

원격탐사와 지리정보시스템의 산림분야 활용

Application of Remote Sensing and Geographic Information System in Forest Sector

이우균* · 김문일** · 송철호*** · 이슬기**** · 차성은***** · 김강선*****
Lee, Woo-Kyun · Kim, Moonil · Song, Cholho · Lee, Sle-gee ·
Cha, Sungeun · Kim, GangSun

Abstract

Forest accounts for almost 64 percents of total land cover in South Korea. For inventorying, monitoring, and managing such large area of forest, application of remote sensing and geographic information system (RS/GIS) technology is essential. On the basis of spectral characteristics of satellite imagery, forest cover and tree species can be classified, and forest cover map can be prepared. Using three dimensional data of LiDAR(Light Detection and Ranging), tree location and tree height can be measured, and biomass and carbon stocks can be also estimated. In addition, many indices can be extracted using reflection characteristics of land cover. For example, the level of vegetation vitality and forest degradation can be analyzed with VI (vegetation Index) and TGSI (Top Grain Soil Index), respectively. Also, pine wilt disease and oak wilt disease can be early detected and controled through understanding of change in vegetation indices. RS and GIS take an important role in assessing carbon storage in climate change related projects such as A/R CDM, REDD+ as well. In the field of climate change adaptation, impact and vulnerability can be spatio-temporally assessed for national and local level with the help of spatio-temporal data of GIS. Forest growth, tree mortality, land slide, forest fire can be spatio-temporally estimated using the models in which spatio-temporal data of GIS are added as influence variables.

Keywords: Forest, RS, GIS, Forest, Spatio-temporal analysis, Climate change

* 고려대학교 환경생태공학과 교수 Department of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University (First author and Corresponding author: leewk@korea.ac.kr)

** 고려대학교 환경생태공학과 박사과정 Department of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University (windy7up@gmail.com)

*** 고려대학교 환경생태공학과 박사과정 Department of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University (cholhosong@gmail.com)

**** 고려대학교 환경생태공학과 박사과정 Department of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University (crystallize@naver.com)

***** 고려대학교 환경생태공학과 석사과정 Department of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University (tgy2005@korea.ac.kr)

***** 고려대학교 환경생태공학과 석사과정 Department of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University (com2688@korea.ac.kr)

1. 서 론

원격탐사(Remote Sensing, RS)와 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS)은 우리나라 산림 관리와 연구에 다양하게 활용되고 있다. 또한, 원격탐사와 지리정보시스템에 기반하여 구축된 다양한 도면정보와 공간 및 속성정보는 산림 의사결정자들의 의사결정을 편리하게 하고 있다(조명희·조윤원 2006).

우리나라 산림은 2015년 기준 총 6,334,315ha로 국토면적의 약 64%를 차지하고 있으며, 임산물, 산림생태계서비스, 생물다양성, 기후변화 등 다양한 수요에 직면하고 있다. 따라서 원격탐사 및 지리정보시스템을 통해 각 수요에 부합하는 정보를 제 때에 제공하는 것은 필수적이라고 할 수 있다(산림청 2016).

대규모 면적을 차지하는 산림에 대해 항공 및 위성영상을 활용하여 수종 및 임상정보를 구축하고, 변화과정을 모니터링하는 것은 산림 관리를 위한 기초 작업으로 볼 수 있다. 원격탐사를 통해 획득된 공간자료와 속성자료에 기반한 GIS는 산림에 대한 시공간(Spatio-temporal)정보를 제공하여 효율적인 산림경영계획 수립을 가능하게 한다(정기현 외 1998; 김윤경·이우균 1999; 함보영 외 2004).

최근에는 산림을 온실가스 흡수원으로 인식하게 되면서 기후변화에 대응한 산림 관리의 중요성이 증가하고 있다(정현용 외 2013). 이에 산림에 미치는 기후변화 영향을 파악하기 위한 다양한 모델링이 GIS를 기반으로 이뤄지고 있으며, 보다 세밀하고 정량적인 연구 방향 설계가 진행 중에 있다. 본고에서는 산림분야에의 원격탐사 및 지리정보시스템 활용현황을 소개하여 향후 활용방안에 대한 기초 정보를 제공하고자 한다.

2. 원격탐사 활용

항공 및 위성영상을 원격탐사기술로 분석하면, 수

종 및 임상구분이 가능하고, 지상조사와 연계하여 대면적에서의 재적, 바이오메스, 탄소량 추정이 가능하다. 또한, 병해충 및 산림분포 등의 변화탐지가 가능하다.

2.1. 임분단위의 수종 구분 및 임상분류

산림분야에서 위성영상을 활용한 원격탐사 분석 중 토지피복분류가 가장 널리 활용되고 있다. 30m 공간 해상도를 가진 Landsat 등의 중저해상도 위성영상으로는 침엽수 및 활엽수 수준까지 분류가 가능하지만, 1m 급인 IKONOS 등의 고해상도 위성영상으로는 주요 수종까지 분류가 가능하다. 분류에는 화소기반 분류(Pixel-Based Classification: PBC), 객체기반 분류(Object-Based Classification: OBC), 영상분할 분류(Segment-Based Classification: SBC) 방법 등이 각 지역과 산림의 특성에 따라 활용되고 있다. 우리나라 산림은 임분의 규모가 작고 복잡한 구조로 되어있기

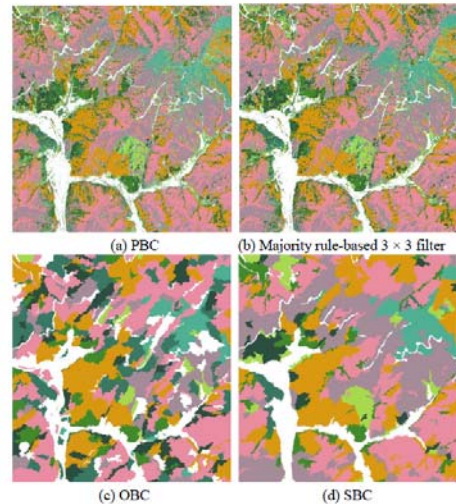


Figure 1. Forest Cover Map by Classification Method(A: PBC, B: Majority rule based 3×3 filtering, C: OBC, D: SBC).

Source: Kim et al. 2011

때문에 PBC의 방법과 OBC의 방법이 절충 된 형태의 SBC 방법론이 보다 효율적인 것으로 보고되고 있다. Kim et al.(2011)은 1m급 해상도의 IKONOS 위성영상을 활용하여 SBC 방법론을 적용하여 주요 수종을 임상별로 구분하는 방안을 개발하였다. 이 SBC 방법을 적용하면 수종구분을 화소단위가 아닌 일정구역단위로 할 수 있어 임상도(Forest Cover Map)제작에 직접 활용이 가능하다(Figure 1).

임상도는 현재 1:25000 임상도와 더불어 1:5000 대축척 임상도의 서비스가 제공 중에 있으며, 수종, 경급, 영급, 수관밀도 등 다양한 속성정보를 포함하고 있다. 임상도는 지형도, 토양도, 지질도 등과 더불어 국가기관에서 전국적 규모로 제작하는 주요 주제도 중 하나이다(김경민 외 2009)(Figure 2).

위성영상에 기반하여 획득된 산림정보는 산림관리에 필요한 지형, 토양, 산림관리구획 등 다른 도면자료와 함께 산림지리정보시스템(Forest Geographic

Information System: FGIS)에서 통합적으로 관리되고 있다.

2.2. 개체목 수준의 탐지

위성영상을 통해 임상분류는 가능하지만, 임목의 크기(흉고직경, 수고 등)를 측정하는데는 한계가 있어 왔다. LiDAR(Light Detection and Ranging) 시스템은 산림의 수직적, 수평적인 측면을 동시에 고려할 수 있는 3차원 정보가 포함된 영상을 제공한다. LiDAR 자료를 활용하면, 반사되어 돌아오는 3차원 점들로부터 개체목의 위치파악과 수고측정이 가능하다. 또한, 함께 촬영되는 영상으로부터 수종도 개체목단위로 구분할 수 있다.

Kwak et al.(2007)은 LiDAR를 활용하여 수관둘레를 구획하고, 이로부터 개체목의 위치를 탐지하고 수고를 측정하는 연구를 수행하였다(Figure 3). 상부점들을 있는 DSM(Digital Surface Model)과 하부점들을 있는 DTM(Digital Terrain Model)의 차이로 CHM(Canopy Height Model)을 추출하고, 이를 통해 개체목단위의 수고를 추정할 수 있다.

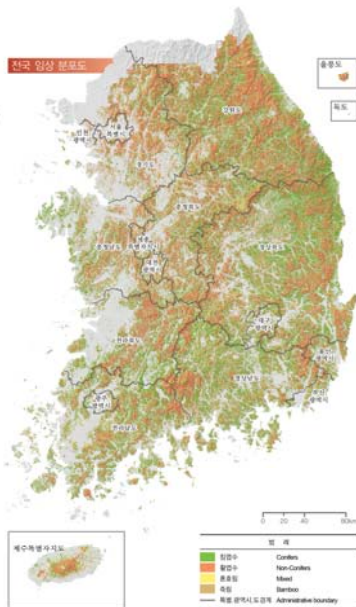


Figure 2. Forest Cover Map in South Korea
Source: Korea Forest Service 2016

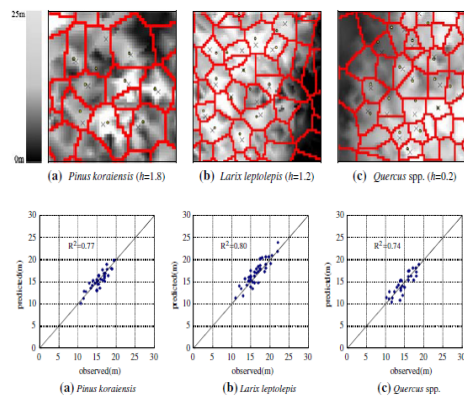


Figure 3. Individual tree detection and accuracy using LiDAR by tree species (a: Pinus Koraiensis, b: Larix leptolepis, c: Quercus spp.)

Source: Kwak et al. 2007

2.3. 개체목단위의 크기 및 탄소량 추정

수고와 흉고직경의 관계식을 이용해 LiDAR 자료로 추정된 수고로부터 흉고직경을 추정할 수 있으며, 이 두 인자로부터 재적, 바이오매스, 탄소량까지도 추정이 가능하다(Boudreau 2008). Kwak et al.(2010)은 LiDAR로부터 도출 가능한 CGV(Crown Geometric Volume)을 이용하여 잣나무의 지상부 Biomass 양을 추정한다. 한국기후변화학회(2014)와 Kim et. al. (2016a)는 천리포 수목원에서 LiDAR 자료로부터 개체목의 위치와 수고를 추정하고, IPCC(2007)에서 제시한 방법에 따라 수고를 이용하여 탄소량을 산출하였다 (Figure 4)

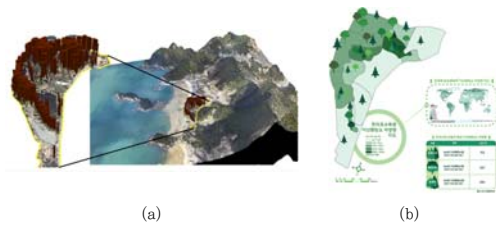


Figure 4. LiDAR data (a) and Carbon map
Source: KSCC 2014

Kim et al.(2016b)은 브루나이 열대 우림을 대상으로 LiDAR 자료를 이용하여 Voxel (Volumetric pixel) 방법론의 종합적인 접근을 시도했다(Figure 5). LiDAR자

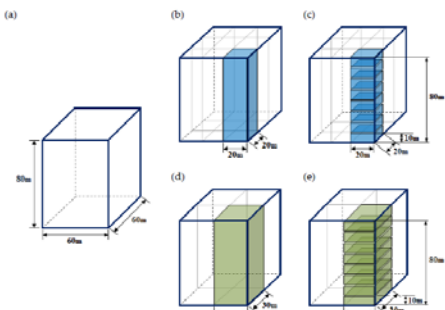


Figure 5. Voxel-based metrics diagram
Source: Kim et al. 2016b

료로부터 3차원으로 파악된 점들을 단순히 DSM, DTM 등으로 나누어 활용할 경우, 3차원의 정보를 충분히 활용하지 못하는 한계가 있다. 그러나 Voxel개념을 도입하면, LiDAR의 3차원 정보를 Sub Voxel별로 변수화하여 활용할 수 있어 탄소량 추정의 정확성을 높일 수 있는 것으로 나타났다 (Kim et al. 2016b).

2.4. 변화탐지

2.4.1. 피해 탐지

원격탐사 기술은 병해충으로부터 산림이 받은 피해를 정량화하고 예방하는데도 기여하고 있다. 소나무 재선충병을 대상으로 다양한 원격탐사 기법이 연구되어 왔으며, 최근 심각하게 확산중인 참나무 시들음병에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다. 산림청 통계에 따르면 소나무 재선충병은 2008년까지, 11개 시도, 54개 시·군·구에서 발생되었고, 2000년부터 2009년까지 누적 피해 면적은 대전광역시의 전체면적과 맞먹는다. 또한, 제거된 감염목은 190만 그루에 달한다(산림청 2014). 재선충에 감염된 임목은 식생활력도가 감소하고, 이러한 현상은 분광스펙트럼상의 근적외선 영역에서 분광반사값의 감소를 수반하게 됨으로, 위성영상이나 항공사진 등의 분광반사값으로부터 산정되는 식생지수를 이용하여 소나무재선충을 비롯한 병해충의 피해목을 추출할 수 있다.

김문일 외(2011)는 소나무 재선충병에 걸린 감염목과 정상목에 대해 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index) 변화를 분석하였다. 분석 결과 정상목은 NDVI값이 큰 변화가 없는 반면, 감염목의 NDVI는 7월 이후로 감소하는 것으로 나타났다 (Figure 6). 이러한 변화로부터 DI(Detection Index)를 개발하여 재선충 감염목을 조기에 발견할 수 있는 가능성을 제시하였다. 이는 피해지역 및 피해 예상지역의 감시와 모니터링 시스템에 적용 시, 인적 자원 및 예산을 절약하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

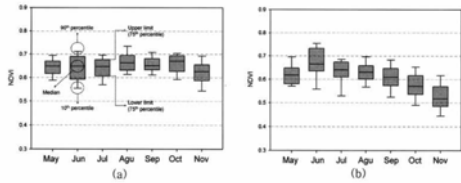


Figure 6. NDVI change from May to November of normal tree (a) and damaged tree (b)

Source: Kim et al. 2011

최근에는 참나무 시들음병에 의한 피해가 심각해지고 있다. 참나무 시들음병으로 인한 고사목의 피해분포는 서울, 경기, 전라북도의 18개 시군으로 나타났으며, 2005년도는 강원 원주, 양주, 인제, 홍천, 고성 및 충북 월악산에도 피해가 발견되었고 계속해서 확산되고 있는 것으로 나타났다(국립산림과학원 2009). 현재 원격탐사로 참나무 시들음병을 예찰하고 피해를 줄이기 위한 연구와 노력이 진행되고 있으며, 피해지의 공간패턴을 분석하기 위한 연구도 병행되고 있다(김소라 외 2014). 이러한 노력은 산림생태계의 건강을 보호할 수 있을 뿐만 아니라 산림관리와 방제에 대한 예산을 저감하는데도 큰 기여를 할 수 있을 것으로 사료된다.

초분광 영상(Hyperspectral imagery)을 활용하면 산림피해를 보다 정밀하게 예측할 수 있다. Yu et al (2016)은 2012년 구미의 불산유출로 인한 산림피해를 초분광영상을 이용해 파악한 바 있다 (Figure 7)

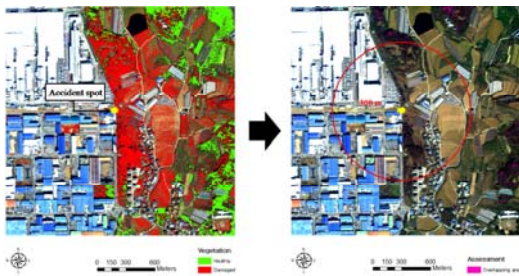
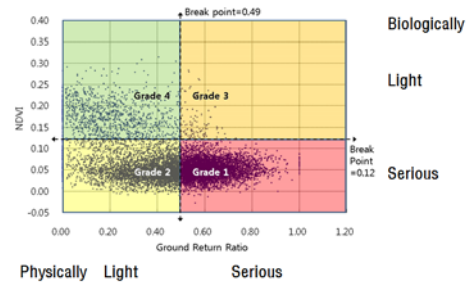


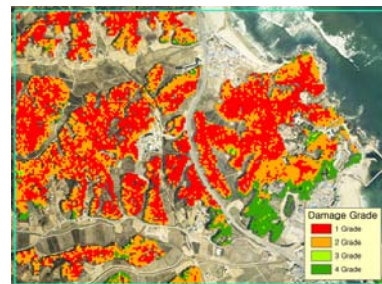
Figure 7. Damaged area by Hydrogen-Fluoride in Gumi, Korea using Hyperspectral imagery

Source: Yu et al. 2016

LiDAR 자료와 영상을 함께 활용하면 산불에 의한 피해를 물리적인 피해와 생물학적인 피해를 동시에 평가할 수 있다(Kwak et al. 2010, Figure 8(a)). Kwak et. al. (2010)은 2005년에 발생한 양양산불지역으로부터 촬영된 LiDAR자료의 지상반사값으로부터 산불에 의한 물리적 피해정도(잎이 붙어 있는 정도)를 도출하였고, 영상으로부터 추출된 NDVI로부터는 생물적 피해정도(잎이 얼마나 열피해를 받았는지의 정도)를 도출하였다. 그리고 물리적 피해등급과 생물적 피해등급을 조합하여 최종적으로 산불피해를 4 등급으로 나누었다. 그림 8(b)에서 진한 적색은 물리적으로나 생물적으로 강하게 피해를 받은 지역을 나타낸다.



(a)



(b)

Figure 8. 4 damage grades using NDVI and Lidar-derived ground return ratio (a) and damage map with 4 grades in forest fire map (b)

Source: Kwak et al. 2010

2.4.2. 토지피복 변화 및 산림황폐화 탐지
주기적으로 촬영된 영상을 활용하면 시간에 따른 토지피복 및 임상변화를 파악할 수 있고, 이로부터 산림황폐화도 탐지할 수 있다. 원격탐사의 이러한 변화 탐지기능은 최근에 산림분야의 기후변화대응사업으로 주목받고 있는 A/R CDM(Afforestation/Reforestation Clean Development Mechanism: 신규조림/재조림 청정개발체제) 및 REDD+(Reducing Emission from Deforestation and forest Degradation: 산림전용 및 황폐화 방지로 부터 배출감소) 사업에 활용되고 있다.

A/R CDM은 신규 및 재조림으로 인한 산림의 탄소 저장증가량(탄소 흡수량), 온실가스(이산화탄소) 배출을 줄이는 것으로 인정하여, 온실가스배출 감축량으로 인정받는 사업이다. A/R CDM 사업은 교토의정서에 의거한 청정개발체제(Clean Development Mechanism, CDM)의 일환으로 UN이 규정한 개발/계획-승인-검증-등록 등의 절차에 따라 진행하도록 되어 있다. A/R CDM 사업개발을 계획할 때, 사업개발에 대한 타당성 연구가 선행되어야 한다. 주로 토지적격성(Land Eligibility), 대상지 구획화(Stratification) 등이 원격탐사 영상 활용에 근거하여 입증된다. 토지적격성 입증은 A/R CDM사업대상지가 신규(Afforestation) 또는 재조림(Reforestation) 활동의 대상지임을 입증하는 것이다. 신규조림 대상지는 1989년 이전부터 사업개발시점까지 산림이 아닌 지역, 재조림 대상지는 1989년까지 산림이었으나 그 후로부터 사업개발 시점까지 산림이 아닌 지역으로 정의된다. 대상지 구획화는 탄소 저장고의 바이오매스 추정의 정확성 및 정밀성 향상을 위해 실시한다. 토지 구획별 수종, 산림 조성연도, 미세기후, 토양조건 및 식생 피복 등의 특성에 따라 동질적인 단위로 구분하는 과정이다. 김지연 등(2013)은 강원도 고성군 간성읍 흘리 지역에서 시행되는 소규모 신규조림/재조림 CDM 시범사업을 대상으로 온실가스 감축량을 산정하였다. 베이스라인 시나리오 및 탄소저장고 선택, 대상지 구획화 등을 실시하고 이

를 바탕으로 실질 순 온실가스 감축량, 베이스라인 순 온실가스 감축량, 누출량 산정 등의 과정을 거쳐 순 인위적 온실가스 감축량을 산정하였다.

유성진 등(2011)은 북한지역을 대상으로 위성영상과 공간자료를 이용하여, 대상지가 재조림 CDM의 정의에 적합한지에 관한 선정방안을 제시하였다. 먼저 두 시점의 영상에 대해 각각 영상분류를 실시하여 산림황폐지(무림목지, 개간산지, 산간나지) 등을 구분한 뒤, 두 영상분류 결과를 이용한 변화탐지 분석을 수행하여 잠재적인 재조림 CDM 대상지를 도출하였다. 분석된 잠재적 재조림 CDM 대상지에 대하여 지형 및 접근성 분석을 통해 적합성 지수를 산출하였고 대상지를 적합성에 따라 등급하여 사업우선순위의 선정 등에 활용할 수 있도록 하였다.

REDD+사업은 산림전용 및 황폐화를 방지하는 사업을 통해 감소시킬 수 있는 온실가스배출량을 산정해 온실가스 감축량으로 인정받는 사업이다. 이를 위해서는 여러시기에 촬영된 영상으로부터 산림이 전용되거나 황폐화되고 있다는 것을 증명해야 한다. Piao et al. (2016a)은 북한지역에서의 REDD+ 사업을 위해 시기별로 촬영된 위성영상자료로부터 황폐화과정을 파악하고, REDD+사업을 통해 줄일 수 있는 탄소배출량을 산출하는 연구를 진행하였다 (Figure. 9).

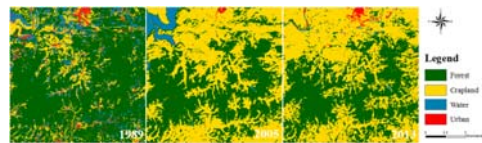


Figure 9. Land over classification in REDD+ candidate area for 1989, 2005 and 2013

Source: Piao et al. 2016a

3. GIS 활용

원격탐사로부터 구축된 다양한 시공간정보는 GIS를 다양한 분야에서 활용되게 된다. 산림분야에서는

산림생장예측, 산림피해발생예측, 기후변화영향 및 취약성평가를 위해 GIS기반의 시공간분석모델이 활용되고 있다.

3.1. GIS기반 산림생장예측모델

합리적인 산림 경영계획 수립을 위해서는 산림의 성장 및 수확을 예측하는 것이 필수적이며, 이를 위해 다양한 산림생장모형이 개발되고 이용되어 왔다. 기존의 생장모형은 임령, 지위(Site index), 밀도와 같은 임분 고유의 특성과 경사, 고도, 사면 등 지형적인 인자들을 결합하여 미래 생장 변화와 생산성 등을 예측할 수 있게 개발되었다. 그러나 기후변화 현상과 산림에 미치는 영향이 관측되고 연구되면서 기후인자가 산림생장에 미치는 영향을 반영할 수 있는 생장모형 개발이 다양한 측면에서 요구되고 있다.

GIS와 공간분석기법의 발달은 크게 두 가지 부문에서 기존의 산림생장모형의 한계를 극복하게 돕고 있다. 먼저, 기존의 단목, 임분, 지역적 규모에서 벗어나 국가적 혹은 전지구적 수준의 연구와 모형개발이 가능하게 하였다. 우리나라도 전국 산림을 과학적인 방법으로 조사·평가하여 우리나라 산림기본계획 및 산림정책수립의 기본 자료를 제공하고, 국제사회로부터의 다양한 형태의 산림자원 및 산림환경통계 제출 요구에 대응하기 위해 GIS를 국가산림자원조사(National Forest Inventory, NFI)에 다양하게 활용하고 있다. 제5차 NFI(2006-2010)는 전국 산림을 대상으로 계통추출법에 의해 배치된 약 4,000개의 고정표본점을 대상으로 조사하였다. 고정표본점은 집락표본점(Cluster plot) 구조로 우리나라 산지의 지형적 변이를 고려한 형태의 4개의 부표본점(Subplot)으로 구성되며, 조사를 통해 구축된 모든 DB는 위치정보를 포함하고 있다(Figure 10).

두 번째로, 공간 정보의 정확도와 분석 기법을 고도화 하였다. 산림 생장과 기후와의 관계를 정확하게 분

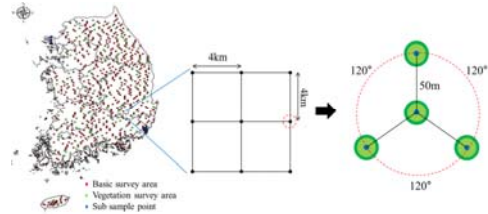


Figure 10. Plot system for the 5th National Forest Inventory

석하여 모형을 개발하기 위해서는 각 임상의 지형적, 환경적 조건과 미세기후를 정밀하게 추정할 수 있어야 한다. 기상청에서는 관측된 기상자료를 점 형태의 자료로 제공하기 때문에, 이를 각 조사 Plot의 자료와 연관시키기 위해서는 보간법(Interpolation)을 적용해서 공간상으로 연속적인 형태의 자료로 전환해 주어야 한다. 특별히 우리나라의 경우, 대부분의 산림이 산악지형에 분포하고 있기 때문에 지형적인 특성을 고려하기 위해 기온감률 등을 적용할 필요성이 있다(윤진일 외 2000).

3.1.1. 다중회귀모형 기반 생장모형

Byun et al.(2013)은 5차 NFI에서 획득된 목편(Tree core) 자료로부터 구축된 연년반경생장량(Annual radial growth)과 표본점의 GIS 자료를 활용하여 기후·지형의 영향을 반영할 수 있는 다중회귀기반의 생장모형을 개발하였다. 수령(Tree age), 크기(Size), 지형습윤지수(Topographic Wetness Index, TWI)를 통해 개체 및 임분 조건을 반영하고, 온도와 강수량을 변수로 포함하여 환경, 공간, 기후의 이질성에 따른 임목의 생장을 예측할 수 있는 모형이다. 우리나라 주요 수종인 소나무와 참나무류를 대상으로 분석한 결과, 강수량과 지형습윤지수는 수종에 관계없이 임목의 생장에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다으며, 기온은 소나무에게는 부정적인 영향을 주는 반면, 참나무류에는 긍정적인 영향을 주는 것으로

확인되었다. 이는 최근 다양한 조사와 문헌에서 보고되고 있는 기후변화에 따른 소나무림의 쇠퇴와 참나무림의 확장 현상을 뒷받침하는 결과이며, 기후변화가 각 수종에 따라 다른 영향을 미친다는 것을 잘 설명해주고 있다. 개발된 성장모형을 이용하여 미래기후변화에 따른 수종별 성장변화를 추정해보았을 때, 소나무는 일부 고산지대를 제외하면 전국적으로 성장량이 감소하는 것으로 나타났으며, 반대로 참나무류는 모든 지역에서 현재보다 미래에 성장량이 증가될 것으로 예측되었다(Figure 11a).

Byun et al.(2013)이 고안한 성장모형은 각 기후인자가 수종별 임목 성장에 미치는 영향을 직접적으로 알 수 있다는 장점이 있으나, 기상인자의 역할을 고려하지 못했다는 한계가 존재한다. 일반적으로 각 수종

은 분포할 수 있는 온도 범위가 제한적이며, 생육 적정 온도를 가지고 있기 때문에 특정 온도 이상, 혹은 이하에서는 성장과 생존에 불리하게 된다. 실제로 우리나라 소나무와 참나무 림의 온량지수(Warmth index, WI) 분포를 보면 참나무의 경우 현재 우리나라의 온량지수 분포 범위 내에서, 온량지수가 증가함에 따라 계속해서 성장이 증가하는 것으로 나타났지만, 소나무의 경우 온량지수가 85°C 이상인 지역에서는 성장량이 감소하는 현상을 보이는 것을 확인할 수 있다(Figure 11b).

이렇듯 산림분야에서 공간정보를 활용하여 성장 패턴과도 매우 일치하는 합리적인 결과를 도출할 수 있으며, 기존 성장모형의 한계를 일부 극복할 수 있다.

3.1.2. 비공간자료 및 공간자료 구분 성장 모델

단목 중심으로 기후반응을 분석하고, 그 영향을 정량화하는 것도 의미가 있지만 산림관리와 경영계획 수립을 지원하기 위해서는 임분단위의 모형을 개발하는 것이 필요하다. Piao et al. (2016b)은 임분 성장에 영향을 미치는 인자를 공간자기상관성을 기준으로 비공간자료와 공간자료로 구분하여 동적 성장모형을 구축하였다(Figure 12).

모형의 R²는 수종별로 차이가 있으나 0.76-0.8로 매우 높은 것으로 나타났으며 다양한 임분환경과 기후

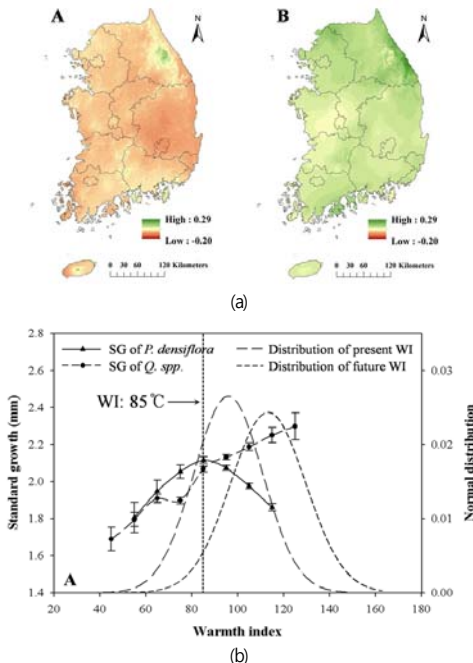


Figure 11. (a) Distribution of sensitivity-species of (A) *P. densiflora* and (B) *Q. spp.* (b) Distribution of SG according to WI in the present (1997–2006) and future (2047–2056)

Source: Byun et al. 2013

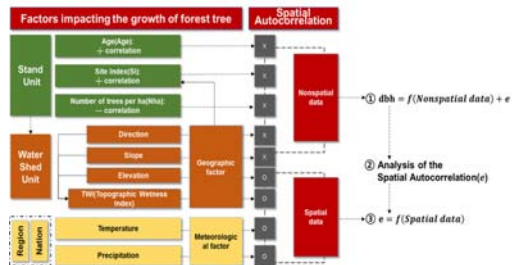


Figure 12. Concept of dynamic stand growth model
Source: Piao et al. 2016b

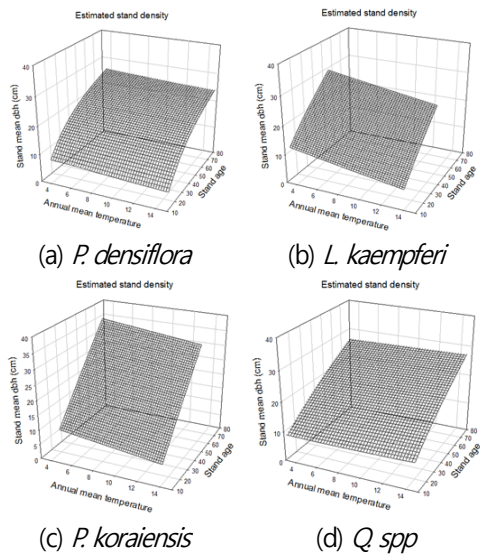


Figure 13. Three-dimensional analysis of forest age, temperature, and DBH (Diameter at Breast Height) Source: Piao et al. 2016b

조건에 따른 생장변이를 잘 설명하는 것으로 확인되었다. Figure 13는 지위지수를 고정한 상태에서 임령과 기온에 따른 직경변화를 입체적으로 보여준다. 침엽수들은 온도가 증가할수록, 임분평균 직경의 기댓값이 작아지는 것으로 나타났고, 참나무는 반대로 증가하는 것으로 추정되었다. 이는 기후변화가 임분 단위의 직경생장에 유의미한 영향을 끼친다는 것을 의미하여 산림관리 의사결정 수립과 수확량을 예측할 때 반드시 기후의 영향을 고려해야 한다는 것을 시사한다.

3.2. GIS 기반 산림피해모델

3.2.1. GIS 기반 산사태 예측모델

산사태는 대표적인 산림재해 중 하나로, 최근 발생 빈도와 강도, 피해 복구비용 등이 증가하는 추세로 나타나고 있다. 따라서 기후변화에 따른 산사태 발생 위

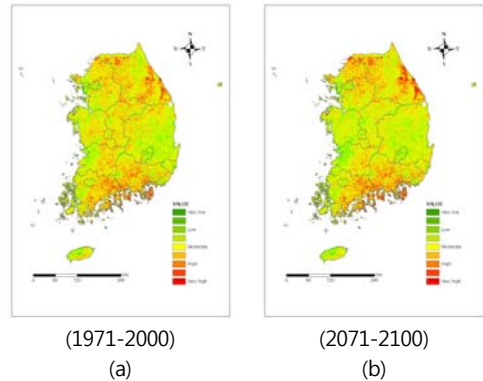


Figure 14. Land slide prediction for past (a) and future (b) Source: Xu et al. 2011

험지를 예측하고, 이를 정책과 관리계획에 반영하여 인명, 재산 및 환경적 피해를 저감하려는 연구와 노력이 계속되고 있으며, 최근에는 GPS와 GIS 분석 기법의 발달로, 산사태 피해지역의 정확한 공간정보와 산림환경정보, 발생 전, 후 강수량 등을 종합적으로 분석하고 있다. Xu et al. (2011)은 경사, 토지피복, 산림밀도 등의 인자와 누적강수량을 이용하여 산사태발생 가능성을 공간적으로 과거와 미래에 대해 예측한 바 있다 (Figure 14).

3.2.2. GIS 기반 산불 예측 모델

산불도 산사태와 마찬가지로 대표적인 산림 재해 중 하나이다. 국지적인 재해인 산사태와는 다르게 수 m에서 수백km까지 피해가 발생할 수 있으며, 세계적으로 대형 산불이 증가하는 추세에 있다. 산불은 CO2 배출 및 저감과도 직접적인 연관이 있는 재해이기 때문에 기후변화 영향 저감을 위해서도 예측과 방재를 위한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 산불을 사전에 예방하기 위해서는 산불이 어떠한 형태로 발생하는지 파악하는 것이 필요하며, 이를 위해서는 산불 발생 분포에 대한 패턴에 대한 연구가 필요하다. 산불 발생은 발생지점 그 자체로 중요한 의미를 갖으며,

특히 우리나라의 산불 발생지점은 인간 활동과 큰 관련성이 있기 때문에, 지역별 군집형태의 강한 공간의 존성을 갖는다. 이러한 패턴을 기상환경, 인위적 인자, 산림 환경 및 공간적 인자 등과 연계 시켜 분석하기 위해 Ripley의 K 함수, Kernel 함수, Generalized Linear Mixed Model(GLMM)등이 적용되어 왔다(곽한빈 외 2010; Kwak et al. 2012).

우리나라에서 발생한 산불은 발생일, 발생원인, 피해 면적 등에 대한 정보가 위치정보와 함께 공간적으로 구축되어 있다. Kwak et al.(2012)은 산불발생패턴과 기후의 영향을 동시에 고려하기 위해 기 구축된 점 형태의 공간DB를 단위 격자당 밀도의 개념으로 변경하여 분석을 실시하였다. 공간회귀모형의 독립변수는 지형인자, 접근성, 산림 수종, 기상인자. 산림면적과 관련된 인자를 활용하였다. 분석방법으로는 공간적인 패턴과 영향을 정확하게 분석하기 위해 선형 모형에 확률효과(Random effect) 모형이 추가된 GLMM을 활용하였다.

분석결과, 산불발생지점의 공간자기상관성이 아주 명확하게 나타났으며, Variogram 분석결과 상관거리는 32km 정도로 추정되었으며, 이는 대도시의 중심으로부터 경계까지의 거리가 평균적으로 30km 정도이기 때문인 것으로 파악되었다. 이는 곧 산불 발생이 인

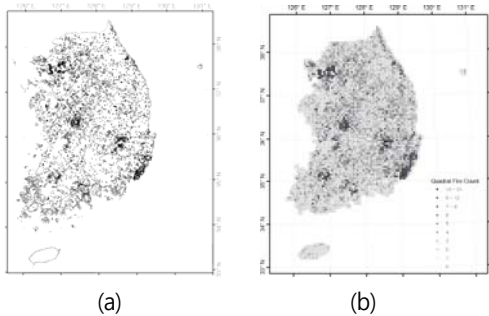


Figure 15 (a) Distribution of forest fire occurrence from 1991 to 2009. (b) Forest fire distribution by 5 km quadrat counts

Source: Kwak et al. 2010

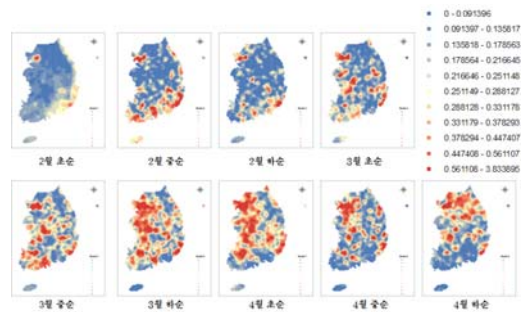


Figure 16. Spatio-temporal prediction of fire occurrence using GLMM

Source: Kwak et al. 2012

구가 집중된 지역과 큰 관련이 있다는 것을 의미하기도 한다 (Figure 15).

Kwak et al.(2012)은 위의 분석결과에 기상인자를 추가하여 시·공간에 따른 산불 발생을 예측하였다. 기상자료 중에서도 산불과 밀접한 관계가 있다고 알려진 강수량과 상대 습도 사용하였으며 Poisson regression을 활용하여 산불 발생이 심각한 2-4월을 대상으로 시·공간 인자를 고려한 산불 발생위험도를 예측하였다(Figure 16). 예측결과 우리가 아는 바와 같이 3월 중순부터 4월 하순까지 대도시를 중심으로 전국적으로 산불 발생 위험도가 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 여기서 공간자기상관성의 변화도 눈여겨 볼만하다. 초기에 산불이 많이 발생하지 않을 때에는 전혀 공간자기상관성이 예측이 되지 않았다. 산불 발생 건수가 너무 적어서 공간통계로 분석을 하기에는 적절하지 않기 때문에 이러한 결과가 나타난 것으로 판단된다. 하지만 2월 중순부터는 점점 공간자기상관성이 나타나기 시작하고 4월 상순에는 35km정도까지 그 범위가 넓어진다. 그만큼 산불 발생이 증가하면서 각 산불 간의 공간자기상관관계가 강해졌음을 의미한다. 산불의 경우 인위적, 환경적, 기후적 인자가 복합적으로 영향을 미치기 때문에 발생 위험도를 예측하는 것이 어려우나, 공간회귀분석을 적용하였을 때 모형의 예측정확도가 큰 폭으로 향상되는 것을 확인할 수 있

었다. 향후, 보다 고도화된 분석 기법과 새로운 인자들
들을 반영한 다면 보다 정확한 산불 발생의 시·공간
패턴을 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

3.3. 기후변화에 대한 산림 취약성 평가

산림은 지구온난화와 기후변화의 주범이라고 할 수
있는 이산화탄소를 광합성 작용을 통해 식생과 토양
등에 저장할 수 있다. 또한, 산림에서 벌채된 나무는
부패되거나 연소되지 않는 한 장기적으로 이산화탄소
를 저장할 수 있으며 벌채된 지역에서는 재조림을 통
해 탄소흡수원을 확충할 수 있다. 그러나 또한, 기후변
화는 산림생태계에 직·간접적으로 영향을 미치고 있
으며, 산림생태계의 구조와 기능을 변화시키고 있다.
따라서 기후변화가 현재 및 미래의 산림 생태계에 미
치는 영향을 정량적, 정성적으로 평가하는 것은 기후
변화의 부정적인 영향을 최소화하고 이에 적응할 수
있는 기반을 마련한다는 측면에서 매우 중요하다
(IPCC 2007; Olmos 2001).

이를 위해 많은 모델들이 개발되고 활용되고 있는
데, 김순아 외(2009)는 국외에서 개발된 33개의 산림
분야 영향평가 모형의 특성을 비교 및 분석하고 공간
규모, 입력 인자의 확보 가능성 등을 통해 우리나라에
대한 적용가능성을 타진해 보았다. 국외 모형들의 입
력인자들을 대기, 토양, 식생, 지형과 관련된 인자로
구분해 보았을 때, 미구축된 자료들도 있었으나, 대부
분 이미 보유하고 있거나 확보 가능성이 있는 것으로
나타났다. 이는 우리나라에서 GIS가 적용된 DB 구축
과 활용이 이미 세계적인 수준에 근접했음을 시사한다.

기후변화가 산림생태계에 미치는 영향은 매우 다양
하고 복합적이며 각각의 기준과 가치가 다르기 때문
에 이를 비교하여 일반 시민과 정책입안자들에게 유
용한 정보를 제공하는 것은 어려운 일이다. 이러한 한
계를 해결하기 위해 취약성(Vulnerability) 평가가 대
두되었다. 취약성이란 기후변화로 인하여 자연 혹은

사회시스템이 지속적으로 받는 피해의 범위나 정도를
의미한다(IPCC, 2007). 일반적으로 취약성은 민감성
(Sensitivity), 노출(Exposure), 적응성(Adaptive Capacity)
이라는 세 가지 기준과 지표들을 통해 정량적으로 표현
될 수 있다. 식 1은 기본적인 취약성 평가식을 나타낸
다(한화진 외, 2006).

$$Vulnerability = \frac{Sensitivity \times Exposure}{Adaptive Capacity} \quad (1)$$

변정연 외(2012)는 산림환경, 기후, 사회경제적 인
자들을 포함하여 총 16개의 인자를 GIS 분석방법을
활용하여 산림분야의 기후변화 취약성을 시·공간적
으로 도출하였다(Figure 17).

취약성평가에는 기후와 환경과 관련된 인자뿐만 아
니라 사회, 경제적 지표도 포함되며, 최근에는 산림분
야만을 독립적으로 평가하는 것이 아니라, 물, 건강,
농업 등 다양한 분야와 복합적인 취약성 평가를 실시
하려는 노력이 시도되고 있다. 따라서 입·출력자료의
통합이 중요해지고 있으며 이에 따라 GIS의 활용성도
점점 큰 비중을 차지하고 있다.

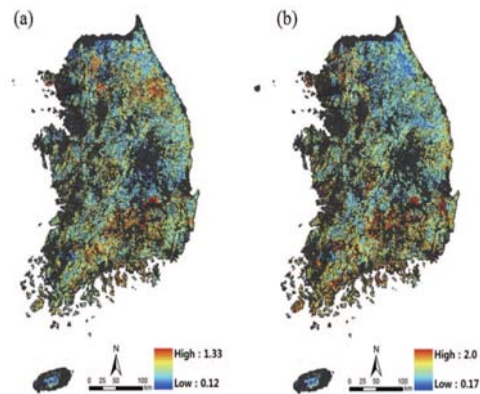


Figure 17. Results of the forest vulnerability assessment; (a) Current, (b) future

Source: Byun et al. 2012

4. 결론

원격탐사를 통해 수집된 자료는 산림에서 필요한 지리정보시스템으로 전환된다. 원격탐사 영상에 기반하여 산림지역을 파악하는 토지피복분류, 수종분류가 이뤄지며 임상도가 제작되어 각종 대규모 산림경영 전반에 대한 의사결정을 지원한다. 개체목 단위에서는 LiDAR 등을 이용하여 위치 및 크기 정보를 활용하는데, 영상 특성과 분석 목적에 따른 알고리즘이 개발되어 활용중이다. 또한, 영상의 분광반사 특성을 이용하여 각종 지수를 작성하며, 이에 기반하여 산림 병해충인 재선충병과 참나무 시들음병의 확산 경로와 피해 정도를 파악하기도 한다. 또한, 위성영상은 A/R CDM 및 REDD 등 산림 사업 측정에 활용되어 대상지 분석에 다양한 정보를 제공한다.

지리정보시스템은 원격탐사를 통해 수집된 정보가 시공간정보를 통해 가공되어 의사결정자들이 보다 용이하게 정보를 이용 할 수 있도록 한다. 특히, 현재 기후변화로 인해 취약성에 대한 정보가 요구되는 시점에서 산림 취약성평가를 통해 기후변화의 부정적 영향을 제시할 수 있다. 산림 경영계획 수립 측면에서 생장 및 수확 예측을 정확히 하기 위해 임령, 지위지수, 밀도와 같은 임분 고유의 특성과 경사, 고도, 사면 등의 지형요인에 현재의 기후변화를 반영한 생장모델이 개발 중에 있다. 또한, 자연적인 입목의 고사를 예측하여 반영 할 수 있으며, 산사태 및 산불 등의 교란을 시공간적으로 모의하여 정보를 제공함으로써 의사결정을 지원 할 수 있다.

최근의 ICT(Information and Communication Technology)의 발달로 인해 원격탐사 및 지리정보시스템의 구축과 활용이 더욱 용이해 질 것으로 보인다. 드론을 통해서 사람이 접근하기 어려운 지역의 영상을 언제든지 촬영하고 이를 활용 할 수 있게 되었다. 따라서 산림 모니터링이 더욱 용이해 질 것으로 보이

며, 이를 활용한 산림 계획 및 국토 관리가 가능하게 된다. 향후 기존의 원격탐사와 지리정보시스템이 더욱 고도화 될 것으로 파악되며, 이를 통해 우리나라의 64%의 면적을 차지하고 환경과 생태계에 중요한 역할을 하는 산림에 대한 다양한 활용이 예측된다.

참고문헌

References

- 곽한빈, 이우균, 이시영, 원명수, 구교상, 이병두, 이명보. 2010. 우리나라 산불 발생의 원인별 공간적 특성 분석. *한국임학회지* 99(3):259-266.
- Kwak H, Lee WK, Lee, SY, Won MS, Koo KS, Lee, B, Lee M. 2010. Cause-specific spatial point pattern analysis of forest fire in Korea. *Journal of Forest Society*. 99(3):259-266.
- 국립산림과학원. 2009. 2009년도 산림병해충 발생에 참조사 연보. 국립산림과학원 보고서.
- National Institute of Forest Science. 2009. *2009 Annual report of monitoring for forest insects pests and diseases in Korea*. National Institute of Forest Science Report.
- 김경민, 김철민, 전은진. 2009. 1:25,000 수치임상도 제작체계 표준화 연구. *한국지리정보학회지*, 12(3):143-151.
- Kim KM, Kim CM, Jun EJ. 2009. Study on the Standard for 1:25,000 Scale Digital Forest Type Map Production in Korea. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*. 12(3):143-151.
- 김문일, 이우균, 권태협, 곽두안, 김유승, 이승호. 2011. 휴대용 근적외선 카메라로부터 얻어진 DI (Detection Index)를 이용한 소나무 재선충 피해 목의 조기감별. *한국임학회지*, 100(3):374-381.
- Kim M., Lee WK, Kwon TH, Kwak DA, Kim YS, Lee

- SH. 2011. Early Detecting Damaged Trees by Pine Wilt Disease Using DI(Detection Index) from Portable Near Infrared Camera. *Journal of Korean Forest Society*. 100(3):374-381.
- 김소라, 이정빈, 김정수, 김은숙, 이우균. 2014. 참나무 시들음병 피해목의 공간분포 특성 분석. 2014 한 국지형공간정보학회 춘계학술대회, 209-210.
- Kim SR, Lee JB, Kim JS, Kim ES, Lee WK. 2014. Spatial distribution analysis for damaged trees by Oak wilt disease. The Korean Society For Geospatial Information System 2014 Spring Conference. 209-210.
- 김순아, 이우균, 손요환, 조영성, 이미선. 2009. 산림에 대한 기후변화 영향평가 모형의 국내 적용성 분석. *한국임학회지*. 98(1):33-48.
- Kim SN, Lee WK, Son Y, Cho Y, Lee MS. 2009. Applicability of climate change impact assessment models to Korean forest. *Journal of Forest Society*. 98(1):33-48.
- 김윤경, 이우균. 1999. 임상도와 GIS를 이용한 산림자 원정보시스템 개발. *한국산림측정학회지* 2(1), 40-49.
- Kim YK, Lee WK. 1999. Development of forest resources information system using forest type map and GIS. *Korean Journal of Forest Managment*. 2(1):40-49.
- 김지연, 이수경, 노남진, 윤태경, 한새롬, Cui G, 이우 균, 손요환. 2013. 강원도 고성군 소규모 신규조림 /재조림 CDM 시범사업의 온실가스 감축량 산정 연구. *한국임학회지*, 102(3):398-406.
- Kim J, Lee SK., Noh NJ, Yoon TK, Han S, Cui G, Lee WK, Son Y. 2013. A Study on Greenhouse Gas Removals Estimation of a Small Scale Afforestation/ reforestation CDM Pilot Project in Goseong, Gangwon Province. *Journal of Korean Forest Society*. 102(3):398-406.
- 변정연, 이우균, 최성호, 오수현, 유성진, 권태성, 성주 한, 우재욱. 시공간 정보기반 산림 생태계의 기후 변화 취약성 평가. *한국원격탐사학회지*. 28(1): 159-169.
- Byun J, Lee WK, Choi S, Oh S, Yoo S, Kwon T, Sung J, Woo J. 2012. Vulnerability assessment for forest rcosystem to climate change based on spatio-temporal information. *Korean Journal of Remote Sensing*. 28(1):159-169.
- 산림청. 2016. 임업통계연보. 산림청
Korea Forest Service. 2016. *Statistical yearbook of forestry*. Korea Forest Service.
- 유성진, 이우균, 이승호, 김은숙, 이종렬. 2011. 위성영 상과 공간자료를 이용한 북한 지역의 재조림 CDM 대상지 선정 및 적지분석 방안. *한국지형공 간정보학회지*. 19(3):3-11.
- Yoo SJ, Lee WK, Lee SH, Kim ES, Lee JY. 2011. Approach for suitable site selection and analysis for reforestation CDM using satellite image and spatial data in North Korea. *Journal of the Korean Society for Geospatial Information system*. 19(3):3-11.
- 윤진일, 최재연, 윤영관, 정우란. 2000. 산악지대의 일 최저기온 공간내삽모형. *한국농림기상 학회 지*. 2(4):175-182.
- Yun JI, Choi JY, Yoon YK, Chung U. 2000. A spatial Interpolation model for daily minimum temperature over mountainous regions. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*. 2(4):175-182.
- 한국기후변화학회. 2014. 천리포수목원 Bio-Green 사업. 공익재단법인 천리포수목원.
(KSCC) The Korean Society of Climate Change Research. 2014. *Chollipo arboretum Bio-Green*

- project*. Chollipo Arboretum.
- 조명희, 조윤원. 2006. 위성영상기반 전자주제도 작성 및 관리시스템 개발 - 산림행정업무지원서비스를 연구사례로 -. 한국지리정보학회지. 9(1):89-100.
- Jo MH, Jo YW. 2006. Developing the satellite image based e-thematic construction and management system - case study of supporting forest administrative service -. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*. 9(1):89-100.
- 정기현, 이우균, 심우범. 1998. 항공사진과 GIS를 이용한 토지이용형태 및 산림식생변화 모니터링. 한국산림측정학회지. 1(2):43-51.
- Chung KH, Lee WK, Shim SB. 1998. Monitoring the land use type and forest vegetation changes using aerial photograph and GIS. *Korean Journal of Forest Measurements*. 1(2):43-51.
- 정현용, 이우균, 남기준, 김문일. 2013. 기후변화에 따른 임상분포 변화 및 탄소저장량 예측. 기후변화학회지. 4(2):177-188.
- Jeong HY, Lee WK, Nam K, Kim M. 2013. Estimating the Change of Potential Forest Distribution and Carton Stock by Climate Changes - Focused on Forest in Yongin-City -. *Journal of Climate Change Research*. 4(2):177-188.
- 한화진, 안소은, 최은진, 한기주, 이정택, 김해동, 손요환, 박용하, 조광우, 윤정호, 이은애, 김승만. 2006. 기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축II, 한국환경정책평가연구원.
- Han HJ, Ahn SE, Choi EJ, Lee JT, Kim HD, Son Y, Park YH, Cho KW, Yoon JH, Lee E, Kim SM. 2006. *Climate change impact assessment and development of adaptation strategies in Korea*. Korea Environment Institute. p. 406.
- 함보영, 이우균, 정재서, 이준학. 2004. IKONOS 영상과 GIS를 이용한 참나무류의 공간분포 및 출현확률추정. 한국산림측정학회지. 7(1):74-84.
- Ham BY, Lee WK, Ching JS, Lee JH. 2004. Estimation of spatial distribution and occurrence probability of Oak species using IKONOS satellite imagery and GIS. *Korean Journal of Forest Measurements*. 7(1):74-84.
- Boudreau J, Nelson RF, Margolis HA, Beaudoin A, Guindon L, Kimes DS. 2008. Regional aboveground forest biomass using airborne and spaceborne LiDAR in Quebec. *Remote Sensing of Environment*. 112(10):3876 - 3890.
- Byun JG, Lee WK, Kim M, Kwak DA, Kwak H, Park T, Byun WH, Son Y, Choi JK, Lee YJ, Saborowski J, Chung DJ, Jung JH. 2013. Radial growth response of *Pinus densiflora* and *Quercus* spp. to topographic and climatic factors in South Korea. *J. Plant Ecol*. 6:380-392.
- IPCC. 2007. *Climate change: Physical science basis*. Paris. France. p. 2-21.
- Kim E, Lee WK, Yoon M, Lee J Y, Lee EJ, Moon J. 2016a. Detecting Individual Tree Position and Height Using Airborne LiDAR Data in Chollipo Arboretum, South Korea. *Terrestrial. Atmospheric & Oceanic Sciences*. 27(4):593-604.
- Kim E, Lee WK, Yoon M, Lee JY, Son Y, Salim KA. 2016b. Estimation of Voxel-based above-ground Biomass using airborne LiDAR data in intact tropical rain forest, Brunei, forests (in press).
- Kim SR, Lee WK, Kwak DA, Biging GS, Gong P, Lee JH, Cho HK. 2011. Forest cover classification by optimal segmentation of high resolution satellite imagery. *Sensors*. 11(2):1943-1958.

- Kwak DA, Lee WK, Lee JH, Biging GS, Gong P. 2007. Detection of individual trees and estimation of tree height using LiDAR data. *Journal of Forest Research*. 12(6):425-434.
- Kwak, D.A Chung, J.W, Lee, W.K, Kafatos, M, Lee, S.Y, Cho, H.K, Lee, S.H. 2010. Evaluation for Damaged Degree of Vegetation by Forest Fire using LIDAR and Digital Aerial Photograph. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 76(3): 277-287.
- Kwak H, Lee WK, Saborowski J, Lee SY, Won MS, Koo KS, Lee MB, Kim SN. 2012. Estimating the spatial pattern of human-caused forest fires using a generalized linear mixed model with spatial autocorrelation in South Korea. *International Journal of Geographical Information Science*. 26:1589-1602.
- Olmos, S. 2001. Vulnerability and Adaptation to Climate Change: Concepts, Issues, Assessment Methods. Climate Change Knowledge Network, <http://www.cckn.net>.
- Piao, D., 이우균, Zhu, Y., 김문일, 송철호. 2016a. 북한에서의 REDD+ 사업을 위한 산림황폐화 및 탄소 저장량 평가. *한국환경생물학회지* 34(1): 1-7
- Piao D., Lee, W.K., Zhu Y., Kim M.I., Song C.H. 2016a. Assessment of forest degradation and carbon storage for REDD+Project in North Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 34(1): 1-7.
- Piao D, Kim M, Lee WK, Choi GM, Moon J. 2016b. Development of a DBH-Growth Model Based on Site and Climatic Conditions. *Annals of Forest Science*. (Under review) .
- Xu, Z., 곽한빈, 이우균, 박태진, 권태협, 박선민. 2011. GIS를 이용한 기후변화에 따른 산사태 취약성 평가. *한국기후변화학회지*. 2(1): 43-54.
- Xu, Z., Kwak H, Lee W.K., Park T., Kwon T.H., Park, S., 2011. Assessment of landslide on climate change using GIS. *Climate Change Research* 2(1):43-54.
- Yu, H., Lee, J.Y., Lee, W.K., Cui, G., Cho, J.K., Wei, G., Li, L. 2016. Application of CASI Hyperspectral Image to Analysis of the Distribution of Hydrogen-Fluoride-Damaged Vegetation in Gumi, Korea. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing (Online Publication)* 1-11 (SCIE).

2016년 10월 07일 원고접수(Received)

2016년 11월 04일 1차심사(1st Reviewed)

2016년 11월 28일 2차심사(2st Reviewed)

2016년 12월 07일 게재확정(Accepted)

초 록

산림은 우리나라 토지피복 면적의 64%에 해당하는 넓은 면적을 차지한다. 이와 같이 넓은 면적의 산림을 조사, 모니터링, 관리하기 위해서는 원격탐사 및 지리정보시스템 기술이 필수적이다. 위성영상의 분광반사 특성을 이용하여 임상 및 수종분류가 가능하며, 이를 통해 임상도를 제작할 수 있다. 3차원 자료인 LiDAR를 이용하여 개체목의 위치와 수고 측정, 이를 통해 바이오매스와 탄소량 추정이 가능하다. 그 외에도 대상물의 반사특성을 이용해서 각종 지수들이 추출될 수 있는데, 예를 들어 식생 지수와 표면토양지수 등을 통해 식생의 활력도와 산림 황폐화 정도를 파악 할 수 있다. 이러한 식생 지수들의 변이를 파악하여 소나무 재선충병, 참나무 시들음병 등의 조기탐지 및 관리도 가능하다. 또한 A/R CDM, REDD+ 등 최근 기후변화 대응 사업에 있어서 원격탐사는 사업성 판단과 이산화탄소 흡수 및 저장량을 산정하는데 중요한 역할을 하고 있다. 기후변화 취약성 평가에서는 지리정보시스템의 시공간자료를 이용하여 국가 및 지자체 단위의 취약성이 시공간적으로 평가되고 있다. 또한, 시공간자료를 영향변수로 추가시킨 각종 모델을 통해 산림생장, 입목고사, 산사태 및 산불 등의 예측이 시공간적으로 이루어 질 수 있다.

주요어 : 산림, 원격탐사, 지리정보시스템, 시공간분석, 기후변화