KOMPSAT-2 위성영상을 이용한 산림의 수관 밀도 추정

Estimation of Canopy Cover in Forest Using KOMPSAT-2 Satellite Images

장안진* · 김용민** · 김용일*** · 이병길**** · 어양담*****

Chang, An Jin · Kim, Yong Min · Kim, Yong Il · Lee, Byoung Kil · Eo, Yan Dam

要 旨

다양한 산림 정보 중 수관 밀도는 단위면적 당 수관점유 면적의 비율로 정의되며, 다양한 분야에 활용되는 중요한 정보이다. 기존의 측정 방법들은 항공사진 판독 또는 현지 조사를 통해 이루어졌다. 이로 인하여 수관 밀도를 측정함에 있어 시간적/인적/경제적 자원의 소모가 크고, 판독자의 주관 및 경험이 반영되어 자료 제작의 일관성이 부족하다. 따라서 본 연구에서는 KOMPSAT-2 고해상도 위성영상을 이용하여 국내 산림 지역의 수관 밀도를 추정하였다. 고해상도 위성영상에 적합한 영역 기반의 수관 밀도를 추정하기 위해 영상 분할 기법과 임분 경계 정보를 이용하여 산림 내부를 일정 영역으로 구분하고, 판별 분석 기법과 산림 비율 기법을 통해 구분된 영역의 수관 밀도를 추정하였다. 현장 조사 및 영상 판독을 통해 구축한 참조자료와 비교해본 결과 판별 분석 기법은 약 60%, 산림 비율 기법은 약 85%의 정확도를 보였다. 연구 결과와 수치 임상도의 비교를 통해 갱신이 필요한 후보지 추출 가능성을 확인하였다.

핵심용어 : 수관 밀도, 위성영상, 산림 정보, 지형공간정보

Abstract

Crown density, which is defined as the proportion of the forest floor concealed by tree crown, is important and useful information in various fields. Previous methods of measuring crown density have estimated crown density by interpreting aerial photographs or through a ground survey. These are time-consuming, labor-intensive, expensive and inconsistent approaches, as they involve a great deal of subjectivity and rely on the experience of the interpreter. In this study, the crown density of a forest in Korea was estimated using KOMPSAT-2 high-resolution satellite images. Using the image segmentation technique and stand information of the digital forest map, the forest area was divided into zones. The crown density for each segment was determined using the discriminant analysis method and the forest ratio method. The results showed that the accuracy of the discriminant analysis method was about 60%, while the accuracy of the forest ratio method was about 85%. The probability of extraction of candidate to update was verified by comparing the result with the digital forest map.

Keywords : Canopy Cover, Satellite Image, Forest Information, Geospatial Information System

1. 서 론

최근 친환경 기술 및 신재생에너지가 주목 받으면서 산림에 대한 정보의 중요성이 함께 증가하고 있다. 지금까지 산림에 대한 정보는 현장 조사 및 항공 사진판

독을 통해 취득하는 경우가 대부분 이었다(국립산림과학원, 2008; 2010). 하지만 산림의 모든 지역에 대해 현장 조사를 수행하는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에, 이를 보완하기 위해 광범위한 지역의 자료를 용이하게 취득할 수 있는 위성영상을 활용하여 산림 정보

2012년 2월 2일 접수, 2012년 3월 12일 채택

* 정희원 · 서울대학교 공학연구소 선임연구원(chvictor82@gmail.com)

** 학생회원 · 서울대학교 건설환경공학부 박사과정(kym0210@snu.ac.kr)

*** 서울대학교 건설환경공학부 교수(yik@snu.ac.kr)

**** 경기대학교 토목공학과 부교수(basil@kgu.ac.kr)

***** 교신저자 · 종신회원 · 건국대학교 신기술융합학과 부교수(coandrew@konkuk.ac.kr)

를 추출하는 연구가 활발히 진행되어 왔다. 특히, 2000년대 이후 IKONOS, QuickBird, GeoEye, WorldView 등의 미터급 상용 위성영상이 취득되고 있으며 우리나라도 KOMPSAT-2를 통해 독자적으로 고해상도 다중분광영상을 취득하고 있기 때문에, 고해상도 위성영상을 활용하여 산림 정보를 추출하는 연구가 진행되고 있다.

다양한 산림 정보 중 수관 밀도는 단위면적 당 수관 점유 면적의 비율로 정의되며, 현재 국내에서 제작 및 배포되고 있는 수치 임상도의 속성 정보 중 하나이다(국립산림과학원, 2008; 김용민, 2011). 수관 밀도 정보는 산림 생태계 분석, 산림 하층부 생태 파악, 임상 정보, 옆면적 지수 측정, 군사구조물 엄폐, 상대방 정찰 및 침투 경로 예상 등의 다양한 분야에 활용되는 중요한 정보이다(장안진 등, 2011; Chang et al., 2011). 수관 밀도를 측정하는 방법에는 현장 조사를 통해 직접 정보를 취득하는 방법(Rautiainen et al., 2005), 지형도 및 항공 사진을 판독하는 방법(Pitkänen, 2001), 위성영상과 현장 조사 자료의 사이의 상관관계를 이용한 방법(Gerylo et al., 2002; Franklin et al., 2003; Carreiras et al., 2006) 등이 있다. 국내에서는 위성영상을 이용하여 임상 판독(김선화 등, 2003)과 바이오매스(정재훈 등, 2010; 김기태 등, 2011; 유수홍 등 2011) 추정과 관련한 연구가 진행되었고, 장안진 등(2006; 2008)은 항공라이다 자료를 이용하여 수고 및 바이오매스 등의 산림 지역의 정보를 추정하였다. 하지만, 수관 밀도를 추정하는 연구는 최근에 들어서 시작되고 있다(김용민 등, 2011; 장안진 등, 2011).

대부분의 기존 방법들은 현지 조사 자료 또는 판독에 관련된 전문가 수준의 지식이 필요하다. 이로 인하여 수관 밀도를 측정함에 있어 시간적/인적/경제적 자원의 소모가 크고, 판독자의 주관 및 경험이 반영되어 자료 제작의 일관성이 부족하다는 단점이 존재한다(Ma et al., 2001). 또한 다수의 연구가 중저해상도 기반의 위성영상을 활용하여 화소기반의 분석을 수행하기 때문에, 최근 취득되고 있는 고해상도 위성영상에 적용하기 어려울 뿐만 아니라 현장 조사 및 보조 자료에 의존하고 있다.

이러한 한계점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 KOMPSAT-2 고해상도 위성영상을 이용하여 국내 산림 지역의 수관 밀도를 추정하고, 그 효용성을 검증하고자 한다. 기존의 수관 밀도 추정 방식을 고해상도 위성영상에 그대로 적용할 경우 오히려 잘못된 결과를 도출할 가능성을 내포하고 있기 때문에, 본 연구에서는 수관 밀도의 정의를 바탕으로 영역 기반 기법을 적용하

그림 1. 수관 밀도 추정 연구 흐름도

였다. KOMPSAT-2 위성영상을 이용하여 추정한 수관 밀도의 정확도 평가를 수행하고, 추가적으로 1:5,000 수치 임상도의 수관 밀도 정보와 비교하였다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 산림 지역을 일정한 영역으로 구분하고, 구분된 모든 영역마다 수관 밀도를 추정하였다(그림 1). 산림 지역의 영역은 위성영상의 영상 분할과 수치 임상도의 임분(Stand) 단위를 이용하여 구분하였다. 각 영역의 수관 밀도 추정은 통계적 군집화 방식인 판별 분석 기법과 수관 밀도의 정의를 기반으로 하는 산림 비율 기법을 이용하였다. 이는 원격탐사 자료의 공간해상도가 높아지면서 화소 기반의 알고리즘보다 정확한 결과를 도출할 수 있는 객체 기반 기법과 유사한 흐름이라 할 수 있다. 실험 결과는 현장 조사를 통해 구축한 참조자료와 비교하여 정확도 평가 및 분석을 수행하였고, 최종적으로 1:5,000 수치 임상도와 비교하였다. 전체 과정은 Matlab 2011을 통해 구현되었으며, Envi 4.7을 이용하여 영상의 절취, 분류, 도시작업을 수행하였다. 추가적으로 판별분석은 SAS 9.3을 이용하였다.

2.1 산림 지역의 영역 구분

기존의 중저해상도 위성을 이용한 화소 단위 알고리즘의 단점을 보완하기 위하여, 산림 내부를 일정한 영역으로 구분하고, 각 영역의 수관 밀도를 추정한다. 영역 기반의 수관 밀도 추정을 위해서는 산림 지역을 영역 단위로 분할하는 단계가 중요하다. 본 연구에서는 산림지역의 영역을 구획하기 위하여 수치 임상도의 임

본 경계 정보와 유역 분할 알고리즘을 채용하였다.

먼저 1:5,000 수치 임상도의 속성 정보를 이용하여 산림지역을 추출한다. 추출된 산림 지역의 내부를 일정한 영역으로 구분하기 위하여 수치 임상도의 임분 경계 정보와 영상의 밝기 정보를 이용한다. 여기서 임분은 산림 내부를 구분하는 단위으로써, 나무의 종류, 나이, 생육 상태 등이 비슷하여 주위의 다른 산림과 구분되는 범위를 의미한다. 수치 임상도에서 임분 경계는 폴리곤 형태의 벡터 자료로 되어 있으며, 이를 위성영상과 동일한 공간해상도로 변환하여 산림 내부의 영역을 구분하였다.

추가적으로 위성영상에 영상 분할(Image segmentation) 기법을 적용하여 영역을 구분하였다. 영상 분할의 기본적인 목적은 영상에서 유사한 특성을 보이는 화소를 하나의 객체로 그룹화(Grouping) 하는 것이다. 본 연구에서는 산림지역에 유역분할(Watershed segmentation) 알고리즘을 적용하였다. 유역분할 알고리즘은 지리학적 개념과 지형의 높은 곳에서 낮은 곳으로의 물의 흐름을 기반으로 하는 영역 분할 기법이다. 같은 웅덩이로 모이는 물방울들이 시작되는 지점부터 지표가 같은 영역으로 분할되는 원리를 따르고 있으며, 이를 영상에 적용하여 능선과 집수지역을 찾고 영역을 구분하게 된다. 따라서 영상의 화소값을 높이값으로 간주하고, 유역 분할 알고리즘을 적용하면 영상 분할이 가능하다(Gonzales and Woods, 2002). 유역분할 알고리즘을 통해 산림 지역 내부의 유사한 화소들을 일정 영역으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 산림 지역의 영상 분할을 위해 식생에 민감한 근적외선(Near-infrared) 파장대 정보를 취득하는 밴드에 유역분할 알고리즘을 적용하였다(Guyot, 1990). 유역분할 알고리즘은 전처리 과정에서 윈도우(Window) 크기만 지정하면, 다른 임계치 설정 없이 영상 분할을 수행할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 국립산림과학원에서 제시하고 있는 최소산림면적을 고려하여 윈도우 크기를 설정하였다. 국립산림과학원에서는 최소 산림 면적 기준을 인공림은 0.1ha, 천연림은 0.5ha로 정의하고 있다(국립산림과학원, 2008).

2.2 영역 기반 수관 밀도 추정

산림 내부에 구분된 영역의 수관 밀도를 추정하기 위하여 판별 분석 기법 및 산림 비율 기법을 적용하였다. 판별 분석 기법은 위성영상의 질감정보를 이용하고, 산림 비율 기법은 토지피복분류 결과를 사용한다. 영역을 구분하는 2가지 방법과 수관 밀도를 추정하는 2가지 방법을 사용하여, 총 4종류의 수관 밀도 추정 결과가 도출된다.

2.2.1 판별 분석 기법

판별 분석은 대표적인 다변량 통계기법으로 두 개 이상의 모집단에서 추출된 표본들이 지니고 있는 정보를 이용하여, 분류 기준을 찾는 통계적 분석 방법이다. 추출된 표본의 정보를 이용하여 판별 함수를 결정하고, 이를 바탕으로 관측치의 분류를 실시한다(송문섭과 조신섭, 2004). 판별분석은 사전에 정의된 모집단 사이의 평균들의 차이를 분석하고, 훈련 자료를 근거로 하여 판별 기준을 수립한다. 마지막으로 새로운 관측치를 판별 기법에 적용하여 분류 집단을 판별한다. 영역 내부의 정보는 수관 밀도에 따라 다른 특성을 나타내기 때문에 판별 분석 기법을 통해 수관 밀도 등급을 추정할 수 있다.

판별 분석 기법은 단위 영역의 분광 정보 및 질감 정보의 대푯값을 이용하여 수관 밀도를 판별한다. 고해상도 위성영상의 경우 적은 밴드 수의 한계로 분광정보가 부족하기 때문에 보다 정확한 결과를 도출하기 위해서는 추가적인 정보가 필요하다. 본 연구에서는 대표적인 질감 연산자인 GLCM(Grey Level Co-occurrence Matrix) 기법을 영상에 적용하여, 추가 정보로 이용하였다. GLCM 기법은 질감 특성치 계산을 위하여 윈도우 내에 존재하는 화소값 순서상의 발생 빈도를 공발생행렬(Co-occurrence matrix)로 표현하고, 이로부터 통계 특성치를 추출한다. GLCM을 이용한 질감 정보에 영향을 미치는 주요 인자는 윈도우 크기(Window size), 이웃화소와의 방향성(Direction of neighbor), 화소값의 양자화(data Quantization), 특성값(Characteristic value) 등이 있다(Haralick et al., 1973). 본 연구에서는 영상의 화소값을 16 등급으로 단순화하여 공발생행렬의 크기를 결정하였고, 윈도우 크기는 3×3으로 설정하였다. 방향성의 경우 8개의 방향성의 평균값을 할당하였고, 산림 지역의 특성을 나타내기 적합한 특성치를 선택하였다. 일정한 영역 내부에서 수관 밀도의 차이가 발생한다면, 해당 화소들이 나타내는 화소값의 분포가 달라지므로 화소값 및 명암도의 차이를 나타내는 Homogeneity, Angular Second Moment, Entropy를 선택하였고, Dissimilarity와 Contrast의 경우 수관 밀도의 차이를 가장 잘 나타내는 변수로 알려져 있기 때문에 최종적으로 5개의 질감 특성치를 선택하였다(Kayitakire et al., 2006; Chang et al., 2011).

KOMPSAT-2 위성영상의 각 밴드에 따라 5개의 질감 특성치를 계산하여 총 20개의 특성치를 추출하고 이를 밴드의 형태로 원영상에 추가하였다. 영상 분할 또는 임분 정보에 따라 구분된 특정 영역 객체 내부에 존재하는 화소의 분광 정보 및 질감 정보의 평균을 각

영역의 대푯값으로 설정하면, 특정 영역의 대푯값은 24 개의 변수(4밴드+4밴드×5개 질감 특성치)로 구성된 벡터로 표현된다. 판별분석을 통해 영역의 수관 밀도를 결정하기 위해서는 훈련자료 취득이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 수치 임상도의 수관 밀도 속성 정보와 동일한 소/중/밀 등급으로 설정하였고, 훈련 자료는 현장 조사 자료를 바탕으로 위성영상에서 절취하여 각 등급별로 취득하였다. 훈련 자료로부터 판별 함수를 수립하고, 모든 영역 객체의 대푯값을 판별기준과 비교하여 수관 밀도를 결정하였다.

2.2.2 산림 비율 기법

산림 비율 기법은 수관 밀도의 정의에 따라 단위 영역 내의 수관점유면적 비율을 측정하여 수관 밀도를 추정한다. 위성영상에서 단위 영역의 면적 및 수관점유면적을 추출하고, 수관점유면적 비율을 계산하여 해당 영역의 수관 밀도를 추정한다.

이를 위해 위성영상의 토지피복분류를 수행한다. 이때, 분류자(Classifier)는 SVM(Support Vector Machine)을 선택하였다. SVM 분류는 훈련 자료를 이용한 학습을 통해 최적의 분류를 위한 초평면(Hyperplane)을 설정하기 때문에 기존의 분류 기법보다 우수한 결과를 도출한다. 또한 이 기법은 통계적 가정이 필요 없고, 기존의 다른 분류 기법과 비교하여 밴드수에 크게 영향을 받지 않는다(한유경, 2009).

본 연구에서는 토지피복분류 결과, 산림으로 분류된 화소를 수관점유화소로 간주하여, 구분된 각 영역의 넓이와 해당 영역 내에 존재하는 수관점유면적의 비율을 계산한다. 이를 통해 산림 내의 모든 영역에 대해 0~100(%) 사이의 연속적인 값으로 수관 밀도를 추정할 수 있다. 연속값으로 추정된 수관 밀도 정보는 활용되는 분야 또는 목적에 따라 다양한 형태로 가공될 수 있다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 사용 데이터

본 연구에서 사용한 실험 영상은 2010년 9월 15일에 촬영된 천안지역의 KOMPSAT-2 다중 분광 위성영상이다(그림 2(a)). KOMPSAT-2 위성은 2006년 7월 발사되어 운용되고 있는 국내 다목적실용위성으로 4개의 다중분광 밴드로 이루어져 있으며, 4m의 공간해상도를 갖고 있다. 실험 지역의 전체 넓이는 10×10km이다.

산림 내부의 영역을 구분하기 위해 수치 임상도의 임분 경계를 사용하였다. 위성영상의 공간해상도가 수 미터급 이하이기 때문에 1:5,000 대축척 수치 임상도를

(a) 위성영상 (b) 1:5,000 수치 임상도

그림 2. 천안지역의 실험 데이터

사용하였다. 위성영상과 동일한 지역을 절취하여 사용하였다(그림 2(b)).

현장 조사를 통해 수관 밀도 추정 결과의 정확도 평가를 위한 참조자료를 구축하였다. 그림 2의 사각형 지역에 대해 2011년 7월 1일 현장 조사를 실시하였다. 해당 지역은 총 81개의 임분이 존재하였다. 접근 가능한 지역은 현장 방문을 통해 조사를 수행하였고, 하층식생 발달/급경사 등의 사유로 접근이 어려운 지역에 대해서는 2009년 9월 1일 취득된 천안지역의 항공사진을 참고하여 영상 판독을 통해 수관 밀도를 결정하였다. 참조 자료는 판별 분석 기법과 산림 비율 기법을 적용한 실험 결과와 비교하여 정확도를 계산하였다.

3.2 실험 결과

그림 3은 KOMPSAT-2 위성영상에 판별 분석 기법을 적용하여 수관 밀도를 추정한 결과이다. 영상 분할 객체와 1:5,000 수치 임상도의 임분 경계 정보를 이용하여 도출 결과를 그림 3(a)와 그림 3(b)에서 각각 나타내고 있다. 실험 지역에서 유역분할 알고리즘을 통해 분할된 객체는 6,098개이고, 임분은 총 3,152개가 존재하였다.

산림 비율 기법을 적용하여 수관 밀도를 추정하는 경우 연속 수관 밀도를 계산할 수 있다. 산림 비율 기법을 통해 영상 분할 객체 및 임분 영역의 연속 수관 밀도가 추정되었고(그림 4), 이를 1:5,000 수치 임상도의 수관 밀도 정보와 동일한 등급으로 변환하였다(그림 5). 1:5,000 수치 임상도에서 수관 밀도는 임분의 소밀도 속성 정보로 구분되며, 소밀도 구분 기준은 표 1과 같다(국립산림과학원, 2008).

표 1. 수치 임상도의 소밀도 구분 기준

Density	Description
소밀도-소	교목의 수관점유 면적이 50% 이하인 임분
소밀도-중	교목의 수관점유 면적이 51%~70% 인 임분
소밀도-밀	교목의 수관점유 면적이 71% 이상인 임분

3.3 정확도 평가 및 고찰

영상 분할 객체 단위와 수관 임상도의 임분 단위를 이용하여 수관 밀도 추정 결과를 시각적으로 비교해 보았다. 상대적으로 소 등급은 영상 분할 객체를 이용한 경우가 많았고(그림 3), 중 등급은 임분 단위를 이용한 결과에서 많게 나타났다(그림 5). 이는 영역 단위로 구분하는 방식에 따라 결과가 다르게 도출되는 것을 의미하며, 영역 내부에 존재하는 화소 구성의 변화로 인한 것이다. 또한 판별 분석을 적용한 경우 소/중 등급의 객체가 다수 존재하는 반면(그림 3), 산림 비율 기법 적용하였을 때는 대부분의 영역 객체가 밀 등급을 나타내었다(그림 5). 이러한 현상은 산림의 가장자리 부분에서 두드러진다.

현장 조사를 통해 구축된 참조 자료를 이용하여 본 연구에서 추정한 수관 밀도의 정확도 평가를 정량적으로 수행하였다. 참조 자료는 현장 조사 자료와 항공사진 판독을 통해 구축하였다. 참조 자료가 구축된 영역에는 영상 분할 객체의 경우 158개, 임분 단위의 경우 81개의 영역이 존재한다. 정량적 평가는 수관 밀도 추정 결과가 참조자료와 일치하는 영역의 개수를 이용하였고, 영역 구분 방법과 수관 밀도 추정 기법에 따른 정확도 평가 결과는 표 2와 같다. 판별 분석 기법을 적용한 결과는 약 60% 정도의 전체 정확도를 나타냈으며, 산림 비율 기법은 약 85%의 높은 정확도를 보였다. 영역을 구분하는 방식에 상관없이 산림 비율 기법을 적용한 결과가 전체적으로 약 20% 이상 높게 측정되었다.

표 3~6은 실험 결과에 따른 오차행렬을 나타내고 있다. 산림 지역에서는 수관 밀도 등급 중 밀 등급의 영역이 가장 많이 분포하기 때문에, 상대적으로 밀 등급의 영역이 많이 분포하는 산림 비율 기법의 정확도가 높게 측정된 것으로 판단된다. 판별 분석 기법의 경우 수목만 존재하는 지역과 수목 이외의 토지피복이 혼재하는 지역의 질감 정보에 대한 차이가 반영되어 소/중 등급의 수관 밀도 추정이 가능하다. 하지만 질감 정보의 차이는 수종이 다른 수목이 혼재하는 지역, 그림자 지역, 임도 부근 등의 지역에서도 발생하기 때문

에, 밀 등급 영역에 대해 잘못된 결과를 도출하게 되며, 이로 인하여 낮은 정확도를 나타낸다.

오차행렬을 분석한 결과 판별 분석 기법의 경우 소/중 등급의 수관 밀도를 추정하는데 우수한 성능을 보였으며, 산림 비율 기법은 밀 등급의 수관 밀도 추정에 높은 정확도를 보였다. 이러한 현상은 토지피복분류의 오차와 본 연구에 사용된 KOMPSAT-2 영상의 공간 해상도의 한계로 인해 발생하는 것으로 판단된다. 소/중 등급의 수관 밀도를 나타내는 영역에서는 산림 이외의 지역이 관목, 초지 등의 다른 식생과 혼재되어 있는 경우가 대부분이지만, 분광 정보의 한계로 인하여 수목과 함께 다른 식생이 혼재하는 지역을 정확히 분류하기 어렵다. 이러한 연유로 수관 밀도가 낮은 영역의 추정 결과에 오차가 발생한 것으로 사료된다. 세부적인 등급에 대하여 낮은 정확도를 보이는 경우가 존재하지만, 본 연구에서 제안하는 기법을 이용하여 수관 밀도 추정이 가능한 것을 확인하였다.

표 3. 판별 분석 기법 오차행렬(영상 분할 객체)

	참조자료		
	소	중	밀
소	11	2	13
중	2	15	38
밀	0	3	74

표 4. 판별 분석 기법 오차행렬(임분 경계)

	참조자료		
	소	중	밀
소	2	0	2
중	0	8	30
밀	0	1	38

표 5. 산림 비율 기법 오차행렬(영상 분할 객체)

	참조자료		
	소	중	밀
소	8	1	0
중	1	4	3
밀	4	15	122

표 6. 산림 비율 기법 오차행렬(임분)

	참조자료		
	소	중	밀
소	0	0	0
중	2	0	1
밀	0	9	69

표 2. 수관 밀도 추정 결과의 전체 정확도

판별 분석 기법(%)	
영상 분할 객체	임분 경계
63.29	59.26
산림 비율 기법(%)	
영상 분할 객체	임분 경계
84.81	85.19

그림 6. 1:5,000 수치 임상도의 소밀도 정보

그림 7. 수치 임상도 갱신 후보 지역

(a) 수치 임상도

(b) KOMPSAT-2 위성영상

(c) 산림 비율 기법 적용 결과

그림 8. 수관 밀도 정보 비교

3.4 수치 임상도와 비교

국내에서 공식적으로 제공되는 수관 밀도 정보는 산림청에서 제작/배포하는 수치임상도의 속성 정보가 유일하며 현재 1:25,000 수치 임상도(5차) 및 1:5,000 수치 임상도가 구축되고 있는 실정이다. 기본적으로 수치 임상도는 항공사진 판독을 통해 임상 구획 및 속성 정보를 제작한다. 하지만 기존의 수치임상도를 참고하여 변화된 임분 경계, 속성 정보 등을 수정 및 보완하고, 항공사진으로 판독하기 어려운 지역에 대해서만 현지 조사를 통해 해결하고 있다(국립산림과학원,

2010). 수치 임상도의 갱신 주기가 5년 이상 소요되고, 판독에 사용되는 항공사진의 취득시기에 따라 최신성을 유지하기 어렵다는 단점이 존재한다. 따라서 수치 임상도의 소밀도 속성에 대한 갱신 가능성을 살펴보기 위하여, 가장 최근에 제작된 1:5,000 수치 임상도의 소밀도 속성 정보(그림 6)와 본 연구의 실험 결과 중 정확도가 가장 높은 수관 밀도 추정 결과(그림 5(b))를 비교하였다. 해당 지역의 1:5,000 수치 임상도는 2007년 12월 14일 취득된 항공사진을 이용하여 수치 도화 작업을 통해 제작되었다.

수치 임상도의 모든 지역에 대해 임분의 속성 정보를 확인하고 갱신하는 작업은 현실적으로 불가능하다. 따라서 신속하고 효율적인 속성 정보 갱신을 위해 갱신 후보 지역을 탐지하고 추출하는 작업이 필요하다. 수관 밀도는 산림 자체의 변화(조림, 벌목, 산불 등)에 따라 달라지기 때문에 수치 임상도의 소밀도 정보와 위성영상을 이용한 연구 결과가 다른 경우 속성 정보 갱신 후보로 고려할 수 있다. 1:5,000 수치 임상도의 소밀도 정보와 정확도가 가장 높은 산림 비율 기법을 적용한 수관 밀도 추정 결과와 비교하여 총 532개의 속성 갱신 후보 임분을 추출하였다(그림 7). 그림 8은 추출된 갱신 후보 지역을 확대하여 위성영상과 함께 도시한 것이다. 시각적으로 특정 임분의 소밀도 속성 정보가 잘못 구축된 것을 위성영상을 통해 확인할 수 있으며, 향후 갱신이 필요할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 KOMPSAT-2 고해상도 위성영상으로부터 다양한 분야에 활용되는 수관 밀도 정보를 추정하였다. 영역 기반의 수관 밀도를 추정하기 위해 영상 분할 기법과 임분 경계 정보를 이용하여 산림 내부를 일정 영역으로 구분하고, 판별 분석 기법과 산림 비율 기법을 통해 구분된 영역의 수관 밀도를 추정하였다. 현장 조사 및 영상 판독을 통해 구축한 참조자료와 비교해본 결과 판별분석 기법은 약 60%, 산림 비율 기법은 약 85%의 정확도를 보였다. 판별 분석 기법은 소/중 등급 추정에 우수한 결과를 보였으며, 산림 비율 기법은 밀 등급 추정에 우수한 결과를 나타냈다. 이를 통해 본 연구에서 제안하는 기법을 이용하여 수관 밀도 추정이 가능한 것을 확인 하였지만, 전체 정확도에 비하여 세부적인 정확도는 낮은 것으로 판단되어, 제안된 기법의 실제적인 활용성은 높지 않은 것으로 생각된다. 추가적으로 본 연구 결과와 수치 임상도의 비교를 통해 갱신이 필요한 후보지 추출에 대한 가능성을 살펴보았다.

향후 제안된 기법의 효용성을 높이기 위하여 소/중 등급이 다양하게 존재하는 지역을 대상으로 실험을 확대할 계획이며, 다양한 현장조사 자료 및 수관 밀도 등급에 적합한 알고리즘 선택 및 개발이 필요할 것으로 판단된다. 또한 수관 밀도 이외의 속성 정보 추출 및 위성영상을 이용한 수치 임상도 갱신에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2010-0005617).

본 연구를 위해 1:5,000 수치 임상도를 제공해 주신 국립산림과학원 산림자원정보과 관계자 분들께 감사드립니다.

참고문헌

1. 국립산림과학원, 2008, 1:5:000 임상도 제작 방안 수립, 국립산림과학원.
2. 국립산림과학원, 2010, 정사항공사진을 활용한 제 5차 수치 임상도(1:25,000) 제작 매뉴얼, 국립산림과학원.
3. 김기태, 조진우, 유한희, 2011, KOMSPAT-2호 위성영상을 이용한 도시지역 탄소저장량 추정, 한국지형공간정보학회지, 한국지형공간정보학회, 제19권, 2호, pp.49-54.
4. 김선화, 이규성, 이지민, 2003, 임상 판독을 위한 IKONOS 다중분광 영상의 적응성 분석, 춘계학술대회 논문집, 한국 GIS 학회, pp.1396-144.
5. 김용민, 어양담, 전민철, 김형태, 김창재, 2011, 항공 라이다 자료를 이용한 영역 기반 차폐물 지도 제작, 한국지형공간정보학회지, 한국지형공간정보학회, 제19권, 1호, pp.29-36.
6. 송문섭, 조심섭, 2004, SAS를 이용한 통계자료 분석, 자유아카데미.
7. 유수홍, 허준, 정재훈, 한수희, 김경민, 2011, Landsat TM 위성영상과 비율영상을 적용한 지상부 탄소 저장량 추정 - KNN 알고리즘 및 회귀 모델을 중심으로, 한국지형공간정보학회지, 한국지형공간정보학회, 제19권, 2호, pp.39-48.
8. 장안진, 유기윤, 김용일, 이병길, 2006, 컬러항공사진과 LiDAR 데이터를 이용한 수목 개체 및 수고 추정, 대한원격탐사학회지, 대한원격탐사학회, 제22권, 6호, pp.543-551.
9. 장안진, 김형태, 2008, 항공사진과 Lidar 데이터를 이용한 산림지역의 바이오매스 추정에 관한 연구, 한국지리정보학회지, 한국지리정보학회, 제11권, 3호, pp.166-173.
10. 장안진, 2011, 위성영상을 이용한 영역 기반 수관 밀도 정보 추출, 2011년 추계학술대회 논문집, 한국지리정보학회, pp.142-143.
11. 정재훈, 허준, 유수홍, 김경민, 이정빈, 2010, KNN 알고리즘과 계절별 Landsat TM 위성영상을 이용한 단양군 지역의 지상부 바이오매스 탄소저장량 추정, 한국지

- 형공간정보학회지, 한국지형공간정보학회, 제18권, 4호, pp.119-129.
12. 한유경, 2009, 세그먼트 기반의 Spatial Feature 추출을 통한 고해상도영상 분류정확도 개선, 석사학위논문, 서울대학교.
 13. Carreiras, J. M. B., Pereira, J. M. C. and Pereira J. S., 2006, Estimation of Tree Canopy Cover in Evergreen Oak Woodlands using Remote Sensing, *Forest Ecology and Management*, Elsevier B. V., Vol.223, No.1-3, pp.45-53.
 14. Chang, A., Eo, Y., S., Kim, Y. and Kim, Y., 2011, Canopy-Cover Thematic-Map Generation for Military Map Products using Remote Sensing Data in Inaccessible Areas, *Landscape and Ecological Engineering*, International Consortium of Landscape and Ecological Engineering, Vol.7, No.2, pp.263-274.
 15. Franklin, S. E., Hall, R. J., Smith, L. and Gerylo, G. R., 2003, Discrimination of Conifer Height, age and crown closure classes using Landsat-5 TM imagery in the Canadian Northwest Territories, *International Journal of Remote Sensing*, Vol.24, No.9, pp. 1823-1834.
 16. Gerylo, G. R., Hall, R. J., Franklin, S. E. and Smith, L., 2002, Empirical Relations between Landsat TM Spectral Response and Forest Stands Near Fort Simpson, Northwest Territories, Canada, *Canadian Journal of Remote Sensing*, Canadian Remote Sensing Society, Vol.28, No.1, pp.68-79.
 17. Gonzales, R. C. and Woods, R. E., 2002, *Digital Image Processing*, Prentice Hall, Upper Saddle River.
 18. Guyot, G., 1990, Optical Properties of Vegetation Canopies. In: Steven MD, Clark JA (eds) *Application of remote sensing in agriculture*, Butterworth, London, pp.19-43.
 19. Haralick, R. M., Shanmugam, K., Dinstein, I., 1973, Textural Features for Image Classification, *IEEE Transaction on System, Man, and Cybernetics*, Systems, Man, & Cybernetics Society, Vol.3, No.6, pp.610-621.
 20. Kayitakire, F., Hamel, C. and Defourny, F., 2006, Retrieving Forest Structure Variables based on Image Texture Analysis and IKONOS-2 Imagery, *Remote Sensing of Environment*, Vol.102, No.3-4, pp.390- 401.
 21. Ma, Z., Hart, M. M. and Redmond, R. L., 2001, Mapping Vegetation Across Large Geographic Areas: Integration of Remote Sensing and GIS to Classify Multisource Data, *Photogrammetry Engineering & Remote Sensing*, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.69, No.4, pp.357-367.
 22. Pitkänen, J., 2001, Individual Tree Detection in Digital Aerial Images by Combining Locally Adaptive Binarization and Local Maxima Methods, *Canadian Journal of Forest Research*, National Research Council of Canada, Vol.31, No.5, pp.832-844.
 23. Rautiainen, M., Stenberg, P. and Nilson, T., 2005, Estimating Canopy Cover in Scots Pine Stands, *Silva Fennica*, Finnish Society of Forest Science, Vol.39, No.1, pp.137-142.