

Research Paper

# 도시개발 시나리오에 따른 농업지역의 생태계서비스 변화 분석 - 3기 신도시 남양주 왕숙1지구를 대상으로 -

김수경\* · 최재연\* · 박 찬\*\* · 송원경\*\*\* · 김수련\*\*\*\*

서울시립대학교 일반대학원 조경학과\*, 서울시립대학교 도시과학대학 조경학과\*\*,  
단국대학교 환경원에·조경학부\*\*\*, 서울시립대학교 도시과학대학 도시공학과\*\*\*\*

## Changes of Ecosystem Services in Agricultural Area According to Urban Development Scenario

- For the Namyangju Wangsuk District 1, the 3rd Phase New Town -

Sukyoung Kim\* · Jaeyeon Choi\* · Chan Park\*\* · Wonkyong Song\*\*\* · Suryeon Kim\*\*\*\*

Department of Landscape Architecture, General Graduate School, University of Seoul\*  
Department of Landscape Architecture, College of Urban Sciences, University of Seoul\*\*  
School of Environmental Horticulture and Landscape Architecture, Dankook University\*\*\*  
Department of Urban Planning & Design, College of Urban Sciences, University of Seoul\*\*\*\*

**요약:** 현재 도시개발은 택지공급의 안정화를 위하여 지속적으로 진행되고 있다. 도시개발에 따른 토지이용 변화는 생태계서비스에 영향을 미치므로 다양한 도시 공간구조를 고려한 생태계서비스 평가의 중요성이 대두되고 있다. 그러나 도시개발에 의한 농업지역의 생태계서비스 변화를 고찰한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 도시개발에 따른 농업지역의 생태계서비스 변화를 분석하고, 향후 도시계획 단계의 의사결정 지원에 활용 가능성을 검토하는데 목적이 있다. 이를 위해 남양주 왕숙1지구를 대상으로 도시개발 전과 개발 후에 대한 시나리오를 설정하였으며, InVEST 모델을 활용하여 생태계서비스 변화를 비교 분석하였다. 도시개발 이전의 생태계서비스 분석결과, 서식처 질과 수자원공급량은 시간의 흐름에 따라 증가하는 양상이 나타난 반면, 탄소고정량과 작물생산량은 감소하는 것으로 나타났다. 도시개발 이후의 생태계서비스 분석결과, 시나리오별 생태계서비스는 모든 항목이 2018년 대비 감소하는 것으로 확인되었다. 도시개발 시나리오 가운데 압축도시는 수자원공급량의 가치가 가장 낮게 도출된 반면, 서식처 질, 탄소고정량, 작물생산량의 값은 가장 높게 도출되었다. 이러한 본 연구의 결과를 통하여 압축도시는 생태계서비스 측면에서 긍정적인 도시개발 시나리오로 판단되며, 향후 도시개발 및 관리계획 수립단계에서 정책적 의사결정 지원을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**주요어:** 도시화, 농업생태계, 공간계획, InVEST

First Author: Sukyoung Kim, Tel: +82-2-6490-5520, E-mail: soky0711@uos.ac.kr, ORCID: 0000-0002-4685-1041

Corresponding Author: Suryeon Kim, Tel: +82-2-6490-5520, E-mail: landsue20@uos.ac.kr, ORCID: 0000-0002-2326-432X

Co-Authors: Jaeyeon Choi, Tel: +82-2-6490-5520, E-mail: mmm9026@uos.ac.kr, ORCID: 0000-0001-5837-6279

Chan Park, Tel: +82-2-6490-2849, E-mail: chaneparkmomo7@uos.ac.kr, ORCID: 0000-0002-4994-6855

Wonkyong Song, Tel: +82-41-550-3636, E-mail: wksong@dankook.ac.kr, ORCID: 0000-0002-9130-7774

Received: 4 March, 2021. Revised: 1 April, 2021. Accepted: 9 April, 2021.

**Abstract:** Urban development is continuously being carried out to stabilize housing supply. The importance of ecosystem services assessments considering the various urban spatial structures is emerging as land use change in the wake of urban development has impact on the provision of ecosystem services. However, few studies are available as to the effects of land use transition in agricultural land due to urban development on ecosystem services. The purpose of this study is to examine the applicability of decision-making in the urban planning process by analyzing the impact of land use change on ecosystem services due to urban development. Therefore, the scenario was set on before and after the city development, targeting Namyangju Wangsuk Zone 1 and InVEST model was used to compare and analyze changes in value of ecosystem services. Analysis results of ecosystem services before the urban development, it turned out that habitat quality and water yield increased over time but carbon storage and crop production decreased. Analysis results of ecosystem services after the urban development indicated that all items in ecosystem services by scenario decreased more than in 2018. Among the scenarios of urban development, compact city had the lowest value of water resource supply but had the highest value in terms of habitat quality, carbon storage amount, and crop production. The study results demonstrate that the compact city has positive effects on ecosystem services and is expected to be used as the basic data for supporting policy decision-making in the establishment of future urban development and management plans.

**Keywords:** Urbanization, Agroecosystem, Spatial Planning, InVEST

## I. 서론

도시개발은 급격한 토지이용 변화를 초래하며, 토지이용의 변화가 인간에게 미치는 영향은 과거부터 계속해서 논의되어 왔다(Long et al. 2014; Quintas-Soriano et al. 2016). 2030년까지 인류가 나아가야 할 방향으로 UN의 지속가능발전목표가 만장일치로 확정되고(United Nations 2015), 목표의 이행 측면에서 생태계서비스에 대한 관심이 높아졌다(Wood et al. 2018). 이후 토지이용 변화가 생태계서비스에 미치는 영향을 분석한 많은 연구들이 등장하였다. 국내에서도 다양한 유형의 공간 변화가 생태계서비스에 미치는 영향을 분석한 연구가 계속되고 있으나(Kim 2014; Choi&Lee 2018), 농업지역의 도시화에 따른 영향을 함께 고려한 연구는 미흡한 실정이다.

국토의 15.59%를 농경지를 차지하는 우리나라의 경우(KOSIS, <https://kosis.kr/>), 농업지역의 도시화가 생태계서비스에 미치는 영향을 평가하는 것은 중요하다.

농업지역은 오랜 기간 사람과 자연이 상호작용을 하는 공간으로 다양한 생태계서비스를 제공해왔다.

인류의 생존에 필수적인 식량, 목재, 사료, 섬유 등의 공급, 수량 및 수질 정화, 대기정화, 기후조절, 기온 상승 억제 등 다양한 공공재 혜택을 제공하고 있다. 동시에 동·식물의 서식처를 제공하므로 생물다양성 보전을 위한 기능을 지지하고 있다. 특히, 도시 주변부의 농업지역은 도시민들에게 레크리에이션, 교육, 휴양 등 문화서비스를 제공한다는 이점을 지니고 있다(Swinton et al. 2007; Power 2010; MacPherson et al. 2020)

우리나라는 1960년대 이후 급속한 경제성장에 따라 난개발과 대도시화가 진행되었다. 국내 신도시 개발사업은 1980년대 후반 서울시 택지개발용지의 부족으로 인해 개발제한구역 외곽에 1기 신도시가 건설되었으며, 이후 2000년대 초반 과밀화된 수도권 해소와 주택수요 안정화를 도모하고자 2기 신도시가 건설되었다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, <https://www.molit.go.kr/>). 그리고 2018년, 정부는 수도권 주택공급 확대방안의 일환으로 남양주 왕숙, 하남 교산, 인천 계양 등을 포함한 3기 신도시 추진계획을 발표하였다. 이러한 도시 성장 속에 도시의 외연적 확산이 심화되어 농업지역은

지속적으로 잠식되고 있다. 실제로 전국 경지 면적은 지난 40년간(1980-2019년) 335,500 ha가 감소한 반면, 대지와 도로를 포함한 도시지역은 342,100 ha가 증가된 것으로 보고되었다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, <https://www.index.go.kr/>).

앞으로도 도시화는 3기 신도시 개발, 도시재생 등 다양한 수요로 인해 지속될 것으로 전망되며, 그 결과 도시 주변부에 위치한 농업지역의 잠식은 가속화 될 가능성이 높다. 따라서 보다 체계적이고 지속가능한 도시개발 대책 마련을 위해서는 계획 단계 이전부터 농업지역의 공간 변화가 미치는 생태계서비스 변화를 정량적으로 평가하는 과정이 필요하다.

이에 본 연구에서는 농업지역을 대상으로 도시개발에 따른 생태계서비스 가치 변화를 파악하고, 도시 계획수립 단계에서 의사결정에 활용 가능성을 검토해 보고자 한다.

## II. 연구방법

도시개발이 농업지역의 생태계서비스에 미치는 영향을 살펴보기 위해, 도시개발 이전의 생태계서비스 변화와 도시개발 이후의 생태계서비스의 차이를 비교하고자 하였다. 도시개발에 따른 생태계서비스 변화와 관련한 많은 연구에서 시나리오에 기반한 접근 방식을 택하고 있다(Sun et al, 2018; Mascarenhas et al, 2019; Choi et al, 2019). 이에 본 연구에서는

도시개발의 유형을 시나리오로 구성하고 각 시나리오별 생태계서비스를 분석한 결과를 비교하였다. 생태계서비스의 평가는 농업지역이 제공하는 생태계서비스 항목을 문헌고찰을 통해 선정하고 InVEST 모델을 이용하였다(Figure 1).

### 1. 연구대상지

본 연구는 남양주 왕숙1지구를 연구대상지로 선정하였다(Figure 2). 남양주 왕숙1지구는 경기도 남양주시 진접읍과 진건읍 일원에 위치하고 있으며, 왕숙천과 사릉천이 관통하는 분지형 지역이다. 남양주 왕숙1지구 주변에는 퇴피산, 덕암산, 문명산 등 생태공간이 인접하여 있다. 총 면적은 8,890 천 m<sup>2</sup>으로 지난 20년간 논, 밭, 시설재배지 등 다양한 형태의 농업 지역으로 활용되었으나, 3기 신도시개발지역으로 선정됨에 따라(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2018) 대규모 도시개발이 급속도로 진행되고 있다. 이에 남양주 왕숙1지구는 과거 농업지역 형태 변화에 따른 생태계서비스 변화와 도시개발에 따른 생태계서비스 변화를 함께 파악할 수 있다는 점에서 본 연구대상지로 선정하였다.

### 2. 도시개발 이전의 생태계서비스 변화 비교

도시개발 이전의 생태계서비스는 과거 시점 가운데 환경부에서 제공하는 중분류 토지피복도 제작시기를 기준으로, 논농사가 활발히 이루어진 2000년, 시설재배지로 농업 패러다임의 변화가 발생한 2009년,

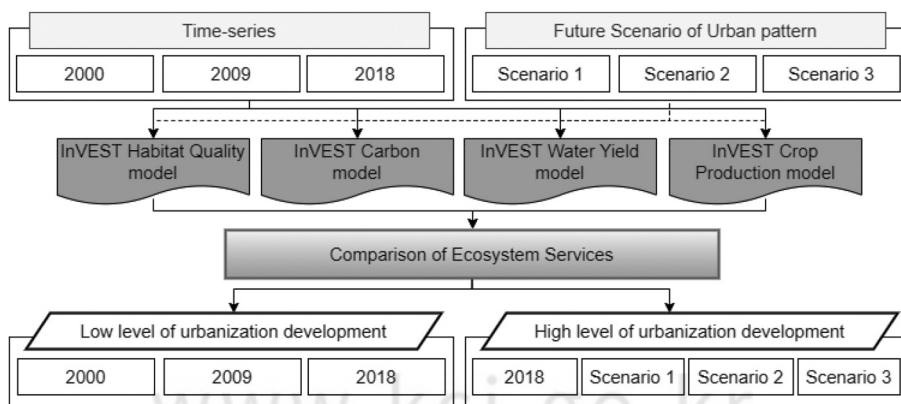


Figure 1. Framework.

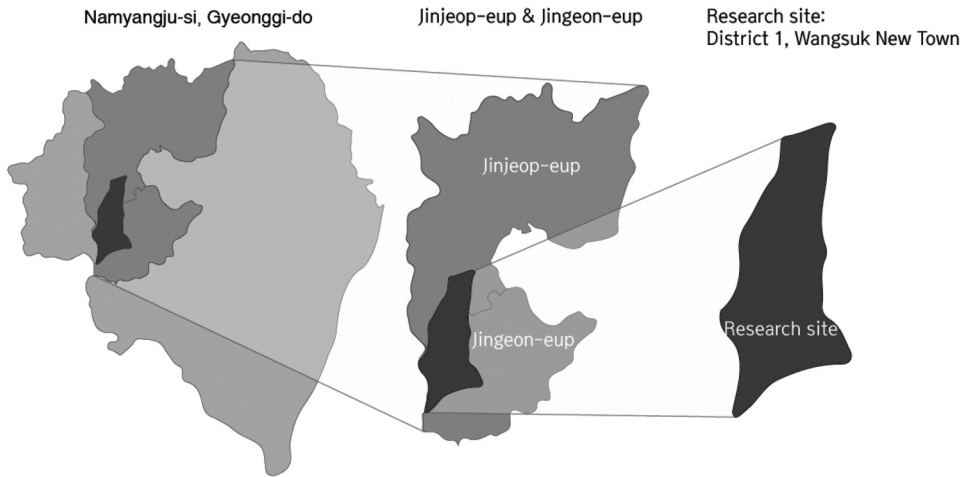


Figure 2. Study area.

도시 개발사업 시행 전년도인 2018년을 대상으로 시기별 생태계서비스 변화를 비교하였다. 자료 구축시기에 따라 상이한 분류체계는 2018년을 기준으로 재분류하여 사용하였다.

시기별 토지이용 변화를 살펴보면, 도시지역은 2000년 7.02%, 2009년 14.51%, 2018년 17.26%로 약 20년간 10.24% 증가하여 도시화가 점진적으로 진행되었다. 반면, 2000년 63.42%였던 농농사 지역이 2009년에는 2.32%로 감소하였으며, 시설재배지 면적은 44.97%까지 증가하였다. 2018년에는 농농사 지역이 1.26%이었으며, 시설재배지는 38.73%로 2009년과 유사한 농업 형태를 유지하였다. 시기별, 토지피복 유형별 면적은 Appendix 1에 나타내었다.

### 3. 도시개발 시나리오에 따른 생태계서비스 변화 비교

도시개발에 따른 생태계서비스 영향을 비교하기 위해 서로 다른 특징을 가진 3개의 시나리오를 설정

하였다.

시나리오 1(공생도시)은 남양주 왕숙1지구의 도시 개발 계획안으로 더불어 발전하는 공존과 공생도시라는 컨셉으로 계획되었다. 계획 내용을 토대로 연구에서는 다른 도시와의 광역교통축을 보유하고, 다른 시나리오 대비 높은 개발밀도와 불투수포장 정도를 가진다고 가정하였다. 시나리오 2(압축도시)는 시나리오 1의 광역교통축을 중심으로 상업지구 등을 배치하여 개발밀도를 높이고, 대상지 가장자리는 주변 자연 공간과 연계성을 높였다. 이는 개발밀도가 높고 불투수포장 정도가 낮은 공간적 특성을 보인다는 가정에 기반을 두고 있다. 시나리오 3(저밀도 개발도시)은 거주하는 도시민의 쾌적성을 확보하는 특징을 갖는 공간이다. 이는 개발밀도가 낮고 불투수포장 정도가 높은 특성을 가정하여 반영하였다.

시나리오별 세부 계획은 시나리오 1의 경우, 남양주 왕숙지구 토지이용구상안(Ministry of Land,

Table 1. Description of scenario assumptions

Division	Scenario 1 “Symbiotic City”	Scenario 2 “Compact City”	Scenario 3 “Low-Density City”
Development density	Create in a form of green areas permeate into the target areas	Increase the building-to-land ratio and place buildings in the center of target site	Floor area ratio of residential area decreases while area increases
Impervious pavement	Reflect Seoul’s ecological area ratio; review impervious pavement		
Transportation axis	Connect the green areas and streams around the target areas	Same main transport axes as Scenario 1, connect ecological axes based on transport axes	Maintain the ecological axis but reduce the scale

Infrastructure and Transport 2020)를 토대로 설정하였다. 다른 2개의 시나리오는 시나리오 1을 기준으로 개발밀도와 불투수율을 다르게 구성하였다. 시나리오 1 대비 주거지역과 인공녹지 비율을 약 10% 차이를 두어 시나리오 2, 3을 구성하였다. 환경부의 국토환경성평가지도, 『도시공원 및 녹지 등에 관한 법률』, 남양주 다산진건 지구단위계획(Namyangju 2018), 『남양주시 도시계획 조례』 등을 고려하여 적용하였다. 각 시나리오별 특징은 Table 1에서 정리하였다(Appendix 1).

#### 4. 생태계서비스 분석

##### 1) 평가항목 선정

선행연구를 바탕으로 농업지역에서 제공하는 주요 생태계서비스 항목을 검토한 결과, 식량공급 안정화(Sanderson et al. 2013; Bommarco et al. 2018; Shah et al. 2019), 효율적인 수자원공급(Palm et

al. 2014; Matios&Burney 2017), 생물다양성 보전(Duru et al. 2015; Verhagen et al. 2018), 기후조절 및 탄소고정(Swinton et al. 2007; Ribaud et al. 2010; Johnson et al. 2012) 등으로 도출되었다. 특히 농업지역에서 도시지역으로 전환됨에 따라 기후변화와 같은 인위적 교란에 대한 생태계의 회복력과 작물의 다양성이 감소하므로 기후조절, 식량공급, 생태계 및 생물다양성에 큰 영향을 미치는 것으로 파악되었다(Child et al. 2009; Cumming et al. 2014; Khoury et al. 2014). 따라서 본 연구에서는 농업지역의 대표적인 생태계서비스인 서식처 질, 탄소고정, 수자원공급, 작물생산을 평가항목으로 선정하였다.

##### 2) InVEST 모델을 활용한 생태계서비스 평가

InVEST 모델은 생태자산과 생태계서비스의 가치를 측정하기 위해 개발된 평가도구로 토지피복도에 기초하여 19개의 하위 항목을 모델링할 수 있다

Table 2. Data sources used as input for each model

Model	Input data	Format	Reference
Habitat Quality	Land-use/Land-cover	raster	Ministry of Environment; Ministry of Land, Infrastructure and Transport
	Threat rasters	raster	-
	Threat data	csv	Lee et al. 2015
	Sensitivity of land cover types to each threat	csv	Lee et al. 2015; Terrado et al. 2016
	Half-saturation constant	value	Sharp et al. 2020
Carbon	Land-use/Land-cover	raster	Ministry of Environment
	Carbon pools	csv	Lee et al. 2016
Water Yield	Precipitation	raster	KMA National Climate Data Center
	Reference Evapotranspiration	raster	KMA National Climate Data Center; Duffie&Beckman 1993
	Depth to root restricting layer	raster	Song et al. 2015
	Biophysical table	csv	
	Z parameter	value	
	Plant available water fraction	raster	Korean Soil Information System; Lee&Choi 2010
	Land-use/Land-cover	raster	Ministry of Environment; Ministry of Land, Infrastructure and Transport
Watersheds	shp	Water Resources Management Information System	
Crop Production	Directory to model data	-	-
	Land-use/Land-cover	raster	Ministry of Environment; Ministry of Land, Infrastructure and Transport
	Landcover to crop table	csv	Gyeonggi-do Agricultural Research&Extension Services 2019; EPIS 2019

(Sharp et al. 2020). 선정된 평가항목을 분석하기 위해서 본 연구에서는 InVEST ver 3.8.7 모델의 하위 네 가지 모델을 이용하였다. 모델별 입력자료는 Table 2와 같다.

서식처 질은 생물다양성 보전 상태를 반영하는 지표로(Sallustio et al. 2017), InVEST Habitat Quality 모델에서는 서식지와 위협요인 간의 관계를 고려하여 평가된다. 본 연구는 서식처 질을 분석한 Lee et al.(2015)의 연구를 참조하여 서식지에 대한 위협요인을 설정하였으며, 민감도는 Lee et al.(2015)과 Terrado et al.(2016), 반포화상수는 Sharp et al.(2020)의 값을 적용하여 평가하였다. 분석결과는 0에서 1 사이의 값으로 도출되며, 1에 가까울수록 서식지의 가치에 긍정적인 영향을 미치므로 생물다양성을 유지할 수 있음을 의미한다(Choi et al. 2019).

탄소고정량은 기후조절의 지표 가운데 하나로, 식생과 토양으로부터 흡수된 탄소는 기후변화를 완화 및 감축시키는 기능을 지닌다(Conte et al. 2011; Kim et al. 2019). InVEST Carbon 모델은 지상부 및 지하부 바이오매스, 토양, 고사유기물을 대상으로 탄소저장계수를 적용하여 탄소고정량을 추정한다. 이에 본 연구는 국내 현황에 맞게 탄소저장계수를 적용한 Lee et al.(2016)의 연구를 참조하여 InVEST Carbon 모델로 탄소고정량을 평가하였다.

수자원공급량은 지속가능한 생태계를 조성하는 대표적인 공급서비스 지표이다(Keeler et al. 2012). Water Yield 모델은 식생, 기상, 수문 현상과 관련한 입력자료를 토대로 연간 수자원공급량을 분석한다. 본 연구에서는 흙토람의 토양도와 Lee&Choi (2010)의 토성별 토양공극을 자료를 참조하여 식물이 이용가능한 수분함량 값을 적용하였으며, 국가수자원관리종합시스템(WAMIS)의 표준유역경계도를 활용하였다. 또한 국내 산림을 대상으로 연구한 Song et al.(2015)의 값을 참고하여 식생뿌리 깊이의 값, 생물물리학적 표, 계절적 요인을 선정하였다. 이와 함께 강수량은 시기별 기상청 방재기상관측(AWS)의 자료를 이용하였다. 기준증발산량은 이론적인 공식을 통하여 값을 추정하며, 전 세계적으로 FAO 56 Penman-Monteith 공식이 많이 활용되고

있다(Moon et al. 2013). 그러나 상대습도, 풍속, 증기압 등에 대한 기상정보가 제약적이므로 본 연구에서는 기온 자료만으로 높은 정확도를 보이는 Hargrevas 공식(1)을 사용하였다(Lee et al. 2008; Seo et al. 2019). 각 시기별 기준증발산량은 기상청의 기온 자료와 Duffie&Beckman([https://www.engr.scu.edu/~emaaurer/tools/calc\\_solar.cgi.pl](https://www.engr.scu.edu/~emaaurer/tools/calc_solar.cgi.pl))의 대기권 상층부 태양복사열의 자료를 이용하여 산출하였다.

$$ET_0 = 0.0023 \times RA \times (TC + 17.8) \times TD^{0.50} \quad (1)$$

\*RA = 대기권 상층부 태양복사열, TC = 일 평균기온,  
TD = 일 최고기온과 일 최저기온 간의 차이

작물생산량은 인류의 삶의 증진을 위해 필수적인 식량 공급원으로서 Crop Production 모델을 통해 재배작물의 종류와 위치를 기반으로 평가된다. 본 연구는 경기도 농업기술연구원의 경기도 농산물 생산분포 특성과 생산지도 자료를 참고하여 시설재배지와 노지에서 수확되고 있는 감자를 재배작물로 선정하였다. 도시개발 이전에 대한 생태계서비스 분석 시 토지피복 유형 가운데 농업지역에서 작물재배가 진행되었다고 가정하였다. 반면, 도시개발 이후는 농림수산식품교육문화정보원(EPIS, <https://www.modunong.or.kr:449/>)의 경기도 도시농업 유형별 면적 현황 자료를 참고하여 2018년 수준의 도시개발이 진행된다는 가정 하에, 남양주 왕숙1지구의 면적 수준으로 할당하여 평가하였다.

### III. 연구결과

#### 1. 도시개발사업 이전의 생태계서비스 변화 분석

2000년, 2009년, 2018년을 대상으로 도시개발사업 이전의 생태계서비스 변화를 분석한 결과와 같다(Table 3, Figure 3).

서식처 질은 2000년  $0.336 \pm 0.179$ 에서 2009년  $0.351 \pm 0.191$ 로 약 4.46% 향상되었으며, 2018년  $0.341 \pm 0.199$ 로 2009년 대비 약 2.85% 감소한 것으로 나타났다.

탄소고정량은 2000년 66,709.49 Mg of C에서

Table 3. Results of ecosystem services data-before urban development

Division	2000	2009	2018
Habitat Quality (unitless)	0.336 ± 0.179	0.351 ± 0.191	0.341 ± 0.199
Carbon Storage (unit: Mg of C)	66,709.49	51,728.99	48,046.81
Water Yield (unit: m <sup>3</sup> )	8,441,891.84	9,285,117.70	9,843,280.63
Crop Production (unit: ton)	16,410.92	14,696.42	12,354.92

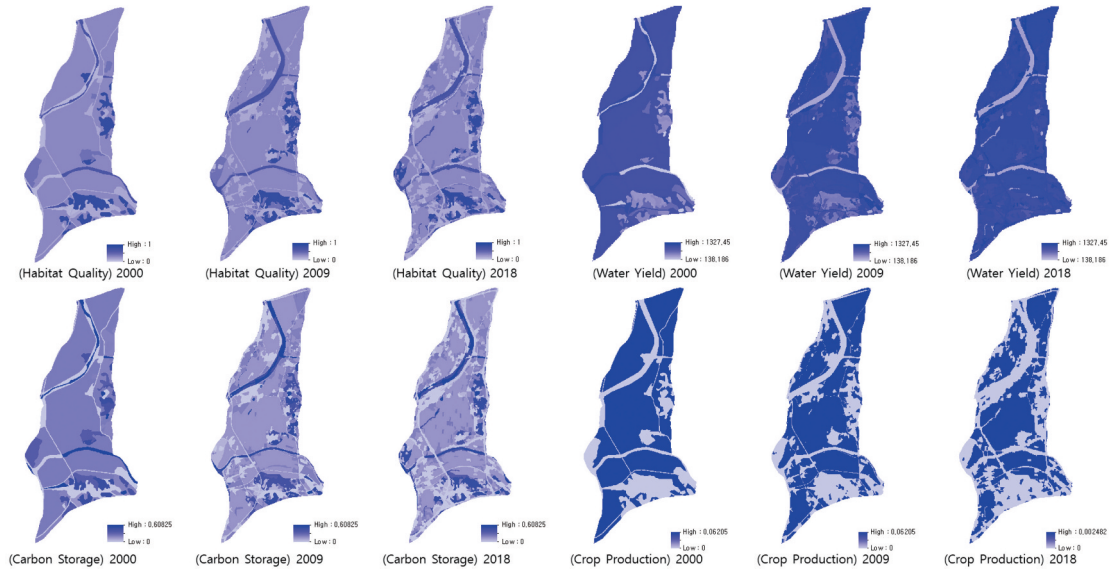


Figure 3. Map of ecosystem services-before urban development.

2009년 51,728.99 Mg of C로 약 22.46% 감소하였으며, 2018년 48,046.81 Mg of C로 2009년 대비 약 7.12% 감소한 것으로 도출되었다.

수자원공급량은 2000년 8,441,891.84 m<sup>3</sup>에서 2009년 9,285,117.70 m<sup>3</sup>로 약 9.99% 향상되었으며, 2018년 9,843,280.63 m<sup>3</sup>로 2009년 대비 약 6.01% 증가된 것으로 분석되었다.

작물생산량은 2000년 16,410.92 ton에서 2009년 14,696.42 ton으로 약 10.45% 감소하였으며, 2018년 12,354.92 ton으로 2009년 대비 약 15.93% 감소한 것으로 나타났다.

## 2. 도시개발사업 이후의 생태계서비스 변화 분석

도시개발 시나리오인 공생도시(시나리오 1), 압축도시(시나리오 2), 저밀도 개발도시(시나리오 3)를 적용하여 생태계서비스를 평가한 결과는 Table 4,

Figure 4에 제시하였다.

시나리오 1의 생태계서비스 분석 결과, 서식처 질은 0.283±0.182로 2018년 대비 약 17.01% 감소한 것으로 나타났다. 탄소고정량은 19,786.25 Mg of C로 2018년 대비 약 58.82% 감소한 것으로 도출되었다. 수자원공급량은 8,670,765.18 m<sup>3</sup>으로 2018년 대비 약 11.91% 감소한 것으로 분석되었다. 작물생산량은 8.08 ton으로 2018년 대비 약 99.93% 감소한 것으로 나타났다.

시나리오 2에서는 서식처 질은 0.322±0.178로 2018년 대비 약 5.57% 감소한 것으로 나타났다. 탄소고정량은 22,038.34 Mg of C로 2018년 대비 약 54.13% 감소한 것으로 도출되었다. 수자원공급량은 8,601,304.97 m<sup>3</sup>으로 2018년 대비 약 12.62% 감소한 것으로 분석되었다. 작물생산량은 8.13 ton으로 2018년 대비 약 99.93% 감소한 것으로 나타났다.

Table 4. Results of ecosystem services data-after urban development

Division	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Habitat Quality (unitless)	0.283 ± 0.182	0.322 ± 0.178	0.253 ± 0.178
Carbon Storage (unit: Mg of C)	19,786.25	22,038.34	17,247.83
Water Yield (unit: m <sup>3</sup> )	8,670,765.18	8,601,304.97	8,632,622.02
Crop Production (unit: ton)	8.08	8.13	8.07

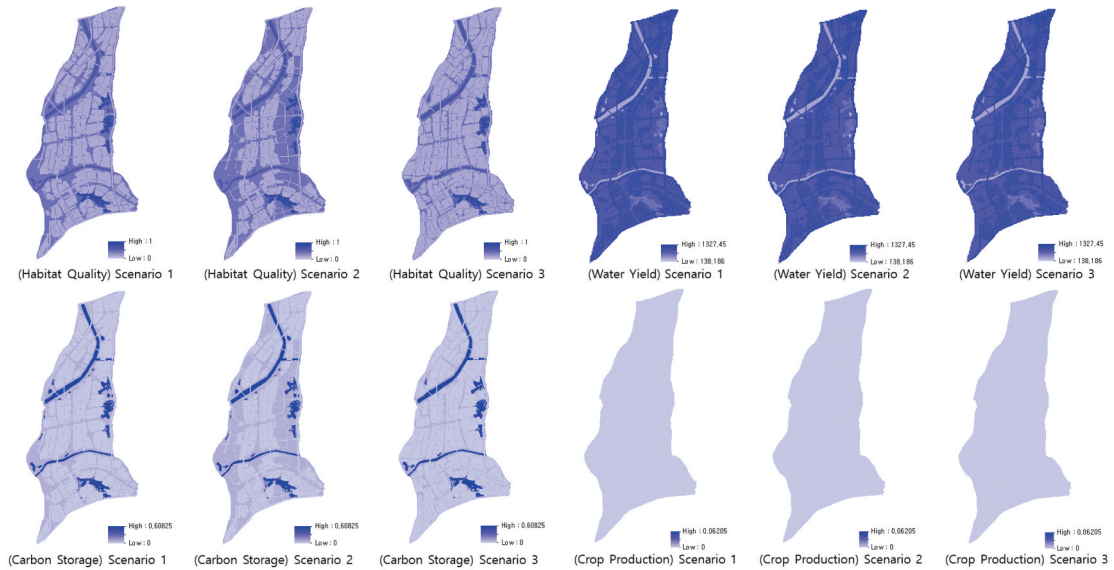


Figure 4. Map of ecosystem services-after urban development.

시나리오 3의 서식처 질은  $0.253 \pm 0.178$ 로 2018년 대비 약 25.81% 감소한 것으로 나타났다. 탄소고정량은 17,247.83 Mg of C로 2018년 대비 약 64.10% 감소한 것으로 도출되었다. 수자원공급량은 8,632,622.02 m<sup>3</sup>으로 2018년 대비 약 12.30% 감소한 것으로 분석되었다. 작물생산량은 8.07 ton으로 2018년 대비 약 99.93% 감소한 것으로 나타났다.

도시개발 시나리오 간의 생태계서비스를 살펴보면, 시나리오 2는 시나리오 1 대비 서식처 질 약 13.78%, 탄소고정량 약 11.38%, 작물생산량 약 0.62%가 향상되었으며, 수자원공급량은 약 0.80% 감소하는 것으로 나타났다. 반면 시나리오 3은 시나리오 1 대비 서식처 질 약 10.6%, 탄소고정량 약 12.83%, 수자원공급량 약 0.44%, 작물생산량 약 0.12% 감소하여 모든 생태계서비스 분석 항목에서 낮아진 것으로 나타났다.

## IV. 논의

### 1. 농업지역의 도시화가 생태계서비스에 미치는 영향

농업지역이 도시화로 전환되는 과정에서 생태계로부터 직접 얻은 소득 감소, 문화서비스에 대한 지불의사 증가 등의 변화를 발생시켜 자연생태계와 인간 모두에게 영향을 미친다(Cumming et al. 2014). 이러한 생태계서비스의 영향은 본 연구의 분석을 통해 농업지역의 도시화 방향에 따라 다르게 나타났다(Figure 5).

도시개발 이전의 생태계서비스 가치는 2000년 대비 2018년의 탄소고정 기능은 약 27.98%, 작물생산 기능은 약 24.72% 약화된 것으로 도출되었다. 반면, 서식처 질은 약 1.49% 향상되는 양상이 나타났다. 서식처 질이 증가된 것은 약 20년간 경작지로 이용되던 공간이 생물 서식지 혹은 위협강도가 낮은 다른 요인

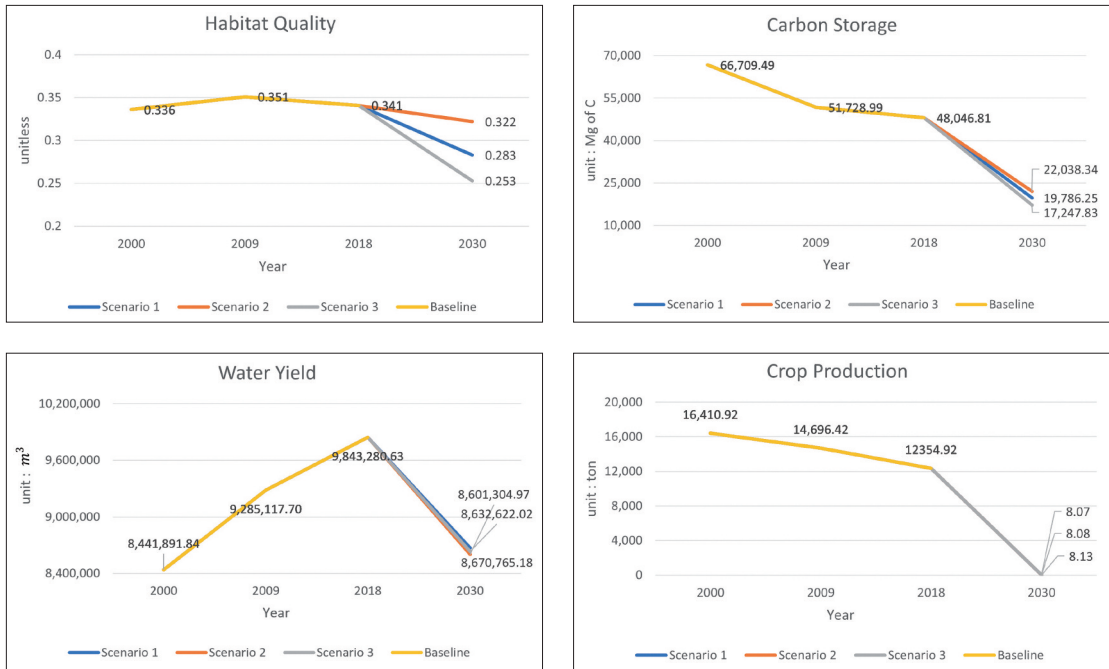


Figure 5. Changes in ecosystem services associated to urbanization (2000-2030).

으로 전환되었기 때문으로 사료된다. 또한 수자원공급 기능은 약 16.60% 증가하였는데, 이는 Li et al. (2018)의 연구결과와 유사하게 도시화가 점진적으로 진행되는 과정에서 불투수 포장면이 증가함에 따라 토양 내 수분 침투율이 감소하여 결과값이 높아진 것으로 판단된다.

도시개발 이후의 생태계서비스 가치는 2018년 대비 모든 항목에서 감소하였다. 서식처 질은 최대 약 25.81%, 탄소고정 기능은 최대 약 64.10% 약화된 것으로 나타났다. 특히, 수자원공급량은 도시개발 이전의 수자원공급량과 달리 도시화로 토지이용이 크게 변화되었음에도 불구하고, 2018년 대비 최대 약 12.62% 감소한 것으로 도출되었다. 이는 불투수면적 증가와 함께 인공초지가 급격하게 증가하여 식생의 증산작용으로 인해 수자원공급량이 감소한 것으로 판단된다. 또한 작물생산 기능은 최대 약 99.93%까지 약화된 것으로 나타났다. 농업지역의 생태계서비스 중 가장 중요한 것은 식량, 연료의 공급이며, 생태경제학적 측면에서 잠재력이 높은 지역으로 다루어지고 있다(Dale&Polasky 2007). 과거에는 경제적 이익과

개발의 편의성, 공간의 효율성 등을 우선으로 고려하여 도시와 농업지역을 분리하여 개발하였다. 그러나 도시개발 이후에도 농업지역의 기존 기능, 생태계서비스 혜택을 유지하기 위해서는 추가적인 에너지와 자원의 활용이 필요하다. 이를 보완하기 위하여 최근에는 다시 도시민의 삶의 질 향상을 위한 대안으로서 도시농업이 제안되는 등 도시와 농업지역을 함께 고려하는 방식으로 전환되고 있다. 이에 도시개발에 따른 생태계서비스 가치 변화와 공간적 특성 등이 대안 설정 시 고려될 필요가 있다.

## 2. 의사결정의 활용 가능성 검토

미래 토지이용 변화는 모두 2018년 대비 생태계서비스에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 생태계서비스 측면에서 우수한 시나리오를 확인할 수 있었다.

수자원공급량은 시나리오 1에서 가장 높게 도출되었다. 이러한 수자원 공급의 증가는 유출계수를 증가시키므로 수자원 이용 측면에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 이에 시나리오 1에서는 생물의 성장과 가뭄,

홍수 등의 이상기후를 대응하기 위한 수문관리 방안이 함께 고려되어야 할 것으로 판단된다. 한편 서식처 질, 탄소고정량, 작물생산량 모두 시나리오 2에서 가장 높은 가치를 지닌 것으로 확인되었다. 개발 시 도시 공간구조를 시나리오 1에서 시나리오 2의 형태로 조정하는 경우, 서식처 질이 약 13.78%, 탄소고정 기능이 약 11.38% 작물생산 기능이 약 0.62% 보완될 것으로 판단된다. 생태계서비스의 부정적인 영향을 최소화하는 입장에서 시나리오 2의 개발방식은 가장 적합하며, 향후 도시개발 방향을 설정함에 있어 도시 성장 및 공간구조 방식의 의사결정이 가능한 것으로 볼 수 있다.

평가항목별 세부 영향인자를 살펴보면, 서식처 질은 도시지역의 면적과 배치된 공간적 특성, 탄소고정량은 계획된 녹지 면적과 구조, 수자원공급량은 토지 피복 투수 상태, 작물생산량은 작물 재배 공간의 확보 여부 등에 따라 시나리오별 평가 결과값의 차이를 보였다. 이 결과는 도시개발 시 대상지의 생태계서비스 항목별 주요 기능을 유지 또는 향상시키는 도시 공간계획을 위한 전략으로 활용 가능하다고 사료된다.

전 세계 인구의 55%(United Nations Department of Economic and Social Affairs 2019)가 도시에 거주하고 계속해서 확장, 개발되고 있다. 많은 선행연구에서 토지피복 및 토지이용 변화는 생태계서비스 기능에 큰 영향을 미치며, 생태계서비스를 감소시킬 것으로 예상하고 있다(Foley et al. 2005; Schröter et al. 2005). 하지만 본 연구에서 도출된 결과를 토대로 살펴볼 때, 공간계획에 따라 생태계서비스에 미치는 부정적 영향을 조절할 수 있을 것으로 판단된다. 토지이용 변화가 생태계서비스에 미치는 영향을 최소화하기 위해서는 개발사업 이전에 검토될 필요가 있으며, 이에 대한 실효성을 부여하기 위하여 국내 환경영향평가 제도와 연계한 법제화가 필요하다.

## V. 결론

본 연구는 농업지역에서 도시개발이 진행 중인 남양주 왕숙1지구를 대상으로 도시개발 전후를 고려한 시나리오를 설정하고, InVEST 모델을 활용하여 시

나리오별 생태계서비스 가치 변화를 분석하였다.

연구결과, 농업지역의 생태계서비스는 도시화로 인해 감소하는 경향을 보였으며, 점진적인 도시화가 진행됨에 따라 서식처 질과 수자원공급량은 증가하는 것으로 확인하였다. 한편, 도시개발 시나리오별 생태계서비스 가치가 도시계획 방향에 따라 부정적인 영향의 수준을 조절할 수 있을 것으로 확인되었다. 시나리오 중에서는 압축도시(시나리오 2)의 생태계서비스 가치가 높게 도출되었다.

본 연구는 도시 공간구조를 고려한 시나리오별 생태계서비스의 정량적 평가를 시도하고, 도시개발 시 생태계서비스 영향을 완화하기 위한 대안을 제시하였다는 점에 의의가 있다.

그럼에도 불구하고 본 연구에서는 도시개발 유형을 3개로 한정하여 제한적인 시나리오를 사용하였으며, 활용 모델의 특성상 토지피복도 기반으로 생태계서비스 가치를 분석한 한계가 있다. 향후 다양한 시나리오를 적용하며 3차원의 도시 공간구조를 고려한 연구가 진행된다면, 연구결과의 활용도가 높아질 것으로 기대된다.

## 사사

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 도시생태 건강성 증진 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2019002760001).

## References

- Bommarco R, Vico G, Hallin S. 2018. Exploiting ecosystem services in agriculture for increased food security. *Global Food Security* 17: 57-63.
- Child MF, Cumming GS, Amano T. 2009. Assessing the broad-scale impact of agriculturally transformed and protected area landscapes on avian taxonomic and functional richness. *Biological Conservation*

- 142(11): 2593-2601.
- Choi J, Lee S. 2018. Evaluation of Ecosystem Service for Distribution of Korean fir using InVEST Model. *Journal of Environmental Impact Assessment* 27(2): 181-193. [Korean Literature]
- Choi J, Lee Y, Lee S. 2019. A Study on the Ecosystem Services Value Assessment According to City Development: In Case of the Busan Eco-Delta City Development. *Journal of Environmental Impact Assessment* 28(5), 427-439. [Korean Literature]
- Conte M, Nelson E, Carney K, Fissore C, Nasser O, Plantinga AJ, Stanley B, Rickett T. 2011. Terrestrial carbon sequestration and storage. Edited by: Kareiva P, Tallis H, Ricketts T, Daily G, Polasky S. *Natural capital: theory and practice of mapping ecosystem services*. New York: Oxford University Press: pp. 111-128.
- Cumming GS, Buerkert A, Hoffmann EM, Schlecht E, Cramon-Taubadel S Von, Tschamtko T. 2014. Implications of agricultural transitions and urbanization for ecosystem services. *Nature* 515(7525): 50-57.
- Dale VH, Polasky S. 2007. Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services. *Ecological Economics* 64(2): 286-296.
- Duffie & Beckman [Internet]. extraterrestrial solar radiation: [cited: 2020 Nov 19]. Available from: [https://www.engr.scu.edu/~emaurer/tools/calc\\_solar.cgi.pl](https://www.engr.scu.edu/~emaurer/tools/calc_solar.cgi.pl)
- Duru M, Therond O, Martin G, Martin-Clouaire R, Magne MA, Justes E, Journet EP, Aubertot JN, Savary S, Bergez JE, Sarthou JP. 2015. How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 35(4): 1259-1281.
- EPIS(Korea Agency of Education, Promotion & Information Service in Food, Agriculture, Forestry & Fisheries) [Internet]. urban agriculture status (2019): [cited: 2020 Dec 10]. Available from: <https://www.modunong.or.kr:449/contents/bbs/bbsView.do?menuNo=41&bbsId=1150&bbsSeq=18&pageIndex=1&pageUnit=10&searchCondition=all&searchKeyword=>
- Foley JA, DeFries R, Asner GP, Barford C, Bonan G, Carpenter SR, Chapin FS, Coe MT, Daily GC, Gibbs HK, Helkowski JH, Holloway T, Howard EA, Kucharik CJ, Monfreda C, Patz JA, Prentice IC, Ramankutty N, Snyder PK. 2005. Global consequences of land use. *Science* 309(5734): 570-574.
- Gyeonggi-do Agricultural Research&Extension Services. 2019. Distribution and production map of agricultural products in Gyeonggi-do.
- Johnson KA, Polasky S, Nelson E, Pennington D. 2012. Uncertainty in ecosystem services valuation and implications for assessing land use tradeoffs: An agricultural case study in the Minnesota River Basin. *Ecological Economics* 79: 71-79.
- Keeler BL, Polasky S, Brauman KA, Johnson KA, Finlay JC, O'Neill A, Kovacs K, Dalzell B. 2012. Linking water quality and well-being for improved assessment and valuation of ecosystem services. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109(45): 18619-18624.
- Khoury CK, Bjorkman AD, Dempewolf H, Ramirez-Villegas J, Guarino L, Jarvis A, Rieseberg LH, Struik PC. 2014. Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security. *Proceedings*

- of the National Academy of Sciences of the United States of America 111(11): 4001-4006.
- Kim I, Kim S, Lee J, Kwon H. 2019. Categorization of Cities in Gyeonggi-do Using Ecosystem Service Bundles. *Journal of Environmental Impact Assessment* 28(3): 201-214. [Korean Literature]
- Kim JE. 2014. The Value of Ecosystem Services based on Land Use in Shinangun, Jeonnam, Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment* 47(3): 202-213. [Korean Literature]
- KOSIS (Statistics Korea) [Internet]. Agricultural Land Area: [cited: 2021 Feb 27]. Available from: [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT\\_1EB001&language=en&conn\\_path=I3](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1EB001&language=en&conn_path=I3)
- Lee CH, Kwak SY, Kim CK, Bae HJ, Suh YW, Ahn SE, Gang WM, Kim JE, Shin JW. 2016. An Integrated Approach to Environmental Valuation. Korea Environment Institute. [Korean Literature]
- Lee HW, Kim CK, Hong HJ, Roh YH, Kang SI, Kim JH, Shin SC, Lee SJ, KIM TY, Kang JY, Wood S, Fisher D. 2015. Development of Decision Supporting Framework to Enhance Natural Capital Sustainability: Focusing on Ecosystem Service Analysis. Korea Environment Institute. [Korean Literature]
- Lee JY, Choi HY. 2010. Soil Management and Practice. Korea Turfgrass Research Institute: p. 187. [Korean Literature]
- Lee KH, Park JH. 2008. Calibration of the Hargreaves Equation for the Reference Evapotranspiration Estimation on a Nation-Wide Scale. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, B. 28(6B): 675-681. [Korean Literature]
- Lee SH, Kim JK. 2014. Study on the Method of Urban Planning for Adaptation. *Journal of Climate Change Research* 5(3): 257-266. [Korean Literature]
- Li S, Yang H, Lacayo M, Liu J, Lei G. 2018. Impacts of land-use and land-cover changes on water yield: A case study in Jing-Jin-Ji, China. *Sustainability* 10(4): 1-16.
- Long H, Liu Y, Hou X, Li T, Li Y. 2014. Effects of land use transitions due to rapid urbanization on ecosystem services: Implications for urban planning in the new developing area of China. *Habitat International* 44: 536-544.
- MacPherson J, Paul C, Helming K. 2020. Linking ecosystem services and the SDGs to farm-level assessment tools and models. *Sustainability* 12(16): 1-19.
- Mascarenhas A, Haase D, Ramos TB, Santos R. 2019. Pathways of demographic and urban development and their effects on land take and ecosystem services: The case of Lisbon Metropolitan Area, Portugal. *Land Use Policy* 82: 181-194.
- Matios E, Burney J. 2017. Ecosystem Services Mapping for Sustainable Agricultural Water Management in California's Central Valley. *Environmental Science and Technology* 51(5): 2593-2601.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport [Internet]. Area by Land Category: [cited: 2020 Dec 10]. Available from: [https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx\\_cd=2728](https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=2728)
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport [Internet]. New Town Project and Construction Status: [cited: 2020 Dec 21]. Available from: [https://www.molit.go.kr/USR/policyData/m\\_34681/dtl?id=522](https://www.molit.go.kr/USR/policyData/m_34681/dtl?id=522)

- Moon JW, Jung CG, Lee DR. 2013. Parameter Regionalization of Hargreaves Equation Based on Climatological Characteristics in Korea. *Journal of Korea Water Resources Association* 46(9):933-946. [Korean Literature]
- Palm C, Blanco-Canqui H, DeClerck F, Gater L, Grace P. 2014. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 187: 87-105.
- Power AG. 2010. Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365(1554): 2959-2971.
- Quintas-Soriano C, Castro AJ, Castro H, Garcia-Llorente M. 2016. Impacts of land use change on ecosystem services and implications for human well-being in Spanish drylands. *Land Use Policy* 54: 534-548.
- Ribaudo M, Greene C, Hansen LR, Hellerstein D. 2010. Ecosystem services from agriculture: Steps for expanding markets. *Ecological Economics* 69(11): 2085-2092.
- Sallustio L, De Toni A, Strollo A, Di Febbraro M, Gissi E, Casella L, Geneletti D, Munafò M, Vizzarri M, Marchetti M. 2017. Assessing habitat quality in relation to the spatial distribution of protected areas in Italy. *Journal of Environmental Management* 201: 129-137.
- Sanderson MA, Archer D, Hendrickson J, Kronberg S, Liebig M, Nichols K, Schmer M, Tanaka D, Aguilar J. 2013. Diversification and ecosystem services for conservation agriculture: Outcomes from pastures and integrated crop-livestock systems. *Renewable Agriculture and Food Systems* 28(2): 129-144.
- Schroter D, Cramer W, Leemans R, Prentice IC, Araujo MB, Arnell NW, Bondeau A, Bugmann H, Carter TR, Gracia CA, De La Vega-Leinert AC, Erhard M, Ewert F, Glendining M, House JI, Kankaanpää S, Klein RJT, Lavorel S, Lindner M., Metzger MJ, Meyer J, Mitchell TD, Reginster I, Rounsevell M, Sabate S, Sitch S, Smith B, Smith J, Smith P, Tuck G. 2005. Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science – AAAS* 310(5752): 1333-1337.
- Seo YH, Lim SJ, Heo SJ, Yoon BS, Hong SY, Park YH, Hong DK. 2019. Modification of Hargreaves Equation Coefficient to Estimate Reference Evapotranspiration in Gangwondo. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 52(1):1-10. [Korean Literature]
- Shah SM, Liu G, Yang Q, Wang X, Casazza M, Agostinho F, Lombardi GV, Giannetti B. 2019. Emergy-based valuation of agriculture ecosystem services and dis-services. *Journal of Cleaner Production* 239: 118019.
- Sharp R, Douglass J, Wolny S, Arkema K, Bernhardt J, Bierbower W, Chaumont N, Denu D, Fisher D, Glowinski K, Griffin R, Guannel G, Guerry A, Johnson J, Hamel P, Kennedy C, Kim CK, Lacayo M, Lonsdorf E, Mandle L, Rogers L, Silver J, Toft J, Verutes G, Vogl AL, Wood S, Wyatt K. 2020. InVEST 3.8.7.post480 + invest.g77102ea7 User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.
- Song CH, Lee WK, Choi HA, Jeon SW, Kim JU, Kim JS, Kim JT. 2015. Application of InVEST Water Yield Model for Assessing Forest Water Provisioning Ecosystem

- Service. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 18(1): 120-134. [Korean Literature]
- Sun X, Crittenden JC, Li F, Lu Z, Dou X. 2018. Urban expansion simulation and the spatio-temporal changes of ecosystem services, a case study in Atlanta Metropolitan area, USA. Science of the Total Environment 622-623: 974-987.
- Swinton SM, Lupi F, Robertson GP, Hamilton SK. 2007. Ecosystem services and agriculture: Cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits. Ecological Economics 64(2): 245-252.
- Terrado M, Sabater S, Chaplin-Kramer B, Mandle L, Ziv G, Acuna V. 2016. Model development for the assessment of terrestrial and aquatic habitat quality in conservation planning. Science of the Total Environment 540: 63-70.
- United Nations Department of Economic and Social Affairs. 2019. World Urbanization Prospects 2018: Highlights.
- United Nations. 2015. Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development.
- Verhagen W, Van der Zanden EH, Strauch M, Van Teeffelen AJA, Verburg PH. 2018. Optimizing the allocation of agri-environment measures to navigate the trade-offs between ecosystem services, biodiversity and agricultural production. Environmental Science and Policy 84: 186-196.
- Wood SLR, Jones SK, Johnson JA, Brauman KA, Chaplin-Kramer R, Fremier A, Girvetz E, Gordon LJ, Kappel CV, Mandle L, Mulligan M, O'Farrell P, Smith WK, Willemen L, Zhang W, DeClerck FA. 2018. Distilling the role of ecosystem services in the Sustainable Development Goals. Ecosystem Services 29: 70-82.

Appendix 1. Land use area and proportion under different scenarios (area unit: 1000 m<sup>2</sup>)

LULC classification		2000		2009		2018		Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3	
		area	rate (%)	area	rate (%)	area	rate (%)	area	rate (%)	area	rate (%)	area	rate (%)
Used Area	Residential	324	3.65	458	5.15	174	1.96	1,707	19.21	854	9.61	2,745	30.88
	Industrial	-	-	304	3.42	202	2.27	-	-	-	-	-	-
	Commercial	3	0.03	152	1.71	433	4.87	1,704	19.17	1,545	17.38	1,572	17.68
	Cultural, Sports, Recreational	-	-	11	0.12	6	0.07	-	-	-	-	150	1.69
	Transportation	297	3.34	345	3.88	716	8.05	1,485	16.70	1,420	15.97	1,472	16.56
	Public Facilities	-	-	21	0.23	3	0.03	402	4.52	210	2.37	333	3.75
Agricultural Land	Paddy	5,638	63.42	206	2.32	112	1.26	-	-	-	-	-	-
	Field	683	7.69	1,234	13.88	966	10.86	-	-	-	-	-	-
	Facility Cultivation	-	-	3,998	44.97	3,443	38.73	-	-	-	-	-	-
	Orchard	51	0.57	88	0.99	124	1.39	-	-	-	-	-	-
	Other Agricultural	47	0.53	221	2.48	188	2.11	-	-	-	-	-	-
Forest	Deciduous Forest	303	3.40	268	3.01	561	6.31	253	2.85	253	2.85	252	2.83
	Coniferous Forest	164	1.84	32	0.36	46	0.52	20	0.22	20	0.22	20	0.22
	Mixed Forest	208	2.34	441	4.96	49	0.55	3	0.03	3	0.03	3	0.03
Grass	Natural Grassland	301	3.38	-	-	733	8.25	-	-	-	-	-	-
	Artificial Grassland	2	0.03	476	5.36	351	3.95	2,902	32.64	4,171	46.92	1,962	22.07
Wet Land	Inland Wetland	-	-	236	2.65	47	0.52	-	-	-	-	-	-
	Coastal Wetland	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Barren	Natural Barren	-	-	-	-	461	5.19	-	-	-	-	-	-
	Artificial Barren	535	6.02	110	1.24	276	3.10	414	4.66	414	4.66	380	4.27
Water	Inland Water	335	3.77	290	3.27	-	-	-	-	-	-	-	-
	Coastal Water	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-