

# 장기미집행공원 개발에 따른 도시 식생 탄소 흡수량에 미치는 영향 및 경제적 가치 평가

성웅기<sup>1</sup>, 최재연<sup>2</sup>, 유재진<sup>1</sup>, 김동우<sup>1</sup>, 손승우<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>한국환경정책·평가연구원, <sup>2</sup>서울시립대학교 조경학과

## Impact Assessment of Vegetation Carbon Absorption and Economic Valuation Under Long-term Non-executed Urban Park Development

Woong-Gi Sung<sup>1</sup>, Jae-Yeon Choi<sup>2</sup>, Jae-Jin Yu<sup>1</sup>, Dong-Woo Kim<sup>1</sup>, Seung-Woo Son<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Land and Water Environment Research, Korea Environment Institute

<sup>2</sup>University of Seoul

**요약** 2020년 일몰제가 시행되면서 장기미집행공원 개발에 대한 우려가 제기되고 있다. 본 연구의 목적은 장기미집행공원이 개발됨에 따라 소실되는 탄소량과 경제적 가치를 평가하여 장기미집행공원 개발에 따른 영향 최소화 방안 도출에 근거를 제공하고자 한다. 본 연구에서는 FSDAF 시공간 영상융합기법과 CASA-NPP 모형을 활용하여 서울시 내 장기미집행공원의 연평균 NPP를 산정하고, 이를 바탕으로 5개의 개발 시나리오에 따라 소실되는 탄소량과 경제적 손실을 평가하였다. 서울시 내 개발제한구역을 제외한 장기미집행공원의 총 NPP 값은 4,892.18 t C로 나타났으며, 개발 시나리오 1에서는 4,892.18 t C, 개발 시나리오 2에서는 2,548.55 t C, 개발 시나리오 3에서는 238.94 t C, 개발 시나리오 4에서는 848.38 t C, 개발되는 시나리오 5에서는 1,596.00 t C의 탄소가 소실될 것으로 나타났으며, 각각 5개의 개발 시나리오에 따른 탄소의 사회적 비용을 계산하면 약 11억 8천만원, 6억 1천만원, 5천 8백만원, 2억 5백만원, 3억 8천 5백만원이며 개발로 인해 해당금액의 경제적 손실이 발생할 것으로 나타났다. 본 연구의 결과는 5개의 개발 시나리오를 바탕으로 장기미집행공원의 탄소 손실량과 경제적 손실을 평가하였는데 의의가 있으며, 일몰제 이후 개발가능성이 높은 장기미집행공원 내 산림생태기능에 대한 영향 최소화 방안 마련, 개발 대안의 기초자료로 활용되기를 기대한다.

**Abstract** Since the implementation of the sunset law in 2020, concerns have been raised over the reckless development of long-term non-executed urban parks. In this study, the FSDAF method and CASA-NPP model were used to evaluate the annual average NPP of long-term non-executed urban parks in Seoul. Based on this, the carbon loss and economic value were assessed under five development scenarios. The total NPP value of long-term non-executed urban parks, except for the greenbelt area in Seoul, was 4,892.18 t C. In the first scenario, the NPP and cost were 4,892.18 t C of vegetation carbon and 1.18 billion won, 2,548.55 t C of vegetation carbon and 615 million won in the second scenario, 238.94 t C of vegetation carbon and 58 million won in the third scenario, 848.38 t C of vegetation carbon and 205 million won in the fourth scenario, and 1,596.00 t C of vegetation carbon and 385 million won in the fifth scenario. These results are meaningful for evaluating vegetation carbon and economic value loss according to five different development scenarios. The results of this study are expected to be useful for the preparation of measures to minimize the impact of the development of long-term non-executed urban parks.

**Keywords** : Sunset Law, NPP(Net Primary Productivity), Urban Forest Management, Economic Valuation, Remote Sensing

본 연구는 환경부 수탁과제인 「국토환경 녹색복원 마스터플랜 수립을 위한 연구」 사업(2020-078)에서 지원받아 한국환경정책·평가연구원에서 수행하였음.

\*Corresponding Author : Seung-Woo Son(Korea Environment Institute)

email: swson@kei.re.kr

Received June 29, 2020

Revised July 17, 2020

Accepted October 5, 2020

Published October 31, 2020

## 1. 서론

장기미집행시설은 도시군-계획시설 중 사업이 10년 이상 집행되지 않은 시설을 말한다.<sup>1)</sup> 그 중 장기미집행 도시공원은 도시계획시설로 결정되었으나 도시계획시설의 설치에 관한 사업이 시행되지 않은 도시공원을 의미하며, 전국 도시공원의 미집행 비율은 약 48.2%(미조성 면적 446.7km<sup>2</sup>)에 달하고 있다[1]. 20년 이상 미집행 용지에 대한 일몰제 시행이 다가옴에 따라 2020년을 기점으로 장기미집행공원시설 지정이 해지된다.<sup>2)</sup> 현재 미조성 면적인 446.7km<sup>2</sup>의 대규모 녹지에 대해 개발행위가 가능해지며 이에 따른 도시공원의 급격한 감소에 대한 우려가 제기되고 있다(Choi, et al., 2019)[1]. 이는 도심에서 공원녹지의 기능을 고려해 볼 때 장기미집행공원의 개발로 인한 도시생태계 순기능 저하가 우려된다.

대부분의 장기미집행 도시공원은 오랜 기간 동안 방치되면서 주변 식생의 자연천이, 소생물 서식지 등 다양한 생태적 가치를 지닌 공간이 자연발생적으로 형성되어 도시의 자생력 확보를 위한 인프라로서 잠재력이 높은 공간이다[2]. 특히 도시 공원녹지는 도시 지역의 저탄소화 측면에서 도시의 탄소 발생을 저감시키는 중요한 생태계 요소이다[3]. 도시 내 공원녹지는 탄소저감 기능 외에도 미기후 조절 기능, 열섬저감 기능 등 시너지 효과가 있으며, 최근 도시 내 공원 녹지에 대한 가치가 재평가 되고 있다[4].

도시 공원녹지를 개발하게 되면 대부분의 지표면 식생이 제거되면서 내부 식생이 노출되며 가장자리가 형성된다. 이는 개발지 내 탄소흡수원의 직접적인 감소와 내부 식생의 노출로 인한 식생 기능의 저하로 이어 진다[5]. 환경영향평가제도 중 “온실가스 환경평가 가이드라인”은 개발로 인한 식생의 온실가스 흡수와 저장에 대한 영향을 최소화하는 방안을 강구해야 한다고 지적하였다[6]. 그러나 도시 내의 소규모 사업은 환경영향평가 대상사업에서 제외되며 이로 인한 영향과 손실을 최소화 할 수 있는 방안을 강구하는 것이 필요하다. 따라서 미집행 도시공원 개발에 따른 식생의 탄소흡수 기능에 대한 영향을 최소화하기 위하여 직접적 영향의 정량화가 필요하다.

많은 선행연구에서 식생의 연간 순일차생산량(Net Primary Production, NPP)을 계산하여 식생의 탄소흡수기능을 평가하고 있다[7-9]. 국내 식생의 탄소흡수기

능 평가는 주로 단목 위주 또는 녹지의 유형과 녹지의 등급을 활용하는 생체량 회귀 산정식을 사용하고 있다. 이 방법의 경우, 수목의 성장량을 이용하며 직접 수목을 측정하여 바이오매스량과 이산화탄소 흡수량을 산출할 수 있으며 간편한 산정식으로 개발지 내 식생의 탄소 축적량과 흡수량을 계산할 수 있다는 장점이 있으나, 수목 단위가 아닌 넓은 규모에서 적용하기에는 시간적, 비용적 한계가 있다.

최근 식생의 탄소흡수기능을 평가하기 위하여 위성영상을 이용한 다양한 원격탐사기법이 제기되고 있다[10-12]. [10]은 1982년부터 2013년의 AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer) GIMMS(Global Inventory Monitoring and Modeling System) NDVI(Normalized Difference Vegetation Index) 영상과 CASA(Carnegie-Ames-Stanford Approach) 모형을 활용하여 중국 다신안링 산맥의 NPP값을 계산하였다. [11]은 AVHRR과 MODIS(MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer) 영상을 활용하여 1981년부터 2006년까지의 NPP 변화량을 분석하고, 기후인자와의 상관분석을 하였다. [12]는 MODIS 위성영상과 CASA 모형을 활용하여 2002년부터 2012년까지 국내는 지역의 NPP 변화를 분석하고, NPP와 쌀 생산량의 관계를 분석하여 2012년의 쌀 생산량을 추정하였다.

위성영상과 CASA 모형을 활용하여 NPP를 추정하는 방법은 넓은 면적에서 탄소흡수원의 NPP를 정량적으로 산정할 수 있다는 장점이 있어 많은 선행연구에서 활용되고 있다. 연간 NPP를 산정하기 위해서는 월별 또는 그 이상의 주기적인 영상이 필요하며 도시 내 식생의 기능을 평가하기 위하여 공간해상도의 향상도 필요하다. 따라서 본 연구에서는 위성영상 융합을 통해 공간해상도와 시간해상도가 향상된 위성영상을 구축한 다음, 기후 및 토지피복 현황을 보다 정확하게 표현하며 빛 이용효율을 활용하여 계산하는 CASA-NPP 모형을 통해 연간 NPP를 계산하고자 한다.

이에 본 연구의 목표는 다음과 같다. 첫째, CASA-NPP 모형을 이용하여 도시 내 장기미집행공원 내 식생 탄소의 공간적 분포를 도출하고 둘째, 장기미집행공원이 개발될 시 소실될 수 있는 식생 탄소 및 경제적 가치를 도출하여 장기미집행공원 개발에 따른 영향 최소화 방안 도출에 근거를 제공하고자 한다.

1) 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령」 제 42조 제 2항

2) 「국토계획법」 제 48조 제 1항

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 연구대상지

본 연구에서는 장기미집행 도시공원의 비율이 높은 도시인 서울시를 대상으로 분석하였다. 서울 시 내 장기미집행 도시공원의 총 면적은 56.69km<sup>2</sup>이며[13], 2020년 일몰제 시행 이후에도 개발 행위를 제한받는 개발제한구역을 제외한 서울시 내 장기미집행공원 부지 면적인 약 38.45km<sup>2</sup>를 연구 대상지역으로 설정하였다(Fig. 1).

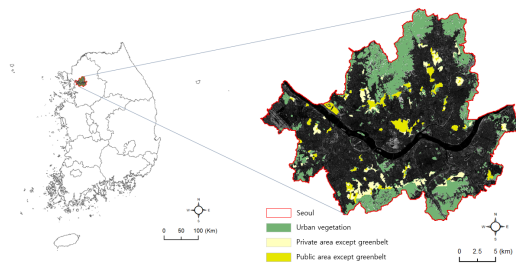


Fig. 1. Study site

### 2.2 식생의 탄소흡수기능 평가

#### 2.2.1 위성영상 시공간 융합

연간 NPP를 계산하기 위해서는 연속적인 월별 위성영상 데이터가 필요하다. 또한 공간 스케일을 고려했을 때 도시 내 녹지의 기능을 평가하기 위해서는 정밀해상도의 영상이 필요하다. 이러한 요구를 만족시키기 위해 위성영상을 구축하기 위하여 본 연구에서는 Flexible Spatio-temporal Data Fusion(FSDAF)[14]을 활용하여 월별 30m 공간해상도 영상을 구축하였다. FSDAF는 기존 시공간 융합 기법 중 이질적인 경관에서 높은 예측 정확도로 영상 예측이 가능한 방법이다.

시공간 영상 융합에 입력되는 자료의 정보는 Table 1

과 같다. Landsat 영상은 FLAASH 알고리즘을 활용하여 대기보정을 거쳤으며[15-16], MODIS 영상과 Landsat 영상과의 기하학적 왜곡을 최소화하기 위해 MRT(MODIS Reprojection Tool)를 이용하여 UTM 52N 좌표로 변환하였다. 또한, Landsat 영상과의 융합을 위해 MODIS 영상의 공간해상도를 480m로 변환하였다.

본 연구에서는 2가지 정확도 검증 지표를 활용하여 구름의 영향이 적은 실제 Landsat 영상인 2015년 3월 14일, 2015년 9월 22일 영상과 예측한 2015년 3월, 2015년 9월 영상을 비교함으로써 정확도 검증을 실시하였다. 첫 번째, 예측 영상과 실제 Landsat 영상 간의 선형 관계를 보기 위한 상관 계수  $r$ 을 계산하였다. 상관 계수  $r$ 값이 0.7 이상이면 일반적으로 상관관계가 높다고 할 수 있으며[17], 식(1)을 이용하여 계산할 수 있다. 두 번째, RMSE(Root Mean Square Error) 지수는 예측 영상과 실제 Landsat 영상 간의 불일치도를 보기 위해 활용하였으며, 예측한 영상과 실제 영상의 반사율 값 차의 제곱합을 산술평균한 값의 제곱근으로 계산하며, 식(2)로 계산할 수 있다. RMSE는 0.1 미만의 값을 가지면 예측한 영상의 예측 정확도가 높다고 판단할 수 있다[18].

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

$x_i$  : 예측한 Landsat 영상의  $i$  번째 픽셀 값

$y_i$  : 실제 Landsat 영상의  $i$  번째 픽셀 값

$$\bar{x} : \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\bar{y} : \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

Table 1. The image data used in this study

Data Type	Acquire Time	Spatial Resolution	Cloud	Band	Role	Tile
Landsat 8 OLI	2013.9.16	30m	0.3%	Red, NIR band	Input(fine resolution image at t1: F1)	Path 116 Row 34
	2015.3.14		0.5%		Validation	
	2015.9.22		1.4%			
MCD43A41 (500m_16days_Reflectance)	2013.9.16	500m	-	Red, NIR, SWIR band	Input(Coarse resolution image at t1: C1)	h28 v05
	2015.1.1~2015.12.31				Input/Predict(Coarse resolution image at t2: C2)	

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - R_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$n$  : 샘플의 수

$P_i$  : 예측한 영상의  $i$  번째 픽셀 값

$R_i$  : 실제 Landsat 영상의  $i$  번째 픽셀 값

### 2.2.2 순일차생산량 산정

본 연구에서 연간 NPP는 CASA-NPP 모형을 활용하여 계산하였다. CASA-NPP 모형의 경우, 빛 이용효율을 이용하여 NPP를 계산하며, 빛 이용효율은 광합성을 통해 흡수된 태양 복사량의 유기물 전환 비율을 정량화한 지수를 말한다. CASA-NPP 모형은 식생 피복 유형마다 다른 빛 이용효율을 고려하기 때문에 기후 및 토지피복 현황을 보다 정확하게 표현할 수 있다는 장점이 있으며 [19], CASA-NPP 모형의 입력 자료에 대한 정보는 Table 2와 같다.

빛이용효율을 활용하여 연간 NPP를 계산하는 CASA-NPP 모형은 원격탐사 기법을 활용하여 넓은 지역 범위에 대한 식생의 빛 흡수량 및 순수 탄소 흡수량을 추정할 수 있기 때문에 위성영상 기반의 모형에 많이 활용되고 있다[19-20]. CASA-NPP 모형은 식 (3)을 통해 계산된다.

$$NPP = Sr \times NDVI \times E_{max} \times T_{scalar} \times W_{scalar} \quad (3)$$

CASA-NPP 모형은 지표 일사량( $Sr$ ; MJ/m<sup>2</sup>)과 NDVI, 최대 빛이용효율( $E_{max}$ ), 기온 영향 지수( $T_{scalar}$ ), 습도 영향 지수( $W_{scalar}$ )로 구성되어 있으며, 식(3)과 같다. 월별 지표 일사량은 기상청 국가기후데이터 센터(National Climate Data Services System; NCDSS)의 월별 지표 일사량 자료를 사용하였으며, NDVI영상은 FSDAF 융합 기법을 통해 도출한 영상을 기반으로 NIR 밴드와 RED 밴드를 조합하여 월별로 구축한 영상을 사용하였다.  $E_{max}$ 는 광합성에 사용되는 식생 유효복사량의 최대 빛이용효율을 나타내기 위해 식생 피복별로 다른 값을 가지는데, 본 연구에서는 선행연구에서 도출된 값을 사용하였으며 Table 3와 같다[21-22].

$T_{scalar}$ 는 식생의 성장에 따른 빛 이용효율에 대한 기온의 영향 지수이며, 식(4) ~ (5)를 통해 계산할 수 있으며,  $T_{scalar}$ 의 입력 자료인 월 별 평균 기온 자료는 기상청 국가기후데이터 센터(NCDSS)의 자료를 사용하였다(Table

2).  $W_{scalar}$ 는 식생의 성장에 따른 빛 이용효율에 대한 수분의 영향 지수이며 식 (6)~(7)을 통해 계산할 수 있다.  $W_{scalar}$ 의 입력 자료인 NDWI(Normalized Difference Water Index) 영상은 FSDAF 융합기법을 통해 도출한 영상을 기반으로 NIR 밴드와 SWIR1 밴드를 조합하여 월별로 구축한 영상을 사용하였다(Table 2).

Table 2. Information of data used for analysis

Data name	Period	Source
Solar Radiation	2015.1~12	NCDSS(National Climate Data Services System)
Monthly mean Temperature		
Monthly NDVI/NDWI	2015.1~12	Monthly reflectance image made by FSDAF (NIR band, RED band/SWIR1 band)
Land Cover Map	2013	EGIS(Environmental Geographic Information Services)
5 <sup>th</sup> Forest Type Map	2006~2010	KFS(Korea Forest Service)

$$T_1 = 0.8 + 0.002 T_{opt}(x) - 0.0005 (T_{opt}(x))^2 \quad (4)$$

$$T_2(x) = C / (1 + e^{[0.2T_{opt} - 10 - T(x,t)]}) / (1 + e^{[0.3(-T_{opt}) - 10 + T(x,t)]}) \quad (5)$$

( $T_{opt}$ 는 NDVI가 최고값을 가질 때의 평균 기온이고 C는 상수이다.)

$$W(x) = (1 + NDWI(x)) / (1 + NDWI(max)) \quad (6)$$

$$NDWI = (V_{SWIR} - V_{RED}) / (V_{SWIR} + V_{RED}) \quad (7)$$

Table 3. Maximum light efficiency by vegetation cover

Vegetation Cover Types	Maximum Light Efficiency(g C/MJ)
Farmland	0.604
Grassland	0.768
Coniferous Forest	0.888
Broadleaf Forest	1.044
Others(Urban etc.)	0.389

### 2.2.3 장기미집행공원 내 식생의 탄소흡수기능 가치 평가

서울시 내 장기미집행공원 탄소흡수기능의 직접적 가치 평가를 위해서 탄소의 사회적 비용(SSC; The Social

Cost of Carbon)의 개념을 이용하였다. 탄소의 사회적 비용은 탄소를 배출할 때 사회가 부담해야 하는 경제적 비용으로 정의할 수 있으며, 이는 오늘날 대기 중으로 배출되는 탄소 1톤에 대한 장기적인 피해를 순현재가치로 추정하는 것이다[23-24].

본 연구에서는 미집행 공원의 NPP 값에 탄소의 사회적 비용을 곱하여 미집행 공원이 가지고 있는 탄소흡수 기능에 대한 가치를 추정하였다. 본 연구에서는 특정 연구의 결과값을 사용함으로써 발생하는 불확실성을 줄이기 위해서 75개 연구, 588개의 결과값을 이용하여 분석한 [25]의 탄소의 사회적 비용을 이용하였으며, 그 중에서도 연구 전체의 평균값을 이용하였다.

본 연구에서 적용한 기준 환율은 2015년 평균 환율인 1,132.24원/USD를 적용하였으며, 또한 The World Bank(<https://data.worldbank.org/>)에서 발표한 GDP 디플레이터를 이용하여 2015년 기준가치로 변환하여 적용하였다. 최종적으로 본 연구에 적용한 탄소의 사회적 비용은 241,192.69 원/t C 이며, CASA-NPP 모형을 활용하여 산출한 서울시 내 개발제한구역을 제외한 장기미집행공원의 NPP 값에 241,192.69 원/t C를 곱하여 식생의 탄소의 사회적 비용을 계산하였다.

### 2.2.4 장기미집행공원의 개발 시나리오

본 연구에서는 일몰제 적용 이후 개발되는 장기미집행공원의 위치와 면적을 정확하게 예측하기 어렵기 때문에 장기미집행공원 자료[26]를 이용하여 개발 가능성이 높은 지역을 중심으로 5개의 개발 시나리오를 통해 장기미집행공원 개발에 따른 탄소 손실량과 그에 따른 경제적 손실을 평가하였다(Table 4).

Table 4. 5 development scenarios discussed in this study

	Greenbelt Area	Public Area	Private Area
Scenario 1	X	O	O (100%)
Scenario 2	X	X	O (100%)
Scenario 3	X	X	O (25%)
Scenario 4	X	X	O (50%)
Scenario 5	X	X	O (75%)

시나리오 1은 일몰제 적용 이후에도 개발에 제한을 받아 개발되기 힘든 지역인 개발제한구역을 제외한 서울시 내 장기미집행공원 지역이 개발되었을 때, 시나리오 2는

개발제한구역을 제외한 장기미집행공원 중에서 국공유지에 비해 개발 가능성이 큰 사유지를 대상으로 사유지가 모두 개발되었을 때를 가정하고 분석하였다.

사유지의 경우 국공유지에 비해 개발될 가능성이 크기 때문에 사유지가 모두 개발되었을 때를 가정하는 시나리오 2 외에도 사유지 내 하위 25%, 50%, 75%의 NPP 값을 가지는 지역이 개발되었을 때를 각각의 시나리오로 설정하여 분석을 진행하였다. 즉, 시나리오 3은 개발제한구역을 제외한 장기미집행공원 중 개발 가능성이 큰 사유지 내 하위 25%의 NPP를 가지는 지역이 모두 개발되었을 때, 시나리오 4는 개발제한구역을 제외한 장기미집행공원 중 개발 가능성이 큰 사유지 내 하위 50%의 NPP를 가지는 지역이 모두 개발되었을 때, 마지막으로 시나리오 5는 개발제한구역을 제외한 장기미집행공원 중 개발 가능성이 큰 사유지 내 하위 75%의 NPP를 가지는 지역이 모두 개발되었을 때를 가정하고 분석하였다. 본 연구에서는 각 시나리오의 각 개발 정도에 따라 발생하는 탄소 손실량과 그에 따른 경제적 손실을 분석하였다.

사유지의 경우 서울시 내 장기미집행공원 중 국공유지에 해당하는 국유지, 사유지, 구유지를 제외한 일본인/창씨명, 개인, 외국공공기관, 법인, 종종, 종교단체, 기타단체를 포함한 지역에 대해 사유지로 규정하고 분석을 진행하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 위성영상 융합 검증 및 장기미집행공원 식생 탄소의 공간적 분포

연구범위의 모든 픽셀에 대하여 예측한 3월, 9월 영상과 구름의 영향이 적은 실제 3월, 9월 Landsat 영상과의 상관지수 r, RMSE 지수를 통해 정확도 검증을 실시했으며, 검증 결과는 Table 5와 같다. 상관성 지수 r은 0.76 ~ 0.90로 예측한 3월과 실제 3월 landsat 영상의 반사값과 예측한 9월 영상과 실제 9월 landsat 영상의 반사값 간의 비교적 높은 상관성이 있음을 보여주고 있다. 또한, RMSE 값의 경우 3월 영상에서의 Band 5를 제외한 모든 밴드에서 0.05이하의 값으로 나타나 예측한 3월 영상과 실제 landsat 3월 영상, 예측한 9월 영상과 실제 9월 Landsat 영상과 비교적 일치하는 것으로 나타났다.

Fig. 2는 서울시 내 개발제한구역을 제외한 장기미집행공원의 2015년 NPP를 나타낸 그림이다. 서울시 내 개발제한구역을 제외한 장기미집행공원의 2015년 NPP 값

은 0~362 g C/m<sup>2</sup> 의 값을 가지며, 주로 산림의 가장자리 부분에서 낮은 NPP 값을 나타냈다. 해당지역의 평균 NPP 값은 127.23 g C/m<sup>2</sup>으로 나타났으며, 해당지역의 총 NPP 값은 4,892.18 t C으로 나타났다.

Table 5. Accuracy of spatio-temporal data fusion results

	March		September	
	r	RMSE	r	RMSE
Band1 (RED)	0.8119	0.0313	0.8280	0.0351
Band2 (NIR)	0.7657	0.0473	0.9027	0.0457
Band3 (GREEN)	0.8476	0.0217	0.7973	0.0340
Band4 (BLUE)	0.8503	0.0245	0.8150	0.0332
Band5 (SWIR1)	0.6599	0.1097	0.8269	0.0394
Band6 (SWIR2)	0.8330	0.0360	0.8553	0.0333

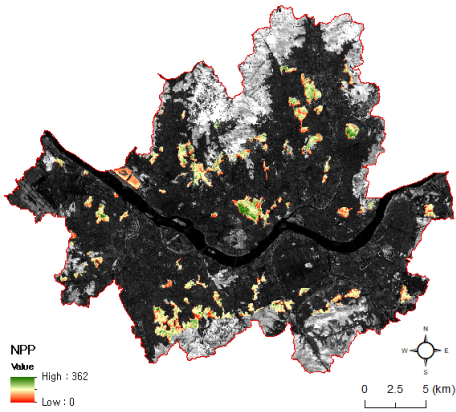


Fig. 2. NPP value of long-term non executed urban park except greenbelt area

### 3.2 장기미집행공원 개발에 따른 탄소 손실량과 경제적 손실

Fig. 3은 5개의 개발 시나리오에 따른 대상지역을 공간적으로 나타낸 도면이다. Fig. 3(a)은 시나리오 1의 대상지역으로 개발제한구역을 제외한 장기미집행공원 지역이다. 대부분이 시가지 지역으로 둘러싸여 있거나 파편화 되어 있는 것을 볼 수 있다. Fig. 3(b)은 시나리오 2의 대상지역으로 개발제한구역을 제외한 장기미집행공원 중 사유지의 공간적 분포로 남산, 월드컵 공원 등의 공유지가 제외된 것을 확인할 수 있다. Fig. 3(c)은 시나리오 3의 대상지역으로 개발제한구역을 제외한 장기미집행공원 중 사유지 내 하위 25%의 NPP 값을 가지는 식생 지역의 공간적 분포로 대부분이 산림 임연부라는 것을 확인할 수 있다. Fig. 3(d)과 Fig. 3(e)은 각각 시나리오 4와 5의 대상지역으로 개발제한구역을 제외한 장기미집행공원 중 사유지 내 하위 50%, 75%의 NPP 값을 가지는 식생 지역의 공간적 분포를 나타낸 것이다. Fig. 3(c)에서 Fig. 3(e)로 갈수록 임연부에서 산림 내부까지 대상지역이 확장된 것을 볼 수 있다. 이는 현재 장기미집행공원 내 낮은 NPP 값을 나타내는 식생이 시가지 지역에 주로 인접한 산림 임연부이며, 산림 임연부에서 산림 내부로 갈수록 높은 NPP 값을 나타낸다는 것을 의미한다. Table 6는 5개의 개발 시나리오에 따른 탄소 손실량 및 경제적 손실을 나타낸 것이다. 시나리오 1의 대상지역은 일몰제 적용 이후에 개발에 제한을 받아 개발되기 어려운 개발제한구역을 제외한 서울시 내 장기미집행공원 지역으로 면적은 38.45km<sup>2</sup>이며, 해당 지역이 모두 개발된다고 가정했을 때 나타나는 탄소 손실량은 4,892.18 t C이다. 이를 탄소의 사회적 비용으로 환산하면 약 11억 8천만원이며, 해당 금액의 경제적 손실이 일어날 것으로 나타났다. 시나리오 2의 대상지역은 개발제한구역을 제외한 서울시 내 장기미집행공원 지역 중 일몰제 적용 후 국공유

Table 6. Vegetation Carbon loss and economic loss of long term non-executed area under 5 development scenarios

	Area (km <sup>2</sup> )	Total NPP(t C)	Mean NPP(g C/m <sup>2</sup> )	SCC(단위: 천원)
Scenario 1	38.45	4,892.18	127.23	1,179,957
Scenario 2	19.71	2,548.55	129.30	614,691
Scenario 3	4.98	238.94	47.98	57,630
Scenario 4	10.11	848.38	83.91	204,622
Scenario 5	15.01	1,596.00	106.33	384,944

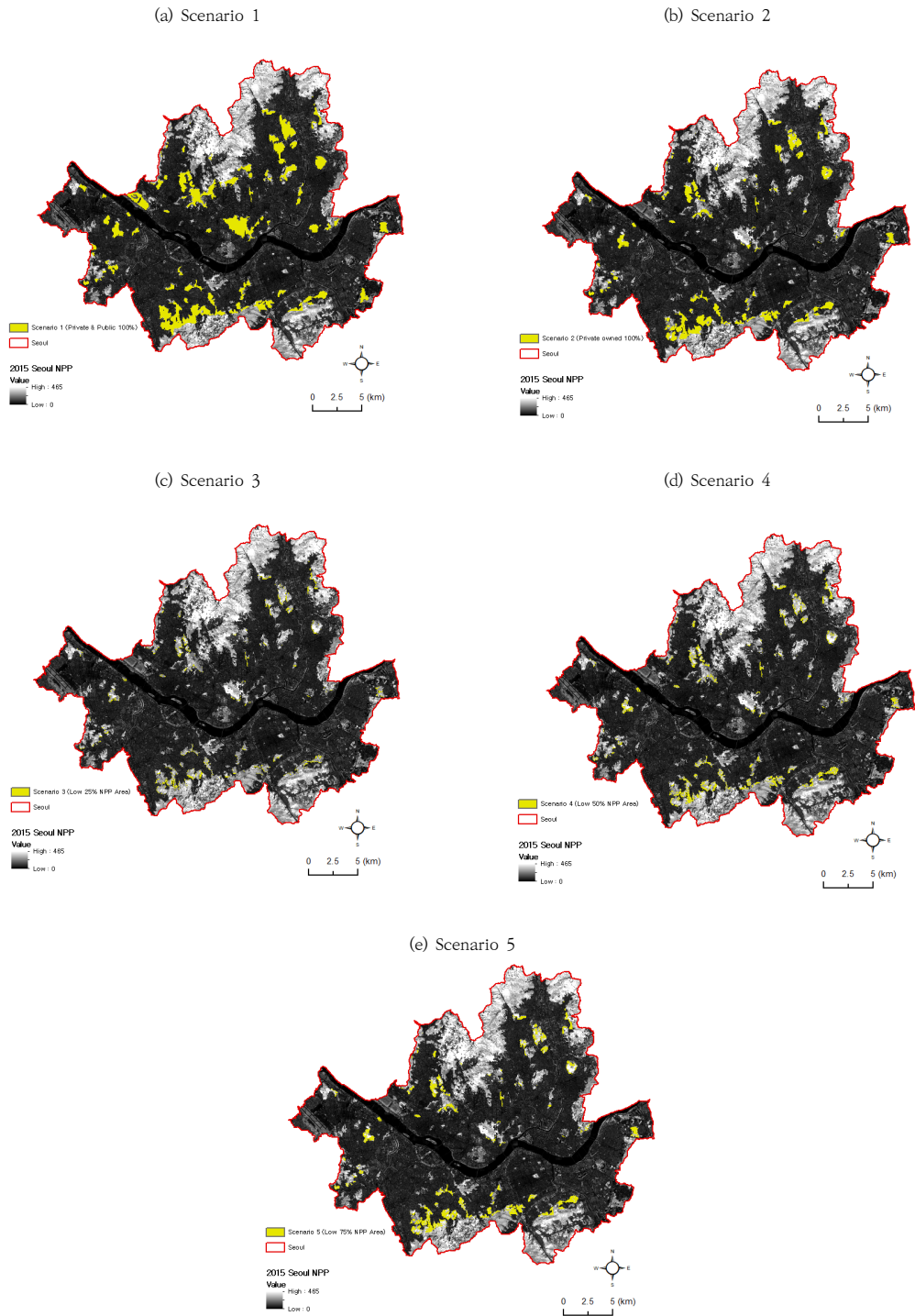


Fig. 3. 5 different development scenarios(Scenario 1(a) to scenario 5(e))



지에 비해 개발 가능성이 높은 사유지이며 면적은 19.71km<sup>2</sup>이다. 해당 지역이 모두 개발된다고 가정했을 때 나타나는 탄소 손실량은 2,548.55 t C로 이를 탄소의 사회적 비용으로 환산했을 때, 약 6억 1천만원의 경제적 손실이 일어날 것으로 나타났다.

시나리오 2의 결과에 따르면 장기미집행공원 중 사유지가 모두 개발되었을 때 나타나는 탄소 손실량과 경제적 손실은 국공유지가 개발되었을 때에 비해 높게 나타났다. 이는 현재 장기미집행 공원 내 사유지 지역의 식생이 국공유지의 식생보다 높은 탄소흡수능을 가지고 있으며, 일몰제 이후 사유지가 개발될 시 국공유지를 개발했을 때 보다 더 많은 탄소 손실량과 경제적 손실이 일어날 것을 의미한다. 따라서, 국공유지에 비해 높은 NPP 값을 가지는 사유지 식생에 대한 추가적인 보호 조치 또는 사유지 개발에 대한 대안이 필요할 것으로 사료된다.

시나리오 3의 대상지역은 개발제한구역을 제외한 서울시 내 장기미집행공원 지역 중 사유지 내 하위 25%의 낮은 NPP 값을 갖는 식생 지역이며, 면적은 4.98 km<sup>2</sup>이다. 해당 지역이 모두 개발된다고 가정했을 때 나타나는 탄소 손실량은 238.94 t C로 경제적 손실은 약 5천 8백만원으로 나타났다. 시나리오 3의 대상지역은 대부분 시가화 지역과 가까운 임연부 산림으로 나타났는데, 임연부 산림의 경우 산림 내부에 비해 노출된 면이 많고, 인접한 개발지의 포장된 표면으로 인해 영향을 받아 낮은 NPP 값을 나타내는 것으로 사료된다[27].

시나리오 4의 대상지역은 개발제한구역을 제외한 서울시 내 장기미집행공원 지역 중 사유지 내 하위 50%의 낮은 NPP 값을 갖는 식생지역이며, 면적은 10.11 km<sup>2</sup>이다. 해당 지역이 모두 개발된다고 가정했을 때 나타나는 탄소 손실량은 848.38 t C으로 경제적 손실은 약 2억 5백만원으로 나타났다. 시나리오 4의 대상지역을 제외한 상위 50%의 NPP 값을 가지는 지역의 총 NPP 값은 1,700.17 t C으로 하위 50%의 NPP 값을 가지는 지역의 총 NPP 값인 848.38 t C에 비해 상당히 높은 NPP 값을 가지는 것으로 나타났으며, 개발에 따른 경제적 손실을 계산하면 각각 약 2억 5백만원, 4억 1천만원으로 하위 50%의 NPP 값을 가지는 지역에 비해 상위 50%의 NPP 값을 가지는 지역이 개발로 인한 경제적 손실이 약 2배 클 것으로 나타났다.

마지막으로 시나리오 5의 대상지역은 개발제한구역을 제외한 서울시 내 장기미집행공원 지역 중 사유지 내 하위 75%의 낮은 NPP 값을 갖는 식생지역이며, 면적은 15.01 km<sup>2</sup>이다. 해당 지역이 모두 개발된다고 가정했

을 때 나타나는 탄소 손실량은 1,596.00 t C로 이를 탄소의 사회적 비용으로 환산했을 때 약 3억 8천 5백만원의 경제적 손실이 일어날 것으로 나타났다. 시나리오 5의 대상지역을 제외한 상위 25%의 NPP 값을 가지는 지역의 총 NPP 값은 952.55 t C이며, NPP 평균값은 202.67 g C/m<sup>2</sup>으로 시나리오 1의 대상지역 식생의 평균 NPP 값인 127.23 g C/m<sup>2</sup>, 시나리오 2의 대상지역 식생의 평균 NPP 값인 129.30 g C/m<sup>2</sup>, 시나리오 5의 대상지역 식생의 평균 NPP 값인 106.33 g C/m<sup>2</sup>에 비해 상당히 높은 평균 NPP 값을 가지는 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 FSDAF 시공간 영상융합기법과 CASA-NPP 모형을 활용하여 서울시 내 장기미집행공원 내 식생의 2015년도 연평균 NPP를 산정하고, 이를 바탕으로 5개의 개발 시나리오에 따라 소실되는 탄소량과 경제적 손실을 평가하였다.

개발제한구역을 제외한 서울시 내 장기미집행공원의 식생이 모두 개발되는 시나리오 1에서는 4,892.18 t C, 개발제한구역을 제외한 서울시 내 장기미집행공원 중 일몰제 적용 이후 개발 가능성이 높은 사유지의 산림 식생이 모두 개발되는 시나리오 2에서는 2,548.55 t C, 개발제한구역을 제외한 서울시 내 장기미집행공원 지역 중 사유지 내 낮은 NPP 값을 갖는 하위 25%의 식생 지역이 모두 개발되는 시나리오 3에서는 238.94 t C의 탄소가 소실될 것으로 나타났다. 개발제한구역을 제외한 서울시 내 장기미집행공원 지역 중 사유지 내 낮은 NPP 값을 갖는 하위 50%의 식생 지역이 모두 개발되는 시나리오 4에서는 848.38 t C의 탄소가 소실될 것으로 나타났으며, 개발제한구역을 제외한 서울시 내 장기미집행공원 지역 중 사유지 내 낮은 탄소흡수량을 갖는 하위 75%의 식생 지역이 모두 개발되는 시나리오 5에서는 1,596.00 t C의 탄소가 소실될 것으로 나타났다. 각각 5개의 개발 시나리오에 따른 탄소의 사회적 비용을 계산하면 약 11억 8천만원, 6억 1천만원, 5천 8백만원, 2억 5백만원, 3억 8천 5백만원이며, 개발로 인해 해당금액의 경제적 손실이 발생할 것으로 나타났다.

시나리오 2의 결과에 따르면 사유지가 모두 개발되었을 때 나타나는 탄소 손실량과 경제적 손실이 국공유지가 개발되었을 때에 비해 높게 나타났는데, 이는 사유지 내 식생이 공유지 내 식생보다 높은 탄소흡수능을 가지



고 있으며, 개발에 따른 탄소 손실이 더 클 것이라는 것을 의미한다. 따라서 일몰제 이후 개발가능성이 큰 사유지 식생 개발에 대한 보호 조치 또는 개발에 대한 대안이 필요할 것으로 판단된다. 한편, 낮은 NPP 값을 나타내는 식생은 주로 개발지와 가까운 산림 임연부로 나타났으며, 이는 산림 임연부가 내부에 비해 노출된 면이 많아 주변 환경의 영향을 받고 있기 때문이라고 사료된다.

본 연구에서는 일몰제 이후 미집행 공원이 개발될 수 있는 유형이 다양하고, 개발 유형을 정확하게 예측하기 어렵기 때문에 5개의 개발 시나리오를 통해 서울시 내 장기미집행공원 개발에 따른 탄소 손실량과 그에 따른 손실 가치를 평가하였다. 실제 장기미집행공원 개발 전과 후를 비교한 것이 아닌 5가지의 개발 시나리오를 바탕으로 분석을 진행하였다는 한계가 있으나, 본 연구의 결과가 이후 장기미집행공원 개발에 따른 산림생태기능에 대한 영향 최소화 방안 마련, 개발 대안의 기초자료로 활용되기를 기대한다.

## References

- [1] H. S. Choi, S. E. Ahn, W. S. Lee, S. G. Song, K. S. Lee, The Transformation of Urban Park and Green Space Policy for Sustainability, Korea Environmental Institute, 2019.
- [2] Ministry of Environment, Study on Strengthening Ecological Functions of Urban Green Spaces, Research report of Ministry of Environment, 2012.
- [3] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, A Study on the Strategic Policy for Creating and Managing Low Carbon Green Urban Parks, Research report of Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2011.
- [4] Seoul Development Institute. A study on ensuring carbon reservoir and reducing carbon emissions plan. Research report of Seoul Development Insitute. 2010.
- [5] Y. H. Jin, J. R. Zhu, S. Y. Sung, D. K. Lee, "Impact assessment of forest development on Net Primary Production using satellite image spatial-temporal fusion and CASA-Model", *The Korea Society of Environmental Restoration Technology*, Vol.20, No.4, pp.29-42. 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.13087/kosert.2017.20.4.29>
- [6] Ministry of Environment. Guidelines for Environmental Assessment of Green house gases. Research report of Ministry of Environment. 2011
- [7] S. Y. Sung, D. K. Lee, Y. M. Mo, "Comparison of Carbon Stock Between Forest Edge and Core by Using Connectivity Analysis", *Korean Society of Rural Planning*, Vol.21 No.4, pp.27-33. 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7851/ksrp.2015.21.4.027>
- [8] L. Z. Hua, H. Liu, X. L. Zhang, Y. Zheng, W. Man, K. Yin, "Estimation Terrestrial Net Primary Productivity Based on CASA Model: a Case Study in Minnan Urban Agglomeration, China", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Beijing, China, Vol. 17, April 2014.  
DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/17/1/012153>
- [9] S. Jay, C. Potter, R. rabtree, V. Genovese, D. J. Weiss, M. Kraft, "Evaluation of modelled net primary production using MODIS and landsat satellite data fusion". *Carbon Balance and Management*, Vol.11, No.1, pp.8. 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.1186/s13021-016-0049-6>
- [10] Q. Zhu, J. Zhao, Z. Zhu, H. Zhang, Z. Zhang, X. Guo, Y. Bi, L. Sun, "Remotely sensed estimation of net primary productivity(NPP) and its spatial and temporal variations in the Greater Khingan Mountain region, China", *Sustainability*, Vol.9, No.7, pp.1213. 2017.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su9071213>
- [11] J. Y. Hong, C. S. Shim, M. J. Lee, G. H. Baek, W. K. Song, S. W. Jeon, & Y. H. Park, "Net Primary Production Changes over Korea and Climate Factors", *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol.27, No.4, pp.467-480. 2011  
DOI: <https://doi.org/10.7780/kjrs.2011.27.4.467>
- [12] S. I. Na, S. Y. Hong, Y. H. Kim, K. D. Lee & S. Y. Jang, "Prediction of Rice Yield in Korea using Paddy Rice NPP index - Application of MODIS data and CASA Model", *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol: 29, No.5, pp. 461-476. 2013  
DOI: <https://doi.org/10.7780/kjrs.2013.29.5.2>
- [13] Statistics Korea. Korea Statistical Information System (KOSIS), Statistic DB, Status of unexecuted parks [Internet]. [cited 2020 Jun 25]. Available from: [http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=315&tblId=TX\\_315\\_2009\\_H1323&vw\\_cd=MT\\_ZTITLE&list\\_id=315\\_31502\\_010\\_006&seqNo=&lang\\_mode=ko&language=kor&obj\\_var\\_id=&itm\\_id=&conn\\_path=MT\\_ZTITLE](http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=315&tblId=TX_315_2009_H1323&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=315_31502_010_006&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE)
- [14] X. Zhu, E. H. Helmer, F. Gao, D. Liu, J. Chen, M. A. Lefsky, "A flexible spatiotemporal method for fusing satellite images with different resolutions". *Remote Sensing of Environment*, Vol.172, pp.165-177. 2016.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2015.11.016>
- [15] P. S. Chavez, "Image based atmospheric corrections - revisited and improved", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol.62, No.9, pp.1025-1036, 1996.
- [16] FLAASH, User's Guide, Atmospheric Correction Module: QUAC and FLAASH User's Guide, Version 4.7, ITT Visual Information Solutions Inc., Boulder, Colorado, USA, 2009.
- [17] H. Lee, S. Noh, "Advanced Statistical Analysis: Theory

and Practice”, Moonwoosa. 2013.

- [18] T. Chai, R. R. Draxler, “Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? Arguments against avoiding RMSE in the literature, *Geoscience Model Development*, Vol. 7, No.3, pp.1247-1250. 2014  
DOI: <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014>
- [19] C. B. Field, J. T. Randerson, C. M. Malmstrom, “Global net primary production: Combining ecology and remote sensing”, *Remote Sensing of Environment*. Vol. 51, No.1, pp.74-88. 1995.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)00066-V](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(94)00066-V)
- [20] C. S. Potter, J. T. Randerson, C. B. Field, “Terrestrial ecosystem production: a process model based on global satellite and surface data”. *Global Biogeochemical Cycle*, Vol. 7, No.4, pp.811-841. 1993.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/93GB02725>
- [21] J. R. Xu, J. H. Dong, H. B. Yang, “Landcover change and its impact on net primary productivity in China’s typical temperate grassland system in the past 25 years: A study of the Huangfuchuan Watershed”, *Remote sensing for land and resources*, Vol.27, No.2, pp.118-125. 2015.
- [22] S. W. Running, J. C. Coughlan, “A general model of forest ecosystem processes for regional applications I: Hydrologic balance, canopy gas exchange and primary production processes”, *Ecological Modelling*, Vol.42, No.2, pp.125-154. 1988.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0304-3800\(88\)90112-3](http://dx.doi.org/10.1016/0304-3800(88)90112-3)
- [23] P. Watkiss, T. Downing, “The social cost of carbon: valuation estimates and their use in UK policy”, *Integrated Assessment Journal*, Vol.8, No.1, pp.85-105 .2008
- [24] R. S. Tol, “The marginal damage costs of carbon dioxide emissions: an assessment of the uncertainties”, *Energy policy*, Vol.33, No.16, pp.2064-2074. 2005.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/i.enpol.2004.04.002>
- [25] R. S. Tol, “Targets for global climate policy: An overview”, *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol.37, No.5, pp.911-928. 2013.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jedc.2013.01.001>
- [26] Seoul Development Institute. A study on the Urban Park Management System with Special Use Permits in Seoul. Research report of Seoul Development Institute. 2011.
- [27] W. Kuttler, “The Urban Climate: Basic and Applied Aspects. In: Marzluff JM, Shulenberg E, Endlicher W, Alberti M, Bradley G, Ryan C, ZumBrunnen C, Simon U. Urban Ecology. Springer: p. 233-248. 2008

성 옹 기(Woong-Gi Sung)

[정회원]



- 2019년 2월 : 서울대학교 생태조경학과 (조경학석사)
- 2019년 5월 ~ 현재 : 한국환경정책·평가연구원 연구원

<관심분야>

환경정보, 환경계획, 원격탐사, 드론기반 영상분석

최 재 연 (Jae-Yeon Choi)

[정회원]



- 2017년 2월 : 가천대학교 조경학과 (조경학석사)
- 2019년 3월 ~ 현재 : 서울시립대학교 조경학과 (박사과정)

<관심분야>

환경정보, 환경계획, 공간분석, GIS, GeoDesign

유 재 진(Jae-Jin Yu)

[정회원]



- 2015년 2월 : 공주대학교 지리학과 (지리학석사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 지리학 박사수료
- 2016년 12월 ~ 현재 : 한국환경정책·평가연구원 연구원

<관심분야>

지형, 원격탐사, GIS, 드론기반 영상분석

김 동 우(Dong-Woo Kim)

[정회원]



- 2018년 2월 : 공주대학교 지리학과 (지리학석사)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 한국환경정책·평가연구원 연구원

<관심분야>

환경정보, 환경계획, 원격탐사, 드론기반 영상분석

---

손 승 우(Seung-Woo Son)

[정회원]



- 2013년 8월 : 서울대학교 생태조경학과 (조경학석사)
- 2019년 8월 : 서울대학교 협동과정조경학 (공학박사)
- 2013년 7월 ~ 현재 : 한국환경정책·평가연구원 전문연구원

<관심분야>

환경정보, 환경계획, 공간분석, 컴퓨터비전