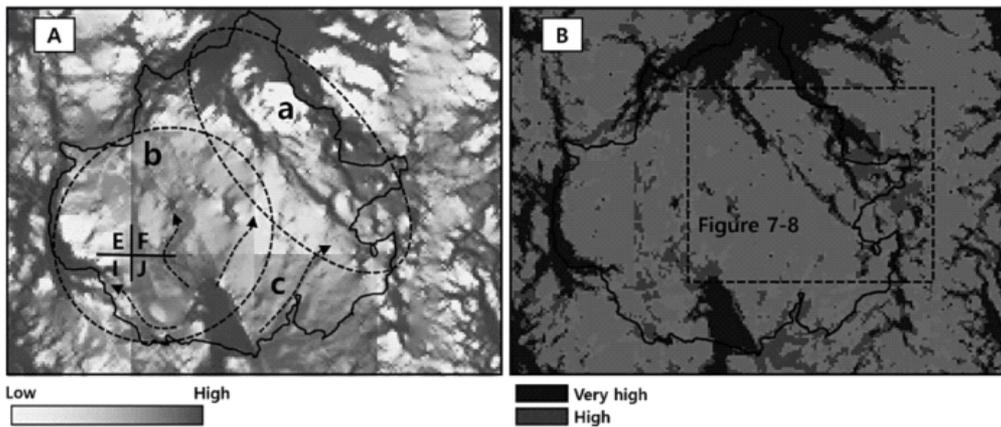
씨킷스케이프 관련 선행연구와 국내의 경관투과성 점수를 고려해 각각의 토지피복에 대한 저항값을 설정하였고 그 결과 수원시 일부지역에 대해 연결성이 다음 그림과 같이 나타남을 확인하였으며, 100m 격자단위로 연결된 지역이 표현되었다. 그림에 따르면 칠보산, 광교산, 수원비행장을 중심으로 수원시 외곽을 연결하는 생태축이 식별되었음을 알 수 있다.

〈표 3-2〉 토지피복 유형에 따른 저항값

토지피복유형	저항값
시가지	100
경작지	27
산림	1
초지	14
습지	27
나지	50
수면	27

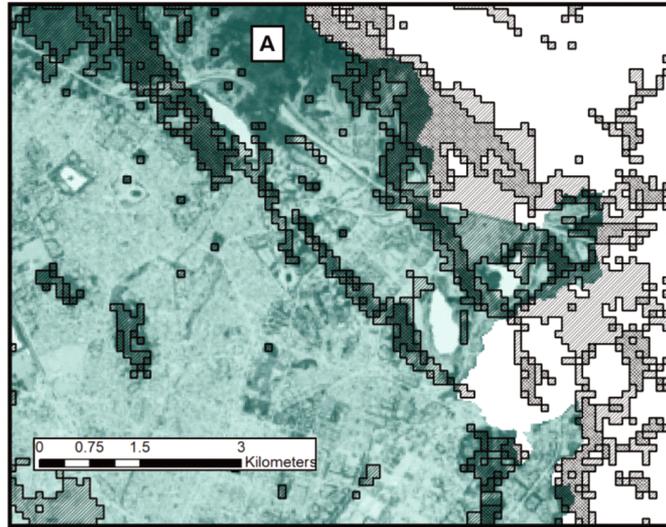
자료 : 윤은주 외(2019)

〈그림 3-13〉 씨킷스케이프 분석결과(A) 및 유의미한 연결통로의 구분결과(B)



자료 : 윤은주 외(2018)

〈그림 3-14〉 기능적 연결성 분석을 통한 연결성 평가

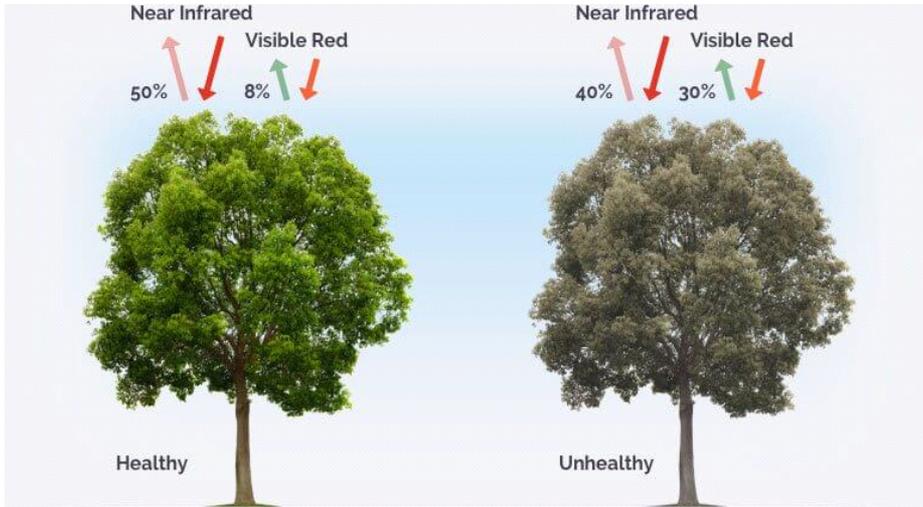


자료 : 윤은주 외(2019)

## 6. 정규식생지수(NDVI)

정규식생지수(NDVI : Normalized Difference Vegetation Index)는 Landsat TM영상을 사용하며 Kriegler(1969)에 의해서 처음 설명되었으며, Rouse et al.(1973) 등이 처음으로 활용사례를 제안하였다(조윤원 외, 2009). 정규식생지수는 인공위성이나 항공기 등 원격탐사 기술을 이용한 영상 처리 기술로서 식생의 유무를 강조하는 데 사용되는 기술이다. 식물의 에너지 흡수량과 광합성 능력과 연관된 지표로 정규식생지수, SR(Simple Ratio), EVI(Enhanced Vegetation Index) 등 다양한 지표들이 사용되고 있는데 이중 가장 대표적인 식생지수가 정규식생지수이다. 정규식생지수는 건강한 식생의 경우 청색 및 적색 빛을 흡수하고 녹색 가시광선을 반사하며, 광합성 과정에서 적극적으로 사용되지 않는 근적외선(NIR, Near Infrared Ray)을 반사하는 특성을 이용하여 근적외선과 적색광 밴드 사이의 값의 차이를 두 밴드를 합한 값으로 나누어 계산한다. 건강한 식생은 근적외선 영역(파장대 750-1,400nm 범위)에서 밝게 나타나고, 적색광선역의 반사강도는 낮다. 반대로 약해진 식생의 경우 근적외선 반사강도는 낮아지며 적색광선역의 반사강도는 높아져 대상지 수목의 전반적인 활력도를 육안으로 쉽게 평가할 수 있다(김은영, 2018).

〈그림 3-15〉 정규식생지수의 개념



자료 : <https://eos.com/ndvi/>

정규식생지수는 녹색식물의 반사율이 적색영역에는 대체로 작고 근적외선 영역에서는 높다는 점을 이용하여 두 분광대 영상이 가진 화소수간의 비율을 구하여, 식생의 밀집도를 나타내는 지수로 파장 중 적색(Red)파장과 근적외선(Near-Infrared, NIR)파장을 이용한 기본적인 계산식은 아래와 같다.

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

정규식생지수는 식생지수 중에서 활용도가 높으며 -1과 1사이의 상대적인 값으로 제시하여 식생활력도를 측정하는 방법으로 아래의 식으로 계산을 할 경우 0에서 255까지의 수를 나타낸다(한국환경정책·평가연구원, 1999).

$$NDVI = 128 \times \left( \frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3} + 1 \right)$$

정규식생지수는 근적외선과 적색 파장을 촬영하는 Landsat, MODIS, SOPT 등 다양한 위성자료로 촬영되고 있으며, 이 중 SOPT 위성은 4호부터 VEGETATION(VGT)이라는 센서가 탑재되어 있어 정규식생지수 영상을 취득하고 있다. SPOT VGT센서는 최대값 결합(MVC, Maximum Value Compositing) 기법을 이용하여 10일 주기로 합성된 영상을 제공한다. 정규식생지수는 상대값으로 -1에서 +1 범위를 가지며 +1에 가까울수록 식생의 분포량과 활성도가 크다는 것을 의미한다(<http://blog.daum.net/geoscience/399>).

〈그림 3-16〉 인공위성 종류에 따른 정규식생지수(NDVI) 계산식

$$NDVI_{L8} = \frac{Band_5 - Band_4}{Band_5 + Band_4} \quad \text{Landsat 8 OLI}$$

$$NDVI_{L5} = \frac{Band_4 - Band_3}{Band_4 + Band_3} \quad \text{Landsat 5 TM}$$

$$NDVI_{S2} = \frac{Band_8 - Band_4}{Band_8 + Band_4} \quad \text{Sentinel 2 MSI}$$

자료 : <https://www.geo.university/pages/spectral-indices-with-multispectral-satellite-data>

정규식생지수는 식물의 활력과 밀접한 관련이 있다. Farrar 외(1994)는 정규식생지수와 토양수분이 식물이 자라는 시기에 매우 잘 일치한다는 것을 발견하였으며(홍우용 외, 2009) 대부분의 경우 수계를 중심으로 수변공간이 위치하고 있어, 동물의 이동 및 생태적 프로세스에 중요한 역할을 하고 있다(이상범, 2007). 건강하고 활력이 높거나 밀도가 높은 식생에서 근적외선의 반사율이 매우 높게 나타나는 것에 착안하여 만든 지수이다. 높은 정규식생지수 값은 근적외선 스펙트럼에서 더 많이 반사되는 영역에 해당해 근적외선의 반사율이 높을수록 밀도가 높고 건강한 식생에 해당 한다. 따라서 정규식생지수는 작물 현상 결정, 작물 유형 식별, 작물 건강, 산림 모니터링 등과 같은 수많은 원격탐사 연구에 사용될 수 있다. 또한 수문 모형의 입력 데이터로 사용되어지는 정규식생지수는 단위 지표 면적당 (㎡) 수목에 대하여 투영되는 전체 잎의 면적 (㎡)에 대한 비율로 정의되며, 식물의 엽층에서 발생하는 에너지, 이산화탄소, 질소의 교환과 상호작용 등 식물의 구조적 특징을 나타내는 중요한 지수로서 환경생태나 기상 및 수문분야에서 다양하게 활용되고 있다(박민지 외, 2009).

〈그림 3-17〉 정규식생지수(NDVI) 표현 예시



낮은 정규식생지수 측정

높은 정규식생지수 측정

자료 : <https://eos.com/ndvi/>

## 7. 정규식생수분지수(NDMI)

정규식생수분지수(Normalized Difference Moisture Index, NDMI)는 식생 내 수분의 정도를 표현하는 상대 지수(Ji, 2010; USGS, 2020)로 도시 내에서 녹지 및 수변공간의 활성화 정도를 측정할 수 있으며 NDWI(Normalized Difference Water Index)로도 불린다. 정규식생수분지수는 Landsat 8/OLI 센서의 근적외선(NIR)인 band 5와 단파적외선(SWIR)인 band 6의 방사량(reflectance)의 차이를 비교해서 얻어낼 수 있으며 수치범위는 -10 - +10 사이의 값을 가진다(USGS, 2020).

$$NDMI = \frac{NRI(5) - SWIR(6)}{NRI(5) + SWIR(6)}$$

〈그림 3-18〉 인공위성 종류에 따른 정규식생수분지수(NDMI) 계산식

$$NDMI_{L8} = \frac{Band_5 - Band_6}{Band_5 + Band_6} \quad \text{Landsat 8 OLI}$$

$$NDMI_{L5} = \frac{Band_4 - Band_5}{Band_4 + Band_5} \quad \text{Landsat 5 TM}$$

$$NDMI_{S2} = \frac{Band_8 - Band_{11}}{Band_8 + Band_{11}} \quad \text{Sentinel 2 MSI}$$

자료 : <https://www.geo.university/pages/spectral-indices-with-multispectral-satellite-data>

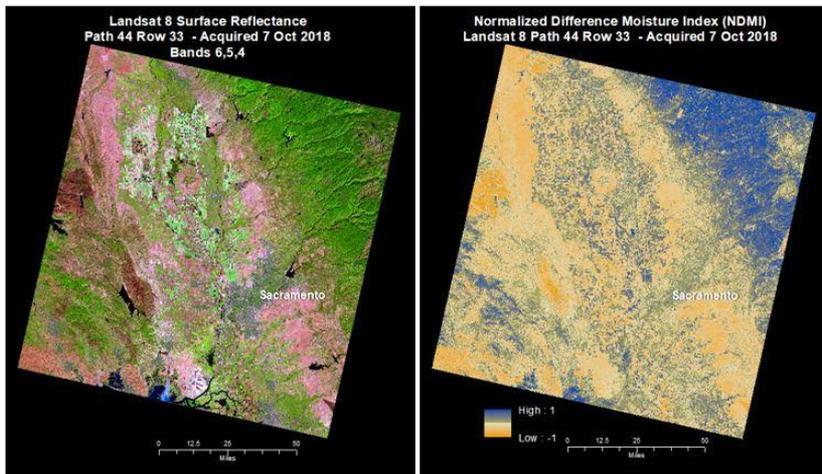
정규식생수분지수의 SWIR 반사율은 400~2,500nm의 스펙트럼에서 가시화되며 엽록소 함량, 잎 면적 지수 및 식생 수분 함량과 같은 식생 생물 물리학적 매개변수에 대한 정보를 제공한다(Tucker, 1980; Ceccato et al., 2001). 또한 SWIR 반사율은 식생캐노피의 식생 수분 함량과 해면조직(spongy mesophyll)<sup>4)</sup> 구조 모두의 변화를 반영한다. NIR 반사율은 잎 내부 구조 및 잎 건조 물질 함량의 영향을 받지만 수분 함량에는 영향을 받지 않는다. 따라서 NIR과 SWIR의 조합은 잎 내부 구조 및 잎 건조 물질 함량으로 인한 변화를 제거하여 식생 수분 함량 검색의 정확도를 향상시킨다(Ceccato et al., 2001).

4) 해면조직은 식물의 잎에서 뽀뽀하게 배열되어 있는 책상조직 아래에 영성하게 배열되어 있는 둥근 모양의 세포들로 이루어져 있는 조직으로 해면조직은 엽록체를 가지고 있으므로 책상조직과 함께 광합성이 활발하게 일어나는 장소이다(두산백과,

<https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1161992&cid=40942&categoryId=32319>).

정규식생수분지수는 수자원의 정보를 보다 효율적으로 분석할 수 있으며 특히 도시지역의 수분 정보를 파악하는데 매우 용이하다. 식생지수에 관한 기존의 연구들(Thomas et al., 2004; Dennison et al., 2005)에서 정규식생지수(NDVI)보다 식생의 수분량에 따른 분광특성을 이용한 정규식생수분지수가 수분 스트레스를 반영하는데 적합하다고 보고된 바 있다(성노훈 외, 2015). 정규식생수분지수의 절대값에 대한 해석은 가뭄 피해지역 식생 수분 스트레스를 분석하기 위해 활용되기도 하며 작물 관개를 위한 농업 모니터링, 목초지 관리에서 화재 위험 및 수분 평가를 위한 산림 모니터링 등에 사용된다.

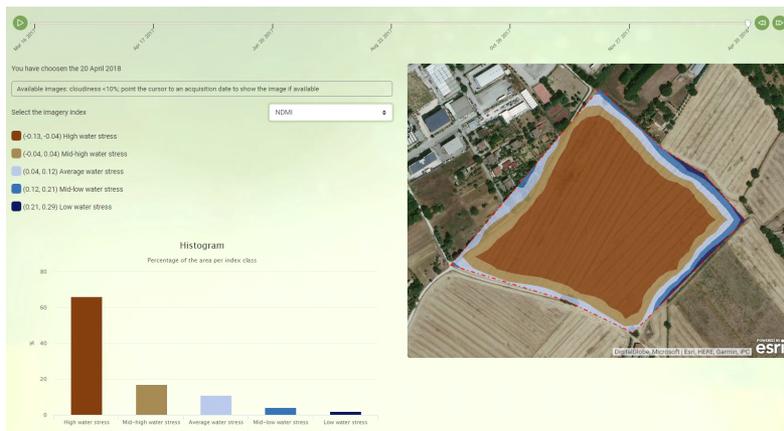
〈그림 3-19〉 Landsat8 위성영상을 이용한 정규식생수분지수(NDMI) 표현



자료 : USGS 홈페이지

(<https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/normalized-difference-moisture-index>)

〈그림 3-20〉 정규식생수분지수(NDMI)를 이용한 발작물의 수분스트레스 분석 사례



자료 : AGRICOLUS 홈페이지(<https://www.agricolus.com/en/indici-vegetazione-ndvi-ndmi-istruzioni-luso/>)

## 제2절 수원시 그린인프라 구축체계 마련

### 1. 그린인프라 중심 녹지축 분석 방향

도시생태계를 관리하는 방안의 접근 방법은 생태현상이 발생하는 차원 형태에 따라 점, 선, 면으로 구분할 수 있다. 다만 이 생태현상은 실제하는 물리적인 생태계의 형태로도 구분할 수 있지만 도시계획적 관리 전략에 따라 추상적으로도 설정할 수 있다. 이 세 가지 차원 중 선과 면의 형태를 가진 녹지축은 시점과 종점, 중심지역, 주변지역 등과 같이 0차원인 점(點)과 다르게 주변 지역과의 상호작용을 고려한 공간 설정이 가능하다. 특히 선형 녹지축은 특정 지역 내에서 분포하고 있는 생태 공간 내에서 핵심 생태 중심지로 볼 수 있으며 축의 시점으로부터 종점에 이르기까지 연속성이 유지되는 생태공간을 의미하게 된다. 따라서 수원시의 선형 녹지축을 설정하는 데 있어서 고려되어야 할 부분은 중심성과 연결성이라는 2가지 요소가 고려되어야 할 것으로 볼 수 있다. 이를 위해 수원시의 핵심 생태 중심지가 어디에 분포하고 있는지 확인이 필요하다. 그리고 이 중심지가 연속성을 띠어 수원시의 생태공간이 단절되지 않도록 강한 연결성의 여부도 확인되어야 한다.

그린인프라 네트워크 구축에 주로 사용되는 방법은 중첩분석(Overlay Analysis), 공간분석(Spatial Analysis), 그래프 기반 분석(Graph-based Analysis), 형태 공간패턴 분석(Morphological Spatial Pattern Analysis, MSPA)이 있다. 중첩분석은 GIS 기술을 통해 인간과 자연환경 사이의 수직적 과정과 연결을 강조하는 특성이 있다. 공간분석은 수평선상의 생태 프로세스를 강조하여 경관생태 및 GIS기술에 기초한 수평운동(horizontal motion)을 시뮬레이션하여 네트워크 패턴을 형성한다(Shi and Qin, 2018). 회로이론에 기초한 그래프 기반 분석은 노드 및 링크의 네트워크 다이어그램으로 경관을 단순화하여 분석한다. 형태 공간패턴 분석은 기하학적 특성 분석을 통한 코어와 브리지를 기반으로 그린인프라 네트워크를 구축하는 특성이 있다.

〈표 3-3〉 그린인프라 네트워크 구축에 사용되는 주요 기법

분석 기법	원리 및 방법	특성
중첩분석 (Overlay Analysis)	<ul style="list-style-type: none"> <li>인간생태계학 이론에 근거하여 경관 단위의 지질-토양-수온-동물-인간 활동과 토지이용 사이의 수직적 과정과 연결을 강조</li> <li>“계층 케이크(the layered cake)” 중첩기술을 사용하여 GIS 기술을 통해 그린인프라 네트워크의 “허브”와 “링크”를 식별</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>코리더의 적합성에 따라 연결성을 판단</li> <li>많은 양의 데이터 필요</li> <li>소규모 장소 또는 정확하지 않은 그린인프라 요건에서 편리하고 실용적</li> </ul>
공간분석 (Spatial Analysis)	<ul style="list-style-type: none"> <li>수평선상의 생태 프로세스를 강조하여 경관 생태 및 GIS 기술에 기초한 수평운동(horizontal motion)을 시뮬레이션하여 네트워크 패턴을 형성</li> <li>최소 경로 모델을 사용하여 코리더의 위치와 패턴을 결정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>수평이동 “저항”이 더 작고 연결성이 더 강한 것으로 간주</li> <li>종 조사에 대한 상세한 데이터 필요</li> <li>구조적 및 기능적 연결 강조</li> <li>생물 다양성 보전 강조에 적합</li> </ul>
그래프 기반 분석 (Graph-based Analysis)	<ul style="list-style-type: none"> <li>그래프 이론 및 네트워크 분석을 기반으로 노드 및 링크의 네트워크 다이어그램으로 경관을 단순화함</li> <li>연결 색인을 사용하여 경관 연결을 수량화함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>네트워크 연결 지수가 크고 비용이 낮으며 연결성이 강함</li> <li>경관 규모에 대한 빠른 연구에 적합</li> </ul>
형태 공간패턴 분석 (Morphological Spatial Pattern Analysis, MSPA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>그린인프라를 배경에 해당하는 전경으로 간주</li> <li>기하학적 특성 분석에서 얻은 “코어”와 “브리지”를 기반으로 그린인프라 네트워크 구축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>전경과 배경 사이의 위상적 관계를 기반으로 연결성 결정</li> <li>구조적 연결 강조; 여러 계층의 데이터 오버레이 없이 land cover data에만 의존</li> </ul>

자료 : Shi and Qin, 2018

다양한 그린인프라 네트워크 구축 기법 중 경관생태학적으로 주로 사용되어지고 있는 공간 그래프 이론, 최소비용경로, 써킷스케이프, 정규식생지수, 정규식생수분지수에 대해 살펴보았다. 특성을 살펴보자면 공간그래프 이론 및 최소비용경로는 패치 기반의 연결성 분석으로 여기에 종의 무작위적 움직임을 결합한 모형이 써킷스케이프 이론이다. SWAT은 유역모델 시뮬레이션으로 산림의 수분 분석 시 정규식생지수, 정규식생수분지수를 활용하는 방식으로 분석을 진행한다.

〈표 3-4〉 그린인프라 분석 모델 특성 비교

분석방법	내용	구조	구성	공간 자료	비고
산줄기 연결망	유역단위 연결성 분석	유역단위 산줄기-물줄기 도출	분수계	수치표고모형(DEM)	산림청 (2016)
공간그래프 이론	패치기반 연결성 분석	이분형 (binary)의 패치-매트릭스 형태	노드 : 서식지 등의 패치 링크 : 야생동물의 이동 또는 유전자 흐름	토지피복도(중분류), 국토환경성평가지도	송원경 (2011), 강완모 외(2019)
최소비용 경로 (LCP)	패치기반 연결성 분석	래스터기반 알고리즘	패치의 저항값에 따른 최소비용경로(링크)	서식처 정보(발견 종, 중요 산림), 토지피복도, 수치지형도, 경사도(DEM)	이동근 외(2008)
써킷 스케이프 (회로 이론)	종의 이동에 기초한 연결성 평가, 그래프이론, 최소비용 경로, 종의 무작위적 움직임 결합 모형	비패치-매트릭스	저항값(resistance value), 초점 노드(focal node)	토지피복도	윤은주 외(2019), city of Richmond(2014)
SWAT 모형	유역모델 시뮬레이션	유출 매개변수의 민감도와	토양특성, 지형, 식생, 토지관리방법 등의 매개변수	DEM, 토지이용도, 토양도	홍우용 외 (2009)
정규식생 (수분)지수 (NDVI/NDMI)	식물 활력도/도시 내 녹지 및 수변 공간의 활성화 정도 분석	지수 계산	적색광/단파적외선과 근적외선 밴드를 이용한 계산식	위성자료	USGS (2020)

구성요소 및 분석방법에 따른 공간생태학적 특성을 고려한 모델링 기법 적용 가능성을 살펴보면 공간그래프이론, 최소비용경로 모델을 패치기반 분석은 가능하나 특정종을 대상으로 분석해야하는 일반화의 한계가 존재한다. 회로이론을 활용한 써킷스케이프 모델은 변수에 대한 가중치를 설정해야하는 등 추가적인 기초 연구가 필요하다. 지형, 식생, 토양 활력 정보를 활용하는 SWAT 모델과 정규식생지수, 정규식생수분지수는 기존 정보를 활용한 분석이 용이하며 특정 목표종 없이 수원시 전체를 대상으로 그린인프라 연결성을 분석하기 위해서는 SWAT 분석과 식생지수 중 특히 수분을 판단하기 적합한 정규식생수분지수를 활용한 모델링 기법 적용이 가장 적합할 것으로 판단된다.

〈표 3-5〉 그린인프라 구성요소 및 분석 방법에 따른 모델링 기법 적용 가능성

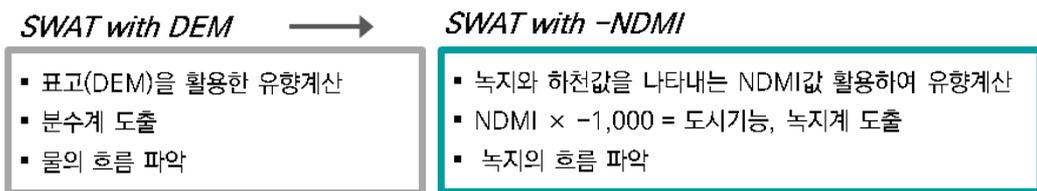
분석방법	허브	링크	필요 공간자료	적용 가능성
산줄기연결망	○	○	표고(DEM)	지형 정보 활용
공간그래프 이론	○	×	토지피복도(중분류), 국토환경성평가지도	패치기반 분석은 가능하나 특정종을 대상으로 분석해야 하므로 일반화 한계 존재
최소비용경로(LCP)	×	○	서식처 정보(발견 종, 중요 산림), 토지피복도, 수치지형도, 경사도(DEM)	
써킷스케이프(회로 이론)	△	○	토지피복도	가중치 설정 등 기초연구 필요
SWAT	△	○	경사도(DEM), 토지이용도, 토양도	지형 정보 활용
NDMI	○	△	위성자료	식생, 토양 활력 정보 활용

수원시의 녹지축을 설정함에 있어 우선적으로 확인해야할 점은 도시 내부에 존재하는 녹지를 어떻게 연결할 수 있으며, 연결이 단절된다면 그 요인은 어떻게 나타나는지 확인할 필요가 있다는 점이다. 앞서 윤은주 등(2019)의 연구에서 토지피복에 따라 녹지축 연결 시 저항이 다르게 나타나는 점을 살펴보면 시가지와 나지는 연결성을 가장 크게 저해하는 토지피복으로 구분되어 있음을 알 수 있고, 나머지 수면, 습지, 경작지, 산림, 초지는 상대적으로 연결을 용이하게 하는 토지피복으로 구분됨을 알 수 있다. 즉 도시적 특성이 나타나는 시가지 및 나지는 녹지축을 단절하는 역할을 하고 있으며 자연적 특성이 나타나는 토지피복은 녹지축을 연결하는 역할을 하고 있다. 이 역할의 차이는 하천의 연결성이 하천이 위치한 지형에 따라 그 양상이 달라지는 분수계의 원리와 유사한 점을 확인할 수 있다. 이때 분수계는 “지표수와 지하수를 포함한 지각 표층의 물의 흐름과 방향을 경계 짓고 유역을 분리하는 지형적 실체”로 정의(이민부와 한주엽, 2000)할 수 있다. 다시 말하면, 자연환경의 특징을 가지는 지역을 연결해가면서 도시기능을 가지는 지역을 피해가며 연결한 선을 녹지축이라 한다면, 여기서 도시기능을 가지는 지역은 산지 혹은 상대적으로 고도가 높아 하천이 통과할 수 없는 지역으로 이해할 수 있다. 즉 분수계를 구분하는 특성을 빌려와 도시 환경에 적용하게 된다면 앞서 다룬 경관생태학의 생태적 연결성 분석 방법인 그래프 이론에서와 같이 도시 내부의 허브와 링크를 연결하는 녹지계를 설정할 수 있으며, 이때 녹지계 내부를 흘러가는 녹지들을 연결하는 선인 링크들을 일종의 하천으로 볼 수 있다.

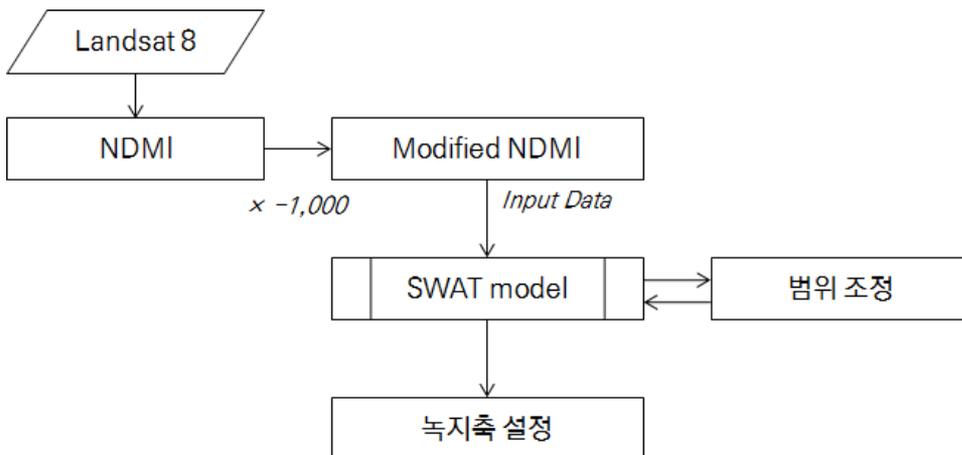
분수계를 정의하는 핵심 개념은 다음과 같이 정리 될 수 있다. Gilbert(1877)에 따르면 분수계는 경사의 법칙, 구조의 법칙, 분수의 법칙에 따라 구분될 수 있음을 밝히고 있다. 각 법칙을 간단히 정리하면 경사의 법칙은 높은 경사를 가질수록 하천의 침식 능력이 커짐을 의미하고, 구조의 법칙은 암석의 지질 구조에 따라 침식속도의 차이가 달라짐을 의미한다.

마지막으로 분수의 법칙은 사면의 경사가 급한 지역에서 낮은 지역으로 물이 이동하며 산의 능선부에 도달하게 되면 급경사 위의 경사가 완만한 지역에서 물이 갈라져 나감을 정의한다. 그리고 갈라져 나온 물은 상대적으로 고도가 낮은 지역을 향해 이동하면서 합류하면서 규모가 더 큰 하천을 형성하는 특성을 보인다. 이러한 하천의 분수 원리를 차용하여 도시적 기능을 하는 지역을 상대적으로 고도가 높고 경사가 급한 지역으로 설정하고, 자연적 기능을 하는 지역을 상대적으로 고도가 낮으며 경사가 완만한 지역으로 설정하여 수원시의 도시기능 고도면을 형성할 수 있다. 따라서 수문분석기법을 활용하여 하천 유역분석을 해당 고도면에 적용하게 되면 도시 내부의 생태적 연결성을 체계적으로 분석할 수 있을 것으로 기대된다.

〈그림 3-21〉 그린인프라 연결성 분석 체계



〈그림 3-22〉 그린인프라 연결성 분석 체계



## 2. 그린인프라 연결성 분석 체계

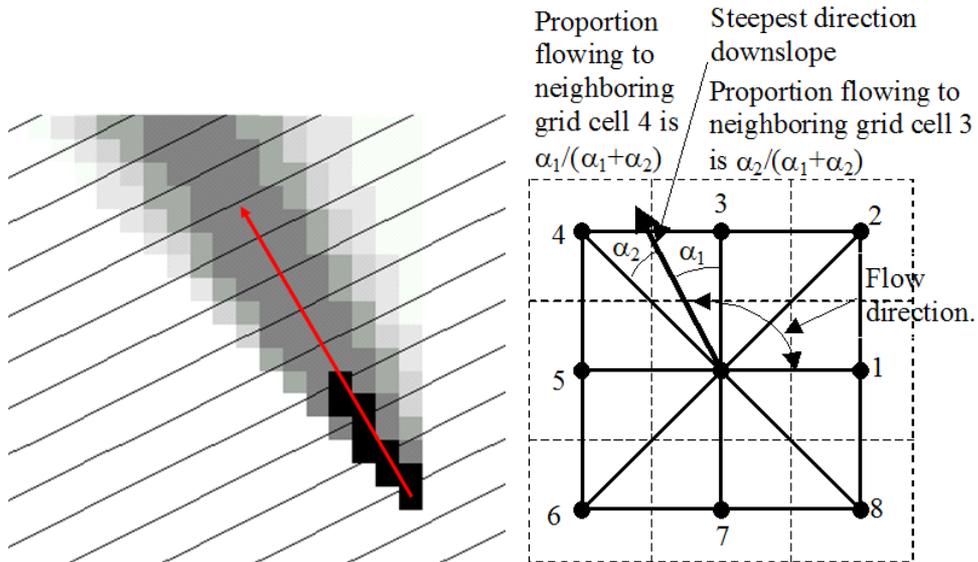
정규식생수분지수는 도시 내에서 녹지 및 수변공간의 활성화 정도를 측정하므로 고도면을 형성하는데 적합한 것으로 판단된다. 정규식생수분지수는 높을수록 식생 및 토양 내 수분이

높음을 의미하며 이를 통해 산림의 성숙도(Collins and Woodcock, 1996), 벌채 등 인위적 영향을 받은 산림의 변화를 확인하는 지표로 활용될 수 있다(Franklin et al., 2000; Wilson and Sader, 2002). 다만 정규식생수분지수를 활용하는 이유는 정규식생지수 혹은 NDWI와 같은 지표를 활용할 수도 있으나 정규식생지수는 수면공간이 시가지역과 동일하게 낮은 지수로 표현되고 NDWI는 건축물에 의해 발생하는 음영지역을 수면공간으로 인식하는 한계가 있어 정규식생수분지수를 하고자 한다. 물론 정규식생수분지수는 식생 내 수분의 정도를 측정할 수 있는 지수이기에 수면에서의 수치가 산림보다 낮게 나타나는 면이 존재한다는 한계가 존재하지만 수원시 내부에서 하천 면적의 비중이 크지 않으므로 교란되는 식생과 수면의 지역의 영향을 크게 받지 않을 것으로 판단된다. 이러한 정규식생수분지수에 -1,000을 곱하면 수분지수가 높은 산림과 수면공간이 낮은 값으로 반전되어 고도면으로 활용할 수 있다.

분수계의 원리를 활용하여 녹지축을 탐색하기 위해 도시지역으로부터 녹지지역으로 흘러가는 유로를 탐색할 필요가 있다. 유로를 탐색하기 위해 수문분석도구를 활용하고자 한다. 수문분석도구를 통해 도시기능 고도면의 경사와 향을 계산하여 해당 지역에 강수가 발생함을 가정하여 생성될 수 있는 유로를 추출할 수 있는 수문분석도구인 SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 모형을 활용하였다. Texas A&M 대학과 USDA에서 개발하여 관리하는 SWAT는 생태계 서비스와 관련된 내용들을 분석하는 도구(Francesconi et al., 2016)로 수문학 모델을 통해 유역 내에서의 양적 분석을 돕는 도구다(Vigerstol and Aukema, 2011). 분석규모는 소지형에서부터 대륙수준의 규모까지 분석이 가능하다(Radcliffe et al., 2015; Jayakrishnan et al., 2005). 분석을 위해 ArcMAP 10.1에 대응되는 ArcSWAT을 부착한 뒤 Watershed Delineation 도구를 이용하여 녹지축을 추출하고자 하였다.

수문분석도구를 활용한 녹지축의 추출 과정은 유향계산, 누적 유량 및 유로 계산, 분석 규모에 따른 전체 유역 및 하위 유역 계산으로 진행되었다. ArcSWAT에서 유향의 흐름은 8개의 인접 셀의 가장 가파른 하강(descent)으로 향하며 (D8 알고리즘) 이를 토대로 계산되었다. 또한 유로 시작 시점을 결정하기 위해 임계값을 적용한 후 누적 유량 및 유로를 계산하며 올바른 임계값 설정을 통해 실제 유역 네트워크와 일치되는, 즉 분석규모에 따른 전체 및 하위 유역 계산을 계산한다. D8 알고리즘이란 O'Callaghan과 Mark(1984)가 개발한 알고리즘으로 상부사면 기여면적의 계산을 위한 흐름을 산정하는 단방향 흐름 알고리즘이다(송태복 외, 2013). 지형자료로의 임의의 격자점으로부터 그 인접의 8개 셀 중 구배가 가장 큰 방향으로 흐름을 결정하는 방식으로 따른다.

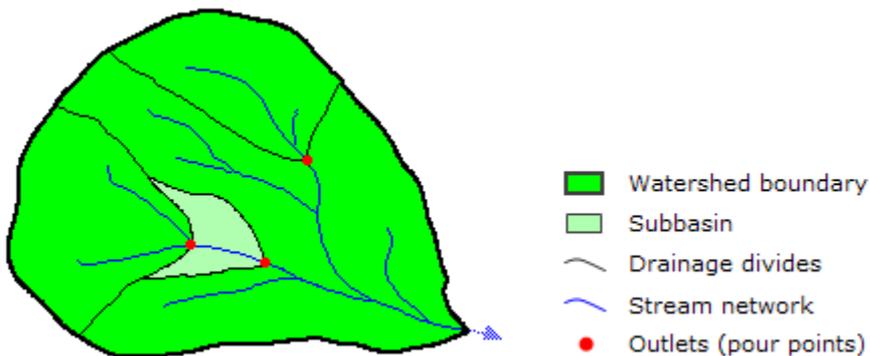
〈그림 3-23〉 D8 알고리즘



자료 : Tarboton(1997)

SWAT 모형에서는 대상유역을 출구점을 기준으로 소유역을 구분하며, 이를 다시 토지이용 및 토양도에 따라서 HRU(Hydro Response Unit)로 구분하여 적용한다(장대원, 2004). 유역은 유역(watershed), 유역경계(watershed boundary), 유동점(pour points)으로 구성된다. 유역은 분수·집수·기여지역으로 구분되며 유역경계는 배수가 분할되는 곳을 유동점은 배출구이다. 하나의 유역은 집중 배수로 공통 배출구로의 흐름을 지닌 곳을 말하며 하위 유역은 더 큰 유역의 일부가 되거나 더 작은 유역을 포함한다(esri 홈페이지).

〈그림 3-24〉 유역의 구성요소



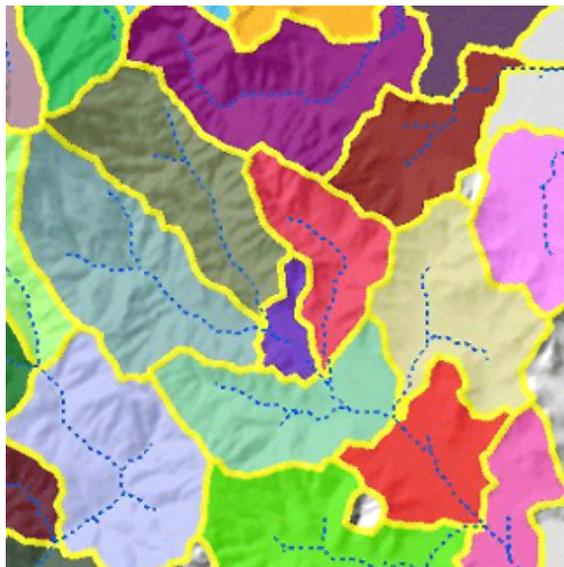
자료 : esri 홈페이지

유역은 DEM을 통해 흐름의 방향을 계산하는데 흐름의 방향 분석은 Jenson and Domingue(1988)에 의해 제시된 8개의 방향으로 흐르는 D8 알고리즘 접근 방식을 따른다. 이 접근 방식을 따르면 함몰된 곳이 없는 DEM에 적용하면 모든 셀이 정의 가능한 흐름 방향 값을 갖게 된다. 흐름의 방향은 각 셀에서 가장 가파른 하강(steepest descent) 또는 최대 하강(maximum descent) 방향에 의해 결정되는데 다음과 같이 계산되며 출력 값은 1에서 255까지 범위의 정수로 표현된다(esri 홈페이지).

$$\text{maximum\_drop} = \text{change\_in\_z-value} / \text{distance} \times 100$$

거리는 셀 중심에서부터의 계산된 거리이며 여러 셀에 대한 최대 하강이 동일하면 가장 가파른 하강이 발견될 때까지 확대하고, 가장 가파른 하강 방향이 발견되면 출력 셀이 해당 방향을 나타내는 값으로 코딩된다. 만약 인접한 셀이 처리 셀보다 높으면 노이즈로 간주되고 인접 항목의 가장 낮은 값으로 채워지며 낮은 값을 가진 셀을 향한 흐름 방향을 갖는다. 그러나 싱크(sink)<sup>5)</sup> 셀이 래스터의 물리적 가장자리 옆에 있거나 인접 항목으로 NoData 셀이 하나 이상 있는 경우 인접 정보가 부족하여 채워지지 않아 반드시 인접 정보가 있어야 한다.

〈그림 3-25〉 DEM을 통해 묘사된 유역

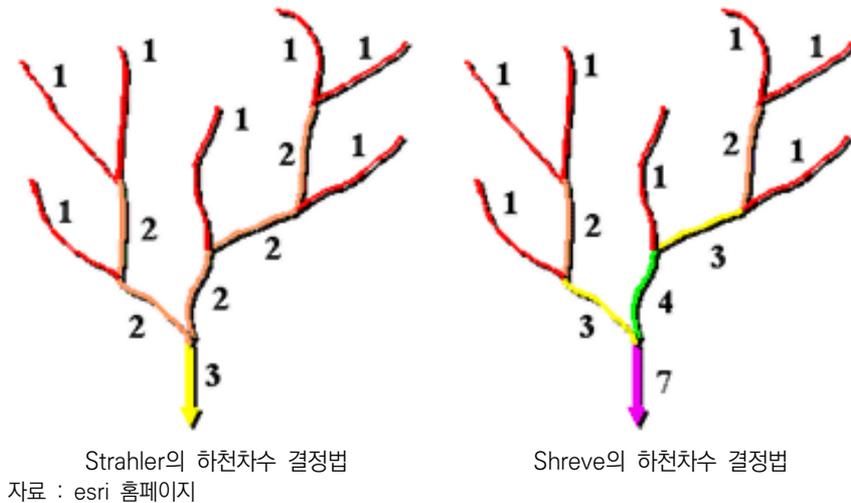


자료 : esri 홈페이지

5) 싱크(sink)는 흐름 방향 래스터에 있는 8개의 유효한 값 중 하나에 흐름 방향을 할당할 수 없는 셀 또는 공간적으로 연결된 셀 집합이다(esri 홈페이지).

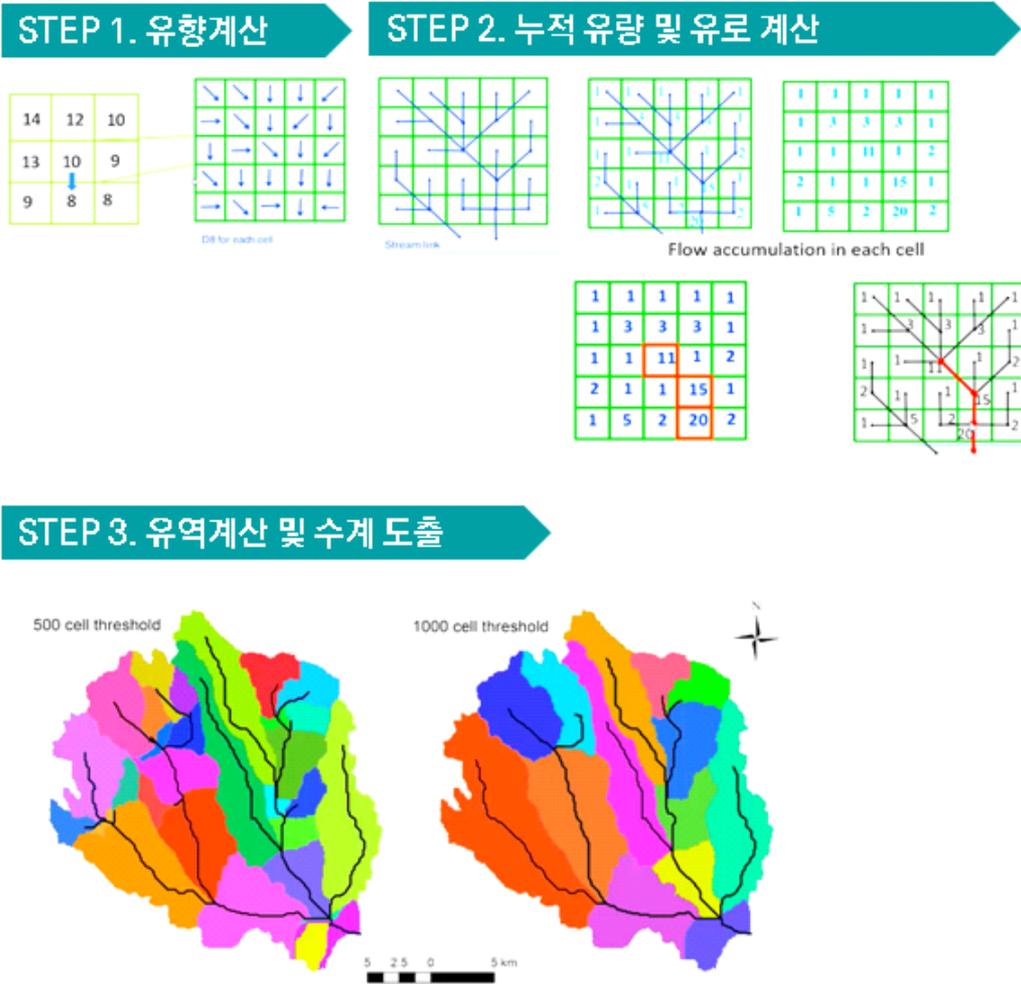
각 셀에서 나오는 흐름의 방향이 결정되면 흐름의 순서(하천차수, stream order)<sup>6)</sup>를 결정 하는데 이는 연결된 흐름 네트워크의 번호를 할당하는 방법이다. 순서는 지류 수에 따라 흐름 유형을 식별하고 분류하는 방법으로 Strahler(1957)와 Shreve(1966)가 제안한 두 가지 방법이 사용된다. 두 가지 모두 최초의 지류에 차수 1을 부여하는 방법은 동일하나 Strahler 방법은 같은 차수의 하천이 교차하면 순서가 증가하지만 서로 다른 차수의 하천이 만나면 순서는 증가하지 않는다. Shreve 방법 또한 같은 차수의 하천이 교차하면 순서가 증가하나 서로 다른 차수의 하천이 교차해도 순서가 증가하는 방식이다. 각 셀에서 나오는 흐름의 방향이 결정되면 주어진 셀로 유입되는 셀의 수를 결정할 수 있으며 이 정보는 유역 경계와 하천 네트워크를 정의하는 데 사용할 수 있다.

〈그림 3-26〉 하천차수 결정방법



6) 하천차수(stream order)는 하천의 상대적인 위치에 따라 지류 및 분류에 매기는 등급을 말한다(위키백과, <https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%95%98%EC%B2%9C%EC%B0%A8%EC%88%98>)

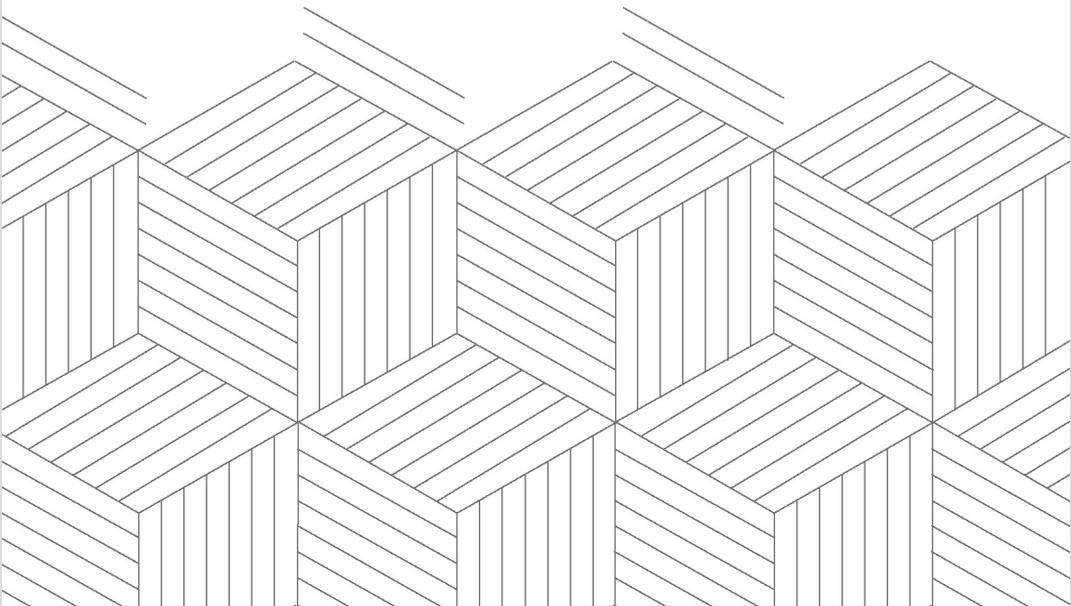
〈그림 3-27〉 수문분석도구(SWAT)를 활용한 녹지축 추출 과정



# 제4장

## 수원시 그린인프라 구축

제1절 수원시 그린인프라 구성요소 및 현황  
제2절 공간생태적 특성을 고려한 수원시 그린인프라 구축





## 제4장 수원시 그린인프라 구축

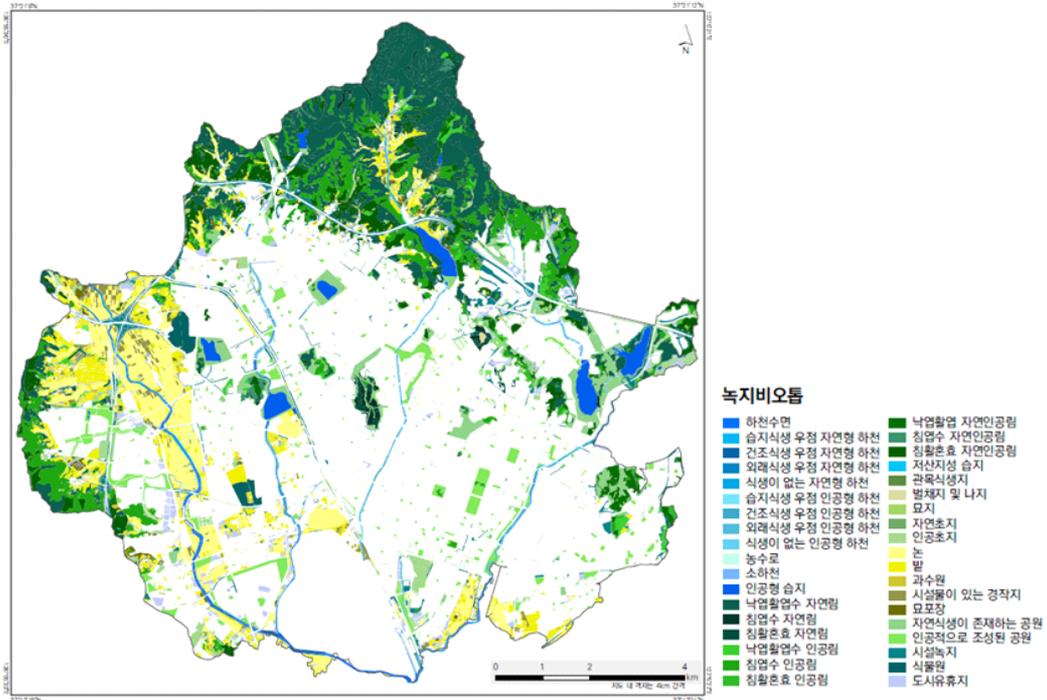
### 제1절 수원시 그린인프라 구성요소 및 현황

#### 1. 수원시 그린인프라 구성요소

독일 베를린에서 제시한 바와 같이 그린인프라 자격이 있는 녹지로는 경관, 자연, 서식지 보호구역 등 높은 보호가치를 지닌 핵심공간, 보호구역 외 핵심적 공간으로 대규모의 온전한 생태기능을 보유한 곳, 야생화초지 등 복원된 자연생태공간, 기존의 자연보호지역을 서로 연결하고 개선하는 역할을 제공하는 공간, 하천, 연못, 자연울타리, 관목군락 등의 소규모 환경요소로서 생태통로나 징검다리 역할을 하는 공간, 생태교량, 옥상녹화 등 생태계 기능개선을 위한 공간 혹은 동물의 이동을 가능하게 하는 요소, 지속가능하게 이용가능한 완충지대로서 환경의 질과 자연경관과의 상호연결성을 개선하여 종의 이동을 돕는 경작지 등이 포함된다 (EU, 2014).

수원시의 그린인프라의 구성요소로는 광교산, 칠보산 등의 산림이 보호가치가 높은 핵심공간으로서 그린인프라의 중심이 되는 공간이며, 수원시의 4개 하천과 저수지는 생물이 서식할 수 있는 생태기능을 보유한 공간이다. 또한, 공원과 녹지지역은 소규모 생물서식공간으로 그린인프라의 역할을 담당하고 있다. 그 외 수원시 내 농경지의 경우 황구지천 주변에 분포하고 있으며 일부 지역에서 멸종위기종인 수원청개구리 등이 출현하여 서식지로서의 기능을 수행하고 있어 그린인프라 구성요소로 적합하다.

〈그림 4-1〉 수원시 그린인프라 구성요소



자료 : 수원시(2019b) 저자 재가공

## 2. 수원시 그린인프라 현황

### 1) 산림 현황

수원시 북동부에는 용인시의 경계를 따라 백운산(567m), 광교산(582m)이 높은 산지를 이루며, 남부에는 평야가 펼쳐지고, 시내에는 팔달산(143m), 여기산(105m), 숙지산(123m), 칠보산(239m) 등 낮은 구릉성 산지가 분포한다. 북부산지에서 발원한 수원천이 시가지 중앙을 흐르고, 원천천은 동부지역, 황구지천과 서호천은 서부지역을 남류하여 화성시에서 진위천으로 유입한 뒤 아산만으로 흘러들며, 하천의 중상류에는 원천, 광교, 신대저수지 등 크고 작은 저수지가 축조되어 관개용수나 상수도원으로 이용되고 있다(수원시, 2019b). 수원시 전체 산림면적은 2,641ha로 전체 면적의 75%(1,986ha)가 사유림에 해당하며 15%(390ha)는 국유림, 나머지 10%(265ha)가 공유림이다.

〈표 4-1〉 수원시 산림현황

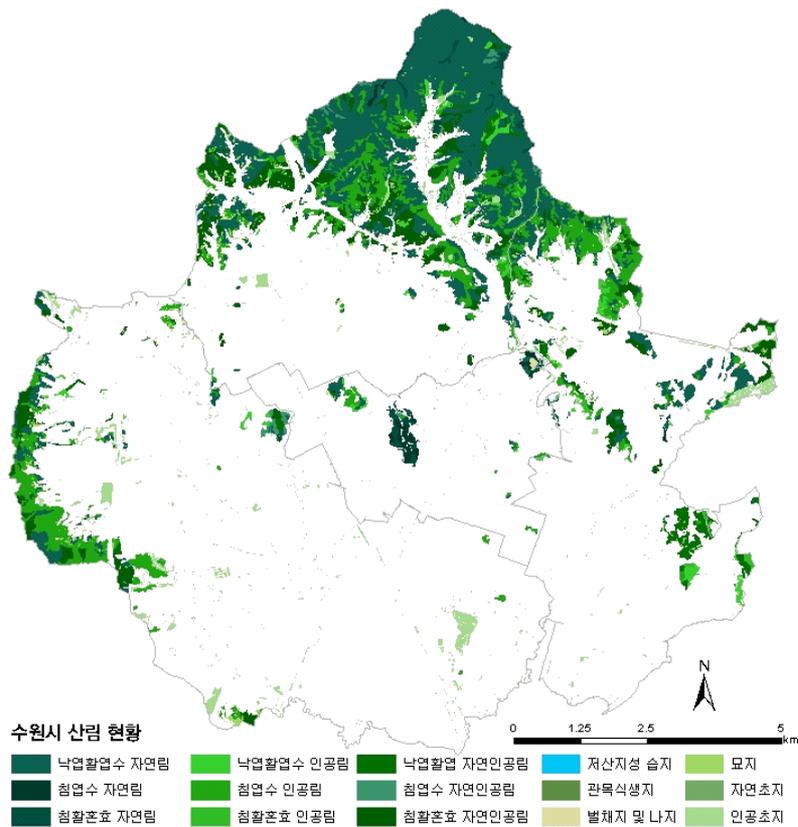
(단위 : ha)

구분	계	국유림	공유림	사유림
전국	6,368,843	1,543,352	487,611	4,337,880
경기도	526,985	96,738	41,343	388,904
수원시	2,641	390	265	1,986

자료 : 수원시 내부자료

\* 1ha당 평균축적 : 전국 125.6㎡, 경기도 124.5㎡, 수원시 114.5㎡

〈그림 4-2〉 수원시 산림 현황도



자료 : 수원시(2019b) 저자 재가공

## 2) 하천 및 저수지 현황

수원시에는 황구지천, 서호천, 수원천, 원천리천 등 4개 주요 하천을 포함한 7개 지방하천과 지방하천의 지류인 소하천 24개가 흐르고 있으며 7개 지방하천의 총길이는 57.7km에 이른다(수원시, 2019b). 하천 주변은 대부분 하천정비가 이루어져 있고 주변에는 주거지, 상

가, 공장 등이 있어 도시화가 많이 진행되어 있으며 수원시의 하천 중 자연성이 가장 높은 황구지천만이 자연성을 유지하고 있다. 황구지천은 주변에 농경지가 많아 개발제한구역으로 지정되어 있으며, 유량이 비교적 안정되어 있는 서호천이 위치해 있다. 광교산과 백운산 사이 골짜기에서 발원한 수원천은 창사천, 창사하천, 복골천, 문암골천이 차례로 상광교천에 유입되어 흐르는 하천으로 광교저수지를 거쳐 화성 성안과 중심 시가지인 영화동, 북수동, 남수동, 팔달로 등 도심을 가로질러 대황교 부근에서 황구지천으로 흘러든다(수원시, 2019a). 원천리천은 광교산의 발원지로 여천과 가산천을 통해 원천저수지와 신대저수지로 유입된다. 원천리천의 연장은 약 12km로 상류지역은 광교호수공원으로 개발되어 정비되었으며, 하류지역은 대부분 농경지나 택지개발사업지역이 위치하고 있다(수원시, 2019a). 또한 광교산에서 발원한 하천들은 수원시 일대에 크고 작은 저수지와 연결되어 있다. 광교저수지, 금곡저수지, 원천, 신대, 서호, 만석, 일월저수지 등 7개의 큰 저수지를 비롯하여 크고 작은 여러 저수지들이 축조되어 관개용수나 상수도원으로 이용되고 있다(수원시, 2019b).

〈표 4-2〉 수원시 하천

구분	시점	종점	하천연장(km)	유역면적(km <sup>2</sup> )
황구지천	의왕시 초평동 8	화성시 황계동	13.18	85.63
서호천	수원시 장안구 파장동	수원시 권선구 고색동	11.50	30.50
수원천	수원시 장안구 송죽동	수원시 장안구 정자동	9.45	25.37
원천리천	용인시 수지구 상현동	화성시 태안읍	9.00	39.76
영화천	수원시 장안구 송죽동	수원시 장안구 정자동	11.5	5.17
광교천	수원시 장안구 하광교동	수원시 장안구 하광교동	1.25	1.98
여천	수원시 영통구 이의동	수원시 영통구 하동	3.00	9.10

자료 : 수원시(2018b)



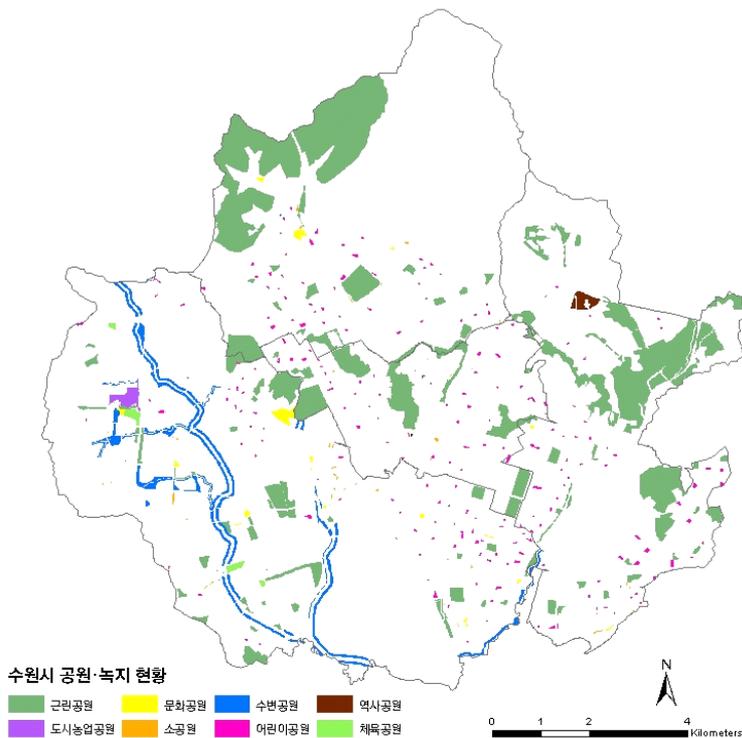
〈표 4-3〉 수원시 공원·녹지·가로수 현황

유형		개소수	면적(m <sup>2</sup> )
공원	소공원	33	43,178.20
	어린이공원	204	510,321.10
	근린공원	72	6,291,792.30
	역사공원	1	131,972.00
	문화공원	8	72,528.80
	수변공원	12	376,493.40
	체육공원	2	22,565.20
녹지	학교숲	143	136,447.00
	완충녹지	-	1,357,745.10
	경관녹지	-	412,388.80
	연결녹지	-	64,369.00
가로수		70,562	-
합계		475	9,419,800.90

자료: 수원시 내부자료

\* 2019년 기준으로 가로수는 개소수 및 면적 합계에 포함하지 않음

〈그림 4-4〉 수원시 공원·녹지 현황도



자료 : 수원시(2019b) 저자 재가공

#### 4) 농경지 현황

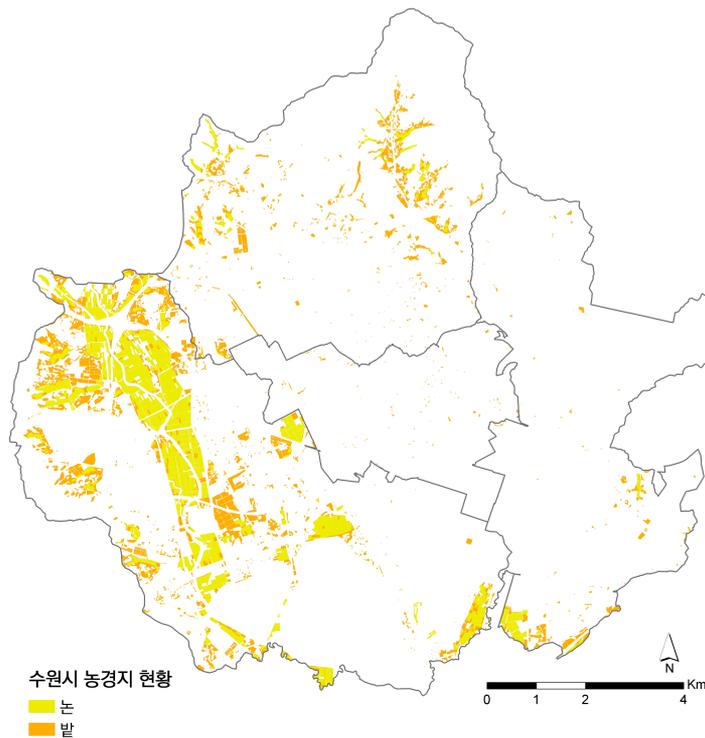
「농경지」는 「농지」에서 과수원을 제외한 논(답)과 밭(전)만을 포함하는 것으로 2000년 이후 수원시의 논과 밭은 꾸준히 감소하고 있다. 2019년 12월 기준 논은 9,610,222㎡로 수원시 전체 면적의 7.94%, 밭은 7,625,966㎡로 6.3%를 차지해 수원시 토지의 약 14.21%가 농경지에 해당하는 면적으로 나타났다. 구별 농경지 현황을 살펴보면 4개 자치구의 면적대비 농경지 면적 비율은 권선구가 논 15.99%, 밭 10.86%로 권선구 전체 면적의 약 26.85%에 해당한다.

〈표 4-4〉 수원시 농경지 현황

구분	총면적 (㎡)	밭(전) (㎡)	전체대비 밭 면적비율(%)	논(답) (㎡)	전체대비 논 면적비율(%)
합계	121,092,176	7,625,966	6.30	9,610,222	7.94
장안구	33,342,317	1,577,962	4.73	1,062,850	3.19
권선구	47,170,330	5,122,691	10.86	7,541,040	15.99
팔달구	12,856,109	341,657	2.66	282,256	2.20
영통구	27,723,421	583,656	2.11	724,076	2.61

자료 : 수원통계(<https://stat.suwon.go.kr/stat/index.do>)

〈그림 4-5〉 수원시 농경지 현황도

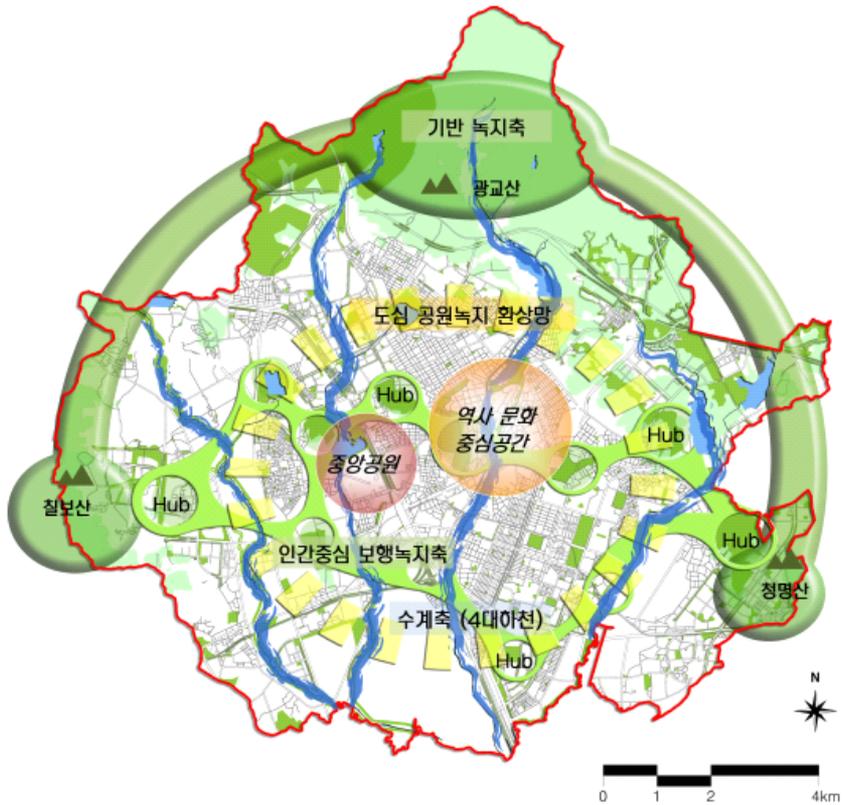


자료 : 수원시(2019b) 저자 재가공

### 3. 녹지축 설정 현황

현재 수립된 수원시의 녹지축의 설정은 도시기본계획에서 확인할 수 있으며 최근 자료 중에서는 「2030 수원시 도시기본계획 변경」(수원시, 2018a)에서 확인할 수 있다. 녹지축은 도시배경녹지축인 주녹지축과 도심녹지축인 부녹지축으로 구분되어 있다. 수원시의 녹지축 구상은 광고산을 중심으로 칠보산, 원천유원지로 연결되는 주 녹지축을 설정하여 도시의 녹지 골격축을 보전하면서 칠보산-(서울농생대 실습림)-여기산-숙지산-팔달산-광고신도시-영흥공원으로 이어지는 부녹지축을 설정하고 있다(수원시, 2018a).

〈그림 4-6〉 수원시 공원녹지체계 구상도



자료 : 수원시(2018a), 2030수원 도시기본계획 변경

〈표 4-5〉 수원시 4대 하천 정비구상

구 분	내 용	비 고
수 원 천	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 위 치 : 수원시 팔달구 팔달동 일원</li> <li>• 도입기능 : 생태, 녹지, 학습기능</li> <li>• 도입시설 : 자연석호안, 계단, 램프, 자전거도로, 산책로</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 화서문, 장안문, 화홍문으로 이어지는 동선체계를 살려주며 자연하천 본래의 모습으로 복원</li> </ul>
원 천 천	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 위 치 : 수원시 팔달구 망포동 일원</li> <li>• 도입기능 : 휴식, 운동, 녹지기능</li> <li>• 도입시설 : 산책로, 운동놀이시설, 자전거도로, 휴게시설</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 인근지역의 개발로 인하여 개발지역내 주민들과 인근 주민들이 휴식을 취할 수 있는 친수공간을 제공</li> </ul>
서 호 천	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 위 치 : 수원시 권선구 서둔동 일원</li> <li>• 도입기능 : 생태, 학습기능</li> <li>• 도입시설 : 연못, 저습지, 자연생태학습장, 녹음식재, 여울과서, 징검다리 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 주변의 자연환경이 우수하고 생태계가 양호하여 자연학습 및 교육의 장으로서의 기능을 도입</li> </ul>
황 구 지 천	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 위 치 : 수원시 권선구 구운동 일원</li> <li>• 도입기능 : 생태, 녹지기능</li> <li>• 도입시설 : 녹음식재, 자연석호안, 산책로, 징검다리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 우량농지가 잘 정비되어 있고 자연환경이 우수하여 기존자원의 보존 및 관리를 할 수 있는 기능 및 공업지역의 차폐를 할 수 있는 기능 도입</li> </ul>

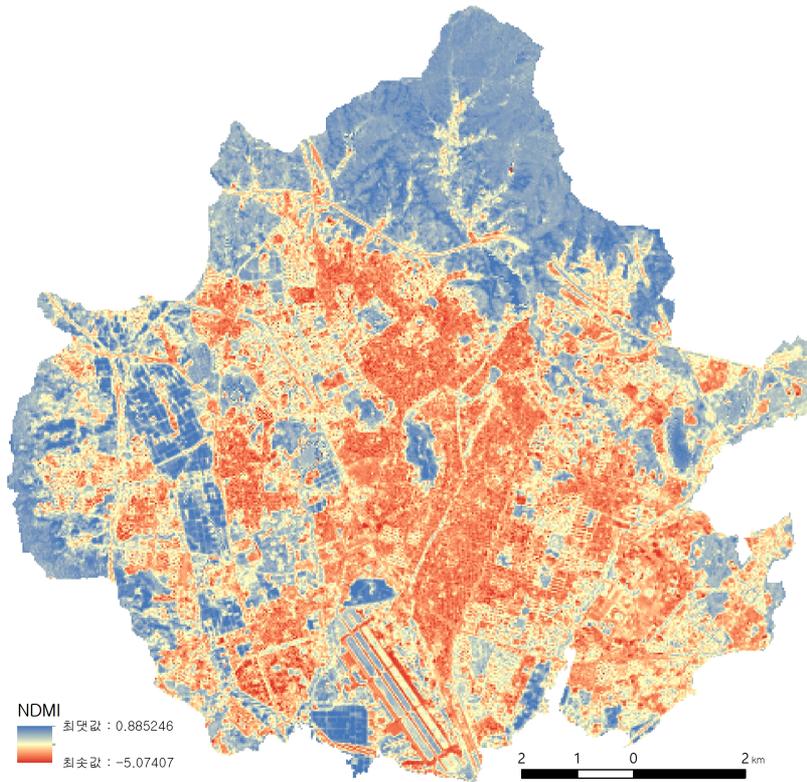
수원시 녹지축 중 수계축은 수원시를 통과하는 4대 하천을 중심으로 설정되어 있다. 해당 축은 선형을 띠며 연속성을 띠는 특성을 이미 가지고 있어 하천 및 수변 지역을 녹지축으로 설정하는 데에는 문제가 없다. 한편 녹지축은 광교산과 칠보산의 능선축과 칠보산, 팔달산, 광교산을 잇는 도시 내부를 가로지르는 축을 기반으로 설정되어 있지만 능선이라는 자연환경에 기반을 둔 축에 대해서는 산림 및 녹지의 중심지라는 점에서 문제가 없다. 하지만 도시 내부를 관통하는 축에 대해서는 명확한 기준이 제시되지 않았다. 또한 수원시 경관정책 자료에서 현재 표기된 도시 내부 녹지축이 2010년 이후부터 꾸준히 활용되고 왔으나 이 부분이 현재 시점에서 녹지축으로써 효용성을 가지고 있는지 의문이 제기될 가능성이 존재한다.

## 제2절 공간생태적 특성을 고려한 수원시 그린인프라 구축

### 1. 정규식생수분지수(NDMI) 자료 구축

정규식생수분지수를 산출하기 위해 사용하고자하는 영상은 2017년 8월 26일 Landsat 8/OLI 센서에 의해 촬영된 영상으로 녹지의 활성도가 높은 시기에 해당하는 6-8월의 자료를 활용하고자 하였으며, 2018~2019년 해당시기 촬영 자료는 수원지역이 구름으로 가려져 사용하기 용이하지 않아 부득이 2017년의 자료를 활용하였다.

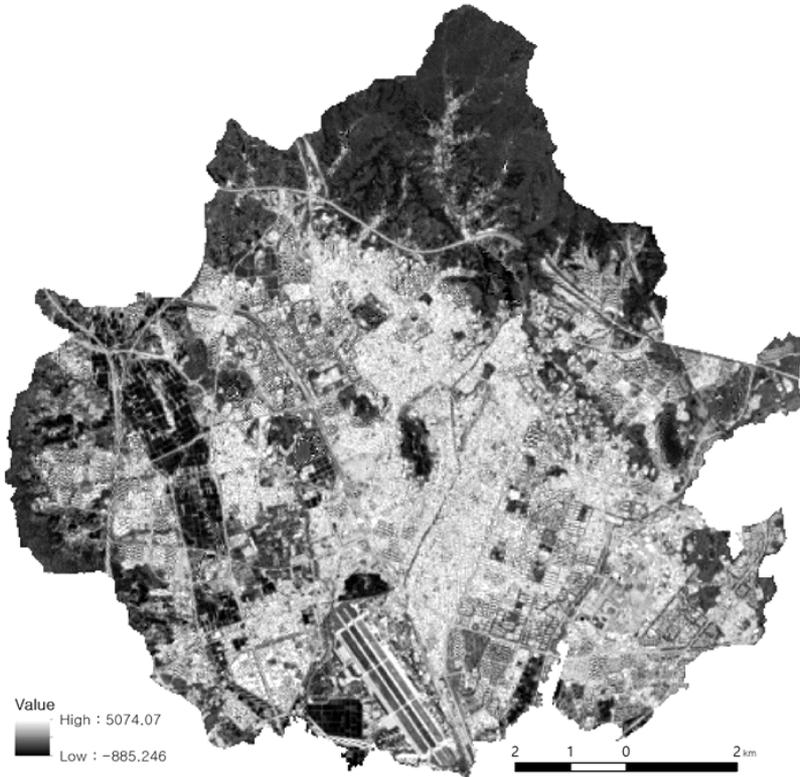
〈그림 4-7〉 정규식생수분지수(NDMI) 지수 분포도



자료 : NASA, USGS

2017년 8월 26일 당시 Landsat 8/OLI 센서에 의해 촬영된 영상으로부터 추출된 수원시 정규식생수분지수 자료는 약 -5.07 - 0.89 수치의 분포를 보이며 음수 영역에 해당하는 지역은 시가지 및 나지 지역, 양수 영역에 해당하는 지역은 경작지, 초지, 산림, 수면 및 수변 공간과 같은 녹지지역에 해당하는 것을 확인할 수 있다. 이 자료에 일괄적으로 -1,000 값을 곱하여 -885m - 5,074m의 고도를 가지는 고도면을 형성하였다.

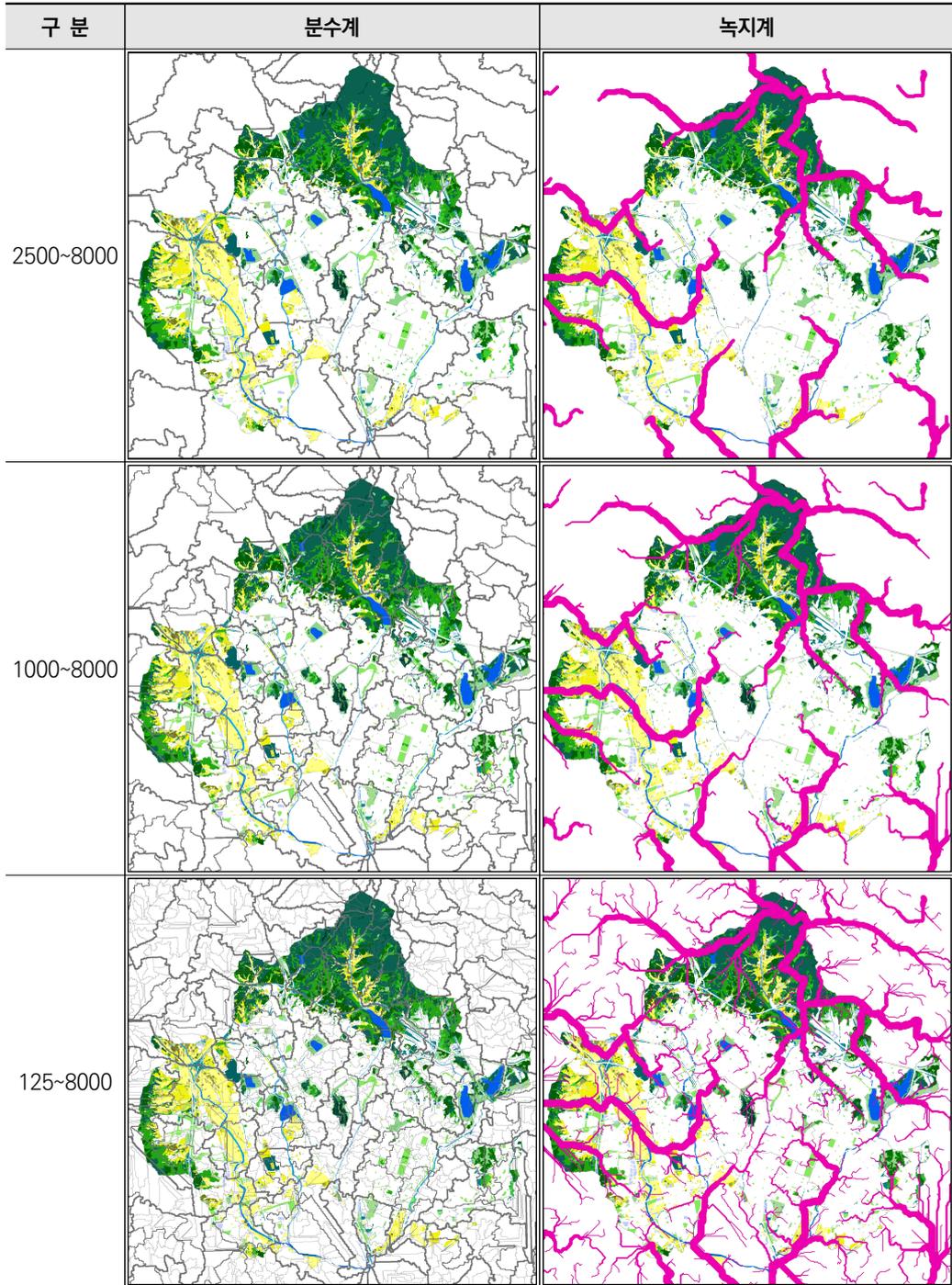
〈그림 4-8〉 수정된 정규식생수분지수(NDMI) 지수 분포도



## 2. 수문분석도구(SWAT)를 활용한 녹지축 추출

SWAT의 경우 분석규모 수치를 정하면 해당 수치를 초과하는 지역규모로 유역을 병합하여 유로를 추출하였다. 수원시 녹지축을 분석함에 있어 광역차원부터 지역차원까지 녹지축 연계 방안을 논의하기 위해서는 셀단위와 최소 유역면적을 구분하여 녹지축을 설정하였다.

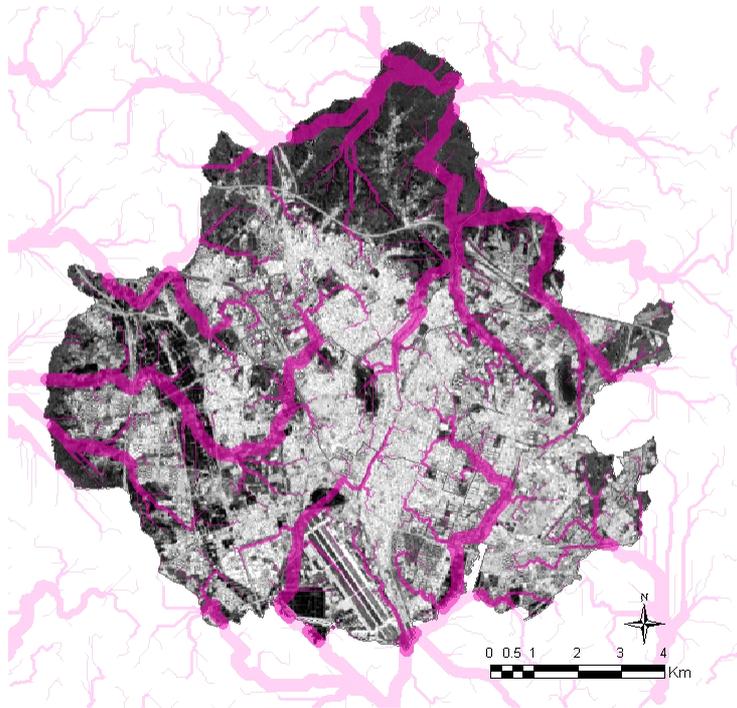
〈그림 4-9〉 분석규모별 녹지축 분석



### 3. 수원시 녹지축 추출 결과

SWAT 모형을 이용한 결과 수원시의 북측과 남측으로 구분되었다. 북측은 광교산과 칠보산에 이어지는 녹지축이 도출되었으며, 남측은 하천을 중심으로 녹지축이 이어지는 것을 확인할 수 있다. 수원시 내부에서 외부로 향하는 간선 녹지축은 크게 6개의 축이 존재하고 있다. 6개의 축은 1) 숙지산-서호·여기산-서울대수목원-황구지천 경작지-칠보산 2) 수원비행장 북측 경작지-서호천-평리들 3) 효원공원-원천리천 4-1) 화홍문-수원천-광교산 4-2)연암공원-광교산 5) 신대호수-광교중앙공원-광교산으로 구분된다.

〈그림 4-10〉 정규식생수분지수(NDMI)값을 활용한 수원시 녹지축



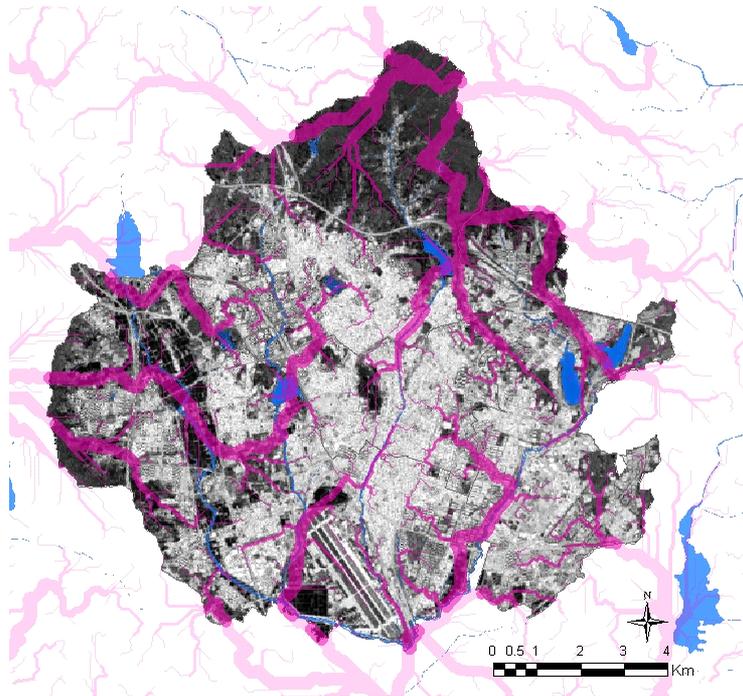
분석규모를 작게 분석한 결과 주요 녹지축과 연결되는 다양한 형태의 축들이 나타나게 되는데, 구역단위로 보게 되면 크게 7개 구역으로 구분 가능하다. 각 구역은 1) 성균관대 및 정자동 일대 2) 만석공원 및 화서역 일대 3) 팔달산 일대 4) 팔달산 남측 수원천 및 세류역 앞 공원 일대 5) 인계3호공원 일대 6) 원천호수 및 사색공원, 혜령공원 일대 7) 영흥공원 및 망포역 일대로 볼 수 있다.

주요 녹지축은 이미 녹지환경이 잘 자리 잡혀 있는 상태의 환경으로 현재 상태의 유지 및 관리가 필요한 지역으로 볼 수 있고, 지선 녹지축은 추가적인 녹지 조성 및 현재 환경을 개선

해 나가는 관리가 필요한 지역으로 볼 수 있다. 또한 간선 녹지축 사이에 존재하는 지선 녹지축을 연결지점을 삼게 된다면 수원시의 녹지축은 팔달산을 중심으로 하여 뻗어나가는 녹지축을 구축할 수 있을 것으로 보인다.

본 연구에서는 Landsat 8 영상을 이용하여 정규식생수분지수 분석결과를 연구자료로 활용하였다. 이에 하천 위에 설치된 교량 등이 인공지반으로 인식되어 단절된 것으로 인식하여 하천정보를 추가로 반영하여 녹지축을 설정하였다.

〈그림 4-11〉 하천축이 보완된 수원시 녹지축



## 4. 녹지축 연계방안

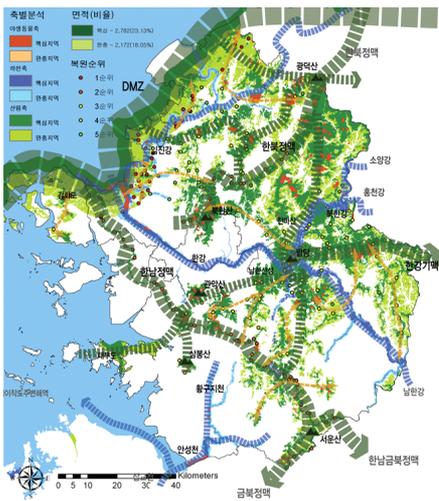
### 1) 광역생태축과 연계방안

수원시의 녹지축 보전 시 지역차원에서 보전도 중요하지만 광역차원에서의 생태축 연결하는 것이 중요하다. 환경부(2009)에서 제시한 한강수도권 광역생태축은 북동부 및 동부에 큰 면적의 산림패치가 분포하고 있으며, 북서부에서 남동부로 이어지는 한남정맥과 한강으로 이어지는 하천축이 선형의 형태를 보인다. 수도권 광역경제발전위원회(2012)는 경기도 광역녹지는 중심녹지, 주녹지축, 부녹지축, 경계녹지 등 4개로 구분하였다. 주녹지축은 경기도 전체

를 둘러싸는 환상형 녹지로 경기도의 중심적 녹지축 기능을 수행하고 있으며 경계녹지축은 환경부의 국가 3대 생태축(백두대간, 비무장지대, 해안수변축) 중 비무장지대와 서해안의 수변축이 경기도의 외곽녹지대를 형성하고 있다.

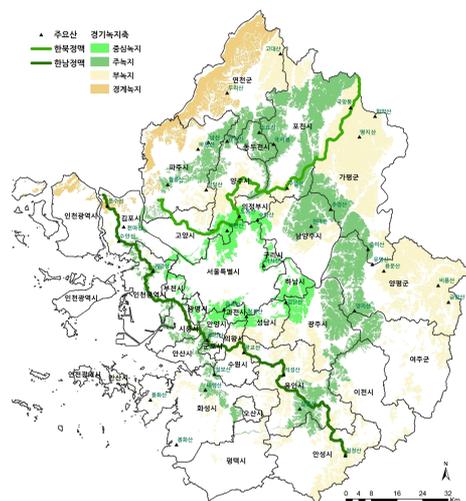
한남정맥이 관통하고 있는 광교산은 수도권 권의 부녹지축에 해당하는 지역이며, 칠보산은 수리산, 태행산과 함께 경기도의 주녹지축에 해당된다. 수원시의 경우 북쪽에 위치한 광교산은 의왕시, 용인시와 경계를 접하고 있으며, 서쪽에 위치한 칠보산은 안산시와 화성시, 동쪽에 위치한 청명산은 용인시와 경계를 접하고 있다(강은하 외, 2019).

〈그림 4-12〉 한남정맥 현황



자료: 환경부(2009)

〈그림 4-13〉 경기녹지축 현황



자료: 수도권 광역경제발전위원회(2012)

광교산은 한남정맥을 관통하는 지역이므로 광역생태축의 중심에 위치해 있으며, 칠보산은 경기녹지축의 주녹지축으로 설정되어 있어 보전가치가 높은 지역이라 할 수 있다. 또한, 최근 산줄기뿐만 아니라 물줄기 역시 중요한 녹지축이므로 황구지천을 중심으로 한 하천축 보전도 중요하다.

## 2) 토지이용계획과의 연계방안

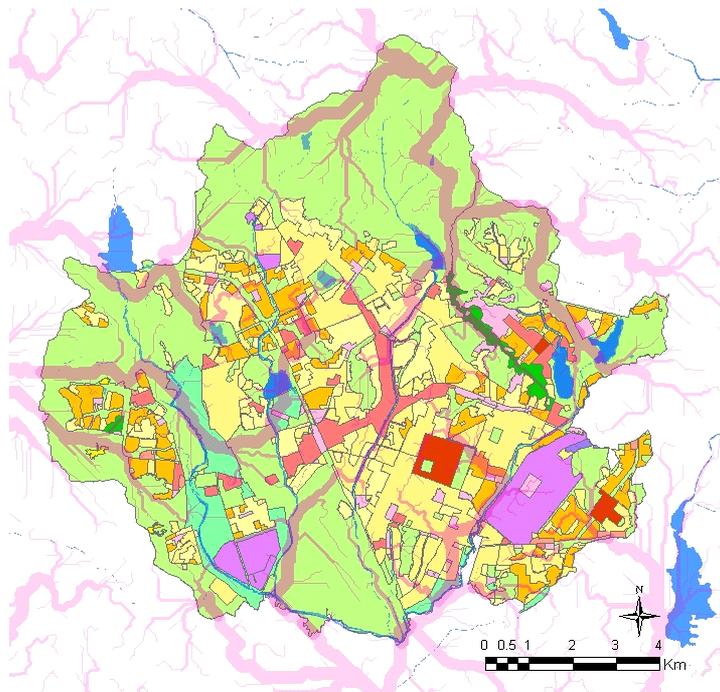
토지이용계획이란 계획구역 내의 토지를 어떻게 이용할 것인가를 결정하는 계획을 말하며, 도시공간 속에서 이루어지는 제반 활동들의 양적 수요를 예측하고 그것을 합리적으로 배치하기 위한 계획 작업이라고 할 수 있다. 토지이용계획은 교통계획, 도시·군계획시설계획, 공원 녹지계획과 더불어 도시·군계획의 근간을 이루는 가장 중요한 부분이다(토지이용규제정보시

스텝 홈페이지).

본 연구를 통해 도출된 녹지축을 수원시 도시기본계획에 적극적으로 반영하여 개발축과 보전축 설정에 활용할 수 있으며, 시가화에정용지 설정 시 그린인프라로 설정된 지역을 회피할 수 있도록 제안할 수 있다. 또한, 개발사업 계획을 수립하거나 지구단위계획 수립 시 그린인프라를 고려하여 시설물의 입지와 원형보전녹지 설정에 활용할 수 있다. 소규모 개발과 관련하여 개발행위 허가시 허가기준으로 활용하도록 하고, 이를 개발행위허가 기준(수원시 조례)에 반영하여 현재 경사, 표고, 산림영급 등을 기준으로 하는 것에 추가하여 개발행위를 규제하는 것이 필요하다. 이를 통해 녹지의 연결성을 훼손하지 않는 것을 개발행위의 중요한 목표로 설정하는 것이 바람직하다.

전략환경영향평가나 환경영향평가단계에서 입지타당성분석 시 녹지축을 파악하고 훼손 최소화 및 그린인프라 구축 시 고려하여야 한다. 전략환경영향평가 대상사업인 도시개발, 도로건설, 관광단지 개발, 산지 개발 등 대상사업 및 정책계획 검토 시 계획비교, 계획의 적정성 및 지속성 차원에서 녹지축 위치 및 녹지축 훼손가능성 등의 환경영향을 고려한 입지 대안을 마련하여야 한다.

〈그림 4-14〉 토지이용계획과의 연계방안

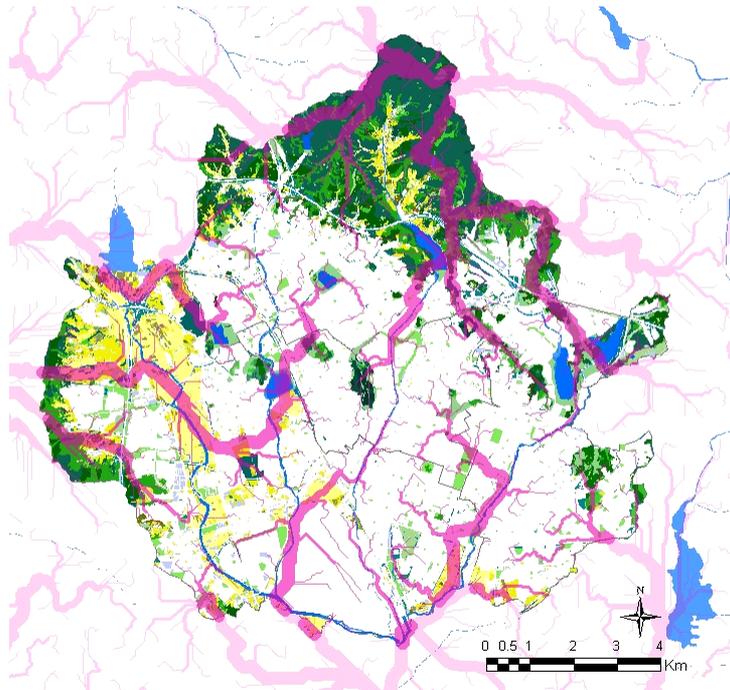


### 3) 도시환경 관리를 위한 연계방안

공원일몰제로 인하여 해제되는 공원이 그린인프라에 포함된 경우, 적극적으로 보전녹지로 지정(기 지정의 경우 보전녹지로 유지하고, 자연녹지의 경우 보전녹지로 용도지역 변경 지정)하여 그린인프라의 자연성을 유지하는 것이 중요하다.

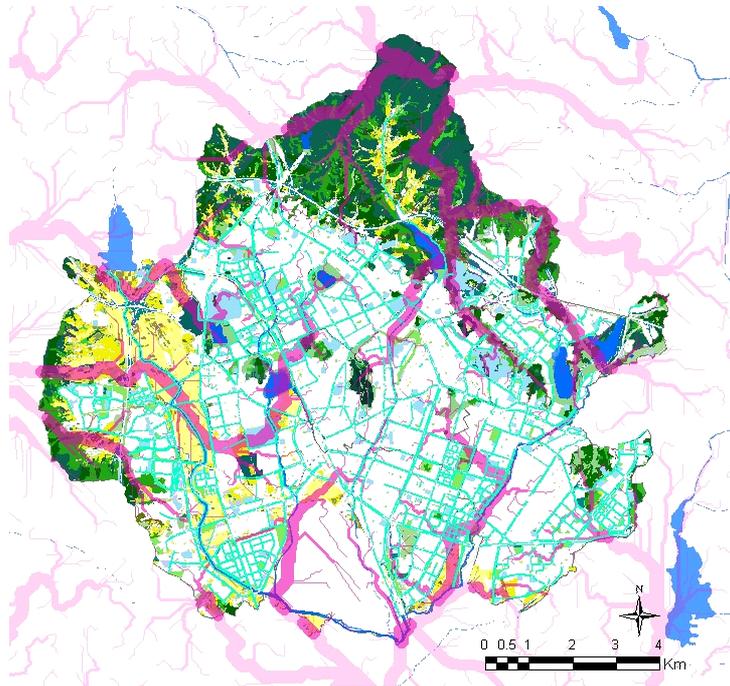
중요한 그린인프라에 대해서는 법적인 보호 장치로 공원(면적인 경우), 녹지(선적인 경우)로 지정하여 보전, 관리하는 것이 필요하다. 사유지가 포함된 경우 재정을 통해 적극적으로 매입하고, 재정이 부족한 경우 사유지와의 교환 등 다양한 방법을 통해 보전하는 것이 필요하다. 국유지가 포함된 경우 다른 사유지와의 교환을 통해 그린인프라로 유지하는 것도 방법이다.

〈그림 4-15〉 도시생태현황도와의 연계방안



그린인프라 구축을 위해서는 녹지축을 기반으로 주변의 공원녹지와 연계하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 가로수 및 띠녹지의 연계가 중요하다. 띠녹지의 경우 LID형태로 구축하여 우수유출 저감의 효과까지 고려할 필요가 있다. 또한, 보행통행이 많은 도로에는 녹도를 조성함으로써 그린인프라 구축이 가능할 것으로 판단된다.

〈그림 4-16〉 가로수 및 학교숲과의 연계방안

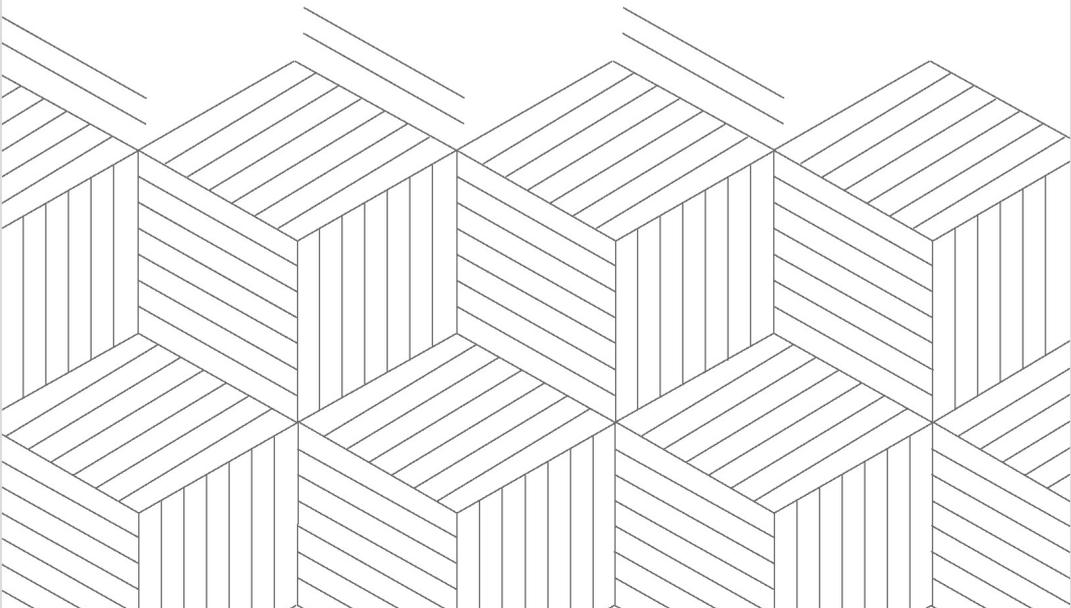


그 외 도시재생 사업지구와 인접한 경우 도시재생 사업에 포함하여 국비를 지원받는 방안도 필요하며, 그린인프라의 확보가 쇠퇴지역의 재생에 중요하다는 점을 부각할 필요가 있다. 또한, 중앙정부가 추진하는 생활SOC 사업과의 연계를 위해 공원녹지(공원녹지도 생활SOC에 포함됨)가 부족한 지역을 분석하고, 중요한 그린인프라와 일치할 경우 사업우선순위가 높기 때문에 중앙정부 예산 확보에 유리할 것으로 판단된다.

최근 정부에서 추진 중인 그린뉴딜 사업에 그린인프라가 포함되며, 지자체 차원에서 다양한 사업아이템을 제시할 필요가 있다. 기존 그린인프라의 건강성 증대 및 생태계 서비스 증대 사업, 신규 그린인프라의 확보 및 조성 사업 등 중앙사업에 공모 신청하는 것이 필요하다.

# 제5장 결론

제1절 결론  
제2절 정책 제언





## 제5장 결론

### 제1절 결론

폭염, 폭우 등 이상기후가 증가함에 따라 도시열섬 및 도시홍수가 발생하는 등 도시환경문제가 빈번하게 발생하고 있다. 이와 같은 도시문제는 도시의 불투수면적 증가에 따른 것으로 도시의 지속가능성측면에서 그린인프라의 중요성이 강조되고 있는 실정이다. 그린인프라 구축을 위해서는 녹지축 설정이 선행되어야하지만 수원시 도시기본계획 및 공원녹지기본계획에서는 추상적인 네트워크를 제공하는데 그치고 있어 지속가능한 도시를 관리하는데 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 공간생태학적 특성을 고려한 그린인프라 구축기법을 제시하여 수원시 그린인프라를 제공하고자 하였다.

공간생태학적 특성을 고려한 그린인프라 구축을 위해 다양한 모델링 기법 및 공간자료를 검토한 결과, 야생생물의 이동특성 반영하는 모델링 기법을 적용하기 보다는 지형 및 녹지의 활력도 등을 반영하여 불확실성을 최소화하는 것이 도시의 인프라차원에서 그린인프라를 접근하는데 적합할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 수원시의 그린인프라 범위를 산림, 하천, 공원녹지, 농경지 등을 포함하는 녹지비오톱을 대상으로 하였다. 수원시 그린인프라를 구축하기 위해 D8 알고리즘이 적용된 SWAT 모델링을 활용하였으며 이에 사용되는 데이터는 Landsat 8 영상을 이용하여 정규식생수분지수를 DEM을 대신하여 입력하였다. 정규식생수분지수를 이용함에 따라 과거 산림 위주의 녹지축 설정에서 산림, 하천, 농경지를 동시에 고려한 그린인프라 중심축을 설정했다는 점에서 의의가 있다. 녹지축 구축결과 광교산, 칠보산에서 연계된 녹지축과 함께 황구지천 등의 중요한 하천축이 포함되었으며, 광역차원에서의 녹지축과 인접 지자체와 연계할 수 있는 기반이 마련되었다.

향후 다양한 모델링 기법을 적용하여 녹지축의 일반화 과정을 수행하여 보편적으로 사용할 수 있는 녹지축을 제시할 필요가 있다. 또한, Landsat 8 위성영상을 사용함에 따라 하천 위에 설치된 교량으로 하천축이 단절된 것으로 분석되는 한계가 있으며, 공간해상도 30m로 인해 가로수 등 도시녹지에 대한 내용이 포함되지 못한 것이 한계라 할 수 있다.

본 연구결과를 토대로 기존의 추상적인 개념에 그치는 녹지축이 아닌 객관적 데이터에 근

거한 녹지축을 설정함으로써 수원시의 보전대상이 될 수 있는 기반을 마련하고 이를 통해 환경친화적이고 지속가능한 토지이용계획 수립이 가능할 것이다.

## 제2절 정책 제언

본 연구는 수원의 공간생태학적 특성을 고려하여 그린인프라 중심축인 녹지축을 구축하기 위해 객관적인 데이터와 방법론을 사용하였다. 본 연구에서 제시한 녹지축을 토대로 수원시의 녹색도시 실현을 위해 다음의 정책을 제안하고자 한다.

첫째, 광역생태축과의 연계 및 수원시 내 녹지축 보호방안을 마련하여야 한다. 경기도 및 인접지자체와의 시 경계지역의 주요 녹지축 보호를 위한 협의체를 구성하여 녹지축 훼손방지에 대한 논의를 할 수 있는 기반이 마련되어야 한다. 또한, 수원시 내 각종 개발사업으로 인한 녹지축 훼손 및 영향 최소화 방안을 제시하여야 한다. 수원시 내 녹지축을 보호대상으로 설정하여 환경영향평가 및 도시계획 조례를 통해 보호 및 보전할 수 있는 방안 마련이 시급하다. 이와 관련하여 최근 환경부는 자연침해조정제도 등을 도입하여 도시개발, 건설사업 등과 같은 자연자원의 침해를 발생시키는 사업을 조율하는 제도 도입을 고려하고 있다.

둘째, 공간계획과 연계된 그린인프라 전략 수립이 필요하다. 그린인프라 구축은 도시계획과 밀접한 연관성을 가지고 있다. 영국의 경우 지방차원에서 그린인프라 전략 수립과 관련된 지침을 구체적으로 명시하는 도시계획정책방침(PPS 12)이 수립되어 있으며 지방정부는 지역개발계획 수립 시 그린인프라 전략을 수립하도록 하고 있다(김용국과 손용훈, 2012). 수원시와 같이 불투수포장면적 비율이 높은 지역은 녹지의 분포 및 위치가 도시의 열섬효과를 저감시키는 등 도시의 쾌적성을 높이는데 중요한 역할을 한다. 이에 녹지축을 포함한 그린인프라 전략을 수립하고 이를 도시계획 혹은 도시관리계획에 반영하는 것이 중요하다. 또한, 그린인프라 전략 수립 시 토지이용 등의 도시계획뿐만 아니라 생물다양성계획, 경관계획 등과 연계하여 그린인프라가 물리적 계획을 넘어 사회·경제·문화적 측면을 고려한 실질적인 공간계획을 수립하여야 한다.

셋째, 녹지축과 도시녹지를 연계하는 그린인프라 구축사업이 필요하다. 그린인프라 구축은 도시의 물순환, 정주지 탄소흡수원 확대, 기후변화 탄력성 증진 전략 등과 연계하여 수원시의 녹색도시 실현에 기여할 수 있는 사업으로 녹지축과 도시공원과의 연결성 확보, 가로수 및 띠녹지를 통한 연결성 확보가 필요하다. 그밖에 도시의 물순환을 위해 추진하는 LID 사업 대상지 선정 시 녹지축을 연계하여 그 효과를 증대할 수 있도록 하여야 한다.

마지막으로 그린인프라 구축사업 추진 시 시민참여 확대가 필요하다. 그린인프라 구축은 물리적인 녹지공간을 확보하는 것이 아니라 도시의 지속가능성을 높이기 위한 수단으로 시민의 삶의 질을 향상시키기 위해 그린인프라의 역할이 중요하다. 그린인프라 사업 추진 시 리빙랩, 시민과학자 등과 연계하여 사회·문화적인 측면에서의 그린인프라 기능을 강화할 필요가 있다.

## | 참고문헌 |

### <국문 자료>

- 강완모, 박찬열. (2011). 그래프 이론을 적용한 서울시 녹지 연결망의 정량적 분석. 한국환경생태학회지. 제25권 3호. pp.412-420.
- 강은하, 강철구, 송미영, 이정임, 김은영. (2019). 수원시와 인접 지자체간의 광역환경정책 발전방안 연구. 수원시정연구원.
- 강정은, 엄정희, 배현주, 최희선, 이명진, 강운원, 박재철. (2011). 기후변화 적응형 도시구현을 위한 그린인프라 전략 수립. 한국환경정책·평가연구원.
- 강정은, 이명진, 구유성, 조광우, 이재욱. (2012). 기후변화 적응형 도시 리뉴얼 전략 수립 : 그린인프라의 방재효과 및 적용방안. 한국환경정책·평가연구원.
- 김귀곤, 조동길. (1998). 도시생태네트워크 구축에 관한 기초연구. 한국환경복원녹화학회지 제1권 1호. pp. 70-83.
- 김용국, 손용훈. (2012). 도시계획체계와 연계한 그린인프라 적용 사례연구-영국 그린 인프라 계획 및 정책을 중심으로. 대한국토도시계획학회. 제47권 5호. pp.69-86.
- 김은영. (2016). 수원시 생태네트워크 구축을 위한 녹지 연결성 평가. 수원시정연구원.
- 김은영. (2018). 수원시 가로수 건강성 평가. 수원시정연구원.
- 박민지, 신형진, 박종윤, 강부식, 김성준. (2009). SWAT 모형을 이용한 기후와 식생 활력도 변화가 수자원에 미치는 영향 평가. 한국농공학회논문집. 제51권 5호. pp.25-34.
- 박창석, 오규식. (2007). 도시생태네트워크 구축을 위한 토지이용계획 연구. 한국환경정책·평가연구원.
- 반영운, 정지형, 우혜미, 백종인. (2009). GIS를 활용한 청주시 생활권 생태네트워크 구축 방안. 한국환경복원기술학회지. 제12권 4호. pp.1-10.
- 산림청. (2016). 산줄기연결망체계 구축 및 산지관리방안 연구.
- 서울시. (2014). 2030 서울도시기본계획-2030 서울플랜.  
서울시립대학교 박사학위논문.
- 성노훈, 서민지, 이경상, 이창석, 김현지, 최성원, 한경수. (2015). NDWI를 활용한 한반도 지역의 산림 캐노피에 대한 water stress 평가. 대한원격탐사학회. 제31권 2호. pp. 77-83.
- 송원경, 김은영, 이동근. (2012). 이질적 경관에서의 연결성 측정: 리뷰 및 적용. 환경영향평가학회. 제21권 3호. pp.391-407.
- 송원경. (2011). 공간그래프 이론을 적용한 삶 서식지 네트워크 모형 개발. 서울대학교 석사학위논문.
- 송인주. (2011). 도시생태네트워크 조성을 위한 녹화전략, 서울연구원, 정책리포트.

- 송태복, 김상현, 이연길, 정성원. (2013). 사면에서 지형분석을 통한 토양수분 시공간 회귀분석. 한국농림기상학회지. 제15권 3호. pp.161-170.
- 수도권광역경제발전위원회. (2012). 수도권 광역녹지체계(江山벨트) 구축 및 통합적 관리방안.
- 수원시. (2012). 2020 수원시 공원녹지 기본계획.
- 수원시. (2018a). 2030 수원도시기본계획 변경(안).
- 수원시. (2018b). 수원시정백서.
- 수원시. (2019a). 70, 수원시 도시공간의 역사.
- 수원시. (2019b). 수원시 자연환경조사 및 도시생태현황지도 갱신 최종보고서.
- 수원시. (2020). 2030 수원시 공원녹지 기본계획 공청회 자료집.
- 양석우, 정혜진, 최지영, 김기호. (2007). 도시 그린웨이 네트워크를 위한 계획체계에 관한 연구. 대한건축학회논문집 계획계. 제23권 6호. pp. 209-220.
- 윤상준. (2016). 그린 인프라스트럭처 정책의 확대와 적용- 런던플랜과 런던 그린그리드를 중심으로. 한국조경학회지. 제44권 2호. pp. 83-95.
- 윤은주, 김은영, 김지연, 이동근. (2019). 생태축 제안을 위한 회로 이론 기초 연결성 평가. 환경영양 평가학회. 제28권 3호. pp. 275-286.
- 이동근, 송원경, 전성우. (2008). 경관투과성 및 최소비용경로 분석을 통한 수도권 지역의 광역생태축 구축 연구. 한국환경복원녹화기술학회지. 제11권 3호. pp. 94-106.
- 이민부, 한주엽. (2000). 분수계의 지형적 개념과 기능, 대한지리학회지, 35권 4호, pp.503-518.
- 이상범. (2007). 생태축 분석을 위한 경관생태학적 방법론 연구. 한국환경정책·평가연구원.
- 이수동. (2005). 야생조류 이동을 위한 산지형 도시녹지의 연결성 평가 및 연결기법 연구.
- 이은석, 노초원, 성종상. (2014). 그린인프라스트럭처의 의미구조- 기존문헌의 정의문 분석을 중심으로-. 한국조경학회지. 제42권 2호. pp.65-76.
- 이은재, 이소라. (2012). 대전광역시 산림생태네트워크 구축 방안 연구. 대전발전연구원.
- 장대원. (2004). GIS 기관의 SWAT 모델을 이용한 하천 유출량 모의. 인하대학교 석사학위논문.
- 전성우, 박소현, 정휘철, 원명수, 조정진, 김재욱, 최재용, 강미정, 이동근, 이상문. (2002). 국토생태네트워크의 추진전략에 관한 연구. 한국환경정책·평가연구원.
- 전성우. (2007). 광역생태축 구축을 위한 연구. 한국환경정책·평가연구원.
- 조운원, 김성재, 조명희. (2009). 임상 분류 정확도 향상을 위한 영상 알고리즘 변별력 실증 연구 -KOMPSAT-MSI를 이용한 경주지역을 대상으로. 한국지형공간정보학회지. 제17권 2호. pp. 55-60.
- 한국환경정책·평가연구원. (2007). 도시생태축 구축을 위한 가이드라인 개발
- 홍우용, 박민지, 박종윤, 하림, 박근애, 김성준. (2009). 봄철 SWAT 모형의 산림 토양수분과 Terra MODIS 위성영상 정규식생지수와의 상관성 분석. 한국농공학회논문집. 제51권 2호. pp. 7-14.

- 환경부. (2004). 백두대간 훼손실태 조사연구 II.
- 환경부. (2007). 지방자치단체 환경보전계획 수립지침
- 환경부. (2009). 낙동강영남권 및 영산강호남권 광역생태축 구축을 위한 연구.

### 〈영문 자료〉

- Adriaensen, F., Chardon, J. P., De Blust, G., Swinnen, E., Villalba, S., Gulinck, H., & Matthysen, E. (2003). The application of 'least-cost' modelling as a functional landscape model. *Landscape and urban planning*, 64(4): 233-247.
- Allen, W. L. III. (2012). Environmental reviews and case studies: Advancing green infrastructure at all scales: from landscape to site. *Environmental Practice*, 14(1): 17-25.
- Baguette, M., and Dyck, H. V. (2007). Landscape connectivity and animal behavior : functional grain as a key determinant for dispersal. *Landscape Ecol.* 22: 1117-1129.
- Benedict, M. A. and E. T. McMahon. (2006). *Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities*. Island press.
- Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2002). Green infrastructure: smart conservation for the 21st century. *Renewable Resources Journal*, 20(3): 12-17.
- Kriegler, F.J., Malila, W.A., Nalepka, R.F., and Richardson, W. (1969). 'Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition.' *Proceedings of the sixth international symposium on remote sensing of environment*, 97-131.
- Belisle, M. (2005). Measuring landscape connectivity : the challenge of behavioral landscape ecology. *Ecology*, 86(8): 1988-1995.
- Bunn, A.G., D.L. Urban, and T.H. Keitt. (2000). Landscape connectivity: a conservation application of graph theory. *J Environ Manage*, 59(4): 265-278.
- City of Richmond. (2014). Richmond's ecological network management strategy.
- Clinton, W.E., John, D.W., Vernon, C.B., Steven, G.T., and Justin, S.B. (2007). Optimizing dispersal and corridor models using landscape genetics. *Journal of Applied Ecology*, 44: 714-724.
- Collins, J. B., and Woodcock, C. E. (1996). An assessment of several linear change detection techniques for mapping forest mortality using multi-temporal Landsat TM data. *Remote Sensing of Environment*, 55: 66-77.
- Davies, C., MacFarlane, R., McGloin, C., Roe, M. (2006). *Green infrastructure planning guide*.

- Dennison, P.E., D.A. ROBERTS, S.H. PETERSON and J. RECHEL, (2005). Use of Normalized Difference Water Index for monitoring live fuel moisture, *International Journal of Remote Sensing*, 26(5): 1035-1042.
- Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S., Jacquemoud, S., & Grégoire, J. M. (2001). Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. *Remote sensing of environment*. 77(1): 22-33.
- Ecological Institute. (2011). Background paper green infrastructure-expert workshop.
- EPA. (2008). Managing wet weather with green infrastructure action strategy.
- European Union. (2014). Building a green infrastructure for Europe.
- Fall, A., Fortin, M. J., Manseau, M., & O'Brien, D. (2007). Spatial graphs: principles and applications for habitat connectivity. *Ecosystems*. 10(3): 448-461.
- Farrar, T. J., (1994). The influence of soil type on the relationships between NDVI, rainfall, and soil moisture in semiarid Botswana: NDVI response to soil moisture. *Remote Sensing of Environ*. 50(2): 121-133.
- Forman, R. T. T. and M. Godron(1986). *Landscape ecology*. Wiley, New York, pp.619.
- Forman, R. T. T.(1995). *Land Mosaics : the ecology of Landscapes and Regions*. 2nd Edition.
- Franklin, S.E., Moskal, L. M., Lavigne, M. B., and Pugh, K. (2000). Interpretation and classification of partially harvested forest stands in the Fundy model forest using multitemporal Landsat TM digital data. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 26(4): 318-333.
- Gilbert, G. K. (1877). Land sculpture in the Henry Mountains, in Dury, G. H. (ed.), 1970, *Rivers and River Terraces*, MacMilan, London, pp.95-116.
- Howard County. (2012). Green infrastructure network plan.
- Jayakrishnan, R., Srinivasan, R., Santhi, C., and Arnold, J. G. (2005) Advances in the application of the SWAT model for water resources management. *Hydrology Process*. 19: 749-762.
- Jenson, S. and Domingue, J. (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 54: 1593-1600.
- Ji Lei, Zhang Li, Wylie Bruce K, and Rover Jennifer. (2011). On the Terminology of the spectral vegetation index (NIR-SWIR)/(NIR+SWIR). *International Journal of Remote Sensing*. 32(21): 6901-6909.

- Kindlmann, P. and Burel, F. (2008). Connectivity measures: a review, *Landscape Ecology*. 23: 879-890.
- Koen EL, Bowman J, Sadowski C, Walpole AA. (2014). Landscape connectivity for wildlife: development and validation of multispecies linkage maps. *Methods in Ecology and Evolution*. 5(7): 626-633.
- Krebs, J.R. and N.B. Davies. (1981). *An introduction to behavioural ecology*. Blackwell Science Inc.. USA.
- Mayor of London. (2012). *Green infrastructure and open environments: the all london green grid supplementary planning guidance*.
- McRae BH, Dickson BG, Keitt TH, Shah VB. (2008). Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation. *Ecology*. 89(10): 2712-2724.
- McRae, B. H., Popper, K., Jones, A., Schindel, M., Buttrick, S., Hall, K., ... & Platt, J. (2016). *Conserving nature's stage: mapping omnidirectional connectivity for resilient terrestrial landscapes in the pacific northwest*. The Nature Conservancy, Portland, Oregon.
- Minor, E. S., & Urban, D. L. (2008). A graph-theory framework for evaluating landscape connectivity and conservation planning. *Conservation biology*. 22(2): 297-307.
- Natural England. (2009). *Green infrastructure guidance*.
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. (2011). *Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009*. Texas Water Resources Institute.
- O'Callaghan, J.F. and Mark, D.M. (1984). The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*. 28: 328-344.
- Pelletier D, Clark M, Anderson MG, Rayfield B, Wulder MA, Cardille JA. (2014). Applying circuit theory for corridor expansion and management at regional scales: tiling, pinch points, and omnidirectional connectivity. *PLoS ONE*. 9(1): E84135.
- Penrod, K., Cabañero, C. R., Beier, P., Luke, C., Spencer, W., Rubin, E., ... & Kamradt, D. (2006). *South coast missing linkages project. a linkage design for the Santa Monica -Sierra Madre Connection*. South Coast Wildlands and National Park Service.
- Radcliffe, D. E., Reid, D. K., Biombäck, K., Bolster, C. H., Collick, A. S., Easton, Z. M., Francesconi, W., Fuka, D. R., Johnsson, H., King, K., Larsibo, M., Youssef, M. A., Mulkey, A. S., Nelson, N. O., Persson, K., Ramirez-Avila, J. J., Schmieder, F.,

- and Smith, D. R. (2015). Applicability of models to predict phosphorus losses in drained fields: a review. *Journal of Environment Quality*. 44(2): 614-628.
- Rayfield B, Pelletier D, Dumitru M, Cardille JA, Gonzalez A. (2016). Multipurpose habitat networks for short-range and long-range connectivity: a new method combining graph and circuit connectivity. *Methods in Ecology and Evolution*. 7(2): 222-231.
- Rouse, J.W, Haas, R.H., Scheel, J.A., and Deering, D.W. (1974). 'Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS.' *Proceedings, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium*, 1: 48-62.
- Shi, X., & Qin, M. (2018). Research on the optimization of regional green infrastructure network. *Sustainability*. 10(12): 4649.
- Singleton, P. H. (2002). Landscape permeability for large carnivores in Washington: a geographic information system weighted-distance and least-cost corridor assessment. 549. US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- Sustainable Cities Institute. (2010). Green infrastructure: overview.
- Tarboton, D. G. (1997). A new method for the determination of flow directions and contributing areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research*. 33(2): 309-319.
- Theobald, D.M.(2001). Topology revisited: representing spatial relations. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 15(8): 689-705.
- Thomas, J.J., D. Chen, M. Cosh, F. Li, M. Anderson, C. Walthall, P. Doriaswamy, and E.R. Hunt, (2004). Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans, *Remote Sensing of Environment*, 92(4): 475-482.
- Tischendorf, L., And Fahrig, L. (200). On the usage and measurement of landscape connectivity. *OILOS*. 90: 7-19.
- Tucker, C. J. (1980). Remote sensing of leaf water content in the near infrared. *Remote sensing of Environment*. 10(1): 23-32.
- Urban, D. and T. Keitt. (2001). Landscape connectivity: a graph-theoretic perspective. *Ecology*. 82(5): 1205-1218.
- Urban. D.L.m, E.S. Minor, E.A. Treml, R.S. Schick. (2009). Graph models of habitat mosaics. *Ecology Letters*. 12(3): 260-273.

- USGS. (2020). Landsat surface reflectance-derived spectral indices: normalized difference moisture index. Accessed on May. 12. 2020.
- Vigerstol, K. L. and Aukema, J. E. (2011). A comparison of tools for modeling freshwater ecosystem services. *Journal of Environment Management*. 92: 2403-2409.
- Williamson, K. S. (2003). *Growing with green infrastructure*. Doylestown: Heritage Conservancy.
- Wilson, E. H. and Sader, S. A. (2002). Detection of forest harvest type using multiple dates of landsat TM imagery. *Remote Sensing of Environment*. 80: 385-396.
- Winfrey, R., Dushoff, J., Crone, E., Schultz, C., Budny, R., Williams, N., and Kremen, C. (2005). Testing simple indices of habitat proximity. *The American Naturalist*. 165: 707-717.
- Wright, H. (2011). Understanding green infrastructure: the development of a contested concept in England. *Local Environment*. 16(10): 1003-1019.
- Xiu, N., Ignatieva, M., van den Bosch, C. K., Chai, Y., Wang, F., Cui, T., & Yang, F. (2017). A socio-ecological perspective of urban green networks: the Stockholm case. *Urban Ecosystems*. 20(4): 729-742.
- Zetterberg, A., Mörtberg, U. M., & Balfors, B. (2010). Making graph theory operational for landscape ecological assessments, planning, and design. *Landscape and urban planning*. 95(4): 181-191.
- 国土交通省. (2010). 持続的なエコロジカル・ネットワーク形成に関する調査.
- 愛知県. (2009). あいち自然環境保全戦略 - 生物多様性の保全と持続可能な利用を目指して - .

### 〈인터넷 매체〉

- AGRICOLUS, <https://www.agricolus.com/en/indici-vegetazione-ndvi-ndmi-istruzioni-luso/>
- Earth Obseving System, <https://eos.com/ndvi/>
- EPA 홈페이지, <https://archive.epa.gov/region03/green/web/html/infrastructure.html>
- esri 홈페이지, <http://help.arcgis.com/>
- <http://blog.daum.net/geoscience/399>).
- USGS 홈페이지,  
<https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/normalized-difference-moisture-index>
- World Urbanization Prospects, the 2018 Revision 2018. 8, <http://esa.un.org/unpd/wup>
- 두산백과,  
<https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1095849&cid=40942&categoryId=32300>

<https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1161992&cid=40942&categoryId=32319>

서울시 홈페이지, <http://news.seoul.go.kr/citybuild/archives/34089>

수원통계, <https://stat.suwon.go.kr/stat/index.do>

슈트트가르트, <http://www.stgt.com/parks/homee.htm>

써드스페이스 베를린 환경아카데미 홈페이지,

<https://thirdspace-berlin.com/thirdspace-archive/green-infrastructure/>

아이치현 홈페이지, <https://www.pref.aichi.jp/global/hg/projects/environment.html>

위키백과, <https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%95%98%EC%B2%9C%EC%B0%A8%EC%88%98>

지방자치단체 환경보전계획 수립지침 - 환경부, <http://www.me.g o.kr>

토지이용규제정보시스템, <http://luris.molit.go.kr/web/index.jsp>

하워드카운티 홈페이지, <https://livegreenhoward.com/land/green-infrastructure-network/>

## Green Infrastructure with the Consideration of Spatial Ecological Characteristics in Suwon

Urban environmental problems such as urban heat islands and urban floods occur frequently as abnormal climates such as heatwaves and heavy rain increase. These urban problems are due to the increase in impermeable areas of the city. The importance of green infrastructure is increasingly emphasized in terms of urban sustainability. However, there is a limit in managing sustainable cities as the green axis, which has to be preceded for building green infrastructure, only provides abstract networks. Therefore, this study aims to provide a green infrastructure in Suwon by suggesting an objective methodology for green infrastructure construction with the consideration of spatial ecological characteristics.

The study reviewed various modeling methods and spatial data for green infrastructure and analyzed the green infrastructure as the urban infrastructure considering the topography and vitality of green areas. The scope of green infrastructure in Suwon was targeted at green biotopes including forests, streams, parks, green areas, and agricultural areas. The SWAT model to which the D8 algorithm was applied was used to build the green infrastructure of Suwon. NDMI values using Landsat 8 images were used as input data instead of DEM. The use of NDMI is significant in the sense that the central axis of green infrastructure including forest axis and major stream axis it has established rather than the axis of forest -only-oriented area as before. As a result, the green axis in Suwon consists of forest axis and steam axis.

In the future, the generalization process of green axis applying various modeling methods is suggested. Based on the result of this study, it is possible to establish the green axis reflecting objective data rather than an existing abstract concept. Such green axis can be a base of the object of conservation in Suwon, and with this it would be possible to establish an environment-friendly and sustainable land use plan. In order to realize a green city, we should make policies such as the establishment of a system to protect the green axis in Suwon, a strategic green infrastructure plan in connection with spatial planning, building a green infrastructure including green axis and urban green areas, and expansion of citizen participation.

Keyword : Urban Ecosystem, Green Infrastructure, Green Axis, NDMI, SWAT Model



| 저자 약력 |

김은영

공학박사

수원시정연구원 연구기획실 연구기획팀장(현)

E-mail : eykim@suwon.re.kr

주요 논문 및 보고서

「칠보치마 복원서식지 관리 및 활용 방안 연구」 (2019, 수원시정연구원)

「수원시 야생생물보호구역 지정 방안 연구」 (2019, 수원시정연구원)

「수원시 연관 식물자원 스토리텔링 연구」 (2019, 수원시정연구원)

「수원시 가로수 건강성 평가 : 증로 및 소로를 중심으로」 (2019, 수원시정연구원)

「2030 수원시 공원녹지 비전 및 전략 수립」 (2018, 수원시정연구원)

「생태적 가치 증진을 위한 수원시 공원녹지 관리방안」 (2018, 수원시정연구원)

「수원시 가로수 건강성 평가」 (2018, 수원시정연구원)

「수원시 폭염 취약계층 분석 및 대응전략 수립」 (2017, 수원시정연구원)

「수원시 도시 회복력 평가 및 증진방안 수립」 (2017, 수원시정연구원)

「수원시 도시공원의 생태계서비스 평가」 (2016, 수원시정연구원)

정경민

조경학석사

수원시정연구원 도시공간연구실 위촉연구원(현)

E-mail : km3737@suwon.re.kr



