



# 지역의 미래 환경 비전 공간화를 위한 토지이용계획 시나리오 체계 연구\*

## Establishing Local Land Use Planning Scenario Framework Considering Environmental Future City Vision

김수련\*\* · 박진한\*\*\* · 송원경\*\*\*\* · 성선용\*\*\*\*\* · 손학기\*\*\*\*\* · 권혁수\*\*\*\*\* · 주우영\*\*\*\*\* · 박찬\*\*\*\*\*†

Kim, Su Ryeon · Park, Jin Han · Song, Won Kyung · Sung, Sun Yong · Sohn, Hak Gi · Kwon, Hyuk Soo · Joo, Woo Yeong · Park, Chan

### Abstract

Climate change causes an adverse impact on biodiversity and human life. Correspondingly, global communities have proposed visions and goals to mitigate the adverse impact of climate change without considering local land use planning. Thus, in this study, we propose a framework for local land-use scenarios with an environment-friendly vision and goal. Through literature survey, we summarized our scenario framework in three steps: 1) development of a system, 2) storyline development, 3) review and distribution. First, we prepared a system that can help set a plan in motion. Then, we developed the storyline by selecting 25 main variables, which were classified into seven categories. Climate change adaptation and mitigation, type of ecosystem, effects of urban areas, and land use policies were selected as direct variables, while the other 21 variables were considered as indirect variables. After we applied the framework to the Ansan-si region in South Korea, we conducted a Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats (SWOT) analysis to link the key variables, and then proposed a direction for the application of the scenario-based strategy. After establishing five scenarios, we constructed narrative storylines using the key direct variables identified in each scenario. As a result of the application of our framework to the Ansan-si region, we established a narrative storyline framework for local land use planning considering a quantification scenario. Thus, the proposed land use planning framework considers the impact of climate change and ecosystem service changes at the local level.

**주제어** 공간 계획, 계획 요소, 지속가능한 개발, 생태계서비스, 기후변화

**Keywords** Spatial Planning, Planning Indicator, Sustainable Development, Ecosystem Services, Climate Change

\* 본 논문은 국립생태원 '2020년도 핵심 생태자산, 생태계서비스 가치 평가와 보전 방안(NIE-전략연구-2020-03)' 연구과제의 지원으로 연구되었음.

\*\* Postdoctoral researcher, Dept. of Landscape Architecture, University of Seoul (Corresponding Author: ksl85@naver.com)

\*\*\* Research Fellow, Korea Adaptation Center for Climate Change, Korea Environment Institute, Sejong, Korea (cupidjh@paran.com)

\*\*\*\* Professor, Department of Landscape Architecture, College of Life and Resource Science, Dankook University, Cheonan, Korea (wksong@dankook.ac.kr)

\*\*\*\*\* Associate Research Fellow, National Territorial Environment & Resources Research Division, Korea Research Institute for Human Settlements, Sejong, Korea (sysung@krihs.re.kr)

\*\*\*\*\* Researcher, Department of Forestry Policy Research, Korea Rural Economic Institute, Naju, Korea (hgsohn@krei.re.kr)

\*\*\*\*\* Division of Ecosystem Assessment, Bureau of Conservation & Assessment Research, National Institute of Ecology, Seochon, Korea (ulmus@nie.re.kr)

\*\*\*\*\* Division of Ecosystem Assessment, Bureau of Conservation & Assessment Research, National Institute of Ecology, Seochon, Korea (wyjoo@nie.re.kr)

\*\*\*\*\*† Associate Professor, Department of Landscape Architecture, College of Urban Science, University of Seoul, Seoul, Korea (chaneparkmomo7@uos.ac.kr)

# I. 서론

## 1. 연구의 배경 및 목적

기후변화로 인한 악영향에 대응하고 생물다양성 저하를 막기 위해서는 전 세계적인 협력이 필요하다. 국제사회는 기후변화 대응 및 생물다양성 보호를 위해 다양한 비전과 목표를 제시하고 있으며 국제협력을 유도하고 있다(송원경 외, 2018). 이러한 전 지구적인 문제를 논의하기 위해서 기후변화에관한정부간패널(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change), 생물다양성과과학기구(IPBES, Intergovernmental Science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Service)를 출범시켜 다양한 국제사회의 논의 및 협정 등이 이루어지고 있다(CBD, 2011; IPBES, 2016a).

우리나라도 「저탄소녹색성장기본법」, 「생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률」 등의 근거법을 만들어 기후변화 대응 및 생물다양성 보호를 위한 이행방안을 수립하였으나(환경부, 2016a; 2016b) 국토계획-환경계획 연동제가 본격적으로 논의되기 전에는 국토계획 및 도시계획과 환경계획을 별도로 수립하고, 기후변화 대응 및 생물다양성 보호 등을 위한 계획적 수단의 실체가 공간화 되지 않아 구체적인 논의를 이끌어내지 못했다. 그러나 국토환경연동제 이후 국토계획과 환경계획을 공간적으로 연동하기 위한 토지이용 관점에서 기후변화 대응 및 생물다양성 보호 등의 실천방향을 구체화하기 시작하였다(국토교통부, 2019). 토지이용 변화는 생태계 변화에 직간접적 영향을 미치기 때문에 기후변화 대응, 생물다양성 보전 등의 국제적 이슈와 지역 차원의 미래 비전 등을 토지이용으로 공간화하고, 공간화 된 결과를 의사결정에 활용하는 체계의 마련이 필요하다.

한 지역의 비전을 토지이용으로 구체화하기 위해서는 다양한 방법이 사용될 수 있으나, IPCC, IPBES의 경우 정책의사결정에 있어 시나리오 및 모델링 기반으로 개념적 변화를 실체화하는 데 사용하고 있으며, 이를 권장하고 있다(IPCC, 2014; IPBES, 2016a). 이러한 시나리오 및 모델링 기반 체계는 도시의 비전을 구체화하여 미래의 잠재적 토지이용 변화에 대한 분석을 지원하고, 이로 인해 발생하는 영향을 예측할 수 있어, 궁극적으로는 부정적인 미래 영향을 완화하기 위한 틀로 사용할 수 있다(IPBES, 2016a). 이때, 시나리오는 서술적으로 미래를 전망하는 도구가 되며, 모델링은 이를 공간으로 구체화하는 방법이 된다. 시나리오-모델링을 통해 예측된 변화양상을 바탕으로 다양한 의사결정자 간 도시의 비전을 선택하는 데 도움이 될 수 있다(Moilanen et al., 2009; 송원경 외, 2016).

이를 위해서는 국제사회와 국가 단위의 주요 이슈, 방향을 지역 단위의 토지이용으로 구체화하고, 의사결정에 활용할 수 있는 미래 환경 비전에 대한 공간화 체계마련이 필요하다. 따라서 본

연구에서는 첫째, 시나리오 및 모델링 체계를 선행연구 고찰을 통해서 구축하고 둘째, 문헌분석을 통해서 토지이용 변화에 영향을 미치는 변수를 선정하고 영향을 구체화하며, 셋째 구축된 시나리오 및 모델링 체계를 활용하여 안산시를 대상으로 시범적용 후 피드백을 통해 시나리오 및 모델링 체계를 최종 구축하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구 대상지

본 연구는 경기도 안산시를 사례로 연구를 진행하였다(Figure 1). 안산시는 경기도 남서부에 위치하고 있으며, 낮은 구릉지대로 둘러싸여 있고, 서해의 임해공단과 자연경관이 뛰어난 대부도로 이루어져 있다(안산시, 2014a). 간척으로 만들어진 안산시는 공업도시로 성장하는 과정에서 오염 등 도시문제가 발생하여 이를 탈피하고자 환경도시, 생태도시, 환경친화도시 등의 도시비전을 과거부터 지속적으로 선포하여 생태도시 이미지를 제고하고자 하였다. 또한, 공업단지와 주거지역, 산지, 농경지 등 다양한 토지이용이 분포하고, 내륙과 해양생태계 모두를 가지고 있는 특징이 있어(안산시, 2015), 다양한 변수를 고려한 시나리오 작성이 가능하다는 점에서 최적의 위치라 판단하여 선택하였다.

### 2. 연구방법

#### 1) 시나리오 작성 체계

일반적으로 미래 시나리오는 과거의 토지이용 및 인구 변화 추이와 계획의 정책 방향을 토대로 설정하며, 최근에는 미래 기후변화를 함께 고려한 도시 성장, 정책 추진 방향을 제한하는 연구가 진행되고 있다(김대중 외, 2011; 김현수 외, 2012; 김문모·김억기, 2014; 이용관 외, 2016)

국외에서도 IPCC, IPBES 등에서 발간한 기후변화, 생태계 등 관련 보고서, 연구 결과를 토대로 전 지구, 국가, 지역 단위 영향 변화를 예측하고 이를 바탕으로 공간의사결정을 지원하기 위한

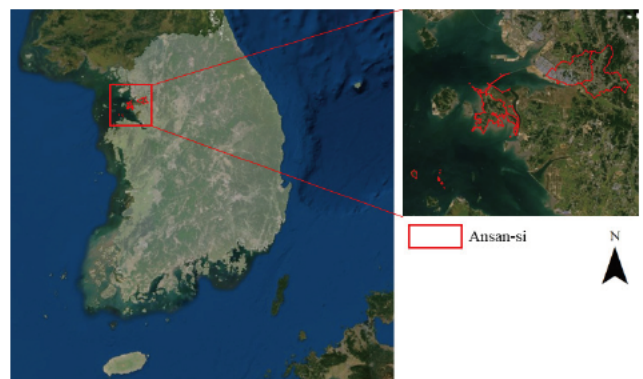


Figure 1. Study site

연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 해외에서 많이 참고가 되고 있는 사례로, 국가 단위와 지역 단위에서 생태계서비스 평가를 시도한 영국(NEA, North Devon Valmer)과 우리나라와 인접한 아시아 지역으로 문화적 특징이 유사한 일본의 사토야마(마을의 산)와 사토우미(마을의 앞바다) 사례를 대상으로 선정하였다. 기후변화 및 생태계서비스 커뮤니티의 시나리오 구성 절차를 활용한 사례 지역의 경험을 토대로 도시의 미래 환경 비전을 공간화하기 위한 시나리오 작성을 위한 기본 틀을 검토하였다.

## 2) 시나리오 변수 선정

토지이용 변화에 영향을 미치는 시나리오 변수는 영국과 일본 사례, IPBES(2016a, 2016b), 환경부(2016a) 등에서 발간한 보고서, 기후변화 등을 고려한 지역 단위의 시나리오 설정과 관련한 선행연구 등 11개 문헌고찰을 통해 종합하였다. 변수는 데이터 수집의 접근성, 시간적, 공간적 스케일로의 분석 가능성, 정량화 가능성, 지역 단위의 도시·군 관리계획, 환경보전계획 등 계획 수립 시 활용 가능성 등을 고려하여 선정하였다. 유사한 지표는 통합하고 환경 정책 영향, 건강, 종교 등과 같이 지역 차원에서 공간적으로 반영이 어렵거나 토지이용과 연계성이 없는 항목은 제외하였다. IPBES(2016b)는 생물다양성과 생태계 변화를 예측하기 위한 시나리오를 작성하는 데 있어, 생물다양성 및 생태계에 명백하게 영향을 미치는 요인(이하, 직접요인)과 이해하기 위한 요인(이하, 간접요인)으로 구분하였다. 본 연구에서는 IPBES의 직접요인(토지이용 변화, 기후변화, 오염, 자연자원 이용 및 남획, 침입종)과 유사한 성격의 변수를 토지이용 시나리오 작성을 위한 직접요인으로 설정하였다. 직접요인 이외의 항목은 토지이용에 직접적인 영향을 미치지 않는, 직접요인에 영향을 미치는 요인으로 간접요인을 선정하였으며, 각 변수별 생태계서비스에 미치는 영향은 생태계서비스 관련 전문가 자문과 문헌분석 결과 등을 토대로 정리하였다.

## 3) 토지이용 시나리오 스토리라인의 공간화 가능성 평가

지역 단위의 토지이용 시나리오 목표 설정 및 전략 수립을 위하여 안산시를 대상으로 SWOT 분석을 하고, SWOT 분석 결과와 직접 요인이 되는 변수별 연계성 분석을 통해 시나리오 방향을 도출하였다. 시나리오별 차이를 두기 위해, 시나리오별 강조되는 변수를 다르게 선정하고 스토리라인을 구성하였다.

먼저, 시나리오의 스토리라인 구성을 위한 목표 및 전략 방향은 지역 환경기관(환경부 지정)인 안산녹색기술센터와 논의하여 설정하였고, 시나리오별 강조되는 변수 선정, 스토리라인 초안에 대한 의견은 전문가의 피드백 과정을 거쳤다. 수정된 스토리라인은 최종적으로 사용하게 될 지역 환경계획 전문가, 안산시 공무원을 비롯한 생태계서비스 평가전문가, 도시계획 전문가 등과 함께 워크숍을 통해 2단계의 피드백 과정을 거쳐 보완하였다.

토지이용 변화 예측에는 회귀분석, CA(Cellular Automata), Markov 체인, CLUE-s 모델 등이 활용되고 있다(김대중 외, 2011, 이용관 외, 2016). 이 중 토지이용 및 시나리오와 관련한 여러 연구에서 구성의 유연성과 시나리오 조건을 자세히 지정할 수 있는 특징을 가진 CLUE-s 모델을 사용하고 있다(Verburg et al., 2002; Kok et al., 2006; Verburg et al., 2006). 본 연구에서는 시나리오의 스토리라인 구성 단계부터 Verburg et al.(2006)이 CLUE-s 모델에 공간 의사결정에 영향을 미치는 요인으로 토지이용 변화 조건, 입지적 특성, 관련 정책 등을 활용한 점을 참고하여 시나리오에 따른 토지이용을 공간화하는 데 활용할 수 있도록 하였다. 미래의 시나리오에 따른 토지이용 변화는 Verburg et al.(2002), 이동근 외(2011)를 참고하여 ① 공간적 정책, 제도적으로 제한된 지역을 입력(예, 보호지역 등), ② 토지이용의 시간에 따른 변환 과정, ③ 사례연구 및 시나리오에 따라 시뮬레이션을 제한하는 토지이용 변화 요구(수요) 모듈 적용 ④ 구동요인으로부터 정량화한 토지이용의 위치 적합성 결정 순서로 공간화하였다. 토지이용 변화는 다음의 로지스틱 회귀를 사용한 다음의 수식에 따라 토지이용의 위치가 할당될 확률로 도출되고, 공간적으로 할당된다(Verburg et al., 2002).

$$\text{Log}\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \dots + \beta_n X_{n,i}$$

$P_i$ : 장소 I의 토지이용이 변화될 확률

$X$ : 구동요인

$\beta$ : 실제 토지이용 패턴을 사용하여 로지스틱 회귀분석을 통해 추정된 계수

\* 출처: Verburg et al.(2002), 이동근 외(2011)

시나리오에 따른 토지이용 변화 미래 시점은 2050년으로 설정하였으며, 시나리오 중 성격의 차이가 크게 보이는 3개 시나리오를 대상으로 공간화를 시범적용하였다. 시나리오별 토지이용은 안산시와 관련한 정책, 보고서에서 구체적인 공간계획안이 있는 경우 제한된 지역으로 입력하여 바로 토지이용으로 할당하였다. 반면 비전 또는 방향성만 있는 경우, 변화량을 인구, 경제적 요인을 통해 결정하고, CLUE-s를 활용하여 변화확률을 도출한 후, 유전자 알고리즘을 적용하여 비전 및 방향을 구체화하였다. 시간에 따른 실제 토지이용 전이 방식은 과거(2000년)와 최근 작성된(2013년) 토지피복자료를 토대로 적용하였다. 그 결과와 농업진흥구역, 개발제한구역, 도로로부터의 거리, 기개발지로부터의 거리, 인구밀도(격자 기반) 데이터를 토대로 시나리오에 따른 토지이용 간 변환 비율을 도출하였다. 이와 같은 방법을 시나리오별로 적용하여, 2050년의 안산시 토지이용 변화를 예측하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 시나리오 작성 체계

영국의 NEA(National Ecosystem Assessment), 해양 지역(North Devon Valmer), 일본의 사토야마와 사토우미의 생태계 서비스 시나리오 작성 체계를 살펴본 결과, 공통적으로<sup>1)</sup> 시나리오 작성을 위한 조직 구성,<sup>2)</sup> 스토리 개발,<sup>3)</sup> 시나리오 검토 및 배포의 3단계로 이루어지고 있었다(Figure 2). 첫 번째로 '조직 단계'에서는 토지이용 변화에 영향을 미치는 원인과 주요 요소(변수)를

Step	UK NEA	UK VALMER Project	JSSA
1 Preparation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Scenario guidance team setup</li> <li>Selected a scenario panel</li> <li>User interview</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>System construction</li> <li>Identify the causes of changes in ecosystem services</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Scenario guidance team setup</li> <li>Selected a scenario panel</li> <li>User interview</li> </ul>
↓			
2 Storyline development	<ul style="list-style-type: none"> <li>Scenario Goal Setting</li> <li>Storyline Development and Quantification</li> <li>Synthesis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Main variable setting</li> <li>Scenario development (With stakeholders)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Determination of goals and key evaluation factors</li> <li>Draft storyline</li> <li>Modeling analysis organization and quantification</li> <li>Draft Storyline</li> <li>Quantifying scenario elements</li> <li>Modify storyline according to quantification results</li> <li>Modification of model utilization data and re-execution</li> </ul>
↓			
3 Review and Distribution	<ul style="list-style-type: none"> <li>Scenario draft distribution and feedback</li> <li>Scenario final version development</li> <li>Publish and deploy scenarios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Provide management options through scenarios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Scenario draft distribution and feedback</li> <li>Scenario final version development</li> <li>Publish and deploy scenarios</li> </ul>

Figure 2. Process cases for scenarios and Models

\*Source: UK NEA(2011), IPBES(2016a), JSSA(2010)

설정하고, 목표를 결정하게 된다. 시나리오의 목표 설정 시 최종 사용자를 대상으로 인터뷰를 실시하여, 시나리오의 실효성을 높 이도록 유도하였다. 두 번째는 '시나리오의 스토리라인을 개발하 는 단계'이다. 시나리오의 스토리라인 초안을 개발하고, 초안의 구성 요소에 대한 간단한 모델링과 검토, 스토리라인 초안의 수정 과정을 반복하여 시나리오 결과에 대한 신뢰성을 높인다. 세 번째는 '검토 및 배포' 단계로, 개발된 시나리오 초안을 배포하고, 피드백을 통한 수정·보완 후 최종 버전의 게시, 배포가 이루어진다.

시나리오의 스토리라인 개발 시 기후변화, 인구, 사회, 경제 등 구동요인을 고려하되, 사례별로 별도의 기준과 방식으로 스토리라인의 방향을 설정하였다. 영국 NEA의 경우, 환경의 인식, 인간의 웰빙, 거버넌스와 개입, 적응 능력, 해외의 생태발자국(해외 자원에 대한 수요 및 척도)을 기준으로 서로 다른 정책적 우선순위를 가진 6개의 스토리라인을 설정하였다. 일본은 MEA(Millennium Ecosystem Assessment, 2005) 방법에 따라 2개의 축을 기준으로 4개의 스토리라인을 설정하였다. 스토리라인은 자연과 생태계서비스에 대한 사람들의 태도와 반응에 초점을 두었으며, 수직축은 글로벌-지역, 수평축은 자연 지향-기술 지향으로 설정하고 시나리오별 방향의 차이를 두었다. 평가 결과는 영국의 경우, 시나리오에 따른 토지이용 변화가 생태계서비스에 미치는 영향을 공간화하여 비교하고, 일본은 영향 관계를 항목별 증감 여부로 비교하여 분석 및 검토 수준에서 차이를 보였다. 이를 토대로 볼 때, 스토리라인 검토 수준 및 방법을 자세히 정량화할지, 변화 여부만 파악할지 등을 시나리오의 활용 목적에 따라 결정하여 적용 가능한 것으로 판단되었다.

#### 2. 토지이용 시나리오 작성을 위한 변수 선정

##### 1) 국외 사례 검토

영국의 NEA(IPBES, 2016a)는 토지 피복 변화의 공간 패턴에 대한 가정을 6가지의 시나리오로 설정하였다. 시나리오 평가를 위해 5가지 평가요소를 선정하고, 기준연도(2000년) 대비 목표연도(2060년)의 시나리오별 토지이용 변화에 따른 차이의 비교를 통해 최적안을 도출하였다. 5가지 평가요소는 농업 식량 생산, 육상 탄소 저장 및 연간 온실가스 배출, 개방형 레크리에이션, 도시 녹지 어메니티, 생물다양성 영향(조류를 지표종으로)으로 구성되며, 결과는 2km 격자로 표현된 공간화 된 정보를 제공하여 토지이용 변화에 대한 비교가 쉽게 하였다.

또 다른 사례로 영국 North Devon Valmer의 해양 지역을 대상으로 한 이 프로젝트에서는 해저에 의해 제공되는 생태계서비스가 15년 이후 시나리오별로 어떤 변화가 일어나는지 평가하였다. 시나리오 선정 시 해양 보존 구역의 선정, 골재 채취, 양식장 개발(홍합 농장), 조력발전(조력 케이블 장치 설치), 탄소 퇴적물 변화, 강어귀 양분 증가, 해양 부문 상업 및 레크리에이션 개발,

지속가능한 어업관리, 풍력발전 항목을 토대로 하였다. 평가항목 중 3가지 변화요인(어류양식, 먹이그물, 폐기물(탄소))을 주요 항목으로 선정하고 변화 모델을 개발하여 시나리오를 실행하였다.

일본의 사례는 사토야마와 사토우미가 가지고 있는 생태계서비스가 경제, 인류발전에 어떻게 기여하는지 과학적으로 신뢰할 수 있고 정책 결정에 사용될 수 있도록 제공하는 것을 목적으로 하였다. 사토야마와 사토우미 전역을 대상으로 현재와 2050년의 생태계서비스를 평가하였고, MEA(2005)의 평가항목을 우선으로 하였다. 시나리오는 Global+Technology oriented, Global+Nature oriented, Local+Technology oriented, Local+Nature oriented 4가지로 구분하였다. 각 시나리오별 특성에 따라 생태계서비스 평가요소의 공간적인 정량화를 통해 인간의 이용과 생태계서비스와의 상호 영향 관계를 도출하였다. 또한, 과거의 인구, 토지이용, 경제 상황 등을 변화 추세를 반영하여 토지이용, 기후변화, 침입종, 남획 등에 대한 정량화를 시도하였으며 이를 기

반으로 시나리오별 생태계서비스 변화의 방향성을 설정하였다.

사례를 살펴본 결과, 토지이용 변화 시나리오에 직접적인 영향을 미치는 요인에 포함되지 않더라도, 인구 변화, 국제사회, 경제 상황, 거버넌스, 환경에 대한 인식, 적응 능력 등은 간접적으로 영향을 미치는 요소로 반영되고 있어 간접적인 영향 요인에 대한 고려도 함께 이루어질 필요가 있는 것으로 도출되었다(Table 1).

2) 관련 문헌 고찰

관련 문헌 중 IPBES(2016a), 환경부(2007) 등에서는 국제커뮤니티나 거버넌스도 영향 요인으로 도출되었고, Abildtrup et al.(2006), Kok et al.(2006), Liu et al.(2005) 등 지역 단위를 대상으로 한 연구에서는 지역 거버넌스, 기후변화 완화 및 적응, 토지 이용 정책, 인구, 레크리에이션, 작물생산량 등이 포함되기도 하였다. 국외사례를 포함한 국내·외 문헌, 지침 등을 검토한 결과, 총 25개의 변수가 도출되었으며, 이를 국제사회, 정부 및 지자체,

Table 1. Variables related Land Use in Local scale

Category	Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Note
International community	Situation of international community					○							
	Price of food						○		○		○		
	Price of energy		○				○		○				
	Production of agriculture and seafood			○		○							
	International energy consumption					○						○	
Government and local government	Governance					○	○		○	○			
	Policy of resource management					○	○						
	Land use policy					○	○	○				○	Direct
Social · Economy · Culture	GDP					○	○		○			○	
	Population					○	○		○	○		○	
	Education			○		○		○				○	
	Tourism and recreation		○	○	○	○		○		○		○	
	Transportation					○						○	
Energy	Energy resource management	○			○	○							
	Renewable energy	○			○	○		○					
Natural hazards	Sea level rise		○						○			○	
	Risk of flood/landslide		○	○					○			○	
Environment	Climate change			○		○	○	○	○			○	
	Natural resources		○				○	○		○			
	Climate change adaptation and mitigation	○	○		○	○		○	○	○		○	Direct
	Ecosystem	○	○			○	○	○		○	○	○	Direct
	Effect of urban area					○			○		○		Direct
Food	Agriculture		○	○				○		○	○	○	
	Forest products		○	○				○			○	○	
	Crop yield		○	○				○				○	

1) MEA(2005), 2) NEA(2011), 3) JSSA(2010), 4) IPBES(2016a), 5) ME(2007), 6) IPBES(2016b), 7) NIE(2016), 8) Abildtrup et al.(2006), 9) Kok et al.(2006), 10) Westhoek et al.(2006), 11) Liu et al.(2005)

사회·경제·문화, 에너지, 재해, 환경, 식량 등 7개 범주로 구분하였다. 각각의 범주별 변수는 국제사회 분야는 국제사회의 상황, 국제 식량가격, 국제 에너지 가격(유가), 국제 농·수산물 생산량, 국제 에너지자원 소비량, 정부 및 지자체 분야는 거버넌스, 자원 관리 정책, 토지이용 계획, 사회·경제·문화 분야는 GDP, 인구, 교육, 관광 및 여가활동, 교통, 에너지 분야는 에너지자원 관리, 신재생에너지, 재해 분야는 미래 해수면 상승, 미래 홍수/산사태 위험도, 환경 분야는 기후변화, 기후변화 적응/완화, 생태계, 천연자원(목재, 광물 등), 도시의 영향(시가지의 영향), 식량 분야는 농작물, 임산물, 작물 생산량 등이다(Table 1).

본 연구에서 선정된 25개 변수 중 IPBES(2016a) 보고서에서 제시된 생태계와 생태계서비스에 직접적인 영향을 미치는 직접요

인과 성격이 유사하고 지역에서의 적용 가능성을 고려하여 '기후변화 적응 및 완화', '생태계', '도시의 영향', '토지이용계획'은 직접요인으로 선정하였다. '기후변화'는 전 지구에서 나타나는 현상으로 지역 단위에 미치는 직접적인 영향은 '기후변화 적응/완화' 정책이 '기후변화'보다 더 영향 정도가 크다고 판단되어 기후변화 변수는 간접요인으로 선정하였다. 그 밖의 인구, GDP, 에너지자원 관리 등 21개 변수는 생태계 및 생태계서비스에 직접적으로 영향을 미치지 않는으나, 토지이용 변화 시나리오의 직접요인에 영향을 미치는 간접요인으로 선정하였으며, 각 변수가 시나리오에 미치는 영향은 다음 <Table 2>와 같다.

**Table 2.** Policy Extra variables(drivers) and direction setting

Category	Variable	Effect on the ecosystem services
Direct drivers	Climate change adaptation and mitigation	<ul style="list-style-type: none"> <li>When considering climate change disasters (sea level rise, surface temperature rise, floods and landslides, etc.) in land-use planning, it may not be possible to develop in areas where damage is expected in the long term. In addition, future crops should be selected in consideration of changes in habitat of crops or forest products.</li> <li>It is also necessary to respond to the increase of carbon absorption through green space and reduction of greenhouse gases through the use of renewable energy.</li> </ul>
	Ecosystem	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ecosystem management is needed to increase ecosystem services such as increasing carbon sequestration or absorption, biodiversity and ecosystem conservation.</li> </ul>
	Effect of urban area	<ul style="list-style-type: none"> <li>Urbanization and urban areas also affect land use and ecosystem services.</li> <li>Forests are fragmented due to urbanization, and forest fragmentation affects carbon sequestration, habitat, and so on. In addition, as the city expands, cropland and forests are reduced, resulting in reduced production of crops and forest products. Cropland may increase due to land reclamation, but in this case, the area of coastal wetland will be reduced, resulting in a decrease in fisheries production.</li> <li>Population inflows will accelerate as the area of the city increases, thereby increasing the demand for green space within the city. Recreational activities also increase in mountains, coasts and coastal wetlands.</li> </ul>
Government and local government	Land use policy	<ul style="list-style-type: none"> <li>Land-use plans, in particular, have a direct impact on various type of ecosystem services. Increases in green space have positive impacts, including increased carbon absorption, increased recreational services, and increased species biodiversity. However, there is a need for a policy on the soil, which is an underground carbon reservoir, and an equal distribution of the marginalized areas is required for the green area. In addition, it is necessary to consider not only the urbanized areas in the city but also the forests around the city. Also, development-oriented land use changes may reduce the area of costal wetlands. This also affects the change in aquaculture area, as well as recreational use of costal wetlands and shores.</li> </ul>
In-direct drivers	Situation of international community	<ul style="list-style-type: none"> <li>The various situations of international communities such as interests, trade agreements, and wars around the world affects exchange rates, resource supply and demand, and oil prices, and these factors can affect Korea again. The policies of the exporting and importing countries, and the economic conditions of each country, can change the international price of the resource or secondary product, thus affecting domestic agricultural and industrial production. There may also be a change in domestic policy as efforts to increase coastal wetlands and biodiversity grow internationally.</li> </ul>
	Price of food	<ul style="list-style-type: none"> <li>Increasing international food prices lead to higher feed grain prices, which may lead to higher agricultural management costs. The impact of these kind of international food prices may affect domestic agricultural production.</li> </ul>
	Price of energy	<ul style="list-style-type: none"> <li>Increasing international energy price is likely to affect to impede the growth of energy industries or to increase demand for renewable energy such as solar power energy and wind power energy.</li> </ul>

다음 페이지에 계속(Continue on next page)

Category	Variable	Effect on the ecosystem services	
International community	Production of agriculture and seafood	• Imbalances in international food supply and demand lead to higher or lower food prices. Also, this may lead to the increase or decrease of domestic agricultural and fishery production.	
	International energy consumption	• The use of renewable energy and the development of new energy resources due to technological developments affect the supply and price of energy resources. This may affect climate change in the long-term and, in the short-term, the price of energy resources.	
Government and local government	Governance	• The policies and administrative systems of national, regional, and local governments can influence land use change through development projects or conservation policies, which can affect overall ecosystem services. Incentives and regulatory policies can also be used to influence people's behavior, which also affects other variables and ecosystem services.	
	Policy of resource management	• Management of forest resources, water resources and fish resources affects various type of ecosystem services such as forest products, forest carbon, recreation, habitat, agricultural production, and fishery production.	
In-direct drivers	GDP	• Increasing GDP affects people's lifestyles. If meat-based consumption rises, demand for feed grains will surge, and demand for seafood will increase with the demand for healthy foods. • In addition, there is an increase in the number of people who enjoy leisure, and the demand and value of recreation increases.	
	Population	• Population growth demands most of all ecosystem services. The demand for crops and fisheries increases, and the demand for recreation also increases. There is a risk that species biodiversity will decrease as development increases.	
	Social · Economy · Culture	Education	• The demand for cultural services on coastal wetlands is increasing for educational services such as ecological experiences. In addition, efforts to conserve species biodiversity can be increased by raising awareness such as overfishing through educational services.
		Tourism and recreation	• Tourism and leisure, in particular, affect cultural services, which indirectly affect other ecosystem services. In urban areas, the use of ecosystem services in the park will increase, leading to an increase in green areas in urban areas and an increase in biodiversity in urban areas. • At the same time, however, hobbies and leisure activities in suburban areas have increased significantly. Hobbies such as fishing and gathering will increase cultural services to forest resources, coastal wetland resources, and coasts, but they may impede biodiversity through indiscriminate overfishing.
		Transportation	• Expansion of traffic facilities and system will increase the number of users through inflow of population and easy access to the destination. This may affect cultural services, lead to increased demand for ecosystem services of the park, increased use of recreational resources in the surrounded local area. At the same time, there is a potential for biodiversity degradation and habitat fragmentation.
	Energy	Energy resource management	• Through the management of energy resources, the government can respond to climate change in a long term, and at the national level can exert influence in the international community. At the local government level, air pollutants such as ozone and fine dust can be managed in the short term.
Renewable energy		• Renewable energy can be used to cope with mitigation and adaptation policies for climate change in the short term and long term. In addition to reducing greenhouse gas emissions, air pollutants such as ozone and fine dust will be also reduced. However, it can damage terrestrial ecosystem services due to solar power generation or marine ecosystem services due to tidal power generation.	
Natural hazards	Sea level rise	• Future sea level rise may affect land use, which affects a variety type of ecosystem services. In particular, coastal wetland and coastal wetland areas are expected to be affected, and habitat area and biodiversity are expected to decrease due to the decrease in coastal wetland area.	
	Risk of flood/ landslide	• Future risk of flood or landslide may affect land use, and long-term development plans are not appropriate.	
Environment	Climate change	• Climate change affects not only humans but also the environment. In particular, the impacts on ecosystem services include habitat loss or changes due to climate change, which may lead to a reduction in biodiversity, and changes in water temperature also lead to changes in fisheries resources. And Increasing extreme weather can also affect recreation.	

다음 페이지에 계속(Continue on next page)

Category	Variable	Effect on the ecosystem services
Food	Natural resources	<ul style="list-style-type: none"> <li>Increasing demand for natural resources leads to deforestation and the development of mines. In addition, this may reduce the quality of ecosystem services. In addition to direct damage, it is likely to be accompanied by indirect damage due to the absence of atmospheric purification.</li> </ul>
	Agriculture	<ul style="list-style-type: none"> <li>Increased agricultural production is expected to reduce the area of coastal wetlands and coasts due to the increase of agricultural land (including rice paddy). This leads to a decrease in habitats, poses a major threat to species biodiversity, and is believed to reduce fish farming and affect fish production. In addition, increasing crop yields can lead to a decrease in paddy area and a decrease in forest area.</li> <li>However, the increase of farmland in urban areas has the effect of increasing green space in urban areas due to urban agriculture.</li> </ul>
	Forest products	<ul style="list-style-type: none"> <li>Increased demand for forest products may lead to overfishing of forest resources due to indiscriminate collection and harvesting. And this action damages forest ecosystems.</li> <li>However, if artificial planting is carried out to increase the production of forest products, there are also effects such as increased carbon uptake and reduced risk of forest disaster due to the increase of forest area.</li> </ul>
	Crop yield	<ul style="list-style-type: none"> <li>Advances in technology and rising temperatures due to climate change are likely to increase crop yields per unit area. This may reduce the area of farmland and increase the biodiversity of species due to the abundance of food resources in ecosystems.</li> </ul>

Note) Reconstructed using the following sources.

(Sources: Liu et al., 2005; MEA, 2005; Abildtrup et al., 2006; Kok et al., 2006; Westhoek et al., 2006; Mahmoud et al., 2009; Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2010; NEA, 2011; Lee et al., 2012; Ansan-si, 2014a; Ansan-si, 2014b; Park, 2014; Joo et al., 2016; IPBES, 2016b; Ansan Green Environment Center, 2016; Kwon et al., 2016; Lee et al., 2017)

### 3. 토지이용 시나리오 시범적용

#### 1) 시나리오 목표 설정

토지이용 시나리오는 안산시를 대상으로 시범적용하였다. 안산시에서 2015년 수립한 2020 안산 도시기본계획을 살펴보면, 도시의 미래상을 '산업·문화·해양이 어우러진 인간 중심의 도시'로 설정하고 있었다. 본 연구에서는 안산시의 미래상을 고려하여 시나리오 목표가 추구하는 방향을 '환경도시'로 설정하였다.

#### 2) 시나리오 전략 수립

시나리오 전략은 안산시의 환경도시 목표를 달성하기 위한 전략으로서, 미래상을 달성하는 방식에 따라 구분하였다. 전략은 안산시의 SWOT 분석 결과와 토지이용 시나리오에 직접적인 영향을 미치는 직접요인과의 연계성을 고려하여 8개의 방향을 도출하였다. 도출된 방향을 결합하여 5개의 시나리오를 구성하였으며, 이때, 시나리오별 세부 내용은 인구, 관광 및 레크리에이션, GDP 등의 간접요인을 고려하여 설정하였다(Figure 3, Table 3).

먼저, SWOT 분석 결과, 안산시는 육상생태계와 해양생태계(갯벌)를 동시에 보유하고 있다는 점, 지자체의 관심과 의지가 있다는 점, 그리고 계획도시라는 점 등이 강점으로 도출되었다. 하지만 공업도시의 이미지가 강하다는 것은 약점으로 파악되었다. 서해안에 위치함으로써 중국과의 물리적 거리가 가깝다는 것과 국가 및 광역지자체 단위에서 서해안 교통인프라 확충 계획을 가지고 있다는 것이 안산시의 기회요인이며, NDC(Nationally Deter-

mined Contributions), CBD(Convention on Biological Diversity)와 같은 국제 협약 역시 안산시의 기회로 작용할 수 있다는 것을 확인하였다. 하지만 기후변화로 인한 피해가 예상되었다.

직접요인 중 '기후변화 적응 및 완화'의 경우 적응은 방향성, 완화는 온실가스 저감 관련 사업 내용 위주로 정책이 추진되는 점을 고려하여 적응과 완화를 분리하여 전략을 도출하였다. '도시의 영향'과 '토지이용계획'은 도시의 공간적 구조에 영향을 미치는 측면에서 유사한 시나리오가 도출될 것으로 판단되어 통합하여 전략을 설정하였다(Figure 3).

SWOT 분석 결과를 고려한 직접요인의 전략으로 먼저, '기후변화 적응'은 1) 장기정책의 적용과 2) 단기정책의 적용으로 구분하였다. 장기적응정책의 경우 미래 기후변화에 따른 피해가 예상되는 지역의 계획 시 이를 고려하여 지자체 단위의 계획을 수립하는 것이며, 생물종 분포 혹은 서식지의 변화를 고려하여 농업 및 양식업을 계획하는 것이다. 단기 적응정책의 경우 녹지 및 수공간의 증가를 통하여 도시 내 기온 저감 효과 등의 요소를 도입하는 전략이다.

'기후변화 완화'의 경우 3) 흡수 및 흡착 등 기술의 적용을 통한 저감과 4) 신재생에너지 활용을 통한 저감 전략이 있다. 흡수 및 흡착의 경우 수목의 증가, 기술의 향상 등을 통해 CO<sub>2</sub>의 흡수량을 높이고 대기오염의 배출량을 낮추는 방법이며, 신재생에너지 활용은 현재 화석연료의 사용을 줄이고 조력 발전, 태양광발전 등과 같은 신재생에너지 활용 비율을 높여서 CO<sub>2</sub> 및 대기 오염물질의 배출량을 줄이는 전략이다.



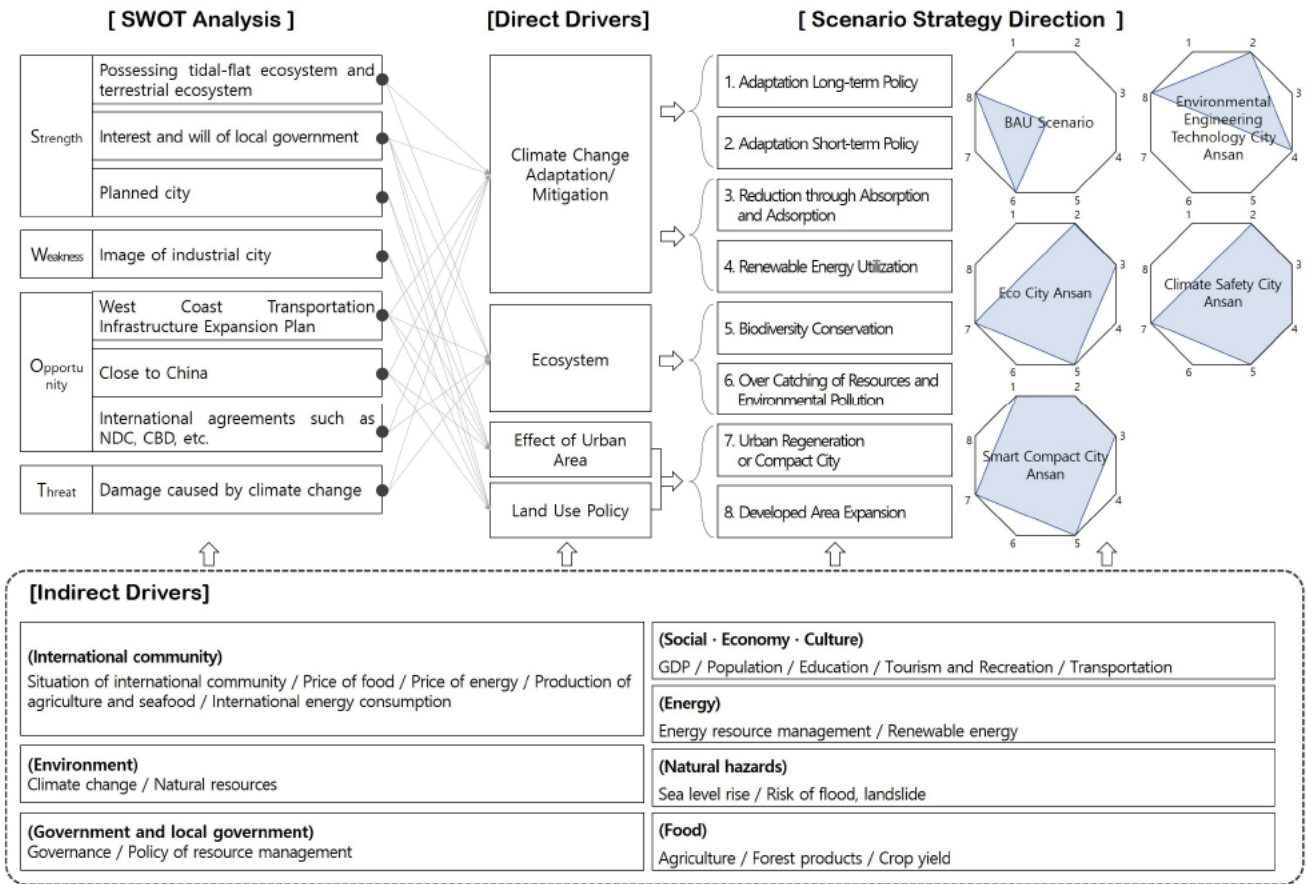


Figure 3. Scenario Strategy Direction Derivation Process in Ansan city

Table 3. Strategies of 5 scenarios

Variables		Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
Goal		BAU Scenario	Environmental Engineering Technology City Ansan	Eco City Ansan	Climate Safety City Ansan	Smart Compact City Ansan
Climate change Adaptation	Short-term adaptation policy	-	○	○	○	○
	Long-term adaptation policy	-				○
Climate change mitigation	Mitigation through absorption and adsorption	-		○	○○	○○
	Renewable energy use	-	○○		○	
Ecosystem	Biodiversity Conservation		-	○○	○○	○
	Resource overfishing and environmental pollution	○	-			
Effect of the urban area and Land Use Policy	Urban regeneration or Compact city			○	○	○○
	Expansion of urbanization area	○○	○			

Note) Emphasized Variables according to the Scenario strategic characteristics are marked with ○○

‘생태계’는 5) 생물다양성을 보전하는 것과 6) 자원남획 및 환경 오염이 발생하는 것으로 구분하였다. 우선 생물다양성을 보전하는 경우는 깃벌, 습지 등의 적극적 보전 정책을 통해 다수종 및 희귀종 모두 보호하는 정책 등이 있을 수 있으며, GDP와 유입인구가 증가하는 경우에도 생물종 서식처에 피해를 주지 않는 범위 내에서 개발을 허용하는 것으로 시나리오를 설정하였다. 또한 GDP와 인구의 증가로 인해서 개인의 취미생활에 대한 수요의 증가, 캠핑, 등산과 같은 취미생활의 증가로 인하여 생태계가 오염되는 경우 혹은 이로 인한 자원남획으로 인한 미래 어족자원 고갈이 염려되는 경우에는 양식업의 수를 늘리는 전략을 수립하였다.

‘도시화 영향 및 토지이용정책’은 7) 도시의 재생 혹은 압축도시와 8) 시가지지역이 확장되는 것으로 설정하였다. 미래 인구의 증가로 인한 개발지역의 확대에도 불구하고 보호지역의 보전을 위하여 기존 개발된 시가지를 더욱 적극적으로 개발하는 시나리오를 도시재생 또는 압축도시 시나리오로 설정하였다. 또 다른 경우는 GDP의 증가로 인하여 삶의 질, 여유로운 삶에 대한 선호도가 증가함에 따라 전원생활의 수요가 증가할 것으로 가정하였다. 또한 시가지지역이 확장되는 경우는 저밀도 개발로 인하여 도심지로의 접근성 개선을 위한 교통시설을 비롯한 사회간접자본의 확충을 가정하였다.

안산시를 사례로 적용한 결과, SWOT 분석과 직접요인의 연계성 분석을 통해 기후변화 정책의 추진 방향과 전략에 따른 환경적, 사회적 영향, 생태계를 비롯한 자연환경의 보호 또는 훼손, 시가지지역의 확산 또는 집중 등 미래 변화 속성을 만드는 데 유효한 것으로 도출되었다. 또한, 미래 변화 속성 결정 시 GDP, 인구 변화, 취미생활 변화와 같은 간접요인은 직접요인에 더해져 도시의 미래 변화 방향을 구체화하는 것으로 나타났다.

### 3) 공간화 및 정량화를 위한 시나리오 구성

시나리오는 도시에서 설정한 미래상을 달성하는 방식에 따라 시나리오1은 2030년 온실가스 배출 전망을 고려한 BAU 시나리오, 시나리오2는 환경 공학기술 기반으로 발전하는 도시 안산, 시나리오3은 생태도시 안산, 시나리오4는 기후변화에 적극적인 대응으로 기후안전사회를 구축하는 도시, 시나리오5는 스마트 축소도시 안산으로 설정하였다. 설정한 5개 시나리오 방향을 토대로 미래 토지이용 변화를 공간화 및 정량화하기 위한 세부 스토리라인 초안을 구성하였다. 도시발전 방향과 부합되고, 그 내용이 시나리오에 반영되어야 하며, 시나리오를 토대로 토지이용의 공간화 가능성 등에 관한 전문가 피드백을 참고하여 스토리라인을 수정하였다. 이후 최종 작성된 시나리오의 검토 및 활용성을 높이기 위해 국립생태원 관계자, 안산시청 관계자, 외부 전문가 및 연구진이 참석한 워크숍을 1회(2018.4.3) 개최하였으며, 워크숍 결과를 토대로 스토리라인의 수정·보완 과정을 거쳐 공간화를 위한 시나리오를 도출하였다.

먼저, 시나리오1은 BAU 시나리오로 인구가 증가하는 것으로 설정하였다. 주요 변수의 변화에 대한 설정은 인구의 증가, 고부가가치 산업 유치를 통한 지역경제 발전, 소득 증가, 고급 레포츠 활동 증가 등이다. 주요 변수의 설정에 따른 토지이용의 변화는 인구의 증가에 따라 시가지 지역의 확장이 필요하며, 경제발전을 위하여 고부가 가치의 산업단지 개발수요가 증가할 것이라고 시나리오를 작성하였으며, 개발수요 증가는 기존의 공업지역을 확장하는 것으로 설정하였다. 또한 소득 증가와 여가시간 확대에 따라 고급 레포츠 활동이 증가하고, 이에 대한 레크리에이션 관련 토지수요가 증가하는 것으로 설정하였다. 하지만 개인의 취미생활의 수요 증가로 인하여 등산, 캠핑 등의 활동으로 인하여 생태계 파괴가 우려되는 것도 고려하였으며, 낚시 등의 활동으로 인하여 연안 수자원의 남획이 우려된다는 것도 시나리오에 반영하였다.

시나리오2는 환경 공학기술기반도시 안산이 주요 전략이며, 시나리오1과 마찬가지로 역시 인구는 증가한다고 설정하였다. 시나리오2의 주요 변수의 설정은 인구의 증가, 친환경 산업 유치를 통한 경제 발전, 소득 증가, 공원의 이용 등 여가활동이 증가하는 것으로 시나리오를 수립하였다. 주요 변수별 관계 설정은 인구의 증가에 따라 시가지지역의 확장이 필요하며, 지역의 경제발전을 위하여 친환경 산업을 유치한다고 시나리오를 설정하였으며, 이에 따라 토지이용 변화는 기존의 나지를 최대한 활용하도록 하며, 현재의 토지이용 및 지역의 특성을 최대한 보전하는 것으로 시나리오를 설정하였다. 또한 녹지 및 수공간을 도입하는 단기적인 기후변화 적응정책을 사용하며, 기후변화 저감정책에 있어 조력발전, 풍력발전 등과 같은 신재생에너지를 적극 활용하는 것으로 시나리오를 설정하였다. 하지만 조력발전, 풍력발전으로 인해서 깃벌의 생산성 및 면적은 감소하는 것으로 정의하였다.

시나리오3은 생태도시 안산의 관점에서 설정하였다. 주요 변수에 대한 설정은 인구증가, 친환경 산업 유치를 통한 경제발전, 소득 증가, 생태관광 증가 등이다. 본 시나리오도 앞선 시나리오와 같이 인구는 증가하는 것으로 설정하였다. 하지만 생태도시의 관점으로 접근하였기 때문에 압축도시를 기조로 하여 기존 도시지역의 용적률 증가를 통해 해결하는 방향으로 설정하였다. 또한 지역의 경제발전을 위하여 친환경 산업을 유치하는 것으로 가정하였다. 토지이용 변화에 있어서는 시나리오2와 마찬가지로 기존의 나지를 최대한 활용하며, 일부는 매립지를 활용하나, 원 지역의 특성을 최대한 보전하는 방향으로 설정하였다. 생물다양성 보전을 위해서 깃벌 등 생물다양성이 높은 지역을 최대한 보전하는 것으로 설정하였으며, 기후변화 완화를 위해서 수목의 흡수 및 흡착을 통한 저감을 활용하는 것으로 설정하였다. 또한 이를 통해서 도심지 내 생물의 서식처 및 코리더 확보를 위하여 도시 농업, 공원 조성 등을 통한 녹지 확보 및 온실가스 흡수 증대, 미세먼지 흡수 등 환경오염의 문제 해결을 위하여 도시 내 녹지 증가

를 통해 이를 해결할 수 있는 방향으로 설정하였다. 특히 갯벌지역은 최대로 보전하는 것으로 설정하였으며, 지속적으로 보전이 가능한 범위 내에서 갯벌의 체험관광을 유지하는 것으로 시나리오를 설정하였다.

시나리오4는 기후안전사회 안산을 관점으로 시나리오를 설정하였다. 주요 변수에 대한 설정은 인구의 증가, 친환경 산업 유치를 통한 지역 경제의 발전, 소득증가, 기후변화로 인하여 재해 가능성이 높은 지역에 대한 이용 감소 등이다. 시나리오의 관점에 따라 기후변화 적응 및 저감 정책을 적극적으로 대응하도록 설정하였다. 또한 기후변화 및 개발로 인하여 피해가 예상되는 생태계를 보호하기 위해서 적극적인 생물다양성 보전 정책을 실시하는 것으로 설정하였다. 이에 따른 토지이용 계획의 변화는 새로운 지역의 개발보다는 기개발지를 적극적으로 활용하도록 설정하였다. 또한 국제에너지가격의 변동 반영 및 넓은 지역에서의 에너지자원 확보를 위하여 신재생에너지를 적극적으로 사용하는 정책을 실시하였으며, 아울러 기후변화 저감 및 적응 정책 적용 시, 녹지를 이용한 CO<sub>2</sub> 흡수 및 대기오염물질 저감 등과 같은 생물다양성 훼손을 최소화하는 방향으로 시나리오를 설정하였다. 하지만 조력발전으로 인한 물막이로 갯벌의 생산성 저하 및 면적 감소 등의 토지이용 변화를 가정하였으며, 해일 및 태풍의 방지를 위한 갯벌면적 확보를 위한 보호구역의 설정도 가정하였다.

마지막으로 시나리오5는 스마트 축소도시의 관점으로 시나리오를 설정하였다. 주요 변수에 대한 가정은 인구의 감소, 고부가가치 산업 유치를 통한 지역경제 발전, 소득증가, 관광 인구의 증가 등이다. 본 시나리오에서는 앞선 네 가지 시나리오와 다르게 인구가 축소되는 것으로 가정을 하였다. 이에 따라 토지이용 변화에서 신규 주거/상업용 시가지지역의 필요성은 감소하는 것으로

설정하였으며, 도심재생 정책 수행 시 기후변화 완화 및 대기오염 저감, 기후변화 적응 문제를 수목의 효과를 이용하여 해결하는 정책을 적용하였다. 또한 경제발전을 위하여 고부가가치의 산업단지를 유지하도록 하며, 이는 인구축소가 일어난 도심지역에서 유지하도록 설정하였다. 도시 레크리에이션과 환경문제 해결을 위하여 도시 내 녹지를 보다 확충하는 정책을 적용하였으며, 이와 동시에 기후변화 저감 및 적응정책 적용 시 생물다양성 훼손을 최소화하는 방향으로 시나리오를 설정하였다. 또한 이를 통하여 기존의 미사용 시가지지역이나, 나지는 도시재생을 위하여 도시녹지를 조성하는 것으로 설정하였으며, 이를 활용하여 도심지 내 생물의 서식처 및 코리더를 확보하는 것으로 설정하였다. 생물다양성 훼손은 최소화하는 것으로 시나리오를 작성하였으며, 이에 따라 갯벌 지역은 최대한 보전하는 것으로 설정하였다.

#### 4) 공간화 및 정량화 가능성 평가

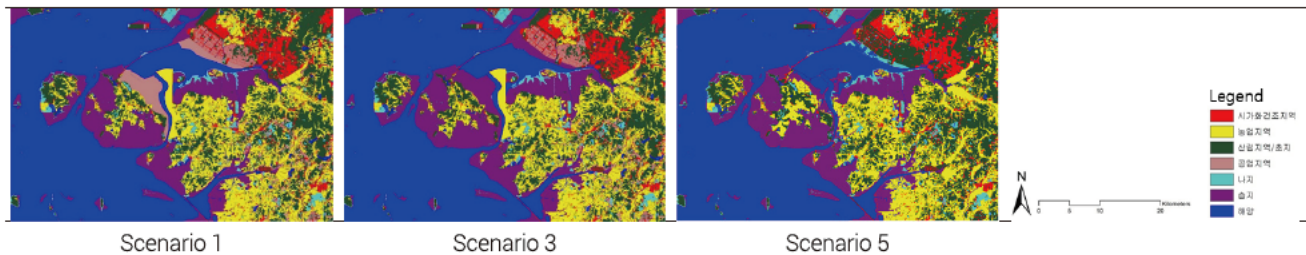
5개 시나리오 중 시나리오가정의 차이가 큰 3개 시나리오(1, 3, 5)의 스토리라인을 토대로 CLUE-s 모델에 적용하였으며, 결과는 <Table 4>와 같다.

압축도시를 가정한 시나리오3(생태도시)은 시나리오1(BAU)에 비해 시가지 건조지역 면적이 크게 감소하고, 나지가 소폭 감소, 산림지역 및 초지, 습지의 면적은 증가하는 것으로 나타났다. 시가지 건조지역에서 녹지로 변환된 지역이 증가하였으며, 생물다양성 및 생태계 보전을 위한 보전지역 확대를 가정함에 따라 산림지역 및 초지, 습지 면적이 증가된 것으로 판단되었다.

시나리오5(스마트 축소 도시)도 시나리오1(BAU)과 비교하여 시가지 건조지역 면적이 크게 감소하고, 농업지역은 소폭 감소하였다. 그에 비해 산림지역 및 초지는 크게 증가하고 나지, 습지,

Table 4. Future Land Use Change by Scenarios (unit: km<sup>2</sup>)

Categories	Scenario 1 (BAU)	Scenario 3 (Eco City)	Scenario 5 (Smart Compact City)
1 Urban areas	161.0	126.0	85.7
2 Agricultural areas	276.6	276.7	273.0
3 Forest / Grassland areas	275.3	280.8	325.9
4 Bare land	46.3	42.2	52.6
5 Wetland	223.8	257.3	236.4
6 Ocean	649.6	649.6	659.0
Sum	1,632.4	1,632.6	1,632.6



\*Source: Song et al.(2018)

해양 면적은 소폭 증가하였다. 이는 기존 시가화 건조지역 및 나 지가 최대한 녹지로 활용된다고 가정하였으며, 그에 따라 시가화 건조지역의 면적은 감소되고, 산림 및 초지는 증가하였다. 또한, 생물다양성 보전 정책을 통해 깃벌면적은 최대한 보전하고 해수면 상승으로 인한 해안 인근 지역 이용을 최소화하는 시나리오 설정 결과에 따라 습지와 해양 면적은 소폭 증가된 것으로 나타났다.

#### 4. 토지이용 시나리오 작성 시 논의사항

본 연구 결과를 토대로 토지이용 변화에 영향을 미치는 시나리오 작성 단계 중 목표 및 전략 설정, 서술적 시나리오(스토리라인) 작성을 위한 방법 및 체계는 다음과 같이 제안할 수 있다(Figure 4).

먼저, 관련 문헌의 분석 이외에도 전문가를 비롯한 시나리오의 최종 사용자가 될 이해관계자의 의견수렴을 통해 시나리오 개발을 위한 목표와 스토리라인 전략 방향을 설정한다. 스토리라인 전략은 토지이용 변화에 중점적으로 영향을 미치는 변수와 지역의 SWOT 분석 결과를 토대로 예측할 수 있는 방향을 설정한다. 다음으로 시나리오 방향별 대상 지역의 특성, 토지이용 변화에 대한 직간접적 영향(변수), 정량적 데이터 구축 가능성, 정책 등 공간적인 측면에 영향을 미치는 부분을 중심으로 미래 토지이용 변화를 예측하기 위한 스토리라인을 작성한다. 이렇게 작성된 스토리라인은 토지이용 변화 면적, 위치 등에 영향을 주고 정량화 결과의 확률을 높일 수 있으며, 정량화된 시나리오와의 통합 분석을 통해 최종 의사결정에 활용하게 된다.

시나리오를 작성할 때에는 변수 항목 이외에도 미래 인간 활동의 변화, 경제적 가치의 변화, 문화적 가치의 변화 등이 고려되어

야 하며, 이렇게 작성된 시나리오는 기후변화에 대한 영향 분석 뿐만 아니라 환경계획, 도시계획 등 공간을 다루는 분야에서는 다양하게 활용될 수 있을 것이다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 국토계획과 환경계획의 연동 이후 지역 단위에서 미래 변화를 예측하는 데 활용하기 위한 시나리오 작성 체계를 마련하고자 하였다.

안산시를 사례로 5가지의 미래 토지이용 시나리오를 작성하였으며, 작성된 시나리오의 공간화 가능성을 검토하였다. 이를 위해서 여러 나라의 생태계서비스 평가 문헌을 분석하였으며, 우리나라에 적용 가능한 평가변수들을 선정하였다. 변수 선정 과정에서 생태계의 가치뿐만 아니라 미래 인간 활동의 변화, 경제적 가치의 변화, 문화적 가치의 변화 등을 반영할 수 있는 변수를 고려하였다. 검토된 변수를 토대로 국가 및 광역지자체, 지자체 단위의 정책, 계획 보고서를 검토하여 안산시에 적용 가능한 요소들을 이용하여 지자체 단위에서 적용 가능한 시나리오를 작성하였다. 작성된 시나리오 중 차이가 큰 3개 시나리오의 스토리라인을 토대로 CLUE-s 모델에 적용하여 변화확률 등을 산출하고, 유전자알고리즘을 통해서 도출된 토지이용 변화 결과의 비교를 통해 공간화 가능성을 검토하였다.

본 연구의 한계는 기존 많은 연구에서는 국가 단위로 분석하여 지자체 단위의 시나리오 작성 및 DB 구축, 지자체 특성 반영 등이 어려웠다는 점이다. 그럼에도 불구하고 본 연구의 의의는 그동안 수행되지 않았던 기초지자체 단위에서의 토지이용 시나리

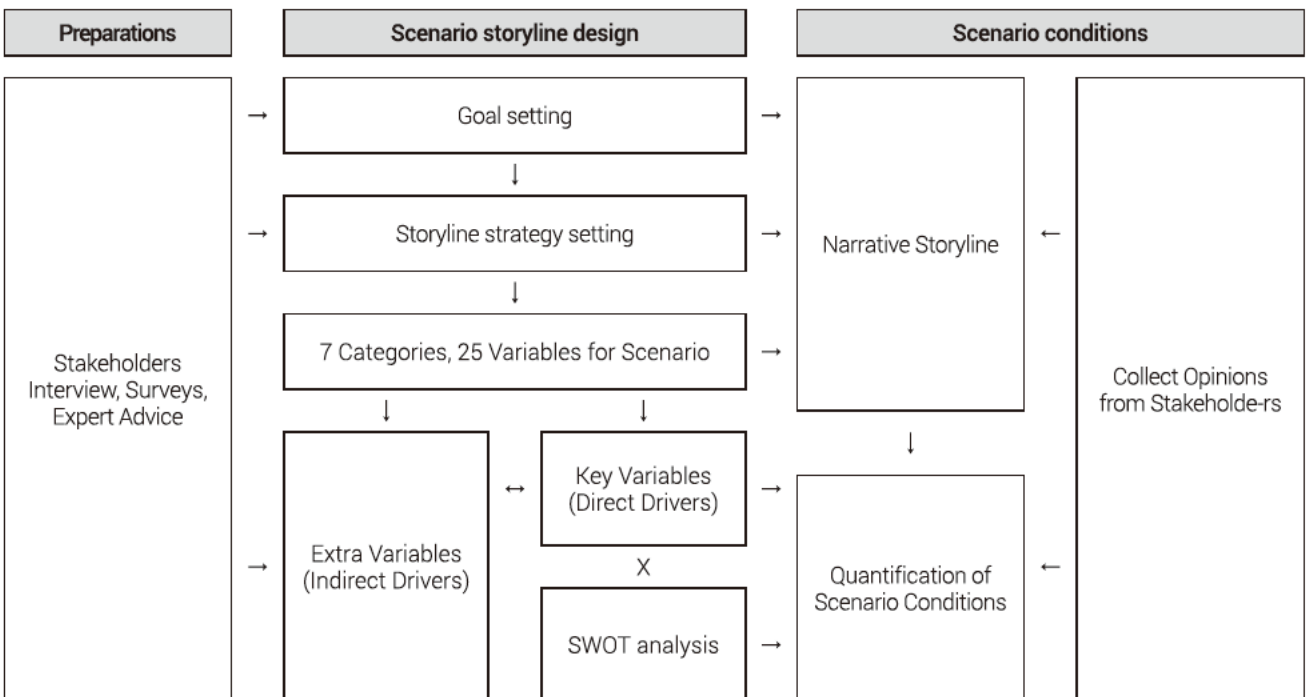


Figure 4. System for Scenario (Narrative Storyline)

오 작성을 위한 지표 선정 및 시나리오 구축 방법론을 제시하였다는 점으로 볼 수 있다. 향후 안산시 이외의 다른 지역에 추가 적용을 통한 일반화 과정이 필요하며, 시나리오 설정의 한계로 정책, 환경, 사회·문화적 여건 변화에 따른 불확실성을 감안한다면 더 많은 시나리오에 대한 분석이 요구된다. 또한, 시나리오 결과를 토대로 공간화하는 과정에서 결과의 객관성을 높이기 위한 후속 연구가 필요한 것으로 사료된다.

## 인용문헌 References

1. 국립생태원, 2016. “국가 생태계서비스 평가 가이드라인”, 서천. National Institute of Ecology, 2016. “A Guideline for Korea National Ecosystem Services Assessment”, Seocheon.
2. 국토교통부, 2010. “서해안권 발전종합계획”. 세종. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2010. “Comprehensive Development Plan for West-Coast Region”, Sejong.
3. 국토교통부, 2019. “제5차 국토종합계획”. 세종. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2019. “5th Comprehensive Plan for National Land”, Sejong.
4. 권영섭·사공호상·이상진·김선희·최혁재·박태선·박세훈·민성희·한우석, 2016. “제5차 국토종합계획 수립을 위한 기초연구”, 국토연구원. Kwon, Y.S., Sakong, H.S., Lee, S.G., Kim, S.H., Choi, H.J., Park, T.S., Park, S.H., Min, S.H., and Han, W.S., 2016. “Basic Researches for the Fifth Comprehensive National Territorial Plan”, Korea Research Institute for Human Settlements.
5. 김대중·임은선·김상조, 2011. “도시정책 시나리오에 따른 토지 이용변화 예측 연구”, 국토연구원. Kim, D.J., Lim, Y.S., and Kim, S.J., 2011. “Land Use Change Prediction Based on Urban Policy Scenarios”, Korea Research Institute for Human Settlements.
6. 김문모·김억기, 2014. “SLEUTH 모델을 이용한 기후변화에 따른 도시지역 침수분석”, 『한국방재학회논문집』, 14(3): 277-290. Kim, M.M. and Kim, Y.G., 2014. “Inundation Analysis of Urban Area Considering Climate Change Using SLEUTH Model”, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 14(3): 277-290.
7. 김현수·정주희·김유근, 2012. “미래 도시성장 시나리오에 따른 수도권 기후변화 예측 변동성 분석”, 『한국대기환경학회지』, 28(3): 261-272. Kim, H.S., Jeong, J.H., and Kim, Y.K., 2012. “Analysis of Climate Variability under Various Scenarios for Future Urban Growth in Seoul Metropolitan Area (SMA), Korea”, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 28(3): 261-272.
8. 박석두·오내원·채광석, 2014. “시화간척지 대송단지의 농업적 토지이용계획 수립”, 한국농촌경제연구원. Park, S.D., Oh, N.W., and Chae, K.S., 2014. “Agricultural Land Use Plan for Sihwa Reclaimed Land: Daesong Complex”, Korea Rural Economic Institute.
9. 송원경·김수련·김휘문·김성열·이동근·모용원·박진한·박운선·허한결·박찬·조민균, 2016. “생태계서비스 평가를 위한 시나리오 및 모델링 예비연구”, 국립생태원. Song, W.K., Kim, S.R., Kim, H.M., Kim, S.Y., Lee, D.K., Mo, Y.W., Park, J.H., Heo, H.K., Park, C., and Cho, M.K., 2016. “Basic Study on Scenario and Modeling for Ecosystem Service Assessment”. National Institute of Ecology.
10. 송원경·이동근·박찬·김휘문·김성열·형은정·박진한·박채연·성용기, 2018. “생태계서비스 평가를 위한 시나리오 설정 및 시범 적용”, 국립생태원. Song, W.K., Lee, D.K., Park, C., Kim, H.M., Kim, S.Y., Hyung, E.J., Park, J.H., Park, C.Y., and Sung, W.K., 2018. “Scenario Setting and Application for the Ecosystem Service Assessment”, National Institute of Ecology.
11. 안산녹색환경지원센터, 2016. “환경도시 안산실현을 위한 로드맵: 2030 생태도시 비전”. Ansan Green Environment Center. 2016. “Roadmap for Environmental City Ansan: 2030 Eco City Vision”.
12. 안산시, 2014a. “안산시 대송단지 생태환경조사 연구용역”. Ansan-si, 2014a. “Research for Ecological Environment Survey at Daesong Complex in Ansan-si”.
13. 안산시, 2014b. “민선6기 시정운영 4개년 기본계획 2014-2018”. Ansan-si, 2014b. “Administrative Plan 2014-2018”.
14. 안산시, 2015. “안산시 생물다양성 지역실천사업”. Ansan-si. 2015. “Regional Action Project for Biodiversity in Ansan-si”.
15. 이동근·류대호·김호걸·이상혁, 2011. “Dyna-CLUE 모델을 이용한 양평·여주 지역의 토지이용 변화 예측 및 평가”, 『한국환경복원기술학회지』, 14(6): 119-130. Lee, D.G., Ryu, D.H., Kim, H.G., and Lee, S.H., 2011. “Analyzing the Future Land Use Change and its Effects for the Region of Yangpyeong-gun and Yeosu-gun in Korea with the Dyna-CLUE Model”. *Journal of Korean Environmental Restoration Technology*, 14(6): 119-130.
16. 이상대·성영조·김희연·고재경·박은진·송상훈·이상훈·신원득, 2012. “경기도 종합계획(2012-2020)”, 경기연구원. Lee, S.D., Sung, Y.J., Kim, H.Y., Ko, J.K., Park, E.J., Song, S.H., Lee, S.H., and Shin, W.D., 2012. “Gyeonggi Comprehensive Plan 2012-2020”. Gyeonggi Research Institute.
17. 이수진·강식·김정훈·조성한·이승훈·전유나·이다겸·민선영, 2017. “제6차 경기도 권역 관광개발계획 수립 연구용역”, 경기연구원. Lee, S.J., Gang, S., Kim, J.H., Jo, S.H., Lee, S.H., Jun, Y.N., Lee, D.K., and Min, S.Y., 2017. “Research for Establishing the Sixth Gyeonggi-region Tourist Development Plan”, Gyeonggi Research Institute.
18. 이용관·조영현·김성준, 2016. “도시성장 시나리오와 CLUE-s 모형을 이용한 우리나라의 토지이용 변화 예측”, 『한국지리정보학회지』, 19(3): 75-88. Lee, Y.G., Cho, Y.H., and Kim, S.J., 2016. “Prediction of Land-Use Change Based on Urban Growth Scenario in South Korea Using CLUE-s Model”, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 19(3): 75-88.
19. 주우영·권혁수·장인영·배해진·정필모·방은주·김정인·김목영·서창완·최재천, 2016. “국가 생태계서비스 평가”, 국립생태원. Joo, W.Y., Kwon, H.S., Jang, I.Y., Bae, H.J., Jung, P.M., Bang, E.J., Kim, J.I., Kim, S., Seo, C.W., and Choe, J.C., 2016. “National Ecosystem Service Assessment”, National Institute of Ecology.
20. 환경부, 2007. “환경보전계획 수립지침”, 세종.

- Ministry of Environment, 2007. "Guidelines for Environmental Conservation Planning", Sejong.
21. 환경부, 2016a. "제4차 국가환경종합계획(2016-2035)". 세종.  
Ministry of Environment, 2016a. "The 4th Comprehensive Plan for National Environment(2016~2035)", Sejong.
  22. 환경부, 2016b. "제4차 지속가능발전기본계획". 세종.  
Ministry of Environment, 2016b. "The 4th Basic Plan for Sustainable Development", Sejong.
  23. 환경부, 2016c. "제2차 물환경관리기본계획". 세종.  
Ministry of Environment, 2016c. "The 2nd Basic Plan for Management of Water Environment", Sejong.
  24. 환경부, 2016d. "제3차 자연환경보전기본계획(2016-2025)", 세종.  
Ministry of Environment, 2016d. "The 3rd Basic Plan for Natural Environment Conservation (2016~2025)", Sejong.
  25. Abildtrup, J., Audsley, E., Fekete-Farkas, M., Giupponi, C., Gylling, M., Rosato, P., and Rounsevell, M., 2006. "Socio-economic Scenario Development for the Assessment of Climate Change Impacts on Agricultural Land Use: a Pairwise Comparison Approach", *Environmental Science & Policy*, 9(2): 101-115.
  26. CBD, 2011. "Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020 and the Aichi Targets", In Report of the Tenth Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity: Montreal, QC.
  27. IPBES, 2016a. "The Methodological Assessment Report on Scenarios and Models of Biodiversity and Ecosystem Services. Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services", Bonn: Germany.
  28. IPBES, 2016b. "Individual Chapters of the Methodological Assessment of Scenarios and Models of Biodiversity and Ecosystem Services (deliverable 3(c))".
  29. IPCC, 2014. "Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change".
  30. JSSA, 2010. "Satoyama – Satoumi Ecosystems and Human Well-being: Socio-ecological Production Landscapes of Japan – Summary for Decision Makers", United Nations University, Tokyo, Japan.
  31. Kok, K., Patel, M., Rothman, D.S., and Quaranta, G., 2006. "Multi-scale Narratives from an IA Perspective: Part II. Participatory Local Scenario Development", *Futures*, 38(3): 285-311.
  32. Liu, J., Tianxiang, Y., Hongbo, J., Qiao, W.(Eds.), 2005. *Integrated Ecosystem Assessment of Western China*, China Meteorological Press.
  33. Mahmoud, M., Liu, Y., Hartmann, H., Stewart, S., Wagener, T., Semmens, D., Stewart, R., Gupta, H., Dominguez, D., Dominguez, F., Hulse, D., Letcher, R., Rashleigh, B., Smith, C., Street, R., Ticehurst, J., Twery, M., Delden, H., Waldick, R., White, D., and Winter, L., 2009. "A Formal Framework for Scenario Development in Support of Environmental Decision-making", *Environmental Modelling & Software*, 24(7): 798-808.
  34. MEA(Millennium Ecosystem Assessment), 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*, World Resources Institute, Washington, DC.
  35. Moilanen, A., Kujala, H. and Leathwick, J.R., 2009. *The Zonation Framework and Software for Conservation Prioritization*, Oxford University Press Oxford, Oxford.
  36. NEA, U.K., 2011. *The UK National Ecosystem Assessment Technical Report*, UNEP-WCMC, Cambridge.
  37. Verburg, P.H., Schulp, C.J.E., Witte, N., and Veldkamp, A., 2006. "Downscaling of Land Use Change Scenarios to Assess the Dynamics of European Landscapes", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 114(1): 39-56.
  38. Westhoek, H.J., van den Berg, M., and Bakkes, J.A., 2006. "Scenario Development to Explore the Future of Europe's Rural Areas", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 114(1): 7-20.

Date Received	2020-04-20
Reviewed(1 <sup>st</sup> )	2020-07-14
Date Revised	2020-07-23
Reviewed(2 <sup>nd</sup> )	2020-08-07
Date Accepted	2020-08-07
Final Received	2020-08-25