

Research Paper

## 시공간 위성영상 융합기법을 활용한 도시 산림 임연부 인접 토지피복 유형별 식생 활력도 차이 분석

성웅기\* · 이동근\*\* · 김예화\*\*\*

서울대학교 대학원\*, 서울대학교 조경지역시스템공학부\*\*, 연변대학교 농학원\*\*\*

### Analyzing Difference of Urban Forest Edge Vegetation Condition by Land Cover Types Using Spatio-temporal Data Fusion Method

Woong Gi Sung\* · Dong Kun Lee\*\* · Yihua Jin\*\*\*

Graduate School, Seoul National University\*

Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University\*\*

Agricultural College of Yanbian University\*\*\*

**요약** : 도시화와 인간의 영향으로 도심 내 산림 임연부가 증가함에 따라 도시 산림 관리 측면에서 도시 산림 임연부의 현황 파악과 모니터링의 중요성이 대두되고 있다. 본 연구는 도시 산림 임연부의 현황파악을 위해 시간적 예측, 공간적 예측에서 정확도가 높은 FSDAF(Flexible Spatio-temporal DATA Fusion) 융합 영상 기법을 활용하여 도출한 NDVI<sub>max</sub> 영상을 사용하여 인접한 토지피복 유형에 따른 도시 산림 임연부의 식생 활력도 차이를 평가하는데 목적이 있다. 서울시 내 도시 산림 임연부를 대상으로 분석해 본 결과, 산림 내부로 갈수록 식생활력도가 증가하는 경향이 나타났다. 임연부에 인접한 4가지 토지피복 유형 중 도로가 산림 임연부에 미치는 영향이 가장 큰 것으로 나타났다. 특히, 도로로부터 산림 임연부의 30m 까지 그 영향이 가장 두드러지게 나타났으며, 90m까지 영향을 미치는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과는 도시 산림 모니터링 및 도시 산림 임연부 관리 측면에서 토지 피복 유형과 토지피복 변화가 인접한 산림에 미치는 영향을 평가하는데 활용 가능할 것으로 기대된다.

**주요어** : 정규식생지수, 가장자리 효과, 원격탐사, 도시 산림 관리

**Abstract** : The importance of monitoring and assessing the status of urban forests in the aspect of urban forest management is emerging as urban forest edges increase due to urbanization and human impacts. The purpose of this study was to investigate the status of vegetation condition of urban forest edge that is affected by different land cover types using NDVI<sub>max</sub> images derived from FSDAF

First Author: Woong Gi Sung, Graduate School, Seoul National University, Seoul, 08826, KOREA, Tel: +82-2-880-4885, E-mail: bearland91@snu.ac.kr

Corresponding Author: Dong Kun Lee, Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University, Seoul, 08826, KOREA, Tel: +82-2-880-4885, E-mail: dkleee7@snu.ac.kr

Co-Author: Yihua Jin, Agricultural College of Yanbian University, Jilin, CHINA, 133002, E-mail: yehwa88@163.com

Received: 30 November, 2017. Revised: 16 April, 2018. Accepted: 30 May, 2018.

(Flexible Spatio-temporal DAta Fusion). Among 4 land cover types, roads had the greatest effect on the forest edge, especially up to 30m, and it was found to affect up to 90m in Seoul urban forest. It was also found that  $NDVI_{max}$  increased with distance away from the forest edge. The results of this study are expected to be useful for assessing the effects of land cover types and land cover change on forest edges in terms of urban forest monitoring and urban forest management.

**Keywords :** Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Edge effect, Remote sensing, Urban forest management

## I. 서론

도시 내 산림은 사회 및 경제적 이점인 레크레이션 및 관광의 기능뿐만 아니라 도시 생태계에 다양한 서비스를 제공해주고 있다(Gobster & Westphal 2004). 특히, 도시 산림은 대기 중 이산화탄소를 흡수하는 탄소 저장고의 역할(Magnago et al. 2014)을 하며 대기질 개선(Escobedo et al. 2009), 건물 그늘 형성으로 인한 에너지 사용 저감(Akamphon 2014), 미기후 조절의 기능을 한다. 또한, 생물다양성 보호, 토양침식 방지, 영양순환 원활화, 홍수 예방, 열섬 현상 감소 등의 이점이 있으며, 도시 생태계의 중요한 요소 중 하나이다(Shojanoori & Shafri 2016; Akamphon 2014).

한편, 도시화와 인간 활동의 증가로 도시 산림의 훼손과 파편화가 진행되고 있고, 그 결과로 산림 임연부가 증가하고 있다. 산림의 임연부는 빛 가용성, 공기의 순환, 양분, 온도 및 습도가 산림 내부와는 다르게 나타난다는 특징이 있다(Hofmeister et al. 2013). 산림 임연부의 증가는 교란종 및 외래종의 유입, 동물의 서식지 및 서식지의 질 감소, 종 구성 및 다양성의 감소, 식생 활력도 및 산림 생산성의 감소, 탄소 저장량 및 흡수능 감소에 영향을 미친다(Briber et al. 2015; Kim et al. 2016; Xun et al. 2014). 한편, 도시 산림의 임연부는 자연 산림에 비해 노출된 면이 많아, 건물에 의해 발생하는 바람, 직사광선, 인접한 건축물과 포장된 표면으로 인한 영향을 더 많이 받으며(Kuttler 2008; Sung & Park 2000), 산림 내부로의 거리, 시간에 따른 변화로 임연부의 특성이 변하게 된다. 따라서 도시 산림 관리의 측면에서 도시 산림 임연부에 대한 현황 파악과 모니터링이

중요하다.

국외에서는 현장 조사를 기반으로 목초지(Davies-Colley et al. 2000), 경작지(Hernandez-Santana et al. 2011), 벌채된 산림(Baker et al. 2014), 파편화된 열대우림(Magnago et al. 2017; Laurance et al. 2011)의 임연부를 대상지역으로 많은 연구들이 진행되었다. 국내에서도 현장조사를 기반으로 산림의 임연부와 임내부의 탄소저장량 차이를 분석하는 연구가 진행되었다(Sung et al. 2015). 한편, 현장 조사 기반의 연구들은 공간적 범위, 시간 소모, 비용이라는 한계점을 가지고 있다(MacLean 2017).

산림 피복 자료(Haddad et al. 2015; Numata et al. 2011)와 위성영상(Hansen et al. 2013; Chaplin-Kramer et al. 2015)을 활용하여 인간 활동이 산림 파편화에 미치는 영향을 다루는 연구들도 진행되었다. Hansen et al.(2013)은 Landsat 영상을 이용하여 전 세계의 산림 손실을 평가했고, Sebastian & Howard(2005)은 Landsat 7 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index) 영상과 현장조사를 통해 획득한 LAI(Leaf Area Index) 지수를 활용하여 산림 임연부의 식생 군집 구조, 생태계 특성을 평가했다. 위성영상으로부터 도출된 NDVI 값은 지표면의 식생 활력도를 간접적으로 나타내는 식생지수 중 하나로 식생의 생물량, 광합성 강도와 밀접한 관련이 있으며(Baldi et al. 2008), NDVI 값의 변화는 곧 식생의 변화를 반영하므로 식생 관련 연구에서 광범위하게 사용되고 있다.

선행연구 고찰 결과, 과거에는 현장 조사 기반인 연구가 다수 진행되었지만, 최근에는 위성영상을 활용하여 산림의 생태적 변화를 분석하는 연구가 많이 진행되고 있다. 그러나 도시 산림 임연부에 대한 모

니터링에는 연구 규모 상 정밀한 공간해상도가 필요하고 연속적인 모니터링을 위해 높은 시간 해상도도 요구되고 있다(Li et al, 2017). 현재 제공되고 있는 위성 데이터 중 접근성이 가장 좋고 무료로 제공되는 영상은 Landsat 영상과 MODIS 영상을 예로 들 수 있다.

Landsat 영상은 30m의 공간해상도와 16일의 시간해상도를 가지지만, 영상 획득 시기가 한정되어 있고, 구름의 영향 및 불안정한 대기의 조건으로 연속적인 자료 획득이 어렵다는 단점이 있다. 최근에는 Landsat 영상의 단점인 시간해상도를 보완하기 위해 1일의 높은 시간해상도를 가지고 있는 MODIS 영상과의 영상 간 융합 연구가 진행되고 있다(Zhu et al, 2010; Wu et al, 2015, 2016). 대표적인 융합 기법으로는 STARFM(Spatial and Temporal Adaptive Reflectance Fusion Model) 융합 기법이 있으며, 도시와 같이 복잡한 지역의 경우 정확도가 낮아지는 경향을 나타내었다(Liu et al, 2012; Weng et al, 2014). 최근에 개발된 FSDAF(Flexible Spatio-temporal DATA Fusion) 영상 융합 기법은 위의 융합 기법과는 다르게 한 시기의 맑은 영상만을 필요로 하고, 도시와 같이 이질적인 지역에서도 높은 예측 정확도를 보이는 융합기법이다(Zhu et al, 2016).

따라서 본 연구의 목적은 시간적 예측, 공간적 예측에서 정확도가 높은 FSDAF 영상 융합 기법을 활

용하여 월별 NDVI 값을 도출하고, 이를 바탕으로 인접한 토지피복 유형에 따른 도시 산림 임연부의 식생 활력도 차이를 평가해보고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 연구대상지

본 연구에서는 도시화 및 산림 파편화가 많이 진행된 서울시 권역 내 도시 산림 임연부를 대상으로 분석하였으며, 공간적 범위는 Figure 1과 같다. 서울시는 도시 중심부의 한강과 지천을 중심으로 도시화 지역이 위치하고 있으며, 2016년 기준 총 인구가 약 980만 명에 이르는 대도시다(KOSIS 2016). 도시 외곽 지역에는 대규모 도시 산림, 도시 내부 지역에는 남산을 중심으로 파편화된 소규모 산림이 위치하고 있다.

도시 산림의 임연부는 임연부 효과가 미치는 범위인 90-100m(Riutta et al, 2014; Haddad et al, 2015)를 참고하여 90m로 규정하였다. 본 연구에서는 인접한 토지피복에 따른 산림 임연부의 식생 활력도 차이를 보기 위해 인접 토지피복 유형으로부터 산림 내부로 30m, 60m, 90m까지의 식생 활력도를 평가하였고, 시간적 범위는 2016년으로 설정하였다.

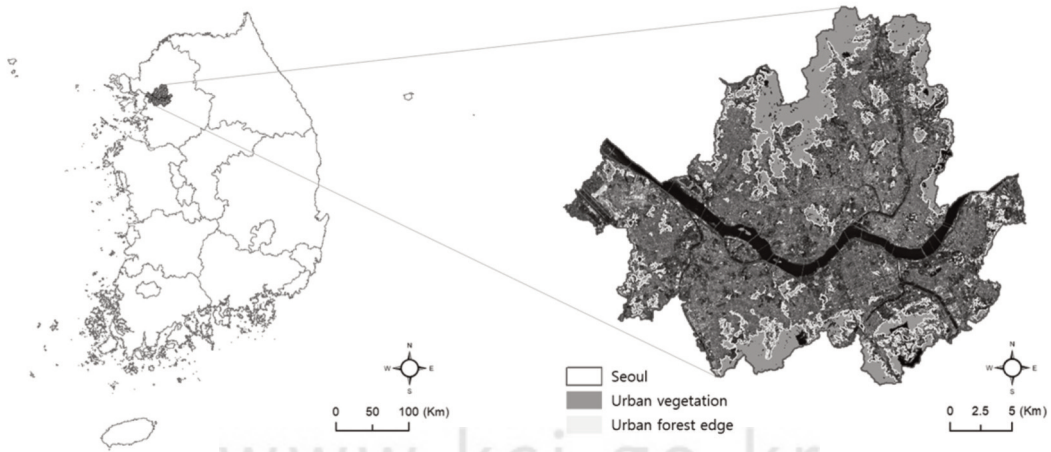


Figure 1. Study area.

Table 1. The image data used in this study

Data Type	Acquire Time	Spatial Resolution	Cloud	Band	Role	Tile
Landsat 8 OLI	2016.5.19	30m	0.2%	Red, NIR band	Input (fine resolution image at $t_1$ ; $F_1$ )	Path 116 Row 34
	2016.3.16		5.8%		Validation	
	2016.9.24		1.5%			
MOD13Q1 (250m 16days NDVI)	2016.5.24	250m	-	NDVI	Input (Coarse resolution image at $t_1$ ; $C_1$ )	h28 v05
	2016.1.17~ 2016.12.18				Input/Predict (Coarse resolution image at $t_2$ ; $C_2$ )	

## 2. 월별 NDVI 구축

### 1) 데이터 수집 및 전처리

FSDAF 영상 융합 기법의 입력 영상에는 공간 해상도는 낮지만 시간 해상도가 높은 MODIS 영상과 공간 해상도는 높지만 시간해상도는 낮은 Landsat 8 OLI 영상을 활용하였다. 영상 예측의 정확도 향상을 위해 입력 영상은 2016년도의 Landsat 영상 중 윤량이 가장 적은 5월 19일 영상을 사용하였다. MODIS 영상은 예측에 필요한 1월에서 12월까지의 MOD13Q1 NDVI 영상을 사용하였다. MOD13Q1 NDVI 영상은 16일 주기로 취득한 영상을 MVC (Maximum Value Composite) 방법을 통해 구름의 영향을 최소화한 영상이다. 영상 융합에 사용한 영상은 Table 1과 같다.

본 연구에서 사용하는 모든 Landsat 영상은 대기 에 의한 영향, 굴절 등의 영향을 제거하기 위해 FLAASH를 활용하여 대기 보정하였다(FLAASH 2009). MODIS 영상은 MRT(MODIS Reprojection Tool)을 활용하여 Landsat 영상과 동일한 UTM 52 zone 좌표로 좌표 변환하여 Landsat 영상과의 기하학적 왜곡을 최소화하였다. MODIS 영상의 공간해상도는 Landsat 영상과의 융합을 위해 240m로 해상도를 변환하였다. 또한, quality reliability mask band를 활용하여 이상 값들을 제거하였다.

### 2) FSDAF 융합 기법

FSDAF 영상 융합 기법은 다음의 6가지 절차를 통해 진행된다. 1)  $t_1$  시기의 Landsat 영상 무감독 분류,

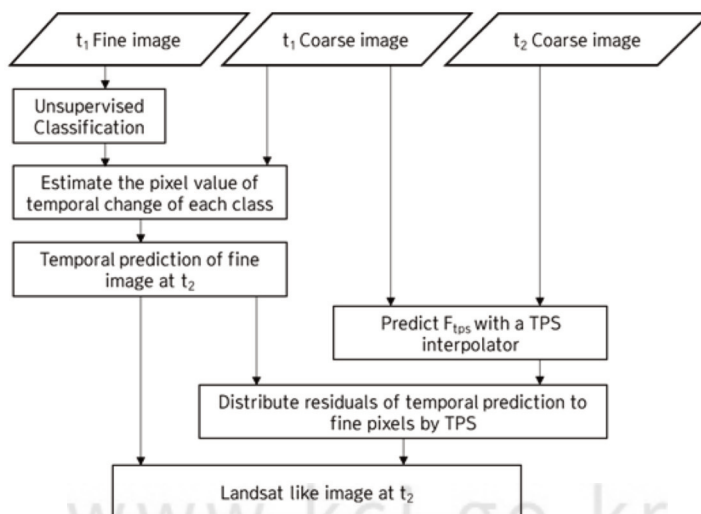


Figure 2. Flow chart of FSDAF fusion method (Zhu et al. 2016).

2)  $t_1$ 와  $t_2$  시기 MODIS 영상의 각 클래스 값의 변화를 계산, 3) 각 클래스 값의 변화로  $t_2$  시기의 Landsat 영상을 예측, 4) TPS(Thin Plate Spline) 보간 법을 통해  $t_1$  시기와  $t_2$  시기 MODIS 영상의 공간적 변화를 예측, 5) 공간적 변화가 나타난 픽셀 값 분배, 6) 주변 값을 이용하여 극값을 보완하고 최종 예측을 한다 (Figure 2).

본 연구에서는 FSDAF 영상 융합 기법을 사용하여 2016년 1월부터 12월까지 공간해상도 30m를 가지는 월별 NDVI 영상을 구축하고, 구축한 월별 NDVI 영상을 활용하여  $NDVI_{max}$  영상을 도출했다.

Normalized Difference Vegetation Index(NDVI)는 정규식생지수를 뜻하며 식생 관련 연구에 가장 보편적으로 활용되는 식생지수로 식생의 존재여부와 상태를 파악할 수 있는 지표이다. 또한, NDVI는 식생활력도를 나타내는 척도로 -1에서 1 사이의 값을 가지며, 1에 가까운 값을 가질수록 식생활력도가 높다고 할 수 있다. NDVI는 위성영상 자료로부터 획득할 수 있기 때문에 광범위한 지역의 식생활력도 변화를 모니터링하기에 매우 효과적인 방법이다(Kim & Jang 2014; Kim & Jang 2015).

본 연구에서 사용하는  $NDVI_{max}$  영상은 해당 연도의 최대 NDVI 값을 의미하며, 해당 연도의 가장 건강한 상태(greenest status)를 나타낸다.  $NDVI_{max}$ 는 각 픽셀의 최댓값이기 때문에 구름의 영향을 최소화함으로써 줄여주며(Markon 2001), 식생의 변화, 식생의 성장 모니터링 자료로 사용된다(Sentinel Hub). 따라서 본 연구에서는 식생의 상태를 잘 반영하는 식생지수인  $NDVI_{max}$ 를 활용하였으며, 각 토지피복 유형에 인접한 도시 산림 임연부에 해당하는 픽셀 값의 비교를 통해 토지피복에 인접한 산림의 식생 활력도를 평가하였다.  $NDVI_{max}$  영상은 FSDAF 융합 기법을 통해 도출된 2016년 1월부터 12월까지의 영상에 대해 각 픽셀 값의 최댓값을 이용하여 도출하였다.

### 3) 영상 융합 결과 정확도 검증

본 연구에서는 2가지 방법으로 실제 Landsat 영상과 예측한 Landsat 영상의 비교를 통해 정확도 검증 실시하였다: 1) RMSE(Root Mean Square

Error) 지수와 2) 상관지수 R을 활용하였다. RMSE 지수는 예측한 Landsat 영상과 실제 Landsat 영상의 NDVI 값 차이를 나타내기 위해 활용하였으며, RMSE 값이 0.1미만이어야 정확도가 높다고 판단할 수 있다(Chai & Draxler 2014). 상관지수 R은 예측한 Landsat 영상과 실제 Landsat 영상과의 상관성 분석을 위해 활용하였고, R값이 0.7이상이면 강한 선형관계를 가진다고 볼 수 있다(Lee & Roh 2013).

본 연구에서 융합한 영상의 정확도를 검증하기 위해 운량이 10% 미만인 실제 Landsat 영상의 NDVI 값과 비교하여 정확도를 검증하였다. 2016년 Landsat 영상 중 운량이 비교적 적은 3월 영상과 9월 영상을 검증에 활용하였고, 영상에 대한 정보는 Table 1과 같다.

### 3. 인접한 토지피복 및 임연부 산림의 분류

인접한 토지피복 유형은 한국 환경공간정보서비스에서 제공하는 토지피복도(2013년)를 이용하여 서울시 내 도시 산림으로부터 30m buffer를 설정하여 산림에 주로 인접하고 있는 토지피복을 추출하였다 (Figure 3). 시가화 지역에서는 산림에 주로 인접한 토지피복인 주거지역, 도로, 농지에서는 논과 밭이 추출되었다. 또한, 인간 활동, 도시화의 영향이 적은 자연초지와 인접한 산림식생을 대조군으로 설정하여 분석하였다. 또한, 추출된 4가지 토지피복 유형으로부터 30m 간격으로 90m까지 buffer를 토지피복이 영향을 미치는 영향 범위로 설정하여 4가지 토지피복 유형이 인접한 산림에 미치는 영향을 분석하였다 (Figure 3).

추출된 토지피복에 인접한 임연부 산림은 산림청의 5차 임상도를 활용하여 각각 1~5영급의 활엽수림, 침엽수림으로 산림 유형을 구분하였고, 앞서 추출한 토지피복 유형의 영향 범위와의 중첩 범위를 추출하여 중첩 범위 내 존재하는 픽셀에 대하여 층화표본 추출 샘플링 기법으로 각 유형 별 샘플을 추출하여  $NDVI_{max}$  값을 비교 분석하였다. 한편, 여러 토지피복에 인접해 있어 복합적 영향을 받는 임연부 산림은 분석에서 제외하였다. 그 결과, 4영급을 제외한 다른 영급에 해당하는 산림의 면적이 적게 도출되어 분석

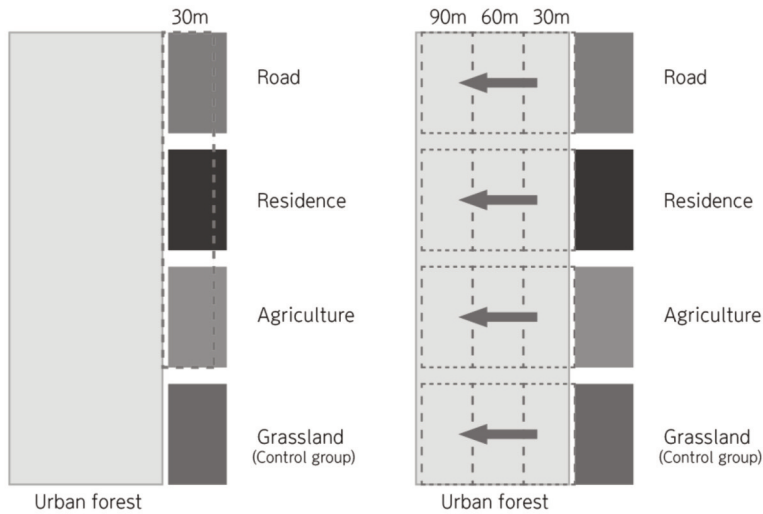


Figure 3. Classification of adjacent land cover types (left) and setting buffer distance from land cover types (right).

하는데 한계점이 있어, 4영급에 해당하는 산림에 대해서만 분석하였다. ArcGIS 10.2.2를 이용하여 분석을 진행하였다.

인접한 4가지 토지피복 유형인 주거지역, 도로, 농지, 자연초지에 인접한 도시 산림 임연부의 식생 활력도 차이를 분석하였으며, 각 토지피복 유형에 따른 도시 산림 임연부의 식생 활력도 차이가 유의한지 검증하기 위해 분산 분석을 활용하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 융합 결과 및 정확도 검증

Figure 4는 2016년 1월부터 12월까지 공간해상도 30m를 가지는 월별 NDVI 영상을 바탕으로 도출한 NDVI<sub>max</sub> 영상이다. 도출된 영상에서 서울시 내 식생의 공간적 분포가 잘 반영된 것을 볼 수 있다.

Figure 5와 Table 2는 FSDAF 영상 융합 기법을

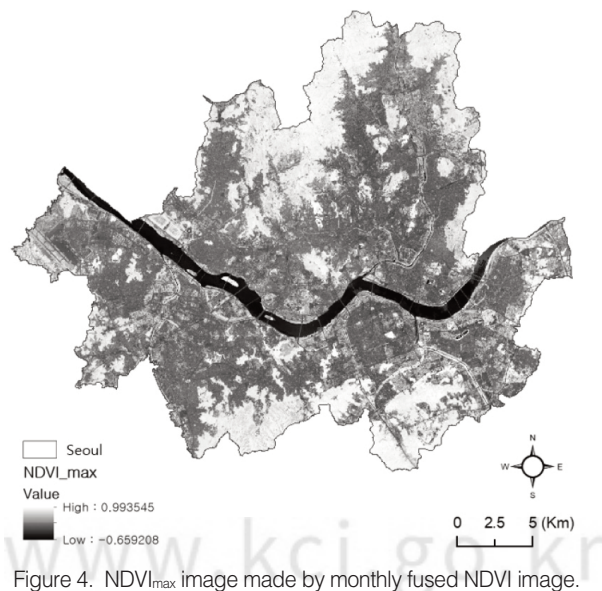


Figure 4. NDVI<sub>max</sub> image made by monthly fused NDVI image.

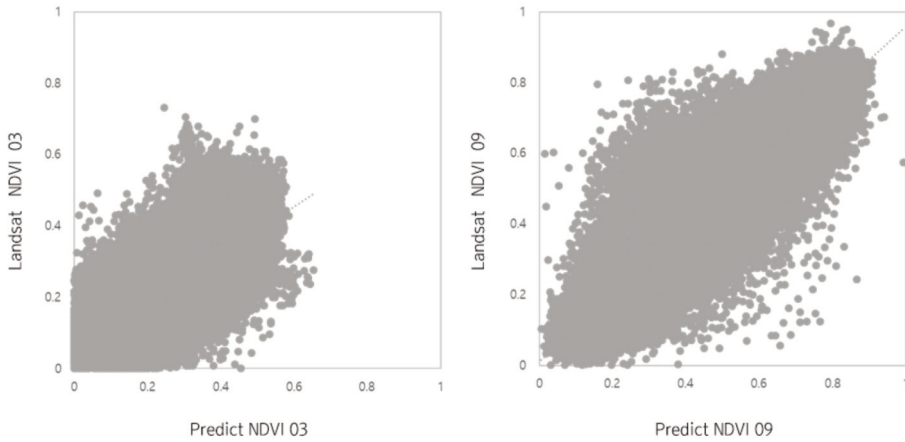


Figure 5. Scatter plots of the Landsat NDVI values and predicted NDVI values of march and september.

Table 2. Accuracy assessment applied to march and september fused image

	March	September
RMSE	0.088	0.085
R	0.783	0.941

사용하여 예측한 NDVI 결과와 기존 Landsat NDVI 결과의 비교를 통해 정확도 검증을 수행한 결과이다. 산림에 대한 예측 정확도를 검증하는 것이므로, 식생이 존재하는 픽셀에 대해 검증을 실시하였고, NDVI 값이 0보다 작게 나오는 도심, 하천은 검증에서 제외하였다. 검증 결과, 예측한 3월 NDVI 영상과 9월 NDVI 영상의 RMSE 값은 각각 0.088, 0.085로 실제 값과 비교적 일치하는 것으로 나타났다(Table 2). 또한, 상관성 분석 결과 예측한 3월 NDVI 영상과 9월 NDVI 영상에서 R값이 각각 0.783, 0.941으로 상

관성이 비교적 높은 것으로 나타났다.

## 2. 인접 토지피복에 따른 식생 활력도 차이

인접한 토지피복 유형별 임연부 산림에 미치는 영향을 평가하는 것은 도시 산림 관리 차원에서 중요하다(Alighier & Deconchat 2013). 따라서 본 연구에서는 인접 토지 피복에 따른 임연부 산림에 미치는 영향을 평가하기 위해 4가지 토지 피복으로부터 90m buffer 내 임연부 산림의 식생 활력도 차이를 분석하였다. 분석 결과, 활엽수림과 침엽수림에서 모두 F값이 65.136( $P < 0.05$ ), 31.437( $P < 0.05$ )로 인접한 토지피복 유형에 따라 도시 산림 임연부의  $NDVI_{max}$ 의 차이가 유의미하게 나타난 것을 알 수 있었다(Table 3).  $NDVI_{max}$ 의 평균값 비교 결과, 활엽수림과 침엽수림 모두 4가지 토지피복 유형 중 도로

Table 3. Difference of vegetation condition( $NDVI_{max}$ ) due to land cover type in forest edge

NDVI	Land cover	Vegetation type	Mean	Std.	F (sig.)
Max	Residence	Broad leaf forest	0.801	0.084	65.136 ( $P=0.000$ )
	Road		0.772	0.120	
	Agriculture		0.841	0.056	
	Grass		0.809	0.071	
NDVI	Land cover	Vegetation type	Mean	Std.	F (sig.)
Max	Residence	Needle leaf forest	0.776	0.096	31.437 ( $P=0.000$ )
	Road		0.752	0.113	
	Agriculture		0.826	0.072	
	Grass		0.807	0.060	

에 인접한 임연부 산림의  $NDVI_{max}$  평균값이 각각 0.772, 0.752로 가장 낮게 나타났으며, 자연초지에 인접한 산림에 비해  $NDVI_{max}$  평균값이 활엽수림에서는 0.037, 침엽수림에서는 0.055로 낮게 나타났다. 이는 도로의 영향이 다른 토지피복에 비해 도시 산림 임연부에 미치는 영향이 크다는 것을 의미하며, 주변 지역 보다 미기후, 온도 등의 영향(Delgado et al. 2007)을 더 많이 받아 식생 활력도가 낮아지는 경향을 보이는 것으로 사료된다.

농경지와 초지의 경우에는 주거지역과 도로와 같은 개발지에 인접한 산림에 비해 활엽수림과 침엽수림 모두에서 높은  $NDVI_{max}$  평균값을 갖는 것으로 나타났으며, 자연초지에 비해서도 농경지에 인접한 산림에서의  $NDVI_{max}$  평균값이 높게 나타났다. 이는 농경지를 개발지로부터 식생을 보존하는 완충지대로 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3. 산림 내부로의 거리에 따른 식생 활력도 차이

산림 내부로의 90m buffer에서의  $NDVI_{max}$  분석 결과 시 인접한 토지피복이 도시 산림 임연부에 미치는 영향 거리를 평가하기 어렵기 때문에 30m 간격으로 식생 활력도의 변화 값을 추가로 분석하였다. Figure 6은 4가지 토지피복으로부터 산림 내부로의 거리에 따라 30m, 60m, 90m 간격으로 산림의  $NDVI_{max}$  값을 나타낸 것이다. 산림 임연부 내 활엽수림과 침엽수림에서 모두 산림 내부로 갈수록  $NDVI_{max}$  값이 높아지는 경향을 나타냈으며, 산림의 임연부가 산림 내부에 비해 산림 활력도가 낮다는 것

을 확인할 수 있었다.

인접한 토지피복 유형이 산림 임연부의 미치는 영향거리 분석결과, 4가지 토지피복 유형에 인접한 산림 임연부 30m까지 가장 큰 영향을 미친다는 결과를 도출할 수 있었다. 특히, 4가지 인접한 토지피복 유형 중 도로와 인접한 임연부 산림 30m까지의 식생 활력도가 다른 토지피복에 비해 현저히 낮은 결과를 나타내는 것을 볼 수 있었다. 이는 도로로 인한 영향이 30m 까지 가장 큰 영향을 미친다는 것을 의미하며, 기존의 연구에서 밝혀진 도로가 인접한 산림 임연부로부터 산림 임내부 20m까지 가장 많은 영향을 미친다는 것을 다시 한 번 확인할 수 있었다(Marcantonio et al. 2013). 또한, 도로로부터 90m까지 다른 토지피복 유형에 인접한 산림의  $NDVI_{max}$  값보다 낮은 경향을 나타내는데, 이는 도로의 영향 범위가 다른 토지피복에 비해 광범위하게 나타난다는 것을 의미한다.

개발지역인 주거지역에 인접한 활엽수림과 침엽수림 모두 다른 토지피복에 인접한 산림과 마찬가지로 산림 임연부에서 산림 내부로 갈수록  $NDVI_{max}$  값이 높아지는 경향을 보이는 것으로 나타났으며, 토지피복의 영향을 가장 많이 받는 주거지역으로부터 30m 인 산림의  $NDVI_{max}$  값이 가장 낮게 나타났다.

농경지에 인접한 활엽수림, 침엽수림 임연부의 경우에도 다른 토지피복 유형에 인접한 산림과 마찬가지로 산림 임연부에서 30m 까지는 인접한 토지피복의 영향을 많이 받는 것으로 나타났으나, 산림 내부로 갈수록  $NDVI_{max}$  값이 다른 토지피복에 인접한 산림 임연부에 비해 높은  $NDVI_{max}$  값을 가지는 것으로

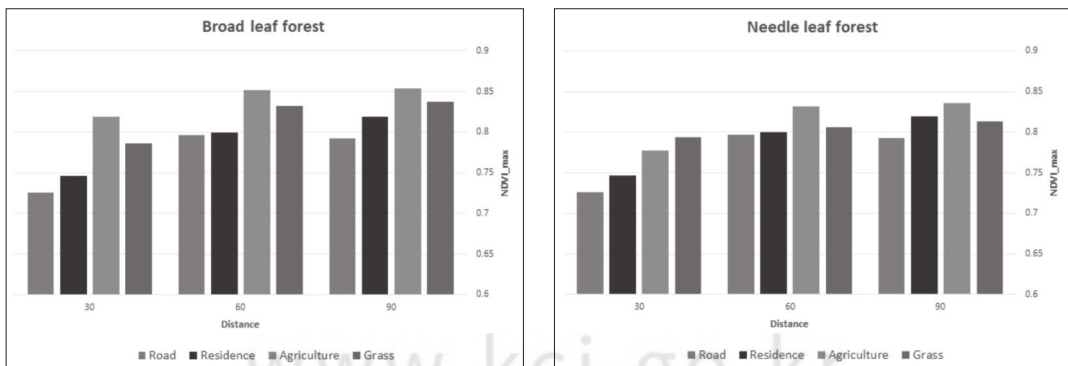


Figure 6. Difference of vegetation condition according to distance in broad leaf forest (left) & needle leaf forest (right).

나타났다. 이는 농경지가 다른 토지피복에 비해 개발 지로부터의 영향을 최소화시키는 것으로 보이며, 개발지에 인접한 식생을 보전하는데 활용될 수 있을 것이라고 사료된다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 FSDAF 영상 융합 기법을 통해 월별 NDVI 영상을 구축하고, 월별 NDVI 영상으로 NDVI<sub>max</sub> 영상을 도출하여 인접 토지피복 유형에 따른 도시 산림 임연부의 식생 활력도 차이와 그 영향 거리를 서울시를 대상으로 분석하였다. FSDAF 영상 융합 기법은 구름의 영향으로 원하는 시간대의 영상 획득이 어렵다는 기존 영상의 문제점을 해결해 주기 때문에 산림 모니터링에 적합할 것으로 사료된다.

도출된 영상을 바탕으로 인접한 토지피복 유형에 따라 도시 산림 임연부의 식생 활력도 차이를 분석한 결과, 인접한 토지피복 유형에 따라 도시 산림 임연부의 식생 활력도 차이가 유의미하게 나타났다. 산림 임연부에 가장 큰 영향을 주는 토지피복 유형은 도로로 나타났으며, 30m까지 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 도로 개발 시 혹은 개발 이후, 인접한 임연부 산림의 관리가 필요할 것으로 판단된다. 산림 임연부 내 활엽수림과 침엽수림에서 모두 산림 내부로 갈수록 NDVI<sub>max</sub> 값이 높아지는 경향을 나타냈으며, 산림의 임연부가 산림 내부에 비해 산림 활력도가 낮다는 것을 확인할 수 있었다. 인접한 토지피복 유형이 산림 임연부에 미치는 영향거리 분석결과, 대부분의 토지피복 유형이 인접한 산림 임연부 30m까지 가장 큰 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나, 본 연구에서는 도로 유형을 세분화하여 차선, 도로 폭 등에 따라 달라지는 식생활력도 변화를 고려하지 못했다는 점과 주거지역의 건물 높이, 건물유형에 따라 달라지는 식생활력도 변화를 고려하지 못했다는 한계를 가진다.

본 연구는 시공간 융합기법으로 도출된 NDVI 영상을 기반으로 토지피복 유형에 따른 인접 산림의 식생활력도 및 산림 내부로의 거리에 따른 식생활력도를 평가하였다는 점에서 의의가 있으며, 본 연구의

결과는 도시 산림 임연부 관리 측면에서 도시 산림 모니터링 및 도시 개발로 인해 변화하는 토지피복이 인접한 산림에 미치는 영향을 평가하는데 활용 가능할 것으로 기대된다. 마지막으로 시공간 융합기법은 픽셀 기반의 융합기법으로 본 연구에서 사용한 Landsat 영상과 MODIS 영상 외에 다른 해상도를 가지는 영상과도 융합 가능할 것으로 판단되며, 향후 보다 향상된 공간해상도의 영상으로 식생 모니터링 연구에 보다 정확도 높은 기초자료를 제공해 줄 수 있을 것으로 판단된다.

#### 사 사

본 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 환경정책기반공공기술개발사업 지원을 받아 연구되었습니다(과제번호:2016000210004).

#### References

- Akamphon S, Akamphon K. 2014. Cost and benefit tradeoffs in using a shade tree for residential building energy saving. The international journal published by the Thai Society of Higher Education Institutes on Environment. 7: 19-24.
- Alignier A, Deconchat M. 2013. Patterns of forest vegetation responses to edge effect as revealed by a continuous approach. Annals of Forest Science. 70(6): 601-609.
- Baker TP, Jordan GJ, Steel EA, Fountain-Jones NM, Wardlaw TJ, Baker SC. 2014. Microclimate through space and time: micro climatic variation at the edge of regeneration forests over daily, yearly and decadal time scales. Forest Ecology and Management. 334: 174-184.
- Baldi G, Noretto MD, Aragon R, Aversa F, Paruelo JM, Jobbagy EG. 2008. Long-term satellite NDVI data sets: Evaluating their

- ability to detect ecosystem functional changes in South America. *Sensors*. 8: 5397-5425.
- Briber BM, Hutyrá LR, Reinmann AB, Raciti SM, Dearborn VK, Holden CE, Dunn AL. 2015. Tree productivity enhanced with conversion from forest to urban land covers. *Plos One*. 10: e0136237.
- Chai T, Draxler RR. 2014. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE) Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*. 7(3): 1247-1250.
- Chaplin-Kramer R, Ramler I, Sharp R, Haddad NM, Gerber JS, West PC, Mandle L, Engstrom P, Baccini A, Sim S, Mueller C, King H. 2015. Degradation in carbon stocks near tropical forest edges. *Nature Communications*. 6: 1-6.
- Davies-Colley RJ, Payne GW, van Elswijk M. 2000. Microclimate gradients across a forest edge. *New Zealand Journal of Ecology*. 24(2): 111-121.
- Delgado JD, Arroyo NL, Arevalo JR, Fernandez-Palacios JM. 2007. Edge effects of roads on temperature, light, canopy cover, and canopy height in laurel and pine forests (Tenerife, Canary Islands). *Landscape and Urban Planning*. 81: 328-340.
- Escobedo FJ, Nowak DJ. 2009. Spatial heterogeneity and air pollution removal by an urban forest. *Landscape and Urban Planning*. 90: 102-110.
- FLAASH M. 2009. Atmospheric Correction Module: QUAC and FLAASH User's Guide, Version 4.7, Boulder, CO, USA.
- Gobster PH, Westphal LM. 2004. The human dimensions of urban greenways: Planning for recreation and related experiences. *Landscape and Urban Planning*. 68: 147-165.
- Gulci S, Akay AE, Oguz H, Gulci N. 2017. Assessment of the Road Impacts on Coniferous Species Within the Road-Effect Zone Using NDVI Analysis Approach. *Fresenius Environmental Bulletin*. 26: 1654-1662.
- Haddad NM, Brudvig LA, Clobert J, Davies KF, Gonzalez A, Holt RD, Lovejoy TE, Sexton JO, Austin MP, Collins CD, Cook WM, Damschen EI, Ewers RM, Foster RM, Jenkins CN, King AJ, Laurance WF, Levey DJ, Margules CR, Melbourne BA, Nicholls AO, Orrock JL, Song D, Townshend JR. 2015. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*. 1:e1500052-e1500052.
- Hansen MC, Potapov PV, Moore R, Hancher M, Turubanova SA, Tyukavina A, Thau D, Stehman SV, Goetz SJ, Loveland TR, Kommareddy A, Egorov A, Chini L, Justice CO Townshend JRG. 2013. High-Resolution Global Maps of 21st Century forest cover change. *Science*. 342: 850-854.
- Hernandez-Santana V, Asbjornsen H, Sauer T, Isenhardt T, Schilling K, Schultz R. 2011. Enhanced transpiration by riparian buffer trees in response to advection in a humid temperate agricultural landscape. *Forest Ecology and Management*. 261: 1415-1427.
- Hofmeister J, Hošek J, Brabec M, Hédli R, Modrý M. 2013. Strong influence of long-distance edge effect on herb-layer vegetation in forest fragments in an agricultural landscape. *Perspective in Plant Ecology Evolution and Systematics*. 15: 293-303.
- Kim EY, Song WK, Yoon EJ, Jung HJ. 2016. Definition of Invasive Disturbance Species

- and its Influence Factor: Review. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*. 19(1): 155-170. [Korean Literature]
- Kim SH, Jang DH. 2014. Analysis of forest types and estimation of the forest carbon stocks using landsat satellite images in Chungcheongnam-do, South Korea. *Journal of The Korean Association of Regional Geographers*. 20(2): 206-216. [Korean Literature]
- Kim JY, Jang DH. 2015. An application of remote sensing data for the land surface characteristics analysis of ecological stream restoration area in Daejeon stream. *Journal of the Association of Korean Geographers*. 4(2): 231-240. [Korean Literature]
- Kuttler W. 2008. *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.
- Lee H, Noh S. 2013. *Advanced Statistical Analysis: Theory and Practice*. Moonwoosa Publishing. [Korean Literature]
- Li F, Song G, Liujun Z, Yanan Z, Di L. 2017. Urban vegetation phenology analysis using high spatio-temporal NDVI time series. *Urban Forestry & Urban Greening*. 25: 43-57.
- Liu D, Zhu X. 2012. An enhanced physical method for downscaling thermal infrared radiance. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. 9(4): 690-694.
- MacLean MG. 2017. Edge influence detection using aerial LiDAR in Northeastern US deciduous forests. *Ecological Indicators*. 72: 310-314.
- Magnago LFS, Edwards DP, Edwards FA, Magrach A, Martins SV, Laurance WF. 2014. Functional attributes change but functional richness is unchanged after fragmentation of Brazilian Atlantic forests. *Journal of Ecology*. 102: 475-485.
- Magnago LFS, Magrach A, Barlow J, Schaefer CEGR, Laurance WF, Martins SV, Edwards DP. 2017. Do fragment size and edge effects predict carbon stocks in trees and lianas in tropical forests?. *Functional Ecology*. 31: 542-552.
- Markon BCJ. 2001. Survey USG. Seven year phenological record of Alaskan ecoregions derived from Advanced Very High Resolution Radiometer normalized difference vegetation index data. Open-File Report 01-11 U.S. Department of the Interior.
- Numata I, Cochrane MA, Souza Jr CM, Sales MH. 2011. Carbon emissions from deforestation and forest fragmentation in the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters*. 6: 44003.
- Riedel SM, Epstein HE. 2005. Edge effects on vegetation and soils in a Virginia old-field. *Plant and Soil*. 270: 13-22.
- Riutta T, Slade EM, Morecroft MD, Bebbler DP, Malhi Y. 2014. Living on the edge: quantifying the structure of a fragmented vforest landscape in England. *Landscape Ecology*. 29: 949-961.
- Sentinel Hub [Internet]. Laboratory for geographical information systems, Ltd. [cited 2017 Nov 20]. Available from: [https://www.sentinel-hub.com/max\\_service](https://www.sentinel-hub.com/max_service)
- Shojanoori R, Shafri HZM. 2017. Review on the use of remote sensing for urban forest

- monitoring Review on the Use of Remote Sensing for Urban Forest Monitoring. *Arboriculture & urban forestry*. 42(6): 400-417.
- Sung HY, Park OJ. 2000. A study on distribution and change of NDVI with land-cover change in city of Sungnam. *The journal of GIS Association of Korea*. 8(2): 275-288
- Sung SY, Lee DK, Mo YW. 2015. Comparison of Carbon Stock Between Forest Edge and Core by Using Connectivity Analysis. *Korean Society of Rural Planning*. 21(4): 27- 33. [Korean Literature]
- Weng Q, Fu P, Gao F. 2014. Generating daily land surface temperature at Landsat resolution by fusing Landsat and MODIS data. *Remote Sensing of Environment*. 145: 55-67.
- Wu M, Huang W, Niu Z, Wang C. 2015. Generating Daily Synthetic Landsat Imagery by Combining Landsat and MODIS Data. *Sensors*. 15: 24002-24025.
- Wu M, Wu C, Huang W, Niu Z, Wang C, Li W, Hao P. 2016. An improved high spatial and temporal data fusion approach for combining Landsat and MODIS data to generate daily synthetic Landsat imagery. *Information Fusion*. 31: 14-25.
- Xun B, Yu D, Liu Y, Hao R, Sun Y. 2014. Quantifying isolation effect of urban growth on key ecological areas. *Ecological Engineering*. 69: 46-54.
- Zhu X, Chen J, Gao F, Chen X, Masek JG. 2010. An enhanced spatial and temporal adaptive reflectance fusion model for complex heterogeneous regions. *Remote Sensing of Environment*. 114(11): 2610-2623.
- Zhu X, Helmer EH, Gao F, Liu D, Chen J, Lefsky MA. 2016. A flexible spatiotemporal method for fusing satellite images with different resolutions. *Remote Sensing of Environment*. 172: 165-177.